

総合地質

General Geology

Vol. 9 No. 1

論説

中央北海道の厚田産ハクジラ化石の産出年代—フィッショントラック年代と微化石による検討—

嵯峨山 積・一島啓人・木村方一

Geologic age of deposits (Bannosawa Formation), yielding an alleged albireonid dolphin remains, in Atsuta, Ishikari City, central Hokkaido, Japan: Based on fission track measurement and microfossil analyse

Tsumoru Sagayama, Hiroto Ichishima and Masaichi Kimura

..... 1-12

論説

古石狩湖の環境変遷—北海道石狩低地帯東野幌コアの花粉と珪藻化石—

星野フサ

Investigation of the Paleo-Lake Ishikariwann: Pollen and Diatom analyses of the core Higashinopporo in the Ishikari low land, Hokkaido, Japan

Fusa Hoshino

..... 13-20

論説

札幌市南区小金湯豊平川のクジラ化石産出箇所の地質と年代

岡 孝雄・加藤孝幸・大平寛人・秋葉文雄

Geology and geologic age of the whale fossil locality of Toyohira River in Koganeyu, Minami-ku, Sapporo City, Hokkaido

Takao Oka, Takayuki Katoh, Hiroto Ohira and Fumio Akiba 21-39

特定非営利活動法人 北海道総合地質学研究センター Hokkaido Research Center of Geology

理事長：宮下純夫 President: Sumio Miyashita

副理事長：中川 充 Vice President: Mitsuru Nakagawa

総合地質 General Geology

編集委員会 Editorial Committee

委員長：宮下純夫 Chief Editor: Sumio Miyashita

副委員長：岡 孝雄 Editor: Takao Oka

副委員長：岡村 聡 Editor: Satoshi Okamura

委員：田近 淳 Editor: Jun Tajika

委員：君波和雄 Editor: Kazuo Kiminami

委員：松田義章 Editor: Yoshiaki Matsuda

<論説>

中央北海道の厚田産ハクジラ化石の産出年代 ーフィッショントラック年代と微化石による検討ー¹⁾

嵯峨山 積^{2) 3)}・一島啓人⁴⁾・木村方一⁵⁾

Geologic age of deposits (Bannosawa Formation), yielding an alleged
albiroonid dolphin remains, in Atsuta, Ishikari City, central Hokkaido, Japan:
Based on fission track measurement and microfossil analyses¹⁾

Tsumoru Sagayama^{2) 3)}, Hiroto Ichishima⁴⁾ and Masaichi Kimura⁵⁾

2025年7月15日受付

2025年11月20日受理

1) 日本地質学会北海道支部 2025年度例会で口頭発表

2) 北海道総合地質学研究センター

連絡先: 〒069-0834 江別市文京台東町18番地の12

Hokkaido Research Center of Geology, c/o Sagayama, Ebetsu
069-0834, Japan

3) アースサイエンス株式会社 〒001-0039 札幌市北区北39条
西3丁目2-1

Earth Science Co. Ltd., Sapporo, 001-0039, Japan

4) 福井県立恐竜博物館 〒911-8601 福井県勝山市村岡町寺尾
51-11

Fukui Prefectural Dinosaur Museum, 51-11 Terao, Muroko-
cho, Katsuyama 911-8601, Japan

5) 北海道教育大学名誉教授

Professor Emeritus, Hokkaido University of Education

Corresponding author: T. Sagayama: tsaga@hrcg.jp

Keywords: geologic age, fossil dolphin, Atsuta, fission track,
microfossil, Bannosawa Formation

はじめに

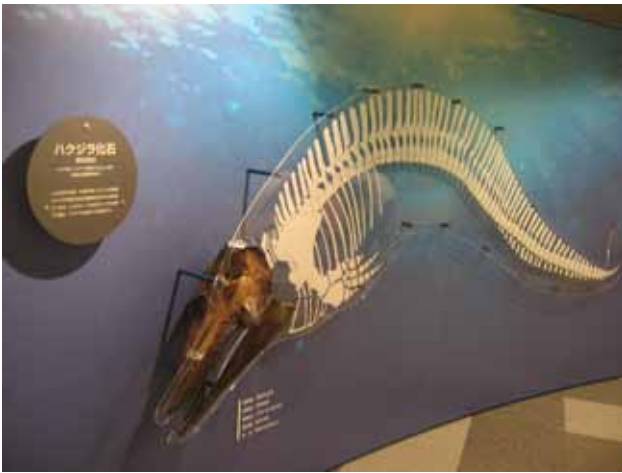
1995年に札幌市街約32km北西、石狩市厚田区(旧厚田村)の古潭市街付近に分布する新第三紀中新世の盤ノ沢層中部付近からハクジラの化石が福岡憲男氏(札幌市在住)により発見された(第1図)。1995年に発掘作業が行われ、札幌市博物館活動センター学芸員の古沢仁氏を中心となり研究がなされ(Barnes and Furusawa, 2001; 古沢・Barnes, 2002), その成果はパネルにも表されている(第2図)。しかし、古沢氏は志半ばにして2023年9月に逝去され、著者の一人である一島が研究を受け継ぐことになり(一島・古沢, 2025), 同化石の詳細は後日公表の予定である。古沢氏が残した資料からは表紙に解説版と記されたハクジラ化石に関する報告

要旨

1995年に石狩市厚田区の古潭市街付近で新第三紀中新世の盤ノ沢層中部付近からハクジラ化石が産出した。同化石の産出年代を再整理するために、厚田層～盤ノ沢層～望来層についてフィッショントラック年代測定、放散虫化石、珪藻化石および石灰質ナノ化石の分析を行った報告書を用いて検討した。それぞれから出された年代値は若干の違いが認められ、特に珪藻分析の結果を重視しハクジラ化石の産出年代は8Ma前後と推定した。珪藻化石帯に基づけば、盤ノ沢層は一番川層より若く、両層は対比できない。



第1図 ハクジラ化石の発掘状況(古沢氏撮影)



第2図 厚田産ハクジラ化石の復元パネル

札幌市博物館活動センター所蔵。採取日は1997年5月31日と書かれているが、正しくは1995年11月15日である。

書が確認された(札幌市・アースサイエンス株式会社, 2001a)。一方, アースサイエンス株式会社では報告書は1冊のみの作成とのことで, 表紙に会社印がある報告書(札幌市・アースサイエンス株式会社, 2001b)を提供していただいた。両報告書に書かれた分析や測定の結果はほぼ同じであるものの, 前者には新たに花粉分析の結果が加えられている。このため, 会社印があるのが原本で, これを基に解説版が作成されたと推定され, 以下, これらを原本と解説版と称する。

分析項目は, 原本ではフィッシュントラック年代測定(以下, FT年代測定), 珪藻化石, 放散虫化石, 石灰質ナノ化石, 有孔虫化石で, 解説版では前記の5項目に新たに花粉化石が加わっている(第1表)。報告書は広く知られておらず, ハクジラ化石産出層準の地質年代については, 原本では8~8.6 Maの間, 解説版では7.6~8.6 Maの間とされ, 異なった結論が出されている。このため, 上記の分析・測定結果を整理しハクジラ化石の産出年代を明らかにする必要があるとの考えから, 本論をまとめるに至った。

地層の記載や試料採取位置, FT年代測定, 珪藻化石, 放散虫化石, 石灰質ナノ化石の分析方法や結果, それらに基づく考察(各微化石の分析結果による考察)は報告書からの要約や引用で, 考察の「ハクジラ化石の生息年代と地層対比」は著者らの考えによるものである。また, 有孔虫分析の結果は地質年代決定の有効性に乏しく, 花粉分析は古気候推定のためであることから, これらは検討から除外した。なお, 引用は必要な部分のみであり, 詳細は札幌市博物館活動センターに保管されている報告書を参照いただきたい。同センターに問い合わせの上, 閲覧可能である。

第1表 分析用地質試料一覧

札幌市・アースサイエンス株式会社(2001a)より。「晩の沢層」は「盤ノ沢層」。

		A珪藻	B放散虫	C石灰質ナノ	D有孔虫	E花粉
M0	望来層			○	●	
M1-1	望来層			●	●	
M1-5	望来層 / ジュール	●	●			
M2-3	望来層			○	●	
M2-4	望来層 / ジュール	○	○			
M3-3	望来層 / ジュール	○	●			
M3-5	望来層			●	●	
M3-7	望来層 / ジュール	●	●			
M8-5	望来層 / ジュール	●	●			
M8-6	望来層			○	●	
0-2	晩の沢層 / ジュール	●	●			
0-5	晩の沢層			●	●	
1-4	晩の沢層 / ジュール	○	●			
1-5	晩の沢層			○	●	
2-1	晩の沢層	○	○	○	●	●
4-8	晩の沢層 / ジュール	●	●			
4-20	晩の沢層			○	○	
6-12	厚田層 / ジュール	●	●			
6-20	厚田層			○	●	
7-20	厚田層			○	●	
8-20	厚田層			●	●	
8-2	厚田層			●	●	
10-3	厚田層 / ジュール	○	○			
11-1	厚田層 / ジュール	●	●			
12-20	厚田層			●	●	
13-8	厚田層 / ジュール	●	●			
ハクジラ	晩の沢層 / ハクジラに付着していた試料	○	○			

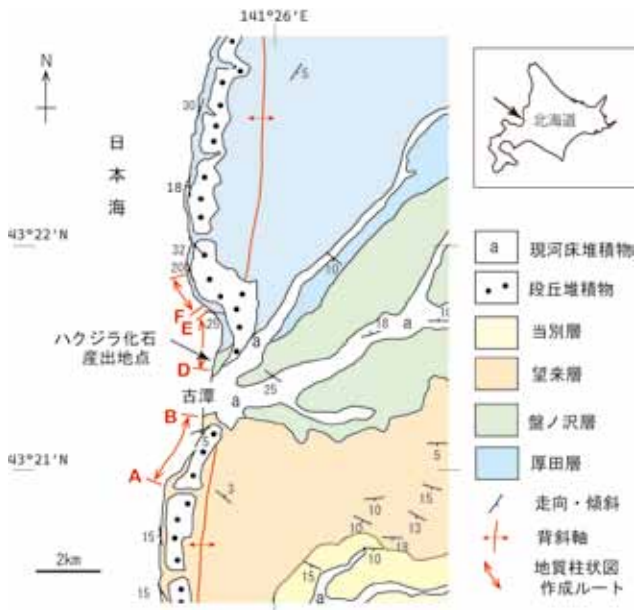
○ --- 試料地理のみのサンプル(微化石を含まない)
● --- 微化石の同定を行なったサンプル

産出地の周辺地質と地質試料採取位置

厚田図幅(対馬ほか, 1956)によれば, ハクジラ化石が産出した厚田区古潭付近は下位より厚田層, 盤ノ沢層および望来層に区分される新第三系(堆積岩類)が整合関係で緩く南に傾斜して分布する(第3図)。海岸には海食崖がよく発達し, ほぼ連続して追跡することができるものの, 盤ノ沢層と望来層の境界間は約200mにわたって露頭が欠如しており, 両者の直接の関係は観察できない。

厚田層は主として灰色の凝灰質シルト岩~極細粒砂岩からなり, 細粒砂岩層や凝灰岩層を挟在する。また, 砂岩層と凝灰岩層の量比や層理面の発達程度により, 上部と下部に区分される。上部はほとんどが凝灰質シルト岩~極細粒砂岩からなり, 凝灰岩薄層や暗灰色泥岩薄層を挟在する。暗灰色泥岩や凝灰岩を挟まない部分では, 層理面が認識されにくく, 塊状を呈する。凝灰岩は厚さ数cmで, 淡黄色の中粒凝灰岩である。下部層は主として灰色の凝灰質シルト岩~極細粒砂岩からなり, 細粒砂岩層や凝灰岩層を挟在する。厚さ2~3mの細粒砂岩とシルト岩が互層するものの, 圧倒的に砂岩の比が小さい。

盤ノ沢層は厚田層や望来層と比較すると全体的に粗粒で, 凝灰質細粒砂岩を主とする。暗緑灰色の中~粗粒砂岩や細~中粒砂岩を伴い, 岩相変化に富む。しばしば,



第3図 ハクジラ化石産出地点と周辺地質図

札幌市・アースサイエンス株式会社 (2001a) に基づき作成。

級化構造が認められ、上方細粒化を呈する。また、石灰質ノジュールを伴たり、石灰質な硬質砂岩層が挟在し、硬質部と軟質部の層状構造が認められる(第4図)。なお、高野ほか(1995, 1996)などでは盤ノ沢層と記述しているが、盤ノ沢層(対馬ほか, 1956)が正式名である。

望来層は凝灰質極細粒砂岩～シルト岩を主とし、砂岩層や凝灰岩層を挟在する。厚田層の下部と類似した岩相を示し、20～40cm間隔の硬軟互層を特徴とする。硬質部は軟質部よりやや細粒で、基質に富む傾向にある。凝灰岩層は層厚数cmで、赤紫色を呈する部分が認められる。鈴木ほか(2007)によれば、望来層のほぼ全層準から産出した放散虫化石は *Lipmanella redondoensis* 帯(9.1～約7.3 Ma: Motoyama, 1996)のもので、同層は後期中新世に形成されたとしている。また、小竹ほか(2008)は、望来層最下部を9.1 Ma (Maは100万年前の単位)と仮定し、硬軟互層の平均堆積周期を約2940年としている。

第5図にA～Bルート、D～EルートおよびEルートの地質柱状図と試料採取層準を示す。各ルートの位置は地質図に示す。柱状図の左横の番号は柱状作成時の各セクションで、厚田層と盤ノ沢層の各セクションの位置を第6図に示す。なお、第6図では望来層の「M8-5」～「M1-1」と厚田層の「13-8」は書かれていない。

測定・分析方法と結果

本論では、分析項目の内からハクジラ化石の産出年代に重要なFT年代測定、珪藻化石、放散虫化石および石



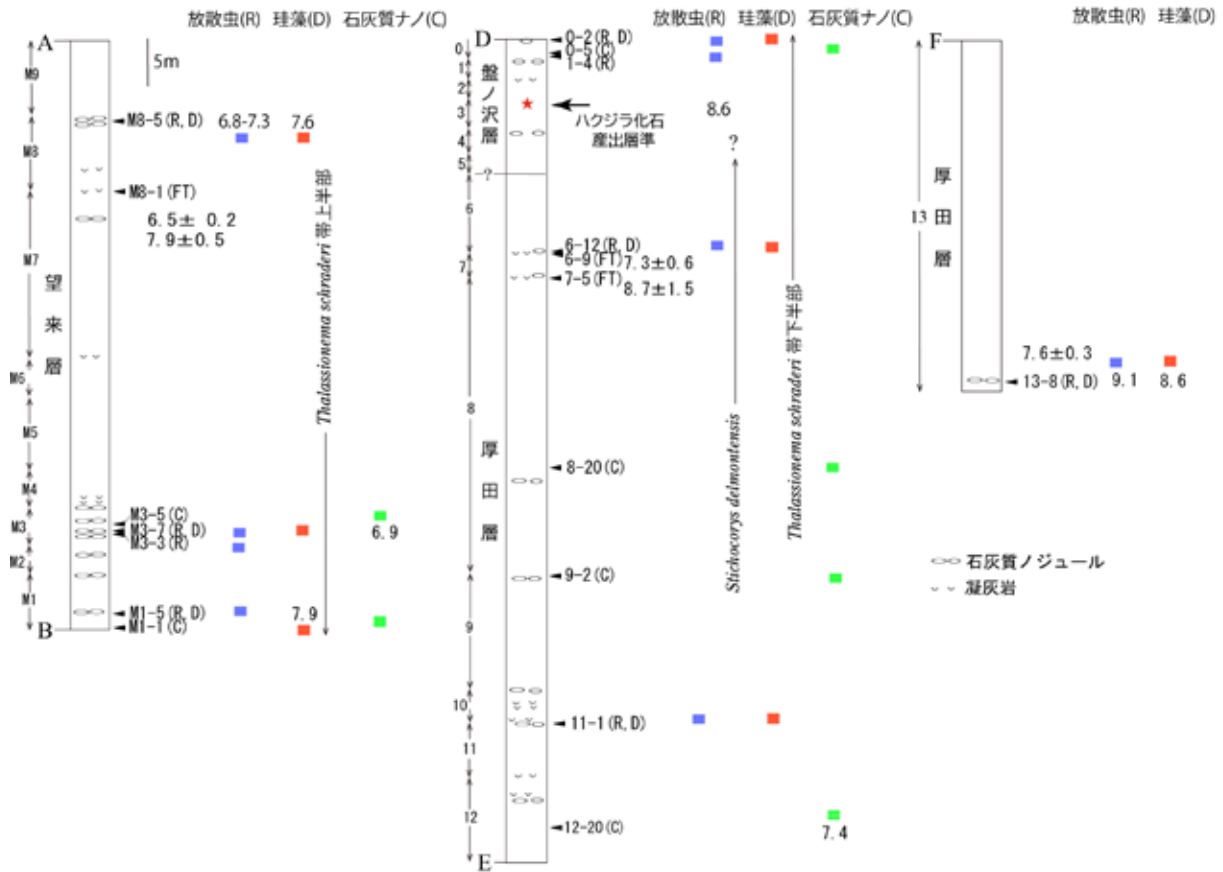
第4図 南方向に傾斜する盤ノ沢層の露頭(古潭漁港北隣で嵯峨山撮影)

灰質ナノ化石について記述する。

FT年代 原本ではM8-1(望来層)と7-5(厚田層)について年代測定が行われている。測定方法は記述されておらず、測定結果はM8-1が 7.9 ± 0.5 Ma, 7-5が 8.7 ± 1.5 Maである(第2表)。

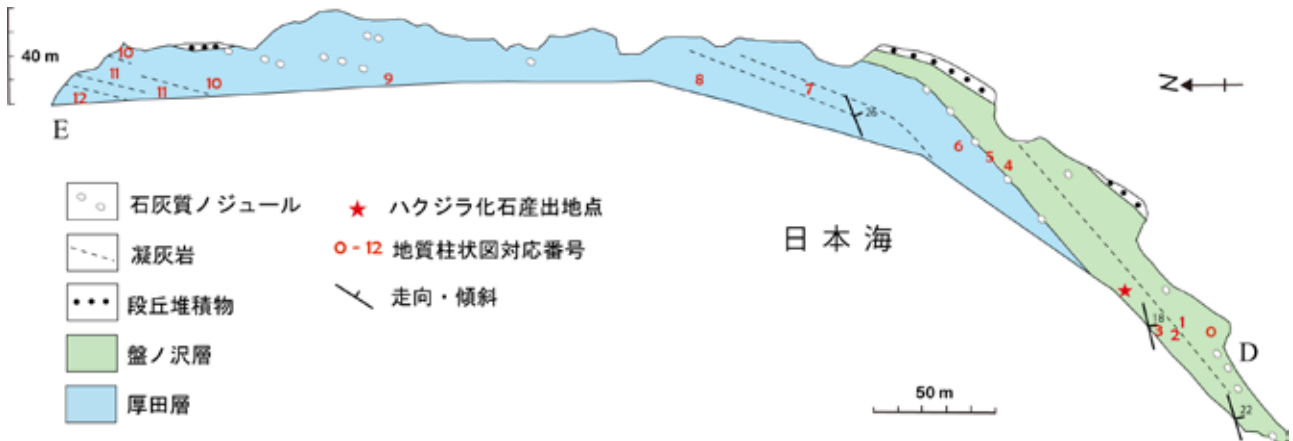
解説版では厚田層の13-2(柱状図になし;著者ら)と6-9, 望来層のM8-1について、ジルコンの結晶内部面を用いた外部ディテクター法で測定を行った。処理と測定方法は以下の通りである。試料を水中で揉み解しながら、流水下でふるいをういて $63 \sim 250 \mu\text{m}$ の粒子を回収した。パンニングによって軽鉱物を廃棄し、重鉱物粒子を濃集した。常温乾燥後、プロモホルム(比重2.78)により比重分離を行なった。アイソダイナミックセパレーターで磁性鉱物を除去し、再度重液分離を行ない非磁性・重鉱物のみを回収した。その後シリカ鉱物除去のため46% HF (80℃)で24時間処理し、ジルコンのみを回収した。トラックの計数は生物顕微鏡Nikonの総合倍率1000倍で約300粒子のジルコンから、エッチング後の表面の状態の良好な粒子、すなわちトラックの出現が明瞭な粒子について計数を行なった。得られた年代はM8-1が 6.5 ± 0.2 Ma(M8-1), 6-9が 7.3 ± 0.6 Ma(6-9), 13-2が 7.6 ± 0.3 Ma(13-2)である(第3表)。

珪藻化石 炭酸塩団塊を試料として分析を行った。盤ノ沢層から5個の試料(3個の炭酸塩団塊, 凝灰質泥岩, クジラ化石付着の凝灰質細粒砂岩), 厚田層から4個(炭酸塩団塊), 望来層から5個(炭酸塩団塊), 合計14個の試料(第1表)を次の方法によって処理し、検鏡した。1試料数gを細かく砕き, 200 mlのビーカーに入れ, 35%の塩酸を試料の2倍ほど加え, 数分間煮沸する。冷却後, 蒸留水を加え, 最低3時間後にビーカー底の沈殿物を流さないよう注意しながら上澄み液を捨てる。蒸



第5図 地質柱状図と測定・分析結果

札幌市・アースサイエンス株式会社 (2001b) に基づき岩相の一部を省略して作成。A～B, D～E および F の各ルート の位置を第3図に示す。FT: フィッショントラック年代測定用, D: 珪藻化石分析用, R: 放射虫化石分析用, C: 石灰質ナノ化石分析用。FT 年代値および微化石年代値の単位は Ma。4-8 (盤ノ沢層) と 13-2 (厚田層) の位置は原本の柱状図には書かれていない。



第6図 D～Eルート (盤ノ沢層～厚田層) の露頭地質図。

札幌市・アースサイエンス株式会社 (2001a) に基づき作成。赤字番号は第5図の D～E ルート左横の番号に対応する。

留水を加え、よく攪拌した後、残渣の質と量によって適量の懸濁液を捨てて、さらに蒸留水を加える。この水の取り替えを酸分が充分希釈されるまで最低3回行う。スライド作成は以下の通りである。上澄み液を捨て蒸留水を加え、粗粒の碎屑物が沈澱した後、ピペットの先端を懸濁液のなかほどに入れて懸濁液を適量吸い取る。ホッ

トプレート上のカバーガラスの上に吸い取った懸濁液を移す。懸濁液中の粒子が沈下した5～10分後に粒子の対流が生じない50～60℃で乾燥させる。乾燥後、封入剤(プルーラックス)を滴下し、封入剤の溶剤がぬけて表面が固結するまで室温で20分位乾燥させる。スライドガラスをアルコールランプで暖め封入剤の表面が溶

第2表 FT年代測定値(1)

札幌市・アースサイエンス株式会社(2001b)より.

