

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

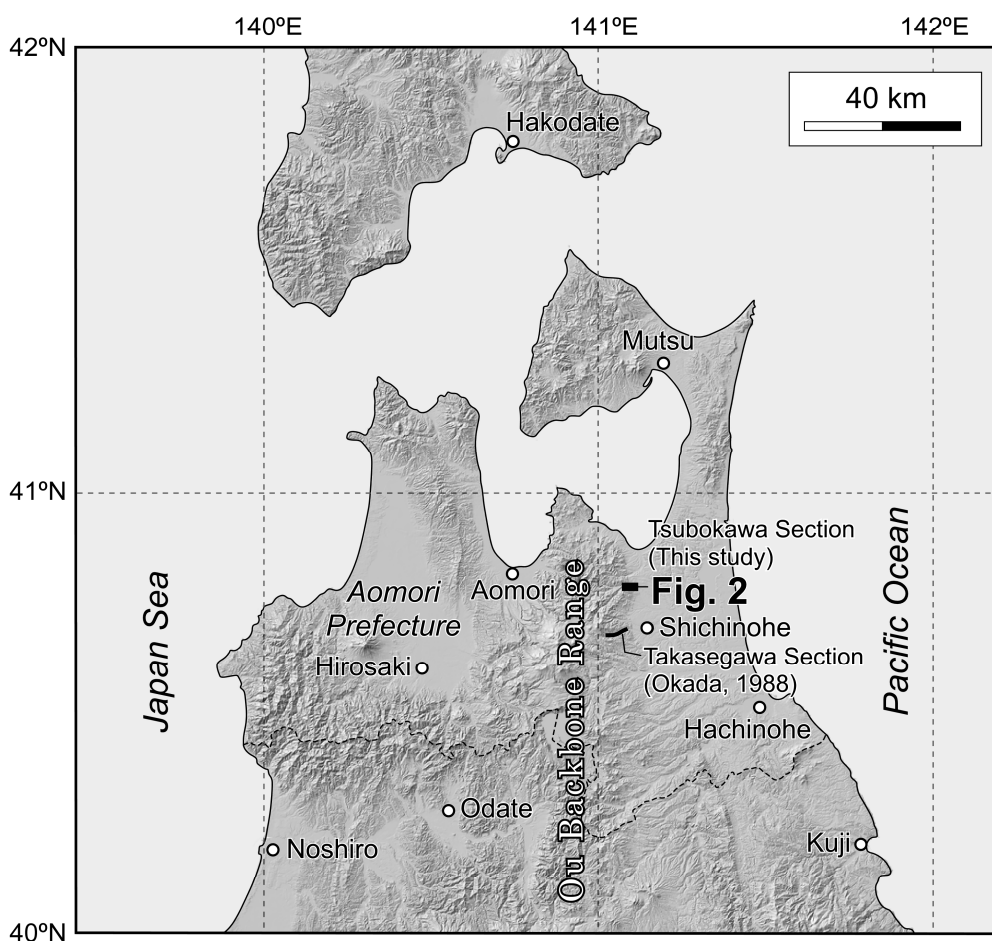
奥羽脊梁山脈北端部の青森県青森市東部～七戸町西部にかけての地域(第1図)には、新第三紀の火山岩・堆積岩が広く分布している。これらは日本海拡大期以降の島

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

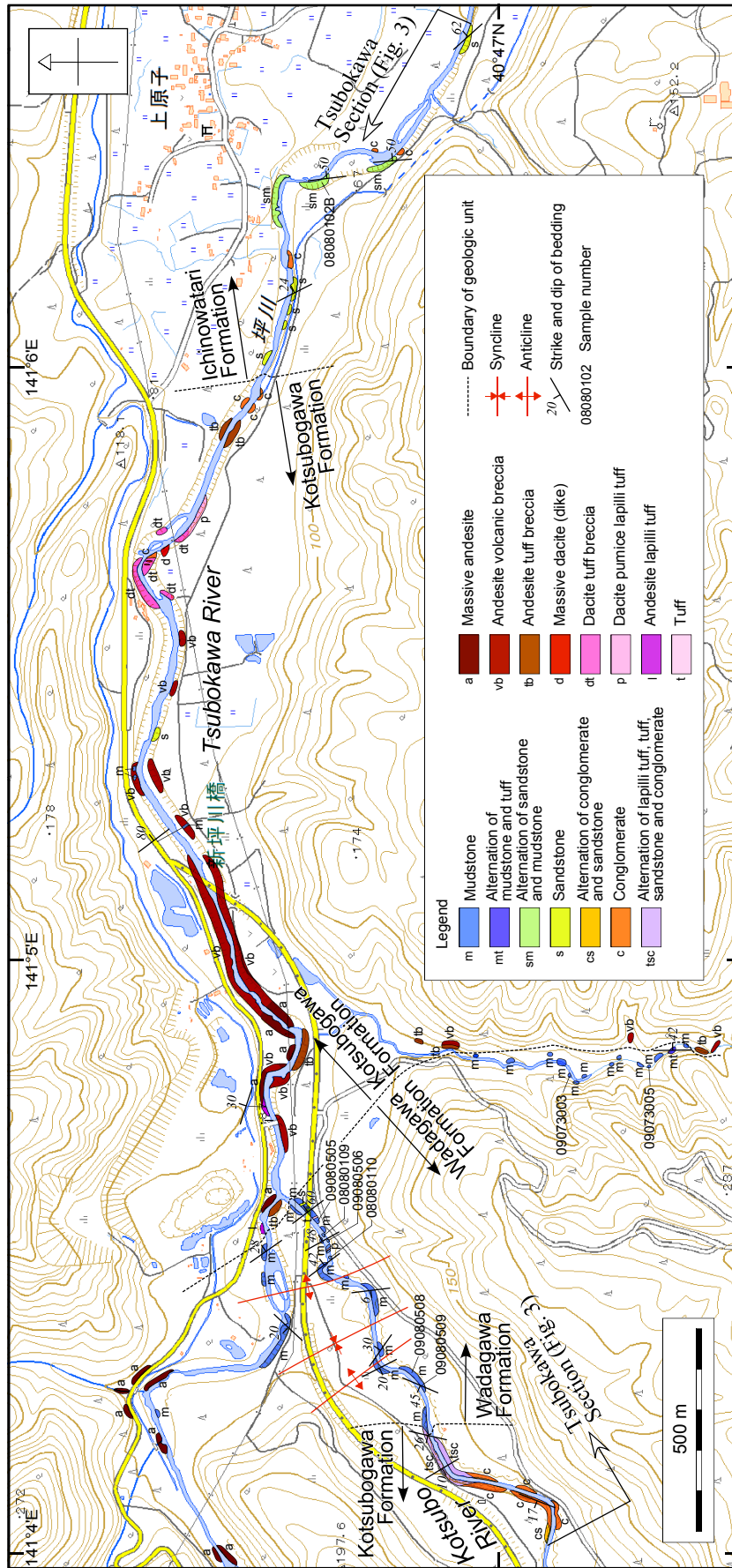
七戸町坪川セクション付近に分布する新第三系は、これまで岩井・鈴木(1957), 北村・岩井(1963), 斎藤(1965), 北村ほか(1972), 通商産業省資源エネルギー庁(1976)などによって調査・研究がなされてきた. ただし、これらの報告では、地層区分や分布に大きな食い違いがあり、同じ地層名であっても相当する部分が大きく異なる場合もある. そのため、本地域の新第三系については岩相層序の基本的な枠組みを含めた抜本的な再検討が必要な状況である. このうち、全体を総括している通商産業省資源エネルギー庁(1976)によれば、本地域の新第三系は下

