

2025

1

Vol.14 No.1

GSJ

地球をよく知り、地球と共生する

地質ニュース



1月号

-
- 1 年頭のご挨拶 —産総研第5期から第6期に向けて—
中尾信典
-
- 3 花崗岩類にみられるマグマ混合の産状：
野外・鏡下での特徴
山崎 徹
-
- 10 湧水に浸すと発電できる「湧水温度差発電」
—流れ去る湧水の熱エネルギーを電気として有効利用—
天谷康孝・一ノ瀬 彩・井川怜欧
-
- 15 これまでの10倍の効率で花粉を地層から分取し高精度
年代測定を可能に —大型花粉によって今まで諦めてい
た地層からの年代測定が実用化—
太田耕輔・横山祐典・宮入陽介・オブラクタ スティーブン・
山本真也・藤原 治
-
- 18 微生物を活用した鉱山廃水処理システムの開発に成功
—細菌の新しいマンガン酸化のしくみを利用—
渡邊美穂・Tum Sereyroith・片山泰樹・Gotore Obey・
岡野邦宏・松本親樹・保高徹生・宮田直幸
-
- 22 産総研生配信「産総研の研究者だけど質問ある？」：
火山研究の紹介
宝田晋治・宮城磯治・中谷貴之
-
- 26 産技連 知的基盤部会 地質地盤情報分科会 令和5年度講演会
「ハザードマップ作成における地質地盤情報の利活用」
開催報告
野々垣 進・小松原純子・納谷友規・宮地良典
-
- 29 2024年度地震・津波・火山・斜面災害に関する自治体職員
研修プログラム開催報告
宮下由香里・今西和俊・石塚吉浩・宍倉正展・深沢佐知子・藤原 治

年頭のご挨拶

—産総研第5期から第6期に向けて—

国立研究開発法人産業技術総合研究所 執行役員
地質調査総合センター長
中尾 信典

2025年(令和7年)の年頭にあたり、産業技術総合研究所地質調査総合センター(GSJ)を代表してご挨拶申し上げます。



昨年の自然災害について

昨年元日に発生した令和6年能登半島地震は記憶に新しいところですが、活断層による隆起量は最大4mにも達しました。さらに昨年9月の集中豪雨により、地震後の復興途中であった能登半島において斜面災害が数多く発生し甚大な被害となりました。心よりお見舞い申し上げますとともに、少しでも早い復旧を祈念いたします。

また昨年8月には宮崎県沖の日向灘を震源とするマグニチュード7.1の地震が発生し、「南海トラフ地震臨時観測情報(巨大地震注意)」として、初めて政府から特別な注意の呼びかけがなされました。幸い大規模な地震には今のところつながっていませんが、地域に応じた各種の災害特性や災害情報をよく知り、日頃からの備えが大切であることを改めて認識させられました。地震・津波、火山、斜面災害といった自然災害の被害を軽減するために、GSJでの地質情報整備等の調査研究で先導的な研究成果を出し、それら研究成果をいかに知っていただき、使っていただくかを今後も模索していくことが必要と考えています。

産総研第5期の振り返り

今年度は産総研第5期中長期研究期間(5ヶ年)の最終年度にあたり、第5期の総決算が本年3月末まで続きます。エネルギー・環境問題、地球温暖化、少子高齢化、自然災害、新型コロナウイルス感染症の蔓延など、多様な社会課題の解決と、日本の産業競争力強化(イノベーション創出)に貢献す

ることが産総研第5期の大きなミッションとなっています。

GSJは社会課題解決では、エネルギー・環境制約の課題に関して、産業活動と環境保全の調和に資する技術開発と環境基礎情報の整備を、産総研の研究領域融合型のプロジェクト『環境調和型産業技術研究ラボ(E-code)』として主導してきました。他の社会課題についても積極的に融合プロジェクトに参画しました。また、自然災害等に対する国土強靱化に関しては、地質情報を活用した防災や自然災害リスク評価等に取り組みました。産業競争力の強化では、各種産業利用のニーズに対応した地下地盤や地層の物理・化学特性並びに年代測定のための地質調査技術の開発を進めました。土壌汚染等評価・措置に関する各種試験方法の標準化にも取り組み、日本産業規格の発行という成果を出しました。

GSJの最も重要な研究課題である地質情報整備については、知的基盤整備計画に沿った国土及びその周辺海域の地質図幅・地球科学図等を系統的に整備するとともに、海底資源確保や都市防災に資する地質情報を提供してきました。

広報・アウトリーチ活動

GSJでは皆様にもっと身近に地質情報に接していただけるように、広報・アウトリーチ活動等にも力を入れています。具体的には、国内唯一の地学専門ミュージアム『地質標本館』を利活用した地学系のイベントや情報発信、研究成果のプレスリリースや、ネット配信による地質情報の発信と普及です。スマホやタブレットを用いていつでもどこ

でも見ることができる地質図, Web アプリ『地質図 Navi』や『20 万分の 1 日本シームレス地質図』なども適宜アップデートしながら提供しています。

特に, 研究成果を皆様に知っていただくため, GSJ はプレスリリース等の積極的な成果発信に注力してきました。第 5 期の 2020 年(令和 2 年)度から 2023 年(令和 5 年)度にかけて, プレスリリース件数は 15 件, 17 件, 21 件, 24 件と右肩上がりが増えていきます。一方, プレスリリースの中から, 社会課題の解決や当該学術分野に大きな影響を及ぼすことが期待される研究成果を選考し, 2020 年(令和 2 年)度から毎年「地質調査総合センター研究奨励賞」として表彰しています。これは GSJ 研究者の帰属意識, エンゲージメント向上にもつながるものと期待しています。GSJ の Web ページ, <https://www.gsj.jp/researches/gsj-research-award/index.html> に受賞テーマ・受賞者など, 詳細が掲載されていますので是非ご覧ください。

また, 研究成果の最も効果的な発信方法として, 毎年主要な研究テーマの成果を包括した GSJ シンポジウムを開催しています。2024 年も GSJ シンポジウムを 3 回開催しました。10 月 25 日の『デジタル技術で繋ぐ地質情報と防災対策～活断層 - 火山 - 斜面災害 - 海洋地質～』, 12 月 6 日の『令和 6 年度地圏資源環境研究部門研究成果報告会 脱炭素と社会・経済が調和したトランジションに向けて エネル

ギー・環境・資源制約へ対応する燃料資源地質研究』, 12 月 20 日の『地質を用いた斜面災害リスク評価 - 高精度化に必須の地質情報整備-』です。シンポジウムにご出席いただいた企業の方から「シンポジウムを精力的に開催されていることは成果普及の面で大変良い事ですね」というお声をいただき, うれしく感じた次第です。研究成果をよく知っていただき, 社会実装に結び付けるための第一歩である取組が実を結ぶことを期待し, これからも節目ごとに GSJ シンポジウムを開催できればと思っています。

さて, 2025 年(令和 7 年)度からの産総研第 6 期中長期計画においても, 産総研がナショナル・イノベーション・エコシステムの中核となる経営方針を継続し, そこに掲げる目標の達成のための体制・制度設計等が着々と進められています。その中で, 社会課題解決と産業競争力強化をミッションとすること, 我々の研究成果を社会実装に結び付けるべく, 様々な取り組みを行っていくという方向性は変わらないところです。

2025 年, GSJ は地質調査のナショナルセンターとして, 地質情報を着実に整備し, 資源開発・環境保全, 自然災害の軽減を出口とした国内外での研究活動, それら成果の社会への橋渡しをより一層充実してまいりたいと思います。皆様からのご支援・ご鞭撻をよろしく願います。



2024 年 5 月, 新緑に囲まれた地質標本館入口。

花崗岩類にみられるマグマ混合の産状： 野外・鏡下での特徴

山崎 徹¹

1. はじめに

マグマから固結した岩石のうち、肉眼で判別できるほどの大きさの鉱物から構成されるものを深成岩と呼びます。深成岩は、花崗岩類・閃緑岩・斑れい岩類などから構成され、しばしば墓石や建物の壁材(化粧石)として利用されています。ビルの壁材等に使用されている花崗岩中には、径数センチほどの楕円形の黒色部がみられることがあります。これは一般に「暗色包有物」などと呼ばれ、花崗岩マグマ中に取り込まれた、異質な岩石の痕跡と考えられています。花崗岩類は、マグマが地下深部でゆっくりと冷え固まった岩石で、マグマの移動や定置の過程で周囲の岩石を取り込むことによって、このような包有物が形成されます。一方で、花崗岩中には、断面が楕円形ではなく、不規則な形で入り組んだ境界を持つ暗色包有物が産することがあります。それらは花崗岩質のマグマと、玄武岩質のマグマとが混合した産状を示す、いわば“マグマ混合の化石”であると考えられています。その印象的な産状は研究者の関心を引きつけ、これまでに数多くの研究がなされていますが、筆者の知る限り、こうした産状の解説は邦文の書籍・教科書では十分になされておらず、特に、顕微鏡下(薄片)での組織については、全く紹介されていないようです。

そこで、本論では、花崗岩中にみられるマグマ混合の産状について、顕微鏡下の組織を含め、代表的な例を紹介します。

2. マグマ混合・混交と花崗岩類中の包有物について

学問的な記述を行う際に避けては通れないのが定義で、以下に本論の記述に関連する用語を簡単に説明します。ただし、その用法は、研究分野や論文ごとに異なっているのが実情です。以下の記述は、筆者の考える“多数派”と思われる使い方であって、教科書的な定義ではないことにご注意ください。

異なるマグマ同士が混合することを、一般に“マグマ混合

(マグマ・ミキシング, magma mixing)”と呼びます。一方、オイルドレッシングを振り混ぜた時に、油分と水分が完全に均質化せずに液滴状に混合しているような状態を、“マグマ・ミングリング(magma mingling)”と呼び、日本語ではしばしば“マグマ混交”と表記されます。マグマ混交という用語/概念を導入した場合、“マグマ混合”には、2種類のマグマが完全に均質化した状態を指す場合と、単純に、均質化の状態に関わらず、ある一定の範囲(例えばマグマ溜まり)内に2種類のマグマが混在している状態を指す場合とがあり得ます。本論では、後者の状態として用いることとし、マグマ混交はマグマ混合の具体的な様態の1つとします。一方、完全に均質化した場合、あるいは化学的に均質化しつつある場合は、ハイブリッド化(hybridization)を使うことにします。

次に、花崗岩中の各種包有物(岩)について、第1表に一覧を示します。冒頭に述べた暗色包有物(dark inclusion)は、暗色包有岩とも呼ばれ、成因に関係なく、優白質の花崗岩類中に含まれる暗色の包有物(岩)のことを指します。花崗岩の研究においては、包有岩のことを伝統的にフランス語のエンクレーブ(あるいはエンクレイブ, enclave)と呼びます。これはLacroix(1890)が、均質な火成岩中に捕獲された岩石片を指す用語として用いたことに由来します。このLacroix(1890)では、エンクレーブと包有物とは明確に区別され、包有物という語は鉱物の中に取り込まれたものに対して使用されていました。しかしながら、現在では、上述のように露頭スケールの岩片に対しても包有物という用語が一般的に使用されています。エンクレーブや包有物と似たような用語に、ゼノリス(xenolith)やオートリス(autolith)があります。いずれも日本語では捕獲岩と表記されることが多いのですが、ゼノリスは、マグマに捕獲された、マグマとは異なる起源の岩石のことを意味し、多くの場合、マグマの通路やマグマ溜まり周囲の岩石(壁岩)由来の捕獲岩を指します。一方、オートリスは、ゼノリスと区別するため、同源捕獲岩と表記される場合もあり、マグマと同源の早期晶出・固結相、例えば、マグマの結晶分

¹ 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

キーワード：深成岩、花崗岩、MME、苦鉄質マグマ、マグマ混合、マグマ混交

第1表 様々なタイプのエンクレーブ.

| | 用語/名称 | 性質 | 境界 | 形態 | 特徴 |
|--|---|----------------------|-----------------|------|------------------------|
| ト ー ン ク ラ ン ク ハ ン ド | ゼノリス/捕獲岩 (Xenolith) | 母岩の断片 (接触変成岩) | シャープ | 角礫状 | 接触変成組織・鉱物 |
| | 雲母質エンクレーブ (Surmicaceous enclave) | 部分溶融の融け残り (レスタイト) | シャープな黒雲 母の殻 | レンズ状 | 変成組織を示す雲母 及びアルミナス鉱物 |
| | 珪長質細粒状エンクレーブ (Felsic microgranular enclave) | 分断された細粒の縁 | シャープもしくは は漸移 | 球形 | 細粒火成組織 |
| | 苦鉄質細粒状エンクレーブ (Mafic microgranular enclave) | 液滴状の共存マグマ | ほとんどの場合 シャープ | 球形 | 細粒火成組織 |
| | キュムレイトエンクレーブ/オートリス (Cumulate enclave/Autolith) | 分断されたキュムレイト | ほとんどの場合 漸移 | 球形 | 粗粒キュムレイト 組織 |

Didier and Barbalin (1991) を簡略化. これらのうち, 暗色のものが暗色包有物/岩とも表現される.

化作用の早期に晶出した鉱物が沈積してできた, キュムレイト(沈積岩)等を指します.

