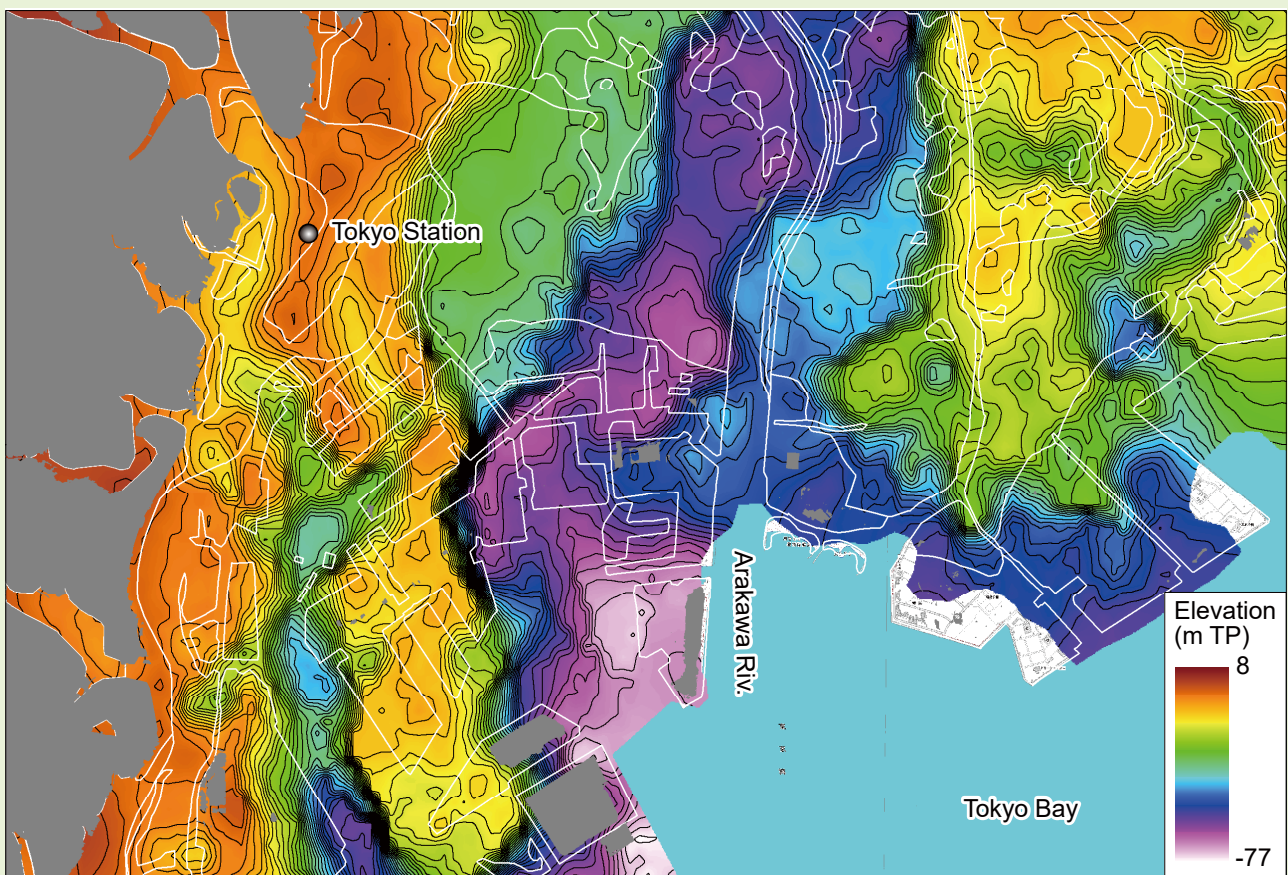


地質調査研究報告

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 71 No. 3 2020



論文

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及び陸棚斜面堆積物・海底谷埋積物・海底地すべり痕埋積物の複合体

柳沢幸夫・安藤寿男85

東京低地南部における沖積層の基盤地形

田辺 晋・石原与四郎201

概報

青森県七戸町坪川セクションにおける上部中新統～鮮新統の年代層序

工藤 崇・柳沢幸夫215

表紙の図

東京低地南部における沖積層の基盤地形

東京低地の地下には、現在の荒川に沿って、最終氷期最盛期にかけて形成された古東京川開析谷が南北方向に縦断する。古東京川開析谷の両岸には3段の埋没段丘が分布する。左岸と右岸の埋没段丘は、それぞれ行徳開析谷と古神田川開析谷によって開析される。古神田川開析谷は、その上流において東京駅の東に位置する昭和通り開析谷と西に位置する丸の内開析谷に分岐する。詳細は本号の田辺・石原(2020)を参照。

(図・文：田辺 晋)

Cover Figure

Incised-valley topography beneath the southern Tokyo Lowland formed during the Last Glacial Maximum

The Paleo-Tokyo River Valley runs from north to south along the present Arakawa River in the Tokyo Lowland. Three buried terraces are distributed on the both banks. The buried terraces on the left and right banks are dissected by the Gyotoku Valley and the Paleo-Kanda River Valley, respectively. The latter branches into the Showa Street Valley and the Marunouchi Valley, which lie in the east and west of the Tokyo Station, respectively. See Tanabe and Ishihara (2020) in this issue for details.

(Figure and Caption by TANABE Susumu)

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及び陸棚斜面堆積物・海底谷埋積物・海底地すべり痕埋積物の複合体

柳沢 幸夫^{1,*}・安藤 寿男²

YANAGISAWA Yukio and ANDO Hisao (2020) Neogene Taga and Hitachi groups in the Kitaibaraki-Takahagi area, Ibaraki Prefecture, Japan: sedimentary complexes of shelf to slope deposits, submarine channel fills and submarine slide scar fills, reconstructed from lithostratigraphy and diatom biostratigraphy. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 71 (3), p. 85-199, 53 figs, 4 tables, 11 appendix figs., 20 appendix tables, 4 plates.

Abstract: Stratigraphy of the Neogene Taga and Hitachi groups in the Kitaibaraki-Takahagi area (southern Joban area, Ibaraki Prefecture, Japan) has been established based on field survey and diatom biostratigraphic analysis. The both groups are the part of sedimentary sequences deposited in the Early Cretaceous to Recent Off-Joban forearc sedimentary basin.

The Miocene Taga group in this area, ranging in age from 16.6 Ma to 7.5 Ma, is a sedimentary complex made of three different kinds of deposits: shelf to slope deposits, submarine channel fills and submarine slide scar fills. The shelf to slope deposits include the Takaku, Kidoba, Kohama, Juogawa and Kushigata formations. In this study, the Takaku Formation, a unit previously treated as a distinct group (Takaku Group), is placed at the lowest part of the Taga Group on the basis of diatom biostratigraphy and field evidence on the stratigraphic relations with below and above. The formation unconformably overlies the Lower Miocene Yunagaya Group, and consists of basal lag conglomerate, poorly stratified bioturbated sandstone in the lower part, and massive sandy mudstone in the upper part. The Kidoba, Kohama, Juogawa and Kushigata formations are composed of diatomaceous massive mudstone or sandy mudstone deposited in the slope environment. The submarine channel fills of the Taga group consist of mudstone and sandstone that buried 18 small submarine channels (0.3 to 1.2 km in width) incised into the submarine slope environment. They form a nested sedimentary complex, preserving discrete 14 units (Units T1-T14) separated by erosional surfaces with hiatuses from each other, although Unit T13 is not distributed in this area. The stacking patterns of submarine channel fills reflects alternate periods of erosion and deposition and the long-lived nature of the channels ranging several million years. Although some units of the channel fills are composed of sandstone deposited from turbidity current, much of the units are characterized by hemipelagic massive diatomaceous mudstone with thin sandstone layers. Each of the submarine channel fills shows a synclinal structure that probably formed by post-burial compaction of mudstone. As submarine slides scar fills of the Taga Group, two units (the Takado and Kokaigahama Units) are recognized in the uppermost part of the group. The both units consist of sandy mudstone and mudstone overlying shelf to slope deposits of the Kohama and Kushigata formations, respectively with sharp and flat erosional surfaces.

The Hitachi Group distributed in the southern part of the studied area and the further southwards ranges in age from latest Miocene (ca. 7 Ma) to Pliocene (ca. 3 Ma). The group consists of 11 units (Units H1-H11) of submarine channel fills produced by repeated burial and re-incision within channels. Among 11 units, Units H6-H11 are distributed in this area, most of which are composed mainly of sandy mudstone, and to the lesser amount, interbedded mudstone and sandstone, and amalgamated thick sandstone. Five small submarine channels of 0.3-0.9 km wide are recognized in the Hitachi Group of this area, and their spatial and temporal migration is broadly reconstructed.

Keywords: Taga Group, Hitachi Group, Neogene, submarine channel, submarine slide, diatom biostratigraphy, Kitaibaraki, Takahagi, Joban basin, Japan

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

² 茨城大学理学部地球環境科学コース (Department of Earth Science, Faculty of Science, Ibaraki University, 2-1-1 Bunkyo, Mito, Ibaraki 310-8512, Japan)

* Corresponding author: YANAGISAWA, Y., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: y.yanagisawa@aist.go.jp

要 旨

野外地質調査と珪藻化石分析に基づいて、常磐地域南部の茨城県北茨城・高萩地域に分布する新第三系の多賀層群と日立層群の層序を確立した。両層群は常磐沖に発達する前期白亜紀から現世に至る前弧堆積盆を埋積した堆積物の一部である。

約16.6 Maから7.5 Maに堆積した中新統の多賀層群は、3つの異なる種類の堆積物、すなわち、陸棚及び陸棚斜面堆積物、海底谷埋積物及び海底地すべり痕埋積物の複合体である。陸棚及び陸棚斜面堆積物は高久層、城戸場層、小浜層、十王川層及び櫛形層からなる。このうち高久層はこれまでは1つの独立した層群(高久層群)として扱われてきたが、本研究では珪藻化石年代と野外の証拠に基づき、多賀層群の最下部に位置づけた。本層は下位の下部中新統湯長谷層群を不整合に覆い、基底は礫岩、下部は生物擾乱の発達した無層理砂岩、上部は塊状の砂質泥岩からなる。城戸場層、小浜層、十王川層及び櫛形層は、陸棚斜面で堆積した珪藻質泥岩または砂質泥岩からなる。多賀層群の海底谷埋積物は泥岩と砂岩からなり、谷幅0.3–1.2 kmの18本の小規模な海底谷を埋積している。海底谷埋積物は、時間間隙を伴う侵食面によって区切られた14の堆積ユニット(T1–T14)が累積した複合体を形成している。ただし、このうちユニットT13は本地域内には分布しない。これらの堆積ユニットは、侵食と堆積が繰り返され、海底谷が数百万年もの長期間にわたって存続したことを示す。一部の海底谷埋積物は混濁流から堆積した砂岩で充填されているが、多くは、薄い砂岩層を伴う半遠洋性の塊状珪藻質泥岩からなる。それぞれの海底谷埋積物は堆積後の泥岩の圧密によって生じたと思われる向斜状の構造を形成している。本地域内の海底地すべり痕埋積物としては、高戸ユニットと小貝ヶ浜ユニットの2つのユニットが認められる。両ユニットともに砂質泥岩及び泥岩からなる。

調査地域南部以南に分布する日立層群は、最後期中新世(約7 Ma)から鮮新世(約3 Ma)に堆積した11の堆積ユニット(H1–H11)から構成される。これらのユニットは海底谷内での埋積と再侵食の繰り返しにより形成された。11のユニットのうち、本地域内に分布するのはH6からH11までのユニットで、これらは主に砂質泥岩からなり、一部は砂質泥岩と砂岩の互層及び癒合した厚砂岩からなる。本地域の日立層群では、谷幅0.3–0.9 kmの5本の海底谷が認められ、その流路の地理的及び層序的な変遷が復元された。

1. はじめに

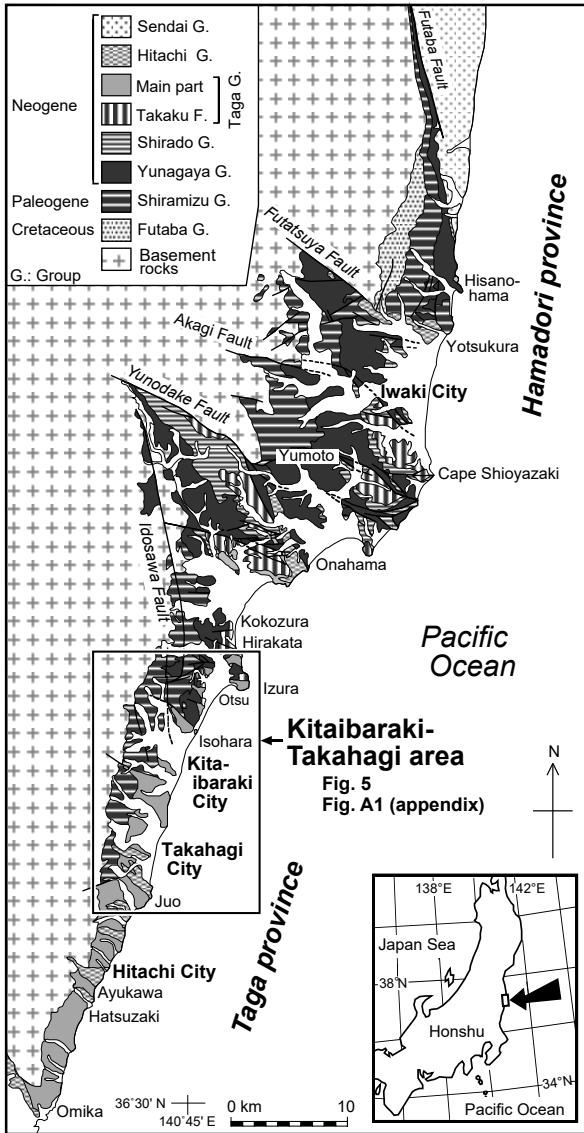
茨城県北東部から福島県南東部にかけての海岸沿い(常磐地域)に分布する白亜系・古第三系及び新第三系の堆積岩類は、白亜紀前期から現在に至る前弧堆積盆

(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)。これらは下位より、上部白亜系の双葉層群、古第三系の白水層群及び新第三系の湯長谷・白土・高久・多賀・日立及び仙台層群に区分されてきた(第1図;高橋・柳沢, 2008;安藤ほか, 2011)。

このうち、高久・多賀・日立及び仙台層群に含まれる堆積物は、特徴のない泥岩や砂岩からなり細分が難しかったために、かつては全体を一括して、「多賀統」(横山, 1920;渡邊, 1929, 1932), 「多賀層」(徳永, 1927;渡邊, 1932; Yabe, 1949a), または「多賀層群」(江口・鎌田, 1949;鈴木・大森, 1949;松井, 1953;須貝ほか, 1957)と呼ばれていた(第2図A)。これらの地層名は同一の対象を示すので、ここでは「多賀層群」の名称を用いるが、この論文で用いる多賀層群とは相当異なるので、以下の記述では鉤括弧を付けて用いる。

「多賀層群」の分布域は、福島県の海岸沿い(浜通り地方)の北端から、茨城県北部の海岸沿いの多賀地方(旧多賀郡地域、現在の北茨城市・高萩市及び日立市の大部分)の南端まで、南北約180 kmにわたる(第1図)。分布が広い範囲にわたるため、「多賀層群」はそれぞれの地域で別々に異なる地層区分がなされてきた(例えば、徳永, 1927;渡邊, 1929, 1932, 1939;渡邊・佐藤, 1935, 1937;木下, 1935;紺野, 1938; Yabe, 1948, 1949a, b, 1950;嘉藤, 1948;江口・庄司, 1953;江口・鈴木, 1953;平山, 1953, 1960, 1961)。しかし、「多賀層群」は岩相が一様で、対比や年代決定の決め手となる鍵層や化石の産出が限られていたため、分布域内での地層の対比や年代に関しては見解が百出し、「多賀層群」の層序区分や年代論は長い間混沌としたままであった(松井, 1953;藤原ほか, 1962;成田層研究会, 2004)。

こうした長年にわたる「多賀層群」の研究の中で、画期となった重要な研究が2つある。その1つは、須貝・松井(1953)による高久層群の導入である。彼らは従来「多賀層群」として扱われてきた地層のうち、常磐地域の中央部にあたる福島県いわき市湯本地区に分布する「多賀層群」は、下位の白土層群と平行不整合の関係にあるものの、白土層群が受けたものと同じ構造運動を受けて変形していることから、これに新たに高久層群の名称を与えた(第2図)。そして、高久層群は、この構造運動には関与していない福島県の浜通り地方や茨城県の多賀地方の「多賀層群」よりも層序的に下位にある独立した地層群だと主張した。この提案に対しては、さまざまな見解が出され議論が巻き起こった(松井, 1953;鎌田, 1953;半沢, 1954;大森, 1954;鈴木, 1955;福田, 1955)。しかし、常磐地域の層序の標準となった常磐炭田地質図(須貝ほか, 1957)が、高久層群を認める層序区分を採用したため、鈴木(1958)、庄司・鎌田(1958)及び平山(1960)の異論があったにもかかわらず、その後、高久層群は



第1図 常磐地域の地質図。吉岡ほか(2001)及び久保ほか(2007)を基に作成。段丘堆積物の分布は省略。

Fig. 1 Geologic map of the Joban area based on Kubo *et al.* (2007) and Yoshioka *et al.* (2011). Distribution of terrace deposits is omitted.

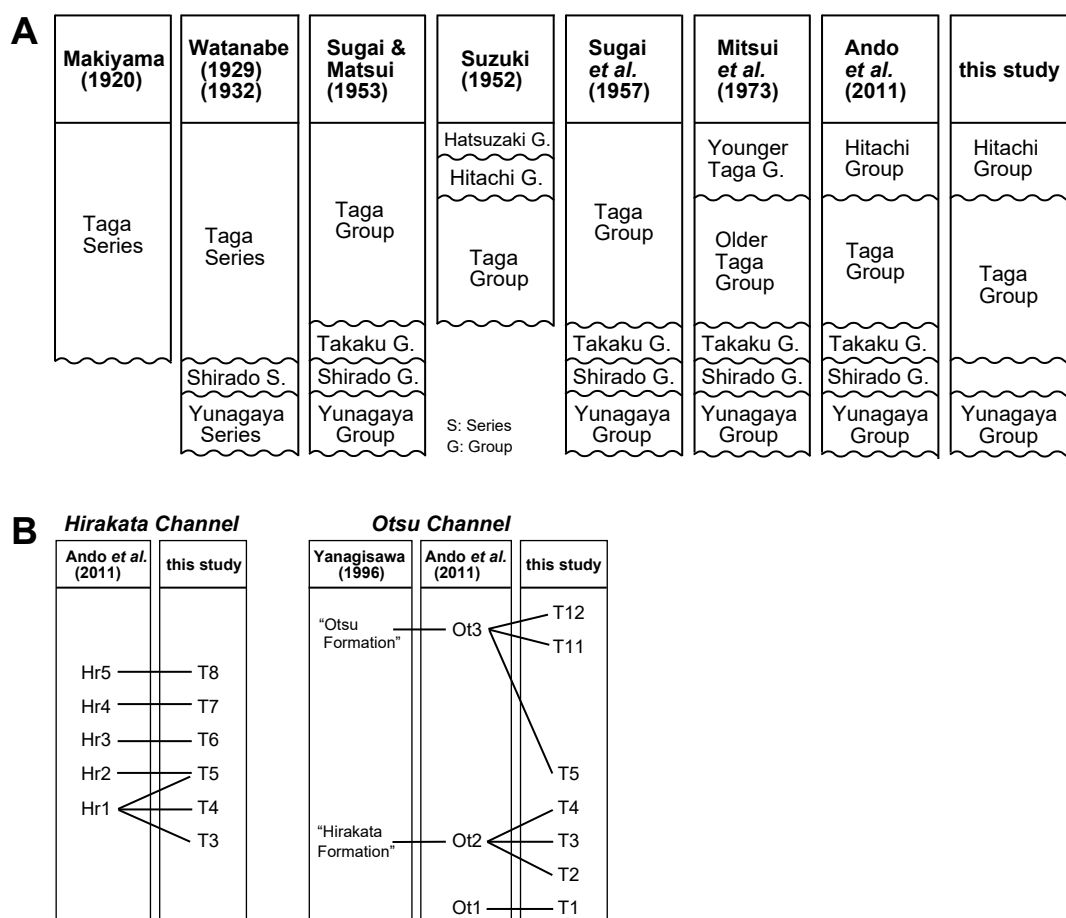
「多賀層群」の下位にある独立した単元として受け入れられていった(例えば、岩生・松井, 1961; Mitsui, 1971; 三井, 1972; Kato, 1980; 根本, 1993)。なお、1980年代以降に行われた各種の微化石層序学的研究によって、高久層群は「多賀層群」よりも年代的に下位にあることが確かめられている(例えば、丸山ほか, 1988; 竹谷ほか, 1990)。

「多賀層群」の層序に関する第2の画期となったのは、本層群内の「不整合」(以下、通常の不整合ではないので鉤括弧付きで使用する。)についての研究である。常磐地域南部の多賀地方に分布する「多賀層群」を研究した大森・鈴木(1950)、大森ほか(1953)、鈴木・大森(1953)、

鈴木(1952, 1954a, b, 1958)は、「多賀層群」内には「不整合」が存在し、これらの「不整合」によって、「多賀層群」は下位より狭義の多賀層群、日立層群及び初崎層群に区分できるとした。この層序区分は現在の知見から見ると、狭義の多賀層群は安藤ほか(2011)の多賀層群に、日立層群と初崎層群を合わせたものは安藤ほか(2011)の日立層群にそれぞれ対応する(第2図)。こうした「不整合」の成因については、当時の地質学の学問的水準の制約から正確な理解には至らなかったものの、地層の断面形が谷状を示すことや、侵食面の上下で岩相の違いがほとんどない特殊な「不整合」の性質を正確に記載するなど、彼らの研究成果は、現在の視点から見ても極めて優れたものであった。しかし、江口・鈴木(1953)は日立市北部の「多賀層群」において、同じような「不整合」を観察したものの、これらを大きな斜交層理であると判断し、「不整合と誤認されやすい」と記述して、大森・鈴木(1950)や鈴木(1952)の考えを批判した。また、常磐地域全体の層序と構造を総括し、その後の研究の標準となった常磐炭田地質図(須貝ほか, 1957)も、証拠となる露頭写真を示した上で、これらの「不整合」は単なる大規模な偽層(斜交層理)だとして、その層序学的意義を否定してしまったため、この「不整合」の考え方は広く受け容れられることはなかった。

しかし、1970年代になって、この「不整合」の考え方は、三井・大内(1971)、Mitsui and Ouchi (1972)、Mitsui (1973)及びMitsui *et al.* (1973)によって復活した。彼らは常磐地域各地に分布する「多賀層群」の層序を詳しく検討して、多くの場所で「不整合」を記載し、これらの「不整合」によって高久層群を除く「多賀層群」を、中新統の多賀層群(古い多賀層群)と鮮新統の多賀層群(新しい多賀層群)に区分できるとした。この区分では前者が現在の多賀層群に、後者が現在の日立層群にほぼ対応しているように見える(第2図)。しかし、その後行われた微化石層序の研究によれば、Mitsui *et al.* (1973)が示した層序は多くの誤りを含み、そのままの形では必ずしも成り立たないことが判明している(例えば、柳沢, 1996a)。

一方、1980年代以降、「多賀層群」を含む常磐地域各地の新第三系については、浮遊性有孔虫、珪藻、石灰質ナノ化石、放散虫、珪質鞭毛藻など、さまざまな浮遊性微化石に関する生層序学的研究が精力的に進められ、その年代精度は他地域に例を見ないほど高いものとなった(Kato, 1980; 小泉, 1981, 1986; Koizumi, 1990; Maruyama, 1984; 丸山ほか, 1988; 竹谷ほか, 1986, 1990; 高柳ほか, 1988; 相田・竹谷, 2001; 柳沢ほか, 1989, 2004; 柳沢, 1996a, 2000, 2011)。また、常磐地域の古第三系及び新第三系堆積岩類の堆積学的研究や大型の動植物化石に関する古生物学的研究も進展した(例えば、矢部ほか, 1995; 安藤, 2002; 上田ほか, 2003; 茨城古生物研究会, 2011)。これらの研究と平行して、福



第2図 地層名の対比。A) 常磐地域新第三系堆積岩類の層群名の対比。B) 平潟海底谷及び大津海底谷の層序単元名の対比。

Fig. 2 Correlation of stratigraphic unit names. A) Correlation of group names of the Neogene sedimentary sequences in the Joban area. B) Correlation of stratigraphic units in the Hirakata and Otsu channels.

島県浜通り地方では5万分の1地質図幅の整備が進んだ結果、この地方で「多賀層群」に含められていた鮮新統の泥岩と砂岩は、宮城県の仙台地域を模式地とする仙台層群上部の大年寺層に連続するものであることが明らかになり、常磐地域の「多賀層群」からは除かれた(久保ほか, 1990, 1994, 2002; 柳沢ほか, 1996)。このように、1980年代以降、「多賀層群」を含む常磐地域の古第三系及び新第三系の研究は急速に進展した。こうした研究の主な成果は、高橋(1993)、根本(1993)、安藤(2002)、須藤ほか(2005)及び高橋・柳沢(2008)でまとめられている。

その後、1980年代以降の微化石層序の研究や詳細な野外調査を基に、安藤ほか(2011)は「多賀層群」の層序に関し、これまでとは全く異なるモデルを提案した。すなわち、「多賀層群」は、(1)陸棚及び陸棚斜面上部で堆積した堆積物、(2)陸棚斜面の海底谷を埋積した堆積物、(3)海底の地すべり痕を埋積した堆積物という、3つの異なる堆積様式で形成された複合体であること、また、従来

「不整合」として観察された侵食面は、海底谷や海底地すべりの側壁や底面であることを明らかにした。そして、安藤ほか(2011)は岩相や堆積様式の変化を根拠に、高久層群と仙台層群を除く従来の「多賀層群」を、下部中新統～上部中新統の多賀層群(再定義)と、最上部中新統～鮮新統の日立層群(再定義)に区分した(第2図)。

しかし、安藤ほか(2011)は地質巡検案内書という制約から、茨城県北茨城市の平潟・大津地区と福島県いわき市の久之浜地区に分布する多賀層群の地質図と層序の概要を示したのみで、根拠となるデータやその他の地域の詳しい情報を示すことができなかった。そこで、本論文では茨城県北茨城市から高萩市を経て日立市北部(旧多賀郡十王町)に至る地域(以下、北茨城・高萩地域と呼ぶ。第1図)に分布する多賀層群及び日立層群の詳しい層序を記載する。なお、後述するように、この論文では岩相層序と年代層序を基にして、高久層群を層のランクに下げて「高久層」とし、再定義した多賀層群の最下部に繰り

入れて記載する。

2. 地質の概要

安藤ほか(2011)では、阿武隈変成岩及び阿武隈深成岩類を基盤としとする常磐地域に分布する前弧盆堆積物を、下位より上部白亜系の双葉層群、古第三系の白水層群、新第三系の湯長谷・白土・高久・多賀・日立層群に区分した。しかし、前述のように、本論文では高久層群は多賀層群の最下部に繰り入れたので、常磐地域の前弧盆堆積物は、下位より双葉・白水・湯長谷・白土・多賀及び日立層群となる。ただし、今回調査した高萩地域内には、双葉層群と白土層群は分布せず、また湯長谷層群も一部の地層が分布するのみである(第3図)。

白水層群は、陸成層に始まり上位に向かって海成層に変化する海進的な傾向を示し、下位より石城層、浅貝層、白坂層に区分される。時代は後期始新世末から前期漸新世前期である。石城層は、礫岩・砂岩・泥岩・石炭層からなり、エスチュアリー～内湾堆積物と砂質河川堆積物が識別される。浅貝層は、塊状・無層理の極細粒砂岩によって構成され、堆積環境は上部外浜～内側陸棚の環境が推定される。白坂層は、外側陸棚～陸棚斜面上部で堆積した海成塊状泥岩からなる。

湯長谷層群は白水層群を不整合に覆う下部中新統で、櫛平層、五安層、水野谷層、亀ノ尾層、本谷層、三沢層がそれぞれ整合に累重する。ただし、本地域内では本谷層と三沢層は分布しない。櫛平層は下部が礫岩・砂岩及び泥岩からなる河川成～汽水成層、上部は内湾～河口域の砂岩・泥岩からなる。五安層は海成砂岩で、下部は上部外浜、上部は下部外浜～内側陸棚の環境が推定される。水野谷層は下部が砂質泥岩、上部は級化層理のある粗～中粒砂岩層を挟む泥岩からなる。本層は陸棚斜面上部で堆積したものと推定できる。亀ノ尾層は主に海成の薄葉理泥岩からなり、大陸斜面上部～中部の酸素極少帯域で形成されたものと推定される。

多賀層群は前期中新世末から後期中新世の後期に至る主に泥岩及び砂岩からなる堆積物で、陸棚及び陸棚斜面堆積物、海底谷埋積物及び海底地すべり痕埋積物の三種の堆積物から構成される。

日立層群は、後期中新世末から後期鮮新世に至る泥質堆積物を主とする堆積物で、本地域内に分布するのは海底谷埋積物のみである。

3. 研究方法

3.1 地質調査及び試料採取

多賀層群及び日立層群の泥岩及び砂岩は、岩相のみでは地層の同定が難しいので、本研究では珪藻年代分析を用いて層準の判別を行いながら調査を進めた。調査では、珪藻が含まれている可能性がある多賀層群及び日立層群の泥岩、砂質泥岩及び泥質砂岩のすべての露頭から、少

なくとも1試料以上を採取して珪藻化石を分析し年代を決定した。さらに、分析の結果、その露頭内に時間間隙の存在が判明した場合は、再調査して複数個の試料を採取して分析し、時間間隙の位置と期間を特定した。また、湯長谷層群の亀ノ尾層、水野谷層、櫛平層及び白水層群の白坂層の泥岩及び砂質泥岩は、多賀層群や日立層群の泥岩及び砂質泥岩との区別が難しいこともあるので、これらの地層からも必要に応じて試料を採取し、珪藻化石を分析して層準を正確に決定した。

3.2 試料の処理及び計数

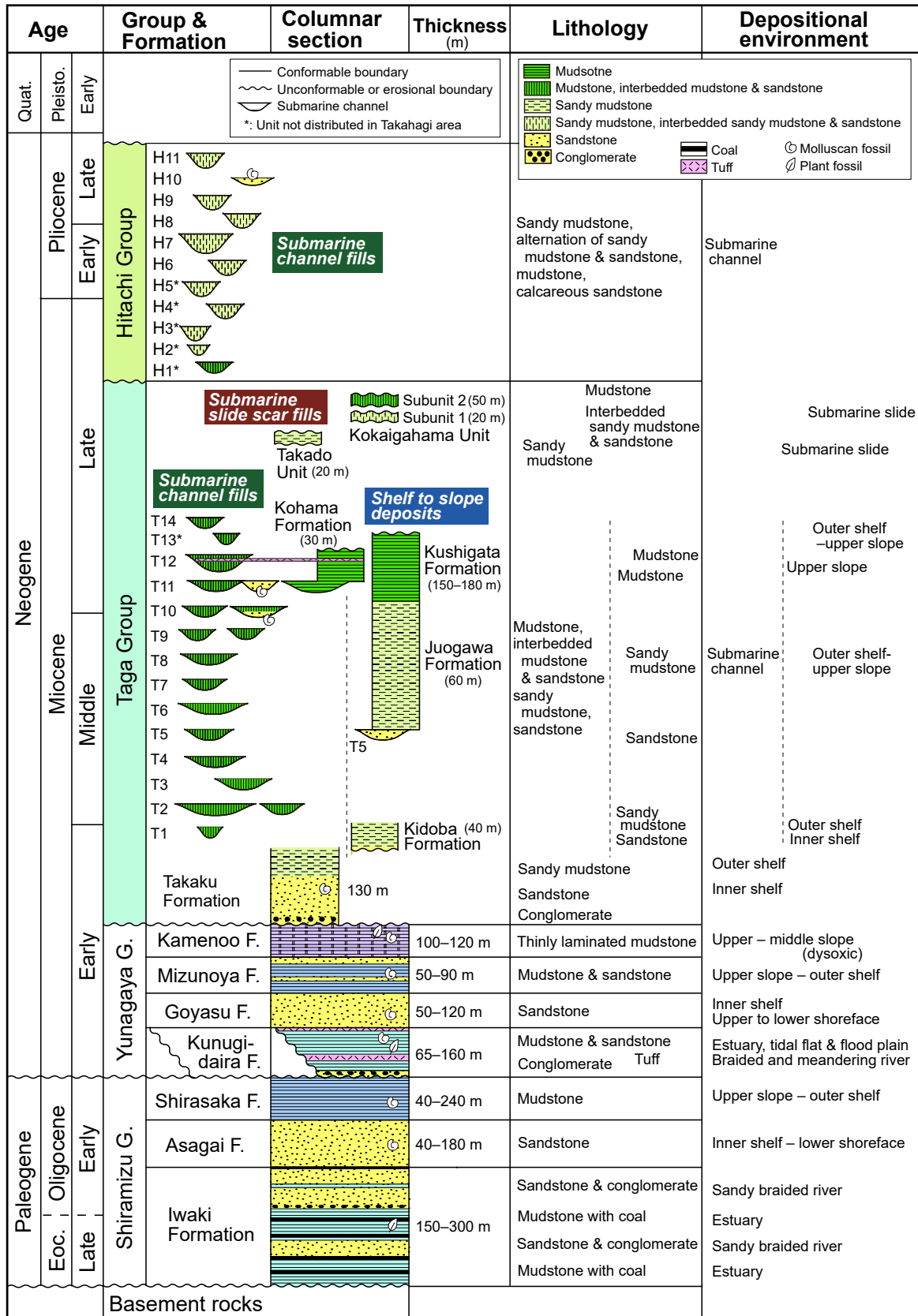
試料の処理は、Akiba (1986)のunprocessed strewn slideの方法で行った。乾燥試料を新聞紙でくるみ、ハンマーで砕いた後、約1gを100mlビーカーに入れ、試料が浸る程度に純水を注ぎ入れ、一昼夜放置する。この過程で試料はほとんど泥化する。次にビーカーに純水を加えて約100mlの懸濁液とし、約20秒間放置して粗粒物が底に沈むのを待ち、上澄みの懸濁液からマイクロピペットで0.5mlを取り出し、18×18mmのカバーガラスに滴下する。これをホットプレートで加熱・乾燥後、アルコールで薄めたPleurax(封入剤)をカバーガラスに滴下し、さらに加熱・乾燥させてアルコール分を蒸発させる。最後に、このカバーガラスをホットプレートで温めたスライドガラスに貼付する。

珪藻殻の計数は、生物顕微鏡600倍ないし1,000倍の倍率下で、*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ないし50になるまで行った。その後、さらにカバーガラスの幅5mmの範囲を走査して、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。休眠胞子については、上記蓋殻計数時に認められた総数を別途記録した。ただし、研究期間が40年近くにわたるため、計数の方法は研究の時期によって異なる。研究初期には倍率1,000倍で蓋殻100個を計数し、*Chaetoceros*属の休眠胞子は数えなかったが、途中からは分析効率を上げるために、倍率600倍で計数蓋殻数を50までとし、*Chaetoceros*属の休眠胞子も数える方法に変更した。

3.3 珪藻化石帯区分

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(第4図)。珪藻年代はWatanabe and Yanagisawa (2005)を用いて修正し、Gradstein *et al.* (2012)の地磁気極性年代尺度に合わせて調整した。

この論文では記載を簡潔にするため、各珪藻化石帯を生層準によって暫定的に「区間(interval)」に細分し、この区間を用いて珪藻化石層序を記載する(第4図)。また、試料採取地点の珪藻区間を地図上で表示するため、各区



第3図 北茨城・高萩地域に分布する古第三系及び新第三系の岩相層序。

Fig. 3 Lithostratigraphy of the Paleogene and Neogene sedimentary sequences in the Kitaibaraki-Takahagi area.

間を示すシンボルを定めた(第4図)．ただし、以下の化石帯では特殊な扱いをしている．

NPD3B帯内では化石帯内に生層準は定義されていないが、化石帯の下限から少し上位において、それまで稀産であった化石帯指標種の*Denticulopsis praelauta* Akiba et Koizumiが急増して普通に産出し始める生層準(first common occurrence biohorizon)が認められる(柳沢, 1999a, b)．そこで本論文では、この生層準(PFC, 約16.5 Ma, 第4図)によってNPD3B帯を区間3B1と3B2に区分する．ただし、この生層準は明瞭でない場合があって区間3B1と3B2を識別できないこともあるので、NPD3B帯全体を示すシンボルも用意した．

NPD5C帯は、生層準 D55.2と55.8により5C1, 5C2, 5C3の3区間に区分されるが、生層準 D55.2を定義する*Denticulopsis hustedtii* (Simonsen et Kanaya) Simonsenは一般に稀産であって、D55.2は認識が難しい場合がある．また、生層準D55.8も捉えるのが難しい事例があるので、ここでは、D55.8にほとんど一致している*Thalassiosira tempereri* (Brun) Akiba et Yanagisawaの初産出を副識別基準として認定を行った．このようにNPD5C帯内では区間を決める生層準の認定が難しいことがあり、その場合は区間を識別せず、化石帯を認定するに留めたため、NPD5C全体を示すシンボルも定めた．

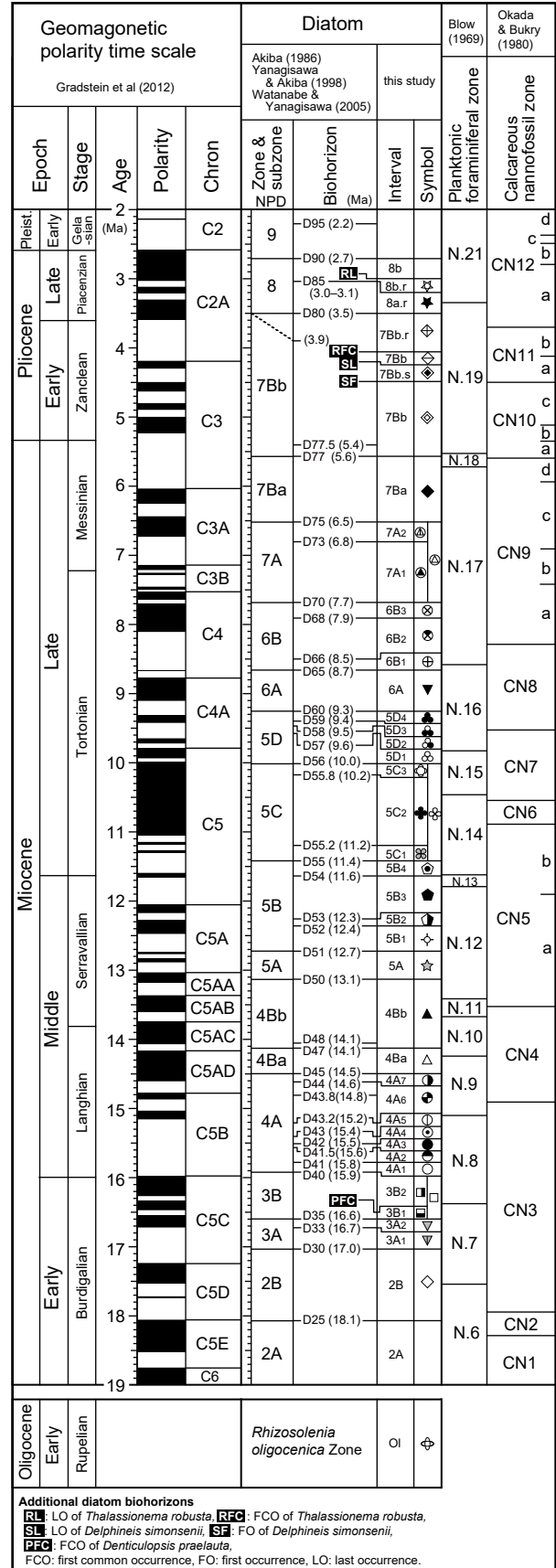
NPD7A帯は生層準D73 (*Nitzschia pliocena* (Brun) Merzの終産出)により区間7A1と7A2に細分されるが、本地域では*N. pliocena*は終産出層準付近で産出が断続的で稀産であるので、区間7A1と7A2を厳密に区別することが難しい場合がある．そこでNPD7A帯全体を示すシンボルも用意した(第4図)．

前期鮮新世のNPD7Bb垂帯は、200万年以上(5.6–3.5 Ma)の年代幅を持つ長期間にわたる化石帯であるが、最下部にあるD77.5 (*Thalassiosira tempereri*の終産出層準, 5.4 Ma)以外に指標となる生層準に乏しく、この珪藻化石帯内では年代分解能が極めて低い．そこで、本論文では、*Delphineis simonsenii* Akibaの初産出層準(SF)、*D. simonsenii*の終産出層準(SL)及び*Thalassionema robusta* Schraderの初多産出層準(RFC)を、常磐地域に限定した地域的な対比基準として用いて、本垂帯を下位より7Bb, 7Bb.s, 7Bb, 7Bb.rの4つの区間に暫定的に細分した(第4図)．ここで“s”と“r”はそれぞれ、*D. simonsenii*と*T. robusta*を含むことを示す．

NPD8帯は生層準D85により2つの区間8aと8bに区分し、さらに、生層準D85の直上にある*T. robusta*の終産出層準(RL)を用いて、区間8bを、下部の8b.rと上部の8bに細分した．なお、区間8aについては、*T. robusta*を含んでいることを示すために8a.rと表示する．

3. 4 珪藻深度指標

堆積深度は柳沢(1996b)の珪藻深度指標を珪藻化石群



第4図 本研究で使用する地質年代尺度。
Fig. 4 Geologic time scale used in this study.

集の組成に当てはめて推定した。この指標は、陸棚域に棲む沿岸水種 (shelf species)、外洋域を特徴づける沖合水種 (pelagic species) 及びその中間の水域に多い漸移帯種 (transitional species) の頻度に基づいて相対的な深度を推定する。本論文では、柳沢 (1996b) が示した2つの指標のうち、適応範囲の広いBd2指標を用いた。Bd2は以下のように定義される。

$$Bd2 = (Xp + 0.5Xt) / (Xp + Xt + Xs)$$

ここで、Xpは沖合水種の頻度の合計、Xtは漸移帯種の頻度の合計、Xsは沿岸水種の頻度の合計を示す。この指標がおおよそ0.15未満は内側陸棚、0.15以上0.6未満が外側陸棚、そして0.6以上が陸棚斜面の深度に対応する (柳沢, 1996b)。堆積環境は珪藻深度指標 (Bd2) のほか、層相や竹谷ほか (1990) が多賀層群から報告した底生有孔虫化石群集なども考慮して総合的に推定した。

4. 結果

4.1 珪藻化石分析結果

2030個の試料を分析した。結果は、試料採取地点に試料の珪藻区間のシンボルで示した (付図1-8)。重要な層序セクション (S01-S25) の試料採取地点は第44図、付図5、9-11に、珪藻産出表を付表1-20に示した。ただし、層序セクションS15の分析結果は、柳沢 (1996a) のTable 2 (試料番号33-56) で公表しているので省いた。試料は層序セクションごとに系統的に番号を付したが、珪藻産出表には採取時の原試料番号 (JOBシリーズ) も示した。珪藻産出表における学名の著者名は、後藤 (2003) に従って標準的な略号とした。

指標珪藻種を図版1-4に図示した。写真撮影に使用した試料のうち、上記の層序セクションの試料以外の試料の位置は、原試料番号 (JOBシリーズ) を用いて付図2、7、9D、10に示した。

4.2 調査研究の結果

研究結果を第5図から第49図に示した。北茨城・高萩地域の多賀層群及び日立層群の分布の概略を第5図に、層序関係の概要を第6図に、各層序単位の年代を第7図にまとめた。地区ごとの地質図は、第11図、第20図、第23図、第26図、第27図及び第39図に示した。また、特に露出状況が良好で、海底谷の形態や内部構造がよく観察できる北茨城市平潟の長浜海岸については、柱状図 (第12図) とルートマップ (第13図) を示した。

層序単位認定の根拠となった露頭の写真やスケッチには、地点番号 (L01-L46) を付して図示した (例えば、第14図~第18図)。ただし、これらの露頭は海岸部のものを除いてほとんど現存しないか、または吹き付けや草木に覆われていて、現在は観察できない。海岸の露頭も東日本大震災時の崩壊や津波による侵食、あるいは震災後の護岸工事により、十分な観察ができない状態になって

いるところが多い。そこで、この論文では現在残っている露頭についても、可能な限り震災前に観察した良好な状態の写真やスケッチを図示した。

4.3 層序単位の区分

多賀層群及び日立層群の層序単位の区分は、北茨城市平潟の長浜海岸 (第13図) や五浦海岸 (第18図) などの海岸部の露出の良好な場所での観察と、珪藻化石年代分析 (例えば、第12図) を基にした。露出のよくない内陸部では、珪藻分析の結果を地図上にプロットし (付図2-8)、稀に観察できる層序単位の関係を示す露頭のデータや海岸部で認定された層序単位の参考にして、珪藻年代の分布パターンから層序単位の認定した。

多賀層群及び日立層群は、安藤ほか (2011) を参考に、岩相、構造及び年代などを基にして、(1) 陸棚及び陸棚斜面堆積物、(2) 海底谷埋積物、(3) 海底地すべり痕埋積物の3種類に分類して層序単位の区分した。

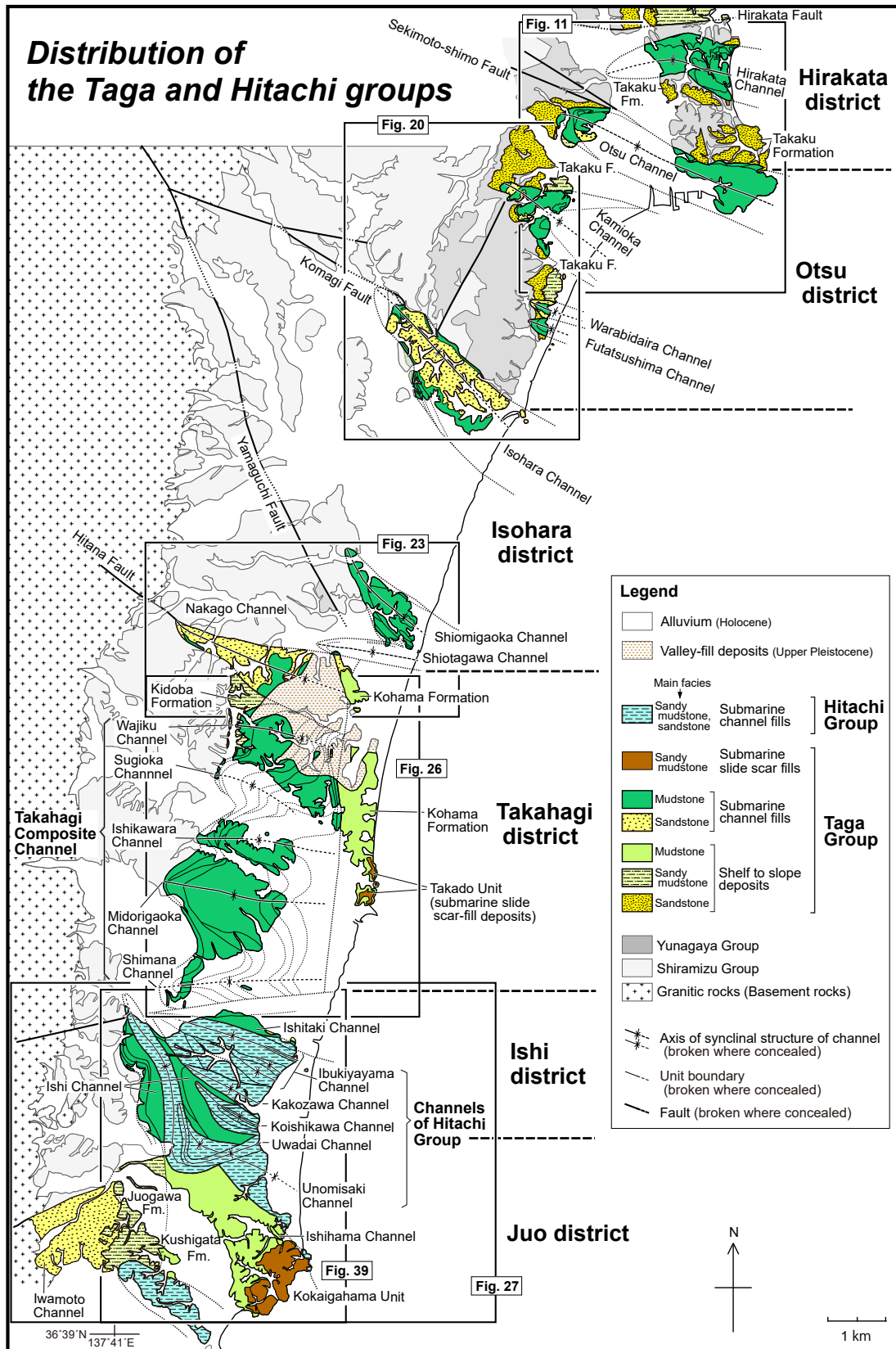
陸棚及び陸棚斜面堆積物と認定された層序単位は、地層命名の指針 (日本地質学会, 2000) 及び国際層序ガイド (日本地質学会訳編, 2001) に従って、層 (Formation) として地層名を付して定義した。一方、海底谷埋積物及び海底地すべり痕埋積物の層序単位は、層を用いて記載するのは困難と判断し、この論文では暫定的に「ユニット」という用語を用いて定義・記載した。その妥当性については、7.5項で詳しく考察する。

なお、記載の都合上、多賀層群及び日立層群の分布域を、北から平潟、大津、磯原、高萩、伊師、十王の6地区に区分した (第5図)。これは、断層で画される各地区間の境界を挟んで、多賀層群基底での侵食レベルが急激に変化するためである (第6図)。

4.4 海底谷埋積物の記載用語について

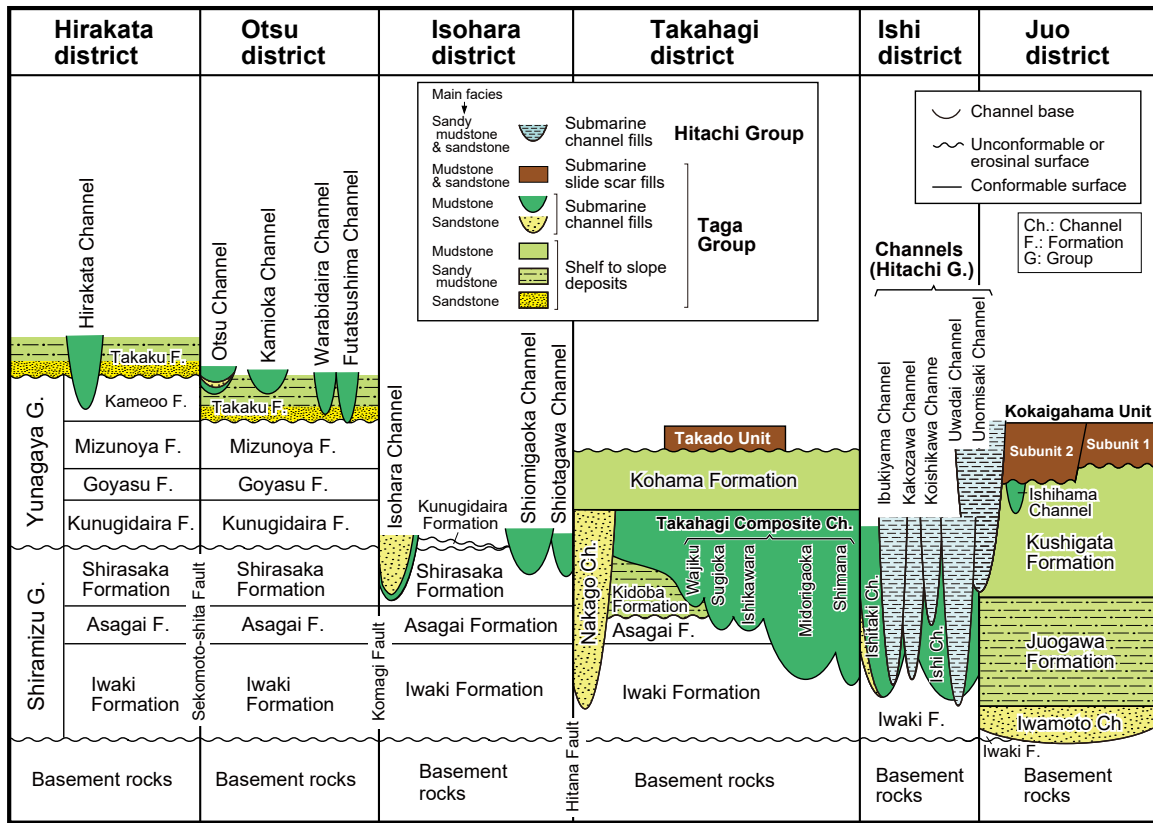
多賀層群及び日立層群の記載に入る前に、海底谷に関わる記載用語について整理しておく。谷地形を表す用語としては、“canyon”、“valley”、“channel”、“gully”があり、海底の谷地形は、これらの前に“submarine”をつける (例えば、Pickering *et al.*, 1989; Posamentier and Waker, 2006; Arnott, 2010; Pickering and Hiscott, 2016)。ただし、“submarine valley”は一般的にはあまり使用されていない。このうち、本論文で記載する陸棚斜面で見られる谷地形としては、“submarine canyon” (海底峡谷)、“slope channel” (陸棚斜面チャネル)、及び“submarine gully” (海底ガリ) がある。なお、“slope channel”で“slope”がついているのは、“channel”という用語が一般的な谷状の凹地を示す用語として広く使われ、たとえば海底扇状地の堆積域で見られる“channel-levee system”などでも使用されているので、それらと区別をするためと思われる。

海底峡谷 (submarine canyon) は、谷横断面がV字型で峡谷状を示し、谷幅に比較して深く刻まれているので、谷



第5図 北茨城・高萩地域の多賀層群と日立層群の分布。段丘堆積物の分布は省略。

Fig. 5 Distribution of the Taka and Hitachi groups in the Kitaibaraki-Takahagi area. Terrace deposits are omitted.



第6図 北茨城・高萩地域における多賀層群及び日立層群の模式層序断面図.

Fig. 6 Schematic profile of the stratigraphy of the Tago and Hitachi groups in the Kitaibaraki-Takahagi area.

を流れる重力流が谷内に限定されて、谷の外にあふれないことで、他の谷地形とは区別される (Posamentier and Waker, 2006). しかし、この用語は、一般的に谷幅が数～10数kmで谷の深さが数10 mから2 km弱の大規模な谷地形に対して用いられていて、上述の定義は厳密には適用されていない例も多い (例えば, Pickering *et al.*, 1989 ; Pickering and Hiscott, 2016).

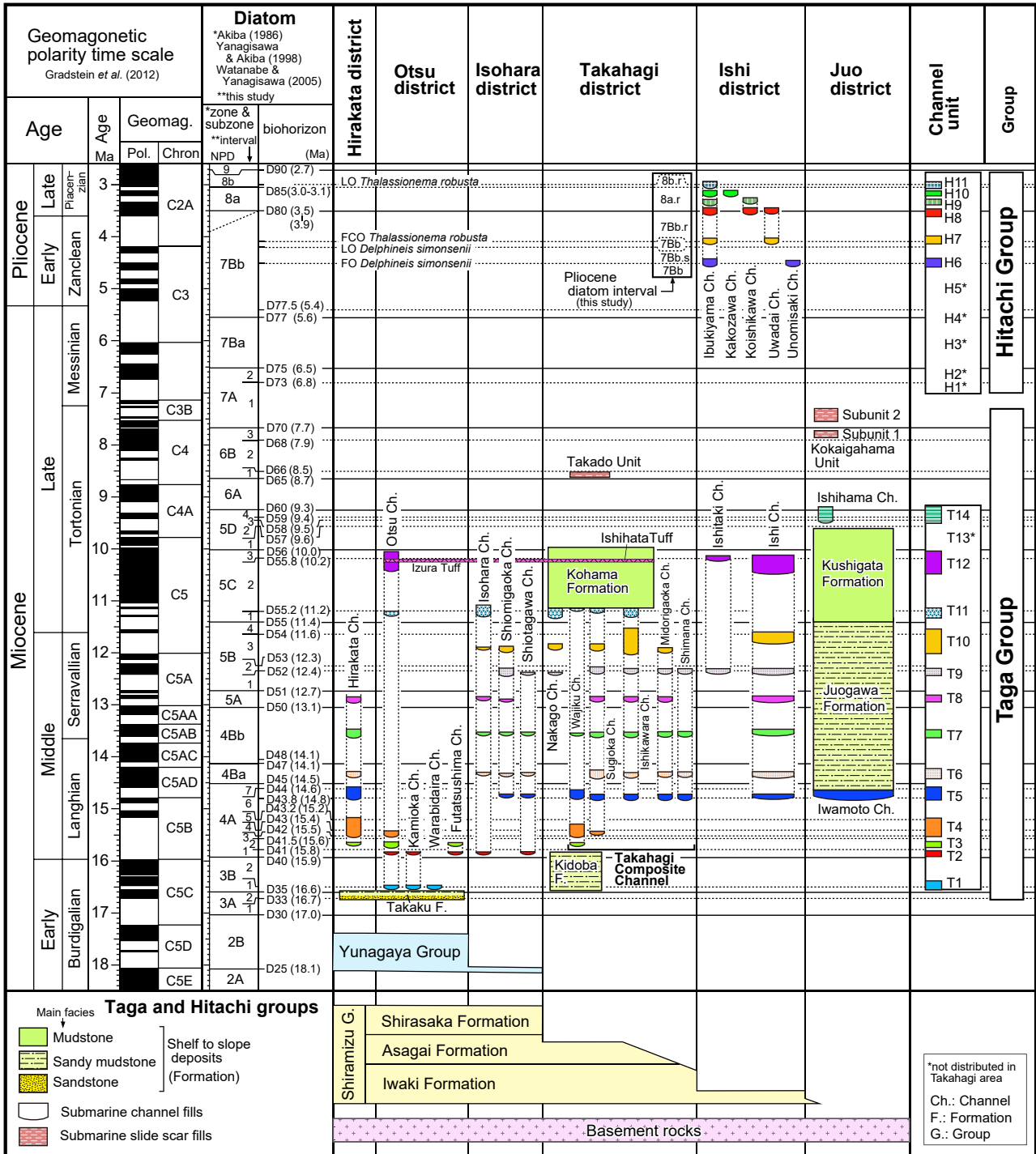
陸棚斜面チャネル (slope channel) は、谷底が海底峡谷よりも浅く、重力流が谷縁を超えて溢流し、谷縁に自然堤防 (levee) が形成されることが特徴で、この性質で海底峡谷とは区別される (Posamentier and Waker, 2006). しかし、実際には、この定義は用いられず、海底峡谷よりも小さく海底ガリよりも大きい、谷幅数百m～2, 3 kmで深さが数十m以下の中規模の谷を陸棚斜面チャネルと呼んでいる (例えば, Schwarz and Arnott, 2007 ; Pyles *et al.*, 2010 ; Valle *et al.*, 2013 ; Macauley and Hubbard, 2013 ; Shumaker *et al.*, 2017).

海底ガリ (submarine gully) は、幅が数十～250 m、深さが数～20 m程度の規則的に配列する小規模で直線的な海底谷地形である (例えば, Field *et al.*, 1999 ; Jobe *et al.*, 2011 ; Shumaker *et al.*, 2017). 日本周辺でも、嶋村 (2008) が「ガリ状海谷」と呼んで記載している。

上述のように陸棚斜面で見られる谷地形は、実際には主にその規模に基づいて、慣例的に呼び分けられてきた場合が多い。しかし、地表に露出する地層に保存された海底の谷地形の場合は、完全な形で残されていることはなく、また露出が不完全であることから、谷地形の規模、形態の特徴 (幅、深さ) 及び自然堤防の有無など、谷地形の名称を決めるための特徴を把握しがたい場合が多い。このため、現在の海底における谷地形の定義を、地層中の谷地形に厳密に適用することは一般に難しい。これは、本論文で報告する多賀層群や日立層群で観察される谷地形にも当てはまる。

多賀層群や日立層群中の谷地形は、現在地層として残されている部分から推定すると、見かけの谷幅は0.3–1.7 kmである。この規模は、上述の3つの谷地形の中では陸棚斜面チャネルに最も近い。しかし、陸棚斜面チャネルの特徴とされる自然堤防堆積物は見られない。また、小さな谷地形の一部はその谷幅が海底ガリの範疇に入る。

このように、多賀層群や日立層群中の谷地形に当てはまる用語は決めがたいので、本論文では、海底の谷地形の一般的な用語として使用されている“submarine channel”を用いる。また、対応する日本語の用語としては「海底谷」を使用する。

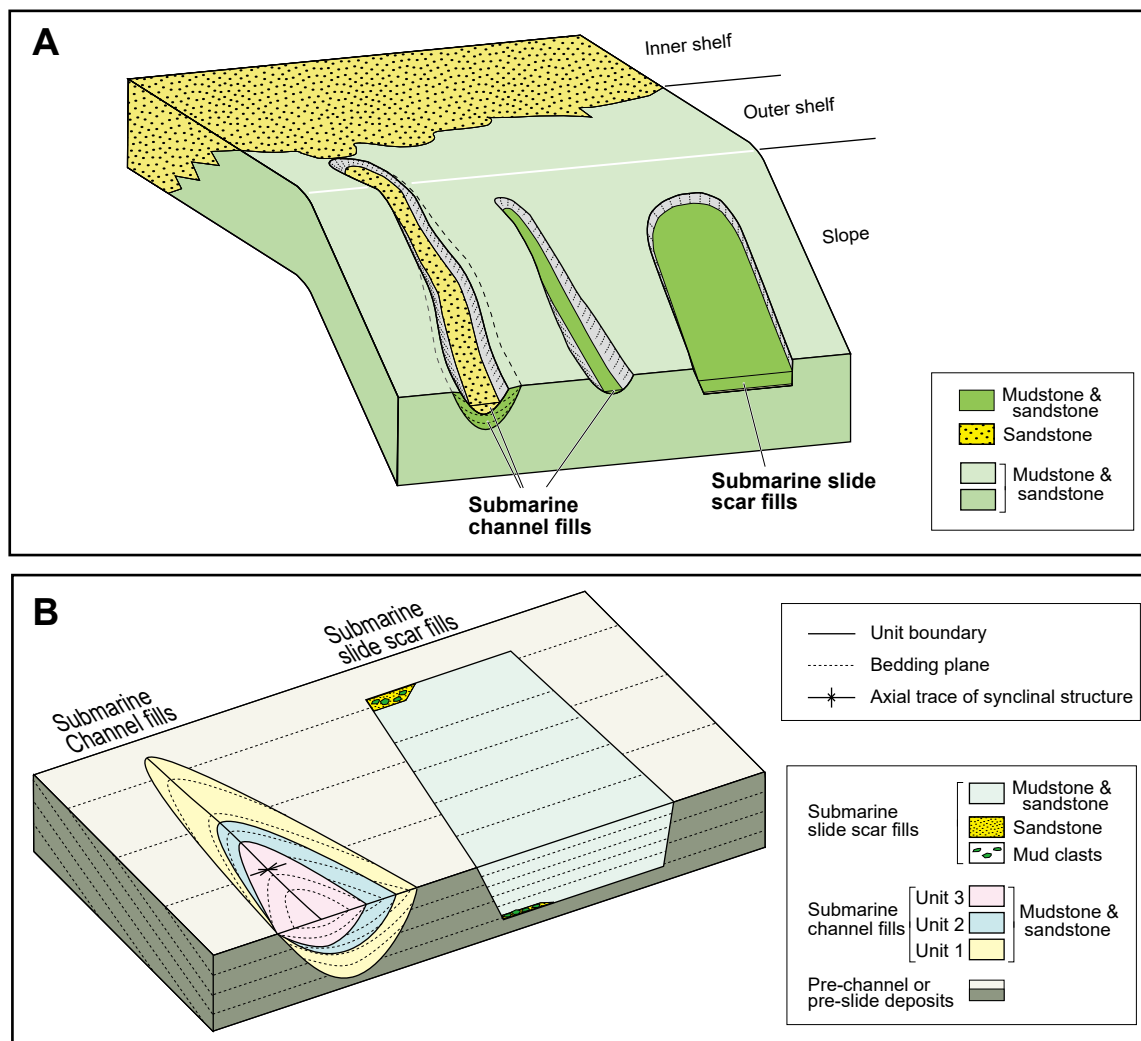


第7図 北茨城・高萩地域における多賀層群及び日立層群の年代層序。

Fig. 7 Chronostratigraphy of the Taga and Hitachi groups in the Kitaibaraki-Takahagi area.

ところで、海底谷を埋める堆積物は、一般に英語では“canyon fill”または“channel fill”と呼ばれ(例えば, Pickering et al., 1989; Posamentier and Waker, 2006; Pickering and Hiscott, 2016), 日本語では「海底(峽)谷充填物」または「チャネル充填物」と訳されている(例えば, 高野ほか, 2001; 高清水, 2009). 一般に海底谷の内部

は陸棚域から運ばれた礫や砂などの粗粒碎屑物によって比較的短期間に満たされるので、「充填物」という日本語訳に違和感はない. しかし、本地域の多賀層群や日立層群の海底谷の場合、数百万年以上かけて侵食と堆積と繰り返しながら、海中から沈積する泥質堆積物によって徐々に埋積されている場合が多いので、本論文では“fill”



第8図 海底谷と海底地すべりの模式図。A) 陸棚及び陸棚斜面域における海底谷と海底地すべり。B) 海底谷埋積物と海底地すべり痕埋積物の構造。

Fig. 8 Schematic diagrams showing submarine channel and slide scar. A) Submarine channel and slide scar on the shelf to slope environment. B) Structure of submarine channel fills and submarine slide scar fills.

を「埋積物」として使用した。なお、安藤ほか(2011)では「埋積堆積物」を用いたが、冗長で意味の重複もあるので、本論文では「埋積物」に改めた。同様に安藤ほか(2011)の「海底地すべり痕埋積堆積物」も「海底地すべり痕埋積物」に変更した。

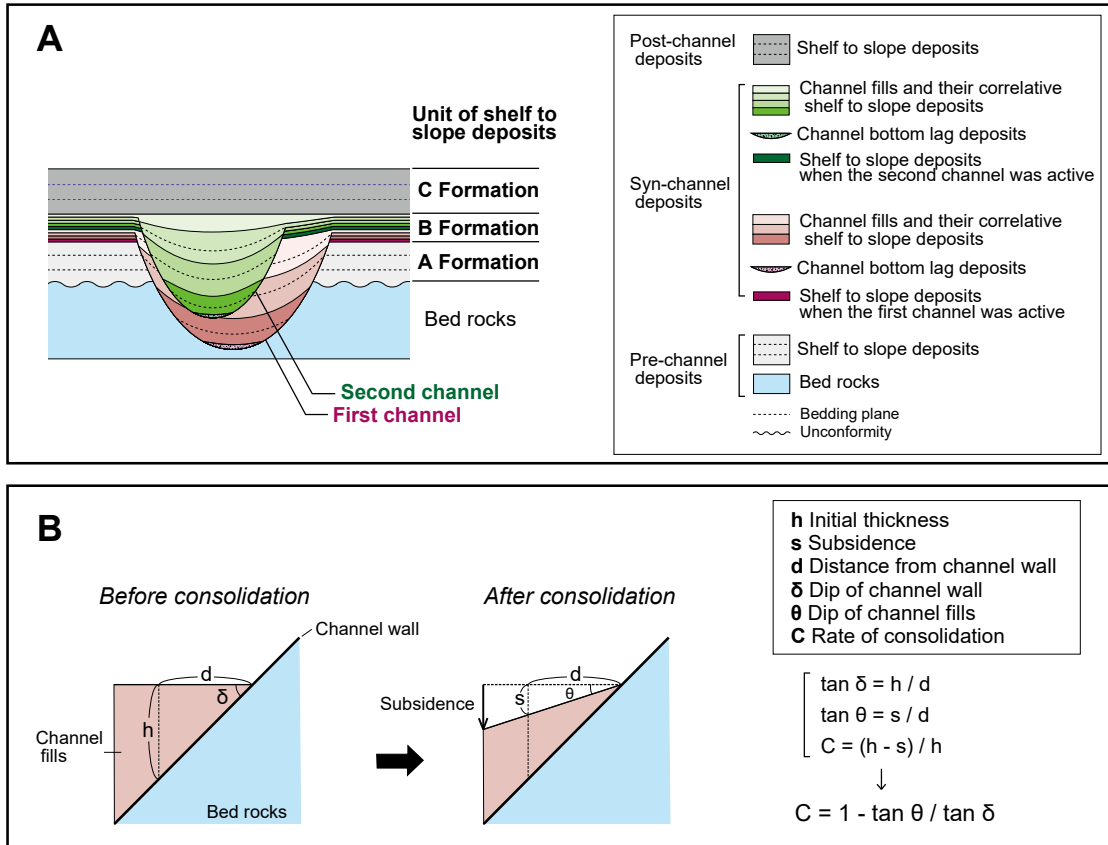
4.5 海底谷埋積物の認定

以下、説明の都合から最も広く分布する海底谷埋積物の認定から説明する。海底谷埋積物は、外側陸棚から陸棚斜面にかけて発達した海底谷を埋積した堆積物である(第8図)。調査地域内では、多賀層群で18本、日立層群で5本の海底谷が認められる(第5図)。各海底谷は一旦形成された後、何回も埋積と侵食を繰り返しながら埋積されており、谷内の堆積物は時間間隙によって区切られ

た複数の堆積ユニットから構成される(第9図A)。これらのユニットを、珪藻化石層序を用いて海底谷間で対比し(第7図)、多賀層群で14(T1-T14)、日立層群で11(H1-H11)のコード名を記したユニットを識別した(第3図)。

海底谷埋積物は以下に示す特徴を基にして認定した。

- (1) 海底谷埋積物と下位層とは、下位層の層理を斜めに切るやや凹凸のある面で接する(第8図B)。この面は、特に露出の良い北茨城市平潟の長浜海岸(第13図、第14図、第17図)や五浦海岸(第18図)での観察結果から、海底谷の側壁だと推定される。
- (2) 海底谷内の堆積物は地質学的な時間間隙を伴う侵食面で区切られた複数のユニットから構成される(第8図B)。このことは、海底谷形成後、一旦放棄されて埋積され、その後再び侵食が起こって海底谷が復



第9図 海底谷埋積物と陸棚斜面堆積物の内部構造及び海底谷埋積物の圧密を示す模式図。A) 海底谷埋積物の断面図。B) 海底谷埋積物の圧密過程を示す模式図。

Fig. 9 Schematic diagrams showing the inner structure of submarine channel fills and slope deposits and consolidation of submarine channel fills. A) Cross section of submarine channel fills. B) Schematic diagram showing consolidation process of submarine channel fills.

活したが、再び放棄されて埋積されるという侵食・埋積のサイクルを繰り返しながら最終的に埋積されていったことを示す(第9図A)。

- (3) 海底谷内の堆積物は谷線(thalweg)にほぼ平行な軸を持つ向斜状の構造を作っている(第8図B, 第13図)。翼部での地層の傾斜は通常数度以下であるが、海底谷側壁近傍では 10° 以上になる場合がある(第14図)。この向斜状構造は、海底谷の下位層がこの構造に全く参加していないことから、構造的な変形によるものではなく、堆積後の圧密によって形成されたと判断できる(第9図B)。すなわち、海底谷埋積物は、上位層の堆積に伴う荷重によって圧密が進んで沈下するが、谷壁では多少のすべりは伴うものの堆積物が壁面に密着して固定されて沈下しにくいので、堆積時には水平に近かった同一時間堆積面(地層面)は谷の中央に向かって傾斜するようになる。埋積物の地層面の傾斜(θ)は、谷壁の傾斜(δ)と圧密率(C)によって変化し、谷壁の傾斜(δ)の傾斜がきついほど、また圧密率(C)が大きいほど、きつくな

る。谷壁を平面で近似すると、これらのパラメータの関係は次の式で表せる。

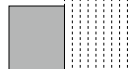
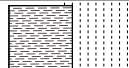


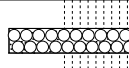

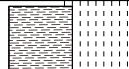

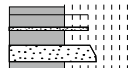



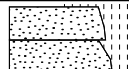
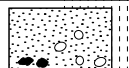
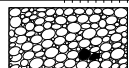
$$C = 1 - \tan \theta / \tan \delta$$

例えば、第14図の例では、埋積物の地層面の傾斜(θ)が $15\text{--}19^\circ$ 、谷壁の傾斜(δ)が 50° なので、圧密率(C)は $0.77\text{--}0.70$ になる。

- (4) 海底谷には、最終的に放棄された後、主に泥質堆積物で埋積が終了している場合と、砂質堆積物で埋積が終わっている場合の2タイプがある。

以上の特徴のうち、(3)の向斜状の構造が、海底谷埋積物を区別する特徴として有効である。なぜならば、陸棚及び陸棚斜面堆積物及び海底地すべり痕埋積物は、その走向が常磐地域の一般的な地質構造の方向である南北ないし北北東-南南西を常に向いていて、こうした向斜状構造をなすことはないからである。

高萩地域の北方のいわき市小名浜地域の海底谷内の泥岩からは、下部漸深海帯(陸棚斜面)の深度を示す底生有孔虫が産出している(竹谷ほか, 1990)。一方中郷海底谷を埋積する砂岩からは内側陸棚以浅の生息深度を示すイ

Depositional system	Categories for Figs. 3, 5 & 6	Typical column		Sedimentary facies	Sedimentary environment	Lithology
Outer shelf to slope deposits	Mudstone		m	Mudstone facies	Outer shelf to slope	Bioturbated massive mudstone
	Sandy mudstone		sm	Sandy mudstone facies	Outer shelf	Bioturbated massive sandy mudstone
Inner shelf deposits	Sandstone		ms	Muddy sandstone facies	Inner shelf	Bioturbated massive very fine-grained muddy sandstone
			bs	Bioturbated sandstone facies	Inner shelf	Bioturbated massive fine to medium-grained sandstone occasionaly intercalating hummocky cross-stratified sandstone bed
	*Conglomerate		fg	Conglomerate facies	Shore face (lag deposits)	Clast-supported well-rounded pebble to cobble conglomerate
Submarine channel fills Submarine slide scar fills	Mudstone		m	Mudstone facies	Channel fills or scar fills	Massive mudstone
			sm	Sandy mudstone facies	Channel fills or scar fills	Bioturbated massive sandy mudstone
			ms	Muddy sandstone facies	Channel fills or scar fills	Bioturbated massive very fine-grained muddy sandstone
			a1	Interbedded mudstone and sandstone facies	Channel fills or scar fills	Interbedded mudstone and graded sandstone
			a2	Interbedded sandy mudstone and sandstone facies	Channel fills or scar fills	Interbedded sandy mudstone and graded sandstone
	Sandstone		a3	Interbedded muddy sandstone and sandstone facies	Channel fills or scar fills	Interbedded muddy sandstone and graded sandstone
			bs	Fine- to medium-grained sandstone facies	Channel fills	Bioturbated massive fine to medium-grained sandstone
		s1	Thick sandstone facies	Channel fills	Amalgamated thick graded medium to coarse-grained sandstone	
*Conglomerate		s2	Pebbly sandstone facies	Channel fills	Massive coarse to very coarse-grained sandstone containing pebbles and rip-up mud clasts	
	*Conglomerate		g	Conglomerate facies	Channel bottom (lag deposit)	Clast-supported pebble to cobble conglomerate occasionally containing rip-up mud clasts

*Categories only for geological maps (Figs. 11, 20)

第10図 多賀層群及び日立層群の堆積相.

Fig. 10 Sedimentary facies of the Taga and Hitachi groups.

タヤガイ科の貝類化石などを産出する場合があります(栗原・柳沢, 2002). このことは, 海底谷が主として陸棚斜面域に形成されたものであり, 海底谷が陸棚の浅海環境で形成された砂質碎屑物を海盆底に供給する通路として機能していたことを示す(第8図A).

海底谷埋積物では第10図に示す堆積相が認められた. 泥岩相(m), 砂質泥岩相(sm), 泥質砂岩相(ms)は, 後述する陸棚及び陸棚斜面堆積物で認められる堆積相と同じであり, それぞれ無層理塊状の泥岩, 砂質泥岩及び泥質砂岩からなる. 以上の岩相に厚さ数cm から10-30 cm

程度で細～中粒の級化砂岩層を挟む互層として泥岩・砂岩互層相(a1), 砂質泥岩・砂岩互層相(a2), 泥質砂岩・砂岩互層相(a3)が認められる。砂岩層は海底谷の軸部で厚くなる場合が多い。また、生物擾乱作用で乱され、砂岩層の内部構造は不明瞭になっている場合が多い。生物擾乱細～中粒砂岩相(bs)は生物擾乱作用の発達した細～中粒の無層理塊状の砂岩である。厚砂岩相(s1)は、級化層理のある厚さ30 cm以上の厚い砂岩層が融合した層相で、時に貝殻片やフジツボ片が濃集して石灰質砂岩となっている場合がある。礫質砂岩相(s2)は厚砂岩相に中礫やリップアップクラストを含んだ岩相であるが、時に大～巨礫大の花崗岩礫を含むことがある。礫岩相(g)は海底谷の底部に見られる層相で、礫支持の大～中礫大の円礫ないし亜円礫からなるが、一部では粗粒砂を基質とする基質支持の礫岩も挟む。

なお、地質図(第11図、第20図、第23図、第26図、第27図及び第39図)においては、泥岩相から砂質泥岩・砂岩互層相までの泥岩主体の層相を「泥岩」、泥質砂岩・砂岩互層相から礫質砂岩相までの砂岩主体の層相を「砂岩」、礫岩相を「礫岩」として表示し、海底谷埋積物の各ユニットの主要な岩相がわかるようにした(第10図)。

海底谷埋積物の各ユニットの年代は珪藻化石年代を基に推定したが、一部では既報の浮遊性有孔虫、石灰質ナノ化石及び放散虫化石の年代も参考にした(第7図)。また、第1表と第2表に多賀層群の海底谷のユニットと海底谷の年代、第3表と第4表に日立層群の海底谷のユニットと海底谷の年代の年代を示した。第1表と第3表に示した各ユニットの堆積年代は、原則として各ユニットが属する珪藻区間の下限と上限の年代を示す。ただし、ユニット内に生層準が認められる場合は、層厚などを考慮して上下限の年代を細かく算定している。第2表と第4表の各海底谷の年代は、各海底谷内を埋積しているユニットのうち、最も古いユニットの下限年代と、最も新しいユニットの上限年代を示す。第7図に、各海底谷のユニットの年代を、年代尺度を縦軸にして図示した。この図では、海底谷埋積物の各ユニットの年代範囲を、層厚などを考慮して適当な年代幅で表現しているにすぎず、第7図における各地質単元の上下限の位置は年代値に厳密に対応しているわけではないことに留意されたい。また、現在残存している堆積物が代表している時間は、実際には、図に示したよりもはるかに短い可能性もある。

4.6 陸棚及び陸棚斜面堆積物の認定

陸棚及び陸棚斜面堆積物は主に砂岩、砂質泥岩及び泥岩からなり、多賀層群の高久層、城戸場層、小浜層、十王川層及び櫛形層が含まれる(第3図)。このうち、高久層は従来の高久層群(須貝・松井, 1953)に相当する地層である。なお、本地域の日立層群では陸棚及び陸棚斜面堆積物は認められない。

陸棚及び陸棚斜面堆積物に2つのタイプが認められた。1つは下位層を不整合に覆い、一部を海底谷によって侵食されているタイプ(第9図の「A層」)で、高久層と城戸場層がこのタイプである。2つ目は海底谷が完全に埋積された後にその上位に堆積したタイプ(第9図の「C層」)で、小浜層、十王川層及び櫛形層はこのタイプに属する。いずれのタイプでも、地層の走向が常磐地域の一般走向である南北に平行なことが特徴である。海底谷堆積物とは、向斜状の構造がないことで明確に区別できる。一方、海底地すべり痕埋積物とは、地層の走向が南北に平行なことでは共通するが、その基底面に海底地すべりによると推定される侵食面がないことで識別できる。

小浜層のように海底谷埋積後のタイプでは、下位の海底谷埋積物との境界は漸移的で、海底谷埋積物と陸棚及び陸棚斜面堆積物の区別は人為的にならざるをえない。この論文では、海底谷埋積物がつくる向斜状構造から、地層の走向が常磐地域の一般走向である南北方向になった層準付近を境界とした。なお、第9図の「B層」のように、海底谷が活動的で谷底が侵食されるかあるいは無堆積の時期と、その後、谷が放棄されて泥質碎屑物で埋積されて行く時期に、海底谷外の陸棚及び陸棚斜面で堆積した同時期の堆積物は、北茨城・高萩地域では現在地表には認められなかった。

陸棚及び陸棚斜面堆積物では、泥質の堆積相(泥岩相、砂質泥岩相)、砂質の堆積相(泥質砂岩相、生物擾乱砂岩相)及び礫質の堆積相(礫岩相)が認められた(第10図)。

泥質の堆積相のうち、泥岩相(m)は無層理塊状の泥岩、砂質泥岩相(sm)は無層理塊状の砂質泥岩からなり、岩相と珪藻の珪藻深度指標から外側陸棚から陸棚斜面上部の堆積物と推定される。

砂質の堆積相のうち、泥質砂岩相(ms)は顕著な生物擾乱を受けた無層理塊状の泥質極細粒砂岩からなる。生物擾乱砂岩相(bs)は生物擾乱作用の発達した細～中粒の無層理塊状の砂岩からなり、稀にハンモック状斜交層理の発達した細粒砂岩を挟むことがある。これらは主に内側陸棚の堆積物と推定される。

礫質の堆積相はよく円磨された礫支持の中～大礫からなる海成の礫岩相(fg)で、多賀層群基底部に局所的に発達し、海進時における外浜の残留堆積物と推定される。

なお、第3図、第5図及び第6図では、上述の堆積相を、泥岩、砂質泥岩及び砂岩にまとめて示した(第10図)。一方、第11図と第20図の地質図では、礫岩相を砂岩相から区別してその分布を示した。

陸棚及び陸棚斜面堆積物では、主要なルートにおける珪藻化石年代層序に基づいて、下限と上限の年代を算定した(第7図)。

4.7 海底地すべり痕埋積物の認定

本堆積物は海底地すべり痕と推定される凹地(scar)を

第1表 北茨城・高萩地域に分布する多賀層群の海底谷埋積物のユニットのリスト。

Table 1 List showing units of submarine channel fills of the Taga Group distributed in the Kitaibaraki-Takahagi area.

