

Online ISSN : 2186-490X
Print ISSN : 1346-4272



地質調査研究報告

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 72 No. 4 2021

特集：足尾山地南西部,「桐生及足利」地域の地質と化石



 **産総研** 地質調査総合センター 

令和3年

表紙の写真

足尾山地南西部「桐生及足利」地域の四季

群馬県及び栃木県にまたがる足尾山地には、足尾帯ジュラ紀付加体が広く分布する。足尾山地南西部「桐生及足利」地域のジュラ紀付加体は、黒保根-桐生コンプレックス・大間々コンプレックス・葛生コンプレックス・行道山コンプレックスに区分される。

左上：(春) 葛生コンプレックスのチャートからなる両崖山南方の尾根。栃木県足利市本城。葛生コンプレックスでは連続性の良い大規模なチャートがみられ、山頂や尾根でチャートが露出する。

右上：(夏) 行道山コンプレックスの泥質混在岩が分布する八王子丘陵北部を流れる小川。群馬県桐生市広沢町。行道山コンプレックスはチャートと泥質混在岩を主体とし、谷や小川はチャートに比べると柔らかい泥質混在岩が分布することが多い。

左下：(秋) 大間々コンプレックスの泥質混在岩が分布する高津戸峽。群馬県みどり市大間々町高津戸。大間々コンプレックス上部を特徴づける泥質混在岩が広く露出する。高津戸遊歩道の周辺では、泥質混在岩とそこに含まれる玄武岩類・炭酸塩岩類・チャート・砂岩の岩塊が観察できる。

右下：(冬) 黒保根-桐生コンプレックスの泥岩分布域である近沢峠北方の尾根。栃木県佐野市作原町。黒保根-桐生コンプレックスの泥岩は、他のコンプレックスの泥岩に比べると硬い。そのため、本コンプレックスでは、チャートのように泥岩が尾根に露出する。

(写真・文：伊藤 剛)

Cover Photograph

Four seasons in the “Kiryu and Ashikaga” District in the southwestern Ashio Mountains

Jurassic accretionary complex is widely distributed over the Ashio Mountains across Gunma and Tochigi prefectures. The Jurassic accretionary complex in the “Kiryu and Ashikaga” District, located in the southwestern Ashio Mountains, comprises the Kurohone-Kiryu, Omama, Kuzu and Gyodosan complexes.

Upper left: (Spring) A ridge composed of chert of the Kuzu Complex in the south of Mt. Ryogai, Honjo, Ashikaga City, Tochigi Prefecture. The Kuzu Complex is characterized by a widely distributed laterally-continuous chert, which is often exposed in crests and ridges of the mountains.

Upper right: (Summer) A stream in the northern Hachioji Hills, where pelitic mixed rock of the Gyodosan Complex is distributed, Hirosawa-cho, Kiryu City, Gunma Prefecture. The Gyodosan Complex is mainly composed of chert and pelitic mixed rock, and valleys and streams mostly develop in the softer pelitic mixed rock.

Lower left: (Autumn) The Takatsudo Gorge where pelitic mixed rock of the Omama Complex is distributed, Omama-machi Takatsudo, Midori City, Gunma Prefecture. The pelitic mixed rock, which characterizes the upper part of the Omama Complex, is well exposed in the gorge. The rock and blocks of basaltic rocks, carbonate rocks, chert and sandstone in it are observed along the Takatsudo Walkway.

Lower right: (Winter) A ridge in the north of Chikasawa Pass, distribution area of mudstone of the Kurohone-Kiryu Complex, Sakuhara-cho, Sano City, Tochigi Prefecture. As the mudstone is harder than the mudstone of the other complexes, it is exposed in ridges like chert.

(Photograph and Caption by ITO Tsuyoshi)

地質調査研究報告
BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN
Vol. 72 No. 4 2021

特集号：足尾山地南西部，「桐生及足利」地域の地質と化石

巻頭言

5 万分の 1 地質図幅「桐生及足利」地域の足尾帯の地質

伊藤 剛191

論文

足尾山地のジュラ紀付加体の地質と対比：5 万分の 1 地質図幅「桐生及足利」地域の検討

伊藤 剛201

概報

Radiolarians from Jurassic accretionary complex of the Ashio belt in the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000), central Japan

ITO Tsuyoshi287

Conodont fossils from the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000), central Japan with emphasis on the reexamination of “Carboniferous” conodonts from the Ashio Belt

MUTO Shun and ITO Tsuyoshi325

資料・解説

Occurrence report of Triassic and Jurassic radiolarians from the Jurassic accretionary complexes of the Ashio belt in eastern Mt. Narukami, Ashio Mountains, central Japan

ITO Tsuyoshi, NAKAMURA Kazuya, HINOHARA Tatsuya and KURIHARA Toshiyuki345

足尾山地のジュラ紀付加体大間々コンプレックスから産出した放散虫及び有孔虫

伊藤 剛・鈴木紀毅・指田勝男359

概報

足尾山地のジュラ紀付加体大間々コンプレックスに含まれる玄武岩類の地球化学的特徴

伊藤 剛・草野有紀371

資料・解説

栃木県足利市名草に分布する足利岩体の黒雲母花崗閃緑岩及び接触変成岩

伊藤 剛・中村佳博383

巻 頭 言 : 5 万 分 の 1 地 質 図 幅 「 桐 生 及 足 利 」 地 域 の 足 尾 帯 の 地 質

伊藤 剛^{1,*}

ITO Tsuyoshi (2021) Special issue on geology of the Ashio belt of the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000). *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 72 (4), p. 191–200, 2 figs, 1 appendix.

Keywords: Quadrangle series 1:50,000, Kiryu and Ashikaga District, Ashio Mountains, Gunma Prefecture, Tochigi Prefecture, Ashio belt, radiolaria, conodont, granodiorite, Jurassic accretionary complex

関東北部, 群馬県北東部から栃木県南西部には足尾山地がそびえる. この地名を冠した足尾帯にはジュラ紀付加体や白亜紀~古第三紀の珪長質火成岩類が分布し, このジュラ紀付加体については丹波帯や美濃帯のその東方延長であると捉えられている(例えば, 中江, 2000). 国土地理院発行の5万分1地形図では, 「足尾」・「鹿沼」・「桐生及足利」・「栃木」の4地域がジュラ紀付加体の主な分布範囲である(第1図).

産総研地質調査総合センターでは, 日本全域の地質図の整備を進めており(例えば, 宮崎, 2017), その一環として平成28年度(2016年度)より5万分の1地質図幅「桐生及足利」を作成中である. この地域において地質調査を行うとともに, その過程で新たに放散虫やコノドントの化石を発見した. また, 同地域に露出する上部白亜系足利岩体(黒雲母花崗閃緑岩)についても検討を行った. これらの成果の一部については既に公表しているが(Ito, 2019, 2020a, b), 新たに計7報の論文(論説及び概報, 資料・解説)として本特集号でその成果を報告する. 公表済みのものも含め, 著者の各論文における研究範囲を第1図に示す. ここでは, それぞれの論文の概要について紹介する. なお, これらの論文内で触れた地質体名や地名などの英語-日本語対訳表を付表1として示す.

伊藤(2021a)は, 桐生及足利図幅の地質調査の成果や先行研究に基づき, 足尾帯ジュラ紀付加体の岩相・化石年代・地質構造をまとめ, 構造層序区分を行った. Kamata (1996)により提唱された黒保根-桐生コンプレックス・大間々コンプレックス・葛生コンプレックスに加え, 新たに構造的最上位の行道山コンプレックスを定義した. また, 岩相や層序関係に基づいて, 黒保根-桐生コンプレックスと大間々コンプレックスをそれぞれ下部と上部に細分した. 「桐生及足利」地域を含む足尾帯ジュラ紀付加体の広域的な研究例は少なく(例えば, 渡辺ほか, 1957; 林ほか, 1990), 付加体地質学的観点に基づく構造層序区分はKamata (1996)による研究例など更に

限られていた(第2図). したがってこの研究は足尾帯ジュラ紀付加体の標準構造層序区分を再構築したことになる. さらに伊藤(2021a)は, これらの区分の上で美濃帯のジュラ紀付加体との比較を行い, 足尾帯ジュラ紀付加体の類似性及び特異性を指摘している.

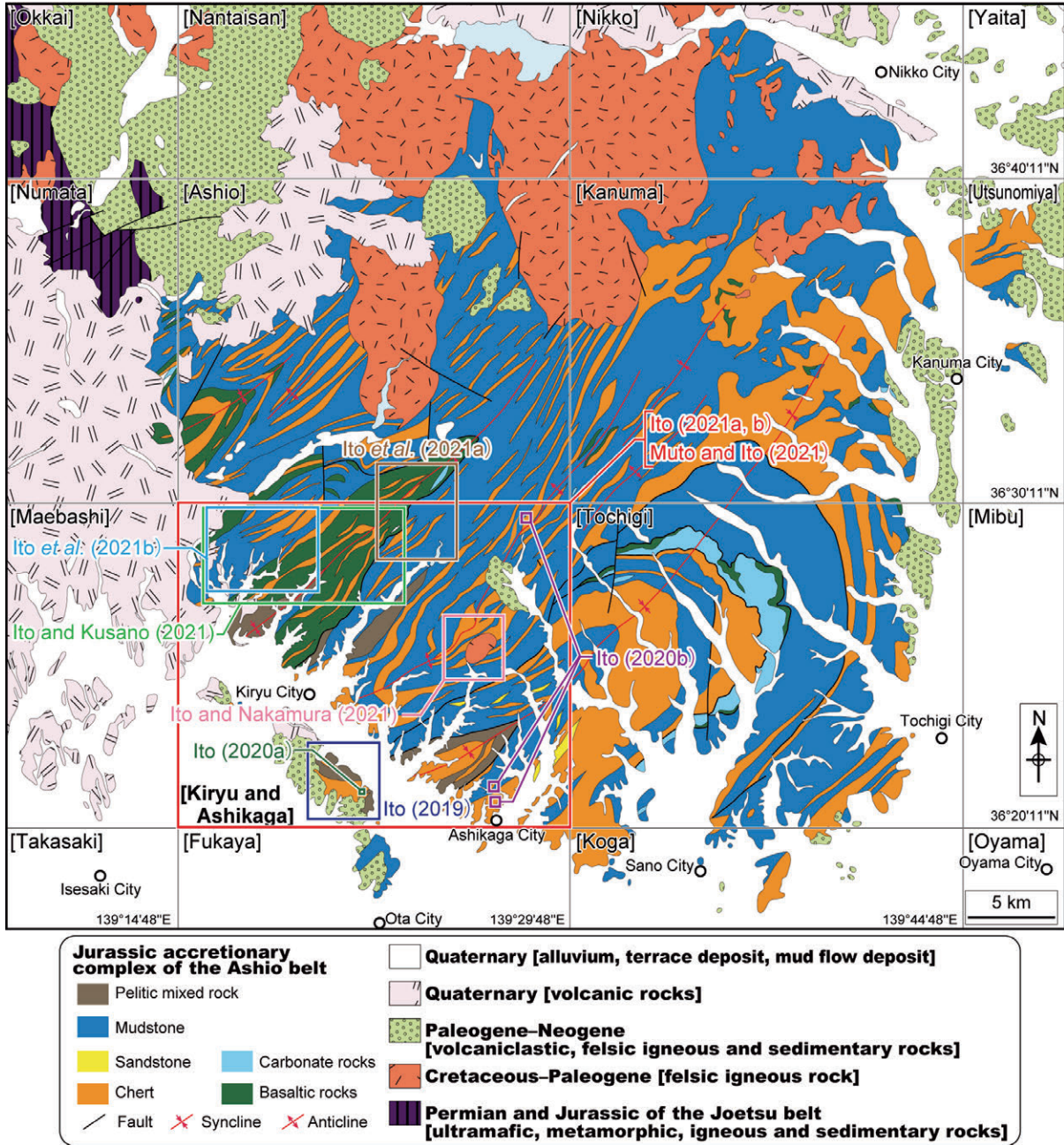
Ito (2021b)は, 「桐生及足利」地域内の42試料から得られた新たな放散虫を報告した. また, Ito (2020b)が新種 *Latentibifistula clathrata* Itoを記載した八王子セクションの周辺を更に検討し, これまで行道山コンプレックスから得られていなかったペルム紀放散虫を見出した. さらに足尾山地からこれまでに報告された化石産出をまとめ, 各コンプレックスの岩相の年代を示した. これらを踏まえた上で, それぞれのコンプレックスの海洋プレート層序の復元を試みている.

Ito *et al.* (2021a)は, 鳴神山東部(「桐生及足利」地域北部と「足尾」地域南部)から得られた三畳紀及びジュラ紀の放散虫を報告した. これらの放散虫産出地点は大間々コンプレックスと黒保根-桐生コンプレックスの分布域にあたる. これらのコンプレックスからの放散虫化石の産出例は限られており, 特にこの論文は中期ジュラ紀の放散虫を写真とともに示した貴重な報告である. また大間々コンプレックスの泥岩から中期ジュラ紀放散虫を見出しており, これは同コンプレックスの泥岩としては最も若い年代の記録となる.

伊藤ほか(2021b)は, 大間々コンプレックスから得られたペルム紀・三畳紀・ジュラ紀放散虫及びペルム紀フズリナを示した. 上述の通り大間々コンプレックスからの化石の産出例は限られており, その写真を伴う例はさらに少ない. 本論文は大間々コンプレックスからの貴重な化石産出報告であるとともに, 同コンプレックスからのペルム紀放散虫の写真を示した唯一の例となる. また, 大間々コンプレックスのチャートから中期ジュラ紀放散虫の産出を報告しており, これは同コンプレックスのチャートとしては最も若い年代の記録となる.

¹ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

* Corresponding author: ITO, T., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: ito-t@aist.go.jp

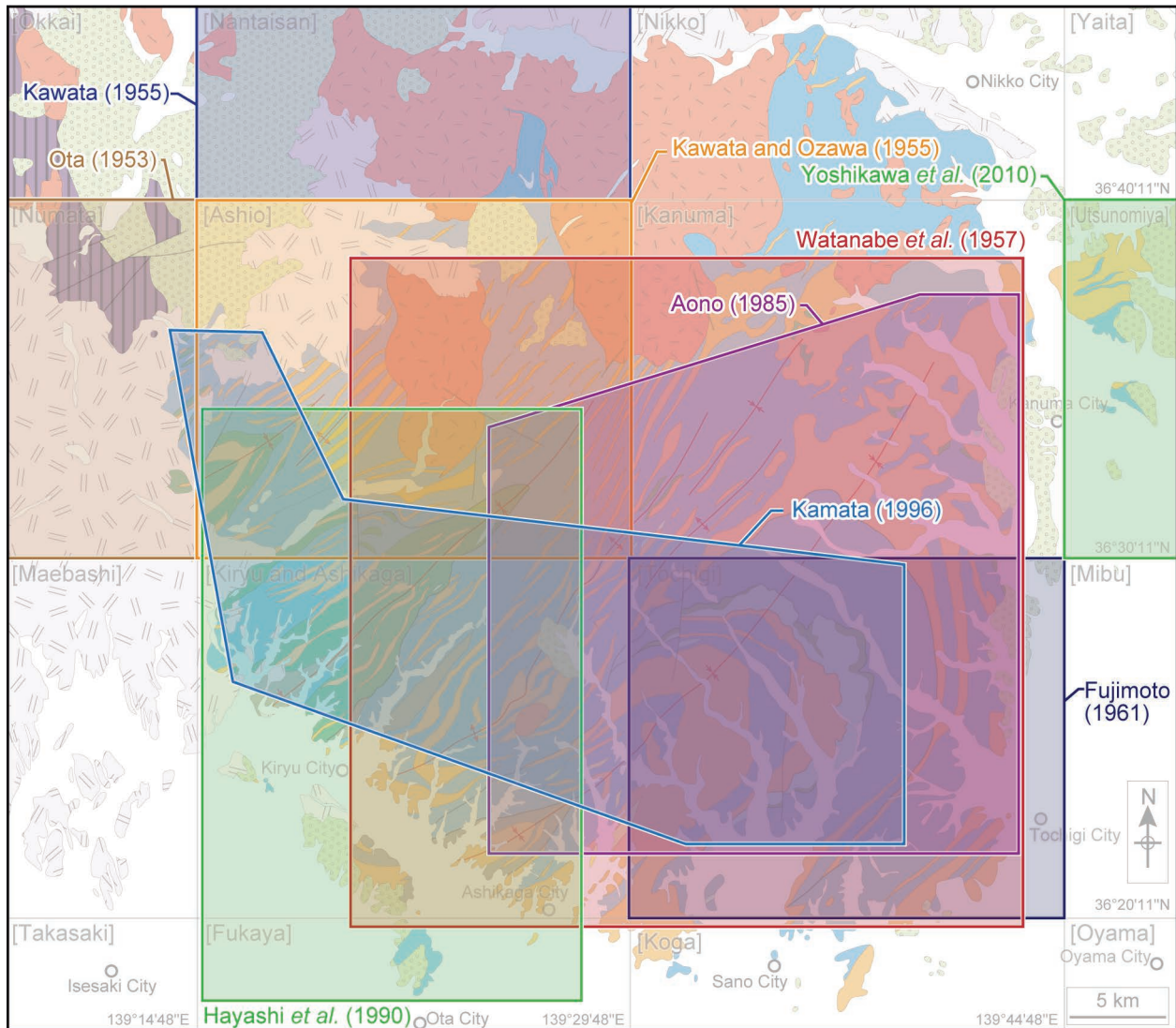


第1図 足尾山地周辺の地質概略図及び著者の各論文(Ito, 2019, 2020a, b, 2021b; 伊藤, 2021a; 伊藤・草野, 2021; 伊藤・中村, 2021; Ito *et al.*, 2021a; 伊藤ほか, 2021b; Muto and Ito, 2021)における調査範囲。鍵括弧内の地名は国土地理院発行の5万分1地形図の名称を示す。主に須藤ほか(1991), 山元ほか(2000), 吉川ほか(2010)及び伊藤(2021a)に基づく。

Fig. 1 Simplified geologic map of the Ashio Mountains and study areas of each article of the author (Ito, 2019, 2020a, b, 2021a, b; Ito and Kusano, 2021; Ito and Nakamura, 2021; Ito *et al.*, 2021a, b; Muto and Ito, 2021). Geographical names in brackets indicate 1:50,000 topographic maps published by Geospatial Information Authority of Japan. This is based on mainly Sudo *et al.* (1991), Yamamoto *et al.* (2000), Yoshikawa *et al.* (2010) and Ito (2021a).

Muto and Ito (2021) は、「桐生及足利」地域の佐野市飛駒町万山^{ばんやま}などから得られた前期三畳紀コノドントを報告した。足尾山地は、本邦で初めてコノドントが報告された地域の1つであり(林, 1963), また万山はコノドントを含む珪質粘土岩の分布域として知られる(例えば,

Sashida *et al.*, 1992)。さらにMuto and Ito (2021) は、これまでに足尾山地から報告されたコノドントについて、掲示された写真に基づいて同定や年代の再検討を試みた。一部の先行研究では、足尾山地からデボン紀や石炭紀のコノドントが産出するとされていたが(例えば, 林ほか,



第2図 足尾山地周辺においてこれまでに刊行された広域地質図の範囲(太田, 1953; 河田, 1955; 河田・大澤, 1955; 渡辺ほか, 1957; 藤本, 1961; Aono, 1985; 林ほか, 1990; Kamata, 1996; 吉川ほか, 2010). なお, 栃木県及び群馬県によって刊行された地質図及び表層地質図(土地分類基本調査)は省いた. また, 葛生地域周辺の地質図(例えば, 吉田, 1956; 羽鳥, 1965; 柳本, 1973; 鎌田, 1997)も省略した.

Fig. 2 Areas of previously-published broad geological maps around the Ashio Mountains (Ota, 1953; Kawata, 1955; Kawata and Ozawa, 1955; Watanabe *et al.*, 1957; Fujimoto, 1961; Aono, 1985; Hayashi *et al.*, 1990; Kamata, 1996; Yoshikawa *et al.*, 2010). This figure omits the geological maps and subsurface geological maps (Fundamental Land Classification Survey) published by Tochigi and Gunma prefectures. The geological maps in the Kuzu area (e.g. Yoshida, 1956; Hatori, 1965; Yanagimoto, 1973; Kamata, 1997) are also not presented.

1990), これらのコノドントの年代が三畳紀やペルム紀であることを示した. したがって, 足尾山地のジュラ紀付加体においてデボン紀や石炭紀のコノドントの存在を示す確実な証拠はないことが明らかとなった.

伊藤・草野(2021)は, 大間々コンプレックス基底部付近の玄武岩類の化学組成について検討した. 地球化学組成では, 大間々コンプレックスの玄武岩類は中央海嶺玄武岩的な特徴をもつ玄武岩類と海洋島玄武岩的な特徴を

持つ玄武岩類の両方が認識されることが明らかとなった. 先行研究において, 大間々コンプレックスと「栃木」地域の葛生コンプレックスの玄武岩類(ユニット2)を同一のものともみえず見解があった(山北・大藤, 2000). しかし, 葛生コンプレックスの玄武岩類の地球化学的特徴は海洋島玄武岩に類似するとされており(中島ほか, 1992), 地球化学組成の点で大間々コンプレックスの玄武岩類とは異なるという結果が得られた.

伊藤・中村(2021)は、「桐生及足利」地域東部に露出する足利岩体と呼ばれる黒雲母花崗閃緑岩についてその特徴を記載した。足尾山地北部には白亜紀～古第三紀の珪長質火成岩類が広く露出しており(例えば、矢内, 1972), 足利岩体はその南端にあたる。また伊藤・中村(2021)は、足利岩体周辺の足尾帯ジュラ紀付加体構成岩類の変成泥岩及び泥岩を対象に炭質物温度計を利用して被熱温度を推定し、接触変成作用の評価を行った。

冒頭に述べたように足尾帯は丹波帯や美濃帯の東方延長であると捉えられており、また足尾山地はその名称の元となった地域である。本特集号に含まれる論文では、5万分の1地質図幅「桐生及足利」の作成の過程で得られた成果を示すとともに、先行研究で示されていた情報の編さんや再検討を可能な限り試みた。本特集号が足尾山地の足尾帯やその東方延長とされる八溝山地の更なる検討の礎となることを期待する。

謝辞: 地質情報研究部門の鈴木 淳博士には、本原稿を査読いただいた。同部門の原 英俊博士には、本特集号の外部編集委員として、各原稿について精読いただくとともに種々の意見をいただき、内容が大きく改善された。同部門の中江 訓博士には、「桐生及足利」地域の研究を進める過程やその成果の公表に際し、その地質や年代について議論いただいた。記して感謝申し上げます。

文 献

- Aono, H. (1985) Geologic structure of the Ashio and Yamizo Mountains with special reference to its tectonic evolution. *Science reports of the Institute of Geoscience, University of Tsukuba. Section B, Geological Sciences*, **6**, 21–57.
- 藤本治義(1961) 5万分の1地質図幅「栃木」及び説明書。地質調査所, 62p.
- 羽鳥晴文(1965) 足尾山地南東部の層位学的研究。地質学雑誌, **71**, 247–256.
- 林 信悟(1963) 足尾山地より発見したコノドントについて。地球科学, no. 68, 9–12.
- 林 信悟・飯島静男・石井逸雄・中島照雄・沢口 宏・田中宏之・吉田 尚(1990) 足尾山地南西部の中・古生界。群馬県立歴史博物館紀要, **11**, 1–34.
- Ito, T. (2019) A report of Permian, Triassic, and Jurassic radiolarian occurrences from the Ashio terrane in the Hachioji Hills, eastern Gunma Prefecture, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **70**, 225–247.
- Ito, T. (2020a) A Cisuralian (early Permian) radiolarian assemblage and a new species of *Latentibifistula* Nazarov and Ormiston from central Japan. *Revue de Micropaléontologie*, **66**, 100406.
- Ito, T. (2020b) Radiolarian age of Triassic striped chert within the Jurassic accretionary complex of the Ashio terrane in the Ashikaga area, Tochigi Prefecture, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **71**, 297–312.
- 伊藤 剛(2021a) 足尾山地のジュラ紀付加体の地質と対比: 5万分の1地質図幅「桐生及足利」地域の検討。地質調査研究報告, **72**, 201–285.
- Ito, T. (2021b) Radiolarians from Jurassic accretionary complex of the Ashio belt in the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000), central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **72**, 287–324.
- 伊藤 剛・草野有紀(2021) 足尾山地のジュラ紀付加体大間々コンプレックスに含まれる玄武岩類の地球化学的特徴。地質調査研究報告, **72**, 371–381.
- 伊藤 剛・中村佳博(2021) 栃木県足利市名草に分布する足利岩体の黒雲母花崗閃緑岩及び接触変成岩。地質調査研究報告, **72**, 383–396.
- Ito, T., Nakamura, K., Hinohara, T. and Kurihara, T. (2021a) Occurrence report of Triassic and Jurassic radiolarians from the Jurassic accretionary complexes of the Ashio belt in eastern Mt. Narukami, Ashio Mountains, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **72**, 345–358.
- 伊藤 剛・鈴木紀毅・指田勝男(2021b) 足尾山地のジュラ紀付加体大間々コンプレックスから産出した放射虫及び有孔虫。地質調査研究報告, **72**, 359–370.
- Kamata, Y. (1996) Tectonostratigraphy of sedimentary complex in the southern part of the Ashio terrane, central Japan. *Science reports of the Institute of Geoscience, University of Tsukuba. Section B, Geological Sciences*, **17**, 71–107.
- 鎌田祥仁(1997) 足尾帯葛生地域におけるチャート—碎屑岩シーケンスの復元。地質学雑誌, **103**, 343–356.
- 河田清雄(1955) 5万分の1地質図幅「男体山」及び説明書。地質調査所, 43p.
- 河田清雄・大澤 穰(1955) 5万分の1地質図幅「足尾」及び説明書。地質調査所, 57p.
- 小島守夫・上杉純夫・仙石富英・東 和之(2015) 新・分県登山ガイド8 改訂版 栃木県の山。山と溪谷社, 東京, 127p.
- 宮崎一博(2017) 我が国における5万分の1地質図幅整備—地質図整備における全体シナリオと個別シナリオ—。シンセシオロジー, **11**, 55–68.
- Muto, S. and Ito, T. (2021) Conodont fossils from the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000), central Japan with emphasis on the reexamination of “Carboniferous” conodonts from the Ashio Belt. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **72**, 325–344.
- 中江 訓(2000) 西南日本内帯ジュラ紀付加複合体の広域対比。地質学論集, no. 55, 73–98.
- 中島 裕・内田悦生・今井直哉・今井浩人・大野 仁(1992)

- 栃木県葛生地域の鍋山炭酸塩岩層中に産する含ブルーサイト白色岩とその生成に関与した玄武岩岩脈について. 岩鉱, **87**, 445-459.
- 太田ハイキングクラブ(2010)新・分県登山ガイド9 改訂版 群馬県の山. 山と溪谷社, 東京, 143p.
- 太田良平(1953) 5万分の1地質図幅「沼田」及び説明書. 地質調査所, 37p.
- Sashida, K., Kamata, Y. and Igo, Hy. (1992) "Toishi-type shale" in the Ashio Mountains, central Japan. *Annual Report of Institute of Geosciences, University of Tsukuba*, no. 18, 59-66.
- 佐野市(2019)町名一覧. https://www.city.sano.lg.jp/kurashi_gyosei/shiseijoho_nyusatsu/sanoshinogaiyo/intro/8606.html (閲覧日: 2021年1月17日)
- 島田一郎(2000)桐生市地名考. 桐生市立図書館, 桐生市, 237p.
- 須藤定久・牧本 博・秦 光男・宇野沢 昭・滝沢文教・坂本 亨・駒澤正夫・広島俊男(1991) 20万分の1地質図幅「宇都宮」, 地質調査所.
- 渡辺武男・向山 広・兼平慶一郎・浜田隆士(1957)足尾山地地質説明書. 内外地図株式会社, 千葉, 40p.
- 山北 聡・大藤 茂(2000)丹波—美濃—足尾帯付加堆積岩コンプレックスの構造層序区分と北部秩父帯・南部秩父帯との比較. 構造地質, **44**, 5-32.
- 山元孝広・滝沢文教・高橋 浩・久保和也・駒澤正夫・広島俊男・須藤定久ほか(2000) 20万分の1地質図幅「日光」, 地質調査所.
- 柳本 裕(1973)栃木県葛生地域の中・古生層の層序と地質構造の再検討. 地質学雑誌, **79**, 441-451.
- 矢内桂三(1972)足尾山地北部の後期中生代酸性火成岩類その1 地質. 岩石鉱物鉱床学会誌, **67**, 193-202.
- 吉川敏之・山元孝広・中江 訓(2010)「宇都宮」地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 79p.
- 吉田三郎(1956)栃木縣安蘇郡葛生町附近の地質(1). 北海道地質要報, **32**, 1-10.

(受 付 : 2021年3月22日 ; 受 理 : 2021年7月9日)

付表1 本特集号で取り扱った地質体名や地名などに関する英語-日本語対比表. 桐生市の行政区分及び地名については島田(2000)に, 佐野市の行政区分及び地名については佐野市(2019)に基づく. その他の地名については各自治体のウェブページなどを参考にした. 山の読みについては太田ハイキングクラブ(2010)及び小島ほか(2015)に基づく.

Table A1 English-Japanese translations of terms (e.g. geologic body) dealt in this special volume. Administrative division and place name in the Kiryu City are based on Shimada (2000); those of the Sano City is based on Sano City (2019); those of other cities refer to each city's webpage. Readings of mountains are based on Ota Hiking Club (2010) and Kojima *et al.* (2015).

英語 (English)	日本語 (Japanese)	読み仮名 (Japanese syllabary)
地質区分 (Geology)		
Adoyama Formation	アト山層	あどやまそう
Aisawa/Aizawa Formation	会沢/會澤層	あいさわ/あいざわそう
Aka Syncline	赤面向斜	あかこうしゃ
Arihara Complex	在原コンプレックス	ありはらこんぶれつくす
Ashikaga Body	足利岩体	あしかががんたい
Ashikaga granodiorite	足利花崗閃緑岩	あしかががこうせんりよくがん
Ashikaga Group	足利層群	あしかがそうぐん
Ashio Formation	足尾層	あしおそう
Ashio terrane/belt	足尾テレーン/帯	あしおてれーん/たい
Aso/Anso Group	安蘇層群	あそそうぐん
Awano Group	粟野層群	あわのそうぐん
Ayuta Complex/Unit	鮎田コンプレックス/ユニット	あゆたこんぶれつくす/ゆにっと
Azusagawa Complex	梓川コンプレックス	あずさがわこんぶれつくす
Barakura granodiorite	茨倉花崗閃緑岩	ばらくらがこうせんりよくがん
Chichibu belt	秩父帯	ちちぶたい
Chuzenji Acidic Igneous Rocks	中禅寺型酸性火成岩類	ちゅうぜんじがたさんせいかせいがんるい
Chuzenji adamelite	中禅寺アダメロ岩	ちゅうぜんじあだめろがん
Dayoshi Unit	駄吉ユニット	だよしゆにっと
Fukazawa granodiorite porphyry	深沢花崗閃緑斑岩	ふかざわがこうせんりよくはんがん
Fukuoka Group	福岡層群	ふくおかそうぐん
Funafuseyama Complex/Unit	舟伏山コンプレックス/ユニット	ふなふせやまこんぶれつくす/ゆにっと
Furuya Formation	古屋層	ふるやそう
Gyodosan Complex	行道山コンプレックス	ぎょうどうさんこんぶれつくす
Haiya Complex	灰屋コンプレックス	はいやこんぶれつくす
Hanetsuru Dolostone Member	羽鶴苦灰岩部層	はねつるかいかいがんぶそう
Hangetsuyama welded tuff	半月山溶結凝灰岩	はんげつやまようけつぎょうかいがん
Hata Formation	羽田層	はたそう
Hidagawa Complex/Group	飛騨川コンプレックス/層群	ひだがわこんぶれつくす/そうぐん
Hieizan Complex	比叡山コンプレックス	ひえいざんこんぶれつくす
Hikoma Anticline	飛駒背斜	ひこまはいしゃ
Hikoma Group	飛駒層群	ひこまそうぐん
Hirataki quartz diorite-granodiorite	平滝石英閃緑岩-花崗閃緑岩	ひらたきせきえいせんりよくがん-かこうせんりよくがん
Hirayu Complex	平湯コンプレックス	ひらゆこんぶれつくす
Hirosawa Conglomerate	広沢礫岩	ひろさわれきがん
Hirose Formation	広瀬層	ひろせそう
Hiroto Formation	広戸層	ひろとそう
Hisazawa Unit	久沢ユニット	ひさざわゆにっと
Hoso granite-granite porphyry	細尾花崗岩-花崗斑岩	ほそおかこうがん-かこうはんがん
Ibukiyama Complex	伊吹山コンプレックス	いぶきやまこんぶれつくす
Imajo Complex/Unit/Formation	今庄コンプレックス/ユニット/層	いまじょうこんぶれつくす/ゆにっと/そう
Irohazaka welded tuff	いろは坂溶結凝灰岩	いろはざかようけつぎょうかいがん
Iwade Formation	岩出層	いわでそう
Izuriha Complex	出灰コンプレックス	いずりはこんぶれつくす
Izuru Formation	出流層	いずるそう
Kamanowa Complex	釜輪コンプレックス	かまのわこんぶれつくす
Kamiaso Complex/Unit	上麻生コンプレックス/ユニット	かみあそうこんぶれつくす/ゆにっと
Kamigongendoyama Group/Complex	上権現堂山層群/コンプレックス	かみごんげんどうやまそうぐん/こんぶれつくす
Kanayama Complex/Unit	金山コンプレックス/ユニット	かなやまこんぶれつくす/ゆにっと
Kanayama Welded Tuff	金山溶結凝灰岩	かなやまようけつぎょうかいがん
Kando Subcomplex	神戸サブコンプレックス	かんださぶこんぶれつくす
Kanma Fault	閑馬断層	かんまだんそう
Kanoiri granodiorite	鹿入花崗閃緑岩	かのいりかこうせんりよくがん
Karasawa Limestone Member	唐沢石灰岩部層	からさわせっかいがんぶそう
Karasuyama Complex/Unit	烏山コンプレックス/ユニット	からすやまこんぶれつくす/ゆにっと
Kasama Complex/Unit	笠間コンプレックス/ユニット	かさまこんぶれつくす/ゆにっと
Kasugano Complex/Formation	春日野コンプレックス/層	かすがのこんぶれつくす/そう
Kawamo Formation	川面層	かわもそう
Kawauchidani Unit	川内谷ユニット	かわうちだにゆにっと
Kubogahara granodiorite	古峰ヶ原花崗閃緑岩	こぶがはらかこうせんりよくがん
Kumogahata Complex	雲ヶ畑コンプレックス	くもがはたこんぶれつくす
Kunimiyama Complex/Unit	国見山コンプレックス/ユニット	くにみやまこんぶれつくす/ゆにっと
Kurohone Syncline	黒保根向斜	くろほねこうしゃ

「桐生及足利」地域の足尾帯の地質（伊藤）

付表1 続き.

Table A1 Continued.

英語 (English)	日本語 (Japanese)	読み仮名 (Japanese syllabary)
地質区分 (Geology)		
Kurohone-Kiryu Complex/Unit	黒保根-桐生コンプレックス	くろほね-きりゅうこんぶれつくす
Kuroi Formation	黒井層	くろいそう
Kuromatagawa Complex	黒又川コンプレックス	くろまたがわこんぶれつくす
Kuze Complex/Unit	久瀬コンプレックス/ユニット	くぜこんぶれつくす/ゆにっと
Kuzu Complex/Group	葛生コンプレックス/層群	くずうこんぶれつくす/そうぐん
Kuzu Syncline	葛生向斜	くずうこうしゃ
Maki Formation	牧層	まきそう
Matsuki quartz diorite-granodiorite	松木石英閃緑岩-花崗閃緑岩	まつきせきえいせんりよくがんにかこうせんりよくがんに
Matsuki Type Granitic Rocks	松木型花崗岩類	まつきがたかこうがんにるい
Mikagura Formation	御神楽層	みかぐらそう
Mino terrane/belt	美濃テレーン/帯	みのてれーん/たい
Misogawa Complex/Formation	味噌川コンプレックス/層	みそがわこんぶれつくす/そう
Nabeyama Formation/Group/Limestone	鍋山層/層群/石灰岩	なべやまそう/そうぐん/せっかいがんに
Nabi Complex/Unit	那比コンプレックス/ユニット	なびこんぶれつくす/ゆにっと
Nakatsuma/Nakazuma Formation	中妻層	なかづまそう
Nakasemba Thrust	中仙波衝上断層	なかせんばしょうじょうだんそう
Natasho Complex	名田庄コンプレックス	なたしょうこんぶれつくす
Niresawa Anticline	楡沢背斜	にれざわはいしゃ
Ohirayama Formation	大平山層	おおひらやまそう
Oiwa Fault	大岩断層	おおいわだんそう
Omama Complex	大間々コンプレックス	おおままこんぶれつくす
Osawa Formation	大沢層	おおさわそう
Oshimatadani Complex	押又谷コンプレックス	おしまただにこんぶれつくす
Oshirakawa Complex	大白川コンプレックス	おおしらかわこんぶれつくす
Otaki Complex	大滝コンプレックス	おおたきこんぶれつくす
Ryoke belt	領家帯	りょうけたい
Sakamototoge Complex	坂本峠コンプレックス	さかもととうげこんぶれつくす
Sambagawa belt	三波川帯	さんばがわたい
Samondake Complex	左門岳コンプレックス	さもんだけこんぶれつくす
Sano Group	佐野層群	さのそうぐん
Sawando Complex/Unit	沢渡コンプレックス/ユニット	さわんどこんぶれつくす/ゆにっと
Senmi Complex	仙見コンプレックス	せんみこんぶれつくす
Shimashima Complex/Unit	島々コンプレックス/ユニット	しましまこんぶれつくす/ゆにっと
Shirahone Complex/Unit	白骨コンプレックス/ユニット	しらほねこんぶれつくす/ゆにっと
Shuzan Complex/Formation	周山コンプレックス/層	しゅうざんこんぶれつくす/そう
Sori granodiorite	沢入花崗閃緑岩	そうりがこうせんりよくがんに
Sori Type Granitic Rocks	沢入型花崗岩類	そうりがたかこうがんにるい
Suganami Complex	菅並コンプレックス	すがなみこんぶれつくす
Sukai adamelite	皇海アダメロ岩	すかいあだめろがんに
Takakura Unit	高倉ユニット	たかくらゆにっと
Takatori Complex/Unit	高取コンプレックス/ユニット	たかとりこんぶれつくす/ゆにっと
Tamba terrane/belt	丹波テレーン/帯	たんばてれーん/たい
Tochigi Group	栃木層群	とちぎそうぐん
Tone Anticline	利根背斜	とねはいしゃ
Tone Complex	刀根コンプレックス	とねこんぶれつくす
Torinokosan Complex/Unit	鷲子山コンプレックス/ユニット	とりのこさんこんぶれつくす/ゆにっと
Tsurugaoka Complex	鶴ヶ丘コンプレックス	つるがおかこんぶれつくす
Umeda Syncline	梅田向斜	うめだこうしゃ
Wachi Complex/Formation	和知コンプレックス/層	わちこんぶれつくす/そう
Watarase Anticline	渡良瀬背斜	わたらせはいしゃ
Yabuhara Complex/Formation	藪原コンプレックス/層	やぶはらこんぶれつくす/そう
Yabuzuka Formation	藪塚層	やぶづかさう
Yajiro Complex	八代コンプレックス	やじろこんぶれつくす
Yamaga Complex	山家コンプレックス	やまがこんぶれつくす
Yamanaka Formation	山中層	やまなかそう
Yamasuge Limestone Member	山菅石灰岩部層	やますげせっかいがんにぶそう
Yamizosan Complex/Unit	八溝山コンプレックス/ユニット	やみぞさんこんぶれつくす/ゆにっと
Yuragawa Complex	由良川コンプレックス	ゆらがわこんぶれつくす
5万分の1及び20万分の1の区画地域 (District of 1:50,000 and 1:200,000 topographic maps)		
Ashio	足尾	あしお
Fukaya	深谷	ふかや
Kanuma	鹿沼	かぬま
Kiryu and Ashikaga	桐生及足利	きりゅうおよびあしかが
Koga	古河	こが
Maebashi	前橋	まえばし

付表1 続き.

Table A1 Continued.

英語 (English)	日本語 (Japanese)	読み仮名 (Japanese syllabary)
5万分の1及び20万分の1の区画地域 (District of 1:50,000 and 1:200,000 topographic maps)		
Mibu	壬生	みぶ
Nantaisan	男体山	なんたいさん
Nikko	日光	にっこう
Numata	沼田	ぬまた
Okkai	追貝	おっかい
Oyama	小山	おやま
Takasaki	高崎	たかさき
Tochigi	栃木	とちぎ
Utsunomiya	宇都宮	うつのみや
Yaita	矢板	やいた
行政区分及び地名 (Administrative division and place name)		
Aisawa-cho	会沢町	あいさわちょう
Asahara	浅原	あさはら
Ashikaga City	足利市	あしかがし
Ashio	足尾	あしお
Awaya-cho	粟谷町	あわやちょう
Azami	阿左美	あざみ
Ban-yama	万山	ばんやま
Daimon	大茂	だいもん
Egawa-cho	江川町	えがわちょう
Gunma Prefecture	群馬県	ぐんまけん
Hikoma-cho	飛駒町	ひこまちょう
Hiranite	平仁手	ひらにて
Hirosawa-cho	広沢町	ひろさわちょう
Hishi-machi	菱町	ひしまち
Iseaki City	伊勢崎市	いせきし
Jarubuchi	蛇留淵	じゃるぶち
Kaizawa	皆沢	かいざわ
Kambara	蒲原	かんばら
Kanuma City	鹿沼市	かぬまし
Kasakake-machi/-cho	笠懸町	かさかけまち/ちょう
Kawamo	川面	かわも
Kawauchi-cho	川内町	かわうちちょう
Keisoku	鶏足	けいそく
Kirihara	桐原	きりはら
Kiryu City	桐生市	きりゅうし
Koto	小戸	こうと
Kurohone-cho	黒保根町	くろほねちょう
Kuromatagawa	黒又川	くろまたがわ
Matsuda-cho	松田町	まつだちょう
Midori City	みどり市	みどりし
Mino	美濃	みの
Miyamoto-cho	宮本町	みやもとちょう
Motegi	茂木	もてぎ
Nagusa	名草	なぐさ
Nagusa-kamicho	名草上町	なぐさかみちょう
Nakagawa	中川	なかがわ
Nikko City	日光市	にっこうし
Odaira	小平	おだいら
Oiwa-cho	大岩町	おおいわちょう
Okuzure	大崩	おおくずれ
Omama-machi/-cho	大間々町	おおままち/ちょう
Omata-cho	小俣町	おまたちょう
Ota City	太田市	おおたし
Oyama City	小山市	おやまし
Sakuhara-cho	作原町	さくはらちょう
Sano City	佐野市	さのし
Shiozawa	塩沢	しおざわ
Takatsudo	高津戸	たかつど
Takayama-Kiso	高山-木曾	たかやま-きそ
Tamba	丹波	たんば
Tochigi Prefecture	栃木県	とちぎけん
Tomuro	戸室	とむろ
Tozurori	閉籠里	とづろうり
Tsukiya-cho	月谷町	つきやちょう

「桐生及足利」地域の足尾帯の地質（伊藤）

付表1 続き.

Table A1 Continued.

英語 (English)	日本語 (Japanese)	読み仮名 (Japanese syllabary)
行政区分及び地名 (Administrative division and place name)		
Tsuruga-Nanjo	敦賀-南条	つるが-なんじょう
Umeda-cho	梅田町	うめだちょう
Yagihara	八木原	やぎはら
Yamizo	八溝	やみぞ
Yanahara	柳原	やなはら
Yamasuge-cho	山菅町	やますげちょう
Yoshizawa-cho	吉沢町	よしざわちょう
地形 (Geography)		
Akagi Volcano	赤城火山	あかぎかざん
Anagire/Anagiri Pass	穴切峠	あなざれとうげ / あなざりとうげ
Ashio Mountains	足尾山地	あしおさんち
Chuzenji Lake	中禅寺湖	ちゅうぜんじこ
Fujisaka Pass	藤坂峠	ふじさかとうげ
Hachioji Hills	八王子丘陵	はちおうじきゅうりょう
Hagidaira Mine	萩平鉱山	はぎだいらこうざん
Hata River	旗川	はたがわ
Hikoma River	彦馬川	ひこまがわ
Inoko Pass	猪子峠	いのことうげ
Kanayama Hills	金山丘陵	かなやまきゅうりょう
Kanma River	閑馬川	かんまがわ
Keisoku Massif	鶏足山塊	けいそくさんかい
Kesamaru Volcano	袈裟丸火山	けさまるかざん
Kinu-gawa West Bank Terraces	鬼怒川西岸段丘群	きぬがわせいがんだんきゅうぐん
Kogashi Mountains	古賀志山地	こがしさんち
Koshin Volcano	庚申火山	こうしんかざん
Kurosawa-higashikawa River	黒沢東川	くろさわひがしかわ
Kurosawa-nishikawa River	黒沢西川	くろさわにしかわ
Kusaki Lake	草木湖	くさきこ
Matsuda Lake	まつだ湖	まつだこ
Momiyama Pass	初山峠	もみやまとうげ
Mt. Aakayuki	赤雪山	あかゆきやま
Mt. Azuma	吾妻山	あづまやま
Mt. Gyodo	行道山	ぎょうどうさん
Mt. Jo-yama	城山	じょうやま
Mt. Karasawa	唐沢山	からさわやま
Mt. Kogashi	古賀志山	こがしやま
Mt. Kojin	荒神山	こうじんやま
Mt. Kuryu	栗生山	くりゅうさん
Mt. Mikamo	三叢山	みかもやま
Mt. Mitsumine	三峰山	みつみねさん
Mt. Monomi	物見山	ものみやま
Mt. Nakimushi	鳴蟲山	なきむしやま
Mt. Narukami	鳴神山	なるかみやま
Mt. Ode	尾出山	おでやま
Mt. Ogata	大形山	おおがたやま
Mt. Oiwa	大岩山	おおいわやま
Mt. Ozaku	石裂山	おざくさん
Mt. Ryogai	両崖山	りょうがいさん
Mt. Sekison	石尊山	せきそんさん
Mt. Senningatake	仙人ヶ岳	せんにんがたけ
Mt. Shinko	深高山	しんこうさん
Mt. Tako	多高山	たこうさん
Mt. Yokone	横根山	よこねやま
Odaira River	小平川	おだいらがわ
Odaira Stalactite Cave	小平鍾乳洞	おだいらしょうにゅうどう
Oikoshi/Oinokoji Pass	老越路峠	おいこしとうげ / おいのこうじとうげ
Omama Fan	大間々扇状地	おおまませんじょうち
Omoi-gawa Lowland	思川低地	おもいがわてい
Oshiyama River	忍山川	おしやまがわ
Shiroppa/Shirohata/Shirahata Pass	白葉峠	しろっぽとうげ / しろはたとうげ / しらはたとうげ
Sukai Volcano	皇海火山	すかいかざん
Takatsudo Gorge	高津戸峽	たかつどきょう
Torinoko Massif	鷺子山塊	とりのこさんかい
Umeda Lake	梅田湖	うめだこ
Watarase River	渡良瀬川	わたらせがわ

付表1 続き.

Table A1 Continued.

英語 (English)	日本語 (Japanese)	読み仮名 (Japanese syllabary)
地形 (Geography)		
Watarase-gawa Lowland	渡良瀬川低地	わたらせがわていち
Yamizo Massif/Mountains	八溝山塊／山地	やみぞさんかい／さんち
Zama Pass	座間峠	ざまとうげ
人工建造物 (Artificial structure)		
Atago-jinja Shrine	愛宕神社	あたごじんじゃ
Hanetaki Bridge	はねたき橋	はねたきばし
Inoko Tunnel	猪子トンネル	いのことんねる
Kumano-jinja Shrine	熊野神社	くまのじんじゃ
Kurohone-Ohashi Bridge	黒保根大橋	くろほねおおはし
Mizunuma Station	水沼駅	みずぬまえき
Nagusa Itsukushima Shrine	名草巖島神社	なぐさいつくしまじんじゃ
Oiwa Tunnel	大岩トンネル	おおいわとんねる
Omama Sinmei-gu Shrine	大間々神明宮	おおまましんめいぐう
Satsuki Bridge	五月橋	さつきばし
Takatsudo Bridge	高津戸橋	たかつどはし

足尾山地のジュラ紀付加体の地質と対比：5万分の1地質図幅「桐生及足利」地域の検討

伊藤 剛^{1,*}

ITO Tsuyoshi (2021) Geology and correlation of Jurassic accretionary complex in the Ashio Mountains, central Japan: Investigation on the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000). *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 72 (4), p. 201–285, 22 figs, 6 tables, 26 plates, 1 appendix.

Abstract: Jurassic accretionary complex of the Ashio belt is exposed in the Ashio Mountains, central Japan. Lithology, stratigraphy, fossil age and geologic structure are summarized in this article, on the basis of the geological survey of the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000) and previous studies in adjacent districts. The Jurassic accretionary complex in the Ashio Mountains comprises four tectonostratigraphic units, namely the Kurohone–Kiryu, Omama, Kuzu and Gyodosan (newly named) complexes. The Kurohone–Kiryu Complex presents broken to coherent facies and is composed mainly of mudstone and chert and moderate amounts of siliceous claystone, with small amounts of basaltic rocks, carbonate rocks, siliceous mudstone, sandstone and pelitic mixed rock. This complex is characterized by dominant of pelitic rock that cleavage develops. This complex is subdivided into the Upper and Lower parts. The Omama Complex presents broken to mélangé facies, and consists mainly of basaltic rocks, chert and mudstone, with small amounts of carbonate rocks, siliceous mudstone, sandstone and pelitic mixed rock. This complex is subdivided into the Upper and Lower parts, and the pelitic mixed rock are dominant in the Upper part. The Kuzu Complex is subdivided into three units (Units 1, 2 and 3). Units 1 and 3 are characterized by coherent facies of chert–clastic sequence comprising chert, siliceous mudstone, mudstone, alternations of sandstone and mudstone and sandstone, in ascending order. Unit 2 comprises basaltic rocks and carbonate rocks with conglomerate, siliceous mudstone and mudstone. The Gyodosan Complex presents mélangé facies and is composed mainly of pelitic mixed rock and chert, with siliceous mudstone, mudstone and sandstone. Three faults as complex boundaries were recognized: the Kiryugawa Fault (between the Kurohone–Kiryu and Omama complexes), Kanma Fault (newly named: between the Kurohone–Kiryu and Kuzu complexes) and Oiwa Fault (newly named: between the Kuzu and Gyodosan complexes). Geologic structure of the Jurassic accretionary complex is characterized by several folds (e.g. Umeda Syncline, Hikoma Anticline, Kuzu Syncline) having NE–SW axial trace. On the basis of radiolarian fossils from pelitic rock of each complex, the accretionary age of the Omama and Gyodosan is after the middle Middle Jurassic, and that of the Kurohone–Kiryu Complex and Unit 2 of the Kuzu Complex is after the late Middle Jurassic. The accretionary age of units 1 and 3 of the Kuzu Complex is after the early Late Jurassic. Based on the comparison with tectonostratigraphic units of the Mino belt, the Kurohone–Kiryu Complex can be correlated to the Nabi and Shimashima complexes; the Omama Complex is correlated to the Funafuseyama and Shirahone complexes; the Kuzu Complex is correlated to the Kamiaso and Sawando complexes. The Gyodosan Complex resembles the Kuze Complex in including Permian chert: however, the Kuze Complex includes basaltic rocks and carbonate rocks whereas the Gyodosan Complex lacks these rocks.

Keywords: Jurassic accretionary complex, ocean plate stratigraphy, Kurohone–Kiryu Complex, Omama Complex, Kuzu Complex, Gyodosan Complex, Ashio belt, Kiryu and Ashikaga District, Gunma Prefecture, Tochigi Prefecture

¹ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

* Corresponding author: Ito, T., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: ito-t@aist.go.jp

要 旨

足尾山地には足尾帯に属するジュラ紀付加体が分布する。5万分の1地質図幅「桐生及足利」の調査結果及び周辺地域の先行研究に基づき、足尾帯ジュラ紀付加体の岩相・層序・化石年代・地質構造を総括する。足尾山地のジュラ紀付加体は、黒保根-桐生コンプレックス・大間々コンプレックス・葛生コンプレックス・行道山コンプレックス(新称)の4つのコンプレックスに区分される。黒保根-桐生コンプレックスは破断相から整然相を示し、泥岩とチャートが主体とし、珪質粘土岩を含む。また、玄武岩類・炭酸塩岩類・珪質泥岩・砂岩・泥質混在岩を伴う。泥岩に劈開が発達することで特徴づけられる。本コンプレックスは上部と下部に区分される。大間々コンプレックスは破断相から混在相を示し、玄武岩類・チャート・泥岩を主体とし、炭酸塩岩類・珪質泥岩・砂岩・泥質混在岩を伴う。本コンプレックスは上部と下部に区分され、泥質混在岩は上部で卓越する。葛生コンプレックスはユニット1・ユニット2・ユニット3に区分され、ユニット1及びユニット3はチャート・珪質泥岩・泥岩・砂岩泥岩互層・砂岩が順に累重するチャート-碎屑岩シーケンスの整然相を主体とする。ユニット2は、玄武岩類と炭酸塩岩類からなり、礫岩・珪質泥岩・泥岩を伴う。行道山コンプレックスは混在相を示し、泥質混在岩及びチャートを主体として、珪質泥岩・泥岩・砂岩を伴う。コンプレックス境界として3条の断層を認めた：桐生川断層(黒保根-桐生コンプレックスと大間々コンプレックスの境界)・閑馬断層(新称：黒保根-桐生コンプレックスと葛生コンプレックスの境界)・大岩断層(新称：葛生コンプレックスと行道山コンプレックスの境界)。地質構造としては、北東-南西に伸びる軸跡を持つ複数の褶曲(梅田向斜・飛駒背斜・葛生向斜など)によって特徴づけられる。泥岩の放射虫年代に基づくそれぞれのコンプレックスの付加年代については、大間々コンプレックス及び行道山コンプレックスが中期ジュラ紀の中期以降、黒保根-桐生コンプレックス及び葛生コンプレックスのユニット2が中期ジュラ紀の後期以降、葛生コンプレックスのユニット1及びユニット3が後期ジュラ紀の前期以降である。美濃帯ジュラ紀付加体の地質体と比較すると、黒保根-桐生コンプレックスは那比コンプレックスや島々コンプレックスに対比可能である。大間々コンプレックスと葛生コンプレックスは、それぞれ舟伏山コンプレックス・白骨コンプレックスと上麻生コンプレックス・沢渡コンプレックスに対比できる。行道山コンプレックスについては、ペルム系チャートを含む点などでは久瀬コンプレックスと類似する。しかし久瀬コンプレックスが玄武岩類や炭酸塩岩類を含むのに対し、行道山コンプレックスはこれらを欠く。

1. はじめに

日本列島には古生代から新生代まで幅広い年代の付加体が露出する。関東平野の北に位置する足尾山地には足尾帯のジュラ紀付加体が広範に露出しており(第1図)、丹波帯や美濃帯のジュラ紀付加体の東方延長が分布すると捉えられている(例えば、中江, 2000b)。

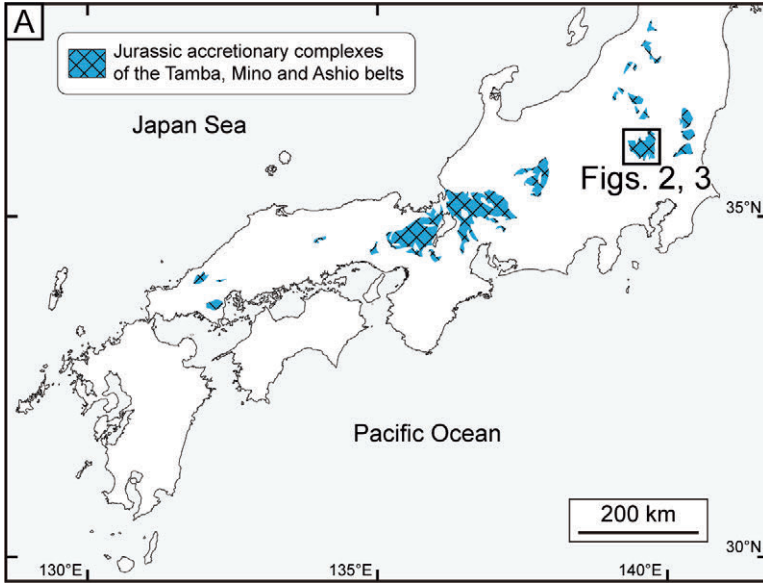
足尾山地のジュラ紀付加体は、当初は炭酸塩岩類から発見された古生代フズリナ化石などに基づく年代論と地相斜論に基づいて、いわゆる秩父古生層として認識された。その後1960年代から1970年代において主にチャートや炭酸塩岩類からコノドントが発見され、林・長谷川(1981)や林ほか(1990)により大まかに年代論が構築され、岩相層序区分が示された。そして、Kamata(1996)により放射虫に基づき年代が決定されるとともに、付加体地質学的観点に基づく構造層序区分が行われ、足尾山地のジュラ紀付加体は黒保根-桐生コンプレックス・大間々コンプレックス・葛生コンプレックスに区分された。しかしながらKamata(1996)の研究以来、足尾山地南西部の栃木県足利市から群馬県桐生市にかけての地域におけるジュラ紀付加体の研究例は限られている。

筆者は「桐生及足利」地域の5万分の1地質図幅作成に伴い、足尾山地南西部及び八王子丘陵に分布する足尾帯ジュラ紀付加体の地質調査を行っている。本論では、この調査結果と主要な先行研究に基づき、足尾山地の足尾帯ジュラ紀付加体の地質概要(岩相・層序・化石年代・地質構造)についてまとめる。その上で、各コンプレックスの海洋プレート層序(OPs)の復元とコンプレックス間の構造累重関係の検討ならびに美濃帯のジュラ紀付加体との対比を行う。

本論文で示したルートマップ・柱状図・露頭・薄片の位置を付図1に示す。また、本論で5万分1地形図の地域を示す場合には、鉤括弧を用いて例えば「桐生及足利」や「栃木」などと表す。

2. 先行研究における足尾山地ジュラ紀付加体の年代と層序区分

足尾山地のジュラ紀付加体を対象とした研究は古くから行われてきた。ここでは、1) 最初期の古生代化石の報告から1960年代までのフズリナを中心とした年代論と地相斜論に基づく岩相層序区分、2) 1960～1980年代のコノドントや放射虫などの微化石による年代の見直しとそれを踏まえた岩相層序区分、3) 1990年代以降の付加体地質学的観点に基づく構造層序区分の3つに分けて述べる。なお、足尾山地東方の八溝山地は八溝山塊・鷺子山塊・鶏足山塊からなり、この山地にもジュラ紀付加体が広く露出する。八溝山地の付加体については、足尾帯ジュラ紀付加体の延長あるいは相当層と判断されているため(例えば、Masuda *et al.*, 1980; Aono, 1985)、本節で



第1図 丹波帯・美濃帯・足尾帯ジュラ紀付加体の分布(産総研地質調査総合センター, 2018に基づく).

Fig. 1 Distribution of Jurassic accretionary complexes of the Tamba, Mino and Ashio belts (based on Geological Survey of Japan, AIST, 2018).

は八溝山地の研究についても述べる。加えて、これらの研究史を踏まえた上で本論における構造層序単元の取り扱いなどについて記述する。

2.1 古生代化石の発見と地向斜論に基づく岩相層序区分(主に1960年代以前)

河田・大澤(1955)の記述に基づく、足尾山地では足尾銅山の開発が1610年に始まり、19世紀後半にはそれに伴い足尾山地の地質学的研究が開始された(例えば、原田, 1886; 伊木, 1896; 鈴木, 1898a, b)。原田(1886)は、足尾銅山周辺の1万4千分の1地質図とともに、その地質と鉱床について記述した。この地質図では、足尾帯ジュラ紀付加体の粘板岩に花崗岩が貫入している様子が示されている。鈴木(1898a, b)は、足尾銅山周辺の地質について、水成岩類として古生層・第三紀層・第四紀層を、火成岩類として花崗岩・石英斑岩・石英粗面岩・英閃安山岩・輝石安山岩を認識している。現在の足尾帯ジュラ紀付加体に相当する古生層については、粘板岩(Clayslate)・硬砂岩(Graywacke sandstone)・角岩(Hornstone)・アヂノール板岩(Adinole slate)などからなると記述している。また、鈴木(1898a, b)はこの角岩(現在のチャートに相当)から放射虫を認めている。

1900年頃には炭酸塩岩類から産出する化石により、足尾帯ジュラ紀付加体は古生界であるとされた(例えば、清水, 1896; 矢部, 1899; Yabe, 1903)。清水(1896)及び矢部(1899)は、栃木県佐野市戸室^{とむろ}に分布する炭酸塩岩類(葛生コンプレックスのユニット2に属する)からフズリナを発見した。矢部(1899)は、戸室のフズリナについて、*Fusulina japonica* Gumbelに同定(現在では*Parafusulina japonica*と同定される)した。これ以降も複数の研究により、主に中期ペルム紀を示すフズリナの産

出が炭酸塩岩類から報告された(例えば、藤本, 1938; Morikawa and Horiguchi, 1956; Morikawa and Takaoka, 1961)。またYabe (1903)は、足尾帯ジュラ紀付加体の炭酸塩岩類から複数属のフズリナとともに軟骨魚類である*Helicoprion bessonowi* Karpinskyを発見した。Yabe (1903)は詳細な産出地点を明示していなかったが、現在では桐生市の黒保根町八木原の石灰岩(大間々コンプレックスの下部に属する)から産出したと推測されている(例えば、林, 1997; 群馬県立自然史博物館, 1999; 桐生市教育委員会, 2012)。Hayasaka (1926, 1933)、藤本(1932)及び早坂(1944)は腕足類を石灰岩から報告し、その種構成を示した。これらの腕足類の年代は石炭紀とされ、足尾山地における石炭系の存在が示唆された。ただし、その後フズリナなどの年代からペルム紀とされ、近年の腕足類の研究においてもペルム紀のものとして捉えられている(例えば、Tazawa *et al.*, 2012; 田澤, 2018)。

足尾山地の広域な地質図を伴う包括的な地質学的研究については、1950年代から行われるようになる。1950年代から1970年代までの岩相層序区分を第1表に示す。河田(1950)は、講演要旨の中で、足尾山地西部地域の足尾帯の層序や地質構造について検討した。なお、以降のいくつかの研究において、河田(1950)の研究を引用する形で足尾山地西部地域の足尾帯の岩相層序区分が示されている。例えば、新井(1964)は河田(1950)の研究を引用し、足尾山地西部地域の足尾帯について福岡層群と飛騨層群からなるとしている。しかしながら、河田(1950)は学会発表の講演要旨であり、そこには岩相層序区分は記されていない。おそらく学会で口頭発表した内容がその後も引用されていると思われる。河田・大澤(1955)は、「桐生及足利」地域北隣の「足尾」地域の地質図幅を刊行した。この図幅には足尾山地西部の足尾帯ジュラ紀付加体

第1表 足尾山地の足尾帯ジュラ紀付加体の層序対比(1950年代～1970年代). 波線は不整合を示す. Fm.: Formation.

Table 1 Stratigraphic correlation of the Jurassic accretionary complex of the Ashio belt in the Ashio Mountains (1950s–1970s). Wavy lines indicate unconformity. Fm.: Formation.

Kawata and Ozawa (1955) 1:50,000 "Ashio"	Yoshida (1956)	Watanabe <i>et al.</i> (1957)	Fujimoto (1961) 1:50,000 "Tochigi"	Hatori (1965)	Yanagimoto (1973)	This study
Paleozoic Ashio Formation	Paleozoic Nabeyama Group Mikagura Formation Maki Formation Aoyama Formation Nabeyama Formation Upper limestone Middle dolostone Lower limestone Aisawa Formation	Paleozoic Ashikaga Group chert sandstone and shale chert Kuzu Group limestone (Nabeyama Formation) Upper limestone Middle dolostone Lower limestone schalstein sandstone and shale Awano Group chert limestone schalstein sandstone chert slate and sandstone	Permian-Carboniferous(?) Aso Group Mikagura Formation Maki Formation Aoyama Formation Karasawa Limestone Member Hanetsuru Dolostone Member Yamasuge Limestone Member Izuru Formation Aizawa Formation Nakatsuma Formation Hiroto Formation Ohirayama Formation	Permian Aso Group Nabeyama Formation Karasawa Limestone Member Hanetsuru Dolostone Member Yamasuge Limestone Member Izuru Formation Aisawa Formation Nakazuma Formation Yamanaka Formation Hata Formation Osawa Formation Iwade Formation Ohirayama Formation	Triassic Maki Fm. Aoyama Formation Nabeyama Formation Izuru Formation Aisawa Formation	Gyodosan Complex
						Unit 3
						Unit 2
						Unit 1
						Omama Complex
						Kurohone-Kiryu Complex

(大間々コンプレックスに相当)が含まれており、古生界の足尾層とされた。一方、吉田(1950)は足尾山地東部の佐野市葛生町及びその周辺地域(本節では、以降葛生地域と表す)の足尾帯ジュラ紀付加体(葛生コンプレックスに相当)について岩相層序区分を行い、これらの地層を秩父古生層に属するとしたうえで、會澤層・鍋山層・アド山層・牧層・御神楽層に区分した。また、佐野市葛生町や栃木市鍋山町にみられる炭酸塩岩類については、鍋山石灰岩と命名した。吉田(1950)についても学会の講演要旨であり詳細は示されていないが、その後吉田(1956, 1957)により地質図などが公表された。吉田(1956, 1957)は葛生地域の足尾帯ジュラ紀付加体を古生界の鍋山層群と命名し、下位より会沢層・鍋山層・アド山層・牧層・御神楽層に区分した。鍋山層はさらに下部石灰岩・中部苦灰岩・上部石灰岩に細分される。渡部ほか(1957)は足尾山地全体の地質図を刊行した。彼らは、足尾帯ジュラ紀付加体を栗野層群・葛生層群・足利層群に区分した。藤本(1961)は「桐生及足利」地域の東隣である「栃木」地域の地質図幅を刊行した。藤本(1961)は、同地域の足尾帯ジュラ紀付加体の年代を石炭紀?～ペルム紀とし、栃木層群と安蘇層群に区分した。栃木層群は下位より大平山

層・広戸層・中妻層・会沢層からなり、安蘇層群は下位から出流層・鍋山層・アド山層・牧層・御神楽層からなる。藤本(1961)の安蘇層群は吉田(1956, 1957)の鍋山層群にほぼ一致するが、会沢層の最上部の輝緑凝灰岩が出流層として区分される点と、それより下位の会沢層が栃木層群に含まれる点で異なる。また、吉田(1956, 1957)は鍋山層を下部石灰岩・中部苦灰岩・上部石灰岩に細分していたが、藤本(1961)はこれらをそれぞれ山菅石灰岩部層・羽鶴苦灰岩部層・唐沢石灰岩部層と命名した。羽鳥(1963, 1965)は、葛生地域の足尾帯ジュラ紀付加体を栃木層群・佐野層群・安蘇層群に区分した。この区分について、安蘇層群については藤本(1961)の区分を踏襲しているが、藤本(1961)の栃木層群の上部を佐野層群として分離している。この根拠として羽鳥(1965)は、佐野層群最下部の羽田層の基底部に礫岩層がみられることや、その下位の大沢層との走向傾斜の差異などを挙げている。また羽鳥(1965)は、佐野層群と安蘇層群についてはペルム系と捉え、最下部の栃木層群については石炭系と推定している。なお、群馬県及び栃木県は1950年代から1960年代にかけて複数回20万分の1地質図を刊行している(群馬県立農業試験場, 1952; 栃木県, 1953; 栃木県, 1963; 新井,

1964). 栃木県(1953)は県内の足尾帯ジュラ紀付加体を鍋山層群としている。また栃木県(1963)の区分は、渡辺ほか(1957)と藤本(1961)の見解に基づいている。群馬県立農業試験場(1952)は石炭系～ペルム系の秩父古生層としており細分は行っていない。新井(1964)も同様に石炭系～ペルム系の秩父古生層としており、地質図上では岩相層序区分を行っていない。ただし、先述の通り、説明文では河田(1950)の研究を引用して区分している。

上記のように、次節で述べる1960年代の三畳紀コノドントの発見までは、足尾山地の足尾帯ジュラ紀付加体は古生界と捉えられてきた。一方、足尾山地東方の八溝山地ではそれ以前から中生界とみなす見解があった。八溝山地の八溝山塊と鷺子山塊ではフズリナを産出する炭酸塩岩類に乏しく年代について決定的な証拠がなかったが、藤本(1932)が鷺子山塊の暗緑色砂岩から放散虫を見出した。そして、その構成種が当時は中生界と考えられていた四万十川統と似ることから、八溝山地を構成する地質体が中生界である可能性を指摘した。その後、鶏足山塊では藤本・島山(1938)がペルム紀のフズリナやサンゴを発見し、このフズリナの産出などに基づき、Kawada(1953)は八溝山地の地質体は古生界であると推定した。一方、Kanomata(1961)は八溝山塊・鷺子山塊・鶏足山塊の構成岩類の薄片中に含まれる放散虫の量比に着目し、四万十層群との類似性を指摘した。そして、八溝山塊と鷺子山塊はジュラ系であり、鶏足山塊の北部が中生界であると結論付けた。

2.2 中生代のコノドント・放散虫の発見とそれに基づく岩相層序区分の見直し(主に1960年代～80年代)

1960年代に入り、日本各地からコノドントの産出が報告されるようになった(例えば、林, 1963, 1964a, b, 1968a, b; 猪郷・小池, 1963; Igo and Koike, 1964, 1965; 坂上ほか, 1969)。足尾山地では、林(1963)が足尾山地西部の粘板岩やチャートなどから初めてコノドントを発見した。林(1964b)は鳴滝岩と呼ばれる砥石(本論での珪質粘土岩に相当)に含まれるコノドントを報告している。林(1968a, b)はアド山層(葛生コンプレックスのユニット3下部に相当)のチャートから、三畳紀のコノドントを発見した。この時点ではアド山層の年代はフズリナの産出に基づいてペルム紀とされていたため、林(1968a)は、コノドントにおける古生代型から中生代型への群集変化がペルム紀の中頃には既に起きていたと結論付けた。これに対し小池ほか(1970, 1971b)は、これらのコノドントの年代は三畳紀であり、アド山層も三畳系であると主張した。斎藤・加藤(1971)は鍋山層の下位の粘板岩相中に含まれる炭酸塩岩類レンズから、ペルム紀最後期の小型有孔虫を見出した。コノドント団体研究グループ(1972)は、斎藤・加藤(1971)の結果も示しつつ、小池ほか(1971b)の主張に対して疑問を呈した。しかし、コノドント団体

研究グループ(1974)はその後の放散虫の結果も合わせ、アド山層は三畳系であると結論づけた。1977年に出版された栃木県の15万分の1地質図ではこれらの研究結果が反映され、アド山層・牧層・会沢層は三畳系とされている(栃木県, 1977)。

林(1968a, b)によるコノドントの報告以降、鍋山層やアド山層などの調査が精力的に行われてそれぞれの年代が見直されるとともに、1970年代初頭に両層の間での不整合が相次いで報告された(小池ほか, 1970, 1971b; 庄司・久保, 1970; Koike *et al.*, 1971a; 久保, 1971; 柳本, 1973)。これらの関係については以下のような様々な考え方がなされた。庄司(1971)は鍋山層の炭酸塩岩類やアド山層のチャートなどを地向斜堆積物と捉え、堆積輪廻の基底がチャートであるという考えを示した。Koike *et al.* (1971a)はこの境界を不整合と捉え、関東山地や木曾山地などを例に出し、ペルム系炭酸塩岩類を三畳系チャートが覆うという関係が日本各地でみられるとした。小池ほか(1971b)は、ペルム系と考えられていた安蘇層群の構造的な下位にアド山層が位置することから、幾つかの地点における境界部での断層の観察結果を合わせて、これらに間に衝上断層の存在を推定し葛生衝上断層と命名した。またこれらの断層の推定に伴い、アド山層・牧層・御神楽層を含む三畳系を足利層群として、安蘇層群を鍋山層と出流層のみからなるペルム系として再定義した。柳本(1973)は岩相に基づいて大きく区分を見直した(第1表)。出流層については葛生地域の中中部ペルム系炭酸塩岩類の基盤をなし、同層に整合に覆われる主として塩基性溶岩及び凝灰岩からなる地層と定義された。従来の出流層のほか、従来のアド山層や御神楽層に含まれる塩基性火山岩も出流層に含められた。鍋山層については葛生地域に分布する中期ペルム紀の炭酸塩岩類を鍋山層と定義し、従来の鍋山層に加え、アド山層や御神楽層に含まれる炭酸塩岩類のレンズも鍋山層とした。そして、衝上断層により出流層と鍋山層が繰り返して表れると捉えた。露頭は確認していないものの、出流層や鍋山層の基底部に2条の衝上断層の存在を推定し、中仙波衝上断層及び宇津野衝上断層と命名した。また、アド山層については主としてチャートからなる地層と定義し、従来のアド山層及び御神楽層に含まれるチャートをアド山層とした。牧層については主に厚い砂岩からなる地層と定義し、従来のアド山層及び牧層に含まれる砂岩を牧層とした。また会沢層については藤本(1961)の定義を踏襲しているが、牧層と同一である可能性を指摘している。猪郷ほか(1976)は会沢層・出流層・鍋山層の関係を検討し、柳本(1973)と同じく2条の衝上断層によって出流層と鍋山層が繰り返して分布すると捉え、また会沢層が鍋山層の山菅石灰岩部層を不整合に覆うとした。

上記のようにコノドントによる検討に基づいて、従来古生界とされた足尾山地の構成岩類の年代が見直され

第2表 足尾山地の足尾帯ジュラ紀付加体の構造層序対比(1980年代～2000年代).

Table 2 Tectonostratigraphic correlation of the Jurassic accretionary complex of the Ashio belt in the Ashio Mountains (1980s–2000s).

Hayashi and Hasegawa (1981)	Aono (1985) Sato and Aono (1985)	Sudo <i>et al.</i> (1991) 1:200,000 "Utsunomiya"	Kamata (1996)	Kamata (1997a)	Takayanagi <i>et al.</i> (2001)	This study			
Permian–Jurassic	Mesozoic	Jurassic	Middle–Late Jurassic	Middle–Late Jurassic	Middle Jurassic	Gyodosan Complex			
						Unit III	Complex B	Kuzu Complex	Unit 3
						Unit II	Complex A		Unit 2
	Unit 1								
	Unit I					Kurohono–Kiryu Complex	Kurohono–Kiryu Complex	Upper	
	Omama Complex							Omama Complex	Lower

た。林・長谷川(1981)は足尾山地の広範囲からコノドントを報告するとともに地質構造をまとめ、これまで足尾山地で古生界とされていた大部分が三畳系であることを示した。その後、放散虫産出が報告され、足尾山地におけるジュラ系の存在も明らかになった。足尾山地からの放散虫の明瞭な報告は市川・八尾(1979)に始まる。彼らは、「日本化石集」の中で葛生町唐沢の緑色頁岩及び層状チャートから産出した放散虫について、透過型顕微鏡で撮影した写真を掲示した。彼らはこの放散虫の年代を全て“三畳紀新世”としていたが、今日の化石年代に基づけば、緑色頁岩と層状チャートから産出した放散虫はそれぞれジュラ紀と三畳紀の群集の構成種に同定される。その後、指田ほか(1982a)及びSashida *et al.* (1982b)により同地域から放散虫群集が報告された。指田ほか(1982a)は関東地方のジュラ紀放散虫を広く報告し、その中の1つとして、ペルム系炭酸塩岩類とアド山層の境界付近の泥岩から中期ジュラ紀放散虫が産出することを述べた。その後、荒川(1986)や増田(1989)によってもジュラ紀放散虫が報告され、足尾山地やその周辺にジュラ系が広範に存在することが示された。なお、八溝山地においては、鈴木・佐藤(1972)により鶏足山塊からジュラ紀のアンモナイトが発見されており、足尾山地に比べると早い段階でジュラ系の存在が認識されていた。

また、この時期には足尾山地のチャートの研究も行われた。木村(1962)は葛生地域のチャートにみられる小褶曲と葛生向斜の構造的関係を検討した。Shoji (1967)は足尾山地西部のチャートの産状や岩石学的特徴をまとめ、その産状により板状チャート・縞状チャート・塊状チャート・団塊状チャートの4種に区分した。斎藤(1972)

は、足尾山地の層状チャートの薄片やエッチング面を観察し、放散虫が含まれることや葉理状構造を報告している。鈴木ほか(1974)は、葛生地域のチャートについて、層ごとの産状や色の比率を検討した。Saito (1977)はアド山層のチャートを観察し、チャートの形成に関しては放散虫よりも珪質海綿骨針の寄与の方が大きい可能性を指摘している。Iijima *et al.* (1989)はアド山層のチャートに含まれる珪化木の産出を報告するとともに、チャート内のスランプ褶曲の方向などを検討した。Kakuwa (1991)は、丹波帯・美濃帯・足尾帯のジュラ紀付加体に含まれるチャートについて広域に検討を行い、その特徴に基づくチャートの分類を行った。

2.3 付加体地質の導入と構造層序区分(1990年代以降)

既に述べたように、林・長谷川(1981)はコノドントにより足尾山地の構成岩類の年代を大幅に見直した。しかし、ジュラ紀付加体に含まれる炭酸塩岩類の岩体などは現地性と捉えるなど、地向斜論に基づく見解を保持していた。その後、複数の見解が示された後、足尾山地の構成岩類については付加体として捉える考え方が主流となった。林・長谷川(1981)の検討以降の主な区分を第2表に示す。

1980年代には、堆積構造や褶曲構造に着目して、足尾山地や八溝山地の地質体の形成に重力流の影響を求めた仮説が提案された。Masuda *et al.* (1980)は足尾山地と八溝山地の検討を行い、リップルやタービダイトなどの堆積構造を記載した。彼らは、特に八溝山地の地質体については浅海性堆積構造がみられることから、これらは三畳系～ジュラ系の浅海性堆積物であるとした。佐藤

(1981)は足尾山地と八溝山地の形成史について議論した。その中で沈み込み過程に触れているものの、これらの産地の構成岩類については地すべり岩体の存在が主であると捉えた。狩野(1982)は、美濃帯での自身の先行研究データ(例えば、Kano, 1979)に足尾山地の葛生地域周辺の褶曲構造などの検討結果を加え、これらの地層が南方の隆起帯からの地層の重力滑動により形成されたと結論付けた。佐藤・青野(1985)及びAono(1985)は、足尾山地の葛生地域からその北方の^{かぬま}鹿沼市の周辺にかけて検討を行い、同地域の地質体を3つのユニット(Unit I・Unit II・Unit III)に区分した。そしてその形成については地すべり起源のオリストストロームであると結論した。荒川(1986)は葛生地域の“頁岩卓越相”について、スランプ堆積物であるという見解を示した。林ほか(1990)は、足尾山地の地質体について“本州地向斜の典型的な岩石から構成される”として、地向斜論に基づく形成史を議論した。一方で、丹波帯や美濃帯においても、放散虫やコノドントによる年代の見直しを経て地質体の見直しが同時期に行われており、その東方延長の足尾帯についても付加体であるという見方が提唱された(例えば、小沢ほか, 1985; 松岡, 1989)。小沢ほか(1985)は、西南日本の美濃帯・丹波帯・領家帯・三波川帯・秩父帯などは、いずれもジュラ紀～白亜紀に形成された付加体であると捉えた。松岡(1989)は秩父帯・丹波-美濃-足尾帯・北部北上帯などのジュラ系の岩相や年代などについてまとめ、これらをジュラ紀テレーンと呼称して付加体として捉えた。

上記のような状況で、足尾山地の足尾帯ジュラ紀付加体において、現地でのデータも含めて付加体地質学的な観点を明確かつ肯定的に示したのは、Sashida *et al.* (1992)が初めてだと思われる。彼らは栃木県佐野市^{ぼんやま}飛駒町の万山に分布する“砥石型頁岩”(本論における珪質粘土岩)から見出したコノドントを記載するとともに、その海洋プレート層序内における層序的意義についても議論している。またSashida *et al.* (1992)は、Matsuda and Isozaki (1991)の海洋プレートの移動と層序の関係を引用して中生代チャートが遠洋域で形成されたことを示した。そしてMoore *et al.* (1988)の研究に基づいて、“砥石型頁岩”がペルム紀-三疊紀境界付近の年代に当たることと、付加過程においてデコルマ面として機能した可能性を指摘した。Kamata (1996)は、足尾山地を特に東西にわたり広く検討し、足尾山地のジュラ紀付加体を黒保根-桐生コンプレックス・大間々コンプレックス・葛生コンプレックスに区分した。また、それぞれのコンプレックスの海洋プレート層序を復元した。さらに鎌田(1997a)は葛生コンプレックスをユニット1・ユニット2・ユニット3に分けた。鎌田(2000)はスラストシートとして、葛生コンプレックスのユニット1内をIからIIIに、ユニット3内をIVからVIに細分した。高柳ほか(2001)は足利周

辺の足尾帯ジュラ紀付加体の調査を行い、コンプレックスAとコンプレックスBに区分した。そしてコンプレックスAを黒保根-桐生コンプレックスに、コンプレックスBを大間々コンプレックスに対比した。葛生コンプレックスのユニット間については、ユニット2とユニット3の境界において断層露頭が発見・記載されている(鎌田, 2007; 鈴木・鎌田, 2009; 鎌田・鈴木, 2011)。ユニット2の珪質泥岩と礫質石灰岩からなる下盤の上位に、ユニット3の三疊系チャートが上盤として重なり、断層岩は最大層厚40 cmのカタクレ-サイトもしくはウルトラカタクレ-サイトである(鎌田・鈴木, 2011)。鎌田・鈴木(2011)は、この境界断層は海山の付加に伴って形成された序列外スラストあるいはその分岐断層であると推定している。

Sashida *et al.* (1992)による前期三疊紀コノドントの報告以来、足尾山地において、ペルム紀-三疊紀境界付近の層序についても検討が行われた。鎌田(1995b)は、葛生地域の珪質頁岩及びその直上のチャートから前期三疊紀放散虫を報告し、境界絶滅後の回復期と岩相の変化について触れている。Kamata and Kajiwara (1996)は、大間々コンプレックスの中に含まれるペルム紀-三疊紀境界セクションを見出し、岩相層序や化石年代に加え、硫黄の同位体などの変化を検討した。元木・指田(2004)は足尾山地の“砥石”(本論における珪質粘土岩)について、複数地点からコノドントや放散虫を報告するとともに、その岩石学的特徴に基づき珪質粘土岩を2種類に区分した。

前述のとおり、足尾帯ジュラ紀付加体は美濃帯や丹波帯のジュラ紀付加体の東方延長と捉えられている(例えば、小沢ほか, 1985; 松岡, 1989; 中江, 2000b)。1999年代後半から2000年代初頭にかけて、付加体地質学的な観点からのこれらの対比が試みられている(例えば、大塚, 1999; 中江, 2000b; 山北・大藤, 2000)。詳細については、8.2.1節で記述する。

2.4 本論における構造層序单元名などの取り扱いについて

付加地質体における帯・地帯(belt)やテレーン(terraneあるいはterrain)の説明は中江(2000a)によりまとめられている。足尾山地や八溝山地のジュラ紀付加体については、先行研究では足尾帯(例えば、鎌田, 1995a, b, 1997a, b, 2000; Kojima *et al.*, 2016a; Muto *et al.*, 2018)と足尾テレーン(例えば、松岡, 1989; Ichikawa, 1990; Kamata, 1996; Kamata and Kajiwara, 1996; 中江, 2000a, b, c; Nakae, 2006; 佐野・小嶋, 2000; Suzuki *et al.*, 2002; 小泉ほか, 2006; Komuro *et al.*, 2006; Kojima *et al.*, 2016b; Wallis *et al.*, 2020)がともに一般的に用いられている。「帯」は周囲の地域などに対してある特別な性質や内容によってはっきりと区別される帯状の地域とされており(地学団体研究会, 1996)、「テレーン」は固有の地史をもつ地質体を指すとされる(例えば、Jones *et al.*, 1983)。

本論では「帯」を用いて、例えば「足尾帯ジュラ紀付加体」のように表現する。この「足尾帯ジュラ紀付加体」は「足尾テレーン」と同義として用いる。

ジュラ紀付加体の構造層序単元名としては、コンプレックス(Complex)やユニット(Unit), 層群・層(Group・Formation)が用いられ, その使用法についての議論がなされている(例えば, 松岡ほか, 1998; 中江, 2000a; 山北・大藤, 2000)。足尾帯ジュラ紀付加体においては, 1970年代以前は「層群・層」が使われた(第1表)。1980年代～1990年代には, 「ユニット」がAono (1985)や荒川(1996)によって用いられ(第2表), 大塚(1999)による広域対比においても使用された。しかしこれらの例を除けば, 足尾帯ジュラ紀付加体ではKamata (1996)による構造層序区分以降は「コンプレックス」が一般的に用いられている(第2表)。International Stratigraphic Guide (Murphy and Salvador, 1999)によれば, コンプレックスは様々な岩石から構成される単元であり, 不規則に混ざり合った岩相あるいは複雑な構造関係によって特徴づけられる(A lithostratigraphic unit composed of diverse types of any class or classes or rocks (sedimentary, igneous, metamorphic) and characterized by irregularly mixed lithology or by highly complicated structural relations)とされる。本論で取り扱う足尾帯ジュラ紀付加体の構成岩類については, 様々な岩石から構成され, 複雑な構造関係を持つ。また上述のように, コンプレックスの名称は一般的に用いられてきた。したがって, 本論では先行研究を踏襲し, 構造層序単元として「コンプレックス」を使用する。なおInternational Stratigraphic Guideによれば, 層序単元としてのコンプレックスは細分できないため, コンプレックスの下位の構造層序単元として「ユニット」は用いない。ただし, 鎌田(1997a)により定義された葛生コンプレックスのユニット1・ユニット2・ユニット3については, 以降の研究でも一般的に用いられており, また主要分布域は調査範囲外の「栃木」地域でありその改称や再定義に足る著者自身のデータは不足している。したがって, 本論では葛生コンプレックスのユニット細分については鎌田(1997a)を踏襲して用いる。

各コンプレックスにおける岩相間の集積形態については, 中江(2000b)に従い整然相(coherent facies)・破断相(broken facies)・混在相(mélange facies)の3相に分類する。中江(2000b)の定義では, 整然相は地層の初生的な堆積関係及び上下・側方関係の連続性が保持されている形態, 破断相は地層としての連続性が部分的あるいは全体的に破断している形態, 混在相は地層としての連続性が完全に欠如して岩体とそれを包有する混在岩からなる形態を指す。本論における岩体・岩塊については, 地質図上で表現可能な規模(見かけの層厚が50 m以上)のものを岩体と, 50 m未満のものについては岩塊と表記する。

3. 足尾山地の地形・地質概説

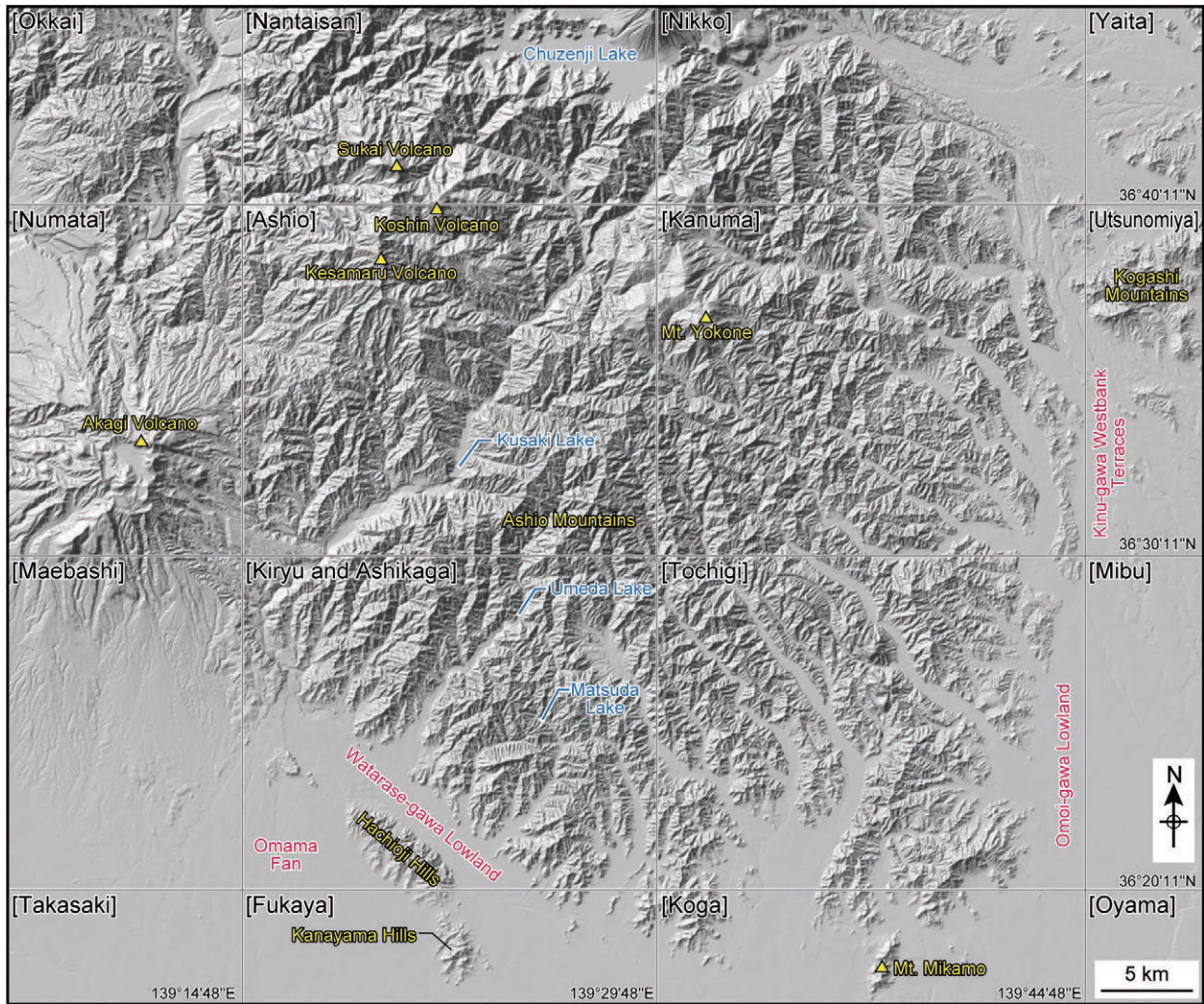
足尾山地は関東平野の北方に位置する。栃木県と群馬県に跨って分布しており, 市町村としては, 栃木県の足利市・佐野市・鹿沼市・日光市ならびに群馬県の桐生市・みどり市の行政区域内にあたる。国土地理院発行の5万分1地形図としては, 「足尾」・「鹿沼」・「桐生及足利」・「栃木」の4地域の広範囲を占める。

地形の概要を, 貝塚ほか(2000)に基づいて述べる(第2図)。足尾山地の北部には, 皇海・庚申・袈裟丸火山が連なる。渡良瀬川を挟んで西側には赤城火山が存在する。南側では大間々扇状地と渡良瀬川低地に, 東側では鬼怒川西岸段丘群と思川低地に臨む。渡良瀬川低地には八王子丘陵や金山丘陵などの丘陵地や三轟山などの低山が点在する。鬼怒川西岸段丘群の北部には古賀志山などの低山が連なり, 古賀志山地とも呼ばれる。

足尾山地は, 北部に位置する横根山(標高1373 m)の周辺から, 南東部に向かって標高が低くなる地形を特徴とする。横根山の北西部には前述の皇海火山などが連なり山岳地帯をなす。山地を流れる河川沿いにも段丘地形はあまり発達しない(鈴木, 2000)。足尾山地南西部の「桐生及足利」地域を流れる河川は整然として平行状の水系パターンを示し, 渡良瀬川と桐生川を除く多くの河川が北東から南西方向に平行に流下する(鈴木, 2000)。足尾帯ジュラ紀付加体の炭酸塩岩類には洞窟や石灰岩地形が発達し, 洞窟からは第四紀の脊椎動物の化石が産出している(例えば, Shikama, 1949; 直良, 1952; 長谷川ほか, 2009, 2013a, b)。

足尾山地のその周辺地域の地質概略を第3図に示す。足尾山地には足尾帯ジュラ紀付加体が広範囲に露出する。足尾山地の北部には, 白亜紀から古第三紀の珪長質火成岩類が分布する(例えば, Shibata and Miller, 1963; 河野・植田, 1964, 1966; 矢内, 1972, 1973; Uto *et al.*, 1997; Sudo *et al.*, 1998; Ogasawara *et al.*, 2013)。主に火山碎屑岩・珪長質火成岩・堆積岩からなる古第三系～新第三系が, 足尾山地東方や南方の丘陵地や段丘などに露出しており(例えば, 高橋ほか, 1991; 吉川ほか, 2001; 高橋・柳沢, 2003; Tanaka *et al.*, 2010, 2012), 一部ではこれらが足尾帯ジュラ紀付加体を不整合で覆う。古第三系～新第三系は, 足尾山地北西方の沼田市周辺にも広く露出する。赤城火山・皇海火山・庚申火山・袈裟丸火山といった第四紀火山の噴出物はこれらの火山の周辺に広くみられ(例えば, 鈴木, 1990; 坂田・中澤, 2010; 高橋ほか, 2012; 山元, 2016), 足尾山地やその周辺で足尾帯ジュラ紀付加体などを覆う。沖積層や段丘堆積物などの第四系堆積物が低地などにみられ, 段丘堆積物は山間部にも点在する。

足尾帯ジュラ紀付加体は, 足尾山地のほか, その南西部の八王子丘陵や北西部の古賀志山地などにも露出



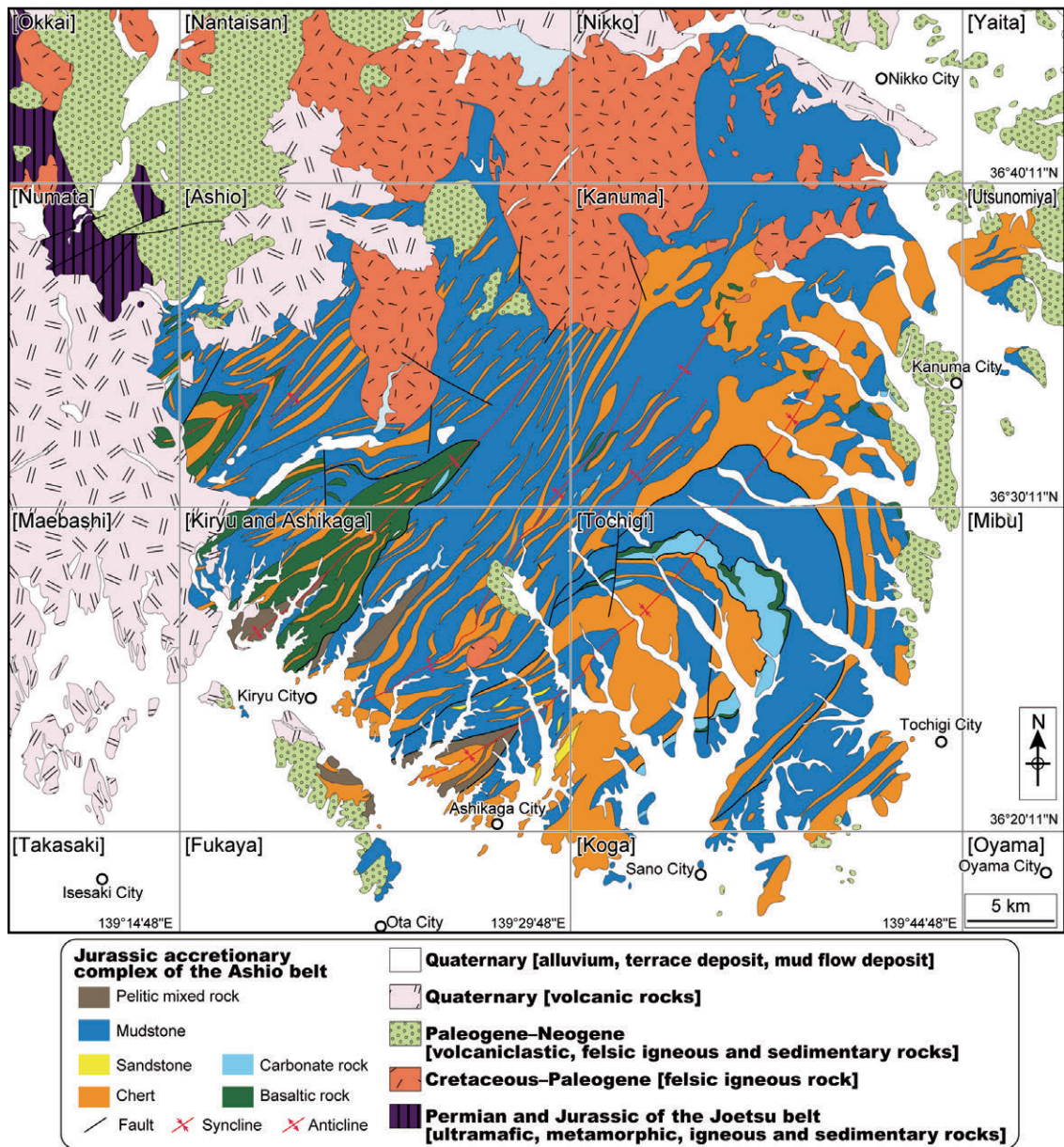
第2図 足尾山地周辺の地形陰影図。国土地理院の発行する地形陰影図 (<https://maps.gsi.go.jp/>) を加工して作成。地形の名称は貝塚ほか(2000)に基づく。

Fig. 2 Shaded-relief map of the Ashio Mountains, modified from shaded-relief map published by Geospatial Information Authority of Japan (<https://maps.gsi.go.jp/>). Topographic names are based on Kaizuka *et al.* (2000).

する。本論では、足尾帯ジュラ紀付加体を黒保根-桐生コンプレックス (Kamata, 1996)・大間々コンプレックス (Kamata, 1996)・葛生コンプレックス (Kamata, 1996)・行道山コンプレックス (新称) の4コンプレックスに区分した。黒保根-桐生コンプレックスは破断相から整然相を示す。劈開の発達した泥岩とチャートを主体とし、珪質粘土岩を伴う。また、少量の炭酸塩岩類・珪質泥岩・砂岩・泥質混在岩を含む。岩相の違いと層序関係から、下部と上部を認識した。大間々コンプレックスは破断相から混在相を示す。玄武岩類・チャート・泥岩を主体とし、少量の炭酸塩岩類・珪質泥岩・砂岩・泥質混在岩を伴う。岩相の違いと層序関係から、下部と上部を認識した。葛生コンプレックスは、構造的な下位よりユニット1・ユニット2・ユニット3に三分される。ユニット1とユニット3はチャート・珪質泥岩・泥岩・砂岩互層・砂岩

が順に累重するチャート-碎屑岩シーケンスの整然相を主体とする。ユニット2は玄武岩類と炭酸塩岩類からなり、礫岩・珪質泥岩・泥岩を伴う。「桐生及足利」地域内の葛生コンプレックスではユニット3が主体であり、ユニット1がわずかに分布する。行道山コンプレックスは泥質混在岩及びチャートを主体とし、珪質泥岩・泥岩・砂岩を伴う。

足尾山地の足尾帯ジュラ紀付加体は、向斜と背斜を繰り返す(第3図)。主な褶曲は、北西から、黒保根向斜・渡良瀬背斜・梅田向斜・飛駒背斜・葛生向斜である。構造的には黒保根-桐生コンプレックスが最下位に位置し、飛駒背斜より北西では大間々コンプレックスが上位に累重する。飛駒背斜より南東では、構造的な下位より、黒保根-桐生コンプレックス・葛生コンプレックス・行道山コンプレックスの順に累重する。



第3図 足尾山地周辺の地質概略図。鍵括弧内の地名は国土地理院発行の5万分1地形図の名称を示す。主に須藤ほか(1991)、山元ほか(2000)及び吉川ほか(2010)に基づく。「桐生及足利」地域については本論の結果(第4図)を反映している。

Fig. 3 Simplified geologic map of the Ashio Mountains. Geographical names in brackets indicate 1:50,000 topographic maps published by Geospatial Information Authority of Japan. The geological map is mainly based on Sudo *et al.* (1991), Yamamoto *et al.* (2000) and Yoshikawa *et al.* (2010); that of the “Kiryu and Ashikaga” District is based on this study presented in Fig. 4.

泥岩の放射虫年代から推定される各コンプレックスの付加年代は、大間々コンプレックス及び行道山コンプレックスが中期ジュラ紀の中期以降、黒保根-桐生コンプレックス及び葛生コンプレックスのユニット2が中期ジュラ紀の後期以降、葛生コンプレックスのユニット1及びユニット3が後期ジュラ紀の前期以降である。

「桐生及足利」地域の地質図を第4図に示す。この地域内では、栃木県足利市名草上町において、黒雲母花崗閃緑岩体からなる上部白亜系足利岩体(矢内, 1972; 伊藤・

中村, 2021)が楕円形状に露出する。足利岩体は黒保根-桐生コンプレックスに貫入しており、黒保根-桐生コンプレックスは接触変成を被っている(矢内, 1972; 伊藤・中村, 2021)。また八王子丘陵では、暁新統金山溶結凝灰岩や時代不詳の広沢礫岩が行道山コンプレックスを覆う(高橋ほか, 1991; 高橋・柳沢, 2003; 大澤ほか, 2016; Ito, 2019)。さらに西部では、赤城火山噴出物(山元, 2016)が広く露出するほか、大間々コンプレックスを直接覆う例が数地点で確認できる。

4. 構造層序区分と岩相

一般的な地質体においては、層序的下位のより古い地質体から順に記述される。しかし、本論で記述するコンプレックスについては、それぞれの年代の順番と構造的な位置関係が必ずしも一致しない。そのため本節では、構造的な下位から上位に向かい、黒保根-桐生コンプレックス・大間々コンプレックス・葛生コンプレックス・行道山コンプレックスの順番で記述する。

4.1 黒保根-桐生コンプレックス

4.1.1 名称及び特徴

Kamata (1996) は、桐生市北部と同市黒保根町(旧黒保根村)を中心に露出する多数のチャート・珪質泥岩の岩体を含む混在岩で特徴づけられる付加体について、Kurohone-Kiryu Complex (黒保根-桐生コンプレックス) と命名した。本論でもこの名称を用いる。ただし、名称の初出自体は鎌田(1995a, b)である。

黒保根-桐生コンプレックスは、主に破断相から整然相を示し、わずかに混在相を呈する。層理面に平行もしくはやや斜交する劈開の発達した泥岩とチャートを主体として珪質粘土岩を伴うことにより特徴づけられる。また、玄武岩類・炭酸塩岩類・珪質泥岩・砂岩・泥質混在岩を伴う。

本論での黒保根-桐生コンプレックスは、河田・大澤(1955)の足尾層の大部分、渡辺ほか(1957)の栗野層群の一部・藤本(1961)の栃木層群の一部・羽鳥(1965)の栃木層群の大部分に対比される。また、Aono (1985)や佐藤・青野(1985)のユニット I の大部分とユニット II の一部に対比される。

4.1.2 分布及び層厚

群馬県の桐生市の桐生地域北部と黒保根町地域(旧黒保根村)及びみどり市ならびに栃木県足利市北部・佐野市・鹿沼市などに広く分布する。足尾山地のジュラ紀付加体の中では構造的な最下位に位置する。構造的な上位の大間々コンプレックスと葛生コンプレックスとは、それぞれ桐生川断層と閑馬断層を介して接する。主に足尾山地北部では、黒保根-桐生コンプレックスに白亜紀から古第三紀の珪質火成岩類が貫入し、貫入岩体周辺では接触変成作用を受け、また境界部の一部には破碎帯が認められる(矢内, 1972, 1973)。「桐生及足利」地域では足利市名草において長径2 km程度の楕円状に足利岩体の黒雲母花崗閃緑岩が貫入しており、岩体の周辺では接触変成作用が認められる(伊藤・中村, 2021)。

本コンプレックスは構造的な最下位に位置するため下限は不明であるが、桐生及足利地域内での見かけ上の層厚は少なくとも4 kmに及ぶ。

4.1.3 層序

岩相と層序関係から、本論では黒保根-桐生コンプレックスを下部と上部に区分する。下部はチャートに富み、また珪質粘土岩が比較的多い。上部は下部と比較すると泥岩が多いことと珪質粘土岩に乏しいことにより特徴づけられ、またチャートや砂岩の岩塊を含む泥質混在岩がみられる。下部の見かけ上の層厚は3 km以上、上部の見かけ上の層厚は最大で約1 kmである。

飛駒背斜北西翼側の黒保根-桐生コンプレックスでは、下部は最大層厚が500 m以上の厚い泥岩とチャートが基底部付近にみられ、100～200 m程度の泥岩とチャートが繰り返す(第5図)。上部では、基底部付近に数10 mの層厚のチャートを挟む泥質混在岩がみられ、その上位には泥岩とチャートが累重する。北西翼側の黒保根-桐生コンプレックスでは泥質混在岩の分布が明瞭であり、上部が広く分布する。一方、飛駒背斜南東翼側では大規模な泥質混在岩を欠き、上部は明瞭に識別できない(第6図)。層厚最大200 m程度の泥岩とチャートが繰り返し、層厚50 m以下の珪質粘土岩や砂岩が挟まれる。

4.1.4 岩相

(1) 玄武岩類

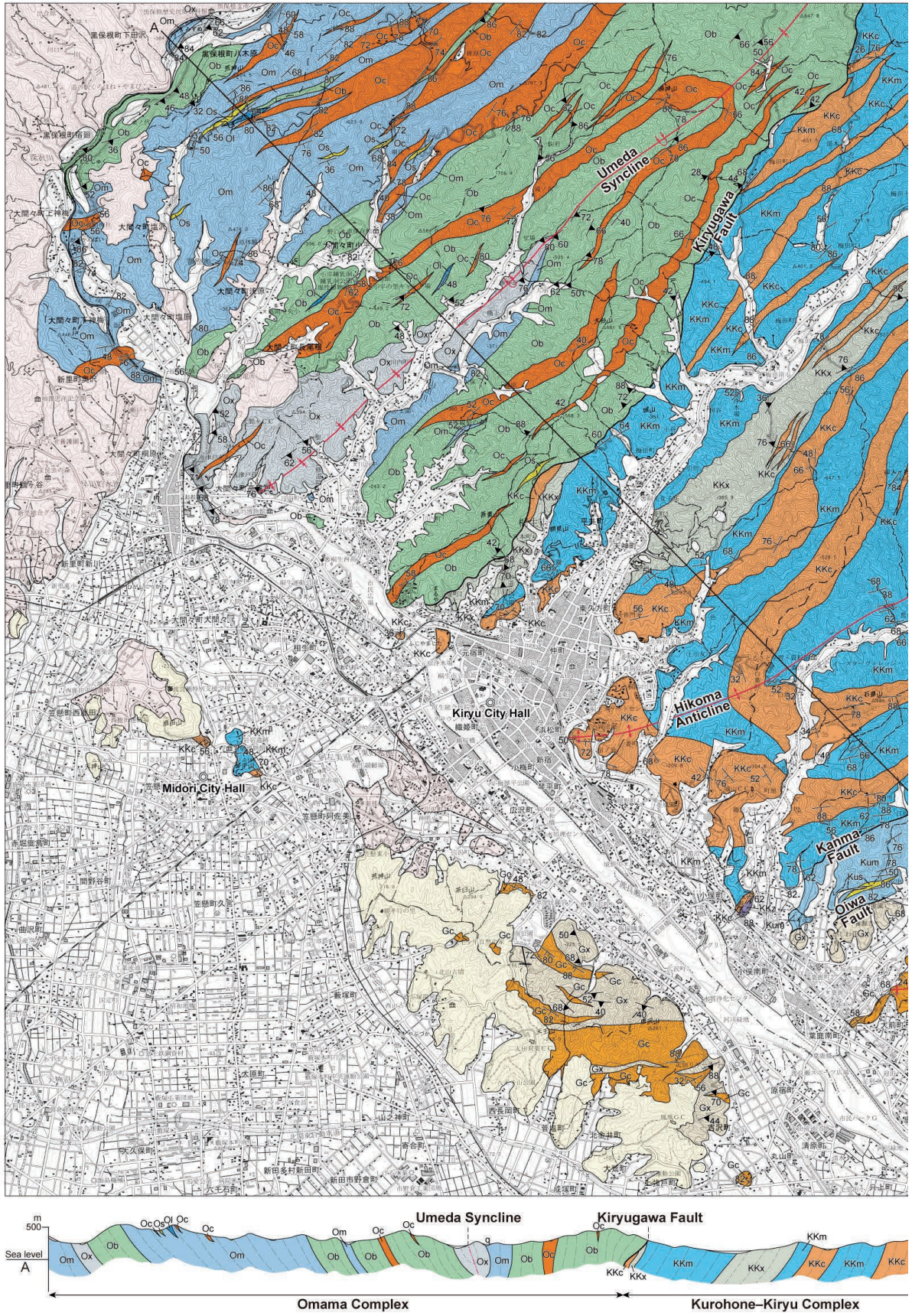
「桐生及足利」地域内での玄武岩類の分布域は極めて狭く、忍山川沿いなどの数地点で厚さ10 m程度の岩塊としてわずかに露出するのみである。一方、いくつかの先行研究で示された地質図(例えば、須藤ほか, 1991)によれば、「鹿沼」地域では、鹿沼市石裂山と日光市鳴蟲山の間などに地質図に表現できる規模の比較的大きな玄武岩類の岩体が点在する。

「桐生及足利」地域内でみられる玄武岩類は玄武岩溶岩である。忍山川沿いの露頭ではチャートとともに産し、チャートの層理面と平行に接する(図版1A)。

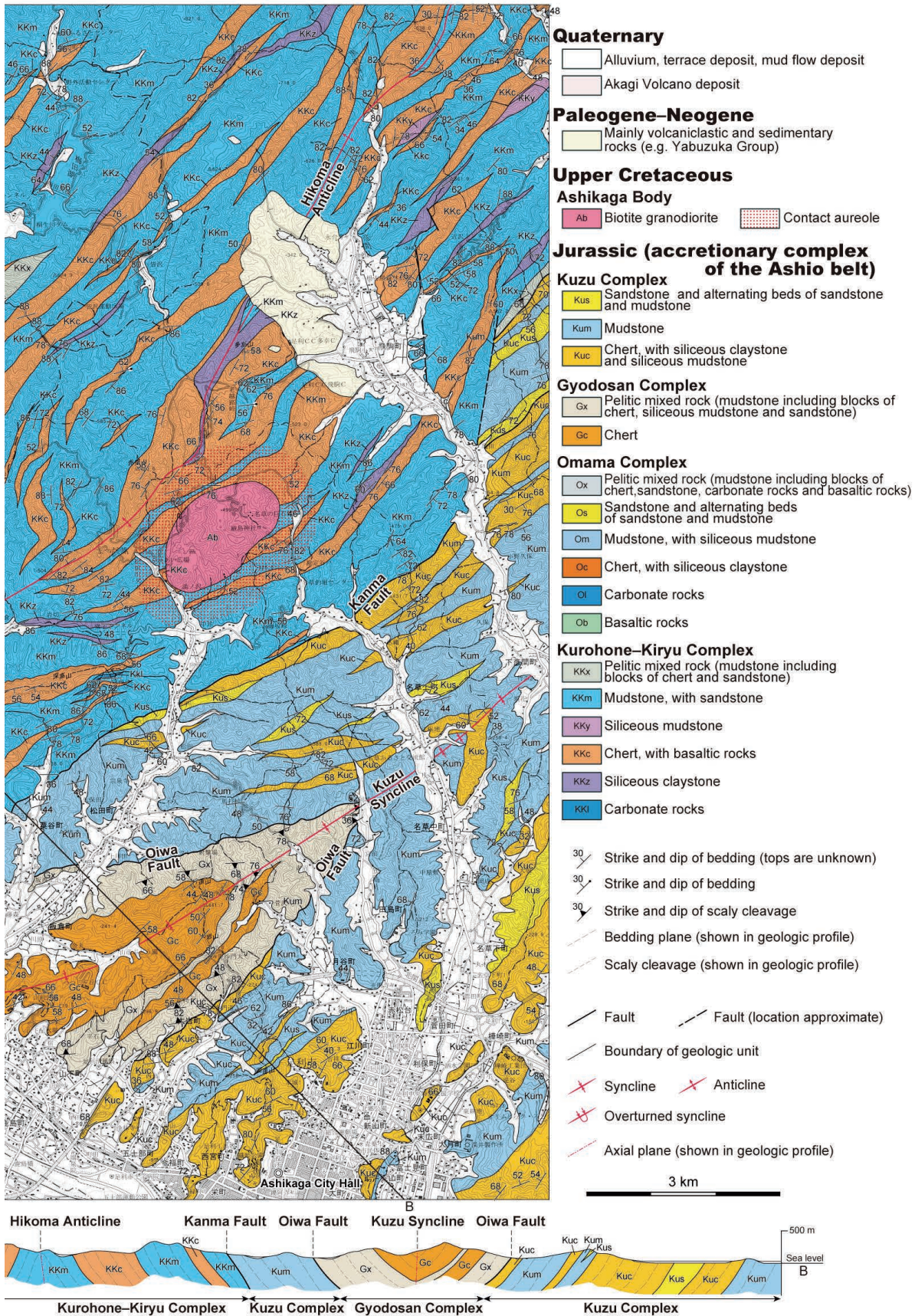
鏡下では、主に斜長石の斑晶がみられる(図版1B)。斜長石は最大径がおおよそ1 mmの短柱状～短冊状の自形あるいは半自形結晶である。多くがアルバイト式双晶を示す。斑晶として単斜輝石も稀に含まれる。直径は0.2～1 mm程度である。斜長石・単斜輝石・不透明鉱物が石基として含まれる。

(2) 炭酸塩岩類

炭酸塩岩類の分布は限られており、「桐生及足利」地域内で最大の炭酸塩岩類岩体は、猪子峠南の道路沿いで観察される。露頭での層厚は最大で10 m程度であるが、複数地点で確認できることから、地質図上では厚さ50 m程度のレンズ状小規模岩体として表した。一方、「鹿沼」地域南西部の秋山川沿いの佐野市秋山町深堀周辺には、比較的大きな炭酸塩岩類の岩体が存在する(猪郷, 1985; Koike *et al.*, 1991)。猪郷(1985)の記述によれば、深堀周辺の炭酸塩岩類は、層厚が約25 mで成層する暗灰色石灰

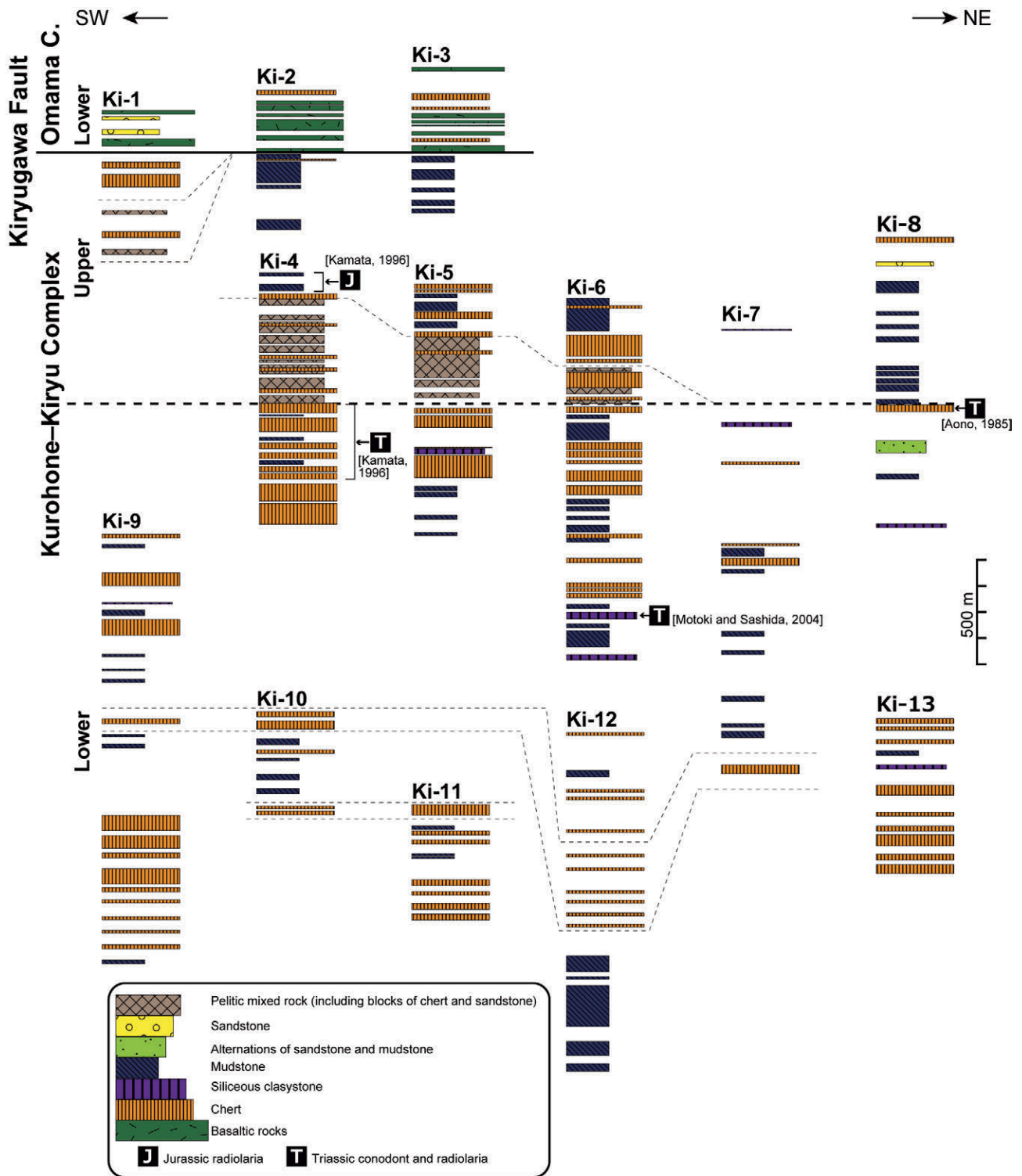


足尾山地のジュラ紀付加体の地質と対比 (伊藤)



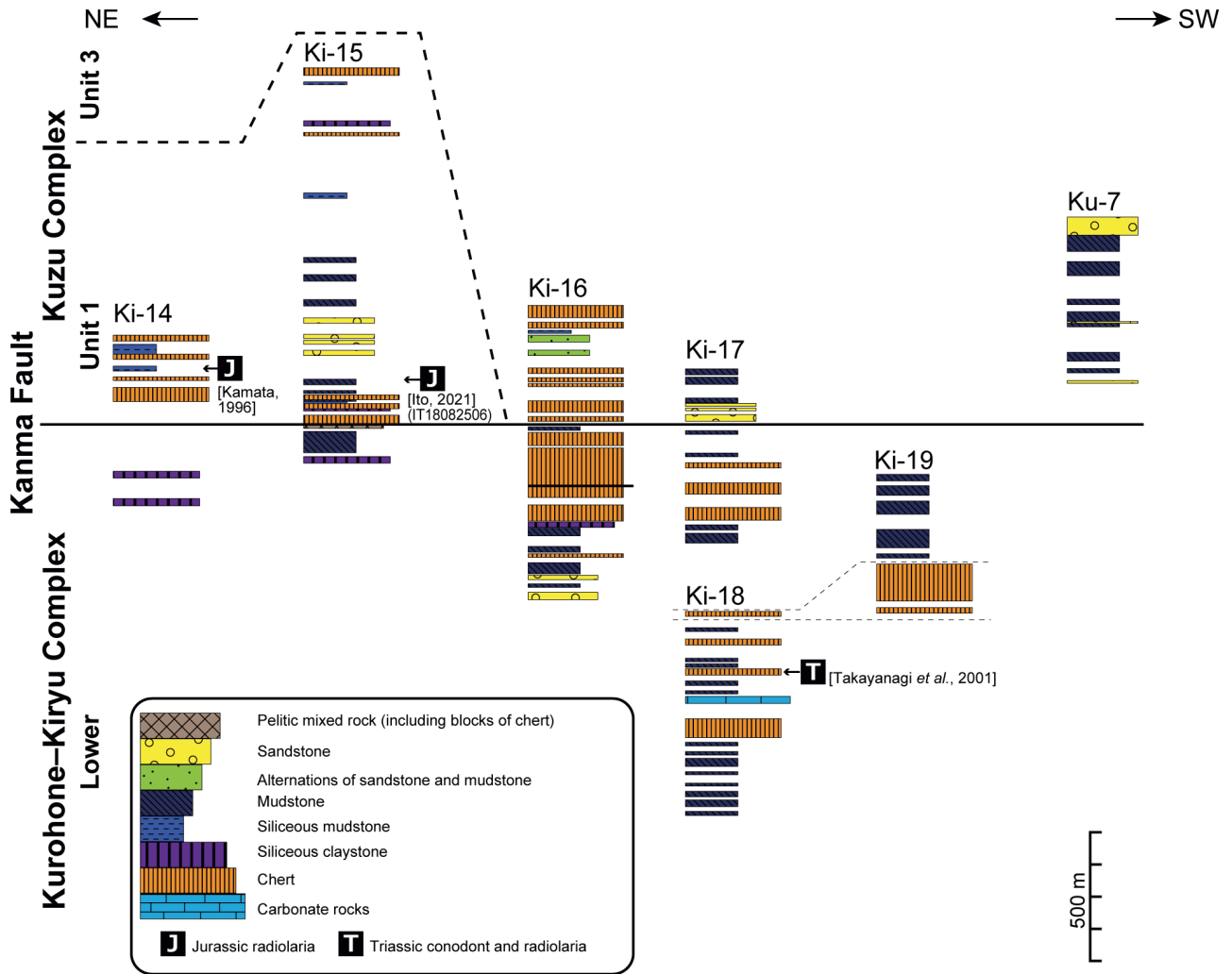
(p. 212, 213) 第4図 「桐生及足利」地域の地質図及び断面図。

Fig. 4 Geologic map and section of the Kiryu and Ashikaga District.



第5図 飛駒背斜北西翼部の黒保根-桐生コンプレックスの柱状図。柱状図の作成ルートは付図1に示す。
C.: Complex.

Fig. 5 Columnar sections of the Kurohone-Kiryu Complex in northwestern wing of the Hikoma Anticline.
Locations of the columnar sections are shown in Fig. A1. C.: Complex.



第6図 飛騨背斜南東翼部の黒保根-桐生コンプレックスの柱状図. 柱状図の作成ルートは付図1に示す.
 Fig. 6 Columnar sections of the Kurohone-Kiryu Complex in southeastern wing of the Hikoma Anticline. Locations of the columnar sections are shown in Fig. A1.

岩である. この石灰岩からは三疊紀のコノドントが報告されている.

「桐生及足利」地域で見られる炭酸塩岩類は, 灰白色から明灰色を呈し, 塊状である (図版1C). 方解石を主体とする石灰岩である. 方解石は再結晶化しており化石は確認できない. 最大長径1 mm程度の大きな方解石の結晶と, 細粒な方解石の集合体から構成されている (図版1D). 方解石には双晶がみられることもある.

(3)珪質粘土岩

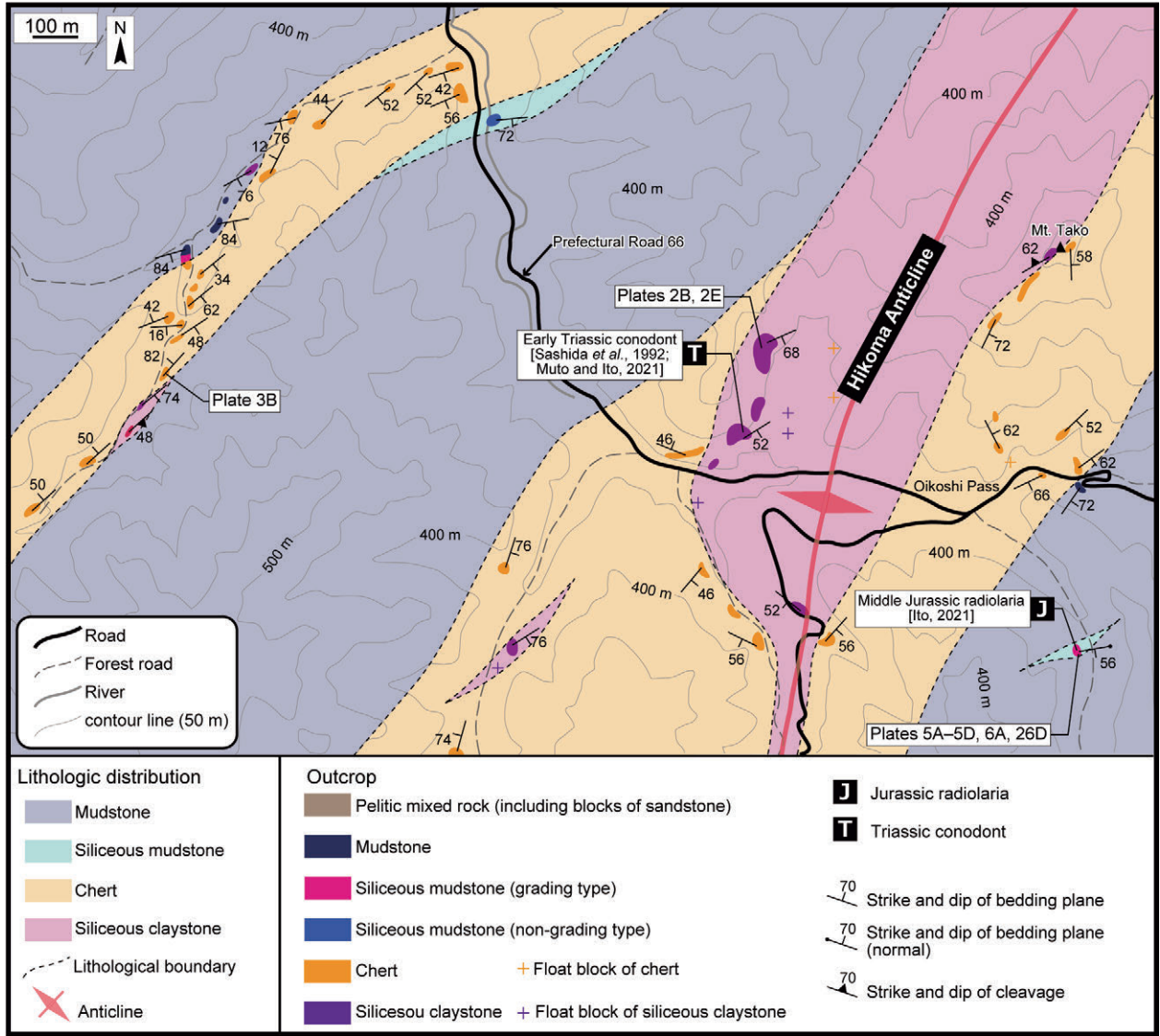
黒保根-桐生コンプレックスでは, 他のコンプレックスと比較して, 珪質粘土岩が多く含まれる. 珪質粘土岩はチャートの近傍に産出することが多い. 厚さはおおよそ1~20 mで, 側方へは数100 mほど連続する. 栃木県佐野市飛騨町の万山 (老越峠付近) で典型的な珪質粘土岩が観察できる (第7図).