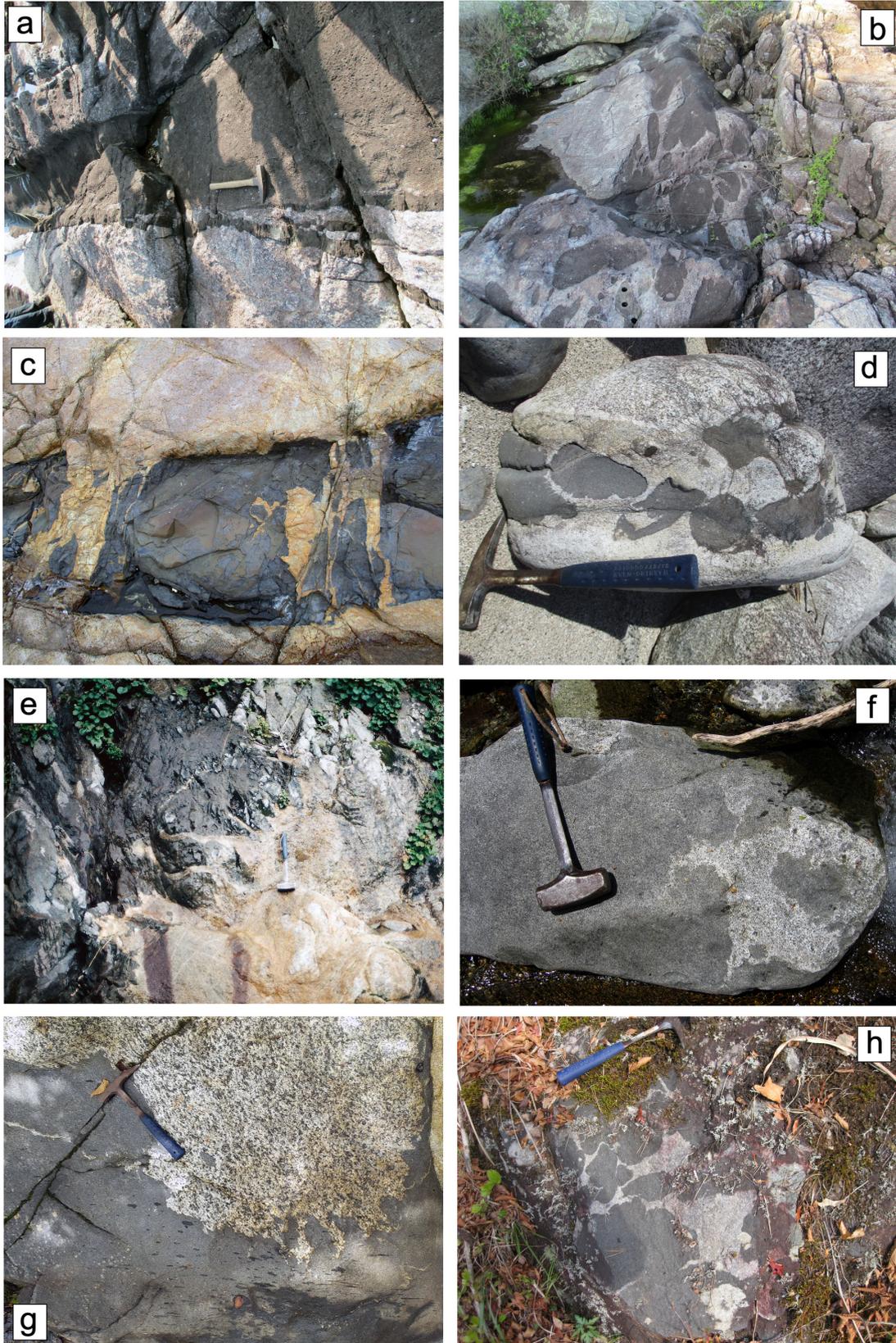
エンクレーブのうち, 暗色で火成組織を持つものは, Mafic Magmatic Enclave(苦鉄質火成エンクレーブ), Mafic Microgranular Enclave(苦鉄質細粒状エンクレーブ), Mafic Microgranitoid Enclave(苦鉄質細粒花崗岩質エンクレーブ)等と, 研究者によって様々に呼ばれてきましたが, それぞれ3つの語の頭文字が共通であるため, MME(エムエムイー)と総称されています. これらは, 火成起源というだけでなく, 定義上, 花崗岩質マグマと同時期に存在した苦鉄質マグマの液滴に由来するとされています(例えば, Didier and Barbalin, 1991). したがって, 本論の主要な対象となるのはこのMMEです. なお, 珪長質とは, 長石や石英(成分)に富み一般に優白質であることで, 苦鉄質とは, 苦鉄質鉱物(成分), 具体的には鉱物やマグマが鉄やマグネシウムに富み, 一般に優黒質であることを意味します. 花崗岩質マグマとは, 固結したら花崗岩になる成分のマグマのことで, 流紋岩質マグマと同じ意味で, 珪長質マグマの一部です. よって, 以降, 特別な場合を除き, 花崗岩質・流紋岩質マグマのことを珪長質マグマ, 玄武岩質~安山岩質マグマのことを苦鉄質マグマと記述します. ちなみに, MMEはその定義上, 苦鉄質なエンクレーブのことを指しますが, MMEに相当する珪長質なものも存在し, それらは珪長質細粒状/火成エンクレーブ(Felsic Microgranular/Magmatic Enclave, FME)と呼ばれます.

3. マグマ混合現象の野外における産状

マグマ混合現象の野外における産状については, 吉倉・

熱田(2000)に写真やイラストと共に比較的平易な説明があります. ここでは, それらを参考に簡単に解説します. MMEにおいて, 珪長質マグマと苦鉄質マグマとが同時共存した根拠となるのは, 両者が相互に貫入しあっている産状です. 貫入関係は地質学・火成岩岩石学の基本で, 一方の火成岩が, 他方の火成岩に貫入している場合, 貫入している側が若い(後から貫いた)ことを意味します. よって, 相互に貫入しあうというのは, 両者が貫入可能な液状態として同時に存在する場合しかあり得ないことになります.

例えば, 第1図aの苦鉄質岩脈は, 花崗岩との境界付近で一部枝分かれしているものの, 基本的には花崗岩に対して貫入しているように見えます. しかし, この岩脈の延長(第1図b)では, 苦鉄質部が不規則な形の楕円体状(紡錘状あるいは液滴状)に分裂し, 花崗岩に包有される産状が認められます. したがって, この苦鉄質部と珪長質部とは相互に貫入・包有しあう関係にあり, このような第1図bの産状がMMEです. さらに, このようなMMEに至る過程が観察されることもあります. 第1図cは, 平板状の岩脈に貫入される側の花崗岩類が, 逆に岩脈状部に貫入し, 結果的に包有しています. このように, 周囲の花崗岩類に一部再貫入されている岩脈を逆入脈岩脈(back-veined dike), 結果として第1図cのように分断されている岩脈を分断岩脈(fragmented dike)と呼びます. 第1図dは, MMEが並び, かつて岩脈を形成していたように見えますが, 個々のMMEは丸みを帯びたり不規則な形態をした液滴状です. このような産状を包有岩岩脈(enclave dike)と呼びます. そして, 以上の全ての例のように, 深成岩がマグマあるいはマッシュ状態(粥状で, 完全に固結していない状態)のときに貫入した岩脈のことを, 同時性岩脈(syn-



第1図 花崗岩中のマグマ混合組織の野外での産状。(a) 枝分かれる苦鉄質岩脈。(b) 苦鉄質岩脈(群)の延長に産するMME。中央下部のコア採取孔の直径約2.6 cm。(c) 周囲の花崗岩類に貫入しつつ、逆に貫入される苦鉄質岩の分断岩脈。岩脈状の幅約50 cm。(d) 包有岩岩脈。(e) 火炎状縁の産状。(f)、(g) MMEにみられる小円鋸歯状-カスプ状(crenulate-cusped)境界。(h) 苦鉄質岩優勢部における花崗岩類の産状。a～c：ブラジル・フロリアノポリス周辺，d：東濃地方，明智地域，e：北海道，日高変成帯，f：北海道，奥土別地域，g：伊奈地方，大河原地域，h：三河地方，足助地域。

plutonic dike; 直訳的には、深成作用と同時期の岩脈の意)と呼びます。

MMEが花崗岩中に産する場合、苦鉄質部と周囲の花崗岩類が同時にマグマ(液)状態である場合に形成される特徴的な産状を示すことがあります。その1つが、第1図eに示した火炎状縁です。苦鉄質部と花崗岩質部とは、鋸歯状あるいは火炎状の明瞭(シャープ)な境界で接し、相互に貫入しあうような産状を示します。より一般的には、小円鋸歯状(丸みを帯びた小さな鋸歯状, crenulate)ないしカスパ状(半島のような先端を持つ形, cuspsate)の境界を持つMMEがしばしば観察されます(第1図f, g)。このような産状は、日本語としては“入道雲様”のほうが分かりやすいかもしれませんが。以上はMMEにみられる産状の一部で、吉倉・熱田(2000)には、その他の産状についても紹介されています。

このような一連の産状は、接触する2つの液の間に温度・組成・レオロジー(物質の流動や変形に関する性質)の大きな差異があるために形成されると考えられています(例えば, Barbalin and Didier, 1991)。ごく簡単に説明すると、玄武岩・安山岩・流紋岩の順にそのマグマは苦鉄質から珪長質になるため、その両極端の玄武岩と流紋岩のマグマが接触する場合、組成に大きな差があることとなります。同時に、玄武岩質マグマは約1200°C程度でさらさらしている一方、流紋岩質マグマは800~700°Cで粘度が高いことから、温度・物性にも大きな差が存在します。こうしたマグマの性質の違いにより、2種類のマグマが容易には均質化せず、様々な混交構造が形成されるということです。なお、マグマ同士の接触であっても、両者には400~500°Cの温度差があるため、苦鉄質マグマは急冷され、MMEに急冷周縁相が認められる場合があります。

ところで、こうしたMMEは、多くの場合、珪長質のマグマに苦鉄質のマグマが注入(貫入)して形成される産状として観察されますが、露頭によっては苦鉄質部のほうが多いこともあります(第1図h)。液状態で同時共存して相互貫入の関係にあるため、この場合は、苦鉄質部に優白質部が包有されている、あるいは貫入している産状として観察されます。

4. 鏡下におけるマグマ混合組織

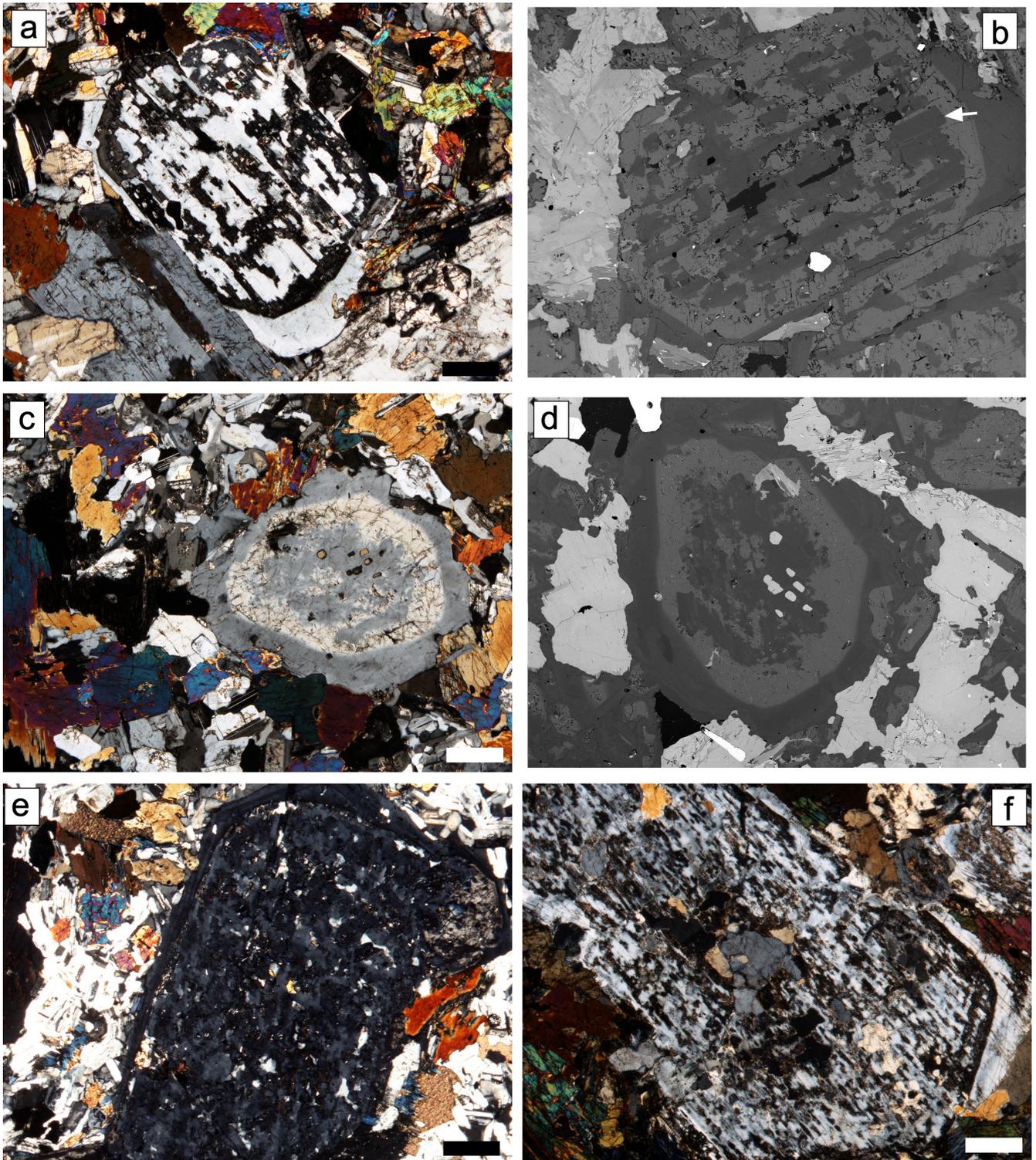
鏡下におけるマグマ混合組織とは、顕微鏡下においてのみ観察されるスケールのマグマ混合のことでなく、露頭においてマグマ混合現象を示す場合、MMEやその周囲の花崗岩類の中に観察される特徴的な組織のことです。米国

のM. J. Hibbard博士によって精力的に検討され、書籍としてもまとめられています(Hibbard, 1995)。そうした組織は日本語の書籍等において全く紹介されていないため、以下に代表的なものを示します。露頭でのマグマ混合現象に伴われて、しばしば以下に紹介する組織が同時に(同一の岩石・薄片内に)認められるのが特徴です。ただし、それぞれの組織は個別にマグマ混合以外の原因でも形成されるため、こうした組織が存在することがマグマ混合の確実な根拠となるわけではないことに注意が必要です。

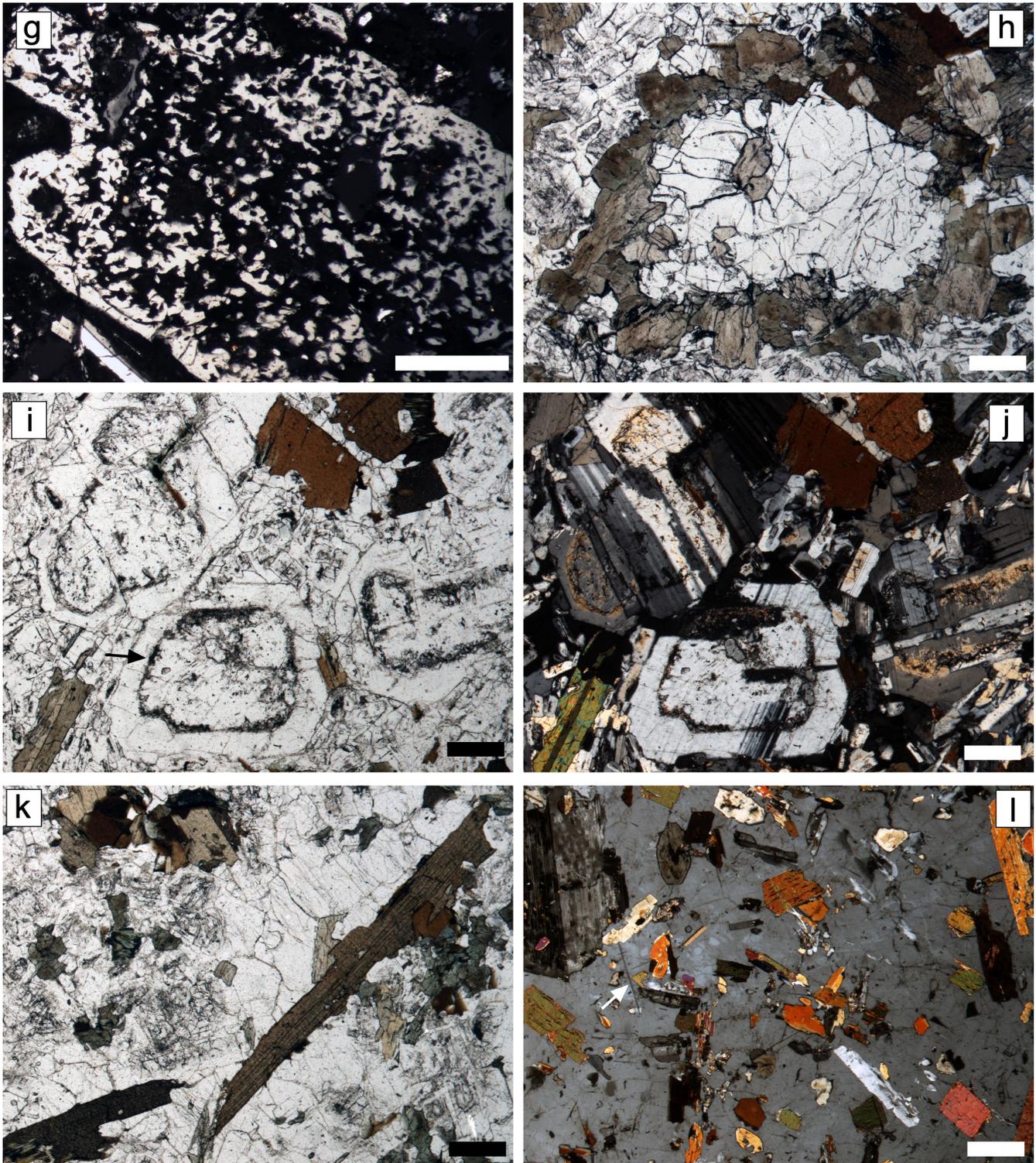
斜長石は構成元素・結晶構造の性質上、結晶内部での拡散による元素の移動が起きにくい(遅い)ため、マグマ混合、すなわちマグマの組成や温度の変化に伴う様々な組織が残されています。第2図aは、箱型セル状(boxy-cellular)斜長石と呼ばれるものです。単一の斜長石結晶が、文様状の異なる2つの消光位の斜長石から構成されていることが分かるといえます。明色部分に注目して、第2図bの反射電子組成像を見ると、例えば矢印で示した部分は長柱状の自形を示しており、写真が小さくて分かりづらいですが、この部分はリムにおいて組成逆累帯構造を示しています(反射電子組成像ではCaに富む部分が明色に見えます)。箱型セル状斜長石は、このように自形性の強い箱状の斜長石が細胞あるいは昇目(セル)のように連結し、全体として1つの斜長石結晶として産するのが特徴です。