Unit	Diatom interval	Max. age range (Ma)	District	Hirakata	Otsu					Isohara			Takahagi					Ishi	Juo		
			Code in Figs. 11, 20, 23, 26 and 27	Hirakata Channel	Otsu Channel	Kamioka Channel	Warabidaira Channel	Futatsushima Channel	Isohara Channel	Shiomiigaoka Channel	Shiotsugawa Channel	Nakago Channel	Takahagi Composite Channel					Ishitaki Channel	Ishi Channel	Iwamoto Channel	Ishihama Channel
													Wajiku Channel	Sugjoka Channel	Ishigawara Ch.	Midorigaoka Ch.	Shimana Channe				
Lithology in parenthesis after code indicates main facies (See Fig. 10)																					
T14	5D2-6A	9.6-9.0?	T14 (mudstone)																●		
T12	5C2-5C3	10.5?-10.0	T12 (mudstone) T12s (sandstone)		●													●	●		
T11	5C1-5C2	11.4-11.1	T11 (mudstone) T11s (sandstone)		●			●			●	●	●								
T10	5B3-5B4	12.3-11.4	T10 (mudstone) T10s (sandstone)					●	●		●	●	●					●			
T9	5B1-5B2	12.7-12.3	T9 (mudstone) T9s (sandstone)						●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			
T8	5A	13.1-12.7	T8 (mudstone)	●				●	●			●	●	●				●			
T7	4Bb	14.1-13.1	T7 (mudstone)	●				●	●	●		●	●	●	●	●		●			
T6	4Ba	14.5-14.1	T6 (mudstone)	●				●	●	●		●	●	●	●	●		●			
T5	4A6-4A7	14.8-14.5	T5 (mudstone) T5s (sandstone)	●	●				●			●	●	●	●	●		●	●		
T4	4A3-4A6	15.6-15.1	T4 (mudstone)	●	●							●	●								
T3	4A2	15.8-15.6	T3 (mudstone)	●	●		●						●								
T2	4A1	15.9-15.8	T2 (mudstone)		●	●	●	●		●											
T1	3B1-3B2	16.6-16.2?	T1 (mudstone) T1s (sandstone) T1g (conglomerate)		●	●	●														

埋積する堆積物である。高萩地域には多賀層群の高戸ユニットと小貝ヶ浜ユニットが分布する(第3図)。

本地域では海底地すべり体そのものは残存していないので、これらを海底地すべり痕埋積物であると断定することはできないが、以下に示す性質は、実際に海底地すべり痕を埋積したとされる例(久保ほか, 1990, 1994; 小佐野ほか, 2007)の性質とよく一致する。

(1) 海底地すべり痕埋積物と推定される堆積物の基底(初生的には侵食面と思われる)を境界にして、微化石年代層序学的に時間間隙が存在する。

(2) 基底面は下位層の地層面とほぼ平行で、下位層の地層面を斜めに切る海底谷の基底面とは明らかに異なる。

(3) 基底面は層理面と平行なため、通常層理面とは区別が難しい場合が多く、微化石分析によって地質学的スケールの時間間隙が存在することが判明して、初めて認識できる。

(4) 基底面の近傍には、海緑石砂岩層などの堆積の遅滞を示すような兆候は全く見られない。

(5) 海底地すべり痕埋積物は下位層の泥岩層よりも、粒

北茨城・高萩地域の新第三系多賀層群と日立層群（柳沢・安藤）

第2表 北茨城・高萩地域における多賀層群の海底谷のリスト。

Table 2 List of submarine channels of the Taga Group in the Kitaibaraki-Takahagi area.

District	Channel	Max. width (km)	Max. length (km)	Direction of channel	Max. age range (Ma)	Unit	Main sedimentary facies	
Hirakata	Hirakata	0.9	1.9	WSW-ENE → WNW-ESE	15.8–12.7	T3 T4 T5 T6 T7 T8	Mudstone, sandy mudstone, alternating beds of mudstone and sandstone	
Otsu	Otsu	1.1	3.9	WNW-ESE	16.6–10.0	T1 T2 T3 T4 T5 T11 T12	Mudstone, sandy mudstone, alternating beds of mudstone and sandstone, thick sandstone	
	Kamioka	1.2	1.5	WNW-ESE	16.6–15.8	T1 T2	Mudstone, alternating beds of mudstone and sandstone, thick sandstone, conglomerate	
	Warabidaira	0.3	0.4	WNW-ESE	16.6–16.2?	T1	Alternating beds of muddy sandstone and sandstone, sandy mudstone	
	Futatsushima	0.3	0.4	WNW-ESE	15.9–15.6	T2 T3	Mudstone	
Isohara	Isohara	1.1	2.6	NW-SE	15.9–11.1	T2 T6 T7 T8 T10 T11	Mudstone, sandy mudstone, fine- to medium sandstone, thick sandstone	
	Shiomigaoka	0.9	2.2	NW-SE	14.8–11.4	T5 T6 T7 T8 T9 T10	Mudstone, sandy mudstone, muddy sandstone, alternating beds of mudstone and sandstone	
	Shiotagawa	0.4	1.0	WNW-ESE	15.9–12.3	T2 T6 T7 T9	Mudstone, and sandy mudstone	
Takahagi	Nakago	0.9	3.2	WNW-ESE	12.7?–11.1	T9 T10 T11	Thick sandstone, sandy mudstone, alternating beds of mudstone and sandstone	
	Takahagi Composite	Wajiku	0.8	1.8	WNW-ESE	15.6–11.1	T4 T5 T7 T11	Mudstone, sandy mudstone
		Sugioka	1.0	1.6	WNW-ESE	15.8–11.1	T3 T4 T5 T6 T7 T8 T9 T10 T11	Mudstone, sandy mudstone
		Ishigawara	1.0	1.6	W-E	14.8–11.1	T5 T6 T7 T8 T9 T10 T11	Mudstone, sandy mudstone
		Midorigaoka	1.4	2.0	WNW-ESE	14.8–11.4	T5 T6 T7 T8 T9 T10	Mudstone, sandy mudstone
Shimana		0.9	1.5	W-E	14.8–12.3	T5 T6 T7 T9	Mudstone, sandy mudstone	
Ishi	Ishitaki	0.6?	1.8	WNW-ESE	12.7–10.0	T9 T12	Mudstone, sandy mudstone, thick sandstone	
	Ishi	1.5	2.4	NW-SE	14.8–10.0	T5 T6 T7 T8 T9 T10 T12	Mudstone, sandy mudstone	
Juo	Iwamoto	1.2+	1.8	WSW-ENE	-	T5	Thick sandstone, pebbly sandstone	
	Ishihama	0.1	0.4	NW-SE	9.6–9.0?	T14	Mudstone	

第3表 北茨城・高萩地域に分布する日立層群の海底谷埋積物のユニットのリスト。

Table 3 List showing the units of submarine channel fills of the Hitachi Group distributed in the Kitaibaraki-Takahagi area.

Unit	Diatom interval	Max. age range (Ma)	Main sedimentary facies	Channel
H11	8a.r-8b	ca. 3.1	Sandy mudstone	Ibukiyama
H10	8a.r	ca. 3.2	Sandstone, sandy mudstone	Ibukiyama Kakozawa Koishikawa
H9	8a.r	ca. 3.3	Sandy mudstone, alternating beds of sandy mudstone and sandstone	Ibukiyama Koishikawa Uwadai
H8	7Bb.r-8a.r	3.6-3.4	Sandy mudstone, alternating beds of sandy mudstone and sandstone	Ibukiyama Koishikawa Uwadai
H7	7Bb-7Bb.r	-	Sandy mudstone, mudstone, alternating beds of sandy mudstone and sandstone	Ibukiyama Koishikawa Uwadai
H6	7Bb-7Bb.s	-	Mudstone, sandy mudstone, alternating beds of sandy mudstone and sandstone	Ibukiyama Unomisaki

第4表 北茨城・高萩地域における日立層群の海底谷のリスト。

Table 4 List of submarine channels of the Hitachi Group in the Kitaibaraki-Takahagi area.

Channel	Max. width (km)	Max. length (km)	Direction of channel	Max. age range (Ma)	Unit	Main sedimentary facies
Ibukiyama	0.8	2.3	WNW-ESE	4.6-3.1	H6 H7 H8 H9 H10 H11	Sandy mudstone, alternating beds of sandy mudstone and sandstone, thick sandstone
Kakozawa	0.5	1.4	WNW-ESE	ca. 3.2	H10	Thick sandstone
Koishikawa	0.4	1.0	WNW-ESE	4.0-3.2	H7 H8 H9 H10	Sandy mudstone, alternating beds of sandy mudstone and sandstone, mudstone
Uwadai	0.3	4.5	NNW-SSE or N-S → WSW-ESE	4.0-3.3	H7 H8 H9	Sandy mudstone, alternating beds of sandy mudstone and sandstone, mudstone
Unomisaki	0.9	3.1	NNW-SSE → NW-SE	4.6-4.4	H6	Sandy mudstone, mudstone

度がやや粗粒で砂質泥岩を主体とする場合が多い。

- (6) 稀に下位層由来のメガクラスト(大きさ1-3 m程度)が基底面上に残存する場合がある。
- (7) 海底地すべり痕の側壁と思われる露頭は存在するが、海食崖にあって近づけないため、それを確かめることはできない。海底地すべり痕の後壁を示す露頭は

今のところ見つかっていない。

海底地すべり痕埋積物は、基底の侵食面が下位層の層理面とほぼ平行で、海底谷埋積物のように向斜状の地質構造をとらず、常磐地域の一般走向である南北ないし北北東-南南西方向の走向に平行な走向を示す。この特徴によって海底谷埋積物とは区別できる。陸棚及び陸棚斜

面堆積物とは、地質構造の点では共通するが、基底に時間間隙を持つ侵食面があることにより区別される。

海底地すべり痕埋積物では、海底谷堆積物とほぼ同様の堆積相が認められる(第10図)。また、年代は珪藻化石年代層序に基づき、主要なルートでの下限及び上限の堆積年代を推定した(第7図)。

5. 多賀層群の層序

5.1 層序の概要

地層名は横山(1920)の「多賀統」に由来し、現在の茨城県北部の海岸沿いの地域を示す多賀地方または旧多賀郡(高萩市・北茨城市全域と日立市の大部分を含む)にちなむ。いわゆる「多賀層群」は現在の高久層群、多賀層群及び日立層群を含むが、須貝・松井(1953)によって高久層群が「多賀層群」から分離され、さらに安藤ほか(2011)によって日立層群が切り離された(第2図)。しかし、本論文では、高久層群を層の単位にランクを下げて、再び多賀層群最下部に繰り入れる。

多賀層群は、(1)陸棚及び陸棚斜面堆積物、(2)海底谷埋積物、(3)海底地すべり痕埋積物の3種類の堆積形態の堆積物に区分できる(安藤ほか、2011;第3図)。

陸棚及び陸棚斜面堆積物は砂岩、砂質泥岩及び泥岩からなる陸棚～陸棚斜面上部で堆積した通常の堆積物で、本地域内では、高久層、城戸場層、小浜層、十王川層及び楯形層に区分される。

海底谷埋積物は、小規模な海底谷を埋積した堆積物で、ユニットT1からT14が識別されるが、本地域内にはユニットT13は分布しない(第3図)。

海底地すべり痕埋積物は、大規模な海底地すべりが生じた痕を埋積した砂質泥岩からなる堆積物である。本地域内では、高戸及び小貝ヶ浜の2ユニットが認められる。

多賀層群は、北茨城・高萩地域内では、沿岸部にそって断続的に分布する(第5図)。多賀層群のうち、最も古いのは高久層で、その下部からは区間NPD3A₂(16.7–16.6 Ma)の珪藻化石が産出する。一方、多賀層群で最も若いのは海底地すべり痕埋積物の小貝ヶ浜ユニットで、その上限はNPD7A帯の下部(区間7A₁)の中にあり、年代は約7Ma前後である。従って、多賀層群全体の年代は、約16.7–7 Ma(前期中新世末から後期中新世後期)である。

以下では、説明の都合から最も広く分布する海底谷埋積物から記載する。

5.2 海底谷埋積物

本地域内の多賀層群の海底谷としては、北から平潟、大津、神岡、ワラビ平、二ッ島、磯原、汐見ヶ丘、塩田川、中郷、上宿^{わじく}、杉岡、石河原、翠ヶ岡、島名^{みどりがおか}、石滝、伊師、岩本及び伊師浜^{いしはま}の18の海底谷が認められる(第5図)。このうち、上宿、杉岡、石河原、翠ヶ岡、島名海底谷は相互の境界が明瞭ではなく、全体として複合した海底谷と

なっているため、これを高萩複合海底谷と呼ぶ。

本地域で認められるユニットT1からT12とT14の珪藻区間・年代、主な岩相及び海底谷内での分布状況を第1表に、また年代分布を第7図にまとめた。また、現在地表で確認できる各海底谷の最大幅、最大長、延びの方向、内部に残存している堆積物の年代、海底谷を埋積するユニット、堆積物の層相を第2表にまとめた。

各ユニットは主に泥岩相、砂質泥岩相、泥岩・砂岩互層及び砂質泥岩・砂岩互層相からなるが、ユニットによっては泥質砂岩・砂岩互層相、細一中粒砂岩相、厚砂岩相、礫質砂岩相または礫岩相を含む(第10図)。多賀層群の泥岩相は珪藻質で塊状無層理であり、一部は生物源シリカの続成作用の結果、硬質泥岩となっている。

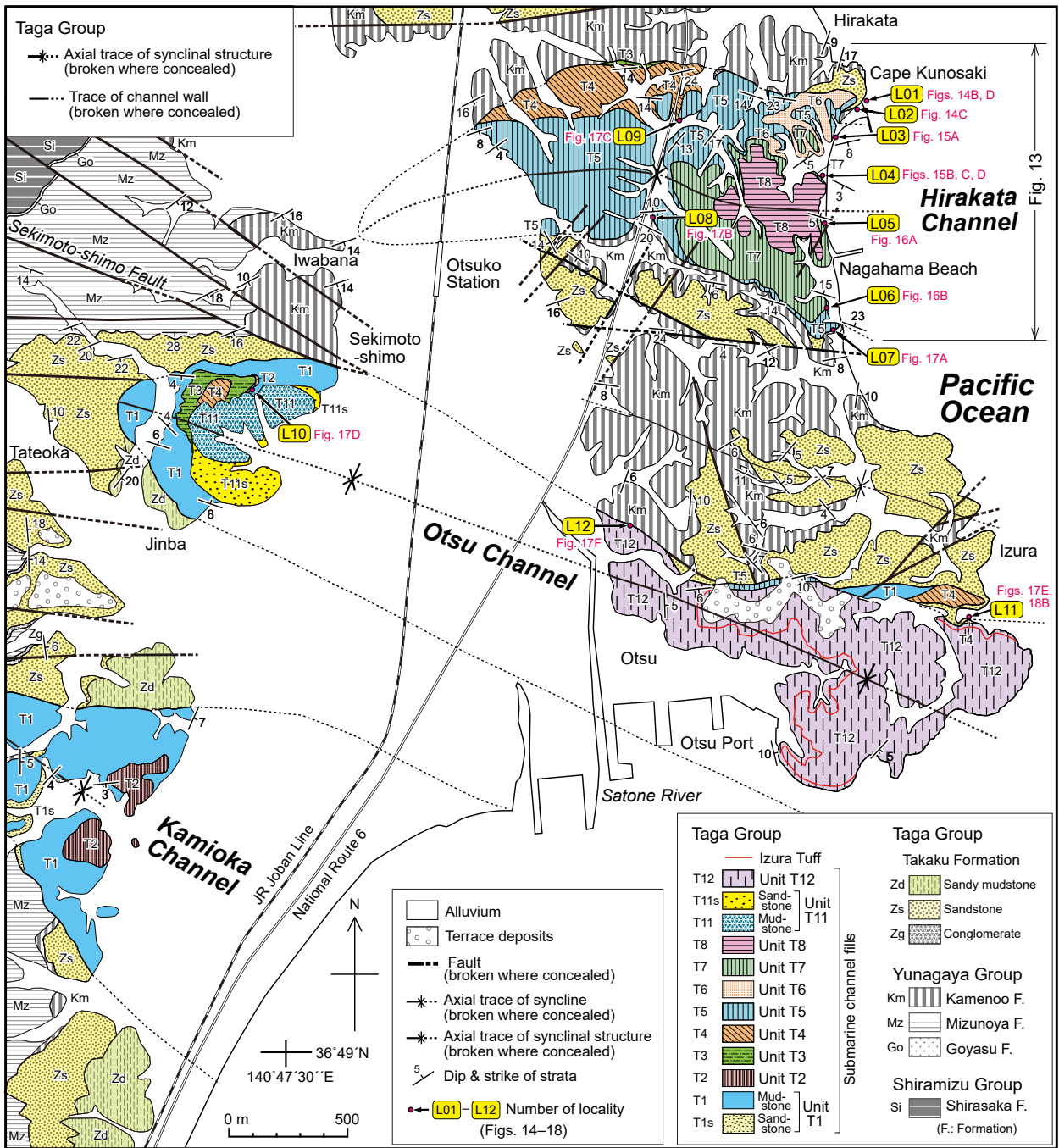
以下、各海底谷の形態、規模、年代、ユニットの層相について、北から順に記載する。なお、ユニット名の後の括弧内に珪藻区間を示す。

5.2.1 平潟海底谷

最大幅0.9 km、最大長1.9 kmの海底谷で、上流部は西南西–東北東方向に延びるが、途中で方向が変化し、下流部の延びの方向は西北西–東南東である(第11図)。本海底谷は、泥質堆積物を主とするT3、T4、T5、T6、T7、T8の6つのユニットからなる。現在残っている堆積物の最大年代幅は15.8–12.7 Maである。なお、安藤ほか(2011)では平潟海底谷内の堆積物を5つのユニットに区分したが、この論文ではその後の詳細な調査に基づいて区分を一部修正し、ユニット名も多賀層群に共通なコード名に統一した(第2図B)。各ユニットの柱状図と珪藻区間を第12図に、露出のよい長浜海岸のルートマップを第13図に、またユニット間の関係を示す露頭の写真やスケッチを第14図～第17図に示した。

ユニットT3(NPD4A₂)は砂質泥岩相からなり、平潟海底谷の北西縁にわずかに露出する。ユニットT4(NPD4A₃–4A₆)は最下部が砂質泥岩相からなるものの、殆どは珪藻質の泥岩相からなり、海底谷中央部では厚さ数cm以下の薄い砂岩層を挟む泥岩・砂岩互層相からなる。

ユニットT5(NPD4A₆–4A₇)は、向斜状構造の北翼では主に珪藻質の泥岩相からなり、中部及び上部では珪長質の細粒ガラス質凝灰岩薄層(厚さ数cm以下)を多数挟む。とくに本ユニット中部には厚さ1–3 mの珪長質の粗粒凝灰岩(九ノ崎凝灰岩)が挟まれている(第14図C)。また、本ユニットの上部では一部で珪藻質泥岩が続成作用の結果、黒色の硬質泥岩に変化している。一方、南翼の層序セクションS14では、北翼よりも岩相が粗粒で、主に砂質泥岩相からなり、最上部は泥質砂岩層となる(第12図)。ユニットT5は長浜海岸の北端の地点L01とL02(海底谷の北側測壁)において高久層にアバットする(第14図B、D)。注目されるのは、高久層を切る東西性の小断層群(正確な方向は危険なため近づけず測定できない)



第11図 平潟海底谷と大津海底谷の地質図。

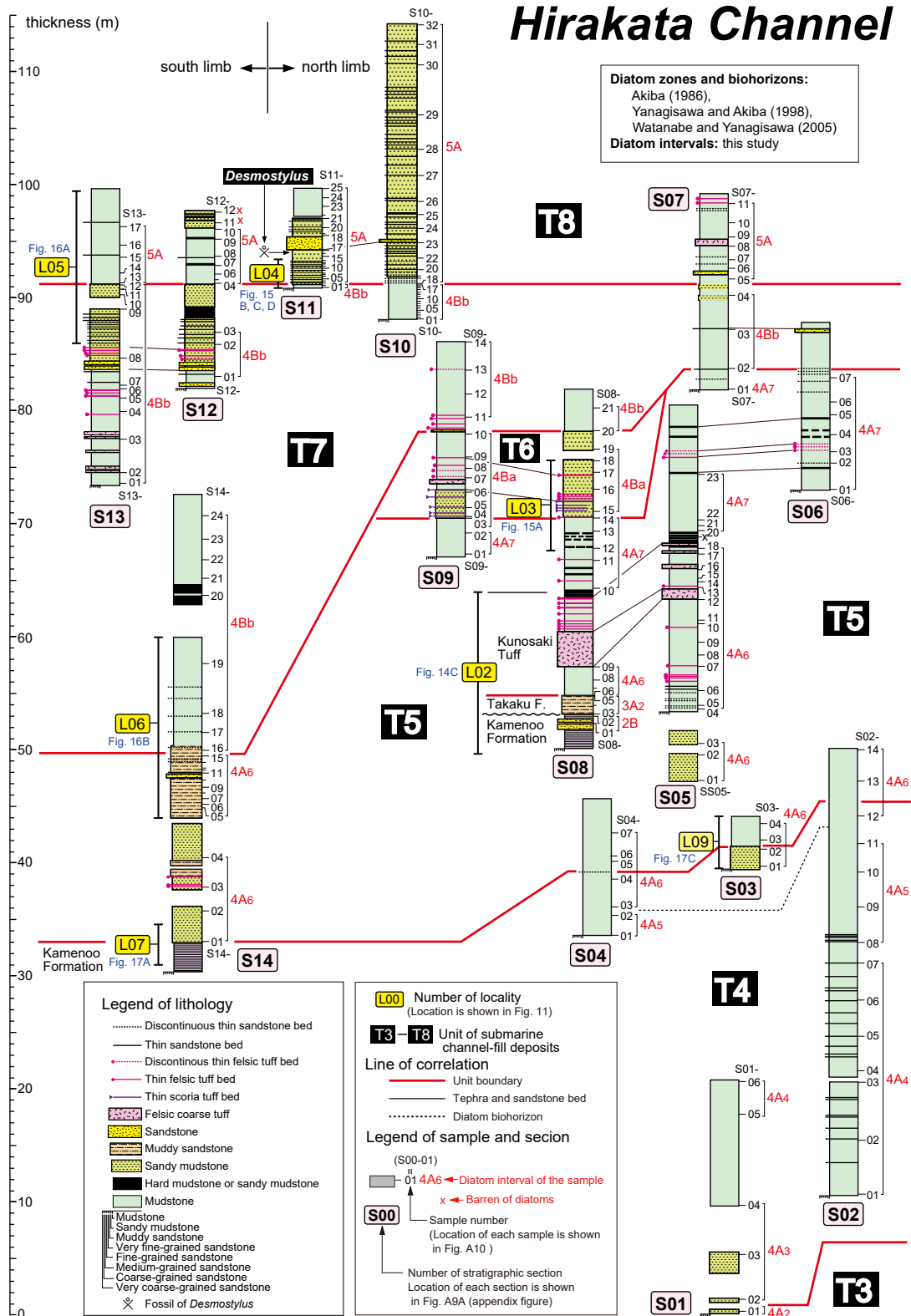
Fig. 11 Geological map of the Hirakata and Otsu channels.

がユニットT5との境界面で終わっていて、ユニットT5を切っていないことである。一方、海底谷南側壁(地点L07やL08)では、ユニットT5の泥岩相が湯長谷層群の亀ノ尾層の葉理泥岩に接する(第13図, 第17図A, B)。また、地点L09ではユニットT5がT4を覆う(第17図C)。

ユニットT6(NPD4Ba)は泥岩相及び砂質泥岩相からなり、長浜海岸の地点L03において、ユニットT5と侵食面

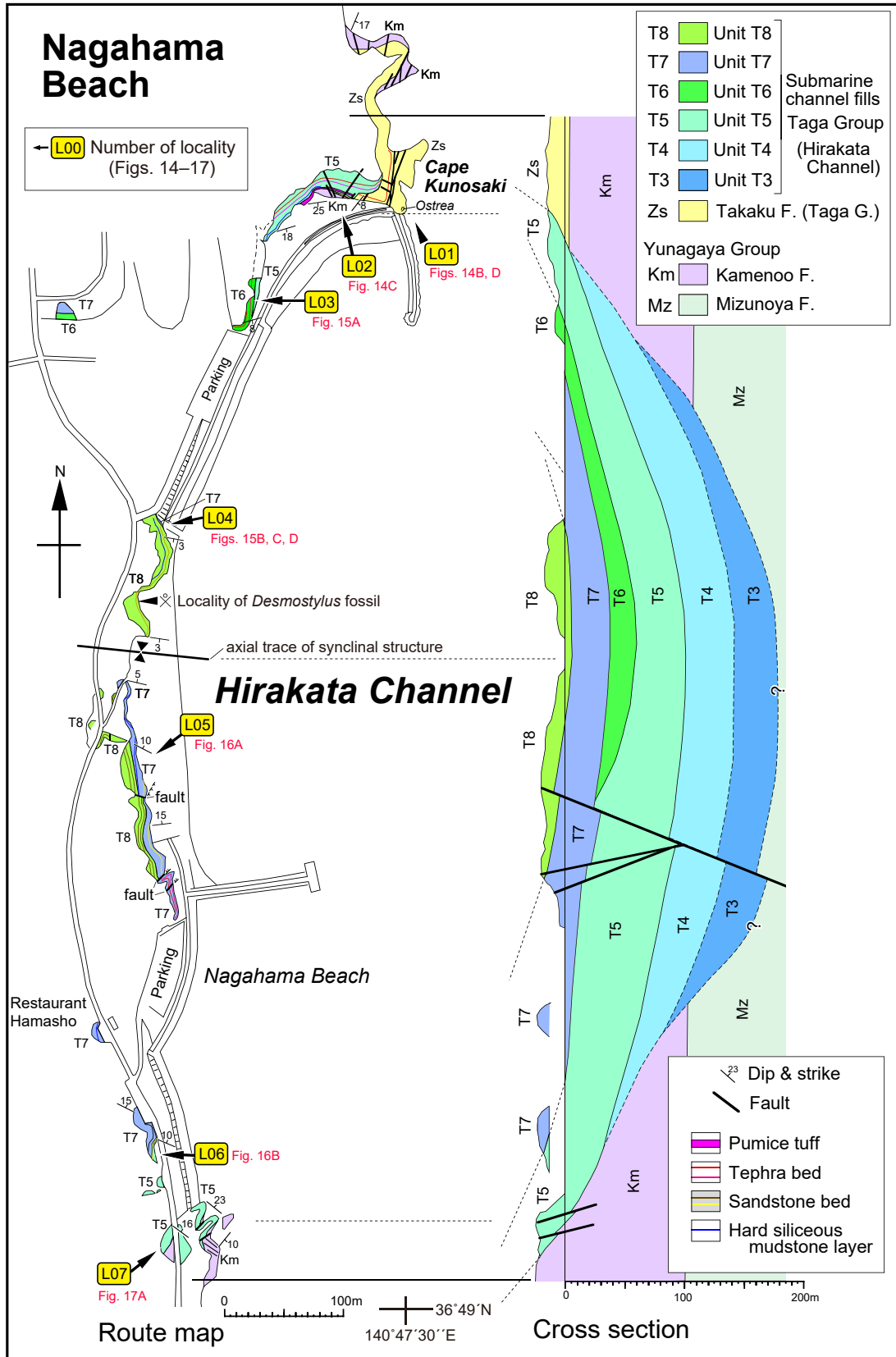
で接する(第13図, 第15図A)。ユニットT6の最下部ではスコリア質凝灰岩薄層(厚さ数cm以下)が、中部では珪長質の細粒ガラス質凝灰岩(厚さ数cm以下)が多数挟在する。ユニットT6は平潟海底谷の向斜構造の北翼のみ分布し南翼では欠如する(第11図, 第12図)。

ユニットT7(NPD4Bb)は主に珪藻質の泥岩相からなるが、南翼の最上部では砂質泥岩・砂岩互層相からなる。



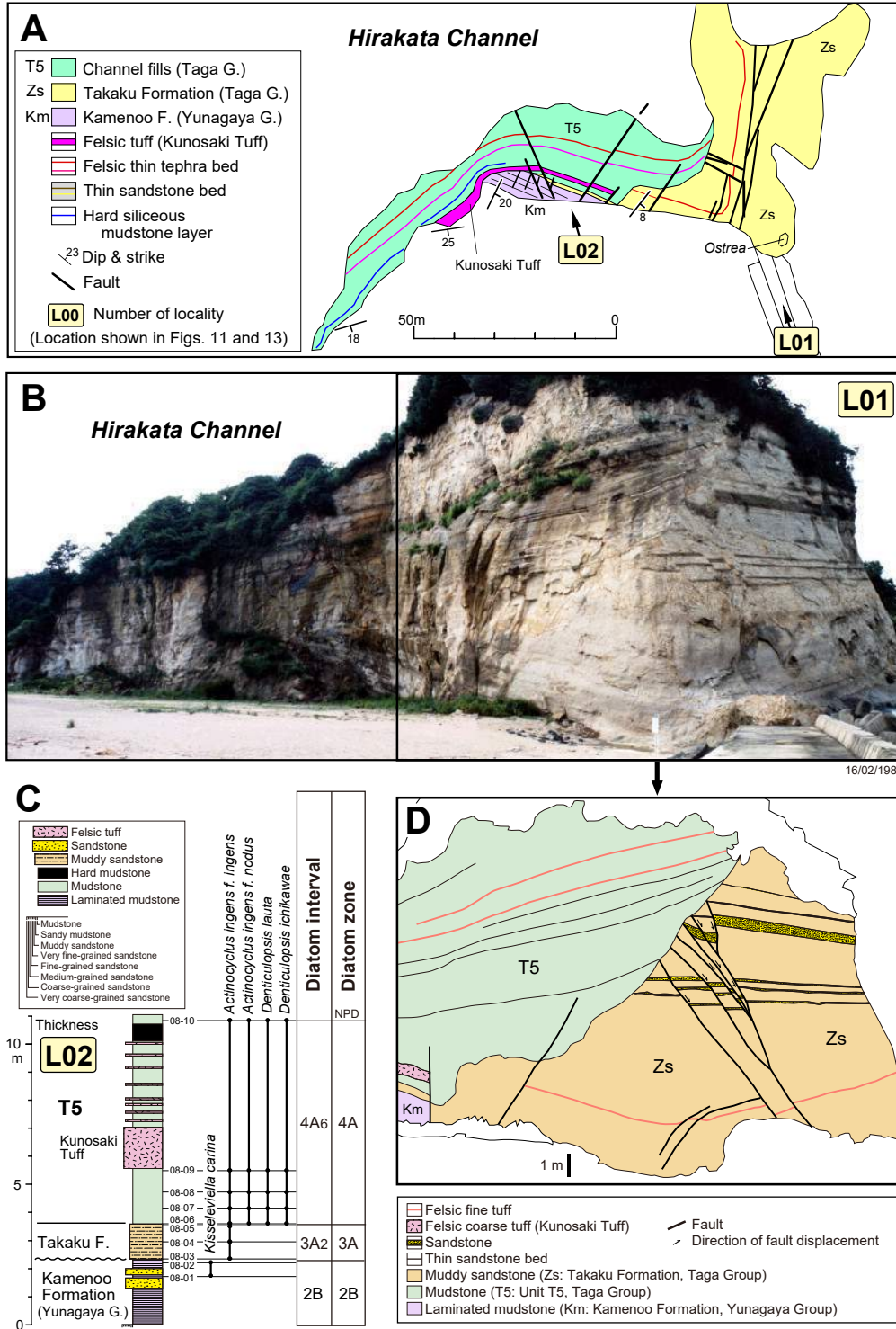
第12図 平潟海底谷埋積物の対比。各層序セクションの位置は付図9に、試料採取地点は付図10に、珪藻化石の産出表は付表1から9に示す。

Fig. 12 Correlation of submarine channel fills in the Hirakata Channel. Locations of stratigraphic sections and diatom samples are shown in Figs. A9 and A10, respectively. Occurrence charts of diatoms are shown in Tables A1-A9.



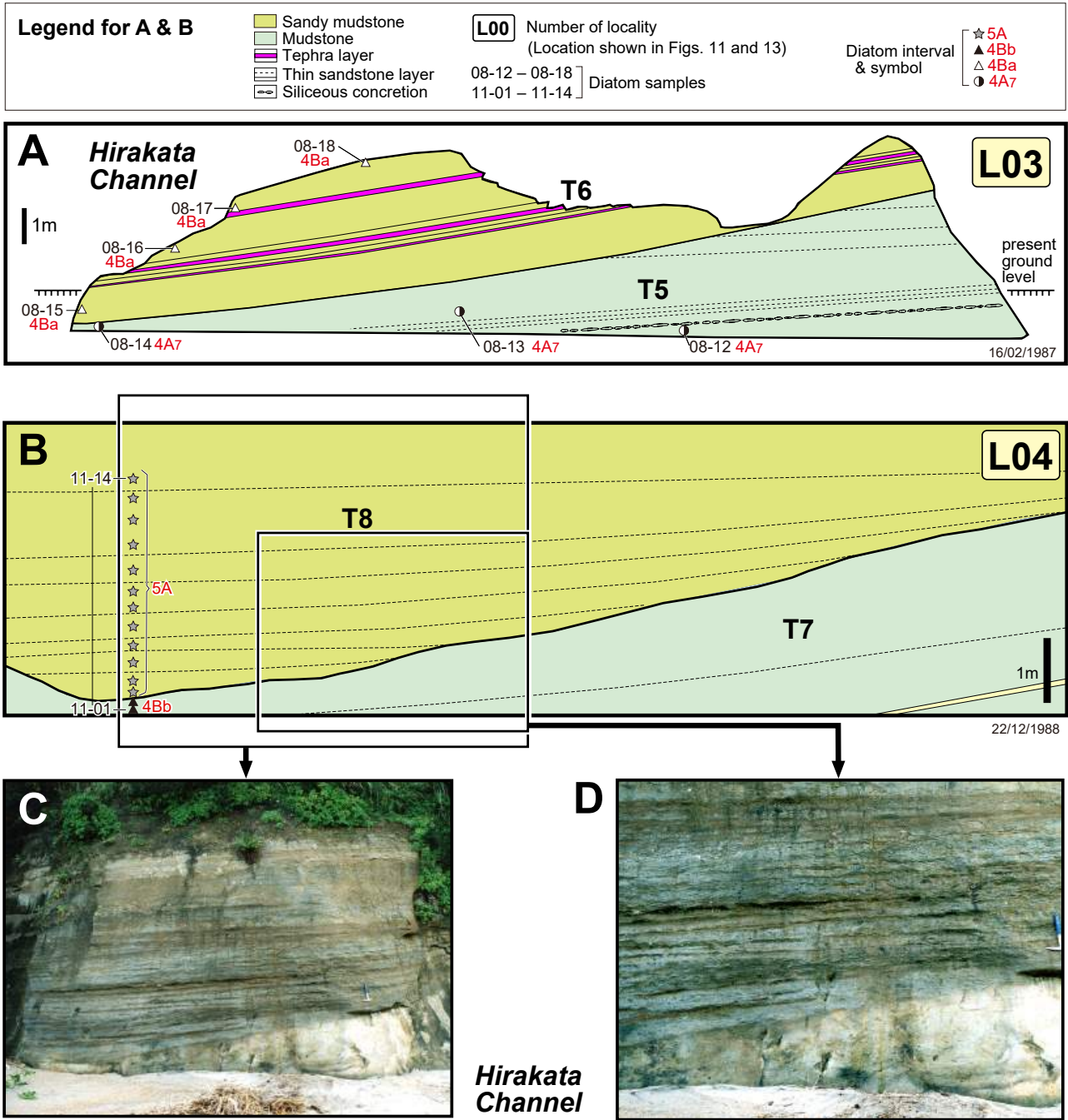
第13図 北茨城市長浜海岸における平潟海底谷のルートマップと断面図。

Fig. 13 Route map and cross section of the Hirakata Channel along the Nagahama Beach, Kitaibaraki City.



第14図 平潟海底谷の側壁の露頭写真及びスケッチ(地点L01)と地点L02の柱状図。北茨城市九の崎。各露頭の位置は第11図及び第13図に示す。A) 九の崎付近のルートマップ。B) 地点L01における平潟海底谷の側壁の露頭写真。C) 地点L02における湯長谷層群の亀ノ尾層・多賀層群の高久層及びユニットT5の珪藻化石層序。D) 露頭写真(B)の一部のスケッチ。

Fig. 14 Photograph and sketch of an outcrop showing the northern channel wall of the Hirakata Channel at locality L01, and columnar section at locality L02 (Cape Kunosaki, Kitaibaraki City). Location of each outcrop is shown in Figs. 11 and 13. A) Route map near Cape Kunomisaki. B) Photograph showing the channel wall of the Hirakata Channel at locality L01. C) Diatom biostratigraphy of the Kamenoo Formation (Yunagaya Group) and Takaku Formation (Taga Group) and the Unit T5 of the Taga Group. D) Sketch of the part of the photograph B.

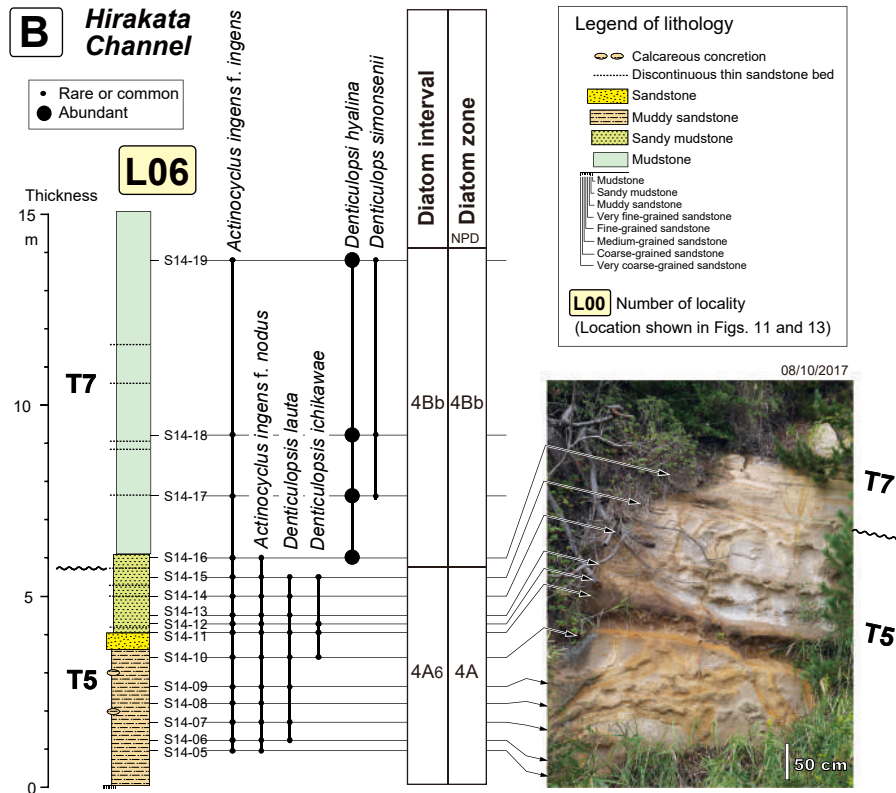


第15図 北茨城市長浜海岸の地点L03とL04で見られる平潟海底谷内のユニット境界の露頭。各露頭の位置は第11図及び第13図に示す。A) ユニットT5とT6の境界が見られる地点L03の露頭のスケッチ。B) ユニットT7とT8の境界が見られる地点L04の露頭のスケッチ(2019年3月現在, L04の下部は海岸砂で埋没し, ユニットT7は観察できない)。C, D) 地点L04の露頭写真。ハンマーの長さは32 cm。

Fig. 15 Outcrops showing unit boundaries in the Hirakata Channel at localities L03 and L04, Nagahama Beach, Kitaibaraki City. Location of each outcrop is shown in Figs. 11 and 13. A) Sketch of an outcrop at locality L03, showing the unit boundary between the Units T5 and T6. B) Sketch of an outcrop at locality L04, showing the unit boundary between the Units T7 and T8. C, D) Photographs of an outcrop at locality L04. The length of hammer is 32 cm.

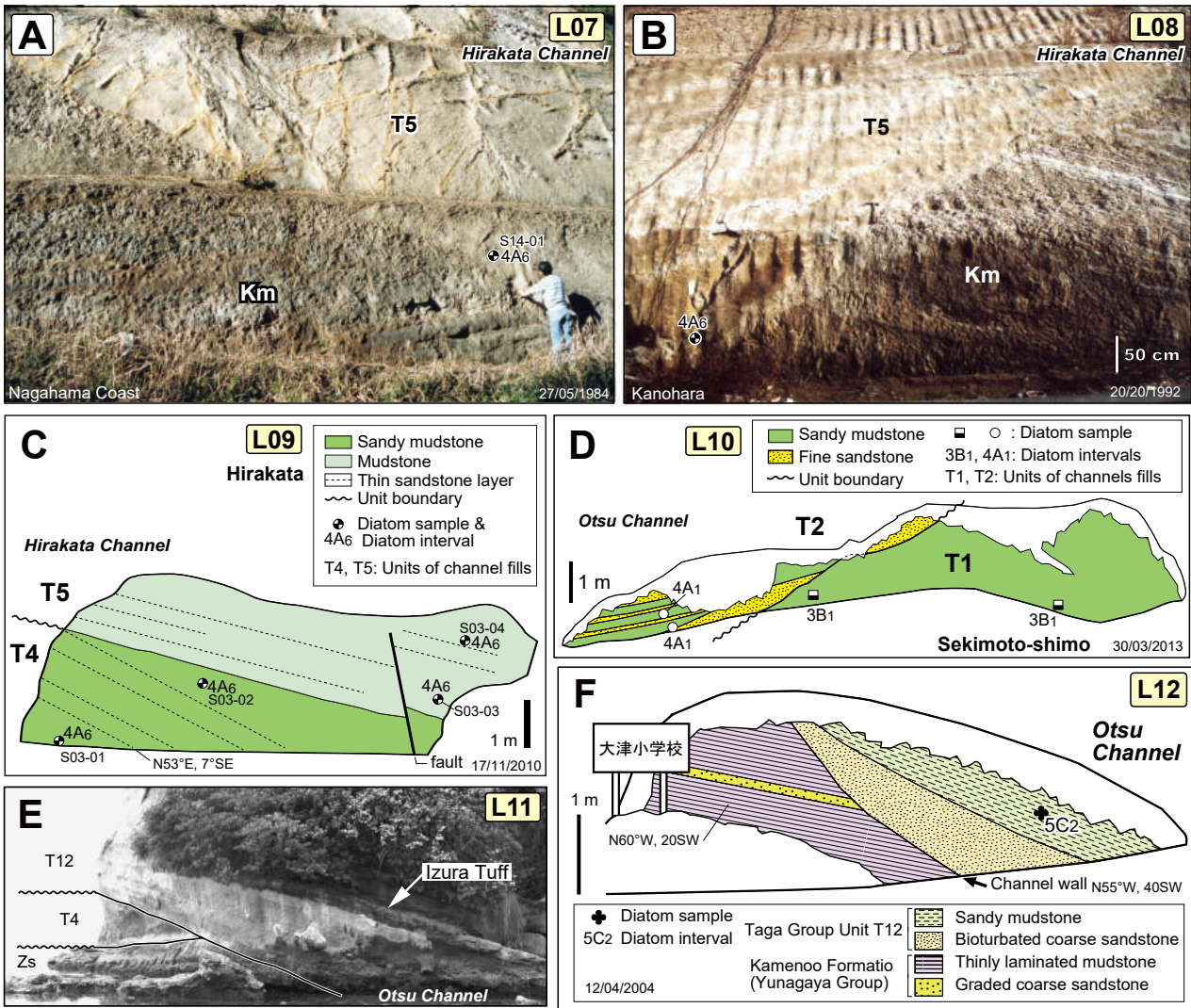


15/11/2011



第16図 北茨城市長浜海岸の地点L05とL06で見られる平潟海底谷内のユニット境界の露頭。各露頭の位置は第11図及び第13図に示す。A) ユニットT7とT8の境界が見られる地点L05の露頭写真。B) ユニット5とT7の境界が見られる地点L06の露頭写真と珪藻化石層序。

Fig. 16 Outcrops showing unit boundaries in the Hirakata Channel at localities L05 and L06, Nagahama Beach, Kitaibaraki City. Location of each outcrop is shown in Figs. 11 and 13. A) Photograph of an outcrop at locality L05, showing the unit boundary between the Units T7 and T8. B) Photograph of an outcrop at locality L06, showing the unit boundary between the Units T5 and T7, with diatom biostratigraphy of this outcrop.



第17図 平潟及び大津海底谷内の側壁及びユニット境界を示す露頭写真と露頭スケッチ。露頭の位置は第11図に示す。A) 平潟海底谷の側壁の露頭(地点L07, 長浜海岸)。Km: 湯長谷層群亀の尾層(薄葉理泥岩), T5: ユニットT5(泥岩), S14-01: 珪藻試料番号, 4A6: 珪藻区間。B) 平潟海底谷の南側壁の露頭(地点L08, 北茨城市平潟鹿野原)。C) 平潟海底谷内のユニットT4とT5の境界の露頭(地点L09, 北茨城市大原内)。D) 大津海底谷内のユニットT1とT2の境界の露頭(地点L10, 北茨城市関本下)。E) 大津海底谷北壁の露頭(地点L11, 北茨城市小五浦)。Zs: 高久層(泥質極細粒砂岩), T4: ユニットT4(泥岩), T12: ユニットT12(泥岩及び泥岩・砂岩互層, 五浦凝灰岩層を挟む)。F) 大津海底谷北壁の露頭(地点L12, 北茨城市細田, 大津小学校入口付近)。

Fig. 17 Photographs and sketches of outcrops at localities L07-L12, showing channel walls and unit boundaries in the Hirakata and Otsu channels. Location of each outcrop is shown in Fig. 11. A) Outcrop of the southern channel wall of the Hirakata Channel at locality L07, Nagahama Beach. Km: Kamenoo Formation (thinly laminated mudstone), Yunagaya Group. T5: Unit 5 (mudstone), S14-01: diatom sample number, 4A6: diatom interval. B) Outcrop of the southern channel wall of the Hirakata Channel at locality L08, Kanohara, Kitaibaraki City. C) Outcrop showing the unit boundary between the Units T4 and T5 in the Hirakata Channel at locality L09, Oharauchi, Kitaibaraki City. D) Outcrop showing the unit boundary between the Units T1 and T2 in the Otsu Channel at locality L10, Sekimoto-shimo, Kitaibaraki City. E) Outcrop showing the northern channel wall of the Otsu Channel at locality L11, Ko-izura, Kitaibaraki City. Zs: Takaku Formation (muddy very fine-grained sandstone), T4: Unit T4 (mudstone), T12: Unit T12 (mudstone, and interbedded mudstone and sandstone) intercalating Izura Tuff Bed. F) Outcrop showing the northern channel wall of the Otsu Channel at locality L12 near the entrance of Otsu Elementary School, Hosoda, Kitaibaraki City.

地点L06では、ユニットT7がユニットT6を欠いてユニットT5を覆うのが確認されるが、上下の構造差がないので、肉眼では境界を認定できない(第16図B)。そのほか、ユニットT7は、層序セクションS09とS08ではユニットT6を、層序セクションS06とS07ではユニットT5をそれぞれ覆う(第12図)。

ユニットT8 (NPD5A)は現在地表に露出している平潟チャンネルの最上部を占めるユニットで、向斜状構造の軸部に分布する。北翼では主に砂質泥岩・砂岩互層相からなる。砂岩層は通常数cm以下と薄い、層序セクションS11では厚さ約1 mの比較的厚い砂岩層が挟まれている。一方、南翼では主に泥岩相からなり、稀に薄い砂岩層を挟む。地点L04には、ユニットT8がユニットT7を覆う露頭が存在したが、現在では護岸工事のためユニットT7の部分はすべて海岸砂に埋れていて観察できない(第15図B-D)。地点L05の大規模な露頭では、ユニットT8がユニットT7を覆っており、両者の構造差が確認できる(第16図A)。層序セクションS11の厚い砂岩層の直下から束柱類*Desmostylus* sp.の大臼歯化石が産出している(第12図、第13図；佐藤ほか、1992；柳沢ほか、2016)。

5.2.2 大津海底谷

最大幅1.1 km、最大長3.9 kmで西北西-東南東方向に延びる比較的規模の大きな海底谷で(第11図)、内部にT1, T2, T3, T4, T5, T11, T12の7つのユニットが認められる。主に泥質堆積物からなるが、ユニットT11とT12では一部砂質堆積物が発達する。現存する堆積物の最大年代幅は16.6-10.0 Maである。柳沢(1996a)と安藤ほか(2011)でも大津海底谷内の堆積物を幾つかのユニットに区分して命名しており、それらのユニットと本研究のユニットの対応関係は第2図Bに示した。このほか、Mitsui *et al.* (1973)、加藤(1979)及びKato (1980)で“Otsu Formation”と呼ばれていた部分のほとんどは本論文のユニットT12にあたる。

ユニットT1 (NPD3B₁-3B₂)は泥岩相からなる。大津海底谷最上流部において海底谷底から両壁に沿って分布するほか、下流部の北壁近傍にもわずかに残存する。泥岩相及び泥岩・砂岩互層相からなるユニットT2 (NPD4A₁)は、最上流部の北翼部にわずかに分布する。地点L10(第17図D)では、ユニットT2がユニットT1を覆うのが観察された。ユニットT3 (NPD4A₂)とユニットT4 (NPD4A₃)も泥岩相からなり上流部の谷底部に分布する。このほか、ユニットT4(砂質泥岩相)は下流部の小五浦付近に露出する大津海底谷北壁付近(地点L11)において、高久層とユニットT12の間に挟在する(第18図)。ユニットT5 (NPD4A₆-4A₇)は泥岩相からなり、大津海底谷中流部の北壁部にへばりつくようにわずかに分布する。

ユニットT11 (NPD5C₁)は大津海底谷上流部の向斜構造の軸部に分布する。岩相は泥岩相を主とする部分(T11)

と厚砂岩相からなる部分(T11s)に分けられる(第11図)。

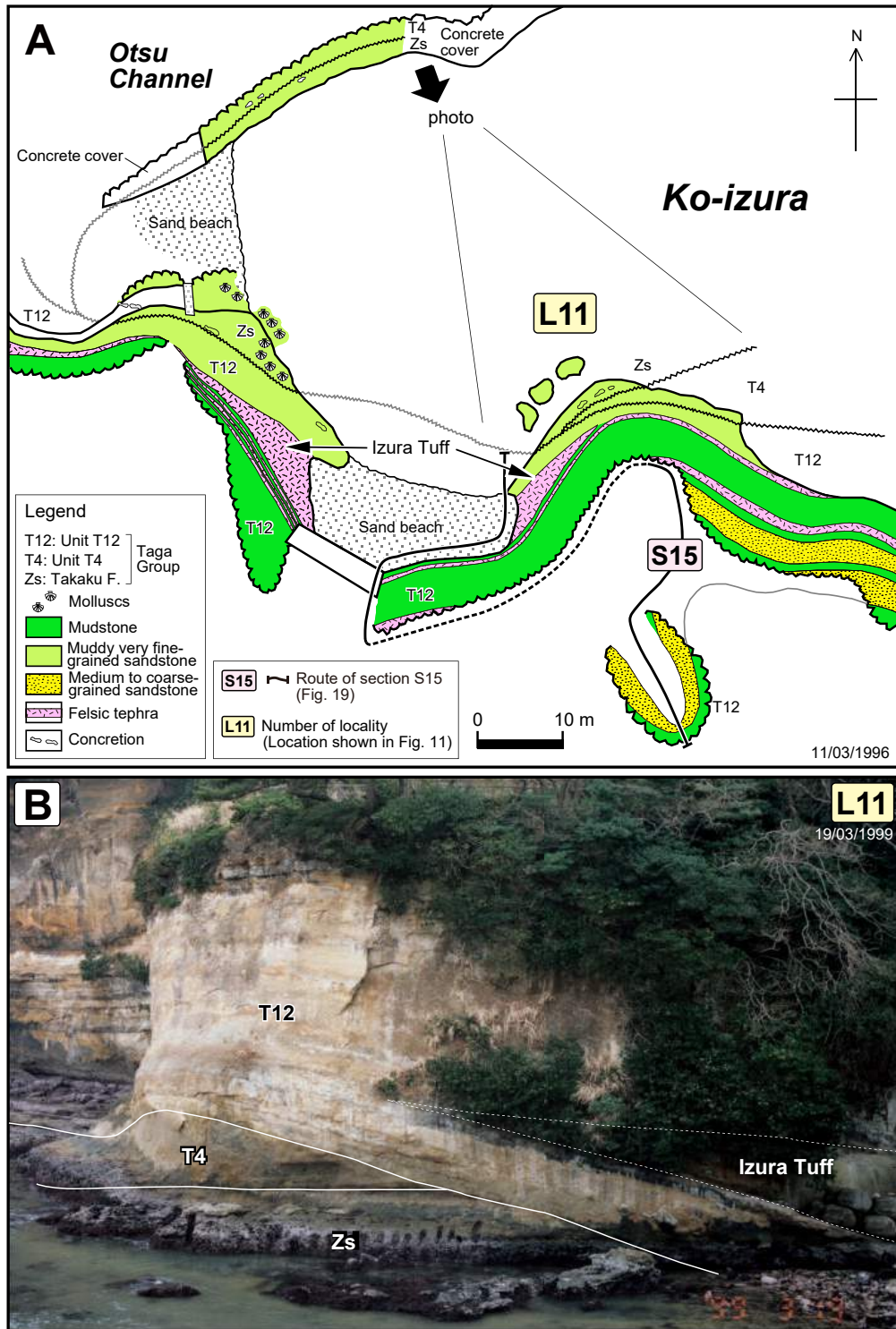
ユニットT12 (NPD5C₂-5C₃)は、大津海底谷の下流中央部の大部分を占め、泥岩相、砂岩・泥岩互層相及び厚砂岩相からなる。北茨城市小五浦の地点L11では、大津海底谷の北壁が見られ、ユニットT12が高久層に接するのが観察できる(第17図E、第18図B)。また、地点L12ではユニットT12が亀ノ尾層に接する(第17図F)。ユニットT12からは、加藤(1979)、Kato (1980)及び竹谷ほか(1990)が、Riedel and Sanfilippo (1978)の*Ommatartus antepenultimus*帯を示す放散虫化石を報告し、時代を後期中新世前期とした。これは珪藻化石年代と整合的である。大津海底谷のユニットT12には、五浦火山灰(Izr) (柳沢、1996a)または五浦凝灰岩(Iz-01) (柳沢、2000)と呼ばれた凝灰岩層が挟まれている(第19図)。五浦凝灰岩は層厚2.9 mの粗粒砂粒度の明灰色結晶質テフラ層で、直径最大1 cm程度の軽石を含む。構成粒子、火山ガラスの形状と化学組成及び珪藻化石層序から、五浦凝灰岩は高萩市小浜付近に分布する小浜層の「石畑凝灰岩」と、日立市鮎川河口付近に露出する国分層の「鮎川凝灰岩」に対比される(柳沢、2000；平中ほか、2007)。

大津海底谷の北壁は直線的で、その北西の延長は、関本下付近で平潟地区と大津地区を分ける南西落ちの関本下断層に続くことから(第11図)、海底谷の北壁は初生的には断層崖であった可能性がある。

5.2.3 神岡海底谷

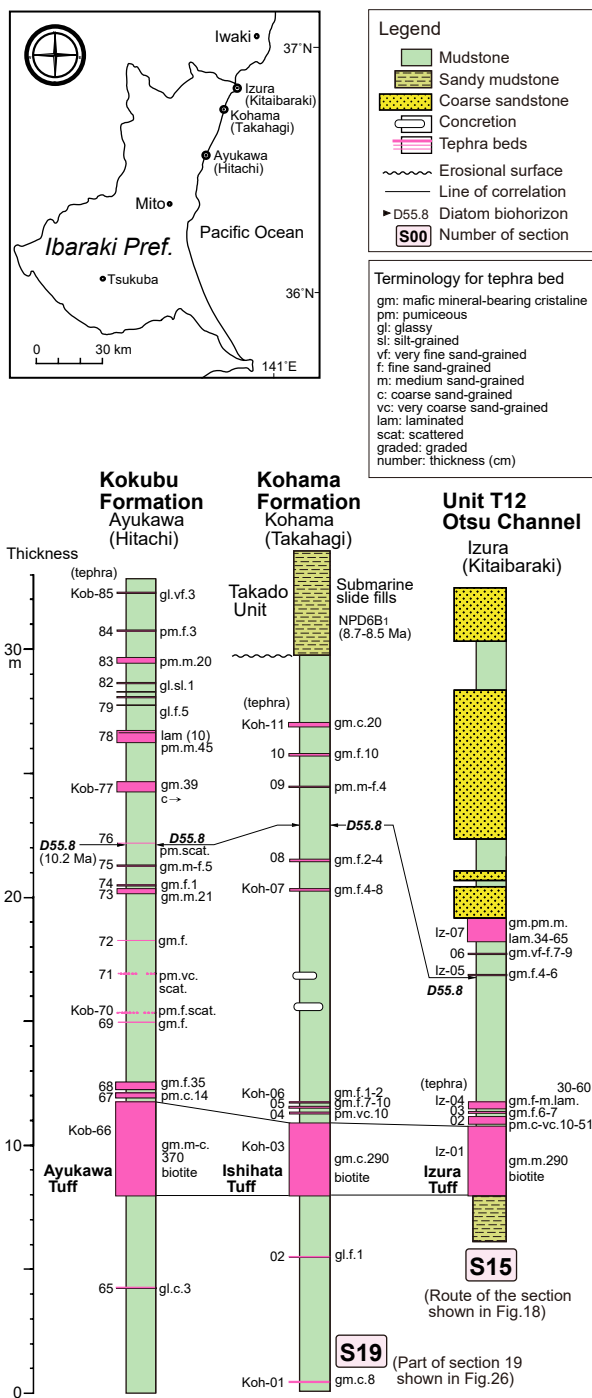
北茨城市神岡付近にある最大幅1.2 km、最大長1.5 kmの西北西-東南東方向の海底谷で、ユニットT1とT2から構成される(第20図)。泥質堆積物を主とするが、海底谷底部に砂質堆積物と礫質堆積物を伴う。海底谷内の堆積物の最大年代幅は16.6-15.8 Maである。ユニットT1 (NPD3B₁-3B₂)は、下位より礫岩(T1g)、砂岩(T1s)及び泥岩(T1)に分けられる。礫岩(T1g)は神岡海底谷の奥部の海底谷底にあたる稲干沢^{いねしざわ}に露出する海底谷底を示す礫岩相である。主に礫支持の大～中礫大の円礫ないし垂円礫からなるが、一部では粗粒砂を基質とする基質支持の礫岩も挟む。礫種は花崗岩類、変成岩類、砂岩及び頁岩からなり、下位の水野谷層の泥岩角礫も稀に含む。砂岩(T1s)は礫岩(T1g)の上位に重なるアルコース質の淘汰がよく固結度の低い粗～中粒砂(厚砂岩相)からなる。泥岩(T1)はその上位に重なり、珪藻質の泥岩相及び泥岩・砂岩互層相からなり、現在地表に露出する神岡海底谷の大部分を占める。

ユニットT2 (NPD4A₁)は珪藻質の泥岩相ないし泥岩・砂岩互層相からなり、海底谷の中央部に分布する。2つのユニットは時間差がほとんどないが、かつて道路工事に際に現れた大露頭(L13)において、ユニットT2の泥岩・砂岩互層相とユニットT1の泥岩・砂岩互層相が侵食面で接するのが観察された(第21図A)。



第18図 大津海底谷北壁の露頭(地点L11). 北茨城市小五浦. 地点は第11図に示す. A) 小五浦のルートマップ. 柳沢(1996)及び安藤ほか(2011)を一部改変. B) 大津海底谷北壁の露頭写真. Zs: 高久層(泥質極細粒砂岩), T4: ユニットT4(泥岩), T12: ユニットT12(泥岩及び泥岩・砂岩互層, 五浦凝灰岩層を挟む).

Fig. 18 Outcrop showing the northern channel wall of the Otsu Channel at locality L11, Ko-izura, Kitaibaraki City. Location of the outcrop is shown in Fig. 11. A) Route map around Ko-izura, partly modified after Yanagisawa (1996) and Ando *et al.* (2011). B) Photograph of the northern channel wall of the Otsu Channel. Zs: Takaku Formation (muddy very fine-grained sandstone), T4: Unit T4 (mudstone), T12: Unit T12 (mudstone, interbedded mudstone and sandstone) intercalating Izura Tuff Bed.



第19図 大津海底谷のユニットT12に挟在する五浦凝灰岩層及び小浜層の石畑凝灰岩層の対比。柳沢ほか(2004)を一部修正。

Fig. 19 Correlation of the Izura Tuff Bed in the Unit T12 of the Otsu Channel and the Ishihata Tuff Bed in the Kohama Formation (Yanagisawa *et al.*, 2004, partly modified).

5.2.4 ワラビ平海底谷

北茨城市ワラビ平東方に存在する最大幅0.3 km, 最大長0.4 kmで西北西-東南東方向に延びる小規模の海底谷である。本海底谷はユニットT1 (NPD3B₁, 年代幅は16.6-16.4 Ma)のみからなり、地質図では砂岩(T1s)と泥岩(T1)に分けて示した(第20図)。砂岩(T1s)は海底谷の底部と縁辺部に分布する。泥質で生物優乱された中～細粒砂岩(厚さ30-150 cm)と、淘汰の良い層理の発達した中～細粒砂岩(厚さ数～60 cm)が互層する泥質細粒砂岩・砂岩互層相からなる。泥岩(T1)としたのは、海底谷の軸部に分布し、塊状無層理の砂質泥岩ないし一部泥質極細粒砂岩からなる砂質泥岩相である。

5.2.5 ニッ島海底谷

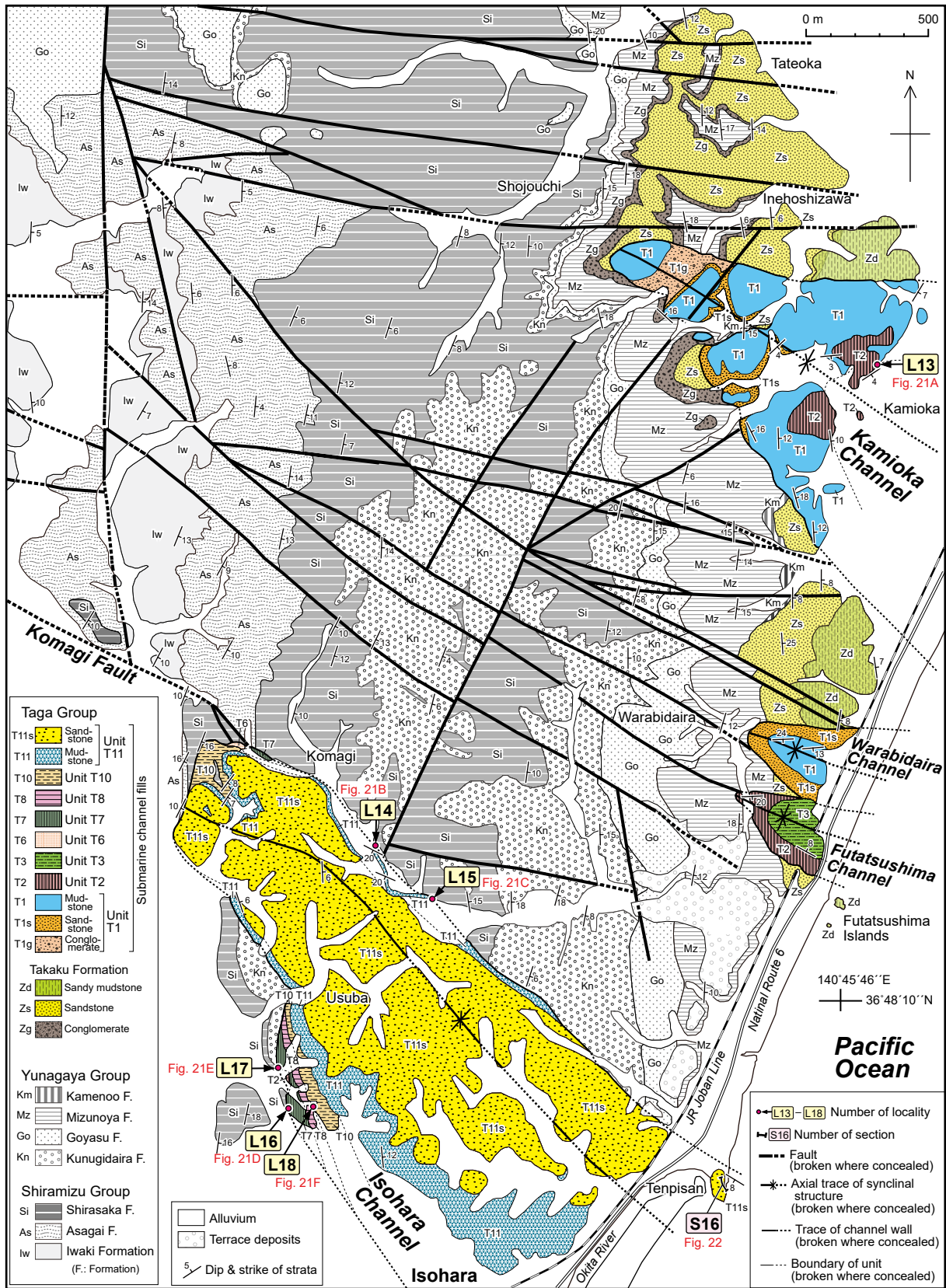
北茨城市ニッ島の北方, ワラビ平海底谷の南に隣接して発達する小規模な海底谷で、最大幅は0.3 km, 最大長は0.4 kmで、西北西-東南東方向に延びる(第20図)。本海底谷はユニットT2とT3からなり、最大年代幅は15.9-15.6 Maである。ユニットT2 (NPD4A₁)は珪藻質の泥岩相からなるが、海底谷奥の底部には大礫からなる礫岩相がわずかに発達する。ユニットT3 (NPD4A₂)も珪藻質の泥岩相からなり、海底谷の軸部に分布する。

これまで神岡・ワラビ平・ニッ島の各海底谷を埋積する多賀層群は、下位の高久層と区別されず、一括されてきた。たとえば、江口・庄司(1953)では、高久層の砂岩(Zs)と多賀層群の砂質堆積物は「ニッ島砂岩層」にまとめ、高久層の砂質泥岩(Zd)と多賀層群の泥質堆積物を「磯原砂質頁岩層」として一括しており、多賀層群の谷状の構造は全く認識されていない。鎌田(1972)及びMitsui *et al.* (1973)も同様に、それぞれ「ニッ島層」と「磯原層」、「Futatsushima Formation」と「Kokozura Formation」に区分しているのみである。

5.2.6 磯原海底谷

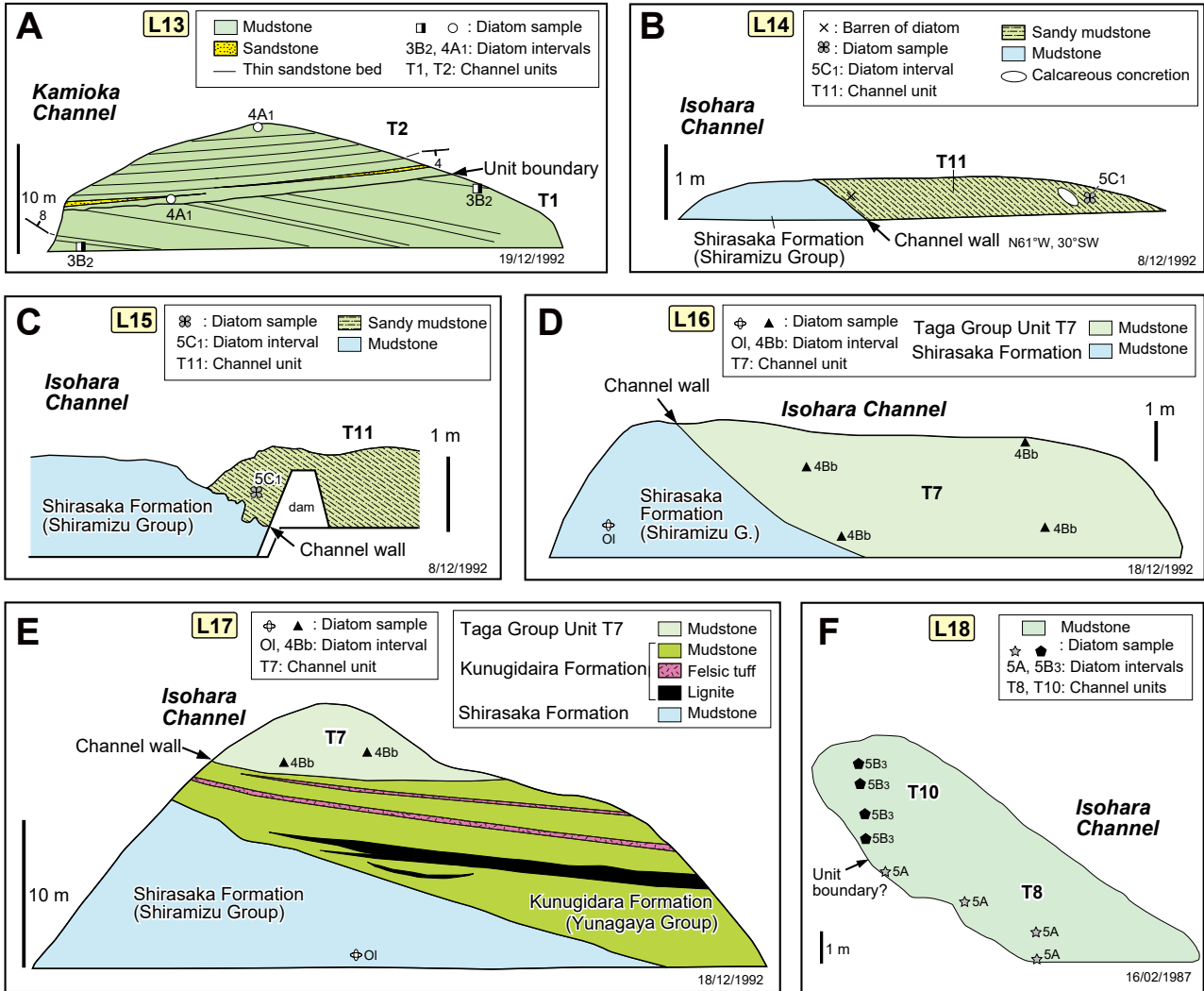
北茨城市磯原付近において北西-南東方向に発達する最大幅1.1 km, 最大長2.6 km以上の比較的規模の大きい海底谷で(第20図), T2, T6, T7, T8, T10及びT11の6つのユニットからなる。海底谷の南北側壁部は泥質堆積物で占められるのに対し、海底谷中央部は砂質堆積物で最終的に埋積されている。現存する堆積物の最大年代幅は15.9 Maから約11.1 Maにわたる。

ユニットT2 (NPD4A₁)は珪藻質の泥岩相からなり、海底谷南壁近傍にわずかに厚さ1m程度残存しているにすぎない。ユニットT6 (NPD4B_a)は珪藻質の泥岩相からなり、海底谷最上流部の北壁近傍で1露頭が確認されるだけである。ユニットT7 (NPD4B_b)も珪藻質の泥岩相からなり、海底谷の南壁近傍と最上流部の北壁周辺にわずかに認められる。ユニットT7は海底谷の南壁近傍の地点L16で白水層群の白坂層の泥岩と、また地点L17では



第20図 神岡，ワラビ平，ニッ島及び磯原海底谷の地質図。

Fig. 20 Geological map of the Kamioka, Warabidaira, Futatsushima and Isohara channels.



第21図 神岡海底谷及び磯原海底谷の露頭スケッチ。地点の位置は第20図に示す。A) 神岡海底谷のユニットT1とT2の境界がみられる露頭(地点L13, 北茨城市神岡)。B) 磯原海底谷北壁の露頭(地点L14, 北茨城市駒木)。C) 磯原海底谷北壁の露頭(地点L15, 北茨城市駒木)。D) 磯原海底谷南壁の露頭(地点L16, 北茨城市臼場)。E) 磯原海底谷南壁の露頭(地点L17, 北茨城市臼場)。F) 磯原海底谷ユニットT8とT10の間の肉眼では見えないユニット境界(地点L18, 北茨城市臼場)。

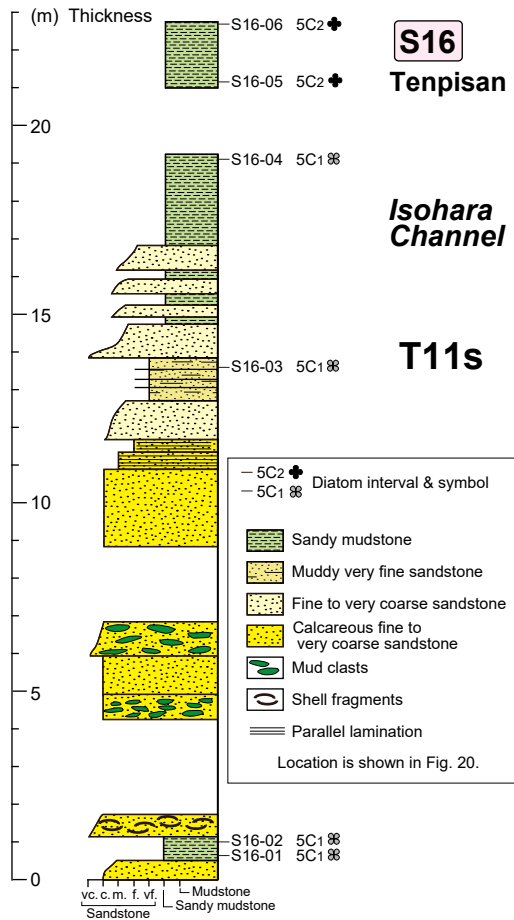
Fig. 21 Outcrops of the Kamioka and Isohara channels. Location of each outcrop is shown in Fig. 20. A) Outcrop showing the unit boundary between the Units T1 and T2 in the Kamioka Channel at locality L13, Kamioka, Kitaibaraki City. B) Outcrop of the northern channel wall of the Isohara Channel at locality L14, Komagi, Kitaibaraki City. C) Outcrop of the northern channel wall of the Isohara Channel at locality L15, Komagi, Kitaibaraki City. D) Outcrop of the southern channel wall of the Isohara Channel at locality L16, Usuba, Kitaibaraki City. E) Outcrop of the southern channel wall of the Isohara Channel at locality L17, Usuba, Kitaibaraki City. F) Outcrop showing the invisible unit boundary between the Units T8 and T10 of the Isohara Channel at locality L18, Usuba, Kitaibaraki City.

湯長谷層群の柵平層の泥岩と接している(第21図D, E)。ただし、両地点の露頭は現在消滅している。

ユニットT8 (NPD5A)も珪藻質の泥岩相からなり、南壁付近のユニットT7より内側に幅数m以内の帯をなして分布する。珪藻質の泥岩相からなるユニットT10 (NPD5B3)は、南壁付近と海底谷最上流部の谷底部で確認される。珪藻年代分析から、地点L18の露頭では、ユニットT10がユニットT8と接していることが判明したが、

両者の境界は肉眼観察では全く識別できない(第21図F)。

ユニットT11 (NPD5C1-5C2)は磯原海底谷を最終的に埋積しているユニットで、下部は泥岩(T11), 上部は砂岩(T11s)に区分して地質図に示した。泥岩(T11)は海底谷の南壁と北壁に沿って帯状に分布する。岩質は珪藻質の泥岩相であるが上位に向かって粒度が粗くなり砂質泥岩相へと変わる。砂岩(T11s)は下位の泥岩(T11)最上部の砂質泥岩から漸移し、海底谷の軸部に広く分布して磯



第22図 北茨城市天妃山付近で見られる磯原海底谷のユニットT11の柱状図。ルートは第20図に示す。珪藻産出表は付表10に示す。

Fig. 22 Columnar section of the Unit T11 in the Isohara Channel at Tenpisan, Kitaibaraki City. Location of the section is shown in Fig. 20. Occurrence chart of diatoms in this section is shown in Table A10.

原海底谷の大部分を占めている。砂岩(T11s)の下部は生物優乱の見られる塊状無層理の泥質砂岩相からなり、下位の泥岩(T11)から漸移するが、上位に向かって次第に粗粒化して細～中粒砂岩相となる。海底谷軸部にあたる駒木付近では、フジツボ、ウニ、二枚貝類の破片を多く含む石灰質の粗粒砂岩からなる厚砂岩相が発達する。同様の石灰質の厚砂岩相が海岸部の天妃山でも見られ、ここでは泥岩クラストが多く含まれている(第22図)。また、現在は人工的な改変によって露頭が消滅したため見られないが、砂岩(T11s)分布域でかつては直径2-3 mの花崗岩類の巨礫が砂岩に含まれているのが数ヶ所で確認されたという(鎌田, 1996)。Yabe (1949b)や鎌田(1996, 2001)はこうした花崗岩類の巨礫が津波の作用により運搬された可能性を指摘している。なお、天妃山ではこの石灰質砂岩に砂質泥岩相が挟在している(第22図)。

磯原海底谷の北壁では、従来の地質図(渡邊・佐藤, 1935, 1937; 渡邊, 1939; 須貝ほか, 1957; Mitsui *et al.*, 1973)では、駒木断層の延長とされる断層が推定されてきた。しかし、この断層は存在せず、磯原海底谷北壁では多賀層群の泥岩(T11)が白坂層の泥岩にアバットしているのが、北茨城市駒木付近の河床(第20図及び第21図B, CのL14地点とL15地点)で観察できる。ただし、磯原海底谷の北壁は直線的で、その北西の延長が南西落ちの正断層である駒木断層に連続するので、海底谷形成前には断層面であって、それが崩れて後退した崖が磯原海底谷の北壁となった可能性がある。

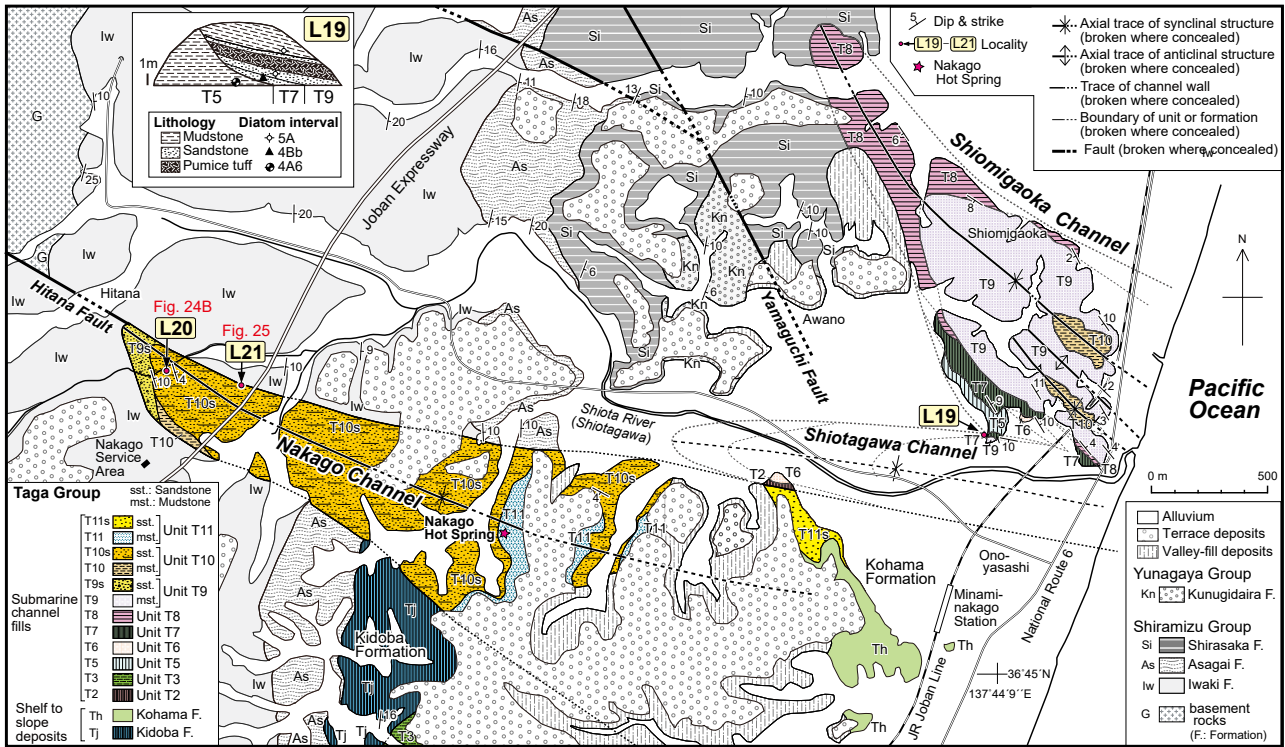
従来、磯原海底谷埋積物のうち、ユニットT2-T11の泥岩部分は「磯原砂質頁岩層」または「磯原層(Isohara Formation)」, ユニットT11の砂岩(T11s)は「天妃山砂岩層」または「天妃山層(Tempisan Formation)」と呼ばれ、両層の関係は不整合とされた(江口・庄司, 1953; 鎌田, 1972; Mitsui *et al.*, 1973; 加藤, 1979; Kato, 1980)。

ユニットT11の砂岩(T11s)からは貝類化石や底生有孔虫化石が産出する(江口・庄司, 1953; 須貝ほか, 1957)。また、小泉(1981)はユニットT11の泥岩から珪藻化石を報告した。本論文でもユニットT2-T10, T11の泥岩部分(T11)及び砂岩(T11s)の下部から珪藻化石が産出した。

加藤(1979)及びKato (1980)によって、ユニットT11の泥岩(T11)及び砂岩(T11s)から浮遊性有孔虫化石が報告されている。このうちユニットT11の泥岩(T11)は、Blow (1969)のN.14-N.16帯(11.6-8.6 Ma)に対比されており、本論文によるユニットT11の泥岩(T11)の珪藻化石層序(NPD5C1-5C2, 11.4-10.5 Ma)と整合的である。しかし、ユニットT11の砂岩(T11s), すなわち従来「天妃山層」とされてきた層準の1試料からは*Globolotalia tosaensis* Takayanagi et Saitoが産出し、Blow (1969)のN.21帯(後期鮮新世～前期更新世)に対比されている。この結果は本論文の珪藻化石層序と大きく食い違う。加藤(1979)及びKato (1980)の浮遊性有孔虫の年代を採用すれば、ユニットT11の砂岩(T11s)とした部分に、上部鮮新統ないし下部更新統、すなわち日立層群相当層が含まれていることになる。しかし、*G. tosaensis*が産出した白場付近は工業団地として造成され、露頭も失われており、もはやその産出を追試することはできないので、本論文では、珪藻化石の結果を重視してユニットT11の砂岩(T11s)全体をNPD5C帯(後期中新世)に対比しておく。なお、「天妃山層」の模式地である海岸の天妃山に露出する石灰質の厚砂岩相とその上位の砂質泥岩相からはNPD5C帯を示す珪藻化石が産出しており(第22図)、少なくとも模式地の「天妃山層」が中新統であることは間違いない。

5.2.7 汐見ヶ丘海底谷

北茨城市南部の汐見ヶ丘団地のある丘陵に発達する最大幅0.9 km, 最大長2.2 km以上の北西-南東方向の海底



第23図 汐見ヶ丘，塩田川及び中郷海底谷の地質図。
 Fig. 23 Geological map of the Shiomigaoka, Shiotagawa and Nakago channels.