Sample No.	Formation	Ns t/cm ² (×10 ⁶)	Ni t/cm ² (×10 ⁶)	φ n/cm ² (×10 ¹⁴)(×10 ¹⁰)	Ns/Ni	T(Ma)	E(Ma)	N	ηs	U(ppm)
M8-1	Mourai F.	1.32(1722)	2.21(2941)	1.72(0.28)	0.59	7.9	0.5	22	0.83	318
7-5	Atsuta F.	0.50(1768)	2.21(7224)	8.34(1.26)	0.25	8.7	1.5	59	0.77	132

Ns:自発核分裂トラック、Ni:誘発核分裂トラック、φ:熱中性子フルエンス、T:年代
E:誤差、ηs:自発核分裂トラック出現率、U:ウラン含有量、()内は実測値

第3表 FT年代測定値(2)

札幌市・アースサイエンス株式会社(2001b)より.

Sample Name	No. crystals	ρs(Ns) (×10 ⁶ /cm ²)	ρi(Ni) (×10 ⁶ /cm ²)	P(χ ²) %	ρd(Nd) (×10 ⁶ /cm ²)	r	U ppm	Age(Ma) (±1σ)
M8-1 (Mourai Fm.)	31	0.6637(1028)	3.178(4922)	25.6	1.693(6708)	0.843	230.9	6.5±0.2
6-9 (Atsuta Fm.)	10	0.7026(215)	2.997(917)	51.3	1.690(6697)	0.680	218.1	7.3±0.6
13-2 (Atsuta Fm.)	35	0.6153(1329)	2.528(5461)	12.6	1.691(6702)	0.887	183.9	7.6±0.3

Analysis was done by external detector method and internal crystal surface was used. Ages were calculated using NIST-SRM612 and the zeta value 367.9±4.1.

Samples were irradiated at Tc-pn facility of KUR reactor of Kyoto University. ρ=track density; N=total number of tracks counted; Subscripts: s for spontaneous, i for induced and d for dosimeter;

P(χ²)=probability of obtaining χ² value for ν degree of freedom (where ν=No.crystals-1)(Galbraith, 1981); r is correlation coefficient between ρs and ρi.

測定は結晶内部面を使用した外部ディテクター法によって行われた。年代はNIST-SRM612ガラスとそれに対する較正定数(ゼータ値)367.9±4.1を使用して計算された。中性子照射には京都大学原子炉実験所Tc-Pn照射設備を使用した。ρs(Ns):自発トラック密度(数)、ρi(Ni):誘発トラック密度(数)、ρd(Nd):線量ガラスSRM612に貼り付けたマイカの誘発トラック密度(数)、P(χ²):χ²乗検定結果、r:自発-誘発トラック密度の相関係数、U:ウラン濃度

けた後、スライドガラスに張り付ける。生物顕微鏡を使って珪藻殻が200個になるまで10(W)×100(油浸)で同定と算定を行った。珪藻殻の含有量が少ない試料においては200個の珪藻殻数に達しなかった。望来層のM8-5とM3-7からは保存良好な珪藻殻が多数検出され、後期中新世の珪藻群集が確認された。また、盤ノ沢層の0-2と4-8および厚田層の6-12からも後期中新世の珪藻群集が確認された。望来層のM1-5と厚田層の13-8と11-1では溶解からまぬがれた珪藻種が検出された。すべての試料の珪藻群集は海生種のみから構成され、後期中新世を特徴づける絶滅種を数種含んでいる。いずれの試料から*Coscinodiscus marginatus*と*Thalassionema nitzschioides*が多産した。その他、M8-5では*Nitzschia porteri*と*Thalassiosira nativa*, M3-7では*Rouxia californica*と*Actinoptychus senarius*, 4-8と6-12では*Thalassionema hirosakiensis*が多く産した。後期中新世を指示する絶滅種として、*Denticulopsis simonsenii*, *Goniothecium tenue*, *Nitzschia pliocena*, *Nitzschia porteri*, *Nitzschia rolandii*, *Rouxia californica*,

Thalassionema hirosakiensis, *Thalassionema schraderi*, *Thalassiosira antiqua*, *Thalassiosira borealis*, *Thalassiosira manifesta*, *Thalassiosira nativa*, *Thalassiosira nidulis*, *Thalassiosira temperei*などが特徴的に認められた(第4表)。

放散虫化石 検討した試料は厚田層4個、盤ノ沢層5個、望来層5個の計14個である(第5表)。ハクジラ化石付着岩を除いて、全てが石灰質ノジュールである。試料をある程度細かく粉碎した後、5~10%程度の塩酸につけ石灰質の基質を溶解し、放散虫化石をはじめとする粒子の分離を行った。さらに、放散虫化石の内部を充填、あるいは表面に付着している粘土等を除去するため、5%程度の過酸化水素水を用いて煮沸し、分散剤であるピロリン酸ナトリウムを加えて、クリーニングを行った。クリーニング済みの残渣を乾燥させ、スライドガラス上に散布した後に、カナダバルサムを用いて封入した。各試料における放散虫化石の有無、および化石の保存状態を光学顕微鏡下で観察した。塔状の放散虫(*Nassellaria*)が16種(群)、球状または平板状の放

第4表 放散虫化石産出一覧

札幌市・アースサイエンス株式会社 (2001b) より.

Sample	厚田層			盤ノ沢			望来層			
	13-8	11-1	6-12	4-8	1-4	0-2	M1-5	M3-3	M3-7	M8-5
Preservation	g	m	p	p-m	m	p	m	g	p-m	g
NASSELLARIA										
<i>Acanthodesmiid</i> gen. et sp. indet.	R						R	R		
<i>Baityrostrombus</i> cf. <i>auritas/australis</i> (Ehrenberg)	R									
<i>Dictyocoryphalus papillosus</i> (Ehrenberg)	R				R					R
<i>Amphiplecta</i> sp.										R
<i>Ceratocyrtilis</i> sp.	R	R								R
<i>Lipmanella redondoensis</i> (Campbell and Clark)	R	R		R	R		R	R		R
<i>Lophophaena</i> spp.	R									F
<i>Peridium</i> sp.	R									
<i>Pseudodictyophimus tanythorax</i> Funakawa	R									C
<i>Lamprocyclas</i> sp.	R									
<i>Cycladophora cornutoides</i> Kling		R					R			R
<i>Cycladophora nakasekoi</i> Motoyama	F	R		R	R		R	C	R	C
<i>Cycladophora</i> sp.	R	R					R			R
<i>Cyrtocapsella tetrapera</i> Haeckel		R								
<i>Dictyophimus</i> ? sp.	R									
<i>Stichocorys delmontensis</i> (Campbell and Clark)	C	F		R						
SPUMELLARIA										
<i>Actinomma antarcticum</i> (Haeckel)	F				R		R	R		
<i>Actinomma medianum</i> Nigrini	R	R	R	R	R			R		R
<i>Actinomma</i> sp.		R		R						R
<i>Axoprimum angelinum</i> (Campbell and Clark)							R			
<i>Cenosphaera</i> sp.				R	R			R		R
<i>Cladococcus</i> ? sp.										R
<i>Hexacanthum</i> sp.					R					
<i>Druppatractus ostracion</i> Haeckel	R	R					R			R
<i>Hexacanthum octocolpa</i> Haeckel	R									
<i>Stylocanthum aciculatum</i> (Hays)	R	R								
<i>Thecosphaera tochiensis</i> Nakaseko	F									
<i>Didymocyrtis</i> ? sp.										R
<i>Collosphaera</i> ? sp.										R
<i>Larcopele</i> spp.	C	R			R		R	R		R
<i>Lithelius minor</i> Jørgensen	R	R		F	F	R	R			R
<i>Lithelius nautiloides</i> Popofsky	F									
<i>Lithelius</i> sp.		R			R					R
<i>Lithocalptum polyacanthum</i> Campbell and Clark	F	F		F		R	R	R		
<i>Prunopyle butschlii</i>										R
<i>Porodiscus circularis</i> Clark and Campbell	R									
<i>Stylochlamidium venustum</i> (Bailey)	F	C	R		R	F	R	C	F	F
<i>Stylodictya multispina</i> Haeckel	F	R		R	R		R		R	R
<i>Spongodiscus</i> sp.	F	R		R	R		F	R	R	R
<i>Spongopyle osculosa</i> Dreyer	R									
Radiolarian zone	Cy	Cy	?	Cy	Cy	?	Cy	Cy	Cy	Cy

g:good, m:moderate, p:poor
Cy: *Cycladophora cornutoides* zone

散虫 (*Spumellaria*) が 24 種 (群) の, 合計 40 種 (群) が 10 試料から認識された (第 5 表). 全体的に放散虫の含有量は乏しく, 1 枚のプレパラートにおける放散虫化石は数個から数十個にとどまる. また, 保存の状態によって得られた種数に変動が見られる. すなわち, 保存状態の良好な M8-5 および 13-8 においては, それぞれ 23 種 (群) および 28 種 (群) が認められたが, 保存の不良な 0-2 および 6-12 からは, それぞれ 3 種および 2 種が認められたに過ぎない. 各々の種 (群) の産出状況をみると, *Lipmanella redondoensis*, *Cycladophora nakasekoi*, *Actinomma medianum*, *Lithelius minor*, *Stylochlamidium venustum*, *Stylodictya multispina* および *Spongodiscus* sp. がセクションを通して連続的に産

出している. 一方, *Stichocorys delmontensis* については, セクション下部において連続的かつ比較的多量に産出し, セクション上部では産出が認められない. その他の種に関しては散点的産出にとどまり, 特徴的な産出傾向は見られない.

石灰質ナノ化石 14 試料 (厚田層 5 個, 盤ノ沢層 4 個, 望来層 5 個) について検討を行った (第 1 表). 各試料から 5 mm 角程度の小片をとり, 乳鉢で粉砕した. その後, 蒸留水を用いてスライドガラス上に塗布し, 乾燥後カバーガラスと樹脂を用いて封入しスミアスライドを作成した. 検鏡にあたっては倍率 1000 倍の偏光顕微鏡を用い, 直交ニコルで鑑定を行った. 最終的に 6 試料から石灰質ナノ化石を検出した (第 6 表). 最下位の

第5表 珪藻化石産出一覧

札幌市・アースサイエンス株式会社 (2001b) より. 「晩の沢層」は「盤ノ沢層」

Species / Samples	厚田層			晩の沢層		望来層		
	13-8	11-1	6-12	4-8	0-2	M1-5	M3-7	M8-5
<i>Actinocyclus ingens</i> Rattray	1	1	1			1		
<i>A. octonarius</i> Ehrenberg							2	
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	6		1	1	3		12	7
<i>Cocconeis costata</i> Gregory				2	2			6
<i>Coscinodiscus insignis</i> Jouse			1					
<i>C. marginatus</i> Ehrenberg	31	15	33	22	10	40	26	35
<i>C. osulus-iridis</i> Ehrenberg	3							1
<i>Denticulopsis hyalina</i> (Schrader) Simonsen					1		1	
<i>D. simonsenii</i> Akiba & Yanagisawa			1	1	4			2
<i>Eucampia balaustium</i> Castracane			2		6		2	9
<i>Goniothecium tenue</i> Brun							1	2
<i>Grammatophora</i> spp.			1		1			
<i>Nitzschia grunowii</i> Hasle							1	3
<i>N. pliocena</i> (Brun) Mertz							5	7
<i>N. porteri</i> Frenguelli					4		1	25
<i>N. reinholdii</i> Kanaya							1	
<i>N. rolandii</i> Schrader				1			1	3
<i>Odontella aurita</i> (Lyngbye) Agardh								1
<i>Pseudopodosira elegans</i> Sheshukova-Poretzkaya				1			1	1
<i>Rhabdonema japonicum</i> Tempere & Brun						1		
<i>Rhizosolenia alata</i> Brightwell								1
<i>R. barboi</i> Brun			1	2		1	4	1
<i>R. styliformis</i> Brightwell			1		2		1	8
<i>Rouxia californica</i> Peragallo			2	4	7		97	9
<i>Stellarima stellaris</i> (Roper) Hasle & Sims	1			3	2		5	2
<i>Stephanopyxis turris</i> (Greville & Arnott) Ralfs			2	3	6		2	4
<i>S. spp.</i>	7		9	6	5	2	6	8
<i>Synedra kamtschatica</i> Grunow		3	2	1				2
<i>Thalassionema hirosakiensis</i> (Kanaya) Schrader		2	15	14	2	3	4	8
<i>T. nitzschioides</i> Grunow		3	22	32	28	1	7	14
<i>T. schraderi</i> Akiba			1	4	3	1	1	2
<i>Thalassiosira antiqua</i> (Grunow) Cleve-Euler			1		1		2	
<i>T. borealis</i> Koizumi							1	3
<i>T. eccentrica</i> (Ehrenberg) Cleve			1	2	5		1	
<i>T. leptopus</i> (Grunow) Hasle & Fryxell					2		1	2
<i>T. manifesta</i> Sheshukova-Poretzkaya	1	1					1	4
<i>T. nativa</i> Sheshukova-Poretzkaya					1		2	19
<i>T. nidulus</i> (Tempere & Brun) Jouse							1	2
<i>T. temperei</i> (Brun) Akiba & Yanagisawa							1	
<i>T. spp.</i>							2	7
<i>Thalassiothrix lpngissima</i> (Cleve) Cleve & Grunow			3	1	5		7	2
Total valves	50	25	100	100	100	50	200	200

12-20を除いては石灰質ナノ化石の産出は稀であり、ある程度詳細な年代判定ができたのは厚田層下部層準のみである。厚田層の12-20からは少数ながら *Discaoster quinquerramus* を産出した。盤ノ沢層と望来層の試料からはまれにしか産出しなかった。

考察

1. 微化石分析による考察

以下の考察は、札幌市・アースサイエンス株式会社 (2001a) の内容を引用したものである。

放散虫化石 本報告では Motoyama (1996) の放散

虫化石帯および本山・丸山 (1998) の年代に基づいて、試料の放散虫化石の年代の議論を進める。

分析した厚田層の11-1、盤ノ沢層の1-4および4-8、望来層のM8-5、M3-7、M3-3およびM1-5から *Cycladophora nakasekoi* の産出が認められる。この種は北西太平洋およびその周辺部に産出が認められるもので、Motoyama (1996) によれば、特に日本海において多量に産出している。本種は9.9 Maに出現しており、その生存期間は Motoyama (1996) による化石帯の *Lychnocanoma magnacornuta* 帯上部から *Cycladophora cornutoides* 帯に相当し、さらに上位の

Lychnocanoma parallelipes 帯では散点的な産出となる。一方、*Cycladophora cornutoides* 帯は *Lychnocanoma magnacornuta* の多産出層準 (9.1 Ma) を下限とし、*Lychnocanoma parallelipes* の初産出層準 (6.8 ~ 7.3 Ma) をその上限と定義づけられている。上記の 7 試料からは、*Lychnocanoma magnacornuta* および *Lychnocanoma parallelipes* の産出は認められないことから、これらはすべて *Cycladophora cornutoides* 帯 (9.1 ~ 6.8-7.3 Ma) となる。一方、13-8 では北西太平洋域で *Lychnocanoma magnacornuta* 帯中上部 (9.9 Ma) を産出上限とする *Porodiscus circularis* が産出しているものの、下位層準より再堆積したものと判断される。従って、本試料も *Cycladophora cornutoides* 帯と結論づけられる。

ハクジラ化石は 2-1 と 4-8 (柱状図に記載なし; 著者ら) の間から産出している。2-1 からは放散虫化石が産出していないので、1-4 と 4-8 の放散虫化石から、若干の年代の考察を試みる。4-8 より下位においては、*Stichocorys delmontensis* が連続して (保存不良である 6-12 は考慮に入れない) 比較的多産している。一方、1-4 より上位においては、本種の産出を認めることができなかった。このことは、4-8 から 1-4 にかけて、*Stichocorys delmontensis* の連続的多産区間から散点的な産出の区間に変化することを示している。本

山・丸山 (1995) によれば、本種の産出状況が変化する層準は、珪藻化石帯のほぼ *Denticulopsis katayamae* 帯最上部近辺から *Thalassionema schraderi* 帯下部に相当する。*Denticulopsis katayamae* 帯と *Thalassionema schraderi* 帯の境界は約 8.6 Ma とされている。従って放散虫化石から見る限り、ハクジラ化石の産出した層準は、*Cycladophora cornutoides* 帯 (9.1 ~ 6.8-7.3 Ma) の中部であり、珪藻化石帯における *Denticulopsis katayamae* 帯と *Thalassionema schraderi* 帯の境界 (8.6 Ma) 近傍と結論づけられる。

珪藻化石 本山・丸山 (1998) や Yanagisawa and Akiba (1998) の珪藻帯区分に基づくと、分析試料中の珪藻化石は後期中新世であると判断される。*C. marginatus* の多産で特徴づけられる後期中新世の珪藻帯は Akiba (1980) によって *Thalassionema schraderi* 帯として提唱された。後期中新世の特徴種である *Goniothecium tenue* が最上部の 2 試料 (M8-5, M3-7) から検出された。後期中新世の特徴種である *Nitzschia pliocena* の典型的な珪藻殻が同様に最上部の 2 試料で検出された。後期中新世で多産する *Rouxia californica* が検出され、とくに M3-7 では珪藻群集の半分を優先的に占めた。中-高緯度 (亜寒帯) 域の後期中新世~前期鮮新世に限定しての産出が認められている *Thalassiosira manifesta* が全層準にわたって少数ながら検出された。厚

第 6 表 石灰質ナノ化石産出一覧
札幌市・アースサイエンス株式会社 (2001b) より

SAMPLE NUMBER	厚田層			盤ノ沢層	望来層	
	8-20	9-2	12-20	0-5	M1-1	M3-5
ABUNDANCE - PRESERVATION	R	R	C	R	VR	R
ETCHING / OVERGROWTH	2/0	3/0	1/0	2/0	2/0	2/0
<i>Calcidiscus leptoporus</i>	-	-	F	-	-	-
<i>Coccolithus pelagicus</i>	+	+	A	-	-	-
<i>Coccolithus streckerii</i>	-	-	F	-	-	-
<i>Discoaster brouweri</i>	-	-	R	-	-	-
<i>Discoaster quinquerramus</i>	-	-	R	-	-	-
<i>Helicosphaera carteri</i>	-	-	R	-	-	-
<i>Reticulofenestra gelida</i>	+	+	A	+	-	+
<i>Reticulofenestra haqii</i>	+	+	C	+	-	-
<i>Reticulofenestra minuta</i>	+	+	A	+	-	-
<i>Reticulofenestra minutula</i>	-	-	C	+	-	+
<i>Reticulofenestra perplexa</i>	-	-	C	-	-	-
<i>Reticulofenestra productus</i>	+	-	A	-	-	-
<i>Reticulofenestra pseudoumbilica</i>	+	+	C	+	+	+
<i>Reticulofenestra sp. (malformed)</i>	-	-	C	-	-	-
<i>Sphenolithus abies</i>	+	-	F	-	-	-
<i>Umbilicosphaera sp.</i>	-	-	R	-	-	-

第7表 5万分の1地質図幅「厚田」と「月形」の後期中新世の地層対比

地質時代		厚田図幅 (対馬ほか, 1956)	月形図幅 (垣見・植村, 1958) (厚田相) (浦臼相)	
5.3Ma	新第三紀 後期中新世	望来層	望来層	晩生内層
		盤ノ沢層 (8Ma)	盤ノ沢層 ← *	一番川層
		厚田層 ?	厚田層 ?	須部都層 ?
11.6Ma				10-12Ma (嵯峨山, 1989)

