

# GSJ

地球をよく知り、地球と共生する

# 地質ニュース

2023  
**10**  
Vol.12 No.10



# 10月号

- 
- 279 **過去の地磁気の検出によりマンガンノジュールの回転を実証 —球状海底資源が深海底を転がり埋没せずに形成した過程を説明—**

小田啓邦・片野田 航・臼井 朗・村山雅史・山本裕二

- 
- 284 **付加体学事始め：黎明期における私的回想 第三部 発展期へ**

小川勇二郎

- 
- 293 **「地質情報展 2023 いわて—明日につなぐ大地の知恵—」開催報告**

金子翔平・穴倉正展・宮下由香里・利光誠一

- 
- 300 新人紹介 コンウェイ・クリストファー

ニュースレター「元地質調査所地殻熱部長 笹田政克氏が瑞宝小綬章を受章」

# 過去の地磁気の検出によりマンガンノジュールの回転を実証 — 球状海底資源が深海底を転がり埋没せずに形成した過程を解明 —

小田 啓邦<sup>1)</sup>・片野田 航<sup>1)2)</sup>・臼井 朗<sup>3)</sup>・村山 雅史<sup>2)3)</sup>・山本 裕二<sup>3)</sup>

本稿は、2023年4月18日に行ったプレス発表 ([https://www.aist.go.jp/aist\\_j/new\\_research/2023/nr20230418/nr20230418.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/new_research/2023/nr20230418/nr20230418.html)) を転載したものです。

## ポイント

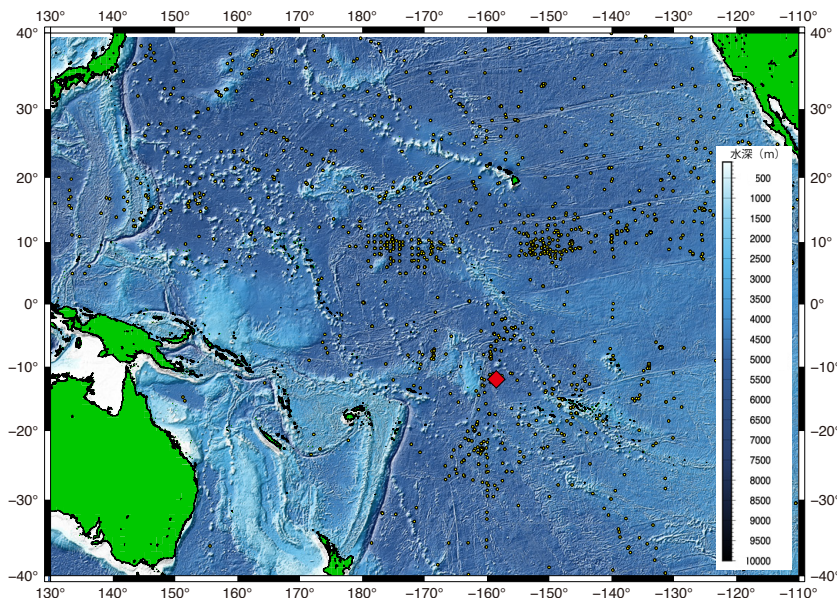
- マンガンノジュールに記録された過去の微弱な地磁気により、成長しながら回転していたことを実証
- 海洋深層流と海底地形がマンガンノジュールの回転に果たす役割、および回転が内部の酸化状態と微細構造に与える影響を評価
- 海底鉱物資源評価や海底深層流変動予測などへの貢献に期待

## 概要

国立研究開発法人産業技術総合研究所 (以下「産総研」と

いう) 地質情報研究部門地球変動史研究グループ小田啓邦 上級主任研究員と、国立大学法人高知大学 (以下「高知大学」という) 大学院生片野田 航, 臼井 朗教授, 村山雅史教授, 山本裕二教授は、南太平洋ペリリン海盆から採取されたマンガンノジュール (第1図) に記録された地球磁場を用いて、自然残留磁化方位から過去の姿勢を復元し、この試料がある回転軸の周りにゆっくり回転したことを示しました。

マンガンノジュールは、深海底で百万年に数 mm というゆっくりした速度で成長します (Verlaan and Cronan, 2022)。その形成時期は数百万年以上前であるにもかかわらず、その多くは堆積物表面に半分露出しています (Usui and Ito, 2004)。マンガンノジュールが完全に埋もれずに



第1図 (左) 太平洋の海底地形と試料採取地点 (赤四角)。黄色丸はマンガンノジュールがこれまでに確認された地点 (Dutkiewicz *et al.*, 2020)。 (右上) ボックスコーラーで採取されたマンガンノジュール。 (右下) 分析に用いたマンガンノジュール試料を上から撮影した写真 (白印は鉛直上向き)。

※原論文 (クリエイティブ・コモンズ・ライセンス CC-BY-NC) の図を引用・改変したものを使用しています。

1) 産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門

2) 高知大学大学院 総合自然科学研究科 農林海洋科学専攻 〒783-8502 高知県南国市物部乙200

3) 高知大学海洋コア国際研究所 〒783-8502 高知県南国市物部乙200

キーワード：海底鉱物資源、マンガンノジュール、走査型 SQUID (超伝導量子干渉素子) 顕微鏡、磁鉄鉱、海洋深層流、南太平洋、酸化状態、深海底、地磁気、残留磁化

堆積物表面に存在し続けることができる理由はこれまではっきりしていませんでした。本研究では、過去の地磁気記録を用いることにより、世界で初めてマンガンノジュールが形成過程で回転したこと、回転の原因や回転がマンガンノジュール内部の酸化状態と構造に与える影響を明らかにしました。なお、研究の詳細は、Oda *et al.* (2023) に発表しています。また、本稿の最後に用語解説をつけていますのでご参照ください。

## 開発の社会的背景

マンガンノジュールは、塊状で堆積物表面に分布し、マンガン・鉄のほか、ニッケル・銅・コバルトなどの有用元素を含むため、海底鉱物資源としての価値が高く注目されています。マンガンノジュールについては、国際海底機構の管理のもと、日本を始め各国が鉱区を設定し、探査活動などを行っています。本研究は、この海底鉱物資源として有用なマンガンノジュールの形成過程や形成場を解明するために行いました。

## 研究の経緯

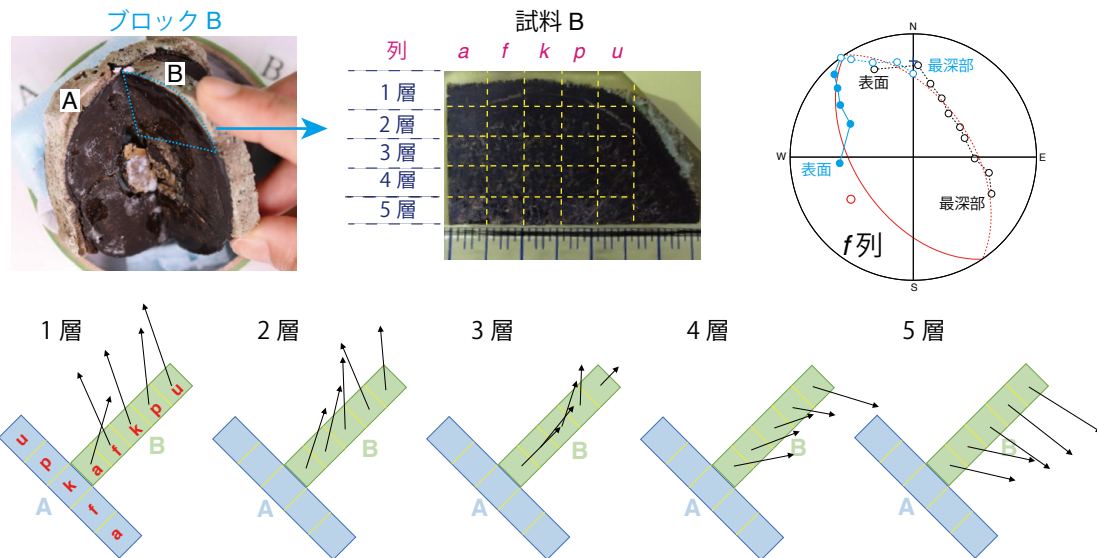
産総研地質調査総合センターは、その前身である工業技

術院地質調査所の頃から、海底鉱物資源を含めて、資源および資源開発の基礎的研究を行ってきました。深海底のマンガンノジュールの研究は、1972年度に開始され、1974年から1983年にかけては、調査船「白嶺丸」により中部北太平洋・南太平洋海域にて進められました(水野, 1982)。本研究では、1983年のGH83-3航海(Usui *et al.*, 1994)により南太平洋ペニン海盆で採取されたマンガンノジュール試料を用いています。

なお、本研究開発は、独立行政法人日本学術振興会の科学研究費補助金「琉球層群礁性石灰岩の古地磁気・岩石磁気分析による高分解能地球磁場・気候変動の復元(2020～2023年度)」および「磁気顕微鏡による地球内核形成前後の地球磁場復元と地球生命史への影響の解明(2021～2024年度)」により実施しました。

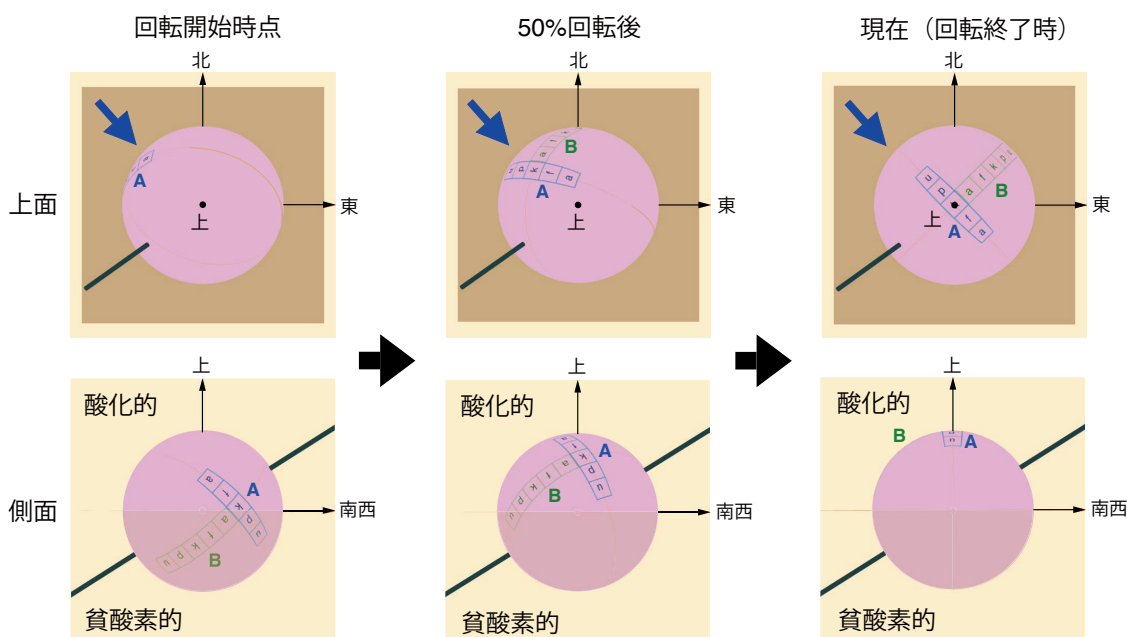
## 研究の内容

マンガンノジュールに記録された過去の微弱な地磁気の研究には、超伝導量子干渉素子を用いた岩石磁力計を用いました。マンガンノジュール表面の試料が記録する自然残留磁化方位は、現在の地球磁場方位と一致することが示されました。一方で、マンガンノジュールに記録された自然残留磁化方位は、表面から中心部に向かって連続的に変化



第2図 (上段左) マンガンノジュールから直交する二つのブロック (A, B) を切り出しました。さらにブロック (A, B) の上部から試料 (A, B) を切り出し、五つの層と五つの列に切り分けました。試料Bの分割の様子について(上段中)に示します。試料Bは、五層それぞれをさらに上半分と下半分に分割しました。(下段) 右から左に向かって最深層(5層)から表層(1層)に、上半分の自然残留磁化方位(磁化方位)を矢印で示しました(上向きが北向き)。全て水平面よりも上方向で(伏角が負、南半球で正磁極期に対応)、矢印の長さが長いほど水平に近くなります。(上段右) f列の最深層から表層の磁化方位を等積投影図に表示しました(黒丸)。白抜き丸は水平面よりも上を示します。赤線は大円で帰させた結果で、赤丸は大円の極です。青丸は極の周りに磁化方位を回転させて中心に最も近い試料の磁化方位が北向きになるように復元したものです。

※原論文(クリエイティブ・コモンズ・ライセンス CC-BY-NC)の図を引用・改変したものを使用しています。



第3図 左から右に向かって回転開始時, 50% 回転後, 回転終了時のマンガンノジュールの姿勢の模式図になります。上の列は上面から見た図, 下の列は側面(上の列の青矢印の方向)から見た図になります。

※原論文(クリエイティブ・コモンズ・ライセンス CC-BY-NC)の図を引用・変更したものを使用しています。

すること, それらは大円上に乗ることが確認されました(第2図)。このことは, マンガンノジュールがこの大円の極の周りに回転し, それとともに磁化が連続的に記録されていったことを示します。

