

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

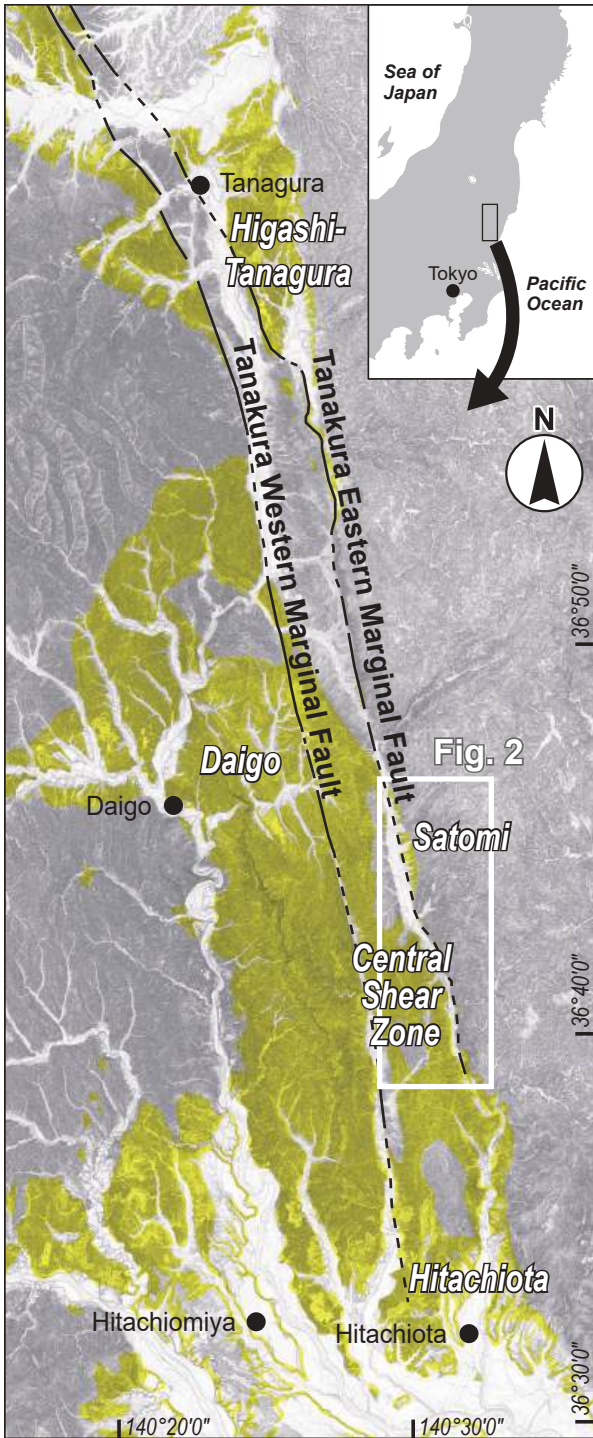
棚倉破砕帯(大森ほか, 1953)は、茨城県常陸太田市から福島県の棚倉町を経て同県の須賀川市に至る北北西–南南東方向の断層帯である(第1図)。この断層帯を含む地域には、中新世の17–15 Maに日本海拡大に伴う断層帯の左横ずれ運動によって形成された堆積盆(以下、棚倉堆積盆)を埋積した厚い堆積物が広く分布する(Omori, 1958; 大槻, 1975; 斎藤ほか, 1992; 天野, 2008)。この堆積物は、堆積盆の急激な沈降に伴う海進やその後の隆起運動などのテクトニックなイベントを記録しているほか(例えば、大槻, 1975; 桑原, 1981, 1982; 越谷, 1986; 天野, 1991; 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)

