

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 *Archaeospongoprunum* 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*Archaeospongoprunum* 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

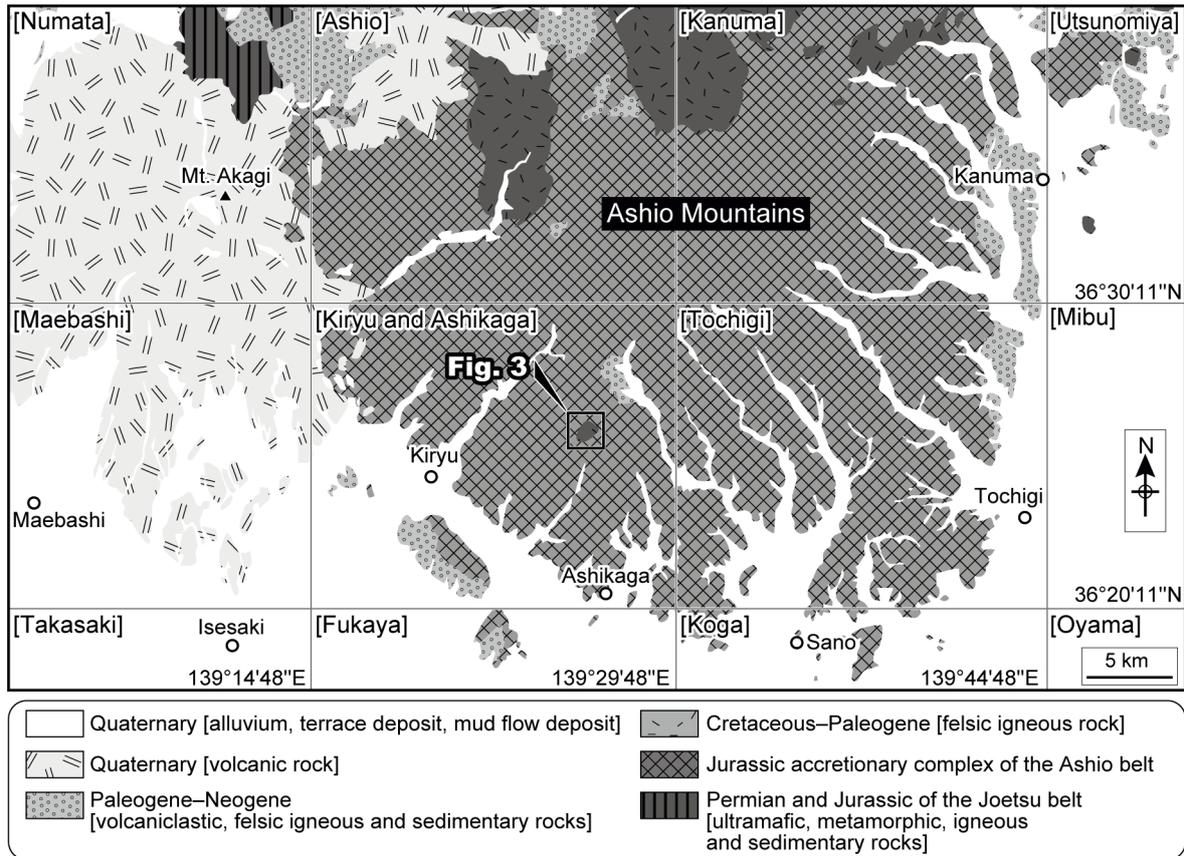
を利用した変成温度推定を試みたところ、岩体の北縁部と南縁部の2試料からそれぞれ385 °C及び513 °Cの変成温度が得られた。足利岩体の南北で変成温度が大きく異なっており、岩体の貫入角度の違いによる影響が考えられる。また、足利岩体から南西に約1 km離れた試料から 291 ± 15 °Cの変成温度が得られたのに対し、足利岩体から北西に1.3 km以上離れた試料からは、より高温の 362 ± 16 °Cの変成温度が得られた。地下に伏在する岩体や既に削剥されて現存しない岩体の存在が示唆される。