谷である(第23図)。海底谷の軸となる向斜状構造は2つあるが、西側の向斜は付随的なものである。本海底谷は、ユニットT5, T6, T7, T8, T9, T10の6ユニットからなり、最大年代幅は14.8 Maから11.4 Maである。

ユニットT5 (NPD4A)は泥岩相ないし一部砂質泥岩相からなり、海底谷南西縁部に分布する。厚さ1.1 mの軽石凝灰岩を挟む。ユニットT6 (NPD4Ba)は海底谷南西縁部にわずかに残存しているユニットで、泥岩相からなり、厚さ80 cmの軽石凝灰岩が挟在する。ユニットT7 (NPD4Bb)は泥岩相及び砂質泥岩相からなり、海底谷の南西縁辺で狭長な分布を示す。ユニットT8 (NPD5A)は、海底谷北西部に広く分布するほか、南西縁と北東縁にも分布する。北西部の谷底部では、主に無層理の泥質細粒砂岩相からなる。一方、南東縁と北東縁では、細粒化して砂質泥岩相ないし泥岩相となっている。ユニットT9 (NPD5B₁-5B₂)は汐見ヶ丘海底谷の南部に広く分布する。泥岩相ないし砂質泥岩相からなるが、東側のメインの向斜状構造の軸部では、泥勝ちの泥岩・砂岩互層相が発達する。ユニットT10 (NPD5B₃)は2本の向斜構造の軸部にわずかに分布するユニットで、砂質泥岩相を主とするが、東側の向斜状構造の軸部では砂勝ちの砂岩・泥岩互層相となっている。厚い砂岩層は層厚2.5 m以上で級化層理を示し、リップアップクラストを含む。

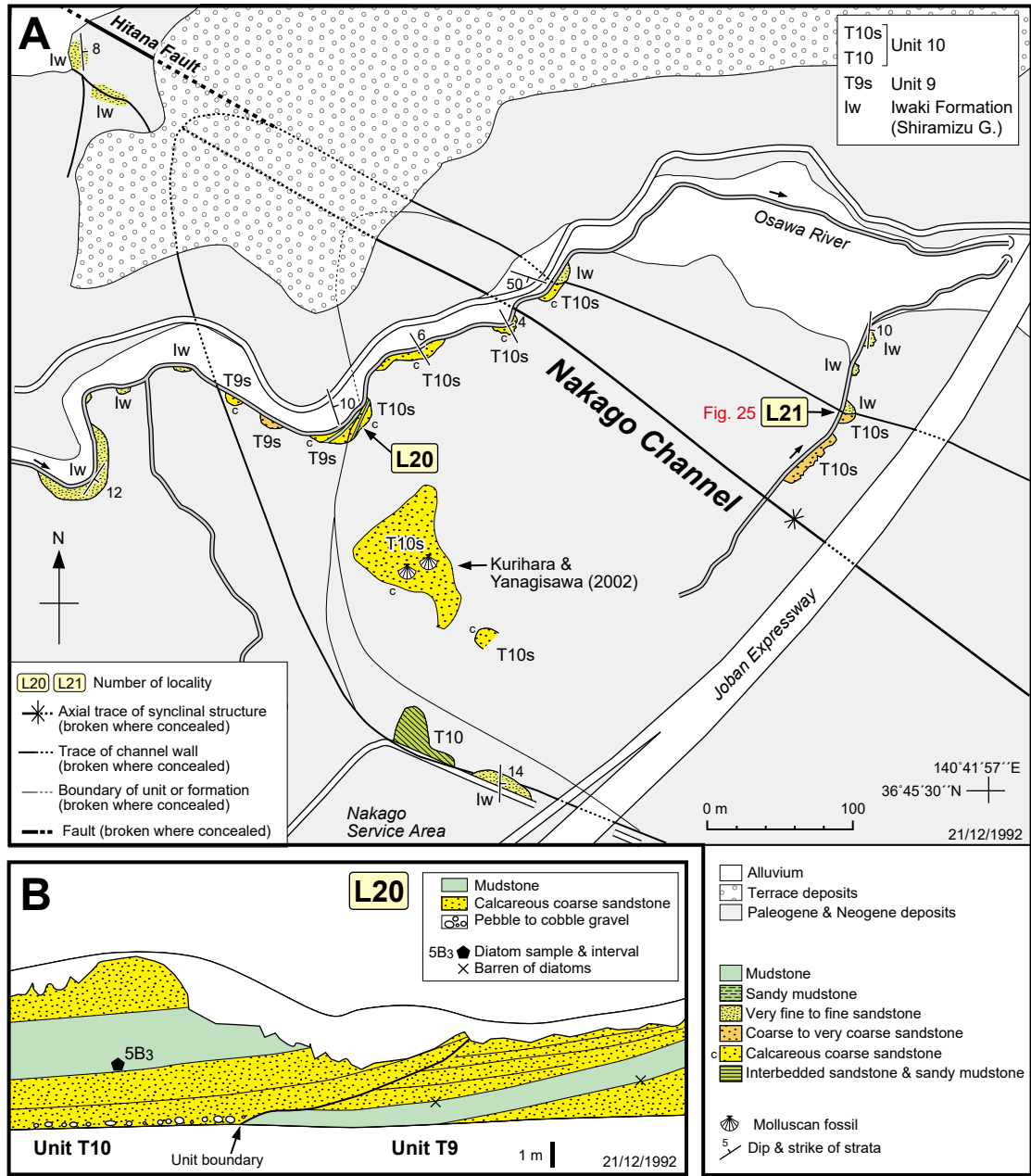
5.2.8 塩田川海底谷

北茨城市南部を流れる塩田川沿いに想定される最大幅0.4 km, 最大長1.0 kmの西北西-東南東方向の海底谷である(第23図)。塩田川海底谷は塩田川の河口付近で汐見ヶ丘海底谷と合流しているものと見られる。

露頭としては、塩田川中流の南に南壁縁辺部(ユニットT2とT6)が、また塩田川下流の北側に北壁近傍の一部(ユニットT7とT9)がわずかに認められるのみで、海底谷の大部分は沖積層の分布域にある。最大年代幅は、15.9-12.3 Maである。ユニットT2 (NPD4A₁)は海底谷南壁縁辺に分布し、砂質泥岩相からなる。ユニットT6 (NPD4Ba)はT2の北側に隣接し、岩質は泥岩相からなるが、一部は続成作用を受けて硬質泥岩となっている。一方、塩田川の北側では、L19地点の露頭でユニットT7とT9が確認された(第23図の左上の挿入図)。ここでは、汐見ヶ丘海底谷のユニットT5に対して塩田川海底谷のユニットT7とT9がアバットしている。ユニットT7 (NPD4Bb)は砂質泥岩相から、ユニットT9 (NPD5B₁)は砂質泥岩相及び泥岩相からなり、厚さ2.5 mの軽石凝灰岩が挟在している。なお、この露頭は宅地開発により消滅した。

5.2.9 中郷海底谷

地表に露出する限り、最大幅0.9 km, 最大長3.2 kmの西北西-東南東方向の海底谷で、ユニットT9, T10及び



第24図 中郷海底谷の谷頭部のルートマップと露頭スケッチ(北茨城市日棚). A) 地点L20とL21付近のルートマップ. B) ユニッ トT9とT10の境界を示す地点L20の露頭スケッチ.

Fig. 24 Route map and sketch of an outcrop of the headwall part of the Nakago Channel in Hitana, Kitaibaraki City. A) Route map near localities L20 and L21. B) Sketch of an outcrop at locality L20, showing the unit boundary between the Units T9 and T10.

T11からなる(第23図). その最大年代幅は12.7–11.1 Ma である.

最下部のユニットT9 は海底谷最上流部の底部に分布し, 主に厚砂岩相からなるが, 一部泥岩相を挟む(第24 図). このユニットからは, 珪藻化石が産出しなかった ため, その正確な層準は不明であるが, 地点L20でユニッ トT10に緩く下方に湾曲した侵食面で覆われている(第 24図B)のを確認できることから, この論文では暫定的

にユニットT9に位置づけた.

ユニットT10 (NPD5B₃)は海底谷上流部に広く分布し, 地質図では泥岩(T10)と砂岩(T10s)に分けて図示した. 泥岩(T10)は中郷海底谷上流部の南壁付近に分布し, 泥 岩砂岩互層相からなる. 一方, 砂岩(T10s)はアルコース 質の粗~極粗粒砂岩からなる厚砂岩相である. 多くの場 所で貝殻片を含んで石灰質となり, 固く固結しているこ ころも多い. また, 花崗岩の巨礫ないし大礫を含むこと

もある(第25図)。さらに場所によっては厚さ2-3 mの砂質泥岩相ないし泥岩相を挟むことがある。ユニットT11 (NPD5C₁-5C₂)は中郷海底谷下流部の向斜状構造の軸部に分布する。地質図では泥岩(T11)と砂岩(T11s)に区分した。泥岩(T11)は砂質泥岩相よりなり、ユニットT10の砂岩(T10s)の上位に重なる。砂岩(T11s)は固結度の低い厚砂岩相からなる。

本海底谷は多賀層群の城戸場層及び白水層群の石城層を深く削り込んでおり、海底谷中軸部に位置する中郷温泉の掘削井では、中郷海底谷の基底は地表から約100 mの深度にある(笠井, 2008)。その北側壁では、本海底谷の砂岩(T11s)が石城層の細粒砂岩層と高角面で接する(第23図と第24図のL21, 第25図)。この北側壁は直線的で、その北西の延長が南西落ちの正断層である日棚断層にそのまま連続するように見える(第23図)。したがって、海底谷形成前には中郷海底谷の北壁は断層であって、それが崩れて後退した崖が現在残っている北壁となった可能性が考えられる。なお、紺野(1938)の地質図では、中郷海底谷の北壁及び南壁は断層と解釈されている。

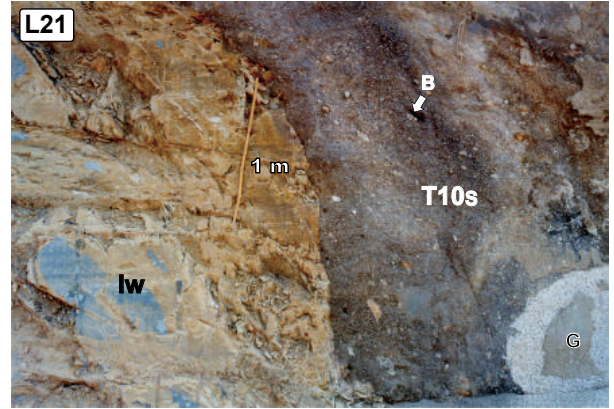
本海底谷の砂岩(T11s)は、南中郷駅の西方では、上位の小浜層(珪藻質の泥岩相)に覆われる。

常磐自動車道の中郷サービスエリアの北方(第24図A)では、ユニットT10の砂岩(T10s)に属する石灰質の砂岩からサメの歯の化石と共に貝類化石が多産する(栗原・柳沢, 2002)。産出した貝類化石群集は浅海の砂礫底に生息する群集であり、多くは摩耗していることから、浅海域から海底谷まで運搬されてきたと推定される。

5. 2. 10 高萩複合海底谷

高萩市内には、北から上宿^{わじく}、杉岡、石河原^{みどりがおか}、翠ヶ岡^{しまな}、島名の5つの小規模の海底谷が認められる(第26図)。各海底谷は最大幅が0.8-1.4 km、長さは1.5-2 km程度で、西北西-東南東または東西方向を持つ。これらの海底谷は相互の境界が明瞭ではなく、全体として複合した大規模な海底谷(高萩複合海底谷)を作っている。

高萩複合海底谷では、侵食レベルは北方ほど上位層準にあり、南に向かって次第に深くなる。すなわち、一番北に位置する上宿海底谷では、多賀層群の城戸場層を削り込んでいるが、その南の杉岡・石河原海底谷は浅貝層を、さらに南の翠ヶ岡・島名海底谷は石城層までを削り込んでいる(第6図)。各海底谷は徐々に埋積され、各海底谷上部では互いの違いが不明瞭となり、最終的に埋積し尽くされて、上位の小浜層に整合に覆われる。高萩複合海底谷ではT3 (NPD4A₂), T4 (NPD4A₃-4A₅), T5 (NPD4A₆), T6 (NPD4A₇-4Ba), T7 (NPD4Bb), T8 (NPD5A), T9 (NPD5B₁-5B₂), T10 (NPD5B₃-5B₄), T11 (NPD5C₁-C₂)からなる。それぞれのユニットは泥岩相ないし砂質泥岩相からなり、複合海底谷全体としての最大年代幅は、15.8-11.1 Maである。



第25図 中郷海底谷の北壁の露頭(地点L21)。北茨城市常磐自動車道中郷SA 北東500 m (撮影地点は第23図と第24図に示す)。lw:白水層群石城層の極細粒砂岩, T10s: ユニットT10のアルコース質極粗粒砂岩, G: 花崗岩の巨礫, B: 鯨類の骨片化石。

Fig. 25 Outcrop of the northern channel wall of the Nakago Channel at locality L21 in Kitaibaraki City, 500 meters to the northeast of Nakago Service Area of Joban Expressway. Location of the outcrop is shown in Figs. 23 and 24. lw: Iwaki Formation of the Shiramizu Group (very fine-grained sandstone), T10s: Unit 10 (very coarse-grained arkosic sandstone), G: bolder of granitic rock, B: fragmented fossil bone of whale.

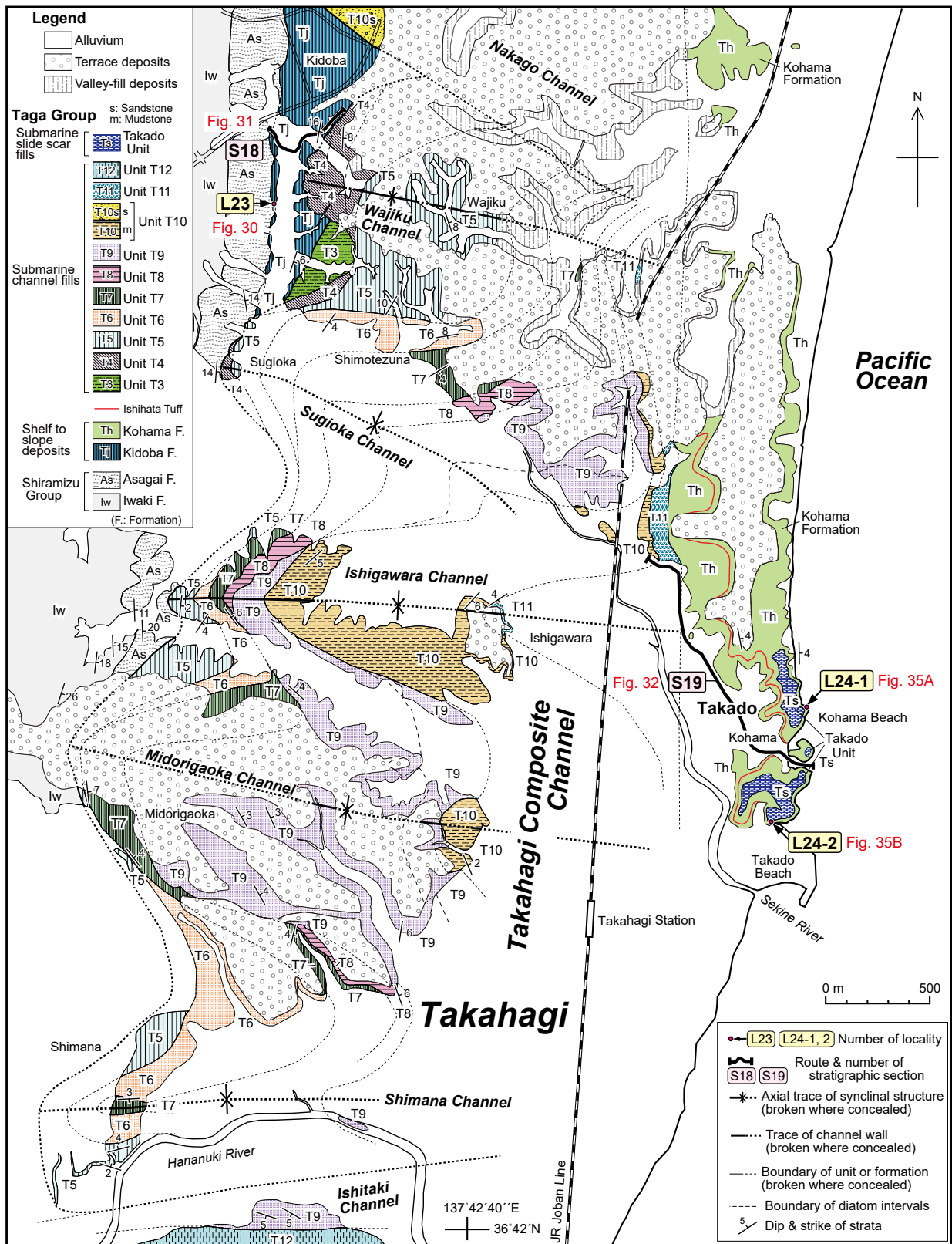
Mitsui *et al.* (1973)は、高萩複合海底谷に相当する部分を、“Shimotezuna Formation”(下手綱層)と呼んでいる。この「下手綱層」から、加藤(1979)及びKato (1980)は浮遊性有孔虫と放散虫化石を、また小泉(1981)とMaruyama (1984)は珪藻化石を報告している。これらの微化石の示す年代は、本研究の結果と整合的である。

5. 2. 11 石滝海底谷

日立市北部(旧十王町)のいぶき台団地のある海成段丘の北側の段丘崖沿いに露出する最大長1.8 kmの西北西-東南東方向の海底谷である(第27図)。上位の日立層群の海底谷群によって削剥されて海底谷の南半分が失われ、現在は海底谷の北側だけがわずかに残っているのみである。そのため、この海底谷の最大幅はよくわからないが、少なくとも約0.6 kmの幅を持つ。海底谷を構成するユニットはT9とT12で、最大年代幅は12.7 Maから10.0 Maに及ぶ。ユニットT9 (NPD5B₁-5B₂)は泥岩相と砂質泥岩相、ユニットT12 (NPD5C₂-5C₃)は泥岩相と石灰質の厚砂岩相からなる。ユニットT12の石灰質の厚砂岩相は花貫川河岸の稲村神社付近に露出する(第42図参照)。

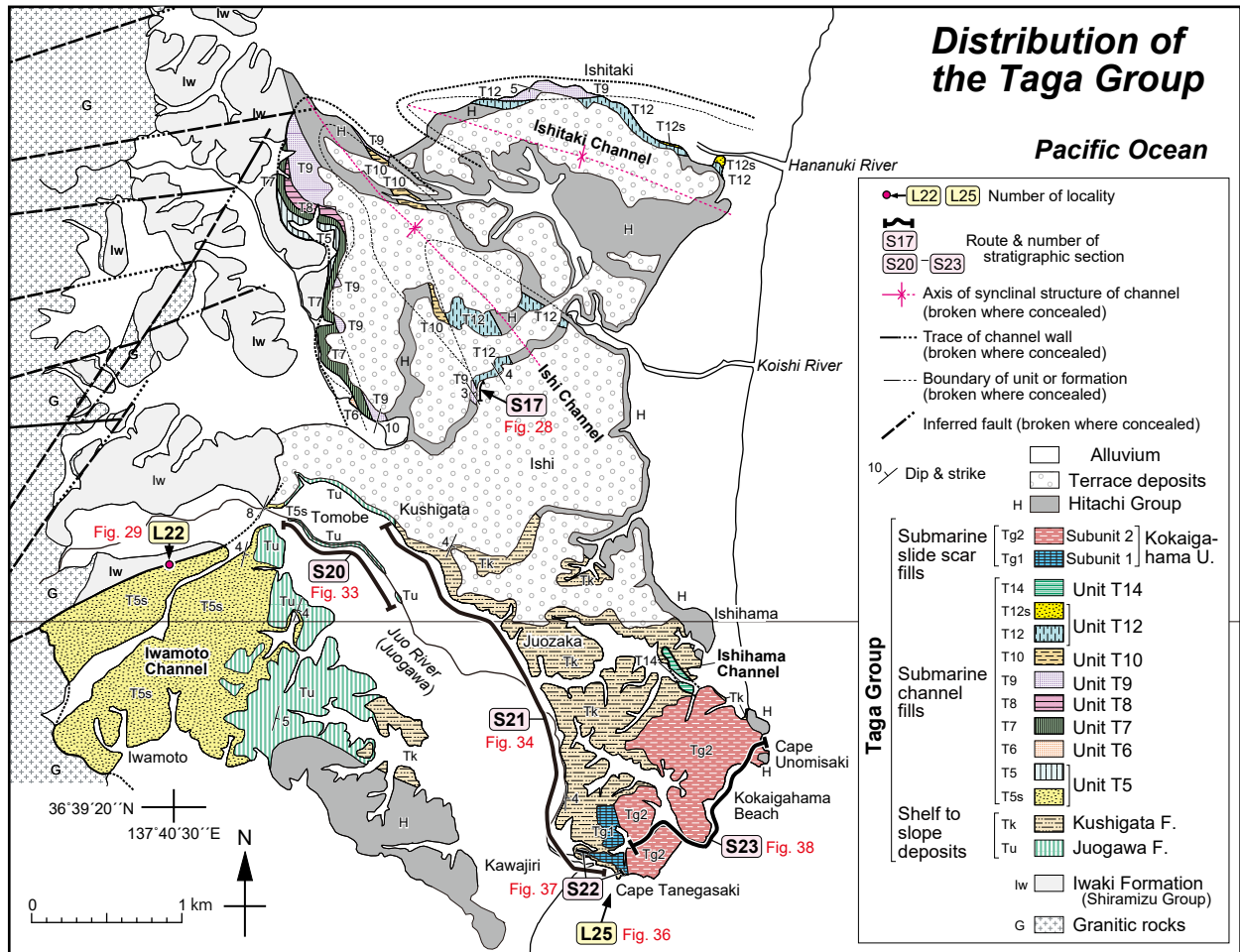
5. 2. 12 伊師海底谷

日立市北部(旧十王町)の伊師^{いし}地区に分布する北西-南東方向に延びる大規模な海底谷で、最大幅は1.5 km、最



第26図 高萩複合海底谷、城戸場層、小浜層及び高戸ユニットの地質図。

Fig. 26 Geological map of the Takahagi Composite Channel, the Kidoba and Kohama formations and the Takado Unit.



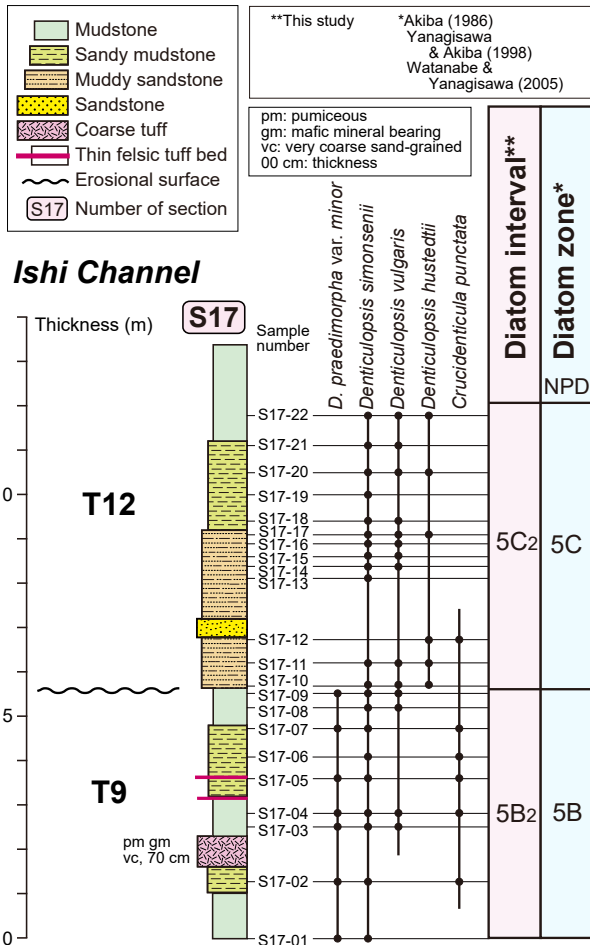
第27図 石滝海底谷、伊師海底谷、岩本海底谷、伊師浜海底谷、十王川層、櫛形層及び小貝ヶ浜ユニットの地質図。

Fig. 27 Geological map of the Ishitaki, Ishi, Iwamoto and Ishihama channels, the Juogawa and Kushigata formations and the Kokaigahama Unit.

大長は2.4 kmである(第27図)。海底谷の中央部は上位の日立層群の海底谷群によって削剥されているので、伊師海底谷内部の構造はよくわからないが、南西縁、中央部及び北東縁部が残存している。本海底谷はユニットT5 (NPD4A6), T6 (NPD4Ba), T7 (NPD4Bb), T8 (NPD5A), T9 (NPD5B1-5B2), T10 (NPD5B3-5B4), T12 (NPD5C2-5C3) からなり、最大年代幅は14.8-10.0 Maである。海底谷の北西縁の壁付近にはT5, T6, T7, T8, T9の各ユニットが認められ、いずれも泥岩相ないし砂質泥岩相からなる。海底谷中央部では、小石川沿いにユニットT9とT12が確認される(第28図, 第44図)。ここでは、ユニットT9は泥岩相と砂質泥岩相からなり、厚さ70 cmの有色鉱物に富む軽石質結晶質テフラ層を挟む。ユニットT12は主に泥岩相ないし砂質泥岩相からなり、下底に厚さ4 mの泥質細粒砂岩相が発達する。一方、海底谷の北東縁にあたる段丘崖には、泥岩相及び砂質泥岩相からなるユニットT9とT10が露出している。

5.2.13 岩本海底谷

日立市北部(旧十王町)の友部から岩本付近に分布する西南西-東北東方向に延びる大規模な海底谷で、最大幅は1.2 km以上、最大長は1.8 kmである(第27図)。岩本海底谷埋積層は江口・鈴木(1953)の「岩本砂岩層」に相当する。基盤の花崗岩類を不整合に覆う。また、地点L22では白水層群の石城層の砂質泥岩が作る階段状の地形を覆うのが観察された(第29図)。上位の十王川層には整合に覆われる。下部は礫質砂岩相、上部は粗粒砂岩相及び石灰質砂岩相からなる。礫質砂岩相は花崗岩類及び変成岩類の大~巨礫を含む花崗岩質の粗~極粗粒砂岩である。固結度は低い。地点L22では道路工事の際に大~巨礫大の花崗岩礫が砂岩層中に密集した礫質砂岩相が現れた(第29図)。厚砂岩相は淘汰のよい塊状無層理の粗粒砂岩からなり、一部では貝殻片やフジツボの破片などを含み石灰質となる。本海底谷を埋積する砂岩からは、年代を示す微化石は産出しないので、正確な年代は不明であ



第28図 伊師海底谷のユニットT9とT12の珪藻化石層序。柱状図作成位置(S17)は第27図に示す。試料の採取位置は第44図参照。珪藻産出表は付表11に示す。

Fig. 28 Diatom biostratigraphy of the Units T9 and T12 in the Ishi Channel. Location of stratigraphic column (S17) is shown in Fig. 27. See Fig. 44 for sampling points. Occurrence chart of diatoms is shown in Table A11.

るが、上位の十王川層の最下部が珪藻化石帯のNPD4A帯上部(区間NPD4A6)であるので、岩本海底谷埋積物の上限はこれより古く約15 Ma前後と推定される。下限の年代は不明であるものの、この上限年代と他の海底谷の埋積物との比較から、岩本海底谷埋積層はユニットT5にあたと判断した。

5.2.14 伊師浜海底谷

日立市北部(旧十王町)の伊師浜地区西方に分布する北西-南東方向に伸びる小規模な海底谷である(第27図)。橢圓層を刻み、最大幅は0.1 km、最大長は0.4 kmである。本海底谷は泥岩相からなるユニットT14(NPD5D₂-6A)で埋積されており、現在残存する堆積物の下限の年代は9.6 Maである。上限はNPD6A帯に及ぶものの、層厚から

みて、この化石帯にわずかにかかる程度と判断されるので、上限の年代としては約9.0 Maと推定しておく。

5.3 陸棚及び陸棚斜面堆積物

多賀層群の陸棚及び陸棚斜面堆積物は砂岩、砂質泥岩及び泥岩からなり、高久層、城戸場層、小浜層、十王川層及び橢圓層)に区別される。

5.3.1 高久層

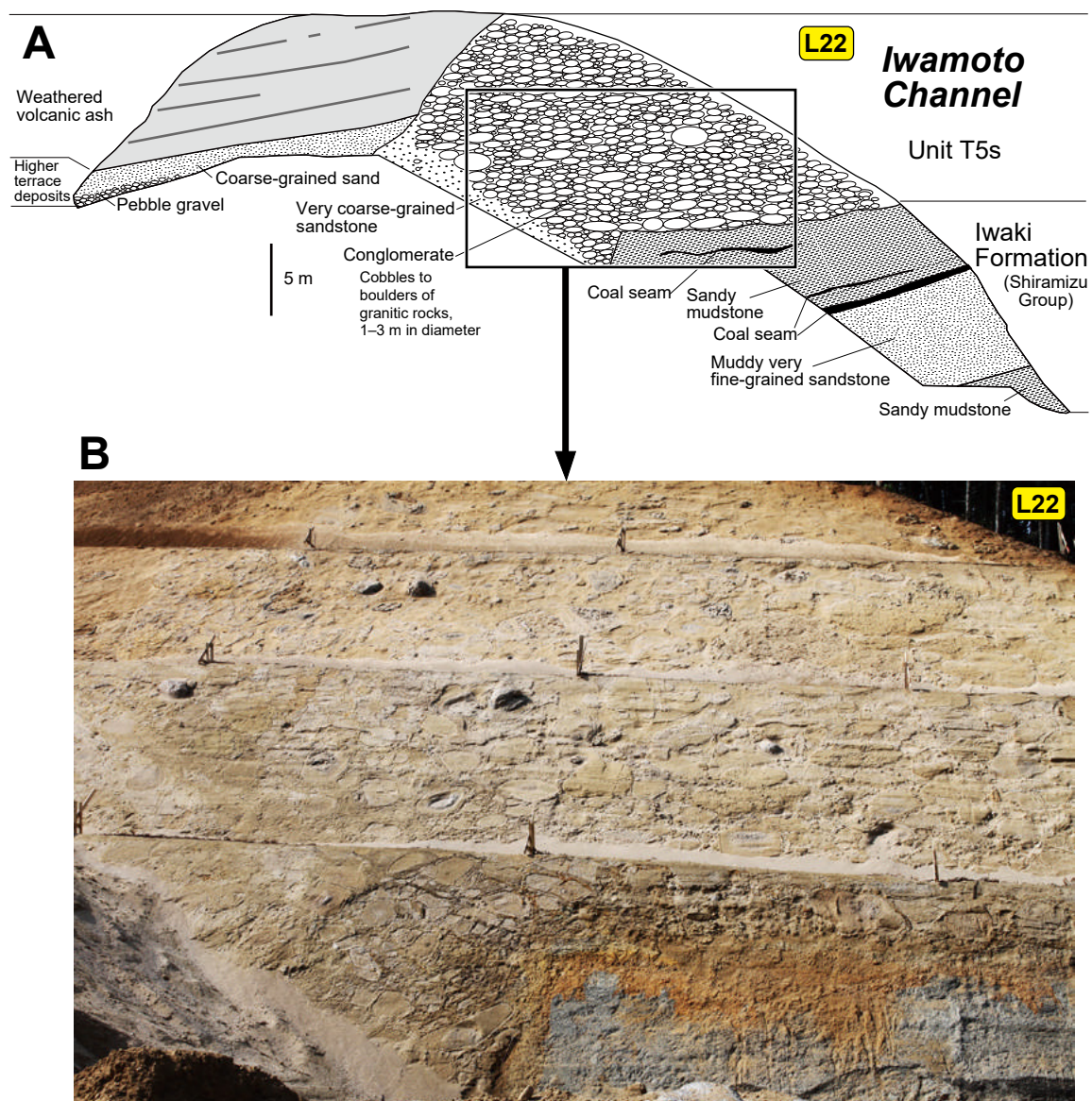
高久層の地層名は須貝・松井(1953)の高久層群による。模式地の福島県いわき市高久付近では、本層群は下位より上高久層(礫質砂岩)、沼ノ内層(細粒砂岩)及び下高久層(泥岩)に区別された(須貝・松井, 1953; 須貝ほか, 1957)。しかし、本論文では、高久層群を層(formation)のランクに修正して高久層としたので、これらの地層もそれに連動して部層にランクを落とし、名称を上高久礫質砂岩部層、沼ノ内砂岩部層及び下高久泥岩部層に修正する。なお、この修正の理由は考察の7.1項で説明する。

北茨城・高萩地域に分布する高久層は、従来はいわき市勿来町九面を模式地として“Kokozura Sandstone”と命名され(Yabe, 1948)、その後「九面層」と呼ばれてきた(例えば、半沢, 1954; Kamada, 1962; Mitsui *et al.*, 1973; Kato, 1980; 根本, 1993)。しかし、同一の地層に対しては常磐地域を通して共通の地層名を使用した方がわかりやすいので、本論文では高久層の名称を用いる。

高久層は模式地では下位の白土層群を軽微な平行不整合で覆うとされるが、本地域では白土層群及び湯長谷層群上部の三沢層と本谷層を欠いて、湯長谷層群中部の亀ノ尾層及び水野谷層を不整合に覆う。本層は本地域内では平潟及び大津地区に分布する(第11図及び第20図)。

本論文では高久層を下位より、礫岩(Zg)、砂岩(Zs)及び砂質泥岩(Zd)に区分して地質図に分布を示した。礫岩(Zg)は本層基底の不整合面直上に発達するよく円磨された小~中礫からなる礫支持の礫岩相(fg)で、厚さは数m以下である。礫種は花崗岩類、変成岩類、頁岩及び砂岩からなり、礫間は粗粒砂岩で充填される。礫岩(Zg)の分布は神岡海底谷付近に限られる。その他の地域では、本層基底部には砂岩(Zs)が発達するが、不整合の直上には細礫ないし小礫がまばらに散在することが多い。砂岩(Zs)の下部は、生物擾乱作用の発達した細~中粒の無層理塊状の砂岩からなる生物擾乱砂岩相(bs)で、まれにハンモック状斜交層理の発達した細粒砂岩層を挟むことがある。砂岩(Zs)の上部は、生物擾乱を受けた無層理塊状の泥質極細粒砂岩からなる泥質砂岩相(ms)である。本層最上部の砂質泥岩(Zd)は無層理塊状の砂質泥岩相(sm)からなる。

礫岩(Zg)はよく円磨されていることから海成と思われる、おそらく海進時の残留堆積物と推定される。また、岩相と珪藻の珪藻深度指標から、砂岩(Zs)は内側陸棚、砂質



第29図 岩本海底谷埋積物ユニットT5の露頭(地点L22)。日立市十王地区川上南方の道路切り割り。撮影地点は第27図に示す。A) 露頭のスケッチ。B) 露頭の写真。

Fig. 29 Road cut outcrop of the Unit 5 of the Iwamoto Channel at locality L22, to the south of Kawakami, Juo district, Hitachi City. Location of the outcrop is shown in Fig. 27. A) Sketch of the outcrop. B) Photograph of the outcrop.

泥岩 (Zd) は内側陸棚から外側陸棚の堆積物と推定される。高久層では不整合面上には礫をわずかに含むものの、多くの場所で内側陸棚の砂岩 (Zs) が直接下位層の上に重なっており、外浜や海浜の堆積物は残っていない。これは、高久層堆積時の急速な海進によって外浜や海浜の堆積物は侵食されてしまったためと推定される。

岡倉天心が建てた六角堂のある北茨城市五浦の海岸の崖に露出する高久層の砂岩 (Zs) 中には、メタン湧水起源の大規模な炭酸塩コンクリーションが発達する(上田ほか, 2005; Maeyama *et al.*, 2020)。この炭酸塩コンクリーションからはサメ (*Carcharodon megalodon* (Agassiz)) の歯

化石やシロウリガイなどの化学合成二枚貝群集が産出する(国府田ほか, 2007; Amano and Ando, 2011)。

北茨城・高萩地域では、高久層の砂岩 (Zs) の上部と砂質泥岩 (Zd) から、珪藻区間NPD3A₂ (16.7–16.6 Ma) とNPD3B₁ (16.6–16.5 Ma) を示す珪藻化石が産出する(柳沢, 1996a; 本論文)。また、小五浦湾に露出する高久層(第18図)から、Martini (1971)のNN4帯、すなわちOkada and Bukry (1980)のCN3帯に属する石灰質ナノ化石が報告されている(佐藤ほか, 2010)。模式地の高久層でも区間NPD3A₂及び3B₁を示す珪藻化石が報告され、さらに最上部の試料からは区間NPD3B₂と判断できる珪藻群集

が産出する(小泉, 1986; 竹谷ほか, 1990). また, 模式地の高久層からは, Blow (1969)のN.8-N.9帯の浮遊性有孔虫, Okada and Bukry (1980)のCN3帯の石灰質ナノ化石, Riedel and Sanfillipo (1978)の*Calocyclus costata*帯に属する放射虫化石の産出が報告されている(Kato, 1980; 竹谷ほか, 1990).

一方, 湯長谷層群最上部の三沢層上部に珪藻生層準D30 (17.0 Ma)が存在する(柳沢, 2011). また, 三沢層を不整合に覆い, 高久層に不整合の覆われる白土層群上部の南白土層から, NPD3A (17.0-16.6 Ma)帯と認定できる珪藻化石が報告されている(小泉, 1986; 竹谷ほか, 1990). さらに, 高久層を削り込んで形成された大津・神岡・ワラビ平海底谷を埋積する海底谷埋積物のうち, 最も古いユニットT1の下限は区間NPD3B₁の中にある(第7図). 以上の微化石年代データを総合すると, 常磐地域を通しての高久層の下限の年代は16.7 Ma付近, 上限の年代は16.5 Maよりわずかに新しいと推定される. ただし, 北茨城・高萩地域の高久層の上限は珪藻区間NPD3B₂には達しておらず, 16.6 Maより少し新しい程度と考えられる.

5.3.2 城戸場層(新称)

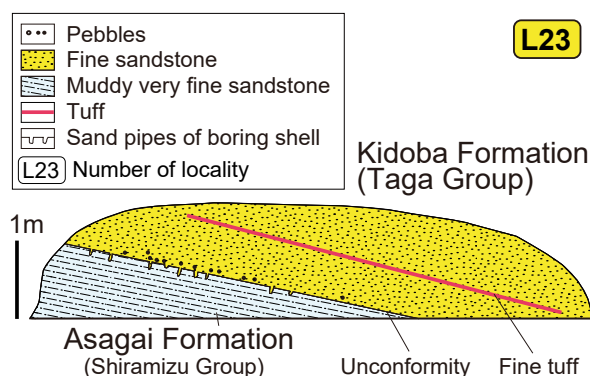
本層はMitsui *et al.* (1973)の“Shimotezuna Formation”(下手綱層)の一部に相当する. 模式地は高萩市城戸場南西である(第26図).

本層は白水層群浅貝層を不整合に覆う. 模式地付近のL23地点(第30図)では, 浅貝層の泥質極細粒砂岩の上に, 城戸場層最下部の細粒砂岩が不整合に重なっているのが観察できた(現在は観察不能). この露頭では不整合面から下位の浅貝層の砂岩中に掘られた穿孔貝の巢穴痕化石が観察された. 城戸場層の上部は中郷海底谷と, 高萩複合海底谷の上宿海底谷及び杉岡海底谷の形成に伴って侵食され失われている.

本層は, 城戸場南西の小地域にのみ分布し, 走向はほぼ南北で東に4-6°程度の傾斜で傾く. 周囲の海底谷埋積物が向斜状の構造をなすのに対し, 本層は常磐地域の古第三系及び新第三系の一般的方向である南北方向の走向を示すことで区別できる.

層厚は最大で約40 mである. 不整合の上位5-6 mは生物擾乱を受けた塊状無層理の泥質細粒砂岩相(ms)からなり, 不整合面上には中稜大の円礫が散在する. 本層の主体は無層理塊状の砂質泥岩相(sm)からなり, 最上部は泥岩相(m)となる(第31図).

不整合面直上では, 岩相が礫質で, 不整合面には穿孔貝の巢穴痕化石が見られることから, 堆積環境としては礫質の海岸が推定される. その上位では, 岩相及び産出した珪藻化石群集の組成からみて, 急激に海進が進んだと推定され, 外浜の堆積物を保存することなく内側陸棚から一気に外側陸棚の環境に変化したものと思われる.



第30図 白水層群浅貝層を不整合に覆う城戸場層の露頭(地点L23, 高萩市城戸場). 位置は第26図に示す.

Fig. 30 Outcrop of the Kidoba Formation unconformably overlying the Asagai Formation of the Shiramizu Group at locality L23, Kidoba, Takahagi City. Location of the outcrop is shown in Fig. 26.

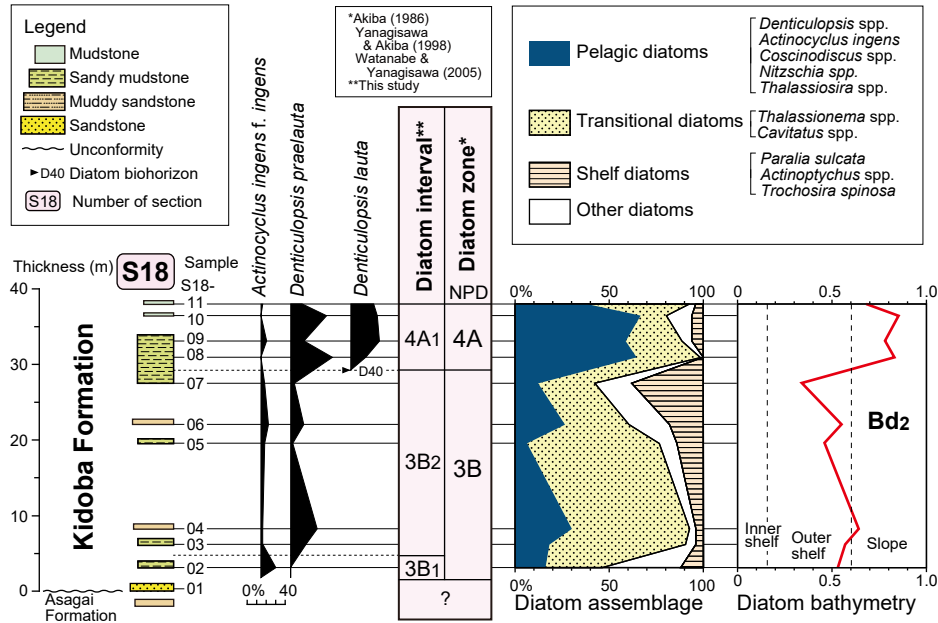
珪藻深度指標では, 主部の砂質泥岩相は外側陸棚, 最上部の泥岩相は陸棚斜面の深度を示す(第31図).

本層は珪藻化石帯区分のNPD3B帯からNPD4A帯最下部(区間NPD4A₁)に相当する. 現在残存する部分の堆積年代は16.6-15.8 Maと推定される(第7図).

5.3.3 小浜層

地層名はMitsui *et al.* (1973)の“Kohama Formation”による. 模式地は高萩市小浜付近である(第26図). 本層は下位の高萩複合海底谷をつくる各海底谷と中郷海底谷の埋積物を整合に覆う. 高萩複合海底谷の埋積物とは岩相では区別が難しいが, 海底谷埋積物がやや砂質であるのに対し, 小浜層はより細粒で珪藻質であることで区別される. 高萩複合海底谷の埋積物との境界は, 海底谷がほぼ完全に埋積されて, 地層が向斜状構造を作らず, 常磐地域の一般方向である南北方向の走向を示すようになった層準とする. したがって, 本層の基底を便宜的に, 珪藻区間の5C₂の基底付近とした. 一方, 中郷海底谷埋積物との境界は, 砂岩からなる中郷海底谷堆積物から岩相が泥岩に変化した層準を小浜層の下限と定める(第23図). 上位の海底地すべり痕埋積物の高戸ユニットとは層理に平行な侵食面で接する(第32図).

本層は主に高萩市の小浜付近に分布し, とくに海岸に良い露出がある. また, 南中郷駅の西方にも分布する(第23図). 本層の厚さは最大約30 mで, 主に塊状無層理の珪藻質の泥岩相(m)からなる(第32図). 本層には, 有色鉱物の多い結晶ガラス質凝灰岩層が多数挟まれている. 凝灰岩層の多くは厚さ1-20 cmであるが, 柳沢(2000)によって「石畑凝灰岩」と呼ばれた凝灰岩層は例外的に厚さが2.9 mもある. この凝灰岩層は, 白色結晶ガラス質で, 粒度は中粒砂ないし粗粒砂サイズで, 変質して金色に



第31図 城戸場層の珪藻化石層序. 層序セクション(S18)の位置は第26図に示す. 試料採取位置は付図9Bに, 珪藻産出表は付表12に示す.

Fig. 31 Diatom biostratigraphy of the Kidoba Formation. Location of the section (S18) is shown in Fig. 26. Locations of diatom samples and the occurrence chart of diatoms are shown in Fig. A9B and Table A12, respectively.

なった黒雲母を多く含む. 珪藻化石層序, 火山ガラスの組成及び鉱物組み合わせから, 石畑凝灰岩は大津海底谷埋積物T12中の五浦凝灰岩や, 調査地域外であるが, 日立市鮎川河口付近に分布する国分層の鮎川凝灰岩に対比される(第19図; 柳沢, 2000; 平中ほか, 2007).

本層は, 岩相及び珪藻深度指標から陸棚斜面域での堆積が推定される(第32図). 本層は, 浮遊性有孔虫化石層序ではBlow (1969)のN.17-N.19帯に対比されている(加藤, 1979; Kato, 1980). 一方, 珪藻化石層序では, 本層の主体はNPD5C帯の区間NPD5C₂から5C₃からなり, 最上部はNPD5D帯の区間NPD5D₁の基底に達している(第32図). これは小泉(1981)が報告した珪藻化石層序とほぼ一致する. 以上から本層の堆積年代は約11.2-10.0 Maと推定される(第7図).

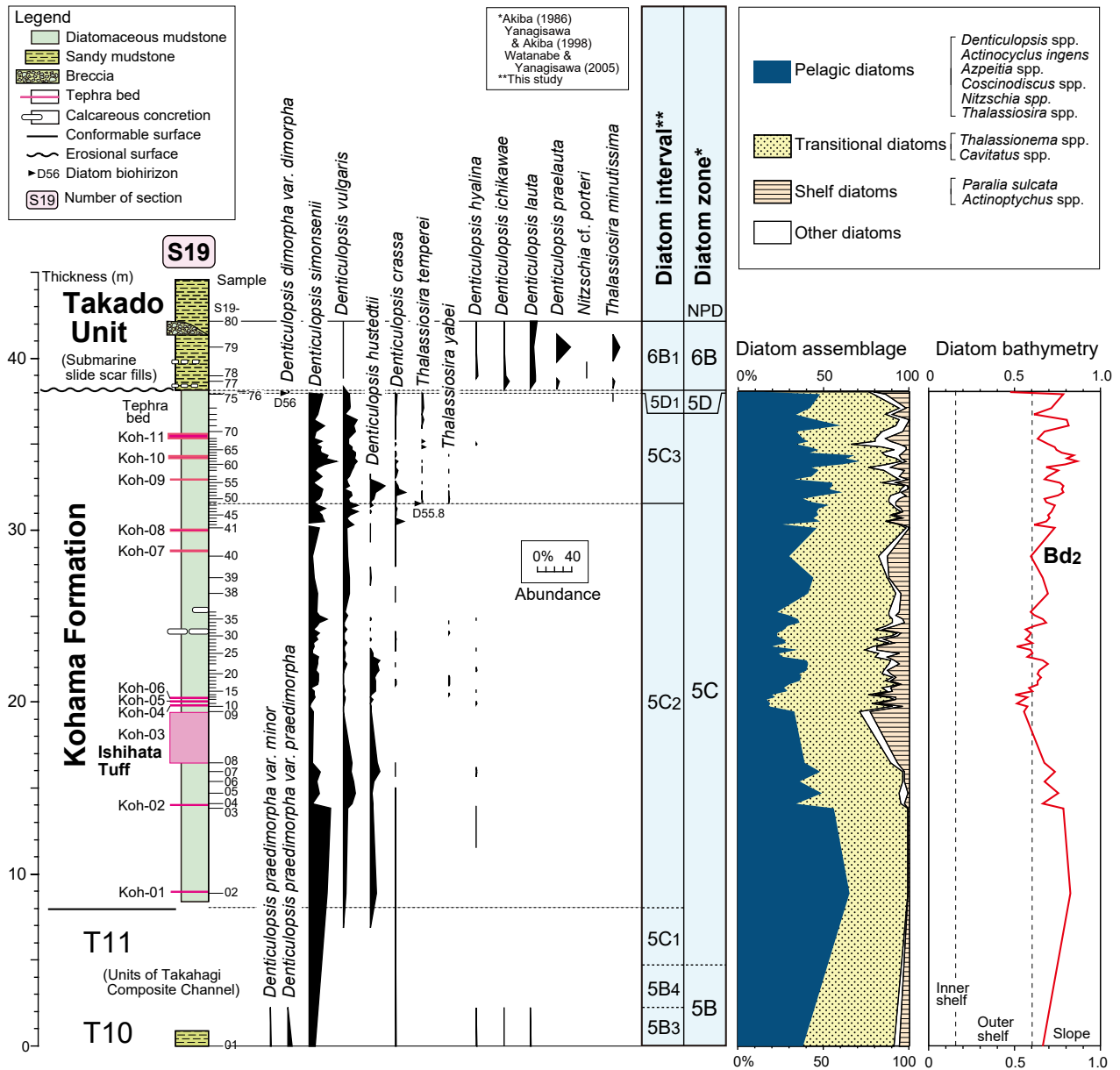
5.3.4 十王川層(新称)

本層は, 江口・鈴木(1953)による「櫛形層」の陣屋凝灰質泥岩砂岩部層の一部に相当する. 模式地は日立市友部の十王川沿いである(第27図, 付図11). 下位の岩本海底谷埋積物から整合漸移し, 調査地域南端部の日立市友部付近に分布する. 走向はほぼ南北ないしN5°Eで東に4-5°の傾斜で傾く. 層厚は約60 mで, 塊状無層理の泥質砂岩相ないし砂質泥岩相(sm)からなり, 一部で泥岩相(m)を挟む(第33図). 本層は泥岩相からなる小浜層や櫛形層よりもやや粗粒な層相からなるが, 珪藻群集は外洋性種が優占し, 珪藻深度指標は陸棚斜面の堆積深

度を示す. 模式地の十王川沿いでは珪藻化石層序の区間NPD4A₆からNPD5B₂(14.7-12.3 Ma)が認められる. 上位の櫛形層との境界部は露出が悪く, 本層の上限は確定できないが, 暫定的にNPD5B帯とNPD5C帯(11.4 Ma)の境界付近としておく(第7図).

5.3.5 櫛形層

地層名は江口・鈴木(1953)の「櫛形層」に基づく. 模式地は日立市櫛形から十王坂を経て川尻に至るルートである(第27図). 本層は下位の十王川層を整合に覆う. 両層の境界は, 十王川層の砂質泥岩相(sm)から, 櫛形層の珪藻質の泥岩相(m)へと岩相が細粒化する層準とする. 上位の海底地すべり痕埋積物の小貝ヶ浜ユニットとは侵食面で接する. 伊師浜海底谷埋積物T14とも侵食面で接すると推定されるが, 露頭では確認されていない. 走向はほぼ南北ないしN5°Eで東に4-5°で傾く. 約150-180 mの層厚を持ち, 主に塊状無層理の珪藻質の泥岩相からなる(第34図). また, 厚さ数 cm以下の珪藻質の細粒凝灰岩層が多数挟在する. 珪藻深度指標から外側陸棚から陸棚斜面の堆積深度が推定される. 本層と下位の十王川層の境界は露出状況が不良で確定できないので, 本層の下限は前述のように暫定的に珪藻化石帯のNPD5B帯とNPD5C帯境界(11.4 Ma)とみなした. 本層の上限は珪藻区間のNPD5D₁最上部に対応する. 本層の堆積年代は11.4-9.6 Maとなる.



第32図 小浜層と高戸ユニットの珪藻化石層序. 層序セクション(S19)の位置は第26図に, 試料採取位置は付図9Cに示す. 小浜層と高戸ユニットの珪藻産出表は付表13と16に示す.

Fig. 32 Diatom biostratigraphy of the Kohama Formation and the Takado Unit. Location of stratigraphic section (S19) is shown in Fig. 26. Locations of diatom samples are shown in Fig. A9C. The occurrence charts of diatoms of the Kohama Formation and the Takado Unit are shown in Tables A13 and A16, respectively.

5.4 海底地すべり痕埋積物

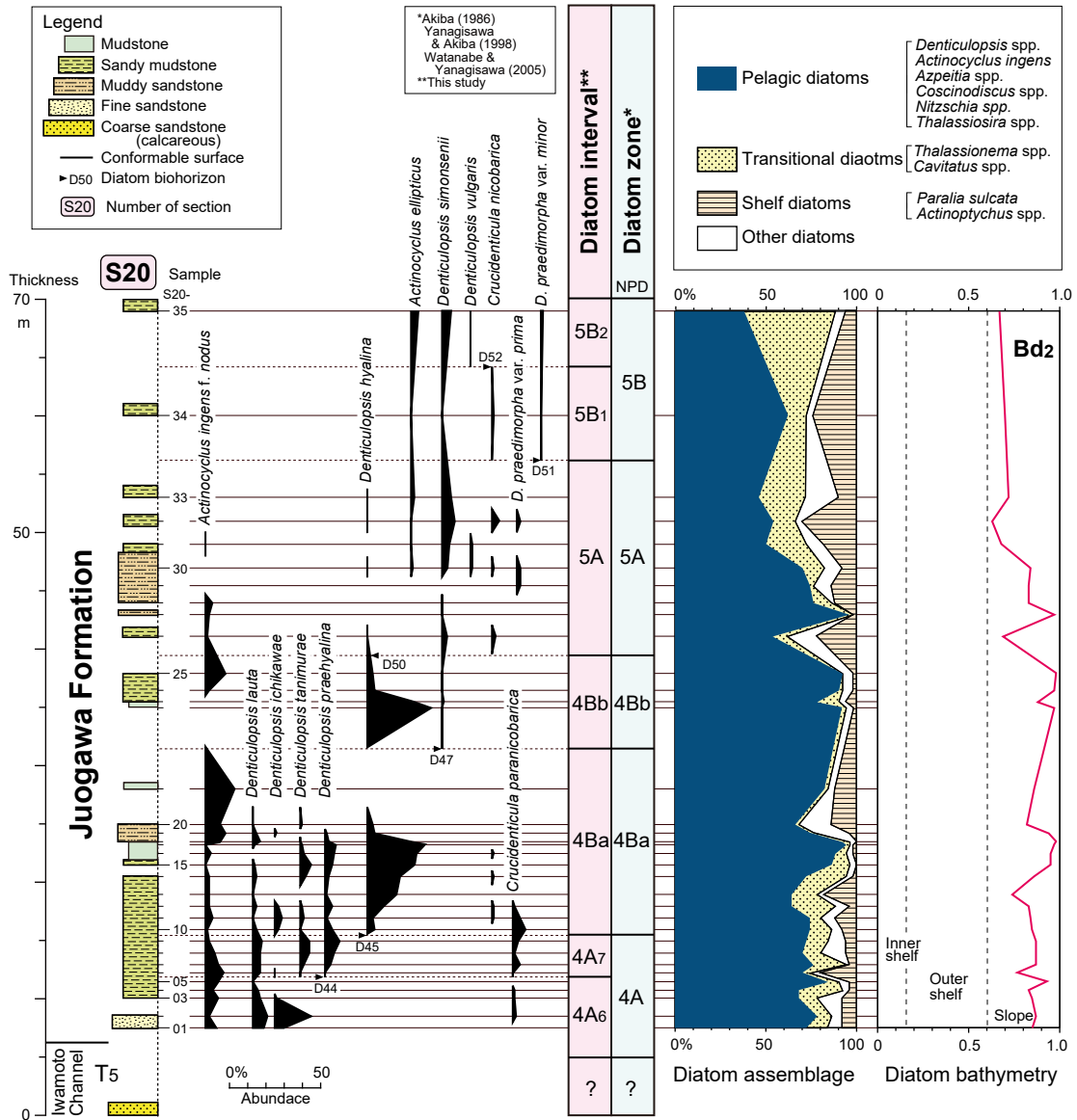
本地域では, 高戸及び小貝ヶ浜ユニットの2つのユニットが認定される(第3図, 第6図). ただし, 小貝ヶ浜ユニットは2つのサブユニットからなる.

5.4.1 高戸ユニット(新称)

模式地は高萩市高戸小浜海岸の海食崖上部である(第26図). このユニットは, 下位の小浜層の泥岩の上位

に, 層理面と平行な面を境にして重なる(第35図A). 本ユニットは, 小浜海岸の丘陵頂部にあたる南北約750 m, 東西約200 mの非常に狭い範囲のみに分布する(第26図). 走向はほぼ南北で東に緩く3-4°で傾く. 層厚は最大で約20 mである.

岩相は無層理塊状の砂質泥岩相(sm)で, 下位の小浜層の珪藻質の泥岩相(m)よりもやや粗粒である. 砂質泥岩中には小~中礫大のコンクリーションが含まれる. 高戸



第33図 十王川層の珪藻化石層序. 層序セクション(S20)の位置は第27図に, 試料採取位置は付図9Dと付図11に, 珪藻産出表は付表14にそれぞれ示す.

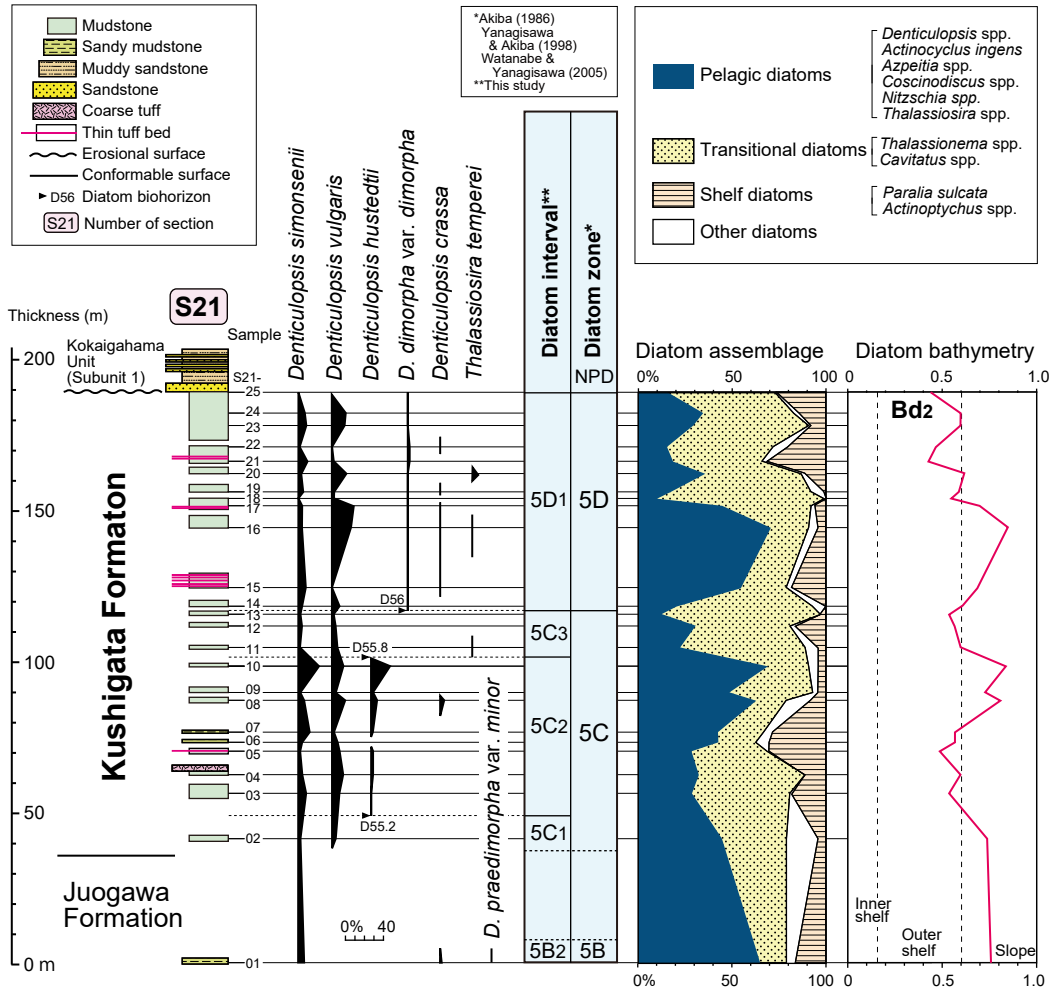
Fig. 33 Diatom biostratigraphy of the Juogawa Formation. Location of the stratigraphic section (S20) is shown in Fig. 27. Locations of diatom samples are shown in Figs. A9D and A11. Occurrence chart of diatoms is presented in Table A14.

海岸では, ユニットの基底から約3 m上位に厚さ約1 mの角礫岩層が挟在する(第35図B). この角礫岩は基質が凝灰質粗粒砂岩で, 中~巨礫大のシルト岩クラストを含む. しかし, この角礫岩層はレンズ状で側方には連続しない. 小浜海岸でもほぼ同じ層準に角礫を含むスランプ堆積物と思われる岩相が挟まれているが, 海岸の崖の最上部にあって正確な岩相は確認できない.

高戸ユニットからはNPD6B帯下部(区間NPD6B_i)を示す珪藻化石が産出し, 堆積年代は8.5–8.7 Maと推定される(第32図). 一方, 下位にある小浜層最上部の珪藻化石帯はNPD5帯最下部(区間5D_i)であり, 境界面直下の

年代は約10.0 Maと算定される(第7図, 第32図). 従って, 高戸ユニット基底の境界面には, 少なくとも約130–150万年の時間間隙が存在する.

境界面を挟む小浜層及び高戸ユニットは, 珪藻化石群集からみて外側陸棚から陸棚斜面域で堆積した海成層であるので, 時間間隙は陸上での侵食によって生じたとは考えられない. また, 境界面近傍には堆積の遅滞を示す海緑石砂岩層は全く見られないので, 海底における堆積の中断によって時間間隙ができたとは考えにくい. したがって, この時間間隙は海底での侵食によって生じたと考えざるを得ない. しかし, 境界面は平坦で下位層の層



第34図 櫛形層の珪藻化石層序. 層序セクション(S21)の位置は第27図に、試料採取位置は付図9Dに、珪藻産出表は付表15に示す.

Fig. 34 Diatom biostratigraphy of the Kushigata Formation. Location of the stratigraphic section (S21) is shown in Fig. 27. Locations of diatom samples and the occurrence chart of diatoms are shown in Fig. A9D and Table A15, respectively.

理面に平行なので、この境界面が上述のような海底谷形成に伴う侵食によって生じたとは思えない。残るのは、層理に平行な面で滑りが起きた海底地すべりによる地層の欠損により、時間間隙が生じた可能性に絞られる。高戸付近の海食崖で追跡できる境界面は、シャープで、かつ平坦であり、これが初生的には海底地すべりの基底面としても矛盾はない(第35図)。

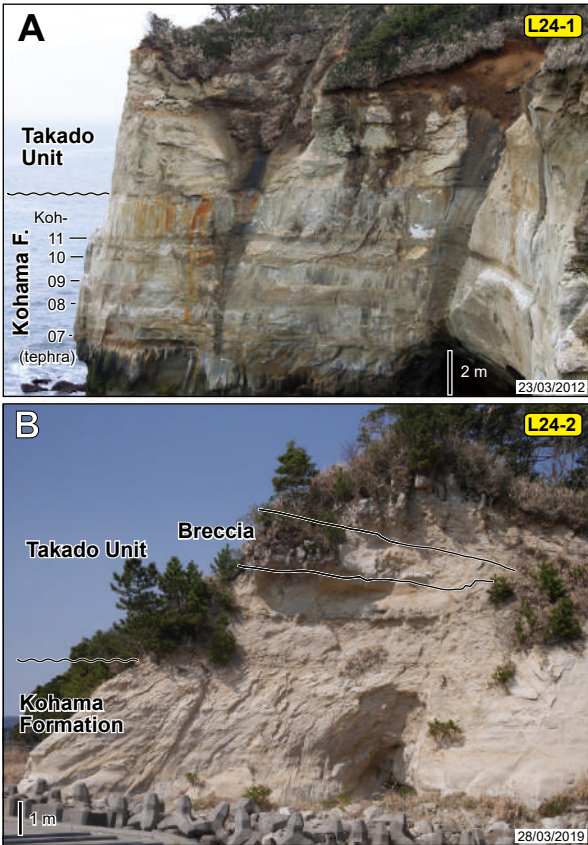
下位の小浜層の最上部の年代10.0 Maから、高戸ユニットが地すべり痕を埋めた海底地すべりが生じたと推定される約8.5 Maまで、小浜層と同程度の堆積速度で堆積が続いたとすれば、この海底地すべりによる地層の欠損は、地層の圧密後の層厚に換算して約30 mと算定される。

5.4.2 小貝ヶ浜ユニット(新称)

模式地は日立市こかいがはま小貝ヶ浜である(第27図)。江口・鈴木(1953)の「小貝ヶ浜凝灰質泥岩」にほぼ相当する。本ユ

ニットは日立市川尻の種ヶ崎付近の海岸の露頭で、侵食面を境にして、下位の櫛形層の泥岩相の上位に重なるのが観察できる(第36図)。本ユニットは鷗の岬から小貝ヶ浜を経て、種ヶ崎まで分布する。走向は南北で東に3-4°傾く。

小貝ヶ浜ユニットはサブユニット1と2からなる。サブユニット1は種ヶ崎付近の海食崖により露出がある(第36図)。基底には厚さ約3 mの粗粒砂岩層があって、下位の櫛形層の泥岩を覆っている。砂岩層中には泥岩クラストが含まれ、種ヶ崎の東方の崖(層序セクションS22-2)では、砂岩層は巨礫大の泥岩クラストで占められている(第37図)。泥岩クラストは櫛形層中部と同じ年代の珪藻化石含むことから、櫛形層から由来したと推定される。サブユニット1は最大約20 mの層厚を持ち、主部は砂質泥岩・砂岩互層相(a2)または泥質砂岩・砂岩互層相(a3)よりなる。サブユニット1の堆積後にサブユ

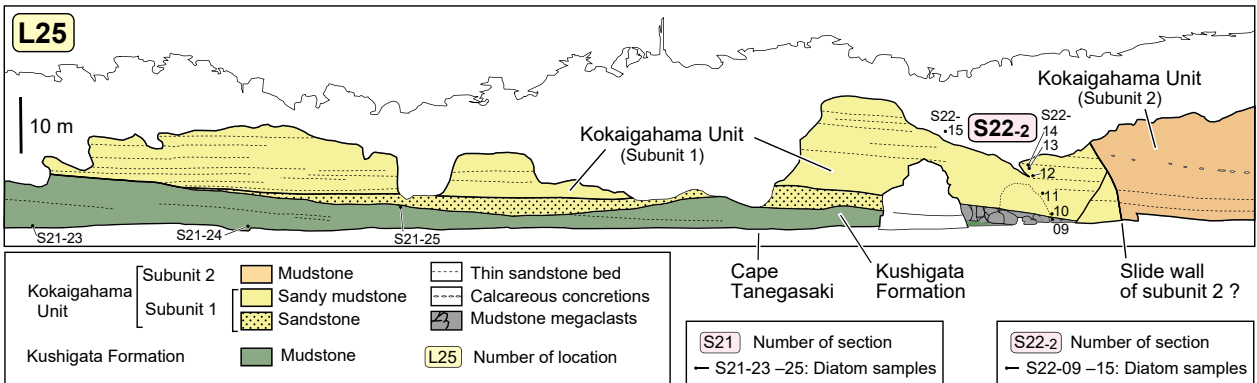


ニット2の海底地すべりが生じたため、サブユニット1は大部分が失われ、その南西端部がわずかに蚕養神社から種ヶ崎付近に残存しているにすぎない。本サブユニットからは区間NPD6B₃ (7.9–7.7 Ma)を示す珪藻化石を産するので、サブユニット1と下位の櫛形層の上限(約9.6 Ma)との間には最低でも170万年程度の時間間隙がある。現存している櫛形層の上限から、サブユニット1が埋積した海底地すべり痕を生じたイベントが起こった7.9–7.7 Maまで、櫛形層と同程度の堆積速度で堆積が継続したとすると、海底地すべりによる地層の欠如は、圧密後の層厚に換算して少なくとも約140 mと見積もられる。

サブユニット2は小貝ヶ浜から鶴の岬にかけての海岸沿いに連続的に露出する。種ヶ崎の東方海岸の崖で、サブユニット1とは、垂直に近い境界面で接する(第36図)。この境界を江口・鈴木(1953)は西北西–東南東方向の北

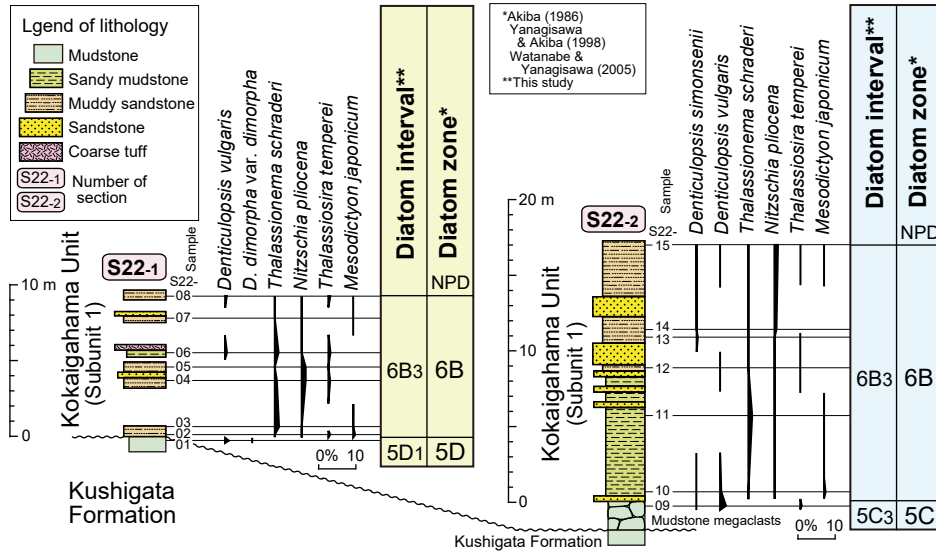
第35図 小浜層を覆う高戸ユニット(海底地すべり痕埋積物)の露頭写真。露頭の位置は第26図に示す。A) 地点L24-1 (高萩市小浜海岸)。B) 地点L24-2 (高戸海岸)。

Fig. 35 Photographs of the Takado Unit (submarine slide scarfills) overlying the Kohama Formation. Locations of the outcrops are shown in Fig. 26. A) Locality L24-1 (Kohama Beach), B) Locality L24-2 (Takado Beach).



第36図 櫛形層を覆う小貝ヶ浜ユニットのサブユニット1(海底地すべり痕埋積物)の露頭。日立市川尻十王川河口付近の地点L25。位置は第27図に示す。A) 露頭写真。B) 露頭のスケッチ。

Fig. 36 Photograph and sketch of the subunit 1 of the Kokaigahama Unit (submarine slide scar fills) overlying the Kushigata Formation at locality L25 near the river mouth of the Juo River, Kawajiri in Hitachi City. Location of the outcrop is shown in Fig. 27. A) Photograph of the outcrop. B) Sketch of the outcrop.



第37図 小貝ヶ浜ユニットのサブユニット1 (海底地すべり痕埋積物)の珪藻化石層序. 層序セクション(S22-1, S22-2)の位置は第27図に, 試料採取位置は付図9Dと第36図に, 珪藻化石産出表は付表17に示す.

Fig. 37 Diatom biostratigraphy of the subunit 1 of the Kokaigahama Unit (submarine slide scar fills). Locations of stratigraphic sections (S22-1, S22-2), locations of diatom samples and the occurrence chart of diatoms are shown in Fig. 27, Fig. A9D, Fig.36 and Table A17, respectively.

落ちの断層と判断しているが, 海底地すべりの側方壁であると思われる. しかし, 現状では露頭に近づくことができないため確認はできない. サブユニット2は, 層厚は現在陸上に分布する限り最大約50 mで, 砂質泥岩相(sm)と泥岩相(m)からなり, まれに炭酸塩コンクリーションを含むことがある(第38図). 岩相及び珪藻深度指標から外側陸棚の深度が推定される. 珪藻区間はNPD7A₁ (7.7-6.8 Ma)に属する. 後述するように, 日立層群最下部の海底谷埋積物のユニットH1の珪藻区間もNPD7A₁なので, 小貝ヶ浜ユニットのサブユニット2と日立層群のユニットH1の新旧関係は, 珪藻化石層序のみでは判定できない. しかし, 日立層群の基底では新たに海底谷が複数形成され, 堆積場が一新されているので, 常磐地域全体の堆積史を考慮すれば, 日立層群のユニットH1の方が上位にあると判断される. 以上から, サブユニット2は珪藻区間NPD7A₁の相対的に下部にあると推定され, 層厚が50 m程度しかないことも考慮して, 現時点ではサブユニット2の上限の年代を暫定的に約7.5 Ma付近に置いておくことにする. この年代区間での珪藻化石層序の時間分可能の向上も含めて, サブユニット2の上限の年代の確定については, 今後の課題としたい.

6. 日立層群の層序

6.1 層序の概要

日立層群の名称は鈴木(1952)による. ただし, 本論文の日立層群は, 鈴木(1952, 1954b)の「日立層群」と「初崎

層群」を合わせたものに相当する.

この論文では, 安藤ほか(2011)に従って, 最上部中新統~鮮新統を「日立層群」とし, 下位の多賀層群と区別する. その理由は以下のとおりある.

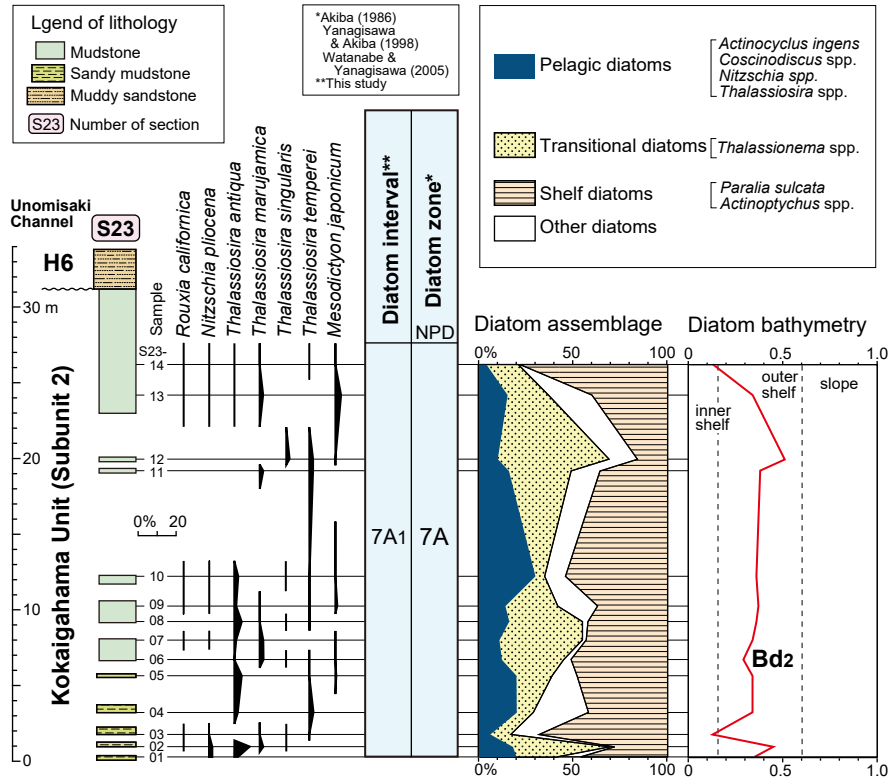
1) 直線的で流路が比較的安定している多賀層群の海底谷に比べ, 日立層群の海底谷は流路が安定せずに, 時期ごとに大きく移動する場合が多く, 多賀層群とは海底谷の性質が異なる.

2) 多賀層群の泥質堆積物は主に珪藻質泥岩からなるが, 日立層群ではこれより粗粒の砂質泥岩が主体で, 岩質も珪藻質ではない.

3) 予察的な調査によれば, 日立市付近では, それまで陸棚~陸棚斜面の通常の堆積を行っていた多賀層群分布域において, 日立層群の基底で新たに海底谷が複数形成され, 堆積場が一新されている.

日立層群は後期中新世から後期鮮新世末に至る海底谷埋積物からなり, H1からH11の堆積ユニットに区分される(第3図). このうち本地域内に分布するのは, ユニットH6からH11である(第39図, 第3表). 日立層群は, 下位の多賀層群及び白水層群石城層と海底谷の壁面の侵食面を介して接する.

日立層群は, 本地域内では南端部の日立市北部(旧十王町地域)伊師地区にのみ分布し, 多賀層群の石滝及び伊師海底谷と櫛形層を刻んで複数の海底谷を形成して複雑な堆積形態を示す(第39図). 海底谷は北から, いぶき山, 加幸沢, 小石川, 上台及び鶴の岬の5つの海底谷



第38図 小貝ヶ浜ユニットのサブユニット2(海底地すべり痕埋積物)の珪藻化石層序. 層序セクション(S23)の位置は第27図に, 試料採取位置は付図9Dに, 珪藻化石産出表は付表18に示す.

Fig. 38 Diatom biostratigraphy of the subunit 2 of the Kokaigahama Unit (submarine landslides scar fills). Locations of stratigraphic section (S23), locations of diatom samples and the occurrence chart of diatoms are shown in Fig. 27, Fig. A9D and Table A18, respectively.

が認められる(第4表). なお, 十王川の南にも未命名の日立層群の海底谷が存在するが, 調査が完了していないので, ここでは扱わない(第5図).

日立層群として定義される堆積物のうち, 最も古いユニットは, 南隣の日立市内に分布するユニットH1で, 珪藻化石層序のNPD7A帯の区間NPD7A₁ (7.7–6.8 Ma)に属する(第7図). この珪藻区間は, 多賀層群最上部の小貝ヶ浜ユニットのサブユニット2と同じであるので, 両者の新旧関係は珪藻化石層序だけでは判別できないが, 前述のように常磐地域全体の堆積史から見て, 日立層群のユニットH1の方が上位にあると判断される. したがって, ユニットH1は珪藻区間NPD7A₁の比較的上部にあると思われるので, これを考慮してユニットH1の下限の年代を現在のところ約7 Maと考えておく. 一方, 最も新しいユニットは, 本地域のいぶき山海底谷のユニットH11で, その上限はNPD8帯の区間8b (3.1–2.7 Ma)の最下部にあたる. したがって, 日立層群は現時点では約7 Maから3 Maの年代区間で堆積したと推定しておく.

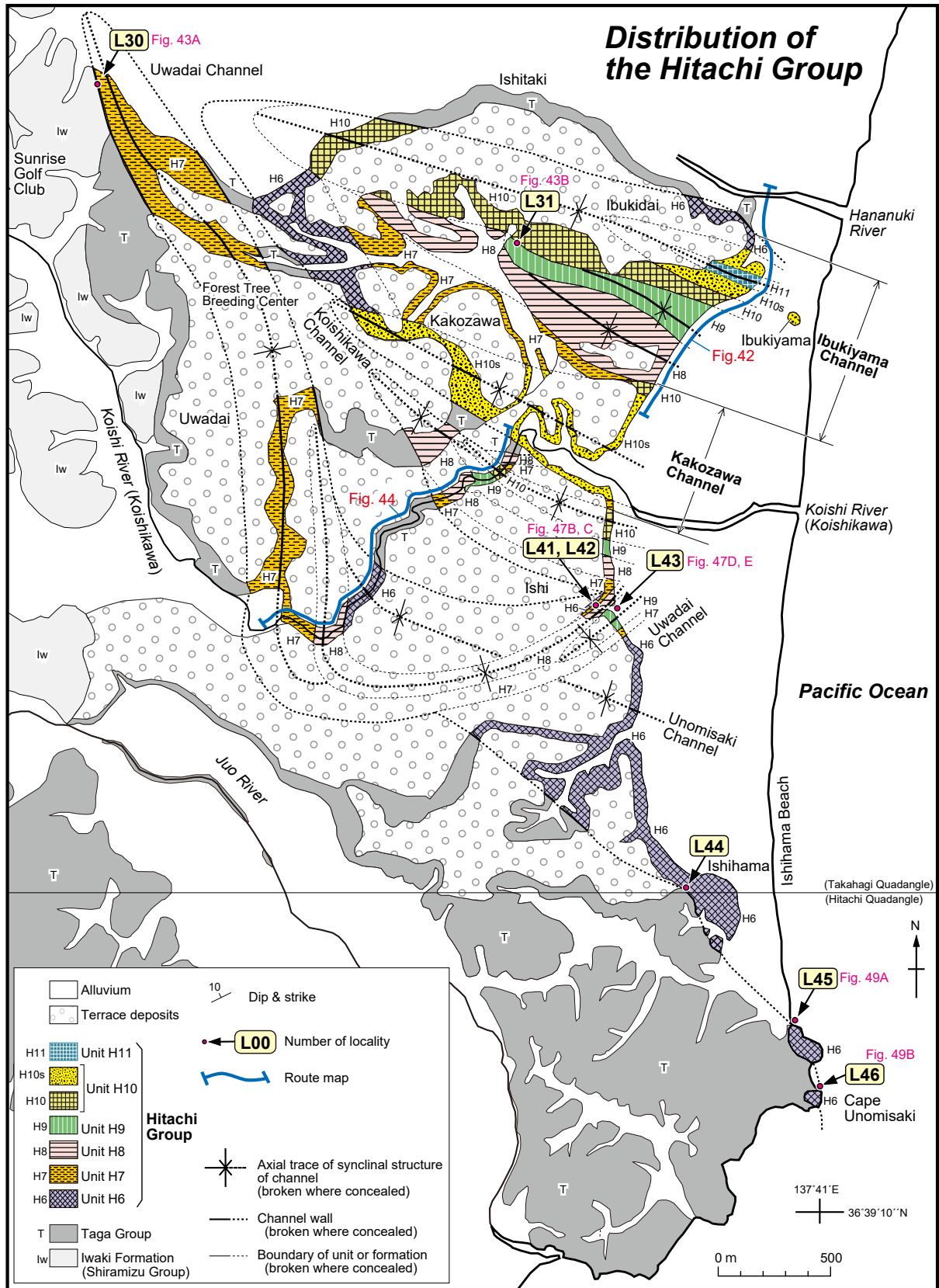
6.2 海底谷埋積物

日立層群のユニットH6からH11について, 珪藻区間,

年代, 主な岩相及び分布する海底谷を第3表にまとめた. 海底谷の形態は多賀層群の海底谷とほぼ共通する.

日立層群の年代範囲である最後期中新世から前期鮮新世にかけての珪藻化石層序の年代分解能は全体に悪く, 特にNPD7Bb帯で極めて分解能が低い. このため, 日立層群では珪藻化石によるユニットの識別と同定が難しい. そこで, この論文では, 研究方法の項で述べたように, 汎用の生層準D77, D80, D85, D90のほかに常磐地域のみで地域的に適用可能な生層準を定義して使用する. それは, *Delphineis simonsenii* Akibaの初産出層準(SF), *D. simonsenii*の終産出層準(SL)及び*Thalassionema robusta* Schraderの初多産出層準(RFC)の3つの生層準である(第7図). この論文では, これらの計7つの生層準と, 露出のいいぶき台や小石川ルートなどで確認された海底谷壁での層序関係を基にしてユニットの認定と層序の構築を行った.

まず, *D. simonsenii*の初産出層準を含む単位をユニットH6とした. 次に, 生層準D80を含むユニット, すなわち区間NPD7Bbから区間NPD8aにまたがるユニットをH8とした. 野外での観察の結果, ユニットH6を切り, かつユニットH8に切られるユニットが存在し, そのユニッ



第39図 日立層群の地質図.

Fig. 39 Geological map of the Hitachi Group.

