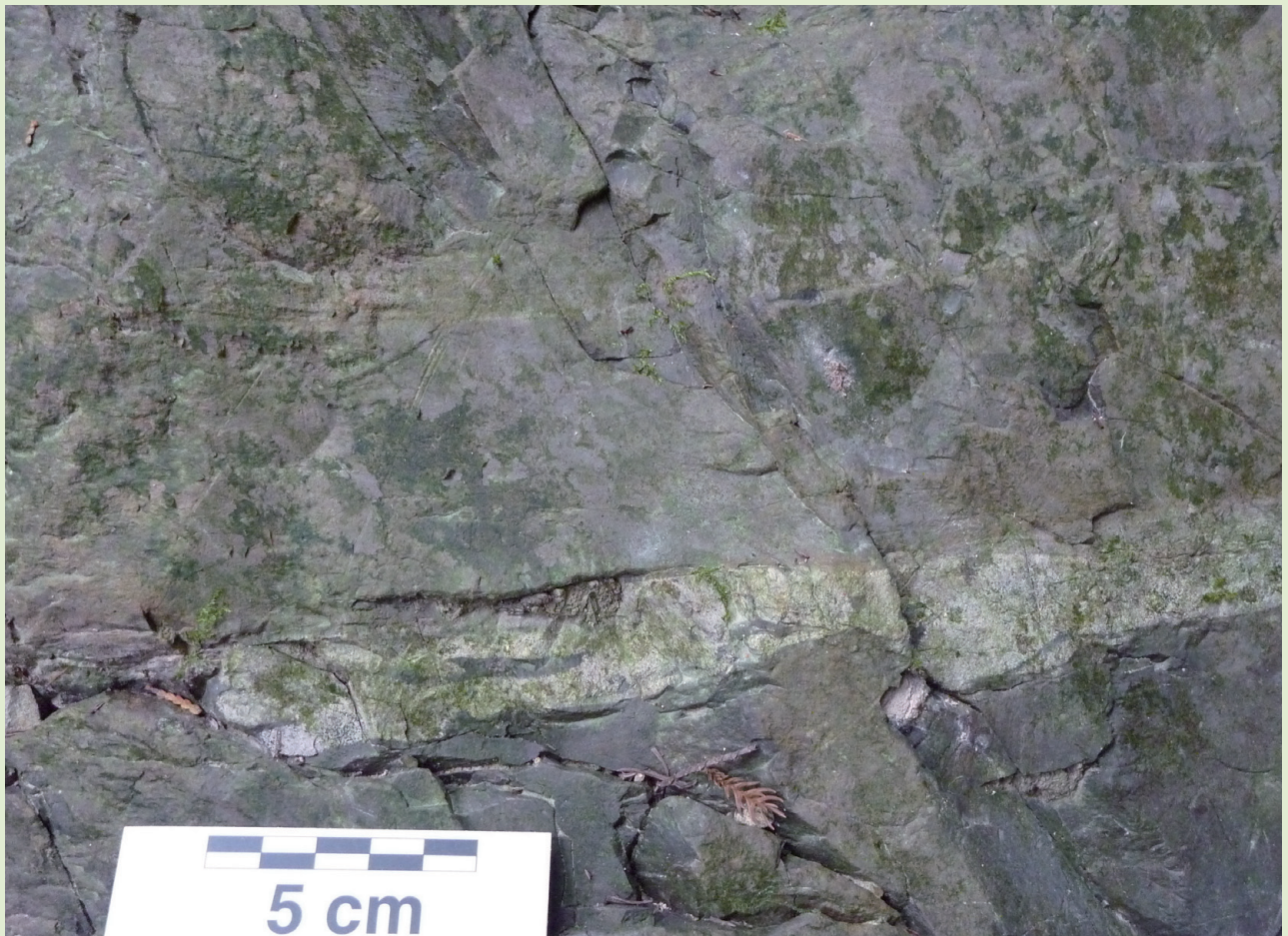


# 地質調査研究報告

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 67 No. 4 2016



論文

北海道然別地域産の蛍光を呈するオパール標本の化学組成の検討  
金井 豊・立花好子・青木正博・岡崎智鶴子・乙幡康之・三田直樹・松枝大治 ..... 101

乾式磁力選鉱および分級による粘土質風化花崗岩からの脱鉄の検討  
綱澤有輝・須藤定久・高木哲一 ..... 111

概報

四国東部観音寺地域の和泉層群から産出した後期白亜紀放散虫化石群集  
野田 篤・栗原敏之 ..... 119

---

表紙の写真

香川県観音寺市に分布する和泉層群滝久保層の凝灰質泥岩

上部白亜系の海成層である和泉層群は、西南日本の中央構造線の北側に細長く分布し、領家変成岩や深成岩を不整合に覆う浅海成の北縁相と深海成の主部相とに区分される。香川県観音寺市周辺地域に分布する主部相の滝久保層の堆積年代を推定するために、放散虫化石分析を実施した。写真の露頭は、讃岐山脈雲辺寺山北麓の滝久保層の凝灰質泥岩である。写真中央に見られる上方細粒化と侵食性底面を示す凝灰岩薄層の上位から、放散虫化石が産出した試料 (ID60 : GSJ R109145) を採取した。この凝灰岩の直下 (5 cm スケールのすぐ上) にはイノセラムス化石の断面が見えており、本露頭は大型化石と微化石の両方を産出する。本露頭を含む複数の地点から産出した放散虫化石は、観音寺地域における滝久保層の堆積年代が後期白亜紀の後期カンパニアン期の前期であることを示している。

(写真・文 : 野田 篤)

Cover photograph

Tuffaceous mudstone of the Takikubo Formation in the Izumi Group, Kan-onji City, Kagawa Prefecture

The Izumi Group, consisting of the Upper Cretaceous marine sediments, is distributed along the northern side of the Median Tectonic Line in southwestern Japan. The Izumi Group is divided into the northern marginal facies of shallow marine sediments that unconformably overlie the Ryoke metamorphic and plutonic rocks, and the main facies of deep marine sediments. Radiolarian fossils were analyzed to estimate the depositional age of the Takikubo Formation of the main facies around Kan-onji City, Kagawa Prefecture. The photograph shows an outcrop of tuffaceous mudstone of the Takikubo Formation at the northern foot of Mt. Unpenji, Sanuki Mountains. The sample (ID60 : GSJ R109145) was collected from this tuffaceous mudstone above a thin tuff bed showing normal grading with erosional base. Cross sections of *Inoceramus* sp. are visible just below the tuff bed (above the scale of 5 cm in the photograph). The outcrop yields both macro- and micro-fossils. The depositional age of the Takikubo Formation in the Kan-onji district indicated by radiolarian fossils from several samples is early Late Campanian, Late Cretaceous.

(Photograph and Caption by Atsushi Noda)

## 北海道然別地域産の蛍光を呈するオパール標本の化学組成の検討

金井 豊<sup>1,\*</sup>・立花好子<sup>2</sup>・青木正博<sup>3</sup>・岡崎智鶴子<sup>2,4</sup>・乙幡康之<sup>5</sup>・三田直樹<sup>2</sup>・松枝大治<sup>6</sup>

Yutaka Kanai, Yoshiko Tachibana, Masahiro Aoki, Chizuko Okazaki, Yasuyuki Oppata, Naoki Mita and Hiroharu Matsueda (2016) Study on chemical composition of fluorescent opal specimens in the Shikaribetsu area, central Hokkaido. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol.67 (4), p.101-110, 7 figs, 3 tables.

**Abstract:** Two specimens of fluorescent opal in the Shikaribetsu area, central Hokkaido, were studied on their chemical compositions of fluorescent layers. Some characteristic properties for their chemical compositions were elucidated, although clear relationship between chemical element and fluorescent color was not found out. They contained as much as several hundred ppm of Li, Be, Ga, As, Rb, Cs and several thousand ppm of Sb. Alkali elements (Na, K, Li, Rb, Cs) and alkali earth elements (Ca, Sr, Ba) showed relatively small variations among the parts showing different color fluorescence in one sample. Further study on organic materials is necessary for better understanding of the fluorescence phenomenon.

**Keywords:** Hokkaido, Shikaribetsu, Opal, Fluorescence, Chemical composition

### 要 旨

北海道しかりべつの然別地域に産する蛍光を呈する2つのオパール標本について、色調の異なる層状部分の化学分析を行った。化学元素と蛍光色の間に明確な関係は見い出せなかったが、化学組成についての特徴を明らかにすることができた。すなわち、不純物としてLi, Be, Ga, As, Rb, Csなどが数100 ppm, Sbが数1,000 ppmの濃度で存在していた。また、一つの試料中の異なる蛍光色を呈する部位にもかかわらず、Na, K, Li, Rb, Csのアルカリ元素やCa, Sr, Baのアルカリ土類元素は、あまり大きな濃度変動を示さなかった。蛍光現象の解明のためには、研究対象を有機化合物などに拡大した研究が必要である。

### 1. はじめに

北海道の然別地域から産出するオパールについては、藤原(1994, p.29)や青木(2012)で紹介されてはいたものの、当該地域は大雪山国立公園第3種特別地域に指定されているため、詳細な現地調査はほとんど行われておらず、オパールの詳細についても不明であった。岡崎ほか

(2014, 2015)は、ひがし大雪自然館に所蔵されている標本試料を利用して、これらのオパールが蛍光を発する特質を有することやその産状などを初めて報告した。

蛍光現象とは、紫外光の光エネルギーによって励起された物質の電子が、熱エネルギーなどとして一部エネルギーを失って低いエネルギー準位となり、そこから基底準位に落ちることから、励起光とは異なる可視光の光を発する現象である。然別で産出したこれらのオパールは、紫外光の照射によって赤色・緑色・オレンジ色・黄色・青色などの鮮やかな蛍光色を呈した(岡崎ほか, 2014)。蛍光色を呈する原因については、一般的にはわずかに存在する不純物質や結晶構造の欠陥・ゆがみに起因するものが多い。蛍光の原因となるアクチベータと呼ばれる微量金属元素には、ウラン(ウラニルイオン  $UO_2^{2+}$ : 緑色)や銅( $Cu^{2+}$ : 緑色など)、クロム( $Cr^{3+}$ : 赤色)や鉄( $Fe^{3+}$ : 赤色)、マンガン( $Mn^{2+}$ : 赤色など)、希土類元素のユーロピウム( $Eu^{2+}$ : 青色)などが知られているが(山川, 2008)、当地域のオパールの蛍光作用の原因は解明されていない。

本論文では、このような蛍光を発する特異的なオパールに注目し、その化学組成を明らかにし、蛍光との関係

<sup>1</sup>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)  
現所属: 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報基盤センター (present: AIST, Geological Survey of Japan, Geoinformation Service Center)

<sup>2</sup>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)

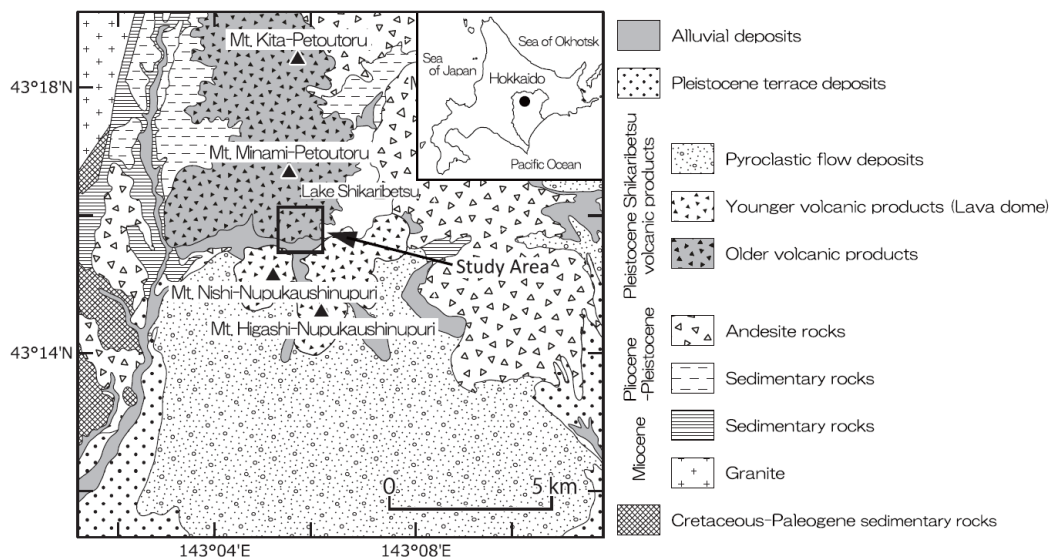
<sup>3</sup>産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報基盤センター (AIST, Geological Survey of Japan, Geoinformation Service Center)

<sup>4</sup>十勝の自然史研究会 (Tokachi Society for Study and Education of Natural History)

<sup>5</sup>ひがし大雪自然館 (Higashitaisetsu Nature Center)

<sup>6</sup>北海道大学総合博物館 (Hokkaido University Museum)

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



第1図 標本試料採取地点(岡崎ほか(2015)から転載).

Fig. 1 Location map of samples (after Okazaki *et al.*, 2015).

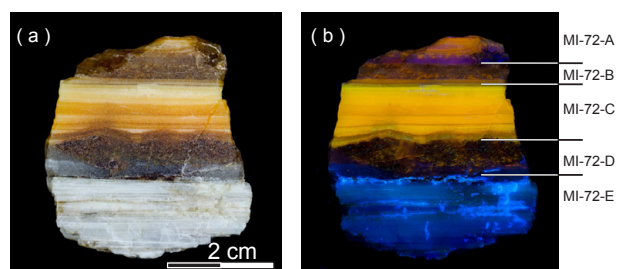
についての検討を試みたので、その結果について報告する。

## 2. 試料と分析方法

本研究で分析対象としたオパール標本試料は、前報(岡崎ほか, 2014, 2015)で紹介した標本試料HTMNH-MI-72、及びHTMNH-MI-74の2試料である(以下ではMI-72とMI-74と略記)。いずれもひがし大雪自然館に所蔵されていたもので、調査地域において環境省自然保護官の確認の上で採取した標本試料である。また、前報で一部の試料の化学組成を報告したが、これらもひがし大雪自然館に所蔵されていたもので、いずれも過去30年以上の間に少しずつ集められてきたものの一部である。本研究で用いた標本試料の採取地点を第1図に示した(調査地域内は通常の現地試料採取は困難であり、また、保護のために場所を特定することを避け、範囲で示している)。

これらの標本試料は、UVP社(Upland, CA 91786, U.S.A.)の紫外線ランプ(365 nm)を用いて撮影した蛍光写真を手がかりに、蛍光色の相違によって分割し、得られた小片に、(A)–(E), (A)–(F)の番号を付けて試料番号とした。それぞれの試料片の部位を第2図と第3図に示す。

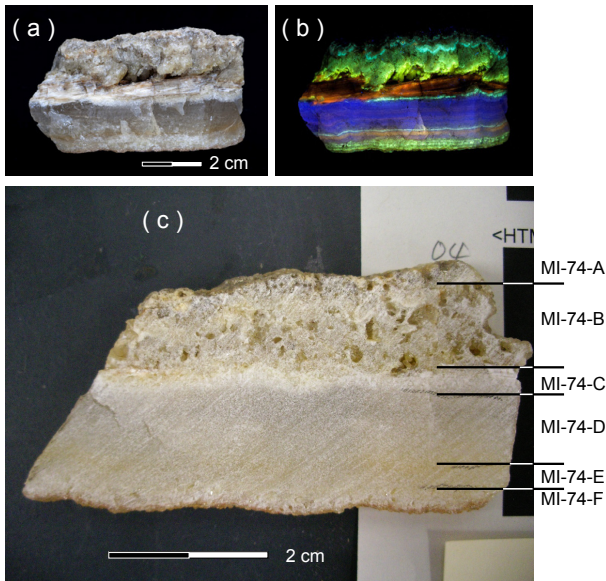
分割した試料片は、めのう乳鉢で微粉碎して化学分析に供した。粉末試料0.1gをテフロンピーカーに取り、硝酸3 ml、過塩素酸2 ml、フッ化水素酸5 mlを加えて加熱乾固した。乾固後に分解物を硝酸(1+1)に溶かして100 ml定容とし、測定溶液とした。ICP発光分光分析法(以下ICP分析)により通常の岩石の主成分であるTiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MnO、MgO、CaO、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、及びBa、



第2図 MI-72を分割して得た試料片の部位と番号(写真は岡崎ほか(2015)第5(e)(f)図を転載)。(a) 自然光下の試料, (b) 蛍光を呈する試料と試料片の部位(岡崎ほか(2015)第5(f)図に加筆)。

Fig. 2 Sampling parts and their marks in MI-72 (Photographs by Okazaki *et al.* (2015) Fig. 5(e)(f) are used). (a) Photograph under natural light, (b) Photograph under UV light and marks of sampling parts (Modified after Okazaki *et al.* (2015) Fig. 5(f)).

