

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。

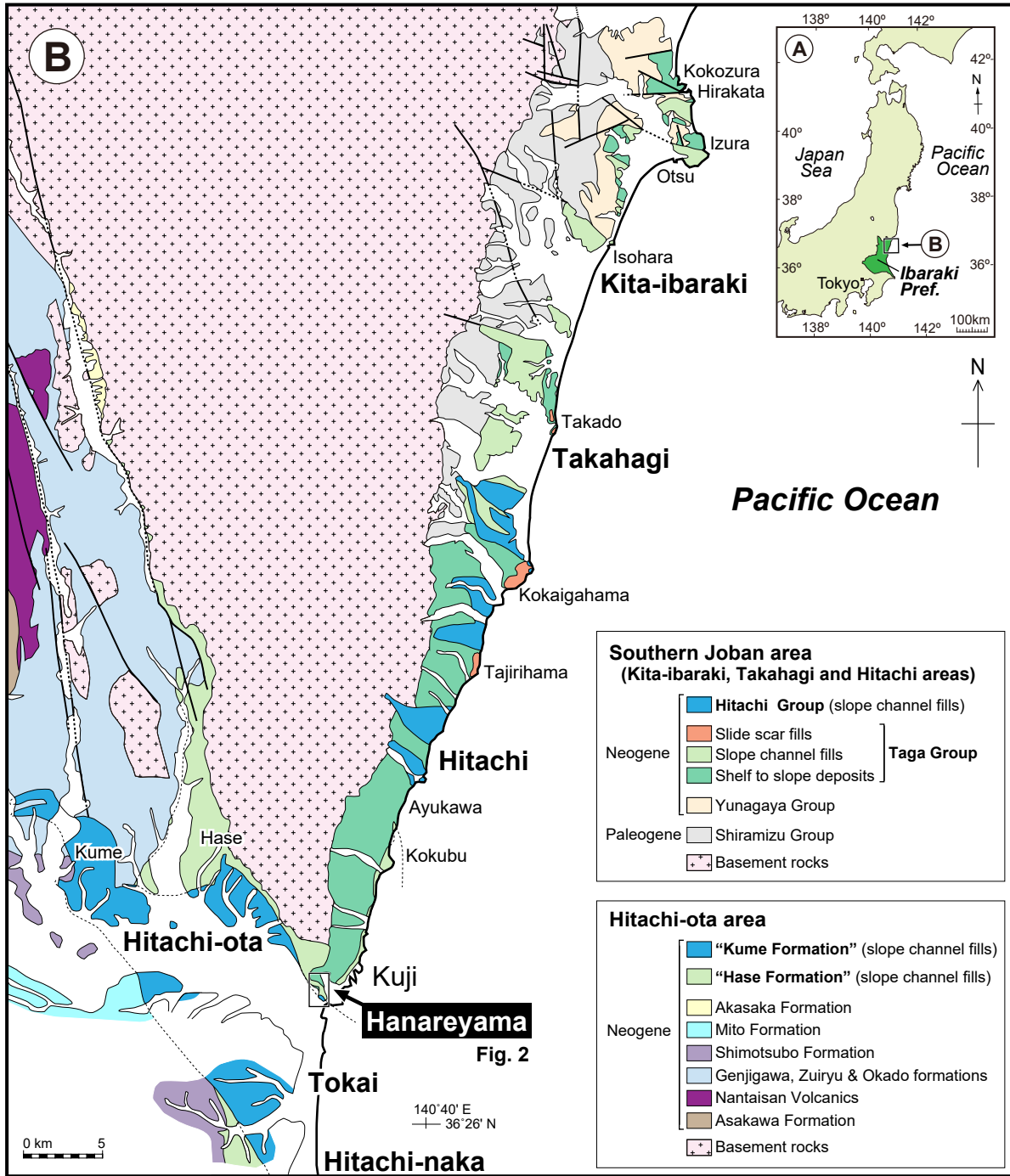
第2次世界大戦後、大森・鈴木(1950)は日立市から常陸太田市にかけての広い範囲で詳しい地質調査を行い、その報告の中で、離山地区の「多賀層群」の下部と上部をそれぞれ「河原子累層」と多賀層群の「離山凝灰岩層」と命名し、離山凝灰岩層は河原子累層を不整合に覆うとした。また、鈴木(1952, 1954)は、離山地区の「多賀層群」の下部の名称を多賀層群の「鮎川泥岩累層」、上部の名称を日立層群の「離山凝灰岩累層」と改めた。一方、5万分の1「那珂湊」図幅(坂本ほか, 1972)は、前者を「多賀層」、後者を「離山層」と呼び、両者は不整合関係にあるとした。また、20万分の1「水戸」図幅(吉岡ほか, 2001)は、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

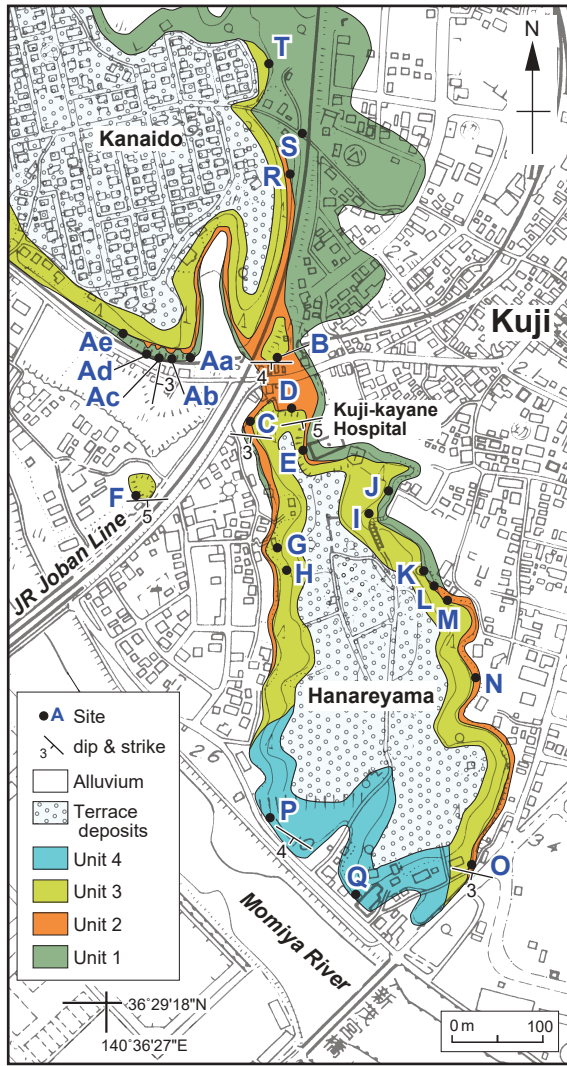
Fig. 1 Geologic map of the southern Joban to southern Hitachi-ota areas based on Yoshioka *et al.* (2001) and Kubo *et al.* (2007), partly modified based on Yanagisawa and Ando (2020) and the geological data of our survey. Distribution of terrace deposits is omitted.

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。

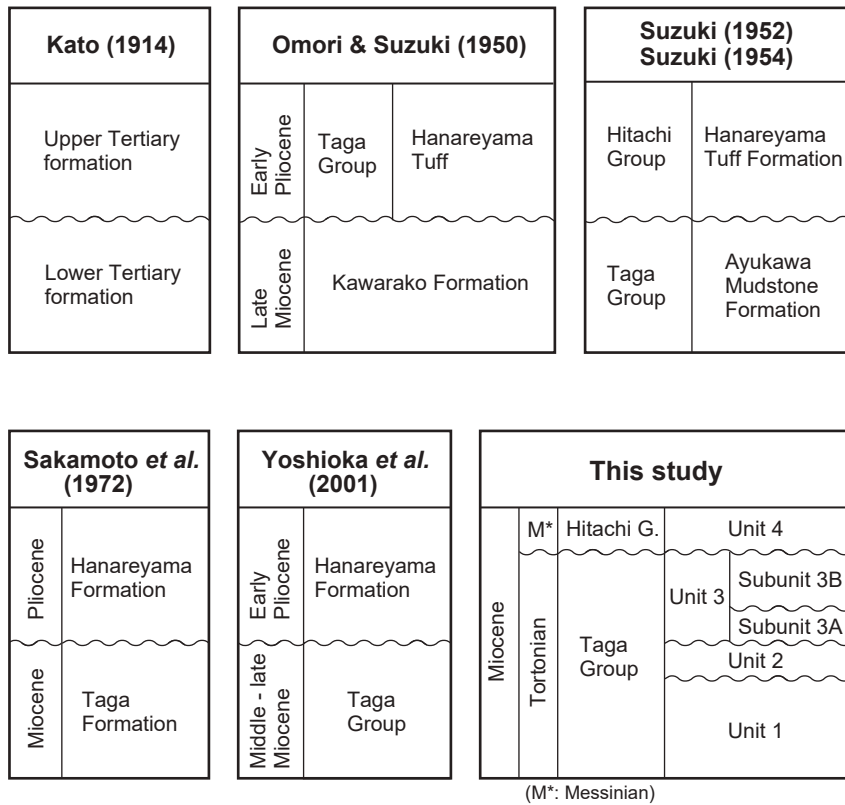
4. 岩相層序と珪藻化石層序

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 Taga 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			
	Taga Group	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.