ト中にはユニット境界を示すような侵食面が認められなかったため、それをユニットH7とした。ユニットH7は *Thalassionema robusta* を多産するので、*T. robusta* の初多産出層準(RFC)よりも上位に位置づけられる。ユニットH8の上位には3つのユニットが存在し、ユニットH9とH10は区間NPD8aに、ユニットH11は区間NPD8bに属する。なお、北茨城・高萩地域では露出状況が悪く、ユニット間の関係を確認できる露頭が限定されるので、日立層群が広く分布する日立地域の調査が進展すれば、さらにユニットが増加する可能性がある。

日立層群の各ユニットは主に砂質泥岩相からなるが、ユニットによっては砂質泥岩・砂岩互層相及び厚砂岩相を含む。砂質泥岩相は無層理である場合が多いが、厚さ1-2 cm以下の細粒砂岩の薄層を挟む場合がある。砂質泥岩・砂岩互層相は、中～細粒砂岩と砂質泥岩の互層である。砂岩は数cmから数十cmの厚さで、下部は級化層理を示し、上部は平行葉理やリップル葉理が発達することから、重力流堆積物であると推定される。砂岩は中～粗粒で比較的淘汰がよく軟質で固結していない。厚砂岩相はユニットH10で特に発達する。なお、海底谷壁近傍では、下位の多賀層群や日立層群の下位ユニット(H2)由来の泥岩クラストを含むことがある。

現在地表で確認できる各海底谷について、最大幅、最大長、伸びの方向、谷内に残存している堆積物の年代範囲、埋積するユニット及び堆積物の主要な岩相を第4表にまとめた。また、堆積ユニットごとの海底谷の流路の変遷を第40図に示した。日立層群の各海底谷の流路は、各ユニットの分布と、壁の方向や露頭での走向・傾斜から推定される海底谷流路の伸びの方向などを基にして復元した。

本地域の日立層群では、H6の時期に、いぶき山海底谷と鶴の岬海底谷の2つが生じた(第40図)。このうち、いぶき山海底谷は流路が比較的安定し、海底谷の中心軸が北に徐々に移動しながらH11の時期まで存続した。これに対して鶴の岬海底谷は、H7の時期には下流が放棄されて、第41図に示すように東北東方向に大きく流路が屈曲して上台海底谷を形成し、新たに生じた小石川海底谷を合わせて、いぶき山海底谷と合流するようになった。その後、上台海底谷は埋積されてH10の時期には消滅した。小石川海底谷もH9の時期にはほぼ埋積されたが、H10の時期には新しく加幸沢海底谷が作られ、その支流となったと推定される。

6.2.1 いぶき山海底谷

最大幅0.8 km、最大長2.3 km以上の西北西-東南東方向の海底谷である。海底谷名は海岸にある「いぶき山」にちなむ。本海底谷は、ユニットH6、H7、H8、H9、H10、H11で埋積され、新しいユニットほど海底谷の軸が順次北方に移動している(第39図)。

最下部のユニットH6 (NPD7Bb, 7Bb.s)は海底谷の北縁と南縁部に分布する。北縁では砂勝の砂質泥岩・砂岩互層相からなり、多賀層群の石滝海底谷を構成するユニットT12と接する(第42図)。稲村神社南の地点L26(第42図)に露出する互層に含まれている泥岩クラストからは、区間NPD7A₁に対比される珪藻化石が産出する。この珪藻区間は、多賀層群最上部の小貝ヶ浜ユニット、または日立層群の最下部のユニットH1の年代なので、いぶき山海底谷の近傍または上流にこれらに相当する堆積物が存在していた可能性がある。一方、海底谷南縁部のユニットH6は、林木育種センター北方の段丘崖に露出し、主に砂質泥岩からなる。

ユニットH7 (NPD7Bb, 7Bb.r)は海底谷の南縁部に分布し、主に砂質泥岩相からなる。ユニットH8 (NPD7Bb.r, 8a.r)は泥勝の砂質泥岩・砂岩互層相からなり、ユニットH7の北側に沿って向斜状構造を作って分布する。ユニットH9 (NPD8a.r)も、泥勝の砂質泥岩・砂岩互層相から構成され、ユニットH8のさらに北側で向斜状構造をなす。ユニットH9と下位のユニットH8との境界の壁は、いぶき台ルートの地点L28で観察される(第42図)。

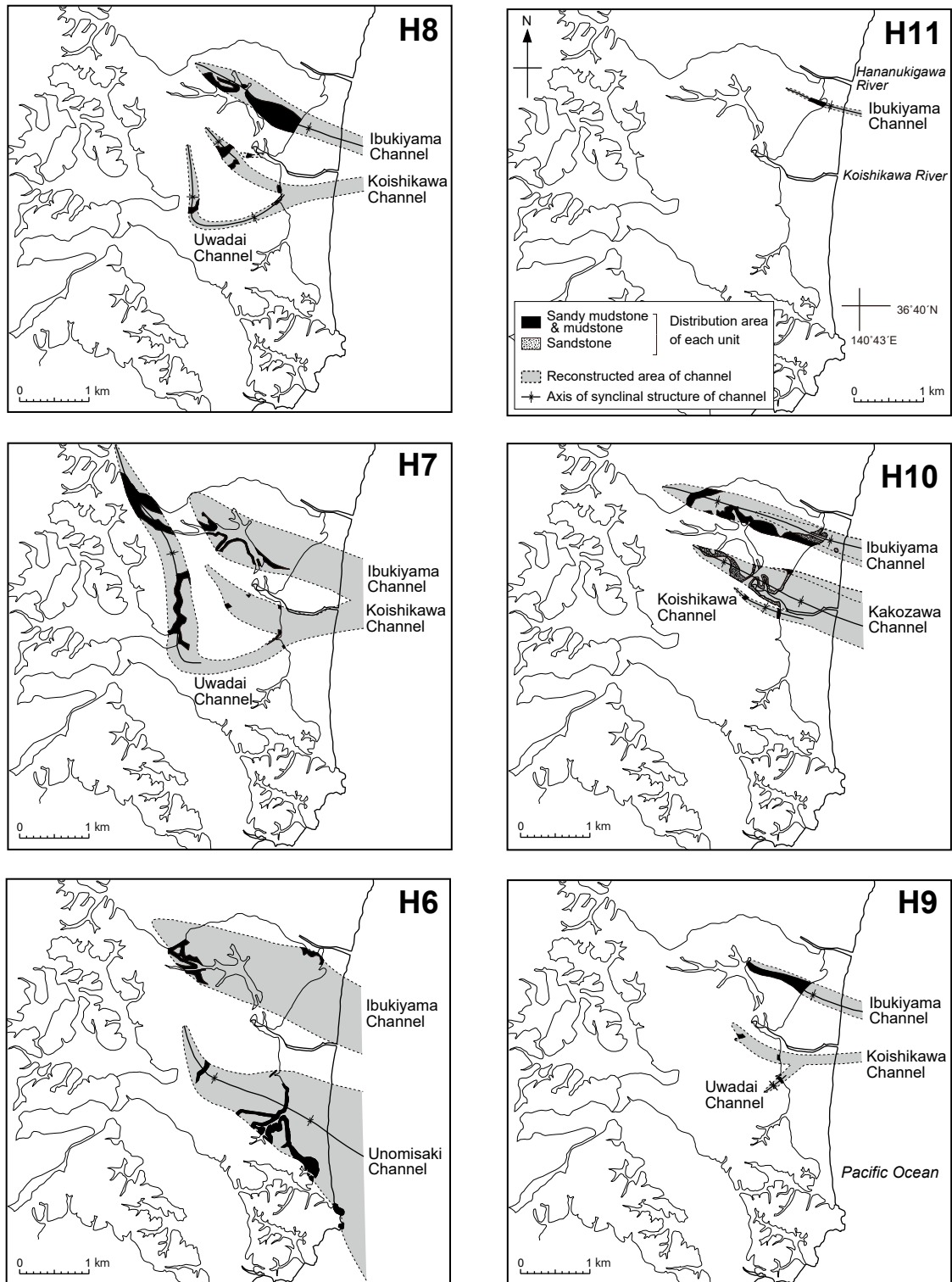
ユニットH10 (NPD8a.r)は下部が泥勝の砂質泥岩・砂岩互層相、上部が淘汰のよい軟質の中粒砂岩からなる厚砂岩相から構成される。いぶき台ルートの地点L27(第42図)や、いぶき台団地の西方の地点L31(第43図B)では、ユニット10とユニットH9の境界が確認できる。また、海岸部に孤立するいぶき山は、ユニットH10の上部に属する石灰質の厚砂岩相からなる。ユニットH11 (NPD8b.r)は主に砂質泥岩相からなり、ユニットH10分布域の内側に分布する。

6.2.2 加幸沢海底谷

幅0.5 km、長さ1.4 kmの西北西-東南東方向の海底谷である。ユニットH10のみで埋積された単発の海底谷で、いぶき山海底谷の南に隣接する(第39図)。本海底谷内のユニットH10 (NPD8a.r)は、主に未固結で淘汰のよい中～粗粒砂岩からなる厚砂岩相からなるが、一部で砂質泥岩・砂岩互層相が発達する。いぶき山海底谷のH8との境界となる加幸沢海底谷の北壁が、いぶき台ルート南端の関平付近の地点L29に露出している(第42図)。

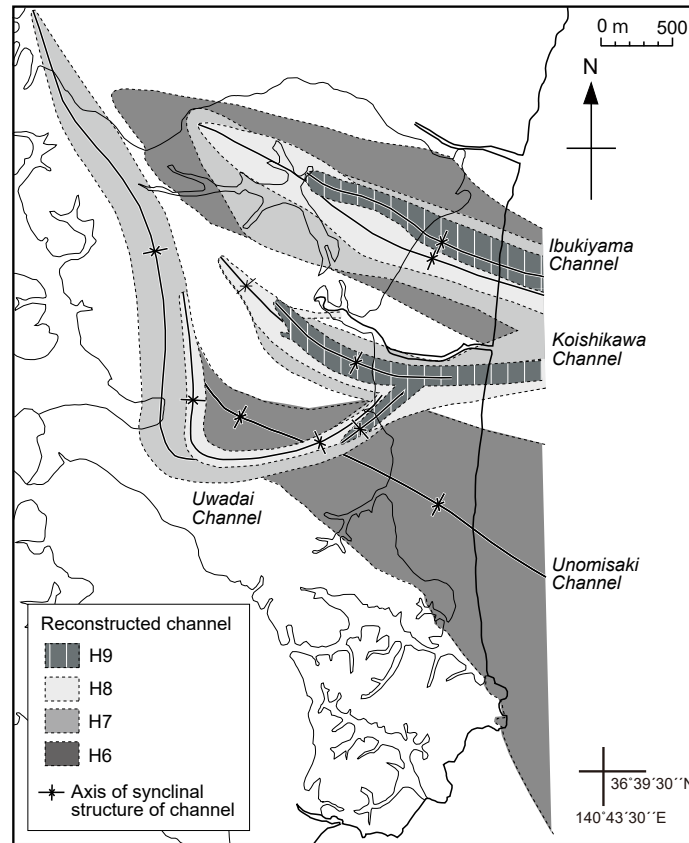
6.2.3 小石川海底谷

最大幅0.4 km、最大長約1.0 kmの西北西-東南東方向の海底谷で、ユニットH7、H8、H9及びH10からなる(第39図)。ユニットH7 (NPD7Bb, 7Bb.r)は泥岩相、砂質泥岩相、砂質泥岩・砂岩互層相からなる。小石川ルート(第44図)では、ユニットH7が多賀層群のユニットT12からなる海底谷壁にアバットするのを地点L37で確認できる。ユニットH8 (NPD7Bb.r, 8a.r)も泥岩相、砂質泥岩相、砂質泥岩・砂岩互層相からなる。小石川ルートの北東縁



第40図 日立層群のユニットH6からH11における海底谷の位置の変化.

Fig. 40 Temporal change in location of submarine channels from the Unit H6 to H11 in the Hitachi Group.



第41図 日立層群のユニットH6, H7, H8及びH9の海底谷の北方への移動.

Fig. 41 General overall northward shifting of submarine channels for the Units H6, H7 H8 and H9 of the Hitachi Group.

付近には、ユニットH8からなる幅40 m程度の小規模な独立した海底谷が認められ(第44図)、多賀層群のユニットT12との境界の壁が、地点L32とL33で確認される(第45図A, B, 第46図)。この小規模海底谷は、東方向に延びており、東側のいぶき山海底谷に連続する支流である可能性もあるが、ここでは小石川海底谷の支流として流路を復元した。ユニットH9 (8a.r)は砂質泥岩相及び砂質泥岩・砂岩互層相からなり、ユニットH8とは地点L35やL36において侵食面で接する(第44図, 第45図D)。ユニットH10 (8a.r)も砂質泥岩相及び砂質泥岩・砂岩互層相からなり、地点L34ではユニットH9と接する(第45図C)。また、ユニットH10は、層序セクションS24でユニットH8に接するのが観察できる(第46図)。

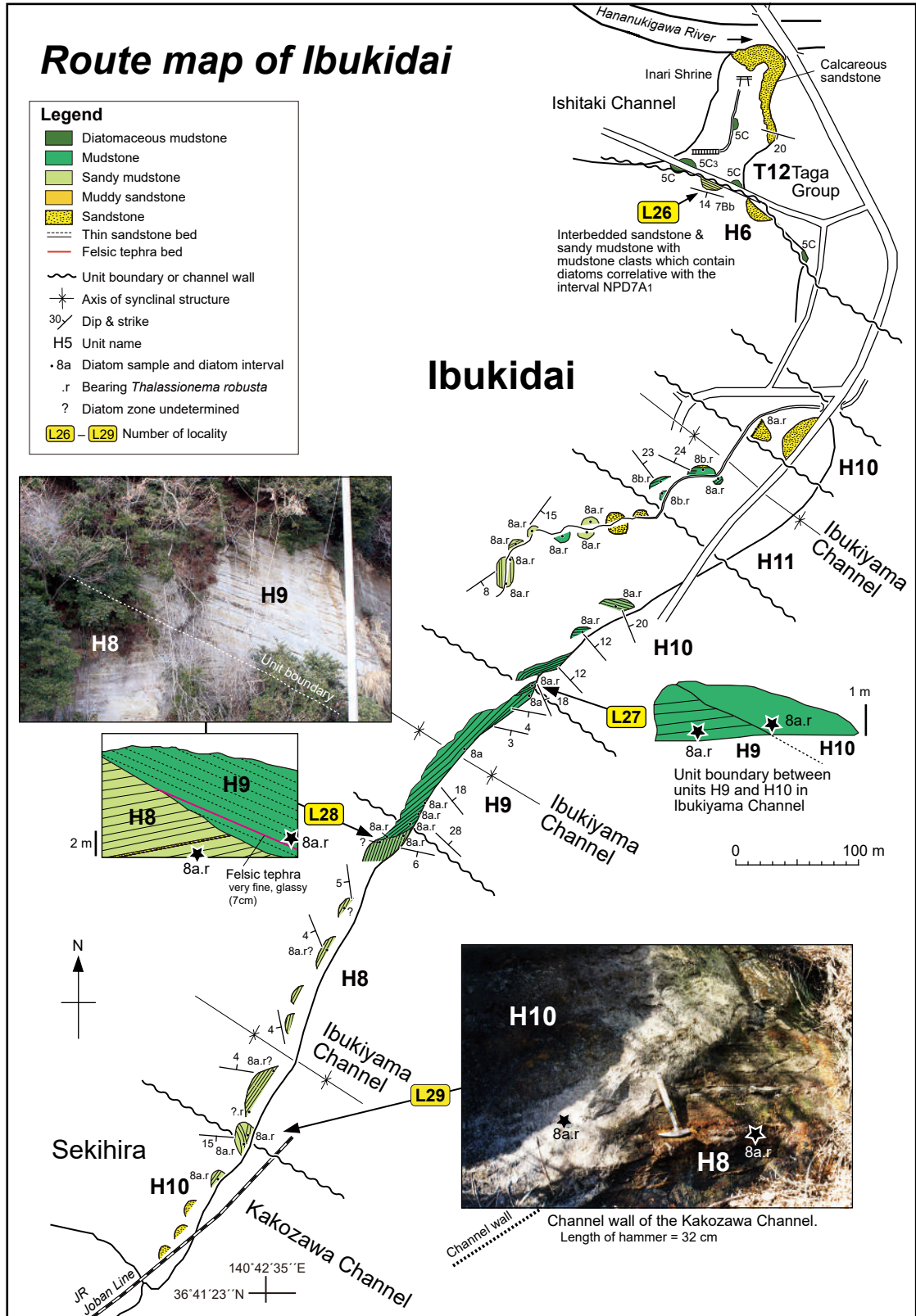
6.2.4 上台海底谷

最大幅0.3 km, 最大長約4.5 km以上の長い海底谷で、上流部は北北西-南南東ないし南北方向であるが途中で流路がほぼ直角に屈曲して、下流では西南西-東北東方向に変化する。海底谷内はユニットH7, H8及びH9で埋積される(第39図)。各ユニットとも主に泥岩相と砂質泥岩相で構成される。ユニットH7 (7Bb, 7Bb.r)は上台海

底谷の全域にわたって分布する。最上流部の地点L30(第43図A)では海底谷の西壁が見られ、白水層群の石城層の細粒砂岩をユニットH7の泥岩相が覆うのが観察される。また、伊師集落の東方の地点L41では鶴の岬海底谷を埋積するユニットH6の砂質泥岩相をユニットH7の泥岩相が覆っているのが確認された(第47図A, B)。ユニットH8 (7Bb.r, 8a.r)は、小石川ルートの上流部の地点L39で東側の壁が、地点L40で西側の海底谷壁がそれぞれ確認される(第44図, 第45図E, F)。また、伊師集落の東方の地点L42でもユニットH7とH8の境界が見られる(第47図A, C)。ユニットH9 (NPD8a.r)は上台海底谷下流部にのみ分布し、地点L43でユニットH8に接している(第47図A, D, E)。

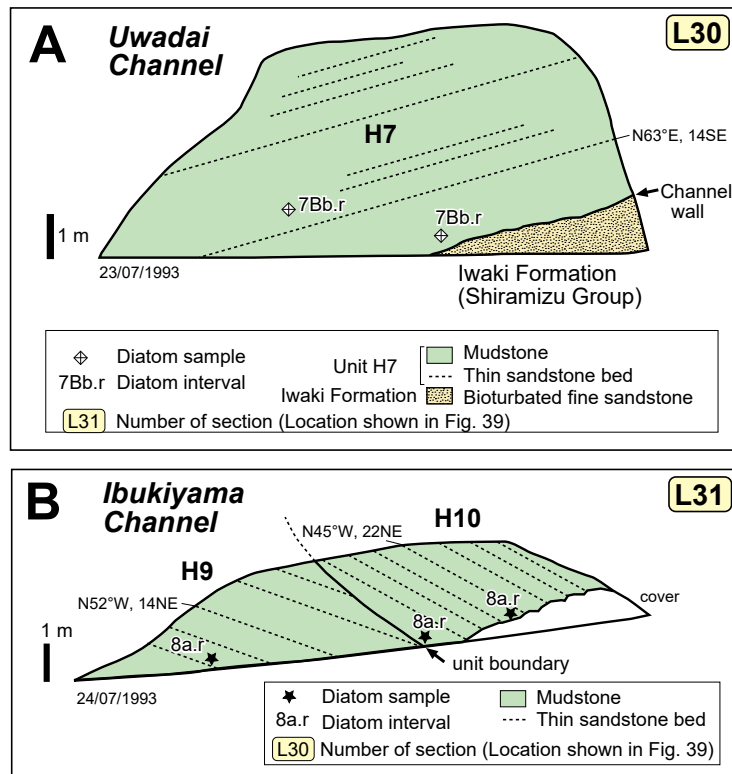
6.2.5 鶴の岬海底谷

最大幅0.9 km, 最大長3.1 km以上の海底谷である。上流部は北北西-南南東, 下流では北西-南東方向で、上流部は上台海底谷と重複している(第39図)。本海底谷は、砂質泥岩相と泥岩相からなるユニットH6 (NPD7Bb, 7Bb.s)で埋積される。小石川ルートでは、鶴の岬海底谷のユニットH6が、多賀層群のユニットT9と海底谷壁(地



第42図 日立層群の海底谷埋積物が露出する日立市いぶき台の南東崖のルートマップ。位置は第39図に示す。珪藻化石帯区分はYanagisawa and Akiba (1998)に基づく。珪藻区間は第4図参照。

Fig. 42 Route map along cliffs to the southeast of Ibuki-dai (Hitachi City), showing the outcrops of submarine channel fills of the Hitachi Group. Location is shown in Fig. 39. Diatom zonation is based on Yanagisawa and Akiba (1998). See Fig. 4 for diatom interval.



第43図 日立層群の海底谷埋積物の露頭。地点は第39図に示す。A) 白水層群石城層の細粒砂岩を覆う上台海底谷のユニットH7の泥岩。地点L30 (高萩市サンライズゴルフ場北方の道路脇)。B) いぶき山海底谷のユニットH9とH10の境界の露頭。地点L31 (日立市いぶき台, 県道高萩友部線沿い北側の道路脇)。

Fig. 43 Outcrops of the submarine channel fills of the Hitachi Group. Locations of the outcrops are shown in Fig. 39. A) Mudstone of the Unit H7 of the Uwadai Channel covering the fine-grained sandstone of the Iwaki Formation, Shiramizu Group at locality L30 (road-side outcrop) to the north of Sunrise Golf Club, Takahagi City. B) The boundary between Units H9 and H10 of the Ibukiyama Channel at locality L31 (road-side outcrop), Ibukidai, Hitachi City.

点L38)で接するのが見られる(第44図, 第48図)。壁近傍では泥岩クラストが密集し, これらの泥岩クラストは下位の多賀層群のユニットT12 (NPD5C₂)から由来したものが多く, 中には調査地域内では確認されていない日立層群のユニットH3 (NPD7Ba)に由来するクラストもあるので, 鵜の岬海底谷にはかつてユニットH3が存在した可能性がある。このほか, 伊師浜西方の台地に上る道路沿いの地点L44には, 多賀層群の橢形層にユニットH6が高角の侵食面で接する露頭がある(第39図)。また, 同様に鵜の岬付近の地点L45及びL46では, ユニットH6が多賀層群の橢形層及び海底地すべり痕埋積物の小貝ヶ浜ユニットと高角の侵食面で接するのが確認される(第49図A, B)。これらの侵食面は鵜の岬海底谷の西壁であると解釈される。なお, 鵜の岬付近のユニットH6は, 江口・鈴木(1953)の「碓石浦砂岩層」に相当する。

7. 考察

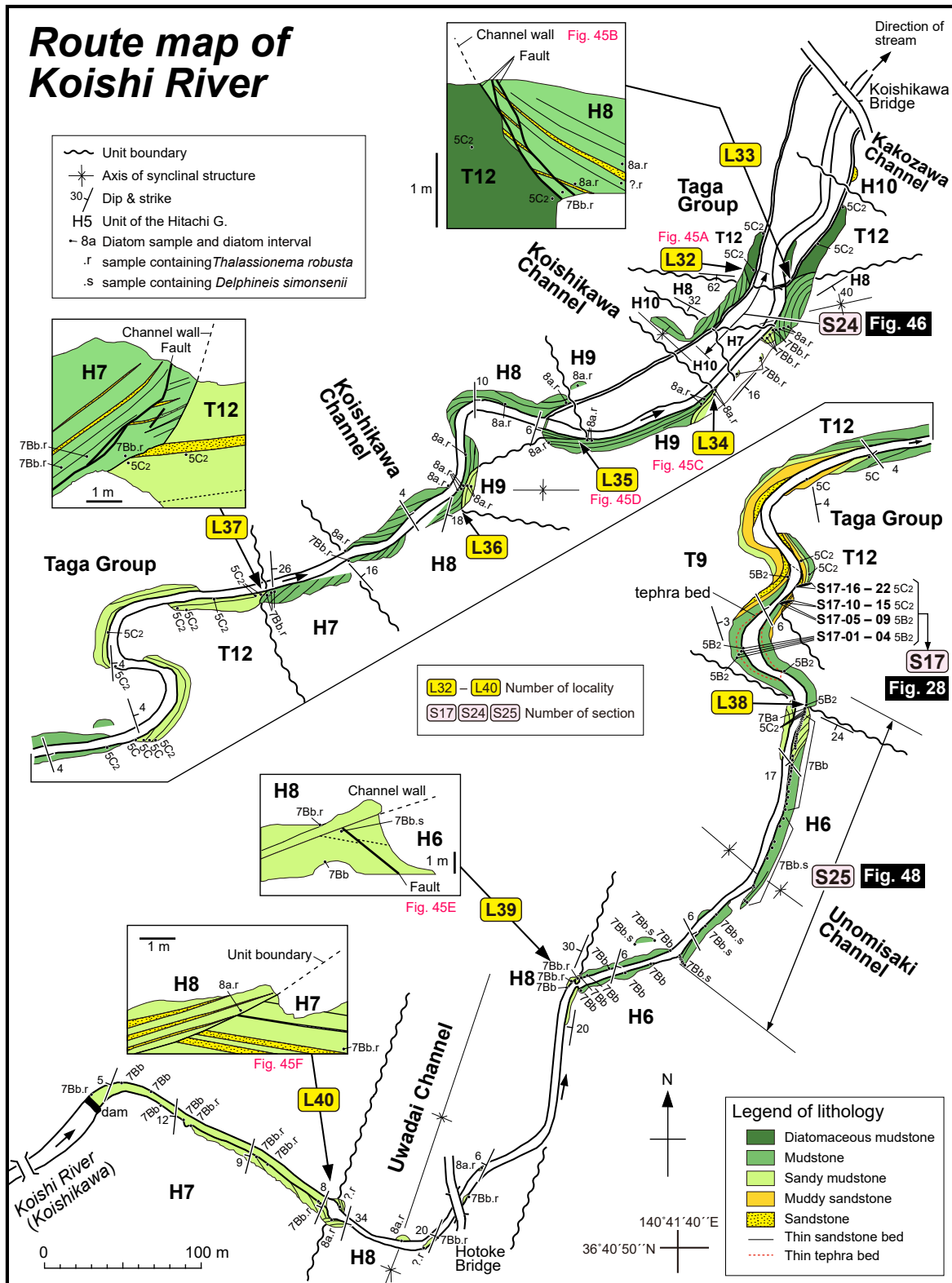
7.1 高久層群の層序学的位置の変更

高久層群は須貝・松井(1953)によって「多賀層群」から

切り離されて独立した層群とされたが, 本論文では, 層群(formation)のランクに下げて, 再び多賀層群に繰り入れた(第2図)。ここではその理由を説明する。

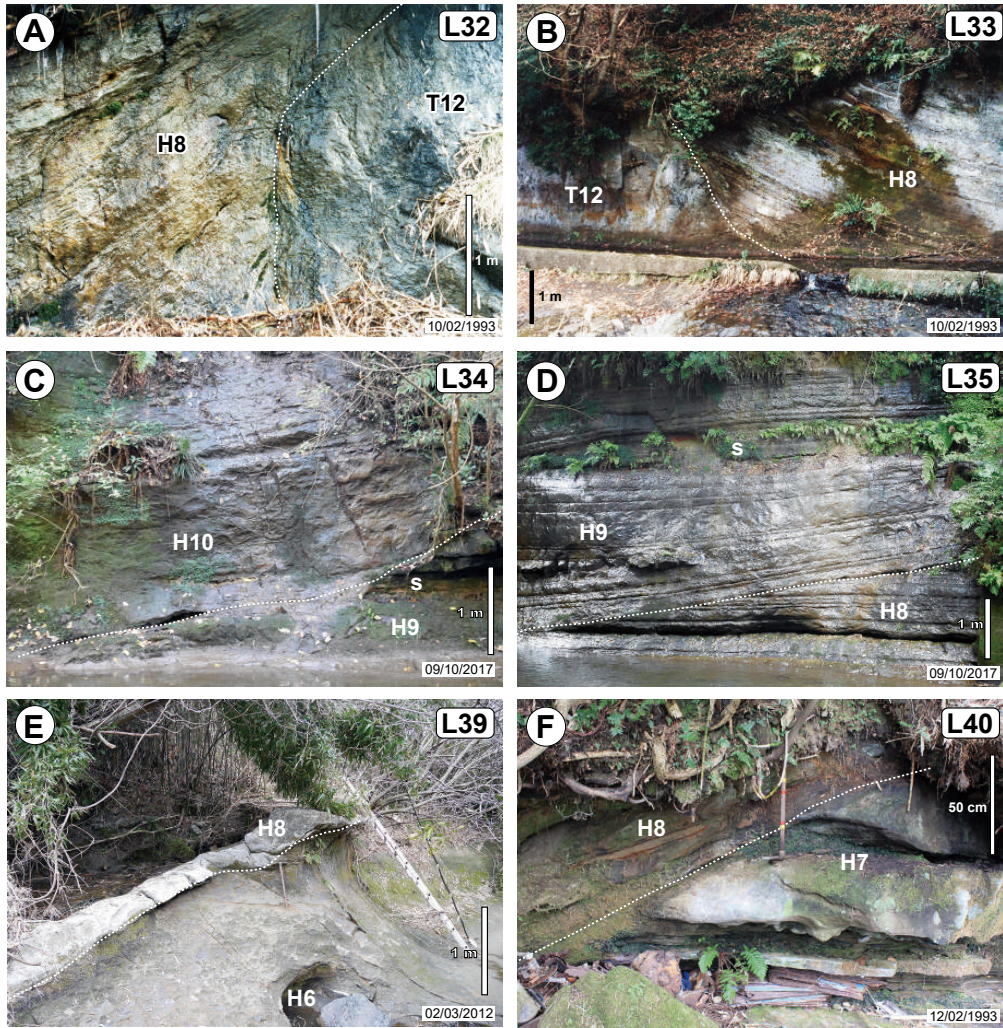
須貝・松井(1953)が高久層群を提案した主な根拠は, 両層群が受けた構造運動の違いである。すなわち, 高久層群の模式地である福島県いわき市湯本地区の高久層群が, 下位の白土層群が受けたものと同じ構造運動を受けて変形しているのに対し, 福島県の浜通り地方や茨城県の多賀地方に分布する「多賀層群」はこうした構造運動を受けていないことである。この違いに基づいて須貝ほか(1957)は, 両層群は不整合関係にあると推定した。しかし, 両層群の関係については, 半沢(1954), 鈴木(1958)及び平山(1960)によって指摘された問題点のほかに, 最近の微化石年代層序の研究によって顕在化した新たな矛盾も加えて, 以下の3点の問題点がある。

第1の問題点は, 鈴木(1958)及び平山(1960)が指摘しているように, 両層群の間にあるとされる不整合が全く確認されていないことである。ただし, 平潟地区や大津地区では, 高久層群(本論文では高久層)と多賀層群の海



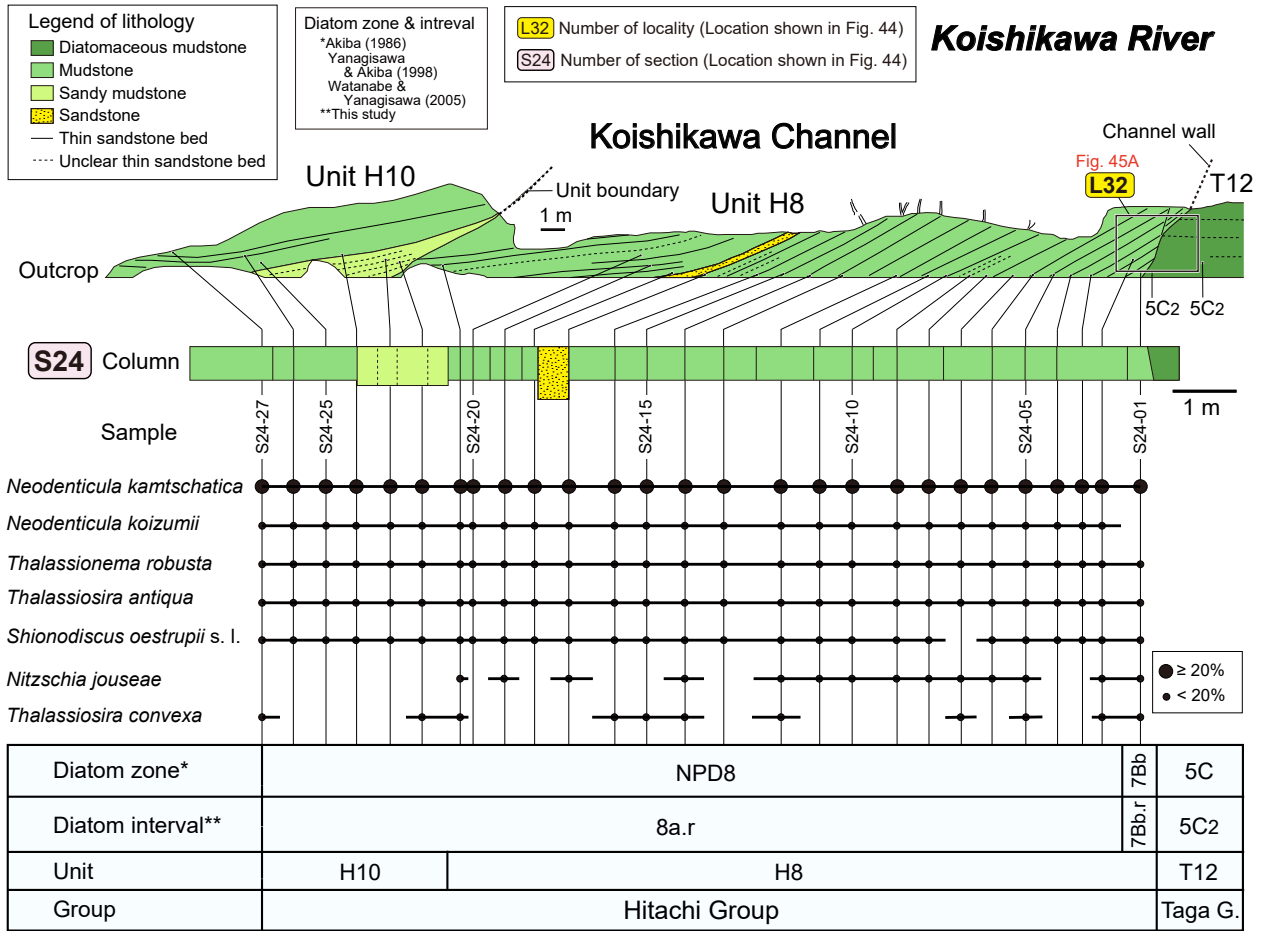
第44図 日立層群の海底谷埋積物が露出する日立市十王地区の小石川のルートマップ。位置は第39図に示す。珪藻化石帯区分はYanagisawa and Akiba (1998)に基づく。珪藻区間は第4図参照。

Fig. 44 Route map along the Koishi River in the Juo district (Hitachi City), showing the outcrops of submarine channel fills of the Hitachi Group. Location of the route map is shown in Fig. 39. Diatom zonation is based on Yanagisawa and Akiba (1998). See Fig. 4 for diatom interval.



第45図 日立層群の海底谷壁及びユニット境界の写真(日立市十王地区の小石川ルート)。撮影地点は第44図に示す。地点L32は第46図に、地点L33、L39及びL40は第44図にそれぞれ露頭スケッチを示す。各写真内の破線は海底谷壁、またはユニット間の境界を示す。A) 小石川海底谷(支流)の左壁(地点L32)。H8: ユニットH8 (砂質泥岩・細粒砂岩互層), T12: 多賀層群の伊師海底谷のユニットT12 (珪藻質泥岩)。B) 小石川海底谷(支流)の左壁(地点L33)。H8: ユニットH8 (砂質泥岩・細粒砂岩互層), T12: 多賀層群の伊師海底谷のユニットT12 (珪藻質泥岩)。C) 小石川海底谷内のユニット境界(地点L34)。H10: ユニットH10 (砂質泥岩), H9: ユニットH9 (泥岩, 厚さ25 cmの粗粒砂岩層(s)を挟む)。D) 小石川海底谷内のユニット境界(地点L35)。H9: ユニットH9 (泥岩・細粒砂岩互層, 層厚約70 cmの細粒砂岩層(s)を挟む), H8: ユニットH8 (泥岩・細粒砂岩互層)。E) 上台海底谷の右壁(地点L39)。H8: ユニットH8 (砂質泥岩の層状石灰質コンクリーション), H6: 鶴の岬海底谷のユニットH6 (泥岩)。F) 上台海底谷内のユニット境界(地点L40)。H8: ユニットH8 (砂質泥岩・細粒砂岩互層), H7: ユニットH7 (砂質泥岩・細粒砂岩互層)。

Fig. 45 Photographs of channel walls and unit boundaries in the Hitachi Group observed along the Koishi River in the Juo district of Hitachi City. Location of each photograph is shown in Fig. 44. Sketch of the outcrop at L32 is shown in Fig. 46. Sketches of outcrops at L33, L39 and L40 are presented in Fig. 44. White broken line in each photograph indicates a channel wall or unit boundary. A) Left wall of a tributary channel of the Koishikawa Channel at locality L32. H8: Interbedded sandy mudstone and fine-grained sandstone of the Unit H8. T12: Diatomaceous mudstone of the Unit T12 of the Ishi Channel in the Taiga Group. B) Left wall of a tributary channel of the Koishikawa Channel at locality L33. H8: Interbedded sandy mudstone and fine-grained sandstone of the Unit H8. T12: Diatomaceous mudstone of the Unit T12 of the Ishi Channel in the Taiga Group. C) Unit boundary between the Units H10 and H9 in the Koishikawa Channel at locality L34. H10: Sandy mudstone of the Unit H10. H9: Mudstone intercalating 25 cm thick coarse-grained sandstone bed of the Unit H9. D) Unit boundary between the units H9 and H8 in the Koishikawa Channel at locality L35. H9: Interbedded mudstone and fine-grained sandstone with 70 cm thick fine-grained sandstone bed of the Unit H9. H8: Interbedded mudstone and fine-grained sandstone of the Unit H8. E) Left wall of the Uwadai Channel at locality L39. H8: Lenticular calcareous concretion of sandy mudstone of the Unit H8. H6: Sandy mudstone of the Unit H6 of the Unomisaki Channel. F) Unit boundary between the units H7 and H8 in the Uwadai Channel at locality L40. H8: Alternating beds of sandy mudstone and fine-grained sandstone of the Unit H8. H7: Alternating beds of sandy mudstone and fine-grained sandstone of the Unit H7.



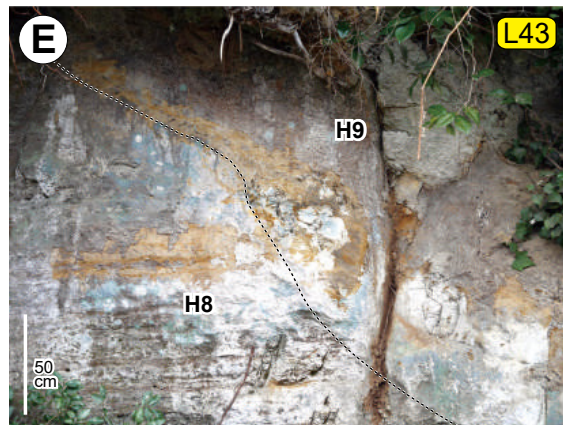
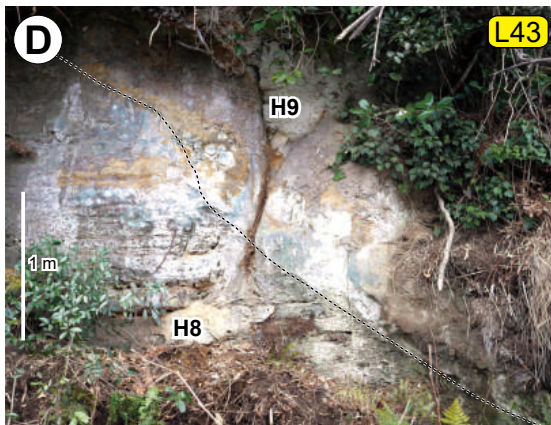
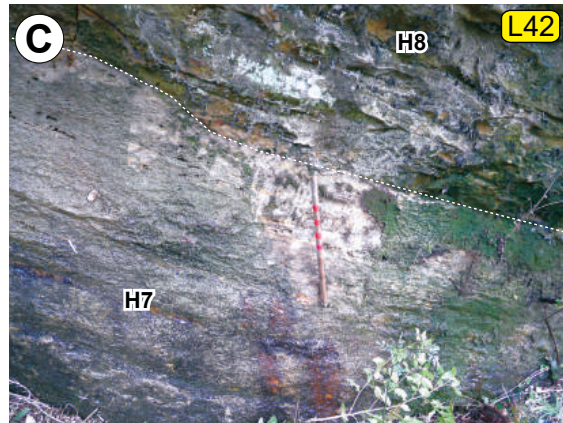
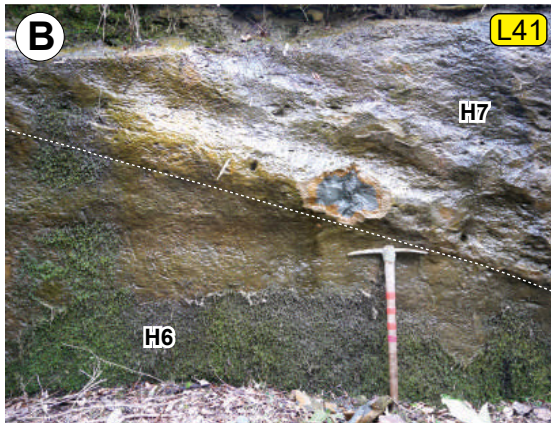
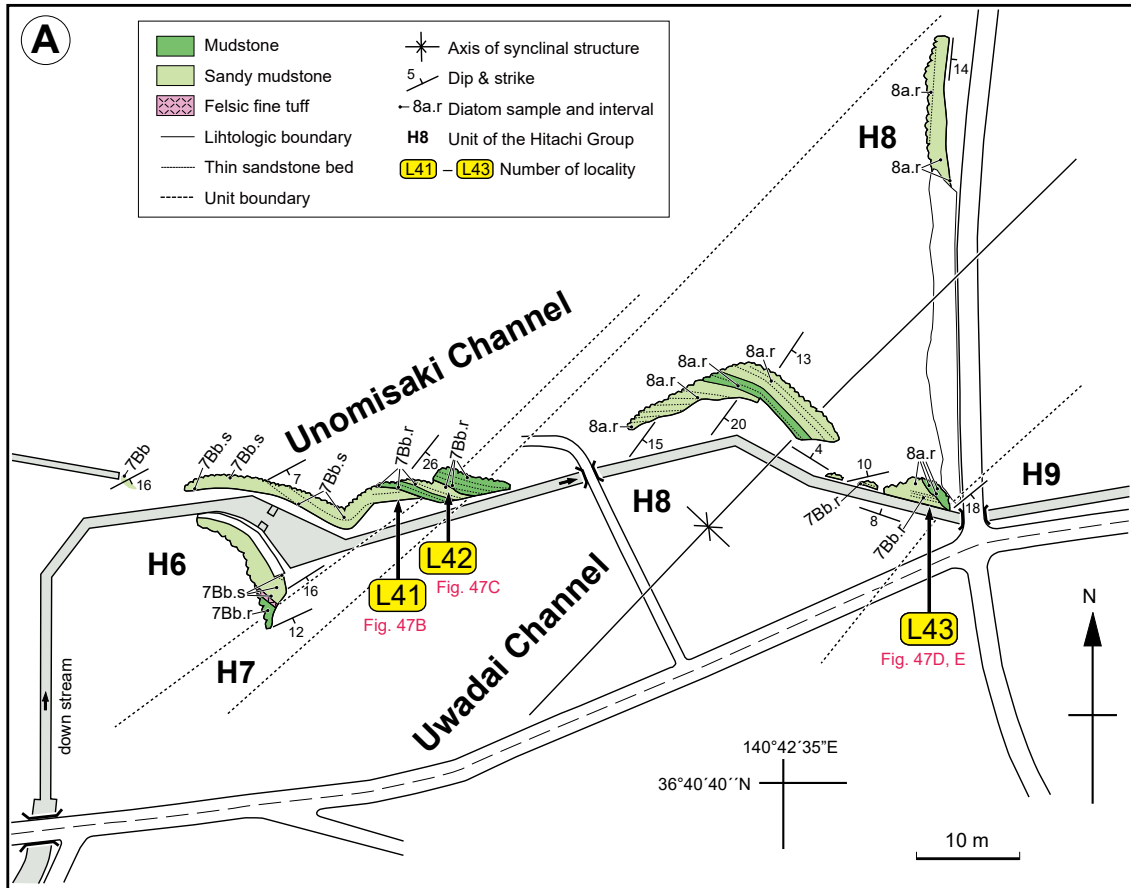
第46図 日立市十王地区の小石川の層序セクションS24とその珪藻化石層序。層序セクションの位置は第44図に、珪藻化石産出表は付表19に示す。

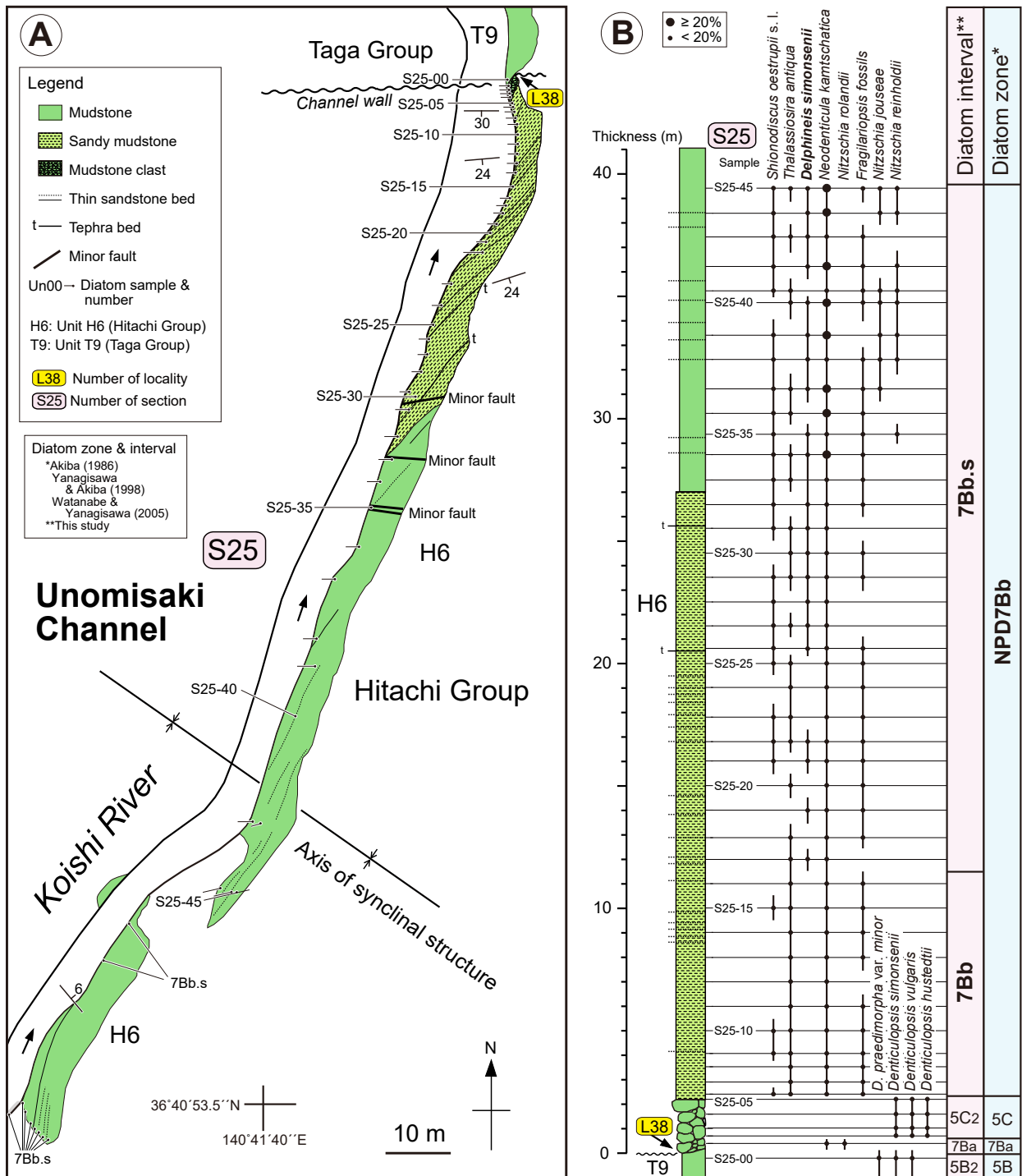
Fig. 46 Stratigraphic section (S24) showing stratigraphic relations between the Units H8 and H10 of the Hitachi Group with diatom biostratigraphy of the two units in the Koishi River, Juo district (Hitachi City). Locations of stratigraphic section and the occurrence chart of diatoms are shown in Fig. 44 and Table A19, respectively.

(→ p. 141)

第47図 日立層群の海底谷のルートマップと露頭写真。地点の位置は第39図に示す。それぞれの写真の破線はユニット境界を示す。A) 日立市伊師付近のルートマップ。B) 鶴の岬海底谷のユニットH6の砂質泥岩を覆う上台海底谷のユニットH7の泥岩(地点L41)。つるはしの長さは55 cm。C) 上台海底谷のユニットH7の砂質泥岩を覆うユニットH8の泥岩(地点L42)。つるはしの長さは55 cm。D) 上台海底谷のユニットH8の砂質泥岩を覆うユニットH9の泥岩(地点L43)。E) 写真D中央部のクローズアップ。

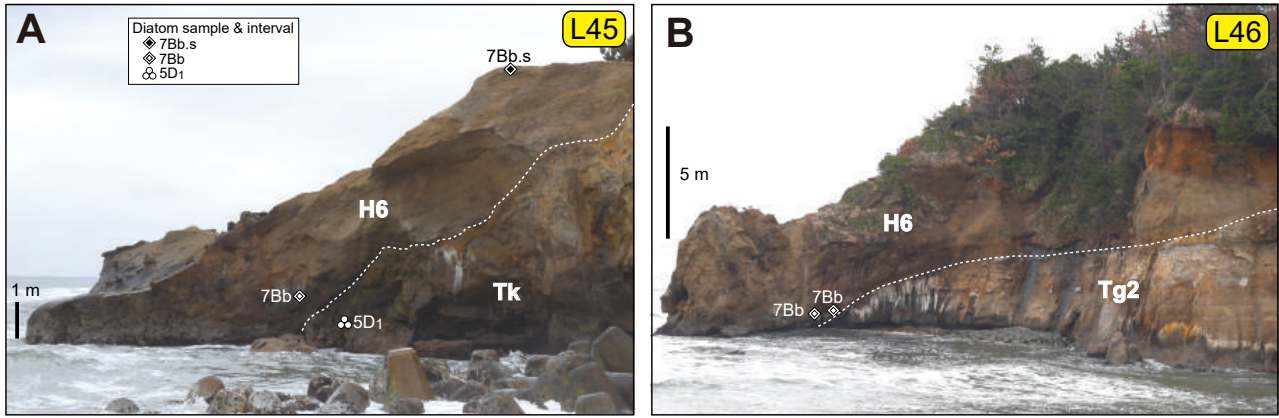
Fig. 47 Route map and photographs of submarine channel of the Hitachi Group. Locations of outcrops are shown in Fig. 39. Broken line indicates unit boundary in each photograph. A) Route map around Ishi (Hitachi City). B) Unit H7 (mudstone) of the Uwadai Channel covering Unit H6 (sandy mudstone) of the Unomisaki Channel at locality L41. C) Unit H8 (mudstone) covering Unit H7 (sandy mudstone) of the Uwadai Channel at locality L42. D) Unit H9 (mudstone) covering Unit H8 (sandy mudstone with sandstone seams) of the Uwadai Channel at locality L43. E) Enlargement of the central part of photograph D (L43).





第48図 日立市十王地区小石川に露出する日立層群の鶴の岬海底谷。A) 層序セクションS25のルートマップ。位置は第44図に示す。B) 鶴の岬海底谷を埋積する日立層群のユニットH6の珪藻化石層序。珪藻化石産出表は付表20に示す。

Fig. 48 Unomisaki Channel of the Hitachi Group distributed along the Koishi River in the Juo district, Hitachi City. A) Route map of the stratigraphic section S25. Location of the route map is shown in Fig. 44. B) Diatom biostratigraphy of the Unit H6 of the Hitachi Group which fills the Unomisaki Channel. The occurrence chart of diatoms in this section is shown in Table A20.



第49図 日立市鵜の岬で見られる鵜の岬海底谷の壁の露頭写真。地点の位置は第39図に示す。A) 多賀層群の櫛形層(Tk)を覆う日立層群のユニットH6(地点L45)。Tk: スランブ状に変形した珪藻質泥岩。H6: 生物優乱を受けたやや石灰質で軽石片を含む無層理塊状の砂質泥岩。B) 多賀層群の小貝ヶ浜ユニット(海底地すべり痕埋積物)のサブユニット2(Tg2)を覆う日立層群のユニットH6(地点L46)。Tg2: 無層理塊状珪藻質泥岩。H6: 生物優乱を受けた無層理塊状の砂質泥岩。

Fig. 49 Photographs of channel walls of the Unomisaki Channel at Cape Unomisaki, Hitachi City. Locations of the outcrops are shown in Fig. 39. A) Unit H6 of the Hitachi Group covering the Kushigata Formation (Tk) of the Taga Group at locality L45. Tk: Deformed diatomaceous mudstone. H6: Bioturbated slightly calcareous and pumiceous massive sandy mudstone. B) Unit H6 covering the Subunit 2 (Tg2) of the Kokaigahama Unit (submarine slide scar fills of the Taga Group) at locality L46. Tg2: Massive diatomaceous mudstone. H6: Bioturbated massive sandy mudstone.

底谷埋積物が侵食面で接することがわかってきた(例えば、第14図)。しかし、この侵食面は海底谷の形成に伴う侵食面であって、通常の不整合面ではない。

第2の問題点は、半沢(1954)が述べているように、常磐地域以外の日本各地の中新統では、両層群の間の不整合の層準で不整合が認められないことである。例えば、常磐地域と同じく前弧堆積盆の西縁にある宮城県松島地域の中新統(柳沢・秋葉, 1999)や、背弧側にあたる富山県八尾地域の中新統(例えば、柳沢, 1999a)でも、高久層群基底の不整合の年代にあたる時期は整合一連である。もちろん、地質構造発達史には地域性があるので、他の地域にはない不整合が常磐地域に存在する可能性も一概には否定できないが、常磐地域だけに特異な不整合がある理由を説明することは現状では難しい。

第3の問題点は、模式地における高久層群の上限と「多賀層群」の下限がほぼ同時か、むしろ高久層群の上限の方が年代的に新しく、両層群の間に構造差と時間間隙を伴う不整合を想定することができないことである。模式地の高久層群の上部からは珪藻区間 NPD3B₁ (16.6–16.5 Ma) を示す珪藻化石のほか、最上部からはNPD3B₂ (16.5–15.9 Ma) と判断できる珪藻化石も産出する(小泉, 1986; 竹谷ほか, 1990)。一方、高萩地区の城戸層最下部や大津地区のユニットT1の下限は区間NPD3B₁内にある(第7図)。このように、高久層群上部と「多賀層群」の最下部は同じ珪藻区間NPD3B₁に属し、しかも高久層群の最上部は区間NPD3B₂に及んでいて、高久層群と「多

賀層群」は年代的に重なっている可能性が高い。したがって、高久層群と「多賀層群」の間に大きな構造差を持つ不整合を想定することは不可能である。

以上のような問題点が生じた原因は、未確認の不整合を両層群の間に強引に想定したことにある。もし、この不整合がそもそも存在せず高久層群と「多賀層群」が整合だとすれば、上記の3つの問題点は解消する。

一方、両層群が整合とした場合に逆に問題になってくるのが、高久層群設定の理由となった両層群の地質構造の差である。上述のように、須貝・松井(1953)は模式地(いわき市湯本地区)に分布する高久層群は、白土層群と同じ構造運動を受けて変形しているのに対し、福島県の浜通り地域や茨城県の多賀地域の「多賀層群」はこの構造運動には関与していないこと、すなわち両層群に地質構造の差があることを高久層群設立の主な根拠とした。しかし、ここで比較している浜通り地方の「多賀層群」は、現在では仙台層群上部の大年寺層に連続していることが明らかにされ、多賀層群からは除外されている(久保ほか, 1990, 1994, 2002; 柳沢ほか, 1996)。しかも大年寺層は上部鮮新統であって、高久層群とは1,000万年以上の年代差があるので、両者の受けた構造運動の履歴も異なるのは当然で、この違いは高久層群を認める根拠には成り得ない。一方、茨城県多賀地方の「多賀層群」は中新統の多賀層群と最上部中新統～鮮新統の日立層群からなり、このうち多賀層群は、平潟地区と大津地区で高久層と接する。しかし、両地区の多賀層群は海底谷埋積物からな

り向斜状の構造をとるため、高久層と地質構造的な差があるかどうかは判定できない。このように、須貝・松井(1953)が高久層群設立の理由として示した両層群の構造差は現在では根拠とはならない。

以上のように、高久層群の層序に関する問題点は、「多賀層群」との間にあるされてきた不整合が実際には存在しないと考えることで解決する。また、高久層群を設けた理由も現在のデータから判断するともはや根拠にはならない。したがって、高久層群と多賀層群は1つの層群に統合するが適切である。

7.2 既報の海底谷埋積物との比較

この論文では、北茨城・高萩地域に分布する多賀層群及び日立層群の海底谷埋積物を記載した。ここでは、これまでに報告のある海底谷埋積物との比較から本地域の海底谷埋積物の特徴を考察する。

既述のように、海底谷はその規模や特徴により、規模の大きい方から、海底峡谷(submarine canyon)、陸棚斜面チャンネル(slope channel)及び海底ガリ(submarine gully)の3つに区分されてきた。

最も規模の大きい海底峡谷は、日本周辺では、釧路海底谷(Noda *et al.*, 2008)や富山深海長谷(Nakajima *et al.*, 1998)などがよく調査されている。一方、地層中に保存された海底峡谷埋積物の報告も多く、日本国内でも房総半島の東日笠海底谷(佐藤・小池, 1957; Ito and Saito, 2006; Ito, 2010)、宮崎層群の鹿村野海底谷(清水, 2009)、それに新潟県北蒲原地域の海底谷群(高野ほか, 2001)などが知られている。Posamentier and Waker (2006)は海底峡谷の内部は、側壁(泥質堆積物)からの地すべり堆積物や、谷が放棄された後に堆積する半遠洋性泥で埋積され、一般に泥質であるとしているが、実際に報告されている地層中の化石海底峡谷内部は、主に砂や礫などの粗粒堆積物で埋積されており、周りの陸棚及び陸棚斜面堆積物の泥質堆積物とは岩相上明確に区別できる(例えば、清水, 2009; Ito and Saito, 2006; 高野ほか, 2001)。海底峡谷よりも規模の小さい陸棚斜面チャンネルも、これまでに報告のある例は例外なく砂質の重力流堆積物で埋積されている(Schwarz and Arnott, 2007; Pyles *et al.*, 2010; Macauley and Hubbard, 2013)。最も規模の小さい海底ガリは、最近の震探の解像力の向上や三次元地震探査技術の進歩により、世界各地の陸棚斜面から報告されるようになった(例えば、Field *et al.*, 1999; Jobe *et al.*, 2011; Shumaker *et al.*, 2017)。嶋村(2008)によれば、日本周辺でも北海道の太平洋側と関東から九州にかけての太平洋側の陸棚斜面に海底ガリが無数に存在し、とくに、熊野灘に面する紀伊半島南東岸沖の水深500–700 mから1,500–2,000 mまでの陸棚斜面上に典型的に発達している。熊野灘の海底ガリについては、その地下に化石ガリがいくつも呈重し、陸棚域から熊野海盆へと碎屑物

が移動する通路として機能し、それぞれの海谷口で海底扇状地が形成されていることが、詳細な三次元地震探査調査で明らかにされている(佐伯ほか, 2006; 高野ほか, 2009, 2010)。これらの海底ガリは、すべてが必ずしも定常的に通路として機能していたわけではなく、一時的には通路として放棄されて泥質物が降下して堆積し、その後また通路とし復活して、複雑な堆積状況を作り出していることが判明している。海底ガリの成因はまだよくわかっていないが、海底谷や陸棚斜面チャンネルとは異なり、谷の侵食営力としては低密度のシート状の混濁流が推定されている(Jobe *et al.*, 2011; Shumaker *et al.*, 2017)。一方、Nakajima *et al.* (2014)は、日本海の上越沖から報告した海底ガリと同じ規模の谷地形がメタンハイドレートの融解をきっかけにして生じた混濁流によって形成されたと推定している。地層中に残された海底ガリ埋積物の報告はほとんどなく、Surpless *et al.* (2009)の記載したカルフォルニアの中新統モントレー層中の海底ガリ埋積物があるだけである。それによれば、海岸の崖に露出した海底ガリは、幅が203–275 m、深さは18–30 mで、主に礫岩や砂岩からなる粗粒堆積物で充填されている。

以上のように、記載されているほとんどの海底谷では、規模の大小にかかわらず、礫岩・砂岩を主とする粗粒な碎屑物で埋積されており、泥質碎屑物のみで埋積された例は、著者が調べた限りこれまでに報告されていない。したがって、泥質碎屑物のみで埋積されている海底谷が存在することが、本地域の多賀層群や日立層群の海底谷埋積物の際立った特徴と言える。しかし、こうした泥質碎屑物で埋められた海底谷は特殊な例だとは考えられない。なぜならば、放棄された海底谷は、浅海からの粗粒な碎屑物の供給が途絶えれば、その後は陸源の泥質碎屑物や海洋表層で生産された珪藻殻などの生物源碎屑物からなる泥質の懸濁した細粒碎屑物が沈降して次第に埋積されてゆくの一般的なと考えられるからである。

にもかかわらず、これまで主に泥質碎屑物で埋積された海底谷が報告されていないのは、谷内部と周囲の陸棚斜面の泥質堆積物がほとんど同じ岩相からなるので、野外調査のみで両者を識別するのが難しく、海底谷そのものを地層中で認識できないためとも考えられる。実際に珪藻をはじめとする微化石層序技術がなければ、特徴がない海底谷内部を埋める泥岩と谷壁の泥岩を区別することは難しく、たとえ野外で海底谷の側壁の露頭を観察できたとしても、露出状況が極めて良好でない限り、野外観察のみで海底谷全体の構造を理解することは難しいと考えられる。

本地域では、砂質碎屑物が卓越し、周囲の地層とは容易に区別できる磯原海底谷(第20図)は、従来から、その分布域が正確に地質図に表現されてきた(例えば、江口・庄司, 1953; 鎌田, 1972; Mitsui *et al.*, 1973)。また、亀ノ尾層分布域に存在する平潟海底谷や大津海底谷の下流

部(第11図)は、海底谷内部の泥岩と周囲の亀ノ尾層の特徴的な葉理泥岩との差が著しいので、これまでの研究でもその分布はほぼ正確に把握されてきた(例えば, Mitsui *et al.*, 1973).

しかし、高久層分布域に形成された神岡・ワラビ平及び二ツ島海底谷(第20図)や大津海底谷の上流部(第11図)の埋積物は、これまでの研究では、その岩相が高久層の砂岩や砂質泥岩に類似していたために高久層と誤認されてしまい、海底谷の存在は全く認識されず、地質図では単純な単斜構造で分布する高久層のみが図示されてきた(江口・庄司, 1953; 鎌田, 1972; Mitsui *et al.*, 1973). また、高萩複合海底谷(第26図)も塊状の珪藻質泥岩で埋積されているので、内部の谷状の構造は認識されず、その海底谷埋積物は、城戸場層を含めて全体として通常の地層(下手綱層)として扱われていた(Mitsui *et al.*, 1973; Kato, 1980). さらに、伊師地区の多賀層群の石滝・伊師海底谷と日立層群の海底谷群(第27図, 第39図)についても、比較的露出の良好ないぶき台南東崖(第42図)や小石川沿い(第44図)で海底谷の側壁が多くの露頭において観察できるにもかかわらず、これまでの研究の地質図では「多賀層群」として一括されて一色で表現されていたにすぎない(例えば, 須貝ほか, 1957).

一方、震探記録においても、泥質碎屑物で埋積された海底谷を識別するのは難しいかもしれない。というのは、このような海底谷では、海底谷内部の泥質堆積物と周囲の陸棚斜面の泥質堆積物の物性(地震波速度・密度)に違いがなく、谷壁での音響インピーダンスの差がほとんどないので、谷壁が反射面として現れにくいからである。

以上のように、従来記載された地層中の化石海底谷は主に礫岩や砂岩などの粗粒碎屑物で埋積されており、本論文で記載したような主に泥質碎屑物で埋積された海底谷はこれまで報告例がなかった。これは野外調査や震探において、こうした海底谷を認識するのが技術的に難しかったことが原因である可能性がある。

7.3 海底谷の形成と埋積

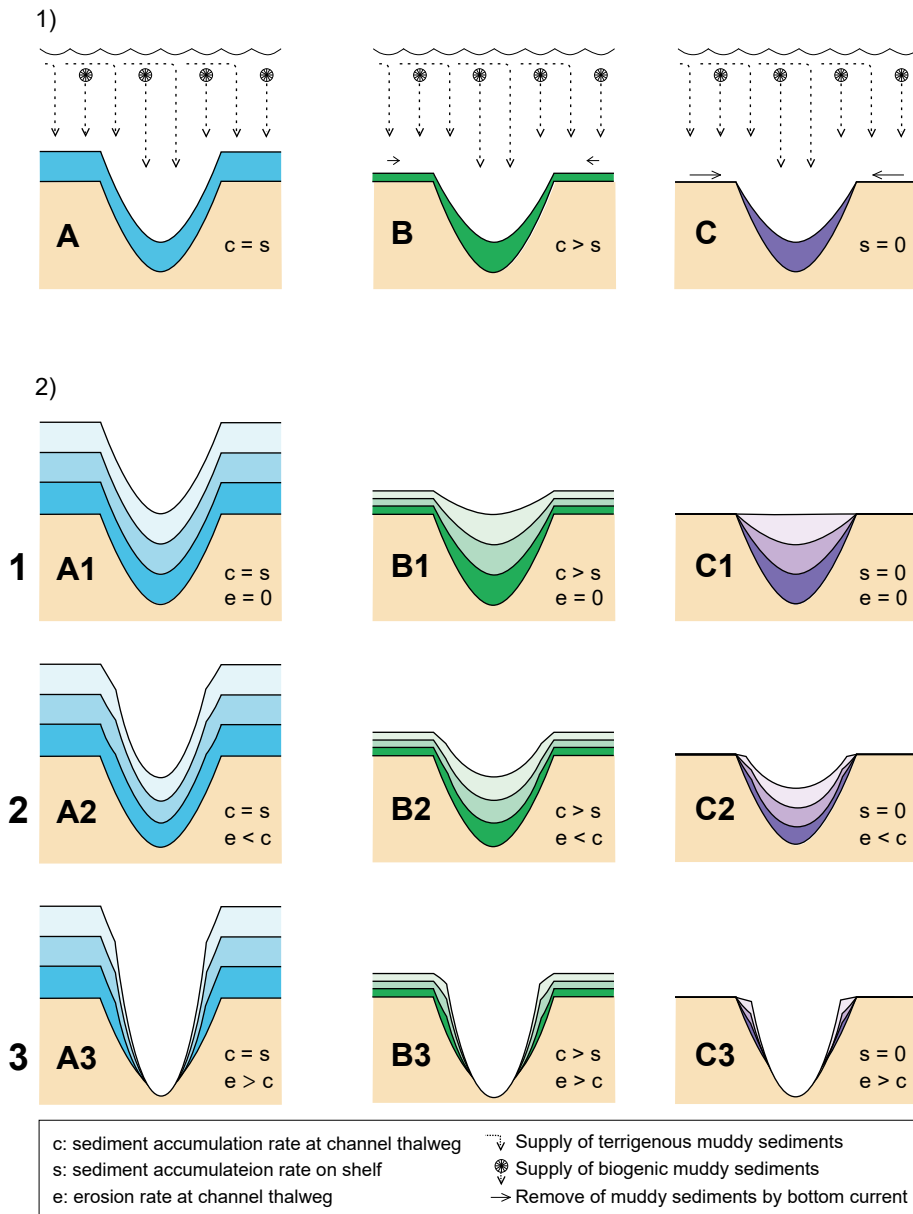
海底谷の形成・侵食と堆積は、構造運動と海水準変動を含む相対的海水準変動に関係していると一般に考えられる(例えば, Pickering *et al.*, 1989; Field *et al.*, 1999; 高清水, 2009). すなわち、海水準低下に伴って、陸棚斜面が不安定化し、陸棚斜面で侵食が起こって海底谷が形成される。海底谷は、海底地すべりやスランプによって生じた凹地などが元になって成長した可能性もある。成長した海底谷は、内側陸棚近くまで谷頭部が到達し、陸棚から砂質碎屑物などの粗粒な陸源碎屑物が重力流によって大洋底へと流下する通路として機能するようになると、こうした流れによってさらに侵食が進んで、海底谷が大きく成長する。また、碎屑物の供給に関しては、陸上河川系とのつながりが関係している場合もある。

海底谷の形成においては、断層などの地質構造による規制があることが知られている(Pickering *et al.*, 1989). 多賀層群の海底谷でも、大津海底谷、磯原海底谷及び中郷海底谷では、西北西-東南東方向の断層の延長が海底谷の北壁に連続していること、海底谷が直線的で断層の方向と一致することから、断層崖が海底谷の発生と発達に深く関係していることは確かである。

一旦形成された海底谷は、海水準上昇期(海進期)には、碎屑物の多くが内側陸棚よりも陸側にトラップされ海底谷の谷頭までは届かなくなると、通路としての役割は一時的に放棄される。海底谷は通路としてのみ機能していたので、谷底にわずかに残る礫質の残留堆積物以外の堆積物は残らず、その上に陸源の泥質碎屑物や海洋表層で生産されたプランクトンの殻など生物源の泥質碎屑物が表層から降下して次第に谷を埋積してゆく。稀に暴風などのイベントに伴って砂質物が谷頭まで到達して谷内を流れて薄い砂層が形成され、その部分は泥砂互層となる。次に海水準が低下し、再び谷頭に内側陸棚の粗粒堆積物の堆積域が到達すると、通路としての海底谷が復活し、休止期に堆積した泥質堆積物が侵食されて、谷の深さが深くなる。海水準変動に対応して、こうしたサイクルを繰り返すことにより、多賀層群や日立層群でみられるようないくつものユニットからなる多重構造を示す海底谷埋積物が形成されたと推定される。

放棄された海底谷を埋積する泥質碎屑物としては、陸源の粘土やシルトなどの泥質碎屑物と、海洋表層の有光帯における生物生産によるプランクトンの殻を主体とする生物源碎屑物がある。これらが海洋表層から一様な厚さでカーペット状に海底谷及び陸棚斜面を覆ってゆく(第50図)。一方、一旦海底にたまった泥質碎屑物は底層流で再移動し、海底谷などの凹地に吹きだまりを作って厚く堆積する。こうした再移動の強弱により、泥質碎屑物の堆積様式は以下の3つの型に分けられる(第50図)。A) 再移動がないかまたは非常に弱く、カーペットをかぶせるように海底谷内や周囲の陸棚斜面でも一様に同一の厚さで堆積する。B) 再移動により海底谷内に泥質碎屑物が集積するため、海底谷内の方が陸棚斜面よりも厚く泥質碎屑物が堆積する。C) 再移動作用が極めて強いいため海底谷内にすべての泥質碎屑物が集まり、陸棚斜面ではほとんど無堆積となる。

北茨城・高萩地域では、海底谷埋積物と同時期の陸棚斜面堆積物が分布していないので、多賀層群と日立層群の海底谷が上述の3つの型のどれにあたるのか判断は難しい。ただし、第26図に示す高萩複合海底谷の埋積終了直前の堆積ユニットT10とT11の堆積状況からある程度推定はできる。高萩複合海底谷の杉岡海底谷では、ユニットT10とT11は、ほぼ谷が埋積しつくされて走向が南北方向となって陸棚斜面堆積物とみなしてもよい状態になっている。これに対し、南隣の石河原海底谷では埋



第50図 泥質碎屑物で埋積される海底谷の埋積と侵食パターンを示す模式図。c：海底谷の谷線での泥質碎屑物の堆積速度、s：陸棚斜面での泥質碎屑物の堆積速度、e：海底谷の谷線での侵食速度。1) 海底谷と陸棚斜面における泥質碎屑物の堆積パターン。A：海底谷と陸棚斜面における泥質碎屑物の堆積速度が同じ場合($c = s$)、B：海底谷の方が陸棚斜面より泥質碎屑物の堆積速度が大きい場合($c > s$)、C：陸棚斜面での泥質碎屑物の堆積速度が0の場合($s = 0$)。2) 海底谷における侵食と堆積パターン。1：海底谷での侵食がない場合($e = 0$)、2：海底谷での侵食速度が泥質碎屑物の堆積速度よりも小さい場合($e < c$)、3：海底谷での侵食速度が泥質碎屑物の堆積速度よりも大きい場合($e > c$)。

Fig. 50 Schematic diagram showing patterns of accumulation and erosion in submarine channels filled with muddy sediments. c : Sediment accumulation rate at channel thalweg. s : Sediment accumulation rate on shelf. e : Erosion rate at channel thalweg. 1) Patterns of muddy sediment accumulation in submarine channel and slope. A: Sediment accumulation rate in submarine channel equals to that on shelf ($c = s$). B: Sediment accumulation rate is larger in submarine channel than on shelf ($c > s$). C: Sediment accumulation rate is zero on shelf ($s = 0$). 2) Patterns of erosion and deposition in submarine channel. 1: No erosion in submarine channel ($e = 0$). 2: Erosion rate is smaller than accumulation rate in submarine channel ($e < c$). 3: Erosion rate is larger than accumulation rate in submarine channel ($e > c$).

積が遅れていて、明瞭な向斜状の構造を示し海底谷の形態を保っている。したがって、両海底谷における層厚の違いは、陸棚斜面と海底谷内での層厚の違いと見なせる。両者の厚さを比較すると、海底谷内の方が陸棚斜面よりも、ユニットT10では約20倍、T11では約7倍も泥質堆積物の層厚が厚い。このことは、多賀層群での泥質碎屑物の堆積がC型に近いB型であったことを示す。こうした堆積様式は実際に秋田沖の日本海で見られ、底層付近での流れによって泥質碎屑物が再移動して、褶曲活動で生じた地形的な凹地(向斜部)により厚く泥が堆積している例が報告されている(片山・板木, 2007)。

一方、海底谷内での侵食作用としては、海底地すべりや重力流による侵食作用が考えられる。しかし、侵食作用の強さはそれぞれの海底谷によって異なり、次の3つの場合が考えられる(第50図)。1) 侵食作用がない場合、2) 海底谷軸部において前段階で堆積した泥質堆積物をすべて侵食しない程度の侵食作用がある場合、3) 侵食作用が強く、谷軸部において前段階で堆積した泥質堆積物をすべて侵食し、さらに深く谷が削り込まれる場合。

1の場合は、海底谷が埋積されず、谷の形がそのまま相似形で上方に積み上がってゆく。こうしたパターンはField *et al.* (1999)が記載した海底ガリで見られるが、多賀層群や日立層群では、多くの露頭での証拠が示すように、海底谷埋積物のユニット間は侵食面で画されているので、侵食が普通に起こっていたことは確かである。したがって、多賀層群や日立層群の海底谷埋積パターンは1ではなく2か3であり、さらに上述の泥質碎屑物の堆積パターンとの組み合わせから、谷の埋積パターンはB2型かB3型となる。第51図は、海底谷内部での堆積速度が谷外の陸棚斜面域よりも速いB2型の埋積パターンに基づいて海底谷の埋積過程を復元したものである。

地表に露出する多賀層群や日立層群の海底谷の場合、垂直断面は正確にはわからず、地層の傾斜に沿って斜めに切った断面しか把握できないが、谷の埋積パターンがどの型に属するかはある程度判断できる。

一般に泥質碎屑物で埋積された海底谷の場合、一時的には前段階よりも深く谷が刻まれてB3型となるが、その後B2型となって谷は順次埋積されて谷底が次第に浅くなり、最終的に埋積されて陸棚斜面に戻る。例えば、形がよく保存されている汐見ヶ丘海底谷(第23図)の場合、ユニットT5、T6及びT7が堆積した後、T8の堆積前にはそれ以前よりも深く侵食が及び、B3型になっている。しかし、その後はB2型の堆積によってT9とT10では谷が順次浅くなっていったことが、ユニットの分布から読み取れる。ただし、ユニットT5-T7では、谷の側壁にそってわずかに堆積物が残っているだけなので、この段階の堆積様式がどのタイプであったかは判定できない。

また、高萩複合海底谷(第26図)の場合、北側2つの海底谷ではT4の堆積前が、南側の3つの谷ではT5の堆積前

が、それぞれ最も深く谷が刻まれた時期にあたる。それ以降ではほぼB2型の堆積で谷が順次浅くなって、最終的にT11の上限で谷全体が埋積尽くされ、小浜層の陸棚斜面堆積物に移行している。ただし、T9の堆積前には前段階のT8よりもある程度深く谷が侵食された。

一方、磯原海底谷のように、最終的に砂質碎屑物で埋積された海底谷では、上述の泥質碎屑物で埋積された海底谷とは異なる埋積パターンとなっている。磯原海底谷では、この海底谷で最も新しいユニットT11が谷の最奥部で谷底に達しており、T11より前のユニットよりも深く谷を刻んでいて、明らかにB3型の埋積様式を示している。T11より前のユニットの泥質堆積物は、チャンネルの側壁に薄皮のようにへばりついて残存しているのみで、この形態は第50図に示すB3型の断面図そのものである。磯原海底谷では、その後一気に砂質堆積物で埋積されて谷が放棄されている。

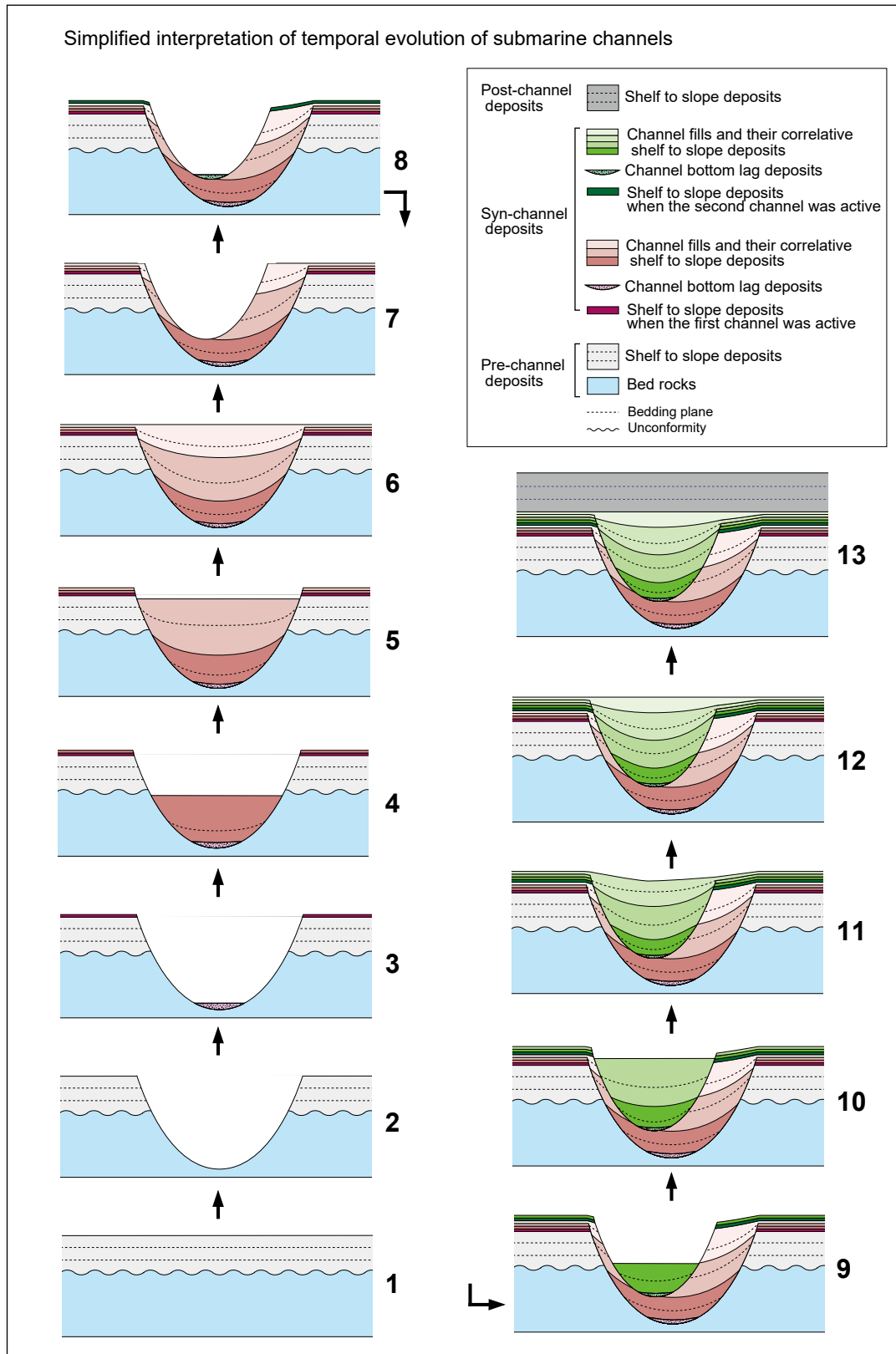
以上述べたように、高萩地域の海底谷の埋積の型は、海底谷ごと異なり、あるいは1つの海底谷でも時期によっても違っていることがわかる。

7.4 侵食レベルと多賀層群の堆積パターン

本論文では、調査した地域を北から平潟、大津、磯原、高萩、伊師、十王の6地区(第5図)に区分した。それは各地区境界において、多賀層群基底での侵食レベルが急激に変化するためである(第6図)。

調査地域北部の平潟地区と大津地区は、大津海底谷の北側壁ないしその延長にあたる北北西方向の関本下断層で画される(第11図)。この境界の北側の平潟地区では、多賀層群最下部の高久層が亀ノ尾層を不整合で覆っているのに対し、南側の大津地区では高久層は亀ノ尾層を欠いて水野谷層を不整合に覆う。その南の大津地区と磯原地区の境界は、駒木断層ないし磯原海底谷の北側壁であり(第20図)、大津地区では多賀層群の侵食レベルは湯長谷層群の水野谷層であるのに対し、磯原地区では侵食レベルが急激に低下し、多賀層群は湯長谷層群最下部の櫛平層下部ないし白水層群白坂層を覆っている。さらに南方の磯原地区と高萩地区の境界(日棚断層ないし中郷海底谷の北壁)を南に越えると、侵食レベルは白水層群の浅貝層まで下がる(第23図)。そして、高萩地区の南部では浅貝層も失われ(第26図)、南の伊師地区では侵食レベルは石城層下部まで下がる(第27図)。さらに岩本海底谷北壁を越えて南側の十王地区に入ると、最終的に多賀層群は石城層も欠いて基盤の花崗岩類を直接被覆している。

このように、北茨城・高萩地域では地区境界を境にして南側で侵食レベルが急激に下がるといったパターンが繰り返しており、全域を通して南に向かって侵食レベルが段階的に下がっている(第6図)。このようなパターンが生じたのは、本地域での堆積岩類の堆積様式と地区境界



第51図 泥質碎屑物で埋積される海底谷の発達過程を模式化した“二層”モデル。

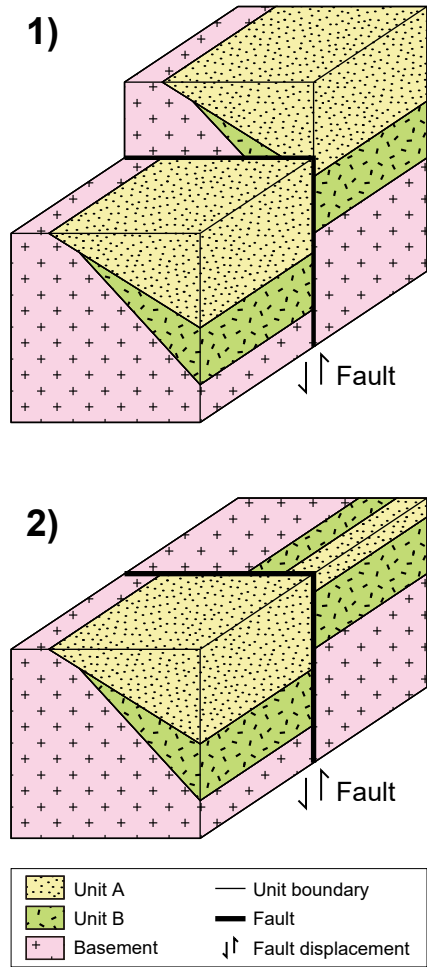
Fig. 51 Schematic two-storied model showing temporal evolution of a submarine channel filled with muddy sediments.

