

Online ISSN : 2186-490X
Print ISSN : 1346-4272

地質調査研究報告

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 71 No. 5 2020



論文

下北半島東部に分布する下部～中部中新統の年代層序

工藤 崇・堀内誠示・柳沢幸夫439

概報

日高観測井の珪藻化石群集に基づく埼玉県日高台地地下における海成更新統の認定と層序対比

納谷友規・長井雅史・小村健太郎463

高知県東部、奈半利低地における沖積層ボーリングコアの記載と編年

植木岳雪473

資料・解説

20 万分の 1「野辺地」地域に分布する中新統のジルコン U-Pb 及びフィッシュントラック年代

工藤 崇481

表紙の写真

下北半島東部に分布する下部～中部中新統の露頭写真

青森県北東部に位置する下北半島東部には、前期～中期中新世の堆積岩及び火山岩が広く分布する。これらは、日本海拡大に伴った沈降で生じた堆積盆を埋積した地層であり、陸上～浅海～深海で堆積した地層からなる。

左上：猿ヶ森層最下部の角礫岩。ジュラ系基盤岩起源の泥岩及び砂岩角礫からなる崖錐堆積物である。ハンマーの長さは 32 cm。東通村野牛川上流。

右上：猿ヶ森層の泥岩砂岩互層。植物片を多く含む浅海成の地層である。露頭の高さは 6 m 程度。東通村大峠北東。

左下：泊層の玄武岩質安山岩水冷破碎溶岩。水冷破碎によるジグソー割れ目が全体に発達する。ハンマーの長さは 32 cm。東通村大川上流。

右下：蒲野沢層の塊状珪藻質泥岩。微化石を豊富に産する深海成の地層である。スケールの長さは 1 m。東通村青平川上流。

(写真・文：工藤 崇)

Cover Photograph

Outcrop photographs of the Lower to Middle Miocene in the eastern part of Shimokita Peninsula

The Lower to Middle Miocene sedimentary and volcanic rocks are widely distributed in the eastern part of Shimokita Peninsula, northeastern Aomori Prefecture. These strata are terrestrial and shallow to deep marine deposits from sedimentary basins that developed due to the subsidence associated with the opening of the Japan Sea.

Upper left: Basal breccia of the Sarugamori Formation exposed at the upstream of Noushi River in Higashidori Village. This breccia is a talus deposit that consists of mudstone and sandstone gravels derived from the Jurassic basement rocks. The length of the hammer is 32 cm.

Upper right: Alternating beds of mudstone and sandstone of the Sarugamori Formation exposed at the northeast of Otoge in Higashidori Village. These are shallow-marine deposits abundant in plant fragments. The height of the outcrop is about 6 m.

Lower left: Subaqueous autobrecciated basaltic andesite lava of the Tomari Formation exposed at the upstream of Okawa River in Higashidori Village. Jigsaw-fit fractures due to water-quench fragmentation are observed. The length of the hammer is 32 cm.

Lower right: Massive diatomaceous mudstone of the Gamanosawa Formation exposed at the upstream of Aobera River in Higashidori Village. This mudstone is a bathyal deposit abundant in microfossils. Scale length is 1 m.

(Photograph and caption by KUDO Takashi)

下北半島東部に分布する下部～中部中新統の年代層序

工藤 崇^{1,*}・堀内 誠示²・柳沢 幸夫¹

KUDO Takashi, HORIUCHI Seiji and YANAGISAWA Yukio (2020) Chronostratigraphy of the Lower to Middle Miocene in the eastern part of Shimokita Peninsula, Northeast Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 71 (5), p. 439–462, 10 figs, 2 tables, 2 plates.

Abstract: Chronostratigraphy of the Lower to Middle Miocene Sarugamori, Takahoko, Tomari and Gamanosawa formations in the eastern part of Shimokita Peninsula, Northeast Japan was constructed based on geological survey and microfossil biostratigraphic analysis. The diatom zone NPD4Ba and the calcareous nannofossil zone CN4 are identified in the Gamanosawa Formation and the diatom zones NPD4A, NPD4Ba, NPD4Bb and the calcareous nannofossil zone CN5a are identified in the upper part of the Takahoko Formation. The age of each formation estimated from litho- and biostratigraphy is as follows; Sarugamori Formation: between 17 Ma and 15 Ma, Takahoko Formation: 16.6–13.1 Ma, Tomari Formation: 16.6–15 Ma, Gamanosawa Formation: 15–10 Ma. Biostratigraphy shows that most of the K–Ar ages reported from the Tomari Formation by previous studies are rejuvenated ages. The unconformity between the Tomari and Gamanosawa Formations around 15 Ma is correlated to the widespread unconformity recognized in the Miocene strata in the central and northeast Japan.

Keywords: chronostratigraphy, diatom, calcareous nannofossil, Lower to Middle Miocene, unconformity, the eastern part of Simokita Peninsula, Northeast Japan

要 旨

下北半島東部に分布する下部～中部中新統の猿ヶ森層、鷹架層、泊層及び蒲野沢層について、地質調査及び微化石分析を行い、既存データと合わせて年代層序を構築した。微化石分析の結果、蒲野沢層からNPD4Ba帯の珪藻化石とCN4帯の石灰質ナンノ化石、鷹架層上部からNPD4A, NPD4Ba, NPD4Bb帯の珪藻化石とCN5a帯の石灰質ナンノ化石が産出した。層序関係及び微化石データより、各地層の年代は、猿ヶ森層：17～15 Maの間、鷹架層：16.6～13.1 Ma、泊層：16.6～15 Ma、蒲野沢層：15～10 Maと見積られる。泊層から報告された既存研究によるK-Ar年代の大部分は若返った年代と判断される。15 Ma付近にある蒲野沢層基底の不整合は、中部及び東北日本の中新統において認められる広域不整合に対比される。

1. はじめに

東北日本弧、青森県北東部に位置する下北半島東部には、下部～中部中新統が広く分布する(第1図；第2図)。

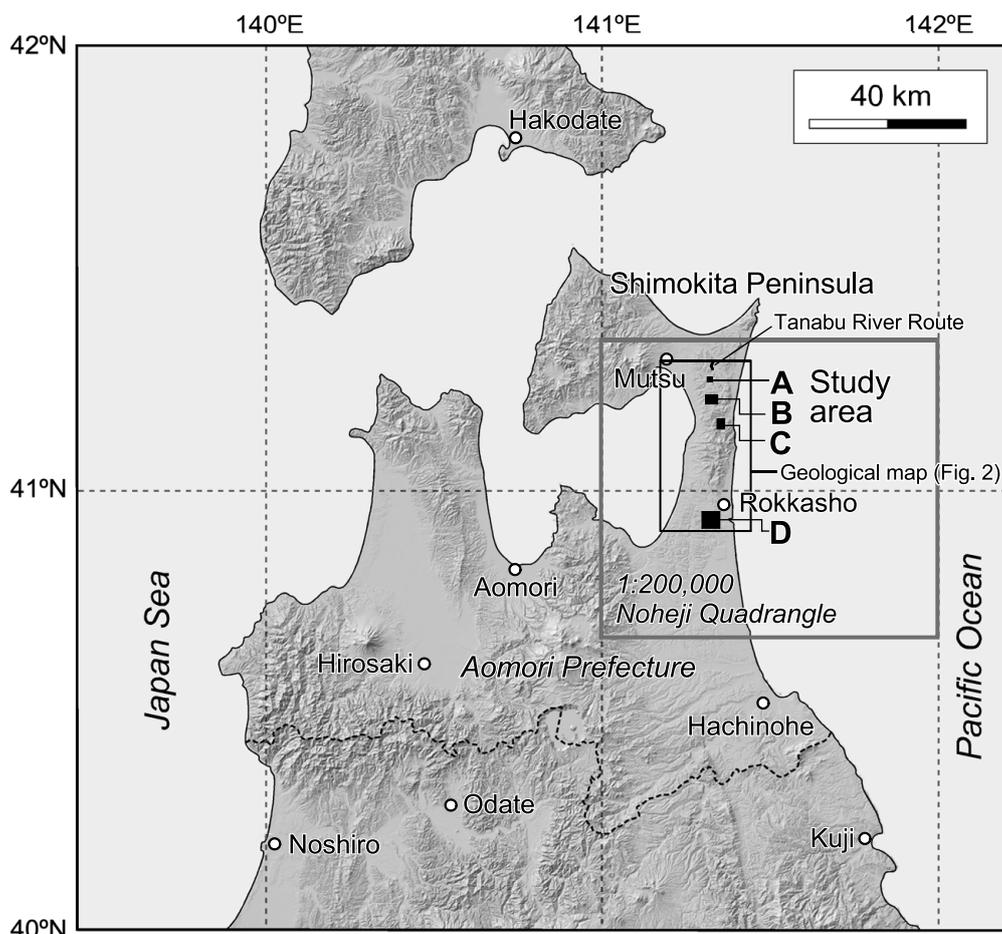
これらの下部～中部中新統については、柴崎ほか(1958)、岩井ほか(1959)、今井(1961)、北村・藤井(1962)、山口(1970)、多田ほか(1988)、岩井(1986)、岩井ほか(1986)、芳賀・山口(1990)、リサイクル燃料貯蔵株式会社(2009)、東京電力株式会社(2010)、東北電力株式会社(2014)、日本原燃株式会社(2014)などの研究報告がある。これらによれば、下北半島東部の下部～中部中新統は、猿ヶ森層、泊層、鷹架層及び蒲野沢層からなる(第2図)。これらの岩相に基づく区分自体については、研究報告間で細かい違いはあるが大局的には一致している。しかしながら、各地層の層序関係については、研究報告間で見解の相違が認められる(第3図)。主な見解の相違は、火山岩を主体とする泊層と海成珪質泥岩を主体とする蒲野沢層の層序関係、陸上～浅海堆積物からなる猿ヶ森層と泊層の層序関係、分布が離れているため検証材料に乏しい鷹架層と他の地層の層序関係に関するものである(第3図)。

泊層と蒲野沢層の層序関係については、1960年代以前の研究報告(岩井ほか, 1959; 今井, 1961; 北村・藤井, 1962)では蒲野沢層が下位あるいは泊層と蒲野沢層が同時異相であると考えられていた。これに対して、山

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 パリノ・サーヴェイ株式会社 (Palynosurvey Co. Ltd)

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



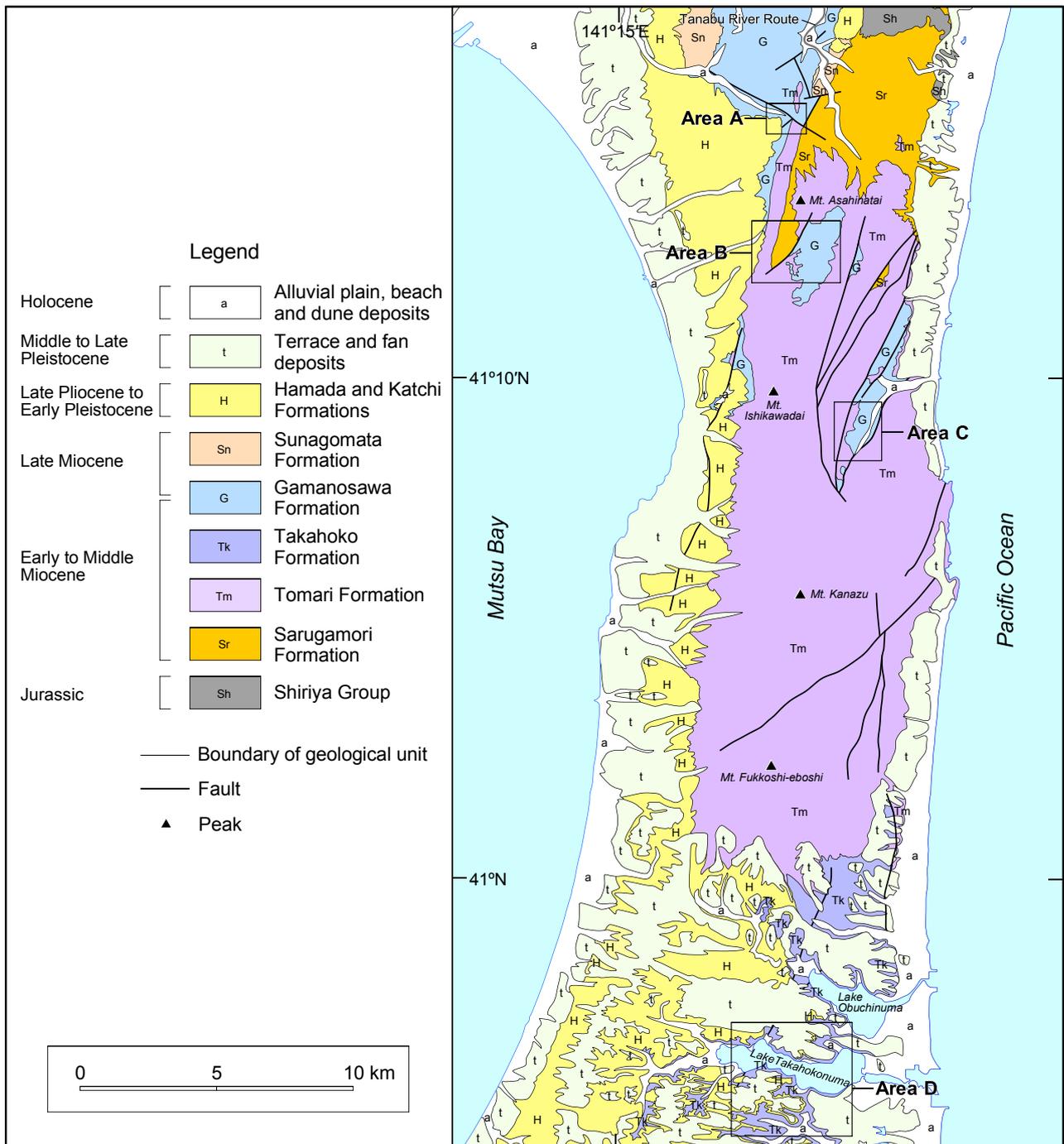
第1図 調査地域の位置図。陰影起伏図は国土地理院の地理院地図による。

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

口(1970)は蒲野沢層が泊層より上位である見解を示した。この見解は、その後の研究報告によって追認され、現在では確定したものとなっている(第3図)。しかし、その両層の層序関係については意見が分かれており、整合関係(山口, 1970; 多田ほか, 1988)、指交関係(岩井ほか, 1986)及び不整合関係(芳賀・山口, 1990; リサイクル燃料貯蔵株式会社, 2009; 東京電力株式会社, 2010; 東北電力株式会社, 2014; 日本原燃株式会社, 2014)とする3つの見解がある(第2図)。また、猿ヶ森層と泊層の層序関係についても、両層全体が指交関係とする考え方(北村・藤井, 1962; 山口, 1970; 多田ほか, 1988; 芳賀・山口, 1990)、猿ヶ森層上部と泊層下部が指交するという見方(岩井ほか, 1986, 日本原燃株式会社, 2014)、あるいは泊層が猿ヶ森層を整合に覆うという解釈(リサイクル燃料貯蔵株式会社, 2009; 東京電力株式会社, 2010; 東北電力株式会社, 2014)があり、見解が統一されていない(第2図)。一方、鷹架層と他の地層の層序関係については、一部の研究報告(東京電力株式会社, 2010; 東北電力株式会社, 2014; 日本原燃株式会社,

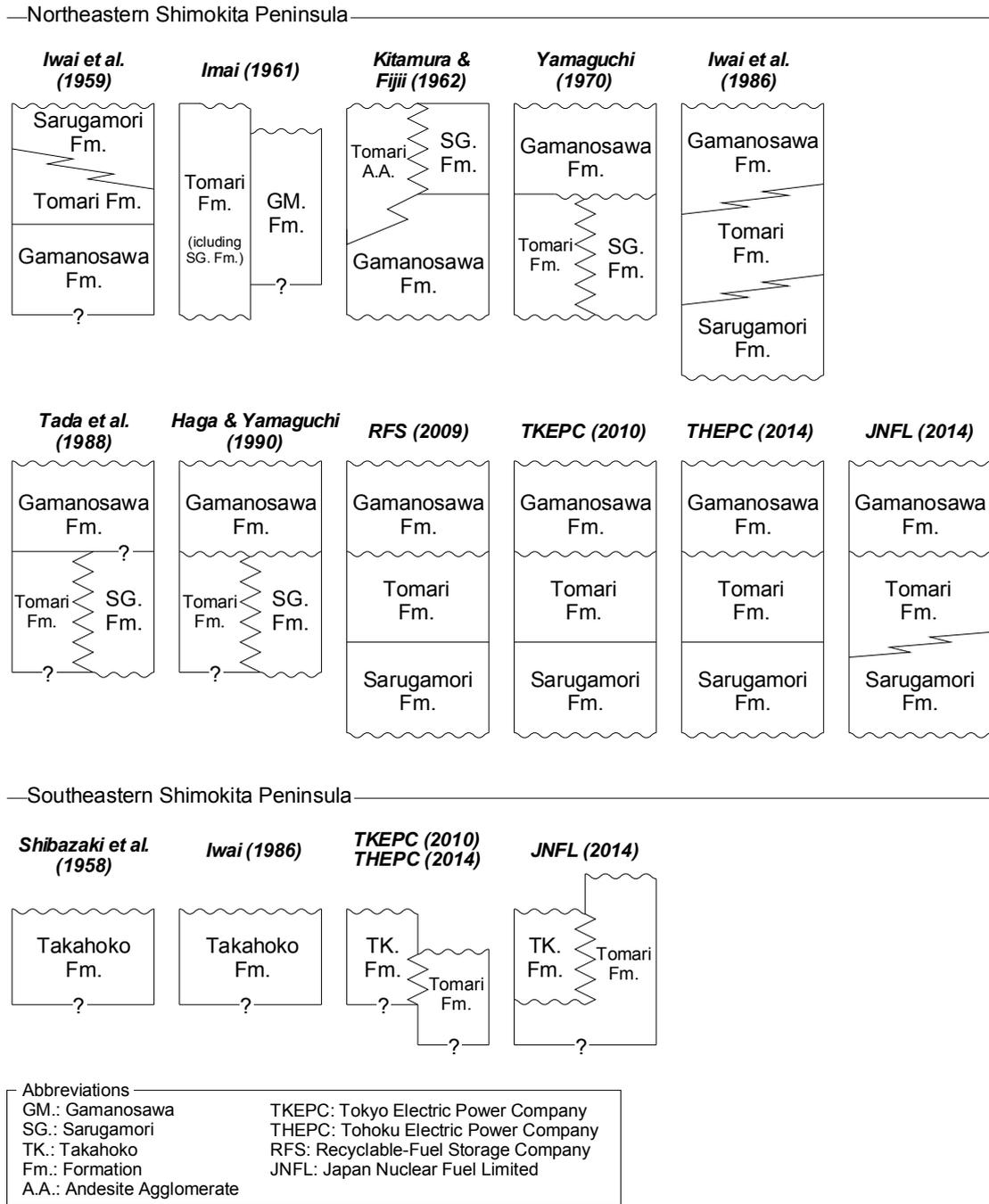
2014)では鷹架層は泊層と指交関係または不整合関係にあるとされているが、鷹架層のどの層準が泊層と指交関係にあるのかについては見解が分かれたままである(第2図)。

下北半島東部における下部～中部中新統層序の構築には、微化石層序学が大きく貢献してきた。その主な検討対象とされてきたのは蒲野沢層である。蒲野沢層については、丸山(1988)、秋葉・平松(1988)、芳賀・山口(1990)により珪藻化石層序、芳賀・山口(1990)により石灰質ナンノ化石層序、相田・的場(1988)により放散虫化石層序が示されている。他方、猿ヶ森層、鷹架層、泊層については、東京電力株式会社(2010)により珪藻化石の産出が報告されているが、化石帯区分の記載のみに留まっており、試料採取地点や化石産出表は示されていないため、データの使用には注意が必要である。一方、火山岩を主体とする泊層からは、これまでに数多くの K-Ar年代が報告されてきた(Watanabe *et al.*, 1993; Hanyu *et al.*, 2006)。しかしながら、これらの K-Ar年代には、泊層が蒲野沢層に覆われる層序関係と矛盾する若い年代値が多く含まれ



第2図 下北半島北東部の地質概略図. 芳賀・山口(1990), 東京電力株式会社(2010), 東北電力株式会社(2014), 日本原燃株式会社(2014)及びオリジナルデータを基に編纂して作成. 本区域の位置を第1図に示す.

Fig. 2 Simplified geological map of the eastern part of the Shimokita Peninsula compiled from Haga and Yamaguchi (1990), Tokyo Electric Power Company (2010), Tohoku Electric Power Company (2014), Japan Nuclear Fuel Limited (2014) and our original data. The location of this area is shown in Fig. 1.



第3図 下北半島東部における下部～中部中新統の層序変遷図。

Fig. 3 Stratigraphic transition of the Lower to Middle Miocene in the eastern part of the Shimokita Peninsula.

ており再検討を必要としていた。

以上のように、下北半島東部の下部～中部中新統については、1. 蒲野沢層とその下位層である泊層の層序関係、2. 泊層と猿ヶ森層の層序関係、3. 泊層の堆積年代、4. 鷹架層と他の地層の層序関係、について課題が残されていると言えよう。

現在、産総研地質調査総合センターでは、20万分の1

地質図幅「野辺地」(第2版)(第1図)の刊行準備を進めている。その過程において、著者らは先述した課題を解決するため、20万分の1「野辺地」範囲内のいくつかの地域について野外地質調査を実施するとともに、放射年代測定、珪藻及び石灰質ナノ化石分析を行った。微化石分析の対象としたのは、泊層直上層準の蒲野沢層と鷹架層である。このうち、放射年代測定の結果については、既

に工藤(2020)として報告した。本論では、野外地質調査と微化石分析の結果を報告するとともに、既存の研究報告によるデータと合わせて、下北半島東部に分布する下部～中部中新統の年代層序を構築する。

2. 地質概説

下北半島東部の下部～中部中新統は、おおよそ下位より、猿ヶ森層、泊層、鷹架層及び蒲野沢層からなる(第2図)。これらの地層の名称は、鷹架層が柴崎ほか(1958)に、他の地層がHatai(1950)及び青森県(1954)に由来する。下部～中部中新統は、上部中新統の砂子又層(Hatai, 1950; 青森県, 1954)、上部鮮新統～下部更新統の浜田層(金沢・山口, 1988; 菅原ほか, 1997)及び甲地層(柴崎ほか, 1958)、中期更新世以降の段丘堆積物や沖積低地堆積物などに覆われる(第2図)。以下では、本地域の下部～中部中新統の分布と岩相について概観する。

猿ヶ森層は、本地域の北部に分布し、ジュラ系の^{しりや}尻屋層群(対馬・滝沢, 1977)を不整合に覆う。本層は、泥岩、砂岩及び礫岩からなり、しばしば垂炭層を挟む。全体に植物片を豊富に含む。尻屋層群の分布近傍では礫岩主体であるが、それ以外の地域では泥岩及び砂岩が主体となる。

泊層は、本地域中央部に広く分布し、猿ヶ森層を覆うか、猿ヶ森層と指交関係にある。本層は、玄武岩～安山岩溶岩、火山砕屑岩及び貫入岩を主体とし、凝灰質砂岩、礫岩及び軽石火山礫凝灰岩を伴う。

鷹架層は、本地域の南部に分布し、泊層と一部で指交関係にあると考えられている。本層は、日本原燃株式会社(2014)により、岩相の違いから上部、中部、下部の3つに区分されている。本層下部は泥岩、砂岩及び礫岩からなる。本層中部は軽石火山礫凝灰岩、凝灰岩、凝灰質砂岩及び砂岩からなる。本層上部は主に塊状の珪藻質泥岩からなる。

蒲野沢層は、本地域の北部に分布し、泊層を覆う。本層は、珪藻質泥岩及び硬質珪質泥岩を主体とし、砂岩、凝灰質砂岩、軽石質火山砕屑岩を伴う。

3. 下部～中部中新統の地質記載

著者によるオリジナルな調査結果と既存研究報告に基づき、^{あおべらがわ}青平川上流域(地域A)、^{おくないがわ}奥内川上流域(地域B)、^{おいっべがわ}老部川流域(地域C)及び^{たかほごぬま}鷹架沼周辺地域(地域D)の4つの地域(第1図;第2図)について地質記載を行う。このうち、奥内川上流域、老部川流域、鷹架沼周辺地域からは、珪藻及び石灰質ナノ化石分析のため泥岩試料5試料を採取した。

3.1 青平川上流域(地域A)

本地域は青森県東通村^{ひがしどおりむら}南西部の青平川上流に位置する(第1図;第2図)。この地域は、同一ルートで珪藻

化石層序(丸山, 1988; 秋葉・平松, 1988; 芳賀・山口, 1990)と放散虫化石層序(相田・的場, 1988)が検討されており、泊層と蒲野沢層の年代層序を構築する上で極めて重要な地域である。本地域のルートマップを第4図に、地質柱状図を第5図に示す。

本地域には泊層及び蒲野沢層が分布する。青平川上流ルートでは、蒲野沢層が基底礫岩を伴って泊層を傾斜不整合で覆う関係が報告されている(芳賀・山口, 1990)。ただし、本研究による調査では、両者の直接の関係を露頭で確認することはできなかった(第4図;第5図)。本ルートでは、一部の露頭欠如部を除き、ほぼ連続した層序が観察されるが、泊層と蒲野沢層の境界から約300 m西方の地点においては、北東-南西走向・ほぼ垂直の断層が認められる(第4図)。この断層の北西側と南東側は、岩相の対比によって、同じ層準が繰り返し露出していると判断される(第5図)。

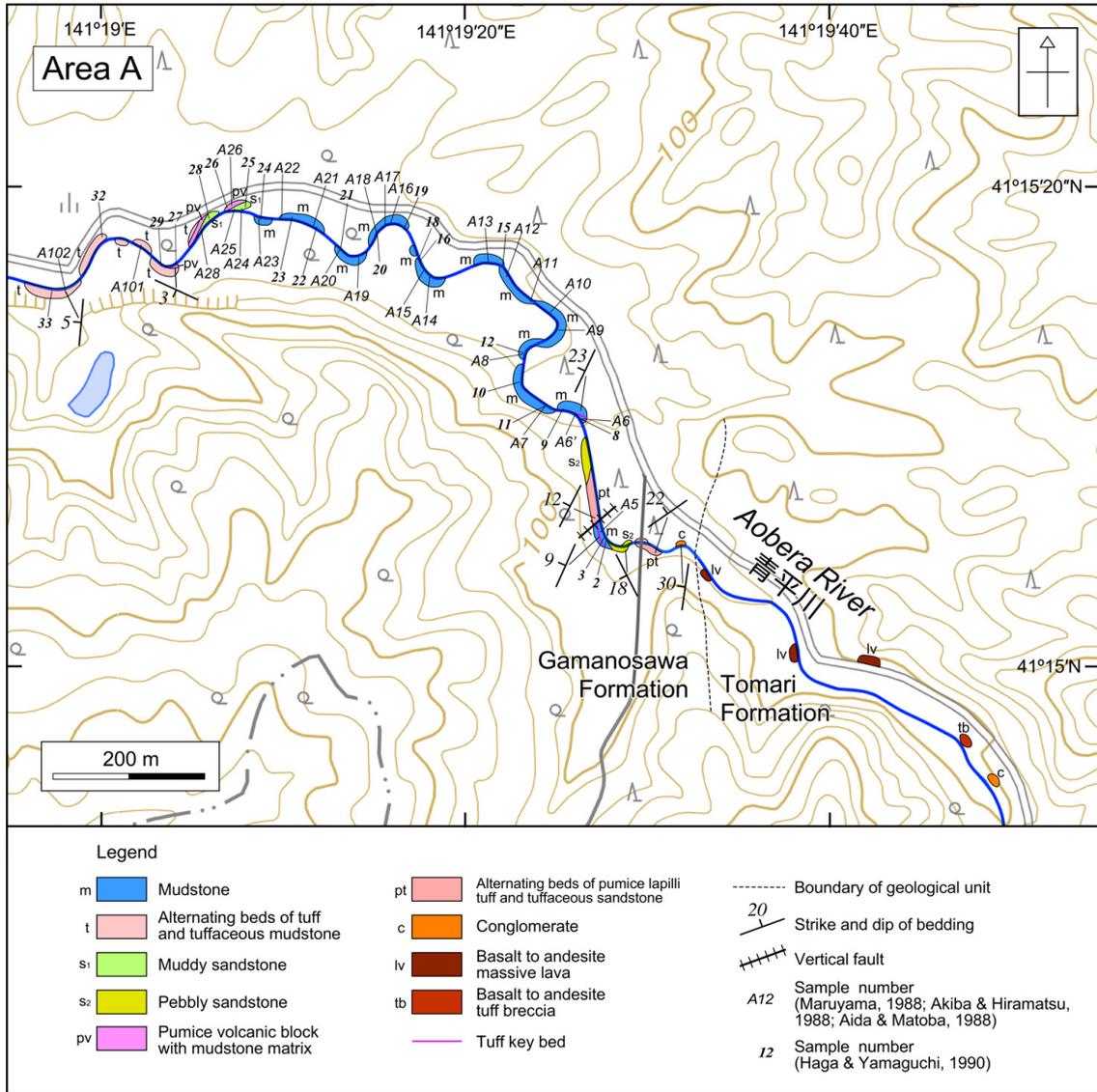
泊層は、玄武岩～安山岩の塊状溶岩及び凝灰角礫岩からなり、一部で玄武岩～安山岩垂円礫からなる大礫岩を伴う。

蒲野沢層は、泥岩を主体とし、一部層準で礫岩、砂岩及び火山砕屑岩を伴う。本層の主体を成す泥岩は、珪藻質で若干緑色を帯びた灰色を呈し、塊状岩相を示す。本層の最下部層準は、礫岩、礫質砂岩、凝灰質砂岩及び軽石火山礫凝灰岩からなり、他の層準よりも粗粒な岩相を示し、大局的には上方細粒化する(第4図;第5図)。最下部の礫岩は、淘汰の悪い巨礫岩～大礫岩からなり、泊層と同質の玄武岩～安山岩礫で構成される。本ルートにおいて最上部層準の蒲野沢層は、泥質砂岩、軽石凝灰角礫岩、凝灰岩及び凝灰質泥岩からなる(第4図;第5図)。泥質砂岩は、青緑色を帯びた暗灰色を呈し、塊状で生痕化石を多く含む。軽石凝灰角礫岩は、軽石火山岩塊～火山礫を主体とするが、泥岩からなる基質を伴うこと、下位層を削剥して累重することから、土石流堆積物と判断される。凝灰岩は成層構造を示し、一部で凝灰質泥岩と互層を成す。凝灰岩及び凝灰質砂岩は灰白色～明灰色を呈する。

3.2 奥内川上流域(地域B)

本地域は青森県むつ市南東部に位置する(第1図;第2図)。本地域の地質図及びルートマップを第6図に示す。本地域には猿ヶ森層、泊層及び蒲野沢層が分布し、これらを下部更新統の浜田層と沖積層が不整合に覆う(第6図)。

本地域の地質は、北東-南西走向・東側落ちの断層により、北西側と南東側に大きく二分される。断層北西側には泊層と猿ヶ森層が分布する。これらはおおよそ南北走向で西方に20°以上で傾斜し、一部では50°以上の急傾斜となり、局所的には逆転層も認められる。泊層と猿ヶ森層の直接の関係は露頭では確認できていないが、分布



第4図 青平川上流(地域A)のルートマップ。本研究によるオリジナルデータに基づく。本区域の位置を第1図及び第2図に示す。基図に地理院地図を使用。丸山(1988)、秋葉・平松(1988)及び相田・的場(1988)の試料採取位置を飯島ほか(1988)のルートマップから読み取って示した。芳賀・山口(1990)の試料採取位置も、彼らのルートマップに基づいて示した。

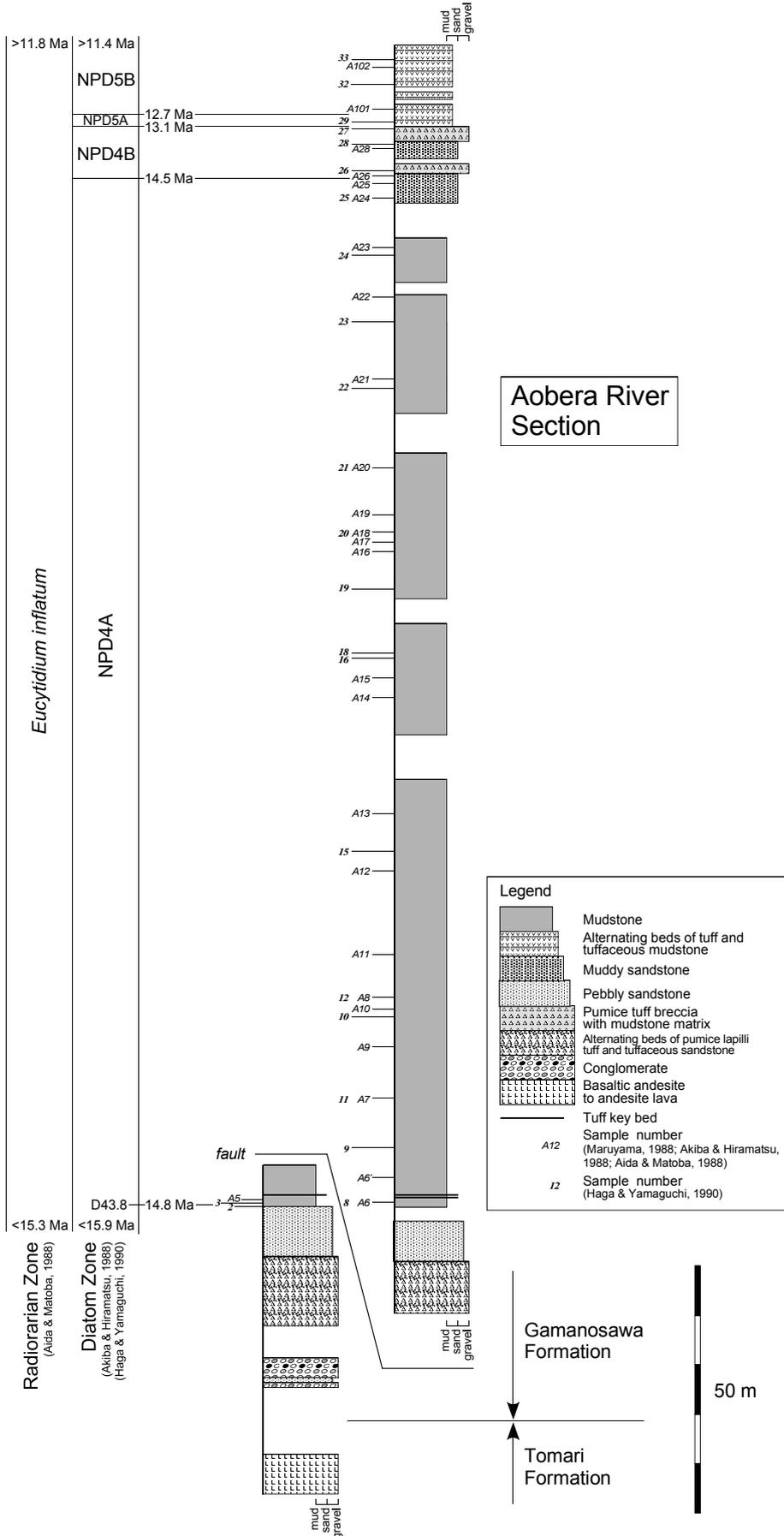
Fig. 4 Route map of the upper stream of the Aoibera River (Area A), based on the original data of this study. The location of this area is shown in Figs. 1 and 2. Base map is from GSI Map. Sample locations of Maruyama (1988), Akiba and Hiramatsu (1988), and Aida and Matoba (1988) are shown on the basis of the route map in Iijima *et al.* (1988). Sample locations of Haga and Yamaguchi (1990) are also shown from their route map.

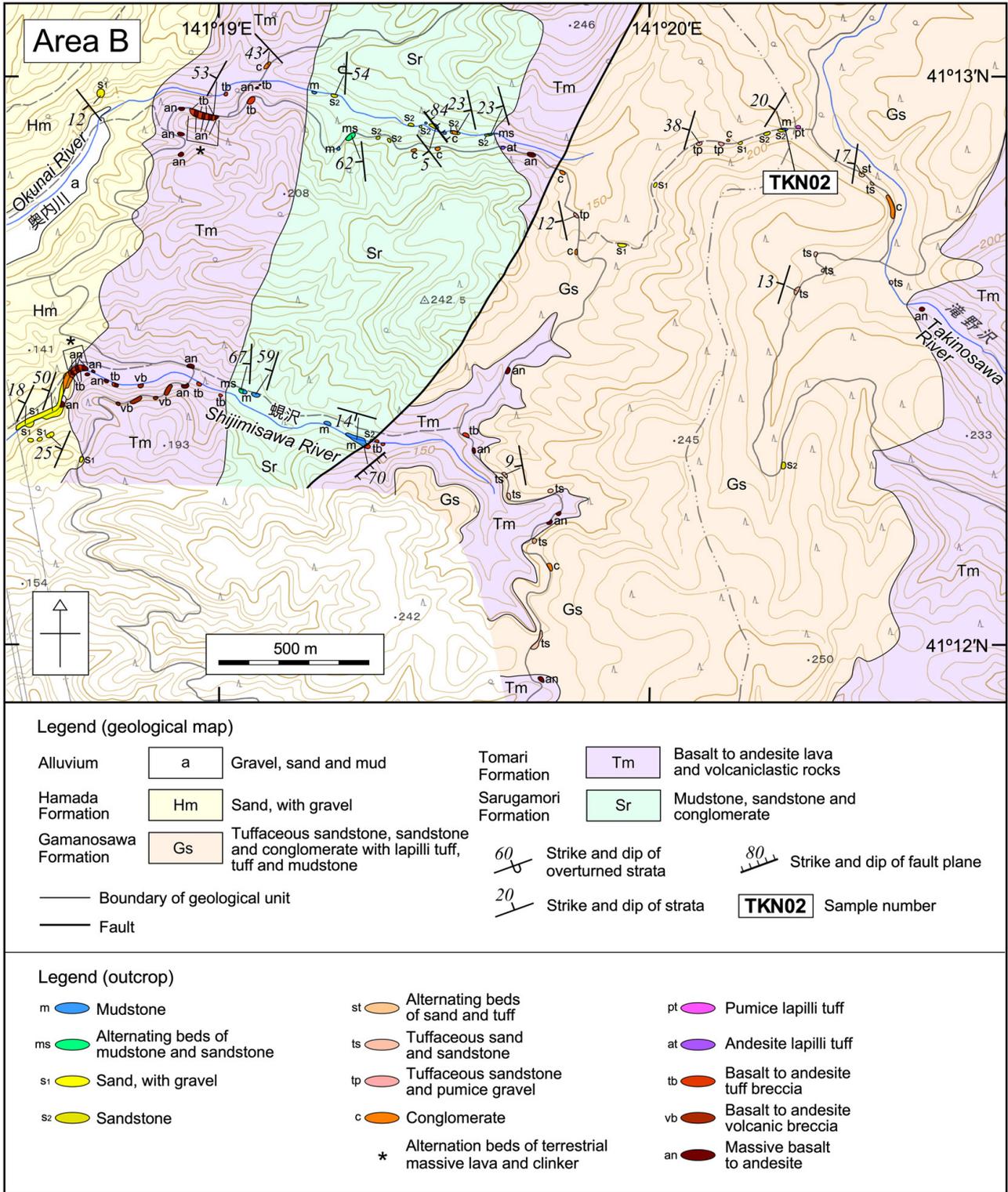
(p. 445 →)

第5図 青平川ルートの地質柱状図及び微化石層序。本ルートの位置は第4図を参照。丸山(1988)、秋葉・平松(1988)及び相田・的場(1988)の試料採取層準は飯島ほか(1988)のルートマップと柱状図から、芳賀・山口(1990)の試料採取層準は彼らのルートマップと柱状図から読み取って示した。このため試料採取層準には数メートル程度の誤差を伴う。芳賀・山口(1990)は、NPD4A帯とNPD4B帯の境界を試料26と28の間に置いている。しかし、試料26は土石流堆積物から採取したと判断される。そのため、NPD4A帯とNPD4B帯の境界は、秋葉・平松(1988)に従い試料A25とA26の間とした。

Fig. 5 Geological columnar section and biostratigraphy of the Aoibera River section. The locality of the section is shown in Fig. 4. Sampling horizons of Maruyama (1988), Akiba and Hiramatsu (1988), and Aida and Matoba (1988) were estimated from the route map and columnar section in Iijima *et al.* (1988). Sampling horizons of Haga and Yamaguchi (1990) were estimated from their route map and columnar section. Therefore, there is an error of a few meters in each sampling horizon. Haga and Yamaguchi (1990) placed the NPD4B/NPD4A boundary between samples 26 and 28. However, the sample 26 is inferred to be taken from the debris flow deposits. Therefore, the NPD4B/NPD4A boundary was placed between samples A25 and A26 following Akiba and Hiramatsu (1988).

下北半島東部に分布する下部～中部中新統の年代層序 (工藤ほか)





第6図 奥内川上流域(地域B)の地質図及びルートマップ。地質図は本研究によるオリジナルデータに基づく。本区域の位置を第1図及び第2図に示す。基図に地理院地図を使用。

Fig. 6 Route map and geological map of the upper stream area of the Okunai River (Area B). The geological map is based on the original data of this study. The location of this area is shown in Figs. 1 and 2. Base map is from GSI Map.