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・火山碎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.

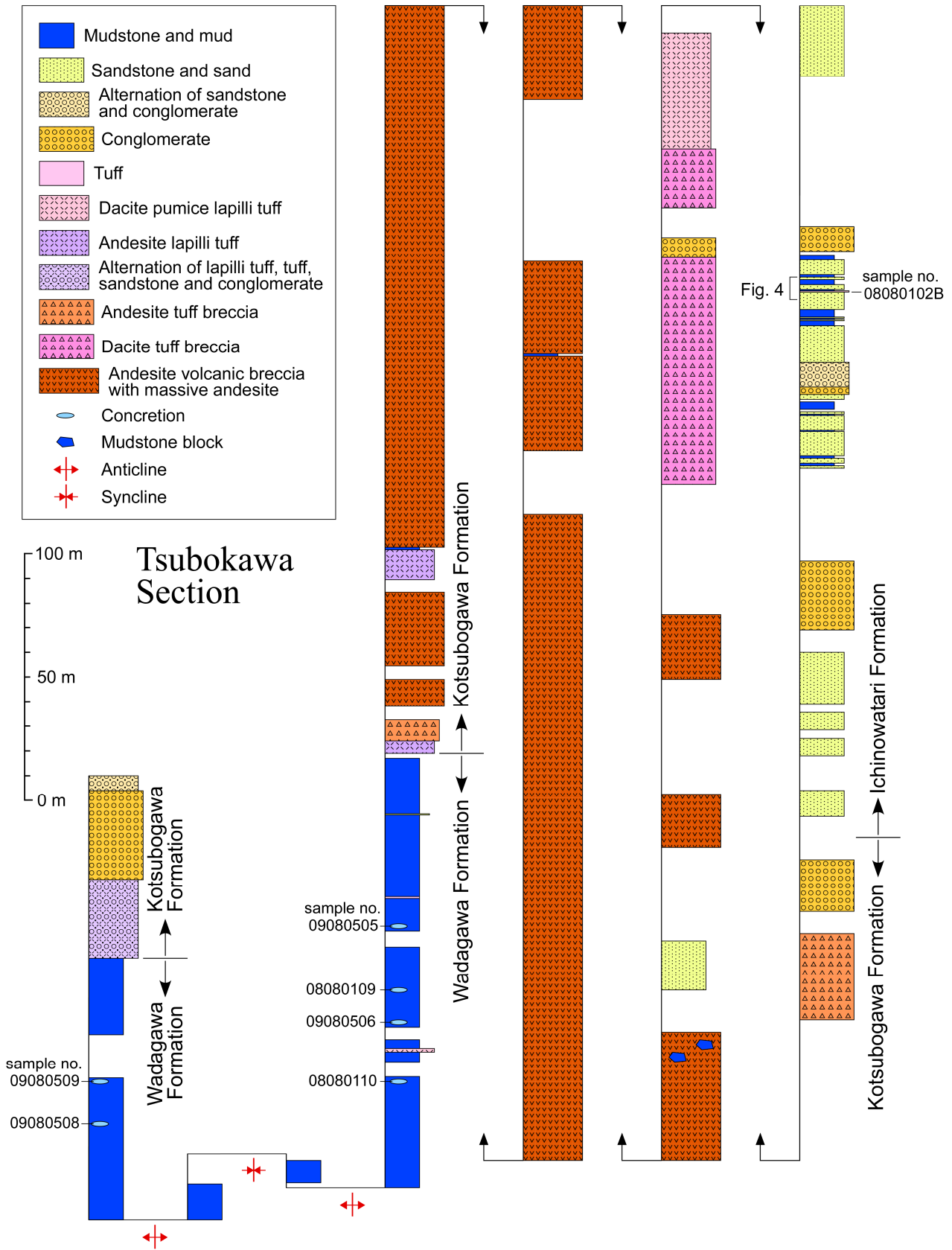
2.1 和田川層

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く、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く、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)。