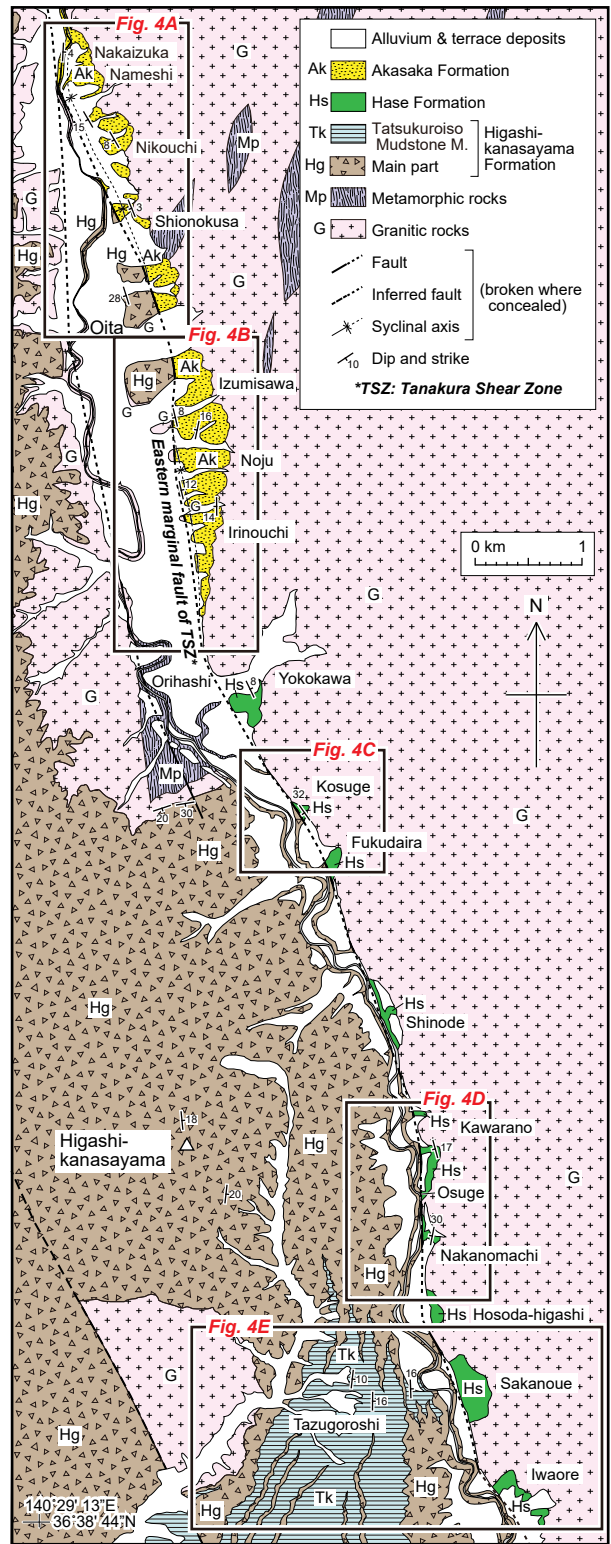
³ 茨城大学理学部地球環境科学領域 〒310-8512 茨城県水戸市文京 2-1-1 (Department of Earth Science, Faculty of Science, Ibaraki University, 2-1-1 Bunkyo, Mito, Ibaraki 310-8512, Japan)

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



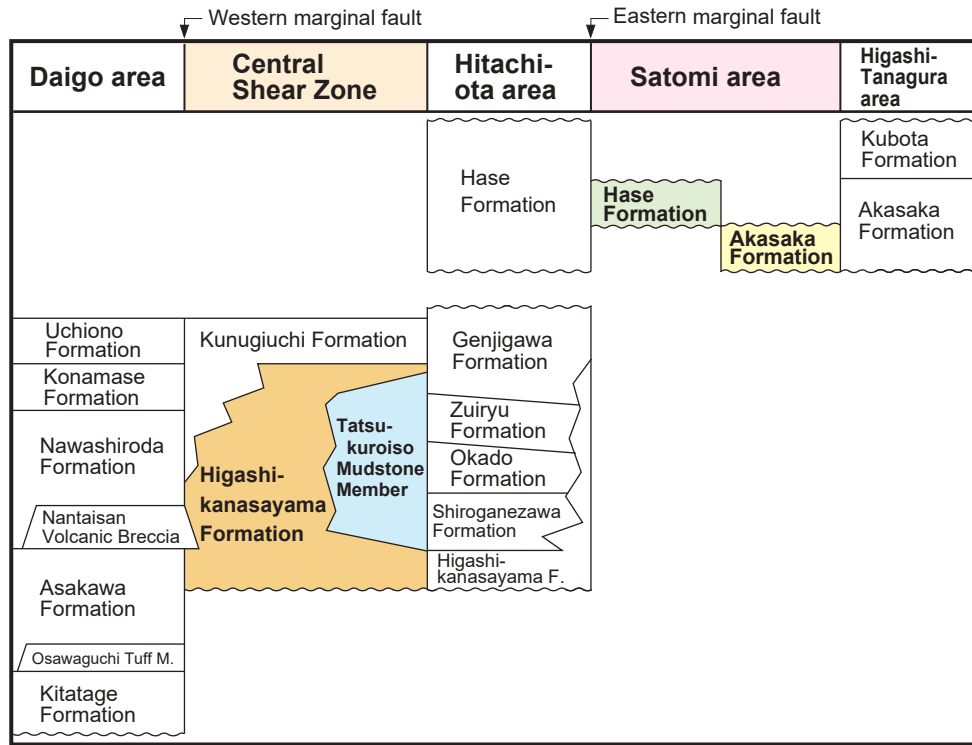
第1図 棚倉堆積盆の新第三系の分布図(産総研地質調査総合センター, 2022)。黄色は新第三系, 黒丸は主な市町村を示す。基図は国土地理院の傾斜量図を使用。