田層から望来層にかけて得られた群集は *Thalassionema schraderi* を含み *Denticulopsis simonsenii* の産出頻度が低いことから、全て *Thalassionema schraderi* 帯 (8.6 ~ 7.6 Ma) に入ると考えられる。とくに望来層からは *Nitzschia pliocena* や *Thalassiosira temperi* など *Thalassionema schraderi* 帯最上部 (7.9 ~ 7.6Ma) に出現する種が含まれる。盤ノ沢層中のハクジラ化石産出層準より下位にあたる 4-8 (柱状図になし; 著者ら) では、*Nitzschia pliocena* や *Thalassiosira temperi* は産出しなかったものの、*Thalassionema schraderi* 帯上半部 (約 8 Ma 以降) に出現するとされる *Nitzschia rolandii* が 1 個体ながら確認された。以上の結論として、厚田層・盤ノ沢層は *Thalassionema schraderi* 帯 (8.6 ~ 7.6 Ma)、望来層は同帯最上部 (7.9 ~ 7.6 Ma) と判断することが妥当と考える。

石灰質ナノ化石 厚田層の 12-20 からは少数ながら *Discoaster quinquerramus* を産出した。CN9 化石帯 (8.6-5.6 Ma) に同定でき、後期中新世後半の年代である。盤ノ沢層と望来層の試料からは、石灰質ナノ化石がまれにしか産出せず詳しい年代判定はできない。しかし、これらの地層で石灰質ナノ化石が見つかった 3 試料からは共通して *Reticulofenestra pseudoumbilica* が産出する。この種の絶滅は CN11 化石帯の上限を規定するもので、3.75 Ma に起こったとされている。したがって、石灰質ナノ化石から判断すれば盤ノ沢層と望来層は中新世末期から鮮新世前期の堆積層と判断できる。なお、望来層からの石灰質ナノ化石産出は報告されていたが、厚田層と盤ノ沢層からの石灰質ナノ化石産出は今回が初めてである。しかも、厚田層下部から CN9 化石帯を示す石灰質ナノ化石群集が発見され、日高地方平取の荷葉層と同じ年代であることが明らかになったのは意義が大きい。Ujii et al. (1977) は厚田層から望来層の古地磁気層序を Epoch 6 としているが、特に望来層の下部に Epoch 6a を認識している。斉藤 (1999) によれば、Epoch 6 は CK95・BKSA95 の古地磁気層序の C3B から C3a 下部、Epoch

6a は C3B 上部に対比できる。したがって、厚田層から盤ノ沢層は C3B 下部、望来層の下部は C3B 上部となり、それに従えば今回扱った試料は約 7.4 ~ 6.9 Ma の年代を示すと推定される。

2. ハクジラ化石の生息年代と地層対比

FT 年代測定、放散虫、珪藻および石灰質ナノの微化石年代の結果を第 5 図に示す。厚田層～望来層は、放散虫化石によれば後期中新世中葉の 9.1 ~ 6.8-7.3 Ma (*Cycladophora cornutoides* 帯)、珪藻化石によれば同じく後期中新世中葉の 8.6 ~ 7.6 Ma (*Thalassionema schraderi* 帯) とほぼ調和的な年代値を示す。厚田層からは石灰質ナノ化石により後期中新世中葉以降の 8.6 ~ 5.6 Ma (CN9 帯) の年代が得られた。解説版では、ハクジラ産出層準の年代は *Thalassionema schraderi* 帯の下部、およそ 7.6 ~ 8.6 Ma の間とするのが妥当と記述しているが、この年代値は *Thalassionema schraderi* 帯全体を示す値なので誤っている。一方、原本では、ハクジラ産出層準の年代は *Thalassionema schraderi* 帯の下部で、およそ 8~8.6Ma の間としている。

ハクジラ化石が産出した層準は、厚田層と望来層に挟まれた盤ノ沢層の中部層準にあたる。札幌市・アースサイエンス株式会社 (2001a) の放散虫化石の検討によれば、ハクジラ化石産出層準を境に下位で多く含まれた *Stichocorys delmontensis* が上位で見られなくなることから、同産出層準は 8.6 Ma と推定している。しかし、同値は今回確認された珪藻帯 (*Thalassionema schraderi* 帯) と直接下位の *Denticulopsis katayamae* 帯との境界の値であり、分析では *Denticulopsis katayamae* 帯が認められなかったことからハクジラ化石産出層準が上記の境界年代とするのは無理と思われる。一方、珪藻化石ではハクジラ化石産出層準を含む盤ノ沢層～厚田層は *Thalassionema schraderi* 帯の下半部 (8.6 ~ 7.9 Ma) で、望来層が *Thalassionema schraderi* 帯の上半部 (7.9 ~ 7.6 Ma) である。すなわち、ハクジラ化石産出層準の約 6.5 m 上位の盤ノ沢層と望来層の境界が 7.9 Ma である。

FT年代は原本と説明版では大きく異なる値を示す。望来層では同じM8-1について前者では7.9 ± 0.5 Maで後者では6.5 ± 0.2 Maで、1.3 Maも異なる。ハクジラ化石産出層準の約15 m下位の厚田層上部の6-9で7.3 ± 0.6 Ma、更に約2.5 m下位の7-5で8.7 ± 1.5 Maを示し、両者間では約1.4 Maの差を示す。上記のハクジラ化石産出層準の年代(8.1 ~ 8.6 Ma間)を考慮すると原本の8.7 ± 1.5 Ma(7-5)はやや古い値で、解説版のFT年代値は微化石分析の結果と比べてやや若い値である。

FT年代値や微化石分析による年代値にばらつきはあるものの、珪藻分析の結果からハクジラ化石産出層準の約6.5 m上位が7.9 Maと推定され、同産出層準は8 Ma前後と考える。本値は、札幌市の豊平川流域で発見されたサッポロカイギュウの産出年代(約8.2 Ma:札幌市, 2007)よりいくらか若い。

ハクジラ化石を産した盤ノ沢層は「厚田」図幅の東隣の「月形」図幅(垣見・植村, 1958)にも分布しており、同層を一番川層に対比している(第7表)。和田・秋山(1990)もこの考えを踏襲しており、高野ほか(1995, 1996)や岡村・高野(2010)も同様な地層対比を行っているものの、年代決定の根拠は記述されていない。盤ノ沢層の地質年代は前者の2論文では10.6 ~ 9 Ma、後者では10.6 ~ 8.2 Maと読み取れ、これらの年代値は本論の盤ノ沢層は約8 Maとした結論とは一致しない。一方、嵯峨山(1989)は一番川層の直接上位に累重する晩生内層の珪藻分析を行い、同層は*Coscinodiscus yabei*帯~*Denticulopsis dimorpha*帯に相当し、地質年代は約12 ~ 10 Maとしている。垣見・植村(1958)は晩生内層の基底層は一番川層に相当するとしており、これに従えば一番川層の上限は最も若くても約12 Maと推定される。以上から、盤ノ沢層と一番川層の地質年代は大きく異なっており、両層は対比できないと考える。

おわりに

北海道の新第三系の地質年代はいまだ不明な点が多く、今後も精力的な研究が必要であり、札幌市近郊の新第三系についても同様である。今回の報告書の測定・分析結果は貴重なデータであるにも関わらず、北海道の地質を網羅した日本地方地質誌「北海道地方」の当該域(岡村・高野, 2010)でも引用されていない。本論が大型海生哺乳類化石と北海道の新第三系の研究の一助になれば幸いである。小論を故古沢仁博士に捧げます。

謝辞 本論の査読は匿名氏により行われ、貴重な指摘を

いただきました。札幌市博物館活動センターの山崎真実氏と田中嘉寛氏、アースサイエンス株式会社の加藤孝幸氏から報告書や情報の提供など様々なご協力をいただきました。島根大学の大平寛人氏からフィッシュントラック年代測定についてご教示いただきました。記して感謝申し上げます。

引用文献

- Akiba, F., 1980, A lower Miocene diatom flora from the Boso Peninsula, Japan, and the resting spore formation of an extinct diatom, *Kisseleviella carina* Sheshukova-Poretzkaya. *Bull. Tech. Lab. JAPEX*, **23**, 81-100.
- Barnes, L. G. and Furusawa, H., 2001, A primitive albireonid dolphin (Cetacea, Odontoceti, Delphinoidea) from Hokkaido, Japan. *Abstract of papers, Journal of Vertebrate Paleontology*, **21**, 31A, Society of Vertebrate Paleontology.
- 古沢 仁・Barnes, L. G., 2002, 北海道厚田から産出した北西太平洋域初のマイルカ上科アルビレオ科(ALBIREONIDAE)化石. 日本古生物学会2002年年会講演予稿集, 個人講演, 50.
- 一島啓人・古沢 仁, 2025, 北海道後期中新世産の世界最古のイッカク科化石. 日本古生物学会2025年年会講演予稿集(札幌), 65.
- 垣見俊弘・植村 武, 1958, 5万分の1地質図幅「月形」および同説明書. 札幌一第4号, 地質調査所, 67p.
- 小竹敦子・鈴木德行・阿波根直一・嵯峨山 積, 2008, 後期中新世北海道望来層珪質堆積物の珪藻化石年代と堆積リズム. 日本地質学会第115年学術大会講演要旨(秋田), 194.
- Motoyama, I., 1996. Late Neogene radiolarian biostratigraphy in the subarctic Northwest Pacific. *Micropaleontology*, **42**, 221-262.
- 本山 功・丸山俊明, 1995, 青森県津軽半島中西部の新第三系の層序と放散虫・珪藻化石. 地質調査所月報, **46**, 333-374.
- 本山 功・丸山俊明, 1998. 中・高緯度北西太平洋地域における新第三紀珪藻・放散虫化石年代尺度: 地磁気極性年代尺度CK92およびCK95への適合. 地質学雑誌, **104**, 171-183.
- 岡村 聡・高野 修, 2010, 樺戸山地西部地域. 日本地方地質誌「北海道地方」, 日本地質学会編集, 朝倉書店, 193-196.
- 嵯峨山 積, 1989, 中央北海道, 石狩低地帯の新第三系

- 珪藻帯. 地下資源調査所報告, **60**, 177-186.
- 斎藤常正, 1999, 最近の古地磁気層序の改訂と日本の標準微化石層序. 石油技術協会誌, **64**, 2-15.
- 札幌市, 2007, 札幌市大型動物化石総合調査報告書ーサッポロカイギュウとその時代の解明. 156p.
- 札幌市・アースサイエンス株式会社, 2001a, 平成13年度厚田産出ハクジラ化石の年代推定と環境分析業務報告書: 解説版. 61p.
- 札幌市・アースサイエンス株式会社, 2001b, 平成13年度厚田産出ハクジラ化石の年代推定と環境分析業務報告書, 35p.
- 鈴木徳行・及川耕太郎・椎根大・本山功, 2007, 後期中新世望来層珪質泥岩の地質年代と堆積リズム. 日本地質学会第114年学術大会講演要旨(札幌), 254.
- 高野修・保柳康一・能登正明・太田勝一・八幡正弘・樺戸団研堆積相グループ, 1995, 北海道樺戸山地南部における新第三系の陸棚〜ファンデルタ〜礫質河川システム. 地球科学, **49**, 253-270.
- 高野修・保柳康一・能登正明・太田勝一・八幡正弘・樺戸団研堆積相グループ, 1996, 北海道樺戸山地南部における新第三系の堆積シーケンスとその形成過程. 地球科学, **50**, 9-28.
- 対馬坤六・垣見俊弘・植村武, 1956, 5万分の1地質図幅「厚田」および同説明書. 札幌一第3号, 地質調査所, 31p.
- Ujiie, H., Saito, T., Kent, D. V., Thompson, P. R., Okada, H., Klein, G. de V., Koizumi, I., Happer, H. E. Jr. and Sato, T., 1977, Biostratigraphy, Paleomagnetism and Sedimentology of Late Cenozoic Sediments in Northwestern Hokkaido, Japan. *Bull. Natn. Sci. Mus.*, ser. C (Geol.), **3**, 49-102.
- 和田信彦・秋山雅彦, 1990, 北海道中央部. 日本の地質「北海道地方」編集員会編, 日本の地質1「北海道地方」, 共立出版株式会社, 95-99.
- Yanagisawa Y and Akiba F, 1998, Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons. *Jour Geol Soc Japan*, **104**, 395-414.

Abstract

An alleged albiroonid fossil dolphin found in 1995 derived from the upper Miocene Bannosawa Formation near the town of the Kotan, Atsuta, Ishikari City, Hokkaido, Japan. We scrutinized the fission track data, radiolarians, diatoms, and calcareous nannoplanktons used for dating the deposits of Bannosawa Formation yielding the fossil dolphin and the overlying Mourai Formation and the underlying Atsuta Formation as well because analyses conducted before showed two different results for the age. Based mainly on diatoms, we drew a conclusion that the strata producing the fossil dolphin was around 8 Ma. Diatom fossil zones show the Bannosawa Formation is not correlative with, and younger than, the Ichibangawa Formation distributed in the Tsukigata area.

<論説>

古石狩湖の環境変遷

—北海道石狩低地帯東野幌コアの花粉と珪藻化石—

星野フサ^{1) 2)}

Investigation of the Paleo-Lake Ishikariwann

- Pollen and diatom analyses of the core sample of Higashinopporo in the
Ishikari low land, Hokkaido, Japan -

Fusa Hoshino^{1) 2)}

2025年7月30日受付

2025年12月20日受理

- 1)1) 北海道総合地質学研究センター 〒005-0005 札幌市南区澄川5条13丁目6番18号 星野気付
Hokkaido Research Center of Geology, c/o Hoshino, Sapporo 005-0005, Japan
- 2) 北海道大学総合博物館 (植物ボランティア) 〒060-0810 札幌市北区北10条西8丁目
Hokkaido University Museum, Sapporo, 060-0810, Japan

Corresponding author: ffusaa@gmail.com

Keywords: Paleo-Lake Ishikari, diatom, pollen, AMS¹⁴C dating

要旨

東野幌コア core 採取地点の深度 10 m 付近は弱い汽水域 brackish water であったことが判明した。海退後の 6000 年前頃に羊歯植物の拡大によって植生は回復し、コナラ亜属 *Quercus* とハンノキ属 *Alnus* の拡大となりブナ林 *Fagus* を交えていた。深度 3.4 m 付近の 3000 年前頃に気候の寒冷化が徐々に石狩低地帯で進んでいた。本報告は縄文海進終了後の石狩低地帯中央部の古環境解析に一石を投じることになるであろう。

はじめに

地球温暖化が注目されている現在、過去の気候（温度・湿度・降水量など）の記録を解読することは重要なヒン

トとなるであろう。本研究では札幌市東方の東野幌湿原で得られた手掘り 10.2 m コアの柱状試料について花粉分析と珪藻分析の結果から、およそ 6000 年前以降の古



第1図 調査地点とその緯度・経度（国土地理院の地理院地図：電子国土WEB）。

地点	略号	緯度	経度	標高(m)
東野幌湿原コア採取点	十	43°4' 9.8" N	141°33' 50.43" E	8.8
札幌市 東豊線環状通東駅	●	43°4' 55.51" N	141°22' 32.89" E	12.2

地理院地図（電子国土WEB）



第2図 試料採取と付近の景観

環境変遷について検討した。さらに、調査地点と札幌市内の地下駅建設時に得られた地下構造とを比較することで、ヒトによる自然環境変化が起きる以前に石狩平野で起きていた海退後の様子を述べることにする。

調査地点は第1図の+印の場所で、札幌東方の東野幌湿原地域である。調査地点は標高8.8mで、平坦な農

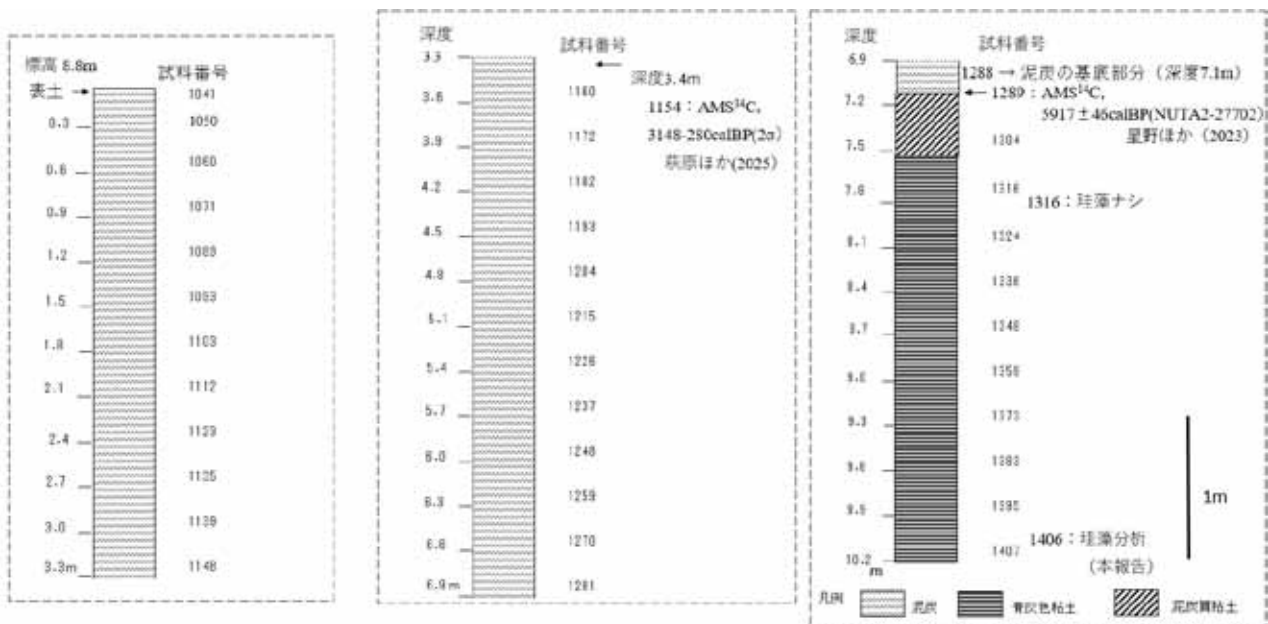
地となっており、厚い泥炭層に覆われている。調査地域の大部分は過去において泥炭採取が行われており、概観はチマキザサが優占しシラカンバやハンノキなどが疎らに生える草原である(新田, 2019)。明治期の開拓以前の泥炭湿地の面影を少し残しているが、1959年の大規模な農地化の進展に伴い、暗渠排水路が縦横に走って地下水位は下がり、現在はかつての湿原植物は極めて少くなっている(星野ほか, 2021)。

1997年8月31日に東野幌湿原でトーマス型ボーラーにより深度10.2mまで花粉分析のための試料採取が行われた。1回の掘削で採取できる試料の厚さは30cmで、34回採取を行ったので合計10.2mの厚さの試料が採取された。

柱状図および花粉分析

1997年の最初に採取した試料の試料番号は1番であったが、東野幌で8月31日に表面から3cmまでの部分はこの年の1041番目ということで1041番とし、順次下位に向かって366個の試料を採取した。その柱状図を第3図に示す。泥炭の基底部分の試料番号は1288でその深度は7.1mであった。したがって泥炭層の厚さは少なくとも7.1mである。その下位に泥炭質粘土が45cm存在し、その下には青灰色粘土が2.7mの厚さで存在する。最深部の深度10.2mでの試料番号は1407番である。1407番は花粉分析用とし、1406番は珪藻分析用とした。

花粉の抽出法は約2ccの試料に10% KOH処理後、網径0.06mmの網を通過させ放置後、傾斜法、塩酸を加え底に沈んだ珪酸分除去、アセトリシス処理、塩化亜



第3図 柱状図

第2表 珪藻分析の結果 (試料番号 1406)

種 名 /	試料名	生態	1406
<i>Achnanthes lanceolata</i> Bréb.		F	1
<i>Amphora libyca</i> Ehr.		F	2
<i>Anomoeoneis brachysira</i> (Bréb.) Grun.		B-F	2
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grun.) Simonsen		F	3
<i>A. granulata</i> (Ehr.) Simonsen		F	1
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> (Ehr.) Cleve		F	3
<i>C. scutellum</i> Ehr.		M-B	1
<i>Cymbella cymbiformis</i> var. <i>nonpunctata</i> Fontell		F	1
<i>C. tumida</i> (Bréb.) Van Heurck		F	1
<i>Diatoma mesodon</i> (Ehr.) Kütz.		F	1
<i>Diploneis smithii</i> (Bréb.) Cleve		M-B	1
<i>Epithemia adnata</i> (Kütz.) Bréb.		F	1
<i>Eunotia praerupta</i> Ehr.		F	1
<i>E. spp.</i>		F	2
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i> Kütz.		F	3
<i>F. constricta</i> Ehr.		F	1
<i>F. construens</i> var. <i>subsalina</i> (Hust.) Hust.		B-F	2
<i>F. construens</i> f. <i>venter</i> (Ehr.) Hust.		F	4
<i>F. fasciculata</i> (Ag.) Lange-Bertalot		M-B	8
<i>F. leptostauron</i> var. <i>martyi</i> (Herib.) Lange-Bertalot		F	11
<i>F. pinnata</i> Ehr.		F	3
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kütz.) Rabh.		B-F	1
<i>Navicula sidrigiana</i> Carter		B	1
<i>N. tokyoensis</i> Kobayashi		F	9
<i>N. tuscula</i> Ehr.		F	1
<i>Nitzschia constricta</i> (Kütz.) Ralfs		M	1
<i>N. granulata</i> Grun.		B	4
<i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch.) Ehr.		F	3
<i>P. spp.</i>		F	5
<i>Plagiogramma staurorophorum</i> (Grev.) Heiberg		M	1
<i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehr.) O. Müll.		B-F	1
<i>Stephanoxis spp.</i>		M	1
<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehr.		F	5
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngb.) Kütz.		F	3
<i>Terpsionē americana</i> (Bail.) Ralfs		M-B	1
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grun.) Mereschkowsky		M	7
<i>Thalassiosira bramaoutrae</i> (Ehr.) Hånsson et Locker		B-F	2
<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve et Grun.		M	1
合 計			100
	(×5)	M	11
	(×4)	M-B	11
	(×3)	B	5
	(×2)	B-F	8
	(×1)	F	65
	Total		100
	塩分指数 (平均値)		1.95

