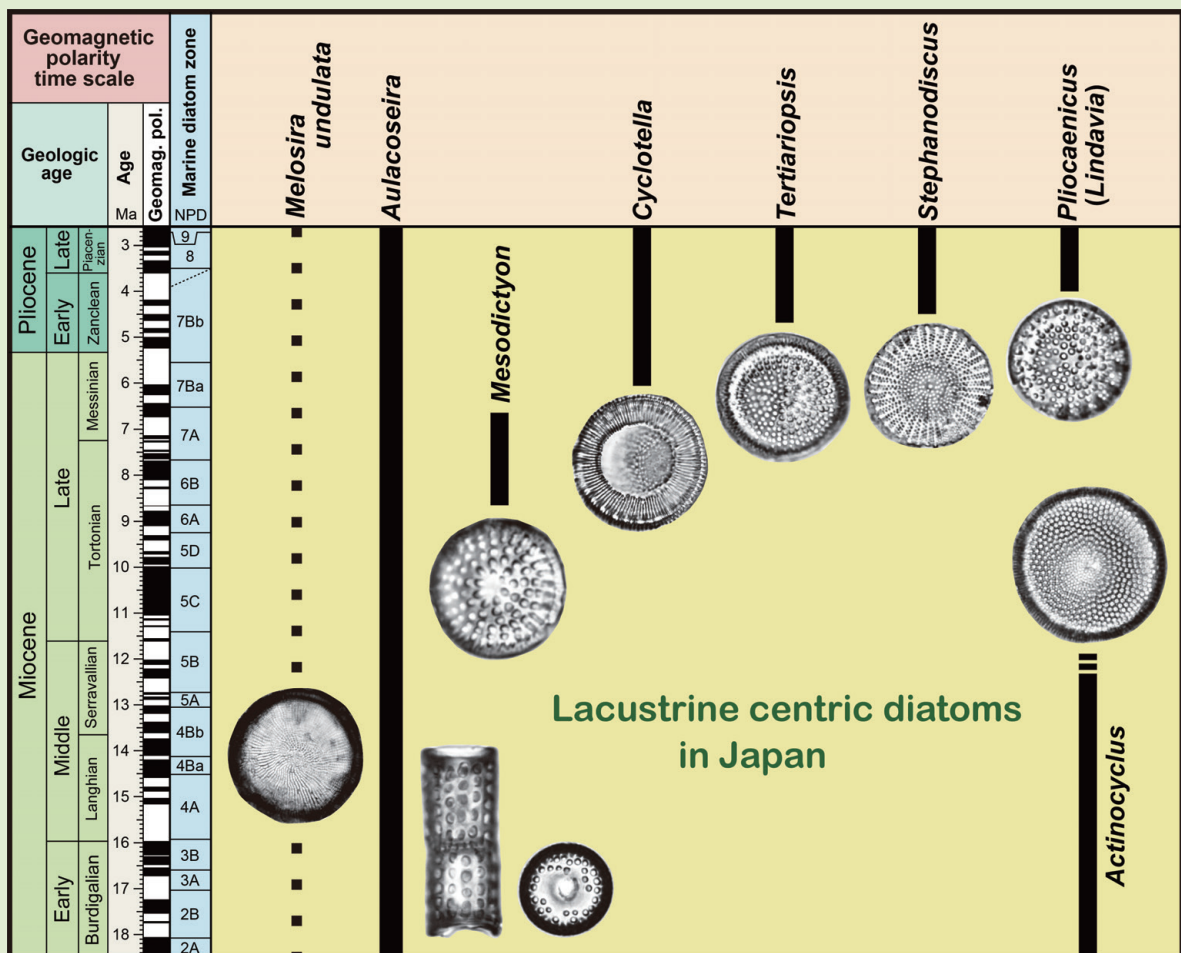


地質調査研究報告

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 75 No. 4 2024



論文

棚倉堆積盆東縁の里美地域に分布する中新統の珪藻化石年代とU-Pb年代

柳沢幸夫・細井 淳 103

茨城県日立市南部の久慈町離山に分布する新第三系多賀層群と日立層群の層序と珪藻化石

柳沢幸夫・安藤寿男・櫛引 碧 121

表紙の写真

新第三紀における日本の淡水湖沼生の中心類珪藻の産出年代

新第三紀における淡水湖沼生の中心類珪藻の産出年代は、これまでは主に日本各地に点々と分布する湖成堆積物中に含まれている珪藻化石の研究によっておおまかな推定がなされてきた。しかし、最近、本号に掲載された柳沢ほか(2024)の研究のように、海成堆積物に保存された淡水生珪藻化石や、火山灰層中に取り込まれた淡水生珪藻化石に着目した研究が進み、これらの情報を加えることによって、従来よりも精密な産出年代が判明しつつある。

(図と文：柳沢幸夫)

Cover Photograph

Precise age of Neogene lacustrine centric diatoms in Japan

The ages of lacustrine centric diatoms of the Neogene have been roughly estimated in studies of diatom fossils in lake sediments in Japan. In contrast, recent research on freshwater diatom fossils in marine sediment and volcanic ash layers (e.g., Yanagisawa *et al.*, this issue) has yielded more-precise ages. By considering the information from these studies, precise ages of freshwater diatoms were determined in this study.

(Figure and Caption by YANAGISAWA Yukio)

棚倉堆積盆東縁の里美地域に分布する中新統の珪藻化石年代と U–Pb 年代

柳沢 幸夫^{1, 2, *}・細井 淳^{2, 3}

YANAGISAWA Yukio and HOSOI Jun (2024) Diatom biochronology and U–Pb age of the Miocene strata in the Satomi area along eastern margin of the Tanakura sedimentary basin, Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 75 (4), p. 103–120, 9 figs, 4 tables and 1 plate.

Abstract: Diatom biostratigraphic analysis and U–Pb dating were conducted for the Miocene deposits in the Satomi area and its environs of the eastern margin of the Tanakura sedimentary basin, where few age data have been available. The Miocene sequence in this area is composed of the Akasaka and Hase formations, and the Higashikanasayama Formation including the Tatsukuroiso Mudstone Member is distributed in the adjacent Central Shear Zone. Zircon U–Pb age of a tuff bed intercalated in the middle part of the Akasaka Formation was dated at 13.0 ± 0.4 Ma. The Hase Formation includes diatom assemblages correlative with the middle to upper part of the zone NPD5B of the North Pacific diatom zonation, and this formation was deposited during the period between 12.4 Ma and 11.6 Ma. Furthermore, diatom zones of uppermost NPD3A, NPD3B and lower most NPD4A were recognized in the Tatsukuroiso Mudstone Member, indicating that this member was deposited between 16.7 Ma and 15.6 Ma. The age data revealed in this study allows accurate correlation between the Miocene deposits of the Satomi area and those of the Daigo, Hitachiota and eastern Tanakura areas in the Tanakura sedimentary basin.

Keywords: diatom biostratigraphy, U–Pb dating, Tanakura basin, Akasaka Foramtion, Hase Formation, Higashikanasayama Formation, Miocene, Hitachiota, Satomi, Ibaraki Prefecture

要 旨

これまで年代データがほとんどなかった棚倉堆積盆東縁の里美地域とその周辺に分布する中新統について、珪藻化石層序分析とジルコンのU–Pb年代測定を行った。里美地域の中新統は赤坂層と長谷層からなる。一方、隣接する中央破砕帯地域には東金砂山層ひがしかねさやまとその部層である龍黒礫泥岩部層たつくろいそが分布する。赤坂層中部に挟在する凝灰岩からは 13.0 ± 0.4 MaのU–Pb年代が得られた。長谷層からは、北太平洋珪藻化石帯区分のNPD5B帯中部～上部の珪藻化石が産出し、本層が12.4–11.6 Maの期間に堆積したと推定された。一方、龍黒礫泥岩部層ではNPD3A帯最上部、NPD3B帯及びNPD4A帯最下部の珪藻化石帯が認められ、この堆積物が16.7 Maから15.6 Maの間に堆積したことが判明した。本研究によって明らかになった年代データによって、里美地域の中新統を、大子・常陸大田・東棚倉地域の中新統に正確に対比することが可能となった。

1. はじめに

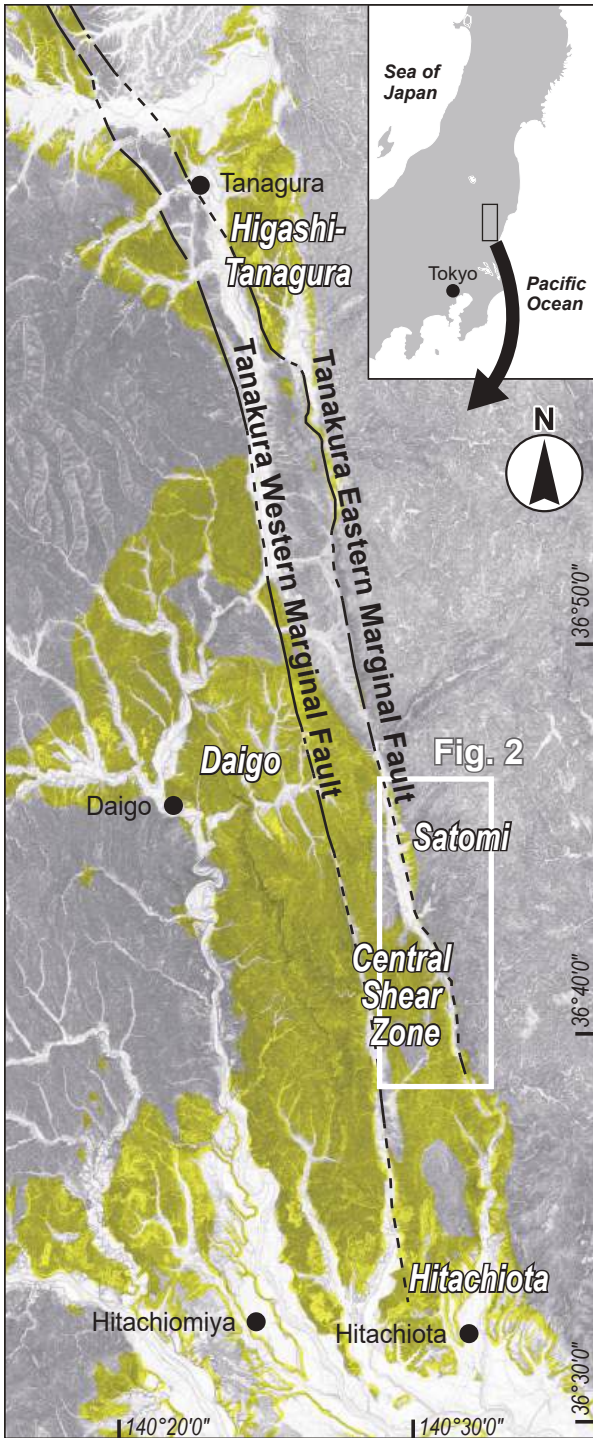
棚倉破砕帯(大森ほか, 1953)は、茨城県常陸太田市から福島県の棚倉町を経て同県の須賀川市に至る北北西–南南東方向の断層帯である(第1図)。この断層帯を含む地域には、中新世の17–15 Maに日本海拡大に伴う断層帯の左横ずれ運動によって形成された堆積盆(以下、棚倉堆積盆)を埋積した厚い堆積物が広く分布する(Omori, 1958; 大槻, 1975; 斎藤ほか, 1992; 天野, 2008)。この堆積物は、堆積盆の急激な沈降に伴う海進やその後の隆起運動などのテクトニックなイベントを記録しているほか(例えば、大槻, 1975; 桑原, 1981, 1982; 越谷, 1986; 天野, 1991; 天野ほか, 2011; Hosoi *et al.*, 2020, 2023)、中期中新世の気候最適期(Middle Miocene Climatic Optimum, MMCO)の層準を含んでいる(例えば、Noda, 1973; Noda *et al.*, 1994; 高橋, 2001, 2022)。したがって、棚倉堆積盆の中新統は、この時期における日本列島のテクトニクスや、気候変動に伴う堆積環境の変化

¹ 有限会社珪藻ミナラボ 〒357-0023 埼玉県飯能市岩沢 632-12 (Diatom Minilab, Ltd., 632-12 Iwasawa, Hanno, Saitama 357-0023, Japan)

² 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)

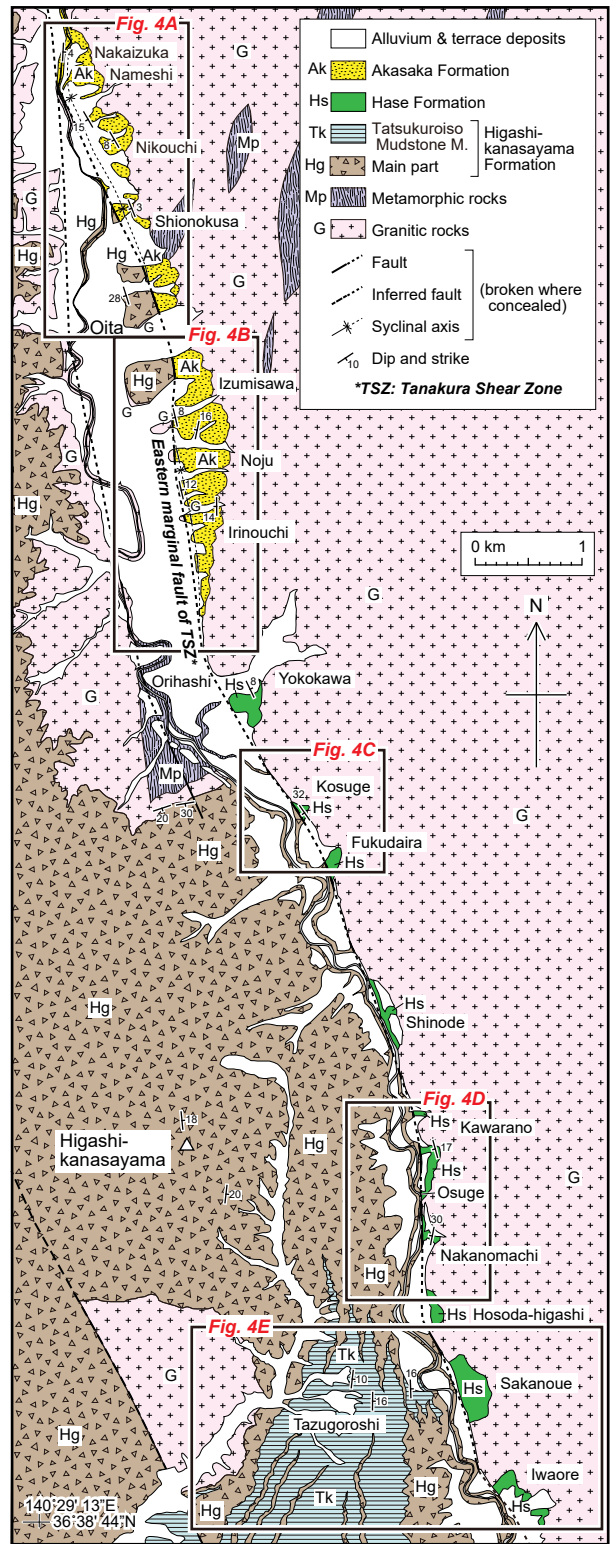
³ 茨城大学理学部地球環境科学領域 〒310-8512 茨城県水戸市文京 2-1-1 (Department of Earth Science, Faculty of Science, Ibaraki University, 2-1-1 Bunkyo, Mito, Ibaraki 310-8512, Japan)

* Corresponding author: YANAGISAWA, Y., Email: yk.yanagi3857@gmail.com



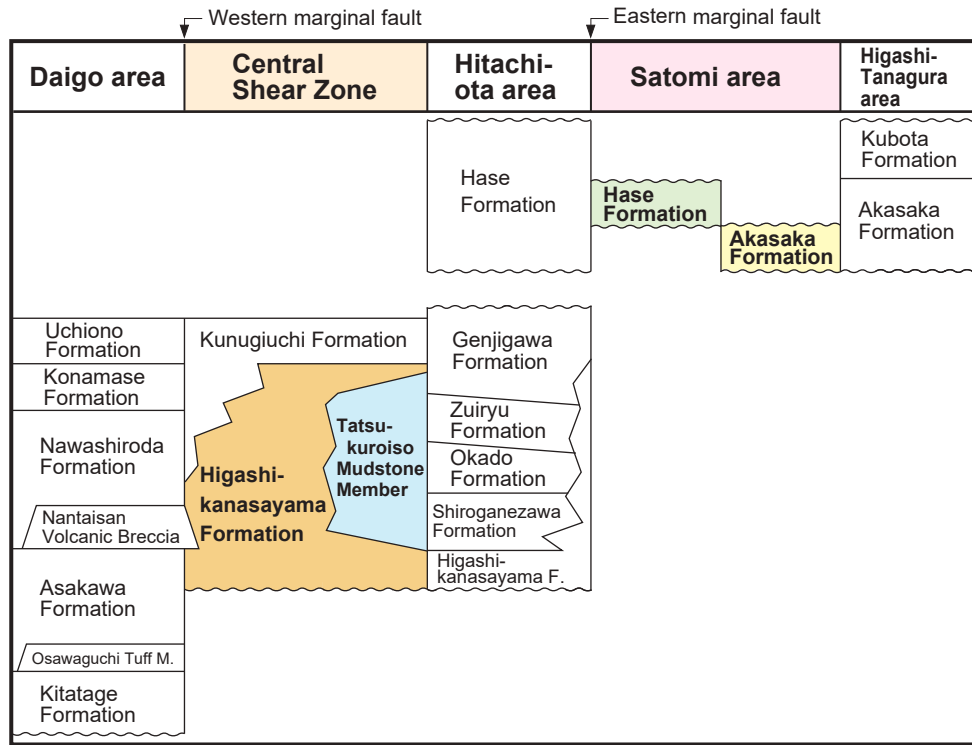
第1図 棚倉堆積盆の新第三系の分布図(産総研地質調査総合センター, 2022)。黄色は新第三系, 黒丸は主な市町村を示す。基図は国土地理院の傾斜量図を使用。

Fig. 1 Distribution of the Neogene strata in the Tanakura sedimentary basin after Geological Survey of Japan, AIST (2022). The yellow area indicates the Neogene strata, and black circles indicate main municipalities. The base map is from the slope map of the Geospatial Information Authority of Japan.



第2図 里美地域及びその周辺地域の地質図。本研究の調査に基づく。

Fig. 2 Geologic map of the Satomi area and its environs based on this study.



第3図 棚倉堆積盆に分布する中新統の層序. 大槻(1975)に基づく.

Fig. 3 Stratigraphy of the Miocene strata in the Tanakura sedimentary basin based on Otsuki (1975).

や生物群集の変遷を理解する上で、たいへん重要な堆積物であると言える。

棚倉堆積盆に広く分布する中新統のうち、北部の東棚倉地域の中新統については、放射年代測定や年代推定に有効な各種微化石層序の研究がなされて、正確な年代が判明している(例えば、高橋・林, 2008)。また、棚倉堆積盆中央部の大子地域でも、最近になって中新統について多くの放射年代測定と石灰質ナノ化石層序に基づいて詳細な古地磁気層序が構築され、高精度の年代層序が確立している(例えば、Hosoi *et al.*, 2020, 2023, 宇都宮・細井, 2023)。一方、南部の常陸太田地域の中新統でも一部の層準で珪藻化石年代が報告されている(大槻, 1975; Maruyama, 1984)。しかし、これら以外の地域においては、放射年代や微化石データの報告がほとんどなく、多くの地域で堆積物の正確な年代は不明であり、堆積盆内での地層の対比にあたっては幾つか問題が残されていた。

この論文で研究対象とした常陸太田市の里美地域(旧里美村)とその周辺地域(第2図)においても、わずか1試料の珪藻化石のデータ(Uemura *et al.*, 2006)があるだけで、これまで年代に関するデータはほとんどなかった。そこで、この研究では、この地域の中新統を対象に詳しい地質調査を行い、多くの泥質試料を採取して珪藻化石年代分析を行うとともに、凝灰岩試料を採取してジルコンの

U-Pb年代測定を実施した。

2. 調査地域の地質の概要

棚倉破砕帯には西縁断層と東縁断層がほぼ平行に延びており、堆積物の分布域は3つの地域、すなわち西縁断層西側、2つの断層に挟まれた中央破砕帯及び東縁断層東側に分けられる(第1図)。本研究で調査した範囲(第2図)では、北北西から南南東に延びる東縁断層の両側に、花崗岩類と変成岩類を基盤として中新統が分布する。このうち、東縁断層の東側をこの論文では里美地域、断層の西側を中央破砕帯と呼ぶ。里美地域には赤坂層と長谷層が東縁断層に沿って狭長に分布する(第3図)。一方、中央破砕帯内には、主に礫岩からなる東金山層の主部が広く分布し、調査地域の南端部の竜黒磯付近には本層主部の礫岩と指交する龍黒磯泥岩部層が発達する。

赤坂層は砂岩を主として礫岩と珪長質凝灰岩を挟み、東縁断層の東側に沿って最大幅500 m程度で細長く带状に分布する。

長谷層は主に泥岩と礫岩からなり、珪長質凝灰岩を挟む。東縁断層の東側に近接して、里川の左岸、すなわち北から横川、小菅、福平、篠手、河原野、大菅、仲の町、細田東、坂ノ上、岩折付近に、それぞれ小範囲で分布する。

東金山層は中央破砕帯内に広く分布し、中～巨礫からなる礫岩を主体とする。礫岩には基質支持の礫岩と礫

支持の礫岩の2つのタイプがあるが、ほとんどは基質支持の礫岩である。東金砂山層主部の礫岩と指交する龍黒礫泥岩部層は、下部が砂質泥岩、上部が泥勝の泥岩砂岩互層からなる。なお、東金砂山層の上位には、一部指交関係で欄内層(砂岩)が重なるが、調査地域内には分布しない。

3. 材料と方法

本研究では、赤坂層、長谷層及び龍黒礫泥岩部層から珪藻試料を採取した(第4図)。また、赤坂層の凝灰岩からU-Pb年代測定用の試料(221101-2)を採取した。なお、第4図では、珪藻化石が産出した試料には番号を付して採取位置を示したが、珪藻化石が検出されなかった試料は×印で採取地点のみを表示した。また、第5図～第7図でも珪藻化石が産出した試料にのみ番号を付け、珪藻化石の産出しなかった試料は×印で採取層準を示した。

赤坂層では中井塚、行石、日光内、塩ノ草、泉沢及び入の内の6のルート(第4図A, B)で地質柱状図(第5図)を作成した。本層の下部は斜交層理のあるアルコース質粗～極粗粒砂岩と貝殻片を含む石灰質粗粒砂岩及び礫岩から、本層の上部は塊状無層理で生物擾乱を受けた泥質細粒砂岩からなる。試料は中井塚ルートで7個、行石ルートで2個の合計9個を採取した。試料はいずれも赤坂層の上部の生物擾乱の発達した泥質の細粒砂岩である。また、泉沢ルートと入の内ルートとの間の野中付近で、U-Pb年代測定用のために凝灰岩(Tt)の試料(221101-2)を採取した。凝灰岩(Tt)は本層の中部層準に挟在し、軽石混じりの斜交層理ないし平行層理のある粗粒凝灰岩(厚さ約5m)である。

長谷層では小菅、河原野、大菅、仲の町、坂ノ上及び岩折の6ルート(第4図C, D, E)で地質柱状図(第6図)を作成した。長谷層は、主に泥岩と礫岩からなり、珪長質凝灰岩を挟む。泥岩は塊状無層理で珪藻質であるが、層準によってやや砂質な泥岩となり、一部で泥質の砂岩も含まれる。礫岩はアルコース質の基質からなる基質支持の礫岩で、大～巨礫大の角礫ないし亜角礫を含む。珪藻試料は河原野ルートで3試料、大菅ルートで4試料、仲の町ルートで9試料、坂ノ上ルートで2試料、岩折ルートで8試料の合計26個を採取した。試料は泥岩または砂質泥岩である。ただし、坂ノ上ルートの2試料は砂岩中の泥岩礫である。

東金砂山層の龍黒礫泥岩部層は、下部では砂質泥岩、上部では泥岩または泥岩砂岩互層からなる(第7図)。珪藻分析用の試料は模式地の竜黒礫付近(第4図E)の道路沿いで23個を採取した。試料は砂質泥岩及び泥岩である。

試料は純水で泥化した試料の懸濁液から直接作成する未処理散布プレパラート(Akiba, 1986)の方法を用いてプレパラートを作成した。詳しい方法は柳沢(1999)に記述されている。珪藻殻の計数は、生物顕微鏡600倍の倍率

下で実施し、*Chaetoceros*属の休眠胞子を除いて、観察されたすべての種の蓋殻が50ないし100になるまで行った。その後、さらにカバーガラスの全面を走査し、その過程で新たに認められた種、及び破片としてのみ認められた種はpresent「+」として記録した。

珪藻化石帯区分は、Akiba (1986)とYanagisawa and Akiba (1998)の新第三紀北太平洋珪藻化石帯区分を適用し、化石帯はNPDコード、生層準はDコード(D10-D120)を用いた。年代はWatanabe and Yanagisawa (2005)を用いて修正し、Raffi *et al.* (2020)の地磁気極性年代尺度に合わせて調整した。また、柳沢・安藤(2020)に準じて、各珪藻化石帯を生層準によって区間(interval)に細分した(第9図参照)。ただし、区間を定義する指標種の産出が稀で、区間を認定できない場合は、帯区分の認定にとどめた。なお、地層の対比においては、石灰質ナノ化石帯区分はOkada and Bukry (1980)、浮遊性有孔虫化石帯区分はBlow (1969)、放散虫化石帯区分はKamikuri (2017)を用いた。

ジルコンのU-Pb年代測定は株式会社京都フィッシュン・トラックに依頼した。ジルコン粒子は一連の分離作業(試料の粉碎、ふるい分け、水簸、磁気分離、重液分離)によって抽出し、ランダムに選んだ約100粒子のジルコンを外表面が露出するようにPFAテフロンシートに埋め込み、ダイヤモンドペーストで研磨した(Danhara *et al.*, 1993)。U-Pb年代測定はLA-ICP-MS(レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析)法を用いた。分析装置と分析条件は第1表に示す。

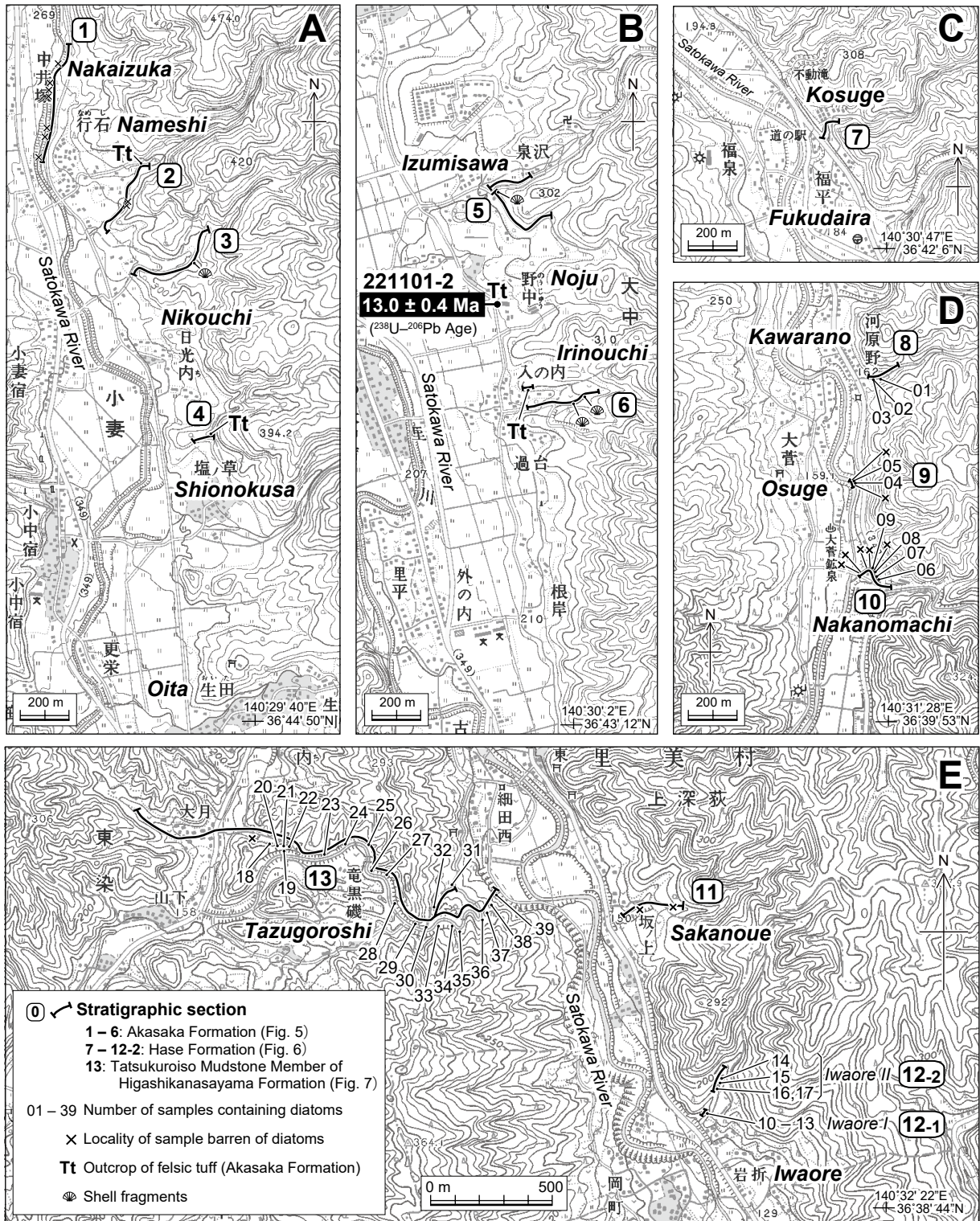
4. 結果

4.1 珪藻化石分析結果

分析結果を第2表と第3表に示した。また、第5図～第7図では、珪藻化石が産出した試料に赤字で珪藻化石区間を表示した。なお、珪藻化石が産出した試料の採取時の原試料番号は第2表と第3表に載せている。

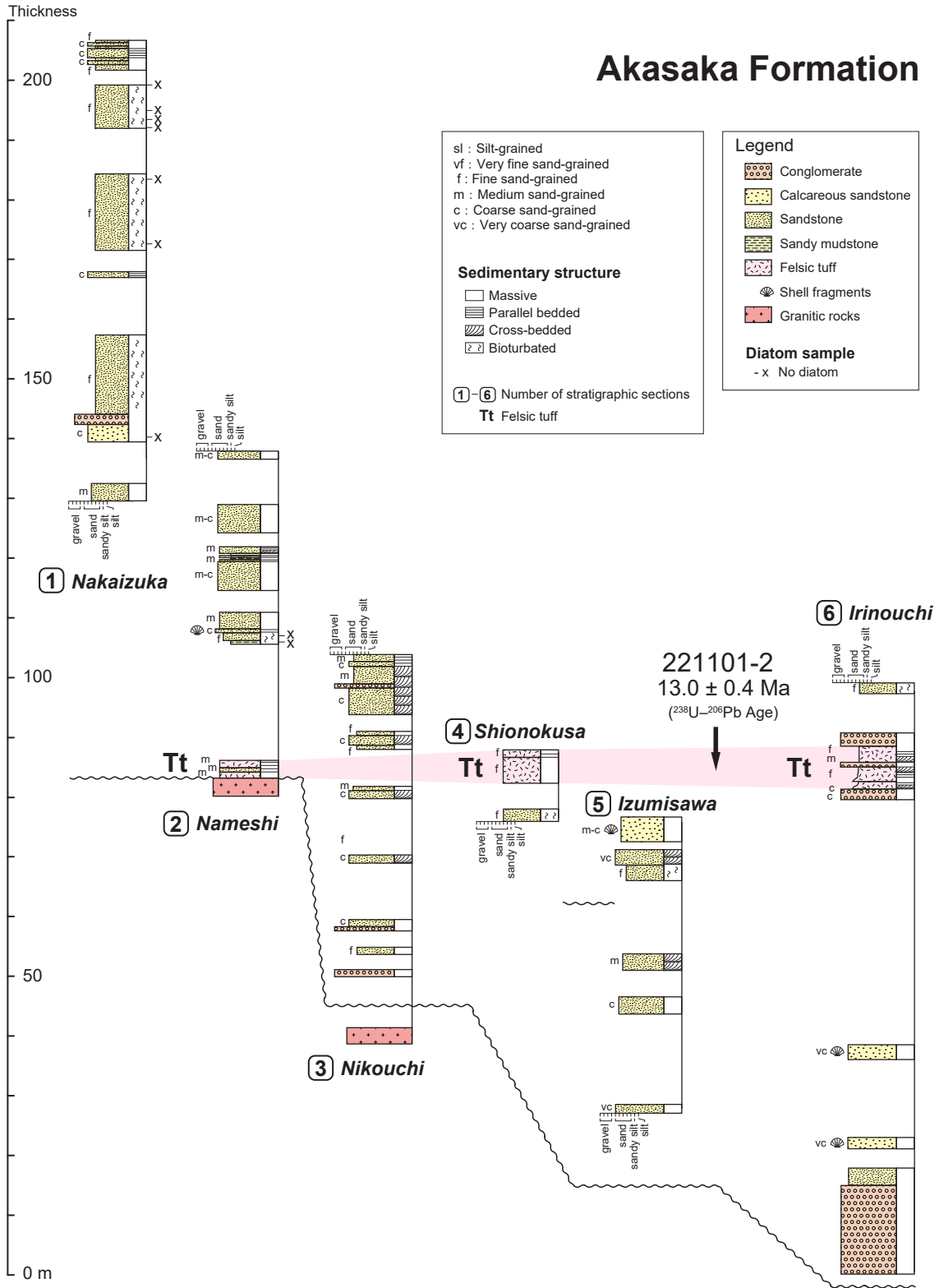
赤坂層から採取した9個の試料からは珪藻化石は全く検出されなかった。

長谷層では26個の試料のうち17個から珪藻化石が産出したが、珪藻化石帯が認定できたのは10個のみで、残りの7試料は化石帯指標種が産出せず、化石帯を決定することはできなかった(第6図、第2表)。珪藻が認められた試料では、いずれも珪藻化石の保存は不良で、産出量は稀または普通であった。河原野ルートの試料01は、*Denticulopsis simonsenii* Yanagisawa & Akibaと*D. vulgaris* (Okuno) Yanagisawa & Akiba及び*D. praedimorpha* var. *minor* Yanagisawa & Akibaを含む珪藻群集を含むことから、Akiba (1986)及びYanagisawa and Akiba (1998)の北太平洋珪藻化石帯区分のNPD5B帯(*D. praedimorpha* 帯)に属し、さらに*D. praedimorpha* var. *praedimorpha* Barron ex Akibaと*Crucidentricula nicobarica* (Grunow) Akiba