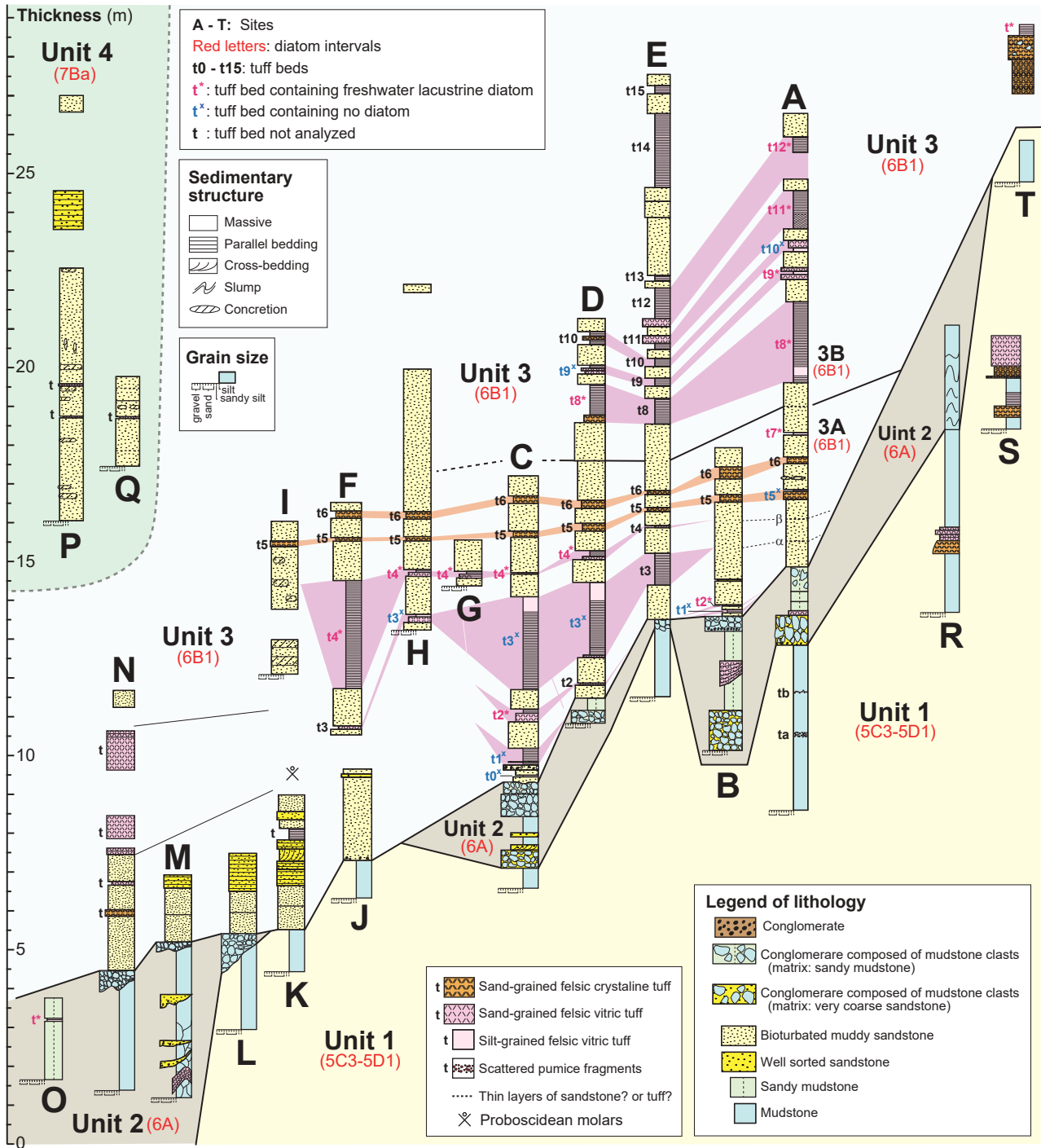
A地点では凝灰岩層t7とt8の間(t8の下位約1mの層準)に侵食面があり、A地点の東端では少なくとも厚さ約3m分が侵食されて失われている(付図1, 2)。また、D地点でも、凝灰岩層t8の下位約1mの層準の泥質砂岩中に粒度が変化する境界面があり、これより上位の凝灰岩層t8～t10と下位のt6～t2では走向傾斜が多少異なるので、同様な侵食面が想定される(付図4、詳しくは付記の地点Dの項参照)。この侵食面により、これらの地点では、ユニット3はサブユニット3Aと3Bに区分することができる(第5図)。D地点に近接するE地点でも、この侵食面は存在すると思われるが、調査した時点1992年では明確に認識できず、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

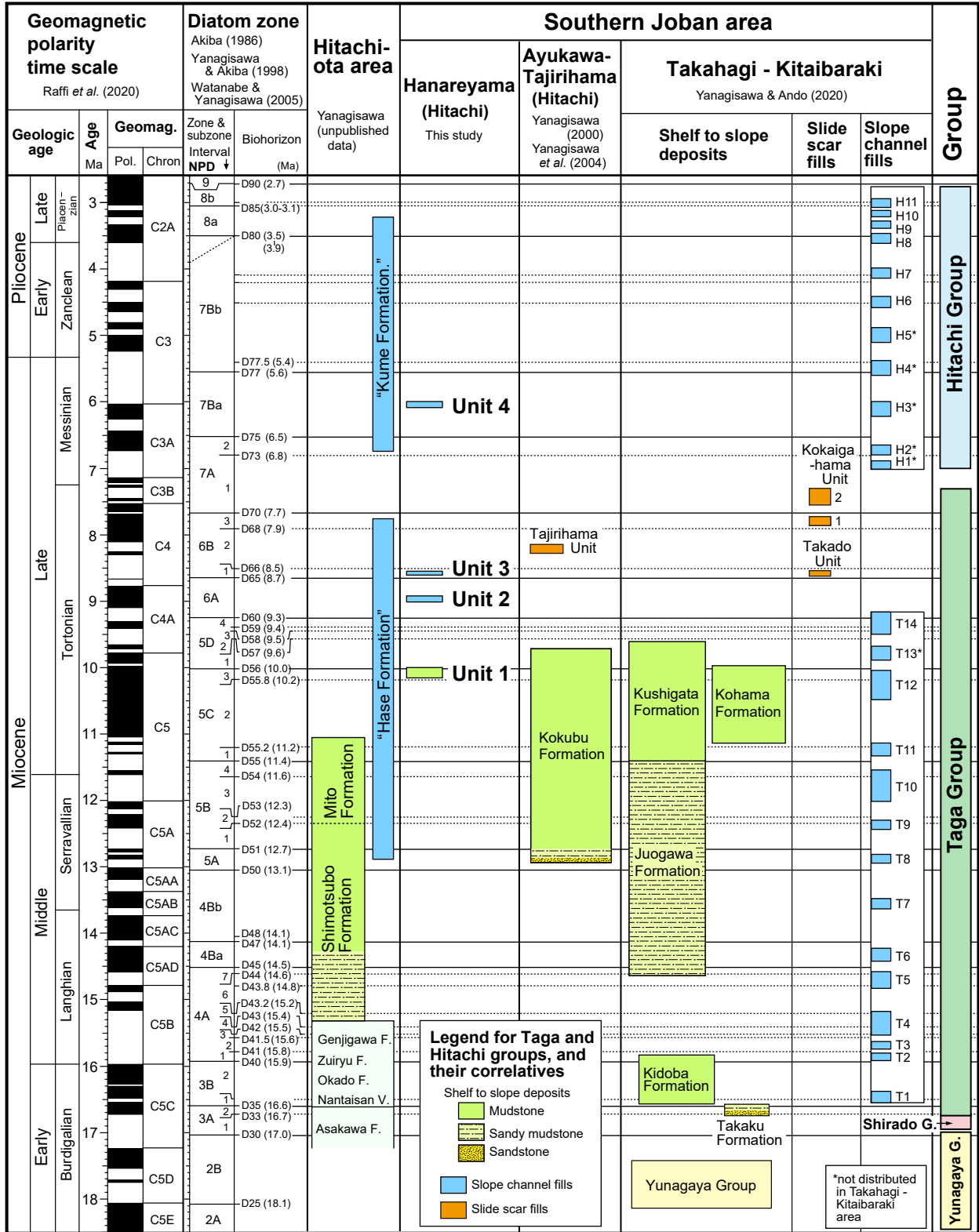
ユニット4では、P地点とQ地点(付図9)で採取した10試料のうち、7試料から*Neodenticula kamschatica* (Zabelina) Akiba & Yanagisawa, *Nitzschia rolandi* Schrader emend. Koizumi, *Thalassiosira castanea* Akiba & Yanagisawaが産出した(付表6)。このうち、*T. castanea*はNPD7Ba帯に産出が限定されること、さらに初産出層準がNPD7Ba帯の上限を規定する*Shionodiscus oestrupii* (Ostenfeld) Alverson,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