M: 海水生種, M-B: 海～汽水生種, B: 汽水生種, B-F: 汽～淡水生種, F: 淡水生種

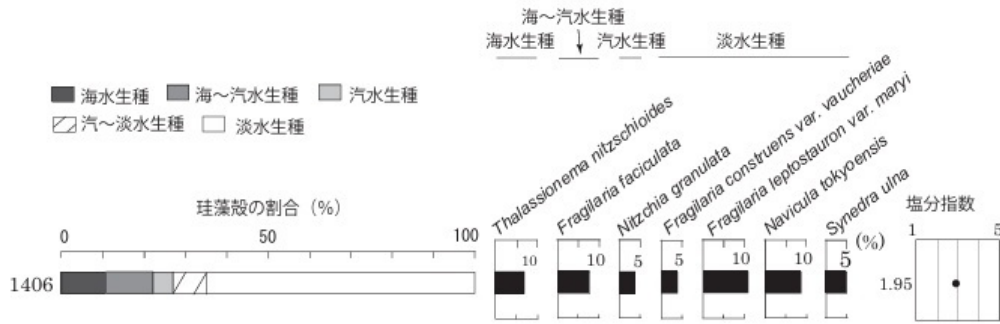
試料である (第1表)。

B帯 (試料番号 1289 深度 7.1 m - 試料番号 1259 深度 6.3 m) : 単条溝型胞子が 1281 番で 96 % と多く, 1289 番は名古屋大学宇宙環境研究所年代測定研究所により AMS ¹⁴C 年代測定値は mean 5917 ± 46 cal BP (NUTA2 - 27702) (星野ほか, 2021) である。

C帯 (試料番号 1248 深度 6.0 m - 試料番号 1160 深度 3.6 m) : コナラ亜属は試料番号 1160 で 37 % の最大

値となりハンノキ属は試料番号 1182 で 33 % の最大値となる。ブナ花粉は少量であるが連続出現している。最上部の試料番号 1154 番は名古屋大学宇宙環境研究所年代測定研究所によりの AMS ¹⁴C 年代測定値は 3148 - 2880 cal BP (2σ) (萩原, 2025) である。

D帯 (試料番号 1148 深度 3.3 m - 試料番号 1071 深度 0.9 m) : コナラ亜属とハンノキ属が減少していく。ブナ花粉は最下部の試料番号 1148 で 6 % 出現し、その後、



第5図 試料番号1406の珪藻分析結果が示す堆積環境

徐々に減少する。ミズゴケ属が連続出現をされていて、試料番号1093番では71%である。

E帯(試料番号1041 深度0m 表土): イネ科が多い。

珪藻分析

花粉化石の含有が見られなかった11試料の堆積環境を解明するために2試料(試料番号1316および1406)を嵯峨山積氏に依頼し、珪藻分析を実施したので以下に記す。

分析方法は以下の通りである。自然乾燥の試料数gを過酸化水素水により粒子分離を行い、蒸留水を加えて懸濁水にした。駒込ピペットで懸濁水0.3ccをカバーガラス上に広げた後、乾燥後に封入剤(マウントメディア)を用いて鑑定用スライドガラスを作成した。

鑑定は生物用光学顕微鏡の1,000倍により100個体を同定した。試料番号1316には珪藻化石が得られなかったが、試料番号1406番からは環境解析に十分な珪藻化石を得たので、Kramer and Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a, b)などを参考に海水生種(M)、海水〜汽水生種(M-B)、汽水生種(B)、汽水〜淡水生種(B-F)、

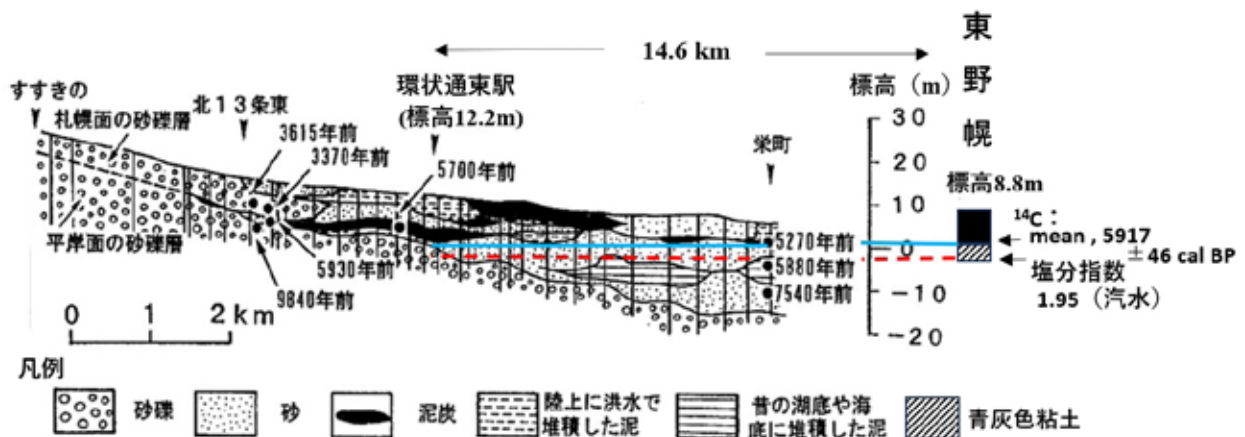
淡水生種(F)の5つのグループに分けた。得られた珪藻群集から塩分指数を求めた。同指数は海水生種の殻数に5、同じく海水〜汽水生種に4、汽水生種に3、汽水〜淡水生種に2、淡水生種に1の数を乗じ、これらの合計数を分子とし、全体の計数から不明種の数を除いた数を分母として除した値で表示することとする(嵯峨山ほか, 2010など)。

考察

1) 花粉分析結果から読み取れる石狩低地帯中央部の完新世後半の環境変遷

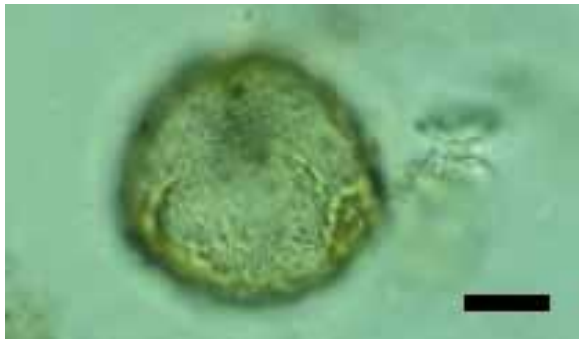
A帯は最下部の青灰色粘土と泥炭質粘土の部分に設定した。本コア最下部のコナラ亜属30%の部分代表とされるが、このA帯に所属する18試料に花粉・胞子ごく少量か無であったことの解釈として海の存在を星野ほか(2021)は予測したが、今回、嵯峨山積氏により最下部から3cm上の試料番号1406番の珪藻分析結果が塩分指数1.95であったことから、塩分濃度が低い汽水水域であることが判明した。縄文海進最盛期の植生を反映していると考えられる。

B帯になると単条溝型胞子が多く出現し、泥炭層の最



(地面から垂直に伸びた線はボーリングの位置を示す)

第6図 東豊線地質断面(大丸, 1996)と東野幌コア(星野ほか, 2021)の比較



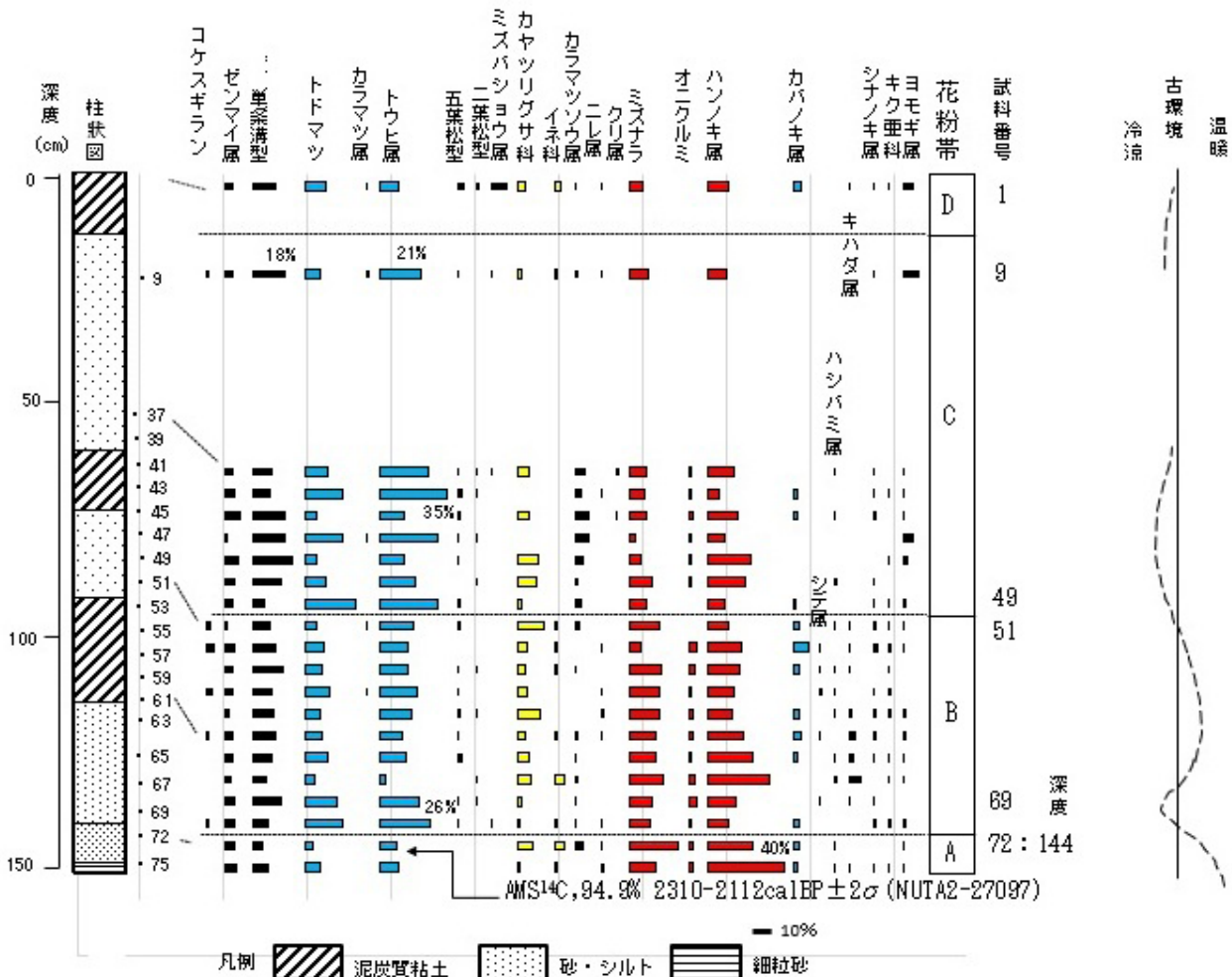
第7図 試料番号 1139：深度 3.0 m に存在したブナ花粉
1メモリ 10 μm.

下部の試料番号 1289 番：深度 7.1 m で AMS ¹⁴C 年代測定値は mean 5917 ± 46 cal BP(NUTA2 - 27702)であった。以上の結果を札幌市地下鉄東豊線地下のボーリング情報(大丸, 1996)と東野幌湿原の下に存在する 7.1 m の泥炭層を比較する(第6図)と、札幌市環状通東駅地下に眠る泥炭はこの青線の上に分布しているものばかりである。さらに東野幌湿原で 1.95 の汽水域を示している高度を西に追跡していくと、札幌市環状通東駅の地下に一致することが読み取れる。阪口(1974)は石狩平野においては泥炭層の厚さは最も厚いところで 7 m であ

るとして、篠津運河沿いの地質断面に泥炭の存在する部分を黒色で示している。本研究の珪藻分析の結果は泥炭層の下に汽水域を示す堆積物が石狩平野の泥炭層の下に広く存在することが読み取れる。このことが発見された意義は大きい。

C帯ではコナラ亜属が試料番号 1160 で 37% を示し、ハンノキ属は試料番号 1182 で 33% となり繁栄していたことが読み取れる。少量のブナ花粉の連続出現がみられる。気候の温暖化が進んだと読み取れる。

D帯は気候の冷涼化が進んだと読み取れる。ミズゴケ属が連続出現をしていて、試料番号 1093 番で 71% の出現を示すことから、高層湿原が発達していたことが読み取れる。大丸(1996)はおよそ 3500 年前頃の気候の寒冷化で世界のあちこちで民族の大移動が起きたと述べている。本報告の第4図に示す花粉組成図においても、深度 3.4 m 付近の試料番号 1154 における AMS ¹⁴C 年代測定結果は 3148-2880 cal BP(2σ)と報告され(萩原ほか, 2025), この時期以降にコナラ亜属とハンノキ属の減少が顕著であり、気候の寒冷化を読み取ることができる。このような寒冷化は十勝地方芽室町伏見地域でも認めら



第8図 芽室市伏見の須崎勉宅での花粉・孢子組成図(星野ほか, 2022)

- Verlag, Stuttgart.
- Kramer, K. and Lange-Bertalot, H., 1991a, Süßwasser-Flora von Mitteleuropas. Bacillariophyceae, 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunoticeae, 576p., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Kramer, K. and Lange-Bertalot, H., 1991b, Süßwasser-Flora von Mitteleuropas. Bacillariophyceae, 4. Teil: Athnathaceae Kritische Ergänzungen zu Navicula 1 (Lineolatae) und Gomphonema, 437p., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- 新田紀敏, 2019, 東野幌湿原の植物相. 旭川市北邦野草園研究報告, 7, 17-24.
- 阪口 豊, 1974, 泥炭地の地学. 東京大学出版会, 329p.
- 嵯峨山 積・外崎徳二・近藤 務・岡村 聡・佐藤公則, 2010, 北海道石狩平野の上部更新統～完新統の層序と古環境. 地質雑, **116**, 13-21.
- 嵯峨山 積, 2023, 縄文海進と石狩平野の形成: 珪藻化石からのアプローチ. 総合地質, **7**, 5-7.
- 米倉浩司, 2012, 日本維管束植物目録 (邑田 仁監修), 北隆館, 384p.

Abstract

The author found that the sampling point about 10 meters deep at the Higashi Nopporo core had been a slightly brackish area. Around 6,000 years ago, after the marine regression completed, the vegetation made a recovery due to the increase and luxuriance of Pteridophyte, *Quercus* and *Alnus* expanded their habitat, together with *Fagus*. Around 3,000 years ago, namely, at around a depth of 3.4 meters, climate cooling gradually intensified in the Ishikari Lowland. This report is expected to provide a significant new perspective on the palaeoenvironmental analysis of the central Ishikari Lowland in the Jomon period, after the completion of the Jomon marine transgression.

札幌市南区小金湯豊平川のクジラ化石産出箇所の地質と年代

岡 孝雄¹⁾・加藤孝幸¹⁾・大平寛人²⁾・秋葉文雄³⁾

Geology and geologic age of the whale fossil locality of Toyohira River in
Koganeyu, Minami-ku, Sapporo City, Hokkaido

Takao Oka¹⁾, Takayuki Katoh¹⁾, Hiroto Ohira²⁾, Fumio Akiba³⁾

2025年9月10日受付

2026年3月13日受理

1) アースサイエンス株式会社 〒001-0039 札幌市北区北39条
西3丁目2-1

Earth Science Co. Ltd., N39W3, Kita-ku, Sapporo 001-0039,
Japan

2) 島根大学総合理工学部 〒690-8504 島根県松江市西川津町
1060

Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering of Shimane
University, 1060, Nisikawatsu-chou, Matsue, Shimane 690-
8504, Japan

3) 有限会社珪藻ミニラボ 〒357-0023 埼玉県飯能市大字岩沢
632-12

Diatom Minilab, Ltd., 632-12, Iwasawa, Hanno, Saitama 357-
0023, Japan

Corresponding author: T. Oka, okatakao.otaru@nifty.com

Keywords: Whale fossil, Fission-track (FT) dating, Diatom analysis,
Toyohira River, Koganeyu-onsen, Sapporo Museum Activities
Center

はじめに

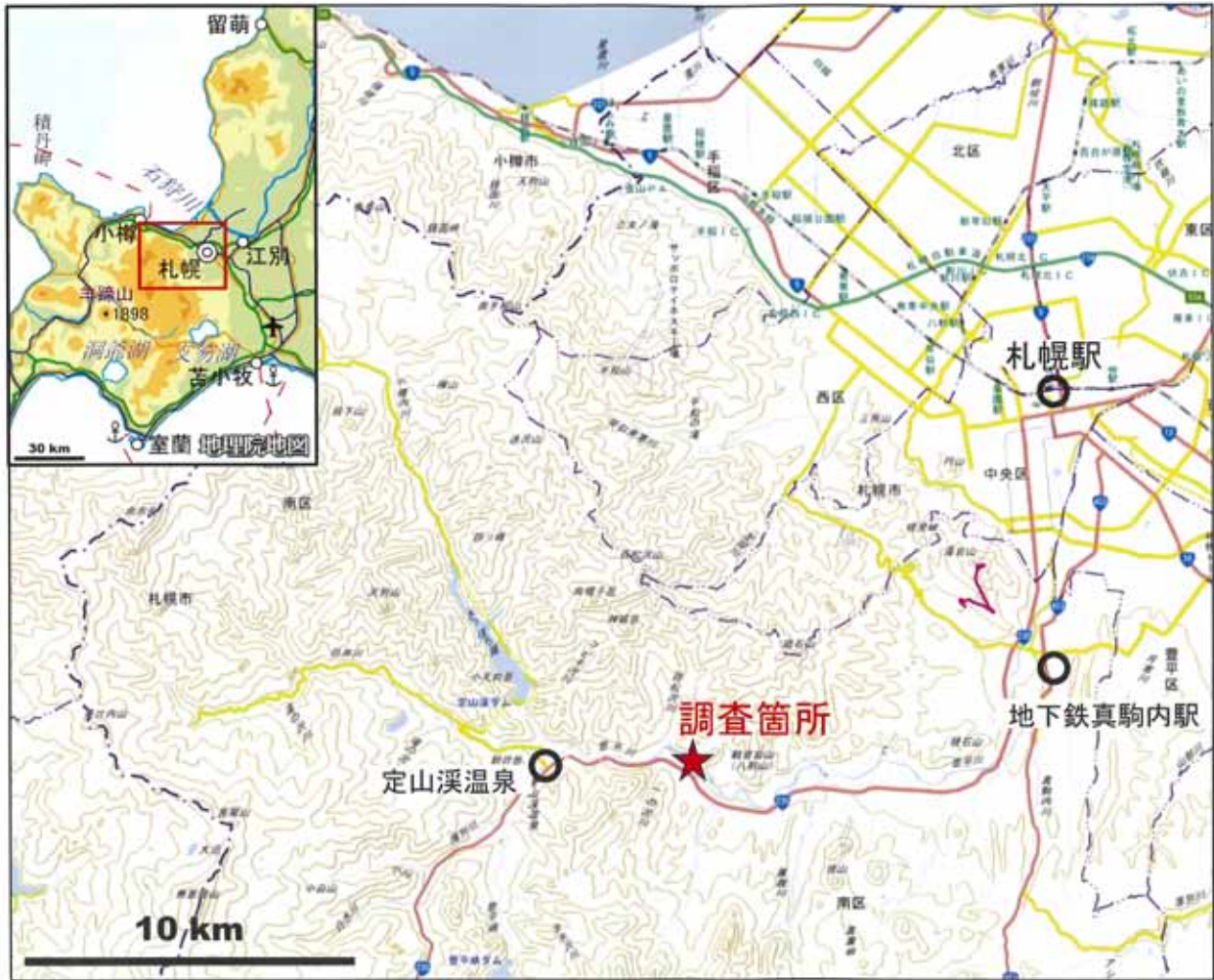
札幌市南区小金湯の豊平川河床でサッポロカイギュウ化石が発見され、発掘が行われたのは2003年である。その後、2004年から2007年にかけてそれに関する大型動物化石総合調査が札幌市博物館活動センターの所管で札幌市大型動物化石総合調査検討会を組織して進められ、報告書が取りまとめられた(札幌市博物館活動センター編, 2007; 岡ほか, 2019)。その取り組みの終了後まもなく、2008年10月にサッポロカイギュウ化石産出箇所から約500m上流の小金湯温泉下の河床で今度は

要旨

2008年10月に森和久氏により札幌市南区の豊平川において、サッポロカイギュウ化石産出箇所から約500m上流の小金湯温泉下の河床でクジラ化石が発見され、札幌市博物館活動センターにより2008年から2012年まで5年をかけて発掘が行われ、クリーニング作業により、セミクジラのほぼ全身の骨格であることが判明した。同センターの依頼によりクジラ化石の産出層について地質調査を行った結果、産出層は後期中新世の砥山層で、半深海堆積物であることが明らかになった。詳細な地質年代については、クジラ化石産出の石灰質ノジュール層の直下の火山灰質砂岩から得られたジルコン試料についてFT年代測定を行うと、 9.0 ± 0.4 Maの値が得られ、クジラ化石の年代はほぼ900万年前であることが示された。

クジラ化石が発見され、同年から2012年まで5年をかけて発掘が行われ、尻尾と頭の先端を欠くものの、ほぼ全身のクジラ化石であることが明らかになった(古沢, 2009; 2010; 2017)。このクジラ化石は、札幌市自然史博物館計画において、サッポロカイギュウに次ぐ大型化石展示物として期待されており(札幌市博物館基本計画)、今後の準備を進めるにあたり産出箇所(地層)の堆積環境や年代を正確に決めることが課題となっていた。

本業務は上記の経緯に関連して、札幌市からの発注に基づき小金湯温泉下の豊平川河床のクジラ化石産出箇所(第1図)において、地質調査・試料採取、フィッシュ



第1図 調査箇所(クジラ化石産出箇所)の位置. 詳細位置図の範囲を左上に赤枠で示す.