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。

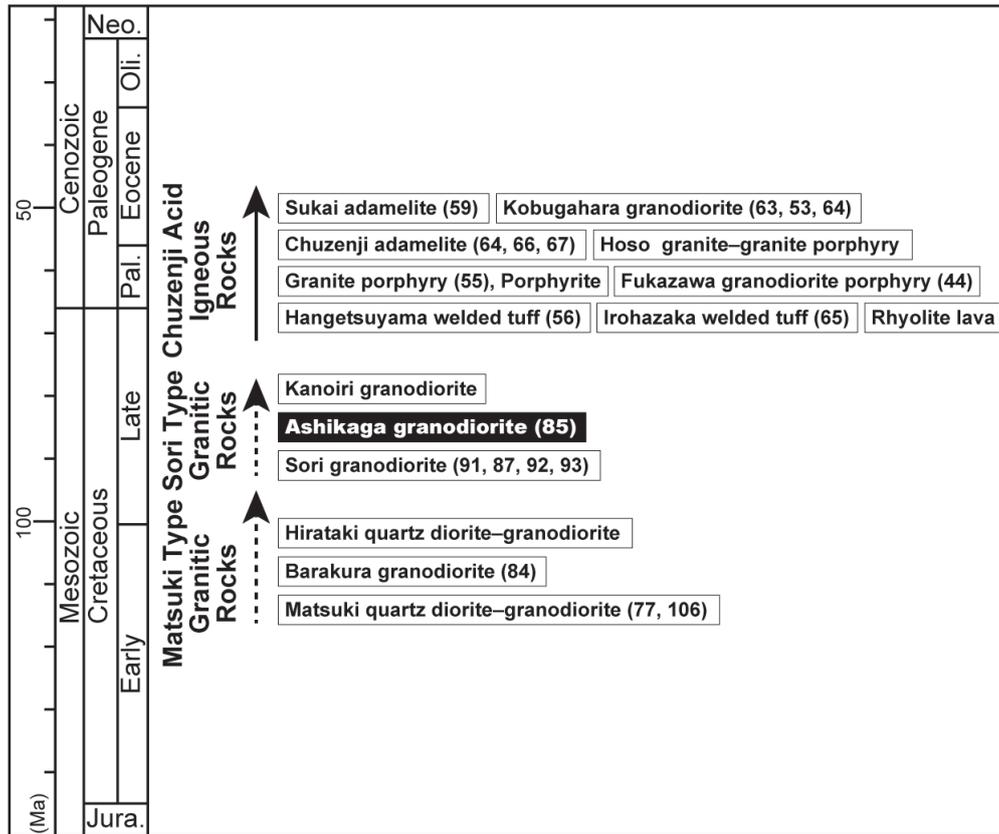
著者の1人である伊藤は、「桐生及足利」地域の5万分の1地質図幅作成に伴い、足利岩体を含む広域の地質調査を行っている (例えば, Ito, 2019, 2020)。本論では、基礎資料として、足利岩体の黒雲母花崗閃緑岩とその周辺の足尾帯ジュラ紀付加体にみられる接触変成岩の岩石学的特徴を記す。また、周辺のジュラ紀付加体から発見した放散虫化石について報告する。加えて、ジュラ紀付

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。

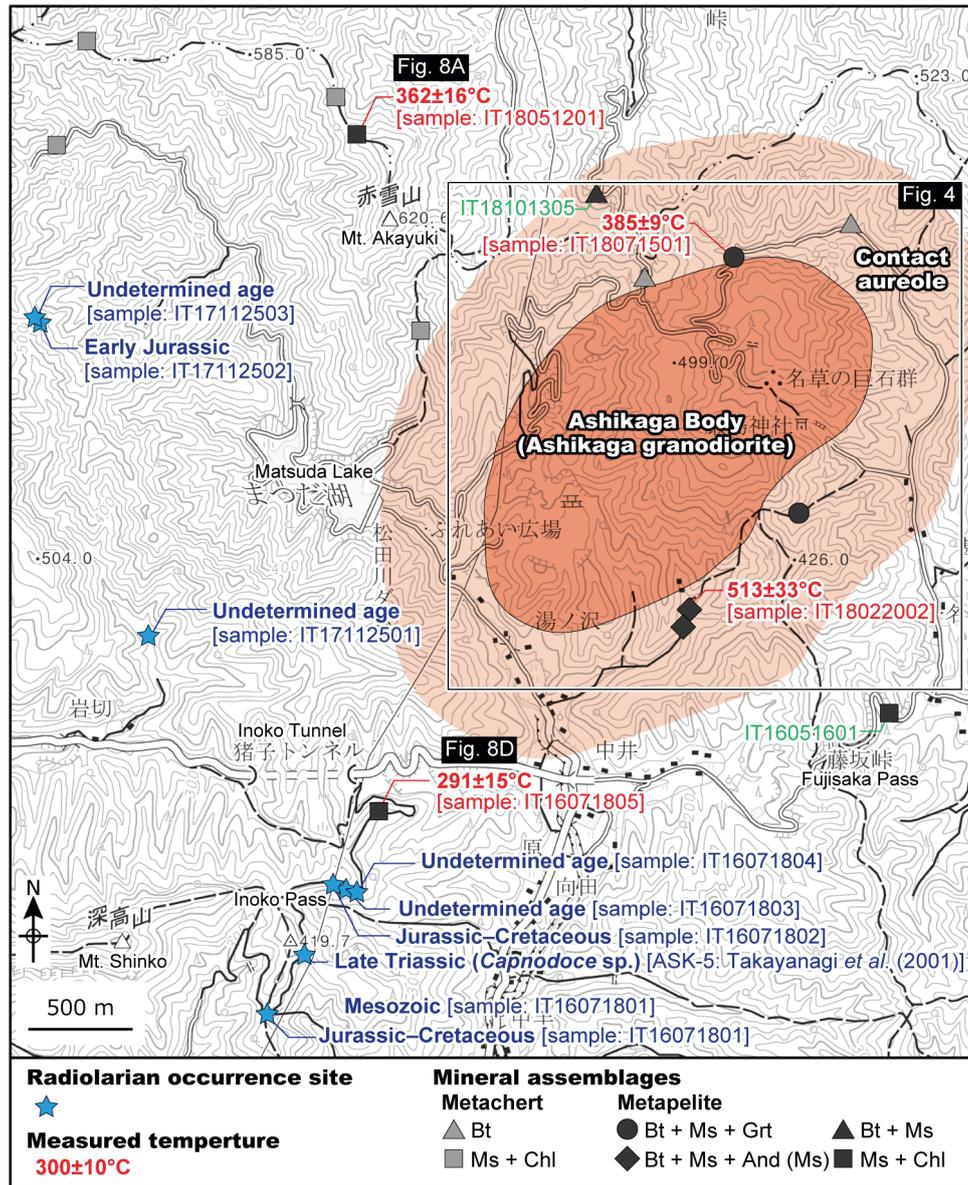
足利岩体周辺のジュラ紀付加体は泥岩とチャートからなり, Kamata (1996)が黒保根-桐生コンプレックスとした地質体に相当する。黒保根-桐生コンプレックスは, 放射虫やコノドントの微化石により, チャートは三疊紀, 泥質岩は中期ジュラ紀を示す(例えば, 林・長谷川, 1981; Aono, 1985; Kamata, 1996)。