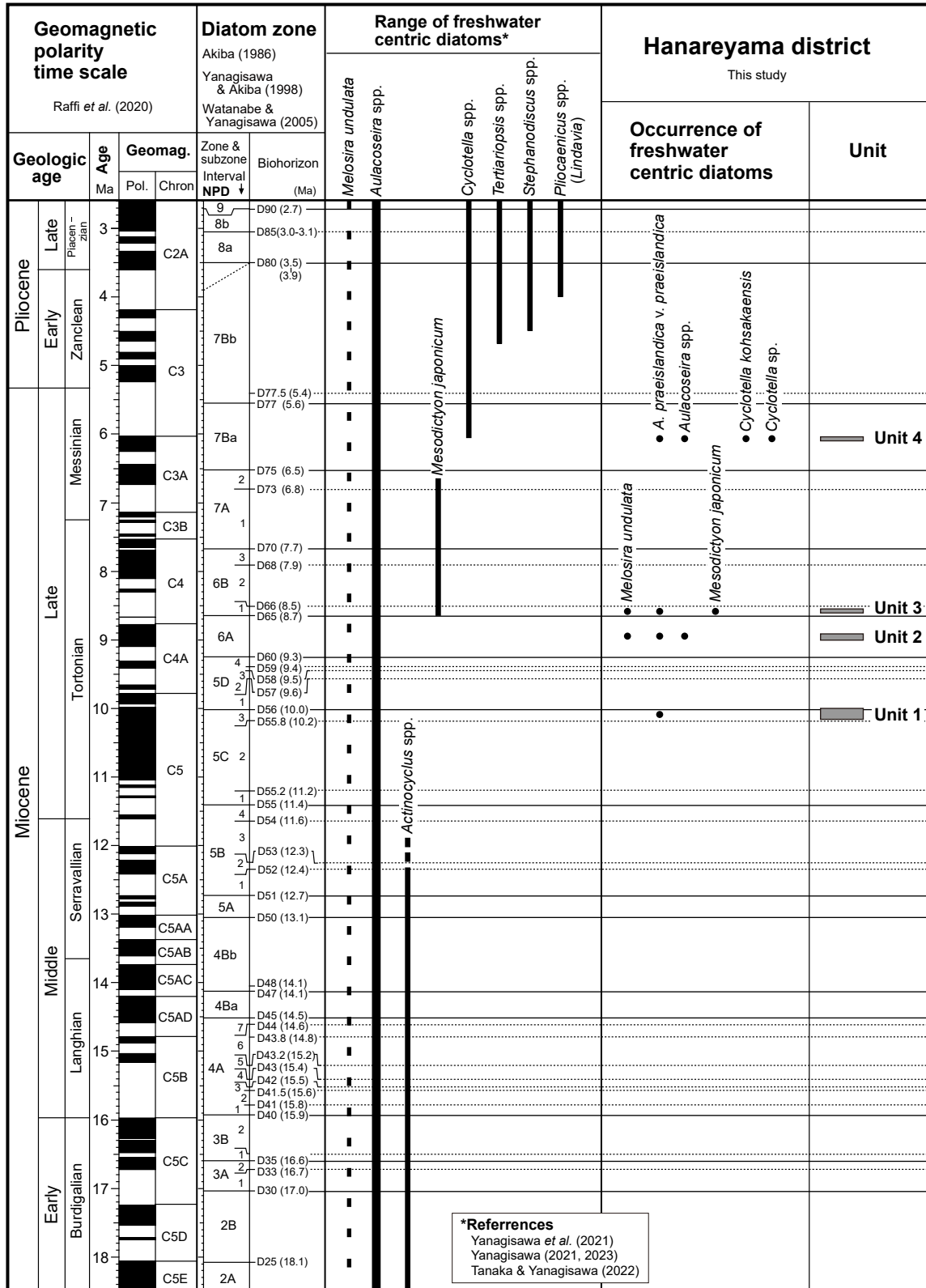
ユニット4 (NPD7Ba亜帯)でも, 地点Pと地点Q (付図9)から採取した泥質砂岩の試料(P02, P03, P06, P07, Q01, Q02, Q03)から淡水生珪藻が産出した。産出した淡水生珪藻は*A. praeislandica* var. *praeislandica*が普通に産出し, これに*Aulacoseira* sp., *Cyclotella kohsakaensis* H.Tanaka & Kobayasi及び*Cyclotella* sp.を伴う(付表6)。

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。

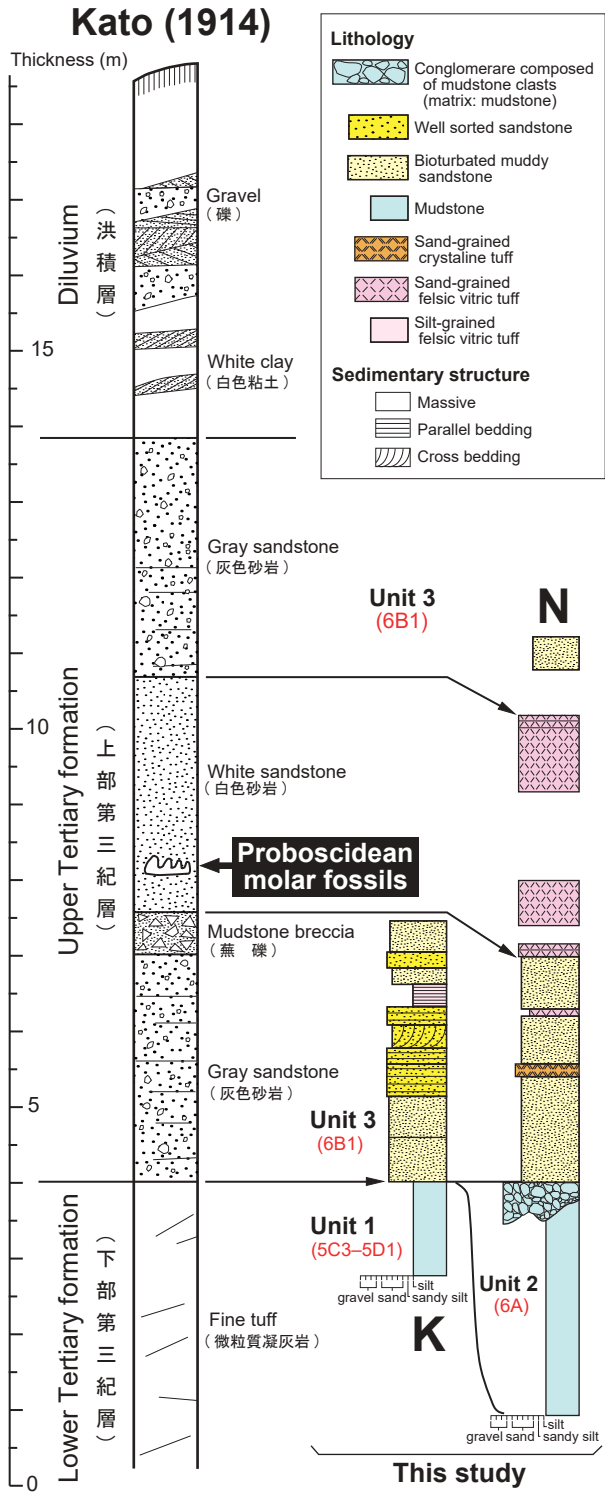
今回産出した凝灰岩層中の淡水湖沼生珪藻の供給源の湖は、群集が浮遊性の中心類珪藻によってほとんどが占められているので、こうした珪藻が優占する広い止水域のある比較的規模の大きな湖であった可能性が高い。また、凝灰岩の噴出源となった火山は、現在の脊梁山地の東縁の位置にあったと推定される当時の火山フロント（鹿野ほか, 1991）よりも背弧側、すなわち福島県西部から栃木県西部にかけての地域に想定される陸地に存在した可能性がある。