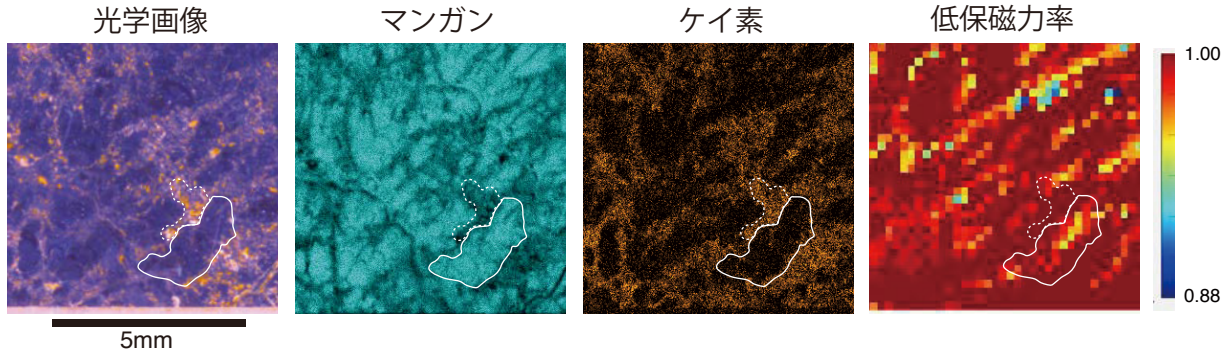
研究に用いたマンガンノジュールは, 南極から運ばれる酸素に富む海洋深層流(南極底層流)の影響を受ける深海底(第1図左図の赤四角)の小さな丘のふもとの緩やかな傾斜地点にあります。回転の原動力としては, (1) 深海底の底生生物による攪拌, (2) 深層流による水圧, (3) 斜面下向きへの重力などが考えられます。(1)は同じ方向に継続回転させることが困難, (2)の水圧では力不足です。傾斜が緩やかであるため, (3)の重力も不足しています。これら単独の力では説明が困難なため, (2)と(3)の組み合わせを要因として, 深層流下流側で堆積物が巻き上げられて除去されたために徐々に深層流下流側(北東傾斜方向)に回転移動したと考えました。

自然残留磁化方位から復元したマンガンノジュールの姿勢の時間変化を第3図に示します。回転によって, マンガンノジュール周辺の堆積物から上昇してくる側は, 海水(酸素に富む深層水)にさらされて, 堆積物に埋もれた貧酸素的環境から酸化的な環境に急激に変化したと考えられます。

低温磁性分析などから, マンガンノジュールには磁鉄鉱の粒子が含まれることがわかりました。また, 磁鉄鉱粒子は酸化されてマグヘマイトになっていること, 特にマンガ

ンノジュール中心部で強く酸化されていることが低温磁性に基づく特性値( $\Delta Mc$ ; Özdemir and Dunlop, 2010)からわかりました。いっぽう, ベリリウム同位体分析によって, マンガンノジュールの中心部の形成年代は800万年よりも古いことがわかりました。マンガンノジュールに77万年以前の逆磁極期の記録が残っていないことは, この試料が形成されたときに獲得された初生残留磁化が失われて, そのかわりに二次残留磁化が獲得されたと解釈できます。これらの状況から, 磁鉄鉱が酸素を多く含む南極底層流にさらされて低温酸化することによって二次残留磁化を獲得したと考えました。また, マンガンノジュールの回転は堆積物に富む領域と, 海水起源の水酸化マンガン・水酸化鉄に富む領域が混ざった層が全方位均等に成長する環境を作り出しているとも言えます。このことは, マンガンノジュールに含まれる元素分布にも影響を与えるため, 回転運動は海底鉱物資源の評価でも重要と考えられます。

マンガンノジュールの2種類の異なる領域については, 第4図で確認することができます。各図の白点線, 白実線で囲まれた部分は, それぞれ堆積物を多く含む領域と海水起源の水酸化マンガン・水酸化鉄を多く含む領域の代表例を示します。低保磁力率が高い領域は堆積物を多く含む領域と一致します。堆積物を多く含む領域は隙間が多く, 外から酸素に富んだ海水が通過する通路としての役割を果たします。海水が多く浸入したために, 磁鉄鉱からマグヘマ



第4図 マンガンノジュール試料(ブロック B)の中心部からやや外側の薄片試料分析結果です。左から右へ、光学画像、マンガンの分布、ケイ素の分布、低保磁力率の分布を示します。光学画像は光学スキャナー、マンガン・ケイ素の分布は蛍光X線スキャナー、低保磁力率は産総研と金沢工業大学および関連企業と共同開発した走査型 SQUID 顕微鏡を用いて取得しました。低保磁力率は、保磁力が低い(0.1 T (テスラ)以下)磁性鉱物の割合を示します。  
※原論文(クリエイティブ・コモンズ・ライセンス CC-BY-NC)の図を引用・改変したものを使用しています。

イトへの酸化が完全に進み、二つの磁性層の間で発生する応力(ストレス)が解放されて保磁力が低くなったと考えられます。磁鉄鉱の場合、内部の応力が高くなると保磁力が高くなることが知られています。

#### 今後の予定

今後は、マンガンノジュールの回転運動の普遍性について、同じ海域の別の試料や異なる海域の試料について検証します。また、マンガンノジュール内部の酸化状態と構造への回転の影響、成長過程の詳細を解明し、海底鉱物資源評価、海洋深層流変動などの地球環境予測に貢献します。

#### 文献

- Dutkiewicz, A., Judge, A. and Müller, R. D. (2020) Environmental predictors of deep-sea polymetallic nodule occurrence in the global ocean. *Geology*, **48**, 293–297. doi:10.1130/G46836.1
- 水野篤行(1982)地質調査所における海洋地質研究の歴史と現況. 地質ニュース, no. 337, 57–69.
- Oda, H., Katanoda, W., Usui, A., Murayama, M. and Yamamoto, Y. (2023) Rotation of a ferromanganese nodule in the Penrhyn Basin, South Pacific, tracked by the Earth's magnetic field. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **24**, e2022GC010789. doi:10.1029/2022GC010789
- Özdemir, Ö. and Dunlop, D. J. (2010) Hallmarks of maghemitization in low-temperature remanence cycling of partially oxidized magnetite nanoparticles.

*Journal of Geophysical Research*, **115**, B02101.

- Usui, A. and Ito, T. (1994) Fossil manganese deposits buried within DSDP/ODP cores, Legs 1–126, *Marine Geology*, **119**, 111–136.
- Usui, A., Nohara, M., Okuda, Y., Nishimura, A., Yamazaki, T., Saito, Y., Miyazaki, J., Tsurusaki, K., Yamazaki, T., Harada, K., Lee, C.-W. and Fleming, P. (1994) Outline of the cruise GH83-3 in the Penrhyn basin, South Pacific. *Geological Survey of Japan Cruise Report*, no. 23, 1–17.
- Verlaan, P. A. and Cronan, D. S. (2022) Origin and variability of resource-grade marine ferromanganese nodules and crusts in the Pacific Ocean: A review of biogeochemical and physical controls. *Geochemistry*, **82**, 125741.

#### 用語解説

##### マンガンノジュール (マンガン団塊)

深海底でゆっくりと成長する球状の凝結塊。コア(中心核)の周りに同心円状に水酸化マンガンと水酸化鉄が層状に凝結した物質で、コアは、微化石の殻やサメの歯、玄武岩や既に形成された別のノジュールの破片などです。大きさは直径 5 cm ~ 10 cm 程度が一般的で、顕微鏡でしか観察できない微粒子から最大で 20 cm 以上のものまであります。

##### 自然残留磁化

地層や岩石に含まれる磁性鉱物に記録される堆積時や岩石冷却時の地球磁場。火成岩の場合は、その中に含まれる磁性鉱物がキュリー温度(例えば磁鉄鉱  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  の場合は

585 °C)以下になると、その時の地球磁場の方向が自然残留磁化として記録されます。堆積岩の場合は、そこに含まれる磁性鉱物粒子が周辺の鉱物と接触したり圧密を受けたりして回転できなくなる時に地球磁場を記録します。マンガンノジュールの場合は、層状に成長する時にとり込まれる磁性鉱物が堆積岩と類似の原理で地球磁場を記録します。また、そこで成長する磁性鉱物の結晶の大きさが臨界値を超えるとときに地球磁場を記録することも考えられます。

### 国際海底機構

国連海洋法条約が「人類の共同の財産」と規定した深海底の鉱物資源の管理を主たる目的とし、1994年11月16日に設立された深海底における活動を組織し管理する国際組織。国連海洋法条約に基づいて、同条約のすべての締約国を構成国とする。英語名は International Seabed Authority (ISA)。

### 南極底層流

南極大陸を囲む南極海で発生する水塊。最も密度の高い水塊であるため、水深4000mで南極海とつながるすべての海盆で水深4000m以下に存在します。また、高い酸素含有量を持っているのが特徴です。英語名は Antarctic Bottom Water (AABW)。

### 磁鉄鉱

酸化鉄鉱物の一種で化学組成は  $Fe_3O_4$ 。自然界に広く分布し、強い磁性を示します。純度の高い磁鉄鉱では125 Kでフェルベール点 (Verwey Point) として知られる磁気相転移点を確認されます。英語名は magnetite。

### マグヘマイト

酸化鉄鉱物の一種で化学組成は  $\gamma-Fe_2O_3$ 。強い磁性を示します。自然界では海水中などで磁鉄鉱から鉄イオン ( $Fe_2^+$ ) が溶け出して低温で酸化して生成します。磁気テープやハードディスクの主要な記録媒体などとして用いられてきました。英語名は maghemite。

### 初生残留磁化・二次残留磁化

地層が形成されたときに獲得された自然残留磁化を初生残留磁化、その後の加熱・変質などで獲得された磁化を二次残留磁化と呼びます。

### 超伝導量子干渉素子

英語名は Superconducting Quantum Interference Device (SQUID)。超伝導状態で作動する量子効果に基づく磁気検出素子で、微弱な磁場を測定するのに使用されます。

### 正磁極期・逆磁極期

地球磁場は地球の中心に置かれた棒磁石で近似でき、北極が磁石のS極に対応し、方位磁石のN極が北を指します。地球磁場がこれと同じ方向を向いた時期を正磁極期と

いいます。77万年前に最も新しい地球磁場逆転が起こりました。その直前は北極が磁石のN極に対応し、方位磁石のS極が北を指していました。この時期を逆磁極期といいます。正磁極期の磁場は、北半球では水平面より下向き(伏角が正)、南半球では水平面より上向き(伏角が負)となります。

### 同位体分析

各種元素の同位体存在量や同位体比を求める分析。半減期がわかっている放射性同位体の同位体分析を行うことにより、地質試料の年代を推定できます。今回の研究では、大気中で宇宙線により生成される質量数10のベリリウム同位体を分析しました。

### 蛍光X線スキャナー

試料表面にX線を照射し、発生する特性X線を用いて試料に含まれる元素の検出を行い、面的情報として図示する分析装置。英語名は X-ray fluorescence scanner。

### 走査型 SQUID 磁気顕微鏡

微小な検出コイルと SQUID 素子を磁気センサーとして用い、試料表面のごく近くの微弱な表面磁場の分布を顕微鏡スケールで描画できる装置。地質試料が発生する微弱な磁場を検出する目的のほかに、半導体や超伝導物質の分析、機械部品の亀裂確認を目的とした非破壊検査などにも用いられます。

### 保磁力

磁化された磁性体を磁化されていない状態に戻すために必要な反対向きの外部磁場の強さを指します。外部磁場の単位は磁気工学分野ではアンペア毎メートル [A/m] を用いますが、岩石磁気分野ではテスラ [T] を用います。1 T =  $0.7958 \times 10^6$  A/m となります。英語名は Coercivity。

### $\Delta Mc$

常温 (300 K) で 5 T 程度の強磁場において試料 (磁鉄鉱あるいは酸化した磁鉄鉱を含む) を着磁させ、その後 10 K 程度の極低温まで冷却・加温のサイクル実験を行うことで得られる温度磁化曲線において、冷却前に対する加温後の 300 K における磁化の減少率。変化率は磁鉄鉱の酸化度と逆相関の関係にあります。磁鉄鉱が完全に酸化されてマグヘマイトになると、冷却・加温のサイクル前後の変化が無くなります (減少率 = 0)。詳しくは Özdemir and Dunlop (2010) を参照ください。

---

ODA Hirokuni, KATANODA Wataru, USUI Akira, MURAYAMA Masafumi and YAMAMOTO Yuhji (2023) Rotation of a ferromanganese nodule in the Penrhyn Basin, South Pacific, tracked by the earth's magnetic field.