珪質粘土岩は灰白色から明灰色で, 層状をなす (図版2A, 2B, 2C). 単層の厚さは5~15 cmであり, 単層内には薄い平行葉理がみられる. 層理面や葉理面に沿って剥離する. 砂岩岩塊を含む珪質粘土岩もみられる (図版2D).

鏡下では, 粘土鉱物とそこに点在する石英などのシルトサイズの碎屑粒子が観察される (図版2E). 狭長な粘土鉱物は互いに平行な定向配列をなす (図版2F).

(4)チャート

黒保根-桐生コンプレックスは, チャートの分布を特徴とする. 露頭規模でも地質図規模でも側方への連続性が良く, 数100 mにわたり追跡できる. 層位的には, 黒保根-桐生コンプレックスの下部において卓越する. 上部では, 下部に比べると量比は少ないが, チャートは主要な構成要素である. 上部では, 泥質混在岩に長径1~20



第7図 佐野市飛駒町万山の飛駒背斜付近に露出する黒保根-桐生コンプレックスのルートマップ。

Fig. 7 Traverse map of the Kurohone-Kiryu Complex around the Hikoma Anticline in Hikoma-cho Ban-yama, Sano City.

cmの岩塊として含まれるほか、側方への連続性の良い岩体としても存在する。

チャート岩体はしばしば急な崖や尾根を形成している。仙人ヶ岳・赤雪山・多高山などの山頂ではチャートが露出する。石尊山から深高山の山稜はチャートの走向に沿った方向に伸びる。

チャートは、珪質層と泥質薄層との互層により明瞭な成層構造を呈することが多い(図版3A)。泥質薄層を欠き層理が不明瞭なチャートも認められる。珪質層の層厚が1~15 cm程度なのに対し、泥質薄層の層厚は通常5 mm以下である。穴切峠東方など数地点において、厚い泥質層を挟む層状チャートがみられる(図版3B)。珪質層の色調は、暗灰色・灰色・明灰色を呈する例が多い。赤色や灰緑色を呈するチャートもわずかに存在する。節

理が発達し、その多くが層理面に直交する。泥質薄層は主に灰色~暗灰色を呈する。上述の厚い泥質層の色調は主に明灰色であり、また弱い葉理構造がみられる。チャートは隠微晶質石英を主体とし、わずかに粘土鉱物を含む。放散虫とみられる石英で充填された球状体もみられるが(図版3C)、極めて稀である。

チャート角礫岩は白葉峠などでわずかに観察される。長径が1 mmから5 cm程度のチャート角礫で、基質支持である。チャート礫は主に隠微晶質石英からなり、基質は淘汰の悪い石英粒子と少量の粘土鉱物からなる(図版3D)。

黒沢西川や小俣町付近などの数地点では、ストライプチャートがみられる。本論で述べるストライプチャートについてはIto (2020b) の定義に基づく。チャート単

層中の1本のピンストライプ状構造を指すストリーク (Streak) とその間のスペーシング (Spacing) からなる (図版3E)。ストリークは、スペーシングに比べて暗い色を示す。ストリークは粘土鉱物からなり、スタイロライト化していることが多い (図版3F)。スペーシングは、隠微晶質石英からなる。

(5) 珪質泥岩

本論では、級化の有無により珪質泥岩を非級化型と級化型の2種類に区分する。

非級化型珪質泥岩は、老越路峠 (第7図) や赤雪山西方など数地点でわずかに観察される。直接の接触関係は観察されていないが、桐生市の忍山川上流 (第8図) では、チャートから珪質泥岩に移化するとみられる。

非級化型珪質泥岩は、暗灰色で、明瞭な成層構造を示す (図版4A)。単層の層厚は3～10 cmで、厚さ1 mm程度の粘土岩をはさむ。黒保根-桐生コンプレックスのチャートに比べると節理の発達の程度はやや弱いが、葛生コンプレックスや行道山コンプレックスの珪質泥岩に比べると節理が発達している (図版4A)。

粘土鉱物と隠微晶質石英からなり、放散虫とみられる球状体を含むこともある (図版4B)。これらの球状体の多くは、その内部が石英で充填されている (図版4B2)。後述の級化型珪質泥岩に比べると放散虫とみられる球状体の分布は散逸的である。

級化型珪質泥岩は、佐野市の飛駒町万山 (第7図) や作原町小戸などの数地点でわずかに観察される。淡緑色から明灰色で、成層構造を示す (図版5A)。単層の層厚は3～5 cmで、厚さ1 mm程度の粘土質岩をはさむ。万山でみられる珪質泥岩には節理が発達する (図版5A)。

鏡下では、級化型珪質泥岩はシルトサイズの石英、隠微晶質石英及び粘土鉱物が観察される。粘土鉱物は互いに平行な定向配列をなすが、剥離性は弱い。粗粒部と細粒部が認められる (図版5B)。細粒部は隠微晶質石英が卓越するのに対し、粗粒部では放散虫とみられる球状体が多く含まれる (図版5C, 5D)。この球状体の内部は石英で充填されている (図版5D)。球状体が密集する箇所では、これらの球状体の周辺に沿うような狭長な形状の粘土鉱物がみられる (図版5D)。この粗粒部と細粒部により級化成層をなす。

級化型珪質泥岩をフッ酸処理して得られた残渣には、石英や黄鉄鉱の鉱物片と再結晶化した放散虫とみられる球状体が見られる (図版6A)。

(6) 泥岩

黒保根-桐生コンプレックスでは、泥岩が広くみられる。層位的には、飛駒背斜北西翼側では、上部において卓越する。桐生市の忍山川上流 (第8図) では、直接的な接触関係は観察されないが、チャートから移化した珪質

泥岩がさらに泥岩に移化するとみられる。

泥岩は、黒色から暗灰色を呈するが、風化して灰白色から白色を示す例も多い。層理面に平行な劈開が発達しており、これに沿って薄く剥離する (図版7A)。

鏡下では石英や斜長石などの碎屑粒子と粘土鉱物が観察され、微細な粘土鉱物は互いに平行な定向配列をなす (図版7B)。稀に、石英で充填された球状体を含む泥岩がみられる (図版7C)。放散虫とみられるこれらの球状体は真円より楕円に近く、放散虫であれば変形していると考えられる。劈開があまり発達しない泥岩も稀にみられる (図版7D)。

(7) 砂岩

砂岩は主に2～3 m程度の岩塊として泥岩の近傍に産する。また、後述の泥質混在岩の中に1 m以下の岩塊として含まれる。

灰色、暗灰色あるいは明灰色を呈する。中粒～粗粒で、淘汰は悪い。塊状の無構造で、明瞭な成層構造は観察できない (図版8A)。他のコンプレックスの砂岩に比べると節理の発達の程度は弱い。

碎屑粒子としては石英と岩片が多く、長石・雲母類を伴い、基質に乏しい (図版8B, 8C)。石英は、その多くが単結晶石英であるが、わずかに多結晶石英を含む (図版8B)。碎屑粒子の円磨度は一般的にはやや低いが、一部では円磨されやや丸くなった外形を示す。岩片に富み、特にチャートや火山岩の岩片を多く含む (図版8D)。モード組成からは、石英と岩片に富む石質と判断され (第9図)、基質に乏しい石質アレナイトである。

(8) 泥質混在岩

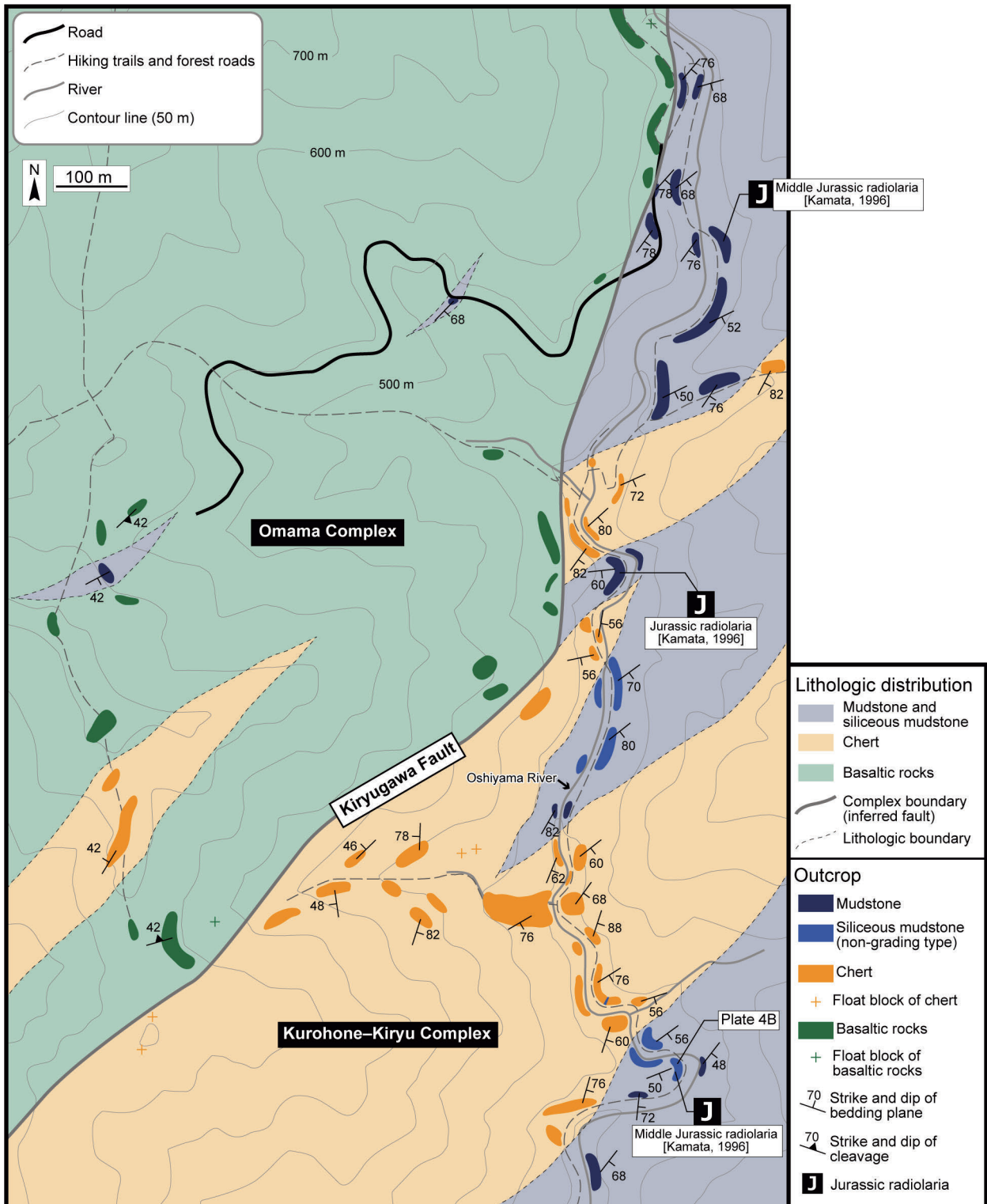
「桐生及足利」地域において、泥質混在岩は黒保根-桐生コンプレックスの上部で比較的多くみられる。一方で、下部での泥質混在岩の分布はわずかである。また鎌田・久布白 (2008) や大藤ほか (2007) によると、詳細な分布は示されていないが、「鹿沼」地域の黒保根-桐生コンプレックスの分布域では泥質混在岩が比較的広く分布するとみられる。葛生コンプレックスとの境界付近にもみられる。

基質となる泥岩は、黒灰色や暗灰色で、鱗片状劈開が発達する。泥岩基質中には、チャートや砂岩のレンズ状岩塊が含まれる (図版8E)。チャートは主に暗灰色あるいは灰色で、およそ1～10 mの層厚を持つ。砂岩は灰色～明灰色を呈し、中粒～粗粒である。強い変形を被り、砂岩岩塊に非対称構造がみられることもある (図版8F)。

4.2 大間々コンプレックス

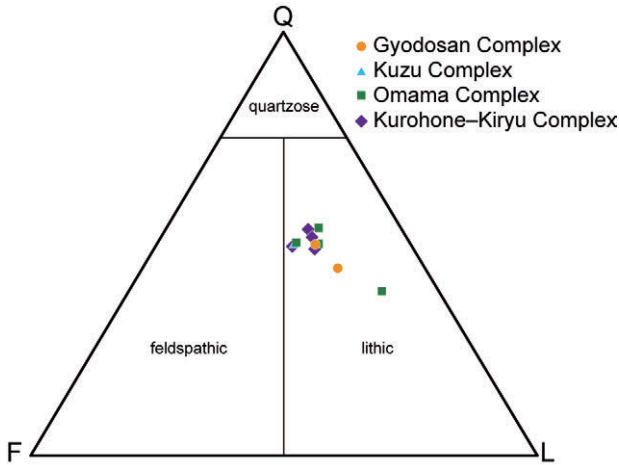
4.2.1 定義と名称

Kamata (1996) は、みどり市大間々町 (旧大間々町) の渡良瀬川・小平川・山田川沿いに露出する、チャー



第8図 桐生市梅田町忍山川沿いに露出する黒保根-桐生コンプレックスと大間々コンプレックス境界周辺のルートマップ。

Fig. 8 Traverse map around the boundary between the Kurohone-Kiryu and Omama complexes along Oshiyama River, Umeda-cho, Kiryu City.



第9図 足尾帯ジュラ紀付加体の砂岩のモード組成。区分はOkada (1971) に基づく。Q: 石英。F: 長石。L: 岩片。
Fig. 9 Modal composition of sandstone in Jurassic accretionary complex of the Ashio belt. Classification is based on Okada (1971). Q: quartz. F: feldspar. L: Lithic fragments.

ト・玄武岩類・炭酸塩岩類の大規模岩体を伴う混在岩をOmama Complex (大間々コンプレックス)と定義した。本論においてもこの名称を用いる。ただし、名称の初出自体は鎌田(1995a, b)である。

大間々コンプレックスは、破断相から混在相を示し、玄武岩類・チャート・泥岩を主体として炭酸塩岩類・珪質泥岩・砂岩・珪質粘土岩・泥質混在岩を伴う。本論での大間々コンプレックスは、河田・大澤(1955)の足尾層の一部・渡辺ほか(1957)の栗野層群の一部・藤本(1961)の栃木層群の一部・羽鳥(1965)の栃木層群の一部と佐野層群の一部に対比される。

4. 2. 2 分布及び層厚

みどり市大間々町の山地部分の広範囲に分布し、桐生市黒保根町地域(旧黒保根村)にもわずかに分布する。構造的低位に位置する黒保根-桐生コンプレックスとは、桐生川断層で接する。須藤ほか(1991)の地質図の分布から判断すると、みどり市の草木湖周辺で上部白垂系沢入岩体(矢内, 1972, 1973)の花崗閃緑岩と接する。

大間々コンプレックスの見かけ上の層厚は、梅田向斜の南東翼側では2 km以上、北西翼側では10 km以上に及ぶ。

4. 2. 3 層序

岩相の違いと層序関係から、本コンプレックスを下部と上部に二分した。下部は側方へ連続する大規模な玄武岩類とチャートを主体とする(第10, 11図)。これに対して上部は、玄武岩類・チャート・砂岩・炭酸塩岩類などの岩塊を含む泥質混在岩からなる。下部の見かけ上の層厚は2~5 kmで、上部の見かけ上の層厚は200 m以上で

ある。

梅田向斜南東翼部の大間々コンプレックスの基底部では最大層厚200 m程度の玄武岩類がみられる(第11図)。最大層厚50 m以下のチャートがこの玄武岩類に付随する。海洋プレート層序(OPS)の基底部をなす玄武岩類とチャートが繰り返して分布する。

4. 2. 4 岩相

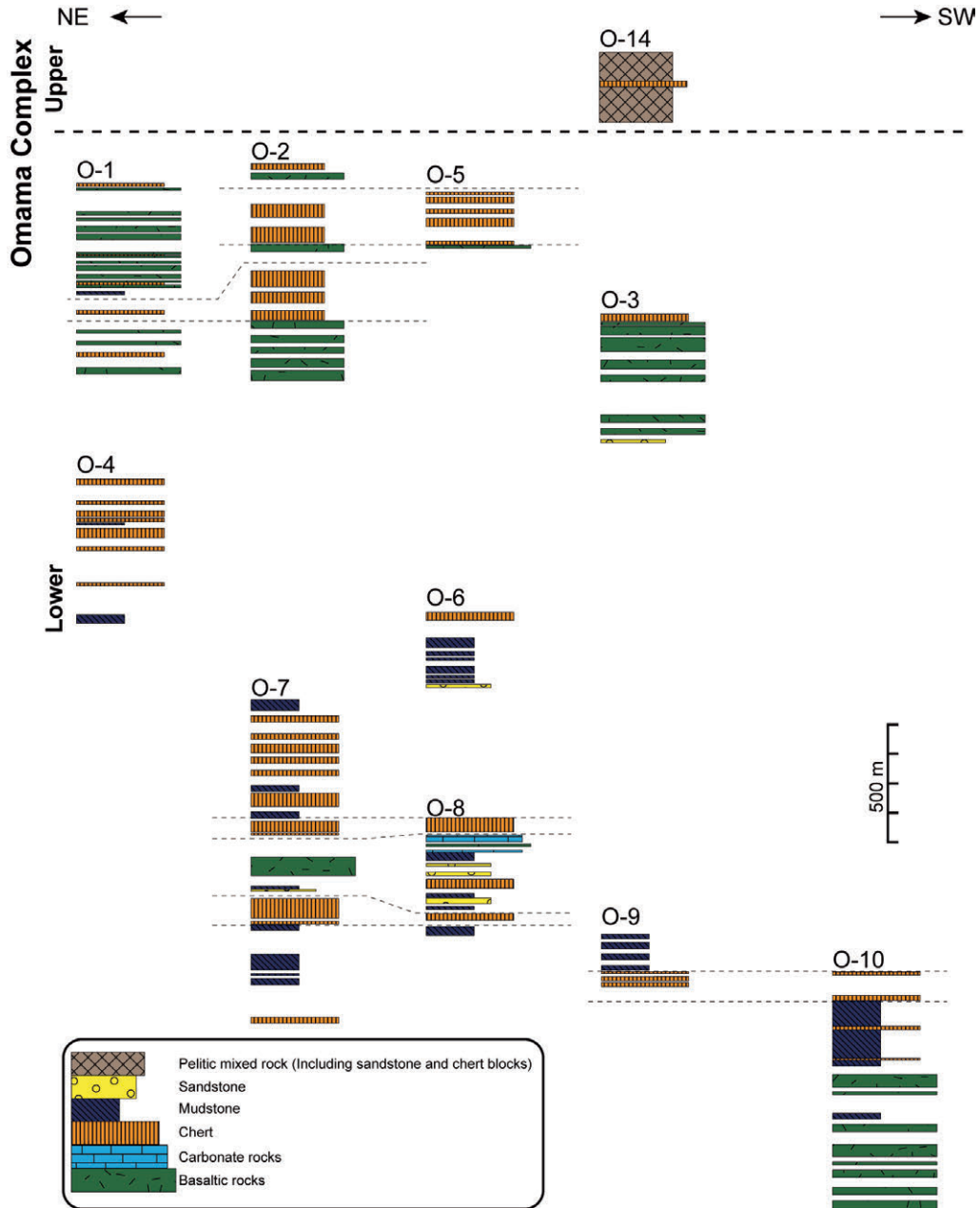
(1) 玄武岩類

玄武岩類は、大間々コンプレックスの主要構成岩類であり、広く分布する(第8, 10, 11, 12図)。大間々コンプレックスの下部においては、地質図規模でも2~3 kmにわたり連続するシート状岩体として産し、特に最下部付近に卓越する(第8, 10, 11図)。一方で、上部においては泥質混在岩に岩塊として含まれるが、その規模は小さく側方への連続性も乏しい。

玄武岩類は玄武岩溶岩や玄武岩火山碎屑岩からなるが、一般に著しく風化しており、原岩の判定は困難であることが多い。玄武岩溶岩は枕状(図版9A)あるいは塊状である。枕状溶岩は最大で長径50 cm程度の枕状構造からなる。玄武岩火山碎屑岩として最大長径が30 cm程度の角礫を含む自破碎溶岩もみられる(図版9B)。しばしば著しい剪断変形を被っており、混在相を呈することもある(図版9C)。この混在相を呈する玄武岩類は剪断された火山碎屑岩を基質とし、比較的剪断を受けていない玄武岩溶岩を含むほか、炭酸塩岩類や砂岩を岩塊として含む。

鏡下では、石基中に散在する斜長石と単斜輝石の斑晶が観察される。斜長石の斑晶は最大径1 mm程度の短柱状~短冊状で、自形あるいは半自形結晶である。多くの斜長石がアルバイト式双晶を示し。一部ではソーシユライト化している。単斜輝石の斑晶の直径は0.2~1 mm程度であり、自形~半自形結晶が多い。丸みを帯びた融食形を呈する単斜輝石もみられる。稀に直径0.2 mm以下のかんらん石を含むが(図版9D)、蛇紋石に置換されている場合が多い。石基は、斜長石・単斜輝石・不透明鉱物からなり、インターグラニューラー組織を呈する。枕状溶岩には厚さ1~2 mmの急冷周縁部がみられる(図版9E)。急冷周縁部に近い玄武岩溶岩は細粒で、枕の中心部に行くほど粗粒になる。自破碎溶岩は火山ガラスと直径1 mm程度の角礫岩片からなる(図版9F)。

伊藤・草野(2021)により、大間々コンプレックス下部の玄武岩類の地球化学組成が検討されている。主要元素及び微量元素組成に基づく、形成場として中央海嶺領域と海洋島領域が推定される2種類の異なる玄武岩類の存在が示唆された。伊藤・草野(2021)の観察と地球化学的検討に基づく、形成場が中央海嶺領域と推定される玄武岩類は、玄武岩溶岩及び玄武岩凝灰角礫岩である。一方、形成場として海洋島領域が推定される玄武岩類は



第10図 梅田向斜北西翼部の大間々コンプレックスの柱状図. 柱状図の作成ルートは付図1に示す.

Fig. 10 Columnar sections of the Omama Complex in northwestern wing of the Umeda Syncline. Locations of the columnar sections are shown in Fig. A1.

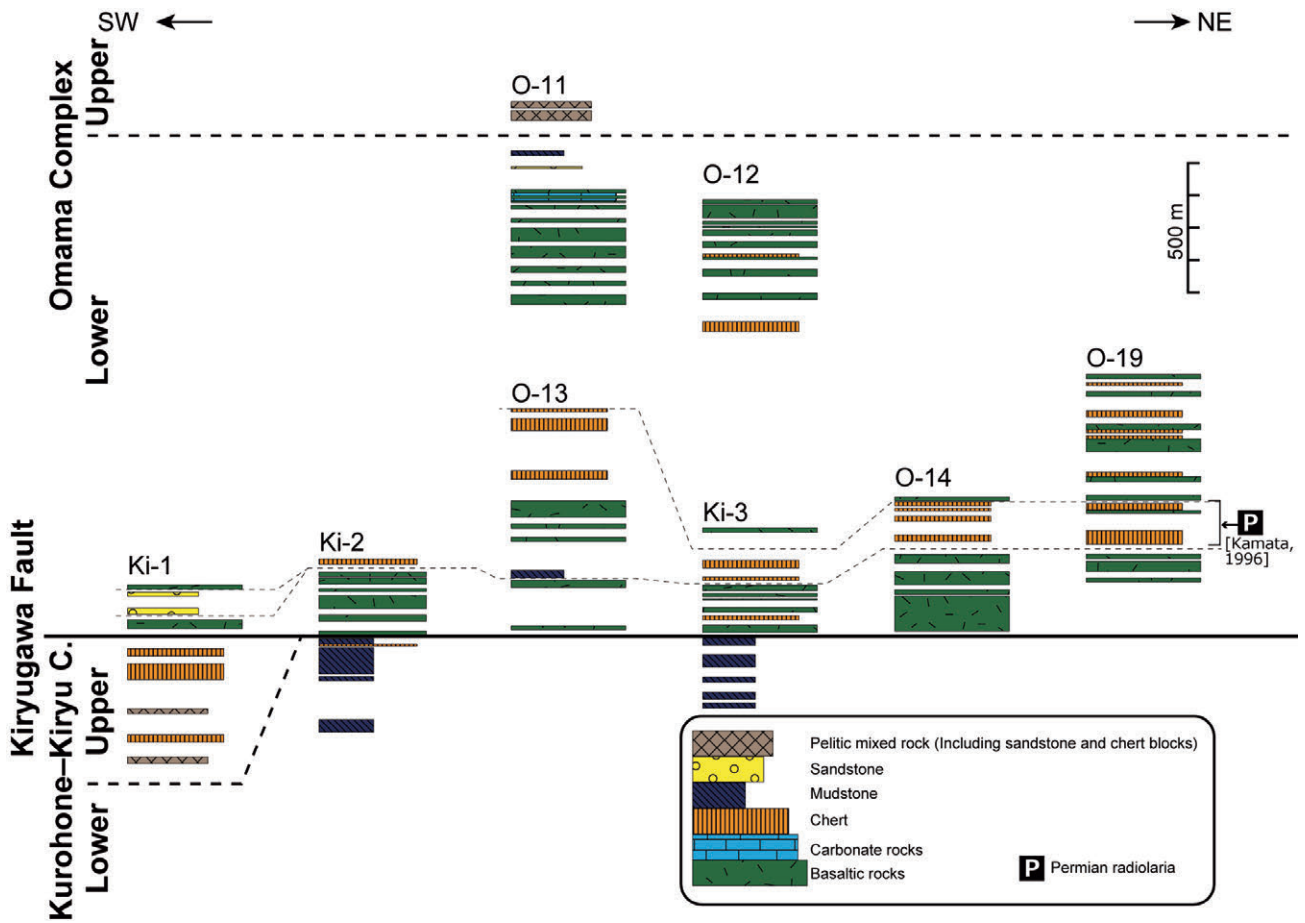
玄武岩溶岩である.

(2) 炭酸塩岩類

みどり市大間々町小平^{おだいら}では、小平鍾乳洞と呼ばれる比較的大規模な炭酸塩岩類の岩体の存在が確認できる。地表に露出する面積自体は限られるものの、鍾乳洞の全長は93 mに及ぶ(みどり市, 2020)。また、桐生市黒保根町八木原^{こうじんやま}の荒神山南西部には炭酸塩岩類の転石が分布しており(図版10A)、露頭自体はわずかであるが比較的

大きな炭酸塩岩類の未確認岩体が存在していると思われる。なお、林(1997)や群馬県立自然史博物館(1999)などによれば、Yabe (1903)の報告した軟骨魚類*Helicoprion bessonowi* Karpinskyは、この八木原の近辺から産出したとされる。

炭酸塩岩類は一般に灰白色から明灰色を呈し、塊状あるいは層状(図版10B)である。結晶質で方解石を主体とする石灰岩が多い(図版10C)。方解石の最大長径はおよそ1 mmで他形である。方解石にはしばしば双晶がみら



第11図 梅田向斜南東翼部の大間々コンプレックスの柱状図。柱状図の作成ルートは付図1に示す。C.: Complex.

Fig. 11 Columnar sections of the Omama Complex in southeastern wing of the Umeda Syncline. Locations of the columnar sections are shown in Fig. A1. C.: Complex.

れる。また、フズリナ石灰岩など(図版10D)、化石に富む石灰岩が存在する。これらの石灰岩は主に生砕屑性で、パックストーンやグレインストーンがみられる。ペロイドを粒子として多く含み、フズリナやウミユリなどの化石を伴う。これらの化石は、本来の形状を保っているものと破碎されているのがみられる。化石粒子の間隙は、方解石とミクライトやスパーライトにより充填されている。加えて、ドロストーンも存在する。

炭酸塩岩類は玄武岩類の中にも小規模な岩塊ないし挟在して認められる。また、炭酸塩岩類が玄武岩類を挟む例もみられる(図版10E, 10F)。炭酸塩岩類に挟まれる玄武岩類の見かけ上の厚さは主に数10 cmで(図版10E)、数100 μmオーダーでも認められる(図版10F)。これらの炭酸塩岩類は結晶質で、方解石を主体とする(図版10F)。

(3)珪質粘土岩

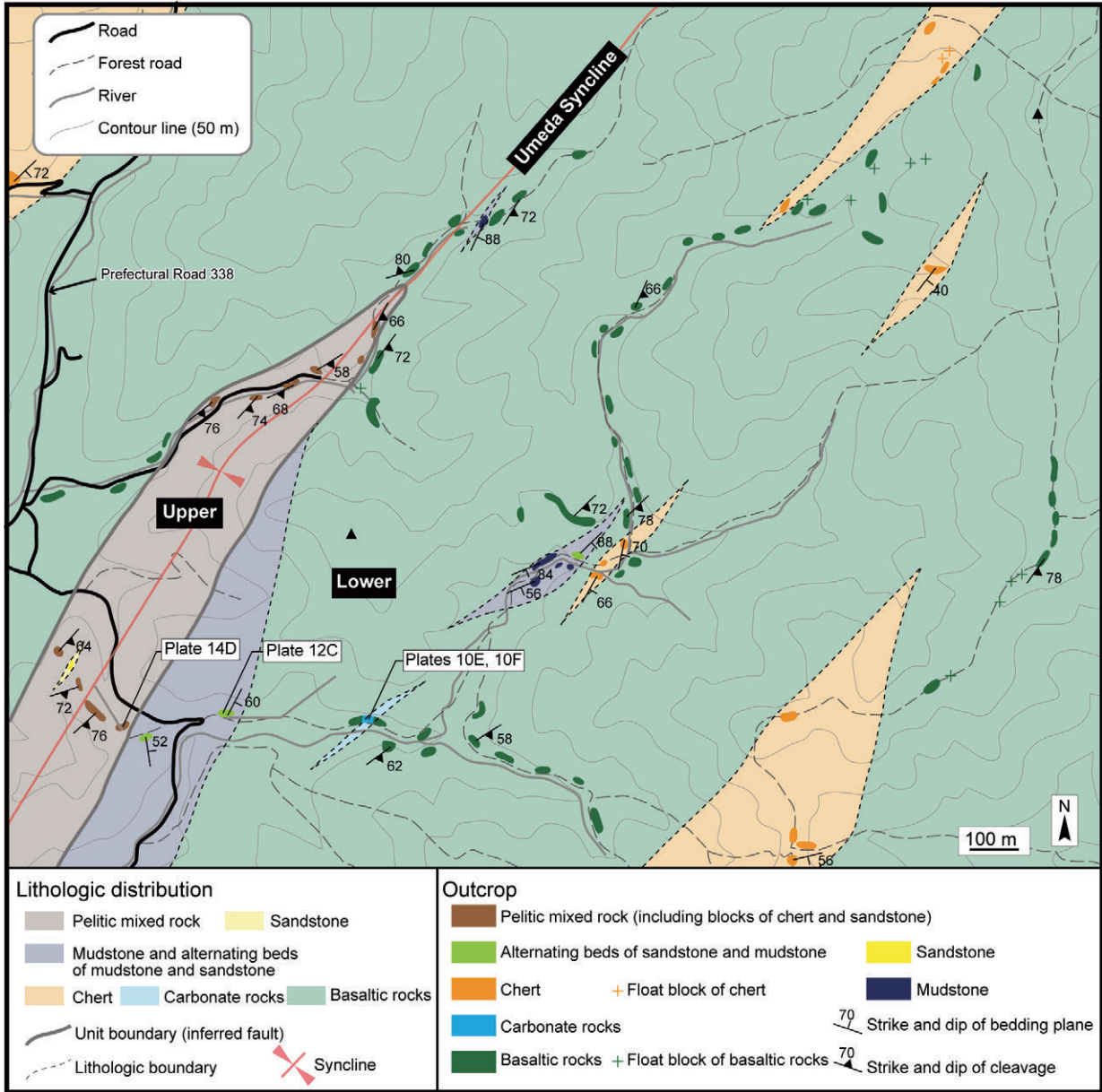
珪質粘土岩は、灰白色あるいは明灰色で、層状をなす。単層の厚さは5 cm程度で、層理面に沿って剥離する。強

い変形を被り、また、風化を受けていることが多い。珪質粘土岩はわずかに分布するのみで、黒保根-桐生コンプレックスでみられる厚い珪質粘土岩は観察できない。

Kamata and Kajiwara (1996)はみどり市大間々町小平茂木の林道沿いで、本コンプレックスのペルム系チャート-有機質泥岩-珪質粘土岩-三疊系チャートのペルム紀-三疊紀境界を含むシーケンスが認められるセクションを記載している。しかし、このセクションは既にコンクリートなどで覆われており、現在は露出していない。Kamata and Kajiwara (1996)によれば、この珪質粘土岩は灰色で、単層の層厚は1~5 cmであり、粘土鉱物と微晶質石英からなる。

(4)チャート

チャートは主に大規模な岩体として露出する。大間々コンプレックスの下部では、岩体としてはおよそ10~300 mにわたり側方へ連続する。細かく分断されてレンズ状をなして側方への連続性を示さないチャートもみ



第12図 桐生市河内町大崩の梅田向斜付近に露出する大間々コンプレックスのルートマップ。

Fig. 12 Traverse map of the Omama Complex around the Umeda Syncline in Kawauchi-cho Okuzure, Kiryu City.

られる。また、後述のように泥質混在岩中の岩塊としても産する。

チャートが崖や尾根を形成している場所もあるが、他のコンプレックスのチャートと比較するとその例は少ない。

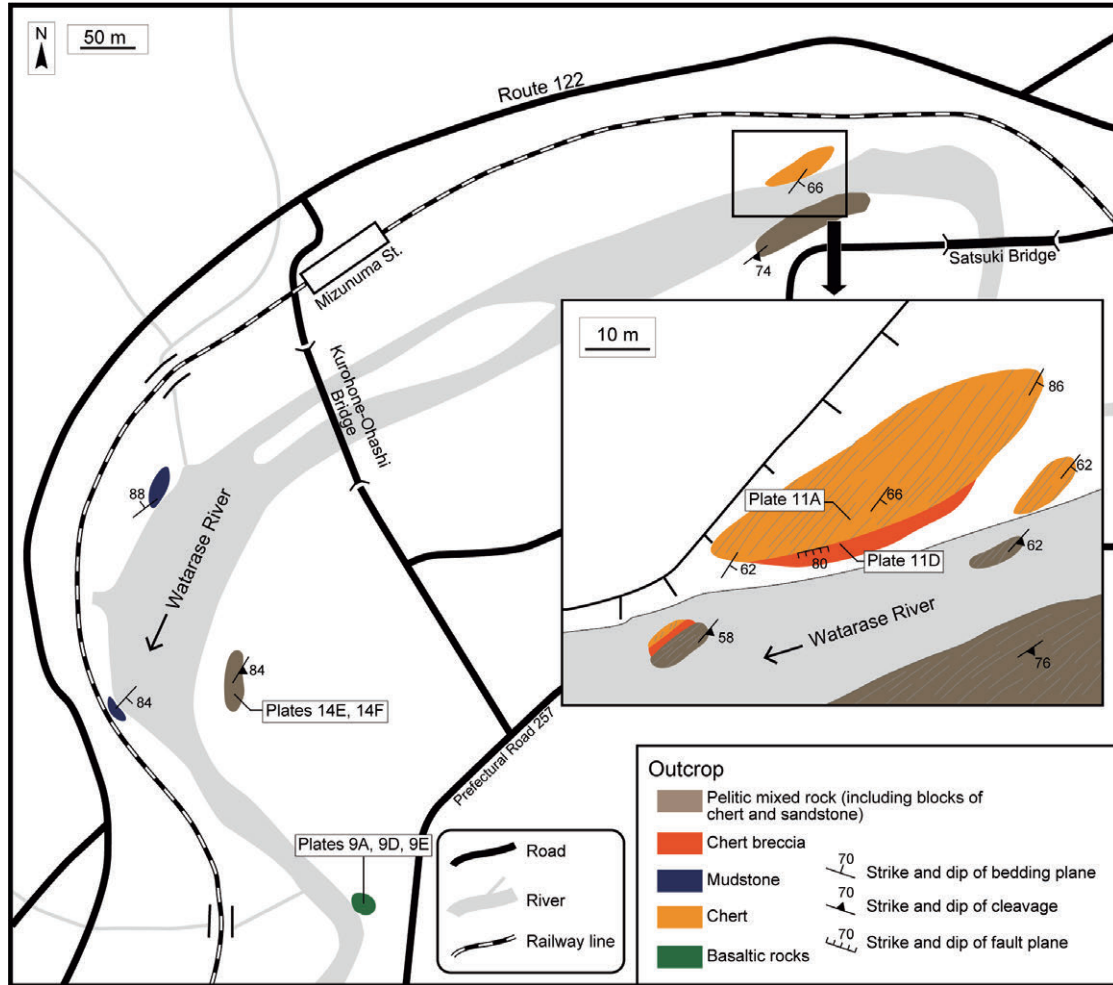
チャートは、黒色・灰色・暗灰色・赤色を呈する。珪質層と泥質薄層との互層により成層構造を呈する(図版11A)。珪質層は層厚1～15 cm程度であるのに対し、泥質薄層は通常5 mm以下である。一方、単層を破断する形の多くの小断層により細かいレンズ状をなすチャートもみられる(図版11B)。層理面に斜交する節理が発達する。鏡下観察では、隠微晶質石英と少量の粘土鉱物内に

放散虫が認められる(図版11C)。なおこれまでに、黒保根-桐生コンプレックスや葛生コンプレックスでみられるストライプチャートは見つかっていない。

水沼駅付近では、チャート及びチャート角礫岩が分布する(第13図)。チャート角礫岩は、長径が最大10 cm程度のチャート角礫で、基質支持である。この露頭のチャート角礫岩は、層理面に斜交する断層を介して層状チャートに接する(図版11D)。

(5) 珪質泥岩

珪質泥岩の分布域は限られており、厚さ10 m程度で渡



第13図 桐生市黒保根町八木原の水沼駅付近に露出する大間々コンプレックスのルートマップ。チャート内の灰色線は層理面を、泥質混在岩内の灰色線は劈開面を示す。

Fig. 13 Traverse map of the Omama Complex around the Mizunuma Station, Kurohone-cho Yagihara, Kiryu City. Gray lines in chert and pelitic mixed rock indicate bedding and cleavage, respectively.

良瀬川沿いなどの数地点で観察される。主に暗灰色を呈し、塊状から非常に弱い成層構造を示す(図版12A)。単層の層厚は10～20 cm程度である。級化は認められない。

鏡下では、シルトサイズ以下の碎屑粒子と粘土鉱物が観察される。放散虫を多く含む珪質泥岩もみられる(図版12B)。放散虫の内部に関しては、石英で充填されていることが多い。

(6) 泥岩及び砂岩泥岩互層

泥岩は、大間々コンプレックスでは一般的にみられる。下部ユニットでは玄武岩類に挟まれて分布する。砂岩泥岩互層は、層厚30 cm～1 m程度の泥岩と10～30 cm程度の砂岩からなり、一般的に泥岩が優勢であるが、一部で砂岩と泥岩が等量の例もみられる。砂岩がレンズ状に泥岩の中に含まれることが多い(図版12C)。

泥岩は、暗灰色や灰色を呈する。弱い成層構造を持つ。

シルトサイズ以下の碎屑粒子と粘土鉱物からなる(図版12D)。

(7) 砂岩

砂岩は、泥岩や玄武岩類の近傍に産することが多い。また、後述の泥質混在岩中に主に長径3 m以下の岩塊として含まれる。

灰色・暗灰色・明灰色を呈する。細粒～中粒で、淘汰は良い。一般に塊状無構造で、明瞭な成層構造は観察できない(図版13A)。

碎屑粒子としては石英・長石・雲母類を含む(図版13B)。石英の多くが単結晶であるが、わずかに多結晶石英も含まれる(図版13B)。碎屑粒子の円磨度は一般的にはやや低い、一部では円磨されやや丸くなった外形を示す。岩片としてチャートや火山岩を多く含む(図版13C)。碎屑粒子の外縁には圧力融解による再結晶粒子が集積しており、これらの碎屑粒子の輪郭がやや不明瞭

になっている(図版13D)。モード組成に基づくと石英や岩片に富む石質であり(第9図)、基質に乏しいアレナイトが主体である。同一試料の中で部分的に基質が卓越し、石質ワッケ様になるところもある。

(8) 泥質混在岩

泥質混在岩は、大間々コンプレックス上部の主要構成岩類であり、一方で大間々コンプレックス下部における量は少ない。桐生市川内町大崩^{おおくずれ}周辺(第12図)や桐生市黒保根町八木原の水沼駅^{たかづと}周辺(第13図)でみられるほか、みどり市大間々町高津戸の高津戸峡で典型的に露出する(第14図)。

基質となる泥岩は、黒灰色・暗灰色・灰色を呈し、鱗片状劈開が発達する。泥岩基質中には、玄武岩類・炭酸塩岩類・チャート及び砂岩の岩塊が含まれる。泥質混在岩が広く露出する高津戸峡での観察に基づくと、1)玄武岩類・炭酸塩岩類・チャート・砂岩の岩塊を含む泥質混在岩、2)玄武岩類・チャート・砂岩の岩塊を含む泥質混在岩、3)チャート・砂岩の岩塊を含み、特にチャート岩塊が多く含まれる泥質混在岩、そして4)チャート・砂岩の岩塊を含み、泥質基質が卓越する泥質混在岩に区分される(第14図)。玄武岩類はレンズ状から不定形をなす(図版14A)。炭酸塩岩類は灰白色で、楕円球状の岩塊として含まれる(図版14B)。長径は最大でも3 m程度である。チャートは岩塊としては最も一般的に含まれ、暗灰色や灰色を呈して主にレンズ状をなす。チャート内には層理面がみられることがあり、その多くは泥質混在岩の劈開面に平行だが、劈開面と層理面が斜交するチャート岩塊もみられる(図版14C)。また、基質の泥岩中に破断した小規模なチャート岩塊を伴う泥質混在岩もみられる(図版14D)。砂岩は灰色～明灰色の中粒～粗粒のレンズ状岩塊である。長径10 cmを超える砂岩岩塊は少ないが、長径3 mに及ぶ例もある。剪断変形により、非対称に尾を引く形態の砂岩岩塊がみられる(図版14E)。

鏡下では、粘土鉱物を主体としてシルトサイズ以下の碎屑粒子を伴う基質と、砂岩からなるレンズ状岩塊が観察される(図版14F)。剪断変形により複合面構造が観察されることもある。

4.3 葛生コンプレックス

4.3.1 定義及び名称

Kamata (1996)は、栃木県の佐野市葛生町(旧葛生町)を中心に分布するチャート-碎屑岩シーケンスが繰り返す整然相及びそれに伴う大規模な玄武岩類-炭酸塩岩類岩体を、Kuzu Complexと定義した。本論でもこの名称を用いる。ただし、名称の初出自体は鎌田(1995a, b)である。なお、発音としては「くずう」であることから、英語表記がKuzuuとされることもあるが(例えば、Koike *et al.*, 1991; Muto *et al.*, 2018)、本論ではKamata (1996)に従い

英語表記としてKuzuを使用する。

鎌田(1997a)は、「栃木」地域内の葛生コンプレックスを構造的低位からユニット1・ユニット2・ユニット3に三分した。ユニット1及びユニット3は、チャート・珪質泥岩・泥岩・砂岩泥岩互層・砂岩が順に累重するチャート-碎屑岩シーケンスの整然相を主体とすることにより特徴づけられる。ユニット1は比較的碎屑岩に富むのに対し、ユニット3はチャートに富む。これらと比べてユニット2は大きく岩相が異なり、大規模な炭酸塩岩類とそれに伴う玄武岩類を主体とし、礫岩及び珪質泥岩が炭酸塩岩類を覆う。さらに泥岩が珪質泥岩の上位に存在する。

鎌田(1997a)のユニット1は、主に先行研究における会沢層の大部分あるいは一部と中妻層の一部に対比される(吉田, 1956; 藤本, 1961; 羽鳥, 1965; 柳本, 1973)。また、Aono (1985)と佐藤・青野(1985)のユニットIIの一部に対比される。中江(2010)は、「宇都宮」地域の古賀志山地周辺に分布するチャートを主体とする地層を栃木コンプレックスと命名し、葛生コンプレックスのユニット1に対比している。

鎌田(1997a)のユニット2に関しては、玄武岩類と炭酸塩岩類は先行研究(藤本, 1961; 羽鳥, 1965; 柳本, 1973)における出流層と鍋山層にそれぞれ対比される。また、炭酸塩岩類の上位の礫質石灰岩や珪質泥岩についてはアド山層の最下部とされていたが、鎌田(1997a)はユニット2に含めた。

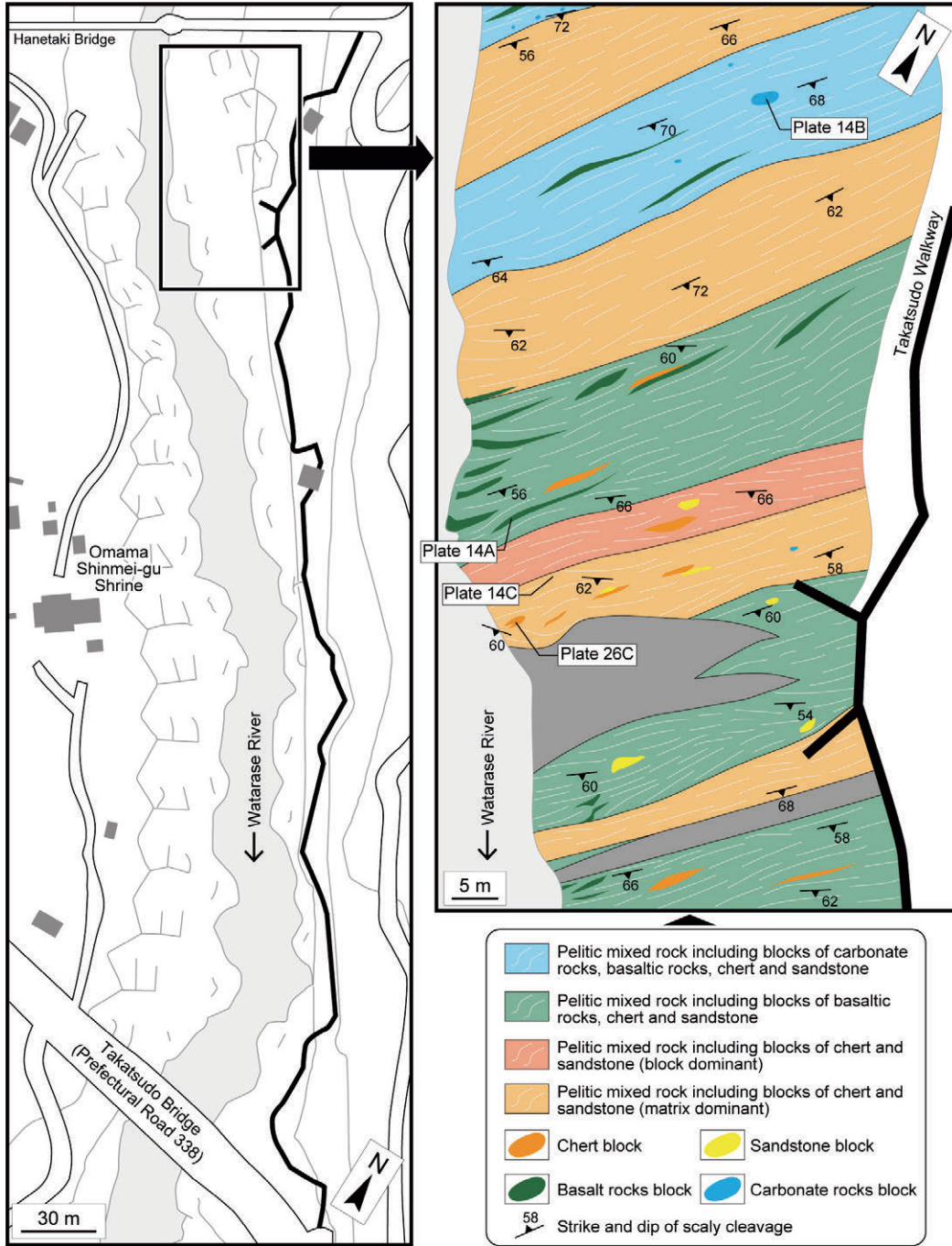
鎌田(1997a)のユニット3は、藤本(1961)・羽鳥(1965)・柳本(1973)のアド山層の上部・牧層・御神楽層に対比される。また、Aono (1985)と佐藤・青野(1985)のユニットIIの一部に対比される。また、高柳ほか(2001)のコンプレックスAはユニット3の一部に対比される。

「桐生及足利」地域の葛生コンプレックスは整然相を主体とし、チャート-碎屑岩シーケンスをなすチャート・珪質泥岩・泥岩・砂岩などからなる。大部分が鎌田(1997a)のユニット3に対比され、一部がユニット1に対比される。本地域では大規模な炭酸塩岩類や玄武岩類は分布しておらず、ユニット2に相当する地層は分布していない。本論では、岩相の類似性からユニット1とユニット3を区分せず、葛生コンプレックスとして一括して扱う。

4.3.2 分布及び層厚

栃木県の足利市南部・佐野市南部・栃木市・鹿沼市の一部に分布する。黒保根-桐生コンプレックスと行道山コンプレックスとは、それぞれ閑馬断層と大岩断層を介して接する。葛生コンプレックスは黒保根-桐生コンプレックスの構造的上位に位置する。

コンプレックス全体の見かけ上の層厚は少なくとも4 kmに及ぶ。各ユニットの見かけ上の層厚については、鎌田(1997a)によれば、ユニット1の北部は約1 km、北東



第14図 みどり市大間々町高津戸の高津戸峡に露出する大間々コンプレックスのルートマップ。泥質混在岩内の灰色線は劈開面を示す。

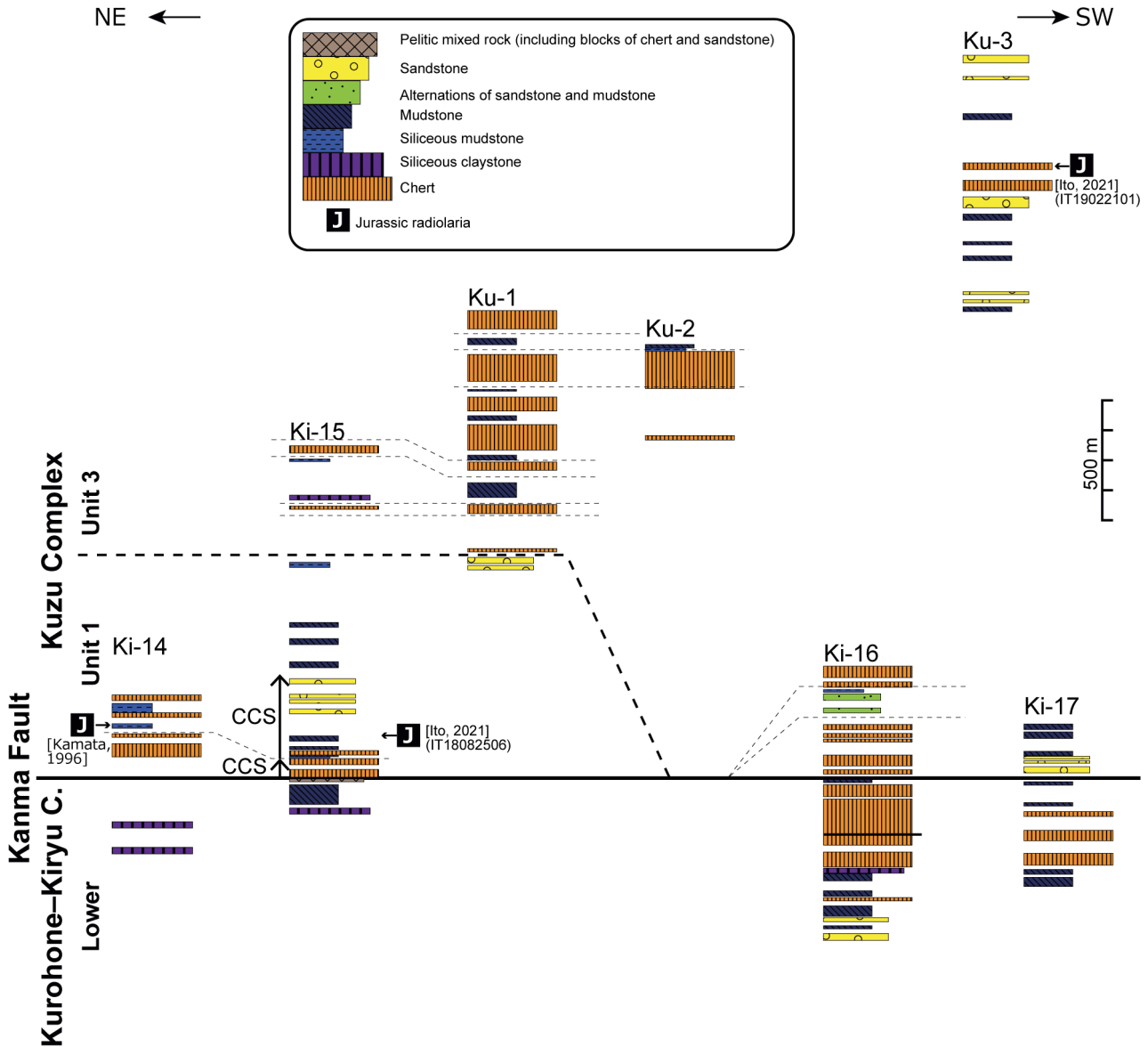
Fig. 14 Traverse map of the Omama Complex in the Takatsudo Gorge, Omama-machi Takatsudo, Midori City. Gray lines in pelitic mixed rock indicate cleavage surfaces.

部及び南部は約2 km, ユニット3は1 km以上とされている。ユニット2の玄武岩類と炭酸塩岩類はともに膨縮が激しいが、藤本(1961)の地質断面図からは全体の層厚は最大で500 m程度であると推測される。また、Kobayashi(2006a)によれば、ユニット2の玄武岩類(出流層)の最大層厚が400 m以上、佐野市山菅町周辺に分布するユニッ

ト2の炭酸塩岩類(鍋山層)の最大層厚が約300 mとされている。

4.3.3 層序

「桐生及足利」地域の葛生コンプレックスは、ユニット3が地域の南東部に広く分布するのに対し、ユニット



第15図 葛生向斜北西翼部の葛生コンプレックスの柱状図。柱状図の作成ルートは付図1に示す。CCS：チャート-碎屑岩シーケンス。C.：Complex.

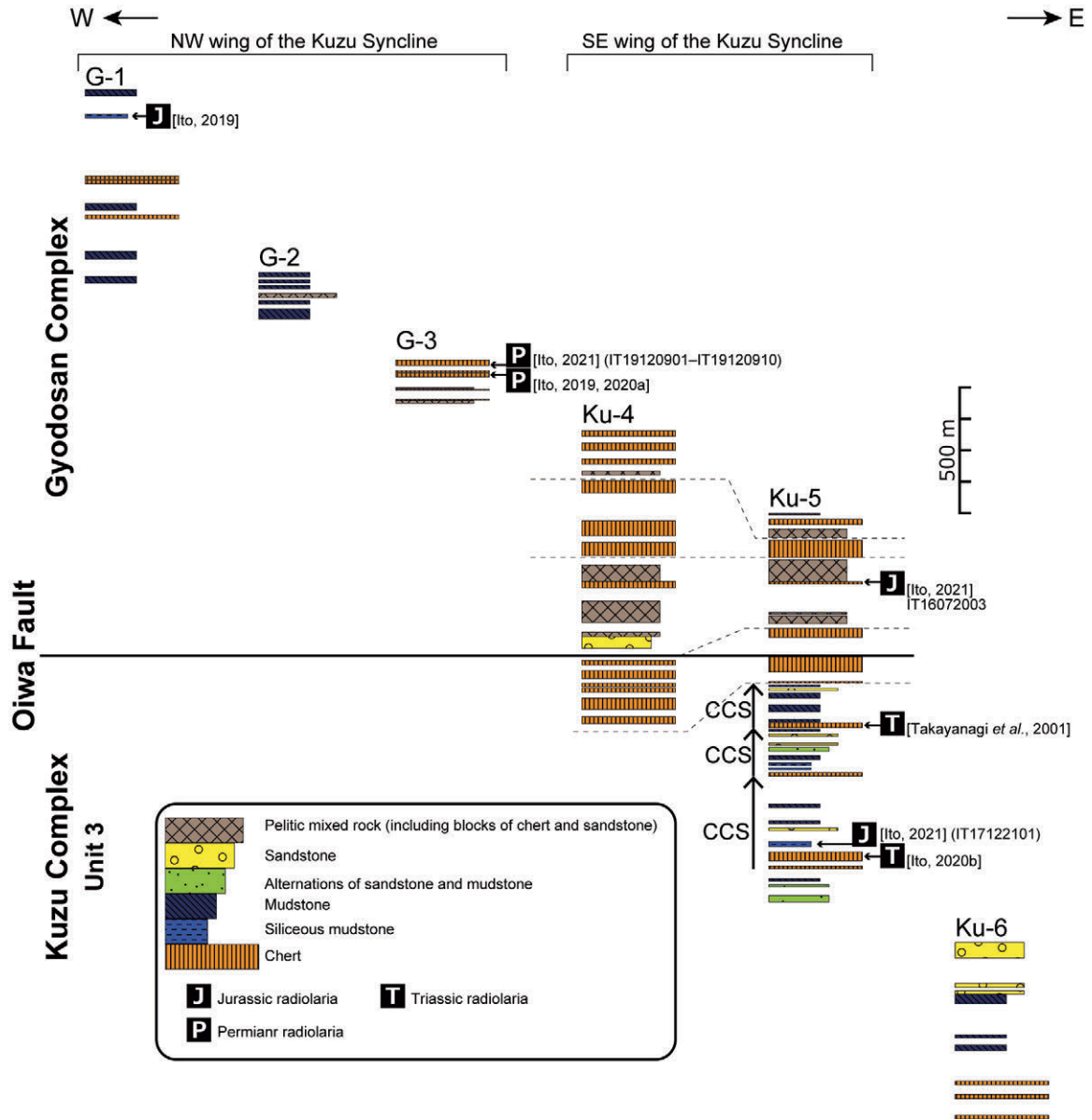
Fig. 15 Columnar sections of the Kuzu Complex in northwestern wing of the Kuzu Syncline. Locations of the columnar sections are shown in Fig. A1. CCS: chert-elastic sequence. C.: Complex.

1が東部にわずかに分布する。ユニット2は分布しない。ユニット1はチャートと泥岩が繰り返す、一部で砂岩を挟む(第15図)。ユニット3も同様にチャートと泥岩が繰り返す泥岩や砂岩などを挟む(第15, 16図)。前述の通り、葛生コンプレックスでは明瞭なチャート-碎屑岩シーケンスが認められる。閑馬川かまがわのルートでは、少なくとも2枚のチャート-碎屑岩シーケンスが認められる(第15, 17図)。大岩月谷線のルートでは、少なくとも3枚のチャート-碎屑岩シーケンスが認められる(第16, 18図)。

4. 3. 4 岩相

(1) 玄武岩類

「桐生及足利」地域では玄武岩類の分布は確認されていないが、その東隣の「栃木」地域では、栃木市出流町などにユニット2に属する大規模な玄武岩類が露出する。この玄武岩類は藤本(1961)により出流層と命名され、中島ほか(1992)、Kamata(1996)、鎌田(1997a)及びKobayashi(2006a)などによって記載が行われている。ここでは、これらの先行研究による記述に基づいて記す。また、筆者が栃木県佐野市の吉澤石灰工業の採石場内で採取した試料の写真を付す(図版15A, 15B)。

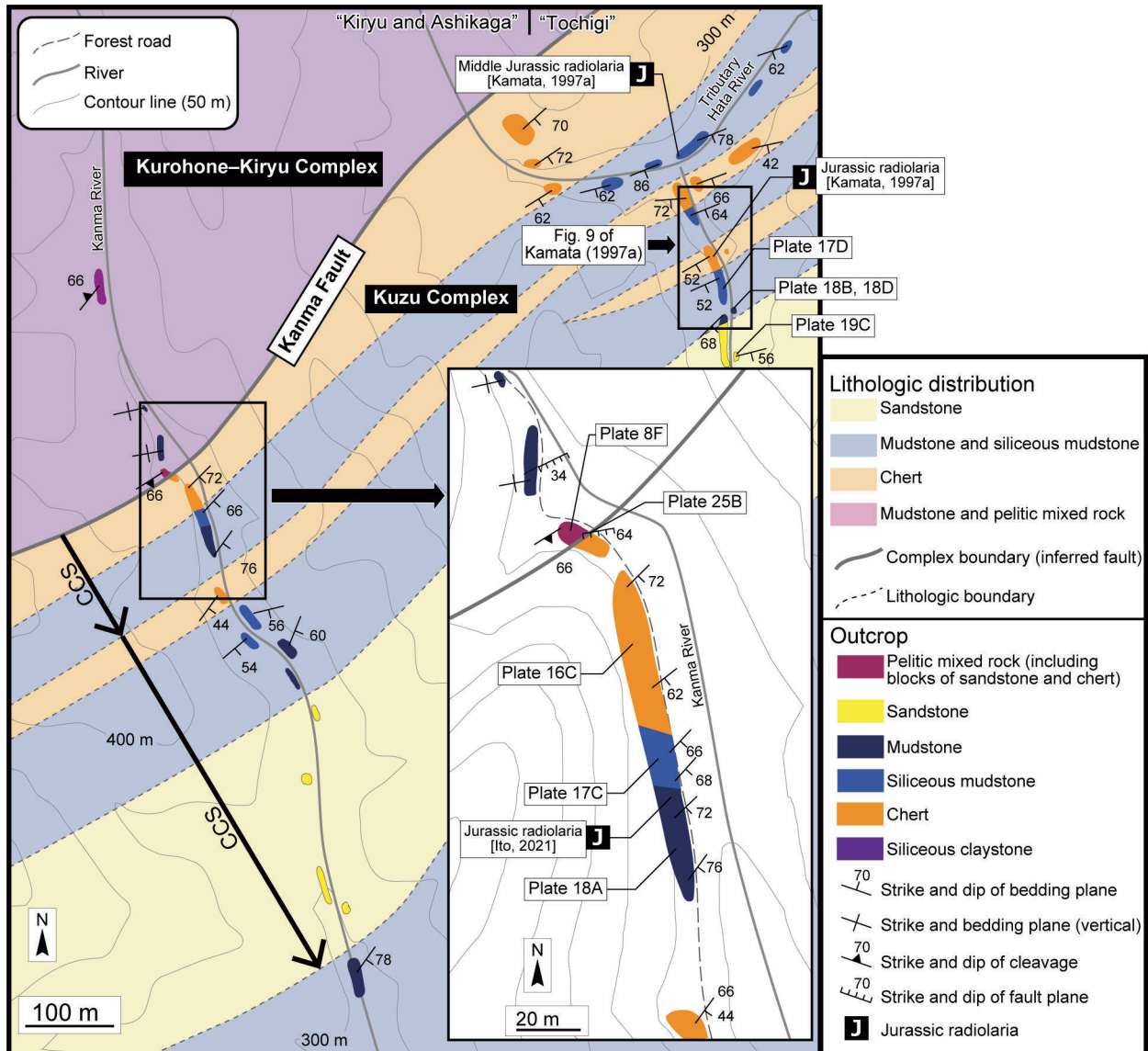


第16図 葛生向斜南東翼部の葛生コンプレックス及び行道山コンプレックスならびに葛生向斜北西翼部の行道山コンプレックスの柱状図。柱状図の作成ルートは付図1に示す。CCS：チャート-碎屑岩シーケンス。

Fig. 16 Columnar sections of the Kuzu and Gyodosan complexes in southeastern wing of the Kuzu Syncline, and the Gyodosan Complex in northeastern wing of the syncline. Locations of the columnar sections are shown in Fig. A1. CCS: chert-clastic sequence.

玄武岩類は、塊状溶岩・枕状溶岩・凝灰岩からなる(鎌田, 1997a)。玄武岩溶岩は灰黒色を呈し、斑晶は少ない(中島ほか, 1992)。斑晶は斜長石と単斜輝石からなり、石基には斜長石と単斜輝石に加え、かなり多くの磁鉄鉱を伴う(中島ほか, 1992)。玄武岩類の上部、炭酸塩岩類との境界付近ではレンズ状の石灰岩が含まれ、この石灰岩にはフズリナをはじめとした多くの化石が含まれる(Kobayashi, 2006a)。また、玄武岩凝灰岩自体にも腕足類などの化石が含まれる(Kobayashi, 2006a; 図版15A, 15B)。

中島ほか(1992)は葛生コンプレックスユニット2の玄武岩類の地球化学組成を検討している。主要元素の組成に基づくと、このユニットの玄武岩溶岩はアルカリ玄武岩に区分され、形成場としては海洋島領域と推定される。これに加えて、おそらく「鹿沼」地域内にあたるユニット1の分布域において珪質粘土岩及びチャートに貫入する玄武岩類が観察されている(佐野ほか, 2016, 2017; 中江ほか, 2017)。これらの研究によると、この玄武岩類は海洋島起源と判断され(中江ほか, 2017)、中期三畳紀に貫入したシルであると考えられている(佐野ほか,



第17図 佐野市閑馬町の閑馬川及び旗川支流に露出する黒保根-桐生コンプレックスと葛生コンプレックス境界周辺のルートマップ。

Fig. 17 Traverse map around the boundary between the Kurohone-Kiryu and Kuzu complexes in the Kanma River and tributaries of the Hata River, Kanma-cho, Sano City.

2017). また佐野ほか(2016)は、同地域から玄武岩礫岩を報告している。

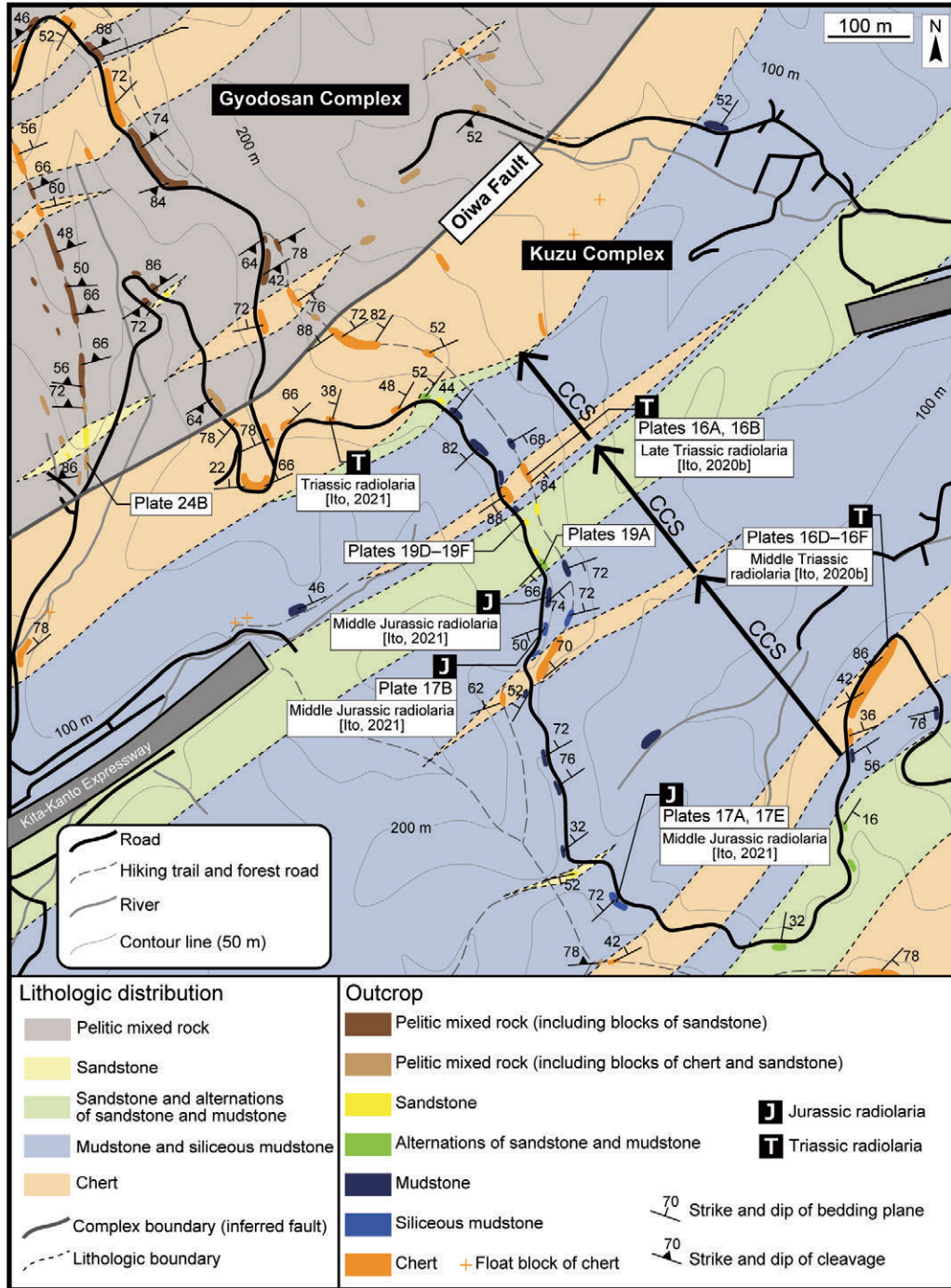
(2)炭酸塩岩類

「桐生及足利」地域の葛生コンプレックスには、炭酸塩岩類は含まれない。「栃木」地域内では、ユニット2においてまとまった分布を示しており、研究例も多い。この炭酸塩岩類は、吉田(1956)により鍋山層と命名され、藤本(1961)は鍋山層を、下位より山菅石灰岩部層・羽鶴苦灰岩部層・唐沢石灰岩部層に三分した。ここでは、主に小林(1979)・中島ほか(1992)・Kamata(1996)・鎌田(1997a)・Kobayashi(2006a, b)に基づいて記述し、吉澤

石灰工業の採石場内で採取した試料の写真を付す(図版15C-15F)。

山菅石灰岩部層は、数10 cmの層理の良く発達した層状石灰岩を主体とする。黒色～暗灰色を呈し、ドロストーンの薄層を挟む(中島ほか, 1992)。直径が数cmから30 cmの黒色チャートノジュールを含む(鎌田, 1997a)。山菅石灰岩部層の炭酸塩岩類は、フズリナ・ウミユリ・石灰藻などの化石を豊富に含む(図版15C)。基質は方解石を主体とする(図版15D)。

羽鶴苦灰岩部層は、灰色～青灰色の結晶化した塊状ドロストーン(苦灰岩)からなり、均質で不純物を含まない(中島ほか, 1992)。これらのドロストーンはドロマイト



第18図 足利市大岩町及び月谷町の大岩月谷線に露出する葛生コンプレックスと行道山コンプレックス境界周辺のルートマップ。CCS：チャート-碎屑岩シーケンス。

Fig. 18 Traverse map around the boundary between the Kuzu and Gyodosan complexes in the Oiwa-Tsukiya Road of Oiwa-cho and Tsukiya-cho, Ashikaga City. CCS: chert-clastic sequence.

を主体とする(図版15E)。下位の山菅石灰岩部層との整合境界は明瞭である(中島ほか, 1992)。中島ほか(1992)によれば上位の唐沢石灰岩部層との境界は漸移的であると記されているが, 明瞭な整合境界も観察される(図版15F)。

唐沢石灰岩部層は主に灰白色~灰色の塊状石灰岩から

成り, 部分的に黒色石灰岩を伴う。またドロマイトを含む部分もある(中島ほか, 1992)。化石としてはフズリナが卓越し(小林, 1979), フズリナ石灰岩がみられる(図版15F)。

上記の炭酸塩岩類を, 礫質の炭酸塩岩類が覆う。こ

の礫質の炭酸塩岩類について、小池ほか(1974)や鎌田(1997a)は礫質石灰岩と、小林(1979)はアド山層基底堆積物と呼称している。先行研究の記載に基づくと、この礫質の炭酸塩岩類は黒色で有機質な石灰岩基質中に、最大で数mの石灰岩及びドロストーンの礫を含む(鎌田, 1997a)。

(3)珪質粘土岩

「桐生及足利」地域の葛生コンプレックスでは、珪質粘土岩はチャートに付随してわずかに産出する。灰白色を呈し、単層の厚さは5 cm程度である。黒保根-桐生コンプレックスでみられるような厚い珪質粘土岩は観察できない。

「栃木」地域に露出する珪質粘土岩については、鎌田(1995b, 2000)により記載されている。鎌田(1995b, 2000)によると、珪質粘土岩は灰緑色または灰色で、一般に単層の厚さが数cmの明瞭な層理を呈する。有機物に富んだ黒色珪質粘土岩と互層する珪質粘土岩も多い。劈開の発達が顕著である。

(4)チャート

チャートは葛生コンプレックスの主要構成岩相である。露頭規模でも地質図規模でも側方への連続性が良く、数100 mにわたり追跡できる。ユニット1に比べ、ユニット3は多くのチャートを含む(鎌田, 1997a)。

チャートは、崖や尾根を形成している。「桐生及足利」地域では、両崖山などの山頂やその周辺の尾根はチャートからなる(図版16A)。

珪質層と泥質薄層との互層により明瞭な成層構造を呈することが多い(図版16B)。珪質層の層厚が1～10 cm程度であるのに対し、泥質薄層は通常5 mm以下である。珪質層の色調は、黒色・暗灰色・灰色・明灰色を呈する。節理が発達し、その多くが層理面に直交する。隠微晶質石英を主体とし、わずかに粘土鉱物を含む(図版16C)。

行道山の南方など複数地点において、ストライプチャートが観察された(図版16B)。足尾山地のジュラ紀付加体の中では、葛生コンプレックスがストライプチャートを最も多く含む。ストライプチャートは側方への連続性が良い(図版16D)。ストライプチャートでは、ストリークはスペーシングに比べて暗い色を示す。ストリークは粘土鉱物からなり、スペーシングは隠微晶質石英を主体とする(図版16E, 16F)。黒保根-桐生コンプレックスでみられるストライプチャートではストリークがスタイロライト化しているのに対し(図版3F)、葛生コンプレックスではスタイロライト化している例は少ない。

フッ酸処理を行った残渣を観察すると、三疊系チャートでは骨針やナッセラリア目の放散虫、球状放散虫、鉱物片がみられる(図版6B)。ジュラ系チャートでは骨針が少ない。

(5)珪質泥岩

珪質泥岩は、多くの場合、チャートに付随して産する。特に、佐野市の閑馬川上流(第17図)・旗川^{はたがわ}の上流(鎌田, 1997a; Kamata, 2005)・足利市大岩の林道大岩月谷線(第18図)では、チャートから珪質泥岩に移化する様子が観察できる。

弱い成層構造を持ち(図版17A-17C)、単層の層厚は10～15 cmである。級化は認められない。シルトサイズ以下の碎屑粒子と粘土鉱物からなり、放散虫を含む(図版17D, 17E)。放散虫の多くは、その内部が石英で充填されている(図版17E2)。

ジュラ紀放散虫を産する珪質泥岩からフッ酸処理により得られた残渣を観察すると、石英の鉱物片と閉球状ナッセラリア目放散虫が多くみられる(図版6C)。閉球状ナッセラリア目放散虫の内部は充填されており、薄片の鏡下観察と同様の特徴を示す。

東隣の「栃木」地域に分布する葛生コンプレックスの珪質泥岩からは、マンガンノジュール及びマンガンスフェリュールの産出が報告されている(荒川, 1998, 2009; 荒川・相田, 2012)。荒川(1998)によると、マンガンノジュールは紡錘形状や層状の形状で含まれ、黒色～茶褐色を呈する。マンガンスフェリュールは長径0.3～0.7 mmの球状あるいは紡錘状で、白色～茶褐色を呈する(荒川・相田, 2012)。

(6)泥岩及び砂岩泥岩互層

泥岩は珪質泥岩の近傍にもみられる。閑馬川上流(第17図)・旗川上流(鎌田, 1997a; Kamata, 2005)・林道大岩月谷線(第18図)では、チャートから移化した珪質泥岩がさらに泥岩に移化する様子が観察できる。泥岩は灰色あるいは暗灰色を呈し、弱い成層構造を持つ(図版18A, 18B)。単層の層厚は10～15 cmである。単層中に厚さ5 mm程度の葉理がみられる珪質泥岩もある。チャートに比べると節理の発達は弱い。

シルトサイズ以下の碎屑粒子と粘土鉱物からなり、放散虫を含む(図版18C, 18D)。放散虫の量は、珪質泥岩(図版17D, 17E)に比べると少ない。泥岩では、内部が石英ではなく碎屑粒子や粘土鉱物により充填されている放散虫が多い(図版18C2)。一方で、珪質泥岩に含まれる放散虫(図版17E2)と同様に、その内部が石英で充填されている例もある(図版18D2)。

砂岩泥岩互層は泥岩の近傍にみられる。層厚5～10 cm程度の泥岩と砂岩からなり、砂岩と泥岩は等量である(図版19A)。泥岩から砂岩に移化する級化成層がみられることもある(図版19B)。砂岩がレンズ状を呈する破断した砂岩泥岩互層も認められる。

(7)砂岩

砂岩は、主に泥岩の近傍にみられる。厚い砂岩では見

掛け上の層厚は100 mに至る。

色調は灰色・暗灰色・明灰色で、粒度は細粒～中粒である。淘汰は良い。一般的には塊状で成層構造が不明瞭だが、厚さ1 mm程度の泥岩を挟んで、成層構造を呈することもある。成層構造を持つ場合、単層の層厚は10～30 cmであり、単層内には葉理がみられることがある(図版19C)。

砕屑粒子としては石英や岩片が多く、長石・雲母類を含み、基質に乏しい(図版19D, E)。石英は、その多くが単結晶石英であるが、わずかに多結晶石英を含む(図版19D)。砕屑粒子は、一般的に円磨度がやや低く、やや角ばった外形を示す。岩片が多く、特にチャートや火山岩の岩片を多く含む(図版19E, F)。モード組成によると、石英や岩片に富み石質であり(第9図)、基質の少ない石質アレナイトである。

Kamata (2005)は、「栃木」地域の栃木市尻内町に分布する厚い泥岩や砂岩を含むタービダイトシーケンスを記載し、砂岩優勢砂岩泥岩互層中から様々な葉理(平行葉理・斜交葉理・波状葉理・コンポリュート葉理)や生痕化石を報告した。また、同地点の中粒～粗粒砂岩中には偽礫がみられる。

(8) 礫岩

「桐生及足利」地域の葛生コンプレックスでは、礫岩は未確認である。一方、「栃木」地域の葛生コンプレックス分布域においては、藤本(1961)が広戸層(ユニット1の一部に相当)のチャート礫が卓越する角礫岩層を記述している。また、鎌田(1997b)は、ユニット1の分布域においてチャート角礫岩の転石を発見している。藤本(1961)及び鎌田(1997b)の記載によると、これらの角礫岩は、チャート及び珪質泥岩の角礫を含み、基質は隠微晶質石英からなる。また、不透明鉱物・火山岩片・鉄質の鉱物の層状濃集岩片・ドロマイトなどが基質中に散在する。先述の黒保根～桐生コンプレックスで観察されるチャート角礫岩は、チャート角礫と隠微晶質石英の基質からなる(図版3D)。その基質中には火山岩片やドロマイトなどはみられず、葛生コンプレックスのチャート角礫岩とは特徴が異なる。

4.4 行道山コンプレックス(新称)

4.4.1 定義及び名称

足利市の行道山付近から八王子丘陵にかけて分布する泥質混在岩とチャートを主体とする地質体を行道山コンプレックスとして定義・命名する。また、本コンプレックスの泥質混在岩は、珪質泥岩・泥岩・砂岩の岩塊を含むことにより特徴づけられる。地理的名称については行道山に由来する。

行道山コンプレックスの一部は、Aono (1985)と佐藤・青野(1985)のユニットIII及び高柳ほか(2001)のコンプレックスBに対比される。

レックスBに対比される。

4.4.2 模式地

模式地を、栃木県足利市の行道山に設定する。行道山の南には葛生コンプレックスと行道山コンプレックスの境界がみられ(第18図)、ここから北方の行道山山頂にかけて、行道山コンプレックスの典型的な岩相である砂岩やチャートの岩塊を含む泥質混在岩とチャート岩体が露出する。

4.4.3 分布及び層厚

行道山コンプレックスは行道山付近から八王子丘陵の北東部にかけて分布する。行政区分上は、栃木県足利市から群馬県の太田市吉沢町及び桐生市広沢町にあたる。大岩断層を介して葛生コンプレックスに接する。行道山コンプレックスは足尾帯ジュラ紀付加体の中では構造的に最上位に位置する。そのため上限は不明であるが、見かけ上の層厚は1 km以上である。

4.4.4 層序

行道山コンプレックスの全体的な傾向としては、厚いチャート岩体と泥質混在岩が下位層準に卓越し、上位層準では泥岩が卓越する(第16図)。

八王子丘陵の行道山コンプレックスは、古第三系の礫岩や凝灰岩に不整合関係で覆われる(例えば、高橋・柳沢, 2003)。八王子丘陵で見られるジュラ紀付加体を覆う礫岩については、河井・山田(1960)は藪塚凝灰角礫岩・凝灰質岩層の滝之入凝灰角礫岩部層としたが、須藤ほか(1976)及び高橋・柳沢(2003)は古第三系暁新統の金山溶結凝灰岩とみなした。

桐生市広沢町の^{もみやまとうげ}初山峠周辺などの露頭観察に基づくと、行道山コンプレックスのチャートを覆う礫岩は、凝灰岩・チャート・砂岩などの円礫～亜円礫を主体とする金山溶結凝灰岩の基底礫岩である(図版20A, B)。Ito (2019)は不整合直下のチャートから三疊紀放射虫を報告している(図版20A)。また、金山溶結凝灰岩の上位に位置する時代不詳の広沢礫岩(大澤ほか, 2016)が行道山コンプレックスを直接覆う箇所もある(大澤ほか, 2015, 2016)。

4.4.5 岩相

(1) チャート

チャートは行道山コンプレックスでは主に大規模な岩体や泥質混在岩中の岩塊として産出する。特に大規模な岩体は、地質図規模でも側方への連続性が良い。

行道山コンプレックスの分布域での崖や尾根は、主にチャート岩体からなる。行道山付近では広く露出し、大岩山と行道山との間の尾根を形成しているほか、八王子丘陵の唐沢山の山頂にも露出する。

一般に、層厚1～10 cm程度の珪質層と層厚5 mm以下

の泥質薄層との細互層により成層構造をなす(図版21A)。多くが黒色・灰色・暗灰色を呈するが、赤色チャートも存在する。赤色チャートは他の色調のチャートに比べて単層が厚く、最大で30 cm程度の層厚のチャート単層もみられる(図版21B)。チャートは隠微晶質石英を主体とし、わずかに粘土鉱物を含む(図版21C)。放散虫とみられる石英で充填された球状体を含む(図版21D, 21E, 21F)。本コンプレックスからは、ストライプチャートはこれまでのところ未確認である。

残渣を観察すると、ペルム系チャートには骨針やアルバイレラリア目の放散虫、球状放散虫、鉱物片がみられる(図版6D, E)。三疊系チャートでは、ペルム系チャートに比べると骨針が多くみられる(図版6F)。

(2) 珪質泥岩

群馬県太田市吉沢町の林道沿いでは、厚さ数m以上の珪質泥岩が観察される。この珪質泥岩は弱い成層構造を示し、単層の層厚は5～10 cmである(図版22A)。級化は認められない。色調は暗灰色である。シルトサイズ以下の碎屑粒子と粘土鉱物からなり、放散虫を含む(図版22B)。内部が石英で充填されている放散虫が多いが、粘土鉱物で充填されている例もみられる。

珪質泥岩は泥質混在岩の中に岩塊としても含まれる。岩塊の形状は主にレンズ状であるが、厚さ数cmに対して長さは20 cmを超える扁平な薄層状を呈することもある(図版22C)。鏡下観察においてもレンズ状の岩塊が観察され、岩塊中にも放散虫が認められる(図版22D)。

ジュラ紀放散虫を産する珪質泥岩からフッ酸処理により得られた残渣を観察すると、石英の鉱物片と閉球状ナッセラリア目放散虫が多くみられる。多くの閉球状ナッセラリア目放散虫はその内部が充填されている。

(3) 砂岩

砂岩は、泥質混在岩の中の岩塊として産出する(図版23A)。最大で層厚10 m程度であり、地質図に表現できる大きな岩体はみられない。

一般に灰色あるいは明灰色を示す。細粒～中粒で、淘汰は悪い。塊状無構造で成層構造は不明瞭である。節理はみられるが、他のコンプレックスの砂岩に比べると発達していない。

碎屑粒子としては石英や岩片が多く、長石・雲母類を伴い、基質に乏しい(図版23B-D)。石英は、その多くが単結晶石英であるが、わずかに多結晶石英を含む(図版23B)。碎屑粒子は、一般的に円磨度が低く角ばった外形を示す。また、チャートや火山岩の岩片を多く含む(図版23D)。方解石の脈がみられる(図版23B)。モード組成に基づくと、石英と岩片に富む石質であり(第9図)、基質に乏しい石質アレナイトである。

(4) 泥質混在岩及び泥岩

泥質混在岩は、行道山コンプレックスの主要構成岩類として広く分布する。砂岩岩塊のみを含む泥質混在岩と砂岩・チャート・珪質泥岩の岩塊を含む泥質混在岩がみられる。また、露頭規模では明瞭な岩塊を含まない、強い剪断変形を被った泥岩もみられる。

基質となる泥岩は、黒灰色・暗灰色・灰色を呈し、鱗片状劈開が発達する(図版24A)。チャートは暗灰色や灰色を呈し、主にレンズ状の岩塊として含まれる。砂岩は灰色あるいは明灰色の中粒～粗粒砂岩で、レンズ状の岩塊として最も一般的に含まれる(図版24B)。一部では変形をあまり被っておらず、砂岩泥岩互層をなす例もある(図版24C)。砂岩泥岩互層の岩塊は、砂岩と泥岩の層厚が10～30 cm程度の等量互層である。珪質泥岩は暗灰色で露頭規模では最大10 cm程度のレンズ状岩塊として含まれるほか(図版24D)、薄層状に含まれる珪質泥岩もある(図版22C)。

泥質混在岩の基質はシルトサイズの石英や長石などの碎屑粒子と粘土鉱物からなり、剪断変形が観察される。珪質泥岩岩塊中に放散虫が観察できたほか(図版22E)、泥岩基質の中にも放散虫が認められる(図版22F)。

なお増田(1989)は、八王子丘陵の行道山コンプレックス分布域において泥岩中のレンズ状マンガンノジュールの存在を記している。増田(1989)はこのマンガンノジュールの特徴については記述していないが、脇田(1982)が九頭竜最上川流域-郡上八幡西方地域から報告したマンガンノジュールと同質であるとしている。ただし、行道山コンプレックスには厚い泥岩層が乏しいことや増田(1989)の示したルートマップによるチャートとの関係などに基づくと、このマンガンノジュールは珪質泥岩に含まれていた可能性もある。

5. 化石年代

本節では、各コンプレックスの主な産出化石とそれに基づく年代について述べる。詳細についてはIto (2021)及びMuto and Ito (2021)で述べているため、ここでは各コンプレックスの概要の記述を行う。加えて、特にコンプレックスの区分や対比に関わるペルム紀及びジュラ紀の化石産出については、化石名やその年代についてやや詳しく述べる。

5.1 黒保根-桐生コンプレックス

5.1.1 概要

黒保根-桐生コンプレックスからの化石産出は、後述の葛生コンプレックスや行道山コンプレックスに比べると乏しいが、ペルム紀～ジュラ紀の化石が報告されている。特に、他のコンプレックスに比べると珪質粘土岩からのコノドントの産出報告が豊富である。

炭酸塩岩類の岩体から三疊紀コノドントの産出が報告

されている(猪郷, 1985; Koike *et al.*, 1991). 珪質粘土岩からはコノドントが(Sashida *et al.*, 1992; 元木・指田, 2004; Muto and Ito, 2021), チャートからは三畳紀の放散虫及びコノドントならびにジュラ紀放散虫が産出している(Aono, 1985; Kamata, 1996; 高柳ほか, 2001; 元木・指田, 2004; Ito, 2020b, 2021; Ito *et al.*, 2021a; 伊藤・中村, 2021).

5. 1. 2 ペルム紀放散虫及びコノドント

「桐生及足利」地域内では, ペルム系チャートの報告は限定的である. 林ほか(1990)は後期石炭紀とされるコノドント, *Neogondolella cf. clarki* (Koike) を「Omama Town, Atago-jinjya」から報告している. この「Omama Town, Atago-jinjya」はみどり市笠懸町阿左美の愛宕神社であると推定される. 林ほか(1990)が掲示しているコノドントの写真からMuto and Ito (2021)が再検討を行い, *Mesogondolella sp. cf. M. gujioensis* (Igo)に再同定した. *Mesogondolella gujioensis*はペルム系下部シスウラリアン統アーティンスキアン階上部〜クングーリアン階下部から産出する. 愛宕神社の敷地内にはチャートが露出しており, 地質構造などから黒保根-桐生コンプレックスの分布域に当たると推定される. 一方, 「沼田」地域及び「足尾」地域内にあたる桐生市黒保根町周辺では, 林ほか(1990)により複数地点からペルム紀コノドントが報告されている(Muto and Ito, 2021). したがって, 現時点では本コンプレックスにおける石炭系チャートの存在を示す確実な証拠は無い.

5. 1. 3 ジュラ紀放散虫

ジュラ紀の可能性のある放散虫として, 化石写真が掲示されていないものの, Kamata (1996)がチャート1試料から*Acanthocircus sp.*を見出ししている. O'Dogherty *et al.* (2009)によると, 同属は中期ジュラ紀バトニアン期に現れる. 黒保根-桐生コンプレックスのチャートの上限が中部ジュラ系に及ぶ可能性がある.

珪質泥岩からは, Matsuoka and Ito (2019)のJR4 (*Striatojaponocapsa plicarum*帯: 中部ジュラ系バツジョシアン階〜下部バトニアン階)及びJR5 (*Striatojaponocapsa conexa*帯: 中部ジュラ系上部バトニアン階〜カロビアン階)の放散虫が報告されている(Kamata, 1996; Ito *et al.*, 2021a). 泥岩からは, JR4の放散虫が産出している(Kamata, 1996; Ito *et al.*, 2021a).

5. 2 大間々コンプレックス

5. 2. 1 概要

大間々コンプレックスからは, 炭酸塩岩類とチャートからコノドントが豊富に報告されている. また, 炭酸塩岩類からはフズリナをはじめとして様々な化石が産出している. 加えて, 珪質粘土岩からはコノドントが, 珪質

泥岩及び泥岩からは放散虫が報告されている.

炭酸塩岩類からは, フズリナ(林・長谷川, 1981; 大間々町誌編さん室, 1996; 伊藤ほか, 2021b)・腕足類(林・長谷川, 1981; 大間々町誌編さん室, 1996; Tazawa and Takakuwa, 2009; Tazawa *et al.*, 2012)・サンゴ(Fujimoto, 1960; 大間々町誌編さん室, 1996; Igo *et al.*, 2000)・三葉虫(小泉ほか, 1988; 大間々町誌編さん室, 1996)・軟骨魚類(Yabe, 1903; Reif and Goto, 1979; Goto, 1994; 高乗・岡部, 2011; 高乗, 2021)などの様々なペルム紀の化石産出が報告されている. 珪質粘土岩からは前期三畳紀のコノドントが(Kamata and Kajiwara, 1996), チャートからはペルム紀・三畳紀のコノドントならびにペルム紀・三畳紀・ジュラ紀の放散虫が産出している(Kamata, 1996; Ito *et al.*, 2021a; 伊藤ほか, 2021bなど).

5. 2. 2 ペルム紀放散虫及びコノドント

大間々コンプレックス分布域からは, デボン紀や石炭紀の炭酸塩岩類やチャートの存在が記述されてきた. 例えば, Fujimoto (1960)は, 化石の写真を掲示していないが石灰岩より石炭紀サンゴの産出を報告しており, これに基づいて以降も石炭系の存在が記されている(例えば, Igo, 1978). 林ほか(1990)はチャートや石灰岩から産出したコノドントの写真を掲示し, それらを石炭紀の分類群であると同定した. 大間々町誌編さん室(1996)は林ほか(1990)で示されたコノドントと同じ写真を示し, いくつかのコノドントの年代についてはデボン紀?と示した. このうち, コノドントについては, Muto and Ito (2021)により再検討が行われている. それによると, 多くのコノドントが後期三畳紀の種に再同定され, 幾つかはペルム紀の種に類似するという結果となった. したがって, 少なくとも現時点では, 大間々コンプレックスのチャートや炭酸塩岩類からの石炭紀やデボン紀のコノドントの産出を示す確実な根拠はないと考えられる. なお, Fujimoto (1960)が示したサンゴについてはミシシッピアン亜紀後期ビゼーアン期の年代を示す“Kawamo Formation”^{かわも}から産したと記述されており, 現みどり市大間々町川面の高津戸峡周辺が産出地点と判断される. 高津戸峡は大間々コンプレックス上部の泥質混在岩の分布域にあたり(第14図), このサンゴ化石を含む石灰岩は泥質混在岩中の岩塊と思われる. 現時点では詳細は不明であるが, 大間々コンプレックス上部には石炭系炭酸塩岩類が存在する可能性もある.

ペルム系チャートの中で最も古い放散虫記録としては, Kamata (1996)が大間々コンプレックスの基底部分近の玄武岩類の近辺から報告した*Parafollicucullinoides lomentarius* (Ishiga)である. 同種はペルム系下部シスウラリアン統サクマーリアン階の*Parafollicucullinoides lomentarius*帯(Ishiga, 1990)の特徴種である. また, Muto and Ito (2021)は林ほか(1990)の示したコノドント写真を再検討し,

Neogondolella cf. clarki (Koike) を下部ペルム系シスウリアン統上部アーティンスキアン階～下部クングーリアン階から産出する*Mesogondolella gujoensis*に再同定した。

5. 2. 3 ジュラ紀放散虫

ジュラ紀の放散虫として、伊藤ほか(2021b)はチャートから*Archaeodictyomitra* sp. cf. *A. exiguum* Blomeや*Protunuma* sp. cf. *P. fusiformis* Ichikawa and Yaoなどを報告した。*Protunuma fusiformis*は、JR4(中部ジュラ系バジジョシアン階～下部バトニアン階)の特徴種である*Striatojaponocapsa plicarum* (Yao)と共産する。また、*Archaeodictyomitra exiguum*は、中部ジュラ系カロビアン階からの産出が報告されている。このチャートの年代は、この試料の年代は中期ジュラ紀バジジョシアン期～カロビアン期のどこかであると考えられる。

珪質泥岩からは、*Eucyrtidiellum* sp. aff. *E. omanojaponicum* Dumitrica, Goričan and Horiが産出している(伊藤ほか, 2021b)。*Eucyrtidiellum omanojaponicum*は下部ジュラ系プリンスバッキアン階から産出するため(Hori, 1990, 1997)、この珪質泥岩の年代はプリンスバッキアン期を示す可能性がある。また、珪質泥岩からはJR4を特徴づける放散虫が報告されている(Kamata, 1996)。泥岩からも同様にJR4から産する放散虫が得られている(Ito et al., 2021a)。

5. 3 葛生コンプレックス

葛生コンプレックスは、足尾帯ジュラ紀付加体の中では最も多く化石の産出が報告されている。ユニット1やユニット3からは豊富な放散虫やコノドントが産出し、その保存も良好な例が多い。そのため、年代についても詳細に明らかになっている。また、ユニット2の炭酸塩岩類からはコノドントやフズリナなどの豊富な化石産出が報告されている。

5. 3. 1 ユニット1

(1) 概要

珪質粘土岩からは前期三畳紀のコノドント及び放散虫が報告されている(鎌田, 1995b; Kamata, 1999)。チャートからは、三畳紀及びジュラ紀の放散虫が産出している(Kamata, 1996; 荒川, 1997; 鎌田, 1997a)。Ito (2020b)はストライプチャートから三畳紀放散虫を報告している。

(2) ジュラ紀放散虫

最も若いチャートとしては、JR4(中部ジュラ系バジジョシアン階～下部バトニアン階)の特徴種である*Striatojaponocapsa plicarum*などがチャートから報告されている(Kamata, 1996; 鎌田, 1997a)。

珪質泥岩からは、JR4の特徴種である*Striatojaponocapsa plicarum*及びJR5(中部ジュラ系上部バトニアン階～カロビアン階)の特徴種である*Striatojaponocapsa conexa*

(Matsuoka)などが得られている(Kamata, 1996; 荒川, 1997; 鎌田, 1997a)。泥岩からは、上記のJR4及びJR5の特徴種に加え、Matsuoka and Ito (2019)のJR6(*Kilinora spiralis*帯: 中部ジュラ系カロビアン階最上部～上部ジュラ系オックスフォーディアン階)の特徴種である*Kilinora spiralis* (Matsuoka)などが得られている(Kamata, 1996; 荒川, 1997; 鎌田, 1997a)。

5. 3. 2 ユニット2

(1) 概要

ユニット2の炭酸塩岩類からは、腕足類(Hayasaka 1926; 早坂, 1944; Tazawa et al., 2016)・有孔虫(矢部, 1899; 藤本, 1938, 1961; Hanzawa, 1942; 吉田, 1956, 1957; Morikawa and Horiguchi, 1956; Morikawa and Takaoka, 1961; Igo, 1964; 羽鳥, 1965; 斎藤・加藤, 1971; コノドント団体研究グループ, 1972, 1974; 猪郷ほか, 1976; Igo and Igo, 1977; 小林, 1979; Kobayashi, 2006a, b, 2013; Muto et al., 2021)・コノドント(林, 1971; コノドント団体研究グループ, 1972, 1974; 小池ほか, 1974; 猪郷ほか, 1976; Muto et al., 2021)・三葉虫(藤本, 1961; 小泉ほか, 1979)・サンゴ(Yamagiwa and Tsuda, 1980)・脊椎動物(後藤, 1975, 1984; Reif and Goto, 1979; Goto, 1994)など、豊富かつ多様な化石が産出している。

(2) ペルム紀フズリナ及びコノドント

Kobayashi (2006a, b)は、ユニット2の玄武岩類(出流層)に挟在する炭酸塩岩類ならびにこの玄武岩類の上位に累重する炭酸塩岩類(鍋山層)に含まれるフズリナ類を検討し、下位より*Parafusulina nakamigawai*帯・*Parafusulina yabei*帯・*Parafusulina tochiensis*帯からなる生層序を構築した。出流層の下部～中部は*Parafusulina nakamigawai*帯に、出流層の最上部から鍋山層の下部は*Parafusulina yabei*帯に、鍋山層の中部～上部は*Parafusulina tochiensis*帯に対比される。Zhang and Wang (2018)によれば*Parafusulina yabei*帯はペルム系シスウリアン統クングーリアン階の中ごろに対比される。

石灰岩礫岩からは、ペルム紀フズリナならびにペルム紀及び三畳紀のコノドントが産出している(例えば、Morikawa and Takaoka, 1961; コノドント団体研究グループ, 1974; Igo and Igo, 1977)。

(3) ジュラ紀アンモナイト及び放散虫

石灰岩礫岩中に含まれる泥岩の中礫から、前期ジュラ紀トアルシアン期のアンモナイトが発見されている(中島ほか, 2001; 鎌田・溝部, 2001; Kamata et al., 2003)。Kamata et al. (2003)は、このアンモナイトを含む礫岩層の上位と下位の珪質泥岩層から、JR4(中部ジュラ系バジジョシアン階～下部バトニアン階)の放散虫を見つけている。JR4の年代は中期ジュラ紀バジジョシアン期～前

期バトニアン期であり、含アンモナイト礫はそれよりも若い年代である。同様にJR4の年代を示す放散虫が、珪質泥岩(Kamata, 1996; 鎌田, 1997a)及び珪質泥岩に挟まれる二酸化マンガンノジュールから得られている(荒川, 1998)。泥岩からも同じくJR4の年代を示す放散虫の産出が報告されている(Sashida *et al.*, 1982b; 五十川ほか, 1998)。

5.3.3 ユニット3

(1) 概要

吉田(1957)や藤本(1961)はユニット3の分布域にみられる石灰岩からペルム紀フズリナを報告した。

珪質粘土岩からは前期三畳紀のコノドントが報告されている(Muto *et al.*, 2018)。

チャートからは三畳紀～前期ジュラ紀の放散虫の産出が数多く報告されている(猪郷・西村, 1984; Kamata, 1996; 鎌田, 1997a; 五十川ほか, 1998; 大高ほか, 1998; 高柳ほか, 2001; Suzuki *et al.*, 2002; Ito, 2020a, 2021)。また, Iijima *et al.* (1989)はチャートに含まれる珪化木を報告した。

(2) ジュラ紀放散虫

珪質泥岩からは、JR4(中部ジュラ系バジジョシアン階～下部バトニアン階)・JR5(中部ジュラ系上部バトニアン階～カロビアン階)・JR6(中部ジュラ系カロビアン階最上部～上部ジュラ系オックスフォーディアン階)の特徴種が産出している(Kamata, 1996; 鎌田, 1997a)。泥岩からも同様に、JR4・JR5・JR6の特徴種の産出が報告されている(Kamata, 1996; 鎌田, 1997a; 高柳ほか, 2001)。

5.4 行道山コンプレックス

(1) 概要

行道山コンプレックスでは、チャート及び珪質泥岩などから放散虫が得られている。黒保根-桐生コンプレックスや大間々コンプレックスに比べると、概して化石の保存は良好である。

チャートからはペルム紀・三畳紀・ジュラ紀の放散虫が産出している(増田, 1989; 林ほか, 1990; 高柳ほか, 2001; 指田, 2008; Ito, 2019, 2020a, 2021)。

(2) ペルム紀放散虫

ペルム紀で最古の放散虫化石として、*Haplodiacanthus sakmarensis* (Kozur) などを含む群集が見出されている(Ito, 2019, 2020a)。Ito (2020a)の年代位置付けに基づく、この放散虫群集の年代は前期ペルム紀シスウリアン世クングーリアン期であると考えられる。

(3) ジュラ紀放散虫

最も若いチャートとしては、増田(1989)がJR4(中部

ジュラ系バジジョシアン階～下部バトニアン階)の放散虫群集を報告している。珪質泥岩からも、JR4の放散虫群集が見ついている(指田, 2008; Ito, 2019)。また、増田(1989)は泥岩中に挟在するマンガンノジュールから放散虫を報告しており、その群集が上述のチャートから見つかったJR4とみられる群集と類似すると記している。これらに基づくと、行道山コンプレックスでは、チャート・珪質泥岩・泥岩がともにJR4に相当する中期ジュラ紀バジジョシアン期～前期バトニアン期を示す。

6. 地質構造

6.1 コンプレックス間の境界断層

6.1.1 桐生川断層(黒保根-桐生コンプレックスと大間々コンプレックスとの境界断層)

黒保根-桐生コンプレックスと大間々コンプレックスは断層で接する。桐生川に沿って伸びるNE-SW走向のこの断層について、大間々町誌編さん室(1996)は桐生川断層と呼称している。詳細な位置や定義は示されていないが、本論ではこの名称を用いる。

大間々コンプレックスの基底部には厚い玄武岩類がみられ、側方へ追跡可能である。本論では、この玄武岩類の基底部をもって桐生川断層と定義する。「桐生及足利」地域では、桐生川断層は忍山川から(第8図)から高沢川、城山(柄杓山)の北を経て、物見山と吾妻山の間を通る。岩相の分布から推測されるこの断層の走向はN30～60°Eである。傾斜角は、岩相分布からは中角と推測される(第8図など)。

明瞭な境界断層を確認できる地点は限られるが、城山西部で断層が確認できる(図版25A1)。ここでは、著しい剪断変形を被った泥岩と塊状の玄武岩溶岩が接している。前者は黒保根-桐生コンプレックス、後者は大間々コンプレックスである。明瞭な断層ガウジは認められない。断層面の走向傾斜はN76°E78°Nである。断層に沿った泥岩には複合面構造がみられる。R1面やP面との関係から、上盤側が南東方向に衝上する逆断層であると判断される(図版25A2)。

岡村・鎌田(2000)は、大間々コンプレックスと黒保根-桐生コンプレックスのイライト結晶度を比較している。それによると、黒保根-桐生コンプレックスのイライト結晶度は0.19-0.28 ($n=55$, $mean=0.2$, $1\sigma=0.27$)なのに対し、大間々コンプレックスは試料数が限られるものの0.22-0.38 ($n=5$, $mean=0.27$, $1\sigma=0.58$)である。イライト結晶度からみると、大間々コンプレックスに比べて黒保根-桐生コンプレックスのほうが変成度は高いといえる。

6.1.2 閑馬断層(黒保根-桐生コンプレックスと葛生コンプレックスとの境界断層)

黒保根-桐生コンプレックスと葛生コンプレックスの境界断層を閑馬断層と命名する。「桐生及足利」地域では、

閑馬断層は閑馬川上流から(第17図)から藤坂峠の南や粟谷町を経て、小俣町に至る。岩相の分布から推測されるこの断層の走向はN20～50°Eである。傾斜角は、岩相分布からは中角と推測される。

閑馬断層の露頭は佐野市閑馬町の閑馬川上流で観察できる(第17図)。ここでの閑馬断層では、黒保根-桐生コンプレックスの泥質混在岩と葛生コンプレックスの層状チャートが接する(図版25B1)。断層には最大で15 cmほどの厚さのガウジが認められる。ここでの断層の走向傾斜はN70°E 56°Nである。断層ガウジ内には複合面構造がみられ、R1面やP面の関係から上盤側が北北西方向に上がる逆断層であると判断される(図版25B2)。上位の葛生コンプレックスに比べ、下位の黒保根-桐生コンプレックスに小断層や剪断変形が発達している。

岡村・鎌田(2000)によれば、葛生コンプレックスのイライト結晶度は0.22-0.44 ($n=18$, $\text{mean}=0.30$, $1\sigma=0.5$)である。黒保根-桐生コンプレックスのイライト結晶度(0.19-0.28; 岡村・鎌田, 2000)とは閑馬断層を挟んで明瞭な差がみられ、葛生コンプレックスに比べて黒保根-桐生コンプレックスのほうが変成度は高いといえる。岡村・鎌田(2001)は、閑馬断層について、序列外スラスト(Out-of-sequence-thrust)に相当するとしている。

6.1.3 大岩断層(葛生コンプレックスと行道山コンプレックスとの境界断層)

葛生コンプレックスと行道山コンプレックスの境界断層を大岩断層と命名する。足利市大岩町及び月谷町の大岩月谷線の境界部付近(第18図)では、大岩断層を境して、構造的な下位(南東側)では葛生コンプレックスの整然相を示す珪質泥岩や泥岩が分布するのに対し、構造的な上位(北西側)には行道山コンプレックスの混在相を示す泥質混在岩がみられる。広域の岩相分布においても、大岩断層の下位の葛生コンプレックスでは整然相が卓越するのに対し、上位の行道山コンプレックスでは混在相が卓越する。放散虫に基づく年代の観点からも、行道山コンプレックスではペルム系チャートが含まれるのに対して葛生コンプレックスには含まれず、また泥岩の年代も異なる。

境界部周辺のルートマップ(第18図)や広範囲の岩相分布からは、境界断層の姿勢は、境界付近の両コンプレックスの層理面の姿勢と調和的で、両者は大きく斜交しないと推定される。後述の葛生向斜に参加しており、向斜の北西翼側では南東に、南東翼側では北西側に傾斜する。傾斜角は中角が卓越すると推定される。

6.2 褶曲構造

足尾山地の足尾帯ジュラ紀付加体は、複数の向斜と背斜が繰り返す褶曲構造をなす。地質図規模の褶曲については、西側から、黒保根向斜・渡良瀬背斜・梅田向

斜・飛駒背斜・葛生向斜と呼ばれる(例えば、林・長谷川, 1981)。その西方の黒保根町地域には、さらに^{にれさね}楡沢背斜と^{あか}赤面向斜が存在する(林, 1986; 群馬県地質図作成委員会, 1999)。赤面向斜については、大間々町誌編さん室(1996)は利根向斜と呼称している。いずれの褶曲軸も、北東-南西方向の軸跡を持ち、低角で南西にプランジする。本論では、「桐生及足利」地域と「栃木」地域の梅田向斜・飛駒背斜・葛生向斜について詳しく述べる。コンプレックスとこれらの褶曲構造の簡略を第19図に示す。なお、渡良瀬背斜・黒保根向斜・楡沢背斜・赤面向斜については、研究地域外であり、また研究例が乏しいことから本論では取り扱わない。

6.2.1 梅田向斜

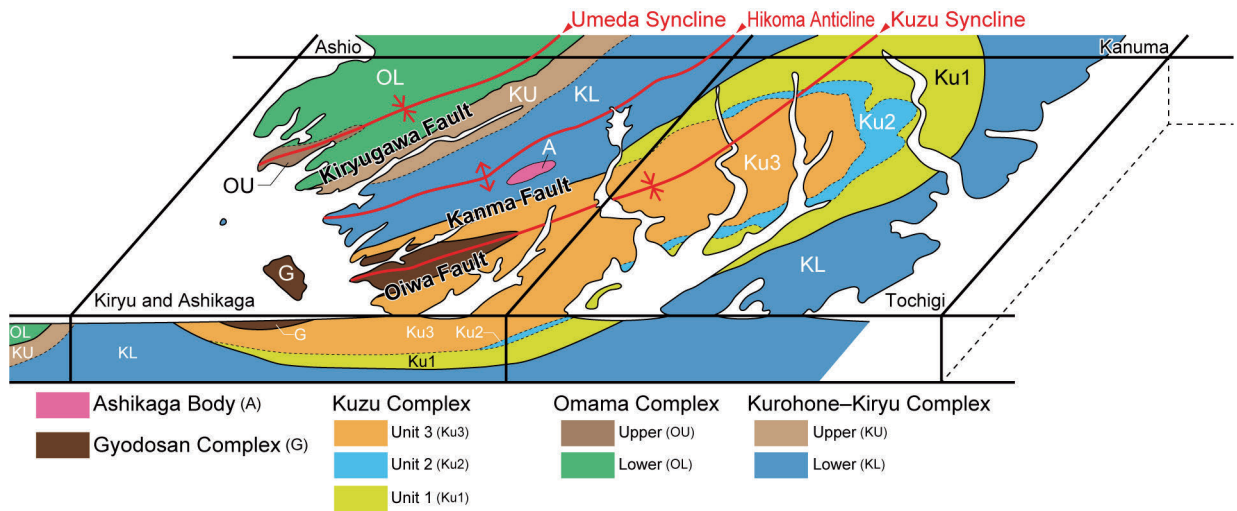
梅田向斜は栃木県と群馬県の県境に位置する根本山周辺から(須藤ほか, 1991)、高津戸峡周辺に至る。林・長谷川(1981)により命名された。軸跡は「桐生及足利」地域では大間々コンプレックスの分布域を通り、北隣の「足尾」地域では黒保根-桐生コンプレックスの分布域も通る。岩相の姿勢や分布から梅田向斜の存在が推定されるほか、大局的に玄武岩類の上位にチャートが位置する(第10, 11図)ことも梅田向斜の存在を支持する。

「桐生及足利」地域内での検討では、両翼での地層層理面の傾斜角はともに70～90°の高角である。両翼側で南東へ傾斜する姿勢の層理面が卓越し(第20図A)、褶曲軸周辺においても褶曲軸の両翼側で傾斜角と傾斜方向に明瞭な違いがみられない(第7図)。これらの姿勢から、この褶曲の翼間角はほぼ0°の等斜褶曲である。またその褶曲軸面は南東に傾斜するため、梅田向斜は等斜転倒褶曲であるといえる。下半球等積投影図にプロットした層理面の姿勢による π ダイアグラム^πの最適大円より推定される梅田向斜の褶曲軸は、トレンドがS50°Wでプランジは4°である(第20図C)。葛生向斜や飛駒背斜に比べるとプランジは低角である。

6.2.2 飛駒背斜

飛駒背斜は栃木県と群馬県の県境に位置する^{おでやま}尾出山と^{たかはらやま}高原山の間から(須藤ほか, 1991)、栃木県飛駒地域西部の多高山付近を通り(第7図)、桐生市菱町に至る。林・長谷川(1981)により命名された。軸跡は黒保根-桐生コンプレックスの分布域を通る。岩相の姿勢や分布から飛駒背斜の存在が推定されるほか、「足尾」地域で見られるチャート-碎屑岩シーケンスの上下方向(例えば、Komuro *et al.*, 2006; 第7, 8図)も飛駒背斜の存在を支持する。

「桐生及足利」地域内では、両翼側ともに60～90°の高角の姿勢の地層が卓越する。翼間角は70°以下であり閉じた褶曲である。第4図の断面線の周辺では、北西翼側の層理面の方がわずかに高角であり、この周辺では褶曲



第19図 足尾山地足南部の足尾帯ジュラ紀付加体の地質構造とその構造関係を示した概略図。注記：黒保根-桐生コンプレックスの分布は林・長谷川(1981)及び須藤ほか(1991)の示した地質図に基づいて推定した。しかし8.1.4節で論じたように、黒保根-桐生コンプレックスの分布については検討の余地がある。

Fig. 19 Simplified scheme showing geologic structure of the Jurassic accretionary complex of the Ashio belt in the southern Ashio Mountains its structural relations. Note: Distribution of the Kurohōne-Kiryū Complex is speculated based on the geologic maps shown by Hayashi and Hasegawa (1981) and Sudo *et al.* (1991); however, it is necessary to further study as discussed in section 8.1.4.

軸面はわずかに南東に傾斜する。また、下半球等積投影図にプロットした層理面の姿勢による π ダイアグラムの最適大円より推定される褶曲軸は、 $S45^{\circ}W$ のトレンドであり 26° でプランジする(第20図B)。

6.2.3 葛生向斜

葛生向斜は、栃木県の三峰山みつみねさんの西から佐野市の中央部を通り(須藤ほか, 1991), 八王子丘陵に至る。藤本(1961)が葛生向斜の名称を用いており、本論でもこれを使用する。軸跡は「桐生及足利」地域では葛生コンプレックスと行道山コンプレックスの分布域を通り、「鹿沼」地域では黒保根-桐生コンプレックスの分布域を通る。葛生向斜の存在は、岩相の姿勢や分布から推定されるほか、葛生コンプレックスでみられるチャート-碎屑岩シーケンスの上下方向(例えば、鎌田, 1997a; Kamata, 2005; 第17, 18図)や葛生コンプレックスの炭酸塩岩類内で構築されたフズリナ生層序による上下方向(例えば、Kobayashi, 2006a)あるいは行道山コンプレックスのペルム系チャート内で放散虫年代による上下方向(Ito, 2020a, 2021)によって支持される。

「桐生及足利」地域では、北西翼側の層理面は $40 \sim 80^{\circ}$ で南東に傾斜する姿勢が卓越するのに対し、南東翼側では $30 \sim 70^{\circ}$ で北西に傾斜する姿勢の層理面が多い。この層理面の違いからは、褶曲軸面がわずかに北西に傾斜する傾斜褶曲であると判断される。また、この傾斜の差から翼間角は 90° 前後であり開いた褶曲である。

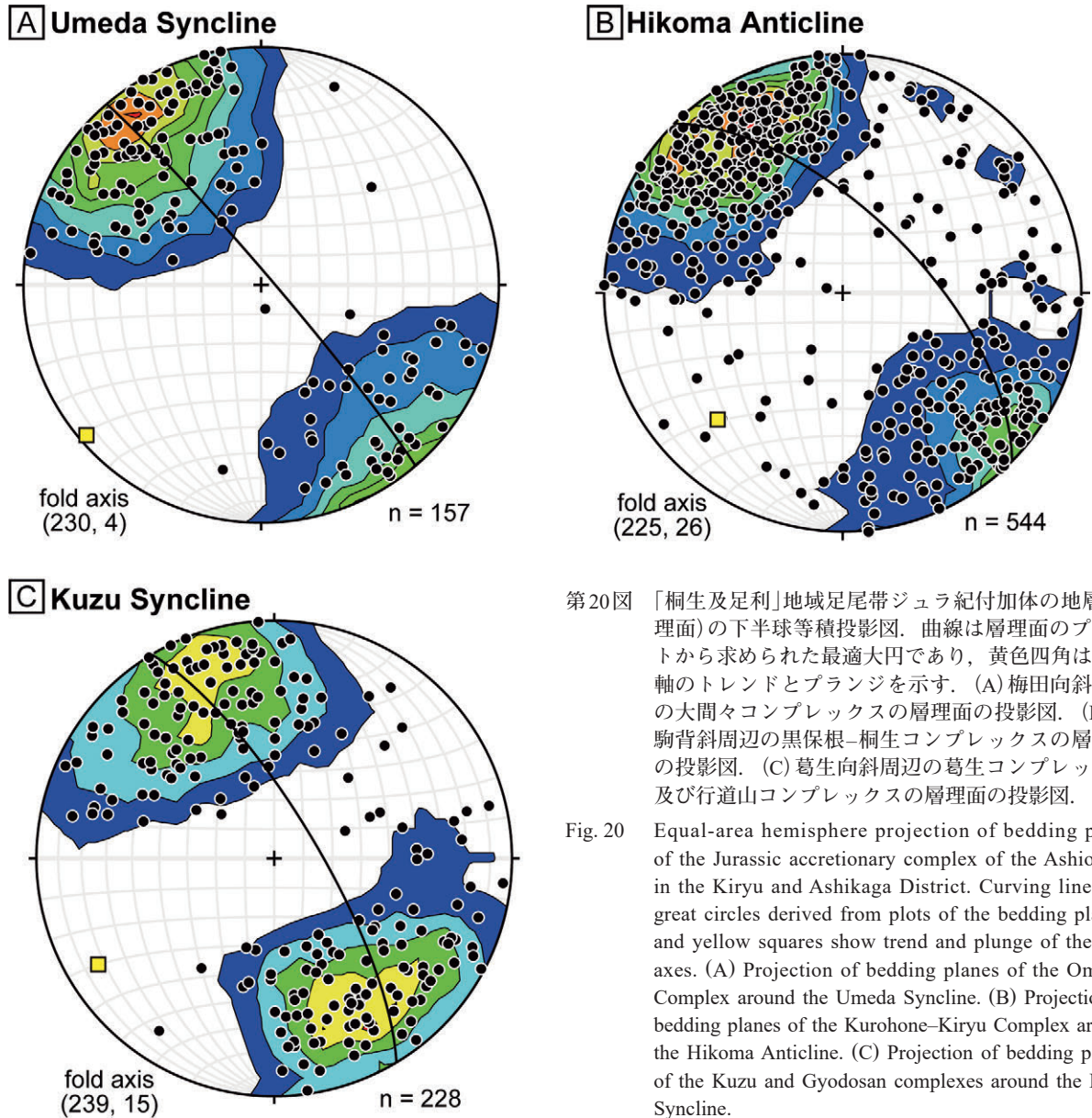
下半球等積投影図に層理面の姿勢をプロットした。 π ダイアグラムの最適大円より推定される褶曲軸は、トレンドが $S59^{\circ}W$ で、プランジは 15° である(第20図C)。「桐生及足利」地域の東隣である「栃木」地域において下半球等積投影図により求められる褶曲軸は、トレンドが $S48^{\circ}W$ でプランジは 45° である(Kamata, 1996; 鎌田, 2000)。これらの先行研究と本論で示した褶曲軸の姿勢からは、葛生向斜の褶曲軸のプランジは北東側ではより高角であり、南西に向かうにつれ低角になるといえる。

なお、大藤ほか(2007)は葛生向斜について、ほぼ鉛直な軸を持つ円錐状褶曲であるため、葛生円錐状褶曲と改称すべきという見解を示している。

6.2.4 小褶曲

上述の大局的な褶曲構造に加え、露頭規模の小褶曲も観察される。小褶曲はチャートに多く発達し、特に黒保根-桐生コンプレックスにおいて顕著である。飛駒背斜周辺では、閉じた褶曲(図版26A)や開いた褶曲(図版26B)がみられる。梅田向斜の軸部周辺にあたる高津戸峡の大間々コンプレックスの泥質混在岩中には、等斜褶曲を呈するチャート岩塊がみられる(図版26C)。

黒保根-桐生コンプレックスの珪質泥岩においてもしばしば褶曲がみられる。飛駒背斜付近の万山に露出する節理が発達する級化型珪質泥岩では、開いた褶曲がみられる(図版26D)。



第20図 「桐生及足利」地域足尾帯ジュラ紀付加体の地層(層理面)の下半球等積投影図。曲線は層理面のプロットから求められた最適大円であり、黄色四角は褶曲軸のトレンドとプランジを示す。(A)梅田向斜周辺の大間々コンプレックスの層理面の投影図。(B)飛駒背斜周辺の黒保根-桐生コンプレックスの層理面の投影図。(C)葛生向斜周辺の葛生コンプレックス及び行道山コンプレックスの層理面の投影図。

Fig. 20 Equal-area hemisphere projection of bedding plane of the Jurassic accretionary complex of the Ashio belt in the Kiryu and Ashikaga District. Curving lines are great circles derived from plots of the bedding planes, and yellow squares show trend and plunge of the fold axes. (A) Projection of bedding planes of the Omama Complex around the Umeda Syncline. (B) Projection of bedding planes of the Kurohone-Kiryu Complex around the Hikoma Anticline. (C) Projection of bedding planes of the Kuzu and Gyodosan complexes around the Kuzu Syncline.

7. 白亜系～古第三紀の珪長質火成岩類の貫入に伴う接触変成作用

足尾山地の北部には白亜系～古第三紀の珪長質火成岩類が広く分布し、足尾帯ジュラ紀付加体に貫入する。矢内(1972, 1973, 2008)は、これらの珪長質火成岩類について、年代と特徴により松木型花崗岩類・^{そりり}沢入型花崗岩類・中禅寺型酸性岩類に区分している。松木型花崗岩類は石英閃緑岩や花崗閃緑岩を、沢入型花崗岩類は花崗閃緑岩を主体とする。中禅寺型酸性火成岩類は、溶結凝灰岩・流紋岩・花崗岩・アダメロ岩などを主体とする。K-Ar年代などに基づく形成年代は、松木型花崗岩類は前期白亜紀の最後期、沢入型花崗岩類は後期白亜紀、中禅寺型酸性岩類は後期白亜紀の最後期から古第三紀始新世で

ある(矢内, 1972)。これらの珪長質火成岩類に接する足尾帯ジュラ紀付加体の岩石は、接触変成作用あるいは破碎を被っている(矢内, 1972)。

「桐生及足利」地域では、足利市名草上町周辺の黒保根-桐生コンプレックス分布域において、沢入型花崗岩類に区分される上部白亜系足利岩体(矢内, 1972)が貫入する。足利岩体は楕円形状に露出し、黒雲母花崗閃緑岩体からなる(伊藤・中村, 2021)。伊藤・中村(2021)によれば、岩体周辺の黒保根-桐生コンプレックスは接触変成作用を被り、岩体の近傍ではチャートは変成チャートに、泥岩は変成泥岩となっている。この変成泥岩には、変成鉱物として黒雲母・ざくろ石・紅柱石などが認められる。変成鉱物の分布からは、変成帯の幅は約500 mと推定される。

「足尾」地域においても、貫入する花崗閃緑岩の近傍で接触変成作用を被ったチャートや泥岩などが記載されている(河田・大澤, 1955). 河田・大澤(1955)によれば、変成帯の幅は約1 kmで最大で2 kmとされ、変成鉱物として堇青石・紅柱石・黒雲母などが認められている。

8. 議論

8.1 足尾山地のジュラ紀付加体の海洋プレート層序の復元

8.1.1 海洋プレート層序の一般的特徴

海嶺で誕生した海洋プレートは、海洋底として遠洋域から半遠洋域まで水平に移動した後、海溝に到達して沈み込む(例えば, Isozaki *et al.*, 1990; Matsuda and Isozaki, 1991). この形成場や堆積場の変遷の過程を反映した海洋プレート上の層序は、海洋プレート層序(OPS: Ocean Plate StratigraphyあるいはOceanic Plate Stratigraphy)と呼ばれる(例えば, Isozaki *et al.*, 1990; Matsuda and Isozaki, 1991; 中江, 2000a; Wakita and Metcalfe, 2005). 陸上の付加体では、OPSの構成岩類が一連あるいは断片的に露出する。これら構成岩類の観察に基づき、一連ないし断片的な情報を統合し、日本の各時代の付加体においてOPSの復元が行われている(例えば, 秋吉帯付加体: Sano and Kanmera, 1988; 秩父帯ジュラ紀付加体: 松岡ほか, 1998; 四万十帯白亜紀-新第三紀付加体: Taira *et al.*, 1988). 丹波帯や美濃帯などのジュラ紀付加体のOPSは、一般的に玄武岩類・炭酸塩岩類・チャート・珪質泥岩・泥岩・砂岩からなる(例えば, 中江, 2000a; Wakita, 2015).