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。

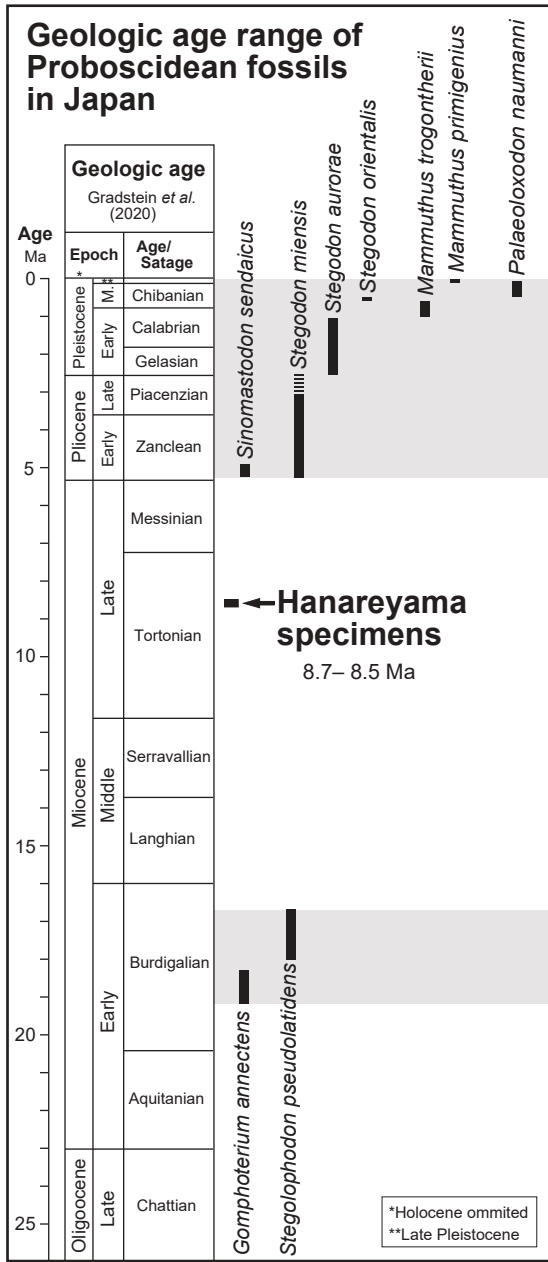
日本列島では約16 Maから5 Maまでの長期間にわたって、長鼻類化石の記録は全くない(例えば、高橋, 2013; 第9図)。すなわち、中新世前期(恐らく16.7 Ma以前)の堆積物から多く見つかる*Stegolophodon pseudolatidens* (Yabe)の後、中新世/鮮新世境界(5.33 Ma)前後で現れる*Stegodon miensis* Matsumotoや*Sinomastodon sendaicus* (Matsumoto)まで、1000万年以上の間、日本では長鼻類の化石が全く見つからない。これは、長鼻類化石に限定されるわけではなく、陸棲哺乳動物化石全般にも言えることで、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と、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)茨城縣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. *Palaios*, **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)。

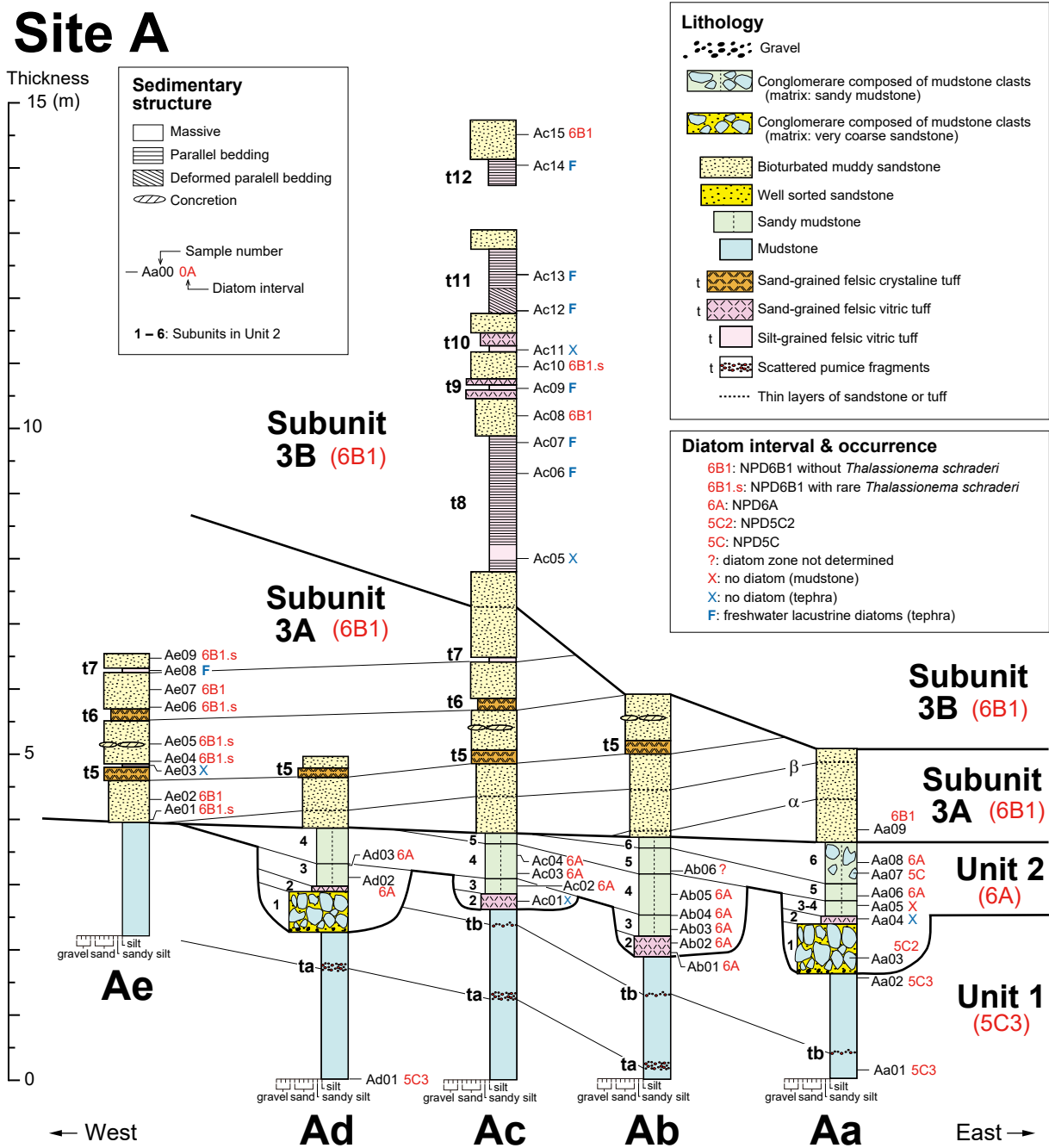
ユニット2はB～E地点の各地点で観察され、基質が礫質の凝灰質粗粒砂岩からなり中～大礫大の泥岩礫を含む礫岩、基質が砂質泥岩で中～大礫大の泥岩礫を含む礫岩、無層理塊状の砂質泥岩・泥岩などからなる。B地点では、そのほか砂質泥岩中に、やや変形した成層細粒



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。

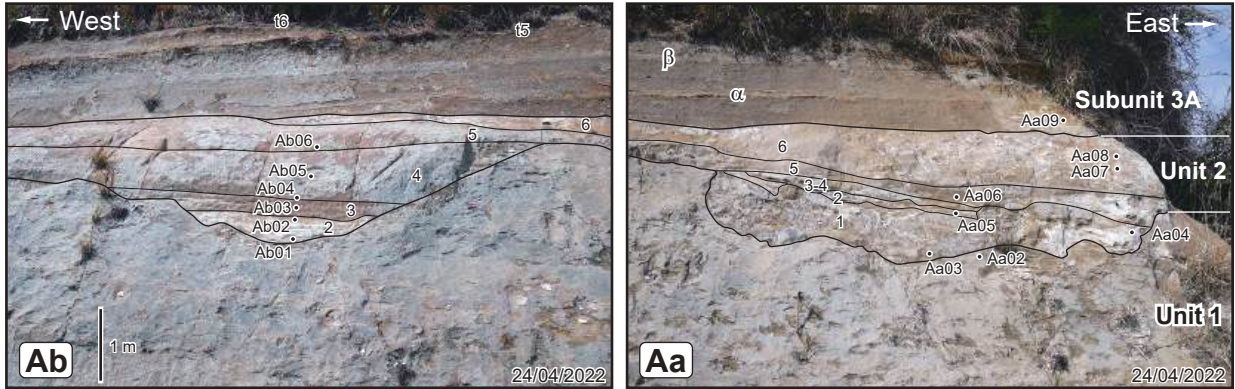
Fig. A1 Photograph of the outcrop at Site A. Aa-Ad: sites of geological columnar sections in Fig. 2A. ta, tb, t5-t12: tuff beds. α, β: thin layers of sandstone or tuff.