---

(受付：2023年8月24日)

# 付加体学事始め：黎明期における私的回想

## 第三部 発展期へ

小川 勇二郎<sup>1)</sup>

### 1. バルバドス海嶺付加体での掘削研究

私の付加体研究は、第一部および第二部(小川, 2023a, b)で述べたように国際的な動向と並行して進展して来たのだが、国際深海掘削計画(DSDP-IPOD)が、グローマー・チャレンジャー号からジョイデス・レゾリューション号に代わってODPになる1980年代中頃から、世界の注目は次にどこで基本的プロセスとメカニズムを明らかにするかに集中した。各海域で予備調査を行っていた研究グループはおおよそ4, 5だったろう。日本の南海付加体は海陸相互の比較研究が可能ということで有利な状況にあった。これらの計画では音波探査断面の取得に続いて掘削によって試料を採取し、また同時にロギング(孔内計測)を行い孔内での様々な測定や実験を行うというものであった。水圧破碎法などによって水平面内での主応力軸の推定ができるようになると、一気に詳細で精度の高い研究ができるようになった。また音波探査も三次元となり、それにより詳細な海底地形図と内部構造との比較、それらの側方への追跡もできるようになった(倉本, 1994; Moore, G. *et al.*, 2007)。特に、上に述べたロギングの他にも、パッカーによる現場での間隙水圧の測定に基づく透水率の計測や主応力軸の推定も試みられた。こうして現世の付加体の海底下のさまざまな状態の測定が成功すれば、同時に行われる堆積物の変形組織や構造地質学的、地球化学的研究との対応の議論や具体的なテクトニクスの解明が可能になるはずであった。しかしこれらの深海掘削は国際的かつグループごとの大規模な計画であって、理想的な場合でのみ成果が得られるのであって、巨額な予算を投入して行われる国際深海掘削の故慎重に計画が練られた。

中村一明教授亡き後、海洋地質学・地球物理学の数名の若手が東京大学海洋研の平朝彦教授のもとに集まり、国際計画を協力して分担することになった。私はODPのテクトニクスパネルの委員を引き受け、1988年から年2回の掘削プロポーザルの検討委員会に5年間出席した。欧米各国の代表たちは非常な熱意でこの委員会で激論を戦わ

せた。私はJames Casey Moore教授に聞いた。今まで多くの成果を上げてきたので、貴殿のグループはずいぶんと余裕がある計画を立てられるねと。そうしたら返事は驚くべきものだった。いやアメリカでも我々の計画に賛成する人はそれほど多くはない。ほとんどの地質屋は大陸を研究していて海洋に興味のある人は少ない。海洋関連の人でも多くは環境や地史であって、またテクトニクスや地球物理の人も多くはプレート拡大海嶺に興味があって、沈み込み帯に興味のある人はマイナーだというのだ。なるほど合衆国では一部にしか現世の沈み込み帯はなく、現実味がないのだろうかと思ったものだ。それだけに彼と彼のグループは、大西洋プレートがカリブプレートへ沈み込む境界のバルバドス海嶺付加体(Barbados ridge accretionary prismとridgeをつけて呼ばれることが多い)の先端部分の掘削に集中した。Moore教授は見通しと熱意は一流だった。忍耐強く実験レグのプロポーザルを用意し、1979年のLeg78A(Moore, J. C., Biju-Duval *et al.*, 1982)の後、ODPの初期の1986年のLeg110で非常に良いコアリングを行った(Moore, J. C., Mascle, *et al.*, 1988)。私は、平朝彦教授の推薦を受け、二度目の掘削航海であったが、放散虫生層序学の宇都宮大学の酒井豊三郎教授とともに、このバルバドス海嶺付加体のLeg110に参加した(小川・石丸, 1989)。その後バルバドスでは1994年と1996年に実験を主としたLegs156と171が立て続けに行われ、試料の採取と実験・計測はほぼ成功した。成果はODPのInitial ReportとScientific Resultsに報告されている。また、基礎的な地質、特にバルバドス海嶺付加体を含めてそのほかの付加体でのコアの記載や1990年代までの変形組織研究は、Moore, J. C. (ed.) (1986)に、それらを含めて海底、陸上の多くの付加体の構造地質学的と土質力学的な議論は、Maltman (ed.) (1994)にまとめられている。この間、私は1992年に筑波大学に異動した。

Leg110の成果としての酒井豊三郎教授の放散虫の化石帯に基づくスラストシートの繰り返しは、Leg156でも補強され詳細に判明し、付加体先端の構造的な発達史が詳し

1) 筑波大学名誉教授 〒300-2358 茨城県つくばみらい市陽光台

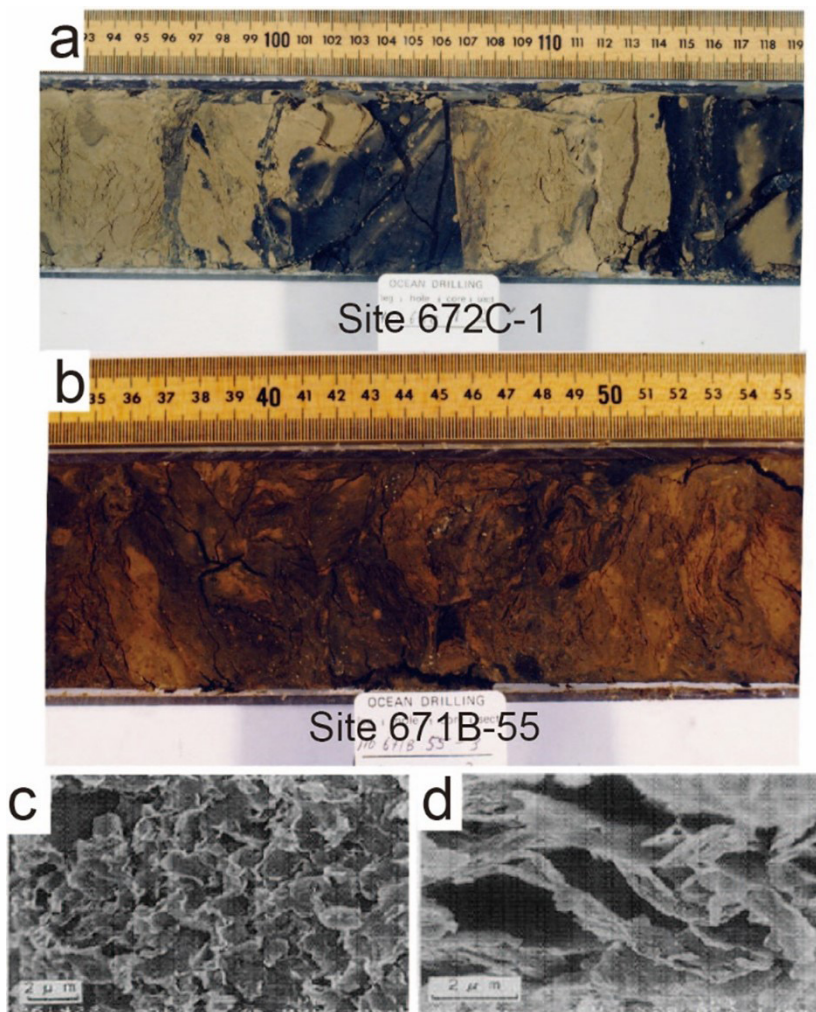
キーワード：バルバドス海嶺付加体、日仏KAIKO計画、潜水調査、掘削技術、間隙水圧、流体移動、変形特性、観察の重要性、タイプロカリティ



く解明された。古地理的発達やカリブプレートの東進によるテクトニックな意義なども含めて、私がコチーフの一人として参加した Leg156 の成果を含めて総合的には以下のようにまとめられる (Westbrook, 1982; Brown and Westbrook, 1987; Behrmann *et al.*, 1988; Labaume *et al.*, 1997; DiLeonardo *et al.*, 2002; 小川・石丸, 1989; 山縣・小川, 1989; 小川・久田, 2005)。すなわち、1) 大西洋側の大洋底およびアンティル海溝にたまった南米アマゾン川とオリノコ川に由来する砂質ないし泥質タービダイトやチャンネル堆積物が、古第三紀から順次付加し続け、2) 現在の付加体の少なくとも 12 km の幅の先端部分は放散虫に富む中新世の粘土質堆積物に沿って長距離すべり、そこに最大厚さ 30 m のデコルマンゾーンを形成する。3) それから派生するスラストによって中新世以上の地層が複数回繰り返し、断層面に沿って泥ダイアピルが発生し、海底には総計 450 個以上の泥火山が発達する。4) さらに先端から約 20 km 陸方では古第三紀の同様な堆積物上のすべり面もあって、デコルマンゾーンは陸方へ次第にステップダウンしている。5) それらの古第三紀と中新世以降の堆積

物は先端で低角なスラストで繰り返す(オフスクレイピング; 剥ぎ取り)だけでなく、6) 陸方で序列外スラスト (out-of-sequence thrust; OOST) と呼ばれるより低角の断層でもう一度繰り返し、古第三紀層も含めた二重三重に重なるナップ構造をとる。7) またデコルマンゾーン周辺には大小のデュプレックスが形成されてアンダープレイティング(底付け)が行われている、などである。

この中で、流体移動で重要な働きをしているのは、デコルマンゾーンでの特徴的なスケーリークレイや stratal disruption と呼ばれるリーデルシア(ずれ変形ゾーン内部の剪断割れ目)による変形部分である。前者における高間隙率の組織をもつ部分に沿ってメタンに富む流体が選択的に流れている。それは元来多孔質の放散虫や間隙率の大きい粘土質堆積物の組織が破壊されたために(第1図)、高い間隙水圧と高い勾配が発生し、それゆえ内部摩擦がほとんど無視できるほどになったためすべりやすく、かつ流体移動の場にもなると説明された (Moore, J. C. and Byrne, 1987; Moore, J. C., 1989; Moore, J. C. *et al.*, 1991; Labaume *et al.*, 1997)。スケーリークレイの実態はそれま



第1図 バルバドス海嶺付加体の先端部のそれぞれ Site 672 (変形前線の約 5 km 沖合)、671 (変形前線の約 3 km 陸側) の中新世の放散虫粘土岩のコア写真 (a, b) (筆者撮影、実際の色は、これに近い。小川未発表資料) と SEM 写真 (c, d)。a) は、全くシアを受けておらずマンガン酸化物が生じており、部分的に黒色を呈する。一方、b) はシアを受けてスケーリークレイとなっており、水酸化マンガンのコゲ茶色を呈する。下はそれぞれに対応する Leg156 の凍結乾燥法による試料の SEM 写真。左下のバーは 2 μm。c) のクレイフレイクは edge-edge ないし face-edge の非破壊のままの高間隙の状態である (672-C-1)。d) は、シアを受けてジョグができており高い間隙流体圧の故に高間隙のままとなっており、流体の通路たり得る。Takizawa and Ogawa (1999) による。(Elsevier 社からの転用許可済み)。

で乾燥によって二次的に変形した試料で調べられていたが、筑波大学の滝沢 茂博士らは軟弱堆積物の凍結乾燥法を開発し、初めてありのままの変形前後の組織を明らかにすることに成功した(Takizawa and Ogawa, 1999)(第1図c, d). Leg171 では間隙水圧と透水率の現場測定も試みられた。中新世のデコルマンのより下位にはオリノコ川由来の粗粒な砂岩もあり、そこにも西からの間隙水が流れているらしいということが推定された。こうして、James Casey Moore 教授をリーダーとする4回もの掘削航海によって、バルバドス海嶺付加体の具体的な実態が詳しく解明されたのである。

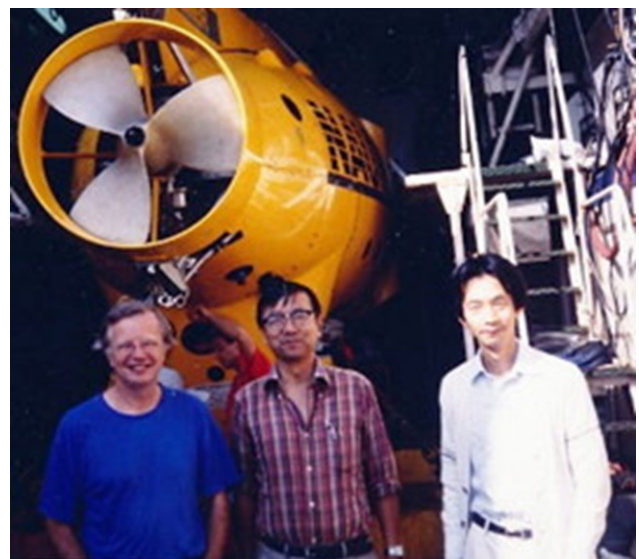
そのほかの地域では、たとえばオレゴン沖のカスカディア付加体や南海付加体でも掘削は行われたのであるが、依然としてより深い部分でのプロセスとメカニズム、たとえば巨大地震発生の際である沈み込むプレートの上面までは掘削は到達できていなかった。理由の一つはジョイデス・レゾリューションのコアリングは、パイプを海底にそのまま突き刺して掘削する裸掘りとも呼ばれるもので、砂岩の流動化や液状化、さらにスメクタイトを主とする粘土層の高間隙水圧によって掘削の先端の崩壊が起きやすく、それ以上掘削が続けられなくなるからでもあった。それを克服するには二重パイプでの掘削(ライザー掘削)が必要であった。これらの技術は陸上の掘削や海底下でも浅海での石油ガスの採取では普通に行われていることであったが、深海での技術を実現しそれを科学掘削に応用するには、特別な掘削船を必要としていた。それに関してはさまざまな議論があったが、結果的に日本の大型掘削船「ちきゅう」の建造と実行が図られた。南海付加体の掘削とその結果に関しては、平 朝彦氏の書物(地質学3, 岩波書店, 平(2004)), 木村 学氏の書物(東大出版, 木村 学(2002)), 木村 学・木下正高氏編著の書物(東大出版, 木村 学・木下(編)(2009), 木村 学ほか(2018)などに詳しい。

## 2. 日仏 KAIKO 計画

掘削研究が進展しつつある中、日仏両国で潜水船による日本周辺の高圧域の海底の目視観測と試料採集(日仏 KAIKO 計画)が計画実行された。これは陸上の地質調査の深海底版である。フランスは海洋国家である。パリ大学のちにエコールノルマル・シュペリユールの Xavier Le Pichon (グザヴィエ・ルピション)教授を先頭に日本周辺の沈み込み境界を大きく3地域に分けて、1984年の海底地形図とシングルチャンネル音波探査、それに1986年からの潜水船での一連の調査研究が行われた。予備調査を含め