Sr, Vなどの成分を、また、ICP質量分析計(以下ICP-MS分析)を用いて、質量数7から238までのLi, Be, Sc, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Y, Zr, Nb, Mo, Cd, Sn, Sb, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Tl, Pb, Bi, Th, Uなどの成分を測定した(今井ほか, 2004; Imai, 2010)。測定では、地質調査総合センター発行の岩石標準試料JB-1とJR-1を標準に使用し、内部標準にInを用い、測定の途中にJB-1, JB-3などを挟んで定量している。測定途



第3図 MI-74を分割して得た試料片の部位と番号(a), (b)は岡崎ほか(2014) Fig.3を転載). (a) 自然光下の試料, (b) 蛍光を呈する試料, (c) 試料の断面写真とそこから採取した試料片の部位.

Fig. 3 Sampling parts and their marks in MI-74 (Photographs by Okazaki *et al.*(2014) Fig.3 are used for (a) and (b)). (a) Photograph under natural light, (b) Photograph under UV light, (c) Sectional photograph of sample and marks of sampling parts.

中に挟んだモニター試料の相対誤差が30%を超え、実試料が低濃度であったCr, Nb, Mo, Taの分析値は、参考値として元素名を括弧で示した(第2表, 第5図及び第6図). 使用した分析装置は、ICP分析には日本ジャーレル・アッシュ株式会社ICP発光分析装置 IRIS Advantage AP, ICP-MS 分析にはアジレント・テクノロジー株式会社 Agilent 7500 ce ICP-MSである.

### 3. 結果と考察

「オパール」とは、熱水の上昇路や温泉の湧出口などに沈殿してきた非晶質含水ケイ酸であり、化学組成は $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ で表される。従って、本研究で分析対象としたオパール標本試料も主成分は $\text{SiO}_2$ であるが、それ以外にも不純物として岩石構成元素が含まれている。ICP分析によって得られた化学組成を、第1表及び第4図に示した。いずれも約1%以下の濃度に過ぎないが、試料部位によって多少の変動がみられ、表層と推測されるA片では $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ などが他の部位と比べ幾分高めである。

第2表及び第5図には、ICP-MS分析によって得られた微量元素濃度を示した。括弧でくくったCr, Nb, Mo,

Taなどは、測定誤差が大きいため参考値として提示してある。これらの組成で、Li, Be, Ga, As, Rb, Csなどが数100 ppmの濃度で存在する部位があることが示された。特にSbは数1,000 ppmも含有していた。前報(岡崎ほか, 2015)の中で報告したオパール試料の化学組成でも、Li, Be, As, Sb, Csなどが数ppmの濃度で検出された試料があった。これらのことから、本研究試料に限らず、然別地域のオパールはこれらの元素を比較的高濃度に含んでいると考えられる。第4図と同様に第5図でも、多くの元素で表層と推測されるA片が他の部位と比べ幾分高めであることが読み取れる。特徴的なこととしては、MI-72試料のD片でBe, Ga, Euが高濃度であること、MI-74試料のF片でTlが高濃度であることが挙げられる。いずれもそれぞれの層を形成する時間(年代)の違いがあり、それと共に熱水の化学組成が変化していたためと考えられる。

これらの濃度を地殻の平均組成(Rudnick and Gao, 2003)で規格化して比較した図を第6図に示した。1よりも大きければ濃縮していることを示し、上述したLi, Be, Ga, As, Rb, Sb, Csの他に、Tlが10倍以上濃縮している部位があることが明らかとなった。主成分として $\text{SiO}_2$ がかなりの部分を占めるため、通常の岩石での主成分元素は地殻平均組成と比べるとかなり低い(1桁から3桁低い)、Mnについては地殻平均組成に近い含有量という特徴が見られる。また、MI-72とMI-74という試料の違いはあるものの、その一つの試料の部位間では、Na, K, Li, Rb, Csのアルカリ元素やCa, Sr, Baのアルカリ土類元素については、あまり大きな濃度分散は見られない。この理由として、これらが同族元素であり、元素の化学的特性によるものと考えられる。

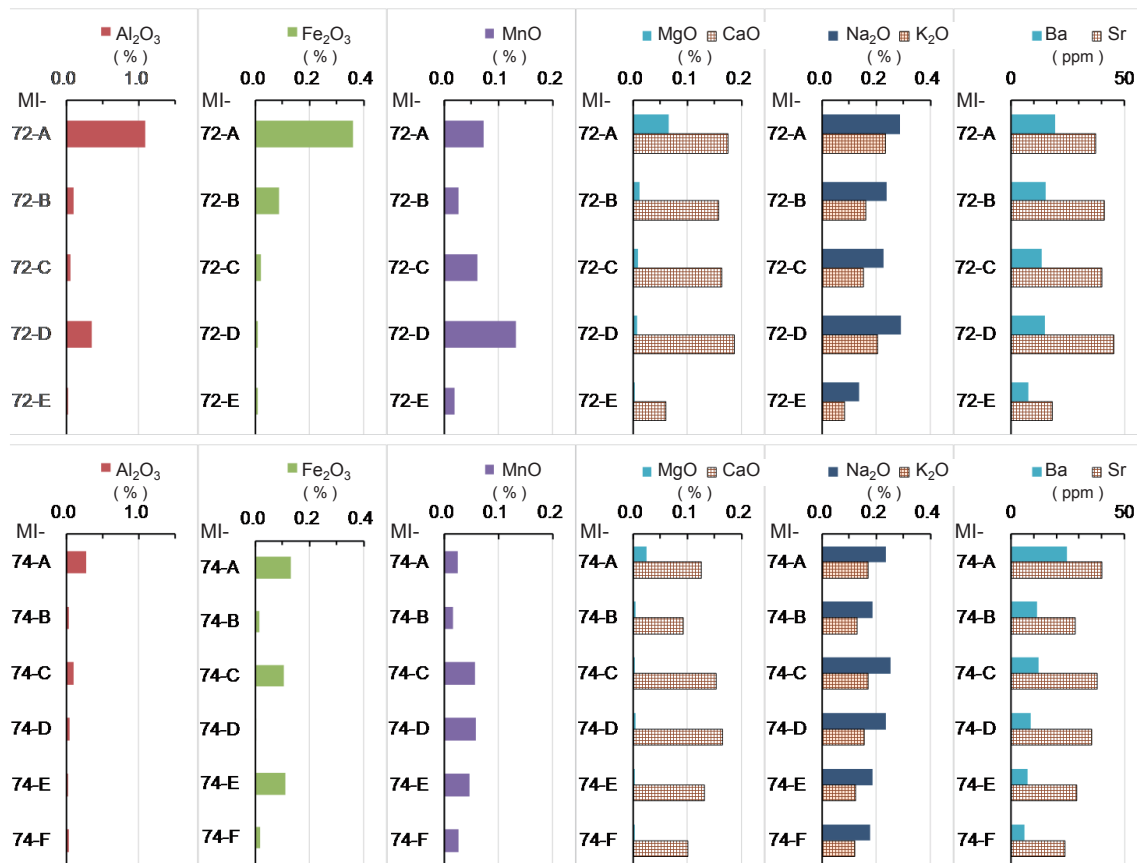
分析された元素のうち、希土類元素に関してはその分布パターンからさまざまな情報を読み取ることが可能である。測定の分析精度を考慮して比較的高濃度で検出された部位について、C1コンドライトで規格化したMasuda-Coryellプロットを第7図に示した。軽希土類元素から重希土類元素に向かって概ね単調に低下しているが、これは軽希土類元素に富んだ熱水から沈殿したことを示唆している。また、Aの部位ではEuの負のアノマリー(異常)らしき変化もうかがえる。特に、MI-74試料のFの部位ではEuの負のアノマリーが大きい。Euは還元環境では $\text{Eu}^{3+}$ よりも $\text{Eu}^{2+}$ となって $\text{Ca}^{2+}$ と類似挙動をすると言われ、他の希土類元素とは挙動を異とする場合がある。F層を沈殿した熱水が地下において形成される環境は還元的であったために、岩石から熱水への溶出が低下してEu濃度の低い熱水が生じたものと推測される。F層ではAsも他の層よりも高濃度となっており、還元的熱水であったという推測と調和的である。

一方、化学組成と蛍光作用との関係は特に興味深い。アクチベータが何かについては全く不明であるが、元素

第1表 ICP分析によるMI-72試料及びMI-74試料における主な化学組成.

Table 1 Chemical compositions of MI-72 and MI-74 by ICP analysis.

Sample	MI-	MI-	MI-	MI-	MI-	MI-	MI-	MI-	MI-	MI-	MI-
	72-A	72-B	72-C	72-D	72-E	74-A	74-B	74-C	74-D	74-E	74-F
Composition											
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.09	0.10	0.05	0.34	0.03	0.27	0.03	0.09	0.04	0.02	0.03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.36	0.09	0.02	0.01	0.01	0.13	0.01	0.11	<0.01	0.11	0.02
MnO	0.07	0.03	0.06	0.13	0.02	0.03	0.02	0.06	0.06	0.05	0.03
MgO (%)	0.07	0.01	0.01	0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
CaO	0.18	0.16	0.16	0.19	0.06	0.13	0.09	0.15	0.17	0.13	0.10
Na <sub>2</sub> O	0.29	0.24	0.23	0.29	0.14	0.24	0.19	0.25	0.23	0.19	0.18
K <sub>2</sub> O	0.23	0.16	0.15	0.20	0.08	0.17	0.13	0.17	0.15	0.12	0.12
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.018	0.001	0.007	0.006	0.004	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Ba	19	15	13	15	8	25	12	12	8	7	6
Sr (ppm)	37	41	40	45	18	40	28	38	36	29	24
V	6	3	1	10	6	8	<1	5	6	11	7



第4図 ICP分析によるMI-72試料及びMI-74試料における主な化学組成.

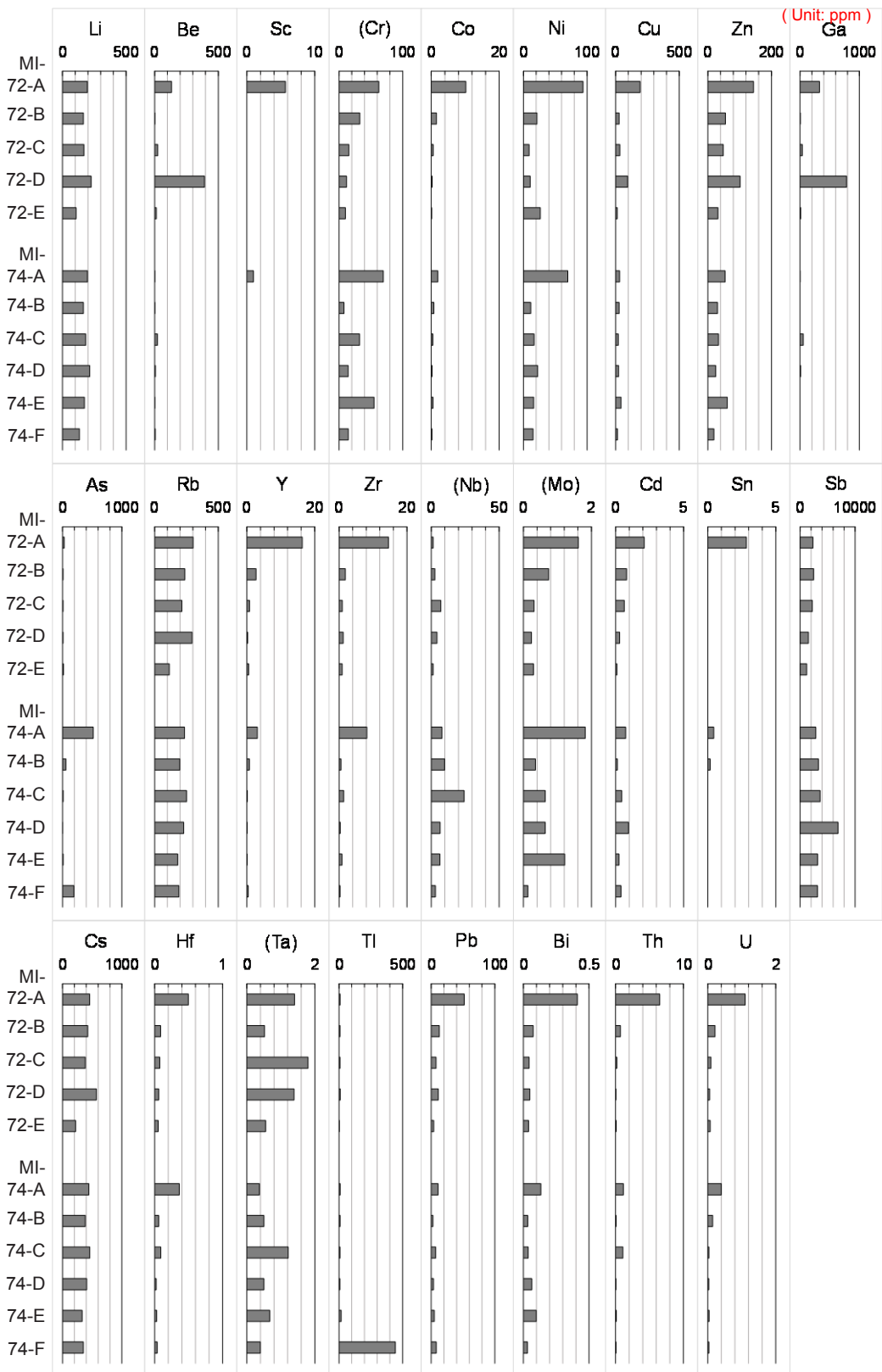
Fig. 4 Chemical compositions of MI-72 and MI-74 by ICP analysis.

北海道然別地域産の蛍光を呈するオパール標本の化学組成の検討（金井ほか）

第2表 ICP-MS分析によるMI-72 試料及びMI-74 試料における微量成分化学組成。括弧で示した元素は、相対誤差が30%を超えて低濃度の元素で、参考値を示す。

Table 2 Concentration of minor elements in MI-72 and MI-74 by ICP-MS analysis. Element shown in parenthesis is the one of low concentration and with relative analytical error of over 30%.