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

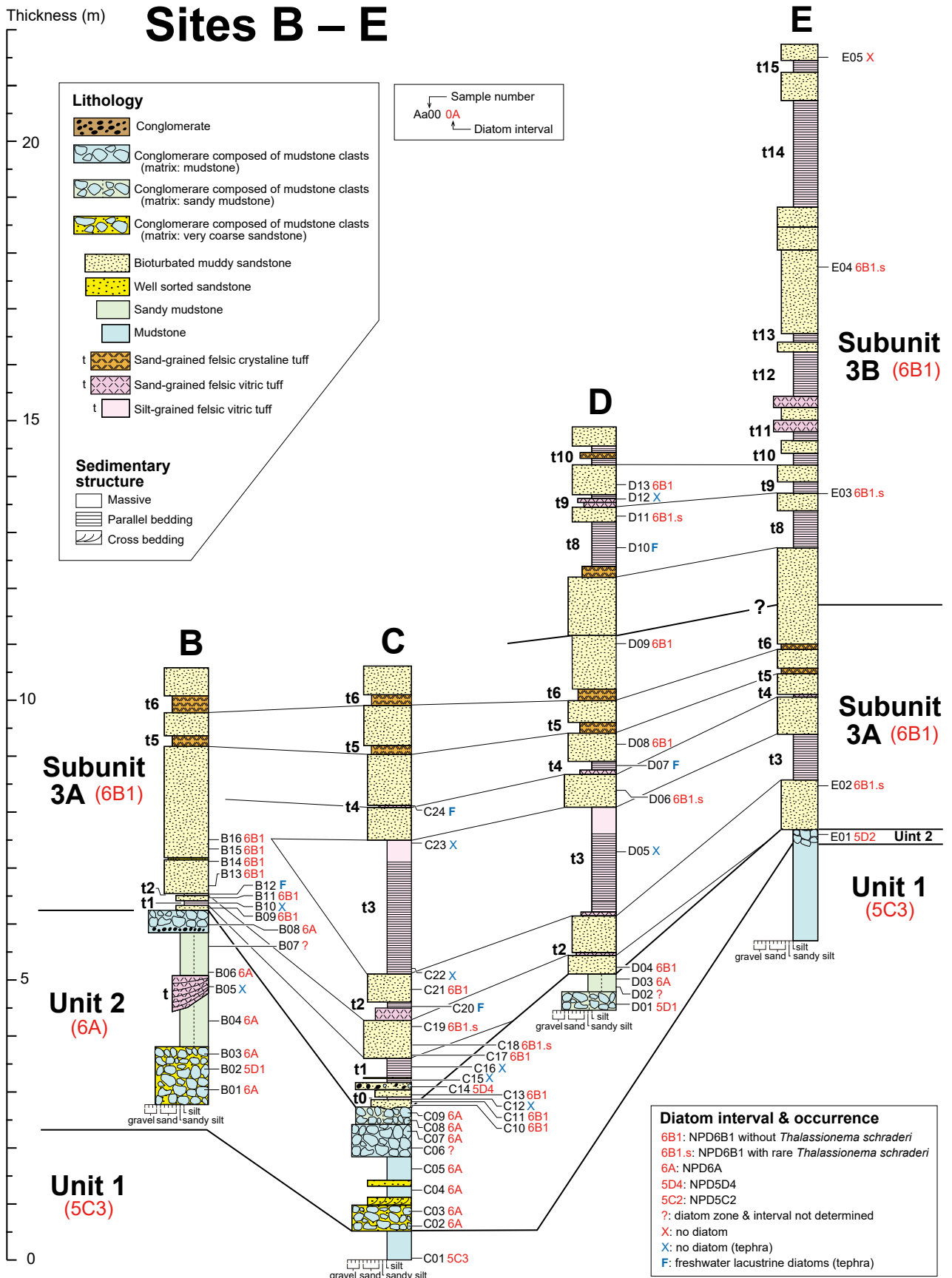
おり、現在は露頭が消滅していて観察できないが、この侵食面によって、一部では凝灰岩層t3までが失われていたと推定できる。なお、地点Eでは、この侵食面は明瞭には観察できなかった。

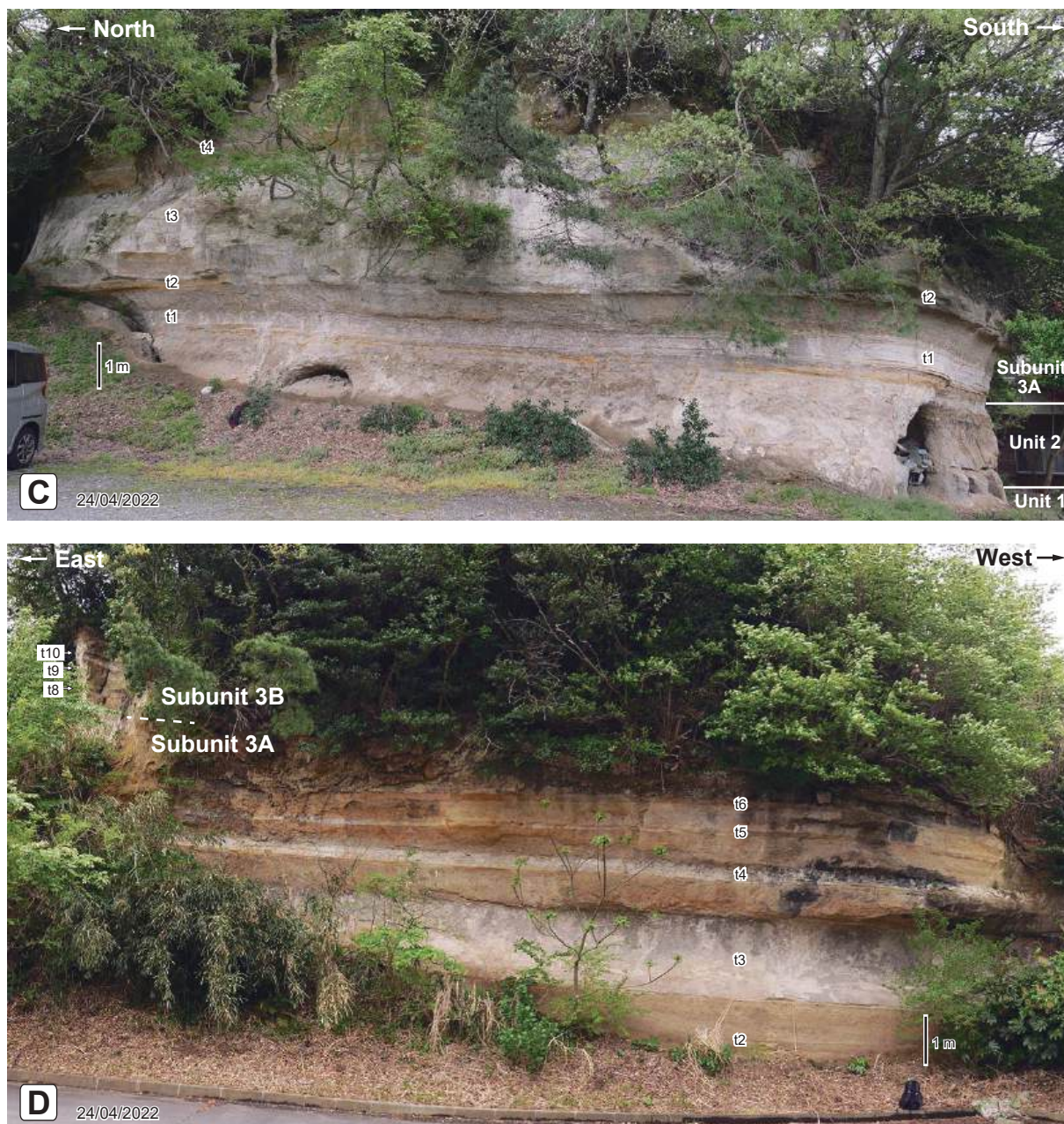
ユニット3の凝灰質泥質砂岩から採取した試料(B11, B13-B16, C10, C11, C13, C17-C19, C21, D04, D06, D08, D09, D11, D13, E02-E04)からはNPD6B1の珪藻が産出した(付表2, 3)。また、凝灰岩層t2(試料B12, C20), t4(試料C24, D07), t8(試料D10)から淡水湖沼生珪藻が産出した(付表2, 3)。しかし、凝灰岩層t0(試料12), t1(試料B10, C15, C16), t3(試料C22, C23, D05), t9(試料D12)からは珪藻化石は検出されなかった。なお、C地点の凝灰岩t0とt1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