ると3回のフランスの調査船と潜水船航海、3回の東海洋研究所の調査船の航海がなされた。またそれらの延長としての海洋科学技術センター(現海洋研究開発機構)の潜水船「しんかい6500」による調査も行われた。日仏 KAIKO 計画の成果は、1987年からの4冊の特集号(*Earth and Planetary Science Letters*, 1987; *Tectonophysics*, 1989; *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Paleoecology*, 1989; *Earth and Planetary Science Letters*, 1992; それぞれ, Le Pichon *et al.*, eds., 1987; Okada and Cadet, eds., 1989; Cadet and Uyeda, eds., 1989; Kastner and Le Pichon, eds., 1992)で集大成がなされたのだが、代表者の一人の小林和男教授のメタンの染み出しモデルはそれまでの海溝で起きている特徴的な脱水現象を端的にまとめたものだった(Kobayashi, 2002)。メタンの染み出しの証拠は化学合成生物群集と炭酸塩のセメンテーションであって、チムニー状のパイプも採集された結果(第2図)、炭素と酸素の同位体を用いたバクテリア起源の生物化学作用による硫酸還元とメタン酸化のモデルが解明された(Sakai *et al.*, 1992)。こうした生物地球化学的研究からは、海溝域での脱水作用は、化学合成生物群集と炭酸塩のセメンテーションとにほとんど1対1に対応していることもわかった。

フランスからの KAIKO 計画参加者の何人かは構造地質と地球物理の境界領域に興味をもつ意欲的な人々だった。そのうちの数名の大学院生が全国のいくつかの大学に留学



第2図 1986年の潜水艇ノチール号による潜航によって南海トロフの変形前線付近から、私が初めて石灰質のパイプを採集してきた直後に、研究を主導したルピション先生と小林和男教授とともに撮った記念すべき写真。試料の分析と議論は、Sakai *et al.* (1992)を参照のこと。

していたが、彼らは日本の若手研究者にかなりの影響を与えたようだった。今でも超丹波帯、ナップテクトニクスあるいは彼らの言うマイクロテクトニクスなどの研究は、日本の多くの地質研究者に記憶されている。彼らの大胆な発想、見事なまでのスケッチや想像図などは、さすが自由と芸術の国ならではのものだと私も感心した。

KAIKO 計画が終了した後の 1990 年秋、パリでのまとめのシンポジウムが行われた。その後現ソルボンヌ大学教授の Laurent Jolivet 博士の案内の下、日仏の総計 20 名ほどの地球科学者がフランスチームによって招待され、コルシカ島の 1 週間の巡検が行われた。日本からは初めて地質巡検に参加するという地球物理学や地球化学分野の研究者が多く、今でもその時の楽しさが語り草になっている。ここでは Jolivet 博士は景色や露頭の前で得意のスケッチをすらすらと描き、我々にコルシカ島が海没しそうなスイスアルプスの延長である、事実エクロジャイトを海岸近くで見ることができる、などを印象付けてくれた(第 3 図)。

こうして日仏 KAIKO 計画では、南海、駿河、相模の 3 トロフ、千島海溝、日本海溝および房総沖三重点などの主要な沈み込み境界で一連の研究が行われ、それは後の南海・東海計画を含め、はじめフランスの「ノチール」、のちに日本の「しんかい 6500」による潜水調査で一応の幕を閉じたのであるが、その後の小林和男教授のいくつかの航海や、海洋研究開発機構の航海でもそれらを補足する大きな成果が得られていた。そのうち私が関連したものとしては、日本海溝と房総沖三重点および、南海付加体のうち天竜海底谷と潮岬海底谷での基本的なデータの取得と潜水(有人および



第 3 図 1990 年秋のコルシカ島巡検で、変成岩露頭の前で得意のスケッチをすらすらと描き説明する Jolivet 博士。この方法は後に私も真似することになったが、絵と説明の上手さでははるかに後塵を拝する。後列左から 2 人目から、いずれも東京大学の飯山敏道教授、小林和男教授、酒井 均教授。

び無人)調査があげられる。それらのうち海溝海側と陸側斜面の地形、変形、岩石の産状などについては西太平洋海域とマリアナ海溝の例をも含めて、小川ほかの編著の書物(Springer 社, Ogawa *et al.*, eds., 2011)にまとめられている。これらの調査地域では、調査前の 1933 年に起きたアウターライズにおける昭和三陸地震津波や、調査直後に起きた 2011 年 3 月 11 日の東北沖巨大地震の二つの巨大地震と類似の、過去の地震活動で形成されたとと思われる地形変化、地質構造、地すべり堆積物、さらに房総沖三重点での大崩壊などがすでに観察され、議論されていた(Ogawa, 2011; Ogawa and Yanagisawa, 2011)。

### 3. 南海付加体の目視観察

その後、現山口大学の川村喜一郎教授を代表として、現徳島大学の安間 了教授らとともに南海付加体の潜水船による研究も行われた。これはまさに深海底を目視することによる現世深海底の付加体マッピング調査であった。我々は海洋研究開発機構の無人潜水艇「かいこう 10K」を用いた試験公開にも参加させてもらい、天竜海底谷の出口で新鮮な変位したばかりの断層露頭も見出していた。そこで露頭の直接観察とサンプリングが行える場所として天竜海底谷と潮岬海底谷に絞って計画を練った。採用されたプロジェクトは、2005 年と 2006 年に「しんかい 6500」による計 18 回の潜航となって実現した(Kawamura *et al.*, 2009)。我々は敷設されたケーブルを避けつつ、最大限の露頭選択を海洋研究開発機構の運航部、航海関係者、潜水チームやサポートの方々と共に試み、地形のスウォスマッピング(いわゆるマルチナロービームによるマッピング、多重の音波源を用いる地形図作成)や浅部の堆積層の詳細な構造がわかる 4 kHz subbottom profiling を併用しつつ調査を行った。強敵は黒潮であったが関係者の努力により、大きな成果が得られた。代表的な成果は、先の Ogawa *et al.*, eds. (2011)にも収められているが、そのほかにも Kawamura *et al.* (2009)と Kawamura and Ogawa (2018)にまとめられている。特に、天竜海底谷の東海スラストの周辺において何ステージもの複雑な面構造を持つ千枚岩質のサンプルを露頭から採集した。それが 230℃の変成・変形を受けており、急速な上昇と巨大海底地すべりによって、現在の付加体斜面に露出したと議論したことは特筆される(Kawamura *et al.*, 2011)。これは南海付加体からの最初の顕著な変成岩のサンプルであった。このようにこれらの潜航観察やその後の研究で分かった重要なことは、現在の南海付加体の先端部分が大小の褶曲スラスト構造で特徴づけられる一

方、海底地すべりや液状化、流動化などの未固結・半固結状態での変形を伴う大崩壊を起こしているということであり、それが巨大津波の原因にもなっているかもしれないと議論したことである (Kawamura and Ogawa, 2018; 小川・川村, 2020)。これらの現世の海底下の付加体の諸構造、特に地層の重複や断層伝播褶曲 (fault-propagation fold) は三浦・房総半島および姥島群島の新第三系の付加体の変形に非常に類似しており、露頭の状況や小構造は、この両者の付加体が、海と陸との間でほとんど 1 対 1 に対応する (Raymond *et al.*, 2019; 森・小川, 2021; Ogawa and Mori, S., 2021)。

#### 4. 将来展望

以上のように、付加体と海溝域の研究は、陸上地質と海洋地質の双方の調査研究の結果と、研究者同士の互いの協力と交流を通じて発展してきたといえる。陸上は主として過去のもののしかも比較的深いところの状況を示していたし、海洋は主として現在のプロセスとメカニズムを示していた。後者は手法的にも地質学だけでなく、地球物理学、地球化学、地球生物学などの知識と研究方法を総動員して行われてきた。今日では、これらは手法は異なっても、分野としては統合されたといってもよい。このような手法すべてが海溝テクトニクスの解明に必要であった。それによって、プレートの沈み込み境界たる海溝で行われている現象が現在から過去にまでつながるように思えた。たとえば北米における直近の大造山運動の一つであるコルディレラ造山運動は、かつて Dewey and Bird (1970) によって予想されたように、島弧海溝系の造山運動として意義づけられるとも思われた。しかし、一般の造山運動のうちのどこまでが付加体形成と海溝テクトニクスで語られるのか、すなわち沈み込みだけで造山運動ができるのか、そうではなく、大陸移動とその衝突を伴う大規模なプレートの動きやマントルの上昇などを含むより複雑なテクトニクスを必要としているのではないかの議論が、最近本場の北米コルディレラでの Johnston (2008), Hildebrand (2009, 2013) らの研究によって提唱されている。北米での議論は大きな盛り上がりを見せているようであるが (Hoffman, 2013), 決着はいまだしである。

すべての分野でも同じであるが、付加体や海溝研究においても、多くの研究手法がこの数 10 年間で急速に進展した。第二部で述べた放射虫革命や化学分析もそうであるが、碎屑性ザーコンの年代測定もしかりである。今やデータは洪水のようにあふれており、ひとつひとつの地域での

議論も複雑化し、またそれをまとめて広域、あるいはグローバルな議論をすることにもまた一般化することも、さらに斬新な発想と深い考察を必要としている。付加体・海溝研究はそこが海洋プレートの沈み込み個所であり、多くのものが集積し、また多くの現象が集中するところであるゆえに、最も重要なテーマの一つでもあり続けると思われる。その時に思い起こされるのは、全体、全域を通じての事象と現象についての観察の重要性である。すでに日仏 KAIKO 計画の前段階でのプレートテクトニクスの研究計画案のまとめにおいて、計画のリーダーの一人だった東大の飯山敏道教授は、特集号 (月刊地球, 3 巻, 7 号) のタイトルの副題に、いみじくも「観察の重要性」とつけた (飯山, 1981)。けだし名言であると思う。

小川・久田 (2005) は当時までの研究をまとめて付加体の紹介を試みた。付加体はどのように定義されるべきだろうか考えたが、定義のある現象なのか、それといくつかの要素が集まって結果として付加体が形成されるのだろうか悩んだ。付加体の認定と定義は別だろうが、定義もないことを論ずることもできない。私が海陸の研究を通じて学んだのは、「海洋プレートの沈み込み境界すなわち海溝に集積した、あるいはそこに持ちきたされた堆積物や岩石が、海溝テクトニクスで陸側にもたらされて褶曲スラスト帯を形成したものがすなわち付加体である」ということである。しかもそこに集積した堆積物は急速な堆積、埋没、変形を一気に受ける。それは脱水、高間隙水圧、重力か水頭による上下ないし側方への移動を伴う。ゆっくりした周期の偏差応力から地震時などの短い周期の振動による偏差応力までの種々の変形を受ける。特に、砂岩 (砂) と泥岩 (泥) は、偏差応力の周期によっては逆転する反応を受け、脆性と延性挙動が逆転する (Ogawa, 2019)。しかも海溝付加体の多くの地層はそうした変形を伴いつつ、主としてスラストによる側方短縮と重力作用による地すべりやダイアピルを同時に伴う (Ogawa, 2019; Ogawa and Mori, S., 2021)。それゆえ露頭で現在見られるあるいは現地で観測測定される事象が、そのようなものであると確実に言えば、付加体の特徴をもつものと言えらると思われる。つまり、海溝付加体は、急速な堆積、側方短縮変形、頻繁な巨大地震、地すべりなどの斜面崩壊などで特徴づけられるので、それらによる現象が復元された場合は、付加体と認定することができる。

それらの現象は、世界的に見ても、フランスカン・コンプレックス、サザンアプランス付加体、海底のバルバドス海嶺付加体、四万十付加体と海底の南海付加体および三浦・房総地域でとりわけよく観察される。この 6 地域こ

そ、付加体のタイプロカリティーであると言えるだろう。過去の付加体に関しては、本回想で述べたように、古地理的なあるいはプレートの沈み込み帯での特徴的な現象に関連した堆積物・岩石集積体の持つそれぞれのステージの現象を、各段階ごとに過去に戻しそれを逐一復元すること (palinspastic restoration) によって、付加体は初めて具体的に意義づけられるのではないか。その際、最も重要なことは、海陸の地球科学を同時に推し進めることであろう。

こうして 1970 年代後半に始められた付加体学は当初の海陸からの調査研究によって発展し、具体的な形成プロセスとメカニズム、それに付加体発達における流体移動やテクトニクス上の意義などが、2000 年前後までに急速に明らかにされていった。その間、本回想では詳しく述べることができなかつた以下のテーマも同時に行われてきた。筆者が関心を強く持ったものに限っても以下のようなものがある。1) 付加体(スラストウェッジ)形成のサンドボックス実験 (Noda *et al.*, 2020; Koge *et al.*, 2022; 高下・野田, 2020), 2) メランジュ岩体の形成メカニズムと堆積作用と構造作用の相互の関係を含むテクトニクス上の意義 (Festa *et al.*, 2019; Ogata *et al.*, 2019; Ogawa, 2019), 3) デコルマンゾーンの組織の変化と透水問題と土質力学試験の応用 (Knipe and Rutter, eds., 1990; Tarney *et al.*, eds., 1991; Ogawa, 2019), 4) 真三軸変形透水試験の付加体での流体移動への適用 (Ogawa and Vrolijk, 2005), 5) 付加体中の堆積直後の砂泥互層の変形問題と重力の役割 (Ogawa and Mori, S., 2021), 6) コルディレラ型造山運動と付加体形成の関係と日本列島の形成問題 (小川未発表資料), 7) 高圧変成岩の上昇問題 (Maruyama *et al.*, 1996; Iwamori, 2003), 8) 海溝巨大地震と巨大津波のプロセスとメカニズムへの海溝学の適用 (Kawamura and Ogawa, 2018; 丸山, 2020; 戎崎・丸山, 2020; 小川・川村, 2020), などである。これらにかかわるトピックスは現在も多く研究者によって精力的な研究が続けられているのは承知のとおりである。