第2図cは、斜長石結晶中のCaに富むゾーン(calcic zone of plagioclase)と呼ばれるものです。箱型セル状斜長石と似ていますが、反射電子組成像(第2図d)で見ると、直線的外形を持つドーナツ状のCaに富む部分が明瞭に識別できます。第2図e及びfは、スポンジセル状斜長石(spongy-cellular plagioclase)と呼ばれるものです。変質のためであって、やや不明瞭ですが、箱型セル状との違いは、個々のセルが自形性の強い箱状ではなく、丸みを帯びた液滴状である点です。Hibbard(1995)による典型的な例としては、第2図gのような産状が提示されています。

第2図a-fのような組織は、マグマ混合による、特にマグマの温度変化によって、斜長石が内部から部分的に溶融し、その溶融した部分が温度変化後に再度結晶化することによって説明できます。Hibbard(1995)も述べているように、こうした現象はマグマ混合だけでなく、圧力変化(断熱減圧)によっても生じ得ます。実際に、第2図gの例は、マグマ混合を伴わない火山岩の斑晶に観察される減圧組織ですが、組織自体はマグマ混合による典型的なものと同様です。深成岩の形成条件においては、急激なマグマの組成・温度・圧力変化によって第2図gのような組織ができたとしても、その後ゆっくり冷えることによって結晶化し、最



第2図 マグマ混合に伴われる特徴的な鏡下での組織。(a) 箱形セル状 (boxy-cellular) 斜長石。(b) (a) の反射電子像。矢印は自形性の強い結晶の例。(c) 斜長石結晶中の Ca に富むゾーン (calcic zone of plagioclase)。(d) (c) の反射電子像。(e), (f) スポンジセル状 (spongy-cellular) 斜長石。(g) 火山岩の減圧組織として産する スポンジセル状斜長石。(h) オセラー組織を示す、ホルンブレンドに覆われた石英 (ocellar texture of hornblende-mantled quartz)。(i), (j) 斜長石中の汚濁帯 (dusty-zone, 矢印部)。(k) 刃状黒雲母 (blade-shaped biotite)。(l) ポイキリティックアルカリ長石と針状アパタイト (acicular apatite, 矢印部)。a ~ d: 三河地方, 足助地域, e: 東濃地方, 明智地域, f: 伊奈地方, 大河原地域, g: 中部沖繩トラフ, h ~ k: 東濃地方, 明智地域, l: 北海道, 日高変成帯。h, i, k: オープン・ニコル, a, c, e, f: クロス・ニコル。顕微鏡写真右下のスケールの長さは約 0.5 mm。



第2図 続き.

終的には第2図eのような、不明瞭な境界を持つ“まだら”な消光位の斜長石となるものと思われます。

その他に、第2図hのホルンブレンドに覆われた石英 (hornblende-mantled quartz) を典型とした、各種鉱物から構成される球状あるいは同心円状の、オセラー組織と呼ばれる鉱物集合体 (ocellar とは単眼状というような意味) も、

比較的稀ではありますがマグマ混合に特徴的な特異な組織です。こうした組織は、石英結晶や石英長石質のメルトが、より苦鉄質の液と接触することによって、両液間(あるいは液-結晶間)で元素移動が生じ、ミクروسケールでハイブリッド化が達成された部分でそれぞれ安定な鉱物が結晶化することで形成されと考えられます。

斜長石には、セル状のまだらな消光のほか、明瞭な汚濁帯 (dusty-zone) が存在する場合があります (第 2 図 i, j)。これは、マグマ混合によって、マグマの化学組成・温度が変化した際に形成されたり溶融した微細な鉱物粒が、成長中の斜長石のリムの部分に取り込まれたものです。斜長石がそのまま成長すると、ドーナツ状あるいはリング状の帯として残ります。花崗岩側では、溶融に伴うセル状組織と組み合わせあって出現することが多く、苦鉄質岩側 (MME) では、温度が低下するだけで必ずしも溶融を伴わないため、セル状組織を伴わずに産することが多いです。

以上に加えて、急激なマグマの温度・組成変化に伴って、著しく伸長した (縦横比の大きい) 刃状黒雲母 (blade-shaped biotite) や針状アパタイト (acicular apatite)、そして、細粒・自形の様々な鉱物を多量に包有するポイキリティック・アルカリ長石 (もしくは石英) も、上述のような他の鉱物組織と組み合わせあって、マグマ混合の際にしばしば産します (第 2 図 k, l)。

5. おわりに

深成岩体中にみられるマグマ混合の痕跡は、進行中のハイブリッド化の一時点が固化したものであるため、段階あるいは進行度の違いによって、本論で紹介した以外にも多様な産状が生じ得ます。また、本論で扱ったもの以外にも、論文等では様々なタイプの野外・鏡下での産状が報告されています。特に、我が国ではアルカリ岩に関連したマグマ混合の報告はほとんどないため、今回は説明を省略しましたが、いわゆるラパキビ花崗岩の長石は、楕円体状のアルカリ長石を斜長石が取り囲むという構造を示し、アルカリ質マグマの関与したマグマ混合の代表例と考えられています。足摺岬のラパキビ花崗岩とマグマ混交については、吉倉 (2015) に詳しい解説があります。

本論では、マグマ混合に伴われる野外・鏡下の産状のうち、筆者が露頭写真や試料を有する代表的なものについて紹介しました。特に鏡下での組織については邦文での紹介がほとんどありませんので、顕微鏡観察まで含めた踏み込んだ研究を行っている市民研究者の方々や、職業上こうした産状を見る機会のある技術者の方々の参考となれば幸いです。

文 献

- Barbalin, B. and Didier, J. (1991) Macroscopic features of mafic microgranular enclaves. *In* Didier, J. and Barbalin, B., eds., *Enclaved and Granite Petrology*, Developments in Petrology, 13, Elsevier, Amsterdam, 253–262.
- Didier, J. and Barbalin, B. (1991) The different types of enclaves in granites—Nomenclature. *In* Didier, J. and Barbalin, B., eds., *Enclaved and Granite Petrology*, Developments in Petrology, 13, Elsevier, Amsterdam, 19–23.
- Hibbard, M. J. (1995) *Petrography to Petrogenesis*. Prentice-Hall, New Jersey, 587p.
- Lacroix, A. (1890) Sur les enclaves acides des roches volcaniques d’Auvergne. *Bulletin du Service de la carte géologique de la France*, 2, 25–56 (in French).
- 吉倉紳一 (2015) 足摺岬のラパキビ花崗岩. 鈴木堯士・吉倉紳一編, 最新・高知の地質 大地が動く物語 (第二版), 南の風社, 高知, 174–199.
- 吉倉紳一・熱田真一 (2000) 花崗岩体に記録されたマグマ混交・混合現象. 月刊地球 / 号外, no. 30, 140–145.

YAMASAKI Toru (2024) Magma mixing texture in granitoids: Field and microscopic features.

(受付：2024 年 8 月 7 日)

湧水に浸すと発電できる「湧水温度差発電」―流れ去る湧水の熱エネルギーを電気として有効利用―

天谷 康孝¹・一ノ瀬 彩²・井川 怜欧³

※本稿は、2024年6月10日に行ったプレス発表（https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2024/pr20240610/pr20240610.html）に加筆し、再編したものです。

ポイント

- 湧水と大気との自然な温度差から発電できる技術を考案
- 電池なしで湧水の温度を計測し、無線通信で自動的なデータ収集に成功
- 地域資源である湧水の保全と持続可能な利用に貢献

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）物理計測標準研究部門応用電気標準研究グループ天谷康孝研究グループ付、国立大学法人茨城大学大学院理工学研究科一ノ瀬 彩助教、産総研地圏資源環境研究部門地下水研究グループ井川怜欧上級主任研究員は共同で、湧水¹と大気との温度差を利用した「湧水温度差発電」が可能であることを実証しました。発電した電力を用いることで電池なしで湧水の温度を計測し、無線通信で自動的にデータ収集することに成功しました。この技術は、固体の熱と電気の相互変換作用である熱電発電²を利用するので、水車のような可動部を必要とせず、水の流れがない水路でも発電が可能となります。また、太陽光が届かない日陰や、夜間も連続的に発電することができます。この技術を用いれば、メンテナンスのコストを抑えた連続的な環境計測も可能となり、人為的な活動などによる湧水の変化を早期に発見することができます。このように、湧水を持つ熱エネルギーを電力として活用する多面的価値を創出することで、地域資源である湧水の保全と持続可能な利用に対する貢献が期待されます。なお、この技術の詳細は、Elsevier 出版の学術誌「Energy Conversion and Management」に2024年6月2日付で掲載されました。

開発の社会的背景

地下水が地表へと湧き出した湧水は、地域のくらしや文

化、水神社などの土着信仰を支える貴重な存在です。地下水が豊富なことで知られる松本盆地の中心部に位置する長野県松本市³は、まつもと城下町湧水群に代表される豊富な地下水を有し、これらは井戸や水路などを通じて地域の文化や生活に彩りを与え、現在でも貴重な観光資源となっています。一方で、水道の普及による井戸の減少や道路拡張による水路の暗渠（地下通水路）化で、このような水辺環境は失われつつあります。しかし、近年、提唱されるようになった TNFD⁴ やネイチャーポジティブ⁵ の観点から、官民一体となった地域の自然資源（生物多様性、大気、水、土壌、鉱物）の保全や持続的な利活用に注目が集まっています。松本市の湧水についても、新たな利用価値を創出することができれば、地域の貴重な資源として、これまで以上に地域の発展に貢献することが期待されます。

研究の経緯

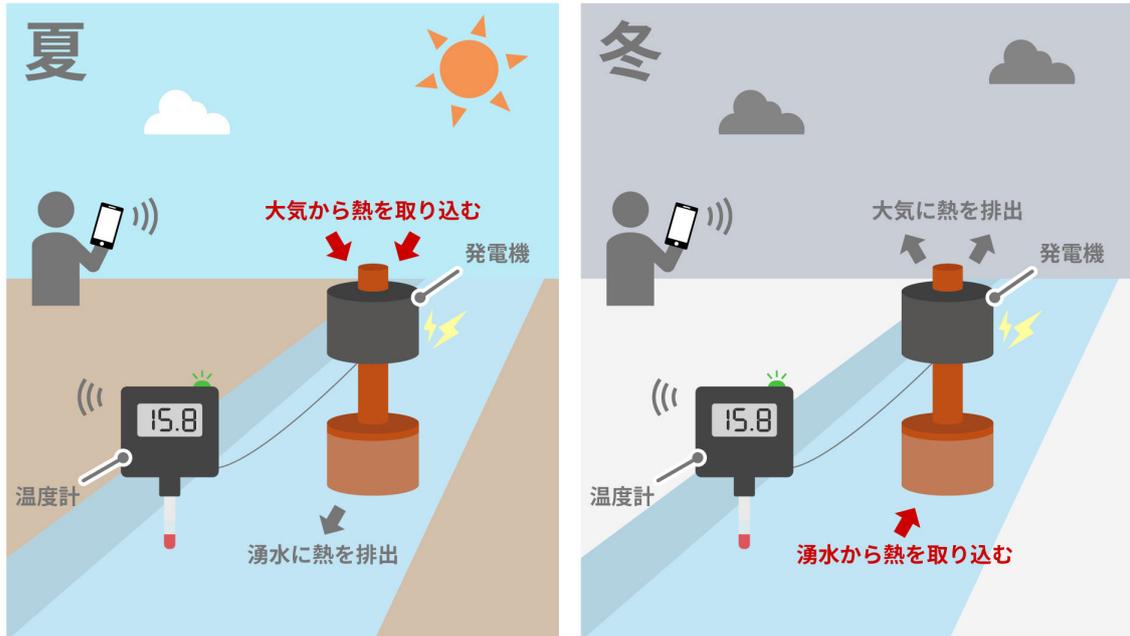
産総研物理計測標準研究部門では、電気量の精密測定技術を開発し、国家計量標準として整備しつつ、その知見を、熱電材料・モジュール⁶の性能評価などにより社会ニーズに即した課題へ展開してきました。産総研地圏資源環境研究部門では、環境課題の解決に必要な、水文学・水文地質学の研究および地下の開発・利用に係る技術に関する調査・開発を行ってきました。一方、茨城大学大学院理工学研究科では、長野県松本市を舞台とし、湧水などの地域資源を核とするデザイン手法の研究に取り組んできました。今回、両機関は、湧水の新たな価値の創出を目指して、湧水を持つ熱エネルギーを利用した発電技術の研究開発に取り組みました。なお、本研究開発は、独立行政法人日本学術振興会科学研究費助成事業基盤研究(C)「水辺空間の価値創出に向けた環境発電のデザイン上の課題解明と導入方法の実証的研究」(2022～2025年度)(研究代表者 一ノ瀬彩)による支援を受けています。

1 産総研 計量標準総合センター物理計測標準研究部門

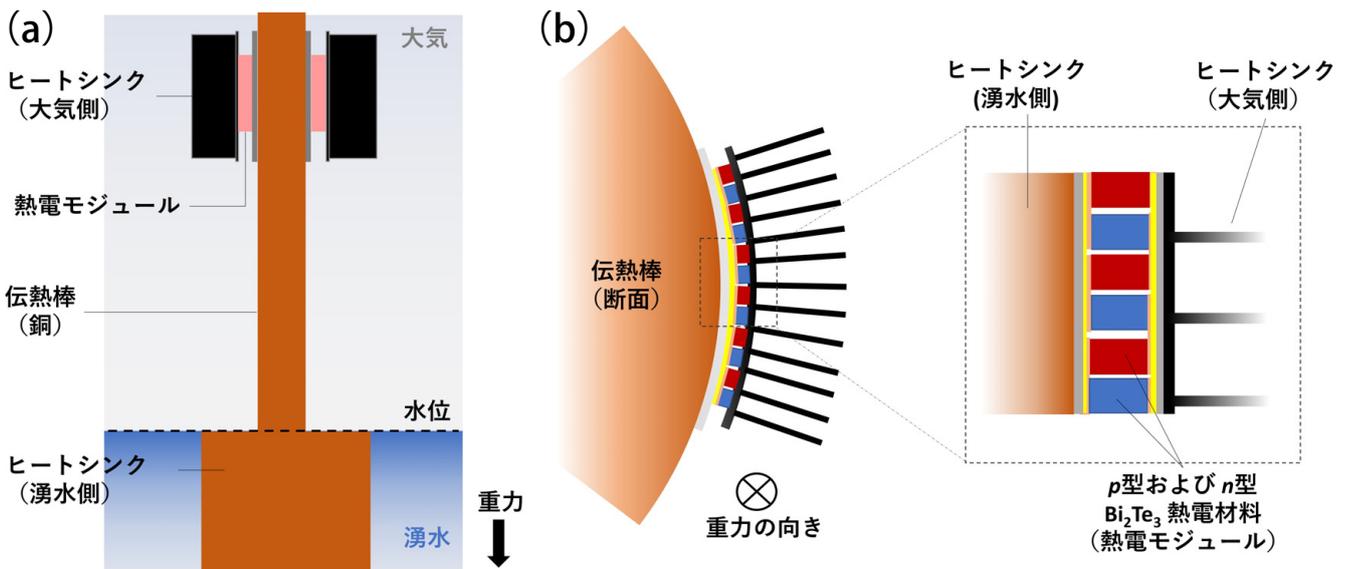
2 茨城大学 大学院理工学研究科 〒316-8511 茨城県日立市中成沢 4-12-1

3 産総研 地質調査総合センター地圏資源環境研究部門

キーワード：湧水、熱電発電、多面的価値、熱電モジュール、ヒートシンク



第1図 湧水温度差発電の原理図.