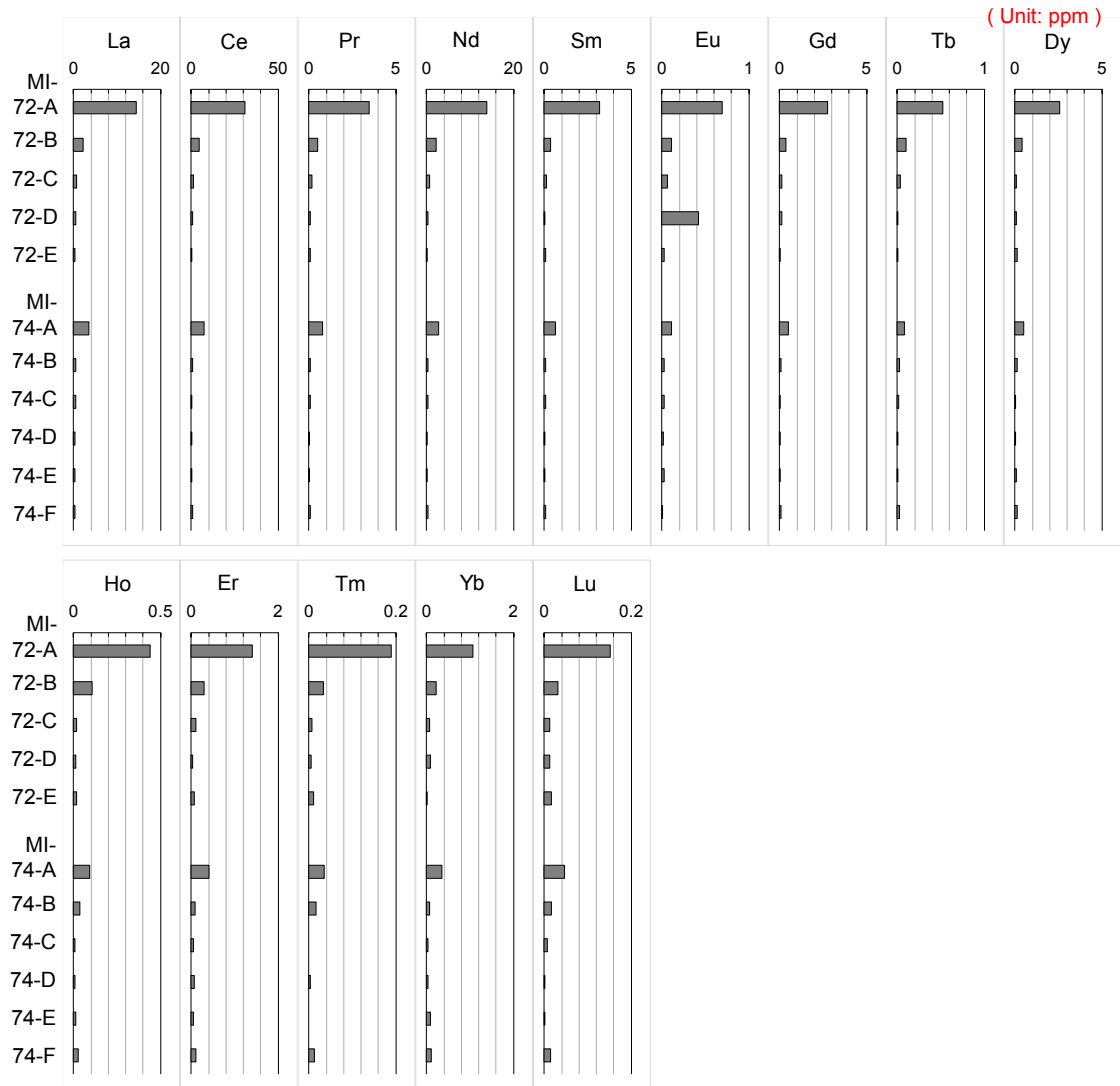
Content (ppm) Element	MI-72-					MI-74-					
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	F
Li	196	164	169	225	107	196	164	183	214	173	133
Be	132	2	24	392	13	2	3	22	5	2	5
Sc	6	<1	<1	<1	<1	1	<1	<1	<1	<1	<1
(Cr)	63	33	15	12	10	70	8	32	14	55	15
Co	10	2	1	<1	<1	2	1	<1	<1	1	<1
Ni	94	21	9	11	26	70	11	17	22	16	15
Cu	192	27	32	94	12	31	28	21	23	42	14
Zn	144	56	48	101	32	54	30	34	25	61	19
Ga	328	3	39	785	12	2	<1	55	10	<1	<1
As	29	10	9	9	16	518	58	12	3	11	192
Rb	302	237	214	293	115	235	197	251	228	182	191
Y	16	3	1	<1	1	3	1	<1	<1	<1	<1
Zr	15	2	1	1	1	8	1	1	<1	1	<1
(Nb)	1	3	7	4	1	8	10	24	7	6	3
(Mo)	2	1	<1	<1	<1	2	<1	1	1	1	<1
Cd	2	1	1	<1	<1	1	<1	<1	1	<1	<1
Sn	3	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sb	2340	2480	2240	1530	1210	2870	3350	3640	6920	3200	3180
Cs	458	425	384	571	222	446	385	460	407	331	352
La	14	2	1	4 E-1	3 E-1	3	5 E-1	4 E-1	4 E-1	2 E-1	3 E-1
Ce	31	4	1	1	5 E-1	7	1	5 E-1	2 E-1	2 E-1	1
Pr	3	1	2 E-1	6 E-2	6 E-2	1	9 E-2	6 E-2	3 E-2	3 E-2	6 E-2
Nd	14	2	1	3 E-1	2 E-1	3	3 E-1	2 E-1	7 E-2	9 E-2	3 E-1
Sm	3	4 E-1	1 E-1	4 E-2	9 E-2	1	9 E-2	5 E-2	2 E-2	1 E-2	9 E-2
Eu	1	1 E-1	6 E-2	4 E-1	3 E-2	1 E-1	2 E-2	3 E-2	1 E-2	2 E-2	3 E-3
Gd	3	4 E-1	1 E-1	1 E-1	2 E-2	5 E-1	9 E-2	1 E-2	3 E-2	3 E-2	9 E-2
Tb	1	1 E-1	3 E-2	1 E-3	5 E-3	8 E-2	3 E-2	1 E-2	8 E-3	6 E-3	3 E-2
Dy	3	4 E-1	9 E-2	6 E-2	1 E-1	5 E-1	1 E-1	5 E-2	3 E-2	5 E-2	1 E-1
Ho	4 E-1	1 E-1	2 E-2	1 E-2	2 E-2	9 E-2	3 E-2	7 E-3	9 E-3	1 E-2	2 E-2
Er	1	3 E-1	1 E-1	3 E-2	6 E-2	4 E-1	8 E-2	5 E-2	6 E-2	4 E-2	1 E-1
Tm	2 E-1	3 E-2	7 E-3	5 E-3	1 E-2	4 E-2	2 E-2	<1E-3	2 E-3	<1E-3	1 E-2
Yb	1	2 E-1	6 E-2	8 E-2	6 E-3	3 E-1	7 E-2	4 E-2	3 E-2	8 E-2	1 E-1
Lu	2 E-1	3 E-2	1 E-2	1 E-2	2 E-2	5 E-2	2 E-2	6 E-3	1 E-3	1 E-3	1 E-2
Hf	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
(Ta)	1	1	2	1	1	<1	1	1	1	1	<1
Tl	8	7	7	10	4	9	8	7	7	17	443
Pb	52	13	8	11	4	11	3	7	4	5	8
Bi	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Th	6	1	<1	<1	<1	1	<1	1	<1	<1	<1
U	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1



第5図 ICP-MS分析によるMI-72試料及びMI-74試料における微量成分化学組成(単位はppm)。括弧で示した元素は、相対誤差が30%を超えて低濃度の元素で、参考値を示す。

Fig. 5 Concentrations of minor elements in MI-72 and MI-74 by ICP-MS analysis (unit: ppm). Element shown in parenthesis is the one of low concentration and with relative analytical error of over 30%.





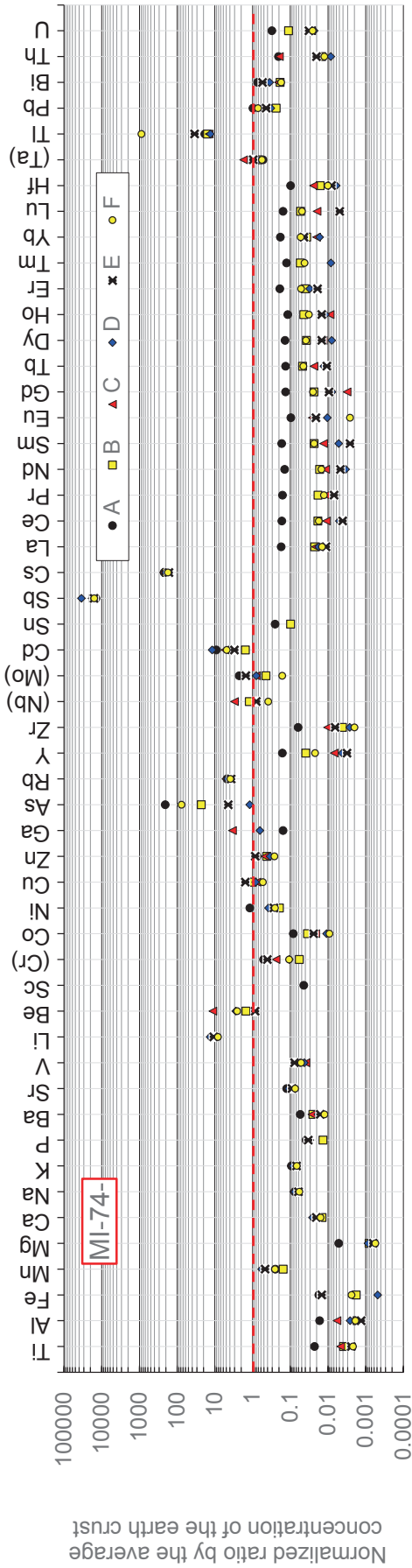
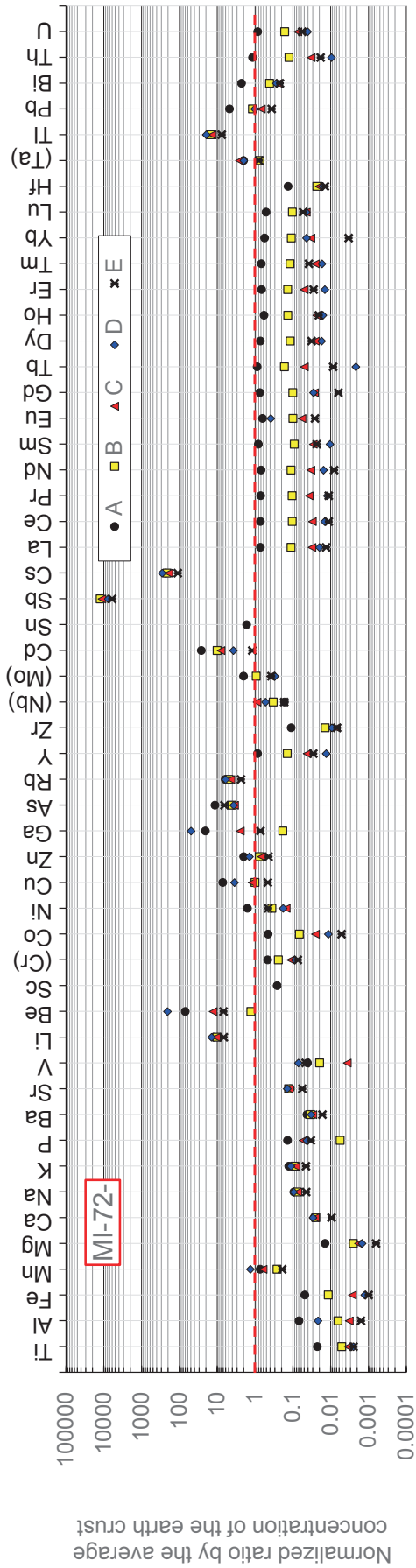
第5図 (続き)  
Fig. 5 (Continued)

がアクチベータとなっていると仮定するならば、ある程度の濃度を有し、かつ部位ごとの濃度変化がある元素に可能性があると考えことは妥当性がある。第3表に蛍光色と相対的な濃度の違いを示した。しかし、この表からは化学元素と蛍光色との関係を一義的に得ることは困難である。緑色の蛍光はUやCuが、赤色はCr, Fe, Mnなどが、青色はEuが関与すると期待されたが、いずれも低濃度で他の部位と比べ特に顕著な違いは見られなかった。希土類元素の持つ4f電子の遷移による蛍光が期待されたが、第6図に示されたように地殻の平均存在量よりも低濃度であった。蛍光特性の条件は、単元素よりも複合した混合比率が重要であろうし、物質の持つエネルギーレベルに依存する。また、本研究でのオパール標本試料は部位全体が蛍光を発しているように見えるが、オパールの種類によっては離散的で、粒子状の集合体の

ように蛍光を発する部分も存在する。前報でも指摘したが、より複雑な不純物や生物起源物質などが関与している可能性もあるので、そうしたことは今後の調査・検討課題である。

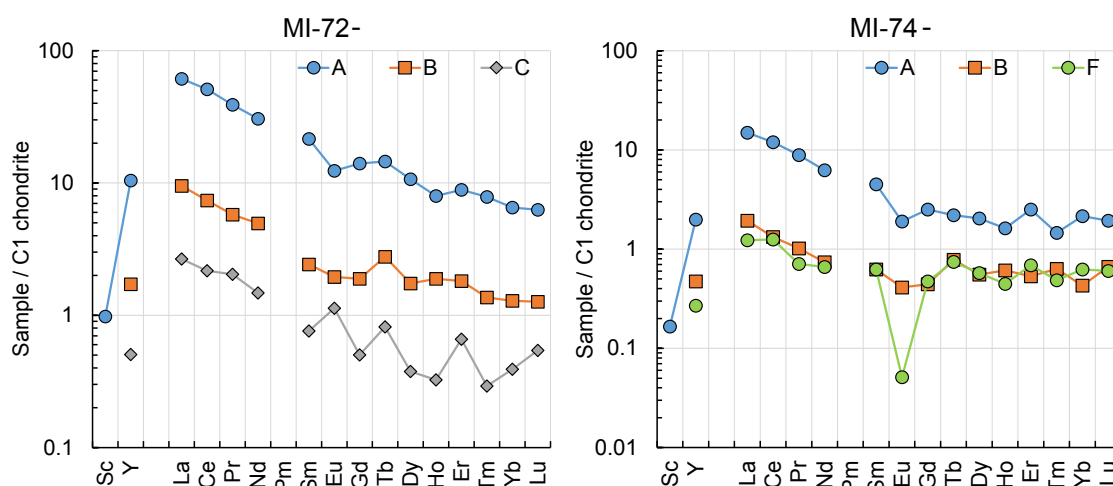
#### 4. まとめ

北海道然別地域産の2種のオパール標本試料について、蛍光色ごとに分画してその化学組成を明らかにし、蛍光色との関係を検討した。化学組成ではSiO<sub>2</sub>が主体であるが、不純物としてLi, Be, Ga, As, Rb, Csなどが数100 ppm, Sbは数1,000 ppmの濃度で存在していた。また、一つの試料中の異なる蛍光色を呈する部位にもかかわらず、Na, K, Li, Rb, Csのアルカリ元素やCa, Sr, Baのアルカリ土類元素は、あまり大きな濃度分散を示さなかった。



第6図 平均地殻組成 (Rudnick and Gao, 2003) で規格化した化学組成。括弧で示した元素は、相対誤差が30%を超えて低濃度の元素で、参考値を示す。

Fig. 6 Chemical composition normalized by the average crustal abundance (Rudnick and Gao, 2003). Element shown in parenthesis is the one of low concentration and with relative analytical error of over 30%.



第7図 C1コンドライトで規格化した希土類元素のパターン。  
Fig. 7 Rare earth element pattern normalized by C1 chondrite.

第3表 蛍光の色調と化学元素の関係。  
Table 3 Relationship between fluorescence color and chemical composition.

Sample	Observed color*		Relative content**							
	Under VIS	Under UV	Al	Fe	Mn	Mg	Be	Ga	As	Tl
MI-72-A	Brown-Yellow	Violet-Yellow	◎	◎	○	◎	○	○		
MI-72-B	Brown	Brown		○						
MI-72-C	Cream-Yellow	Yellow			○					
MI-72-D	Dark brown	Black	○		◎		◎	◎		
MI-72-E	White	Blue								
MI-74-A	Light gray	Aquamarine	○	○		○			◎	
MI-74-B	Light gray	Greenyellow								
MI-74-C	White	Black-Orange		○	○					
MI-74-D	Light gray	Blue			○					
MI-74-E	Light yellow	Orange		○	○					
MI-74-F	Light yellow	Greenyellow							○	◎

\* : VIS and UV mean "visible light" and "ultraviolet light", respectively  
\*\* : ◎ and ○ mean "very high" and "high", respectively

色調の異なる層状部分を分画して、化学組成との関係を検討したが、明確な関係は見出すことは困難であった。今後も生物起源物質や化学元素と発色要因との関係を継続的に検討していく必要がある。

オパール層をもたらした当地域における熱水活動の詳細な調査・研究などは今後の課題である。本地域は国立公園内であることから、当然のことながら保護・保全を考慮しながら、今後は文化的・学術的・教育的な活用も期待したい。

謝辞：本研究を行うに当たり、査読者の星野美保子氏や編集委員の鈴木 淳氏及び川邊禎久氏からは、原稿を改

善するのに有効で貴重なご意見・ご助言をいただいた。ここに記して感謝申し上げる。

### 文献

青木正博(2012) オパールさまざま。GSJ地質ニュース, 1, 291-292.  
藤原 卓(1994) ポケット図鑑 日本の鉱物, 成美堂出版, 東京, 423p.  
Imai, N. (2010) Multielement analysis of rocks with the use of geological certified reference material by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Analytical Sciences*,

6, 389-395.