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.

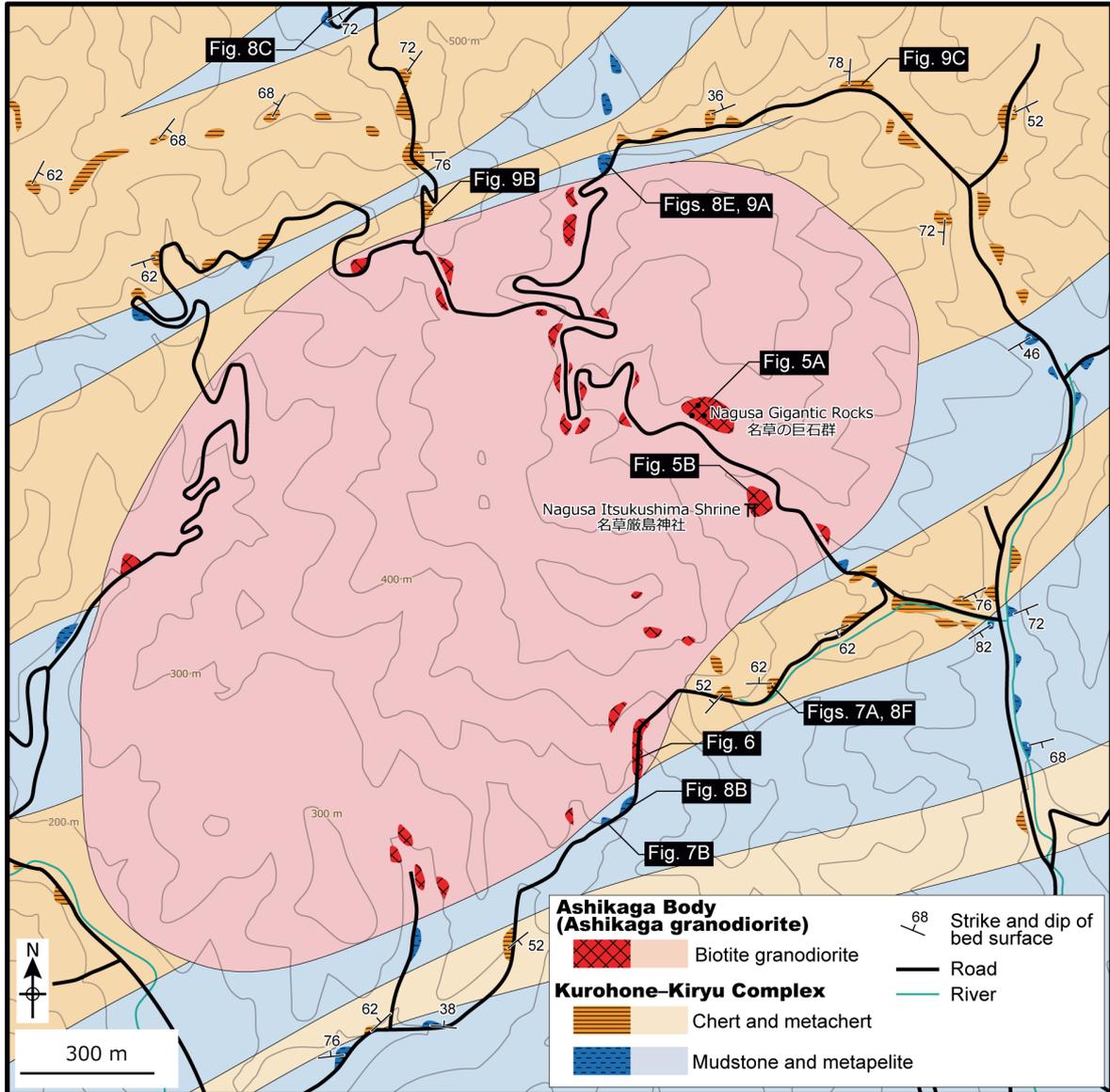
ト構造を示すカリ長石がみられる(第6図D)。黒雲母は粒径1-3 mmの半自形であり、褐色から茶褐色の多色性を示す。一部、細粒の緑泥石に変質している。黒雲母は、0.1 mm以下のアパタイトを多く含む(第6図E)。また、0.1 mm以下のジルコンもしばしばみられ(第6図F)、その周囲には多色性ハローが観察される。