ントラック (FT) 年代測定, 微化石分析 (珪藻・放射虫) を実施した. なお, 放射虫化石については珪藻化石試料と同様な石灰質ノジュール試料を分割したもの (KG-R1 ~ R10) について, 薬品処理を行い, 珪藻や放射虫が認められた5試料 (R2, 5, 7~9) について観察が行われたが, いずれの試料でも, 得られた放射虫は少量で, かつ断片化したものが多く, 化石帯の指標となるようなものを欠いており, 年代決定には有効ではなかったため, 本論文では説明を省略した. 地質調査・試料採取は岡・加藤など, FT年代測定は大平, 珪藻分析は秋葉が担当し, 総合的な取りまとめと報告文の作成は岡が行った. なお, 当該クジラ化石については取り出し・クリーニング作業と観察・記載が行なわれ復元された (第2図). その後, Tanaka et al. (2025) により論文化が進められ, セミクジラ (ヒゲクジラ類) の学名 “*Megabalaena sapporoensis*” 新属新種として報告されている.

本調査を進めるにあたり, 札幌市博物館活動センターにおいて当該クジラ化石の発掘業務を推進された故古

沢仁博士には適切なご指示・指導を頂いた. 同センターにおいて, 同博士の逝去後, この発掘の研究業務を引き継がれた学芸員田中嘉寛博士には取りまとめ・論文化にあたりご理解とご便宜をいただいた. アースサイエンス株式会社の菅原 誠・飯田友章・田中真二の3氏にはクジラ化石発掘地点での試料採取にご協力いただいた. 新潟大学理学部植田勇人准教授には放射虫化石について検討をいただいた. 北海道総合地質学研究センター理事宮坂省吾氏には丁寧な査読をいただいた. 記して, これらの方々に感謝の意を表します.

調査箇所をとりまく地質概要

1. 豊平川上流域の地質概要

調査箇所付近とそれを取り巻く地域の地質については, サッポロカイギュウ化石関連総合調査報告書 (札幌市博物館活動センター編, 2007) および岡ほか (2019) に詳細な取りまとめが行われている. それらによれば, 地質分布と地質構造概略は第3図, 地層の層序は第4図のようにまとめられる.



第2図 小金湯産クジラ化石復元骨格（作製・写真：株式会社ウェザーコック，2024年1月20日～2月15日 日本生命札幌ビル1階ロビー展示）

豊平川上流域の地質構造は、南北方向が基本となっており、中央部に定山溪石英斑岩体、東部に常盤背斜－硬石山岩体という隆起体が存在する。定山溪石英斑岩体の西側は主に定山溪層群の分布域であり、先第三系も部分的に顔を出し、地熱資源賦存域となっている。定山溪斑岩体と常盤背斜－硬石山岩体にはさまれる範囲は主に砥山層の分布域で、豊平川付近は砥山波状褶曲域となっており、クジラ化石産出箇所（小金湯温泉下）もその範囲に含まれる。その南部は札幌岳－空沼岳ベースンで西野層が分布している。全域的に火山貫入岩体が多数存在し、岩峰地形を形作っている。

地質構成は、下位より、先第三系（薄別層）、新第三系および第四系である。

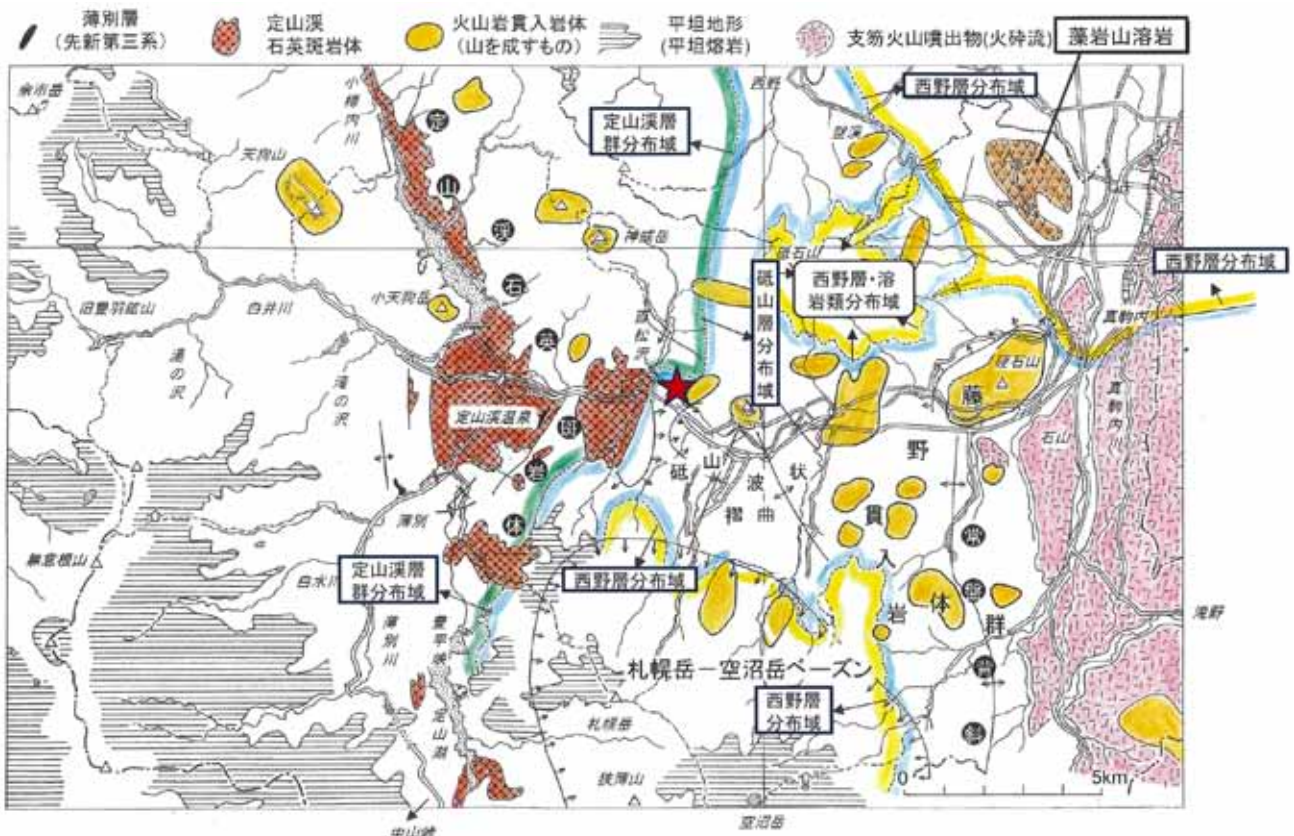
(1) 先第三系

先第三系の薄別層は豊平川支流の薄別橋付近などでわずかに分布するが、硬質の黒～灰色の砂岩・泥岩互層であり、北海道西南部の第三系下に基盤をなして広く分布する1億年前頃の島弧－海溝系の付加体で、前弧海盆堆積物に由来するものと考えられている。

(2) 新第三系

新第三系は、定山溪層群（一部古第三紀の年代のものを含む）、砥山層および西野層で構成される。その他、周辺を取り巻く山地脊梁部には溶岩類が分布し、多くの火山岩貫入岩体が存在する。

定山溪層群（土居，1953の地質図幅「定山溪」）は従来の地層区分（名称）・対比に様々な混乱があったので、岩相区分のみとし、下位より「帯緑色火砕岩層」、「帯緑色火砕岩・泥岩層」、「ハイアロクラスタイト層」に区分した。定山溪石英斑岩体の周辺から主にその西側の定山溪温泉－豊羽鉦山地域に分布し、年代は1,000万年前頃以前で、中期中新世～前期中新世後半頃と見なされる。なお、従来の定山溪層群の一部にはFT年代測定（23.9±0.9Ma）により、古第三紀漸新世最末期から前期中新世初期に位置付けられる小柳沢層が報告されている（沢井・鴈澤，1992）。当該層を定山溪層群に含めるべきかどうかについて問題があるが、便宜的措置として同層群



第3図 豊平川上流域の地質・地質構造概略図（札幌市博物館活動センター編，2007より引用・加筆）。赤星：調査箇所

に含めて扱う。

砥山層はサッポロカイギュウ化石および今回のクジラ化石の包含層(泥岩)であり、岡ほか(1991)が札幌市西区西野地域で小樽内川層としたものである。定山溪地域広域調査報告(通商産業省資源エネルギー庁, 1974)の「砥山層群」にほぼ相当する。定山溪石英斑岩体の西側に分布し、豊平川沿いに多くのルートで地質(岩相)を詳細に調査した結果、累層に細分できないと判断し、層群としては扱わないとした。なお、「小樽内川層」は地質図幅「銭函」(杉本, 1953)により提唱された地層名であるが、模式地の小樽内川地域では火山岩類・火山碎屑岩類を主体としており、ほとんど泥岩より構成される豊平川流域の「小樽内川層」にその名称を適用するのは妥当ではないと判断された。年代は1,000万年前～550万年前頃でほぼ後期中新世と見なされる。

西野層は豊平川沿いの南区藻岩下～藻南公園および豊平区中の島付近などの月寒丘陵の北東部と札幌岳～空沼岳付近(札幌岳～空沼岳ベースン)に分布する。年代は550万年前頃～250万年前頃でほぼ新第三紀鮮新世とされるが、豊平川沿いのものは西野層の最下部である。砂質泥岩～細粒砂岩および火山碎屑岩(水中火砕流・ハイアロクラスタイト・溶岩類)および火山性礫岩(海底土石流)などより構成される。

余市岳, 無意根山, 札幌岳, 空沼岳, 手稲山など周辺を取り巻く山地脊梁部の溶岩類は緩傾斜の平坦地形を示すことから平坦溶岩と呼ばれることがあるが、その形成年代は後期中新世～第四紀初頭と幅がある。

豊平川上流域のほぼ中軸部を南北に貫くように定山溪石英斑岩体が分布するが、これはいわゆる第三紀花崗岩で、過去における地下深部の大きなマグマだまりの一部が地表に顔を出したものと考えられ、特に周囲を取り巻くように分布するハイアロクラスタイト層(噴出岩相; 定山溪層群)と密接な関係があると考えられる。

その他に豊平川流域には八剣山など岩峰状地形を示す700万年～500万年前後の年代の火山貫入岩体群が多数存在する。藤野貫入岩体, 硬石山など500万年前後の年代を示すものは、西野層の火山噴出物と密接な関係があると考えられる。

(3) 第四系

豊平川流域では主に野幌層群, 支笏火山噴出物, 段丘堆積物群および現河川氾濫原堆積物が分布する。野幌層群は月寒丘陵北部(月寒台地)に分布する。段丘堆積物群のうち高位のものは支笏火山噴出物以前に形成されたもので、藤野のオカパルシ川および穴の川のそれぞれ下流部では、同火山噴出物の下位に顔をのぞかせてお



第4図 豊平川上流域の総合柱状図(札幌市博物館活動センター編, 2007より引用・加筆)。凡例は第11図に準じる。

り, その東～北東では真駒内川に沿って地下(ボーリング孔)で同噴出物の下位に存在するのが確認できる。中位段丘面はいわゆる平岸面に相当し, 主に豊平川(石山より上流)南岸側および同(真駒内より下流)東岸側に広く分布する。段丘堆積物は厚さ5m前後で礫層主体である。

2. 小金湯付近の地質概要

小金湯付近の地質概要は札幌市博物館活動センター編(2007)の小金湯および百松沢付近の地質概略図(第5図), その小金湯付近拡大図(第6図)および小金湯とその周辺地域の新第三系ルート柱状図集(第7図)に



第5図 小金湯および百松沢付近の地質概略図と調査箇所的位置(札幌市博物館活動センター編, 2007より引用・加筆)



第6図 黄金湯付近(小金湯ルート;Kg)の地質概略図(第5図の一部の拡大, 加筆). 小赤丸はルート柱状図作成の基準となる地点群でルートは4つのサブルートからなる.

示される. なお, この柱状図集の内, 小金湯温泉下のKg3の部分については本調査箇所該当し以下の記述の中で説明を修正する.

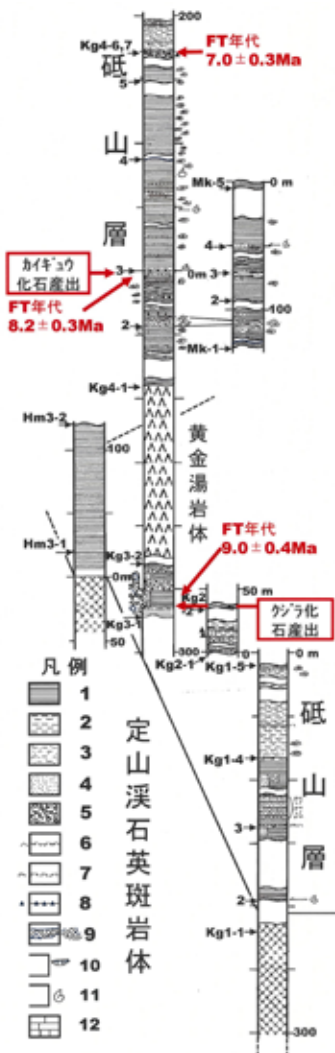
地質構造的には定山溪石英斑岩体の東ブロックとその東側の半ドーム状構造(南北の伸張), 盤の沢川沿いの向斜構造(北北東-南南西の軸), 百松沢の対をなす向斜・背斜(北西-南東の軸)および八剣山岩体・小金湯岩体などの火山岩貫入岩体が存在し, 複雑な構造形態が生じている(第5図). そのため, 小金湯付近では, 第5図および第6図に示すように層序を一連のルートでとらえることが困難で, 以下のように豊平川上流から砥山ダム南岸(Kg1), ダム堤下流河床露頭(Kg2), 小金湯温泉下河床(Kg3;本調査箇所), 小金湯岩体東端-砥山栄橋-八剣山下(Kg4)の4つのルートの集合体としてとらえることができる.

砥山ダム南岸(Kg1)では層厚約200mの泥岩主体層で, 火山性タービダイト砂岩薄層をはさむ泥~砂質泥岩である. 下半部は細かい板状層理が顕著で, フローユニット5m以下の厚さの水中軽石流の火砕岩を頻繁にはさむ. 北東へ50°弱の傾斜であるが, 西へ向かい次第に急傾斜となり走向が南北方向に近くなり, 西側では石英斑岩体に断層関係で接している.

ダム堤下流河床露頭(Kg2)では粗粒タービダイト(海底チャンネル堆積物)を含む層厚25mの急立層が露出するが, それは南西上位であり, Kg1とは向斜軸部をはさみ反対翼側になる. このような, 急立した向斜構造(北西-南東の軸)は百松沢口へ続いている. Kg1の泥岩主体層は百松沢口の北東翼側の砥山層最下部砂質泥岩に対応しており, その下位は定山溪層群ハイアロクラスタイト層が占める.

小金湯温泉付近では小金湯岩体(安山岩)とその西側に近接して小岩体があり, それらの間の部分, すなわち同温泉下の河床(Kg3;クジラ化石産出地)では, ほぼ北東-南西の走向で南西側上位の急傾斜~逆転層(厚さ29m+)が存在するが, 主に泥岩・砂岩および両者の互層, 火山性不淘汰礫岩より構成され, それらを切るように厚い不淘汰礫岩層(海底土石流堆積物)が存在している. 砂岩の級化方向(西~南西)や岩相からKg2とほぼ同層準と見なされる.

小金湯岩体~八剣山下ルート(Kg4)では, 同岩体付近で貫入の影響で地層が南南東に60°程度傾斜するが, 下流へ向かうに従い傾斜方向は南東, 東北東へと変化し, 傾斜も35°±, 17°±, 10~5°と次第に緩くなり, 全体



第7図 小金湯とその周辺地域の新第三系ルート柱状図集 (第5図に対応; 札幌市博物館活動センター編, 2007より引用の図を加筆・修正)。Hm, Kg, Mkは第5・6図に対応。1:板状層理の泥質岩(“硬質頁岩”), 2:泥岩, 3:砂質泥岩, 4:砂岩(主に極細~細粒), 5:不淘汰礫岩, 6:火山灰層(火山ガラス質)および火山灰質, 7:軽石質火山灰および軽石質, 8:スコリア質火山灰およびスコリア質, 9:スランプ褶曲, 10:石灰質ノジュール, 11:含貝化石, 12:互層。

として300 m弱の層厚である。起点(Kg4-1)より90 m上位のカイギュウ化石産出層準(Kg4-3)までの部分はタービダイト砂岩(スコリア・軽石まじり)・火山灰薄層を所々にはさむ泥岩主体で, 中部には10 mの厚さのスランプ褶曲層を伴っている(Kg4-2)。カイギュウ化石産出層準ではスコリアまじりのタービダイト砂岩(中~粗粒)で直上に貝化石散点・生物攪乱砂質泥岩をともなうが, 同層準より170 m上位(Kg4-6)に泥岩偽礫・ブロックを含む土流と思われる火山性角礫岩層(厚さ2 m前後)が挟まれ, この間は下位に類似する泥岩であるが, 石灰質ノジュールに富み, 所々で貝化石を



第8図 小金湯温泉付近の地形図と調査箇所(赤枠)。地理院地図を加筆・修正

散点状に含むのが特徴である。火山性角礫岩層より上位は30 mほどの層厚部が観察できるが, 砂質泥岩~泥質極細粒砂岩主体で, 所により砂岩・泥岩互層で, 砂岩は黒灰色スコリア質となっている場合が多い。同じく同角礫岩層の10数m上位(Kg4-7)には生痕帯が認められる。カイギュウ化石産出層準(Kg4-3)について, 泥岩中の軽石質の部分の試料に含まれるジルコンについて 8.2 ± 0.3 Ma, 生痕帯(Kg4-7)について厚さ数cmの灰白色細粒凝灰岩中のジルコンについて 7.0 ± 0.3 MaのFT年代が報告されている(札幌市博物館活動センター編, 2007)。

地質調査と試料採取

1. 概要

クジラ化石発掘関連の調査箇所は小金湯温泉(湯本黄金湯)建物の下流100~170 mの豊平川の西岸側河床に位置し(第8図), 東西約30 m×南北約70 mの広がりがある(第8, 9図)。

調査にあたっては, 2つの主要ルート(A-K, L-O)および補助的小ルート(D-R, D-S)を設定し, 50 m長のスチール製巻き尺を用いて, 位置を確認しながら, 地層の走向・傾斜を測定し, 地層観察・柱状図作成・写真撮影を進めた(第10図, 第11図)。A-Kルートは全長33.5 mで, A地点を起点としてB, C, D, E, F, G, H, I, J地点を, L-Oルートについては, 全長30 mで, L地点を起点としてM, N地点を設定し,