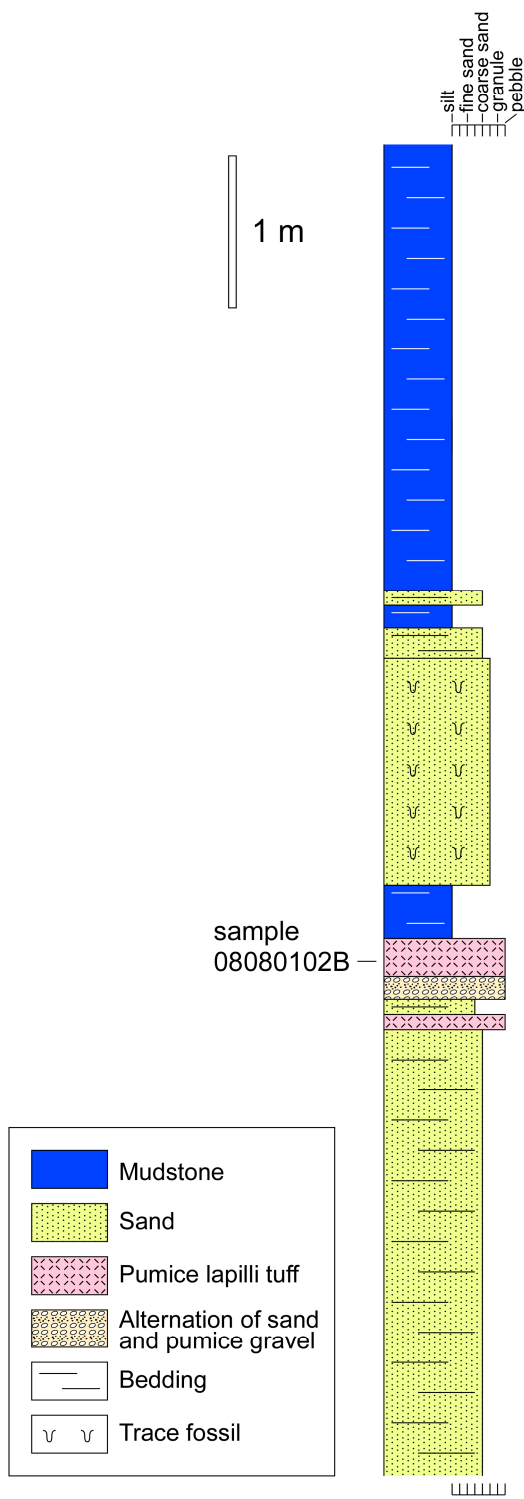
3. 試料及び分析手法

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℃)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*