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

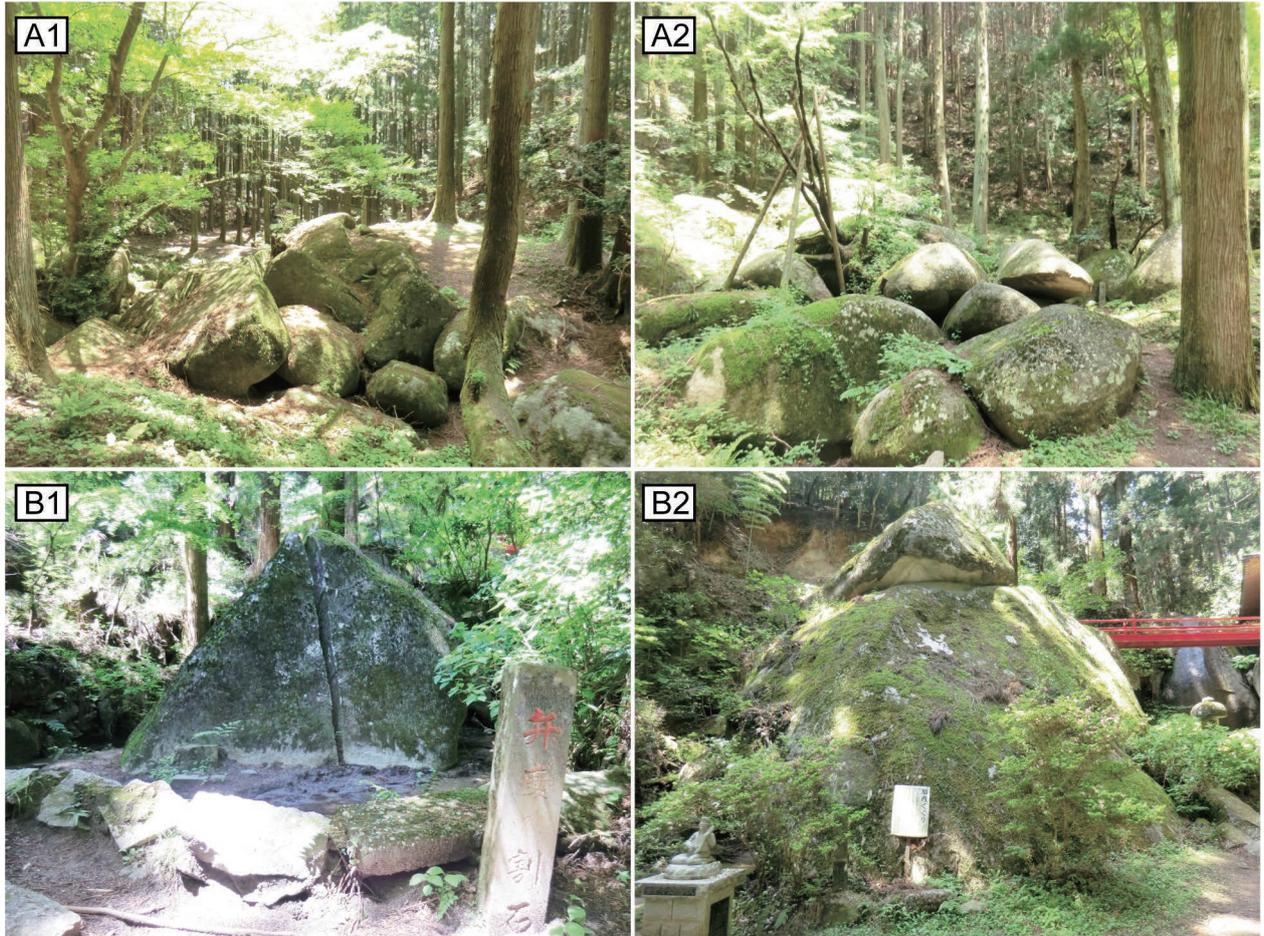
泥岩が観察される(第9図C)。

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。

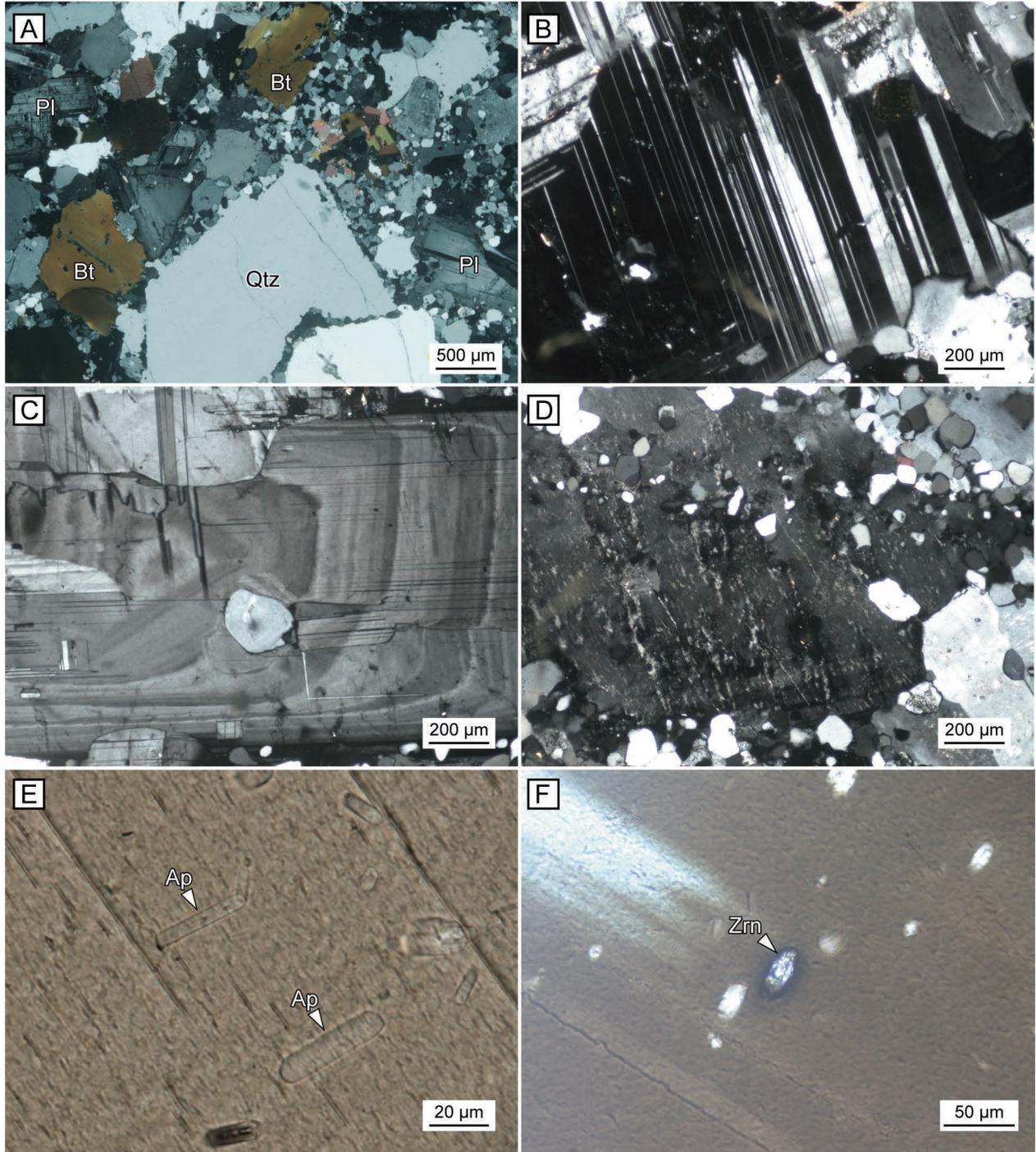
