

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 Shimokita 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)。

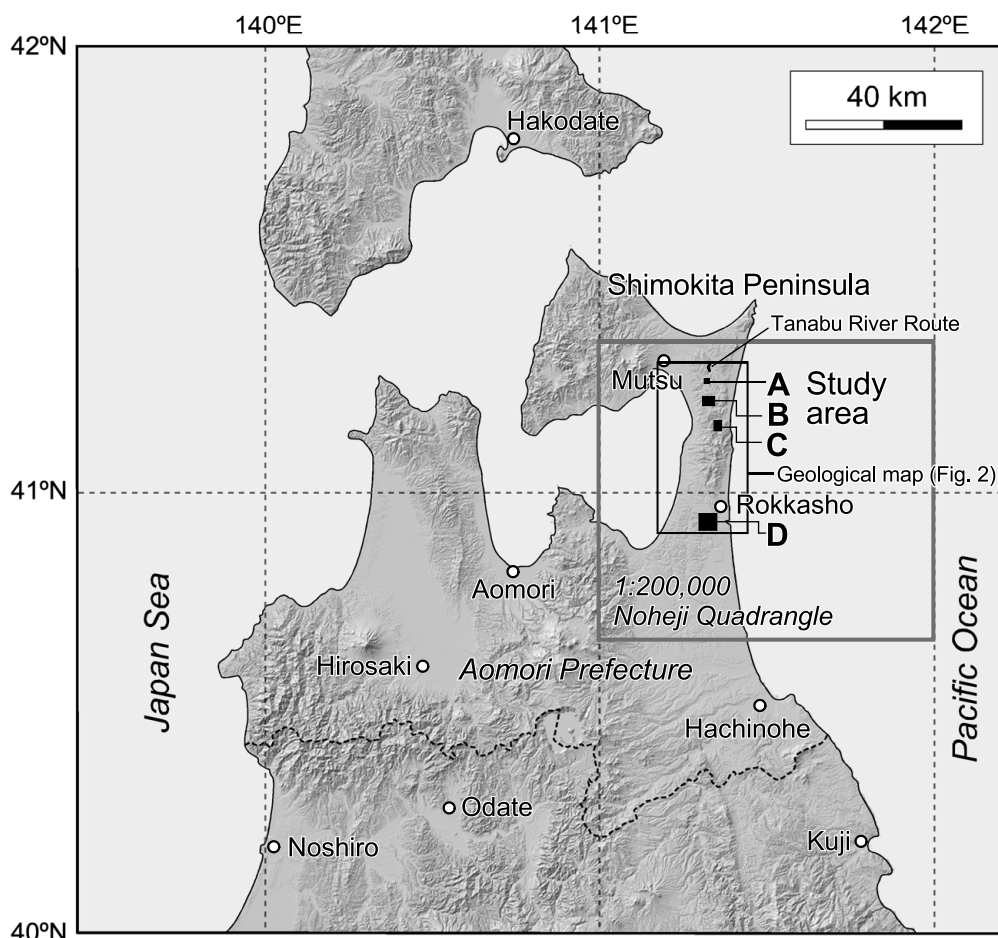
これらの下部～中部中新統については、柴崎ほか(1958)、岩井ほか(1959)、今井(1961)、北村・藤井(1962)、山口(1970)、多田ほか(1988)、岩井(1986)、岩井ほか(1986)、芳賀・山口(1990)、リサイクル燃料貯蔵株式会社(2009)、東京電力株式会社(2010)、東北電力株式会社(2014)、日本原燃株式会社(2014)などの研究報告がある。これらによれば、下北半島東部の下部～中部中新統は、猿ヶ森層、泊層、鷹架層及び蒲野沢層からなる(第2図)。これらの岩相に基づく区分自体については、研究報告間で細かい違いはあるが大局的には一致している。しかしながら、各地層の層序関係については、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