状況より猿ヶ森層は上下を泊層に挟まれると判断される（第6図）。一方、断層南東側には泊層と蒲野沢層が分布する。蒲野沢層はおおよそ南北走向で西方に38～9°で傾斜する。蒲野沢層と泊層の直接の層序関係は露頭では確認できていないが、分布と構造から蒲野沢層が泊層を覆うと判断される（第6図）。

猿ヶ森層は、泥岩及び砂岩を主体とし、礫岩を伴う。泥岩は灰色を呈し、植物片を含むことが多い。泥岩と砂岩は、しばしば厚さ数十cm以下の単位で互層する。一部の砂岩には貝化石が認められる。礫岩は大礫サイズ以下の垂円～垂角礫からなり、泊層と同質の玄武岩～安山岩礫からなるものが多く、一部で下北半島北東部の基盤を成すジュラ系の尻屋群層由来の泥岩礫を含む。

泊層は、玄武岩～安山岩の塊状溶岩、火山角礫岩及び凝灰角礫岩を主体とし、一部で礫岩を伴う。火山角礫岩の多くは、放射状の冷却節理を伴う火山岩塊を頻繁に伴い、塊状溶岩へと漸移することから、水冷破碎溶岩と判断される。本地域における泊層の最上部は、厚さ5～3mの単位で繰り返す塊状溶岩と凝灰角礫岩の互層部からなる（第6図に「*」で示した部分）。この互層部は、凝灰角礫岩が高温酸化を受け鮮やかな赤褐色を呈すること、一部で古土壌層と思われる安山岩礫交じりの赤褐色砂質泥岩を挟むこと、水冷破碎の証拠が見つからないことから、陸上堆積した塊状溶岩・クリンカー互層と判断される。

蒲野沢層は、凝灰質砂岩、砂岩及び礫岩を主体とし、軽石火山礫凝灰岩、凝灰岩及び泥岩を伴う。凝灰質砂岩は、軽石質あるいはスコリア質で、一部で頻繁に軽石細～中礫を交える。凝灰質砂岩及び砂岩には、しばしば貝化石や生痕化石が認められる。礫岩は、泊層と同質の玄武岩～安山岩礫で構成され、巨礫サイズ以下の垂円～垂角礫からなる。泥岩は珪藻質で緑色を帯びた灰色を示し、奥内川最上流部の1露頭のみで確認される。の露頭の泥岩より試料TKN02を採取した（第6図）。この露頭では、厚さ3m以上の塊状泥岩が厚さ1m以上の塊状極細粒砂岩に整合的に覆われる関係が観察される。

3.3 老部川流域(地域C)

本地域は青森県東通村南部に位置する（第1図；第2図）。本地域の地質図及びルートマップを第7図に示す。本地域には泊層及び蒲野沢層が分布し、これらを中部更新統以上の段丘堆積物と沖積層が不整合に覆う（第7図）。本地域には北北東-南南西走向の数条の正断層が認められる（東北電力株式会社，2014）。蒲野沢層は、これらの断層によって相対的に沈降したブロック内に分布し、おおよそ南北走向で東方に13～28°で傾斜する。蒲野沢層と泊層の直接の層序関係は露頭では確認できていないが、分布と構造から蒲野沢層が泊層を覆うと判断される（第7図）。

泊層は、玄武岩～安山岩の溶岩及び火山碎屑岩を主体

とし、一部で凝灰質砂岩を伴う。蒲野沢層は、泥岩を主体とし、砂岩（一部で未固結の砂層）及び礫岩を伴う。これらの岩相は指交関係にある（第7図）。泥岩は、珪藻質、塊状でやや緑色を帯びた灰色を示す。砂岩は、黄褐色～暗灰色を呈する極細粒～中粒砂岩（あるいは砂層）からなる。砂岩は塊状であることが多いが、一部で平行葉理が発達する。砂岩の一部は泥岩をチャンネル状に削って堆積している。本研究では、老部川の支流沿いに露出する蒲野沢層の塊状泥岩より、試料OIP05を採取した（第7図）。

3.4 鷹架沼周辺地域(地域D)

本地域は青森県六ヶ所村中央部に位置する（第1図；第2図）。本地域の地質図及びルートマップを第8図に示す。本地域には基底部に鷹架層（柴崎ほか，1958）が広く分布し、これを鮮新統～下部更新統の甲地層、中部更新統以上の段丘堆積物及び沖積層が不整合に覆う（第8図）。本地域の鷹架層には、北東-南西走向の向斜構造と西側落ちの断層が認められる（第8図；日本原燃株式会社，2014）。

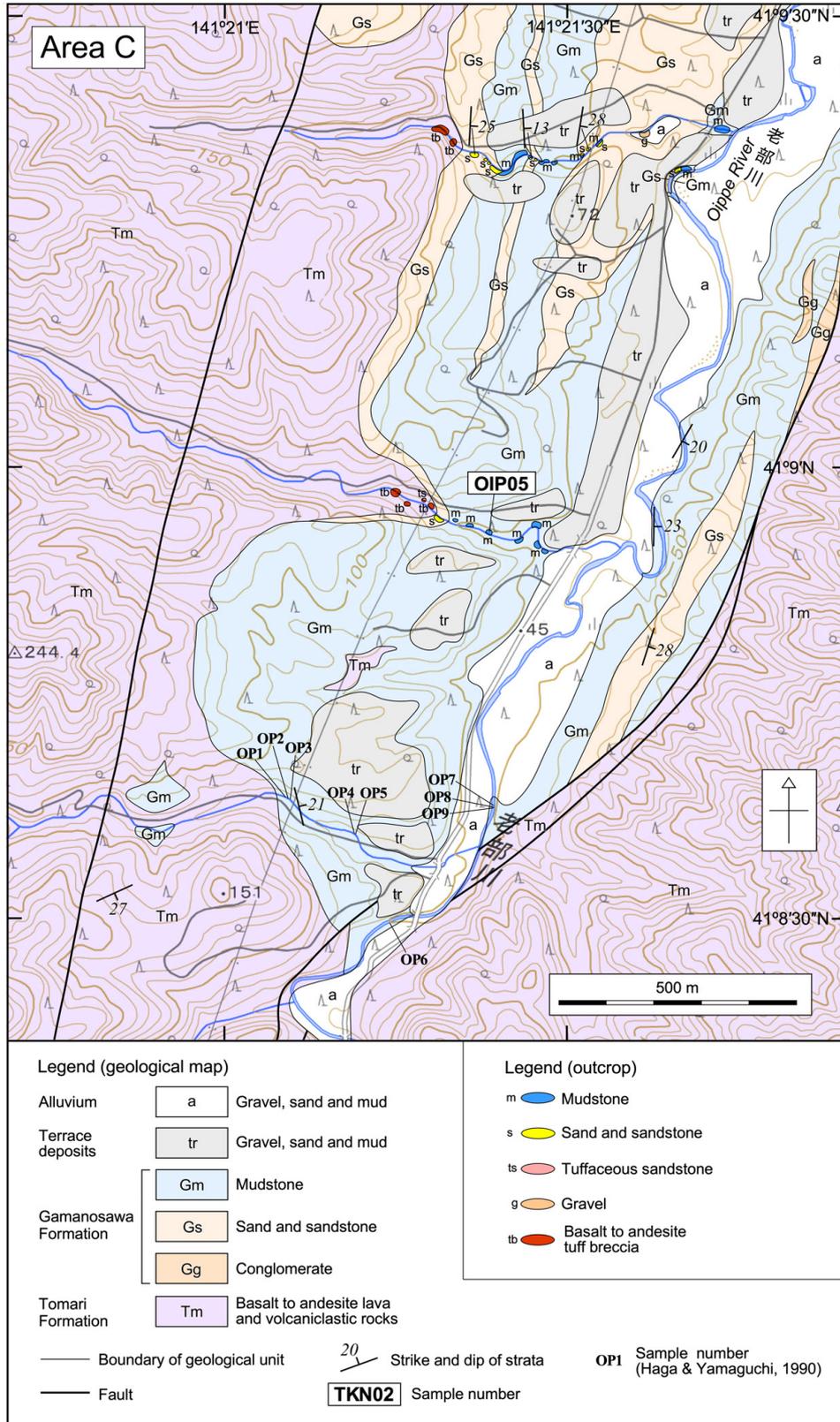
鷹架層は、日本原燃株式会社（2014）により上部、中部、下部の3つに区分されている。鷹架層下部は、灰色を呈する泥岩及び砂岩からなる。鷹架層中部は、軽石質の凝灰質砂岩及び軽石火山礫凝灰岩からなる。鷹架層上部は、緑灰色を呈する塊状の珪藻質泥岩からなり、一部で砂岩や凝灰岩の薄層を伴う。また、鷹架層上部の最下部層準は、灰色を呈する塊状の極細粒砂岩からなる。本研究では、鷹架層上部の珪藻質泥岩から、試料THK07、THK06及びTHK05を採取した（第8図）。試料THK07は鷹架層上部の最下部付近の層準から採取したものであり、TKH07、06、05の順に上位層準となる（第8図）。

4. 微化石分析手法

4.1 珪藻化石分析

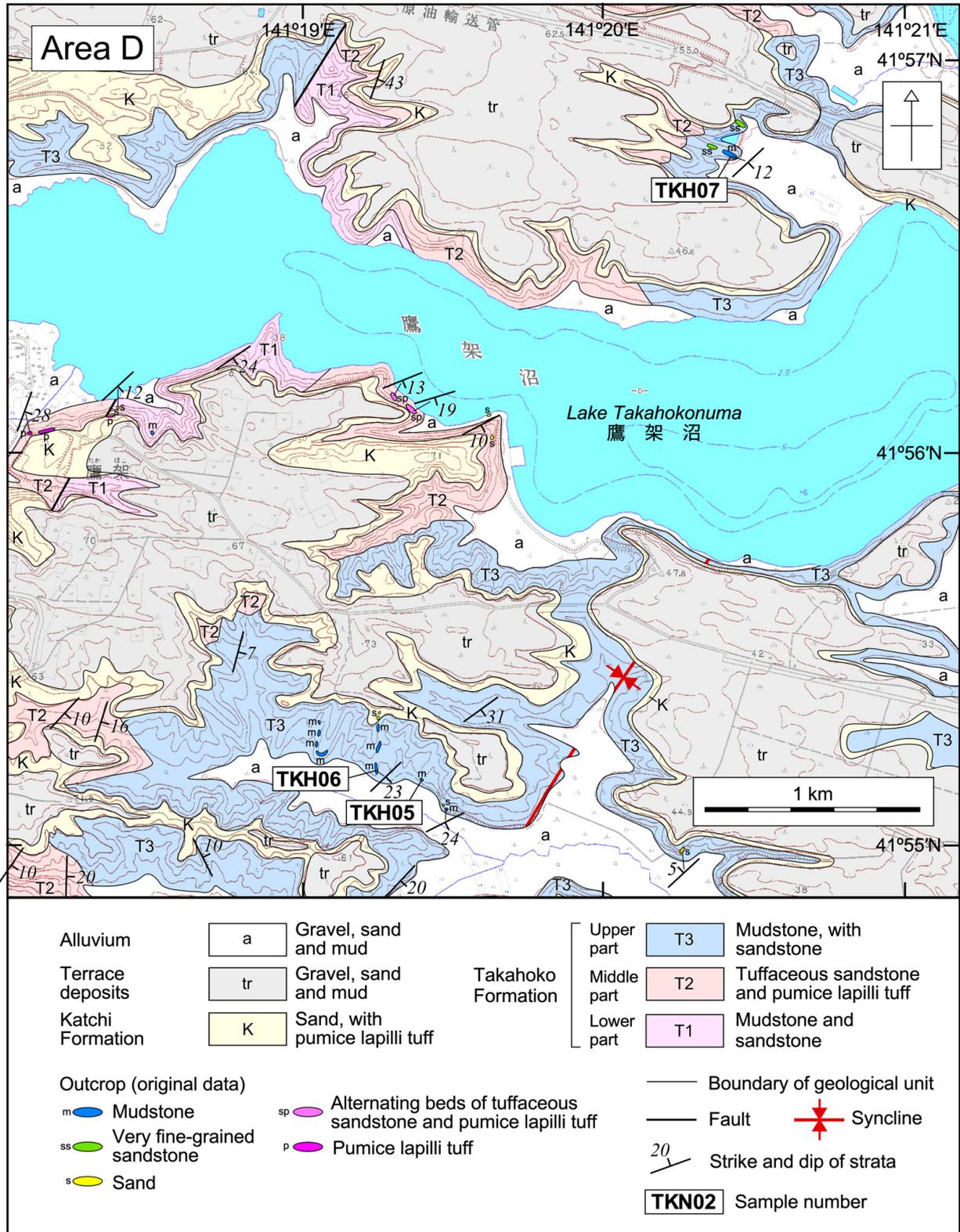
試料TKN02、OIP05、TKH05、TKH06、TKH07の5試料について珪藻化石分析を行った。乾燥重量約2gの試料をビーカーに計り取り、過酸化水素水と塩酸を加えて試料の泥化と有機物の分解・漂白を行った。次に、分散剤を加えた後、蒸留水を満たし放置した。その後、上澄み液中に浮遊した粘土分を除去し、珪藻殻の濃縮を行った。この操作を4～5回繰り返した。次に、自然沈降法による砂質分の除去を行い、検鏡し易い濃度に希釈し、カバーガラス上に滴下して乾燥させた。乾燥した試料上に封入剤のプルーラックスを滴下し、スライドガラスに貼り付けプレパラートを作製した。

検鏡は、油浸600倍または1000倍で行い、*Chaetoceros* 属の休眠胞子を除いて、メカニカルステージを用い任意に出現する珪藻化石が200個体以上になるまで同定・計数した。なお、原則として、珪藻殻が半分以上破損したものについては、誤同定を避けるため同定・計数は行わ



第7図 老部川流域(地域C)の地質図及びルートマップ。本区域の位置を第1図及び第2図に示す。基図に地理院地図を使用。地質図は東北電力株式会社(2014)を本研究のデータに基づき一部改変。ルートマップのデータは本研究による。

Fig. 7 Route map and geological map of the area along the Oippe River (Area C). The location of this area is shown in Figs. 1 and 2. Base map is from GSI Map. The geological map is partly modified from Tohoku Electric Power Company (2014) based on original data of this study. The route map data are from this study.



第8図 鷹架沼周辺地域(地域D)の地質図及びルートマップ。本区域の位置を第1図及び第2図に示す。基図は国土地理院発行の数値地図25000を使用した。地質図は日本原燃株式会社(2014)による。ルートマップのデータは本研究による。

Fig. 8 Route map and geological map of the area around the Lake Takahokonuma (Area D). The location of this area is shown in Figs. 1 and 2. Base map is from Digital Map 25000 (Map Image) published by the Geospatial Information Authority of Japan. The geological map is from Japan Nuclear Fuel Limited (2014). The route map data are from this study.

なかった。200個体が検出できた後は、示準種等の重要な種類の見落としがないように、全体を精査し、含まれる種群すべてが把握できるように努めた。

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。

4.2 石灰質ナノ化石分析

試料TKN02, OIP05, TKH05の3試料について、石灰質ナノ化石分析を行った。分析は、基本的に高柳編(1978)の示した方法で行った。試料約1gをピーカーに入れ、20 ml 程度の水を加え、よく攪拌した上で懸濁液を作成した。攪拌した懸濁液をそのままの状態約30秒間放置した後、懸濁液の上層部をストローに吸い取り、カバーガラス(18×23 mm)全面に広がるように静かに滴下し、ホットプレート上において40℃前後で乾燥させた。完全に乾燥したことを確認したのち、カバーガラスを光硬化接着剤によって封入し、プレパラートを完成させた。

検鏡は、偏光装置を備えた位相差顕微鏡を用いて1500倍で行った。計数は、有光帯下部に生育するとされる*Florisphaera profunda*を除いて200個体を目安に行い、さらに全体を精査して産出種の見落としがないように努めた。*Florisphaera profunda*を除く理由は、通常の試料の場合、本種が非常に多く含まれるため、これを計数目標個体の中に加えると9割以上を占めることが珍しくなく、他の時代指標種等の産出傾向の読みとりが難しくなるためである。

石灰質ナノ化石帯区分はOkada and Bukry (1980)を用いた。年代はGradstein *et al.* (2012)による。

5. 微化石分析結果

5.1 珪藻化石分析

分析結果を第1表に示す。分析が行われた5試料には、十分な量の珪藻化石が含まれており、いずれも200個体以上が検出された。認められた化石殻の保存状態は、いずれの試料も全体に半壊して破片状になっているため、状態としては不良から極不良である。検出された分類群は、海水生種のみであり、汽水生種あるいは淡水生種は認められない。以下、試料毎に結果を記載する。

5.1.1 試料TKN02

本試料からは、*Thalassionema nitzschioides*及び*Thalassiothrix longissima*を主体に、*Actinocyclus ingens*, *Actinopterychus senarius*, *Crucidentacula paranicobarica*, *Denticulopsis hyalina*, *Denticulopsis lauta*等を伴う種群が

産出した。本試料は、*D. hyalina*を含み、*Denticulopsis simonsenii*を欠くことから、NPD4Ba亜帯に位置づけられる。*D. hyalina*が低率であること(約5%)及び*C. paranicobarica*を伴うことも、この化石帯認定を支持する。

5.1.2 試料OIP05

本試料からは、*Thalassionema hirosakiensis*, *T. nitzschioides*及び*T. longissima*を主として、*A. ingens*, *A. ingens* fo. *nodus*, *A. senarius*, *Cavitatus jouseauus*, *Cavitatus linearis*, *C. nicobarica*, *C. paranicobarica*, *D. hyalina*, *D. lauta*, *Denticulopsis praehyalina*等を伴う種群が産出した。本試料は、*D. hyalina*が産出し、*D. simonsenii*が検出されないことから、NPD4Ba亜帯と認定される。これは、*D. hyalina*の頻度が低いこと(約1%)及び*C. paranicobarica*を含むことから支持される。

5.1.3 試料TKH05

本試料からは、*D. hyalina*, *T. hirosakiensis*, *T. nitzschioides*及び*T. longissima*を主として、*A. ingens*, *A. ingens* fo. *nodus*, *A. senarius*, *C. jouseauus*, *C. nicobarica*, *C. paranicobarica*, *D. lauta*, *Denticulopsis* aff. *miocenica*, *D. praehyalina*等を伴う種群が産出した。本試料は、*D. hyalina*が含まれ、*D. simonsenii*が認められないので、化石帯の定義を厳密に適用するとNPD4Ba亜帯に認定される。しかし、産出頻度が約45%と*D. hyalina*が多産することから、NPD4Bb亜帯最下部に存在する*D. hyalina*の急増層準よりも上位にある可能性が非常に高く、これを考慮するとNPD4Bb亜帯に属すると判断した方がよいと考えられる。NPD4Bb亜帯の下限は、生層準D47(*D. simonsenii*の初産出層準)で定義されているものの、この化石帯内では*D. simonsenii*の産出は極めて稀で(Yanagisawa and Akiba, 1998)、この化石帯内であっても、とくに化石帯の最下部では試料によっては本種が検出されないこともある(Yanagisawa and Akiba, 1990)。したがって、この試料をNPD4Bb亜帯と認定してもよいと思われる。

5.1.4 試料TKH06

本試料からは、*A. ingens*, *T. hirosakiensis*及び*T. nitzschioides*を主として、*A. ingens* fo. *nodus*, *A. senarius*, *C. jouseauus*, *C. nicobarica*, *C. paranicobarica*, *Crucidentacula sawamurae*, *D. hyalina*, *Denticulopsis ichikawae*, *Denticulopsis tanimurae*, *Thalassiothrix longissima*等を伴う種群が産出した。本試料は、*D. hyalina*が稀産し、*D. simonsenii*が検出されないことから、NPD4Ba亜帯と認定できる。*D. tanimurae*が多産すること、この化石帯認定を支持する。

5.1.5 試料TKH07

本試料からは、*A. ingens*, *C. paranicobarica*及

下北半島東部に分布する下部～中部中新統の年代層序（工藤ほか）

第1表 蒲野沢層及び鷹架層の珪藻化石産出表

Table 1 Occurrence chart of diatom fossils from the Gamanosawa and Takahoko Formations

Formation	Gamanosawa Formation		Takahoko Formation		
	4Ba	4Ba	4Bb	4Ba	4A
Diatom zone (NPD)					
Sample no.	TKN02	OIP05	TKH05	TKH06	TKH07
Preservation (P: poor, VP: very poor)	VP	P	P	P	P
Abundance (C: common, F: few)	F	F	C	C	F
<i>Actinocyclus ingens</i> (Ratt.) Whiting & Schrader	7	28	17	39	32
<i>A. ingens</i> fo. <i>nodus</i> (Balbauf) Whiting & Schrader	-	2	6	5	7
<i>A. ingens</i> fo. <i>planus</i> Whiting & Schrader	-	-	1	-	3
<i>A. spp.</i>	1	-	-	-	-
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehr.) Ehrenberg	33	1	1	1	1
<i>Cavitatus jouseanus</i> (Sheshukova) Williams	-	3	1	12	-
<i>C. linearis</i> (Sheshukova) Akiba & Yanagisawa	-	4	-	3	-
<i>C. spp.</i>	4	1	1	3	-
<i>Cerataulus spp.</i>	-	-	-	-	1
<i>Cocconeis californica</i> Grunow	-	-	-	1	-
<i>C. costata</i> Gregory	-	-	-	2	-
<i>C. spp.</i>	-	-	1	-	-
<i>Coscinodiscus marginatus</i> Ehrenberg	-	-	2	2	-
<i>C. spp.</i>	2	-	2	3	1
<i>Crucidentricula kanayae</i> Akiba & Yanagisawa	-	-	-	-	1
<i>C. kanayae</i> cf. var. <i>pacifica</i> Yanagisawa & Akiba	-	-	-	-	1
<i>C. nicobarica</i> (Grun.) Akiba & Yanagisawa	-	1	12	4	4
<i>C. paranicobarica</i> Akiba & Yanagisawa	3	21	1	8	65
<i>C. sawamurae</i> Yanagisawa & Akiba	-	-	-	-	1
<i>C. cf. sawamurae</i> Yanagisawa & Akiba	-	-	-	1	-
<i>C. spp.</i>	1	1	-	-	-
<i>Cymatosira debyi</i> Tempere et Brun	2	-	-	-	-
<i>C. spp.</i>	2	1	-	-	-
<i>Denticulopsis hyalina</i> (Schrader) Simonsen	11	2	91	1	-
<i>D. cf. ichikawae</i> Yanagisawa & Akiba	-	-	-	1	2
<i>D. lauta</i> Group (Girdle view)	7	19	9	-	7
<i>D. aff. miocenica</i> (Schrader) Simonsen	-	-	1	-	-
<i>D. praehyalina</i> Tanimura	-	17	2	-	-
<i>D. tanimurae</i> Yanagisawa & Akiba	-	-	-	11	-
<i>D. spp.</i>	7	23	-	-	-
<i>Diploneis spp.</i>	-	-	-	-	1
<i>Grammatophora marina</i> (Lyngb.) Kuetzing	-	1	-	-	1
<i>Kisseleviella spp.</i>	-	-	-	1	2
<i>Mediaria magna</i> Yanagisawa	-	-	-	-	1
<i>M. splendida</i> Sheshukova	-	-	1	-	-
<i>Nitzschia spp.</i>	-	2	-	3	2
<i>Paralia sulcata</i> (Ehr.) Cleve	-	2	-	1	3
<i>Proboscia alata</i> (Btw.) Sundstrom	-	-	-	1	-
<i>P. interposita</i> (Hajos) Fenner	-	-	-	1	1
<i>P. spp.</i>	3	1	-	-	-
<i>Rhizosolenia hebetata</i> (Bail.) Gran	-	1	-	1	1
<i>R. hebetata</i> fo. <i>hiemalis</i> Gran	1	1	-	-	-
<i>R. hebetata</i> fo. <i>semispina</i> (Hensen) Gran	-	-	1	1	-
<i>R. setigera</i> Brightwell	-	-	-	1	-
<i>Stephanopyxis turris</i> (Grev. Arn. in Greg.) Ralfs	-	-	-	1	-
<i>Synedra spp.</i>	-	-	1	-	-
<i>Thalassionema hirosakiensis</i> (Kanaya) Schrader	2	26	18	23	6
<i>T. nitzschoides</i> (Grun.) Grunow	53	27	21	61	51
<i>Thalassiosira subtilis</i> (Ostenfeld) Gran	-	-	-	-	1
<i>T. spp.</i>	-	-	1	2	1
<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve et Grunow	58	17	12	7	8
<i>Delphineis angustata</i> (Paufosek) Andrews	2	-	-	-	-
<i>D. surirella</i> (Ehr.) Andrews	9	-	-	1	-
<i>D. spp.</i>	3	-	-	1	-
Total	211	202	203	203	205
<i>Chaetoceros spp.</i>	17	14	11	30	18

第2表 蒲野沢層及び鷹架層の石灰質ナノ化石産出表
Table 2 Occurrence chart of nannofossils from the Gamanosawa and Takahoko Formations

Formation	Gamanosawa Formation		Tk. F.
	CN4	?	CN5a
Sample no.	TKN02	OIP05	TKH05
Abundance (C: common, R: rare, VR: very rare)	R	VR	C
Preservation (VP: very poor)	VP	VP	VP
<i>Calcidiscus leptoporus</i> (Murray & Blackman) Loeblich & Tappan	-	1	1
<i>Coccolithus miopelagicus</i> Bukry	-	-	2
<i>C. pelagicus</i> (Wallich) Schiller	12	37	42
<i>C. streckerii</i> Takayama & Sato	-	-	1
<i>Cyclicargolithus abisectus</i> (Muller) Wise	-	-	1
<i>C. floridanus</i> (Roth & Hay) Bukry	-	-	1
<i>Dictyococcites perplexus</i> Burns	8	-	22
<i>D. productus</i> (Kamptner) Backman	21	-	4
<i>D. scrippsae</i> Bukry & Percival	1	1	2
<i>D. sp.-B</i>	78	2	12
<i>D. sp.-C</i>	28	-	2
<i>D. spp.</i>	-	2	-
<i>Discoaster</i> aff. <i>deflandrei</i> Bramlette & Riedel	-	-	1
<i>D. moorei</i> Bukry	-	-	1
<i>D. spp.</i>	1	-	1
<i>Helicosphaera carteri</i> (Wallich) Kamptner	1	-	2
<i>H. cf. intermedia</i> Martini	1	-	-
<i>H. spp.</i>	1	-	1
<i>Reticulofenestra ampla</i> Sato, Kameo & Takayama	2	1	5
<i>R. haqii</i> Backman	2	6	27
<i>R. minuta</i> Roth	31	1	52
<i>R. minutula</i> (Gartner) Haq & Berggren	9	-	11
<i>R. pseudoumbilicus</i> (Gartner) Gartner [10–12μ]	-	-	1
<i>R. pseudoumbilicus</i> (Gartner) Gartner [6–9μ]	1	-	9
<i>R. spp.</i>	1	-	2
<i>Sphenolithus heteromorphus</i> Deflandre	2	-	-
<i>S. spp.</i>	1	-	1
<i>Syracosphaera</i> spp.	-	-	1
<i>Umbilicosphaera rotula</i> (Kamptner) Varol	-	-	1
<i>U. spp.</i>	-	-	1
Total	201	51	207
Coccosphere	-	-	1

Tk. F.; Takahoko Formation.

び *T. nitzschioides* を主として, *A. ingens* fo. *nodus*, *Crucidentricula kanayae*, *C. nicobarica*, *C. sawamurae*, *D. ichikawae*, *D. lauta*, *T. hirosakiensis*, *T. longissima* 等を伴う種群が産出した。本試料は, *D. lauta* が産出し, *D. hyalina* が含まれていないので, NPD4A帯と認定できる。また, *C. nicobarica* を含むことから, 生層準D43.8 (*C. nicobarica* の初産出層準) よりも上位に, また *D. praehyalina* を欠くので, 生層準D44 (*D. praehyalina* の初

産出層準) よりも下位に位置づけられる。さらに, 本試料は *D. tanimurae* を含まないので, D44の少し下位にある *D. tanimurae* の初産出層準よりも下位にあると判断される。*C. paranicobarica* が多産すること(約32%)も, こうした判断と整合的である。以上から, 本試料はNPD4A帯最上部に位置づけることができる。

5.2 石灰質ナノ化石分析

分析結果を第2表に示す。以下、試料毎に結果を記載する。

5.2.1 試料TKN02

本試料からは、堆積物中の絶対量としては多くないものの、200個体以上が検出された。検出された種群は、*Coccolithus pelagicus*, *Dictyococcites productus*, *Dictyococcites scrippsae*, *Dictyococcites* sp.-B, *Dictyococcites* sp.-C, *Helicosphaera intermedia*, *Reticulofenestra ampla*, *Reticulofenestra haqii*, *Reticulofenestra minuta*, *Reticulofenestra minutula*, *Reticulofenestra pseudoumbilicus*, *Sphenolithus heteromorphus*等で構成される。本試料は、*S. heteromorphus*が認められ、CN3帯上限で絶滅した*Helicosphaera ampliaperata*, *Helicosphaera scissura*が認められないことから、CN4帯に認定される。

5.2.2 試料OIP05

本試料からは51個体が認められたのみである。化石の保存状態は、殻の一部が破損しており、溶解の痕跡が認められることから、保存状態は極不良である。検出された種群は、*Calcidiscus leptoporus*, *C. pelagicus*, *Dictyococcites* sp.-B, *R. ampla*, *R. haqii*, *R. minuta*等で構成される。本試料は、産出率が低いために明確なことは言えないが、*R. ampla*が認められたことから、中期中新世～CN12a帯の間のいずれかの時期の可能性が示唆される。

5.2.3 試料TKH05

本試料には、比較的多くの石灰質ナノ化石が含まれており、200個体以上が検出された。認められた個体の多くは殻の周縁部が破損しているだけでなく、若干溶解の痕跡も認められることから、化石の保存状態は極不良である。群集組成は、*C. pelagicus*, *Dictyococcites perplexus*あるいは*R. minuta*を主体に、*C. leptoporus*, *Cyclicargolithus floridanus*, *D. productus*, *Discoaster deflandrei*, *Discoaster moorei*, *Helicosphaera carteri*, *R. ampla*, *R. haqii*, *R. minutula*, *R. pseudoumbilicus*, *Umbilicosphaera rotula*等を伴う種群で構成される。本試料から産出した群集は、*R. heteromorphus*を含まず、*C. floridanus*を含むことから、CN5a帯と認定される。

6. 各地層の堆積年代

6.1 蒲野沢層

蒲野沢層は、既存研究報告により微化石層序が比較的详细に検討されている。具体的には、丸山(1988)、秋葉・平松(1988)、芳賀・山口(1990)により本層全体の珪藻化石層序が、芳賀・山口(1990)により本層一部の石灰質ナノ化石層序が、相田・的場(1988)により本層全体の放散虫化石層序が示されている。以下では、これらをレ

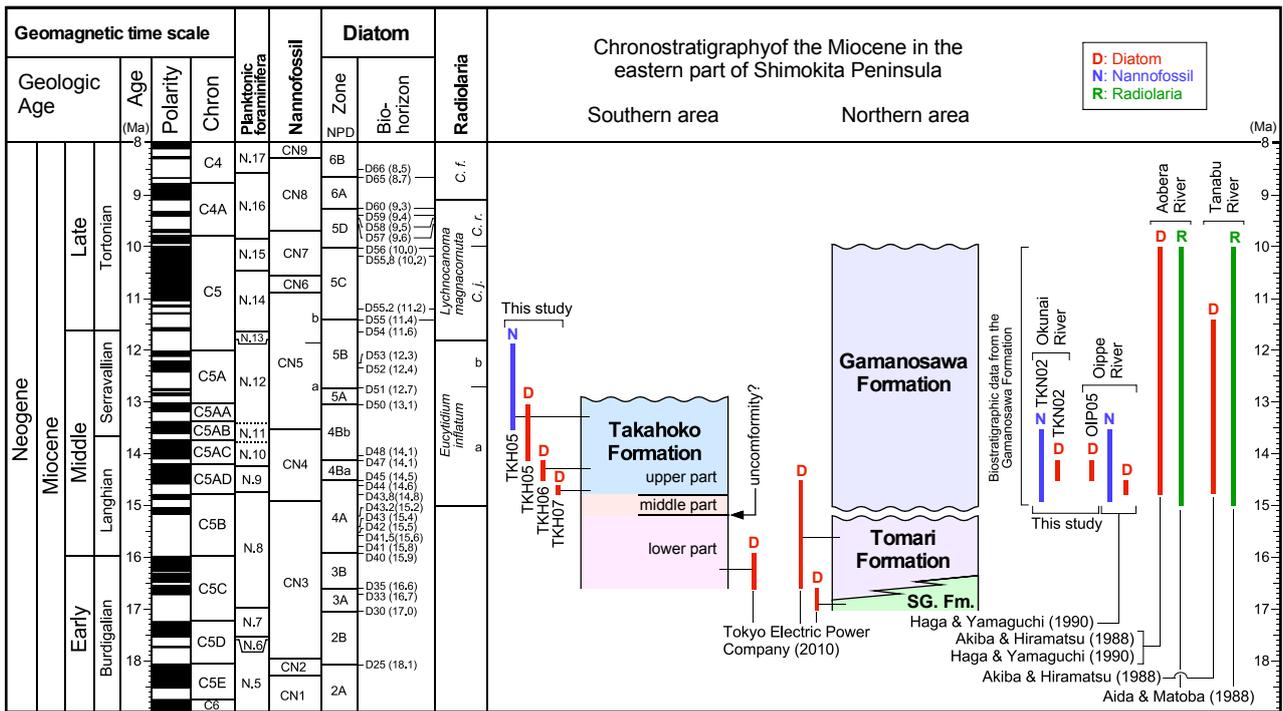
ビューし、再検討を行うとともに、本論により得られたデータとの比較検討を行う。なお、以下で用いる放散虫化石帯区分は、Kamikuri *et al.* (2017)に従った。

青平川ルートは、蒲野沢層の全体がほぼ連続して露出していること、珪藻化石と放散虫化石のデータが揃っていることから、蒲野沢層の年代層序を議論する上で極めて重要なルートである。そのため本論においても、上流部のみではあるが、ルートマップを示して地質記載を行った(第4図；第5図)。青平川ルートについては、丸山(1988)、秋葉・平松(1988)、芳賀・山口(1990)により珪藻化石層序が、相田・的場(1988)により放散虫化石層序が報告された。このうち、丸山(1988)、秋葉・平松(1988)、相田・的場(1988)は、同一の試料を用いて分析を行っている。なお、丸山(1988)では詳細な化石産出表が示されていないので、以下の珪藻化石層序の検討では秋葉・平松(1988)を用いる。

秋葉・平松(1988)、芳賀・山口(1990)は、青平川ルートからNPD4A, 4B, 5A, 5B及び5C帯の珪藻化石を報告した。そのほか、青平川ルート以外からは、秋葉・平松(1988)が田名部川ルート(第1図；第2図)からNPD4A, 4B, 5A及び5B帯、芳賀・山口(1990)が複数のルートや地点からNPD4A, 4B, 5A, 5B及び5C帯の珪藻化石を報告した。これらを総合すると、蒲野沢層はNPD4A～5C帯の範囲にある(第9図)。また、相田・的場(1988)は、青平川ルート及び田名部川ルートの蒲野沢層から*Eucyrtidium inflatum*帯、*Lychnocanoma magnacomuta*帯*Collosphaera japonica*帯に相当する放散虫化石を報告した(第9図)。

蒲野沢層の下限年代を見積もる上で重要となるのは、青平川ルートで見られる本層基底部の粗粒碎屑岩相直上にある泥岩である(第5図)。この泥岩は、秋葉・平松(1988)による試料A5及びA6、芳賀・山口(1990)による試料2, 3及び8に相当し、NPD4A帯(15.9–14.5 Ma)に位置づけられている(第5図)。このうち、試料A5及びA6からは*E. inflatum*帯に相当する放散虫化石が報告されている(相田・的場, 1988)。*E. inflatum*帯下限の年代は、Kamikuri *et al.* (2017)では15.0 Ma、本山(2019)では15.3 Maとされている。したがって、試料A5及びA6、つまり粗粒岩相直上の泥岩は、少なくとも15.3 Maよりも若いと判断される。

芳賀・山口(1990)は、青平川ルートの試料3より上位で*C. nicobarica*を検出している。この種は、量は少ないものの、試料3から試料29まで連続産出している。一方、試料3直下の試料2からは*C. nicobarica*が産出していない。これを機械的に捉えると、*C. nicobarica*の初産出(生層準D43.8, 14.8 Ma；第9図)が試料2と3の間にあることになる(第5図)。このことから、少なくとも試料3より上位は14.8 Maよりも若いと判断される。これは、放散虫化石層序から見積もられる年代(<15.3 Ma)とも調和する。



Abbreviations: SG., Sarugamori; Fm., Formation; C. f., *Cycladophora funakawai*; C. r., *Collosphaera reynoldsi*; C. j., *Cytocapsella japonica*.

第9図 鷹架層、猿ヶ森層、泊層及び蒲野沢層の年代層序。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、放射虫化石帯区分はKamikuri *et al.* (2017)に基づく。

Fig. 9 Chronostratigraphy of the Takahoko, Sarugamori, Tomari and Gamanosawa formations. 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). Radiolarian zones: Kamikuri *et al.* (2017).

なお、秋葉・平松(1988)は、試料A5から*C. nicobarica*を検出していないが、同層準の試料A6からは*C. nicobarica*の産出を確認している。

ここで、生層準D43.8 (14.8 Ma)が試料2と3の間に存在すると考えると、ここからNPD4B帯の下限を規定する生層準D45 (14.5 Ma)までの間には、層厚約210 mの泥質堆積物が認められる(第5図)。この区間、約30万年間の堆積速度を算出すると、1万年あたり厚さ7 mとなる。一方、生層準D43.8より下位の蒲野沢層の層厚は、約44 mである(第5図)。この区間に上記の堆積速度を外挿すると、その期間は6.3万年間となり、蒲野沢層基底の年代は14.86 Maと算出される。ただし、試料2に偶然*C. nicobarica*が含まれておらず、生層準D43.8が実際には試料2よりもさらに下位に存在する可能性も否定できない。この場合は、蒲野沢層基底の年代は14.86 Maよりも若く算出される。試料3より下位の基底部の堆積速度については、上位層と同様であった保証はないが、基底部は火砕物質に富む粗粒な碎屑岩からなることから、実際には泥質堆積物からなる上位層よりも堆積速度が遅かった可

能性もある。以上のことから、青平川ルートにおける蒲野沢層基底の年代は、15 Ma付近にあると推定され、これを大きく超えることはないと考えられる。

芳賀・山口(1990)は、老部川流域に分布する蒲野沢層(第7図)についても検討を行い、本層最下部の層準にあたる試料OP1~7(第7図)から、NPD4A帯の珪藻化石、CN4帯の石灰質ナノ化石を報告した(第9図)。これらの分析結果には、青平川ルートとの共通点が認められる。すなわち、蒲野沢層最下部の試料OP1で*C. nicobarica*が検出されず、これより上位の試料OP2, 3, 4, 5, 7, 9で*C. nicobarica*が検出される点である。このことから、老部川流域においても、青平川ルートと同様に、蒲野沢層の最下部あるいはそれ以下に生層準D43.8が存在すると判断される。したがって、この地域の蒲野沢層の基底年代についても、15 Ma付近にあると推定され、これを大きく超えることはないと考えられる。

今回、老部川流域の蒲野沢層から採取した試料OIP05(第7図)は、NPD4Ba亜帯(14.5-14.1 Ma)に認定された(第9図)。この結果は、試料OIP05が芳賀・山口(1990)

による試料OP1～7よりも上位層準に位置することを示す。また、奥内川上流域の蒲野沢層から採取した試料TKN02（第6図）は、NPD4Ba垂帯（14.5–14.1 Ma）、CN4帯（14.9–13.5 Ma）に認定された（第9図）。いずれの結果も既存研究と調和的である。なお、奥内川上流域に分布する蒲野沢層については、これを猿ヶ森層に含める見解（今井，1961；北村・藤井，1962；山口，1970；岩井ほか，1986；芳賀・山口，1990）があったが、本論のデータにより蒲野沢層とする見解（日本原燃株式会社，2014）が妥当であることが確かめられた。

蒲野沢層の上限年代については、既存の微化石データ（秋葉・平松，1988；相田・的場，1988；芳賀・山口，1990）より、NPD5C帯（11.4–10.0 Ma）、*L. magnacomuta*帯 *C. japonica*垂帯（11.8–10.0 Ma）の中にあると判断される。

蒲野沢層の放射年代としては、工藤（2020）により青森県むつ市～横浜町境界部の境川流域に露出する軽石火山角礫岩から、 11.4 ± 1.0 Maのフィッシュトラック（FT）年代（誤差は 1σ ）、 12.1 ± 0.3 MaのU-Pb年代（誤差は 2σ ）が報告されている。この試料の上下層準からは、芳賀・山口（1990）によりNPD5B帯（12.7–11.4 Ma）の珪藻化石が報告されており、両者は調和的な年代を示す。

以上のことを総合すると、蒲野沢層の堆積年代は15–10 Maの範囲内にあると判断される（第9図）。

6.2 泊層

泊層は蒲野沢層に覆われる（例えば、第5図）。その具体的な層序関係については、不整合とする報告例が多いが（芳賀・山口，1990；リサイクル燃料貯蔵株式会社，2009；東京電力株式会社，2010；東北電力株式会社，2014；日本原燃株式会社，2014）、整合（山口，1970；多田ほか，1988）あるいは指交関係（岩井ほか，1986）とする報告例もある（第3図）。

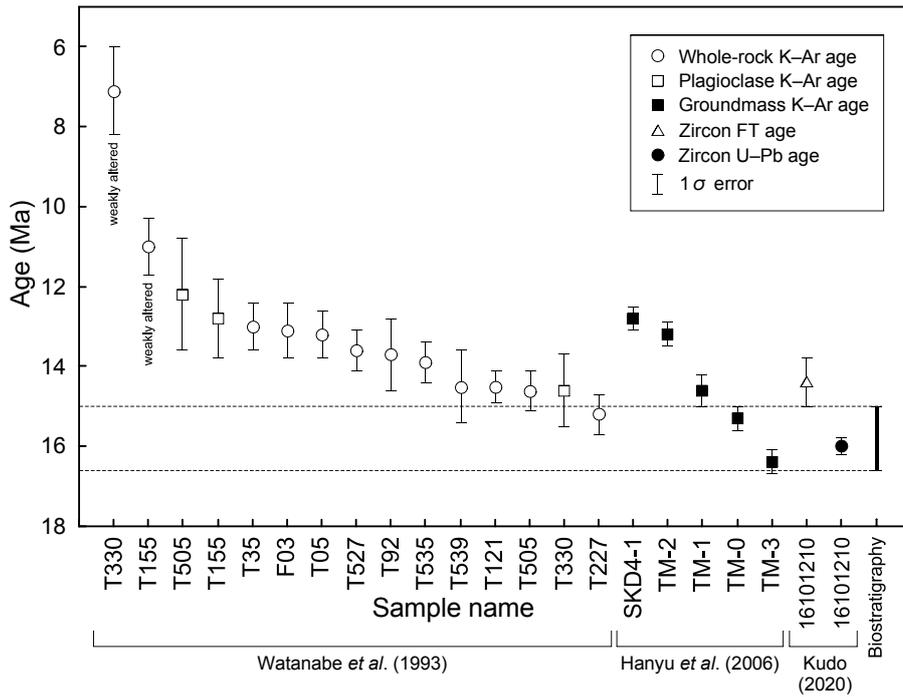
山口（1970）は、泊層と蒲野沢層が一部で著しい斜交不整合の関係にあるものの、多くの場所では泊層から蒲野沢層まで連続的に重なり、構造も平行していることから、両者の関係を整合関係と判断した。岩井ほか（1986）は、蒲野沢層と泊層が一部指交関係にある見解を示したが、具体的な根拠は示しておらず、両者の層序関係については種々の意見があると述べるに留まっている。多田ほか（1988）は、青平川ルートにおいて、蒲野沢層の基底礫岩が軽微な侵食面を以って泊層の安山岩質自破碎溶岩を覆うものの、両者に構造差が認められず、また両者の間に時間差も余りないと思われることから、一応整合関係と判断した。一方、芳賀・山口（1990）は蒲野沢層が泊層を不整合に覆うと判断した。例えば、青平川ルートでは、泊層の安山岩火山角礫岩の上位に、厚さ2 mの基底礫岩を伴って蒲野沢層が傾斜不整合に覆うと報告した。また、青平川ルート南方の今泉川流域では、泊層の火山角礫岩の上に侵食面を介して蒲野沢層の粗粒砂岩が重な

ると報告した。リサイクル燃料貯蔵株式会社（2009）、東京電力株式会社（2010）、東北電力株式会社（2014）、日本原燃株式会社（2014）は、独自の詳細な野外調査結果に基づき、泊層と蒲野沢層の関係を不整合と判断した。本論では、蒲野沢層の基底部が礫岩を含む粗粒堆積物からなること（第5図；多田ほか，1988；芳賀・山口，1990）、既存研究報告による地質記載において両者の境界に侵食面の存在が報告されていること（山口，1970；多田ほか，1988；芳賀・山口，1990）、1990年代以降の研究報告全てにおいて不整合と判断されていることから（第2図）、両者の関係を不整合と判断する。したがって、泊層の上限年代は蒲野沢層の基底の年代である15 Ma付近あるいはそれよりも古いと判断される（第9図）。

泊層からは、試料採取地点や化石産出表が提示されていないものの、NPD3B帯（16.6–15.9 Ma）とNPD4A帯（15.9–14.5 Ma）の珪藻化石群集の産出が報告されている（東京電力株式会社，2010）。これらの結果は、蒲野沢層との層序関係から求められる上限年代（15 Ma付近）とは矛盾しない（第9図）。

なお、泊層と蒲野沢層の不整合関係は、珪藻化石からも間接的に支持される。蒲野沢層のNPD4A帯内では、*Denticulopsis praelauta*及び*C. kanayae*が少量産出する（秋葉・平松，1988；芳賀・山口，1990）。前者はNPD3B帯の下限（16.6 Ma）からNPD4帯下部の生層準D41（15.8 Ma）まで産し、後者はNPD3A帯下限（17.0 Ma）からNPD3B帯（16.6–15.9 Ma）の最下部まで産する（Yanagisawa and Akiba, 1998）。先述の検討により、蒲野沢層は15 Ma以降の地層と判断されることから、これらは下位層準からの再堆積と推定される。NPD3B帯とNPD4A帯の珪藻化石は泊層から、NPD3A帯の珪藻化石は猿ヶ森層から産出が報告されている（東京電力株式会社，2010）。以上のことは、蒲野沢層基底の不整合に伴う侵食によって猿ヶ森層及び泊層の泥岩層が洗い流され、その中に含まれていた*D. praelauta*と*C. kanayae*が二次化石として蒲野沢層として再堆積したことを示唆する。

泊層は、玄武岩～安山岩質の火山岩を主体とし、全岩MgO含有量が8～12 wt.%にも達する未分化な玄武岩を産することから、主に岩石学的な視点から注目されてきた（滝本，1986；Takimoto and Shuto, 1994；Hanyu *et al.*, 2006）。そのため、年代の解明についても重要な課題とされ、Watanabe *et al.*（1993）及びHanyu *et al.*（2006）により、多数のK-Ar年代が報告された（第10図）。Watanabe *et al.*（1993）は、15.2～7.1 Maの範囲の全岩あるいは斜長石K-Ar年代値（15試料）を報告した。このうち、11 Maよりも若い年代を示す2試料は、弱変質した試料と記載されている。Hanyu *et al.*（2006）は、16.4～12.8 Maの範囲の石基K-Ar年代（5試料）を報告した（第10図）。これらのK-Ar年代は、変質の記載がある2試料を除けば、16.4～12.2 Maの範囲にある（第10図）。



第10図 泊層の放射年代(Watanabe *et al.*, 1993; Hanyu *et al.*, 2006 ; 工藤, 2020). 2本の破線の間は微化石層序から推定される泊層の年代幅を示す。

Fig. 10 Radiometric ages of the Tomari Formation (Watanabe *et al.*, 1993; Hanyu *et al.*, 2006; Kudo, 2020). Interval between two broken lines in the diagram shows the age range of the Toamari Formation presumed from biostratigraphy.