- 今井 登・寺島 滋・太田充恒・御子柴(氏家)真澄・岡井貴司・立花好子・富樫茂子・松久幸敬・金井 豊・上岡 晃・谷口政碩(2004) 日本の地球化学図－元素の分布から何が分かるか？ 地質調査総合センター, 207p.
- 岡崎智鶴子・松枝大治・金井 豊・三田直樹・青木正博・乙幡康之(2014) 北海道然別火山地域に賦存する蛍光を発するオパール. 地質雑, **120**, 口絵IX-X.
- 岡崎智鶴子・松枝大治・金井 豊・三田直樹・青木正博・乙幡康之(2015) 北海道然別地域で採取されたオ

パールの鉱物学・地球化学に関する予察的研究. 地質調査研究報告, **66**, 169-178.

Rudnick, R. L. and Gao, S. (2003) Composition of the continental crust. In Rudnick, R. L. ed., *The Crust: Treatise on Geochemistry*, **3**, Elsevier Ltd., Amsterdam, 1-64.

山川倫央(2008) 光る石ガイドブック～蛍光鉱物の不思議な世界～. 誠文堂新光社, 東京, 143p.

( 受付: 2016年1月14日; 受理: 2016年9月14日 )

## 乾式磁力選鉱および分級による粘土質風化花崗岩からの脱鉄の検討

綱澤有輝<sup>1,\*</sup>・須藤定久<sup>1</sup>・高木哲一<sup>1</sup>

Yuki Tsunazawa, Sadahisa Sudo and Tetsuichi Takagi (2016) Iron removal from clayey weathered granite using magnetic separation and classification. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol.67 (4), p.111-117, 6 figs, 3 tables.

**Abstract:** Weathered granite has been expected to be an alternative material for potteries. Weathered granite, known as “Ao-saba”, contains kaolin clay at around 10 % and this kaolin clay can be recovered by elutriation. However, elutriation residue contains colored minerals like biotite containing iron, which is not appropriate for raw materials for potteries. To use elutriation residue as raw materials, colored minerals have to be removed. This study applied classification and magnetic separation to removal of colored minerals from clayey weathered granite. Classification tests revealed that colored minerals like biotite were only contained in a smaller grain group of elutriation residue. This result meant that classification was effective for recovery of a bigger grain group of elutriation residue where colored minerals did not exist. Then, magnetic separation tests were conducted to remove biotite from a smaller grain group of elutriation residue. In magnetic separation tests, colored minerals were completely removed from any size of elutriation residue. Therefore, it was demonstrated that classification and magnetic separation were an effective method for iron removal from clayey weathered granite.

**Keywords:** Weathered granite, Low-grade argillite, Classification, Magnetic separation

### 要 旨

「青サバ」と呼ばれる未利用の低品位粘土質花崗岩は鉄分を含む有色鉱物を有するもの、<sup>いろいろめ</sup>蛙目粘土の代替原料として期待されている。これまでの予察的な研究により、青サバに含まれる10%程度のカオリン質粘土は水簸<sup>すいひ</sup>によって回収可能であることが判明している。そこで、本研究では、90%を占める青サバを水簸した後の残渣を対象とし、有色鉱物に粒度特性があることに着目し、ふるい分けによる分級およびレアアースロールセパレータによる磁力選鉱で、残渣からの脱鉄を試みた。残渣の比較的大きな粒群には、有色鉱物が含有していないことが判明し、分級によって有色鉱物を適切に除去された。また、磁力選鉱では、粒度に依らず、鉄分を含む有色鉱物を良好に除去・回収された。したがって、乾式条件下では、分級および磁力選鉱を用いて適切かつ簡便に鉄分を含む有色鉱物を残渣から除去・回収できることが明らかになった。

### 1. はじめに

粘土質岩は窯業製品の主原料であり、そのほとんどが国内から供給されている。とりわけ、瀬戸・東濃地方に産する蛙目粘土<sup>きぶし</sup>や木節粘土は、その豊富な資源量と優れた品質により陶磁器、タイルなどの原料に長年用いられてきた(須藤・内藤, 2000a, b)。しかし、開発の進行により良質な原料は徐々に枯渇する傾向にあり、将来の安定的な原料の確保が危惧されている。採掘中の蛙目粘土・木節粘土の鉱山には、「青サバ」と呼ばれる未利用の低品位粘土質岩が広く賦存する。この青サバを原料として利用することができれば、資源量の確保に一定の貢献になることが期待される。

青サバとは、蛙目粘土・木節粘土層の基盤を構成する花崗岩類の風化殻の一部で、青緑色～青灰色を呈することから、この名称で呼ばれている。原岩の組織を残しているが極めてもろく、全体に強いカオリン化作用を被っていることが特徴である。青サバがこれまで陶磁器原料として利用されなかった主な理由は、鉄分が多く、白色陶磁器の原料に不適であったことである。したがって、鉄分の効果的な除去が青サバ利用技術の主要な課題であ

<sup>1</sup>産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute for Geo-Resources and Environment)

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

る。

これまでの予察的な研究により、青サバに含まれるカオリン質粘土は水簸によって回収可能であること、カオリン質粘土の含有量は典型的な青サバで約10%程度であることが判明している。牧本ほか(2004)によると、瀬戸地域の基盤花崗岩類は、主に苗木-上松花崗岩あるいは伊奈川花崗岩であり、約90%を構成する水簸残渣は、この花崗岩に由来する石英、長石類(正長石や斜長石)と、雲母などの有色鉱物から構成される。この残渣は鉄分が多く、そのまま陶磁器の骨材となる非可塑性原料や珪砂の原料に用いることは困難である。したがって、残渣から鉄分を含む有色鉱物を適切かつ簡便に除去することが必要である。

本研究では、青サバを水簸した後の残渣を対象とし、有色鉱物に粒度特性があることに着目し、ふるい分けによる分級試験およびレアアースロールセパレータによる磁力選鉱試験を行うことで、残渣からの脱鉄を試みた。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験試料

実験試料には、未粉碎の青サバの水簸試験後の残渣を用いた。試料は湿潤状態であるため、電気乾燥器を用い80℃で乾燥させた後、所定の量に縮分した。

実験に用いた残渣の鉱物組成および組成割合を把握するために、X線回折分析(以下、XRD分析)および蛍光X線分析(以下、XRF分析)を行った。XRD分析には、リガク製Smart Labを用いた。縮分試料をメノウ乳鉢にて粉碎した試料をガラスホルダーにマウントし、鉱物種の分析をした。測定には、X線発生源として回転対陰極型Cu管球を使用し、X線電圧40 kV、電流200 mAで印加した。走査範囲は $2\theta = 3\text{--}70^\circ$ 、スキャン速度は $10^\circ/\text{min}$ とした。測定データの分析には、リガク製の解析ソフトPDXL2.1を用いた。また、XRF分析にはリガク製ZSX Primus III+を用いて、検量線法により主成分10元素(Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P)の定量分析を行った。測定に用いたガラスビードは、粉末試料と四ホウ酸リチウム(スペクトロメルトA10, MERCK社)を1:10で混合した後、卓上ガラスビードサンプラー(HAG-M-HF, HERZOG社)を用いて白金のつぼ内で $1,150^\circ\text{C}$ に加熱、急冷することで作成した。詳細な分析条件は森田ほか(2016)を参照した。

### 2.2 分級試験

粒度の違いによる鉱物特性評価および脱鉄特性評価を行うために、分級試験を行った。試料量110 gに縮分した試料を、JIS規格のふるいおよび電磁振とう機を用いて、4 mm以上、2 mm-4 mm、1 mm-2 mm、 $500\ \mu\text{m}$ -1 mm、 $250\ \mu\text{m}$ - $500\ \mu\text{m}$ および $250\ \mu\text{m}$ 未満の計6粒群に

分級した。分級した試料は、それぞれ重量測定を行った後、XRF分析によって組成割合を把握した。

### 2.3 磁力選鉱試験

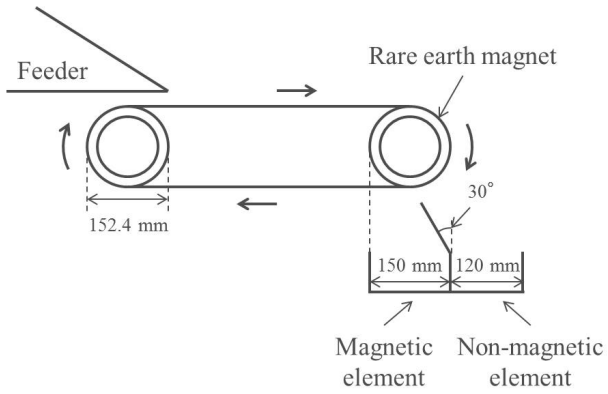
磁力選鉱による鉱物特性評価および脱鉄特性評価を行うために、日本エリーズ製の永久磁石式レアアースロールセパレータ(RE6D06W-1)を用いた乾式高磁場磁力選鉱を行った。レアアースロールセパレータの概略図を第1図に示す。試料は電磁フィーダーから投入し、ベルトへ供給される。ベルトを回転させる2つのロールのうち、回収口付近のロールの内部にレアアースロール磁極が設置されており、このレアアースロール磁極による磁場によって試料を選鉱する。試料がレアアースロールに到達すると、磁性物は磁場によってレアアースロールにそって回り、レアアースロールとベルトが離れる点でベルトから回収口へ落下する。一方、非磁性物は磁場の影響を受けず、ベルトの前方へと落下する。試料量は約100 gとし、全粒群、1 mm-2 mm、 $500\ \mu\text{m}$ -1 mm、 $250\ \mu\text{m}$ - $500\ \mu\text{m}$ の4つの異なる粒径幅で磁力選鉱を行った。磁力選鉱試験において、試料が均一にロール上へフィードされるよう、電磁フィーダーの振幅、振動数およびロールの回転数は、それぞれ0.4 mm、50 Hzおよび10.8 rpmに設定した。

## 3. 結果および考察

### 3.1 試料のキャラクタリゼーション

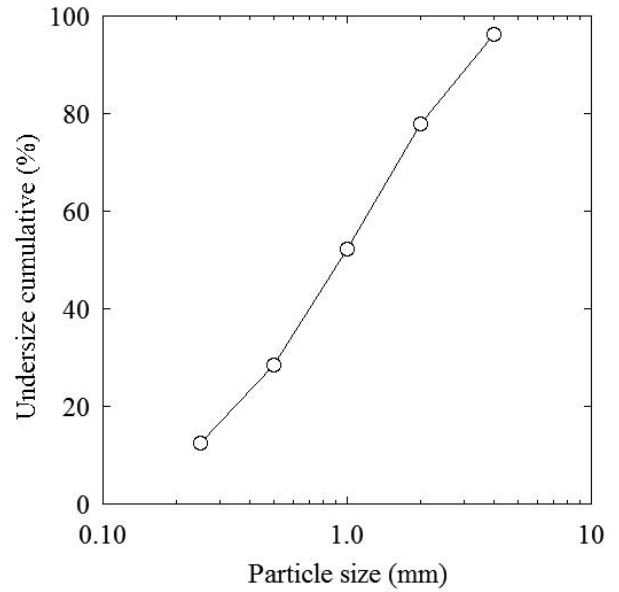
試料の各粒度の重量割合を第2図に示す。図より、試料は概ね $250\ \mu\text{m}$ 以上4 mm以下の粒径のものであることがわかる。また、得られた粒度分布をGaudin-Schuhmann分布に近似して80%粒径を算出したところ、試料の80%粒径は1.89 mmであった。

試料のXRD分析結果を第3図に示す。図より、石英のピークが顕著に確認されたほか、正長石、黒雲母、カオリナイトのピークが確認された。したがって、本試料に含まれる鉄成分を有する鉱物は黒雲母であると判断される。また、カオリナイトのピークが確認されたことから、水簸試験によって回収されなかった粘土鉱物が残存している。これは、残渣を回収する際に一緒に回収された水部分に懸濁した粘土鉱物および正長石、雲母類の変質部であると推察される。XRF分析から得られた各酸化物の重量割合を第1表に示す。これらの重量割合に基づいて、鉱物の量比を物質収支に着目して計算した。計算では、XRD分析で確認された4種類の鉱物からのみ試料が構成されると仮定し、それぞれの鉱物の平均元素組成は、Mineralogy database (Barthelmy, 2012)を参照した。鉱物組成を推定する方法にはいくつか存在するが(Ferry, 1988; 平岡, 1996)、本研究では、Microsoft社Excelのアドオンの1つであるソルバーを用いて様々な鉱物量比



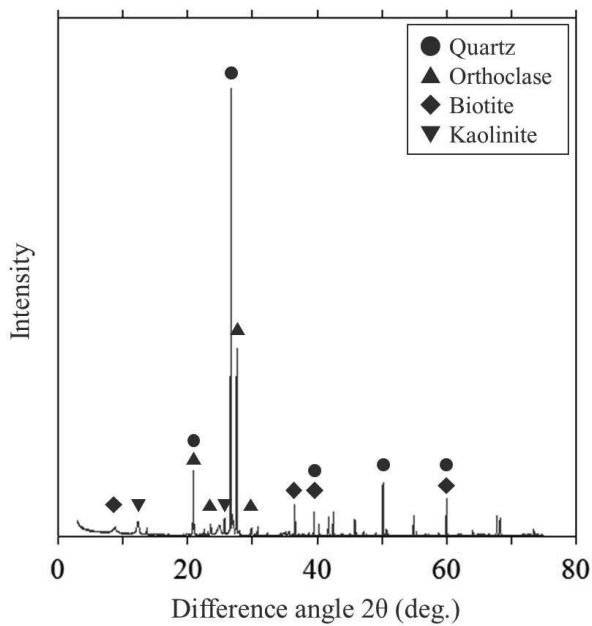
第1図 レアアースロールセパレータ概略図.

Fig. 1 Schematic diagram of rare earth roll separator.



第2図 縮分試料の粒度分布.

Fig. 2 Frequency distribution of sample particles.



第3図 縮分試料のXRD分析結果.

Fig. 3 XRD pattern of sample particles.

第1表 XRF分析による各酸化物の重量割合(質量%).

Table 1 Mass fraction of each element by XRF analysis (mass %).

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI*
All grain size	80.87	0.14	9.92	1.15	0.02	0.17	0.12	0.38	5.27	0.01	1.23

\*LOI: Loss on ignition (強熱減量)

を計算し、XRF分析から得られた重量割合と最も良く一致する鉱物量比を得た。このようにして試料に含有する4種類の鉱物量比を求めたところ、石英55.69%、正長石26.88%、黒雲母6.77%、カオリナイト10.66%という量比が得られた。

### 3.2 分級試験による脱鉄特性評価

分級試験から得られたそれぞれの粒群のXRF分析から得られた各酸化物の重量割合を第2表に示す。第2表より、いずれの粒群においてもSiO<sub>2</sub>が多く含有されていることが確認された。また、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>に着目すると、2mm以上の比較的大きな粒群では検出されなかったのに対し、2mmより小さい粒群で検出され、粒度が小さくなるにつれてその割合が増加していることが確認された。ふるい分け産物を目視したところ、2mm以上の比較的大きな粒群は白色～灰色であり、黒色の鉱物は視認できなかった。したがって、残渣の比較的大きな粒群には鉄分を含む有色鉱物がほとんど存在しないと判断される。

また、第2表で示した重量割合から、それぞれの粒群に含有する4種類の鉱物量比を求めた。縦軸に重量割合、横軸に鉱物量比をとった量率グラフを第4図に示す。図より、全重量のおよそ20%を占める2mm以上の比較的大きな粒群は黒雲母を含有せず、分級試験だけで有色鉱物の除去が可能であることがわかる。一方、2mmより小さい粒群の残渣では、黒雲母が含有していることに加え、粒度が小さくなるほど黒雲母の量比が増加していることがわかる。それぞれの粒群における黒雲母の量比は、1mm-2mmで0.6%、500 $\mu$ m-1mmで5.4%、250 $\mu$ m-500 $\mu$ mで11.0%、250 $\mu$ m未満で17.1%であった。これらの粒群は、分級試験だけでは有色鉱物の除去が達成できないため、磁力選鉱による有色鉱物の除去が必要であると判断される。

### 3.3 磁力選鉱による脱鉄特性評価

4種類の異なる粒径幅で行った磁力選鉱から得られた非磁着物と磁着物の重量割合を第5図に示す。図より、いずれの粒径幅においても非磁着物の重量割合が大きく、粒径が小さくなるほど磁着物の割合が増加していることが確認された。磁力選鉱産物を目視したところ、いずれの条件においても、非磁着産物は白色～灰色であり、磁着産物はほとんどが黒色であることが確認された。したがって、磁力選鉱を行うことで、有色鉱物である黒雲母を磁着物として除去・回収できると判断される。