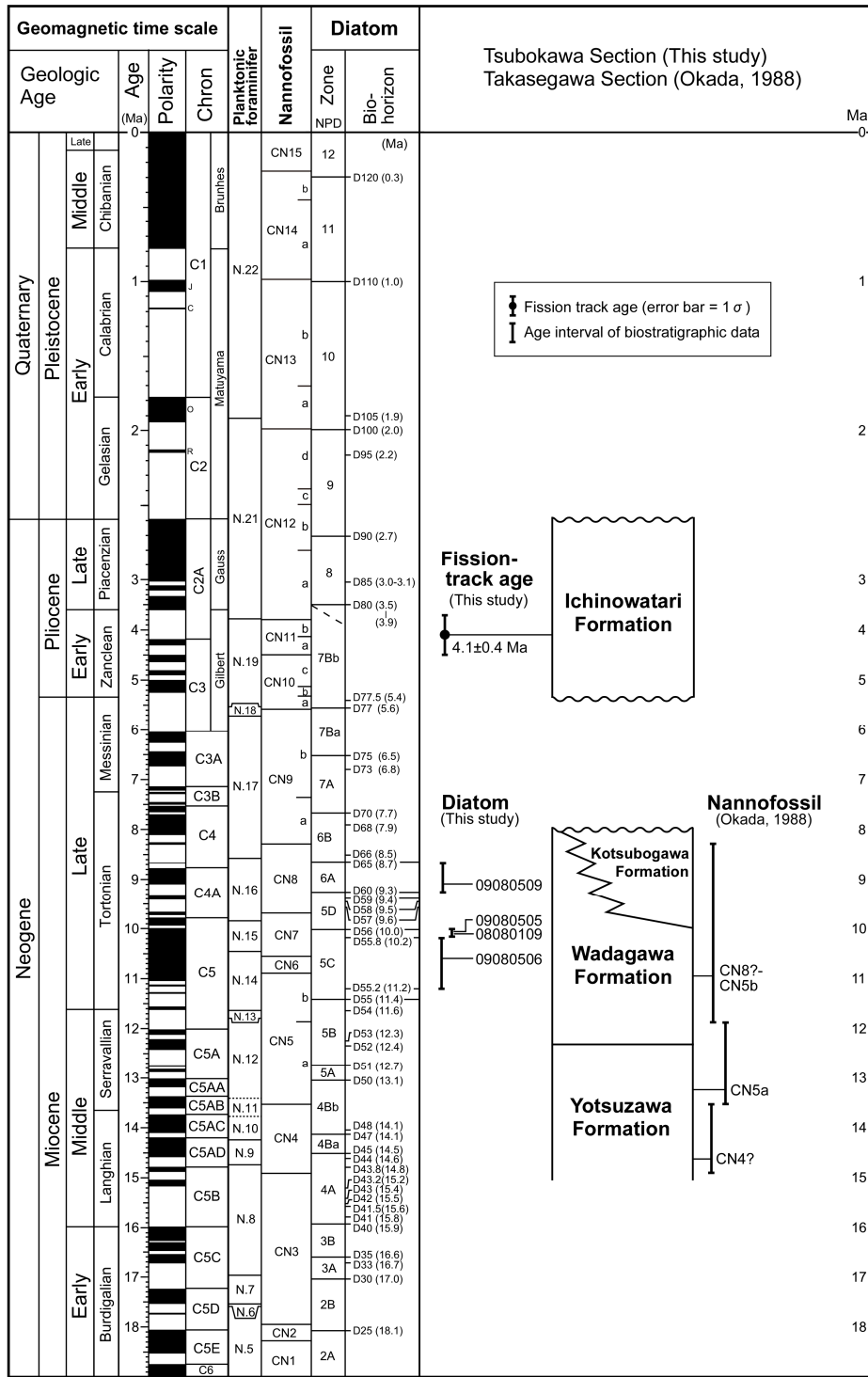
第1表 和田川層の珪藻化石産出表

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) Mereschowsky	-	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 foraminiferal 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。

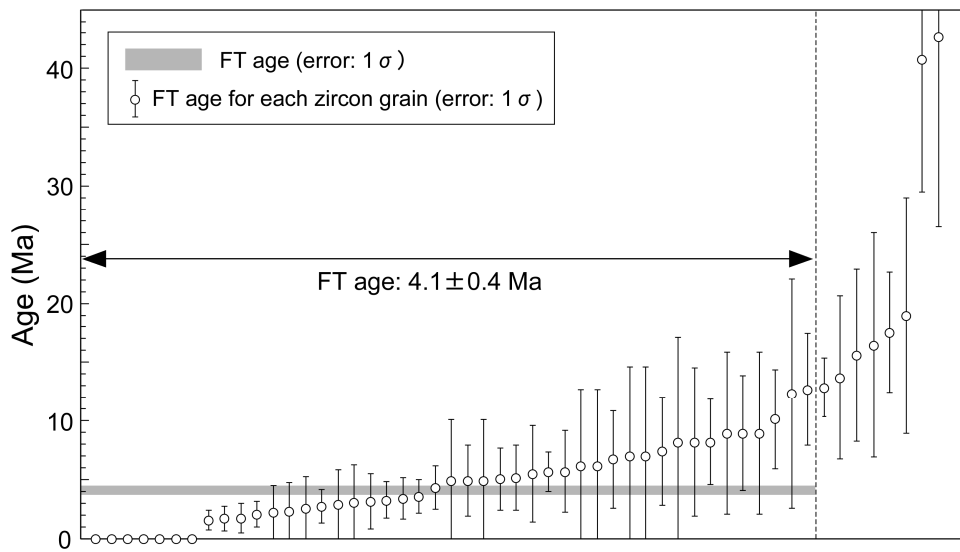
4.2 FT年代測定

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,

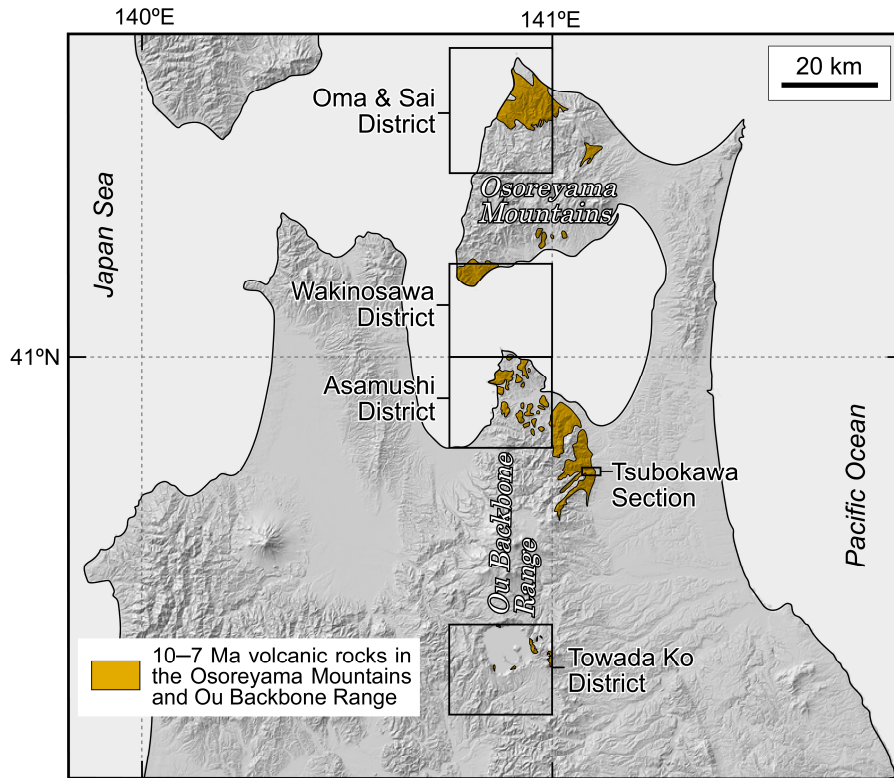
1972; 通商産業省資源エネルギー庁, 1976)。小坪川層は、和田川層の泥岩と共通した特徴を持つ泥岩を挟み、小坪川層と和田川層は広域的には指交関係にある(通商産業省資源エネルギー庁, 1976)。小坪川層は、坪川セクションでは少なくともNPD5C帯の最上部以降の時代にあたる(第5図)。和田川層と指交関係にあることも考慮に入れると、小坪川層の年代は10～8 Ma付近と推定される(第5図)。

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.