付近での断層変位が原因と考えられる。

江口・鈴木(1953)の地質断面に図示されているように、常磐地域では基盤が東に傾動しつつ堆積が進んだため、第52図の1)に示すように走向はほぼ南北で、傾斜は下位層ではきつく、上位層では緩い。また、不整合を挟んで地層の傾斜は不連続に変化する。一方、堆積パターンとしては、基盤が傾動するため、上位層は下位層よりもより西側へオーバーラップして堆積している。このようなパターンで堆積した堆積体が、駒木断層や日棚断層のような東西ないし西北西-東南東方向の南落ちの正断層で変位し、同一平面まで侵食されると、第52図の2)に示すように、断層の北側では基盤の上に地層Aと地層Bが累重して分布するのに対し、断層の南側では地層Aが欠如して地層Bが直接基盤を覆う。このように断層の南側では北側に比べて、見かけ上侵食レベルが急に下がったように見える。また、基盤との境界も西方にずれる。

同じような南落ちの断層が複数存在し、上位の地層が下位層を不整合に覆って西方にオーバーラップしていると仮定すると、第53図の1)に示すように、断層を境にして侵食レベルが南に向かって順次段階的に下がり、それに従って上位層の基底の位置も西側にずれてゆく。北茨城・高萩地域内で、地区境界を境にして多賀層群基底での侵食レベルが急激に変化し、かつ南に向かって段階的に下がってゆくパターンは、このモデルで説明できる。ただし、高久層はこれらの断層に切られているが、駒木断層や日棚断層の例のように、多賀層群はこれらの断層に切られておらず、断層崖が崩れた急崖が海底谷の北壁になり、海底谷埋積物が壁にアバットしている。したがって、これらの断層の最終的な活動時期は、高久層堆積直後から多賀層群堆積初期と推定される。これらの断層の終止期は必ずしも明確ではないが、平潟地区の長浜海岸の地点L01（第14図）において、平潟海底谷のユニットT5（14.8-14.5 Ma）が、これらの断層と同じ性質を持つ東西性の小断層群を覆っていることを考慮すると、およそ15 Maには断層活動は終わっていた可能性が高い。それ以降の多賀層群の堆積物は、これらの断層活動によって生じた階段状の海底面を順次埋積していったと思われる。

ただし、実際には多くの海底谷が深く刻まれて侵食と堆積を繰り返しながら埋積されている。また海底地すべりが生じてその痕も順次埋積されて複雑な堆積体となっている。そのため第53図の2)に示すように、1)のパターンはやや不明瞭となっている。



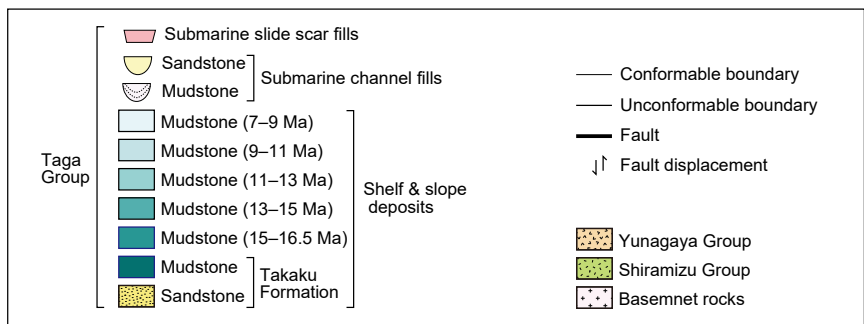
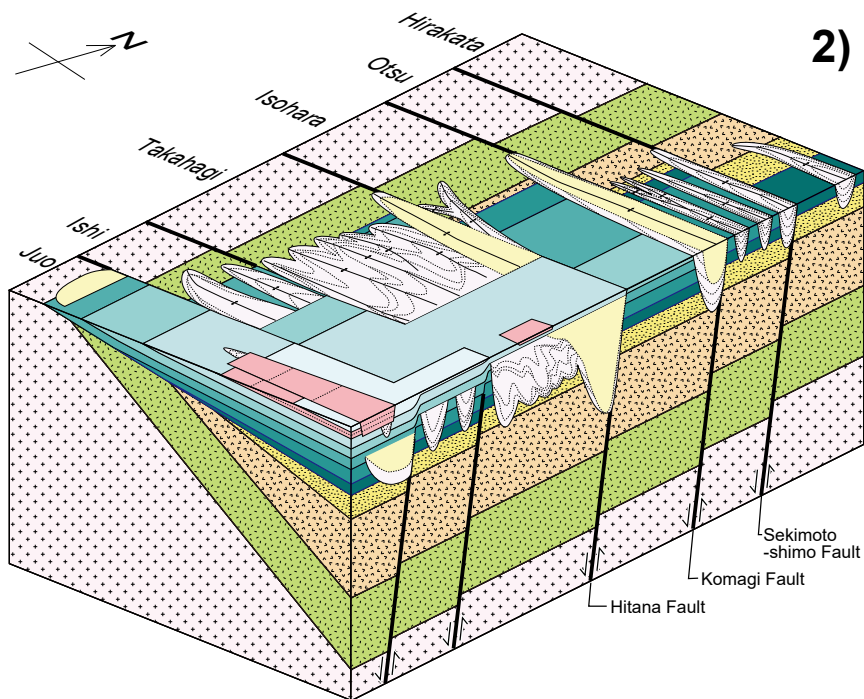
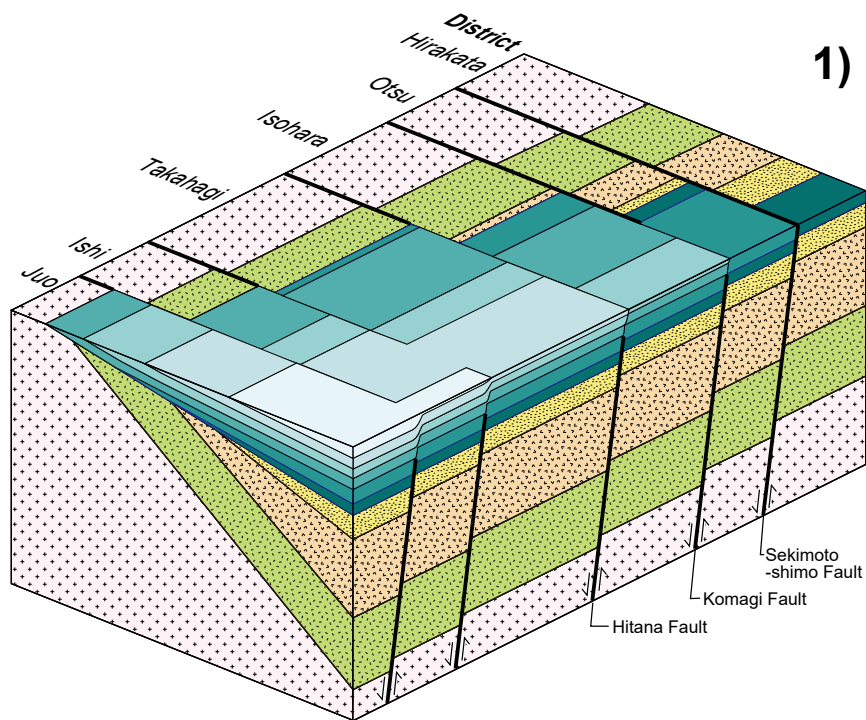
第52図 断層運動による地層分布のずれを説明する図。1) 断層による変位。2) 侵食平面での地層分布。

Fig. 52 Schematic block diagram showing distribution of strata displaced by faulting. 1) Displacement by fault. 2) Distribution of strata on the erosional flat surface.

位置にある。一方、南方の地区では上位層準が現在地表に露出しており、堆積盆での位置も西方、すなわちより陸に近い部分が見えていることになる。したがって、地区ごとの違いを層準と堆積盆内での相対的位置の違いによるものと捉えて、多賀層群及び日立層群の堆積体の立体構造と堆積史を復元する必要がある。第53図の2)は一部そうした試みで描いた図である。

7.5 層序単元の認定と用語について

4.3項で述べたように、この論文では、陸棚及び陸棚斜面堆積物の層序単元については、地層命名の指針(日本地質学会, 2000)や国際層序ガイド(日本地質学会訳編, 2001)に従って、層(Formation)として地層名を付して定義したが、海底谷埋積物及び海底地すべり埋積物の層序単元は、「ユニット」という非公式な用語を用いて定義



した。本項では、その妥当性について考察する。

本論文で用いている「ユニット」が、国際層序ガイドや地層命名の指針との関係で問題になるのは、以下の4点である。1) 単元の認定基準が岩相ではなく、珪藻化石層序に基づいている場合が多いこと、2) 不連続に分布する個々の海底谷埋積物を1) で認定したユニットの集合体として定義していること、3) 「層(Formation)」や「部層(Member)」など地層命名の指針で指定している用語を使用していないこと、4) ユニット名を地名ではなく、コードで命名していること。以下では、まず海底谷埋積物についての問題点を考察し、海底地すべり痕埋積物に関しては、それを踏まえて最後に考察する。

第1点目の岩相単元の認定基準について、国際層序ガイド(日本地質学会訳編, 2001, p. 34)は、「層」や「部層」などの「岩相層序単元は、観察可能な物質的特性にもとづいて認定され定義されるもの」としている。海底谷埋積物のユニットは、露頭条件のよい海岸部ではユニット境界の侵食面が観察できるので、岩相によってユニットを識別できる(例えば第15図, 第16図)。しかし、これらのユニットは、砂質堆積物を除くとほとんどが泥質堆積物でユニット間の岩相の違いは極めて小さい。このため、露出状況が悪い内陸部では、野外での肉眼による岩相観察のみでは、ユニットを識別・区分することは極めて困難である。さらに、無層理塊状の泥岩では、露頭でユニット境界が肉眼では全く見えないこともあり(例えば, 第21図F)。こうした場合、岩相の観察のみでユニットを認識することは完全に不可能である。そこで本研究では、すべての露頭から試料を採取して珪藻化石帯及び珪藻区間を決定し、それを基いてユニットを認定した。このように本研究では、岩相以外の性質を用いて単元の認定を行っているので、本論文で定義したユニットが国際層序ガイドで定義された岩相層序単元に適合するかどうかの問題になってくる。しかし、国際層序ガイド(日本

(← p. 150)

第53図 北茨城・高萩地域における多賀層群の分布パターンを示す模式図。東西方向の南落ちの正断層群により南側ほど沈下している。1) 陸棚及び陸棚斜面堆積物のみが整然と堆積したと仮定した場合、2) 陸棚及び陸棚斜面堆積物に間欠的で侵食性の海底谷埋積物と海底地すべり痕埋積物を加えた場合。

Fig. 53 Schematic block diagram showing the distribution pattern of the Toga Group in the Kitaibaraki-Takahagi area. The more southward block is the more subsided stepwisely by a set of east-west trending normal faults. 1) Case where shelf and slope deposits were conformably accumulated. 2) Case where shelf and slope deposits, and intermittently erosive submarine channel fills and submarine slide scar fills were accumulated.

地質学会訳編, 2001, p. 35)では「化石は岩石の微小部分を構成している明確な物質的構成要素」としている。また、珪藻化石層序によって認定されたユニットの珪藻化石帯及び珪藻区間は、堆積物の持つ「観察可能な物質的特性」の1つと考えることもできる。こうした点を考慮すれば、本研究で定義したユニットは岩相層序単元の条件を満たしていると言える。

第2点目の問題点である「不連続に分布するユニットに対して同じユニット名を用いていること」に関しては、以下のように考えられる。海底谷埋積物は、谷ごとに個別に堆積しており、そもそも堆積時から相互に連続していない(第7図)。そして、1つの谷においても、堆積物は堆積間隙によって隔てられた複数の単元に分かれていて連続的には堆積していない。このため、これらの単元は今回報告した多賀層群と日立層群では合計で93個にもなる。それら多数の単元を個別に命名して記載することは、数があまりに多いため層序体系が複雑になって理解が難しくなる。したがって、何らかの方法でグループ化してまとめて記載するしかない。その1つは、第7図の縦軸、すなわち谷ごとに埋積物を1つの単元にまとめて記載する方法である。しかし、こうしてまとめた単元は、「○○海底谷埋積物」とは呼べても、含まれる個々の単元が地質学的な時間スケールの堆積間隙によって不連続になっているので、これを層序学的基本単元とすることは難しい。もう1つは、第7図の横軸(時間軸)に沿って、個々の単元をまとめる方法である。すなわち、珪藻年代層序の時間分解能の範囲で、ほぼ同じ時期に堆積したと推定される単元を、海底谷によらず共通した単元としてまとめる方法で、本論文はこの方法を採用した。ただし、前述したように、個々の海底谷の単元は堆積時から相互に連続しておらず、このような不連続の堆積物をまとめて1つの層序単元にしてよいのかという疑問が生じる。しかし、国際層序ガイド(日本地質学会訳編, 2001, p. 35)では、「岩体自身は側方に不連続であるが、岩相特性と層序的位置がほとんど一致している一連の岩体は、単一の岩相層序単元として考えてもよい。」として、こうした不連続な層序単元の存在を許容している。本論文で使用しているユニットは、この条件を満たすので、岩相層序単元として国際層序ガイドに適合している。

第3点目の単元の用語に関しては、本論文では海底谷埋積物の岩相層序単元として、「層」や「部層」などの公式的な用語を使用せず、「ユニット」という非公式な用語を使用しており、国際層序ガイドや地層命名の指針に沿っていない。こうした非公式な用語を選択したのは、「層」や「部層」を用いると、本論文で記載した多賀層群や日立層群の海底谷埋積物について、実用的でわかりやすい層序区分体系を構築できないからである。実際に、「層」や「部層」を用いて海底谷埋積物や海底地すべり痕埋積堆積物を記述することは不可能ではなく、以下に示すように複

数の案が考えられる。しかし、いずれも本地域の層序を理解するための枠組みとしては適当ではない。

まず、1つの案として、上述したように個々の海底谷の埋積物をそれぞれ1つ単位とし、それを「層」として扱う方法がある。実際に従来の地層中の海底谷の研究例では、千葉県房総半島の東日笠層(佐藤・小池, 1957; 中嶋・渡辺, 2005; Ito and Saito, 2006, Ito, 2010)や宮崎県の鹿村野層(高清水, 2009)のように、1つの海底谷の埋積物全体を一括し1つの層として命名している例が多い。これらの海底谷の埋積物中には多くの侵食面が認められているが、それらの侵食面が示す時間間隙は地質学的時間スケールでは無視できるもの、あるいは検知できないものと扱われているらしく、特に時間間隙については言及がない。しかし、北茨城・高萩地域の海底谷埋積物の場合は、1つの海底谷の中の埋積物は、数十万年から数百万年にわたる長期間の時間間隙で画された単元から構成されている。この単元を「部層」とし、海底谷埋積物全体を1つの「層」として扱うことは可能かもしれないが、このように時間的に分断されている海底谷埋積物を、1つの「層」として岩相層序の基本的な単位とすることは難しいと判断される。また、海底谷は多賀層群で18本、日立層群で5本あり、これらの海底谷の埋積物をそれぞれ「層」として記載すると「層」が乱立して層序がかえって混乱し、層序の理解を妨げることが危惧される。

2番目の案は、本論文で定義したそれぞれのユニットを地層命名の基本単位として「層」として扱う方法である。国際層序ガイド(日本地質学会訳編, 2001, p. 36)によれば、「層」は「岩相層序区分の第一義的な公式単元であり(中略)岩相特性と層序的位置にもとづいて認定される。(中略)層序断面を岩相にもとづいて完全に層序区分すべきときの唯一の公式岩相層序単元である。」とされる。本論文のユニットは、以上の条件を満たしているので、「層」として定義し記載することは可能である。しかし、これでは陸棚及び陸棚斜面堆積物との区別がつかず、層序がわかりにくくなる。また、多賀層群で13、日立層群で11もの「層」が追加されるので、やはり層序の理解が難しくなる。

3番目の案として、多賀層群を「多賀層」、日立層群を「日立層」として、「層」のランクに下げて記載する方法が考えられる。すると、陸棚及び陸棚斜面堆積物は「部層」として、海底谷埋積物や海底地すべり痕埋積物は、「層」の中のユニットとして記載することになる。こうすることで、国際層序ガイドや地層命名の指針が、層序区分の基本的な単元と考える「層」に所属しない単元がなくなり、形式上は問題がなくなる。しかし、「多賀層」は1,000万年近くにわたって堆積したあまりにも長い「層」となってしまう。また、第1案と同様に、「層」の中に100万年以上の堆積間隙が多数存在することになり、基本的な層序単元としての適格性に疑問が生ずる。

以上述べたように、本地域の海底谷埋積物については、「層」や「部層」という正式な用語を用いて合理的で分かりやすい層序区分を構築することは難しい。そこで、本論文では「ユニット」という一般的な用語を暫定的に用いて記載することとした。

第4点目の問題点の「ユニット名を地名ではなく、コードで命名している点」については、以下のように考えている。本地域の海底谷では、「ユニット」は、海底谷ごとに分断され、それぞれの谷ごとに岩相が異なる。したがって、地名付き名称の元になる模式地を決めたい。また、多賀層群で13、日立層群で11ものユニットがあり、これに地名に由来するユニット名を付すと、数が多すぎてユニット名やそれら上下関係を記憶できず、実際の使用ではたいへん不便になってしまう恐れがある。一方、コード化した場合は、24個の地名付き名称を覚える必要がなくなって記憶の節約となり、さらに番号付きなのでユニットの堆積順序もわかりやすい。以上のように、本地域の海底谷埋積物については、ユニット名を地名ではなく、コードで命名した方が、はるかにわかりやすい層序区分にできる。ただし、コード名には欠点もある。この論文では現在の珪藻化石層序の時間分解能の範囲でユニットを認定して命名したが、将来さらに時間分解能の高い年代層序技術が開発されて、ユニットが細分・追加される可能性があり、コード名を変更しなければならなくなることもありうる。しかし、この場合も、微化石帯のコード名で行われているように、コード名に枝番をつけて修正することで対処可能である。

以上、海底谷埋積物の層序単元に関する4つの問題について、本論文での取り扱いの妥当性を検証してきた。次に海底地すべり痕埋積物については、以上の考察を踏まえた上で、海底谷埋積物とは異なる取り扱いをしたことについて説明する。本地域の海底地すべり痕埋積物は、地域内に2つ認められるだけである。しかも、海底地すべり痕を埋積している単元は、1ないし2つと少数で(第7図)、2つの単元からなる場合も両単元の間堆積間隙は極めて小さい。以上の特徴から、本論文では海底谷埋積物とは異なり、海底地すべりごとに「高戸ユニット」あるいは「小貝ヶ浜ユニット」のように海底地すべりの存在する地域の地名を付して命名することにした。しかし、今後の研究によって、多くの海底地すべり痕埋積物が常磐地域から記載されるようになった場合には、海底谷埋積物と同様に、同時期に生じた海底地すべり痕を埋積した堆積物については、共通のユニット名を付した方がよいことになるかもしれない。

以上述べてきたように、本論文では、海底谷埋積物及び海底地すべり痕埋積物の層序単元は、地層命名の指針(日本地質学会, 2000)や国際層序ガイド(日本地質学会訳編, 2001)が示した方針に沿わずに、それらにはない「ユニット」という用語を用いて暫定的に定義した。それ

は、指針に機械的に従って命名を行うと、かえって合理的かつ実用的で理解しやすい層序区分が構築できないと判断したためである。国際層序ガイド（日本地質学会訳編，2001，p. 4）は、その基本的な精神として、「『当ガイド』は、厳しくがっちりとした規則が適用できない層序学的状況もあること、常識こそがもっとも効果的に明快さを増し理解を深め進歩をうながすものであることを認識している。」と述べている。本地域の海底谷埋積物や海底地すべり痕埋積物の層序は、まさにこの「厳しくがっちりとした規則が適用できない層序学的状況」に相当している。このことは、本論文の取り扱いが必ずしも国際層序ガイド（日本地質学会訳編，2001）の基本理念に反したものであることを示している。

同じように、通常の層序学的取り扱いができない例として付加体があげられる。付加体の層序では、「層」ではなく、基本の層序単位として「ユニット」（例えば、植木ほか，2013）または「コンプレックス」（例えば、中江ほか，2015；内野ほか，2017）が使用され、その集合を「層群」と命名している。もう1つの例は、陸上河谷に分布する河岸段丘堆積物である。河岸段丘堆積物は、時間間隙によって個々の河岸段丘堆積物が分断されていることや、同一時期に形成された堆積物が河川系によらず共通の単元名を用いて記載されていることでも、本論文の海底谷埋積物と似ている。また、ほとんどの場合、「○○段丘堆積物」と命名され、「層」を使わずに記載されていることでも共通している（例えば、植木ほか，2013；内野ほか，2017）。このように、地層命名の指針や国際層序ガイドで示された通常の層序学的な取り扱いができない状況では、「層」や「部層」を用いない単元が定義されている例があり、本論文における海底谷埋積物や海底地すべり痕埋積物もこうした実例と状況は類似している。

一般に、陸棚斜面域には多くの海底谷や海底地すべり痕が刻まれており（例えば、嶋村；2008；高野ほか，2010）、本論文で報告した多賀層群や日立層群の海底谷埋積物や海底地すべり痕埋積物は、特殊な例外ではない。本論文ではこれらを「ユニット」という非公式の単元を設けて暫定的に記載せざるをえなかったが、今後こうした堆積物を地層としてのどのように命名・記載したらよいか、検討してゆく必要がある。

8. 終わりに

本論文では、常磐地域南部の北茨城・高萩地域に分布する第三系の多賀層群及び日立層群の層序を確立した。多賀層群は約16.6–7.5 Maに堆積した陸棚及び陸棚斜面堆積物、海底谷埋積物及び海底地すべり痕埋積物の3つの異なる堆積様式で形成された複合体である。このうち、陸棚及び陸棚斜面堆積物としては、高久層（砂岩及び砂質泥岩）、城戸場層（砂質泥岩）、小浜層（泥岩）、十王川層（砂質泥岩）及び櫛形層（泥岩）を記載した。多賀層

群では本地域内で18本の海底谷が分布する。各海底谷は一旦形成された後、何回も埋積と侵食を繰り返しながら次第に埋積されており、谷内の堆積物は時間間隙によって区切られた14の堆積ユニット（T1–T14）に区分される。ただし、ユニットT13は本地域内には分布しない。海底谷埋積物は、泥岩や砂質泥岩、泥岩・砂岩互層及び砂質泥岩・砂岩互層などの泥質堆積物を主とする堆積物で埋積されるが、一部では砂質堆積物からなる。また、海底谷埋積物には堆積後の圧密によって形成された向斜状の構造が認められる。一方、多賀層群の海底地すべり痕埋積物としては、高戸ユニットと小貝ヶ浜ユニットが識別され、さらに後者は2つのサブユニットに分けられる。いずれも砂質泥岩や泥岩を主とする堆積物からなる。日立層群は海底谷埋積物のみからなり、11の堆積ユニット（H1–H11）が区別され、本地域内には6ユニット（H6–H11）が分布する。これらは、砂質泥岩、砂質泥岩・砂岩互層や砂岩などからなり、5つの海底谷を埋積している。日立層群の堆積年代は前期鮮新世から後期鮮新世にわたる。

本論文では、高久層群と従来の多賀層群の間に想定された不整合は存在しないと判断し、高久層群を層のランクに下げて高久層として多賀層群の最下部に位置づけた。

従来記載された地層中の化石海底谷は主に礫岩や砂岩などの粗粒碎屑物で埋積されており、主に泥質碎屑物で埋積された海底谷はこれまであまり報告例がない。日本周辺の陸棚斜面域にはそれこそ無数の海底谷が刻まれており、世界各地でも様々な規模の海底谷が相次いで報告されている。今後、陸棚斜面で堆積した地層中において、多賀層群や日立層群の例のように、泥質堆積物で埋積された海底谷埋積物や海底地すべり痕埋積物が識別され、陸棚斜面域での堆積作用の理解が深まってゆくことが期待される。

謝辞 地圏資源環境研究部門の中嶋 健博士には、海底谷の文献を紹介していただくとともに、海底谷の形成や埋積について議論していただいた。地圏資源環境研究部門の鈴木祐一郎博士には、研究の初期段階の一部の調査で試料採取を手伝っていただくとともに、海底谷の形成や埋積について議論していただいた。元地質調査総合センターの中村光一氏には、研究の初期段階で調査に同行していただいたほか、海底谷について有益な助言をいただいた。地質情報研究部門の竹内圭史主任研究員には、研究の初期段階で一部の調査で試料採取を手伝っていただいた。茨城大学大学院理工学研究科の博士前期課程の院生だった武田 翔氏には、野外調査を手伝っていただいたほか、重要な露頭についてご教示いただいた。元地質調査所の寺岡易司博士には入手困難な文献について便宜を図っていただいた。また、地質情報研究部門の宇都宮 正志博士には海底谷に関する文献を紹介いただいた。日

立市在住の角田昭二氏には平潟付近の地質についてご教示いただいた。査読者と担当編集委員には、基本的な問題を含めて非常に有用なコメントをいただき、原稿を改良することができた。以上の方々に深く感謝の意を表する。

文 献

- 相田 優・竹谷陽二郎(2001) 福島県内に分布する海成新第三系の微化石調査資料。福島県立博物館調査報告書, no. 36, 1-53.
- 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**, 393-480.
- Amano, K. and Ando, H. (2011) Giant fossil *Acharax* (Bivalvia, Solemyidae) from the Miocene of Japan. *Nautilus*, **125**, 207-212.
- 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。地質雑, **117**-補遺, 49-67.
- Arnott, R. W. C. (2010) Deep-marine sediments and sedimentary systems. *In* James, N. P. and Dalrymple, R. W. eds., *Facies Models 4*, Geol. Assoc. Canada, 295-322.
- 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.
- 江口元起・鎌田泰彦(1949) 勿来付近の地質。地質雑, **55**, 187.
- 江口元起・庄司力偉(1953) 常磐炭田における炭層堆積状態の研究(その1) —茨城県磯原付近—。地質雑, **59**, 99-109.
- 江口元起・鈴木舜一(1953) 常磐炭田における炭層堆積状態の研究(その3) 常磐炭田南端部小木津付近の地質構造。岩鉱, **37**, 65-75.
- Field, M. E., Gardner, J. V. and Prior, D. B. (1999) Geometry and significance of stacked gullies on the northern California slope. *Marine Geol.*, **154**, 271-286.
- 藤原健一・石和田靖章・松井 寛・生越 忠(1962) TAGA to 多賀統。日本地質学会地層名事典刊行委員会編, 日本地層名事典, 東京大学出版会, 1295-1304.
- 福田 理(1955) 微小古生物学的にみた高久層群。地調月報, **6**, 649-656.
- 後藤敏一(2003) 学名の著者名の標準的な略号。 *Diatom*, **19**, 71-74.
- Gradstein, F., Ogg, J. Schmitz, M. D. and Ogg, G. M. (2012) *A Geologic Time Scale 2012*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1144p.
- 半沢正四郎(1954) 東北地方。日本地方地質誌, 朝倉書店, 東京, 344p.
- 平中宏典・柳沢幸夫・黒川勝己(2007) 東北日本弧における中新世中期～後期の精密対比に基づく広域テフラ層序の構築。平成18年度深田研究助成研究報告, 深田地質研究所, 127-139.
- 平山勝美(1953) 常磐炭田中北部の所謂多賀統(予報)。東京教育大学理学部地質学鉱物学教室研究報告, no. 2, 25-30.
- 平山勝美(1960) 阿武隈山地東縁地域に分布する第三系の地質学的研究—とくに層序および構造発達史について—。立教大学研究報告(一般教育部)自然科学, no. 7, 11-65.
- 平山勝美(1961) 阿武隈山地東縁地域に分布する第三系の地質学的研究(II)。立教大学研究報告(一般教育部)自然科学, no. 8, 19-45.
- 茨城古生物研究会(2011) 北茨城地域の新生界の地質・古生物と古環境の解明。茨城県自然博物館総合調査報告書, 3-32.
- Ito, M. (2010) Are coarse-grained sediment waves formed as downstream-migrating antidunes? Insight from an early Pleistocene submarine canyon on the Boso Peninsula, Japan. *Sediment. Geol.*, **226**, 1-8.
- Ito, M. and Saito, T. (2006) Gravity waves in an ancient canyon: analogous features and formative processes of coarse-grained bedforms in a submarine-fan system, the lower Pleistocene of the Boso Peninsula, Japan. *Jour. Sediment. Res.*, **76**, 1274-1283.
- 岩生周一・松井 寛(1961) 5万分の1地質図幅「平・川前」及び同説明書。地質調査所, 103p.
- Jobe, Z. R., Lowe, D. R. and Uchytel, S. J. (2011) Two fundamentally different types of submarine canyons along the continental margin of Equatorial Guinea. *Marine Petrol. Geol.*, **28**, 843-850.
- 鎌田泰彦(1953) 常磐炭田三崎付近の層序および地質構造。地質雑, **59**, 32.
- Kamada, Y. (1962) Tertiary marine Mollusca from the Joban Coal-Field, Japan. *Spec. Pap. Palaeont. Soc. Japan*, no. 8, 1-187.
- 鎌田泰彦(1972) 常磐炭田における櫛平層の設立と滝炭層の層位的位置。岩井淳一教授退官記念論文集, 岩井淳一退官記念事業会, 389-402.
- 鎌田泰彦(1996) 福島・茨城県常磐地域の第三系研究に

- おける今後の課題(その2-常磐地域の第三系の形成). 平地学同好会会報, no. 21, 2-21.
- 鎌田泰彦(2001) 福島・茨城県常磐地域の第三系研究における今後の課題(その3-常磐地域の貝類化石群集の時空分布). 平地学同好会会報, no. 23, 3-20.
- 笠井勝美(2008) 茨城県の温泉と地質, 地質構造から温泉の熱源をさぐる. 茨城温泉開発株式会社, 85p.
- 片山 肇・板木拓也(2007) 日本海東部, 秋田沖における堆積速度の広域分布. 地質雑, **113**, 505-518.
- 加藤道雄(1979) 12 常磐地域 (2). 土 隆一編, 日本の新第三系の生層序及び年代層序に関する基礎資料, IGCP-114, National Working Group of Japan, 36-43.
- Kato, M. (1980) Planktonic foraminiferal biostratigraphy of the Takaku and Taga Groups in the Joban Coal Field, Northeast Honshu, Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., Second Ser. (Geol.)*, **50**, 35-95.
- 嘉藤良次郎(1948) 茨城県多賀町付近の第三紀層. 地質雑, **54**, 146-147.
- 木下亀城(1935) 助川図幅(7万5千分の1)及び同地質説明書, 東京地学協会, 93p.
- 国府田良樹・小池 渉・安藤寿男・上野輝弥・碓氷和幸(2007) 茨城県北茨城市の中新統高久層群九面層の炭酸塩コンクリーションより産出した *Carcharodon megalodon* 歯群. 化石, no. 81, 1-2.
- 小泉 格(1981) 常磐地域(1)高萩, (2)磯原, (3)泉・植田, (4)四倉. 土 隆一編, 日本の新第三系の生層序及び年代層序に関する基本資料, IGCP-114, National Working Group of Japan, 18-27.
- 小泉 格(1986) 常磐炭田新第三系の珪藻化石層序-湯長谷・白土・高久層群-. 中川久夫・小高民夫・高柳洋吉編, 北村 信教授退官記念地質論文集, 北村信教授退官記念事業会, 仙台, 175-192.
- Koizumi, I. (1990) The disappearance of the *Coscinodiscus yabei* Zone in the subarctic Hokkaido region. *Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. 4 (Geol. & Mineral.)*, **22**, 577-589.
- 紺野芳雄(1938) 常磐炭田第5区常陸国多賀郡松原町付近地質図並びに地質断面図及び同地質説明書, 東京地学協会, 25p.
- 久保和也・柳沢幸夫・吉岡敏和・山元孝広・滝沢文教(1990) 原町及び大甕地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 155p.
- 久保和也・柳沢幸夫・吉岡敏和・高橋 浩(1994) 浪江及び磐城富岡地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 104p.
- 久保和也・柳沢幸夫・利光誠一・坂野靖行・吉岡敏和・高木哲一(2002) 川前及び井出地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 136p.
- 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. 地質雑, **108**, 421-434.
- Macauley, R. and Hubbard, S. (2013) Slope channel sedimentary processes and stratigraphic stacking, Cretaceous Tres Pisos Formation slope system, Chilean Patagonia. *Marine Petrol. Geol.*, **41**, 146-162.
- Maeyama, D., Suzuki, N., Kazukawa, K. and Ando, H. (2020) Residual gas in extensive stratified Miocene Izura carbonate concretions exhibiting thermogenic origin and isotopic fractionation associated with carbonate precipitation. *Marine Petrol. Geol.*, **119**, Article 104466, 1-12.
- 横山次郎(1920) 常磐石炭層の時代. 地質雑, **27**, 103-110.
- Martini, E. (1971) Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. In Farinacci, A. ed., *Proceedings of the Second Planktonic Conference Roma, 1970, Tecnoscienza*, **2**, 738-785.
- Maruyama, T. (1984) Miocene diatom biostratigraphy of onshore sequences on the Pacific side of northeast Japan, with reference to DSDP Hole 438A (Part 2). *Sci. Rep. Tohoku Univ. Second Ser. (Geol.)*, **55**, 77-140.
- 丸山俊明・並川貴俊・高柳洋吉(1988) 常磐炭田南部に分布する多賀層群の珪藻化石層序と古海洋事件. 日本地質学会東北支部会報, no. 18, 22-24.
- 松井 寛(1953) いわゆる多賀層群について. 地理学, **1**, 65-75.
- Mitsui, S. (1971) Studies on the mechanism of deformation of sedimentary rocks in the Iwaki area of the Joban coal-field, Fukushima Prefecture. *Sci. Rep. Tohoku Univ., Second Ser. (Geol.)*, **42**, 199-272.
- 三井 忍(1972) 常磐炭田の地質構造に関する2, 3の問題. 東北大地質古生物学教室邦文報告, no. 73, 87-96.
- Mitsui, S. (1973) On the Taga Group in the Yotsukura district of the Joban Coal-field, Fukushima Prefecture. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **79**, 513-519.
- 三井 忍・大内啓司(1971) 常磐炭田泉地区の“多賀層群”について. 高知大学学術研究報告, 自然科学, **20**, 171-177.
- Mitsui, S. and Ouchi K. (1972) On the so-called Taga Group in the Izumi-Ueda district of the Joban Coal-field, Fukushima Prefecture. *Res. Rep. Kochi Univ., Nat. Sci.*, **21**, 147-157.
- Mitsui, S., Ouchi, K., Endo, S. and Hasegawa, Y. (1973) Stratigraphy and geological age of the Taga Group in the

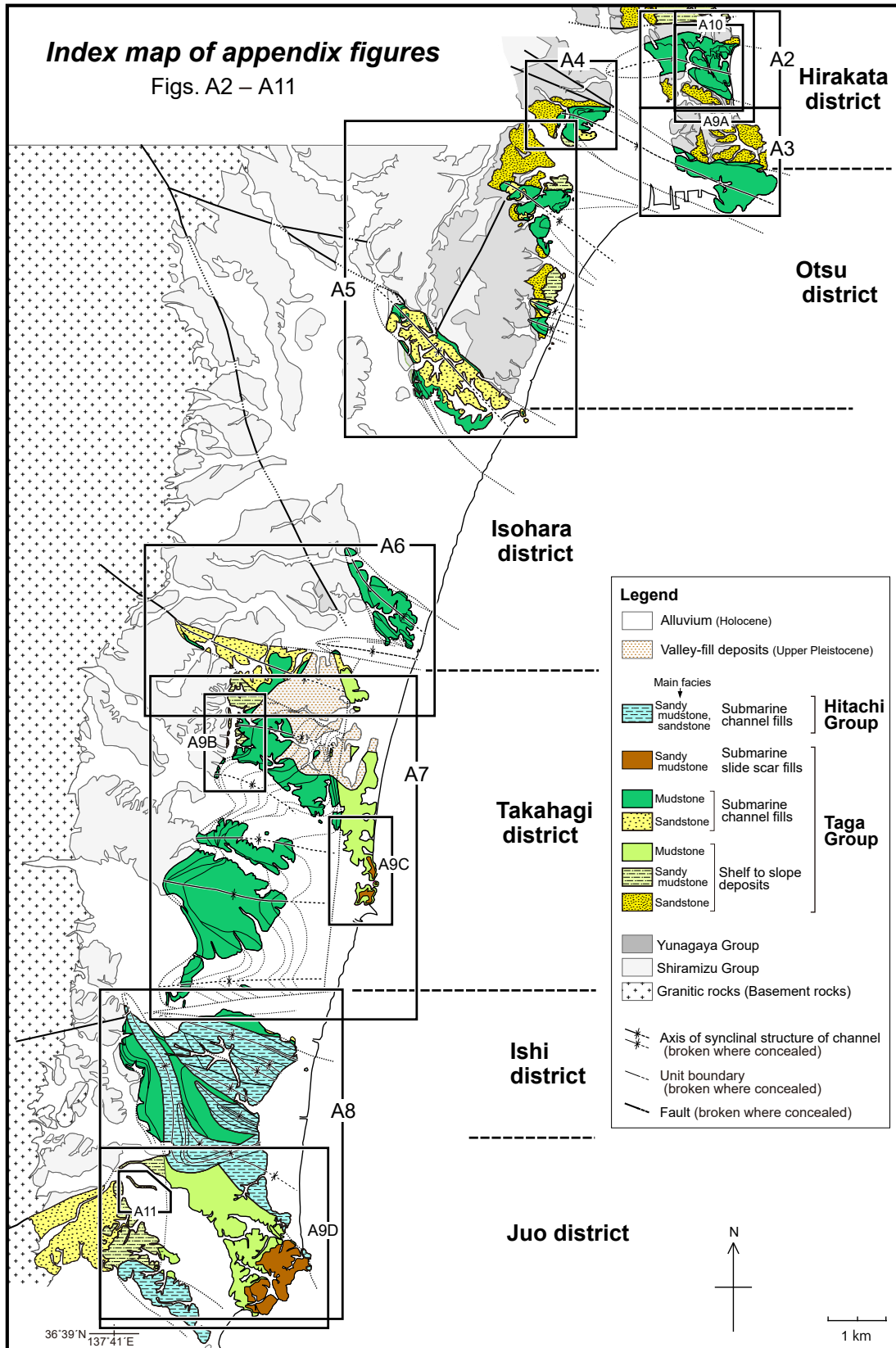
- Joban Coal-field of Fukushima and Ibaraki Prefectures. *Res. Rep. Kochi Univ., Nat. Sci.*, **22**, 103–124
- 中江 訓・小松原 琢・吉川敏之(2015) 冠山地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 107p.
- Nakajima, T., Satoh, M. and Okamura, Y. (1998) Channel-levee complexes, terminal deep-sea fan and sediment wave fields associated with the Toyama Deep-Sea Channel system in the Japan Sea. *Marine Geol.*, **147**, 25–41.
- Nakajima, T., Kakuwa, Y., Yasudori, Y., Itaki, T., Motoyama, I., Tomiyama, T., Machiyama, H., Katayama, H., Okitsu, O., Morita, S., Tanahashi, M. and Matsumoto, R. (2014) Formation of pockmarks and submarine canyons associated with dissociation of gas hydrates on the Joetsu Knoll, eastern margin of the Sea of Japan. *Jour. Asian Earth Sci.*, **90**, 228–242.
- 中嶋輝允・渡辺真人(2005) 富津地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 102p.
- 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.
- 根本直樹(1993) 第5章新第三系・第四系, 5.1 常磐地域。日本の地質「東北地方」編集委員会編, 日本の地質2, 東北地方, 共立出版, 東京, 94–99.
- 日本地質学会(2000) 日本地質学会地層命名の指針。日本地質学会News, **3**, 3.
- 日本地質学会訳編(2001) 国際層序ガイド—層序区分・用語法・手順へのガイド。共立出版, 東京, 238p.
- Noda, A., TuZino, T., Furukawa, R., Joshima, M. and Uchida, J. (2008) Physiographical and sedimentological characteristics of submarine canyons developed upon an active forearc slope. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **120**, 750–767.
- Okada, H. and Bukry, D. (1980) Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973; 1975). *Marine Micropaleont.*, **5**, 321–325.
- 大森昌衛(1954) 常磐炭田の構造発達史についての一解釈—とくに, 多賀層群と高久層群との関係について—。東京教育大学理学部地質学鉱物学教室研究報告, no. 3, 75–83.
- 大森昌衛・鈴木康司(1950) 阿武隈台地の南縁(日立市付近)に分布する多賀統の層序学的研究—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1—。地質雑, **56**, 369–378.
- 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)—。地質雑, **59**, 217–223.
- 小佐野由布子・保柳康一・近藤はるか・柳沢幸夫(2007) 陸棚に形成された海底谷を埋積したスランプ堆積物—東北日本南部福島県太平洋岸に分布する鮮新統大年寺層の例—。堆積学研究, no. 64, 101–105.
- Pickering, K. T., Hiscott, R. N. and Hein, F. J. (1989) Submarine canyons, gullies and other sea valleys. In Pickering, K. T., Hiscott, R. N. and Hein, F. J. eds., *Deep Marine Environments: Classic Sedimentation and Tectonics*. Urwin Hyman, London, 133–190.
- Pickering, K. T. and Hiscott, R. N. (2016) *Deep Marine Systems: Processes, Deposits, Environments, Tectonics and Sedimentation*, AGU and Wiley, 657p.
- Posamentier, H. W. and Walker, R. G. (2006) Deep-water turbidites and submarine fans. In Posamentier, H. W. and Walker, R. G. eds., *Facies Models Revised*, SEPM, 399–520.
- Pyles, D., Jennette, D., Tomasso, M., Beaubouef, R. T. and Rossen, C. (2010) Concepts learned from 3D outcrop of a sinuous slope channel complex: Beacon Channel Complex, Brushy Canyon Formation, west Texas, U.S.A. *Jour. Sediment. Res.*, **80**, 67–96.
- Riedel, W. R. and Sanfilippo, A. (1978) Stratigraphy and evolution of tropical Cenozoic radiolarinas. *Micropaleontology*, **23**, 61–96.
- 佐伯龍男・稲盛隆穂・高野 修(2006) 熊野海盆北縁部における三次元地震探査。物理探査, **59**, 249–259.
- 佐藤 篤・長谷川善和・国府田良樹・尾ヶ井清彦(1992) 茨城県北茨城市の多賀層群から産出した *Desmostylus* の大白歯化石について。平地学同好会会報, no. 19, 21–25.
- 佐藤任弘・小池 清(1957) 房総半島の地層中に見つかった化石海底谷。地質雑, **63**, 100–116.
- 佐藤時幸・神崎 裕・奥山貴男・千代延俊(2010) 北陸～北日本に分布する中新統石灰質ナンノ化石層序。秋田大学大学院工学資源学研究科研究報告, no. 31, 37–45.
- Schwarz, E. and Arnott, R. W. (2007) Anatomy and evolution of a slope channel-complex set (Neoproterozoic Issac Formation, Windermere Supergroup, southern Canadian Cordillera): implication for reservoir characterization. *Jour. Sediment. Res.*, **77**, 89–109.
- 嶋村 清(2008) 改訂「日本列島海底谷系図」—海底谷の地形的特徴と問題点—。地質雑, **114**, 560–576.
- 庄司力偉・鎌田泰彦(1958) 常磐炭田地域の新第三系。日本地質学会新第三系討論会世話人編, 日本新第三系シンポジウム—日本地質学会昭和33年討論会資料—, 日本地質学会, 41–53.
- Shumaker, L. E., Jobe, Z. R. and Graham, S. A. (2017)

- Evolution of submarine gullies on a prograding slope: Insight from 3D seismic reflection data. *Marine Geol.*, **393**, 35–46.
- 須貝貫二・松井 寛(1953) 常磐炭田湯本東部地区調査報告. 地調報告, no. 157, 1–58.
- 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.
- Surpless, K. D., Ward, R. B. and Graham, S. A. (2009) Evolution and stratigraphic architecture of marine slope gully complexes: Monterey Formation (Miocene), Caviota Beach, California. *Marine Petrol. Geol.*, **26**, 269–288.
- 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. 地質雑, **58**, 476.
- 鈴木康司(1954a) 阿武隈山地南端の那珂湊町付近の新生界の研究—阿武隈山地南西縁に分布する新生界の地質学的研究 その4—. 東京教育大学理学部地質学鉱物学教室研究報告, no. 3, 85–96.
- 鈴木康司(1954b) 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(1955) 常磐炭田(泉一植田付近)の多賀・高久層群の層序について. 地質雑, **61**, 335.
- 鈴木康司(1958) 常磐炭田の地質構造についての一考察—“いわゆる多賀統”の成因について—. 藤本治義教授還暦記念論文集170–182.
- 鈴木康司・大森昌衛(1949) 阿武隈南縁の多賀統の層序学的研究. 地質雑, **55**, 187.
- 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質学研究 その2—. 地質雑, **59**, 35–46.
- 高橋治之(1993) 第2章 2.4 関東地方北部 (6)日立・常磐南部. 日本の地質「関東地方」編集委員会編, 日本の地質3 関東地方, 共立出版, 東京, 134–136.
- 高橋雅紀・柳沢幸夫(2008) 3.第三系, 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.
- 高野 修・守屋成博・西村瑞穂・秋葉文雄・阿部正憲・柳本 裕(2001) 新潟堆積盆北蒲原地域における上部中新統～下部更新統のシーケンス層序と堆積システムの特徴. 地質雑, **107**, 585–604.
- 高野 修・西村瑞穂・藤井哲哉・佐伯龍男(2009) シーケンス層序学手法による東部南海トラフエリアのメタンハイドレート含有海底扇状地タービダイト砂岩分布解析およびBSR分布との関連の検討. 地学雑誌, **118**, 776–792.
- 高野 修・藤井哲哉・佐伯龍男・下田直之・野口 聡・西村瑞穂・高山徳次郎・辻 隆司(2010) 東部南海トラフ海域のメタンハイドレート探査における堆積学的手法の適用. 石油技術協会誌, **75**, 30–41.
- 清水水康博(2009) 前弧海盆に発達した化石海底谷システム: 中新—鮮新統宮崎層群“宮崎相”の堆積学的研究. 地質雑, **115**, 559–577.
- 高柳洋吉・丸山俊明・本田信幸・嶋村 清・船山政昭・長谷川善和・國府田良樹(1988) いわき市四倉町産鯨類化石の産出層準と地質年代について. いわき市教育文化事業団研究紀要, no. 1, 23–55.
- 竹谷陽二郎・相田 優・岡田尚武・尾田太良・長谷川四郎・丸山俊明・根本直樹(1986) 福島県双葉地域の多賀層群より産する微化石調査報告. 福島県立博物館調査報告, no. 12, 1–53.
- 竹谷陽二郎・相田 優・小野俊夫・岡田尚武・長谷川四郎・丸山俊明・根本直樹・栗原宗一郎・高柳洋吉(1990) 常磐地域に分布する新第三系の地質年代と堆積環境. 福島県立博物館調査報告, no. 20, 1–99.
- 徳永重康(1927) 常磐炭田ノ地質. 早稲田大理工紀要, no. 5, 1–316.
- 内野隆之・中江 訓・中島 礼(2017) 鳥羽地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 141p.
- 上田庸平・安藤寿男・篠崎将俊(2003) 茨城県北部の古第三系前期漸新統白水層群石城層から浅貝層にかけての堆積相変化と古地理的意義. 茨城県立自然博物館研究報告, no. 6, 1–17.
- 上田庸平・ジェンキンス, ロバートG・安藤寿男・横山芳春(2005) 常磐堆積盆外側陸棚におけるメタン起源の炭酸塩コンクリーションと化学合成群集: 茨城県北部中新統高久層群九面層の例. 化石, no. 78, 47–58.
- 植木岳雪・原 英俊・尾崎正紀(2013) 八王子地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 137p.
- Valle, G. D., Gamberi, F., Tricardi, F., Baglioni, L., Errera, A. and Rocchini, P. (2013) Contrasting slope channel styles on a prograding mud-prone margin. *Marine Petrol. Geol.*, **41**, 72–82.
- 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.
- 渡邊久吉(1929) 再び常磐炭田石城郡殊に上遠野区域の第三紀層に就いて. 地質雑, **36**, 293–294.
- 渡邊久吉(1932) (二)新第三系(新成統). 日本地質鉱産

- 誌, 地質調査所, 92-152.
- 渡邊久吉(1939) 常磐炭田第四區常陸國多賀郡磯原町, 磐城國石城郡勿来町付近地質図並びに地質断面図及び同地質説明書, 東京地学協会, 77p.
- 渡邊久吉・佐藤源郎(1935) 勿来図幅(7万5千分の1). 地質調査所.
- 渡邊久吉・佐藤源郎(1937) 勿来図幅(7万5千分の1)地質説明書, 地質調査所, 130p.
- 矢部 淳・小笠原憲四郎・植村和彦・小布施明子(1995) 常磐炭田南部に分布する下部中新統櫛平層の植物および軟体動物化石群. 地質雑, **101**, 534-548.
- Yabe, H. (1948) Stratigraphic position of the Kokozura Sandstone. *Proc. Japan Acad.*, **24**, no. 8, 1-3.
- Yabe, H. (1949a) The Taga Beds of the Zyoban Coal-field. *Proc. Japan Acad.*, **25**, no. 8, 9-17.
- Yabe, H. (1949 b) The Tozenzi Sandstone. *Proc. Japan Acad.*, **25**, no. 10, 9-17.
- Yabe, H. (1950) Controversies relating to the Kuzi proboscidean molars. *Proc. Japan Acad.*, **26**, no. 26, 29-35.
- 柳沢幸夫(1996a) 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(1996b) 水深指標としての珪藻群集. 堆積学研究, no. 43, 59-67.
- 柳沢幸夫(1999a) 富山県八尾地域下部—中部中新統の珪藻化石層序. 地調月報, **50**, 139-165.
- 柳沢幸夫(1999b) 能登半島珠洲地域の中新統の珪藻化石層序. 地調月報, **50**, 167-213.
- 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(2011) 常磐地域の下部中新統湯長谷層群の珪藻化石年代層序. *Diatom*, **27**, 33-45.
- 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. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **104**, 395-414.
- 柳沢幸夫・秋葉文雄(1999) 松島地域の中新世の珪藻化石層序の再検討. 地調月報, **50**, 431-448.
- 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. 地調月報, **40**, 405-467.
- 柳沢幸夫・山元孝広・坂野靖行・田沢純一・吉岡敏和・久保和也・滝沢文教(1996) 相馬中村地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 144p.
- 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**, 17-30.
- 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.
- 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). 産総研地質調査所.

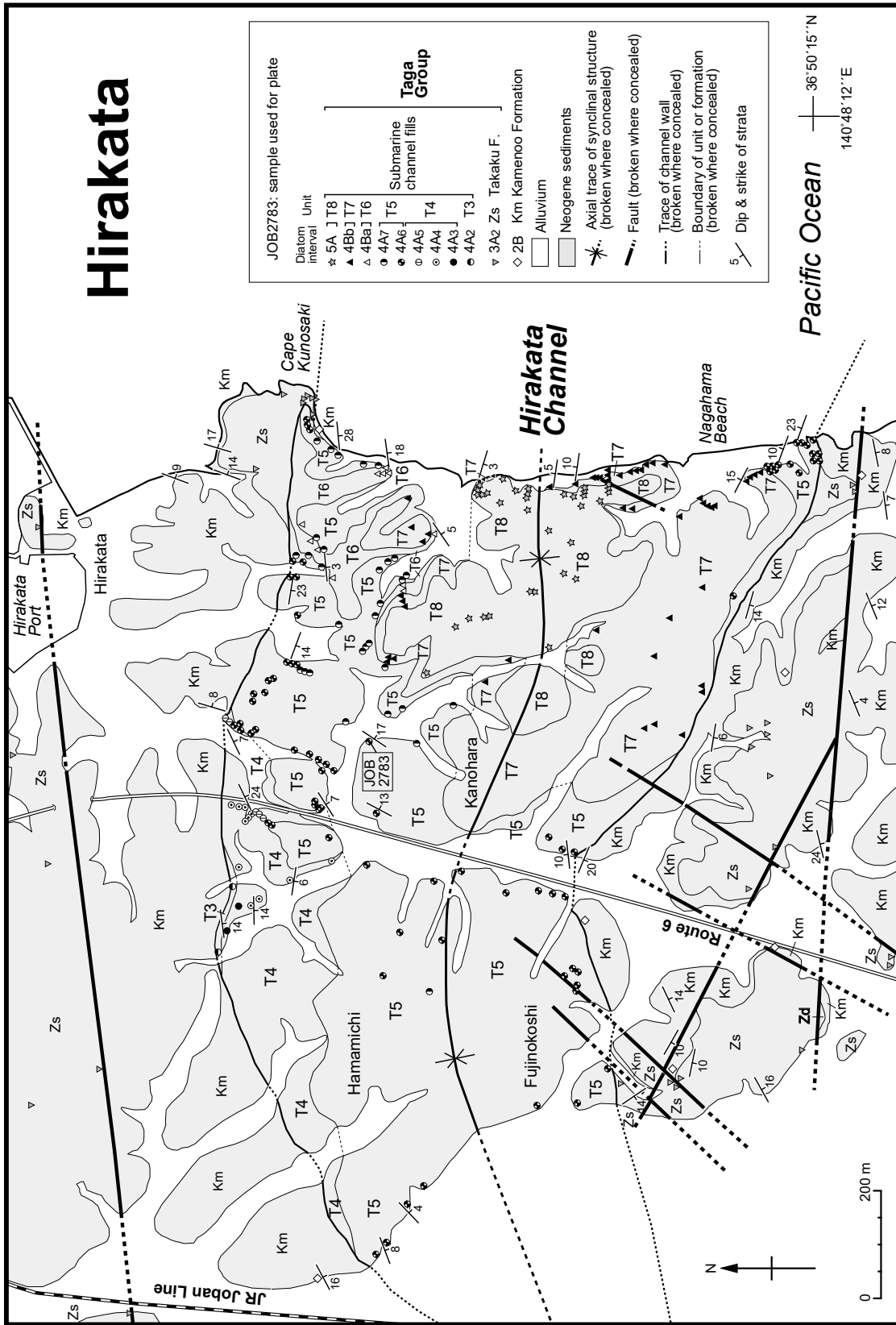
(受 付 : 2019年4月24日 ; 受 理 : 2020年5月29日)

付録 Appendices

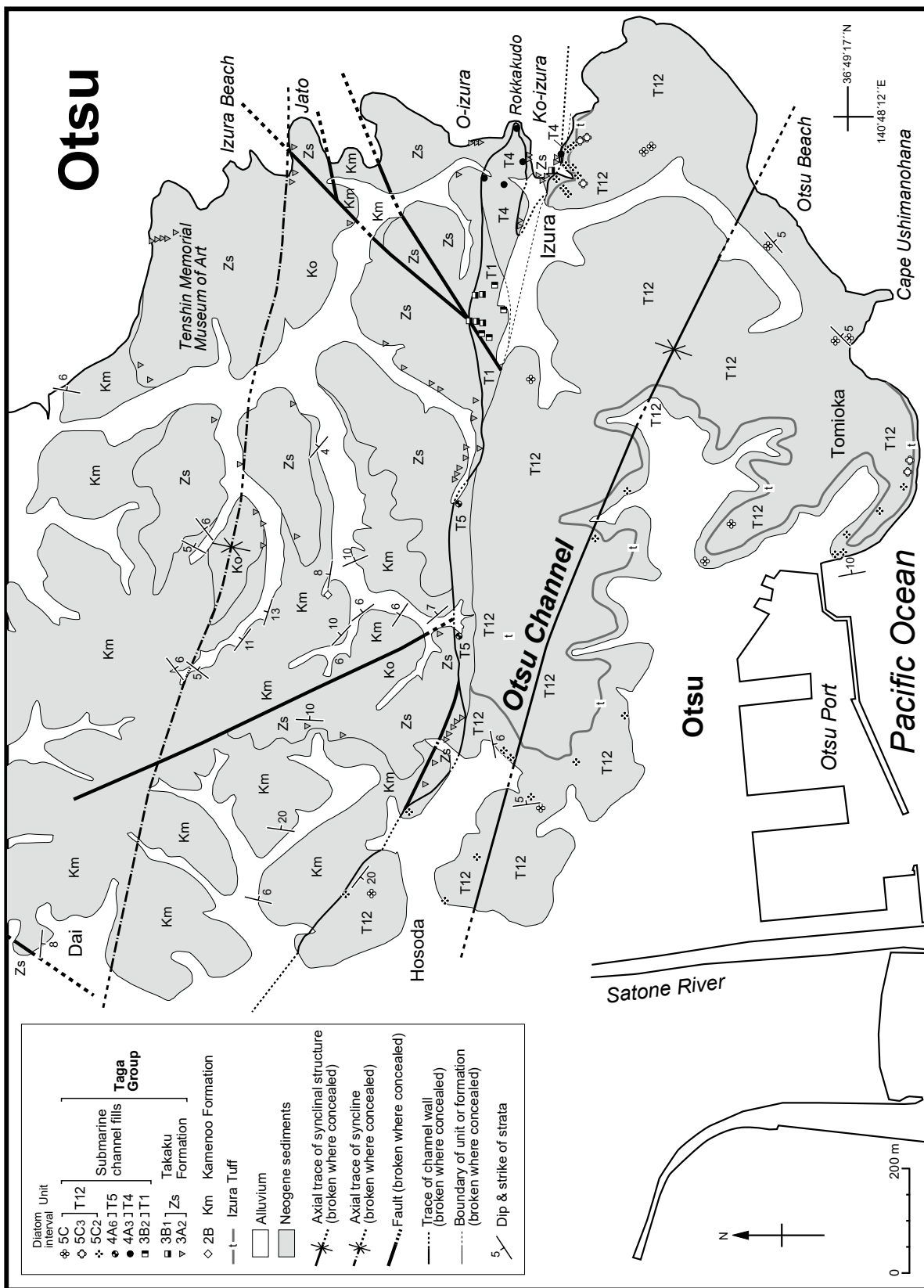


付図1 付図2から付図11の位置を示すインデックス図。段丘堆積物の分布は省略。

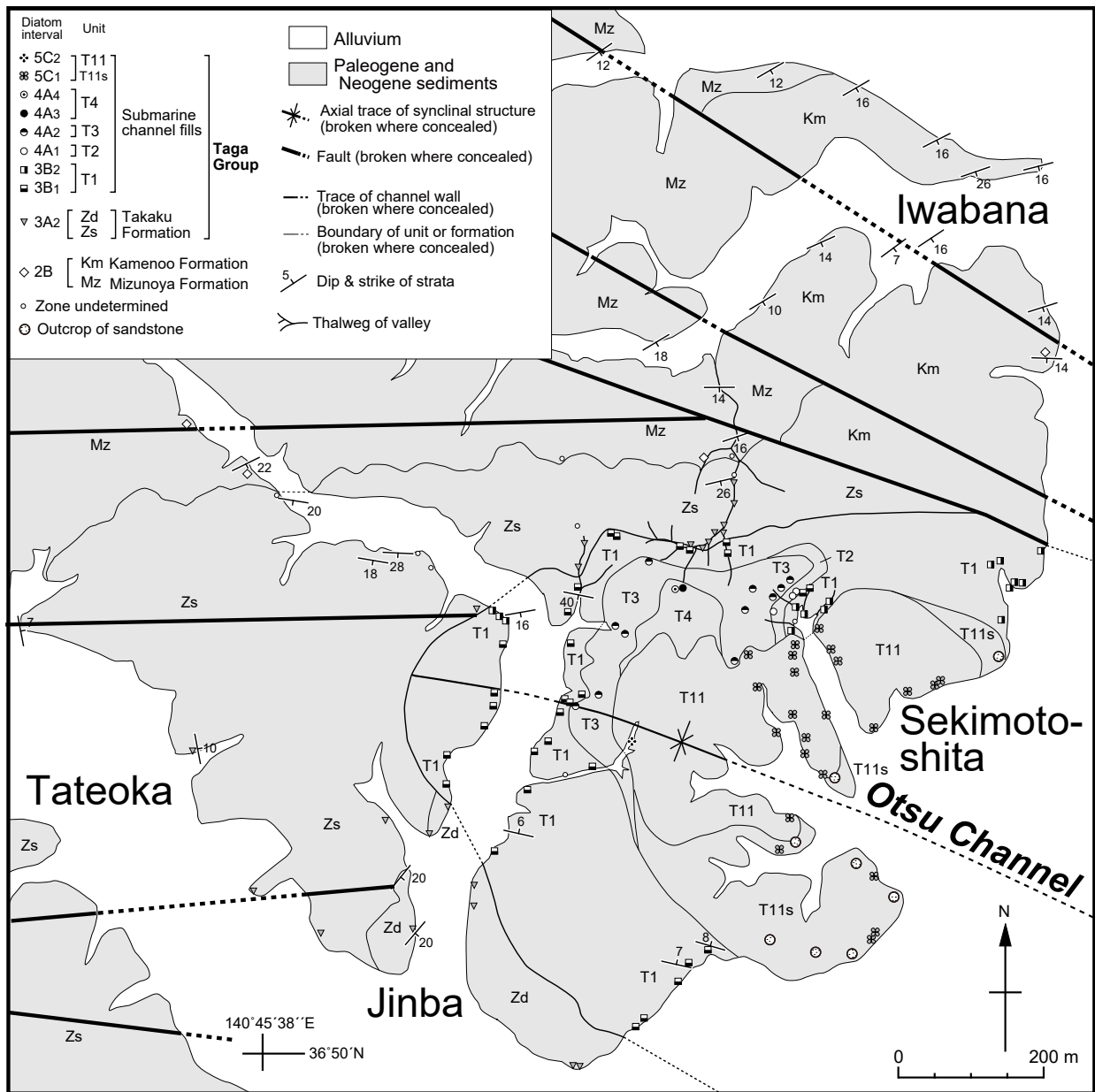
Fig. A1 Index map showing locations of Figs. A2 to A11. Terrace deposits are omitted.



付図2 平潟地区における珪藻分析試料の位置図。地図の範囲は付図1に示す。
Fig. A2 Map showing locations of diatom samples in the Hirakata district. Location of the map is shown in Fig. A1.

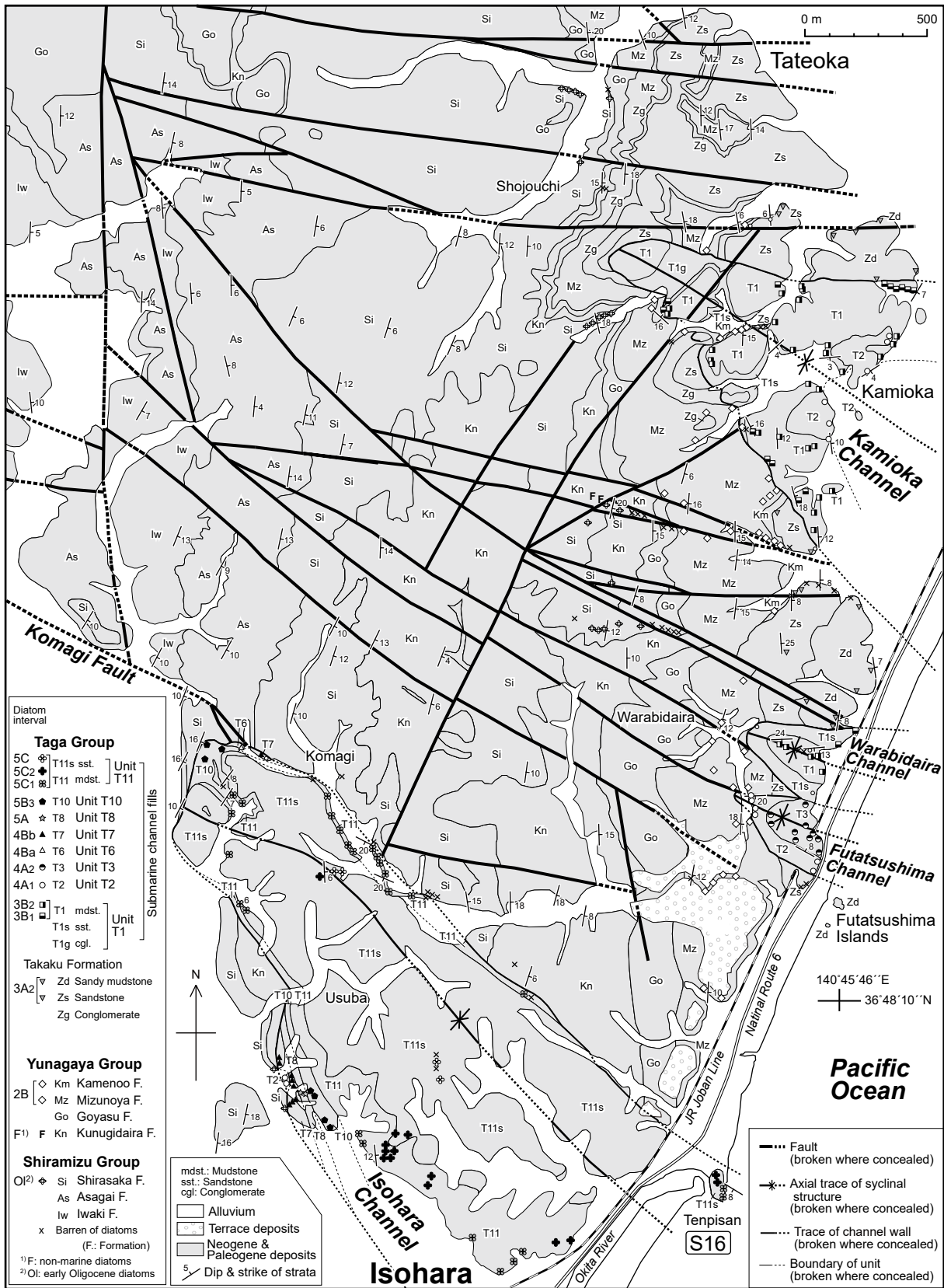


付図3 大津地区東部における珪藻分析試料の位置図。地図の範囲は付図1に示す。
 Fig. A3 Map showing locations of diatom samples in the eastern part of the Otsu district. Location of the map is shown in Fig. A1.



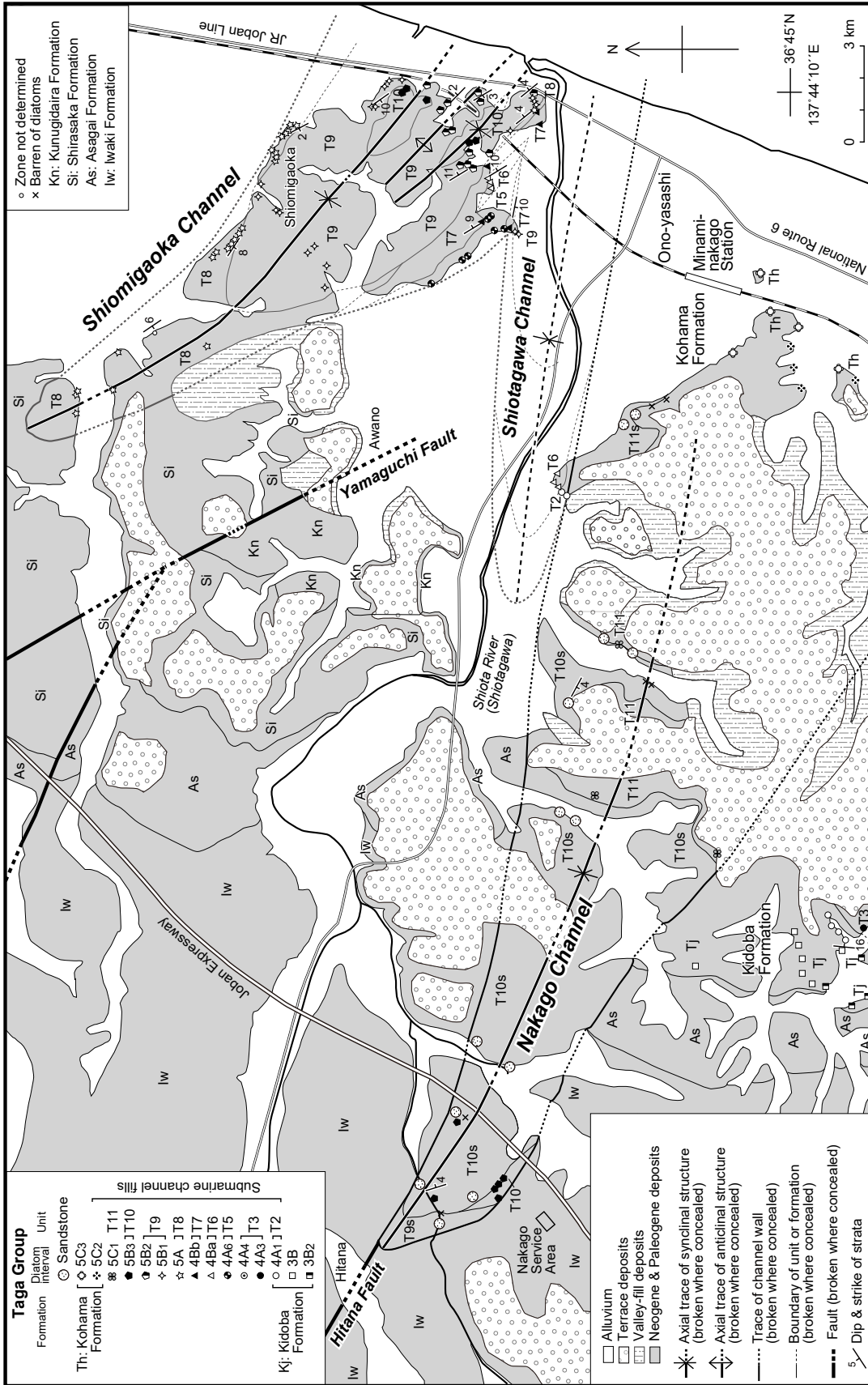
付図4 大津地区西部における珪藻分析試料の位置図。地図の範囲は付図1に示す。

Fig. A4 Map showing locations of diatom samples in the western part of the Otsu district. Location of the map is shown in Fig. A1.



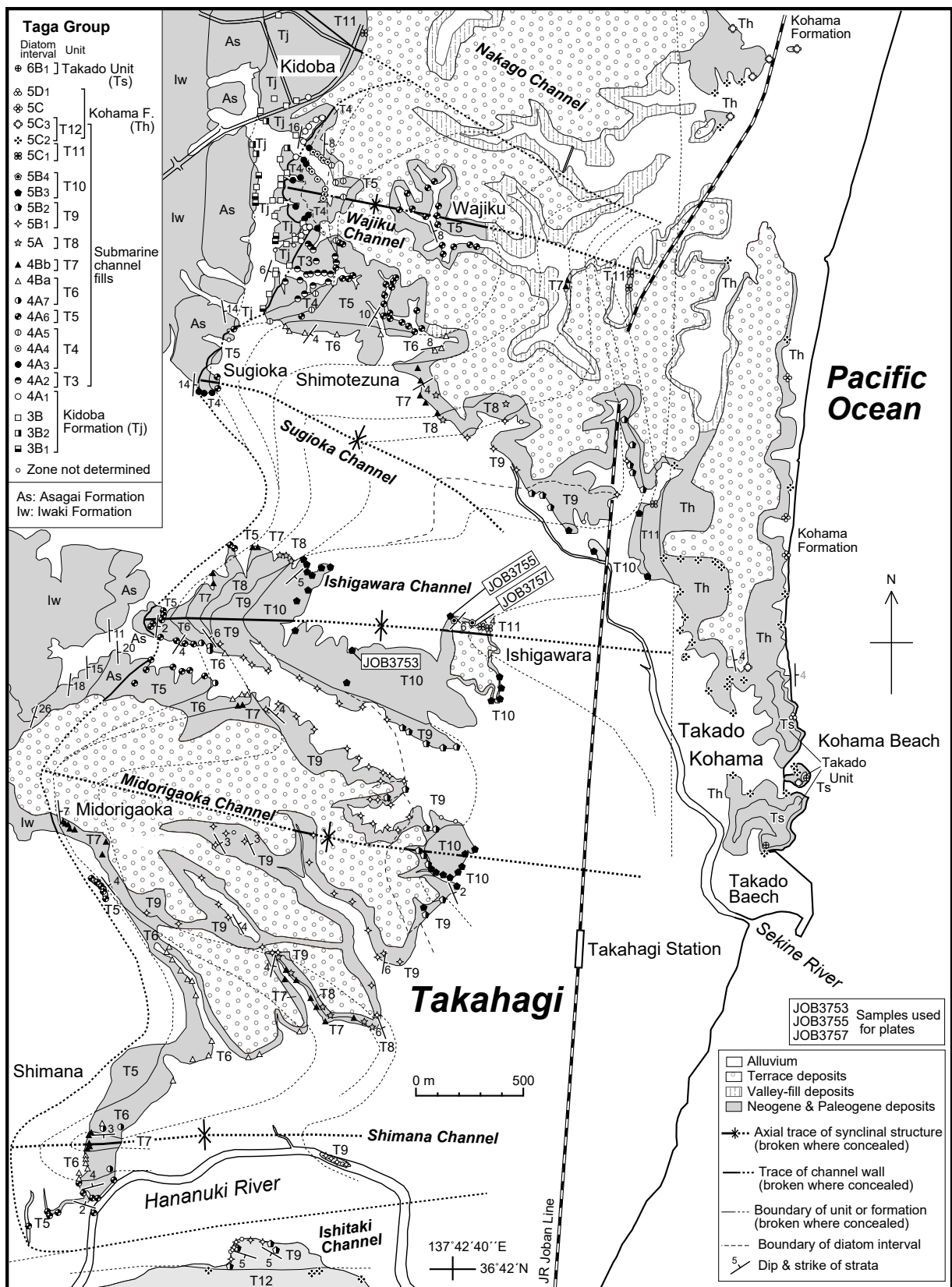
付図5 神岡付近(大津地区南部)及び磯原付近(磯原地区北部)における珪藻分析試料の位置図。地図の範囲は付図1に示す。

Fig. A5 Map showing locations of diatom samples around Kamioka (southern part of the Otsu district) and Isohara (northern part of the Isohara district). Location of the map is shown in Fig. A1.



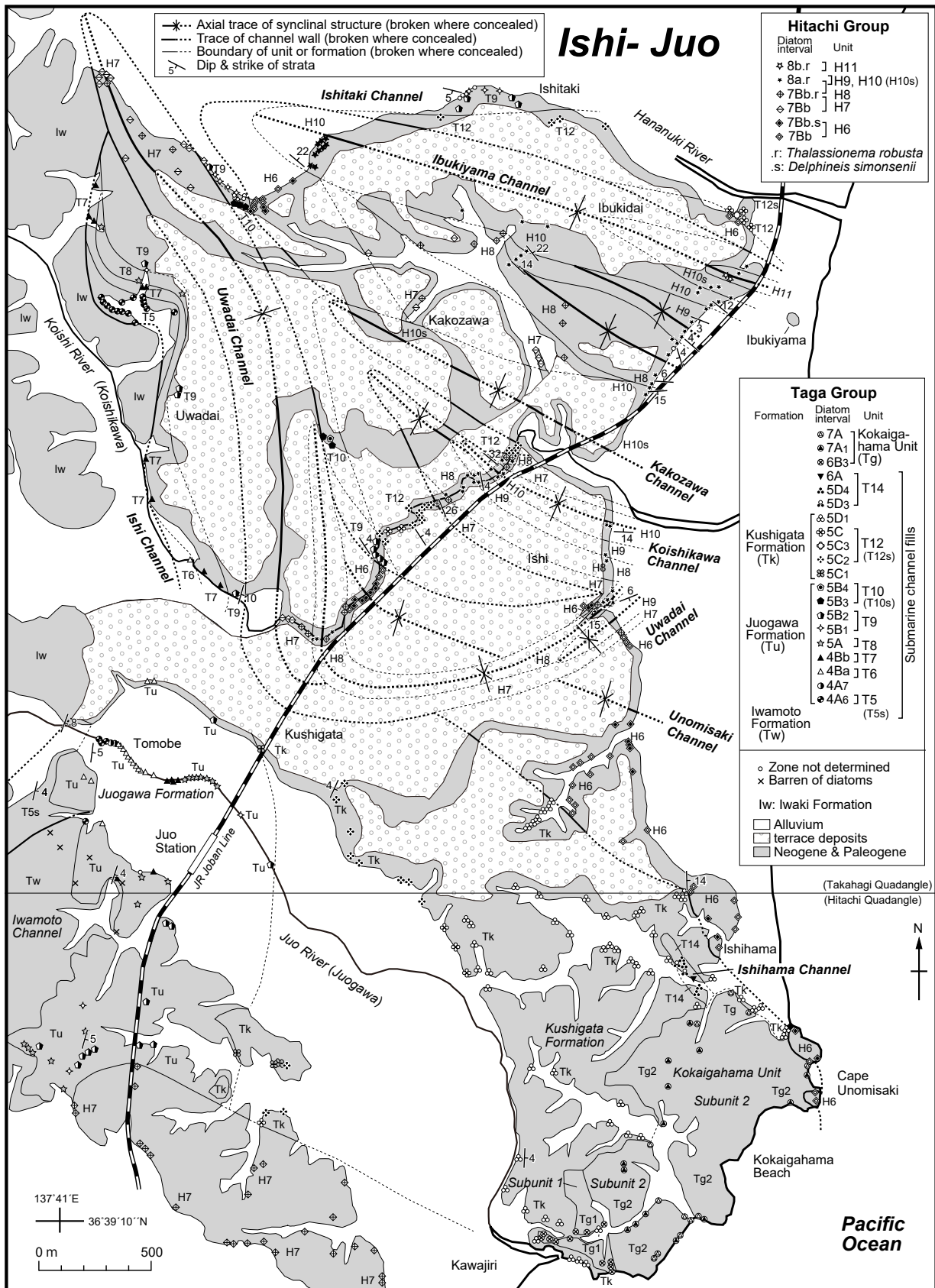
付図6 汐見ヶ丘付近(磯原地区南部)及び中郷付近(高萩地区北部)における珪藻分析試料の位置図。地図の範囲は付図1に示す。

Fig. A6 Map showing locations of diatom samples around Shiomigaoka (southern part of the Isohara district) and Nakago (northern part of the Takahagi district). Location of the map is shown in Fig. A1.



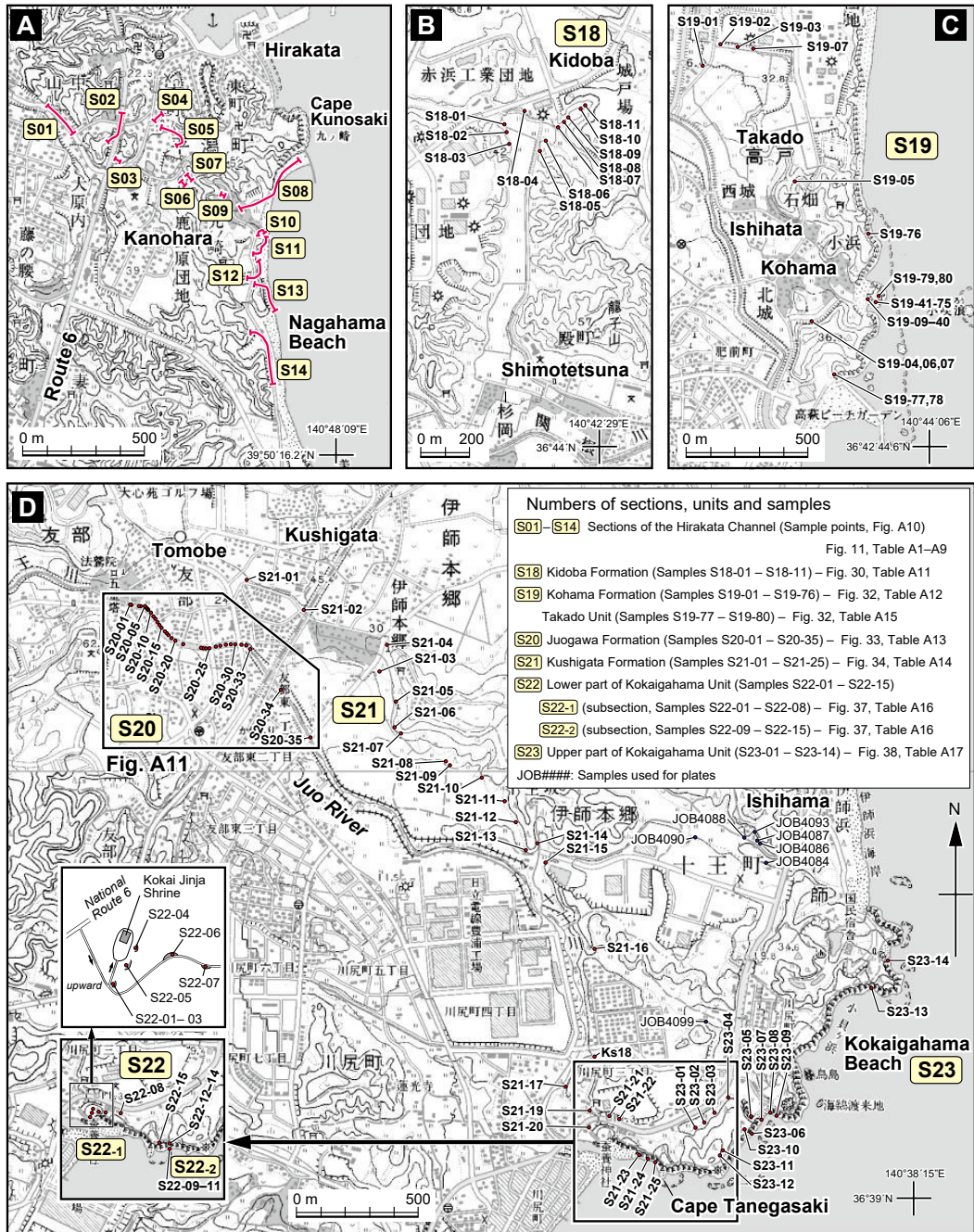
付図7 高萩付近(高萩地区南部)における珪藻分析試料の位置図。地図の範囲は付図1に示す。

Fig. A7 Map showing locations of diatom samples around Takahagi (southern part of the Takahagi district). Location of the map is shown in Fig. A1.