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。

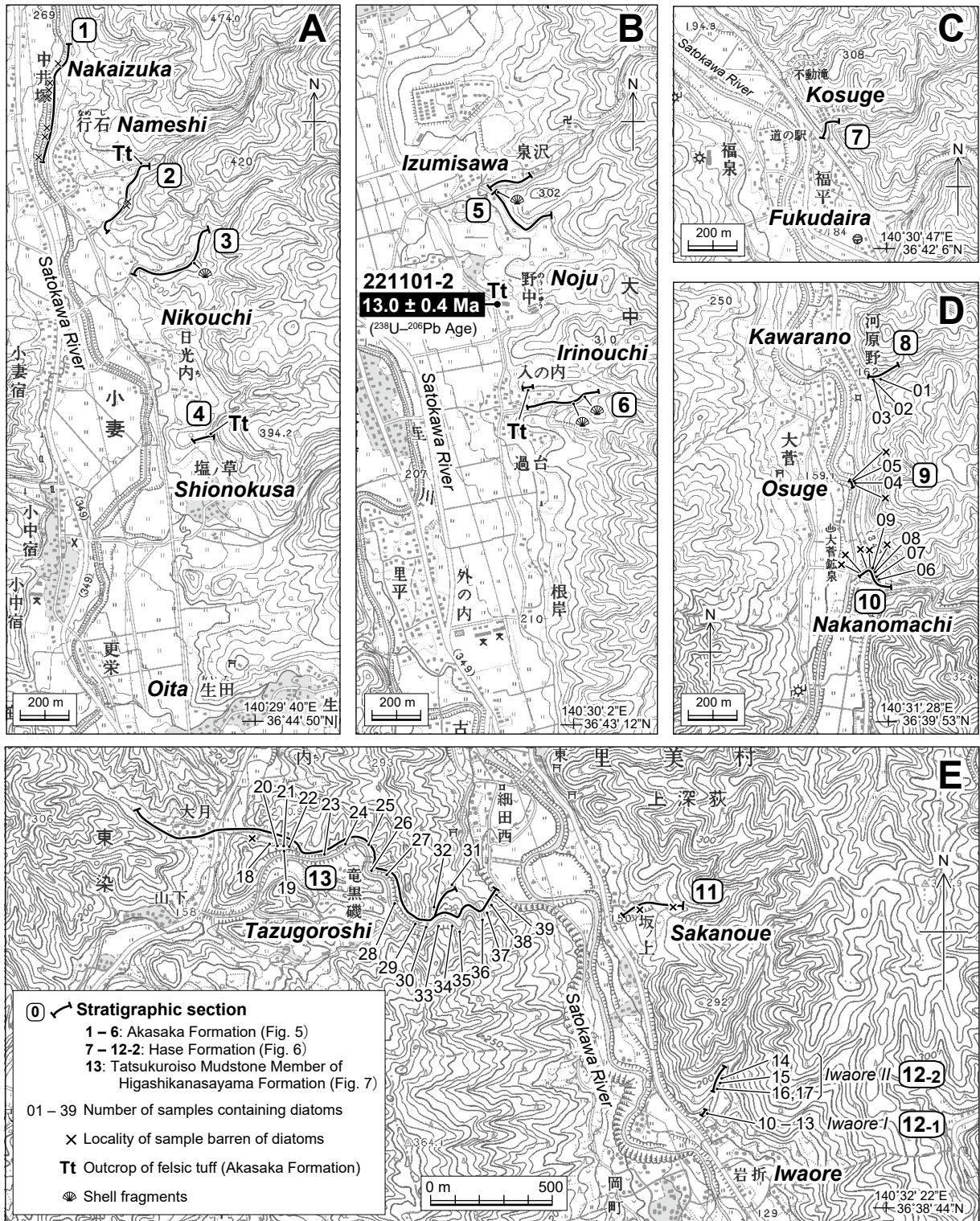
4. 結果

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。