玄武岩類は、海嶺で形成された玄武岩と海洋島として形成された玄武岩に大別され(例えば, 小川・谷口, 1989; Safonova *et al.*, 2015), 前者は中央海嶺玄武岩(MORB: Mid-Ocean Ridge Basalt)と、後者は海洋島玄武岩(OIB: Oceanic Island Basalt)と呼ばれる。MORBはOPSの基底をなし、その年代は海洋地殻の形成時期を示す。丹波帯や美濃帯のジュラ紀付加体では、OPSで最も古い年代を示す石炭系~ペルム系のチャートや炭酸塩岩類の下位に伴って、MORBとみられる玄武岩類が露出する。一方、OIBの年代は海洋プレート上に海洋島が形成された年代を示し、必ずしもOPSの基底ではない。実際に、丹波帯や美濃帯のジュラ紀付加体では、それぞれの地質体内で最も古いチャート(石炭紀~ペルム紀)よりも若い炭酸塩岩類(主に中期ペルム紀~三畳紀)の基底に玄武岩類が伴うことがある。一般的なOPSから判断すれば、これらの玄武岩類はOIBであると考えられる。

遠洋性堆積物としてのチャートは、一般に生物源であり、その年代は海洋プレートが遠洋域に位置していた時期を反映している。丹波帯や美濃帯のジュラ紀付加体のチャートでは、その年代は石炭紀からジュラ紀を示す(例えば, 中江, 2000b). これらのチャートは主に放

散虫からなるが、珪質海綿骨針を多く含む例もある(例えば, 佐野ほか, 1987; 井本・西條, 1993; 桑原・角和, 2004).

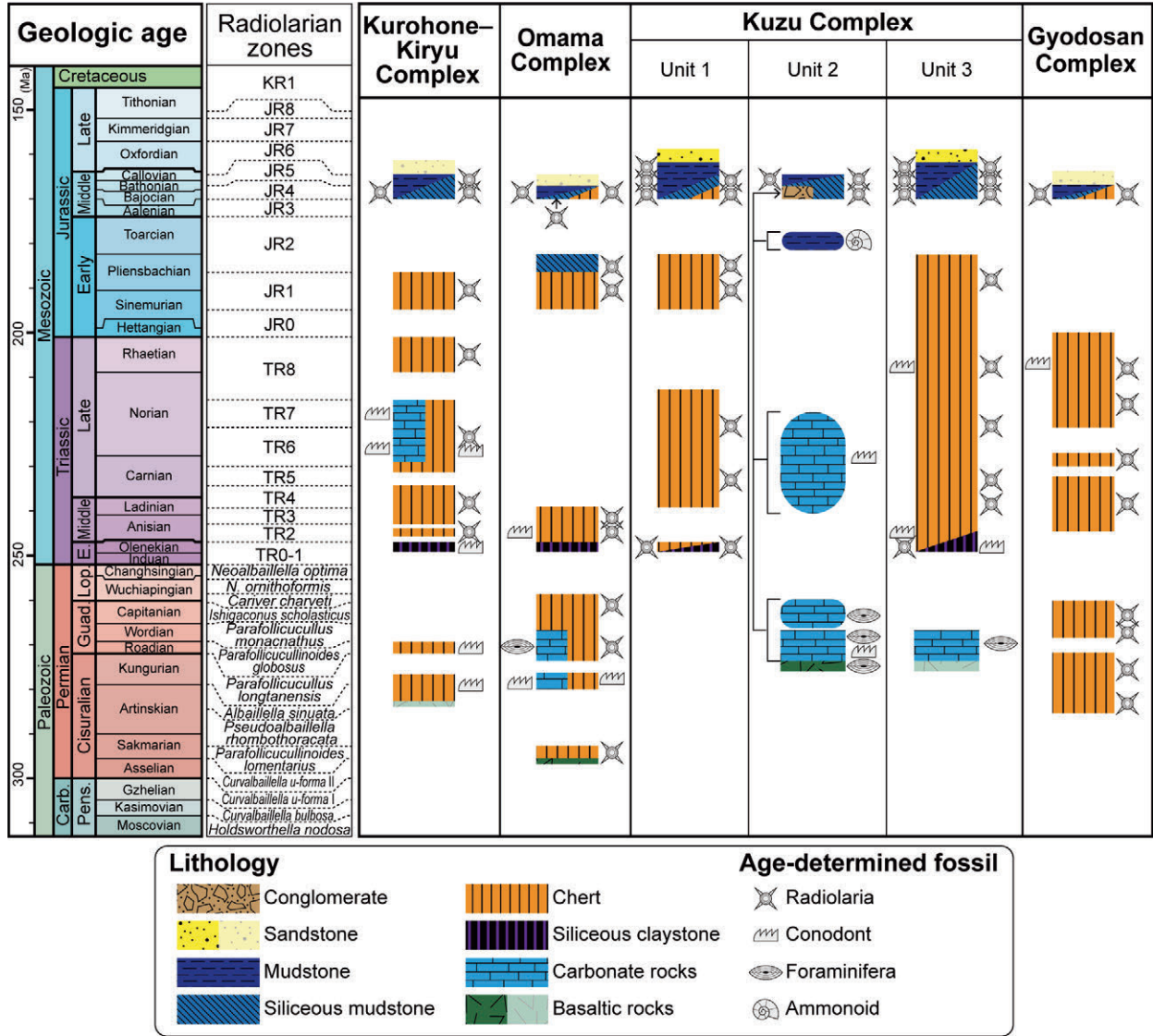
一方、秩父帯も含めたジュラ紀付加体のOPSの特徴として、ペルム紀最後期から前期三畳紀におけるチャートギャップが挙げられる。チャートギャップは、この時期にはチャートの堆積が限定的であることを指しており、その代わりに珪質粘土岩などが特徴的にみられる(例えば, Isozaki, 1997; Muto *et al.*, 2018). このチャートギャップが生じた原因については、ペルム紀-三畳紀境界に起きた絶滅事変により放散虫の生物生産性が減少したことにより求められてきた(例えば, 石賀・山北, 1993). しかし近年、下部~中部三畳系の珪質粘土岩及びチャートの岩相やコノドント年代の詳細な検討が行われており、少なくともチャートギャップ期間の後半においては放散虫の生物生産性は低くなく、陸源性碎屑物の供給量の増加が珪質粘土岩の堆積に大きく寄与した可能性が指摘されている(Muto *et al.*, 2018, 2020; Muto, 2021).

海溝に近い半遠洋域では、陸源性碎屑物の供給量が増加し、珪質泥岩が堆積する。そして海洋プレートが海溝に到達すると、海溝充填堆積物として泥岩や砂岩が堆積する。陸源性碎屑物の増加を反映して層序的には泥岩・砂岩泥岩互層・砂岩の順に重なり、最上部に礫岩が認められる例もある。泥岩の年代は、海洋プレートが海溝へ到達した年代を示すとともに、堆積後すぐに付加したとする仮定の元で付加時期に近似される。丹波帯や美濃帯のジュラ紀付加体でみると、泥岩は三畳系がわずかに知られるが(例えば, 菅森, 2006), ジュラ系を含む地質体が最も多く(中江, 2000b), 最下部白亜系も一部で報告されている(Wakita, 1988a).

8.1.2 各コンプレックスの海洋プレート層序

岩相と化石年代との関係及び層序関係に基づいて、各コンプレックスのOPSを復元する。第21図にOPSの復元図を示す。

黒保根-桐生コンプレックスのOPSは、玄武岩類・炭酸塩岩類・珪質粘土岩・チャート・珪質泥岩・泥岩・砂岩からなる。チャートの年代はペルム紀~ジュラ紀で、珪質粘土岩は前期三畳紀である。炭酸塩岩類からは後期三畳紀の年代が得られている。珪質泥岩及び泥岩からは中期ジュラ紀の年代が得られている。玄武岩類と砂岩については直接的な年代が得られておらず、また周辺の岩相との層序関係も不明であるため、ここでは年代不詳とする。ただし、前述のジュラ紀付加体の一般的なOPSから考えれば、玄武岩類についてはペルム系チャートの基底に伴うMORBと上部三畳系炭酸塩岩類の基底に伴うOIBが想定される。また、砂岩は泥岩と同時期もしくはそれ以降の中期ジュラ紀後期以降が推定される。黒保根-桐生コンプレックスのOPSの特徴としては、以下の



第21図 足尾帯ジュラ紀付加体の各コンプレックスの海洋プレート層序復元図。地質年代はOgg *et al.* (2016)に、放射虫化石帯はIshiga (1986, 1990), Sugiyama (1997), Kuwahara *et al.* (1998), Zhang *et al.* (2014)及びMatsuoka and Ito (2019)に基づく。なお、ペルム紀放射虫化石帯については、Xiao *et al.* (2020, 2021)の分類見直しに伴い名称を変更した。Carb.: Carboniferous; Pans.: Pennsylvanian; E.: Early; Lop.: Lopingian; Quad.: Guadalupian。産出した化石によって年代が限定されている岩相、あるいは層序的上下の地層との関係により推定可能である岩相については、海洋プレート層序上では濃い色で示す。岩相から化石が産出せず且つ層序的上下との地層との関係が不明で年代が推定できない岩相については淡色で示す。角丸四角形の炭酸塩岩類及び泥岩は、葛生コンプレックスのユニット2にみられる礫岩中の礫を示す。

Fig. 21 Reconstruction of ocean plate stratigraphy of the Jurassic accretionary complex of the Ashio belt. Geologic ages are after from Ogg *et al.* (2016). Radiolarian zonation is based on Ishiga (1986, 1990), Sugiyama (1997), Kuwahara *et al.* (1998), Zhang *et al.* (2014) and Matsuoka and Ito (2019). Names of Permian radiolarian zones are changed according to taxonomic reevaluation by Xiao *et al.* (2020, 2021). Carb.: Carboniferous; Pans.: Pennsylvanian; E.: Early; Lop.: Lopingian; Quad.: Guadalupian. Deep-colored lithology indicates that its age is determined by fossil or can be speculated based on stratigraphical relationships with overlying and underlying rocks. Pale-colored lithology indicates that its component rock has never yielded age-determined fossil and its age cannot be speculated by stratigraphical relationships. Carbonate rocks and mudstone of rounded rectangle indicate carbonate clast within conglomerate of Unit 2 of the Kuzu Complex.

点が挙げられる。三畳系炭酸塩岩類を含む点は他のコンプレックスではみられないが、この炭酸塩岩類の分布域は限定的である。また、ペルム系チャートが含まれるが、その量比は少なく年代も限定的である。

大間々コンプレックスは、OPS下位より玄武岩類・チャート・炭酸塩岩類・珪質粘土岩・珪質泥岩・泥岩・砂岩からなる。チャートからはペルム紀～ジュラ紀の年代が得られている。玄武岩類からは直接的な年代は得られていないが、チャートの下位に伴うという層序関係からその年代は前期ペルム紀以前と推定される。炭酸塩岩類の年代は三畳紀である。ただし5.2.2節で記したように、石炭紀サンゴ化石がコンプレックス上部の炭酸塩岩類から報告されており、上部では石炭系炭酸塩岩類を含む可能性もある。地球化学的検討からは、大間々コンプレックスにはMORBとOIBそれぞれに類似する玄武岩類が存在している(伊藤・草野, 2021)。ジュラ紀付加体の一般的なOPSを考えると、大間々コンプレックスにはチャートの基底に伴うペルム系MORBと炭酸塩岩類の基底に伴う三畳系OIBが存在している可能性がある。珪質粘土岩からは前期三畳紀の化石が産出している。珪質泥岩は前期及び中期ジュラ紀が、泥岩からは中期ジュラ紀の化石が得られている。砂岩については化石年代及び周辺の岩相との層序関係が不明でその年代は不詳であるが、ジュラ紀付加体の一般的なOPSによれば泥岩と同時期もしくはそれ以降に堆積したと推定される。大間々コンプレックスの特徴としては、玄武岩類・炭酸塩岩類・チャートなどの海洋プレートを構成する岩体を含む泥質混在岩、いわゆるOPS mélange (Wakita, 2015)がまとまった分布域を示す点が挙げられる。また、ペルム系チャートとペルム系炭酸塩岩類を含むが、前者は一定の規模を持つのに対して後者の分布域は限られる点と、三畳系チャートの分布域や年代幅は、他のコンプレックスに比べると限られる点も特徴である。

葛生コンプレックスのユニット1は、OPS下位より珪質粘土岩・チャート・珪質泥岩・泥岩・砂岩からなる。珪質粘土岩からは前期三畳紀の、チャートからは三畳紀～ジュラ紀の化石が得られている。珪質泥岩及び泥岩の年代は中期～後期ジュラ紀である。砂岩は泥岩と互層するかあるいはその層序的上位に位置するため、その年代は後期ジュラ紀かそれ以降と推定される。

葛生コンプレックスのユニット2は、OPS下位より玄武岩類・炭酸塩岩類・珪質泥岩及び礫岩・泥岩からなる。地球化学的検討からは、炭酸塩岩類の基底に伴う玄武岩類はOIBに類似する(中島ほか, 1992)。また、玄武岩類に挟まれる炭酸塩岩類から前期ペルム紀の化石が得られている。岩体としての炭酸塩岩類からはペルム紀の、炭酸塩岩類の礫からはペルム紀～三畳紀の化石が産出している。また泥岩礫からは前期ジュラ紀の化石が得られている。礫岩層を挟む珪質泥岩からは中期ジュラ紀の年代

を示す化石が得られている。泥岩からも同じく中期ジュラ紀の化石が得られている。

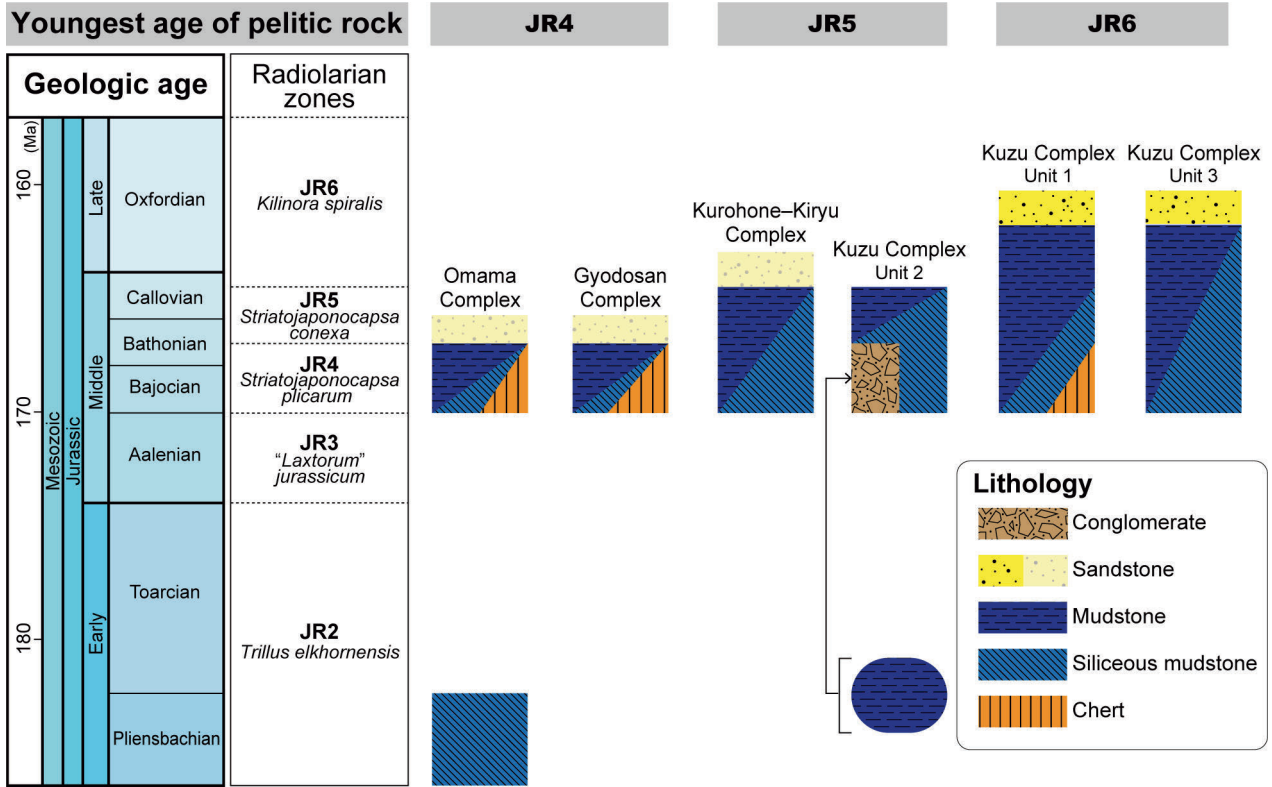
葛生コンプレックスのユニット3は、OPS下位より珪質粘土岩・チャート・珪質泥岩・泥岩・砂岩からなり、玄武岩類と炭酸塩岩類を伴う。珪質粘土岩からは前期三畳紀の、チャートからは三畳紀～ジュラ紀の化石が得られている。珪質泥岩及び泥岩の年代は中期～後期ジュラ紀である。砂岩は泥岩との互層として産するあるいはその層序的上位に位置するため、その年代は後期ジュラ紀あるいはそれ以降と推定される。炭酸塩岩類からはペルム紀フズリナ化石が報告されている(吉田, 1957; 藤本, 1961)。この炭酸塩岩類やそれに伴う玄武岩類については、ユニット3の構成要素と捉えられているが(例えば、吉田, 1957; 鎌田, 1997a)、ユニット2の構成要素が断層による繰り返しなどでユニット3の分布域に断片的に露出しているとする見解もある(例えば、藤本, 1961; 柳本, 1973)。第21図では暫定的にユニット3のOPSの構成要素として示した。

行道山コンプレックスは、OPS下位よりチャート・珪質泥岩・泥岩・砂岩からなる。チャートからはペルム紀～ジュラ紀の化石が報告されている。珪質泥岩及び泥岩からは中期ジュラ紀の年代が得られている。砂岩の年代は不明であり、他の岩石との層序関係も不明である。ペルム系チャートを一定の規模で含む点で、黒保根-桐生コンプレックスや葛生コンプレックスと異なる。大間々コンプレックスとは、ペルム系チャートを含む点では共通するが、玄武岩類・炭酸塩岩類・珪質粘土岩を欠く点で異なる。

8.1.3 OPS最上部(最も若い岩石)の年代

8.1.1節で示したように、泥岩の堆積年代は付加年代に近似される。足尾山地のジュラ紀付加体の各コンプレックスに含まれる泥岩の中で最も若い年代に着目して、付加時期を推定する。それぞれのコンプレックスの付加時期については、これまで報告されている放散虫に基づく以下の通りである。大間々コンプレックス及び行道山コンプレックスから報告されている確実な放散虫の中で最も若い報告としては、JR4(中部ジュラ系バツジョシアン階～下部バトニアン階)の放散虫が泥岩から見つかっている(Kamata, 1996; Ito *et al.*, 2021a; 伊藤ほか, 2021b)。黒保根-桐生コンプレックスと葛生コンプレックスのユニット2では、JR5(上部バトニアン階～カロビアン階)の放散虫が泥岩から得られている(Kamata, 1996; 五十川ほか, 1998)。葛生コンプレックスのユニット1及びユニット3の泥岩からは、JR6(中部ジュラ系カロビアン階最上部～上部ジュラ系オックスフォーディアン階)に至る放散虫が産出している(Kamata, 1996; 鎌田, 1997a)。

上記に基づいて、各コンプレックスのジュラ系を第22



第22図 足尾山地の足尾帯ジュラ紀付加体のジュラ系の放射虫年代。地質年代はOgg *et al.* (2016)に、放射虫化石帯はMatsuoka and Ito (2019)に基づく。角丸四角形の泥岩は、葛生コンプレックスのユニット2にみられる礫岩中の礫を示す。

Fig. 22 Radiolarian ages of the Jurassic accretionary complexes of the Ashio belt in the Ashio Mountains. Geologic ages and its age assignment are after from Ogg *et al.* (2016). Radiolarian zonation is based on Matsuoka and Ito (2019). Mudstone of rounded rectangle indicates clasts within conglomerate of Unit 2 of the Kuzu Complex.

図にまとめた。まず、前期バトニアン期以降に、大間々コンプレックス及び行道山コンプレックスがそれぞれ付加した。その後、後期バトニアン期～カロビアン期以降に葛生コンプレックスのユニット2及び黒保根-桐生コンプレックスがそれぞれ付加した。最後に、後期ジュラ紀の前期オックスフォードイアン期以降に、葛生コンプレックスのユニット1及びユニット3が付加したと考えられる。

8. 1. 4 各コンプレックスの構造累重関係

一般的に付加体においては構造的上位により古いコンプレックスが位置しており、丹波帯や美濃帯のジュラ紀付加体においても泥岩の年代は構造的低位の地質体に向かって若くなる傾向が認められている(例えば、木村, 2000; 中江, 2000b)。また、形成時期の古い地質体では混在相が卓越するとともに玄武岩類や炭酸塩岩類の岩体を多く含み、形成時期が新しい地質体ほど整然相の割合が増えることが指摘されている(例えば、中江, 2000 b)。

足尾山地のジュラ紀付加体では、構造的上位の大間々コンプレックスは黒保根-桐生コンプレックスに比べ、泥岩の年代が古く、混在相の分布域が広く、また玄武岩

類やペルム系チャートの岩体の割合が大きい。行道山コンプレックスと葛生コンプレックスにおいても、構造的上位の行道山コンプレックスは葛生コンプレックスに比べ、泥岩の年代が古く、混在相が卓越し、且つペルム系チャートを多く含む。これらの関係からは、大間々コンプレックスと黒保根-桐生コンプレックスならびに行道山コンプレックスと葛生コンプレックスでは、それぞれジュラ紀付加体の一般的な構造累重関係と同様の傾向を示す。

一方で、葛生コンプレックスと黒保根-桐生コンプレックスとの関係はこれとは異なっており、構造的上位の葛生コンプレックスにおいて整然相が卓越し、また泥岩の年代が若い。これは付加作用だけでは説明できない構造累重関係であり、これらのコンプレックスを境する閑馬断層は付加作用以降に形成された両コンプレックスの再配列などに関わる断層であると推定される。第19図では、足尾山地南部に分布するジュラ紀付加体の構造関係の概略を示している。「桐生及足利」の範囲外の分布については林・長谷川(1981)や須藤ほか(1991)に基づく推定であり、これによれば閑馬断層以東にも黒保根-桐生コンプレックスが広く分布している。しかし上記のよ

第3表 大塚(1999)による丹波帯・美濃帯・足尾帯のジュラ紀付加体の構造層序対比. 注: 大塚(1999)は「コンプレックス」を「ユニット」の包括的な単元として定義し, 黒保根-桐生コンプレックス・大間々コンプレックス・葛生コンプレックスの地質単元「コンプレックス」は「ユニット」に置き換えた.

Table 3 Tectonostratigraphic correlation of the Jurassic accretionary complex of the Tamba, Mino and Ashio belts by Otsuka (1999). Note: Otsuka (1999) defined “complex” as a comprehensive unit of “Unit” and regarded the Kurohone-Kiryu Complex, Omama Complex and Kuzu Complex as the Kurohone-Kiryu Unit, Omama Unit and Kuzu Unit, respectively.

Tamba area		Western Mino area		Eastern Mino area		Ashio area		Keisoku area		Yamizo area	
Nakae (1993)		Wakita (1988b) Suzuki <i>et al.</i> (1999)		Otsuka (1988)		Kamata (1996)		Hori and Sashida (1998)		Nakae and Takizawa (1996)	
Complex	Unit	Complex	Unit	Complex	Unit	Cm.	Unit	Complex	Unit	Cm.	Unit
	Unit A Unit B	Otaki Complex									
		Oshimatadani Complex	Imajo Unit Takakura Unit								
		Samondake Complex	Hisazawa Unit Kawauchidani U.								
	Unit C Unit D	Ibukiyama Complex	Funafuseyama U. Kuze Unit	Hirayu Complex	Shirahone U. Dayoshi Unit		Kuzu Unit? Omama Unit				
			Kanayama Unit								
	Unit E Unit F	Hidagawa Complex	Nabi Unit Kamiaso U.	Azusagawa Complex	Sawando Unit Shimashima U.		Kurohone-Kiryu U. Kuzu Unit?				
Complex G		Misogawa Complex		Misogawa Complex					Ayuta Unit Takatori Unit Kunimiyama U.		SCH Unit SGM Unit
				Yabuhara Complex				Kasama Complex			

うに閑馬断層がコンプレックスの再配列に関わる断層であるとすれば, 閑馬断層以東の葛生コンプレックスの構造的下位の地質体は黒保根-桐生コンプレックスとは異なる可能性もある. 実際いくつかの先行研究では, 閑馬断層の延長とみられる断層が北東に長く伸び, 黒保根-桐生コンプレックス相当層の分布を遮るように描かれている例もある(例えば, Aono, 1985; 中江, 2010). この地質体が広範に露出する「栃木」地域やその北隣の「鹿沼」地域を対象とした広域な検討が必要である.

8.2 美濃帯のジュラ紀付加体との比較

8.2.1 先行研究における対比

1990年代後半から2000年代初頭にかけて, 足尾帯ジュラ紀付加体の対比に関していくつかの見解が示された(例えば, 大塚, 1999; 中江, 2000b; 山北・大藤, 2000). 丹波帯ジュラ紀付加体については, 構成岩類やその年代から一般的にI型とII型に区分されてきた(例えば, 石賀, 1983). II型は構造的上位に位置し, 石炭系~ペルム系のチャートを伴うのに対し, 構造的下位のII型のこれらのチャートは含まれず, 三畳系~下部ジュラ系のチャートを含む.

Kamata (1996) は, 足尾帯ジュラ紀付加体について, Nakae (1993) の示す丹波地域の地質体及びWakita (1988b) の美濃地域の地質体, そしてOtsuka (1988) の木曾地域の地質体と比較している. 黒保根-桐生コンプレックスを美濃地域の那比ユニット及び丹波地域のEコンプレックスに対比している. また, 大間々コンプレ

ックスは丹波地域のDコンプレックス・美濃地域の舟伏山ユニット・木曾地域の白骨コンプレックスと対比されている. 葛生コンプレックスについては, 丹波地域のFコンプレックス・美濃地域の上麻生ユニット・木曾地域の沢渡コンプレックスに対比した.

大塚(1999)は, 岩相組み合わせ・構造・年代などの特徴に基づいてまとめられるものを「ユニット」とし, さらに複数の「ユニット」によって構成される上位の概念として「コンプレックス」を用いた. そして, 丹波地域・美濃地域・足尾地域・鶏足地域・八溝地域の先行研究(Nakae, 1993; Wakita, 1988b; Otsuka, 1988; Kamata, 1996; 中江・滝沢, 1996; 堀・指田, 1998; 鈴木ほか, 1999)に基づき, 地域間での対比を行った(第3表). なお, 大塚(1999)は足尾地域の黒保根-桐生コンプレックス・大間々コンプレックス・葛生コンプレックスの地質単元「コンプレックス」を「ユニット」に置き換えて用いた. 大塚(1999)によると, 大間々ユニットはOtsuka (1988) の平湯コンプレックスの白骨ユニットに, 黒保根-桐生ユニットは梓川コンプレックスの沢渡ユニットに対比される. また, 葛生ユニットは, ?マーク付きで平湯コンプレックスの駄吉ユニットあるいは梓川コンプレックスの島々ユニットに対比されている.

中江(2000b)は, 西南日本のジュラ紀付加体について総括を行い, 各地域の地質体について岩相組み合わせや堆積年代, 地質構造に基づいて構造層序単元を区分した(第4表). また, コンプレックスの類似性に基づいて, 11種類の型(a-ç)に認識した. 足尾山地の地質体につい

第4表 主に中江(2000b)に基づく丹波帯・美濃帯・足尾帯のジュラ紀付加体の構造層序対比。

Table 4 Tectonostratigraphic correlation of the Jurassic accretionary complex of the Tamba, Mino and Ashio belts, mainly based on Nakae (2000b).

Type	Nakae (2000b)						Kamata (1996)	Hara and Kashiwagi (2004); Hara and Sakai (2004)	This study
	Tamba area	Tsuruga-Nanjo area	Mino area	Takayama-Kiso area	Ashio area	Yamizo area	Ashio area	Kuromatagawa area	Ashio area
α1				Misogawa Complex		Takatori Complex / Kasama Complex			
α2	Yuragawa Complex								
α3			Kanayama Complex	(Yabuhara Complex)		(part of the Kasama Complex)			
β1		Imajo Complex	Samondake Complex						
β2			Kamiaso Complex	Sawando Complex	Kuzu Complex		Kuzu Complex		Kuzu Complex
β3	Tsurugaoka Complex	Arihara Complex	Nabi Complex	Shimashima Complex	Kurohone-Kiryu Complex		Kurohone-Kiryu Complex	Kamigongendoyama complex	Kurohone-Kiryu Complex
γ1		(Tone Complex)	Kuze Complex	(Hirayu Complex)					(Gyodosan Complex)
γ2	Haiya Complex	(Suganami Complex)	Funafuseyama Complex	Shirahone Complex			Omama Complex	Kuromatagawa Complex	Omama Complex
δ	Kumogahata Complex	Kasugano Complex	Sakamototoge Complex		Omama Complex				
ε	Shuzan Complex								
ζ	Izuriha Complex							Oshirakawa Complex	

ては、Kamata (1996)の区分を踏襲しつつ、大間々コンプレックスについては丹波地域の雲ヶ畑コンプレックスなどと対比した。原・柏木(2004)は新潟県黒又川周辺に分布する足尾帯ジュラ紀付加体について検討し、中江(2000b)の構造層序区分と対比した(第4表)。原・柏木(2004)は、上権現堂山層群を黒保根-桐生コンプレックスに対比し、黒又川コンプレックスと大白川コンプレックスについては足尾山地の地質体とは対比できないとしている。なお、上権現堂山層群については、原・酒井(2004)により上権現堂山コンプレックスに改称された。

一方、山北・大藤(2000)は、美濃帯のジュラ紀付加体を丹波帯(石賀, 1983; Imoto, 1984; 木村ほか, 1989, 1998; 井本ほか, 1989; 中江, 2000b; 木村, 2000)及び足尾帯(Kamata, 1996; 鎌田, 1997a; 堀・指田, 1998, 1999; 笠井・天野, 1999; 指田・堀, 2000)のジュラ紀付加体と比較した。この対比については、中江(2000b)などとは大きく異なる見解を示している(第5表)。大きな点として、葛生コンプレックス、特にユニット2の扱いが挙げられる。Kamata (1996)の葛生コンプレックスは鎌田(1997a)により3つのユニットに区分されたが、山北・大藤(2000)は、玄武岩類及び炭酸塩岩類からなるユ

ニット2を葛生コンプレックスから分離し、美濃地域の舟伏山層に対比可能とした。また大間々コンプレックスについては、葛生コンプレックスのユニット2とほぼ同じ構造層準にあることや、炭酸塩岩類には乏しいものの玄武岩類及びチャートを含む混在相であるという特徴などから、同じく舟伏山層に対比できるとした。すなわち、葛生コンプレックスのユニット2と大間々コンプレックスは同一であるという見解を示している。また、葛生コンプレックスのユニット1を上麻生層に、ユニット3を今庄層に対比している。黒保根-桐生コンプレックスは金山層に対比されている。なお八溝山地の地質体については、黒保根-桐生コンプレックスと鳥山ユニットとを対比している。

8. 2. 2 黒保根-桐生コンプレックス

黒保根-桐生コンプレックスと類似した地質体としては、美濃地域の那比コンプレックスや高山-木曾地域の島々コンプレックスが挙げられる(Kamata, 1996; 中江, 2000b)。これらの地質体とは、大規模なチャートが卓越するなどの岩体の規模のほか、破断相を含む点でも共通する(第6表)。また、泥岩の年代はともに中期ジュラ紀

第5表 山北・大藤(2000)による丹波帯・美濃帯・足尾帯のジュラ紀付加体の構造層序対比。

Table 5 Tectonostratigraphic correlation of the Jurassic accretionary complex of the Tamba, Mino and Ashio belts by Yamakita and Otoh (2000).

Tamba belt						Mino belt	Ashio belt			
Ishiga (1983) Imoto (1984)	Kimura <i>et al.</i> (1989)	Imoto <i>et al.</i> (1989)	Kimura <i>et al.</i> (1998) Nakae (2000b) Kimura (2000)		Yamakita and Otoh (2000)	Yamakita and Otoh (2000)	Kamata (1996, 1997a)	Hori and Sashida (1998)	Hori and Sashida (1999) Sashida and Hori (2000)	Kasai and Amano (1999)
	North wing of Haccho Anticline	Shuzan Syncline	North wing of Haccho Anticline	Shuzan Syncline Sakurai Syncline			Ashio area		Yamizo area	
	Yamaga Complex Kamanowa Complex	Shuzan Complex	Shuzan Complex Kumogahata Complex	Izuriha Complex Shuzan Complex	Shuzan Formation	Kasugano Formation				
II-type Suite		Kumogahata Complex		Kumogahata Complex	Hirose Formation	Imajo Formation	Unit 3 of Kuzu Complex			
	Wachi Complex		Haiya Complex		Wachi Formation	Funafuseyama Formation	Unit 2 of Kuzu Complex Omama Complex			
		Haiya Complex		Haiya Complex		Hidagawa Group	Unit 1 of Kuzu Complex			
I-Type Suite	I-Type Suite	I-Type Suite	Tsurugaoka Complex		Kuroi Formation	Kanayama Formation Nabi Formation Kamiaso Formation	Kurohone-Kiryu Complex	Karasuyama Unit	Karasuyama Complex	
			Yuragawa Complex					Ayuta Unit	Takatori Unit	Torinokoyama Complex
			Furuya Formation	Hieizan Complex	Furuya Formation	Misogawa Formation		Takatori Unit		
						Yabuhara Formation		Kunimiyama Unit	Kasama Unit	Yamizoyama Complex
								Kasama Unit		

であり、ほぼ一致する。

一方で、那比コンプレックスとは、砂岩の量比に違いがみられる。那比コンプレックスでは砂岩や砂岩優勢の砂岩泥岩互層の量比が多く、地質図上でもこれらが一定の規模で分布する(例えば、Wakita, 1988b; 脇田, 1995)。これに対し、黒保根-桐生コンプレックスにおいては砂岩の量は少なく、地質図上でまとまった分布を示す場所も限られる(第3, 4図)。また、黒保根-桐生コンプレックスでは劈開が発達した剥離性に富む泥岩が特徴的にみられるが、那比コンプレックスの先行研究(例えば、Wakita, 1988b; 脇田, 1995)では同コンプレックスの泥岩についてそのような特徴は少なくとも強調されていない。

島々コンプレックスは断層や剪断などの顕著な変形が発達しており、泥質混在岩が一般的にみられる(大塚, 1985; Otsuka, 1988)。これに対し、黒保根-桐生コンプレックスでは典型的な泥質混在岩が部分的には含まれるものの、破断相の方がより一般的である。また、劈開が発達した剥離性に富む泥岩の存在は少なくとも島々コンプレックスでは強調されていない(大塚, 1985; Otsuka, 1988)。Otsuka (1988)の島々コンプレックスは大塚(1985)のA帯・B帯・C帯を統合した地質体であるが、大塚(1985)の記述によれば著しい変形構造が発達するA帯及びC帯に比べ、B帯では変形構造が発達していない。変形構造などの観点からみれば、黒保根-桐生コン

プレックスの下部は島々コンプレックスのB帯と特に類似するといえる。

8. 2. 3 大間々コンプレックス

大間々コンプレックスと類似した地質体としては、美濃地域の舟伏山コンプレックスや高山-木曾地域の白骨コンプレックスが挙げられる(Kamata, 1996)。玄武岩類や炭酸塩岩類を含むといった構成岩類について、これらのコンプレックスは共通点を持つ(第6表)。また、舟伏山コンプレックスではコンプレックス内の構造的下部に大規模岩体が分布し、構造的上部に泥質混在岩が分布する傾向がある(中江, 2000b)。これは本論における大間々コンプレックスの下部と上部の区分と類似する。なお中江(2000b)は、大間々コンプレックスについては岩体と泥質混在岩の量比が全体としては等量であるとして、丹波地域の雲ヶ畑コンプレックスや美濃地域の坂本峠コンプレックスなどに対比した。しかしながら、大間々コンプレックスでは岩体の量比が泥質混在岩に比べて多いことと、上述のように泥質混在岩と岩体の量比が上部と下部で異なる点から、Kamata (1996)と同様に舟伏山コンプレックスや白骨コンプレックスに対比した。

一方で、舟伏山コンプレックスや白骨コンプレックスでは長径が最大で数kmに及ぶ大規模な炭酸塩岩類岩体が存在するのに対し(例えば、Otsuka, 1988; Wakita, 1988b)、大間々コンプレックスの炭酸塩岩類岩体の規模

第6表 足尾山地の足尾帯ジュラ紀付加体の各コンプレックスに対比する美濃帯のジュラ紀付加体の地質体との類似点や相違点.

Table 6 Similarities and differences between the Jurassic accretionary complex of the Ashio belt in the Ashio Mountains and possibly correlatable geologic units of the Mino belt.

Ashio belt	Similar geologic units of the Tamba and Mino belts		
	Name	Similarities	Differences
Gyodosan Complex	Kuze Complex	1: Dominant of mélangé facies 2: Inclusion of Permian chert	Presence or absence of basaltic rocks and carbonate rocks The Gyodosan Complex lacks blocks of basaltic rocks and carbonate rocks.
Kuzu Complex	Kamiaso Complex Sawando Complex	1: Dominant of coherent facies of chert-clastic sequence 2: Age of mudstone	Size of blocks of basaltic rocks and carbonate rocks Unit 2 of the Kuzu Complex contains large blocks composed of basaltic rocks and carbonate rocks.
Omama Complex	Funafuseyama Complex Shirahone Complex	1: Structural division into lower and upper parts 2: Dominant of mélangé facies in upper part 3: Age and characters of base of chert	Amount of carbonate rocks The Omama Complex includes fewer amount of carbonate rocks.
Kurohone-Kiryu Complex	Nabi Complex	1: Inclusion of broken facies 2: Age of mudstone	Amount of sandstone The Kurohone-Kiryu Complex includes fewer amount of sandstone.
	Shimashima Complex	3: Inclusion of large blocks	Amount of pelitic mixed rock The Kurohone-Kiryu Complex includes fewer amount of pelitic mixed rock.

は小さい(第3, 4図)。「桐生及足利」地域では小平鍾乳洞の地下に伏在する炭酸塩岩類岩体が比較的大きいが、それでも100 m前後であると推定される。

8. 2. 4 葛生コンプレックス

葛生コンプレックスの特徴は、美濃地域の上麻生コンプレックスや高山-木曾地域の沢渡コンプレックスと類似する(Kamata, 1996; 中江, 2000b)。

上麻生コンプレックス及び沢渡コンプレックスはともにチャート-碎屑岩シーケンスが繰り返す整然相によって特徴づけられ(Otsuka, 1988; Wakita, 1988b)、葛生コンプレックスのユニット1及びユニット3の特徴と一致する(第6表)。上麻生コンプレックスの泥岩の年代範囲はJR4 (*Striatojaponocapsa plicarum*帯: 中部ジュラ系バジジョシアン階~下部バトニアン階)からJR6 (*Kilinora spiralis*帯: 中部ジュラ系カロビアン階最上部~上部ジュラ系オックスフォードアン階)を示し、葛生コンプレックスや沢渡コンプレックスの泥岩の年代と一致する。

相違点としては、ユニット2の存在が挙げられる。ユニット2はベルム系の玄武岩類とその上位の大規模な炭酸塩岩類を主体とし、これらを覆う中部ジュラ系の珪質泥岩や炭酸塩岩類礫岩がみられる。上麻生コンプレックスや沢渡コンプレックスには、ユニット2に対比される岩相はみられない。ユニット2の存在は、海洋プレートの位置の違いや付加過程の差を反映した足尾帯の特異性を示している可能性がある。一方山北・大藤(2000)が提案したように、葛生コンプレックスの3つのユニットがそれぞれ異なる地質体に対比される可能性もあり、さらなる検討を要する。

なお、山北・大藤(2000)は葛生コンプレックスのユニッ

ト2と大間々コンプレックスについて、玄武岩類と炭酸塩岩類を含む点などを理由に、両地質体を同一とみなしている。しかし、葛生コンプレックスのユニット2では腕足類などの化石片を含む玄武岩質火山碎屑岩(例えば、中島ほか, 1992; 鎌田, 1997a; 図版15A, 15B)・三畳系炭酸塩岩類を含む礫(例えば、小池ほか, 1974; 鎌田, 1997a)・炭酸塩岩類を覆う中部ジュラ系珪質泥岩(鎌田, 1997a)が存在するが、大間々コンプレックスではこれらの岩相はみられない。加えて玄武岩類の地球化学的特徴として、葛生コンプレックスのユニット2はOIBに類似するのに対し(中島ほか, 1992)、大間々コンプレックスではOIB及びMORBそれぞれの特徴に類似する玄武岩類がみられる(伊藤・草野, 2021)。したがって、少なくともこれまでに判明している岩相と地球化学的特徴からは、葛生コンプレックスのユニット2と大間々コンプレックスは異なる地質体として取り扱うのが妥当であると思われる。

8. 2. 5 行道山コンプレックス

先行研究では行道山コンプレックスに相当する地質体は識別されておらず、そのため葛生コンプレックスとまとめて上麻生コンプレックスや沢渡コンプレックスに対比されていた(Kamata, 1996; 中江, 2000b)。行道山コンプレックスは、チャート及び泥質混在岩を主体とすることにより特徴づけられる。特にその分布域は他のコンプレックスに比べると狭いにもかかわらず、複数の地点でベルム系チャートが発見されている(高柳ほか, 2001; Ito, 2019, 2020a, 2021)。したがって、同コンプレックスのチャートにおけるベルム系は一定の規模を持つと考えられる。また、少なくとも調査した範囲においては、

行道山コンプレックスには玄武岩類や炭酸塩岩類が含まれない。

足尾帯の中では、行道山コンプレックスと大間々コンプレックスにはいくつかの共通点がみられる。これらのコンプレックスはともにペルム系チャートを含み、泥質混在岩が一定の規模でみられる。また、JR4(中部ジュラ系バジジョシアン階～下部バトニアン階)のチャート・珪質泥岩・泥岩を含む点でも共通する(第22図)。一方で、大間々コンプレックス下部で卓越する玄武岩類は行道山コンプレックスではみられない。泥質混在岩が卓越する点では行道山コンプレックスと大間々コンプレックス上部は特に類似するが、大間々コンプレックス上部の泥質混在岩は玄武岩類や炭酸塩岩類の岩塊を多く含むのに対し、行道山コンプレックスではそれらの岩塊は認められない。美濃帯においても、ペルム系チャートを多く含むにもかかわらず玄武岩類や炭酸塩岩類を欠く地質体は珍しい。例えば、すでに述べた舟伏山コンプレックスのチャートからは比較的多くのペルム紀放射散虫が報告されているが(例えば、Sano, 1988)、同コンプレックスは玄武岩類や炭酸塩岩類の大規模な岩体を含む。

行道山コンプレックスは、例えば美濃地域の久瀬コンプレックスのように玄武岩類に比較的乏しいコンプレックスに対比される可能性がある(第6表)。しかしながら、久瀬コンプレックスの場合でも、玄武岩類は少量ながらも含まれており、特にペルム系チャートのごく近く(数10～100 m)に玄武岩類や炭酸塩岩類が分布する(例えば、斎藤, 1989)。行道山コンプレックスは、丹波帯や美濃帯には対比可能な地質体が存在せず、足尾帯固有の地質体である可能性が考えられる。

9. まとめ

足尾山地南西部の「桐生及足利」地域における調査及び周辺地域の先行研究に基づき、同山地に分布するジュラ紀付加体の岩相・層序・化石年代・地質構造を検討した。

- 1) 足尾山地の足尾帯ジュラ紀付加体は、構造的下位より黒保根-桐生コンプレックス・大間々コンプレックス・葛生コンプレックス・行道山コンプレックス(新称)の4つに区分される。これらは、梅田向斜・飛駒背斜・葛生向斜などの複数の褶曲が繰り返す構造をなす。また、これらのコンプレックスの境界は断層であり、黒保根-桐生コンプレックスと大間々コンプレックスとの境界断層を桐生川断層と呼称する。黒保根-桐生コンプレックスと葛生コンプレックスとの境界断層及び葛生コンプレックスと行道山コンプレックスとの境界断層については、それぞれ新たに閑馬断層と大岩断層と命名した。
- 2) 黒保根-桐生コンプレックスは、玄武岩類・炭酸塩岩類・珪質粘土岩・チャート・珪質泥岩・泥岩・砂岩・泥質混在岩からなる。主に破断相から整然相を示し、

劈開の発達した泥岩とチャートを主体として珪質粘土岩を伴うことにより特徴づけられる。黒保根-桐生コンプレックスは、大規模なチャートが卓越する点や破断相を含む点などで、美濃帯の那比コンプレックスや島々コンプレックスに対比可能である。

- 3) 大間々コンプレックスは、玄武岩類・炭酸塩岩類・珪質粘土岩・チャート・珪質泥岩・泥岩・砂岩・泥質混在岩からなり、破断相から混在相を示す。玄武岩類が卓越することにより特徴づけられる。大間々コンプレックスは、玄武岩類や炭酸塩岩類を含むといった点において、美濃地域の舟伏山コンプレックスや高山-木曾地域の白骨コンプレックスに類似する。一方で、これらのコンプレックスに比べて大間々コンプレックスに含まれる炭酸塩岩類の岩体の規模は小さい。
- 4) 葛生コンプレックスは、珪質粘土岩・チャート・珪質泥岩・泥岩・砂岩泥岩互層・砂岩からなるチャート-碎屑岩シーケンスが繰り返す整然相を主体とするユニット1及びユニット3と、玄武岩類・炭酸塩岩類・礫岩・珪質泥岩・泥岩からなるユニット2に区分される。葛生コンプレックスは、チャート-碎屑岩シーケンスの繰り返す整然相を主体とする点で、美濃地域の上麻生コンプレックスや高山-木曾地域の沢渡コンプレックスと類似する。一方で、大規模な玄武岩類-炭酸塩岩類(ユニット2)を含む点は葛生コンプレックスの特異性である。
- 5) 行道山コンプレックスは、チャート・珪質泥岩・泥岩・砂岩・泥質混在岩からなる。泥質混在岩とチャートが卓越し、特に一定の規模のペルム系チャートを含む点が大きな特徴である。行道山コンプレックスは、混在相が卓越する点やペルム系チャートを含む点では、美濃地域の久瀬コンプレックスと共通点がある。しかし、久瀬コンプレックスでみられる玄武岩類や炭酸塩岩類は行道山コンプレックスには含まれない。行道山コンプレックスは、足尾帯固有の地質体である可能性がある。

謝辞 地質調査にあたり、明盛宏産(広沢工場・太田リサイクルセンター)・イズム鉱業(小俣工場)・キンケン石産(小平砕石工場)・貴船工業・吉澤石灰工業(大叶鉦区西山)が所有するそれぞれの採石場や鉦区などにおいて、露頭の観察や岩石試料の採取をさせていただいた。吉澤石灰工業の鉦区での観察に関しては、佐野市葛生化石館の奥村よほ子氏に手配していただいた。足利市松田町の足利常設射撃場(足利アップル射撃場)の場内に立ち入り、露頭の観察や岩石試料の採取をさせていただいた。筑波大学の鎌田祥仁博士には、足尾帯の地質についてご教示いただき、関連する文献についてご紹介いただいた。また、原稿について査読していただき、本稿の内容は大

きく改善された。群馬県立自然史博物館の高桑祐司博士には、ヘリコプリオン類(*Helicoprion bessonowi*)の産出地点についてご教示いただいた。地質情報研究部門の原英俊博士には、本原稿の編集担当として内容について精読いただき、種々の指摘により内容が大きく改善された。同部門の武藤 俊博士には、コノドントの年代的位置付けについてご教示いただいた。大間々コンプレックスの玄武岩類の記載については、活断層・火山研究部門の草野有紀博士にご助力いただいた。地質情報研究部門の高橋雅紀博士には、八王子丘陵に分布する古第三系～新第三系の地質についてご教示いただいた。岩石薄片は、地質情報基盤センター地質試料調製グループの皆様にて作成していただいた。記して感謝申し上げます。なお、第4図及び付図1の基図については、国土地理院長の承認を得て、同院発行の2万5千分の1地形図を使用した(承認番号: R2JHs 66-GISMAP44702号)。地形図は北海道地図株式会社GISMAP50000R+「桐生及足利」による。また、ルートマップ(第7, 8, 12, 13, 14, 17, 18図)の等高線などは国土地理院の地理院地図(<https://maps.gsi.go.jp>)に基づく。

文 献

- Aono, H. (1985) Geologic structure of the Ashio and Yamizo Mountains with special reference to its tectonic evolution. *Science reports of the Institute of Geoscience, University of Tsukuba. Section B, Geological Sciences*, **6**, 21-57.
- 新井房夫(1964) 群馬県の地質と地下資源, 20万分の1地質図説明書。内外地図株式会社, 東京。64p.
- 荒川竜一(1986) 足尾山地南東部の中・古生界(I)。栃木県立博物館紀要, **3**, 1-37.
- 荒川竜一(1996) 足尾帯葛生地域の碎屑岩相の放散虫化石年代(生層序)。日本地質学会第103年学術大会講演要旨, 141.
- 荒川竜一(1997) 足尾帯葛生地域の珪質泥岩から産出したジュラ紀放散虫化石群集(I)。栃木県立博物館紀要, **14**, 1-19.
- 荒川竜一(1998) 足尾帯葛生地域の二酸化マンガンノジュールより算出した中期ジュラ紀放散虫化石群集。栃木県立博物館紀要, **15**, 51-76.
- 荒川竜一(2009) 足尾山地南部から産出するマンガンスフェリュールの放散虫化石年代。日本地質学会関東支部第3回研究発表会, 日本地方地質誌「関東地方」刊行記念シンポジウム, 関東地方の地質—研究の進展と今後の課題—講演資料集, 25-28.
- 荒川竜一・相田吉昭(2012) 足尾帯葛生地域から産出したマンガ小球体包含層の形態分類と放散虫群集。日本地質学会第119年学術大会講演要旨, 123.
- 地学団体研究会(1996) 新版地学事典。平凡社, 1443p.
- コノドント団体研究グループ(1972) 本邦の二畳系と三畳系の境界におけるコノドントについて—あど山層基底部のコノドントフォナーの再検討—。地質学雑誌, **78**, 355-368.
- コノドント団体研究グループ(1974) 本邦の二畳系と三畳系の境界におけるコノドントについて—唐沢地域における鍋山層とアト山層の層序とフォナー—。地球科学, **28**, 86-98.
- 藤本治義(1932) 関東の地質。中興館, 東京。
- 藤本治義(1938) 足尾山地の紡錘蟲石灰岩の研究(豫報)。地質学雑誌, **45**, 379-382.
- Fujimoto, H. (1960) *Carboniferous Systems of Japan*. Geological Survey of Japan, Report Special Number (D), Geological Survey of Japan, 65p.
- 藤本治義(1961) 5万分の1地質図幅「栃木」及び説明書。地質調査所, 62p.
- 藤本治義・畠山久重(1938) 茨城縣鷄足山塊産上部古生代化石(豫報)。地質学雑誌, **45**, 377-379.
- 後藤仁敏(1975) 本邦のペルム系および三畳系からの魚類化石群の発見—栃木県葛生町唐沢より産出したサメ類の皮歯および魚類の歯について—。地球科学, **29**, 72-74.
- 後藤仁敏(1984) 栃木県葛生町の鍋山層(ペルム紀中期)から軟骨魚類ペタロダスの歯化石の発見。地球科学, **38**, 141-142.
- Goto, M. (1994) Palaeozoic and early Mesozoic fish faunas of the Japanese Islands. *The Island Arc*, **3**, 247-254.
- 群馬縣立農業試験場(1952) 群馬県20万分の1地質図説明書。内外地図株式会社, 千葉。
- 群馬県地質図作成委員会(1999) 群馬県10万分の1地質図解説書。内外地図株式会社, 東京。114p.
- 群馬県立自然史博物館(1999) 群馬県天然記念物(地質・鉱物)緊急調査報告書。群馬県教育委員会, 162p.
- 原 英俊・柏木健司(2004) 新潟県黒又川周辺地域に分布する足尾帯ジュラ紀付加コンプレックス。地質学雑誌, **110**, 348-362.
- 原 英俊・酒井 彰(2004) 須原地域の地質, 第5章。足尾帯ジュラ紀付加コンプレックス。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 25-50.
- 原田慎治(1886) 足尾銅山地質略説。地質要報, **1**, 192-197.
- Hanzawa, S. (1942) *Parafusulina yabei* n. sp. from Tomuro, Simotuke Province, Japan. *Japanese Journal of Geology and Geography*, **18**, 127-131.
- 長谷川善和・奥村よほ子・立川裕康(2009) 栃木県葛生地域の石灰岩洞窟堆積物より産出した*Bison*化石。群馬県立自然史博物館研究報告, **13**, 47-52.
- 長谷川善和・岡部 勇・宮崎重雄・高桑祐司・木村敏之

- (2013a) 群馬県桐生市蛇留淵洞から産出したトラとニホンザル化石. 群馬県立自然史博物館研究報告, 17, 55-60.
- 長谷川善和・奥村よほ子・片柳岳巳・北川博通・田中源吾(2013b) 栃木県佐野市出流原片柳石灰採石場産の狼と象化石. 群馬県立自然史博物館研究報告, 17, 61-70.
- 羽鳥晴文(1963) 南部足尾山地の層位について. 地質学雑誌, 56, 340.
- 羽鳥晴文(1965) 足尾山地南東部の層位学的研究. 地質学雑誌, 71, 247-256.
- Hayasaka, I. (1926) On a new Carboniferous brachiopod fauna from the Ashio Mountains, Japan. *Proceedings of the Imperial Academy*, 2, 551-553.
- Hayasaka, I. (1933) On the upper Carboniferous brachiopod fauna from the Nabeyama Region, Totigi Prefecture, Japan. *Memoirs of Faculty of Science and Agriculture, Taihoku Imperial University*, 6, 9-44.
- 早坂一郎(1944) 栃木県鍋山附近腕足類層の時代について. 地質学雑誌, 51, 154-156.
- 林 信悟(1963) 足尾山地より発見したコノドントについて. 地球科学, no. 68, 9-12.
- 林 信悟(1964a) 奥秩父よりコノドントの発見. 地質学雑誌, 70, 184.
- 林 信悟(1964b) 本邦産砥石鳴滝岩よりコノドントの発見. 地質学雑誌, 70, 596.
- 林 信悟(1968a) 栃木県葛生町のあど山層から産出したコノドントについて. 地球科学, 22, 9-12.
- 林 信悟(1968b) 「栃木県葛生町のあど山層から産出したコノドントについて」の追記. 地球科学, 22, 305.
- 林 信悟(1971) 鍋山層から産したコノドントについて. 地球科学, 25, 251-257.
- 林 信悟(1986) 足尾山地. 日本の地質3「関東地方」, 共立出版, 48-54.
- 林 信悟(1997) 第一章 地形・地質, 二 化石, (一)ヘリコプリオン. 黒保根村誌編纂室編, 黒保根村誌1 総論・自然・原始古代・中世・近世編, 朝日印刷工業株式会社, 前橋, 126-128.
- 林 信悟・長谷川美行(1981) 足尾帯の秩父系一大型化石およびコノドントによる年代論(その2) — 中生代構造作用の研究, no. 3, 232-249.
- 林 信悟・飯島静男・石井逸雄・中島照雄・沢口 宏・田中宏之・吉田 尚(1990) 足尾山地南西部の中・古生界. 群馬県立歴史博物館紀要, 11, 1-34.
- Hori, R. (1990) Lower Jurassic radiolarian zones of SW Japan. *Transactions and Proceedings of Palaeontological Society of Japan, New Series*, no. 159, 562-586.
- Hori, R. S. (1997) The Toarcian radiolarian event in bedded cherts from southeastern Japan. *Marine Micropaleontology*, 30, 159-169.
- 堀 常東・指田勝男(1998) 八溝山地鶏足山地の中生界. 地質学雑誌, 107, 493-511.
- 堀 常東・指田勝男(1999) 八溝山地鷺子山塊ジュラ紀堆積岩コンプレックスのユニット区分. 日本地質学会第106年学術大会講演要旨, 89.
- Ichikawa, K. (1990) Pre-Cretaceous Terranes of Japan. In Ichikawa, K., Mizutani, S., Hara, I. and Yao, A. (eds), *Pre-Cretaceous Terranes of Japan*. Publication of IGCP Project No. 224: Pre-Jurassic Evolution of Eastern Asia. IGCP Project 224, Osaka, Japan, 1-12.
- 市川浩一郎・八尾 昭(1979) 日本化石集第55集, 日本の中生代放散虫化石. 築地書館, 24p.
- 伊木常誠(1896) 足尾銅山. 地質学雑誌, 3, 216-219.
- 猪郷久治・西村はるみ(1984) 栃木県安蘇郡葛生町唐沢における後期三疊紀—前期ジュラ紀放散虫化石の層位的分布. 東京学芸大学紀要. 第4部門, 数学・自然科学, 36, 173-193.
- 猪郷久治・青木利枝子・細井さちゑ(1976) 栃木県葛生町東方における二疊系と三疊系の境界について. 東京学芸大学紀要. 第4部門, 数学・自然科学, 28, 226-236.
- Igo, Hy. (1964) Fusulinids from the Nabeyama Formation (Permian), Kuzu, Tochigi Prefecture, Japan. *Memoirs of the Mejiro Gakuen Woman's Junior College*, 1, 1-28.
- Igo, Hy. (1978) 2.1 The Carboniferous in the Kwanto and Ashio Mountains. In Editorial Committee for the Carboniferous Lexicon of Japan, ed., *The Carboniferous Lexicon of Japan*. Geological Survey of Japan, Report, no. 258, 16-17.
- 猪郷久義(1985) 足尾山地秋山川上流深堀付近の三疊紀石灰岩. 総合研究「上越帯・足尾帯」研究報告, no. 2, 99-102.
- Igo, Hy. and Igo, Hh. (1977) Upper Permian fusulinaceans contained in the pebbles of the basal conglomerate of the Adoyama Formation, Kuzu, Tochigi Prefecture Japan. *Transaction and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, no. 106, 89-99.
- 猪郷久義・小池敏夫(1963) 青海石灰岩からコノドントの発見, 69, 519.
- Igo, Hy. and Koike, T. (1964) Carboniferous conodonts from the Omi Limestone, Niigata Prefecture, central Japan (Studies of Asian conodonts, Part I). *Transaction and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, no. 53, 179-193.
- Igo, Hy. and Koike, T. (1965) Carboniferous conodonts from Yobara, Akiyoshi Limestone, Japan (Studies of Asian conodonts, Part II). *Transaction and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, no. 59,

- 83–91.
- Igo, Hy., Koizumi, H. and Kaniwa, T. (2000) A Permian rugosa *Yatsengia kuzuensis*, from north of Kiryu in the Ashio Mountains, Gunma Prefecture, Japan. *Bulletin of the National Science Museum, Series C, Geology & paleontology*, **26**, 79–86.
- Iijima, A., Kakuwa, Y. and Matsuda, H. (1989) Silicified wood from the Adoyama Chert, Kuzuh, central Honshu, and its bearing on comparison and depositional environment of radiolarian bedded chert. In Hein, J. R. and Obradović, J., eds., *Siliceous Deposits of the Tethys and Pacific Regions*. Elsevier, Amsterdam, 151–168.
- Imoto, N. (1984) Late Paleozoic and Mesozoic cherts in the Tamba belt, Southwest Japan (part 1). *Bulletin of Kyoto University of Education, Series B*, **65**, 15–40.
- 井本伸広・西條裕一(1993) 丹波帯におけるペルム紀及び三畳紀チャートの構成要素について. 地質調査所月報, **44**, 547–554.
- 井本伸広・清水大吉郎・武蔵野 実・石田志郎(1989) 京都西北部地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 84p.
- 石賀祐明(1983) “丹波層群”を構成する2組の地層群について—丹波帯西部の例—. 地質学雑誌, **89**, 443–454.
- 石賀祐明・山北 聡(1993) 遠洋性堆積物中のP/T境界研究の紹介. 地質調査所月報, **44**, 419–423.
- Ishiga, H. (1986). Late Carboniferous and Permian radiolarian biostratigraphy of southwest Japan. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, **29**, 89–100.
- Ishiga, H. (1990) Paleozoic radiolarians, in Ichikawa, K., Mizutani, S., Hara, I. and Yao, A. (eds), *Pre-Cretaceous Terranes of Japan*. Publication of IGCP Project No. 224: Pre-Jurassic Evolution of Eastern Asia. IGCP Project 224, Osaka, Japan, 285–295.
- 五十川淳一・相田吉昭・酒井豊三郎(1998) 栃木県葛生町箕輪地区の層状チャートから産出する前期三畳紀放散虫化石. 大阪微化石研究会誌特別号, no. 11, 81–93.
- Isozaki, Y. (1997) Permo–Triassic Boundary Superanoxia and stratified superocean: Records from lost deep sea. *Science*, **276**, 235–238.
- Isozaki, Y., Maruyama, S. and Furuoka, F. (1990) Accreted oceanic materials in Japan. *Tectonophysics*, **181**, 179–205.
- Ito, T. (2019) A report of Permian, Triassic, and Jurassic radiolarian occurrences from the Ashio terrane in the Hachioji Hills, eastern Gunma Prefecture, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **70**, 225–247.
- Ito, T. (2020a) A Cisuralian (early Permian) radiolarian assemblage and a new species of *Latentibifistula* Nazarov and Ormiston from central Japan. *Revue de Micropaléontologie*, **66**, 100406.
- Ito, T. (2020b) Radiolarian age of Triassic striped chert within the Jurassic accretionary complex of the Ashio terrane in the Ashikaga area, Tochigi Prefecture, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **71**, 297–312.
- Ito, T. (2021) Radiolarians from Jurassic accretionary complex of the Ashio belt in the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000), Gunma and Tochigi prefectures, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **72**, 287–324.
- 伊藤 剛・草野有紀(2021) 足尾山地のジュラ紀付加体大間々コンプレックスに含まれる玄武岩類の地球化学的特徴. 地質調査研究報告, **72**, 371–381.
- 伊藤 剛・中村佳博(2021) 栃木県足利市名草に分布する足利岩体の黒雲母花崗閃緑岩及び接触変成岩. 地質調査研究報告, **72**, 383–396.
- Ito, T., Nakamura, K., Hinohara, T. and Kurihara, T. (2021a) Occurrence report of Triassic and Jurassic radiolarians from the Jurassic accretionary complexes of the Ashio belt in eastern Mt. Narukami, Ashio Mountains, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **72**, 345–358.
- 伊藤 剛・鈴木紀毅・指田勝男(2021b) 足尾山地のジュラ紀付加体大間々コンプレックスから産出した放散虫及び有孔虫. 地質調査研究報告, **72**, 359–370.
- Jones, D. L., Howell, D. G., Coney, P. J. and Monger, J. W. H. (1983) Recognition, character, and analysis of tectonostratigraphic terranes in western North America. In Hashimoto, M. and Uyeda, S., eds., *Accretion tectonics in the circum-Pacific regions*. Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, 21–35.
- 貝塚爽平・小池一之・遠藤邦彦・山崎晴雄・鈴木毅彦(2000) 日本の地形4 関東・伊豆小笠原. 東京大学出版会, 東京, 349p.
- Kakuwa, Y. (1991) Lithology and petrography of Triassic–Jurassic bedded cherts of the Ashio, Mino and Tamba belts in Southwest Japan. *Scientific Papers of the College of General Education, University of Tokyo*, **41**, 7–57.
- 鎌田祥仁(1995a) 放散虫化石層序に基づく足尾帯堆積岩コンプレックスの年代と層序. 日本地質学会学術大会講演要旨, 第102年学術大会(広島), 83.
- 鎌田祥仁(1995b) 足尾帯葛生地域の黒色珪質頁岩, 黒色チャートから産出する前期三畳紀放散虫. 化石, **59**, 23–31.
- Kamata, Y. (1996) Tectonostratigraphy of sedimentary complex in the southern part of the Ashio terrane, central Japan. *Science reports of the Institute of Geoscience*,

- University of Tsukuba. Section B, Geological Sciences*, **17**, 71–107.
- 鎌田祥仁(1997a) 足尾帯葛生地域におけるチャート一碎屑岩シーケンスの復元. 地質学雑誌, **103**, 343–356.
- 鎌田祥仁(1997b) 足尾山地葛生地域の砂岩・チャート角礫岩の転石から得られた後期ペルム紀～後期三畳紀の放散虫(予察). 大阪微化石研究会誌特別号, no. 10, 97–107.
- Kamata, Y. (1999) Lower Triassic (Spathian) radiolarians from the Kuzu area (Tochigi Prefecture, central Japan). *Geodiversitas*, **21**, 657–673.
- 鎌田祥仁(2000) 足尾帯白岩地域における葛生コンプレックスのチャート一碎屑岩シーケンスの覆瓦構造. 地質学論集, no. 55, 203–221.
- Kamata, Y. (2005) Overview of Jurassic accretionary complex of the Ashio belt in the Ashio Mountains, central Japan. *Field Trip Guidebook (IGCP516), Tsukuba, Japan*. 1–16.
- 鎌田祥仁(2007) ジュラ紀付加体における地震性断層岩の発見. 日本地質学会第114年学術大会講演要旨, 257.
- Kamata, Y. and Kajiwar, Y. (1996) Sulfur isotopic data from the Permian/Triassic boundary in a chert sequence at Motegi, Gunma Prefecture, in the Ashio terrane, central Japan. In Noda, H. and Sashida, K. eds., *Professor Hisayoshi Igo Commemorative Volume on Geology and Paleontology of Japan and Southeast Asia*, Gakujyutsu Tosho Insatsu Co. Ltd., Tokyo, 19–27.
- 鎌田祥仁・久布白健太郎(2008) 足尾帯南西部黒保根-桐生コンプレックスの変形構造と混在岩. 日本地質学会第115年学術大会講演要旨, 206.
- 鎌田祥仁・溝部真一(2001) 足尾帯葛生コンプレックスにおけるジュラ紀古世アンモナイトとジュラ紀中世放散虫化石の共存とその層序学的意義. 大阪微化石研究会誌特別号, no. 12, 191–201.
- 鎌田祥仁・鈴木孝明(2011) 足尾帯ジュラ紀付加体におけるユニット境界断層の性状と付加過程における役割. 日本地質学会第118年学術大会講演要旨, 494.
- Kamata, Y., Mizobe, S. and Sato, T. (2003) An Early Jurassic ammonite from a limestone conglomerate in the Kuzu Complex of the Ashio belt. *Paleontological Research*, **7**, 185–194.
- Kano, K. (1979) Giant deckenpaket and olistostrome in the eastern Mino District, central Japan. *Journal of the Faculty of Science, the University of Tokyo, Section 2, Geology, Mineralogy, Geography, Geophysics*, **20**, 31–59.
- 狩野謙一(1982) 美濃—領家帯の中生層の重力滑動とそれに伴う地質構造. 静岡大学地球科学研究報告, **7**, 9–33.
- Kanomata, N. (1961) The geology of the Yamizo, Torinoko and Toriashi mountain blocks and their geologic age. *Journal of the College of Arts and Sciences, Chiba University*, **3**, 351–367.
- 笠井勝美・天野一男(1999) 八溝, 鷲子山塊の付加コンプレックスの区分. 日本地質学会第106年学術大会講演要旨, 89.
- 河田喜代助(1950) 足尾山塊西南部の地質構造. 地質学雑誌, **56**, 291.
- Kawada, K. (1953) Geologic studies on the Yamizo, Torinoko and Toriashi Mountains Block and their neighborhood in the northeastern Kwanto District. *Science reports of the Tokyo Bunrika Daigaku, Section C*, **2**, 217–307.
- 河田清雄・大澤 穰(1955) 5万分の1地質図幅「足尾」及び説明書. 地質調査所, 57p.
- 河井興三・山田 博(1960) 群馬県太田・大間々地域の第三系と後期中新世における関東西北部の古地理について. 石油技術協会誌, **25**, 67–75.
- 河野義礼・植田良夫(1964) 本邦火成岩のK-Ar dating (I). 岩鉱, **51**, 127–148.
- 河野義礼・植田良夫(1966) 本邦火成岩のK-Ar dating (IV) 東北日本の花崗岩類. 岩鉱, **56**, 41–55.
- 木村克己(2000) 丹波帯ジュラ紀付加コンプレックスのスラスト系と運動像. 地質学論集, no. 55, 181–202.
- 木村克己・牧本 博・吉岡敏和(1989) 綾部地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 104p.
- 木村克己・吉岡敏和・井本伸広・田中里志・武蔵野 実・高橋裕平(1998) 京都東北部地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 89p.
- 木村敏雄(1962) 葛生地方のチャートの小褶曲構造について. 地質学雑誌, **68**, 399.
- 桐生市教育委員会(2012) 桐生の地誌. 株式会社上昌, 桐生, 137p.
- 小林文夫(1979) 栃木県葛生地域の鍋山石灰岩の岩相と堆積環境について. 地質学雑誌, **85**, 627–642.
- Kobayashi, F. (2006a) Middle Permian foraminifers of the Izuru and Nabeyama formations in the Kuzu area, Tochigi Prefecture, Japan Part 1. Schwagerinid, neoschwagerinid, and verbeekinid fusulinoideans. *Paleontological Research*, **10**, 37–59.
- Kobayashi, F. (2006b) Middle Permian foraminifers of the Izuru and Nabeyama formations in the Kuzu area, central Japan Part 2. Schubertellid and ozawainellid fusulinoideans, and non-fusulinoidean foraminifers. *Paleontological Research*, **10**, 61–77.
- Kobayashi, F. (2013) Morphologic variation of five species of Parafusulina from the Middle Permian Nabeyama Formation in the Kuzu area, Tochigi Prefecture, Japan.

- Humans and Nature*, **24**, 85–122.
- Koike, T., Igo, H., Takizawa, S. and Kinoshita, T. (1971a) Contribution to the geological history of the Japanese Islands by the conodont biostratigraphy part II. *Journal of the Geological Society of Japan*, **77**, 165–168.
- 小池敏夫・木下 勤・猪郷久治・滝沢 茂(1971b) 栃木県葛生付近の栃木層群産コノドントと衝上断層の発見. 地質学雑誌, **77**, 221–222.
- 小池敏夫・猪郷久義・猪郷久治・木下 勤(1974) 栃木県葛生地域の二畳系鍋山層と三畳系アド山層の不整合とその地質学的意義. 地質学雑誌, **80**, 293–306.
- Koike, T., Kodachi, Y., Matsuno, T. and Baba, H. (1991) Triassic conodonts from exotic blocks of limestone in northern Kuzuu, the Ashio Mountains. *Science reports of the Yokohama National University section II*, no. 38, 53–69.
- 小池敏夫・渡辺耕造・猪郷久治(1970) 日本産三畳紀コノドントによる新発見. 地質学雑誌, **76**, 267–269.
- 小泉 斉・吉野俊彦・小島英彦(1979) 栃木県葛生町山菅からペルム紀三葉虫*Pseudophillipsia*の産出. 地球科学, **33**, 353–354.
- 小泉 斉・林 信悟・田中宏之(1988) 足尾山地・桐生川地域からのペルム紀放散虫*Pseudophillipsia* (s.s.)の産出. 群馬県立歴史博物館紀要, **9**, 99–109.
- 小泉一人・中江 訓・石渡 昭(2006) 茨城県大子地域のドレライト・斑れい岩の化学分析値. 地質調査研究報告, **57**, 191–195.
- Kojima, S., Hayasaka, Y., Hiroi, Y., Matsuoka, A., Sano, H., Sugamori, Y., Suzuki, N., Takemura, S., Tsujimori, T. and Uchino, T. (2016a) Pre-Cretaceous accretionary complex. In Moreno, T., Wallis, S. R., Kojima, T. and Gibbons, W., eds., *The Geology of Japan*. The Geological Society of London, London, 61–100.
- Kojima, S., Tsukada, K., Otoh, S., Yamakita, S., Ehiro, M., Dia, C., Kirillova, G. L., Dymovich, V. A. and Eichwald, L. P. (2016b) Geological relationship between Anyui Metamorphic Complex and Samarka terrane, Far East Russia. *Island Arc*, **17**, 502–516.
- Komuro, K., Yoshida, M. and Kajiwara, Y. (2006) Chemistry and sulfur isotopes of the chert–clastic sequence surrounding the Kajika Massive Sulfide Ores at the Ashio Copper Mine, Ashio terrane, central Japan. *Resource Geology*, **56**, 433–445.
- 久保重明(1971) 栃木県葛生町周辺の石灰岩および苦灰岩中の燐の賦存状態. 鉱山地質, **21**, 434–451.
- 桑原希世子・角和善隆(2004) 丹波帯大森セクションにおけるペルム紀層状チャートの放散虫と海綿骨針の量比. 大阪微化石研究会誌特別号, no. 13, 13–20.
- Kuwahara, K., Yao, A. and Yamakita, S. (1998) Reexamination of Upper Permian radiolarian biostratigraphy. *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **52**, 391–404.
- Masuda, F., Katsura, Y., Sato, T., Aono, H., Makino, Y. and Igo, Hy. (1980) Shallow marine deposits of Triassic–Jurassic age in the Yamizo and Ashio Mountains, Northern Kanto, Japan. *Annual Report of Institute of Geosciences, University of Tsukuba*, no. 6, 62–69.
- 増田慎治(1989) 八王子丘陵におけるジュラ紀放散虫化石. 足利工業大学研究集録, no. 15, 207–214.
- Matsuda, T. and Isozaki, Y. (1991) Well-documented travel history of Mesozoic pelagic chert in Japan: from remote ocean to subduction zone. *Tectonics*, **10**, 475–499.
- 松岡 篤(1989) ジュラ紀テレーンをつなぐ鍵—チャート・碎屑岩シーケンス—. 構造地質, **34**, 135–144.
- Matsuoka, A. and Ito, T. (2019) Updated radiolarian zonation for the Jurassic in Japan and the western Pacific. *Science Reports of Niigata University (Geology)*, no. 34, 49–57.
- 松岡 篤・山北 聡・榊原正幸・久田健一郎(1998) 付加体地質の観点に立った秩父累帯のユニット区分と四国西部の地質. 地質学雑誌, **104**, 634–653.
- みどり市(2020) 小平の里鍾乳洞公園. <https://www.city.midori.gunma.jp/www/contents/1000000000997/index.html> (閲覧日: 2020年12月16日)
- 元木葉月・指田勝男(2004) 足尾山地の「砥石」に関する年代学および層序学的検討(予報). 大阪微化石研究会誌特別号, no. 13, 47–57.
- Moore, J. C., Mascle, A., Taylor, E., Andreieff, P., Alvarez., F., Barnes, R., Beck, C., Behrmann, J., Blanc, G., Brown, K., Clark, M., Dolan, J., Fisher, A., Gieskes, J., Hounslow, M., McLellan, P., Moran, K., Ogawa, Y., Sakai, T., Schoonmaker, J., Vrolijk, P., Wilkens, R. and Williams, C. (1988) Tectonics and hydrogeology of the northern Barbados Ridge: results from Ocean Drilling Program Leg 110. *Geological Society of America Bulletin*, **100**, 1578–1593.
- Morikawa, R. and Horiguchi, M. (1956) *Parafusulina nakamigawai* n. sp. from the Adoyama Formation in the Neighborhood of Kuzu City, Tochigi Prefecture. *Saitama University, Science Reports, Section B*, **2**, 261–264.
- Morikawa, R. and Takaoka, Y. (1961) Two new species of the *Parafusulina yabai* type from Tomura, Totigi Prefecture, central Japan. *Transaction and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, no. 41, 33–40.
- Murphy, M. A. and Salvador, A. (1999) International Stratigraphic Guide—An abridged version. *Episodes*, **22**, 255–271.
- Muto, S. (2021) Recurrent deposition of organic-rich sediments in Early Triassic pelagic Panthalassa and its

- relationship with global oceanic anoxia: New data from Kyoto, Southwest Japan. *Global and Planetary Change*, **197**, 103402.
- Muto, S. and Ito, T. (2021) Conodont fossils from the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000), central Japan with emphasis on the reexamination of “Carboniferous” conodonts from the Ashio Belt. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **72**, 325–344.
- Muto, S., Takahashi, S., Yamakita, S., Suzuki, N., Suzuki, N. and Aita, Y. (2018) High sediment input and possible oceanic anoxia in the pelagic Panthalassa during the latest Olenekian and early Anisian: Insights from a new deep-sea section in Ogama, Tochigi, Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **490**, 687–707.
- Muto, S., Takahashi, S., Yamakita, S. and Onoue, T. (2020) Scarcity of chert in upper Lower Triassic Panthalassic deep-sea successions of Japan records elevated clastic inputs rather than depressed biogenic silica burial flux following the end-Permian extinction. *Global and Planetary Change*, **195**, 103330.
- Muto, S., Okumura, Y. and Mizuhara, T. (2021) Late Kungurian conodonts of the pelagic Panthalassa from seamount-capping limestone in Ogama, Kuzuu, Tochigi Prefecture, Japan. *Paleontological Research*, **25**, 105–119.
- Nakae, S. (1993) Jurassic accretionary complex of the Tamba terrane, Southwest Japan, and its formative process. *Journal of Geosciences, Osaka City university*, **36**, 15–70.
- 中江 訓 (2000a) 付加複合体の区分法と付加体地質学における構造層序概念の有効性. 地質学論集, no. 55, 1–15.
- 中江 訓 (2000b) 西南日本内帯ジュラ紀付加複合体の広域対比. 地質学論集, no. 55, 73–98.
- 中江 訓 (2000c) 八溝山地大子地域の足尾テレーンに見られる3種類の中期—後期ジュラ紀泥質岩. 地質調査所月報, **51**, 113–128.
- Nakae, S. (2006) Stratigraphy and structure of the Jurassic accretionary complex in the Daigo district, northern Ibaraki and eastern Tochigi Prefectures, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **57**, 29–50.
- 中江 訓 (2010) 宇都宮地域の地質, 3. 足尾帯ジュラ系. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 10–13.
- 中江 訓・滝沢文教(1996) 八溝山地ジュラ紀堆積岩コンプレックスの層序・地質構造: 「大子」図幅地域. 日本地質学会第103年学術大会講演要旨, 102.
- 中江 訓・佐野弘好・指田勝男・上松佐知子・奥村よほ子(2017) 足尾帯の中部三疊系珪質岩に貫入した堆積同時性玄武岩シル(2): 全岩化学組成から推定される起源. 日本地質学会第124年学術大会講演要旨, 129.
- 中島大輔・溝部真一・鎌田祥仁・佐藤 正(2001) 足尾帯葛生コンプレックスにおけるジュラ紀古世アンモナイト化石とジュラ紀中世放射虫化石の共存: アンモナイト礫の供給源について. 日本地質学会第108年学術大会講演要旨, 219.
- 中島 裕・内田悦生・今井直哉・今井浩人・大野 仁(1992) 栃木県葛生地域の鍋山炭酸塩岩層中に産する含ブルーサイト白色岩とその生成に関与した玄武岩岩脈について. 岩鉱, **87**, 445–459.
- 直良信夫(1952) 栃木県葛生發見洪積世人類の遺骸. 人類学雑誌, **62**, 115–120.
- O'Dogherty, L., Carter, E. S., Dumitrica, P., Goričan, Š., De Wever, P., Bandini, A. N., Baumgartner, P. O. and Matsuoka, A. (2009) Catalogue of Mesozoic radiolarian genera. Part 2: Jurassic–Cretaceous. *Geodiversitas*, **31**, 271–356.
- 小川勇二郎・谷川英嗣(1989b) 微量元素組成と産状からみた本邦の付加体および構造帯中の玄武岩類の起源とエンプレイスメントのプロセス. 地学雑誌, **98**, 118–132.
- Okada, H. (1971) Classification of sandstones: analysis and proposal. *Journal of Geology*, **79**, 509–525.
- 岡村俊明・鎌田祥仁(2000) イライト結晶度からみた足尾帯ジュラ紀付加体の古地温構造. 日本地質学会第107年学術大会講演要旨, 271.
- 岡村俊明・鎌田祥仁(2001) 足尾山地秋山川流域の地質構造とイライト結晶度. 日本地質学会第108年学術大会講演要旨, 106.
- Ogasawara, M., Fukuyama, M., Horie, K., Sumii, T. Takehara, M. and Sudo, M. (2013) SHRIMP U–Pb age of Soriz93 zircon from the Sori Granodiorite, Northeast Japan: a potential reference zircon of Late Cretaceous age. *Island Arc*, **22**, 306–317.
- Ogg, J. G., Ogg, G. M. and Gradstein, F. M. (2016) *A Concise Geologic Time Scale 2016*. Elsevier, Amsterdam, 234p.
- 大間々町誌編さん室(1996) 大間々町誌「基礎資料Ⅷ」大間々町の地形・地質. 大間々町誌刊行委員会, 群馬県大間々町(現 桐生市).
- 大高真由美・相田吉昭・酒井豊三郎(1998) 足尾山地, 葛生町箕輪地区の中部三疊系層状チャート層の放射虫化石層序. 大阪微化石研究会誌特別号, no. 11, 95–113.
- 大澤澄可・矢島祐介・中島啓治・宮崎重雄(2015) 群馬県南東部八王子丘陵で発見された球顆およびそれを含むデイサイト礫について. 群馬県立自然史博物館研究報告, no. 19, 121–130.

- 大澤澄可・矢島祐介・中島啓治・宮崎重雄(2016) 群馬県南東部八王子丘陵において発見された食い違い礫を含む陸成礫岩層について. 群馬県立自然史博物館研究報告, no. 20, 121-128.
- 大藤 茂・村田雅俊・柏木健司・山北 聡(2007) 栃木県鹿沼地域の足尾帯の地質構造—葛生"向斜"の再検討一. 日本地質学会第114年学術大会講演要旨, 269.
- 大塚 勉(1985) 長野県美濃帯北東部の中・古生界. 地質学雑誌, **91**, 583-598.
- Otsuka, T. (1988) Paleozoic-Mesozoic sedimentary complex in the eastern Mino terrane, central Japan and its Jurassic tectonism. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, **31**, 63-122.
- 大塚 勉(1999) 丹波—美濃—足尾—八溝地域のジュラ紀付加体の「コンプレックス」および「ユニット」区分と対比. 日本地質学会第108年学術大会講演要旨, 106.
- 小沢智生・平 朝彦・小林文夫(1985) 西南日本の帯状地質構造はどのようにしてできたか. 科学, **55**, 4-13.
- Reif, W. E. and Goto, M. (1979) Placoid scales from the Permian of Japan. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte*, **4**, 201-207
- Safonova, I., Kojima, S., Nakae, S., Romer, R. L., Seltmann, R., Sano, H. and Onoue, T. (2015) Oceanic island basalts in accretionary complexes of SW Japan: Tectonic and petrogenetic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, **113**, 508-523.
- 斎藤 眞(1989) 美濃帯西部岐阜県谷汲村地域のジュラ紀メラランジュ. 地質学雑誌, **95**, 579-594.
- 斎藤靖二(1972) 層状チャートの堆積組織: 足尾山地の例: 堆積. 日本地質学会第79年学術大会講演要旨, 175.
- SaItO, Y. (1977) Petrogenesis of bedded chert of the Triassic Aoyama Formation. *Bulletin of the National Science Museum, Series. C (Geology)*, **3**, 151-156.
- 斎藤靖二・加藤 昭(1971) 足尾山地葛生長梅木西方の石灰岩レンズから得られた小型有孔虫化石. 地質学雑誌, **77**, 675-676.
- 坂上澄夫・南川純夫・川島幹雄(1969) 北海道渡島半島上磯石灰岩のコノドントとその地質時代の考察. 地質学雑誌, **78**, 415-421.
- 坂田健太郎・中澤 努(2010) 赤城火山起源の後期更新世テフラの記載岩石学的特徴. 地質調査研究報告, **61**, 465-475.
- Sano, H. (1988) Permian oceanic rocks of the Mino terrane, central Japan. Part I, Chert facies. *The Journal of Geological Society of Japan*, **94**, 607-709.
- Sano, H. and Kanmera, K. (1988) Paleogeographic reconstruction of accreted oceanic rocks, Akiyoshi, southwest Japan. *Geology*, **16**, 600-603.
- 佐野弘好・小嶋 智(2000) 丹波—美濃—足尾テレーンの石炭—ジュラ系海洋性岩石. 地質学論集, no. 55, 123-144.
- 佐野弘好・指田勝男・上松佐知子・奥村よほ子(2016) 玄武岩質岩を伴う下部—中部三疊系珪質岩. 日本地質学会第123年学術大会講演要旨, 157.
- 佐野弘好・指田勝男・中江 訓・上松佐知子・奥村よほ子(2017) 足尾帯の中部三疊系珪質岩に貫入した堆積同時性玄武岩シル(1) —産状. 日本地質学会第124年学術大会講演要旨, 128.
- 産総研地質調査総合センター (2018) 20万分の1日本シームレス地質図V2. 産業技術総合研究所地質調査総合センター. <https://gbank.gsj.jp/seamless/v2full/> (2018年1月26日確認)
- 指田勝男(2008) 2.3 足尾山地, 2.3.1 足尾山地の中・古生界, c. 八王子丘陵の足尾帯相当層. 日本地質学会編, 日本地方地質誌3 関東地方, 朝倉書店, 東京, 99-100.
- 指田勝男・堀 常東(2000) 八溝山地の中生界とユニット区分. 地質学論集, no. 55, 99-106.
- 指田勝男・猪郷久治・猪郷久義・滝沢 茂・久田健一郎・柴田知則・塚田邦治・西村はるみ(1982a) 関東地方のジュラ系放射虫について. 大阪微化石研究会誌特別号, no. 5, 51-66.
- Sashida, K., Igo, Hy., Igo, Hh., Takizawa, S. and Hisada, K. (1982b) On the occurrence of Jurassic radiolarians from the Kanto Region and Hida Mountains, central Japan. *Annual Report of Institute of Geosciences, University of Tsukuba*, no. 8, 74-77.
- Sashida, K., Kamata, Y. and Igo, Hy. (1992) "Toishi-type shale" in the Ashio Mountains, central Japan. *Annual Report of Institute of Geosciences, University of Tsukuba*, no. 18, 59-66.
- 佐藤 正(1981) 足尾山地・八溝山地における中生代構造運動の特徴. 中生代構造作用の研究, no. 3, 251-254.
- 佐藤 正・青野宏美(1985) 足尾山地・八溝山地の地質構造. 総合研究「上越帯・足尾帯」研究報告, no. 2, 85-96.
- Shibata, K. and Miller, J. A. (1963) Potassium-Argon age of the Sori Granodiorite, Ashio Mountain Block. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **14**, 102.
- Shikama, T. (1949) The Kuzuu ossuaries: Geological and Palaeontological studies of the limestone fissure deposits, in Kuzuu, Totigi Prefecture. *The Science Reports of the Tohoku University, Second Series, Geology*, **23**, 1-201.
- 清水* (1896) 下野國「フズリナ」化石産地. 地質学雑誌, **3**,

- 194-195. *姓のみの記載であり名は不明.
- Shoji, R. (1967) Occurrence and petrological studies of Paleozoic chert of the western Ashio Mountain, Japan. *Jubilee Publication in the Commemoration of Professor Yasuo Sasa, Dr. Sc. Sixtieth Birthday*. Jubilee Publ. Commem. Prof. Sasa, 60th Birthday, 171-189, Yamafuji Insatsu Publication, Sapporo.
- 庄司力偉(1971) 栃木県葛生地区における地向斜堆積物. 地質学論集, no. 6, 179-180.
- 庄司力偉・久保重明(1970) 栃木県葛生地域に発達する古生層の堆積学的研究. 日本地質学会学術大会講演要旨第77年学術大会(1970静岡), 81.
- Sudo, M., Uto, K., Anno, K., Ishizuka, O. and Uchiyumi, S. (1998) SORI93 biotite: A new mineral standard for K-Ar dating. *Geochemical Journal*, **32**, 49-58.
- 須藤定久・田島順子・木崎善雄(1976) 群馬県太田～大間々地域の第三紀火砕岩類. 地質学論集, no. 13, 241-249.
- 須藤定久・牧本 博・秦 光男・宇野沢 昭・滝沢文教・坂本 亨・駒澤正夫・広島俊男(1991) 20万分の1地質図幅「宇都宮」, 地質調査所.
- 菅森義晃(2006) 京都西山地域の上部ペルム系高槻層, 中部三畳系島本層及び三畳紀堆積岩複合体. 地質学雑誌, **112**, 390-406.
- Sugiyama, K. (1997) Triassic and Lower Jurassic radiolarian biostratigraphy in the siliceous claystone and bedded chert units of the southeastern Mino terrane, central Japan. *Bulletin of the Mizunami Fossil Museum*, **24**, 79-193.
- 鈴木陽雄・佐藤 正(1972) 鶏足山地からジュラ紀菊石の産出. 地質学雑誌, **7**, 213-215.
- 鈴木毅彦(1990) テフロクロノロジーからみた赤城火山最近20万年間の噴火史. 地学雑誌, **99**, 60-75.
- 鈴木毅彦(2000) 2-4 足尾山地と渡良瀬川—典型的な傾動山地. 貝塚爽平・小池一之・遠藤邦彦・山崎晴雄・鈴木毅彦編, 日本の地形4 関東・伊豆小笠原, 東京大学出版会, 東京, 82-87.
- Suzuki, N., Akiba, N. and Kanoh, H. (2002) Late Olenekian radiolarians from bedded chert of Ashio terrane, northeast Japan, and faunal turnovers in western Panthalassa during Early Triassic. *Journal of China University of Geosciences*, **13**, 124-140.
- 鈴木 敏(1898a) 足尾銅山. 地学雑誌, **10**, 183-195.
- 鈴木 敏(1898b) 足尾銅山地質調査報文(前々号ノ續). 日本鑛業會誌, **14**, 318-324.
- 鈴木舜一・加藤健一・奈良坂 孝(1974) 栃木県葛生地区のチャート組織に関する研究. 岩石鉱物鉱床学会誌, **69**, 181-192.
- 鈴木孝明・鎌田祥仁(2009) 足尾帯ジュラ紀付加体におけるユニット境界断層の性状とその地質学的意義. 日本地質学会第116年学術大会講演要旨, 450.
- 鈴木洋平・大塚 勉・八尾 昭(1999) 美濃帯西部の泥岩から産出したトリアス紀新世放散虫化石群集. 地質学雑誌, **105**, 456-459.
- Taira, A., Katto, J., Tashiro, M., Okamura, M. and Kodama, K. (1988) The Shimanto belt in Shikoku, Japan -Evolution of Cretaceous to Miocene accretionary prism-. *Modern Geology*, **12**, 5-46.
- 高木秀雄・小林健太(1996) 断層ガウジとマイロナイトの複合面構造: その比較組織学. 地質学雑誌, **102**, 170-179.
- 高橋雅紀・柳沢幸夫(2003) 群馬県太田地域, 丘陵に分布する海成中新統の層序と年代. 地質学雑誌, **109**, 648-660.
- 高橋雅紀・大友育也・斎藤和男(1991) 群馬県東部金山地域に分布する溶結凝灰岩のK-Ar年代. 地質調査所月報, **42**, 167-173.
- 高橋正樹・関 慎一郎・鈴木洋美・竹本弘幸・長井雅史・金丸龍夫(2012) 赤城火山噴出物の全岩化学組成—分析データ381個の総括—. 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, **47**, 341-400.
- 高桑祐司(2021) 日本における軟骨魚類化石研究—現状と展望—. 化石, **109**, 5-17.
- 高桑祐司・岡部 勇(2011) 群馬県桐生市の足尾帯のペルム系からクテナカントゥス科サメ類の新産出. 群馬県立自然史博物館研究報告, **15**, 153-159.
- 高柳充志・堀 常東・指田勝男(2001) 栃木県足利北部地域における足尾帯堆積岩コンプレックスの構造層序と放散虫化石. 大阪微化石研究会誌特別号, no. 12, 113-127.
- Tanaka, G., Takakuwa, Y. and Ishihara, K. (2010) Three-dimensionally preserved *Triops* sp. (Crustacea, Branchiopoda) from a Miocene volcanoclastic sediment in Ota City, Gunma Prefecture, central Japan. *Bulletin of Gunma Museum of Natural History*, **14**, 95-98
- Tanaka, G., Nomura, S. and Hasegawa, Y. (2012) Miocene ostracods from the Midorimachi Formation, Ota City, Gunma Prefecture, central Japan. *Bulletin of Gunma Museum of Natural History*, **16**, 31-40.
- 田澤純一(2018) 日本の古生代腕足類の古生物地理学的研究とその構造地質学的意義: 総括. 地質学雑誌, **124**, 655-673.
- Tazawa, J. and Takakuwa, Y. (2009) *Eolyttonia* (Lyttonioidea, Branchiopoda) from Kiryu, central Japan. *Bulletin of Gunma Museum of Natural History*, **13**, 29-33.
- Tazawa, J., Hayashi, S., Nakamura, K., Shimizu, M. and Takakuwa, Y. (2012) Early Permian brachiopods from Kiryu, Ashio belt, central Japan. *Bulletin of Gunma*

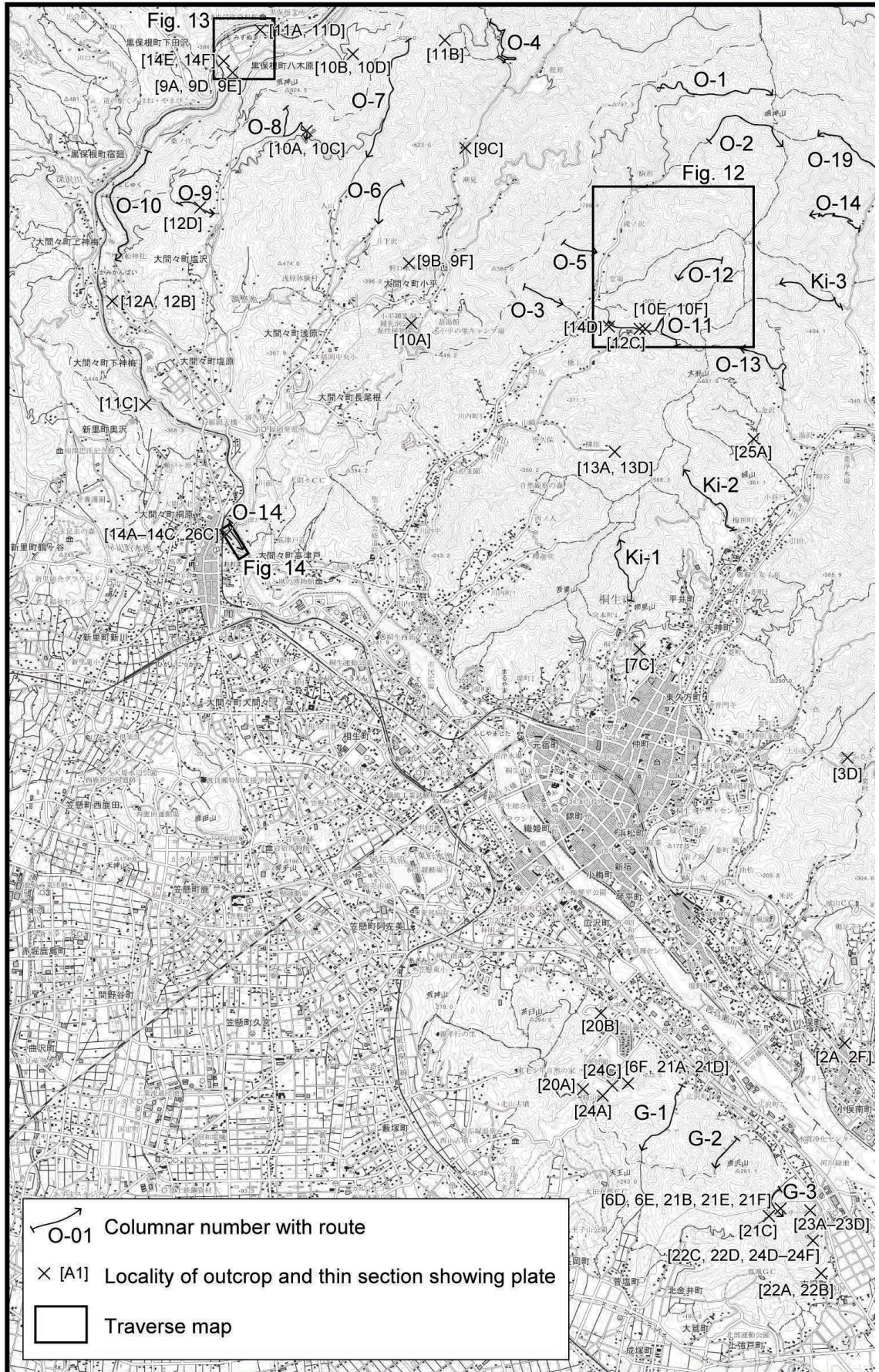
- Museum of Natural History*, **16**, 41–48.
- Tazawa, J., Okumura, Y., Miyake, Y. and Mizuhara, T. (2016) A Kungurian (early Permian) brachiopod Fauna from Ogama, Kuzu area, central Japan, and its palaeobiogeographical affinity with the Wolfcampian–Leonardian (early Permian) brachiopod fauna of West Texas, USA. *Paleontological Research*, **20**, 367–384.
- 栃木縣(1953) 栃木縣地質説明書. 内外地図株式会社, 東京. 52p.
- 栃木県(1963) 栃木縣地質説明書. 内外地図株式会社, 東京. 64p.
- 栃木県(1977) 栃木縣地質説明書. 内外地図株式会社, 東京. 81p.
- Uto, K., Ishizuka, O., Matsumoto, A., Kamioka, H. and Togashi, S. (1997) Laser-heating $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating system of the Geological Survey of Japan: System outlines and preliminary results. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **48**, 23–46.
- 脇田浩二(1982) 九頭竜川最上流地域—郡上八幡西方地域に産するジュラ紀放射虫化石. 大阪微化石研究会誌特別号, no. 5, 153–173.
- Wakita, K. (1988a) Early Cretaceous mélange in the Hida–Kanayama area, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **39**, 367–421.
- Wakita, K. (1988b) Origin of chaotically mixed rock bodies in the Early Jurassic to earliest Cretaceous sedimentary complex of the Mino terrane, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **39**, 675–757.
- 脇田浩二(1995) 美濃地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 36p.
- Wakita, K. (2015) OPS mélange: a new term for mélanges of convergent margins of the world. *International Geology Review*, **57**, 529–539.
- Wakita, K. and Metcalfe, I. (2005) Ocean Plate Stratigraphy in East and Southeast Asia. *Journal of Asian Earth Science*, **24**, 679–702.
- Wallis, S. R., Yamaoka, K., Mori, H., Ishiwatari, A., Miyazaki, K. and Ueda, H. (2020) The basement geology of Japan from A to Z. *Island Arc*, **29**, e12339.
- 渡辺武男・向山 広・兼平慶一郎・浜田隆士(1957) 足尾山地地質説明書. 内外地図株式会社, 千葉. 40p.
- Xiao, Y. F., Suzuki, N., He, W. H., Benton, M. J., Yang, T. L. and Cai, C. Y. (2020) Verifiability principle of genus-level classification under quantification and parsimony theories: a case study of follicucullid radiolarians. *Paleobiology*, **46**, 337–355.
- Xiao, Y. F., Suzuki, N., Ito, T. and He, W. H. (2021) New Permian radiolarians from east Asia and the quantitative reconstruction of their evolutionary and ecological significances. *Scientific Reports*, **11**, 6831.
- 矢部長克(1899) 戸室のフズリナに付て. 地質学雑誌, **6**, 189–194.
- Yabe, H. (1903) A fusulina-limestone with *Helicoprion* in Japan. *Journal of the Geological Society of Japan*, **10**, 1–13.
- 山北 聡・大藤 茂(2000) 丹波—美濃—足尾帯付加堆積岩コンプレックスの構造層序区分と北部秩父帯・南部秩父帯との比較. 構造地質, **44**, 5–32.
- Yamagiwa, N. and Tsuda, H. (1980) A new coral species from a pebble in the basal limestone conglomerate of the Triassic Adoyama Formation at Karasawa in the Kuzu area, Tochigi Prefecture, Japan. *Bulletin of the National Science Museum, Series C, Geology and Paleontology*, **6**, 251–257.
- 山元孝広(2016) 赤城火山軽石噴火期のマグマ噴出率と組成の変化. 地質学雑誌, **122**, 109–126.
- 山元孝広・滝沢文教・高橋 浩・久保和也・駒澤正夫・広島俊男・須藤定久(2000) 20万分の1地質図幅「日光」, 地質調査所.
- 柳本 裕(1973) 栃木県葛生地域の中・古生層の層序と地質構造の再検討. 地質学雑誌, **79**, 441–451.
- 矢内桂三(1972) 足尾山地北部の後期中生代酸性火成岩類 その1 地質. 岩石鉱物鉱床学会誌, **67**, 193–202.
- 矢内桂三(1973) 足尾山地北部の後期中生代酸性火成岩類 その2 岩石並びに造岩鉱物の記載とその考察. 岩石鉱物鉱床学会誌, **68**, 6–29.
- 矢内桂三(2008) 2.3 足尾山地, 2.3.2 日光周辺の珪長質火成岩類. 日本地質学会編, 日本地方地質誌3 関東地方, 朝倉書店, 東京, 101–104.
- 吉田三郎(1950) 栃木縣安蘇郡葛生町附近の石灰岩に就いて. 地質学雑誌, **56**, 291.
- 吉田三郎(1956) 栃木縣安蘇郡葛生町附近の地質(1). 北海道地質要報, **32**, 1–10.
- 吉田三郎(1957) 栃木縣安蘇郡葛生町附近の地質(2). 北海道地質要報, **34**, 1–5.
- 吉川敏之・高橋雅紀・岡田利典(2001) 足尾山地東縁部に分布する中新世火山岩のK–Ar年代. 地質学雑誌, **107**, 41–45.
- 吉川敏之・山元孝広・中江 訓(2010) 「宇都宮」地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 79p.
- Zhang, L., Ito, T., Feng, Q. L., Caridroit, M. and Danelian, T. (2014) Phylogenetic model of *Follicucullus* lineages (Albaillellaria, Radiolaria) based on high-resolution biostratigraphy of the Permian Bancheng Formation, Guangxi, South China. *Journal of Micropaleontology*, **33**, 179–192.
- Zhang, Y. C. and Wang, Y. (2018) Permian fusuline

足尾山地のジュラ紀付加体の地質と対比（伊藤）

biostratigraphy. In Lucas, S. G. and Shen, S. Z., eds.,
The Permian Time Scale, Geological Society, London,
Special Publication, **450**, 253–288.

（ 受 付：2020年7月28日； 受 理：2021年7月9日 ）

付録
Appendix



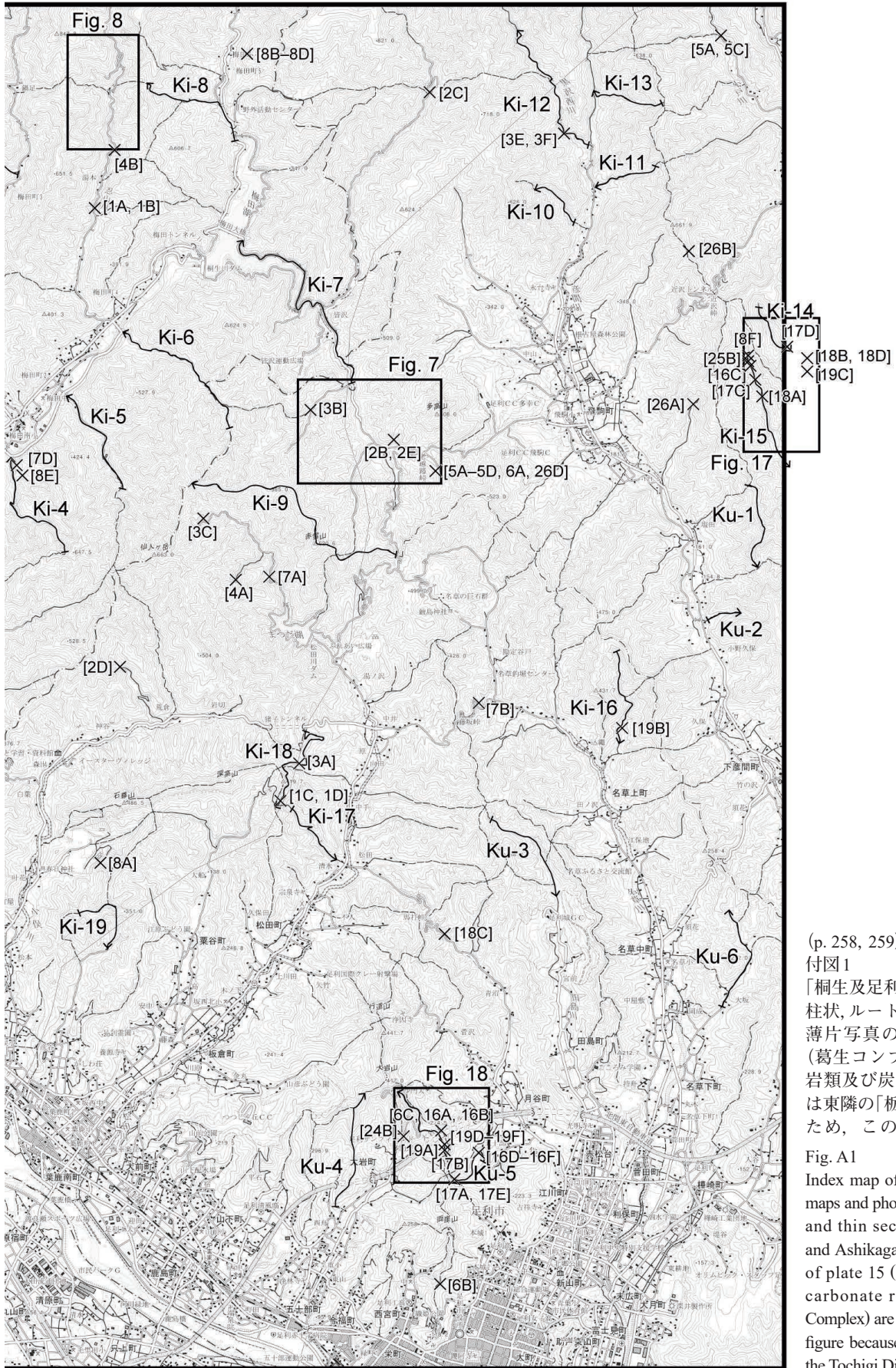
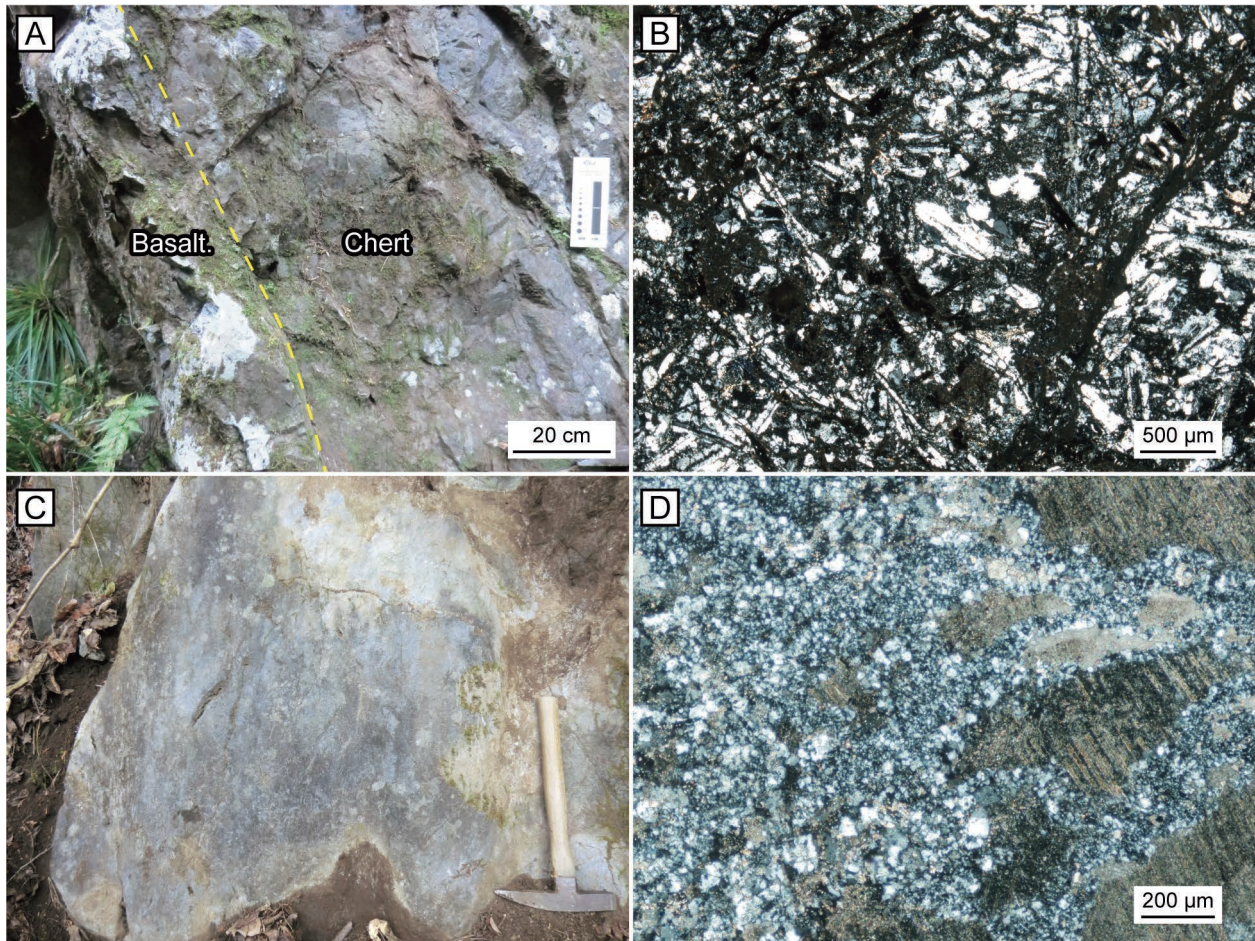


Fig. A1
 Index map of columns, travers maps and photographs of outcrops and thin sections in the Kiryu and Ashikaga District. Localities of plate 15 (basaltic rocks and carbonate rocks of the Kuzu Complex) are not presented in this figure because they are located in the Tochigi District.



図版1 黒保根-桐生コンプレックスの玄武岩類及び炭酸塩岩類。

(A) チャートと接する玄武岩溶岩。桐生市梅田町，忍山川。Basalt.: 玄武岩溶岩。

(B) 玄武岩溶岩の薄片写真。クロスニコル。桐生市梅田町，忍山川。試料番号：IT19120404。

(C) 塊状結晶質石灰岩。足利市松田町，林道粟谷松田線。

(D) 結晶質石灰岩の薄片写真。クロスニコル。足利市松田町，林道粟谷松田線。試料番号：IT18011903。

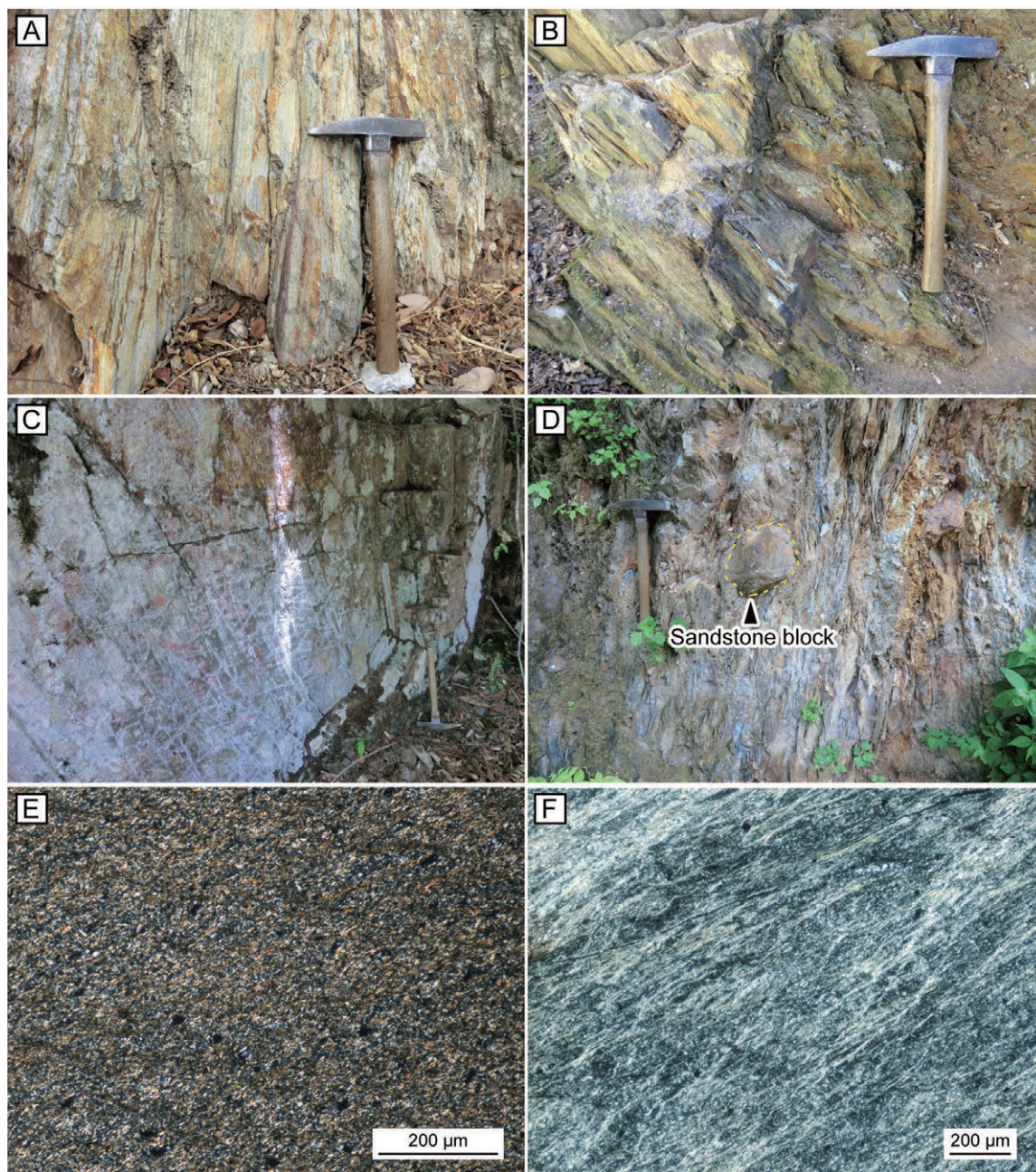
Plate 1 Basaltic rocks and carbonate rocks of the Kurohone-Kiryu Complex.

(A) Basaltic lava contacting chert. Oshiyama River, Umeda-cho, Kiryu City. Basalt.: basaltic lava.

(B) Thin section photomicrograph of basaltic lava. Crossed polars. Oshiyama River, Umeda-cho, Kiryu City. Sample number: IT19120404.

(C) Massive crystalline limestone. Awanoya-Matsuda Forest road, Matsuda-cho, Ashikaga City.

(D) Thin section photomicrograph of crystalline limestone. Crossed polars. Awanoya-Matsuda Forest road, Matsuda-cho, Ashikaga City. Sample number: IT18011903.



図版2 黒保根-桐生コンプレックスの珪質粘土岩.

(A) 層状の珪質粘土岩. 足利市小俣町, 熊野神社南.

(B) 層状の珪質粘土岩. 佐野市飛駒町万山. 周辺から前期三畳紀コノドントが産する.

(C) 層状の珪質粘土岩. 佐野市飛駒町中川.

(D) 砂岩岩塊を含む, 剪断された珪質粘土岩. 足利市小俣町, 鳴石北.

(E) 珪質粘土岩の薄片写真. クロスニコル. 佐野市飛駒町万山. 試料番号: IT19021702.

(F) 珪質粘土岩にみられる劈開の薄片写真. オープンニコル. 足利市小俣町, 熊野神社南. 試料番号: IT18021302.

Plate 2 Siliceous claystone of the Kurohone-Kiryu Complex.

(A) Bedded siliceous claystone. South of Kumano-jinja Shrine, Omata-cho, Ashikaga City.

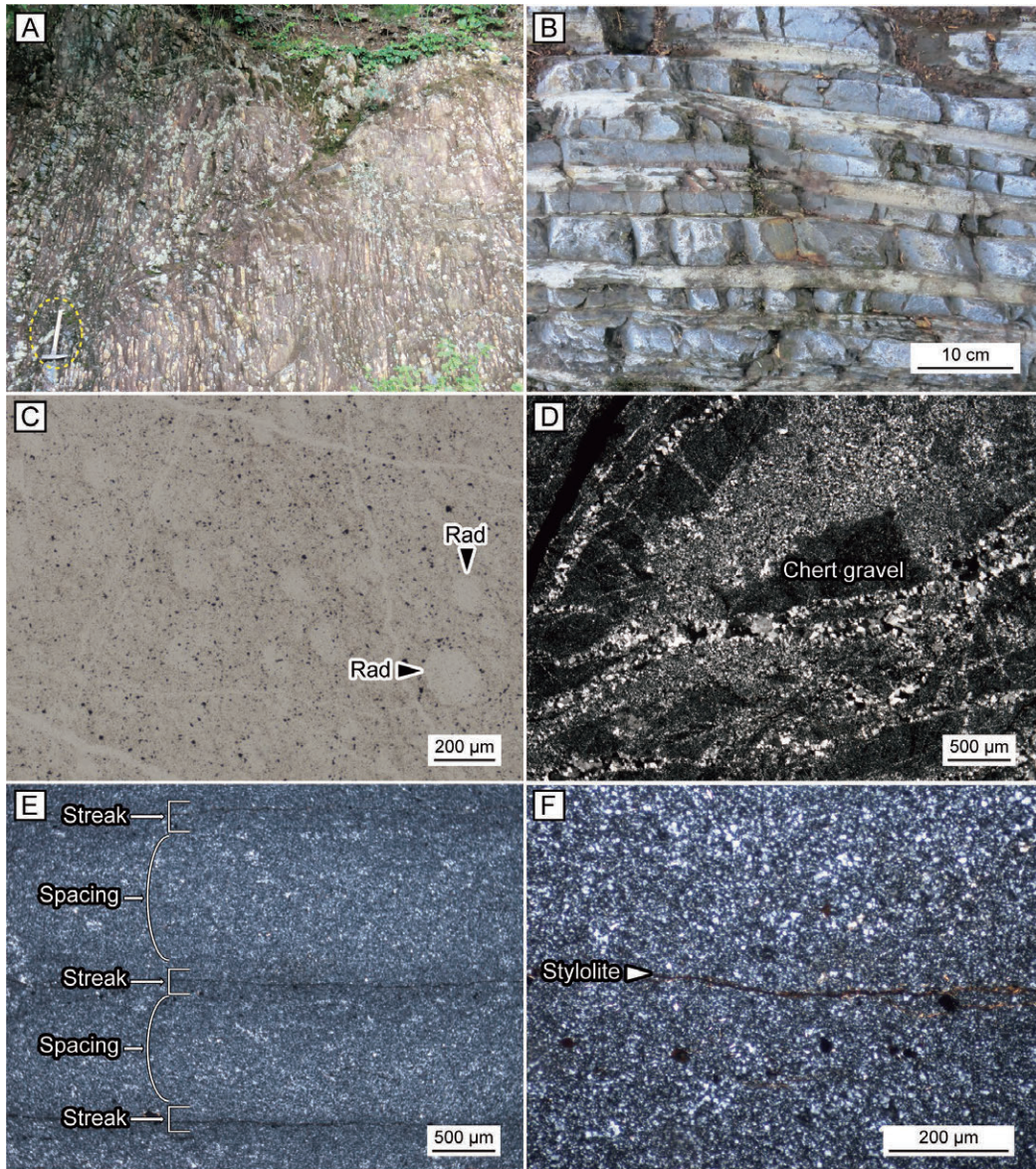
(B) Bedded siliceous claystone. Hikoma-cho Ban-yama, Sano City. Early Triassic conodont occurred in the surrounding area.

(C) Bedded siliceous claystone. Hikoma-cho, Nakagawa, Sano City.

(D) Sheared siliceous claystone including sandstone blocks. North of Naruishi, Omata-cho, Ashikaga City.

(E) Thin section photomicrograph of siliceous claystone. Crossed polars. Hikoma-cho Ban-yama, Sano City. Sample number: IT19021702.

(F) Thin section photomicrograph of cleavage of siliceous claystone. Open polars. South of Kumano-jinja Shrine, Omata-cho, Ashikaga City. Sample number: IT18021302.

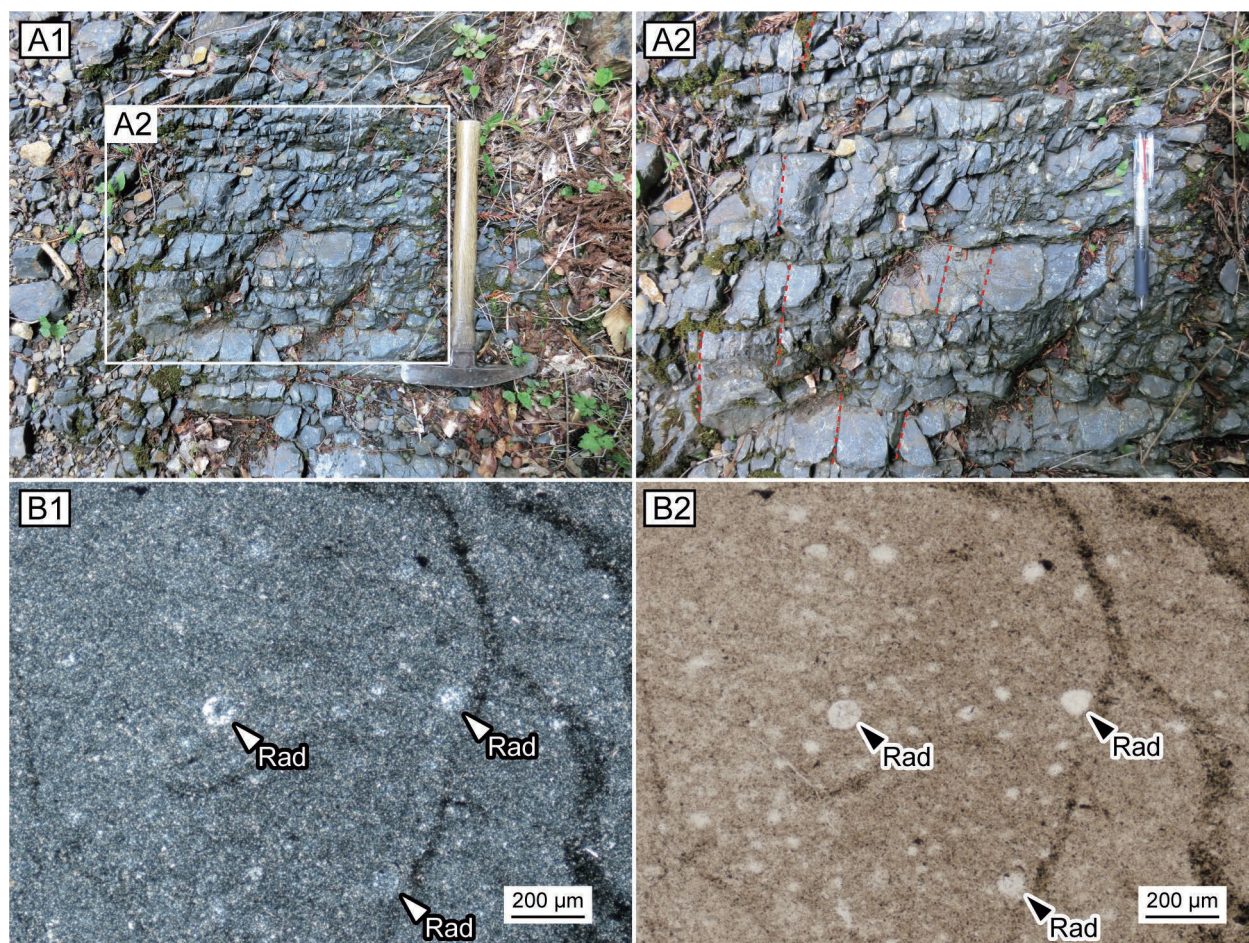


図版3 黒保根-桐生コンプレックスのチャート。

- (A) 層状チャート。足利市松田町，林道粟谷松田線。周辺から三疊紀放射虫が産する。
 (B) 厚い泥質層を挟むチャート。佐野市飛駒町万山。
 (C) 放射虫を含むチャートの薄片写真。オープンニコル。足利市松田町，林道野山線。試料番号：IT16051510。Rad：放射虫。
 (D) チャート角礫岩の薄片写真。クロスニコル。桐生市菱町，白葉峠の西方。試料番号：IT16051603。
 (E) ストリークとスペーシングから成るストライプチャートの薄片写真。クロスニコル。佐野市飛駒町，黒沢西川付近。試料番号：IT18101404。
 (F) ストライプチャート中のスタイロライト化したストリークの薄片写真。クロスニコル。佐野市飛駒町，黒沢西川付近。試料番号：IT18101404。Ito (2020b) のfig. 7E1 から転載。

Plate 3 Chert of the Kurohane-Kiryu Complex.

- (A) Bedded chert. Awanoya-Matsuda Forest road, Matsuda-cho, Ashikaga City. Triassic radiolarians occurred.
 (B) Chert interbedding thick mudstone layers. Hikoma-cho Ban-yama, Sano City.
 (C) Thin section photomicrograph of chert including radiolarians. Open polars. Noyama Forest road, Matsuda-cho, Ashikaga City. Sample number: IT16051510. Rad: radiolarian.
 (D) Thin section photomicrograph of chert breccia. Crossed polars. West of Shiroppla Pass, Hishi-machi, Kiryu City. Sample number: IT16051603.
 (E) Thin section photomicrograph of striped chert. Crossed polars. Kurosawa-nishikawa River, Hikoma-cho, Sano City. Sample number: IT18101404.
 (F) Thin section photomicrograph of stylolitic streak of striped chert. Crossed polars. Kurosawa-nishikawa River, Hikoma-cho, Sano City. Sample number: IT18101404. Reprinted from fig. 7E1 of Ito (2020b).



図版4 黒保根-桐生コンプレックスの非級化型珪質泥岩.