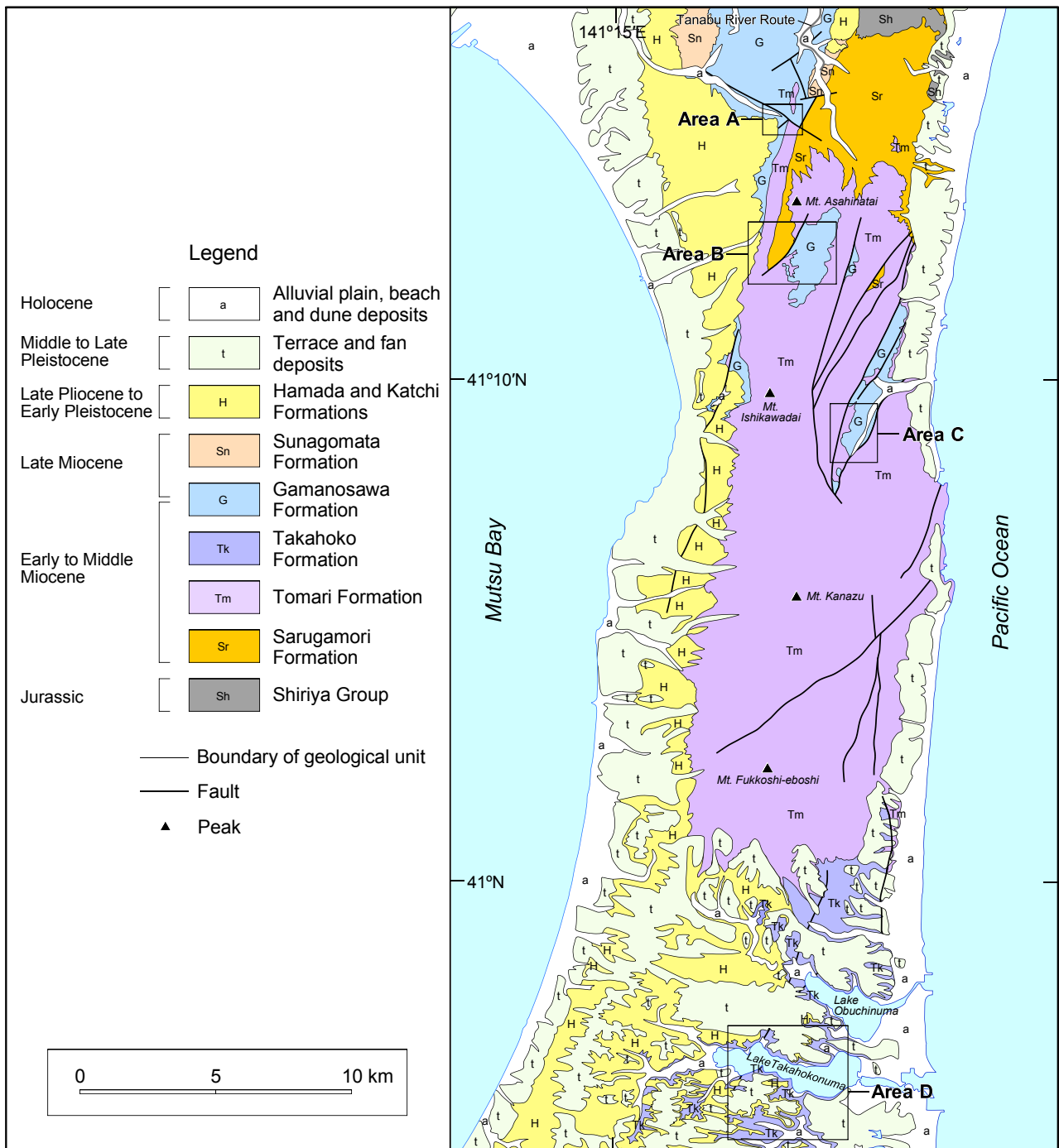
第1図 調査地域の位置図。陰影起伏図は国土地理院の地理院地図による。

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,

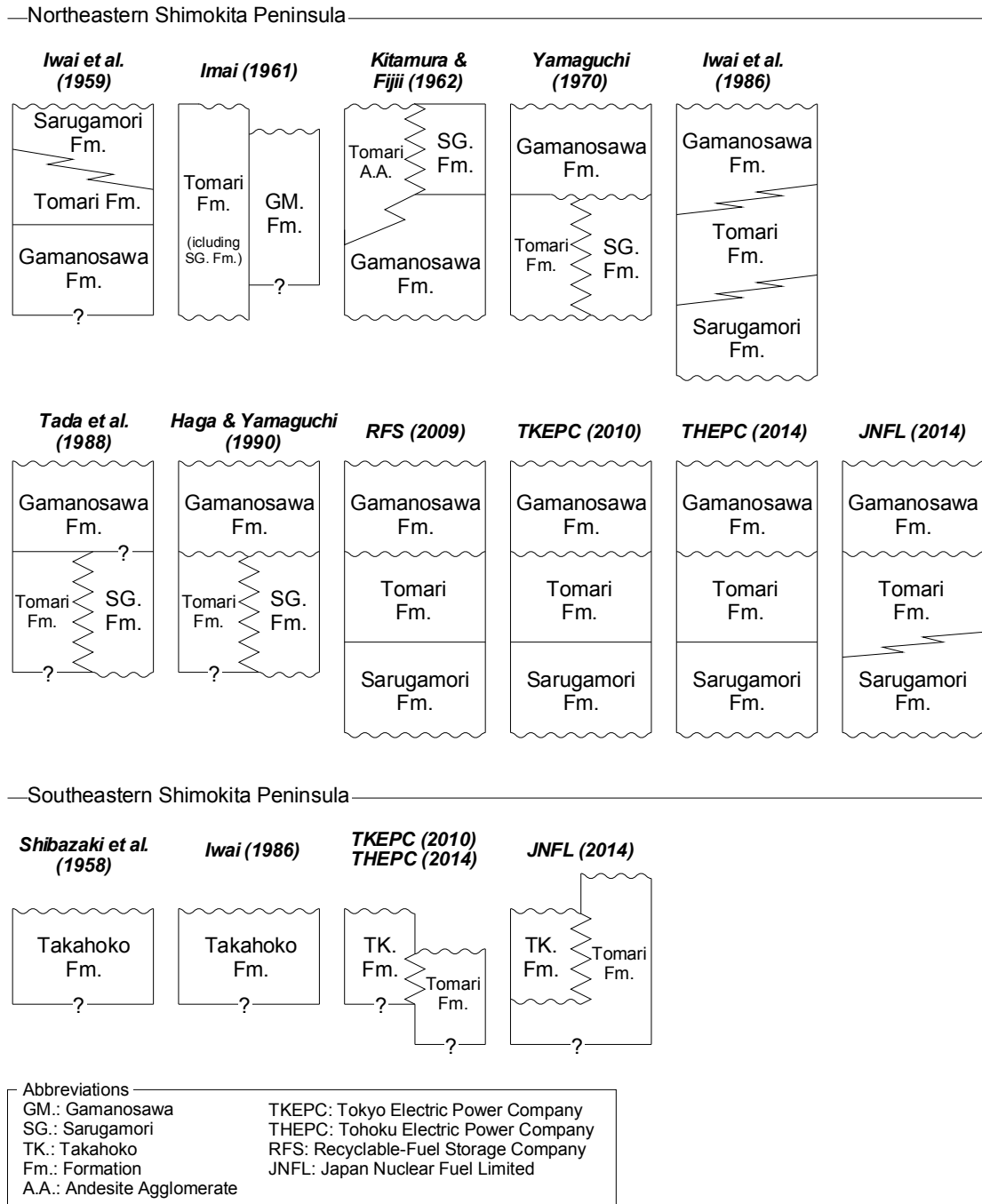
2014)では鷹架層は泊層と指交関係または不整合関係にあるとされているが、鷹架層のどの層準が泊層と指交関係にあるのかについては見解が分かれたままである(第2図)。