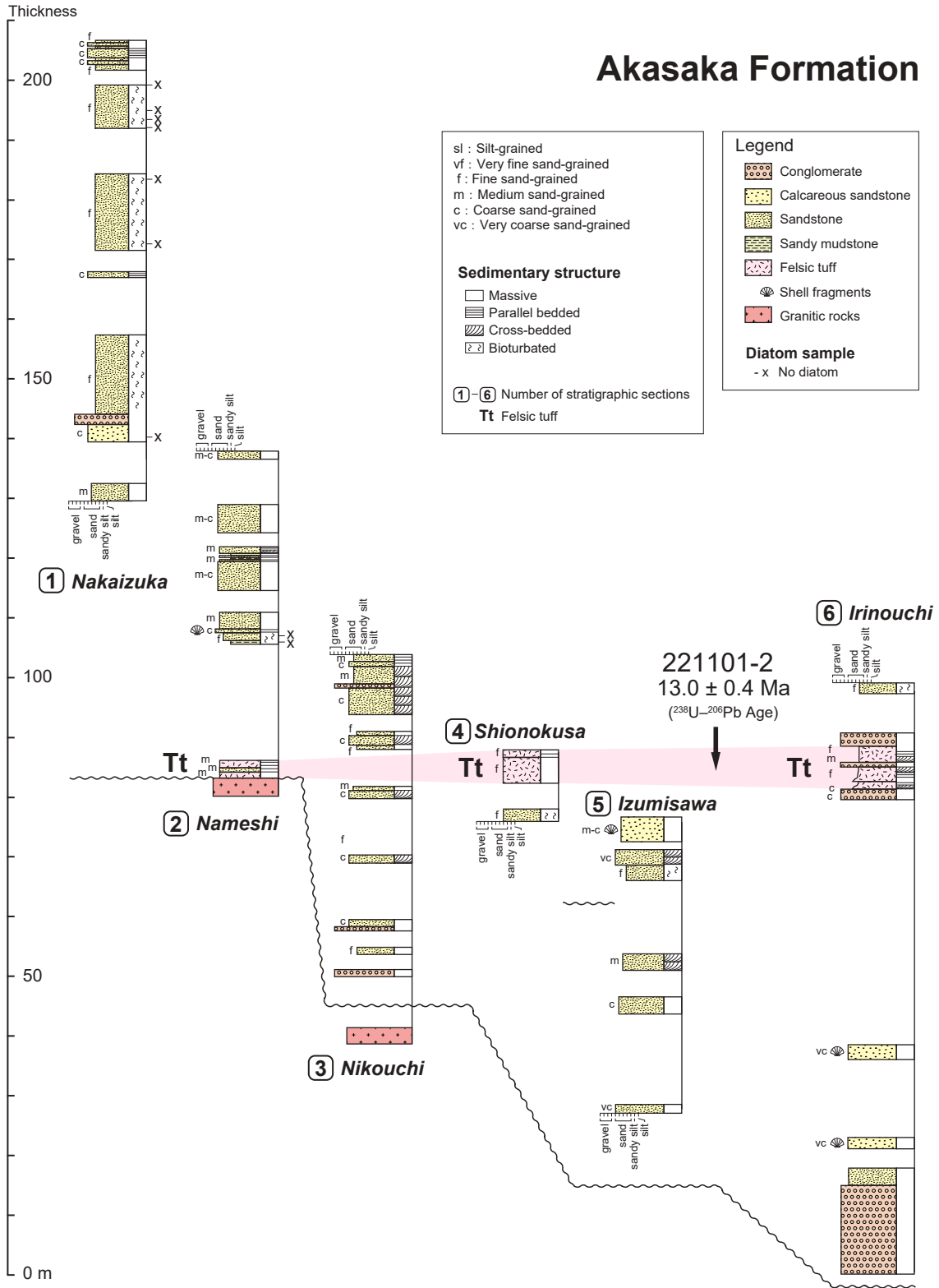
赤坂層から採取した9個の試料からは珪藻化石は全く検出されなかった。

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