## 5. まとめにかえて

以上、私がかかわった付加体研究の特に黎明期に出会った活躍した人々との交流に焦点を当てつつ、付加体学がどのように進展してきたかについて述べた。我が国でも戦前から多くの先駆的な発想があったことが分かる。中でも小沢儀明博士、小林貞一教授、大塚弥之助教授、小池清博士、久野久教授、都城秋穂教授らは、すでに現在考えられているのと類似の付加体あるいは海溝テクトニクスをイ

メージしていたと言ってよい。多くはプレートテクトニクスの科学的な発想と肉付けの行われ始めた 1960 年代から 1970 年代のはるか以前の研究であった。これらの日本の研究者の発想と業績はまさにプレートテクトニクスの黎明期の研究として最大限意義付けられる。さらに黎明期から発展期においては深海掘削事業と海溝域における研究計画を指導した奈須紀幸、小林和男、中村一明の三教授の役割は特筆すべきものと思われる。また初期のうちに大陸縁での大小構造の変形相のシリーズを明らかにし付加体の内部構造とほとんど同じ成果に到達していた木村敏雄教授と植村武教授、褶曲スラスト帯としての海溝付加体の概念を諸外国に先駆けて陸上の実地調査から示した勘米良亀齡教授を忘れてはいけない。我々もこれらの方々の上に乗っているのだと思われる。本回想で紹介したこれらの先駆者に、本論を終わるにあたって感謝とともに心から敬意を表したい。さらに近年世界各地の陸上でまた海洋観測や深海掘削でさまざまな変形の様相が観察されるようになった。それらは本文で紹介した方々と、東京大学大気海洋研究所 (旧海洋研究所) および海洋研究開発機構 (旧海洋科学技術センター)、産総研地質調査総合センター (旧地質調査所) の多くの方々に負うところが大きいことを記し、深甚の謝意を表したい。海外の研究者としては先駆者中の先駆者である Jeremy Leggett 博士、Roland von Huene 博士、および James Casey Moore 教授に心から感謝する。私の 50 年以上の地質学の学びの中で上に述べた方々以外からも多くのご教授を受けた。編集にあたって、産総研地質調査総合センターの宇都宮正志博士と小松原純子博士ほか編集委員会の方々にお世話になったことを記して感謝する。

## 文 献

- Behrmann, J. H., Brown, K., Moore, J. C., Mascle, A., Taylor, E., Alvarez, F., Andreieff, P., Barnes, R., Beck, C., Blanc, G., Clark, M., Dolan, J., Fisher, A., Gieskes, J., Hounslow, M., McLellan, P., Moran, K., Ogawa, Y., Sakai, T., Schoonmaker, J., Vrolijk, P., Wilkens, R. and Williams, C. (1988) Evolution of structures and fabrics in the Barbados Accretionary Prism. Insights from Leg 110 of the Ocean Drilling Program. *Journal of Structural Geology*, **10**, 577-591.
- Brown, K. M. and Westbrook, G. K. (1987) The tectonic fabric of the Barbados Ridge accretionary complex. *Marine and Petroleum Geology*, **4**, 71-81.

- Cadet, J. P. and Uyeda, S., eds. (1989) Subduction Zones: The KAIKO Project. *Tectonophysics*, **160**, 1–337.
- Dewey, J. F. and Bird, J. M. (1970) Plate tectonics and geosynclines. *Tectonophysics*, **10**, 625–638.
- DiLeonardo, C. G., Moore, J. C., Nissen, S. and Bangs, N. (2002) Control of internal structure and fluid-migration pathways within the Barbados Ridge decollement zone by strike-slip faulting: Evidence from coherence and three-dimensional seismic amplitude imaging. *Geological Society of America Bulletin*, **114**, 51–63.
- 戎崎俊一・丸山茂徳 (2020) 津波地震とは何か? Tsunami, Earth and Networking (TEN), *Journal of International Tsunami Disaster Prevention Society* (国際津波防災学会誌), **1**, 83–87.
- Festa, A., Pini, G. A., Ogata, K. and Dilek, Y. (2019) Diagnostic features and field-criteria in recognition of tectonic, sedimentary and diapiric mélanges in orogenic belts and exhumed subduction-accretion complexes. *Gondwana Research*, **74**, 7–30.
- Hildebrand, R. S. (2009) Did westward subduction cause Cretaceous-Tertiary orogeny in the North American Cordillera? *Geological Society of America Special Paper*, no. 457, 71p.
- Hildebrand, R. S. (2013) Mesozoic Assembly of the North American Cordillera. *Geological Society of America Special Paper*, no. 495, 169p.
- Hoffman, P. F. (2013) The tooth of time: The North American Cordillera from Tanya Atwater to Karin Sigloch. *Geoscience Canada*, **40**, 71–93.
- 飯山敏道 (1981) 概論：プレートテクトニクス—観察の重要性. 月刊地球, **3**, 404–410.
- Iwamori, H. (2003) Viscous flow and deformation of regional metamorphic belts at convergent plate boundaries. *Journal of Geophysical Research*, **108**, 2321–2345.
- Johnston, S. T. (2008) The Cordilleran Ribbon Continent of North America. *Annual Review of Earth Science*, **36**, 495–530.
- Kastner, M. and LePichon, X., eds. (1992) Fluids in convergent margins. *Earth and Planetary Science Letters*, **109**, 275–650.
- Kawamura, K. and Ogawa, Y. (2018) Internal structure, active tectonics and dynamic topography of the eastern Nankai accretionary prism toe, Japan, and its tsunamigenic potential. *Geological Magazine*, **158**, 30–38. doi:10.1017/S0016756818000699
- Kawamura, K., Ogawa, Y., Anma, R., Yokoyama, S., Kawakami, S., Dilek, Y., Moore, G. F., Hirano, S., Yamaguchi, A., Sasaki, T., and YK05-08 Leg 2 and YK06-02 Shipboard Scientific Parties (2009) Structural architecture and active deformation of the Nankai Accretionary Prism, Japan: submersible survey results from the Tenryu Submarine Canyon. *Geological Society of America Bulletin*, **121**, 1629–1646.
- Kawamura, K., Ogawa, Y., Hara, H., Anma, R., Dilek, Y., Kawakami, S., Chiyonobu, S., Mukoyoshi, H., Hirano, S. and Motoyama, I. (2011) Rapid exhumation of metamorphosed sediment with gravitational collapse in an active eastern Nankai accretionary prism, *In* Ogawa, Y., Anma, R. and Dilek, Y., eds., *Accretionary Prisms and Convergent Margin Tectonics in the Northwest Pacific Basin*. in the Series: Modern Approaches in Solid Earth Sciences: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, no. 8, 215–227.
- 木村 学 (2002) プレート収束帯のテクトニクス学. 東京大学出版会, 271p.
- 木村 学・木下正高 (編) (2009) 付加体と巨大地震発生帯—南海地震の解明に向けて. 東京大学出版会, 281p.
- 木村 学・木下正高・金川久一・金松敏也・芦寿一郎・斎藤実篤・廣瀬丈洋・山田泰広・荒木英一郎・江口暢久 (2018) 南海トラフ地震発生帯掘削がもたらした沈み込み帯の新しい描像. 地質学雑誌, **124**, 47–65.
- Knipe, R. J. and Rutter, E. H., eds. (1990) Deformation mechanics, rheology and tectonics. *Geological Society of London Special Publication*, no. 54, 383–398.
- Kobayashi, K. (2002) Tectonic significance of the cold seepage zones in the eastern Nankai accretionary wedge: an outcome of the 15 years' KAIKO projects. *Marine Geology*, **187**, 3–30.
- 高下裕章・野田 篤 (2020) クリティカルテーパーモデル—土質力学の基礎からの導入. 地質調査研究報告, **71**, 49–61.
- Koge, H., Ashi, J., Park, J.-O., Miyakawa, A. and Yabe, S. (2022) Simple topographic parameter reveals the along-trench distribution of frictional properties

- on shallow plate boundary fault. *Earth, Planets and Space*, **74**, 56. doi:10.1186/s40623-022-01621-6
- 倉本真一 (1994) 外洋における三次元音波探査の例 (バルバドス島沖での探査例について). *海洋調査技術*, **6**, 3-21.
- Labauve, P., Maltman, A. J., Bolton, A., Tessier, D., Ogawa, Y. and Takizawa, S. (1997) Scaly fabrics in sheared clays from the décollement zone of the Barbados Accretionary Prisms, ODP Leg156. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, College Station, TX (Ocean Drilling Program)*, **156**, 59-77.
- Le Pichon, X., Kobayashi, K., Cadet, J. P., Iiyama, T., Nakamura, K., Pautot, G. and Renard, V., eds. (1987) Project Kaiko. *Earth and Planetary Science Letters*, **83**, 181-375.
- Maltman, A. J., ed. (1994) *The Geological Deformation of Sediments*. Chapman & Hall, 362p.
- 丸山茂徳 (2020) 国際津波防災学会誕生までのいきさつと2年間の歩み. *Tsunami, Earth and Networking (TEN), Journal of International Tsunami Disaster Prevention Society (国際津波防災学会誌)*, **1**, 1.
- Maruyama, S., Liou, J. G. and Terabayashi, M. (1996) Blueschists and eclogites of the world and their exhumation. *International Geology Review*, **38**, 485-594.
- Moore, G. F., Bangs, N. L., Taira, A., Kuramoto, S., Pangborn, E. and Tobin, H. J. (2007) Three-dimensional splay fault geometry and implication for tsunami generation. *Science*, **318**, 1128. doi:10.1126/science.1147195
- Moore, J. C., ed. (1986) Structural Fabric in Deep Sea Drilling Project Cores from Forearcs. *Geological Society of America Memoir*, no. 166. 160p.
- Moore, J. C. (1989) Tectonics and hydrogeology of accretionary prisms: role of the décollement zone. *Journal of Structural Geology*, **11**, 95-106.
- Moore, J. C. and Byrne, T. (1987) Thickening of fault zones: A mechanism of mélange formation in accreting sediments. *Geology*, **15**, 1040-1043.
- Moore, J. C., Biju-Duval, B., Bergen, J., Blackington, G., Claypool, G., Cowan, D., Duennebier, F., Guerra, R., Hemleben, C., Hussong, D., Marlow, M., Natland, J., Pudsey, C., Renz, G., Tardy, M., Willis, M., Wilson, D. and Wright, A. (1982) Offscraping and underthrusting of sediment at the deformation front of the Barbados Ridge, Deep Sea Drilling Project Leg 78A. *Geological Society of America Bulletin*, **93**, 1065-1077.
- Moore, J. C., Mascle, A., Taylor, E., Andreieff, A., Alvarez, F., Barnes, R., Beck, C., Behrmann, J., Blanc, J., Brown, K., Clark, M., Dolan, J., Fisher, A., Gieskes, J., Hounslow, M., McLellan, P., Moran, K., Ogawa, Y., Sakai, T., Schoonmaker, J., Vrolijk, P., Wilken, R. and Williams, C. (1988) Tectonics and hydrogeology of the northern Barbados Ridge: Results from Ocean Drilling Program Leg 110. *Geological Society of America Bulletin*, **100**, 1578-1593.
- Moore, J. C., Brown, K. M., Horath, F., Cochran, G., MacKay, M. and Moore, G. (1991) Plumbing accretionary prisms: effects on permeability variation. *Philosophical Transactions of Royal Society of London, A*, **335**, 275-288.
- 森 慎一・小川勇二郎 (2021) 相模湾北縁部, 姥島群島の三浦層群の層序と構造 —火砕岩鍵層の追跡による複合デュープレックス構造と断層伝播褶曲—. *地学雑誌*, **130**, 1-26.
- Noda, A., Koge, H., Yamada, Y., Miyakawa, A and Ashi, J. (2020) Subduction of trench-fill sediments beneath an accretionary wedge: Insights from sandbox analogue experiments. *Geosphere*, **16**, 1664-1679. doi:10.1130/GES02212.1
- Ogata, K., Festa, A., Pini, G. A., Pogacnik and Lucent, C. C. (2019) Substrate deformation and incorporation in sedimentary mélanges (olistostromes): Examples from the northern Apennines (Italy) and northwestern Dinarides (Slovenia). *Gondwana Research*, **74**, 101-125. doi:10.1016/j.gr.2019.03.001
- Ogawa, Y. (2011) Erosional subduction zone in the northern Japan trench: Review of submersible dive reports. In Ogawa, Y., Anma, R., and Dilek, Y., eds., *Accretionary Prisms and Convergent Margin Tectonics in the Northwest Pacific Basin*. in the Series: Modern Approaches in Solid Earth Sciences: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, no. 8, 39-52.
- Ogawa, Y. (2019) Conceptual consideration and outcrop interpretation on early stage deformation of sand and mud in accretionary prisms for chaotic deposit formation. *Gondwana Research*, **74**, 31-50.