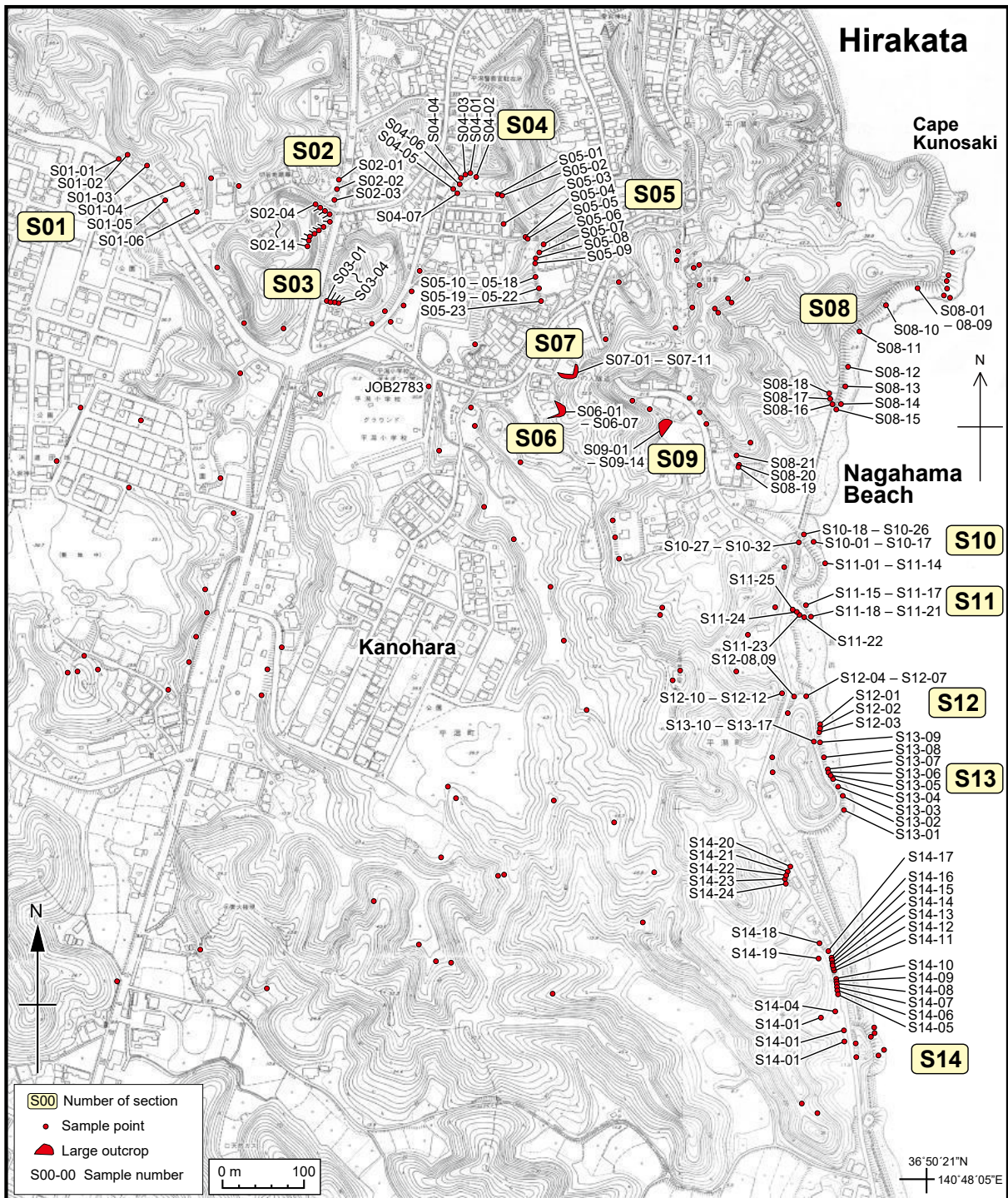
付図8 伊師・十王地区における珪藻分析試料の位置図。地図の範囲は付図1に示す。

Fig. A8 Map showing locations of diatom samples in the Ishi and Juo districts. Location of the map is shown in Fig. A1.



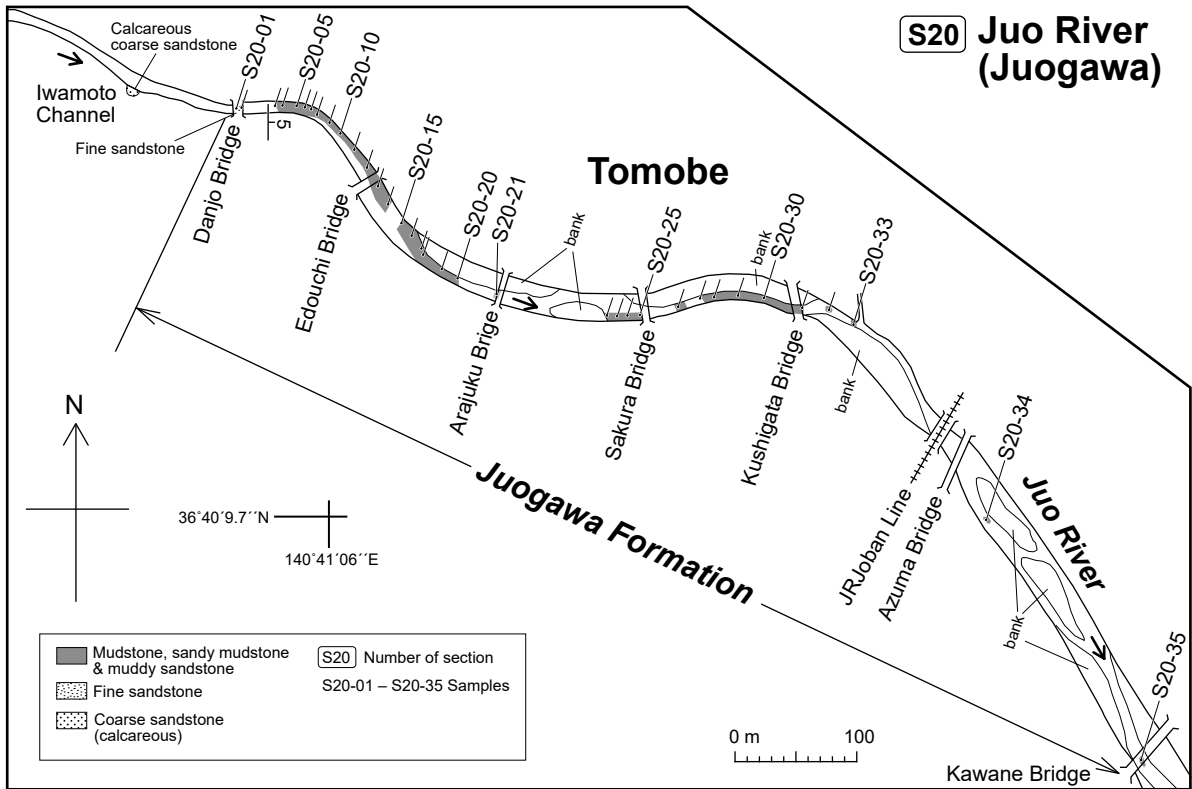
付図9 層序セクションS01–S14の位置と層序セクションS18–S23における珪藻分析試料採取位置を示す地形図。国土地理院発行2万5千分1地形図を使用。各地図の範囲は付図1に示す。A：北茨城市平潟地区の平潟海底谷の層序セクションS01–S14の位置を示す図。地形図「勿来」の一部を使用。B：層序セクションS18（城戸場層）の珪藻試料採取地点図。地形図「高萩」の一部を使用。C：層序セクションS19（小浜層及び高戸ユニット）の珪藻試料採取地点図。地形図「高萩」の一部を使用。D：層序セクションS20（十王川層），S21（櫛形層），S22（小貝ヶ浜ユニットのサブユニット1）及びS23（小貝ヶ浜ユニットのサブユニット2）の珪藻試料採取地点図。地形図「高萩」及び「日立」の一部を使用。

Fig. A9 Maps showing locations of stratigraphic sections S01–S14 and diatom samples of stratigraphic sections S18–S23. Parts of geographic maps (1: 25,000 in scale) published by the Geospatial Information Authority of Japan are used. Location of the map is shown in Fig. A1. A: Map (part of geographic map “Nakoso”) showing locations of the stratigraphic section S01–S14 in the Hirakata Channel, Hirakata district, Kitaibaraki City. B: Map (part of geographic map “Takahagi”) showing locations of diatom samples of the Kidoba Formation in the stratigraphic section S18. C: Map (part of geographic map “Takahagi”) showing locations of diatom samples of the Kohama Formation and the Takado Unit in the stratigraphic section S19. D: Map (parts of geographic maps “Takahagi” and “Hitachi”) showing locations of diatom samples of the Juogawa Formation (S20), Kushigata Formation (S21), the subunit 1 of the Kokaigahama Unit (S22) and the subunit 2 of the Kokaigahama Unit (S23).



付図10 北茨城市平潟地区の層序セクションS01-S14の珪藻分析試料の採取位置図。北茨城市発行の2500分の1都市計画図No. 7, 8, 12及び13を使用。地図の範囲は付図1に、セクションのルートは付図9Aに示す。層序セクションS01-S14の柱状図は第12図、珪藻産出表は付表1から付表9に示す。

Fig. A10 Map showing locations of diatom samples of stratigraphic sections S01-S14 of the Hirakata Channel in the Hirakata district, Kitaibaraki City. City planning maps No. 7, 8, 12 and 13 (1: 2,500 in scale) published by Kitaibaraki City office are used. Location of the map and the routes of sections are shown in Figs. A1 and A9A, respectively. Columnar sections of the stratigraphic sections S01-S14 are shown in Fig. 12. Occurrence charts of diatoms of the stratigraphic sections S01-S14 are presented in Tables A1-A9.



付図11 日立市十王地区の層序セクションS20 (十王川層)の珪藻分析試料の採取位置を示すルートマップ。位置は付図1と付図9Dに示す。柱状図は第33図に、珪藻産出表は付表14に示す。

Fig. A11 Map showing locations of diatom samples of stratigraphic sections S20 of the Juogawa Formation, Juo district, Hitachi City. Location of the map is shown in Figs. A1 and A9D. Columnar section of the route is shown in Fig. 33. Occurrence chart of diatoms of the stratigraphic section is presented in Table A14.

北茨城・高萩地域の新第三系多賀層群と日立層群（柳沢・安藤）

付表2 層序セクションS05の珪藻化石産出表. 柱状図は第12図に, 層序セクションの位置は付図9Aに, 試料採取位置は付図10に示す.

Table A2 Occurrence chart of diatoms in the stratigraphic section S05. Columnar section of the stratigraphic section is presented in Fig. 12. Locations of the stratigraphic section and samples are shown in Figs. A9A and A10, respectively.

Section	S05																						
Unit	T5																						
Diatom zone (NPD)	4A																						
Diatom interval	4A6															4A7							
Sample number	S05-	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Original sample number (JOB)		4432	4431	1886	4430	426	4429	4428	427	4427	428	4426	1194	1195	1196	429	1197	1198	1199	1881	1882	1883	1879
Preservation		G	G	P	M	G	M	M	M	G	G	M	G	P	P	M	G	P	P	P	G	G	P
Abundance		A	C	C	C	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	C	A	C	A	C	C	A	R
<i>Actinocyclus ingens</i> f. <i>ingens</i> (Rattray) Whiting et Schrader		10	10	14	10	1	11	7	7	12	10	9	9	10	7	15	13	30	53	28	11	13	11
<i>A. ingens</i> f. <i>nodus</i> (Baldauf) Whiting et Schrader		3	+	2	-	2	+	2	6	+	5	2	2	2	2	6	3	12	15	9	3	4	5
<i>A. ingens</i> f. <i>planus</i> Whiting et Schrader		-	-	8	3	14	1	1	10	1	5	6	13	15	13	14	15	11	7	1	1	-	1
<i>A. octonarius</i> Ehr.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>A. sp. A</i>		-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Actinocyclus senarius</i> (Ehr.) Ehr.		2	2	2	3	5	+	2	7	1	1	2	3	1	1	4	4	1	-	-	1	2	2
<i>Azpeitia endoi</i> (Kanaya) P.A.Sims et G.A.Fryxell		1	+	-	-	1	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>A. vetustissima</i> (Pant.) P.A.Sims		-	-	1	-	+	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-
<i>Cavitatus jouseanus</i> (Sheshukova) D.M.Williams		+	1	-	2	10	1	+	-	2	5	1	8	5	5	11	3	+	1	1	2	3	2
<i>C. linearis</i> (Sheshukova) Akiba et Yanagisawa		-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. miocenicus</i> (Schrader) Akiba et Yanagisawa		+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	1	-	-	-	1	-	+	-	-	-	1
<i>Cocconeis costata</i> Greg.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. scutellum</i> Ehr.		+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. vitrea</i> Brun		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Coscinodiscus lewistanus</i> Grev.		-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. marginatus</i> Ehr.		2	2	-	-	2	-	1	2	1	-	1	2	4	1	7	-	18	15	2	-	+	6
<i>Crucidenticula kanayae</i> var. <i>kanayae</i> Akiba et Yanagisawa		+	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	+	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>C. nicobarica</i> (Grunow) Akiba et Yanagisawa		-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>C. paranicobarica</i> var. <i>paranicobarica</i> Akiba et Yanagisawa		+	+	1	5	1	1	2	2	+	-	1	5	1	5	2	4	3	-	-	3	1	1
<i>C. paranicobarica</i> var. <i>tropica</i> Yanagisawa et Akiba		-	-	-	-	2	-	-	1	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. punctata</i> (Schrader) Akiba et Yanagisawa		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Girdle view of <i>Crucidenticula</i>		-	-	-	-	2	-	-	1	-	-	-	2	1	1	3	2	-	-	-	-	-	-
<i>Cymatosira debyi</i> Temp. et Brun		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Delphineis penelliptica</i> G.W.Andrews		-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>D. cf. surirella</i> (Ehr.) G.W.Andrews		1	-	-	-	4	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Denticula norvegica</i> Schrader		-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Denticulopsis ichikawae</i> Yanagisawa et Akiba		-	1	+	7	2	2	+	3	4	4	+	+	3	2	-	1	-	+	-	-	-	-
<i>D. lauta</i> (Bailey) Simonsen		5	3	1	2	17	8	2	9	9	12	1	8	6	12	6	8	+	4	-	1	5	-
<i>D. praehyalina</i> Tanimura		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	5	1
<i>D. tanimurae</i> Yanagisawa et Akiba		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	2	+	+	+	+	+	-	2	1	+
Girdle view of <i>D. lauta</i> group		6	3	2	7	10	3	8	7	15	12	7	+	6	5	4	6	1	+	+	+	7	1
Girdle view of <i>D. hyalina</i> group		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	4	3
<i>Diploneis bombus</i> Ehr.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eucampia</i> sp. A (= <i>Hemiaulus polymorphus</i> Grunow)		-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Goniothecium rogersii</i> Ehr.		-	-	1	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-
<i>Grammatophora</i> spp.		-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hyalodiscus obsoletus</i> Sheshukova		-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	-	3	-	-	+	1	-	-	+	-	1
<i>Ikebea tenuis</i> (Brun) Akiba		-	-	-	+	-	-	-	3	-	1	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Kisselewiella carina</i> Sheshukova		2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Mediaria splendida</i> Sheshukova		+	-	+	-	-	+	+	1	-	+	+	2	-	2	+	-	-	-	-	+	+	1
<i>Melosira sol</i> (Ehr.) Kützing		-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Nitzschia challengeri</i> Schrader		+	+	1	-	+	+	+	+	+	-	-	1	-	1	-	+	-	-	-	+	+	-
<i>Odontella aurita</i> (Lyngb.) J.A.Agardh		1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Paralia sulcata</i> (Ehr.) Cleve		2	16	10	6	4	6	-	3	-	1	1	1	4	1	1	1	1	+	-	1	1	3
<i>Porosira</i> sp.		-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Proboscia interposita</i> (Hajós) Jordan et Priddle		-	1	1	-	2	-	-	-	-	2	2	+	1	1	5	1	-	-	-	-	-	-
<i>Pseudodimerogramma elliptica</i> Schrader		-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhizosolenia styliformis</i> Brightw.		1	-	-	1	-	-	-	1	+	1	-	-	2	2	1	-	1	-	-	-	-	-
<i>Rouxia naviculoides</i> Schrader		-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Stellarima microtrias</i> (Ehr.) Hasle et P.A.Sims		1	+	-	1	1	+	1	1	+	4	+	1	-	-	1	-	-	-	-	2	+	-
<i>Stephanogonia hanzawae</i> Kanaya		-	-	-	-	-	1	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stephanopyxis</i> spp.		3	6	1	-	+	1	3	4	1	1	3	4	2	1	3	3	+	1	2	1	2	1
<i>Thalassionema</i> cf. <i>hirosakiensis</i> (Kanaya) Schrader		-	+	-	-	-	1	14	+	2	8	5	-	-	-	-	2	7	-	-	-	-	3
<i>T. nitzschoides</i> (Grunow) Mereschkowsky		8	4	4	2	10	6	4	25	2	21	6	30	28	35	13	29	14	4	1	11	7	9
<i>T.obtusa</i> (Grunow) G.W.Andrews		+	-	-	+	3	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Thalassiosira leptopus</i> (Grunow) Hasle et G.A.Fryxell		-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>T.</i> spp.		-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve et Grunow		+	+	+	-	+	-	1	+	+	2	1	+	1	1	1	-	+	+	-	-	-	-
<i>Trochosira spinosa</i> Kitton		2	1	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Total number of valves counted		50	50	50	50	100	50	50	100	50	100	50	100	100	100	100	100	100	100	50	50	50	50
Resting spore of <i>Chaetoceros</i>		28	15	-	24	-	19	21	-	22	-	11	-	-	-	-	-	-	-	9	17	7	37

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

付表3 層序セクションS06及びS07の珪藻化石産出表. 柱状図は第12図に, 層序セクションの位置は付図9Aに, 試料採取位置は付図10に示す.

Table A3 Occurrence chart of diatoms in the stratigraphic sections S06 and S07. Columnar sections of the stratigraphic sections are presented in Fig. 12. Locations of the stratigraphic sections and samples are shown in Figs. A9A and A10, respectively.

Section	S06							S07										
	T5							T5	T7			T8						
Unit	4A							4A	4Bb			5A						
Diatom zone (NPD)	4A7							4A7	4Bb			5A						
Diatom interval	S06-01 02 03 04 05 06 07							S07-01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Sample number	1861	1862	1863	1864	1865	1866	1867	1868	1869	1870	1871	1872	1873	1984	1975	1876	1877	1878
Original sample number (JOB)	P	P	M	M	M	M	M	P	M	M	M	M	M	M	P	M	M	M
Preservation	R	R	C	A	C	C	C	R	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Abundance	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Actinocyclus ellipticus</i> Grunow	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>A. ingens</i> f. <i>ingens</i> (Rattray) Whiting et Schrader	20	12	8	7	3	+	4	2	2	1	1	5	7	5	8	7	10	8
<i>A. ingens</i> f. <i>nodus</i> (Baldauf) Whiting et Schrader	7	6	-	5	2	+	1	1	-	-	-	-	+	-	+	-	-	1
<i>A. ingens</i> f. <i>planus</i> Whiting et Schrader	2	1	-	1	-	1	-	+	1	2	3	3	-	-	-	-	-	3
<i>A. sp. A</i>	-	-	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehr.) Ehr.	1	4	1	5	1	1	3	3	+	1	-	1	2	1	+	1	-	-
<i>Adoneis pacifica</i> G.W.Andrews et Rivera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
<i>Azpeitia endoi</i> (Kanaya) P.A.Sims et G.A.Fryxell	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>A. vetustissima</i> (Pant.) P.A.Sims	-	1	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cavitatus jouseanus</i> (Sheshukova) D.M.Williams	1	1	1	+	1	-	2	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>C. linearis</i> (Sheshukova) Akiba et Yanagisawa	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. miocenicus</i> (Schrader) Akiba et Yanagisawa	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cocconeis scutellum</i> Ehr.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
<i>C. vitrea</i> Brun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>Coscinodiscus marginatus</i> Ehr.	5	3	4	8	-	3	-	-	-	-	-	-	+	2	-	-	-	-
<i>Crucidentacula nicobarica</i> (Grunow) Akiba et Yanagisawa	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	9	3	1	5	7	5	10
<i>C. nicobarica</i> (Grunow) Akiba et Yanagisawa (long form)	-	1	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. paranicobarica</i> var. <i>paranicobarica</i> Akiba et Yanagisawa	-	+	3	+	5	4	3	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. punctata</i> (Schrader) Akiba et Yanagisawa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Delphineis surirella</i> (Ehr.) G.W.Andrews	-	-	+	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Denticulopsis lauta</i> (Bailey) Simonsen	1	+	1	1	3	3	3	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>D. ichikawae</i> Yanagisawa et Akiba	-	-	-	-	1	2	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Girdle view of <i>D. lauta</i> group	-	-	1	-	1	6	4	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Denticulopsis tanimurae</i> Yanagisawa et Akiba	-	-	+	+	2	+	3	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>D. praehyalina</i> Tanimura	6	4	3	3	2	+	3	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>D. hyalina</i> (Schrader) Simonsen	-	-	-	-	-	-	-	-	24	19	31	+	1	-	-	-	-	1
Girdle view of <i>D. hyalina</i> group	-	1	+	3	2	2	2	7	15	11	10	-	-	-	-	-	-	-
<i>Denticulopsis simonsenii</i> Yanagisawa et Akiba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	14	9	6	7	5	5
<i>D. vulgaris</i> (Okuno) Yanagisawa et Akiba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	+	+	1	-	-	-
S-type girdle view of <i>D. simonsenii</i> group	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	8	16	5	9	6	1
<i>Denticulopsis praedimorpha</i> var. <i>prima</i> Watanabe et Yanagisawa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Eucampia</i> sp. A (= <i>Hemiaulus polymorphus</i> Grunow)	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Goniothecium rogersii</i> Ehr.	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Grammatophora</i> spp.	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hyalodiscus obsoletus</i> Sheshukova	-	-	-	2	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	1	-	-
<i>Ikebea tenuis</i> (Brun) Akiba	-	-	-	-	-	2	-	-	1	4	3	+	1	2	2	-	+	7
<i>Kisseleviella carina</i> Sheshukova	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mastogloia splendida</i> (Grev.) Cleve	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mediaria splendida</i> Sheshukova	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-
<i>Melosira sol</i> (Ehr.) Kützing	1	+	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nitzschia challengerii</i> Schrader	+	-	-	-	+	1	-	1	-	-	-	-	+	3	2	1	1	1
<i>N. grunowii</i> Hasle	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	1	+	-	+	2	+
<i>N. heteropolica</i> Schrader	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	3	+	+
<i>Paralia sulcata</i> (Ehr.) Cleve	-	5	5	3	-	-	-	1	+	3	+	1	6	-	3	-	-	2
<i>Proboscia alata</i> (Bright.) Sundstöm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Proboscia interposita</i> (Hajós) Jordan et Priddle	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhaphoneis amphicerus</i> Ehr.	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhizosolenia miocenica</i> Schrader	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
<i>R. styliformis</i> Brightw.	-	-	-	-	-	1	1	-	+	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Rouxia californica</i> Perag.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Stellarima microtrias</i> (Ehr.) Hasle et P.A.Sims	-	-	1	1	+	3	1	1	-	-	-	-	-	1	1	+	1	+
<i>Stephanopyxis</i> spp.	1	-	4	1	-	4	2	1	+	3	+	-	-	1	2	3	3	-
<i>Thalassionema</i> cf. <i>hirosakiensis</i> (Kanaya) Schrader	4	4	4	4	3	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>T. nitzschoides</i> (Grunow) Mereschkowsky	1	7	8	6	24	15	13	6	2	7	1	3	4	6	7	3	14	7
<i>T. obtusa</i> (Grunow) G.W.Andrews	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Thalassiosira grunowii</i> Akiba et Yanagisawa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	+	-
<i>T. leptopus</i> (Grunow) Hasle et G.A.Fryxell	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>T. manifesta</i> Sheshukova	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve et Grunow	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Trochosira spinosa</i> Kitton	-	-	-	-	-	-	-	-	3	+	+	-	-	1	1	2	1	4
Total number of valves counted	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Resting spore of <i>Chaetoceros</i>	-	-	7	12	9	10	6	-	-	-	-	-	-	49	58	54	43	-

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

北茨城・高萩地域の第三系多賀層群と日立層群（柳沢・安藤）

付表4 層序セクションS08の珪藻化石産出表. 柱状図は第12図に, 層序セクションの位置は付図9Aに, 試料採取位置は付図10に示す.

Table A4 Occurrence chart of diatoms in the stratigraphic section S08. Columnar section of the stratigraphic section is presented in Fig. 12. Locations of the stratigraphic section and samples are shown in Figs. A9A and A10, respectively.

Section	S08																						
	Kamenoo		Kokozura			T5					T6				T7								
	2B		3A			4A6		4A7			4Ba				4Bb								
Diatom zone or subzone (NPD)	2B		3A			4A6		4A7			4Ba				4Bb								
Sample number	S08-		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Original sample number (JOB)	4317	4318	4319	4320	4321	4322	4323	4324	4325	407	1200	408	1201	1202	409	1203	410	1203'	4415	4416	4417		
Preservation	P	P	P	P	P	G	G	G	G	G	G	M	M	G	G	G	M	M	M	M	M	G	
Abundance	R	R	R	R	R	A	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A	C	C	C	C	A	
<i>Actinocyclus ingens</i> f. <i>ingens</i> (Rattray) Whiting et Schrader	-	-	1	+	10	3	16	8	8	7	5	13	6	9	4	2	11	1	1	2	3		
<i>A. ingens</i> f. <i>nodus</i> (Baldauf) Whiting et Schrader	-	-	-	-	-	+	5	1	2	2	3	4	1	3	1	-	4	+	1	+	-		
<i>A. ingens</i> f. <i>planus</i> Whiting et Schrader	-	-	-	-	-	-	-	1	-	11	12	8	9	5	6	5	5	10	3	-	-		
<i>A. octonarius</i> Ehr.	1	-	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Actinocyclus senarius</i> (Ehr.) Ehr.	2	3	1	1	7	4	+	1	3	9	1	2	3	2	4	3	10	2	1	-	+		
<i>A. vulgaris</i> Schum.	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Arachnoidiscus</i> spp.	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Azpeitia endoi</i> (Kanaya) P.A.Sims et G.A.Fryxell	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	+	1	-	-	-	-	1	+	-	-	-		
<i>A. vetustissima</i> (Pant.) P.A.Sims	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	3	+	4	+	1	1	+	3	-	-	-		
<i>Cavitatus exiguus</i> Yanagisawa et Akiba	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>C. jouseanus</i> (Sheshukova) D.M.Williams	+	+	+	+	1	8	4	4	2	6	4	3	2	3	1	-	1	+	-	+	-		
<i>C. linearis</i> (Sheshukova) Akiba et Yanagisawa	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>C. miocenicus</i> (Schrader) Akiba et Yanagisawa	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	+	1	-	-	-		
<i>Cocconeis antiqua</i> Temp. et Brun	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>C. vitrea</i> Brun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Coscinodiscus marginatus</i> Ehr.	1	1	-	-	3	1	6	-	1	2	2	8	7	5	1	-	3	-	-	-	+		
<i>Crucidenticula nicobarica</i> (Grunow) Akiba et Yanagisawa [long]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	+	+	1	+	2	-	+	-	-	-		
<i>C. paranicobarica</i> var. <i>paranicobarica</i> Akiba et Yanagisawa	-	-	-	-	-	+	2	1	1	8	8	+	7	7	1	+	+	-	-	-	-		
Girdle view of <i>Crucidenticula</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	+	+	3	+	-	+	-	-	-	-		
<i>Cymatosira debyi</i> Temp. et Brun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Denticulopsis lauta</i> (Bailey) Simonsen	-	-	-	-	-	6	1	4	8	17	2	5	1	2	-	2	1	-	2	-	-		
<i>D. ichikawae</i> Yanagisawa et Akiba	-	-	-	-	-	2	1	4	1	-	+	1	1	1	-	-	2	+	-	-	-		
Girdle view of <i>D. lauta</i> group	-	-	-	-	-	8	1	4	8	11	2	5	1	5	+	3	2	-	1	-	-		
<i>Denticulopsis tanimurae</i> Yanagisawa et Akiba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	6	2	11	10	2	6	3	4	2	-	-		
<i>D. praehyalina</i> Tanimura	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	4	7	2	10	3	26	11	9	+	-	-		
<i>D. hyalina</i> (Schrader) Simonsen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26	10	7	37	9	26	36		
<i>D. miocenicica</i> (Schrader) Simonsen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-		
Girdle view of <i>D. hyalina</i> group	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	3	2	5	13	17	7	16	1	9	5		
<i>Denticulopsis simonsenii</i> Yanagisawa et Akiba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-		
<i>Diploneis smithii</i> (Bréb.) Cleve	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-		
<i>Eucampia</i> sp. A (= <i>Hemiaulus polymorphus</i> Grunow)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-		
<i>Goniothecium rogersii</i> Ehr.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-		
<i>Grammatophora</i> spp.	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Hemiaulus bipons</i> (Ehr.) Grunow	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Hyalodiscus obsoletus</i> Sheshukova	-	1	1	-	-	+	+	+	-	-	+	1	-	1	-	1	1	-	2	-	-		
<i>Ikebea tenuis</i> (Brun) Akiba	10	4	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	1	7	+	15	+	2		
<i>Kisseleviella carina</i> Sheshukova	10	14	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-		
<i>Koizumia adaroi</i> (Azpeitia) Yanagisawa	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Mediaria splendida</i> Sheshukova	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	1	-	+	-	+	-	-	-	-		
<i>Melosira sol</i> (Ehr.) Kützing	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	+		
<i>Nitzschia challengerii</i> Schrader	-	-	-	-	-	+	+	+	1	+	+	2	1	2	+	+	1	1	-	-	-		
<i>N. grunowii</i> Hasle	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+		
<i>N. heteropolica</i> Schrader	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+		
<i>Odontella aurita</i> (Lyngb.) J.A. Agardh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Paralia sulcata</i> (Ehr.) Cleve	1	-	1	4	5	-	1	-	-	2	6	-	3	1	1	-	-	-	+	+	+		
<i>Proboscia alata</i> (Bright.) Sundstöm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	+		
<i>P. interposita</i> (Hajós) Jordan et Priddle	-	-	-	-	-	1	-	1	1	-	1	-	1	-	3	1	+	+	-	-	-		
<i>Pseudodimerogramma elegans</i> Schrader	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>P. elliptica</i> Schrader	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-		
<i>Rhizosolenia miocenicica</i> Schrader	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-		
<i>R. styliformis</i> Brightw.	-	3	-	-	-	-	2	-	-	-	1	-	+	3	1	-	-	-	-	-	-		
<i>Rouxia californica</i> Perag.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1	+	-	-	-		
<i>R. naviculoides</i> Schrader	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+		
<i>Stellarima microtrias</i> (Ehr.) Hasle et P.A.Sims	2	3	-	-	-	2	-	-	-	-	2	+	4	3	+	-	+	-	-	-	-		
<i>Stephanogonia hanzawae</i> Kanaya	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-		
<i>Stephanopyxis</i> spp.	8	9	12	24	9	8	6	+	+	3	-	-	2	-	1	1	6	1	5	1	1		
<i>Thalassionema</i> cf. <i>hirosakiensis</i> (Kanaya) Schrader	-	-	-	-	2	-	1	8	-	-	11	1	-	-	12	-	3	3	-	1	-		
<i>T. nitzschoides</i> (Grunow) Mereschkowsky	8	5	5	11	10	5	5	9	14	13	24	32	30	18	14	12	11	11	4	5	3		
<i>T. obtusa</i> (Grunow) G.W. Andrews	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	1	+	-	+	2	2	1	-	-	-		
<i>Thalassiosira grunowii</i> Akiba et Yanagisawa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-		
<i>T. sp.</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve et Grunow	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	1	1	1	+	1	1	+	-	-	-	-		
<i>Triceratium condecorum</i> Brightw.	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Trochosira spinosa</i> Kitton	3	1	3	1	1	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-		
<i>Aulacoseira</i> spp.	2	3	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Total number of valves counted	50	50	26	50	50	50	50	50	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	50	50	50		
Resting spore of <i>Chaetoceros</i>	279	274	5	7	62	22	15	12	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	22	12	

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

付表5 層序セクションS09の珪藻化石産出表。柱状図は第12図に、層序セクションの位置は付図9Aに、試料採取位置は付図10に示す。

Table A5 Occurrence chart of diatoms in the stratigraphic section S09. Columnar section of the stratigraphic section is presented in Fig. 12. Locations of the stratigraphic sections and samples are shown in Figs. A9A and A10, respectively.

Section	S09														
	T5		T6								T7				
Unit	4A		4Ba								4Bb				
Diatom zone or subzone (NPD)	4A7		4Ba								4Bb				
Diatom interval	4A7		4Ba								4Bb				
Sample number	S09-		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
Original sample number (JOB)	1860	1859	1858	1857	1856	1854	1853	1852	1851	1850	1849	1848	1847		
Preservation	M	M	M	M	M	M	M	P	M	P	P	M	P		
Abundance	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
<i>Actinocyclus ingens</i> f. <i>ingens</i> (Rattray) Whiting et Schrader	8	5	13	2	+	3	2	1	1	1		1	1	1	
<i>A. ingens</i> f. <i>nodus</i> (Baldauf) Whiting et Schrader	-	4	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	+	1	
<i>A. ingens</i> f. <i>planus</i> Whiting et Schrader	1	1	2	-	+	-	-	-	3	1		-	-	+	
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehr.) Ehr.	-	1	-	2	+	1	1	-	-	1		2	1	-	
<i>Azpeitia endoi</i> (Kanaya) P.A.Sims et G.A.Fryxell	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-		-	-	1	
<i>A. vetustissima</i> (Pant.) P.A.Sims	-	+	3	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	
<i>Cavitatus jouseanus</i> (Sheshukova) D.M.Williams	2	1	+	-	+	-	-	-	1	-		-	-	-	
<i>C. miocenicus</i> (Schrader) Akiba et Yanagisawa	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	
<i>Coscinodiscus lewisianus</i> Grev.	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-		1	-	-	
<i>C. marginatus</i> Ehr.	1	1	-	-	-	-	-	-	1	-		-	-	-	
<i>Crucidentricula nicobarica</i> (Grunow) Akiba et Yanagisawa	1	+	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	+	
<i>C. paranicobarica</i> var. <i>paranicobarica</i> Akiba et Yanagisawa	2	1	7	-	+	-	-	-	-	-		-	-	-	
<i>Delphineis surirella</i> (Ehr.) G.W.Andrews	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-		1	-	-	
<i>Denticulopsis lauta</i> (Bailey) Simonsen	1	2	1	1	-	3	+	1	-	-		-	1	-	
<i>D. ichikawae</i> Yanagisawa et Akiba	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	
Girdle view of <i>D. lauta</i> group	5	5	3	-	-	-	3	+	-	3		1	-	-	
<i>Denticulopsis tanimurae</i> Yanagisawa et Akiba	1	2	+	6	7	-	3	-	1	3		-	-	-	
<i>D. praehyalina</i> Tanimura	5	4	5	5	1	-	2	2	+	-		-	-	-	
<i>D. hyalina</i> (Schrader) Simonsen	-	-	1	13	20	19	24	24	23	29		22	25	28	
Girdle view of <i>D. hyalina</i> group	6	4	+	10	9	15	7	16	16	2		10	8	11	
<i>Goniothecium rogersii</i> Ehr.	-	+	-	-	-	-	-	-	-	1		-	-	-	
<i>Hemiaulus bipons</i> (Ehr.) Grunow	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	
<i>Hyalodiscus obsoletus</i> Sheshukova	-	-	1	1	-	1	-	-	2	-		-	-	-	
<i>Ikebea tenuis</i> (Brun) Akiba	-	-	-	+	6	2	3	2	-	5		3	1	+	
<i>Kisseleviella carina</i> Sheshukova	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-		-	-	-	
<i>Mediaria splendida</i> Sheshukova	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	
<i>Melosira sol</i> (Ehr.) Kützing	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-		-	-	-	
<i>Neodelphineis pelagica</i> Takano	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	
<i>Nitzschia grunowii</i> Hasle	-	-	-	1	-	-	1	+	-	-		-	-	-	
<i>N. heteropolica</i> Schrader	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	+	
<i>Paralia sulcata</i> (Ehr.) Cleve	3	+	-	-	3	3	-	+	+	1		-	1	2	
<i>Rhaphoneis parilis</i> Hanna	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		1	-	-	
<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>hiemalis</i> Gran	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	
<i>R. styliformis</i> Brightw.	-	-	-	1	1	-	1	-	-	-		1	-	-	
<i>Stellarima stellaris</i> (Roper) Hasle et P.A.Sims	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		1	-	1	
<i>Stephanopyxis</i> spp.	-	5	-	-	1	2	1	1	1	3		3	9	+	
<i>Thalassionema</i> cf. <i>hirosakiensis</i> (Kanaya) Schrader	+	1	1	-	-	-	1	-	-	-		-	-	-	
<i>T. nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky	14	13	8	3	1	1	1	1	+	-		2	2	4	
<i>T. obtusa</i> (Grunow) G.W.Andrews	-	+	1	-	+	-	-	-	-	-		-	-	-	
<i>Thalassiosira grunowii</i> Akiba et Yanagisawa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	1	
<i>T. leptopus</i> (Grunow) Hasle et G.A.Fryxell	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	
<i>T. praeyabei</i> (Schrader) Akiba et Yanagisawa	-	-	-	2	1	-	-	1	+	-		1	1	-	
<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve et Grunow	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-		-	-	+	
<i>Trochosira spinosa</i> Kitton	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-		-	-	+	
Total number of valves counted	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50		50	50	50	
Resting spore of <i>Chaetoceros</i>	11	17	-	-	-	5	3	-	-	15		-	5	-	

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

北茨城・高萩地域の新第三系多賀層群と日立層群（柳沢・安藤）

付表6 層序セクションS10の珪藻化石産出表. 柱状図は第12図に, 層序セクションの位置は付図9Aに, 試料採取位置は付図10に示す.

Table A6 Occurrence chart of diatoms in the stratigraphic section S10. Columnar section of the stratigraphic section is presented in Fig. 12. Locations of the stratigraphic section and samples are shown in Figs. A9A and A10, respectively.

Section	S10																																
	T7																T8																
Unit	4Bb																5A																
Diatom zone or subzone (NPD)	4Bb																5A																
Diatom interval	4Bb																5A																
Sample number	S10-	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Original sample number (JOB)		1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	4334	4333	4332	4331	4330	4329	4328	4327	4326	3791	3790	3789	3788	3787	3786
Preservation		G	M	M	M	M	P	M	M	M	P	P	M	P	P	M	M	P	M	M	P	M	M	M	M	M	M	M	P	P	P	M	P
Abundance		A	A	A	C	A	A	A	A	C	C	A	C	A	A	C	C	C	A	A	C	A	C	C	C	A	A	A	A	C	A	A	A
<i>Actinocyclus ellipticus</i> Grunow		-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>A. ingens f. ingens</i> (Rattray) Whiting et Schrader		9	9	6	8	4	7	10	14	15	3	7	5	5	12	16	10	20	9	2	8	3	11	11	9	3	15	3	10	4	1	11	14
<i>A. ingens f. nodus</i> (Baldauf) Whiting et Schrader		-	1	+	2	+	2	5	-	4	+	2	-	+	+	+	-	3	-	-	+	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-
<i>A. ingens f. planus</i> Whiting et Schrader		6	-	-	1	-	-	-	-	2	-	-	8	-	1	10	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	2
<i>A. sp. A</i>		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehr.) Ehr.		1	+	-	3	1	+	1	-	+	+	2	+	1	+	-	1	1	2	3	1	1	2	1	1	1	-	3	+	3	-	3	1
<i>Arachnoidiscus</i> spp.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Azpeitia endoi</i> (Kanaya) P.A.Sims et G.A.Fryxell		-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1	-	-	+	-	-	-	-	1
<i>A. vetustissima</i> (Pant.) P.A.Sims		-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cavitatus jouseanus</i> (Sheshukova) D.M.Williams		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	1
<i>C. miocenicus</i> (Schrader) Akiba et Yanagisawa		-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Cestodiscus peplum</i> Brun		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Cocconies scutellum</i> Ehr.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. vitrea</i> Brun		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Coscinodiscus lewisianus</i> Grev.		-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. marginatus</i> Ehr.		1	1	-	-	-	+	2	-	1	-	1	-	-	+	2	-	-	-	-	1	1	-	1	1	-	1	1	1	1	+	+	5
<i>C. radiatus</i> Ehr.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>Cladogramma dubium</i> Lohman		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Crucidentricula nicobarica</i> (Grunow) Akiba et Yanagisawa		-	-	-	-	-	-	-	1	+	-	-	1	-	1	-	-	-	8	11	1	12	4	2	2	9	1	1	2	4	7	2	1
<i>C. punctata</i> (Schrader) Akiba et Yanagisawa		-	-	-	+	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Delphineis surirella</i> (Ehr.) G.W.Andrews		-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	+	3	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Denticulopsis lauta</i> (Bailey) Simonsen		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>D. praedimorpha</i> var. <i>prima</i> Watanabe et Yanagisawa		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	+	-	-
<i>D. hyalina</i> (Schrader) Simonsen		54	26	35	21	30	31	15	23	11	37	20	53	27	21	35	24	14	2	-	1	-	-	-	1	-	-	3	+	1	+	-	-
Girdle view of <i>D. hyalina</i> group		17	9	6	5	5	2	10	5	3	6	6	12	13	2	13	+	3	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Denticulopsis simonsenii</i> Yanagisawa et Akiba		+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	1	+	+	-	5	3	4	8	1	2	4	3	4	4	11	7	25	13	7
<i>D. vulgaris</i> (Okuno) Yanagisawa et Akiba		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	1	-	+	+	1	-	3	1	-
S-type girdle view of <i>D. simonsenii</i> group		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	3	2	3	3	+	+	3	1	4	5	6	7	8	8
<i>Eucampia</i> sp. A (= <i>Hemiaulus polymorphus</i> Grunow)		-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-
<i>Goniothecium rogersii</i> Ehr.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Grammatophora</i> spp.		-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Hyalodiscus obsoletus</i> Sheshukova		-	-	-	-	+	-	+	-	1	1	-	-	-	1	2	-	-	-	1	-	+	-	-	-	-	-	+	1	-	-	-	1
<i>Ikebea tenuis</i> (Brun) Akiba		1	2	1	+	-	+	1	2	+	+	3	1	1	-	3	+	2	2	3	5	1	8	3	1	+	5	2	2	3	+	4	+
<i>Mediaria splendida</i> Sheshukova		+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	1	-	+	-	+
<i>Nitzschia challengerii</i> Schrader		-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	1	-	-	1	2	+	+	1	-	+	+	+
<i>N. grunowii</i> Hasle		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	+	-	-	-	1	+	+	+	-	-	1	-
<i>N. heteropolica</i> Schrader		+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	+	-	-	1	+	+	+	-	+
<i>Paralia sulcata</i> (Ehr.) Cleve		-	+	+	4	4	3	2	2	2	1	2	1	-	6	1	10	3	6	8	5	3	9	8	16	10	13	5	2	2	2	+	3
<i>Proboscia alata</i> (Bright.) Sundstöm		1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	2
<i>P. interposita</i> (Hajós) Jordan et Priddle		-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pterotheca subulata</i> Grunow		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Rhaphoneis</i> sp.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhizosolenia miocenica</i> Schrader		-	-	1	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	1	-	-	-	+	-	-
<i>R. styliformis</i> Brightw.		-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	1	-	-	-	1
<i>Rouxia naviculoides</i> Schrader		1	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
<i>Stellarima microtrias</i> (Ehr.) Hasle et P.A.Sims		-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+
<i>Stephanogonia hanzawae</i> Kanaya		-	-	-	-	1	1	1	-	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stephanopyxis</i> spp.		1	2	-	1	1	2	1	1	4	1	1	-	1	2	1	2	-	-	-	5	3	-	12	1	1	1	2	5	1	+	1	1
<i>Stictodiscus kittonianus</i> Grev.		+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Thalassionema</i> cf. <i>hirosakiensis</i> (Kanaya) Schrader		-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	1	2	1	+	3	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>T. nitzschoides</i> (Grunow) Mereschkowsky		8	+	+	3	3	1	2	2	1	+	3	15	1	1	10	2	2	5	13	11	14	10	6	10	10	7	15	5	10	5	4	2
<i>T. obtusa</i> (Grunow) G.W.Andrews		-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Thalassiosira grunowii</i> Akiba et Yanagisawa	</																																

付表10 層序セクションS16の珪藻化石産出表。ルートは第20図に、柱状図は第22図に示す。

Table A10 Occurrence chart of diatoms in the stratigraphic section S16. Route of this section is shown in Fig. 20. Columnar section of the stratigraphic section is presented in Fig. 22.

Section	S16					
Formation or unit	T11					
Diatom zone (NPD)	5C					
Diatom interval	5C1				5C2	
Sample number of this study	S16-	01	02	03	04	05 06
Original sample number (JOB-)		4832	4831	4838	4834	4836 4837
Preservation		P	P	P	P	P G
Abundance		R	C	R	C	C A
<i>A. ingens</i> f. <i>ingens</i> (Rattray) Whiting et Schrader		1	-	3	-	3 1
<i>A. ingens</i> f. <i>planus</i> Whiting et Schrader		-	1	-	-	- -
<i>A. octonarius</i> Ehr.		-	1	-	-	- -
<i>A. sp. A</i>		-	-	1	-	- 1
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehr.) Ehr.		7	1	1	3	+ +
<i>Adoneis pacifica</i> G.W.Andrews et Rivera		-	-	+	-	- -
<i>Azpeitia endoi</i> (Kanaya) P.A.Sims et G.A.Fryxell		-	3	-	1	1 1
<i>A. nodulifera</i> (A.W.F.Schmidt) G.A.Fryxell et P.A.Sims		-	+	1	-	- 2
<i>A. vetustissima</i> (Pant.) P.A.Sims		-	-	-	+	2 1
<i>Cavitatus jouseanus</i> (Sheshukova) D.M.Williams		-	-	-	-	- +
<i>C. miocenicus</i> (Schrader) Akiba et Yanagisawa		+	+	+	-	1 +
<i>Coscinodiscus marginatus</i> Ehr.		1	+	1	-	2 -
<i>Denticulopsis crassa</i> Yanagisawa et Akiba		-	-	1	-	- +
<i>D. hustedtii</i> (Simonsen et Kanaya) Simonsen		-	-	-	-	1 5
<i>D. simonsenii</i> Yanagisawa et Akiba		1	+	4	1	4 7
<i>D. vulgaris</i> (Okuno) Yanagisawa et Akiba		2	3	3	+	3 3
S-type girdle view of <i>D. simonsenii</i> group		1	3	4	1	11 6
<i>Grammatophora</i> spp.		+	-	+	-	- +
<i>Hemidiscus cuneiformis</i> G.G.Wall.		-	-	-	-	- +
<i>Hyalodiscus obsoletus</i> Sheshukova		-	-	1	-	+ +
<i>Ikebea tenuis</i> (Brun) Akiba		-	-	+	2	2 -
<i>Nitzschia heteropolica</i> Schrader		+	+	+	-	1 -
<i>Paralia sulcata</i> (Ehr.) Cleve		3	4	2	-	- 2
<i>Proboscis barboi</i> (Brun) Jordan et Priddle		-	-	-	2	5 -
<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>hiemalis</i> Gran		-	-	-	+	1 +
<i>R. miocenicus</i> Schrader		-	-	-	1	- -
<i>R. styliformis</i> Brightw.		1	1	-	2	+ -
<i>Stellarima microtrias</i> (Ehr.) Hasle et P.A.Sims		-	1	-	-	1 +
<i>Stephanogonia hanzawae</i> Kanaya		-	2	2	-	+ -
<i>Stephanopyxis</i> spp.		3	+	5	3	2 -
<i>Thalassionema hirosakiensis</i> (Kanaya) Schrader		12	13	8	19	2 -
<i>T. nitzschoides</i> (Grunow) Mereschkowsky		18	16	12	15	7 21
<i>Thalassiosira grunowii</i> Akiba et Yanagisawa		-	1	-	-	- +
<i>T. leptopus</i> (Grunow) Hasle et G.A.Fryxell		-	-	-	-	+ -
<i>T. yabei</i> (Kanaya) Akiba et Yanagisawa		+	-	1	-	1 +
<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve et Grunow		-	-	-	-	- +
Total number of valves counted		50	50	50	50	50 50
Resting spore of <i>Chaetoceros</i>		17	12	13	11	32 3

Preservation, G; good, M: moderate, P: poor. Abundance, A: abundant, C: common, R: rare.

付表12 層序セクションS18における城戸場層の珪藻化石産出表. 柱状図は第31図に, 層序セクションのルートは第26図に, 試料採取位置は付図9Bに示す.

Table A12 Occurrence chart of diatoms from the Kidoba Formation in the stratigraphic section S18. Columnar section of the stratigraphic section is presented in Fig. 31. Route of the stratigraphic section and locations of samples are shown in Figs. 26 and A9B, respectively.

Section	S18										
	Kidoba Formation										
	NPD3B						NPD4A				
Diatom zone	3B1						3B2				
Diatom interval	3B1						4A1				
Sample number	S18-	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Original sample number (JOB)		2033	4779	4781	2032	4782	2020	4794	4795	4895	4894
Preservation		P	G	G	P	M	M	G	G	G	M
Abundance		C	A	A	C	A	A	A	A	A	A
<i>Actinocyclus ingens</i> f. <i>ingens</i> (Rattray) Whiting et Schrader		8	1	1	2	4	2	+	3	+	1
<i>Actinocyclus ingens</i> f. <i>planus</i> Whiting et Schrader		-	+	-	-	1	+	-	-	-	-
<i>Actinocyclus octonarius</i> Ehr.		+	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>Actinocyclus</i> sp. A		+	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Actinocyclus senarius</i> (Ehr.) Ehr.		3	1	1	4	3	5	+	2	3	+
<i>Azpetia endoi</i> (Kanaya) P.A.Sims et G.A.Fryxell		-	-	-	-	2	+	+	-	+	-
<i>Azpetia vetustissima</i> (Pant.) P.A.Sims		-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Cavitatus exiguus</i> Yanagisawa et Akiba		-	-	-	-	-	-	1	+	-	-
<i>Cavitatus jouseanus</i> (Sheshukova) D.M.Williams		1	-	+	1	+	1	3	4	+	3
<i>Cavitatus miocenicus</i> (Schrader) Akiba et Yanagisawa		+	-	-	+	-	-	+	-	-	-
<i>Cestodiscus peplum</i> Brun		-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Coscinodiscus lewisianus</i> Grev.		-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Coscinodiscus marginatus</i> Ehr.		-	-	-	-	1	+	-	-	+	-
<i>Cymatosira</i> cf. <i>loretziana</i> Grunow		-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Delphineis miocenica</i> (Schrader) G.W.Andrews		1	2	2	2	2	4	1	+	+	-
<i>Delphineis penelliptica</i> G.W.Andrews		-	+	+	-	-	-	+	+	-	-
<i>Denticulopsis lauta</i> (Bailey) Simonsen		-	-	-	-	-	-	8	15	14	12
<i>Denticulopsis praelauta</i> Akiba et Koizumi		+	8	14	1	7	2	22	7	19	6
Girdle view of <i>D. lauta</i> group		-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
<i>Diploneis bombus</i> Ehr.		-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eucampia</i> sp. A (= <i>Hemiaulus polymorphus</i> Grunow)		-	+	-	-	-	1	-	-	-	1
<i>Grammatophora</i> spp.		-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ikebea tenuis</i> (Brun) Akiba		4	-	-	-	-	-	-	1	-	-
<i>Kisseleviella carina</i> Sheshukova		5	1	+	1	-	-	+	+	5	1
<i>Mediaria splendida</i> Sheshukova		-	-	+	-	1	-	+	-	-	-
<i>Melosira sol</i> (Ehr.) Kützing		-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Nitzschia challengerii</i> Schrader		+	-	+	-	+	-	2	1	-	-
<i>Nitzschia maleinterpretaria</i>		-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Paralia sulcata</i> (Ehr.) Cleve		3	+	+	1	+	5	-	1	-	2
<i>Planifolia tribranchiata</i> Ernissee		-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Porosira glacialis</i> (Grunow) Jørg.		-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
<i>Raphidodiscus marylandicus</i> Christian		1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhaphoneis angularis</i>		-	-	-	-	+	1	-	-	-	-
<i>Rhaphoneis parilis</i> Hanna		-	-	-	-	1	1	-	-	-	+
<i>Rhizosolenia miocenica</i> Schrader		1	-	-	-	1	+	-	-	-	-
<i>Rouxia naviculoides</i> Schrader		-	-	-	-	-	-	-	+	+	-
<i>Stellarima microtrias</i> (Ehr.) Hasle et P.A.Sims		-	+	-	1	-	+	+	-	-	-
<i>Stephanopyxis</i> spp.		9	+	-	-	3	3	+	2	1	+
<i>Thalassionema</i> cf. <i>hirosakiensis</i> (Kanaya) Schrader		3	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky		11	35	29	33	17	14	13	11	7	24
<i>Thalassionema obtusa</i> (Grunow) G.W.Andrews		-	1	2	1	-	-	-	-	-	-
<i>Thalassiosira leptopus</i> (Grunow) Hasle et G.A.Fryxell		-	-	-	-	-	1	-	1	-	-
<i>Thalassiosira mizunamiensis</i> Yanagisawa		-	-	+	-	-	-	-	-	-	+
<i>Trochosira spinosa</i> Kitton		-	1	1	2	6	9	-	-	-	-
Total number of valves counted		50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Resting spore of <i>Chaetoceros</i>		35	9	6	27	10	12	7	11	3	8

Preservation, G; good, M; moderate, P; poor. Abundance, A; abundant, C; common, R; rare.

付表16 層序セクションS19における高戸ユニットの珪藻化石産出表. 柱状図は第32図に, 層序セクションの位置は第26図に, 試料採取位置は付図9Cに示す.

Table A16 Occurrence chart of diatoms from the Takado Unit n in the stratigraphic section S19. Columnar section of the stratigraphic section is presented in Fig. 32. Location of this stratigraphic section is shown in Fig. 26. Locations of samples are shown in Fig. A9C.

Section	S19				
Unit	Takado Unit				
Diatom zone	NPD6B				
Diatom interval	6B1				
Sample number	S19-	77	78	79	80
Original sample number (JOB)		4116	4117	533	534
Preservation		P	P	P	P
Abundance		R	R	R	R
<i>Actinocyclus ingens</i> f. <i>ingens</i> (Rattray) Whiting et Schrader		1	10	7	11
<i>A. ingens</i> f. <i>nodus</i> (Baldauf) Whiting et Schrader		-	2	-	-
<i>A. ingens</i> f. <i>planus</i> Whiting et Schrader		5	+	1	-
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehr.) Ehr.		-	+	3	4
<i>Azpeitia endoi</i> (Kanaya) P.A.Sims et G.A.Fryxell		-	-	-	+
<i>A. vetustissima</i> (Pant.) P.A.Sims		-	1	2	-
<i>Cavitatus jouseanus</i> (Sheshukova) D.M.Williams		+	1	+	1
<i>C. lanceolatus</i> Akiba et Hiramatsu		-	+	-	+
<i>Coscinodiscus marginatus</i> Ehr.		1	6	-	3
<i>Crucidentricula paranicobarica</i> var. <i>paranicobarica</i> Akiba et Yanagisawa		-	1	-	-
<i>Delphineis penelliptica</i> G.W.Andrews		-	-	1	-
<i>D. surirella</i> (Ehr.) G.W.Andrews		-	-	-	+
<i>Denticulopsis hyalina</i> (Schrader) Simonsen		-	1	+	+
<i>D. ichikawae</i> Yanagisawa et Akiba		2	1	+	+
<i>D. lauta</i> (Bailey) Simonsen		2	3	2	4
<i>D. praelauta</i> Akiba et Koizumi		1	-	8	-
<i>D. vulgaris</i> (Okuno) Yanagisawa et Akiba		-	+	+	+
Girdle view of <i>D. lauta</i> group		-	-	1	-
<i>Grammatophora</i> spp.		-	1	-	-
<i>Hyalodiscus obsoletus</i> Sheshukova		1	-	-	-
<i>Ikebea tenuis</i> (Brun) Akiba		-	-	-	1
<i>Nitzschia</i> cf. <i>porteri</i> Frenguelli		-	+	-	-
<i>Paralia sulcata</i> (Ehr.) Cleve		2	3	+	1
<i>Rhizosolenia styliformis</i> Brightw.		-	-	-	1
<i>Stellarima microtrias</i> (Ehr.) Hasle et P.A.Sims		1	-	1	-
<i>Stephanogonia hanzawae</i> Kanaya		-	1	-	-
<i>Stephanopyxis</i> spp.		8	9	10	12
<i>Thalassionema hirosakiensis</i> (Kanaya) Schrader		-	-	+	-
<i>T. nitzschoides</i> (Grunow) Mereschkowsky		6	7	14	8
<i>T. obtusa</i> (Grunow) G.W.Andrews		-	+	-	-
<i>Thalassiosira minutissima</i> Oreshkina		-	1	-	4
<i>T. sp.</i> (matsushima)		-	+	-	-
<i>Aulacoseira</i> spp.		-	2	-	-
Total number of valves counted		30	50	50	50
Resting spore of <i>Chaetoceros</i>		9	8	9	9

Preservation, P: poor. Abundance, R: rare.

付表18 層序セクションS23における小貝ヶ浜ユニットのサブユニット2の珪藻化石産出表. 柱状図は第38図に、層序セクションの位置は第27図に、試料採取位置は付図9Dに示す。

Table A18 Occurrence chart of diatoms from the subunit 2 of the Kokaigahama Unit in the stratigraphic section S23. Columnar section of the stratigraphic section is presented in Fig. 38. Location of this stratigraphic section is shown in Fig. 27. Locations of samples are shown in Fig. A9D.

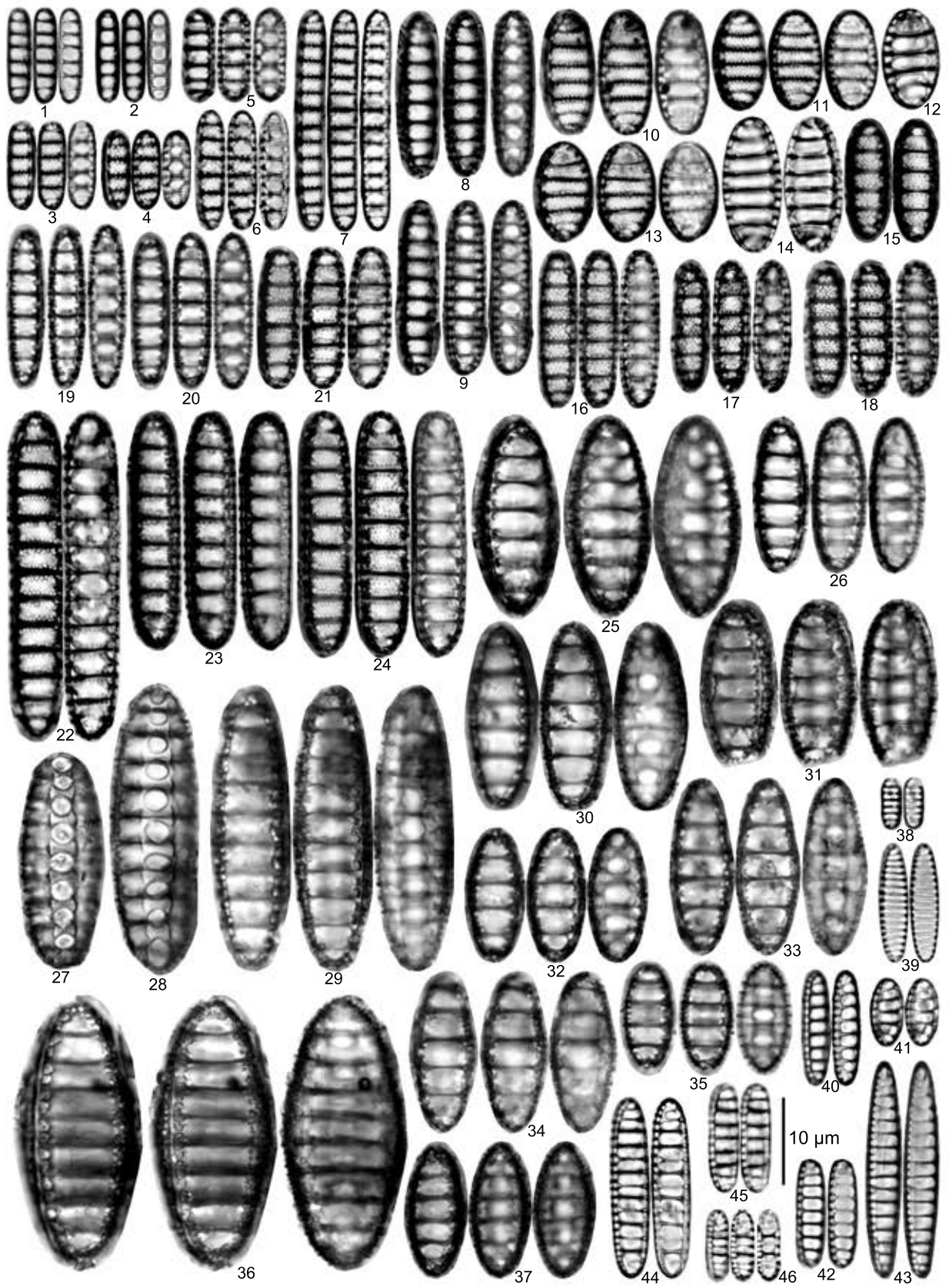
Section	S23													
	Kokaigahama Unit (Subunit 2)													
	NPD7A (<i>Rouxia californica</i> Zone)													
Diatom interval	7A1													
Sample number	S23-01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Original sample number (JOB)	4108	4109	2296	2295	2294	1347	1348	2292	2293	5740	5739	5738	1334	2040
Preservation	P	P	P	P	P	P	M	P	P	P	P	P	P	P
Abundance	R	R	R	R	R	C	C	R	R	C	C	R	R	R
<i>Actinocyclus ellipticus</i> Grunow	1	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+
<i>A. ingens</i> f. <i>ingens</i> (Rattray) Whiting et Schrader	1	-	1	4	1	5	1	1	3	1	1	+	9	2
<i>A. ingens</i> f. <i>nodus</i> (Baldauf) Whiting et Schrader	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	1	-	+
<i>A. spp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	1	-	-	+
<i>Actinopychus senarius</i> (Ehr.) Ehr.	3	1	2	-	1	4	3	+	1	+	-	1	1	+
<i>A. vulgaris</i> Schum.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+
<i>Adoneis pacifica</i> G.W.Andrews et Rivera	-	-	-	-	-	+	-	-	1	-	-	-	2	-
<i>Azpeitia endoi</i> (Kanaya) P.A.Sims et G.A.Fryxell	-	-	-	+	+	1	-	-	1	+	+	1	-	-
<i>A. cf. nodulifera</i> (A.W.F.Schmidt) G.A.Fryxell et P.A.Sims	1	-	-	-	-	1	-	-	1	+	+	1	1	+
<i>Cavitatus jouseanus</i> (Sheshukova) D.M.Williams	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+
<i>C. lanceolatus</i> Akiba et Hiramatsu	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>C. linearis</i> (Sheshukova) Akiba et Yanagisawa	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	1	+
<i>Cocconeis</i> spp.	-	1	+	-	-	+	-	+	1	-	1	+	-	-
<i>Cocconeis levisianus</i> Grev.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>C. marginatus</i> Ehr.	4	2	2	4	5	1	5	3	7	9	3	-	2	-
<i>C. radiatus</i> Ehr.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-
<i>Crucidentacula parnicobarica</i> var. <i>parnicobarica</i> Akiba et Yanagisawa	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Delphineis angustata</i> (Pant.) G.W.Andrews	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
<i>D. surirella</i> (Ehr.) G.W.Andrews	-	-	+	1	1	1	-	+	1	+	-	1	-	+
<i>D. ichikawae</i> Yanagisawa et Akiba	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	2	+
<i>D. katayamae</i> Maruyama	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
<i>D. lauta</i> (Bailey) Simonsen	+	-	1	+	-	+	+	+	+	+	+	-	5	+
<i>D. praedimorpha</i> var. <i>minor</i> Yanagisawa et Akiba	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>D. praedimorpha</i> var. <i>praedimorpha</i> Barron ex Akiba	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>D. praelaeta</i> Akiba et Koizumi	-	-	-	1	+	-	+	+	-	+	-	-	1	+
<i>D. simonsenii</i> Yanagisawa et Akiba	-	-	-	+	1	-	-	+	-	+	+	-	+	-
<i>D. tanimurae</i> Yanagisawa et Akiba	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>D. vulgaris</i> (Okuno) Yanagisawa et Akiba	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+	-	-	+	-
Girdle view of <i>D. lauta</i> group	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Grammatophora</i> spp.	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+
<i>Hemidiscus cuneiformis</i> G.G.Wall.	-	+	-	-	1	-	+	+	-	+	1	-	-	+
<i>Hyalodiscus obsoletus</i> Sheshukova	-	-	1	+	-	+	+	+	-	+	1	-	2	+
<i>Ikebea tenuis</i> (Brun) Akiba	-	+	-	-	2	2	2	-	-	-	-	2	-	-
<i>Koizumia akibae</i> Yanagisawa	-	-	1	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-
<i>M. splendida</i> Sheshukova	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Melosira sol</i> (Ehr.) Kützing	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	1	+	+	-
<i>Nitzschia challengerii</i> Schrader	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-
<i>Fragilariopsis fossilis</i> (Freng.) Medlin et P.A.Sims	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-	-
<i>Nitzschia grunowii</i> Hasle	1	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+
<i>Alveus marinus</i> (Grunow) Kaczmarek et G.A.Fryxell	-	-	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-
<i>Nitzschia plicocena</i> (Brun) Merz	1	1	+	-	-	+	-	+	+	+	+	-	+	+
<i>N. reinholdii</i> Kanaya ex Barron et Baldauf	-	-	-	-	-	+	1	-	1	+	+	-	+	+
<i>N. rolandii</i> Schrader emend. Koizumi	-	1	+	+	-	+	+	1	-	-	1	-	-	-
<i>Paralia sulcata</i> (Ehr.) Cleve	20	13	32	21	23	47	40	21	36	27	18	7	39	39
<i>Proboscia alata</i> (Bright.) Sundstöm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>P. barboi</i> (Brun) Jordan et Priddle	-	-	-	+	+	1	+	+	-	+	1	1	1	-
<i>P. interposita</i> (Hajós) Jordan et Priddle	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pseudodimerogramma elegans</i> Schrader	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhabdonema japonicum</i> Temp. et Brun	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>R. amphicerus</i> Ehr.	1	-	-	-	-	+	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>R. angularis</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	1	-	-	-	+
<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>hiemalis</i> Gran	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>R. miocenica</i> Schrader	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>R. styliformis</i> Brightw.	1	-	-	-	1	1	-	1	+	+	+	-	+	-
<i>R. sp. B (costa)</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Rouxia californica</i> Perag.	-	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
<i>Stellarima microtrias</i> (Ehr.) Hasle et P.A.Sims	-	1	+	1	-	-	+	+	1	-	1	-	1	+
<i>Stephanopyxis</i> spp.	2	-	3	9	1	-	-	1	1	6	1	2	1	+
<i>Thalassionema hiroakiensis</i> (Kanaya) Schrader	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-
<i>T. nitzschioides</i> (Grunow) Mereschowsky	10	25	5	4	9	32	43	19	37	2	16	29	21	8
<i>Thalassiosira antiqua</i> (Grunow) Cleve-Euler	1	4	-	1	2	+	1	2	1	1	-	-	+	+
<i>T. leptopus</i> (Grunow) Hasle et G.A.Fryxell	+	-	-	-	+	2	+	-	-	+	+	+	1	+
<i>T. manifesta</i> Sheshukova	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	1	+
<i>T. marujamica</i> Sheshukova	-	1	+	-	-	2	2	+	+	-	1	-	1	+
<i>T. nidulus</i> Jousé	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	1	-	-
<i>T. opposita</i> Koizumi	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+
<i>T. singularis</i> Sheshukova	-	+	+	-	-	+	-	+	-	+	-	1	-	-
<i>T. temperei</i> (Brun) Akiba et Yanagisawa	-	-	+	1	+	+	+	+	+	+	1	1	-	+
<i>T. spp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	+
<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve et Grunow	-	-	-	-	+	1	+	-	-	-	-	+	1	-
<i>Trochosira spinosa</i> Kitton	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Aulacoseira</i> spp.	-	-	1	1	-	-	1	-	5	+	+	-	+	+
<i>Mesodictyon japonicum</i> Yanagisawa et H.Tanaka	-	-	-	-	-	1	+	+	-	2	+	-	+	6
Total number of valves counted	50	50	50	50	50	100	100	50	100	50	50	50	100	50
Resting spore of <i>Chaetoceros</i>	42	39	18	9	6	-	-	14	15	8	5	13	-	10

Preservation, M: moderate, P: poor. Abundance, C: common, R: rare.

図版1 多賀層群及び日立層群から産出した珪藻化石。
種名の後の括弧内に試料番号と地層名またはユニット名を示す。

Plate 1 Diatom fossils from the Taga and Hitachi groups.
After species name, sample numbers with their formation name or unit name are shown in parenthesis.

- 1, 2:** *Denticulopsis praelauta* Akiba et Koizumi [S18-04 (JOB4781), Kidoba Formation]
3, 4: *Denticulopsis lauta* (Bailey) Simonsen [3: S18-10 (JOB4895), Kidoba Formation; 4: S02-04 (JOB2795), Unit T4, Hirakata Channel]
5, 6: *Denticulopsis ichikawae* Yanagisawa et Akiba [5: JOB2783, Unit T5, Hirakata Channel; 6: S02-04 (JOB2795), Unit T4, Hirakata Channel]
7: *Denticulopsis lauta* (Bailey) Simonsen [S18-08 (JOB4794), Kidoba Formation]
8, 9: *Denticulopsis lauta* (Bailey) Simonsen [JOB2783, Unit T5, Hirakata Channel]
10–14: *Denticulopsis okunoi* Yanagisawa et Akiba [S02-04 (JOB2795), Unit T4, Hirakata Channel]
15–18: *Denticulopsis tanimurae* Yanagisawa et Akiba [15, 16: S08-10 (JOB407), Unit T5, Hirakata Channel; 17: S08-13 (JOB1201), Unit T5, Hirakata Channel; 18: S05-20 (JOB1882), Unit T5, Hirakata Channel]
19, 20: *Denticulopsis hyalina* (Schrader) Simonsen [S08-20 (JOB4416), Unit T7, Hirakata Channel]
21–24: *Denticulopsis praehyalina* Tanimura [21, 22, 24: S05-20 (JOB1882), Unit T5, Hirakata Channel; 23: S08-16 (JOB1203), Unit T6, Hirakata Channel]
25–37: *Denticulopsis miocenica* (Schrader) Simonsen [25–27, 31, 32, 37: S08-20 (JOB4416), Unit T7, Hirakata Channel; 28–30, 33–36: S14-23 (JOB4383), Unit T7, Hirakata Channel]
38: *Nitzschia challengerii* Schrader [S02-04 (JOB2795), Unit T4, Hirakata Channel]
39: *Nitzschia rolandii* Schrader emend. Koizumi [S22-15 (JOB5734), Kokaigahama Unit]
40–43: *Neodenticula kamtschatica* (Zabelina) Akiba et Yanagisawa [40, 41, 43: S24-07 (JOB5165), Unit H8, Koishikawa Channel; 42: S25-28 (JOB5247), Unit H6, Unomisaki Channel]
44–46: *Neodenticula koizumii* Akiba et Yanagisawa [44: S24-02 (JOB2055), Unit H8, Koishikawa Channel; 45, 46: S24-04 (JOB5162), Unit H8, Koishikawa Channel]



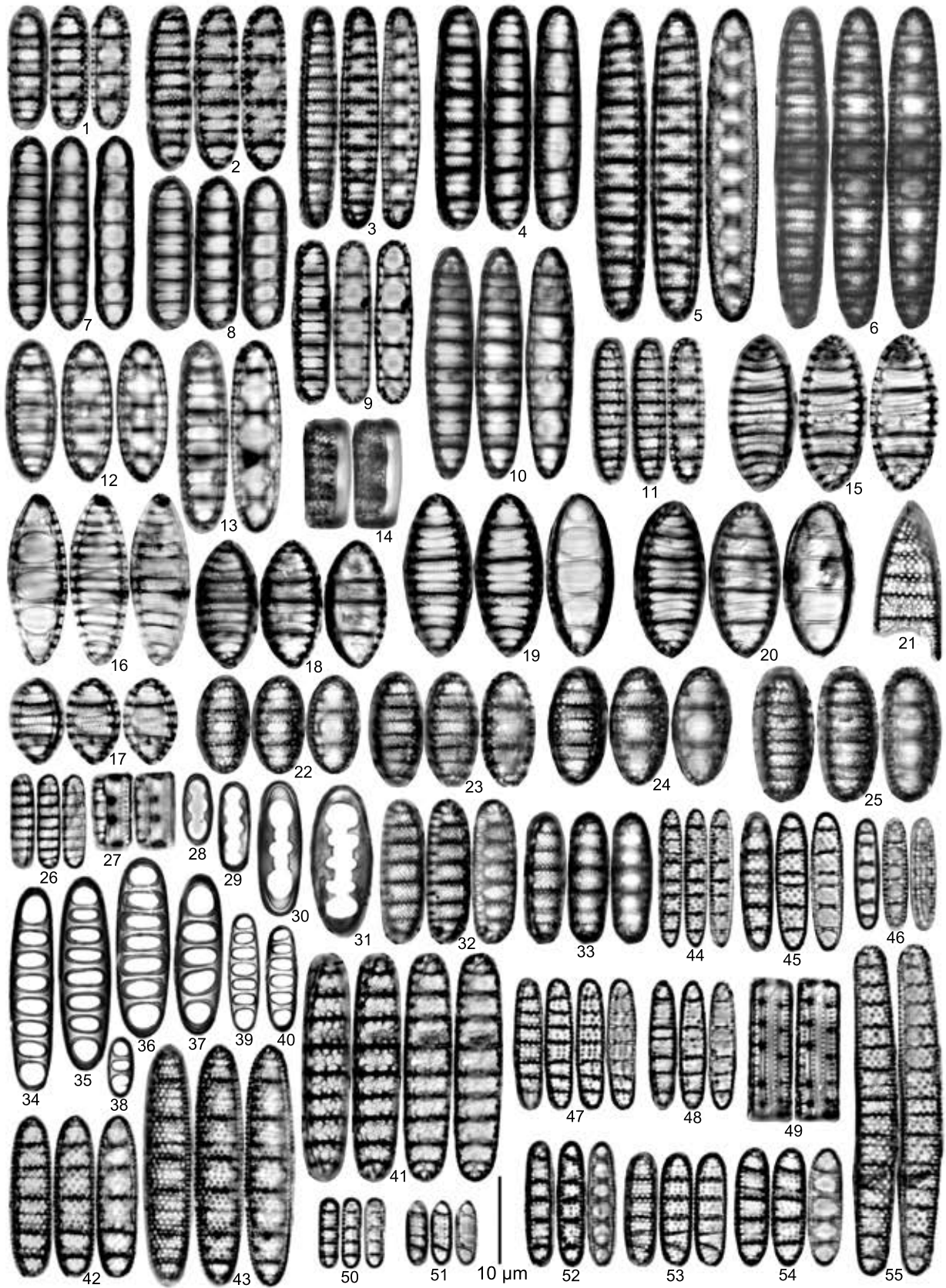
図版2 多賀層群から産出した珪藻化石.

種名の後の括弧内に試料番号と地層名またはユニット名を示す.

Plate 2 Diatom fossils from the Taga Group.

After species name, sample numbers with their formation name or unit name are shown in parenthesis.

- 1–6:** *Denticulopsis simonsenii* Yanagisawa et Akiba [1: S11-15 (JOB4335), Unit T8, Hirakata Channel; 2: S17-05 (JOB5260), Unit T9, Ishi Channel; 3: S17-22 (JOB5277), Unit T12, Ishi Channel; 4: S07-11 (JOB1878), Unit T8, Hirakata Channel; 5: S19-53 (JOB3713), Kohama Formation; 6: S19-54 (JOB3714), Kohama Formation]
- 7–9:** *Denticulopsis vulgaris* (Okuno) Yanagisawa et Akiba [JOB4090, Kushigata Formation]
- 10, 11:** *Denticulopsis praekatayamae* Yanagisawa et Akiba [10: JOB4086, Unit T14, Ishihama Channel; 11: JOB4087, Unit T14, Ishihama Channel]
- 12, 13:** *Denticulopsis katayamae* Maruyama [JOB4084, Unit T14, Ishihama Channel]
- 14:** *Denticulopsis crassa* Yanagisawa et Akiba (girdle view) [S19-47 (JOB3707), Kohama Formation]
- 15–20:** *Denticulopsis hustedtii* (Simonsen et Kanaya) Simonsen [15: S19-54 (JOB3714), Kohama Formation; 16–20: S19-53 (JOB3713), Kohama Formation]
- 21:** *Denticula norwegica* Schrader [S05-10 (JOB428), Unit T5, Hirakata Channel]
- 22–25:** *Denticulopsis crassa* Yanagisawa et Akiba [22: S19-52 (JOB3712), Kohama Formation; 23: S19-47 (JOB3707), Kohama Formation; 24, 25: S19-53 (JOB3713), Kohama Formation]
- 26:** *Denticulopsis praedimorpha* var. *prima* Watanabe et Yanagisawa [S07-11 (JOB1878), Unit T8, Hirakata Channel]
- 27–29:** *Denticulopsis praedimorpha* var. *minor* Yanagisawa et Akiba [27: girdle view, S17-06 (JOB5261), Unit T9, Ishi Channel; 28, 29: Closed copula, S17-05 (JOB5260), Unit T9, Ishi Channel]
- 30, 32, 33:** *Denticulopsis praedimorpha* var. *praedimorpha* Barron ex Akiba [30: Closed copula, JOB3757, Unit T10, Ishigawara Channel; 32, 33: JOB3753, Unit, T10, Ishigawara Channel]
- 31:** *Denticulopsis praedimorpha* var. *robusta* Yanagisawa et Akiba [Closed copula, JOB3757, Unit T10, Ishigawara Channel]
- 34–37, 41:** *Denticulopsis dimorpha* var. *areolata* Yanagisawa et Akiba [34: Closed copula, JOB4086, Unit T14, Ishihama Channel; 35–37: Closed copula, JOB4087, Unit T14, Ishihama Channel; 41: JOB4086, Unit T14, Ishihama Channel]
- 38–40:** *Denticulopsis dimorpha* var. *dimorpha* (Schrader) Simonsen [Closed copula, S21-22 (JOB4107), Kushigata Formation]
- 42, 43:** *Crucidentricula punctata* (Schrader) Akiba et Yanagisawa [44: S17-05 (JOB5260), Unit T9, Ishi Channel; 45: S17-06 (JOB5261), Unit T9, Ishi Channel]
- 44, 45, 55:** *Crucidentricula nicobarica* (Grunow) Akiba et Yanagisawa [44, 45: S07-11 (JOB1878), Unit T8, Hirakata Channel; 55: S08-12 (JOB408), Unit T5, Hirakata Channel]
- 46–52:** *Crucidentricula paranicobarica* var. *paranicobarica* Akiba et Yanagisawa [JOB2783, Unit T5, Hirakata Channel]
- 53, 54:** *Crucidentricula paranicobarica* var. *tropica* Yanagisawa et Akiba [53: S05-12 (JOB1194), Unit T5, Hirakata Channel; 54: S05-15 (JOB429), Unit T5, Hirakata Channel]



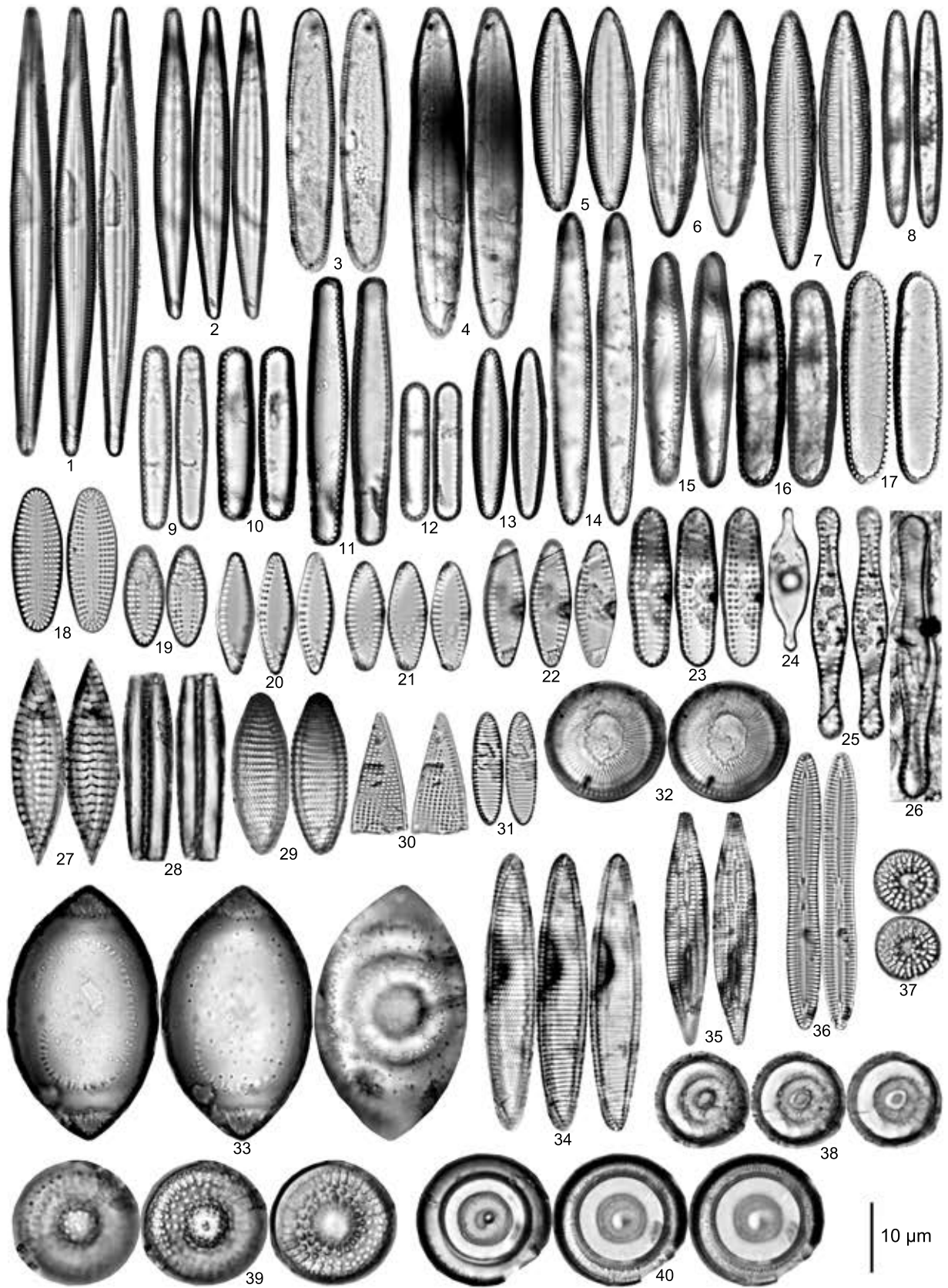
図版3 多賀層群及び日立層群から産出した珪藻化石.

種名の後の括弧内に試料番号と地層名またはユニット名を示す.

Plate 3 Diatom fossils from the Taga and Hitachi groups.

After species name, sample numbers with their formation name or unit name are shown in parenthesis.