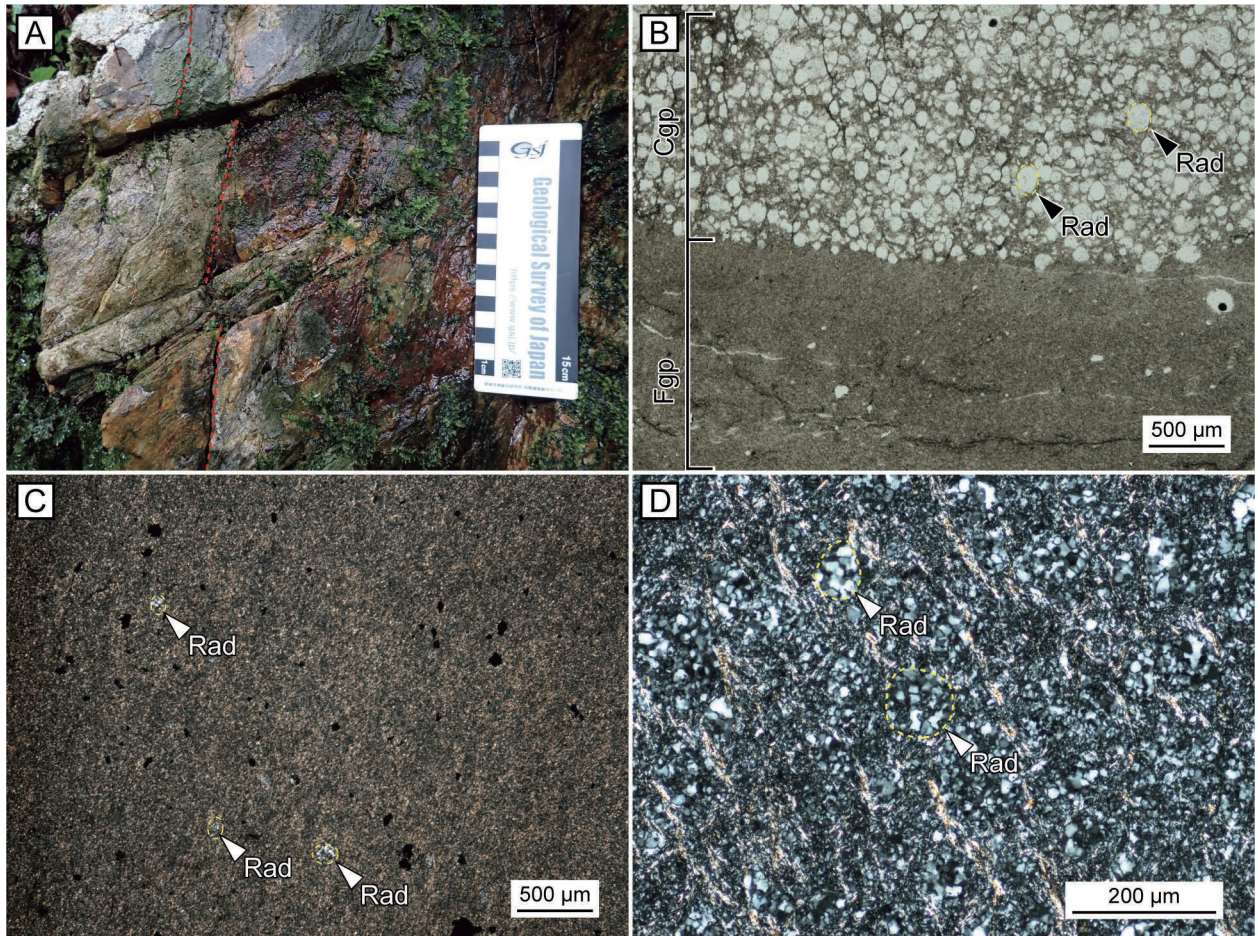
(A) 成層構造を呈する非級化型珪質泥岩. 足利市松田町林道. 赤線は節理を示す.

(B) 放射虫を含む非級化型珪質泥岩の薄片写真. B1: クロスニコル; B2: オープンニコル. 桐生市梅田町, 忍山川沿い. 周辺からジュラ紀放射虫が産する. 試料番号: IT16051505. Rad: 放射虫.

Plate 4 Non-grading type siliceous mudstone of the Kurohone-Kiryu Complex.

(A) Weakly-bedded non-grading type siliceous mudstone. Forest road, Matsuda-cho, Ashikaga City. Red lines indicate joints.

(B) Thin section photomicrograph non-grading type siliceous mudstone including radiolarians. B1: Crossed polars; B2: Open polars. Oshiyama River, Umeda-cho, Kiryu City. Sample number: IT16051505. Rad: radiolarian.



図版5 黒保根-桐生コンプレックスの級化型珪質泥岩。Rad：放散虫。

(A) 成層構造を呈する級化型珪質泥岩。佐野市飛駒町万山。赤線は節理を示す。

(B) 級化型珪質泥岩中の粗粒部と細粒部の境界の薄片写真。オープンニコル。佐野市飛駒町万山。試料番号：IT19021701。Cgp：粗粒部；Fgp：細粒部。

(C) 細粒部の薄片写真。クロスニコル。佐野市飛駒町万山。試料番号：IT19021701。

(D) 放散虫とみられる球状体を多く含む粗粒部の薄片写真。クロスニコル。佐野市飛駒町万山。試料番号：IT19021701。

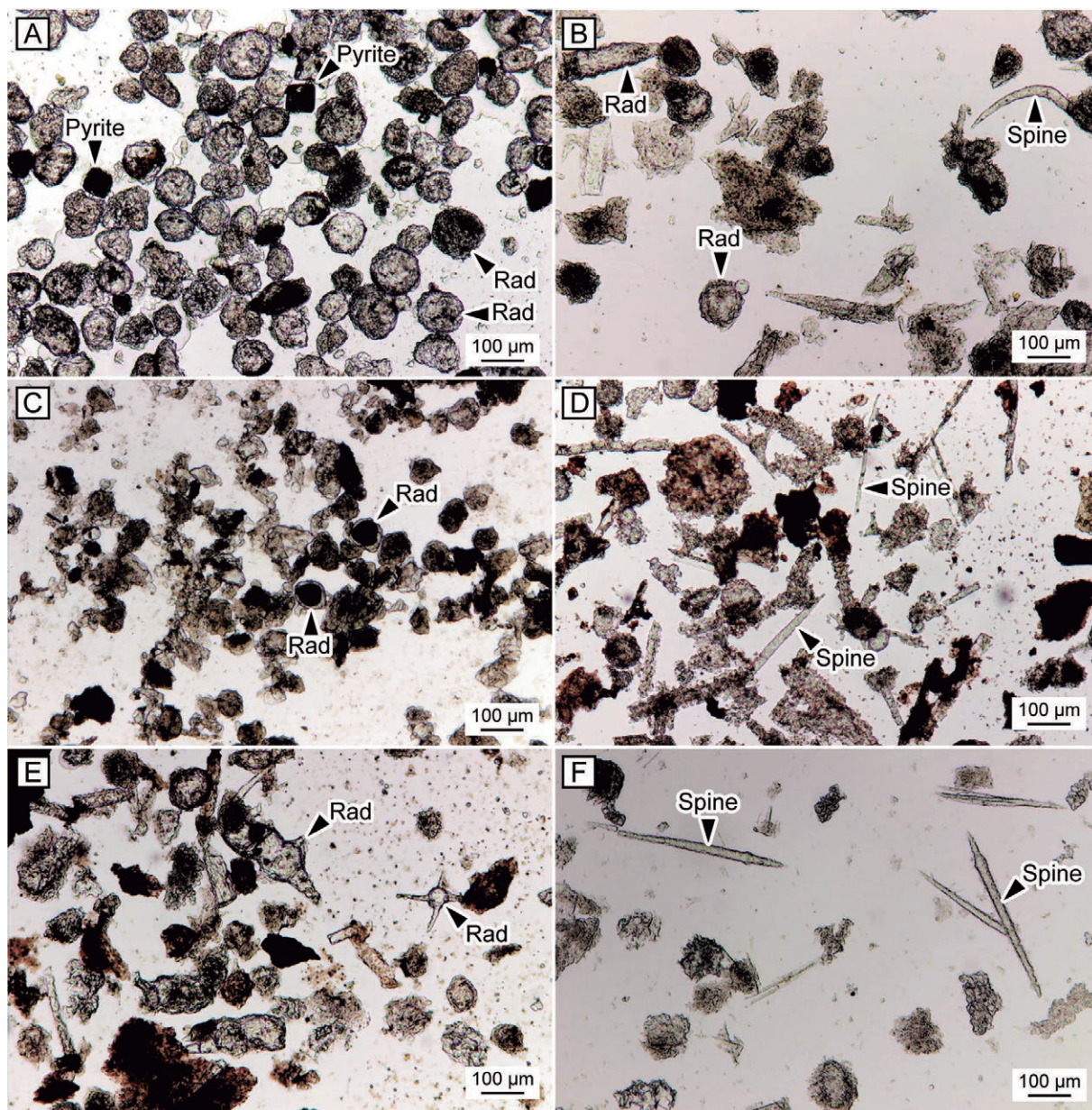
Plate 5 Grading type siliceous mudstone of the Kurohone-Kiryu Complex. Rad: radiolarian.

(A) Bedded grading type siliceous mudstone. Hikoma-cho Ban-yama, Sano City. Red lines indicate joints.

(B) Thin section photomicrograph of boundary between fine- and coarse-grained parts. Open polars. Hikoma-cho Ban-yama, Sano City. Sample number: IT19021701. Cgp: coarse-grained part; Fgp: fine-grained part.

(C) Thin section photomicrograph of fine-grained part. Crossed polars. Hikoma-cho Ban-yama, Sano City. Sample number: IT19021701.

(D) Thin section photomicrograph of coarse-grained part including spheres that are possibly radiolarians. Crossed polars. Hikoma-cho Ban-yama, Sano City. Sample number: IT19021701.



図版6 黒保根-桐生コンプレックス、葛生コンプレックス及び行道山コンプレックスの岩石から得られた残渣を含むプレパラートの顕微鏡写真(透過型顕微鏡により撮影)。Rad: 放射虫。

(A) 黒保根-桐生コンプレックスのジュラ紀放射虫を含む級化型珪質泥岩。佐野市飛駒町万山。試料番号: IT19021701。

(B) 葛生コンプレックスの三畳紀放射虫を含むチャート。足利市江川町。試料番号: IT18110702。

(C) 葛生コンプレックスの中期ジュラ紀放射虫を含む珪質泥岩。足利市大岩町, 大岩月谷線。試料番号: IT16071001。

(D, E) 行道山コンプレックスのペルム紀放射虫を含むチャート。太田市吉沢町。試料番号: IT16071005。

(F) 行道山コンプレックスの三畳紀放射虫を含むチャート。桐生市広沢町。明盛宏産構内。試料番号: IT16071403。

Plate 6 Photomicrograph of prepared slide containing residues (taken with transmitted light microscope) obtained from rocks the Kurohone-Kiryu, Kuzu and Gyodosan complexes. Rad: radiolarian.

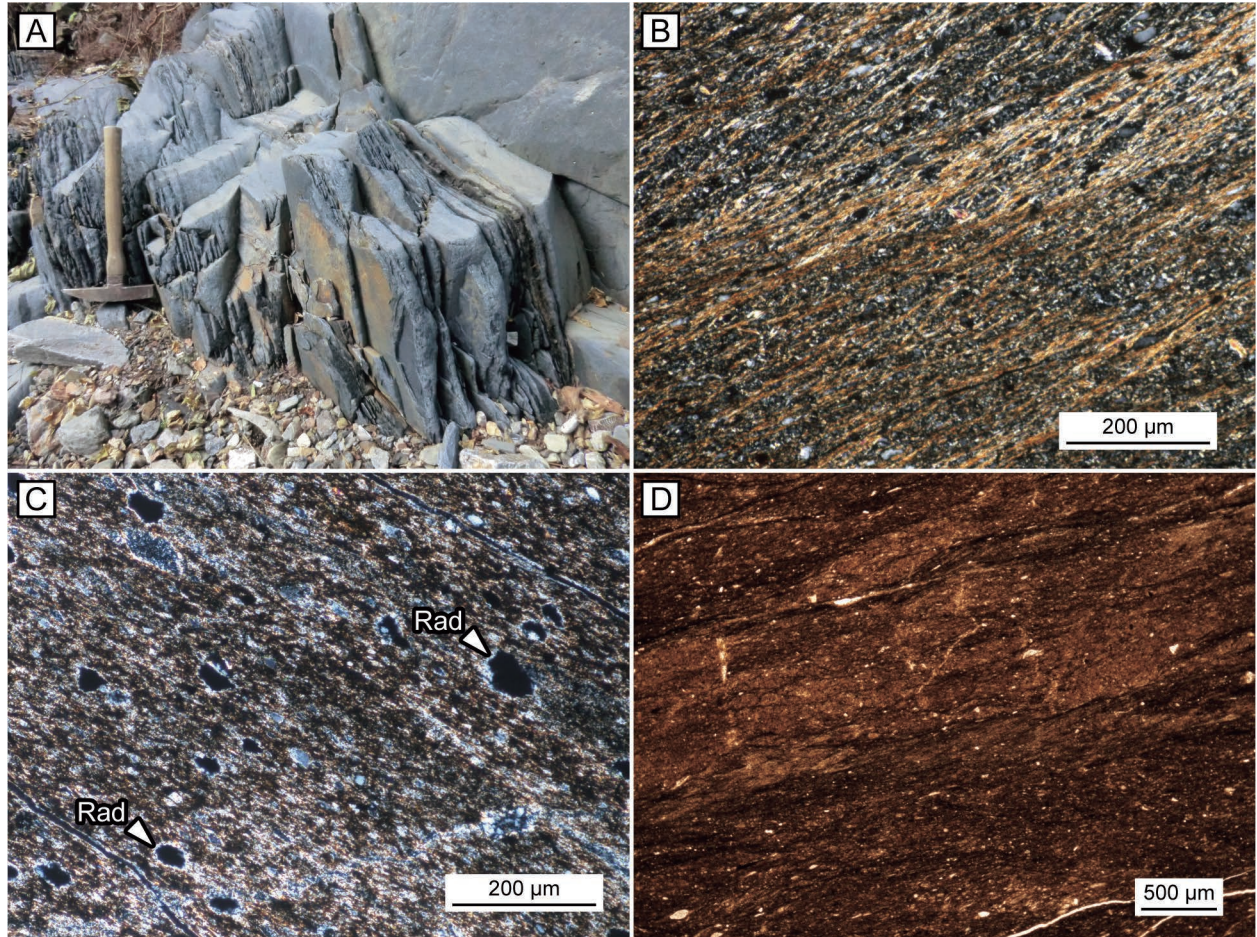
(A) Grading type siliceous mudstone of the Kurohone-Kiryu Complex yielding Jurassic radiolarians. Hikoma-cho Ban-yama, Sano City. Sample number: IT19021701.

(B) Chert of the Kuzu Complex yielding Triassic radiolarians. Egawa-cho, Ashikaga City. Sample number: IT18110702.

(C) Siliceous mudstone of the Kuzu Complex yielding Middle Jurassic radiolarians. Oiwa-cho, Ashikaga City. Sample number: IT16071001.

(D, E) Chert of the Gyodosan Complex yielding Permian radiolarians. Yoshizawa-cho, Ota City. Sample number: IT16071005.

(F) Chert of the Gyodosan Complex yielding Triassic radiolarians. Property of Meisei Kousan Co. Ltd., Hirosawa-cho, Kiryu City. Sample number: IT16071403.



図版7 黒保根-桐生コンプレックスの泥岩.

(A) 劈開が発達した泥岩. 足利市松田町, 林道.

(B) 泥岩中の劈開の薄片写真. クロスニコル. 足利市松田町, 藤坂峠東方. 試料番号: IT16051601.

(C) 放散虫を含む泥岩の薄片写真. クロスニコル. 桐生市宮本町. 試料番号: IT18111001. Rad: 放散虫.

(D) 泥岩の薄片写真. オープンニコル. 桐生市菱町. 試料番号: IT19021604.

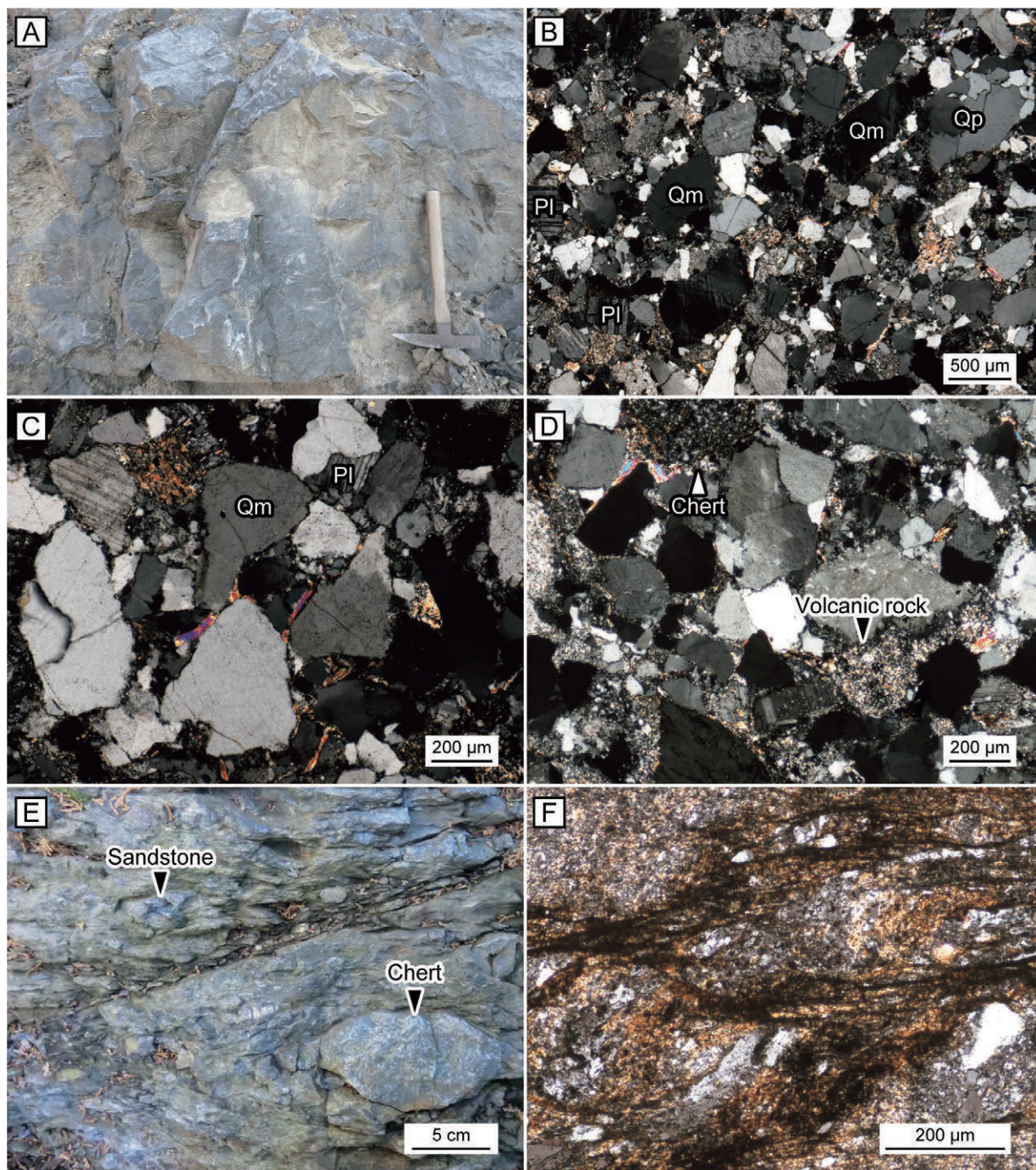
Plate 7 Mudstone of the Kiryu Complex.

(A) Mudstone that cleavage develops. Forest road, Matsuda-cho, Ashikaga City.

(B) Thin section photomicrograph of cleavage of mudstone. Crossed polars. East of Fujisaka Pass, Matsuda-cho, Ashikaga City. Sample number: IT16051601.

(C) Thin section photomicrograph of mudstone including radiolarians. Crossed Miyamoto-cho, Kiryu City. Sample number: IT18111001. Rad: radiolarian.

(D) Thin section photomicrograph of mudstone. Open polars. Hishi-machi, Kiryu City. Sample number: IT19021604.



図版8 黒保根-桐生コンプレックスの砂岩及び泥質混在岩。

(A) 塊状砂岩。足利市小俣町イムズ鉱業構内。

(B-D) 石質アレナイトの薄片写真。クロスニコル。桐生市梅田町^{とづらうり}閉菴里。試料番号:IT18051604。Qm:単結晶石英;
Qp:多結晶石英;Pl:斜長石。

(E) チャート及び砂岩の岩塊を含む泥質混在岩。桐生市菱町。

(F) 泥質混在岩の薄片写真。クロスニコル。佐野市閑馬町, 閑馬川。試料番号: IT18082502。

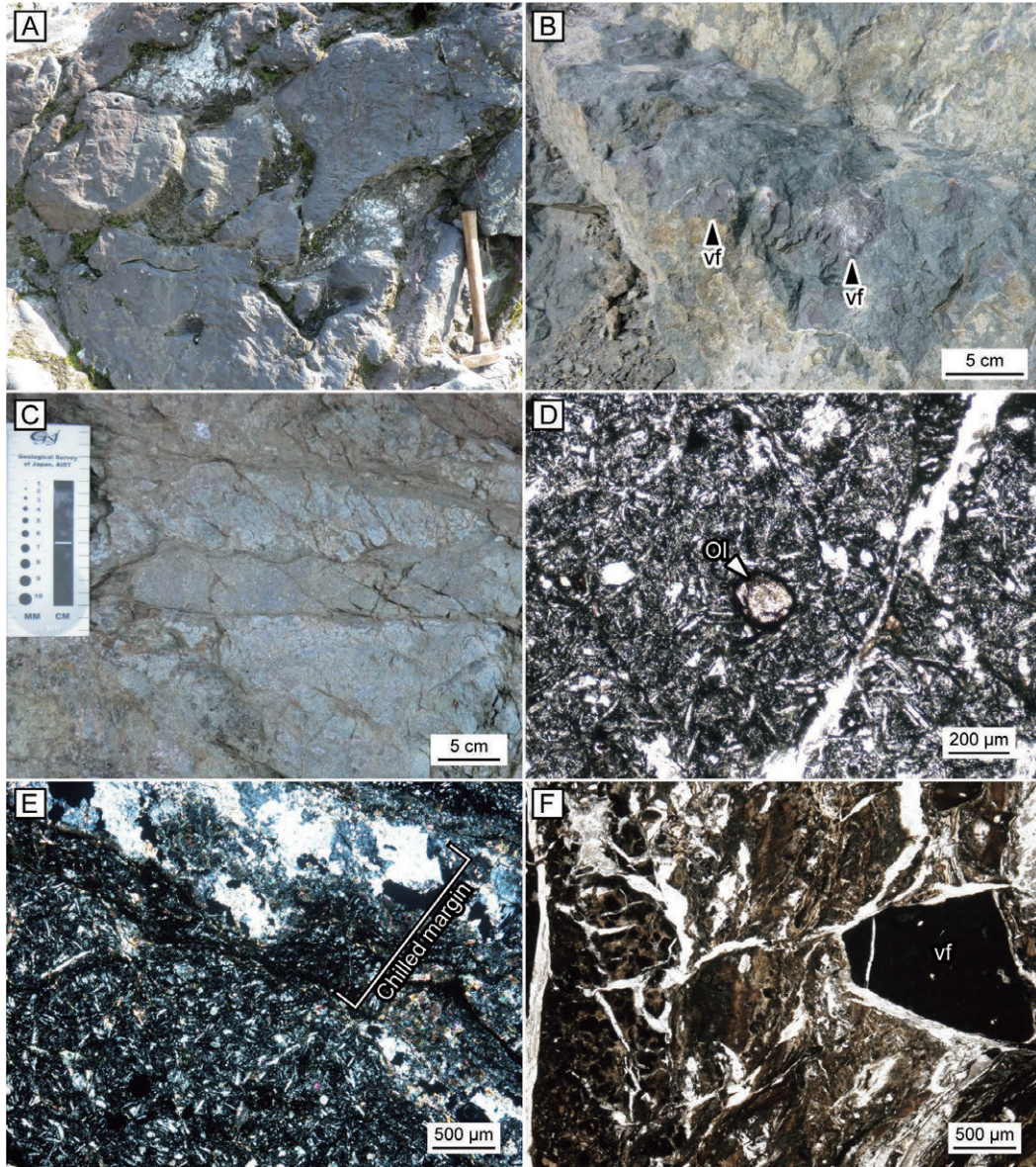
Plate 8 Sandstone and pelitic mixed rock of the Kurohone-Kiryu Complex.

(A) Massive sandstone. Property of Izumu Mining Co. Ltd., Omata-cho, Ashikaga City.

(B-D) Thin section photomicrograph of lithic arenite. Crossed polars. Tozurori, Umeda-cho, Kiryu City. Sample number:
IT18051604. Qm: monocrystalline quartz; Qp: polycrystalline quartz; Pl: plagioclase.

(E) Pelitic mixed rock including blocks of chert and sandstone. Hishi-machi, Kiryu City.

(F) Thin section photomicrograph of pelitic mixed rock. Crossed polars. Kanma River, Kanma-cho, Sano City. Sample
number: IT18082502.

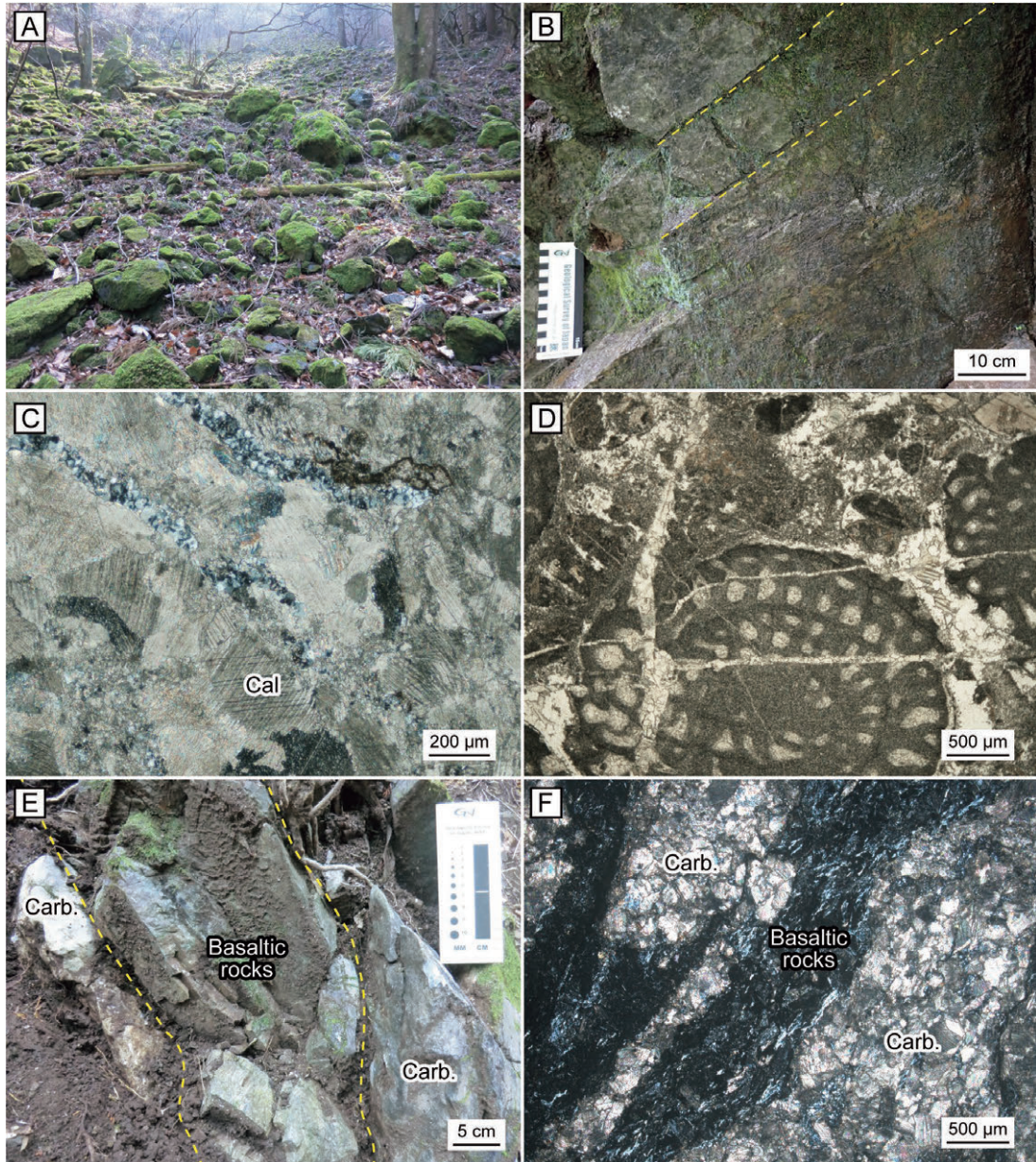


図版9 大間々コンプレックスの玄武岩類。

- (A) 玄武岩枕状溶岩。桐生市黒保根町八木原，渡良瀬川沿い。
- (B) 玄武岩自破碎溶岩。みどり市大間々町小平，キンケン石産鉱内。vf：火山岩岩片。
- (C) 剪断変形を被る玄武岩。みどり市大間々町小平，小平川沿い。
- (D) 玄武岩溶岩中のかんらん石微斑晶の薄片写真。クロスニコル。桐生市黒保根町八木原，渡良瀬川沿い。試料番号：IT19103003。Ol：カンラン石。
- (E) 玄武岩枕状溶岩にみられる急冷周縁部の薄片写真。クロスニコル。桐生市黒保根町八木原，渡良瀬川沿い。試料番号：IT19103003。
- (F) 玄武岩自破碎溶岩中の角礫岩片の薄片写真。オープンニコル。みどり市大間々町小平，キンケン石産鉱内。試料番号：IT19120601。vf：火山岩岩片。

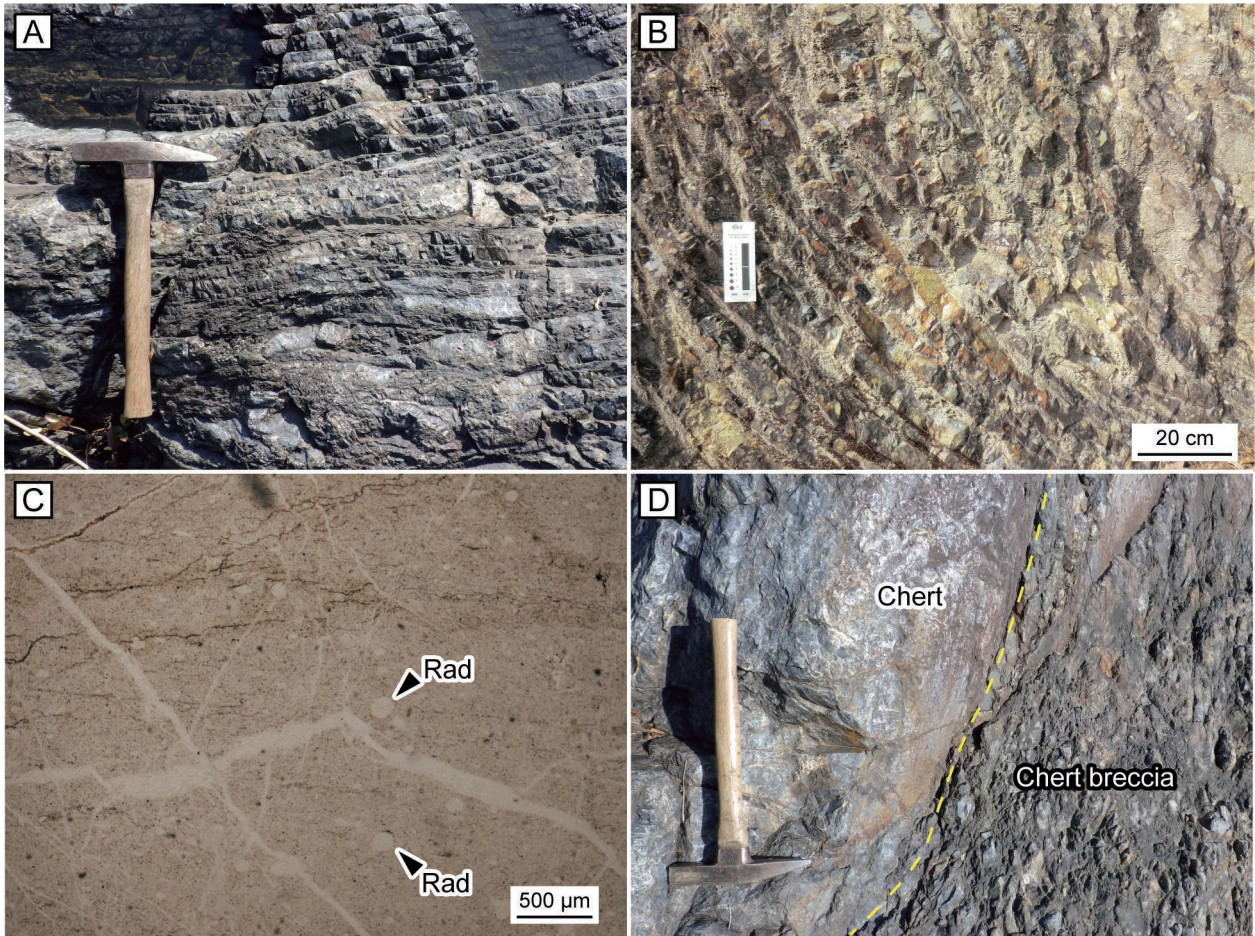
Plate 9 Basaltic rocks of the Omama Complex.

- (A) Basaltic pillow lava. Watarase River, Kurohone-cho Yagihara, Kiryu City.
- (B) Basaltic autobrecciated lava. Property of Kinken Sekisan Co. Ltd., Omama-machi Odaira, Midori City. vf: volcanic fragment.
- (C) Sheared basalt. Odaira River, Omama-machi Odaira, Midori City.
- (D) Thin section photomicrograph of olivine microphenocryst within basaltic lava. Open polars. Watarase River, Kurohone-cho Yagihara, Kiryu City. Sample number: IT19103003. Ol: olivine.
- (E) Thin section photomicrograph of chilled margin of basaltic pillow lava. Crossed polars. Watarase River, Kurohone-cho Yagihara, Kiryu City. Sample number: IT19103003.
- (F) Thin section photomicrograph of breccia fragment within basaltic autobrecciated lava. Open polars. Property of Kinken Sekisan Co. Ltd., Omama- machi Odaira, Midori City. Sample number: IT19120601. vf: volcanic fragment.



図版 10 大間々コンプレックスの炭酸塩岩類。
 (A) 炭酸塩岩類の転石。黒保根町八木原。
 (B) 層状炭酸塩岩類。みどり市大間々町塩沢。黄点線は層理面を示す。
 (C) 結晶質石灰岩の薄片写真。クロスニコル。みどり市大間々町塩沢。試料番号：IT17122001。Cal：方解石。
 (D) フズリナ石灰岩の薄片写真。オープンニコル。桐生市黒保根町八木原。試料番号：IT20021701。
 (E) 炭酸塩岩類に挟まれる玄武岩類。桐生市川内町大崩，林道沿い。Carb.：炭酸塩岩類。
 (F) 炭酸塩岩類に挟まれる玄武岩類の薄片写真。クロスニコル。桐生市川内町大崩，林道沿い。試料番号：IT16051406。

Plate 10 Carbonate rocks of the Omama Complex.
 (A) Float blocks of carbonate rocks. Kurohone-cho Yagihara, Kiryu City.
 (B) Bedded carbonate rocks. Odaira Limestone Cave, Omama-machi Shiozawa, Midori City. Yellow dotted lines indicate bedding planes.
 (C) Thin section photomicrograph of crystalline limestone. Crossed polars. Omama-machi Shiozawa, Midori City. Sample number: IT17122001. Cal: calcite.
 (D) Thin section photomicrograph of fusulinid limestone. Open polars. Kurohone-cho Yagihara, Kiryu City. Sample number: IT20021701.
 (E) Basaltic rocks interbedded by carbonate rocks. Forest road, Kawauchi-cho Okuzure, Kiryu City. Carb.: carbonate rocks.
 (F) Thin section photomicrograph of basaltic rocks interbedded by carbonate rocks. Crossed polars. Forest road, Kawauchi-cho Okuzure, Kiryu City. Sample number: IT16051406.



図版 11 大間々コンプレックスのチャート。

(A) 層状チャート。桐生市黒保根町八木原，渡良瀬川沿い。

(B) 破断したチャート。みどり市大間々町浅原。

(C) 放射虫を含むチャートの薄片写真。クロスニコル。みどり市大間々町桐原。試料番号：IT16051401。

Rad：放射虫。

(D) 層状チャートとチャート角礫岩。桐生市黒保根町八木原，渡良瀬川沿い。

Plate 11 Chert of the Omama Complex.

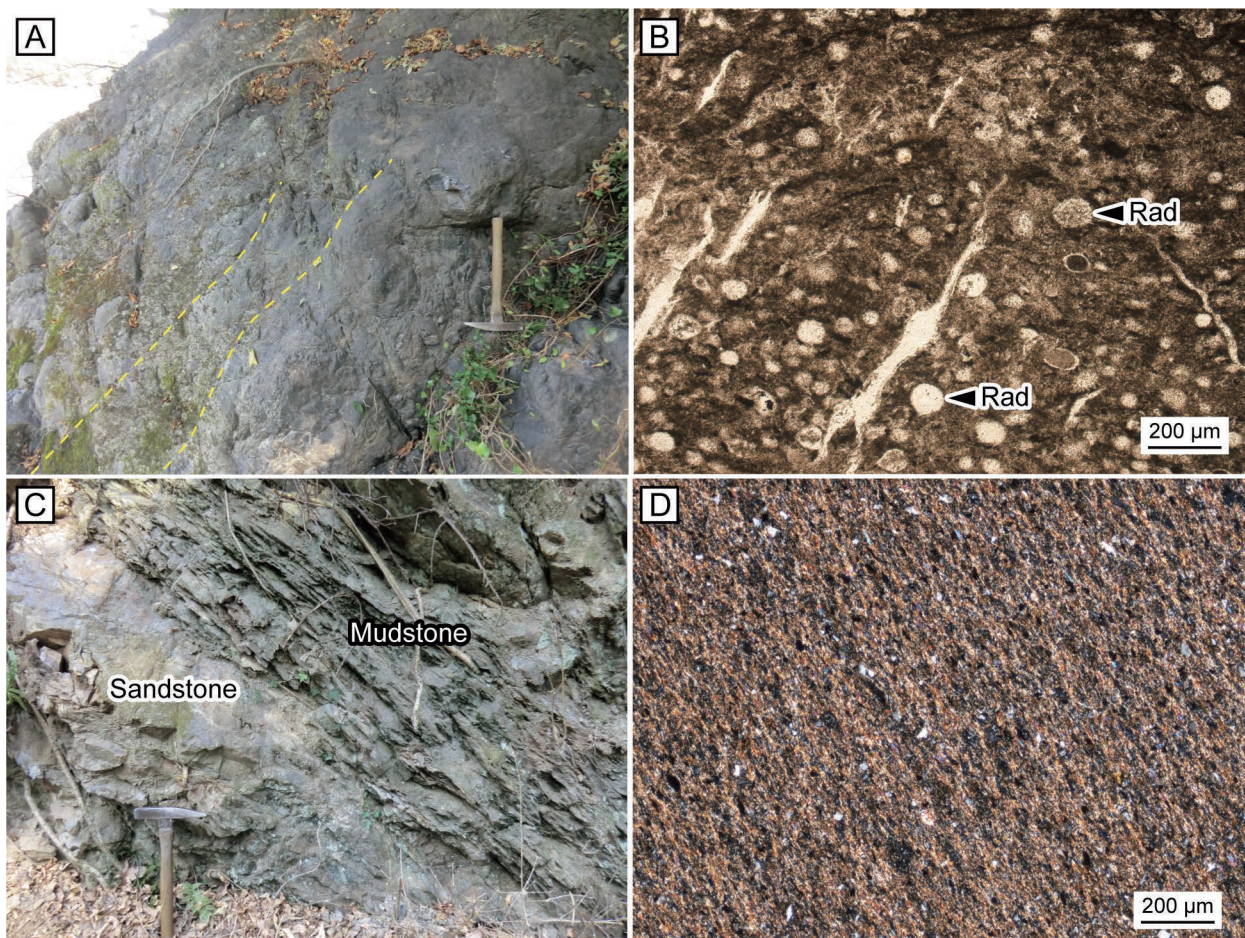
(A) Bedded chert. Watarase River, Kurohone-cho Yagihara, Kiryu City.

(B) Broken chert. Omama-machi Asahara, Midori City.

(C) Thin section photomicrograph of chert including radiolarians. Crossed polars. Omama-machi Kirihara, Midori City.

Sample number: IT16051401. Rad: radiolarian.

(D) Bedded chert and chert breccia. Watarase River, Kurohone-cho Yagihara, Kiryu City.



図版 12 大間々コンプレックスの珪質泥岩及び泥岩.

(A) 弱い成層構造を呈する珪質泥岩. みどり市大間々町塩原, 貴船橋. 黄破線は層理面を示す.

(B) 放射虫を多く含む珪質泥岩の薄片写真. オープンニコル. みどり市大間々町塩原, 貴船橋. 試料番号: IT19102801. Rad: 放射虫.

(C) レンズ状砂岩を含む泥岩. 桐生市川内町大崩, 林道沿い.

(D) 泥岩の薄片写真. クロスニコル. みどり市大間々町塩沢. 試料番号: IT18101204.

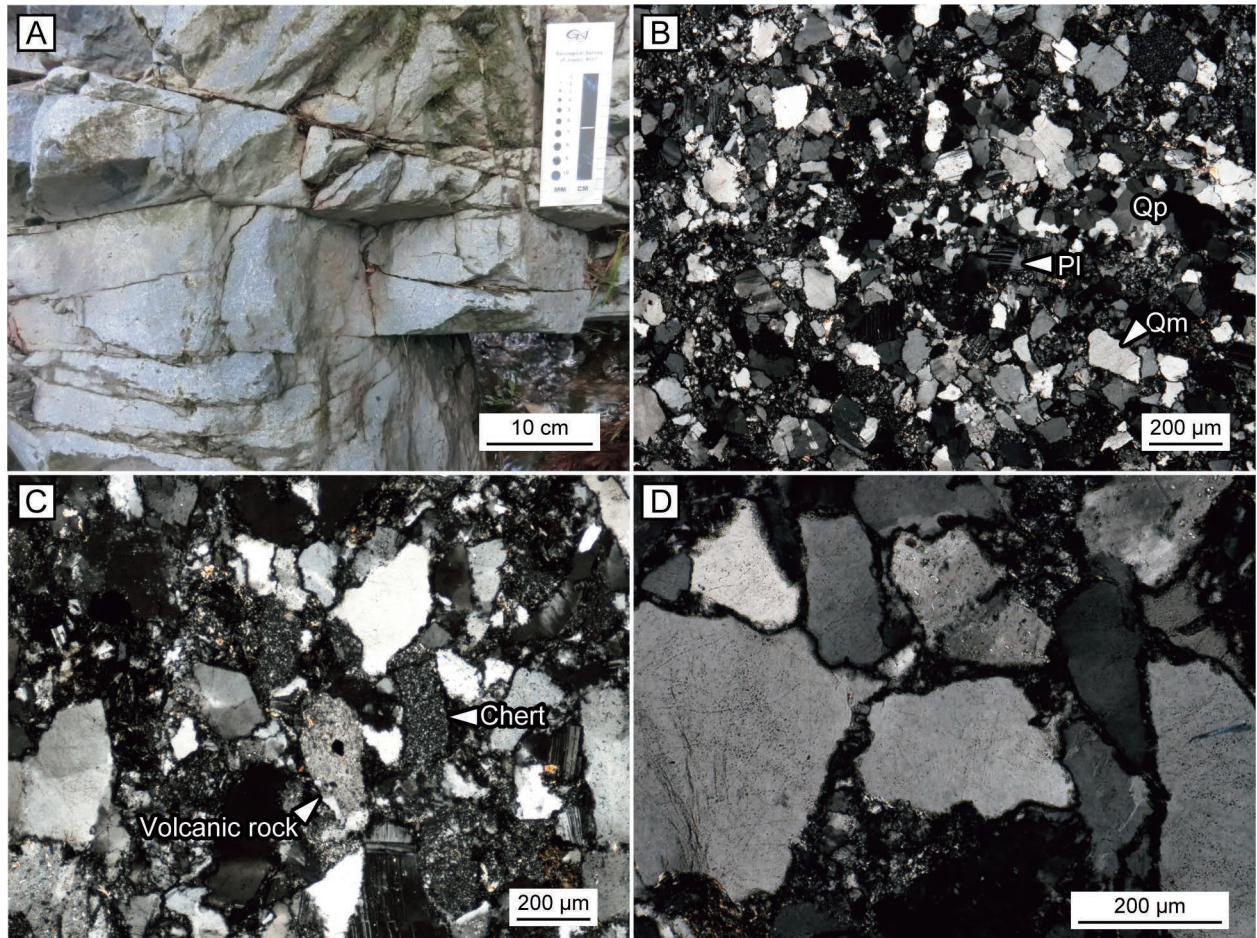
Plate 12 Siliceous mudstone and mudstone of the Omama Complex.

(A) Weakly-bedded siliceous mudstone. Kifune Bridge, Omama-machi Shiobara, Midori City. Yellow broken lines indicate bedding planes.

(B) Thin section photomicrograph of siliceous mudstone including abundant radiolarians. Open polars. Kifune Bridge, Omama-machi Shiobara, Midori City. Sample number: IT19102801. Rad: radiolarian.

(C) Mudstone including lenticular sandstone. Forest road, Kawauchi-cho Okuzure, Kiryu City.

(D) Thin section photomicrograph of mudstone. Crossed polars. Omama-machi Shiozawa, Midori City. Sample number: IT18101204.



図版13 大間々コンプレックスの砂岩.

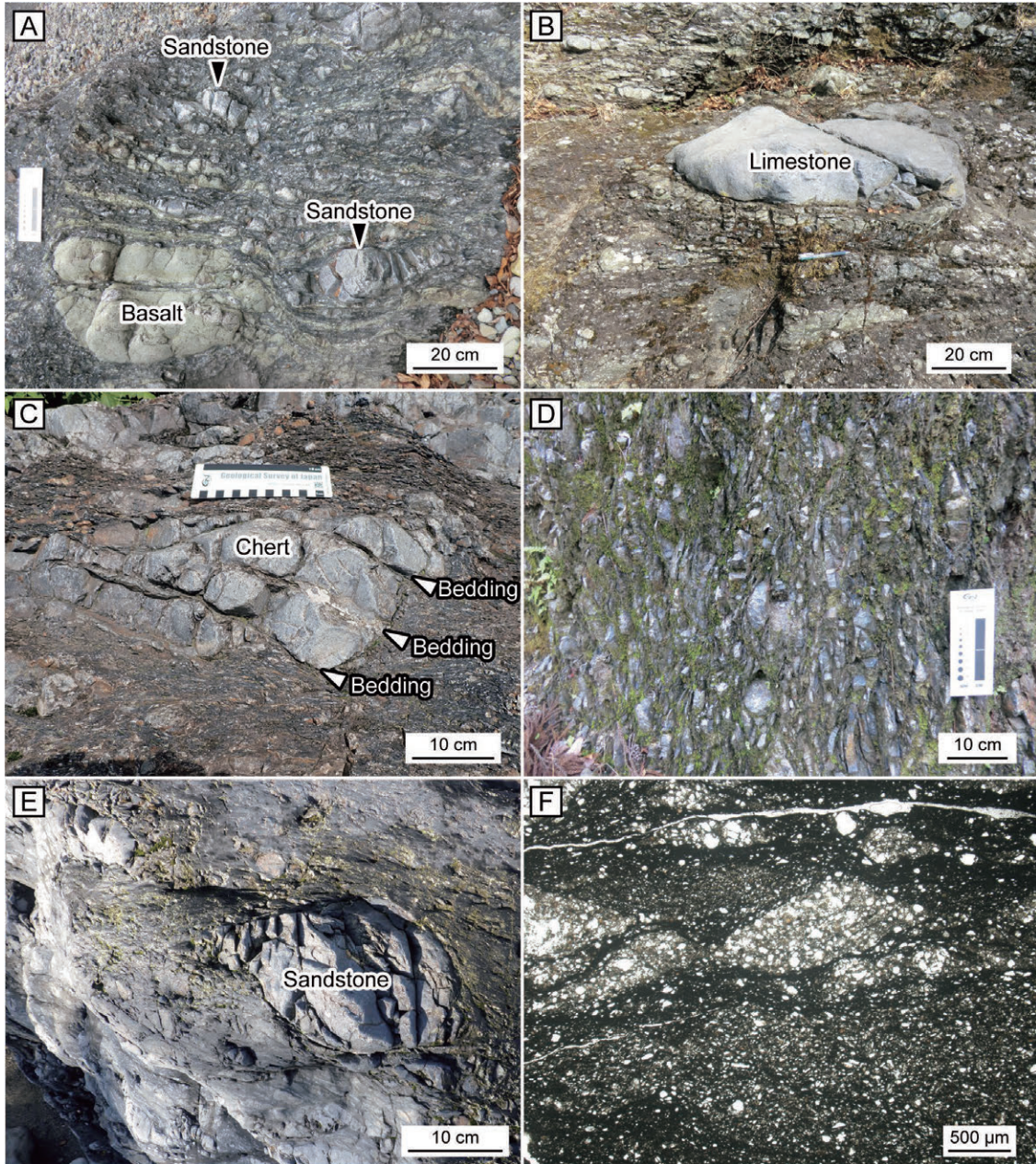
(A) 節理が発達する塊状砂岩. 桐生市川内町柳原.

(B-D) 石質アレナイトの薄片写真. クロスニコル. 桐生市川内町柳原. 試料番号: IT18052102. Qm: 単結晶石英;
Qp: 多結晶石英; Pl: 斜長石.

Plate 13 Sandstone of the Omama Complex.

(A) Massive sandstone that joint develops. Kawauchi-cho Yanahara, Kiryu City.

(B-D) Thin section photomicrograph of lithic arenite. Crossed polars. Kawauchi-cho Yanahara, Kiryu City. Sample number:
IT18052102. Qm: monocrystalline quartz; Qp: polycrystalline quartz; Pl: plagioclase.

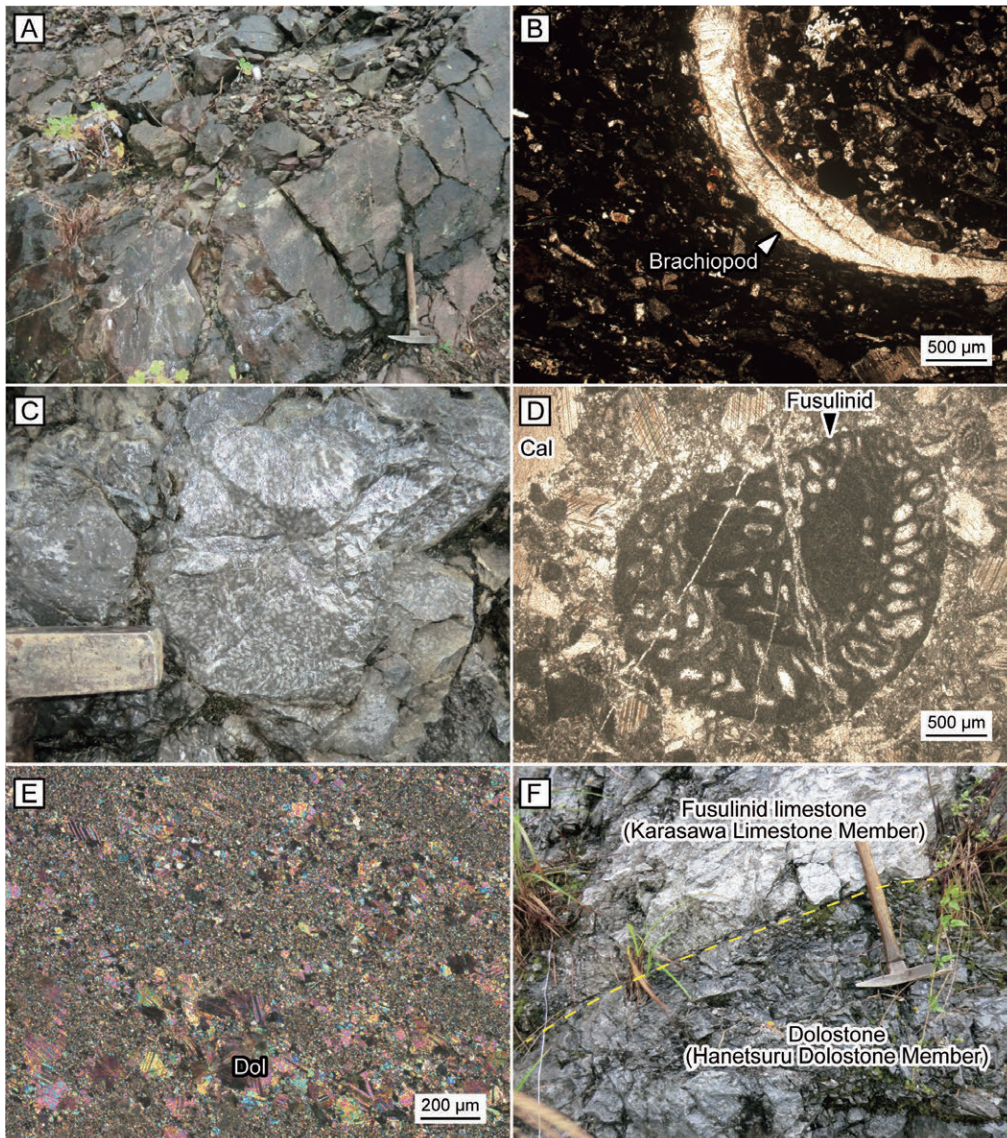


図版 14 大間々コンプレックスの泥質混在岩。

- (A) レンズ状～不定形状玄武岩類岩塊を含む泥質混在岩。みどり市大間々町高津戸，高津戸峡。猪子峠南の林道沿い。
 (B) レンズ状石灰岩塊を含む泥質混在岩。みどり市大間々町高津戸，高津戸峡。
 (C) レンズ状チャート岩塊を含む泥質混在岩。みどり市大間々町高津戸，高津戸峡。
 (D) 破断されたチャート岩塊と泥岩基質。桐生市川内町大崩，林道沿い。
 (E) 左右非対称のレンズ状砂岩岩塊を含む泥質混在岩。桐生市黒保根町八木原，渡良瀬川沿い。
 (F) レンズ状の砂岩岩塊を含む泥質混在岩の薄片写真。クロスニコル。桐生市黒保根町八木原，渡良瀬川沿い。
 試料番号：IT19103002。

Plate 14 Pelitic mixed rock of the Omama Complex.

- (A) Pelitic mixed rock including lenticular to unshaped basalt blocks. Takatsudo Gorge, Omama-machi Takatsudo, Midori City.
 (B) Pelitic mixed rock including a lenticular limestone block. Takatsudo Gorge, Omama-machi Takatsudo, Midori City.
 (C) Pelitic mixed rock including lenticular chert blocks. Takatsudo Gorge, Omama-machi Takatsudo, Midori City.
 (D) Broken chert blocks and pelitic matrix. Forest road, Kawauchi-cho Okuzure, Kiryu City.
 (E) Pelitic mixed rock including lenticular sandstone block. Watarase River, Kurohone-cho Yagihara, Kiryu City.
 (F) Thin section photomicrograph of pelitic mixed rock including lenticular sandstone blocks. Crossed polars. Watarase River, Kurohone-cho Yagihara, Kiryu City. Sample number: IT19103002.

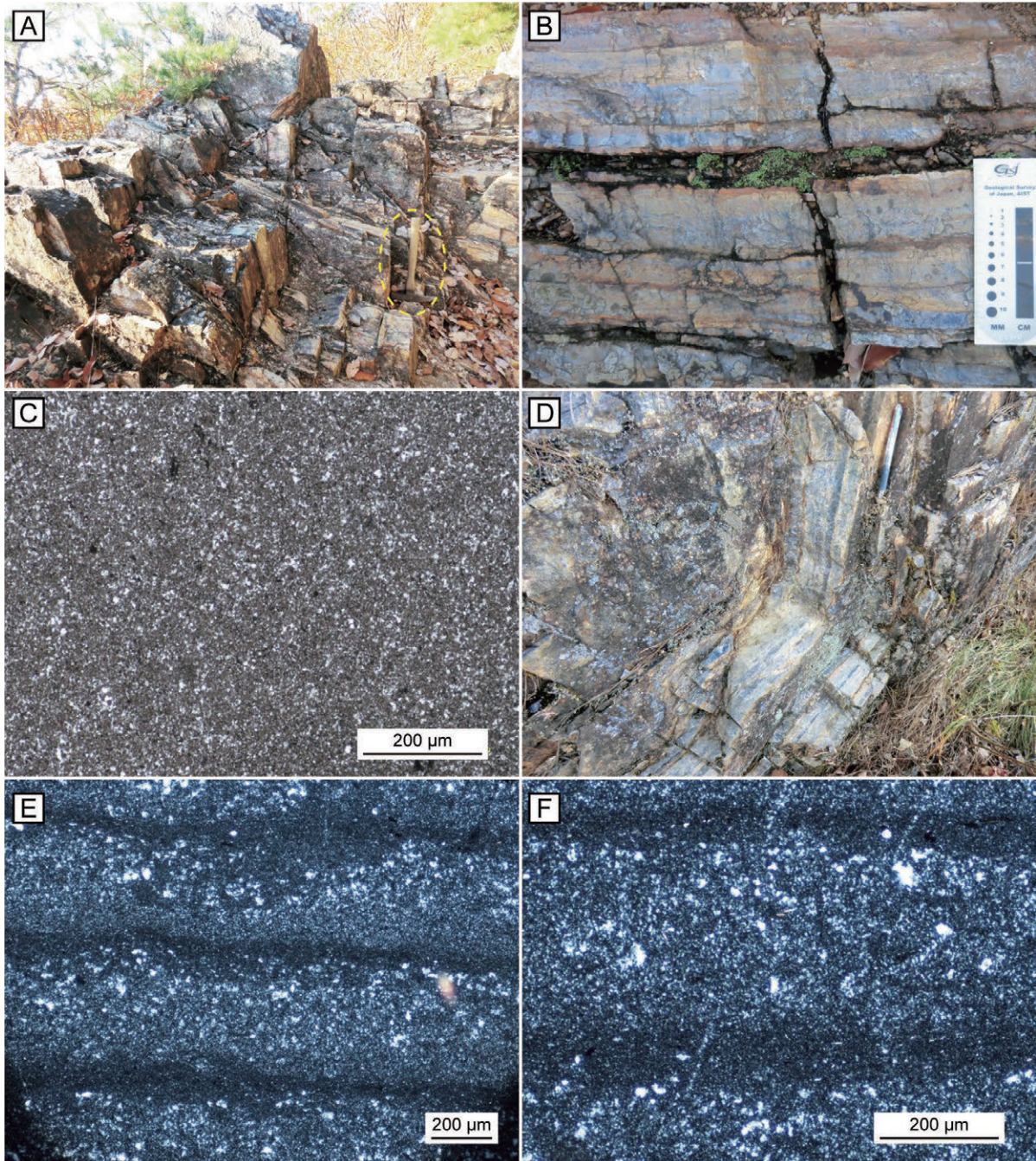


図版 15 葛生コンプレックスの玄武岩類及び炭酸塩岩類。

- (A) 玄武岩火山碎屑岩。佐野市会沢町，吉澤石灰工業構内。
 (B) 腕足類を含む玄武岩火山碎屑岩中の薄片写真。クロスニコル。佐野市会沢町，吉澤石灰工業構内。試料番号：IT19102503。
 (C) 山菅石灰岩部層のフズリナ石灰岩。佐野市会沢町，吉澤石灰工業構内。
 (D) 山菅石灰岩部層のフズリナ石灰岩の薄片写真。クロスニコル。佐野市会沢町，吉澤石灰工業構内。試料番号：IT19102501。Cal：方解石。
 (E) 羽鶴苦灰岩部層のドロマイトを主体とするドロストーンの薄片写真。クロスニコル。佐野市会沢町，吉澤石灰工業構内。試料番号：IT19102502。Dol：ドロマイト。
 (F) 羽鶴苦灰岩部層のドロストーンと唐沢石灰岩部層のフズリナ石灰岩との境界。佐野市会沢町，吉澤石灰工業構内。

Plate 15 Basaltic rocks and carbonate rocks of the Kuzu Complex.

- (A) Basaltic volcaniclastic rock. Property of Yoshizawa Lime Industry Co., Ltd., Aisawa-cho, Sano City.
 (B) Thin section photomicrograph of basaltic pyroclastic rock including brachiopod clast. Crossed polars. Property of Yoshizawa Lime Industry Co., Ltd., Aisawa-cho, Sano City. Sample number: IT19102503.
 (C) Fusulinid limestone of the Yamasuge Limestone Member. Property of Yoshizawa Lime Industry Co., Ltd., Aisawa-cho, Sano City.
 (D) Thin section photomicrograph of fusulinid limestone of the Yamasuge Limestone Member. Crossed polars. Property of Yoshizawa Lime Industry Co., Ltd., Aisawa-cho, Sano City. Sample number: IT19102501. Cal: calcite.
 (E) Thin section photomicrograph of dolostone composed mainly of dolomite of the Hanetsuru Dolostone Member. Crossed polars. Property of Yoshizawa Lime Industry Co., Ltd., Aisawa-cho, Sano City. Sample number: IT19102502. Dol: dolomite.
 (F) Boundary between dolostone of the Hanetsuru Dolostone Member and fusulinid limestone of the Karasawa Limestone Member. Property of Yoshizawa Lime Industry Co., Ltd., Aisawa-cho, Sano City.



図版 16 葛生コンプレックスのチャート.

(A) 層状チャート. 足利市大岩町, 登山道.

(B) ストライプチャート. 足利市大岩町, 登山道.

(C) 隠微晶質石英を主体とするチャートの薄片写真. オープンニコル. 佐野市閑馬町, 閑馬川. 試料番号: IT18082503.

(D) 側方へ連続するストライプチャート層. 足利市月谷町, 大岩月谷線.

(E, F) ストライプチャートの薄片写真. クロスニコル. 足利市月谷町, 大岩月谷線. 試料番号: IT16100101.

Plate 16 Chert of the Kuzu Complex.

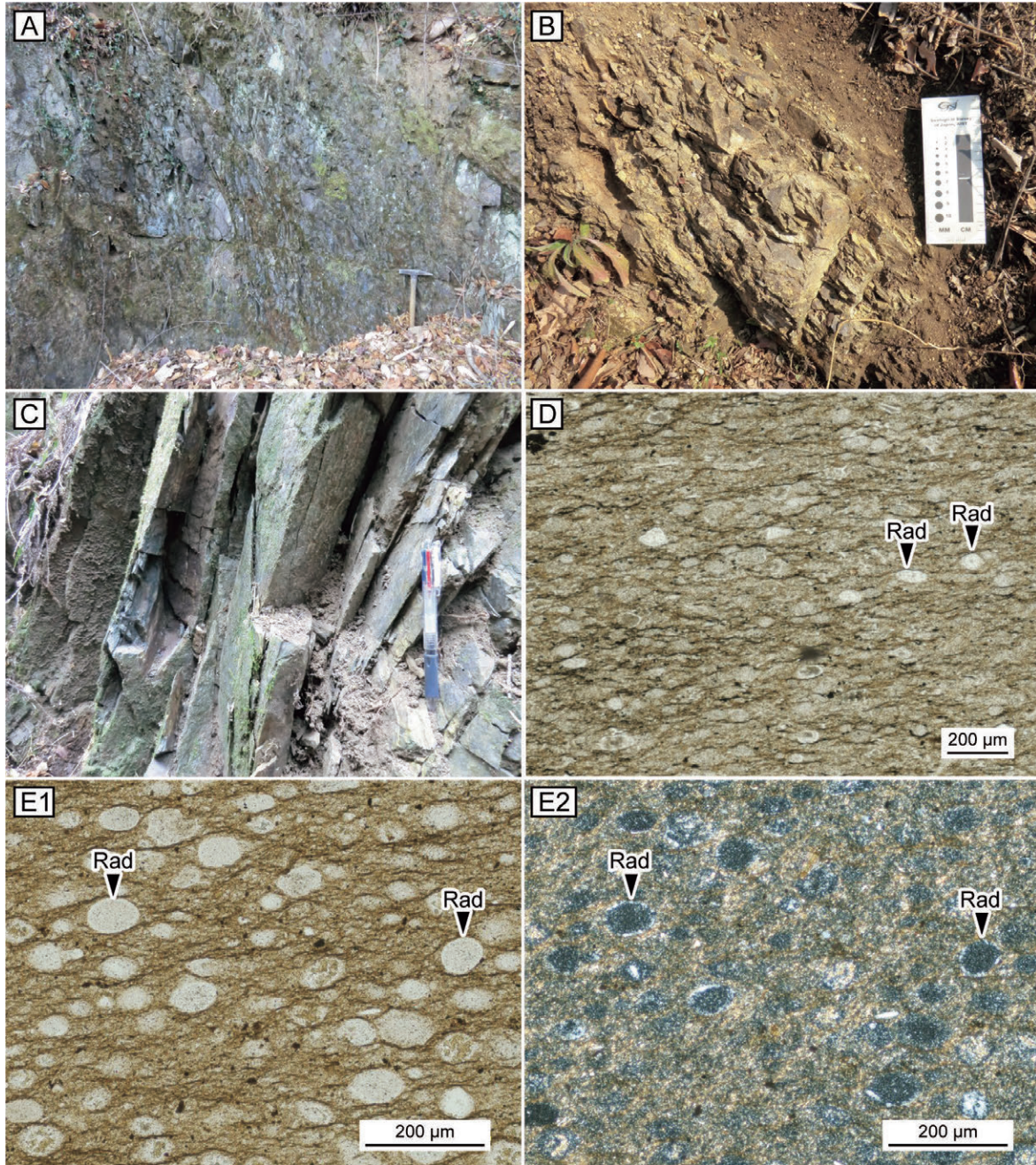
(A) Bedded chert. Climbing road, Oiwa-cho, Ashikaga City.

(B) Striped chert. Climbing road, Oiwa-cho, Ashikaga City.

(C) Thin section photomicrograph of chert composed mainly of cryptocrystalline quartz. Open polars. Kanma River, Kanma-cho, Sano City. Sample number: IT18082503.

(D) Laterally continuous striped chert beds. Road Oiwa-Tsukiya, Tsukiya-cho, Ashikaga City.

(E, F) Thin section photomicrograph of striped chert. Crossed polars. Road Oiwa-Tsukiya, Tsukiya-cho, Ashikaga City. Sample number: IT16100101.



図版17 葛生コンプレックスの珪質泥岩.

(A) 弱い成層構造を呈する珪質泥岩. 足利市月谷町, 大岩月谷線. 中期ジュラ紀放射虫が産出.

(B) 弱い成層構造を呈する珪質泥岩. 足利市大岩町, 大岩月谷線.

(C) 珪質泥岩中にみられる節理. 佐野市閑馬町, 閑馬川.

(D) 放射虫を含む珪質泥岩の薄片写真. オープンニコル. 佐野市閑馬町, 旗川支流. 試料番号: IT18021802. Rad: 放射虫.

(E) 放射虫を含む珪質泥岩の薄片写真. E1: オープンニコル; E2: クロスニコル. 足利市月谷町, 大岩月谷線. 試料番号: IT17122101. Rad: 放射虫. 中期ジュラ紀放射虫が産出.

Plate 17 Siliceous mudstone of the Kuzu Complex.

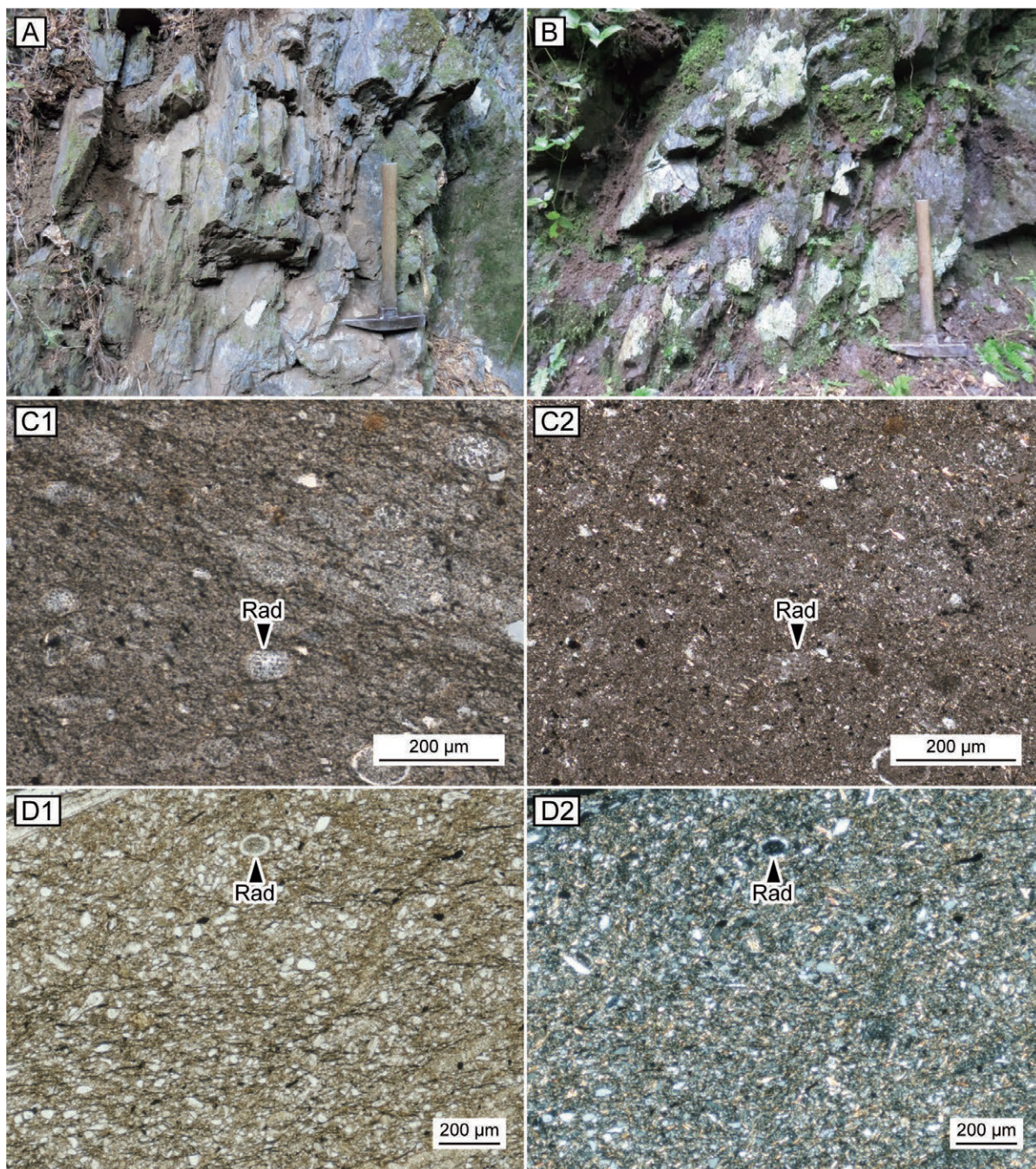
(A) Weakly-bedded siliceous mudstone. Road Oiwa-Tsukiya, Tsukiya-cho, Ashikaga City. Middle Jurassic radiolarians occurred.

(B) Weakly-bedded siliceous mudstone. Road Oiwa-Tsukiya, Oiwa-cho, Ashikaga City.

(C) Joint of siliceous mudstone. Kanma River, Kanma-cho, Sano City.

(D) Thin section photomicrograph of siliceous mudstone including radiolarians. Open polars. Tributary of the Hata River, Kanma-cho, Sano City. Sample number: IT18021802. Rad: radiolarian.

(E) Thin section photomicrograph of siliceous mudstone including radiolarians. E1: Open polars; E2: Crossed polars. Road Oiwa-Tsukiya, Tsukiya-cho, Ashikaga City. Sample number: IT17122101. Rad: radiolarian. Middle Jurassic radiolarians occurred.



図版 18 葛生コンプレックスの泥岩。

(A) 弱い成層構造を呈する泥岩。佐野市閑馬町，閑馬川。

(B) 弱い成層構造を呈する泥岩。佐野市閑馬町，旗川支流。

(C) 放射虫を含む泥岩の薄片写真。C1：オープンニコル；C2：クロスニコル。足利市松田町，松田大月線。試料番号：IT18082904。Rad：放射虫。

(D) 放射虫を含む泥岩の薄片写真。D1：オープンニコル；D2：クロスニコル。佐野市閑馬町，旗川支流。試料番号：IT18021801。Rad：放射虫。

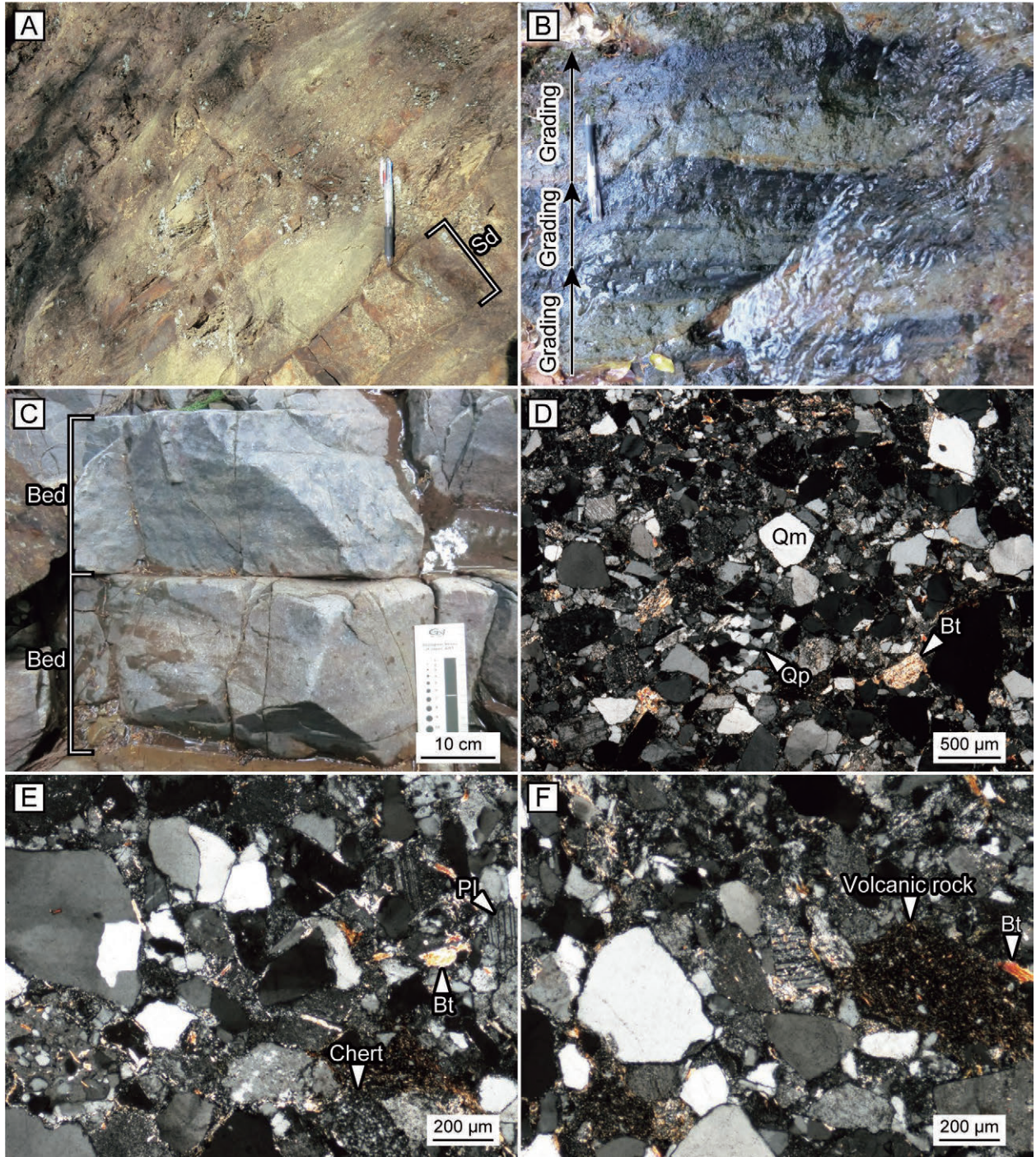
Plate 18 Mudstone of the Kuzu Complex.

(A) Weakly-bedded mudstone. Kanma River, Kanma-cho, Sano City.

(B) Weakly-bedded mudstone. Tributary of the Hata River, Kanma-cho, Sano City.

(C) Thin section photomicrograph of mudstone including radiolarians. C1: Open polars; C2: Crossed polars. Road Matsuda-Otsuki, Matsuda-cho, Ashikaga City. Sample number: IT18082904. Rad: radiolarian.

(D) Thin section photomicrograph of mudstone including radiolarians. D1: Open polars; D2: Crossed polars. Tributary of the Hata River, Kanma-cho, Sano City. Sample number: IT18021801. Rad: radiolarian.



図版 19 葛生コンプレックスの砂岩泥岩互層及び砂岩。

(A) 砂岩泥岩互層。足利市大岩町，大岩月谷線。Sd：砂岩。

(B) 砂岩泥岩互層中の級化。足利市名草上町。

(C) 弱い成層構造を呈する厚層理砂岩。佐野市閑馬町，旗川支流。

(D-F) 石質アレナイトの薄片写真。クロスニコル。足利市大岩町，大岩月谷線。試料番号：IT18022403。Qm：単結晶石英；Qp：多結晶石英；Pl：斜長石；Bt：黒雲母。

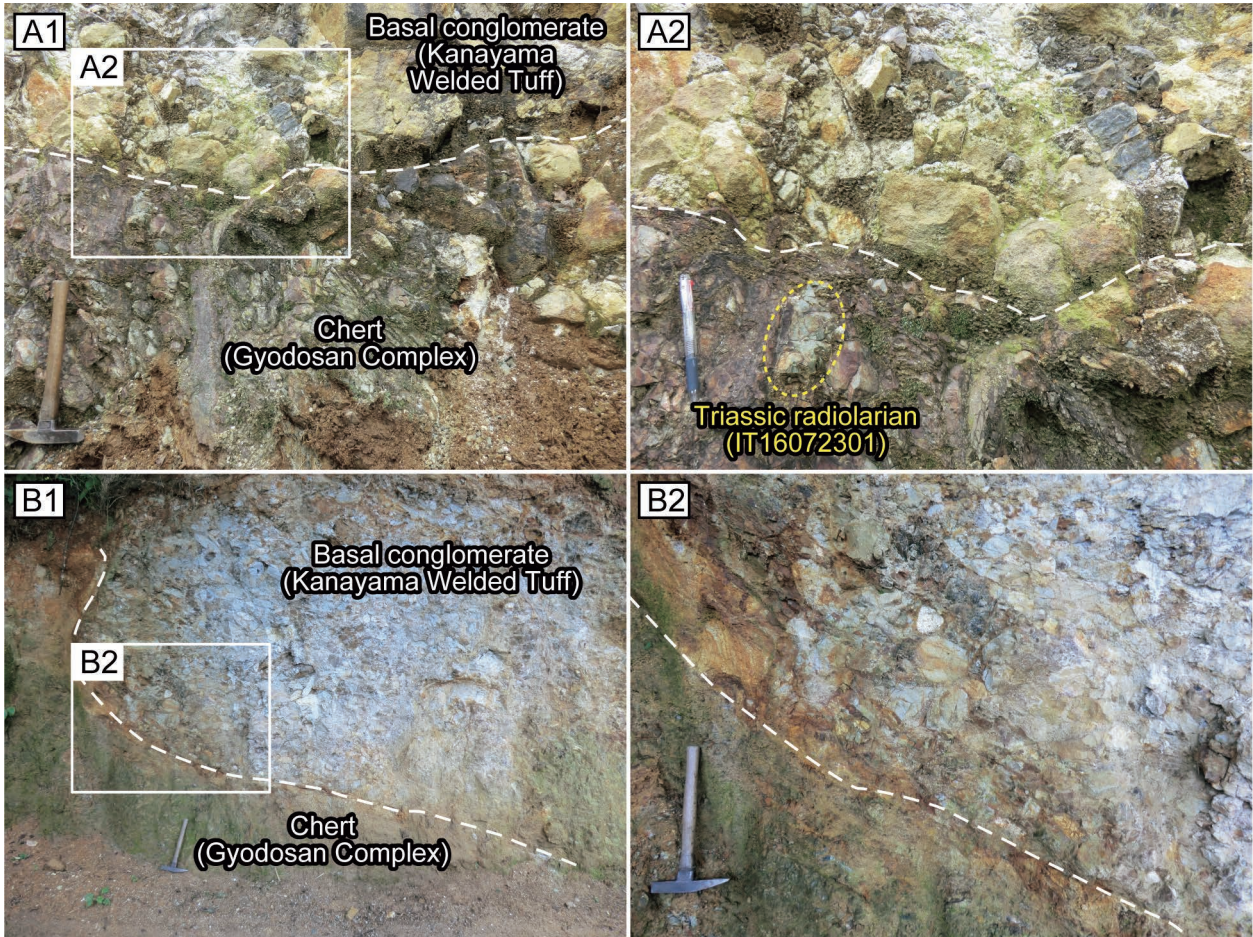
Plate 19 Alternations of sandstone and mudstone and sandstone of the Kuzu Complex.

(A) Alternations of sandstone and mudstone. Road Oiwa-Tsukiya, Oiwa-cho, Ashikaga City. Sd: sandstone.

(B) Grading in alternations of sandstone and mudstone. Crossed polars. Open polars. Nagusa-kamicho, Ashikaga City.

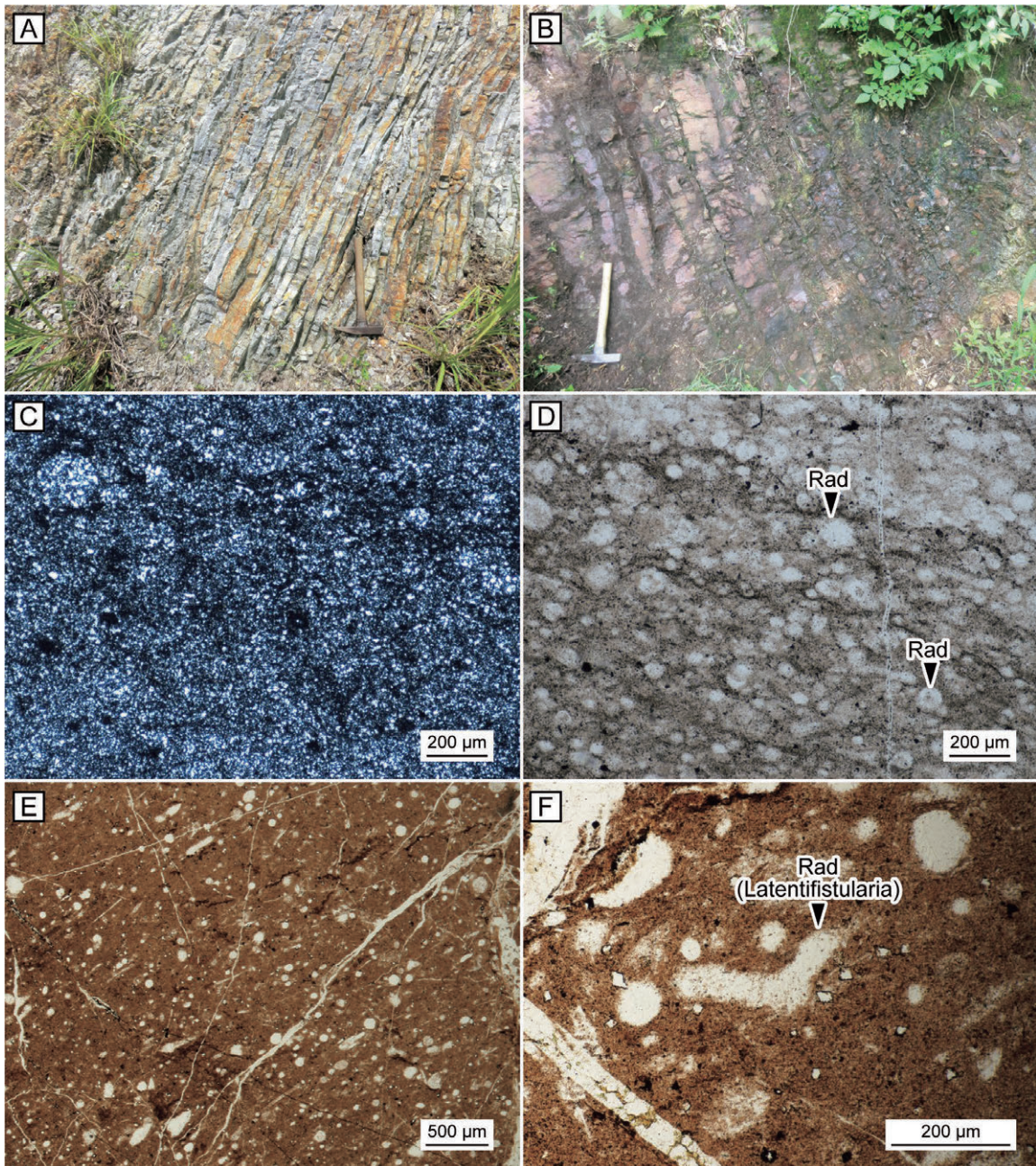
(C) Weakly- and thick-bedded sandstone. Tributary of the Hata River, Kanma-cho, Sano City.

(D-F) Thin section photomicrograph of lithic arenite. Crossed polars. Road Oiwa-Tsukiya, Oiwa-cho, Ashikaga City. Sample number: IT18022403. Qm: monocrystalline quartz; Qp: polycrystalline quartz; Pl: plagioclase; Bt: biotite.



図版20 行道山コンプレックスの層状チャートと古第三系金山溶結凝灰岩の基底礫岩の不整合境界。桐生市広沢町。

Plate 20 Unconformity boundary between chert of the Gyodosan Complex and basal conglomerate of the Paleogene Kanayama Welded Tuff. Hirosawa-cho, Kiryu City.



図版21 行道山コンプレックスのチャート。

(A) 明灰色層状チャート。桐生市広沢町，明盛宏産構内。Ito (2019)のfig. 5Aから転載。

(B) 赤色層状チャート。太田市吉沢町。ペルム紀放散虫が産出。Ito (2019)のfig. 5Bから転載。

(C) 隠微晶質石英を主体とするチャートの薄片写真。クロスニコル。太田市吉沢町。試料番号：IT16120406。

(D) 放散虫を含むチャートの薄片写真。オープンニコル。桐生市広沢町，明盛宏産構内。試料番号：IT16071206。

(E, F) 放散虫を含むチャート。オープンニコル。太田市吉沢町。試料番号：IT19120902。Rad：放散虫。ペルム紀放散虫が産出。

Plate 21 Chert of the Gyodosan Complex.

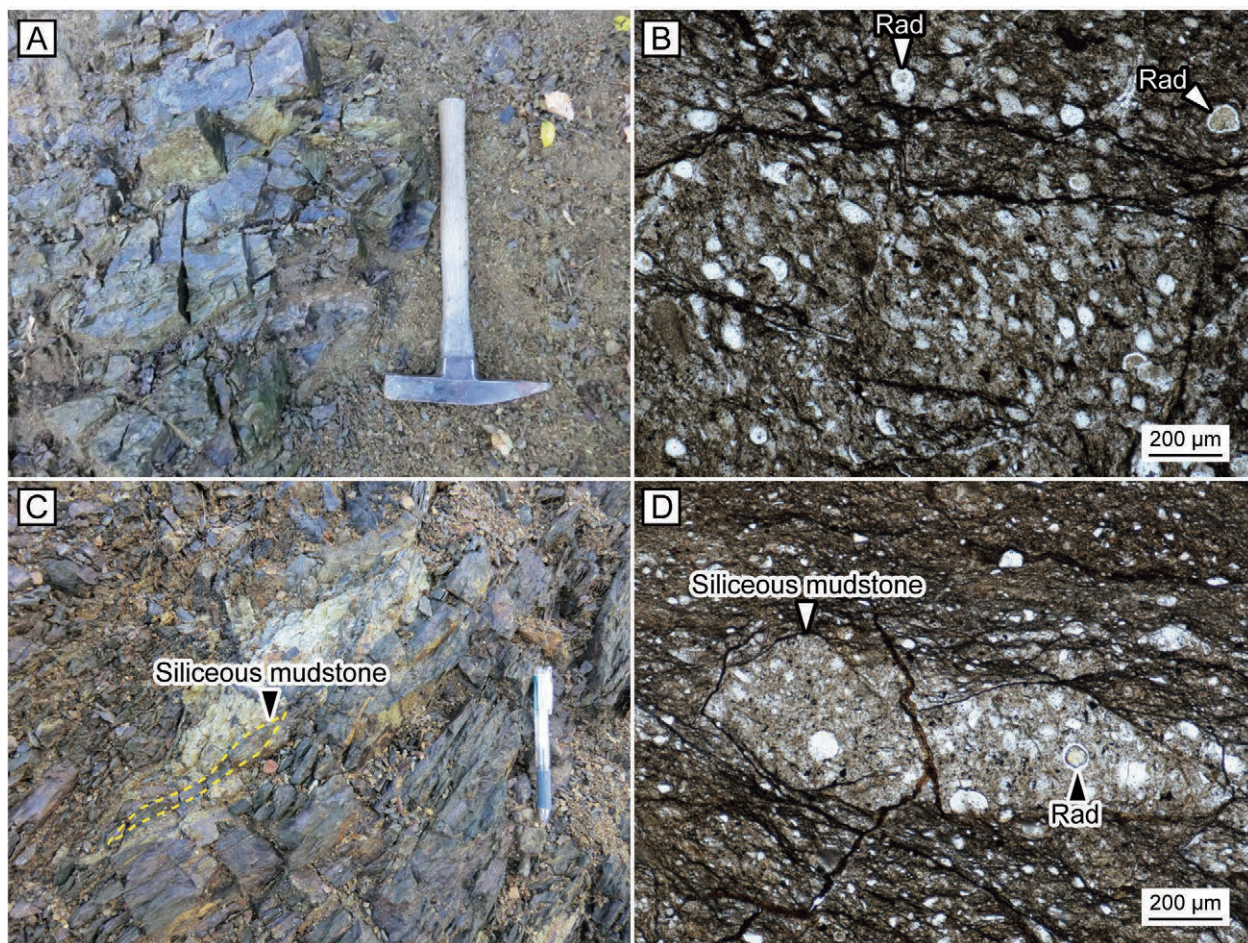
(A) Bright-gray bedded chert. Property of Meisei Kousan Co. Ltd., Hirosawa-cho, Kiryu City. Reprinted from fig. 5A of Ito (2019).

(B) Red bedded chert. Yoshizawa-cho, Ota City. Permian radiolarians occurred. Reprinted from fig. 5B of Ito (2019).

(C) Thin section photomicrograph of chert composed mainly of cryptocrystalline quartz. Crossed polars. Yoshizawa-cho, Ota City. Sample number: IT16120406.

(D) Thin section photomicrograph of chert including radiolarians. Open polars. Property of Meisei Kousan Co. Ltd., Hirosawa-cho, Kiryu City. Sample number: IT16071206. Rad: radiolarian.

(E, F) Chert including radiolarians. Open polars. Yoshizawa-cho, Ota City. Sample number: IT19120902. Rad: radiolarian. Permian radiolarians occurred.



図版22 行道山コンプレックスの珪質泥岩。

(A) 弱い成層構造を呈する珪質泥岩。太田市吉沢町。Ito (2019)のfig. 5Cから転載。

(B) 放射虫を含む珪質泥岩の薄片写真。オープンニコル。太田市吉沢町。試料番号：IT16071406。Rad：放射虫。

(C) レンズ状の珪質泥岩岩塊を含む泥質混在岩。太田市吉沢町、明盛宏産構内。

(D) 泥質混在岩に含まれる珪質泥岩岩塊の薄片写真。オープンニコル。太田市吉沢町、明盛宏産構内。試料番号：IT16112603。Rad：放射虫。Ito (2019)のfig. 6Dから転載。

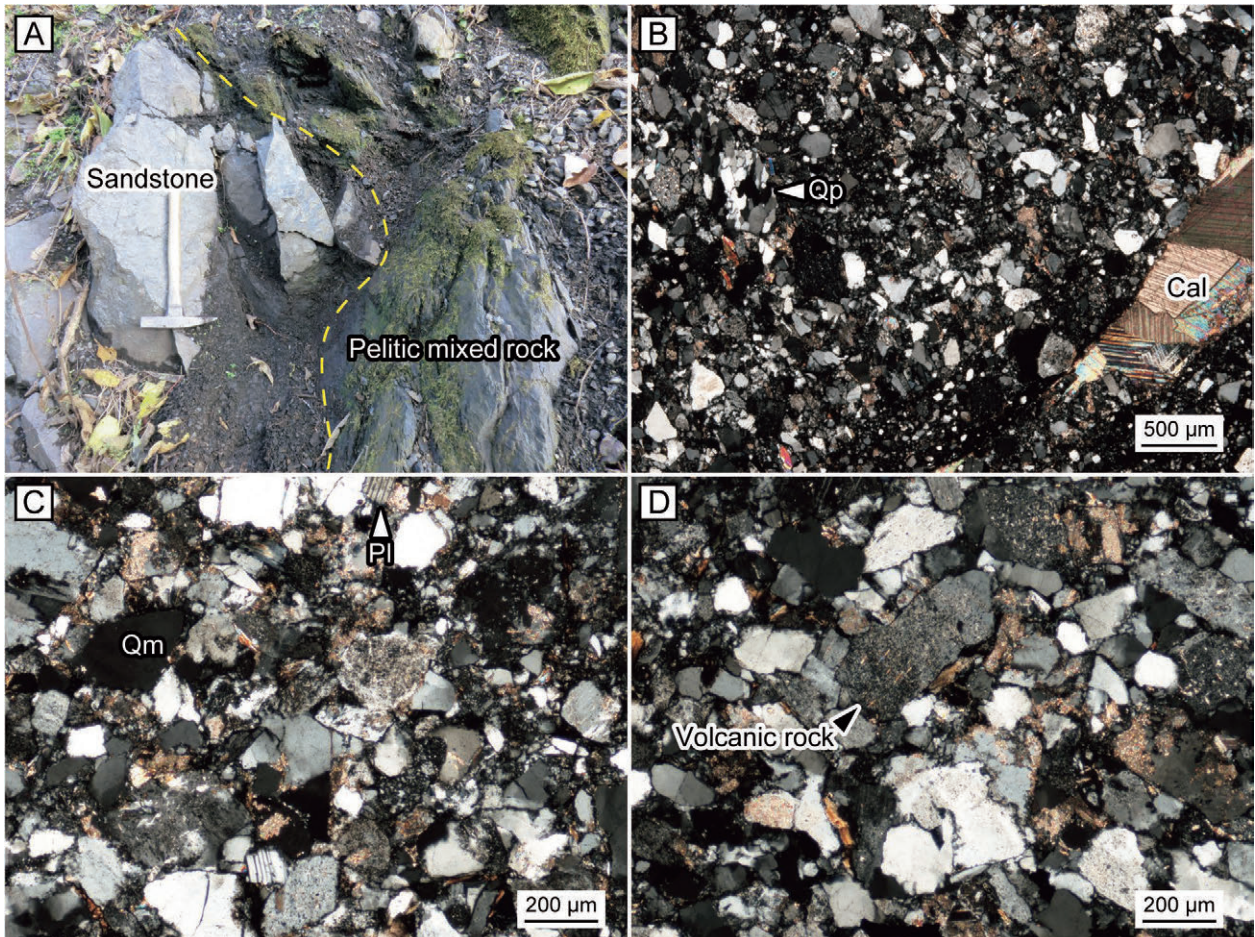
Plate 22 Siliceous mudstone of the Gyodosan Complex.

(A) Weakly-bedded siliceous mudstone. Yoshizawa-cho, Ota City. Reprinted from fig. 5C of Ito (2019).

(B) Thin section photomicrograph of siliceous mudstone including radiolarians. Open polars. Yoshizawa-cho, Ota City. Sample number: IT16071406. Rad: radiolarian.

(C) Pelitic mixed rock containing lenticular siliceous mudstone clasts. Property of Meisei Kousan Co. Ltd., Yoshizawa-cho, Ota City.

(D) Thin section photomicrograph of siliceous mudstone clast within pelitic mixed rock. Open polars. Property of Meisei Kousan Co. Ltd., Yoshizawa-cho, Ota City. Sample number: IT16112603. Rad: radiolarian. Reprinted from fig. 6D of Ito (2019).



図版23 行道山コンプレックスの砂岩.

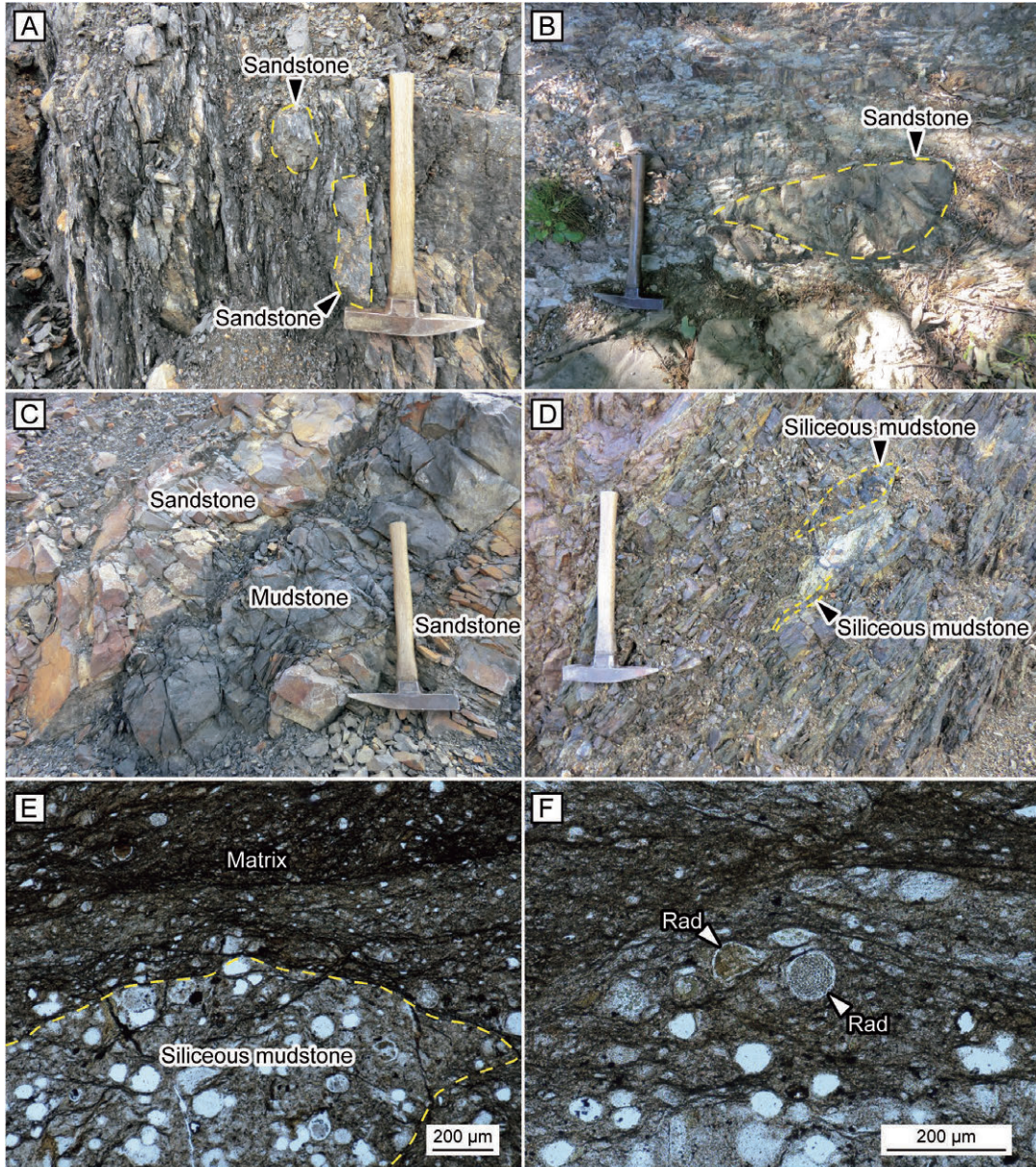
(A) 砂岩岩塊と泥質混在岩. 太田市吉沢町, 明盛宏産構内. Ito (2019)のfig. 5Fから転載.

(B-D) 石質アレナイトの薄片写真. クロスニコル. 太田市吉沢町, 明盛宏産構内. 試料番号: IT16112605. Qm: 単結晶石英; Qp: 多結晶石英; Pl: 斜長石; Cal: 方解石.

Plate 23 Sandstone of the Gyodosan Complex.

(A) Sandstone block and pelitic mixed rock. Property of Meisei Kousan Co. Ltd., Yoshizawa-cho, Ota City. Reprinted from fig. 5F of Ito (2019).

(B-D) Thin section photomicrograph of lithic arenite. Crossed polars. Property of Meisei Kousan Co. Ltd., Yoshizawa-cho, Ota City. Sample number: IT16112605. Qm: monocrystalline quartz; Qp: polycrystalline quartz; Pl: plagioclase; Cal: calcite.

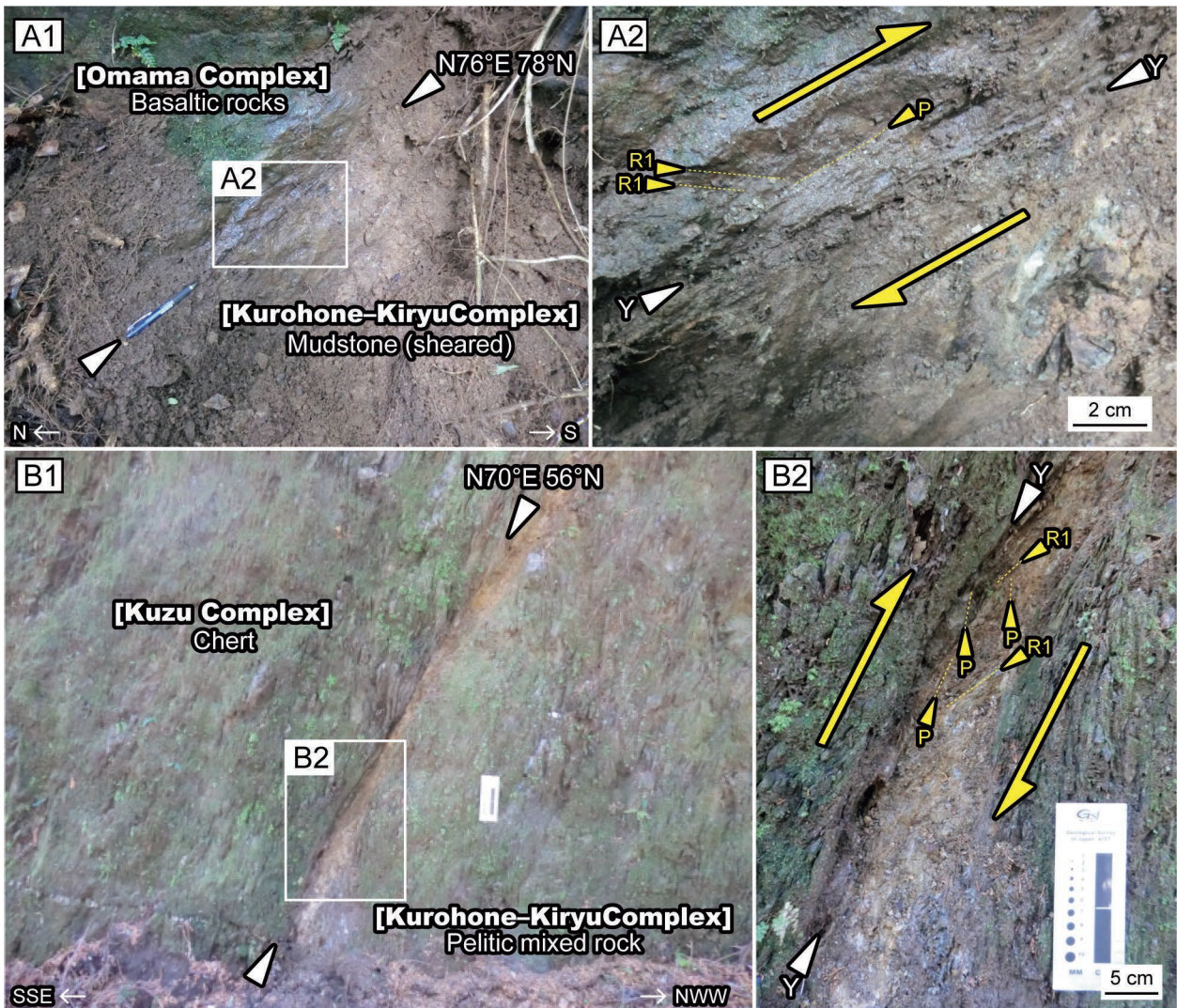


図版24 行道山コンプレックスの泥質混在岩。

- (A) 砂岩の小岩塊を含む泥質混在岩。桐生市広沢町，明盛宏産構内。
 (B) 泥質混在岩に含まれるレンズ状砂岩岩塊。足利市大岩町。
 (C) 砂岩泥岩互層。桐生市広沢町，明盛宏産構内。
 (D) 珪質泥岩を含む泥質混在岩。太田市吉沢町，明盛宏産構内。Ito (2019)のfig. 5Dから転載。
 (E) 泥質混在岩の基質と珪質泥岩岩塊の薄片写真。オープンニコル。太田市吉沢町，明盛宏産構内。試料番号：IT16112603。
 (F) 泥質混在岩の基質中の放散虫の薄片写真。オープンニコル。太田市吉沢町，明盛宏産構内。試料番号：IT16112603。Rad：放散虫。

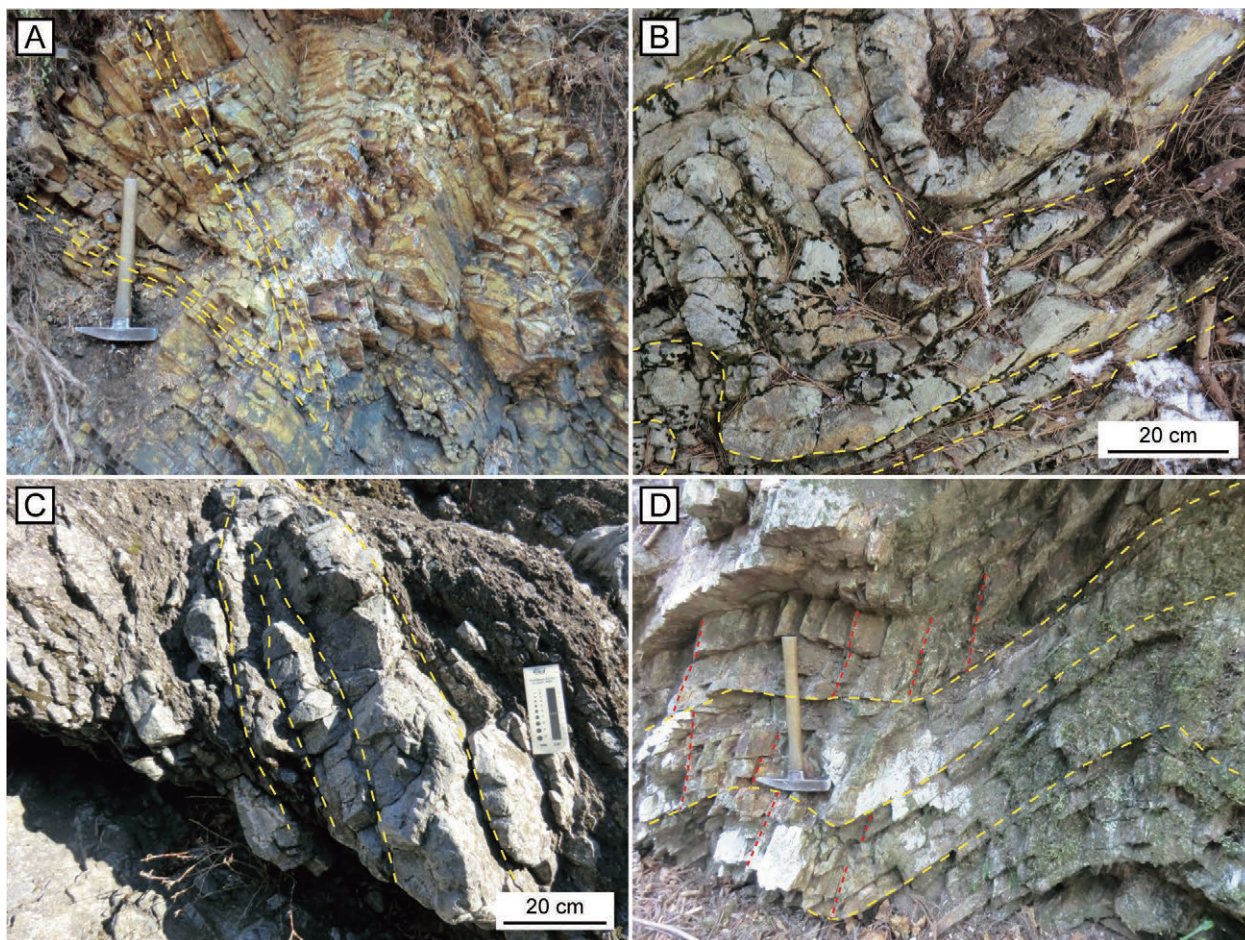
Plate 24 Pelitic mixed rock and mudstone of the Gyodosan Complex.

- (A) Pelitic mixed rock containing small sandstone blocks. Property of Meisei Kousan Co. Ltd., Hirosawa-cho, Kiryu City.
 (B) Lenticular sandstone block within pelitic mixed rock. Oiwa-cho, Ashikaga City.
 (C) Alternations of sandstone and mudstone. Property of Meisei Kousan Co. Ltd., Hirosawa-cho, Kiryu City.
 (D) Pelitic mixed rock containing siliceous mudstone clasts. Property of Meisei Kousan Co. Ltd., Yoshizawa-cho, Ota City. Reprinted from fig. 5D of Ito (2019).
 (E) Thin section photomicrograph of matrix of the pelitic mixed rock and siliceous mudstone clast. Open polars. Property of Meisei Kousan Co. Ltd., Yoshizawa-cho, Ota City. Sample number: IT16112603.
 (F) Thin section photomicrograph of radiolarians within matrix of pelitic mixed rock. Open polars. Property of Meisei Kousan Co. Ltd., Yoshizawa-cho, Ota City. Sample number: IT16112603. Rad: radiolarian.



図版25 コМПレックス境界断層. Y・R1・Pは複合面構造(例えば, 高木・小林, 1996)のそれぞれの面を表す.
 (A) 黒保根-桐生コンプレックスと大間々コンプレックスの境界断層(桐生川断層). 桐生市梅田町.
 (B) 黒保根-桐生コンプレックスと葛生コンプレックスの境界断層(閑馬断層). 佐野市閑馬町, 閑馬川.

Plate 25 Fault of complex boundary. Y, R1 and P indicate respective surface in composite planar fabric (e.g. Takagi and Kobayashi, 1996).
 (A) Boundary fault (Kiryugawa Fault) between the Kurohone-Kiryu and Omama complexes. Umeda-cho, Kiryu City.
 (B) Boundary fault (Kanma Fault) between the Kurohone-Kiryu and Kuzu complexes. Kanma River, Kanma-cho, Sano City.



図版26 黒保根-桐生コンプレックス及び大間々コンプレックスにみられる小褶曲。黄線は層理面を、赤線は節理面を示す。
 (A) 黒保根-桐生コンプレックスの層状チャートにみられる閉じた褶曲。佐野市飛駒町、彦馬川支流。
 (B) 黒保根-桐生コンプレックスの層状チャートにみられる開いた褶曲。佐野市飛駒町、近沢峠北西。
 (C) 大間々コンプレックスの泥質混在岩中のチャート岩塊にみられる等斜褶曲。みどり市大間々町高津戸、高津戸峡。
 (D) 黒保根-桐生コンプレックスの級化型珪質泥岩にみられる開いた褶曲。佐野市飛駒町万山。

Plate 26 Small folds of the Kurohone-Kiryu and Omama complexes. Yellow and red lines indicate bedding and joint surfaces, respectively.
 (A) Closed fold of bedded chert of the Kurohone-Kiryu Complex. Tributary of the Hikoma River, Hikoma-cho, Sano City.
 (B) Open fold of bedded chert of the Kurohone-Kiryu Complex. Northwest of the Chikasawa Pass, Hikoma-cho, Sano City.
 (C) Isometric folds of a chert block within pelitic mixed rock of the Omama Complex. Takatsudo Gorge, Omama-machi Takatsudo, Midori City.
 (D) Open fold of grading type siliceous mudstone of the Kurohone-Kiryu Complex. Ban-yama, Hikoma-cho, Sano City.

Radiolarians from Jurassic accretionary complex of the Ashio belt in the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000), central Japan

ITO Tsuyoshi^{1,*}

ITO Tsuyoshi (2021) Radiolarians from Jurassic accretionary complex of the Ashio belt in the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000), central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 72 (4), p. 287–324, 16 figs.

Abstract: Jurassic accretionary complex of the Ashio belt is distributed in the Ashio Mountains, central Japan. The Jurassic accretionary complex is composed of the Kurohone–Kiryu, Omama, Kuzu and Gyodosan complexes. This article presents new radiolarian occurrences from 42 samples of the Jurassic accretionary complex in the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000). Permian radiolarians occurred in nine chert samples of the Gyodosan Complex. Triassic radiolarians were obtained from four chert samples of the Kuzu Complex. Jurassic radiolarians occurred in one siliceous mudstone sample of the Kurohone–Kiryu Complex; two chert, four siliceous mudstone and two mudstone samples of the Kuzu Complex; and one mudstone sample of the Gyodosan Complex. In addition, the fossil occurrences and their ages are compiled by present and previous studies on the Jurassic accretionary complex in the Ashio Mountains. On that basis, the ocean plate stratigraphy of each complex is reconstructed.

Keywords: radiolarian, Ashio belt, Jurassic accretionary complex, Ashio Mountains, ocean plate stratigraphy, Tochigi Prefecture, Gunma Prefecture, central Japan

1. Introduction

Jurassic accretionary complex of the Ashio belt is widely exposed in the Ashio Mountains, central Japan (Fig. 1). Geological studies on the Jurassic accretionary complex of the Ashio Mountains began in the late 19th century (e.g. Harada, 1886; Suzuki, 1898a, b). First reports of radiolarians were described from the “slate” of the Ashio Copper Mine by Suzuki (1898a, b). Thereafter, radiolarian occurrences were rarely reported from the Jurassic accretionary complex in the Ashio Mountains until the 1970s. Since the 1980s, reports of radiolarians increased from the Jurassic accretionary complex in the Ashio Mountains. Abundant radiolarian occurrences have been reported from the Tochigi District (e.g. Aono, 1985; Arakawa, 1986, 1997, 1998; Kamata, 1995, 1996, 1997a, b, 1999, 2000; Isogawa *et al.*, 1998; Ootaka *et al.*, 1998; Suzuki *et al.*, 2002), whereas fewer occurrences have been reported from the Kiryu and Ashikaga District (Masuda, 1989; Hayashi *et al.*, 1990; Kamata, 1996; Takayanagi *et al.*, 2001; Motoki and Sashida, 2004).

The author has surveyed the Jurassic accretionary complex in the Kiryu and Ashikaga District for making a geological map, and recently reported radiolarian occurrences from the district (e.g. Ito, 2019, 2020a, b). This article is an additional report of Permian, Triassic

and Jurassic radiolarian occurrences from the Jurassic accretionary complex in the district. Further, fossil occurrences from the Jurassic accretionary complex (including neighbor districts) are compiled by the present and previous studies. On that basis, the author attempts to reconstruct the ocean plate stratigraphy of each complex of the Jurassic accretionary complex.

2. Geologic outline of the Jurassic accretionary complex in the Ashio Mountains

In the 1960–1980s, Mesozoic conodonts and radiolarians were discovered in the Jurassic accretionary complex in the Ashio Mountains (e.g. Hayashi, 1963, 1968a, b; Koike *et al.*, 1970, 1971; Hayashi and Hasegawa, 1981; Sashida *et al.*, 1982a, b). Kamata (1996) divided the Jurassic accretionary complex in the southern Ashio Mountains into three tectonostratigraphic units, namely the Kurohone–Kiryu, Omama and Kuzu complexes based on geological scheme of accretionary complex. Recently, Ito (2021) identified the Gyodosan Complex, which thrusts over the Kuzu Complex.

The Kurohone–Kiryu Complex, presenting broken to coherent facies, consists mainly of mudstone and chert and moderate amounts of siliceous claystone, with small amounts of basaltic rocks, carbonate rocks, siliceous

¹ AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation

* Corresponding author: ITO, T., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: ito-t@aist.go.jp

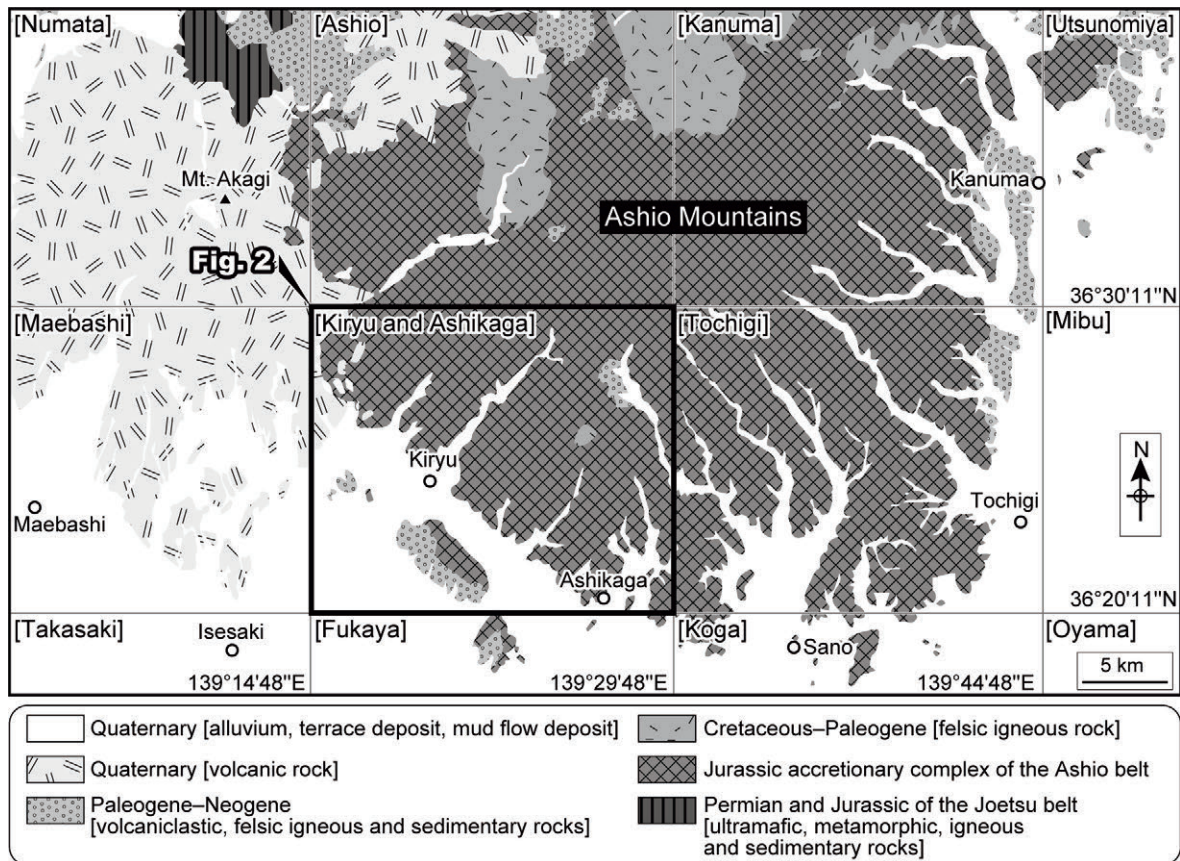


Fig. 1 Index and simplified geologic maps of the Ashio Mountains (modified after from Sudo *et al.*, 1991; Geological Survey of Japan, AIST, 2018). The geographical names in brackets indicate 1:50,000 topographic maps published by the Geospatial Information Authority of Japan.

mudstone, sandstone and pelitic mixed rock. This complex is composed of the upper and lower parts. The upper part is characterized by dominant of mudstone and small amounts of siliceous claystone, compared with the lower part. The upper part contains pelitic mixed rock including blocks of chert and sandstone.

The Omama Complex, presenting broken to mélangé facies, mainly comprises basaltic rocks, chert and mudstone, with small amounts of carbonate rocks, siliceous mudstone, sandstone and pelitic mixed rock. This complex is composed of the upper and lower parts. The lower part is characterized by dominant of basaltic rocks and chert, whereas the upper part is composed mainly of pelitic mixed rock including blocks of basaltic rocks, carbonate rocks, chert and sandstone.

The Kuzu Complex comprises three units, namely units 1, 2 and 3. Units 1 and 3, presenting coherent facies, are composed of chert, siliceous mudstone, mudstone, alternations of sandstone and mudstone and sandstone. In addition, Unit 3 includes small amounts of basaltic rocks and carbonate rocks. Unit 2 is composed of basaltic rocks and carbonate rocks with conglomerate, siliceous mudstone and mudstone.

The Gyodosan Complex presents mélangé facies. It

consists mainly of pelitic mixed rock and chert, with siliceous mudstone, mudstone and sandstone.

3. Materials and methods

In total, 321 samples including the author's previous studies (Ito, 2019, 2020a, b; Ito and Nakamura, 2021) underwent the following method to extract radiolarian fossils. The samples, crushed into approximately 1-cm fragments, were soaked in 5% hydrofluoric acid at room temperature (ca. 20–25 °C). Approximately 24 h later, the residues were collected by a sieve with a mesh diameter of 0.054 mm. Part of the residues were enclosed within a slide prepared with a photocrosslinkable mounting medium (GJ-4006, Gluelabo Ltd.). The slides were analyzed using a transmitted light microscope and then photographed. Several specimens from the residues were mounted on stubs and photographed using scanning electron microscopy.

4. New radiolarian occurrences from the Kiryu and Ashikaga District

This article reports new radiolarian occurrences from

42 samples. Of these, nine samples yielded Permian radiolarians and four samples yielded Triassic ones. Eight samples yielded Jurassic radiolarians. Specimens of undetermined age occurred in 19 samples. Figure 2 show the localities of radiolarian occurrences in the Kiryu and Ashikaga District by the present and previous studies.

4.1 Permian radiolarians

Figure 3 is a traverse map including the Hachioji section studied by Ito (2020a) along a hiking trail in the southwest of Mt. Karasawa of the Hachioji Hills. Permian radiolarians were obtained from chert of the Gyodosan Complex (Fig. 4).

The red chert sample (IT19120902) and gray chert sample (IT19120905) yielded *Pseudoalbaillella japonica* Nestell and Nestell (Figs. 4.2–4.6, 4.8, 4.9, 4.27, 4.28, 4.31–34) and *Pseudoalbaillella postscalprata* Ishiga (Figs. 4.7, 4.29, 4.30). According to Unitary Association Zones (UAZ) of the Permian proposed by Xiao *et al.* (2018), the co-occurrence of *Pseudoalbaillella japonica* and *Pseudoalbaillella postscalprata* indicates that the average of the statistical likelihood is the highest at UAZ 6 (Kungurian, Cisuralian).

The gray chert sample (IT19120908) yielded *Parafollicucullus* sp. cf. *P. monacanthus* (Ishiga and Imoto) (Fig. 4.44). According to the occurrence range of Zhang *et al.* (2014), *Parafollicucullus monacanthus* occurred in the *Parafollicucullus monacanthus* Interval Zone–lower *Follicucullus porrectus* Interval Zone (upper Wordian–lower Capitanian, Guadalupian).

The gray chert sample (IT19120910) yielded *Ishigaconus scholasticus* (Ormiston and Babcock) (Fig. 4.50) in addition to the short form of *Parafollicucullus monacanthus* (Figs. 4.46–4.49). According to Zhang *et al.* (2014), the co-occurrence range of *Parafollicucullus monacanthus* and *Ishigaconus scholasticus* is limited to the lower *Ishigaconus scholasticus* Interval Zone (middle Capitanian).

There is no certain radiolarian age of five samples (IT19120901, IT19120903, IT19120904, IT19120906 and IT19120907); however, their stratigraphic relationships (Fig. 3) likely indicate that they are the Permian in age.

4.2 Triassic radiolarians

Triassic radiolarians were obtained from four chert samples of Unit 3 of the Kuzu Complex in the Kiryu and Ashikaga District (Fig. 5).

Triassocampe sp. (Fig. 5.10) and *Triassocampe?* sp. (Fig. 5.6) were extracted from the gray chert samples, IT17021004 and IT16072004, respectively. *Triassocampe* Dumitrica, Kozur and Mostler and its allied genera, such as *Yeharaia* Nakaseko and Nishimura, occurred in the Triassic, mainly in the Anisian–middle Norian (e.g. Kozur and Mostler, 1994; Sugiyama, 1997; Tekin, 1999; O’Dogherty *et al.*, 2009b).

Triassocampe sp. cf. *T. deweveri* Nakaseko and Nishimura (Figs. 5.16, 29) occurred in the gray chert sample (IT18012403) and the red chert sample (IT18110702).

The occurrence range of *Triassocampe deweveri* shown by Sugiyama (1997) is TR2B–TR4A, middle Anisian–middle Ladinian. The age of these samples may be the middle Anisian–middle Ladinian. Sample IT18110702 yielded *Annulotriassocampe* sp. (Figs. 5.26, 5.27). The genus *Annulotriassocampe* Kozur occurred mainly in the Ladinian (e.g. Kozur and Mostler, 1994; O’Dogherty *et al.*, 2009b), which supports the age assignment of the sample.