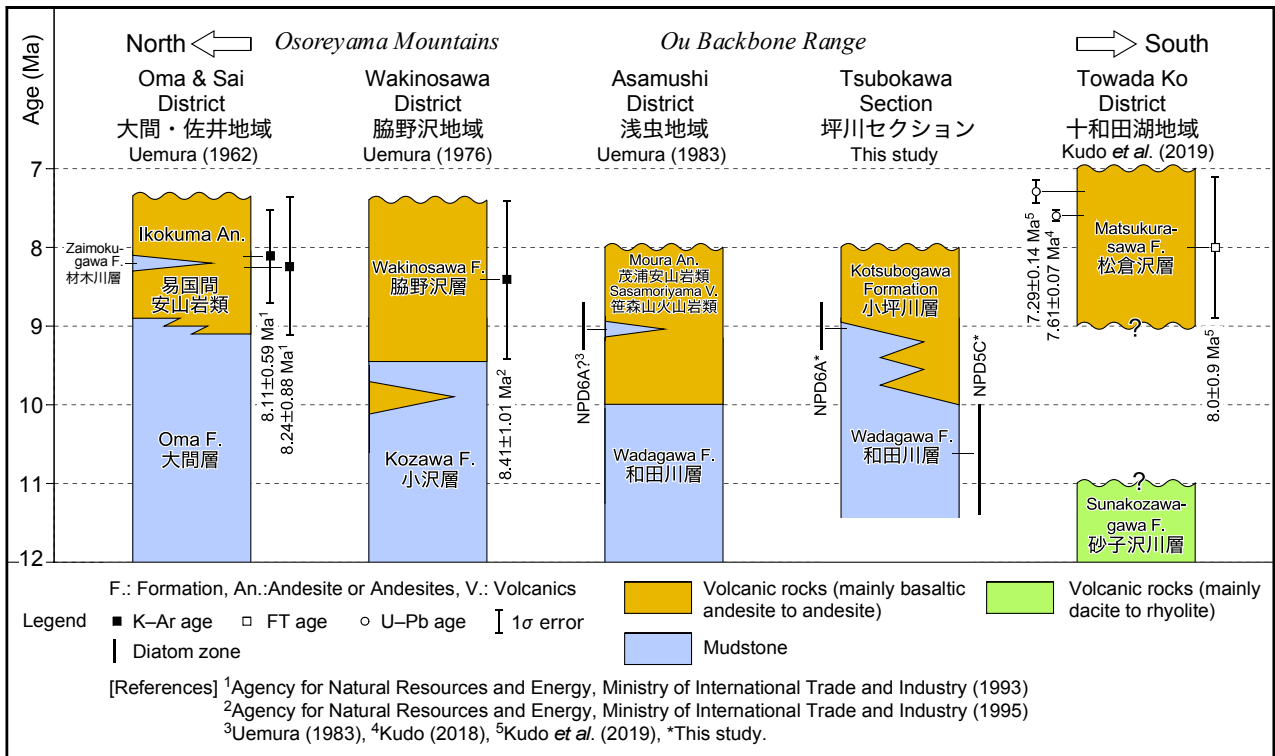
Fig. 7 Distribution of the 11-7 Ma volcanic rocks in the Osoreyama Mountains and the northernmost part of the Ou Backbone Range, partly modified from Geological Survey of Japan, AIST ed. (2019). Distribution of volcanic rocks in the Towada Ko District is from Kudo *et al.* (2019). Quadrangles show the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

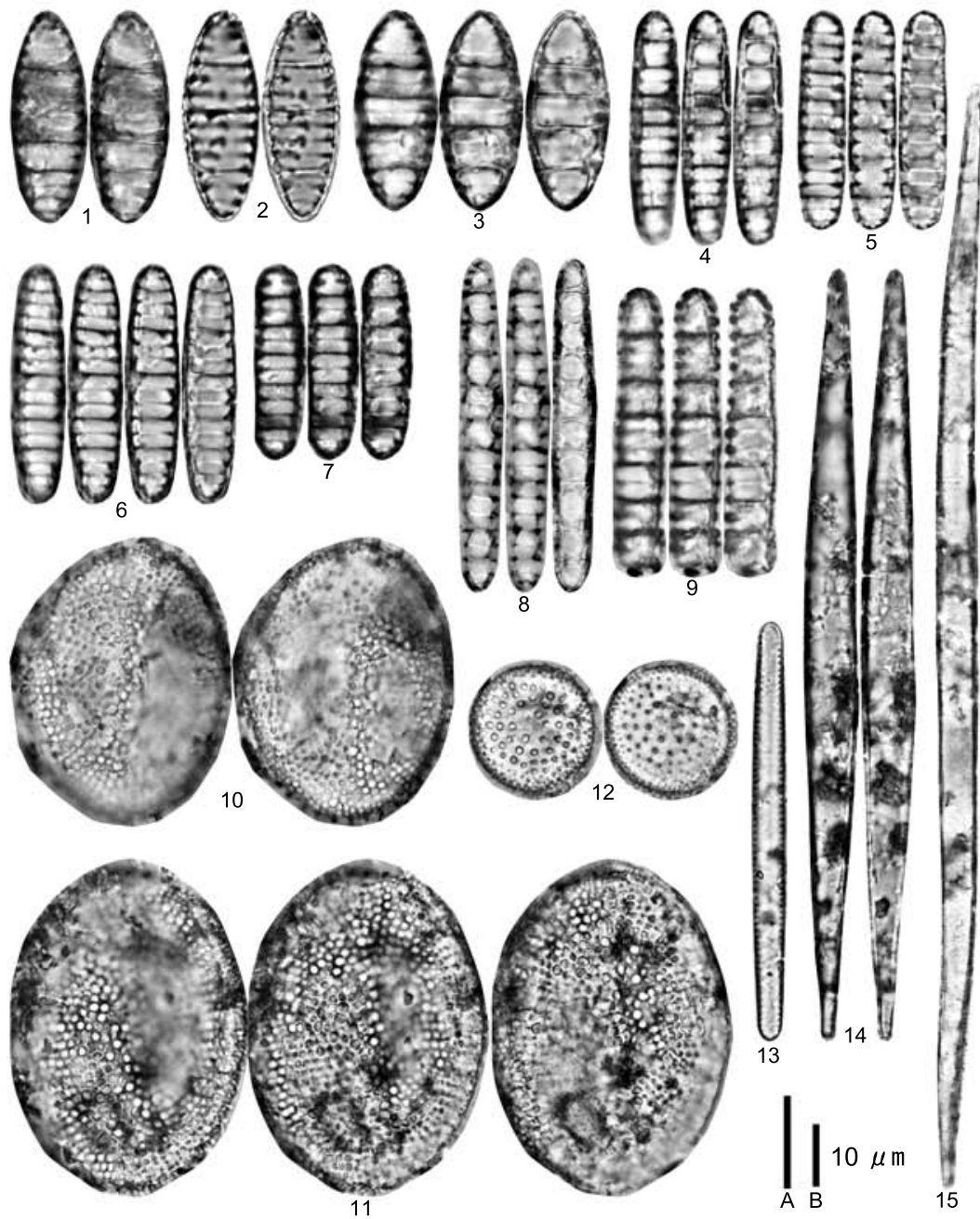
池辺 穰(1962) 秋田油田地域における含油第三系の構造発達と石油の集積について. 秋田大学地下資源研究施設研究報告, no. 26, 1–59.