第2図 (a) 開発した湧水温度差発電装置, (b) 湧水温度差発電装置を上方から眺めた断面図と拡大図.
※原論文の図を引用・改変したものを使用しています.

研究の内容

湧水の温度は、地表の気温変化の影響を受けにくく、昼夜、1年間を通してほぼ一定な性質があるので、大気と湧水の間には自然な温度差があります。温度差を電力に変換する熱電発電を用い、湧水に浸すだけで発電する「湧水温度差発電」を考案し、安定した電力供給が可能な湧水温度差発電装置を開発しました(第1図)。また開発した発電装置を実際に湧水に設置して発電することで、電池なしで水温を計測し、無線通信で自動的にデータ収集できること

を実証しました。第2図に、湧水温度差発電装置を示します。片側を湧水に浸した円柱形の銅棒にて、熱電モジュールのある表面まで熱の流れを導くことで、大気よりも湧水の温度が低い夏場には熱電モジュールの片面が冷却され、大気よりも湧水の温度が高い冬場には加熱されます。すなわち、夏場には大気から湧水に熱エネルギーが流れ、冬場には湧水から大気に熱エネルギーが流れます。一方、熱電モジュールの反対面には、地表面付近の外気と効率的に熱交換が行われるようにヒートシンク⁷を貼り付けた構造になっています。本装置では、湾曲できる柔軟な熱電モ

ジュールを用いて、円柱形の銅棒と熱電モジュールを密着させることで、銅棒と熱電モジュール間の熱を伝わりやすくする工夫をしています。さらに、大気熱を対流によりヒートシンクが効率的に授受できるように、ヒートシンクのフィンの向きを重力の方向に対して平行となるよう取り付けました。今回想定している湧水と大気との温度差が小さい環境では、熱電モジュールの出力電圧は、数百 mV 程度であるため、温度記録計が動作する電圧までその出力電圧を昇圧する DC-DC コンバーター^{*8}が必要です。また、安定に給電できるように、キャパシター^{*9}を熱電モジュールと組み合わせて使っています。温度記録計には、液晶表示機能が付いたワイヤレス温度記録計 (T&D TR42A) を用いました。

長野県松本市 (緯度: 36.23° N, 経度: 137.97° E) の水路に温度差発電装置を設置して発電実験を行いました。松本市の市街地には豊富な井戸や水路が存在します。発電試験場の選定にあたり、産総研地質調査総合センターが調査、公開している日本水理地質図や地下水研究グループの研究成果などを活用しました。また、市街地に張り巡らされた水路や点在する井戸の幅、水温、水深などの熱環境の調査を地元住民の協力のもと行い、設置場所を決定しました (写真 1)。

湧水温度差発電は、大気と湧水の温度差を利用した発電です。湧水の温度は年間を通して約 15 °C とほぼ一定ですが、その一方で、気温は季節によって変化するため、それに伴い発電量も変化します。2022 年 5 月、2022 年 8 月、2022 年 11 月、2023 年 1 月および 2 月の異なる季節に発電試験を行いました (第 3 図 (a) ~ (d))。1 日の発電出力の平均値は、5 月は 3.1 mW、8 月は 4.2 mW、11 月は 1.1 mW、1 月は 14.5 mW でした。湧水と大気との温度が等しくなる期間を除くと、ワイヤレス温度記録計を年間通して安定に動作できる電力が得られることが示されました。特に、気温が氷点下となる 1 月が最も効率よく発電できました。これは、湧水と大気との温度差が最も大きくなる季節だからです。また、夜間も温度差が生じるため、昼夜を問わず発電することができました。

また、2022 年 5 月に発電した電力を温度記録計に給電する実験を行いました。湧水の温度は、一日を通して安定しており、約 15 °C でした。一方で、試験期間中の大気温度は、天気はおおむね晴天だったことから、日中は 30 °C に達し、夜間は 17 °C に下がりました。ワイヤレス温度記録計には、電池を搭載していませんが、水路に装置を置くとキャパシターへの充電が始まり、所定の充電電圧に達すると起動し、水温を計測することに成功しました。測定

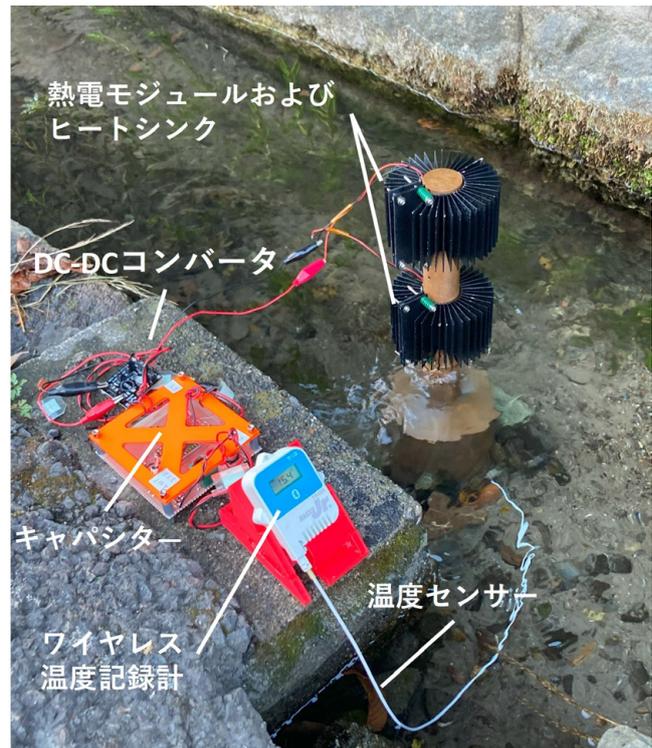
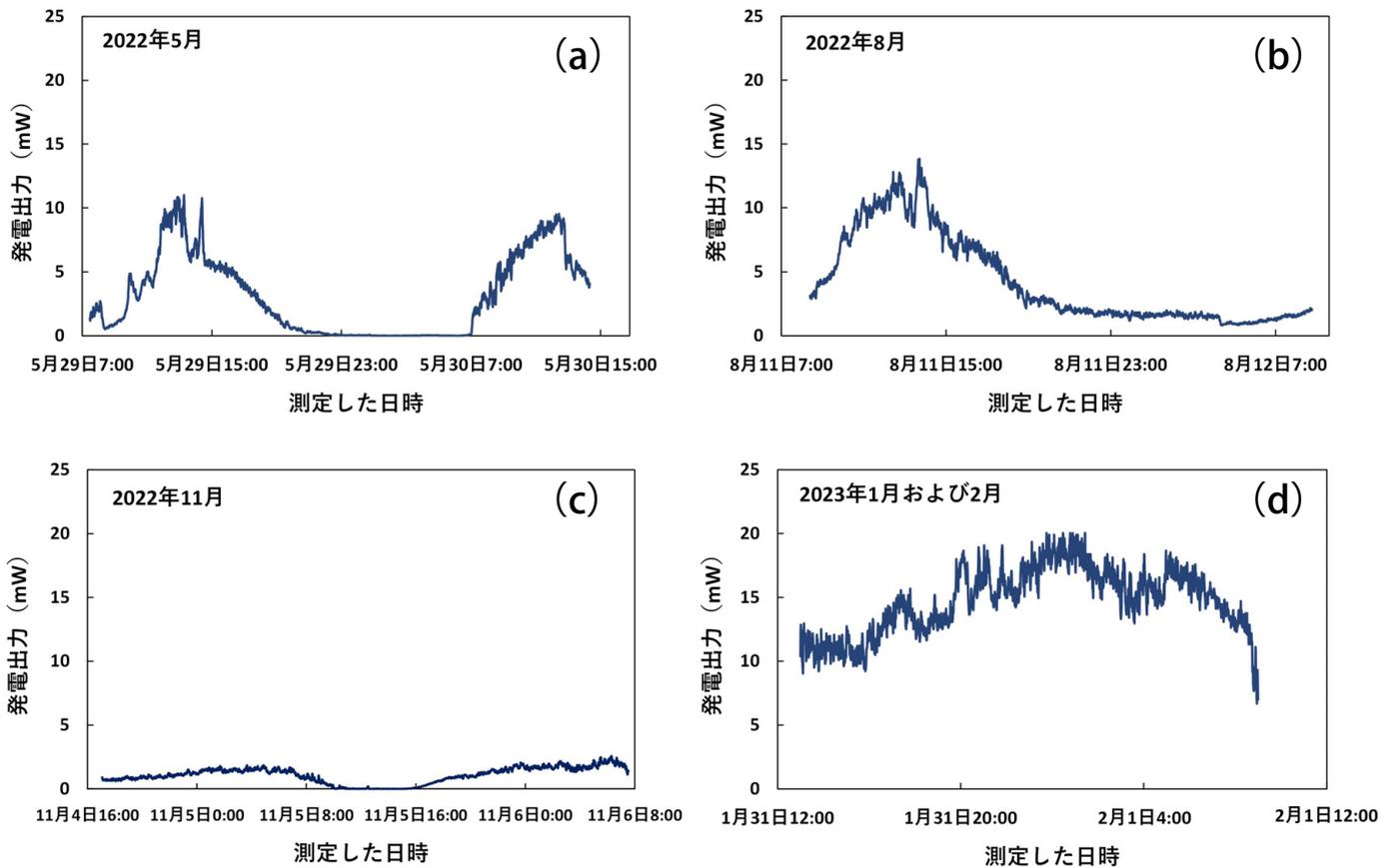
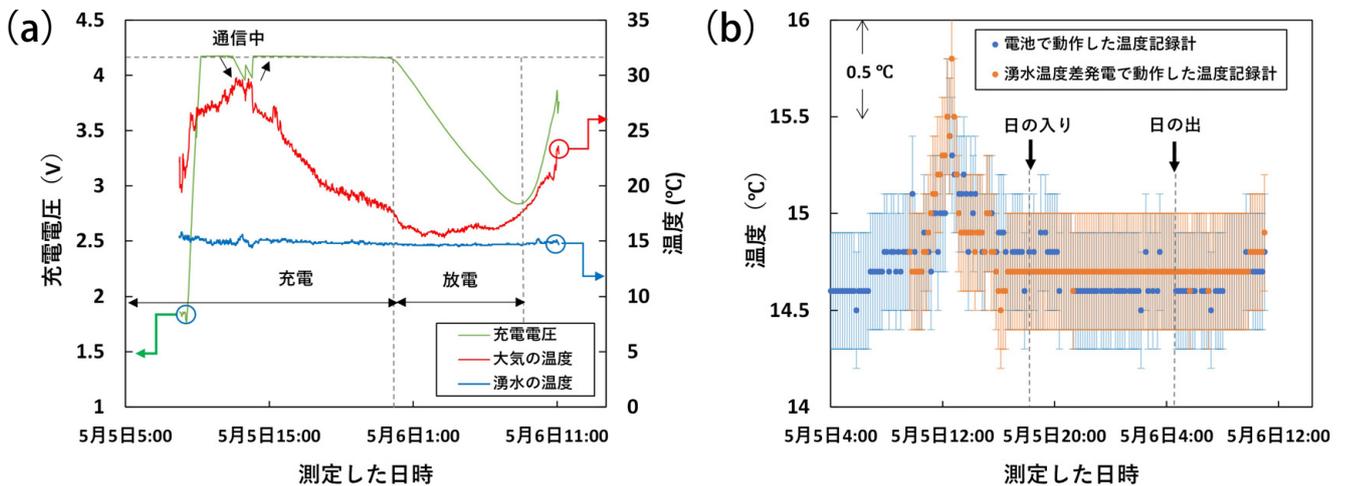


写真 1 湧水と大気との温度差が生み出す電力を温度記録計へ供給し、水路を流れる湧水の温度を計測している様子。

データをスマートフォンにワイヤレスで送信することもできました (第 4 図 (a))。最後に、湧水温度差発電装置により給電した温度記録計により得られた水温測定の結果を示します (第 4 図 (b))。日中、日差しの影響による熱で湧水の温度はわずかに上昇するものの、夜間は、温度が一定となる様子を測定することに成功しました。この結果は、電池を搭載した温度記録計により得られた結果とも一致しました。このように、キャパシターと組み合わせることで、湧水と大気との温度差が小さくなくても、キャパシターに十分に充電した電力により、温度記録計を連続的に動作させ、無線通信でデータ収集できることを実証しました。また、湧水の熱エネルギーを電力として利用しているため、湧水と大気との間に温度差がある限り、電池切れを心配する必要もありません。この技術を用いれば、湧水の温度や気温だけでなく、湿度、圧力など、さまざまな環境計測も可能です。連続的な環境計測により、人為的な活動などによる湧水の変化の早期発見に貢献できます。このように、湧水の持つ多面的価値を示すことで、地域住民の関心を取り戻すことが可能となり、その結果として、失われつつある地域の水辺環境の復元を含めた地域資源の保全と持続的な利活用につながることを期待されます。



第3図 湧水温度差発電から得られる電力の季節変動。(a) 2022年5月, (b) 2022年8月, (c) 2022年11月, (d) 2023年1月および2月. ※原論文の図を引用・改変したものを使用しています。



第4図 (a) 熱電モジュールからキャパシターに充電される様子。充電試験を行った当日(2022年5月5日)の湧水と大気温度も同じグラフ内の第二軸に示した。(b) 湧水温度差発電装置で駆動した温度記録計で計測した湧水の温度。参考に、電池で駆動した温度記録計で計測した湧水の温度も示した。 ※原論文の図を引用・改変したものを使用しています。

今後の予定

今回の技術で重要となる湧水の前である地下水の存在については、先に記した TNFD やネイチャーポジティブのみ

ならず、2014年に施行された水循環基本法^{*10}において、国や地方公共団体に対し、健全な水循環の維持を目的とした地下水管理のための情報収集や解析、分析などの努力義務が課せられています。行政では地下水の保全や管理に対

する予算や人員の確保が長年の課題とされてきましたが、本システムを進化させ、水位や水質など他の項目も含めた電池レスの遠隔モニタリングシステムを確立することができれば、課題であった人的および財政的負担を軽減させることが可能となります。また、住民へのアンケートを踏まえた微小電力の活用方法に関する分析や、景観へ配慮した発電装置のデザインに関する基礎的研究も一体的に進めることで、地域資源としての湧水の価値を高めていきたいと考えています。

論文情報

掲載誌：Energy Conversion and Management

論文タイトル：Harvesting thermal energy from spring water using a flexible thermoelectric generator

著者：Yasutaka Amagai, Aya Ichinose, Reo Ikawa, Moeno Sakamoto, Takumi Ogiya, Momoe Konishi, Kenjiro Okawa, Norihiko Sakamoto and Nobu-Hisa Kaneko