4.3 Jurassic radiolarians]

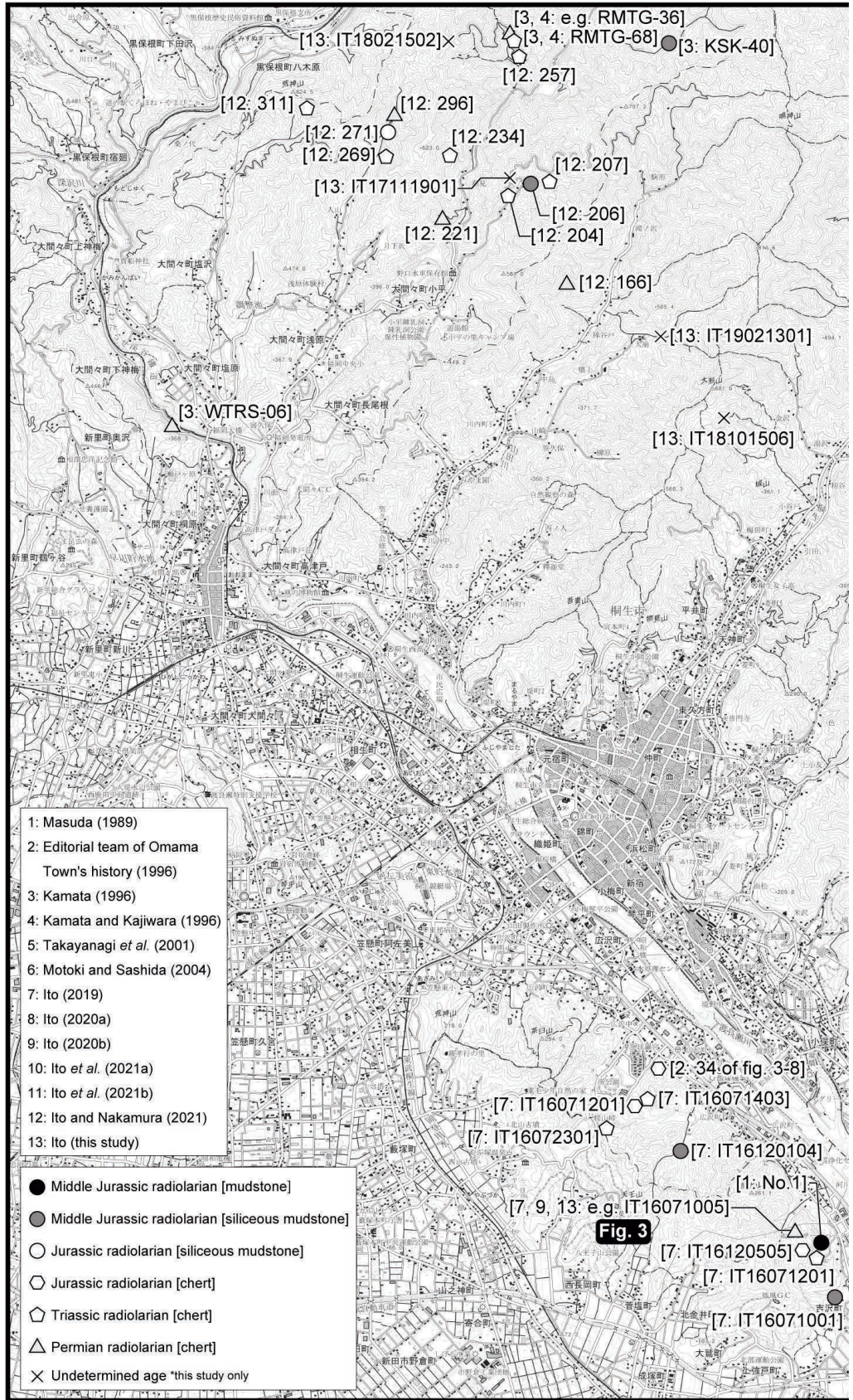
4.3.1 Chert of Unit 3 of the Kuzu Complex

The gray chert sample (IT16072003) yielded *Eucyrtidiellum gunense* Cordey (Fig. 6.11), *Parahsuuum simplum* Yao (Fig. 6.16) and *Parahsuuum transiens* Hori and Yao (Figs. 6.13, 6.14). The occurrence ranges of *Eucyrtidiellum gunense* group and *Parahsuuum simplum* are UA8–UA29 (lower Pliensbachian–middle Toarcian) and UA1–UA36 (Sinemurian–Aalenian), respectively (Carter *et al.*, 2010). Based on the occurrence ranges, this sample is the early Pliensbachian–middle Toarcian, Early Jurassic, in age. *Parahsuuum transiens* has intermediate characteristics between *Parahsuuum simplum* and “*Parahsuuum*” *grande* Hori and Yao (Hori and Yao, 1988). The sample yielded *Parahsuuum transiens* but not “*Parahsuuum*” *grande*, so that the sample may be older during the above-mentioned age, probably Pliensbachian.

The gray chert sample (IT19022101) yielded three-segmented closed nassellarian (Figs. 7.1, 7.2, 7.4). Three-segmented closed nassellarian is known mainly in the Family Williriedellidae Dumitrica, such as *Williriedellum* Dumitrica, *Zhamoidellum* Dumitrica, *Hemicryptocapsa* Tan Sin Hok, *Holocryptocanium* Dumitrica and *Cryptamphorella* Dumitrica. Three-segmented closed nassellarian is also known in *Japonocapsa* Kozur and *Striatojaponocapsa* Kozur of the Family Diacanthocapsidae O’Dogherty. These taxa occurred in the Jurassic–Cretaceous (e.g. Pessagno, 1977b; Matsuoka, 1991, 1998; Hull, 1997; Sykora *et al.*, 1997; Yao, 1997; Hori, 1999; Kiessling, 1999; Kiessling *et al.*, 1999; Chiari *et al.*, 2002; O’Dogherty *et al.*, 2006, 2009a). Consequently, the sample indicates wide range of the Jurassic–Cretaceous in age.

4.3.2 Siliceous mudstone of the Lower part of the Kurohone–Kiryu Complex

The siliceous mudstone sample (IT19021701) yielded closed nassellarian (Figs. 8.1, 8.2, 8.5, 8.8). Closed nassellarian is known in the Mesozoic–Cenozoic, such as *Praeprotunuma* Tekin in the Triassic (Tekin, 1999), *Calocyclas* Ehrenberg in the Paleogene (e.g. Takemura and Ling, 1998) and *Cryptocapsella* Haeckel in the Neogene (e.g. Sanfilippo and Riedel, 1970), in addition to three-segmented closed nassellarian that occurred in the Jurassic–Cretaceous as mentioned in subsection 4.3.1. The sample presents wide age of the Mesozoic–Cenozoic.





(p. 290, 291)

Fig. 2 Locality map of radiolarian occurrence sites in the present and major previous studies. Sample numbers in Fig. 3 are omitted. Base from the Geospatial Information Authority of Japan with its approval (Approval number: R2JHs 66-GISMAP44702). This map uses GISMAP50000R+ “Kiryu and Ashikaga” by Hokkaido-Chizu Co. Ltd.

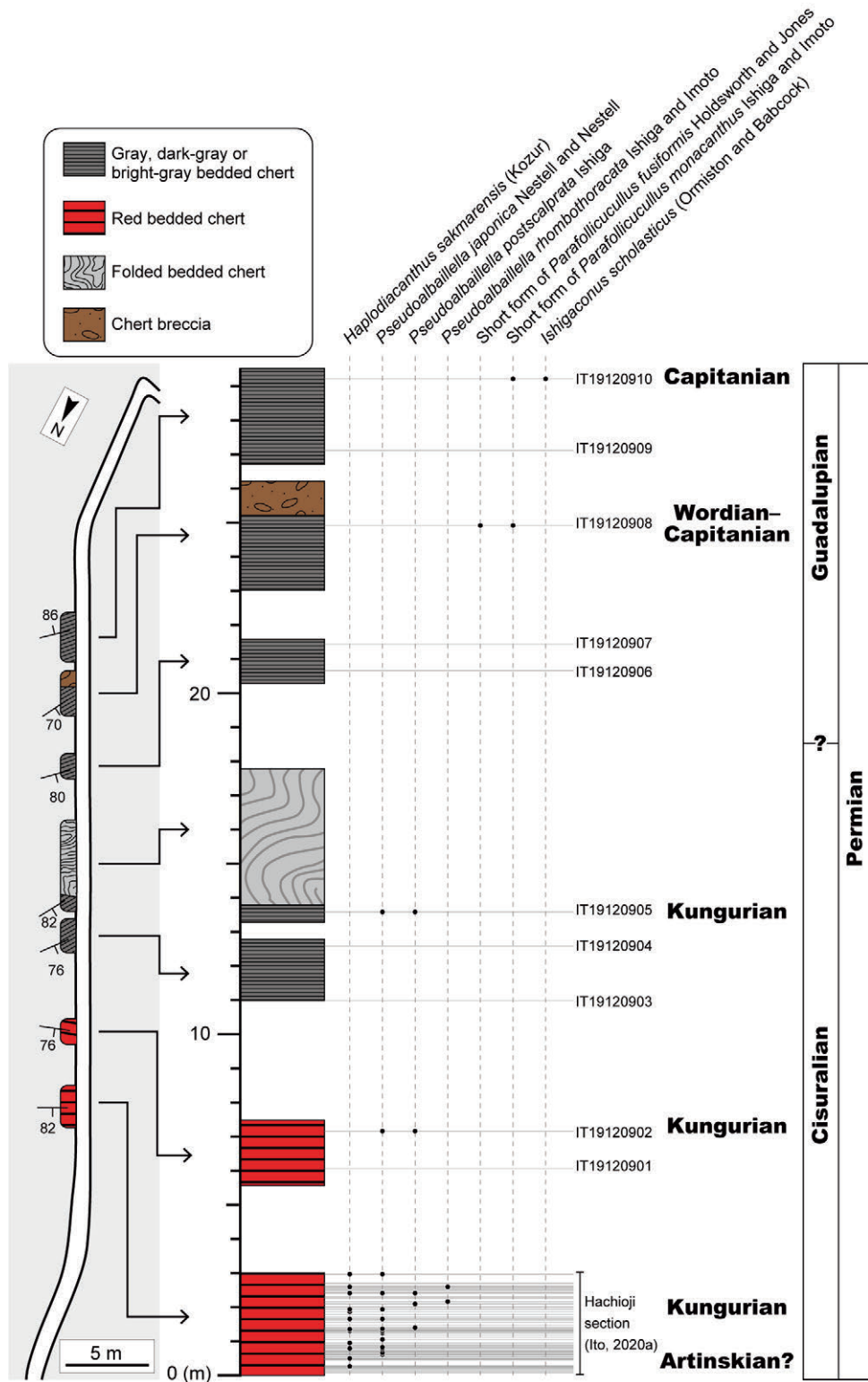


Fig. 3 Traverse map of chert sections including the Hachioji section studied by Ito (2020a) along a hiking trail at southwest of Mt. Karasawa of the Hachioji Hills.

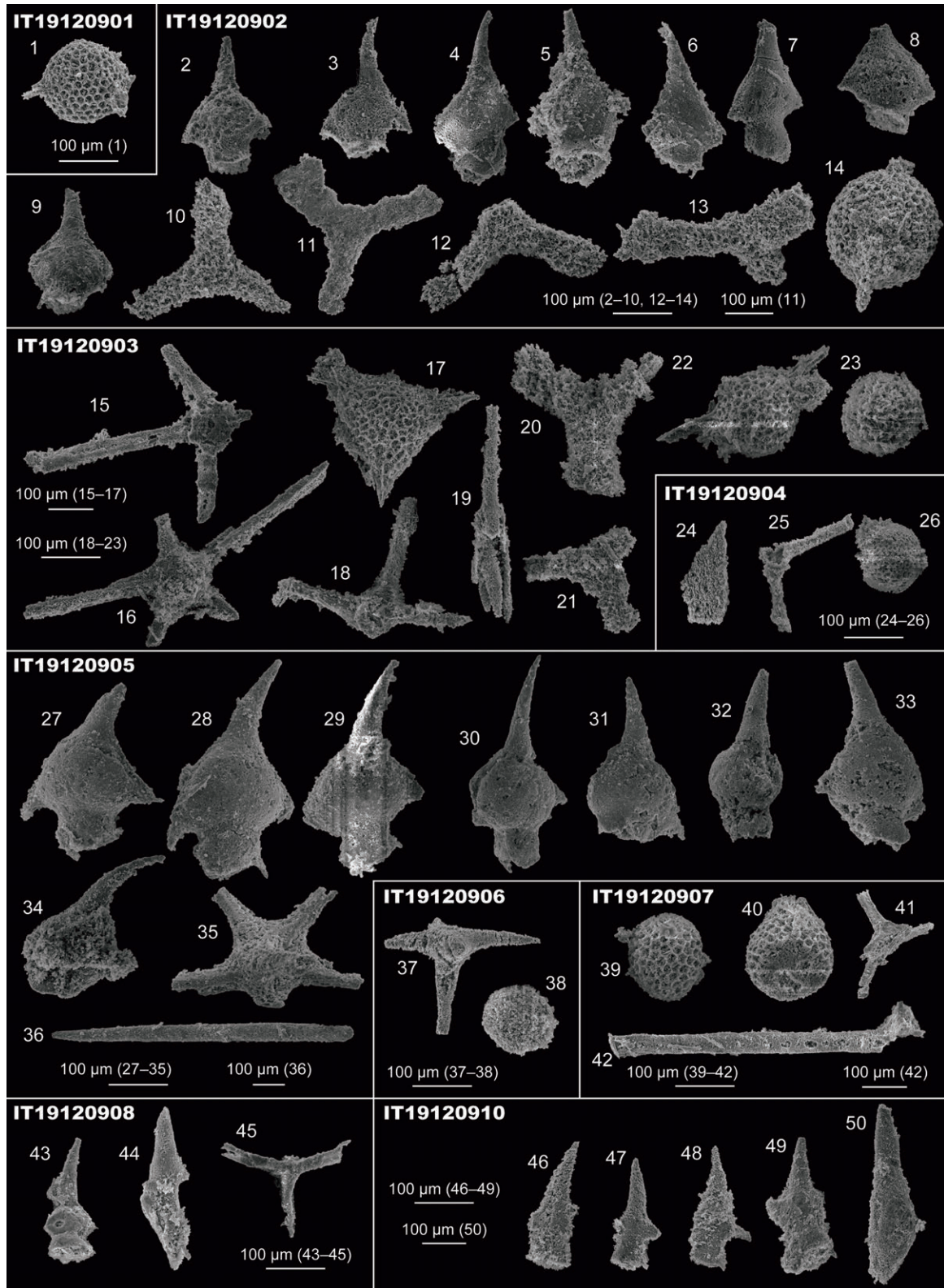


Fig. 4 Permian and possible Permian radiolarians from the chert of the Gyodosan Complex. (1, 14, 22) *Stigmosphaerostylus?* sp. (2–6, 8, 9, 27, 28, 31–33) *Pseudoalbaillella japonica* Nestell and Nestell. (7, 29, 30) *Pseudoalbaillella postscalprata* Ishiga. (10–13, 20, 21) *Latentifistula?* spp. (15) *Polyfistula* sp. (16, 35) *Polyfistula* sp. aff. *P. hexalobata* Nazarov and Ormiston. (17) *Scharfenbergia?* sp. (18, 25, 41, 45) *Quadricaulis?* spp. (19, 36, 37) Sponge spicule. (23, 26, 38–40) Spherical polycystine. (24) *Albaillellaria* gen. et sp. indet. (34) *Pseudoalbaillella?* sp. (42) Arm of *Latentifistularia* gen. et sp. indet. (43) Short form of *Parafollicucullus fusiformis* Holdsworth and Jones. (44) *Parafollicucullus* sp. cf. *P. monacanthus* (Ishiga and Imoto). (46–49) Short form of *Parafollicucullus monacanthus* (Ishiga and Imoto). (50) *Ishigaconus scholasticus* (Ormiston and Babcock).

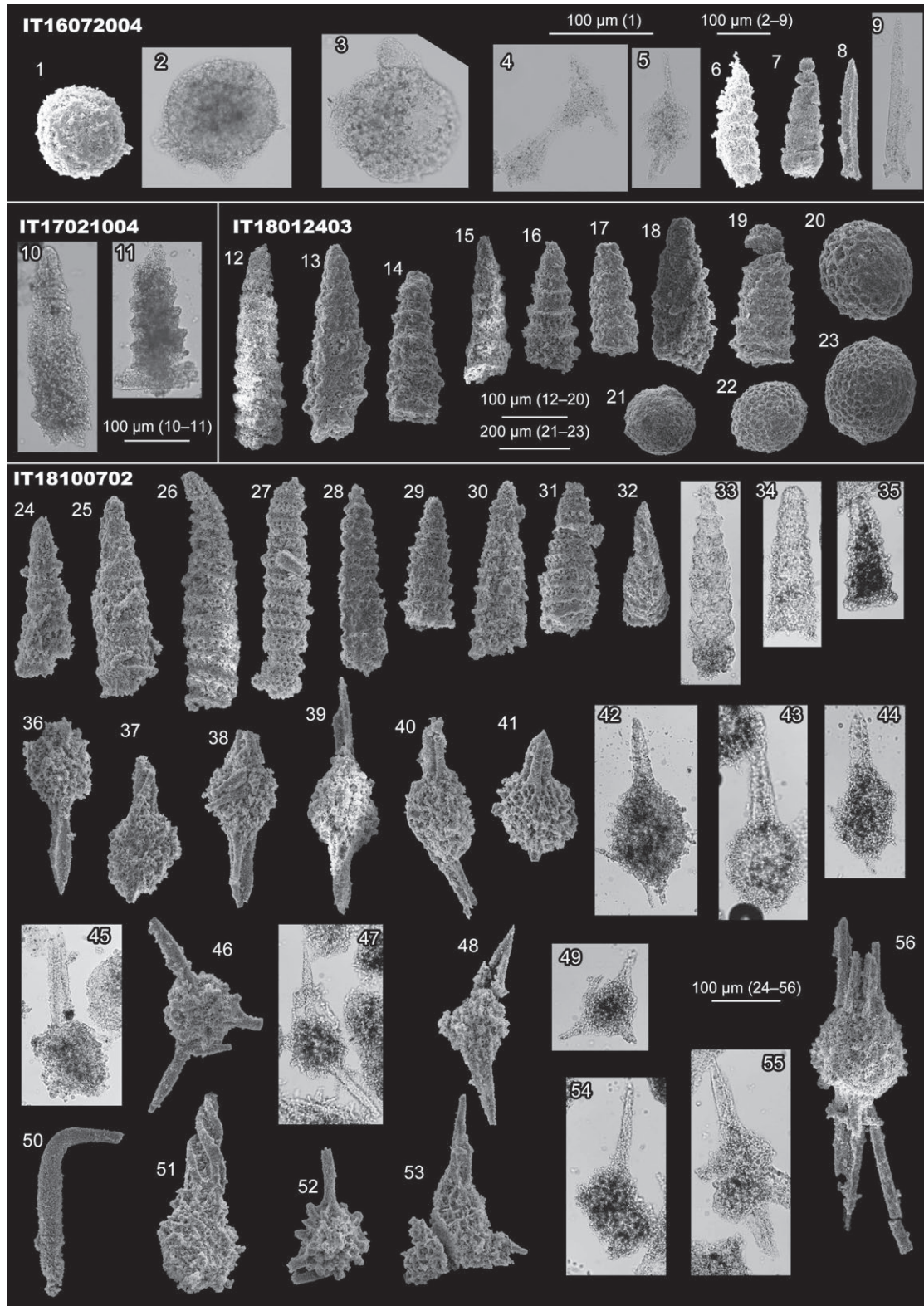


Fig. 5 Triassic radiolarians from the chert of the Kuzu Complex. (1–3, 20–23) Spherical polycystine. (4, 46, 47, 49) Three-coplaner-spine-bearing spherical polycystine. (5) *Pseudostylosphaera*? sp. (6, 11–15, 17–19, 24, 25, 28, 31, 33, 35) *Triassocampe*? sp. (7) Multi-segmented nassellarian. (8, 9) Grooved spine. (10, 30, 34) *Triassocampe* sp. (16, 29) *Triassocampe* sp. cf. *T. deweveri* Nakaseko and Nishimura. (26, 27) *Annulotriassocampe* sp. (32) *Yeharaia* sp. (36, 38, 41, 44) *Pseudostylosphaera* sp. cf. *P. japonica* (Nakaseko and Nishimura). (37, 39, 40, 42, 43, 45, 55, 56) *Pseudostylosphaera* sp. (48) *Eptingium* sp. cf. *E. nakasekoi* (Kozur and Mostler). (50) Spine A2 of Sugiyama (1997). (51) *Muelleritortis*? sp. (52) *Xenorum*? sp. (53) *Capnuchosphaera*? sp. (54) Spine-bearing spherical polycystine.

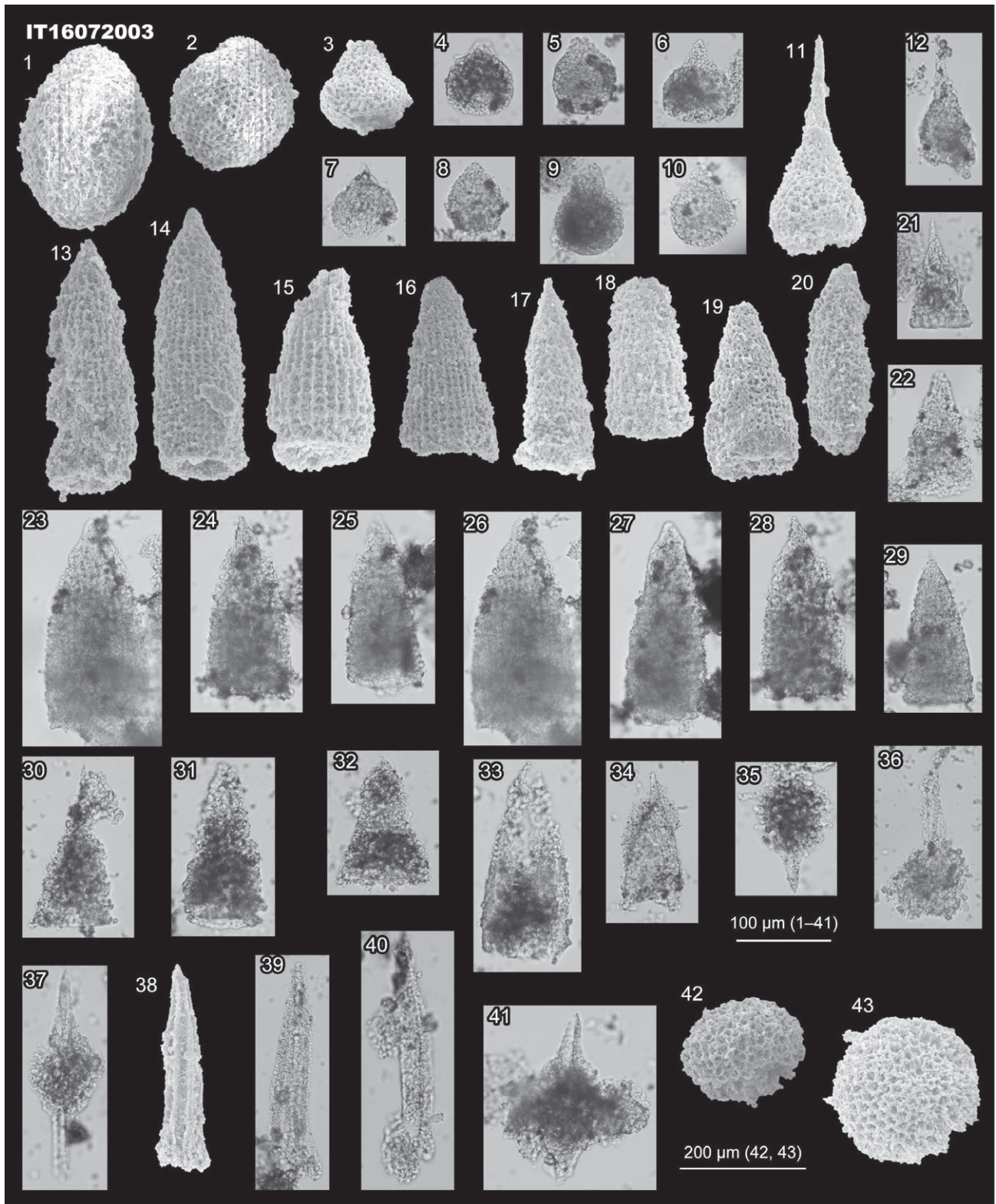


Fig. 6 Early Jurassic radiolarians from the chert of the Kuzu Complex. (1, 2) Closed nassellarian. (3, 6, 12) *Eucyrtidiellum* sp. (4, 5, 7-10) Three-segmented closed nassellarian. (11) *Eucyrtidiellum gunense* Cordey. (13, 14) *Parahsuum transiens* Hori and Yao. (15) *Parahsuum* sp. cf. *P. simplum* Yao. (16) *Parahsuum simplum* Yao. (17-21, 24, 25, 27-34) Multi-segmented nassellarian. (23, 26) *Parahsuum*? sp. (35-37) *Pantanellium*? sp. (38-40) Grooved spine. (41) *Trillus*? sp. (42, 43) Spherical polycystine.

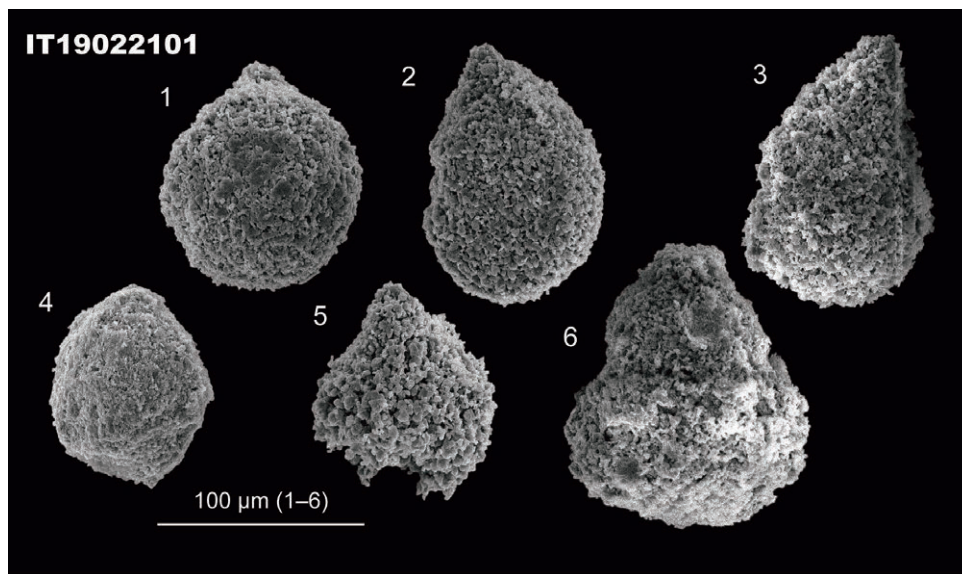


Fig. 7 Possible Jurassic radiolarians from the chert of the Kuzu Complex. (1, 2, 4) Three-segmented closed nassellarian. (3, 5, 6) Closed nassellarian.

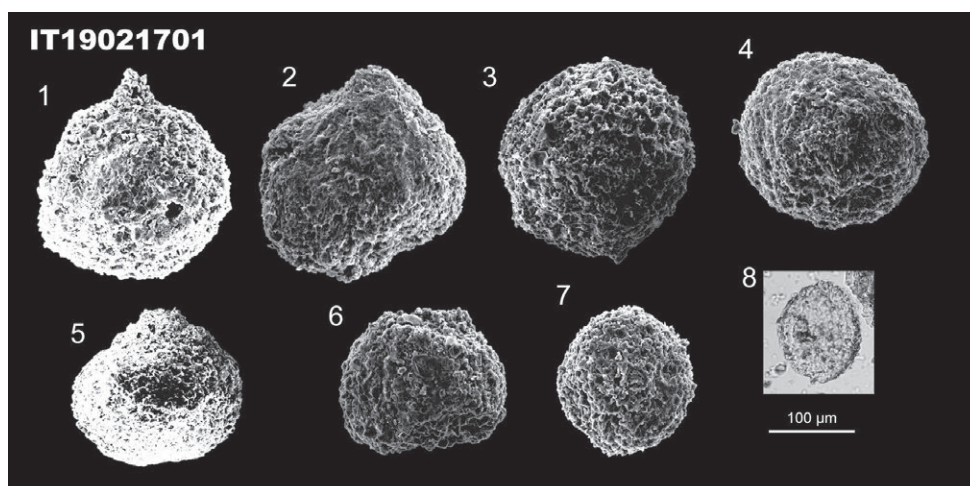


Fig. 8 Possible Jurassic radiolarians from the siliceous mudstone of the Kurohone–Kiryu Complex. (1, 2, 5, 8) Closed nassellarian. (3, 4, 6, 7) Spherical polycystine.

4.3.3 Siliceous mudstone of Unit 3 of the Kuzu Complex

The bright-gray siliceous mudstone sample (IT17121005) yielded three-segmented closed nassellarian (Figs. 9.1, 9.2). As mentioned in subsection 4.3.1, three-segmented closed nassellarian occurred in the Jurassic–Cretaceous, so the age of this sample presents wide range of the Jurassic–Cretaceous.

The gray siliceous mudstone sample (IT17122101) yielded *Japonocapsa* sp. aff. *J. fusiformis* (Yao) sensu Matsuoka (1983) (Fig. 9.5). Matsuoka (1983) stated that *Japonocapsa fusiformis* changes gradually into *Japonocapsa* sp. aff. *J. fusiformis* near the biohorizon of the

first appearance of *Striatojaponocapsa conexa* (Matsuoka). *Striatojaponocapsa conexa* is the characteristic species of JR5 (*Striatojaponocapsa conexa* Zone) of the upper Bathonian–Callovian, Middle Jurassic (Matsuoka and Ito, 2019). *Japonocapsa* sp. aff. *J. fusiformis* occurred also in JR6 (*Kilinora spiralis* Zone) (Matsuoka, 1983) corresponding to the uppermost Callovian–Oxfordian, Middle–Upper Jurassic (Matsuoka and Ito, 2019); however, the sample did not yield characteristic species of JR6. Consequently, the age of this sample is probably the late Bathonian–Callovian, Middle Jurassic.

Mizukidella? sp. (Fig. 9.31) occurred in the dark-gray siliceous mudstone sample (IT18022401). *Mizukidella*

occurred in the Bajocian–Berriasian, Middle Jurassic–earliest Cretaceous (O’Dogherty *et al.*, 2017). This sample presents wide age of the Bajocian–Berriasian.

The gray siliceous mudstone sample (IT18110703) yielded *Striatojaponocapsa synconexa* O’Dogherty, Goričan and Dumitrica (Fig. 10.1). The occurrence range of *Striatojaponocapsa synconexa* is from upper JR4 (*Striatojaponocapsa plicarum* Zone) to lower JR5 (*Striatojaponocapsa conexa* Zone), Bathonian, Middle Jurassic (Matsuoka and Ito, 2019). Consequently, this sample corresponds to the Bathonian.

4.3.4 Mudstone of the Kuzu Complex

The dark-gray mudstone sample (IT18022402), considered to be Unit 3 of the complex, yielded *Striatojaponocapsa* sp. (Fig. 11.1). Species of *Striatojaponocapsa* Kozur, such as *Striatojaponocapsa plicarum* (Yao), *Striatojaponocapsa synconexa*, *Striatojaponocapsa riri* O’Dogherty, Goričan and Dumitrica and *Striatojaponocapsa conexa*, occurred mainly in the Bajocian–Oxfordian (e.g. Yao, 1979; Matsuoka, 1983, 1988; Hull, 1997; Hatakeda *et al.*, 2007; O’Dogherty *et al.*, 2006, 2009a). Thus, the age of the sample is most probably the Bajocian–Oxfordian.

The dark-gray mudstone sample (IT18082506) yielded three-segmented closed nassellarian (Figs. 11.6, 11.7). As mentioned in subsection 4.3.1, three-segmented closed nassellarian occurred in the Jurassic–Cretaceous. Thus, this sample presents wide age of the Jurassic–Cretaceous.

4.3.5 Mudstone of the Gyodosan Complex

Pelitic mixed rock (IT18082904) yielded *Archaeodictyomitra* sp. (Fig. 12.11). Species of *Archaeodictyomitra* Pessagno occurred mainly in the Jurassic–Cretaceous (e.g. Pessagno, 1977b; Pessagno and Whalen, 1982; Aita, 1987; Yang, 1993; Dumitrica-Jud, 1995; Hori, 1999; Kozai *et al.*, 2006; O’Dogherty *et al.*, 2006, 2009a). Matsuoka (1986) discussed lineages and occurrence ranges of several multi-segmented nassellarian including *Archaeodictyomitra*. According to the description, this genus appeared around the Pliensbachian, middle Early Jurassic. Although the detailed age is unknown, this sample presents wide age of the middle Early Jurassic–Cretaceous.

4.4 Undetermined-age radiolarians

Poorly preserved radiolarians were obtained from 19 samples (Fig. 13). The ages of these samples cannot be determined.

5. Fossil age of each lithology of the Jurassic accretionary complex of the Ashio Mountains

Radiolarian occurrences from the Jurassic accretionary complex in the Kiryu and Ashikaga District were presented in chapter 3. Figure 14 shows the age assignment of the samples. On the basis of the radiolarian occurrences in this study and previously-reported fossil occurrences (e.g. radiolarian, conodont, fusulinid), fossil age of lithology

presents for each complex in the Jurassic accretionary complex in this chapter. Figure 15 represents the relationships of the fossiliferous rocks and occurrence fossils.

5.1 Kurohone–Kiryu Complex

The Kurohone–Kiryu Complex is distributed mainly in the Kurohone and Kiryu areas. The Kurohone area is around Kurohone-cho of Kiryu City (former Kurohone Village) located northwest of the Watarase River. The Kiryu area (eastern part of the current Kiryu City = former Kiryu City before merger with Kurohone and Niisato villages) is mainly between the Yamada and Kiryu rivers. These areas are separated by the distributional area of the Omama Complex.

Based on lithology by the present and previous studies, the lower and upper parts of the Kurohone–Kiryu Complex is distributed in the Kiryu area whereas the lower part is solely exposed in the Kurohone area. The fossil occurrences from the areas have slightly differences. For these reasons, the fossil age is described by each area, following previous studies (e.g. Kamata, 1996; Takayanagi *et al.*, 2001).

5.1.1 Lower part (Kiryu area)

(1) Carbonate rocks

Igo (1985) and Koike *et al.* (1991) discovered Triassic conodont from limestone blocks in the Kanuma District. The limestone blocks are probably located in the distributional area of the lower part of the Kurohone–Kiryu Complex. A mixed fauna of Early–Late Triassic conodonts was obtained from the limestone blocks. In particular, *Epigondolella bidentata* Mosher occurred in the limestone blocks (Koike *et al.*, 1991). The occurrence range of this species is the late Norian–early Rhaetian, Late Triassic (Rigo *et al.*, 2018), and it is the youngest conodont species in the mixed fauna. Therefore, the youngest part of the limestone blocks was deposited near the late Norian–early Rhaetian at least.

(2) Siliceous claystone

Olenekian (Early Triassic) conodont species, such as *Triassospathodus abruptus* (Orchard) and *Triassospathodus homeri* (Bender), have been reported from the siliceous claystone (Sashida *et al.*, 1992; Motoki and Sashida, 2004; Muto and Ito, 2021).

Hayashi (1964) reported conodonts from the “Narutaki Grindstone.” Although its age was given, Hayashi (1964) mentioned that the “Narutaki Grindstone” occurs in Umeda (Kiryu City) and Hikoma (Sano City). These localities contain the distributional area of the Kurohone–Kiryu Complex and possibly the Omama Complex.

(3) Chert

Triassic conodonts and radiolarians have been discovered in chert (e.g. Hayashi, 1963; Aono, 1985; Hayashi *et al.*, 1990; Kamata, 1996; Motoki and Sashida, 2004).

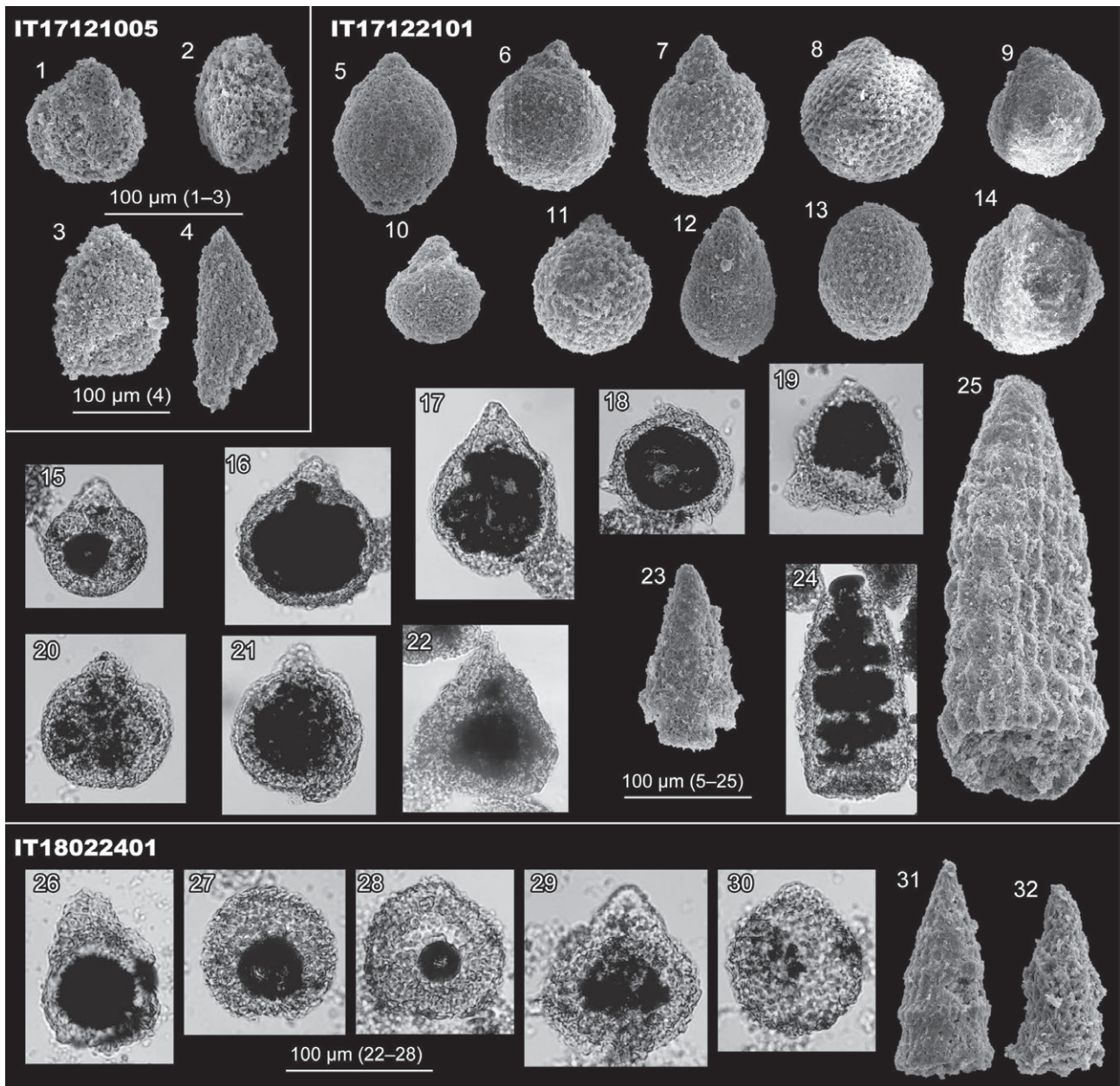


Fig. 9 Jurassic and possible Jurassic radiolarians from the siliceous mudstone of the Kuzu Complex. (1, 2, 6–11, 13–22, 27–30) Three-segmented closed nassellarian. (3, 4) Nassellaria gen. et sp. indet. (5) *Japonocapsa* sp. aff. *J. fusiformis* (Yao) sensu Matsuoka (1983). (12, 26) Closed nassellarian. (23, 24, 32) Multi-segmented nassellarian. (25) *Hsuum maxwelli* Pessagno. (31) *Mizukidella?* sp.

Aono (1985) reported *Epigondolella primitia* Mosher. Muto and Ito (2021) changed the belongingness of this species as *Metapolygnathus primitius* and concluded that the age is the late Carnian–early Norian (Late Triassic).

Kamata (1996) reported *Yeharaia* sp. and *Pseudostylosphaera* sp. from chert samples (e.g. MKR-18). Occurrence ranges by Sugiyama (1997) show that the *Yeharaia* species and *Pseudostylosphaera* species occurred in the uppermost Anisian–middle Ladinian and the Anisian–middle Carnian, respectively. The age of these samples is assigned as the latest Anisian–middle Ladinian.

Takayanagi *et al.* (2001) reported *Capnodoce* sp. from sample ASK-5. Species of the genus *Capnodoce* De Wever occurred in the upper Carnian–middle Norian, Upper Triassic (e.g. Sugiyama, 1997; O’Dogherty *et al.*, 2009b).

Motoki and Sashida (2004) reported *Pseudostylosphaera japonica*, *Pseudostylosphaera longispinosa* Kozur and Mostler and *Oertlispongus diacanthus* Sugiyama. *Pseudostylosphaera japonica* and *Oertlispongus diacanthus* occurred in TR2B–TR5A (middle Anisian–middle Carnian) and TR2A–TR2C (early–middle Anisian), respectively (Sugiyama, 1997). Consequently,

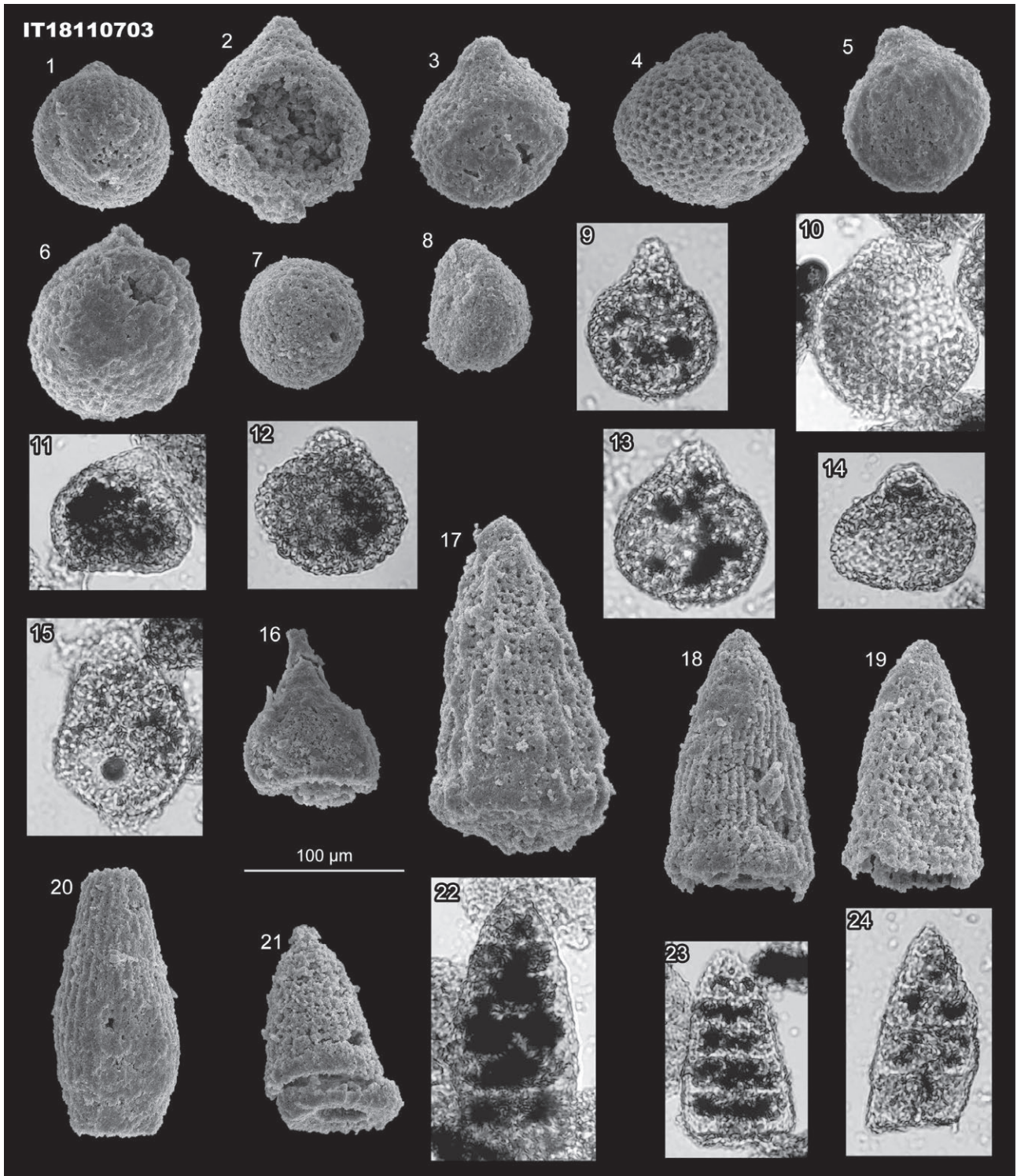


Fig. 10 Jurassic radiolarians from the siliceous mudstone of the Kuzu Complex. (1) *Striatojaponocapsa synconexa* O'Dogherty, Goričan and Dumitrica. (2) “*Stichocapsa*” sp. E sensu Baumgartner *et al.* (1995). (3, 5, 10) *Striatojaponocapsa?* sp. (4, 6–9, 11–14) Three-segmented closed nassellarian. (15) *Yaocapsa?* sp. (16) *Eucyrtidiellum* sp. cf. *E. unumaense* (Yao). (17) *Hsuum maxwelli* Pessagno. (18, 20) *Archaeodictyomitra* sp. (19) *Takemuraella* sp. cf. *T. japonica* (Takemura). (21–24) Multi-segmented nassellarian.

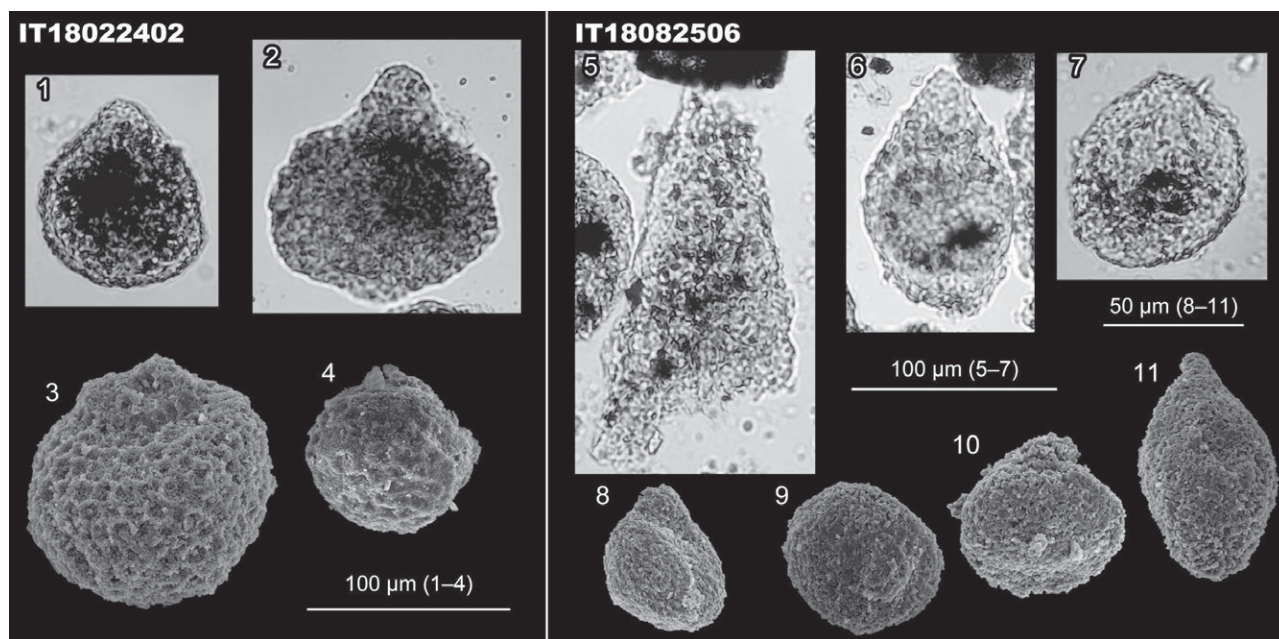


Fig. 11 Possible Jurassic radiolarians from the mudstone of the Kuzu Complex. (1) *Striatojaponocapsa* sp. (2) *Willriedellum? marcucciae* Cortese. (3, 6, 7) Three-segmented closed nassellarian. (4, 8–11) Closed nassellarian. (5) Multi-segmented nassellarian.

the age of the sample is the middle Anisian.

(4) Siliceous mudstone

Sample IT19021701 in this study yielded closed nassellarian. Such radiolarians occurred in the Mesozoic–Cenozoic in age, as mentioned in subsection 4.3.2.

5. 1. 2 Upper part (Kiryu area)

(1) Chert

Triassic and Jurassic radiolarian occurrences were reported by Kamata (1996). Permian conodont, previously identified as the “Carboniferous” conodont by Hayashi *et al.* (1990), was reported from the possible distributional area of the upper part.

Hayashi *et al.* (1990) reported a specimen identified as late Carboniferous *Neogondolella* cf. *clarki* (Koike) from “Omama Town, Atago-jinjiya” (fig. 28, pl. 1, Hayashi *et al.*, 1990). Muto and Ito (2021) re-identified the specimen as *Mesogondolella* sp. cf. *M. gujiensis* (Igo), concluding that the age is the late Artinskian–early Kungurian (Cisuralian, early Permian). The occurrence site is possibly Atago-jinja Shrine in Kasagake-machi Azami, Midori City, the distributional area of the upper part.

Two samples (MKR-07 and OSY-38) reported by Kamata (1996) yielded *Yeharaia* sp. and *Pseudostylosphaera* sp. *Yeharaia* species and *Pseudostylosphaera* species occurred in the uppermost Anisian–middle Ladinian and the Anisian–middle Carnian, respectively (Sugiyama, 1997); therefore, the sample is the latest Anisian–middle Ladinian in age.

Sample MKR-03 reported by Kamata (1996) yielded *Canoptum triassicum* Yao and *Livarella validus* Yoshida.

The former is a characteristic species of the *Canoptum triassicum* assemblage from the middle Norian–Rhaetian (Yao, 1982); the latter occurred mainly in the Rhaetian (Yoshida, 1986). This sample is therefore the Rhaetian in age.

Sample MKR-10 reported by Kamata (1996) yielded *Acanthocircus* sp. This genus appeared in the Bathonian, Middle Jurassic (O’Doherty *et al.*, 2009a). Thus, Middle Jurassic chert may exist in the Lower part although it is not shown in Fig. 15.

(2) Mudstone

Middle Jurassic radiolarians occurred in mudstone (Kamata, 1996; Ito *et al.*, 2021a).

Kamata (1996) reported *Striatojaponocapsa plicarum* (Yao) and/or *Striatojaponocapsa* sp. cf. *S. plicarum* from mudstone samples (e.g. MKR-01). Ito *et al.* (2021a) also reported *Striatojaponocapsa plicarum* from sample OYK53-02. *Striatojaponocapsa plicarum* occurred mainly in lower–middle JR4, Bajocian, Middle Jurassic based on the occurrence range by Matsuoka and Ito (2019). These samples are therefore the Bajocian in age.

Ito *et al.* (2021a) reported *Yaocapsa* sp. cf. *Y. mastoidea* (Yao) from sample HTH12-01. The occurrence range of *Yaocapsa mastoidea* is limited to upper JR4, Bathonian, Middle Jurassic (Matsuoka, 1995).

5. 1. 3 Kurohone area (Lower part)

(1) Carbonate rocks

Hayashi *et al.* (1990) reported a Triassic conodont species, *Metapolygnathus* sp., from limestone. Muto and Ito (2021) re-identified it as *Epigondolella* sp. cf. *E. rigoi* (Budurov). *Epigondolella rigoi* occurred in the uppermost

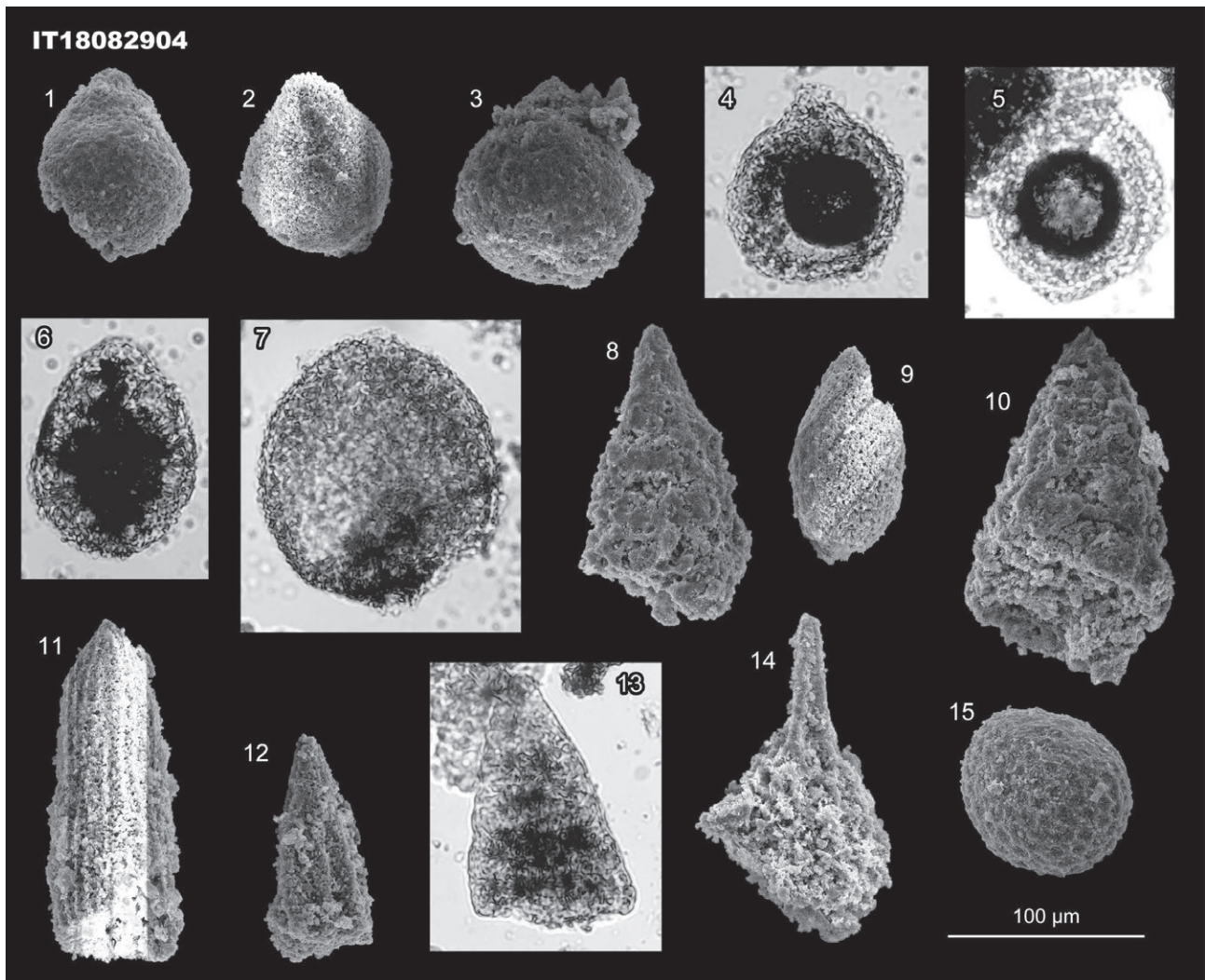


Fig. 12 Jurassic radiolarians from mudstone of the Gyodosan Complex. (1–6) Three-segmented closed nassellarian. (7, 9) Closed nassellarian. (8, 10, 12, 13) Multi-segmented nassellarian. (11) *Archaeodictyomitra* sp. (14) *Emilvia?* sp. (15) Spherical polycystine.

Carnian–lower Norian, Upper Triassic (Rigo *et al.*, 2018).

(2) Chert

Permian and Triassic conodont and Triassic and Jurassic radiolarians occurred in chert (Hayashi *et al.*, 1990; Kamata, 1996).

The Permian conodont species reported by Hayashi *et al.* (1990) is *Neogondolella serrata* (Clark and Ethington). Muto and Ito (2021) indicated the possibility that this specimen is *Jinogondolella nankingensis* (Ching). This is a characteristic species of the Roadian, Guadalupian, middle Permian (Henderson, 2018).

The Triassic conodont species reported by Hayashi *et al.* (1990) is *Metapolygnathus* sp. Muto and Ito (2021) re-identified this specimen as *Epigondolella* sp. cf. *E. rigoi*. *Epigondolella rigoi* occurred in the uppermost Carnian–lower Norian, Upper Triassic (Rigo *et al.*, 2018).

Several chert samples (e.g. OGR-81) reported by

Kamata (1996) yielded *Triassocampe deweveri*. This species occurred in TR2C–TR4A, middle Anisian–middle Ladinian, Middle Triassic (Sugiyama, 1997).

Two chert samples (TZW-104 and OGR-74) yielded *Parahsuum simplum* (Kamata, 1996). This is a characteristic species of JR1 (*Parahsuum simplum* Zone) of the upper Sinemurian–lower Pliensbachian, Lower Jurassic (Matsuoka and Ito, 2019). The samples are probably the late Sinemurian–early Pliensbachian in age.

(3) Siliceous mudstone

Striatojaponocapsa sp. cf. *S. plicarum* occurred in two siliceous mudstone samples (e.g. TZW-105 of Kamata, 1996). *Striatojaponocapsa plicarum* occurred mainly in lower–middle JR4, Bajocian, Middle Jurassic (Matsuoka and Ito, 2019). *Striatojaponocapsa conexa* occurred in the siliceous mudstone (TZW-111 and OGR-69 of Kamata, 1996). It is a characteristic species of JR5 of the upper

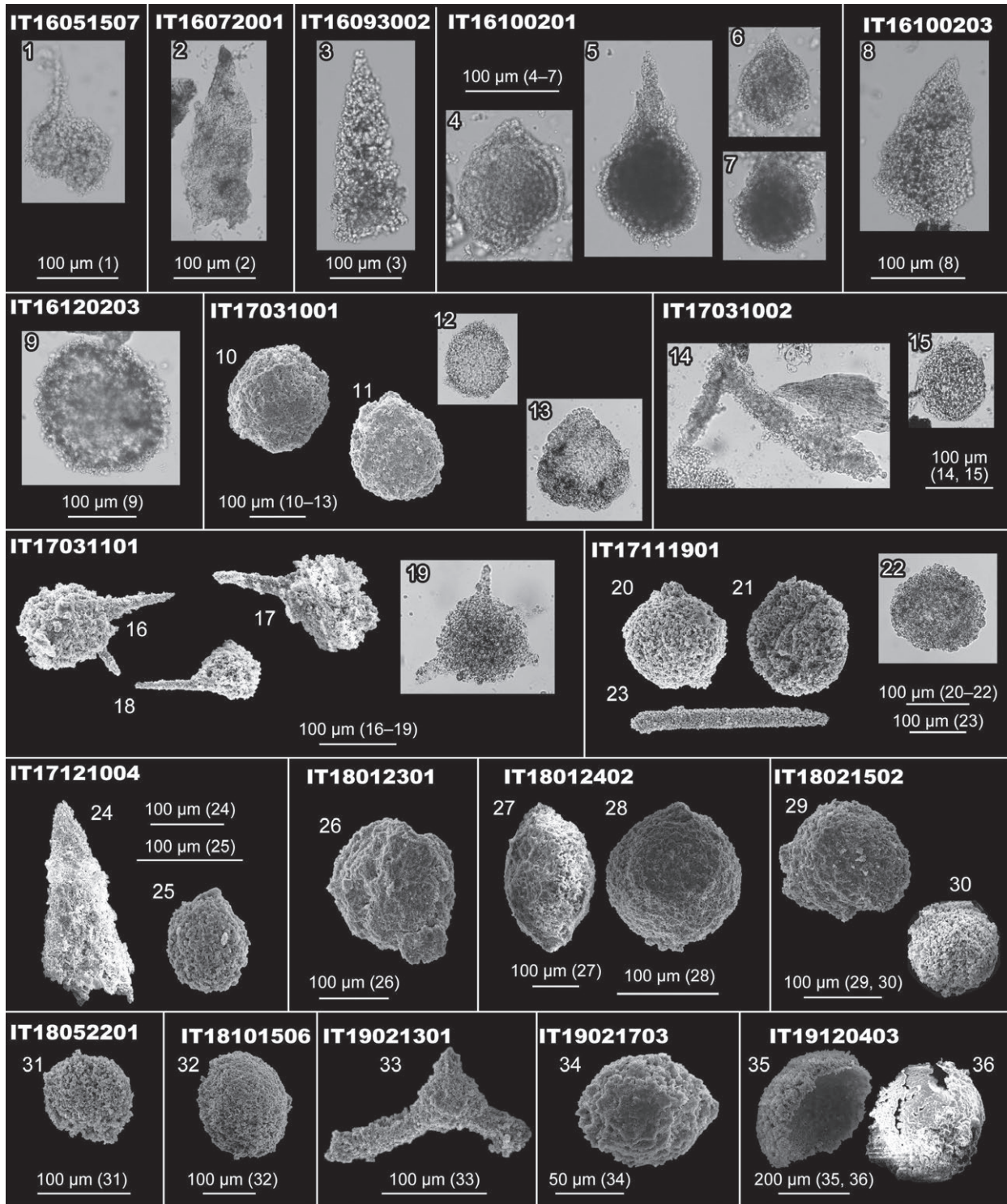


Fig. 13 Radiolarians (undetermined age) from the Jurassic accretionary complex. (1, 4–7, 9–13, 15, 20–22, 25–32, 34–36) Spherical polycystine. (2, 3, 8, 24) Multi-segmented nassellarian. (19, 33) Three-coplaner-spine-bearing spherical polycystine. (14, 16–18) Spine-bearing spherical polycystine. IT16051507: Chert of the Kurohane–Kiryu Complex. IT16072001: Siliceous mudstone of the Gyodosan Complex. IT16093002: Chert of the Kurohane–Kiryu Complex. IT16100201: Chert of the Gyodosan Complex. IT16100203: Chert of the Kuzu Complex. IT16120203: Chert of the Kuzu Complex. IT17031001: Chert of the Kurohane–Kiryu Complex. IT17031002: Chert of the Kurohane–Kiryu Complex. IT17031101: Chert of the Kuzu Complex. IT17111901: Chert of the Omama Complex. IT17121004: Mudstone of the Kuzu Complex. IT18012301: Chert of the Gyodosan Complex. IT18012402: Chert of the Kuzu Complex. IT18021502: Chert of the Omama Complex. IT18052201: Chert of the Gyodosan Complex. IT18101506: Chert of the Omama Complex. IT19021301: Chert of the Omama Complex. IT19021703: Mudstone of the Kuzu Complex. IT19120403: Mudstone of the Gyodosan Complex.

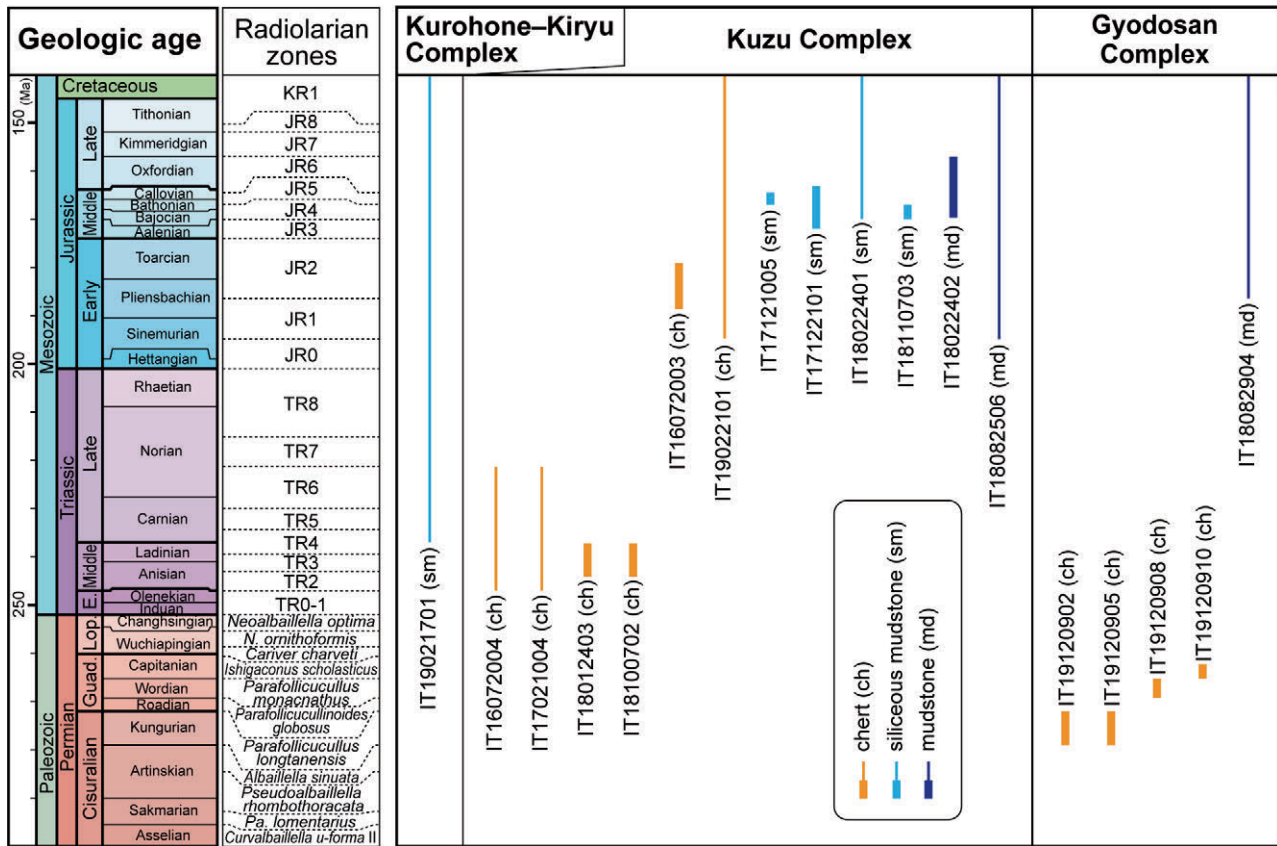


Fig. 14 Age assignment of the samples reported in this study. Geologic age follows Ogg *et al.* (2016). Radiolarian zones are based on Ishiga (1986, 1990), Sugiyama (1997), Kuwahara *et al.* (1998) and Matsuoka and Ito (2019). The names of Permian radiolarian zones are changed according to taxonomic reevaluation by Xiao *et al.* (2020, 2021). E.: Early; Lop.: Lopingian; Guad.: Guadalupian; *N.*: *Neobalaillella*; *Pa.*: *Parafollicucullinoides*. Samples reliable in age are presented as thick bars, whereas those unreliable as thinner bars.

Bathonian–middle Callovian (Matsuoka and Ito, 2019).

(4) Mudstone

Striatojaponocapsa plicarum occurred in mudstone (e.g. OGR-17 of Kamata, 1996). *Striatojaponocapsa plicarum* occurred mainly in the lower–middle JR4, Bajocian, Middle Jurassic (Matsuoka and Ito, 2019).

5.2 Omama Complex

5.2.1 Lower part

(1) Carbonate rocks

Carbonate rocks of the Omama Complex have yielded several types of fossils, such as fusulinids (Kawata and Ozawa, 1955; Hayashi and Hasegawa, 1981; Editorial team of Omama Town’s history, 1996; Ito, 2021; Ito *et al.*, 2021b), brachiopods (Hayashi and Hasegawa, 1981; Editorial team of Omama Town’s history, 1996; Tazawa and Takakuwa, 2009; Tazawa *et al.*, 2012), corals (Editorial team of Omama Town’s history, 1996; Igo *et al.*, 2000), trilobites (Kobayashi and Hamada, 1984; Koizumi *et al.*, 1988; Editorial team of Omama Town’s history, 1996) and chondrichthyes (Yabe, 1903; Reif and Goto, 1979; Takakuwa and Okabe, 2011; Takakuwa, 2021).

Occurrences of pre-Permian conodonts from the carbonate rocks have been reported by previous studies. Hayashi *et al.* (1990) and Editorial team of Omama Town’s history (1996) claimed the presence of the “Devonian” and “Carboniferous” carbonate rocks, respectively, based on conodont occurrences such as *Neogondolella* sp. cf. *N. clarki*. However, Muto and Ito (2021) re-identified the conodont fossils and re-considered their ages as the Triassic. No certain evidence indicates the presence of the pre-Permian conodont from the carbonate rocks to date, thus the pre-Permian carbonate rocks are not shown in Fig. 15.

(2) Siliceous claystone

Kamata and Kajiwarra (1996) investigated a continuous section composed of siliceous claystone and alternations of chert and siliceous claystone. They found conodonts (*Neogondolella bulgarica* (Budurov and Stefanov)) and radiolarians (*Triassocampe myterocorys* Sugiyama and *Oertlispongus diacanthus*). *Neogondolella bulgarica* is currently assigned as *Paragondolella bulgarica*, which is indicative of being the middle Anisian (Nicora, 1977; Chen *et al.*, 2016).

(3) Chert

Permian, Triassic and Jurassic radiolarians occurred in chert (Kamata, 1996; Ito *et al.*, 2021b).

Parafollicucullinoides lomentarius (Ishiga) was obtained from sample NRK-15 of Kamata (1996). This species is a characteristic species of *Parafollicucullinoides lomentarius* Zone of the Sakmarian of Ishiga (1990). *Parafollicucullus fusiformis* Holdsworth and Jones occurred in sample WTRS-06 of Kamata (1996). This species occurred abundantly in the Guadalupian (e.g. Ishiga, 1990; Zhang *et al.*, 2014). *Follicucullus japonica* Ishiga, currently identified as *Follicucullus porrectus* Rudenko, was obtained from several samples (e.g. RMTG-36 of Kamata, 1996). *Follicucullus porrectus* was the characteristic species of the *Follicucullus porrectus* Interval Zone (lower Capitanian) of Zhang *et al.* (2014).

Pseudostylosphaera japonica and *Oertlispongos diacanthus* Sugiyama were obtained from sample RMTG-68 of Kamata (1996). The former and latter species occurred in TR2B–TR5A (middle Anisian–middle Carnian) and TR2A–TR2C (early–middle Anisian), respectively (Sugiyama, 1997). The co-occurrence of these genera is limited to the middle Anisian (Sugiyama, 1997).

Two samples (#204 and #269) yielded *Triassocampe* sp. cf. *T. coronata* Bragin (Ito *et al.*, 2021b). *Triassocampe coronata* occurred in the Anisian, Middle Triassic (Sugiyama, 1997).

Sample KSK-28 reported by Kamata (1996) yielded *Parahsuum simplum*. This is a characteristic species of the JR1 of the upper Sinemurian–lower Pliensbachian (Matsuoka and Ito, 2019); thus, this sample is probably the late Sinemurian–early Pliensbachian.

Protunuma sp. cf. *P. fusiformis* Ichikawa and Yao occurred in sample #271 reported by Ito *et al.* (2021b). *Protunuma fusiformis* occurred with *Striatojaponocapsa plicarum*, the characteristic species of JR4 of the Bajocian–lower Bathonian in previous studies (e.g. Matsuoka, 1985). Based on the occurrence, this sample is probably the Bajocian–Bathonian in age.

Hayashi *et al.* (1990) reported “early Carboniferous” conodonts from the Asabara area, the distributional area of the Omama Complex. Based on re-identification by Muto and Ito (2021), many of the illustrated specimens by Hayashi *et al.* (1990) were identified as Late Triassic species and some specimens are similar to Permian ones, while early Carboniferous species were not confirmed. Therefore, no certain evidence indicates the presence of the pre-Permian conodont from the chert to date.

Hayashi *et al.* (1990) reported *Neogondolella* sp. cf. *N. clarki* from the chert (fig. 34, pl. 1, Hayashi *et al.*, 1990). Muto and Ito (2021) re-identified them as *Mesogondolella gujioensis* (Igo). The occurrence range of this species is the late Artinskian–early Kungurian (Henderson, 2018).

(4) Siliceous mudstone

Middle Jurassic radiolarians occurred in siliceous mudstone (Kamata, 1996; Ito *et al.*, 2021b).

Sample KSK-40 reported by Kamata (1996) yielded *Striatojaponocapsa plicarum*. *Striatojaponocapsa plicarum* occurred mainly in the lower–middle JR4, Bajocian, Middle Jurassic (Matsuoka and Ito, 2019).

Sample #206 reported by Ito *et al.* (2021b) yielded *Archaeodictyomitra* sp. cf. *A. exiguum* Blome. *Archaeodictyomitra exiguum* was described on the basis of the specimens from the Callovian in the North America (Blome, 1984). This species also cooccurred with *Striatojaponocapsa plicarum* (Hattori, 1987), which occurred mainly in lower–middle JR4, Bajocian (Matsuoka and Ito, 2019). Consequently, the occurrence range of *Archaeodictyomitra exiguum* include the Bajocian–Callovian at least.

Sample #154 reported by Ito *et al.* (2021b) yielded *Eucyrtidiellum* sp. aff. *E. omanojaponicum* Dumitrica, Goričan and Hori. *Eucyrtidiellum omanojaponicum* (= *Eucyrtidiellum?* sp. C of Hori, 1990, 1997) occurred in the upper JR 1 corresponding approximately to the Pliensbachian (Hori, 1990, 1997).

(5) Mudstone

Ito *et al.* (2021a) reported two mudstone samples that yielded Middle Jurassic radiolarians based on the occurrence ranges of Matsuoka (1995) and Matsuoka and Ito (2019). Sample 111013-4 corresponds to lower–middle JR4, Bajocian; sample 111011-1 corresponds to upper JR4, lower Bathonian.

5. 2. 2. Upper part

Due to the lacking detail information, the upper part is not presented in Fig. 15. However, the Carboniferous carbonate rocks may exist in the upper part.

Fujimoto (1960) reported corals (*Amygdalophyllum naosoidea* Minato, *Lithostrotion pseudomartini* Yabe and Hayasaka and *Chaetetes* sp.) from “limestone lenses” of the Kawamo Formation in the Takatsudo Gorge in Midori City. Pelitic mixed rock around the Takatsudo Gorge is a typical representation of the upper part of the Omama Complex, so the “limestone lenses” are probably the blocks within the pelitic mixed rock. The age of the corals is assigned as the Viséan (Mississippian, early Carboniferous) based on description by Minato (1951, 1955). Although the photographs were not presented, the upper part might include Carboniferous carbonate rocks as blocks within the pelitic mixed rock.

5. 3 Kuzu Complex

5. 3. 1 Unit 1

(1) Siliceous claystone

Early Triassic radiolarians and conodonts occurred in the siliceous claystone and intercalated chert within the siliceous claystone (Kamata, 1995, 1999). Kamata (1999) reported Spathian conodonts, such as *Triassospathodus curtatus* Orchard (Originally described as *Neospathodus triangularis* (Bender)), from sample TNK-R-09.

(2) Chert

Triassic conodonts and Triassic and Jurassic radiolarians occurred in chert (e.g. Hayashi, 1968a, b; Koike *et al.*, 1970, 1971; Kamata, 1995, 1996, 1997a, 1999).

Kamata (1996, 1997a) reported abundant Middle Triassic–Early Jurassic radiolarians from the chert. Yao *et al.* (1982) recognized four radiolarian assemblages from Middle Triassic–Early Jurassic, namely *Triassocampe deweveri*, *Triassocampe nova*, *Canoptum triassicum* and *Parahsuum simplum* assemblages. Characteristic species of these assemblages were obtained from the chert samples excluding *Canoptum triassicum* Yao.

Striatojaponocapsa plicarum was obtained from sample KS-01 of (Kamata, 1996, 1997a). This is a characteristic species of JR4, Bajocian–lower Bathonian (Matsuoka and Ito, 2019).

Kamata (1997b) described a float block of radiolarian-bearing chert breccia in the distributional area of Unit 1. He extracted Permian and Triassic radiolarians from the chert breccia. The chert breccia is not presented in Fig. 15.

(3) Siliceous mudstone

Middle Jurassic radiolarians occurred in siliceous mudstone (Kamata, 1996, 1997a; Arakawa, 1997).

Striatojaponocapsa plicarum were reported from siliceous mudstone samples (e.g. IZW-31 of Kamata, 1996, 1997a; SAY-02 of Arakawa, 1997). This is a characteristic species of JR4, Bajocian–lower Bathonian (Matsuoka and Ito, 2019). *Striatojaponocapsa conexa*, characteristic species of JR5 of the upper Bathonian–middle Callovian (Matsuoka and Ito, 2019), occurred in the siliceous mudstone samples (SPS-04 of Kamata, 1996, 1997a; SAY-01 of Arakawa, 1997). Consequently, the age of the mudstone ranges from the Bajocian to middle Callovian.

(4) Mudstone

Middle–Late Jurassic radiolarians occurred in mudstone (Kamata, 1996, 1997a).

The mudstone samples (e.g. AOKI-09 of Kamata, 1996, 1997a) yielded *Striatojaponocapsa plicarum* and *Striatojaponocapsa conexa*, which are characteristic species of JR4 and JR5, respectively. *Kilinora spiralis* (Matsuoka) was discovered from the mudstone (e.g. IZW-30 of Kamata, 1996, 1997a). This is a characteristic species of JR6 of the upper Callovian–Oxfordian (Matsuoka and Ito, 2019). Consequently, the age of the mudstone ranges from the Bajocian to Oxfordian.

5. 3. 2 Unit 2

Unit 2 comprises basaltic rocks, carbonate rocks, siliceous mudstone and mudstone, in ascending order. The siliceous mudstone intercalates limestone conglomerate layers.

(1) Basaltic rocks

Middle Permian foraminifers were obtained from limestone clasts included within basaltic rocks

(Kobayashi, 2006a, b). According to Kobayashi (2006a, b), foraminifers from the limestone clasts correspond to the *Parafusulina nakamigawai* Zone to the lowermost *Parafusulina yabei* Zone. The *Parafusulina yabei* Zone corresponds to the middle Kungurian, lower Permian, based on the global fusuline biostratigraphy by Zhang and Wang (2018). This study tentatively regards the basaltic rocks as the middle Kungurian.

(2) Carbonate rocks

Carbonate rocks yielded abundant fossils, such as brachiopods (Hayasaka 1926, 1944; Tazawa *et al.*, 2016), foraminifers (Yabe, 1899; Hujimoto, 1938; Yoshida, 1956, 1957; Morikawa and Horiguchi, 1956; Morikawa and Takaoka, 1961; Fujimoto, 1961; Igo, 1964; Hatori, 1965; Saito and Kato, 1971; Conodont Research Group, 1972, 1974; Igo *et al.*, 1976; Igo and Igo, 1977; Kobayashi, 1979, 2006a, b), conodonts (Hayashi, 1971; Conodont Research Group, 1972, 1974; Koike *et al.*, 1974; Igo *et al.*, 1976; Muto *et al.*, 2021), trilobites (Fujimoto, 1961; Koizumi *et al.*, 1979), coral (Yamagiwa and Tsuda, 1980) and chondrichthyes (Goto, 1975, 1984, 1994; Reif and Goto, 1979).

The carbonate rocks correspond to the middle *Parafusulina yabei* to *Parafusulina tochiensis* zones, according to fusuline biostratigraphy constructed by Kobayashi (2006a, b). The *Parafusulina yabei* Zone corresponds to the middle Kungurian (Zhang and Wang, 2018); middle *Parafusulina tochiensis* Zone corresponds to the Wordian (Kobayashi, 2006a). Muto *et al.* (2021) reported conodont fossils, *Mesogondolella idahoensis* (Youngquist, Hawley and Miller) and *Sweetognathus hanzhonensis* (Wang), from samples (e.g. 2014-215) belonging to the middle *Parafusulina yabei* Zone. The conodont species indicate the late Kungurian in age. Thus, the carbonate rocks are the late Kungurian–Wordian, early–middle Permian in age.

(3) Siliceous mudstone

Middle Jurassic radiolarians occurred in siliceous mudstone (Kamata, 1996, 1997a; Arakawa, 1998; Kamata and Mizobe, 2001; Kamata *et al.*, 2003).

Striatojaponocapsa plicarum occurred in siliceous mudstone samples (e.g. YZK-14 of Kamata, 1996, 1997a). This is a characteristic species of JR4, Bajocian–lower Bathonian, Middle Jurassic (Matsuoka and Ito, 2019).

Striatojaponocapsa conexa were obtained from sample YZK-13 of Kamata (1996, 1997a). This is a characteristic species of JR5, upper Bathonian–Callovian, Middle Jurassic (Matsuoka and Ito, 2019).

Arakawa (1998) extracted radiolarian assemblages from manganese dioxide nodules (KUS01, KUS02, KUS03) in the siliceous mudstone. The former two samples yielded *Striatojaponocapsa plicarum*, and the latter one sample yielded *Striatojaponocapsa conexa*.

The limestone conglomerate is intercalated in the siliceous mudstone. Middle Permian foraminifers

and Middle–Upper Triassic conodonts were obtained from limestone gravels within the conglomerate (e.g. Morikawa and Horiguchi, 1956; Conodont Research Group, 1974; Igo and Igo, 1977). In addition, Kamata *et al.* (2003) discovered ammonite, *Cleviceras* sp. cf. *C. chrysanthemum* (Yokoyama), from a mudstone pebble within the conglomerate. The age of the ammonite is assigned as the early–middle Toarcian, Early Jurassic (Kamata *et al.*, 2003). Kamata and Mizobe (2001) and Kamata *et al.* (2003) also determined the radiolarians of siliceous mudstone beds that intercalates the ammonite-bearing conglomerate and extracted radiolarians of JR4 (Bajocian–lower Bathonian, Middle Jurassic) of Matsuoka and Ito (2019).

Based on these occurrences, Fig. 15 shows that middle Permian and Middle–Upper Triassic limestone gravels and Lower Jurassic mudstone gravels are included in the Middle Jurassic siliceous mudstone.

(4) Mudstone

Isogawa *et al.* (1998) described radiolarian assemblages including *Striatojaponocapsa conexa* from mudstone samples (YZB-02, 03, 05). This is a characteristic species of JR5 of the upper Bathonian–Callovian (Matsuoka and Ito, 2019).

5.3.3 Unit 3

(1) Carbonate rocks

Yoshida (1957) and Fujimoto (1961) described Permian fusulinids (e.g. *Parafusulina* sp.) from limestone in the distributional area of Unit 3. The limestone was considered as the component of Unit 3 (e.g. Yoshida, 1957; Kamata, 1997a). Meanwhile, several researchers mentioned another opinion that it is the component of Unit 2 (e.g. Fujimoto, 1961; Yanagimoto, 1973).

(2) Siliceous claystone

Muto *et al.* (2018) investigated a continuous section consisting of siliceous claystone and chert, namely the Ogama section, and extracted conodonts and radiolarians. According to their work, almost of the siliceous claystone beds correspond to the Olenekian–lower Anisian.

(3) Chert

Several studies reported Triassic conodonts and Triassic and Jurassic radiolarians from chert (Kamata, 1996, 1997a; Isogawa *et al.*, 1998; Ootaka *et al.*, 1998; Takayanagi *et al.*, 2001; Suzuki *et al.*, 2002; Ito, 2020b).

Isogawa *et al.* (1998) reported Early Triassic radiolarians, such as *Parentactinia nakatsugawaensis*. Muto *et al.* (2018) discovered middle Anisian conodont, *Paragondolella bulgarica* Budurov and Stefanov.

Igo and Nishimura (1984) discovered conodont and radiolarian occurrences from Upper Triassic–Lower Jurassic continuous sections. Kamata (1996, 1997a) reported abundant Middle Triassic–Early Jurassic radiolarians. All characteristic species of the four

assemblages proposed by Yao *et al.* (1982), namely *Triassocampe deweveri*, *Triassocampe nova*, *Canoptum triassicum* and *Parahsuum simplum* assemblages, were obtained. Sample IT16072003 is the early Pliensbachian–middle Toarcian of the Early Jurassic as mentioned in subsection 4.3.1. Due to the abundant fossil occurrences of Triassic–Early Jurassic, the chert of this unit is represented as a continuous sequence in Fig. 15.

(4) Siliceous mudstone

Striatojaponocapsa plicarum, *Striatojaponocapsa conexa* and *Kilinora spiralis* were discovered in siliceous mudstone samples (e.g. KOM-05 of Kamata, 1996, 1997a). These are characteristic species of JR4 (Bajocian–lower Bathonian), JR5 (upper Bathonian–Callovian) and JR6 (uppermost Callovian–Oxfordian), respectively (Matsuoka and Ito, 2019). As mentioned in subsection 4.3.3, the ages of samples IT17122101 and 18110703 are late Bathonian–Callovian and Bathonian, respectively. Thus, the age of the siliceous mudstone ranges from the Bajocian to Oxfordian.

(5) Mudstone

Striatojaponocapsa plicarum and *Striatojaponocapsa conexa* occurred in mudstone samples (e.g. KD-05 of Kamata, 1996, 1997a; ASK-8 of Takayanagi *et al.*, 2001). *Kilinora spiralis* was obtained from sample KOM-04 of Kamata (1996, 1997a). The age of the mudstone ranges from the Bajocian to Oxfordian.

5.4 Gyodosan Complex

(1) Chert

Permian, Triassic and Jurassic radiolarians with a few conodonts have been reported from chert (Masuda, 1989; Hayashi *et al.*, 1990; Takayanagi *et al.*, 2001; Sashida, 2008; Ito, 2019, 2020a).

Ito (2019) reported early Permian radiolarians from the red chert samples (IT16071005 and IT16071006). Thereafter, Ito (2020a) investigated the radiolarian fauna from the Hachioji section including the sample horizons of Ito (2019). Based on the occurrences of *Haplodiacanthus sakmarensis* (Kozur), *Pseudoalbaillella japonica*, *Pseudoalbaillella postscalprata* and *Pseudoalbaillella rhombothoracata* Ishiga and Imoto, Ito (2020a) concluded that the lower to middle parts of the Hachioji section partially correspond to the lower Kungurian and may include the uppermost Artinskian. In addition, the Wordian and Capitanian chert near the Hachioji section was identified in this study (Fig. 3) as mentioned in section 4.1.

Ito (2019) reported Triassic radiolarians from the following samples. Sample IT16071201 yielded spines A2, B5, D1 and D2 of Sugiyama (1997). The co-occurrence range of these spines is restricted to TR6A, uppermost Carnian–lowermost Norian (Sugiyama, 1997). Sample IT16071403 yielded spines C and D1 of Sugiyama (1997). Co-occurrence range of these spines

is limited in the TR5A, Carnian (Sugiyama, 1997). Sample IT16071405 yielded *Mesosaturnalis octospinus* Sugiyama. This species occurred in TR7–TR8A, middle Norian (Sugiyama, 1997). Sample IT16071402 yielded *Praehexasaturnalis* sp. cf. *P. tenuispinosus* (Kozur and Mostler). The occurrence range of the *Praehexasaturnalis tenuispinosus* group is TR7–JR0A, middle Norian–lower Hettangian, Upper Triassic–lowermost Jurassic (Sugiyama, 1997). Sample IT16112604 yielded *Tritortis kretaensis* (Kozur and Krahl). This species occurred in TR4A–TR5A, upper Ladinian–lower Carnian, Middle–Upper Triassic (Sugiyama, 1997).

Hayashi *et al.* (1990) reported Triassic conodont, *Misikella* sp., from the “Ota City, Maruyama” (figs. 7, 8, pl. 1, Hayashi *et al.*, 1990). This is possibly located in the distributional area of the Gyodosan Complex. According to age re-consideration by Muto and Ito (2021), the age is the latest Norian–Rhaetian, Late Triassic.

Some possible Jurassic radiolarians were obtained from chert. For example, Takayanagi *et al.* (2001) reported *Pantanellium?* sp. from two samples (ASK-13 and ASK-15); Ito (2019) reported *Parahsuum* sp. from sample IT16071206. Certain Jurassic radiolarians were reported by Masuda (1989): a chert sample (No. 9) yielded *Eucyrtidiellum unumaense* (Yao) and *Unuma echinatus* Ichikawa and Yao. The former species occurred mainly in JR4–JR5 of the Bajocian–lower Callovian (Matsuoka, 1995); the latter species occurred in JR3–JR4, Aalenian–Bathonian (Matsuoka and Yao (1986). Based on the co-occurrence, the chert sample is JR4, Bajocian–lower Bathonian in age.

(2) Siliceous mudstone

Ito (2019) discovered *Striatojaponocapsa synconexa* from sample IT167071001. This species occurred in upper JR4–lower JR5, Bathonian (Matsuoka and Ito, 2019).

(3) Mudstone

Masuda (1989) reported a radiolarians assemblage indicating JR4 (Bajocian–lower Bathonian) from the chert. He noted that a similar radiolarian assemblage was obtained from the manganese nodule (sample No. 1) in the mudstone, although photographs were not shown. The mudstone of this complex is the Bajocian–lower Bathonian in age.

6. Reconstruction of ocean plate stratigraphy

In this article, the author reported Permian, Triassic and Jurassic radiolarian occurrences from the Kiryu and Ashikaga District and determined their ages (Fig. 14). In addition, previous fossil occurrences from the Jurassic accretionary complex including neighbor districts (e.g. Kuzu District) were summarized (Fig. 15).

This article provides basic data on age of the Jurassic accretionary complex in the Ashio Mountains and essential information for reconstruction of ocean plate

stratigraphy (OPS) of each complex of the Jurassic accretionary complex. The OPS of an accretionary complex presents lithologic change reflecting history of an ocean plate from birth at a mid ocean ridge to subduction at a trench via an abyssal plain. The OPS of the Jurassic accretionary complexes in Japan is generally composed of basaltic rocks, carbonate rocks, chert, siliceous mudstone, mudstone and sandstone, in ascending order (e.g. Isozaki *et al.*, 1990; Matsuda and Isozaki, 1991; Nakae, 2000; Wakita and Metcalfe, 2005; Wakita, 2015).

The OPS of each complex of the Jurassic accretionary complex in the Ashio Mountains is reconstructed here (Fig. 16). The fossil occurrences were described by each distributed area and stratigraphic part for the Kurohone–Kiryu and Omama complexes in chapter 5. In this chapter, the author reconstructs the OPS of the complexes using the merged data from each area and part.

The Kurohone–Kiryu Complex comprises basaltic rocks (possibly early Permian), chert (early–middle Permian, Middle–Late Triassic and Early Jurassic), siliceous claystone (Early Triassic), carbonate rocks (Late Triassic), siliceous mudstone (Middle Jurassic), mudstone (Middle Jurassic) and sandstone (possibly Middle Jurassic).

The Omama Complex comprises basaltic rocks (possibly early Permian), chert (early–middle Permian, Middle Triassic and Early Jurassic), carbonate rocks (early–middle Permian), siliceous claystone (possibly Early Triassic), siliceous mudstone (Early–Middle Jurassic), mudstone (Middle Jurassic) and sandstone (possibly Middle Jurassic).

In the Kuzu Complex, Unit 1 comprises siliceous claystone (Early Triassic), chert (Early–Late Triassic and Early–Middle Jurassic), siliceous mudstone (Middle Jurassic), mudstone (Middle–Late Jurassic) and sandstone (possibly Late Jurassic). Unit 2 comprises basaltic rocks (early Permian), carbonate rocks (early–middle Permian), siliceous mudstone (Middle Jurassic) and mudstone (Middle Jurassic). The siliceous mudstone of Unit 2 interbeds conglomerate layers containing gravels of carbonate rocks (early–middle Permian and Middle–Late Triassic) and mudstone (Early Jurassic). Unit 3 comprises basaltic rocks (possibly middle Permian), carbonate rocks (middle Permian), siliceous claystone (Early Triassic), chert (Early–Late Triassic and Early Jurassic), siliceous mudstone (Middle–Late Jurassic), mudstone (Middle–Late Jurassic) and sandstone (possibly Late Jurassic).

The Gyodosan Complex is composed of chert (early–middle Permian, Middle–Late Triassic and Middle Jurassic), siliceous mudstone (Middle Jurassic), mudstone (Middle Jurassic) and sandstone (possibly Middle Jurassic).

7. Paleontological note

The taxonomic classification in this chapter mainly employs the scheme of De Wever *et al.* (2001), O’Dogherthy *et al.* (2009a, b) and Noble *et al.* (2017).

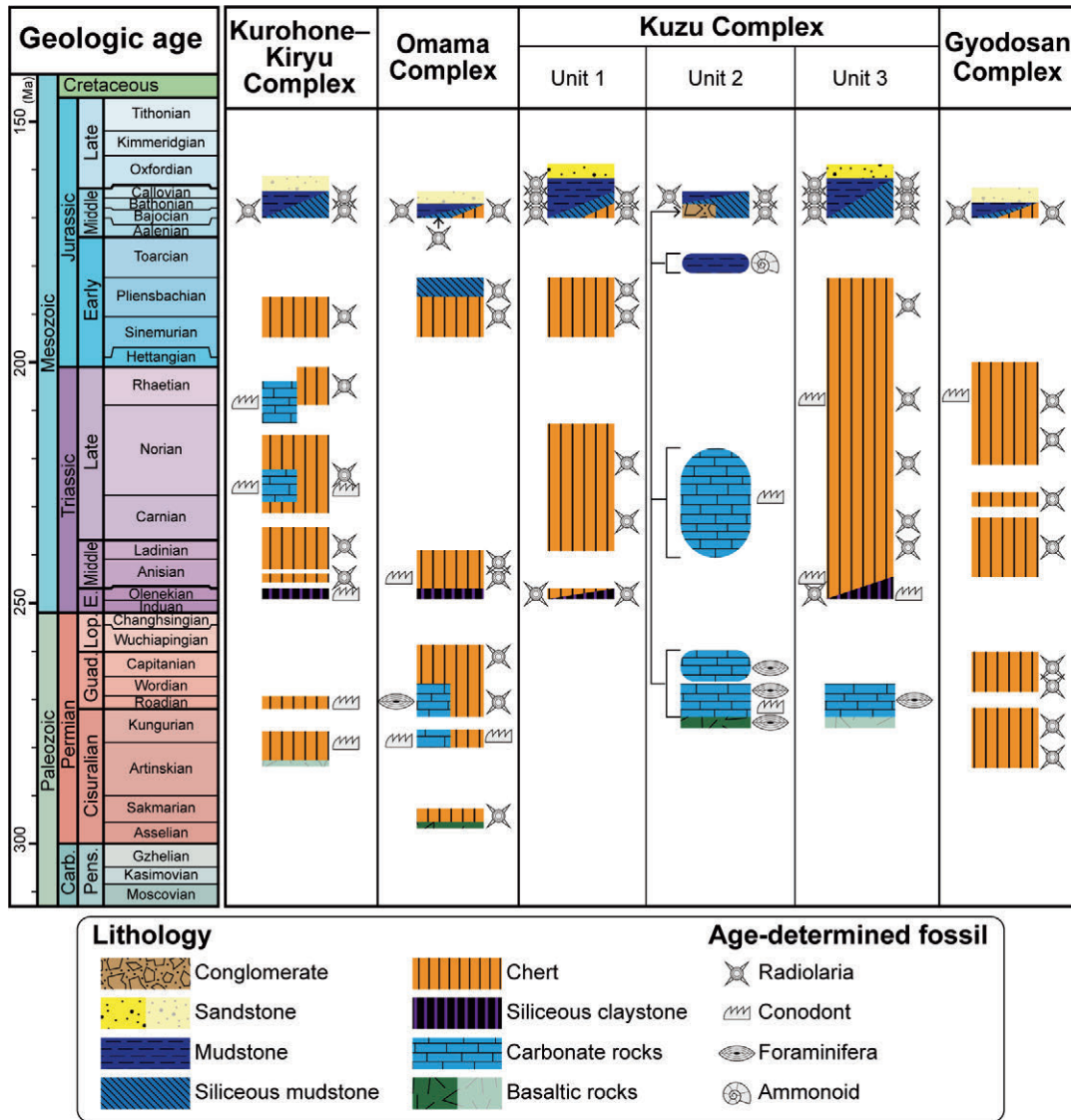


Fig. 16 Reconstructed ocean plate stratigraphy of the Jurassic accretionary complex of the Ashio belt. Geologic age follows Ogg *et al.* (2016). Deep-colored lithology with fossil illustration: its age is relatively-precisely determined by fossil. Deep-colored lithology without fossil illustration: although its component rock has never yielded age-determined fossil, its age can be speculated based on stratigraphical relationships with overlying and underlying fossiliferous rocks. Pale-colored lithology: its component rock has never yielded age-determined fossil and its age cannot be speculated by stratigraphical relationships. Carb.: Carboniferous; Pens.: Pennsylvanian; E.: Early; Lop.: Lopingian; Guad.: Guadalupian.

The belongingness of the subfamily Japonocapsinae Kozur follows O'Dogherty *et al.* (2009a). The generic classification of Permian albailellarians employs recent studies by Xiao *et al.* (2020, 2021). Description of some non-taxonomic names (e.g. spine, spherical polycystine, three-segmented closed nassellarian) is also shown in this chapter, in addition to the taxonomic names.

7.1 Taxonomic name

Subclass **RADIOLARIA** Müller, 1858
 Order **ENTACTINARIA** Kozur and Mostler, 1982
 Family **ENTACTINIIDAE** Riedel, 1967

Genus ***Stigmosphaerostylus*** Rüst, 1892, emend Foreman, 1963
 Type species *Stigmosphaerostylus notabilis* Rüst, 1892

***Stigmosphaerostylus?* sp.**

Figs. 4.1, 4.14, 4.22

Remarks: The specimens are characterized by a spherical shell with some spicules. *Stigmosphaerostylus* is presented with a question mark because of the poor preservation.

Family **EPTINGIIDAE** Dumitrica, 1978
 Genus ***Eptingium*** Dumitrica, 1978

Type species *Eptingium manfredi* Dumitrica, 1978

Eptingium* sp. cf. *E. nakasekoi (Kozur and Mostler, 1994)

Fig. 5.48

Remarks: The specimen examined has two main spines which are three-bladed but not twisted, although one main spine seems to be lost. It closely resembles *Eptingium nakasekoi* Kozur and Mostler (Kozur and Mostler, 1994).

Genus ***Xenorum*** Blome, 1984

Type species *Xenorum largum* Blome, 1984

***Xenorum?* sp.**

Fig. 5.52

Remarks: The specimen possesses an outer layer consisting of polygonal pore frames with massive nodes. The form resembles the genus *Xenorum* Blome established by Blome (1984).

Family **HINDEOSPHAERIDAE** Kozur and Mostler, 1981

Genus ***Pseudostylosphaera*** Kozur and Mostler, 1981

Type species *Pseudostylosphaera gracilis* Kozur and Mock in Kozur and Mostler, 1981

Pseudostylosphaera* sp. cf. *P. japonica (Nakaseko and Nishimura, 1979)

Figs. 5.36, 5.38, 5.41, 5.44

Remarks: The specimens have two opposite polar spines that are moderately long, massive and three bladed. These characteristics closely resemble those of *Pseudostylosphaera japonica* Nakaseko and Nishimura described by Nakaseko and Nishimura (1979) although the preservation of the specimens is poor.

***Pseudostylosphaera* sp.**

Figs. 5.37, 5.39, 5.40, 5.42, 5.43, 5.45, 5.55, 5.56

Remarks: The specimens have two opposite polar three-bladed spines. The characteristics closely resemble *Pseudostylosphaera* Kozur and Mostler established by Kozur and Mostler (1981).

***Pseudostylosphaera?* sp.**

Fig. 5.5

Remarks: The specimen seems to have two opposite polar three-bladed spines and resembles *Pseudostylosphaera*. However, the detailed structure of the spines cannot be observed because of poor preservation. The specimen is therefore presented as *Pseudostylosphaera* with a question mark.

Order **LATENTIFISTULARIA** Caridroit, De Wever and Dumitrica, 1999

Family **LATENTIFISTULIDAE** Nazarov and Ormiston, 1983

Genus ***Latentifistula*** Nazarov and Ormiston, 1983

Type species *Latentifistula crux* Nazarov and Ormiston, 1983

***Latentifistula?* sp.**

Figs. 4.10–4.13, 4.20, 4.21

Remarks: The specimens possess thick, spongy shells with three coplanar arms. The characteristics are similar to those of the genus *Latentifistula* Nazarov and Ormiston established by Nazarov and Ormiston (1983); however, they are presented as *Latentifistula* with the question mark because of poor preservation.

Family **RUZHENCEVISPONGIDAE** Kozur, 1980

Genus ***Scharfenbergia*** Won, 1983, emend. Kozur and Mostler (1989)

Type species *Spongotropus concentricus* Rüst, 1892

***Scharfenbergia?* sp.**

Fig. 4.17

Remarks: The specimen is characterized by triangular spongy test with short arms originating from the corners of the triangular test. The form is similar to the genus *Scharfenbergia* Won established by Won (1983); however, the detailed structure cannot be observed because of the poor preservation. The specimen is therefore presented as *Scharfenbergia* with a question mark.

Family **ORMISTONELLIDAE** De Wever and Caridroit, 1984, emend. Dumitrica in De Wever *et al.*, 2001

Genus ***Quadricaulis*** Caridroit and De Wever, 1986

Type species *Quadricaulis femoris* Caridroit and De Wever, 1986

***Quadricaulis?* sp.**

Figs. 4.18, 4.25, 4.41, 4.45

Remarks: The specimens have a nonporous shell composed of a sphere with at least two arms. The characteristics resemble those of the genus *Quadricaulis* Caridroit and De Wever established by Caridroit and De Wever (1986); however, the detailed structure cannot be observed because of the poor preservation. The specimen is therefore presented as *Quadricaulis* with a question mark.

Genus ***Polyfistula*** Nazarov and Ormiston, 1984

Type species *Polyfistula longiquitas* Nazarov and Ormiston, 1984

Polyfistula* sp. aff. *P. hexalobata Nazarov and Ormiston, 1989

Figs. 4.16, 4.35

Remarks: The specimens have several horizontal slender arms originating from a platy disc. The characteristics are consistent with those of the genus *Polyfistula* Nazarov and Ormiston established by Nazarov and Ormiston (1984). The specimens are similar to *Polyfistula hexalobata* Nazarov and Ormiston in terms of having five horizontal

slender rays. However, the specimens differ from *Polyfistula hexalobata* as they lack a clear vertical ray originating from the center of the platy disc.

***Polyfistula* sp.**

Fig. 4.15

Remarks: The specimen has at least three horizontal slender arms originating from a platy disc. However, the exact number of rays and surface structure of the platy disc, which are the diagnostic characteristics of species level of the genus, cannot be observed.

Family **MUELLERITORTIIDAE** Kozur, 1988

Genus ***Muelleritortis*** Kozur, 1988

Type species *Emiluvia? cochleata* Nakaseko and Nishimura, 1979

***Muelleritortis?* sp.**

Fig. 5.51

Remarks: One twisted thick spine remained in the specimen. This type of spine is known in *Muelleritortis cochleata* (Nakaseko and Nishimura), which was originally described as *Emiluvia? cochleata* by Nakaseko and Nishimura (1979). Thus, the specimen may be a *Muelleritortis cochleata* that lost three arms. Meanwhile, some species of other genera, such as *Pseudostylosphaera nazarovi* (Kozur and Mostler) and *Tritortis kretaensis* Kozur and Krahl, also possess a twisted thick spine. The specimen is therefore identified as *Muelleritortis* Kozur with a question mark in this article.

Order **NASSELLARIA** Ehrenberg, 1875

Family **RUESTICYRTIIDAE** Kozur and Mostler, 1979

Genus ***Triassocampe*** Dumitrica, Kozur and Mostler, 1980

Type species *Triassocampe scalaris* Dumitrica, Kozur and Mostler, 1980

Triassocampe* sp. cf. *T. deweveri (Nakaseko and Nishimura, 1979)

Figs. 5.16, 5.29

Remarks: The specimens have a subcylindrical multi-segmented shell with dome-shaped cephalis. The segments are characterized by well-developed ridges. The characteristics resemble those of *Triassocampe deweveri* (Nakaseko and Nishimura) described by Nakaseko and Nishimura (1979). Because the specimens are partially broken, they are presented as the species with confer.

***Triassocampe* sp.**

Fig. 5.10, 5.30, 5.34

Remarks: The specimens are characterized by a subcylindrical multi-segmented shell without an apical horn. In addition, pores are arranged in transverse rows for each segment. The characteristics resemble those of the genus *Triassocampe* Dumitrica, Kozur and Mostler (Dumitrica *et al.*, 1980).

***Triassocampe?* sp.**

Figs. 5.6, 5.11–5.15, 5.17–5.19, 5.24, 5.25, 5.28, 5.31, 5.33, 5.35

Remarks: The specimens have subcylindrical a multi-segmented shell. Because of the poor preservation in an apical part and surface pores, they are presented as *Triassocampe* with a question mark.

Genus ***Annulotriassocampe*** Kozur and Mostler, 1994

Type species *Annulotriassocampe campanilis* Kozur and Mostler, 1994

***Annulotriassocampe* sp.**

Figs. 5.26, 5.27

Remarks: The specimens have a long-conical shell. The segments are hoop-like and possess one ring of pores. These characteristics closely resemble those of the genus *Annulotriassocampe* Kozur and Mostler established by Kozur and Mostler (1994).

Genus ***Yeharaia*** Nakaseko and Nishimura, 1979

Type species *Yeharaia elegans* Nakaseko and Nishimura, 1979

***Yeharaia* sp.**

Fig. 5.32

Remarks: The specimen has a well-developed apical horn. This characteristic closely resembles that of the genus *Yeharaia* Nakaseko and Nishimura established by Nakaseko and Nishimura (1979).

Family **DIACANTHOCAPSIDAE** O'Dogherty, 1994

Subfamily **JAPONOCAPSINAE** Kozur, 1984

Genus ***Japonocapsa*** Kozur, 1984

Type species *Tricolocapsa? fusiformis* Yao, 1979

Japonocapsa* sp. aff. *J. fusiformis (Yao, 1979) sensu Matsuoka (1983)

Fig. 9.5

Remarks: The specimen is characterized by a fusiform shell with a fourth segment that is dish-like and sparsely pored. Such characteristics resemble those of *Japonocapsa fusiformis* (Yao) originally described as *Tricolocapsa? fusiformis* by Yao (1979). Matsuoka (1983) described *Japonocapsa* sp. aff. *J. fusiformis* that has smaller basal appendage than *Japonocapsa fusiformis*. The specimen also has the small basal appendage and closely resembles *Japonocapsa* sp. aff. *J. fusiformis*.

Genus ***Striatojaponocapsa*** Kozur, 1984

Type species *Tricolocapsa plicarum* Yao, 1979

Striatojaponocapsa synconexa O'Dogherty, Goričan and Dumitrica, 2006

Fig. 10.1

Remarks: The specimen has a small basal appendage with a circular depression. It is closely similar to

Striatojaponocapsa synconexa O'Dogherty, Goričan and Dumitrica studied by O'Dogherty *et al.* (2006) and Hatakeda *et al.* (2007).

***Striatojaponocapsa* sp.**

Fig. 11.1

Remarks: The specimen is closely similar to *Striatojaponocapsa conexa* (Matsuoka) in outline of the shell. The specimen is presented as *Striatojaponocapsa* sp. because its surface structure and basal appendage, major criteria for identification, cannot be observed.

***Striatojaponocapsa?* sp.**

Figs. 10.3, 10.5, 10.10

Remarks: The outline of the specimens resemble some species of *Striatojaponocapsa*, such as *S. conexa* and *S. synconexa*. The specimens are presented as *Striatojaponocapsa* with a question mark because of poor preservation.

Genus *Yaocapsa* Kozur, 1984

Type species *Cyrtocapsa mastoidea* Yao, 1979

***Yaocapsa?* sp.**

Fig. 10.15

Remarks: The specimen has a large last segment. The genus *Yaocapsa* Kozur is also characterized by a large last segment. Meanwhile, the preservation of the specimen is very poor, and the segment cannot be clearly observed. The specimen is therefore presented as *Yaocapsa* with a question mark.

Family **STICHOCAPSIDAE** Haeckel, 1881

Genus *Stichocapsa* Haeckel, 1881

Type species *Stichocapsa jaspidea* Rüst, 1885

“*Stichocapsa*” sp. E sensu Baumgartner *et al.* (1995)

Fig. 10.2

Remarks: The specimen has spherical cephalis without apical horn and truncate-conical thorax and abdomen. The large last segment can be observed, although the last segment is partially broken. The characteristics are similar those of “*Stichocapsa*” sp. E sensu Baumgartner *et al.* (1995). *Stichocapsa* Haeckel is currently considered as *nomen dubium* (O'Dogherty *et al.*, 2009a), so the generic name is presented as *Stichocapsa* with double quotations.

Family **EUCYRTIDIPELLIDAE** Takemura, 1986

Genus *Eucyrtidiellum* Baumgartner, 1984

Type species *Eucyrtidium? unumaense* Yao, 1979

***Eucyrtidiellum* sp. cf. *E. unumaense* (Yao, 1979)**

Fig. 10.16

Remarks: The specimen is characterized by having a small cephalis with apical horn and truncate-conical thorax. The characteristics are similar as those of *Eucyrtidiellum unumaense* (Yao), although some structures (e.g. surface, fourth segment) were lost.

***Eucyrtidiellum gunense* Cordey, 1998**

Fig. 6.11

Remarks: *Eucyrtidiellum gunense* Cordey has stout and longer apical horn in the cephalis with conical thorax (Cordey, 1998; Goričan *et al.*, 2006). The characteristics of the specimen closely resemble those of *Eucyrtidiellum gunense*.

***Eucyrtidiellum* sp.**

Figs. 6.3, 6.6, 6.12

Remarks: The specimens have a small cephalis and dome-shaped thorax. These characteristics are similar to those of the genus *Eucyrtidiellum* Baumgartner established by Baumgartner (1984).

Family **PSEUDODICTYOMITRIDAE** Pessagno, 1977b

Genus *Mizukidella* O'Dogherty, Goričan and Gawlick, 2017

Type species *Dictyomitrella? kamoensis* Mizutani and Kido, 1983

***Mizukidella?* sp.**

Fig. 9.31

Remarks: *Mizukidella* O'Dogherty, Goričan and Gawlick is characterized by a multicyrtyd conical to subcylindrical shell having nodose circumferential ridges (O'Dogherty *et al.*, 2017). The specimen also has nodose circumferential ridges and resembles some species of the genus, such as *Mizukidella kamoensis* (Mizutani and Kido), a type species of the genus. However, the preservation is poor and other characteristics cannot be observed, so that it is presented as the genus with a question mark.

Family **PARVICINGULIDAE** Pessagno, 1977a

Genus *Takemuraella* O'Dogherty, Goričan and Gawlick, 2017

Type species *Triversus japonicus* Takemura, 1986

***Takemuraella* sp. cf. *T. japonica* (Takemura, 1986)**

Fig. 10.19

Remarks: *Takemuraella japonica* (Takemura), originally described as *Triversus japonicus* by Takemura (1986), has a shell composed of small cephalis and conical thorax with irregularly distributed pores and pore frames (Takemura, 1986; O'Dogherty *et al.*, 2017). The characteristics of the specimen is similar to the species, although the surface is poorly preserved.

Family **ARCHAEODICTYOMITRIDAE** Pessagno, 1976

Genus *Archaeodictyomitra* Pessagno, 1976

Type species *Archaeodictyomitra squinaboli* Pessagno, 1976

***Archaeodictyomitra* sp.**

Figs. 10.18, 10.20, 12.11

Remarks: The specimens have linearly arranged,

continuous costae with pores in a single row between the costae. They are similar to species of the genus *Archaeodictyomitra* Pessagno established by Pessagno (1977a).

Family **HSUIDAE** Pessagno and Whalen, 1982
Genus *Hsuum* Pessagno, 1977a
Type species *Hsuum cuستاensis* Pessagno, 1977a

Hsuum maxwelli Pessagno, 1977a
Figs. 9.25, 10.17

Remarks: The specimens are characterized by discontinuous, diverging costae. In particular, the cephalis of the specimens has the clear costae and lacks an apical horn. *Hsuum maxwelli* Pessagno has these characteristics (Pessagno, 1977a), whereas other major species of *Hsuum* Pessagno lack clear costae in the cephalis and/or have an apical horn.

Genus *Parahsuum* Yao, 1982
Type species *Parahsuum simplum* Yao, 1982

Parahsuum simplum Yao, 1982
Fig. 6.16

Remarks: According to some studies (e.g. Yao, 1982; Hori and Yao, 1988), *Parahsuum simplum* Yao possesses a conical shell with smooth-edged, continuous, longitudinal costae and differs from other species of *Parahsuum* Yao in having shorter, smaller apical horn. The specimen has the characteristics in the shell.

Parahsuum sp. cf. *P. simplum* Yao, 1982
Fig. 6.15
Remarks: The specimen possesses a conical shell with smooth-edged, continuous, longitudinal costae. Although these characteristics are similar to those of *Parahsuum simplum*, the shell of the specimens were partially broken and thereby the distinguished characteristics (e.g. shorter, smaller apical horn) cannot be observed.

Parahsuum transiens Hori and Yao, 1988
Figs. 6.13, 6.14
Remarks: The specimens have a long, conical shell with smooth-edged, continuous, longitudinal costae. The distal portion of the shell bears weak circumferential ridges. These characteristics closely resemble those of *Parahsuum transiens* Hori and Yao described by Hori and Yao (1988).

Parahsuum? sp.
Figs. 6.23, 6.26
Remarks: The specimen has linearly arranged, continuous costae. *Parahsuum* has these characteristics (Yao, 1982). However, the pores are unclear because of the poor preservation. Other genera of Hsuidae Pessagno and Whalen, such as *Hsuum* Pessagno, is also characterized by linearly arranged, continuous costae and distinguished

from *Parahsuum* by features of the pores. Thus, the specimens are represented as *Parahsuum* with a question mark.

Family **WILLIRIEDELLIDAE** Dumitrica, 1970
Genus *Williriedellum* Dumitrica, 1970
Type species *Williriedellum crystallinum* Dumitrica, 1970

Williriedellum? *marcucciae* Cortese, 1993
Fig. 11.2

Remarks: The specimen seems to have an oval shell with its surface cut by numerous polygonal depressing facets. The outline of the shell is closely similar to *Williriedellum?* *marcucciae* Cortese described as *Williriedellum?* *marcuccii* by Cortese (1993).

Order **SPUMELLARIA** Ehrenberg, 1875
Family **PANTANELLIDAE** Pessagno, 1977b
Genus *Pantanellium* Pessagno, 1977a
Type species *Pantanellium riedeli* Pessagno, 1977a

Pantanellium? sp.
Figs. 6.35–6.37

Remarks: The specimens have a subspherical shell and possibly two polar spines. They are similar to some species of the genus *Pantanellium* Pessagno described by Pessagno (1977a).

Genus *Trillus* Pessagno and Blome, 1980
Type species *Trillus seidersi* Pessagno and Blome, 1980

Trillus? sp.
Figs. 6.41

Remarks: The specimen has bipolar massive spines characterized by wide ridges and wide grooves. Such characteristics are known in species of genus *Trillus* Pessagno and Blome, such as *Trillus elkhornensis* Pessagno and Blome (Pessagno and Blome, 1980), so this specimen may be the species.

Family **CAPNUCHOSPHAERIDAE** De Wever, 1979 in De Wever *et al.*, 1979
Genus *Capnuchosphaera* De Wever, 1979 in De Wever *et al.*, 1979
Type species *Capnuchosphaera triassica* De Wever, 1979 in De Wever *et al.*, 1979

Capnuchosphaera? sp.
Fig. 5.53

Remarks: The specimen has a spongy shell with one conical arm and two arms possibly broken. Although the preservation is very poor, the outline is similar to some species of the genus *Capnuchosphaera* De Wever established by De Wever *et al.* (1979). Here, the specimen is represented as *Capnuchosphaera* with a question mark because the very poor preservation.

Family **EMILUVIDAE** Dumitrica, 1995
Genus *Emiluvia* Foreman, 1973
Type species *Emiluvia chica* Foreman, 1973

***Emiluvia?* sp.**

Fig. 12.14

Remarks: The specimen possesses a rectangle shell with at least two spines. It seems to be broken specimen of *Emiluvia* Foreman, which has a rectangle shell with four spines, one at each corner arranged to form a cross (Foreman, 1973). The specimen is represented as *Emiluvia* with a question mark because the preservation condition.

Nassellaria gen. et sp. indet.

Figs. 9.3, 9.4

Remarks: The specimens seem to conical shell. However, they lack detailed structure. One specimen (Fig. 9.3) looks like closed nassellarian; however, the closed part is not preserved. Another specimen (Fig. 9.4) slightly resembles multi-segmented nassellarian in shell outline; however, segments on the surface cannot be observed. Consequently, these specimens are represented as *Nassellaria* gen. et sp. indet.

Order **ALBAILLELLARIA** Deflandre, 1953

Family **FOLLICUCULLIDAE** Ormiston and Babcock, 1979

Genus ***Parafollicucullus*** Holdsworth and Jones, 1980, emend. Xiao and Suzuki in Xiao *et al.* (2021)

Type species *Parafollicucullus fusiformis* Holdsworth and Jones, 1980

Parafollicucullus* sp. cf. *P. monacanthus (Ishiga and Imoto, 1982) in Ishiga *et al.*, 1982

Fig. 4.44

Remarks: The specimen has a dorsal wing and lacks a ventral wing. Such characteristics are known in *Parafollicucullus monacanthus* (Ishiga and Imoto) (Ishiga *et al.*, 1982). The pseudoabdomen is partially broken.

Genus ***Pseudoalbaillella*** Holdsworth and Jones, 1980, emend. Xiao and Suzuki in Xiao *et al.* (2021)

Type species *Pseudoalbaillella scalprata* Holdsworth and Jones, 1980

Pseudoalbaillella japonica Nestell and Nestell, 2020

Figs. 4.2–4.6, 4.8, 4.9, 4.27, 4.28, 4.31–4.33

Remarks: The specimens have a triangular pseudothorax and short pseudoabdomen. Such structures are known in *Pseudoalbaillella japonica* Nestell and Nestell described by Nestell and Nestell (2020).

Pseudoalbaillella postscalprata Ishiga, 1983

Figs. 4.7, 4.29, 4.30

Remarks: The specimens are slightly similar to *Pseudoalbaillella japonica*; however, they have a longer pseudoabdomen. Such characteristics are known

in *Pseudoalbaillella postscalprata* Ishiga, which is considered as a progeny species of *Pseudoalbaillella japonica* (Ishiga, 1983).

***Pseudoalbaillella?* sp.**

Fig. 4.34

Remarks: The specimen has an apical cone and pseudoabdomen. This outline is known in *Pseudoalbaillella* Holdsworth and Jones and similar genera such as *Parafollicucullus* Holdsworth and Jones. The specimen is therefore presented as *Pseudoalbaillella* with a question mark.

Genus ***Ishigaconus*** Kozur and Mostler, 1989

Type species *Follicucullus scholasticus* Ormiston and Babcock, 1979

Ishigaconus scholasticus (Ormiston and Babcock, 1979)

Fig. 4.50

Remarks: The specimen is characterized by a conical shell without wing(s) and segmentation(s). Such shell is known in *Ishigaconus scholasticus* (Ormiston and Babcock), which was originally described as *Follicucullus scholasticus* by Ormiston and Babcock (1979).

7.2 Non-taxonomic name

Arm of *Latentifistularia* gen. et sp. indet.

Fig. 4.42

Remarks: The form of the specimen is rod-like, and one end is branched. The branched end is composed of at least four platy parts. This is possibly arm of any taxa of *Latentifistularia* Caridroit, De Wever and Dumitrica, although appropriate species is unknown.

Short form of *Parafollicucullus fusiformis* Holdsworth and Jones, 1980, sensu Ito *et al.*, 2015

Fig. 4.43

Remarks: The specimen has skirt-like short pseudoabdomen seems to lack most of its pseudoabdomen. Ito *et al.* (2015) described the type of form as a short form of *Parafollicucullus fusiformis* Holdsworth and Jones.

Short form of *Parafollicucullus monacanthus* (Ishiga and Imoto, 1982) in Ishiga *et al.*, 1982 sensu Ito *et al.*, 2015

Figs. 4.46–4.49

Remarks: The specimens have a dorsal wing and lack a ventral wing, sharing the characteristics of *Parafollicucullus monacanthus* (Ishiga and Imoto). They have skirt-like short pseudoabdomen and seem to lack most of their pseudoabdomen. Ito *et al.* (2015) described this type of form as a short form.

Spine A2 of Sugiyama (1997)

Fig. 5.50

Remarks: The specimen is rod-like, curved spine.

Sugiyama (1997) speculated that Spine A2 is possibly derived from *Oertlispongos inaequispinosus* Dumitrica, Kozur and Mostler or *Flexispongos cornuhovis* Larm.

Grooved spine

Figs. 5.8, 5.9, 6.38–6.40

Remarks: The specimens are grooved spines. The spines are slightly curved. Several taxa of radiolarian orders in the Paleozoic–Cenozoic, such as Entactinaria Kozur and Mostler, Spumellaria Ehrenberg and Nassellaria Ehrenberg, possess grooved spines (e.g. De Wever *et al.*, 2001).

Multi-segmented nassellarian

Figs. 5.7, 6.17–6.21, 6.24, 6.25, 6.27–6.34, 9.23, 9.24, 9.32, 10.21–10.24, 11.5, 12.8, 12.10, 12.12, 12.13, 13.2, 13.3, 13.8, 13.24

Remarks: The specimens are characterized by multi-segmented tower-like shell. Such radiolarians are generally known in the Mesozoic–Cenozoic nassellarian (e.g. De Wever *et al.*, 2001).

Three-segmented closed nassellarian

Figs. 6.4, 6.5, 6.7–6.10, 7.1, 7.2, 7.4, 9.1, 9.2, 9.6–9.11, 9.13–9.22, 9.27–9.30, 10.4, 10.6, 10.9, 10.11–10.14, 11.3, 11.6, 11.7, 12.1–12.6

Remarks: Three-segmented closed nassellarian has a spindle-shaped shell composed of cephalis, thorax and abdomen. Such nassellarians are known mainly in the Family Williriedellidae Dumitrica. Representative genera of the family are *Williriedellum* Dumitrica, *Zhamoidellum* Dumitrica, *Hemicryptocapsa* Tan Sin Hok, *Holocryptocanium* Dumitrica and *Cryptamphorella* Dumitrica. *Japonocapsa* Kozur and *Striatojaponocapsa* Kozur belonging to the Family Syringocapsidae also have these characters. The specimens are possibly identified as any of the genera.

Closed nassellarian

Figs. 6.1, 6.2, 7.3, 7.5, 7.6, 8.1, 8.2, 8.5, 8.8, 9.12, 9.26, 11.4, 11.8–11.11, 12.7, 12.9

Remarks: Closed nassellarian has spindle form which a distal end is closed. They differ from three-segmented closed nassellarian in unobservable segmentation in the shell. However, a specimen identified as closed-end nassellarian could be three-segmented closed nassellarian that lost segmentation structure because of poor preservation, i.e. closed-end nassellarian includes three-segmented nassellarian.

Spherical polycystine

Figs. 4.23, 4.26, 4.38–4.40, 5.1–5.3, 5.20–5.23, 6.42, 6.43, 8.3, 8.4, 8.6, 8.7, 12.15, 13.1, 13.4–13.7, 13.9–13.13, 13.15, 13.20–13.22, 13.25–13.32, 13.34–13.36

Remarks: As its name indicates, spherical polycystine possesses spherical shell. Radiolarian having a spherical shell is known in the Orders Entactinaria and Spumellaria.

A specimen of the Order Nassellaria observed from distal side also looks spherical-shaped shell.

Spherical polycystine, i.e. Entactinaria, Spumellaria or Nassellaria, occurred in the Paleozoic to recent (e.g. De Wever *et al.*, 2001), so that it is not valuable for age assignment.

Spine-bearing spherical polycystine

Figs. 5.54, 13.14, 13.16–13.18

Remarks: Specimens having spherical shell with spines are called as spine-bearing spherical polycystine in this article. Such radiolarians are known in some taxa of the orders Entactinaria and Spumellaria.

Entactinaria and Spumellaria occurred in the Paleozoic to recent (e.g. De Wever *et al.*, 2001), so that it is not valuable for age assignment.

Three-coplaner-spine-bearing spherical polycystine

Figs. 5.4, 5.46, 5.47, 5.49, 13.19, 13.33

Remarks: Specimens having spherical shell with three coplaner spines are called as three-coplaner-spine-bearing spherical polycystine in this article. Such radiolarians are known in some taxa of Order Spumellaria.

Spumellaria occurred mainly in the Mesozoic to recent (e.g. De Wever *et al.*, 2001), so that it is not valuable for age assignment.

Acknowledgments: The author wishes to thank Dr. MUTO Shun (Geological Survey of Japan, AIST) for the comment on age assignments of the conodonts from the Jurassic accretionary complex in the present and previous studies; Dr. HARA Hidetoshi (Geological Survey of Japan, AIST) for the editing the manuscript and constructive comments on the article's composition; Prof. MATSUOKA Atsushi (Niigata University) for careful review and suggestive comments mainly on identification and age assignments of Triassic and Jurassic radiolarians that improved greatly this manuscript.