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)。

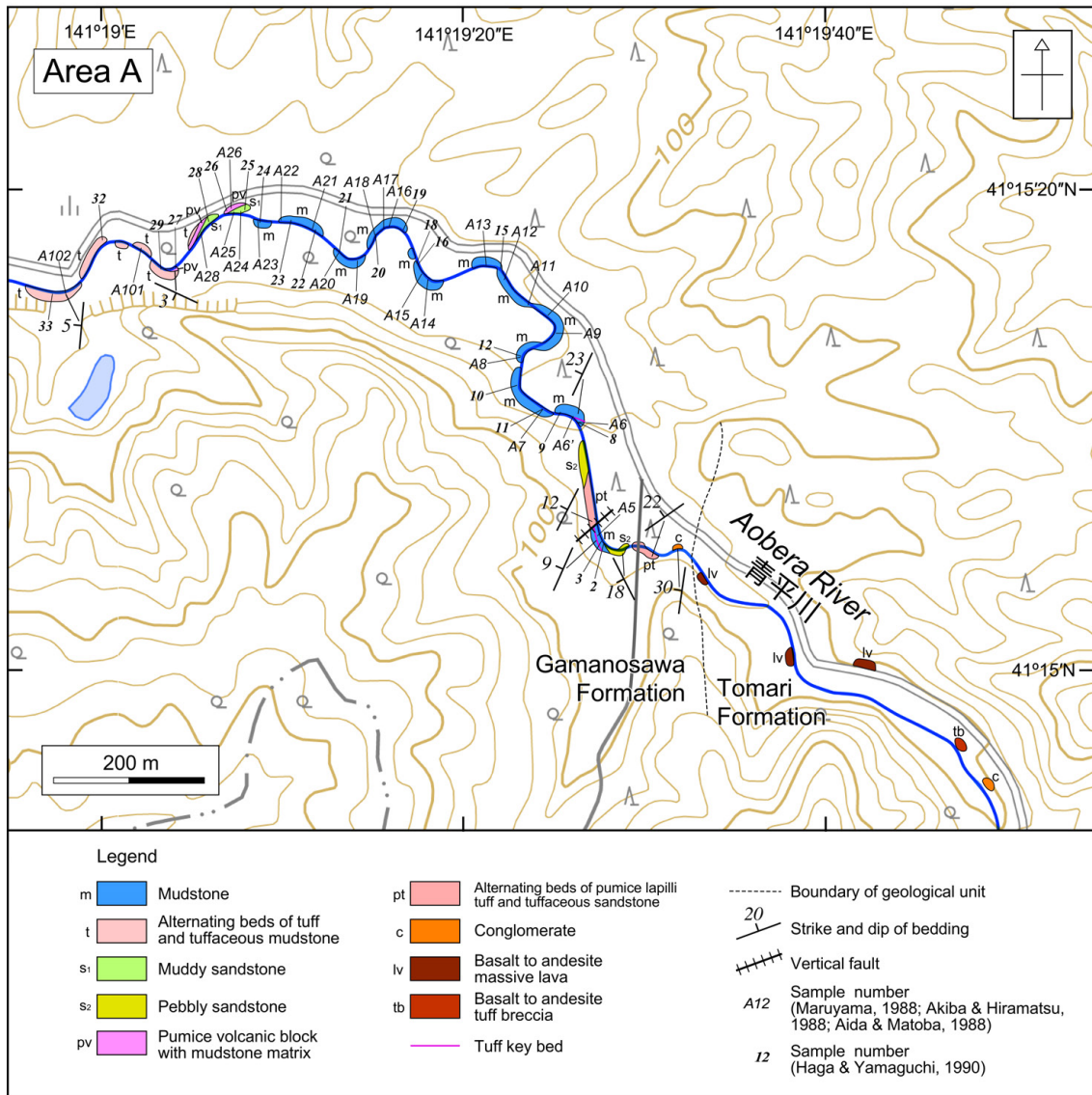
泊層は、玄武岩～安山岩の塊状溶岩及び凝灰角礫岩からなり、一部で玄武岩～安山岩垂円礫からなる大礫岩を伴う。

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。

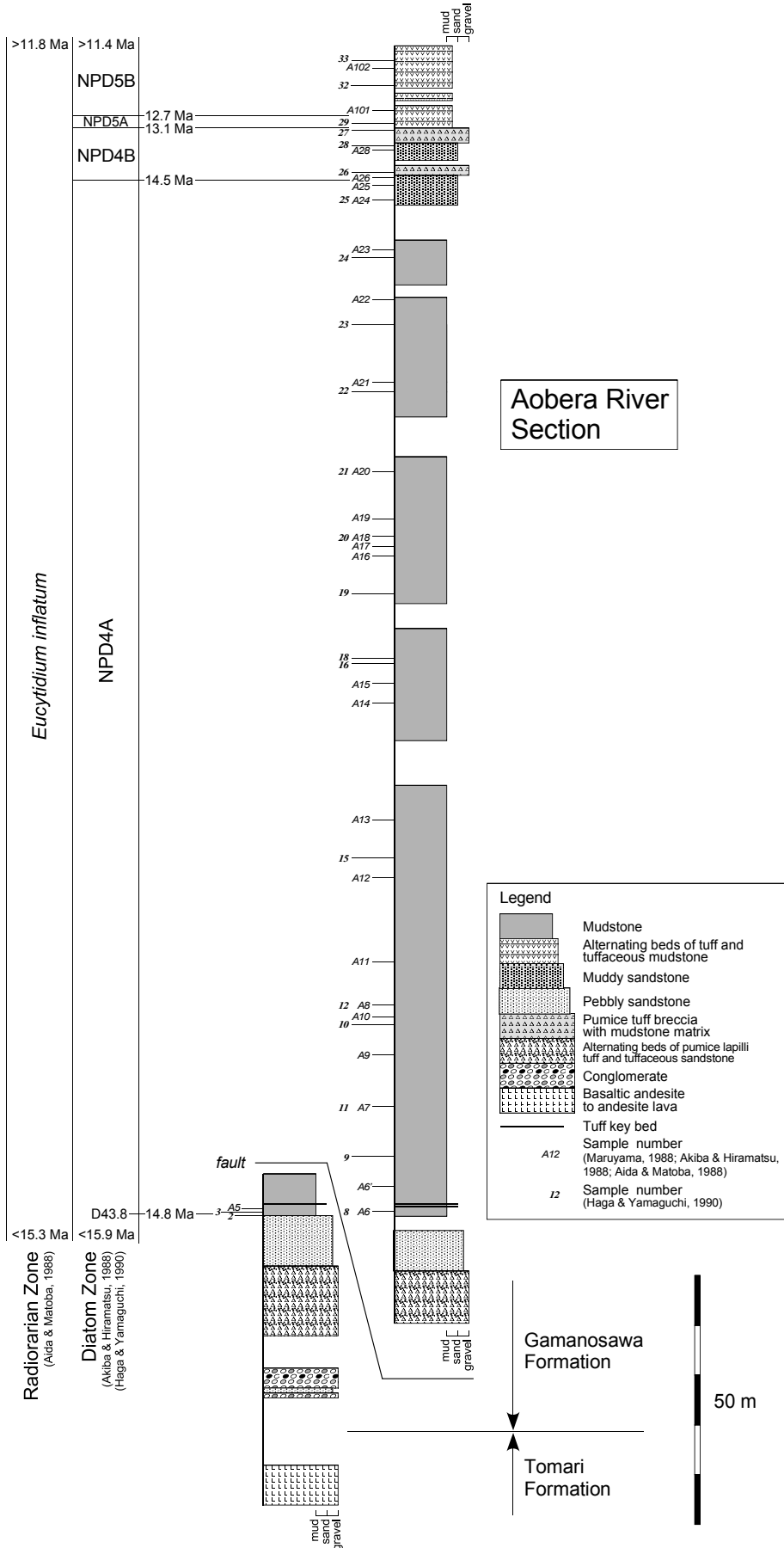
Fig. 4 Route map of the upper stream of the Aoibera River (Area A), based on the original data of this study. The location of this area is shown in Figs. 1 and 2. Base map is from GSI Map. Sample locations of Maruyama (1988), Akiba and Hiramatsu (1988), and Aida and Matoba (1988) are shown on the basis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