4.2 本研究で得られた放散虫化石

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*



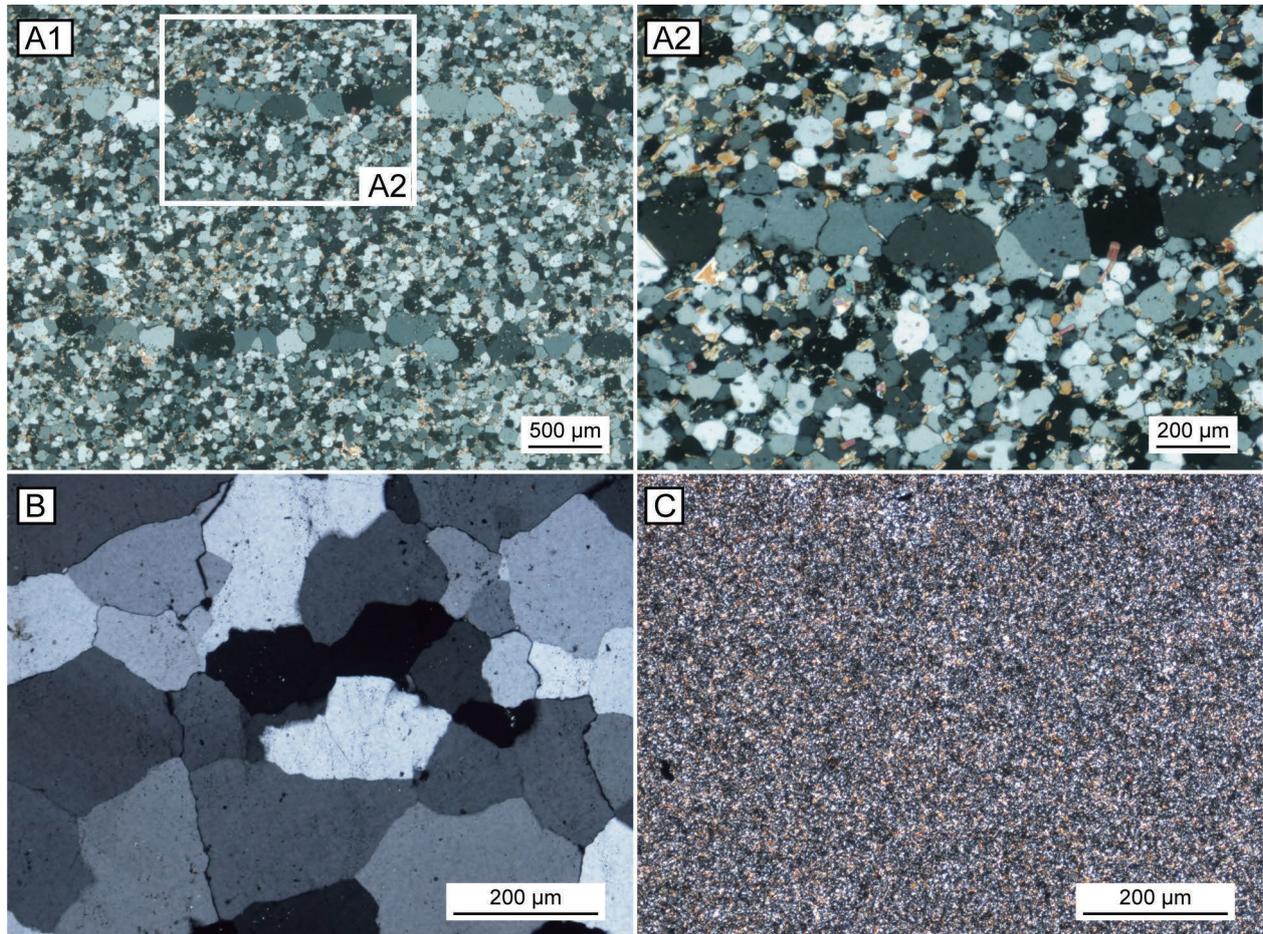
第6図 足利岩体の黒雲母花崗閃緑岩の薄片写真。(A) 主要構成鉱物の石英，斜長石，カリ長石，黒雲母を含む花崗閃緑岩。(B) アルバイト式双晶を呈する斜長石。(C) 累帯構造を呈する斜長石。(D) パーサイト構造を呈するカリ長石。(E) 黒雲母中にみられるアパタイト。(F) 黒雲母中にみられるジルコン。(A-D) クロスニコル。(E, F) オープンニコル。Qtz：石英；Pl：斜長石；Bt：黒雲母；Ap：アパタイト；Zrn：ジルコン。

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.