DOI：10.1016/j.enconman.2024.118605

用語解説

*1 湧水

厳密な定義があるわけではありませんが、地下水が自然に地上に湧き出してくる現象が湧出であり、その水を一般に湧水と呼びます。

*2 熱発電

電子は電気だけでなく熱を運ぶこともできます。導体の両端に電位差があると電流が流れるように、導体の両端に温度差があると、内部の電子が移動して、電流が流れます。この固体中の熱と電気の相互作用を熱電効果といい、熱電効果を利用した発電技術を熱発電と呼んでいます。私たちの身の回りには乾電池などは、内部の化学反応によって電気を起こし、その電気エネルギーを取り出します。それに対して、熱発電は、化学反応を起こさずに、熱のエネルギーを電気エネルギーへ変換することができる、新しいタイプの電池と言えます。

*3 長野県松本市

長野県松本市は、国宝松本城の城下町としてつとに有名です。松本城周辺地域は、美ヶ原などの山岳地帯や扇状地がかん養した地下水を豊富に蓄え、数多くの井戸や水路が存在する名水の地としても知られています。これらの井戸を一体的にとらえたものを松本市では「まつもと城下町湧水群」として整備しており、環境省による平成の名水百選

にも選定されています。

*4 TNFD

Taskforce on Nature-related Financial Disclosures の略称。企業や団体の経済活動による自然環境や生物多様性への影響を評価し、見える化するためのフレームワークです。

*5 ネイチャーポジティブ

経済活動による生物多様性を含む自然資本への損失を食い止め、ポジティブな方向へ回復させていくことをいいます。

*6 熱電材料・モジュール

熱電効果の作用が大きい特殊な合金や半導体を熱電材料と呼びます。熱電材料単体では、電圧レベルが小さいので、そのままの利用は困難です。そこで、電圧を高くするため、複数の熱電材料を直列に接続したユニット構造が発明されており、それを熱電モジュールと呼んでいます。

*7 ヒートシンク

伝熱特性の良い金属である銅やアルミニウムを素材とした放熱・吸熱を目的とした部材です。効率よく放熱や吸熱が行えるように、魚のヒレを模したフィン形状とすることで表面積を増大させ、放熱・吸熱能力を増幅させています。

*8 DC-DC コンバーター

直流(DC)電圧をある電圧レベルから、別の電圧レベルに変換・増幅する電子部品のことです。電子機器はそれぞれ動作可能な電圧範囲が違うため、個々に見合った電圧を作る必要があります。熱電モジュールからの出力電圧は数百 mV 程度なので、温度センサーの動作電圧である 3 V へ増幅する必要があり、昇圧型の DC-DC コンバーターを使用しました。

*9 キャパシター

電気回路の中で、電気を蓄えたりそれを放電したりする電子部品です。熱電モジュールが発電した電気を蓄える役割を果たしています。

*10 水循環基本法

水を国民共有の貴重な財産とし、地表水や地下水の利用・保全に関する施策の基本理念を明らかにした法律(平成 26 年 4 月に制定・公布)。

AMAGAI Yasutaka, ICHINOSE Aya and IKAWA Reo (2024) "Spring-water temperature difference power generation" that can generate electricity when immersed in spring water.

(受付：2024 年 8 月 13 日)

これまでの 10 倍の効率で花粉を地層から分取し 高精度年代測定を可能に —大型花粉によって今まで 諦めていた地層からの年代測定が実用化—

太田 耕輔^{1,2}・横山 祐典²・宮入 陽介²・オブラクタ スティーブン³・
山本 真也⁴・藤原 治¹

※本稿は、2024年7月19日に行ったプレス発表 (https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2024/pr20240719_2/pr20240719_2.html) に加筆し、再編したものです。

1. 発表のポイント

- ◆これまで困難であった 100 μm 以上の大型花粉を、堆積物から高純度に抽出する新たな手法を開発したことで、従来の 10 分の 1 程度の花粉量で年代測定を可能とする、新たな分析法を実用化しました。
- ◆これにより、従来は測定対象試料を抽出することができなかった本栖湖の地層に対しても詳細な年代測定が可能となり、富士山の噴火活動に伴う湖沼の環境変動を明らかにすることができました。
- ◆本研究の成果は、放射性炭素年代測定の高精度化に寄与し、古環境研究や断層活動・火山の噴火の履歴解明など、過去の自然災害の発生時期や気候変動の詳細な解明を可能にします。

2. 概要

筆者らは、セルソーター^(注1)を用いることで、地層から効率的に花粉を抽出する技術を開発しました。これにより、従来よりも詳細な放射性炭素(¹⁴C)年代測定^(注2)を実現しました。

¹⁴C年代測定は、過去の出来事を記録した地層がいつの時代のものかを明らかにする技術ですが、目的の地層から年代測定に適した大型の試料が見つかる場合はまれです。一方、花粉はほとんどの地層に含有されているため、地層の年代を決定する上で有効な試料となる事が期待されていました。しかしながら、従来の手法では、抽出できる花粉の粒径が極微細なものに限定されており、地層(すなわち砂泥堆積物)から年代測定に十分な量の花粉を分離・抽出するには、大量の地層試料を長時間かけて処理する必要があるなど、研究を進める上で大きな障害となっていました。

本研究では、従来の手法では技術的な制約から抽出が困難であった花粉に比べて、直径が倍以上の大きな花粉に対しても適用できる技術を開発しました(第1図)。これにより、試料処理の効率化を達成するとともに、ボーリング試料の様に限られた量しか利用できない試料からも、年代測定に十分な量の花粉抽出を可能としました(第2図)。この技術を富士五湖の一つである本栖湖で掘削された堆積物で検証を行い(第3図)、高精度な測定が可能なることを明らかにしました。今回の研究結果は¹⁴C年代測定の高精度化によって、古気候・古環境研究だけでなく断層活動履歴や火山の噴火年代など、過去の自然災害の研究にも寄与することが期待されます。

3. 発表内容

¹⁴C年代測定は地質学や古環境学における重要な手法の一つで、堆積物に含まれる有機物の¹⁴Cを測定することで、地層の年代を正確に決定することができます。通常の¹⁴C年代測定では、地層に含まれる様々な植物遺骸をピックアップし、その年代測定を行います。地層形成との同時性の点からは、挟在される「葉片」が理想的な試料とされていますが、堆積物の中から見つかることはまれでした。そのため、近年では花粉に対する年代測定が着目されています。花粉は、ほとんどの堆積物に含まれているため、年代測定の試料として理想的ですが、その一方で、¹⁴C年代測定を行えるほどの量を抽出することは困難であり、研究例は限られています。

これまでの先行研究では 60 μm 程度の小さな花粉に着目したものが多く、そのような花粉の¹⁴C年代測定を行う場合、花粉が 50 万 - 100 万個程度必要とされ、膨大な時間がかかってしまうという問題がありました。そこで、本研

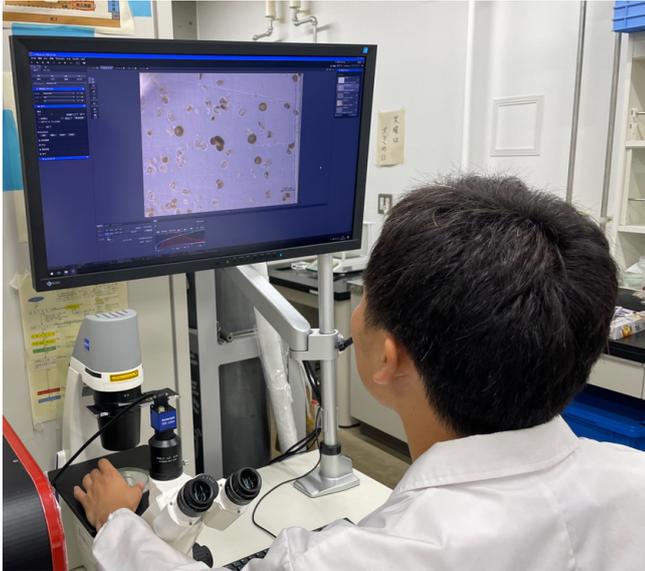
1 産総研 地質調査総合センター 活断層・火山研究部門

2 東京大学 大気海洋研究所 〒277-8564 千葉県柏市柏の葉 5-1-5

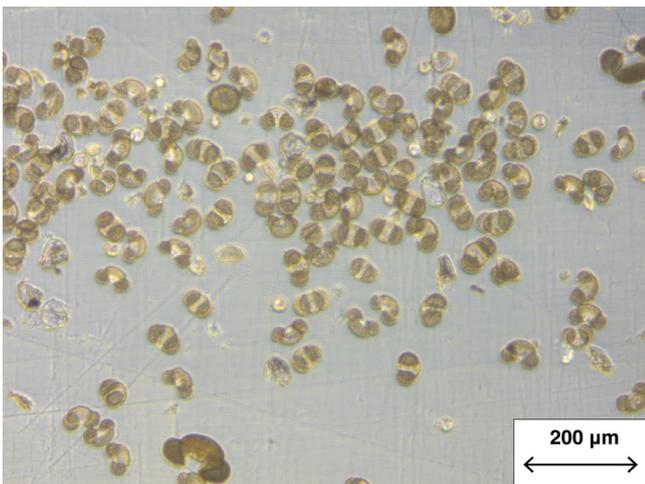
3 秋田大学 国際資源学研究所 〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1

4 山梨県富士山科学研究所 〒403-0005 山梨県富士吉田市上吉田字剣丸尾 5597-1

キーワード：放射性炭素年代測定、古気候・古環境、花粉化石、ボーリングコア、富士五湖



第1図 花粉を抽出する様子。



第2図 抽出された花粉。

究チームは、 ^{14}C 測定に必要な花粉の数が少なく済む大きな花粉に着目し、マイクロ流路チップや新しい制御方式といった、最新の技術を搭載したセルソーターを用いることで100 μm を超える大きな花粉の抽出にも適用可能な手法を開発しました。これによって、花粉抽出作業の効率化だけでなく、微細な花粉だけでは年代測定に十分な量の抽出ができなかった地層からも、 ^{14}C 測定が可能になりました。

5年にわたる研究の成果では、セルソーターを堆積物の大きな花粉抽出に効率的に活用するために、セルソーターの抽出パラメーターの開発と共に、堆積物の適切な物理化学処理法も開発しました。具体的には、事前に針状の不純物を取り除くための物理化学処理手法を検討すると



第3図 本栖湖における掘削調査の様子。湖面に見える三角がボーリング掘削の檣。

もに、花粉の蛍光強度に加え、花粉の大きさを判別可能な直方散乱光を抽出条件に加えることで、大きな花粉の抽出を実現しました。これにより、本手法では5万-10万個程度の花粉を抽出することで ^{14}C 年代測定が可能となりました。先行手法では50万-100万個の花粉が必要であったことに比較すると、約1/10の大幅な効率化が達成されました。

また、 ^{14}C 分析には、シングルステージ型加速器質量分析^(注3)装置(東京大学大気海洋研究所所有)を用いました。本手法で花粉のみを抽出したとはいえ、従来法による ^{14}C 年代測定を行うためには十分とはいえない炭素量です。そのため、測定には精度の高い測定技術と徹底した品質管理が必要であり、加速器質量分析の高い技術を擁する本研究所において手法の検証を行いました。

本手法を富士山北嶺に位置する本栖湖で採取されている堆積物に適用することで、先行研究により明らかにされている葉片や堆積物中有機物を用いた ^{14}C 年代値との比較を行いました。その結果、確度の高い年代を示すと考えられている地層中の葉片によって得られたものと、同じ年代値が得られただけでなく、本手法の方が測定誤差は小さいことが明らかになりました。さらに、葉片が発見されなかった9層の地層から、花粉を用いた年代測定を可能としました。

以上のように、本研究手法の開発は ^{14}C 年代測定の高精度化に貢献する成果であり、古環境研究や断層活動履歴、火山の噴火年代など、過去の自然災害の発生時期や気候変動の歴史などをより詳細に把握できるようになり、地球科学・古環境学の幅広い研究の進展に広く貢献することが期待されます。

○関連情報：

「プレスリリース①湖底堆積物から探る富士山の噴火史 —本栖湖に残されていた未知の噴火の発見—」(2018/10/10) <https://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/news/2018/20181010.html> (閲覧日：2024年6月20日)

「プレスリリース②富士五湖の水はどこからきているか？～炭素 14 をトレーサー（追跡子）とした検討によって、河口湖では御坂山地の地下水による影響を確認～」(2021/9/21) <https://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/news/2021/20210921.html> (閲覧日：2024年6月20日)

発表者・研究者等情報

東京大学 大気海洋研究所
海洋地球システム研究系
横山祐典 系長・教授

兼：大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻教授
附属共同利用・共同研究推進センター
宮入陽介 特任助教

産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

太田耕輔 産総研特別研究員

研究当時：東京大学大学院理学系研究科 博士課程

研究当時：東京大学大気海洋研究所 特任研究員

藤原 治 研究部門長

秋田大学 大学院国際資源科学科

Stephen P. Obrochta 教授

山梨県富士山科学研究所

山本真也 主任研究員

論文情報

雑誌名：Quaternary Science Advances

題名：Development of an automated extraction and radiocarbon dating method for fossil pollen deposited in Lake Motosu, Japan

著者名：Kosuke Ota, Yusuke Yokoyama, Yosuke Miyairi, Stephen P. Obrochta, Shinya Yamamoto, A. Hubert-Ferrari, V.M.A. Heyvaert, Marc De Batist, Osamu

Fujiwara, the QuakeRecNankai Team

DOI：10.1016/j.qsa.2024.100207

URL：https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666033424000455

謝辞：本研究は、科研費「Monsoon variability and Holocene sea level in the Nankai Region(課題番号：16K05571)」, 「ヒブシサーマル：完新世の気温復元不一致問題に挑む(課題番号：23KK0013)」, JST CREST「微量高速 C-14 分析による水圏炭素動態解明手法の開発(課題番号：JPMJCR23J6)」, JST SPRING「JPMJSP 2108」の支援により実施されました。湖底堆積物の掘削調査はベルギー科学政策局(Belgian Science Policy Office: BELSPO 課題番号: BRAIN-be BR/121/A2) 出資による国際共同研究「QuakeRecNankai プロジェクト」の支援により実施されました。

用語解説

(注1) セルソーター

元々は生物学や医学の分野で開発された装置で、レーザー光によって性質の異なる細胞を高速で抽出することができます。この装置を堆積物に応用することができれば、堆積物から花粉を短時間で大量に抽出することができます。

(注2) 放射性炭素(¹⁴C) 年代測定

炭素の質量数 14 の放射性同位体(¹⁴C)を用いて葉や花粉などの試料から年代を測定する手法です。植物は光合成によって ¹⁴C を含んだ炭素を取り込みますが、生物が生命を終え大気から隔離された段階で、¹⁴C が放射性崩壊の割合に従って減り続けます。そのため、試料の ¹⁴C の量を調べることで年代を推定することができます。

(注3) 加速器質量分析

¹⁴C は、地球表層に 1 兆分の 1 以下と極めて少ない量しか存在しません。そのため、測定の妨害となる核種を取り除くために、加速器質量分析器が用いられます。本研究で用いたシングルステージ型加速器質量分析器は日本で唯一の装置となります。

OTA Kosuke, YOKOYAMA Yusuke, MIYAIRI Yosuke, OBROCHTA Stephen P., YAMAMOTO Shinya and FUJIWARA Osamu (2024) Development an efficient fossil pollen collection method from sediment for high-precision dating —Large fossil pollen allows dating that was previously unavailable—

(受付：2024年7月31日)