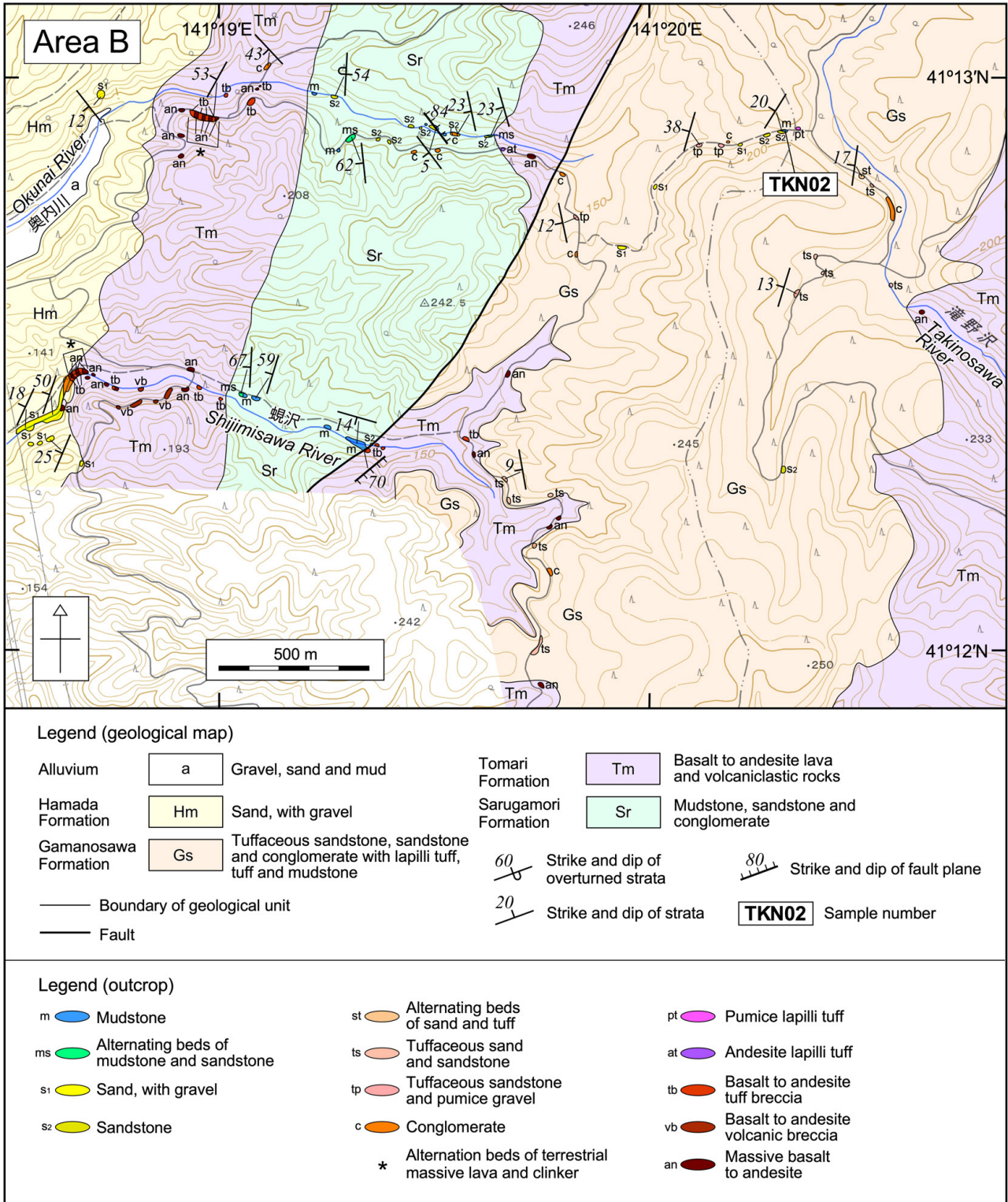
(p. 445 →)