磁力選鉱から得られた非磁着物と磁着物に対してXRF分析を行い、得られた各酸化物の重量割合を第3表に示す。第3表より、非磁着物と磁着物の組成に対して粒度の依存性はほとんどないことが確認された。Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>に着目したところ、非磁着物からは検出されず、磁着物からのみ検出されたことから、磁力選鉱によって鉄成分が良

好に回収できたと判断される。また、MgOが非磁着物からはほとんど検出されず、そのほとんどが磁着物に分配されていることから、有色鉱物である黒雲母を磁着物として良好に回収できたと判断される。

非磁着物と磁着物の重量割合および第3表で示した重量割合から、それぞれの磁力選鉱産物に含有する鉱物量比を求めた。第6図に得られた鉱物量比を示す。いずれの粒径幅においても、非磁着物に石英と正長石が分配され、磁着物に黒雲母が分配されていることが確認された。磁力選鉱では、粒度に依らず、有色鉱物である黒雲母を磁着物として回収・条件できたため、磁力選鉱前に粒度調整は必要ないと推察される。しかしながら、全粒群での磁力選鉱では、レアアースロールセパレータのロール部分に微粉が付着してしまい、産物として回収できないことが確認された。これに対して、250 $\mu$ m-500 $\mu$ mでの粒径幅での磁力選鉱では、レアアースロールセパレータのロール部分への試料の付着は確認されなかった。したがって、乾式条件下での磁力選鉱をする際には、少なくとも250 $\mu$ m以上の粒群に試料を調整するべきである。本研究で対象とした残渣では、250 $\mu$ m以上である粒度の積算重量割合は、87.56%であったことから、250 $\mu$ m以上の残渣を対象として磁力選鉱することによって、適切かつ簡便に鉄分を含む有色鉱物を除去・回収できると判断される。

## 4. まとめと展望

本研究では、鉄分を含む有色鉱物を適切かつ簡便に除去することを目的として、分級および磁力選鉱試験によって、青サバを水簸した後の残渣からの脱鉄を試みた。ふるい分けによる分級試験を行ったところ、残渣の全重量の20%を占める2mm以上の粒群には鉄分を含む有色鉱物が含まれておらず、粒度が小さくなるにつれて有色鉱物の量比が大きくなることが明らかになった。したがって、残渣の比較的大きな粒群に対しては、分級試験によって有色鉱物を適切に除去できると判断された。また、レアアースロールセパレータを用いた磁力選鉱試験を行ったところ、粒度に依らず、鉄分を含む有色鉱物を良好に除去・回収された。以上の結果より、乾式条件下では、青サバを水簸した後の残渣に対して、ふるい分けによる分級試験およびレアアースロールセパレータを用いた磁力選鉱試験によって、適切かつ簡便に鉄分を含む有色鉱物を除去・回収できることが明らかになった。今後、分級および磁力選鉱によって、残渣に含有される脱鉄の簡便な除去が可能となるが、脱鉄後の産物からさらに石英のみを回収するなど、効率的かつ効果的な青サバ利用技術の開発が必要である。石英および長石類(正長石等)の僅かな比重差や形状差、硬度の違いを利用して、青サバ利用技術の開発を行っていく予定である。

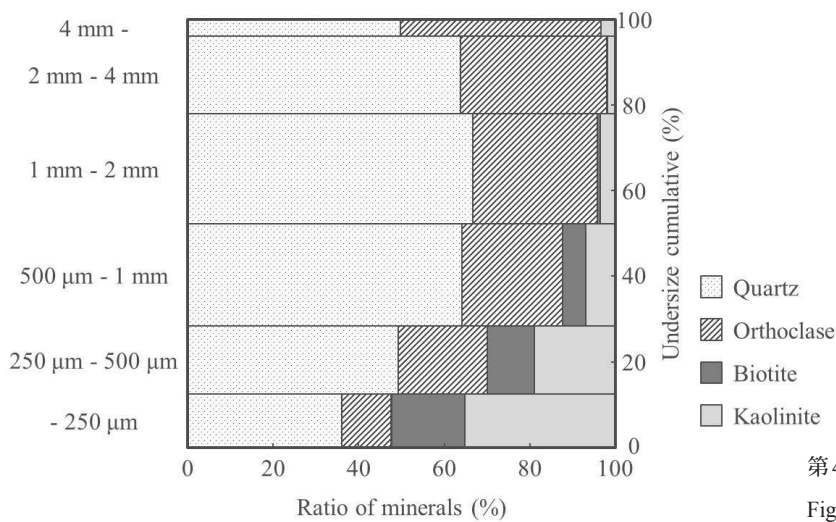


第2表 各粒群に対するXRF分析結果.

Table 2 Results of XRF analysis for each grain sample (mass %).

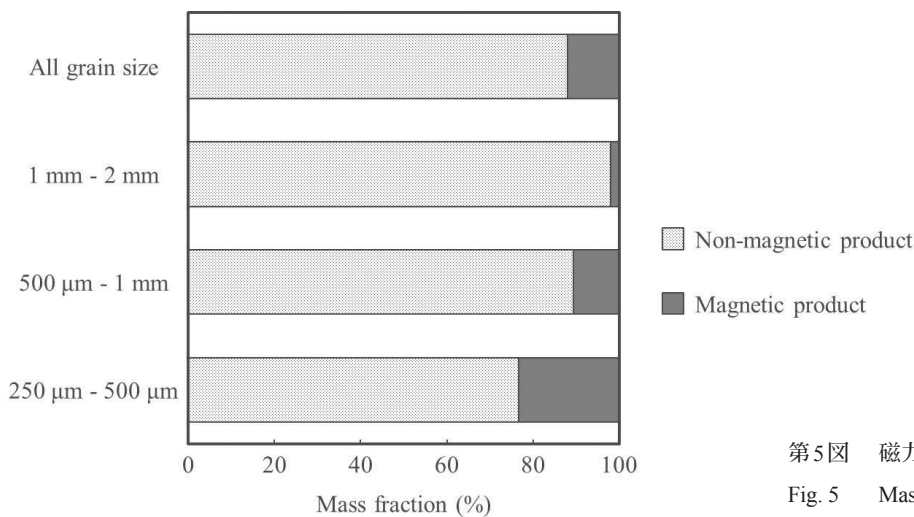
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI*
4 mm -	81.64	0.01	10.27	0.00	0.00	0.04	0.08	0.55	7.94	0.01	0.24
2 mm - 4 mm	86.89	0.01	7.32	0.00	0.00	0.04	0.06	0.37	5.80	0.01	0.16
1 mm - 2 mm	87.04	0.04	6.76	0.17	0.00	0.06	0.06	0.30	4.99	0.01	0.25
500 μm - 1mm	84.87	0.13	7.66	0.92	0.01	0.14	0.08	0.25	4.55	0.01	0.87
250 μm - 500 μm	76.09	0.32	12.60	2.76	0.04	0.37	0.15	0.30	4.66	0.01	2.67
- 250 μm	67.07	0.39	18.05	3.70	0.05	0.45	0.38	0.66	3.81	0.02	4.83

\*LOI: Loss on ignition (強熱減量)



第4図 各粒群の鉱物量比.

Fig. 4 Mineral amount ratio of each grain sample.



第5図 磁力選鉱産物の重量割合.

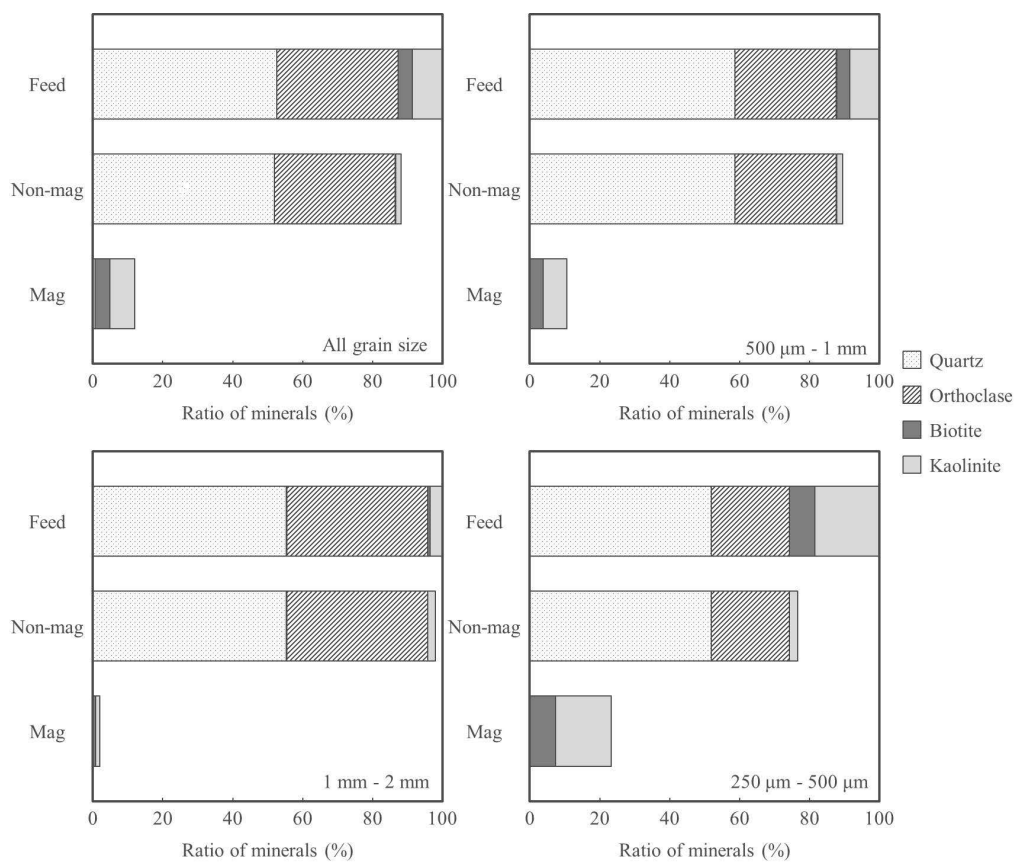
Fig. 5 Mass fraction of magnetic separation product.

第3表 磁力選鉱産物のXRF分析結果.

Table 3 Results of XRF analysis for magnetic separation products (mass %).

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI*
<b>All grain size</b>											
Non-magnetic	85.16	0.01	7.86	0.00	0.00	0.03	0.09	0.50	5.93	0.01	0.23
Magnetic	48.00	1.15	26.47	9.83	0.15	1.23	0.30	0.18	3.03	0.02	9.45
<b>1 mm - 2 mm</b>											
Non-magnetic	82.24	0.01	8.47	0.00	0.00	0.02	0.07	0.43	6.58	0.01	0.18
Magnetic	42.38	1.73	26.18	13.27	0.22	1.70	0.28	0.00	3.45	0.01	9.87
<b>500 μm - 1mm</b>											
Non-magnetic	87.55	0.01	6.69	0.00	0.00	0.03	0.06	0.29	5.21	0.01	0.17
Magnetic	43.19	1.54	27.48	12.42	0.20	1.57	0.27	0.00	3.18	0.02	10.13
<b>250 μm - 500 μm</b>											
Non-magnetic	88.02	0.01	6.61	0.00	0.00	0.03	0.12	0.38	4.80	0.01	0.29
Magnetic	44.35	1.29	27.80	11.05	0.17	1.38	0.26	0.02	2.89	0.02	10.57

\*LOI: Loss on ignition (強熱減量)



第6図 磁力選鉱産物の鉱物量比の比較. Feed: フィード試料, Non-mag: Non-magnetic product (非磁着物), Mag: Magnetic product (磁着物)

Fig. 6 Mineral amount ratio of magnetic separation product. Feed : Feed product, Non-mag : Non-magnetic product, Mag : Magnetic product.

謝辞：愛知県陶磁器工業協同組合，愛知県珪砂鉱業協同組合，岐阜県窯業原料協同組合，合資会社丸藤鉱山の共同研究者の皆様には，ご協力いただきました。地圏資源環境研究部門鉱物資源研究グループの荒岡大輔博士，昆慶明博士には，試料の分析に関して技術指導および実験に関する多くの助言をいただきました。匿名の査読者からは，本稿を改善するための有益な指摘をいただきました。ここに，深く感謝いたします。

## 文 献

Barthelmy, D. (2012) Mineralogy database, <http://www.webmineral.com/> (Accessed 2 May 2016).

Ferry, J.M. (1988) Infiltration-driven metamorphism in Northern New England, USA. *J. Petrol.*, **29**, 1121–1159.

平岡義博(1996) 全岩および鉱物化学組成値を用いたモード(重量%)分析—比叡・比良・鞍馬の花崗岩質岩石を例に—。岩鉱, **91**, 123–132.

牧本 博・山田直利・水野清秀・高田 亮・駒澤正夫・須藤定久(2004) 20万分の1地質図幅「豊橋及び伊良湖岬」, 産業技術総合研究所 地質調査総合センター。

森田沙綾香・高木哲一・昆 慶明・荒岡大輔(2016) 蛍光X線分析装置(地質調査総合センター鉱物資源研究グループ設置)による岩石化学分析の精度と測定限界。地質調査総合センター研究資料集, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, no. 624.

須藤定久・内藤一樹(2000a) 瀬戸市周辺の陶磁器と窯業原料資源。地質ニュース, no. 552, 30–41.

須藤定久・内藤一樹(2000b) 東濃の陶磁器産業と原料資源。地質ニュース, no. 553, 33–41.

( 受 付 : 2016年5月10日 ; 受 理 : 2016年9月23日 )



## 四国東部観音寺地域の和泉層群から産出した後期白亜紀放射虫化石群集

野田 篤<sup>1,\*</sup>・栗原敏之<sup>2</sup>

Atsushi Noda and Toshiyuki Kurihara (2016) Late Cretaceous radiolarian assemblages obtained from the Izumi Group in the Kan-onji district, eastern Shikoku, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol.67 (4), p.119–131, 1 figure, 2 tables, 3 plates.

**Abstract:** Radiolarian fossil analyses were conducted to determine the depositional age of the Izumi Group, eastern Shikoku. Fourteen of total 19 samples yielded radiolarian fossils. Most samples contain *Dictyomitra koslovae* and *Amphipyndax tylotus*, and do not include *Clathrocyclas tintinnaeformis*, *Mylocercion acineton*, or *Clathrocyclas gravis*. Those assemblages can be correlated with the *Amphipyndax tylotus* assemblage zone of Yamasaki (1987), the *Amphipyndax tylotus* interval zone of Hollis and Kimura (2001), and the *Archaeodictyomitra lamellicostata* zone of Hashimoto *et al.* (2015). Therefore, the depositional age of the Izumi Group in this district is estimated to be early Late Campanian, Late Cretaceous.