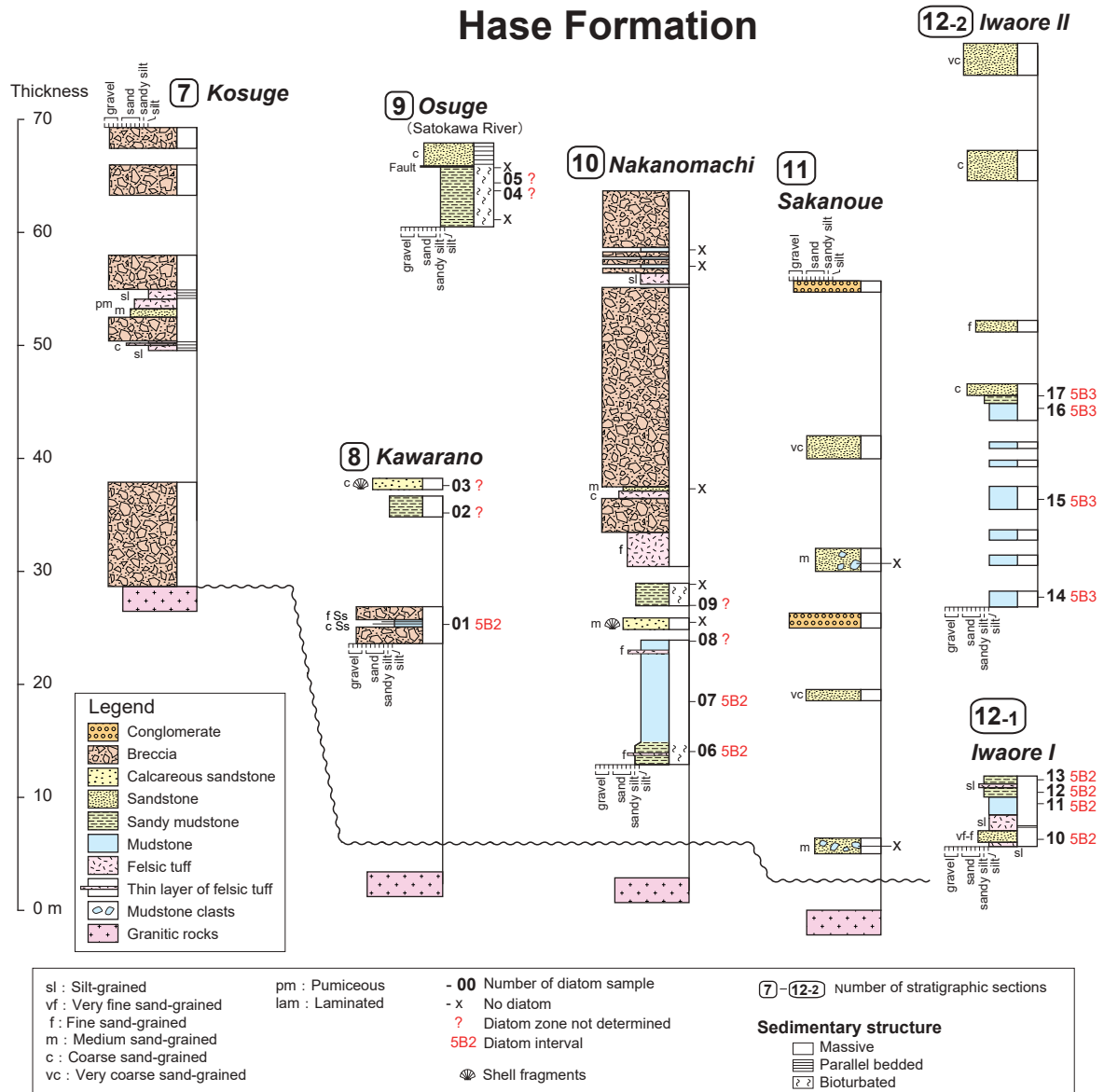
第4図 里美地域及びその周辺地域での層序セクションと試料採取位置図。国土地理院発行2万5千分の1地形図「袋田」, 「里美牧場」, 「大中宿」, 「堅破山」及び「町屋」を使用。A～Eの位置は第2図に示す。

Fig. 4 Maps showing stratigraphic sections and samples in the Satomi area and its environs. Topographic maps “Fukuroda”, “Satomibokujō”, “Onakajuku”, “Tatsuwareyama” and “Machiya” (1: 25,000 in scale) of the Geospatial Information Authority of Japan are used. Locations of A–E are shown in Fig. 2.



第5図 赤坂層の地質柱状図。層序セクションと珪藻試料・U-Pb年代測定試料の採取位置は第4図のAとBに示す。

Fig. 5 Geological columnar sections of the Akasaka Formation. Locations of stratigraphic sections, diatom samples and U-Pb dating sample are shown in Figs. 4A and 4B.



第6図 長谷層の地質柱状図。層序セクションと珪藻試料の採取位置は第4図のC, D, Eに示す。

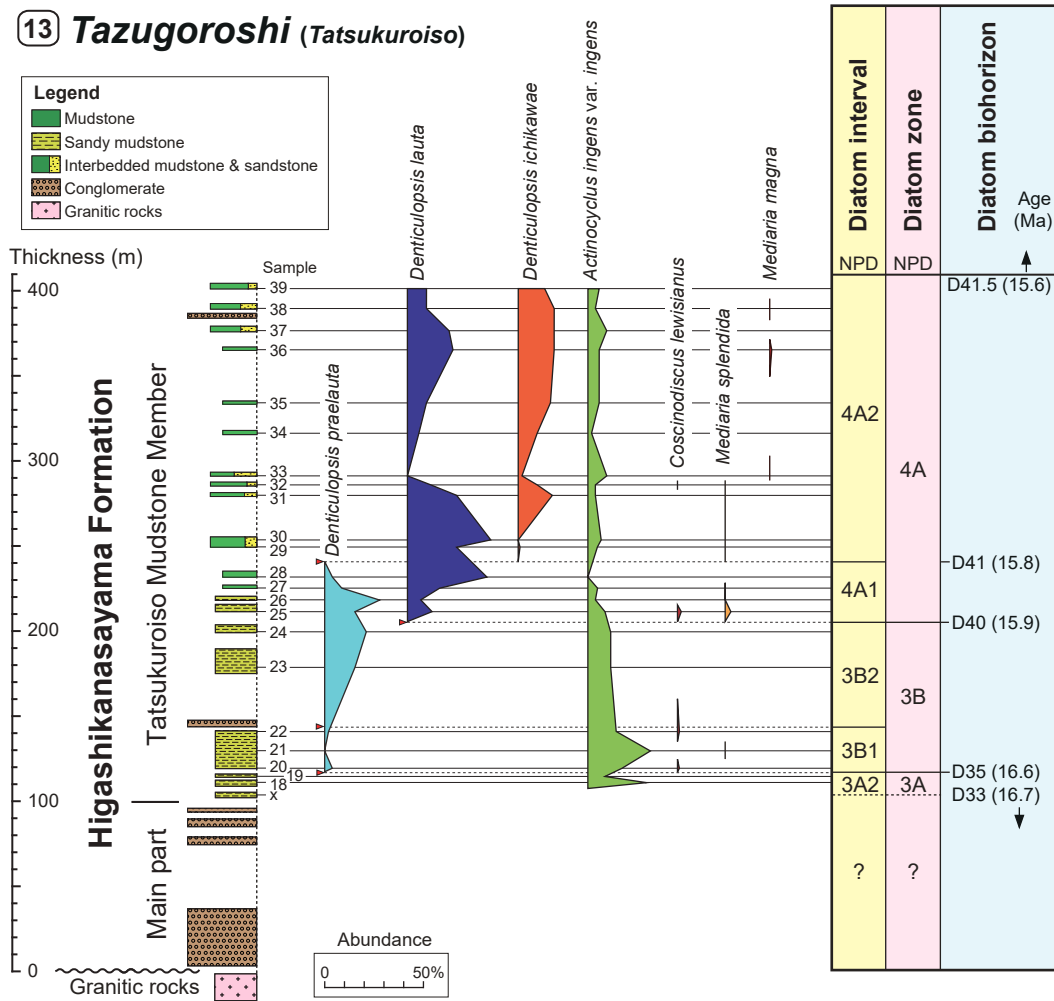
Fig. 6 Geological columnar sections of the Hase Formation. Locations of stratigraphic sections and diatom samples are shown in Figs. 4C, 4D and 4E.

& Yanagisawaを欠くことから、NPD5B帯下部の区間NPD5B2に含まれると判断される。また、伸の町セクションの試料06と07、岩折Iセクションの試料10～13も同様な組成を示すことから、NPD5B帯の区間NPD5B2に属すると判定できる。一方、岩折IIセクションの試料14～17は、*D. praedimorpha* var. *praedimorpha*を産することから、NPD5B帯の区間NPD5B3にあたると思われる。以上の珪藻化石層序の結果から、里美地域の長谷層はNPD5B帯の区間NPD5B2～5B3に属すると判断できる。

龍黒礫泥岩部層では23個の採取試料のうち、最下部の1個を除く22個から珪藻化石が産出した(第7図、第3

表)。珪藻化石の保存は不良で、産出量は稀または普通であった。最下部の試料18と19は、*Denticulopsis*属を欠き、*Actinocyclus ingens* f. *ingens* Rattrayを産すること、また直上の試料20がNPD3B帯(*Denticulopsis praelauta*帯)にあたることから、NPD3A帯(*Crucidentricula kanayae*帯)上部(区間NPD3A2)に含まれると考えられる。試料20～24は*D. praelauta* Akiba & Koizumiを含み、*D. lauta* (Bailey) Simonsenが欠如することから、NPD3B帯にあると判断できる。さらに、試料20～22は*D. praelauta*の産出量が数%以下と少ないのに対し、試料23と24ではこの種が10%以上の頻度で多く産出していることか

13 Tazugoroshi (Tatsukuroiso)



第7図 東金砂山層の龍黒礫泥岩部層の珪藻化石層序. 層序セクションと珪藻試料の採取位置は第4図のEに示す.

Fig. 7 Diatom biostratigraphy of the Tatsukuroiso Mudstone Member of the Higashikanasayama Formation. Locations of stratigraphic section and diatom samples are shown in Fig. 4E.

ら、*D. praelauta*の急増層帯が試料22と23の間にあることがわかる。したがって、試料20～22はこの生層準の下位にあたる区間NPD3B1に、試料23と24はこの生層準の上位の区間NPD3B2に属する。試料25～39では*D. lauta*が多産し、かつ*Denticulopsis hyalina* Schraderが認められないことから、これらの試料はNPD4A帯(*D. lauta*帯)に相当する。このうち、試料25～28は*D. lauta*のほか*D. praelauta*が共産するので、NPD4A帯最下部の区間NPD4A1に、一方試料29～39は*D. praelauta*を欠き、*Denticulopsis ichikawae* Yanagisawa & Akibaを伴うので、区間NPD4A2に含まれる。

以上のように、本研究によって東金砂山層の龍黒礫泥岩部層は、NPD3A帯上部の区間NPD3A2からNPD4A帯下部の区間NPD4A2の範囲に属することが明らかになった。

4.2 U-Pb年代測定結果

赤坂層の珪長質凝灰岩の試料(221101-2)はジルコン結晶を豊富に含み、試料約200 gから約2000粒のジルコン結晶を得た。これらのジルコン結晶は僅かに色調や晶癖の違いがあるものの、多くが淡赤褐色を呈した自形結晶であった。年代測定の結果、無差別に選んだ30粒子中、27粒子からコンコダントな年代を得た。2次スタンダードとして測定したGJ1, 91500, OD3ジルコンの測定結果は誤差範囲で標準年代と一致するため、信頼性の高い安定した測定結果と判断される(第4表)。コンコダントな年代が得られた27粒子について個々の²³⁸U-²⁰⁶Pb年代値の内訳を見ると、2つの年代クラスターに二分される。即ち、100 Ma前後の21粒子と10 Ma代の6粒子である(第8図A, B)。10 Ma代の6粒子は粒子数こそ少ないもののその年代分布は明瞭な単峰性を示し、MSWDは1.3

第1表 LA-ICP-MS分析に用いた装置と測定条件.

Table 1 Instrumentation and operating conditions for LA-ICP-MS analyses.

Sample	221101-2
Laser ablation system	
Model	CARBIDE (LIGHT CONVERSION)
Laser type	Yb:KGW femtosecond laser
Pulse duration	290 fs
Wave length	257 nm
Energy density	3.8 J/cm ²
Crater size	10 μm
Repetition rate	30 Hz
Sampling mode	Single-spot per grain
Sampling area	10 μm-diameter circle
Duration of laser ablation	4 s
Carrier gas flow rate (He)	0.60 L/min
ICP-MS	
Model	New Plasma II (Nu Instruments)
ICP-MS type	Magnetic sector field multi-collector
Forward power	1300 W
Make-up gas (Ar)	0.80 L/min
Data acquisition protocol	Time-resolved analysis
Data acquisition	9 s (6 s gas blank, 3 s ablation)
Monitor isotopes	²⁰² Hg, ²⁰⁴ Pb, ²⁰⁶ Pb, ²⁰⁷ Pb, ²⁰⁸ Pb, ²³² Th, ²³⁸ U
Primary standard	Plešovice* ¹ (U-Pb)
Secondary standard	OD-3 * ^{2,3,4} , Nancy 91500 * ⁵ (U-Pb), GJ-1 * ⁶

*1, Sláma *et al.* (2008); *2, Iwano *et al.* (2012); *3, Iwano *et al.* (2013);

*4, Lukács *et al.* (2015); *5, Wiedenbeck *et al.* (1995); *6, Jackson *et al.* (2004)

で1に近いことから、母集団の年代分布の再現性は高いものと判断される。本論ではこれら6粒子が最若粒子集団をなすとみなし、その加重平均値から 13.0 ± 0.4 Ma (2σ)の ²³⁸U-²⁰⁶Pb年代を得た(第8図C)。

5. 考察

5.1 堆積年代

里美地域の赤坂層からは珪藻化石は産出しなかったが、本層中部の凝灰岩層中のジルコンについてU-Pb年代 13.0 ± 0.4 Maが測定された。したがって、本層は13 Ma前後に堆積したものと推定される(第9図)。

里美地域の長谷層は、NPD5B帯の区間NPD5B2から区間NPD5B3に属する珪藻化石が産出することから、その年代は12.4-11.6 Maの期間に含まれる。

東金砂山層の龍黒磯泥岩部層は、NPD3A帯上部の区間NPD3A2からNPD4A帯下部の区間NPD4A2の範囲に属する珪藻化石を含み、本部層が16.7-15.6 Maの期間に堆積

したことを示している。なお、Uemura *et al.* (2006)は竜黒磯付近の本部層下部で植物化石を含む1試料から、区間NPD4A1と解釈できる珪藻化石を報告しており、これは本研究の結果と一致する。

5.2 対比

本研究で明らかになった赤坂層、長谷層及び東金砂山層の龍黒磯泥岩部層と、年代層序が判明している東棚倉、大子及び常陸太田地域に分布する中新統との対比を第9図に示した。

本地域の北方に位置する東棚倉地域は東縁断層の東側にあたり、地質学的な位置は里美地域と同じである。東棚倉地域の中新統は赤坂層と久保田層からなる(大槻, 1975)。赤坂層は基底部の礫岩を除き主に海成の砂質堆積物からなるが、最上部は含亜炭質泥岩からなり非海成層と考えられている(高橋・林, 2008)。久保田層は赤坂層を整合に覆い、主に海成の泥質細粒砂岩からなる。

第2表 長谷層の珪藻産出表.

Table 2 Occurrence chart of diatoms from the Hase Formation.

Formation	Hase Formation																
	8			9		10				12-1			12-2				
Number of stratigraphic section	Kawarano			Osuge		Nakanomachi				Iwaore I			Iwaore II				
Stratigraphic section	5B			?		5B				?			5B				
Diatom zone (NPD)	5B2			?		5B2				?			5B2				
Diatom interval	5B2			?		5B2				?			5B3				
Sample number	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17
Original sample number	Htot-31	Htot-32	Htot-33	Htot-38	Htot-37	Htot-49	Htot-48	Htot-47	Htot-45	JOB6239	JOB6238	JOB6237	JOB6236	JOB6243	JOB6242	JOB6241	JOB6240
Preservation	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Abundance	R	PD	PD	PD	PD	R	R	R	R	R	R	C	C	C	R	R	R
<i>Actinocyclus curvatus</i> Janisch	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	1
<i>A. ellipticus</i> Grunow	-	-	-	-	-	+	1	-	-	1	-	1	-	-	-	-	1
<i>A. ingens</i> Rattray f. <i>ingens</i>	18	+	+	+	+	32	13	23	34	3	15	1	1	21	14	15	16
<i>A. octonarius</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>A. sp. A</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-
<i>Actinocyclus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	3	+	+	+	+	3	-	1	-	-	-	-	1	-	2	-	-
<i>Arachnoidiscus</i> spp.	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Azpeitia endoi</i> (Kanaya) Sims & Fryxell	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>A. vetustissima</i> (Pantoscek) Sims	-	-	-	-	-	+	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cavitatus jouseanus</i> (Sheshukova-Poretsukaya) Williams	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+
<i>C. lanceolatus</i> Akiba & Hiramatsu	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. miocenicus</i> (Schrader) Akiba & Yanagisawa	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. californica</i> Grunow	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>C. costata</i> Gregory	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>C. vitrea</i> Brun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Coscinodiscus marginatus</i> Ehrenberg	3	+	+	+	+	15	16	8	12	11	9	4	-	-	3	14	3
<i>C. spp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	3	-
<i>Crucidenticula punctata</i> (Schrader) Akiba & Yanagisawa	-	-	-	-	-	1	-	-	+	-	-	-	-	1	+	-	-
<i>Delphineis surirella</i> (Ehrenberg) Andrews	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Denticulopsis crassa</i> Yanagisawa & Akiba	-	-	-	-	-	+	3	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-
(Closed copula)	-	-	-	-	-	+	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>D. hyalina</i> (Schrader) Simonsen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>D. praedimorpha</i> var. <i>minor</i> Yanagisawa & Akiba	+	-	-	-	-	+	1	-	-	-	+	1	1	-	2	1	-
(Closed copula)	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	2	1	-	+
<i>D. praedimorpha</i> var. <i>praedimorpha</i> Barron ex Akiba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	+	1	10
(Closed copula)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	+	+	3
<i>D. simonsenii</i> Yanagisawa & Akiba	1	-	-	-	-	+	2	-	-	3	+	3	14	-	-	-	1
<i>D. vulgaris</i> (Okuno) Yanagisawa & Akiba	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	1	-	2	1	-	-
S-type girdle view of <i>D. simonsenii</i> group	2	-	-	-	-	+	-	1	-	-	1	1	5	-	2	-	-
D-type girdle view of <i>D. simonsenii</i> group	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Diploneis smithii</i> (Brébisson) Cleve	-	-	-	-	-	-	1	-	-	+	-	-	-	-	-	1	-
<i>Grammatophora</i> spp.	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+	-	-	1	1	+	-
<i>Hyalodiscus obsoletus</i> Sheshukova-Poretskaya	1	-	-	-	-	4	2	+	-	1	-	+	1	2	1	-	1
<i>Ikebea tenuis</i> (Brun) Akiba	-	-	-	-	-	-	1	-	+	-	1	-	+	+	-	-	1
<i>Mastogloia splendida</i> (Gregory) Pergallo	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mediaria splendida</i> Sheshukova-Poretskaya	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Melosira sol</i> (Ehrenberg) Kützing	-	-	-	-	-	1	3	2	-	-	-	-	-	3	-	2	-
<i>Nitzschia grunowii</i> Hasle	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-
<i>N. heteropolica</i> Schrader	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	1	+	-	+	+	22	31	5	-	27	14	3	-	2	2	3	1
<i>Plagiogramma staurophorum</i> (Gregory) Heiberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>Proboscia alata</i> (Brightwell) Sundstöm	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>P. barboi</i> (Brun) Jordan & Priddle	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	2
<i>P. praebarboi</i> (Schrader) Jordan & Priddle	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
<i>Rhaphoneis amphicerus</i> Ehrenberg	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhizosolenia miocenica</i> Schrader	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-
<i>R. styliformis</i> Brightwell	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	1	1	-	3
<i>Stellarima microtrias</i> (Ehrenberg) Hasle & Sims	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Stephanogonia hanzawae</i> Kanaya	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-
<i>Stephanopyxis</i> spp.	1	-	-	-	-	1	5	4	1	-	3	-	-	4	4	1	1
<i>Thalassionema hirosakiensis</i> (Kanaya) Schrader	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	3	-	-
<i>T. nitzschoides</i> (Grunow) Mereschkowsky	-	-	-	-	-	17	13	4	2	3	5	33	25	3	7	7	7
<i>Thalassiosira grunowii</i> Akiba & Yanagisawa	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-	-
<i>T. spp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve & Grunow	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	1	-	-	-	+	-
Total number of valves counted	42	+	+	+	+	100	100	50	50	50	50	50	50	52	50	50	50
Resting spore of <i>Chaetoceros</i>	20	-	-	-	-	12	52	24	23	24	43	25	28	76	84	78	245

Preservation, G: good, M: moderate, P: poor. Abundance, A: abundant, C: common, R: rare, PD: poor diatom. +: present, -: absent.

里美地域の中新統の年代層序 (柳沢・細井)

第3表 東金砂山層の龍黒礫泥岩部層の珪藻産出表.

Table 3 Occurrence chart of diatoms from the Tatsukuroiso Mudstone Member of the Higashikanasayama Formation.

Formation	Tatsukuroiso Mudstone Member of Higashikanasayama Formation																						
	3A		3B (<i>D. praelauta</i>)				4A (<i>Denticulopsis lauta</i>)																
Diatom interval	3A2		3B1		3B2		4A1				4A2												
Sample number	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	
Original sample number	Htot-116	Htot-112	Htot-115	Htot-114	Htot-113	JOB3126	JOB3127	JOB3128	JOB3129	JOB3130	JOB3131	JOB3132	JOB3133	JOB5706	JOB5707	JOB5708	JOB5709	JOB5710	JOB5711	JOB5712	JOB5713	JOB5714	
Preservation	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Abundance	R	R	R	R	R	R	R	R	R	C	R	R	C	R	R	R	R	C	C	C	C	R	R
<i>Actinocyclus ingens</i> var. <i>ingens</i> Rattray	31	9	18	33	15	12	12	9	4	5	+	5	7	2	2	5	1	3	3	5	2	3	
<i>A. kisselevii</i> Makarova	3	-	4	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	
<i>A. octonarius</i> Ehrenberg	1	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-	-	-	
<i>A. sp. A</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Actinocyclus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	6	1	7	4	6	3	3	3	3	2	4	6	+	1	3	2	4	1	5	3	2	1	
<i>Azpeitia endoi</i> (Kanaya) Sims & Fryxell	+	-	3	2	2	2	2	1	-	-	1	3	+	-	-	3	+	-	1	-	-	2	
<i>A. vetustissima</i> (Pant.) Sims	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
<i>Cavitatus exiguus</i> Yanagisawa & Akiba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
<i>C. jouseanus</i> (Sheshukova) Williams	1	+	-	1	2	+	-	3	1	+	2	-	4	+	1	2	+	-	-	-	-	-	
<i>C. linearis</i> (Sheshukova) Akiba & Yanagisawa	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>C. miocenicus</i> (Schrader) Akiba & Yanagisawa	+	1	1	2	3	-	1	-	+	1	-	2	2	-	+	-	+	+	+	-	-	-	
<i>Cocconeis</i> spp.	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coccinodiscus lewisianus</i> Greville	-	-	1	-	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	
<i>C. marginatus</i> Ehrenberg	2	1	-	-	2	-	3	-	-	1	1	2	1	-	-	2	-	-	-	-	1	2	
<i>C. radiatus</i> Ehrenberg	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
<i>Coccinodiscus</i> spp.	2	-	1	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	1	
<i>Delphineis miocenica</i> (Schrader) Andrews	2	-	-	-	-	+	1	+	-	1	-	-	-	-	-	-	1	+	-	-	-	-	
<i>D. penelliptica</i> Andrews	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	
<i>Denticulopsis praelauta</i> Akiba & Koizumi	-	-	4	+	2	16	22	16	29	9	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>D. lauta</i> (Bailey) Simonsen	-	-	-	-	-	-	-	13	7	17	42	26	44	13	6	+	3	5	12	11	5	5	
<i>D. ichikawae</i> Yanagisawa & Akiba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	+	9	5	1	5	11	12	12	12	7	
Girdle view of <i>D. lauta</i> group	-	-	-	-	-	-	-	+	5	3	8	10	3	6	7	+	2	6	5	6	+	6	
<i>Grammatophora</i> spp.	+	-	+	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	
<i>Hyalodiscus obsoletus</i> Sheshukova-Poretskaya	1	-	-	1	3	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	+	-	-	-	-	1	
<i>Ikebea tenuis</i> (Brun) Akiba	+	-	-	-	-	-	1	+	-	-	-	2	1	-	-	-	+	-	-	-	-	-	
<i>Kisseleviella carina</i> Sheshukova-Poretskaya	+	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Mediaria magana</i> Yanagisawa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	1	-	+	-	
<i>M. splendida</i> Sheshukova	-	-	-	+	-	-	-	3	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Melosira sol</i> (Ehrenb.) Kützing	5	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	+	1	-	-	4	1	-	-	-	-	1	
<i>Nitzschia challengeri</i> Schrader	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	2	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	5	3	11	5	25	12	1	2	6	4	1	9	6	3	2	9	6	2	-	4	4	-	
<i>Plagiogramma staurophorum</i> (Gregory) Heiberg	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Proboscia interposita</i> (Hajós) Jordan & Priddle	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	
<i>Raphidodiscus marylandicus</i> Christian	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	
<i>Rhaphoneis parilis</i> Hanna	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	+	1	+	-	-	-	
<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>hiemalis</i> Gran	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>R. miocenica</i> Schrader	-	-	-	-	-	-	-	2	-	2	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	
<i>R. styliformis</i> Brightw.	1	-	-	-	-	-	1	+	-	1	-	1	-	-	1	-	-	-	+	-	1	-	
<i>Stellarima microtrias</i> (Ehrenberg) Hasle & Sims	+	-	-	-	-	-	1	2	1	1	-	1	-	+	-	-	-	1	2	-	-	-	
<i>Stephanopyxis</i> spp.	5	2	3	3	2	-	1	2	4	5	1	2	4	2	1	-	-	2	1	1	5	8	
<i>Thalassionema obtusa</i> (Grunow) Andrews	11	1	7	2	6	-	+	1	-	-	+	1	1	+	2	+	1	-	1	2	1	1	
<i>T. nitzschoides</i> (Grunow) Mereschkowsky s.l.	21	31	38	37	25	51	47	38	39	46	31	24	22	14	13	21	24	16	7	4	14	9	
<i>Thalassiosira mizunamiensis</i> Yanagisawa	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	+	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	
<i>T. leptopus</i> (Grunow) Hasle & Fryxell	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve & Grunow	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	
<i>Triceratium condecorum</i> Brightwell	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Trochosira spinosa</i> Kitton	-	1	-	1	1	-	-	-	-	-	-	2	1	-	2	-	-	-	-	1	1	-	
<i>Aulacoseira</i> spp.	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	2	
Total number of valves counted	100	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
Resting spore of <i>Chaetoceros</i>	10	3	12	12	9	3	7	8	5	2	8	8	12	2	4	4	1	2	4	2	1	2	

Preservation, G: good, M: moderate, P: poor. Abundance, A: abundant, C: common, R: rare. +: present, -: absent.

第4表 本研究で測定したジルコン粒子のU-Pbデータ.
Table 4 U-Pb data for zircon grains analyzed in this study.