微生物を活用した鉱山廃水処理システムの開発に成功 —細菌の新しいマンガン酸化のしくみを利用—

渡邊 美穂¹・Tum Sereyiroith²・片山 泰樹²・Gotore Obey¹・

岡野 邦宏¹・松本 親樹²・保高 徹生²・宮田 直幸¹

※本稿は、2024年7月3日に行ったプレス発表 (https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2024/pr20240703/pr20240703.html) に加筆し、再編したものです。

1. ポイント

- 微生物を活用した坑廃水処理システムをパイロットスケールで開発
- 微生物の栄養となる有機物を添加せずに廃水中のマンガンを98%以上除去
- 細胞外電子を利用して炭酸固定を行うとみられる細菌群がマンガン酸化に関与することを発見

2. 概要

休廃止鉱山で発生する坑廃水は有害金属を含むため、鉱害防止対策として一般的に中和剤を用いた処理が行われています。この処理では、多くの薬剤やエネルギーの投入を必要とすることから、自然の浄化作用を利用した環境負荷が低く低コストの処理技術の開発が求められています。マンガン(Mn)は坑廃水に含まれる主要な有害金属の1つですが、Mn酸化細菌と呼ばれる微生物はMn(II)イオンを酸化してMn(IV)酸化物にすることで不溶化させるため、坑廃水処理への活用が期待されてきました。しかし一方で、Mn酸化細菌を活用した廃水処理では細菌の栄養となる有機物を添加する必要があり、有機物に乏しい坑廃水に有機物をいかに供給するかが大きな課題になってきました。

秋田県立大学・国立研究開発法人 産業技術総合研究所の共同研究グループは、Mn酸化細菌を活用した坑廃水処理システムを開発し、パイロットスケールで現地試験を実施してきました。その結果、有機物無供給、処理時間12時間の運転条件において、20 mg/LのMn(II)イオンに対して98%以上の除去率を達成することができました。これまでMn酸化細菌を利用した廃水処理では有機物供給が必要と考えられてきましたが、本研究によって、有機物を供給しなくても坑廃水を高効率で処理できることが明らかになりました。さらに微生物群集の遺伝子解析により、この処

理システム内には、金属から電子を取り込んでエネルギー代謝や炭酸固定を行うとみられる細菌群が優占していることが判明しました。

本研究により、特定の細菌の働きによってMn(II)が酸化されると同時に他の細菌が必要とする有機物が供給される、という微生物生態系の新しいしくみを提示することができました。この研究成果をもとに今後、低環境負荷で低コストの新しい坑廃水処理技術の構築が期待されます。

3. 掲載論文

雑誌名: *Journal of Environmental Chemical Engineering*

論文名: Accelerated manganese(II) removal by *in situ* mine drainage treatment system without organic substrate amendment: metagenomic insights into chemolithoautotrophic manganese oxidation via extracellular electron transfer

著者: 渡邊美穂¹, Tum Sereyiroith², 片山泰樹², Gotore Obey¹, 岡野邦宏¹, 松本親樹², 保高徹生², 宮田直幸¹

¹ 秋田県立大学 生物資源科学部 生物環境科学科

² 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門

4. 研究の詳細

4.1 研究の背景

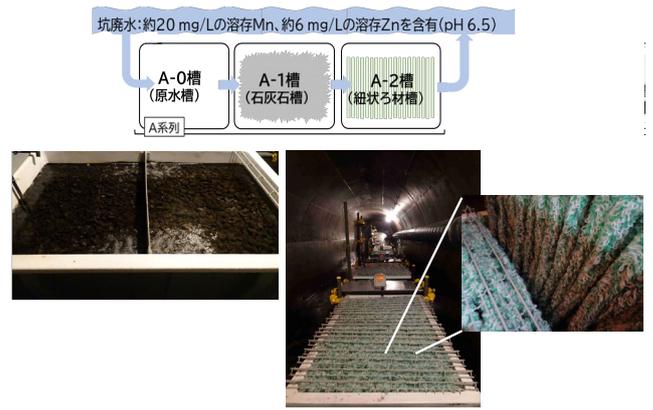
人類の産業活動上、鉱物は非常に重要な資源です。鉱山は世界中に存在しますが、資源枯渇や経済限界を理由として休廃止鉱山となったものも少なくありません。このような休廃止鉱山においては、有害金属を含む坑廃水が恒久的に発生するため、人が利用する河川水に混入しない様、坑廃水をいかに処理するかが大きな課題となっています。一

¹ 秋田県立大学 生物資源科学部 生物環境科学科 〒010-0195 秋田県秋田市下新城中新野街道端西 241-438 キーワード: 休廃止鉱山, 坑廃水処理, パッシブトリートメント, Mn酸化微生物
² 産総研 地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門

一般的には中和剤を用いて有害金属を不溶化する中和処理が行われていますが、中和剤や凝集剤といった薬剤を投入する必要がありますが、処理コストやエネルギー使用量の削減が重要な課題になっています。その解決策として、植物や微生物による浄化作用を利用した低コストで低環境負荷の処理技術の開発が模索されています。マンガン(Mn)は坑廃水中に含まれる主要な有害金属の1つですが、中和処理に要する薬剤は他の金属と比較して多く、処理されにくい金属といわれてきました。Mn酸化細菌と呼ばれる微生物は、Mn(II)を酸化してMn(IV)酸化物にすることで不溶化させるため、Mnを含む坑廃水処理への適用が期待されています。しかし一方で、従属栄養性¹⁾のMn酸化細菌は糖類や有機酸などの有機物をエネルギー源・炭素源として利用するため、この微生物の活性を維持するには坑廃水に有機物を供給する必要があります。すなわち、有機物に乏しい坑廃水にいかん有機物を供給するかが大きな課題であり、有機物を添加せずにMnを除去できる処理システムの構築が求められていました。

4.2 研究の成果

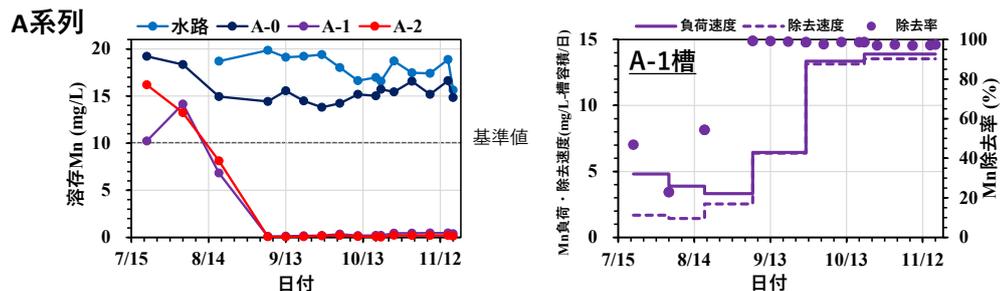
秋田県立大学・国立研究開発法人産業技術総合研究所(産総研)の共同研究グループは、2021年に休廃止鉱山の坑道内に700Lの処理槽を直列に配置したパイロットスケールの接触酸化処理装置を設置し、Mn酸化細菌を活用した有機物添加を必要としない坑廃水処理技術の開発を行ってきました(第1図)。20 mg/LのMn(II)イオンを含む坑廃水を12時間の処理時間で連続通水した結果、処理槽内でMn酸化細菌が働き、98%以上のMn(II)がMn(IV)酸化物になって除去されることが明らかになりました(第2図)。この坑廃水には亜鉛(Zn(II))イオンも含まれていましたが、Mn(IV)酸化物の結晶構造中に取り込まれてウッドルフ鉱($ZnMn_3O_7 \cdot H_2O$)様の鉱物が生成することにより、Zn(II)も98%以上除去されることが判明しました。これらの結果



第1図 坑道内に設置したMn酸化処理装置(A系列)の概要。坑内水路から廃水をA-0槽(原水槽)にくみ上げた後、A-1槽、A-2槽に順次通水した。各槽の容積は700L。A-1槽、A-2槽にはそれぞれ、石灰石、ポリプロピレン製の紐状材が充填されており、各充填材にMn酸化細菌が付着して増殖することでMn(II)酸化反応が進行する。(写真左:A-1槽)Mn酸化細菌の働きで石灰石表面に黒褐色のMn酸化物が析出。(写真右:A-2槽)紐状材の表面に析出したMn酸化物。

から、有機物無供給でもMn酸化細菌を活用して坑廃水を効率よく処理できることが示されました。

Mn酸化に寄与する微生物を特定するため、処理槽内に沈積したMn酸化物を採取し、微生物の培養を行いました。その結果、多様な従属栄養性のMn酸化細菌株が得られました。また、沈積したMn酸化物試料からDNAを抽出し、ショットガンメタゲノム解析²⁾によって微生物群集の機能推定を試みました。その結果、最もMn除去効率の高かったA-1槽内部では、特定の細菌群が微生物群集の30%以上を構成していることが判明しました。驚くことに、この細菌群は金属由来の電子を直接細胞に取り込んでエネルギー代謝を行うための遺伝子セットを保有していました。さらに、カルビン-ベンソン回路³⁾により二酸化炭素を固定して有機物に変換するための遺伝子セットも保有し、この細菌群は独立栄養性であることが示唆されました。



第2図 A系列の処理槽における溶存Mn(II)濃度と除去率の経時変化。(グラフ左)A-1槽を通過した段階でMnはほぼ全量が除去され、僅かに残存するMnはA-2槽でさらに除去されている。(グラフ右)A-1槽のMn除去性能。

廃水の Mn (II) の除去処理にこのような機能を持つ細菌が寄与することは、これまでに報告がありませんでした。この処理システムでは、(1) 電子取り込み型の細菌群が Mn 酸化を行いながら二酸化炭素を有機物に変換する、(2) 生成された有機物を用いて従属栄養性の Mn 酸化細菌が増殖して Mn 除去に関与する、との 2 つの異なる微生物機能が協働することにより、外部から有機物を供給しなくても高効率の処理が達成できていると考えられます (第 3 図)。

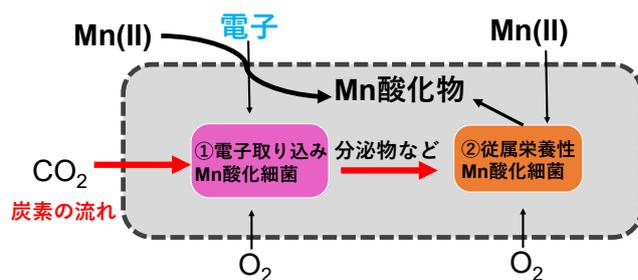
5. 今後の期待

本研究では、パイロットスケールの現地試験によって、Mn 酸化細菌を活用した有機物添加を必要としない坑廃水処理が可能であることを明らかにしました。今後は本研究中で明らかにされた処理特性を基に、処理システムのさらなるスケールアップやガイドライン作成により、実用化に向けた展開が期待されます。また処理槽内で優占化していた電子取り込み型とみられる細菌群について、今後処理槽内での機能や生態を詳細に解明することで、坑廃水処理システムのさらなる効率化や各地の Mn 含有坑廃水処理への展開が期待できます。

本研究の成果は、国際連合が発行した 17 項目の「持続可能な開発目標 (SDGs)⁴⁾」のうち「6. 安全な水とトイレを世界中に」「7. エネルギーをみんなにそしてクリーンに」「9. 産業と技術革新の基盤をつくろう」に貢献することが期待されます。

6. おわりに

微生物の中には有機物を必要とせず、無機物 (例えば、硫黄、水素、アンモニア等) をエネルギー源として増殖する種があります。本研究の対象となった坑廃水中には有機物だけでなく、上記の無機物もほとんど含まれていません。このようなエネルギー源の無い環境で微生物が Mn (II) イオンを除去 (酸化) する活性を示すのか、研究当初は疑問に思う部分も少なからずありました。これまで知られていた微生物による Mn (II) イオンの酸化反応はエネルギーの発生を伴わない、つまり、微生物は Mn (II) イオンからエネルギーを獲得できないと考えられてきたからです。ところが、ふたを開けてみると、新たに開発した処理槽を通じて坑廃水中の Mn はほぼ除去され、その中では Mn からエネルギーを獲得して、更には二酸化炭素を有機物に変換 (固定) することで微生物細胞に必須な炭素を取り込むという、これまでに知られていない新しい微生物が活躍する姿が見えてき



第 3 図 処理槽内において推定される、独立栄養性 Mn 酸化細菌 (ピンク) および従属栄養性 Mn 酸化細菌 (オレンジ) の関係性。

ました。

前回の記事 (片山, 2024) にも記述した通り、地球環境に棲息する微生物の大部分は実態がわかっていません。今回の研究は、このような未知の微生物を地球環境の保全や資源の安全かつ効率的な利用に活用していくことの重要性を端的に示していると言えるでしょう。

文 献

片山泰樹 (2024) 他のバクテリアに依存して楽をするバクテリアの発見. GSJ 地質ニュース, 13, 227-230.

用語解説

1) 従属栄養性

生きるために必要な有機物を自ら供給できず、他の生物が合成した有機物を利用して生活する性質のこと。

⇔ 対義語：独立栄養性

2) ショットガンメタゲノム解析

環境サンプルに含まれる微生物 DNA を分析し、そこに含まれるすべての遺伝情報を解読する手法。この方法により、それぞれの微生物がどういった役割を持つか、どのような関係性にあるかなどを解明できる。

3) カルビン - ベンソン回路

緑色植物や一部の微生物が有する炭酸固定回路。還元的ペントース・リン酸回路とも呼ばれる。二酸化炭素を還元して有機化合物に同化する反応を担う。

4) 持続可能な開発目標 (SDGs)

2015年9月の国連サミットで採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」に記載された2030年までの国際目標。17のゴール、169のターゲットから構成されている。

研究体制と支援

本研究は、秋田県立大学と産総研が連携し、産総研の運営費交付金および産総研から秋田県立大学への委託研究として行われました。また本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金 (JP21H03636) および経済産業省「休廃止鉱山における坑廃水処理の高度化技術調査事業」の支援を受けて行われました。

WATANABE Miho, SEREYROITH Tum, KATAYAMA Taiki, OBEY Gotore, OKANO Kunihiro, MATSUMOTO Shinji, YASUTAKA Tetsuo and MIYATA Naoyuki (2024) Development of abandoned mine wastewater treatment system using novel manganese oxidizing microorganisms.