**Keywords:** radiolaria, biostratigraphy, marine, mudstone, Cretaceous, Campanian, Takikubo Formation, Izumi Group, Shikoku

### 要 旨

四国西部の観音寺地域かんおんじに分布する和泉層群から採取した泥岩について放射虫化石分析を行った。全19試料を処理したうち、14試料から放射虫化石を得た。多くの試料が *Dictyomitra koslovae* や *Amphipyndax tylotus* を含むと同時に、*Clathrocyclas tintinnaeformis*, *Mylocercion acineton*, *Clathrocyclas gravis* を含まないことから、山崎(1987)の *Amphipyndax tylotus* 群集帯(AT群集帯)、Hollis and Kimura (2001)の *Amphipyndax tylotus* 間隔帯(At間隔帯)及び Hashimoto *et al.* (2015)の *Archaeodictyomitra lamellicostata* 帯(AI帯)に対応する。このことから、本地域における和泉層群の堆積年代は後期白亜紀の後期カンパニアン期の前期と推定される。

### 1. はじめに

四国から紀伊半島にかけて分布する上部白亜系の和泉層群は砂岩泥岩を主体とする浅海成～深海成堆積物であり、アンモナイトやイノセラムスなどの大型化石によって東ほど若い堆積年代を示すとされている(例えば、須鎗, 1973; 坂東・橋本, 1984)。しかし、大型化石の産出地点は和泉層群の北縁相の分布域に偏っており、分布

の大部分を占める主部相には少ない(坂東・橋本, 1984)。四国東部の讃岐山脈西縁に位置する観音寺地域は北縁相の分布域が限られており、堆積年代を決定づける大型化石が産出していない地域であることから、放射虫化石分析は堆積年代の決定に有効な手段となる。四国東部の和泉層群における放射虫化石分析は山崎(1987)や Hashimoto *et al.* (2015)によって既に報告されているが、観音寺地域内における分析地点数は多くない。本報告の目的は、観音寺地域の和泉層群から産出した放射虫化石を報告するとともに、既存の放射虫化石群集帯と比較し、堆積年代の決定に資するデータを提供することである。

山崎(1987)は四国及び淡路島西部における和泉層群の放射虫化石群集を検討し、下位より *Dictyomitra koslovae* (DK)群集帯・*Amphipyndax tylotus* (AT)群集帯・*Pseudotheocampe abschnitta* (PA)群集帯を提唱した。AT群集帯は、*Amphipyndax pseudoconulus* (山崎, 1987では *Amphipyndax enesseffi*)及び *A. tylotus*の初産出層準で下限が規定され、*D. koslovae*の最終産出層準で上限が規定されている。特に *A. tylotus*の初産出層準は、上部カンパニアン階の同時面として国際対比に有用な層準とされている(Foreman, 1977, 1978; Sanfilipo and Riedel, 1985; 山崎, 1987; 竹谷, 1995; 小城ほか, 2011)。PA群集帯は、*P. abschnitta*が多産し、*D. koslovae*が全く産出せず、

<sup>1</sup> 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)

<sup>2</sup> 新潟大学大学院 自然科学研究科 (Graduate School of Science and Technology, Niigata University)

\*Corresponding author: A. Noda, Central 7, 1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: a.noda@aist.go.jp

*Dictyomitra duodecimcostata*もほとんど産出しないとされる。

Hollis and Kimura (2001) は日本の上部白亜系放散虫化石帯を整理し, *A. tylotus* の初産出層準にて下限が, *D. koslovae* の最終産出層準で上限が定義される *Amphipyndax tylotus* 間隔帯 (At 間隔帯) を提唱した。彼らは本帯を上部カンパニアン階に対比している。

最近, Hashimoto *et al.* (2015) は四国西部から紀伊半島にかけての和泉層群の放散虫化石群集を再検討し, 山崎 (1987) の AT 群集帯を下位から *Archaeodictyomitra lamellicostata* 帯・*Clathrocyclas tintinnaeformis* 帯・*Stichomitra cechena* 帯に細分した。このうち, *Archaeodictyomitra lamellicostata* 帯 (A1 帯) は, その下限を *Amphipyndax pseudoconulus*, *Amphipyndax tylotus*, *P. abschnitta* の出現層準とし, 上限を *Clathrocyclas tintinnaeformis* と *Cryptamphorella conara* の出現層準とした。アンモナイト化石の産出層準との対比から, それらの化石帯は下位より後期カンパニアン期の前期・後期カンパニアン期の後期・後期カンパニアン期の後期とされている (Hashimoto *et al.*, 2015)。また, 下限を *Myllocercion acineton*, *Theocampe daseia* 及び *Lithomelissa heros* の初産出にて定義される *Myllocercion acineton* 帯 (Ma 帯: 最末期カンパニアン期) を設定し, 山崎 (1987) の PA 群集帯の下半に位置づけている。

本地域の和泉層群は北縁相の引田層 (白亜紀花崗岩類を不整合に覆う礫岩及びその上位の厚い塊状砂質泥岩) 及び主部相の滝久保層 (砂岩泥岩互層を主体とし, 珪長質凝灰岩を含む) から構成される (Yamasaki, 1986; 松浦ほか, 2002)。

## 2. 分析方法

本地域に分布する北縁相の引田層及び主部相の滝久保層 (松浦ほか, 2002) から全 29 試料を採取し, そのうち 19 試料について分析を行った。分析した試料の採取位置と岩相を第 1 図と第 1 表に示す。放散虫化石の抽出処理は, 岩石試料を水により洗浄した後, ポリピーカーに移し約 5% のフッ化水素酸溶液を満し 10–20 時間程度浸した。試料を水洗しながら目の開き 63  $\mu\text{m}$  のステンレス篩を用いて, 残渣試料を回収する作業を 3 回繰り返した。残渣試料をガラスピーカーに移し, エタノールにて洗浄した。その後, クリーニング (粘土分・有機物除去) のために混合酸 ( $\text{NaCl}:\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{O} = 1:1:1$ ) を適量加え, 10–30 分間煮沸した。回収した残渣は水洗後, 乾燥させ, 実体顕微鏡下で放散虫化石の有無を確認した。放散虫化石は, マウントに載せて SEM 観察と写真撮影を行い, 可能なものは化石種を同定した。以上の放散虫化石の抽出と同定は NPO 法人ジオプロジェクト新潟が行った。なお, 放散虫化石を産出した 14 試料について

は, 地質調査総合センター地質標本館に標本登録 (GSJ R109138–R109151) を行っている。

## 3. 結果

全 19 試料を処理したうち, 14 試料から放散虫化石を得ることができた (第 2 表)。以下, 化石が産出した 14 試料について記載する。

### ID 26 [GSJ R109144]

本試料からは, *D. koslovae*, *Dictyomitra multicostata*, *Dictyomitra urakawensis*, *Amphipyndax tylotus*, *Amphipyndax* sp., *Amphipternis stocki* (山崎, 1987, Hollis and Kimura, 2001 及び Hashimoto *et al.*, 2015 の *Amphipyndax stocki*. O'Dogherty *et al.*, 2009 によって属名が変更された), *Stichomitra* spp., *Pseudoaulophacus* cf. *floresensis* 及び *Archaeospongoprimum hueyi* Group が得られた (図版 1)。これらの種の中でも, 特に *D. koslovae* と *A. tylotus* の産出に基づけば, 山崎 (1987) の AT 群集帯, Hollis and Kimura (2001) の At 間隔帯, Hashimoto *et al.* (2015) の A1 帯に相当する。

### ID 60 [GSJ R109145]

本試料から得られた放散虫は, 個体数が少ないものの, *Archaeodictyomitra* sp., *Amphipternis stocki*, *Stichomitra* sp. 及び *Archaeospongoprimum hueyi* Gr. が同定された (図版 1)。

年代を詳細に限定できる種は確認できなかったが, Hollis and Kimura (2001) が Dk 間隔帯上部 (Dk2: カンパニアン階) の下限の定義に用いている *A. hueyi* Gr. が産出している。

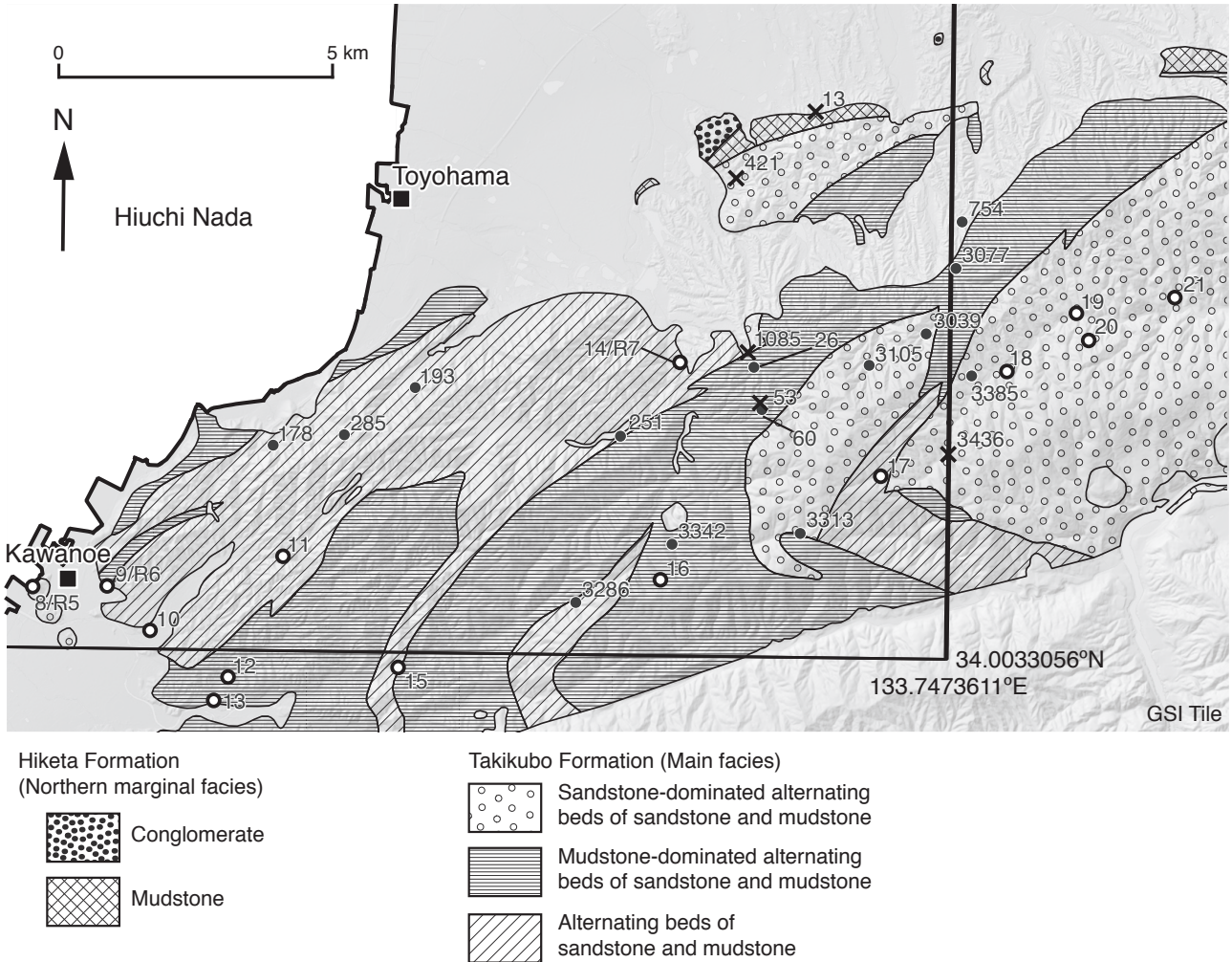
### ID 178 [GSJ R109140]

本試料からは, *D. koslovae*, *D. multicostata*, *Dictyomitra* sp., *Archaeodictyomitra* sp., *Amphipyndax pseudoconulus*, *Amphipyndax tylotus*, *Amphipyndax* spp., *Amphipternis stocki*, *Stichomitra* spp., *Afens liriodes* 及び *L. heros* が得られた (図版 1)。

本試料の群集には, *D. koslovae*, *A. pseudoconulus*, *A. tylotus* が含まれることから, 山崎 (1987) の AT 群集帯, Hollis and Kimura (2001) の At 間隔帯, Hashimoto *et al.* (2015) の A1 帯に相当する。

### ID 193 [GSJ R109141]

本試料からは, *Dictyomitra formosa*, *D. aff. koslovae*, *D. multicostata*, *Archaeodictyomitra* sp., *Amphipyndax* cf. *tylotus*, *Amphipyndax* sp., *Amphipternis stocki*, *Stichomitra asymbatos*, *Stichomitra* spp., *P. floresensis*, *Alievium gallowayi* 及び *Archaeospongoprimum hueyi* Gr. が得られた



第1図 試料採取地点の位置図。放射虫化石が産出した地点を黒丸で、産出なかった地点を×印で示した。試料採取位置の番号は第1表を参照。白丸は山崎(1987)と Hashimoto *et al.* (2015)の試料採取地点とその試料番号を示す。黒実線で囲んだ部分が5万分の1「観音寺」図幅の範囲。和泉層群分布域のみ20万分の1シームレス地質図(産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2015)による地質図を示してある。背景の陰影図は地理院タイル(色別標高図)を加工して作成。

Figure 1 Locality map of samples. Solid circles and crossed (×) marks indicate samples yielded radiolarian fossils or not, respectively. Numbers of sampling localities are shown in Table 1. Open circles with numbers show localities reported by Yamasaki (1987) and Hashimoto *et al.* (2015). Area of the Kan-on-ji district is bounded by thick lines. Geology of the Izumi Group is based on the Seamless digital geological map of Japan, 1:200,000 (Geological Survey of Japan, AIST, 2015). Background topography is modified from the colored relief map of GSI (Geospatial Information Authority of Japan) Tile data.

第1表 放散虫化石分析を行った試料の番号と位置. 緯度・経度は世界測地系.

Table 1 Numbers and localities of samples analyzed in this study. Longitude and latitude are based on WGS84.

ID	Sample no.	Longitude	Latitude	Lithology	GSJ Reg. No.	Plate No.
13	20091208-07a	133.7199697	34.0931413	Mudstone		
26	20091209-02a	133.7083663	34.0509607	Sandy mudstone	GSJ R109144	1
53	20091209-13a	133.7096902	34.0451025	Sandy mudstone		
60	20091209-15a	133.7100548	34.0440089	Tuffaceous mudstone	GSJ R109145	1
178	20091212-15a	133.6134364	34.0371008	Mudstone	GSJ R109140	1
193	20091213-02a	133.6414023	34.0468902	Mudstone	GSJ R109141	1
251	20091214-06a	133.6821404	34.0393343	Mudstone	GSJ R109143	2
285	20091214-25a	133.6274947	34.0389693	Mudstone	GSJ R109142	2
421	20091218-06a	133.7043948	34.0820416	Siliceous mudstone		
754	20100225-03a	133.7492313	34.0753198	Mudstone	GSJ R109138	2
1085	20100302-11a	133.7071327	34.0534093	Siliceous mudstone		
3039	20110302-08a	133.7423808	34.0568061	Mudstone	GSJ R109149	2
3077	20110302-23a	133.7481318	34.0676377	Mudstone	GSJ R109139	2
3105	20110303-13a	133.7311787	34.0515153	Mudstone	GSJ R109146	3
3286	20110306-10a	133.6737184	34.0118643	Mudstone	GSJ R109147	3
3313	20110308-06a	133.7179413	34.0236969	Mudstone	GSJ R109150	3
3342	20110309-03a	133.6926146	34.0216597	Mudstone	GSJ R109148	3
3385	20110310-02a	133.7514833	34.0499859	Mudstone	GSJ R109151	3
3436	20110310-28a	133.7470511	34.0370314	Mudstone		

(図版1).

本試料からは *D. aff. koslovae* と *A. cf. tylotus* が1個体ずつ得られているが、保存が悪いために年代を詳細に限定することは難しい。

#### ID 251 [GSJ R109143]

本試料からは, *D. koslovae*, *D. multicosata*, *Amphipyndax tylotus*, *Amphipternis stocki*, *S. asymbatos*, *Stichomitra* spp., *Pseudoaulophacus lenticulatus* 及び *Archaeospongoprimum hueyi* Gr. が得られた(図版2)。

これらのうち, 特に *D. koslovae* と *A. tylotus* が産出することから, 山崎(1987)のAT群集帯, Hollis and Kimura (2001)のAt間隔帯, Hashimoto *et al.* (2015)のA1帯に相当する。

#### ID 285 [GSJ R109142]

本試料からは, *D. koslovae*, *D. multicosata*, *Dictyomitra densicostata*, *Archaeodictyomitra squinaboli*, *Amphipternis stocki*, *Amphipyndax* spp., *Stichomitra* spp., *Theocampe altamontensis* 及び *L. heros* が得られた(図版2)。

これらの種は, 山崎(1987)によってDK群集帯に区分された試料から産出が報告されている。今回, *Amphipyndax* 属の殻構造を検討したが, *A. pseudoconulus* や *A. tylotus* は確認されなかった。野田ほか(2010)では新居浜地域の和泉層群新居浜層から本試料と同様の群集を

報告し, その年代を前期から中期カンパニアン期としている。

#### ID 754 [GSJ R109138]

本試料からは, *D. koslovae*, *D. multicosata*, *Archaeodictyomitra* sp., *Amphipyndax pseudoconulus*, *Amphipyndax tylotus*, *Amphipyndax* sp., *Amphipternis stocki*, *S. asymbatos*, *Stichomitra* spp., *L. heros*, *Alievium gallowayi* 及び *Archaeospongoprimum hueyi* Gr. が得られた(図版2)。

本試料の群集には *D. koslovae*, *A. pseudoconulus*, *A. tylotus* が含まれることから, 山崎(1987)のAT群集帯, Hollis and Kimura (2001)のAt間隔帯, Hashimoto *et al.* (2015)のA1帯に相当する。

#### ID 3039 [GSJ R109149]

本試料からは, *D. multicosata*, *Archaeodictyomitra* sp., *Amphipyndax tylotus*, *Amphipyndax* sp., *Amphipternis stocki*, *Stichomitra* spp., *Rhopalosyringium* sp., *L. heros*, *Lithomelissa amazon*, *Cornutella* sp. が得られた(図版2)。

本試料の群集は, *A. tylotus* を含み *P. abschnitta* を含まないこと(後述)から, 山崎(1987)のAT群集帯, Hollis and Kimura (2001)のAt間隔帯, Hashimoto *et al.* (2015)のA1帯に相当すると考えられる。*L. heros* については, 本種に極めて近縁な *L. amazon* が前期カンパニアン期に産出していることから, その進化的な初出現には検討の



第2表 産出した放射虫化石. 試料番号は第1図及び第1表に対応.