References

- Aita, Y. (1987) Middle Jurassic to Lower Cretaceous radiolarian biostratigraphy of Shikoku with reference to selected sections in Lombardy Basin and Sicily. *The Science Reports of the Tohoku University, Series 2: Geology*, **58**, 1–91.
- Aono, H. (1985) Geologic structure of the Ashio and Yamizo Mountains with special reference to its tectonic evolution. *Science reports of the Institute of Geoscience, University of Tsukuba, Section B, Geological Sciences*, **6**, 21–57.
- Arakawa, R. (1986) Upper Paleozoic and Mesozoic strata in the southeastern part of the Ashio Mountains. *Bulletin of the Tochigi Prefectural Museum*, no. 3, 1–37. (in Japanese with English abstract)
- Arakawa, R. (1997) Jurassic radiolarian succession from the siliceous mudstone in the Kuzuu area of the

- Ashio terrane, central Japan. *Bulletin of the Tochigi Prefectural Museum*, no. 14, 1–19. (in Japanese with English abstract)
- Arakawa, R. (1998) Middle Jurassic radiolarian assemblages from Manganese dioxide nodules, Kuzuu area of Ashio terrane, central Japan. *Bulletin of the Tochigi Prefectural Museum*, no. 15, 51–76. (in Japanese with English abstract)
- Baumgartner, P. O. (1984) A Middle Jurassic–Early Cretaceous low latitude radiolarian zonation based on unitary associations and age of Tethyan radiolarites. *Eclogae Geologicae Helveticae*, **77**, 729–841.
- Baumgartner, P. O., O’Dogherty, L., Goričan, Š., Dumitrica-Jud, R., Dumitrica, P., Pillecuit, A., Urquhart, E., Matsuoka, A., Danelian, T., Bartolini, A., Carter, E. S., De Wever, P., Kito, N., Marcucci, M. and Steiger, T. (1995) Radiolarian catalogue and systematics of Middle Jurassic to Early Cretaceous Tethyan genera and species. In Baumgartner, P. O., O’Dogherty, L., Goričan, Š., Urquhart, E., Pillecuit, A. and De Wever, P., eds., *Middle Jurassic to Lower Cretaceous Radiolaria of Tethys: Occurrences, Systematics, Biochronology*. Mémoires de Géologie (Lausanne), **23**, 37–685.
- Blome, C. (1984) Upper Triassic Radiolaria and radiolarian zonation from western North America. *Bulletins of American Paleontology*, **85**, 1–88.
- Caridroit, M. and De Wever, P. (1986) Some late Permian radiolarians from pelitic rocks of the Tatsuno Formation (Hyogo Prefecture), southwest Japan. *Marine Micropaleontology*, **11**, 55–90.
- Caridroit, M., De Wever, P. and Dumitrica, P. (1999) A new order, a new family and a new genus of Paleozoic Radiolaria: Latentifistularia, Cauletellidae and *Cauletella*. *Comptes Rendus de l’Académie des Sciences de Paris, Série IIA-Sciences de la Terre et des Planètes*, **329**, 603–608.
- Carter, E. S., Goričan, Š., Guex, J., O’Dogherty, L., De Wever, P., Dumitrica, P., Hori, R. S., Matsuoka, A., and Whalen, P. A. (2010) Global radiolarian zonation for the Pliensbachian, Toarcian and Aalenian. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **297**, 401–419.
- Chen, Y., Krystyn, L., Orchard, M. J., Lai, X. L. and Richoz, S. (2016) A review of the evolution, biostratigraphy, provincialism and diversity of Middle and early Late Triassic conodonts. *Papers in Palaeontology*, **2**, 235–263.
- Chiari, M., Marcucci, M. and Prella, M. (2002) New species of Jurassic radiolarians in the sedimentary cover of ophiolites in the Mirdita area, Albania. *Micropaleontology*, **48** (supplement no. 1), 61–87.
- Conodont Research Group (1972) Conodonts at the Permian–Triassic boundary in Japan. —Conodonts from the basal part of the Adoyama Formation—. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **78**, 355–368. (in Japanese with English abstract)
- Conodont Research Group (1974) Conodonts at the Permian–Triassic boundary in Japan. —Stratigraphy and faunas of the Nabeyama and Adoyama formations in Karasawa area, southeast Ashio Mountains—. *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **28**, 86–98. (in Japanese with English abstract)
- Cordey, F. (1998) Radiolaires des complexes d’accrétion de la Cordillère Canadienne (Colombie-Britannique). *Commission Géologique du Canada Bulletin*, no. 509, 1–209.
- Cortese, G. (1993) Radiolarian biostratigraphy of the Tuscan Cherts (Tuscan Succession) from Val di Lima, Tuscany, Northern Apennines. *Paleopelagos*, **3**, 165–185.
- De Wever, P. and Caridroit, M. (1984) Description of some new Latentifistulidea (polycystines Radiouria) from Paleozoic of Japan. *Revue de Micropaléontologie*, **27**, 98–106.
- De Wever, P., Dumitrica, P., Caulet, J. P., Nigrini, C. and Caridroit, M. (2001) *Radiolarians in the Sedimentary Record*. Gordon and Breach Science Publishers, Singapore, 533p.
- De Wever, P., Sanfilippo, A., Riedel, W. R. and Gruber, G. (1979) Triassic radiolarians from Greece, Sicily and Turkey. *Micropaleontology*, **25**, 75–110.
- Deflandre, G. (1953) Radiolaires fossiles, In Grassé, P. P., Ed., *Traité de Zoologie*. Masson, Paris, 389–436.
- Dumitrica, P. (1970) Cryptocephalic and cryptothoracic Nassellaria in some Mesozoic deposits of Romania. *Revue roumaine de Géologie, Géophysique et Géographie (série Géologie)*, **14**, 45–124.
- Dumitrica, P. (1978) Family Eptingiidae n. fam., extinct Nassellaria (Radiolaria) with sagittal ring. *Dari de seama ale sedintelor, Institutul de Geologie si Geofizica, Bucuresti*, **64**, 27–38.
- Dumitrica, P. (1995) Systematic framework of Jurassic and Cretaceous Radiolaria. *Mémoires de Géologie (Lausanne)*, **23**, 19–35.
- Dumitrica P., Kozur H. and Mostler H. (1980) Contribution to the radiolarian fauna of the Middle Triassic of the Southern Alps. *Geologisch Paläontologische Mitteilungen Innsbruck*, **10**, 1–46.
- Dumitrica-Jud, R. (1995) Early Cretaceous radiolarian biostratigraphy of Umbria-Marche Apennines (Italy), Southern Alps (Italy and Switzerland) and Hawasina Nappes (Oman). *Mémoires de Géologie (Lausanne)*, **23**, 751–790.
- Editorial team of Omama Town’s history* (1996) *Omama Town’s History, Basic Data VIII: Geography and Geology of Omama Town**. Publication committee of Omama Town’s history*, Omama Town (current administrative division: Kiryu City), Gunma.
- Ehrenberg C. G. (1875) *Fortsetzung der mikrogeologischen Studien als Gesamt-Uebersicht der mikroskopischen Palaontologie gleichartig analysirter Gebirgsarten der Erde, mit specieller Rücksicht auf den Polycystinen-Mergel von Barbados*. Abhandlungen der königlichen

- preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 1–225.
- Foreman, H. P. (1963) Upper Devonian Radiolaria from the Huron member of the Ohio shale. *Micropaleontology*, **9**, 267–304.
- Foreman, H. P. (1973) Radiolaria from DSDP Leg 20. In Heezen, B. C., MacGregor, I. D., Foreman, H. P., Forristall, G., Hekel, H., Hesse, R., Hoskins, R. H., Jones, E. J. W., Kaneps, A. G., Krasheninnikov, V. A., Okada, H. and Ruef, M. H., Eds., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **20**, Washington, U.S. Government Printing Office, 249–305.
- Fujimoto, H. (1960) *Carboniferous System of Japan*. Geological Survey of Japan. 65p.
- Fujimoto, H. (1961) *Explanatory text of the Geological map of Japan, Scale 1:50,000, Tochigi*. Geological Survey of Japan. 62p. (in Japanese with English Summary)
- Geological Survey of Japan, AIST (2018) Seamless digital geological map of Japan 1: 200,000. January 26, 2018 version. Geological Survey of Japan, AIST. <https://gbank.gsj.jp/seamless/v2full/> (Accessed:2018-1-26)
- Goričan, Š., Carter, E. S., Dumitrica, P., Whalen, P. A., Hori, R. S., De Wever, P., O'Dogherty, L., Matsuoka, A. and Guex, J. (2006) *Catalogue and Systematics of Pliensbachian, Toarcian and Aalenian Radiolarian Genera and Species*. ZRC Publishing, Scientific Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts, Ljubljana, 446 p.
- Goto, N. (1975) New find of the Permian and Triassic fish Fossils in Japan: On the dermal denticles and teeth of fishes discovered from Karasawa area, southeast Ashio Mountains. *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **29**, 72–74. (in Japanese with English abstract)
- Goto, N. (1984) Discovery of a petalodont shark tooth from the Nabeyama Formation (Middle Permian) in Kuzuu, Tochigi Prefecture, central Japan. *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **38**, 139–142. (in Japanese)
- Goto, N. (1994) Palaeozoic and early Mesozoic fish faunas of the Japanese Islands. *The Island Arc*, **3**, 247–254.
- Haeckel, (1881) Entwurf eines Radiolarien-Systems auf Grund von Studien der Challenger-Radiolarien. *Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft*, **15**, 418–472.
- Harada, S. (1886) Geologic outline of the Ashio Copper Mine*. *Briefing Report of Geology* (Chishitsu Gaiho)*, 192–197. (in Japanese)
- Hatakeda, K., Suzuki, N. and Matsuoka, A. (2007) Quantitative morphological analyses and evolutionary history of the Middle Jurassic polycystine radiolarian genus *Striatojaponocapsa* Kozur. *Marine Micropaleontology*, **63**, 39–56.
- Hatori, H. (1965) Stratigraphic studies in the southeastern part of the Ashio Massif, Tochigi Prefecture. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **71**, 247–256. (in Japanese with English abstract)
- Hattori, I. (1987) Jurassic radiolarian fossils from the Nanjo Massif, Fukui Prefecture, central Japan. *Bulletin of Fukui City Museum of Natural History*, **34**, 29–101. (in Japanese with English abstract)
- Hayasaka, I. (1926) On a new Carboniferous brachiopod fauna from the Ashio Mountains, Japan. *Proceedings of the Imperial Academy*, **2**, 551–553.
- Hayasaka, I. (1944) On the geological age of the brachiopod beds in the Vicinity of Nabeyama, Totigi Prefecture. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **51**, 154–156. (in Japanese)
- Hayashi, S. (1963) On the conodonts newly discovered from the Ashio Mountains, central Japan. *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **68**, 9–12. (in Japanese with English abstract)
- Hayashi, S. (1964) Discovery of conodonts from “Narutakite”. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **70**, 596. (in Japanese)
- Hayashi, S. (1968a) The Permian conodonts in chert of the Adoyama Formation, Ashio Mountains, central Japan. *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **22**, 63–77. (in Japanese with English abstract)
- Hayashi, S. (1968b) Redescription of the new forms proposed in “The Permian conodonts in chert of the Adoyama Formation, Ashio Mountains, central Japan,” 1968 by Shingo HAYASHI. *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **22**, 305. (in Japanese with English abstract)
- Hayashi, S. (1971) Conodonts from the Nabeyama Formation, Kuzuu District, Tochigi Prefecture, Japan. *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **25**, 251–257. (in Japanese with English abstract)
- Hayashi, S. and Hasegawa, Y. (1981) Chichibu System in the Ashio belt: Macrofossil- and conodont-based age (Part 2)*. *Studies on Late Mesozoic Tectonism in Japan*, no. 3, 233–249. (in Japanese with English abstract)
- Hayashi, S., Iijima, S., Ishii, I., Nakajima, T., Sawaguchi, H., Tanaka, H. and Yoshida, T. (1990) Late Paleozoic to Mesozoic formations in the southwestern Ashio Mountains. *Bulletin of the Gunma Prefectural Museum of History*, no. 11, 1–34. (in Japanese with English abstract)
- Henderson, C. M. (2018) Permian conodont biostratigraphy. In Lucas, S. G. and Shen, S. Z., Eds., *The Permian Time Scale*, Geological Society, London, Special Publication, **450**, 119–142.
- Holdsworth, B. K. and Jones, D. L. (1980) Preliminary radiolarian zonation for late Devonian through Permian time. *Geology*, **8**, 281–285.
- Hori, N. (1999) Latest Jurassic radiolarians from the northeastern part of the Torinoko Block, Yamizo Mountains, central Japan. *Science reports of the Institute of Geoscience, University of Tsukuba, Section B, Geological Sciences*, **20**, 47–114.
- Hori, R. (1990) Lower Jurassic radiolarian zones of SW Japan. *Transactions and Proceedings of Palaeontological Society of Japan, New Series*, no. 159, 562–586.

- Hori, R. S. (1997) The Toarcian radiolarian event in bedded cherts from southeastern Japan. *Marine Micropaleontology*, **30**, 159–169.
- Hori, R. and Yao, A. (1988) *Parahsuum* (Radiolaria) from the Lower Jurassic of the Inuyama area, central Japan. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, **31**, 47–61.
- Hujimoto, H. (1938) On the Fusulina-Limestone in the Asio Mountainland (Preliminary Report). *The Journal of the Geological Society of Japan*, **45**, 379–382. (in Japanese with English abstract)
- Hull, D. M. (1997) Upper Jurassic Tethyan and Southern Boreal radiolarians from western North America. *Micropaleontology*, **43** (supplement no. 2), 1–202.
- Igo, Hh. and Nishimura, H. (1984) The Late Triassic and Early Jurassic radiolarian biostratigraphy in the Karasawa, Kuzuu town, Tochigi Prefecture (Preliminary report). *Bulletin of Tokyo Gakugei University. Series IV*, **36**, 173–193. (in Japanese with English abstract)
- Igo, Hh., Aoki, R. and Hosoi, S. (1976) On the Boundary between the Permian and Triassic formations in the Eastern Part of the Kuzu Area, Tochigi Prefecture. *Bulletin of Tokyo Gakugei University. Series IV*, **28**, 226–236. (in Japanese with English abstract)
- Igo, Hy. (1964) Fusulinids from the Nabeyama Formation (Permian) Kuzu, Tochigi Prefecture, Japan. *Memoirs of Mejiro Gakuen Woman's Junior College*, **1**, 1–28.
- Igo, Hy. (1985) Triassic limestone from Fukabori, upper stream of the Akiyama River, Ashio Mountains*. *A comprehensive research on the Joetsu and Ashio belts* (Sogo Kenkyu, Joetsu-Tai, Ashio-Tai)*, no. 2, 99–102. (in Japanese)
- Igo, Hy. and Igo, Hh. (1977) Upper Permian fusulinaceans contained in the pebbles of the basal conglomerate of the Adoyama Formation, Kuzu, Tochigi Prefecture, Japan. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, no. 106, 89–99.
- Igo, Hy., Koizumi, H. and Kaniwa, T. (2000) A Permian Rugosa *Yatsengia kuzuensis*, from north of Kiryu in the Ashio mountains, Gunma Prefecture, Japan. *Bulletin of the National Science Museum, Series C, Geology and Paleontology*, **26**, 79–86.
- Ishiga, H. (1983) Morphological change in the Permian Radiolaria, *Pseudoalbaillella scalprata* in Japan. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, no. 129, 1–8.
- Ishiga, H. (1986) Late Carboniferous and Permian radiolarian biostratigraphy of southwest Japan. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, **29**, 89–100.
- Ishiga, H. (1990) Paleozoic radiolarians. In Ichikawa, K., Mizutani, S., Hara, I. and Yao, A., eds, *Pre-Cretaceous Terranes of Japan*. Publication of IGCP Project No. 224: Pre-Jurassic Evolution of Eastern Asia. IGCP Project 224, Osaka, Japan, 285–295.
- Ishiga, H., Kito, T. and Imoto, N. (1982) Middle Permian radiolarian assemblages in the Tamba District and an adjacent area, Southwest Japan. *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **36**, 272–281.
- Isogawa, J., Aita, Y. and Sakai, T. (1998) Early Triassic radiolarians from the bedded chert in the Minowa quarry, Kuzuu Town, Tochigi Prefecture. *News of Osaka Micropalaeontologists (NOM), Special Volume*, no. 11, 81–93. (in Japanese with English abstract)
- Isozaki, Y., Maruyama, S. and Furuoka, F. (1990) Accreted oceanic materials in Japan. *Tectonophysics*, **181**, 179–205.
- Ito, T. (2019) A report of Permian, Triassic, and Jurassic radiolarian occurrences from the Ashio terrane in the Hachioji Hills, eastern Gunma Prefecture, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **70**, 225–247.
- Ito, T. (2020a) A Cisuralian (early Permian) radiolarian assemblage and a new species of *Latentibifistula* Nazarov and Ormiston from central Japan. *Revue de Micropaléontologie*, **66**, 100407.
- Ito, T. (2020b) Radiolarian age of Triassic striped chert within the Jurassic accretionary complex of the Ashio terrane in the Ashikaga area, Tochigi Prefecture, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **71**, 297–312.
- Ito, T. (2021) Geology and correlation of Jurassic accretionary complex in the Ashio Mountains, central Japan: Investigation on the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000). *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **72**, 201–285. (in Japanese with English abstract).
- Ito, T. and Nakamura, Y. (2021) Biotite granodiorite of the Ashikaga Body and contact metamorphic rock in Nagusa, Ashikaga City, Tochigi Prefecture, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **72**, 383–396. (in Japanese with English abstract)
- Ito, T., Feng, Q. L. and Matsuoka, A. (2015) Taxonomic significance of short forms of middle Permian *Pseudoalbaillella* Holdsworth and Jones, 1980 (Follicucullidae: Radiolaria). *Revue de Micropaléontologie*, **58**, 3–12.
- Ito, T., Nakamura, K., Hinohara, T. and Kurihara, T. (2021a) Occurrence report of Triassic and Jurassic radiolarians from the Jurassic accretionary complexes of the Ashio belt in eastern Mt. Narukami, Ashio Mountains, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **72**, 345–358.
- Ito, T., Suzuki, N. and Sashida, K. (2021b) Radiolarians and foraminifers from the Omama Complex (Jurassic accretionary complex of the Ashio terrane) in the Ashio Mountains, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **72**, 359–370. (in Japanese with English abstract)
- Kamata, Y. (1995) Early Triassic radiolarians from black siliceous shale and black chert in the Kuzu area of

- the Ashio terrane, central Japan. *Fossils (Kaseki)*, **59**, 23–31. (in Japanese with English abstract)
- Kamata, Y. (1996) Tectonostratigraphy of sedimentary complex in the southern part of the Ashio terrane, central Japan. Science Reports of the Institute of Geoscience, *University of Tsukuba, Section B, Geological Sciences*, **17**, 71–107.
- Kamata, Y. (1997a) Reconstruction of chert–clastic sequence of the Ashio terrane in the Kuzu area, central Japan. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **103**, 343–356. (in Japanese with English abstract)
- Kamata, Y. (1997b) Late Permian to Late Triassic radiolarians from a float of the sandstone and chert breccia in the Ashio Mountains (Preliminary report). *News of Osaka Micropaleontologists (NOM), Special Volume*, no. 10, 97–107. (in Japanese with English abstract)
- Kamata, Y. (1999) Lower Triassic (Spathian) radiolarians from the Kuzu area (Tochigi Prefecture, central Japan). *Geodiversitas*, **21**, 657–673.
- Kamata, Y. (2000) Imbricate structure of chert–clastic sequence of the Kuzu Complex in the Shiraiwa area of the Ashio belt, central Japan. *The Memoirs of the Geological Society of Japan*, no. 55, 203–221. (in Japanese with English abstract)
- Kamata, Y. and Kajiwara, Y. (1996) Sulfur isotopic data from the Permian–Triassic boundary chert sequence at Motegi, Gunma Prefecture, in the Ashio terrane, central Japan. In Noda, H. and Sashida, K., Eds., *Professor Hiroyoshi Igo Commemorative Volume on Geology and Paleontology of Japan and Southeast Asia.*, Gakujyutsu Tosho Insatsu Co. Ltd., Tokyo, Japan, 19–27.
- Kamata, Y. and Mizobe, S. (2001) Co-occurrence of an Early Jurassic ammonite and Middle Jurassic radiolarians in the Kuzu Complex of the Ashio belt, central Japan and its stratigraphic bearing. *News of Osaka Micropaleontologists (NOM), Special Volume*, no. 12, 191–201. (in Japanese with English abstract)
- Kamata, Y., Mizobe, S. and Sato, T. (2003) An Early Jurassic ammonite from a limestone conglomerate in the Kuzu Complex of the Ashio belt. *Paleontological Research*, **7**, 185–194.
- Kawata, K. and Ozawa, A. (1955) *Explanatory text of the Geological map of Japan, Scale 1:50,000, Ashio.* Geological Survey of Japan. 57p. (in Japanese with English Summary)
- Kiessling, W. (1999) Late Jurassic radiolarians from the Antarctic Peninsula. *Micropaleontology*, **45** (supplement no. 1), 1–96.
- Kiessling, W. Scasso, R. Zeiss, A., Riccardi, A. and Medina, F. (1999) Combined radiolarian-ammonite stratigraphy for the late Jurassic of the Antarctic Peninsula: Implications for radiolarian stratigraphy. *Geodiversitas*, **21**, 687–713.
- Kobayashi, F. (1979) Petrography and sedimentary environment of the Permian nabeyama limestone in the Kuzu area, Tochigi Prefecture, central Japan. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **85**, 627–642. (in Japanese with English abstract)
- Kobayashi, F. (2006a) Middle Permian fusulinaceans of the Izuru and Nabeyama formations in the Kuzu area, Tochigi Prefecture, Japan. Part 1. Schwagerinid, neoschwagerinid, and verbeekinid fusulinoideans. *Paleontological Research*, **10**, 37–59.
- Kobayashi, F. (2006b) Middle Permian foraminifers of the Izuru and Nabeyama formations in the Kuzu area, central Japan Part 2. Schubertellid and ozawainellid fusulinoideans, and non-fusulinoidean foraminifers. *Paleontological Research*, **10**, 61–77.
- Kobayashi, T. and Hamada, T. (1984) The Middle and Upper Permian Trilobites from the Akasaka Limestone in Gifu Prefecture, West Japan. *Proceedings of the Japan Academy, Series B, Physical and Biological Sciences*, **60**, 1–4.
- Koike, T., Watanabe, K. and Igo, Hh. (1970) New evidence of Triassic conodont biostratigraphy in Japan. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **76**, 267–269. (in Japanese with English abstract)
- Koike, T., Kinoshita, T., Igo, Hh. and Takizawa, S. (1971) Conodonts from the Tochigi Group and the discovery of the thrust fault in the vicinity of Kuzuu, Tochigi Prefecture. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **77**, 221–222. (in Japanese with English abstract)
- Koike, T., Igo, Hy., Igo, Hh. and Kinoshita, T. (1974) geological significance of the unconformity between the Permian Nabeyama and Triassic Adoyama formations in the vicinity of Kuzuu, Tochigi Prefecture. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **80**, 293–306. (in Japanese with English abstract)
- Koike, T., Kodachi, Y., Matsuno, T. and Baba, H. (1991) Triassic conodonts from exotic blocks of limestone in northern Kuzuu, the Ashio Mountains. *Science Reports of the Yokohama National University, Section II, Biological and Geological Sciences*, no. 38, 53–69.
- Koizumi, H., Yoshino, T. and Kojima, H. (1979) Occurrences of Permian trilobite *Pseudophillipsis* from Yamasuge, Kuzu Town, Tochigi Prefecture*. *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **33**, 353–354. (in Japanese)
- Koizumi, H., Hayashi, S. and Tanaka, H. (1988) Occurrences of Permian trilobite *Pseudophillipsis* (s.s.) from the Kiryu area, Ashio Mountains, central Japan. *Bulletin of the Gunma Prefectural Museum of History*, **9**, 99–109. (in Japanese)
- Kojima, S., Hayasaka, Y., Hiroi, Y., Matsuoka, A., Sano, H., Sugamori, Y., Suzuki, N., Takemura, S., Tsujimori, T. and Uchino, T. (2016) Pre-Cretaceous accretionary complexes. In Moreno, T., Wallis, S. and Gibbons, W. eds., *The Geology of Japan*, Geological Society of London, London, 61–100.
- Kozai, T., Ishida, K. and Kondo, Y. (2006) Radiolarians,

- bivalves and the J/K boundary in the Birafu Formation, southern Kurosegawa belt, central Shikoku, SW Japan. *Geosciences Journal*, **10**, 217–235.
- Kozur, H. (1980) Ruzhencevispongidae, eine neue Spumellaria Familie aus dem oberen Kungurien (Leonardian) und Sakmarien des Vorurals. *Geologisch Paläontologische Mitteilungen Innsbruck*, **10**, 235–242.
- Kozur, H. (1984) New radiolarian taxa from the Triassic and Jurassic. *Geologisch Paläontologische Mitteilungen Innsbruck*, **13**, 49–88.
- Kozur, H. (1988) Muelleritortiididae n. fam., eine charakteristische longobardische (oberladinische) Radiolarienfamilie, Teil II. *Freiberger Forschungshefte*, **C427**, 95–100.
- Kozur, H. and Mostler, H. (1979) Beiträge zur Erforschung der mesozoischen Radiolarien. Teil III: Die Oberfamilien Actinommacea Haeckel, 1862 emend., Artiscacea Haeckel, 1882, Multiarcusellacea nov. der Spumellaria und triassische Nassellaria. *Geologisch Paläontologische Mitteilungen Innsbruck*, **9**, 1–132.
- Kozur, H. and Mostler, H. (1981) Beiträge zur Erforschung der mesozoischen Radiolarien. Teil IV: Thalassosphaeracea Haeckel, 1862, Hexastylacea Haeckel, 1862 emend. Petrushevskaya, 1979, Sponguracea Haeckel, 1862 emend. und weitere triassische Lithocycliacea, Trematodiscacea, Actinommacea und Nassellaria. *Geologisch Paläontologische Mitteilungen Innsbruck*, **1**, 1–208.
- Kozur, H. and Mostler, H. (1982) Entactinaria Subordo nov., a new radiolarian suborder. *Geologisch Paläontologische Mitteilungen Innsbruck*, **11**, 399–414.
- Kozur, H. and Mostler, H. (1989) Radiolarien und schwammkernen aus dem Unterperm des Vorurals. *Geologisch Paläontologische Mitteilungen Innsbruck, Sonderband*, **2**, 147–275.
- Kozur, H. and Mostler, H. (1994). Anisian to Middle Carnian radiolarian zonation and description of some stratigraphically important radiolarians. *Geologisch-Paläontologische Mitteilungen Innsbruck*, **3**, 39–255.
- Kuwahara, K., Yao, A. and Yamakita, S. (1998) Reexamination of Upper Permian radiolarian biostratigraphy. *Earth Science (Chikyū Kagaku)*, **52**, 391–404.
- Masuda, S. (1989) Jurassic radiolarian fossils in the Hachioji Hill. *Research Reports, Ashikaga Institute of Technology*, no. 15, 207–214. (in Japanese with English abstract)
- Matsuda, T. and Isozaki, Y. (1991) Well-documented travel history of Mesozoic pelagic chert in Japan: from remote ocean to subduction zone. *Tectonics*, **10**, 475–499.
- Matsuoka, A. (1983) Middle and late Jurassic radiolarian biostratigraphy in the Sakawa and adjacent areas, Shikoku, Southwest Japan. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, **26**, 1–48.
- Matsuoka, A. (1985) Middle Jurassic Keta Formation of the southern part of the Middle Chichibu terrane in the Sakawa area, Kochi Prefecture, Southwest Japan. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **91**, 411–420. (in Japanese with English abstract)
- Matsuoka, A. (1986) Faunal change of radiolarians around the Jurassic–Cretaceous boundary —with special reference to some multi-segmented nassellarians—. *Fossils (Kaseki)*, no. 40, 1–15. (in Japanese with English abstract)
- Matsuoka, A. (1988) First appearance biohorizon of *Tricolocapsa conexa* within Jurassic siliceous mudstone sequences of the Kamiaso area in the Mino terrane, central Japan—A correlation of radiolarian zones of the Middle Jurassic. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **94**, 583–590.
- Matsuoka, A. (1991) Early Jurassic Radiolarians from the Nanjo Massif in the Mino terrane, central Japan. Part 1. *Tricolocapsa*, *Stichocapsa*, and *Minocapsa*, n. gen. *Transactions and Proceedings of the Paleontological Society of Japan, New Series*, no. 161, 720–738.
- Matsuoka, A. (1995) Jurassic and Lower Cretaceous radiolarian zonation in Japan and in the Western Pacific. *The Island Arc*, **4**, 140–153.
- Matsuoka, A. and Ito, T. (2019) Updated radiolarian zonation for the Jurassic in Japan and the western Pacific. *Science Reports of Niigata University (Geology)*, no. 34, 49–57.
- Matsuoka, A. and Yao, A. (1986) A newly proposed radiolarian zonation for the Jurassic of Japan. *Marine Micropaleontology*, **11**, 91–105.
- Minato, M. (1951) Some Carboniferous corals from southwestern Japan. *Transactions and Proceedings of the Paleontological Society of Japan, New Series*, no. 1, 1–5.
- Minato, M. (1955) Japanese Carboniferous and Permian corals. *Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University, Series 4, Geology and mineralogy*, **9**, 1–202.
- Mizutani, S. and Kido, S. (1983) Radiolarians in the Middle Jurassic siliceous shale from Kamiaso, Gifu Prefecture, central Japan. *Transactions and Proceedings of the Paleontological Society of Japan, New Series*, no. 132, 253–262.
- Morikawa, R. and Horiguchi, M. (1956) *Parafusulina nakamigawai* n. sp. from the Adoyama Formation in the Neighborhood of Kuzu City, Tochigi Prefecture. *Science Reports of the Saitama University, Series B (Biology and Earth Sciences)*, **2**, 261–264.
- Morikawa, R. and Takaoka, Y. (1961) Two New species of the *Parafusulina yabei* type from Tomura, Tochigi Prefecture, central Japan. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, no. 41, 33–40.
- Motoki, H. and Sashida, K. (2004) Preliminary report on the chronological and lithostratigraphical studies of the Toishi-type shale (siliceous claystone) distributed in the Ashio Mountains, central Japan. *News of Osaka Micropalaeontologists (NOM), Special Volume*, no. 13, 47–57. (in Japanese with English abstract)

- Müller, J. (1858) *Über die Thalassicollen, Polycystinen und Acanthometren des Mittelmeeres*. Königliche Preussische Akademie der zu Berlin, Abhandlungen, Jahre, 1–62.
- Muto, S. and Ito, T. (2021) Conodont fossils from the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000), central Japan with emphasis on the reexamination of “Carboniferous” conodonts from the Ashio Belt. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **72**, 325–344.
- Muto, S., Takahashi, S., Yamakita, S., Suzuki, N., Suzuki, N. and Aita, Y. (2018) High sediment input and possible oceanic anoxia in the pelagic Panthalassa during the latest Olenekian and early Anisian: Insights from a new deep-sea section in Ogama, Tochigi, Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **490**, 687–707.
- Muto, S., Okumura, Y. and Mizuhara, T. (2021) Late Kungurian conodonts of the pelagic Panthalassa from seamount-capping limestone in Ogama, Kuzuu, Tochigi Prefecture, Japan. *Paleontological Research*, **25**, 105–119.
- Nakae, S. (2000) Regional correlation of the Jurassic accretionary complex in the Inner Zone of Southwest Japan. *The Memoirs of the Geological Society of Japan*, no. 55, 73–98. (in Japanese with English abstract)
- Nakaseko, K. and Nishimura, A. (1979) Upper Triassic Radiolaria from southwest Japan. *Science Reports, College of General Education, Osaka University*, **28**, 61–109.
- Nazarov, B. B. and Ormiston, A. R. (1983) A new superfamily of stauraxon polycystine Radiolaria from the Late Paleozoic of the Soviet Union and North America. *Senckenbergiana Lethaea*, **64**, 363–379.
- Nazarov, B. B. and Ormiston, A. R. (1984) Tentative system of Paleozoic Radiolaria, in Petrushevskaya, M. G. and Stepanjants, S. D. (eds), *Morphology, Ecology and Evolution of Radiolarians*. Material from the IV Symposium of European Radiolarists EURO-RAD IV. Akademiya Nauk SSSR, Zoological Institute, Leningrad, USSR, 64–87.
- Nazarov, B. B. and Ormiston, A. R. (1989) New radiolarian species from the Permian of Southern Urals and Nevada. *Paleontological Journal*, **23**, 10–20.
- Nestell, G. P. and Nestell, M. K. (2020) Roadian (earliest Guadalupian, Middle Permian) Radiolarians from the Guadalupe Mountains, West Texas, USA Part I: Albaillellaria and Entactinaria. *Micropaleontology*, **66**, 1–50.
- Nicora, A. (1977) Lower Anisian platform-conodonts from the Tethys and Nevada: Taxonomic and stratigraphic revision. *Palaeontographia Abteilung A*, **157**, 88–107.
- Noble, P., Aitchison, J. C., Danelian, T., Dumitrica, P., Maletz, J., Suzuki, N., Cuvelier, J., Caridroit, M. and O’Dogherty, L. (2017) Taxonomy of Paleozoic radiolarian genera. *Geodiversitas*, **39**, 419–502.
- O’Dogherty, L. (1994) Biochronology and paleontology of mid-Cretaceous radiolarians from Northern Apennines (Italy) and Betic Cordillera (Spain). *Mémoires de Géologie (Lausanne)*, **21**, 1–415.
- O’Dogherty, L., Bill, S., Goričan, Š., Dumitrica, P. and Masson, H. (2006) Bathonian radiolarians from an ophiolitic mélange of the Alpine Tethys (Gets Nappe, Swiss-French Alps). *Micropaleontology*, **51**, 425–485.
- O’Dogherty, L., Carter, E. S., Dumitrica, P., Goričan, Š., De Wever, P., Bandini, A. N., Baumgartner, P. O. and Matsuoka, A. (2009a) Catalogue of Mesozoic radiolarian genera. Part 2: Jurassic–Cretaceous. *Geodiversitas*, **31**, 271–356.
- O’Dogherty, L., Carter, E. S., Dumitrica, P., Goričan, Š., De Wever, P., Hungerbühler, A., Bandini, A. N. and Takemura, A. (2009b) Catalogue of Mesozoic radiolarian genera. Part 1: Triassic. *Geodiversitas*, **31**, 213–270.
- O’Dogherty, L., Goričan, Š. and Gawlick, H. J. (2017) Middle and Late Jurassic radiolarians from the Neotethys suture in the Eastern Alps. *Journal of Paleontology*, **91**, 25–72.
- Ogg, J. G., Ogg, G. M. and Gradstein, F. M. (2016) *A Concise Geologic Time Scale 2016*. Elsevier, Amsterdam, 234p.
- Ootaka, M., Aita, Y. and Sakai, T. (1998) Middle Triassic radiolarian biostratigraphy of the bedded chert in the Minowa quarry, Kuzuu Town, Ashio Mountains. *News of Osaka Micropaleontologists (NOM), Special Volume*, no. 11, 95–113.
- Ormiston, A. R. and Babcock, L. (1979) *Follicucullus*, new radiolarian genus from the Guadalupian (Permian) Lamar limestone of the Delaware Basin. *Journal of Paleontology*, **53**, 328–334.
- Pessagno, E. A. (1976) Radiolarian zonation and stratigraphy of the Upper Cretaceous portion of the Great Valley Sequence, California Coast Ranges. *Micropaleontology, Special Publication*, **2**, 1–95.
- Pessagno, E. A. (1977a) Upper Jurassic Radiolaria and radiolarian biostratigraphy of the California Coast Ranges. *Micropaleontology*, **23**, 56–113.
- Pessagno, E. A. (1977b) Lower Cretaceous radiolarian biostratigraphy of the Great Valley sequence and Franciscan Complex, California Coast Ranges. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research*, no. 15, 5–87.
- Pessagno, E. A. and Blome, C. D. (1980) Upper Triassic and Jurassic Pantanelliinae from California, Oregon and British Columbia. *Micropaleontology*, **26**, 225–273.
- Pessagno, E. A. and Whalen P. (1982) Lower and Middle Jurassic Radiolaria (multicyrtid Nassellariina) from California, east-central Oregon and the Queen Charlotte Islands, B. C. *Micropaleontology*, **28**, 111–169.
- Reif, W. E. and Goto, M. (1979) Placoid scales from the Permian of Japan. *Neues Jahrbuch für Geologie und*

- Paläontologie, Monatshefte*, **4**, 201–207.
- Riedel, W. R. (1967) Some new families of Radiolaria. *Proceedings of the Geological Society of London*, **1640**, 148–149.
- Rigo, M., Mazza, M., Karádi, V. and Nicora, A. (2018) New Upper Triassic conodont biozonation of the Tethyan Realm. In Tanner, L. H., Ed., *The Late Triassic World, Topics of Geobiology*, **46**, 189–235.
- Rüst, D. (1885) Beiträge zur Kenntniss der fossilen Radiolarien aus Gesteinen des Jura. *Palaeontographica*, **31**, 269–321.
- Rüst, D. (1892) Radiolaria from the Pierre Formation of North-Western Manitoba. Geological and Natural History Survey of Canada, Contributions to Canadian *Micropalaeontology*, **4**, 101–110.
- Saito, Y. and Kato, A. (1971) Smaller foraminifers from limestone lenses in the west of Umenoki, Kuzuu-machi Ashio Mountainland. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **77**, 675–676. (in Japanese)
- Sanfilippo, A. and Riedel, W. R. (1970) Post-Eocene “closed” theoperid radiolarians. *Micropaleontology*, **16**, 446–462.
- Sashida, K. (2008) c. A geologic unit in the Hachioji Hills, which corresponds to the Ashio belt, 2.3.1. Paleozoic–Mesozoic in the Ashio Mountains, 2.3. Ashio Mountains*. In Geological Society of Japan (Eds.), *Regional Geology of Japan, part 3, Kanto District**. Tokyo: Asakura Publishing, 99–100. (in Japanese)
- Sashida, K., Igo, H., Igo, H., Takizawa, S., Hisada, K., Shibata, T., Tsukada, K. and Nishimura, H. (1982a) On the Jurassic radiolarian assemblages in the Kanto district. *News of Osaka Micropaleontologists (NOM), Special Volume*, no. 5, 51–66. (in Japanese with English abstract)
- Sashida, K., Igo, H., Igo, H., Takizawa, S. and Hisada, K. (1982b) On the occurrence of Jurassic radiolarians from the Kanto Region and Hida Mountains, central Japan. *Annual Report of Institute of Geosciences, University of Tsukuba*, no. 8, 74–77.
- Sashida, K., Kamata, Y. and Igo, H. (1992) “Toishi-type shale” in the Ashio Mountains, central Japan. *Annual Report of the Institute of Geoscience, the University of Tsukuba*, no. 18, 59–66.
- Sudo, S., Makimoto, H., Hata, M., Unozawa, A., Takizawa, F. and Sakamoto, T. (1991) *Geological map of the Utsunomiya district. Quadrangle Series, 1:200,000*, Geological Survey of Japan.
- Sugiyama, K. (1997). Triassic and Lower Jurassic radiolarian biostratigraphy in the siliceous claystone and bedded chert units of the southeastern Mino terrane, central Japan. *Bulletin of the Mizunami Fossil Museum*, **24**, 79–193.
- Suzuki, H. (1898a) Ashio Copper Mine*. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **10**, 183–195. (in Japanese)
- Suzuki, H. (1898b) An investigative report of the Ashio Copper Mine*. *Journal of the Mining Institute of Japan*, **14**, 318–324. (in Japanese)
- Suzuki, N., Akiba, N. and Kanoh, H. (2002) Late Olenekian radiolarians from bedded chert of Ashio terrane, northeast Japan, and faunal turnovers in western Panthalassa during Early Triassic. *Journal of China University of Geosciences*, **13**, 124–140.
- Sykora, M., Ozvoldova, L. and Boorova, D. (1997) Turonian silicified sediments in the Czorsztyn succession of the Pieniny Klippen Belt (Western Carpathians, Slovakia). *Geologica Carpathica*, **48**, 243–261.
- Takakuwa, Y. (2021) Research on fossil Chondrichthyes I Japan: current status and future. *Fossils (Kaseki)*, **109**, 5–17. (in Japanese with English abstract)
- Takakuwa, Y. and Okabe, I. (2011) New occurrence of ctenacanthid sharks from the Permian of the Ashio tectonic belt, Kiryu City, Gunma Prefecture, central Japan. *Bulletin of Gunma Museum of Natural History*, **15**, 153–159. (in Japanese with English abstract)
- Takayanagi, A., Hori, N. and Sashida, K. (2001) Tectonostratigraphy of sedimentary complex of the Ashio terrane in the northern part of the Ashikaga area, Tochigi Prefecture, and the occurrence of radiolarians. *News of Osaka Micropaleontologists (NOM), Special Volume*, no. 12, 113–127. (in Japanese with English abstract)
- Takemura, A. (1986) Classification of Jurassic Nassellarians (Radiolaria). *Palaeontographica. Abteilung A: Palaeozoologie-Stratigraphie*, **195**, 29–74.
- Takemura, A. and Ling, H. Y. (1998) Taxonomy and phylogeny of the genus *Theocorys* (Nassellaria, Radiolaria) from the Eocene and Oligocene sequences in the Antarctic region. *Paleontological Research*, **2**, 155–169.
- Tazawa, J. and Takakuwa, Y. (2009) *Eolyttonia* (Lyttonioidea, Brachiopoda) from Kiryu, central Japan. *Bulletin of Gunma Museum of Natural History*, **13**, 29–33.
- Tazawa, J., Hayashi, S., Nakamura, K., Shimizu, M. and Takakuwa, Y. (2012) Early Permian brachiopods from Kiryu, Ashio belt, central Japan. *Bulletin of Gunma Museum of Natural History*, **16**, 41–48.
- Tazawa, J., Okumura, Y., Miyake, Y. and Mizuhara, T. (2016) A Kungurian (early Permian) brachiopod Fauna from Ogama, Kuzu area, central Japan, and its palaeobiogeographical affinity with the Wolfcampian–Leonardian (early Permian) brachiopod fauna of West Texas, USA. *Paleontological Research*, **20**, 367–384.
- Tekin, U, K. (1999) Biostratigraphy and systematics of late Middle to Late Triassic radiolarians from the Taurus Mountains and Ankara region, Turkey. *Geologisch Paläontologische Mitteilungen Innsbruck, Sonderband*, **5**, 1–296.
- Wakita, K. (2015) OPS mélange: a new term for mélanges of convergent margins of the world. *International Geology Review*, **57**, 529–539.
- Wakita, K. and Metcalfe, I. (2005) Ocean Plate Stratigraphy

- in East and Southeast Asia. *Journal of Asian Earth Science*, **24**, 679–702.
- Won, M. Z. (1983) Radiolarien aus dem Unterkarbon des Rheinischen Schiefergebirges (Deutschland). *Palaeontographica. Abteilung A: Paleozoologie-Stratigraphie*, **182**, 116–175.
- Xiao, Y. F., Suzuki, N. and He, W. H. (2018) Low-latitude standard Permian radiolarian biostratigraphy for multiple purposes with Unitary Association, Graphic Correlation, and Bayesian inference methods. *Earth-Science Reviews*, **179**, 168–206.
- Xiao, Y. F., Suzuki, N., He, W. H., Benton, M. J. and Yang, T. L. (2020) Verifiability principle of genus-level classification under quantification and parsimony theories: a case study of follicucullid radiolarians. *Paleobiology*, **46**, 337–355.
- Xiao, Y. F., Suzuki, N., Ito, T. and He, W. H. (2021) New Permian radiolarians from east Asia and the quantitative reconstruction of their evolutionary and ecological significances. *Scientific Reports*, **11**, 6831.
- Yabe, H. (1899) About fusulina in Tomuro*. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **6**, 189–194. (in Japanese)
- Yabe, H. (1903) A fusulina-limestone with *Helicoprion* in Japan. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **10**, 1–13.
- Yamagiwa, N. and Tsuda, H. (1980) A new coral species from a pebble in the basal limestone conglomerate of the Triassic Adoyama Formation at Karasawa in the Kuzu area, Tochigi Prefecture, Japan. *Bulletin of the National Science Museum, Series C, Geology and Paleontology*, **6**, 251–257.
- Yanagimoto, Y. (1973) Stratigraphy and geological structure of the Paleozoic and Mesozoic formations in the vicinity of Kuzuu, Tochigi Prefecture. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **79**, 441–451. (in Japanese with English abstract)
- Yang, Q. (1993) Taxonomic studies of Upper Jurassic (Tithonian) radiolaria from the Taman Formation, east-central Mexico. *Palaeoworld*, no. 3, 1–164.
- Yao, A. (1979) Radiolarian fauna from the Mino belt in the northern part of the Inuyama Area, central Japan, Part II: Nassellaria 1. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, **22**, 21–72.
- Yao, A. (1982) Middle Triassic to Early Jurassic radiolarians from the Inuyama area, central Japan. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, **25**, 53–70.
- Yao, A. (1997) Faunal change of Early–Middle Jurassic radiolarians. *News of Osaka Micropalaeontologists (NOM), Special Volume*, no. 10, 155–182. (in Japanese with English abstract)
- Yao, A., Matsuoka, A. and Nakatani, T. (1982) Triassic and Jurassic radiolarian assemblages in Southwest Japan. *News of Osaka Micropalaeontologists (NOM), Special Volume*, no. 5, 27–43. (in Japanese with English abstract)
- Yoshida, H. (1986) Upper Triassic to Lower Jurassic radiolarian biostratigraphy in Kagamigahara City, Gifu Prefecture, central Japan. *The Journal of earth sciences, Nagoya University*, **34**, 1–21.
- Yoshida, S. (1956) Stratigraphical and tectonical studies in the distinct neighboring Kuzuu Machi, Tochigi Prefecture, Part 1. *Bulletin of the Geological Committee of Hokkaido*, no. 32, 1–10. (in Japanese with English abstract)
- Yoshida, S. (1957) Stratigraphical and tectonical studies in the distinct neighboring Kuzuu Machi, Tochigi Prefecture, Part 2. *Bulletin of the Geological Committee of Hokkaido*, no. 33, 1–15. (in Japanese with English abstract)
- Zhang, L., Ito, T., Feng, Q. L., Caridroit, M. and Danelian, T. (2014) Phylogenetic model of *Follicucullus* lineages (Albaillellaria, Radiolaria) based on high-resolution biostratigraphy of the Permian Bancheng Formation, Guangxi, South China. *Journal of Micropaleontology*, **33**, 179–192.
- Zhang, Y. C. and Wang, Y. (2018) Permian fusuline biostratigraphy. In Lucas, S. G. and Shen, S. Z., Eds., *The Permian Time Scale*, Geological Society, London, Special Publication, **450**, 253–288.

*Translated by the author

Received June 29, 2020

Accepted July 9, 2021

5万分の1地質図幅「桐生及足利」地域の足尾帯ジュラ紀付加体から産出した放散虫

伊藤 剛

要 旨

足尾山地には足尾帯ジュラ紀付加体が分布する。このジュラ紀付加体は、黒保根-桐生コンプレックス・大間々コンプレックス・葛生コンプレックス・行道山コンプレックスの4コンプレックスからなる。本論では、5万分の1地質図幅「桐生及足利」地域の足尾帯ジュラ紀付加体の42試料から新たに産出した放散虫について報告する。ペルム紀放散虫は、行道山コンプレックスのチャート9試料から産出した。三畳紀放散虫は、葛生コンプレックスのチャート4試料から産出した。また、ジュラ紀放散虫は、黒保根-桐生コンプレックスの珪質泥岩1試料、葛生コンプレックスのチャート2試料、葛生コンプレックスの珪質泥岩4試料、葛生コンプレックスの泥岩2試料及び行道山コンプレックスの泥岩1試料から産出した。加えて、足尾山地ジュラ紀付加体におけるこれまでの化石産出とその年代についてとりまとめた。これらを踏まえ、各コンプレックスの海洋プレート層序を復元した。

Conodont fossils from the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000), central Japan with emphasis on the reexamination of “Carboniferous” conodonts from the Ashio Belt

MUTO Shun^{1,*} and ITO Tsuyoshi¹

MUTO Shun and ITO Tsuyoshi (2021) Conodont fossils from the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000), central Japan with emphasis on the reexamination of “Carboniferous” conodonts from the Ashio Belt. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 72 (4), p. 325–344, 3 figs, 1 table.

Abstract: Many conodonts have been reported from the Ashio Mountains, but there have been little attempts to update the information of the specimens based on the present knowledge of conodont taxonomy and biostratigraphy. This study revisits conodont specimens reported from the Kiryu and Ashikaga District in addition to presenting a few newly obtained Early Triassic conodonts. Previously published illustrations allowed reidentification of some conodonts. The geological age of some specimens was revised based on the reidentification. Notably, many of the conodonts previously considered as “Carboniferous” species were revealed to be Permian or Triassic species, and no Carboniferous species were confirmed.

Keywords: conodont, Ashio Mountains, Jurassic accretionary complex, Ashio Belt, reexamination

1. Introduction

The basement rocks of the Ashio Mountains are composed of Palaeozoic and Mesozoic rocks that form the Jurassic accretionary complex of the Ashio Belt (e.g., Kamata, 1996). During the earliest stages of research, the rocks of the Ashio Belt were dated based mainly on fusulinids that occur primarily from limestones (e.g., Fujimoto, 1961). As stratigraphic studies of the Palaeozoic and Mesozoic in Japan commenced, the first conodonts in Japan were found from siliceous, argillaceous and tuffaceous sedimentary rocks the Ashio Belt (Hayashi, 1963). Subsequently, conodonts became acknowledged as useful index fossils due to their occurrence in siliceous and argillaceous rocks in addition to limestones (Igo, 1972). Palaeozoic and Mesozoic conodonts of the Ashio Belt have since been reported by a large number of works, many of which were published before plate tectonics and the concept of accretionary complexes were widely accepted in Japan (Hayashi, 1963, 1964, 1968a, b, 1971; Koike *et al.*, 1971a, b, 1991; Conodont Research Group, 1972, 1974; Hayashi and Hasegawa, 1981; Aono, 1985; Hayashi *et al.*, 1990; Kamata and Kajiwara, 1996; Motoki and Sashida, 2004; Muto *et al.*, 2018, 2021; Ito, 2019, 2020a; Ito *et al.*, 2021a, b).

The conodonts obtained from the Ashio Belt have been valued as a means of age determination, which is vital information for interpretation of sedimentary and

tectonic history. For instance, early studies used the geochronological information of conodonts in an attempt to interpret the history of sedimentation in the Ashio Mountains in the context of geosynclines (Conodont Research Group, 1972). On the other hand, conodonts provided evidence of the thrusting of Palaeozoic strata onto Mesozoic strata, ultimately leading to the recognition of accretionary complexes (Koike *et al.*, 1971a, b, 1974; Yanagimoto, 1973; Kamata, 1996, 1997). Following the wide acceptance of subduction-accretion as the origin of the Ashio Belt, conodonts were mainly used as a means to reconstruct the oceanic plate stratigraphy (see Isozaki *et al.*, 1990 for terminology). Due to its widespread occurrence and high evolutionary rates, conodonts allowed researchers to determine the age of Palaeozoic to Triassic rocks in the Ashio Belt that have undergone extensive tectonic deformation and thus are otherwise difficult to understand in a stratigraphic context (Koike *et al.*, 1971a, b, 1991; Igo, 1981; Aono, 1985; Kamata and Kajiwara, 1996; Motoki and Sashida, 2004; Muto *et al.*, 2018, 2021). One of the notable results by previous studies is the occurrence of early Carboniferous or even Devonian conodonts from chert and limestone (Hayashi *et al.*, 1990; Editorial team of Omama Town’s history, 1996), which is far older than the oldest radiolarians reported from the Ashio Belt (early Permian; Kamata, 1996; Ito, 2019, 2020a).

Most studies on conodonts in the Ashio Belt were

¹ AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation

* Corresponding author: MUTO, S., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email:s-muto@aist.go.jp

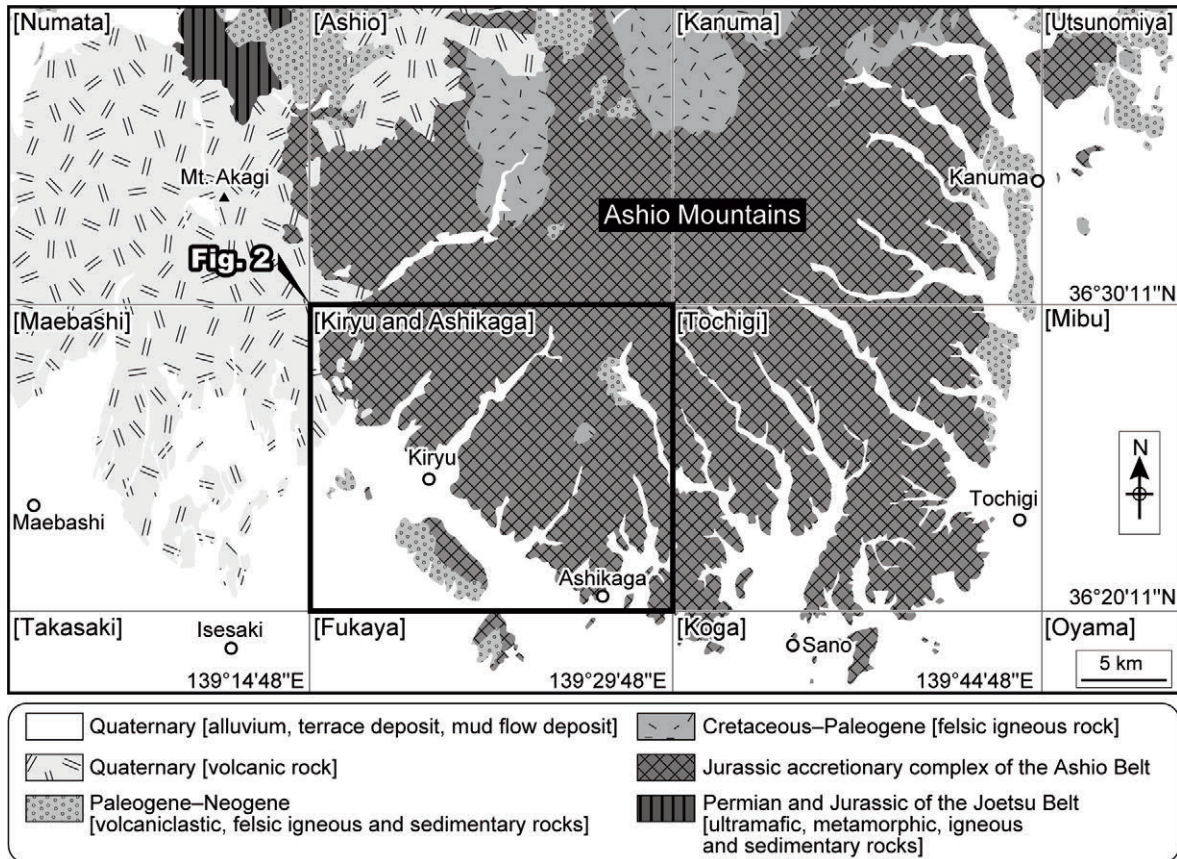


Fig. 1 Index and simplified geologic maps of the Ashio Mountains (modified after from Sudo *et al.*, 1991; Geological Survey of Japan, AIST, 2018). Geographical names in brackets indicate 1:50,000 topographic maps published by Geospatial Information Authority of Japan.

conducted until the beginning of the 1990s. While such studies are still informative, interpreting their results based on the current knowledge of conodonts is somewhat problematic. This is because major refinements in the taxonomy of conodonts have taken place in the last three decades, which have modified the chronological significance of some taxa. For example, Permian platform conodonts previously assigned to the genus *Gondolella* (as in Clark and Mosher, 1966) were split into *Mesogondolella*, *Jinogondolella* and *Clarkina* (Kozur, 1989; Mei and Wardlaw, 1994). Triassic platform conodonts also underwent major taxonomic revisions, and genera such as *Paragondolella* and *Carnepigondolella* are now widely accepted (e.g., Chen *et al.*, 2016). Late Triassic conodonts have recently attracted particular attention, with some debates still continuing today. For instance, Orchard (2013, 2014, 2019) revised the taxonomy of species belonging to *Paragondolella*, *Metapolygnathus*, *Carnepigondolella* and *Epigondolella*, and erected five new genera *Quadrалеlla*, *Parapetella*, *Kraussodontus*, *Acuminatella* and *Primatella*, while Mazza *et al.* (2018) questioned the validity of genera such as *Quadrалеlla*.

The refinements in the taxonomy of conodonts inevitably modify the age assignment of some conodonts

previously reported from the Ashio Belt. In this study, we reinvestigate the chronological significance of previously reported conodonts from the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000). We also report new occurrences of Early Triassic conodonts from the area. The up-to-date chronological information of conodonts provided in this study is valuable when considering the oceanic plate stratigraphy of the Ashio Belt.

2. Geological Setting

The Jurassic accretionary complex of the Ashio Belt (eastern part of the Tamba–Mino–Ashio Belt) is widely distributed in the Ashio Mountains (Fig. 1; Yamakita and Otoh, 2000; Isozaki *et al.*, 2010; Kojima *et al.*, 2016). Kamata (1996) classified the Jurassic accretionary complex of the Ashio Belt into the Kurohone–Kiryu, Omama and Kuzu complexes. Ito (2021a, this volume) newly recognised the Gyodosan Complex.

Detailed description of the lithofacies of each complex is provided in Ito (2021a), but below is a brief summary. The Kurohone–Kiryu Complex is composed of broken to coherent facies of chert and mudstone with minor amounts of siliceous claystone. The mudstone of this complex is

characterised by slaty cleavage. The Omama Complex is composed of broken to mixed facies of mafic rocks, chert and pelitic mixed rocks. The Kuzu Complex is composed of coherent to broken facies of chert, siliceous claystone, siliceous mudstone, mudstone and sandstone. The Gyodosan Complex is composed mainly of pelitic mixed rocks and chert accompanied by minor amounts of siliceous mudstone, mudstone and sandstone. The age of the formation of these complexes inferred from age-diagnostic radiolarians is late Middle Jurassic for the Kurohone–Kiryu, Omama and Gyodosan complexes and Late Jurassic for the Kuzu Complex (Ito, 2021b, this volume).

3. Methods

The taxonomy of the conodonts reported in previous studies were reinvestigated based on published text and illustrations. When images were not available, the taxon names are simply modified to the presently used scientific name. For Late Triassic conodonts, the taxonomy of which is still much debated, we will follow Mazza *et al.* (2012, 2018).

The newly obtained conodonts were found from siliceous claystone in the study area. The conodonts were obtained by the chip method (Muto *et al.*, 2018, 2019), in which conodonts are found by examining the surface of rocks cleaved parallel to the bedding.

Individual conodont elements are dismembered parts of a skeletal feeding apparatus, and pectiniform elements of the P1 position are generally used to distinguish a taxon. However, elements from other positions that are described as form taxa are also useful in biostratigraphy. Such form taxa are referred to in brackets (e.g., “*Neohindeodella benderi*”).

4. Newly obtained conodonts and their geological age

We obtained Early Triassic conodonts from siliceous claystone exposed in Ban-yama and Kaizawa near the border of Tochigi and Gunma prefectures (Fig. 2).

From the Ban-yama locality, we obtained the form species “*Neohindeodella benderi* (Kozur and Mostler)” (Fig. 3.1). “*Neohindeodella benderi*” has been reported from the same locality by Sashida *et al.* (1992). This species is known from the latest Olenekian (late Spathian) to middle Anisian (early Bithynian) in carbonates and deep-sea siliceous rocks of pelagic Panthalassa found in Japan (Koike, 1981; Muto *et al.*, 2018, 2019). Identical ramiform elements have also been reported from Spathian Tethyan limestone in Oman (Agematsu *et al.*, 2008).

From the Kaizawa locality, we obtained *Triassospathodus abruptus* (Orchard), *Triassospathodus homeri* (Bender) and *Triassospathodus unialatus* (Mosher) (= *Neospathodus symmetricus* Orchard; see Taxonomic Notes) (Fig. 3.2–7). These species are known from the Spathian in pelagic

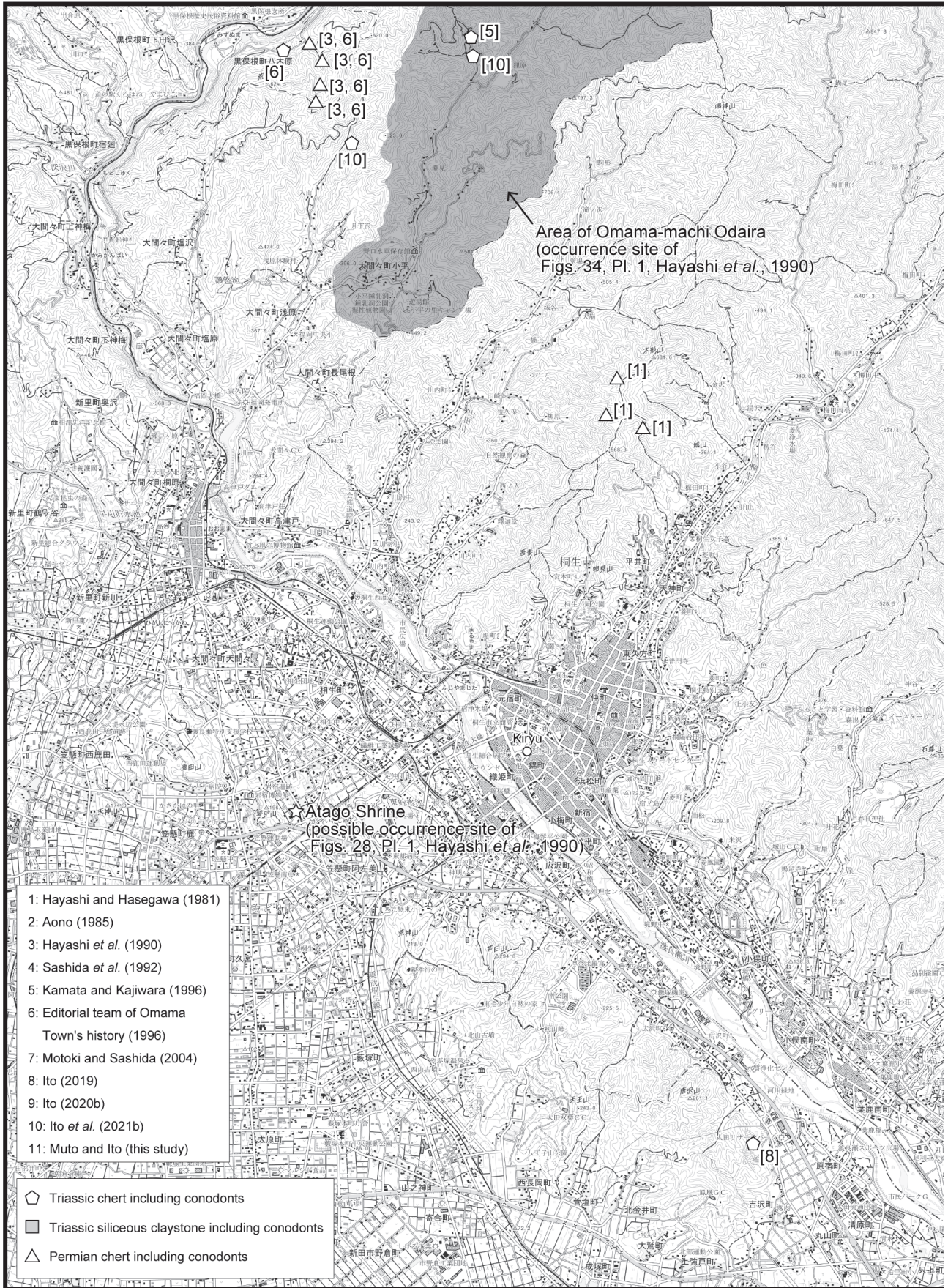
carbonates and deep-sea siliceous rocks in Japan (Koike, 1981; Maekawa *et al.*, 2018; Muto *et al.*, 2018, 2019). They also occur from Spathian strata in South China (e.g., Zhao *et al.*, 2007; Lehrmann *et al.*, 2015), Vietnam (Maekawa and Igo, 2014), North America (Orchard, 1995), north India (Matsuda, 1983) and elsewhere (Orchard, 1995). Hence, these species are considered as globally useful indicators of the Spathian (Orchard, 2007), although *T. homeri* and *T. unialatus* occur partly from the lowermost Anisian (Orchard, 1995; Goudemand *et al.*, 2012; Lehrmann *et al.*, 2015; Ovtcharova *et al.*, 2015). The same Spathian age is indicated by conodonts for Section 2 of Motoki and Sashida (2004), which is situated ~1.3 km to the southwest of the Kaizawa locality. In addition to the age, the attitude of the bedding plane and lithofacies of our Kaizawa locality are also similar with that of Section 2 of Motoki and Sashida (2004). Therefore, the former is considered as a lateral extension of the latter.

5. Revision of the taxonomy of previously reported conodonts

In this chapter, we mention the identification of specimens with illustrations, with emphasis on chronologically significant specimens. Unfortunately, only a few studies present photographs and, even when they are available, the poor image quality and limited picture angle hinder detailed identification in most cases. For full results, the reader is referred to Table 1. Which complex a sample belongs to is considered on the basis of Ito (2021a).

Hayashi *et al.* (1990) illustrated several conodonts which they assigned to the early Carboniferous, but they include specimens that are misidentified Late Triassic conodonts. For example, Figures 44, 46 and 49 in the plate of Hayashi *et al.* (1990) are segminiplanate elements with a well-developed keel on the lower surface and a forward-shifted pit. Such traits are characteristic to Triassic gondolellids and are clearly different from Palaeozoic segminiplanate elements that have poorly developed keels and terminal pits; Figure 44 in the plate can be compared with the Carnian conodont *Paragondolella noah* (Hayashi) and Figure 49 is comparable with juvenile forms of Carnian *Paragondolella*. Figures 45, 50, 51 and 52 in the plate of Hayashi *et al.* (1990) have platform ornamentations that are characteristic to Triassic conodonts, although the keel and pit are not clearly observable due to the picture angle.

Some segminiplanate elements in the Plate of Hayashi *et al.* (1990) were identified as the late Carboniferous *Mesogondolella clarki* (Koike), but none of them are identical to this species. Figures 28, 32 and 34 have more closely spaced posterior denticles and higher and more fused anterior denticles compared to *M. clarki*. Of these, Figures 28 and 34 are comparable to *Mesogondolella gujoensis* (Igo), while Figure 32 cannot be identified. The locality of the specimen in Figure 28 was noted as “Omama Town, Atago-jinjiya”. This is possibly Atago Shrine in Kasagake-cho Azami, Midori City (Fig. 2),





(p. 328, 329)

Fig. 2 Conodont occurrence sites of the present and previous studies in the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000).

Base from the Geospatial Information Authority of Japan with its approval (Approval number: R2JHs 66-GISMAP 44702). This map uses GISMAP 50000R+ "Kiryu and Ashikaga" by Hokkaido-Chizu Co. Ltd.

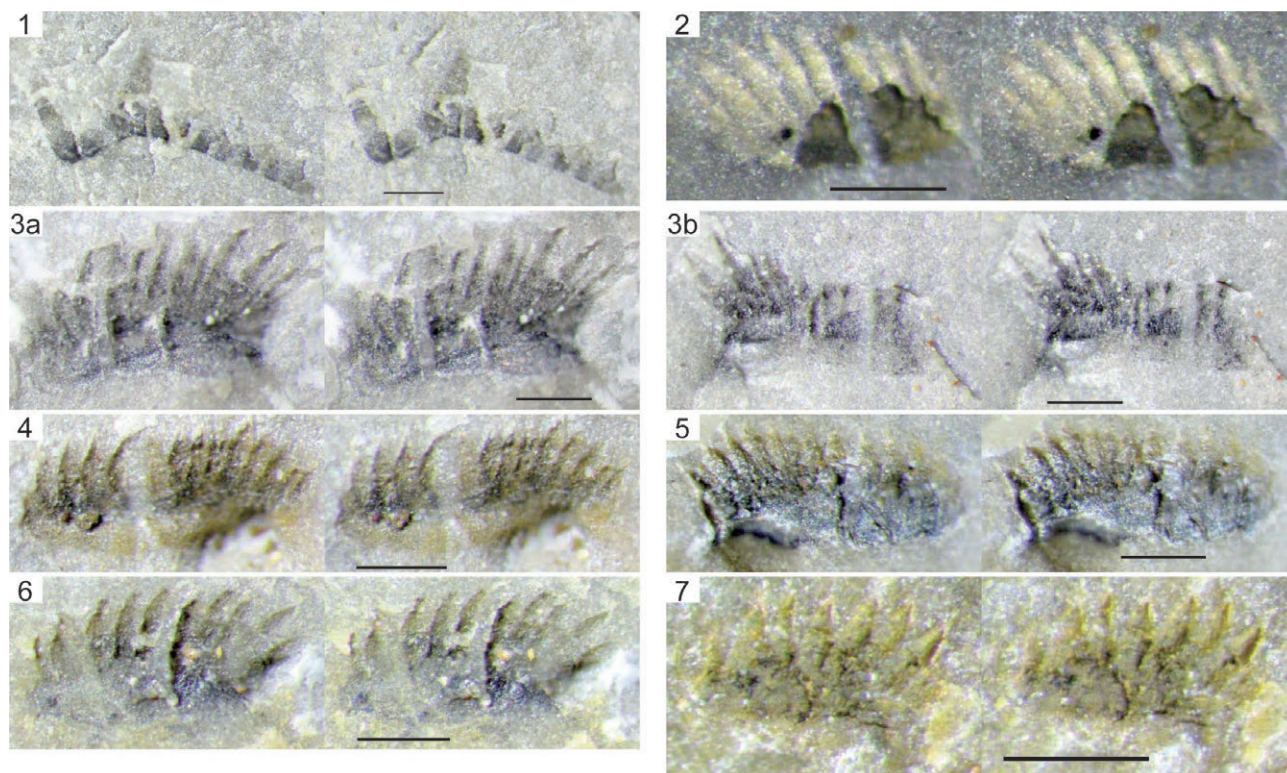


Fig. 3 Stereo-photographs (parallel view) of conodonts obtained in this study. Figure 2 is normally arranged. 3a and 3b are counterparts. All other figures are reversely arranged so that the moulds appears as casts. Scale bars are 200 μm .

1: “*Neohindeodella benderi* (Kozur & Mostler)” (form species). Ban-yama Mine.

2, 3: *Triassospathodus abruptus* (Orchard). 2. K96-2-B. 3. K96-2-A.

4: *Triassospathodus homeri* (Bender). K96-2-A.

5, 6: *Triassospathodus unialatus* (Mosher). K96-2-A.

7: *Triassospathodus* sp. K96-2-A.

where chert outcrops are exposed. This locality is within the area of distribution of the Kurohane–Kiryu Complex (Ito, 2021a). The locality of the specimen in Figure 34 was noted as “Omama Town, Odaira”. The current area of Omama-cho Odaira is around the upper reaches of the Odaira River (Fig. 2), which is within the area where the Omama Complex is distributed (Ito, 2021a). Figures 29 and 30 were also identified as *M. clarki*, but they are both significantly different from this species: the former in lacking a posterior protrusion of the platform and having a smaller basal cavity and the latter in having parallel sides of the posterior platform. In addition, some other specimens that Hayashi *et al.* (1990) considered as Carboniferous species appear similar to species of *Neostreptognathodus* (Figures 38, 39 and 40) and *Pseudosweetognathus* (Figure 42), which both indicate the Permian (Kungurian to Roadian).

To summarise the above, there are no illustrated specimens that indicate the Carboniferous Period and many that were considered to be so are in fact Permian or Triassic conodonts. To be meticulous, it may be inaccurate to conclude that all the conodonts assigned to the Carboniferous are erroneously identified, since some

of the illustrated conodonts have not been confidently reidentified. In addition, the age of the “Carboniferous” limestone in Hayashi *et al.* (1990) was also supported by the occurrence of corals (Fujimoto, 1960). However, the conclusion is that none of the illustrations in the previous studies can be undoubtedly identified as Carboniferous conodonts. The oldest conodonts according to our reinvestigation is the late Artinskian to early Kungurian (middle Cisuralian) *M. cf. gujiensis* from the Kurohane–Kiryu and Omama complexes.

Hayashi *et al.* (1990) also illustrated some Triassic conodonts. While the age assignment need not be modified, some elements can be reidentified. Figures 4 and 6 in the plate of Hayashi *et al.* (1990) have the triangular shaped, anteriorly denticulate but posteriorly inornate platform diagnostic to the Late Triassic *Epigondolella rigoi* Noyan and Kozur. Figure 5 in the plate has a round and denticulate platform diagnostic to the Late Triassic *Epigondolella spatulata* (Hayashi).

Sashida *et al.* (1992) and Motoki and Sashida (2004) illustrated conodonts obtained from siliceous claystone, which were identified as Spathian species. While we agree with the age assignment, as supported by conodonts

Table 1 List of conodonts from the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000) reported in previous studies (re-identified in this study) and this study. For specimens with no available images, modification of scientific names was made simply by replacing old taxon names with modern ones when possible (shown in grey). For assignments of samples to tectonostratigraphic divisions, see Ito *et al.* (2021a) in this volume. Question marks (?) following a species name or the abbreviation sp. shows that the identification of the specimen is questionable. Taxon names in quotation marks (e.g., "Subbyranthodus sp.") are form species defined by discrete elements rather than multielement apparatuses.

No.	Rock facies	Complex	Original identification	Image	Reidentification	Age	Revised age	Notes
Hayashi (1964)								
1	siliceous claystone		<i>Lonchodus</i> sp.	yes				
2	siliceous claystone		<i>Neopriodontus</i> sp.	yes	ramiform dygirate			
3	siliceous claystone		<i>Lonchodina</i> sp.	yes	" <i>Subbyranthodus</i> sp."			" <i>Lonchodina</i> " is a ramiform element, while the specimen is an angulate element.
Hayashi and Hasegawa (1981)								
1	limestone	Omama (Lower part)	<i>Idiognothodus</i> sp. cf. <i>I. attenuata</i> Harris and Hollingsworth	no	<i>Idiognothoides</i> cf. <i>attenuatus</i> (Harris and Hollingsworth)	early Carboniferous	middle Carboniferous?	
			<i>Idiognothodus</i> sp. cf. <i>I. convexa</i> (Ellison and Craves)	no	<i>Idiognothoides</i> cf. <i>convexus</i> (Ellison and Craves)		middle Carboniferous?	
			<i>Corvusgnathus</i> sp. cf. <i>C. noduliferus</i> Ellison and Craves	no	<i>Declinognothodus</i> cf. <i>noduliferus</i> (Ellison and Craves)		middle Carboniferous?	<i>Gnathodus bilineatus</i> is a latest Mississippian to earliest Pennsylvanian species.
			<i>Gnathodus</i> sp. cf. <i>G. bilineatus</i> (Roundy)	no			middle Carboniferous?	
			<i>Gnathodus</i> sp. cf. <i>G. ouachitensis</i> (Harlton)	no	<i>Idiognothoides</i> cf. <i>ouachitensis</i> (Harlton)		middle Carboniferous?	
			<i>Polygnathus</i> sp. cf. <i>P. flabellus</i> Branson and Mehl	no				
			<i>Anchignathodus</i> sp.	no				
2	limestone	Omama (Lower part)	<i>Gnathodus</i> sp. cf. <i>G. nodosus</i> Bischoff	no	<i>Lochriea</i> cf. <i>nodosus</i> (Bischoff)		middle Carboniferous?	<i>Lochriea nodosa</i> is a latest Mississippian to earliest Pennsylvanian species.
			<i>Polygnathus</i> sp. cf. <i>P. symmetrica</i> Branson	no	<i>Polygnathus</i> cf. <i>symmetricus</i> (Branson)			
3	limestone	Omama (Lower part)	<i>Gnathodus</i> spp.	no				
4	limestone	Omama (Lower part)	<i>Gondolella</i> sp. cf. <i>G. clarki</i> Koike	no	<i>Mesogondolella clarki</i> (Koike)	late Carboniferous–early Permian		
			<i>Gondolella</i> spp. fragments only	no				
5	limestone	Omama (Lower part)	<i>Gondolella</i> sp. cf. <i>G. clarki</i> Koike	no	<i>Mesogondolella clarki</i> (Koike)			
6	limestone	Omama (Lower part)	<i>Gondolella</i> spp.	no				
7	limestone	Omama (Lower part)	<i>Gondolella</i> spp. fragments only	no				
8	limestone	Omama (Lower part)	<i>Gondolella</i> spp. fragments only	no				

Table 1 Continued.

No.	Rock facies	Complex	Original identification	Image	Reidentification	Age	Revised age	Notes
9	chert	Omama (Lower part)	<i>Gondolella</i> sp. cf. <i>G. clarki</i> Koike	no	<i>Mesogondolella</i> cf. <i>clarki</i> (Koike)	late Carboniferous–early Permian		
			<i>Gondolella bisselli</i> ~ <i>G. idahoensis</i> (intermediate)	no	<i>Mesogondolella intermedia</i> (Igo)			
			<i>Gnathodus</i> spp.	no				
			<i>Anchignathodus</i> sp.	no				
			<i>Gondolella bisselli</i> ~ <i>G. idahoensis</i> (intermediate)	no	<i>Mesogondolella intermedia</i> (Igo)			
10	chert	Omama (Lower part)	<i>Gondolella</i> spp.	no		late Carboniferous–early Permian		
			<i>Gnathodus</i> spp.	no				
				no				
Aono (1985)								
U3	chert	Kurohne-Kiryu (Lower part in the Kiryu area)	<i>Epigondolella primitiva</i> Mosher	no	<i>Metapolygnathus primitivus</i> (Mosher)	Middle Triassic	Late Triassic (late Carnian–early Norian)	
Hayashi <i>et al.</i> (1990), Tables								
80	chert	Omama (Lower part)	<i>Neogondolella</i> sp. cf. <i>N. regale</i>	no		Middle Triassic		
			<i>Neospathodus</i> spp.	no				
			<i>Gladigondolella tethydis</i>	no				
			<i>Metapolygnathus</i> sp. cf. <i>M. truempyi</i>	no	<i>Sephardiella</i> cf. <i>truempyi</i>			
			<i>Metapolygnathus</i> sp. cf. <i>M. permica</i>	no	<i>Carnepigondolella</i> ? cf. <i>permica</i>			
			<i>Metapolygnathus abneptis</i>	no	<i>Carnepigondolella</i> sp., <i>Epigondolella</i> sp. or <i>Metapolygnathus</i> sp.			
			<i>Metapolygnathus</i> sp. cf. <i>M. nodosus</i>	no	<i>Carnepigondolella</i> cf. <i>nodosa</i>			
			<i>Cypridolella</i> spp.	no				
			<i>Lonchodina</i> spp.	no				
			<i>Parachirognathus</i> sp.	no				
			<i>Prionodina</i> spp.	no				
			<i>Neogondolella</i> sp. cf. <i>N. bisselli</i>	no	<i>Mesogondolella</i> cf. <i>bisselli</i>			
			81	chert	Omama (Lower part)			
<i>Anchignathodus</i> sp.	no							
<i>Enantioagnathus</i> sp.	no							
<i>Lonchodina</i> sp.	no							
	no							
Middle-Late Triassic (Ladinian–earliest Carnian)								
Late Triassic?								
Late Triassic?								
Late Triassic?								
Early Triassic?								
<i>Parachirognathus</i> is an Early Triassic genus.								
early Permian?								
late Permian?								
<i>M. bisselli</i> is an early Permian (late Sakamarian–Artinskian) species.								
<i>M. rosenkrantzi</i> is a late Permian (Wuchapingian–early Changhsingian) species.								

Table 1 Continued.

No.	Rock facies	Complex	Original identification	Image	Reidentification	Age	Revised age	Notes
82	chert	Omama (Lower part)	<i>Neogondolella</i> sp. cf. <i>N. bisselli</i> <i>Neogondolella</i> sp. cf. <i>N. excelsa</i> gondolellids <i>Cypridolella</i> sp. <i>Ozarkodina</i> sp. <i>Parachirognathus</i> sp.	no no no no no	<i>Mesogondolella</i> cf. <i>bisselli</i>	early-middle Permian	?	<i>Paragondolella excelsa</i> is a Middle Triassic (late Anisian-early Ladinian) species.
83	chert	Omama (Lower part)	<i>Gladigondolella tethydis</i>	no		Permian	Middle-Late Triassic	<i>Parachirognathus</i> is an Early Triassic genus. Slender but vertically thick platform, position of cusp and pit with respect to platform and keel make <i>G. tethydis</i> correctly identified even in early studies (e.g. Hayashi, 1968).
84	chert	Omama (Lower part)	<i>Prionodina</i> sp. <i>Prionodolella</i> sp.	no no		-		
Hayashi et al. (1990) Plate								
2	chert	Kurohone-Kiryu (Lower part in the Kiryu area)	<i>Neogondolella navicula</i>	yes	<i>Neogondolella navicula</i> (Huckriede)?	Triassic	Late Triassic?	Upper view only, but it is similar to <i>N. navicula</i> .
3	chert	Kurohone-Kiryu (Lower part in the Kiryu area)	<i>Neogondolella navicula</i>	yes	<i>Neogondolella</i> sp.?	Triassic	Late Triassic?	Lower view only, but is similar to <i>Neogondolella</i> .
4	limestone	Kurohone-Kiryu (Kurohone area)	<i>Metapolygnathus</i> sp.	yes	<i>Epigondolella</i> cf. <i>rigoi</i> (Budurov)	Triassic	Late Triassic (latest Carnian-Norian)	Posterior platform is not completely flat as in typical <i>E. rigoi</i> . Possibly transitional to <i>E. triangularis</i> .
5	chert	Possibly Kurohone-Kiryu (Kurohone area)	<i>Metapolygnathus</i> sp.	yes	<i>Epigondolella spatulata</i> (Hayashi)	Triassic	Late Triassic (Norian)	
6	chert	Possibly Kurohone-Kiryu (Kurohone area)	<i>Metapolygnathus</i> sp. nov.	yes	<i>Epigondolella</i> cf. <i>rigoi</i> Noyan & Kozur	Triassic	Late Triassic (latest Carnian-Norian)	
7	chert	Gyodosan	<i>Misikella</i> sp.	yes	not changed	Triassic	Late Triassic (latest Norian-Rhaetian)	
8	chert	Gyodosan	<i>Misikella</i> sp.	yes	<i>Misikella hernsteini</i> (Mostler)	Triassic	Late Triassic (latest Norian-Rhaetian)	Terminal cusp; denticles decline in height towards cusp (apart from anteriormost); four denticles.
9	chert	Omama (Lower part)	<i>Neogondolella</i> sp. A	yes	<i>Mesogondolella</i> sp.?	Permian	Permian?	
10	chert	Omama (Lower part)	<i>Neogondolella</i> sp. B	yes	<i>Mesogondolella</i> sp.	Permian	late Carboniferous-early Permian	Low keel, terminal pit.
11	chert	Omama (Lower part)	<i>Neogondolella</i> sp. C	yes	<i>Mesogondolella</i> sp.?	Permian	Permian?	

Table 1 Continued.

No.	Rock facies	Complex	Original identification	Image	Reidentification	Age	Revised age	Notes
12	chert	Omama (Lower part)	<i>Neogondolella</i> cf. <i>idahoensis</i>	yes	<i>Mesogondolella</i> cf. <i>idahoensis</i> (Youngquist et al.)	Permian	Cisuralian (Kungurian)	Low carina, terminal large and high cusp.
13	chert	Omama (Lower part)	<i>Gnathodus</i> sp.	yes	<i>Sweetognathus</i> sp.	Permian	Cisuralian-Guadalupian	upper and basal margins meet at the posterior end.
14	chert	Possibly Kurohono-Kiryu (Kurohono area)	<i>Gnathodus</i> sp.	yes	carminiscaphate element	Permian	Permian?	<i>Sweetognathus</i> sp.? Basal margin broken. Could also be <i>Gullodus</i> sp.
15	chert	not mentioned	not mentioned	yes	<i>Hindeodus permicus</i>	Permian	Cisuralian (late Kungurian)	Erect anterior and posterior margins. Small denticles at the posterior end.
16	chert	Possibly Kurohono-Kiryu (Kurohono area)	<i>Neogondolella</i> cf. <i>serrata</i>	yes	<i>Jinogondolella nankingensis</i> ?	Permian	Guadalupian?	Platform serration is not clearly observable, and misidentification cannot be ruled out.
17	chert	Possibly Kurohono-Kiryu (Kurohono area)	<i>Neogondolella</i> cf. <i>serrata</i>	yes	<i>Jinogondolella nankingensis</i> ?	Permian	Guadalupian?	Platform serration is not clearly observable, and misidentification cannot be ruled out.
18	chert	Kurohono-Kiryu (Kurohono area)	<i>Neogondolella</i> sp.	yes	<i>Mesogondolella</i> sp. or <i>Neogondolella</i> sp.	Permian	Permian or Triassic	Lower surface not visible.
19	chert	Kurohono-Kiryu (Kurohono area)	<i>Neogondolella</i> cf. <i>serrata</i>	yes	<i>Mesogondolella</i> sp. or <i>Neogondolella</i> sp.?	Permian	Permian or Triassic?	Platform serration is not visible.
20	chert	Kurohono-Kiryu (Kurohono area)	<i>Neogondolella</i> sp. nov.	yes	segmentiplanate element	Permian	?	Lower surface not visible.
21	chert	Kurohono-Kiryu (Kurohono area)	<i>Neogondolella</i> sp.	yes	<i>Mesogondolella</i> sp.?	Permian	Permian?	Partly covered.
22	chert	Possibly Kurohono-Kiryu (Kurohono area)	<i>Gnathodus</i> sp.	yes	carminiscaphate element	Permian	Permian?	
23	chert	Possibly Kurohono-Kiryu (Kurohono area)	<i>Neogondolella</i> sp.	yes	<i>Mesogondolella</i> sp.?	Permian	Permian?	
24	chert	Kurohono-Kiryu (Kurohono area)	<i>Neogondolella</i> sp.	yes	<i>Jinogondolella</i> sp.?	Permian	Permian?	Weak serration on anterior platform. Lower Surface not visible.
25	chert	Kurohono-Kiryu (Kurohono area)	<i>Neogondolella</i> sp.	yes	<i>Jinogondolella</i> sp.?	Permian	Permian?	
26	chert	Kurohono-Kiryu (Kurohono area)	<i>Neogondolella</i> sp.	yes	Segmentiplanate element	Permian	?	
27	chert	Kurohono-Kiryu (Kurohono area)	<i>Gnathodus</i> sp. & <i>Neogondolella</i> sp.	yes	Carminiscaphate element & segmentiplanate element	Permian	Permian?	Possibly <i>Gullodus</i> sp. & <i>Mesogondolella</i> sp.
28	chert	Kurohono-Kiryu (possibly Upper part in the Kiryu area)	<i>Neogondolella</i> cf. <i>clarki</i>	yes	<i>Mesogondolella</i> cf. <i>gijiensis</i> (Igo)	Carboniferous	Cisuralian (late Artinskian-early Kungurian)	Posterior denticles more closely spaced than <i>M. clarki</i> . Anterior denticles more fused and higher than <i>M. clarki</i> .

Table 1 Continued.

No.	Rock facies	Complex	Original identification	Image	Reidentification	Age	Revised age	Notes
29	chert	Kurohane-Kiryu (possibly Upper part in the Kiryu area)	<i>Neogondolella</i> cf. <i>clarki</i>	yes	<i>Mesogondolella</i> sp. not <i>M. clarki</i> .	Carboniferous	Permian?	<i>M. clarki</i> has the basal part of cusp forming a conspicuous posterior protrusion at posterior end of platform and a larger basal cavity.
30	limestone	Omama (Lower part)	<i>Neogondolella</i> cf. <i>clarki</i>	yes	Not <i>M. clarki</i> .	Carboniferous	Permian?	Parallel-sided platform.
31	limestone	Omama (Lower part)	<i>Neogondolella</i> cf. <i>clarki</i>	yes	<i>Mesogondolella</i> sp.?	Carboniferous	Permian?	
32	limestone	Omama (possibly Upper part)	<i>Neogondolella</i> cf. <i>clarki</i>	yes	Not <i>M. clarki</i> .	Carboniferous	?	Posterior denticles more closely spaced than <i>M. clarki</i> . Anterior denticles more fused and higher than <i>M. clarki</i> .
33	limestone	Omama (possibly Upper part)	<i>Neogondolella</i> cf. <i>clarki</i>	yes	<i>Mesogondolella</i> sp.?	Carboniferous	Permian?	
34	chert	Omama (Lower part)	<i>Neogondolella</i> cf. <i>clarki</i>	yes	<i>Mesogondolella</i> cf. <i>gijioensis</i> (Igo)	Carboniferous	Cisuralian (late Artinskian-early Kungurian)	Posterior denticles more closely spaced than <i>M. clarki</i> . Anterior denticles more fused and higher than <i>M. clarki</i> .
35	limestone	Omama (Lower part)	<i>Gnathodus</i> sp.	yes	<i>Sweetognathus</i> sp. or <i>Gullodus</i> sp. or <i>Hindeodus</i> sp.	Carboniferous	Permian?	
36	limestone	Omama (Lower part)	<i>Gnathodus</i> sp.	yes	<i>Hindeodus</i> sp.?	Carboniferous	?	Image too small.
37	limestone	Omama (Lower part)	<i>Gnathodus</i> sp.	yes	?	Carboniferous	?	
38	limestone	Omama (Lower part)	<i>Gnathodus</i> sp.	yes	<i>Neostreptognathodus</i> sp.?	Carboniferous	Permian? (Kungurian -Roadian?)	
39	limestone	Omama (Lower part)	<i>Streptognathodus</i> sp.	yes	<i>Neostreptognathodus</i> sp.?	Carboniferous	Permian? (Kungurian -Roadian?)	
40	limestone	Omama (Lower part)	<i>Cavusgnathodus</i> sp.	yes	<i>Neostreptognathodus</i> sp.?	Carboniferous	Permian? (Kungurian -Roadian?)	Connection of blade and carina needs to be visible for confirmation of <i>Cavusgnathodus</i> .
41	limestone	Omama (Lower part)	<i>Neospathodus</i> sp.	yes	Carminiscaphate element?	Carboniferous	Permian?	
42	limestone	Omama (Lower part)	<i>Neospathodus</i> sp.	yes	<i>Pseudosweetognathus</i> sp.?	Carboniferous	Permian? (Kungurian -Roadian?)	Not segminate <i>Neospathodus</i> . Carinal blade should be present if it is <i>Idognathodus</i> .
43	limestone	Omama (Lower part)	<i>Siphonodella</i> sp.	yes	?	Carboniferous		

Table 1 Continued.

No.	Rock facies	Complex	Original identification	Image	Reidentification	Age	Revised age	Notes
44	chert	Omama (Lower part)	Conodonta gen. & sp. indet	yes	<i>Paragondolella cf. noah</i> (Hayashi)	early Carboniferous	Late Triassic (Camian)	Well developed keel, anteriorly shifted (not terminal) basal pit is different from Palaeozoic species. Possesses posterior node unlike <i>P. polygnathiformis</i> . Lacks nodes on geniculation points unlike <i>M. praecomunisi</i> . - <i>Quadranglella</i> according to Orchard (2013, 2014).
45	chert	Omama (Lower part)	Conodonta gen. & sp. indet	yes	<i>Carnepigondolella</i> sp.?	early Carboniferous	Late Triassic?	
46	chert	Omama (Lower part)	Conodonta gen. & sp. indet	yes	<i>Mockina</i> sp.?	early Carboniferous	Late Triassic	Developed keel. Carina extends to posterior.
47	chert	Omama (Lower part)	Conodonta gen. & sp. indet & <i>Gondolella</i> sp.	yes	<i>Paragondolella</i> sp.? & segminiplanate element	early Carboniferous	Middle-Late Triassic?	Broken segminiplanate element.
48	chert	Omama (Lower part)	Conodonta gen. & sp. indet	yes	?	early Carboniferous	?	
49	chert	Omama (Lower part)	Conodonta gen. & sp. indet	yes	evolved <i>Paragondolella</i>	early Carboniferous	Late Triassic (Camian)	Juvenile specimen. <i>Quadranglella</i> sp. According to Orchard (2013, 2014). Uprturned platform distinguishes it from primitive <i>Paragondolella</i> .
50	chert	Omama (Lower part)	Conodonta gen. & sp. indet	yes	<i>Sephardtella</i> sp.?	early Carboniferous	Triassic	Developed keel is different from Carboniferous and Permian species.
51	chert	Omama (Lower part)	Conodonta gen. & sp. indet	yes	<i>Sephardtella mostleri</i> ?	early Carboniferous	Triassic	Carina extends to posterior. Posteriormost denticle not thick.
52	chert	Omama (Lower part)	Conodonta gen. & sp. indet	yes	<i>Sephardtella</i> sp.?	early Carboniferous	Triassic	Carina extends to posterior. Posteriormost denticle not thick.
53	chert	Omama (Lower part)	<i>Anchignathodus</i> sp.	yes	Carminiscaphate element	early Carboniferous	?	
54	chert	Omama (Lower part)	<i>Anchignathodus</i> sp.	yes	Carminiscaphate element	early Carboniferous	?	
55	chert	Omama (Lower part)	<i>Gondolella</i> sp.	yes	Segminiplanate element?	early Carboniferous	?	
56	chert	Omama (Lower part)	<i>Icriodus</i> ? sp.	yes	?	early Carboniferous	?	
57	chert	Omama (Lower part)	<i>Icriodus</i> ? sp.	yes	?	early Carboniferous	?	
58	chert	Omama (Lower part)	<i>Icriodus</i> ? sp.	yes	?	early Carboniferous	?	
Sashida <i>et al.</i> (1992)								
KIS-16	siliceous claystone	Kurohne-Kiryu (Lower part in the Kiryu area)	<i>Neospathodus homeri</i> (Bender)	yes	<i>Triassospathodus</i> ex. gr. <i>homeri</i>	Early Triassic	Early Triassic (late Olenekian)	Fig. 5.6. Since the form of the basal cavity is unclear, they could be <i>Triassospathodus unialatus</i> (= <i>Neospathodus symmetricus</i> Orchard; see Taxonomic Notes).

Table 1 Continued.

No.	Rock facies	Complex	Original identification	Image	Reidentification	Age	Revised age	Notes
BAN-4	siliceous claystone	Kurohane-Kiryu (Lower part in the Kiryu area)	<i>Neohindeodella aequiramosa</i> Kozur and Mostler	yes	" <i>Neohindeodella gebzeensis</i> (Gedik)" (part)	Early Triassic	Early-Middle Triassic (late Olenekian-Anisian)	Fig. 5.9, 5.12. Antermost denticle connects smoothly with basal margin in " <i>N. aequiramosa</i> ". Fig. 5.11 is " <i>Neohindeodella</i> sp."
			<i>Neohindeodella benderi</i> (Kozur and Mostler)	yes	maintained		Early(-Middle) Triassic (late Olenekian-early Anisian)	
BAN-5	siliceous claystone	Kurohane-Kiryu (Lower part in the Kiryu area)	<i>Neospathodus homeri</i> (Bender)	yes	<i>Triassospathodus</i> ex. gr. <i>homeri</i>	Early Triassic	Early Triassic (late Olenekian)	Fig. 5.5, 5.7. Since the form of the basal cavity is unclear, they could be <i>T. unialatus</i> (= <i>Neospathodus symmetricus</i> Orchard).
			<i>Cypridodella muelleri</i> (Tatge)	yes	?			In " <i>C. muelleri</i> ", the base is flared laterally below the cusp and denticles on the long process are strongly inclined.
			<i>Neohindeodella aequiramosa</i> Kozur and Mostler	yes				Fig. 5.20. Broken.
B-2	siliceous claystone	Kurohane-Kiryu (Lower part in the Kiryu area)	<i>Neohindeodella triassica</i> (Müller)	yes	" <i>Neohindeodella cf. gebzeensis</i> (Gedik)" (part), " <i>Cypridodella</i> sp." (part)		Early-Middle Triassic (late Olenekian-Anisian)	5.10. " <i>Neohindeodella</i> sp." 5.14. " <i>Grodella</i> sp.?" Denticles recline towards opposite directions in the anterior and posterior processes of " <i>N. triassica</i> ", but denticles are all inclined to the left in specimen. 5.15, 5.18. " <i>N. cf. gebzeensis</i> ", 5.21, 5.22. " <i>Cypridodella</i> sp."
			<i>Neohindeodella benderi</i> (Kozur and Mostler)	yes	maintained		Early(-Middle) Triassic (late)	
B-3	siliceous claystone	Kurohane-Kiryu (Lower part in the Kiryu area)	<i>Diplododella</i> sp.	yes				
			<i>Neospathodus abruptus</i> Orchard, Pa element	no		Early Triassic		
B-3	siliceous claystone	Kurohane-Kiryu (Lower part in the Kiryu area)	<i>Neospathodus</i> sp. Sc element	no		Early Triassic		
				yes				

Motoki and Sashida (2004)

Table 1 Continued.

No.	Rock facies	Complex	Original identification	Image	Reidentification	Age	Revised age	Notes
A-24	siliceous claystone	Kurohane-Kiryu (Lower part in the Kiryu area)	<i>Neospathodus brevisissimus</i> Orchard, Pa element	no		Early Triassic		
A-25	siliceous claystone	Kurohane-Kiryu (Lower part in the Kiryu area)	<i>Neospathodus abruptus</i> Orchard, Pa element	no		Early Triassic	Early Triassic (late Olenekian)	Fig. 6.10. Posterior denticles are lower than typical <i>T. unialatus</i> .
			<i>Neospathodus symmetricus</i> Orchard, Pa element	yes	<i>Triassospathodus unialatus</i> (Mosher)?			
			<i>Neospathodus brevisissimus</i> Orchard, Pa element	yes	<i>Triassospathodus abruptus</i> (Orchard)?			
			<i>Neospathodus</i> sp., Pb element	no	" <i>Cypridodella</i> sp."			
A-26	siliceous claystone	Kurohane-Kiryu (Lower part in the Kiryu area)	<i>Neospathodus</i> sp., Sb2 element	yes		Early Triassic	Early Triassic (late Olenekian)	Fig. 6.7. In lateral view, arcuate with highest point in the posterior, different from the subquadrate profile of <i>T. brevisissimus</i> .
			<i>Neospathodus</i> sp., Se element	no				
			<i>Neospathodus</i> sp., M element	no				
			<i>Neospathodus abruptus</i> Orchard, Pa element	no				
A-28	siliceous claystone	Kurohane-Kiryu (Lower part in the Kiryu area)	<i>Neospathodus</i> sp. Se element	yes	" <i>Neohindeodella</i> sp."	Early Triassic		Fig. 6.14.
A-29	siliceous claystone	Kurohane-Kiryu (Lower part in the Kiryu area)	<i>Neospathodus</i> sp. Se element	no		Early Triassic		
A-30	siliceous claystone	Kurohane-Kiryu (Lower part in the Kiryu area)	<i>Neospathodus abruptus</i> Orchard, Pa element	yes		Early Triassic	Early Triassic (late Olenekian)	Figs. 6.2, 6.6 only. In Fig. 6.4, 6.5, the abrupt decrease in height of the posterior denticles is not conspicuous.
			<i>Neospathodus symmetricus</i> Orchard, Pa element	yes	<i>Triassospathodus unialatus</i> (Mosher)			
			<i>Neospathodus brevisissimus</i> Orchard, Pa element	no				
			<i>Neospathodus</i> sp., Pb element	no				
			<i>Neospathodus</i> sp., Sb1 element	no				
			<i>Neospathodus</i> sp., Sb2 element	no				
			<i>Neospathodus</i> sp., Se element	no				
<i>Neospathodus</i> sp., M element	yes	" <i>Cypridodella</i> sp."	Fig. 6.17. Dygirate ramiform element.					

Table 1 Continued.

No.	Rock facies	Complex	Original identification	Image	Reidentification	Age	Revised age	Notes		
A-31	siliceous claystone	Kurohane-Kiryu (Lower part in the Kiryu area)	<i>Neospathodus abruptus</i> Orchard, Pa	yes	<i>Triassospathodus unitalatus</i>	Early Triassic	Early Triassic (late)	Fig. 6.3. Denticle height is subequal.		
			<i>Neospathodus</i> sp., Pb element	no						
			<i>Neospathodus</i> sp., Sb2 element	no						
			<i>Neospathodus</i> sp., Sc element	no						
			<i>Neospathodus</i> sp., M element	no						
Ito (2019)										
IT16071201	chert	Gyodosan	condont fragment	yes		-				
Ito (2020b)										
IT18101408	chert	Kuzu (Unit 3)	condont fragment	yes		-				
IT18101409	chert	Kuzu (Unit 3)	condont fragment	yes		-				
Ito et al. (2021b)										
164	chert	Omama (Lower part)	condont fragment	yes		-				
234	chert	Omama (Lower part)	condont fragment	yes		-				
257	chert	Omama (Lower part)	condont fragment	yes		-				
This study										
Ban-yama	siliceous claystone	Kurohane-Kiryu (Lower part in the Kiryu area)	" <i>Neohindeodella benderi</i> (Kozur & Mostler)"	yes		Early(-Middle) Triassic (late olenekian-early Anisian)				
K96-2-A	siliceous claystone	Kurohane-Kiryu (Lower part in the Kiryu area)	<i>Triassospathodus abruptus</i> (Orchard)	yes		Early Triassic (late Olenekian)		<i>Novispathodus</i> is regarded as a junior synonym of <i>Triassospathodus</i> see Taxonomic notes.		
			<i>Triassospathodus homeri</i> (Bender)	yes		Early Triassic (late Olenekian)				
			<i>Triassospathodus unitalatus</i> (Moshet)	yes		Early Triassic (late Olenekian)		<i>T. unitalatus</i> is the senior synonym of <i>Neospathodus symmetricus</i> Orchard (see Taxonomic Notes).		
			<i>Triassospathodus</i> sp.	yes		Early Triassic (late Olenekian)		Anterobasal margin and posteriormost denticle is not clearly visible.		
K96-2-B	siliceous claystone	Kurohane-Kiryu (Lower part in the Kiryu area)	<i>Triassospathodus abruptus</i> (Orchard)	yes		Early Triassic (late Olenekian)				

obtained in the present study, the identification of some specimens needs to be reconsidered, as mentioned below.

Sashida *et al.* (1992) showed conodonts from Ban-yama (see also 4 Newly obtained conodonts and their geological age). The form species “*Neohindeodella aequiramosa* Kozur and Mostler” possesses anteriorly reclined and projecting denticles at the anterior end, the anterior margin of which connects smoothly with the antero-basal margin. However, the specimens identified as this species in Sashida *et al.* (1992) have either an anteriormost denticle that connects at a right angle with the antero-basal margin (their Figures 5.9, 5.11, 5.12) or is considerably broken (their Figure 5.20). In fact, the morphology of the anterior process and numerous erect denticles on the posterior process in the specimens in Figures 5.9 and 5.12 match the characters of a different form species “*Neohindeodella gebzeensis* (Gedik)”. In addition, two specimens identified as “*Neohindeodella triassica* (Müller)” (Figures 5.15 and 5.18), which is a species with a basal margin protruding downwards below the cusp, are comparable to “*N. gebzeensis*”. The other specimens identified as “*N. triassica*” are also misidentified: Figure 5.10 is much more bent in lateral view, while Figures 5.14, 5.21 and 5.22 are digyrate elements of the form genus “*Grodella*” and “*Cypridodella*”.

Motoki and Sashida (2004) reported *T. abruptus*, which is characterised by abrupt shortening of the denticles in the posterior. While the character can be seen in Figures 6.2 and 6.6, it is not seen in Figures 6.3, 6.4 and 6.5. The sub-equal denticles of the latter three are closer to that of *T. unialatus*. On the other hand, the specimen identified as *Neospathodus symmetricus* (= *T. unialatus*) in their Figure 6.10 has a small denticle at the posterior end, which is not a feature of this species according to the original description (Orchard, 1995). *Triassospathodus brevissimus* was illustrated in Figure 6.7 of Motoki and Sashida (2004), but this specimen does not possess the sub-quadrate lateral outline formed by small erect denticles of mostly equal height that distinguishes this species (Orchard, 1995; Maekawa *et al.*, 2018; Muto *et al.*, 2019).

6. Conclusions

- 1) Conodonts were newly found from siliceous claystone near the border of the Tochigi and Gunma prefectures. We obtained the form species “*Neohindeodella benderi* (Kozur & Mostler)” from Ban-yama and *Triassospathodus abruptus* (Orchard), *Triassospathodus homeri* (Bender) and *Triassospathodus unialatus* (Mosher) (= *Neospathodus symmetricus* Orchard) from Kaizawa. These conodonts indicate the Spathian (late Olenekian Age).
- 2) We reinvestigated the illustrations of conodonts provided by previous studies. Many of the conodonts previously identified as Carboniferous conodonts are Permian and Triassic species. In particular, two out of six specimens identified as *Mesogondolella*

clarki (Koike) were reidentified as *Mesogondolella* cf. *gujioensis* (Igo) and some specimens identified as early Carboniferous species of unknown genera should be identified as Late Triassic species such as *Paragondolella* cf. *noah* (Hayashi).

- 3) As far as the conodonts are concerned, there is no compelling evidence indicating the presence of Carboniferous limestone and chert, which was reported by previous studies. The oldest age that can be confirmed by conodonts is the late Artinskian to early Kungurian age of the Cisuralian (early Permian) indicated by *M.* cf. *gujioensis* from the Kurohone–Kiryu and Omama complexes.

7. Taxonomic notes

Remarks for the conodonts obtained in this study are mentioned here. For detailed synonym lists, the reader is referred to Muto *et al.* (2019, 2020).

“*Neohindeodella benderi* (Kozur and Mostler)” (form species)
(Figure 3.1)

Remarks: This form species is easily recognised by its anterior process that is conspicuously bent down and bears a long denticle at the anterior end, but otherwise is poorly denticulate.

Triassospathodus abruptus (Orchard)
(Figures 3.2, 3.3)

Remarks: A species characterised by segminate elements with denticles that decrease height rapidly at the posterior. This species was defined as the type species of the genus *Novispathodus abruptus* by Orchard (2005), but the distinguishing features of *Novispathodus* are seen as intraspecific variations in related neospathodids (Koike, 2004; Muto *et al.*, 2020). Therefore, *Novispathodus* is regarded as a junior synonym of *Triassospathodus*.

Triassospathodus homeri (Bender)
(Figure 3.4)

Remarks: This species has a short posterior process of up to five denticles above the elongated posterior part of the basal cavity.

Triassospathodus unialatus (Mosher)
(Figures 3.5, 3.6)

Remarks: The P1 element of this species is a segminate element with denticles of subequal height and a posteriorly rounded basal cavity. The P1 element was described as *Neospathodus symmetricus* by Orchard (1995) and was shown to be accompanied by the form species “*Cypridodella unialata* (Mosher)” as its S2 element (Koike, 2004), which has the priority (Muto *et al.*, 2020).

Acknowledgments The sampling for this study was partly aided by the Grant-in-aid for JSPS Research

Fellow Number 16J04796. The authors are grateful to Dr. AGEMATSU Sachiko and Dr. HARA Hidetoshi for their comments that improved our manuscript.

References

- Agematsu, S., Orchard, M. J. and Sashida, K. (2008) Reconstruction of an apparatus of *Neostrachanognathus tahoensis* from Oritate, Japan and species of *Neostrachanognathus* from Oman. *Palaeontology*, **51**, 1201–1211.
- Aono, H. (1985) Geologic structure of the Ashio and Yamizo Mountains with special reference to its tectonic evolution. *Science reports of the Institute of Geoscience, University of Tsukuba. Section B, Geological Sciences*, **6**, 21–57.
- Chen, Y., Krystyn, L., Orchard, M. J., Lai, X. L. and Richoz, S. (2016) A review of the evolution, biostratigraphy, provincialism and diversity of Middle and early Late Triassic conodonts. *Papers in Palaeontology*, **2**, 235–263.
- Clark, D. L. and Mosher, L. C. (1966) Stratigraphic, geographic, and evolutionary development of the conodont genus *Gondolella*. *Journal of Paleontology*, **40**, 376–394.
- Conodont Research Group (1972) Conodonts at the Permian-Triassic boundary in Japan—Conodonts from the basal part of the Adoyama Formation—. *Journal of the Geological Society of Japan*, **78**, 355–368 (in Japanese with English abstract).
- Conodont Research Group (1974) Conodonts at the Permian-Triassic boundary in Japan—Stratigraphy and faunas of the Nabeyama and Adoyama formations in Karasawa area, southeast Ashio Mountains—. *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **28**, 86–98 (in Japanese with English abstract).
- Editorial team of Omama Town’s history* (1996) *Omama Town’s History, Basic Data VIII: Geography and Geology of Omama Town**. Publication committee of Omama Town’s history*, Omama Town (current administrative division: Kiryu City), Gunma.
- Fujimoto, H. (1960) Carboniferous System of Japan. *Geological Survey of Japan, Report Special Number (D)*. 65p.
- Fujimoto, H. (1961) *Explanatory text of the Geological Map of Japan, scale 1:50,000, “Tochigi”*. Geological Survey of Japan, 62p. (in Japanese with English abstract).
- Geological Survey of Japan, AIST (2018) Seamless digital geological map of Japan 1: 200,000. January 26, 2018 version. Geological Survey of Japan, AIST. <https://gbank.gsj.jp/seamless/v2full/> (Accessed:2018-1-26)
- Goudemand, N., Orchard, M. J., Bucher, H. and Jenks, J. (2012) The elusive origin of *Chiosella timorensis* (Conodont Triassic). *Geobios*, **45**, 199–207.
- Hayashi, S. (1963) On the conodonts newly discovered from the Ashio Mountains, central Japan. *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **68**, 9–12 (in Japanese with English abstract).
- Hayashi, S. (1964) Discovery of conodonts from “Narutakite”. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **70**, 596 (in Japanese with English abstract).
- Hayashi, S. (1968a) The Permian conodonts in chert of the Adoyama Formation, Ashio Mountains, central Japan. *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **22**, 9–12 (in Japanese with English abstract and descriptions).
- Hayashi, S. (1968b) Redescription of the new forms proposed in “The Permian conodonts in chert of the Adoyama Formation, Ashio Mountains, central Japan,” 1968. *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **22**, 305 (in Japanese with English abstract and descriptions).
- Hayashi, S. (1971) Conodonts from the Nabeyama Formation, Kuzuu District, Tochigi Prefecture, Japan. *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **25**, 251–257 (in Japanese with English abstract).
- Hayashi, S. and Hasegawa, Y. (1981) Chichibu System in the Ashio Belt: Macrofossil- and conodont-based age (Part 2)*. *Studies on Late Mesozoic Tectonism in Japan*, no. 3, 233–249. (in Japanese with English abstract).
- Hayashi, S., Iijima, S., Nakajima, T., Sawaguchi, T., Tanaka, H., Yoshida, H. (1990) Late Paleozoic to Mesozoic formations in the southwestern Ashio Mountains. *Bulletin of the Gunma Prefectural Museum of History*, **11**, 1–34 (in Japanese with English abstract).
- Igo, Hh. (1981) Permian conodont biostratigraphy of Japan. *Palaeontological Society of Japan, Special Papers*, **24**, 1–51.
- Igo, Hy. (1972) Conodonts, as a new index fossil in Japan. *Journal of Geography (Chigaku-Zasshi)*, **81**, 142–151 (in Japanese with English abstract).
- Isozaki, Y., Maruyama, S. and Furuoka, F. (1990) Accreted oceanic materials in Japan. *Tectonophysics*, **181**, 179–205.
- Isozaki, Y., Maruyama, S., Aoki, K., Nakama, T., Miyashita, A. and Otoh, S. (2010) Geotectonic Subdivision of the Japanese Islands Revisited: Categorization and definition of elements and boundaries of Pacific-type (Miyashiro-type) orogen. *Journal of Geography (Chigaku-Zasshi)*, **119**, 999–1053 (in Japanese with English abstract).
- Ito, T. (2019) A report of Permian, Triassic, and Jurassic radiolarian occurrences from the Ashio terrane in the Hachioji Hills, eastern Gunma Prefecture, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **70**, 225–247.
- Ito, T. (2020a) A Cisuralian (early Permian) radiolarian assemblage and a new species of *Latentibifistula* Nazarov and Ormiston from central Japan. *Revue de Micropaléontologie*, **66**, 100407.
- Ito, T. (2020b) Radiolarian age of Triassic striped chert within the Jurassic accretionary complex of the Ashio terrane in the Ashikaga area, Tochigi Prefecture,

- central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **71**, 297–312.
- Ito, T. (2021a) Geology and correlation of Jurassic accretionary complex in the Ashio Mountains, central Japan: Investigation on the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000). *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **72**, 201–285.
- Ito, T. (2021b) Radiolarians from Jurassic accretionary complexes of the Ashio belt in the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000), Gunma and Tochigi prefectures, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **72**, 287–324.
- Ito, T., Nakamura, K., Hinohara, T. and Kurihara, T. (2021a) Occurrence report of Triassic and Jurassic radiolarians from the Jurassic accretionary complexes of the Ashio belt in eastern Mt. Narukami, Ashio Mountains, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **72**, 345–358.
- Ito, T., Suzuki, N. and Sashida, K. (2021b) Radiolarians and foraminifers from the Omama Complex of Jurassic accretionary complex in the Ashio Mountains, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **72**, 359–370.
- Kamata, Y. (1996) Tectonostratigraphy of sedimentary complex in the southern part of the Ashio terrane, central Japan. *Science reports of the Institute of Geoscience, University of Tsukuba, Section B, Geological Sciences*, **17**, 71–107.
- Kamata, Y. (1997) Reconstruction of the chert-clastic sequence of the Ashio terrane in the Kuzuu area, central Japan. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **103**, 343–356 (in Japanese with English abstract).
- Kamata, Y. and Kajiwaru, Y. (1996) Sulfur isotopic data from the Permian/Triassic boundary in a chert sequence at Motegi, Gunma Prefecture, in the Ashio terrane, central Japan. In, Noda, H. and Sashida, K. eds., *Professor Hisayoshi Igo Commemorative Volume on geology and paleontology of Japan and Southeast Asia*, Gakujyutsu Tosho Insatsu Co. Ltd., Tokyo, 19–27.
- Kojima, S., Hayasaka, Y., Hiroi, Y., Matsuoka, A., Sano, H., Sugamori, Y., Suzuki, N., Takemura, S. Tsujimori, T. and Uchino, T. (2016) Pre-Cretaceous accretionary complexes. In Moreno, T., Wallis, S. R., Kojima, T. and Gibbons, W. eds., *The Geology of Japan*. The Geological Society of London, London, England, 61–100.
- Koike, T. (1981) Biostratigraphy of Triassic conodonts in Japan. *Science reports of the Yokohama National University. Section 2, Biology and geology*, **28**, 25–46.
- Koike, T. (2004) Early Triassic *Neospathodus* (Conodonta) apparatuses from the Tahoe Formation, southwest Japan. *Paleontological Research*, **8**, 129–140.
- Koike, T., Igo, Hh., Takizawa, S. and Kinoshita, T. (1971a) Contribution to the geological history of the Japanese Islands by the conodont biostratigraphy part II. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **77**, 165–168.
- Koike, T., Kinoshita, T., Igo, Hh., Takizawa, S. (1971b) Conodonts from the Tochigi Group and the discovery of a thrust fault in the vicinity of Kuzuu, Tochigi Prefecture. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **77**, 221–222 (in Japanese with English abstract).
- Koike, T., Igo, Hy., Igo, Hh. and Kinoshita, T. (1974) Geological significance of the unconformity between the Permian Nabeyama and Triassic Adoyama formations in the vicinity of Kuzuu, Tochigi Prefecture. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **80**, 293–306 (in Japanese with English abstract).
- Koike, T., Kodachi, Y., Matsuno, T. and Baba, H. (1991) Triassic conodonts from exotic blocks of limestone in northern Kuzuu, the Ashio Mountains. *Science Reports of Yokohama National University Section II*, no. 38, 53–69.
- Kozur, H. (1989) The taxonomy of the gondolellid conodonts in the Permian and Triassic. *Courier Forschungs Institut Senckenberg*, **117**, 385–406.
- Lehrmann, D. J., Stepchinski, L., Altiner, D., Orchard, M. J., Montgomery, P., Enos, P., Ellwood, B. B., Bowering, S. A., Ramezani, J., Wang, H., Wei, J., Yu, M., Griffiths, J. D., Minzoni, M., Schaal, E. K., Li, X., Meyer, K. M. and Payne, J. L. (2015) An integrated biostratigraphy (conodonts and foraminifers) and chronostratigraphy (paleomagnetic reversals, magnetic susceptibility, elemental chemistry, carbon isotopes and geochronology) for the Permian–Upper Triassic strata of Guandao section, Nanpanjiang Basin, south China. *Journal of Asian Earth Sciences*, **108**, 117–135.
- Maekawa, T. and Igo, H. (2014) Conodonts. In Shigeta, Y., Komatsu, T., Maekawa, T. and Dang, H. T. eds., *Olenekian (Early Triassic) Stratigraphy and Fossils Assemblages in Northeastern Vietnam*, 190–271, National Museum of Nature and Science Monographs, **45**, National Museum of Nature and Science, Tokyo.
- Maekawa, T., Komatsu, T. and Koike, T. (2018) Early Triassic conodonts from the Tahogawa Member of the Tahoe Formation, Ehime Prefecture, Southwest Japan. *Paleontological Research*, **22**, 1–62.
- Matsuda, T. (1983) Early Triassic conodonts from Kashmir, India, part 3: *Neospathodus* 2. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, **27**, 87–102.
- Mazza M., Rigo M. and Gullo M. (2012). Taxonomy and stratigraphic record of the Upper Triassic conodonts of the Pizzo Mondello section (Western Sicily, Italy), GSSP candidate for the base of the Norian. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, **118**, 85–130.
- Mazza, M., Nicora, A. and Rigo, M. (2018) *Metapolygnathus parvus* Kozur, 1972 (Conodonta): a potential primary marker for the Norian GSSP (Upper Triassic). *Bollettino della Società Paleontologica*

- Italiana*, **57**, 81–101.
- Mei, S. and Wardlaw, B. R. (1994) *Jinogondolella*: A new genus of Permian gondolellids. *International Symposium on Permian Stratigraphy, Environments and Resources, Abstracts, Guiyang, China*, 20–21.
- Motoki, H. and Sashida, K. (2004) Preliminary report on the chronological and lithostratigraphical studies of the Toishi-type shale (siliceous claystone) distributed in the Ashio Mountains. *News of Osaka Micropalaeontologists (NOM), Special Volume*, no. 13, 47–57 (in Japanese with English abstract).
- Muto, S., Takahashi, S., Yamakita, S., Suzuki, N., Suzuki, N. and Aita, Y. (2018) High sediment input and possible oceanic anoxia in the pelagic Panthalassa during the latest Olenekian and early Anisian: Insights from a new deep-sea section in Ogama, Tochigi, Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **490**, 687–707.
- Muto, S., Takahashi, S., Yamakita, S., Soda, K. and Onoue, T. (2019) Conodont-based age calibration of the Middle Triassic Anisian radiolarian biozones in pelagic deep-sea bedded chert. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **70**, 43–89.
- Muto, S., Takahashi, S., Yamakita, S., Onoue, T. (2020) Scarcity of chert in upper Lower Triassic Panthalassic deep-sea successions of Japan records elevated clastic inputs rather than depressed biogenic silica burial flux following the end-Permian extinction. *Global and Planetary Change*, **195**, 103330.
- Muto, S., Okumura, Y. and Mizuhara, T. (2021) Late Kungurian conodonts of the pelagic Panthalassa from seamount-capping limestone in Ogama, Kuzuu, Tochigi Prefecture, Japan. *Paleontological Research*, **25**, 105–119.
- Orchard, M. J. (1995) Taxonomy and correlation of Lower Triassic (Spathian) segminate conodonts from Oman and revision of some species of *Neospathodus*. *Journal of Paleontology*, **69**, 110–122.
- Orchard, M. J., (2005) Multielement conodont apparatuses of Triassic gondolelloidea. *Special Papers in Palaeontology*, **73**, 73–101.
- Orchard, M. J. (2007) Conodont diversity and evolution through the latest Permian and Early Triassic upheavals. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **252**, 93–117.
- Orchard, M. J. (2013) Five new genera of conodonts from the Carnian-Norian boundary beds of Black Bear Ridge, northeast British Columbia, Canada. *The Triassic system: New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin*, **61**, 445–457.
- Orchard, M. J. (2014) *Conodonts from the Carnian-Norian Boundary (Upper Triassic) of Black Bear Ridge, Northeastern British Columbia, Canada*. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin, 64. New Mexico Museum of Natural History and Science, Albuquerque.
- Orchard, M. J. (2019) The Carnian-Norian boundary GSSP candidate at Black Bear Ridge, British Columbia, Canada: update, correlation, and conodont taxonomy. *Albertiana*, **45**, 50–68.
- Ovtcharova, M., Goudemand, N., Hammer, Ø., Guodun, K., Cordey, F., Galfetti, T., Schalteger, U. and Bucher, H. (2015) Developing a strategy for accurate definition of a geological boundary through radio-isotopic and biochronological dating: The Early–Middle Triassic boundary (South China). *Earth-Science Reviews*, **146**, 65–76.
- Sashida, K., Kamata, Y. and Igo, Hy. (1992) Toishi-type shale in the Ashio Mountains, central Japan. *Annual report of the Institute of Geoscience, the University of Tsukuba*, **18**, 59–66
- Sudo, S., Makimoto, H., Hata, M., Unozawa, A., Takizawa, F. and Sakamoto, T. (1990) *Geological map of the Utsunomiya district*. Quadrangle Series, 1:200,000, Geological Survey of Japan.
- Yamakita, S. and Otoh, S. (2000) Tectonostratigraphic division of accretionary-sedimentary complex of the Tamba–Mino–Ashio Belt and comparison with the Northern and Southern Chichibu Belts. *Structural Geology*, **4**, 5–32. (in Japanese with English abstract)
- Yanagimoto, Y. (1973) Stratigraphy and geological structure of the Paleozoic and Mesozoic formations in the vicinity of Kuzuu, Tochigi Prefecture. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **79**, 441–451 (in Japanese with English abstract).
- Zhao, L., Orchard, M. J., Jinnan, T., Zhiming, S., Jinxun, Z., Suxin, Z. and Ailing, Y. (2007) Lower Triassic conodont sequence in Chaohu, Anhui Province, China and its global correlation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **252**, 24–38.

*Translated by the authors

Received June 3, 2020

Accepted July 9, 2021

5 万分の 1 地質図幅「桐生及足利」地域から産出したコノドント化石：
足尾テレーンの“石炭紀”コノドントを中心とした再検討

武藤 俊・伊藤 剛

要 旨

これまで足尾山地からは多くのコノドント化石の産出が報告されているが、多くの研究は古い分類や生層序の知見に基づいている。本研究では、5 万分の 1 地質図幅「桐生及足利」地域内から報告されているコノドント化石を現在の分類と生層序に基づき再検討した。図示されている標本については必要に応じて同定の修正を試み、図示されていないものについては現在の分類体系に基づいて分類群名を読み替えた。また、本研究で独自に得た前期三畳紀のコノドントも併せて報告する。特筆すべきは、石炭紀のコノドントとして報告されていた標本の多くがペルム紀または三畳紀のものであり、石炭紀のものだと断定できる標本が無いことである。その結果、同地域で確認できる最も古い岩石の年代はシスウラリアン世（前期ペルム紀）となり、同地域から報告されている最も古い放散虫の年代とほぼ一致した。

Occurrence report of Triassic and Jurassic radiolarians from the Jurassic accretionary complexes of the Ashio belt in eastern Mt. Narukami, Ashio Mountains, central Japan

ITO Tsuyoshi^{1,*}, NAKAMURA Kazuya², HINOHARA Tatsuya³
and KURIHARA Toshiyuki⁴

ITO Tsuyoshi, NAKAMURA Kazuya, HINOHARA Tatsuya and KURIHARA Toshiyuki (2021) Occurrence report of Triassic and Jurassic radiolarians from the Jurassic accretionary complexes of the Ashio belt in eastern Mt. Narukami, Ashio Mountains, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 72(4), p. 345–358, 10 figs.

Abstract: This article reports radiolarian occurrences from the Omama and Kurohone–Kiryu complexes of Jurassic accretionary complex of the Ashio belt, in eastern Mt. Narukami, Ashio Mountains, central Japan. Triassic radiolarians and conodont fragments were obtained from chert recovered from the Omama Complex. Bajocian and early Bathonian (Middle Jurassic) radiolarians were also extracted from mudstone in both the Omama and Kurohone–Kiryu complexes. In previous studies, Bajocian radiolarians had represented the youngest samples recovered from the mudstone at these complexes. Consequently, the lower Bathonian mudstone reported in the present study constitutes the youngest rock recovered from the Omama and Kurohone–Kiryu complexes to date.

Keywords: radiolaria, conodont, Ashio Mountains, accretionary complexes, Jurassic, Triassic, Ashio belt

1. Introduction

Jurassic accretionary complex of the Ashio belt is exposed around the Ashio Mountains in central Japan (Fig. 1). Kamata (1996) classified the complex into three tectonostratigraphic units: the Omama, Kurohone–Kiryu and Kuzu complexes. There are numerous radiolarian occurrence reports from the Kuzu Complex (e.g. Arakawa, 1986, 1997, 1998; Masuda, 1989; Kamata, 1995, 1996, 1997, 1999, 2000; Isogawa *et al.*, 1998; Ootaka *et al.*, 1998; Takayanagi *et al.*, 2001; Motoki and Sashida, 2004), but fewer studies have reported those from the Omama and Kurohone–Kiryu complexes (Aono, 1985; Hayashi *et al.*, 1990; Kamata, 1996; Takayanagi *et al.*, 2001).

The authors (K. Nakamura and T. Hinohara) investigated the accretionary complex in eastern Mt. Narukami, part of the Ashio Mountains. As a result, some radiolarians were obtained from chert and mudstone. In particular, Middle Jurassic radiolarians were obtained from mudstone, which is significant because previous studies have shown just a few radiolarian images from the mudstone of the Kurohone–Kiryu Complex (Takayanagi *et al.*, 2001) and no images from the mudstone of the Omama Complex. This article reports these radiolarian occurrences, which show

Middle Jurassic radiolarians with images produced by scanning electronic microscopy (SEM) from the mudstone of the complexes. Furthermore, mudstone samples from both complexes in this study also yielded early Bathonian (Middle Jurassic) radiolarians. The youngest radiolarians from these complexes in previous studies were Bajocian species (e.g. Kamata, 1996), indicating that the present results represent the new youngest samples recovered from these complexes.

2. Geologic outline

The Jurassic accretionary complex is exposed widely in the Ashio Mountains (Fig. 1). Kamata (1996) classified the complex into three tectonostratigraphic units: the Kurohone–Kiryu, Omama and Kuzu complexes. The Kurohone–Kiryu Complex comprises mainly mudstone and chert, as well as common siliceous claystone and small amounts of limestone, siliceous mudstone and sandstone. The Omama Complex is composed mainly of basalt, chert and pelitic rock, while also featuring small amounts of limestone, siliceous mudstone and sandstone.