- 小川勇二郎 (2023a) 付加体学事始め：黎明期における私的回想 第一部 地質学の道へ. GSJ 地質ニュース, **12**, 177-185.
- 小川勇二郎 (2023b) 付加体学事始め：黎明期における私的回想 第二部 付加体学の肉付け. GSJ 地質ニュース, **12**, 226-236.
- 小川勇二郎・石丸恒存 (1989) 付加体発達の一側面—テコルマ面の実体と意義. 月刊地球, **11**, 716-733.
- 小川勇二郎・久田健一郎 (2005) 付加体地質学. 共立出版, 160p.
- 小川勇二郎・川村喜一郎 (2020) 日本周辺海溝域の海底地すべりと津波発生に関する地球科学的研究の現状と課題. Tsunami, Earth and Networking (TEN), *Journal of International Tsunami Disaster Prevention Society* (国際津波防災学会誌), **1**, 71-82.
- Ogawa, Y. and Mori, S. (2021) Gravitational sliding or tectonic thrusting?: Examples and field recognition in the Miura-Boso subduction prism. In Wakabayashi, J. and Dilek, Y., eds., *Plate tectonics and ophiolites, and societal significance of geology: A celebration of the career of Eldridge Moores*. Geological Society of America Special Paper, no. 552, 197-232.
- Ogawa, Y. and Vrolijk, P. (2005) Control of internal structure and fluid-migration pathways within the Barbados Ridge decollement zone by strike-slip faulting: Evidence from coherence and three-dimensional seismic amplitude imaging. Discussion. *Geological Society of America Bulletin*, **118**, 253-254.
- Ogawa, Y. and Yanagisawa, Y. (2011) Boso TTT-type triple junction: Miocene to Quaternary accretionary prisms and present-day gravitational collapse. In Ogawa, Y., Anma, R. and Dilek, Y., eds., *Accretionary prisms and convergent margin tectonics in the Northwest Pacific Basin*. in the Series: Modern Approaches in Solid Earth Sciences: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, no. 8, 53-73.
- Ogawa, Y., Anma, R. and Dilek, Y., eds. (2011) *Accretionary Prisms and Convergent Margin Tectonics in the Northwest Pacific Basin*. in the Series: Modern Approaches in Solid Earth Sciences, no. 8. Springer, 277p.
- Okada, H. and Cadet, J.-P., eds. (1989) Geology, geochemistry and biology of subduction zones. *Paleogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, **71**, 1-203.
- Raymond, L. A., Ogawa, Y. and Maddock, M. E. (2019) Accretionary unit formats in subduction complexes: Examples from the Franciscan and Miura-Boso complexes. *International Geology Review*, **62**, 1581-1609. doi:10.1080/00206814.2019.1667881
- Sakai, H., Gamo, T., Ogawa, Y. and Boulegue, J. (1992) Stable isotopic ratios and origins of the carbonates associated with cold seepage at the eastern Nankai Trough. *Earth and Planetary Science Letters*, **109**, 391-404.
- 平 朝彦 (2004) 地質学 2 : 地層の解説. 岩波書店, 441p.
- Takizawa, S. and Ogawa, Y. (1999) Dilatant clayey microstructure in the Barbados décollement zone. *Journal of Structural Geology*, **21**, 117-122.
- Tarney, J., Pickering, K. T., Knipe, R. J. and Dewey, J. F., eds. (1991) The behaviour and influence of fluids in subduction zones. *Philosophical Transaction of Royal Society, London, Series A*, **335**, 225-418.
- Westbrook, G. K. (1982) The Barbados Ridge Complex: tectonics of a mature forearc system. In J. K. Leggett, ed., *Trench-Forearc Geology*. Geological Society of London Special Publication, no. 10, 275-290.
- 山縣 毅・小川勇二郎 (1989) 混在岩の形成における泥ダイアピリズムの役割. 地質学雑誌, **95**, 297-310.

---

OGAWA Yujiro (2023) The Early History of Accretionary Prism Research: A Reminiscence (Part3: Further Stage of Research).

---

(受付：2023年3月6日)



# 「地質情報展 2023 いわて —明日につなぐ大地の知恵—」 開催報告

金子 翔平<sup>1)</sup>・宍倉 正展<sup>1)</sup>・宮下 由香里<sup>1)</sup>・利光 誠一<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

「地質情報展 2023 いわて」が、産業技術総合研究所(以下、産総研)地質調査総合センター(以下、GSJ)、産総研東北センター、日本地質学会および岩手県立博物館の主催、三陸ジオパーク推進協議会共催のもと、岩手県立博物館(岩手県盛岡市)で3月10日(金)～12日(日)の3日間で開催されました。1997年に始まった地質情報展は、今回で26回目になります。これまで日本地質学会の学術大会とともにその開催都市で同時開催されてきましたが、今回からは、新しい試みとして、日本地質学会の学術大会とは離れて開催するイベントとして実施しました。この理由として、日本地質学会の学術大会を開催できる大学・研究機関は限られているため、地質情報展も、同じ地域で2巡目となるケースが増えてきたことが挙げられます。また、近年の自然災害の増加をふまえ、日本地質学会の学術大会が開催されない地域においても、防災情報や地質学の魅力を伝えていく必要性を強く感じ、今回の地質情報展を実施しました。また、これまでよりも地元博物館、産総研地域センター、地元企業と連携して、地域に密着した展示を企

画していくことを目指しています。そこで、岩手県立博物館や産総研東北センターに主催に加わっていただき、本地質情報展を企画・実施しました。

2022年2月の「地質情報展2022 あいち」、2022年9月の「地質情報展2022 とうきょう」では、コロナ禍の中での開催となったため、子供向け体験学習ブースの出展を極力控えておりました。今回は、新型コロナウイルス感染症の感染状況が落ち着きを取り戻しつつある時期の実施であったため、感染症の拡大防止に努めながら、コロナ禍前に近い形で開催しました。

## 2. 展示内容と会場の様子

地質情報展の初日(3月10日)の開会式は岩手県立博物館2階グランドホールにおいて実施し、主催であるGSJの中尾信典総合センター長の開会挨拶に続き、産総研東北センターの蛸名武雄所長、岩手県立博物館の高橋廣至館長、日本地質学会の岡田 誠会長(リモート参加)からお言葉をいただきました(第1図)。

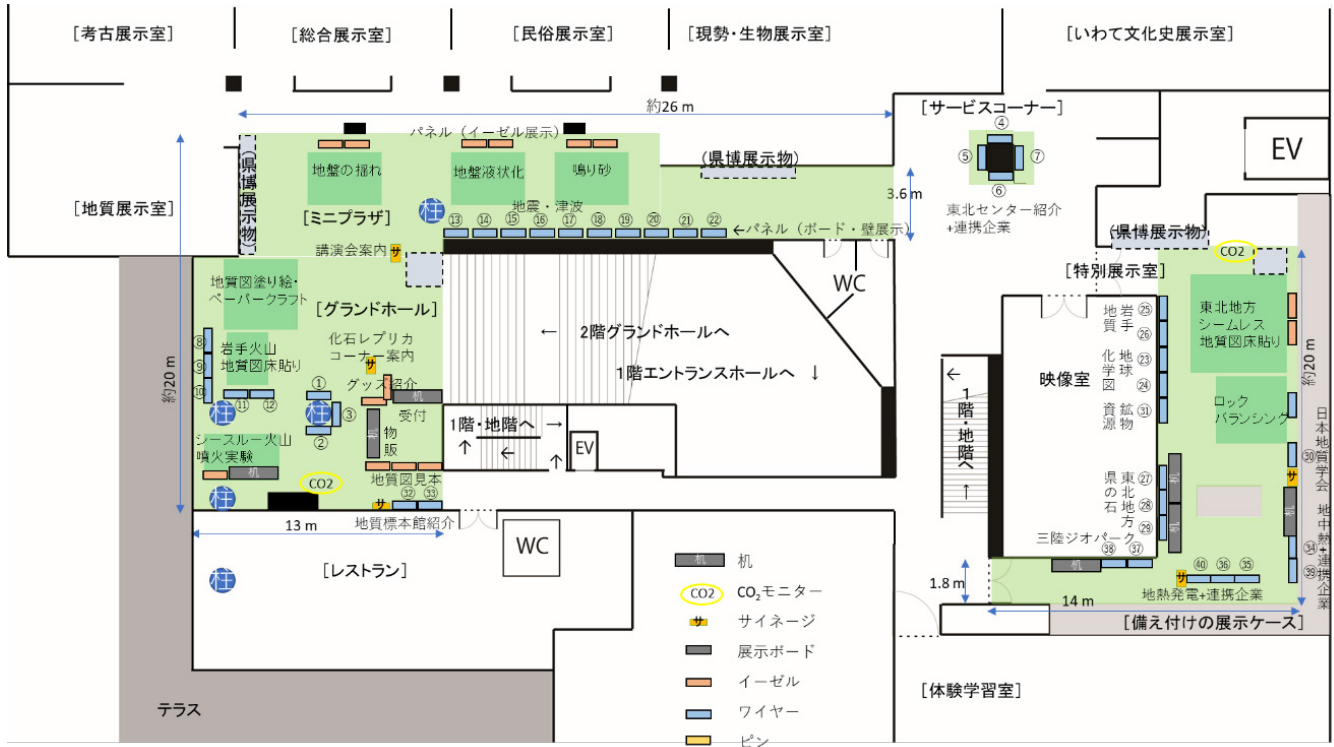
地質情報展会場での展示物の配置を第2図に示します。



第1図 開会式の様子

1) 産総研 地質調査総合センター 連携推進室

キーワード：地質情報展、アウトリーチ、岩手火山、地震、津波、防災、減災、ジオパーク



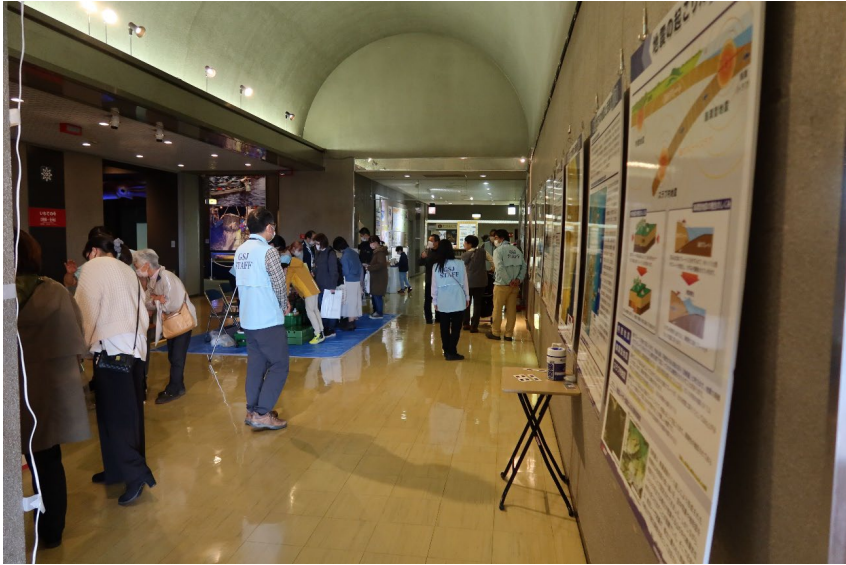
第2図 展示の配置図



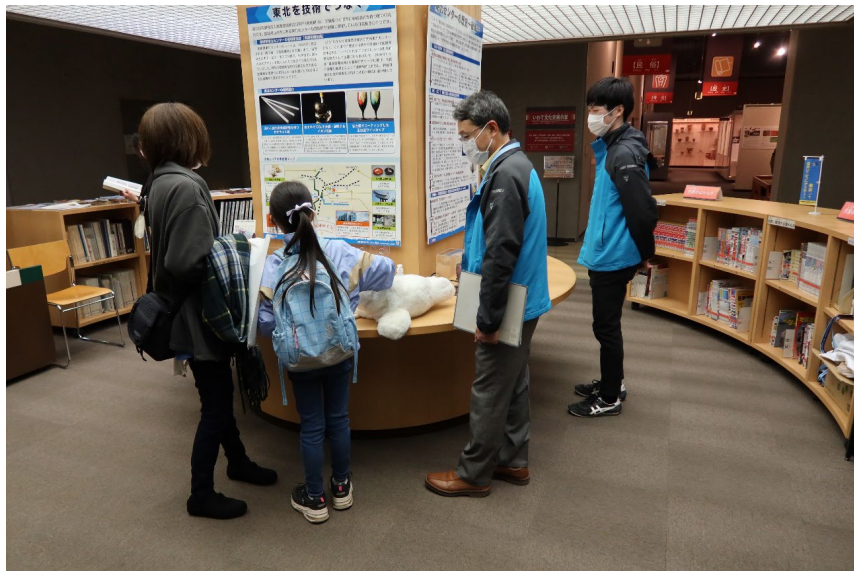
第3図 グランドホール内の様子 (開場前)

会場2階のグランドホール・ミニプラザ・サービスコーナー・特別展示室に、展示パネルや体験コーナーを配置しました。地質情報展会場の入り口に当たる2階のグランドホールからは、岩手県のシンボルである岩手山を眺めることができます(第3図)。そのため、グランドホールでは、岩手火山に関するパネル展示と岩手火山を題材にした体験展示を配置しました。パネル展示では「東北の火山」、「岩

手火山の地質と活動史(1)・(2)」、「記録に残る岩手火山の噴火(1)・(2)」を用意しました。体験展示として、GSJ発行の岩手火山地質図(2005年発行)を拡大して床貼りし、その隣で火山の噴火実験や火山噴出物を見て触るコーナー、岩手火山の地質図塗り絵やペーパークラフトを用意しました。またグランドホールでは、地質標本館の紹介展示やミュージアムショップからの標本館グッズおよびGSJ



第4図 ミニプラザ内の様子



第5図 サービスコーナー内の様子

出版の地質図幅の出張販売も行いました。標本館グッズでは、下敷き(鉱物)、風呂敷(明治22年刊行の日本地質図)、岩手山のペーパークラフトの人气が高く、GSJ出版の地質図では、No.4日本地質図(第5版)が最も購入されていました。