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）。

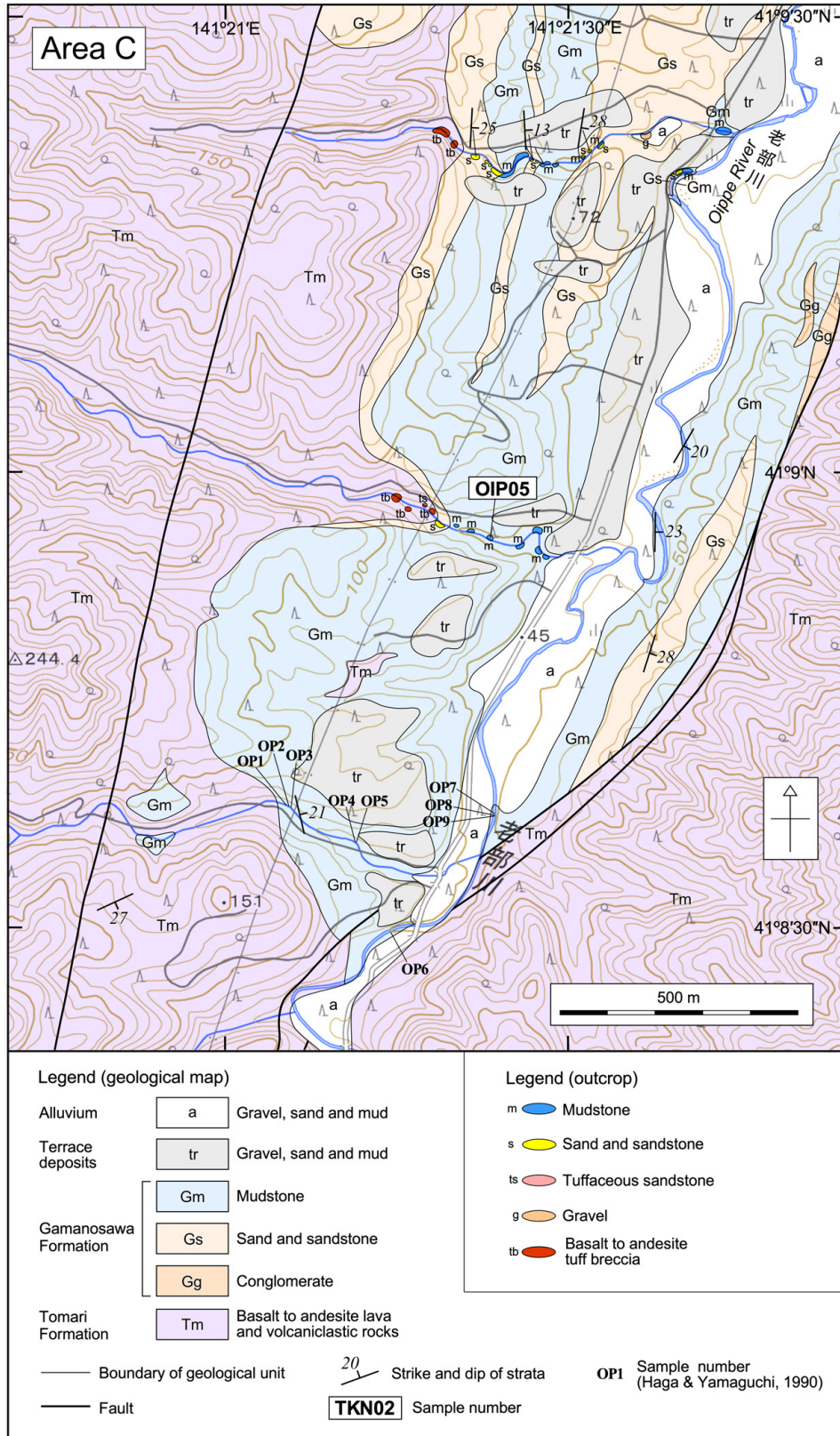
鷹架層は、日本原燃株式会社（2014）により上部、中部、下部の3つに区分されている。鷹架層下部は、灰色を呈する泥岩及び砂岩からなる。鷹架層中部は、軽石質の凝灰質砂岩及び軽石火山礫凝灰岩からなる。鷹架層上部は、緑灰色を呈する塊状の珪藻質泥岩からなり、一部で砂岩や凝灰岩の薄層を伴う。また、鷹架層上部の最下部層準は、灰色を呈する塊状の極細粒砂岩からなる。本研究では、鷹架層上部の珪藻質泥岩から、試料THK07、THK06及びTHK05を採取した（第8図）。試料THK07は鷹架層上部の最下部付近の層準から採取したものであり、TKH07、06、05の順に上位層準となる（第8図）。