最近、工藤(2020)は、泊層の軽石火山礫凝灰岩から 14.4 ± 0.6 MaのFT年代(誤差は 1σ)、 16.0 ± 0.4 MaのU-Pb年代(誤差は 2σ)を報告した(第10図)。両者は同一試料から得られた年代であるが、FT年代はU-Pb年代よりも有意に若い。そのため、FT年代は何らかの再加熱年代を示す可能性があり(工藤, 2020)、 16.0 ± 0.4 MaのU-Pb年代が堆積年代を示すと判断される。

泊層の上限年代は、微化石層序から少なくとも15 Ma以前に限定される(第9図; 第10図)。それに対して、放射年代の大半は15 Maよりも若く、微化石層序と調和的な放射年代は一部のK-Ar年代とU-Pb年代に限られる(第10図)。K-Ar年代は風化・変質作用によって若返るため(例えば、兼岡, 1998)、特に新第三系のような風化・変質を被る機会の多い古い岩石については慎重な取り扱いが必要となる(宇都・石塚, 1999)。微化石層序との比較によれば、多くのK-Ar年代は若返った年代である可能性が指摘される。さらに、これらの放射年代の中で最も変質作用に強いU-Pb年代が微化石層序と調和的であることも、多くのK-Ar年代が若返った年代であることを示唆する。

以上のことから、泊層の堆積年代は、現状のデータではNPD3B帯基底の16.6 Maから蒲野沢層基底の約15 Maまでの範囲内にあると判断される(第9図)。

6.3 猿ヶ森層

猿ヶ森層は、下北半島東部において新第三系の基底を成し、ジュラ系の尻屋層群を不整合に覆う(例えば、今井, 1961; 山口, 1970; 芳賀・山口, 1990)。猿ヶ森層と泊層の層序関係については、指交関係とする見解(北村・藤井, 1962; 山口, 1970; 多田ほか, 1988; 芳賀・山口, 1990)、猿ヶ森層上部と泊層下部が指交関係とする見解(岩井ほか, 1986, 日本原燃株式会社, 2014)、泊層が猿ヶ森層を整合に覆うという見解(リサイクル燃料貯蔵株式会社, 2009; 東京電力株式会社, 2010; 東北電力株式会社, 2014)がある(第3図)。

本論で提示した奥内川上流域の調査結果によれば、猿ヶ森層は上下を泊層に挟まれる(第6図)。したがって、両者は少なくとも一部では指交関係にあると判断される。これは、猿ヶ森層中の礫岩が泊層と同質の玄武岩～安山岩礫を豊富に含むことから支持される。本論では、ジュラ系の尻屋層群が猿ヶ森層により覆われるが、泊層には直接覆われないこと(例えば、今井, 1961; 多田ほか, 1988; 芳賀・山口, 1990)、猿ヶ森層と泊層の指交部において下位層準ほど猿ヶ森層が優勢になること(今井, 1961)から、泊層下部と猿ヶ森層上部が指交関係にあると判断する(第9図)。

猿ヶ森層からは、多数の植物化石の報告があり（青森県，1954；半沢，1954；棚井，1955；亘理，1957；北村・藤井，1962；山口，1970；岩井ほか，1986；甲田ほか，2001），これらは台島型植物化石群に相当すると考えられている（棚井，1955；亘理，1957；山口，1970）。その他、軟体動物化石（北村・藤井，1962），底生及び浮遊生有孔虫化石（北村・藤井，1962），NPD3A帯（17.0–16.6 Ma）に相当する珪藻化石（東京電力株式会社，2010）の産出が報告されている。猿ヶ森層の堆積年代は，少なくとも蒲野沢層よりも古い15 Ma以前であり，17.0–16.6 MaのNPD3A帯を含むことは確実である（第9図）。ただし，現状では精度の高い上限年代，下限年代の確定は困難である。

6.4 鷹架層

鷹架層は，猿ヶ森層や蒲野沢層とは分布域が離れているため（第2図），層序関係については不明な点が多い（第3図）。東京電力株式会社（2010）及び東北電力株式会社（2014）は，鷹架層の下半部と泊層の上半部が指交関係にあると報告した。一方，日本原燃株式会社（2014）は，鷹架層が泊層の下部を不整合に覆うとともに，泊層の上部とは指交関係にあると報告した。さらに，日本原燃株式会社（2014）は，鷹架層の中部と下部が一部で不整合の関係にあると記載している。ただし，その具体的な根拠は示されていない。

本論による珪藻化石分析の結果，鷹架層上部から採取した3試料のうち，試料TKH07がNPD4A帯の生層序D43.8とD44の間（14.8–14.6 Ma），試料TKH06がNPD4Ba亜帯（14.5–14.1 Ma），試料TKH05がNPD4Bb亜帯（14.1–13.1 Ma）に認定された（第9図）。また，石灰質ナンノ化石分析結果によれば，試料TKH05はCN5a帯（13.5–11.9 Ma）に認定された（第9図）。これにより，試料TKH05の年代は13.5–14.1 Maに限定される。以上の結果は，TKH07，06，05の順に上位層準となる層序関係と調和する。また，試料採取地点や化石産出表が提示されていないものの，東京電力株式会社（2010）は，鷹架層上部からNPD4A帯（15.9–14.5 Ma），鷹架層下部からNPD3B帯（16.6–15.9 Ma）の珪藻化石群集の産出を報告している。これらの結果に矛盾は認められない。以上のことを総合すると，鷹架層の堆積年代は少なくとも16.6–13.1 Maの範囲を含むと判断される（第9図）。

今回，鷹架層上部が14.8–13.1 Maの年代範囲を含むことが判明した。この年代と珪藻質泥岩を主体とする岩相から，鷹架層上部は蒲野沢層下部の泥岩主体部（第5図）に対比可能である（第9図）。また，鷹架層中部については，凝灰質砂岩及び軽石火山礫凝灰岩を主体としており，蒲野沢層基底部と岩相が類似することから，両者は対比される可能性がある。鷹架層中部と下部の境界部については，具体的な情報に乏しく詳細は不明である。し

かし，鷹架層中部が蒲野沢層基底部に対比されるのであれば，日本原燃株式会社（2014）に記載された鷹架層下部・中部境界の不整合は，泊層・蒲野沢層境界の不整合に対応する可能性が指摘される（第9図）。この場合，泊層と同時異相の関係にあるのは鷹架層下部のみということになる。鷹架層下部は，珪藻化石によれば16.6–15.9 Maの年代幅を含むことは確実であるが，詳細な上限および下限年代については不明である。

7. 蒲野沢層基底の不整合について

本論の検討により，蒲野沢層基底の不整合が15 Ma付近にあることが判明した。また，この不整合が鷹架層下部と中部の境界にあるとされる不整合（日本原燃株式会社，2014）に相当する可能性も指摘された。15 Ma付近の不整合は，中部及び東北日本の中新統において広域で認められる不整合の1つである（栗原ほか，2003）。例としては，岩手県一戸地域における十文字層基底の「十文字不整合」（Otuka，1934；辻野ほか，2018），宮城県松島地域の松島湾層群と上位の志田層群との不整合（石井ほか，1982；柳沢・秋葉，1999），仙台地域の茂庭層基底の不整合（北村ほか，1986；藤原ほか，2013），群馬県高崎地域の庭谷層基底の「庭谷不整合」（大石・高橋，1990），埼玉県岩殿丘陵の神戸層基底の不整合（栗原ほか，2003），富山県八尾地域の天狗山層基底の「伊香浜不整合」（早川・竹村，1987；柳沢，1999；中嶋ほか，2019）などが挙げられる。この不整合の特徴は，部分不整合を成す場合があること（大石・高橋，1990；辻野ほか，2018），露頭規模で特に大きな斜交関係が認められなくとも，地質図規模の広域の範囲で見ると斜交関係が認められること（例えば，早川・竹村，1987；石井ほか，1982），また，不整合の示す時間間隙が50万年以下と短いこと（栗原ほか，2003；高橋・柳沢，2004；中嶋ほか，2019）である。これらの特徴は，蒲野沢層基底の不整合にも当てはまる。したがって，これらの不整合は対比される可能性が高い。

15 Maの不整合をもたらした構造運動については，以下のように考えられている。関東地域においては，15 Ma以前にハーフグラベンを形成した引張応力場が，庭谷不整合の形成時期に強圧縮応力場へと反転し，その後，比較的静穏なテクトニクスへと推移したと考えられている（高橋ほか，2006）。伊香浜不整合については，テクトニックな傾動隆起とその後の沈降により形成された傾斜不整合と解釈されている（中嶋ほか，2019）。Nakajima（2013），中嶋（2018）は，様々な事例を基に，東北日本弧前弧側と西南日本弧が15 Ma付近に短期的に強い圧縮場に置かれ，短縮変形が生じるテクトニックイベントがあったと考えた。

不整合の下位に位置する泊層は，海棲の軟体動物化石及び珪藻化石が産出すること（Hatai，1950；東京電力株式会社，2010），枕状溶岩や水冷破碎溶岩を産すること

(滝本, 1986; Yamagishi, 1991)から、海成層と判断される。ところが今回、泊層の最上部層準に陸上環境を示す堆積物が存在することが判明した。これは、泊層の堆積過程において、少なくとも一部が海底環境から陸上環境へと変化したことを示す。この変化が火山体の成長によるものか、隆起によるものか、それとも両方の作用によるものか、現時点では特定できない。これに対して、泊層を覆う蒲野沢層は、泥岩を主体とする海成層であることから、一転して15 Ma以降に沈降し、海底へと没したことが伺える。つまり、15 Ma以前に海域だった下北半島東部が、15 Ma前後に一旦陸化した後、沈降して再び海底環境へと変化したことを示す。このような堆積環境の変化は、広域不整合をもたらした構造運動とも整合的である。

8. まとめ

本論では、下北半島東部に分布する下部～中部中新統の猿ヶ森層、鷹架層、泊層及び蒲野沢層について、地質調査及び珪藻・石灰質ナンノ化石分析の結果を報告するとともに、既存データと合わせて年代層序を構築した。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 蒲野沢層は泊層を不整合に覆う。泊層下部と猿ヶ森層上部は指交関係にある。鷹架層下部は泊層と同時異相の関係にあり、鷹架層中部及び上部は蒲野沢層に対比される可能性がある。
- 2) 珪藻・石灰質ナンノ化石分析の結果、鷹架層からNPD4A帯、NPD4Ba帯、NPD4Bb帯の珪藻化石とCN5a帯の石灰質ナンノ化石、蒲野沢層からNPD4Ba帯の珪藻化石とCN4帯の石灰質ナンノ化石が産出した。
- 3) 層序関係及び微化石データを用いた検討により、各地層の年代は、猿ヶ森層：17.0～15 Maの間、鷹架層：16.6～13.1 Ma、泊層：16.6～15 Ma、蒲野沢層：15～10 Maと見積られる。泊層から報告された既存研究によるK-Ar年代の多くは若返った年代と判断される。
- 4) 蒲野沢層基底の不整合は15 Ma付近にある。この不整合は中部及び東北日本の中新統において認められる広域不整合に対比される。

謝辞：本論をまとめるにあたり、産総研の宇都宮正志氏からは微化石データの取り扱いについてご助言を得た。珪藻ミナラボの秋葉文雄氏からは本論をまとめる上で有益な情報をご提供いただいた。編集担当の納谷友規氏、査読者の辻野 匠氏には、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ます。

文 献

相田吉昭・的場保望(1988) 青森県鱈ヶ沢・五所川原地域および下北半島の第三系放射虫化石。第三紀珪質岩の総合研究, 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, 63–80.

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.

秋葉文雄・平松 力(1988) 青森県鱈ヶ沢, 五所川原および下北地域の第三系珪藻化石層序。第三紀珪質岩の総合研究, 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, 35–51.

青森県(1954) 青森県の地下資源。青森県総務部調査課, 148p.

Blow, W. H. (1969) Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. In Brönnimann, P. and Renz, H. H. eds., *Proceeding of the First International Conference on Planktonic Microfossils* (Geneve, 1976), Leiden, no.1, 199–421.

藤原 治・鈴木紀毅・林 広樹・入月俊明(2013) 仙台南西部に分布する東北日本太平洋側標準層序としての中・上部中新統および鮮新統。地質学雑誌, **119**, 補遺, 96–119.

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

芳賀正和・山口寿之(1990) 下北半島東部の第三系一第四系の層序と珪藻化石。国立科学博物館報告, **16**, 55–78.

Hanyu, T., Tatsumi, Y., Nakai, Chang, Q., Miyazaki, T., Sato, K., Tani, K., Shibata, T. and Yoshida, T. (2006) Contribution of slab melting and slab dehydration to magmatism in the NE Japan arc for the last 25 Myr: constraints from geochemistry. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **7**, Q08002, doi:10.129/2005GC001220.

半沢正四郎(1954) 東北地方, 日本地方地質誌。朝倉書店, 344p.

Hatai, K. (1950) Cenozoic mollusca from Aomori Prefecture, Japan. *Journal of Conchology*, **90**, 128–136.

早川秀樹・竹村厚司(1987) 富山県八尾地域の第三系。地質学雑誌, **93**, 717–732.

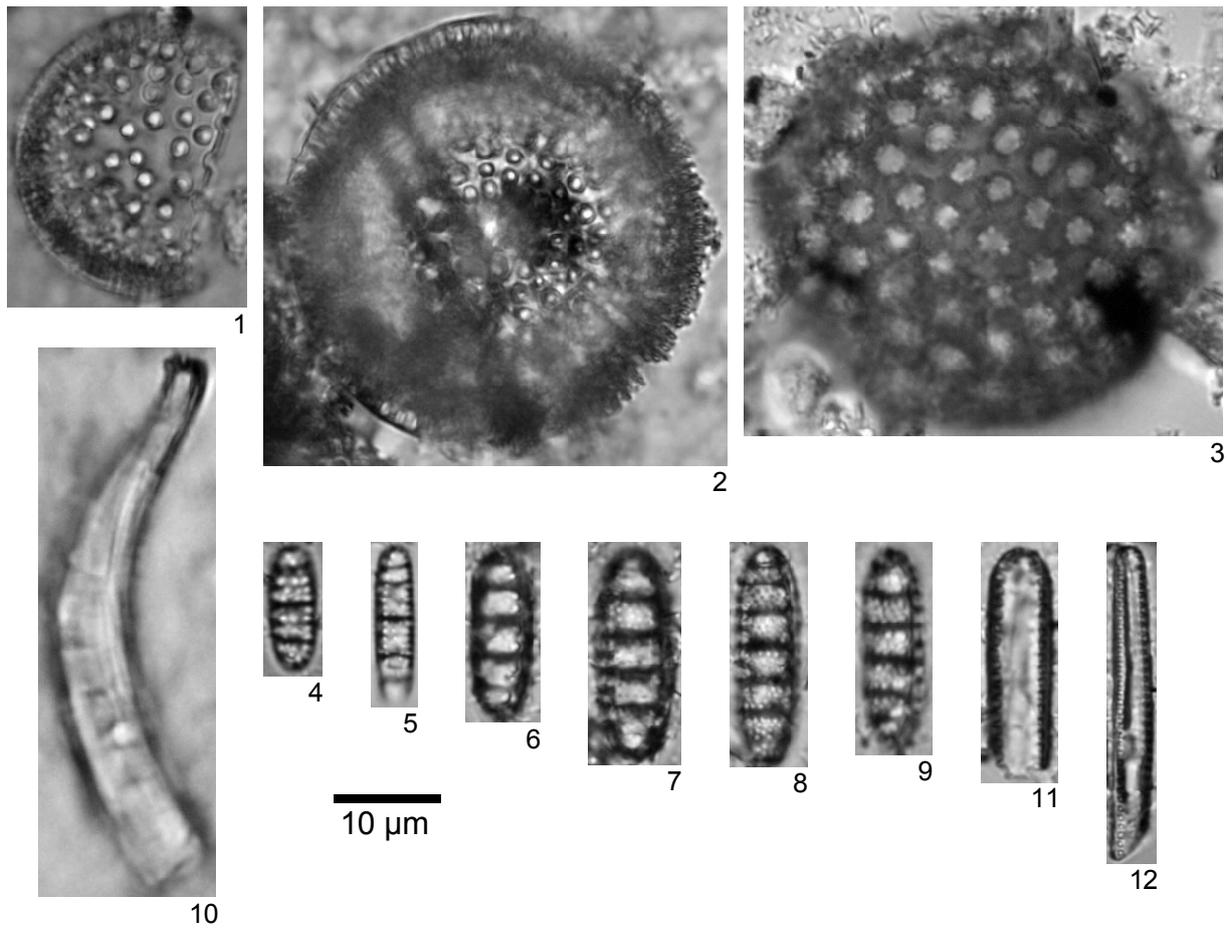
飯島 東・松本 良・多田隆治・渡部芳夫(1988) 青森県第三系合同調査の試料採取地点および層準。第三紀珪質岩の総合研究, 昭和62年度科学研究費補助金(総合研究A)研究成果報告書, 1–12.

今井 功(1961) 5万分の1地質図幅「近川」および同説明書。地質調査所, 45p.

石井武政・柳沢幸夫・山口昇一・寒川 旭・松野久也(1982)

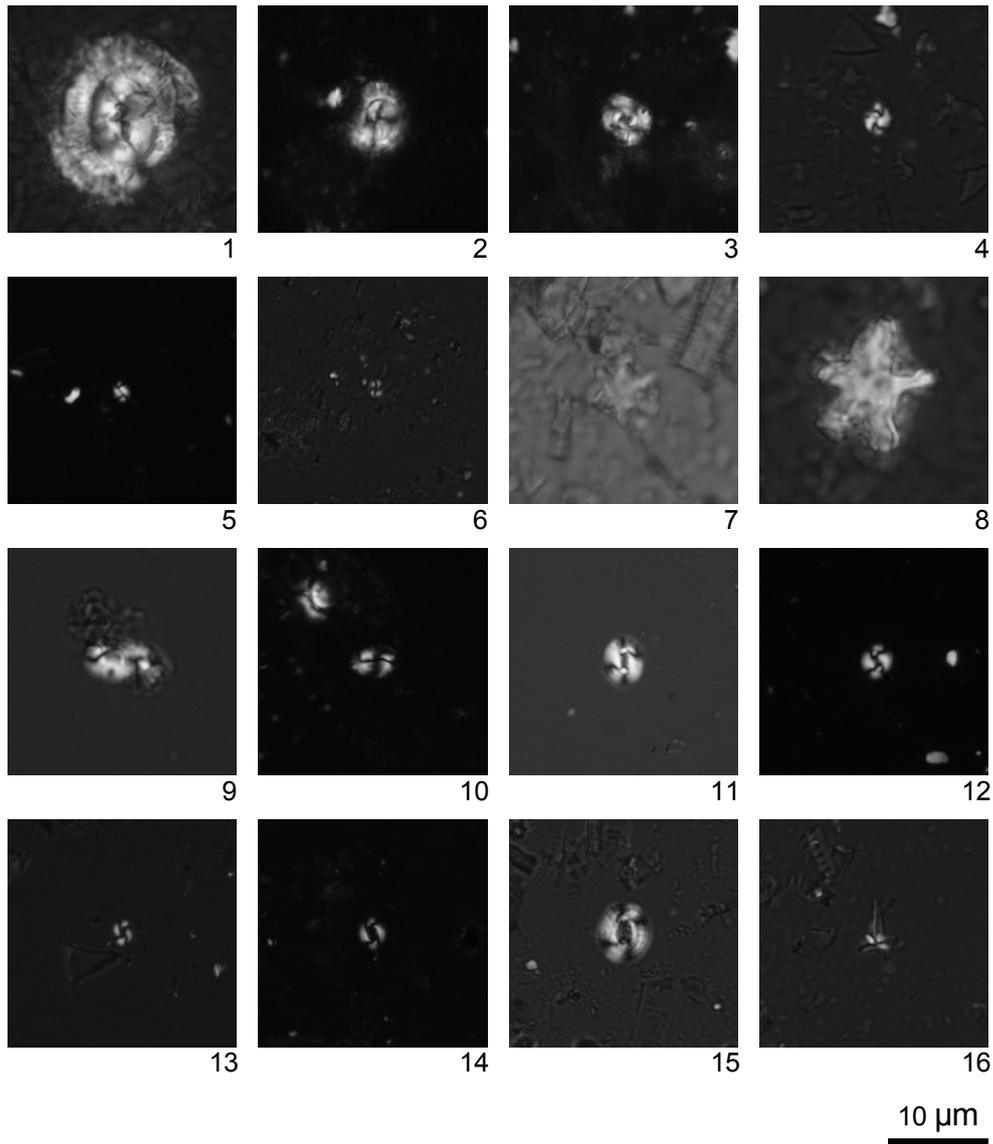
- 松島地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 121p.
- 岩井淳一・北村 信・藤井敬三(1959) 下北半島田名部町東方地区の地質. 青森県水産商工部商工課, 1-9.
- 岩井武彦(1986) 島弧横断ルートNo.10 (十三湖—五所川原—青森—野辺地—上北). 北村 信編 新生代東北本州弧地質資料集, 宝文堂, 8p.
- 岩井武彦・多田元彦・北村 信(1986) 島弧横断ルートNo. 8 (小泊半島—陸奥湾—むつ市—猿ヶ森)およびルートNo. 9 (横浜町—六ヶ所村). 北村 信編 新生代東北本州弧地質資料集, 宝文堂, 13p.
- Kamikuri, S., Itaki, T., Motoyama, I. and Matsuzaki, K. M. (2017) Radiolarian biostratigraphy from middle Miocene to late Pleistocene in the Japan Sea. *Paleontological Research*, **21**, 397-421.
- 金沢謙一・山口寿之(1988) 下北半島中部の鮮新—更新統浜田層の地質. 国立科学博物館専報, **14**, 45-57.
- 兼岡一郎(1998) 年代測定概論. 東京大学出版会, 315p.
- 北村 信・藤井敬三(1962) 下北半島東部の地質構造について—とくに“下北断層”の意義について—. 東北大学理学部地質学古生物学教室邦文報告, no. 56, 43-56.
- 北村 信・石井武政・寒川 旭・中川久夫(1986) 仙台地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 134p.
- 甲田光明・工藤一弥・新岡浩一・島口 天(2001) 下北半島東部から産出する化石. 下北丘陵の自然, 下北丘陵自然調査報告, 青森県郷土館, 調査報告第45集, 自然-5, 3-24.
- 工藤 崇(2020) 20万分の1「野辺地」地域に分布する中新統のジルコンU-Pb及びフィッシュントラック年代. 地質調査研究報告, **71**, 481-507.
- 栗原行人・堀内誠示・柳沢幸夫(2003) 埼玉県岩殿丘陵地域に分布する中新統の岩相層序と珪藻・石灰質ナンノ化石層序. 地質学雑誌, **109**, 215-233
- 丸山俊明(1988) 青森県新第三系の珪藻化石層序. 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, 13-33.
- 本山 功(2019) 日本における過去20年間の新第三系放散虫化石層序学の進展. 地質調査研究報告, **70**, 125-136.
- Nakajima, T. (2013) Late Cenozoic tectonic events and intra-arc basin development in Northeast Japan. In Itoh Y., ed., *Mechanism of Sedimentary Basin Formation—Multidisciplinary Approach on Active Plate Margins*, InTech, Rijeka, 153-189.
- 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.
- 中嶋 健・岩野英樹・檀原 徹・山下 透, 柳沢幸夫・谷村好洋・渡辺真人・佐脇貴幸・中西 敏・三石裕之・山科起行・今堀誠一(2019) 富山県八尾地域の新生界年代層序の再検討とテクトニクス. 地質学雑誌, **125**, 483-516.
- 日本原燃株式会社(2014) 再処理事業所廃棄物管理事業変更許可申請書. 平成26年1月. 日本原燃株式会社.
- 大石雅之・高橋雅紀(1990) 群馬県高崎地域に分布する中新統—とくに庭谷不整合形成過程について—. 東北大学理学部地質学古生物学教室研究邦文報告, no. 92, 1-17.
- 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.
- Otuka, Y. (1934) Tertiary structures of the northwestern end of the Kitakami mountainland, Iwate Prefecture, Japan. *Bulletin of the Earthquake Research Institute, Tokyo Imperial University*, **12**, 566-638.
- リサイクル燃料貯蔵株式会社(2009) 使用済燃料貯蔵事業許可申請書. 平成19年3月(平成21年4月一部補正, 平成21年6月一部補正, 平成21年8月一部補正, 平成21年12月一部補正). リサイクル燃料貯蔵株式会社.
- 柴崎達雄・青木 滋・小松直幹・大森隆一郎・藤田至則(1958) 青森県下北半島南部の地質と地下水. 藤本治義教授還暦記念論文集, 154-160.
- 菅原晴美・山口寿之・川辺鉄哉(1997) 下北半島東部の浜田層の地質年代. 化石, no. 62, 15-23.
- 多田隆治・水野達也・飯島 東(1988) 青森県下北半島北東部新第三系の地質とシリカ・沸石続成作用. 地質学雑誌, **94**, 855-867.
- 高柳洋吉編(1978) 微化石研究マニュアル. 朝倉書店, 191p.
- 高橋雅紀・柳沢幸夫(2004) 埼玉県比企丘陵に分布する中新統の層序—複合年代層序に基づく岩相層序の総括—. 地質学雑誌, **110**, 290-308.
- 高橋雅紀・林 広樹・笠原敬司・木村尚紀(2006) 関東平野西縁の反射法地震探査記録の地質学的解釈—とくに吉見変成岩の露出と利根川構造線の西方延長—. 地質学雑誌, **112**, 33-52.
- 滝本俊明(1986) 下北半島東部の中新世火山岩類—特に未分化ソレライトについて—. 岩鉱, **81**, 93-104.
- Takimoto, T. and Shuto, K. (1994) Petrology of Middle Miocene volcanic rocks from the Tomari area in the Shimokita Peninsula, Northeast Japan arc. *Science Reports of Niigata University, Series E, (Geology and Mineralogy)*, no. 9, 25-88.
- 棚井俊雄(1955) 本邦炭田産の第三紀化石植物図説—I. 初期及び中期中新世植物群—. 地質調査所報告. no.

- 163, 16p.
- 東北電力株式会社(2014) 東通原子力発電所発電用原子炉設置変更許可申請書(発電用原子炉施設の変更). 東北電力株式会社.
- 東京電力株式会社(2010) 東通原子力発電所原子炉設置許可申請書(縮小版). 平成18年9月(平成19年3月一部補正, 平成21年4月一部補正, 平成21年12月一部補正, 平成22年4月一部補正). 東京電力株式会社.
- 辻野 匠・工藤 崇・中江 訓・近藤玲介・西岡芳晴・植木岳雪(2018) 一戸地域の地質. 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, 161p.
- 対馬坤六・滝沢文教(1977) 尻屋崎地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 36p.
- 宇都浩三・石塚 治(1999) K-Ar, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法による新第三紀火山岩の年代測定の現状と将来. 石油技術協会誌, **64**, 63-71.
- 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.
- Watanabe, N., Takimoto, T., Shuto, K. and Itaya, T. (1993) K-Ar ages of the Miocene volcanic rocks from the Tomari area in the Shimokita Peninsula, Northeast Japan arc. *Journal of Mineralogy, Petrology and Economic Geology*, **88**, 352-358.
- 巨理俊次(1957) 砂子又の珪化木(予報). 資源科学研究所彙報, no. 43-44, 25-28.
- Yamagishi, H. (1991) Morphological features of Miocene submarine coherent lavas from the "Green Tuff" basins: examples from basaltic and andesitic rocks from the Shimokita Peninsula, northern Japan. *Bulletine of Volcanology*, **53**, 173-181.
- 山口寿之(1970) 下北半島北東部の新第三系一泊・蒲野沢・砂子又層の層位関係について一. 地質学雑誌, **76**, 185-197.
- 柳沢幸夫(1999) 富山県八尾地域の下部—中部中新統の珪藻化石層序. 地質調査所月報, **50**, 139-165.
- 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・秋葉文雄(1999) 松島地域の中新世珪藻化石層序の再検討. 地質調査所月報, **50**, 431-448.
- (受付: 2020年6月10日; 受理: 2020年10月1日)



図版 1 蒲野沢層及び鷹架層から産出した珪藻化石。
Plate 1 Diatom fossils from the Gamanosawa and Takahoko Formations.

- 1: *Actinocyclus ingens* (Ratt.) Whiting & Schrader [TKN02]
- 2: *Actinocyclus ingens* fo. *nodus* (Balbauf) Whiting & Schrader [TKH06]
- 3: *Coscinodiscus marginatus* Ehrenberg [TKH05]
- 4: *Crucidentricula nicobarica* (Grun.) Akiba & Yanagisawa [TKH05]
- 5: *Crucidentricula paranicobarica* Akiba & Yanagisawa [OIP05]
- 6: *Denticulopsis hyalina* (Schrader) Simonsen [TKH05]
- 7: *Denticulopsis praehyalina* Tanimura [TKH05]
- 8: *Denticulopsis lauta* Group (Girdle view) [TKH05]
- 9: *Denticulopsis tanimurae* Yanagisawa & Akiba [TKH06]
- 10: *Proboscia interposita* (Hajos) Fenner [TKH07]
- 11: *Thalassionema hirosakiensis* (Kanaya) Schrader [OIP05]
- 12: *Thalassionema nitzschioides* (Grun.) Grunow [TKN02]



図版2 蒲野沢層及び鷹架層から産出した石灰質ナanno化石.
Plate 2 Nannofossilss from the Gamanosawa and Takahoko Formations.

- 1: *Coccolithus miopelagicus* Bukry [TKH05]
- 2: *Coccolithus pelagicus* (Wallich) Schiller [TKN02]
- 3: *Cyclicargolithus floridanus* (Roth & Hay) Bukry [TKH05]
- 4: *Dictyococcites perplexus* Burns [TKH05]
- 5: *Dictyococcites productus* (Kamptner) Backman [TKN02]
- 6: *Dictyococcites* sp.-B [TKN02]
- 7: *Discoaster* aff. *deflandrei* Bramlette & Riedel [TKH05]
- 8: *Discoaster moorei* Bukry [TKH05]
- 9: *Helicosphaera* cf. *intermedia* Martini [TKN02]
- 10: *Helicosphaera carteri* (Wallich) Kamptner [TKN02]
- 11: *Reticulofenestra ampla* Sato, Kameo & Takayama [TKN02]
- 12: *Reticulofenestra haqii* Backman [TKN02]
- 13: *Reticulofenestra minuta* Roth [TKN02]
- 14: *Reticulofenestra minutula* (Gartner) Haq & Berggren [TKH05]
- 15: *Reticulofenestra pseudoumbilicus* (Gartner) Gartner [6–9μ] [TKH05]
- 16: *Sphenolithus heteromorphus* Deflandre [TKN02]

日高観測井の珪藻化石群集に基づく埼玉県日高台地地下における 海成更新統の認定と層序対比

納谷 友規^{1,*}・長井 雅史²・小村 健太郎³

NAYA Tomonori, NAGAI Masashi and OMURA Kentaro (2020) Recognition and stratigraphic correlation of marine Pleistocene deposits beneath the Hidaka Upland based on diatom assemblages in the Hidaka Observation Well, Saitama Prefecture, Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 71 (5), p. 463-472, 4 figs, 1 table, 1 plate.

Abstract: In order to investigate the presence of marine Pleistocene deposits under the Hidaka Upland, the western part of Kanto Plain, central Japan, diatom assemblages are analyzed using cuttings specimens obtained from the depth between 550 to 130 m of the Hidaka Observation Well drilled by National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (NIED). Diatom fossils occur in the specimens ranging from the depth 130 to 200 m in the well. All diatom assemblages are dominated by marine to brackish species, suggesting that marine beds include shallow marine sediments. Since the fossil diatom *Lancineis rectilatus*, a biostratigraphic index species indicating 1.45 to 0.7 Ma in Kanto Plain, is not found from any specimens, shallow marine beds in the well can be correlated to below the *L. rectilatus* zone in the Kawajima core, 600 m-long core located at about 14 km away from the Hidaka Observation Well, and also correlated to the Lower Pleistocene Bushi Formation in the Kaji Hills.

Keywords: Kanto Plain, Deep observation well, Japan, cuttings, Pliocene, Pleistocene, diatoms

要 旨

関東平野西部の日高台地地下にける海成更新統の有無を明らかにすることを目的として、防災科学研究所が設置した日高観測井(掘削長1832.0 m)の深度550 m以浅のカッティングス試料に含まれる珪藻化石群集を分析した。珪藻化石は深度130～200 mの区間のカッティングス試料から産出した。珪藻化石が産出したすべての試料において、海～汽水生種が卓越することから、これらの区間は浅海成層を含むことが示唆される。関東平野において1.45～0.7 Maの年代指標となる珪藻化石*Lancineis rectilatus*は産出しないことから、日高観測井の海成層は川島コア(日高観測井の北東約14 kmに位置する掘削長600 mのボーリングコア)における*L. rectilatus*産出区間帯よりも下位に対比され、加治丘陵に分布する下部更新統仏子層に対比される。

1. はじめに

関東平野の地下には房総半島の上総層群とほぼ同時期に形成された上部鮮新～中部更新統が広く分布している(鈴木ほか, 1995)。関東平野各地に分布する上総層群相当層の分布形態の違いは堆積盆の発達過程と密接に関連していると考えられ、地下に分布する上総層群相当層の層序の構築、年代層序の詳細化や、それらに基づく地質構造の解明は、関東平野の過去から現在の環境変遷や、テクトニクスを知るための貴重な手掛かりを提供する。また、関東平野は首都圏を含む人口密集地域であるため、地下の層序や地質構造の解明は、地盤の利活用、地下水資源の評価、強震動予測などに資する高精度な地質情報を提供するという観点からも極めて重要な研究課題である。

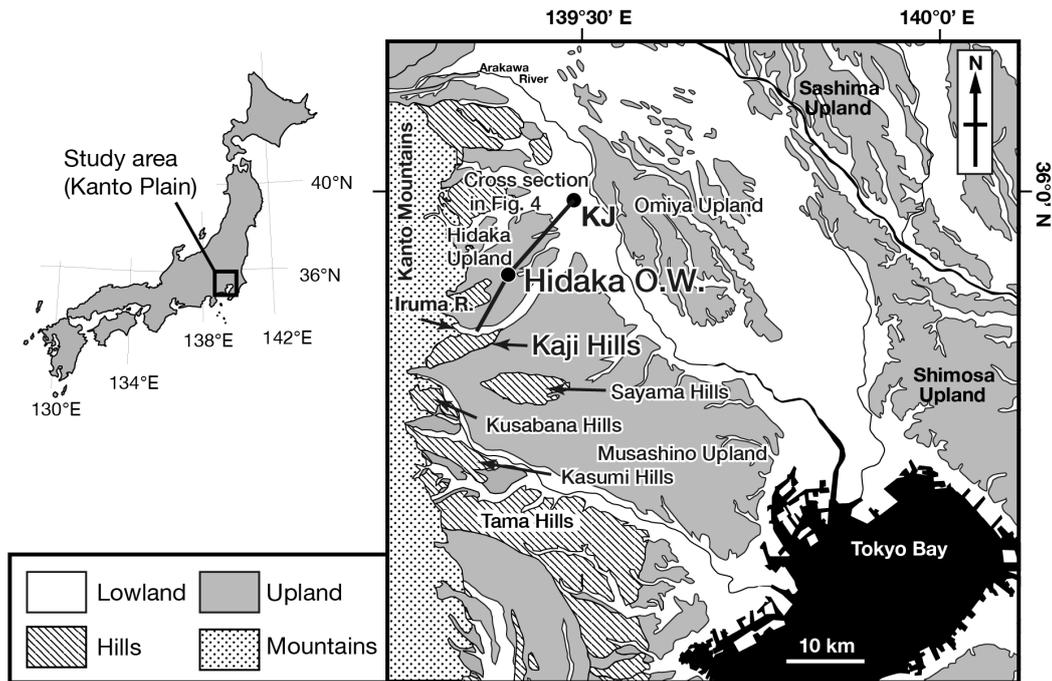
関東平野地下に分布する上総層群相当層の層序は、主にボーリング試料の解析によって明らかにされてきた(例えば、森ほか, 1974; 関東平野中央部地質研究会,

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 防災科学技術研究所 火山防災研究部門 (Volcano Disaster Resilience Research Division, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 3-1, Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-0006, Japan)

³ 防災科学技術研究所 地震津波防災研究部門 (Earthquake and Tsunami Research Division, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 3-1, Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-0006, Japan)

* Corresponding author: NAYA, T., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: t-naya@aist.go.jp



第1図 関東平野の中の日高台地と日高観測井の位置。杉山ほか(1997)に基づく。KJ: 川島コア。

Fig. 1 Locality map of the Kanto Plain indicating the Hidaka Upland and location of the Hidaka Observation Well (Hidaka O.W.). Map after Sugiyama *et al.* (1997). KJ: Kawajima Core.

1994). 近年、関東平野中央部では、オールコア試料を用いた古地磁気層序、テフラ層序、花粉分析、珪藻分析などによる総合的解析によって、地下600 m以浅の上総層群相当層の詳細な層序が構築され、250万年以降の構造運動の一端が明らかにされた(納谷ほか, 2014; 2017)。これらの研究では、関東平野の浅海成層に広く適用できる、前期~中期更新世の1.45 ~ 0.7 Maに限定して産出する珪藻化石が見いだされ、層序指標として有用であることが示された(Naya, 2010, 2019)。また、平野地下の層序解明には、温泉ボーリング等のカッティングス試料の利用も有効であり、主に微化石から層序を制約する情報が得られている(鈴木・堀内, 2002; 千代延ほか, 2007; 納谷ほか, 2013など)。

一方、関東平野西縁部に点在する丘陵(多摩丘陵、草花丘陵、狭山丘陵、加治丘陵など)(第1図)には、上総層群相当層が陸上に露出する。これらの丘陵に分布する上総層群相当層の下部は礫層を主体とする陸成層(鮮新~下部更新統)からなり、各丘陵に分布する陸成層は一括して飯能礫層(飯能礫層はさらに下部・上部に区分される)と呼ばれてきた(竹越ほか, 1979)。以下、本論では竹越ほか(1979)による広義の飯能礫層を“飯能礫層”と表記する。近年、各丘陵に分布する“飯能礫層”の年代は必ずしも一致しないことが明らかになり、丘陵ごとの“飯能礫層”の上部と下部にそれぞれ個別の地層名が与えられている(植木・酒井, 2007)。例えば、飯能層は加治

丘陵に分布する“飯能礫層”上部層に限定される。“飯能礫層”の上位には浅海成層と陸成層のからなる下部更新統が累重する。加治丘陵では仏子層(堀口ほか, 1977)がそれに相当する。最近、仏子層からは広域テフラが多数記載され、それに基づく層序の再検討によって堆積年代は2.5 ~ 1.5 Maと考えられるようになった(納谷・水野, 2020)。

このように、関東平野の中央部と西縁丘陵部では上総層群相当層の高精度な層序が構築されつつある一方で、その中間地域における分布については良く分かっていない。関東平野の中央部と西縁丘陵部の上総層群相当層の層序を知る上で、海成層の有無は、層序を構築する上で重要な指標となる。納谷ほか(2014)は加治丘陵から川島コアを結ぶ測線の深井戸柱状図の分布を示したが、柱状図資料のみでは、堆積環境や年代に関する情報がほとんど得られないため、海成層準も明らかにされておらず、丘陵部と平野中央部をつなぐ地質構造は未解明のままである。

本研究は、加治丘陵と関東平野中央部の川島コアとの中間に位置する日高台地(第1図)地下における上総層群相当層の分布を明らかにすることを目的として、防災科学研究所の日高観測井のカッティングス試料の珪藻化石分析を行った。その結果、地下に分布する上総層群相当層の堆積環境と層位を制約する情報を得たので報告する。

2. 日高観測井の概要

日高観測井は防災科学技術研究所によって、1996年に埼玉県日高市高萩(35° 53' 56.2" E, 139° 23' 03.6" N; T.P. 51.1 m) (第1図)で掘削された、掘削長1832.0 mの地殻活動観測井である(鈴木・小村, 1999)。深度10 m毎に採取されたカッティングス試料と深度500 m以深の合計5カ所で採取された各所長さ3 mのコア試料の岩相と、孔内物理検層結果に基づき、孔底～深度450 mが新第三系、深度450～110 mが上総層群(飯能礫層)、深度110 m以浅が第四系に区分された(第2図)(鈴木・小村, 1999)。

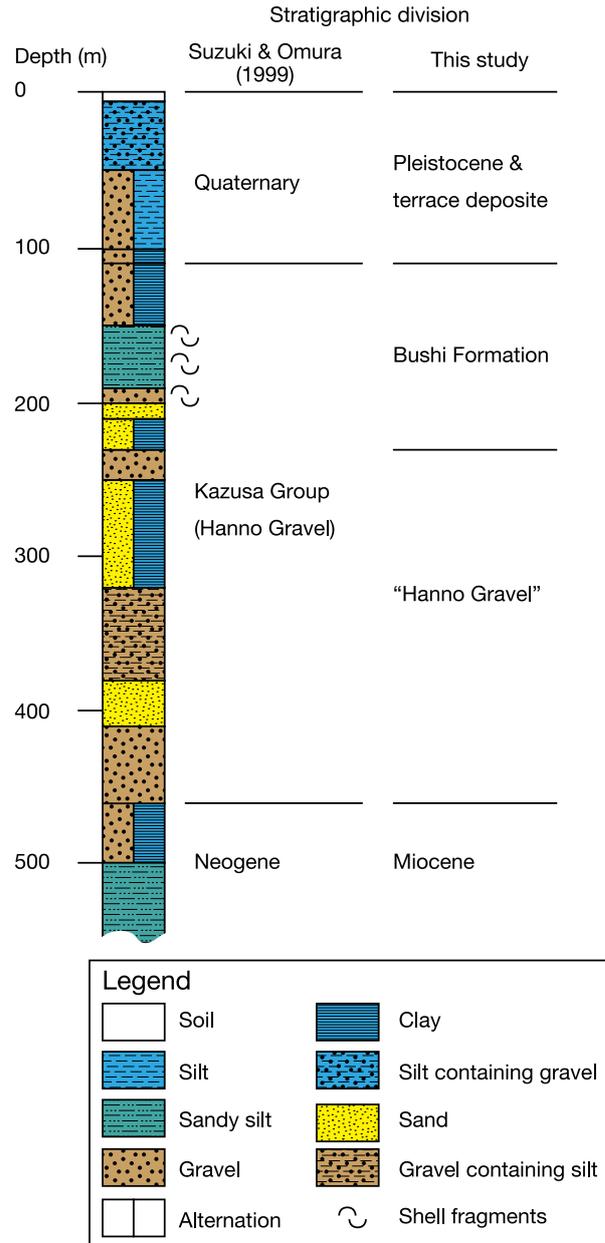
日高観測井の深度670 m以深では石灰質ナンノ化石が産出することが報告されている(鈴木・堀内, 2002)。この分析結果によれば、深度790 m以浅には、*Cyclicargolithus floridanus*の終産出層準が認められることからOkada and Burkry (1980)の石灰質ナンノ化石帯区分のCN5a帯に対比され、深度1500 mにはCN4帯上限を規定する*Sphenolithus heteromorphus*の終産出層準が認められることから、少なくとも深度790 mより深い部分は中部中新統であると考えられている(林ほか, 2004)。一方、深度670 mよりも浅い部分では、これまで微化石の産出は報告されていない。

3. 分析試料の採取および珪藻化石分析方法

本研究では、深度550 mよりも浅い深度のカッティングス試料について、岩相の観察を行い、泥(泥岩)片が確認できたものについて、珪藻分析用試料を採取した(第3図)。

日高観測井のカッティングス試料は、一つの深度の試料の中に様々な岩種の粒子が混在しており、一つの試料が代表する深度にはある程度幅が存在すると推測された。そこで、各深度から3片の泥片を使って個別にプレパラートを作成し、泥片ごとの珪藻産出量や群集の違いを確認したうえで計数を行った。

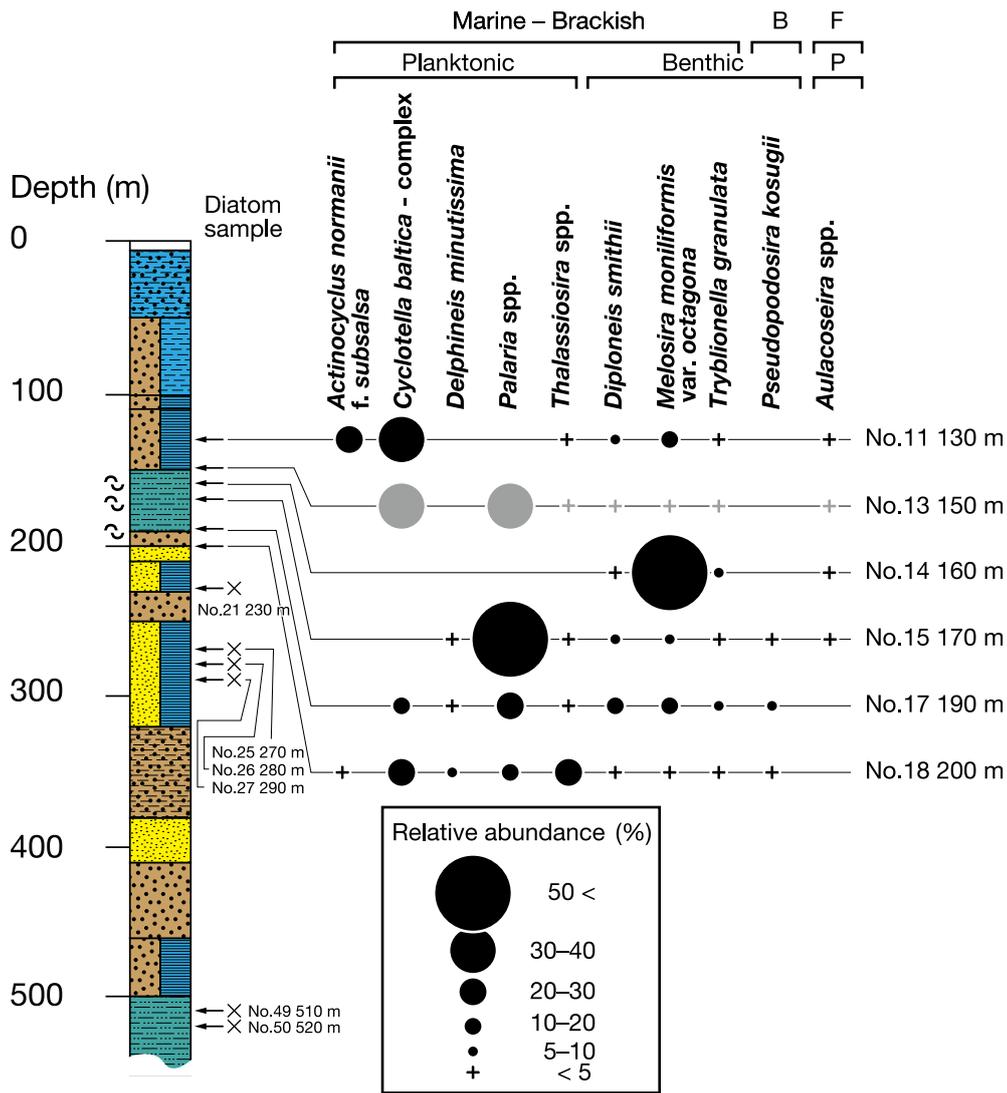
各泥片のプレパラート作成は納谷ほか(2009)に示された手法B(スミアスライド法)に従った。封入剤には光硬化樹脂(Norland社製, NOA61)を用いた。検鏡は、微分干渉装置付き生物顕微鏡を用いて倍率1000倍で行った。各スライドでは、観察された種の殻が200殻になるまで計数した。珪藻殻があまり含まれていない試料では、100殻および50殻を目処に計数を打ち切った。計数の後には、倍率400倍でスライドガラスの全面を走査し、年代の指標となる種の有無を確認した。種の同定と生態は、千葉・澤井(2014)、Krammer and Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a, 1991b)、渡辺ほか(2005)、Witkowski *et al.* (2000)等を参考にした。なお、*Cyclotella baltica* - complexとして計数したものには、少なくとも光学顕微鏡下で識別可能な*C. cf. baltica*と*C. cf. mesoleia*が含まれる(図版1)。しかし、殻の保存状態が相当良好である場合



第2図 日高観測井の深度550m以浅の岩相柱状図と層序区分。岩相柱状図は鈴木・小村(1999)に基づく。

Fig. 2 Lithologic column and stratigraphic division of the Hidaka observation well, above 550 m in depth. Lithologic column is after Suzuki and Omura (1999).