Table 2 Radiolarian occurrences in this study. Sample numbers correspond to those in Figure 1 and Table 1.

Specific name	Formation ID	Hiketa		Takikubo												
		754	3077	178	193	285	251	26	60 <sup>†</sup>	3105	3286	3342 <sup>†</sup>	3039	3313	3385 <sup>†</sup>	
<i>Alievium gallowayi</i> (White)		●			●						●					
<i>Amphipyndax pseudoconulus</i> (Pessagno)		●		●												
<i>Amphipyndax tylotus</i> Foreman		●		●			●	●		●	●			●	●	
<i>Amphipyndax</i> cf. <i>tylotus</i> Foreman					●											
<i>Amphipyndax</i> aff. <i>tylotus</i> Foreman			●													
<i>Amphipyndax</i> spp.		●		●	●	●		●						●		
<i>Amphipternis stocki</i> (Campbell and Clark)		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	
<i>Amphipternis</i> cf. <i>stocki</i> (Campbell and Clark)																●
<i>Archaeodictyomitra squinaboli</i> Pessagno						●										
<i>Archaeodictyomitra</i> spp.		●	●	●	●				●	●	●			●	●	
<i>Archaeospongoprimum hueyi</i> Pessagno Group		●			●		●	●	●	●	●				●	
<i>Dictyomitra koslovae</i> Foreman		●		●		●	●	●							●	
<i>Dictyomitra</i> aff. <i>koslovae</i> Foreman			●		●											
<i>Dictyomitra multicostata</i> Zittel		●	●	●	●	●	●	●		●	●	●		●	●	●
<i>Dictyomitra formosa</i> Squinabol					●											
<i>Dictyomitra densicostata</i> Pessagno						●										
<i>Dictyomitra urakawensis</i> Taketani								●								
<i>Dictyomitra</i> spp.				●								●		●		
<i>Lithomelissa heros</i> Campbell and Clark		●		●		●				●	●			●		●
<i>Lithomelissa amazon</i> Foreman															●	
<i>Stichomitra asymbatos</i> Foreman		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	
<i>Stichomitra</i> spp.		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	
<i>Afens liriodes</i> Riedel and Sanfilippo				●							●					
<i>Pseudoaulophacus floresensis</i> Pessagno					●											
<i>Pseudoaulophacus</i> cf. <i>floresensis</i> Pessagno																
<i>Pseudoaulophacus lenticulatus</i> (White)							●									
<i>Pseudotheocampe abschnitta</i> Empson-Morin									●							
<i>Theocampe altamontensis</i> (Campbell and Clark)						●										
<i>Rhopalosyringium</i> spp.										●	●			●		
<i>Cornutella</i> sp.											●			●		

<sup>†</sup> Samples yielded small numbers of radiolarian fossils

余地がある。筆者らは、*L. heros*の初産出を最後期カンパニアン期とする彼らの見解を現時点では慎重に扱うべきものと考えている。よって、報告では、本種の産出をもって Hashimoto *et al.* (2015)の Ma 帯に対比することは行わない。

#### ID 3077 [GSJ R109139]

本試料からは、*D. aff. koslovae*, *D. multicostata*, *Archaeodictyomitra* sp., *Amphipyndax* aff. *tylotus*, *Amphipternis stocki*, *S. asymbatos* 及び *Stichomitra* sp. が得られた(図版2)。

本試料の群集には *D. koslovae* や *A. tylotus* に似た種が含まれているが、群集区分の詳細を議論することは難しい。

#### ID 3105 [GSJ R109146]

本試料からは、*D. multicostata*, *Archaeodictyomitra* sp., *Amphipyndax tylotus*, *Amphipternis stocki*, *Stichomitra* spp., *P. abschnitta*, *Rhopalosyringium* sp., *L. heros*, *Afens liriodes*, *Alievium gallowayi* 及び *Archaeospongoprimum hueyi* Gr. が得られた(図版3)。

本試料において年代決定に有効な種は *A. tylotus* と *P. abschnitta* である。ただし、*P. abschnitta* はわずか一個体が確認されたのみであるため、山崎(1987)の PA 群集帯

の特徴には当てはまらない。群集の構成からは、山崎(1987)の AT 群集帯、Hollis and Kimura (2001)の At 間隔帯、Hashimoto *et al.* (2015)の A1 帯に相当すると考えられる。

#### ID 3286 [GSJ R109147]

本試料からは、*D. multicostata*, *Archaeodictyomitra* spp., *Amphipyndax tylotus*, *Amphipternis stocki*, *S. asymbatos*, *Stichomitra* spp., *T. altamontensis*, *Rhopalosyringium* sp., *L. heros* 及び *Cornutella* sp. が得られた(図版3)。

本試料では *A. tylotus* が得られているが、*P. abschnitta* は確認できなかった。よって、山崎(1987)の AT 群集帯、Hollis and Kimura (2001)の At 間隔帯、Hashimoto *et al.* (2015)の A1 帯に相当すると考えられる。

#### ID 3313 [GSJ R109150]

本試料からは、*D. multicostata*, *Dictyomitra* sp., *Archaeodictyomitra* sp., *Amphipyndax tylotus*, *Amphipternis stocki*, *Stichomitra* sp. 及び *Archaeospongoprimum hueyi* Gr. が得られた(図版3)。

本試料は *A. tylotus* が産出し、*P. abschnitta* が未産出であるため、山崎(1987)の AT 群集帯、Hollis and Kimura (2001)の At 間隔帯、Hashimoto *et al.* (2015)の A1 帯に相

当すると考えられる。

#### ID3342 [GSJ R109148]

本試料から得られた放散虫は、個体数が少なく、群集帯を詳細に限定できる種は確認できなかった。*D. multicosata*, *Dictyomitra* sp. 及び *Stichomitra* sp. が同定されている(図版3)。

#### ID 3385 [GSJ R109151]

本試料から得られた放散虫は、*D. multicosata*, *A. cf. stocki*, *L. heros*である(図版3)。得られた個体数が少なく、群集帯を詳細に限定できる種は確認できなかった。

## 4. まとめ

以上のことから、本地域における和泉層群の放散虫化石群集は、山崎(1987)のAT群集帯(下限は *A. pseudoconulus* と *A. tylotus* の出現層準, 上限は *D. koslovae* の最終産出層準), Hollis and Kimura (2001)のAt間隔帯(下限は *A. tylotus* の出現層準, 上限は *D. koslovae* の最終産出層準)及び Hashimoto *et al.* (2015)のA1帯(下限は *A. pseudoconulus*, *A. tylotus*, *P. abschnitta* の出現層準, 上限は *Clathrocyclas tintinnaeformis* と *Cryptamphorella conara* の出現層準)に区分される。Hashimoto *et al.* (2015)によれば、A1帯の年代は後期白亜紀の後期カンパニアン期の前期とされる。

## 文献

- 坂東祐司・橋本寿夫(1984)阿讃山地における和泉層群産アンモナイトとその生層序。香川大学教育学部研究報告, II, **34**, 1-16.
- Foreman, H. P. (1977) Mesozoic Radiolaria from the Atlantic Basin and its borderlands. In Swain, F. M. ed. *Stratigraphic Micropaleontology of Atlantic Basin and Borderlands*, Elsevier, 305-320.
- Foreman, H. P. (1978) Mesozoic Radiolaria in the Atlantic Ocean of the northwest coast of Africa, Deep Sea Drilling Project, Leg 41. In Lancelot, Y. *et al.* eds., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **41**, U.S. Government Printing Office, 739-761.
- Hashimoto, H., Ishida, K., Yamasaki, T., Tsujino, Y. and Kozai, T. (2015) Revised radiolarian zonation of the Upper Cretaceous Izumi inter-arc basin (SW Japan). *Revue de*

*Micropaléontologie*, **58**, 29-50.

- Hollis, C. J. and Kimura, K. (2001) A unified radiolarian zonation for the Late Cretaceous and Paleocene of Japan. *Micropaleontology*, **47**, 235-255.
- 小城祐樹・小松俊文・岩本忠剛・高嶋礼詩・高橋 修・西 弘嗣(2011)天草上島東部に分布する上部白亜系姫浦層群の層序と詳細な地質年代。地質雑, **117**, 398-416.
- 松浦浩久・栗本史雄・吉田史郎・斎藤文紀・牧本 博・利光誠一・巖谷敏光・駒沢正夫・広島俊男(2002)岡山及丸亀。20万分の1地質図幅, 産総研地質調査総合センター。
- 野田 篤・利光誠一・栗原敏之・岩野英樹(2010)愛媛県新居浜地域における和泉層群の層序と堆積年代。地質雑, **116**, 99-113.
- O'Dogherty, L., Carter, E. S., Dumitrica, P., Goričan, Š., De Wever, P., Bandini, A. N., Baumgartner, P. O. and Matsuoka, A. (2009) Catalogue of Mesozoic radiolarian genera. Part 2: Jurassic-Cretaceous. *Geodiversitas*, **31**, 271-356.
- Sanfilippo, A. and Riedel, W. R. (1985) Cretaceous Radiolaria. In Bolli, H. M., Saunders, J. B., and Perch-Nielsen, K. eds. *Plankton Stratigraphy*, Cambridge University Press, 573-631.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター(編)(2015)20万分の1日本シームレス地質図 2015年5月29日版。https://gbank.gsj.jp/seamless/seamless2015/2d/ (2016年8月1日確認), 産業技術総合研究所地質調査総合センター。
- 須鎗和巳(1973)阿讃山脈の和泉層群の岩相区分と対比。東北大学理科報告(地質)特別号, no. 6, 489-495.
- 竹谷陽二郎(1995)本邦上部白亜系の放散虫化石層序の再検討:特に国際対比上有効な層準について。地質雑, **101**, 30-41.
- Yamasaki, T. (1986) Sedimentological study of the Izumi Group in the northern part of Shikoku, Japan. *Science Reports of the Tohoku University, 2nd Series, Geology*, **56**, 43-70.
- 山崎哲司(1987)四国・淡路島西部の和泉層群の放散虫群集。地質雑, **93**, 403-417.
- ( 受 付 : 2016年5月25日 ; 受 理 : 2016年9月14日 )



- 図版1 観音寺地域の和泉層群から産出したカンパニアン期放射虫化石のSEM画像  
Plate 1 SEM images of Campanian radiolarians from the Izumi Group in the Kan-onji district.

**ID 26**

- 1: *Dictyomitra koslovae* Foreman  
2: *Dictyomitra multicostata* Zittel  
3: *Dictyomitra urakawensis* Taketani  
4, 5: *Amphipyndax tylotus* Foreman  
6: *Amphipternis stocki* (Campbell and Clark)  
7: *Stichomitra* sp.  
8: *Pseudoaulophacus* cf. *floresensis* Pessagno  
9: *Archaeospongoprimum hueyi* Pessagno Group

**ID 60**

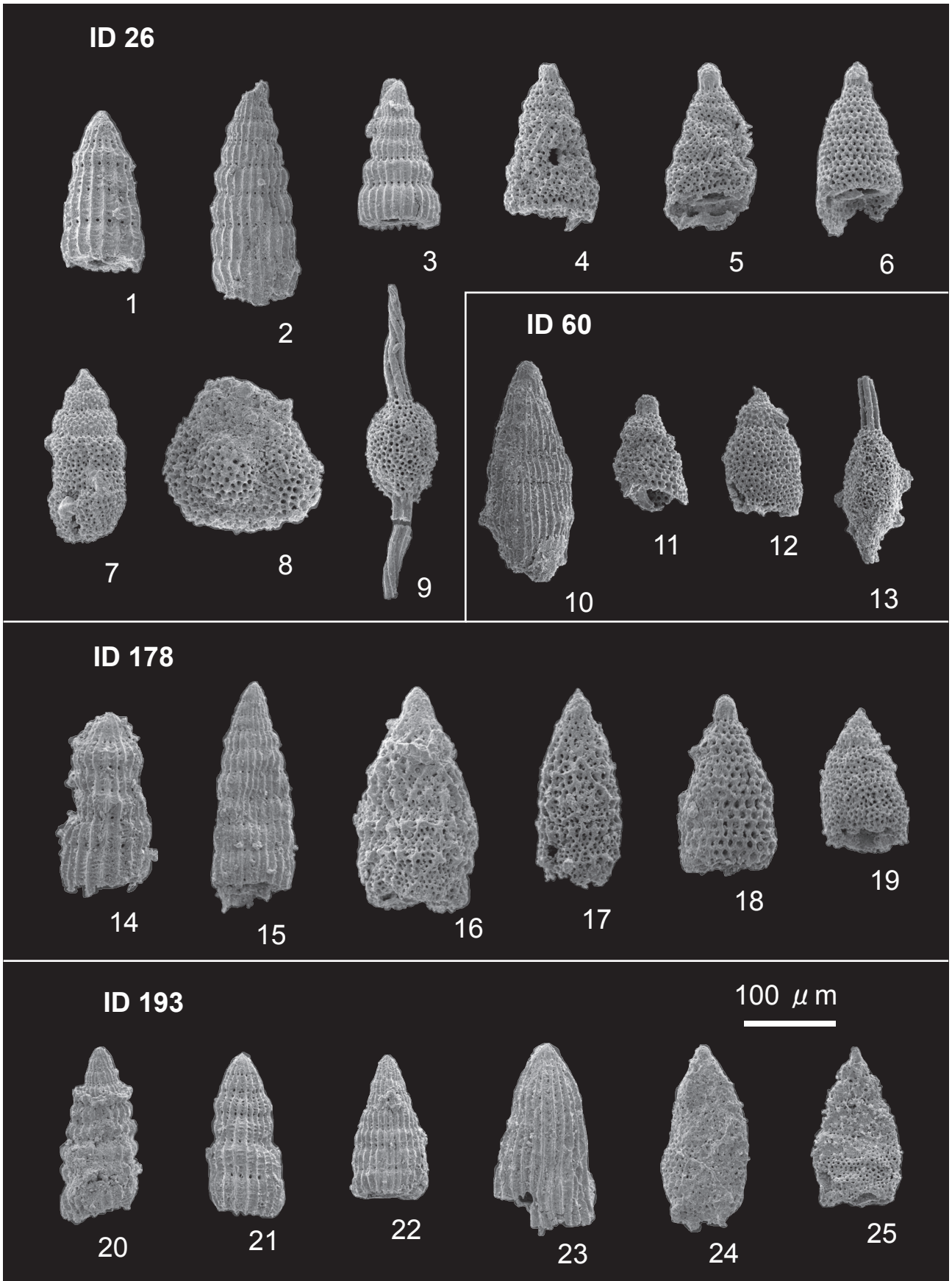
- 10: *Archaeodictyomitra* sp.  
11: *Amphipternis stocki* (Campbell and Clark)  
12: *Stichomitra* sp.  
13: *Archaeospongoprimum hueyi* Pessagno Group

**ID 178**

- 14: *Dictyomitra koslovae* Foreman  
15: *Dictyomitra multicostata* Zittel  
16: *Amphipyndax pseudoconulus* (Pessagno)  
17: *Amphipyndax tylotus* Foreman  
18: *Amphipternis stocki* (Campbell and Clark)  
19: *Stichomitra* sp.

**ID 193**

- 20: *Dictyomitra formosa* Squinabol  
21: *Dictyomitra* aff. *koslovae* Foreman  
22: *Dictyomitra multicostata* Zittel  
23: *Archaeodictyomitra* sp.  
24: *Amphipyndax* cf. *tylotus* Foreman  
25: *Stichomitra asymbatos* Foreman



- 図版2 観音寺地域の和泉層群から産出したカンパニアン期放射虫化石のSEM画像  
Plate 2 SEM images of Campanian radiolarians from the Izumi Group in the Kan-onji district.