- 1, 2:** *Cavitatus jouseanus* (Sheshukova) D.M. Williams [1: S05-05 (JOB426), Unit T5, Hirakata Channel; 2: S05-12 (JOB1194), Unit T5, Hirakata Channel]
- 3, 4:** *Cavitatus linearis* (Sheshukova) Akiba et Yanagisawa [S22-15 (JOB5734), Kokaigahama Unit]
- 5-7:** *Cavitatus lanceolatus* Akiba et Hiramatsu [S02-04 (JOB2795), Unit T4, Hirakata Channel]
- 8:** *Thalassionema* sp. (pointed) [S25-21 (JOB5240), Unit H6, Unomisaki Channel]
- 9-11:** *Thalassionema hirosakiensis* (Kanaya) Schrader [9: S21-10 (JOB4711), Kushigata Formation; 10, 11: S19-58 (JOB3719), Kohama Formation]
- 12:** *Thalassionema* cf. *hirosakiensis* (Kanaya) Schrader [S05-10 (JOB428), Unit T5, Hirakata Channel]
- 13:** *Thalassionema obtusa* (Grunow) G.W. Andrews [S05-05 (JOB426), Unit T5, Hirakata Channel]
- 14, 15:** *Thalassionema robusta* Schrader [14: S24-04 (JOB5162), Unit H8, Koishikawa Channel; 15: S24-06 (JOB5164), Unit H8, Koishikawa Channel]
- 16, 17:** *Thalassionema schraderi* Akiba [S22-07 (JOB5732), Kokaigahama Unit]
- 18, 19:** *Delphineis surirella* (Ehrenb.) G.W. Andrews [18: JOB4088, Kushigata Formation; S19-53 (JOB3713), Kohama Formation]
- 20-22:** *Delphineis* cf. *surirella* (Ehrenb.) G.W. Andrews [20: JOB2783, Unit T5, Hirakata Channel; 21, 22: S05-05 (JOB426), Unit T5, Hirakata Channel]
- 23:** *Dephineis* sp. [S25-21 (JOB5240), Unit H6, Unomisaki Channel]
- 24:** *Kisseleviella carina* Sheshukova [S02-04 (JOB2795), Unit T4, Hirakata Channel]
- 25, 26:** *Delphineis simonsenii* Akiba [S25-21 (JOB5240), Unit H6, Unomisaki Channel]
- 27:** *Koizumia akibae* Yanagisawa [S22-15 (JOB5734), Kokaigahama Unit]
- 28:** *Ikebea tenuis* (Brun) Akiba [JOB2783, Unit T5, Hirakata Channel]
- 29:** *Nitzschia jouseae* Burckle [S24-03 (JOB5161), Unit H8, Koishikawa Channel]
- 30:** *Mediaria splendida* Sheshukova [JOB2783, Unit T5, Hirakata Channel]
- 31:** *Nitzschia* cf. *extincta* Kozurenko et Sheshukova [S24-06 (JOB5164), Unit H8, Koishikawa Channel]
- 32:** *Cyclotella* sp. [S24-03 (JOB5161), Unit H8, Koishikawa Channel]
- 33:** *Goniothecium rogersii* Ehrenb. [JOB2783, Unit T5, Hirakata Channel]
- 34:** *Nitzschia* cf. *reinholdii* Kanaya ex Barron et Baldauf [S22-15 (JOB5734), Kokaigahama Unit]
- 35:** *Rouxia californica* Peragallo [S19-47 (JOB3707), Kohama Formation]
- 36:** *Rouxia naviculoides* Schrader [S02-01 (JOB421), Unit T4, Hirakata Channel]
- 37, 39:** *Mesodictyon japonicum* Yanagisawa et H. Tanaka [S22-02 (JOB5726), Kokaigahama Unit]
- 38, 40:** Genus et species indet. [38: JOB4086, Unit T14, Ishihama Channel; 40: S22-02 (JOB5726), Kokaigahama Unit]



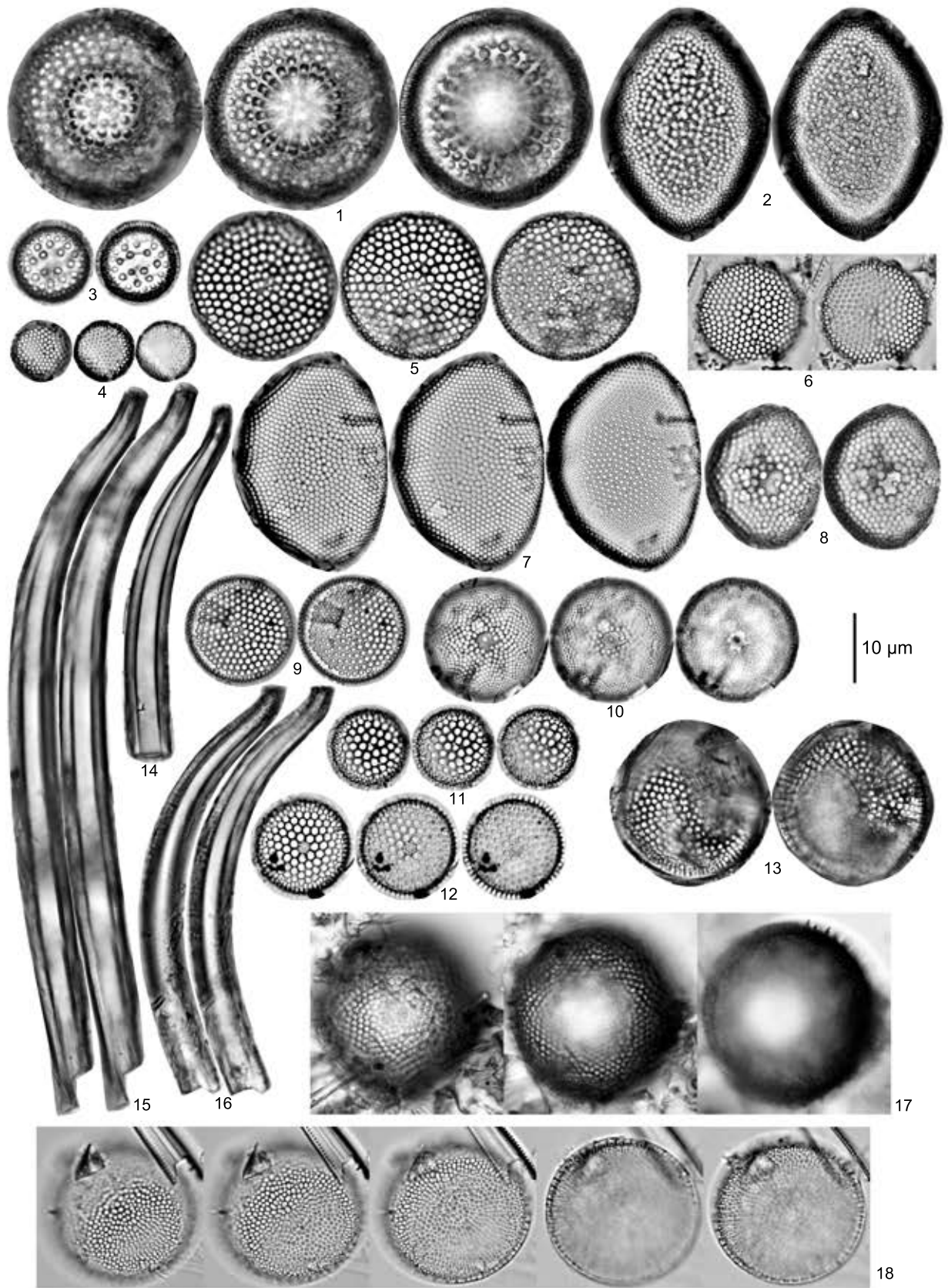
図版4 多賀層群及び日立層群から産出した珪藻化石.

種名の後の括弧内に試料番号と地層名またはユニット名を示す.

Plate 4 Diatom fossils from the Taga and Hitachi groups.

After species name, sample numbers with their formation name or unit name are shown in parenthesis.

- 1: *Actinocyclus ingens* f. *nodus* (Baldauf) Whiting et Schrader [S07-11 (JOB1878), Unit T8, Hirakata Channel]
- 2: *Actinocyclus ellipticus* Grunow [JOB4087, Unit T14, Ishihama Channel]
- 3: *Actinocyclus ingens* f. *planus* Whiting et Schrader [S17-22 (JOB5277), Unit T12, Ishi Channel]
- 4: *Thalassiosira minutissima* Oreshkina [JOB4093, Unit T14, Ishihama Channel]
- 5: *Azpetia vetustissima* (Pant.) P.A.Sims [S05-10(JOB428), Unit T5, Hirakata Channel]
- 6: *Thalassiosira* sp. A [JOB4099, Kushigata Formation]
- 7, 8: *Hemidiscus cuneiformis* G.G.Wallich [7: JOB4087, Unit T14, Ishihama Channel; 8: JOB4086, Unit T14, Ishihama Channel]
- 9: *Azpetia endoi* (Kanaya) P.A.Sims et G.A.Fryxell [JOB3755, Unit T10, Ishigawara Channel]
- 10: *Thalassiosira jacksonii* Koizumi et Barron in Koizumi [S25-28 (JOB5247), Unit H6, Unomisaki Channel]
- 11: *Shionodiscus oestrupii* (Ostenfeld) A.J.Alverson, S.H.Kang et E.C.Theriot [S24-15 (JOB5174), Unit H8, Koishikawa Channel]
- 12: *Thalassiosira antiqua* (Grunow) Cleve-Euler [S24-04 (JOB5162), Unit H8, Koishikawa Channel]
- 13: *Thalassiosira temperei* (Brun) Akiba et Yanagisawa [S19-54 (JOB3714), Kohama Formation]
- 14-16: *Proboscia interposita* (Hajós) Jordan et Priddle [14: JOB2783, Unit T5, Hirakata Channel; 15, 16: S02-06 (JOB2793), Unit T4, Hirakata Channel]
- 17: *Thalassiosira convexa* Muchina [S24-06 (JOB5164), Unit H8, Koishikawa Channel]
- 18: *Porosira* sp. [S05-05 (JOB426), Unit T5, Hirakata Channel]



東京低地南部における沖積層の基盤地形

田辺 晋^{1,*}・石原 与四郎²

TANABE Susumu and ISHIHARA Yoshiro (2020) Incised-valley topography formed into the Last Glacial Maximum beneath the southern area of the Tokyo Lowland, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 71 (3), p. 201-213, 7 figs.

Abstract: Incised-valley topography formed into the Last Glacial Maximum (LGM) beneath the southern area of the Tokyo Lowland including the Tokyo Bay area has been clarified on the basis of 5,767 borehole logs. The incised-valley topography has been reconstructed by spatially interpolating (Kriging) the depth distribution of the base of the post-LGM incised-valley fill identified in each borehole log. The Paleo-Tokyo River Valley flows from north to south along the present Arakawa River in the Tokyo Lowland. Three buried terraces formed during the Marine Isotope Stage (MIS) 5a, MIS 3, and the early stage of the LGM occur on the left and right banks of the Paleo-Tokyo River Valley. The buried terraces on the left and right banks of the Paleo-Tokyo River Valley are dissected by the Gytoku Valley and the Paleo-Kanda River Valley, respectively. Absence of the Basal Gravel bed and the cover effect in the Gytoku and Paleo-Kanda River valleys pronounced the undulation of the incised-valley topography formed in relation to the sea-level lowering and river incision into the LGM.

Keywords: incised valley, buried terrace, interpolation, Tokyo Metropolitan, Chiba Prefecture, Late Pleistocene, Holocene

要 旨

東京湾の湾岸部を含む東京低地南部における5,767本のボーリング柱状図から、沖積層の基底深度を読み取り、クリキング法による空間補間を行うことで、沖積層の基盤地形を復元した。東京低地南部では、現在の荒川に沿って、古東京川開析谷が南北方向に縦断しており、その両岸には海洋酸素同位体ステージ(MIS) 5aとMIS 3、最終氷期最盛期(LGM)の前半に形成されたと考えられる3段の埋没段丘が分布する。古東京川開析谷の左岸と右岸の埋没段丘は、それぞれ行徳開析谷と古神田川開析谷によって開析される。行徳開析谷と古神田川開析谷の基底には沖積層基底礫層(BG)が認められず、礫による被覆効果が無かったために、LGMにかけた海水準低下に伴った河川の下刻による起伏地形が顕在化したと考えられる。

1. はじめに

沿岸河口低地における沖積層とは、最終氷期最盛期(Last Glacial Maximum: LGM)にかけた海水準低下に伴っ

て形成された開析谷が、後の海水準の上昇と安定に伴って堆積した碎屑物によって充填された地層を指す。このような沖積層は、一般的に未固結な軟弱地盤を形成しており、地震動の増幅や地盤沈下などの様々な地質災害を引き起こすことが知られている(貝塚・松田, 1982; 遠藤ほか, 2001など)。従って、その分布や形成機構の解明は社会的にも重要である。

首都圏が立地する東京低地の沖積層は、1923年の大正関東地震以降、多くの研究が行われてきた。特にその基盤(基底)地形については、復興局建築部(1929)を初めとし、羽鳥ほか(1962)、東京都土木技術研究所(1969)、Kuwano *et al.* (1971)、Matsuda (1974)、Kaizuka *et al.* (1977)、貝塚・松田(1982)、遠藤邦彦ほか(1988)、東京港地下地質研究会(2000)、東京都港湾局(2001)、石綿(2004)、田辺ほか(2008a)、角田(2014)、風岡ほか(2018)などによる研究がある。これらの研究で用いられたボーリング柱状図の数は、時代が経るに従い増加し、田辺ほか(2008a)では7,021本のボーリング柱状図を用いて沖積層の基盤地形を復元している。

従来、沖積層の基盤地形は、個々のボーリング柱状図

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

² 福岡大学理学部 (Faculty of Science, Fukuoka University, Nanakuma 8-19-1, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan)

* Corresponding author: TANABE, S., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: s.tanabe@aist.go.jp

から読み取った沖積層の基盤深度を地図上にプロットし、人の解釈を加えて、滑らかな等高線を描くことによって復元されてきた。しかし近年は、データ量の増加に伴い、個々のボーリング柱状図から読み取った基盤深度を電子データとして整備し、GISソフトウェアを用いた数学的な補間を行うことによって、詳細な基盤地形を復元する方法が主流となっている。

首都圏におけるボーリング柱状図は、2002年に公開された「千葉県地質環境インフォメーションバンク」(現在は「ちば情報マップ」)(千葉県環境研究センター, 2002)を皮切りに、2006年の「東京の地盤(Web版)」, 2008年の「国土地盤情報検索サイト(Kunijiban)」(土木研究所, 2008), 2013年の「埼玉県ボーリング柱状図」(埼玉県環境科学国際センター, 2013), 2014年の「東京の地盤(GIS版)」(東京都土木技術支援・人材育成センター, 2014)と、着実にオープンデータ化が進んでおり、その質・量ともに充実してきている。従って、多量のボーリング柱状図データの公開に伴う沖積層の基盤地形の電子化と詳細化は今後とも進展させる必要がある。

田辺ほか(2008a)は、東京都台東区上野以北の東京低地北部と中川低地における沖積層の基盤地形を復元した。今回、東京低地南部における沖積層の基盤地形を、5,767本のボーリング柱状図を用いて、これまでになく詳細に復元した。本論ではその結果を紹介する。

2. 地質概説

東遷以前の利根川流域では、縄文海進に伴い、現在の海岸線から約70 km内陸の栃木県栃木市藤岡町付近まで、奥東京湾と呼ばれる内湾が広がった(大山ほか, 1933; 小杉ほか, 1989など)。この奥東京湾地域の沿岸河口低地のうち、中川沿いのものは中川低地、荒川沿いのものは荒川低地、そしてこれらの河川の合流域から下流のものは東京低地と呼ばれている(貝塚, 1979)(第1図)。

現在の東京低地は、南が東京湾に面しており、その東には下総台地、西には武蔵野台地が分布する(第1図)。利根川の東遷以前、この低地には利根川と荒川、渡良瀬川などから供給された碎屑物が堆積した。現在の河川流量から見た場合、利根川の流量が290 m³/sであるのに対し、荒川のそれは30 m³/s、渡良瀬川のそれは19 m³/sしかない。従って、東京低地の沖積層の形成には、圧倒的に利根川の土砂供給の影響が大きかったことが推定できる。ちなみに現在の利根川の土砂供給量は95 kg/s (3 Mt/yr)とされる(Milliman and Farnsworth, 2011)。

5 cal kyr BP (ka)に利根川は荒川低地から中川低地に流路を変遷した(田辺ほか, 2008b)。従って、LGMには荒川低地では利根川、中川低地では渡良瀬川によって、それぞれ荒川開析谷と中川開析谷が形成され、これらの開析谷は東京低地において合流し、古東京川開析谷として現在の東京湾口にかけて流下したと考えられている(中

条, 1962; Matsuda, 1974; 菊地, 1981; 遠藤邦彦ほか, 1988; 田辺ほか, 2008aなど)。東京低地では、海洋酸素同位体ステージ(MIS) 5eからLGMにかけた海水準低下に伴って、複数の埋没段丘と開析谷が形成された(Matsuda, 1974; 遠藤秀典ほか, 1988; 東京都港湾局, 2001など)。古東京川開析谷は、東京低地では東京都江東区辰巳付近において最も深く、標高-70 mにかけて分布する(遠藤邦彦ほか, 1988; 東京都港湾局, 2001)。

古東京川開析谷を充填する沖積層は、中・上部更新統の下総層群に不整合に累重し、下部・上部沖積層に区分される(Matsuda, 1974; Kaizuka *et al.* 1977; 松田, 1993)。下部沖積層は下位より基底礫層(Basal Gravel: BG)、下部砂層(Lower Sand: LS)、下部泥層(Lower Clay: LC)、中間砂層(Middle Sand: MS)、上部沖積層は下位より上部泥層(Upper Clay: UC)、上部砂層(Upper Sand: US)、最上部陸成層(Uppermost Alluvium: UA)に細分される。遠藤(2017)などは、このような沖積層を年代に基づいて七号地層と有楽町層に二分しており、両層の境界は完新世の始まりに相当する。田辺ほか(2010)は、東京低地における沖積層を堆積システムとそれを構成する堆積相によって、下位より低海水準期の網状河川システム、海進期の蛇行河川システムとエスチュアリーシステム、海退期のデルタシステムに区分している。また、沖積層を二分する場合、物性値が大きく異なる下位の河成層と上位の海成層で区分すべきであると提唱している。

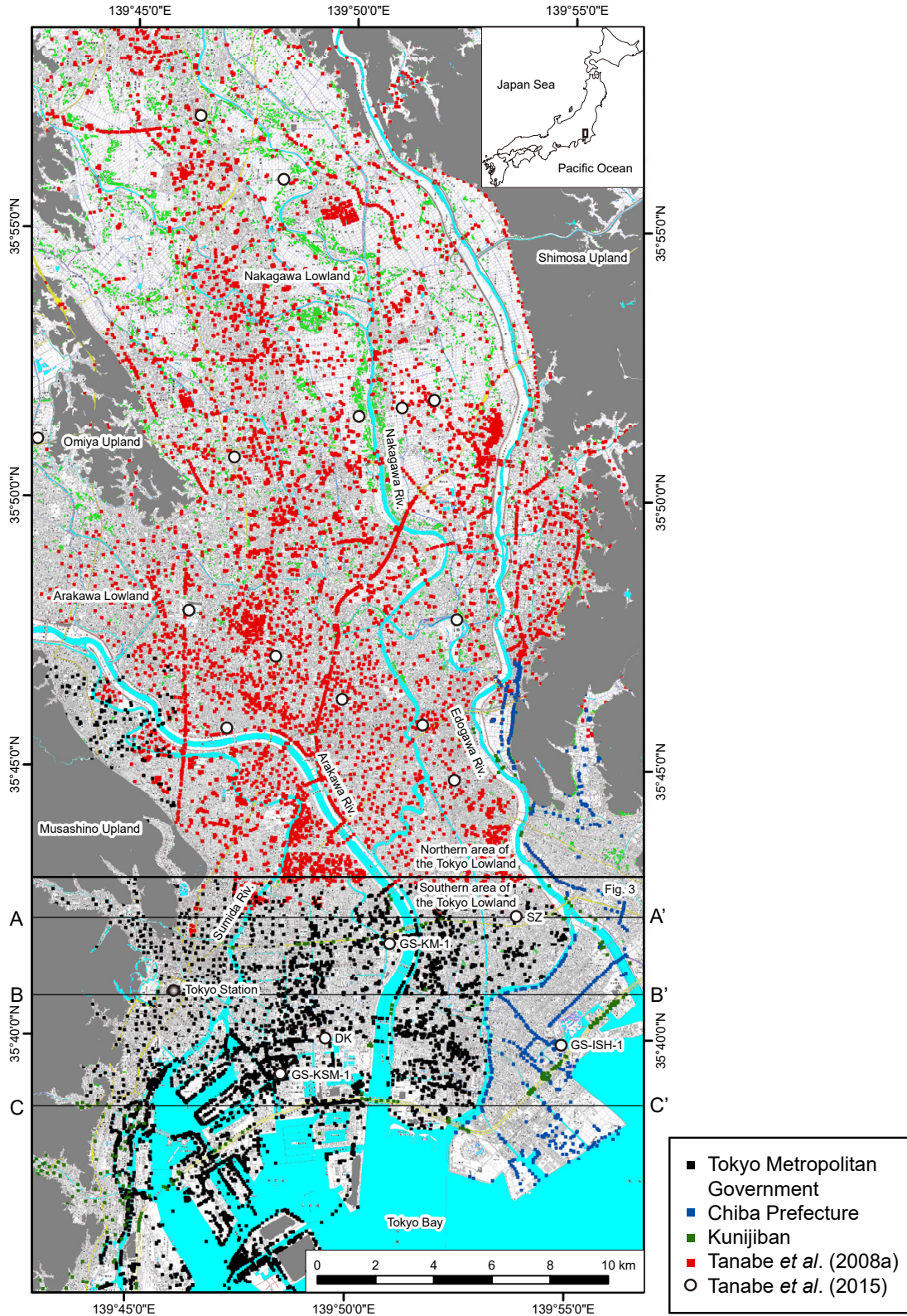
東京低地の東の下総台地と西の武蔵野台地は下総層群とその上位の段丘堆積物から構成される(岡ほか, 1984; 中澤・田辺, 2011)。関東平野における台地を構成する段丘は、一般的にMIS 5eの下末吉面、MIS 5aの武蔵野面、MIS 3の立川面に区分される(Ishihara and Sugai, 2017など)。武蔵野台地では下末吉面が標高20~30 mに分布しており、西上がりの隆起傾向を示す(小池・町田編, 2001)。

3. 研究手法

本論では、「東京の地盤(GIS版)」(東京都土木技術支援・人材育成センター, 2014)のうち4,756本、「ちば情報マップ」(千葉県環境研究センター, 2002)のうち743本、「国土地盤情報検索サイト(Kunijiban)」(土木研究所, 2008)のうち268本のボーリング柱状図を用いた(第1図)。これら計5,767本のボーリング柱状図の電子ファイルは、XML形式に統一し、石原ほか(2013)による補間方法を用いて100 m×100 m×1 mのボクセルモデルを作成した。そしてこのボクセルモデルを用いて岩相とN値の断面図を作成した。

本論では、まずこの岩相とN値の断面図における下総層群と沖積層の層序ならびに埋没段丘面と開析谷の基底面を産総研による5本の基準コア(Tanabe *et al.*, 2015)と既存研究(Matsuda, 1974; 遠藤秀典ほか, 1988; 遠藤邦

東京低地南部における沖積層の基盤地形 (田辺・石原)



第1図 ボーリング柱状図のプロット。

本論では、Tanabe *et al.* (2015)のうち、SZとGS-KM-1、DK、GS-ISH-1、GS-KSM-1の5本のボーリングコア堆積物を基準コアとして用いた。灰色は標高が10m以上の地域を示す。

Fig. 1 Plots of borehole logs.

In this study, five sediment cores of SZ, GS-KM-1, DK, GS-ISH-1 and GS-KSM-1 (Tanabe *et al.*, 2015) were used as stratotype cores. Gray shadings represent area higher than 10 m above the Tokyo Peil datum.

彦ほか, 1988; 東京港地下地質研究会, 2000; 東京都港湾局, 2001; 石綿, 2004; 角田, 2014)に基づいて解釈した。さらに複数の断面図におけるこれらの解釈を面的に広げることによって、沖積層の基盤地形を復元した。

5,767本のボーリング柱状図のうち、沖積層が下総層群に直接累重するものは2,583本、沖積層の基底にBGもしくは沖積層の下位に埋没段丘礫層(Buried Terrace Gravel: BT)が存在するものは3,184本、そのうちBGとBTを貫入するものは2,077本あった。後述するように、沖積層が特に厚く分布する開析谷の軸部ではBGを貫入するボーリング柱状図が少ないこと、そしてBTを被覆するローム層は薄層であり、なおかつ偏在することから、本論ではBGとBTの上面を沖積層の基底と見なしている。

本論では、沖積層の基底深度とBGもしくはBTの有無、BGもしくはBTの層厚、埋没段丘面上のローム層の有無とその上面深度を手動で読み取った。そして沖積層の基底深度をArcGIS 10.6のSpatial Analystツールの内挿(クリキング)を用いて補間し、沖積層の基盤地形の面的な分布を復元した。

4. 地質断面図の解釈

第2図は東京低地南部における東西方向の岩相・N値断面図を示す。本章では、これらの3つの断面図における下総層群と沖積層の層序そして埋没段丘面と開析谷の基底面を既存研究に基づいて解釈する。

AA'断面図は東京都豊島区雑司が谷付近から千葉県船橋市本中山付近にかけたものである。本断面図の中央部には古東京川開析谷が分布する(Matsuda, 1974; 遠藤邦彦ほか, 1988; 東京都港湾局, 2001) (第2図)。本断面図の下部は、N値が40以上の礫層と砂層、砂泥層から構成され、これらの層相は側方方向への連続性が良い。それに対して上部は、N値40以下の礫層と砂泥層、泥層から構成され、特に礫層と砂泥層の側方方向への連続性は限定される。これらの下部と上部の層相は、それぞれ下総層群と沖積層の特徴を示す(Matsuda, 1974)。下総層群のうち、古東京川開析谷より西に分布するものは、礫層の側方方向の連続性で示されるように、5/1000の勾配で東に傾斜する(第2図)。またこの礫層の上位の標高-35 m付近にはMIS 3の本所埋没段丘を構成するBTが分布する(遠藤秀典ほか, 1988)。一方、古東京川開析谷より東に分布する下総層群には明瞭な礫層は存在せず、その最上部には局所的にN値5以下の泥層が分布する。古東京川開析谷を充填する沖積層は、下位よりBGとLS, LC, MS, UC, US, UAから構成され(Matsuda, 1974)、GS-KM-1の基準コアに基づく、BGは網状河川システム、LSとLCは蛇行河川システム、MSはエスチュアリーシステム、UCとUS, UAはデルタシステムに対比できる(田辺ほか, 2010)。網状河川システムはN値40、蛇行河川システムはN値20~40である。エスチュアリーシステムのN値は

下部の10から上部の0に減少、デルタシステムのN値は下部の0から上部の10に増加する(第2図)。このようなエスチュアリーシステムとデルタシステムのN値の垂直変化は、それぞれ上方細粒・粗粒化を示すと考えられる。デルタシステムを構成するN値0の内湾泥層は、開析谷のみならずSZの基準コアを含む埋没段丘面上にも広く分布する。

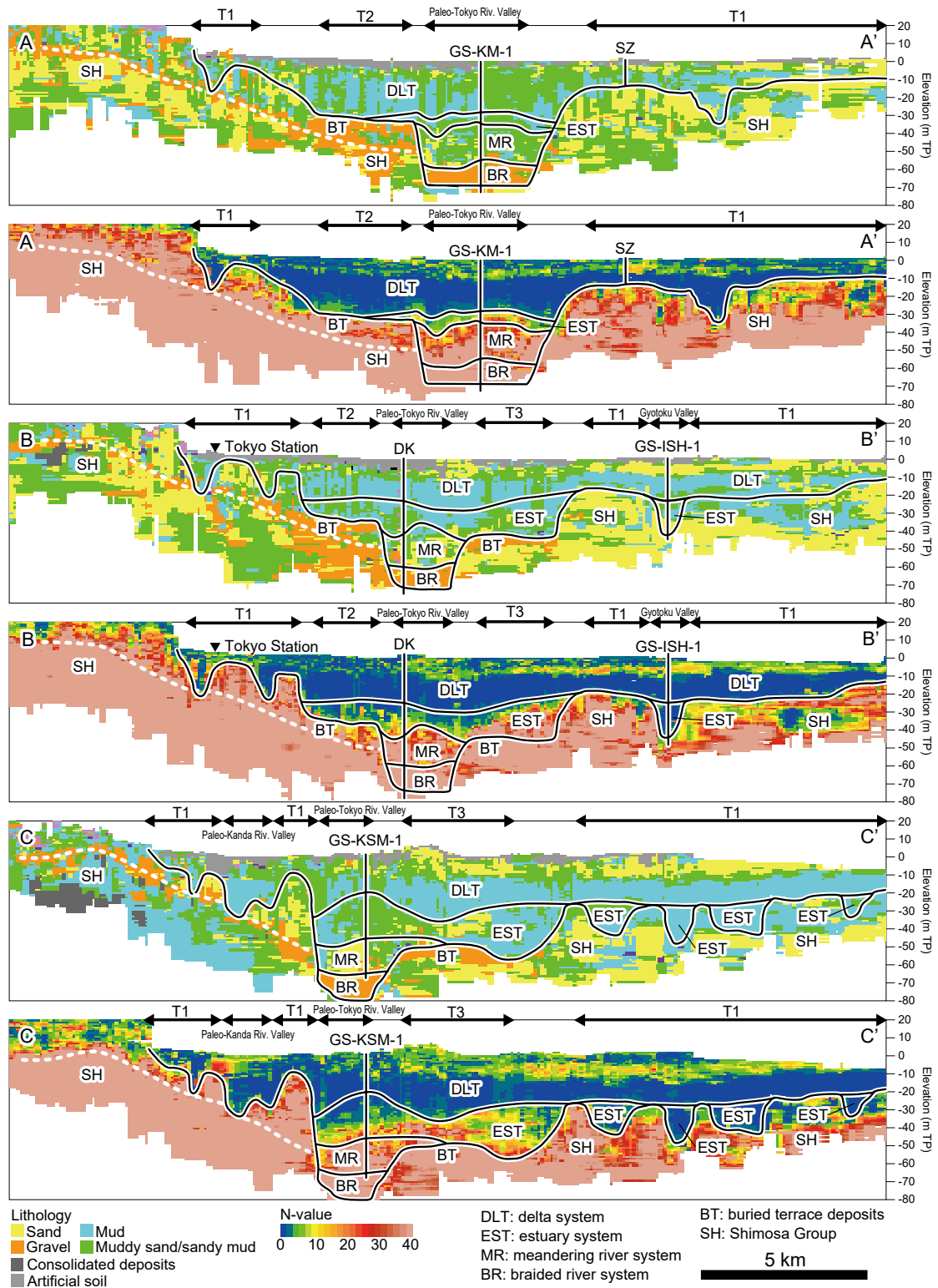
BB'断面図は東京都新宿区大京町付近から千葉県市川市上妙典付近にかけたものである。この断面図は途中で東京駅を横切る(第2図)。BB'断面図における下総層群と沖積層の層序ならびに埋没段丘と開析谷の分布は、AA'断面と大差ない。しかし、BB'断面では古東京川開析谷の東の標高-50~-40 mにBTを伴う平坦面が存在する(東京都港湾局, 2001)。また、沖積層の蛇行河川システムには厚い砂層が存在する。この砂層はアグラデーションする河川チャネル堆積物と考えられる(Tanabe *et al.*, 2015)。さらに、エスチュアリーシステムを構成する砂泥層と泥層はAA'断面のもの比べて厚い。上方細粒化するこの層相はDKの基準コアに基づく湾口砂州堆積物と解釈される(田辺ほか, 2012)。GS-ISH-1が位置する行徳開析谷(石綿, 2004)の谷埋め堆積物は、エスチュアリーシステムの内湾泥層からなる(田辺ほか, 2012)。東京駅付近では沖積層は標高-5 mにかけて分布し、その東の小規模な開析谷は昭和通り開析谷、西のそれは丸の内開析谷と呼ばれている(角田, 2014)。

CC'断面図は東京都渋谷区恵比寿付近から千葉県浦安市日の出付近にかけたものである(第2図)。この断面図の下総層群と沖積層の層序ならびに埋没段丘と開析谷の分布はBB'断面と大差ない。ただし、古東京川開析谷の西に分布する下総層群の礫層の勾配はAA'断面やBB'断面と比べて急(9/1000)である。これは一枚の礫層の傾斜が南に向かって急になっているか、いずれも下総層群を構成する傾斜が緩い新しい時代の礫層と傾斜が急な古い時代の礫層が二枚ある可能性がある(東京港地下地質研究会, 2000)。また、古東京川開析谷の東の下総層群は、幾つかの小規模な谷によって開析されており、古東京川開析谷におけるGS-KSM-1と同じく、エスチュアリーシステムの内湾泥層によって充填されていると考えられる。

5. 埋没段丘と開析谷の分布

第3図は東京低地南部における沖積層の基盤地形を示す。この図の中央部には古東京川開析谷が南北方向に縦断し、その左岸と右岸には複数の平坦面が見られる。本論では、標高-20~0 mの平坦面をT1面、標高-40~-30 mの平坦面をT2面、標高-50~-40 mの平坦面をT3面と命名する。古東京川開析谷の左岸と右岸のT1面には行徳開析谷と古神田川開析谷がそれぞれ分布する(石綿, 2004)。そのうち古神田川開析谷は、その上流において東の昭和通り開析谷と西の丸の内開析谷に枝分かれする

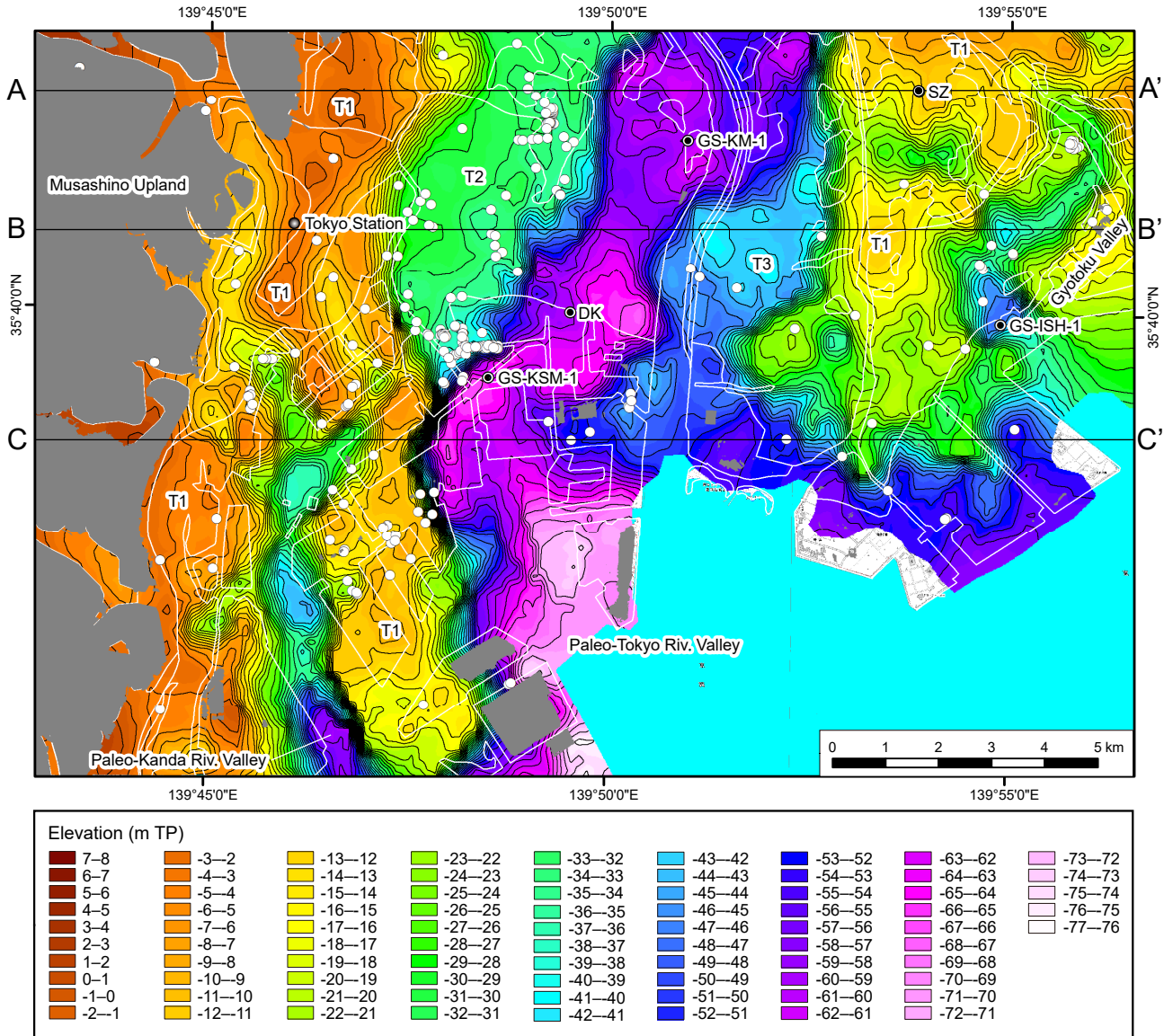
東京低地南部における沖積層の基盤地形 (田辺・石原)



第2図 岩相(上部)・N値(下部)断面図。

黒い実線は沖積層の基底と堆積システムの境界を示す。白い点線は下総層群の礫層の分布を示す。T1とT2, T3は埋没段丘面を示す。TPは東京湾平均海面(Tokyo Peil)を意味する。断面図の位置は、第1図と第3図、第4図に示す。

Fig. 2 Cross sections of lithology (upper section in each figure part) and N-value (lower section in each figure part). The black solid line indicates the base of the post-LGM incised-valley fill and the boundary of the sedimentary systems. The white dotted line indicates the gravel bed of the Shimosa Group. T1, T2, and T3 indicate buried terrace. TP shows mean sea-level at Tokyo Bay (Tokyo Peil datum). Locations of cross sections are shown in Figures 1, 3, and 4.



第3図 東京低地南部における沖積層の基盤地形。

等高線は2m間隔。白丸はローム層の分布を示す。白い実線は現在の海岸線を示す。灰色は標高が10m以上の地域を示す。

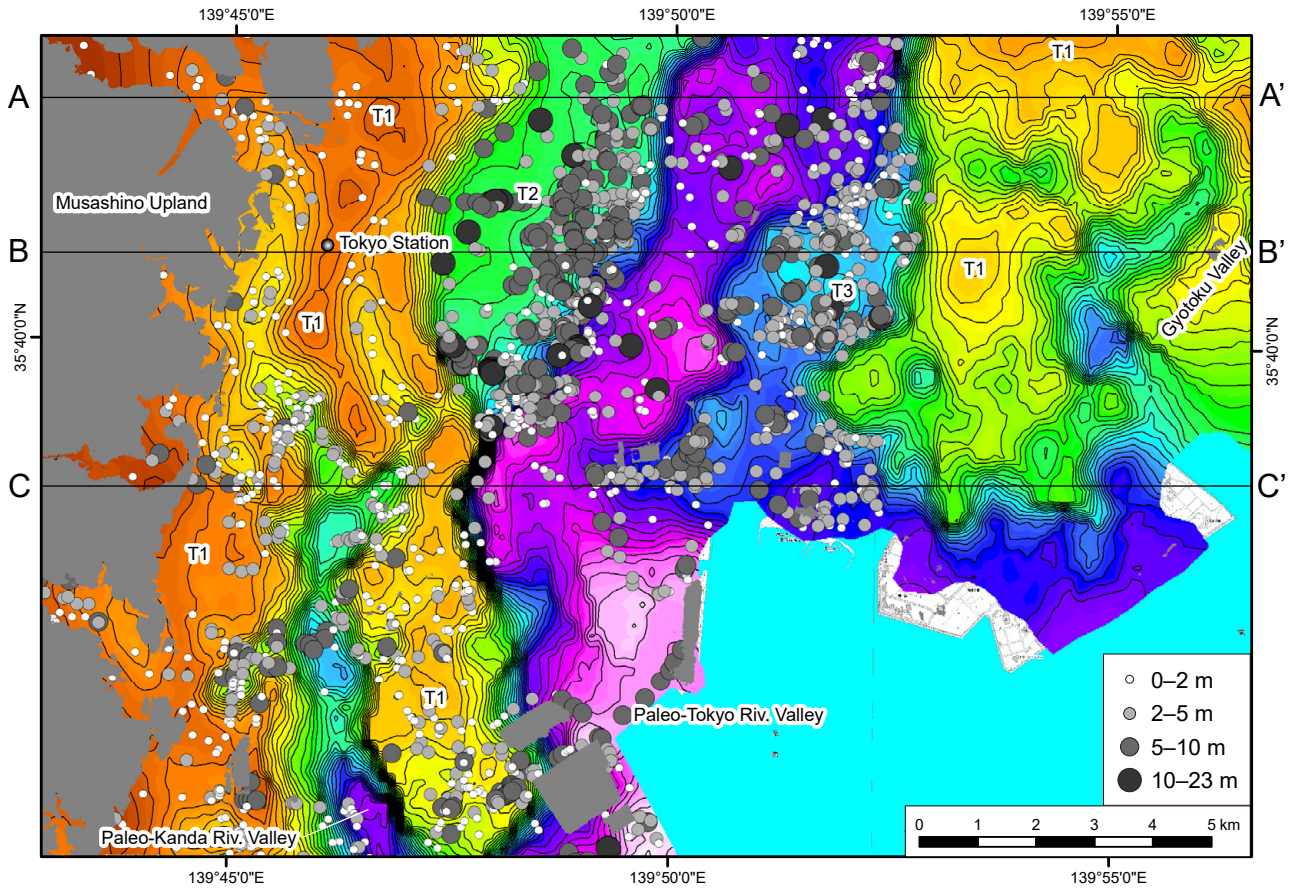
Fig. 3 Incised-valley topography formed into the LGM beneath the southern area of the Tokyo Lowland.

The contour interval is 2 m. The white circles show the distribution of loam. The white solid line indicates shoreline. Gray shadings represent area higher than 10 m above the Tokyo Peil datum.

(角田, 2014). 本調査地域において古東京川開析谷は中央防波堤外側埋立地の南東端において最も深く標高-77 mにかけて分布する。行徳開析谷は千葉県市川市塩浜において最も深く標高-56 m, 古神田川開析谷は東京都大田区東海において最も深く標高-59 mにかけて分布する。

第3図にはローム層の分布を白丸で示した。この分布によるとローム層は、T1面とT2面、T3面に分布しており、開析谷の軸部には分布しない。従来、T1面は縄文海進に伴って形成された波食台とされてきた(Matsuda, 1974; Kaizuka *et al.*, 1977; 東京都港湾局, 2001)。しか

し、東京都江東区有明では、下総層群の上面を構成するT1面にMIS 4の箱根東京テフラ(Hk-TP)(町田・新井, 2003)を含む関東ローム層が被覆する。従って、この地域におけるT1面はMIS 5aの武蔵野段丘に相当すると考えられている(東京港地下地質研究会, 2000)。また、T2面の本所埋没段丘では、BTを被覆する関東ローム層から30.0 kaの始良Tn火山灰(AT)(Smith *et al.*, 2013)が得られており、T2面はMIS 3の立川段丘に対比されている(遠藤秀典ほか, 1988)。T3面からは、これまでのところ年代値が得られていない。しかしT3面は、T2面の下位及



第4図 BGとBTの層厚分布.

基盤地形の凡例は第3図と同じ。灰色は標高が10 m以上の地域を示す。

Fig. 4 Distribution of the thickness of the BG and BT.

The legend of the incised-valley topography is same to that of Fig. 3. Gray shadings represent area higher than 10 m above the Tokyo Peil datum.

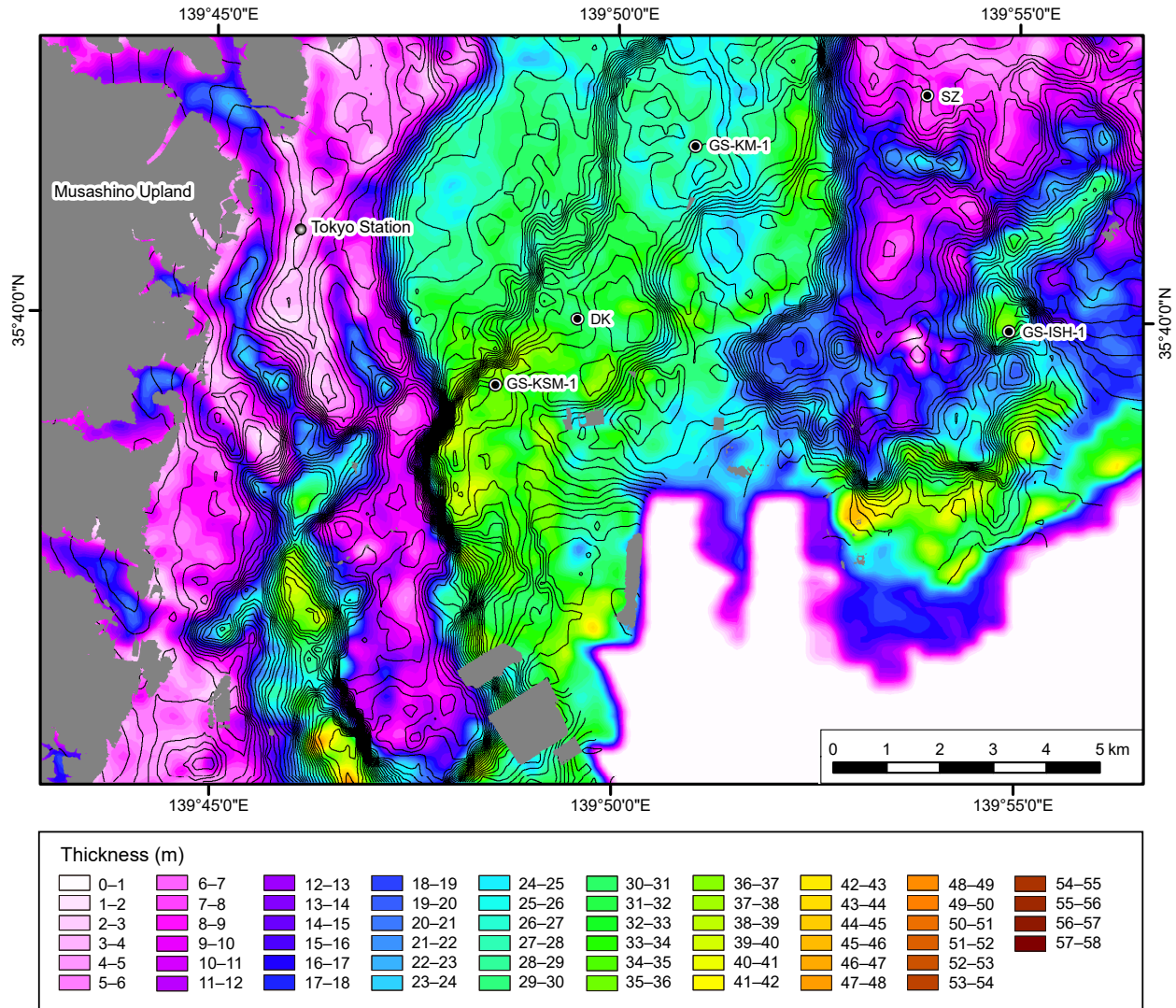
び開析谷の上位に分布することから、MIS 3とLGMの間に形成されたと考えられる。近年、オーストラリアでは、MIS 3からLGMにかけて海水準がステップ状に低下し、LGMの最大海水準低下期の直前(30.0 ~ 21.5 ka)に海水準の停滞があったことが報告されている(Yokoyama *et al.*, 2018; Ishiwa *et al.*, 2019)。従って、T3面はこのような海水準の停滞に伴って形成された可能性がある。なお、ATが被覆するT2面の下位に開析谷が分布することは、開析谷の基底部におけるBGが30.0 ka以降に形成されたことを示す。井関(1975)はBGがLGMの低海水準期に形成されたとしている。その一方で、牧野内ほか(2001)は、濃尾平野におけるBGがATの直下に分布することから、BGがMIS 3の後期からLGMにかけた海水準低下期に形成されたとしている。東京低地南部におけるBGには前者の形成モデルが適合される。

第3図はローム層が、段丘崖の縁や凹みに多く分布し、埋没段丘の平坦面には分布しないことを示す。これは埋没段丘の平坦面を被覆したローム層が縄文海進時の波浪

によって侵食されたこと意味する。東京低地南部における波食台は、所によって存在したとしても、ローム層のみを削削し、埋没段丘面の元地形を洗い出すような、軽微な侵食によって形成されたと考えられる。ちなみにT2面を被覆するローム層は、その上面(標高-30 m付近)において極めて平坦な面を形成しており、10.0 ~ 9.2 kaの海水準上昇の停滞(田辺, 2019)に伴って形成されたと考えられる。

6. 礫層と軟弱泥層の層厚分布

第4図はBTもしくはBGを構成する礫層の層厚分布を示す。この図によると、T2面を構成するBTは層厚が5 ~ 10 mと厚層であるのに対し、T3面を構成するBTは2 ~ 5 mと薄層であることが分かる。また、古東京川開析谷の左岸のT1面と行徳開析谷には、BTとBGに相当する礫層が存在しない。古神田川開析谷の上流には層厚が2 m以下のBG、下流には層厚が5 ~ 10 mのBGが分布する。古東京川開析谷のBGの層厚は0 ~ 23 mとばらつく



第5図 N値5以下の泥層の層厚分布。

N値5以下の泥層の層厚はボクセルモデルに基づく。黒い実線は第3図の沖積層の基盤地形を示す。等高線は2 m間隔。灰色は標高が10 m以上の地域を示す。

Fig. 5 Distribution of the thickness of the mud with N -value < 5.

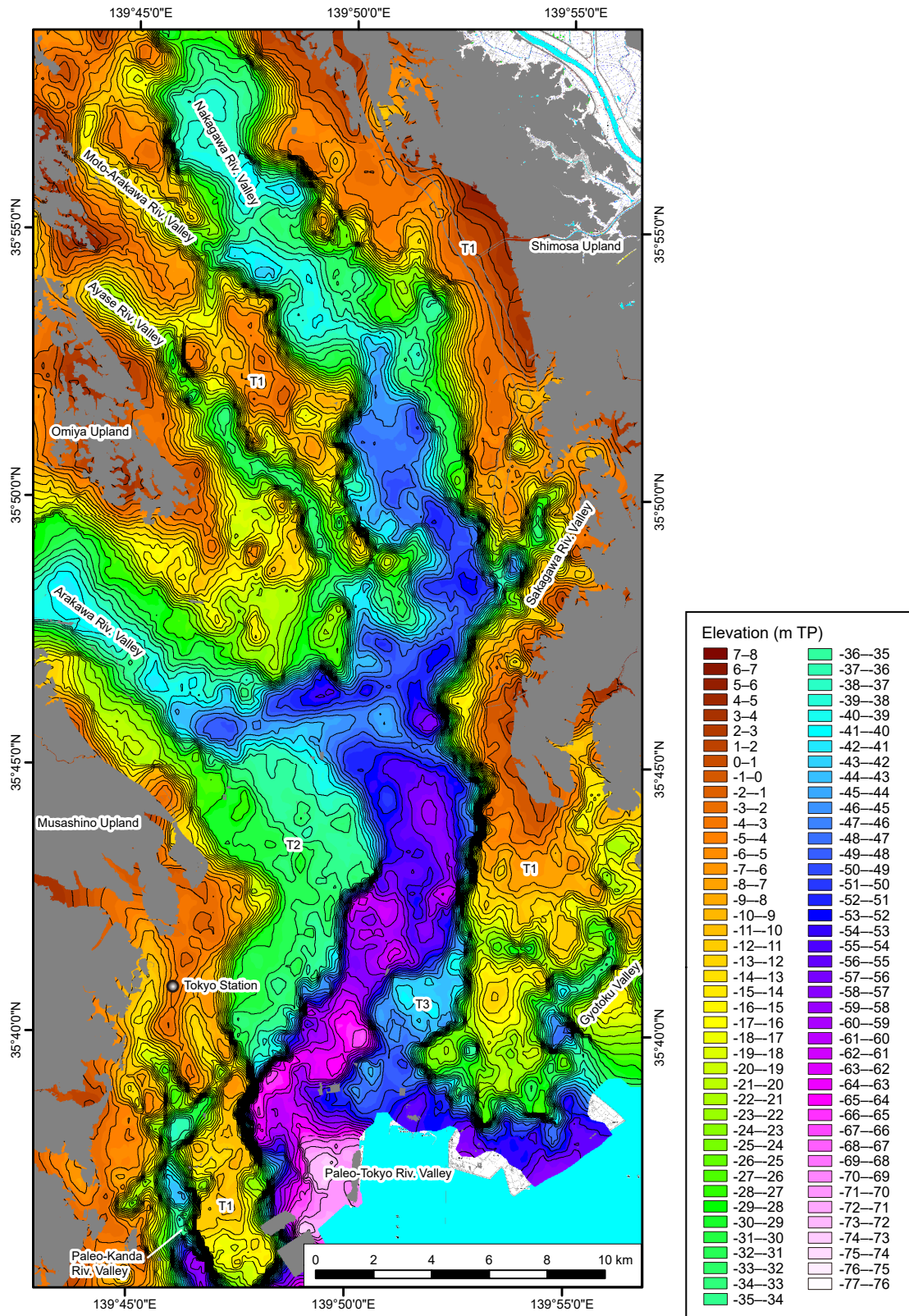
The distribution of the thickness of the mud with N -value < 5 is based on the voxel model made for this study. The black solid lines show the incised-valley topography formed into the LGM (Fig. 3). The contour interval is 2 m. Gray shadings represent area higher than 10 m above the Tokyo Peil datum.

が、ここでは沖積層が厚く分布しており、BGを貫入する十分な数のデータが得られていない。T2面を構成するBTが厚層なのは、第2図のAA'断面とBB'断面によると、MIS 3のBTと下総層群を構成する礫層が重なって分布するためである。埋没段丘を構成する礫層は、T3面を構成するBTのように、現在の利根川における河道の水深(福岡ほか, 2004)と同じ規模の2~5mの層厚を有するのが一般的であると考えられる。古東京川開析谷の左岸のT1面にBTが分布しないのは、T1面を形成した河川が礫を運搬・堆積しなかったのとT1面構成層とその下位の下総層群に礫層が含まれないためである。また、行徳開析

谷にBGが存在しないのは、その集水域に礫層が分布しないためである。古神田川開析谷の下流のBGが厚いのは、下総層群を構成する礫層が開析谷に露出することによる(第2図のCC'断面)。古神田川には、その上流におけるBGの層厚が示すように、武蔵野台地を構成する礫を侵食・運搬するような流量は無かったと考えられる。

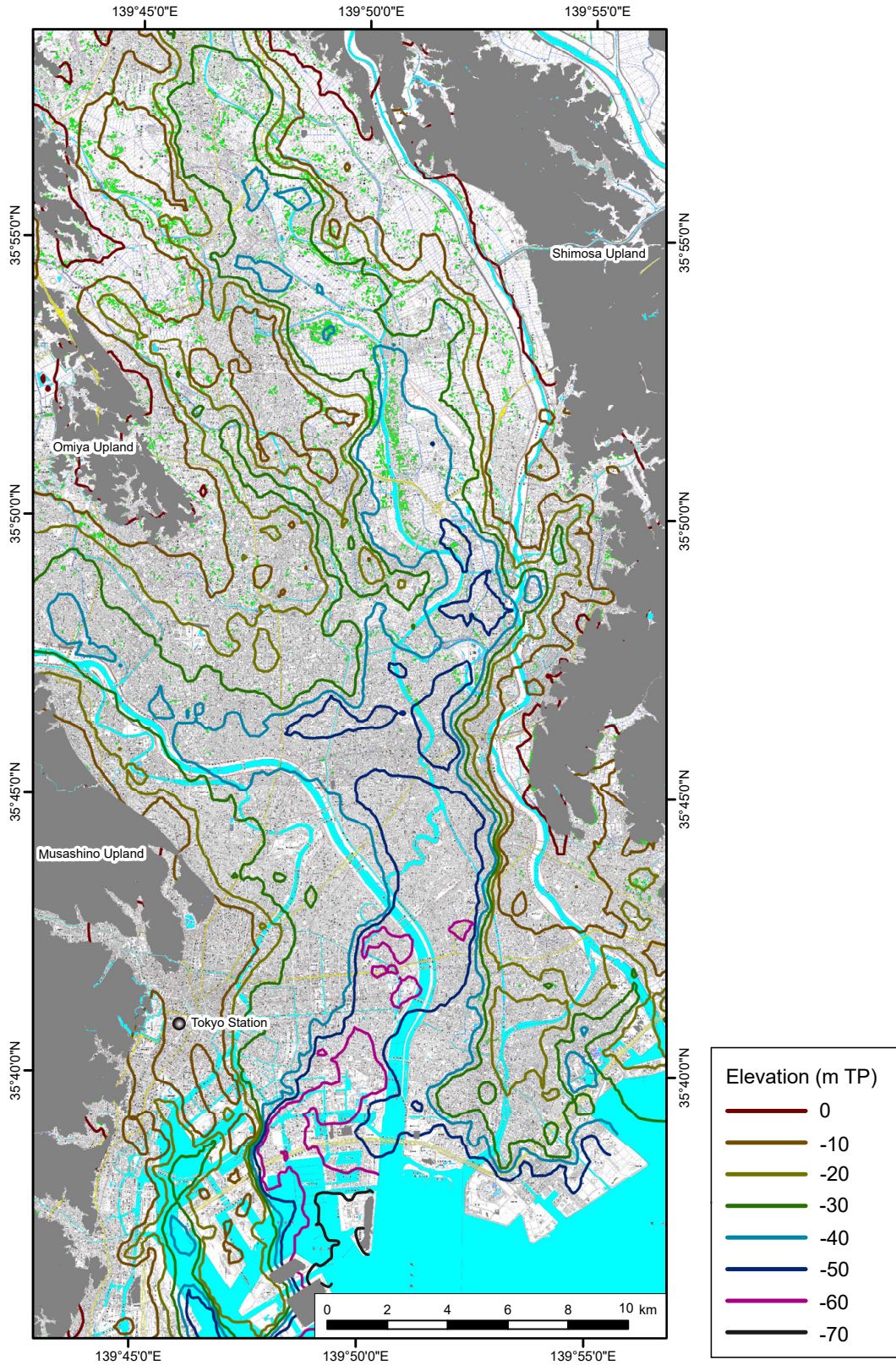
第5図は、N値5以下の軟弱泥層の層厚分布と沖積層の基盤地形の等高線を重ね合わせたものである。沖積層の開析谷では軟弱泥層が厚く分布する。これは、開析谷ではエスチュアリーならびにデルタ成の内湾泥層が谷埋め堆積物として厚く分布するためである。この図は、軟弱

東京低地南部における沖積層の基盤地形 (田辺・石原)



第6図 東京低地と中川低地における沖積層の基盤地形。
等高線は2m間隔。灰色は標高が10m以上の地域を示す。TPは東京湾平均海面(Tokyo Peil)を意味する。

Fig. 6 Incised-valley topography formed into the LGM beneath the Tokyo and Nakagawa lowlands.
The contour interval is 2 m. Gray shadings represent area higher than 10 m above the Tokyo Peil datum (TP; mean sea-level at Tokyo Bay).



第7図 東京低地と中川低地における沖積層基底面の等高線。

灰色は標高が10 m以上の地域を示す。TPは東京湾平均海面(Tokyo Peil)を意味する。

Fig. 7 The contours of incised-valley topography formed into the LGM beneath the Tokyo and Nakagawa lowlands. Gray shadings represent area higher than 10 m above the Tokyo Peil datum (TP; mean sea-level at Tokyo Bay).

泥層の層厚が、おおよそではあるが沖積層の層厚の指標になることを示す。なお、このような軟弱泥層の層厚は、地震被害や地盤沈下と強い相関を持つことが知られている(貝塚・松田, 1982; 遠藤ほか, 2001)。

7. 東京低地北部および 中川低地の基盤地形との対比

第6図は東京低地南部における沖積層の基盤地形を東京低地北部と中川低地におけるそれと対比したものである。また、第7図は第6図の10 m間隔の等高線を表したものである。第6図によると、中川開析谷の左岸と右岸にT1面と同じ深度の平坦面が確認できる。特に中川開析谷の左岸のT1面には、BTが存在せず、下総層群に部分的にローム層が被覆することが報告されており、東京低地南部におけるT1面と同じく、MIS 5aの武蔵野段丘と対比される(田辺ほか, 2014; Ishihara and Sugai, 2017)。また、中川開析谷と荒川開析谷、そして古東京川開析谷の基底にはBGが存在するが、下総台地を開析する行徳開析谷と坂川開析谷(遠藤ほか, 1989)、大宮台地を開析する元荒川開析谷と綾瀬川開析谷、武蔵野台地を開析する古神田川開析谷には、明瞭なBGは存在しない(田辺ほか, 2008a)(第6図)。これらの開析谷のうち、特に行徳開析谷と坂川開析谷、古神田川開析谷の基盤地形は、起伏に富んでおり、流路が屈曲する(第6図)。坂川開析谷と古神田川開析谷の形状は、十分な密度のボーリング柱状図から復元されており、このような起伏地形が補間による「目玉効果」では無いことを示す(田辺ほか, 2014)(第1図)。これらの起伏地形と流路の屈曲の形成にはBGによる被覆効果が無かったことが影響していると考えられる(Sklar and Dietrich, 2004)。つまり小規模な開析谷では、BGが分布しないために、河川による下刻と屈曲が、BGが分布する大規模な開析谷と比べて進行した。その結果、LGMにかけた海水準低下に伴って形成された瀬と淵(Thompson, 2018)もしくは深掘れ(福岡ほか, 2004; 高岡ほか, 2014)が顕在化したと考えられる

8. まとめ

本論では、5,767本のボーリング柱状図から沖積層の基底深度を読み取り、クリキング法による空間補間を行うことで、東京低地南部における沖積層の基盤地形を復元した。東京低地南部では、現在の荒川に沿って、南北方向に古東京川開析谷が縦断しており、その両岸にはMIS 5aとMIS 3, LGMの前半に形成されたと考えられる3段の埋没段丘が確認された。古東京川開析谷の左岸の埋没段丘は行徳開析谷、右岸の埋没段丘は古神田川開析谷などの小規模な開析谷によって開析される。このような開析谷を充填する沖積層の層厚は、N値5以下の軟弱泥層の層厚とおおよそ一致する。また、古東京川開析谷の基底には明瞭なBGが認められるが、行徳開析谷と古

神田川開析谷にはそれが認められなかった。行徳開析谷と古神田川開析谷では、古東京川開析谷のような礫による被覆効果が無かったために、LGMにかけた海水準低下に伴った河川による下刻と屈曲が進行し、瀬と淵もしくは深掘れに相当する起伏地形が顕在化したと考えられる。

謝辞 東京都と千葉県のボーリング柱状図の使用にあたって、地質情報研究部門の中澤 努氏と野々垣 進氏、ならびに東京都土木技術支援・人材育成センターと千葉県環境研究センターにお世話になりました。中澤 努氏には本論文の草稿の段階から有益なコメントを頂きました。また、編集委員である活断層・火山研究部門の松本 弾氏と査読者である再生可能エネルギー研究センターの石原 武志氏には適切なご指摘を頂きました。記して謝意を表します。本研究は産総研の「都市域の地質地盤図」プロジェクトの一環として行った。

文 献

- 千葉県環境研究センター (2002) ちば情報マップ. <http://map.pref.chiba.lg.jp> (閲覧日: 2020年2月25日)。
- 中条純輔(1962) 古東京川について—音波探査による—。地球科学, 59, 30–39。
- 土木研究所(2008) 国土地盤情報検索サイト(Kunijiban). <http://www.kunijiban.pwri.go.jp> (閲覧日: 2020年2月25日)。
- 遠藤秀典・相原輝雄・宇野沢 昭・松本英二・富樫茂子(1988) 東京低地の本所埋没段丘及びその埋積堆積物の形成年代。第四紀研究, 26, 401–405。
- 遠藤邦彦(2017) 日本の沖積層—未来と過去を結ぶ最新の地層—改訂版。富山房インターナショナル, 東京, 475p。
- 遠藤邦彦・小杉正人・菱田 量(1988) 関東平野の沖積層とその基底地形。日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, no. 23, 37–48。
- 遠藤邦彦・小杉正人・松下まり子・宮地直道・菱田 量・高野 司(1989) 千葉県古流山湾周辺域における完新世の環境変遷史とその意義。第四紀研究, 28, 61–77。
- 遠藤 毅・川島眞一・川合将文(2001) 東京下町低地における“ゼロメートル地帯”展開と沈静化の歴史。応用地質, 42, 74–87。
- 復興局建築部(1929) 東京及横浜地質調査報告。144p。
- 福岡捷次・池田 隆・田村浩敏・豊田 浩・重松 良(2004) 利根川下流部における六大深掘れ原因と低水路改修の評価。河川技術論文集, 10, 119–124。
- 羽鳥謙三・井口正男・貝塚爽平・成瀬 洋・杉村 新・戸谷 洋(1962) 東京湾周辺における第四紀末期の諸問題。第四紀研究, 2, 69–90。

- 井関弘太郎(1975) 沖積層基底礫層について. 地学雑誌, **84**, 1–18.
- Ishihara, T. and Sugai, T. (2017) Eustatic and regional tectonic controls on late Pleistocene paleovalley morphology in the central Kanto Plain, Japan. *Quaternary International*, **456**, 69–84.
- 石原与四郎・宮崎友紀・江藤稚佳子・福岡詩織・木村克己(2013) 東京港湾地域のボーリング情報を用いた浅層3次元地質・地盤モデル. 地質学雑誌, **119**, 554–566.
- Ishiwa, T., Yokoyama, Y., Okuno, J., Obrochta, S., Uehara, K., Ikehara, M. and Miyairi, Y. (2019) A sea-level plateau preceding the Marine Isotope Stage 2 minima revealed by Australian sediments. *Scientific Reports*, **9**, 6449. doi:10.1038/s41598-019-42573-4.
- 石綿しげ子(2004) 東京湾北部沿岸域の沖積層と堆積環境. 第四紀研究, **43**, 297–310.
- 貝塚爽平(1979) 東京の自然史(増補第二版). 紀伊国屋書店, 東京, 239p.
- 貝塚爽平・松田磐余(1982) 首都圏の活構造. 地形区分と関東地震の被害分布図(20万分の1), 内外地図株式会社, 東京, 48p.
- Kaizuka S., Naruse Y. and Matsuda I. (1977) Recent formations and their basal topography in and around Tokyo Bay, Central Japan. *Quaternary Research*, **8**, 32–50.
- 風岡 修・小松原 純子・宮地良典・潮崎翔一・香川 淳・吉田 剛・加藤晶子・中澤 努(2018) 第5章 沖積層及び人工地層. 都市域の地質地盤図「千葉県北部地域」(説明書), 産総研地質調査総合センター, 25–34.
- 菊地隆雄(1981) 先史時代の利根川水系とその変遷. アーバンクボタ, no. 19, 2–5.
- 小池一之・町田 洋編(2001) 日本の海成段丘アトラス. 東京大学出版会, 東京, 122p.
- 小杉正人・金山喜昭・張替いづみ・樋泉岳二・小池裕子(1989) 古奥東京湾周辺における縄文時代黒浜期の貝塚形成と古環境. 考古学と自然科学, **21**, 1–22.
- Kuwano, Y., Shibasaki, T. and Aoki, S. (1971) Significance of buried valleys and other topographies in elucidating the Late Quaternary geohistory of Japanese coastal plains. *Quaternaria*, **14**, 217–236.
- 町田 洋・新井房夫(2003) 新編火山灰アトラス. 東京大学出版会, 東京, 336p.
- 牧野内猛・森 忍・檀原 徹・竹村恵二・濃尾地盤研究委員会断面WG (2001) 濃尾平野における沖積層基底礫層(BG)および熱田層海成粘土層の年代—臨海部ボーリング・コアのテフラ分析に基づく成果—. 地質学雑誌, **107**, 283–295.
- Matsuda, I. (1974) Distribution of the Recent Deposits and Buried Landforms in the Kanto Lowland, Central Japan. *Geographical reports of Tokyo Metropolitan University*, no. 9, 1–36.
- 松田磐余(1993) 東京湾と周辺の沖積層. 貝塚爽平(編), 東京湾の地形・地質と水, 築地書館, 東京, 67–109.
- Milliman, J.D. and Farnsworth, K.L. (2011) *River Discharge to the Coastal Ocean: A Global Synthesis*. Cambridge University Press, Cambridge, 384p.
- 中澤 努・田辺 晋(2011) 野田地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 72p.
- 岡 重文・菊地隆男・桂島 茂(1984) 東京西南部地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 148p.
- 大山 柏・宮坂光次・池上啓介(1933) 東京湾に注ぐ主要溪谷の貝塚に於ける縄紋式石器時代の編年学的研究豫報(第1編), 史前学雑誌, **3**, 1–84.
- 埼玉県環境科学国際センター (2013) 埼玉県ボーリング柱状図. <https://www.arcgis.com/apps/Viewer/index.html?appid=db719dd521424b3d941a426b7d3f6d71> (閲覧日: 2020年2月25日).
- Sklar, L.S. and Dietrich, W.E. (2004) A mechanistic model for river incision into bedrock by saltating bed load. *Water Resources Research*, **40**, W06301. doi:10.1029/2003WR002496.
- Smith, V.C., Staff, R.A., Blockley, S.P.E., Bronk Rmasey, C., Nakagawa, T., Mark, D.F., Takemura, K., Danhara, T. and Suigetsu 2006 project members (2013) Identification and correlation of visible tephra in the Lake Suigetsu SG06 sedimentary archive, Japan: chronostratigraphic markers for synchronising of east Asian/west Pacific palaeoclimatic records across the last 150 ka. *Quaternary Science Reviews*, **67**, 121–137.
- 角田清美(2014) 東京都心・「日比谷の入江」の埋没地形と有楽町層. 駒澤地理, no. 50, 113–120.
- 高岡広樹・永山滋也・萱場祐一(2014) 木曾川における深掘れの実態と形成過程に関する研究. 土木学会論文集B1(水工学), **70**, I_1015–I_1020.
- 田辺 晋(2019) 東京低地と中川低地における沖積層の形成機構. 地質学雑誌, **125**, 55–72.
- 田辺 晋・中西利典・木村克己・八戸昭一・中山俊雄(2008a) 東京低地北部から中川低地にかけての沖積層の基盤地形. 地質調査研究報告, **59**, 497–508.
- 田辺 晋・石原与四郎・中島 礼(2008b) 東京低地北部における沖積層のシーケンス層序と古地理. 地質調査研究報告, **59**, 509–547.
- 田辺 晋・石原与四郎・中西利典(2010) 東京低地から中川低地にかけての沖積層の層序と物性: 沖積層の2

- 部層区分について. 地質学雑誌, **116**, 85–98.
- 田辺 晋・中島 礼・内田昌男・柴田康行(2012) 東京低地臨海部の沖積層にみられる湾口砂州の形成機構. 地質学雑誌, **118**, 1–19.
- 田辺 晋・石原武志・小松原 琢(2014) 沖積層の基底にみられる起伏地形: その成因の予察的解釈. 地質調査研究報告, **65**, 45–55.
- Tanabe, S., Nakanishi, T., Ishihara, Y. and Nakashima, R. (2015) Millennial-scale stratigraphy of a tide-dominated incised valley during the last 14 kyr: Spatial and quantitative reconstruction in the Tokyo Lowland, central Japan. *Sedimentology*, **62**, 1837–1872.
- Thompson, D.M. (2018) Pool-riffle sequences. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. doi:10.1016/B978-0-12-409548-9.11029-2.
- 東京港地下地質研究会(2000) 東京港地域の地下地質層序. 地団研専報, no. 47, 10–22.
- 東京都土木技術研究所(1969) 東京都地盤地質図(23区内)東京都地質図集2.
- 東京都土木技術支援・人材育成センター(2014) 東京の地盤(GIS版). <http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/jigyo/tech/start/03-jyohou/geo-web/00-index.html> (閲覧日: 2020年2月25日).
- 東京都港湾局(2001) 新版東京港地盤図. 89p.
- Yokoyama, Y., Esat, T.M., Thompson, W.G., Thomas, A.L., Webster, J.M., Miyairi, Y., Sawada, C., Aze, T., Matsuzaki, H., Okuno, J., Fallon, S., Braga, J., Humblet, M., Iryu, Y., Potts, D.C., Fujita, K., Suzuki, A. and Kan, H. (2018) Rapid glaciation and a two-step sea level plunge into the Last Glacial Maximum. *Nature*, **559**, 603–607.
- (受 付 : 2020年2月25日 ; 受 理 : 2020年5月29日)

青森県七戸町坪川セクションにおける上部中新統～鮮新統の年代層序

工藤 崇^{1,*}・柳沢 幸夫¹

KUDO Takashi and YANAGISAWA Yukio (2020) Chronostratigraphy of the Upper Miocene to Pliocene succession of the Tsubokawa Section in Shichinohe Town, Aomori Prefecture, Northeast Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 71 (3), p. 215-233, 8 figs, 2 tables, 4 plates, 1 appendix.

Abstract: Diatom biostratigraphic analysis and fission-track (FT) dating were carried out for the Upper Miocene to Pliocene successions exposed along the Tsubokawa River (Tsubokawa Section), in Shichinohe Town, Aomori Prefecture, Northeast Japan. The Upper Miocene to Pliocene are divided into the Wadagawa, Kotsubogawa and Ichinowatari formations in ascending order. The Wadagawa Formation in the Tsubokawa Section was correlated to the diatom zones NPD5C and NPD6A. The FT age of a pumice lapilli tuff layer of the Ichinowatari Formation was dated at 4.1 ± 0.4 Ma (1σ). The age of each formation estimated from stratigraphic relations, biostratigraphy and FT age is as follows; Wadagawa Formation: 12-8 Ma, Kotsubogawa Formation: 10-8 Ma, Ichinowatari Formation: about 4 Ma. Andesitic volcanic rocks (10-7 Ma) correlated to the Kotsubogawa Formation are widely distributed in the northernmost part of the Ou Backbone Range and the Osoreyama Mountains. This shows that vigorous andesitic submarine volcanism simultaneously occurred in these wide areas in 10-7 Ma.

Keywords: diatom, fission-track age, chronostratigraphy, Wadagawa Formation, Kotsubogawa Formation, Ichinowatari Formation, Miocene, Pliocene, Late Miocene volcanism, Aomori, Northeast Japan

要 旨

青森県七戸町坪川セクションに露出する上部中新統～鮮新統を対象として、珪藻化石分析とFT年代測定を実施した。坪川セクションの上部中新統～鮮新統は、下位より和田川層、小坪川層、市ノ渡層に区分される。和田川層からはNPD5C帯及びNPD6A帯に相当する珪藻化石が産出した。市ノ渡層中の軽石火山礫凝灰岩層からは 4.1 ± 0.4 MaのFT年代値が得られた。層序関係、微化石データ及びFT年代から、各地層の堆積年代は、和田川層：12～8 Ma、小坪川層：10～8 Ma、市ノ渡層：約4 Maと見積もられる。小坪川層に相当する安山岩主体の火山岩層(10～7 Ma)は、奥羽脊梁山脈北端部とその北方延長部において広域に分布が認められる。このことは、安山岩マグマによる活発な海底火山の活動がこの時代に同時期に発生したことを示す。

1. はじめに

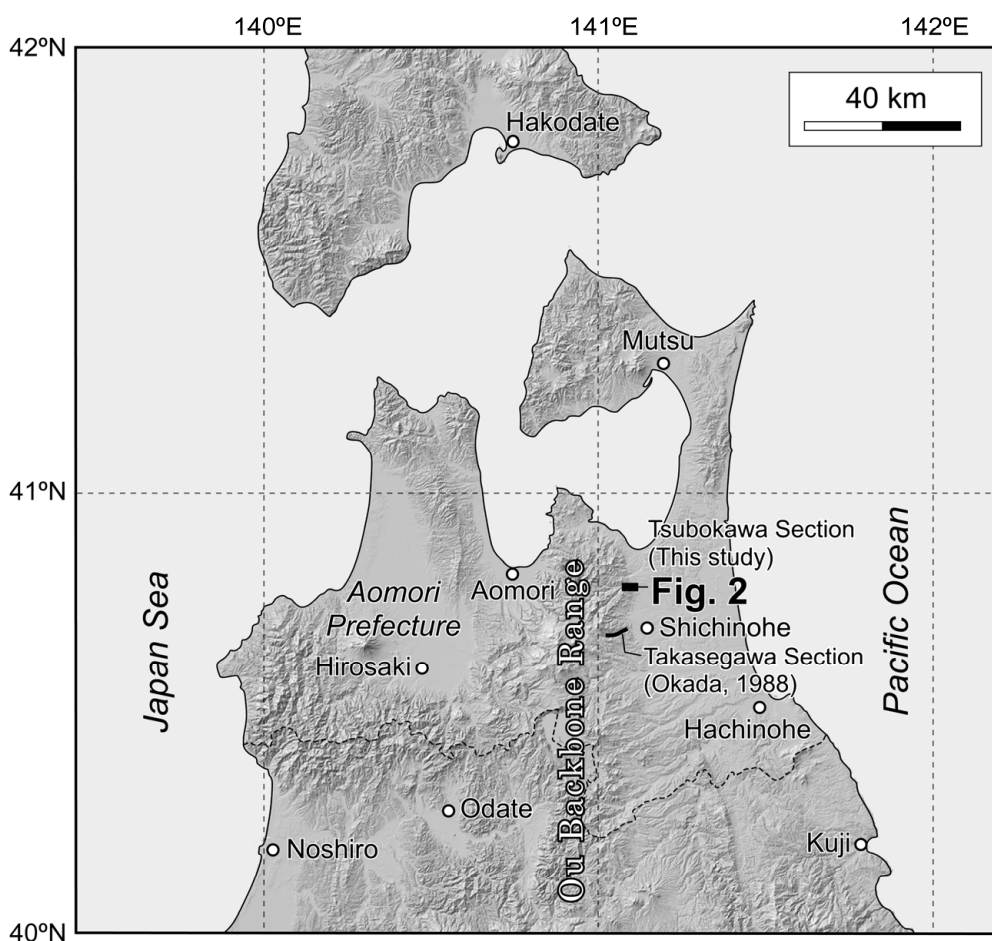
奥羽脊梁山脈北端部の青森県青森市東部～七戸町西部にかけての地域(第1図)には、新第三紀の火山岩・堆積岩が広く分布している。これらは日本海拡大期以降の島

弧発達の歴史を記録しており、特に本地域のような島弧中軸部に分布する新第三系は、火山フロント域における火山活動の長期的変遷や奥羽脊梁山脈の発達史を明らかにする上で重要な研究対象である。本地域の新第三系については、岩井・鈴木(1957)、岩井ほか(1958)、北村・岩井(1963)、井上(1965)、井上・奥田(1965)、斎藤(1965)、北村ほか(1972)、通商産業省資源エネルギー庁(1976)などの研究報告があり、層序の概要が明らかにされている。しかし、年代データが不足しているため、各地層の年代に関しては不明な点が多く残されている。これは、これまで本地域において放射年代測定が実施されていないこと、火山岩主体で続成作用が進んでおり化石の産出に乏しいことによる。本地域でこれまでに報告された年代決定に有効な化石は、岡田(1988)による石灰質ナンノ化石が唯一である。岡田(1988)は、七戸町高瀬川セクション(第1図)に露出する中新統よりOkada and Bukry (1980)のCN4～CN8帯に認定される石灰質ナンノ化石を報告した。

奥羽脊梁山脈の東端部、七戸町坪川沿いのルート(坪川セクション；第1図)は、この地域では比較的露出が良く、上部中新統～鮮新統の連続的な層序を確認できる

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

* Corresponding author: KUDO, T., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: kudo-taka@aist.go.jp



第1図 調査地域の位置図。地理院地図の陰影起伏図は国土地理院の地理院地図による。

Fig. 1 Locality map of the study area. Shaded-relief map is from the GSI Map of the Geospatial Information Authority of Japan.

(第2図；第3図)。我々は、本地域における新第三系の年代層序構築の第1歩として、これらを対象として珪藻化石分析とフィッシュン・トラック (FT) 年代測定を実施した。本論では、それらの結果を報告し、既存データと合わせて新第三系の年代層序を構築するとともに、後期中新世に発生した火山活動について若干の考察を行う。

2. 地質記載

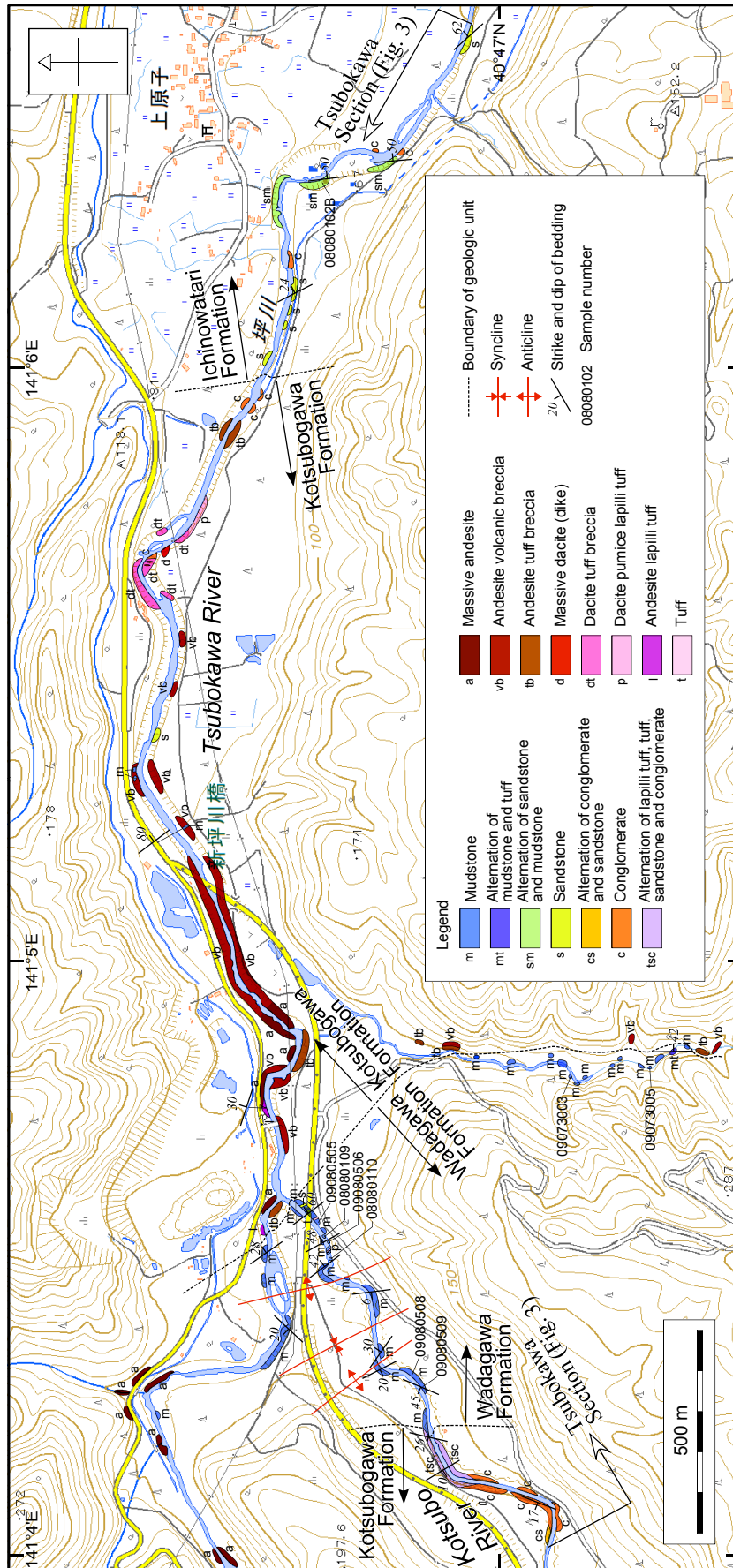
七戸町坪川セクション付近に分布する新第三系は、これまで岩井・鈴木(1957)、北村・岩井(1963)、斎藤(1965)、北村ほか(1972)、通商産業省資源エネルギー庁(1976)などによって調査・研究がなされてきた。ただし、これらの報告では、地層区分や分布に大きな食い違いがあり、同じ地層名であっても相当する部分が大きく異なる場合もある。そのため、本地域の新第三系については岩相層序の基本的な枠組みを含めた抜本的な再検討が必要な状況である。このうち、全体を総括している通商産業省資源エネルギー庁(1976)によれば、本地域の新第三系は下

位より、四沢層、和田川層、市ノ渡層からなる。本論では暫定的にこの層序区分を用いるが、和田川層中の溶岩・火山砕屑岩が卓越する部分については、岩井・鈴木(1957)、北村・岩井(1963)、斎藤(1965)に従い、小坪川層と呼ぶことにする。

七戸町坪川セクションの新第三系は、下位より和田川層、小坪川層及び市ノ渡層からなる(第2図；第3図)。坪川と小坪川の合流点付近より下流側では、これらは西から東に向かって累重し、20～80°程度で東方に傾斜する構造を示す(第2図)。一方、合流点付近よりも上流側では、背斜と向斜が繰り返すゾーンが認められ、更に上流側では西傾斜となり、上流側ほど上位の地層が露出する(第2図)。以下に各地層の記載を行う。

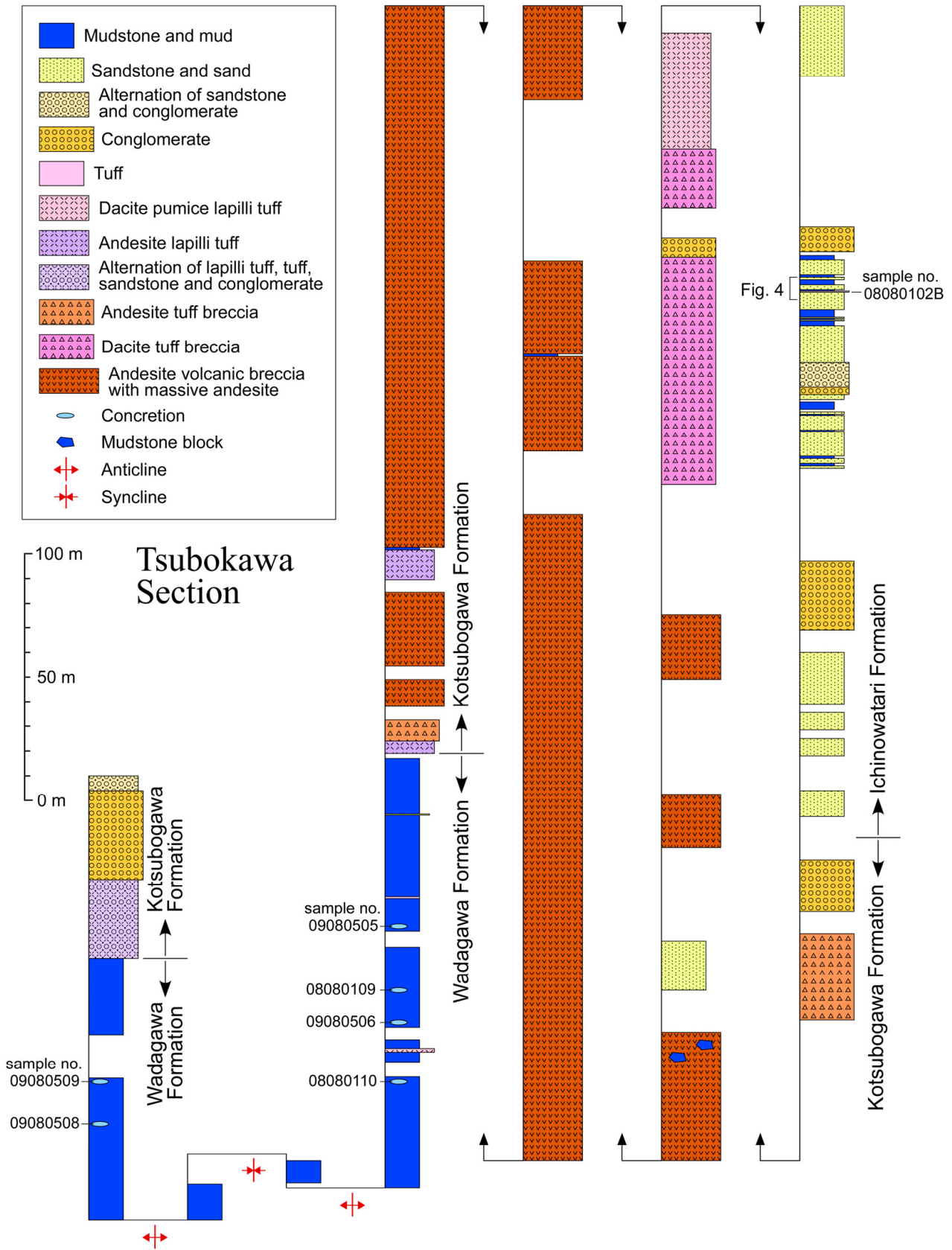
2.1 和田川層

命名は岩井・鈴木(1957)による。本層は主に珪質の暗灰色泥岩から構成され、一部で厚さ1.5 m以下の火山礫凝灰岩・凝灰岩や厚さ50 cm以下の砂層を挟む。泥岩



第2図 坪川流域(坪川セクション)のルートマップ。本区域の位置を第1図に示す。基図に国土地理院の地理院地図を使用。

Fig. 2 Route map along the Tsubokawa River (Tsubokawa Section). Location of this area is shown in Fig. 1. Base map is from Geospatial Information Authority of Japan.