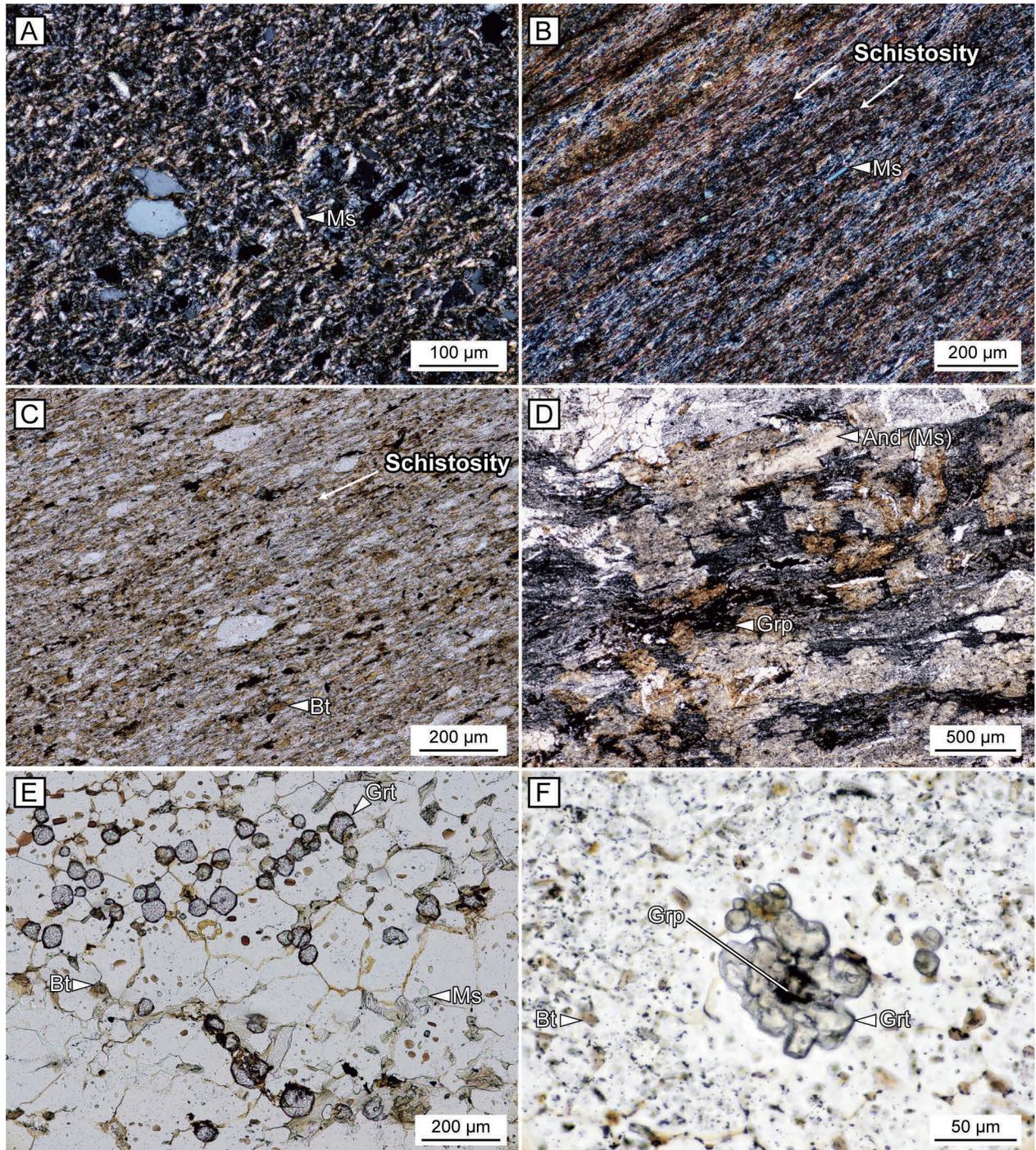
第7図 足利岩体周辺に分布する足尾帯ジュラ紀付加体の構成岩類の産状。(A)塊状の変成泥岩。(B)層状の変成チャート。

Fig. 7 Field occurrences of component rocks of accretionary complex of the Ashio belt around the Ashikaga Body. (A) Massive metapelite. (B) Bedded metachert.