4. 微化石分析手法

4.1 珪藻化石分析

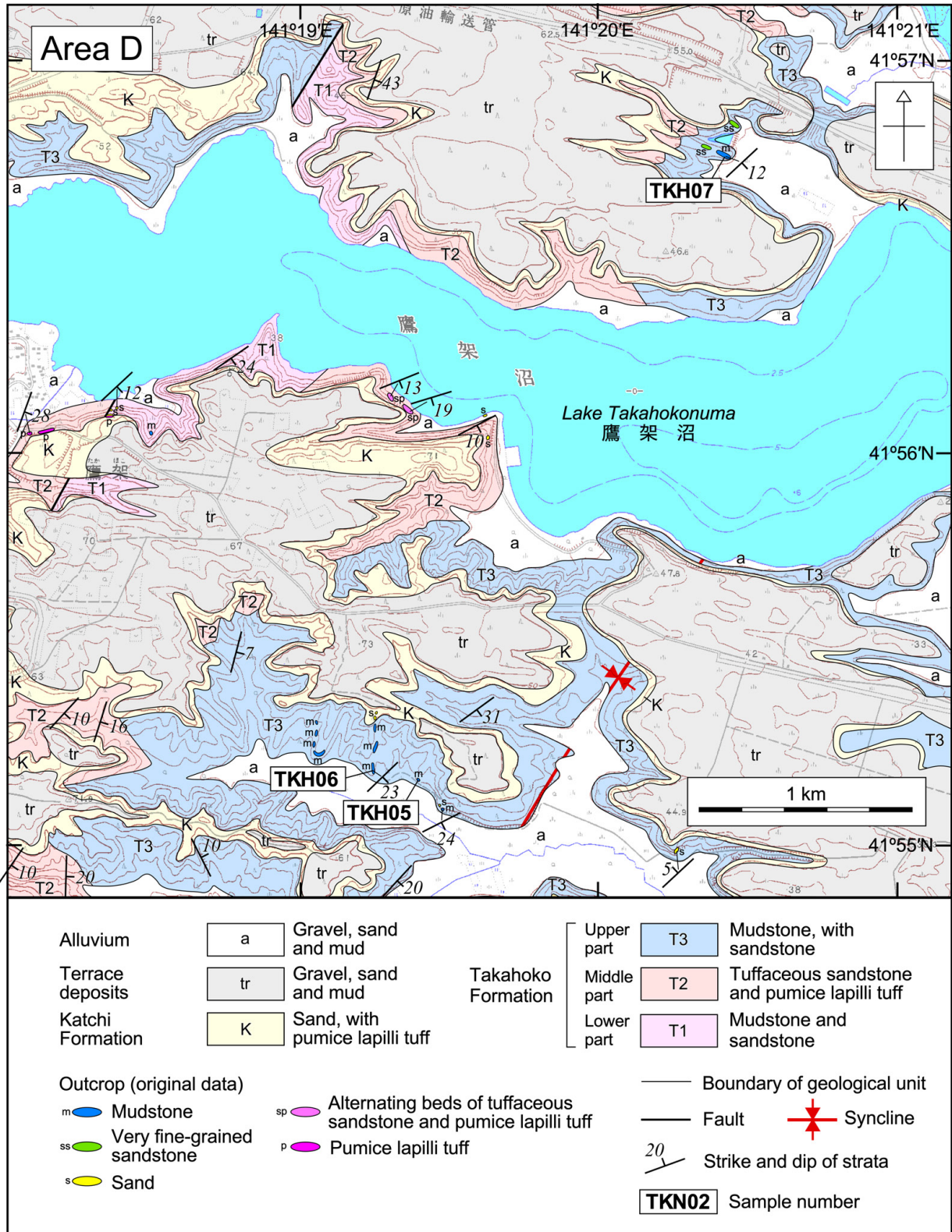
試料TKN02、OIP05、TKH05、TKH06、TKH07の5試料について珪藻化石分析を行った。乾燥重量約2gの試料をビーカーに計り取り、過酸化水素水と塩酸を加えて試料の泥化と有機物の分解・漂白を行った。次に、分散剤を加えた後、蒸留水を満たし放置した。その後、上澄み液中に浮遊した粘土分を除去し、珪藻殻の濃縮を行った。この操作を4～5回繰り返した。次に、自然沈降法による砂質分の除去を行い、検鏡し易い濃度に希釈し、カバーガラス上に滴下して乾燥させた。乾燥した試料上に封入剤のプルーラックスを滴下し、スライドガラスに貼り付けプレパラートを作製した。

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垂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垂帯と認定される。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垂帯に認定される。しかし、産出頻度が約45%と*D. hyalina*が多産することから、NPD4Bb垂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垂帯に属すると判断した方がよいと考えられる。NPD4Bb垂帯の下限は、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垂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垂帯と認定できる。*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. nitzschioides</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*, *Crucidentacula 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ン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ンノ化石層序が、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

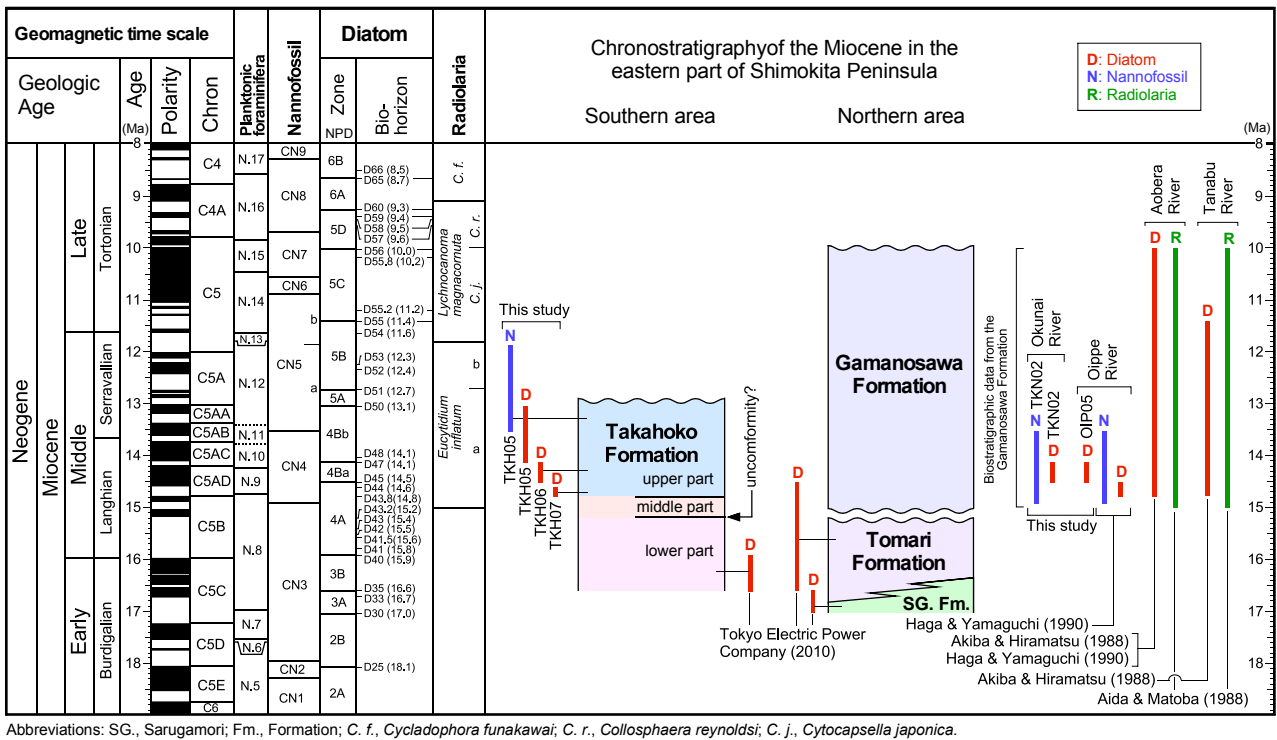
ビューし、再検討を行うとともに、本論により得られたデータとの比較検討を行う。なお、以下で用いる放散虫化石帯区分は、Kamikuri *et al.* (2017)に従った。