を除いて両者の識別が困難なため、本研究ではこれらを一括してspecies complexとして扱った。今後、同定の確定のために走査電子顕微鏡による殻の詳細な観察が必要である。なお、*C. baltica*および*C. mesoleia*、加えて両種と形態が類似する*C. littoralis*は、いずれも類似した環境(内湾環境)から報告されているので(Tanaka, 2007; 田中, 2014)、環境指標として同一に扱って問題が無いと判断した。



第3図 日高観測井の珪藻化石群集. 柱状図の凡例は第2図に示す. 灰色の記号は計数された珪藻殻の合計が100殻未満であることを示す. B:Brackish, F: Freshwater, P: Planktonic.

Fig. 3 Diatom assemblage in the Hidaka Observation Well. Legend for column is shown in Fig. 2. Gray symbols indicate that a total counted number is under 100 valves. B: Brackish, F: Freshwater, P: Planktonic.

4. 日高観測井 550 m 以浅の岩相と珪藻化石群集

岩相柱状図(第2図)は鈴木・小村(1999)に従うが, 岩相の比率が示されている互層の凡例については, 等分の凡例に簡略化した. 今回のカッティングス試料の観察から, 深度160 m, 170 m, 180 m, 190 m, 200 mの試料には貝殻片が含まれることが明らかになった(第2図).

珪藻化石は, 200 mよりも浅い試料で産出し, 230 mよりも深い試料では全く産出しなかった(第3図). 珪藻化石が産出した深度のうち, 130 m, 150 m, 170 m, 190 mの試料は, プレパラートを作成した3泥片とも, 珪藻化石の保存状態が同程度で珪藻群集組成も非常に類似して

いた. 一方, 160 m, 200 mの深度は3片のうち1片は珪藻化石の保存状態が良好で, 残りの2片は珪藻化石の保存状態が良くなかったが, 珪藻群集組成は概ね類似していた. これらの試料については, 珪藻化石の保存が良かったプレパラートを使って計数した.

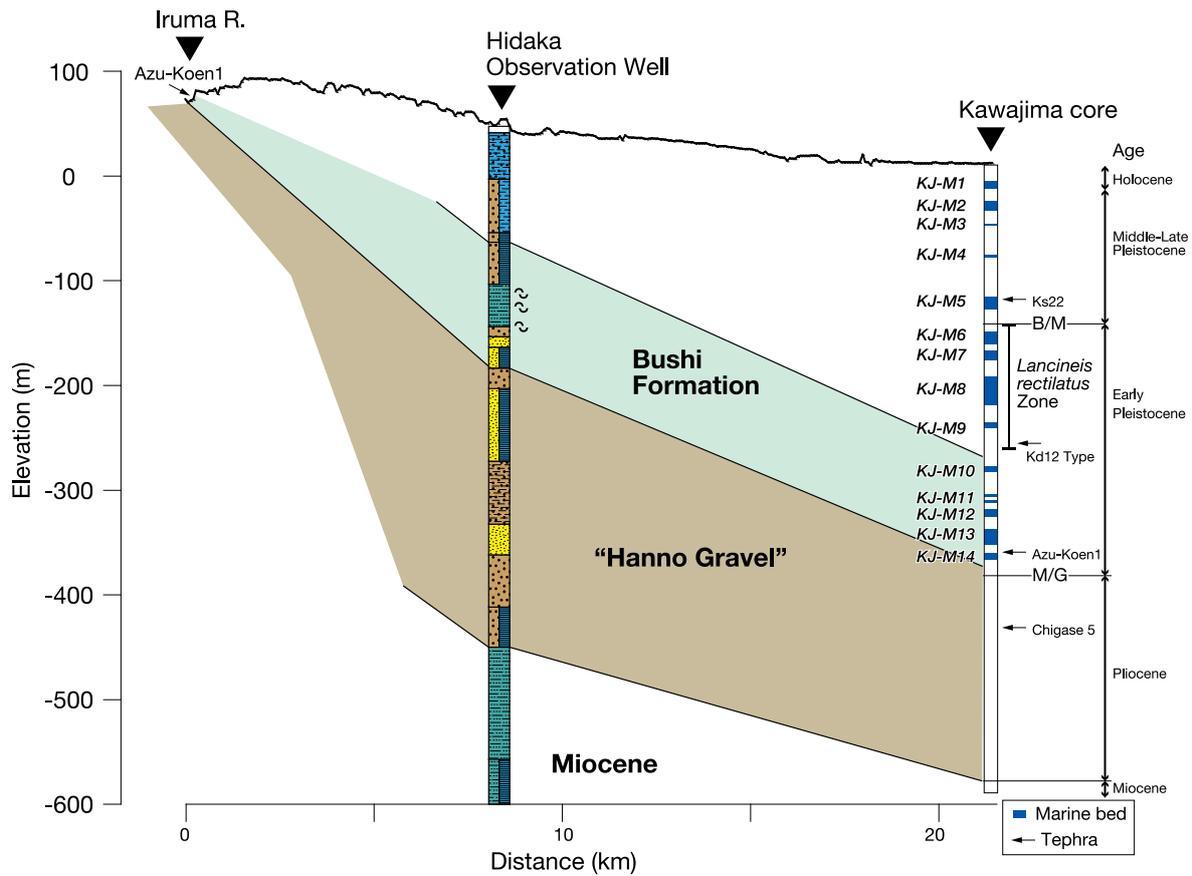
珪藻化石が産出したすべての試料で, 海生~汽水生珪藻が優占して産出した(第3図, 第1表). 深度160 mを除く試料では, *Actinocyclus normanii f. subsalsa*, *Cyclotella baltica - complex*, *Palaria spp.*, *Thalassiosira spp.*などの浮遊性種が卓越する. 深度160 mの試料は, 海~汽水生の付着性種である*Melosira moniliformis var. octagona*が優占し, 浮遊性種は産出しなかった. 汽水生付着性種であ

日高観測井の珪藻化石群集による海成更新統の認定（納谷ほか）

第1表 日高観測井の珪藻産出表.

Table 1 Occurrence of diatoms in the Hidaka Observation Well.

Sample number	No.11	No.13	No.14	No.15	No.17	No.18
Depth (m)	130	150	160	170	190	200
<u>Marine and marine to brackish species</u>						
<i>Actinoptychus splendens</i> (Shadbolt) Ralfs				1		4
<i>Cocconeis scutellum</i> Ehrenberg				1	8	
<i>Cyclotella</i> cf. <i>choctawhatcheeana</i> Prasad	15			1	9	14
<i>Cyclotella baltica</i> - complex	63	22		14	13	40
<i>Delphineis minutissima</i> (Hustedt) Simonsen				1	2	17
<i>Delphineis</i> sp.					2	
<i>Diploneis smithii</i> (Brébisson) Cleve	19	1	5	5	20	1
<i>Diploneis suborbicularis</i> (W.Gregory) Cleve	1				2	
<i>Fallacia oculiformis</i> (Hustedt) D.G.Mann	2					
<i>Fallacia pygmaea</i> (Kützing) Stickle & D.G.Mann					1	
<i>Giffenia cocconeiformis</i> (Grunow) Round & Basson		1				
<i>Grammatophora</i> spp.				2	5	5
<i>Melosira moniliformis</i> var. <i>octagona</i> (Grunow) Hustedt	27	1	168	6	22	1
<i>Navicula</i> cf. <i>fauta</i>					1	
<i>Palaria</i> spp.		20		50	54	38
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky s.l.						17
<i>Thalassiosira</i> spp.	2	1		3	5	49
<i>Tryblionella aerophila</i> (Hustedt) D.G.Mann					1	
<i>Tryblionella compressa</i> (Bailey) Poulin	5	1	10	3	7	4
<i>Tryblionella granulata</i> (Grunow) D.G.Mann	3	2	14	3	13	1
<i>Tryblionella lanceola</i> Grunow	2			1	3	1
<u>Brackish species</u>						
<i>Pseudopodosira kosugii</i> Tanimura & H.Sato				4	18	1
<u>Brackish to freshwater species</u>						
<i>Actinocyclus normanii</i> f. <i>subsalsa</i> (Juhlin-Dannfelt) Hustedt	44					7
<i>Pseudostaurosira</i> spp.					3	
<u>Freshwater species</u>						
<i>Planothidium</i> / <i>Psammothidium</i> spp.	3				3	
<i>Aulacoseira</i> spp.	4	1	2	2		
<i>Caloneis</i> spp.				2		
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg					1	
<i>Cymbella</i> spp.					1	
<i>Diadesmis contenta</i> (Grunow) D.G.Mann					1	
<i>Epithemia</i> spp.	2					
<i>Eunotia</i> spp.					1	
<i>Gomphonema</i> spp.	2					
<i>Luticola</i> spp.			1		1	
small <i>Navicula</i> spp.					3	
<i>Staurosira</i> spp.	3			1		
<i>Staurosirella</i> spp.	3					
Total	200	50	200	100	200	200
<i>Chaetoceros</i> cyst	4			3	6	6



第4図 川島コア、日高観測井、入間川(仏子層基底部)間の地層対比。川島コアの層序は納谷ほか(2017)に、入間川の仏子層基底部の位置は納谷・水野(2020)、日高観測井の柱状図は鈴木・小村(1999)に基づく。Azu-Koen1: 阿須公園1, Chigase5: 千ヶ瀬5。

Fig. 4 Stratigraphic correlation between the Kawajima core, Hidaka observation well and Iruma River (locating the base of the Bushi Formation). Stratigraphy of the Kawajima core is based on Naya *et al.*, (2017), locality of the base of the Bushi Formation is indicated in Naya and Mizuno (in press), and column of the Hidaka Observation Well is based on Suzuki and Omura (1999).

る *Pseudopodosira kosugii* は深度 170, 190, 200 m から産出した。淡水生種は深度 200 m の試料を除き、低率で産出した。関東平野中央部のボーリングコアの浅海成層から産出し、0.7 ~ 1.45 Ma の年代指標となることが知られる *Lancineis rectilatus* (Naya, 2010, 2019) は、いずれの試料からも産出しなかった。

海～汽水生浮遊性種が卓越する試料(深度 130, 150, 170, 190, 200 m) は、*C. baltica* -complex や *Thalassiosira* spp. を含むため内湾環境で堆積したと考えられる。特に、汽水に多く見られる (Hasle, 1977) *A. normanii* f. *subsalsa* が多産する深度 130 m の試料は、汽水域を含む内湾奥部や河口域などの環境で堆積した可能性がある。一方、海～汽水生付着性種が卓越する深度 160 m の試料は、干潟や塩生湿地などの潮汐の影響がある沿岸環境で堆積したと考えられる。

5. 海成層挟在区間の層序対比に基づく日高観測井の層序区分の細分化

日高観測井の深度 200 ~ 130 m の区間は、貝殻片を含むことや、海～汽水生珪藻が卓越する珪藻群集が認められることから、浅海成層を含む地層を含むことは間違いない。岩相の連続性から、おそらくは深度 110 m までが海成層を含む区間であると推測される。また、各深度のカッティングス試料は礫を混在することから、この区間は礫層と浅海成の泥層の互層からなると考えられる。このような層相は、関東平野中央部の地下に分布する更新統と類似する。そこで、日高観測井から約 14 km 北東に位置する川島コア(第1図)との層序対比を検討する。

川島コアは深度 0 ~ 370 m の区間に浅海成層を 14 層(KJ-M1 ~ KJ-M14) 挟む(第4図)(納谷ほか, 2017)。この浅海成層のうち KJ-M6 ~ KJ-M9 からは *L. rectilatus* が産

出する(第4図)(Naya, 2019). 日高観測井の浅海成層からは*L. rectilatus*は産出しないので、川島コアにおける*L. rectilatus*産出区間帯より上位か下位の区間に相当すると考えられる。

日高観測井から5.5～8 km南西に位置する加治丘陵と入間川沿いの陸上には、下部更新統の仏子層が露出する。仏子層の最下部付近に挟まれる阿須公園1 テフラは川島コアのKJ-M14海成層直上に挟まれるテフラに対比されること、仏子層最上部付近に挟まれる春日町1 テフラは川島コアにおけるKJ-M9とKJ-M10海成層の間に挟まれるテフラと同様にKd12 Typeテフラ群に対比されることから(納谷ほか, 2017)、川島コアにおける*L. rectilatus*産出区間帯より下位のKJ-M10～KJ-M14の区間は、概ね仏子層の範囲に含まれる(第4図)。仏子層に挟まれる8層の浅海成層からは*L. rectilatus*が産出しないこと(納谷・水野, 2020)も、この層序対比と整合的である。日高観測井は加治丘陵と川島コアの中間に位置するため、日高観測井における浅海成層を含む区間は、仏子層及び川島コアの*L. rectilatus*産出区間帯より下位のKJ-M10～KJ-M14の区間に対比される(第4図)。

以上の層序対比に基づき、日高観測井において従来上総層群(飯能礫層)と一括されていた区間について、深度460～230 mを“飯能礫層”に、深度230～110 mを仏子層に細分した(第2図)。また、深度110 mより上位の第四系とされていた区間は更新統及び更新世段丘堆積物に、深度460 mより下位の第三系とされていた区間は中新統に区分される(第2図)。日高観測井における上総層群相当層の層序の詳細化は、周辺の深井戸柱状図データの対比の基準を提供し、より詳細な地層の分布形態の解明につながることを期待される。

謝辞: 査読者の渡辺真人氏からは査読を通じて建設的な意見をいただき、原稿は改善されました。記して御礼申し上げます。

文 献

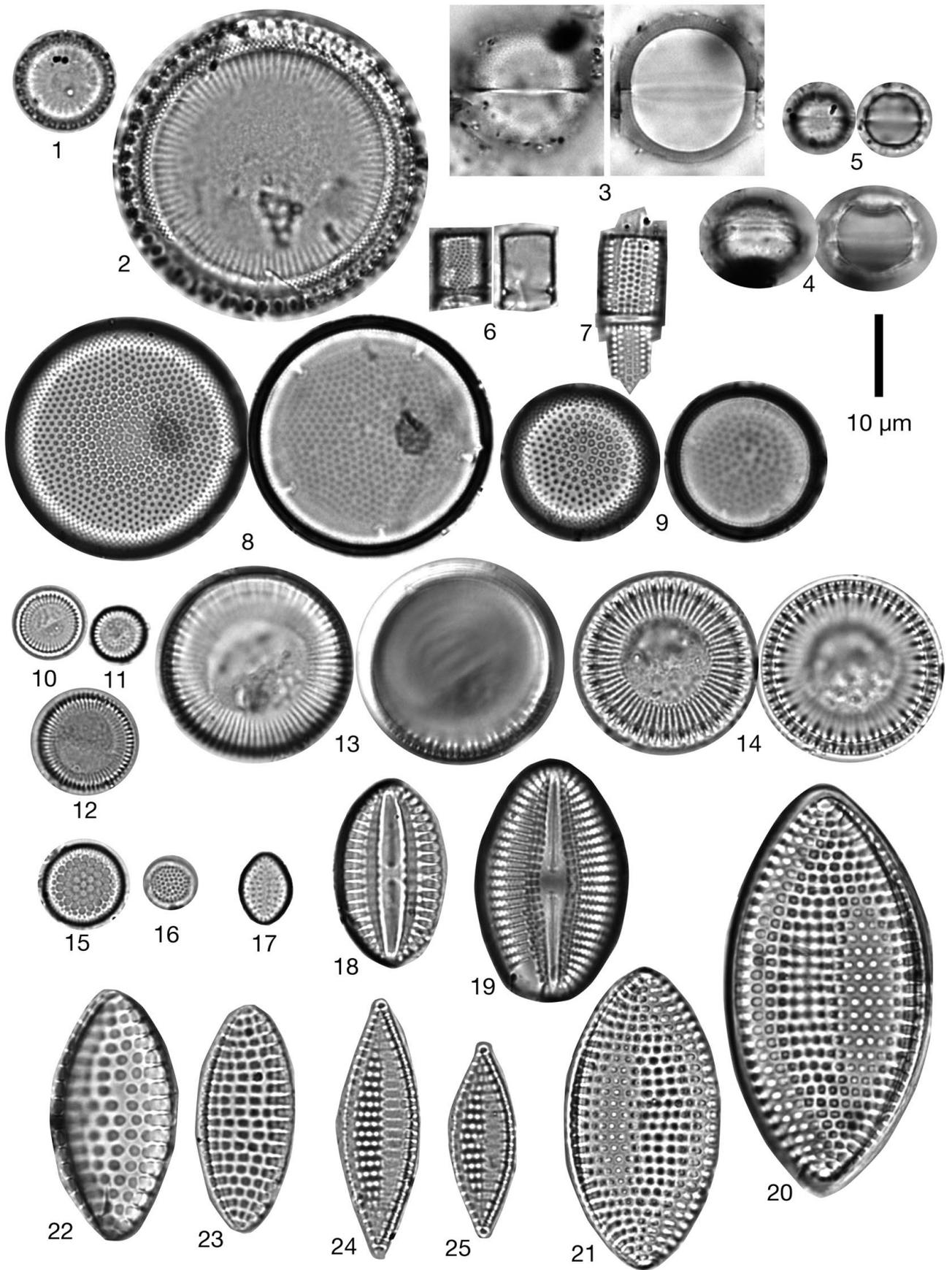
- 千葉 崇・澤井祐紀(2014) 環境指標種群の再検討と更新.
Diatom, **30**, 17–30.
- 千代延俊・佐藤時幸・石川憲一・山崎 誠(2007) 東京都中央部に掘削された温泉井の最上部新生界石灰質ナンノ化石層序. *地質学雑誌*, **113**, 223–232.
- 堀口万吉・角田史雄・清水康守・駒井 潔・坂東尋子・栗原陽子(1977) 関東平野西部入間川沿いに発達する仏子粘土層の再検討. 埼玉大学教養部紀要(自然科学), no.13, 93–98.
- Hasle, G.R. (1977) Morphology and taxonomy of *Actinocyclus normanii* f. *subsalsus* (Bacillariophyceae). *Phycologia*, **16**, 321–328.
- 林 広樹・堀内誠示・高橋雅紀・笠原敬司(2004) 関東平野地下に分布する新第三系の層序と対比. 石油技術協会誌, **69**, 404–416.
- 関東平野中央部地質研究会(1994) 関東平野中央部地下地質の編年と対比. 地団研専報, no.42, 154–164.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1986) *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae 1. Teil: Naviculaceae*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 876p.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1988) *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 596p.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1991a) *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 576p.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1991b) *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae 4. Teil: Achnantheaceae Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 437p.
- 森 和雄・垣見俊弘・大山 桂・石田正夫・阿久津 純・田尻貞治(1974) 埼玉県新座市・所沢市の試錐井とそれに関連する地表及び地下地質. *地調月報*, **25**, 379–395.
- Naya, T. (2010) *Lancineis rectilatus* sp. nov., a new fossil species from Pleistocene sediments in Japan. *Diatom Research*, **25**, 111–124.
- Naya, T. (2019) Stratigraphic distribution and biostratigraphic utility of the fossil diatom *Lancineis rectilatus* in the central Kanto Plain, central Japan. *Quaternary International*, **519**, 131–143.
- 納谷友規・水野清秀(2020) 埼玉県加治丘陵に分布する下部更新統仏子層の層序と年代の再検討. *地質学雑誌*, **126**, 183–204.
- 納谷友規・平松 力・古澤 明・柳沢幸夫・山口和雄(2013) 関東平野中央部埼玉県大和町で掘削された1505 m温泉ボーリングの年代層序. *地質学雑誌*, **119**, 375–395.
- 納谷友規・本郷美佐緒・植木岳雪・八戸昭一・水野清秀(2017) 関東平野中央部の地下に分布する鮮新-更新統の層序と構造運動. *地質学雑誌*, **123**, 637–652.
- 納谷友規・石原武志・植木岳雪・本郷美佐緒・松島(大上) 紘子・八戸昭一・吉見雅行・水野清秀(2014) 関東平野中央部の第四系地下地質. 特殊地質図No.40 (CD), 地質調査総合センター, 178–203.
- 納谷友規・山口正秋・水野清秀(2009) 関東平野中央部埼玉県草薙町で掘削された350 mボーリングコア(GS-SB-1)の珪藻化石産出層準と淡水成層準および海成層準の識別. *地質調査研究報告*, **60**, 245–256.
- Okada, H., and Bukry, D. (1980) Supplementary modification

- and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973; 1975). *Marine Micropaleontology*, **5**, 321–325.
- 杉山雄一・須貝俊彦・井村隆介・水野清秀・遠藤秀典・下川浩一・山崎晴雄(1997) 50万分の1活構造図8「東京」(第2版). 地質調査所.
- 鈴木宏芳・堀内誠示(2002) 関東平野の深層観測井地質試料のナンノ化石分析. 防災科学技術研究所研究資料, no. 225, 1–71.
- 鈴木宏芳・小村健太郎(1999) 関東地域の孔井データ資料集. 防災科学技術研究所研究資料, no. 191, 1–80.
- 鈴木尉元・小玉喜三郎・三梨 昂・岡 重文・卜部厚志・遠藤 毅・堀口万吉・江藤哲人・菊池隆男・山内靖喜・中嶋輝允・徳橋秀一・楡井 久・原 雄・中山俊雄・奈須紀幸・加賀見英雄・木村政昭・本座栄一(1995) 東京湾とその周辺地域の地質(第2版), 10万分の1特殊地質図(20)ならびに同地質説明書. 地質調査所, 109p.
- 竹越 智・石垣 忍・足立久男・藤田至則(1979) 関東山地東縁の鮮新—更新世の堆積盆地の発生に関する研究. 地質学雑誌, **85**, 557–569.
- Tanaka, H (2007) *Taxonomic studies of the genera Cyclotella (Kützinger) Brébisson, Discostella Houk et Klee and Puncticulata Håkansson in the family Sephandiscaceae Glezer et Makarova (Bacillariophyta) in Japan. Bibliotheca Diatomologica 53*, Gebrüder Borntraeger Verlag, Berlin, 204p.
- 田中宏之(2014) 日本淡水化石珪藻図説—関連現生種を含む—. 内田老鶴圃, 東京, 602p.
- 植木岳雪・酒井 彰(2007) 青梅地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査総合センター, 189p.
- 渡辺仁治・浅井一視・大塚泰介・辻 彰洋・伯耆晶子(2005) 淡水珪藻生態図鑑. 内田老鶴圃, 784p.
- Witkowski, A., Lange-Bertalot, H. and Metzeltin, D. (2000) *Diatom Flora of Marine Coasts I: Iconographia Diatomologica 7*, Koeltz Scientific Books, Königstein, 925p.
- (受 付 : 2020年3月19日 ; 受 理 : 2020年7月31日)

図版1 日高観測井から産出した珪藻化石

Plate 1 Fossil diatoms from the Hidaka Observation Well

- 1 *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve [No.17, depth 190 m]
- 2 *Paralia* sp. [No.17, depth 190 m]
- 3 *Melosira moniliformis* var. *octagona* (Grunow) Hustedt [No. 14, depth 160 m]
- 4, 5 *Pseudopodosira kosugii* Tanimura & H.Sato [No.17, depth 190 m]
- 6 *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen [No.11, depth 130 m]
- 7 *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen [No.11, depth 130 m]
- 8, 9 *Actinocyclus normanii* f. *subsalsa* (Juhlin-Dannfelt) Hustedt [No.11, depth 130 m]
- 10–12 *Cyclotella* cf. *choctawhatcheeana* Prasad [10: No.11, depth 130 m, 11, 12: No.18, depth 200 m]
- 13 *Cyclotella* cf. *baltica* (Grunow) Håkansson [No.11, depth 130 m] (counted as *C. baltica* complex)
- 14 *Cyclotella* cf. *mesoleia* (Grunow) Houk, Klee & Tanaka [No.18, depth 200 m] (counted as *C. baltica* complex)
- 15 *Thalassiosira* cf. *tenera* Proschkina-Lavrenko [No.18, depth 200 m]
- 16 *Thalassiosira* sp. [No.18, depth 200 m]
- 17 *Delphineis minutissima* (Hustedt) Simonsen [No.18, depth 200 m]
- 18 *Diploneis suborbicularis* (W.Gregory) Cleve [No.11, depth 130 m]
- 19 *Diploneis smithii* (Brébisson) Cleve [No.11, depth 130 m]
- 20, 21 *Tryblionella compressa* (Bailey) Poulin [20: No.11, depth 130 m, 21: No.18, depth 200 m]
- 22, 23 *Tryblionella granulata* (Grunow) D.G.Mann [22: No.14, depth 160 m, 23: No.11, depth 130 m]
- 24, 25 *Tryblionella lanceola* Grunow [No.11, depth 130 m]



高知県東部, 奈半利低地における沖積層ボーリングコアの記載と編年

植木 岳雪^{1,*}

UEKI Takeyuki (2020) A sediment core of Holocene incised valley fills in the Nahari Lowland, east Kochi Prefecture, southwest Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 71 (5), p. 473-479, 3 figs, 1 table.

Abstract: Sediment core 42 m long was drilled in the Nahari Lowland, east Kochi Prefecture, southwest Japan. The core was composed entirely of gravelly deposits derived by the Nahari River. Radiocarbon (¹⁴C) ages from Latest Pleistocene to Early Holocene were obtained at four horizons. A Holocene incised valley fills more than 42 m thick underlie in the Nahari Lowland. Higher sedimentation rate of the incised valley fills corresponds to the Early Holocene transgression.

Keywords: Incised valley fills, Holocene, Sediment core, Stratigraphy, Kochi Prefecture

要 旨

高知県東部, 奈半利低地において, 長さ 42 m のオールコアボーリング掘削を行なった. コアは河成礫層からなり, 深度 11.94 ~ 11.97 m と 21.92 m からそれぞれ 7,510 ± 30 ¹⁴C yr BP と 7,960 ± 30 ¹⁴C yr BP 年代が得られた. また, 深度 25.87 ~ 25.94 m と 28.20 ~ 28.25 m から, それぞれ 19,240 ± 70 ¹⁴C yr BP と 23,920 ± 90 ¹⁴C yr BP の年代が得られた. 奈半利低地における沖積層の層厚は 42 m 以上であり, 完新世前期の海水準上昇に対応して, 礫層の堆積速度は大きくなった.

1. はじめに

沖積層は, 最終氷期以降に堆積した最新の地質時代の地層である. 沿岸平野・低地の地下には, しばしば最終氷期の低海水準期に形成された埋没谷があり, 完新世の海水準上昇期に軟弱な泥層が谷を埋めて堆積している. 軟弱な沖積層は地震動を増幅させるため, 沖積層が厚いところでは大地震時に建物の被害や液状化が多く生じている (1923 年関東地震の例は武村, 2003; 若松, 2007 など). また, 基盤岩と沖積層の境界では, 地震波の屈折や基盤面での反射によって, 地表のある地点に地震波が収斂して, 震動が大きくなることがある (1995 年兵庫県南部地震の例は, 三田村ほか, 1996 など). したがって, 沖積層の層厚や基底の谷地形の理解は, 地震災害の軽減のために不可欠と言える.

静岡県から高知県にかけての沖合に延びる南海トラフでは, 海洋プレートの沈み込みに伴う巨大地震が

100-200 年おきに発生している. しかし, 四国南岸の沿岸平野・低地における沖積層の層厚や基底の谷地形は, 高知平野を除いて全くわかっていない. そこで, 産総研地質調査総合センターで作成・出版している 5 万分の 1 地質図幅の「奈半利」の調査・研究として, 高知県東部, 奈半利低地において長さ 42 m のオールコアボーリング掘削を行い, 沖積層の記載と編年を行った.

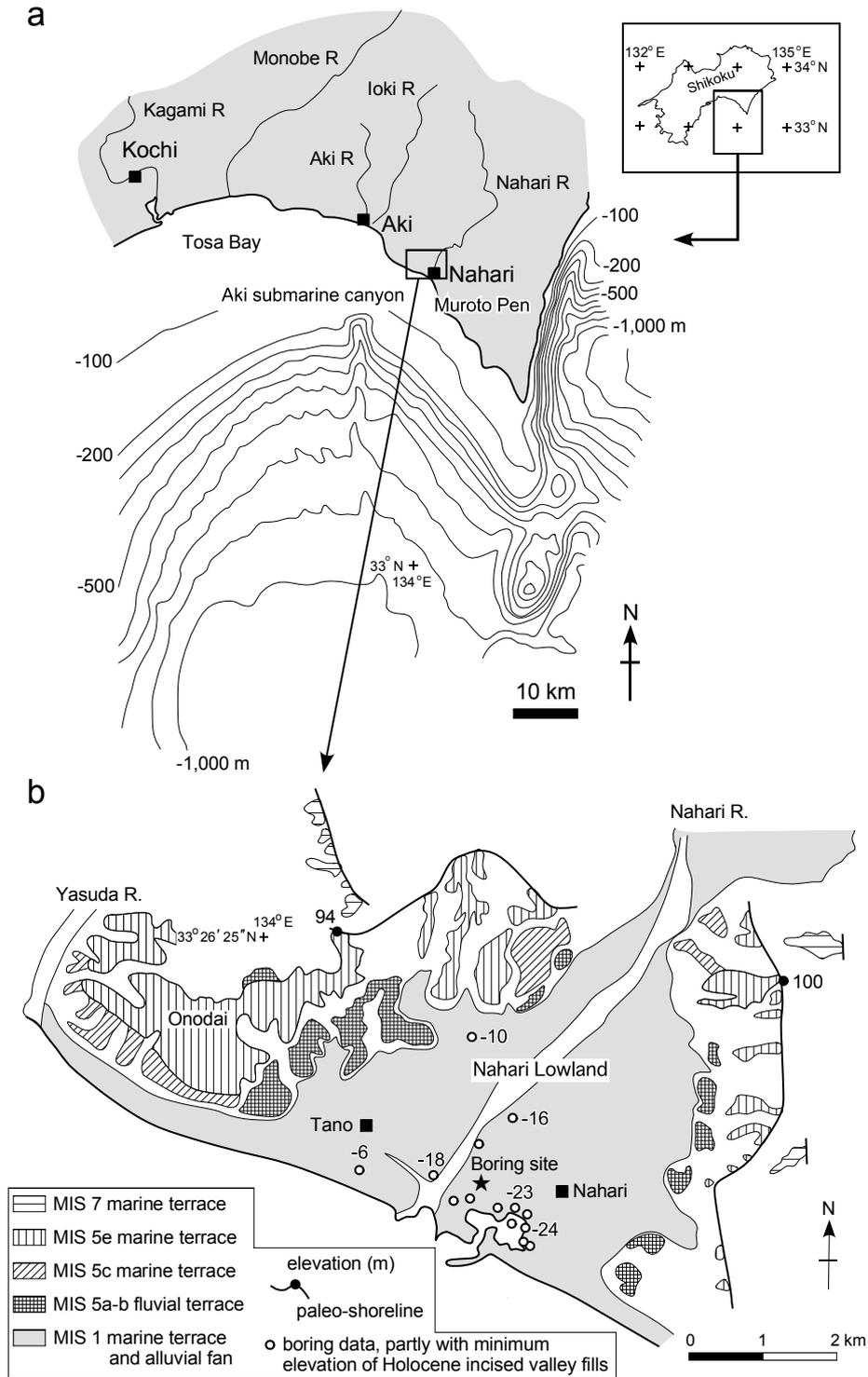
2. 調査地域の概要

高知県東部の奈半利低地は, 室戸岬西岸で太平洋の土佐湾に面し, 幅と奥行がともに約 2.3 km の三角形の低地である (第 1 図). 低地の中央には, 四国山地東部を源にする二級河川の奈半利川が流れている. 奈半利川右岸には標高数 m の完新世の海成段丘が分布するが, それ以外は現成の臨海扇状地 (ファンデルタ) となっている (金谷, 1978; 前杢, 1988). 一方, 低地の周囲には更新世の海成段丘と河成段丘が分布し, 最も発達が良い海成段丘は最終間氷期の海洋酸素同位体ステージ (Marine Isotope Stage, MIS) 5e に形成されたものである (吉川ほか, 1964; 小池・町田, 2001; 前杢, 2006; Matsu'ura, 2015).

奈半利低地周辺の山地の地質は, 古第三系の四万十帯室戸岬層群奈半利川層の砂岩泥岩互層からなる (平ほか, 1980 など). 奈半利川層の分布域では崩壊がしばしば生じ, 奈半利川に多量の岩屑が供給されている (笹原ほか, 2011; 小野ほか, 2014; 土居, 2016 など). ボーリング資料に基づく, 奈半利低地における沖積層は層厚 30 m 以上の礫層からなる (第 1 図および近森・近藤, 1973;

¹ 千葉科学大学危機管理学部 (Faculty of Risk and Crisis management, Chiba Institute of Science, 3 Shiomi-cho, Choshi, Chiba 288-0025, Japan), 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客員研究員 (Visiting researcher of AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

* Corresponding author: UEKI, T., Email: tueki@cis.ac.jp



第1図 室戸半島周辺および奈半利低地周辺の地形

a) 100 mおきの等深線は産業技術総合研究所地質調査総合センターの海域地質構造データベース (<https://gbank.gsj.jp/marineseisdb/index.html>, 閲覧日:2020年9月4日)による。b) 段丘の分布と旧汀線高度は小池・町田(2001)による。ボーリングデータは高知地盤情報公開サイト (<https://geonews.zenchiren.or.jp/kochi/>, 閲覧日:2020年9月4日)による。

Fig. 1 Geomorphology around the Nahari Lowland

a) Isobath is after the Database of Offshore Geologic Structure supported by the Geological Survey of Japan (https://gbank.gsj.jp/marineseisdb/index_E.html, Accessed 2020-09-04). b) Terrace distribution and elevation of paleo-shoreline are after Koike and Machida (2001). Boring data are after the open-access site of subsurface geology of Kochi Prefecture (<https://geonews.zenchiren.or.jp/kochi/>, Accessed 2020-09-04).

近森, 1984; 加賀美ほか, 1992). しかし, 沖積層の層序や年代は全くわかっていない.

3. ボーリング掘削調査

3.1 掘削地点および掘削方法

ボーリング掘削地点は, 奈半利川河口に近い奈半利港緑地公園ヘリポート横の芝地(第1図: 北緯33度25分31.04秒, 東経134度0分58.57秒, 孔口標高4.3 m)である. 奈半利川からは約150 m離れており, 現成のファンデルタ上にある.

ロータリー式ボーリングマシンによって, 径86 mmのコアチューブを用いて, 長さ42 mのオールコアを採取した. 孔壁保護のために, 径145 mmあるいは116 mmのケーシングパイプを挿入した. コアの回収率は95%以上であった. 本研究では, そのコアをGS-NHR-1コアと呼ぶ.

3.2 ボーリングコアの記載

GS-NHR-1コアの柱状図を第2図に示す. コアの深度0~0.56 mは人工堆積物である. 深度0~0.45 mは不淘汰な角礫層, 深度0.45~0.56 mは緻密なシルト層であり, それぞれ盛土, 水田土壌と考えられる.

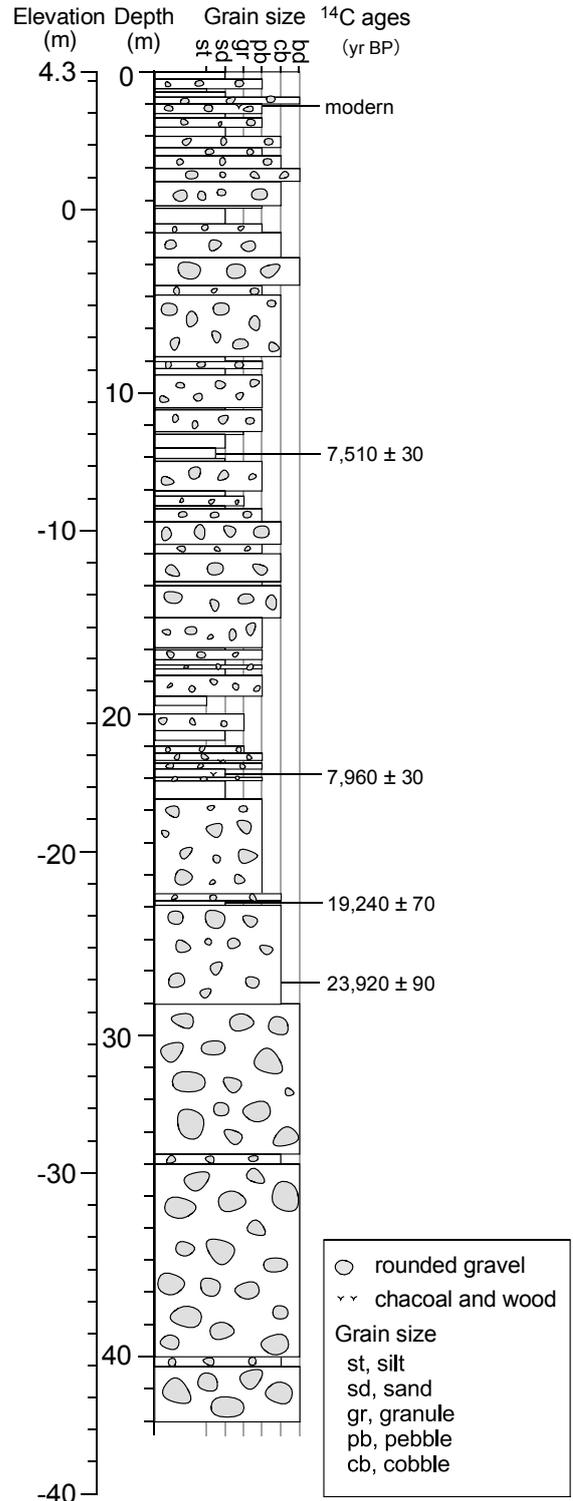
コアの深度0.56 m以下は奈半利川の堆積物であり, 大きな層相の違いはなく, 細分されない. 全体に塊状で淘汰の良い垂円礫層が卓越し, 層厚数10 cm以下の砂層, シルト層を挟む. ただし, 深度9~14 mと深度17~26 mは中礫から細礫サイズの礫層からなり, 砂層, シルト層が多く挟まれるのに対して, 深度29~42 mは巨礫サイズの礫層からなる. 礫種は, 砂岩, 泥岩, 礫岩, チャートなどの堆積岩からなる.

4. 放射性炭素 (^{14}C) 年代測定

GS-NHR-1コアから採取された5試料の ^{14}C 年代を第1表に示す. 試料は, 深度1.15 mの粗粒砂, 深度11.94~11.97 mのシルト, 深度21.92 mの細粒砂から抽出された植物片と, 深度25.87~25.94 mの細粒砂, 深度28.20~28.25 mの粗粒砂のバルク試料である.

加速器質量分析(AMS)法による ^{14}C 年代測定を, 株式会社加速器分析研究所に依頼した. 試料の前処理として, 植物片には0.001~1 Mの水酸化ナトリウムによる酸-アルカリ-酸処理を行い, バルク試料には1 Mの塩酸による酸処理を行った. 年代値はLibbyの半減期5,568年を用いて算出し, $\delta^{13}\text{C}$ 値により同位体分別効果の補正を行った. 年代値の暦年較正には, OxCal 4.3 較正プログラム(Bronk Ramsey, 2009)とIntCal 13 較正曲線(Reimer *et al.*, 2013)を用いた. なお, ^{14}C 年代の表記は, 暦年較正されている場合はcal BC, そうでない場合は ^{14}C yr BPとする.