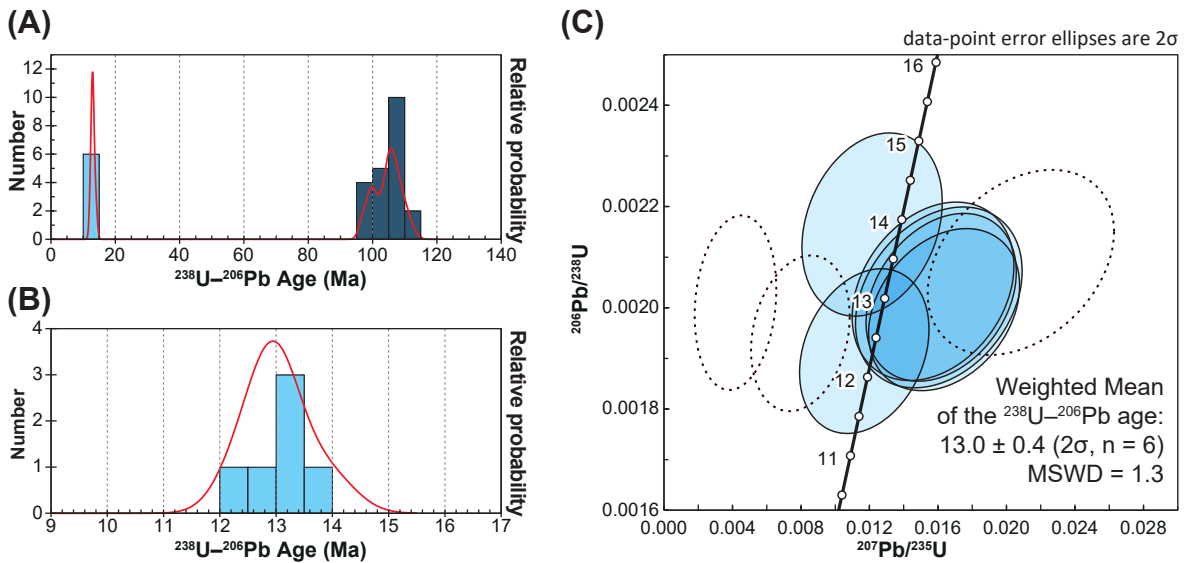
Sample name, Grain no.	Th U	Isotopic ratios				Age (Ma)				Remarks
		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	2 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	2 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	2 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	2 σ	
221101-2										
No.1	0.65	0.0491 ± 0.0046	0.0166 ± 0.0007	0.1125 ± 0.011	106.11 ± 4.43	108.26 ± 10.71	exc.			
No.2	0.74	0.0474 ± 0.0038	0.0161 ± 0.0006	0.1052 ± 0.008	102.83 ± 3.75	101.60 ± 8.53	exc.			
No.3	0.61	0.0581 ± 0.0132	0.0020 ± 0.0001	0.0162 ± 0.004	13.01 ± 0.87	16.30 ± 3.63				
No.4	0.42	0.0474 ± 0.0037	0.0165 ± 0.0006	0.1080 ± 0.009	105.61 ± 3.86	104.09 ± 8.72	exc.			
No.5	0.89	0.0470 ± 0.0038	0.0157 ± 0.0006	0.1020 ± 0.008	100.66 ± 3.73	98.63 ± 8.53	exc.			
No.6	0.41	0.0500 ± 0.0041	0.0167 ± 0.0006	0.1150 ± 0.010	106.52 ± 4.06	110.50 ± 9.60	exc.			
No.7	0.58	0.0723 ± 0.0159	0.0021 ± 0.0001	0.0208 ± 0.004	13.46 ± 0.96	20.94 ± 4.50	disc.			
No.8	0.66	0.0445 ± 0.0033	0.0168 ± 0.0006	0.1032 ± 0.008	107.53 ± 3.70	99.72 ± 7.77	exc.			
No.9	0.77	0.0296 ± 0.0089	0.0019 ± 0.0001	0.0080 ± 0.002	12.56 ± 0.81	8.06 ± 2.39	disc.			
No.10	0.44	0.0477 ± 0.0050	0.0166 ± 0.0007	0.1095 ± 0.012	106.34 ± 4.80	105.54 ± 11.66	exc.			
No.11	0.34	0.0502 ± 0.0024	0.0155 ± 0.0004	0.1076 ± 0.005	99.27 ± 2.73	103.75 ± 5.27	exc.			
No.12	0.54	0.0487 ± 0.0037	0.0155 ± 0.0005	0.1044 ± 0.008	99.27 ± 3.50	100.81 ± 8.05	exc.			
No.13	0.74	0.0443 ± 0.0119	0.0019 ± 0.0001	0.0117 ± 0.003	12.33 ± 0.86	11.81 ± 3.13				
No.14	0.27	0.0493 ± 0.0030	0.0155 ± 0.0005	0.1054 ± 0.006	99.15 ± 3.05	101.76 ± 6.48	exc.			
No.15	0.74	0.0473 ± 0.0040	0.0173 ± 0.0007	0.1129 ± 0.010	110.61 ± 4.27	108.59 ± 9.73	exc.			
No.16	0.70	0.0560 ± 0.0141	0.0020 ± 0.0001	0.0157 ± 0.004	13.09 ± 0.93	15.83 ± 3.91				
No.17	0.63	0.0491 ± 0.0035	0.0162 ± 0.0005	0.1099 ± 0.008	103.62 ± 3.12	105.84 ± 7.84	exc.			
No.18	0.72	0.0594 ± 0.0135	0.0020 ± 0.0001	0.0164 ± 0.004	12.86 ± 0.84	16.47 ± 3.65				
No.19	0.71	0.0464 ± 0.0038	0.0157 ± 0.0005	0.1009 ± 0.008	100.72 ± 3.36	97.58 ± 8.40	exc.			
No.20	0.73	0.0151 ± 0.0071	0.0020 ± 0.0001	0.0042 ± 0.002	12.94 ± 0.91	4.23 ± 1.98	disc.			
No.21	0.51	0.0474 ± 0.0037	0.0174 ± 0.0006	0.1139 ± 0.009	111.21 ± 3.62	109.48 ± 8.89	exc.			
No.22	0.67	0.0576 ± 0.0146	0.0020 ± 0.0001	0.0161 ± 0.004	13.01 ± 0.94	16.17 ± 4.03				
No.23	0.24	0.0484 ± 0.0029	0.0151 ± 0.0004	0.1009 ± 0.006	96.72 ± 2.44	97.62 ± 5.89	exc.			
No.24	0.50	0.0407 ± 0.0114	0.0022 ± 0.0001	0.0122 ± 0.003	13.94 ± 0.95	12.27 ± 3.39				
No.25	0.63	0.0504 ± 0.0044	0.0164 ± 0.0006	0.1141 ± 0.010	104.88 ± 3.87	109.70 ± 10.17	exc.			
No.26	0.67	0.0504 ± 0.0030	0.0165 ± 0.0004	0.1146 ± 0.007	105.36 ± 2.80	110.13 ± 6.88	exc.			
No.27	0.78	0.0526 ± 0.0034	0.0171 ± 0.0005	0.1242 ± 0.008	109.33 ± 3.16	118.88 ± 8.04	exc.			
No.28	0.66	0.0463 ± 0.0024	0.0167 ± 0.0004	0.1068 ± 0.005	106.99 ± 2.48	103.07 ± 5.49	exc.			
No.29	0.39	0.0478 ± 0.0022	0.0164 ± 0.0003	0.1083 ± 0.005	105.04 ± 2.25	104.45 ± 4.90	exc.			
No.30	0.69	0.0444 ± 0.0036	0.0169 ± 0.0006	0.1034 ± 0.008	107.86 ± 3.57	99.90 ± 8.54	exc.			
						Weighted mean of the youngest group (n = 6)	13.0 ± 0.4			
Standards										
GJ 1-1	0.06	0.0602 ± 0.0026	0.0968 ± 0.0053	0.8039 ± 0.0590	595.42 ± 33.96	599.04 ± 58.25				
GJ 1-2	0.06	0.0605 ± 0.0026	0.0962 ± 0.0052	0.8027 ± 0.0588	592.27 ± 33.69	598.34 ± 58.01				
GJ 1-3	0.05	0.0606 ± 0.0026	0.0949 ± 0.0052	0.7940 ± 0.0583	584.67 ± 33.28	593.43 ± 57.50				
GJ 1-4	0.06	0.0595 ± 0.0026	0.0961 ± 0.0052	0.7884 ± 0.0577	591.57 ± 33.63	590.24 ± 56.99				
GJ 1-5	0.06	0.0603 ± 0.0026	0.0948 ± 0.0052	0.7895 ± 0.0577	584.04 ± 33.14	590.91 ± 57.00				
91500 tef 1-1	0.36	0.0721 ± 0.0039	0.1795 ± 0.0128	1.7858 ± 0.1633	1064.50 ± 81.95	1040.30 ± 153.55				
91500 tef 1-2	0.39	0.0719 ± 0.0037	0.1783 ± 0.0121	1.7687 ± 0.1549	1057.70 ± 77.66	1034.06 ± 146.25				
91500 tef 1-3	0.46	0.0757 ± 0.0041	0.1846 ± 0.0136	1.9280 ± 0.1804	1092.28 ± 87.00	1090.84 ± 168.43				
91500 tef 1-4	0.42	0.0743 ± 0.0039	0.1771 ± 0.0125	1.8154 ± 0.1640	1051.20 ± 79.95	1051.02 ± 154.21				
91500 tef 1-5	0.44	0.0761 ± 0.0037	0.1843 ± 0.0122	1.9338 ± 0.1646	1090.16 ± 78.26	1092.84 ± 154.73				
OD3 1-1	1.51	0.0446 ± 0.0044	0.0051 ± 0.0003	0.0315 ± 0.0035	32.98 ± 1.89	31.53 ± 3.59				
OD3 1-2	1.55	0.0498 ± 0.0046	0.0050 ± 0.0003	0.0347 ± 0.0037	32.41 ± 1.84	34.59 ± 3.77				
OD3 1-3	1.58	0.0478 ± 0.0043	0.0051 ± 0.0003	0.0337 ± 0.0036	32.88 ± 1.85	33.65 ± 3.60				
OD3 1-4	1.48	0.0495 ± 0.0034	0.0053 ± 0.0003	0.0364 ± 0.0032	34.27 ± 1.85	36.30 ± 3.29				
OD3 1-5	1.43	0.0473 ± 0.0033	0.0053 ± 0.0003	0.0346 ± 0.0031	34.07 ± 1.84	34.51 ± 3.14				

Note: disc.: discordant, exc.: excluded from the mean calculation

久保田層については、凝灰岩層のK-Ar年代とフィッシュ・トラック年代(Takahashi *et al.*, 2001a, b), 珪藻化石(柳沢ほか, 2003), 浮遊性有孔虫化石(相田, 1988; 島本ほか, 1998; Hayashi *et al.*, 2002), 石灰質ナノ化石(島本ほか, 1998)及び放射虫化石(竹谷・相田, 1991)などの豊富な年代データがあり、本層が後期中新世初期の11-10 Maの比較的短い期間に堆積したことが明らか

になっている(高橋・林, 2008)。下位の赤坂層については、現在のところ年代に関するデータは報告されておらず、久保田層とは整合関係にあることから赤坂層の堆積年代が久保田層の下限の年代11 Maより古いことは確かであるが、それより詳しいことは不明であった。

ところで、本研究で赤坂層とした里美地域の砂質堆積物は、以前は「源氏川層」(大槻, 1975)または「東金砂山



第8図 ジルコンU-Pb年代測定の結果。(A), (B)コンコダントジルコンの ^{238}U - ^{206}Pb 年代ヒストグラムと確率分布曲線。紺色のバーは外来ジルコン。水色のバーは最若粒子集団となすジルコン。(C)ジルコンU-Pbコンコダント図。破線の誤差楕円はディスコダント粒子の年代。

Fig. 8 Zircon U-Pb ages. (A), (B) ^{238}U - ^{206}Pb age histograms and probability curves for concordant zircon grains. Dark blue bars are detrital zircons and light blue bars are zircons of the youngest cluster. (C) Zircon U-Pb concordant diagram. Dotted ellipses are discordant grain ages.

層」(斎藤ほか, 1992; 天野, 2008)とされていたが, 東縁断層の東側に沿って限定的に分布するという点が模式地の赤坂層と全く同じであること, そして岩相が模式地の赤坂層と酷似することから, この堆積物は模式地の赤坂層に確実に対比できると判断できる。したがって, 本研究で得られた里美地域の赤坂層の凝灰岩のU-Pb年代 13.0 ± 0.4 Maは, これまで不確かであった東棚倉地域の赤坂層の年代を制約する重要なデータになると言える。

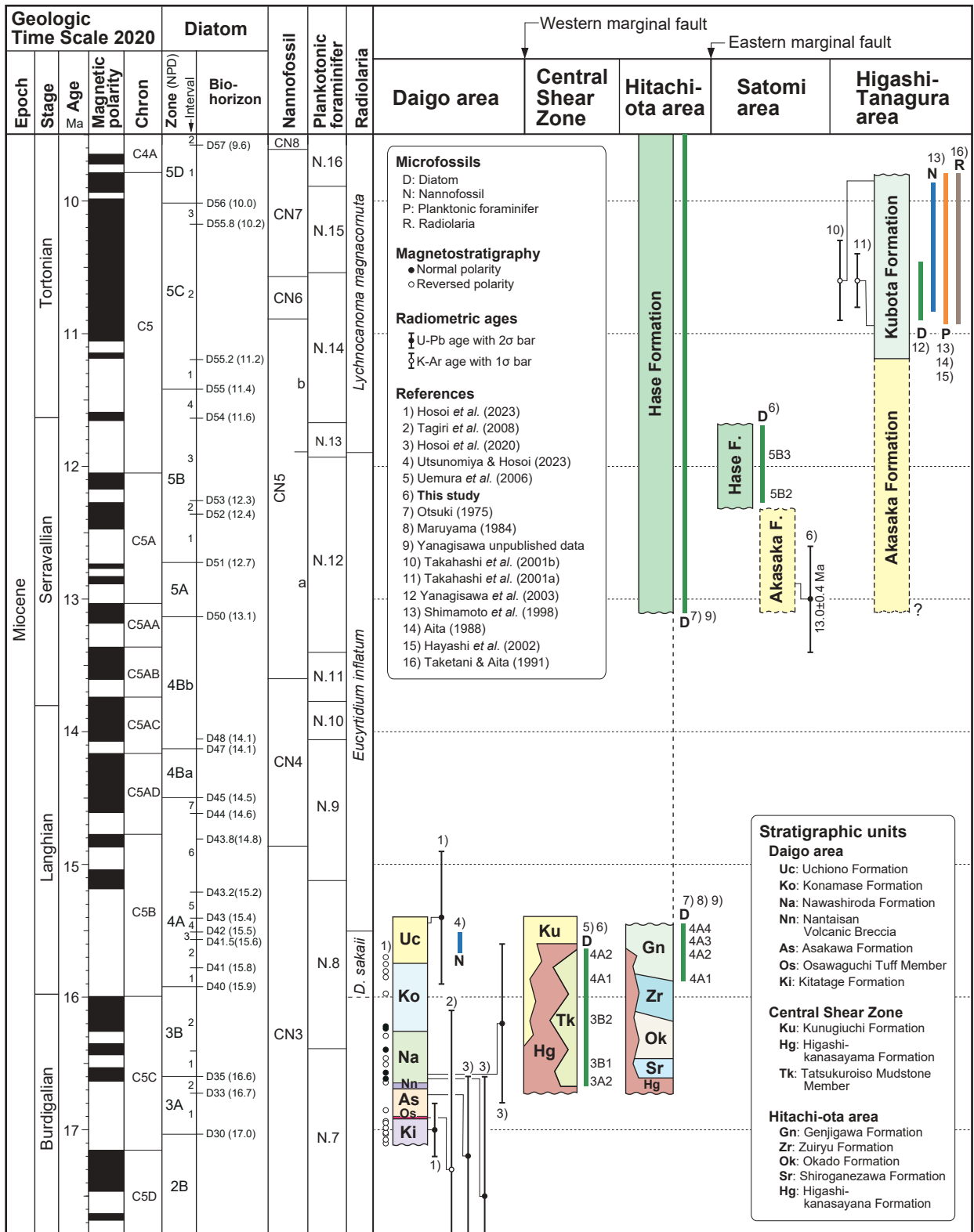
里美地域の南方にあたる常陸太田地域は中央破碎帯の延長部に位置しており, 中新統としては東金砂山層(礫岩)の上位に白金沢層(粗粒凝灰岩・砂岩泥岩互層), 大門層(泥岩砂岩互層), 瑞龍層(珪質泥岩), 源氏川層(珪藻質泥岩層)が累重している(鈴木・大森, 1953; 大槻, 1975)。ただし, 東金砂山層より上位の地層は東金砂山層の礫岩と一部指交関係にある。このうち, 源氏川層については, 「古い源氏川層」と「若い源氏川層」があり, 両者は不整合の関係にあると推定されていたが(大槻, 1975), その後「若い源氏川層」は長谷層と命名された(斎藤ほか, 1992)。源氏川層からは, NPD4A帯の珪藻化石が報告されている(大槻, 1975; Maruyama, 1984)。また, 我々の調査でも源氏川層からNPD4A1-4A4の珪藻区間を示す珪藻化石が産出している(柳沢, 未公表データ)。また, 長谷層からは区間NPD5B1及びNPD5C帯と解釈できる珪藻化石が産出している(大槻, 1975)。我々も長谷層の珪藻化石層序を検討中であり, 今のところ長

谷層からはNPD5A帯からNPD6B帯にわたる珪藻化石が産出している(柳沢, 未公表データ)。

今回, 里美地域の長谷層から産出したNPD5B2及び5B3を示す珪藻化石は, 模式地の長谷層の珪藻化石帯の範囲の中におさまる(第9図)。なお, 本論文において長谷層とした里美地域の堆積物は, 大槻(1975)では「源氏川層」に含まれているが, この堆積物の年代が模式地の源氏川層よりも新しく, 長谷層の年代に含まれることから, 本研究ではこの堆積物を「長谷層」と呼ぶことにした。

中央破碎帯に分布する東金砂山層の龍黒礫泥岩部層の上部では, 区間NPD4A1と4A2が認められており, 同じ珪藻区間が常陸太田地域の源氏川層下部で確認される。このことから, 龍黒礫泥岩部層の上部が源氏川層の下部に対比されることがわかる。常陸太田地域の白金沢層, 大門層及び瑞龍層については, 珪藻化石を含めて年代に関するデータがないので厳密な対比はできないが, 龍黒礫泥岩部層の下部がこれら3層に対比される可能性がある。

里美地域の西方の太子地域は, 西縁断層の西側に位置し, 棚倉堆積盆の中新統の標準ともなりうる厚い堆積物が連続的に堆積盆を埋積している。この地域の中新統は, 下位より北田気層(安山岩質砂岩), 大沢口凝灰岩部層(珪長質凝灰岩), 浅川層(砂岩・泥岩), 男体山火山角礫岩(安山岩角礫岩), 苗代田層(黒色泥岩), 小生瀬層(礫



第9図 棚倉堆積盆に分布する中新統の年代層序. 年代尺度: Raffi *et al.* (2020). 珪藻化石帯区分: Akiba (1985), Yanagisawa and Akiba (1998), Watanabe and Yanagisawa (2005). 石灰質ナノ化石帯区分: Okada and Bukry (1980). 浮遊性有孔虫化石帯区分: Blow (1969). 放射虫化石帯区分: Kamikuri (2017).

Fig. 9 Chronostratigraphy of the Miocene strata in the Tanakura sedimentary basin. Geologic time scale: Raffi *et al.* (2020). Diatom zonation: Akiba (1985), Yanagisawa and Akiba (1998), and Watanabe and Yanagisawa (2005). Calcareous nannofossil zonation: Okada and Bukry (1980). Planktonic foraminiferal zonation: Blow (1969). Radiolarian zonation: Kamikuri (2017).

岩・砂岩)及び内大野層(中粒砂岩)から構成される(大槻, 1975). 大子地域の中新統については, 放射年代(例えば, 田切ほか, 2008; Hosoi *et al.*, 2020, 2023), 石灰質ナノ化石(宇都宮・細井, 2023)及び古地磁気層序(Hosoi *et al.*, 2023)に基づいて詳しい年代層序が構築されている(第9図). それによると, 大子地域の中新統は約17.1 Maから15.4 Maの期間に堆積したと推定される. 古地磁気層序と珪藻化石層序の対応関係に基づくと, 本研究で珪藻化石層序を明らかになった中央破砕帯の龍黒礫泥岩部層は, 大子地域の浅川層最上部から内大野層の下部に確実に対比できる.

6. おわりに

この研究では, これまで年代データがほとんどなかった棚倉堆積盆内の里美地域に分布する中新統の赤坂層・長谷層とその周辺の中央破砕帯に分布する中新統東金砂山層の龍黒礫泥岩部層について, 珪藻化石年代分析と凝灰岩のU-Pb年代測定を実施した.

- (1) 赤坂層の凝灰岩からはU-Pb年代 13.0 ± 0.4 Maが得られた.
- (2) 長谷層は北太平洋珪藻化石帯区分のNPD5B帯の区間NPD5B2と5B3を含み, 12.4 Maから11.6 Maの期間内に堆積したと推定される.
- (3) 龍黒礫泥岩部層からはNPD3A帯上部の区間NPD3A2 (16.7–16.6 Ma), NPD3B帯 (16.6–15.9 Ma)及びNPD4A帯の区間NPD4A1–4A2 (15.9–15.6 Ma)の珪藻化石が産出した. このことから本部層の年代は, 約16.7–15.6 Maと推定できる.

本研究によって里美地域とその周辺の中新統の年代がはじめて明確になり, これにより, 棚倉堆積盆内での地層の対比の問題点も解消された. しかし, 棚倉堆積盆内には未だ年代が明確でない地域や地層がある. 特に常陸太田市及び常陸大宮市から水戸市にかけての棚倉堆積盆の南端部では, 15 Ma以降の中新統の堆積物が連続的に分布しているにもかかわらず, 露出状況が極めて悪いためか, 基本的な岩相層序も確立しておらず, また信頼に足る年代のデータも全く報告されていない. 今後この地域の研究を進めることにより, 棚倉堆積盆のテクトニクスや環境復元の研究が進展するものと期待される.

謝辞: 地質情報研究部門地殻岩石研究グループ長の工藤崇博士には, この論文のとりまとめにあたり有益なご教示をいただいた. 匿名の査読者及び編集委員会からは原稿改善にあたって有益なコメントを頂いた. ここに深く感謝の意を表する.

文 献

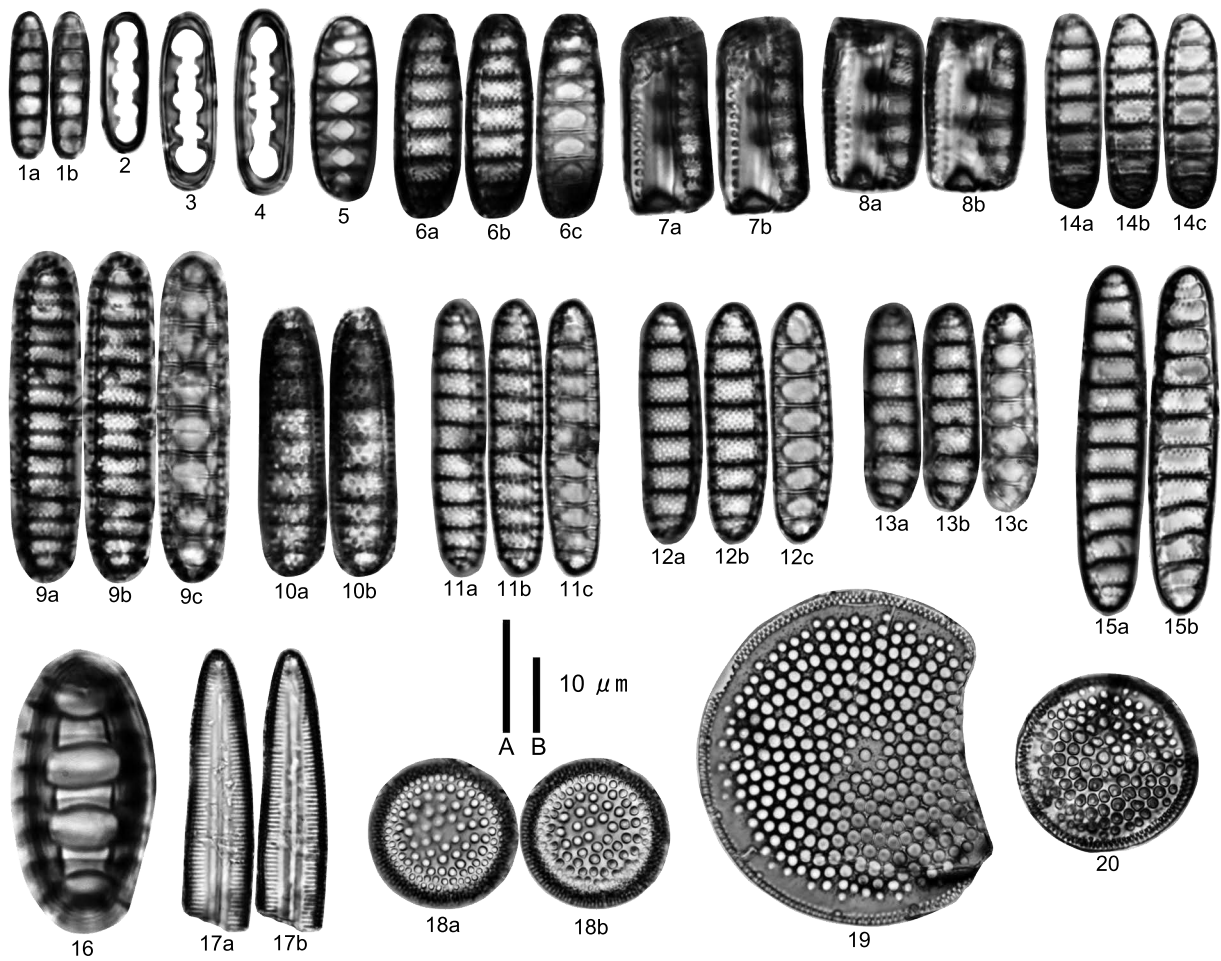
相田 優(1988) 福島県棚倉地域の久保田層より産する新第三紀浮遊性有孔虫化石. 福島県立博物館紀要,

- no. 20, 13–27.
- Akiba, F. (1986) Middle Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy in the Nankai Trough and Japan Trench, and modified Lower Miocene through Quaternary diatom zones for middle-to-high latitudes of the North Pacific. *In* Kagami, H., Karig, D. E., Coulbourn, W. T. *et al.*, *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **87**, 393–480. U. S. Govt. Printing Office, Washington D. C.
- 天野一男(1991) 棚倉断層に沿って発達する横ずれ堆積盆構造地質, no. 36, 77–82.
- 天野一男(2008) 3.第三系, 3.4.3 棚倉地域. 日本地質学会編, 日本地方地質誌3, 関東地方, 206–214. 朝倉書店, 東京.
- 天野一男・松原典孝・及川敦美・滝本春南・細井 淳(2011) 棚倉断層の新第三紀テクトニクスと火山活動・堆積作用. 地質学雑誌, **117**補遺, 69–87.
- Blow, W. H. (1969) Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. *In* Brönnimann, P. and Renz, H. H. eds., *Proceedings of the First International Conference on Planktonic Microfossils*, **1**, Leiden, Netherlands, 199–422.
- Danhara, T., Iwano, H., Kasuya, M. and Yamashita, T. (1993) The PFA sheet: An improved mounting material for fission track analysis of zircon. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, **22**, 283–285.
- Hayashi, H., Yamaguchi, T., Takahashi, M. and Yanagisawa, Y. (2002) Planktonic foraminiferal biostratigraphy of the upper Miocene Kubota Formation in the eastern Tanagura area, Northeast Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **53**, 409–420.
- Hosoi, J., Danhara, T., Iwano, H., Matsubara, N., Amano, K. and Hirata, T. (2020) Development of the Tanakura strike-slip basin in Japan during the opening of the Sea of Japan: Constraints from zircon U–Pb and fission-track ages. *Journal of Asian Earth Sciences*, **190**, 104157.
- Hosoi, J., Tani, Y., Okada, M. and Haneda, Y. (2023) Rotated transtensional basins formed during back-arc spreading in Japan: simultaneous rapid tectonic rotation and basin subsidence. *Tectonics*, e2022TC007642.
- 岩野英樹・折橋裕二・檀原 徹・平田岳史・小笠原正継(2012) 同一ジルコン結晶を用いたフィッシュン・トラックとU–Pb ダブル年代測定法の評価—島根県川本花崗閃緑岩中の均質ジルコンを用いて—. 地質学雑誌, **118**, 365–375.
- Iwano, H., Orihashi, Y., Hirata, T., Ogasawara, M., Danhara, T., Horie, K., Hasebe, N., Sueoka, S., Tamura, A., Hayasaka, Y., Katsube, A., Ito, H., Tani, K., Kimura, J-I., Chang, Q., Kouchi, Y., Haruta, Y. and Yamamoto, K. (2013) An inter-laboratory evaluation of OD-3 zircon for use as

- secondary U–Pb dating standard. *Island Arc*, **22**, 382–394.
- Jackson, S. E., Pearson, N. J., Griffin, W. L. and Belousova, E. A. (2004) The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, **211**, 47–69.
- Kamikuri, S. (2017) Late Neogene radiolarian biostratigraphy of the eastern North Pacific ODP Sites 1020/1021. *Paleontological Research*, **21**, 230–254.
- 越谷 信(1986) 棚倉破砕帯の変形と運動. 地質学雑誌, **92**, 15–29.
- 桑原 徹(1981) 中新世における棚倉破砕帯の左横ずれ断層活動. 地質学雑誌, **87**, 475–487.
- 桑原 徹(1982) 東北日本弧南部外側地域の東西性—北西—南東性水平圧縮応力場を示す中新世横ずれ断層形—東北日本弧の中新世断層系とテクトニック応力場—. 構造地質, no. 27, 33–54.
- Lukács, R., Harangi, S., Bachmann, O., Guillong, M., Danišik, M., Buret, Y., Von Quadt, A., Dunkl, I., Fodor, L., Sliwinski, J., Soós, I. and Szepesi, J. (2015) Zircon geochronology and geochemistry to constrain the youngest eruption events and magma evolution of the Mid-Miocene ignimbrite flare-up in the Pannonian Basin, eastern-central Europe. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **170**, 52. doi:10.1007/s00410-015-1206-8
- Maruyama, T. (1984) Miocene diatom biostratigraphy of onshore sequences on the Pacific side of northeast Japan, with reference to DSDP Hole 438A (Part 2). *Science Reports of the Tohoku University, 2nd Series (Geology)*, **55**, 77–140.
- Noda, H. (1973) Geological significance of *Anadara (Hataiarca) kakehataensis* Hatai and Nisiyama in the Arcid-Potamid fauna in Japan. *Science Reports of the Tohoku University, 2nd Series (Geology), Special Volume. no. 6 (Hatai Memorial Volume)*, 205–215.
- Noda, H., Kikuchi, Y. and Nikaido, A. (1994) Middle Miocene molluscan fauna from the Tamagawa Formation in Ibaraki Prefecture, northern Kanto, Japan. *Science Reports of the Institute of Geoscience, University of Tsukuba, Section B, Geological Sciences*, **15**, 81–102.
- Okada, H. and Bukry, D. (1980) Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973; 1975). *Marine Micropaleontology*, **5**, 321–325.
- Omori, M. (1958) On the geological history of the Tertiary system in the southern part of the Abukuma Mountain land with special reference to the geological meaning of the Tanakura Shear Zone. *Science Reports of the Tokyo Kyoiku Daigaku, Section C, Geography, Geology and Mineralogy*, **6**, 25–116.
- 大森昌衛・堀越和衛・鈴木康司・藤田至則(1953) 阿武隈山地西南縁の棚倉破砕帯について—阿武隈山地西南縁の新生界の地史学研究(その3) —. 地質学雑誌, **59**, 217–223.
- 大槻憲四郎(1975) 棚倉破砕帯の地質構造. 東北大学理学部地質学古生物学教室研究邦文報告, no. 76, 1–70.
- Raffi, I., Wade, B. S. and Pálike, H. (2020) Chapter 29, The Neogene Period. In Gradstein, F. M. et al. eds., *Geologic Time Scale 2020*, 1141–1215. Elsevier, Amsterdam, Oxford, Cambridge.
- 斎藤登志雄・高橋治之・天野一男(1992) 棚倉断層周辺新第三系の地質図(1/50,000). 茨城大学理学部.
- 産総研地質調査総合センター(2022) 20万分の1日本シームレス地質図V2 (<https://gbank.gsj.jp/seamless/>) (閲覧日: 2023年7月12日).
- 島本昌憲・林 広樹・鈴木紀毅・田中裕一郎・斎藤常正(1998) 福島県東部棚倉地域に分布する新第三系の層序と微化石年代. 地質学雑誌, **104**, 296–312.
- Sláma, J., Košler, J., Condon, D. J., Crowley, J. L., Gerdes, A., Hanchar, J. M., Horstwood, M. S. A., Morris, G. A., Nasdala, L., Norberg, N., Schaltegger, U. S., Schoene, B., Tubrett, M. N. and Whitehouse, M. J. (2008) Plešovice zircon — A new natural reference material for U–Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chemical Geology*, **249**, 1–35.
- 鈴木康司・大森昌衛(1953) 茨城県太田町付近に分布する第三系の層序学的研究—阿武隈台地の西南縁に分布する新生界の地史学研究 その2—. 地質学雑誌, **59**, 35–46.
- 田切美智雄・青井亜紀子・笠井勝美・天野一男(2008) 大子地域中新世火山岩類の化学組成とK–Ar年代—大子地域と茂木地域に産する新第三紀火山岩類の組成・層序対比. 地質学雑誌, **114**, 300–313.
- 高橋宏和(2001) 棚倉破砕帯のArcid-Potamid群集. 生物科学, **53**, 168–177.
- 高橋宏和(2022) 日本の中新統産 *Telescopium* について. 筑波大学附属駒場論集, **61**, 191–204.
- 高橋雅紀・林 広樹(2008) 3. 第三系, 3.4.4 東棚倉地域. 日本地質学会編, 日本地方地質誌3, 関東地方, 214–219. 朝倉書店, 東京.
- Takahashi, M., Iwano, H., Yanagisawa, Y. and Hayashi, H. (2001a) Fission track age of the Kt-7 Tuff in the Miocene Kubota Formation in the eastern Tanagura area, Northeast Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **52**, 291–302.
- Takahashi, M., Hayashi, H., Danhara, T., Iwano, H. and Okada, T. (2001b) K–Ar and fission track ages of the Kt-1 Tuff in the Miocene marine sequence in the Tanagura area, Northeast Japan. *Journal of the Japanese*

- Association for Petroleum Technology*, **66**, 311–318.
- 竹谷陽二郎・相田 優 (1991) 福島県棚倉地域の中新統久保田層より産する放散虫化石. 福島県立博物館紀要, no. 5, 31–51.
- Uemura, K., Kikuchi, Y., Nagato, H. and Nikaido, A. (2006) Middle Miocene plants from marine sediments in Tatsugoroshi of Hitachiota, Ibaraki Prefecture, Japan. *Bulletin of the National Museum of Nature and Science, Series C (Geology & Paleontology)*, **32**, 1–11.
- 宇都宮正志・細井 淳 (2023) 茨城県大子町に露出する中新統内大野層の石灰質ナノ化石年代. 地質調査研究報告, **74**, 179–185.
- Watanabe, M. and Yanagisawa, Y. (2005) Refined Early to Middle Miocene diatom biochronology for the middle- to high-latitude North Pacific. *Island Arc*, **14**, 91–101.
- Wiedenbeck, M., Alle, P., Corfu, F., Griffin, W. L., Meier, M., Oberli, F., Von Quadt, A., Roddick, J. C. and Spiegle, W. (1995) Three natural zircon standards for U–Th–Pb, Lu–Hf, trace element and REE analyses. *Geostandards Newsletter*, **19**, 1–23.
- 柳沢幸夫 (1999) 金沢市南部地域に分布する中新統の珪藻化石層序. 地質調査所月報, **50**, 49–65.
- 柳沢幸夫・山口龍彦・林 広樹・高橋雅紀 (2003) 福島県東棚倉地域に分布する上部中新統久保田層の海生珪藻化石層序と古環境. 地質調査所月報, **54**, 29–47.
- Yanagisawa, Y. and Akiba, F. (1998) Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons. *Journal of the Geological Society of Japan*, **104**, 395–414.
- 柳沢幸夫・安藤寿男 (2020) 茨城県北茨城・高萩地域の新第三系多賀層群と日立層群: 岩相層序と珪藻化石層序から復元した陸棚—陸棚斜面堆積物・海底谷埋積物・海底地すべり痕埋積物の複合体. 地質調査研究報告, **71**, 85–199.

(受付: 2024年3月18日; 受理: 2024年9月26日)



図版1 長谷層と東金砂山層の龍黒礫泥岩部層から産出した珪藻。

Plate 1 Diatoms from the Hase Formation and the Tatsukuroiso Mudstone Member of the Higashikanasayama Formation. Scale bar A for figs 1a–16b and scale bar B for figs. 17a–20.