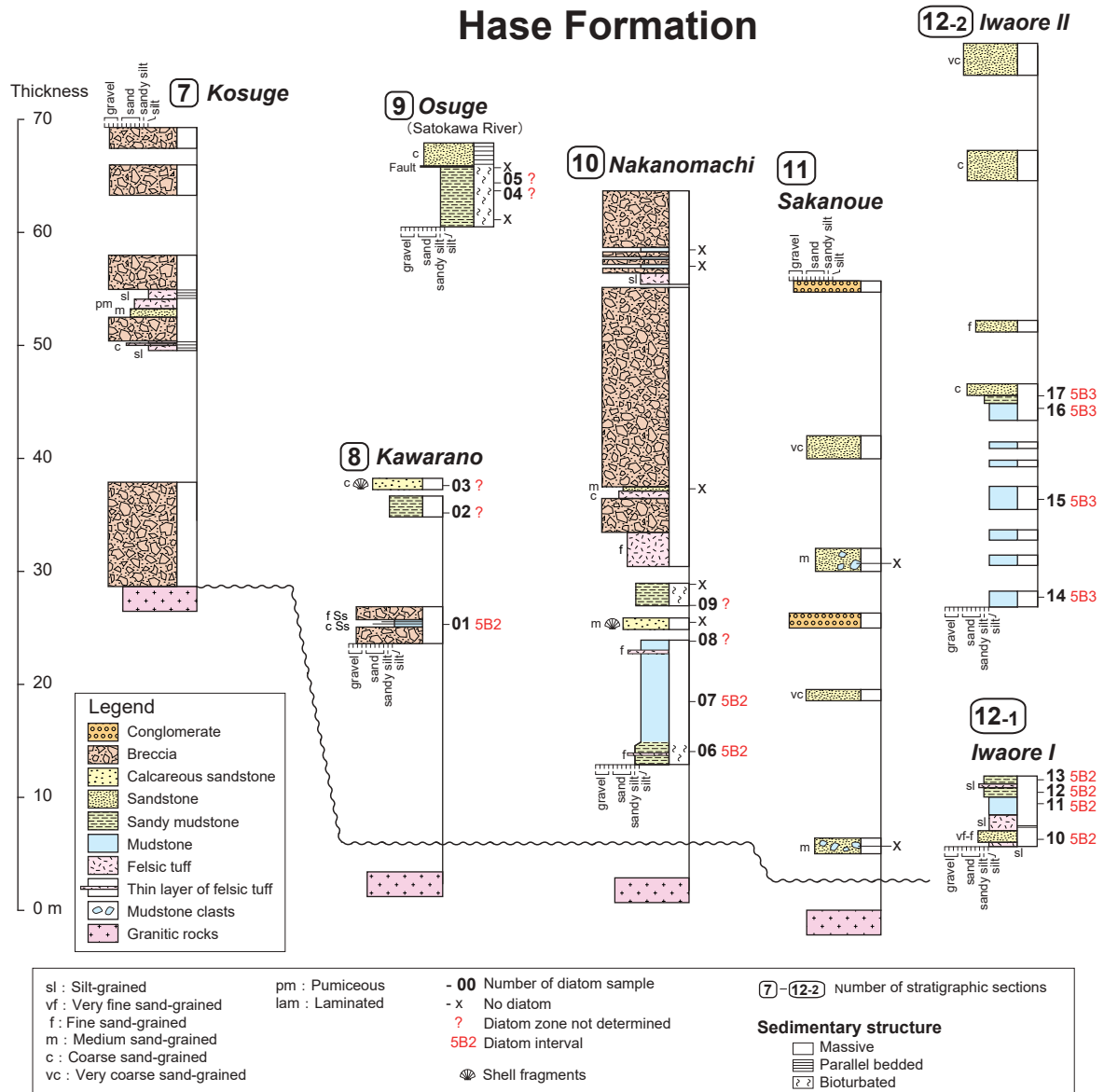
第4図 里美地域及びその周辺地域での層序セクションと試料採取位置図。国土地理院発行2万5千分の1地形図「袋田」, 「里美牧場」, 「大中宿」, 「堅破山」及び「町屋」を使用。A～Eの位置は第2図に示す。