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]

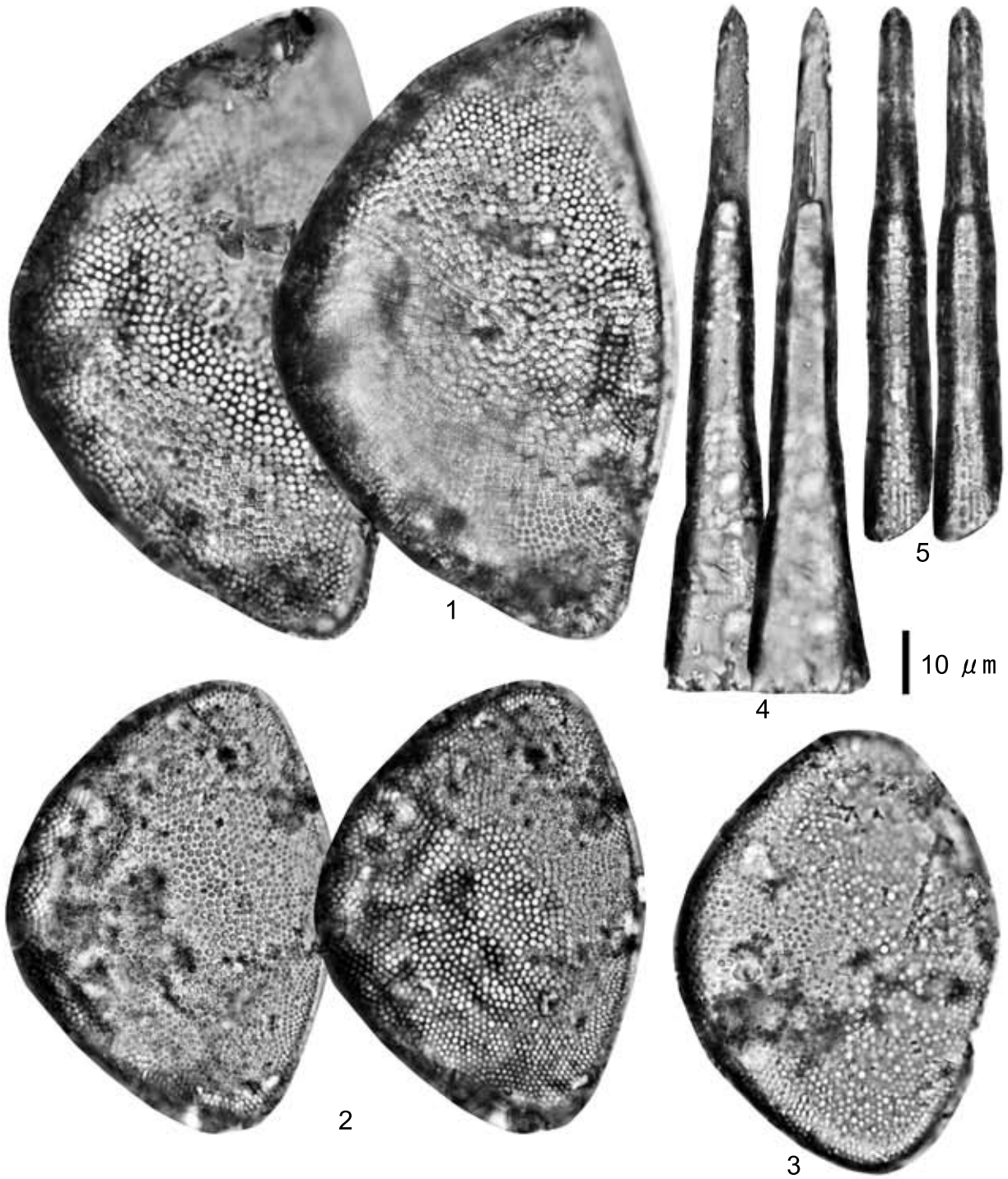
10, 11: *Thalassiosira temperei* (Brun) Akiba & Yanagisawa [08080109]