深度1.15 mはmodernであり, 深度11.94~11.97 mと21.92 mからは, それぞれ $7,510 \pm 30$ ^{14}C yr BPと $7,960 \pm 30$ ^{14}C yr BPの年代が得られた. また, 深度25.87~25.94



第2図 GS-NHR-1 コアの柱状図

Fig. 2 Columnar section of the GS-NHR-1 Core

第1表 AMS放射性炭素年代測定の結果

Table 1 Result of AMS ^{14}C dating

Depth (m)	Material	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Conventional age (1σ , ^{14}C yr BP)	Calibrated age (2σ , cal BC)	Laboratory number
1.15	plant material	-27.05±0.24	modern	—	IAAA-191016
11.94-11.97	plant material	-28.07±0.20	7,510±30	6,312-6,261 (12.4 %) 6,444-6,347 (83.0 %)	IAAA-191017
21.92	plant material	-32.66±0.20	7,960±30	6,723-6,705 (2.7 %) 7,042-6,750 (92.7 %)	IAAA-191018
25.87-25.94	sand	-25.85±0.23	19,240±70	21,497-20,985 (95.4 %)	IAAA-191019
28.20-28.25	sand	-22.62±0.26	23,920±90	26,252-25,779 (95.4 %)	IAAA-191020

mと28.20～28.25 mからは、それぞれ19,240±70 ^{14}C yr BPと23,920±90 ^{14}C yr BPの年代が得られた。

5. 議論

5.1 奈半利低地における沖積層の層厚

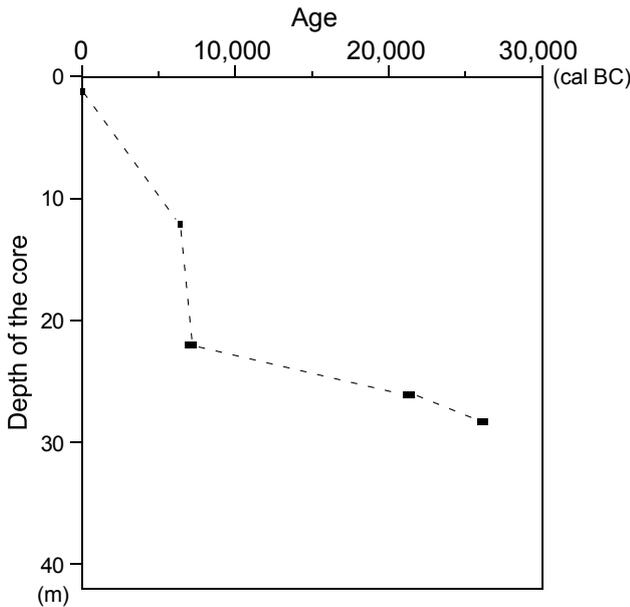
GS-NHR-1 コアは基盤岩に到達しなかったため、奈半利低地における沖積層の層厚は42 m以上としか言えない。高知県における沖積層の層厚は、高知平野では30～35 mであるが(甲藤・西, 1971; 甲藤ほか, 1984; 長谷川ほか, 2009; 大堀ほか, 2013), 安芸低地では基盤岩に到達するボーリング資料がないため、55 m以上(高知県, 1982; 満塩, 1998)としか言えない。四国東部では、第四紀後期に北に傾動する地殻変動を示す(吉川ほか, 1964)が、沖積層の層厚は、沈降域にある高知平野よりも、隆起域にある安芸低地と奈半利低地の方が明らかに大きい。これは、土佐湾の大陸棚の幅が南に向かって狭くなるため、最終氷期の海水準低下に対して河川が鋭敏に反応して、下刻が進み、沖積層基底の深い谷が形成されたためと考えられる。安芸低地と奈半利低地の沖には、大陸棚から海盆まで続く安芸海底谷があること(第1図; 嶋村, 2008など)も、それを示唆している。

第1図のように、奈半利低地周辺におけるMIS 5eの海成段丘の旧汀線高度は94～100 mである(吉川ほか, 1964; 小池・町田, 2001)。また、奈半利川右岸の大野台においては、MIS 5eの海成段丘の下にMIS 6の谷を埋める河成礫層があり、その基底は標高約30 mである(植木ほか, 1998)。したがって、MIS 6から5eにかけての堆積物の層厚は約70 mとなる。MIS 2から1にかけての沖積層は、MIS 6から5eにかけてと同様な気候・海水準の変化で形成されたので、その層厚は最大で70 mに達する可能性がある。

5.2 最終氷期の奈半利川の下刻量

MIS 5eの海成段丘の旧汀線高度は94～100 mであり、MIS 5eを12.5万年前、当時の海水準高度を現在よりも6～9 m高かったとすると(Dutton and Lambeck, 2012), 奈半利低地周辺における平均隆起速度は、約0.7 m/1,000年となる。GS-NHR-1 コアの25.87～25.94 mと28.20～28.25 mの ^{14}C 年代は、1個のバルク試料から求められている。一方、大きな集水域を持つ河川の堆積物では、バルク試料は生物化石よりも ^{14}C 年代で600年程度、較正年代で1,000年程度古くなることが知られている(石村ほか, 2016)。試料数が限られており、両層準の ^{14}C 年代の確度は高くないかもしれないが、 ^{14}C 年代は1万年前より古いので、仮に数100年新しくなっても、影響は小さい。そこで、得られた ^{14}C 年代をそのまま用いて議論を進める。

GS-NHR-1 コアの深度28.20～28.25 mの年代は約26,000 cal BCであり、それは現在よりも約2.8万年前のMIS 3である。孔口標高は4.3 mなので、コアの深度28.20～28.25 mの標高は約-24 mとなる。2.8万年間の隆起量は約20 mなので、コアの深度28.20～28.25 mの当時の標高は約-44 mとなる。コアの基底の年代は分からないが、それはさらに約14 m下なので、標高-58 mとなる。したがって、MIS 5eの海水準高度(標高6～9 m)を加えると、MIS 5eからMIS 3にかけて、奈半利川の下刻量は60 m以上となる。幡谷ほか(2016)は、現在の海岸線において沖積層基底礫層(BG層)の基底の深度から、日本全国の45河川のMIS 5eからMIS 3にかけての下刻量を求めた。そのうち、下刻量が60 m以上のものは20河川であり、沖合に海溝やトラフがある太平洋に注ぐ河川が多かった。奈半利川は全長約60 kmの河川であるが、MIS 5eからMIS 3にかけての下刻量は全国的にも大きく、太平洋に注ぐ大きな河川と同じであることがわかった。



第3図 GS-NHR-1 コアの年代-深度ダイアグラム
Fig. 3 Age-depth diagram of the GS-NHR-1 core

5.3 礫層の堆積速度と海水準変動への応答

GS-NHR-1 コアの深度0.56 m以下は全て礫層からなるが、深度22 mを境にして堆積速度には大きな違いが認められる(第3図)。堆積速度は、深度22 mより上では約2.6 m/1,000年と大きいものに対して、それより下では約0.4 m/1,000年と小さい。特に堆積速度が大きいのは、約8,000 ¹⁴C yr BPの深度22 mから約7,500 ¹⁴C yr BPの深度12 mの間であり、相対的に堆積物の粒径も小さい。それはちょうど海水準の上昇速度が大きい時期にあたり(遠藤ほか, 1989; 田辺ほか, 2012; 遠藤ほか, 2013など)、海水準上昇によって堆積空間が上方に大きく付加され、奈半利川からの大きい礫は現在の河口より上流側で堆積し、現在の河口付近では相対的に粒径の小さい砂礫が急速に堆積したと考えられる。一方、特に堆積速度が小さいのは、約24,000 ¹⁴C yr BPの深度28 mから約8,000 ¹⁴C yr BPの深度22 mの間であり、相対的に堆積物の粒径も大きい。それは海水準の最も低下した時期から上昇速度が小さな時期にあたり(Siddall *et al.*, 2003など)、奈半利川からの大きい礫が現在の河口付近で堆積したと考えられる。

一般に、沖積層の層厚は低海水準期の河成層→海水準上昇期の海成層→高海水準期以降の河成層の順に重なる(井関, 1962)。奈半利低地は、山地が海岸付近まで迫り出し、奈半利川による礫の供給も多いため、ファンデルタとなっている。そのため、奈半利低地における沖積層には海成層は挟まれないが、河成礫層の堆積速度には海水準変動の影響が認められる。

5.4 奈半利低地における沖積層の年代観

GS-NHR-1 コアは長さが42 mであり、深度28.20~28.25 mからは約24,000 ¹⁴C yr BPの年代が得られた。したがって、奈半利低地における沖積層の基底の年代がMIS 3に遡ることは明らかである。沖積層の基底の礫層は、井関(1975)以来、MIS 2の最終氷期最盛期(Last Glacial Maximum, LGM)の低海水準期に形成されたとされてきた。しかし、沖積層の基底の礫層からは、濃尾平野では約30,000 cal BCの始良Tnテフラ(AT)が見出されていること(牧之内ほか, 2001, 2006)、台湾ではMIS 3の¹⁴C年代が多数報告されていることなどから、田辺ほか(2014)は、沖積層の基底の礫層は、LGMではなく、MIS 3からLGMにかけての海水準低下期に形成された可能性を示唆した。そして、沖積層の基底の礫層は、MIS3からLGMにかけて形成された礫層とLGMに形成された礫層とが癒着しており、単層としては長期間にわたって形成されたことになるとした。本研究は田辺ほか(2014)の見解を支持し、奈半利低地における沖積層の基底の礫層もMIS3からLGMにかけて形成されたと考えられる。

6. おわりに

高知県東部、奈半利低地において、長さ42 mのオールコアボーリング掘削を行なった。コアは奈半利川の礫層からなり、奈半利低地における沖積層の層厚は42 m以上であることが明らかになった。また、コアの3層準から最終氷期から完新世前期にかけての¹⁴C年代を得た。完新世前期の海水準上昇に対応して、礫層の堆積速度が大きくなったことがわかった。

南海トラフで発生する巨大地震の被害予測を目指して、奈半利低地と安芸低地における沖積層の層厚と基底の谷地形・年代を明らかにするためには、今後、基盤岩に到達するボーリングコアを得る必要がある。しかし、これらの低地はファンデルタであり、沖積層は粗粒な礫層からなるため、長さ50 m以上のボーリング掘削にはかなりの困難が予想される。

文献

- Bronk Ramsey, C. (2009) Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, **51**, 337-360.
- 近森邦英(1984) 沖積地の地下水に関する研究Ⅳ 奈半利川沖積地の地下水および帯水層に関する研究. 高知大学学術研究報告 自然科学編, **32**, 21-46.
- 近森邦英・近藤雅春(1973) 沖積地の地下水に関する研究-3- 潮汐および河川水位変動の減衰による不圧帯水層定数の推定について 奈半利町地区. 高知大学学術研究報告 自然科学編, **21**, 329-340.
- Dutton, A. and Lambeck, K. (2012) Ice volume and sea level during the Last Interglacial. *Science*, **337**, 216-219.
- 土居寛幸(2016) 奈半利川の深層崩壊に起因する土石流

- 対策. 砂防学会誌, **69**, 42–47.
- 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.
- 遠藤邦彦・石綿しげ子・堀伸三郎・中尾有利子(2013) 東京低地と沖積層 —軟弱地盤の形成と縄文海進—. 地学雑誌, **122**, 968–991.
- 長谷川修一・矢田部龍一・望月秋利・西山賢一・山本浩司(2009) 四国地域の地盤情報データベースの構築と各沖積地盤の特性. 「50年のあゆみ」, 地盤工学会四国支部, 91–126.
- 幡谷竜太・柳田 誠・鳥越祐司・佐藤 賢(2016) 後期更新世以降の現海岸線付近での下刻. 応用地質, **57**, 15–26.
- 石村大輔・宮内崇裕・早瀬亮介・小原圭一・山市 剛(2016) 完新統コア中の有機質堆積物(バルク)試料と生物化石試料間に認められる放射性炭素年代値の系統的な差とその要因. 地学雑誌, **125**, 243–256.
- 井関弘太郎(1962) 沖積平野の基礎的問題点. 名古屋大学文学部研究論集, **24**, 51–74.
- 井関弘太郎(1975) 沖積層基底礫層について. 地学雑誌, **84**, 1–18.
- 加賀美英雄・満塩大洗・野沢 繁(1992) 高知県東南部の奈半利川付近にみられる第四系. 城西大学研究年報 自然科学編, **16**, 1–13.
- 金谷明子(1978) 室戸半島の完新世海成段丘と地殻変動. 地理学評論, **51**, 451–463.
- 甲藤次郎・西 和彦(1971) 高知平野の地形と沖積層. 高知大学学術研究報告 自然科学編, **20**, 219–239.
- 甲藤次郎・西 和彦・平 朝彦・岡村 真・中野尊正(1984) 高知平野地下の第四系ならびに地質災害について. 高知大学学術研究報告 自然科学編, **32**, 111–150.
- 高知県(1982) 表層地質図 手結・安芸. 「土地分類基本調査 手結・安芸」.
- 小池一之・町田 洋(2001) 日本の海成段丘アトラス. 東京大学出版会, 東京, 122p.
- 前杢英明(1988) 室戸半島の完新世地殻変動. 地理学評論, **61A**, 747–769.
- 前杢英明(2006) 室戸半島の第四紀地殻変動と地震隆起. 地質学雑誌, **112** (補遺), 17–26.
- 牧之内 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)および熱田層下部海成粘土層の年代—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.
- 牧之内 猛・森 忍・檀原 徹・竹村恵二・濃尾地盤研究委員会断面WG (2006) 濃尾平野における第一礫層(BG)の層位と形成過程. 地質学論集, **59**, 129–140.
- Matsu'ura, T. (2015) Late Quaternary uplift rate inferred from marine terraces, Muroto Peninsula, southwest Japan: Forearc deformation in an oblique subduction zone. *Geomorphology*, **234**, 133–150.
- 三田村宗樹・中川康一・升本眞二・塩野清治・吉川周作・古山勝彦・佐野正人・橋本定樹・領木邦浩・北田奈緒子・井上直人・内山 高・小西省吾・宮川ちひろ・中村正和・野口和晃・Shrestha Suresh・谷 保孝・山口貴行・山本裕雄(1996) 1995年兵庫県南部地震による西宮・大阪地域の震害と地盤構造. 第四紀研究, **35**, 179–188.
- 満塩大洗(1998) 完新世(沖積世)における高知県の環境変化 —高知県の完新統(沖積層)—. 高知大学学術研究報告 自然科学編, **47**, 33–48.
- 大堀道広・チタクセチキン・中村武史・坂上 実・武村俊介・古村孝志・竹本帝人・岩井一央・久保篤規・川谷和夫・田嶋佐和・高橋成実・金田義行(2013) 高知市街地の浅層地盤モデルの構築. 日本地震工学会論文集, **13**, 52–70.
- 小野尚哉・江藤史哉・島田 徹・笹原克夫・桜井 亘・鷲尾洋一(2014) 平成23年台風第6号により高知県東部奈半利川流域において発生した小島地区深層崩壊発生場とその周辺の地形, 地質的特徴. 日本地すべり学会誌, **51**, 179–186.
- Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Buck, C. E., Cheng, H., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hafliðason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T. J., Hoffmann, D. L., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kaiser, K. F., Kromer, B., Manning, S. W., Niu, M., Reimer, R. W., Richards, D. A., Scott, E. M., Southon, J. R., Staff, R. A., Turney, C. S. M. and Plicht, J. V. D. (2013) IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, **55**, 1869–1887.
- 笹原克夫・石塚忠範・加藤仁志・桜井 亘・梶 昭仁(2011) 平成23年台風6号により高知県東部で発生した深層崩壊. 砂防学会誌, **64**, 39–45.
- Siddall, M., Rohling, E. J., Almqvist-Labin, A., Hemleben, Ch., Meischner, D., Schmelzer, I. and Smeed, D. A. (2003) Sea-level fluctuations during the last glacial cycle. *Nature*, **423**, 853–858.
- 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—. 地質学雑誌, **114**, 560–576.
- 平 朝彦・田代正之・岡村 真・甲藤次郎(1980) 高知県四万十帯の地質とその起源. 「四万十帯の地質学と古生物学 甲藤次郎教授還暦記念論文集」, 林野弘済会高知支部, 319–389.

奈半利低地の沖積層（植木）

武村雅之(2003) 1923年関東地震による東京都中心部(旧15区内)の詳細震度分布と表層地盤構造. 日本地震工学会論文集, **3**, 1-36.

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.

植木岳雪・桑原拓一郎・吉山 昭(1998) 室戸岬面の形成年代と酸素同位体ステージ6の河成礫層. 日本第四紀学会講演要旨集, **28**, 106-107.

若松加寿江(2007) 首都直下地震による液状化の発生と被害. 地学雑誌, **116**, 480-489.

吉川虎雄・貝塚爽平・太田陽子(1964) 土佐湾北東岸の海成段丘と地殻変動. 地理学評論, **37**, 627-648.

(受 付 : 2020年5月7日 ; 受 理 : 2020年9月4日)

20 万分の 1 「野辺地」地域に分布する 中新統のジルコン U-Pb 及びフィッショントラック年代

工藤 崇^{1,*}

KUDO Takashi (2020) Zircon U-Pb and fission-track ages of the Miocene in the 1:200,000 Noheji Quadrangle, Northeast Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 71 (5), p. 481-507, 16 figs, 2 tables, 8 appendices.

Abstract: Zircon U-Pb and fission track dating for the Miocene strata was carried out in the preparation of the geological map of Japan 1:200,000, Noheji (2nd edition). Seven volcanic and volcanoclastic rock samples from the Sunagomata, Gamanosawa, Tomari, Kozawa and Yotsuzawa formations were analyzed for dating. This report describes the geology of these sampling sites and dating results.

Keywords: Zircon U-Pb dating, fission track dating, Sunagomata Formation, Gamanosawa Formation, Tomari Formation, Kozawa Formation, Yotsuzawa Formation, Miocene, the geological map of Japan 1:200,000, Noheji (2nd edition), Northeast Japan

要 旨

20 万分の 1 地質図幅「野辺地」(第 2 版)の作成において、本地域に分布する中新統の年代を明らかにするため、U-Pb 及びフィッション・トラック年代測定を行った。測定対象としたのは、砂子又層、蒲野沢層、泊層、小沢層及び四沢層から採取した火山岩及び火山砕屑岩 7 試料である。本報告では、試料採取地点付近の地質と年代測定結果について記載する。

1. はじめに

産総研地質調査総合センターでは、国土の基盤的な情報である地質情報を提供することを目的として、日本全国の 20 万分の 1 地質図幅を作成・出版している。青森県北東部に位置する 20 万分の 1 地質図幅「野辺地」(第 1 図)は、そのうちの 1 つであり、1964 年に初版が出版された(対馬, 1964)。しかし、初版の出版から現在までに 56 年が経過しており、その後の新たな知見の蓄積により改訂が必要な状況となっている。そこで現在、地質図の全面的な改訂作業を実施しており、20 万分の 1 地質図幅「野辺地」(第 2 版)として刊行準備を進めている。20 万分の 1 「野辺地」地域には、中新統が広く分布するが、その詳細な年代層序を構築するためには年代データが不足していた。そこで、20 万分の 1 地質図幅「野辺地」の調査では、本地域に分布する中新統の年代をより明確にするため、

採取した試料の U-Pb 及びフィッション・トラック (FT) 年代測定を実施した。それらの測定結果は、今後出版予定の 20 万分の 1 地質図幅に盛り込む予定であるが、20 万分の 1 地質図幅の説明書は紙面が限られており詳細なデータを掲載できないため、本論にて報告する。なお本論は、20 万分の 1 地質図幅「野辺地」(第 2 版)に関する補完的資料という位置付けのため、この地域全体の研究史や地質概略についての記載は必要最低限に留める。以下では、まず 20 万分の 1 「野辺地」地域における中新統の地質概略を示した上で、各試料採取地点周辺の地質、年代測定手法及び年代測定結果について報告する。

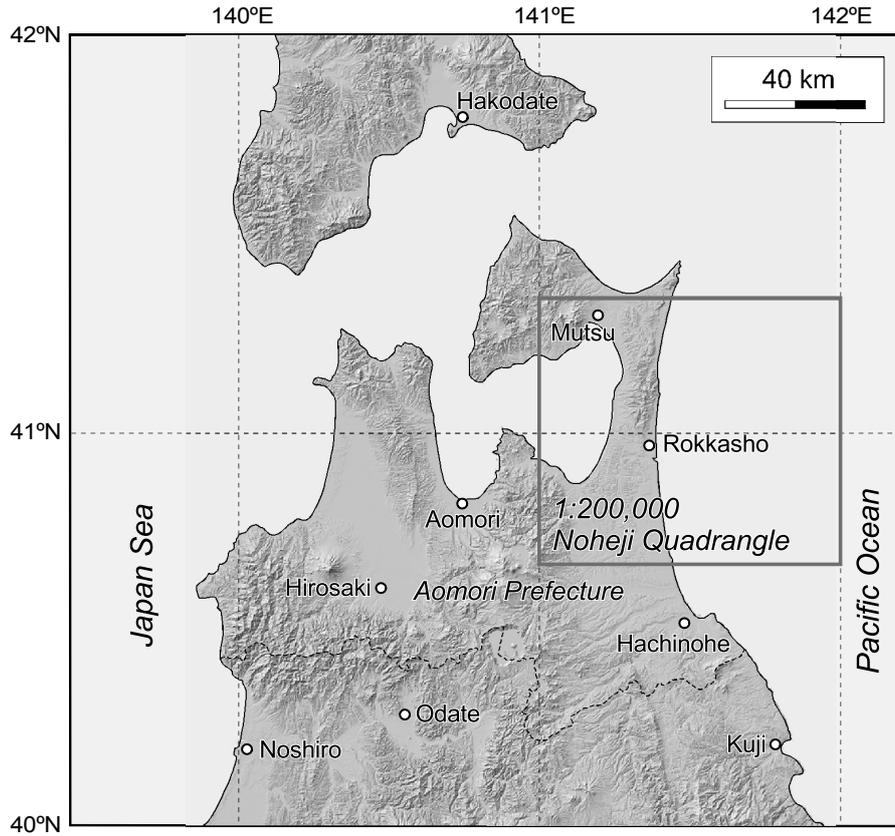
2. 中新統の地質概略

20 万分の 1 「野辺地」地域の中新統は、おそれやま恐山山地、さんかくだけ三角岳山地、しもきた下北丘陵(第 2 図)の大きく 3 つの地域に分かれて分布する。これらの地域間には田名部平野あるいは上北平野が広がり(第 2 図)、中新統の分布が寸断されているため、3 つの地域毎に中新統の層序が構築されている(第 3 図)。

恐山山地の中新統は、下位よりひのきかわ檜川層、こざわ小沢層及び脇野沢層からなる(第 3 図: 北村ほか, 1959; 上村, 1975)。これらはいずれも海成層である。檜川層は、デイサイト～流紋岩の溶岩、火山砕屑岩及び貫入岩からなる。小沢層は、「野辺地」地域外にある模式地付近では泥岩を主体とする地層であるが、「野辺地」地域内では主に軽石質火

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 20万分の1「野辺地」地域の位置図。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 1:200,000 Noheji Quadrangle. Shaded-relief map is from the GSI Map of the Geospatial Information Authority of Japan.

山碎屑岩からなり、下位の檜川層を不整合に覆う。脇野沢層は、安山岩～デイサイトの溶岩、火山碎屑岩及び貫入岩からなり、小沢層を整合に覆う。

三角岳山地の中新統は、下位より四沢層、和田川層及び小坪川層からなる(第3図：通商産業省資源エネルギー庁, 1976；工藤・柳沢, 2020)。これらはいずれも海成層である。四沢層は、主に泥岩及び玄武岩～流紋岩の溶岩・火山碎屑岩・貫入岩からなる。和田川層は主に珪質泥岩からなり、四沢層を整合に覆う。小坪川層は、主に安山岩～デイサイトの溶岩及び火山碎屑岩からなり、和田川層上部と指交関係にある。

下北丘陵の中新統は、下位より猿ヶ森層、泊層、蒲野沢層及び砂子又層からなる(第3図：芳賀・山口, 1990；東京電力株式会社, 2010；日本原燃株式会社, 2014)。猿ヶ森層の一部に陸成層を含む以外はすべて海成層である。猿ヶ森層は、泥岩、砂岩及び礫岩からなり、基盤のジュラ系を不整合に覆う。猿ヶ森層の上部は泊層の下部と指交関係にある。泊層は、主に玄武岩～安山岩の溶岩、火山碎屑岩及び貫入岩からなり、凝灰質砂岩を伴う。蒲野沢層は、主に珪藻質泥岩、珪質泥岩及び軽石質火山碎屑岩からなり、泊層を不整合に覆う。砂子又層

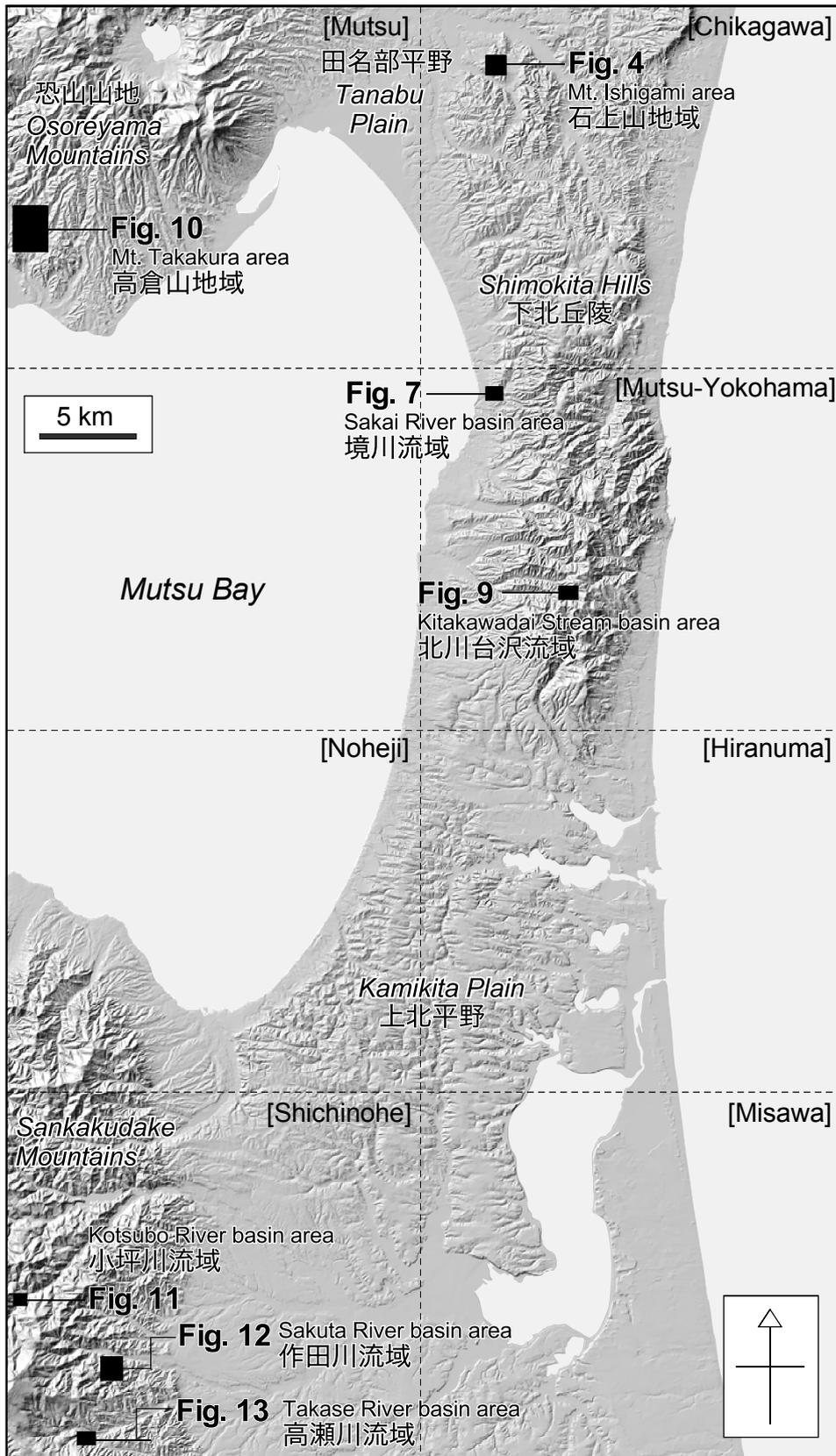
は、主に凝灰質砂層、軽石火山礫凝灰岩及び凝灰岩からなり、蒲野沢層を不整合に覆う。

3. 地質記載と試料の産状

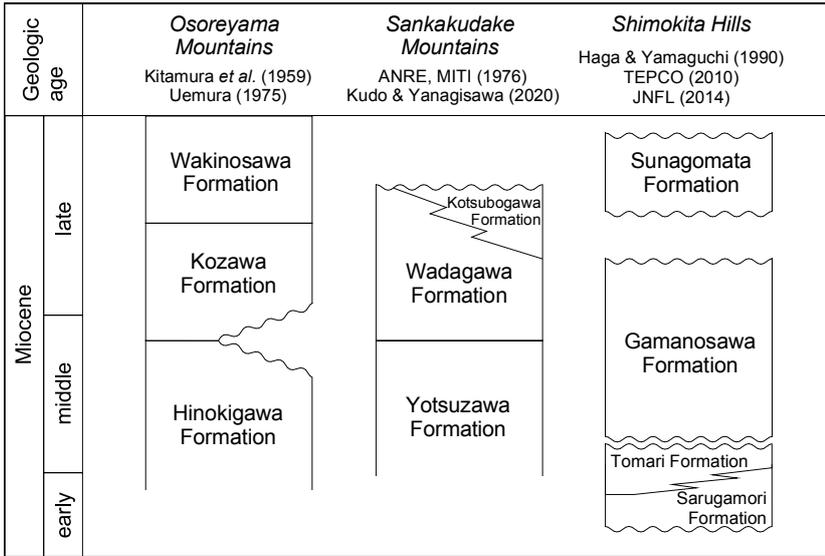
20万分の1「野辺地」地域に分布する中新統を対象とし、年代測定用試料として7試料を採取した。以下では、著者によるオリジナルな調査結果と既存研究成果に基づいて、試料採取地点周辺における地質記載と試料の産状について記載する。本地域の北東側から、石上山地域、境川流域、北川台沢流域、高倉山地域、小坪川上流域、作田川流域、高瀬川流域(第2図)の順に記載を行う。

3.1 石上山地域

青森県東通村の石上山地域(第2図；第4図)には、上部中新統の砂子又層(青森県, 1954)が分布する。なお、本層相当層に対しては「目名層」という地層名を用いる報告例(例えば、東京電力株式会社, 2010；東北電力株式会社, 2014)もあるが、本論では芳賀・山口(1990)の定義と層序区分に従い砂子又層と呼ぶ。石上山西方の露頭(第4図)で得られた柱状図を第5図に示す。この露頭では、軽石火山礫凝灰岩、凝灰岩、軽石細～中礫層、砂層

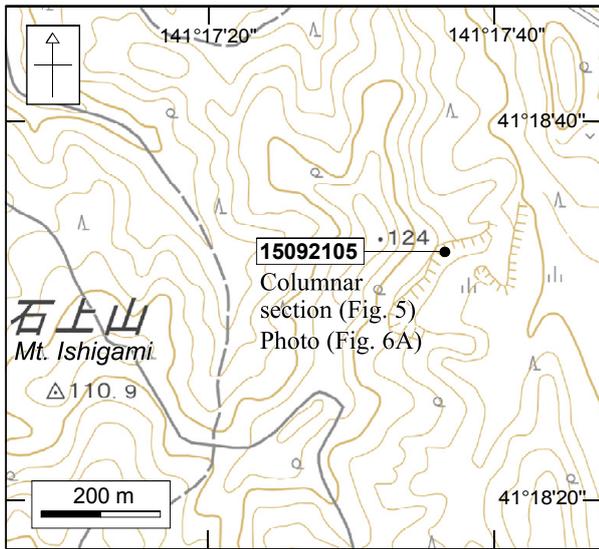


第2図 調査地域の位置図。角括弧内の名称は5万分の1地形図の区画名を示す。陰影起伏図は国土地理院の地理院地図による。
 Fig. 2 Locality map of the study areas. The words in square brackets show the names of 1:50,000 quadrangle topographic maps of the Geospatial Information Authority of Japan. Shaded-relief map is from the GSI Map.



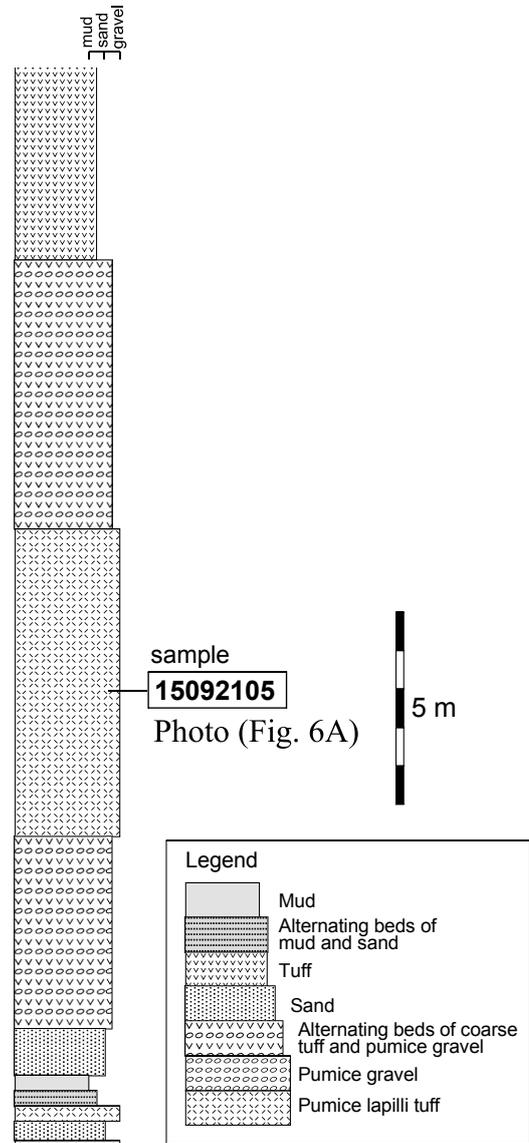
第3図 20万分の1「野辺地」地域における中新統の層序概略図. ANRE, MITI: 通商産業省資源エネルギー庁, TEPCO: 東京電力株式会社, JNFL: 日本原燃株式会社.

Fig. 3 Schematic stratigraphy of the Miocene the 1:200,000 Noheji Quadrangle. ANRE, MITI: Agency for the Natural Resources and Energy, Ministry of International Trade and Industry. TEPCO: Tokyo Electric Power Company. JNFL: Japan Nuclear Fuel Limited.



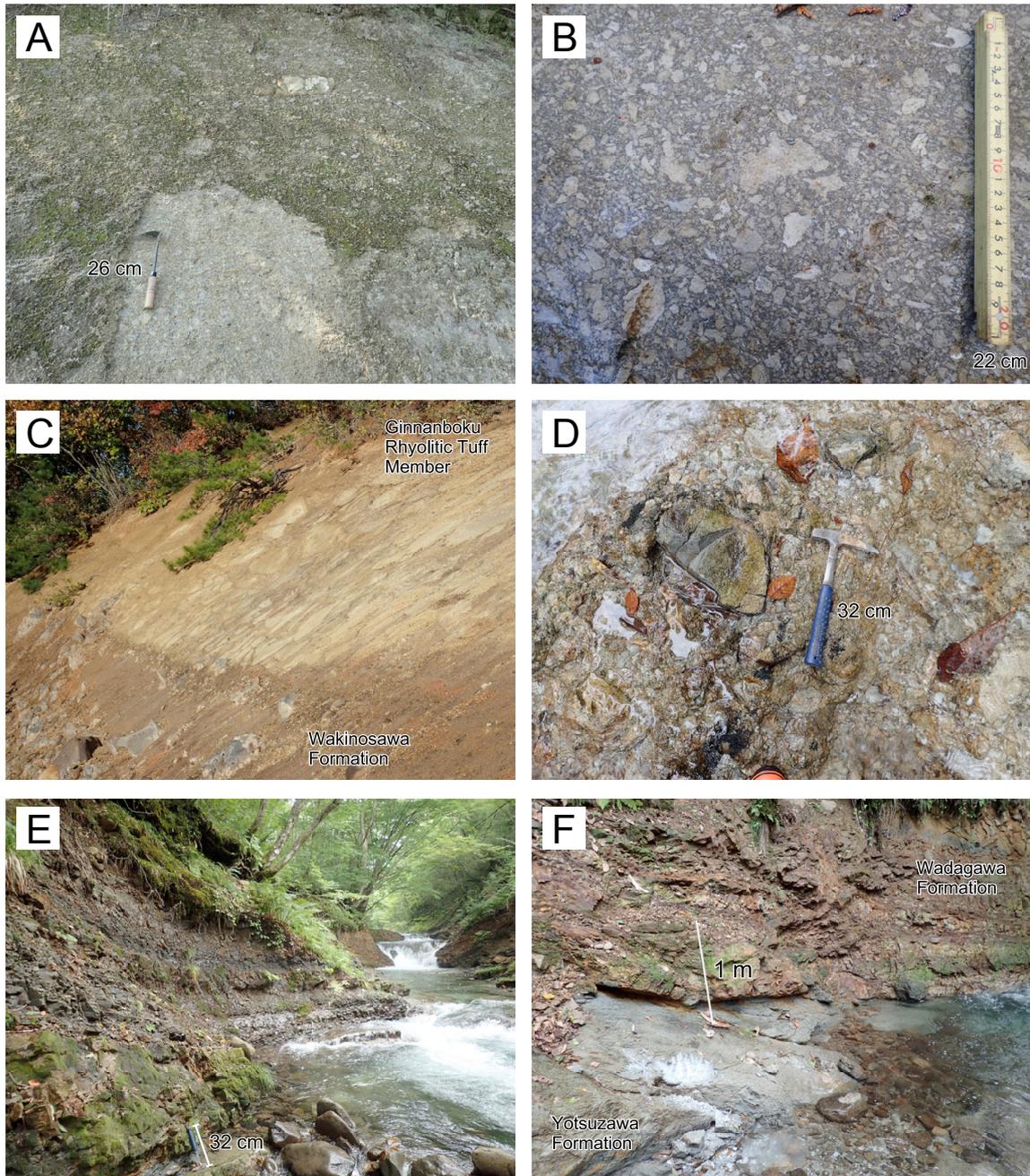
第4図 石上山地域の地形図. 本区域の位置を第2図に示す. 基図に地理院地図を使用.

Fig. 4 Topography map of the Mt. Ishigami area. The location of this area is shown in Fig. 2. Base map is from GSI Map.



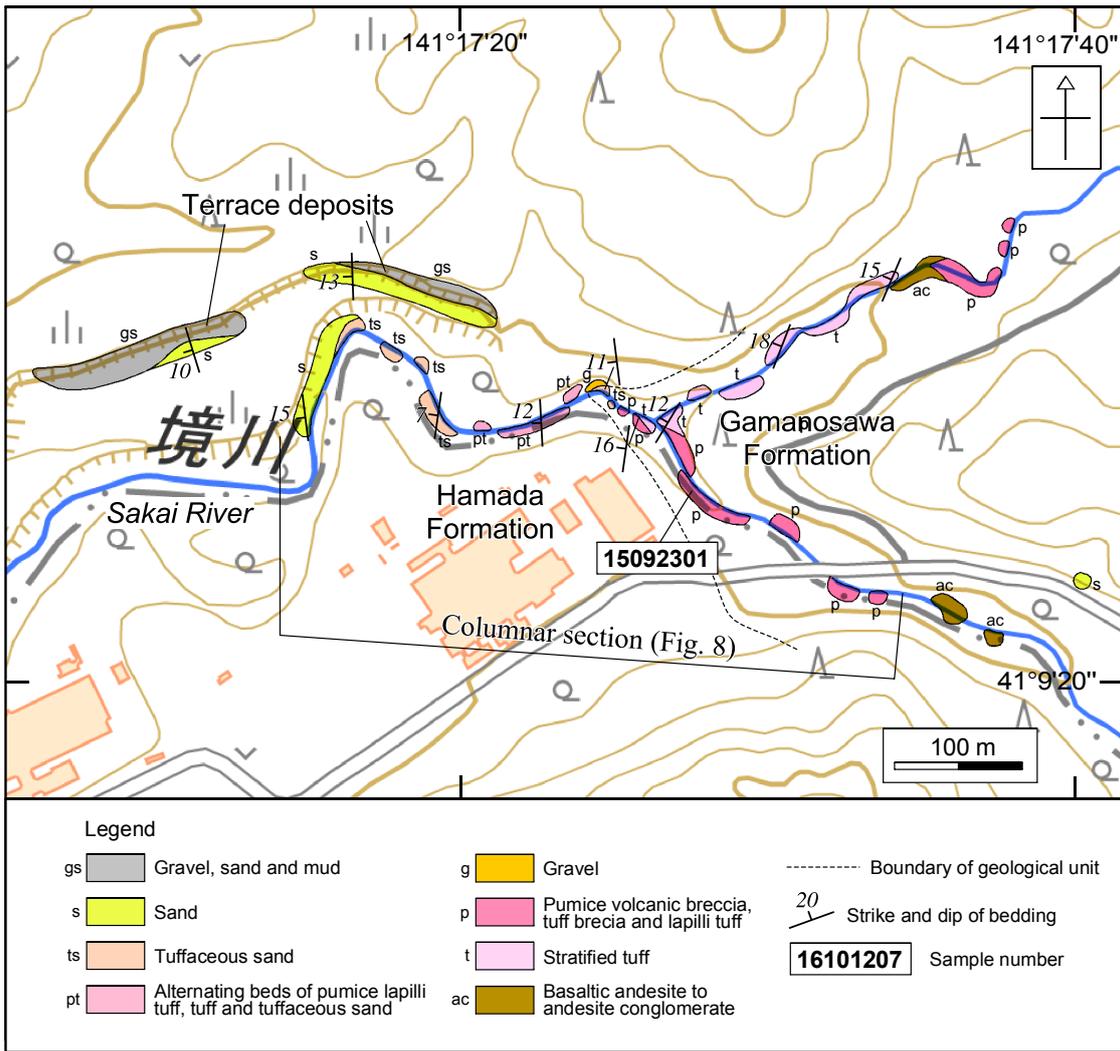
第5図 年代測定用試料の採取層準を示す地質柱状図(石上山地域). 露頭の位置を第4図に示す.

Fig. 5 Geological columnar section showing the stratigraphic horizon of the sample for age determination (Mt. Ishigami area). The outcrop location is shown in Fig. 4.



第6図 露頭写真。(A) 砂子又層の軽石火山礫凝灰岩(石上山地域)。露頭の位置と層準は第4図及び第5図を参照。(B) 泊層の軽石火山礫凝灰岩(北川台沢流域)。露頭の位置は第9図を参照。(C) 脇野沢層の玄武岩質安山岩～安山岩溶岩とそれを覆う小沢層銀杏木流紋岩質凝灰岩部層の軽石火山角礫岩(高倉山地域)。この露頭での銀杏木流紋岩質凝灰岩部層の層厚は約5 m。露頭の位置は第10図を参照。(D) 四沢層の流紋岩火山角礫岩(小坪川流域)。露頭の位置は第11図を参照。(E) 四沢層最上部の互層部(高瀬川流域)。露頭の位置と層準は第13図及び第14図を参照。(F) 四沢層最上部の火山礫凝灰岩(高瀬川流域)。露頭の位置と層準は第13図及び第14図を参照。

Fig. 6 Outcrop photographs. (A) Pumice lapilli tuff of the Sunagomata Formation (Mt. Ishigami area). The outcrop location and stratigraphic horizon are shown in Figs. 4 and 5. (B) Pumice lapilli tuff of the Tomari Formation (Kitakawadai Stream basin area). The outcrop location is shown in Fig. 9. (C) Basaltic andesite lava of the Wakinosawa Formation and overlying pumice volcanic breccia of the Ginnanboku Rhyolitic Tuff Member, Kozawa Formation (Mt. Takakura area). The thickness of the Ginnanboku Rhyolitic Tuff Member at this outcrop is about 5 m. The outcrop location is shown in Fig. 10. (D) Rhyolite volcanic breccia of the Yotsuzawa Formation (Kotsubo River basin area). The outcrop location is shown in Fig. 11. (E) The alternating layers of the uppermost part of the Yotsuzawa Formation (Takase River basin area). The outcrop location and stratigraphic horizon are shown in Figs. 13 and 14. (F) Lapilli tuff of the uppermost part of the Yotsuzawa Formation (Takase River basin area). The outcrop location and stratigraphic horizon are shown in Figs. 13 and 14.



第7図 境川流域のルートマップ。本区域の位置を第2図に示す。基図に地理院地図を使用。
 Fig. 7 Route map of the Sakai River basin area. The location of this area is shown in Fig. 2. Base map is from GSI Map.