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。

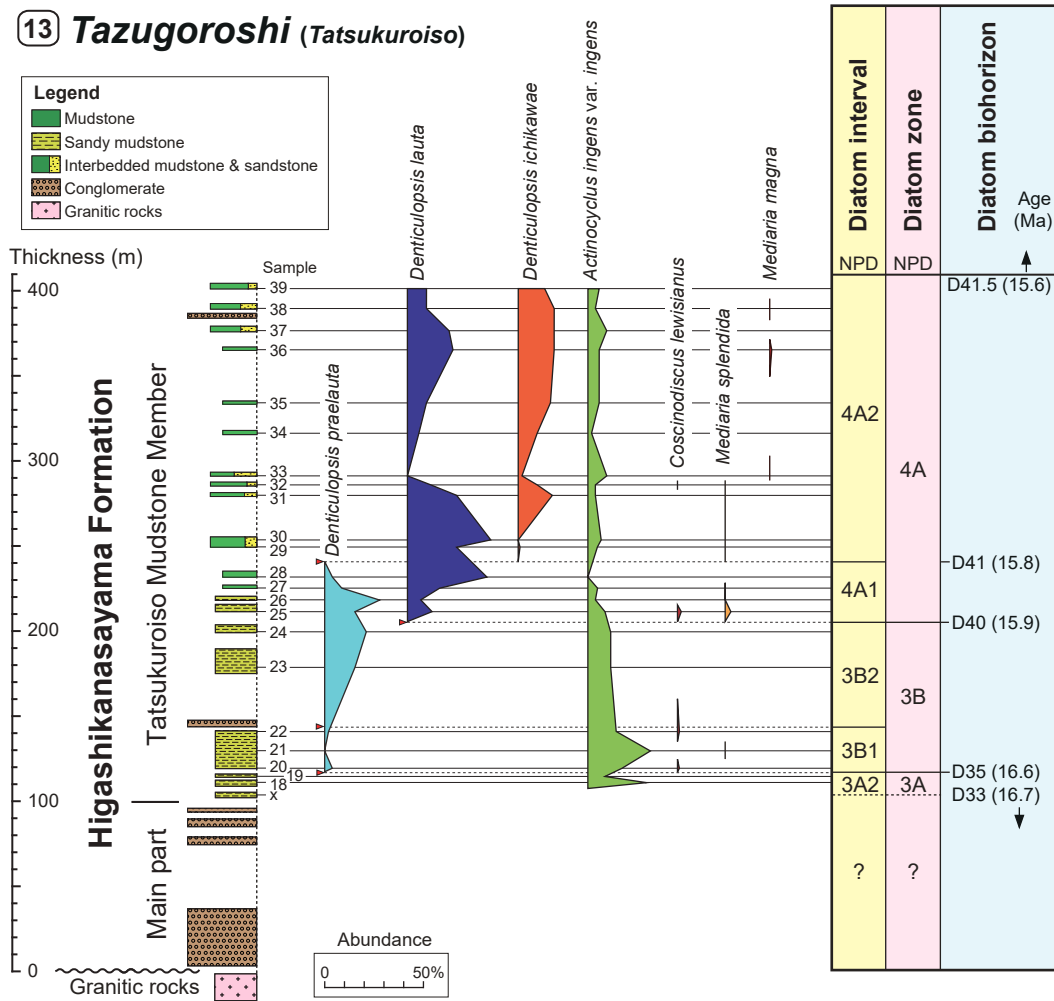
Fig. 6 Geological columnar sections of the Hase Formation. Locations of stratigraphic sections and diatom samples are shown in Figs. 4C, 4D and 4E.

& 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	?	?	?	?	5B2	?	?	?	5B							
Diatom zone (NPD)	5B2	?	?	?	?	5B2	?	?	?	5B2			5B3				
Diatom interval	5B2	?	?	?	?	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.

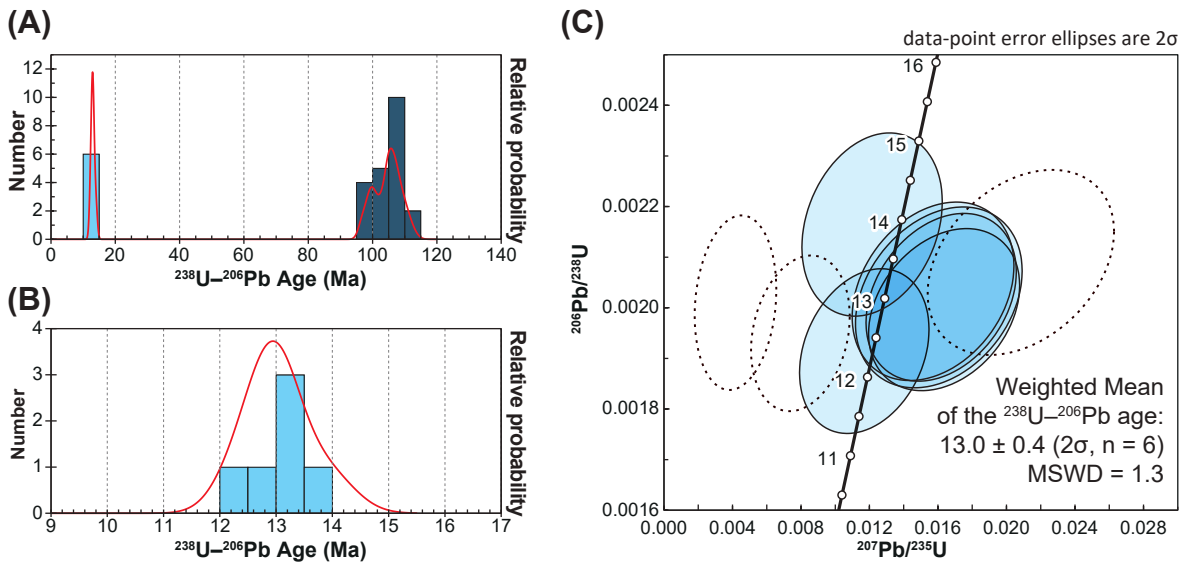
Sample name, Grain no.	Th U	Isotopic ratios				Age (Ma)				Remarks
		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	2σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	2σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	2σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	2σ	
221101-2										
No.1	0.65	0.0491 ± 0.0046	0.0166 ± 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
ジョン・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。