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]

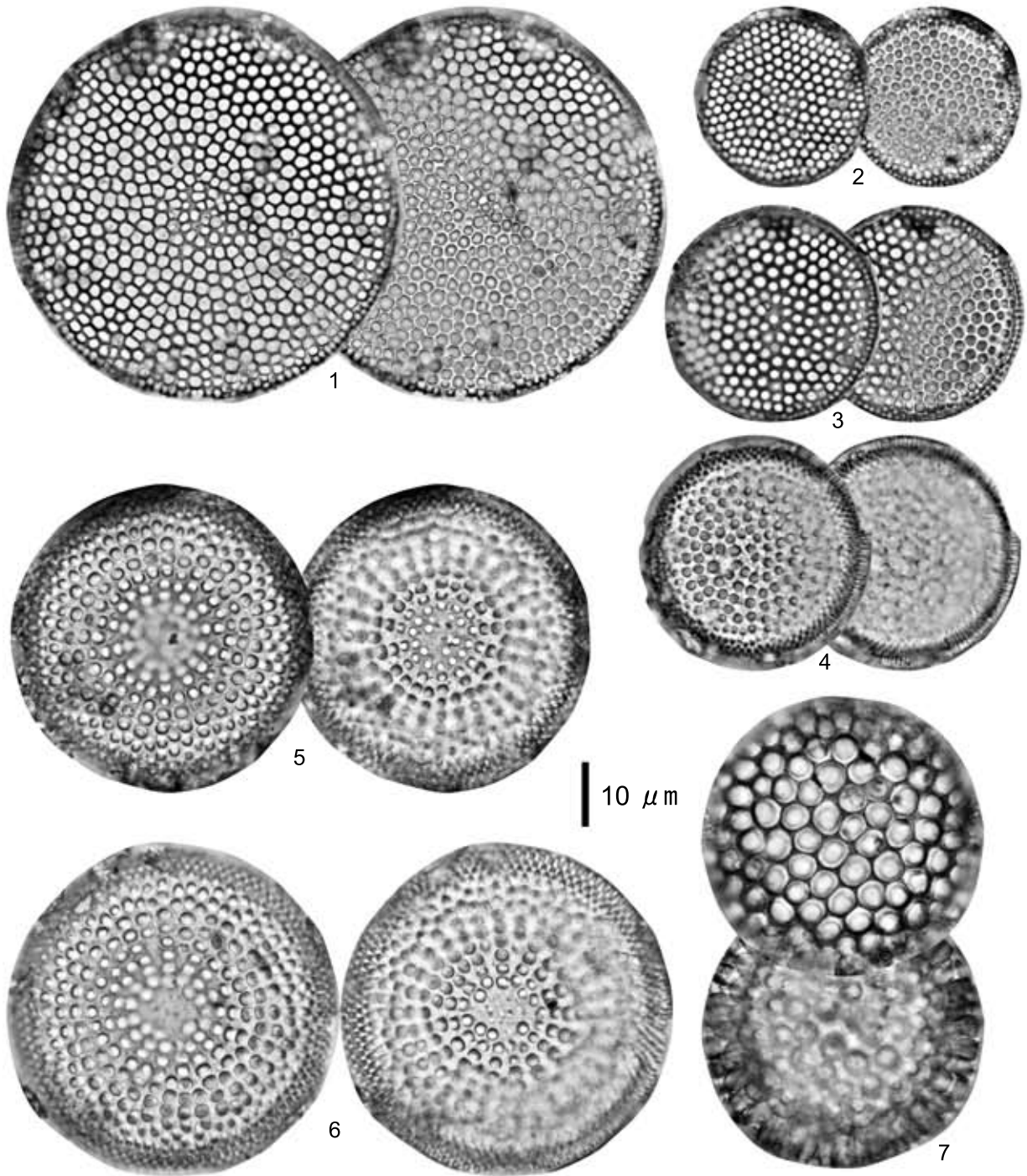


図版2 和田川層から産出した珪藻化石.

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.