第3図 坪川セクションの地質柱状図. 本セクションの位置を第2図に示す.

Fig. 3 Geological columns of the Tsubokawa Section. Locality of the section is shown in Fig. 2.

は、新鮮な内部は暗灰色を呈するが、露岩表面は赤褐色～橙灰色を呈することがあり、風化すると全体的に茶褐色を呈する。泥岩は、おおよそ厚さ50 cm以下の単位で硬軟互層をなす。しばしば長径1.5 m以下のレンズ状～球状の炭酸塩コンクリーションを含む(第3図)。一部の泥岩は極めて珪質かつ硬質で、光沢のある黒色を示し、貝殻状断面を示す黒曜岩状のものが認められる。本層からは、石灰質ナノ化石及び底生有孔虫化石の産出が報告されている(通商産業省資源エネルギー庁、1976；岡田、1988)。

2.2 小坪川層

命名は岩井・鈴木(1957)による。本層は安山岩水冷破碎溶岩及び火山碎屑岩を主体とし、デイサイト火山碎屑岩、礫岩、砂岩及び泥岩を伴う。安山岩水冷破碎溶岩は、塊状部と破碎部からなり、破碎部は火山角礫岩として産する。塊状部と破碎部は側方・上下方向に漸移関係にある。破碎部には一部で長径2 m前後の泥岩ブロックの取り込みが認められる(第2図；第3図)。安山岩火山碎屑岩は、凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩及び凝灰岩として産する。デイサイト火山碎屑岩は、凝灰角礫岩あるいは軽石火山礫凝灰岩として産し、しばしば放射状の冷却節理を持つ火山岩塊を含む。デイサイト火山碎屑岩は、幅10 m以下の同質の複数の岩脈により貫かれており、一部では両者が交じり合い、ペペライトと化している。礫岩は、角礫～亜円礫の細礫～巨礫からなり、塊状～成層、礫支持～基質支持と多様な岩相が認められるが、いずれも溶岩・火山碎屑岩と同質の安山岩～デイサイト礫からなる。砂岩は、いずれも凝灰質で、数m以下の厚さで礫岩や火山碎屑岩と互層をなす。泥岩は和田川層のものと同様な特徴を示す。層序関係と地質構造から見て、本層は和田川層を整合に被覆する(第2図；第3図)。岩井・鈴木(1957)、斎藤(1965)も、本層と和田川層の関係を整合関係としている。通商産業省資源エネルギー庁(1976)によれば、両者は広域的には指交関係にある。本層は、海成層の和田川層を整合に被覆し、和田川層と同様な岩相の泥岩を挟み、水冷破碎溶岩を産することから、海成層と判断される。本層の層厚は、坪川セクションでは少なくとも層厚1,400 mに達する(第3図)。

2.3 市ノ渡層

命名は岩井・鈴木(1957)による。本層は、未固結の地層からなり、砂層を主体とし、礫層及び泥層を伴う。砂層は淡褐色～褐色を呈し、砂層を構成する粒子は中粒～極粗粒砂サイズのものが多い。砂層には、塊状、平行層理、斜交層理を示すものが認められる。塊状岩相を示す砂層には、しばしば生痕化石が認められる。砂層は凝灰質なものが多く、層準によっては厚さ数cm以下のレンズ状軽石細礫～中礫層を繰り返し挟む。礫層は、亜角～亜

円礫の細礫～巨礫層からなり、塊状で淘汰が悪く、基質支持のものが多い。礫層は泥岩偽礫を含むことがある。泥層は、淡褐色～淡灰色～黄白色を呈し、いずれも平行もしくは斜交ラミナを示す。凝灰質なものが多い。泥層は3 m以下の厚さで砂層と互層をなす。坪川セクションの上原子南西では、本層中に少なくとも2枚の軽石火山礫凝灰岩層が挟在する。これらはそれぞれ層厚25 cm、9 cmで、長径1～2 cmの白色軽石で構成され、いずれも塊状岩相を示す(第3図；第4図)。坪川セクションでは本層と小坪川層の直接の層序関係は確認できなかったが(第3図)、両者の関係は構造的差異や地層の固結度の差から不整合と考えられている(岩井・鈴木、1957；斎藤、1965；北村ほか、1972；通商産業省資源エネルギー庁、1976)。

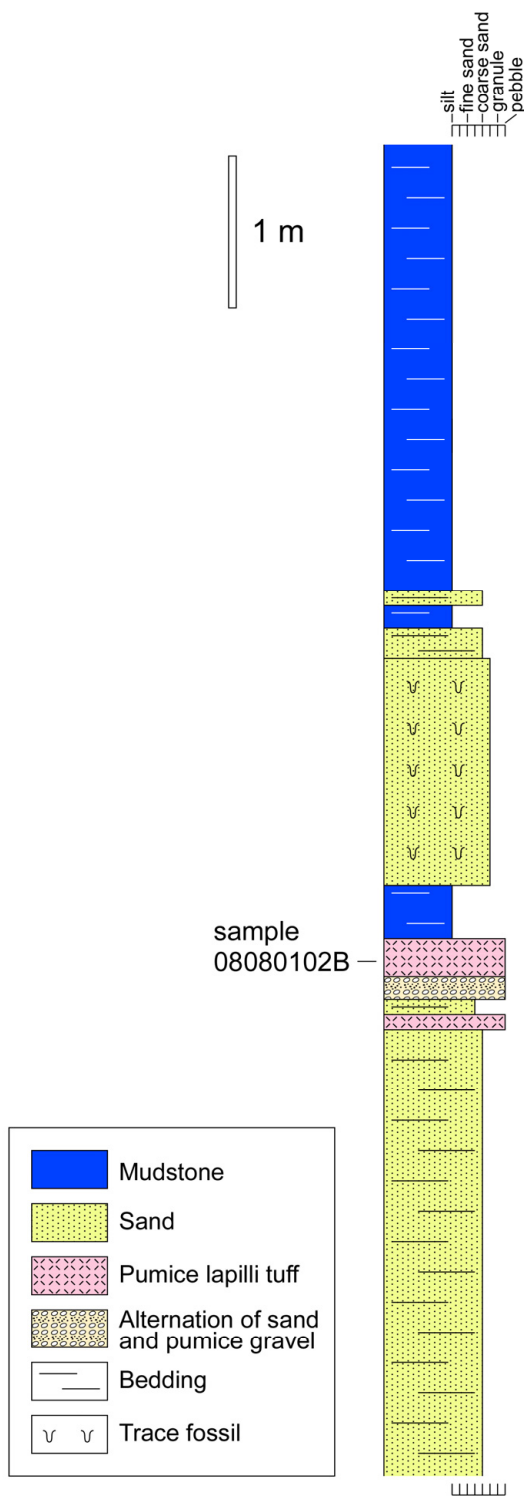
3. 試料及び分析手法

3.1 珪藻化石分析

珪藻化石分析用試料は、坪川及び小坪川沿い(坪川セクション)とその支流に露出する和田川層の泥岩から採取した(第2図；第3図)。坪川セクションにおける和田川層の泥岩は、比較的固結が進んでおり、シリカの続成作用により珪藻殻が溶解していると判断されたので、分析試料は珪藻化石が残存している可能性のある炭酸塩コンクリーションのみを採取した。坪川セクションでは、小坪川の下流側で4試料(08080110, 09080506, 08080109, 09080505)、上流側で2試料(09080508, 09080509)を採取した。また、坪川の支流でも2試料(09073005, 09073003)を採取した。

採取した試料約10 gを1 cm以下の大きさまでハンマーで碎き、100 mlビーカーに入れて希塩酸を注いで一昼夜放置した。溶け残った破片を取り除いた上で、純水を加えて2-3時間放置し、珪藻殻を含む泥質分が沈殿した後、上澄みを捨てて純水を加え、塩酸を希釈した。この作業を少なくとも8回以上繰り返して、液が中性に近い状態にした。次に、ビーカーに純水を加えて約100 mlの懸濁液とし、約20秒間放置して粗粒物が底に沈むのを待ち、上澄みの懸濁液からマイクロピペットで0.5 mlを取り出し、ホットプレート上に並べた18×18 mmのカバーガラスに滴下した。これを50°Cで2時間程度加熱・乾燥後、アルコールで薄めた封入剤Pleurax(和光純薬製、製品名マウントメディア)をカバーガラスに滴下し、さらに120°Cで3時間程度加熱してアルコール分を蒸発させた。最後にこのカバーガラスをスライドガラスに貼付し、裏返してホットプレートで封入剤がカバーガラス全域に広がるまで、200°Cで加熱した。

珪藻殻の計数は、生物顕微鏡600倍ないし1,000倍の倍率下で、*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全面を走査して、その過程で新たに認



第4図 FT年代測定用試料の採取層準を示す地質柱状図。
 Fig. 4 Geological column showing the stratigraphic horizon of the sample for FT age determination.

められた種または破片としてのみ認められた種はpresent (+)として記録した。休眠孢子については上記蓋殻計数時に認められた総数を別途記録した。

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。珪藻年代はWatanabe and Yanagisawa (2005)を用いて修正し、Gradstein *et al.* (2012)の地磁気極性年代尺度に合わせて調整した。

3.2 FT年代測定

市ノ渡層中に挟在する軽石火山礫凝灰岩層(第4図)から採取した試料を対象として、ジルコンFT年代測定を行った。測定対象としたのは、上原子南西で認められる2枚の軽石火山礫凝灰岩層のうち、上位側のものから採取した試料08080102Bである(第4図)。

測定を株式会社京都フィッション・トラックへ依頼した。年代測定手順はDanbara *et al.* (1991, 2003)に準拠し、ゼータ較正による外部ディテクター法(ED 2)を用いた。ジルコン中の自発トラックのエッチングは、KOH-NaOH共融液(225 °C)で44~45時間行った。誘導トラックの外部ディテクターにはDAP (diallyl phthalate)樹脂を用いた。熱中性子照射は日本原子力研究開発機構のJRR-3号炉気送管(測定年は2009年; Auに対するCd比は24)で行った。その際、熱中性子線量測定用の標準ガラスとしてNIST-SRM612を用いた。年代較正はゼータ法(Hurford and Green, 1983)で行った。ゼータ値は391 ± 4である(Danbara and Iwano, 2009)。ウラン濃度は、原子炉での熱中性子照射によって一定の確率で誘導核分裂が生じる²³⁵Uの濃度(誘導FT密度に比例)と、天然の²³⁵U/²³⁸U同位体比が一定であることを利用して求めた(岩野ほか, 2000)。

4. 分析結果

4.1 珪藻化石分析

処理した試料8試料すべてから珪藻化石が産出した(第1表)。いずれの試料でも珪藻殻は一部が溶解し、保存状態は非常に悪く、珪藻化石帯が認定できたのは4試料のみである。

小坪川の下流側の4試料(08080110, 09080506, 08080109, 09080505)のうち、最下位の試料08080110は、*Actinocyclus ingens f. ingens* (Rattray) Whiting & Schraderや*Stephanopyxis*属珪藻の殻破片がわずかに検出されたのみで、珪藻化石帯の推定はできなかった。残りの3試料はいずれもNPD5C帯(*Thalassiosira yabei*帯, 11.4–10.0 Ma)と認定される。NPD5C帯は、生層準 D55.2 (*Denticulopsis hustedtii* (Simonsen & Kanaya) Simonsenの初産出, 11.2 Ma)とD55.8 (*D. hustedtii*のアクメ, 10.2 Ma)により3区間に区分される(第5図)。また、D55.8にほぼ一致する*Thalassiosira*

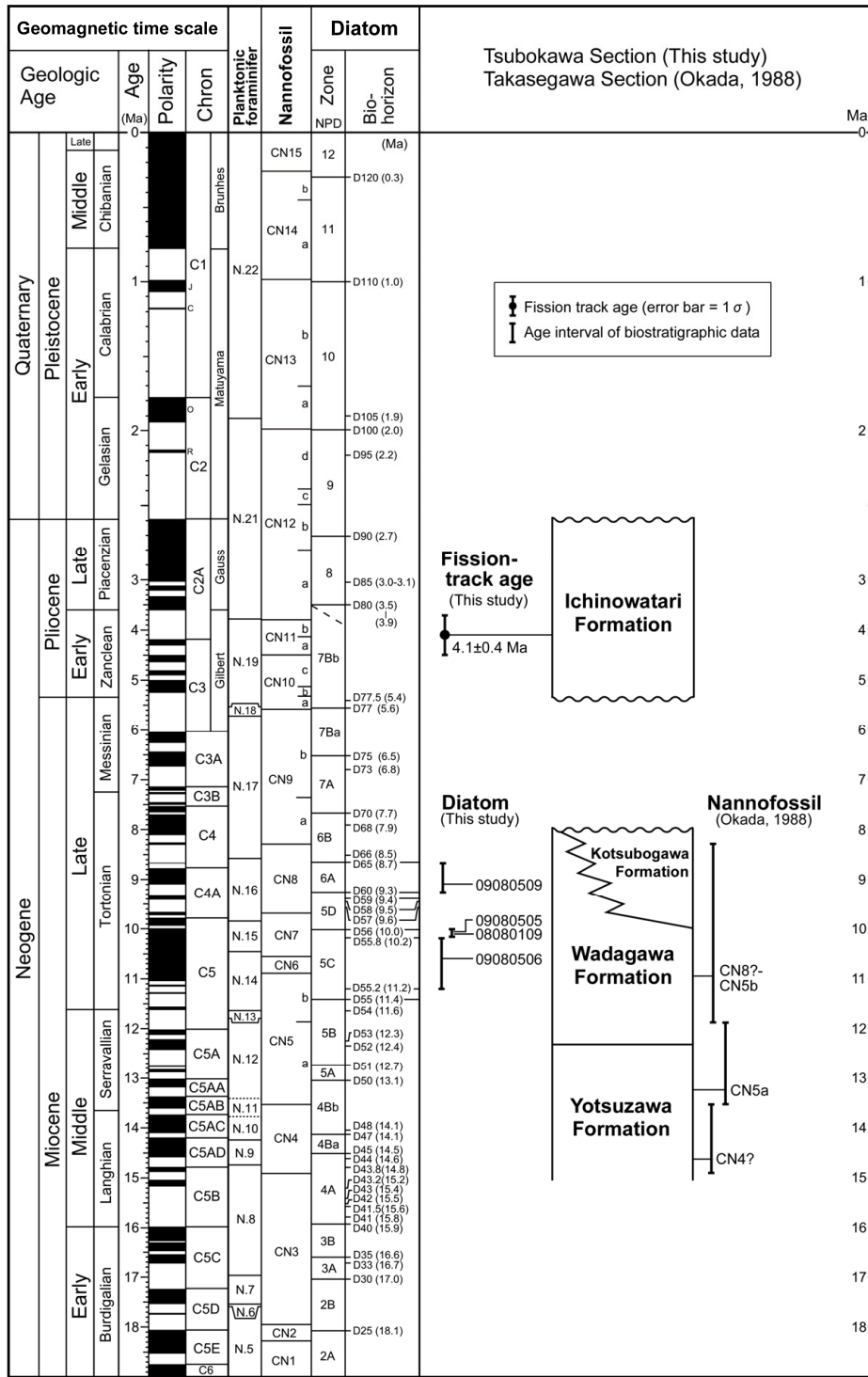
第1表 和田川層の珪藻化石産出表

Table 1 Occurrence chart of diatom fossils from the Wadagawa Formation

Diatom zone (NPD)	?	5C	5C	5C	?	6A	?	?
Sample	08080110	09080506	08080109	09080505	09080508	09080509	09073005	09073003
Preservation	VP	P	P	P	VP	P	VP	VP
Abundance	PD	R	C	R	R	R	R	R
<i>Actinocyclus ellipticus</i> Grunow	-	+	+	+	-	-	-	-
<i>A. ingens</i> f. <i>ingens</i> (Ratray) Whiting & Schrader	+	34	10	25	38	24	60	70
<i>A. ingens</i> f. <i>planus</i> Whiting & Schrader	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehrenb.) Ehrenb.	+	12	31	13	14	15	3	10
<i>Actinoptychus vulgaris</i> Schum.	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Arachnoidiscus</i> sp.	-	-	-	1	1	-	-	1
<i>Asteromphalus</i> sp.	-	-	3	-	-	-	-	-
<i>Azpeitia endoi</i> (Kanaya) P.A.Sims & G.A.Fryxell	-	4	2	+	-	1	-	-
<i>A. vetustissima</i> (Pant.) P.A.Sims	-	21	7	21	20	10	3	1
<i>Cavitatus jouseanus</i> (Sheshukova) D.M.Williams	-	-	+	-	-	+	-	-
<i>Cavitatus miocenicus</i> (Schrader) Akiba & Yanagisawa	-	-	+	+	-	-	-	-
<i>Cocconeis curviritunda</i> Brun & Temp.	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>C. vitrea</i> Brun	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Coscinodiscus marginatus</i> Ehrenb.	-	11	3	10	11	13	21	13
<i>C. radiatus</i> Ehrenb.	-	-	-	10	-	-	-	-
<i>C. spp.</i>	-	1	-	4	3	-	-	-
<i>Denticulopsis lauta</i> (Bailey) Simonsen	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>D. crassa</i> Yanagisawa & Akiba	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>D. hustedtii</i> (Simonsen & Kanaya) Simonsen	-	1	3	-	-	-	-	-
<i>D. katayamae</i> Maruyama	-	-	-	-	-	4	-	-
<i>D. praekatayamae</i> Yanagisawa & Akiba	-	-	-	-	-	1	-	-
<i>D. simonsenii</i> Yanagisawa & Akiba	-	1	1	+	-	-	-	-
<i>D. vulgaris</i> (Okuno) Yanagisawa & Akiba	-	1	3	+	-	+	-	-
S-type girdle view of <i>D. simonsenii</i> group	-	+	2	+	-	1	-	+
D-type girdle view of <i>D. simonsenii</i> group	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Eucampia</i> sp. A (= <i>Hemiaulus polymorphus</i> Grunow)	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Grammatophora</i> spp.	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Hemidiscus cuneiformis</i> G.G.Wall.	-	2	1	2	-	-	-	-
<i>Hyalodiscus obsoletus</i> Sheshukova	-	-	+	+	-	-	1	-
<i>Ikebea tenuis</i> (Brun) Akiba	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Lithodesmium reynoldsii</i> Barron	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Nitzschia heteropolica</i> Schrader	-	-	+	-	+	-	-	-
<i>Odontella aurita</i> (Lyngb.) J.A.Agardh	-	-	+	+	-	-	-	-
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenb.) Cleve	-	-	-	-	2	-	-	-
<i>Proboscia alata</i> (Bright.) Sundstöm	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>P. barboi</i> (Brun) Jordan & Priddle	-	1	+	1	-	-	-	-
<i>Rhabdonema japonicum</i> Temp. & Brun	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>hiemalis</i> Gran	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>R. styliformis</i> Brightw.	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Rouxia californica</i> Perag.	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Stellarima microtrias</i> (Ehrenb.) Hasle & P.A.Sims	-	-	+	1	-	+	-	-
<i>Stephanopyxis</i> spp.	+	8	6	3	8	25	10	3
<i>Thalassionema hirosakiensis</i> (Kanaya) Schrader	-	-	5	-	-	-	-	-
<i>T. nitzschoides</i> (Grunow) Mereschkowsky	-	2	9	5	2	5	2	1
<i>Thalassiosira grunowii</i> Akiba & Yanagisawa	-	-	10	-	1	-	-	-
<i>T. leptopus</i> (Grunow) Hasle & G.A.Fryxell	-	-	-	4	-	1	-	-
<i>T. temperei</i> (Brun) Akiba & Yanagisawa	-	-	4	-	-	-	-	-
<i>T. yabei</i> (Kanaya) Akiba & Yanagisawa	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve & Grunow	-	-	-	-	-	+	-	-
Total number of valves counted	+	100	100	100	100	100	100	100
Resting spore of <i>Chaetoceros</i>	-	4	3	5	2	5	7	10

Preservation, P: poor, VP: very poor. Abundance C: common, R: rare, PD: poor diatom

Occurrence, -: absent, +: present.



第5図 坪川及び高瀬川セクションにおける新第三系の年代層序。地磁気極性年代尺度はGradstein *et al.* (2012)に、珪藻化石帯区分はAkiba (1986), Yanagisawa and Akiba (1998)及びWatanabe and Yanagisawa (2005)に、石灰質ナノ化石帯区分はOkada and Bukry (1980)に、浮遊性有孔虫化石帯区分はBlow (1969)に基づく。

Fig. 5 Chronostratigraphy of the Neogene succession of the Tsubokawa and Takasegawa Sections. Geomagnetic polarity time scale: Gradstein *et al.* (2012). Diatom zones: Akiba (1986), Yanagisawa and Akiba (1998), Watanabe and Yanagisawa (2005). Nannofossil zones: Okada and Bukry (1980). Planktonic foraminifer zones: Blow (1969).

第2表 ジルコン・フィッション・トラック年代測定結果

Table 2 Results of zircon fission-track dating

Sample name	Geological unit	Latitude (N) Longitude (E)	n	Spontaneous ρ_s (cm^{-2}) (N_s)	Induced ρ_i (cm^{-2}) (N_i)	Dosimeter ρ_d (cm^{-2}) (N_d)	$P(\chi^2)$ (%)	r	U (ppm)	Age ($\pm 1\sigma$) (Ma)	Notes
08080202B	Ichinowatari Formation	40° 47' 13.6" 141° 6' 18.8"	45	2.72×10 ⁵ (122)	3.30×10 ⁶ (1479)	12.63×10 ⁴ (4548)	24	0.569	250	4.1 ± 0.4	reference age
			53	4.33×10 ⁵ (229)	3.30×10 ⁷ (1760)	12.63×10 ⁴ (4548)	0	0.379	250	6.4 ± 0.5	

$$\text{Fission track age (T)} = (1/\lambda_D) \times \ln[1 + \zeta_{ED2} \times (\rho_s/\rho_i) \times \rho_d], \sigma = T \times [1/\Sigma N_s + 1/\Sigma N_i + 1/\Sigma N_d + (\sigma_{\zeta/ED2})^2]^{1/2}$$

n, number of grains. ρ and N , density and total number of counted tracks, respectively. λ_D : alpha decay constant for ²³⁸U (1.55125×10⁻¹⁰ yr⁻¹; Steiger and Jäger, 1977). Analyses were made by using the external detector method that applied to external surface of zircon (ED2: Danhara *et al.*, 1991). NIST-SRM612 standard glasses were used as a dosimeter. $P(\chi^2)$, probability of obtaining the χ^2 value for ν degrees of freedom (ν = number of crystals - 1) (Galbraith, 1981). r , correlation coefficient between ρ_s and ρ_i . U, uranium content calculated based on the induced track densities (Iwano *et al.*, 2000). Zircon grains were irradiated using the pneumatic tube of reactor unit JRR-3 at the Japan Atomic Energy Agency,

tempereri (Brun) Akiba & Yanagisawaの初産出層準もD55.8の認定に役立つ。

試料09080506は、*Denticulopsis simonsenii* Yanagisawa & Akibaと*D. vulgaris* (Okuno) Yanagisawa & Akibaが産出し、*D. dimorpha* (Schrader) Simonsenと*D. praedimorpha* Barron ex Akibaを含まないことからNPD5C帯と認定される。さらに、この試料は、*D. hustedtii*を含むが*T. tempereri*を産出しないことから、生層準D55.2とD55.8の間(11.2–10.2 Ma)に位置づけられる(第5図)。

その上位の試料08080109も同様に*D. simonsenii*及び*D. vulgaris*の産出と、*D. dimorpha*及び*D. praedimorpha*の非産出からNPD5C帯と認定できる。この試料は*D. hustedtii*と*T. tempereri*を共に含むので、生層準D55.8にほぼ一致する*T. tempereri*の初産出層準よりも上位に位置することがわかる。したがって、この試料は生層準D55.8とNPD5C帯の上限との間の区間(10.2–10.0 Ma)に入る。なお、*D. hustedtii*はNPD5C帯の上限よりもわずかに下位で消滅するので(柳沢・渡辺, 2017)、この試料の上限年代は10.0 Maよりわずかに古いと思われる(第5図)。

さらに上位の試料09080505も*D. simonsenii*と*D. vulgaris*をわずかに産出し、*D. dimorpha*と*D. praedimorpha*を含まずNPD5C帯と認定できる。また、*D. hustedtii*が検出されないので、*D. hustedtii*の終産出より上位、すなわちNPD5C帯の上限よりわずかに下位に位置する可能性がある(第5図)。

小坪川上流側の2試料(09080508, 09080509)については、試料09080508は指標種が産出せず化石帯の認定はできなかったが、試料09080509は*Denticulopsis katayamae* Maruyamaを含み、*D. dimorpha*を伴わないことから、NPD6A帯(*D. katayamae*帯, 9.3–8.7 Ma)と認定できる(第5図)。

坪川の支流で採取した2試料(09073005, 09073003)については、いずれも指標種を産出しないため化石帯は判定できなかった。

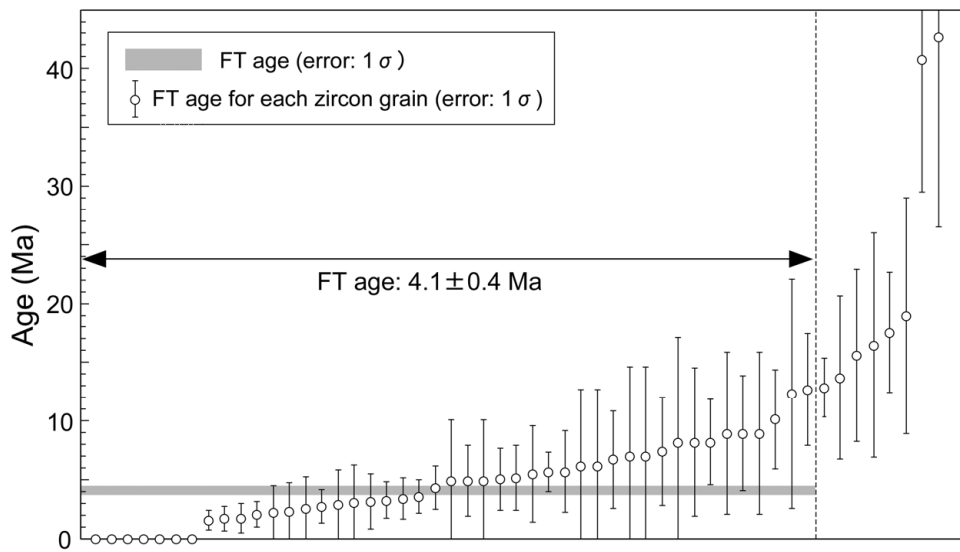
4.2 FT年代測定

測定結果を第2表に、ジルコン粒子毎の測定結果を付表1に示す。試料08080102Bに含まれるジルコンは、桃色を呈する結晶を主とするが、その他に褐色を呈する結晶も混在する。形や色から本質結晶と外来結晶の見極めが難しいため、測定粒子数を通常の30粒子から53粒子に増やし、測定精度を高めた。測定した53粒子のデータは0～10 Ma, 15 Ma付近, 40 Ma付近に分散する(第6図)。全粒子からの年代値としては、6.4±0.5 Ma(誤差は1 σ , 以下同様)が得られた(第2表)。しかし、この年代値は χ^2 検定に失格することから、その原因は古い見かけ年代をもつ外来結晶の混在と考えられる。客観的に外来結晶の除去を行う一つの方法として、 χ^2 検定に合格するまで粒子年代の古い順に1粒子ずつ除外し再計算を行った。その結果、12.9 Maより古い見かけ年代を持つ8粒子を除外したところで合格した。以上のことから、残る45粒子を同一年代集団に属するものと見なし、4.1±0.4 Maの年代値を得た(第2表; 第6図)。

5. 各地層の堆積年代

5.1 和田川層

今回の分析により、和田川層から採取した8試料のうち、3試料がNPD5C帯(11.4–10.0 Ma)に、1試料がNPD6A帯(9.3–8.7 Ma)と認定された(第5図)。このうち、NPD5C帯と判断された3試料はいずれも生層準D55.2(11.2 Ma)よりも上位に位置する。したがって、坪川セクションで露出する和田川層は、少なくとも11.2 Maから8.7 Maの年代範囲を含むことが判明した。なお、小坪川のより上流側で採取された試料09080509は、柱状図によれば09080506よりも見かけ上、下位層準に位置するが(第3図)、実際にはより若いNPD6A帯に対比された。このことは、試料09080506よりも見かけ下位層準のいずれかの露頭欠如部(第3図の柱状図欠如部)において、



第6図 全ジルコン粒子毎のFT年代. 灰色で示した領域は、若い方から45粒子を用いて計算したFT年代値と誤差を示す。

Fig. 6 Diagram showing the FT ages of individual zircon grains. The gray area shows the FT age with error calculated from younger 45 grains.

未確認の断層が存在し、地層の不連続が生じている可能性を示唆する。

岡田(1988)は、坪川南方の七戸町高瀬川セクション(第1図)に露出する和田川層から、Okada and Bukry (1980)のCN5b帯以降の石灰質ナノ化石の群集を報告し、最上位の試料から稀に産する*Discoaster braarudii*から、その上限をCN8帯と推測している(第5図)。さらに岡田(1988)は、和田川層の下位にあたる四沢層の中部からCN5a帯、同層下部からCN4帯と推定される石灰質ナノ化石を報告している(第5図)。このうち、和田川層の石灰質ナノ化石は、今回報告した坪川セクションの珪藻化石と年代的に矛盾しない(第5図)。これらの微化石データから、和田川層の年代は12～8 Ma頃と判断される(第5図)。従来の研究報告においても、和田川層の大部分は産出する底生有孔虫化石種から、秋田地域標準層序(例えば、池辺, 1962; 佐賀, 1992)の女川層に対比されると考えられてきた(通商産業省資源エネルギー庁, 1976)。これらの見解に矛盾は認められない。

なお、本論と岡田(1988)では、採用した地層の定義が異なり、同じ地層名でも違う地層を指しているため注意が必要である。本論の和田川層と四沢層は、岡田(1988)の道地層と和田川層にそれぞれ相当する。

5.2 小坪川層

小坪川層は、坪川セクションにおいて和田川層を整合に覆う(第2図; 第3図)。また、市ノ渡層には不整合に覆われる(岩井・鈴木, 1957; 斎藤, 1965; 北村ほか,

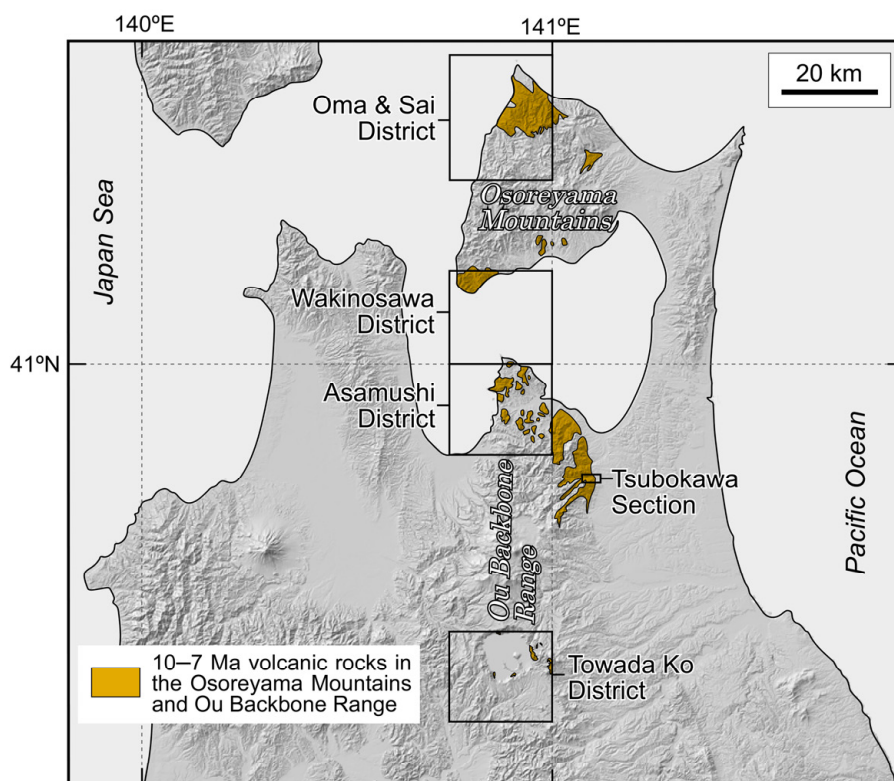
1972; 通商産業省資源エネルギー庁, 1976)。小坪川層は、和田川層の泥岩と共通した特徴を持つ泥岩を挟み、小坪川層と和田川層は広域的には指交関係にある(通商産業省資源エネルギー庁, 1976)。小坪川層は、坪川セクションでは少なくともNPD5C帯の最上部以降の時代にあたる(第5図)。和田川層と指交関係にあることも考慮に入れると、小坪川層の年代は10～8 Ma付近と推定される(第5図)。

5.3 市ノ渡層

市ノ渡層からは、今回初めて年代を示すデータが得られた。市ノ渡層は、これまで層序関係から、中新統とする見解(北村ほか, 1972; 通商産業省資源エネルギー庁; 1976)と鮮新統とする見解(岩井・鈴木, 1957; 北村・岩井, 1963; 斎藤, 1965; 青森県, 1998)があった。今回得られたFT年代データ(4.1 ± 0.4 Ma)は、市ノ渡層が鮮新統であることを示す(第5図)。

6. 奥羽脊梁山脈北端部及びその延長部における後期中新世の火山活動

小坪川層は、海底環境で堆積した安山岩の水冷破碎溶岩及び火山砕屑岩を主体とし、女川層相当の珪質泥岩を主体とする和田川層と指交関係にある。その堆積年代は前述の通り10～8 Maと推定される。小坪川層相当層は、坪川セクション周辺にも広域に分布しており(通商産業省資源エネルギー庁, 1976; 第7図)、その層厚は坪川セクションでは少なくとも1,400 mに達する(第3図)。以



第7図 恐山山地及び奥羽脊梁山脈北端部における11～7 Ma火山岩の分布. 産総研地質調査総合センター (2019) を一部改変. 十和田湖地域の火山岩分布は工藤ほか (2019) による. 区画は産総研地質調査総合センターによる5万分の1地質図幅の区画を示す.

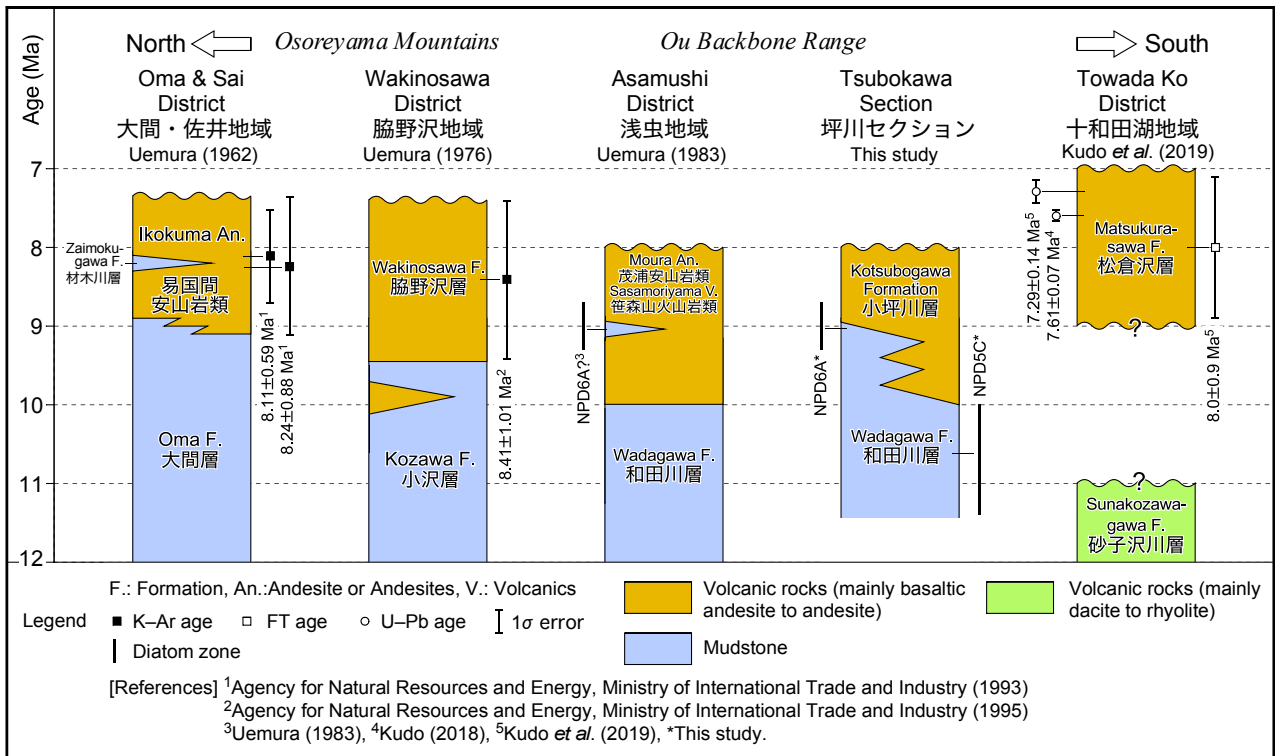
Fig. 7 Distribution of the 11-7 Ma volcanic rocks in the Osoreyama Mountains and the northernmost part of the Ou Backbone Range, partly modified from Geological Survey of Japan, AIST ed. (2019). Distribution of volcanic rocks in the Towada Ko District is from Kudo *et al.* (2019). Quadrangles show the outlines of quadrangle geological map series, 1:50,000 by Geological Survey of Japan.

上のことは、この地域において10～8 Ma頃に主に安山岩マグマによる比較的規模の大きな火山活動が発生したことを示す。小坪川層と同様な特徴を示す地層は、奥羽脊梁山脈北端部及びその北方延長部の恐山山地においても報告されている。以下ではそれらを概観し、奥羽脊梁山脈北端部及び恐山山地における後期中新世の火山活動と、そのテクトニクス的な位置付けについて若干の考察を行う。

小坪川層は、その分布の北西方では、^{あさむし}浅虫地域の^{もうら}茂浦安山岩類及び^{あさむし}笹森山火山岩類(上村, 1983)へと分布が連続する(第7図)。浅虫地域において、茂浦安山岩類と^{あさむし}笹森山火山岩類は、和田川層を整合に覆う(上村, 1983; 第8図)。上村(1983)によれば、茂浦安山岩類に挟まれる珪藻質泥岩からは*Denticulopsis hustedtii*が産出している。ただし、*D. hustedtii*はその後の分類学的研究によって数種に細分されており(例えば, Yanagisawa and Akiba, 1990), 現行の珪藻化石層序区分(Yanagisawa and Akiba, 1998)で使用されている*D. hustedtii*とは種概念が異なるので、化石帯の認定にあたっては注意が必要である。

この試料は、*Denticulopsis dimorpha*, *D. praedimorpha*, *D. hyalina* (Schrader) Simonsen及び*Crucidenticula nicobarica* (Grunow) Akiba & Yanagisawaが産出していないことから、NPD5C帯かNPD6A帯のどちらかの化石帯に相当すると判断できる。さらに、茂浦安山岩類が小坪川層と一連の地層をなすこと、珪藻の産出した珪藻質泥岩が層厚750 m以上に達する茂浦安山岩類の中部層準に挟在することを考慮すると、どちらかといえばNPD6A帯に相当している可能性の方が高いと思われる(第8図)。なお、^{あさむし}笹森山火山岩類からは 5.3 ± 4.7 Maの角閃石K-Ar年代が得られているが(須崎・箕浦, 1992), 誤差が非常に大きいためここでは採用しない。

浅虫地域の北方、恐山山地南西端に位置する脇野沢地域では、脇野沢層(鈴木・桑野, 1962)と呼ばれる安山岩の溶岩及び火山砕屑岩を主体とする地層が分布する(第7図)。脇野沢地域において、脇野沢層は珪質泥岩を主体とする^{こざわ}小沢層(北村ほか, 1959)を整合に覆う(上村, 1976; 第8図)。脇野沢層に近い層準では、小沢層中にも安山岩溶岩が認められている(上村, 1976; 第8図)。脇



第8図 恐山山地及び奥羽脊梁山脈北端部における上部中新統の層序対比。

Fig. 8 Stratigraphic correlations of Upper Miocene successions in the Osoreyama Mountains and the northernmost part of the Ou Backbone Range.

野沢層は、脇野沢地域の北東方にも分布しており(第7図)、ここから 8.41 ± 1.01 Maの全岩K-Ar年代が報告されている(通商産業省資源エネルギー庁, 1995)。

脇野沢地域の更に北方、恐山山地北西端部に位置する大間及び佐井地域では、易国間安山岩類(上村, 1962)と呼ばれる安山岩の溶岩及び火山砕屑岩を主体とする地層が広く分布する(第7図)。なお、易国間安山岩類は、山崎・周藤(1986)による奥戸安山岩類と目滝川石英安山岩類を合わせたものに相当する。易国間安山岩類は、珪質泥岩を主体とする大間層の上部に一部指交しながら整合に累重する(上村, 1962; 第8図)。また、易国間安山岩類は、珪藻質泥岩からなる材木川層を挟む(上村, 1962; 第8図)。易国間安山岩類からは、 8.11 ± 0.59 Ma, 8.24 ± 0.88 Maの全岩K-Ar年代が報告されている(通商産業省資源エネルギー庁, 1993)。

上述した火山岩主体の地層には、以下のような共通した特徴が認められる。それらは、1) 海底に堆積した安山岩の溶岩及び火山砕屑岩を主体とすること、2) 女川層相当の珪質泥岩を整合に被覆するか指交関係にあること、3) 10 ~ 7 Maの比較的限定された年代を示すこと、4) 上位側は不整合となっており削剝を受けていること、の4点である。以上のことは、奥羽脊梁山脈北端部とその北方延長部である恐山山地(以下、本地域と呼ぶ)において、

10 ~ 7 Maの間に、主に安山岩マグマによる海底火山の活動が広域においてほぼ同時期に発生していたことを示す。その主要な活動時期は9 ~ 7 Maに集中する可能性がある(第8図)。また、8 ~ 7 Ma頃以降に揃って不整合が認められ(第8図)、これより上位側では陸成層が主体となることから、これらの地域では8 ~ 7 Ma以降に顕著な隆起が起こったことを示す。

なお、最近、より南方に位置する十和田湖地域の詳細な地質図が公表され、新たに上部中新統の松倉沢層が定義された(工藤ほか, 2019)。松倉沢層は、玄武岩質安山岩~安山岩の溶岩・貫入岩・火山砕屑岩を主体とする9 ~ 7 Maの地層である(第8図)。これまでに、 7.61 ± 0.07 Ma, 7.29 ± 0.14 MaのジルコンU-Pb年代、 8.0 ± 0.9 MaのジルコンFT年代が報告されている(工藤, 2018; 工藤ほか, 2019; 第8図)。堆積環境の詳細及び下位層との関係に不明な点が残っているものの、岩質、年代、不整合で削剝される関係については、本地域の10 ~ 7 Ma火山岩と共通点が認められる。このことは、この時期の安山岩質マグマによる火山活動がより南方に、より広域に分布が広がっていた可能性を示唆しており、今後の詳細な検討が必要であろう。

東北日本弧中軸部を南北に走る奥羽脊梁山脈は、10 Ma頃に一時的に隆起した後、9 ~ 6.5 Maの広域沈降期を

経て、6.5 Ma頃から顕著な隆起を開始したと考えられている(Nakajima *et al.*, 2006; 中嶋, 2012, 2018). 10 Ma頃の一時的な奥羽脊梁山脈の隆起は、岩手県湯田盆地、仙台平野南西縁部などで認められる10 Ma頃の不整合の形成に関連したと考えられている(Nakajima *et al.*, 2006; Fujiwara *et al.*, 2008; 中嶋, 2012). 奥羽脊梁山脈北端部～恐ろ山山地においては、地質層序を見る限り、10 Ma頃の不整合や浅海化するようなサクセッションは認められておらず、既存資料からもそのような情報は検出できない。しかしながら、本地域で広域に認められる10～7 Maの火山活動は、奥羽脊梁山脈の一時的隆起(10 Ma前後)～広域沈降期(9～6.5 Ma)とほぼ同時期に発生しているように見える。時間解像度が十分ではないので断言できないが、これらの主要な火山活動の時期は広域沈降期に相当する可能性がある(第8図)。さらに、10～7 Maの火山岩層直上に認められる不整合(第8図)は、6.5 Ma以降の隆起により形成された可能性もある。奥羽脊梁山脈の隆起・沈降のタイミングと火山活動時期の相関の解明については今後の課題である。

7. まとめ

本論では、青森県七戸町坪川セクションに露出する上部中新統～鮮新統を対象として、珪藻化石分析とFT年代測定を実施した。また、既存データと合わせて年代層序を構築し、近隣地域との対比を行った。それらの結果、以下のことが明らかになった

- 1) 珪藻化石分析の結果、坪川セクションの和田川層からNPD5C帯及びNPD6A帯に相当する珪藻化石が産出した。
- 2) 市ノ渡層に挟在する軽石火山礫凝灰岩層から 4.1 ± 0.4 MaのFT年代値が得られた。
- 3) 層序関係、微化石データ及びFT年代から、各地層の堆積年代は、和田川層：12～8 Ma、小坪川層：10～8 Ma、市ノ渡層：約4 Maと見積もられる。
- 4) 小坪川層に相当する安山岩質の火山岩層は、奥羽脊梁山脈北端部とその北方延長部において広域に対比される。
- 5) 奥羽脊梁山脈北端部とその北方延長部では、安山岩マグマによる活発な海底火山の活動が10～7 Maの間に同時期に発生した。

謝辞：本論をまとめるにあたり、産総研の細井 淳氏からはFT年代データの扱いについてご助言を得た。査読者の辻野 匠氏、編集担当の内野隆之氏には、本論を改善する上で有益なコメントをいただいた。関係各位に深く感謝申し上げる。

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 the Deep Sea Drilling Project*, U. S. Government Printing Office, Washington D. C., **87**, 393–480.

青森県(1998) 青森県の地質. 青森県商工観光労働部鉱政保安課, 207p.

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* (Geneve, 1976), Leiden, no.1, 199–421.

Danhara, T. and Iwano, H. (2009) Determination of zeta values for fission-track age calibration using thermal neutron irradiation at the JRR-3 reactor of JAEA, Japan. *Journal of Geological Society of Japan*, **115**, 141–145.

Danhara, T., Kasuya, M., Iwano, H. and Yamashita, T. (1991) Fission-track age calibration using internal and external surfaces of zircon. *Journal of Geological Society of Japan*, **97**, 977–985.

Danhara, T., Iwano, H., Yoshioka, T. and Tsuruta, T. (2003) Zeta calibration values for fission track dating with a diallyl phthalate detector. *Journal of Geological Society of Japan*, **109**, 665–668.

Fujiwara, O., Yanagisawa, Y., Irizuki, T., Shimamoto, M., Hayashi, H., Fuse, K. and Iwano, H. (2008) Chronological data for the Middle Miocene to Pliocene sequence around the southwestern Sendai Plain, with special reference to the uplift history of the Ou Backbone Range. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **59**, 423–438.

Galbraith, R. F. (1981) On statistical models for fission track counts. *Journal of Mathematical Geology*, **13**, 471–478.

Gradstein, F., Ogg, J., Schmitz, M. D. and Ogg, G. M. (2012) *A Geologic Time Scale 2012*. Cambridge University Press, 1144p.

Hurford, A. J. and Green, P. F. (1983) The zeta age calibration of fission-track dating. *Isotope Geoscience*, **1**, 285–317.

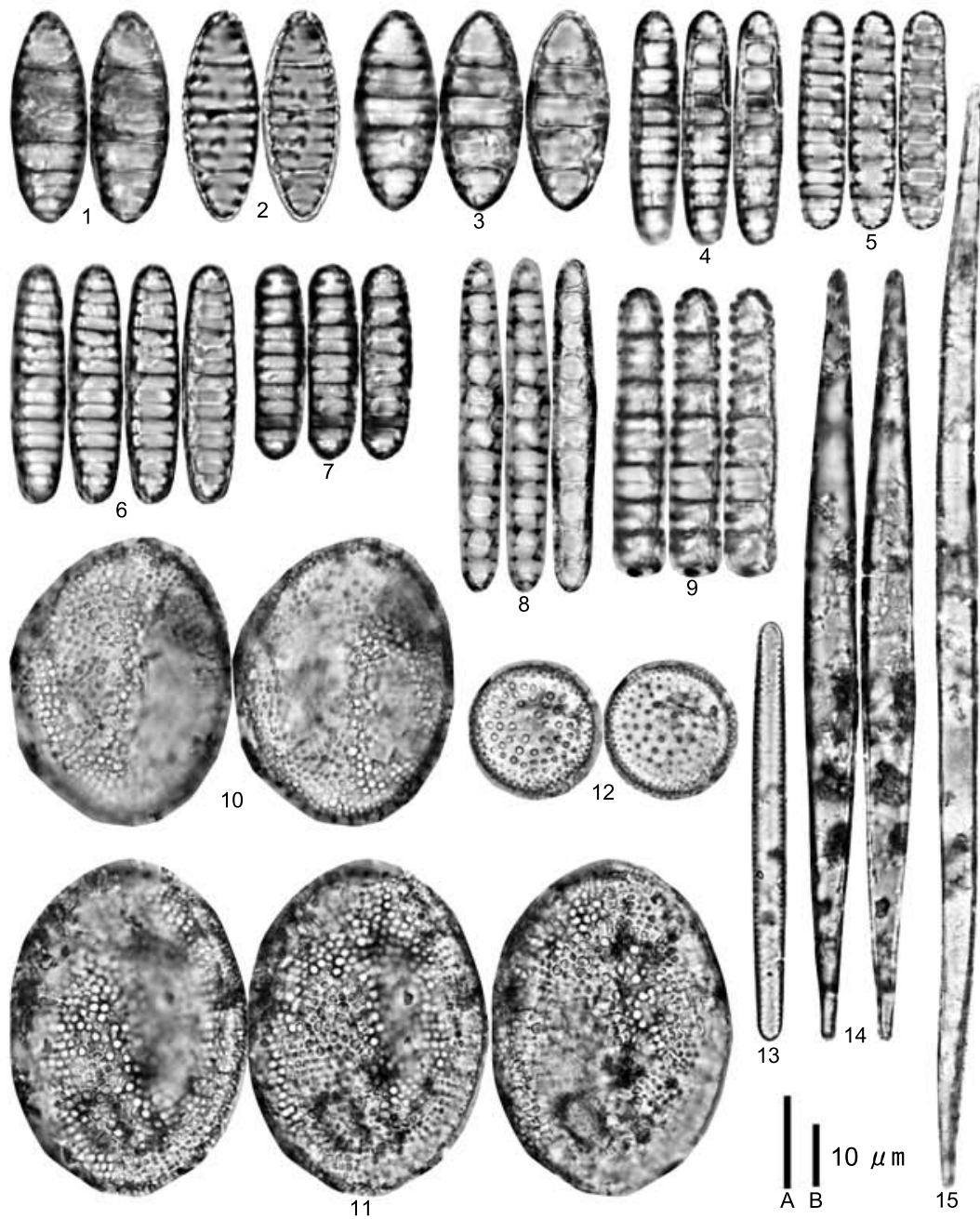
池辺 穰(1962) 秋田油田地域における含油第三系の構造発達と石油の集積について. 秋田大学地下資源研究施設研究報告, no. 26, 1–59.

井上 武(1965) 青森市東部、野内川・駒込川流域の地質調査報告. 青森市東部・上北地域地質調査報告書, 青森県水産商工部商工課, 1–9.

井上 武・奥田之宏(1965) 青森県上北郡・東津軽郡境界付近の地質調査報告. 青森市東部・上北地域地質調査報告書, 青森県水産商工部商工課, 1–7.

- 岩井淳一・鈴木養身(1957) 東津軽郡東部及び上北郡北西部地区. 青森県油田調査報告, 青森県水産商工部商工課, 1-11.
- 岩井淳一・青田俊寿・松山 力(1958) 青森県東部地域の地質. 青森県油田調査報告, 青森県水産商工部商工課, 6-11.
- 岩野英樹・吉岡 哲・檀原 徹(2000) フィッション・トラック法による年代およびウラン濃度算出式の再検討: 次世代年代測定システムに向けて. フィッション・トラックニュースレター, no. 13, 1-10.
- 北村 信・岩井武彦(1963) 青森県の新第三系. 青森県地質説明書, 青森県, 3-64.
- 北村 信・鈴木養身・多田元彦(1959) 下北半島西部の地質. 青森県水産商工部商工課, 14p.
- 北村 信・岩井武彦・多田元彦(1972) 青森県の新第三系. 青森県の地質, 青森県, 5-70.
- 工藤 崇(2018) 十和田湖周辺地域における前期~中期更新世火山活動史. 地質調査研究報告, **69**, 165-200.
- 工藤 崇・内野隆之・濱崎聡志(2019) 十和田湖地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅). 産総研地質調査総合センター. 192p.
- 中嶋 健(2012) 岩手県湯田盆地に分布する不整合と火砕岩鍵層: その奥羽山脈発達史上の意義について. 地球科学, **66**, 69-83.
- 中嶋 健(2018) 日本海拡大以来の日本列島の堆積盆テクトニクス. 地質学雑誌, **124**, 693-722.
- Nakajima, T., Danhara, T., Iwano, H. and Chinzei, K. (2006) Uplift of the Ou Backbone Range in Northeast Japan at around 10 Ma and its implication for the tectonic evolution of the eastern margin of Asia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **241**, 28-48.
- 岡田尚武(1988) 東北日本北部の新第三系における石灰質ナノ化石層序. 第三紀珪質頁岩層の総合研究, 昭和62年度科学研究費補助金(総合研究A)研究成果報告書, 81-86.
- Okada, H. and Bukry, D. (1980) Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation. *Marine Micropaleontology*, **5**, 321-325.
- 佐賀 肇(1992) B-2 秋田・山形地域, 第II編 日本海側グリーンタフ地域の石油地域. 改訂版「日本の石油・天然ガス資源」編集委員会編, [改訂版]日本の石油・天然ガス資源, 天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会, 53-80.
- 産総研地質調査総合センター(2019) 20万分の1日本シームレス地質図V2 (データ更新日2019年12月10日). <https://gbank.gsj.jp/seamless/> (閲覧日: 2019年12月20日).
- 斎藤洋彦(1965) 青森県七戸地方の山砂鉄鉱床-砂鉄鉱の堆積環境と撓曲構造-I. 岩鉱, **53**, 176-186.
- Steiger, R. and Jäger, E. (1977) Subcommission on geochronology, convention on the use of decay constants in geo- and cosmo-chronology. *Earth and Planetary Science Letters*, **36**, 359-362.
- 須崎俊秋・箕浦幸治(1992) 青森地域上部新生界の層序と古地理. 地質学論集, no. 37, 25-37.
- 鈴木養身・桑野幸夫(1962) 下北半島西部の第三系. 資源科学研究所集報, no. 56-57, 97-110.
- 通商産業省資源エネルギー庁(1976) 昭和50年度広域調査報告書, 八甲田地域. 88p.
- 通商産業省資源エネルギー庁(1993) 平成4年度広域地質構造調査報告書, 渡島・下北地域. 162p.
- 通商産業省資源エネルギー庁(1995) 平成6年度広域地質構造調査報告書, 渡島・下北地域. 107p.
- 上村不二雄(1962) 5万分の1地質図幅「大間・佐井」及び同説明書. 地質調査所, 39p.
- 上村不二雄(1976) 脇野沢地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅). 地質調査所, 14p.
- 上村不二雄(1983) 浅虫地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅). 地質調査所, 40p.
- 山崎 勉・周藤賢治(1986) 下北半島西北部の中新世火山岩類-特に水中火砕岩の産状と化学組成の特徴-I. 地球科学, **40**, 322-336.
- 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.
- Yanagisawa, Y. and Akiba, F. (1990) Taxonomy and phylogeny of the three marine diatom genera, *Crucidentacula*, *Denticulopsis* and *Neodenticula*. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **41**, 197-301.
- 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 Geological Society of Japan*, **104**, 395-414.
- 柳沢幸夫・渡辺真人(2017) 大佐渡地域南部に分布する新第三系堆積岩類の層序の改訂. 地質調査研究報告, **68**, 259-285.

(受付: 2020年1月10日; 受理: 2020年5月26日)



図版 1 和田川層から産出した珪藻化石。スケールバー Aは1-9, スケールバー Bは10-15に適用。
 Plate 1 Diatom fossils from the Wadagawa Formation. Scale bars A and B are for Figs. 1-9 and 10-15, respectively.

1-3: *Denticulopsis hustedtii* (Simonsen & Kanaya) Simonsen [08080109]

4: *Denticulopsis simonsenii* Yanagisawa & Akiba [08080109]

5-7: *Denticulopsis vulgaris* (Okuno) Yanagisawa & Akiba [08080109]

8, 9: *Denticulopsis katayamae* Maruyama [09080509]

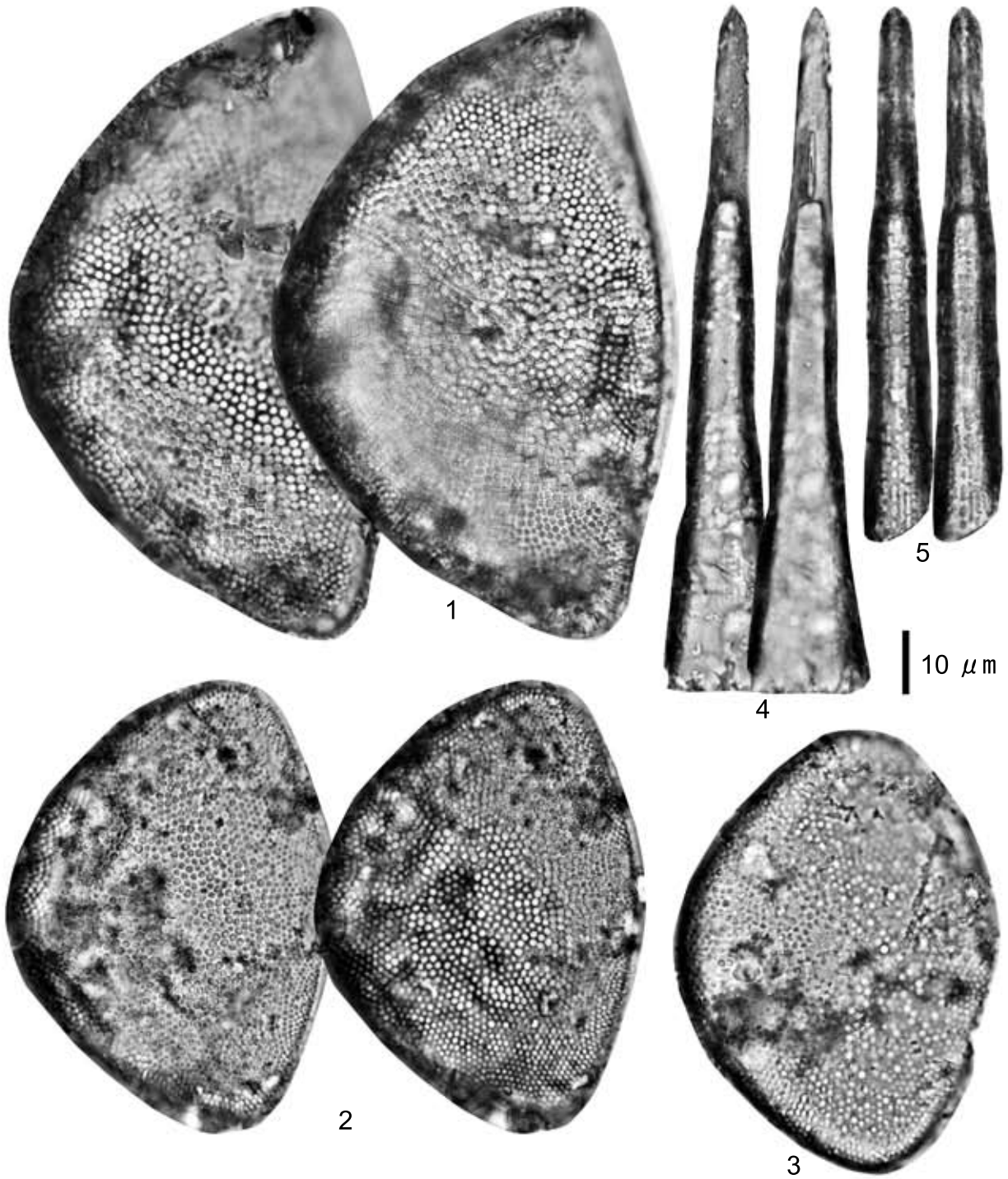
10, 11: *Thalassiosira temperei* (Brun) Akiba & Yanagisawa [08080109]

12: *Actinocyclus ingens* f. *planus* Whiting & Schrader [09080505]

13: *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschkowsky [09080505]

14: *Cavitatus jouseanus* (Sheshukova) D.M. Williams [08080109]

15: *Cavitatus miocenicus* (Schrader) Akiba & Yanagisawa [08080109]

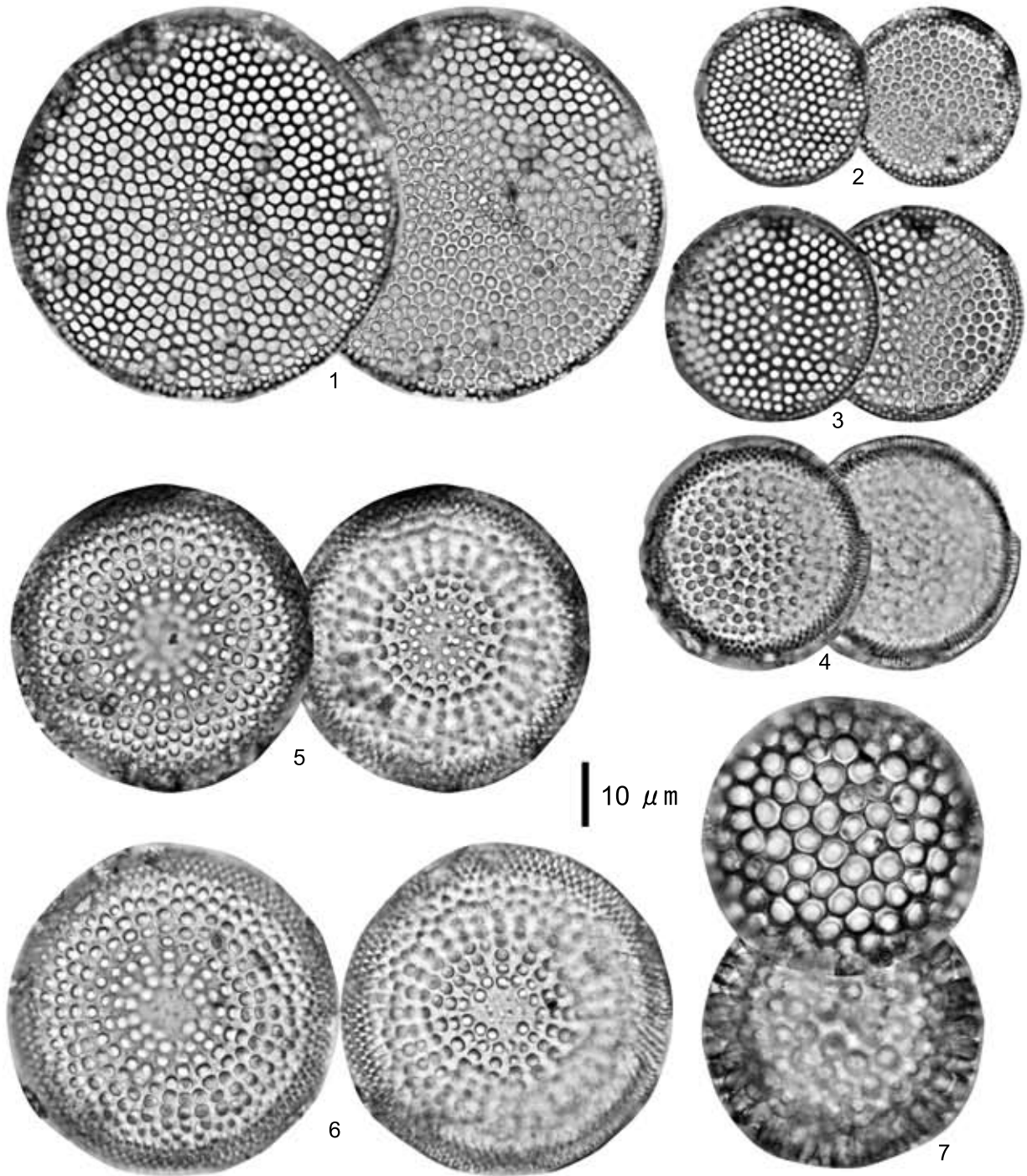


図版2 和田川層から産出した珪藻化石.

Plate 2 Diatom fossils from the Wadagawa Formation.

1-3: *Hemidiscus cuneiformis* G.G.Wall. [1, 2: 09080505, 3: 08080109]

4, 5: *Rhizosolenia hebetata* f. *hiemalis* Gran [08080109]



図版3 和田川層から産出した珪藻化石.

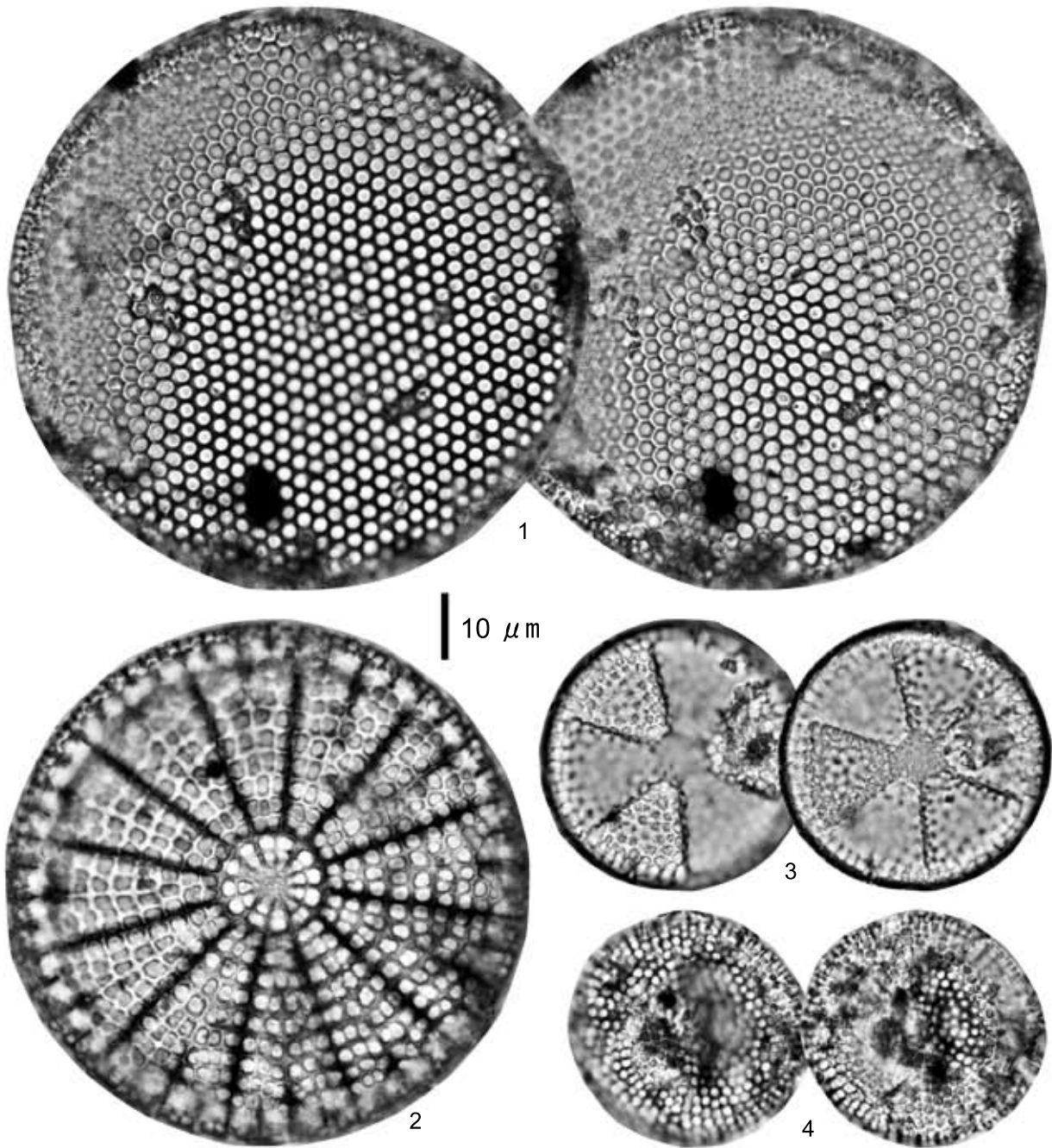
Plate 3 Diatom fossils from the Wadagawa Formation.

1-3: *Azpeitia vetustissima* (Pant.) P.A.Sims [09090505]

4: *Actinocyclus ingens* f. *planus* Whiting & Schrader [09080505]

5, 6: *Actinocyclus ingens* f. *ingens* (Rattray) Whiting & Schrader [09080505]

7: *Coscinodiscus marginatus* Ehrenb. [09080505]



図版4 和田川層から産出した珪藻化石.

Plate 4 Diatom fossils from the Wadagawa Formation.

1: *Thalassiosira leptopus* (Grunow) Hasle & G.A.Fryxell [09080505]

2: *Arachnoidiscus* sp. [09080505]

3: *Actinoptychus senarius* (Ehrenb.) Ehrenb. [08080109]

4: *Thalassiosira grunowii* Akiba & Yanagisawa [08080109]

付録 Appendix

付表1 ジルコン粒子毎のFT分析データ
Table A1 Fission-track data of each zircon grain

Grain No.	N_s	N_i	S $\times 10^{-5}$ (cm^2)	ρ_s $\times 10^6$ (cm^{-2})	ρ_i $\times 10^7$ (cm^{-2})	Age ($\pm 1\sigma$) (Ma)
1	3	22	0.6	0.5	0.37	6.73 \pm 4.14
2	1	10	0.4	0.25	0.25	4.94 \pm 5.18
3	6	36	0.6	1	0.6	8.23 \pm 3.63
4	3	20	1	0.3	0.2	7.4 \pm 4.59
5	4	93	2.7	0.15	0.34	2.12 \pm 1.09
6	2	18	1.4	0.14	0.13	5.48 \pm 4.09
7	0	23	1.6	1	0.14	0
8	4	123	1	0.4	1.23	1.61 \pm 0.82
9	7	34	1.2	0.58	0.278	10.16 \pm 4.22
10	5	18	1.4	0.36	0.13	13.7 \pm 6.93
11	5	75	3	0.17	0.25	3.29 \pm 1.52
12	34	130	2.4	1.42	0.54	12.9 \pm 2.5
13	13	113	1.5	0.87	0.75	5.68 \pm 1.67
14	2	8	1	0.2	0.08	12.33 \pm 9.75
15	3	26	1	0.3	0.26	5.7 \pm 3.47
16	6	19	0.9	0.67	0.21	15.58 \pm 7.3
17	4	71	0.9	0.44	0.79	2.78 \pm 1.43
18	2	31	1.6	0.13	0.19	3.19 \pm 2.32
19	2	56	1.2	0.17	0.47	1.76 \pm 1.27
20	1	21	0.6	0.17	0.35	2.35 \pm 2.41
21	2	12	1.2	0.17	0.1	8.23 \pm 6.28
22	4	39	1.6	0.25	0.24	5.06 \pm 2.66
23	1	16	0.6	0.17	0.27	3.09 \pm 3.18
24	1	22	0.6	0.17	0.37	2.24 \pm 2.3
25	9	35	0.6	1.5	0.58	12.69 \pm 4.75
26	5	13	0.9	0.56	0.14	18.97 \pm 9.99
27	1	17	0.2	0.5	0.85	2.9 \pm 2.99
28	3	30	1.8	0.17	0.17	4.94 \pm 2.99
29	4	38	1.2	0.33	0.32	5.2 \pm 2.73
30	4	58	2.8	0.14	0.21	3.4 \pm 1.76
31	1	6	0.3	0.33	0.2	8.23 \pm 8.89
32	1	19	0.6	0.17	0.32	2.6 \pm 2.67
33	16	45	0.6	2.67	0.75	17.53 \pm 5.11
34	24	29	0.6	4	0.48	40.74 \pm 11.3
35	2	11	0.2	1	0.55	8.97 \pm 6.9
36	0	15	1	0	0.15	0
37	0	3	0.4	0	0.08	0
38	1	10	0.3	0.33	0.33	4.94 \pm 5.18
39	4	22	0.8	0.5	0.28	8.97 \pm 4.88
40	0	8	0.6	0	0.13	0
41	0	9	0.4	0	0.23	0
42	1	8	0.4	0.25	0.2	6.17 \pm 6.55
43	7	96	1.8	0.39	0.53	3.6 \pm 1.41
44	6	68	0.8	0.75	0.85	4.36 \pm 1.86
45	4	12	0.4	1	0.3	16.44 \pm 9.5
46	3	86	1.5	0.2	0.57	1.72 \pm 1.01
47	13	15	0.9	1.44	0.17	42.66 \pm 16.2
48	1	7	0.4	0.25	0.18	7.05 \pm 7.54
49	0	10	1.2	0	0.08	0
50	0	28	0.9	0	0.31	0
51	2	11	0.3	0.67	0.37	8.97 \pm 6.9
52	1	7	0.4	0.25	0.18	7.05 \pm 7.54
53	1	8	0.6	0.17	0.13	6.17 \pm 6.55

N_s , number of spontaneous track; N_i , number of induced track; S, crystal area; ρ_s , spontaneous track density. ρ_i , induced track density.

地質調査総合センター研究資料集

- 689 神奈川の地質と災害（第32回地質調査総合センターシンポジウム） 納谷 友規・野々垣 進・中島 礼
編
- 690 早池峰超苦鉄質岩体の磁氣的性質 森尻 理恵・中川 充
- 691 富士火山、宝永火口の地質と岩石 山元 孝広・石塚 吉浩
- 692 富士火山、箱荒沢トンネルの火山岩石試料位置 小野 晃司・山元 孝広
- 693 火山灰カタログ：霧島山（新燃岳）2008年～2018年噴火噴出物 松本 恵子・大槻 静香・西原 歩・
下司 信夫
- 694 ベントナイトのメチレンブルー吸着量測定における試験者による測定値の
相違 三好 陽子・鈴木 正哉・宮腰 久
美子・高木 哲一
- 695 20世紀初頭の震源データ —主に台湾周辺地域— —G-EVER アジア太平 石川 有三
洋地域地震火山ハザード情報システムデータ 6/7—
- 696 深部調査井 WD-1 のコア試料写真 佐々木 宗建・佐脇 貴幸・阪口
圭一
- 697 火山灰カタログ2：
2-1. 草津白根山（本白根山）2018年噴火噴出物 松本 恵子・下司 信夫・島村 哲也・
岩橋 くるみ
2-2. 御嶽山 2014年噴火噴出物
2-3. 雲仙岳（普賢岳）1990年～1995年噴火噴出物
2-4. 三宅島 2000年噴火噴出物
- 698 瀬戸地区の窯業地下資源調査試錐柱状図集 須藤 定久・高木 哲一
- 699 支笏・洞爺・濁川・大山火山の大規模噴火の前駆活動と噴火推移 金田 泰明・後藤 義瑛・西野 佑紀・
宝田 晋治・下司 信夫

地質調査総合センターの最新出版物

5 万分の 1 地質図幅	明智・角館・馬路
20 万分の 1 地質図幅	高知 (第 2 版)・輪島 (第 2 版)・広尾 (第 2 版)
200 万分の 1 地質編集図	No. 4 日本地質図 (第 5 版) No. 11 日本の火山 (第 3 版)
特殊地質図	No. 12 富士火山地質図 (第 2 版) No. 33 日本周辺海域鉱物資源分布図 (第 2 版) No. 41 栃木県シームレス地質図
海洋地質図	No. 90 沖縄島南部周辺海域海洋地質図 (1:20 万)
火山地質図	No. 20 八丈島火山地質図 (1:2.5 万)
水文環境図	No. 6 山形盆地 (第 2 版) No. 10 勇払平野 No. 11 大阪平野
空中磁気図	No. 47 富士火山地域高分解能空中磁気異常図 No. 48 仙台平野南部沿岸地域高分解能空中磁気異常図
重力図	No. 33 金沢地域重力図 (ブーゲー異常) S3 甲府地域重力構造図 (ブーゲー異常)
海外地球科学図	アジア鉱物資源図 (1:500 万) 東アジア地域地震火山災害情報図 (1:1000 万)
海陸シームレス地質図	S-6 海陸シームレス地質情報集「房総半島東部沿岸域」
燃料資源図	FR-3 燃料資源地質図「関東地方」
土壌評価図	E-7 表層土壌評価基本図「高知県地域」
数値地質図	G-16 20 万分の 1 日本シームレス地質図 DVD 版 G-17 九州地質ガイド V-3 口永良部島火山地質データベース G20-1 20 万分の 1 数値地質図幅集「北海道北部」第 2 版 G20-2 20 万分の 1 数値地質図幅集「北海道南部」第 2 版
その他	中部地方の地球化学図 海と陸の地球化学図 関東の地球化学図 日本列島及びその周辺の熱データベース

地質調査研究報告編集委員会

委員長	鈴木	淳
副委員長	佐々木	宗建
委員	石塚	治
	松本	弾
	宮越	昭暢
	高木	哲一
	川辺	能成
	大谷	竜明
	長森	英規
	納谷	友崇
	工藤	拓也
	板木	拓也
	森尻	理恵

事務局

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター
地質情報基盤センター 出版室
<https://www.gsj.jp/inquiries.html>

Bulletin of the Geological Survey of Japan Editorial Board

Chief Editor: SUZUKI Atsushi
Deputy Chief Editor: SASAKI Munetake
Editors: ISHIZUKA Osamu
MATSUMOTO Dan
MIYAKOSHI Akinobu
TAKAGI Tetsuichi
KAWABE Yoshishige
OHTANI Ryu
NAGAMORI Hideaki
NAYA Tomonori
KUDO Takashi
ITAKI Takuya
MORIJIRI Rie

Secretariat Office

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Geological Survey of Japan
Geoinformation Service Center Publication Office
<https://www.gsj.jp/en/>

地質調査研究報告 第71巻 第3号
令和2年7月31日 発行

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター

〒305-8567
茨城県つくば市東1-1-1 中央第7

Bulletin of the Geological Survey of Japan
Vol. 71 No. 3 Issue July 31, 2020

Geological Survey of Japan, AIST

AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1, Higashi,
Tsukuba, Ibaraki 305-8567 Japan

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 71 No. 3 2020

CONTENTS

- Neogene Taga and Hitachi groups in the Kitaibaraki-Takahagi area, Ibaraki Prefecture, Japan: sedimentary complexes of shelf to slope deposits, submarine channel fills and submarine slide scar fills, reconstructed from lithostratigraphy and diatom biostratigraphy
YANAGISAWA Yukio and ANDO Hisao 85
- Incised-valley topography formed into the Last Glacial Maximum beneath the southern area of the Tokyo Lowland, central Japan
TANABE Susumu and ISHIHARA Yoshiro 201
- Chronostratigraphy of the Upper Miocene to Pliocene succession of the Tsubokawa Section in Shichinohe Town, Aomori Prefecture, Northeast Japan
KUDO Takashi and YANAGISAWA Yukio 215