The study area is located in eastern Mt. Narukami. The Omama and Kurohone–Kiryu complexes are

¹ AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation

² Nishiki, Nagaoka 940-0835, Japan

³ KITAC Co. Ltd., Niigata 950-0965, Japan

⁴ Graduate School of Science and Technology, Niigata University, Niigata 950-2181, Japan

* Corresponding author: ITO, T., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: ito-t@aist.go.jp

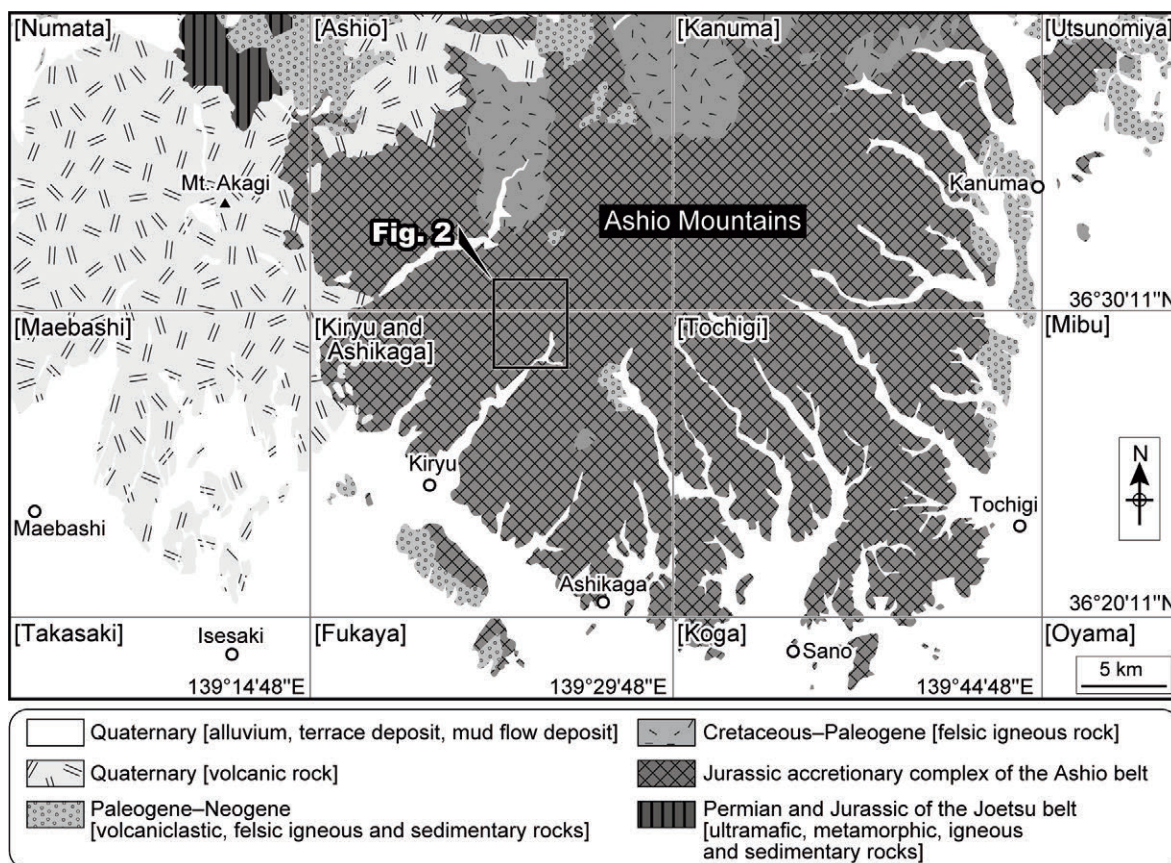


Fig. 1 Simplified geologic map of the Ashio Mountains (modified from Sudo *et al.*, 1991; Geological Survey of Japan, AIST, 2018). Geographical names in brackets indicate 1:50,000 topographic maps published by Geospatial Information Authority of Japan.

distributed over this area (Kamata, 1996). Based on both an investigation by the author (Ito, T.) and previously-published geologic map (e.g. Sudo *et al.*, 1991; Kamata, 1996; Geological Survey of Japan, AIST, 2018), four sample localities (110823-2, 111011-1, 111013-5 and 111013-4) are located in the distributional area of the Omama Complex, whereas two sample localities (OYK53-02, HTH12-01) are located in that of the Kurohone–Kiryu Complex (Fig. 2).

3. Materials and methods

In total, 232 samples were collected. The samples were soaked in a 5% hydrofluoric acid (HF) solution for 10–24 hours. Following this process, residues were collected through a sieve (opening: 64 μm), with the residues then washed using ethanol. Radiolarian tests within the dried residues were picked up using a stereomicroscope. The chosen radiolarian tests were conducted using SEM (JEOL JSM-5600) at Niigata University.

4. Radiolarian fauna and age assignments

As mentioned previously, four radiolarian occurrence sites are located in the distributional area of the Omama

Complex, whereas two in the Kurohone–Kiryu Complex. The age assignments of each sample, summarized in Fig. 3, are described in this section.

4.1 Omama Complex

4.1.1 Chert [110823-2]

This sample yielded *Pseudostylosphaera?* sp. (Figs. 4.1–4.6), *Triassocampe?* sp. (Fig. 4.7), *Hozmadia?* sp. (Fig. 4.8) and conodont fragments (Figs. 4.9–4.11). The occurrence ranges of *Pseudostylosphaera*, *Triassocampe* and *Hozmadia* are the late Olenekian–early Carnian (Early–Late Triassic), Anisian–early Norian (Middle–Late Triassic) and late Olenekian–Carnian (Early–Late Triassic) ages, respectively (O’Dogherty *et al.*, 2009b). Thus, this study tentatively regards the sample as corresponding in age to the Anisian–early Carnian (Middle–Late Triassic).

4.1.2 Mudstone [111011-1]

This sample yielded *Striatojaponocapsa* sp. cf. *S. synconexa* O’Dogherty, Goričan and Dumitrica (Figs. 5.13, 5.25), *Japonocapsa* sp. cf. *J. japonica* (Yao) (Fig. 5.3) and *Yaocapsa* sp. cf. *Y. mastoidea* (Yao) (Fig. 5.32).

Striatojaponocapsa synconexa occurred in the upper *Striatojaponocapsa plicarum* Zone (JR4) to the lower *Striatojaponocapsa conexa* Zone (JR5) of the Bathonian,

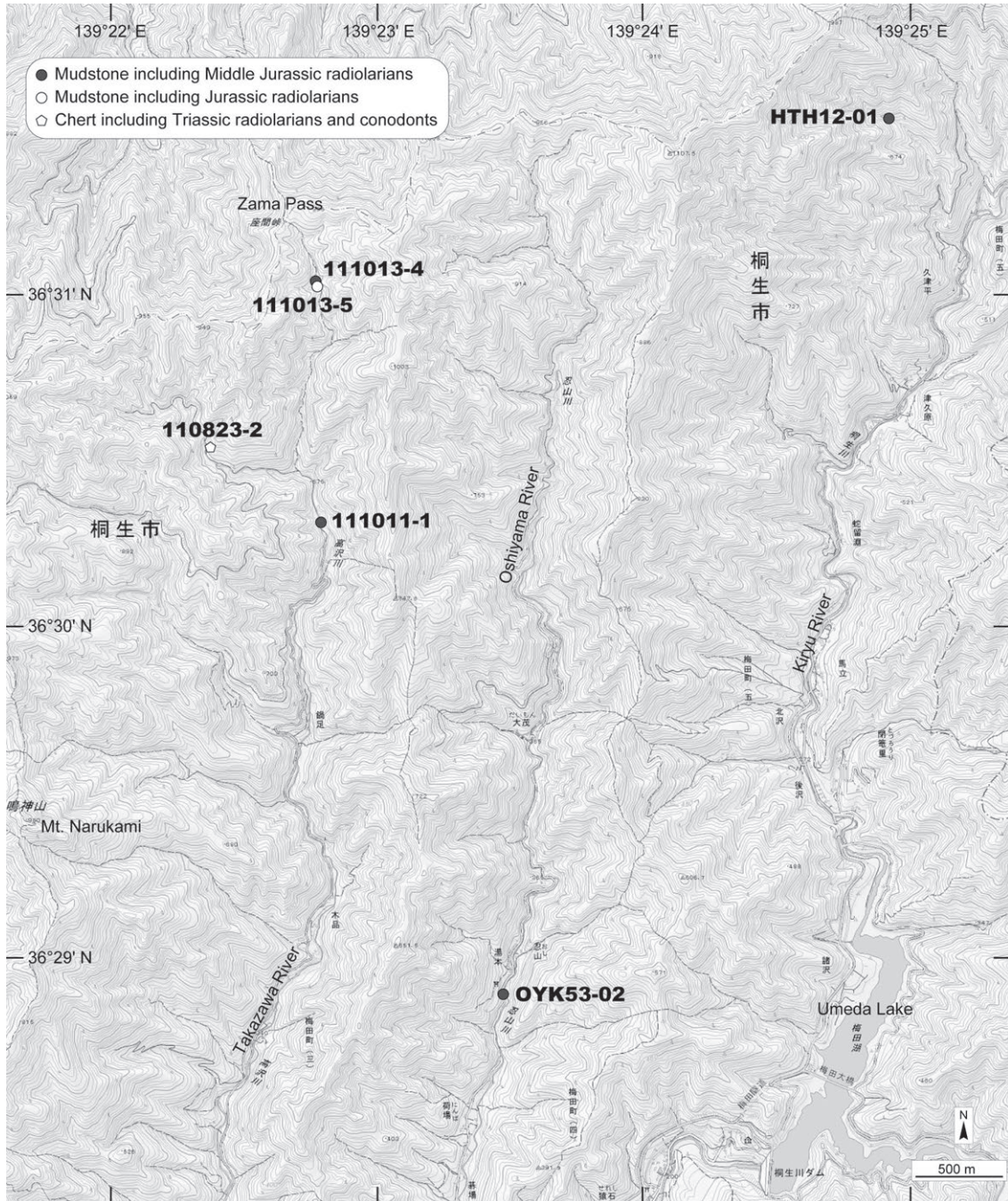


Fig. 2 Localities of radiolarian occurrence sites. Base is after 1:25000 maps of “Kouzuke-Hanawa”, “Sori”, “Omama” and “Bamba”, according to the Geospatial Information Authority of Japan.

Middle Jurassic (Matsuoka and Ito, 2019); *Yaocapsa mastoidea* occurred only in upper JR4, lower Bathonian, Middle Jurassic (Matsuoka, 1995). The co-occurrence of *Striatojaponocapsa synconexa* and *Yaocapsa mastoidea* is limited in upper JR4 of the lower Bathonian. Consequently, the age of this sample is dated to the early Bathonian.

4. 1. 3 Mudstone [111013-4]

This sample yielded *Striatojaponocapsa plicarum* (Yao) (Fig. 6.1). According to the occurrence range shown by

Matsuoka and Ito (2019), this species occurred mainly in lower–middle JR4, Bajocian, Middle Jurassic. Thus, this sample is the Bajocian in age.

4. 1. 4 Mudstone [111013-5]

This sample yielded no radiolarian valuable in terms of detailed age assignment. However, closed nassellarians that occurred abundantly in the Jurassic (e.g. O’Dogherty et al., 2009a) were obtained from this sample (Fig. 7). This article tentatively regards the age of this sample as being

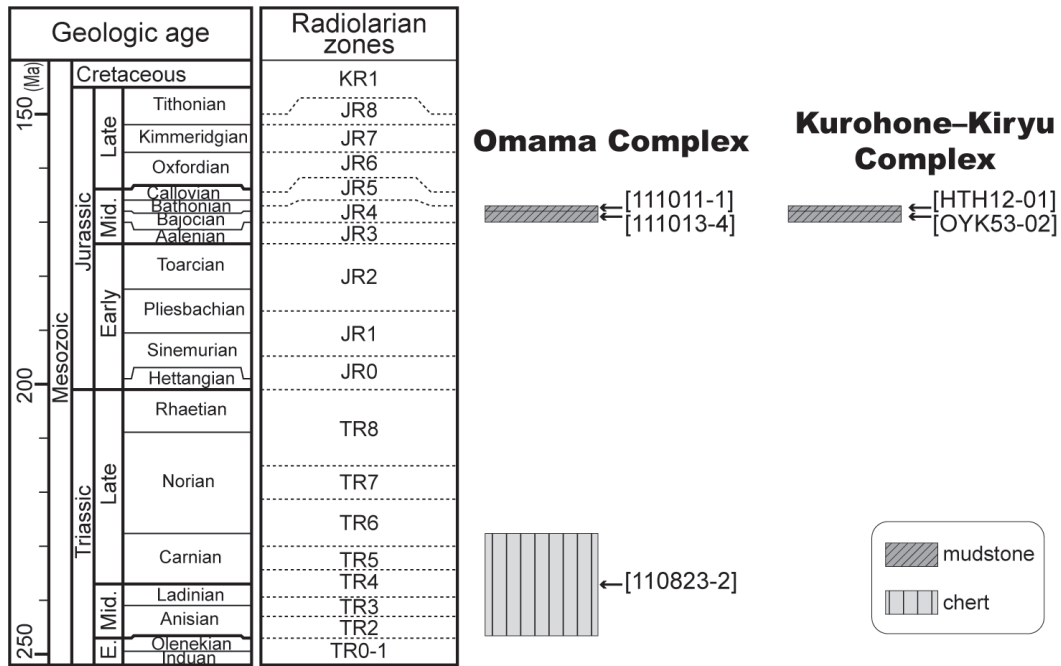


Fig. 3 Age of the sample reported in this study. The radiolarian zones are based on Sugiyama (1997) and Matsuoka and Ito (2019).

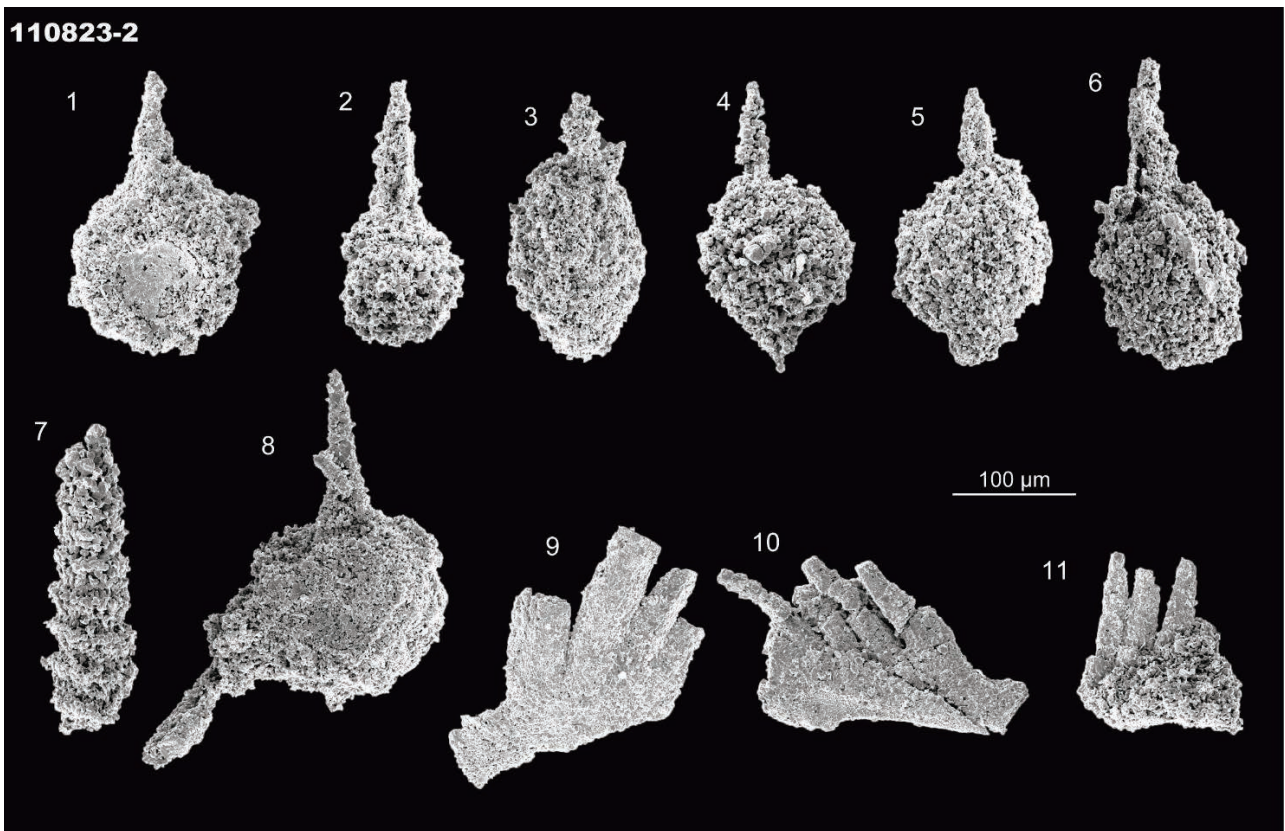


Fig. 4 Triassic radiolarian and conodont fragment from the chert of the Omama Complex. (1–6) *Pseudostylosphaera?* sp. (7) *Triassocampe?* sp. (8) *Hozmadia?* sp. (9–11) Conodont fragment.

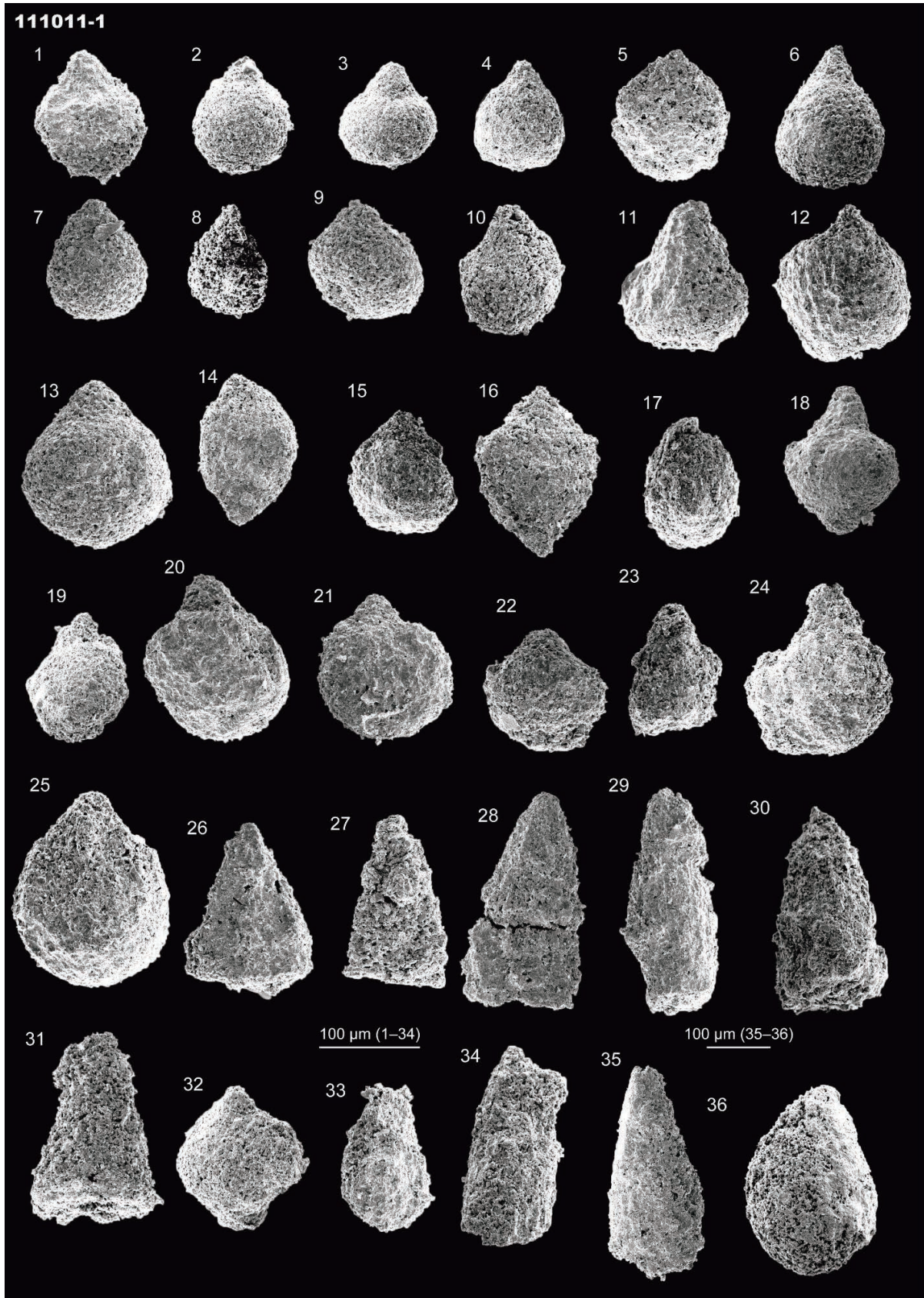


Fig. 5 Middle Jurassic radiolarians from the Omama Complex. (1, 2, 4-12, 14-17, 19-22, 24, 36) Closed nassellarian. (3) *Japonocapsa* sp. cf. *J. japonica* (Yao). (13, 25) *Striatojaponocapsa* sp. cf. *S. conexa* (Matsuoka). (23, 26-31, 33-35) Nassellaria gen. et sp. indet. (18, 32) *Yaocapsa* sp. cf. *Y. mastoidea* (Yao).

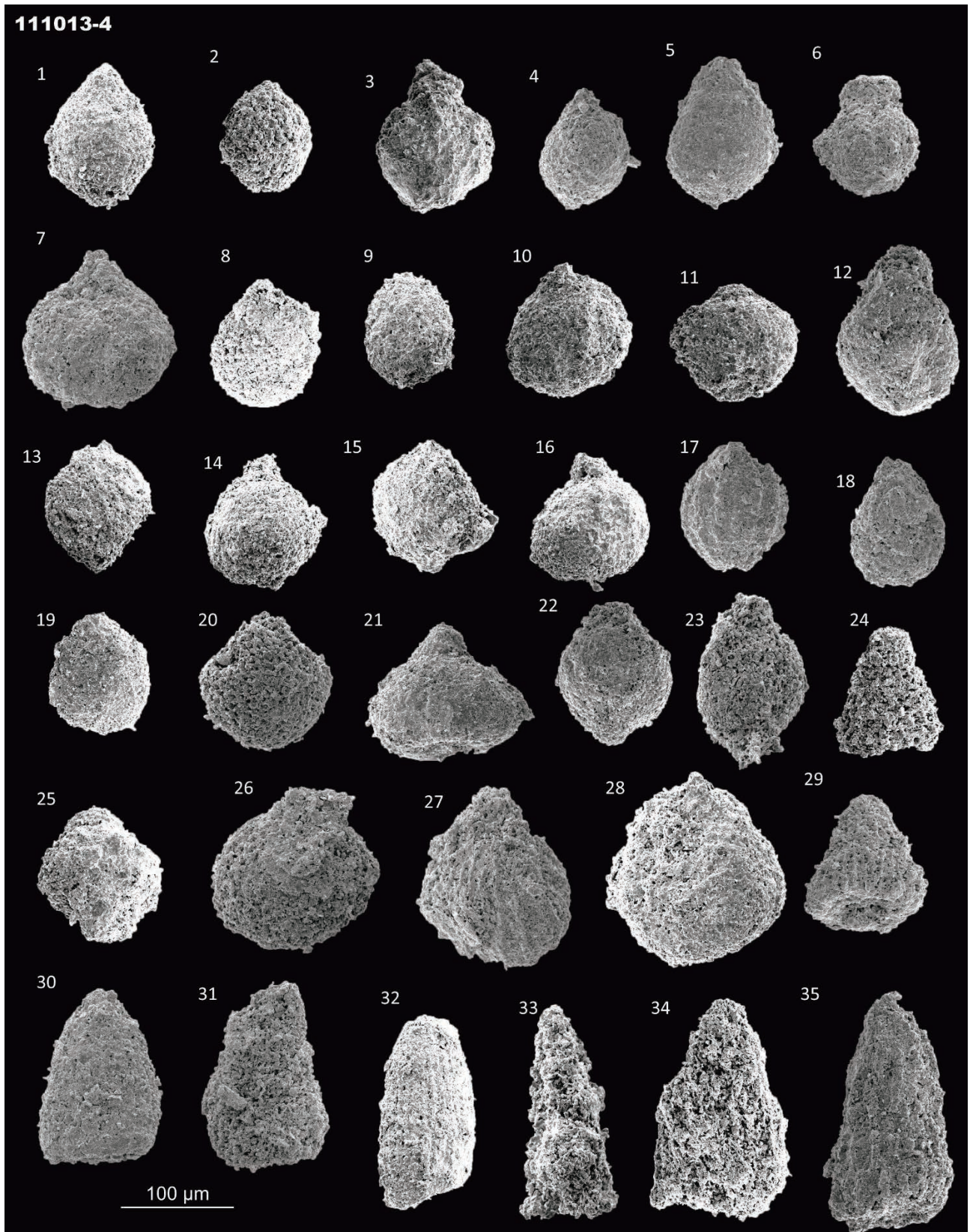


Fig. 6 Middle Jurassic radiolarians from the Omama Complex. (1) *Striatojaponocapsa* sp. cf. *S. plicarum* (Yao). (2–20, 22, 23, 25–28) Closed nassellarian. (21, 29) *Eucyritidiellum* sp. (24, 30–35) Nassellaria gen. et sp. indet.

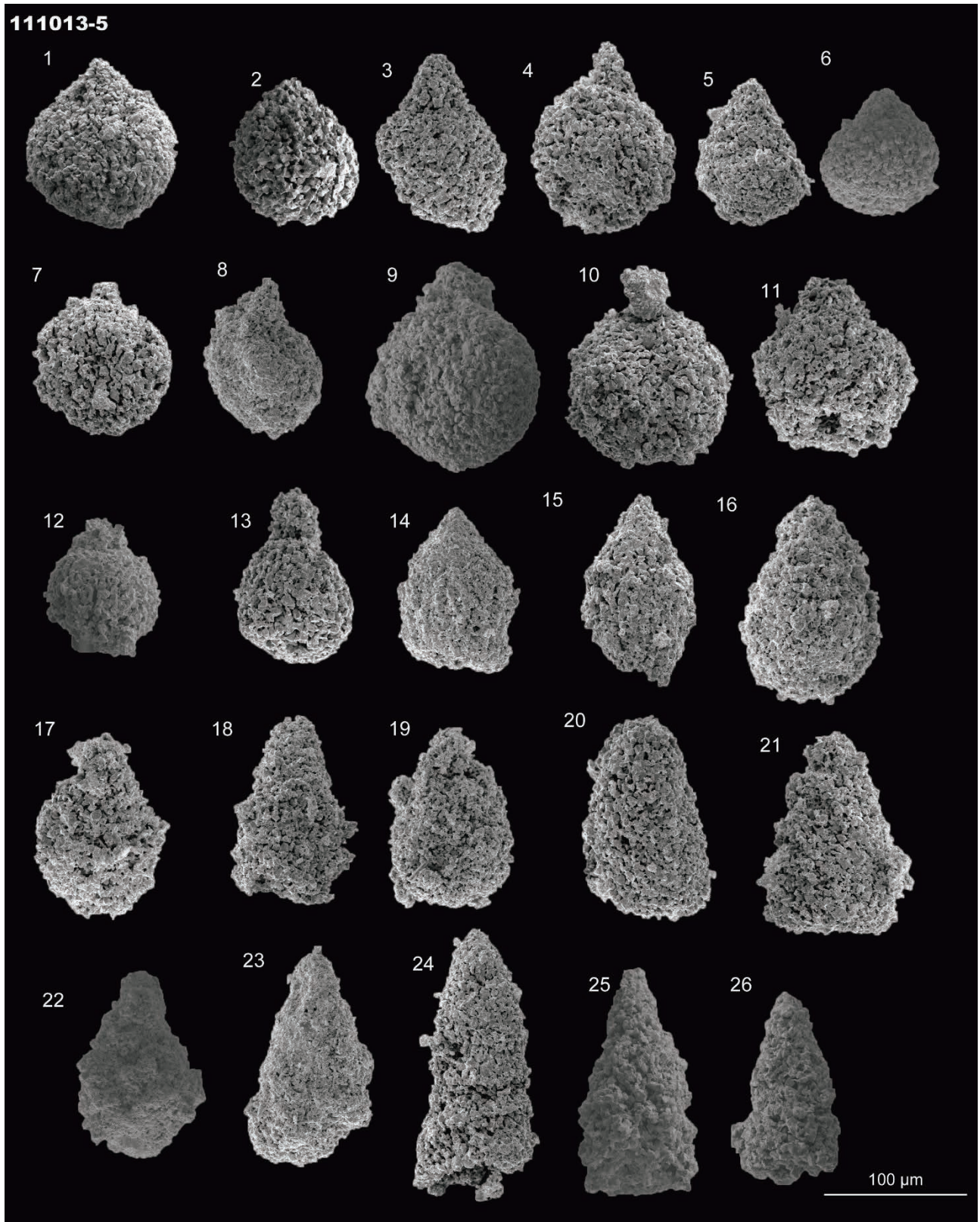


Fig. 7 Middle Jurassic radiolarians from the Omama Complex. (1–17) Closed nassellarian. (18–26) *Nassellaria* gen. et sp. indet.

from the Jurassic.

4.2 Kurohone–Kiryu Complex

4.2.1 Mudstone [HTH12-01]

This sample yielded *Japonocapsa* sp. cf. *J. mastoidea* (Figs. 8.1–8.5) and others (Fig. 9). *Japonocapsa mastoidea* occurred only in upper JR4 of the lower Bathonian, Middle Jurassic, according to Matsuoka (1995). The age of this sample is therefore the early Bathonian.

4.2.2 Mudstone [OYK53-02]

This sample yielded *S. plicarum* (Figs. 10.1, 10.4) and others. *Striatojaponocapsa plicarum* occurred mainly in lower–middle JR4, Bajocian, Middle Jurassic (Matsuoka and Ito, 2019). Consequently, the age of this sample is the Bajocian.

5. Paleontological note

The preservation of radiolarian fossils is generally poor; however, some radiolarians were identifiable. This section notes representative radiolarian species among the identifiable specimens. Descriptions of the species examined in this study mainly employ the taxonomic classification used by De Wever *et al.* (2001) and O’Dogherty *et al.* (2009a, b).

Subclass **RADIOLARIA** Müller, 1858

Order **ENTACTINARIA** Kozur and Mostler, 1982

Family **HINDEOSPHAERIDAE** Kozur and Mostler, 1981

Genus *Pseudostylosphaera* Kozur and Mostler, 1981

Type species *Pseudostylosphaera gracilis* Kozur and Mock in Kozur and Mostler, 1981

Pseudostylosphaera? sp.

Figs. 4.1–4.6

Remarks: This genus is characterized by having a spherical shell with two robust polar spines (Kozur and Mostler, 1981). Because of their poor preservation, the specimens are placed under *Pseudostylosphaera* with a question mark.

Order **NASSELLARIA** Ehrenberg, 1875

Family **RUESTICYRTIIDAE** Kozur & Mostler, 1979

Genus *Triassocampe* Dumitrica, Kozur and Mostler, 1980

Type species *Triassocampe scalaris* Dumitrica, Kozur and Mostler, 1980

Triassocampe? sp.

Fig. 4.7

Remarks: The genus *Triassocampe* is characterized by having a long, slightly conical to subcylindrical multi-segmented shell without an apical horn (Dumitrica *et al.*, 1980). The specimen also possesses a conical multi-segmented shell. Meanwhile, some genera, such as *Annulotriassocampe* Kozur, have similar outlines (e.g., Kozur and Mostler, 1994). Because of poor preservation,

the specimen lacks pores in segments, which are one of the distinguishable characteristics. This study therefore regards the specimen as *Triassocampe* with a question mark.

Family **POULPIDAE** De Wever, 1981

Genus *Hozmadia* Dumitrica, Kozur and Mostler, 1980

Type species *Hozmadia reticulata* Dumitrica, Kozur and Mostler, 1980

Hozmadia? sp.

Fig. 4.8

Remarks: The specimen has a globular cephalis with an apical horn and downward spine. The genus *Hozmadia* Dumitrica, Kozur and Mostler, is characterized by having a globular cephalis with an apical horn and three downward spines (Dumitrica *et al.*, 1980). Meanwhile, some genera, such as *Yeharaia* Nakaseko and *Nishimura*, possess similar shells (e.g. Nakaseko and Nishimura, 1979). This study therefore regards the specimen as *Hozmadia* with a question mark.

Family **SYRINGOCAPSIDAE** Foreman, 1973, emend. Kozur, 1984

Subfamily **JAPONOCAPSINAE** Kozur, 1984

Genus *Japonocapsa* Kozur, 1984

Type species *Tricolocapsa(?) fusiformis* Yao, 1979

Japonocapsa sp. cf. *J. japonica* (Yao, 1979)

Fig. 5.3

Remarks: *Japonocapsa japonica* is characterized by having a spherical cephalis, a truncate-conical thorax and abdomen and a flattened-spherical fourth segment (Yao, 1979). The outline of the specimen is similar to this species, although the surface structure is not preserved.

Genus *Yaocapsa* Kozur, 1984

Type species *Cyrtocapsa mastoidea* Yao, 1979

Yaocapsa sp. cf. *Y. mastoidea* (Yao, 1979)

Figs. 5.18, 5.32, 8.1–8.5

Remarks: *Yaocapsa mastoidea* is characterized by having a large last segment (Yao, 1979). The specimens also have large last segment, although its preservation is poor.

Genus *Striatojaponocapsa* Kozur, 1984

Type species *Tricolocapsa plicarum* Yao, 1979

Striatojaponocapsa sp. cf. *S. synconexa* O’Dogherty, Goričan and Dumitrica, 2005

Figs. 5.13, 5.25

Remarks: Hatakeda *et al.* (2007) studied the morphology and lineage of *Striatojaponocapsa plicarum* (Yao) and its affinities, such as *Striatojaponocapsa synconexa* and *Striatojaponocapsa conexa* (Matsuoka), in detail. According to the study, *Striatojaponocapsa synconexa* has

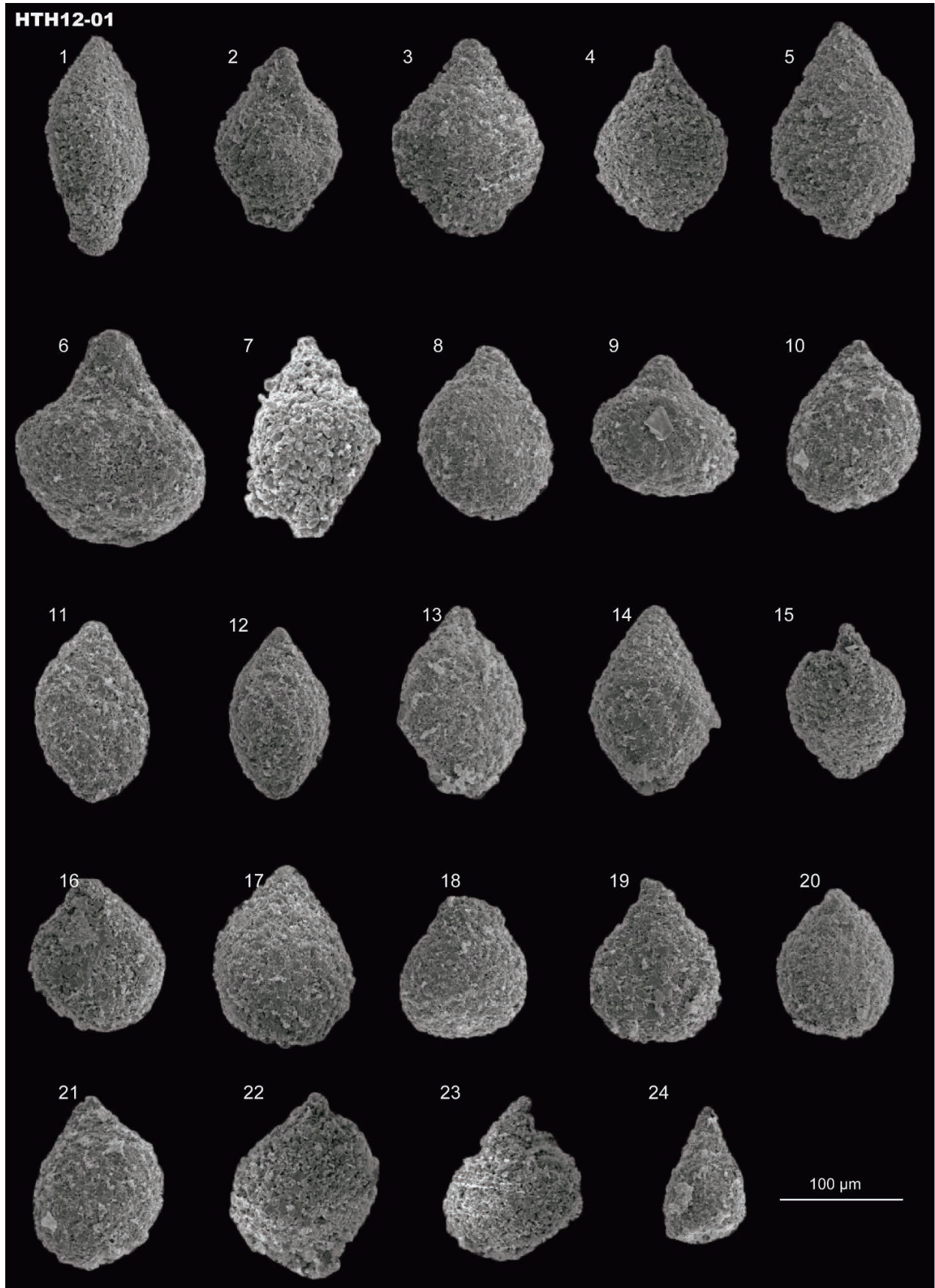


Fig. 8 Middle Jurassic radiolarians from the Kurohne–Kiryu Complex. (1–5) *Yaocapsa* sp. cf. *Y. mastoidea* (Yao). (6–23) Closed nassellarian. (24) *Eucyritidiellum* sp.

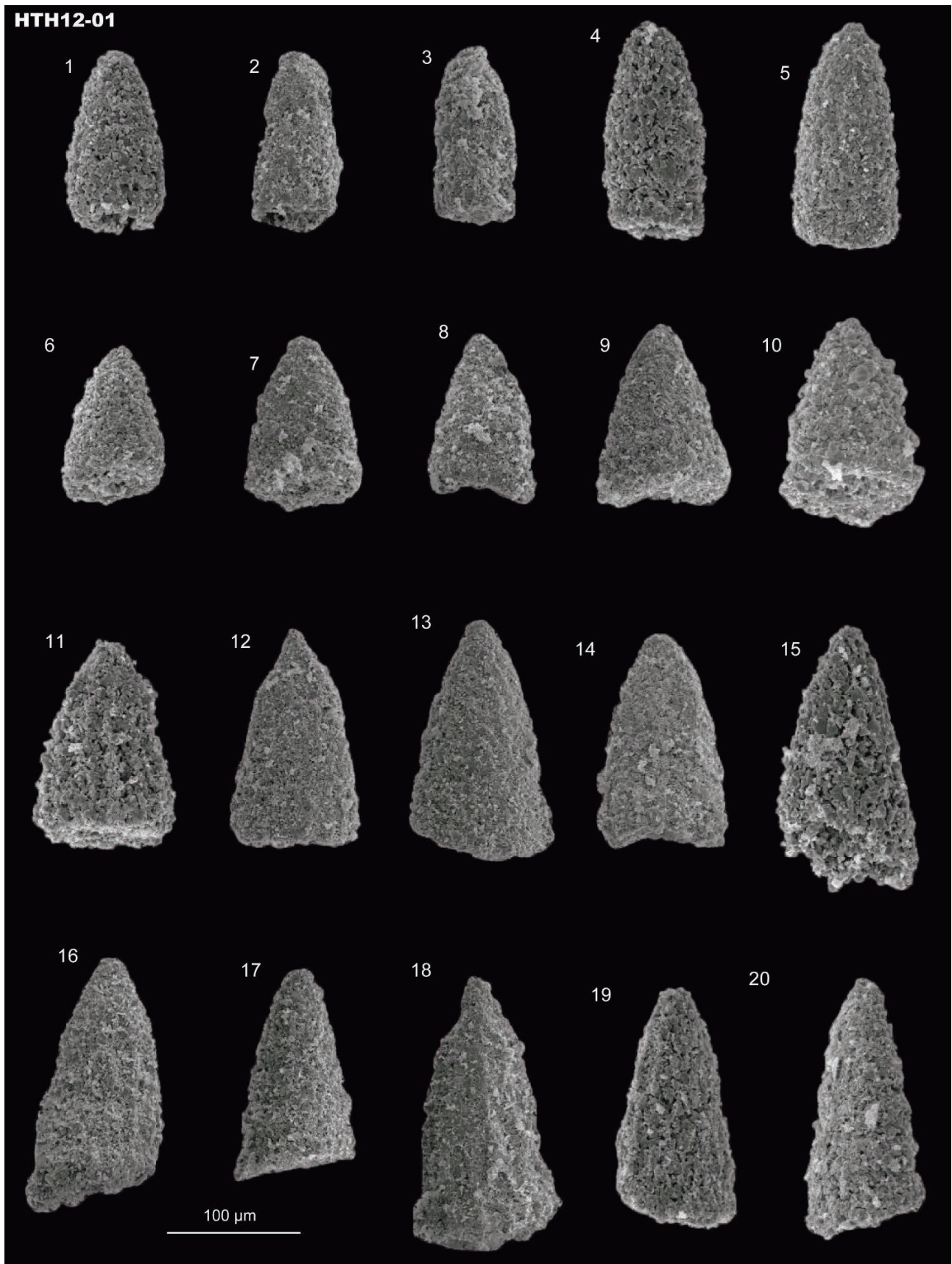


Fig. 9 Middle Jurassic radiolarians from the Kurohone-Kiryu Complex. (1–20) *Nassellaria* gen. et sp. indet.

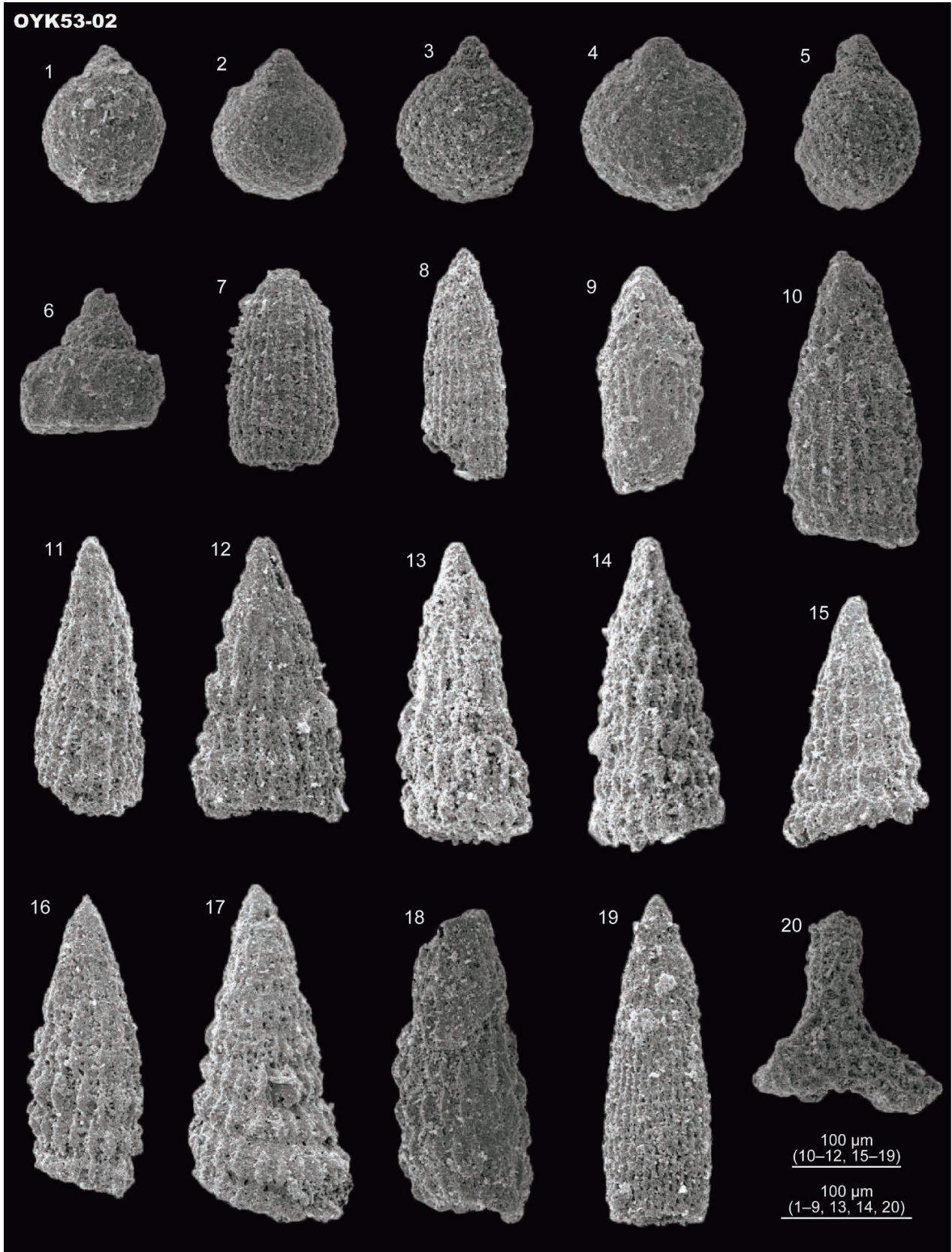


Fig. 10 Middle Jurassic radiolarians from the Kurohone–Kiryu Complex. (1, 4) *Striatojaponocapsa* sp. cf. *S. plicarum* (Yao). (2, 3, 5) Closed nassellarian. (6) *Eucyritidiellum* sp. (7) *Archaeodictyomitra* sp. (8–18) *Hsuum* sp. (19) *Parahsuum* sp. (20) *Paronaella?* sp.

a small basal appendage with a circular depression. The specimens examined in this study have these characteristics as well. Although their surfaces are poorly preserved, the basal appendages seem to be small (possibly less than 30 µm in width). This is consistent with the measurement of the basal appendages of *Striatojaponocapsa synconexa* by Hatakeda *et al.* (2007).

Striatojaponocapsa* sp. cf. *S. plicarum (Yao, 1979)

Figs. 6.1, 10.1, 10.4

Remarks: *Striatojaponocapsa plicarum* is characterized by having a dish-like basal appendage with longitudinal rows of pores (Yao, 1979; Hatakeda *et al.*, 2007). The basal appendage with pores is recognized in one specimen (Fig. 6.1). Other specimens (Figs. 10.1, 10.4) also have a basal appendage, although the surface structure and pores are unclear.

Family **EUCYRTIDIPELLIDAE** Takemura, 1986

Genus ***Eucyrtidiellum*** Baumgartner, 1984

Type species *Eucyrtidium*(?) *unumaensis* Yao, 1979

***Eucyrtidiellum* sp.**

Figs. 6.21, 6.29, 8.24, 10.6

Remarks: The examined specimens have a subspherical cephalis, a truncated conical to hemispherical thorax and an inflated cylindrical abdomen. These characteristics fit within the parameters of *Eucyrtidiellum* (*Monosera* Takemura and Nakaseko, by Takemura and Nakaseko, 1986).

Family **ARCHAEODICTYOMITRIDAE** Pessagno, 1976

Genus ***Archaeodictyomitra*** Pessagno, 1977

Type species *Archaeodictyomitra squinaboli* Pessagno, 1976

***Archaeodictyomitra* sp.**

Fig. 10.7

Remarks: The examined specimen has linearly arranged, continuous costae with pores in a single row between the costae. The specimen possesses no primary pores. These are the characteristics of *Archaeodictyomitra* (Pessagno, 1977).

Family **HSUIDAE** Pessagno and Whalen, 1982

Genus ***Hsuum*** Pessagno, 1977

Type species *Hsuum cuestaensis* Pessagno, 1977

***Hsuum* sp.**

Fig. 10.8–10.18

Remarks: The examined specimen has linearly-arranged, continuous costae with pores in two or three rows between the costae. These are the characteristics of *Hsuum* (Pessagno, 1977).

Genus ***Parahsuum*** Yao, 1982

Type species *Parahsuum simplicum* Yao, 1982

***Parahsuum* sp.**

Fig. 10.19

Remarks: The examined specimen has linearly-arranged, continuous costae with pores in a single row between the costae, with primary pores. These are the characteristics of *Parahsuum* (Yao, 1982).

Order **SPUMELLARIA** Ehrenberg, 1875

Family **ANGULOBACCHIDAE** Baumgartner, 1980

Genus ***Paronaella*** Pessagno 1971

Type species *Paronaella solanoensis* Pessagno, 1971

***Paronaella*? sp.**

Fig. 10.20

Remarks: The examined specimen has three rays with meshwork surfaces. The shell of the specimen is similar to this genus; however, some genera, such as *Patulibracchium* Pessagno, have similar outlines (e.g. Pessagno, 1971). This article therefore regards the specimen as *Paronaella* with a question mark.

Acknowledgments: The authors wish to thank Emer. Prof. HASEGAWA Yoshiyuki, Emer. Prof. TAZAWA Jun-ichi, Prof. MATSUOKA Atsushi, Dr. NIKAWA Isao and other members of the Historical Earth Science Seminar at Niigata University for their helpful comments and suggestions. We would also like to thank Dr. HARA Kousuke for his help and support during the fieldwork. Many thanks are due to Dr. KAMATA Yoshihito (University of Tsukuba) for his critical review of the manuscript.

References

- Aono, H. (1985) Geologic structure of the Ashio and Yamizo Mountains with special reference to its tectonic evolution. *Science reports of the Institute of Geoscience, University of Tsukuba. Section B, Geological Sciences*, **6**, 21–57.
- Arakawa, R. (1986) Upper Paleozoic and Mesozoic strata in the southeastern part of the Ashio Mountains. *Bulletin of the Tochigi Prefectural Museum*, no. 3, 1–37. (in Japanese with English abstract)
- Arakawa, R. (1997) Jurassic radiolarian succession from the siliceous mudstone in the Kuzuu area of the Ashio terrane, central Japan. *Bulletin of the Tochigi Prefectural Museum*, no. 14, 1–19. (in Japanese with English abstract)
- Arakawa, R. (1998) Middle Jurassic radiolarian assemblages from Manganese dioxide nodules, Kuzuu area of Ashio terrane, central Japan. *Bulletin of the Tochigi Prefectural Museum*, no. 15, 51–76. (in Japanese with English abstract)
- Baumgartner, P. O. (1980) Late Jurassic Hagiastriidae and Patulibrachiidae (Radiolaria) from the Argolis Peninsula (Peloponnese, Greece). *Micropaleontology*, **26**, 274–322.
- Baumgartner, P. O. (1984) A Middle Jurassic–Early

- Cretaceous low latitude radiolarian zonation based on unitary associations and age of Tethyan radiolarites. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, **77**, 729–841.
- De Wever, P. (1981) Une nouvelle sous-famille, les Poulpinae, et quatre nouvelles espèces de Saitoum radiolaires mésozoïques tethysiens. *Geobios*, **14**, 5–15. (in French with English abstract)
- De Wever, P., Dumitrica, P., Caulet, J. P., Nigrini, C. and Caridroit, M. (2001) *Radiolarians in the Sedimentary Record*. Gordon and Breach Science Publishers, Singapore, 533p.
- Dumitrica P., Kozur H. and Mostler H. (1980) Contribution to the radiolarian fauna of the Middle Triassic of the Southern Alps. *Geologisch Paläontologische Mitteilungen Innsbruck*, **10**, 1–46.
- Ehrenberg C. G. (1875) *Fortsetzung der mikrogeologischen Studien als Gesamt-Uebersicht der mikroskopischen Palaontologie gleichartig analysirter Gebirgsarten der Erde, mit specieller Rücksicht auf den Polycystinen-Mergel von Barbados*. Abhandlungen der königlichen preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 1–225. (in German)
- Foreman, H.P. (1973) Radiolaria from DSDP Leg 20. In Heezen, B.C., MacGregor, I.D., Foreman, H.P., Forristall, G., Hekel, H., Hesse, R., Hoskins, R.H., Jones, E.J.W., Kaneps, A.G., Krashennikov, V.A., Okada, H. and Ruef, M.H., Eds., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **20**, Washington, U.S. Government Printing Office, 249–305.
- Geological Survey of Japan, AIST (2018) Seamless digital geological map of Japan 1: 200,000. January 26, 2018 version. Geological Survey of Japan, AIST. <https://gbank.gsj.jp/seamless/v2full/> (Accessed:2018-1-26)
- Hatakeda, K., Suzuki, N. and Matsuoka, A. (2007) Quantitative morphological analyses and evolutionary history of the Middle Jurassic polycystine radiolarian genus *Striatojaponocapsa* Kozur. *Marine Micropaleontology*, **63**, 39–56.
- Hayashi, S., Iijima, S., Ishii, I., Nakajima, T., Sawaguchi, H., Tanaka, H. and Yoshida, T. (1990) Late Paleozoic to Mesozoic formations in the southwestern Ashio Mountains. *Bulletin of the Gunma Prefectural Museum of History*, no. 11, 1–34. (in Japanese with English abstract)
- Isogawa, J., Aita, Y. and Sakai, T. (1998) Early Triassic radiolarians from the bedded chert in the Minowa quarry, Kuzuu Town, Tochigi Prefecture. *News of Osaka Micropalaeontologists (NOM), Special Volume*, no. 11, 81–93. (in Japanese with English abstract)
- Kamata, Y. (1995) Early Triassic radiolarians from black siliceous shale and black chert in the Kuzu area of the Ashio terrane, central Japan. *Fossils (Kaseki)*, **59**, 23–31. (in Japanese with English abstract)
- Kamata, Y. (1996) Tectonostratigraphy of sedimentary complex in the southern part of the Ashio terrane, central Japan. *Science reports of the Institute of Geoscience, University of Tsukuba. Section B, Geological Sciences*, **17**, 71–107.
- Kamata, Y. (1997) Reconstruction of chert–clastic sequence of the Ashio terrane in the Kuzu area, central Japan. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **103**, 343–356. (in Japanese with English abstract)
- Kamata, Y. (1999) Lower Triassic (Spathian) radiolarians from the Kuzu area (Tochigi Prefecture, central Japan). *Geodiversitas*, **21**, 657–673.
- Kamata, Y. (2000) Imbricate structure of chert–clastic sequence of the Kuzu Complex in the Shiraiwa area of the Ashio belt, central Japan. *The Memoirs of the Geological Society of Japan*, no. 55, 203–221. (in Japanese with English abstract)
- Kozur, H. (1984) New radiolarian taxa from the Triassic and Jurassic. *Geologisch Paläontologische Mitteilungen Innsbruck*, **13**, 49–88.
- Kozur, H. and Mostler, H. (1979) Beiträge zur Erforschung der mesozoischen Radiolarien. Teil III: Die Oberfamilien Actinommacea Haeckel, 1862 emend., Artiscacea Haeckel, 1882, Multiarcusellacea nov. der Spumellaria und triassische Nassellaria. *Geologisch Paläontologische Mitteilungen Innsbruck*, **9**, 1–132. (in German with English abstract)
- Kozur, H. and Mostler, H. (1981) Beiträge zur Erforschung der mesozoischen Radiolarien. Teil IV: Thalassosphaeracea Haeckel, 1862, Hexastylacea Haeckel, 1862 emend. Petrushevskaya, 1979, Sponguracea Haeckel, 1862 emend. und weitere triassische Lithocycliacea, Trematodiscacea, Actinommacea und Nassellaria. *Geologisch-Paläontologische Mitteilungen Innsbruck*, **1**, 1–208. (in German with English abstract)
- Kozur, H. and Mostler, H. (1982) Entactinaria Subordo nov., a new radiolarian suborder. *Geologisch Paläontologische Mitteilungen Innsbruck*, **11**, 399–414.
- Kozur, H. and Mostler, H. (1994). Anisian to Middle Carnian radiolarian zonation and description of some stratigraphically important radiolarians. *Geologisch-Paläontologische Mitteilungen, Innsbruck*, **3**, 39–255.
- Masuda, S. (1989) Jurassic radiolarian fossils in the Hachioji Hill. *Research reports, Ashikaga Institute of Technology*, no. 15, 207–214. (in Japanese with English abstract)
- Matsuoka, A. (1995) Jurassic and Lower Cretaceous radiolarian zonation in Japan and in the Western Pacific. *The Island Arc*, **4**, 140–153.
- Matsuoka, A. and Ito, T. (2019) Updated radiolarian zonation for the Jurassic in Japan and the western Pacific. *Science Reports of Niigata University (Geology)*, no. 34, 49–57.
- Motoki, H. and Sashida, K. (2004) Preliminary report on the chronological and lithostratigraphical studies of the Toishi-type shale (siliceous claystone) distributed in the Ashio Mountains, central Japan. *News of Osaka*

- Micropalaeontologists (NOM), Special Volume*, no. 13, 47–57. (in Japanese with English abstract)
- Müller, J. (1858) *Über die Thalassicollelen, Polycystinen und Acanthometren des Mittelmeeres*. Königliche Preussische Akademie der zu Berlin, Abhandlungen, Jahre., 1–62. (in German)
- Nakaseko, K. and Nishimura, A. (1979) Upper Triassic Radiolaria from southwest Japan. *Science Reports, College of General Education Osaka University*, **28**, 61–109.
- O’Dogherty, L., Bill, S., Goričan, Š., Dumitrica, P. and Masson, H. (2005) Bathonian radiolarians from an ophiolitic mélange of the Alpine Tethys (Gets Nappe, Swiss-French Alps). *Micropaleontology*, **51**, 425–485.
- O’Dogherty, L., Carter, E. S., Dumitrica, P., Goričan, Š., De Wever, P., Bandini, A. N., Baumgartner, P. O. and Matsuoka, A. (2009a) Catalogue of Mesozoic radiolarian genera. Part 2: Jurassic–Cretaceous. *Geodiversitas*, **31**, 271–356.
- O’Dogherty, L., Carter, E. S., Dumitrica, P., Goričan, Š., De Wever, P., Hungerbühler, A., Bandini, A. N. and Takemura, A. (2009b) Catalogue of Mesozoic radiolarian genera. Part 1: Triassic. *Geodiversitas*, **31**, 213–270.
- Ootaka, M., Aita, Y. and Sakai, T. (1998) Middle Triassic radiolarian biostratigraphy of the bedded chert in the Minowa quarry, Kuzuu Town, Ashio Mountains. *News of Osaka Micropalaeontologists (NOM), Special Volume*, no. 11, 95–113.
- Pessagno, E. A. (1971) Jurassic and Cretaceous Hagiastriidae from the Blake-Bahama Basin (Site 5A, JOIDES Leg 1) and the Great Valley Sequence, California Coast Ranges. *Bulletin of American Paleontology*, **60**, 5–83.
- Pessagno, E. A. (1976) Radiolarian zonation and stratigraphy of the Upper Cretaceous portion of the Great Valley Sequence, California Coast Ranges. *Micropaleontology Special Publication*, **2**, 1–95.
- Pessagno, E. A. (1977) Upper Jurassic Radiolaria and radiolarian biostratigraphy of the California Coast Ranges. *Micropaleontology*, **23**, 56–113.
- Pessagno, E. A. and Whalen P. (1982) Lower and Middle Jurassic Radiolaria (multicyrtid Nassellariina) from California, east-central Oregon and the Queen Charlotte Islands, B. C. *Micropaleontology*, **28**, 111–169.
- Sudo, S., Makimoto, H., Hata, M., Unozawa, A., Takizawa, F. and Sakamoto, T. (1991) *Geological map of the Utsunomiya district*. Quadrangle Series, 1:200,000, Geological Survey of Japan.
- Sugiyama, K. (1997) Triassic and Lower Jurassic radiolarian biostratigraphy in the siliceous claystone and bedded chert units of the southeastern Mino terrane, central Japan. *Bulletin of the Mizunami Fossil Museum*, **24**, 79–193.
- Takayanagi, A., Hori, N. and Sashida, K. (2001) Tectonostratigraphy of sedimentary complex of the Ashio terrane in the northern part of the Ashikaga area, Tochigi Prefecture, and the occurrence of radiolarians. *News of Osaka Micropalaeontologists (NOM), Special Volume*, no. 12, 113–127. (in Japanese with English abstract)
- Takemura, A. (1986) Classification of Jurassic Nassellarians (Radiolaria). *Palaeontographica. Abteilung A: Palaeozoologie-Stratigraphie*, **195**, 29–74.
- Takemura, A. and Nakaseko, K. (1986) The cephalic skeletal structure of Jurassic “Eucyrtidium” (Radiolaria). *Journal of Paleontology*, **60**, 1016–1024.
- Yao, A. (1979) Radiolarian fauna from the Mino belt in the northern part of the Inuyama Area, central Japan, Part II: Nassellaria 1. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, **22**, 21–72.
- Yao, A. (1982) Middle Triassic to Early Jurassic radiolarians from the Inuyama area, central Japan. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, **25**, 53–70.

Received January 29, 2020

Accepted July 31, 2020

足尾山地鳴神山東方地域から産出した三畳紀・ジュラ紀放射虫化石の報告

伊藤 剛・中村和也・日野原達哉・栗原敏之

要 旨

本論では、足尾山地^{なるかみ}鳴神山東方に分布する足尾帯ジュラ紀付加体の^{おおま}大間々コンプレックス及び^{くろほね}黒保根–^{きりゅう}桐生コンプレックスから産出した放射虫を報告する。三畳紀放射虫及び^{コノドント}コノドント片が大間々コンプレックスのチャートから産出した。中期ジュラ紀の^{バジジョシアン}バジジョシアン期及び^{バトニアン}バトニアン前期の放射虫が大間々コンプレックスと^{黒保根}黒保根–^{桐生}桐生コンプレックスの泥岩から得られた。先行研究で両コンプレックスから報告された中では、泥岩に含まれる^{バジジョシアン}バジジョシアン期の放射虫が最も若い記録であった。従って、本研究で報告した^{バトニアン}バトニアン階下部の泥岩は、より若い記録となる。

足尾山地のジュラ紀付加体大間々コンプレックスから産出した放散虫及び有孔虫

伊藤 剛^{1,*}・鈴木 紀毅²・指田 勝男³

ITO Tsuyoshi, SUZUKI Noritoshi and SASHIDA Katsuo (2021) Radiolarians and foraminifers from the Omama Complex of Jurassic accretionary complex in the Ashio Mountains, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 72 (4), p. 359–370, 7 figs, 2 tables.

Abstract: Radiolarian and foraminiferal occurrences from the Omama Complex of Jurassic accretionary complexes of the Ashio belt, which distributed mainly in Omama-machi, Midori City, Gunma Prefecture, are reported in this article. Guadalupian–Lopingian (middle–late Permian), Middle–Late Triassic and Jurassic radiolarians occurred in chert; Early and Middle Jurassic radiolarians occurred in siliceous mudstone. Cisuralian–Guadalupian (early–middle Permian) fusulinids and smaller foraminifers occurred in limestone.

Keywords: radiolaria, foraminifer, Omama Complex, Ashio belt, accretionary complex, Ashio Mountains, Gunma Prefecture

要 旨

本論では、主に群馬県みどり市大間々町に分布する足尾帯ジュラ紀付加体大間々コンプレックスから得られた放散虫化石及び有孔虫の産出を報告する。チャートからはグアダルピアン世～ローピンジアン世(中期～後期ペルム紀)・中期～後期三畳紀・ジュラ紀の放散虫が、珪質泥岩からは前期及び中期ジュラ紀の放散虫が産出した。また、石灰岩からはシスウラリアン世～グアダルピアン世(前期～中期ペルム紀)のフズリナと小型有孔虫が産出した。

1. はじめに

関東北部、群馬県北東部から栃木県南西部には足尾山地がそびえる。足尾山地には、足尾帯に属するジュラ紀付加体及び白亜紀～古第三紀花崗岩類が分布する(第1図)。Kamata (1996)は、足尾山地の足尾帯ジュラ紀付加体を黒保根-桐生コンプレックス、大間々コンプレックス、葛生コンプレックスの3つのコンプレックスに区分した。このうち、葛生コンプレックスについてはフズリナや放散虫など豊富な化石産出報告が蓄積されており、化石に基づく年代決定や古生物学的検討が行われている(矢部, 1899; Hanzawa, 1942; Morikawa and Horiguchi, 1956; Morikawa and Takaoka, 1961; Igo, 1964; Igo and Igo, 1977; 指田ほか, 1982; 荒川, 1986, 1997, 1998; 鎌田,

1995, 1997a, b, 2000; Kamata, 1996, 1999; 五十川ほか, 1998; 大高ほか, 1998; Suzuki *et al.*, 2002; Kobayashi, 2006a, b; Tazawa *et al.*, 2016; Muto *et al.*, 2018, 2021)。これに対し、黒保根-桐生コンプレックスや大間々コンプレックスからの放散虫化石の産出報告は限定的である(林ほか, 1990; Kamata, 1996; 高柳ほか, 2001; 元木・指田, 2004)。特に大間々コンプレックスからの産出報告は少なく、放散虫化石の報告で写真が示された例はさらに限られる。

著者の1人である鈴木は、1991年から1993年にかけて卒業研究として大間々コンプレックスの主要分布域であるみどり市大間々町の周辺地域を調査し、放散虫やフズリナなどの化石を発見した。これらは大間々コンプレックスや足尾帯ジュラ紀付加体の地質を検討する上で重要な基礎情報である。最近伊藤が5万分の1地質図幅「桐生及足利」作製のため本地域の地質調査を行っていることを踏まえ、伊藤がペルム紀放散虫の、鈴木が中生代放散虫の、指田がフズリナ類と小型有孔虫の同定をあらためたうえ、ここに報告する。

2. 地質概要

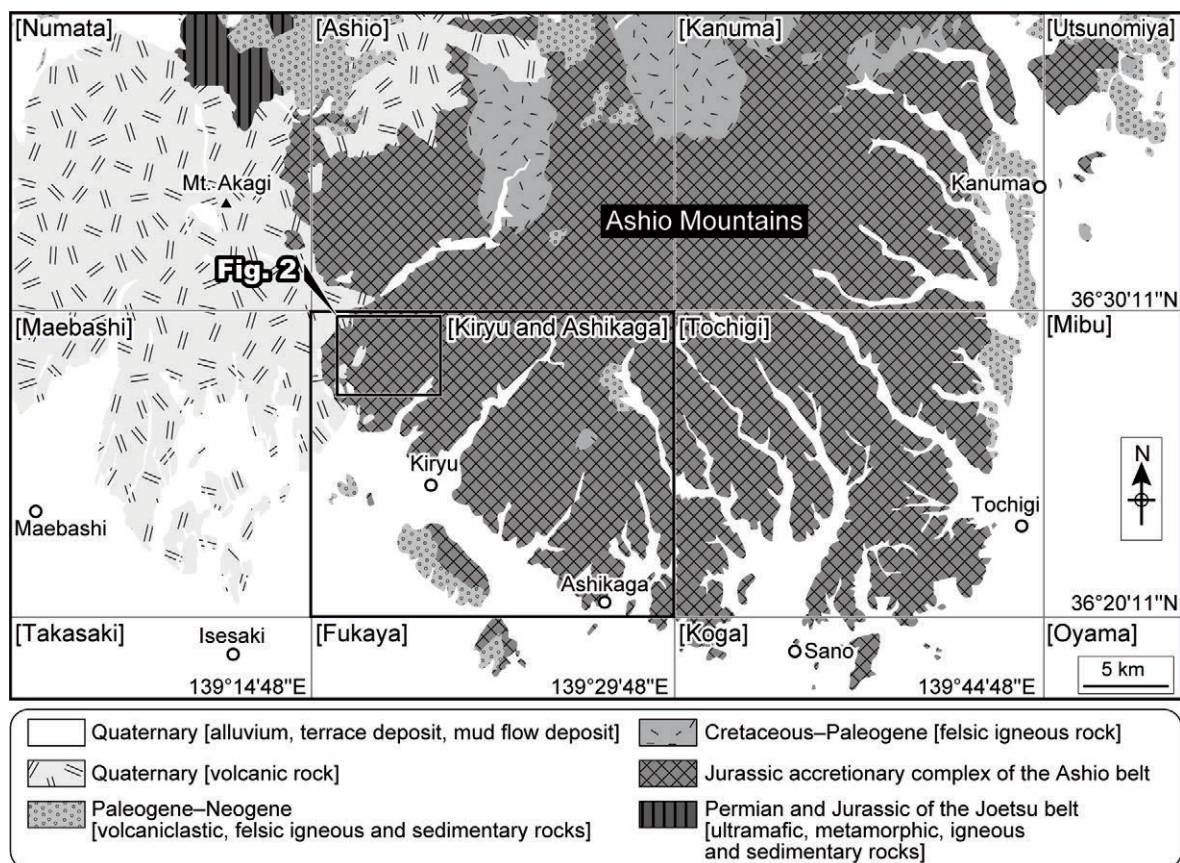
本論で対象とする大間々コンプレックスは、群馬県桐生市からみどり市にかけて露出しており、玄武岩類・チャート・泥岩を主体として少量の炭酸塩岩類・珪質泥岩・砂岩・珪質粘土岩・泥質混在岩を伴う。放散虫やコ

¹ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

² 東北大学大学院 理学研究科 地学専攻 (Department of Earth Science, Graduate School of Science, Tohoku University)

³ タイ王国国立マヒドール大学カンチャナブリーキャンパス (Mahidol University Kanchanaburi Campus)

* Corresponding author: ITO, T., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: ito-t@aist.go.jp



第1図 足尾山地の簡略化地質図(須藤ほか, 1991及びGeological Survey of Japan, AIST, 2018に基づく). 鍵括弧内の地名は, 国土地理院発行の5万分の1地形図の地名を示す.

Fig. 1 Simplified geologic maps of the Ashio Mountains (modified after from Sudo *et al.*, 1991; Geological Survey of Japan, AIST, 2018). Geographical names in brackets indicate 1:50,000 topographic maps published by Geospatial Information Authority of Japan.

ノドントなどの化石がわずかに報告されており, チャートはペルム紀からジュラ紀の, 泥質岩は中期ジュラ紀の年代を示す(例えば, Kamata, 1996). 炭酸塩岩類からは, フズリナ・腕足類・サンゴ・三葉虫・脊椎動物・ヘリコプリオン類が報告されており, ペルム系とされている(例えば, Yabe, 1903; 林・長谷川, 1981; 大間々町誌編さん室, 1996; Igo *et al.*, 2000; Tazawa *et al.*, 2012).

調査地域は, 群馬県みどり市大間々町小平と桐生市黒保根町八木原及び桐生市河内町である. 本論で報告する化石の産出地点を第2図に示す. チャートは黒色・灰色・暗灰色・赤色を呈し, 珪質層と泥質薄層との細互層により成層する. 珪質泥岩は主に暗灰色で, 塊状あるいは非常に弱く成層する. 鏡下で多くの放散虫化石が観察される珪質泥岩もある.

炭酸塩岩類は, 灰白色～灰色を示す石灰岩が多くみられる. 石灰岩は塊状(第3図A)あるいは単層の厚さが5～30 cm程度で層状をなす(第3図B). また石灰岩は主に生砕屑性で, 粒子としてはペロイドが多く, フズリナや

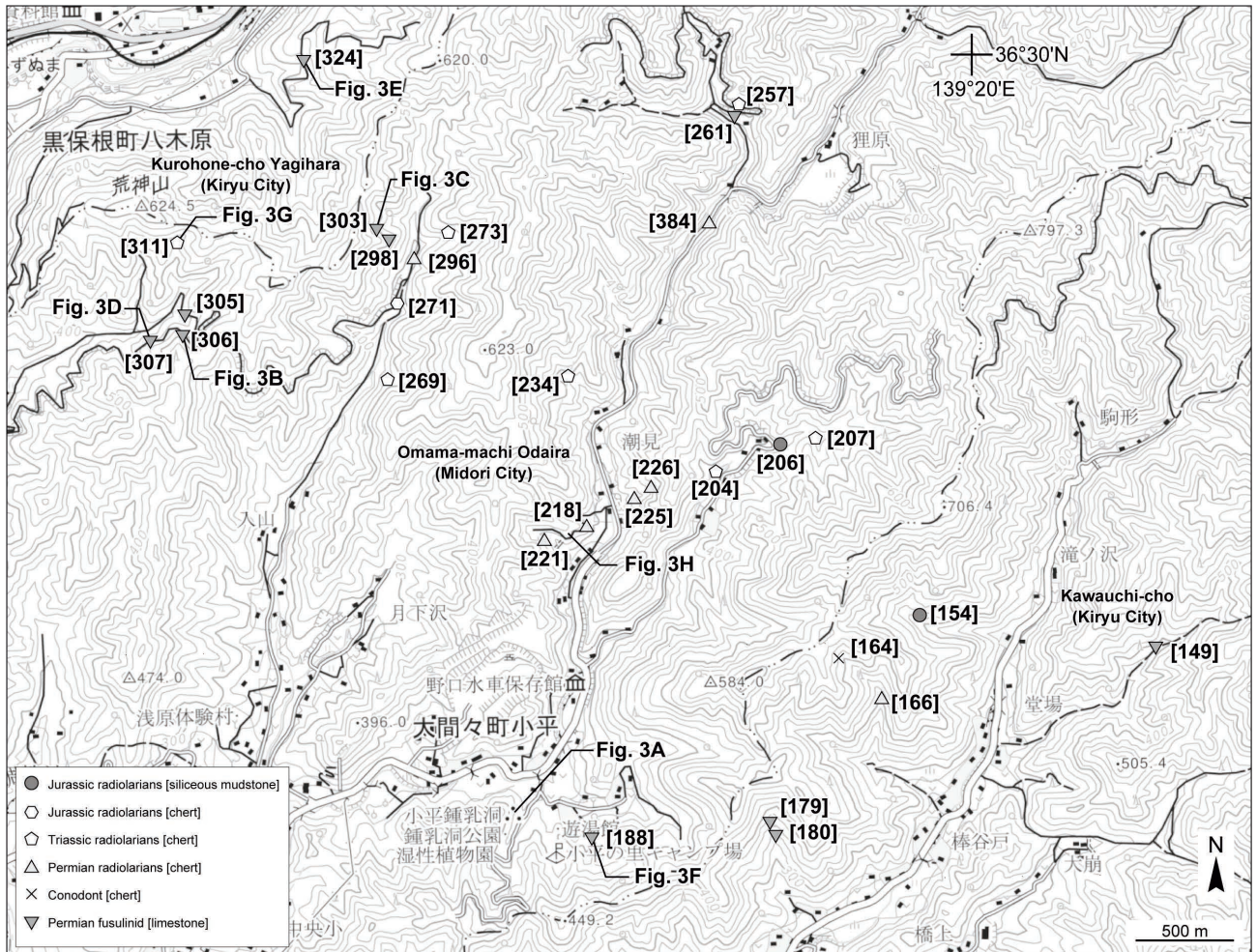
ウミユリも含まれる. Dunham (1962)による堆積組織の分類に基づく, 粒子支持で泥質部を含むパックスストーン(第3図C-E)や, 同じく粒子支持で泥質部を欠くグレインストーン(第3図F)がみられる. また, 再結晶石灰岩(第3図G)やドロストーンも観察される(第3図H).

3. 産出した化石と年代

3.1 ペルム紀放散虫

計7個のチャート試料からペルム紀放散虫化石が得られた(第1表). 代表的な放散虫の走査電子顕微鏡(SEM)画像を第4図に示す.

1試料(試料#166)からは*Follicucullus* sp.が産出した.*Follicucullus*属は中期ペルム紀に現れ(例えば, Wang and Yang, 2011), 下部三畳系からもわずかに報告例がある(例えば, Sugiyama, 1997). *Follicucullus*属が特に多産するのはグアダルピアン統キャピタニアン階～ローピンジアン統ウーチャーピンジアン階(中部～上部ペルム系)であり(例えば, Zhang *et al.*, 2014), 試料#166の年代はこ



第2図 本研究で報告した化石の産出地点。基図については、国土地理院長の承認を得て、同院発行の2万5千分の1地形図を使用した(承認番号: R2Jhs 66-GISMAP44702号)。地形図は北海道地図株式会社GISMAP50000R+「桐生及足利」による。

Fig. 2 Fossil occurrence localities reported in this study. Base from the Geospatial Information Authority of Japan with its approval (Approval number: R2Jhs 66-GISMAP44702). This map uses GISMAP50000R+ “Kiryu and Ashikaga” by Hokkaido-Chizu Co. Ltd.

の間の可能性が高い。

2試料(#218, #384)からは*Parafollicucullus?* sp.が産出している。*Parafollicucullus*属は上部石炭系～ペルム系から産出するため(例えば, Aitchison *et al.*, 2017), これらの試料の年代は少なくとも後期石炭紀～ペルム紀と推定される。また, 試料#218に含まれる*Pseudoalbaillella?* sp.のいくつかの標本(第4図3, 4)は, 短いpseudoabdomenを持つなどの点で*Pseudoalbaillella scalprata* Holdsworth and Jonesに類似する。Xiao *et al.* (2018)の示したUA帯での*Pseudoalbaillella scalprata*の産出区間は最大でUA3–UA10(シスウラリアン統アッセリアン階～グアダルピアン統キャピタニアン階)であり, これらの2試料の年代はアッセリアン期～キャピタニアン期の可能性がある。

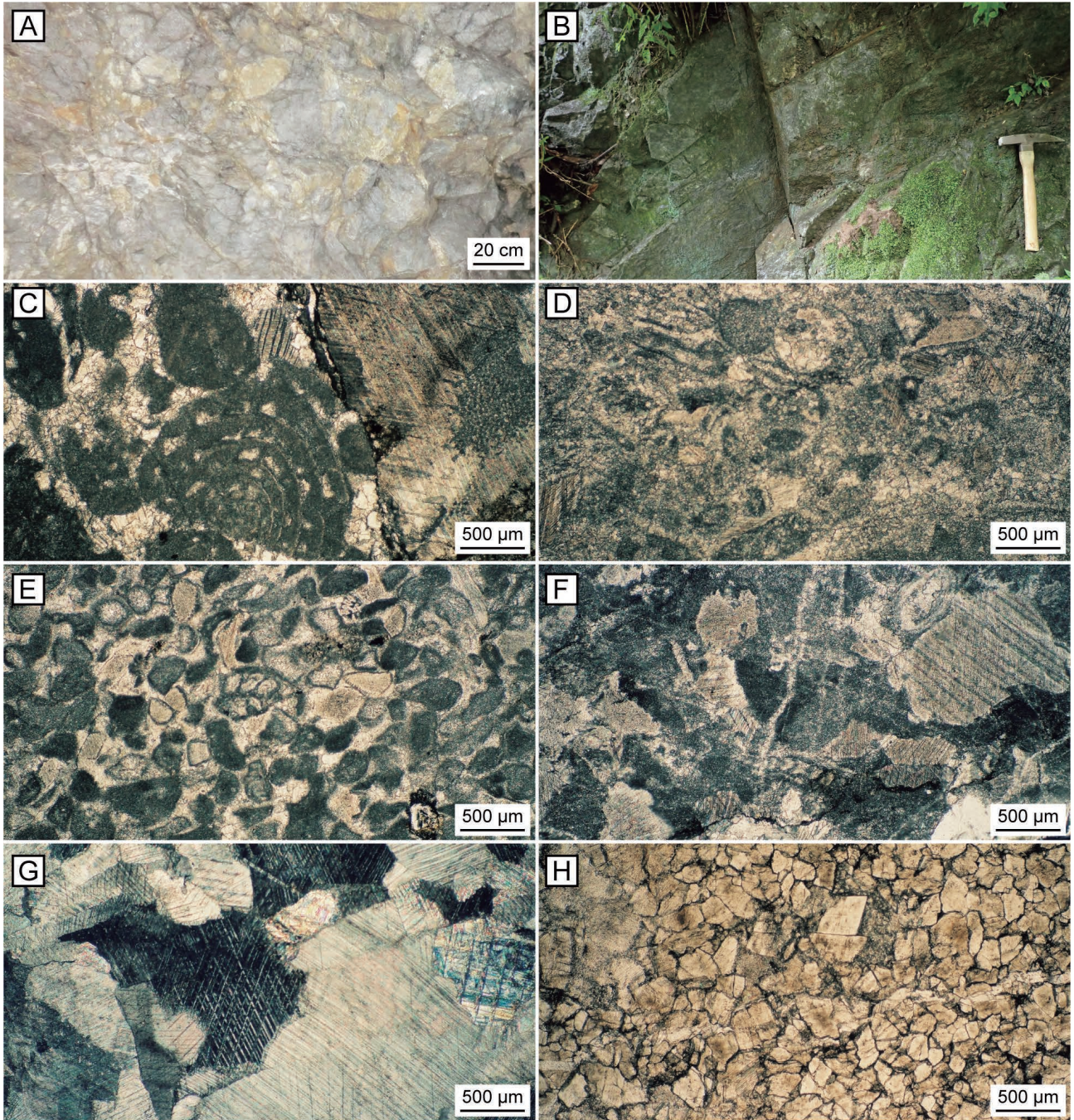
3試料(#221, #226, #296)から*Latentifistula texana* Nazarov and Ormistonが得られた。この種は下部ペルム系で記載さ

れた(Nazarov and Ormiston, 1985)。形状が類似した種の存在などにより見掛け上の産出区間が長いため詳細な年代は不明であるが(例えば, Xiao *et al.*, 2018), この2試料は前期ペルム紀の年代を示す可能性がある。また, 試料#225からは*Latentifistula?* sp.が産出する。*Latentifistula*属やその類似属は石炭系～ペルム系から産出する(例えば, Aitchison *et al.*, 2017)。そのため, この試料の年代は少なくとも石炭紀～ペルム紀と考えられる。

3.2 三疊紀放散虫

チャート7試料から三疊紀放散虫が産出した(第1表)。代表的な放散虫のSEM画像を第5図に示す。

2試料(#234, #311)は, *Muellertortis?* sp.を含む。これらはねじれた太いspineを持つ点から*M. cochleata* (Nakaseko and Nishimura)に類似しており, 破損した同種の可能性



第3図 大間々コンプレックスの炭酸塩岩の露頭・薄片写真。(A)塊状石灰岩。(B)層状石灰岩。(C)ペロイダル生物碎屑性グレインストーン。(D)生物碎屑性グレインストーン。(E)ペロイダル生物碎屑性グレインストーン。(F)ウミユリパックストーン。(G)再結晶石灰岩。(H)ドロストーン。C-G:クロスニコル;H:オープンニコル。試料番号:C:#303;D:#307;E:#324;F:#188;G:#311;H:#219。

Fig. 3 Photographs of outcrop and thin section of carbonate rocks of the Omama Complex. (A) Massive limestone. (B) Bedded limestone. (C) Peloidal bioclastic grainstone. (D) Bioclastic grainstone. (E) Peloidal bioclastic grainstone. (F) Crinoidal packstone. (G) Recrystallized limestone. (H) Dolostone. C-G: Crossed polar; H: Open polar. Sample number: C: sample #303; D: #307; E: #324; F: #188; G: #311; H: #219.

第1表 大間々コンプレックスのチャート及び珪質泥岩から得られた放散虫及びコノドントの産出リスト。
SM：珪質泥岩；Ch：チャート。

Table 1 Occurrence list of radiolarians and conodonts obtained from chert and siliceous mudstone of the Omama Complex. SM: Siliceous mudstone; Ch: chert.

Sample locality	154	164	166	204	206	207	218	221	225	226	234	257	269	271	273	296	311	384
Lithology	SM	Ch	Ch	Ch	SM	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch
<i>Follicucullus</i> sp.			+															
<i>Parafollicucullus</i> ? sp.							+											+
<i>Pseudoalibaillella</i> ? sp.								+										
<i>Latentifistula texana</i> Nazarov and Ormiston									+		+							+
<i>Latentifistula</i> sp.									+		+							+
<i>Latentifistula</i> ? sp.										+								+
<i>Latentibifistula</i> ? sp.											+							+
<i>Ruzhencevispongus</i> ? sp.											+							+
<i>Triassocampe</i> sp. cf. <i>T. coronata</i> Bragin				+								+						
Ruesticyrtidae gen. et sp. indet.				+								+	+					+
<i>Pseudostylosphaera japonica</i> (Nakaseko and Nishimura) group													+					
<i>Pseudostylosphaera</i> sp. cf. <i>P. fragilis</i> (Bragin)													+					
<i>Pseudostylosphaera</i> sp.						+							+		+			
Spherical Polycystinea													+					
<i>Muellertortis</i> ? sp.												+						+
Hindeosphaeridae gen. et sp. indet.												+						
<i>Spongoxystris koppi</i> (Lahm)															+			
<i>Archaeodictyomitra</i> sp. cf. <i>A. exiguum</i> Blome					+													
<i>Archaeodictyomitra</i> sp. cf. <i>A. rigida</i> Pessagno					+													
<i>Archaeodictyomitra</i> sp.					+													
<i>Pseudodictyomitrella</i> ? sp.																		+
<i>Protunuma</i> sp. cf. <i>P. fusiformis</i> Ichikawa and Yao																		+
<i>Eucyrtidiellum</i> sp. aff. <i>E. omanojaponicum</i> Dumitrica, Goričan and Hori	+																	
<i>Eucyrtidiellum</i> sp.																		+
Bi-polar form of <i>Spumellaria</i>		+																+
conodont fragment		+											+	+				

がある。Sugiyama (1997)によると、*M. cochleata*の産出区間はTR4 (中部三畳系中部ラディニアン階～上部三畳系カーニアン階最下部)に限られており、2試料(#234, #311)の年代は中期ラディニアン期～カーニアン期最前期である可能性がある。

2試料(#204, #257)からは、*Triassocampe* sp. cf. *T. coronata* Braginなどが得られた。Sugiyama (1997)によると、*T. coronata*の産出区間はTR2B-TR3A (中部三畳系アニシアン階)に限られる。したがって、これらの試料の年代はアニシアン期と考えられる。また、試料#257からは、少量のコノドント片が認められた。

1試料(#207)は*Pseudostylosphaera* sp.を含む。O'Dogherty et al. (2009)によると、*Pseudostylosphaera*属の産出区間は下部三畳系オレネキアン階～上部三畳系カーニアン階の下部である。したがって、この試料はオレネキアン期～前期カーニアン期のいずれかの年代を示す。

1試料(#273)からは*Spongoxystris koppi* (Lahm)が得られた。この種は、中部三畳系アニシアン階～ラディニアン階からの産出が知られる(例えば、Sashida et al., 1999; Tekin and Mostler, 2005)。よって、この試料の年代はアニシアン期～ラディニアン期である。

1試料(#269)はRuesticyrtidae gen. et sp. indet.を含む。また、少量のコノドント片が認められた。O'Dogherty et al. (2009)によると、Ruesticyrtidae科の産出区間は中部三畳系アニシアン階～上部三畳系ノーリアン階であり、この試料の年代もこの間であると考えられる。

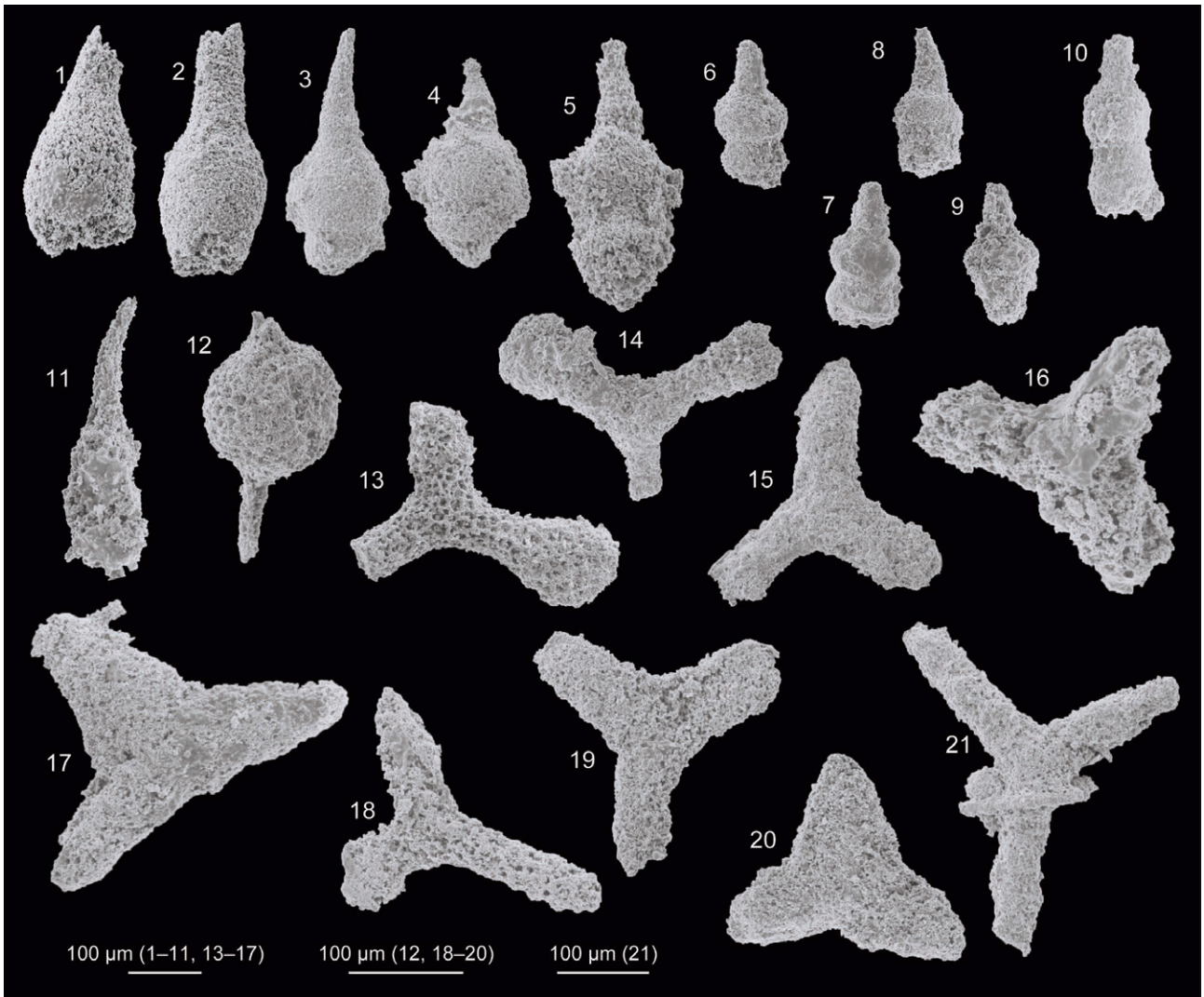
3.3 ジュラ紀放散虫

計3試料からジュラ紀放散虫が得られた(第1表)。1試料はチャートであり、2試料は珪質泥岩である。代表的な放散虫のSEM画像を第6図に示す。

チャート試料(#271)からは、*Protunuma* sp. cf. *P. fusiformis* Ichikawa and Yaoなどが得られた。*Protunuma fusiformis*は、*Striatojaponocapsa plicarum*帯(中部ジュラ系バジジョシアン階～下部バトニアン階, Matsuoka and Ito, 2019)の特徴種である*Striatojaponocapsa plicarum* (Yao)と共産する(例えば、松岡, 1985)。これに基づくと、この試料は、バジジョシアン期～バトニアン期の間の年代であると考えられる。

珪質泥岩1試料(#206)からは、*Archaeodictyomitra* sp. cf. *A. exiguum* Blome及び*A. sp. cf. A. rigida* Pessagnoが産出している。*Archaeodictyomitra exiguum*は、北米では中部ジュラ系カロビアン階から産出する(Blome, 1984)。また、福井県の南条山地では*A. sp. aff. A. exiguum*と*Striatojaponocapsa plicarum*との共産が報告されている(服部, 1987)。したがって、この試料の年代は中期ジュラ紀バジジョシアン期～カロビアン期であると考えられる。

珪質泥岩試料の1つ(#154)からは、*Eucyrtidiellum* sp. aff. *E. omanojaponicum* Dumitrica, Goričan and Horiが産出する。*Eucyrtidiellum omanojaponicum*は、Hori (1990, 1997)の*Eucyrtidiellum*? sp. Cであり、Goričan et al. (2006)によって記載された。Hori (1990, 1997)によると、その産出は*Parahsuum simplum*帯の上部(*Eucyrtidiellum*? sp. C



第4図 大間々コンプレックスのチャートから得られたペルム紀放射虫。

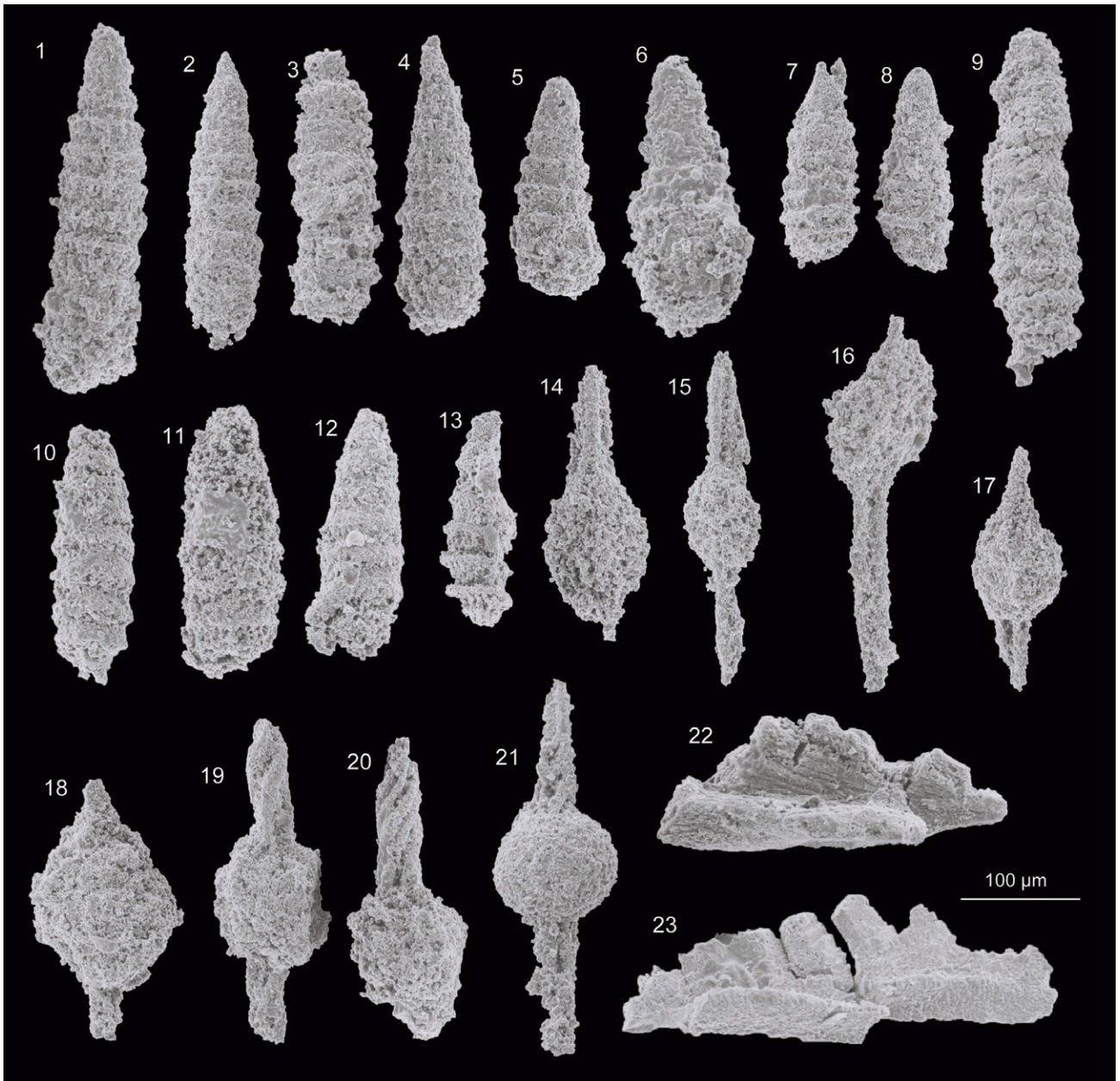
Fig. 4 Permian radiolarians obtained from chert of the Omama Complex.

(1, 2) *Follicucullus* sp. (5, 10) *Parafollicucullus*? sp. (3, 4, 6-9) *Pseudoalbaillella*? sp. (11) *Albaillellaria*? gen. et sp. indet. (12) *Entactinaria* gen. et sp. indet. (13) *Latentifistula texana* Nazarov and Ormiston. (14) *Latentifistula* sp. (15, 18, 21) *Latentifistula*? sp. (16, 17, 19) *Latentifistula*? sp. (20) *Ruzhencevispongus*? sp. Sample number: 1, 2: sample #166; 3, 5-9: #218; 4, 11, 12, 14, 15, 19-21: #226; 10: #384; 13: #221; 16-18: #296.

group帯～*Trillus elkhornensis*帯)に限られており、下部ジュラ系のプリンスバッキアン階にほぼ対比される。大間々コンプレックスの泥質岩からの化石産出記録は乏しいが、珪質泥岩や泥岩から*Striatojaponocapsa plicarum*の産出が報告されている(Kamata, 1996)。前述の通り、この種は中部ジュラ系バジジョシアン階～下部バトニアン階の*Striatojaponocapsa plicarum*帯の特徴種である(Matsuoka and Ito, 2019)。本研究における*Eucyrtidiellum* sp. aff. *E. omanojaponicum*を含む珪質泥岩試料(#154)の年代は前期ジュラ紀プリンスバッキアン期であり、大間々コンプレックスの泥質岩としては最も古い時代を示す。

3.4 ペルム紀有孔虫

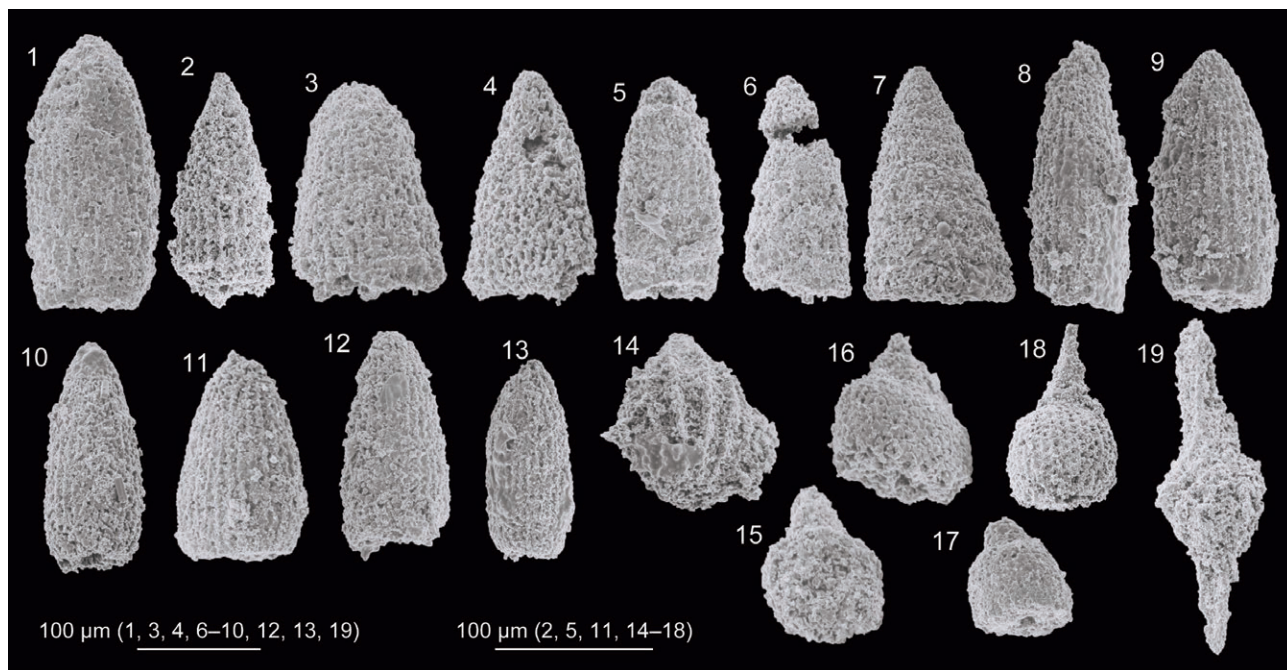
10個の石灰岩試料から有孔虫が得られた(第2表)。代表的な有孔虫の薄片写真を第7図に示す。このうちの7試料(#179, #261, #298, #303, #306, #307, #324)からは*Parafusulina* sp.が産出する。Zhang and Wang (2018)によれば、*Parafusulina*属の産出区間はシスウラリアン統アーティンスキアン階～グアダルピアン統キャピタニアン階である。従ってこれらの試料はアーティンスキアン期～キャピタニアン期のいずれかの年代を示す。この中の1試料(#298)は*Neoschwagerina* sp. aff. *N. simplex tenuis* Toriyama and Kanmeraを含む。Zhang and Wang (2018)によれば、*Neoschwagerina simplex*は南中国地塊ではロー



第5図 大間々コンプレックスのチャートから得られた三疊紀放散虫及びコノドント。

Fig. 5 Triassic radiolarians and conodonts obtained from chert of the Omama Complex.

(1, 5) *Triassocampe* sp. cf. *T. coronata* Bragin. (2-4, 6-13) Ruesticyrtiidae gen. et sp. indet. (14, 15) *Pseudostylosphaera japonica* (Nakaseko and Nishimura) group. (16, 18) Spherical Polycystinea. (17) *Pseudostylosphaera* sp. cf. *P. fragilis* (Bragin). (19) Hindeosphaeridae gen. et sp. indet. (20) *Muelleritortis?* sp. (21) *Spongoxystris koppi* (Lahm). (22) Conodont fragment. (23) Triassic-type conodont fragment. Sample number: 1-4, 18: sample #204; 5, 6, 22: #257; 7, 8, 14-17, 23: #269; 19: #234; 9-13, 20: #311; 21: #273.



第6図 大間々コンプレックスのチャート及び珪質泥岩から得られたジュラ紀放射虫。

Fig. 6 Jurassic radiolarians obtained from chert and siliceous mudstone of the Omama Complex.

(1) *Archaeodictyomitra* sp. cf. *A. exiguum* Blome. (2, 6, 7) Multisegmented Nassellaria gen. et sp. indet. (3, 8-13) *Archaeodictyomitra* sp. (4) *Pseudodictyomitrella?* sp. (5) *Archaeodictyomitra* sp. cf. *A. rigida* Pessagno. (14) *Protunuma* sp. cf. *P. fusiformis* Ichikawa and Yao. (15) Unidentifiable Nassellaria. (16, 17) *Eucyrtidiellum* spp. (18) *Eucyrtidiellum* sp. aff. *E. omanojaponicum* Dumitrica, Goričan and Hori. (19) Bi-polar form of Spumellaria. Sample number: 1, 3-6: sample #206; 2, 18, 19: #154; 7-17: #271.

第2表 大間々コンプレックスの炭酸塩岩類から得られた有孔虫の産出リスト。

Table 2 Occurrence list of foraminifers obtained from carbonate rocks of the Omama Complex.

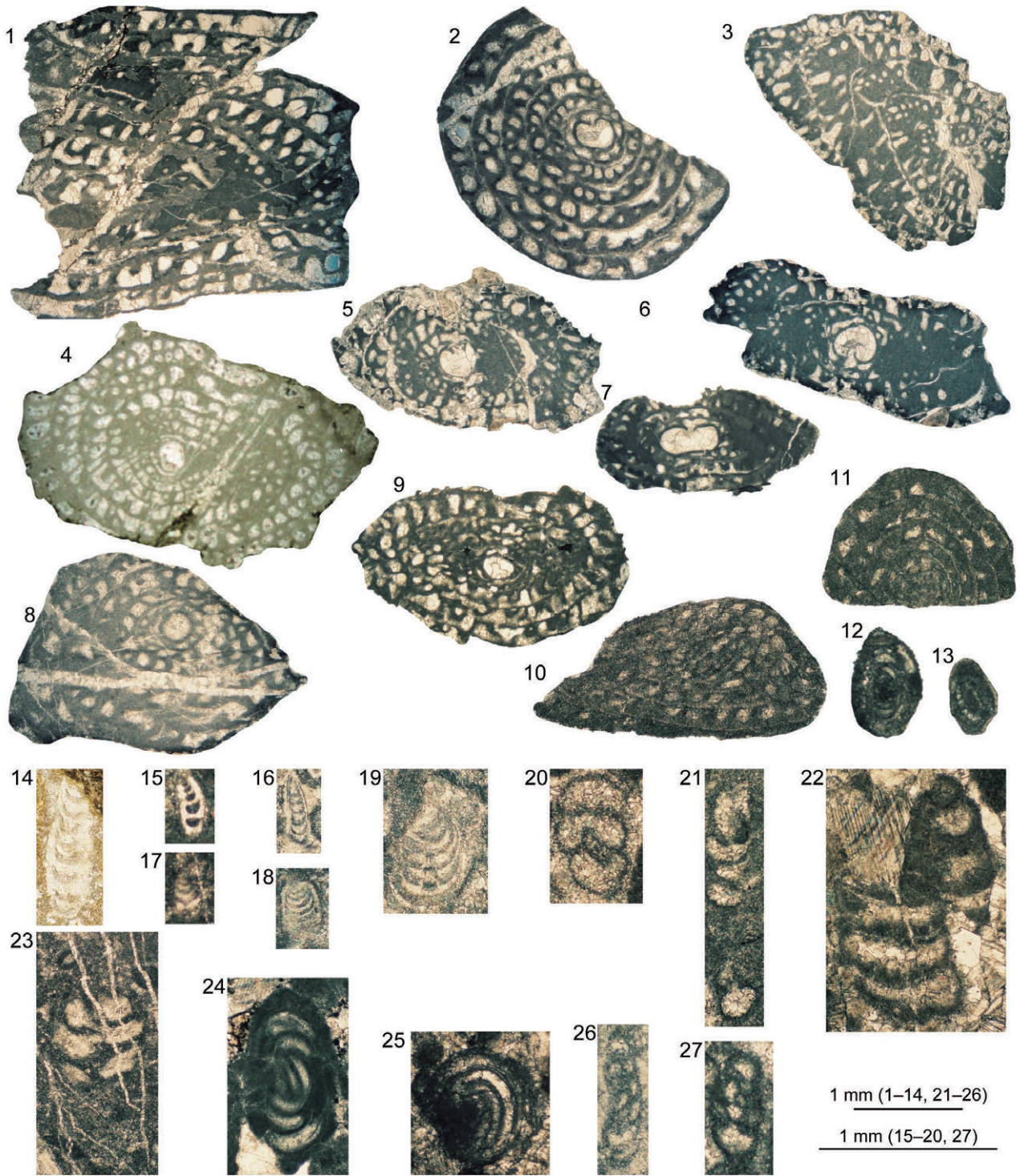
Sample locality	#149	#179	#188	#261	#298	#303	#305	#306	#307	#324
<i>Parafusulina</i> sp.		+		+	+	+		+	+	+
<i>Neoschwagerina</i> sp. aff. <i>N. simplex tenuis</i> Toriyama and Kanmera					+					
<i>Nankinella</i> sp.									+	
<i>Climacamina</i> sp. aff. <i>C. yishanensis</i> Lin		+								
<i>Climacamina</i> sp.							+			
<i>Geinitzina</i> sp.		+				+				+
<i>Lasiodiscus</i> sp.									+	
<i>Neodiscus</i> sp.								+		
<i>Nodosinelloides?</i> sp.	+	+				+		+		+
Gen. et sp. indet.			+							

ディアン階の、インドシナ地塊ではクングーリアン階最上部～下部ローディアン階の化石帯の指標種である。試料#298の年代に関しては、さらにクングーリアン期最末期～ローディアン期の範囲に限定される可能性がある。

このほかの試料(#149, #188, #305)については年代決定に有効な分類群が見つかっておらず、その年代は不明である。

4. まとめ

- 1) 群馬県みどり市大間々町周辺に分布する足尾帯ジュラ紀付加体の大間々コンプレックスから放射虫及び有孔虫化石を発見した。
- 2) チャート7試料からペルム紀放射虫化石が、7試料から三畳紀放射虫が、1試料からジュラ紀放射虫が得ら



第7図 大間々コンプレックスの石灰岩から得られたペルム紀有孔虫.

Fig. 7 Permian foraminifers obtained from limestone of the Omama Complex.

(1-9) *Parafusulina* sp. (10, 11) *Neoschwagerina* sp. aff. *N. simplex tenuis* Toriyama and Kanmera. (12, 13) *Nankinella* sp. (14-16) *Nodosinelloides?* sp. (17-19) *Geinitzina* sp. (20, 26, 27) Gen. et sp. indet. (21, 22) *Climacammina* sp. (23) *Climacammina* sp. aff. *C. yishanensis* Lin. (24) *Neodiscus* sp. (25) *Lasiodiscus* sp. Sample number: 1, 7: sample #307; 2, 5, 6, 10-13: #298; 3: #306; 4: #261; 8, 14, 19: #324; 9, 17, 23: #179; 15, 22, 24: #306; 16, 18: #303; 20: #180; 21: #305; 25: #307; 26: #188; 27: #180.

れた。ジュラ紀の試料に関しては、中期ジュラ紀バジジョシアン期～バトニアン期の年代であると考えられる。

- 3) 珪質泥岩2試料からジュラ紀放射虫が得られた。1試料は中期ジュラ紀バジジョシアン期～カロピアン期であると考えられる。また、もう1つの試料の年代は前期ジュラ紀プリンスバッキアン期と考えられ、これまでに大間々コンプレックスから報告されている泥質岩としては、最も古い年代を示す。
- 4) 石灰岩10試料から有孔虫が得られた。このうち7試料はシスウラリアン世アーティンスキアン期～グアダルピアン世キャピタニアン期(前期～中期ペルム紀)のいずれかの年代を示す。

謝辞：本研究の一部は、1991～1993年に行われた第2著者鈴木 の卒業研究の結果に基づく。この卒業研究を進めるにあたり、列挙できないほど多くの方々からご指導いただいた。当時の東北大学理学部地学科地学第一の教官をはじめとした皆様に厚くお礼申し上げます。また、地質情報研究部門の原 英俊博士(担当編集者)及び内野隆之博士(査読者)ならびに匿名査読者1名には原稿を査読いただき、本論文の内容は大きく改善された。

文 献

- Aitchison, J. C., Suzuki, N., Caridroit, M., Danelian, T. and Noble, P. (2017) Taxonomy of Paleozoic radiolarian genera. *Geodiversitas*, **39**, 503–531.
- 荒川竜一(1986) 足尾山地南東部の中・古生界(I). 栃木県立博物館紀要, **3**, 1–37.
- 荒川竜一(1997) 足尾帯葛生地域の珪質泥岩から産出したジュラ紀放射虫化石群集(I). 栃木県立博物館紀要, **14**, 1–19.
- 荒川竜一(1998) 足尾帯葛生地域の二酸化マンガンノジュールより算出した中期ジュラ紀放射虫化石群集. 栃木県立博物館紀要, **15**, 51–76.
- Blome, C. D. (1984) Middle Jurassic (Callovian) radiolarians from carbonate concretions, Alaska and Oregon. *Micropaleontology*, **30**, 343–389.
- Dunham, R. J. (1962) Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Textures. *Memoir of the American Association of Petroleum Geologists*, **1**, 108–121.
- Hanzawa, S. (1942) *Parafusulina yabei* n. sp. from Tomuro, Simotuke Province, Japan. *Japanese Journal of Geology and Geography*, **18**, 127–131.
- Geological Survey of Japan, AIST (2018) Seamless digital geological map of Japan 1:200,000. January 26, 2018 version. Geological Survey of Japan, AIST. <https://gbank.gsj.jp/seamless/v2full/> (Accessed:2018-1-26)
- Goričan, Š., Carter, E. S., Dumitrică, P., Whalen, P. A., Hori, R. S., De Wever, P., O’Dogherly, L., Matsuoka, A. and Guex, J. (2006) *Catalogue and Systematics of Pliensbachian, Toarcian and Aalenian Radiolarian Genera and Species*. Založba ZRC, ZRC Publishing, Ljubljana, 446p.
- 服部 勇(1987) 福井県南条山地におけるジュラ紀放射虫について. 福井市立郷土自然科学博物館研究報告, **34**, 29–101.
- 林 信悟・長谷川美行(1981) 足尾帯の秩父系—大型化石およびコノドントによる年代論(その2) —. 中生代構造作用の研究, no. 3, 232–249.
- 林 信悟・飯島静男・石井逸雄・中島照雄・沢口 宏・田中宏之・吉田 尚(1990) 足尾山地南西部の中・古生界. 群馬県立歴史博物館紀要, **11**, 1–34.
- Hori, R. (1990) Lower Jurassic radiolarian zones of SW Japan. *Transactions and Proceedings of Palaeontological Society of Japan, New Series*, no. 159, 562–586.
- Hori, R. S. (1997) The Toarcian radiolarian event in bedded cherts from southeastern Japan. *Marine Micropaleontology*, **30**, 159–169.
- Igo, Hy. (1964) Fusulinids from the Nabeyama Formation (Permian) Kuzu, Tochigi Prefecture, Japan. *Memoirs of the Mejiro Gakuen Woman’s Junior College*, **1**, 1–28.
- Igo, Hy. and Igo, Hh. (1977) Upper Permian fusulinaceans contained in the pebbles of the basal conglomerate of the Adoyama Formation, Kuzu, Tochigi Prefecture, Japan. *Transactions and Proceedings of Palaeontological Society of Japan, New Series*, no. 106, 89–99.
- Igo, Hy., Koizumi, H. and Kaniwa, T. (2000) A Permian *Rugosa Yatsengia kuzuensis*, from north of Kiryu in the Ashio Mountains, Gunma Prefecture, Japan. *Bulletin of the National Science Museum, Series C, Geology & Paleontology*, **26**, 79–86.
- 五十川淳一・相田吉昭・酒井豊三郎(1998) 栃木県葛生町箕輪地区の層状チャートから産出する前期三疊紀放射虫化石. 大阪微化石研究会誌特別号, no. 11, 81–93.
- 鎌田祥仁(1995) 足尾帯葛生地域の黒色珪質頁岩, 黒色チャートから産出する前期三疊紀放射虫. 化石, **59**, 23–31.
- Kamata, Y. (1996) Tectonostratigraphy of sedimentary complex in the southern part of the Ashio terrane, central Japan. *Science reports of the Institute of Geoscience, University of Tsukuba. Section B, Geological Sciences*, **17**, 71–107.
- 鎌田祥仁(1997a) 足尾帯葛生地域におけるチャート-碎屑岩シーケンスの復元. 地質学雑誌, **103**, 343–356.
- 鎌田祥仁(1997b) 足尾山地葛生地域の砂岩・チャート

- 角礫岩の転石から得られた後期ペルム紀～後期三疊紀の放散虫(予察). 大阪微化石研究会誌特別号, no. 10, 97–107.
- Kamata, Y. (1999) Lower Triassic (Spathian) radiolarians from the Kuzu area (Tochigi Prefecture, central Japan). *Geodiversitas*, **21**, 657–673.
- 鎌田祥仁(2000)足尾帯白岩地域における葛生コンプレックスのチャート—碎屑岩シーケンスの覆瓦構造. 地質学論集, no. 55, 203–221.
- Kobayashi, F. (2006a) Middle Permian foraminifers of the Izuru and Nabeyama formations in the Kuzu area, Tochigi Prefecture, Japan Part 1. Schwagerinid, neoschwagerinid, and verbeekinid fusulinoideans. *Paleontological Research*, **10**, 37–59.
- Kobayashi, F. (2006b) Middle Permian foraminifers of the Izuru and Nabeyama formations in the Kuzu area, central Japan Part 2. Schubertellid and ozawainellid fusulinoideans, and non-fusulinoidean foraminifers. *Paleontological Research*, **10**, 61–77.
- 松岡 篤(1985)高知県佐川地域秩父累帯南部の中部ジュラ系毛田層. 地質学雑誌, **91**, 411–420.
- Matsuoka, A. and Ito, T. (2019) Updated radiolarian zonation for the Jurassic in Japan and the western Pacific. *Science Reports of Niigata University (Geology)*, no. 34, 49–57.
- Morikawa, R. and Horiguchi, M. (1956) *Parafusulina nakamigawai* n. sp. from the Adoyama Formation in the Neighborhood of Kuzu City, Tochigi Prefecture. *Science Reports of the Saitama University, Series B (Biology and Earth Sciences)*, **2**, 261–264.
- Morikawa, R. and Takaoka, Y. (1961) Two new species of the *Parafusulina yabai* type from Tomura, Totigi Prefecture, central Japan. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, no. 41, 33–40.
- 元木葉月・指田勝男(2004)足尾山地の「砥石」に関する年代学のおよび層序学的検討(予報). 大阪微化石研究会誌特別号, no. 13, 47–57.
- Muto, S., Takahashi, S., Yamakita, S., Suzuki, N., Suzuki, N. and Aita, Y. (2018) High sediment input and possible oceanic anoxia in the pelagic Panthalassa during the latest Olenekian and early Anisian: Insights from a new deep-sea section in Ogama, Tochigi, Japan. *Palaeogeography. Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **490**, 687–707.
- Muto, S., Okumura, Y. and Mizuhara, T. (2021) Late Kungurian conodonts of the pelagic Panthalassa from seamount-capping limestone in Ogama, Kuzuu, Tochigi Prefecture, Japan. *Paleontological Research*, **25**, 105–119.
- Nazarov, B. B. and Ormiston, A. R. (1985) Radiolaria from the Late Paleozoic of the Southern Urals, USSR and West Texas, USA. *Micropaleontology*, **31**, 1–54.
- O'Dogherty, L., Carter, E. S., Dumitrica, P., Goričan, Š., De Wever, P., Hungerbühler, A., Bandini, A. N. and Takemura, A. (2009) Catalogue of Mesozoic radiolarian genera. Part 1: Triassic. *Geodiversitas*, **31**, 213–270.
- 大間々町誌編さん室(1996)大間々町誌「基礎資料VIII」大間々町の地形・地質. 大間々町誌刊行委員会, 群馬県大間々町(現 桐生市).
- 大高真由美・相田吉昭・酒井豊三郎(1998)足尾山地, 葛生町箕輪地区の中部三疊系層状チャート層の放散虫化石層序. 大阪微化石研究会誌特別号, no. 11, 95–113.
- 指田勝男・猪郷久治・猪郷久義・滝沢 茂・久田健一郎・柴田知則・塚田邦治・西村はるみ(1982)関東地方のジュラ系放散虫化石について. 大阪微化石研究会誌特別号, no. 5, 51–66.
- Sashida, K., Kamata, Y., Adachi, S. and Munasri (1999) Middle Triassic radiolarians from West Timor, Indonesia. *Journal of Paleontology*, **73**, 765–786.
- 須藤定久・牧本 博・秦 光男・宇野沢 昭・滝沢文教・坂本 亨・駒澤正夫・広島俊男(1991) 20万分の1地質図幅「宇都宮」, 地質調査所.
- Sugiyama, K. (1997) Triassic and Lower Jurassic radiolarian biostratigraphy in the siliceous claystone and bedded chert units of the southeastern Mino terrane, central Japan. *Bulletin of the Mizunami Fossil Museum*, **24**, 79–193.
- Suzuki, N., Akiba, N. and Kanoh, H. (2002) Late Olenekian radiolarians from bedded chert of Ashio terrane, northeast Japan and faunal turnovers in western Panthalassa during Early Triassic. *Journal of China University of Geosciences*, **13**, 124–140.
- 高柳充志・堀 常東・指田勝男(2001)栃木県足利北部地域における足尾帯堆積岩コンプレックスの構造層序と放散虫化石. 大阪微化石研究会誌特別号, no. 12, 113–127.
- Tazawa, J., Hayashi, S., Nakamura, K., Shimizu, M. and Takakuwa, Y. (2012) Early Permian brachiopods from Kiryu, Ashio belt, central Japan. *Bulletin of Gunma Museum of Natural History*, **16**, 41–48.
- Tazawa, J., Okumura, Y., Miyake, Y. and Mizuhara, T. (2016) A Kungurian (early Permian) brachiopod fauna from Ogama, Kuzu area, central Japan, and its palaeobiogeographical affinity with the Wolfcampian—Leonardian (early Permian) brachiopod fauna of West Texas, USA. *Paleontological Research*, **20**, 367–384.
- Tekin, U. K. and Mostler, H. (2005) Longobardian (Middle Triassic) entactinarian and nassellarian Radiolaria from the Dinarides of Bosnia and Herzegovina. *Journal of*

- Paleontology*, **79**, 1–20.
- Wang, Y. J. and Yang, Q. (2011) Biostratigraphy, phylogeny and paleobiogeography of Carboniferous–Permian radiolarians in South China. *Palaeoworld*, **20**, 134–145.
- Xiao, Y. F., Suzuki, N. and He, W. H. (2018) Low-latitude standard Permian radiolarian biostratigraphy for multiple purposes with Unitary Association, Graphic Correlation, and Bayesian inference methods. *Earth-Science Reviews*, **179**, 168–206.
- 矢部長克 (1899) 戸室のフズリナに付て. 地質学雑誌, **6**, 189–194.
- Yabe, H. (1903) A fusulina-limestone with *Helicoprion* in Japan. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **10**, 1–13.
- Zhang, L., Ito, T., Feng, Q. L., Caridroit, M. and Danelian, T. (2014) Phylogenetic model of *Follicucullus* lineages (Albaillellaria, Radiolaria) based on high-resolution biostratigraphy of the Permian Bancheng Formation, Guangxi, South China. *Journal of Micropaleontology*, **33**, 179–192.
- Zhang, Y. C. and Wang, Y. (2018) Permian fusuline biostratigraphy. In Lucas, S. G. and Shen, S. Z., eds., *The Permian Time Scale*, Geological Society, London, Special Publication, **450**, 253–288.
- (受付 : 2020年6月18日 ; 受理 : 2021年5月21日)

足尾山地のジュラ紀付加体大間々コンプレックスに含まれる玄武岩類の地球化学的特徴

伊藤 剛^{1,*}・草野 有紀²

ITO Tsuyoshi and KUSANO Yuki (2021) Geochemical characteristics of basaltic rocks from the Omama Complex of Jurassic accretionary complex in the Ashio Mountains, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 72 (4), p. 371-381, 6 figs, 1 table.

Abstract: The Omama Complex, a Jurassic accretionary complex of the Ashio belt, is distributed over the western Ashio Mountains, and is characterized by dominance of basaltic rocks and chert. This study revealed the major and trace elements of these basaltic rocks. The results from geochemical analyses suggested that the basaltic rocks belonged to Enriched mid-ocean ridge basalt (E-MORB) and ocean island basalt (OIB) affinities. Such geochemical characteristics of the basaltic rocks within the Omama Complex resemble to those of the Haiya and Kumogahata complexes of the Tamba belt. Previous studies considered that the Omama Complex can be correlated to the Haiya or Kumogahata Complex based on reconstructed Ocean Plate Stratigraphy, and the geochemistry of basaltic rocks supports the geological correlation. Meanwhile, another previous study considered that the Omama Complex can be correlated to Unit 2 of the Kuzu Complex in the eastern Ashio Mountains. However, the present result does not necessarily support the consideration because the previously-reported basaltic rocks of the Kuzu Complex resemble solely OIB.