- 1a, 1b, *Denticulopsis praelauta* Akiba & Koizumi [Sample 24 (JOB3127), Tatsukuroiso Member]
 2, *Denticulopsis praedimorpha* var. *minor* Yanagisawa & Akiba (closed copula) [Sample 17 (JOB6240), Hase Formation]
 3, 4, *Denticulopsis praedimorpha* var. *praedimorpha* Akiba ex Barron (closed copulae) [Sample 17 (JOB6240), Hase Formation]
 5–6c, *Denticulopsis praedimorpha* var. *praedimorpha* Akiba ex Barron (valves) [Sample 17 (JOB6240), Hase Formation]
 7a–8b, *Denticulopsis praedimorpha* var. *praedimorpha* Akiba ex Barron (girdle views) [Sample 17 (JOB6240), Hase Formation]
 9a–9c, *Denticulopsis simonsenii* Yanagisawa & Akiba [Sample 10 (JOB6239), Hase Formation]
 10a, 10b, *Crucidentacula punctata* (Schrader) Akiba & Yanagisawa [Sample 14 (JOB6243), Hase Formation]
 11a–13c, *Denticulopsis lauta* (Bailey) Simonsen [11a–11c, 13a–13c: Sample 29 (JOB3132), 12a–12c: Sample 37 (JOB5712), Tatsukuroiso Member]
 14a–15b, *Denticulopsis ichikawae* Yanagisawa & Akiba [14a–14c: Sample 37 (JOB5712), 15a, 15b: Sample 36 (JOB5711), Tatsukuroiso Member]
 16, *Denticulopsis crassa* Yanagisawa & Akiba [Sample 07 (Htot-48), Hase Formation]
 17a, 17b, *Cavitatus lineris* (Sheshukova-Poretskaya) Akiba & Yanagisawa [Sample 29 (JOB3132), Tatsukuroiso Member]
 18a, 18b, *Actinocyclus ingens* var. *ingens* Rattray [Sample 37 (JOB5712), Tatsukuroiso Member]
 19, 20, *Azpeitia endoi* (Kanaya) Sims & Fryxell (19: Sample 29 (JOB3132), 20: Sample 36 (JOB5711), Tatsukuroiso Member)

茨城県日立市南部の久慈町離山に分布する新第三系多賀層群と日立層群の層序と珪藻化石

柳沢 幸夫^{1, 2, *}・安藤 寿男³・櫛引 碧^{4, 5}

YANAGISAWA Yukio, ANDO Hisao and KUSHIBIKI Sora (2024) Stratigraphy and diatoms of the Neogene Taga and Hitachi groups in the Hanareyama district, Kuji Town, Hitachi City, Ibaraki Prefecture, Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 75 (4), p. 121-159, 9 figs, 1 table, 3 plates and 16 appendices.

Abstract: The marine diatom biostratigraphy has been established for Neogene sediments in the Hanareyama district, Kuji Town in the southern part of Hitachi City, Ibaraki Prefecture, Japan. The Neogene sediments in this district are tentatively divided into four units (Unit 1-4, from bottom to top) separated by hiatuses. Unit 1 consists of diatomaceous mudstone, corresponding to the lowest part of diatom interval NPD5C3 to 5D1 (10.2-9.9 Ma). Unit 2 is composed of sandy mudstone and mudstone with slump and submarine debris-flow deposits, and belongs to diatom zone NPD6A (9.3-8.7 Ma). Unit 3 consists of tuffaceous muddy sandstone interbedded with numerous tuff beds and contains diatom fossils of the interval NPD6B1 (8.7-8.5 Ma). Unit 4 consists of tuffaceous muddy sandstone and corresponds to diatom subzone NPD7Ba (6.5-5.6 Ma). Unit 1 is the southern extension of the Kokubu Formation, which comprises shelf and shelf slope deposits in the Taga Group. Units 2 and 3 are presumed to be units of the Hase Formation, which is a slope channel-fill complex corresponding to the Taga Group. Unit 4 may be a unit in the slope channel fill of the Kume Formation of the Hitachi Group. Lacustrine centric diatom fossils in tuff layers or muddy sedimentary rocks in the Hanareyama district are invaluable in reconstructing the long-term change in lacustrine diatom assemblages in Japan. Two elephant molar fossils in Unit 3 fill a gap in the proboscidean record in Japan that previously extended from the middle Miocene to the end Miocene.

Keywords: Taga Group, Hitachi Group, slope channel-fills, diatom biostratigraphy, freshwater diatom, proboscidean fossil, Miocene, Ibaraki Prefecture

要 旨

茨城県日立市南部の久慈町離山地区に分布する新第三系の珪藻年代分析を行った。この地区の新第三系は、下位より堆積間隙で区切られたユニット1～4に暫定的に区分される。ユニット1(珪藻質泥岩)は珪藻区間NPD5C3から5D1最下部(10.2-9.9 Ma)に相当する。ユニット2は砂質泥岩・泥岩とスランプ堆積物や水中土石流堆積物からなり、NPD6A帯(9.3-8.7 Ma)に属する。ユニット3は多数の凝灰岩層を挟む凝灰質の泥質砂岩で、珪藻区間NPD6B1(8.7-8.5 Ma)に対比される。ユニット4(泥質砂

岩)はNPD7Ba帯(6.5-5.6 Ma)の珪藻化石を含む。ユニット1は多賀層群の国分層の延長部と考えられる。ユニット2と3は海底谷埋積物である長谷層に、またユニット4は同様に海底谷埋積物である久米層に属すると判断される。本地区の凝灰岩層または泥質岩から産出した淡水湖沼生珪藻は、淡水湖沼生珪藻の長期的な変遷を明らかにする貴重な記録である。また、ユニット3から報告された長鼻類の臼歯化石は、中新世中期から中新世末までの長期に及ぶ日本における長鼻類化石記録の欠落を埋める重要な化石であったことがわかった。

¹ 有限会社珪藻ミナラボ 〒357-0023 埼玉県飯能市岩沢 632-12 (Diatom Minilab, Ltd., 632-12 Iwasawa, Hanno, Saitama 357-0023, Japan)

² 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)

³ 茨城大学大学院理工学研究科理学専攻 〒310-8512 茨城県水戸市文京 2-1-1 (Department of Earth Science, Faculty of Science, Ibaraki University, 2-1-1 Bunkyo, Mito, Ibaraki 310-8512, Japan)

⁴ 北海道地図株式会社 〒070-8071 北海道旭川市台場一条 2-1-6 (Hokkaido-Chizu Corporation, 2-1-6 Ijo Daiba, Asahikawa, Hokkaido 070-8071, Japan)

⁵ 茨城大学理学部地球環境科学コース 〒310-8512 茨城県水戸市文京 2-1-1 (Earth Science Course, College of Science, Ibaraki University, 2-1-1 Bunkyo, Mito, Ibaraki 310-8512, Japan)

* Corresponding author: YANAGISAWA, Y., Email: yk.yanagi3857@gmail.com

1. はじめに

茨城県北東部から福島県南東部にかけての海岸沿い(常磐地域)に分布する白亜系・古第三系及び新第三系の堆積岩類は、白亜紀前期から現在に至る前弧堆積盆(常磐沖堆積盆)を埋積した堆積物のうち、堆積盆西縁部が地表に露出したものである(第1図, 安藤ほか, 2011)。この地域に分布する堆積岩類のうち、最上部の中新統下部~鮮新統上部の海成泥岩・砂岩は、いわゆる「多賀層群」と一括して呼ばれてきた。これは「多賀層群」の岩相には地層を区分できる特徴があまりなく、また年代推定の基になる化石の産出も限定されていて、その層序区分・対比・年代推定が長い間混乱し、実態がよくわからなかったためである(松井, 1953; 須貝ほか, 1957; Mitsui *et al.*, 1973; 成田層研究会, 2004)。

「多賀層群」は、中新世前期末から鮮新世後期に至る約1500万年間(16.7 Ma ~ 3.0 Ma)もの長い年代区間をカバーし(柳沢・安藤, 2020)、その間に起こったさまざまな地質イベントを記録しているため、東北日本弧の特に前弧盆地地域の地史を解明する上で非常に重要な地層群であると言える。そこで筆者らは「多賀層群」の実態を解明し、そこに記録された地史を明らかにするため、本層群について30年以上にわたり継続的に研究を行ってきた(柳沢ほか, 1989, 2004, 2016; 柳沢, 1996, 2000; 安藤, 2002; 栗原・柳沢, 2002; 須藤ほか, 2005; 高橋・柳沢, 2008; 安藤ほか, 2011; 柳沢・安藤, 2020)。そして、珪藻年代層序と堆積学検討に基づく詳しい研究により、従来「多賀層群」とされてきた地層が、(1)陸棚及び陸棚斜面で堆積した堆積物、(2)陸棚斜面の海底谷を埋積した堆積物、(3)海底地すべりの痕を埋めた堆積物という3種類の堆積物からなる複雑な集合体であることがわかり、従来の「多賀層群」は、下部の多賀層群(再定義, 下部中新統最上部~上部中新統)と、上部の日立層群(最上部中新統~鮮新統)に区分された(安藤ほか, 2011; 柳沢・安藤, 2020)。しかし、実態が明らかになり、層序の混乱が解消したのは茨城県北部の北茨城市、高萩市及び日立市最北部に分布する「多賀層群」に限られており(柳沢・安藤, 2020)、それ以外の地区に分布する「多賀層群」の層序・年代及び堆積形態は依然としてよくわかっていなかった。そこで、本論文では、これまでの研究の一環として調査した茨城県日立市南端部の久慈町離山地区(第1図)に分布する「多賀層群」について報告する。

離山は久慈町市街の西方にある孤立した丘陵である(第2図)。ここに分布する「多賀層群」は、下部が珪藻質泥岩、上部が多数の凝灰岩層を挟む凝灰質砂岩からなる。最初に詳しい記載を行った加藤(1914)は、前者を「下部第三紀層」、後者を「上部第三紀層」に区分し、後者から長鼻類の白歯化石を報告した(第3図)。その後、Yabe(1921)は、R. Aoki(青木廉二郎)によって「上部第三紀層」

に対して提案された“Hanareyama Series”という地層名を紹介している。

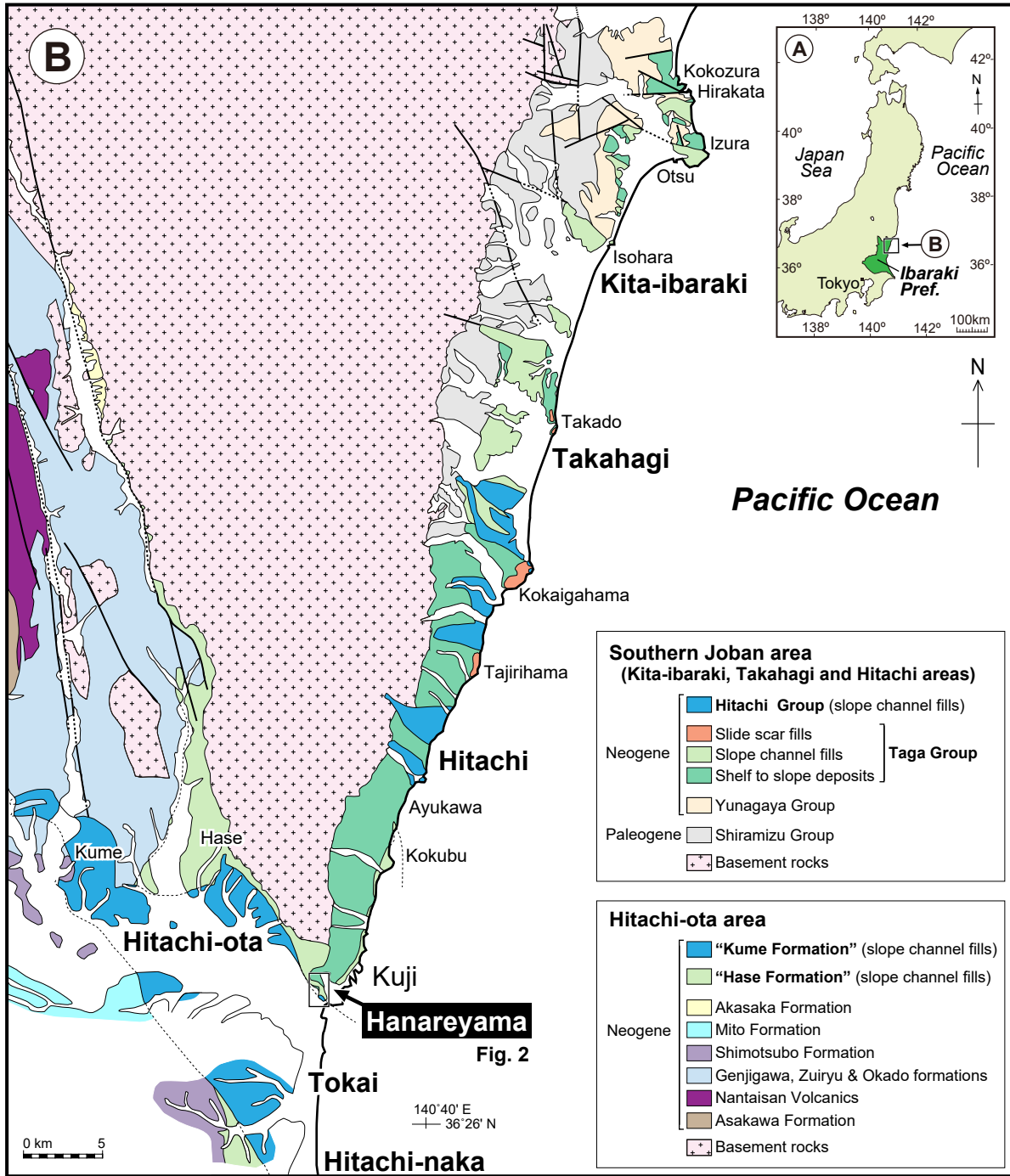
第2次世界大戦後、大森・鈴木(1950)は日立市から常陸太田市にかけての広い範囲で詳しい地質調査を行い、その報告の中で、離山地区の「多賀層群」の下部と上部をそれぞれ「河原子累層」と多賀層群の「離山凝灰岩層」と命名し、離山凝灰岩層は河原子累層を不整合に覆うとした。また、鈴木(1952, 1954)は、離山地区の「多賀層群」の下部の名称を多賀層群の「鮎川泥岩累層」、上部の名称を日立層群の「離山凝灰岩累層」と改めた。一方、5万分の1「那珂湊」図幅(坂本ほか, 1972)は、前者を「多賀層」、後者を「離山層」と呼び、両者は不整合関係にあるとした。また、20万分の1「水戸」図幅(吉岡ほか, 2001)は、両者をそれぞれ「多賀層群」と「離山層」と呼んでいる。なお、Kikuchi *et al.* (1992)は「離山層」下部に挟在する凝灰岩層から火山豆石(accretionary lapilli)を報告している。

このように、これまでの調査研究では、地層名はそれぞれ異なるものの、この地区の「多賀層群」は下部と上部に二分され、両者が不整合関係にあるとすることで共通している(第3図)。しかし、この不整合については、それが特異な形態を持つことが指摘されてはいたものの、成因についてはよくわかっていなかった(鈴木, 1954; 坂本ほか, 1972)。また、地質年代に関して、長鼻類の白歯化石(加藤, 1914)や貝類化石を基にして、下部の泥岩層が中新世後期、上部の砂岩層が鮮新世前期と、漠然とした地質時代が推定されただけであって(鈴木, 1954; 坂本ほか, 1972)、詳しい微化石年代分析や放射年代測定が行われたこともなく、その正確な年代は不明のままであった。そこで、この論文では、詳細な珪藻年代分析を行い、この地区の「多賀層群」の正確な層序・年代を明らかにした。また、海生珪藻化石とともに産出した淡水湖沼生珪藻化石や、加藤(1914)が報告した長鼻類の白歯化石の意義についても考察した。

2. 材料と方法

離山付近では市街化が進んでいるため、地層が観察できる露頭は限られているが、第2図に示すA-Tの20地点で岩相を観察して柱状図を作成し、珪藻分析用の試料を採取した。試料は泥岩、砂質泥岩及び泥質砂岩のほか、泥岩礫からも採取した。また、珪藻が含有されている可能性のあるシルト~極細粒砂粒度の凝灰岩からも試料を採取して分析した。現地調査は1992年、1998年、2022年及び2023年に実施した。なお、1992年と1998年に調査した際には存在したE, J, P及びQ地点の露頭は、2022年には消滅していた。

試料のプレパラートは、純水で泥化した試料の懸濁液から直接作成する未処理散布プレパラート法(Akiba, 1986)に従って作成した。詳しい方法は柳沢(1999)に記述されている。珪藻殻の計数は、生物顕微鏡600倍の倍率



第1図 常磐地域南部から常陸太田地域南部の地質図。吉岡ほか(2001)及び久保ほか(2007)を基に、柳沢・安藤(2020)及びこれまでの地質調査のデータを用いて一部修正して作成。段丘堆積物は省略。

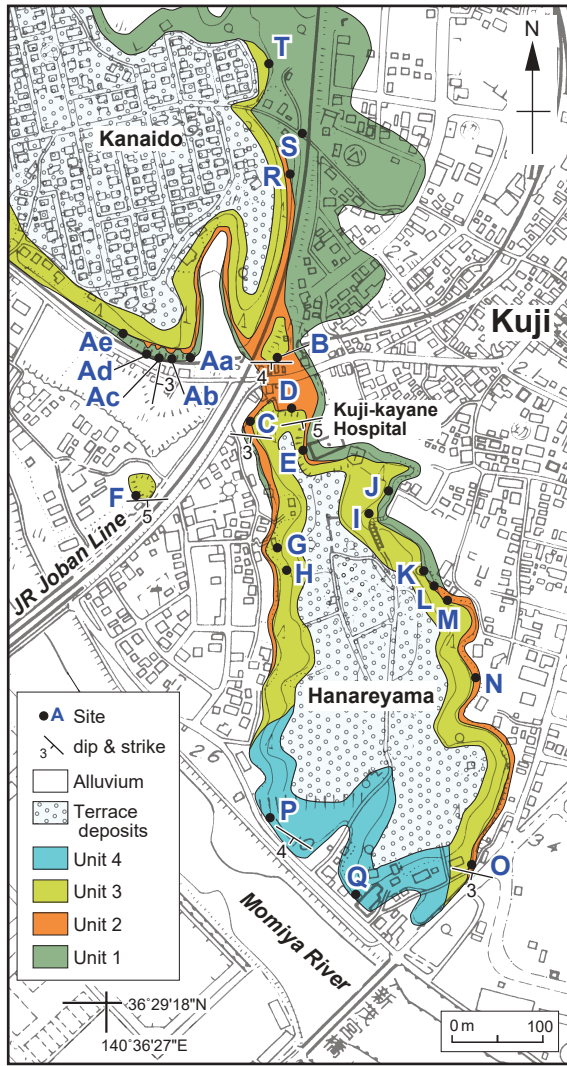
Fig. 1 Geologic map of the southern Joban to southern Hitachi-ota areas based on Yoshioka *et al.* (2001) and Kubo *et al.* (2007), partly modified based on Yanagisawa and Ando (2020) and the geological data of our survey. Distribution of terrace deposits is omitted.

下で実施した。

1992年及び1998年に採取した試料については、*Chaetoceros*属の休眠胞子を除いて、観察されたすべての種の蓋殻が100になるまで行った。その後、さらにカバー

ガラスの全面を走査し、その過程で新たに認められた種、及び破片としてのみ認められた種はpresent「+」として記録した。

2022年及び2023年に採取した試料については、



第2図 日立市離山地区の地質図。地形図は日立市発行の都市計画図(1万分の1)を使用。A-T: 柱状図を作成し珪藻試料を採取した地点。

Fig. 2 Geologic map of the Hanareyama district (Hitachi City) depicted on a city planning map (1:10,000 in scale) published by Hitachi City Government. A-T indicate locations where geological columnar sections were made and diatom samples were taken.

*Chaetoceros*属の休眠胞子を除いて、観察されたすべての種の蓋殻が50になるまで行った。その後、カバーガラス上の幅5 mmの範囲を走査し、その過程で新たに認められた種、及び破片としてのみ認められた種はpresent「+」として記録した。*Chaetoceros*属の休眠胞子は、計数した蓋殻が50になるまでの過程で遭遇した数を蓋殻数とは別に計数した。

珪藻化石帯区分は、Akiba (1986) と Yanagisawa and Akiba (1998) の新第三紀北太平洋珪藻化石帯区分を適用し、化石帯はNPDコード、生層準はDコード(D10-

D120)を用いた。年代はWatanabe and Yanagisawa (2005)を用いて修正し、Raffi *et al.* (2020)の地磁気極性年代尺度に合わせて調整した。また、柳沢・安藤(2020)に準じて、各珪藻化石帯を生層準によって区間(interval)に細分した(第6図参照)。ただし、区間を定義する指標種の産出が稀で、区間を認定できない場合は、帯区分の認定にとどめた。

3. 結果

離山付近では市街化が進んでいるため、前述のように2022年には消滅したか、あるいは観察できない露頭がある。また、現在観察できる露頭も消滅するか、あるいはコンクリートで覆われて観察できなくなる恐れがある。そこで、この論文では露頭の記録を残すために、各地点の詳しい岩相・層序と珪藻化石層序を、露頭写真と柱状図(付図1-10)とともに、本文とは別に付記として論文末で記載した。

珪藻の産出表は付表1-6に示す。付図2, 4, 6, 7, 9, 10では、泥岩及び砂岩試料については珪藻産出の有無と珪藻区間を赤字で試料番号の右に示した。ただし、区間NPD6B1については、NPD6B帯を示す化石帯指標種の*Thalassionema schraderi* Akibaをわずかに含む試料は「6B1.s」、この種を含まない試料は「6B1」と表示した。また、珪藻化石帯NPD5C帯では、NPD5C1, 5C2, 5C3の区間が区別されるものの、試料によってはこれら区間の識別ができないことがあり、その場合は結果をNPD5Cと表示している。さらに、付図2, 4, 6, 7, 10では、テフラ層の試料で珪藻が産出しない場合は×、淡水生珪藻化石が産出した場合はFを試料番号の右に青字で示した。また、付表1-5では、淡水生珪藻化石が産出したテフラ層の試料は、珪藻区間(Diatom interval)での表示はFとし、括弧内にテフラ層の名称を示した上で試料全体を灰色で網掛けしている。

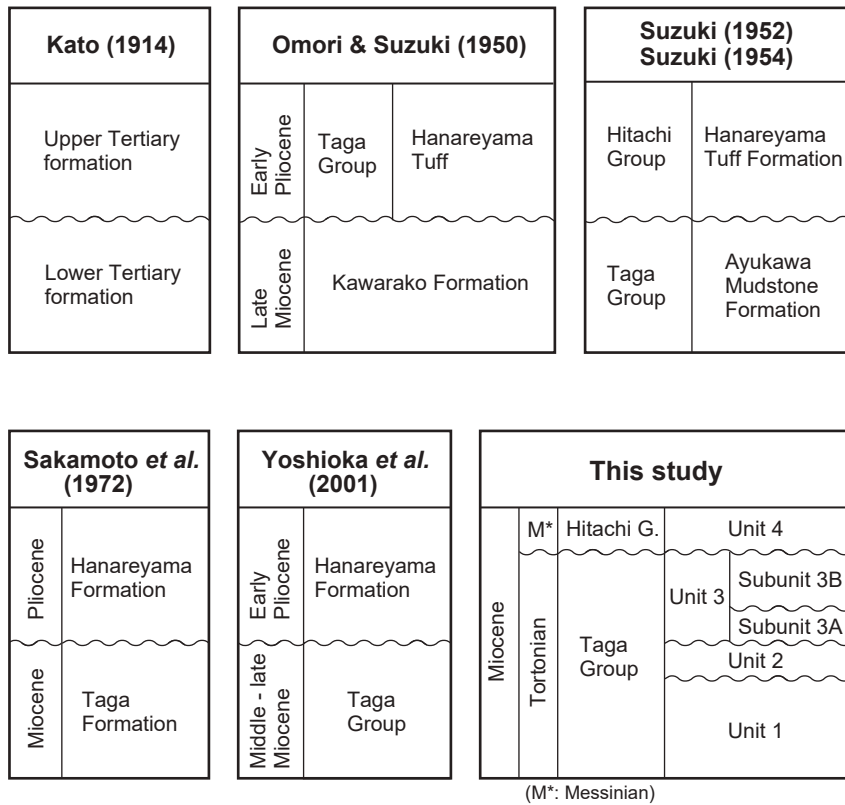
4. 岩相層序と珪藻化石層序

4.1 岩相層序区分

この論文では離山地区に分布する「多賀層群」を、岩相・層序と珪藻年代分析の結果を総合して、下位よりユニット1からユニット4に暫定的に区分した(第4図)。ただし、ユニット3については、露頭でユニット内に侵食面が確認できる場合には、その侵食面を境界にしてサブユニット3Aとサブユニット3Bに細分した。各地点の柱状図を第5図に示す。

各ユニットに正式な名称を付さなかったのは、今回調査した範囲が極めて狭く、常磐地域に広く分布する多賀層群及び日立層群内における各ユニットの位置付けが一部を除いて不確定なためである。今後、より広域の調査を行い、正式な命名を行いたい。

ユニット1：本ユニットは塊状無層理の珪藻質泥岩か



第3図 日立市離山地区における既存研究及び本研究での「多賀層群」の層序区分の対比。
Fig. 3 Correlation of the stratigraphic divisions of “the Taiga Group” in the Hanareyama district, Hitachi City by previous studies and by this study.

らなる。A地点では軽石片が層状をなす2層の凝灰岩層 (ta, tb) が挟在する (第5図, 付図2)。ユニット1は塊状無層理なため、全体の地質構造はよくわからないが、A地点において凝灰岩層の層理面にて測定すると、走向はNNE-SSW方向で、傾斜は東に2-3°である。離山地区で露出するユニット1の最大層厚は約20 mと算定される。

ユニット2：このユニットは、下位のユニット1とは凹凸のある侵食境界で接する (付図1, 3)。本ユニットは、無層理塊状の砂質泥岩及び泥岩からなり、泥岩礫からなる礫岩やスランプ岩塊を挟む。礫岩には、基質が礫質の凝灰質粗粒砂岩のもの、基質が砂質泥岩ないし泥岩のものがある。いずれも中～大礫大の泥岩礫を含むが、M地点では時に1 mまたはそれ以上の大きさの泥岩の岩塊を含む (付図7)。また、B地点やM地点では、珪長質凝灰岩の岩塊も含まれている (付図4, 8)。露出するかぎりユニット2の最大層厚は約5 mである。

ユニット3：本ユニットは下位のユニットとは侵食面で接する。これはA地点でユニット2内の単層がユニット3の基底面において侵食されていることからわかる (付図1, 2)。また、J地点とK地点では、ユニット2を欠いてユニット3がユニット1を直接覆っており (第5図)、これもユニット3の基底面が侵食面であることを示している。

本ユニットの基本岩相は無層理塊状の泥質砂岩で、これに多数の珪長質凝灰岩層や淘汰のよい砂岩層を挟む。

泥質砂岩は新鮮面で深緑色を示して海緑石を含む。砂粒は細粒から極粗粒砂まで粒度のばらつきはあるが、いずれも凝灰岩起源の軽石片を主とし鉱物粒子や岩片を伴う。生物擾乱が著しく、これらの砂粒は泥質基質中に不規則に散在している。

凝灰岩層は、A地点からI地点ではt0～t15が識別され、露頭間で対比できる (第5図)。また、N地点やT地点でも凝灰岩層が見られる。凝灰岩としては、ガラス質細粒凝灰岩、ガラス質粗粒凝灰岩及び結晶質凝灰岩が見られる。ガラス質細粒凝灰岩はシルト粒度で灰白色を呈し、葉理の発達が著しい。厚さは数cm～数mで側方への層厚の変化が大きく、凝灰岩層t3やt4のように、200-300 mの狭い範囲内で層厚が急激に変化する。ガラス質粗粒凝灰岩は塊状で、ガラス質細粒凝灰岩に伴うことが多い。一方、N地点で見られる厚さ3 mのガラス質粗粒凝灰岩は、石英粒子を多く含んで白色を示し、塊状ないし一部葉理が発達して強く固結している。一方、結晶質凝灰岩は厚さ数十cmで有色鉱物を含む。この種類の凝灰岩層は厚さの変化が少なく岩相も安定しているため、t5やt6のようにA地点からI地点の柱状図を対比する際に良好な鍵層となるものもある。

淘汰のよい砂岩層はK地点、L地点、M地点及びN地点の露頭で見られ、とくにK地点で厚く発達している。粒度は極粗-中粒で、多くは粗粒である。平行層理または斜交層理が発達することが多い。

Age	Group	Unit (Max. thickness)	Columnar section	Lithology	Sedimentary environment	Diatom interval NPD	Maximum age range (Ma)
Late Miocene Tortonian	Hitachi Group	Unit 4 (11 m)		Bioturbated muddy sandstone Sand-grained felsic vitric tuff	Slope channel fills	7Ba	6.1 – 5.6
		Unit 3 (25 m)	3B	Silt-grained felsic vitric tuff Bioturbated muddy sandstone	Slope channel fills	6B1	8.7 – 8.5
	3A		Silt-grained felsic vitric tuff Sand-grained felsic crystalline tuff Silt-grained felsic vitric tuff Bioturbated muddy sandstone Sand-grained felsic vitric tuff Bedded sandstone	× Proboscidean molar fossils			
	Unit 2 (5 m)		Cglomerate composed of mudstone clasts (matrix: mudstone or sandy mudstone) Sandy mudstone, mudstone Slumped mudstone blocks Cglomerate composed of mudstone clasts (matrix: very coarse sandstone)	Slope channel fills Submarine slump deposits & debris flow deposits	6A	9.3 – 8.7	
Unit 1 (20 m)		Diatomaceous mudstone	Outer shelf to slope deposits	5C3 – 5D1	10.2 – 9.9		

第4図 日立市離山地区の「多賀層群」の暫定的な層序区分.

Fig. 4 Tentative stratigraphic division of “the Taga Group” in the Hanareyama district, Hitachi City.

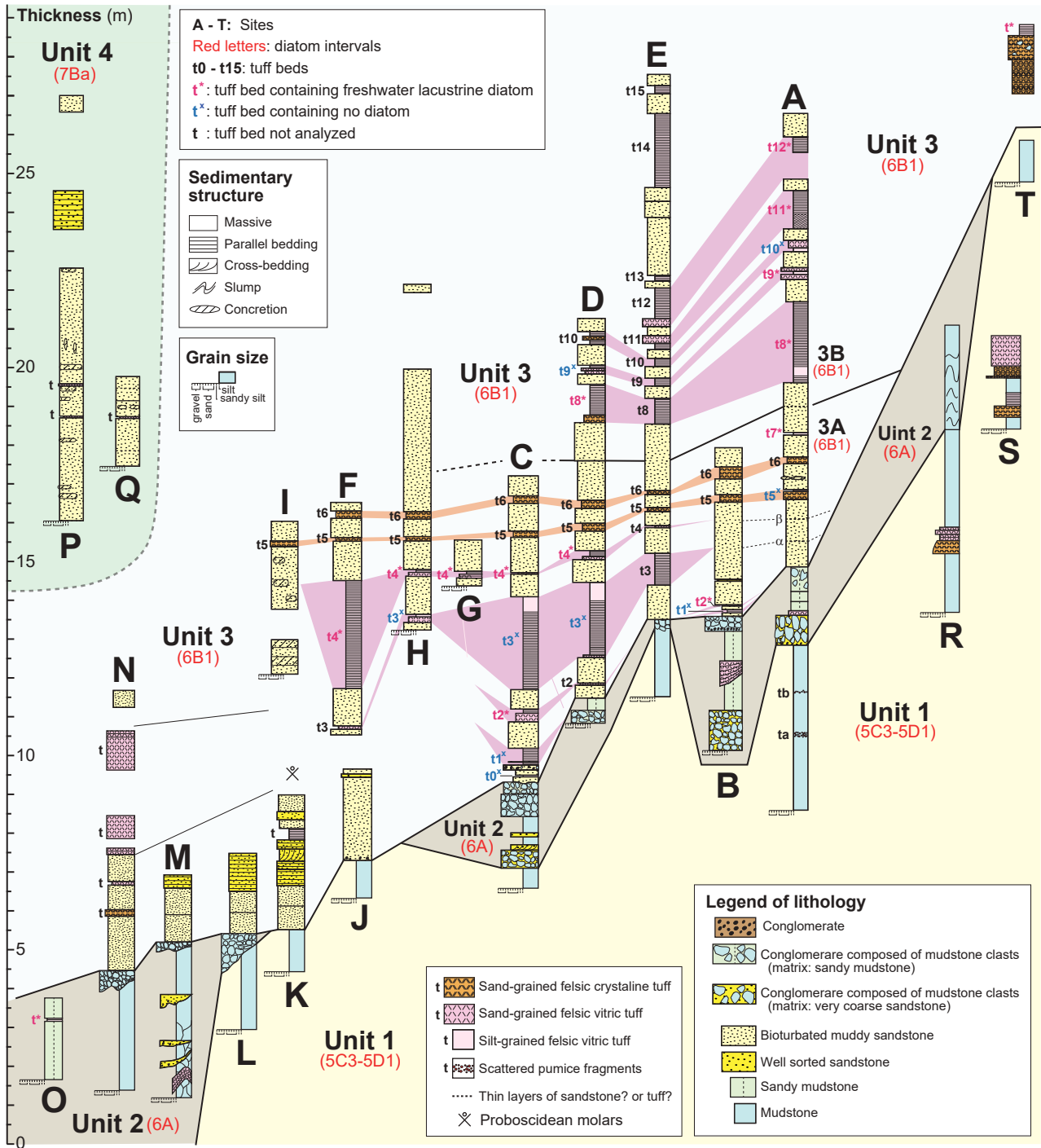
A地点では凝灰岩層t7とt8の間(t8の下位約1mの層準)に侵食面があり、A地点の東端では少なくとも厚さ約3m分が侵食されて失われている(付図1, 2)。また、D地点でも、凝灰岩層t8の下位約1mの層準の泥質砂岩中に粒度が変化する境界面があり、これより上位の凝灰岩層t8～t10と下位のt6～t2では走向傾斜が多少異なるので、同様な侵食面が想定される(付図4、詳しくは付記の地点Dの項参照)。この侵食面により、これらの地点では、ユニット3はサブユニット3Aと3Bに区分することができる(第5図)。D地点に近接するE地点でも、この侵食面は存在すると思われるが、調査した時点1992年では明確に認識できず、その後2023年の調査では露頭が失われていた(付記のE地点の記述参照)。

ユニット3は、走向E-WないしWNW-ESE方向で、南ないし南西方向に3-4°傾斜している。ただし、サブユニット3Aと3Bでは多少構造が異なる。ユニット3の基底面も同様に走向E-WないしWNW-ESE方向で、南ないし南西方向に傾いているが、その傾斜は地層面よりも多少大きく、ユニット3はその基底面に対して、南方向からオーバーラップしていると推定される(第5図)。このような堆積相とその水平方向の広がりから、A地点からI地点で見られる凝灰岩層t1からt15を挟む部分は、J地

点からN地点で露出する粗粒砂岩と粗粒凝灰岩層を挟む部分よりも、層序的に上位にあると思われる。露出するかぎりユニット3の最大層厚は約25mである。

ユニット3からは、かつてK地点付近にあった石材採取場から、長鼻類の白歯化石の産出が報告されている(加藤, 1914)。また、同じ石材採取場からサメの歯の化石も産出している(徳永, 1927; 大森・鈴木, 1950)。

ユニット4：このユニットは離山の丘陵の南西端にあたる茂宮川に面した崖の露頭2ヶ所(P, Q地点)のみで確認された(第5図, 付図9)。ただし、両露頭とも2022年には消滅している。下位のユニット3との直接の層序関係は露出不良で確認できなかったが、後述する珪藻化石年代から、ユニット3とは少なくとも250万年以上の年代差があるため、両者は侵食面で接していると推定される。本ユニットは無層理塊状で生物擾乱の発達した凝灰質の泥質砂岩からなり、厚さ数cmの2層の珪長凝灰岩薄層を挟む。また、上部には層厚1mほどの平行層理のある淘汰のよい粗粒砂岩層が挟まる。本ユニットの下部では、層状の炭酸塩コンクリーションが数層準で認められる。ユニット4の走向はNW-SE方向で、傾斜は南西に4°である。露出するかぎりユニット4の層厚は約11mである。



第5図 日立市離山地区の「多賀層群」の地質柱状図の対比。

Fig. 5 Correlation of geological columnar sections of “the Taga Group” in the Hanareyama district, Hitachi City.