及び泥層からなる互層(層厚約29 m)が露出する。露頭中部には厚さ8 mの軽石火山礫凝灰岩が認められる(第5図)。この軽石火山礫凝灰岩は、塊状、礫支持で、長径5 cm以下の白色及び灰色軽石火山礫と粗粒～極粗粒砂サイズの粗粒火山灰から構成され、一部で長径30 cm以下のシルト偽礫を含む(第6図A)。この軽石火山礫凝灰岩より、試料15092105を採取した(第5図)。

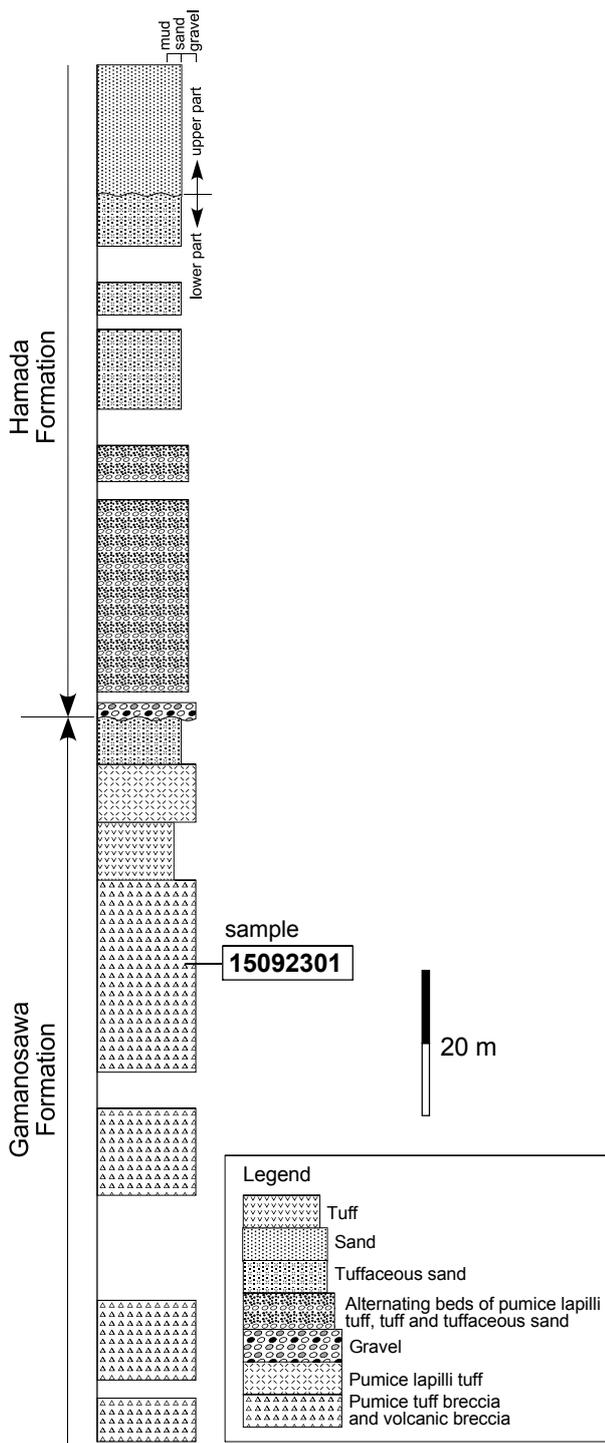
3.2 境川流域

青森県むつ市～横浜町境界部の境川流域(第2図)には、下位より中部～上部中新統の蒲野沢層及び下部更新統の浜田層が露出する(第7図；第8図)。これらの地層名の命名はいずれも青森県(1954)による。

蒲野沢層は、軽石火山角礫岩、軽石凝灰角礫岩、軽石火山礫凝灰岩、凝灰岩及び凝灰質砂岩からなり、一部で礫岩を伴う。軽石火山角礫岩、軽石凝灰角礫岩及び軽石

火山礫凝灰岩は、主に白色軽石からなり、それらの多くは塊状岩相を示す。年代測定用試料として、本層の軽石火山角礫岩より試料15092301を採取した(第8図)。凝灰岩は、黄白色で弱い成層構造を呈し、植物の茎の印象化石を多く含む。凝灰質砂岩は、軽石中礫混じりで、生物擾乱を受けており、弱い成層構造を示す。礫岩は、垂角～角礫の様々な岩質の火山岩礫からなる巨礫岩で、塊状で淘汰が悪く、基質支持である。

浜田層は、軽微な不整合を境に下部と上部に区別される(第8図)。下部は成層構造を持つ軽石火山礫凝灰岩、凝灰岩及び凝灰質砂岩の互層、上部は生物擾乱を受けた塊状砂層及び弱成層した砂層からなる。本層の基底には、厚さ2～3 mの巨礫層が認められ、下位の蒲野沢層を不整合に覆う(第8図)。巨礫層は、塊状で淘汰が悪く、基質支持で、火山岩や堆積岩の垂角礫からなる。なお、芳賀・山口(1990)は、ここで示した浜田層下部を上部中



第8図 年代測定用試料の採取層準を示す地質柱状図(境川流域). セクションの位置を第7図に示す.

Fig. 8 Geological columnar section showing the stratigraphic horizon of the sample for age determination (Sakai River basin area). The location of the section is shown in Fig. 7.

新統の砂子又層に対比している. しかし, この層準からは鮮新世~前期更新世を示す珪藻化石が産出することから(芳賀・山口, 1990), 本論ではこれを浜田層に含めた.

3.3 北川台沢上流域

青森県横浜町の北川台沢上流域(第2図; 第9図)には, 下部~中部中新統の泊層(青森県, 1954)が分布する(東京電力株式会社, 2010; 東北電力株式会社, 2014). 本地域の泊層は, 軽石火山礫凝灰岩, 凝灰質砂岩, 泥質砂岩及び玄武岩質安山岩~安山岩貫入岩からなる(第9図). 軽石火山礫凝灰岩は, 長径7 cm以下の発泡の悪いやや扁平化した白色軽石と基質の灰色凝灰岩からなり, 塊状岩相を示す(第6図B). 泥質砂岩は, 灰色~灰褐色を呈し, 生物擾乱を受けて塊状岩相を示し, 貝化石を多く含む. 玄武岩質安山岩~安山岩貫入岩は, シルあるいは岩脈として産し(第9図), 斑状組織を示す. 貫入岩近辺の軽石火山礫凝灰岩や泥質砂岩は焼結している. 年代測定用試料として, 本層の軽石火山礫凝灰岩(第6図B)から試料16101207を採取した(第8図).

3.4 高倉山地域

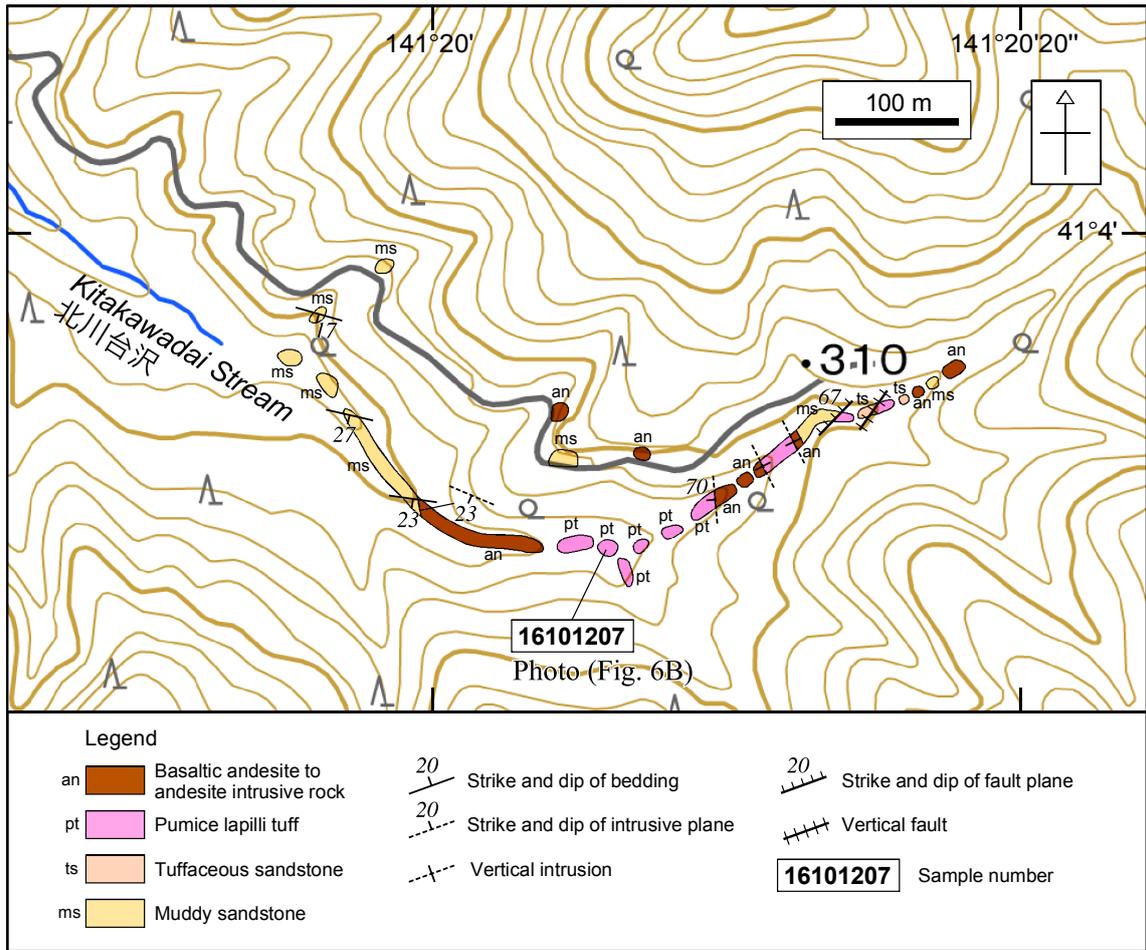
青森県むつ市の高倉山地域(第2図; 第10図)には, 上部中新統の小沢層と脇野沢層(北村ほか, 1959)の分布が認められる(例えば, 通商産業省, 1969; 上村, 1975).

本地域の八木沢流域には小沢層の軽石質火山碎屑岩が露出する(第10図). これらは岩相の特徴から, 大きく上部・中部・下部の3つに区分される.

上部は軽石火山礫凝灰岩及び軽石火山礫岩からなる. 主に灰色~淡灰色を呈する発泡の悪い軽石から構成され, 放射状の冷却節理を持つ安山岩火山岩塊を頻繁に交える. これらは, 分布と岩相から小沢層の葛沢砂質凝灰岩部層(北村ほか, 1959)に対比される.

中部は軽石凝灰角礫岩, 軽石火山礫凝灰岩及び軽石火山角礫岩からなる. 多結晶かつ長径7 mm以下の石英斑晶に富む特徴的な岩相を示すことから, 本地域周辺では良い鍵層となる. この岩相の特徴と分布から, これらは小沢層の銀杏木流紋岩質凝灰岩部層(北村ほか, 1959)に対比される.

下部は, 無斑晶状で発泡の悪い淡灰色軽石からなる軽石凝灰角礫岩, 軽石火山角礫岩及び軽石火山礫岩で構成される. 既存研究では, これらは下部~中部中新統の檜川層(桑野, 1958)とされ, 本地域では不整合を挟んだ小沢層よりも1つ下位の地層とされている(桑野, 1958; 通商産業省, 1969; 第3図). しかし, 本地域周辺の調査結果によれば, 周辺の檜川層が鉍化作用を伴う著しい緑色変質を受けているのに対し, これらは葛沢砂質凝灰岩部層や銀杏木流紋岩質凝灰岩部層と同様に比較的新鮮であり, 上位の銀杏木流紋岩質凝灰岩部層との間にも著しい構造的差異は認められない(第10図). 従っ



第9図 北川台沢流域のルートマップ。本区域の位置を第2図に示す。基図に国土地理院の地理院地図を使用。
 Fig. 9 Route map of the Kitakawadai Stream basin area. The location of this area is shown in Fig. 2. Base map is from GSI Map of the Geospatial Information Authority of Japan.

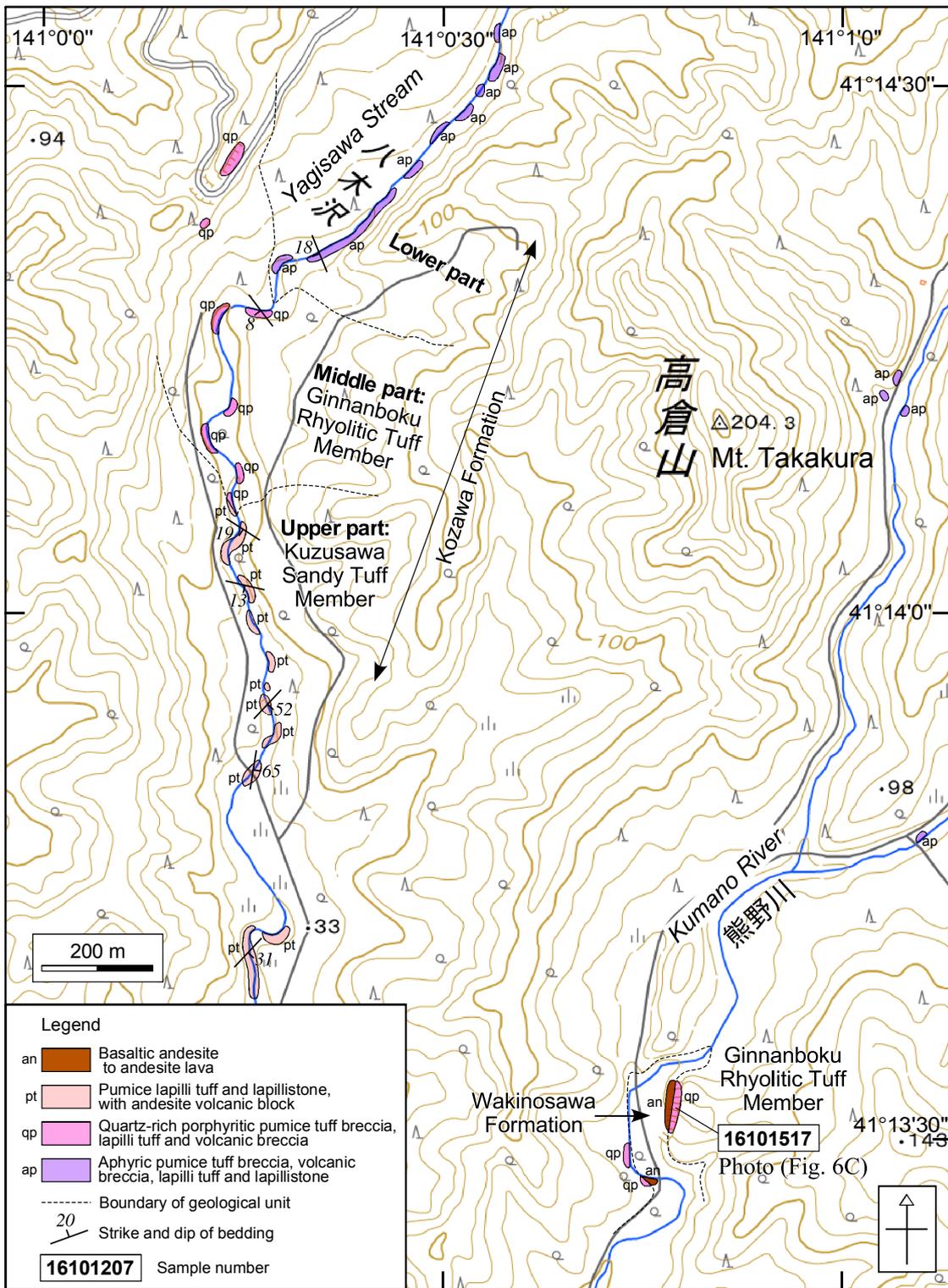
て、本報告ではこれらを小沢層の一部として扱う。

銀杏木流紋岩質凝灰岩部層は熊野川流域の露頭でも確認される(第10図)。この露頭では、銀杏木流紋岩質凝灰岩部層の軽石火山角礫岩が玄武岩質安山岩～安山岩溶岩を直接覆う関係が観察される(第6図C)。軽石火山角礫岩は、層厚5 m以上であり、最大長径1 mに及ぶ楕円球状の軽石火山岩塊とその隙間を埋める軽石火山礫及び粗粒火山灰から構成される。軽石は多結晶で長径5 mm以下の石英を多量に含む。この露頭の軽石火山岩塊より、年代測定試料として試料16101517を採取した(第10図)。玄武岩質安山岩～安山岩溶岩は、下部5 mの部分は塊状溶岩からなるが、上位方向へ向かって割れ目が発達して破碎が進み、上部8 mの部分は水冷破碎した火山角礫岩となる。この玄武岩質安山岩～安山岩溶岩は、既存の地質図(通商産業省, 1969)と岩相の特徴から脇野沢層に相当すると考えられるが、脇野沢層が小沢層を覆うとする既存研究による層序(第3図)とは矛盾するため、今後より詳細な検討が必要である。

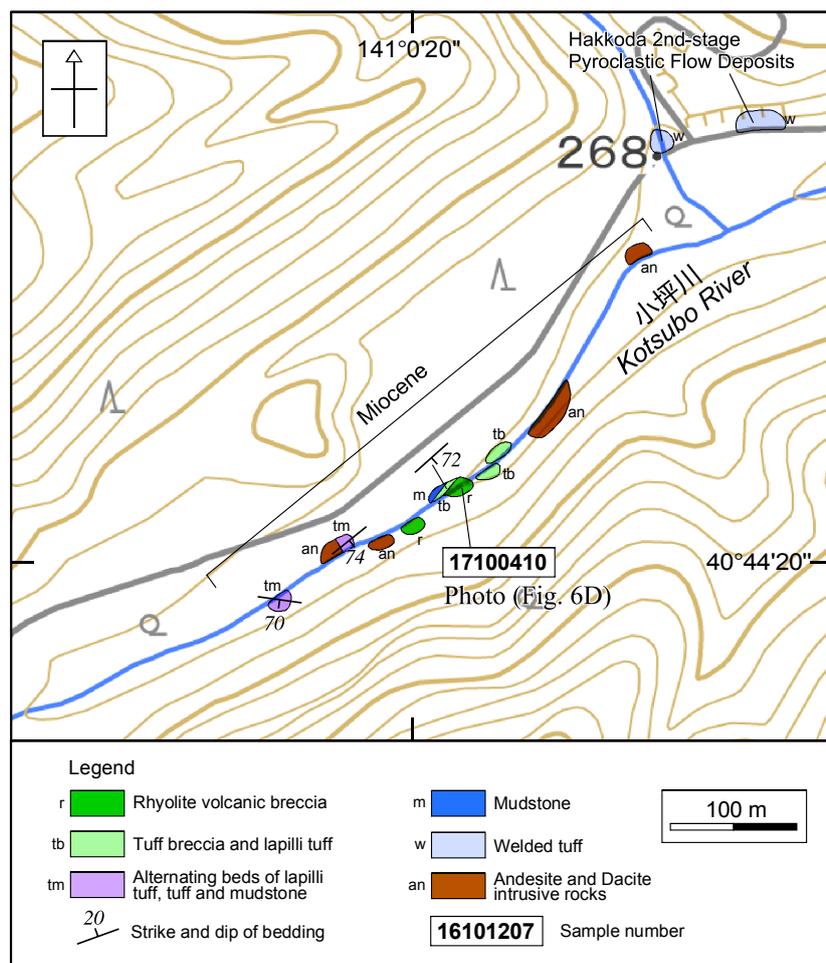
3.5 小坪川流域

青森県七戸町の小坪川流域(第2図; 第11図)には、中部～上部中新統の和田川層(岩井・鈴木, 1957)及びデイサイト貫入岩、中部更新統の八甲田第2期火砕流堆積物(村岡・高倉, 1988; 村岡・長谷, 1990)が分布する(通商産業省資源エネルギー庁, 1976; 村岡・高倉, 1988)。このうち、八甲田第2期火砕流堆積物については林道沿いの露頭で溶結凝灰岩として確認される(第11図)。一方、小坪川沿いの露頭では、中新統の流紋岩火山角礫岩、凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩、凝灰岩、泥岩、安山岩～デイサイト貫入岩が露出する(第11図)。このうち、流紋岩火山角礫岩中の冷却節理を持つ火山岩塊から、年代測定用試料として試料17100410を採取した(第6図D)。試料17100410は、明灰色を呈する流紋岩であり、斑状組織を示し、斑晶鉱物として石英と斜長石を含む。斜長石斑晶の大半は変質鉱物に置換されている。

本地域の沢沿いに露出する貫入岩以外の地層は、既存研究では和田川層とされてきた(通商産業省資源エネ



第10図 高倉山地域のルートマップ。本区域の位置を第2図に示す。基図に国土地理院の地理院地図を使用。
 Fig. 10 Route map of the Mt. Takakura area. The location of this area is shown in Fig. 2. Base map is from GSI Map of the Geospatial Information Authority of Japan.



第11図 小坪川流域のルートマップ。本区域の位置を第2図に示す。基図に国土地理院の地理院地図を使用。
 Fig. 11 Route map of the Kotsubo River basin area. The location of this area is shown in Fig. 2. Base map is from GSI Map.

ルギー庁、1976)。しかし、周辺地域との比較によれば、これらの岩相は流紋岩火山碎屑岩を含むことから、安山岩火山碎屑岩で特徴づけられる和田川層よりも、1つ下位の下部～中部中新統の四沢層(第3図；通商産業省資源エネルギー庁、1976)に類似する。そこで、本論ではこれらを四沢層として扱う。

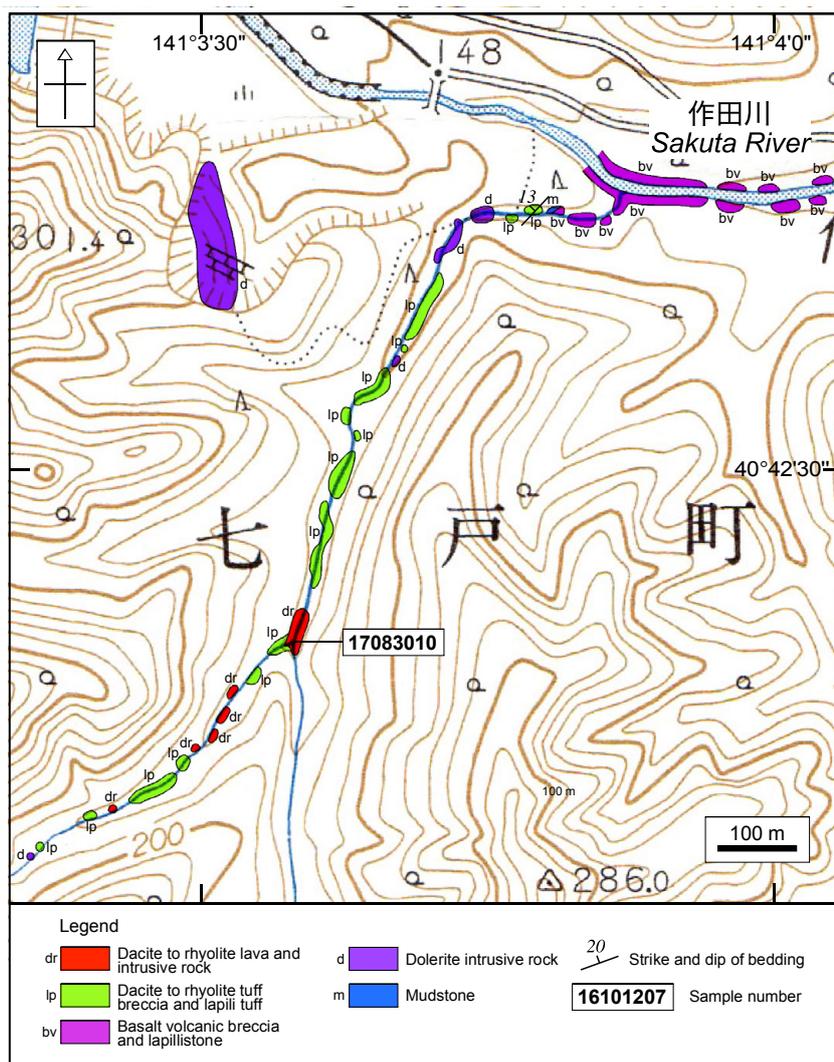
3.6 作田川流域

青森県七戸町しちのへまちの作田川流域(第2図；第12図)には下部～中部中新統の四沢層が分布する(通商産業省資源エネルギー庁、1976)。本地域の四沢層は、主にデイサイト～流紋岩の溶岩、貫入岩、凝灰角礫岩及び火山礫凝灰岩、玄武岩火山角礫岩及び火山礫岩からなり、一部で泥岩を伴う(第12図)。また、これらに時代未詳のドレライトが貫入する(第12図)。このうち、作田川南西支流に露出するデイサイト溶岩から、年代測定用試料として試料17083010を採取した。採取地点のデイサイト溶岩は、塊

状部と水冷破碎した火山角礫岩部からなり、上流側では火山礫凝灰岩へ移化する(第12図)。このデイサイトは、斑状組織を示し、斑晶鉱物として斜長石と少量の単斜輝石を含む。

3.7 高瀬川流域

青森県七戸町の高瀬川流域(第2図；第13図)には、下部～中部中新統の四沢層と中部～上部中新統の和田川層が分布する(通商産業省資源エネルギー庁、1976；第13図)。本地域の四沢層は、泥岩、砂質泥岩、砂岩、火山礫凝灰岩、凝灰岩などからなる。四沢層の最上部は、火山礫凝灰岩を主体とするスランプ堆積物と、それを覆う泥岩、凝灰質泥岩、砂質泥岩、砂岩、火山礫凝灰岩及び凝灰岩の互層部からなる(第13図；第14図；第6図E)。互層部を構成する砂質泥岩は海緑石を散点的に含む(第14図)。互層部の上限は四沢層と和田川層の境界に相当する(第14図)。和田川層は、弱成層した泥岩からなる



第12図 作田川流域のルートマップ。本区域の位置を第2図に示す。基図は国土地理院発行の数値地図25000を使用した。
 Fig. 12 Route map of the Sakuta River basin area. The location of this area is shown in Fig. 2. Base map is from 1:25,000 topographic map published by the Geospatial Information Authority of Japan.

比較的均質な岩相を示し、四沢層を整合に覆う。年代測定用試料として、四沢層最上部にある層厚1 mの火山礫凝灰岩から試料17083115Aを採取した(第14図;第6図F)。この火山礫凝灰岩は、塊状で淡灰色を呈し、表面光沢を示す変質した繊維状軽石で構成される。

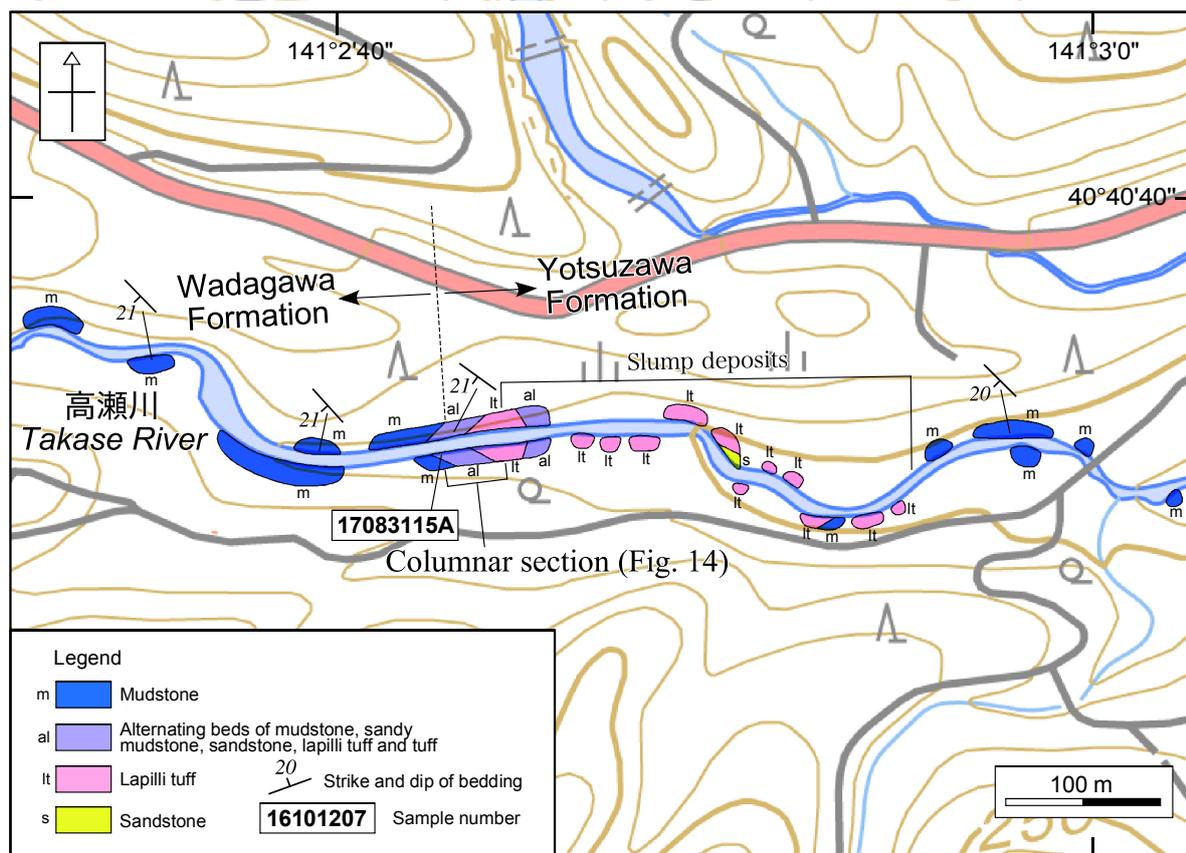
4. 年代測定手法

20万分の1「野辺地」地域の中新統から採取した7試料について、同一ジルコン結晶を用いたU-Pb及びFTダブル年代測定を行った。年代測定は、株式会社京都フィッション・トラックに依頼した。

FT年代測定の手順はDanbara *et al.* (1991, 2003)に準拠した。試料を粉碎してジルコン結晶を分離し、100粒程度の結晶をPFAシートに埋め込み、研磨した後、KOH:

NaOH = 1 : 1 (mol) の共融液(225 °C)でFTのエッチングを行った。FT密度の計測には、試料15092105及び15092301については結晶外部面を、その他の試料では結晶内部面を用いた。適切にエッチングされた30粒子を選び、光学顕微鏡(Nikon Eclipse E1000)に高解像度デジタルカメラ(浜松フォトニクスC9440-05G)と高品位モニター(タッチパネルシステムズ17モニター)を装着したシステム(Dannhara and Iwano, 2009)を用いて自発トラック密度を測定した。

U-Pb年代測定及びFT年代算出に必要なウラン濃度の測定は、レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析(LA-ICP-MS)法を用いた。試料毎のレーザー照射及びICP-MSの条件を第1表に示す。ICP-MS装置は、四重極型ICP-MS(Thermo Fisher Scientific, iCAP-Qc)または二



第13図 高瀬川流域のルートマップ。本区域の位置を第2図に示す。基図に国土地理院の地理院地図を使用。
 Fig. 13 Route map of the Takase River basin area. The location of this area is shown in Fig. 2. Base map is from GSI Map.

重収束型マルチコレクター ICP-MS (Nu Instruments, Nu Plasma2) であり、レーザーアブレーションサンプリングにはフェムト秒レーザー (Cyber Laser Inc., IFRIT) またはエキシマレーザー (New Wave Research, NWR-193) システムを組み合わせている。レーザー照射径は10 ~ 35 μm である。

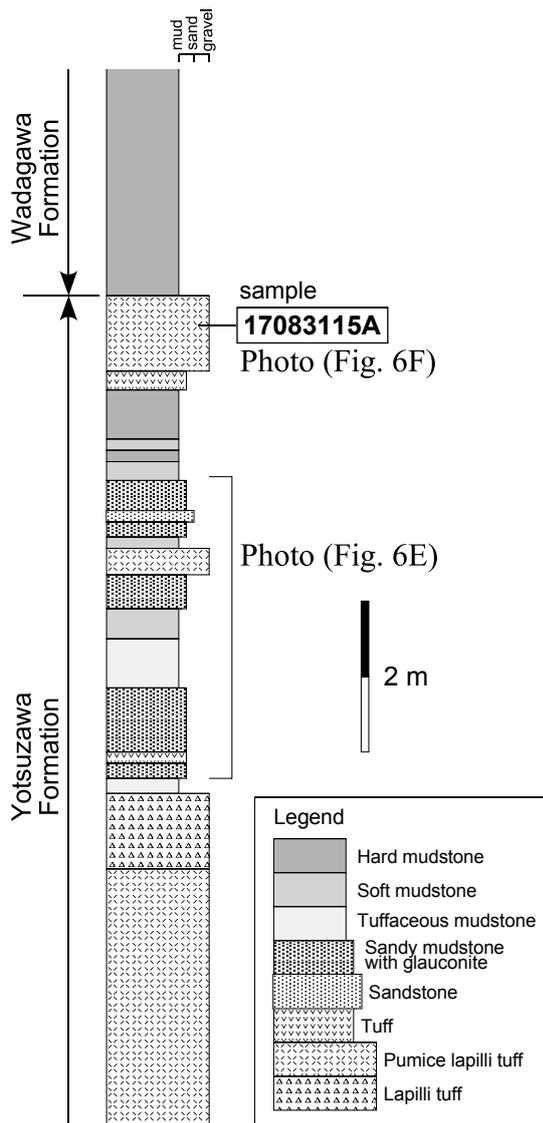
U-Pb年代測定では、²⁹Si, ²⁰²Hg, ²⁰⁴Pb (²⁰⁴Hg), ²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb, ²⁰⁸Pb, ²³²Th, ²³⁸U をモニターし、²³⁸U-²⁰⁶Pb年代及び²³⁵U-²⁰⁷Pb年代を求めた。測定前には、ジルコン表面の鉛汚染を避けるワンショットクリーニング (Iizuka and Hirata, 2004) を施した。U-Pb年代測定の詳細は、基本的にIizuka and Hirata (2004) 及び Hirata *et al.* (2005) に準拠し、Sakata *et al.* (2017) によるU-Th-Pb放射壊変系列の放射非平衡補正を行った。U-Pb年代測定の同位体分別の補正には、1次スタンダードとしてNancy 91500 ジルコン (Wiedenbeck *et al.*, 1995: ²⁰⁶Pb/²³⁸U = 0.17917) を用いた。また、U-Pb年代測定結果の正確性を評価するため、2次スタンダードとしてOD-3 ジルコン (岩野ほか, 2012; Iwano *et al.*, 2013; Lukács *et al.*, 2015), GJ-1 ジルコン (Jackson *et al.*, 2004), Plešovice ジルコン (Sláma *et al.*, 2008) を分析した。年代誤差には、試料の分析前後に測

定したNancy 91500 ジルコンの²⁰⁶Pb/²³⁸U及び²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb比の繰り返し再現性(%2SD)を外部誤差として伝播させた。各同位体信号に由来する計数統計誤差も年代誤差に伝播させた。U-Pb年代の測定誤差は2σで示す。

FT年代用のウラン濃度測定は、標準試料として91500 ジルコン (74あるいは100 ppm片) を用い、未知試料のウラン濃度については²⁹Siを内標準として91500 ジルコンの²³⁸Uカウント数と同条件で測定し、未知試料の²³⁸Uカウント数から比例計算して求めた (Hasebe *et al.*, 2013)。FT年代較正にはゼータ較正法を用い、標準試料として28.4 ± 0.2 MaのFish Canyon Tuff (Danbara and Iwano, 2013) 及び16.2 ± 0.2 MaのBuluk Member Tuff (Hurford and Watkins, 1987) を用いた。FT年代の測定誤差は1σで示す。

5. 年代測定結果

年代測定結果の概要を第2表、U-Pb同位体データを付表1 ~ 4, FT分析データを付表5 ~ 8に示す。U-Pb年代としては、誤差のより小さい²⁰⁶Pb/²³⁸U年代を採用した。試料毎、粒子毎にU-Pb年代とFT年代をプロットした図を第15図に、U-Pbコンコーディア図を第16図に示す。



第14図 年代測定用試料の採取層準を示す地質柱状図(高瀬川流域). 本セクションの位置を第13図に示す.

Fig. 14 Geological columnar section showing the stratigraphic horizon of the sample for age determination (Takase River basin area). The location of the section is shown in Fig. 13.

コンコーディア図は、京都フィッション・トラックによる測定値を基に、PythonスクリプトのUPbplot.py (v0.1.8) (Noda, 2016, 2017)を用いて作成した.

コンコダントの判定については、 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年代が $A \pm B$ Ma (A : 年代値, B : 2σ の誤差), $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年代が $C \pm D$ Ma (C : 年代値, D : 2σ の誤差)として、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年代が $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年代よりも古く、式1(下記)が成り立つ場合、そして $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年代が $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年代よりも若く、式2(下記)が成り立つ場合をコンコダントとした.

$$\frac{(A + B) - (C - D)}{A} \times 100 > 0 \quad \text{式(1)}$$

$$\frac{(A - B) - (C + D)}{A} \times 100 < 0 \quad \text{式(2)}$$

U-Pb年代の最若粒子集団の判別は、年代的に隣り合い 1σ の誤差で重複し続ける粒子集団(2粒子以上)のうち、最も若い集団を最若粒子集団と判断した.

5.1 試料15092105(砂子又層)

本試料は、外来結晶と推定される摩耗した形状のジルコン結晶を多く含む. そこで、自発FT密度が低い自形ジルコン結晶を優先的に測定対象とした. 測定した30粒子のうち、20粒子がコンコダントであった. コンコダント粒子は、15.4~6.4 Maの幅で大きくばらつくが、8.1~6.4 Maの年代を示す12粒子が最若粒子集団と判断される(第15図; 第16図). これら12粒子の加重平均値から、 7.5 ± 0.2 MaのU-Pb年代が得られた.

FT年代は、全測定粒子30個の年代データのまとまりが悪く、大きくばらつくが、大局的にはU-Pb年代の古い粒子はFT年代も古い傾向を示す(第15図). そのため、U-Pb年代最若粒子集団を構成する12粒子を対象として年代を算出し、 7.3 ± 0.9 MaのFT年代を得た(第2表). 得られたU-Pb年代とFT年代は、 1σ の誤差の範囲で一致する.

5.2 試料15092301(蒲野沢層)

本試料は均質な色調と晶癖をもつ自形のジルコン結晶を豊富に含む. 測定した30粒子のうち、27粒子がコンコダントであった. そのうち、1粒子(no. 8)のみが29.4 Maと古い年代を示すが、その他の26粒子は14.4~10.7 Ma間に集中し、最若粒子集団を構成する(第15図; 第16図). これら26粒子の加重平均値から、 12.1 ± 0.3 MaのU-Pb年代が得られた.

FT年代は、全測定粒子30個の年代データが比較的良くまとまる(第15図). このうち、U-Pb年代で29.4 Maを示す粒子no. 8は、FT年代でも22.4 Maと古い年代を示すことから、除外粒子の候補となり得る. 一方で、粒子no. 22はこれよりもさらに古い24.2 MaのFT年代を示すものの、一転してU-Pb年代では最若粒子集団を構成する. 以上のことから、粒子毎のFT年代は、古い年代を示すものも含まれているが、これらはリセットされた年代の示す幅で分散していると解釈可能である(第15図). そのため、全測定粒子を単一年代集団に属するものとみなし、それらから 11.4 ± 1.0 MaのFT年代を得た(第2表). 得られたU-Pb年代とFT年代は、 1σ の誤差の範囲で一致する.

第1表 LA-ICP-MS分析の機器と動作条件

Table 1 Instrumentation and operational conditions for the LA-ICP-MS analysis

Sample no.	15092105	15092301	17083115A, 17100410	16101207, 16101517	17083010
Laser ablation					
Model	New Wave Research NWR-193	New Wave Research NWR-193	IFRIT (Cyber Laser Inc.)	IFRIT (Cyber Laser Inc.)	IFRIT (Cyber Laser Inc.)
Laser type	Excimer laser	Excimer laser	Type-C Ti:S femtosecond laser	Type-C Ti:S femtosecond laser	Type-C Ti:S femtosecond laser
Pulse duration	< 4 ns	< 4 ns	230 fs	230 fs	230 fs
Wave length	193 nm	193 nm	260 nm	260 nm	260 nm (THG)
Laser power	39 %(FT), 37 %(U-Pb)	40%	45%	30%	45%
Spot size	25 μm(FT), 35 μm(U-Pb)	25 μm	10 μm	15 μm	10 μm
Repetition rate	5 Hz	5 Hz	20 Hz	20 Hz	10 Hz
Duration of laser ablation	20 s	20 s	20 s	10 s	20 s
Carrier gas (He)	0.53 L min ⁻¹ (FT), 0.54 L min ⁻¹ (U-Pb)	0.46 L min ⁻¹	0.83 L min ⁻¹	0.60 L min ⁻¹	0.83 L min ⁻¹
ICP-MS					
Model	Thermo Fisher Scientific iCAP-Qc	Thermo Fisher Scientific iCAP-Qc	Nu Instruments Nu Plasma II	Thermo Fisher Scientific iCAP-Qc	Thermo Fisher Scientific iCAP-Qc
ICP-MS type	Quadrupole	Quadrupole	Multi-collector	Quadrupole	Quadrupole
Scanning (Operation) mode	Standard mode	Standard mode		Standard mode	Standard mode
Forward power	1400 W	1400 W	1300 W	1400 W	1400 W
Make-up gas (Ar)	0.84 L min ⁻¹ (FT), 0.85 L min ⁻¹ (U-Pb)	0.80 L min ⁻¹	1.10 L min ⁻¹	0.90 L min ⁻¹	1.10 L min ⁻¹
ThO ⁺ /Th (oxide ratio)	< 1%	< 1%	< 1%	< 1%	< 1%
Data acquisition protocol	Time-resolved analysis	Time-resolved analysis	Time-resolved analysis	Batch analysis	Time-resolved analysis
Data acquisition	50 s (15 s gas blank, 35 s ablation) (FT) 27 s (15 s gas blank, 12 s ablation) (U-Pb)	50 s (15 s gas blank, 35 s ablation) (FT) 27 s (15 s gas blank, 12 s ablation) (U-Pb)	50 s (15 s gas blank, 35 s ablation)	50 s (15 s gas blank, 35 s ablation)	50 s (15 s gas blank, 35 s ablation)
Monitor isotopes	²⁹ Si, ²⁰² Hg, ²⁰⁴ Pb, ²⁰⁶ Pb, ²⁰⁷ Pb, ²⁰⁸ Pb, ²³² Th, ²³⁸ U	²⁹ Si, ²⁰² Hg, ²⁰⁴ Pb, ²⁰⁶ Pb, ²⁰⁷ Pb, ²⁰⁸ Pb, ²³² Th, ²³⁸ U	²⁹ Si, ²⁰² Hg, ²⁰⁴ Pb, ²⁰⁶ Pb, ²⁰⁷ Pb, ²⁰⁸ Pb, ²³² Th, ²³⁸ U	²⁹ Si, ²⁰² Hg, ²⁰⁴ Pb, ²⁰⁶ Pb, ²⁰⁷ Pb, ²⁰⁸ Pb, ²³² Th, ²³⁸ U	²⁹ Si, ²⁰² Hg, ²⁰⁴ Pb, ²⁰⁶ Pb, ²⁰⁷ Pb, ²⁰⁸ Pb, ²³² Th, ²³⁸ U
Dwell time	0.2 s for ²⁰⁶ , ²⁰⁷ Pb, 0.1 s for others	0.2 s for ²⁰⁶ , ²⁰⁷ Pb, 0.1 s for others	0.2 s for ²⁰⁶ , ²⁰⁷ Pb, 0.1 s for others	0.2 s for ²⁰⁶ , ²⁰⁷ Pb, 0.1 s for others	0.2 s for ²⁰⁶ , ²⁰⁷ Pb, 0.1 s for others
Standards					
Primary standard (U-Pb)	Nancy 91500 ^{*1}				
Secondary standard (U-Pb)	OD-3 ^{*2,3,4} , GJ-1 ^{*6} , Plešovice ^{*7}	GJ-1 ^{*6} , Plešovice ^{*7}	OD-3 ^{*2,3,4}	OD-3 ^{*2,3,4} , GJ-1 ^{*6} , Plešovice ^{*7}	OD-3 ^{*2,3,4}
Primary standard (FT)	Fish Canyon Tuff ^{*5}	Fish Canyon Tuff ^{*5}	Fish Canyon Tuff ^{*5} , Buluk Member Tuff ^{*5}	Fish Canyon Tuff ^{*5} , Buluk Member Tuff ^{*5}	Fish Canyon Tuff ^{*5} , Buluk Member Tuff ^{*5}

*1, Wiedenbeck *et al.* (1995); *2, Iwano *et al.* (2012); *3, Iwano *et al.* (2013); *4, Lukács *et al.* (2015); *5, Danhara and Iwano (2013); *6, Jackson *et al.* (2004); *7, Sláma *et al.* (2008).