グランドホールからつながるミニプラザでは、地震・津波に関するパネル展示や体験展示を配置しました(第4図)。パネル展示では、「地震の起こり方」、「東北地方の地震と活断層(1)・(2)」、「岩手の活断層」、「2008年岩手・宮城内陸地震」、「津波の発生」、「2011年東北地方太平洋沖地震」、「三陸海岸における津波の痕跡」、「2011年東北地方太平洋沖地震による津波堆積物」、「津波堆積物中の有害重金属類とそのリスク」を用意しました。体験展示では、地震の揺れ実験、地盤の液状化実験、鳴り砂実験を実施し

ました。

ミニプラザ隣のサービスコーナーでは、産総研東北センター関連のパネル展示や展示物を配置しました(第5図)。展示パネルでは、「東北を技術でつなぐ：産総研東北センター」、「東北センターの歴史～前編～」、「東北センターの歴史～後編～」、およびクニミネ工業株式会社作成の「東北が誇る天然資源『ベントナイト』」を用意しました。展示物として、鉱物資源を原料にした製品や産総研開発のアザラシ型メンタルコミットロボット「パロ」が並べられておりました。

サービスコーナーの奥にある特別展示室では、岩手県の地質・地下資源、産総研の企業連携の紹介、日本地質学会の第13回惑星地球フォトコンテスト入選作品展示、三陸ジオパークの紹介展示を行いました(第6図)。展示パネル



第6図 特別展示室内の様子



第7図 実技室内(地階)の様子

では、「岩手の地史」、「岩手の地質」、「元素の地図—東北地方—」、「地球化学標準物質と東北の地球化学図」、「岩手県の鉱物資源」、「東北地方の県の石(化石)」、「東北地方の県の石(岩石)」、「東北地方の県の石(鉱物)」、「地熱発電—地熱エネルギーの適正利用を目指して—」、「岩手県での産総研の地熱研究—地熱発電さきがけの地でのチャレンジ」、「地中熱利用システム～足元にある再生可能エネルギー～」、およびジオシステム株式会社作成の「高温泉、高温排水等の再生可能エネルギー熱の有効利用のための全樹脂製高耐久熱交換器検証結果」を用意しました。また、地熱エンジニアリング株式会社からもポスターを作成いただき、展示パネルとして掲示いたしました。体験展示として、東北日本の巨大地質図(20万分の1日本シームレス地質図拡大)の床貼り、河原で拾える岩石を積み重ねる「ロックバ

ランシング」も出展しました。

地階にある実技室では化石レプリカ作成体験コーナーを配置しました(第7図)。10日は平日のため参加者が少なかつたものの、休日である11、12日の2日間は子供たちを中心に毎回定員(1回につき12名)に達する賑わいでした。

11日の午後には、地階の講堂で市民講演会も実施しました(第8図)。ここでは岩手火山、ジオパーク、および地質災害の3テーマについて、産総研伊藤順一氏、産総研渡辺真人氏、および日本地質学会からの推薦として、岩手大学越谷 信教授によりそれぞれ講演が行われました。講演会には、会場の定員に迫る58名が参加しました。講演会の休憩時間にあたる14時46分には、2011年の東北地方太平洋沖地震とその後の津波で亡くなった方々への黙祷を博物館内全体で行いました。



第 8 図 市民講演会 (地階講堂) の様子

### 3. 来場者数と来場者からの声

地質情報展開催中は、来場者の方にアンケートを実施し、55名から回答をいただきました(第9図)。質問項目は次のとおりです:「Q1. あなたは? (年代層の問いかけ)」、「Q2. どちらからおいでですか?」、「Q3. このイベントを何で知りましたか?」、「Q4. 難易度はいかがでしたか?」、「Q5. どのテーマに関心を持ちましたか?」。今回は小学生やその親子連れの参加者がほとんどでした。また、盛岡市内からの来場者が半数以上であり、県外からの来場者はいませんでした。地質情報展のイベント開催を知った理由としては、「学校のポスター・チラシ」が半数以上となっております。こちらは、岩手県立博物館からいわて盛岡管内の小学校の全生徒にチラシを配布したためと考えられます。展示内容に関する難易度については「とてもわかりやすかった」「わかりやすかった」の回答が75%以上となりました。関心を持ったテーマについては、実験・体験コーナーでは、「化石のレプリカ作り」が最も多く、2番目は「鳴り砂」でした。化石のレプリカ作りは、これまでの地質情報展においても人気コンテンツです。「鳴り砂」が好評だった理由としては、会場内で砂の鳴る音が響いていたため注目されやすかったこと、説明者(学生のアルバイト員含む)の雰囲気が良かったものと考えております。展示パネルについては、「東北地方の県の石」が最も多く、2番目は「地震の起こり方」、3番目は「岩手火山と東北の火山」でした。「東北地方の県の石」が好評だった理由としては、地質標本館から借りた展示物が効果的だったと考えています。「地震の起こり

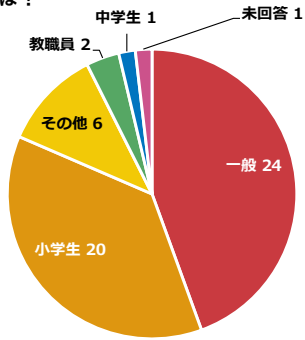
方」「岩手火山と東北の火山」については、今回のテーマが地質防災(地震・火山)であり、コンテンツ量を増やしたため、来場者にとっては関心を持ちやすかったものと推察されます。

また、傾向としては、展示パネルよりも実験・体験コーナーに関心を持つ方が多かったようです。来場者の多くは、小学生の子連れ家族であったため、展示パネルの内容が難しかったものと考えられます。今回の情報展はこれまで以上に「親子連れ」の参加が中心でした。想定される来場者に合わせて展示内容を変えることも必要であり、例えば大人中心であればパネル展示や映像などで最先端の研究成果を伝えることをメインに、親子連れ中心であれば「楽しい・わかりやすい」体験・実験をメインにするなどの工夫が必要と感じました。

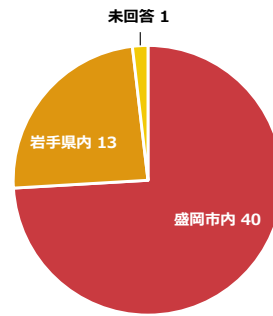
来場者からいただいた、アンケートの自由記述欄の文章について、代表的なものを抜粋いたします。回答いただいたほとんどの方から肯定的なご意見をいただきました。

- ・どのコーナーでもわかりやすく説明して頂き、親切に対応して頂きありがたかったです。小学生の息子も体験コーナーが楽しかったそうです。
- ・こどもは最初、化石にしか興味がありませんでしたが、実験コーナーでいろいろ見て、他のことにも興味が出たようです。スタッフさんも皆さん感じが良く、とてもありがたい企画でした。
- ・地震と、パロに夢中でした。2日間ありがとうございました。火山実験3回見学たのしかったです。
- ・また岩手に来てください。

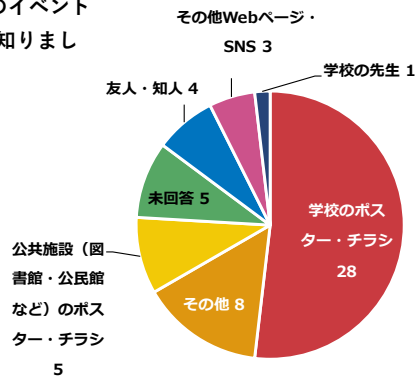
Q1.あなたは？



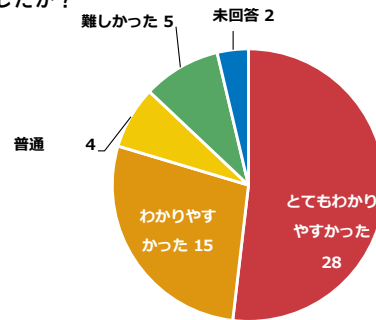
Q2.どちらからおいですか？



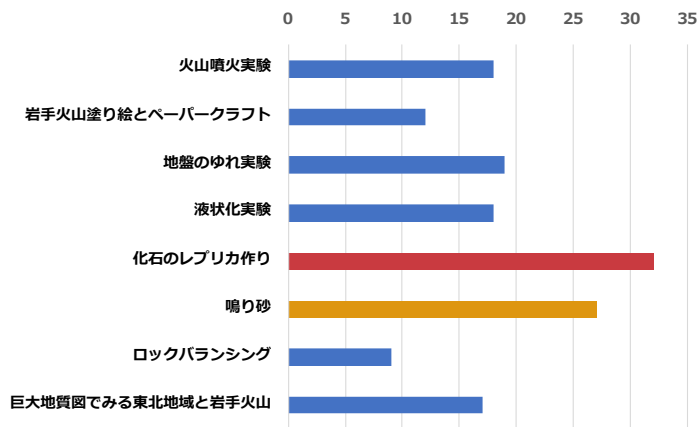
Q3.このイベントを何で知りましたか？



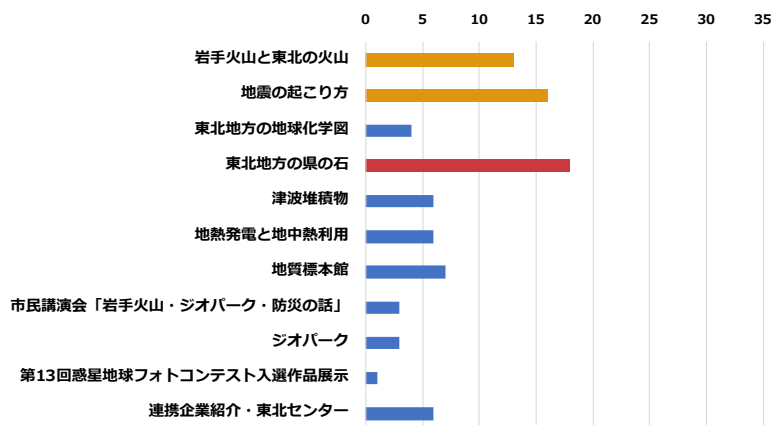
Q4.難易度はいかがでしたか？



Q5.どのテーマに関心を持ちましたか？－実験・体験－



Q5.どのテーマに関心を持ちましたか？－展示パネル－



第9図 アンケート結果

第 1 表 地質情報展 2023 いわての運営体制

<b>2023年度地質情報展企画運営委員会</b>											
<b>企画運営委員</b>											
田中裕一郎	細井 淳	杉田 創	松本 弾	森田澄人	宮下由香里						
穴倉正展	金子翔平	利光誠一	中澤 努								
<b>事務局支援</b>											
川畑史子	長江敦子	齋藤 眞									
<b>「地質情報展2023いわて」実施スタッフ</b>											
パネル作成											
後藤浩平	高橋昭博	佐藤麻樹	古川竜太	伊藤順一	丸山 正	行谷佑一	伊尾木圭衣	澤井祐紀	川辺能成	中村淳路	
辻野 匠	武藤 俊	内野隆之	村岡やよい	左部翔大	昆 慶明	実松建造	内田洋平	浅沼 宏			
<b>会場運営・解説等</b>											
田中裕一郎	森田澄人	宮下由香里	穴倉正展	金子翔平	利光誠一	中澤 努	後藤浩平	高橋昭博	佐藤麻樹	丸山 正	
伊尾木圭衣	川辺能成	遠山知亜紀	辻野 匠	武藤 俊	内野隆之	村岡やよい	左部翔大	浅沼 宏	伊藤順一	渡辺真人	
齋藤 眞	長江敦子	柳澤教雄	谷田部信郎	山谷忠大	百目鬼洋平	松本 弾	田口修弘				
<b>体験コーナー説明</b>											
落 唯史	宮地良典	川邊禎久	中島 礼	石野沙希	兼子尚知	白濱吉起	利光誠一				
<b>市民普及講演会</b>											
中澤 努	渡辺真人	越谷 信									
<b>告知ポスター・チラシ・WEBページ作成</b>											
清水 恵	都井美穂	川畑 晶	正根寺幸子								
<b>パネル校正・レイアウト</b>											
清水 恵	金子翔平										

- ・説明員のみなさんがとても気さくに話してくださったので良かったです。子ども連れにも優しくしていただき、とても助かりました。ありがとうございました。また巡回していただければと思います。

#### 4. おわりに

今回の地質情報展の運営体制を第 1 表に示します。「地質情報展 2022 とうきょう」(2022 年 9 月 3～5 日)から約半年間での開催となり、準備が慌ただしくなる中、GSJ 内の多くの方々にご支援・ご協力いただきました。併せて、会場である岩手県立博物館のスタッフの方々、日本地質学会事務局の方々、会場運営に協力していただいた岩手大学の学生の皆様、イベント情報の発信に協力いただいた産総研広報部の皆様、展示パネルを出展いただいたクニミネ工

業株式会社、ジオシステム株式会社、地熱エンジニアリング株式会社の皆様にもこの場を借りて御礼申し上げます。

今回ご参加いただいた企業の方からは、「地質系の技術者育成の一環として、子どもへの地学教育(地質学に興味・関心を持ってもらうこと)が必要と認識しており、今回の地質情報展に参加・協力できて良かった。」という声をいただきました。今後も、地質情報展をはじめとする GSJ アウトリーチ活動において、企業の方と連携するとともに、企業の要望に応えられる企画が必要と感じました。

なお、今回の展示で使用した展示パネルは、GSJ の WEB サイト「地質情報展ポスターアーカイブサイト」で画像の閲覧ができますので、学校などの教材等としてご活用いただければ幸いです。

<https://www.gsj.jp/event/johoten/archives/index.html>

KANEKO Shohei, SHISHIKURA Masanobu, MIYASHITA Yukari and TOSHIMITSU Seiichi (2023) Report on Geoscience Exhibition in Iwate 2023.