第9図 調査箇所付近の空中写真(2018年9月グーグルアース)。赤枠は第8図の赤枠および第10図の範囲に対応。

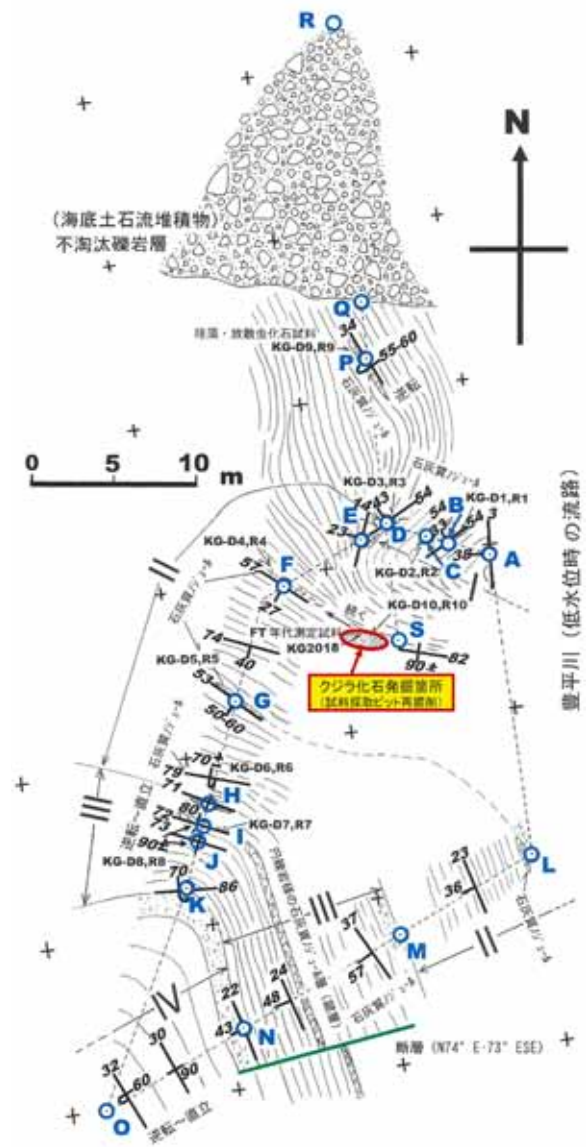
微化石分析(珪藻・放散虫)用の試料を採取した。

2. 層序

第10図に示すように、2つの主要ルートの柱状図(第11図)は特徴的な鍵層や岩相変化を目視などで追跡でき、対比が可能である。その結果、両柱状図合わせて29mの層厚部について、下位よりI~IV層の層序が明らかとなった。各層について、以下に説明する。

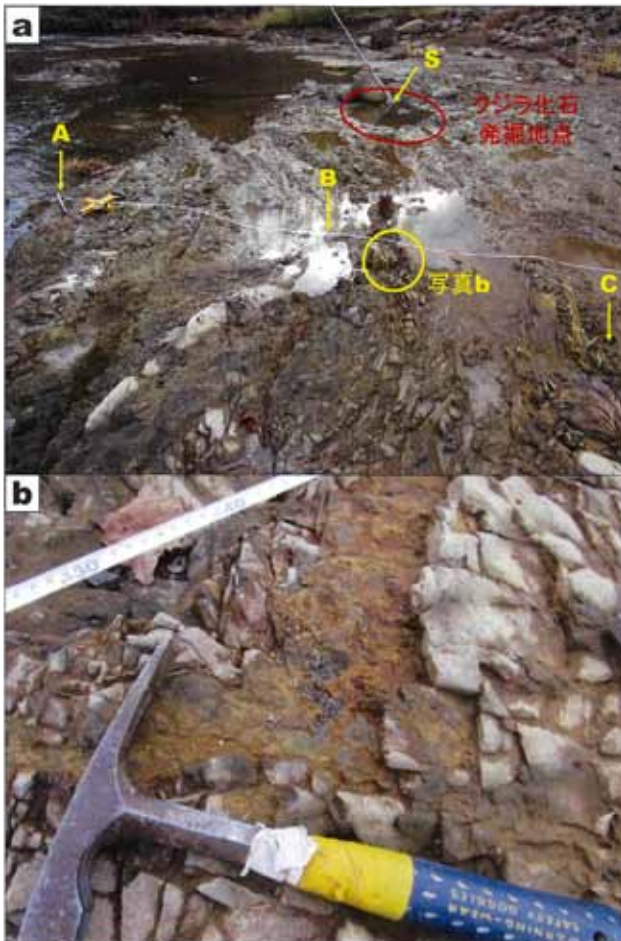
I層：A-KルートのA-E間で観察できる黒灰色泥質極細~細粒砂岩層(層厚3m+)である。北西から北北西へ傾斜35°程度の層理が示され、スコリア質の黒灰色の泥質極細~細粒砂岩または極細~細粒砂岩を主体とし、砂質泥岩を伴い、石灰質ノジュール層を3層含んでいる。B-C間の泥質砂岩中には黄褐色(風化)細粒火山灰薄層を挟む(第12図a, b)。下位のノジュール層で珪藻・放散虫化石試料KG-D1およびR1、中位のノジュール層で同KG-D2およびR2、上位のノジュール層で同KG-D2およびR2を採取した。

II層：A-KルートのE(D)-H間で観察できる層厚11mの薄板状泥質岩層であり(第13図a~d)、その上半部はL-OルートのL-M間も対応する。A-E(D)間と異なり、南南西へ傾斜した層理が示され、傾斜30~40°程度から次第に大きくなりH地点付近では直立するようになる。一見すると、細かい割れ目のあるいわゆる硬質頁岩よりなるが、より細かく観察すると薄



第10図 調査平面図(A~O間およびL~O間は第11図の2つのルート柱状図に対応)

板状の泥質岩で、泥岩、砂質泥岩および泥質極細粒砂岩の細かい互層である。石灰質ノジュール層を下部と中部の2層準に挟み(第13図b)、珪藻・放散虫化石試料を採取した。第13図aに示すように、下部のノジュール層はクジラ化石発掘地点(年代測定試料採取ピット掘削)に続いている。全体に黄褐色細粒火山灰薄層を10層以上挟む(第13図c)。L-M間では西南西へ傾斜35°程度の層理が示され、厚さ5m+であり、その最下部1mあまりの部分には火山性不淘汰砂礫岩層(厚さ最大55cm)とその直上に石灰質ノジュール層(厚さ30cm)が挟まれる(第13図d)。さらにこれらの上位にも同様に火山性不淘汰砂礫岩がもう1層はさまれる。なお、主体を成す薄板状の泥質岩は、概ね層理方向のかなり不規則な細かい割れ目が入り、いわゆる硬質頁岩様を呈している。



第12図 I層の黒灰色泥質極細～細粒砂岩層. a: I層の下半部(A-C間). 南の下流方向へ向かってクジラ化石発掘地点をとらえる. b: 写真aのB地点付近の拡大写真で、黄褐色層は細粒火山灰.

III層: A-Kルート of the H-K間およびL-OルートのM-N間で観察できる層厚5~6mの黒灰色泥質極細粒砂岩・砂質泥岩互層である(第14図a~c). H-K間では走向は東西~西北西-東南東で、ほぼ直立から北へ逆転する(南側上位). 黒灰色の泥質極細粒砂岩を主体とし、部分的に砂質泥岩を互層状にはさむ. H地点ではH層準の上位に厚さ20cm前後の石灰質ノジュールが挟まれ(第15図a), 珪藻・放射虫化石試料をKG-D6およびR6として採取した. H地点(H層準)より厚さで1.35m上位のI地点でI層準の直上に石灰質ノジュール様の泥岩と砂岩が厚さ30cm以下で互層状をなすが、その中の石灰質ノジュール様の泥岩について珪藻・放射虫化石試料KG-D7およびR7として採取し、I地点(I層準)より厚さで0.9m上位のJ地点では、J層準の直下の厚さ30cmの部分は野球ボール大の円礫岩状をなす石灰質ノジュール層が存在し、珪藻・放射虫化石試料KG-D8およびR8として採取した(第15図b). M-N間では西南西へ50°前後の層理が示される. 下部1.45mの部分は上方細粒化を示す火山性不淘汰砂礫

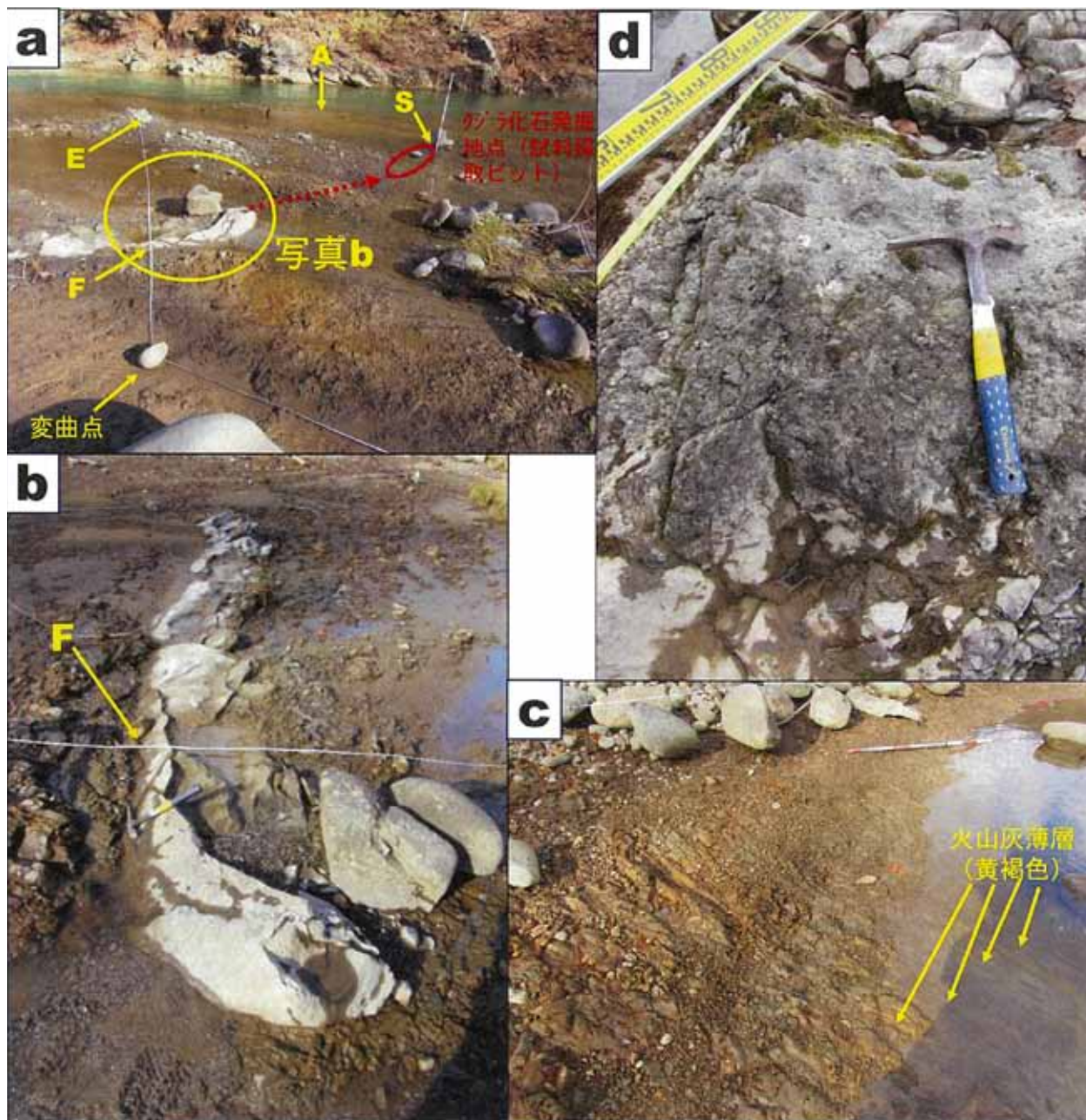
岩層である(第14図a). 下半部は一般に径5cm±、ときに10cm±の安山岩などの各礫を含む黒灰色極細~粗粒砂岩であるが、上方へ細~中粒砂岩、泥質極細粒砂岩へと変化するタービダイト状のサイクルの重なりが求められる(第14図b). M地点(M層準)より厚さでそれぞれ1.5m上位付近に厚さ15cmの石灰質ノジュール層を挟む. 上部のM地点(M層準)より厚さで4.5m上位付近に厚さ55cmの野球ボール大の円礫岩状をなす石灰質ノジュール層が存在する. 特徴的な地層状況から鍵層となり、A-Kルートへの追跡が可能である. ルート線横に顕著な断層が認められた(第14図c). 上記鍵層の下限層準を基準にして測定すると、オフセット1.5mで、見かけ上は左横ずれである.

IV層: L-OルートのN-O間に該当し、層厚10m+の砂質泥岩(泥岩、砂質泥岩および泥質極細粒砂岩の細かい互層)と泥質極細粒砂岩の互層である(第16図a). ほぼ西南西へ45°程度から直立~逆転の層理が示され、西へ向かって急立するようになる. 主体を成すのはL-M間と同様の薄板状の砂質泥岩(泥岩、砂質泥岩および泥質極細粒砂岩の細かい互層)と泥質極細粒砂岩の互層であるが、圧碎により角礫化しているように見える(第16図b). O地点(層準)より下位の0m~1.1m間は火山性不淘汰砂礫岩層である.

D-Rルートの海底土石流堆積物

ルート線の方法はN7°Wで、ほぼ南北方向であるが、A-KルートのD地点を起点としてP, Q, R地点を設定した(第17図a). Q地点~R地点間は巨礫を含む海底土石流堆積物であり、D地点-Q地点間にはA-KルートのE-H間に類似の薄板状の泥質岩(泥岩、砂質泥岩および泥質極細粒砂岩の細かい互層)がルートラインにほぼ平行かやや斜交する走向を示して分布しており、急立している. P地点では石灰質ノジュール層を厚さ40cm±ではさみ、その走向・傾斜はN34°W・55~60°NEであった.

海底土石流堆積物はQ地点でほぼ東西方向の境界線でD-Qラインにほぼ沿うような走向で急立し分布する薄板状の泥質岩を切るように東西15m+×南北15m+の広がり分布する(第17図a). 境界部に特に断層などは認められないことから、薄板状泥質岩の元となった堆積層が形成されてあまり時間が経たないうちに海底土石流が発生し、チャンネル状に削り込んで堆積したものと思われる. 礫種は新第三系泥質岩、石英斑岩、安山岩、先第三系堆積岩類(石灰岩・硬質泥岩砂岩・緑色岩など)の各種の大きささまざまなものが混在し(第17図b~e)、不淘汰である. 最大径は1m以上に達し、角~亜角礫が



第13図 II層の薄板状泥質岩層

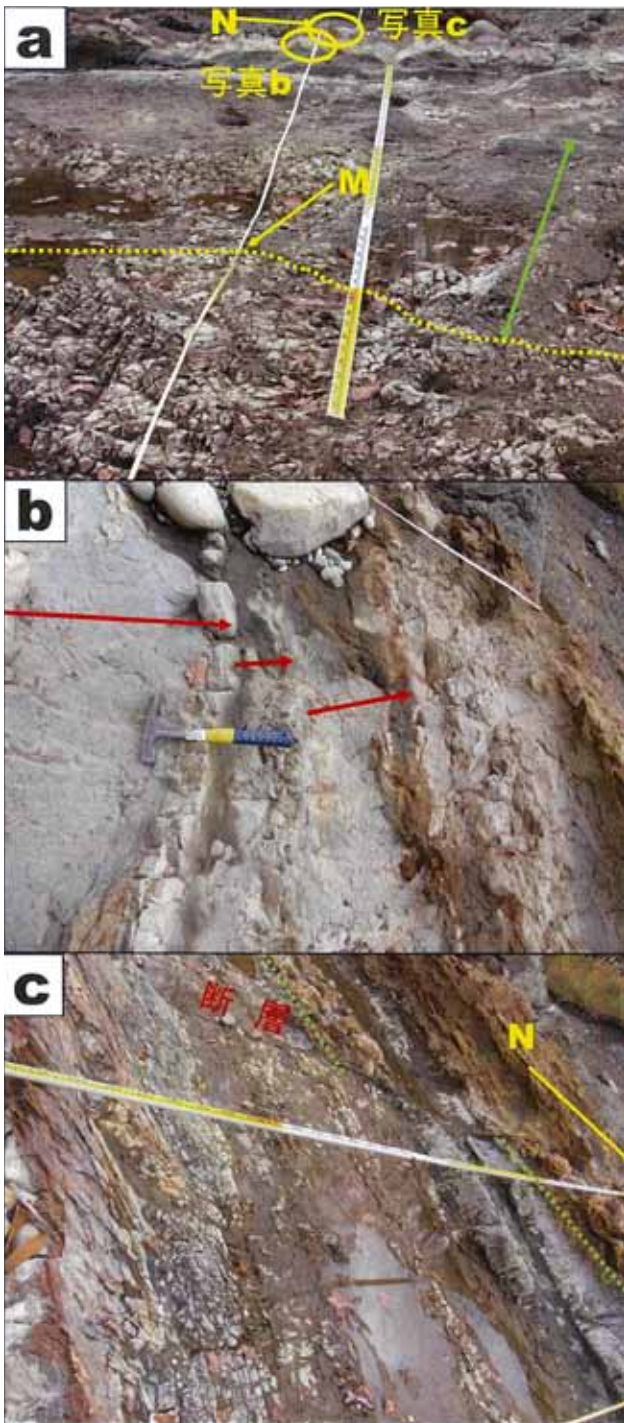
a: II層下部 (E - F間およびF - G間の一部) の地質状況. 右上にS地点およびクジラ化石産出箇所があり, F地点の石灰質ノジュール層は試料採取ピット (クジラ化石産出箇所) へ続く. b: F地点のノジュール層. c: II層上部 (G - H間) の黄褐色 (風化) 細粒火山灰薄層群. d: L地点 (L - Oルート起点) 付近の火山性不淘汰砂礫岩層.

主体である.

3. クジラ化石産出層準でのFT年代測定試料の採取

クジラ化石産出箇所では, 含クジラ化石のノジュール採取の際に生じた掘削穴の埋積部分を水中モーターポンプで排水を行いながら再掘削し, ほぼ東西方向に幅最大1.5 m, 長さ約3 m, 深さ1.35 mのピットを作製した (第18図a). ピットの北側壁面を撮影した写真 (第18図b, c) に示すように, 泥質岩に挟まれて火山灰質砂岩薄層がほぼ東西方向の走向・直立で出現するのが認め

られる. その砂岩層をFT年代測定のための試料として採取した (第18図d). 試料採取後, ピットは埋め戻した. なお, クジラ化石発掘時の写真 (古沢, 2010; 札幌市博物館活動センター, 2011) によれば, 掘削時の穴は豊平川の低水時の流路にほぼ直交しており, クジラ化石を含有していた厚さ1 m±, 長さ2 mあまり, 高さ1.5 m弱の岩塊 (石灰質ノジュール) はその掘削穴に沿うようには配置していたもので, ほぼ直立した広い面 (長さ×高さ) は, 今回, 近傍のS地点付近で観察・測定

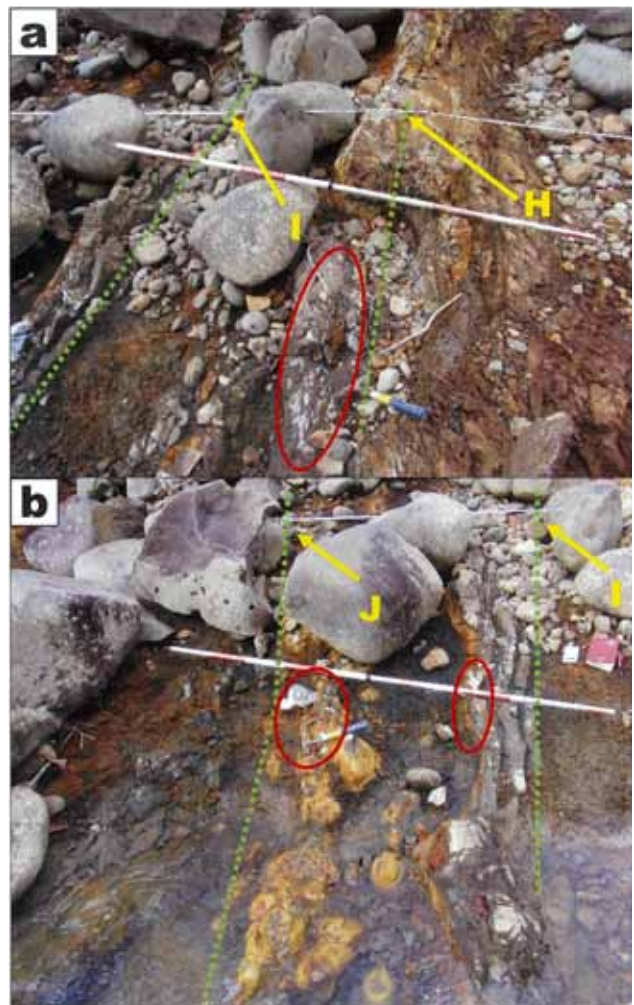


第14図 III層の黒灰色泥質極細粒砂岩・砂質泥岩互層 (M-N間). a: L-M間上部およびM-N間で黄緑両矢印間は火山性不淘汰礫岩層. b: タービダイト様のサイクル(赤矢印表示). c: N-M間の中部で薄板状の泥質岩(泥岩, 砂質泥岩および泥質極細粒砂岩の細かい互層).

した泥岩層の層理 (N82°E・90°±) と整合的である. この含クジラ化石ノジュール層は走向・傾斜および露頭状況から判断すると, F地点のノジュール層へ続いている.