5.3 試料16101207 (泊層)

本試料は均質な自形のジルコン結晶を豊富に含む。測定した30粒子のうち、22粒子がコンコールドであった。コンコールド粒子のうち、54.8 Ma, 31.3 Ma, 22.2 Maを示す3つの粒子(no. 13, 11, 25)以外は、17.7 ~ 13.8 Ma間に集中し、最若粒子集団を構成する(第15図; 第16図)。それらの加重平均値から、16.0 ± 0.4 MaのU-Pb年代が得られた。

FT年代は53.0 ~ 7.8 Maの間にばらつき、ややまとまりに欠ける(第14図)。ここで単一粒子におけるダブル年代データの対照性を検討すると、1粒子のみ(no. 11)が

FT及びU-Pb年代ともに他粒子に比較して著しく古い(第15図)。それ以外の粒子では、一部で古いU-Pb年代を示す粒子が含まれているものの、FT年代は27.2 ~ 7.8 Maの幅で分散しており、U-Pb年代との相関は認められない(第15図)。そこで、これらは全体として単一の年代集団を形成するものと判断される。そのため、粒子no. 11を除く29粒子を単一年代集団に属するものとみなし、それらから14.4 ± 0.6 MaのFT年代を得た(第2表)。得られたFT年代はU-Pb年代よりも有意に若い。そのため、何らかの再加熱年代を示す可能性があり、取り扱いには注意が必要である。

第2表 U-Pb及びFT年代測定結果

Table 2 Results of U-Pb and FT age determination

Sample name	Geological unit	Latitude (N) Longitude (E)	Method	n	ρ_s (cm ⁻²) N _s	ρ_{u-sp} (cm ⁻²) N _{u-sp}	ρ_{u-std} (cm ⁻²) N _{u-std}	r	U (ppm)	Zeta value (cm ² ·yr ⁻¹)	FT age (±1σ) (Ma)	n*	U-Pb age (±2σ) (Ma)
15092105	Sunagomata Formation	41° 18' 32.9" 141° 17' 36.4"	Ext.S	12	6.34 × 10 ⁵ 121	7.67 × 10 ¹¹ 146422207	1.934 × 10 ¹¹ 948967	0.99	232	45.6 ± 3.4	7.3 ± 0.9	12	7.5 ± 0.2
15092301	Gamanosawa Formation	41° 9' 24.5" 141° 17' 27.8"	Ext.S	30	4.50 × 10 ⁵ 256	3.48 × 10 ¹¹ 198010952	2.438 × 10 ¹¹ 1195989	0.29	145	36.3 ± 2.2	11.4 ± 1.0	26	12.1 ± 0.3
16101207	Tomari Formation	41° 3' 51.8" 141° 20' 5.7"	Int.S	29	2.29 × 10 ⁶ 1136	1.43 × 10 ¹¹ 70708659	3.396 × 10 ¹⁰ 479840	0.69	324	53.0 ± 1.7	14.4 ± 0.6	19	16.0 ± 0.4
16101517	Kozawa Formation	41° 13' 31.9" 141° 0' 47.4"	Int.S	30	1.78 × 10 ⁶ 1197	2.08 × 10 ¹¹ 139601617	3.396 × 10 ¹⁰ 479840	0.72	479	53.0 ± 1.7	7.7 ± 0.3	26	8.3 ± 0.2
17100410	Yotsuzawa Formation	40° 44' 22.3" 141° 0' 22.5"	Int.S	30	9.87 × 10 ⁵ 462	9.93 × 10 ⁹ 4648646	5.389 × 10 ⁹ 48504	0.59	137	46.4 ± 2.1	12.4 ± 0.8	29	13.4 ± 0.3
17083010	Yotsuzawa Formation	40° 42' 23.4" 141° 3' 34.9"	Int.S	30	1.46 × 10 ⁶ 278	1.47 × 10 ¹⁰ 2824699	5.037 × 10 ⁹ 20146	0.92	235	46.4 ± 2.1	11.5 ± 0.9	27	15.3 ± 0.4
17083115A	Yotsuzawa Formation	40° 40' 34.8" 141° 2' 42.6"	Int.S	15	1.47 × 10 ⁶ 321	1.44 × 10 ¹⁰ 3149257	5.051 × 10 ⁹ 45457	0.84	206	46.4 ± 2.1	11.9 ± 0.9	15	13.6 ± 0.4

Ext.S: Fission track age (T) = (1/λ_D) × ln[1 + λ_D × ζ × (ρ_s/ρ_u) × ρ_{u-std}]

Int.S: Fission track age (T) = (1/λ_D) × ln[1 + λ_D × 0.5 × ζ × (ρ_s/ρ_u) × ρ_{u-std}]

σ = T × [1/ΣN_s + 1/ΣN_u + 1/ΣN_{u-std} + (σ_ζ/ζ)²]^{1/2}

Int.S: internal zircon crystal surfaces used for spontaneous track counting. Ext.S: External zircon crystal surfaces used for spontaneous track counting. n, number of grains (fission track age). n*, number of grains (U-Pb age). ρ_s, spontaneous fission track density. N_s, number of spontaneous fission tracks. ρ_{u-sp}, density of area-corrected total count of ²³⁸U on unknown samples. N_{u-sp}, area-corrected total count of ²³⁸U on unknown samples. ρ_{u-std}, density of total count of ²³⁸U on U-standard samples. N_{u-std}, total count of ²³⁸U on U-standard samples. λ_D: alpha decay constant for ²³⁸U (1.55125 × 10⁻¹⁰ yr⁻¹; Steiger and Jäger, 1977). ζ, zeta values for fission track age calibration. r, correlation coefficient between ρ_s and ρ_u.

5.4 試料16101517 (小沢層銀杏木流紋岩質凝灰岩部層)

本試料は均質な色調と晶癖をもつ自形のジルコン結晶を豊富に含む。測定した30粒子のうち、26粒子がコンコダントであった。これらのコンコダント粒子は単一年代集団を構成する(第15図; 第16図)。それらの加重平均値から、8.3 ± 0.2 MaのU-Pb年代が得られた。

FT年代は、全測定粒子30個の年代データがよくまとまり(第15図)、併行して実施されたU-Pb年代測定結果からも異種年代粒子の存在は認められない。そのため全粒子を単一年代集団に属するものとみなし、それらから7.7 ± 0.3 MaのFT年代を得た(第2表)。得られたU-Pb年代とFT年代は、2σの誤差の範囲で一致する。

5.5 試料17100410 (四沢層)

本試料は均質な色調と晶癖をもつ自形のジルコン結晶を豊富に含む。測定した30粒子のうち、29粒子がコンコダントであった。これらのコンコダント粒子は単一年代集団を構成する(第15図; 第16図)。それらの加重平均値から、13.4 ± 0.3 MaのU-Pb年代が得られた。

FT年代は、全測定粒子30個の年代データがよくまとまり(第15図)、併行して実施されたU-Pb年代測定結果からも異種年代粒子の存在は認められない。そのため全測定粒子を単一年代集団に属するものとみなし、それらから12.4 ± 0.8 MaのFT年代を得た(第2表)。得られたU-Pb年代とFT年代は、1σの誤差の範囲で一致する。

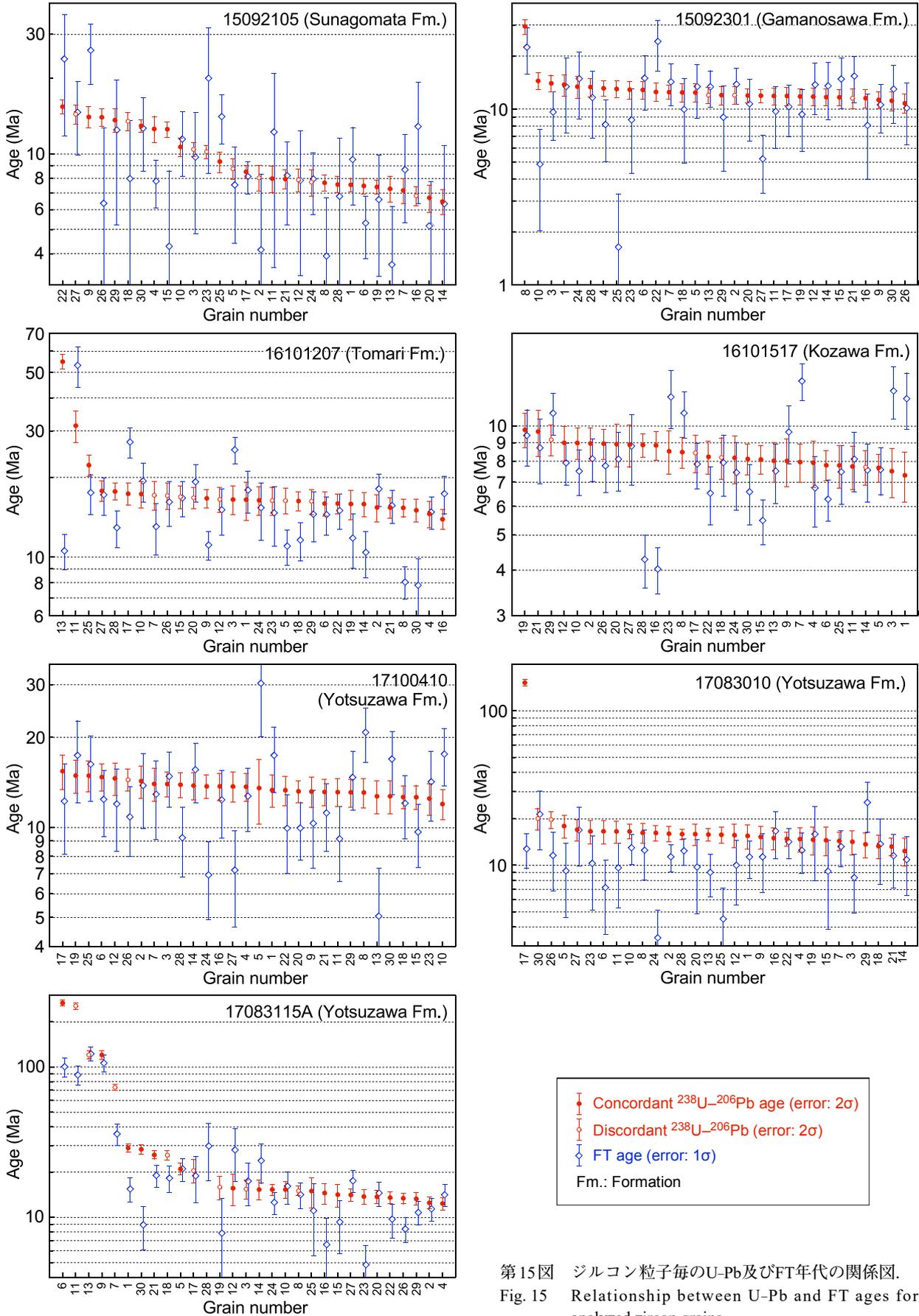
5.6 試料17083010 (四沢層)

本試料は均質な色調と晶癖をもつ自形のジルコン結晶を豊富に含む。測定した30粒子のうち、28粒子がコンコダントであった。そのうち、1粒子(no. 17)のみ152.1 Maと古い年代を示すが、その他の27粒子は17.9 ~ 12.3 Ma間に集中し、最若粒子集団を構成する(第15図; 第16図)。それらの加重平均値から、15.3 ± 0.4 MaのU-Pb年代が得られた。

FT年代は、全測定粒子30個の年代データがよくまとまり(第15図)。152.1 MaのU-Pb年代を示す粒子(no. 17)についても、他の粒子と調和的なFT年代を示すことから、リセットされた年代と判断される。そのため全測定粒子を単一年代集団に属するものとみなし、それらから11.5 ± 0.9 MaのFT年代が得られた(第2表)。得られたFT年代はU-Pb年代よりも有意に若い。そのため、何らかの再加熱年代を示す可能性があり、取り扱いには注意が必要である。

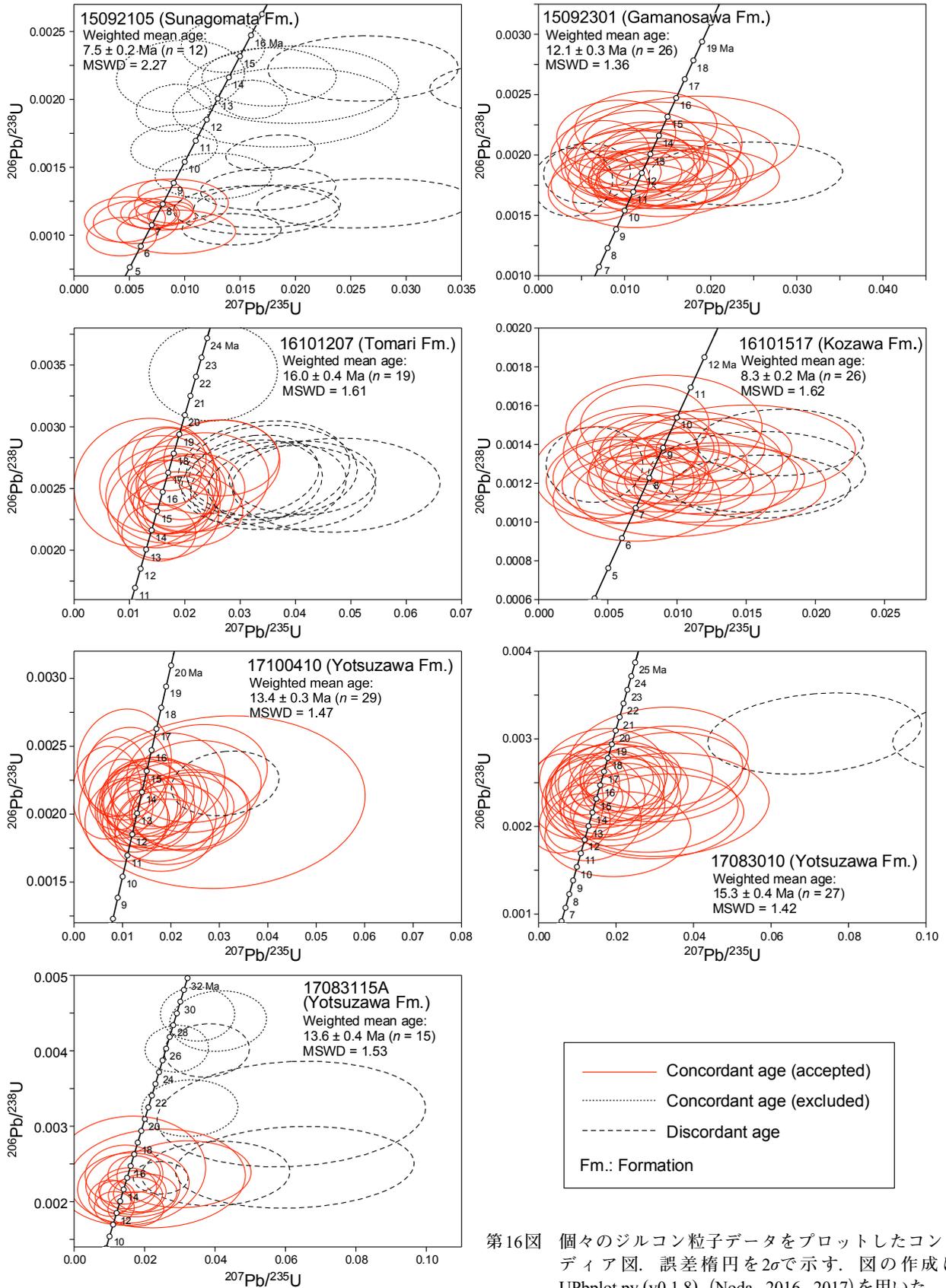
5.7 試料17083115A (四沢層)

本試料は、外来結晶と推定される摩耗した形状のジルコン結晶を多く含む。そのため、測定対象には可能な範囲で自形性の高いジルコン結晶を優先して選択した。合計30粒子を測定したが、1粒子で²⁰⁷Pbシグナルが0になった。残りの29粒子のうち、21粒子がコンコダントであった。コンコダント粒子は、266.6 Maから12.3 Maまで広く分散し、少なくとも4つ以上の年代集団が認め



第15図 ジルコン粒子毎のU-Pb及びFT年代の関係図。
Fig. 15 Relationship between U-Pb and FT ages for the analyzed zircon grains.

1/20 万「野辺地」地域に分布する中新統の U-Pb 及び FT 年代 (工藤)



第16図 個々のジルコン粒子データをプロットしたコンコードィア図。誤差楕円を 2σ で示す。図の作成にはUPbplot.py (v0.1.8) (Noda, 2016, 2017)を用いた。

Fig. 16 Concordia diagram showing individual zircon data, with error ellipses representing 2σ uncertainties. This figure was made using UPbplot.py (v0.1.8) (Noda, 2016, 2017).

られる(第15図;第16図).このうち,15.5~12.3 Maの年代を示す15粒子が最若粒子集団と判断される(第15図;第16図).それらの加重平均値から,13.6 ± 0.4 MaのU-Pb年代が得られた.

FT年代は,全測定粒子30個の年代データがまとまりに欠け,明らかに異種年代粒子の混入が認められる(第15図).そのため,併行して実施したU-Pb年代最若粒子集団を構成する15粒子を対象として年代を算出し,11.9 ± 0.9 MaのFT年代が得られた(第2表).得られたU-Pb年代とFT年代は,2σの誤差の範囲で一致する.

謝辞:本論をまとめるにあたり,産総研の細井 淳氏からは年代データの取り扱いについてご助言を得た.株式会社京都フィッション・トラックの檀原 徹氏には年代測定手法の記述内容についてご確認をいただいた.編集担当の石塚 治氏には,本論の査読編集の過程でお世話になった.査読者の野田 篤氏には,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ます.

文 献

- 青森県(1954) 青森県の地下資源. 青森県総務部調査課, 148p.
- 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 the Geological Society of Japan*, **115**, 141–145.
- Danhara, T. and Iwano, H. (2013) A review of the present state of the absolute calibration for zircon fission track geochronometry using the external detector method. *Island Arc*, **22**, 264–279.
- Danhara, T., Kasuya, M., Iwano, H. and Yamashita, T. (1991) Fission-track age calibration using internal and external surfaces of zircon. *Journal of the 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 the Geological Society of Japan*, **109**, 665–668.
- 芳賀正和・山口寿之(1990) 下北半島東部の新第三系—第四系の層序と珪藻化石. 国立科学博物館報告, **16**, 55–78.
- Hasebe, N., Tamura, A. and Arai, S. (2013) Zeta equivalent fission-track dating using LA-ICP-MS and examples with simultaneous U-Pb dating. *Island Arc*, **22**, 280–291.
- Hirata, T., Iizuka, T. and Orihashi, Y. (2005) Reduction of mercury background on ICP-mass spectrometry for in situ U-Pb age determinations of zircon samples. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, **20**, 696–701.
- Hurford, A. J. and Watkins, R. T. (1987) Fission-track age of the tuffs of Buluk member, Bakate Formation, Northern Kenya: A suitable fission-track age standard. *Chemical Geology*, **66**, 209–216.
- Iizuka, T. and Hirata, T. (2004) Simultaneous determinations of U-Pb age and REE abundances for zircons using ArF excimer laser-ICPMS. *Geochemical Journal*, **38**, 229–241.
- 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.
- 岩野英樹・折橋裕二・檀原 徹・平田岳史・小笠原正継(2012) 同一ジルコン結晶を用いたフィッション・トラックとU-Pbダブル年代測定法の評価—島根県川本花崗閃緑岩中の均質ジルコンを用いて—. 地質学雑誌, **118**, 365–375.
- Iwano, H., Orihashi, Y., Hirata, T., Ogasawara, M., Danhara, T., Horie, K., Hasebe, N., Sueoka, S., Tamura, A., Hayasaka, K., Katsube, A., Ito, H., Tani, K., Kimura, J.-I., Chang, Q., Kouchi, Y., Haruta, Y. and Yamamoto, K. (2013) An inter-laboratory evaluation of OD-3 zircon for use as secondary U-Pb dating standard. *Island Arc*, **22**, 382–394.
- Jackson, S. E., Pearson, N. J., Griffin, W. L. and Belousova, E. A. (2004) The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, **211**, 47–69.
- 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.
- 工藤 崇・柳沢幸夫(2020) 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. 地質調査研究報告, **71**, 215–233.
- 桑野幸夫(1958) 第1部 地下資源開発のための地質調査—川内町東南部地質調査報告—. 下北半島総合開発計画策定に関する基礎調査報告書, 昭和32年度報告, 下北郡総合開発促進協議会, 資源科学研究所, 2–19.
- Lukács, R., Harangi, S., Bachmann, O., Guillong, M., Danišik, M., Buret, Y., von Quadt, A., Dunkl, I., Fodor, L., Sliwinski J., Soós, I. and Szepesi, J. (2015) Zircon geochronology and geochemistry to constrain the youngest eruption events and magma evolution of the Mid-Miocene ignimbrite flare-up in the Pannonian Basin, eastern central Europe. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **170**, 1–26.
- 村岡洋文・長谷紘和(1990) 黒石地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 124p.
- 村岡洋文・高倉伸一(1988) 10万分の1 八甲田地熱地域地質図説明書. 特殊地質図(21-4), 地質調査所,

- 27p.
日本原燃株式会社(2014) 再処理事業所廃棄物管理事業
変更許可申請書. 平成26年1月. 日本原燃株式会社.
- Noda, A. (2016) UPbplot.py: A python script for U-Pb age
data analysis. Open-File Report, no. 634, Geological
Survey of Japan, AIST.
- Noda, A. (2017) A new tool for calculation and visualization
of U-Pb age data: UPbplot.py. *Bulletin of the Geological
Survey of Japan*, **68**, 131–140.
- Sakata, S., Hirakawa, S., Iwano H., Danhara, T. Guillion, M.
and Hirata, T. (2017) A new approach for constraining
the magnitude of initial disequilibrium in Quaternary
zircons by coupled uranium and thorium decay series
dating. *Quaternary Geochronology*, **38**, 1–12.
- Sláma, J., Košler, J., Condon, J. D., Crowley, J. L., Gerdes,
A., Hanchar, J. M., Horstwood, M. S. A., Morris, G. A.,
Nasdala, L., Norberg, N., Schaltegger, U., Schoene, B.,
Tubrett, M. N. and Whitehouse, M. J. (2008) Plešovice
zircon—A new natural reference material for U–Pb and
Hf isotopic microanalysis. *Chemical Geology*, **249**, 1–35.
- Steiger, R. and Jäger, E. (1977) Subcommittee on geochronology,
convention on the use of decay constants in geo- and
cosmo-chronology. *Earth and Planetary Science Letters*,
36, 359–362.
- 東北電力株式会社(2014) 東通原子力発電所発電用原子
炉設置変更許可申請書(発電用原子炉施設の変更).
東北電力株式会社.
- 東京電力株式会社(2010) 東通原子力発電所原子炉設置
許可申請書(縮小版). 平成18年9月(平成19年3月
一部補正, 平成21年4月一部補正, 平成21年12月
一部補正, 平成22年4月一部補正). 東京電力株式
会社.
- 対馬坤六(1964) 20万分の1地質図幅「野辺地」. 地質調査
所.
- 通商産業省(1969) 昭和42年度広域調査報告書, 下北地
域. 19p.
- 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.
- 上村不二雄(1975) 陸奥川内地域の地質. 地域地質研究
報告(5万分の1地質図幅). 地質調査所, 39p.
- Wiedenbeck, M., Alle, P., Corfu, F., Griffin, W.L., Meier, M.,
Oberli, F., von Quadt, A., Roddick, J. C. and Spiegel, W.
(1995) Three natural zircon standards for U–Th–Pb, Lu–
Hf, trace element and REE analyses. *Geostandards and
Geoanalytical Research*, **19**, 1–23.
- (受 付 : 2020年5月7日 ; 受 理 : 2020年9月4日)

付表1 ジルコン結晶のU-Pb同位体データ(試料15092105及び15092301)
Table A1 U-Pb isotopic data for zircon crystals (sample 15092105 and 15092301)

Grain no.	Th/U	Isotopic ratios				Age (Ma)					
		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	2σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	2σ
Sample: 15092105											
Concordant grains (accepted)											
1	0.63	0.0549 ± 0.0097		0.00116 ± 0.00007		0.0088 ± 0.0016		7.54 ± 0.46		8.75 ± 1.59	
6	0.79	0.0459 ± 0.0116		0.00115 ± 0.00008		0.0072 ± 0.0018		7.47 ± 0.52		7.22 ± 1.86	
7	0.66	0.0370 ± 0.0206		0.00110 ± 0.00013		0.0056 ± 0.0031		7.16 ± 0.82		5.55 ± 3.12	
8	0.64	0.0505 ± 0.0128		0.00118 ± 0.00009		0.0082 ± 0.0021		7.68 ± 0.55		8.19 ± 2.10	
11	0.52	0.0504 ± 0.0262		0.00123 ± 0.00015		0.0085 ± 0.0044		7.98 ± 0.97		8.50 ± 4.40	
13	0.59	0.0299 ± 0.0192		0.00112 ± 0.00013		0.0046 ± 0.0029		7.27 ± 0.86		4.55 ± 2.97	
14	0.68	0.0315 ± 0.0188		0.00099 ± 0.00011		0.0043 ± 0.0025		6.46 ± 0.73		4.25 ± 2.57	
17	0.30	0.0436 ± 0.0097		0.00131 ± 0.00008		0.0079 ± 0.0017		8.50 ± 0.53		7.84 ± 1.67	
19	0.69	0.0564 ± 0.0119		0.00113 ± 0.00007		0.0088 ± 0.0018		7.39 ± 0.47		8.81 ± 1.76	
20	0.53	0.0654 ± 0.0314		0.00102 ± 0.00013		0.0092 ± 0.0043		6.69 ± 0.83		9.23 ± 4.34	
21	0.58	0.0543 ± 0.0183		0.00122 ± 0.00011		0.0091 ± 0.0030		7.95 ± 0.69		9.13 ± 2.99	
28	0.60	0.0422 ± 0.0132		0.00116 ± 0.00009		0.0067 ± 0.0020		7.56 ± 0.57		6.72 ± 2.06	
Weighted mean (n = 12)								7.47 ± 0.17	(MSWD = 2.23)		
Concordant grains (excluded)											
4	0.44	0.0714 ± 0.0310		0.00194 ± 0.00024		0.0191 ± 0.0082		12.59 ± 1.51		19.11 ± 8.21	
9	0.64	0.0321 ± 0.0156		0.00217 ± 0.00021		0.0096 ± 0.0047		14.07 ± 1.38		9.60 ± 4.71	
10	0.57	0.0399 ± 0.0139		0.00164 ± 0.00014		0.0090 ± 0.0032		10.68 ± 0.89		9.02 ± 3.18	
15	1.17	0.0337 ± 0.0102		0.00194 ± 0.00014		0.0090 ± 0.0027		12.57 ± 0.91		8.99 ± 2.75	
22	0.72	0.0408 ± 0.0096		0.00239 ± 0.00015		0.0135 ± 0.0030		15.46 ± 0.98		13.46 ± 3.05	
25	0.66	0.0635 ± 0.0222		0.00143 ± 0.00014		0.0126 ± 0.0042		9.33 ± 0.88		12.58 ± 4.26	
26	0.65	0.0590 ± 0.0170		0.00217 ± 0.00017		0.0176 ± 0.0049		14.03 ± 1.11		17.63 ± 4.89	
29	0.64	0.0680 ± 0.0272		0.00211 ± 0.00023		0.0198 ± 0.0077		13.67 ± 1.48		19.78 ± 7.68	
30	1.07	0.0585 ± 0.0098		0.00200 ± 0.00011		0.0162 ± 0.0025		12.97 ± 0.74		16.16 ± 2.49	
Discordant grains											
2	0.43	0.1543 ± 0.0477		0.00124 ± 0.00015		0.0263 ± 0.0079		8.05 ± 0.95		26.23 ± 7.81	
3	0.72	0.0801 ± 0.0145		0.00161 ± 0.00011		0.0178 ± 0.0033		10.44 ± 0.68		17.76 ± 3.25	
5	0.47	0.0947 ± 0.0270		0.00134 ± 0.00013		0.0175 ± 0.0049		8.73 ± 0.81		17.53 ± 4.94	
12	0.50	0.1044 ± 0.0326		0.00121 ± 0.00013		0.0174 ± 0.0053		7.90 ± 0.82		17.45 ± 5.35	
16	1.01	0.0988 ± 0.0266		0.00104 ± 0.00009		0.0142 ± 0.0036		6.81 ± 0.60		14.24 ± 3.62	
18	1.00	0.1478 ± 0.0313		0.00208 ± 0.00017		0.0425 ± 0.0084		13.51 ± 1.11		42.18 ± 8.18	
23	1.07	0.2277 ± 0.0299		0.00157 ± 0.00010		0.0494 ± 0.0055		10.22 ± 0.62		48.87 ± 5.37	
24	0.64	0.1007 ± 0.0387		0.00119 ± 0.00015		0.0165 ± 0.0060		7.72 ± 0.93		16.47 ± 6.05	
27	0.68	0.0849 ± 0.0236		0.00223 ± 0.00019		0.0261 ± 0.0069		14.43 ± 1.25		26.05 ± 6.89	
Sample: 15092301											
Concordant grains (accepted)											
1	0.36	0.0607 ± 0.0350		0.00212 ± 0.00030		0.0177 ± 0.0101		13.74 ± 1.90		17.74 ± 10.13	
3	0.67	0.0303 ± 0.0188		0.00216 ± 0.00023		0.0090 ± 0.0056		14.02 ± 1.50		9.02 ± 5.61	
4	0.65	0.0547 ± 0.0240		0.00203 ± 0.00021		0.0153 ± 0.0066		13.13 ± 1.32		15.29 ± 6.64	
5	0.60	0.0406 ± 0.0248		0.00191 ± 0.00023		0.0107 ± 0.0065		12.41 ± 1.51		10.70 ± 6.53	
6	0.60	0.0645 ± 0.0300		0.00198 ± 0.00023		0.0176 ± 0.0081		12.85 ± 1.48		17.64 ± 8.11	
7	0.32	0.0479 ± 0.0199		0.00192 ± 0.00017		0.0127 ± 0.0052		12.48 ± 1.12		12.72 ± 5.25	
9	0.64	0.0624 ± 0.0290		0.00174 ± 0.00020		0.0150 ± 0.0068		11.27 ± 1.28		14.96 ± 6.87	
10	0.61	0.0405 ± 0.0217		0.00223 ± 0.00024		0.0125 ± 0.0066		14.46 ± 1.55		12.48 ± 6.67	
11	0.56	0.0620 ± 0.0279		0.00183 ± 0.00020		0.0157 ± 0.0069		11.88 ± 1.30		15.66 ± 6.96	
12	0.63	0.0568 ± 0.0275		0.00181 ± 0.00021		0.0142 ± 0.0068		11.76 ± 1.33		14.20 ± 6.80	
14	0.66	0.0746 ± 0.0312		0.00180 ± 0.00020		0.0185 ± 0.0076		11.68 ± 1.30		18.52 ± 7.62	
15	0.66	0.0599 ± 0.0269		0.00180 ± 0.00019		0.0148 ± 0.0066		11.66 ± 1.25		14.84 ± 6.59	
16	0.66	0.0294 ± 0.0189		0.00177 ± 0.00021		0.0072 ± 0.0046		11.51 ± 1.34		7.17 ± 4.65	
17	0.64	0.0435 ± 0.0242		0.00183 ± 0.00022		0.0110 ± 0.0061		11.87 ± 1.44		10.95 ± 6.12	
18	0.62	0.0507 ± 0.0265		0.00192 ± 0.00024		0.0134 ± 0.0070		12.43 ± 1.52		13.40 ± 7.01	
19	0.58	0.0526 ± 0.0227		0.00182 ± 0.00019		0.0132 ± 0.0057		11.78 ± 1.24		13.18 ± 5.70	
20	0.52	0.0444 ± 0.0172		0.00184 ± 0.00017		0.0112 ± 0.0044		11.92 ± 1.08		11.23 ± 4.39	
22	0.63	0.0398 ± 0.0228		0.00193 ± 0.00023		0.0106 ± 0.0060		12.51 ± 1.50		10.57 ± 6.08	
23	0.66	0.0438 ± 0.0229		0.00199 ± 0.00023		0.0120 ± 0.0062		12.88 ± 1.48		12.01 ± 6.28	
24	0.38	0.0457 ± 0.0301		0.00207 ± 0.00030		0.0130 ± 0.0085		13.39 ± 1.93		13.03 ± 8.58	
25	0.59	0.0259 ± 0.0168		0.00200 ± 0.00023		0.0072 ± 0.0046		13.00 ± 1.45		7.14 ± 4.67	
26	0.64	0.0514 ± 0.0276		0.00166 ± 0.00021		0.0118 ± 0.0063		10.78 ± 1.36		11.77 ± 6.31	
27	0.61	0.0377 ± 0.0149		0.00184 ± 0.00016		0.0095 ± 0.0038		11.91 ± 1.03		9.53 ± 3.81	
28	0.63	0.0399 ± 0.0228		0.00206 ± 0.00025		0.0113 ± 0.0064		13.34 ± 1.60		11.31 ± 6.50	
29	0.65	0.0624 ± 0.0288		0.00185 ± 0.00022		0.0159 ± 0.0073		11.98 ± 1.43		15.89 ± 7.32	
30	0.70	0.0293 ± 0.0197		0.00172 ± 0.00021		0.0069 ± 0.0047		11.14 ± 1.36		6.90 ± 4.70	
Weighted mean (n = 26)								12.13 ± 0.26	(MSWD = 1.35)		
Concordant grains (excluded)											
8	0.45	0.0441 ± 0.0201		0.00457 ± 0.00044		0.0278 ± 0.0127		29.45 ± 2.80		27.72 ± 12.59	
Discordant grains											
2	0.65	0.0945 ± 0.0366		0.00184 ± 0.00021		0.0240 ± 0.0091		11.97 ± 1.37		24.01 ± 9.06	
13	0.66	0.0221 ± 0.0161		0.00185 ± 0.00020		0.0056 ± 0.0041		11.99 ± 1.29		5.60 ± 4.12	
21	0.61	0.0162 ± 0.0153		0.00178 ± 0.00023		0.0040 ± 0.0037		11.52 ± 1.47		3.92 ± 3.79	

1/20 万「野辺地」地域に分布する中新統の U-Pb 及び FT 年代 (工藤)

付表2 ジルコン結晶のU-Pb同位体データ(試料16101207及び16101517)

Table A2 U-Pb isotopic data for zircon crystals (sample 16101207 and 16101517)

Grain no.	Th/U	Isotopic ratios				Age (Ma)					
		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	2σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	2σ
Sample: 16101207											
Concordant grains (accepted)											
1	0.60	0.0367 ± 0.0298		0.00255 ± 0.00042		0.0129 ± 0.0104		16.48 ± 2.71		12.87 ± 10.45	
2	0.77	0.0476 ± 0.0236		0.00237 ± 0.00029		0.0156 ± 0.0077		15.38 ± 1.84		15.61 ± 7.70	
3	0.57	0.0637 ± 0.0294		0.00255 ± 0.00032		0.0224 ± 0.0102		16.50 ± 2.08		22.39 ± 10.23	
4	0.37	0.0548 ± 0.0239		0.00225 ± 0.00026		0.0170 ± 0.0073		14.56 ± 1.65		16.98 ± 7.35	
6	0.51	0.0627 ± 0.0228		0.00246 ± 0.00026		0.0213 ± 0.0077		15.93 ± 1.65		21.25 ± 7.68	
8	1.07	0.0559 ± 0.0143		0.00237 ± 0.00019		0.0183 ± 0.0047		15.34 ± 1.21		18.26 ± 4.72	
9	0.95	0.0481 ± 0.0132		0.00257 ± 0.00020		0.0171 ± 0.0047		16.66 ± 1.32		17.08 ± 4.74	
10	0.46	0.0677 ± 0.0267		0.00268 ± 0.00031		0.0250 ± 0.0098		17.32 ± 1.97		24.93 ± 9.76	
14	0.42	0.0528 ± 0.0208		0.00245 ± 0.00026		0.0178 ± 0.0070		15.85 ± 1.64		17.83 ± 7.02	
16	0.51	0.0517 ± 0.0187		0.00214 ± 0.00019		0.0153 ± 0.0054		13.90 ± 1.20		15.29 ± 5.37	
17	0.59	0.0449 ± 0.0190		0.00268 ± 0.00026		0.0166 ± 0.0069		17.35 ± 1.64		16.61 ± 6.90	
18	0.70	0.0560 ± 0.0190		0.00251 ± 0.00021		0.0194 ± 0.0064		16.28 ± 1.38		19.44 ± 6.39	
19	0.54	0.0512 ± 0.0282		0.00245 ± 0.00032		0.0173 ± 0.0093		15.87 ± 2.04		17.34 ± 9.35	
21	0.45	0.0566 ± 0.0199		0.00237 ± 0.00021		0.0185 ± 0.0063		15.38 ± 1.35		18.53 ± 6.33	
22	0.81	0.0533 ± 0.0192		0.00246 ± 0.00022		0.0181 ± 0.0063		15.92 ± 1.40		18.08 ± 6.35	
24	0.72	0.0444 ± 0.0255		0.00253 ± 0.00032		0.0155 ± 0.0087		16.38 ± 2.06		15.50 ± 8.77	
27	0.62	0.0703 ± 0.0229		0.00275 ± 0.00025		0.0266 ± 0.0084		17.77 ± 1.58		26.57 ± 8.31	
28	0.57	0.0455 ± 0.0146		0.00274 ± 0.00020		0.0172 ± 0.0054		17.70 ± 1.31		17.18 ± 5.37	
30	0.68	0.0654 ± 0.0248		0.00232 ± 0.00023		0.0209 ± 0.0077		15.02 ± 1.50		20.91 ± 7.68	
Weighted mean (n = 19)								15.97 ± 0.35	(MSWD = 1.36)		
Concordant grains (excluded)											
11	0.47	0.0693 ± 0.0337		0.00487 ± 0.00067		0.0465 ± 0.0227		31.39 ± 4.29		46.04 ± 22.26	
13	0.34	0.0565 ± 0.0091		0.00853 ± 0.00055		0.0665 ± 0.0116		54.84 ± 3.51		65.27 ± 11.10	
25	1.14	0.0529 ± 0.0202		0.00344 ± 0.00032		0.0251 ± 0.0094		22.24 ± 2.05		25.09 ± 9.31	
Discordant grains											
5	1.00	0.1008 ± 0.0329		0.00252 ± 0.00029		0.0351 ± 0.0113		16.34 ± 1.84		34.90 ± 11.20	
7	0.38	0.0939 ± 0.0346		0.00265 ± 0.00032		0.0343 ± 0.0125		17.13 ± 2.08		34.11 ± 12.36	
12	0.56	0.0913 ± 0.0293		0.00255 ± 0.00028		0.0321 ± 0.0103		16.52 ± 1.77		31.98 ± 10.14	
15	0.41	0.0902 ± 0.0265		0.00261 ± 0.00026		0.0324 ± 0.0095		16.88 ± 1.68		32.30 ± 9.39	
20	0.98	0.1155 ± 0.0317		0.00259 ± 0.00024		0.0412 ± 0.0107		16.74 ± 1.55		40.91 ± 10.50	
23	0.55	0.1357 ± 0.0457		0.00253 ± 0.00031		0.0473 ± 0.0151		16.36 ± 1.98		46.82 ± 14.76	
26	0.44	0.0981 ± 0.0356		0.00264 ± 0.00030		0.0357 ± 0.0124		17.07 ± 1.94		35.51 ± 12.27	
29	0.47	0.1137 ± 0.0370		0.00251 ± 0.00027		0.0393 ± 0.0122		16.23 ± 1.76		39.06 ± 11.98	
Sample: 16101517											
Concordant grains (accepted)											
1	0.63	0.0459 ± 0.0322		0.00112 ± 0.00018		0.0071 ± 0.0049		7.31 ± 1.14		7.08 ± 4.93	
2	0.58	0.0376 ± 0.0190		0.00138 ± 0.00015		0.0071 ± 0.0035		8.95 ± 0.95		7.11 ± 3.58	
3	0.49	0.0618 ± 0.0378		0.00115 ± 0.00018		0.0098 ± 0.0058		7.51 ± 1.17		9.82 ± 5.88	
4	0.42	0.0351 ± 0.0260		0.00122 ± 0.00018		0.0059 ± 0.0043		7.92 ± 1.16		5.85 ± 4.34	
5	0.66	0.0690 ± 0.0222		0.00118 ± 0.00011		0.0112 ± 0.0035		7.67 ± 0.69		11.20 ± 3.48	
6	1.00	0.0521 ± 0.0201		0.00120 ± 0.00012		0.0086 ± 0.0032		7.79 ± 0.74		8.58 ± 3.25	
7	0.48	0.0754 ± 0.0322		0.00122 ± 0.00015		0.0127 ± 0.0052		7.96 ± 0.97		12.71 ± 5.26	
8	0.67	0.0574 ± 0.0219		0.00130 ± 0.00013		0.0103 ± 0.0038		8.48 ± 0.83		10.31 ± 3.84	
9	0.70	0.0655 ± 0.0371		0.00123 ± 0.00019		0.0111 ± 0.0061		8.01 ± 1.20		11.11 ± 6.15	
10	0.59	0.0434 ± 0.0190		0.00138 ± 0.00014		0.0083 ± 0.0035		8.98 ± 0.89		8.25 ± 3.57	
11	0.52	0.0806 ± 0.0385		0.00119 ± 0.00017		0.0132 ± 0.0061		7.74 ± 1.07		13.20 ± 6.10	
12	0.48	0.0563 ± 0.0243		0.00138 ± 0.00015		0.0107 ± 0.0045		8.99 ± 0.98		10.74 ± 4.54	
13	0.67	0.0318 ± 0.0210		0.00123 ± 0.00016		0.0054 ± 0.0035		8.01 ± 1.01		5.36 ± 3.55	
15	0.66	0.0642 ± 0.0212		0.00124 ± 0.00011		0.0110 ± 0.0035		8.09 ± 0.73		11.00 ± 3.52	
16	0.78	0.0426 ± 0.0157		0.00136 ± 0.00012		0.0080 ± 0.0029		8.85 ± 0.80		7.98 ± 2.90	
19	0.66	0.0370 ± 0.0183		0.00150 ± 0.00016		0.0077 ± 0.0037		9.77 ± 1.06		7.64 ± 3.77	
20	0.51	0.0782 ± 0.0358		0.00137 ± 0.00019		0.0148 ± 0.0065		8.91 ± 1.21		14.77 ± 6.56	
21	0.44	0.0442 ± 0.0284		0.00149 ± 0.00022		0.0091 ± 0.0057		9.66 ± 1.40		9.04 ± 5.75	
22	0.68	0.0450 ± 0.0199		0.00126 ± 0.00014		0.0079 ± 0.0034		8.23 ± 0.87		7.83 ± 3.41	
23	0.45	0.0601 ± 0.0311		0.00131 ± 0.00018		0.0109 ± 0.0055		8.52 ± 1.16		10.85 ± 5.50	
24	0.60	0.0248 ± 0.0219		0.00125 ± 0.00019		0.0043 ± 0.0037		8.17 ± 1.23		4.24 ± 3.79	
25	0.49	0.0405 ± 0.0248		0.00120 ± 0.00016		0.0067 ± 0.0040		7.79 ± 1.05		6.65 ± 4.06	
26	0.78	0.0706 ± 0.0216		0.00137 ± 0.00013		0.0134 ± 0.0039		8.94 ± 0.83		13.39 ± 3.96	
27	0.52	0.0393 ± 0.0244		0.00137 ± 0.00019		0.0074 ± 0.0045		8.89 ± 1.19		7.39 ± 4.57	
28	1.09	0.0571 ± 0.0137		0.00136 ± 0.00010		0.0107 ± 0.0025		8.87 ± 0.65		10.73 ± 2.50	
30	0.73	0.0489 ± 0.0187		0.00125 ± 0.00012		0.0084 ± 0.0031		8.12 ± 0.79		8.38 ± 3.16	
Weighted mean (n = 26)								8.32 ± 0.18	(MSWD = 1.55)		
Discordant grains											
14	0.55	0.0986 ± 0.0336		0.00118 ± 0.00013		0.0161 ± 0.0052		7.71 ± 0.84		16.09 ± 5.22	
17	0.48	0.0226 ± 0.0160		0.00130 ± 0.00016		0.0040 ± 0.0028		8.43 ± 1.01		3.98 ± 2.85	
18	0.48	0.0909 ± 0.0379		0.00126 ± 0.00017		0.0158 ± 0.0063		8.19 ± 1.08		15.79 ± 6.32	
29	0.74	0.0898 ± 0.0262		0.00141 ± 0.00014		0.0175 ± 0.0049		9.17 ± 0.89		17.46 ± 4.86	

付表3 ジルコン結晶のU-Pb同位体データ(試料17100410及び17083010)
Table A3 U-Pb isotopic data for zircon crystals (sample 17100410 and 17083010)