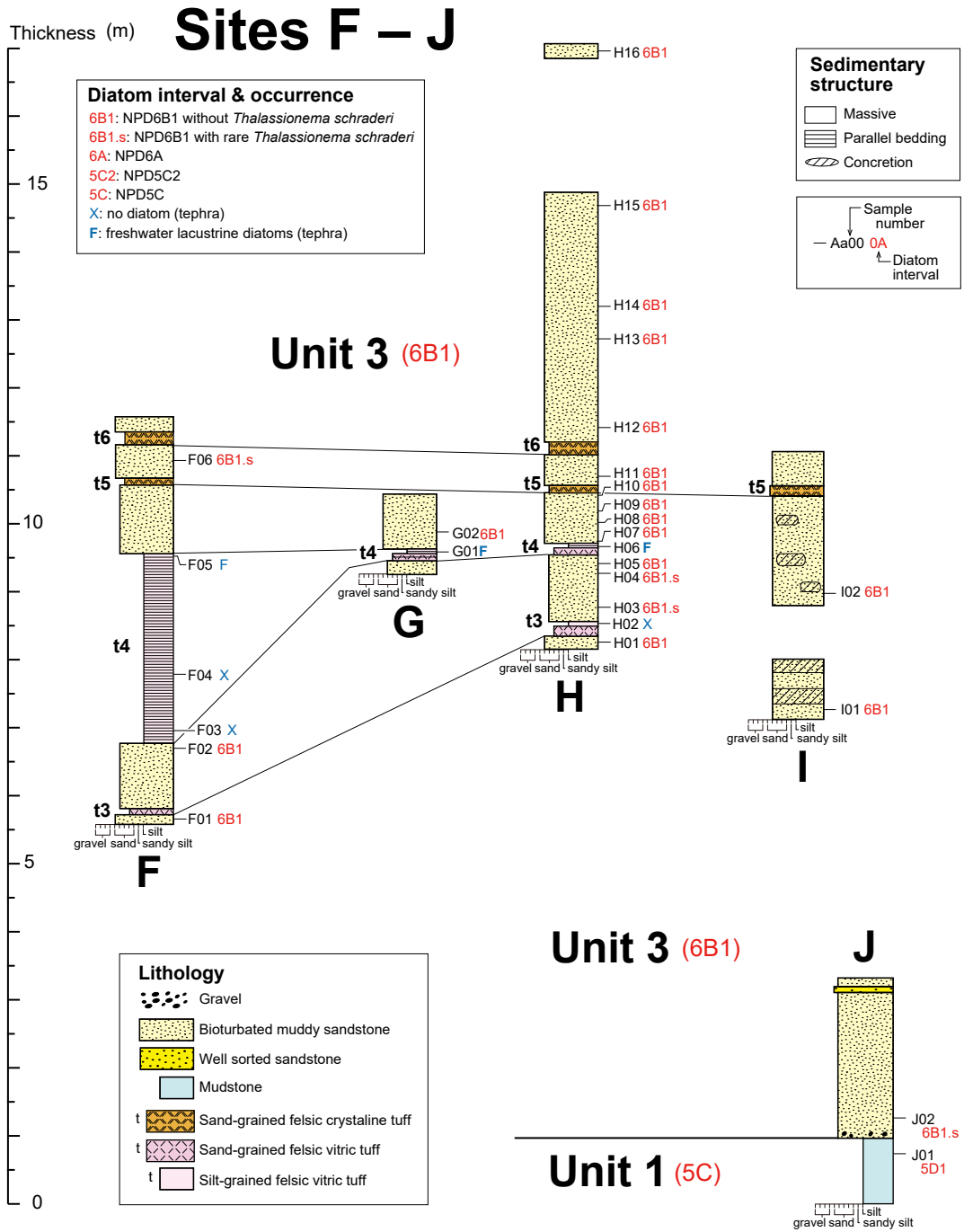
(← p. 142)

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.

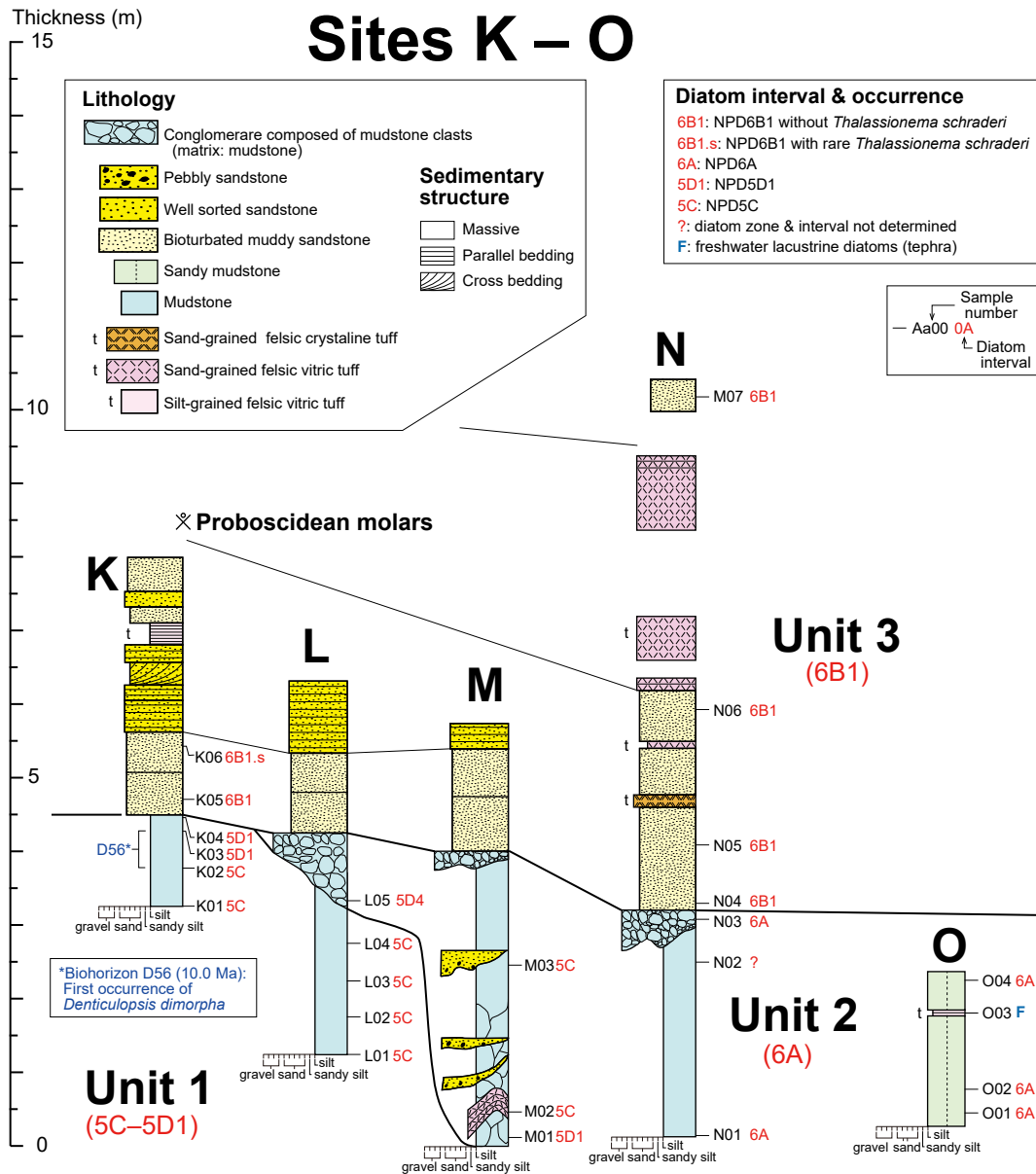
ユニット3の試料(I01, I02, J02)からはNPD6B1の珪藻化石が産出した(付表4)。

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.