4.2 珪藻化石層序と年代

第6図に各ユニットの珪藻化石層序上の位置付けを示す。また、第4図には各ユニットの最大推定年代範囲を示す。

ユニット1では、A地点(付図2)の3試料(Ad01, Aa01, Aa02), C地点(付図4)の1試料(C01), R, S, T地点(付図

10)の3試料(R01, S02, T01)から、*Denticulopsis simonseni* Yanagisawa & Akibaと*D. vulgaris* (Okuno) Yanagisawa & Akibaに富み、*D. praedimorpha* Akiba ex Barronと*D. dimorpha* (Schrader) Simonsenを欠く珪藻群集が産出した(付表1, 2, 5)。したがって、これらの試料はNPD5C帯(*Thalassiosira yabei*帯)に属すると判断できる。さら

に、これらの試料は*Thalassiosira temperei* (Brun) Akiba & Yanagisawaを伴うことから、NPD5C帯最上部にある生層準D55.8よりも上位にあり、珪藻区間NPD5C3に位置付けられる。

一方、J地点のユニット1から採取した試料J01 (付図6)は、*D. dimorpha* var. *dimorpha* (Shrader) Simonsenを含み、*D. praekatayamae* Yanagisawa & Akibaや*D. dimorpha* var. *areolata* Yanagisawa & Akibaを欠くことから、NPD5D帯下部の区間NPD5D1に属すると認定できた(付表4)。

露頭が連続するK地点とL地点(付図7, 8)において、ユニット1から一連の試料L01-L04とK01-K04を採取した。このうち、下位の試料L01-L04とK01, K02からは、*Denticulopsis simonsenii*と*D. vulgaris*を豊富に含み、*D. praedimorpha*と*D. dimorpha*を欠く珪藻群集が産出し、NPD5C帯に属すると判断できる(付表5)。これに対して、最上部のK03とK04は、*D. dimorpha* var. *dimorpha*が産出し、*D. praekatayamae*と*D. dimorpha* var. *areolata*が存在しないことから、NPD5D帯下部の区間NPD5D1に属すると認定できた。したがって、*D. dimorpha* var. *dimorpha*の初産出層準(D56, 10.0 Ma)は、試料K02とK03の間にあることがわかる。このことから、NPD5C帯と判定されたものの細かい区間までは認定できなかった試料L01からL04及びK01とK02は、NPD5C帯の最上部に位置し、恐らく区間NPD5C3に属するものと推定できる。

以上から、ユニット1は区間NPD5C3から区間NPD5D1の基底部に相当し、その最大年代範囲は10.2 Maから9.9 Ma程度と見積もることができる。

ユニット2では、A地点(付図2)、B-E地点(付図4)、K-O地点(付図7)において採取した通常の泥岩ないし砂質泥岩から産出した珪藻群集は、*Denticulopsis katayamae* Maruyamaを含み、*D. dimorpha*を含まないため、NPD6A帯と判断された(付表1-3, 5)。ただし、これらの試料では、*Denticulosis lauta* (Bailey) Simonsen, *D. ichikawae* Yanagisawa & Akiba, *D. hyalina* (Shrader) Simonsen, *D. simonsenii* Yanagisawa & Akiba, *D. vulgaris* (Okuno) Yanagisawa & Akibaなどのより古い時代の*Denticulopsis*属の化石帯指標種ないし準指標種が含まれ、それらは再堆積であると判断される。また、礫岩の基質である砂質泥岩(Aa地点の試料Aa08, 付図2, 付表1)や泥岩(B地点の試料B08, 付図4, 付表2)からも同じくNPD6A帯を示す珪藻が産出した。これらのことから、ユニット2はNPD6A帯内で堆積したと判断され、その最大年代範囲は9.3-8.7 Maと見積もられる。なお礫岩中の泥岩礫では、Aa地点の試料Aa03 (付図2, 付表1)、B地点の試料B01-B03とC地点の試料C02, C03, C06-C09 (付図4, 付表2)、D地点の試料D1とE地点の試料E01 (付図4, 付表3)、L地点の試料L05・M地点の試料M01-M03・N地点の試料N01-N03 (付図7, 付表5)から、区間NPD5C, 5C2, 5D1, 5D2, 5D4, 6Aなど、さまざまな珪藻区間の珪藻群集が検

出された。これらの泥岩礫は、ユニット2の堆積中に起こった海底地すべりなどの侵食作用によって、ユニット2より下位の泥質堆積物が礫化したものと推定される。

ユニット3では、A地点～N地点(付図2, 4, 6, 7)から採取した試料から、*Denticulosis lauta*, *D. ichikawae*, *D. hyalina*, *D. simonsenii*, *D. vulgaris*などの化石帯指標種ないし準指標種をそれぞれ極わずかずつ含む群集(タイプ1)と、これらにさらに極少量の*Thalassionema schraderi* Akibaを伴う群集(タイプ2)の2種類の群集が産出した(付表1-5)。ただし、全体としてはタイプ1の群集を産する試料がほとんどであった。これらには*Denticulopsis katayamae*が存在しないこと、少量の*T. schraderi*を含む試料があることから、ユニット3の試料は*D. katayamae*の終産出層準(D65)より上位で、*T. schraderi*の初産出層準(D66)よりの下位にあたる区間、すなわち珪藻化石帯NPD6B帯(*T. schraderi*帯)最下部の区間NPD6B1に属すると判断した。年代範囲は8.7-8.5 Maと見積もられる。なお、前述のように、各地点での柱状図(付図2, 4, 6, 7)では、タイプ1の群集は6B1, タイプ2の群集は6B1.sと表示している。また、上述の本ユニットに含まれる*Denticulopsis*属各種はすべて再堆積であると判断される。

なお、サブユニット3Aと3Bの間で浸食が起こったことは確かではあるが、ユニット3全体が極狭い年代範囲8.7-8.5 Maに収まるので、この侵食によって生じた時間間隙は地質学的な時間スケールでは極めて短いと思われる。

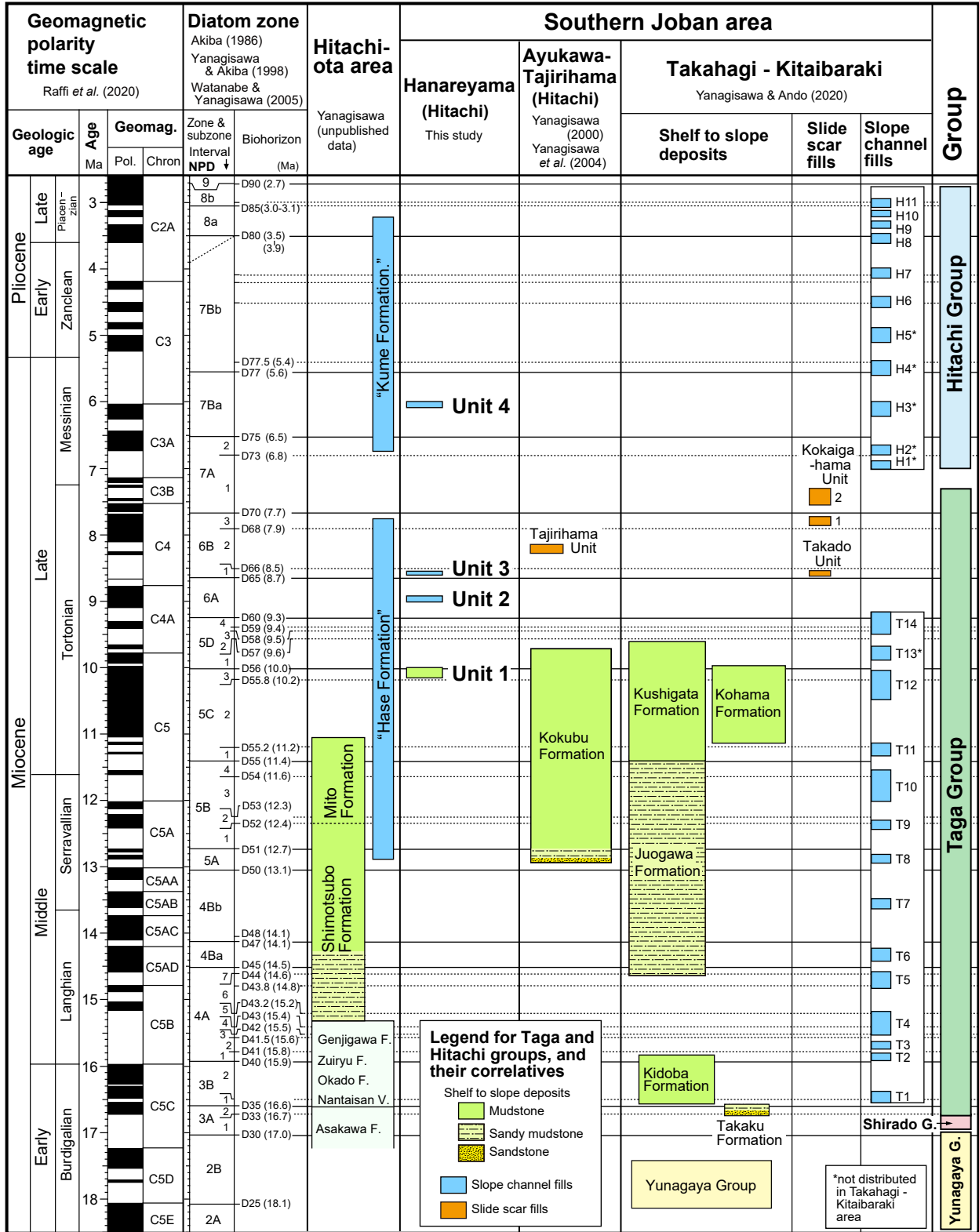
ユニット4では、P地点とQ地点(付図9)で採取した10試料のうち、7試料から*Neodenticula kamtschatica* (Zabelina) Akiba & Yanagisawa, *Nitzschia rolandi* Schrader emend. Koizumi, *Thalassiosira castanea* Akiba & Yanagisawaが産出した(付表6)。このうち、*T. castanea*はNPD7Ba帯に産出が限定されること、さらに初産出層準がNPD7Ba帯の上限を規定する*Shionodiscus oestrupii* (Ostenfeld) Alverson, Kang & Theriotを欠くことから、ユニット4の7試料はNPD7B帯(*N. kamtschatica*帯)下部のNPD7Ba帯(6.5-5.6 Ma)に属すると考えられる。

5. 考察

5.1 対比

離山地区で認められたユニット1-4は、日立市内の鮎川・田尻浜地区及び高萩・北茨城地域が多賀層群・日立層群と対比可能である(第6図)。

鮎川・田尻浜地区の多賀層群は、陸棚・陸棚斜面堆積物の国分層と、海底地すべり痕埋積物の田尻浜ユニットからなる(柳沢, 2000; 柳沢ほか, 2004)。一方、高萩・北茨城地域が多賀層群は、陸棚・陸棚斜面堆積物(高久層層, 城戸場層, 十王川層, 櫛形層, 小浜層), 海底地すべり痕埋積物(高戸ユニット, 小貝ヶ浜ユニット)及び海底谷埋積物(T1-T14)から、日立層群は海底谷埋積物



第6図 日立市離山地区の「多賀層群」の珪藻年代層序と常磐地域南部の他地区の多賀層群及び日立層群との対比。

Fig. 6 Diatom chronology of “the Taga Group” in the Hanareyama district, and correlation to the Taga and Hitachi groups in the other districts of the southern Joban area.

(H1 ~ T11)から構成される(柳沢・安藤, 2020).

ユニット1 (NPD5C3 ~ 5D1)は、鮎川・田尻浜地区に露出する多賀層群の国分層の最上部に、また、高萩・北茨城地域の小浜層と櫛形層の最上部にも対比される。

ユニット2はNPD6A帯に属し、高萩・北茨城地域の多賀層群の海底谷埋積物のT14の最上部に対比される可能性もある。しかし、T14の主体はNPD5D帯に属するので、離山地区のユニット2はT14に対応したものではなく、独立したユニットとして識別するべきかもしれない。今後の検討が必要である。

ユニット3は区間NPD6B1内にあり、高萩・北茨城地域の多賀層群の海底地すべり痕埋積物の高戸ユニットと同時代の堆積物である。

ユニット4はNPD7Ba帯内に入り、日立層群の海底谷埋積物H3ないしH4に対比される。ただし、H4の主体はNPD7Bbに属するので、ユニット4はH3に対比するのが妥当であろう。

以上の年代対比に基づくと、年代的にはユニット1, 2, 3は多賀層群に、ユニット4は日立層群に対比される。

ユニット1はNNE-SSWの走向で東に緩く傾く構造を示す。この地質構造は北隣の鮎川・田尻浜地区の国分層と共通し、しかもこれまでの調査から、国分層の分布は鮎川地区から久慈地区まで連続していることがわかってるので(第1図)、ユニット1は国分層の南方延長にあたり、国分層と同様に陸棚・陸棚斜面堆積物であると考えるのが妥当である。

一方、ユニット2, 3, 4は、ユニット1とは異なり、走向がE-WないしWNW-ESE方向で、南ないし南西に3-4°傾斜している。この構造は、離山地区の北西方向にあたる常陸太田市東部に分布する長谷層(斎藤ほか, 1992)や久米層(鈴木・大森, 1953)と共通し、これらの地層に続くように分布するので、ユニット2, 3, 4は長谷層や久米層に連続する可能性が高い(第1図)。これまでの検討によれば、長谷層は珪藻化石帯のNPD5B帯-NPD6B帯に、久米層は同じくNPD7A帯上部-NPD8帯に属し、長谷層は多賀層群上部に、久米層は日立層群にそれぞれ対比できる(第6図)。また、両層とも通常の陸棚・陸棚斜面堆積物からなる地層ではなく、侵食面によって区切られた多数のユニットから構成される比較的規模の大きな海底谷(谷幅数km)の埋積物であることが判明しつつある。しかし、今のところ、ユニット数、年代、分布などについては未解明な部分が多く残されている。堆積年代からみると、ユニット2と3は長谷層、ユニット4は久米層の海底谷埋積物を構成するユニットに含まれると思われるが、両層の調査研究が完了していないので、正確な対比と命名は今後の課題としたい。

以上をまとめると、以下のとおりである。

1) ユニット1は、地質構造、分布及び年代からみて、多賀層群の陸棚・陸棚斜面堆積物である国分層の一部で

あると判断できる。

2) ユニット2と3は、多賀層群に相当する海底谷埋積物である長谷層を構成する単位と思われる。

3) ユニット4は、日立層群に相当する海底谷埋積物である久米層内の単位と推定される。

なお、ユニット3と4は、生物擾乱の発達した泥質の細粒~極粗粒砂岩からなり、岩相では内側陸棚の堆積物であるという解釈が可能であり、陸棚斜面に削られた海底谷を埋積した堆積物としては粗粒すぎるように見える。しかし、ユニット3と4の岩相の基本は泥質の基質であり、軽石片が主体をなす砂粒子は煩雑に挟まる凝灰岩から由来し、生物擾乱によって泥質堆積物と均質に混じり、粗粒な浅海堆積物に見えているものと推定される。すなわち、海底谷を通じて陸域からもたらされた凝灰岩には、現在単層として残っているもの以外にも、厚さが薄いために生物擾乱によって泥質碎屑物と混じってしまい、層として残っていないものも多数あり、それらによってユニット3と4の岩相は、内側陸棚の堆積物に類似した粗粒な層相になっているのではないと思われる。堆積物の基質に、内側陸棚に特徴的な*Thalassionoides*などの垂直性の管状生痕がほとんど見られないことも、この推定と整合的である。

5.2 淡水生珪藻化石の意義

本研究では、凝灰岩層からも試料を採取して珪藻分析を行った結果、いくつかの凝灰岩層から淡水湖沼生の珪藻化石が、また砂質泥岩や泥質砂岩などの堆積岩の試料からも海生珪藻化石に混じって比較的多くの淡水生を中心類珪藻化石が検出された(第1表)。この節では、この結果を、地質時代を通じた日本における淡水生中心類珪藻群集の長期的変遷に関するこれまでの研究成果と比較し、今回産出した淡水生珪藻化石の意義について考察する。

離山地区の中新統から産出した淡水生珪藻化石は、中心類の浮遊性湖沼生珪藻(*Aulacoseira*属, *Mesodictyon*属, *Cyclotella*属, *Melosira*属)がほとんどであって、付着生の羽状類は*Epithemia*属が極わずか産出したのみである。

ユニット1では、S地点(区間NPD5C3)の凝灰岩層(付図10)の試料S02から淡水生珪藻化石が見出された(表1, 付表5)。産出した珪藻群集は、わずかに海生珪藻が混じるものの、ほとんどは*Aulacoseira praeislandica* var. *praeislandica* (Jousé) Moisseevaで占められている。

ユニット2 (NPD6A帯)では、O地点の砂質泥岩に挟在する凝灰岩層(付図7)から採取した試料O03から淡水生の*A. praeislandica* var. *praeislandica*が産出した(付表5)。また、O地点の砂質泥岩の試料からも、海生珪藻とともに淡水生珪藻が比較的多く産出した(試料O01で54%, 試料O02で36%, 試料O04で20%)。淡水生珪藻では*A. praeislandica* var. *praeislandica*がほとんどで、そのほかに

第1表 日立市離山地区の「多賀層群」における淡水湖沼生珪藻化石の産出表.

Table 1 Occurrence chart of freshwater lacustrine diatoms from “the Taga Group” in the Hanareyama district, Hitachi City.

Unit	1	Unit 2				Unit 3								Unit 4																		
Site	S	Site O				Site A				B	C	D	F	G	H	T	Site P		Site Q													
Diatom interval F: freshwater lacustrine diatoms (tephra bed)	F (0)	6A	6A	F (0)	6A	F (t8)	F (t8)	F (t9)	F (t10)	F (t11)	F (t12)	F (t7)	F (t4)	6B1	F (t2)	F (t4)	F (t8)	F (t4)	F (t4)	6B1	F (0)	?	?	7Ba	7Ba	?						
Sample number	S01	O01	O02	O03	O04	Ac06	Ac07	Ac09	Ac12	Ac13	Ac14	Ac08	B12	B13	C20	C24	D07	D10	F05	G01	H06	H13	T02	P02	P03	P06	P07	Q01	Q02	Q03		
Original sample number (JOB-)	6929	1690	1691	6993	6994	7097	7098	7100	7103	7104	7105	7094	7056	6965	7070	7071	6975	6978	7137	6982	7078	6989	6931	3067	3068	3072	3072	1359-1	1359-2	1359-3		
Preservation	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P		
Abundance	C	R	R	R	C	R	R	R	R	R	R	R	R	C	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R		
<i>Aulacoseira</i> spp.	-	+	-	-	+	5	5	5	-	10	1	5	8	-	7	5	4	2	7	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-
<i>A. praeislandica</i> var. <i>praeislandica</i> (Jousé) Moisseeva	49	54	36	8	10	6	2	35	2	22	5	-	1	2	28	22	45	46	5	47	46	3	47	3	2	-	1	14	19	2		
<i>Cyclotella kohsakaensis</i> H.Tanaka & Kobayasi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	+	2	5	2	-		
<i>Cyclotella</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-		
<i>Melosira undulata</i> (Ehrenberg) Kützing	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Mesodictyon japonicum</i> Yanagisawa & H.Tanaka	-	-	-	-	-	6	7	6	-	12	-	21	1	-	12	3	1	+	10	+	+	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Epithemia</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total number of freshwater lacustrine diatoms	49	54	36	8	10	17	14	46	2	44	6	26	10	2	47	30	50	48	22	50	49	12	48	6	2	+	3	19	21	2		
Total number of marine diatoms	1	46	64	2	40	3	6	4	0	6	1	24	40	48	3	20	0	2	10	0	1	38	2	39	10	50	47	81	79	98		
Total number of valves counted	50	100	100	10	50	20	20	50	2	50	7	50	50	50	50	50	50	50	32	50	50	50	50	45	12	50	50	100	100	100		

Preservation, P: poor. Abundance, C: common, R: rare. +: present, -: absent.

Aulacoseira spp., *Melosira undulata* (Ehrenberg) Kützingがわずかに認められた。

ユニット3 (区間NPD6B1)では, A, B, C, D, F, G, H地点に露出する凝灰岩層t2, t4, t7, t8, t9, t11, t12 (第5図, 付図2, 4, 6)と, T地点の凝灰岩層(試料T02, 付図10)から淡水生珪藻化石群集が産出した。このほか, 凝灰岩層以外の泥質砂岩の試料からも, 淡水生珪藻化石群集が産出した(付表1-5)。これらの群集では共通して*Aulacoseira praeislandica* var. *praeislandica*が優占し, *Aulacoseira* spp.と*Mesodictyon japonicum* Yanagisawa & H.Tanakaが産出する。また, 泥質砂岩からは*Melosira undulata* (Ehrenberg) Kützing及び*Epithemia* sp.がわずかに産出した。

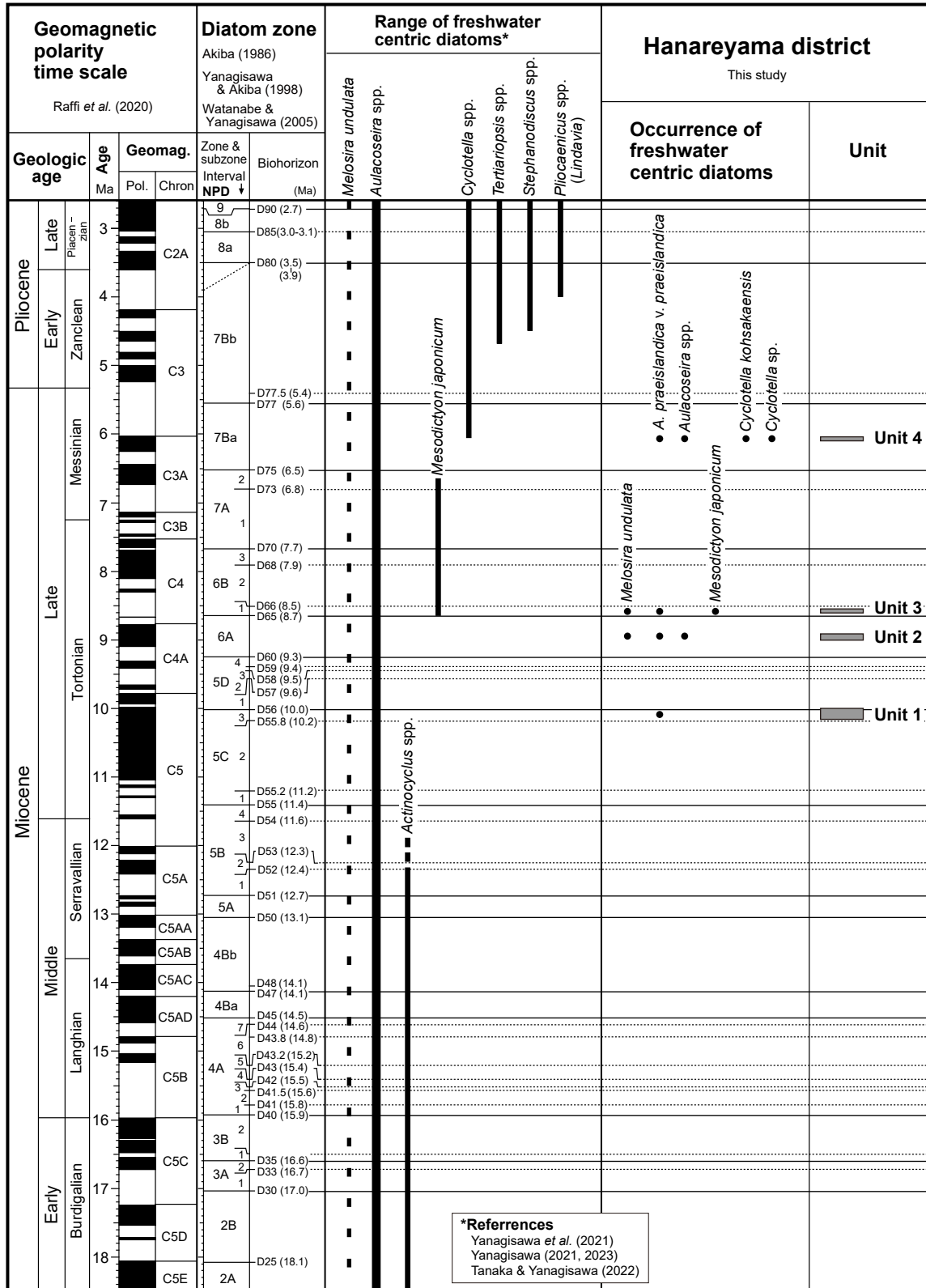
ユニット4 (NPD7Ba亜帯)でも, 地点Pと地点Q (付図9)から採取した泥質砂岩の試料(P02, P03, P06, P07, Q01, Q02, Q03)から淡水生珪藻が産出した。産出した淡水生珪藻は*A. praeislandica* var. *praeislandica*が普通に産出し, これに*Aulacoseira* sp., *Cyclotella kohsakaensis* H.Tanaka & Kobayasi及び*Cyclotella* sp.を伴う(付表6)。

以上の淡水生珪藻の産出状況は以下のようにまとめられる(第7図)。まず, *Aulacoseira*属では, *A. praeislandica* var. *praeislandica*が優占種として*Aulacoseira* spp.を伴って, ユニット1からユニット4までのユニットから共通して産出した。*Mesodictyon japonicum*はユニット3, *Cyclotella kohsakaensis*と*Cyclotella* sp.はユニット4に限って認められた。そのほか*Melosira undulata*はユニット2と3でわずかに認められた。

新生代を通じた淡水湖沼生の浮遊性中心類珪藻群集の変遷は, 北米大陸やユーラシア大陸での研究によって明らかになっており(例えば, Krebs *et al.* 1987; Krebs, 1990), それによれば, 中新世前期の淡水湖沼の珪藻群集は*Aulacoseira*属と淡水生*Actinocyclus*属によって占められていた(第7図)。このうち*Aulacoseira*属は引き続き繁栄して現在まで存続してきたものの, 淡水生*Actinocyclus*属は中新世中期と後期の境界付近でほぼ消滅した。そして, その後現れた *Stephanodiscaceae*科の属がそれに取って代わり, 最初に*Mesodictyon*属が, その後遅れて*Cyclotella*属や *Stephanodiscus*属などが次々に出現して, 現在型の群集へと変化してきたという。

日本においても同様の変化が起こっていたことが, 谷村(1999), Tanaka (2007), 柳沢・工藤(2011), 田中(2014), 齋藤(2014), Hayashi *et al.* (2018), 柳沢ほか(2021)などにより明らかになっている(第7図)。

中新世前期には日本各地に淡水湖成層が分布し, 主に*Aulacoseira*属と淡水生*Actinocyclus*属の種からなる珪藻群集が報告されている(例えば, 田中, 2014; Hayashi *et al.*, 2018)。その後, 日本列島では16.5 Ma付近で大規模な海進が起こり, それから数百万年の間には, 淡水湖成層がほとんどなく海成層しか現在は残っていないため, 淡水湖沼生珪藻の記録は極めて乏しい。ただし, 12.4±0.5 MaのU-Pb年代が測定されている海成層の音川層(富山県)の凝灰岩層から, *Aulacoseira*属と*Actinocyclus*属からなる淡水生珪藻群集が産出することから(Saito-Kato and Yanagisawa, 2020), 少なくとも中新



第7図 日立市離山地区の「多賀層群」における淡水湖沼生珪藻化石の産出。

Fig. 7 Occurrences of freshwater lacustrine diatoms from “the Taga Group” in the Hanareyama district, Hitachi City.