Grain no.	Th/U	Isotopic ratios				Age (Ma)					
		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	2σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	2σ
Sample: 17100410											
Concordant grains (accepted)											
1	0.40	0.0695 ± 0.0346		0.00206 ± 0.00026		0.0197 ± 0.0097		13.33 ± 1.67		19.72 ± 9.66	
2	0.34	0.0818 ± 0.0370		0.00220 ± 0.00027		0.0249 ± 0.0111		14.28 ± 1.75		24.83 ± 11.03	
3	0.45	0.0546 ± 0.0235		0.00215 ± 0.00021		0.0162 ± 0.0069		13.96 ± 1.36		16.21 ± 6.93	
4	0.50	0.0498 ± 0.0243		0.00211 ± 0.00022		0.0145 ± 0.0070		13.68 ± 1.44		14.52 ± 7.05	
5	0.29	0.1061 ± 0.0847		0.00209 ± 0.00051		0.0306 ± 0.0238		13.54 ± 3.29		30.46 ± 23.69	
6	0.55	0.0271 ± 0.0172		0.00228 ± 0.00024		0.0085 ± 0.0054		14.74 ± 1.52		8.49 ± 5.42	
7	0.36	0.0227 ± 0.0194		0.00216 ± 0.00027		0.0068 ± 0.0057		13.99 ± 1.77		6.74 ± 5.81	
8	0.42	0.0867 ± 0.0358		0.00202 ± 0.00023		0.0241 ± 0.0098		13.09 ± 1.50		24.11 ± 9.74	
9	0.49	0.0843 ± 0.0356		0.00203 ± 0.00024		0.0236 ± 0.0098		13.17 ± 1.53		23.60 ± 9.77	
10	0.47	0.0730 ± 0.0327		0.00184 ± 0.00021		0.0186 ± 0.0082		11.97 ± 1.38		18.57 ± 8.18	
11	0.49	0.0491 ± 0.0242		0.00202 ± 0.00022		0.0137 ± 0.0067		13.13 ± 1.39		13.72 ± 6.72	
12	0.32	0.0615 ± 0.0316		0.00225 ± 0.00028		0.0191 ± 0.0097		14.59 ± 1.79		19.08 ± 9.72	
13	0.43	0.0671 ± 0.0340		0.00196 ± 0.00025		0.0181 ± 0.0090		12.71 ± 1.59		18.14 ± 9.05	
14	0.51	0.0486 ± 0.0237		0.00213 ± 0.00022		0.0143 ± 0.0069		13.80 ± 1.44		14.28 ± 6.93	
15	0.54	0.0476 ± 0.0209		0.00195 ± 0.00018		0.0128 ± 0.0056		12.63 ± 1.17		12.77 ± 5.58	
16	0.48	0.0612 ± 0.0271		0.00212 ± 0.00023		0.0179 ± 0.0079		13.72 ± 1.45		17.85 ± 7.88	
17	0.45	0.0316 ± 0.0239		0.00238 ± 0.00032		0.0104 ± 0.0078		15.42 ± 2.04		10.38 ± 7.87	
18	0.66	0.0619 ± 0.0230		0.00195 ± 0.00018		0.0166 ± 0.0062		12.63 ± 1.13		16.62 ± 6.17	
19	0.38	0.0801 ± 0.0372		0.00230 ± 0.00029		0.0254 ± 0.0117		14.89 ± 1.87		25.35 ± 11.63	
20	0.62	0.0375 ± 0.0165		0.00204 ± 0.00017		0.0105 ± 0.0046		13.21 ± 1.11		10.54 ± 4.66	
21	0.54	0.0804 ± 0.0307		0.00203 ± 0.00021		0.0224 ± 0.0085		13.13 ± 1.35		22.42 ± 8.49	
22	0.46	0.0456 ± 0.0243		0.00205 ± 0.00023		0.0129 ± 0.0069		13.31 ± 1.48		12.90 ± 6.89	
23	0.40	0.0748 ± 0.0352		0.00192 ± 0.00024		0.0199 ± 0.0092		12.48 ± 1.54		19.85 ± 9.24	
24	0.57	0.0415 ± 0.0190		0.00212 ± 0.00019		0.0121 ± 0.0055		13.73 ± 1.25		12.13 ± 5.56	
25	0.49	0.0345 ± 0.0224		0.00230 ± 0.00027		0.0109 ± 0.0071		14.89 ± 1.76		10.93 ± 7.11	
27	0.43	0.0557 ± 0.0281		0.00211 ± 0.00025		0.0162 ± 0.0081		13.70 ± 1.58		16.24 ± 8.17	
28	0.57	0.0320 ± 0.0176		0.00214 ± 0.00021		0.0095 ± 0.0052		13.90 ± 1.35		9.45 ± 5.23	
29	0.50	0.0572 ± 0.0263		0.00202 ± 0.00022		0.0159 ± 0.0073		13.09 ± 1.39		15.92 ± 7.29	
30	0.42	0.0400 ± 0.0256		0.00196 ± 0.00025		0.0108 ± 0.0069		12.71 ± 1.59		10.80 ± 6.92	
								Weighted mean (n = 29)	13.35 ± 0.27	(MSWD = 1.44)	
Discordant grains											
26	0.51	0.1016 ± 0.0292		0.00223 ± 0.00019		0.0312 ± 0.0090		14.42 ± 1.24		31.08 ± 8.87	
Sample: 17083010											
Concordant grains (accepted)											
1	0.65	0.0313 ± 0.0319		0.00240 ± 0.00043		0.0104 ± 0.0105		15.53 ± 2.78		10.35 ± 10.48	
2	0.49	0.0355 ± 0.0207		0.00248 ± 0.00028		0.0121 ± 0.0071		16.04 ± 1.79		12.11 ± 7.11	
3	0.56	0.0986 ± 0.0586		0.00220 ± 0.00039		0.0299 ± 0.0174		14.23 ± 2.54		29.77 ± 17.30	
4	0.41	0.0613 ± 0.0449		0.00228 ± 0.00041		0.0193 ± 0.0140		14.80 ± 2.62		19.32 ± 14.03	
5	0.43	0.0808 ± 0.0489		0.00278 ± 0.00047		0.0310 ± 0.0186		18.00 ± 3.00		30.90 ± 18.46	
6	0.60	0.0472 ± 0.0376		0.00257 ± 0.00044		0.0167 ± 0.0132		16.63 ± 2.84		16.74 ± 13.30	
7	0.79	0.0638 ± 0.0347		0.00222 ± 0.00030		0.0196 ± 0.0105		14.39 ± 1.94		19.55 ± 10.54	
8	0.73	0.0585 ± 0.0355		0.00252 ± 0.00037		0.0203 ± 0.0122		16.29 ± 2.35		20.28 ± 12.24	
9	0.70	0.0524 ± 0.0382		0.00236 ± 0.00039		0.0170 ± 0.0123		15.29 ± 2.51		17.05 ± 12.38	
10	0.78	0.0684 ± 0.0288		0.00256 ± 0.00028		0.0242 ± 0.0101		16.59 ± 1.81		24.14 ± 10.08	
11	0.54	0.0922 ± 0.0503		0.00256 ± 0.00041		0.0326 ± 0.0175		16.59 ± 2.64		32.44 ± 17.38	
12	0.67	0.0568 ± 0.0416		0.00242 ± 0.00042		0.0190 ± 0.0138		15.70 ± 2.68		19.00 ± 13.80	
13	0.68	0.0647 ± 0.0226		0.00245 ± 0.00022		0.0218 ± 0.0076		15.84 ± 1.42		21.82 ± 7.60	
14	0.68	0.0777 ± 0.0585		0.00191 ± 0.00039		0.0205 ± 0.0152		12.41 ± 2.51		20.47 ± 15.19	
15	0.43	0.1050 ± 0.0715		0.00225 ± 0.00047		0.0325 ± 0.0217		14.56 ± 3.06		32.40 ± 21.54	
16	0.54	0.0443 ± 0.0336		0.00232 ± 0.00038		0.0142 ± 0.0107		15.03 ± 2.41		14.19 ± 10.77	
18	0.47	0.0472 ± 0.0376		0.00205 ± 0.00036		0.0134 ± 0.0106		13.31 ± 2.30		13.37 ± 10.63	
19	0.64	0.0193 ± 0.0276		0.00226 ± 0.00046		0.0060 ± 0.0086		14.66 ± 2.94		5.99 ± 8.63	
20	0.62	0.0523 ± 0.0354		0.00246 ± 0.00038		0.0178 ± 0.0119		15.95 ± 2.47		17.77 ± 11.98	
21	0.90	0.0361 ± 0.0238		0.00204 ± 0.00027		0.0102 ± 0.0067		13.25 ± 1.71		10.17 ± 6.74	
22	0.57	0.0429 ± 0.0207		0.00229 ± 0.00024		0.0136 ± 0.0066		14.85 ± 1.57		13.57 ± 6.60	
23	0.44	0.0695 ± 0.0465		0.00257 ± 0.00045		0.0246 ± 0.0164		16.64 ± 2.90		24.59 ± 16.34	
24	1.00	0.0541 ± 0.0254		0.00251 ± 0.00029		0.0187 ± 0.0088		16.23 ± 1.83		18.70 ± 8.80	
25	0.42	0.0744 ± 0.0327		0.00244 ± 0.00030		0.0250 ± 0.0110		15.78 ± 1.91		24.95 ± 10.91	
27	0.62	0.0872 ± 0.0469		0.00263 ± 0.00041		0.0317 ± 0.0169		17.03 ± 2.66		31.54 ± 16.78	
28	1.22	0.0408 ± 0.0129		0.00246 ± 0.00018		0.0138 ± 0.0045		15.95 ± 1.19		13.85 ± 4.49	
29	0.73	0.1063 ± 0.0617		0.00211 ± 0.00039		0.0310 ± 0.0177		13.71 ± 2.50		30.86 ± 17.57	
								Weighted mean (n = 27)	15.30 ± 0.40	(MSWD=1.38)	
Concordant grains (excluded)											
17	0.21	0.0487 ± 0.0069		0.02387 ± 0.00121		0.1602 ± 0.0269		152.17 ± 7.65		150.77 ± 23.86	
Discordant grains											
26	0.90	0.1689 ± 0.0523		0.00306 ± 0.00037		0.0713 ± 0.0222		19.79 ± 2.40		69.78 ± 21.25	
30	0.53	0.3480 ± 0.1100		0.00311 ± 0.00050		0.1493 ± 0.0466		20.11 ± 3.24		141.14 ± 42.01	

1/20 万「野辺地」地域に分布する中新統の U-Pb 及び FT 年代 (工藤)

付表4 ジルコン結晶のU-Pb同位体データ (試料17083115A)

Table A4 U-Pb isotopic data for zircon crystals (sample 17083115A)

Grain no.	Th/U	Isotopic ratios				Age (Ma)					
		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	2σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	2σ
Sample: 17083115A											
Concordant grains (accepted)											
2	0.80	0.0430	± 0.0175	0.00192	± 0.00017	0.0114	± 0.0045	12.48	± 1.09	11.41	± 4.57
4	0.74	0.0667	± 0.0251	0.00190	± 0.00019	0.0175	± 0.0064	12.35	± 1.19	17.52	± 6.38
10	0.54	0.0436	± 0.0277	0.00236	± 0.00031	0.0142	± 0.0089	15.27	± 2.02	14.18	± 8.92
12	0.34	0.0471	± 0.0531	0.00241	± 0.00058	0.0157	± 0.0174	15.61	± 3.74	15.68	± 17.28
14	0.37	0.0957	± 0.0484	0.00236	± 0.00036	0.0312	± 0.0153	15.31	± 2.29	31.08	± 15.20
15	0.42	0.0516	± 0.0395	0.00218	± 0.00038	0.0155	± 0.0117	14.13	± 2.41	15.53	± 11.75
16	0.58	0.0583	± 0.0389	0.00224	± 0.00035	0.0180	± 0.0118	14.48	± 2.26	18.00	± 11.83
20	0.61	0.0692	± 0.0255	0.00211	± 0.00020	0.0202	± 0.0073	13.70	± 1.31	20.19	± 7.25
22	0.75	0.0604	± 0.0220	0.00209	± 0.00019	0.0174	± 0.0062	13.54	± 1.21	17.41	± 6.19
23	0.67	0.0571	± 0.0264	0.00212	± 0.00023	0.0167	± 0.0076	13.74	± 1.50	16.69	± 7.59
24	0.68	0.0522	± 0.0186	0.00236	± 0.00020	0.0170	± 0.0060	15.30	± 1.27	17.02	± 5.97
25	0.39	0.0739	± 0.0646	0.00231	± 0.00053	0.0235	± 0.0202	14.95	± 3.39	23.50	± 20.22
26	0.87	0.0410	± 0.0162	0.00206	± 0.00017	0.0117	± 0.0045	13.38	± 1.10	11.67	± 4.57
27	0.65	0.0506	± 0.0225	0.00218	± 0.00022	0.0152	± 0.0066	14.10	± 1.41	15.20	± 6.65
29	1.20	0.0364	± 0.0176	0.00205	± 0.00019	0.0103	± 0.0049	13.27	± 1.24	10.28	± 4.93
Weighted mean (n = 15)								13.61	± 0.38	(MSWD = 1.48)	
Concordant grains (excluded)											
1	1.23	0.0566	± 0.0142	0.00449	± 0.00029	0.0351	± 0.0085	28.94	± 1.85	34.88	± 8.39
5	0.52	0.0735	± 0.0253	0.00324	± 0.00030	0.0329	± 0.0110	20.94	± 1.94	32.71	± 10.88
6	0.53	0.0552	± 0.0088	0.04222	± 0.00194	0.3216	± 0.0529	266.64	± 12.03	283.01	± 41.50
9	0.46	0.0577	± 0.0144	0.01880	± 0.00121	0.1496	± 0.0385	120.17	± 7.69	141.44	± 34.60
21	0.54	0.0524	± 0.0133	0.00403	± 0.00025	0.0291	± 0.0073	26.00	± 1.62	29.06	± 7.19
30	0.87	0.0674	± 0.0186	0.00439	± 0.00032	0.0409	± 0.0111	28.35	± 2.08	40.57	± 10.88
Unavailable grain (excluded)											
28	0.30	n.d.	± n.d.	0.00258	± 0.00072	n.d.	± n.d.	16.71	± 4.62	n.d.	± n.d.
Discordant grains											
3	0.44	0.1228	± 0.0538	0.00237	± 0.00034	0.0402	± 0.0170	15.37	± 2.22	39.93	± 16.71
7	0.55	0.0872	± 0.0124	0.01139	± 0.00051	0.1371	± 0.0178	73.09	± 3.27	130.31	± 16.02
8	0.83	0.0768	± 0.0206	0.00232	± 0.00017	0.0246	± 0.0063	15.01	± 1.12	24.52	± 6.24
11	0.58	0.0745	± 0.0122	0.04028	± 0.00199	0.4141	± 0.0722	254.66	± 12.37	351.72	± 53.25
13	0.44	0.0742	± 0.0165	0.01884	± 0.00120	0.1930	± 0.0446	120.42	± 7.58	179.10	± 38.69
17	0.38	0.1413	± 0.0720	0.00316	± 0.00056	0.0617	± 0.0307	20.44	± 3.63	60.64	± 29.76
18	1.37	0.0682	± 0.0180	0.00400	± 0.00029	0.0377	± 0.0098	25.85	± 1.83	37.43	± 9.59
19	0.53	0.1849	± 0.0839	0.00246	± 0.00044	0.0626	± 0.0273	15.90	± 2.81	61.58	± 26.39

付表5 ジルコン粒子毎のFT分析データ(試料15092105及び15092301)
Table A5 Fission-track data of each zircon grain (sample 15092105 and 15092301)

Grain no.	Method	N _s	Count area (10 ⁶ cm ²)	ρ _s (10 ⁵ cm ⁻²)	N _{u-sp}	ρ _{u-sp} (10 ⁹ cm ⁻²)	N _{u-std}	ρ _{u-std} (10 ⁹ cm ⁻²)	U (ppm)	Age ± 1σ (Ma)	
Sample : 15092105		Zeta value = 45.6 ± 3.4 (cm ² · yr ⁻¹)									
1	Ext.S	9	14	6.43	8,357,305	596.950	948,967	193.420	228	9.5 ± 3.2	
2	Ext.S	1	12	0.83	2,127,425	177.285	948,967	193.420	68	4.1 ± 4.2 *	
3	Ext.S	4	8	5.00	3,632,569	454.071	948,967	193.420	174	9.7 ± 4.9 *	
4	Ext.S	24	48	5.00	27,200,419	566.675	948,967	193.420	217	7.8 ± 1.7 *	
5	Ext.S	6	20	3.00	7,035,128	351.756	948,967	193.420	135	7.5 ± 3.1 *	
6	Ext.S	14	16	8.75	23,325,316	1,457.832	948,967	193.420	558	5.3 ± 1.5	
7	Ext.S	7	17	4.12	7,139,909	419.995	948,967	193.420	161	8.6 ± 3.3	
8	Ext.S	2	10	2.00	4,510,725	451.072	948,967	193.420	173	3.9 ± 2.8	
9	Ext.S	15	18	8.33	5,097,911	283.217	948,967	193.420	108	25.9 ± 7.0 *	
10	Ext.S	13	20	6.50	10,008,546	500.427	948,967	193.420	191	11.5 ± 3.3 *	
11	Ext.S	2	9	2.22	1,441,022	160.114	948,967	193.420	61	12.2 ± 8.7	
12	Ext.S	3	12	2.50	3,378,499	281.542	948,967	193.420	108	7.8 ± 4.6 *	
13	Ext.S	2	12	1.67	4,882,928	406.911	948,967	193.420	156	3.6 ± 2.6	
14	Ext.S	2	10	2.00	2,788,830	278.883	948,967	193.420	107	6.3 ± 4.5	
15	Ext.S	1	8	1.25	2,064,029	258.004	948,967	193.420	99	4.3 ± 4.3 *	
16	Ext.S	4	20	2.00	2,742,818	137.141	948,967	193.420	52	12.9 ± 6.5 *	
17	Ext.S	65	36	18.06	70,561,812	1,960.050	948,967	193.420	750	8.1 ± 1.2	
18	Ext.S	2	10	2.00	2,216,344	221.634	948,967	193.420	85	8.0 ± 5.7 *	
19	Ext.S	4	18	2.22	5,361,553	297.864	948,967	193.420	114	6.6 ± 3.3	
20	Ext.S	4	28	1.43	6,831,545	243.984	948,967	193.420	93	5.2 ± 2.6	
21	Ext.S	8	15	5.33	8,615,798	574.387	948,967	193.420	220	8.2 ± 3.0	
22	Ext.S	4	6	6.67	1,472,720	245.453	948,967	193.420	94	23.9 ± 12.1 *	
23	Ext.S	3	4	7.50	1,317,685	329.421	948,967	193.420	126	20.1 ± 11.7 *	
24	Ext.S	14	40	3.50	15,556,611	388.915	948,967	193.420	149	7.9 ± 2.2 *	
25	Ext.S	23	8	28.75	14,394,207	1,799.276	948,967	193.420	688	14.1 ± 3.1 *	
26	Ext.S	1	4	2.50	1,386,587	346.647	948,967	193.420	133	6.4 ± 6.4 *	
27	Ext.S	10	4	25.00	6,010,406	1,502.601	948,967	193.420	575	14.7 ± 4.8 *	
28	Ext.S	2	6	3.33	2,605,464	434.244	948,967	193.420	166	6.8 ± 4.8	
29	Ext.S	3	4	7.50	2,123,957	530.989	948,967	193.420	203	12.5 ± 7.3 *	
30	Ext.S	10	6	16.67	6,960,654	1,160.109	948,967	193.420	444	12.7 ± 4.1 *	
Sample: 15092301		Zeta value = 36.3 ± 2.2 (cm ² · yr ⁻¹)									
1	Ext.S	5	18	2.78	3,302,019	183.445	1,195,989	243.768	75	13.4 ± 6.0	
2	Ext.S	21	40	5.25	13,448,352	336.209	1,195,989	243.768	138	13.8 ± 3.1	
3	Ext.S	11	30	3.67	10,131,427	337.714	1,195,989	243.768	139	9.6 ± 3.0	
4	Ext.S	7	18	3.89	7,593,323	421.851	1,195,989	243.768	173	8.2 ± 3.1	
5	Ext.S	9	21	4.29	5,941,917	282.948	1,195,989	243.768	116	13.4 ± 4.5	
6	Ext.S	9	18	5.00	5,325,063	295.837	1,195,989	243.768	121	14.9 ± 5.1	
7	Ext.S	15	20	7.50	9,299,283	464.964	1,195,989	243.768	191	14.3 ± 3.8	
8	Ext.S	12	24	5.00	4,727,768	196.990	1,195,989	243.768	81	22.4 ± 6.6	
9	Ext.S	11	28	3.93	9,216,321	329.154	1,195,989	243.768	135	10.6 ± 3.2	
10	Ext.S	3	18	1.67	5,460,379	303.354	1,195,989	243.768	124	4.9 ± 2.8	
11	Ext.S	7	20	3.50	6,389,409	319.470	1,195,989	243.768	131	9.7 ± 3.7	
12	Ext.S	10	20	5.00	6,434,843	321.742	1,195,989	243.768	132	13.7 ± 4.4	
13	Ext.S	20	32	6.25	13,243,181	413.849	1,195,989	243.768	170	13.3 ± 3.1	
14	Ext.S	8	15	5.33	5,236,123	349.075	1,195,989	243.768	143	13.5 ± 4.9	
15	Ext.S	10	15	6.67	5,982,602	398.840	1,195,989	243.768	164	14.8 ± 4.8	
16	Ext.S	4	12	3.33	4,384,291	365.358	1,195,989	243.768	150	8.1 ± 4.1	
17	Ext.S	10	27	3.70	8,589,330	318.123	1,195,989	243.768	131	10.3 ± 3.3	
18	Ext.S	4	12	3.33	3,558,305	296.525	1,195,989	243.768	122	9.9 ± 5.0	
19	Ext.S	7	15	4.67	6,646,724	443.115	1,195,989	243.768	182	9.3 ± 3.6	
20	Ext.S	7	10	7.00	5,795,923	579.592	1,195,989	243.768	238	10.7 ± 4.1	
21	Ext.S	12	21	5.71	6,910,172	329.056	1,195,989	243.768	135	15.3 ± 4.5	
22	Ext.S	10	12	8.33	3,653,882	304.490	1,195,989	243.768	125	24.2 ± 7.8	
23	Ext.S	4	12	3.33	4,084,266	340.355	1,195,989	243.768	140	8.7 ± 4.4	
24	Ext.S	6	18	3.33	3,563,236	197.958	1,195,989	243.768	81	14.9 ± 6.1	
25	Ext.S	1	15	0.67	5,394,969	359.665	1,195,989	243.768	148	1.6 ± 1.6	
26	Ext.S	7	18	3.89	6,115,674	339.760	1,195,989	243.768	139	10.1 ± 3.9	
27	Ext.S	8	18	4.44	13,610,762	756.153	1,195,989	243.768	310	5.2 ± 1.9	
28	Ext.S	6	15	4.00	4,570,145	304.676	1,195,989	243.768	125	11.6 ± 4.8	
29	Ext.S	4	12	3.33	3,943,165	328.597	1,195,989	243.768	135	9.0 ± 4.5	
30	Ext.S	8	15	5.33	5,458,097	363.873	1,195,989	243.768	149	13.0 ± 4.7	

Int.S, internal zircon crystal surfaces used for spontaneous track counting. Ext.S.: External zircon crystal surfaces used for spontaneous track counting. N_s, number of spontaneous fission tracks. ρ_s, spontaneous fission track density. N_{u-sp}, area-corrected total count of ²³⁸U on unknown samples. ρ_{u-sp}, density of area-corrected total count of ²³⁸U on unknown samples. N_{u-std}, total count of ²³⁸U on U-standard samples. ρ_{u-std}, density of total count of ²³⁸U on U-standard samples. *, excluded from age calculation.

付表6 ジルコン粒子毎のFT分析データ(試料16101207及び16101517)

Table A6 Fission-track data of each zircon grain (sample 16101207 and 16101517)

Grain no.	Method	N _s	Count area (10 ⁶ cm ²)	ρ _s (10 ⁵ cm ²)	N _{u-sp}	ρ _{u-sp} (10 ⁹ cm ²)	N _{u-std}	ρ _{u-std} (10 ⁹ cm ²)	U (ppm)	Age ± 1σ (Ma)
Sample: 16101207										
Zeta value = 53.0 ± 1.7 (cm ² · yr ⁻¹)										
1	Int.S	32	32	10.00	1,607,100	50.222	479,840	33.959	109	17.9 ± 3.2
2	Int.S	53	24	22.08	2,635,289	109.804	479,840	33.959	239	18.1 ± 2.5
3	Int.S	82	32	25.63	2,897,434	90.545	479,840	33.959	197	25.4 ± 2.9
4	Int.S	53	24	22.08	3,223,133	134.297	479,840	33.959	293	14.8 ± 2.1
5	Int.S	45	32	14.06	3,684,224	115.132	479,840	33.959	251	11.0 ± 1.7
6	Int.S	38	16	23.75	2,364,465	147.779	479,840	33.959	322	14.4 ± 2.4
7	Int.S	21	16	13.13	1,451,951	90.747	479,840	33.959	198	13.0 ± 2.9
8	Int.S	53	18	29.44	5,935,127	329.729	479,840	33.959	719	8.0 ± 1.1
9	Int.S	71	18	39.44	5,758,912	319.940	479,840	33.959	697	11.1 ± 1.4
10	Int.S	37	16	23.13	1,718,069	107.379	479,840	33.959	234	19.3 ± 3.2
11	Int.S	34	16	21.25	574,463	35.904	479,840	33.959	78	53.0 ± 9.3 *
12	Int.S	26	12	21.67	1,551,402	129.283	479,840	33.959	282	15.1 ± 3.0
13	Int.S	45	16	28.13	3,842,707	240.169	479,840	33.959	523	10.5 ± 1.6
14	Int.S	26	16	16.25	2,245,780	140.361	479,840	33.959	306	10.4 ± 2.1
15	Int.S	46	16	28.75	2,473,597	154.600	479,840	33.959	337	16.7 ± 2.5
16	Int.S	39	10	39.00	2,021,723	202.172	479,840	33.959	441	17.3 ± 2.8
17	Int.S	64	16	40.00	2,115,087	132.193	479,840	33.959	288	27.2 ± 3.5
18	Int.S	38	16	23.75	2,949,558	184.347	479,840	33.959	402	11.6 ± 1.9
19	Int.S	19	18	10.56	1,450,601	80.589	479,840	33.959	176	11.8 ± 2.7
20	Int.S	39	12	32.50	1,822,294	151.858	479,840	33.959	331	19.2 ± 3.1
21	Int.S	51	16	31.88	2,931,140	183.196	479,840	33.959	399	15.6 ± 2.2
22	Int.S	45	16	28.13	2,701,167	168.823	479,840	33.959	368	15.0 ± 2.3
23	Int.S	16	12	13.33	979,337	81.611	479,840	33.959	178	14.7 ± 3.7
24	Int.S	17	12	14.17	996,834	83.070	479,840	33.959	181	15.3 ± 3.7
25	Int.S	35	15	23.33	1,798,893	119.926	479,840	33.959	261	17.5 ± 3.0
26	Int.S	28	16	17.50	1,558,654	97.416	479,840	33.959	212	16.1 ± 3.1
27	Int.S	39	12	32.50	2,042,588	170.216	479,840	33.959	371	17.2 ± 2.8
28	Int.S	41	12	34.17	2,859,877	238.323	479,840	33.959	519	12.9 ± 2.1
29	Int.S	22	12	18.33	1,363,864	113.655	479,840	33.959	248	14.5 ± 3.1
30	Int.S	15	12	12.50	1,727,851	143.988	479,840	33.959	314	7.8 ± 2.0
Sample: 16101517										
Zeta value = 53.0 ± 1.7 (cm ² · yr ⁻¹)										
1	Int.S	33	24	13.75	2,494,176	103.924	479,840	33.959	226	11.9 ± 2.1
2	Int.S	58	30	19.33	6,418,163	213.939	479,840	33.959	466	8.1 ± 1.1
3	Int.S	38	25	15.20	2,732,497	109.300	479,840	33.959	238	12.5 ± 2.1
4	Int.S	21	25	8.40	2,800,015	112.001	479,840	33.959	244	6.7 ± 1.5
5	Int.S	47	16	29.38	5,576,896	348.556	479,840	33.959	760	7.6 ± 1.1
6	Int.S	63	30	21.00	9,022,426	300.748	479,840	33.959	655	6.3 ± 0.8
7	Int.S	81	32	25.31	5,476,681	171.146	479,840	33.959	373	13.3 ± 1.5
8	Int.S	48	16	30.00	3,976,021	248.501	479,840	33.959	542	10.9 ± 1.6
9	Int.S	31	25	12.40	2,895,248	115.810	479,840	33.959	252	9.6 ± 1.8
10	Int.S	51	25	20.40	6,110,043	244.402	479,840	33.959	533	7.5 ± 1.1
11	Int.S	30	25	12.00	3,331,292	133.252	479,840	33.959	290	8.1 ± 1.5
12	Int.S	61	36	16.94	6,938,098	192.725	479,840	33.959	420	7.9 ± 1.0
13	Int.S	30	24	12.50	3,592,333	149.681	479,840	33.959	326	7.5 ± 1.4
14	Int.S	31	16	19.38	3,689,478	230.592	479,840	33.959	502	7.6 ± 1.4
15	Int.S	52	24	21.67	8,527,303	355.304	479,840	33.959	774	5.5 ± 0.8
16	Int.S	50	30	16.67	11,165,135	372.171	479,840	33.959	811	4.0 ± 0.6
17	Int.S	51	32	15.94	5,844,670	182.646	479,840	33.959	398	7.8 ± 1.1
18	Int.S	28	20	14.00	3,178,351	158.918	479,840	33.959	346	7.9 ± 1.5
19	Int.S	33	15	22.00	3,152,048	210.137	479,840	33.959	458	9.4 ± 1.7
20	Int.S	30	24	12.50	3,328,327	138.680	479,840	33.959	302	8.1 ± 1.5
21	Int.S	25	24	10.42	2,581,465	107.561	479,840	33.959	234	8.7 ± 1.8
22	Int.S	31	16	19.38	4,274,461	267.154	479,840	33.959	582	6.5 ± 1.2
23	Int.S	31	16	19.38	2,315,930	144.746	479,840	33.959	315	12.0 ± 2.2
24	Int.S	23	24	9.58	2,781,632	115.901	479,840	33.959	253	7.4 ± 1.6
25	Int.S	30	24	12.50	3,610,341	150.431	479,840	33.959	328	7.5 ± 1.4
26	Int.S	42	15	28.00	4,861,511	324.101	479,840	33.959	706	7.8 ± 1.2
27	Int.S	21	16	13.13	2,144,160	134.010	479,840	33.959	292	8.8 ± 1.9
28	Int.S	37	12	30.83	7,765,926	647.160	479,840	33.959	1410	4.3 ± 0.7
29	Int.S	61	18	33.89	5,054,683	280.816	479,840	33.959	612	10.8 ± 1.4
30	Int.S	29	12	24.17	3,962,308	330.192	479,840	33.959	720	6.6 ± 1.2

Int.S, internal zircon crystal surfaces used for spontaneous track counting. Ext.S.: External zircon crystal surfaces used for spontaneous track counting. N_s, number of spontaneous fission tracks. ρ_s, spontaneous fission track density. N_{u-sp}, area-corrected total count of ²³⁸U on unknown samples. ρ_{u-sp}, density of area-corrected total count of ²³⁸U on unknown samples. N_{u-std}, total count of ²³⁸U on U-standard samples. ρ_{u-std}, density of total count of ²³⁸U on U-standard samples. *, excluded from age calculation.

付表7 ジルコン粒子毎のFT分析データ(試料17100410及び17083010)
Table A7 Fission-track data of each zircon grain (sample 17100410 and 17083010)

Grain no.	Method	N _s	Count area (10 ⁶ cm ²)	ρ _s (10 ⁵ cm ⁻²)	N _{u-sp}	ρ _{u-sp} (10 ⁹ cm ⁻²)	N _{u-std}	ρ _{u-std} (10 ⁹ cm ⁻²)	U (ppm)	Age ± 1σ (Ma)	
Sample : 17100410		Zeta value = 46.4 ± 2.1 (cm ² · yr ⁻¹)									
1	Int.S	17	16	10.63	122,115	7.632	48,504	5.389	105	17.4 ± 4.3	
2	Int.S	13	16	8.13	117,813	7.363	48,504	5.389	101	13.8 ± 3.9	
3	Int.S	24	16	15.00	202,659	12.666	48,504	5.389	174	14.8 ± 3.1	
4	Int.S	18	16	11.25	176,990	11.062	48,504	5.389	152	12.7 ± 3.1	
5	Int.S	9	16	5.63	37,116	2.320	48,504	5.389	32	30.3 ± 10.2	
6	Int.S	17	16	10.63	171,482	10.718	48,504	5.389	147	12.4 ± 3.1	
7	Int.S	12	16	7.50	116,335	7.271	48,504	5.389	100	12.9 ± 3.8	
8	Int.S	25	16	15.63	150,481	9.405	48,504	5.389	129	20.8 ± 4.3	
9	Int.S	12	16	7.50	145,498	9.094	48,504	5.389	125	10.3 ± 3.0	
10	Int.S	22	16	13.75	156,426	9.777	48,504	5.389	134	17.6 ± 3.8	
11	Int.S	13	16	8.13	177,595	11.100	48,504	5.389	152	9.2 ± 2.6	
12	Int.S	11	16	6.88	114,791	7.174	48,504	5.389	99	12.0 ± 3.7	
13	Int.S	5	16	3.13	123,920	7.745	48,504	5.389	106	5.0 ± 2.3	
14	Int.S	21	16	13.13	168,504	10.532	48,504	5.389	145	15.6 ± 3.5	
15	Int.S	18	16	11.25	233,378	14.586	48,504	5.389	200	9.6 ± 2.3	
16	Int.S	16	16	10.00	161,675	10.105	48,504	5.389	139	12.4 ± 3.1	
17	Int.S	9	16	5.63	92,071	5.754	48,504	5.389	79	12.2 ± 4.1	
18	Int.S	18	12	15.00	187,040	15.587	48,504	5.389	214	12.0 ± 2.9	
19	Int.S	11	12	9.17	79,019	6.585	48,504	5.389	90	17.4 ± 5.3	
20	Int.S	22	16	13.75	276,595	17.287	48,504	5.389	237	9.9 ± 2.2	
21	Int.S	16	16	10.00	179,085	11.193	48,504	5.389	154	11.2 ± 2.8	
22	Int.S	12	16	7.50	151,187	9.449	48,504	5.389	130	9.9 ± 2.9	
23	Int.S	15	16	9.38	132,080	8.255	48,504	5.389	113	14.2 ± 3.7	
24	Int.S	12	16	7.50	216,493	13.531	48,504	5.389	186	6.9 ± 2.0	
25	Int.S	17	16	10.63	130,707	8.169	48,504	5.389	112	16.3 ± 4.0	
26	Int.S	15	12	12.50	173,221	14.435	48,504	5.389	198	10.8 ± 2.8	
27	Int.S	8	16	5.00	139,032	8.689	48,504	5.389	119	7.2 ± 2.6	
28	Int.S	15	16	9.38	203,275	12.705	48,504	5.389	174	9.2 ± 2.4	
29	Int.S	21	16	13.13	179,013	11.188	48,504	5.389	154	14.7 ± 3.3	
30	Int.S	18	16	11.25	133,051	8.316	48,504	5.389	114	16.9 ± 4.1	
Sample: 17083010		Zeta value = 46.4 ± 2.1 (cm ² · yr ⁻¹)									
1	Int.S	14	16	8.75	144,534	9.033	20,146	5.037	133	11.3 ± 3.1	
2	Int.S	26	12	21.67	267,479	22.290	20,146	5.037	327	11.4 ± 2.3	
3	Int.S	6	9	6.67	84,284	9.365	20,146	5.037	138	8.3 ± 3.4	
4	Int.S	12	12	10.00	112,219	9.352	20,146	5.037	137	12.5 ± 3.6	
5	Int.S	4	6	6.67	50,762	8.460	20,146	5.037	124	9.2 ± 4.6	
6	Int.S	4	8	5.00	65,101	8.138	20,146	5.037	120	7.2 ± 3.6	
7	Int.S	15	8	18.75	132,537	16.567	20,146	5.037	243	13.2 ± 3.5	
8	Int.S	8	6	13.33	74,764	12.461	20,146	5.037	183	12.5 ± 4.5	
9	Int.S	6	6	10.00	61,801	10.300	20,146	5.037	151	11.3 ± 4.7	
10	Int.S	22	9	24.44	197,794	21.977	20,146	5.037	323	13.0 ± 2.8	
11	Int.S	5	6	8.33	60,721	10.120	20,146	5.037	149	9.6 ± 4.3	
12	Int.S	5	6	8.33	58,341	9.724	20,146	5.037	143	10.0 ± 4.5	
13	Int.S	11	4	27.50	142,668	35.667	20,146	5.037	524	9.0 ± 2.7	
14	Int.S	6	8	7.50	64,444	8.056	20,146	5.037	118	10.9 ± 4.5	
15	Int.S	3	6	5.00	38,206	6.368	20,146	5.037	94	9.2 ± 5.3	
16	Int.S	9	6	15.00	63,121	10.520	20,146	5.037	155	16.7 ± 5.6	
17	Int.S	16	4	40.00	146,200	36.550	20,146	5.037	537	12.8 ± 3.2 *	
18	Int.S	5	4	12.50	42,542	10.636	20,146	5.037	156	13.7 ± 6.2	
19	Int.S	4	4	10.00	29,343	7.336	20,146	5.037	108	15.9 ± 8.0	
20	Int.S	4	4	10.00	47,940	11.985	20,146	5.037	176	9.7 ± 4.9	
21	Int.S	7	4	17.50	70,901	17.725	20,146	5.037	260	11.5 ± 4.4	
22	Int.S	21	6	35.00	173,005	28.834	20,146	5.037	424	14.2 ± 3.2	
23	Int.S	4	7	5.71	45,431	6.490	20,146	5.037	95	10.3 ± 5.2	
24	Int.S	4	6	6.67	137,515	22.919	20,146	5.037	337	3.4 ± 1.7	
25	Int.S	3	4	7.50	78,055	19.514	20,146	5.037	287	4.5 ± 2.6	
26	Int.S	6	4	15.00	60,494	15.123	20,146	5.037	222	11.6 ± 4.8 *	
27	Int.S	6	4	15.00	41,502	10.376	20,146	5.037	152	16.9 ± 6.9	
28	Int.S	28	4	70.00	263,588	65.897	20,146	5.037	968	12.4 ± 2.4	
29	Int.S	8	4	20.00	36,640	9.160	20,146	5.037	135	25.5 ± 9.1	
30	Int.S	6	4	15.00	32,769	8.192	20,146	5.037	120	21.4 ± 8.8 *	

Int.S, internal zircon crystal surfaces used for spontaneous track counting. Ext.S.: External zircon crystal surfaces used for spontaneous track counting. N_s, number of spontaneous fission tracks. ρ_s, spontaneous fission track density. N_{u-sp}, area-corrected total count of ²³⁸U on unknown samples. ρ_{u-sp}, density of area-corrected total count of ²³⁸U on unknown samples. N_{u-std}, total count of ²³⁸U on U-standard samples. ρ_{u-std}, density of total count of ²³⁸U on U-standard samples. *, excluded from age calculation.

1/20 万「野辺地」地域に分布する中新統の U-Pb 及び FT 年代 (工藤)

付表8 ジルコン粒子毎のFT分析データ (試料17083115A)

Table A8 Fission-track data of each zircon grain (sample 17083115A)

Grain no.	Method	N _s	Count area (10 ⁻⁶ cm ²)	ρ _s (10 ⁵ cm ⁻²)	N _{u-sp}	ρ _{u-sp} (10 ⁹ cm ⁻²)	N _{u-std}	ρ _{u-std} (10 ⁹ cm ⁻²)	U (ppm)	Age ± 1σ (Ma)	
Sample : 17083115A		Zeta value = 46.4 ± 2.1 (cm ² · yr ⁻¹)									
1	Int.S	32	12	26.67	242,874	20.239	45,457	5.051	297	15.4 ± 2.8	*
2	Int.S	34	16	21.25	350,170	21.886	45,457	5.051	321	11.4 ± 2.0	
3	Int.S	10	10	10.00	67,272	6.727	45,457	5.051	99	17.4 ± 5.6	*
4	Int.S	38	16	23.75	315,200	19.700	45,457	5.051	289	14.1 ± 2.4	
5	Int.S	36	16	22.50	200,708	12.544	45,457	5.051	184	21.0 ± 3.6	*
6	Int.S	51	6	85.00	59,062	9.844	45,457	5.051	144	100.5 ± 14.8	*
7	Int.S	42	4	105.00	137,013	34.253	45,457	5.051	502	35.8 ± 5.8	*
8	Int.S	27	9	30.00	223,688	24.854	45,457	5.051	364	14.1 ± 2.8	*
9	Int.S	74	16	46.25	81,135	5.071	45,457	5.051	74	106.1 ± 13.2	*
10	Int.S	17	16	10.63	123,648	7.728	45,457	5.051	113	16.1 ± 4.0	
11	Int.S	53	9	58.89	69,963	7.774	45,457	5.051	114	88.2 ± 12.7	*
12	Int.S	7	12	5.83	29,220	2.435	45,457	5.051	36	28.0 ± 10.7	
13	Int.S	114	16	71.25	108,413	6.776	45,457	5.051	99	122.1 ± 12.7	*
14	Int.S	12	9	13.33	59,062	6.562	45,457	5.051	96	23.8 ± 6.9	
15	Int.S	7	16	4.38	88,221	5.514	45,457	5.051	81	9.3 ± 3.5	
16	Int.S	4	12	3.33	71,295	5.941	45,457	5.051	87	6.6 ± 3.3	
17	Int.S	9	16	5.63	55,893	3.493	45,457	5.051	51	18.9 ± 6.3	*
18	Int.S	26	9	28.89	167,156	18.573	45,457	5.051	272	18.2 ± 3.7	*
19	Int.S	2	8	2.50	29,912	3.739	45,457	5.051	55	7.8 ± 5.6	*
20	Int.S	31	16	19.38	250,506	15.657	45,457	5.051	229	14.5 ± 2.7	
21	Int.S	40	9	44.44	246,971	27.441	45,457	5.051	402	19.0 ± 3.1	*
22	Int.S	16	9	17.78	193,026	21.447	45,457	5.051	314	9.7 ± 2.5	
23	Int.S	9	16	5.63	218,288	13.643	45,457	5.051	200	4.8 ± 1.6	
24	Int.S	39	16	24.38	363,954	22.747	45,457	5.051	333	12.6 ± 2.1	
25	Int.S	4	16	2.50	42,317	2.645	45,457	5.051	39	11.1 ± 5.6	
26	Int.S	29	16	18.13	406,841	25.428	45,457	5.051	373	8.4 ± 1.6	
27	Int.S	40	16	25.00	267,601	16.725	45,457	5.051	245	17.5 ± 2.9	
28	Int.S	6	12	5.00	23,595	1.966	45,457	5.051	29	29.8 ± 12.2	*
29	Int.S	34	16	21.25	369,908	23.119	45,457	5.051	339	10.8 ± 1.9	
30	Int.S	10	8	12.50	131,489	16.436	45,457	5.051	241	8.9 ± 2.8	*

Int.S, internal zircon crystal surfaces used for spontaneous track counting. Ext.S.: External zircon crystal surfaces used for spontaneous track counting. N_s, number of spontaneous fission tracks. ρ_s, spontaneous fission track density. N_{u-sp}, area-corrected total count of ²³⁸U on unknown samples. ρ_{u-sp}, density of area-corrected total count of ²³⁸U on unknown samples. N_{u-std}, total count of ²³⁸U on U-standard samples. ρ_{u-std}, density of total count of ²³⁸U on U-standard samples. *, excluded from age calculation.

地質調査総合センター研究資料集

- 695 20世紀初頭の震源データー主に台湾周辺地域ー -G-EVER アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムデータ 6/7- 石川 有三
- 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
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 松本 恵子・下司 信夫・島村 哲也・岩橋 くるみ
- 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
- 700 大規模火砕噴火推移時系列データ集 その1 下司 信夫・池上 郁彦・西原 歩
- 701 ベントナイトなどのメチレンブルー吸着量の測定方法のJIS規格（JIS Z 2451）の解説書の補足 三好 陽子・鈴木 正哉・森本 和也・渡邊 保貴・宮腰 久美子・高木 哲一
- 702 新規富士火山降下火砕物の層序、平均最大粒径、最小体積及び化学組成 山元 孝広・中野 俊・石塚 吉浩・高田 亮
- 703 火山灰カタログ3：阿蘇山（中岳）2014年～2016年噴火噴出物 松本 恵子・大槻 静香・下司 信夫
- 704 産総研地下水等総合観測点の孔井における孔壁画像資料 木口 努・松本 則夫・北川 有一・重松 紀生・板場 智史・塚本 齊・佐藤 努
- 705 Modified GOTIC2：地下での観測における海洋潮汐荷重効果を推定するソフトウェア 上垣内 修・松本 則夫・弘瀬 冬樹
- 706 霧島火山新燃岳2008年噴火噴出物の分布 下司 信夫・宝田 晋治

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

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

事務局

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

Secretariat Office

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

地質調査研究報告 第71巻 第5号
令和2年11月30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. 5 Issue November 30, 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. 5 2020

CONTENTS

- Chronostratigraphy of the Lower to Middle Miocene in the eastern part of Shimokita Peninsula, North-east Japan
KUDO Takashi, HORIUCHI Seiji and YANAGISAWA Yukio 439
- Recognition and stratigraphic correlation of marine Pleistocene deposits beneath the Hidaka Upland based on diatom assemblages in the Hidaka Observation Well, Saitama Prefecture, Japan
NAYA Tomonori, NAGAI Masashi and OMURA Kentaro 463
- A sediment core of Holocene incised valley fills in the Nahari Lowland, east Kochi Prefecture, southwest Japan
UEKI Takeyuki 473
- Zircon U–Pb and fission-track ages of the Miocene in the 1:200,000 Noheji Quadrangle, Northeast Japan
KUDO Takashi 481