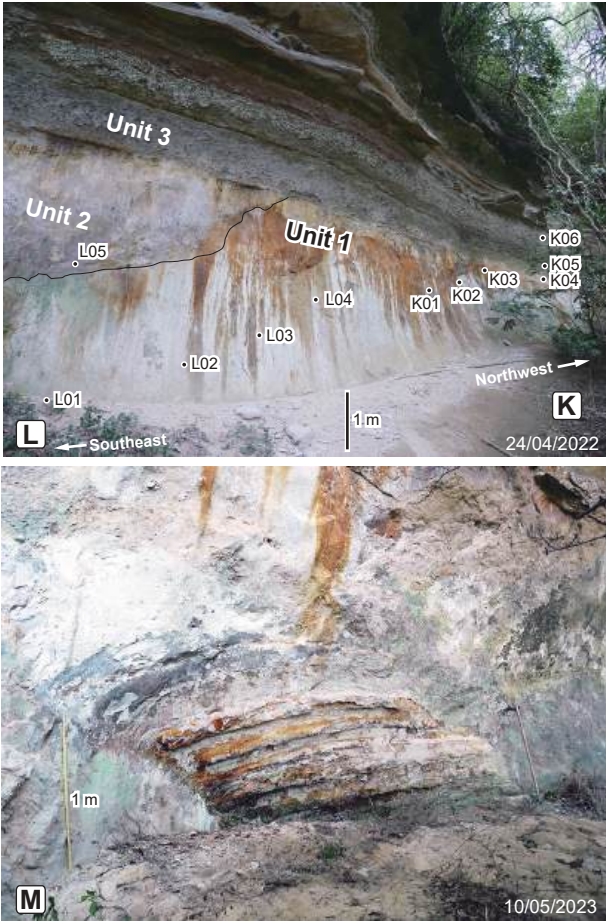
はユニット2が厚くなり、露頭の下限までユニット2で占められる。泥岩礫が巨大となり、泥岩礫の間を粗粒砂が充填している。また、変形した厚さ数十cmの珪長質凝灰岩の塊も含まれている(付図8下)。

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堅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。

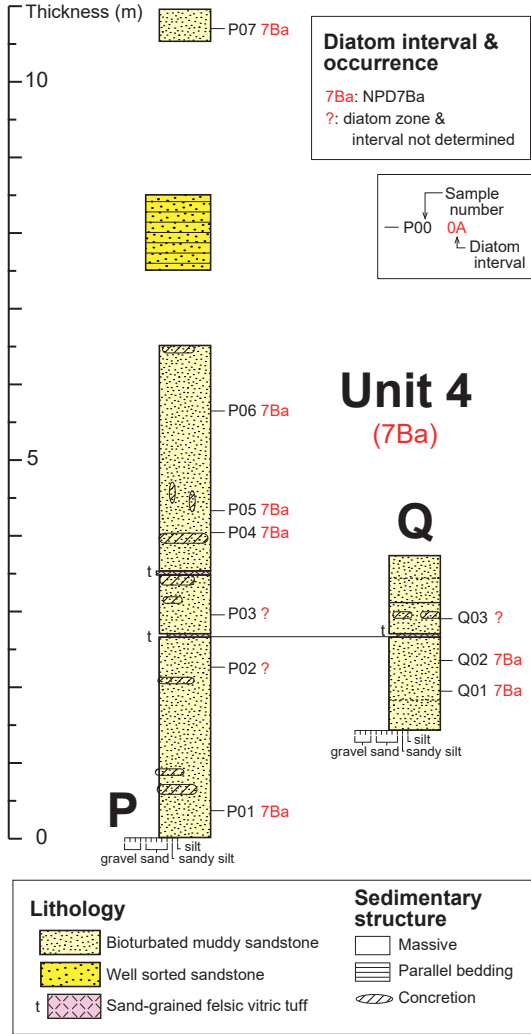
R地点では、下部には珪長質凝灰岩層を挟む塊状の珪藻質泥岩(4.6 m)、上部にはスランブした珪藻質泥岩(2.5 m)が見られた。下部はユニット1、上部はユニット2に属すると判断できる。下部のユニット1から採取した試料R01からはNPD5C3の珪藻化石が産出した(付表5)。

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>

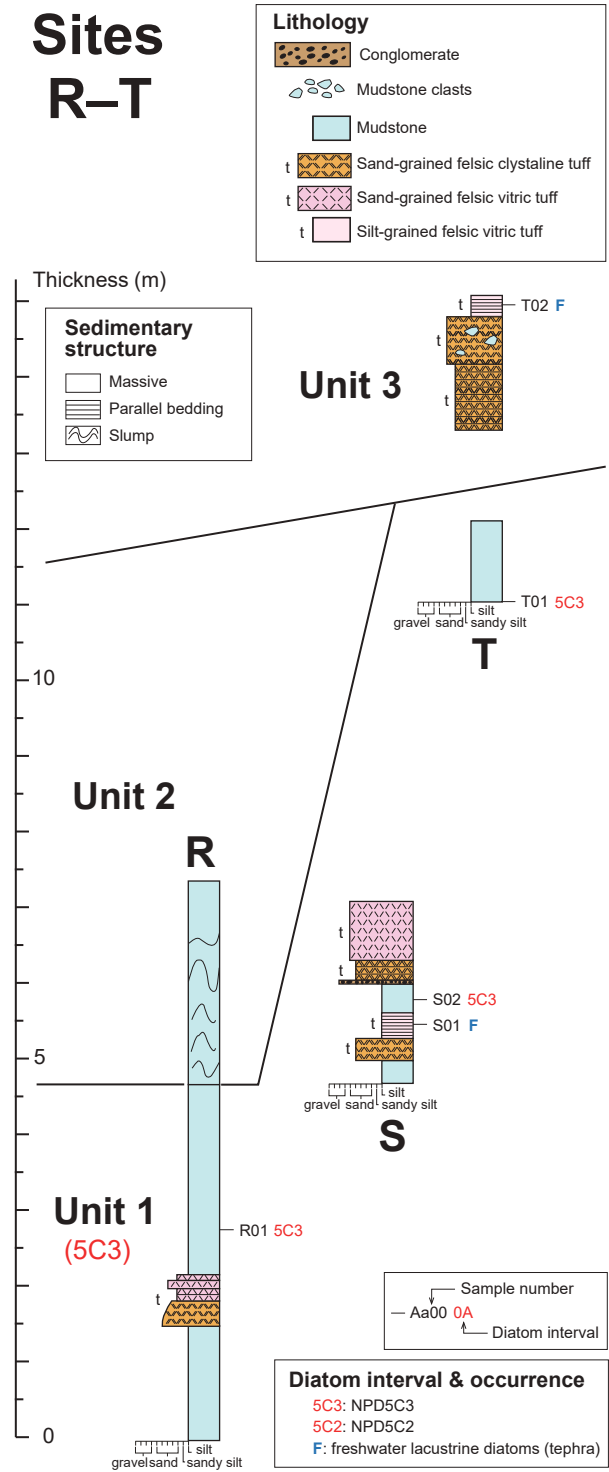
Sites P, Q



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.

付表1 A地点で採取した試料の珪藻産出表. 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.

Table 1A Occurrence chart of diatoms from the samples collected at Site A. Samples of tephra beds containing freshwater diatoms are indicated as "F" in the diatom interval section, and the entire sample is shaded in gray with the name of the tephra bed in parentheses.

Table with columns for Site (Unit 1, Site Aa Unit 2, 3A, Site Ab Unit 2, Unit 2, Site Ac Unit 3B, Site Ad, Site Ae Unit 3A) and rows for Diatom interval, Sample number, Original sample number (JOB-), Preservation, Abundance, and various diatom species names.

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

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.