世中期の終わり頃までは日本でも淡水生の *Actinocyclus* 属が存続していたことがわかる。その後、中新世後期になって *Stephanodiscaceae* 科の諸属の珪藻が次々に日本の化石記録に現れてくる（柳沢ほか, 2021）。まず、最初の *Stephanodiscaceae* 科の珪藻である *Mesodictyon japonicum* が珪藻化石帯のNPD6B帯の基底付近（約8.7–8.5 Ma）で出現した。それに続いて、*Cyclotella kohsakaensis* をはじめとする *Cyclotella* 属がNPD7Ba帯の中頃（6.1–5.9 Ma）に現れ、さらに鮮新世の前期に *Tertiariopsis* 属、*Stephanodiscus* 属そして *Pliocaenicus* 属（*Lindavia* 属）が次々に出現して淡水湖沼生珪藻群集が多様性を獲得していった。なお、*Melosira undulata* は長命な種で、日本の中新世前期の淡水湖成層ですでに出現し、その後散発的かつ稀ではあるものの、現在まで産出が認められる（田中, 2014）。

今回産出した離山地区の地層から産出した淡水生中心類珪藻化石は、上述した珪藻群集の変遷史とは極めて整合的である。まず、ユニット1（区間NPD5C3）とユニット2（NPD6A帯）の群集は *Aulacoseira* 属でほとんど占められているのに対し、その上位のユニット3（区間NPD6B1）で *M. japonicum* が産出していることは、*M. japonicum* がNPD6B帯の基底付近で出現するという上述の仮説とよく一致しており、これを裏付ける証拠となる。また、ユニット4（NPD7Ba）で *C. kohsakaensis* と *Cyclotella* sp. が産出することも、*Cyclotella* 属が6 Ma近傍で出現したという考えと整合的である。このように、今回産出した淡水生中心類珪藻化石は、これまでの研究成果（柳沢ほか, 2021）をさらに補強するデータとして重要であると考えられる。

ところで北米大陸では、中新世中期と後期の境界付近（約11.6 Ma）で淡水生の *Actinocyclus* 属が消滅した後、直ちにその空いたニッチを埋めるように *Mesodictyon* 属が出現したとされている（Krebs *et al.*, 1987；Hayashi *et al.*, 2018）。しかし、日本においては *Mesodictyon* 属が現れるのは非常に遅れ、*M. japonicum* が出現するのは8.7–8.5 Maであり、それまでの約250万年間には、主に *Aulacoseira* 属からなり、*Actinocyclus* 属も *Stephanodiscaceae* 科の珪藻も欠く多様性に乏しい浮遊性中心類珪藻群集が存在していたと推定される。実際、こうした組成の珪藻化石群集が、ユニット1と同時期である栃木県烏山地域の大金層最上部の凝灰岩層（区間NPD5C3）からも産出している（阿久津, 1987；柳沢, 2003）。したがって、ユニット1と2から産出した珪藻群集は、中新世後期のトートニアン期前半期に見られる主に *Aulacoseira* 属のみからなる浮遊性中心類珪藻群集の存在を示す貴重な記録であると言える。

凝灰岩層に淡水湖沼生の珪藻類が含まれることは、従来から多くの報告があり（例えば、McKnight *et al.*, 1995；Van Eaton, 2012；Van Eaton *et al.*, 2013；Saito-Kato and Yanagisawa, 2020）、カルデラ湖や火口湖、火山性の堰止め湖付近における噴火、火砕流の流下、山体崩壊などに

よって淡水湖沼生の珪藻が凝灰岩と一緒に堆積すると考えられている。

離山地区の堆積物に挟在する凝灰岩層の場合も、上記のうちのいずれかのメカニズムで淡水珪藻が含まれることになり、噴出後陸上を流れ下って、当時海域であった本地域まで到達し堆積したものと推定される。

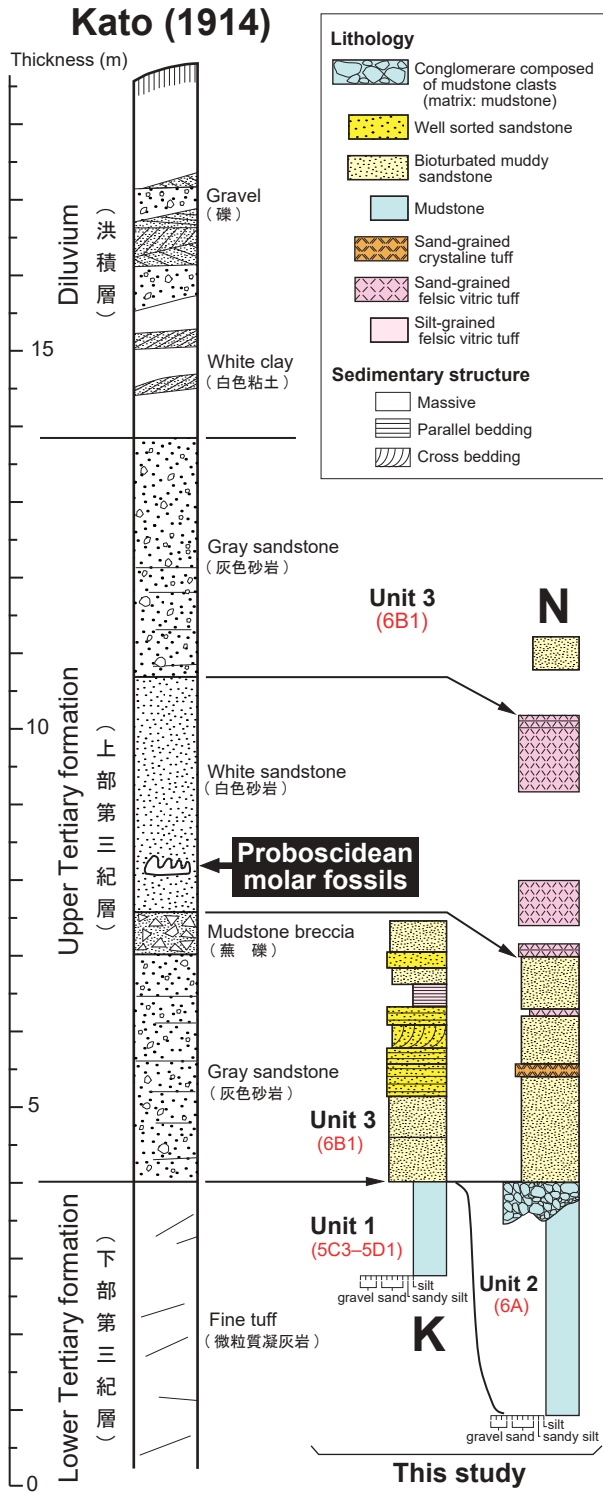
今回産出した凝灰岩層中の淡水湖沼生珪藻の供給源の湖は、群集が浮遊性の中心類珪藻によってほとんどが占められているので、こうした珪藻が優占する広い止水域のある比較的規模の大きな湖であった可能性が高い。また、凝灰岩の噴出源となった火山は、現在の脊梁山地の東縁の位置にあったと推定される当時の火山フロント（鹿野ほか, 1991）よりも背弧側、すなわち福島県西部から栃木県西部にかけての地域に想定される陸地に存在した可能性がある。

5.3 離山産の長鼻類化石の意義

加藤（1914）は離山地区から長鼻類の白歯化石2個を記載している。加藤（1914）に掲載された地形図から判断すると、その産出地点は本論文のK地点付近である（第2図）。この白歯化石は、K地点付近にあった石材採掘場で、1913年10月及び1914年1月に発見され、石材採掘場で働いていた作業員から地質巡検でここを訪れた加藤に寄贈された（加藤, 1914）。

加藤（1914）は、化石産出地点に露出する地層を下位より、下部第三紀層、上部第三紀層及び洪積層に分けている（第8図）。このうち下部第三紀層は微粒凝灰岩としているが、岩相からみて本論文のユニット1の珪藻質泥岩に相当する。一方、上部第三紀層は、本論文のユニット3に当たり、下位より灰色砂岩（3 m）、蕪礫（0.5 m）、泥岩礫からなる角礫岩か？）、白色砂岩（3 m）、灰色砂岩（3 m）からなるとされる。長鼻類の白歯化石はこのうち「白色砂岩」の下部から産出したとされる。加藤（1914）の記載や示された地質柱状図に基づくと、この化石は、本論文のユニット3の基底から約4–4.5 m上位の層準から産出したと推定される。現在、K地点ではユニット3の基底から約4–4.5 m上位の部分には露出はないので、加藤（1914）の「白色砂岩」が実際にどのような岩相であったかは確かめることはできない。ただし、K地点の南方約100 mにあるN地点では、ユニット3の基底から約3 m上位に層厚3 mの石英粒に富む白色の粗粒凝灰岩層があり、これが白歯化石の産出した「白色砂岩」である可能性がある（第8図）。

その後、徳永（1927）は白歯化石の産出層準を上部の砂岩層（ユニット3）ではなく、下部第三紀層（本論文のユニット1）であるとして、加藤（1914）とは異なる見解を示しているが、Yabe（1950a）は、両者の見解の食い違いは、石材採掘の進行に伴う採掘場の露頭の変化に起因している可能性を示唆している。



第8図 離山産の長鼻類臼歯化石の産出層準。
Fig. 8 Stratigraphic position of the proboscidean molar fossils from the Hanareyama district.

2個の臼歯化石は、それぞれ東京高等師範学校(その後の東京教育大学)の地理学標本室と東京大学地理学教室に贈られた(加藤, 1914)。しかし、高井(1938, 1939)によれば、1938年頃にはすでに化石標本は2つとも行方不明になっていたようである。

この臼歯化石を、加藤(1914)は*Mastodon aff. latidens* Clift, 松本(1924)は*Prostegodon latidens* (Clift)と同定したが、高井(1939)は*Stegodon elephantoides* (Clift), Yabe (1950a, b)は*Stegolophodon*属と*Stegodon elephantoides*との中間にあたる*Stegodon*属の新種と考えている。このように、少なくとも1950年頃までは、この標本は長鼻類の系統分類学上重要な標本だと考えられていたようであるが、日本の長鼻類化石をまとめた近年の総説では、本標本については全く触られていない(例えば、樽野, 1991; 三枝, 1990; Saegusa *et al.*, 2005, 高橋, 2013)。これは、標本が行方不明になってしまったためか、あるいはそれに加えて産出層準の年代が不明確だったためかもしれない。

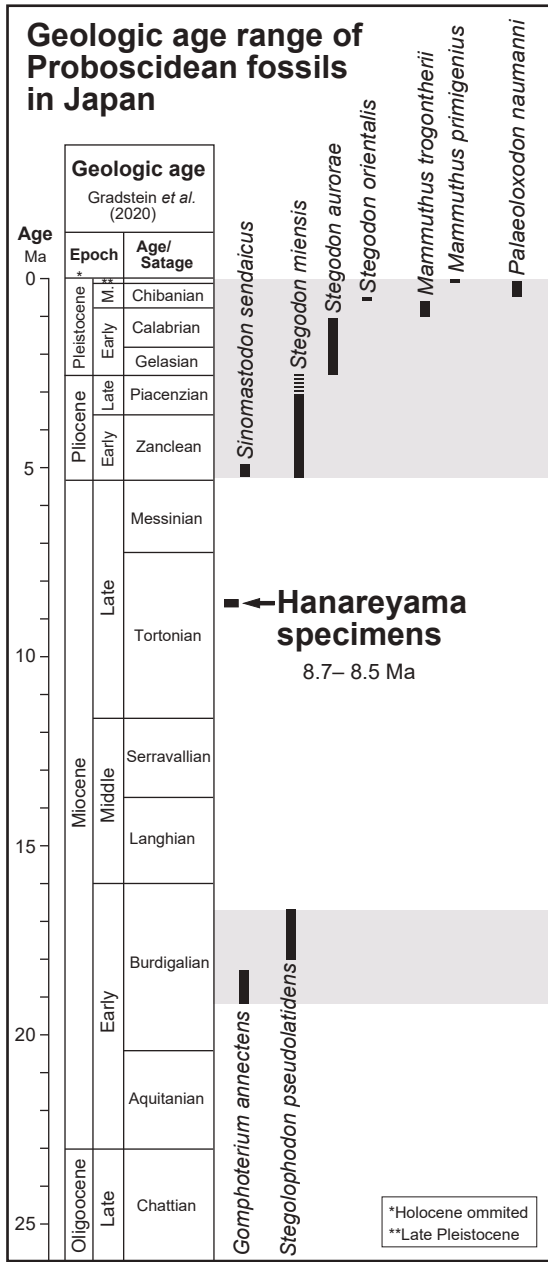
日本列島では約16 Maから5 Maまでの長期間にわたって、長鼻類化石の記録は全くない(例えば、高橋, 2013; 第9図)。すなわち、中新世前期(恐らく16.7 Ma以前)の堆積物から多く見つかる*Stegolophodon pseudolatidens* (Yabe)の後、中新世/鮮新世境界(5.33 Ma)前後で現れる*Stegodon miensis* Matsumotoや*Sinomastodon sendaicus* (Matsumoto)まで、1000万年以上の間、日本では長鼻類の化石が全く見つからない。これは、長鼻類化石に限定されるわけではなく、陸棲哺乳動物化石全般にも言えることで、それは日本列島においては、この期間には海成層が卓越し、陸棲哺乳動物が化石として保存される確率の高い河川域や氾濫原の堆積物からなる陸成層がほとんど存在しないからである。

珪藻化石年代に基づく、離山産の長鼻類化石が産出したユニット3の年代は約8.7-8.5 Maである。したがって、この長鼻類化石標本は、上述の1000万年以上の長期に及ぶ長鼻類化石記録の欠如の一部を埋める貴重な化石であったことがわかる。すなわち、この標本は、5.3 Ma前後に再び長鼻類の化石記録が現れる300万年以上も前に、日本でも*Stegodon*属ないしそれに類した長鼻類が棲息していたことを示す非常に重要な証拠となりうるものであった。その意味で、標本が行方不明になってしまったことは誠に残念である。

上述のように、もし凝灰岩層中に含まれていたことが確かであるとすると、この長鼻類の臼歯化石は、陸域で噴出した火砕流に巻き込まれて海域まで運ばれて保存されたと推定される。この推定は、ユニット3に挟まれている多くの凝灰岩層に陸域での噴出を示す淡水湖沼生珪藻化石が含まれていることから支持される。

6. おわりに

この論文では、茨城県日立市南部の久慈町離山地区に



第9図 日本における長鼻類化石の層序学的産出範囲。高橋(2013)を参考にして作成。

Fig. 9 Stratigraphic ranges of proboscidean fossils in Japan. This figure is drawn with reference to Takahashi (2013).

分布する新第三系多賀層群と日立層群の正確な層序・年代を明らかにした。離山地区に分布する地層は、時間間隙で区切られた4つ(ユニット1～4)に暫定的に区分される。

ユニット1は珪藻質泥岩からなり、珪藻化石層序の区間NPD5C3～5D1に相当し、堆積年代としては10.2-9.9 Maが推定される。本ユニットは多賀層群に属する陸棚・

陸棚斜面堆積物である国分層の一部であると考えられる。

ユニット2は砂質泥岩・泥岩とスランプ堆積物や水中土石流堆積物からなり、NPD6A帯(9.3-8.7 Ma)に含まれる。ユニット3は凝灰質の泥質砂岩と多数の凝灰岩層からなり、珪藻区間NPD6B1(8.7-8.5 Ma)に対比される。ユニット2と3は、多賀層群に含まれ、隣接する常陸太田地域に分布する長谷層の海底谷埋積物を構成する単位のいずれかに対比される。

ユニット4は凝灰質の泥質砂岩からなり、NPD7Ba帯の珪藻化石を含む。含有する淡水湖沼生珪藻の産出年代を加味すると、その堆積年代は6.1-5.6 Maに限定される。このユニットは日立層群に含まれ、常陸太田地域に分布する久米層の海底谷埋積物を構成する単位の一部に相当するものとみられる。

各ユニットの凝灰岩層と泥岩・砂質泥岩及び泥質砂岩から淡水中心類湖沼生珪藻が産出した。これらは新第三紀～第四紀における日本の淡水湖沼生中心類珪藻の長期的な変遷を明らかにする上で貴重なデータとなる。また、本研究により離山地区の堆積物の正確な年代層序が確立したことにより、かつてユニット3から産出したものの、現在は行方不明となってしまう長鼻類の臼歯化石が、1000万年以上(中新世中期～後期末)の長期に及ぶ日本における長鼻類化石記録の欠落を埋める貴重な化石であったことが明らかとなった。

謝辞：日立市郷土博物館特別専門員の田切美智雄茨城大学名誉教授には、A～D地点の露頭をご紹介いただき、櫛引が安藤のもとで卒業研究としてこの地域の研究を始める端緒を与えていただいた。神栖市歴史民俗資料館学芸員の国府田良樹博士には、離山産の長鼻類臼歯化石に関して有益なご教示をいただいた。北海道教育大学釧路校教授の松原尚志博士には、重要文献の入手に関して便宜をはかっていただくとともに、貴重なご助言をいただいた。国立科学博物館の齋藤めぐみ博士と編集担当の地質情報研究部門の伊藤剛博士には、丁寧な査読をしていただき、原稿を改良する上で非常に有益なコメントを多数いただいた。ここに深く感謝の意を表する。

なお、柳沢の調査・研究は層序構造地質の研究(1992年)と20万分の1地質図幅「水戸」の作成(1998年)の一環として実施した。また、櫛引・安藤の研究はミュージアムパーク茨城県自然博物館の総合調査の一部として行われた。

文献

Akiba, F. (1986) Middle Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy in the Nankai Trough and Japan Trench, and modified Lower Miocene through Quaternary diatom zones for middle-to-high latitudes of the North Pacific. In Kagami, H., Karig, D. E., Coulbourn, W. T. et al.,

- Initial Reports of Deep Sea Drilling Project*, **87**, U. S. Government Printing Office, Washington D. C., 393–480.
- 阿久津 純(1987)荒川層群(中新統)の珪藻群集について(予報). 栃木県立博物館研究報告書, no. 5, 1–35.
- 安藤寿男(2002)茨城県北部～福島県南部太平洋岸地域における常磐堆積盆の地質学的研究の現状—地質文献からの概観. 茨城県自然博物館研究報告, no. 5, 81–97.
- 安藤寿男・柳沢幸夫・小松原純子(2011)常磐地域の白亜系から新第三系と前弧盆堆積作用. 地質学雑誌, **117**(補遺), 49–67.
- Hayashi T., Krebs W. N., Saito-Kato, M., and Tanimura Y. (2018) The turnover of continental planktonic diatoms near the middle/late Miocene boundary and their Cenozoic evolution. *PLoS ONE*, **13**, ae0198003.
- 鹿野和彦・加藤碩一・柳沢幸夫・吉田史郎(1991)日本の新生界層序と地史. 地質調査所報告, no. 274, 1–114.
- 加藤鐵之助(1914)茨城県久慈町離山産舊象化石に就て. 地質学雑誌, **21**, 345–349.
- Kikuchi, Y., Nikaido, A. and Noda, H. (1992) Occurrence of marine accretional lapilli from the Pliocene Hanareyama Formation in the northern part of Ibaraki Prefecture, Japan. *Annual Report of the Institute of Geoscience, the University of Tsukuba*, no. 18, 48–52.
- Krebs, W. N. (1990) The biochronology of freshwater planktonic diatom communities in western North America. In Kocielek, J. P. ed., *Proceedings of the 11th International Diatom Symposium*, California Academy of Sciences, San Francisco, 485–499.
- Krebs, W. N., Bradbury, J. P. and Theriot, E. (1987) Neogene and Quaternary lacustrine diatom biochronology, western USA. *Palaeos*, **2**, 505–513.
- 久保和也・柳沢幸夫・山元孝広・中江 訓・高橋 浩・利光誠一・坂野靖行・宮地良典・高橋雅紀・駒澤正夫・大野哲二(2007)20万分の1地質図幅「白河」. 産総研地質調査総合センター.
- 栗原行人・柳沢幸夫(2002)常磐地域高萩地区の中部中新統多賀層群下手綱層のイタヤガイ類卓越貝化石群集と珪藻化石年代. 地質学雑誌, **108**, 421–434.
- McKnight, B. K., Niem, A. R., Kocielek, P. and Renne, P. (1995) Origin of freshwater-diatom-rich pyroclastic-debris-flow deposit in a shallow-marine Tertiary forearc basin, NW Oregon. *Journal of Sedimentary Research*, **65**, 505–512.
- 松井 寛(1953)いわゆる多賀層群について. 地理学, **1**, 65–75.
- 松本彦七郎(1924)日本産ステゴドンの種類(略報). 地質学雑誌, **31**, 323–340.
- Mitsui, S., Ouchi, K., Endo, S. and Hasegawa, Y. (1973) Stratigraphy and geological age of the Taga Group in the Joban Coal-field of Fukushima and Ibaraki Prefectures. *Research Reports of the Kochi University, Natural Science*, **22**, 103–124.
- 成田層研究会(2004)多賀層群の層位学的意義と日立層の貝化石. 茨城県自然博物館第3次総合調査報告書, 37–67.
- 大森昌衛・鈴木康司(1950)阿武隈大地の南縁(日立市付近)に分布する多賀統の層位学的研究—阿武隈大地の西南縁に分布する新生界の地史学研究 その1—. 地質学雑誌, **56**, 369–378.
- Raffi, I., Wade, B. S. and Pälke, H. (2020) Chapter 29, The Neogene Period. In Gradstein, F. M. *et al.* eds. *Geologic Time Scale 2020*, Elsevier, Amsterdam, Oxford, Cambridge, 1141–1215.
- 三枝春生(1990)日本のステゴドンをめぐる. 採集と飼育, **52**, 14–18.
- Saegusaa, H., Thasodb, Y. and Ratanasthien, B. (2005) Notes on Asian stegodontids. *Quaternary International*, **126–128**, 31–48.
- 斎藤登志雄・高橋治之・天野一男(1992)棚倉断層周辺新第三系の地質図(1/50,000). 茨城大学理学部.
- 齋藤めぐみ(2014)変動する地球環境に生きる淡水湖沼の珪藻—古環境の指標から生物地理の変化まで—. *Diatom*, **30**, 2–16.
- Saito-Kato, M. and Yanagisawa, Y. (2020) A non-marine *Actinocyclus* species from a volcanic ash layer in the middle Miocene Otogawa Formation in the Yatsuo area, Toyama, central Japan. *Diatom*, **36**, 69–79.
- 坂本 亨・田中啓策・曾屋龍典・野間泰二・松野久也(1972)那珂湊地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1図幅), 地質調査所, 94p.
- 須貝貫二・松井 寛・佐藤 茂・喜多河庸二・佐々木 実・宮下美智夫・河内英幸(1957)日本炭田図I, 常磐炭田地質図及び説明書. 地質調査所, 143p.
- 須藤 斎・柳沢幸夫・小笠原憲四郎(2005)常磐地域及びその周辺の第三系の地質と年代層序. 地質調査研究報告, **56**, 375–409.
- 鈴木康司(1952)いわゆる多賀統(常磐炭田第三系)の地層名について. 地質学雑誌, **58**, 476.
- 鈴木康司(1954)常磐炭田南部の新第三系にみられる, 地層の堆積形態の研究. 資源科学研究所彙報, no. 35, 14–27.
- 鈴木康司・大森昌衛(1953)茨城県太田町付近に分布する第三系の層位学的研究—阿武隈台地の西南縁に分布する新生界の地史学研究 その2—. 地質学雑誌, **59**, 35–46.

- 高井冬二(1938)本邦に於ける新生代哺乳動物(豫報)：(徳永重康先生に捧ぐ)．地質学雑誌，**45**，745-763.
- 高井冬二(1939)本邦新生界産哺乳動物の或ものに就て(其の1)．地質学雑誌，**46**，481-489.
- 高橋啓一(2013)日本のゾウ化石，その起源と移り変わり．豊橋市自然史博物館研究報告，no. 23，65-73.
- 高橋雅紀・柳沢幸夫(2008) 3.4.2 常磐地域．日本地質学会編，日本地方地質誌3，関東地方，朝倉書店，東京，196-206.
- Tanaka, H. (2007) Taxonomic studies of the genera *Cyclotella* (Kützing) Brébisson, *Discostella* Houk et Klee and *Puncticulata* Håkansson in the family Stephanodiscaceae Glezer et Makarova (Bacillariophyta) in Japan. *Bibliotheca Diatomologica*, **53**, 1-204. J. Cramer, Berlin & Stuttgart.
- 田中宏之(2014)日本淡水化石珪藻図説—関連現生種を含む—．602pp. 内田老鶴圃，東京.
- 谷村好洋(1999)珪藻化石による年代決定とその応用．月刊地球/号外，no. 29，212-218.
- 樽野博幸(1991)日本産ステゴドン科化石．日本の長鼻類化石，82-99.
- 徳永重康(1927)常磐炭田ノ地質．早稲田大学理工学部紀要，no. 5，1-316.
- Van Eaton, A. R. (2012) *Dynamics of large, wet volcanic clouds: the 25.4 ka Oruanui eruption of Taupo volcano, New Zealand*. 262pp. Doctoral thesis of Victoria University of Wellington, New Zealand.
- Van Eaton, A.R., Harper, M.A. and Wilson, C.J.N. (2013) High-flying diatoms: Widespread dispersal of microorganisms in an explosive volcanic eruption. *Geology*, **41**, 1187-1190.
- Watanabe, M. and Yanagisawa, Y. (2005) Refined Early Miocene to Middle Miocene diatom biochronology for the middle- to high-latitude North Pacific. *Island Arc*, **14**, 91-101.
- Yabe, H. (1921) Recent stratigraphical and palaeontological studies of Japanese Tertiary. *Special Publications of the B. P. Bishop Museum*, no. 7, 775-796.
- Yabe, H. (1950a) Controversies relating to the Kuzi Proboscidean Molars. (Contributions to the Geology of the Zyôban Coalfield, V.). *Proceedings of the Japan Academy*, **26**, 29-35.
- Yabe, H. (1950b) Three alleged occurrences of *Stegolophodon latidens* (Clift) in Japan. *Proceedings of the Japan Academy*, **26**, 61-65.
- 柳沢幸夫(1996)茨城県北茨城市大津地区に分布する新第三系多賀層群の珪藻化石層序．国立科学博物館専報，no. 29，41-59.
- 柳沢幸夫(1999)金沢市南部地域に分布する中新統の珪藻化石層序．地質調査所月報，**50**，49-65.
- 柳沢幸夫(2000)珪藻 *Denticulopsis hustedtii* のアクメ・終多産出イベントの生層序学的有効性—常磐地域中新統多賀層群の対比への適用—．地球科学，**54**，167-183.
- 柳沢幸夫(2003)栃木県烏山地域に分布する中新統荒川層群上部の珪藻化石—その1．珪藻化石層序—．地質調査研究報告，**54**，1-13.
- Yanagisawa, Y. and Akiba, F. (1998) Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **104**, 395-414.
- 柳沢幸夫・安藤寿男(2020)茨城県北茨城・高萩地域の第三系多賀層群と日立層群：岩相層序と珪藻化石層序から復元した陸棚—陸棚斜面堆積物・海底谷埋積物・海底地すべり痕埋積物の複合体．地質調査研究報告，**71**，85-199.
- 柳沢幸夫・工藤 崇(2011) 5万分の1地質図幅「加茂」地域(新潟県)の新第三紀及び第四紀の珪藻化石層序資料．地質調査総合センター研究資料集，no. 537，1-59.
- 柳沢幸夫・中村光一・鈴木祐一郎・沢村孝之助・吉田史郎・田中裕一郎・本田 裕・棚橋 学(1989)常磐炭田北部双葉地域に分布する第三系の生層序と地下地質．地質調査所月報，**40**，405-467.
- 柳沢幸夫・田中裕一郎・高橋雅紀・岡田利典・須藤 斎(2004)常磐地域日立市に分布する中新統多賀層群の複合年代層序．地球科学，**58**，90-104.
- 柳沢幸夫・国府田良樹・安藤寿男(2016)茨城県北茨城市平潟町長浜海岸の中新統多賀層群から産出した *Desmostylus* の大白歯化石の年代．茨城県自然博物館研究報告，no. 19，27-36.
- 柳沢幸夫・田中宏之・加藤悠爾(2021)秋田県出羽山地の新第三紀海成層から産出した淡水湖沼生を中心類珪藻化石．*Diatom*，**37**，42-59.
- 吉岡敏和・滝沢文教・高橋雅紀・宮崎一博・坂野靖行・柳沢幸夫・高橋 浩・久保和也・関 陽児・駒澤正夫・広島俊男(2001) 20万分の1地質図幅「水戸」(第2版)．地質調査所.

(受 付 : 2024年3月18日 ; 受 理 : 2024年11月6日)

付記：各地点の岩相と層序の記載

A地点(付図1～付図3)

A地点はJR常磐線の割山踏切西方にある旧日立電鉄路線北側に沿った南向きの大露頭である(付図1)。この露頭のスケッチが大森・鈴木(1950)の第1図に、露頭写真が鈴木(1954)の図8に示されている。当時は露出状況が良好だったらしく、この露頭で見られる各ユニット間の関係が明瞭に確認できたようである。20年後の坂本ほか(1972)の第31図にも露頭スケッチが示されているものの、1950年代に比べて露出状況が悪化し、崖のごく一部にしか露出がなかったようである。その後更に20年以上経過した1992年と1998年に著者の一人柳沢が調査した際には、この露頭は草木に完全に覆われて露出は完全になくなっていった。しかし、日立電鉄線が2005年に廃線になった後に露頭表面の草木が除かれたらしく、2012年11月のグーグルストリートビュー(付記末参照)を見ると、露頭状況は極めて良好になっている。ただし、それから10年以上経過した2022年及び2023年には再び草木が茂りはじめており、露出状況は急速に悪化しつつある。

この露頭では岩相の側方変化が著しいので、AaからAeの5地点に分けて地質柱状図を作成した(付図2)。下位よりユニット1、ユニット2、ユニット3(サブユニット3A及びサブユニット3B)が観察できる。

ユニット1は無層理塊状の珪藻質泥岩からなり、大きさ数mmの軽石が散在して層をなすテフラ層が2枚(ta, tb)が挟在する。本ユニットの試料Ad01, Aa01及びAa02からはNPD5C3と判定できる珪藻化石が産出した(付表1)。

ユニット2は、下位のユニット1とは凹凸のある侵食境界で接しており、Aa-Adの4ヶ所で凹みを埋めている(付図1～3)。この露頭のユニット2では、下位より1～6の単層(サブユニット)を識別できる。単層1は基質が礫質の凝灰質粗粒砂岩で中～大礫大の泥岩礫を含む岩相から、単層2は細粒の珪長質凝灰岩からなる。その上位の単層3～5は砂質泥岩からなり、それぞれは厚さ数mm以下の極薄い細粒砂岩層で画される。最上部の単層6は基質が砂質泥岩で、中～大礫大の泥岩礫を含む。露頭の最も東側にあるAa地点ではこれらの単層すべてが認められるが、露頭の西(付図1では左)にゆくにつれて上位の単層から消滅し、露頭西側のAd地点では、単層5と6を欠いて単層4を上位のユニット3が直接覆っている(付図2)。このことは、ユニット2とユニット3の境界面が侵食面であることを示している。単層1の泥岩礫から採取した試料Aa03からは、区間NPD5C2の珪藻化石が産出した(付表1)。単層2は細粒の珪長質凝灰岩で、ここから採取した試料Ab01とAb02には、火山ガラスに混じってNPD6A帯の珪藻が含まれていたが、試料Aa4とAc01では珪藻化

石は見いだせなかった。単層3、単層4及び単層5の試料(Aa06, Ab03-Ab05, Ac02-Ac04, Ad02, Ad03)からはNPD6A帯の珪藻化石が検出された。また、単層6の礫岩の基質の試料(Aa08)からはNPD6A帯、泥岩礫の試料(試料Aa07)からはNPD5C帯の珪藻化石が産出した。以上からユニット2はNPD6A帯に属すると判断できる。

ユニット3は下位のユニット2と侵食面で接する。生物擾乱の著しい凝灰質泥質中～粗粒砂岩からなり、多数の凝灰岩層(t5～t12)を挟む。ユニット3の最下部には、露頭上部にあつて手が届かないために岩相は確認できなかったものの、砂岩または凝灰岩と推定される薄層が2層(α 層と β 層)挟まれている。この2層の堆積形態から、ユニット3は下限の侵食面に対して東側(付図1, 2では右側)からオンラップして堆積していることがわかる。また、この露頭では凝灰岩層t7とt8の間に侵食面が認められ、これによってユニット3はサブユニット3Aとサブユニット3Bに細分される。この侵食面は2022年及び2023年時点では露頭に草木が繁茂して見にくくなっている(付図1)。しかし、10年以上前の2012年11月のグーグルストリートビューでは草木がほとんどなく、この侵食面が明瞭に確認できる(付記の最後にURLを記す)。この侵食面での侵食により、露頭の西側で見られる凝灰岩層t5, t6, t7が、露頭の東端のAa地点では失われている。サブユニット3Aの凝灰質砂岩から採取した試料(Aa09, Ae01, Ae02, Ae04-Ae07, Ae09)及びサブユニット3Bの凝灰質砂岩の試料(Ac08, Ac10, Ac15)からは、区間NPD6B1に属する珪藻が産出した(付表1)。以上からサブユニット3Aと3Bは、区間6B1に属すると判定できる。また、凝灰岩層ではt7(試料Ae08), t8(試料Ac06, Ac07), t9(試料Ac09), t11(試料Ac12, Ac13)及びt12(試料Ac14)から淡水生珪藻が産出した。しかし、凝灰岩層t5(試料Ae03), t8の最下部(試料Ac05)及びt10(試料Ac11)からは珪藻化石は検出されなかった。

B, C, D, E地点(付図4, 付図5)

B～E地点はJR常磐線の割山踏切東方にある久慈茅根病院周辺の露頭群である(第2図, 第5図)。これらの露頭では、下位よりユニット1, ユニット2, ユニット3(サブユニット3A及び3B)が観察でき、凝灰岩層を含めて相互に対比が可能である。ただし、E地点には1992年当時には露出があつたが、2023年では露頭は消滅している。

無層理の珪藻質泥岩からなるユニット1は、C地点とE地点の最下部で認められ、試料C01から区間NPD5C3を示す珪藻化石が産出している(付表2)。

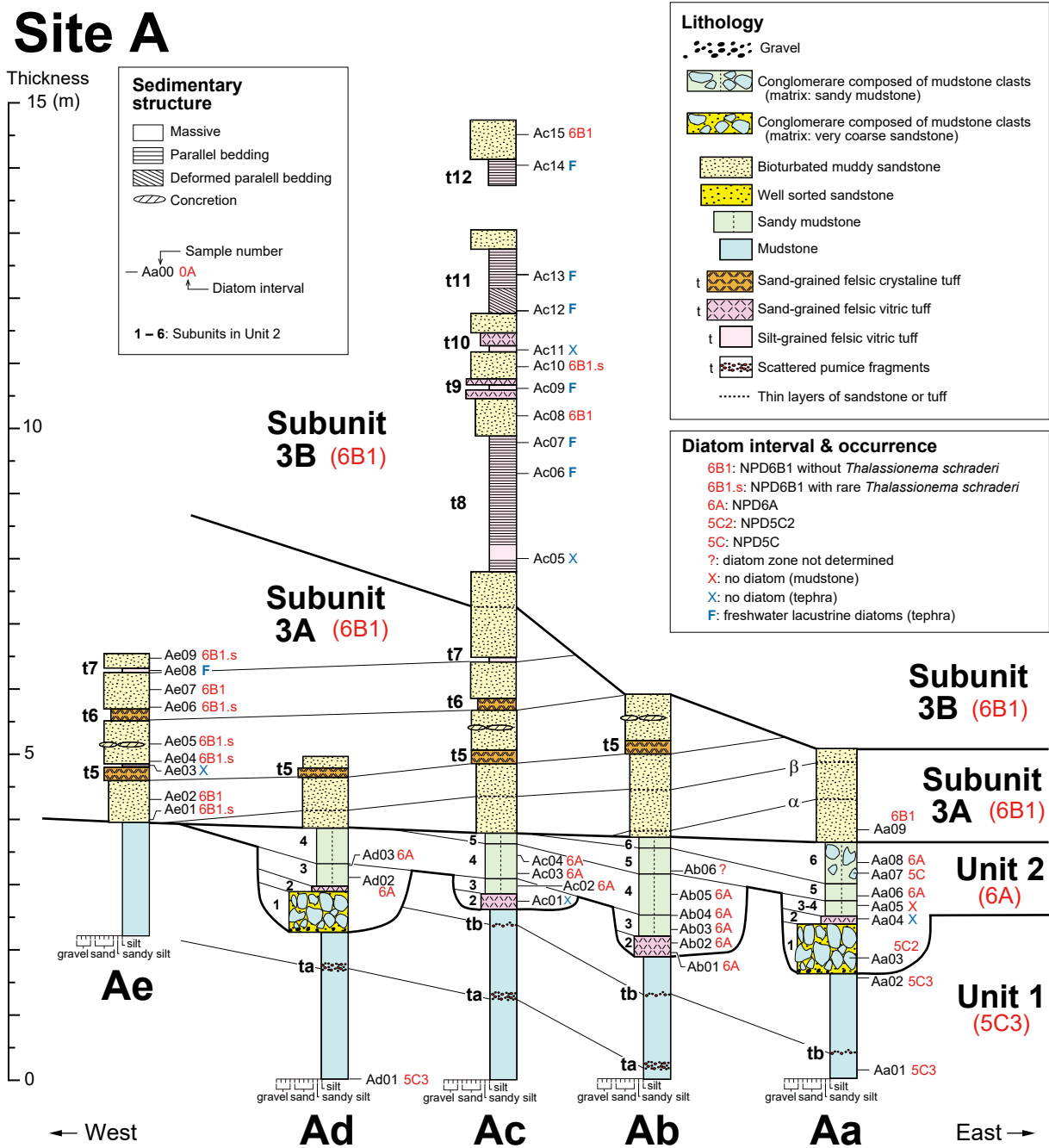
ユニット2はB～E地点の各地点で観察され、基質が礫質の凝灰質粗粒砂岩からなり中～大礫大の泥岩礫を含む礫岩、基質が砂質泥岩で中～大礫大の泥岩礫を含む礫岩、無層理塊状の砂質泥岩・泥岩などからなる。B地点では、そのほか砂質泥岩中に、やや変形した成層細粒



付図1 A地点の露頭写真。Aa～Ad：付図2の地質柱状図作成地点。ta, tb, t5-t12：凝灰岩層。α, β：砂岩層あるいは凝灰岩層。

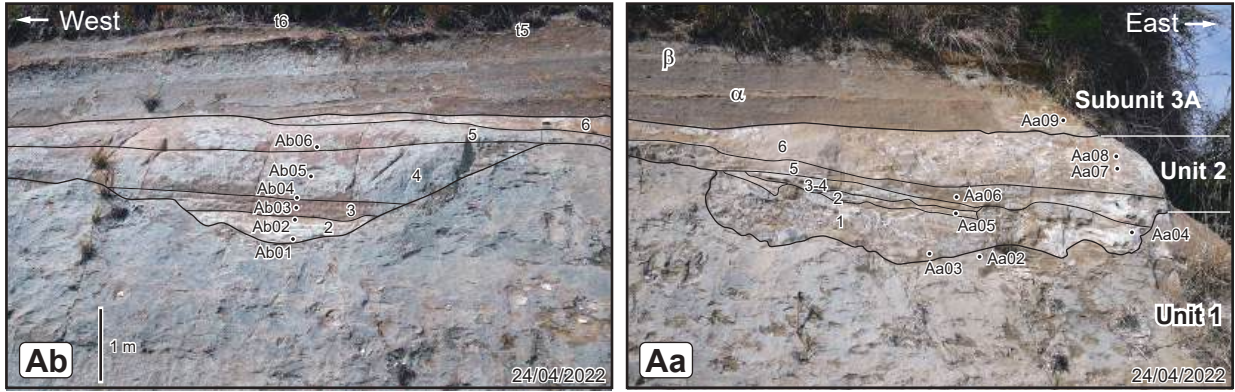
Fig. A1 Photograph of the outcrop at Site A. Aa-Ad: sites of geological columnar sections in Fig. 2A. ta, tb, t5-t12: tuff beds. α, β: thin layers of sandstone or tuff.