(受付：2023 年 7 月 31 日)



## Conway Christopher (コンウェイ・クリストファー)

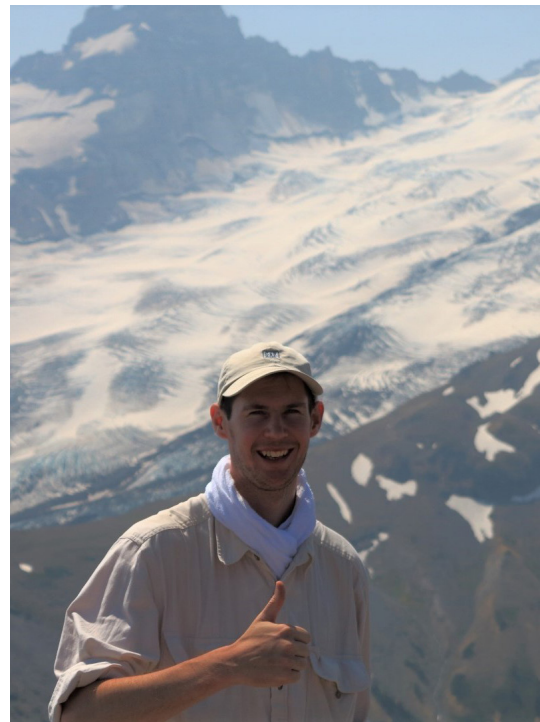
活断層・火山研究部門 火山活動研究グループ

I became a permanent researcher at GSJ in April 2023, after working as a contract employee in IEVG since 2019. Prior to that I was a JSPS post-doctoral research fellow at the National Museum of Nature and Science in Tsukuba (2016–2018). I moved to Japan after completing my PhD at Victoria University of Wellington, New Zealand, in 2016.

My research has focussed on advancing our understanding of the processes and time scales of magma generation and eruption at active volcanoes. I use geochronologic methods to constrain the frequency of past eruptions, and petrological analyses to identify the magmatic processes that precede eruptions.

The objective of my future research at AIST is to develop and apply new techniques for measuring high-precision Ar/Ar ages for volcanic rocks, which will contribute to the production of comprehensive geological maps and reconstruction of detailed volcano evolution models in Japan and New Zealand.

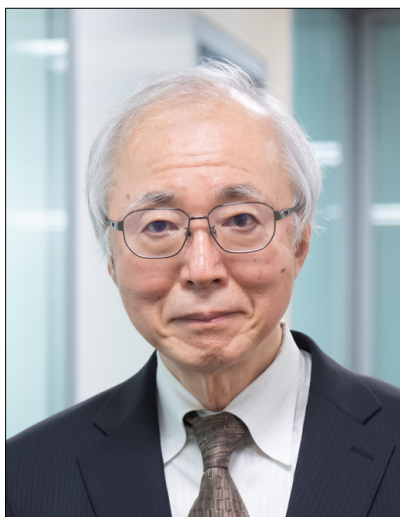
これからどうぞよろしく願いたします。



## ニュースレター

### 元地質調査所地殻熱部長 笹田政克氏が瑞宝小綬章を受章

佐脇貴幸（地質調査総合センター）



産業技術総合研究所名誉リサーチャー笹田政克氏が、令和5年春に、瑞宝小綬章を受章されました。この機会にこれまでの笹田氏のご経歴を紹介し、ご本人とご家族、並びに地質調査総合センター一同及び笹田氏と関係の深い皆様と共に、受章の栄誉を心よりお祝いしたいと存じます。

まず、笹田氏のご経歴の概要を記します。笹田氏は、昭和52年4月に工業技術院地質調査所に入所後、地殻熱部地殻熱資源課に配属され、地熱資源に係る研究に従事されました。また、入所当時、地質調査所の本庁舎は川崎市溝ノ口にありましたが、昭和55年の筑波移転に備えて設置された移転推進室筑波分室の併任業務にもあたられました。筑波移転後は、工業技術院サンシャイン計画推進本





部、新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、NEDO)への外部出向を挟みながら、地殻熱資源課主任研究官、国際協力室主任研究官、地殻熱探査課長、国際協力室長などを歴任されたのち、平成12年2月に地殻熱部長に就任されました。また、新たな地熱資源探査技術を学ぶため、昭和58年9月～昭和60年9月の2年間、米国地質調査所での在外研究も経験されています。

平成13年4月の独立行政法人産業技術総合研究所(以下、産総研)発足後は、地圏資源環境研究部門を経て、能力開発コーディネータ、深部地質環境研究センター副研究センター長及び深部地質環境研究センター長を歴任され、地熱資源開発技術及び地層処分技術の研究推進に尽力された後、平成19年3月に産総研を退職されました。産総研退職後は、地質コンサルタント会社に勤務されるとともに、日本国内での地中熱利用促進事業に取り組みされており、平成21年3月にはNPO法人地中熱利用促進協会の理事長に就任され、現在に至っています。

次に、地質調査所における主な研究業績について記します。また、本稿末尾に、代表的な研究成果のリストを掲載しています。

地殻熱部所属の研究職員としては、上述のサンシャイン計画(平成5年度からはニューサンシャイン計画)に基づいた地熱資源基礎調査、並びに栗駒地熱地域(秋田-宮城-岩手県境)、仙岩地熱地域(秋田-岩手県境)、豊肥地熱地域(大分-熊本県境)の大規模な地熱プロジェクト研究に参画されました。この中で、地熱資源に係る地質学的な視点、特に花崗岩岩石学の専門家としての専門性を活かし、これらの地熱地域の基盤岩・基盤構造の特徴、断裂系構造等を解明されてきました。その成果は、それぞれの地熱地域の名を冠した「地質調査所報告」内の報文としてまとめられるとともに、国内外の学術雑誌の論文として出版されてきました。また、米国地質調査所での在外研究によって得た流体包有物の分析手法を、地熱地帯に分布する岩石・鉱物(特に、熱水性鉱物脈)に適用し、熱水系の温度履歴・地化学的特徴等を解明するための重要な探査技術として確立させることで、地熱資源の評価技術の構築に貢献されてきました。さらに、タイ北部の非火山地帯の地熱資源の研究や、トルコでの地熱エネルギーに関するセミナーも実施されています。なお、地質調査所から工業技術院サンシャイン計画推進本部及びNEDO地熱調査部地熱調査第二課への出向によって、サンシャイン計画及びニューサンシャイン計画の下で実施された、様々な地熱資源開発プロジェクトの管理・推進業務も経験されています。

上記の地熱資源の研究以外にも、もともとの専門であっ

た花崗岩岩石学の知見を活かし、地質調査所の重要な研究成果と位置付けられる地質図幅の作成にも参画され、20万分の1地質図幅「新潟」、「木本」、5万分の1地質図幅「真壁」の作成に携わられました。また、地質調査所国際協力室主任研究官及び同室長として、国際協力活動の実務を担い、地質調査所の国際的な研究戦略の実施、ネットワークの構築に貢献されました。

以上のような経歴を経て、笹田氏は平成12年2月に地質調査所地殻熱部長に就任され、地質調査所のみならず、日本の地熱資源開発研究のリーダーの一人として、ニューサンシャイン計画における地熱資源探査技術に係る研究開発を推進されました。また、部長就任後も、インドネシアとの地熱に関する国際共同研究についても参画され、地熱地質調査法の実施に貢献されました。

地質調査所以外の機関への協力としては、NEDOの地熱開発促進調査に係る委員会委員及び地域部会長、火力原子力発電協会の地熱発電委員会委員長、地熱関係の国際誌“Geothermics”における日本の地熱資源に関する特集号の編集及びAdvisory Boardメンバー、日本地熱学会の副会長(2期、平成18年～平成22年)、評議員(平成4年～平成26年)、及び総務委員会委員長や各委員会委員などを務められてきました。

これらの地熱資源・地中熱利用に係る研究成果及び学会活動に対し、平成16年及び平成28年には日本地熱学会賞論文賞、平成27年には日本地熱学会賞功績賞を受賞されているとともに、平成30年には日本地熱学会名誉会員に選出されています。

現在、笹田氏は、NPO法人地中熱利用促進協会の理事長として、日本各地における更なる地中熱利用の普及に邁進し、引き続き多忙を極めておられます。地球環境対策としてのCO<sub>2</sub>削減ということのみならず、昨今のエネルギー価格の急激な高騰に対応する施策として、地中熱利用という省エネルギー技術は、日本において非常に重要な位置づけになっていると言えます。そのリーダー的な立場となられている笹田氏の、今後のますますのご健勝とご活躍をお祈りいたします。

#### 代表的な研究成果(論文、図幅)

Sasada, M., Roedder, E. and Belkin, H. E. (1986) Fluid inclusions from drill hole DW-5, Hohi geothermal area, Japan : evidence of boiling and procedure for estimating CO<sub>2</sub> content. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 30, 231-251.



- Sasada, M. (1988) Microthermometry of Fluid Inclusions from the VC-1 Core Hole in Valles Caldera, New Mexico. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, **9**, B6, 6091-6096.
- Sasada, M. (1989) Fluid inclusion evidence for recent temperature increases at Fenton Hill Hot Dry Rock test site west of the Valles caldera, New Mexico, U.S.A. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **36**, 257-266.
- Sasada, M., Sawaki, T. and Takeno, N. (1992) Analysis of fluid inclusion gases from geothermal systems, using a rapid-scanning quadrupole mass spectrometer. *European Journal of Mineralogy*, **4**, 895-906.
- Sasada, M. and Goff, F. (1995) Fluid inclusion evidence for rapid formation of the vapor-dominated zone at Sulphur Springs, Valles caldera, New Mexico, USA. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **67**, 161-169.
- 笹田政克 (1984) 豊肥地域の基盤地質構造. *地熱*, **21**, 1-11.
- 笹田政克 (1984) 神室山 - 栗駒山地域の先新第三紀基盤岩類 —その1 鬼首 - 湯沢マイロナイト帯—. *地質学雑誌*, **90**, 865-874.
- 笹田政克 (1985) 神室山 - 栗駒山地域の先新第三紀基盤岩類 —その2 阿武隈帯と北上帯の境界—. *地質学雑誌*, **91**, 1-17.
- 笹田政克 (1992) 焼石岳南麓の先第三紀基盤岩類の K-Ar 年代 —457Ma のトータル岩—. *地質学雑誌*, **98**, 279-280.
- 笹田政克・佐脇貴幸 (1995) 人工流体包有物検層—350°C を越える坑内温度の測定と深部流体の採取を目指して—. *地熱*, **32**, 1-13.
- 宮崎一博・笹田政克・吉岡敏和 (1996) 真壁地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 103p.
- 角 靖夫・笹田政克 (1985) 20万分の1地質図幅「新潟」, 地質調査所.
- 木村克己・笹田政克・広島俊男 (1992) 20万分の1地質図幅「木本」, 地質調査所.
- 玉生志郎・上村不二雄・笹田政克・角 清愛・高島 勲・野田徹郎・茂野 博・比留川 貴・須田芳朗・小川克郎 (1982) 豊肥地熱地域地質図, 1:100,000 および説明書 (特殊地質図 21-1), 地質調査所, 23p.

**GSJ 地質ニュース編集委員会**

委員長 宮地良典  
副委員長 戸崎裕貴  
委員 竹原孝  
児玉信介  
草野有紀  
宇都宮正志  
山岡香子  
森尻理恵

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  
E-mail : g-news-ml@aist.go.jp

---

GSJ 地質ニュース 第 12 巻 第 10 号  
令和 5 年 10 月 15 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  
中央事業所 7 群

印刷所

**GSJ Chishitsu News Editorial Board**

Chief Editor : MIYACHI Yoshinori  
Deputy Chief Editor : TOSAKI Yuki  
Editors : TAKEHARA Takashi  
KODAMA Shinsuke  
KUSANO Yuki  
UTSUNOMIYA Masayuki  
YAMAOKA Kyoko  
MORIJI Rie

Secretariat Office

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology  
Geological Survey of Japan  
Geoinformation Service Center Publication Office  
E-mail : g-news-ml@aist.go.jp

---

GSJ Chishitsu News Vol. 12 No. 10  
October 15, 2023

**Geological Survey of Japan, AIST**

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

## 噴火を間近で観測する研究者（トカラ列島，諏訪之瀬島）

[cover photo](#)



諏訪之瀬島<sup>おたけ</sup>御岳火口の 2023 年 4 月 17 日 13 時 22 分頃の噴火。御岳火口から約 1 km 北東の京都大学の観測点から観察した。噴煙はほとんど音もなく上がるが、時おりダダーンという花火のような音やババババといった破裂音がある。風向きによってはしばらくすると火山灰が降ってきて目がちかちかする。諏訪之瀬島火山は南西諸島の吐噶喇（トカラ）列島を構成する安山岩質成層火山の島だ。1950 年代から現在までストロンボリ式噴火や小規模なブルカノ式噴火が継続していて、2023 年現在は日本で最も頻繁に爆発を繰り返す火山のひとつである。鹿児島港から週 2 回運行するフェリーで約 8 時間かけて訪問した。

写真・文：松本恵子（産総研地質調査総合センター 活断層・火山研究部門）

Researchers observing an eruption up close (Suwanosejima volcano, Tokara Islands). Photo and caption by MATSUMOTO Keiko