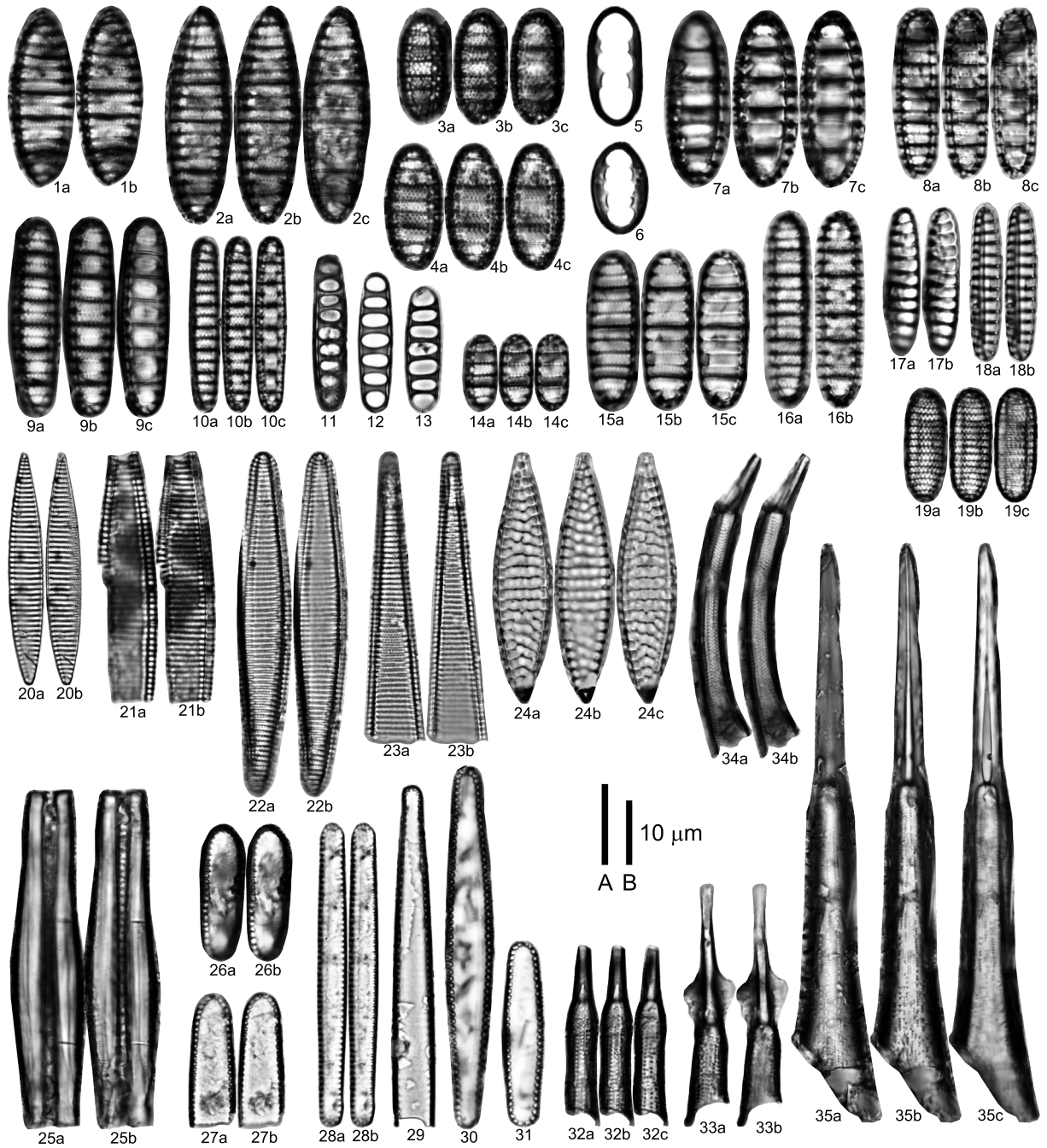
Site	Site P							Site Q		
	Unit 4							Unit 4		
Diatom interval	7Ba	7Ba	7Ba	7Ba	7Ba	7Ba	7Ba	7Ba	7Ba	7Ba
Sample number	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	Q01	Q02	Q03
Original sample number (JOB-)	3073	3067	3068	3069	3070	3071	3072	1359-1	1359-2	1359-3
Preservation	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Abundance	R	R	R	R	R	R	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. praealyalina</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.

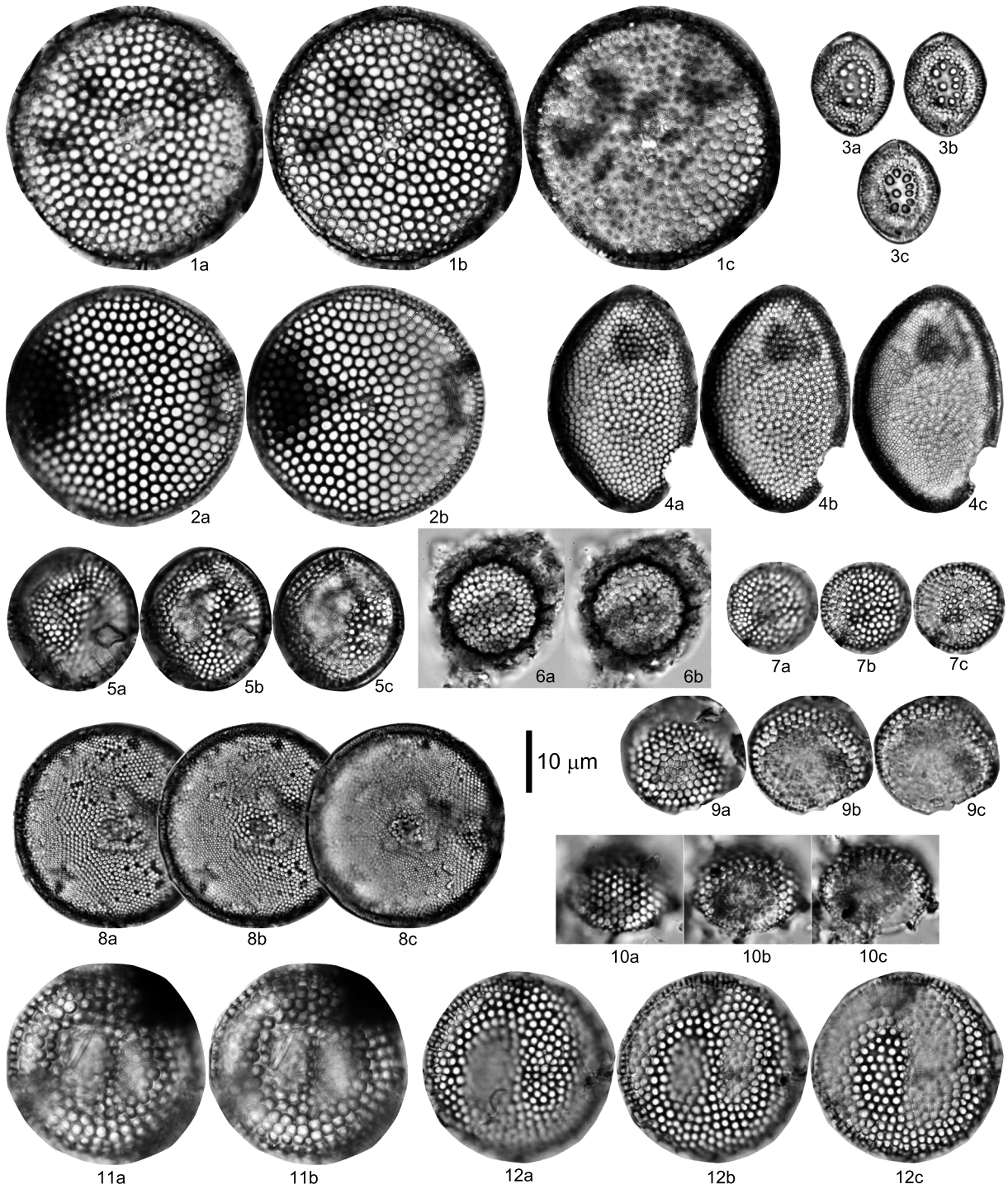
- 1a–2c.** *Denticulopsis hustedtii* (Simonsen & Kanaya) Simonsen [Sample Aa02 (JOB6955), Unit 1, NPD5C3].
- 3a–4c.** *Denticulopsis crassa* Yanagisawa & Akiba [3a–3c, Sample C01 (JOB7059), Unit 1, NPD5C3; 4a–4c, Sample Aa01 (JOB6954), Unit 1, NPD 5C3].
- 5, 6.** *Denticulopsis crassa* Yanagisawa & Akiba (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.** *Rhizosolenia* 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]