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。



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）。

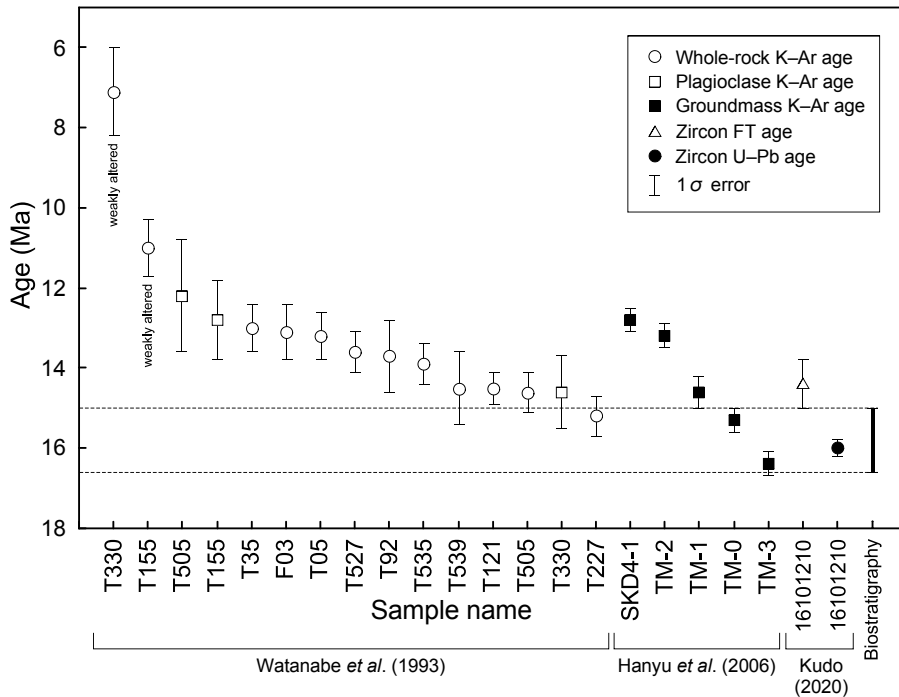
山口（1970）は、泊層と蒲野沢層が一部で著しい斜交不整合の関係にあるものの、多くの場所では泊層から蒲野沢層まで連続的に重なり、構造も平行していることから、両者の関係を整合関係と判断した。岩井ほか（1986）は、蒲野沢層と泊層が一部指交関係にある見解を示したが、具体的な根拠は示しておらず、両者の層序関係については種々の意見があると述べるに留まっている。多田ほか（1988）は、青平川ルートにおいて、蒲野沢層の基底礫岩が軽微な侵食面を以って泊層の安山岩質自破碎溶岩を覆うものの、両者に構造差が認められず、また両者の間に時間差も余りないと思われることから、一応整合関係と判断した。一方、芳賀・山口（1990）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。珪藻ミニ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.

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.

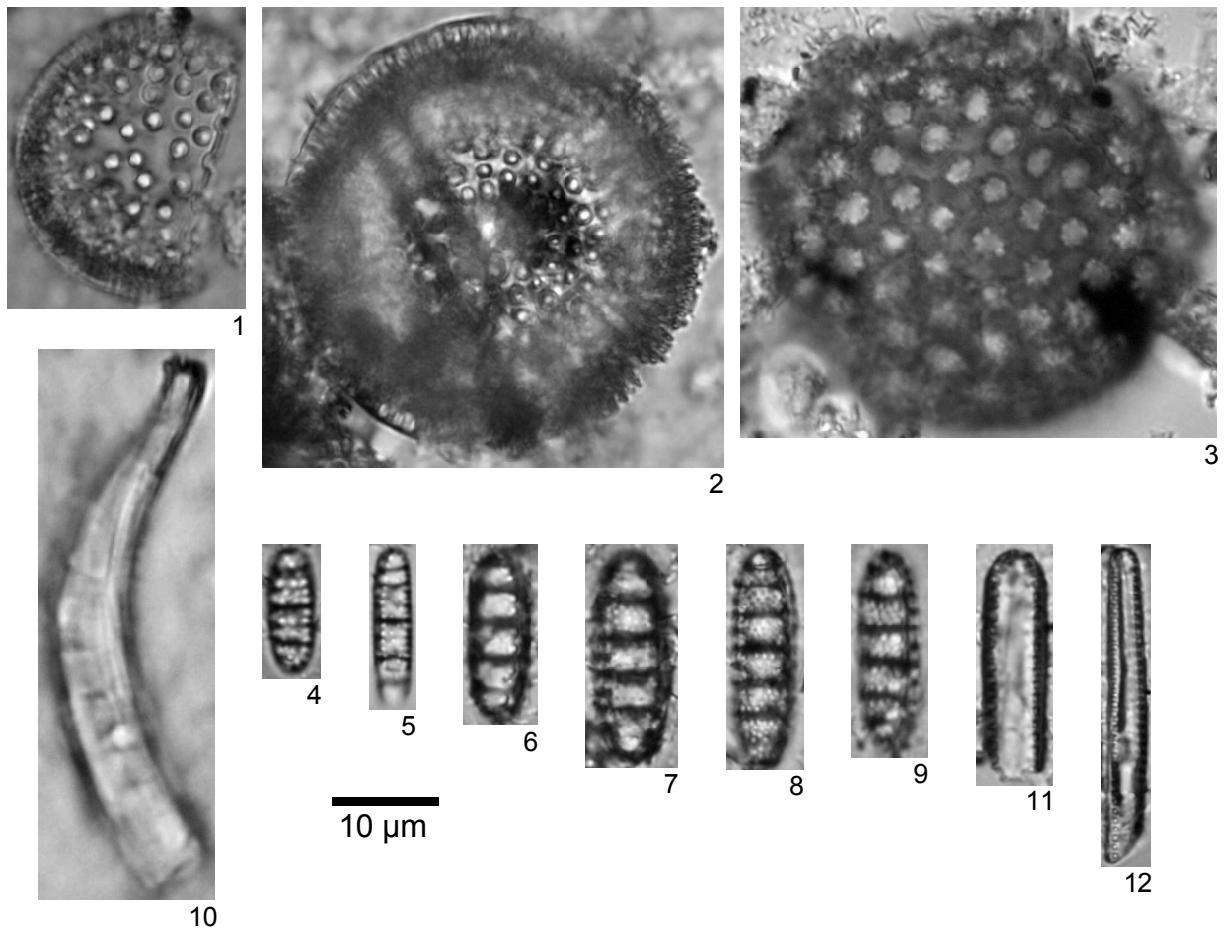
飯島 東・松本 良・多田隆治・渡部芳夫(1988) 青森県新第三系合同調査の試料採取地点および層準。第三紀珪質岩の総合研究, 昭和62年度科学研究費補助金(総合研究A)研究成果報告書, 1–12.