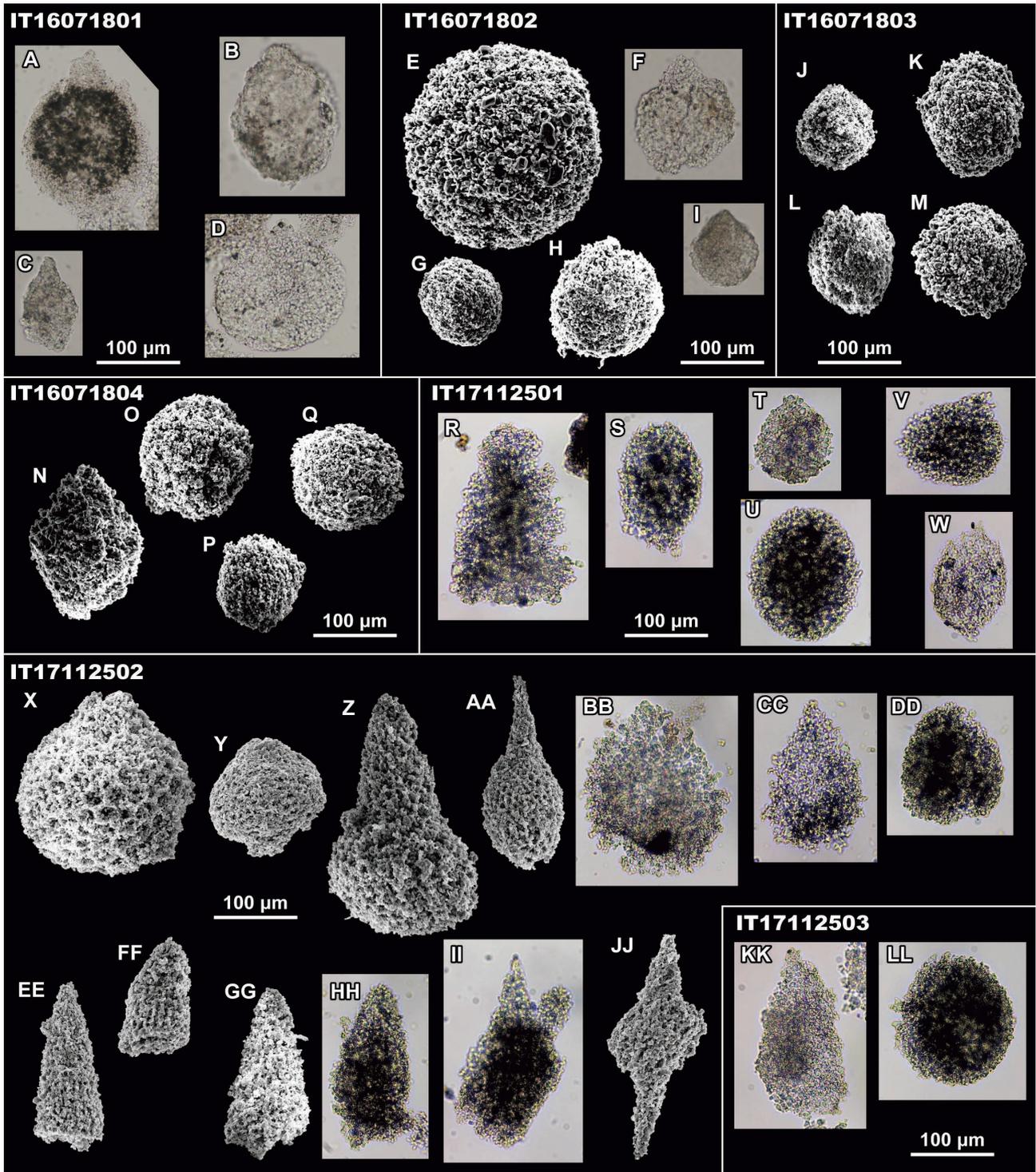
第8図 接触変成岩の薄片写真。(A)変砂質岩を挟む変成泥岩。黄みがかった細粒鉱物は黒雲母である。(B)粗粒な石英からなる変成チャート。(C)主に隠微晶質石英からなる変成チャート。全てクロスニコルで撮影。

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) *Archaeospongoprimum* sp. (JJ) *Archaeospongoprimum?* 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) *Archaeospongoprimum* sp. (JJ) *Archaeospongoprimum?* 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。

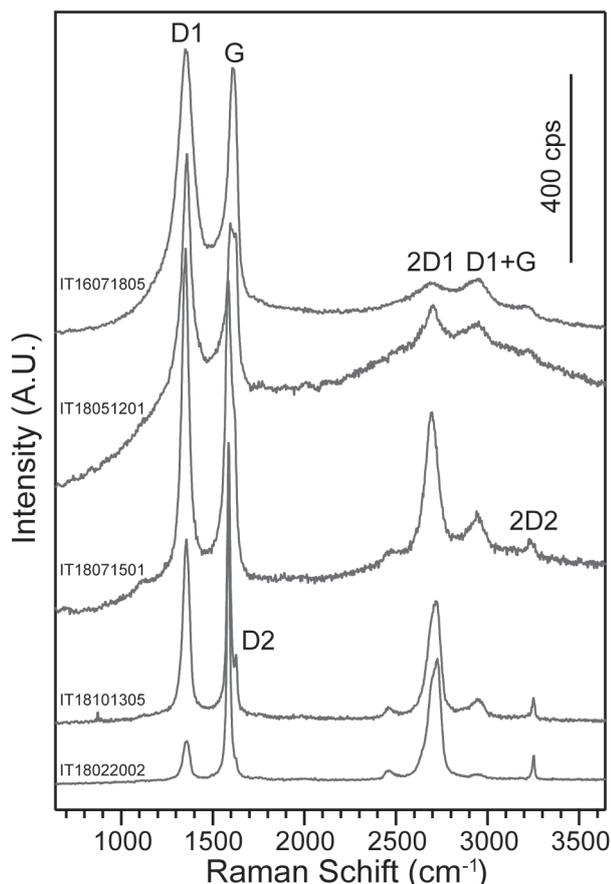
5.2 足利岩体周辺の変成温度推定

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)