年代測定 (FT 年代)

クジラ化石産出層準の年代決定のために, 「地質調査



第15図 石灰質ノジュール(赤囲み)から珪藻化石試料など採取. a: H地点 (H層準) およびI地点 (I層準). b: I地点 (層準) およびJ地点 (J層準).

と試料採取」の3で述べたように, クジラ化石発掘箇所を再度掘り起こし, その北側壁面に露出する火山灰質砂岩薄層からジルコンの含まれる火山灰質試料を採取し, ジルコンのフィッション・トラック (FT) 年代測定を実施した. 対象試料は, 試料名 KG2018 として取り扱った. なおこの FT 年代値について既に報告されているが (Tanaka et al., 2025), 今回は年代母集団の解釈を含め, 測定の詳細について述べる.

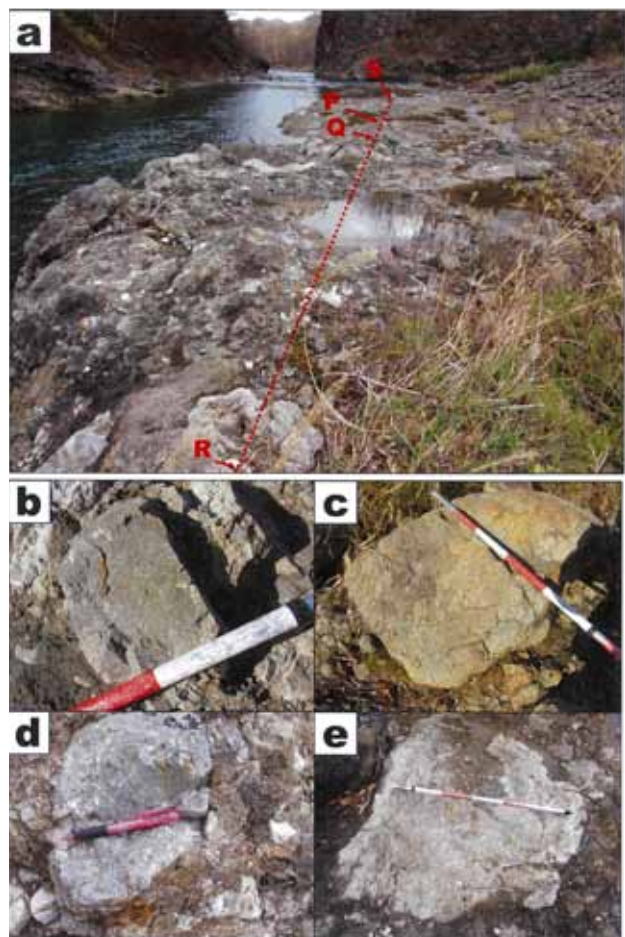
1. 年代測定方法の概要

FT 法は, 鉱物研磨面 (4 π 面) または鉱物表面 (2 π 面) において観察される自発トラック数 (密度), および原子炉での中性子照射によって外部ディテクター (白雲母) 上に転写される誘発トラック数 (密度) を顕微鏡下で計数し年代を求める方法である. トラックはUの核分裂によって生じる鉱物中の飛跡で, 試薬によるエッチングを経て光学顕微鏡でも観察可能となる. ジルコンなどの鉱物上で観察される自発トラック数は, 既に核分裂壊変した 238 U 量を表し, ディテクターに転写される誘発



第16図 IV層の砂質泥岩と泥質極細粒砂岩の互層。a: N-O間のほぼ全容をとらえる。b: N-O間の主体をなす砂質泥岩の拡大写真。シェア面と圧碎による角礫化が進んでいる。c: N層準の直上に重なる火山性不淘汰砂礫岩。

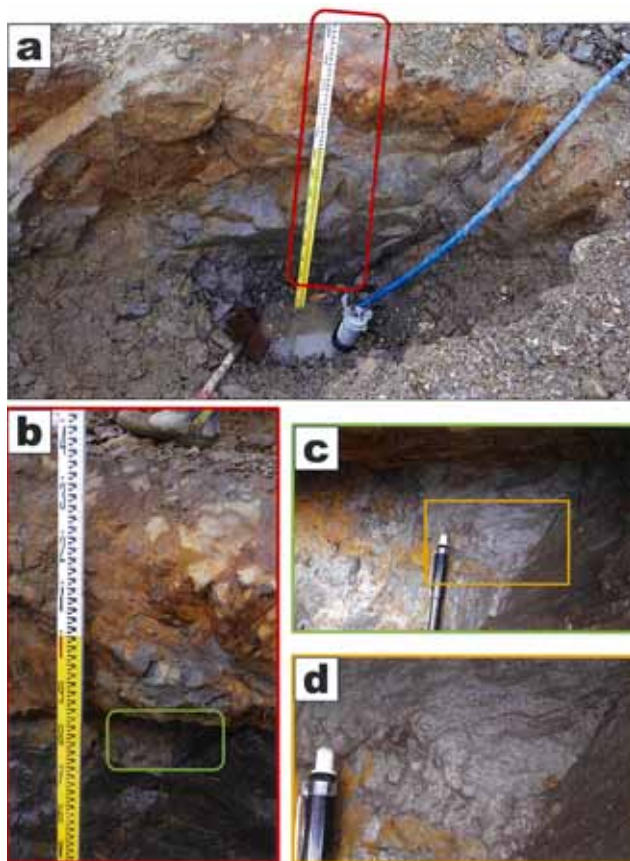
トラックは、一定の熱中性子線によって核分裂壊変した ^{235}U 量を表す。この ^{235}U 量は、 $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ 同位体比が一定であることから、もともと鉱物中に存在した ^{238}U 量に換算される。すでに核分裂壊変した ^{238}U 量(自発トラック数(密度))、当初から鉱物中に存在した ^{238}U 量(誘発トラック数(密度)から換算)および壊変定数から年代が算出される。しかしながら近



第17図 海底土石流堆積物(不淘汰礫岩)の全容と構成礫。a: 全容。b: 新第三系安山岩礫。c: 石英斑岩礫(定山溪石英斑岩体起源)。d: 先第三系堆積岩礫(付加体の薄別層起源)。e: 石灰岩礫(薄別層起源)。

年まで ^{238}U の自発核分裂壊変定数に複数の見解があったことや、原子炉内での中性子照射(熱中性子のエネルギー分布とその時間変化など)が誘発トラックに与える影響を回避するために、1990年以降は年代標準試料を使用したと較正法(ゼータ法)(Hurford, 1990a; b)が用いられている。ゼータ法は年代既知の標準試料(FCT: Fish Canyon Tuffなど)のジルコンの年代測定実験から得られる ζ 値をもとに年代値を求める手法である。測定者固有の ζ 値(結晶内部面を使用)は 367.1 ± 4.1 (大平, 2004)である。

なおFT年代測定ではUの自発核分裂壊変がポアソン分布に従って発生することに起因する誤差が付随するため、単一年代を持つはずの粒子群を分析しても、得られた個々のFT年代値はばらつきを示す。そのばらつきが壊変に伴うものであるか、あるいは異なる年代値が混入したものであるかの評価法として、 χ^2 検定が導入されている。また検定の結果、粒子年代のばらつきが放射壊変に伴うばらつきによるものだと判断されれば、全ての



第18図 クジラ化石発掘箇所の再掘削とFT年代測定試料の採取。a:再掘削のピット。b:ピット北壁の写真aの赤枠部分の拡大部。c:写真bの黄緑枠部分の拡大部。d:写真cの褐色枠部分の拡大部 (FT年代測定試料採取)

粒子の自発FTを足し合わせるにより得られる年代値 (pooled age とよばれる) を、試料の年代と解釈することができる (長谷部ほか, 2021)。FT法がポアソン分布を示す単一の母集団から一つの年代値を得る手法であることから、後述するように統計的検定や各種プロットにより粒子年代のばらつきが評価される。

2. 年代測定実験

(1) 岩石からのジルコンの抽出

岩石試料を粉碎し、流水下でふるいを用いて 250 μm 以下の粒子を回収した。試料を乾燥後、比重分離 (プロモフォルム $d=2.89$) を行い、アイソダイナミックセパレータで磁性鉱物を除去した。この時点で年代測定に十分な量のジルコンが確認できたこと (第19図)、また、ジルコンの表面にガラス物質などの付着が見られなかったことから、フッ化水素処理 (46% HF, 80°C) を行わずに、直接ハンドピッキングによりジルコンを取り出した。

(2) ジルコンの特徴

ジルコンは淡紅色を呈する粒状~短柱状で、サイズ



第19図 試料の非磁性重鉱物(ジルコン,珪長質鉱物の破片,黄鉄鉱など)からなる。

の小さいものには長柱状の粒子もある。このほか無色のジルコンもわずかに含まれる。HF処理を行っていないため、はり光沢はやや鈍い印象を受けるが、ジルコン結晶の稜は比較的明瞭に確認できる。年代測定には淡紅色を呈し稜の明瞭なジルコンを用いた。

(3) ジルコンのマウント、研磨、エッチングおよび中性子照射

①ハンドピッキングによりジルコンをスライドガラス上に並べた後、ホットプレートを用いて PFA テフロン樹脂にジルコンを埋め込み、試料マウントを作成した。

②ダイヤモンドペースト (3 μm および 1 μm) 用いて 10 μm 以上研磨し完全な 4 π 面を得た。研磨深度はジルコン内部の微細包有物を基準に光学顕微鏡の微動ハンドルの目盛りでチェックした。

③エッチングは KOH-NaOH 共融体 (225°C) で 36 時間行った。

④ 1:1 塩酸で 24 時間以上中和後、ホットプレートを用いて試料マウントを再プレスした。この作業はテフロン樹脂表面とジルコン結晶表面を一致させるために行った。

⑤白雲母 (外部ディテクター) を試料マウントに貼付け、線量ガラスとともにカプセルに詰め、京都大学複合原子力科学研究所の原子炉 (KUR) (出力 1MW) の黒鉛設備圧気輸送管 (Tc-pn) で 5 時間の中性子照射を行った。

(4) 2.3 ディテクター (白雲母) のエッチング

試料マウントおよび線量ガラスに貼付けた白雲母 (ディテクター) を、46 %HF (25°C) で段階的に 7 分間エッチングした。

(5) 2.4 FT の計数

FT の計数は生物顕微鏡 Nikon オプチフォトに対物 100 倍ドライ・接眼 10 倍を装着し、総合倍率 1000 倍

第1表 FT年代測定結果

Sample Name	No. Crys.	ρ_s (Ns) ($\times 10^6/\text{cm}^2$)	ρ_i (Ni) ($\times 10^6/\text{cm}^2$)	$P(\chi^2)$ %	ρ_d (Nd) ($\times 10^5/\text{cm}^2$)	r	U ppm	Age (Ma) ($\pm 1\sigma$)
KG2018	34	1.1791(836)	5.1396 (3644)	23.7	2.1417 (7173)	0.85	328	9.0 \pm 0.4

ρ_s (Ns): 自発トラック密度(数), ρ_i (Ni): 誘発トラック密度(数), $P(\chi^2)$: カイ二乗確率(Galbraith, 1981). ρ_d (Nd): 線量ガラスNIST-SRM612に貼り付けたディテクター(白雲母)の誘発トラック密度(数), r: 自発-誘発トラック密度の相関係数, U: 平均ウラン濃度. ジルコン結晶内部面を用いた外部ディテクター法により測定した. 線量ガラスとしてNIST-SRM612を使用し, 中性子照射は京都大学複合原子力科学研究所の原子炉KURの黒鉛設備圧気輸送管(Tc-Pn)を用いた. ξ 値として367.1 \pm 4.1を用いた(大平, 2004).

で行なった. スライドガラス上に試料マウントと白雲母を左右対称になるよう固定し, その後, 接眼レンズ内のマイクログリッドで, ジルコン結晶上の自発FTおよび白雲母上の誘発FTに対して左右対称の計数領域を設定して計数した.

(6) 年代値の計算

年代値の計算にはTrackkey (Dunkl, 2002)などのプログラムが使用される. TrackkeyはWeb上でもダウンロード可能であり, 国内外の多くの研究者が使用している. 他にもMacTrackなどがある. これらのプログラムでは, 測定者固有の ξ 値, 使用した標準ガラスの種類, 標準ガラスに貼り付けたディテクター上の誘発FT密度, 各粒rの自発FT数, 誘発FT数およびi/f測工リア(グリッドの数)を入力すれば瞬時に年代値が計算され, 統計的検定や様々なグラフの作成も可能である.

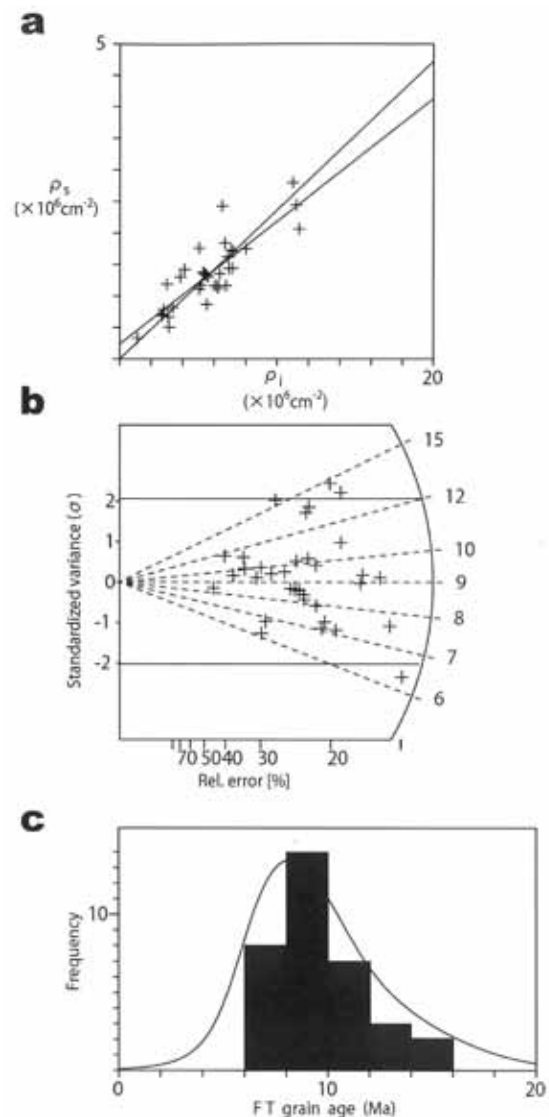
3. 測定結果

年代測定結果を第1表に示し, 第20図には各試料の自発トラック-誘発トラック密度相関(a), ラディアルプロット(b)および年代母集団のヒストグラムと確率密度分布(c)を示した.

当初35粒子を計測したが, 明らかに古い年代を示す碎屑ジルコン(37 Ma)が含まれていたため(カイ二乗(χ^2)検定に失格するため), その1粒子を除外し, 34粒子から年代を求めた結果9.0 \pm 0.4 Maが得られた. χ^2 検定結果である $P(\chi^2)$ は23.7%であった.

個々の粒子年代のまとまり具合(ばらつき)を示すラディアルプロット(第20図b)は, 横軸に粒子年代値の精密度(誤差の逆数)を, 縦軸には得られた年代母集団の誤差範囲を示しており, 原点から個々の粒子を結ぶ線が右端の円弧と交わる点が個々の粒子年代を示す. 一般にまとまりの良い年代母集団は2 σ ライン(横2本の実線)に挟まれた範囲にプロットされる場合が多いが, 本試料では2 σ ラインに挟まれた範囲の上側(古い側)および下側(若い側)にプロットされる粒子がそれぞれ2粒子および1粒子存在する. 測定されたジ

ルコン粒子の中には自発FT密度がジルコン結晶の中心付近でやや高い印象を受ける粒子も含まれることから, ジルコン結晶内でのU濃度の遍在がその要因である可能性が高い. また年代ヒストグラムでは横軸に粒子年代, 縦軸に頻度(個数)が示されており, 階級幅の取り方によって視覚的な印象は異なるが, 全体の確率密度分布曲線は9 Ma付近にピークを持つ比較的スムーズな曲線を



第20図 測定ジルコン粒子の自発トラック-誘発トラック密度相関(a), ラディアルプロット(b)および年代母集団のヒストグラムと確率密度分布(c).

示している。

前述したように、FT年代測定において、個々の粒子年代が幅広い値を示す母集団を構成する理由は、鈾物中の自発トラックの形成（238Uの自発核分裂壊変）がポアソン則に従って生じることに由来する。この年代母集団がポアソン分布を示すかどうかを評価する χ^2 検定結果（ $P(\chi^2)$ ）は23.7%であり、5%よりも大きい値であれば合格とされることから、実験に供したジルコン粒子群が一つの年代母集団からなると判断して差し支えない（第1表）。このことから今回得られたジルコンのFT年代（ 9.0 ± 0.4 Ma）は火山灰質砂岩薄層の噴出堆積年代を示していると考えられる。

珪藻分析

珪藻化石の試料採取は地質調査と試料採取で述べたように、A-KルートのI~III層に含まれる石灰質ノジュール泥岩試料（KG-D1~D8）の8試料、P地点の石灰質ノジュール泥岩（KG-D9）およびクジラ化石産出箇所の泥岩（KG-D10）である。

1. 分析方法

今回分析した試料の大半が石灰質ノジュールであったことから、珪藻化石の分析には、分析者が通常汎用している未処理散布スライド（秋葉ほか、1982）ではなく、希塩酸（18.23%）を使用して試料を溶解した後に、蒸留水を添加して3時間放置後に上澄みを捨てるという操作を数回繰り返して脱酸した後に、残渣物を封入したスライドを検鏡に供した。その他の検鏡手順や手法は秋葉ほか（1982）と同様である。すなわち、使用した封入剤はブルーラックスである。珪藻種の同定と珪藻殻の算定は500倍で100個体まで行って、その個体数を産出表に記録した。その後十分な含有量を持つ試料についてはさらに数100~数1000個体を観察して、その際に認められた種を+印で記録した。この印は破片も示す。ただし、今回検鏡した試料に含まれる珪藻化石の含有量は非常に少なかったため、それらの貧化石試料についての算定は基本的にスライド一枚を全域検鏡する際に検出された全個体に留めた。各試料の珪藻化石含有量については、100個体算定に要した走査線の長さから算出したスライド1枚当りの総個体概数を基に、以下のように5段階で評価・表示した。VA (very abundant) : ≥ 7200 個体/スライド, A (abundant) : 4000 ~ 7100 個体/スライド, C (common) : 1000 ~ 3900 個体/スライド, R (rare) : 100 ~ 990 個体/スライドおよび VR (very rare) : < 100 個体/スライドである。保存度は VP (very poor), P (poor), M (moderate), G (good) および

VG (very good) の5段階で評価・表示した、いわゆる *Chaetoceros* 属の休眠胞子は上記100個体算定時の総数として一括記録した。

珪藻化石帯の定義と認定は、北太平洋地域の新第三系に一般的に使用されている Akiba (1986) および Yanagisawa and Akiba (1989) による標準化石帯区分に従った。

2. 分析結果

①分析した10試料中の3試料（KG-D6, D7, D8）から稀に珪藻化石が検出された。残余の7試料に珪藻化石は含まれていなかった。これら3試料の分析結果を第2表に、主な珪藻化石を写真（第21図）に示す。

②KG-D6試料は、*Denticulopsis katayamae* を多産して *D. dimorpha* を含まないことから、本上部中新統中部の *D. katayamae* 帯（NPD6A ; 8.5-9.2 Ma）に認定される。

③KG-D7試料とKG-D8試料には化石帯認定の鍵種が含まれていないため、化石帯の認定は困難である。ただし、KG-D8試料に *Coscinodiscus marginatus* が比較的多産することから、上部中新統上部の *Thalassionema schraderi* 帯（NPD6B ; 7.6-8.5 Ma）または *Rouxia californica* 帯（NPD6A ; 6.4-7.6 Ma）に相当する可能性がある。