Site A



付図2 A地点における地質柱状図の対比。

Fig. A2 Correlated geological columnar sections of the outcrop at Site A.



付図3 Aa地点とAb地点での露頭写真。1-6: ユニット2内の単層の番号。Aa03-Aa09とAb01-Ab06: 珪藻試料。α, β: 砂岩層あるいは凝灰岩層。t5, t6: 凝灰岩層。

Fig. A3 Photographs at Sites Aa and Ab. 1-6: number of beds in the Unit 2. Aa03-Aa09 and Ab01-Ab06: diatom samples. α, β: thin layers of sandstone or tuff. t5, t6: tuff beds.

凝灰岩の岩塊(付図4のBでtとした凝灰岩)が含まれている。また、C地点では厚さ2-4 cmの2層の中粒砂岩層が試料C04の下位と上位に挟まっている。本ユニットの砂質泥岩・泥岩の試料(B04, B06, C04, C05, D03)からはNPD6A帯の珪藻化石が、泥岩礫からは、区間NPD5D1(試料B02, D01), NPD5D2(試料E02), NPD6A(試料B01, B03, C02, C03, C07, C08, C09)を示す珪藻化石が産出した。

ユニット3は生物擾乱の見られる凝灰質泥質中～粗粒砂岩からなり、多数の凝灰岩層(t0～t15)が挟まれている。凝灰岩層の多くは葉理の発達したシルト粒度の灰白色ガラス質細粒凝灰岩で、t3やt14は厚さが最大2 m以上に達する。そのほか有色鉱物を含む結晶質凝灰岩(t5, t6)や中～粗粒凝灰岩(t2の下部, t11)が挟在する。

最下部の凝灰岩層t0はC地点では見られるが、B地点、D地点及びE地点では見られない(付図4)。また、凝灰岩層t1はC地点とB地点では見られるが、D地点およびE地点では見られない(付図4)。さらに、凝灰岩層t2はC地点、B地点とD地点では存在するが、E地点では欠如する。これは、凝灰岩層t0, t1及びt2が、ユニット3の基底面にオンラップしているためと推定される。

D地点では凝灰岩t8の1 m下位の砂岩層中に軽微な侵食面が確認された(付図4)。この侵食面より下位にあたる凝灰岩t2～t6を挟む部分と、侵食面より上位の凝灰岩層t8～t10を含む部分では、地層面の走向・傾斜が多少異なる。すなわち、露頭下部のt2～t6までは露頭面に対して見かけ上水平なのに対し、露頭上部のt8～t10は露頭面で見かけ上、右方(西方)にわずかに傾斜している(付図5下)。以上のことから、凝灰岩t8の1 m下位の侵食面は、A地点で凝灰岩t8の下位に認められたサブユニット3Aと3Bを分ける侵食面に対比できるものとみられる。この侵食面は坂本ほか(1972)の第30図にも図示されて

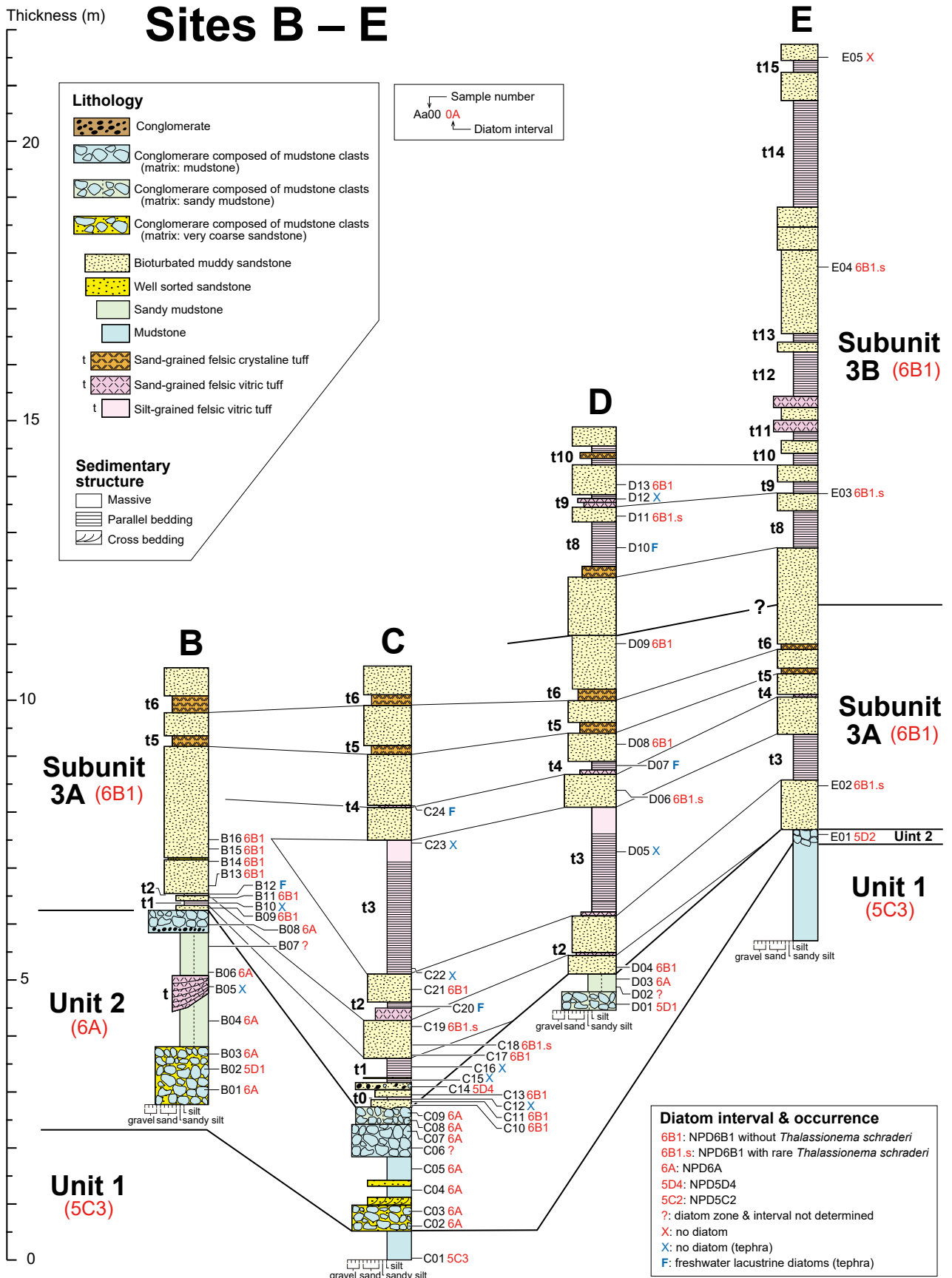
おり、現在は露頭が消滅していて観察できないが、この侵食面によって、一部では凝灰岩層t3までが失われていたと推定できる。なお、地点Eでは、この侵食面は明瞭には観察できなかった。

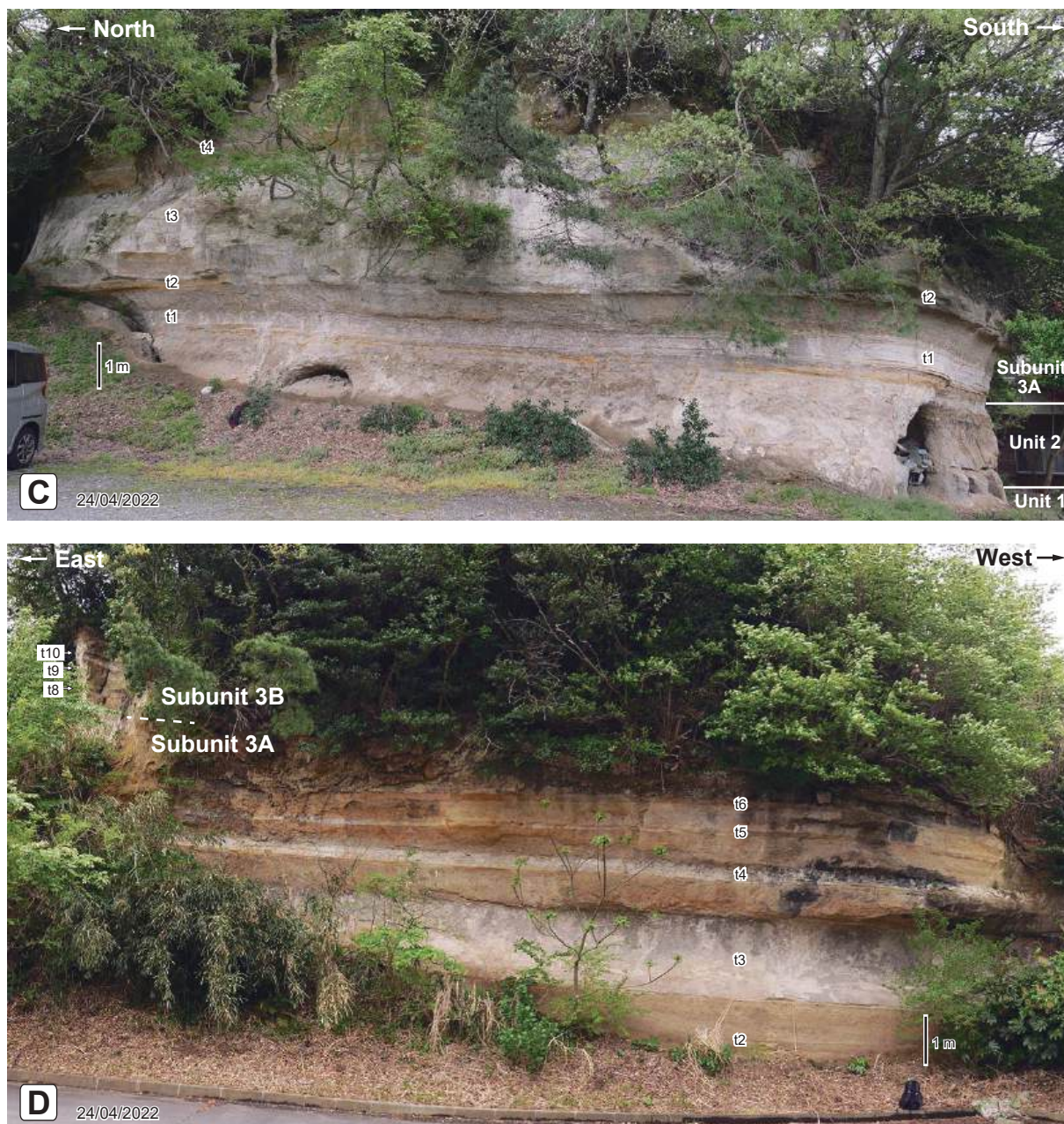
ユニット3の凝灰質泥質砂岩から採取した試料(B11, B13-B16, C10, C11, C13, C17-C19, C21, D04, D06, D08, D09, D11, D13, E02-E04)からはNPD6B1の珪藻が産出した(付表2, 3)。また、凝灰岩層t2(試料B12, C20), t4(試料C24, D07), t8(試料D10)から淡水湖沼生珪藻が産出した(付表2, 3)。しかし、凝灰岩層t0(試料12), t1(試料B10, C15, C16), t3(試料C22, C23, D05), t9(試料D12)からは珪藻化石は検出されなかった。なお、C地点の凝灰岩t0とt1の間に挟まる礫岩中の泥岩礫の試料C14からはNPD5D4の珪藻化石が産出している。

F, G, H, I, J地点(付図6)

F地点はJR常磐線の西側に存在する孤立した小丘の南西側の露頭で、ユニット3が露出している(第2図)。露頭最上部には凝灰岩層t5とt6が認められ、その下位に厚さ3 mもある凝灰岩層t4が挟まっている。また、露頭北西端に露出する最下部には凝灰岩層t3が見られる。泥質砂岩から採取された試料(F01, F02, F06)からはNPD6B1を示す珪藻化石が産出した(付表3)。また、凝灰岩層t4の最上部の試料F05からは淡水生珪藻化石が検出された(付表3)。しかし、同層の最下部の試料F03と中部の試料F04からは珪藻は見つからなかった。

G地点とH地点は離山の西側の露頭である。両地点ではユニット3が露出し、G地点では凝灰岩層t4, H地点では凝灰岩層t3-t6が見られる。両地点のユニット3の泥質砂岩から採取された試料(G02, H01, H03-H05, H07-H16)は、NPD6B1の珪藻化石を含む(付表4)。また、両地点の凝灰岩層t4上部のシルト粒度の細粒凝灰岩の試料





付図5 C地点とD地点での露頭写真. t1～t6, t8～t10: 凝灰岩層.

Fig. A5 Photographs at Sites C and D. t1–t6, t8–t10: tuff beds.

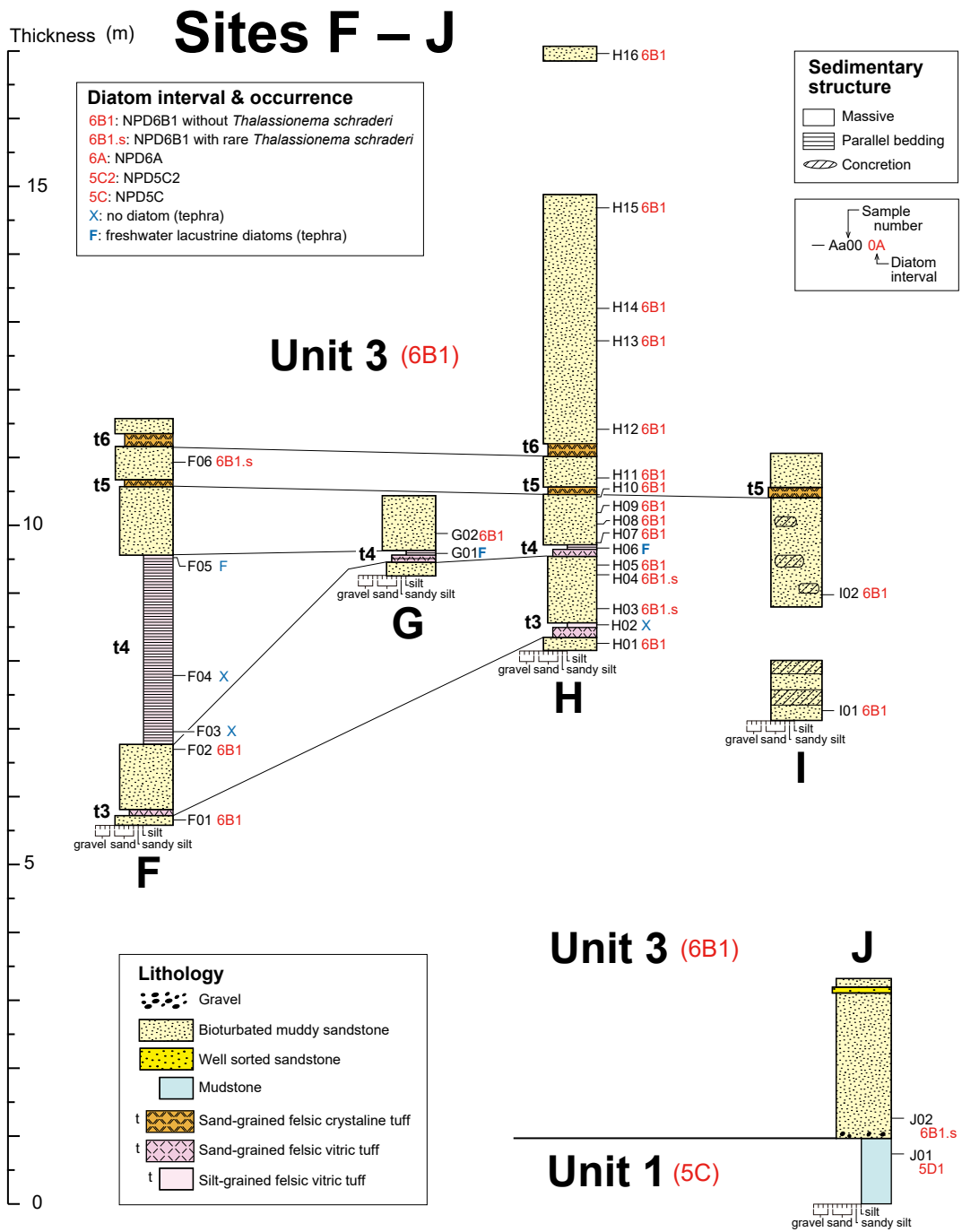
(← p. 142)

付図4 B地点からE地点における地質柱状図の対比.

Fig. A4 Correlated geological columnar sections of the outcrops at Sites B to E.

(G01, H06)から淡水生珪藻化石が検出されたが、H地点の凝灰岩層t3上部のシルト粒度の細粒凝灰岩から採取した試料H02からは珪藻化石は検出されなかった。

I地点とJ地点は、離山の東側、久慈茅根病院の南で、離山に登る道沿いの露頭である。I地点ではユニット3の凝灰岩質砂岩が露出し、凝灰岩層t5が挟在している。J地点ではユニット1の珪藻質泥岩をユニット3の凝灰岩質砂岩が覆うのが見られたが、2023年5月の時点では露頭は消失している。ユニット1の試料J01からはNPD5D1,



付図6 F地点からJ地点における地質柱状図の対比。

Fig. A6 Correlated geological columnar sections of the outcrops at Sites F to J.

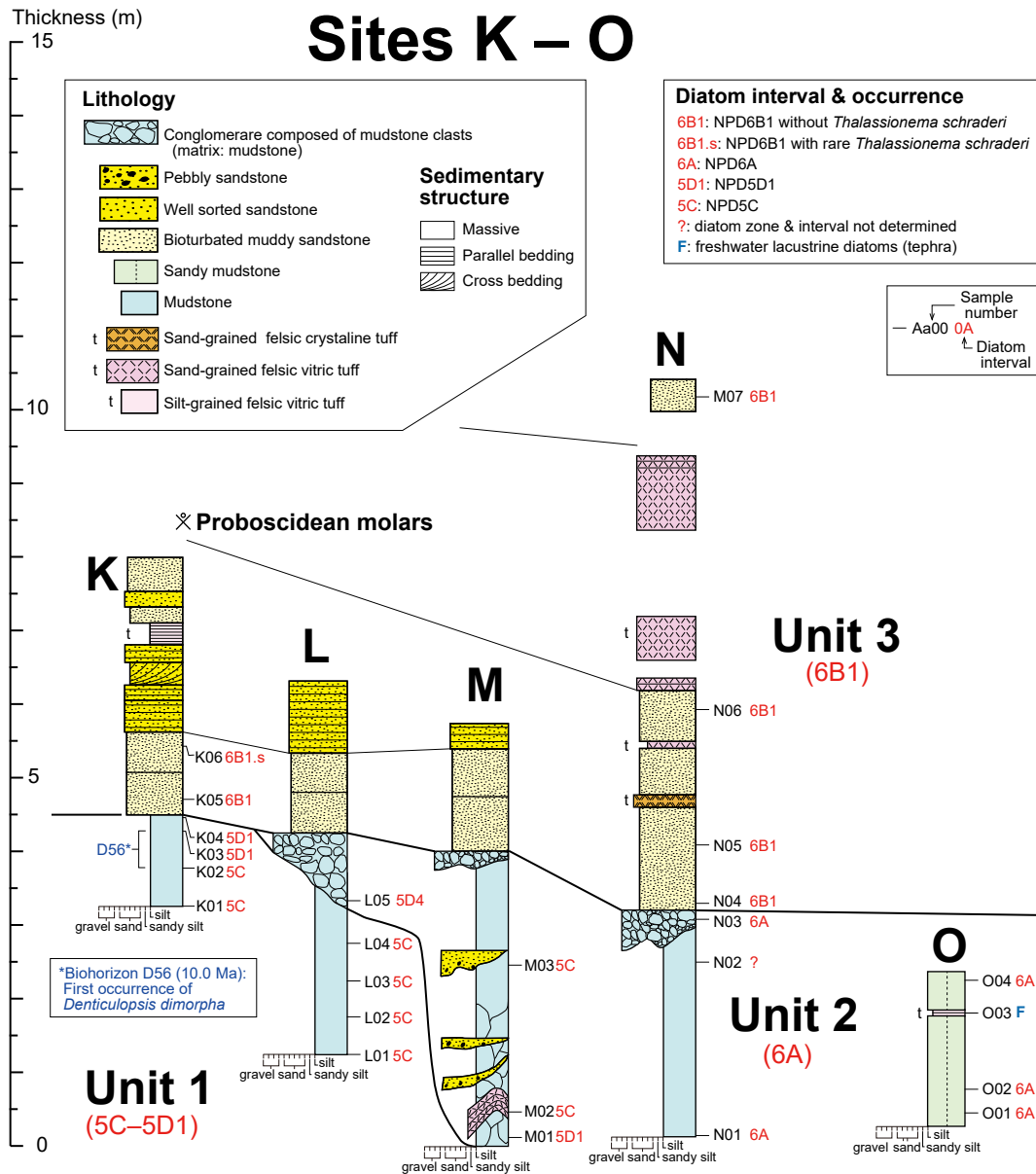
ユニット3の試料(I01, I02, J02)からはNPD6B1の珪藻化石が産出した(付表4)。

K, L, M地点(付図7, 付図8)

K地点, L地点及びM地点は離山東側の連続露頭である。地点Kでは, ユニット1の塊状の珪藻質泥岩をユニッ

ト3の凝灰質砂岩が覆うのを観察できる(付図7)。その上位に挟まる成層した淘汰のよい粗粒砂岩層は, 堅く固結して露頭から出っ張っている(付図8上)。K地点で見られる斜交層理の流向は北西-南東方向である。

L地点では, ユニット2の泥岩礫からなる礫岩(基質は泥岩)がユニット3とユニット1の間に挟まる。M地点で



付図7 K地点からO地点における地質柱状図の対比.

Fig. A7 Correlated geological columnar sections of the outcrop at Sites K to O.

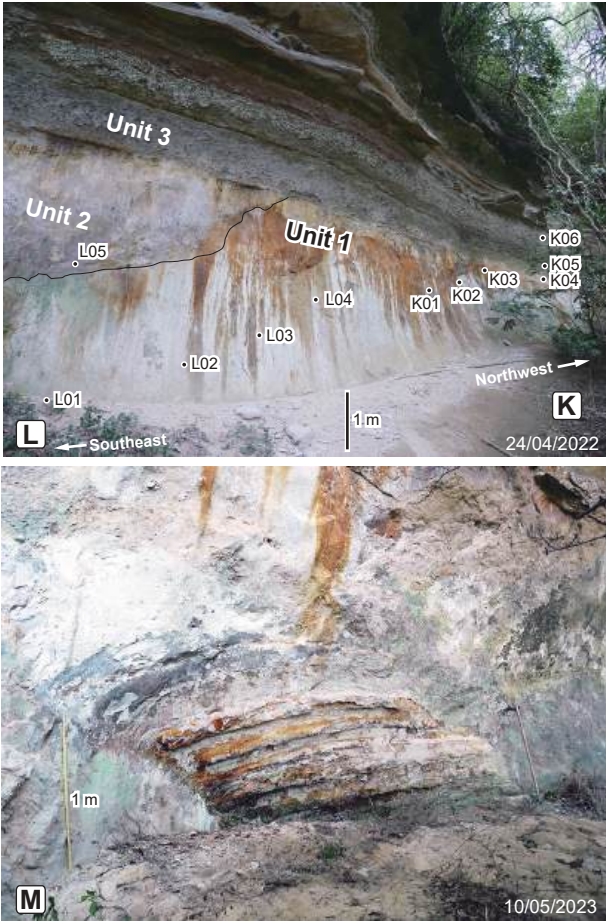
はユニット2が厚くなり、露頭の下限までユニット2で占められる。泥岩礫が巨大となり、泥岩礫の間を粗粒砂が充填している。また、変形した厚さ数十cmの珪長質凝灰岩の塊も含まれている(付図8下)。

K, L及びM地点のユニット1では、試料L01-L04とK01及びK02からNPD5C, 試料K03とK04からNPD5D1の珪藻化石が産出した(付表5)。また、ユニット2の泥岩礫では、試料M02とM03からNPD5C, 試料M01からNPD5D1, そして試料L05からNPD5D4の珪藻化石が産出した。一方、上位のユニット3の試料(K05, K06)からは、NPD6B1と認定される珪藻化石が見つかった。

N地点(付図7)

N地点は、M地点の南方約100 mの崖の露頭である。この露頭の下部には塊状の珪藻質泥岩(3 m)と、泥岩礫からなる礫岩(0.6 m)が見られる。塊状の珪藻質泥岩は、ユニット1の泥岩に酷似するが、試料N01とN03からNPD6Aを示す珪藻が産出するので、ユニット2に属すると判断される。地点Lで見られるように、1 m以上の大きさの泥岩礫が普通に存在するので、地点M下部の厚さ3 mの珪藻質泥岩も大きな岩塊である可能性もある。

N地点の上部には、ユニット3に属する凝灰質泥質泥岩とそれに挟在する凝灰岩層が見られる。ユニット3の



付図8 K地点, L地点およびM地点での露頭写真. 上図: K地点からL地点にかけての露頭写真. K01-K06, L01-L06: 珪藻試料. 下図: M地点のユニット2で見られる凝灰岩の岩塊.

Fig. A8 Photographs of outcrops at Sites K, L and M. Upper photograph: Outcrop at Sites K and L. K01-K06, L01-L06: diatom samples. Lower photograph: A large tuff block included in the Unit 2 at Site M.

基底から約3 m上位の白色で石英粒に富み強く固結した粗粒凝灰岩(厚さ3 m)は、加藤(1914)が報告した長鼻類の臼歯化石が含まれていた層準の候補である。N地点のユニット3の泥質砂岩の試料(N04-N07)からはNPD6B1の珪藻化石が産出した(付表5)。

O地点(付図7)

O地点は離山丘陵南東端の道路に面した人家脇の小露頭である。ここでは層厚約2 mの砂質泥岩が露出し、厚さ6 cmの葉理のあるシルト粒度の珪長質凝灰岩の薄層が挟まっている。砂質泥岩の試料(O01, O02, O04)からNPD6Aを示す珪藻化石が産出することから、この露頭はユニット2に属すると判断した(付表5)。凝灰岩層の試料O03からは淡水湖沼生の珪藻化石がわずかに検出され

た。また、砂質泥岩の試料(O01, O02, O04)でも海生珪藻に混じって、淡水生珪藻が多く含まれている。

P, Q地点(付図9)

P地点とQ地点は、離山丘陵南西端の茂宮川に面した露頭である。Q地点の調査を実施した1992年と、P地点を調査した1998年には、それぞれの露頭は観察できたが、2023年には両露頭とも消滅していた。両露頭には主に無層理塊状で生物擾乱の発達した凝灰質の泥質砂岩からなるユニット4が露出し、厚さ数cmの珪長凝灰岩薄層が2層挟まれていた。また、P地点の上部には層厚1mの平行層理のある淘汰のよい粗粒砂岩層が見られた。本ユニットの下部では、層状の炭酸塩コンクリーションが数層準で認められた。凝灰質の泥質砂岩の試料(P01, P04-P07, Q01, Q02)からは、NPD7Baを示す珪藻化石が産出した(付表6)。ただし、試料P02, P03及びQ03からは化石帯指標種が産出せず、化石帯の認定はできなかった。

R, S, T地点(付図10)

これら3地点は、JR常磐線の割山踏切の北方200～300 mに位置する。

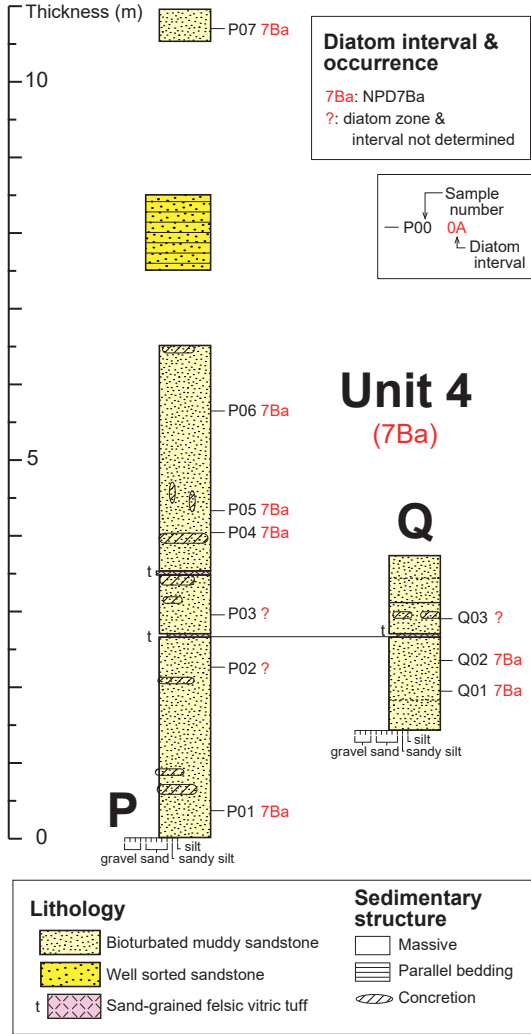
R地点では、下部には珪長質凝灰岩層を挟む塊状の珪藻質泥岩(4.6 m)、上部にはスランブした珪藻質泥岩(2.5 m)が見られた。下部はユニット1、上部はユニット2に属すると判断できる。下部のユニット1から採取した試料R01からはNPD5C3の珪藻化石が産出した(付表5)。

S地点は車両の通れない小踏切の西側の小露頭で、ユニット1の珪藻質泥岩と2層の珪長質凝灰岩層が見られる。珪藻質泥岩の試料S02からはNPD5C3を示す海生珪藻化石が産出した。また、下位の凝灰岩層最上部のシルト粒度の細粒凝灰岩の試料S01から淡水湖沼生珪藻化石が見出された。

T地点では、層厚1 mの珪藻質泥岩と、その上位約1 mの露出欠如を挟んで厚さ1.5 mの珪長質凝灰岩層が見られる。下部の珪藻質泥岩の試料T01はNPD5C3の珪藻化石を含み、ユニット1に属する。S地点上部の凝灰岩層の最上部のシルト粒度の成層した細粒凝灰岩の試料T02からは淡水生珪藻化石が産出した。この中にはNPD6B帯下限付近に初産出があるとされる*Mesodictyon japonicum* Yanagisawa & H.Tanaka (柳沢ほか, 2021)が含まれているので、この凝灰岩はユニット3に属するものと判断した。

A地点のグーグル ストリートビュー (2012年11月または2013年4月を選択) <https://www.google.co.jp/maps/@36.4945899,140.6080902,3a,75y,30.66h,93.34t/data=!3m6!1e1!3m4!1sMaxtHxX7wrsUsyNSIWfZrA!2e0!7i13312!8i6656>

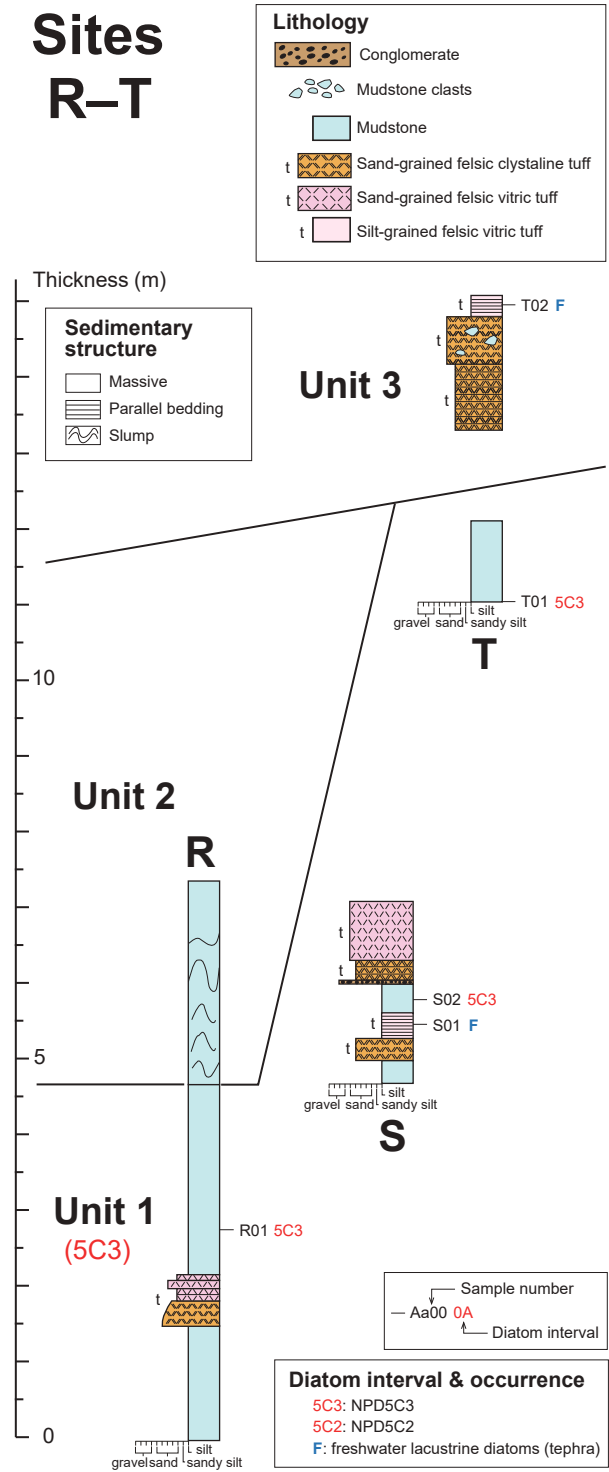
Sites P, Q



付図9 P地点とQ地点における地質柱状図の対比。

Fig. A9 Correlated geological columnar sections of the outcrops at Sites P and Q.