Keywords: Basalt, Jurassic accretionary complex, geochemistry, Omama Complex, Ashio belt, Ashio Mountains

要 旨

足尾山地西部に分布する足尾帯ジュラ紀付加体の大間々コンプレックスは、玄武岩類とチャートを多く含むことにより特徴づけられる。本研究では、この玄武岩類の全岩主要元素及び微量元素組成を検討した。化学分析結果からはEタイプ中央海嶺玄武岩(E-MORB)と海洋島玄武岩(OIB)の2種類の異なる地球化学的特徴を示す玄武岩類が示唆された。これらの玄武岩類は、丹波帯の灰屋コンプレックスあるいは雲ヶ畑コンプレックスの玄武岩類と類似した地球化学的特徴を示している。先行研究において、海洋プレート層序の復元に基づいて大間々コンプレックスと丹波帯の灰屋コンプレックスや雲ヶ畑コンプレックスが対比されており、玄武岩類の地球化学的特徴もこれらの見解を支持する。一方、足尾帯では、大間々コンプレックスが足尾山地東部の葛生コンプレックスのユニット2に対比される見解を示す先行研究もある。しかし、これまでに報告されている葛生コンプレックスの玄武岩類の特徴はOIBに類似しており、大間々コンプレックスとは異なる特徴を示す。

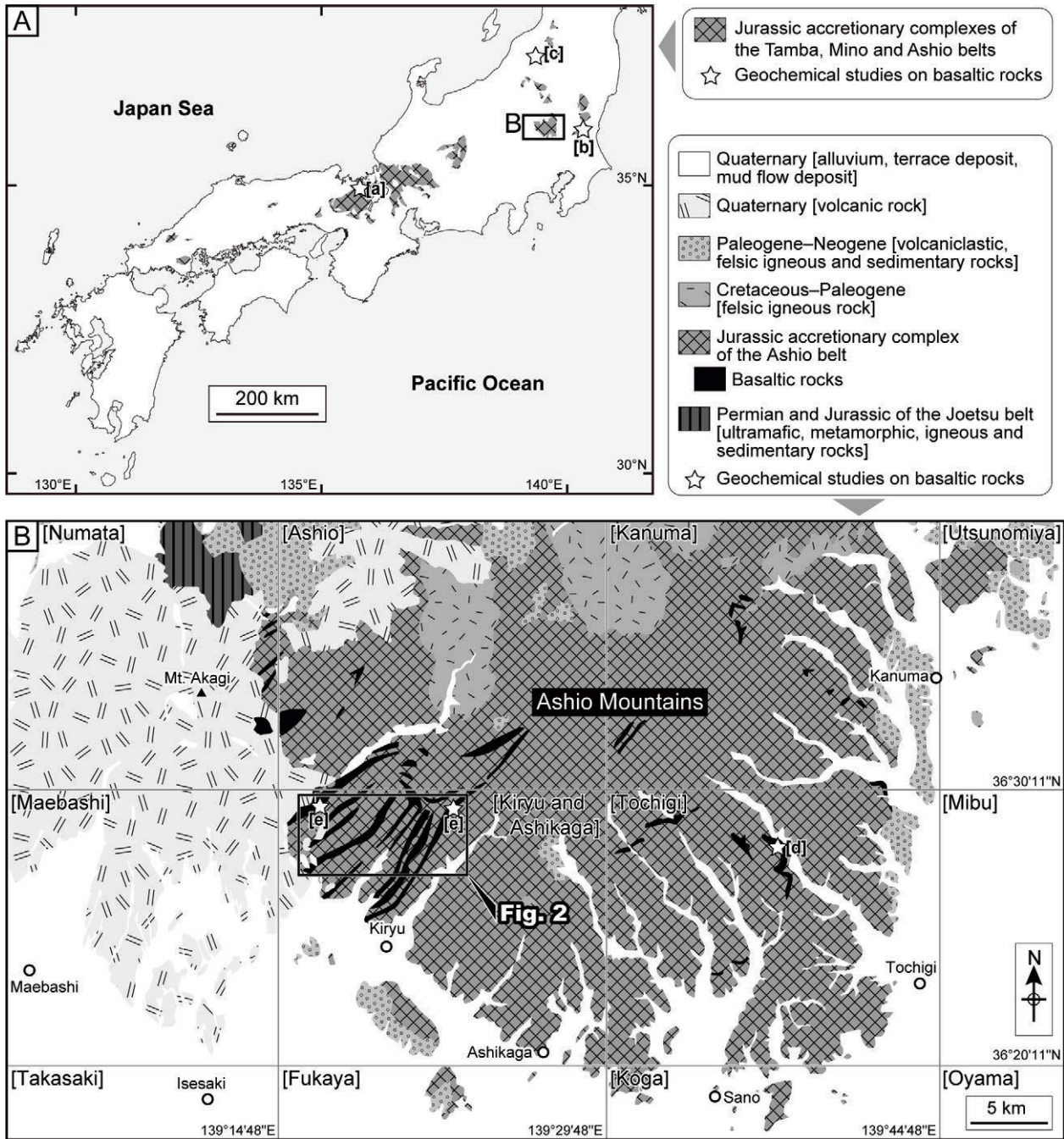
1. はじめに

西南日本内帯の丹波帯や足尾帯にはジュラ紀付加体が広範囲に分布している(例えば、Kojima *et al.*, 2016)。これらの付加体は層序的下位より、主に玄武岩類・炭酸塩岩類・チャート・泥岩・砂岩などから構成される。海洋プレート層序とも呼ばれるこれらの一連のシーケンスは、海嶺での海洋プレートの誕生から海洋島・礁の形成を経て海溝で大陸プレートへ付加するまでの、長期間の形成場・堆積場の変遷を反映していると考えられている(例えば、Matsuda and Isozaki, 1991)。海洋プレートを構成する玄武岩類は形成場の違いにより地球化学的特徴が異なり(例えば、青木・伊藤, 1968; Sun and McDonough, 1989)、この差異を識別するための複数の地球化学判別図が提案されている(例えば、Pearce and Cann, 1973; Winchester and Floyd, 1977; Mullen, 1983; Meschede, 1986)。これらの判別図を利用して、付加体を構成する玄武岩類の起源及び形成場が推定されている(例えば、Ogawa and Taniguchi, 1989a; 小川・谷口, 1989b; Safonova *et al.*, 2015)。

¹ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

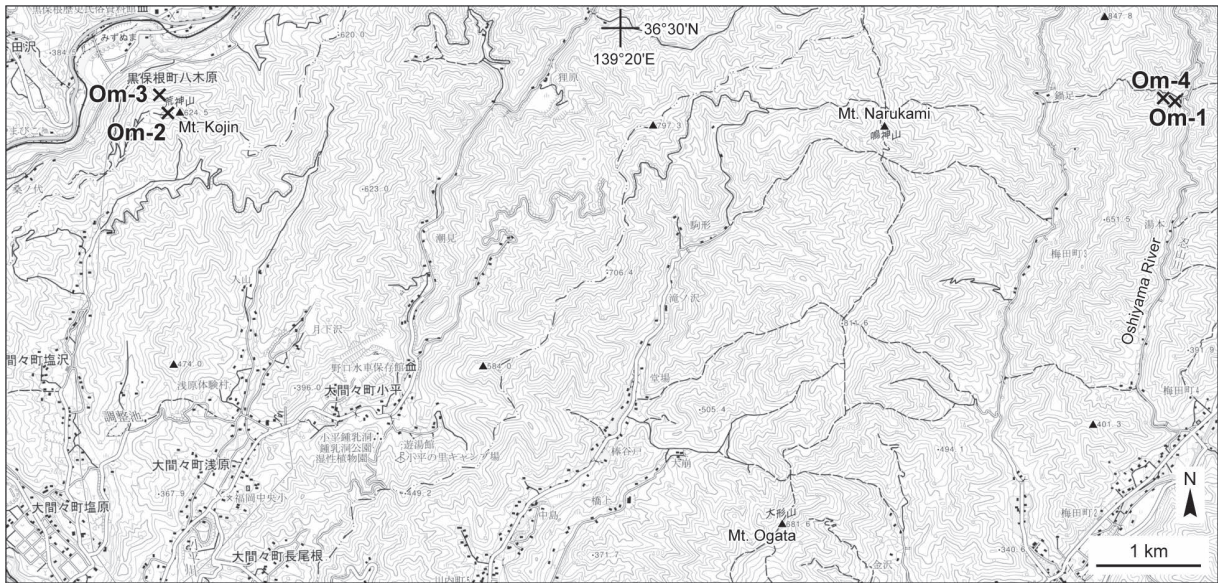
² 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 活断層・火山研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Earthquake and Volcano Geology)

* Corresponding author: ITO, T., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: ito-t@aist.go.jp



第1図 調査地域の位置図及び玄武岩類の起源が検討された地点([a]–[e])。(A) 西南日本内帯のジュラ紀付加体の分布 (Geological Survey of Japan, AIST, 2018に基づく)。(B) 足尾山地の簡略化地質図(須藤ほか, 1991及びGeological Survey of Japan, AIST, 2018に基づく)。鍵括弧内の地名は、国土地理院発行の5万分の1地形図の地名を示す。[a]: Hashimoto *et al.* (1970), 佐野・田崎(1989), 中江(1991), Koizumi and Ishiwatari (2006); [b]: Tagiri and Kasai (2000); [c]: 草野ほか(2010); [d]: 中島ほか(1992); [e]: 本研究。

Fig. 1 Index maps of the study area with locations where geochemical studies on basaltic rocks have been done ([a]–[e]). (A) Distribution of Jurassic accretionary complexes of the Inner Zone of Southwest Japan (modified from Geological Survey of Japan, AIST, 2018). (B) Simplified geologic maps of the Ashio Mountains (modified after from Sudo *et al.*, 1991; Geological Survey of Japan, AIST, 2018). Geographical names in brackets indicate 1:50,000 topographic maps published by Geospatial Information Authority of Japan. [a]: Hashimoto *et al.* (1970), Sano and Tazaki (1989), Nakae (1991), Koizumi and Ishiwatari (2006); [b]: Tagiri and Kasai (2000); [c]: Kusano *et al.* (2010); [d]: Nakajima *et al.* (1992); [e]: this study.



第2図 本研究で分析した玄武岩類の試料採取地点。基図については、国土地理院長の承認を得て、同院発行の2万5千分の1地形図を使用した(承認番号：R2JHs 66-GISMAP44702号)。地形図は北海道地図株式会社GISMAP50000R+「桐生及足利」による。

Fig. 2 Sample localities of basaltic rocks analyzed in this study. Base from the Geospatial Information Authority of Japan with its approval (Approval number: R2JHs 66-GISMAP44702). This map uses GISMAP50000R+ “Kiryu and Ashikaga” by Hokkaido-Chizu Co. Ltd.

丹波帯ジュラ紀付加体を構成する玄武岩類の起源については1970年代から比較的豊富な研究例が存在する(例えば, Hashimoto *et al.*, 1970; 佐野・田崎, 1989; 中江, 1991; Sano *et al.*, 2000; Koizumi and Ishiwatari, 2006; Ichiyama *et al.*, 2008)。これらの玄武岩類はソレアイト質玄武岩とアルカリ玄武岩からなり, その起源として中央海嶺あるいは海山や海洋島といったいくつかの形成場が識別されている。丹波帯ジュラ紀付加体の東方延長とされる(例えば, 中江, 2000)足尾帯ジュラ紀付加体についても1990年代からいくつかの報告があり(中島ほか, 1992; Tagiri and Kasai, 2000; 草野ほか, 2010), 多くの玄武岩類の起源として海洋島が識別されている。

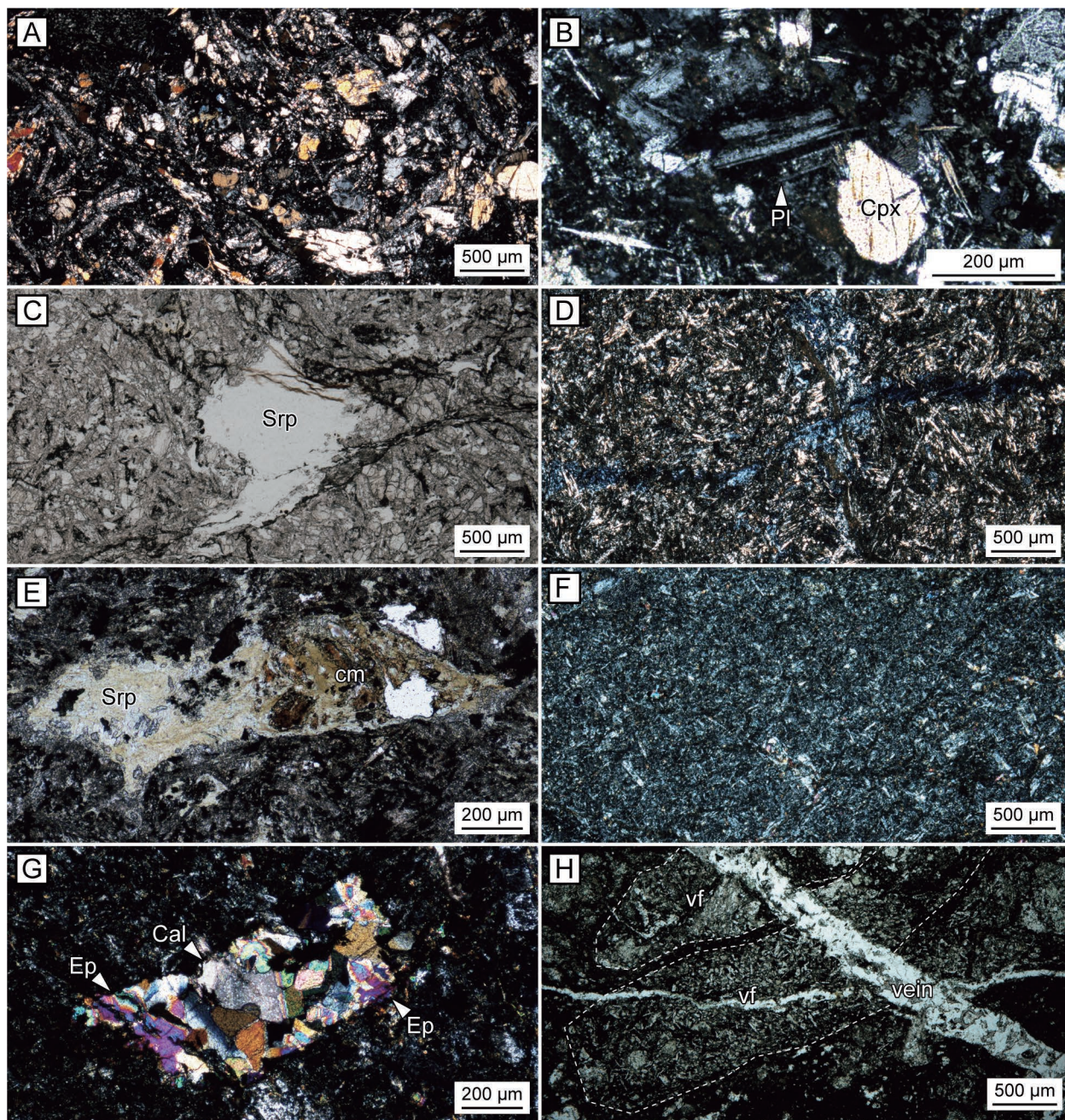
群馬県と栃木県の県境に位置する足尾山地には, ジュラ紀付加体が分布する(第1図B)。Kamata (1996)はこれらの付加体を, 構成岩類や変形構造に基づいて黒保根-桐生コンプレックス・大間々コンプレックス・葛生コンプレックスの3コンプレックスに区分した。多くの玄武岩類を含むことにより特徴づけられる大間々コンプレックスについては, 岩相の特徴や組み合わせ, 変形構造に基づいて他地域と対比が行われているが, 一方でその対比に関しては幾つかの異なる見解が示されている。例えば大間々コンプレックスに対比可能な地質体として, Kamata (1996)は丹波地域では灰屋コンプレックスを挙げているのに対し, 中江(2000)は丹波地域では雲ヶ畑コンプレックスと対比している。また, 山北・大藤(2000)は, 足尾山地東部の葛生コンプレックスのユニット2が

大間々コンプレックスと同一のものであるとみなしている。その見解の根拠の1つは葛生コンプレックスのユニット2と大間々コンプレックスがともに玄武岩類と炭酸塩岩類を含むことである。しかしながら, 岩相の組み合わせの類似性以外に, 構成する玄武岩類の地球化学的特徴が同一であるかは確認されていない。本研究によって, 大間々コンプレックスを構成する玄武岩類の地球化学的特徴を明らかにすることにより足尾帯でこれまでに報告されている玄武岩類の特徴と比較することが可能となり, さらに他地域の付加体コンプレックスとの関係を検討する上で重要な情報を得ることができると期待される。

主著者伊藤は, 「桐生及足利」地域の5万分の1地質図幅作成に伴い, 大間々コンプレックスの分布域を含めた広域の地質調査を行っている(例えば, Ito, 2019, 2020a, b)。その過程で, 大間々コンプレックスを構成する玄武岩類の記載及び地球化学的検討を行ったので, その結果を基礎情報としてここに報告する。

2. 地質概説及び分析試料

本論で検討する大間々コンプレックスは, 群馬県桐生市からみどり市にかけて露出しており, 玄武岩類・チャート・泥岩を主体とし, 炭酸塩岩類・珪質粘土岩・珪質泥岩・砂岩・泥質混在岩を伴う。放散虫やコノドントなどの化石年代によると, チャートはペルム紀からジュラ紀の, 泥質岩は中期ジュラ紀の年代を示す(例えば, Kamata,



第3図 玄武岩類の薄片写真. (A-C) Om-1, IT16072402. (D, E) Om-4, IT16120605. (F, G) Om-2, IT16120603. (H) Om-3, IT16120604. A, B, D, F, G: クロスニコル. C, E, H: オープンニコル. Pl: 斜長石; Cpx: 単斜輝石; Srp: 蛇紋石; cm: 粘土鉱物; Ep: 緑れん石; Cal: 方解石; vf: 火山岩岩片; vein: 石英脈.

Fig. 3 Photomicrographs of basaltic rocks. (A-C) Om-1, IT16072402. (D, E) Om-4, IT16120605. (F, G) Om-2, IT16120603. (H) Om-3, IT16120604. A, B, D, F, G: crossed polars. C, E, H: open polars. Pl: plagioclase; Cpx: clinopyroxene; Srp: serpentine; cm: clay minerals; Ep: epidote; Cal: calcite; vf: volcanic rock fragments; vein: quartz vein.

1996). 大間々コンプレックスは、北東-南西方向の軸を持つ梅田向斜の周辺に分布している。先行研究で示された地質図(例えば、林・長谷川, 1981; 林ほか, 1990; 須藤ほか, 1991)に基づけば、コンプレックス内では構造的下部に特に広く玄武岩類が分布する。

大間々コンプレックスの最下部付近の玄武岩類の分布

域の中で破碎や変質が比較的少ない玄武岩類4試料を採取した(第2図)。以下、それぞれの試料についての概要を述べる。

Om-1及びOm-4は玄武岩溶岩であり、群馬県桐生市の^{おしやまがわ}忍山川中流域の^{だいもん}大茂周辺で採取した。Om-4はOm-1の構造的上位に位置しており、ともに梅田向斜の南東翼側

である。Om-1は斑晶として斜長石・単斜輝石・かんらん石を含む。石基は、斜長石・単斜輝石・不透明鉱物からなり、インターグラニューラー組織を呈する(第3図A)。斜長石は、最大径1 mm程度で自形あるいは半自形結晶である(第3図B)。多くの斜長石がソーシユライト化している。単斜輝石は径0.2–1 mm程度である。斜長石とは異なり、変質を免れ残存している。自形から半自形のものが多いが、丸みを帯びた融食形を呈する例もある。かんらん石斑晶は稀で、蛇紋石に置換されている(第3図C)。Om-4はOm-1と同様に、斜長石・単斜輝石・不透明鉱物からなる石基中に斜長石・単斜輝石・かんらん石の斑晶が存在する(第3図D)。かんらん石は蛇紋石及び粘土鉱物に置換されている(第3図E)。Om-1に比べると細粒である。

Om-2の採取地点は桐生市とみどり市の市境にある荒神山こうじんやまの西方で、梅田向斜の北西翼側にあたる。斜長石及び単斜輝石斑晶を含む玄武岩溶岩である。Om-1やOm-4に比べて石基は細粒である(第3図F)。単斜輝石は緑れん石や方解石(第3図G)あるいはアクチノ閃石に置換されている。

Om-3の採取地点はOm-2の採取地点の北北西にあたり、荒神山北西斜面の山道沿いである。Om-3はOm-2の構造的上位に位置し、径2 cm以下の火山岩岩片からなる凝灰角礫岩である(第3図H)。ガラス質部が変質した粘土鉱物は、一部で定向に配列する。火山岩岩片の石基には斜長石が認められる。試料全体に幅1 mm以下の石英脈が、岩片や粘土鉱物の定向配列を切って発達する(第3図H)。

3. 分析手法及び結果

全岩化学組成の測定は、新潟大学理学部地質科学コースの蛍光X線分析装置(RIGAKU RIX3000)によって行った。採取した岩石試料の風化面及び脈を除去し、切断面を研磨した後にイオン交換水で洗浄し120°Cで乾燥した。その後、岩石試料をタングステンカーバイド製乳鉢で米粒大に粉碎し、タングステンカーバイド製ボールミルで粉末試料を作成した。蛍光X線分析は、試料(1.8 g)及び四ホウ酸リチウム(2.88 g)とメタホウ酸リチウム(0.72 g)を混合し1:2希釈のガラスビードを作成した。蛍光X線では、主要元素に加えてBa・V・Cr・Ni・Rb・Sr・Y・Zr・Nb・Pb・Thの微量元素を測定した。

分析手法は高橋・周藤(1997)に基づく。なお、PbとThについても、高橋・周藤(1997)に示された微量元素と同時に定量分析を行なった。測定条件を以下に記載する。Rh対陰極管の測定電圧及び電流は50 kV, 50 mAで、分光結晶と検出器はそれぞれLiFとScintillation counter (SC)であり、測定時間はピーク位置とバックグラウンド位置でそれぞれ100秒とした。マトリックス効果は、ピーク強度とバックグラウンド強度の比を用いて補正した。また、標準試料は他の測定元素(高橋・周藤, 1997)と同様

に、産業技術総合研究所地質調査総合センターの地球化学標準試料、火成岩シリーズを使用した。Pbの測定にはPb-L β 1線を、Thの測定にはTh-La線を使用し、検量線の正確度はそれぞれ0.85と0.32であった。分析結果を第1表に示す。

4. 地球化学的特徴

検討試料は、SiO₂ = 48.91–57.77 wt%, MgO = 3.51–11.95 wt%, Na₂O + K₂O = 1.48–4.57 wt%を示し、IUGSの区分(Le Bas and Streckeisen, 1991)に従うとOm-1, Om-2及びOm-4が玄武岩に、Om-3が安山岩にプロットされる組成をもつ(第1表)。これらの試料では、斜長石のソーシユライト化やかんらん石の蛇紋石化が確認されており、全岩化学組成も一部で変質作用の影響を受けていることが示唆される。そこで、変質作用の影響を受けにくい不適合元素であるhigh-field strength elements (HFSE)とMnO・P₂O₅の主要元素ならびにCr・Niの適合元素について検討を行う。

本地域の玄武岩類は、Zr含有量が78.5–165 ppmの組成幅を示す。Zr含有量を横軸に、TiO₂を縦軸にプロットすると、Om-4は、他の試料に比べてZrとTiO₂含有量がやや高い(第1表; 第4図A)。また、Om-1とOm-4は、Om-2やOm-3に比べてZr含有量とP₂O₅含有量がともに高いか、同程度のZr含有量に対しP₂O₅含有量がやや高い傾向がある(第4図B, D)。微量元素濃度においては、Om-1とOm-4は、Om-2やOm-3よりも著しく高いCr・Ni含有量、高いNb含有量を示す(第4図E–G)。Y含有量については、Om-4が他の試料に比べてZrとともに高い値を示す(第4図H)。TiO₂・MnO・P₂O₅・YについてはZrに対して良い相関を示しており(第4図A, C, D, H)、変質の影響はほとんどないと判断される。適合元素であるCrとNiについては変質による影響を精確に評価するのは難しいが、Om-1とOm-4はOm-2及びOm-3と明らかな含有量の違いを示しており(第4図E, G)、初生的に両グループで大きく性質が異なっていたことを強く示唆する。また、Om-3については、主成分元素組成は安山岩質であるが、HFSE含有量は4試料中で最も低く未分化であると判断される。したがって、以降もOm-3については玄武岩類に一括して議論する。NbについてはZrに対して単一のトレンドを示すのか、2本のトレンドが存在するのか判断が難しいが、CrとNiの挙動とあわせて考えると、Om-1とOm-4、Om-2とOm-3のそれぞれがトレンドを形成していると考えるのが合理的である。

玄武岩類の地球化学的特徴については、様々な判別図が提案・利用されている。ここではいくつかの判別図において、大間々コンプレックスの試料がどの領域にプロットされるかを示す。主要元素を用いたTiO₂/10–MnO–P₂O₅判別図(Mullen, 1983)では、すべての試料が中央海嶺玄武岩(MORB)領域にプロットされる(第5図

第1表 足尾山地の大間々コンプレックスに含まれる玄武岩類の主要元素及び微量元素組成.

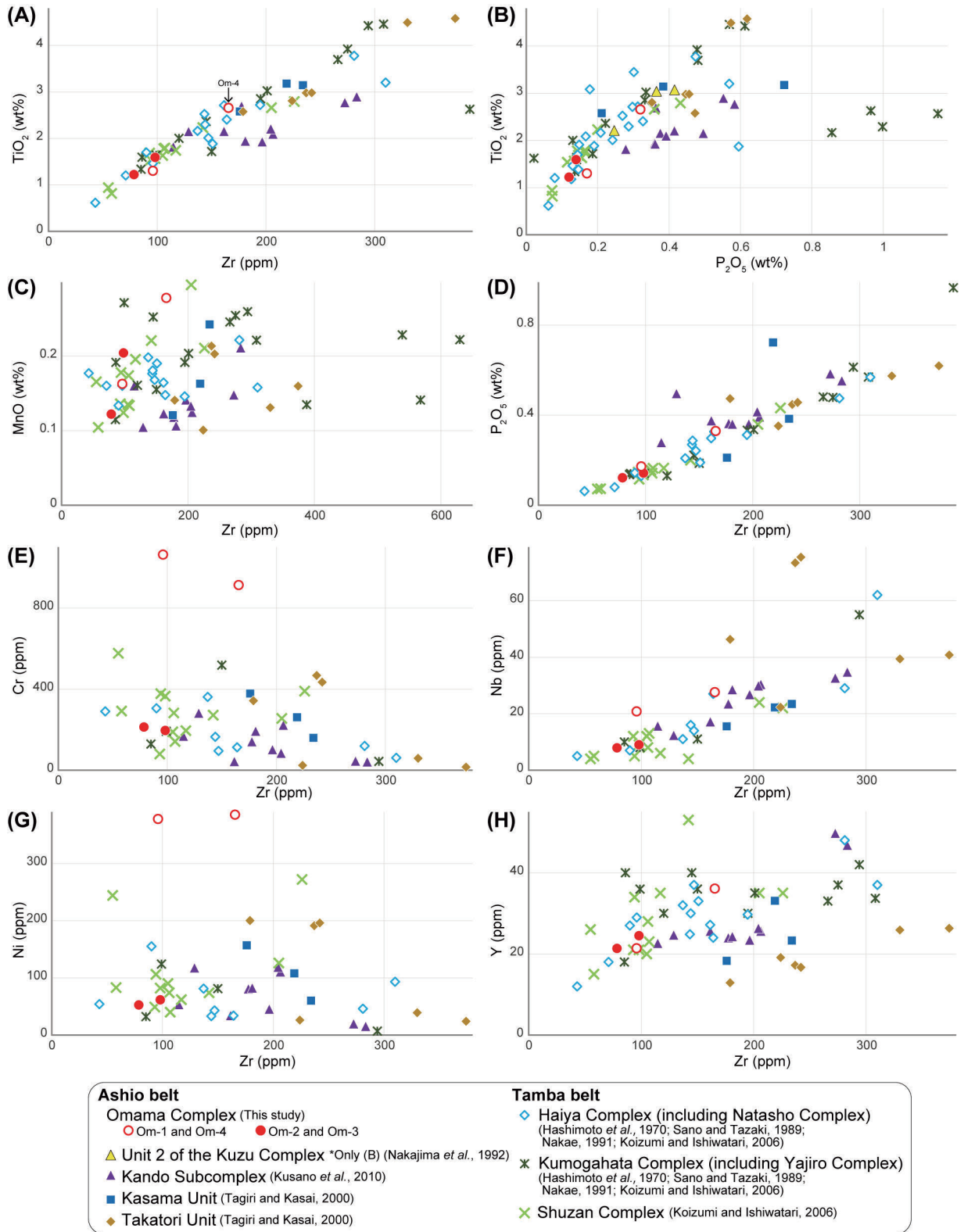
Table 1 Whole-rock major and trace elements of basaltic rocks of the Omama Complex in the Ashio Mountains.

Sample No.	Om-1	Om-2	Om-3	Om-4
Occurrence	Lava	Lava	Tuff breccia	Lava
Sample locality	36°29'40.31"N 139°23'29.88"E	36°29'35.14"N 139°17'5.42"E	36°29'42.47"N 139°17'2.72"E	36°29'38.32"N 139°23'32.47"E
SiO ₂ (wt%)	49.71	50.82	57.77	48.91
TiO ₂	1.28	1.56	1.20	2.58
Al ₂ O ₃	15.41	16.64	13.53	13.64
Fe ₂ O ₃	9.74	10.52	10.16	16.36
MnO	0.16	0.20	0.12	0.27
MgO	11.95	4.84	3.51	8.47
CaO	6.30	10.63	11.41	5.49
Na ₂ O	2.48	2.47	0.87	2.19
K ₂ O	2.09	1.22	0.61	0.53
P ₂ O ₅	0.17	0.14	0.12	0.32
Total	99.30	99.05	99.30	98.76
L.O.I	3.92	3.38	3.01	4.17
Ba (ppm)	531	170	283	164
Cr	1063	196	213	912
Nb	20.8	9.0	7.9	27.6
Ni	378	61.6	52.6	385
Rb	30.9	34.7	11.1	12.4
Sr	77	195	174	102
V	295	250	231	347
Y	21.4	24.5	21.4	36.1
Zr	96.0	98.0	78.5	165
Pb	0.53	0.74	2.11	0.64
Th	3.77	2.44	1.85	1.86

A, B). 一方, 2Nb-Zr/4-Y判別図(Meschede, 1986)では, Om-1及びOm-4はプレート内アルカリ玄武岩(WPA)+プレート内ソレアイト質玄武岩(WPT)領域に, Om-2及びOm-3はWPT+島弧玄武岩(VAB)領域内にそれぞれプロットされる(第5図C, D). Zr-Zr/Y判別図(Pearce and Norry, 1979)では, Om-1とOm-4はプレート内玄武岩(WPB)領域に含まれ, Om-2とOm-3はMORBとWPBの境界部にプロットされる(第6図A). また, Nb/Zr-Nb/Yを用いたプリューム起源の海洋島玄武岩(OIB)・ホットスポット起源のOIB・MORBの比較図(Tatsumi *et al.*, 1998)では, Om-1とOm-4はOIBの領域に, Om-2とOm-3はMORBの組成範囲にプロットされる(第6図B).

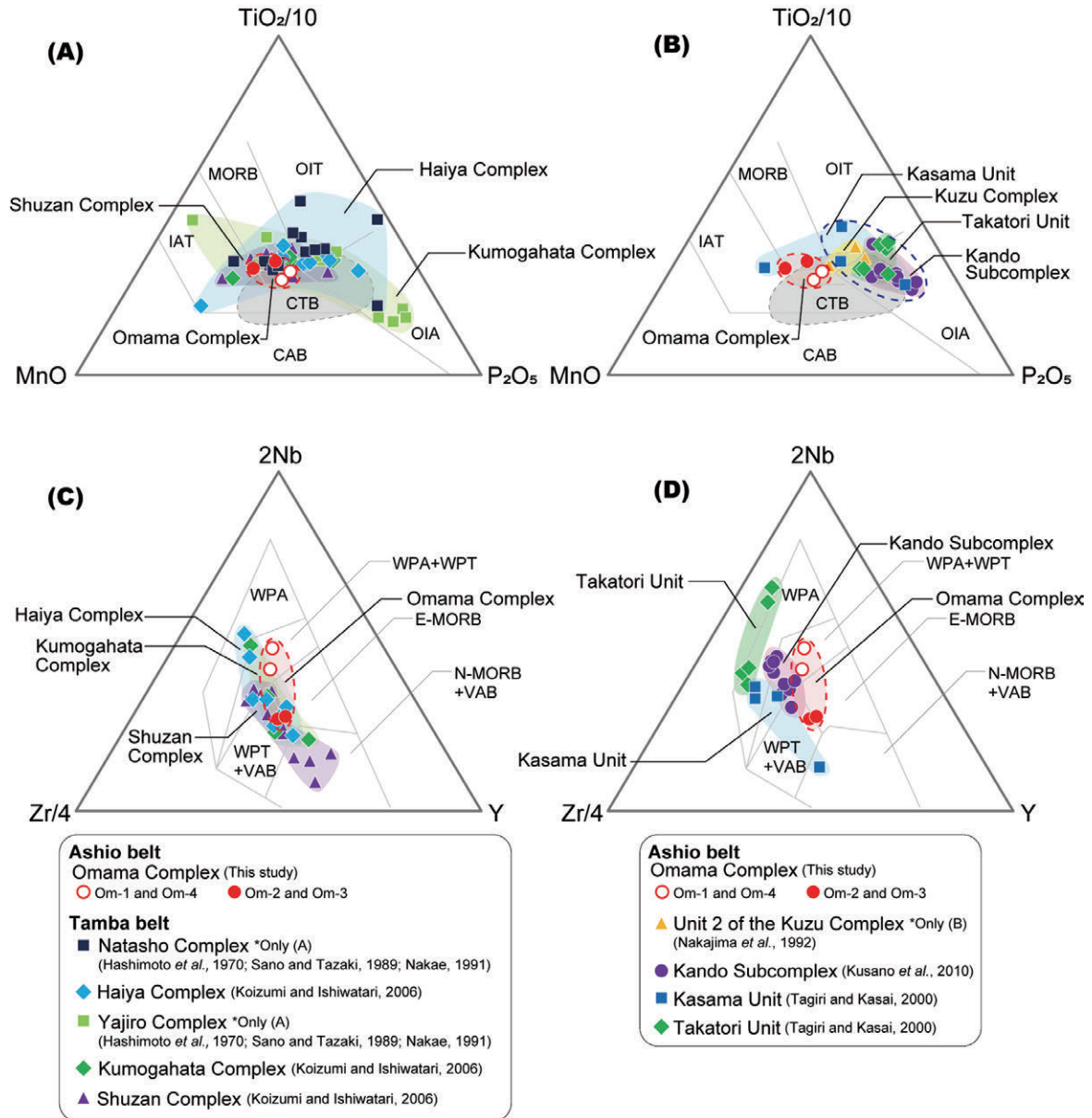
以上を整理すると, 大間々コンプレックスの基底部に産する玄武岩類は, Om-1・Om-4及びOm-2・Om-3の2種類に区別される. Om-1とOm-4とは, Mullen (1983)の原典のデータと比較すると, 厳密にはMORBデータの集中域ではなく, データの乏しい領域にプロットされてい

る(第5図A, B). それに対し, Mullen (1983)のデータのうち, OIBである海洋島ソレアイト(OIT)及び海洋島アルカリ玄武岩(OIA)は, 数は少ないもののMORB, 島弧ソレアイト(IAT), そしてカルクアルカリ玄武岩(CAB)の全ての領域にもプロットされている. これらのデータはMullen (1983)の大陸ソレアイト質玄武岩(CTB)の領域と一致している. 海洋域のデータは報告時の掘削等によるデータ数や試料採取域に強く依存していることから, 微量元素の地球化学的特徴と合わせて考えると, Om-1とOm-4とは, ホットスポットに関連した火成活動の産物(広義のWPB)であり(第5図A, B及び第6図), MORBではなくOIB的な性質をもつものと解釈するのが合理的である. 一方Om-2とOm-3は, 主要元素を用いた判別図ではMORB領域に(第5図A, B), 微量元素を用いたZr-Zr/Y及びNb/Zr-Nb/Y判別図では, MORBあるいはMORBとWPBの境界部にプロットされる(第6図B). 2Nb-Zr/4-Y判別図(第5図C, D)ではWPB+VAB領域を示す



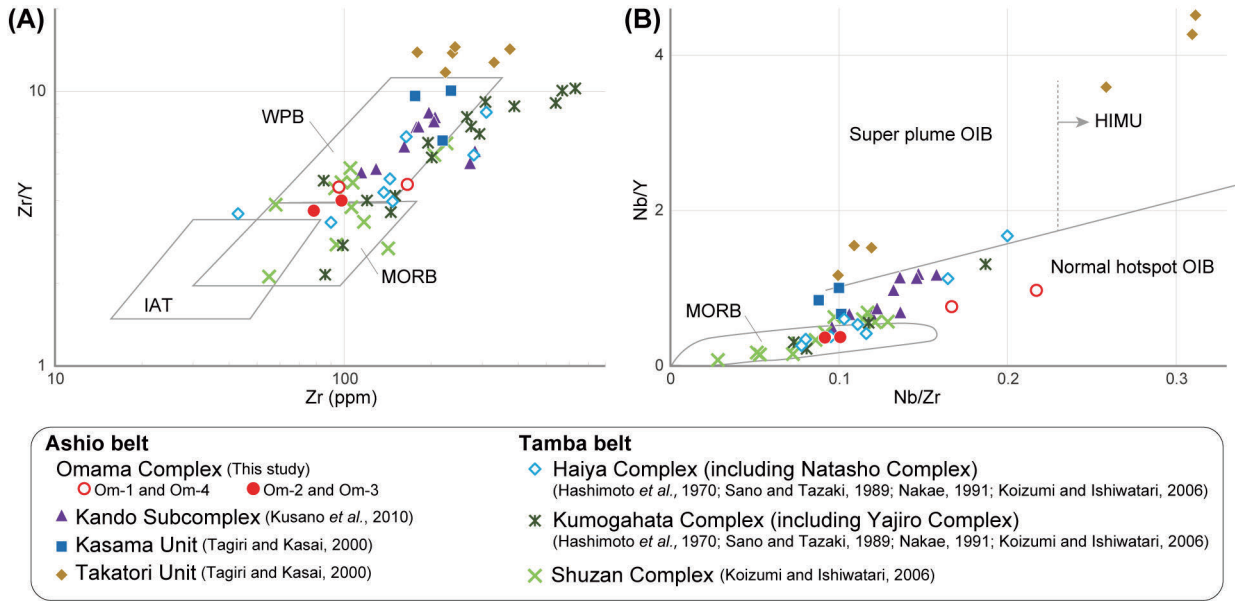
第4図 足尾帯及び丹波帯に含まれる玄武岩類の地球化学組成。葛生コンプレックスのユニット2の分析結果(中島ほか, 1992)については, (B)のみに示される。

Fig. 4 Geochemistry of basaltic rocks of the Ashio and Tamba belts. Geochemical result from Unit 2 of the Kuzu Complex (Nakajima *et al.*, 1992) is presented in only (B).



第5図 足尾帯及び丹波帯に含まれる玄武岩類の地球化学判別図。(A, B) Mullen (1983)に基づくTiO₂/10-MnO-P₂O₅図。(C, D) Meschede (1986)に基づく2Nb-Zr/4-Y図。AとCは大間々コンプレックスと丹波帯の地質体との比較を、BとDは大間々コンプレックスと足尾帯の他の地質体との比較を示す。Bの青破線は、大間々コンプレックス以外の玄武岩類の主な組成範囲を示す。名田庄コンプレックス及び八代コンプレックスの分析結果(Hashimoto *et al.*, 1970; 佐野・田崎, 1989; 中江, 1991)については、(A)のみに示される。葛生コンプレックスのユニット2の分析結果(中島ほか, 1992)については、(B)のみに示される。MORB: 中央海嶺玄武岩; OIT: 海洋島ソレイト; OIA: 海洋島アルカリ玄武岩; IAT: 島弧ソレイト; CAB: カルクアルカリ玄武岩; CTB: 大陸ソレイト質玄武岩; N-MORB: Nタイプ中央海嶺玄武岩; E-MORB: Eタイプ中央海嶺玄武岩; WPT: プレート内ソレイト; WPA: プレート内アルカリ玄武岩; VAB: 火山弧玄武岩。

Fig. 5 Discrimination diagrams of basaltic rocks of the Ashio and Tamba belts. (A, B) TiO₂/10-MnO-P₂O₅ diagrams by Mullen (1983). (C, D) 2Nb-Zr/4-Y diagrams by Meschede (1986). A and C show the comparison between the Omama Complex and geologic units of the Tamba belt; B and D show the comparison between the Omama Complex and other geologic units of the Ashio belt. Blue dashed line indicates samples from the Ashio belt other than the Omama Complex. Geochemical results from the Natasho and Yajiro complexes (Hashimoto *et al.*, 1970; Sano and Tazaki, 1989; Nakae, 2001) are presented in only (A). Geochemical result from Unit 2 of the Kuzu Complex (Nakajima *et al.*, 1992) is presented in only (B). MORB: mid-ocean ridge basalt; OIT: oceanic island tholeiite; OIA: oceanic island alkalic basalt; IAT: island arc tholeiite; CAB: calc-alkaline basalt; CTB: continental tholeiitic basalt; N-MORB: normal mid-ocean ridge basalt; E-MORB: enriched mid-ocean ridge basalt; WPT: within-plate tholeiite; WPA: within-plate alkalic basalt; VAB: volcanic arc basalt.



第6図 足尾帯及び丹波帯に含まれる玄武岩類の地球化学判別図。(A) Pearce and Norry (1979)に基づくZr-Zr/Y図。(B) Tatsumi *et al.* (1998)に基づくNb/Zr-Nb/Y図。MORB:中央海嶺玄武岩;IAT:島弧ソレイト;WPB:プレート内玄武岩; HIMU:高 μ ($^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$) 値玄武岩; OIB:海洋島玄武岩。

Fig. 6 Discrimination diagrams of basaltic rocks of the Ashio and Tamba belts. (A) Zr-Zr/Y diagrams by Pearce and Norry (1979). (B) Nb/Zr-Nb/Y diagram by Tatsumi *et al.* (1998). MORB: mid-ocean ridge basalt; IAT: island arc tholeiite; WPB: within-plate basalt; HIMU: High μ ($^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$) basalt; OIB: ocean island basalt.

が、E-MORBとの境界部に近いところにプロットされた。2Nb-Zr/4-Y図は、WPB+VAB領域の一部にP-MORBを含んでいることから (Mesce, 1986), Om-2とOm-3は、MORBの中でもE-MORB組成をもつと解釈するのが合理的である。したがって、大間々コンプレックスの玄武岩類には、Om-1とOm-4のようなOIB的な特徴を持つものと、Om-2とOm-3のようにE-MORB的な特徴を持つものと、少なくとも2種類が含まれるといえる。

5. 比較

冒頭で述べたように、丹波帯や足尾帯の他のコンプレックスを構成する玄武岩類については、その形成場に関する研究例が蓄積されている。ここでは、大間々コンプレックスと先行研究の地球化学的特徴を比較する。なお、草野ほか(2010)が検討した足尾帯蒲原地域に分布する玄武岩類の岩体については、内野(2011)に基づき仙見コンプレックス内の神戸サブコンプレックスとして取り扱う。Tagiri and Kasai (2000)が検討した鶏足山塊の玄武岩岩体については、指田・堀(2000)に基づき笠間ユニットと高取ユニットとして扱う。

丹波帯の周山コンプレックス・灰屋コンプレックス・雲ヶ畑コンプレックスを構成する玄武岩類の組成を判別図にプロットしたものを示す(第5図A, C)。いずれのコンプレックスにおいても幅広い組成範囲を示す玄武岩類が存在する中でも、灰屋コンプレックスと雲ヶ畑コンプレックス

の組成はほぼ重複しており、本論で検討した大間々コンプレックスはその組成範囲内に含まれる。丹波帯の地質体の中で大間々コンプレックスに対比可能な地質体として、Kamata (1996)は灰屋コンプレックスを挙げているのに対し、中江(2000)は雲ヶ畑コンプレックスを挙げている。本研究で得られた大間々コンプレックスの玄武岩類の化学組成は灰屋コンプレックスと雲ヶ畑コンプレックスの双方に類似しており、Kamata (1996)や中江(2000)の対比を支持している。一方で、灰屋コンプレックスと雲ヶ畑コンプレックスの化学組成では重複する領域があり、大間々コンプレックスではその重複部分にプロットされる試料が多い。そのため、化学組成のみで大間々コンプレックスがどちらのコンプレックスに対比されるべきかを結論付けるのは困難であり、岩相などの他の特徴も踏まえて検討する必要がある。

次に、足尾帯の各地質体の玄武岩類の組成について述べる(第5図B, D)。TiO₂/10-MnO-P₂O₅判別図では、IAT領域の1試料を除き全ての試料がOITあるいはOIAの領域にプロットされており、MORB領域にプロットされるものはない(第5図B)。また、Zr-Zr/Y判別図(第6図A)やNb/Zr-Nb/Y判別図(第6図B)においてもWPB領域やOIB領域にプロットされるものが多く、MORB領域にプロットされるものは無い。このように、これまで足尾帯の玄武岩類には、Om-2とOm-3のようにE-MORB的な特徴を持つ玄武岩類の存在は報告されていない。ま

た、Om-1とOm-4は他地域の足尾帯の玄武岩類と同様にOIBの特徴を示すが、CrやNiに富む点で他地域の玄武岩類とは明瞭に異なる(第4図E, G)。第5図Bにおいては大間々コンプレックスの玄武岩類と笠間ユニットの領域とが重複しているように見えるが、これは笠間ユニット中にIAT領域にプロットされる組成が1点含まれているからであり、大局的には第5図B, Dに示されるように、大間々コンプレックスの玄武岩類の組成範囲は足尾帯の玄武岩類の組成の集中域とは明らかに異なっている。山北・大藤(2000)は、葛生コンプレックスのユニット2は大規模な炭酸塩岩類を主体とすることから、大間々コンプレックスと合わせて、丹波帯の和知層(雲ヶ畑コンプレックスの一部と灰屋コンプレックスに相当)や美濃帯の舟伏山層と対比可能であるとしている。つまり、大間々コンプレックスと葛生コンプレックスのユニット2が同一の地質体であると捉えている。しかし、これまで述べてきたように、大間々コンプレックスの玄武岩類にはE-MORBとOIBの2種類の異なる地球化学的特徴を示す玄武岩類の存在が示唆される。これに対し、主要元素の検討しか行われていないものの、葛生コンプレックスのユニット2ではMORB的な特徴を持つ玄武岩類は見つかっていない。したがって、少なくとも玄武岩類の地球化学的特徴からは、大間々コンプレックスと葛生コンプレックスが同一の地質体であるという積極的な根拠は見いだせない。

謝辞: 本研究の玄武岩類の全岩化学組成の分析は、NPO法人ジオプロジェクト新潟に依頼し、新潟大学の野原(今中)里華子氏に測定していただいた。岩石薄片は、産業技術総合研究所地質情報基盤センター地質試料調製グループの皆様にご作成して頂いた。地質情報研究部門地殻岩石研究グループの山崎 徹博士には、原稿を査読していただき、本稿は大きく改善された。同部門層序構造地質研究グループの原 英俊博士には、編集担当として原稿を精読いただき、有益なコメントを頂いた。記して感謝申し上げます。

文 献

- 青木 斌・伊東正喜(1968)海洋地殻の岩石—I。高アルミナ玄武岩—。地球科学, **22**, 24–31.
- Geological Survey of Japan, AIST (2018) Seamless digital geological map of Japan 1: 200,000. January 26, 2018 version. Geological Survey of Japan, AIST. <https://gbank.gsj.jp/seamless/v2full/> (Accessed:2018-1-26)
- Hashimoto, M., Kashima, N. and Saito, Y. (1970) Chemical composition of Paleozoic greenstones from two areas of Southwest Japan. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **76**, 463–476.
- 林 信悟・長谷川美行(1981)足尾帯の秩父系—大型化石およびコノドントによる年代論(その2) 一。中生代構造作用の研究, no. 3, 232–249.
- 林 信悟・飯島静男・石井逸雄・中島照雄・沢口 宏・田中宏之・吉田 尚(1990)足尾山地南西部の中・古生界。群馬県立歴史博物館紀要, **11**, 1–34.
- Ichiyama, Y., Ishiwatari, A. and Koizumi, K. (2008) Petrogenesis of greenstones from the Mino–Tamba belt, SW Japan: Evidence for an accreted Permian oceanic plateau. *Lithos*, **100**, 127–146.
- Ito, T. (2019) A report of Permian, Triassic, and Jurassic radiolarian occurrences from the Ashio terrane in the Hachioji Hills, eastern Gunma Prefecture, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **70**, 225–247.
- Ito, T. (2020a) A Cisuralian (early Permian) radiolarian assemblage and a new species of *Latentibifistula* Nazarov and Ormiston from central Japan. *Revue de Micropaléontologie*, **66**, 100407.
- Ito, T. (2020b) Radiolarian age of Triassic striped chert within the Jurassic accretionary complex of the Ashio terrane in the Ashikaga area, Tochigi Prefecture, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **71**, 297–312.
- Kamata, Y. (1996) Tectonostratigraphy of sedimentary complex in the southern part of the Ashio terrane, central Japan. *Science Reports of the Institute of Geoscience, University of Tsukuba, Section B, Geological Sciences*, **17**, 71–107.
- Koizumi, K. and Ishiwatari, A. (2006) Oceanic plateau accretion inferred from Late Paleozoic greenstones in the Jurassic Tamba accretionary complex, southwest Japan. *Island Arc*, **15**, 58–83.
- Kojima, S., Hayasaka, Y., Hiroi, Y., Matsuoka, A., Sano, H., Sugamori, Y., Suzuki, N., Takemura, S., Tsujimori, T. and Uchino, T. (2016) Pre-Cretaceous accretionary complexes. In Moreno, T., Wallis, S. and Gibbons, W., eds., *The Geology of Japan*, Geological Society of London, London, 61–100.
- 草野有紀・宮下純夫・池田和也(2010)新潟県五泉市早出川周辺の足尾帯緑色岩の岩石学的研究。地質学雑誌, **116**, 270–282.
- Le Bas, M. J. and Streckeisen, A. L. (1991) The IUGS systematics of igneous rocks. *Journal of the Geological Society*, London, **148**, 825–833.
- Matsuda, T. and Isozaki, Y. (1991) Well-documented travel history of Mesozoic pelagic chert in Japan: From remote ocean to subduction zone. *Tectonics*, **10**, 475–499.
- Meschede, M. (1986) A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb–Zr–Y diagram. *Chemical Geology*, **56**, 207–218.
- Mullen, E. D. (1983) MnO/TiO₂/P₂O₅: A minor element

- discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth and Planetary Science Letters*, **62**, 53–62.
- 中江 訓(1991) 化学組成からみた丹波帯緑色岩の起源. *岩鉱*, **86**, 487–496.
- 中江 訓(2000) 西南日本内帯ジュラ紀付加複合体の広域対比. *地質学論集*, no. 55, 73–98.
- 中島 裕・内田悦生・今井直哉・今井浩人・大野 仁(1992) 栃木県葛生地域の鍋山炭酸塩岩層中に産する含ブルーサイト白色岩とその生成に関与した玄武岩岩脈について. *岩鉱*, **87**, 445–459.
- Ogawa, Y. and Tanigawa, H. (1989a) Origin and emplacement of basaltic rocks in the accretionary complexes in SW Japan. *Ophioliti*, **14**, 177–193.
- 小川勇二郎・谷川英嗣(1989b) 微量元素組成と産状からみた本邦の付加体および構造帯中の玄武岩類の起源とエンプレイスメントのプロセス. *地学雑誌*, **98**, 118–132.
- Pearce, J. A. and Cann, J. R. (1973) Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth and Planetary Science Letters*, **19**, 290–300.
- Pearce, J. A. and Norry, M. J. (1979) Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **69**, 33–47.
- Safonova, I., Kojima, S., Nakae, S., Romer, R. L., Seltmann, R., Sano, H. and Onoue, T. (2015) Oceanic island basalts in accretionary complexes of SW Japan: Tectonic and petrogenetic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, **113**, 508–523.
- 佐野 栄・田崎耕市(1989) 丹波帯の緑色岩. *地質学論集*, **33**, 53–67.
- Sano, S., Hayasaka, Y. and Tazaki, K. (2000) Geochemical characteristics of Carboniferous greenstones in the Inner Zone of Southwest Japan. *The Island Arc*, **9**, 81–96.
- 指田勝男・堀 常東(2000) 八溝山地の中生界とユニット区分. *地質学論集*, no. 55, 99–106.
- 須藤定久・牧本 博・秦 光男・宇野沢 昭・滝沢文教・坂本 亨・駒澤正夫・広島俊男(1991) 20万分の1地質図幅「宇都宮」, 地質調査所.
- Sun, S. S. and McDonough, W. F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, **42**, 313–345.
- 高橋俊郎・周藤賢治(1997) 蛍光X線分析装置RIX3000による, 珪酸塩岩石中の主要分元素および微量元素の定量分析. *理学電機ジャーナル*, **28**, 25–37.
- Tagiri, M. and Kasai, K. (2000) Nature of greenstones in the Mesozoic Yamizo Super Group, Keisoku Massif in the Yamizo Mountains, eastern Japan. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **95**, 48–56.
- Tatsumi, Y., Shinjoe, H., Ishizuka, H., Sager, W. W. and Klaus, A. (1998) Geochemical evidence for a mid-Cretaceous superplume. *Geology*, **26**, 151–154.
- 内野隆之(2011) 加茂地域の地質, 第3章 下部ジュラ系. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅). 産総研地質調査総合センター, 8–27.
- Winchester, J. A. and Floyd, P. A. (1977) Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, **20**, 325–343.
- 山北 聡・大藤 茂(2000) 丹波—美濃—足尾帯付加堆積岩コンプレックスの構造層序区分と北部秩父帯・南部秩父帯との比較. *構造地質*, **44**, 5–32.

(受 付 : 2020年5月29日 ; 受 理 : 2021年5月21日)

栃木県足利市名草に分布する足利岩体の黒雲母花崗閃緑岩及び接触変成岩

伊藤 剛^{1,*}・中村 佳博¹

ITO Tsuyoshi and NAKAMURA Yoshihiro (2021) Biotite granodiorite of the Ashikaga Body and contact metamorphic rock in Nagusa, Ashikaga City, Tochigi Prefecture, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 72 (4), p. 383–396, 11 figs, 1 table.

Abstract: Biotite granodiorite, called as the Ashikaga Body, is distributed in Nagusa, Ashikaga City, Tochigi Prefecture, central Japan. This article describes the biotite granodiorite and its surrounding rocks belonging to Jurassic accretionary complex of the Ashio belt. The biotite granodiorite shows equigranular texture. The major constituent minerals are quartz, plagioclase, K-feldspar and biotite. Metapelite and metachert has been formed by contact metamorphism in the aureole of the Ashikaga granodiorite. Chert from sites over 1.5 km from the Ashikaga Body yielded radiolarian fossils. One sample yielded *Pseudoristola* sp. and *Archaeospongoprimum* sp. which represent the Pliensbachian–early Toarcian (Early Jurassic) in age. Another sample yielded closed nassellarians, which occurs mainly in the Jurassic–Cretaceous.

The peak metamorphic temperatures of the northern and southern margin of the Ashikaga Body were estimated to be 385 ± 9 °C and 513 ± 33 °C, respectively, based on Raman spectra of carbonaceous material thermometry. The difference in metamorphic temperature between the northern and southern margin of the Ashikaga Body may be reflected by the intrusion angle of the body. A sample ca. 1 km southwest from the Ashikaga Body shows 291 ± 15 °C of peak metamorphic temperatures whereas another sample over 1.3 km northwest from the body is 362 ± 16 °C. Such high temperature suggests the existence of any concealed or already-eroded rock body.

Keywords: Biotite granodiorite, contact metamorphic rock, Cretaceous, Ashikaga Body, Sori Type, radiolaria, Jurassic accretionary complex, Ashio belt, Ashio Mountains, Tochigi Prefecture, central Japan

要 旨

栃木県足利市名草には、足利岩体と呼ばれる黒雲母花崗閃緑岩が分布する。本論では、この黒雲母花崗閃緑岩とその周辺のジュラ紀付加体足尾テレーン構成岩類の記載を行う。黒雲母花崗閃緑岩は、等粒状組織を示す。主要構成鉱物は石英、斜長石、カリ長石、黒雲母である。周辺の足尾テレーンの構成岩類である泥岩やチャートは、黒雲母花崗閃緑岩の貫入によって明瞭な接触変成作用を被り変成泥岩や変成チャートとなっている。また、足利岩体から1.5 km以上離れた地点のチャートから、放射虫化石が得られた。1試料からは*Pseudoristola* sp.や*Archaeospongoprimum* sp.が得られており、その年代は前期ジュラ紀のプリンスバッキアン期～トアルシアン期前期を示す。また、別の1試料からは、主にジュラ紀から白亜紀に産出する放射虫である閉球状ナッセラリアが得られた。炭質物を多く含む泥質岩を対象に炭質物温度計

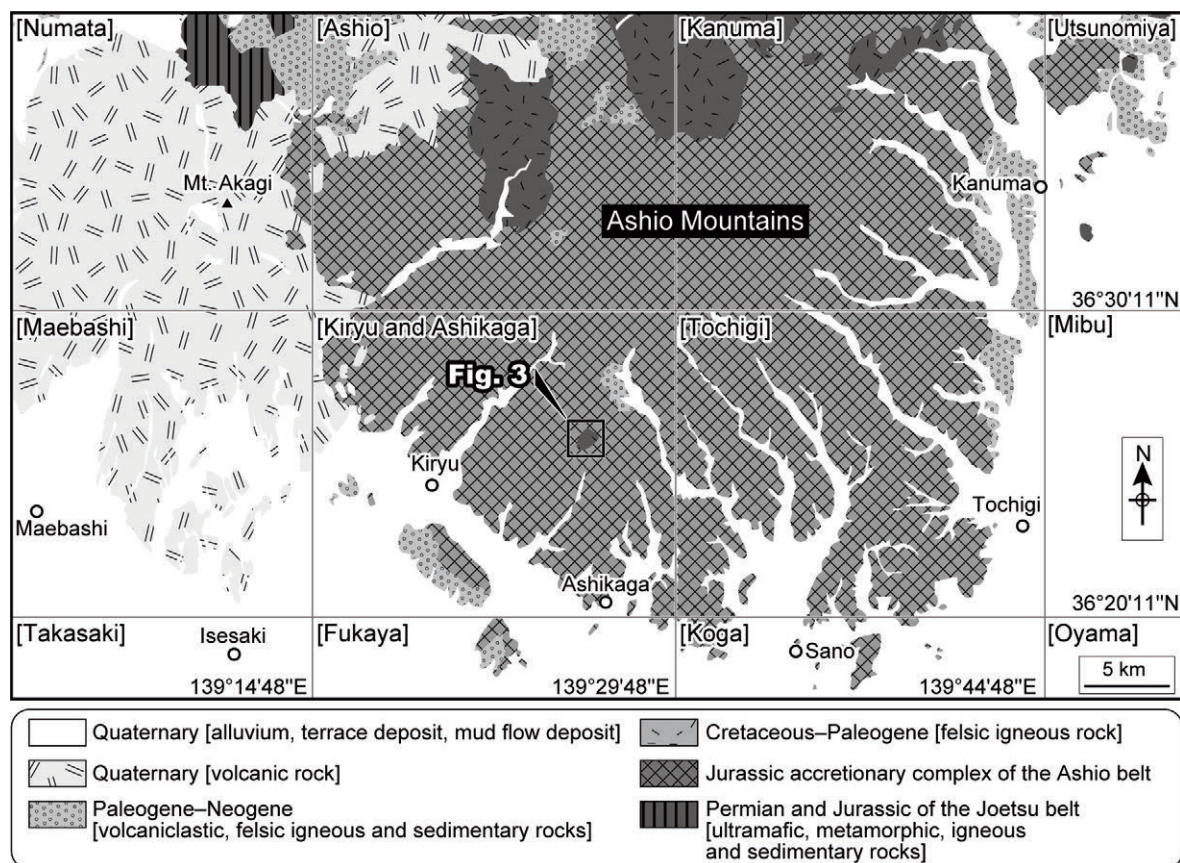
を利用した変成温度推定を試みたところ、岩体の北縁部と南縁部の2試料からそれぞれ385 °C及び513 °Cの変成温度が得られた。足利岩体の南北で変成温度が大きく異なっており、岩体の貫入角度の違いによる影響が考えられる。また、足利岩体から南西に約1 km離れた試料から 291 ± 15 °Cの変成温度が得られたのに対し、足利岩体から北西に1.3 km以上離れた試料からは、より高温の 362 ± 16 °Cの変成温度が得られた。地下に伏在する岩体や既に削剥されて現存しない岩体の存在が示唆される。

1. はじめに

日本列島には、白亜紀～古第三紀の花崗岩類が広く分布することが知られる(例えば、Nakajima *et al.*, 2016)。関東北部の足尾山地や八溝山地などの花崗岩類については、古くから現在に至るまで研究が行われている(例えば、河田, 1951; 高橋, 1982; 川野, 2011; 西川ほか, 2015)。足尾山地の北部には珪長質火成岩類が露出し、

¹ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

* Corresponding author: ITO, T., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: ito-t@aist.go.jp



第1図 足尾山地の簡略化地質図(須藤ほか, 1991及びGeological Survey of Japan, AIST, 2018に基づく)。鍵括弧内の地名は、国土地理院発行の5万分の1地形図の地名を示す。

Fig. 1 Index and simplified geologic maps of the Ashio Mountains (modified after from Sudo *et al.*, 1991; Geological Survey of Japan, AIST, 2018). Geographical names in brackets indicate 1:50,000 topographic maps published by Geospatial Information Authority of Japan.

K-Ar年代やAr-Ar年代によって白亜紀から古第三紀の火成活動により形成されたことが示されている (Shibata and Miller, 1963; 河野・植田, 1964, 1966; 矢内, 1972, 1973; Uto *et al.*, 1997; Sudo *et al.*, 1998; Ogasawara *et al.*, 2013).

栃木県足利市名草周辺には、大型の斑状カリ長石で特徴づけられる優白質の黒雲母花崗閃緑岩が分布し、足利岩体と呼ばれる(矢内, 1972)。矢内(1972, 1973)は、足利岩体が周辺の足尾帯ジュラ紀付加体に接触変成作用を与えていることを指摘している。しかしながらそれ以降の研究例は少なく、特に足利岩体の貫入状況などに関する議論については乏しい。

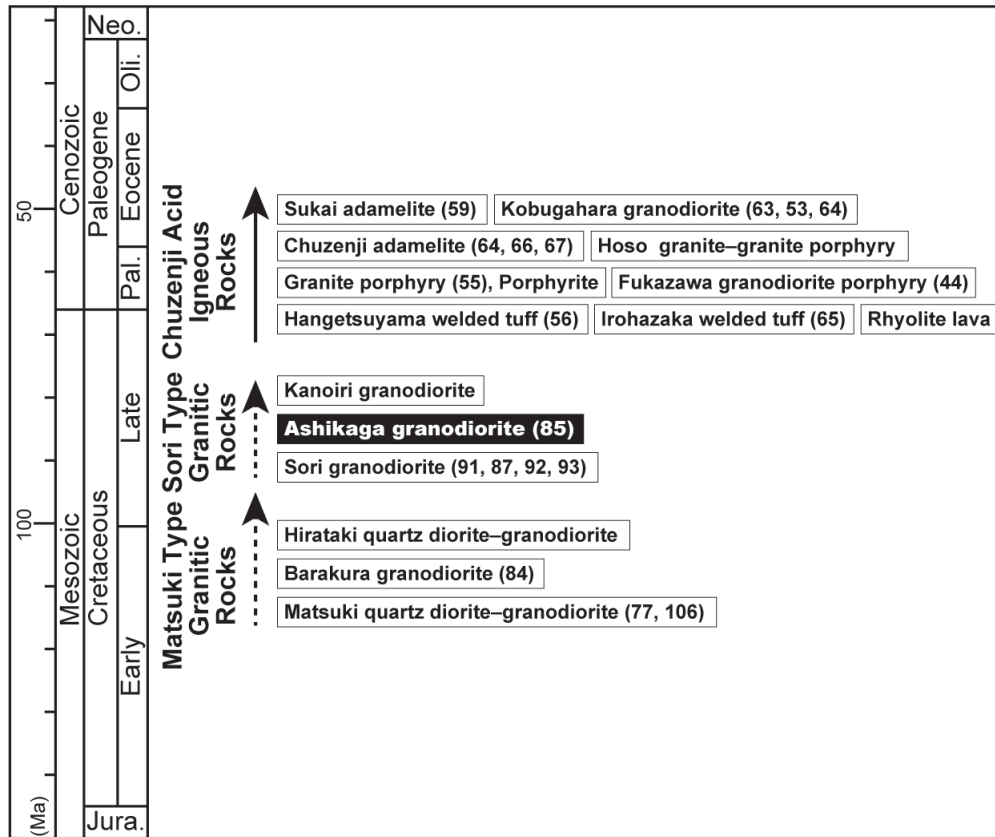
著者の1人である伊藤は、「桐生及足利」地域の5万分の1地質図幅作成に伴い、足利岩体を含む広域の地質調査を行っている(例えば, Ito, 2019, 2020)。本論では、基礎資料として、足利岩体の黒雲母花崗閃緑岩とその周辺の足尾帯ジュラ紀付加体にみられる接触変成岩の岩石学的特徴を記す。また、周辺のジュラ紀付加体から発見した放散虫化石について報告する。加えて、ジュラ紀付

加体中の泥質岩を対象に行った炭質物温度計を利用した変成温度推定の結果を示す。これらの結果を踏まえた上で、足利岩体の貫入状況を推定する。

2. 地質概説

足尾山地には、古生代から中生代ジュラ紀の構成岩類から成るジュラ紀付加体が広く分布する(第1図)。後期白亜紀～古第三紀の珪長質火成岩類が足尾山地の北部に露出する。足尾山地の西方では第四紀の赤城山火山岩類がこれらを覆っている。南方の平野部では、第四系堆積物が上記の地層を覆う。

矢内(1972)は足尾山地北部の珪長質火成岩類を、年代や岩石の特徴に基づいて、松木型花崗岩類・沢入型花崗岩類・中禅寺型酸性火成岩類の3つに区分した(第2図)。松木型花崗岩類は前期白亜紀の最後期に形成され、石英閃緑岩や花崗閃緑岩を主体とする。沢入型花崗岩類は後期白亜紀に形成され、花崗閃緑岩を主体とする。中禅寺型酸性火成岩類は後期白亜紀の最後期から古第三紀始新世に形成され、溶結凝灰岩・流紋岩・花崗岩・アダメロ



第2図 日光周辺の珪長質火成活動史(矢内, 1972, 2008に基づく). 地質年代はOgg *et al.* (2016)に基づく. Neo.: 新第三紀; Pal.: 暁新世; Oli.: 漸新世; Jura.: ジュラ紀.

Fig. 2 Geologic history of felsic igneous activity around Nikko area (based on Yanai, 1972, 2008). Geologic time scale is after Ogg *et al.* (2016). Neo.: Neogene; Pal.: Paleocene; Oli.: Oligocene; Jura.: Jurassic.

岩などからなる。

本論で検討した足利岩体は沢入型花崗岩類に区分され(矢内, 1972, 1973), 「桐生及足利」地域の東部に露出する。行政区分上は栃木県足利市の松田町と名草上町に位置する。黒雲母花崗閃緑岩は楕円形に分布し(第3図), 岩体の付近には接触変成岩が分布する。

足利岩体については, 矢内(1972, 1973)により記載やK-Ar年代の推定が行われており, 85 Ma(後期白亜紀)の数値が得られている。足利岩体の黒雲母花崗閃緑岩は古くから建築石材として使われていた(例えば, 小山, 1921)。名草巖島神社の北西には黒雲母花崗閃緑岩の巨礫が分布し, 「名草の巨石群」として1939年9月7日に国指定の天然記念物に指定された。

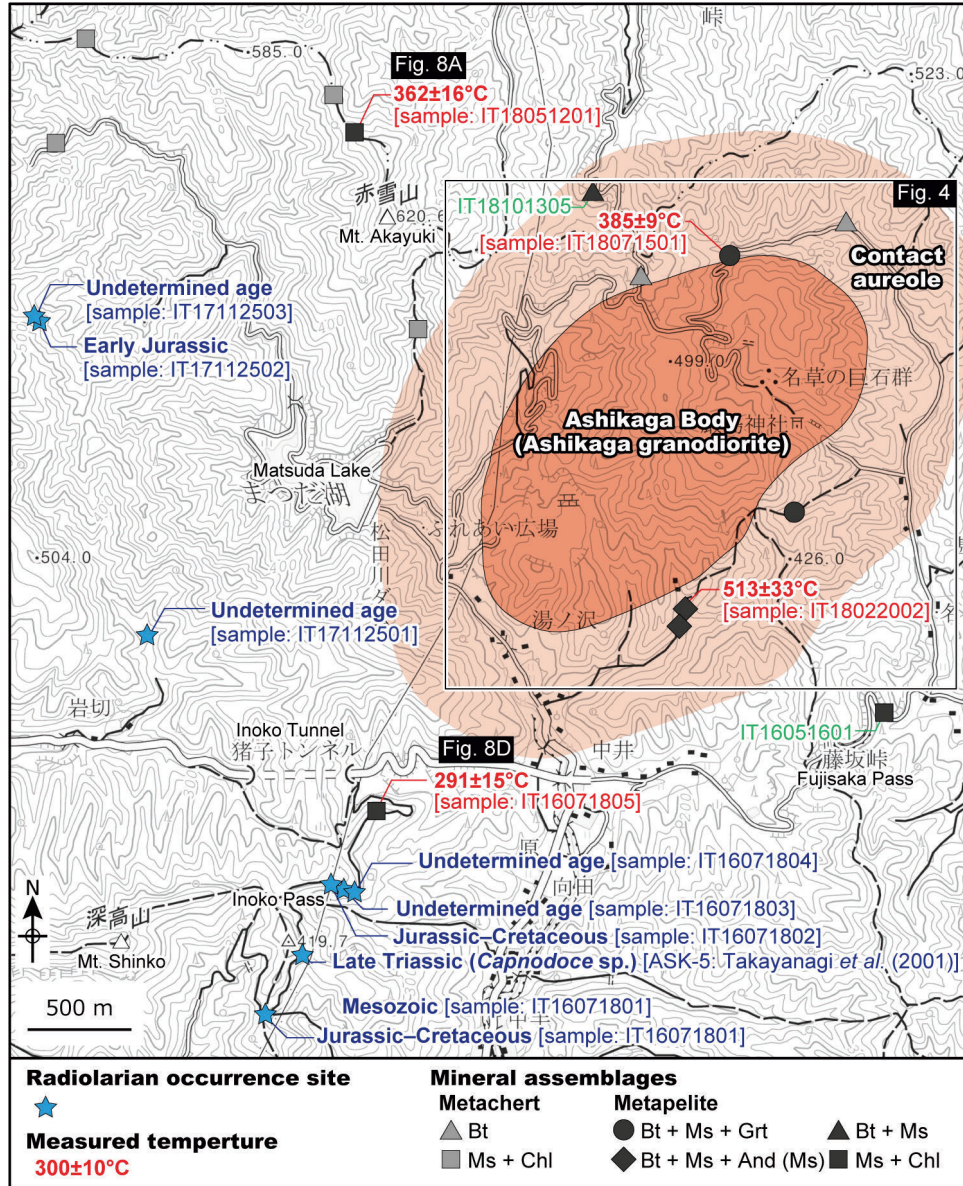
足利岩体周辺のジュラ紀付加体は泥岩とチャートからなり, Kamata (1996)が黒保根-桐生コンプレックスとした地質体に相当する。黒保根-桐生コンプレックスは, 放射虫やコノドントの微化石により, チャートは三疊紀, 泥質岩は中期ジュラ紀を示す(例えば, 林・長谷川, 1981; Aono, 1985; Kamata, 1996)。

3. 岩石記載

3.1 黒雲母花崗閃緑岩

黒雲母花崗閃緑岩は北東-南西方向に長軸を持つ楕円形状に露出する(第4図)。灰色あるいは灰白色を呈し, 岩相変化に乏しい。「名草の巨石群」では, 最大で直径数メートルに及ぶ黒雲母花崗閃緑岩のコアストーンがみられる(第5図A)。名草巖島神社周辺では直径数メートル以上の大規模な黒雲母花崗閃緑岩がみられる(第5図B)。周辺の舗装道路や林道沿いにも露頭が点在するが, 概して風化が著しい。

薄片写真を第6図に示す。黒雲母花崗閃緑岩は細粒~中粒で, 等粒状組織を示す(第6図A)。主要構成鉱物は石英・斜長石・カリ長石・黒雲母であり, 副成分鉱物としてはアパタイト・ジルコン・磁鉄鉱・白雲母を含む。石英は他形で, 粒径は0.2-4 mmである。斜長石は粒径2-3 mmで, 自形あるいは半自形を呈する。斜長石はアルバイト式双晶(第6図B)や累帯構造(第6図C)を示すものが多い。ミルメカイト構造を有する斜長石もみられる。カリ長石は粒径2-3 mmで, 半自形を呈する。パーサイ



第3図 足利市北部地域の珪質岩及び泥質岩の鉱物構成及び放散虫化石産出地点。国土地理院発行の2万5千分1地形図「足利北部」を使用。Bt：黒雲母；Ms：白雲母；Chl：緑泥石；Grt：ざくろ石；And：紅柱石。

Fig. 3 Distribution of minerals assemblages of siliceous and pelitic rocks and radiolarian localities in northern Ashikaga City, Tochigi Prefecture. The 1:25000 map of “Ashikaga-Hokubu” by the Geospatial Authority of Japan is used. Bt: biotite; Ms: muscovite; Chl: chlorite; Grt: garnet; And: andalusite.

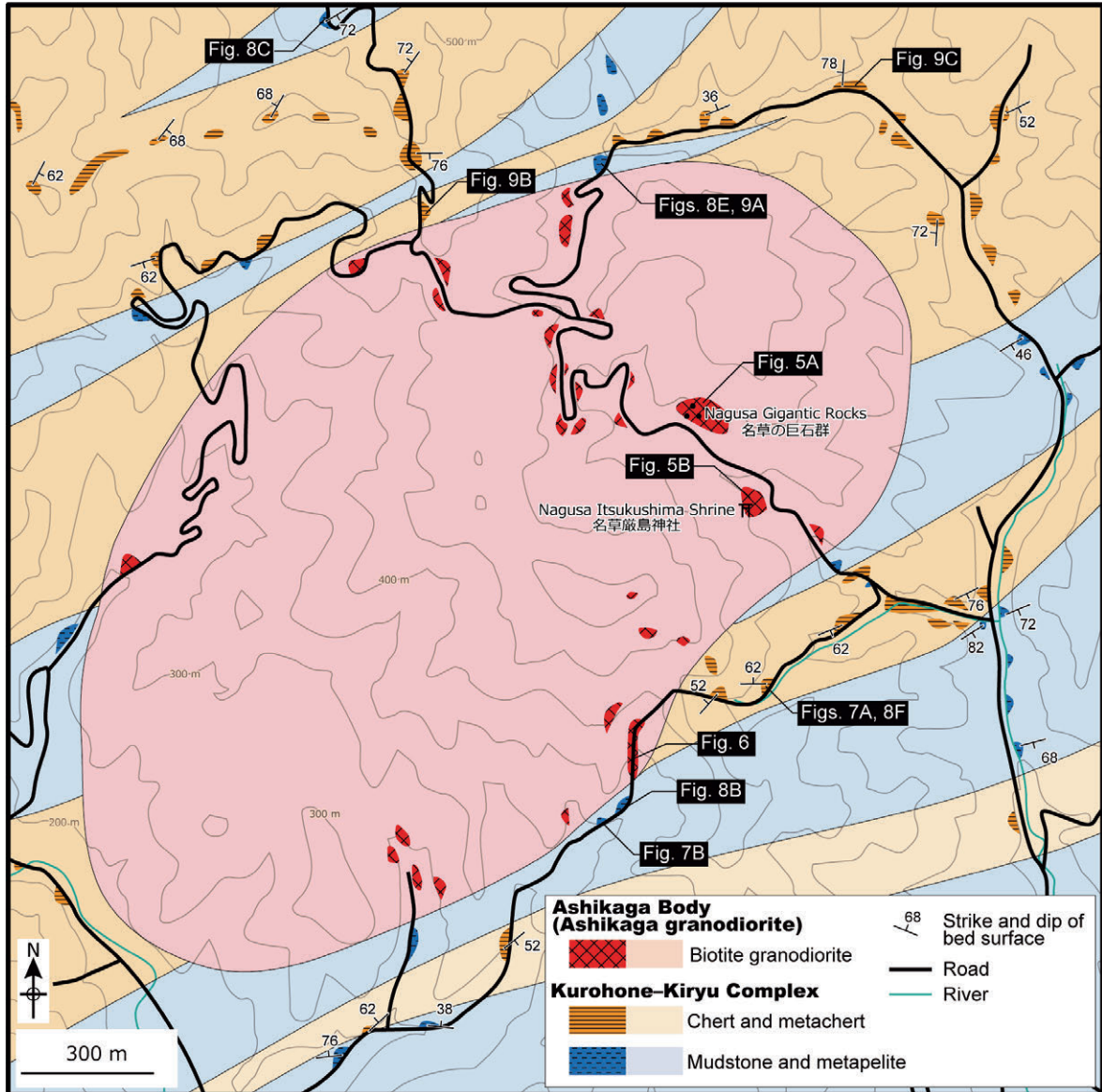
ト構造を示すカリ長石がみられる(第6図D)。黒雲母は粒径1-3 mmの半自形であり、褐色から茶褐色の多色性を示す。一部、細粒の緑泥石に変質している。黒雲母は、0.1 mm以下のアパタイトを多く含む(第6図E)。また、0.1 mm以下のジルコンもしばしばみられ(第6図F)、その周囲には多色性ハローが観察される。

3.2 接触変成岩

先述の通り、周辺のジュラ紀付加体はKamata (1996)の黒保根-桐生コンプレックスに相当する。調査地域の

黒雲母花崗閃緑岩周辺には、接触変成を被った変成泥岩や変成チャートが分布する(第4図)。

変成泥岩は暗灰色から灰色を示す(第7図A)。層理が不明瞭で塊状の泥岩が多い。鏡下では白雲母から構成する片理面が形成されていることがあり、この片理面を切断するようにランダムな方位で白雲母が形成されている場合がある。また変成泥岩中には厚さ1 cm以下の変砂質岩薄層を挟み(第8図A)、層状を示すものもある。層状泥岩の単層の厚さは10-30 cmである。変成チャートは暗灰色から明灰色を示す。塊状あるいは層状で、層状の



第4図 足利市名草の足利岩体周辺のルートマップ。

Fig. 4 Traverse map around the Ashikaga Body in Nagusa, Ashikaga City, Tochigi Prefecture.

変成チャートでは単層の厚さは3–15 cmである(第7図B)。1 mm以下の泥質岩を挟む。黒雲母花崗閃緑岩周辺では、100 μmを超える粗粒な再結晶石英からなる変成チャートがみられる(第8図B)。黒雲母花崗閃緑岩から水平距離で250 mほど離れた場所では変成チャートの再結晶化は進んでおらず、隠微品質な石英を主体とする(第8図C)。

変成鉱物組み合わせを第3図に示す。泥岩中の変成鉱物組み合わせを比較すると、原岩中の白雲母と緑泥石の組み合わせから、足利岩体の近傍で黒雲母が再結晶化している(第9図A)。再結晶化した雲母類はランダムに配列(第9図A)しているものが、再結晶化が増すにつれて片理を形成している(第9図B)。更に再結晶化が進行すると緑泥石の分解が始まり黒雲母の片理を形成する変成

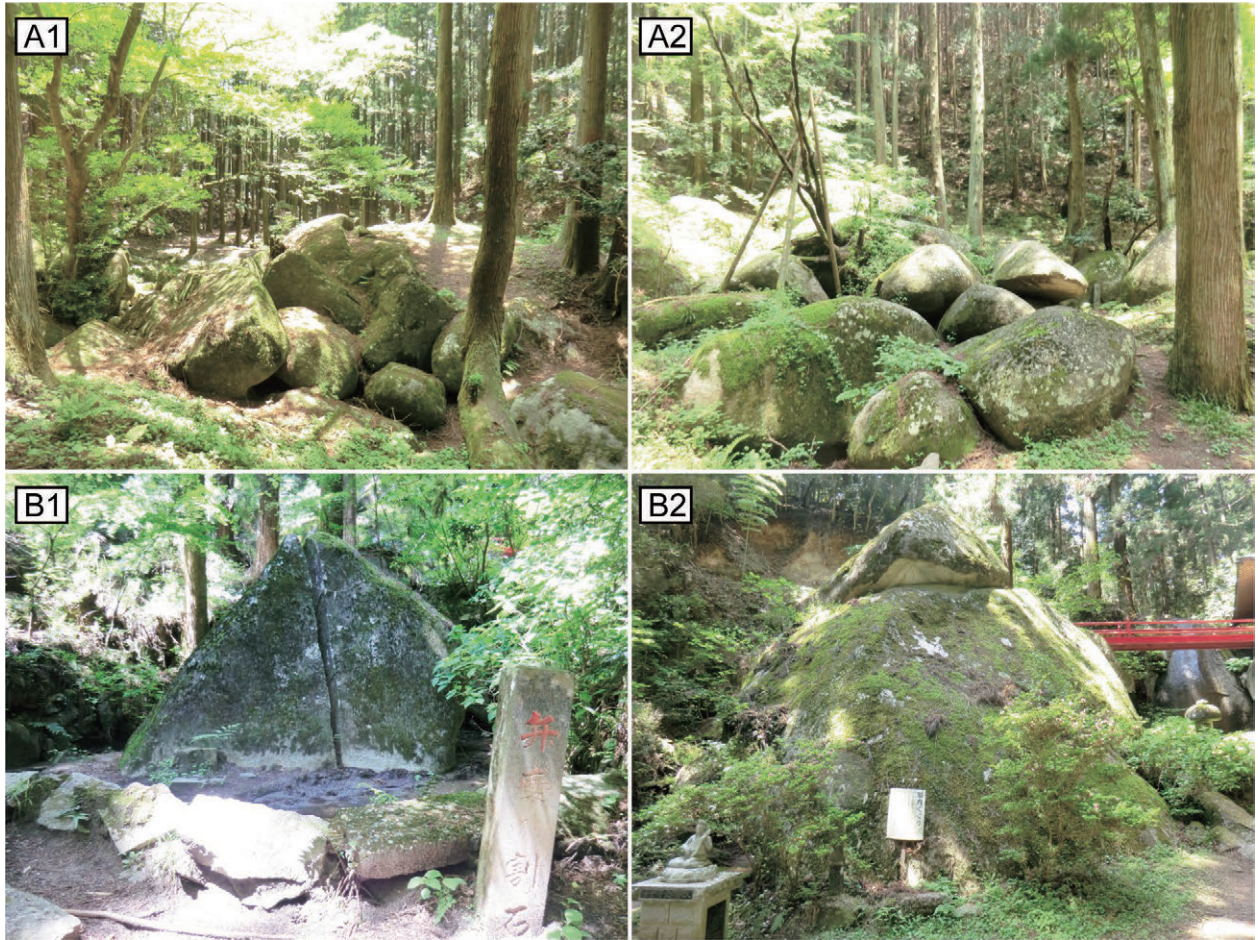
泥岩が観察される(第9図C)。

原岩組成によって紅柱石及びざくろ石がそれぞれ変成泥岩中に再結晶化している(第9図D, E, F)。紅柱石は風化し白雲母に完全に置換されているが、柱状のセクターゾーニングを保存している場合がある。ざくろ石は直径50 μm以下の粒状の形態を示すもの(第9図E)と、樹枝状の形態を示すもの(第9図F)が観察され、泥質部に黒雲母と共存する。変成鉱物の分布に基づく、変成域の幅は岩体から500 m程度と考えられる(第3図)。

4. 放散虫化石

4.1 手法

第3図の範囲内に分布するチャート及び泥岩について



第5図 足利岩体の黒雲母花崗閃緑岩の産状。(A)「名草の巨石群」で見られる黒雲母花崗閃緑岩のコアストーン。(B)名草巖島神社にある直径数メートル以上の黒雲母花崗閃緑岩。露頭であると考えられる。

Fig. 5 Field occurrences of biotite granodiorite of the Ashikaga Body. (A) Several corestones of biotite granodiorite in the Nagusa Gigantic Rocks. (B) Possible outcrops of biotite granodiorite (over than several meters) in the Nagusa Itsukushima Shrine.

計20試料を採取し放散虫抽出を試みた。抽出方法は以下のとおりである。まず、数センチ角に砕いた試料を、約5%のフッ化水素酸水溶液に浸した。24時間後、0.054 mmの篩を用いて溶液中の残渣は回収した。残渣の一部は光硬化剤(GJ-4006, Gluelabo Ltd.)を使い封入し、透過型光学顕微鏡で観察するためのプレパラートを作成した。また、乾燥した残渣を実体顕微鏡下で観察し、放散虫化石を拾い出した。拾い出した放散虫化石は、産業技術総合研究所地質調査総合センターの電子顕微鏡(JSM-6610LV, JEOL GmbH)を使い観察した。

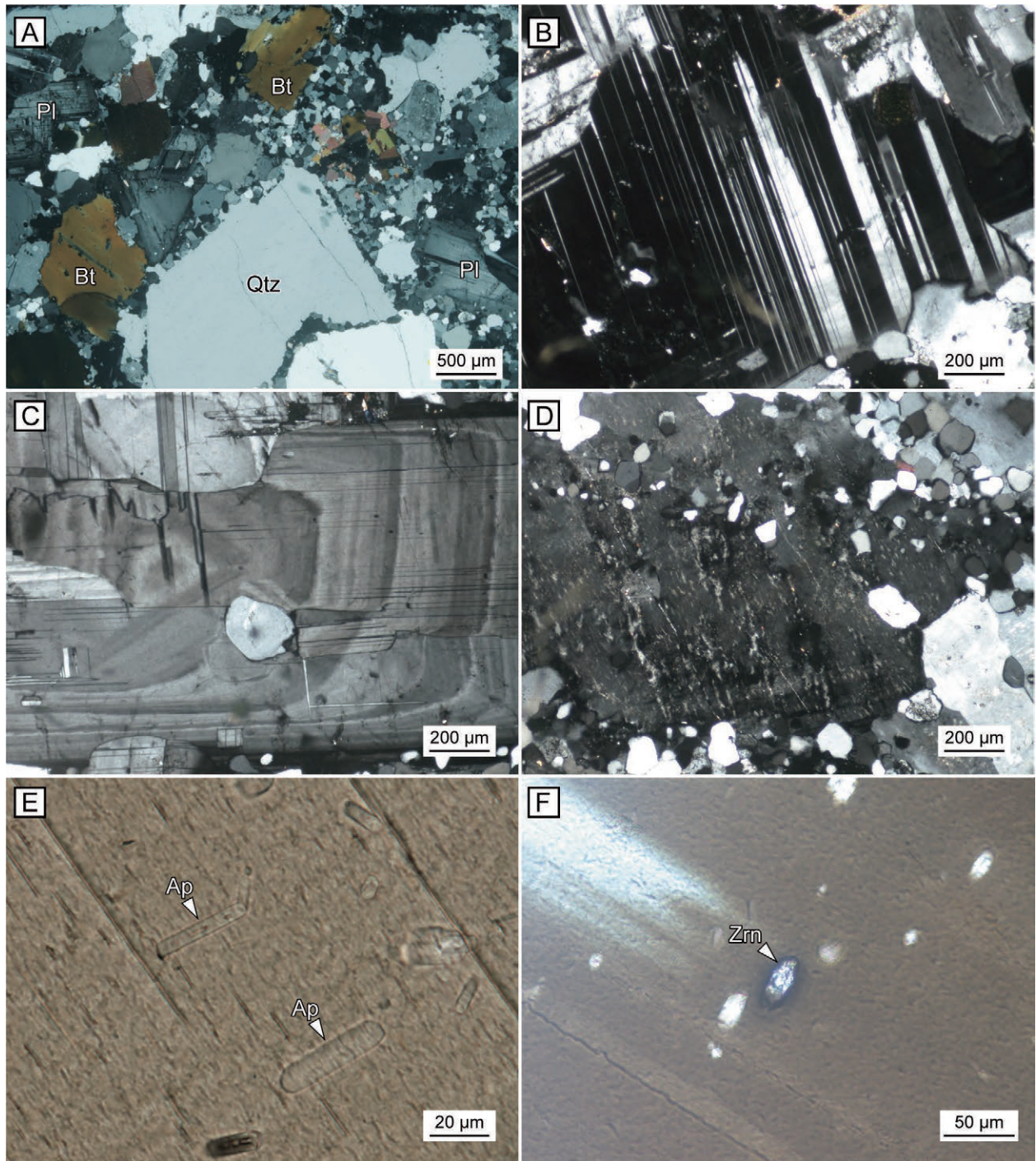
4.2 本研究で得られた放散虫化石

本研究では、足利岩体に近い試料からは微化石は得られなかった。足利岩体から南西に1.5 km以上離れた猪子峠周辺のチャート4試料(IT16071801, IT16071802, IT16071803, IT16071804)及び岩体から西に1.5–2 kmほど離れた岩切北部のチャート3試料(IT17112501,

IT17112502, IT17112503)から放散虫が見出された(第10図)。これらの化石の多くは殻の表面が再結晶化しており、概して保存は著しく不良である。

猪子峠南の舗装道路(栗谷・松田線)沿いで採取した明灰色チャート(IT16071801)からは、閉球状ナッセラリアが得られた。その北東の舗装道路(栗谷・松田線)沿いには10 m程度に渡り大規模に層状チャートが露出しており、採取した3試料から放散虫が得られた。暗灰色チャート(IT16071802)からは、球状放散虫及び閉球状ナッセラリアが産出した。2つの灰色チャート(IT16071803, IT16071804)からは、球状放散虫が得られた。

岩切の北にある林道沿いで採取した暗灰色チャート(IT17112501)からは、球状放散虫やナッセラリアが得られた。さらにその北にある知の岳付近の稜線沿いに露出する明灰色チャート(IT17112502, IT17112503)からは、球状放散虫及びナッセラリアを見出した。加えて、IT17112502からは、*Pseudoristola* sp.や*Archaeospongoprimum*

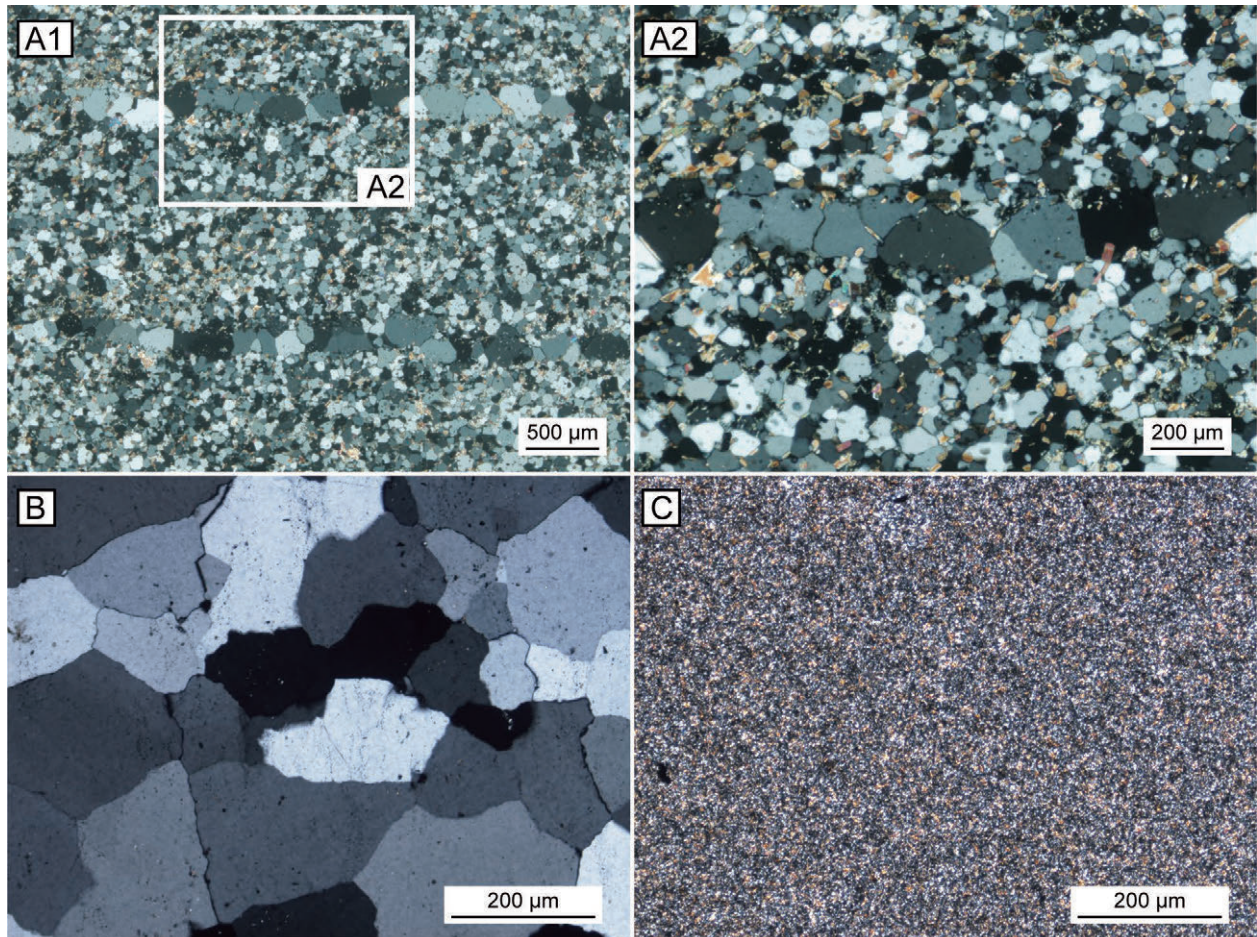


第6図 足利岩体の黒雲母花崗閃緑岩の薄片写真。(A) 主要構成鉱物の石英，斜長石，カリ長石，黒雲母を含む花崗閃緑岩。(B) アルバイト式双晶を呈する斜長石。(C) 累帯構造を呈する斜長石。(D) パーサイト構造を呈するカリ長石。(E) 黒雲母中にみられるアパタイト。(F) 黒雲母中にみられるジルコン。(A-D) クロスニコル。(E, F) オープンニコル。Qtz：石英；Pl：斜長石；Bt：黒雲母；Ap：アパタイト；Zrn：ジルコン。

Fig. 6 Photomicrographs of thin sections of biotite granodiorite of the Ashikaga Body. (A) Granodiorite containing major constituent minerals, Quartz, plagioclase, K-feldspar and biotite. (B) Albite-twin of plagioclase. (C) Zonal structure of plagioclase. (D) Perthite texture of K-feldspar. (E) Apatite within biotite. (F) Zircon within biotite. (A-D) Crossed nicol. (E, F) Open nicol. Qtz: quartz; Pl: plagioclase; Bt: biotite; Ap: apatite; Zrn: zircon.

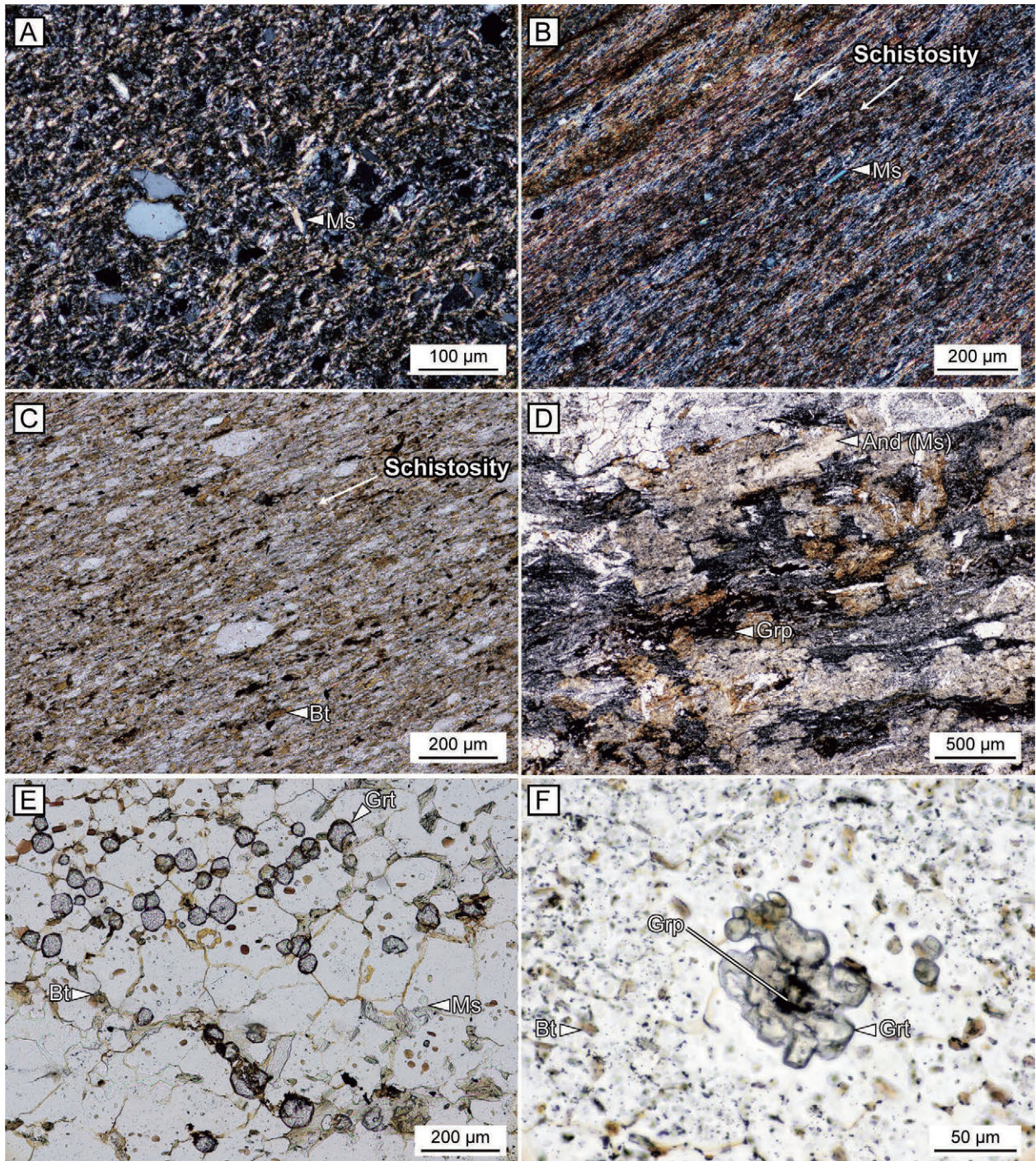


第7図 足利岩体周辺に分布する足尾帯ジュラ紀付加体の構成岩類の産状。(A)塊状の変成泥岩。(B)層状の変成チャート。
Fig. 7 Field occurrences of component rocks of accretionary complex of the Ashio belt around the Ashikaga Body. (A) Massive metapelite. (B) Bedded metachert.



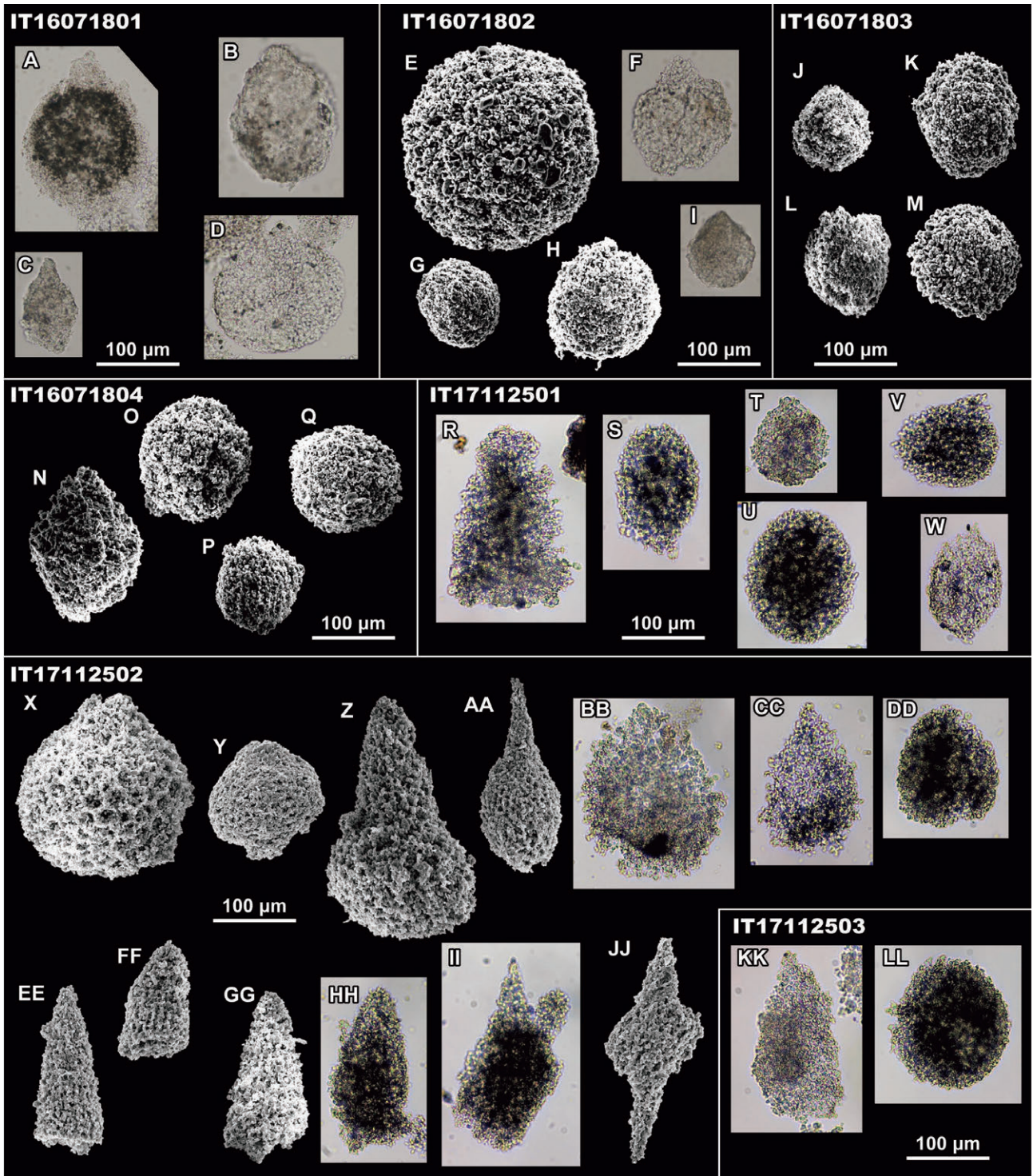
第8図 接触変成岩の薄片写真。(A)変砂質岩を挟む変成泥岩。黄みがかった細粒鉱物は黒雲母である。(B)粗粒な石英からなる変成チャート。(C)主に隠微晶質石英からなる変成チャート。全てクロスニコルで撮影。

Fig. 8 Photomicrographs of thin sections of contact metamorphic rock. (A) Metapelite interbedding thin-layered metapsammitic rock. Yellowish fine mineral is biotite. (B) Metachert composed of coarse-grained quartz. (C) Metachert composed mainly of cryptocrystalline quartz. All photomicrographs are under crossed nicol.



第9図 変成泥岩の薄片写真。(A) 変成泥岩中に発達する白雲母。(B) 片理面を切断する白雲母。(C) 片理面に平行に発達する黒雲母。(D) 白雲母に置換された柱状のアルミノ珪酸塩鉱物。変質前は紅柱石であったと推定される。(E) 粒状のざくろ石。(F) グラファイトを含む樹枝状のざくろ石。(A, B) クロスニコル。(C-F) オープンニコル。Ms: 白雲母; Bt: 黒雲母; And: 紅柱石; Grp: グラファイト; Grt: ざくろ石。

Fig. 9 Photomicrographs of thin sections of metasediment. (A) Muscovite within metapelite. (B) Muscovite which cuts schistosity. (C) Biotite which is parallel to schistosity. (D) Columnar muscovite replaced from aluminosilicate. (E) Granular garnet. (F) Dendritic garnet containing graphite. (A, B) Crossed nicol. (C-F) Open nicol. Ms: muscovite; Bt: biotite; And: andalusite; Grp: graphite; Grt: garnet.



第10図 放散虫の電子顕微鏡写真。(A-D, F, I, X, Y, BB, CC)閉球状ナッセラリア。(E, G, H, J-Q, S-W, DD, LL)球状放散虫。(R, EE-HH, KK)ナッセラリア。(Z) *Pseudoristola* sp. (AA) *Archaeospongoprunum* sp. (JJ) *Archaeospongoprunum?* sp.

Fig. 10 SEM images of radiolarian tests. (A-D, F, I, X, Y, BB, CC) Closed nassellarian. (E, G, H, J-Q, S-W, DD, LL) Spherical radiolarian. (R, EE-HH, KK) Nassellaria. (Z) *Pseudoristola* sp. (AA) *Archaeospongoprunum* sp. (JJ) *Archaeospongoprunum?* sp.

第1表 足利市北部で採取した泥質岩を対象としたラマン分光顕微ラマン分光装置による分析結果。最高変成温度(T1, T2, T3, and T4)は、それぞれAoya *et al.* (2010), Beyssac *et al.* (2002), Kouketsu *et al.* (2014) とLahfid *et al.* (2010) による方法を用いて計算した。

Table 1 Summary of Raman spectroscopic results of pelitic rocks in northern Ashikaga City, Tochigi Prefecture. Peak metamorphic temperatures (T1, T2, T3, and T4) were calculated by the method of Aoya *et al.* (2010), Beyssac *et al.* (2002), Kouketsu *et al.* (2014) and Lahfid *et al.* (2010), respectively.

Sample	Distance (m)	G band (cm ⁻¹)	1σ	G band FWHM	1σ	D1 band (cm ⁻¹)	1σ	D1 band FWHM	1σ	R1 ratio	1σ	R2 ratio	1σ	n	T ¹	1σ	T ²	1σ	T ³	1σ	T ⁴	1σ	
IT18051201	1384	1589.3	3.32	57.0	7.44	1346.7	1.37	67.2	11.95	1.67	0.18	0.62	0.045	25	362	16	365	20					
IT18071501	34	1588.5	3.37	37.7	2.79	1351.5	1.19	45.1	4.70	1.37	0.20	0.56	0.022	26	385	9	391	10					
IT18022002	103	1579.9	0.54	18.5	0.74	1350.1	0.77	41.1	2.00	0.24	0.07	0.28	0.064	26	513	33	518	28					
IT16071805	1132	1606.2	2.27	47.0	2.71	1346.9	1.45	86.8	7.17	0.61	0.05	1.62	0.345	27					291	15	295	63	

sp.が得られている。

O'Dogherty *et al.* (2009a)によれば、*Pseudoristola*属の産出レンジは前期ジュラ紀のプリンスバッキアン期〜トアルシアン期前期に限られるとされる。従って、IT17112502はこの時代を示す可能性がある。2試料(IT16071801, IT16071802)から産出する閉球状ナッセリアは、中生代のジュラ紀から白亜紀に一般的に産出する(O'Dogherty *et al.*, 2009a)。従って、詳細な年代は不明であるがジュラ紀から白亜紀を示すと考えられる。球状放射虫やナッセリアの産出レンジは長いため年代決定には有効ではなく、5試料(IT16071803, IT16071804, IT17112501, IT17112503)の年代は不明である。

4.3 先行研究で報告されている放射虫化石

高柳ほか(2001)は、足利地域の複数の地点から放射虫の産出を報告している。第3図の範囲内では、猪子峠周辺のチャート試料(ASK-5)から*Capnodoce* sp.及び*Spumellaria* gen. et sp. indet.を報告している。O'Dogherty *et al.* (2009b)によれば、*Capnodoce*属の産出レンジは後期三畳紀のカーニアン期後期〜ノーリアン期中期である。従って、チャート試料(ASK-5)はこの年代を示す可能性がある。

5. 接触変成帯の変成温度

5.1 手法

顕微鏡観察に用いた研磨薄片を利用して新潟大学に設置されている顕微ラマン分光装置(JASCO NRS3100)による分析を実施した。532 nmの波長を有するNd:YAG (Nd-doped yttrium aluminum garnet) レーザーを利用し、炭質物の結晶性に依存して0.7 mWから2.5 mWまでレーザー強度を変更している。回折格子は1800 g/mmを利用し、1000–1800 cm⁻¹の波数を取得した。この波数領域での波数校正には人工ダイヤモンド(1333 cm⁻¹)を利用して、分析条件としては、適切なシグナル/バックグラウンド強度を取得するために5–20秒で3回積算を行っている。またエポキシ樹脂からの蛍光の影響をなるべく避けるため25 μmまたは50 μmのピンホールスリットを利用している。

取得したデータに関してはPeak Fit 4.12を利用してG band (~1580 cm⁻¹), D1 band (~1350 cm⁻¹), D2 (~1600 cm⁻¹), D3 (~1450 cm⁻¹), D4 (~1200 cm⁻¹) にピーク分割を行い、ピーク強度比(*I*_{D1} / *I*_G ratio)とピーク面積比(*Area*_{D1} / *Area*_{G + D1 + D2})を計算した。

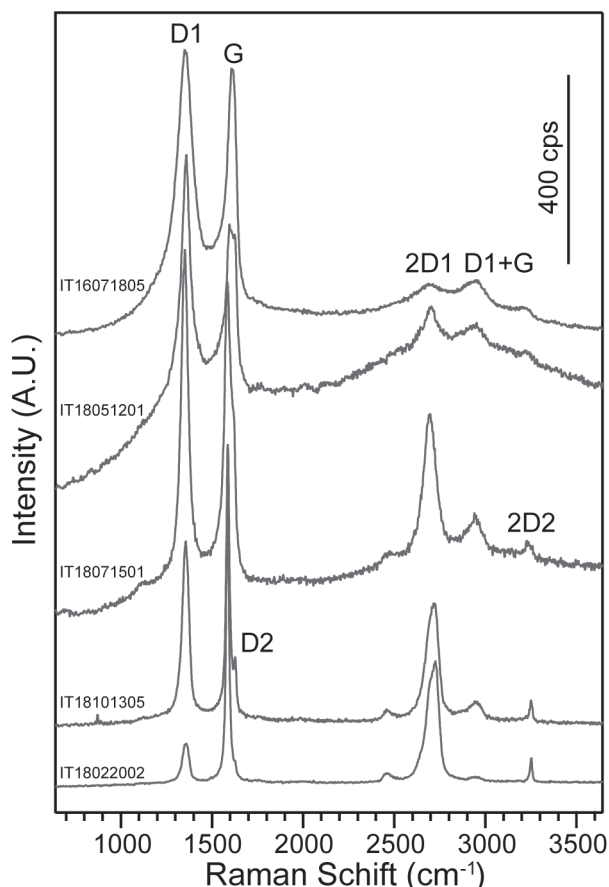
5.2 足利岩体周辺の変成温度推定

炭質物を多く含む泥質岩を対象に炭質物温度計(Raman Spectra of Carbonaceous Material thermometry)を利用した変成温度推定を試みた(Beyssac *et al.*, 2002; Aoya *et al.*, 2010; Kouketsu *et al.*, 2014)。炭質物温度計による最高被熱温度推定は、簡便かつ短時間で分析可能であることから、様々な地域の地質構造の解釈に広く利用されている(例えば、Endo and Wallis, 2017; Nakamura *et al.*, 2019)。

詳細な分析結果は第1表に示す。足利岩体から離れた地域では、ブロードなD1 band とG bandが観察される(第11図)。足利岩体により近い試料ほどD1 bandの強度が低下し、D1 bandとG bandの半値幅(Full Width at Half Maximum; FWHM)も小さくなる。また炭質物の2500から3300 cm⁻¹の波数領域において、対象なピーク形状であった2D1ピークが非対称な形状へと変化している(第11図)。この非対称ピークはグラファイトの3次元構造形成を示唆しており、花崗岩体からの熱変成によって非晶質な炭質物がグラファイトに再結晶化したことを示している(Cançado *et al.* 2008)。

本研究では、炭質物温度計の温度適用範囲に応じて高温側でAoya *et al.* (2010)とBeyssac *et al.* (2002)、低温側でKouketsu *et al.* (2014)とLahfid *et al.* (2010)の式を利用して、足利岩体周辺のジュラ紀付加体黒保根-桐生コンプレックスの被熱温度を推定した。Lahfid *et al.* (2010)の温度換算式を用いた1試料(IT18101305)のデータを除き、すべてのデータで約30 °Cの温度誤差で変成温度を推定できた(第1表)。いずれの温度計を用いた場合でも5–10 °C以内の温度差となっており、分析精度や温度計に由来する誤差の影響は少ないと判断される。

最も変成温度が高い試料は足利岩体の南縁部から採取されたもの(IT18022002)で、513 ± 33 °Cの変成温度が得られた。一方、足利岩体の北縁部の試料(IT18071501)



第11図 足利市北部地域で採取した泥質岩のラマンスペクトル。

Fig. 11 Raman spectra of pelitic rocks in northern Ashikaga City, Tochigi Prefecture.

からは、 385 ± 9 °Cの変成温度が得られた。最も変成温度が低いものは足利岩体から南西に約1 km離れた試料(IT16071805)で、炭質物温度計によって 291 ± 15 °Cの変成温度を示す。一方、足利岩体の北西から1.3 km以上離れた地点から採取した試料(IT18051201)では、より高温の 362 ± 16 °Cの変成温度が得られている。

6. 足利岩体の貫入状況の推定

足利岩体の北縁部と南縁部から得られた試料(IT18071501及びIT18022002)からは、それぞれ 385 ± 9 °Cと 513 ± 33 °Cの変成温度が得られ、大きな温度差が確認される。50 °C以上の変成温度の差を分析誤差として解釈することは困難であり、貫入形態などの影響が推定される。分析試料が少ないため具体的な議論はできないが、一つの可能性として、足利岩体の貫入角度の違いによる温度勾配の違いが想定される。

一方、本研究において、炭質物温度計によって得られた最も低い変成温度は、足利岩体から南西に約1 km離れた試料(IT16071805)の 291 ± 15 °Cである。この試料の

南方の猪子峠周辺のチャートからは複数の地点から放散虫が見出されており(高柳ほか, 2001; 本研究), この周辺は足利岩体からの熱的影響が少ないことが示唆される。これに対し、足利岩体の北西で採取した試料(IT18051201)からは、岩体から1.3 km以上離れているにもかかわらず、上記の試料(IT16071805)より明らかに高温である 362 ± 16 °Cの変成温度が得られた。この変成温度は足利岩体の北縁部の試料から得られた試料の変成温度(385 ± 9 °C)に近い。上述の通り、50 °C以上の変成温度の誤差が生じることは考えにくいことから、地下に伏在する岩体、あるいは既に剝離されて現存しない岩体の存在が示唆される。

7. まとめ

- 1) 栃木県足利市名草に楕円形状に分布する足利岩体の記載を行った。足利岩体を構成する黒雲母花崗閃緑岩は、細粒～中粒で等粒状組織を示し、主要構成鉱物として石英・斜長石・カリ長石・黒雲母を含む。
- 2) 足利岩体の周辺には、足尾帯ジュラ紀付加体の黒保根-桐生コンプレックスの泥岩及びチャートが分布する。足利岩体の縁辺部では明瞭な接触変成帯を形成しており、泥岩は変成泥岩に、チャートは変成チャートとなっている。変成泥岩では、紅柱石やざくろ石が再結晶化している。
- 3) 足利岩体付近の泥岩やチャートからは微化石は産出しなかったが、1.5 km以上離れた地点のチャートからは放散虫化石が得られた。概して保存は不良であるが、前期ジュラ紀のプリンスバッキアン期～アルシアン期前期から産出する*Pseudoristola*属の放散虫が1試料から得られた。
- 4) 炭質物を多く含む変成泥岩を対象に、炭質物温度計を利用して被熱温度を推定した。足利岩体の南縁部の試料からは 513 ± 33 °Cの変成温度が得られたのに対し、北縁部の試料からは 385 ± 9 °Cの変成温度が得られた。このことは、足利岩体の貫入角度の違いなどを反映している可能性がある。
- 5) 足利岩体から南西に約1 km離れた試料から 291 ± 15 °Cの変成温度が得られたのに対し、足利岩体から北西に1.3 km以上離れた試料からは、より高温の 362 ± 16 °Cの変成温度が得られた。この試料が得られた地点の周辺には、岩体が地下に伏在している可能性あるいは既に剝離されて現存しない岩体が周辺に存在していた可能性が示唆される。

謝辞：新潟大学の顕微ラマン分光装置を使用するにあたり、同大学の小西博巳教授にご協力いただいた。九州大学の池田 剛准教授には、原稿を丁寧に査読していただき、本論文の内容は大幅に改善された。

文 献

- Aono, H. (1985) Geologic structure of the Ashio and Yamizo Mountains with special reference to its tectonic evolution. *Science Reports of the Institute of Geoscience, University of Tsukuba, Section B, Geological Sciences*, **6**, 21–57.
- Aoya, M., Kouketsu, Y. and Endo, S. (2010) Extending the applicability of the Raman carbonaceous-material geothermometer using data from contact metamorphic rocks. *Journal of Metamorphic Geology*, **28**, 895–914.
- Beysac, O., Goffé, B. and Chopin, C. (2002) Raman spectra of carbonaceous material in metasediments: A new geothermometer. *Journal of Metamorphic Geology*, **20**, 859–871.
- Endo, S. and Wallis, S. R. (2017) Structural architecture and low-grade metamorphism of the Mikabu-Northern Chichibu accretionary wedge, SW Japan. *Journal of Metamorphic Geology*, **35**, 695–716.
- Cançado, L. G., Takai, K. and Enoki, T. (2008) Measuring the degree of stacking order in graphite by Raman spectroscopy. *Carbon*, **46**, 272–275.
- Geological Survey of Japan, AIST (2018) Seamless digital geological map of Japan 1: 200,000. January 26, 2018 version. Geological Survey of Japan, AIST. <https://gbank.gsj.jp/seamless/v2full/> (Accessed:2018-1-26)
- 林 信悟・長谷川美行(1981) 足尾帯の秩父系—大型化石およびコノドントによる年代論(その2) — 中生代構造作用の研究, no. 3, 232–249.
- Ito, T. (2019) A report of Permian, Triassic, and Jurassic radiolarian occurrences from the Ashio terrane in the Hachioji Hills, eastern Gunma Prefecture, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **70**, 225–247.
- Ito, T. (2020) A Cisuralian (early Permian) radiolarian assemblage and a new species of *Latentibifistula* Nazarov and Ormiston from central Japan. *Revue de Micropaléontologie*, **66**, 100407.
- Kamata, Y. (1996) Tectonostratigraphy of sedimentary complex in the southern part of the Ashio terrane, central Japan. *Science Reports of the Institute of Geoscience, University of Tsukuba, Section B, Geological Sciences*, **17**, 71–107.
- 河田喜代助(1951) 八溝・鷲ノ子・鷄足各山塊に於ける火成活動. 地質学雑誌, **57**, 439–448.
- 河野義礼・植田良夫(1964) 本邦火成岩のK–Ar dating (I), 岩鉱, **51**, 127–148.
- 河野義礼・植田良夫(1966) 本邦火成岩のK–Ar dating (IV) 東北日本の花崗岩類, 岩鉱, **56**, 41–55.
- 川野良信(2011) 蛍光X線分析による足尾山地, 沢入花崗閃緑岩体の全岩化学組成. 地球環境研究, **13**, 25–31.
- Kouketsu, Y., Mizukami, T., Mori, H., Endo, S., Aoya, M., Hara, H., Nakamura, D. and Wallis, S. (2014) A new approach to develop the Raman carbonaceous material geothermometer for low-grade metamorphism using peak width. *Island Arc*, **23**, 33–50.
- 小山一郎(1921) 日本に於ける建築石材(二). 地質学雑誌, **28**, 15–28.
- Lahfid, A., Beyssac, O. and Deville, E. (2010) Evolution of the Raman spectrum of carbonaceous material in low-grade metasediments of the Glarus Alps (Switzerland). *Terra Nova*, **22**, 354–360.
- Nakajima, T., Takahashi, M., Imaoka, T. and Shimura, T. (2016) Granitic rocks. In Moreno, T., Wallis, S., Kojima, T. and Gibbons, W., eds., *The Geology of Japan*, Geological Society, London, 251–272.
- Nakamura, Y., Hara, H. and Kagi, H. (2019) Natural and experimental structural evolution of dispersed organic matter in mudstones: The Shimanto accretionary complex, southwest Japan. *Island Arc*, **28**, e12318.
- 西川晃太郎・清水隆一・川野良信(2015) 栃木県, 宇都宮市北部に分布する花崗岩質岩の岩石学的研究. 地球環境研究, **17**, 27–34.
- O'Dogherty, L., Carter, E. S., Dumitrica, P., Goričan, Š., De Wever, P., Bandini, A. N., Baumgartner, P. O. and Matsuoka, A. (2009a) Catalogue of Mesozoic radiolarian genera. Part 2: Jurassic–Cretaceous. *Geodiversitas*, **31**, 271–356.
- O'Dogherty, L., Carter, E. S., Dumitrica, P., Goričan, Š., De Wever, P., Hungerbühler, A., Bandini, A. N. and Takemura, A. (2009b) Catalogue of Mesozoic radiolarian genera. Part 1: Triassic. *Geodiversitas*, **31**, 213–270.
- Ogasawara, M., Fukuyama, M., Horie, K., Sumii, T. Takehara, M. and Sudo, M. (2013) SHRIMP U–Pb age of SoriZ93 zircon from the Sori Granodiorite, Northeast Japan: a potential reference zircon of Late Cretaceous age. *Island Arc*, **22**, 306–317.
- Ogg, J. G., Ogg, G. M. and Gradstein, F. M. (2016) *A Concise Geologic Time Scale 2016*. Elsevier, Amsterdam, 234p.
- Shibata, K. and Miller, J. A. (1963) Potassium–Argon age of the Sori Granodiorite, Ashio Mountain Block. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **14**, 102.
- Sudo, M., Uto, K., Anno, K., Ishizuka, O. and Uchiumi, S. (1998) SORI93 biotite: A new mineral standard for K–Ar dating. *Geochemical Journal*, **32**, 49–58.
- 須藤定久・牧本 博・秦 光男・宇野沢 昭・滝沢文教・坂本 亨・駒澤正夫・広島俊男(1991) 20万分の1地質図幅「宇都宮」, 地質調査所.

- 高橋裕平(1982) 筑波地方のカコウ質岩類. 地質学雑誌, **88**, 177-184.
- 高柳充志・堀 常東・指田勝男(2001) 栃木県足利北部地域における足尾帯堆積岩コンプレックスの構造層序と放散虫化石. 大阪微化石研究会誌特別号, no. 12, 113-127.
- Uto, K., Ishizuka, O., Matsumoto, A., Kamioka, H. and Togashi, S. (1997) Laser-heating $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating system of the Geological Survey of Japan: System outlines and preliminary results. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **48**, 23-46.
- 矢内桂三(1972) 足尾山地北部の後期中生代酸性火成岩類 その1 地質. 岩石鉱物鉱床学会誌, **67**, 193-202.
- 矢内桂三(1973) 足尾山地北部の後期中生代酸性火成岩類 その2 岩石並びに造岩鉱物の記載とその考察. 岩石鉱物鉱床学会誌, **68**, 6-29.
- 矢内桂三(2008) 2.3 足尾山地, 2.3.2 日光周辺の珪長質火成岩類. 日本地質学会編, 日本地方地質誌3 関東地方, 朝倉書店, 東京, 101-104.
- (受付 : 2019年12月2日 ; 受理 : 2020年2月12日)

地質調査総合センター研究資料集

- | | | |
|-----|--|-----------------------------------|
| 716 | 東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測施設整備工事（三重県松阪市地区）報告書 | 重松 紀生・小泉 尚嗣・木口 努・渡辺 寛・伊藤 勉 |
| 717 | 東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測施設整備工事（高知県須崎市地区）報告書 | 板 場智史・梅田 康弘・小泉 尚嗣・木口 努・渡辺 寛 |
| 718 | 東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測施設整備工事（愛媛県松山市地区）報告書 | 佐藤 努・北川 有一・小泉 尚嗣・木口 努・名取 二郎・芳賀 政蔵 |
| 719 | 伊豆大島火山地質図（暫定版 2021） | 川辺 禎久 |
| 720 | 中国地域の地殻内応力マップデータ | 今西 和俊・内出 崇彦・椎名 高裕・松下 レイケン・中井 未里 |
| 721 | 始良カルデラ大隅降下軽石の地点層厚データ | 下司 信夫・西原 歩亮 |
| 722 | 大規模火砕噴火推移時系列データ集 その2 | 下司 信夫・池上 郁彦・西原 歩 |
| 723 | 日光白根火山の噴火記録集 | 及川 輝樹 |
| 725 | 第2 白嶺丸重力データ | 石原 丈実・小田 啓邦 |
| 726 | 産総研地下水等総合観測井における透水性評価のための孔井内測定手法の適用事例：主に測定時の制約に対応するために | 木口 努・桑原 保人 |

地質調査総合センターの最新出版物

5万分の1地質図幅	池田 陸中関
20万分の1地質図幅	野辺地（第2版）
土壌評価図	E-8 表層土壌評価基本図～四国地域～
水文環境図	No. 6 山形盆地（第2版） No. 12 紀の川平野
空中磁気図	No. 48 仙台平野南部沿岸地域高分解能空中磁気異常図
重力図	No. 34 名古屋地域重力図（ブーゲー異常）
海陸シームレス地質図	S-7 海陸シームレス地質情報集「相模湾沿岸域」
その他	東・東南アジア磁気異常図 改訂版（第3版） 中部地方の地球化学図

地質調査研究報告編集委員会

委員長 鈴木 淳
副委員長 佐々木 宗建
委員 宮城 磯 治
松本 弾 子
東郷 洋 子
高木 哲 一
川辺 能 成
大谷 竜 竜
長森 英 明
納谷 友 規
工藤 崇 崇
板木 拓 也
森 尻 理 恵

事務局

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター
地質情報基盤センター 出版室
<https://www.gsj.jp/inquiries.html>

Bulletin of the Geological Survey of Japan Editorial Board

Chief Editor: SUZUKI Atsushi
Deputy Chief Editor: SASAKI Munetake
Editors: MIYAGI Isoji
MATSUMOTO Dan
TOGO Yoko
TAKAGI Tetsuichi
KAWABE Yoshishige
OHTANI Ryu
NAGAMORI Hideaki
NAYA Tomonori
KUDO Takashi
ITAKI Takuya
MORIJIRI Rie

Secretariat Office

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Geological Survey of Japan
Geoinformation Service Center Publication Office
<https://www.gsj.jp/en/>

地質調査研究報告 第72巻 第4号
令和3年10月13日 発行

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター

〒305-8567
茨城県つくば市東1-1-1 中央第7

Bulletin of the Geological Survey of Japan
Vol. 72 No. 4 Issue October 13, 2021

Geological Survey of Japan, AIST

AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1, Higashi,
Tsukuba, Ibaraki 305-8567 Japan

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 72 No. 4 2021

CONTENTS

Special issue: Geology and fossils of the Kiryu and Ashikaga District,
southwestern Ashio Mountains

Special issue on geology of the Ashio belt of the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000) ITO Tsuyoshi	191
Geology and correlation of Jurassic accretionary complex in the Ashio Mountains, central Japan: Investigation on the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000) ITO Tsuyoshi	201
Radiolarians from Jurassic accretionary complex of the Ashio belt in the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000), central Japan ITO Tsuyoshi	287
Conodont fossils from the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000), central Japan with emphasis on the reexamination of “Carboniferous” conodonts from the Ashio Belt MUTO Shun and ITO Tsuyoshi	325
Occurrence report of Triassic and Jurassic radiolarians from the Jurassic accretionary complexes of the Ashio belt in eastern Mt. Narukami, Ashio Mountains, central Japan ITO Tsuyoshi, NAKAMURA Kazuya, HINOHARA Tatsuya and KURIHARA Toshiyuki	345
Radiolarians and foraminifers from the Omama Complex of Jurassic accretionary complex in the Ashio Mountains, central Japan ITO Tsuyoshi, SUZUKI Noritoshi and SASHIDA Katsuo	359
Geochemical characteristics of basaltic rocks from the Omama Complex of Jurassic accretionary complex in the Ashio Mountains, central Japan ITO Tsuyoshi and KUSANO Yuki	371
Biotite granodiorite of the Ashikaga Body and contact metamorphic rock in Nagusa, Ashikaga City, Tochigi Prefecture, central Japan ITO Tsuyoshi and NAKAMURA Yoshihiro	383