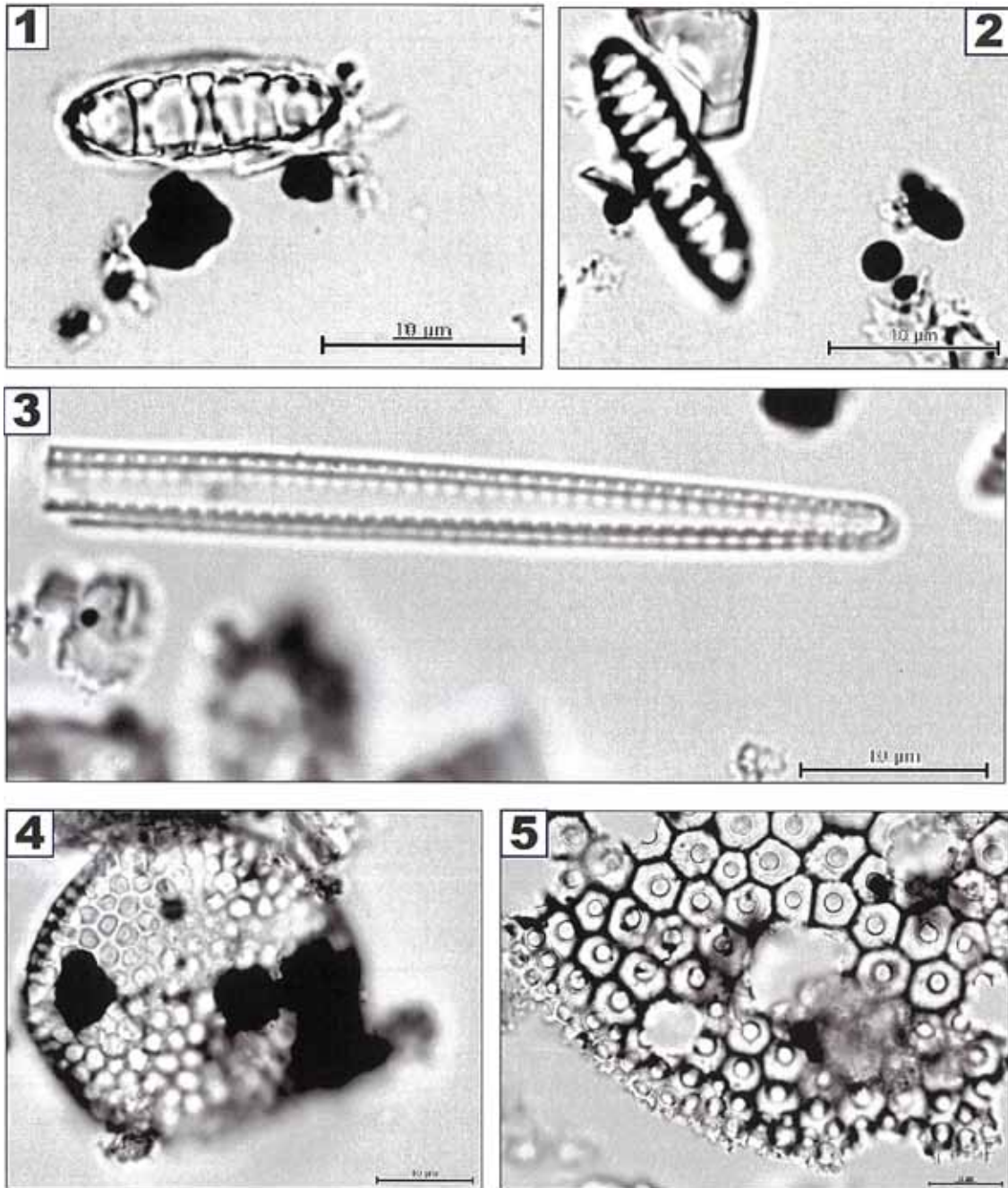
まとめと考察

1. 層序および地質構造について

①調査箇所の地質構造は調査平面図（第10図）に示すように、全体としては西南西~南南西へ $30^\circ \pm \sim 90^\circ$ の傾斜で、南西側上位の層序となっている。A-KおよびL-Oの2つのルートについて柱状図を作成し、両者を対比した結果（第11図、Q-R間の海底土石流堆積物を除き、全体として29mの層厚部が観察できる。

②層序は下位より、I : 黒灰色泥質極細~細粒砂岩層（A-E間 ; 層厚3m+）、II : 薄板状泥質岩層（E-H間 ; 層厚11m）、III : 色泥質極細粒砂岩・砂質泥岩互層（H-K間およびM-N間 ; 層厚5m）、IV : 薄板状の砂質泥岩層（N-O間 ; 層厚10m弱+）であり、I・IIおよびIIIには石灰質ノジュール層を全体として10層（レンズ状）程度はさんでいる。IおよびIIでは褐色細粒火山灰薄層を10層以上挟む。II~IVでは火山性不淘汰砂礫岩層（厚さ1m \pm ）を4層挟むが、それより薄い同質の砂岩層も頻繁に挟まれる。

③地質構造的には一見スランプ褶曲に見えるような地層の屈曲が存在し、それは特にクジラ化石産出箇所付近で顕著のように見える。このような屈曲は、割れ目など



第21図 主な珪藻化石（スケール長 = 10 μ ）

- 1, 2 : *Denticulopsis katayamae* Maruyama.All (KG-D6 産)
- 3 : *Thalassionema nitzschioides* H. & M. Peragallo (KG-D6 産)
- 4 : *Azpeitia* sp. From sample (KG-D7 産)
- 5 : *Coscinodiscus marginatus* Ehrenberg (KG-D8 産)

に固結後の変形・圧砕が認められ、周囲に小金湯岩体が存在することから、泥質岩主体の堆積岩の未固結状態でのスランプ層というよりは、その貫入によるテクトニクな影響により生じたと考えられる。小金湯岩体に接近すると、地層が急立～逆転することはその直接的な現れである。

④サッポロカイギュウ化石関連総合調査報告書（札幌市博物館活動センター編，2007）では、本調査箇所

について、小金湯ルートの Kg3 ルートとして、ほぼ南北の走向で急立・変形層（厚さ 60 m）が存在するが、主に粗粒な火山碎屑岩とその上位の泥岩・砂岩より構成されたとしている。当時の調査部分は小金湯岩体にさらに接近する部分を含めて柱状図が作成されているとすると、今回は、この半分の層厚部分を調査し、柱状図として表現したことになる。Kg3 ルートとして厚さ 20 m あまりのスランプ褶曲層として表現した部分は、今回の観察で

は構造的な屈曲部と見なされ、堆積性のスランプ褶曲ではなく訂正が必要である。

2. クジラ化石産出層準付近の年代と堆積環境について

①クジラ化石産出層準はⅡ層中部のF層準の石灰質ノジュール層(珪藻・放散虫化石試料KG-D4、R4採取)である。クジラ化石産出発掘箇所でピットを再掘削し、発掘・採取したノジュール層の直下に隣接している層準の火山灰質砂岩から試料(KG2018)を採取し、FT年代測定を行った結果、 9.0 ± 0.4 Maの値が得られた。得られた値は34個のジルコン粒子個々の測定結果を統計処理した結果、ポアソン分布にもとづく単一の年代母集団と考えて差し支えないとの判断に基づいている。FT法では個々の粒子年代は幅広い値を示し、統計的検定や各種プロットにより粒子年代のまとまりを評価する必要がある。前述したように年代母集団は χ^2 検定に合格している。また確率密度曲線が不規則なピーク(複数の山)を示す場合には、年代の異なる母集団の混入を検証する必要があるが、今回の試料は比較的スムーズな一つのピークを示す。またラディアルプロットにおいても概ね 2σ ラインの内側にプロットされる。このような結果は火山灰質砂岩薄層に含まれるジルコンが限定された単一の噴出に由来するもので、試料採取層準がほぼその噴出時期を反映したものと考えて差し支えないことを示す。

②珪藻化石については、Ⅲ層下部の3試料(KG-D6, D7, D8)から検出され、KG-D6試料は*D. katayamae*帯(NPD6A; 8.5-9.2 Ma)に認定され、KG-D8試料については*Coscinodiscus marginatus*が比較的多産することから、上部中新統上部の*Thalassionema schraderi*帯(NPD6B; 7.6-8.5 Ma)または*Rouxia californica*帯(NPD6A; 6.4-7.6 Ma)に相当する可能性がある。カイギュウ化石の産出層準の年代については札幌市博物館活動センター編(2007)で、珪藻化石は*Thalassionema schraderi*帯(NPD6B; 8.5-7.6 Ma)で、FT年代について 8.2 ± 0.3 Maという8 Ma前後の地質年代が示されており、今回のクジラ化石産出層準の9 Ma前後の年代は層序的に下位なので矛盾はない。

③小金湯クジラ化石の産出層準の堆積環境としてはタービダイトの特徴を有する砂岩・泥岩互層よりなることから半深海底が想定できるが、Q-R間で確認した見かけ上、平面的に広い分布を示す不淘汰礫層は海底斜面上を流下しチャンネル状に堆積した海底土石流堆積物と見なされ、陸棚に続く海底斜面に近い部分が想定できる。この不淘汰礫層の礫種は新第三系泥質岩、石英斑岩、安山岩、先第三系堆積岩類(石灰岩・硬質泥岩砂岩・緑色岩など)の各種の大小様々なものが混在し、最大径は1

m以上に達し、角～亜角な礫が主体である。構成礫は近隣の現在の地質構成から判断すると、定山溪石英斑岩体とそれに付随する薄別層(先新第三系; 付加体)、周囲を取り巻く新第三系堆積岩・火山岩類などを起源とするもので、多少円摩の進んだものも含まれることから、島として陸域化した所の岩石類が崩壊し、運搬距離が短い状況で沿岸に運ばれたものが二次的に海底土石流となったものと思われる。そのほか、スコリア・火山岩片に富む厚さ数cmから数mの火山性砂質堆積物は、いわゆるタービダイト(混濁流堆積物)と見なされる。以上のことから、小金湯クジラ化石の堆積環境は定山溪など札幌市南西端を含む島の東側沖合の半深海底であり、島の前縁は陸棚部分が狭く、それに続く海底斜面に近い部分であろう。現在の堆積域に例えれば、北海道南部の奥尻海盆のような海域で、そこでは松前半島側の大陸棚の幅が10 kmに満たず、陸域から短い距離を経て急激に深くなり海盆底(半深海)に達している。

引用文献

- Akiba, F., 1982. Taxonomy and biostratigraphic significance of a new diatom, *Thalassionema schraderi*. *Bacillaria*, **5**, 43-61.
- 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., *Init. Repts. Deep Sea Drilling Project*, U. S. Govt. Printing Office, Washington D. C., **87**, 393-480.
- 秋葉文雄, 2008, 幻の仙台産石灰質団塊—珪藻化石層序の話—。地質ニュース, no. 648, 62-71.
- 秋葉文雄・柳沢幸夫・石井武政, 1982, 宮城県松島周辺に分布する新第三系の珪藻化石層序。地調月報, **33**, 215-239.
- 土居繁雄, 1956, 5万分の1地質図幅「定山溪」および同説明書。北海道開発庁, 88p.
- 土居繁雄・小山内 熙, 1956, 5万分の1地質図幅「石山」および同説明書。北海道地下資源調査所, 54p.
- Dunkle, I., 2002, Trackkey: a windows program for calculation and graphical presentation of fission track data. *Comput. Geosci.*, **28**, 3-12.
- Galbraith, R.F., 1981, On statistical models for fission track counts. *Mathematical Geology*, **13**, 471-478.

- 古沢 仁, 2009, 骨を見る目〜クジラ化石発見の第一歩. 札幌市博物館活動センター情報誌ミュージズレター, 36, p1.
- 古沢 仁, 2010, クジラ発掘初冬の陣. 緊急報告!!! 思わぬ展開, 大きな成果!. 札幌市博物館活動センター情報誌ミュージズレター, 43, p1.
- 古沢 仁, 2017, さっぽろのクジラはすごい!!!. 札幌市博物館活動センター情報誌ミュージズレター, 67, 2-3.
- 長谷部徳子・末岡 茂・田上高広 (2021) フィッション・トラック年代測定的基础—これまでの経緯と今後の発展の可能性—. *RADIOISOTOPES*, 70, 117-130.
- Hurford, A. J., 1990a, Standardization of fission track dating calibration: Recommendation by the Fission Track Working Group of the I.U.G. S. Subcommision on Geochronology. *Chem. Geol.*, **80**, 171-178.
- Hurford, A. J., 1990b, International Union of Geological Sciences Subcommision on Geochronology recommendation for the standardization of fission track dating calibration and data reporting. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, **17**, 233-236.
- 岡 孝雄・古沢 仁・岡村 聡・青柳大介・重野聖之, 2019, 豊平川沿いの新第三系層序, 藻岩山の形成史および小金湯産カイギュウ化石. *総合地質*, **3**, 31-55.
- 岡 孝雄・輿水達司・高橋功二・秋葉文雄, 1991, 札幌市街下と西野地域の小樽内川層および西野層の時代と対比. *地質学雑誌*, **97**, 25-38.
- 大平寛人, 2004, 埼玉県比企丘陵および荒川河岸に分布する第三紀中新世凝灰岩の FT 年代, 関東山地北東縁部の中新統一層序・構造・年代・動物群・鍵層・変質—. *地団研専報*, 52, 51-65.
- 大平寛人・永井淳也, 2004, 放射年代 (FT 法) 入門. *地球科学*, **58**, 185-189.
- 沢井長雄・鷹沢好博, 1992, 西南北海道豊羽鉾山周辺の小柳沢層のフィッション・トラック年代. *地質学雑誌*, **98**, 267-270.
- 札幌市博物館活動センター編, 2007, 札幌市大型動物化石総合調査報告書—サッポロカイギュウとその時代の解明—. 札幌市, 156P.
- 札幌市博物館活動センター, 2011, 2011 年化石発掘調査. 札幌市博物館活動センター情報誌ミュージズレター, 47, 3.
- 杉本良也, 1953, 5 万分の 1 地質図幅「銭函」および同説明書. 北海道開発庁, 52p.
- Tanaka, Y., Kimura, T., Shinmura, T., Ohira, H. and Furusawa, H., 2025, A new member of a large and archaic balaenid from the late Miocene of Sapporo, Hokkaido, Japan partly fills a gap of right whale evolution. *Palaeontologia Electronica*, Article Number 28.2.a37 (doi.org/10.26879/1549).
- 通商産業省資源エネルギー庁, 1974, 昭和 48 年度広域調査報告書, 定山溪地域. 47p.
- Yanagisawa, Y. and Akiba, F., 1998, Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **104**, 395-414.

Abstract

In October 2008, Kazuhisa Mori discovered whale fossils in the riverbed below Koganeyu Onsen, approximately 500 meters upstream from the Sapporo Kaigyū fossil site on the Toyohira River in Minami-ku, Sapporo. This fossil was excavated over a period of five years from 2008 to 2012 by the Sapporo Museum Activity Center, and cleaning work revealed that it was the nearly complete skeleton of a right whale. As a result of geological surveys of the layer where the whale fossil was found, conducted at the request of the center, it was determined that the layer was the Toyama Formation from the late Miocene epoch and was a semi-deep-sea deposit. Regarding the detailed geological age, FT dating of zircon samples obtained from volcanic ash sandstone directly below the calcareous nodule layer where whale fossils were found yielded a value of 9.0 ± 0.4 Ma, indicating that the whale fossils are approximately 9 million years old.

「総合地質」出版・投稿規定

1. 発行時期と回数 年1回10月発行を基本とするが、原稿の集まり状況により複数回の発行もあり得る。原稿受付の締め切りは、10月発行については5月末とする。なお、発行がこれに依らない場合には、ホームページに締め切り期日をその都度掲載する。

2. 投稿資格 北海道総合地質学研究センターの会員とともに、同センターの編集委員会が執筆を依頼した非会員、および同センター編集委員会が承諾した非会員が投稿資格を有する。なお、投稿を希望する非会員は、その旨、編集委員会に連絡する。

3. 「総合地質」の内容

<論文・報告：1名以上の査読者による査読をへて編集委員会が掲載の可否を決定する>

1) 論説：研究論文としての体裁と内容を備えた報告記事

2) 総説：特定の分野に関する総括・解説

3) アイデア：ある課題に対する着想や問題提起、提案を簡潔に記述した論説。内容的に十分にサイエンティフィックであることを要する。本文(タイトルや和英要旨、キャプション、文献リストを除く)の文字数を8,000字以内とする。

4) ノート：技術・手法の紹介

5) 報告・資料：データや地質、産状などに関する議論を含まない報告記事

6) 討論：上記の報告・解説・紹介記事に対する学術的な討論

<自由投稿欄：編集委員会による体裁のチェックをへて掲載> 提言やアイデア、回想、評伝などの自由投稿文。

<論文紹介・書評>

4. 投稿原稿の提出

a. 提出先：編集委員長、もしくは office@hrcg.jp

b. 随時受け付ける。

c. 本文と図表類を以下の7と8に従って、投稿カードとともに提出する。提出方法は、基本的に電子メールの添付ファイルとする。添付ファイルの場合、全ファイルの容量が30 MBを超えるときには、30 MB以下の複数のメールに分割して提出する。ファイル転送サービス(例えば、宅ふぁいる便など)を利用して提出することもできるが、その場合には予め編集委員会に連絡する。

5. 投稿原稿の審査・査読と採否

<論文・報告>

a. 編集委員会は、受け付けた原稿を審査・査読し、掲載の可否を速やかに決める。

b. 編集委員会は、査読を編集委員以外の同センター会員もしくは外部の第三者に依頼することがある。

c. 編集委員会は、投稿原稿に対して著者に修正を求めることがある。

d. 著者は査読結果を受け取ってから1ヶ月以内に修正原稿を提出する。

<自由投稿欄および論文紹介・書評>

a. 編集委員会が掲載にふさわしいと判断したものについて受理する。

b. 表現および体裁について修正を求めることがある。

6. 原稿のスタイルと構成

<論文・報告>

a. 本文(日本語要旨、文献リスト、図表のキャプションを含む)は、日本語もしくは英語とし、電子ファイル(ワー

- ド)で提出する。文字サイズは12ポイント、行間はシングルスペースとする。
- b. 句読点は、それぞれ全角の(。)と(、)を用いる。ローマ字と数字は半角文字とする。
 - c. 原稿にはすべて英語の表題と著者名のローマ字書きを添える。
 - d. 論説、総説およびアイデアには、400字以内の日本語要旨をつける。ノート、報告・資料および討論に関しては、内容に応じて日本語要旨をつけることができる。なお、日本語要旨とともに、英語要旨の掲載を希望する場合には、要旨の長さを300語以内とする。
 - e. 英語原稿の場合には、日本語のタイトルと著者名、および日本語要旨を不要とする。
 - f. 論説、総説およびアイデアには、英語のKeywords(6件以内)をつける。
 - g. 論説(日本語原稿)の構成の一例 和文タイトル、英文タイトル、著者名、ローマ字の著者名、所属(和文と英文)、Corresponding authorのメールアドレス、日本語要旨、Keywords、はじめに、地質、概説、結果、考察、まとめ、謝辞、文献、キャプション(日本語もしくは英語。(英文要旨))
 - h. 見出しの階層
記号無し→1. →1). →a.
 - i. 文献リストは、基本的に地質学雑誌の文献リストに従うが、和文論文の著者名のローマ字書き、雑誌等の英字表記は不要。
 - j. 体裁の統一および割り付けのために、編集委員会で原稿に手を加えることがある。
<自由投稿欄>
 - a. 本文は基本的に<論文・報告>に従う。英語の表題と著者名のローマ字書きは不要。
 - b. 図表とそれらの説明および文献リストは、<論文・報告>に従う。<論文紹介・書評>
 - a. 本文は基本的に<論文・報告>に従う。英語の表題と著者名のローマ字書きは不要。
7. 図表
- a. 図は、図ごとに別ファイルを作成し、通し番号をつけて、画像ファイル(jpg, tif, pngなど)で提出する。
 - b. 表は、電子ファイル(エクセルもしくは画像ファイル)で提出する。
8. 著作権について「総合地質」に掲載された論説・解説・資料・紹介記事の著作権は、著者にある。
9. 掲載された論説・解説・資料・紹介記事の商業的利用に関して「総合地質」に掲載された諸記事もしくはその一部の商業的な利用に関しては、編集委員会に利用申請をおこなう。編集委員会は、著者の意向を確認し、利用の可否と利用条件を利用申請者に伝える。
10. 本規定は、必要に応じて編集委員会によって改定される。
11. 本規定は、2023年4月1日から施行する。

附則：ページ制限について

- 1. 最大ページ数は刷り上がりで20ページとする。
- 2. 20ページを超える場合は、1ページにつき2千円の超過料金を支払う。
- 3. 本附則は2023年4月1日から施行する。

編集後記

総合地質第9巻をお届けします。本巻には石狩低地帯の環境変遷や札幌市および近郊から産出した大型海棲動物化石の論文3編が収録されています。北海道大学総合博物館には鷓川町穂別から産出した大型恐竜化石が展示されたことが報道されて、大きな関心を集めていますが、今回、総合地質に収録された論文が、札幌市の博物館構想などを促進する一助となることを願っています。今回の投稿原稿に関しては、能條、宮坂省吾、岡孝雄、宮下純夫（敬称略）の諸氏によって丁寧な査読・校閲がなされました。ここに記して深く感謝します。

ところで、君波初代編集委員長より引き継いで、第4巻から編集委員長を務めてきましたが、第10巻からは3代目の委員長へ引き継ぐ予定となっています。これまでの編集委員長は、割り付け編集作業まで行っていましたが、その部分だけは引き続き担当する予定です。ページレイアウトソフトを駆使できる“若手”が登場することを願っています。

編集委員長 宮下純夫

発行者 NPO法人 北海道総合地質学研究センター（HRCG）

札幌市南区真駒内上町5丁目5番6号

URL: <https://www.hrcg.jp/>

E-mail: office@hrcg.jp, 電話 080-5830-2016

印刷 (株)三誠社 札幌市中央区北6条西15丁目3-7 N6ビル



HOKKAIDO RESEARCH CENTER OF GEOLOGY

E-Mail: office@hrcg.jp Phone: 080-5830-2016 URL: <https://www.hrcg.jp>

特定非営利活動法人 北海道総合地質学研究センター
主事務所：005-0012 札幌市南区真駒内上町5丁目5番6号
連絡事務所：069-0813 江別市野幌町58番地の7