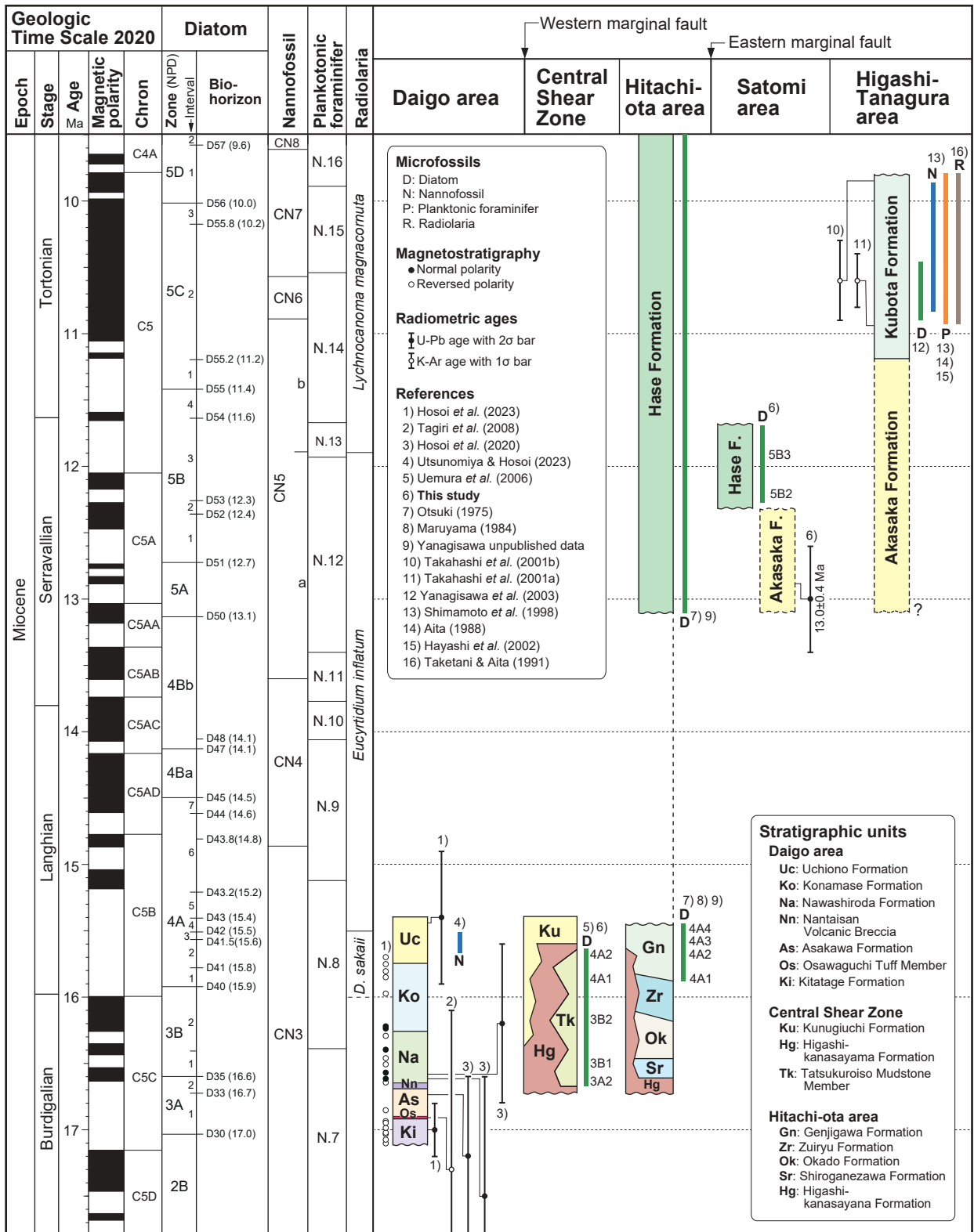
里美地域の南方にあたる常陸太田地域は中央破碎帯の延長部に位置しており, 中新統としては東金砂山層(礫岩)の上位に白金沢層(粗粒凝灰岩・砂岩泥岩互層), 大門層(泥岩砂岩互層), 瑞龍層(珪質泥岩), 源氏川層(珪藻質泥岩層)が累重している(鈴木・大森, 1953; 大槻, 1975)。ただし, 東金砂山層より上位の地層は東金砂山層の礫岩と一部指交関係にある。このうち, 源氏川層については, 「古い源氏川層」と「若い源氏川層」があり, 両者は不整合の関係にあると推定されていたが(大槻, 1975), その後「若い源氏川層」は長谷層と命名された(斎藤ほか, 1992)。源氏川層からは, NPD4A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