(受付：2024年7月26日)

産総研生配信

「産総研の研究者だけど質問ある?」:火山研究の紹介

宝田 晋治¹・宮城 磯治¹・中谷 貴之¹

1. はじめに

2024年1月26日に産総研生配信「産総研の研究者だけど質問ある?」が開催されました(第1図)。これは、2023年11月11日に行われた産総研一般公開において、初めて6時間のニコニコサイエンスとYouTubeによるライブ動画配信が開催され、大変好評であったことから第2弾として開催されました。一般公開では、多くの体験コーナーの紹介が行われましたが、一般視聴者からの質問を受ける時間が足りなかったため、今回の生配信は質問に回答する時間をより増やした形で開催されました。1月26日は、19時～22時まで3時間の生配信となりました。

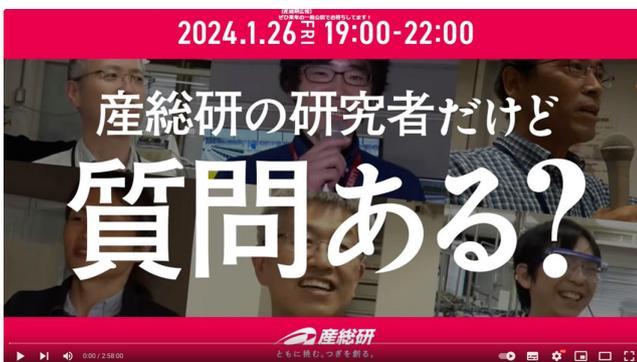
当日は、20時15分頃から、地質情報基盤センターアーカイブ室の柳澤教雄氏と火山分野の研究者が約10分毎に交代しながら、配信を行いました。まず、柳澤氏が、地質標本の紹介として、GSJ R1など一番初めに地質標本に登録された花崗岩類の紹介、始良カルデラ等火山岩類の紹介、産総研の下のボーリングコア、ピクライト、南極の石の紹介を行いました。火山分野の研究内容の紹介では、大規模火砕流分布図、火山データベースなどの紹介、研磨薄片の作成の体験、電子顕微鏡による観察方法の紹介、火山灰の実体顕微鏡による観察と火山灰データベースの紹介を行い

ました。インタビューは、一般公開と同様に、ブランディング・広報部広報室の沼田 格氏なかやと中谷結衣氏が担当しました。沼田氏が地質標本の、中谷氏が火山研究のインタビューを行いました。

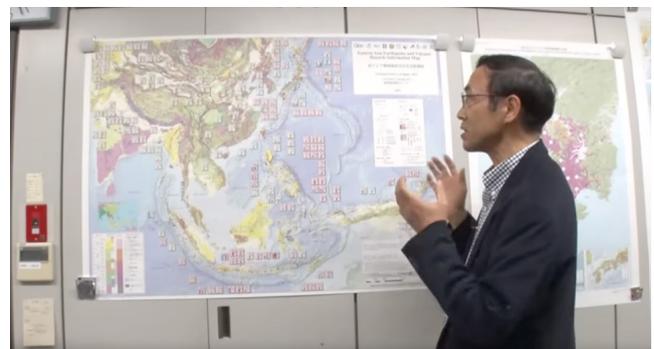
2. 大規模火砕流分布図、火山データベース等の紹介(担当:宝田)

はじめに、東アジア地域地震火山災害情報図(Takarada *et al.*, 2016)、始良カルデラ入戸火砕流堆積物分布図(宝田ほか, 2022)、阿蘇カルデラ阿蘇4火砕流堆積物分布図(星住ほか, 2023)、日本の火山データベース、火山ハザード情報システム、軽石サンプルの紹介を行いました。

東アジア地域地震火山災害情報図では、2011年の東日本大震災、1923年の関東大震災、2014年の御嶽山噴火、1991年の雲仙火山噴火、1792年の雲仙眉山の山体崩壊の分布や犠牲者数、7万4千年前のインドネシアトバの噴火の降下火山灰の分布域やその影響について話しました(第2図)。始良カルデラ入戸火砕流堆積物分布図では、3万年前に発生した入戸火砕流堆積物の分布や層厚、流向、伏在域の分布、始良 Tn 降下火山灰の分布について話しました。阿蘇カルデラ阿蘇4火砕流堆積物分布図では、過去10万



第1図 産総研生配信「産総研の研究者だけど質問ある?」のYouTube配信サイト (<https://www.youtube.com/watch?v=3heocR1ytCw> 閲覧日:2024年12月18日)。



第2図 東アジア地域地震火山災害情報図の説明の様子。

¹ 産総研 地質調査総合センター活断層・火山研究部門

キーワード: 生配信, 火山, データベース, 産総研, 研究者, 電子顕微鏡, 火山灰

年間では日本最大、世界でもトバの噴火に次いで世界第2位の噴出量であることを紹介し、その分布域や伏在領域の広さなどを紹介しました。

日本の火山データベースでは、まず第四紀火山データベースを取り上げ、富士山の事例を紹介しました。そして、活火山データベースでは、桜島火山地質図を示し、1万年噴火イベント集では、富士山の多数の噴火について紹介を行いました(第3図)。さらに、20万分の1日本火山図、大規模噴火データベース、噴火推移データベースの概要を紹介しました。火山ハザード情報システムでは、Tephra2による数値シミュレーションの事例として富士山からの降下テフラの検討事例を示しました。最後に、軽石の実物として、北海道駒ヶ岳1923年噴火の軽石、福徳岡ノ場2021年噴火の漂着軽石、支笏火砕流堆積物中の軽石、屈斜路IV火砕流堆積物中の軽石を紹介しました(第4図)。

10分程度で紹介するにはやや盛りだくさんでしたが、最近の火山研究の一端を紹介できたかと思えます。



第3図 活火山データベース上の桜島火山地質図の説明の様子。

3. 研磨薄片作成と電子顕微鏡による噴出物の観察(担当: 宮城, 中谷)

次に、軽石を樹脂で固めて研磨薄片を作成した上で、電子線プローブマイクロアナライザ(EPMA)による軽石の観察を行いました。

1929年の北海道駒ヶ岳の軽石を実験室に持って行って、どのように研磨薄片を作成するか、その手順を説明しました。発泡した軽石の中にある鉱物の説明のために、ブドウパンを使った説明を行うなど身近な食材を使った説明が好評でした(第5図)。軽石を砕いて、円筒形の容器にいれ、樹脂で固めた上で、研磨用ダイヤモンドシートで800番~1000番ぐらいまで磨きます。インタビューの中谷さんには、800番の研磨を体験していただきました(第6図)。その後、カーボン蒸着装置を光らせて、試料の表面に炭素膜をコーティングする様子を見ていただきました。

EPMAの紹介では、まず、装置の原理の説明を行いました。



第5図 軽石をブドウパンに例えて説明を行いました。



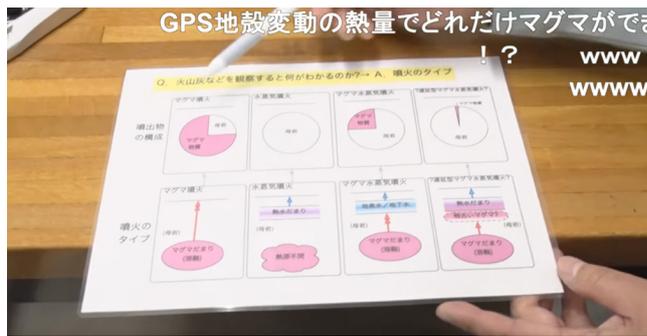
第4図 屈斜路IV火砕流堆積物中の軽石の重さを体験中。



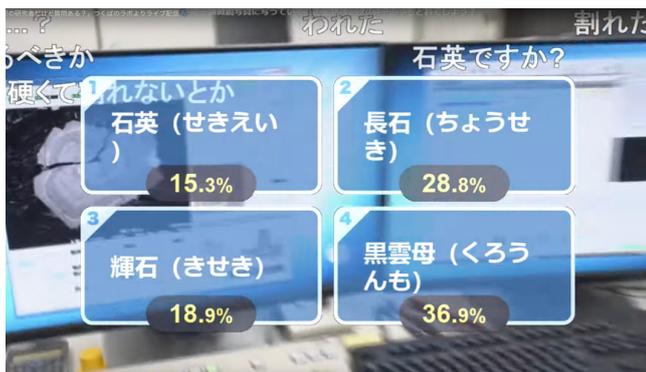
第6図 研磨薄片作成体験の様子。



第7図 電子線顕微鏡の説明を行っている様子。



第9図 噴火のタイプ区分と噴出物に含まれるマグマ物質の量の違い。



第8図 軽石に含まれている画面の鉱物を当てるクイズ。



第10図 実体顕微鏡による御嶽山2014年噴火の火山灰の画像。

た(第7図)。その後、始良カルデラの軽石サンプルを使って、画面に映っている鉱物を視聴者の方に当てて貰うクイズを行いました(第8図)。累帯構造が発達した斜長石の画像を見せて、4択で回答を求めたところ、石英15.3%、長石28.8%、輝石18.9%、黒雲母36.9%という割合となりました。斜長石の累帯構造の形成メカニズムやそこからマグマのさまざまな状態を読み取ることが可能であることを紹介しました。このように、研磨薄片の作成や観察など火山噴出物の分析の一端を紹介することができました。

4. 実体顕微鏡による火山灰観察と火山灰データベースの紹介 (担当: 宮城, 宝田)

最後に、実体顕微鏡を使った火山灰の観察と、火山灰データベースの紹介を行いました。

噴出物にマグマ物質がどれだけ含まれるかが重要であり、マグマ噴火、水蒸気噴火、マグマ水蒸気噴火、遅延型マグマ水蒸気噴火等噴火のタイプによって、噴出物の中に含まれるマグマ物質の割合が大きく異なることを説明しました(第9図)。水洗した阿蘇中岳の火山灰を実体顕微鏡の画面に映して、発泡したマグマ物質や斜長石の鉱物等を表



第11図 火山灰データベースの紹介。

示しました。次に、御嶽山の火山灰の大部分が変質した岩片できており、変質した岩石から抜けた鉄が硫黄と化合してできた黄鉄鉱について説明しました(第10図)。御嶽山の火山灰には極少量(0.7%)のマグマ物質が含まれており、それを詳しく解析した結果、2014年の噴火は、地下2~4kmの深さに7年前に貫入してきたマグマが熱源であると考えられること(Miyagi et al., 2020)を説明しました。その後、食卓にある塩コショウの映像を見せて、視聴者の方に何か当てて貰うクイズを行いました。粒ぞろいの直方体の塩の正解者は多かったのですが、混合物である塩コショウを当てるのは難しかったようです。



第 12 図 お奨めの本の紹介.

続いて、火山灰データベースの紹介を行いました(第 11 図)。2024 年 1 月 12 日の更新でデータが追加され、この時点では 1,144 件の試料、1 万枚以上の火山灰画像が掲載されていることを説明しました。デモとして、桜島と始良の火山灰を見せて、ブルカノ式噴火の火山灰と大規模なプリニー式噴火の火山灰の違いを紹介しました。また、視聴者の方のリクエストで、御嶽山や富士山の火山灰を見せました。御嶽山の変質した火山灰と富士山のスコリア質の火山灰との違いを紹介しました。視聴者からとても充実したデータベースであるとの感想を頂きました。

最後にお奨めの本の紹介コーナーで、2023 年に出版された、宇井忠英氏による「現場で熱を感じ探る火山の仕組み」を紹介しました(第 12 図)。宇井氏が撮影された 6 万枚のポジスライドをスキャンした画像から厳選した写真が多数使われており、さまざまな火山現象を理解するには最適な本の一冊であることを紹介しました。

5. おわりに

2023 年度から発足した産総研のブランディング・広報部はこうした生配信など新たな試みにチャレンジしており、一般公開に引き続いて、このような火山研究の一端を紹介する機会を与えて頂く事ができました。論文や学会発表だけでは、なかなか一般の方に火山研究の内容を知って頂く事は難しいので、このような機会を通じて、広く火山研究の内容を知って頂ければ幸いです。今回の生配信の内容は YouTube から下記の URL でアクセスできます。是非他の研究分野の成果も含めてご覧頂ければ幸いです。

YouTube

<https://www.youtube.com/watch?v=3heocR1ytCw>
(閲覧日: 2024 年 12 月 18 日)

謝辞: ブランディング・広報部の中谷結衣氏、沼田 格氏を始め、ニコニコ動画の担当者の方々には、入念な事前打ち合わせ、リハーサルをしていただいたお陰で、スムーズに生配信が行えました。活断層・火山研究部門の松本恵子氏には、観察用の火山灰、実体顕微鏡等撮影の準備等を手伝っていただきました。

文 献

星住英夫・宝田晋治・宮縁育夫・宮城磯治・山崎 雅・金田泰明・下司信夫 (2023) 阿蘇カルデラ阿蘇 4 火砕流堆積物分布図。大規模火砕流分布図, no. 3, 産総研地質調査総合センター。

Miyagi, I., Geshi, N., Hamasaki, S., Oikawa, T. and Tomiya, A. (2020) Heat source of the 2014 phreatic eruption of Mount Ontake, Japan. *Bulletin of Volcanology*, **82**, 33.

Takarada, S., Ishikawa, Y., Maruyama, T., Yoshimi, M., Matsumoto, D., Furukawa, R., Teraoka, Y., Bandibas, J. C., Kuwahara, Y., Azuma, T., Takada, A., Okumura, K., Koizumi, N., Tsukuda, E., Solidum, R. U., Daag, A. S., Cahulogan, M., Hidayati, S., Andreastuti, S., Supartoyo, Li, X., Nguyen, P. H. and Lin, C. -H. (2016) *Eastern Asia Earthquake and Volcanic Hazards Information Map*. Geological Survey of Japan, AIST.

宝田晋治・西原 歩・星住英夫・山崎 雅・金田泰明・下司信夫 (2022) 始良カルデラ入戸火砕流堆積物分布図。大規模火砕流分布図, no. 1, 産総研地質調査総合センター。

TAKARADA Shinji, MIYAGI Isoji and NAKATANI Takayuki (2024) AIST Live Broadcasting “Any Questions to AIST Reseachers?”: Introduction of Volcanic Research.

(受付: 2024 年 8 月 26 日)

産技連知的基盤部会地質地盤情報分科会 令和5年度講演会「ハザードマップ作成における 地質地盤情報の利活用」開催報告

野々垣 進¹・小松原 純子^{1,2}・納谷 友規¹・宮地 良典¹

1. はじめに

産業技術連携推進会議(以下、産技連)は、公設試験研究機関(以下、公設試)相互及び公設試と国立研究開発法人産業技術総合研究所(以下、産総研)との連携を強化し、それぞれの機関が持つ技術の向上と、企業への技術開発支援を通して、我が国の産業の発展及びイノベーションの創出に貢献することを目的とする組織です。この組織は大きく分けて技術部会、地域産技連、地域部会という3つの組織から構成され、地質地盤情報分科会は技術部会のひとつである知的基盤部会に属しています。

地質地盤情報分科会では、自治体、研究機関、企業等と連携した地質地盤情報の整備や利活用、関連技術の開発などを目標としています。また、この目標に向けた分科会活動の一環として、地質や地盤を専門とする技術者・研究者だけでなく一般の方々も対象とした地質地盤情報に関するテーマの講演会を毎年度実施しています。2021年度と2022年度はそれぞれ「地質リスク」と「斜面災害」をテーマとしたオンライン講演会を開催し、多くの方々にご興味・ご関心を持っていただきました(小松原ほか、2022;野々垣ほか、2023)。本年度は2024年1月18日に北とびあ(東京都北区王子)の第二研修室を会場として「ハザードマップ作成」をテーマとした講演会を実施しましたので、本稿にてその概要を紹介したいと思います。

2. 講演会の内容

2023年度は首都圏の本格的な地盤調査の契機となった関東地震の発生から100年という節目の年です。この100年間で強震動や液状化など、地震に起因する地盤災害についての知見が蓄積され、それらに基づいて数多くのハザードマップが作成されてきました。

地盤災害対策にハザードマップを活用するには、具体的にどのような情報を持つハザードマップが存在するのか、

その作成には地質地盤情報がどのように利用されているのかなどを詳しく把握することが重要です。本講演会では、ハザードマップに関する理解を深めるとともに、地盤災害対策における地質地盤情報の役割や利活用などについて議論することを目的として、地質地盤情報という観点からみた地盤災害に関するハザードマップの現状と課題について、様々な立場からご紹介いただきました。講演プログラムは下記の通りです。

講演プログラム

13:30～13:35 開会挨拶

宮地良典(産技連 知的基盤部会 地質地盤情報分科会会長)

13:35～14:05 宇根 寛(元国土地理院)

「地図から読み解く自然の営み ―ハザードマップを信じるな(?)―」

14:05～14:35 平田 直(東京大学名誉教授)

「東京都地震被害想定について」

14:35～14:45 休憩

14:45～15:15 浅尾一巳(防災科学技術研究所)

「自治体におけるハザードマップ作成の現状と課題：地震・津波ハザードマップの作成 ―千葉県を例に―」

15:15～15:45 岩田孝仁(静岡大学)