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)

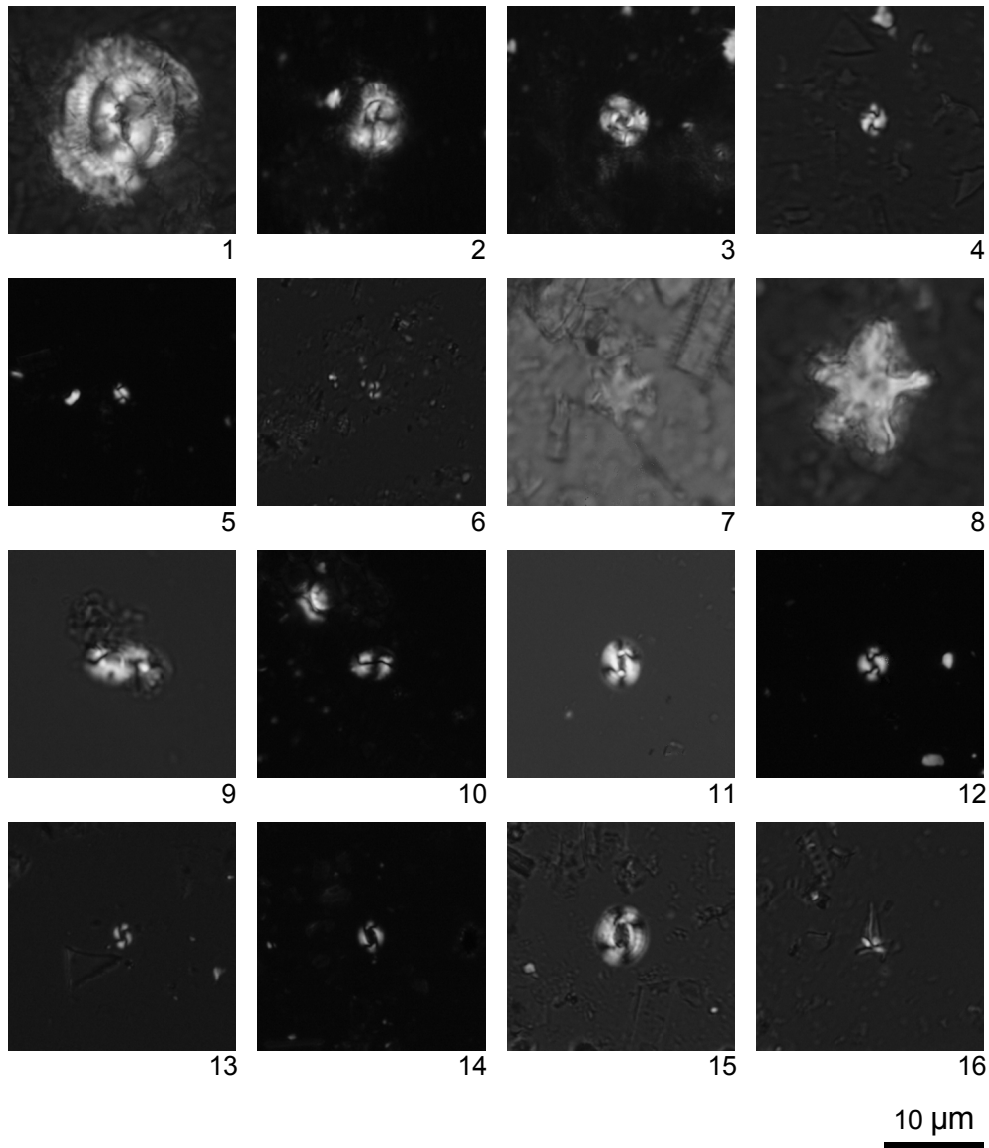
- 松島地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 121p.
- 岩井淳一・北村 信・藤井敬三(1959) 下北半島田名部町東方地区の地質. 青森県水産商工部商工課, 1-9.
- 岩井武彦(1986) 島弧横断ルートNo.10 (十三湖一五所川原一青森一野辺地一上北). 北村 信編 新生代東北本州弧地質資料集, 宝文堂, 8p.
- 岩井武彦・多田元彦・北村 信(1986) 島弧横断ルートNo. 8 (小泊半島一陸奥湾一むつ市一猿ヶ森)およびルートNo. 9 (横浜町一六ヶ所村). 北村 信編 新生代東北本州弧地質資料集, 宝文堂, 13p.
- Kamikuri, 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一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ノ化石。
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]