**ID 251**

- 1: *Dictyomitra koslovae* Foreman
- 2: *Dictyomitra multicosata* Zittel
- 3: *Amphipyndax tylotus* Foreman
- 4: *Amphipternis stocki* (Campbell and Clark)
- 5: *Stichomitra* sp.
- 6: *Pseudoaulophacus lenticulatus* (White)
- 7: *Archaeospongoprimum hueyi* Pessagno Group

**ID 285**

- 8: *Dictyomitra koslovae* Foreman
- 9: *Dictyomitra multicosata* Zittel
- 10: *Dictyomitra densicostata* Pessagno
- 11: *Archaeodictyomitra squinaboli* Pessagno
- 12: *Theocampe altamontensis* (Campbell and Clark)

**ID 754**

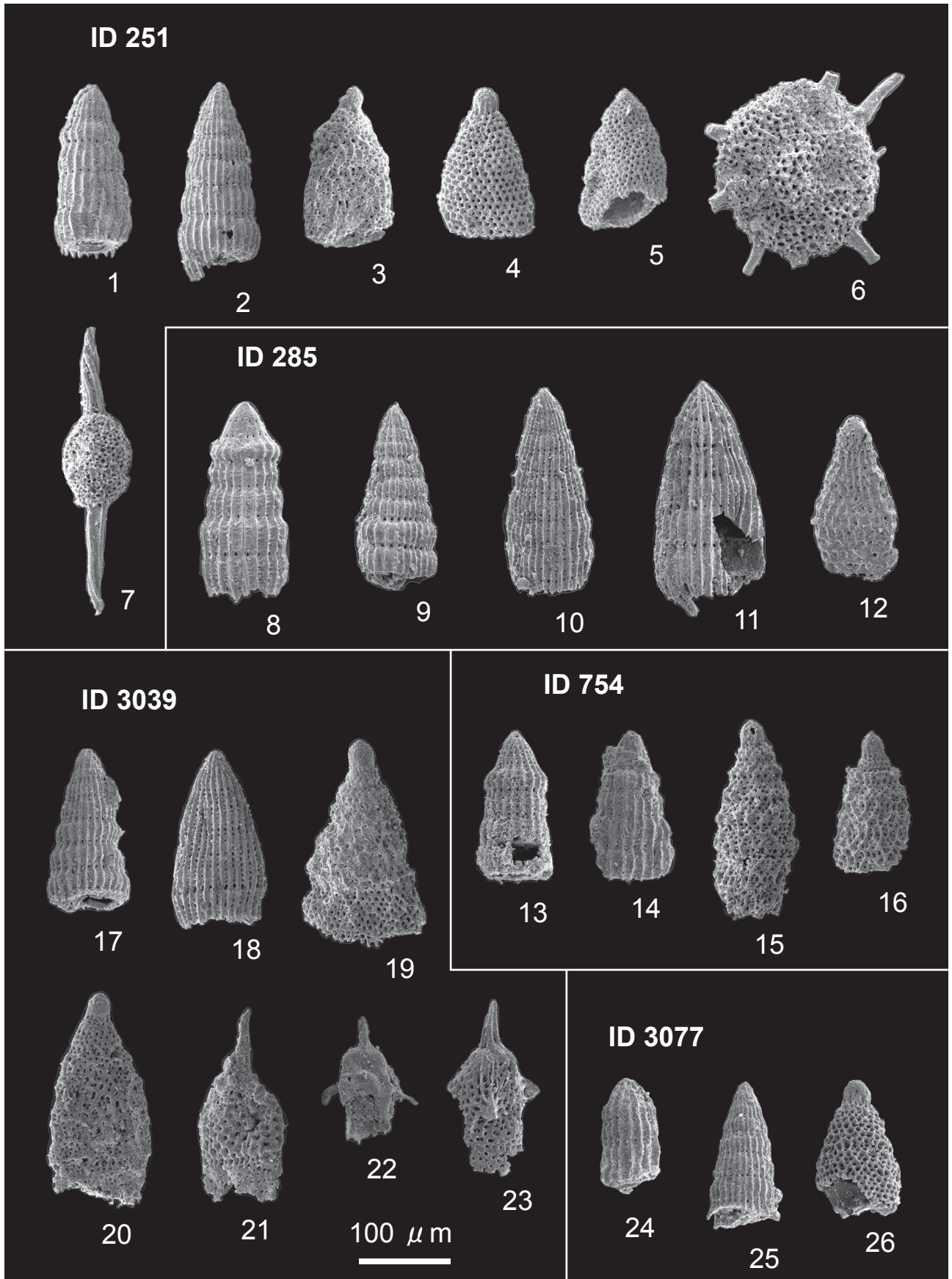
- 13: *Dictyomitra koslovae* Foreman
- 14: *Dictyomitra multicosata* Zittel
- 15: *Amphipyndax pseudoconulus* (Pessagno)
- 16: *Amphipyndax tylotus* Foreman

**ID 3039**

- 17: *Dictyomitra multicosata* Zittel
- 18: *Archaeodictyomitra* sp.
- 19, 20: *Amphipyndax tylotus* Foreman
- 21: *Rhopalosyringium* sp.
- 22: *Lithomelissa heros* Campbell and Clark
- 23: *Lithomelissa amazon* Foreman

**ID 3077**

- 24: *Dictyomitra* aff. *koslovae* Foreman
- 25: *Dictyomitra multicosata* Zittel
- 26: *Amphipyndax* aff. *tylotus* Foreman



- 図版3 観音寺地域の和泉層群から産出したカンパニアン期放射虫化石のSEM画像  
Plate 3 SEM images of Campanian radiolarians from the Izumi Group in the Kan-onji district.

**ID 3105**

- 1: *Dictyomitra multicostata* Zittel  
2, 3: *Amphipyndax tylotus* Foreman  
4: *Stichomitra* sp.  
5: *Pseudotheocampe abschnitta* Empson-Morin  
6: *Afens liriodes* Riedel and Sanfilippo  
7: *Lithomelissa heros* Campbell and Clark  
8: *Alievium gallowayi* (White)

**ID 3286**

- 9, 10: *Dictyomitra multicostata* Zittel  
11: *Archaeodictyomitra* sp.  
12: *Archaeodictyomitra* sp.  
13: *Amphipyndax tylotus* Foreman  
14: *Stichomitra* sp.  
15: *Theocampe altamontensis* (Campbell and Clark)  
16: *Lithomelissa heros* Campbell and Clark  
17: *Rhopalosyringium* sp.  
18: *Cornutella* sp.

**ID 3313**

- 19: *Dictyomitra multicostata* Zittel  
20, 21: *Amphipyndax tylotus* Foreman  
22: *Stichomitra* sp.

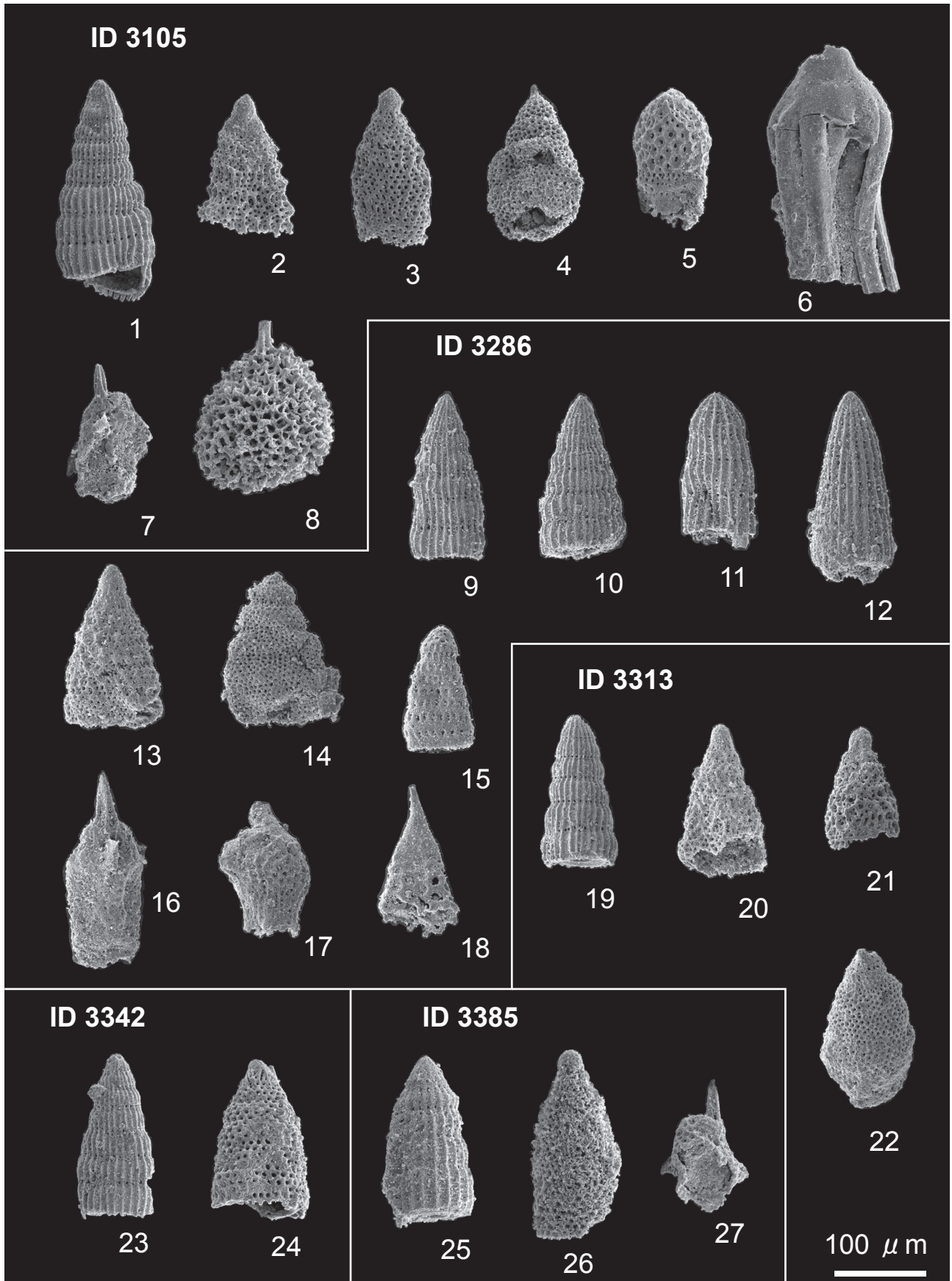
**ID 3342**

- 23: *Dictyomitra multicostata* Zittel  
24: *Stichomitra* sp.

**ID 3385**

- 25: *Dictyomitra multicostata* Zittel  
26: *Amphipternis* cf. *stocki* (Campbell and Clark)  
27: *Lithomelissa heros* Campbell and Clark







## 地質調査総合センター研究資料集

- |     |   |                             |
|-----|---|-----------------------------|
| 620 | 第12回水文学的・地球化学的手法による地震予知研究についての日台国際ワークショップ予稿集      | 謝 正倫・小泉 尚嗣・松本 則夫<br>編       |
| 621 | 第13回水文学的・地球化学的手法による地震予知研究についての日台国際ワークショップ予稿集      | 小泉 尚嗣・松本 則夫・謝 正倫<br>編       |
| 622 | 地質標本館2015夏の特別展ジオパークで見る日本の地質(ポスターデータ)              | 渡辺 真人                       |
| 623 | 産総研による貞観地震の復元                                     | 澤井 祐紀                       |
| 624 | 蛍光X線分析装置(地質調査総合センター鉱物資源研究グループ設置)による岩石化学分析の精度と測定限界 | 森田 沙綾香・高木 哲一・昆 慶明・<br>荒岡 大輔 |
| 625 | 北海道厚岸町における湿原堆積物の説明                                | 澤井 祐紀・田村 明子・黒坂 朗子           |
| 626 | 富士火山山頂部におけるテフラ層序記載                                | 山元 孝広・石塚 吉浩・高田 亮・<br>中野 俊   |
| 627 | 福岡県柳川市における産業技術総合研究所ボーリングの柱状図                      | 松浦 浩久                       |
| 629 | 吸気フィルタの火山灰目詰試験                                    | 山元 孝広・古川 竜太・奥山 一博           |
| 630 | 西暦869年貞観地震の復元                                     | 田村 明子・澤井 祐紀・黒坂 朗子           |
| 631 | 浅間火山におけるプリニー式噴火時の降灰評価                             | 山元 孝広                       |
| 632 | 支笏カルデラ形成噴火のマグマ体積                                  | 山元 孝広                       |
| 634 | ウラン-鉛年代データ解析のためのPythonスクリプト                       | 野田 篤                        |
| 635 | 大山倉吉テフラの降灰シミュレーション                                | 山元 孝広                       |

地質調査総合センターの最新出版物

---

5 万分の 1 地質図幅	茂原・母島列島・新潟及び内野・播州赤穂
20 万分の 1 地質図幅	横須賀 (第 2 版)・大分 (第 2 版)・松山 (第 2 版)
200 万分の 1 地質編集図	No. 4 日本地質図 (第 5 版) No. 11 日本の火山 (第 3 版)
特殊地質図	No. 12 富士火山地質図 (第 2 版)
海洋地質図	No. 85 沖縄島北部周辺海域海洋地質図 (1:20 万) No. 86 室蘭沖表層堆積図 (1:20 万) No. 87 金華山沖表層堆積図 (1:20 万)
鉱物資源図	No. 7 南西諸島 (1:50 万)
構造図	No. 14 全国主要活断層活動確率地図
火山地質図	No. 18 蔵王火山地質図 (1:2.5 万) No. 19 九重火山地質図 (1:2.5 万)
水文環境図	No. 9 富士山
空中磁気図	No. 46 養老断層地域高分解能空中磁気異常図 No. 47 富士火山地域高分解能空中磁気異常図
重力図	No. 30 徳島地域重力図 (ブーゲー異常) No. 31 京都地域重力図 (ブーゲー異常) S3 甲府地域重力構造図 (ブーゲー異常)
海外地球科学図	アジア地質図 (1:500 万) 中央アジア鉱物資源図 (1:300 万) アジア鉱物資源図 (1:500 万)
海陸シームレス地質図	S-4 海陸シームレス地質情報集「石狩低地帯南部沿岸域」
燃料資源図	FR-3 燃料資源地質図「関東地方」
土壌評価図	E-6 表層土壌評価基本図「茨城県地域」
数値地質図	G-16 20 万分の 1 日本シームレス地質図 DVD 版 G-17 九州地質ガイド GT-4 全国地熱ポテンシャルマップ S-2 海陸シームレス地質情報集「新潟沿岸域」 S-3 海陸シームレス地質情報集「福岡沿岸域」 V-3 口永良部島火山地質データベース P-2 日本重力データベース DVD 版 G20-1 20 万分の 1 数値地質図幅集「北海道北部」第 2 版 G20-2 20 万分の 1 数値地質図幅集「北海道南部」第 2 版
その他	日本の熱水系アトラス 海と陸の地球化学図 関東の地球化学図

---

地質調査研究報告編集委員会

委員長 鈴木 淳  
副委員長 田中 明子  
委員 石塚 治  
清水 徹  
昆 慶明  
高倉 伸一  
大谷 竜明  
長森 英明  
内野 隆之  
高橋 浩  
工藤 崇  
板木 拓也  
森尻 理恵  
加瀬 治

事務局

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

Bulletin of the Geological Survey of Japan Editorial Board

Chief Editor: Atsushi Suzuki  
Deputy Chief Editor: Akiko Tanaka  
Editors: Osamu Ishizuka  
Toru Shimizu  
Yoshiaki Kon  
Shinichi Takakura  
Ryu Ohtani  
Hideaki Nagamori  
Takayuki Uchino  
Yutaka Takahashi  
Takashi Kudo  
Takuya Itaki  
Rie Morijiri  
Osamu Kase

Secretariat Office

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

---

地質調査研究報告 第67巻 第4号  
平成28年10月18日 発行

国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
地質調査総合センター

〒305-8567  
茨城県つくば市東1-1-1 中央第7

---

Bulletin of the Geological Survey of Japan  
Vol.67 No.4 Issue October 18, 2016

**Geological Survey of Japan, AIST**

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

# BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 67 No. 4 2016

## CONTENTS

- Study on chemical composition of fluorescent opal specimens in the Shikaribetsu area, central Hokkaido  
Yutaka Kanai, Yoshiko Tachibana, Masahiro Aoki, Chizuko Okazaki, Yasuyuki Oppata, Naoki Mita and Hiroharu Matsueda ..... 101
- Iron removal from clayey weathered granite using magnetic separation and classification  
Yuki Tsunazawa, Sadahisa Sudo and Tetsuichi Takagi ..... 111
- Late Cretaceous radiolarian assemblages obtained from the Izumi Group in the Kan-onji district, eastern Shikoku, Japan  
Atsushi Noda and Toshiyuki Kurihara ..... 119