「ハザードマップの持つ防災情報性」

15:45～15:55 総合討論

15:55～16:00 閉会挨拶

3. 講演会の様子

最初の講演は、国土地理院で長年にわたって地図作製に携わってこられた宇根 寛氏(第1図左上)による「地図から読み解く自然の営み ―ハザードマップを信じるな(?)―」でした。講演の前半、ハザードマップは洪水、内水氾濫、土砂災害、津波、火山など、災害の種類ごとに作

1 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

2 産総研 地質調査総合センター連携推進室

キーワード：産技連、地質地盤情報、ハザードマップ



第1図 講演の様子。上段左：宇根 寛氏，上段右：平田 直氏，下段左：浅尾一巳氏，下段右：岩田孝仁氏。

られていること、これらのハザードマップの多くは個別の法律によって市町村にマニュアルに従った作成・配布が義務付けられていることが紹介されました。例えば、国や都道府県が管理する河川についての洪水ハザードマップは、2001年の水防法改正により、浸水想定に基づき市町村が作成することが義務付けられたとのことでした。後半では、講演タイトルにある「ハザードマップを信じるな(?)」についてのお話がありました。この言葉の真意は、地震によるゆれや液状化に関するハザードマップの中には、適切なマニュアルがない状態で作成されたものもあるため、その場合は地形分類図など自然の営みのわかる地図などを参考に、ハザードマップ作成のベースとなっている想定を正確に理解し、想定と異なる現象も起こりうることを念頭に置いたうえで対応を考えることが重要であるということでした。

2番目の講演は、東京大学名誉教授の平田 直氏(第1図右上)による「東京都地震被害想定について」でした。平田氏は地震調査研究推進本部地震調査委員会の委員長を務める地震研究の第一人者です。講演ではタイトルとは異なる内容ですが、まず上記委員会で対応している令和6年能登半島地震の概要についてのお話があり、今回の地震は放出されたエネルギーや強震動の範囲が2016年の熊本地震と比べて2～3倍であること、広範囲にわたって沿岸部が陸

化したことなどが紹介されました。続いて本題の東京都の地震被害想定のお話では、我が国ではマグニチュード7クラスの地震が毎年1～2回発生していることや、前回の10年前の地震被害想定と比較して死者数が減少したことが紹介されました。死者数の減少に関しては、10年前よりも建物が丈夫になったことで地震の揺れで倒壊する家屋や火災で焼失する家屋が減ったためとのことでした。ただし、前回と今回では前提としている地震が異なるため想定結果を一概に比較することは難しいという説明が付け加えられました。そして最後に、今後さらに被害を減らすには平時や発災時にどのような行動をとるべきかをあらかじめ調べておくなど、震災への備えが重要であることが述べられました。

3番目の講演は、防災科学技術研究所の浅尾一巳氏(第1図左下)による「自治体におけるハザードマップ作成の現状と課題：地震・津波ハザードマップの作成—千葉県を例に—」でした。浅尾氏は、千葉県の防災部門において地震被害想定調査などに従事されたご経験を持つ、地域防災のスペシャリストです。講演では、まず千葉県による地域防災計画や被害想定を振り返りながら、千葉県では国が想定する地震や防災計画を見直した場合や、想定する地震に関して新たな知見を得られた場合などに被害想定を修正が行われることが説明されました。また、千葉県の地域特

性として、県を囲う三方の海から過去に何度も津波被害を受けていることや、埋立地等の地盤を改変した地域が多くあること、県全体が首都直下地震の震源直上にあることなどが挙げられ、県のハザードマップ作成ではこれらのことを考慮することが重要であることが述べられました。その後、実際に作成された地震、液状化、津波、地盤リスクなどに関するハザードマップの紹介があり、これらを踏まえてハザードマップ作成における課題が述べられました。具体的には、ハザードマップの精度や使い方については、作成する行政側と利用する住民側とで意識の差があり、今後のハザードマップ作成には住民の要望に応えられる信頼度の高いデータを揃えるとともに、住民のリスクに対するリテラシー向上を目指した防災教育の実施などが必要であることが述べられました。

最後の講演は、静岡大学防災総合センターの岩田孝仁氏(第1図右下)による「ハザードマップの持つ防災情報性」でした。講演では、ハザードマップの目的は大きく分けて、災害リスクの評価を示して予防につなげることと、災害時の避難など緊急行動につなげることの2つとしたうえで、ハザードマップが作成されている地域で起きた津波被害や洪水被害の例が紹介されました。これらの例は、住民がハザードマップの存在を把握していたにもかかわらず、災害を自分事と捉えられなかったために初動が遅れ、被害が拡大したというものでした。岩田氏によると、日常生活における予防が進化するに伴って危機意識が低くなり、災害に対する想像力が欠如してしまったことに被害拡大の原因があるとのことでした。また、近年は従来よりも分かり易い情報提供が可能になった反面、それらの情報をどのように使いこなし防災行動につなげてもらうかが課題になっているとのことでした。講演ではこのような課題に対する静岡県の取り組みの例として、自然災害に大きく関係する土地条件の変遷を確認できる統合基盤地理情報システムや、誰もが目で見て理解しやすい3次元点群データを用いた津波や河川氾濫シミュレーション、ハザードマップを見ながら緊急時の避難経路を考える住民参加型ワークショップなどが紹介されました。

最後に予定されていた総合討論は時間の都合上割愛されましたが、いずれの講師からもハザードマップが効果的に活用されるうえでの課題の1つとして、作成する側の意図が利用する側に正確に伝わっていない点が挙げられ、この課題を解決するためには整備する情報の高度化だけでなく、利用する住民へ正確に情報を届けられる体制作りが必要であることが述べられていたことが印象的でした。

4. 終わりに

本年度の講演会は3年ぶりの対面開催で、当日どのくらいの方に足を運んでいただけるのか心配なところもありましたが、これまでと同程度となる53名の方々にご参加いただきました。参加者内訳としては、地質調査業界や建設業界の民間企業から約半数を占め、研究機関、自治体からそれに次ぐ形となりました。ハザードマップは各自治体で作成することもあり、例年と比べて自治体の方々のご参加が多かったように思います。講演会後の自由回答アンケートでは、一般の方々におけるハザードマップに関する理解が広がり、防災意識が高まることを期待するコメントを多数頂きました。また、ハザードマップ活用のための技術講習会の開催や、最新デジタル情報の活用などを望むコメントを頂きました。いずれのコメントも分科会の役割である自治体、研究機関、企業等における連携強化を進めるうえで有益なコメントであったと思います。ご協力に感謝いたします。

最後になりましたが、講演者の皆様、開催にあたってご協力いただいた皆様には心より感謝申し上げます。

文 献

- 小松原純子・野々垣 進・納谷友規・宮崎一博 (2022) 産業技術連携推進会議知的基盤部会地質地盤情報分科会令和3年度講演会「地質リスクの低減に向けた地質調査・データクオリティ・解析技術」開催報告。GSJ地質ニュース, 11, 56-58.
- 野々垣 進・小松原純子・納谷友規・宮地良典 (2023) 産技連知的基盤部会地質地盤情報分科会令和4年度講演会「斜面災害低減に向けた地質地盤情報の利活用」開催報告。GSJ地質ニュース, 12, 120-123.

NONOGAKI Susumu, KOMATSUBARA Junko, NAYA Tomonori and MIYACHI Yoshinori (2024) Report on Symposium "Utilization of Geological and Geotechnical Information in Generating Hazard Map".

(受付：2024年8月30日)

2024 年度地震・津波・火山・斜面災害に関する 自治体職員研修プログラム開催報告

宮下 由香里¹・今西 和俊¹・石塚 吉浩¹・宍倉 正展¹・深沢 佐知子¹・藤原 治¹

*本稿は、IEVG ニュースレター Vol.11 No.3 掲載記事に加筆し、再編したものです。

地震、津波、火山、斜面災害など、自然災害に関する研究成果を防災活動に活かすためには、防災情報の第一次の受け取り手のひとつである地方自治体の担当者との協力が必要不可欠です。具体的には、専門的な知識や情報を、地域固有のリスクやニーズに即した対策の立案・実施につなげたり、地域社会の防災情報に対する理解を深め、適切な行動を促す素地作りをしたり、それらを常に忘れられないようにするための工夫を凝らしたりすることが必要となります。活断層・火山研究部門では、研究者と自治体の防災担当者の双方向での知識・情報の共有を目的として、本研修を2009年度より、産総研つくば中央事業所にて実施してきました。

本研修の内容については、講義のみならず、他自治体の同職担当者との直接的な意見交換やネットワーク作りが可能となる点について研修参加者から好評を頂く一方で、つくばへのアクセスの悪さ、最終日の巡検を入れると3泊4日という研修期間の長さが参加を難しくしているとの課題も出されてきました。今年度は、これまでの長所を活かし、短所を解決するため、自治体へ出向いての研修を検討していたところ、福岡県総務部防災危機管理局防災企画課から同県での研修開催についてご協力を得ることができました。

2024年度の研修は、7月22日(月)、7月23日(火)の2日間、福岡市のコネクトスクエア博多での対面とオンライン講義を組み合わせたハイブリッド形式で実施しました。また、2日目午後には、福岡県内に分布する警固断層帯の現地見学を行いました。参加者は、北海道、新潟県、茨城県、千葉県、神奈川県、和歌山県、島根県、山口県、福岡県、熊本県、沖縄県本部町の11自治体と、オブザーバーの関東農政局を含め、延べ17名でした。このうち、現地参加者は、茨城県、和歌山県、福岡県、熊本県からの7名でした(写真1)。

今年度は、開催地である福岡県に影響が大きいと考えられる自然災害を中心としたプログラム構成としました。研修プログラムを、第1表に示します。研修初日には、産総



写真1 研修会場の様子。ハイブリッド開催でしたが、オンラインの方には会場の様子を伝えるカメラを準備しませんでした。会場の様子が分かれば、質問や会話がしやすかったとのこと意見をいただきました。次回はセットしたいと思います。

研の防災研究とその社会実装に関する藤原部門長の挨拶に続き、近年様々なウェブサイトに分散している防災情報についての紹介とまとめ、産総研活断層データベースと地質図Navi、火山データベースの便利な使い方についての講義、それらのうち活断層に関するデータを実際にどうやって取得しているのかを解説する講義、調査で取得したデータをどのように地震防災想定に結び付けていくのかについての講義が行われました。午後には、和歌山県、千葉県、神奈川県、福岡県から、防災に関する取り組みについての紹介がありました。その後、記憶に新しい令和6年能登半島地震に関する話題を含む津波堆積物と海岸隆起に関する講義と、九州地域にとっては最も頻発する自然災害である斜面災害についての講義が行われました。

2日目は、日本の火山と火山活動に関する講義と実際に古文書を読み解く演習付きの過去の地震と津波に関する講義が行われました。その後、現地見学会参加者と希望者を対象に、現地見学会の説明が行われました(第1図)。午後は、レンタカーに同乗して、福岡市部から春日市、大野城市、太宰府市へと延びる警固断層帯沿いのルートをたどり、

¹ 産総研 地質調査総合センター活断層・火山研究部門

キーワード：地震、津波、火山、斜面災害、自治体職員研修



写真2 2006年に警固断層帯のトレンチ調査を実施した場所を見学(大野城市)。トレンチでは明瞭な南西側隆起を示す断層が現れました(写真は北に向かって撮影しているため、左手前側が南西になります)。この地点は、現在も田んぼですが、他のトレンチ調査地点は、住宅や保育園が建っています。スマホ地図アプリで現在位置と断層位置を確認しながら移動しました。



写真3 警固断層帯の左横ずれ活動によってできたと考えられている小河川の屈曲を見学(太宰府市)。ビルや住宅に遮られて、川がどこに行くのかが見通せません。都市部での活断層調査の難しさ=都市部に住んでいる方の活断層の実感しにくさを表しています。

た。また、対面イベントならではの効果として、初日夕方からの懇親会では、おいしいものを頂きながら、忌憚のない意見交換を行うことができました(写真4)。オンライン参加についても好評で、継続を希望する意見が複数ありました。

今回の研修を終えての反省点もあります。ひとつは、研修の周知(宣伝)方法です。研修のご案内は、2回にわたって郵送で各自治体の防災担当部署にお送りしています。しかし、自治体には、防災担当部署のほかにも、土木、港湾、都市計画、原子力安全等、自然災害に対する防災に関連する部署が存在します。部課宛てのご案内をいかに多くの方に見ていただくか、また、出張の可否判断権を持つ方に、いかに職員を派遣しようと思っただけかの工夫が必要と感じました。一方で、案内を送付していない団体からの参加申し込みもあり、GSJウェブサイトでの広報は有効であると思われます。



写真4 旬のケンサキイカ。おいしいものを頂きながら、忌憚のない意見交換を行うのも、地域開催の醍醐味です。

もうひとつは、研究者サイドの問題点です。研究者が(防災関係の研究のための)野外調査を実施する際には、その都度、自治体の担当部署へ調査趣旨・内容の説明に行っています。また、自治体の防災関連委員会や会議の委員となっている研究者も少なくありません。自治体を訪問した際には、調査・研究の現状と結果等の最新情報も共有するとともに、担当の方の質問に答えるなど、双方向のコミュニケーションを通して、自然災害をより深く理解し、身近なこととしてとらえていただく働きかけを行う必要があると強く感じました。また、担当の方との人脈を活用して、研修への参加呼びかけや広報の依頼などを行うことで、参加者を増やすことが可能になるかも知れません。防災に関する研究成果がどのように社会に役立てられていくのかを体験する場として、より多くの研究者が積極的に自治体研修に参画するような動機付けが必要と思いました。

次年度からは、本研修はGSJ(産総研地質調査総合センター)全体の取り組みとすることを検討しています。開催

方法(開催地)や開催時期、プログラム編成、講義の難易度などについても、さらなるブラッシュアップを加え、よりよい研修となるよう取り組んでいきたいと考えています。この記事を読んでくださった皆様のご意見・ご要望をお伝えいただけますと幸いです。

最後に、今年度の地震・津波・火山・斜面災害に関する自治体職員研修プログラムを実施するにあたり、会場の提供をはじめ、全面的に協力してくださった福岡県総務部防災危機管理局防災企画課防災企画係の皆様に篤くお礼申し上げます。

MIYASHITA Yukari, IMANISHI Kazutoshi, ISHIZUKA Yoshihiro, SHISHIKURA Masanobu, FUKASAWA Sachiko and FUJIWARA Osamu (2024) Report on the FY2024 Training Program for Local Government Officials on Earthquake, Tsunami, Eruption, and Slope Disaster.

(受付：2024年9月2日)

GSJ 地質ニュース編集委員会

委員長 中島 礼
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 14 巻 第 1 号
令和 7 年 1 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 : NAKASHIMA Rei
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. 14 No. 1
January 15, 2025

Geological Survey of Japan, AIST

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

霞ヶ浦（西浦）東岸から臨む紫金山・アトラス彗星と稲敷台地

[cover photo](#)



2023年に発見された紫金山・アトラス彗星(C/2023 A3)は、2024年10月中旬に肉眼でも見えるほどの明るさになり話題となった。日没後、西空において見事なダストテイルが伸びる姿を観察できた(撮影日:2024年10月13日)。更新世の関東平野は古東京湾の海底にあり、そこに堆積した地層である下総層群が陸化したことで、霞ヶ浦周辺には標高20~25mの平坦な台地が広がっている。撮影地の天王崎公園(茨城県行方市)からは湖面のかなたに稲敷台地を臨み、ほぼ真西に高さ120mの牛久大仏が鎮座しランドマークとなっている(★の下)。

(写真・文:兼子尚知 産総研地質調査総合センター地質情報基盤センター)

Comet Tsuchinshan-ATLAS and Inashiki Plateau viewed from the eastern shore of Lake Kasumigaura. Photo and caption by KANEKO Naotomo