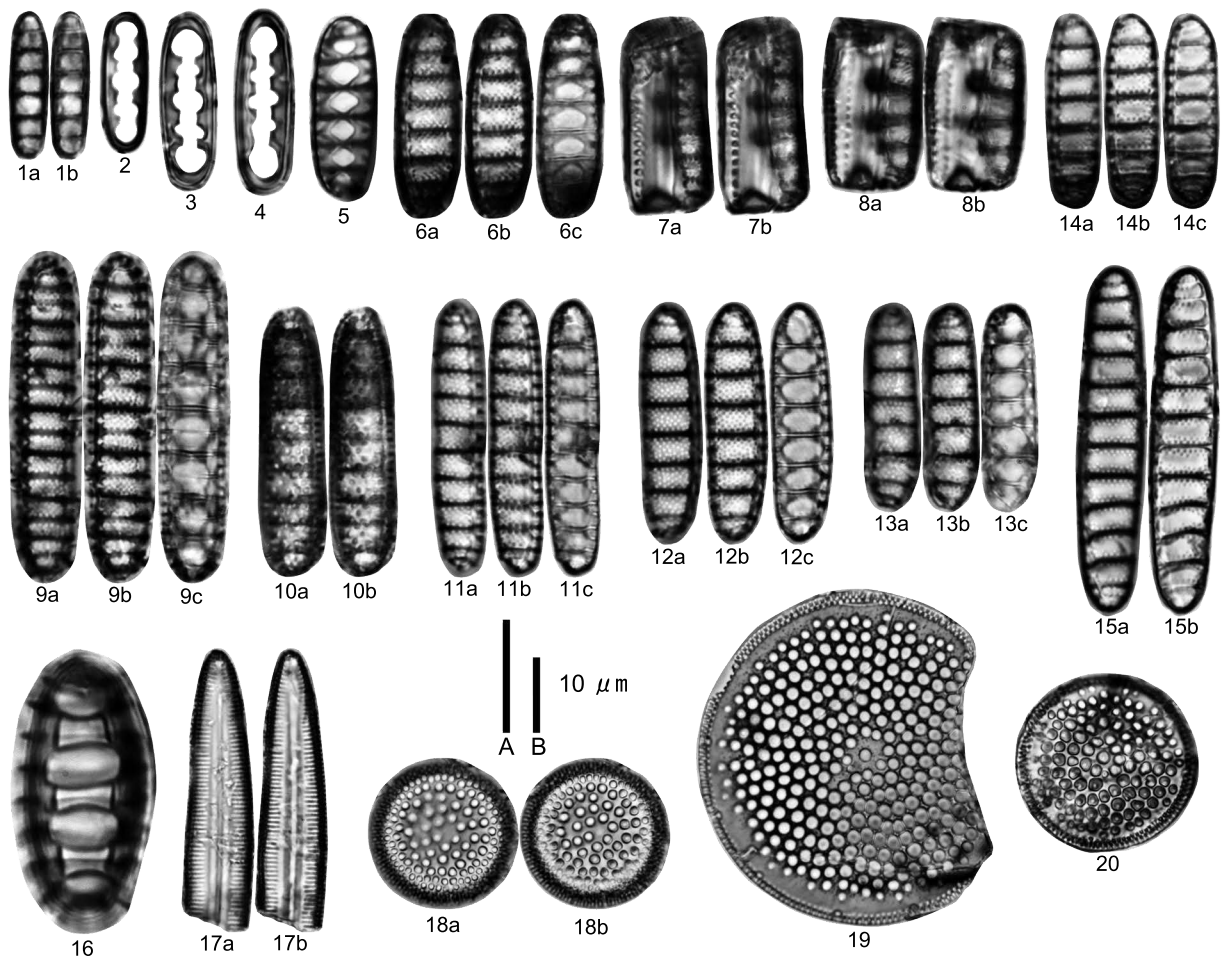
相田 優(1988) 福島県棚倉地域の久保田層より産する新第三紀浮遊性有孔虫化石. 福島県立博物館紀要,

- 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)