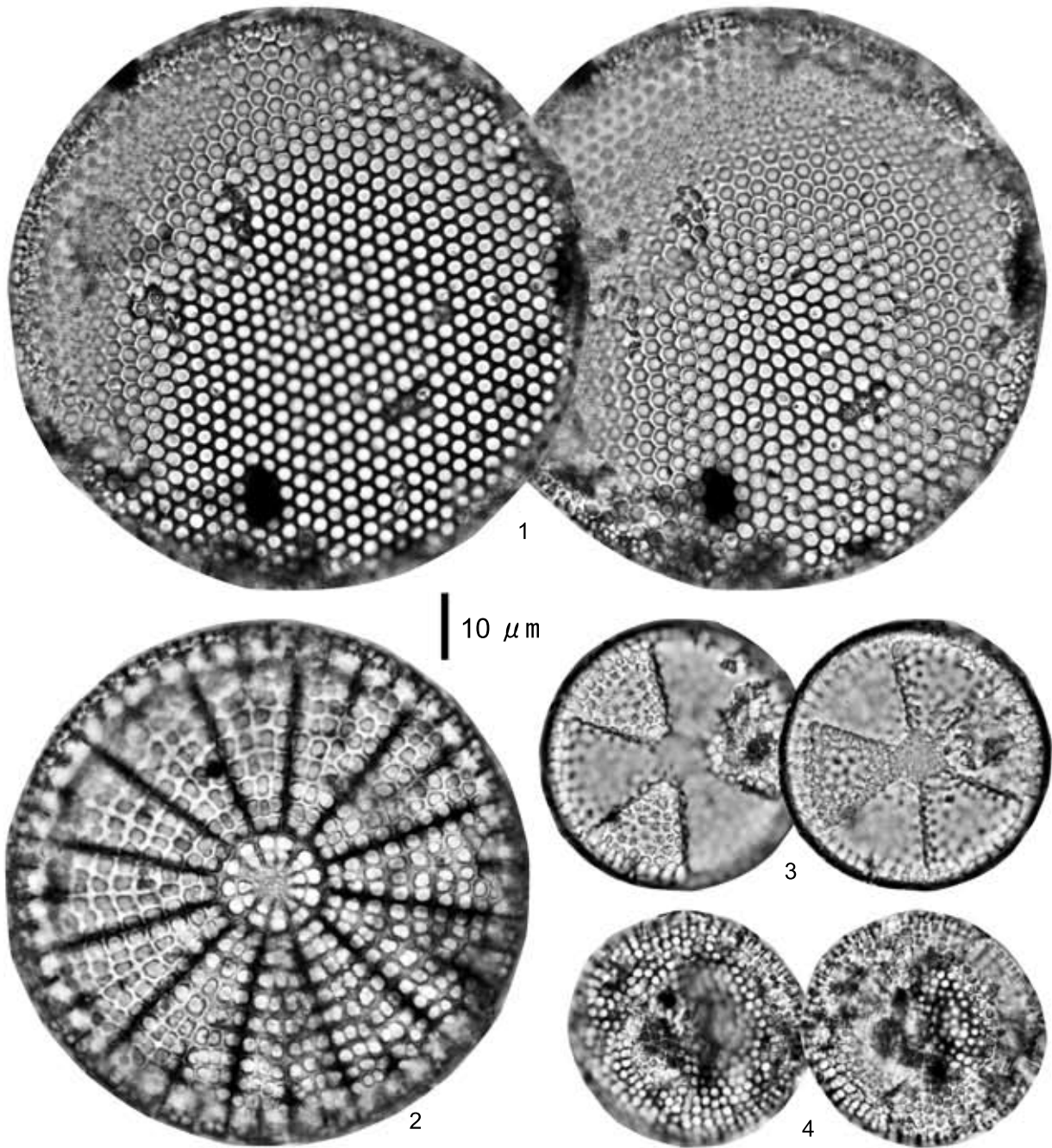
Plate 3 Diatom fossils from the Wadagawa Formation.

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 ×10 ⁻⁵ (cm ²)	ρ _s ×10 ⁶ (cm ⁻²)	ρ _i ×10 ⁷ (cm ⁻²)	Age (± 1σ) (Ma)
1	3	22	0.6	0.5	0.37	6.73 ± 4.14
2	1	10	0.4	0.25	0.25	4.94 ± 5.18
3	6	36	0.6	1	0.6	8.23 ± 3.63
4	3	20	1	0.3	0.2	7.4 ± 4.59
5	4	93	2.7	0.15	0.34	2.12 ± 1.09
6	2	18	1.4	0.14	0.13	5.48 ± 4.09
7	0	23	1.6	1	0.14	0
8	4	123	1	0.4	1.23	1.61 ± 0.82
9	7	34	1.2	0.58	0.278	10.16 ± 4.22
10	5	18	1.4	0.36	0.13	13.7 ± 6.93
11	5	75	3	0.17	0.25	3.29 ± 1.52
12	34	130	2.4	1.42	0.54	12.9 ± 2.5
13	13	113	1.5	0.87	0.75	5.68 ± 1.67
14	2	8	1	0.2	0.08	12.33 ± 9.75
15	3	26	1	0.3	0.26	5.7 ± 3.47
16	6	19	0.9	0.67	0.21	15.58 ± 7.3
17	4	71	0.9	0.44	0.79	2.78 ± 1.43
18	2	31	1.6	0.13	0.19	3.19 ± 2.32
19	2	56	1.2	0.17	0.47	1.76 ± 1.27
20	1	21	0.6	0.17	0.35	2.35 ± 2.41
21	2	12	1.2	0.17	0.1	8.23 ± 6.28
22	4	39	1.6	0.25	0.24	5.06 ± 2.66
23	1	16	0.6	0.17	0.27	3.09 ± 3.18
24	1	22	0.6	0.17	0.37	2.24 ± 2.3
25	9	35	0.6	1.5	0.58	12.69 ± 4.75
26	5	13	0.9	0.56	0.14	18.97 ± 9.99
27	1	17	0.2	0.5	0.85	2.9 ± 2.99
28	3	30	1.8	0.17	0.17	4.94 ± 2.99
29	4	38	1.2	0.33	0.32	5.2 ± 2.73
30	4	58	2.8	0.14	0.21	3.4 ± 1.76
31	1	6	0.3	0.33	0.2	8.23 ± 8.89
32	1	19	0.6	0.17	0.32	2.6 ± 2.67
33	16	45	0.6	2.67	0.75	17.53 ± 5.11
34	24	29	0.6	4	0.48	40.74 ± 11.3
35	2	11	0.2	1	0.55	8.97 ± 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 ± 5.18
39	4	22	0.8	0.5	0.28	8.97 ± 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 ± 6.55
43	7	96	1.8	0.39	0.53	3.6 ± 1.41
44	6	68	0.8	0.75	0.85	4.36 ± 1.86
45	4	12	0.4	1	0.3	16.44 ± 9.5
46	3	86	1.5	0.2	0.57	1.72 ± 1.01
47	13	15	0.9	1.44	0.17	42.66 ± 16.2
48	1	7	0.4	0.25	0.18	7.05 ± 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 ± 6.9
52	1	7	0.4	0.25	0.18	7.05 ± 7.54
53	1	8	0.6	0.17	0.13	6.17 ± 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.