Sites R-T



付図10 R地点からT地点における柱状図の対比。

Fig. A10 Correlated columnar sections of the outcrops at Sites R to T.

日立市離山の新第三系の層序と珪藻化石（柳沢ほか）

付表6 P地点とQ地点で採取した試料の珪藻産出表.

Table A6 Occurrence chart of diatoms from the samples collected at Sites P and Q.

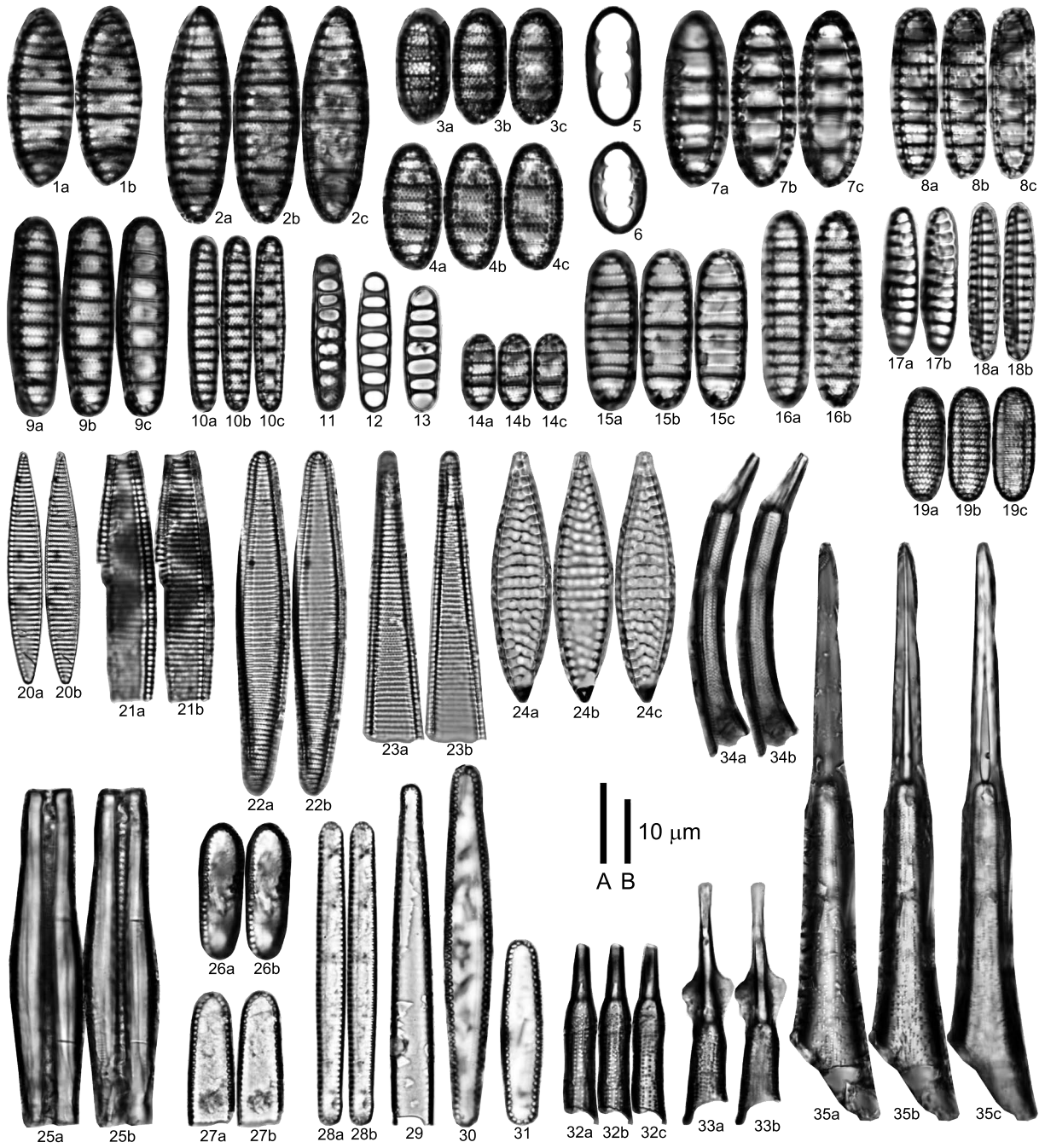
Site	Site P							Site Q		
	Unit 4							Unit 4		
Diatom interval	7Ba	7Ba	7Ba	7Ba	7Ba	7Ba	7Ba	7Ba	7Ba	7Ba
Sample number	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	Q01	Q02	Q03
Original sample number (JOB-)	3073	3067	3068	3069	3070	3071	3072	1359-1	1359-2	1359-3
Preservation	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Abundance	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
<i>Actinocyclus ingens</i> var. <i>ingens</i> Rattray	+	1	-	-	-	1	-	1	1	2
<i>A. ingens</i> var. <i>nodus</i> Baldauf	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>A. octonarius</i> Ehrenberg	1	-	-	2	-	+	-	-	-	-
<i>A. sp. A</i>	-	-	-	+	-	-	1	-	-	-
<i>Actinopychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	3	3	-	+	1	+	2	1	-	6
<i>Adoneis pacifica</i> Andrews & Rivera	+	-	-	-	-	-	-	-	1	+
<i>Aspetitia endoi</i> (Kanaya) Sims & Fryxell	+	1	-	-	-	-	-	1	-	+
<i>A. nodulifera</i> (Schmidt) Fryxell & Sims	-	-	-	-	-	-	-	4	-	+
<i>Cavilatus jouseanus</i> (Sheshukova) Williams	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Cocconeis</i> spp.	1	1	-	-	1	1	1	2	-	1
<i>Coscinodiscus marginatus</i> Ehrenberg	+	3	1	1	-	2	1	+	-	2
<i>Coscinodiscus</i> spp.	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cosmioidiscus insignis</i> Jousé	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Delphineis ischaboensis</i> (Mertz) Andrews	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>D. surirella</i> (Ehrenberg) Andrews	1	-	-	+	-	+	+	+	1	+
<i>Denticulopsis dimorpha</i> var. <i>areolata</i> Yanagisawa & Akiba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>D. hyalina</i> (Schrader) Simonsen	+	+	-	+	+	-	-	2	4	3
<i>D. ichikawae</i> Yanagisawa & Akiba	-	-	-	-	-	-	-	-	+	1
<i>D. lauta</i> (Bailey) Simonsen	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-
<i>D. praeahyalina</i> Tanimura	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
<i>D. praedimorpha</i> var. <i>praedimorpha</i> Barron ex Akiba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>D. praelauta</i> Akiba & Koizumi	-	-	-	-	-	-	-	+	1	-
<i>D. simonsenii</i> Yanagisawa & Akiba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>D. vulgaris</i> (Okuno) Yanagisawa & Akiba	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+
<i>S-type girdle view of D. simonsenii</i> group	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+
<i>Grammatophora</i> spp.	1	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Hemidiscus cuneiformis</i> G.G.Wall.	+	-	-	-	-	-	-	1	-	-
<i>Hyalodiscus obsoletus</i> Sheshukova-Poretsukaya	-	1	-	-	-	-	-	1	-	+
<i>Ikebea tenuis</i> (Brun) Akiba	-	-	-	-	-	+	2	9	-	1
<i>Mediaria splendida</i> Sheshukova	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Melosira sol</i> (Ehrenberg) Kützing	-	1	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Neodenticula kamtschatica</i> (Zabelina) Akiba & Yanagisawa	+	-	-	+	+	+	+	1	-	-
<i>Nitzschia</i> cf. <i>extincta</i> Kozurenko & Sheshukova-Poretsukaya	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>N. grunowii</i> Hasle	-	-	-	-	+	1	-	1	-	+
<i>Fragilariaopsis fossilis</i> (Frenguelli) Medlin & Sims	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
<i>Abeus marinus</i> (Grunow) Kaczmarek & Fryxell	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Nitzschia reinholdii</i> Kanaya ex Barron & Baldauf	+	-	-	+	-	+	+	2	-	+
<i>N. rolandii</i> Schrader emend. Koizumi	-	+	-	+	-	1	3	+	-	1
<i>Odontella aurita</i> (Lyngbye) Agardh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	10	7	2	9	2	10	8	10	33	10
<i>Plagiogramma staurorhynchum</i> (Gregory) Heiberg	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>P. barboi</i> (Brun) Jordan & Priddle	+	-	-	-	1	+	-	-	-	-
<i>Psammoidiscus nitidus</i> (Gregory) Round & Mann	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Pseudopodosira elegans</i> Sheshukova-Poretsukaya	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>hiemalis</i> Gran	-	-	-	-	2	-	-	-	-	+
<i>R. styliformis</i> Brightwell	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1
<i>R. sp. C</i> (costa)	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rouxia californica</i> Peragallo	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Stellarima microtrias</i> (Ehrenberg) Hasle & Sims	3	-	-	-	-	+	-	1	1	-
<i>Stephanopyxis</i> spp.	5	3	3	2	1	+	7	-	3	-
<i>Thalassionema</i> cf. <i>hirosakiensis</i> (Kanaya) Schrader	2	-	-	15	21	+	-	+	-	+
<i>T. nitzschoides</i> (Grunow) Mereschkowsky	20	17	3	16	22	32	18	43	29	67
<i>T. cf. robusta</i> Schrader	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-
<i>T. sp. B</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Thalassiosira antiqua</i> (Grunow) Cleve-Euler	+	-	-	+	+	+	1	-	1	-
<i>T. castanea</i> Akiba & Yanagisawa	+	-	-	+	-	-	-	+	+	-
<i>T. convexa</i> var. <i>aspinosa</i> Schrader	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>T. jacksonii</i> Koizumi & Barron in Koizumi	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-
<i>T. leptopus</i> (Grunow) Hasle & Fryxell	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>T. manifesta</i> Sheshukova	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>T. marujamica</i> Sheshukova	1	-	-	1	+	-	-	-	-	-
<i>T. miocenica</i> Schrader	+	-	1	-	-	-	1	-	-	-
<i>T. nidulus</i> Jousé	1	-	-	-	-	-	1	-	-	+
<i>T. opposita</i> Koizumi	+	-	-	1	-	-	-	-	1	-
<i>T. singularis</i> Sheshukova-Poretsukaya	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-
<i>T. temperlei</i> (Brun) Akiba & Yanagisawa	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>T. zabelinae</i> Jousé	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>T. spp.</i>	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-
<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve & Grunow	-	-	-	-	+	-	1	+	2	+
Freshwater lacustrine diatoms										
<i>Aulacoseira</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-
<i>A. praeislandica</i> var. <i>praeislandica</i> (Jousé) Moiseevca	-	3	2	-	-	-	1	14	19	2
<i>Cyclotella kohsakaensis</i> H.Tanaka & Kobayasi	-	3	-	-	-	-	2	5	2	-
<i>Cyclotella</i> sp.	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-
Total number of valves counted	50	45	12	50	50	50	50	100	100	100
Resting spore of <i>Chaetoceros</i>	9	22	2	8	6	14	30			

Preservation, G: good, M: moderate, P: poor. Abundance, A: abundant, C: common, R: rare. +: present, -: absent.

図版1 離山地区から産出した海生珪藻化石。

Plate 1 Marine diatom fossils from Hanareyama district. Scale bar A for figs. 1a–18b and scale bar B for 19a–35c.

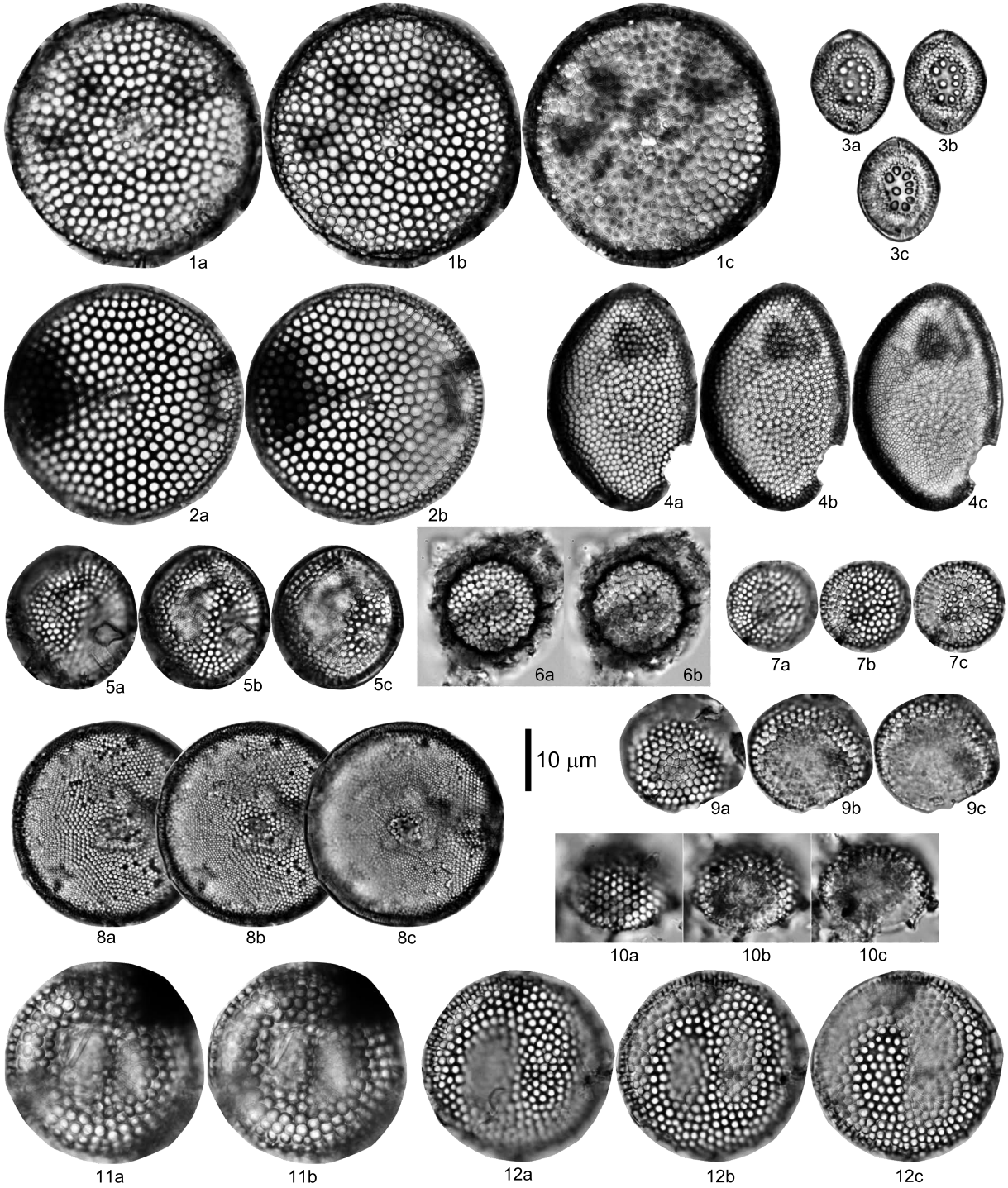
- 1a–2c.** *Denticulopsis hustedtii* (Simonsen & Kanaya) Simonsen [Sample Aa02 (JOB6955), Unit 1, NPD5C3].
- 3a–4c.** *Denticulopsis crassa* Yanagisawa & Akiba [3a–3c, Sample C01 (JOB7059), Unit 1, NPD5C3; 4a–4c, Sample Aa01 (JOB6954), Unit 1, NPD 5C3].
- 5, 6.** *Denticulopsis crassa* Yanagisawa & Akiba (closed copula) [Sample C01 (JOB7059), Unit 1, NPD5C3].
- 7a–7c.** *Denticulopsis katayamae* Maruyama [Sample Ab01 (JOB7039), Unit 2, NPD6A].
- 8a–8c.** *Denticulopsis praekatayamae* Yanagisawa & Akiba [Sample Ab01 (JOB7039), Unit 2, NPD6A].
- 9a–10c.** *Denticulopsis simonsenii* Yanagisawa & Akiba [9a–9c, Sample J01 (JOB1684), Unit 1, NPD 5D1; 10a–10c, Sample C01 (JOB7059), Unit 1, NPD5C3]
- 11–13.** *Denticulopsis dimorpha* var. *dimorpha* Schrader [11, Sample K04 (JOB7080), Unit 1, NPD5D1; 12, Sample E01 (JOB1354), Unit 2 (mudstone clast), NPD5D2; 13, Sample D01 (JOB7071a), Unit 2 (mudstone clast), NPD5D1]
- 14a–15c.** *Denticulopsis vulgaris* (Okuno) Yanagisawa & Akiba [14a–14c, Sample C01 (JOB7059), Unit 1, NPD5C3; 15a–15c, Sample J01 (JOB1684), Unit 1, NPD5D1]
- 16a, 16b.** *Denticulopsis simonseii* Yanagisawa & Akiba [Sample C01 (JOB7059), Unit 1, 5C3]
- 17a–18b.** *Neodenticula kamschatica* (Zabelina) Akiba & Yanagisawa [17a, 17b, Sample P06 (JOB3071), Unit 4, NPD7Ba; 18a, 18b, Sample P04 (JOB3069), Unit 4, NPD7Ba]
- 19a–19c.** *Nitzschia clyndrica* Burckle [Sample B14 (JOB7057), Unit 3, NPD6B1]
- 20a, 20b.** *Nitzschia heteropolica* Schrader [Sample J01 (JOB1684), Unit 1, NPD5D1]
- 21a–22b.** *Nitzschia reinholdii* Kanaya ex Barron & Baldauf [21a, 21b, Sample Q03 (JOB1359-3), Unit 4, diatom zone not determined; 22a, 22b, Sample Q01 (JOB1359-1), Unit 4, NPD7Ba]
- 23a, 23b.** *Fragilariopsis fossilis* (Frenguelli) Medlin & Sims [Sample Q03 (JOB1359-3), Unit 4, diatom zone not determined]
- 24a–24c.** *Koizumia akibae* Yanagisawa [Sample C14 (JOB3058), Unit 3 (mudstone clast), NPD5D4]
- 25a, 25b.** *Ikebea tenuis* (Brun) Akiba [Sample Aa01 (JOB6954), Unit 1, NPD5C3]
- 26a–27b.** *Thalassionema schraderi* Akiba [26a, 26b, Sample C18 (JOB3057), Unit 3, NPD6B1; 27a, 27b, Sample E02 (JOB1355), Unit 3, NPD6B1]
- 28a, 28b.** *Thalassionema* sp. B [Sample Q01 (JOB1359-1), Unit 4, NPD7Ba]
- 29.** *Thalassionema* sp. A [Sample D01 (JOB7071a), Unit 2 (Mudstone clast), NPD5D1]
- 30, 31.** *Thalassionema hirosakiensis* (Kanaya) Schrader [30, Sample Aa02 (JOB6955), Unit 1, NPD5C3; 31, Sample J01 (JOB1684), Unit 1, NPD5D1]
- 32a–32c.** *Rhizosoleina* sp. E. [Sample C01 (JOB7059), Unit 1, NPD5C3]
- 33a, 33b.** *Rhizosolenia* sp. [Sample C18 (JOB3057), Unit 3, NPD6B1]
- 34a, 34b.** *Rhizosolenia miocenica* Schrader [Sample O01 (JOB1690), Unit 2, NPD6A]
- 35a–35c.** *Rhizosolenia hebetata* f. *hiemalis* Gran [Sample Aa02 (JOB6955), Unit 1, NPD5C3]



図版2 離山地区から産出した海生珪藻化石.

Plate 2 Marine diatom fossils from Hanareyama district.

- 1a, 1b.** *Azpeitia nodulifera* (Schmidt) Fryxell & Sims [Sample Ad01 (JOB6953), Unit 1, NPD5C3]
- 2a, 2b.** *Azpeitia vetustissima* (Pantocsek) Sims [Sample J01 (JOB1684), Unit 1, NPD5D1]
- 3a–3c.** *Hemidiscus ovalis* Lohman [Sample Aa02 (JOB6955), Unit 1, NPD5C3]
- 4a–4c.** *Heimidiscus cuneiformis* Wallich [Sample Aa09 (JOB7059), Unit 3, NPD6B1]
- 5a–5c.** *Thalassiosira temperei* (Brun) Akiba & Yanagisawa [Aa01 (JOB6954), Unit 1, NPD5C3]
- 6a, 6b.** *Thalassiosira nidulus* Jousé [Sample P01 (JOB3073), Unit 4, NPD7Ba]
- 7a–7c.** *Thalassiosira grunowii* Akiba & Yanagisawa [Sample J01 (JOB1684), Unit 1, NPD5D1]
- 8a–8c.** *Thalassiosira opposita* Koizumi [Sample P01 (JOB3073), Unit 4, NPD7Ba]
- 9a–10c.** *Thalassiosira castanea* Akiba & Yanagisawa [9a–9c, Sample Q02 (JOB1359-2), Unit 4, NPD7Ba;
10a–10c, Sample Q01 (JOB1359-1), Unit 4, NPD7Ba]
- 11a–11c.** *Thalassiosira yabei* (Kanaya) Akiba & Yanagisawa [Sample K05 (JOB7081), Unit 3, NPD6B1]
- 12a–12c.** *Thalassiosira grunowii* Akiba & Yanagisawa [Sample D01 (JOB7071a), Unit 2, NPD5D1]



図版3 離山地区から産出した海生珪藻化石と淡水湖沼生珪藻化石.

Plate 3 Marine diatom fossils and freshwater lacustrine diatom fossils from Hanareyama district.

1a–2b. *Actinocyclus ellipticus* Grunow [1a, 1b, Sample B09 (JOB7142), Unit 3, NPD6B1; 2a, 2b, Sample Aa02 (JOB6955), Unit 1, NPD5C3]

3a, 3b. *Melosira undulata* (Ehrenberg) Kützing [Sample B13 (JOB6965), Unit 3, NPD6B1]

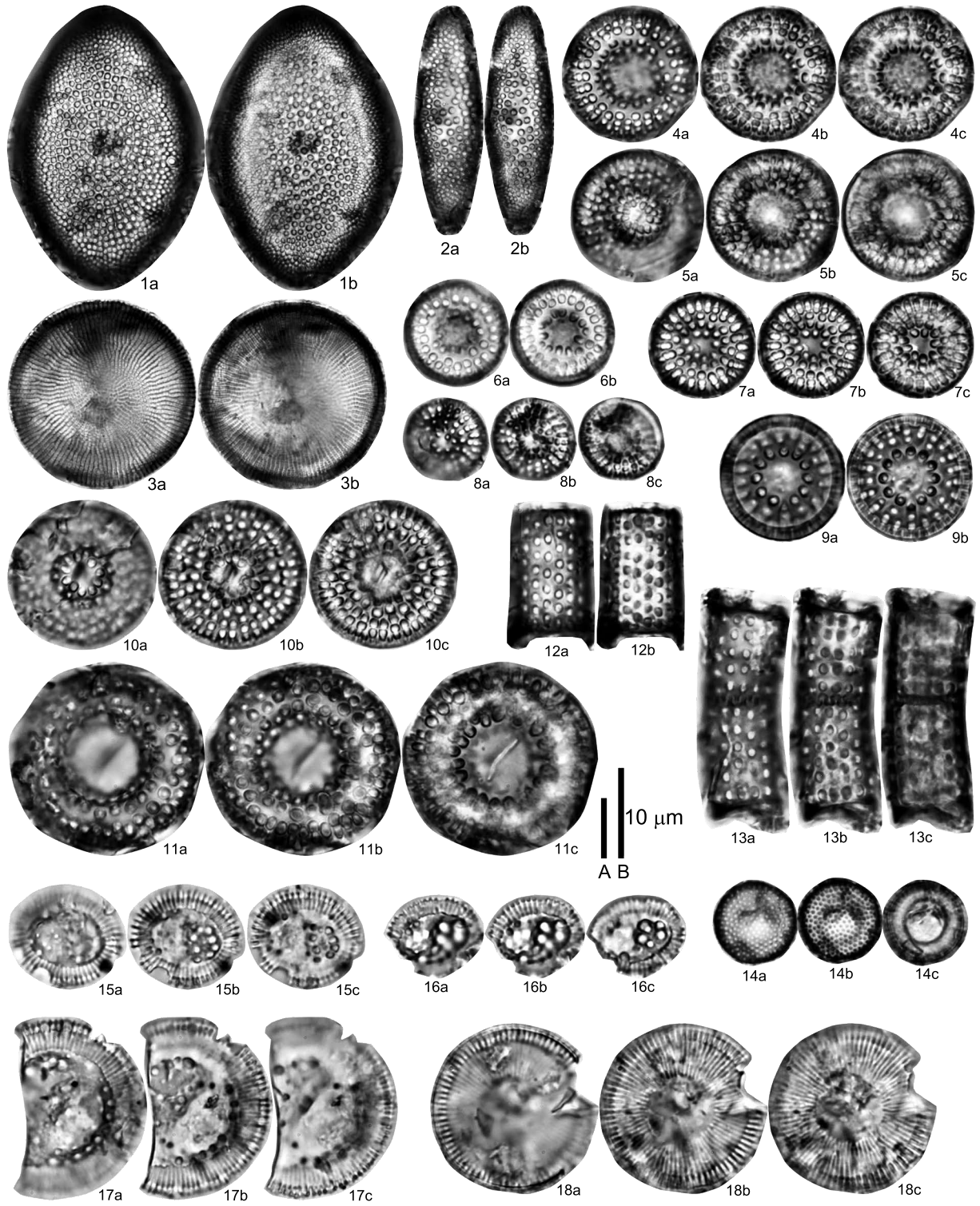
4a–11c. *Mesodyction japonicum* Yanagisawa & H.Tanaka [4a–4c, 7a–11a, Sample Ac13 (JOB7104), tuff t11, Unit 3; 5a–5c, Sample Ae08 (JOB7094), tuff t7, Unit 3; 6a, 6b, Sample Ae06 (JOB7092), Unit 3, NPD6B1]

12a–13c. *Aulacoseira praeislandica* var. *praeislandica* (Jousé) Moisseeva [12a, 12b, Sample Ac13 (JOB7104), tuff t11, Unit 3; 13a–13c, Sample P02 (JOB3067), Unit 4, diatom zone not determined]

14a, 14b. *Aulacoseira* sp. [Sample Ac13 (JOB7104), tuff t11, Unit 3]

15a–17c. *Cyclotella* sp. [15a–15c, 17a–17c, Sample Q02 (JOB1359-2), Unit 4, NPD7Ba; 16a–16c, Sample P02 (JOB3067), Unit 4, diatom zone not determined]

18a–18c. *Cyclotella kohsakaensis* H.Tanaka & Kobayasi [Sample P07 (JOB3072), Unit 4, NPD7Ba]



地質調査総合センター研究資料集

- 748 斜面災害リスク評価のための地質情報集 - その2: 九州地域の地質図データ等 - 宮地 良典・川畑 大作・星住 英夫・下司 信夫
- 749 伊豆大島火山の火口位置データおよび噴火イベント集 川辺 禎久
- 750 地質粒子画像分類を支援する深層学習を活用したソフトウェア 宮川 歩夢・松本 恵子・板木 拓也・下司 信夫
- 751 羊蹄火山の降下テフラ分布の GIS データ 米谷 珠萌・苅谷 恵美・宝田 晋治
- 752 湯沢地熱地域の酸性変質帯の土壤植生 佐々木 宗建
- 753 阿蘇・御嶽・箱根・萌消火山の噴火推移と大規模噴火の前駆活動 金田 泰明・宝田 晋治・河野 裕希
- 754 斜面災害リスク評価のための地質情報集 - その3: NDVI, 磁気異常及び微動データ 宮地 良典・川畑 大作・松岡 萌・水落 裕樹・宮川 歩夢・大熊 茂雄・長 郁夫・米岡 佳弥
- 755 2002 年から 2023 年 8 月における硫黄島の噴出地点 関 晋・長井 雅史・及川 輝樹
- 756 5 万分の 1 地質図幅「高見山」に分布する秩父帯付加コンプレックス, 三波川-四万十変成付加コンプレックス及び領家深成岩類から得られたジルコン U-Pb 年代 竹内 誠・常盤 哲也・森 宏・志村 侑亮
- 757 九州南部地域の地下水・温泉水の化学・同位体組成 森川 徳敏・高橋 正明・稲村 明彦・高橋 浩・東郷 洋子・中村 仁美・北村 有迅・川端 訓代・風早 康平・安原 正也・佐藤 努・戸崎 裕貴・半田 宙子・仲間 純子・染谷 雅美・中村 有理・大和田 道子・浅井 和由・藪崎 志穂・鈴木 裕一・大丸 純・清水 日奈子
- 758 第 41 回地質調査総合センターシンポジウム講演要旨集「デジタル技術で繋ぐ地質情報と防災対策 活断層 - 火山 - 斜面災害 - 海洋地質」 地質調査総合センター (編)

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	伊予長浜 外山
20 万分の 1 地質図幅	広尾 (第 2 版修正版)
海洋地質図	No. 94 積丹半島付近海底地質図
火山地質図	No. 22 日光白根及び三岳火山地質図
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」
大規模火砕流分布図	No. 4 阿蘇カルデラ阿蘇 3 火砕流堆積物分布図
水文環境図	No. 14 越後平野 (信濃川流域)
重力図 (ブーゲー異常)	No. 36 甲府ー静岡地域重力図
土壌評価図	E-9 表層土壌評価基本図 ~九州・沖縄地方~
特殊地質図	Sr. 41 栃木県シームレス地質図 (第 2 版)
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 宮城 磯 治
委員 東郷 洋 子
丸山 正
藤井 孝 志
持丸 華 子
斎藤 健 志
大谷 竜 竜
長森 英 明
納谷 友 規
天野 敦 子
伊藤 剛
森尻 理 恵

Bulletin of the Geological Survey of Japan Editorial Board

Chief Editor: SUZUKI Atsushi
Deputy Chief Editor: MIYAGI Isoji
Editors: TOGO Yoko
MARUYAMA Tadashi
FUJII Takashi
MOCHIMARU Hanako
SAITO Takeshi
OHTANI Ryu
NAGAMORI Hideaki
NAYA Tomonori
AMANO Atsuko
ITO Tuyoshi
MORIJIRI Rie

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>

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75巻 第4号
令和6年12月4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 中央事業所7群

Bulletin of the Geological Survey of Japan
Vol. 75 No. 4 Issue December 4, 2024

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. 75 No. 4 2024

CONTENTS

- Diatom biochronology and U–Pb age of the Miocene strata in the Satomi area along eastern margin of the Tanakura sedimentary basin, Japan
YANAGISAWA Yukio and HOSOI Jun 103
- Stratigraphy and diatoms of the Neogene Taga and Hitachi groups in the Hanareyama district, Kuji Town, Hitachi City, Ibaraki Prefecture, Japan
YANAGISAWA Yukio, ANDO Hisao and KUSHIBIKI Sora 121