

GSJ

地球をよく知り、地球と共生する

地質ニュース

2024

7

Vol.13 No.7



7月号

-
- 153 **Geosciences Montpellier (モンペリエ, フランス) での
在外研究 —フランスで藪漕ぎ—** 宮川歩夢
-
- 157 **「理」の付く地質用語** 佐脇貴幸
-
- 169 **第40回GSJシンポジウム 地圏資源環境研究部門研究成果報告会
海と陸をつなぐ地下水の動き —地層処分研究における
地圏資源環境研究部門の取り組み—**
地圏資源環境研究部門広報委員会
-
- 172 **メタンハイドレートが分布する海底のメタン動態を評価
—好気性・嫌気性微生物の共存がメタン消費のカギ—**
宮嶋佑典・吉岡秀佳・青柳 智・堀 知行・鈴木昌弘
-
- 176 **令和2年度廣川研究助成事業報告
固体化学反応による堆積有機物の低分子化技術に関する
動向調査と国際共同研究に向けた情報収集** 朝比奈健太
-
- 180 **書籍紹介 「ヒマラヤ山脈形成史」**
-
- 183 **新人紹介 見邨和英・鈴木敬介・池田あやめ・飯塚 睦**

Geosciences Montpellier (モンペリエ, フランス) での在外研究 —フランスで藪漕ぎ—

宮川 歩夢¹⁾

1. 在外研究の開始まで：経緯と滞在先の選定

私が在外研究を計画したきっかけは、2019年4月に地質調査総合センター(GSJ)から人材育成費(在外研究)の募集があったことでした。2013年に任期付き研究員として入所して以来、地球物理の研究に従事し、他部署への短期の異動も経験したところで、自分の研究者としての将来について真剣に考え始めた時期でした。そこで、これまで興味はありつつも取り組めなかった新たな研究に挑戦してみようと決意し在外研究に応募しました。無事に人材育成費を頂くことができ、以前から興味を持っていた世界各地の沈み込み帯に関する研究を積極的に行っているフランスのDr. Serge Lallemand(以下、フランスで私が彼のことを呼んでいたとおりSergeと表記)のもとで1年間の在外研究を行うこととなりました。

2. コロナ禍での中止と再チャレンジ

渡航のための準備を進めるなか、2020年初頭に新型コロナウイルスの世界的な流行に伴うロックダウンが世界各国で実施され、国際的な移動が非常に難しい状況となりました。このため、出発前に泣く泣く在外研究を中止せざるを得ず、その後も新型コロナウイルスの流行状況を見守りながら渡航の延期を重ねました。2022年中旬、産総研の海外渡航制限が若干緩和されたことを受け、2023年1月から1年間の在外研究を開始することを決定しました。延期を重ねたにも関わらず、Sergeが辛抱強く待ってくださったことに深く感謝しています。振り返ると、Sergeのこのような予期せぬ状況に柔軟に対応する姿勢は、もしかするとフランス人の気質から来ているのかもしれませんが。

3. モンペリエの紹介

私が在外研究のため滞在したモンペリエは、フランス南部の地中海に面したエリアの中規模の都市で、パリからは

フランスの高速鉄道(TGV)で4時間程度の距離にあります。マルセイユやニースのような有名な地中海のリゾート地は、フランス南部でも東の方に位置し(第1図)、モンペリエはリゾート化したエリアからは西に外れた場所にあります。そのため、1年間を通して地中海性の穏やかな気候にありながら、落ち着いた雰囲気の良い街でした。市街地中心には古い町並みを残し、パリなどの都会とは違いこじんまりとしたかわいらしい街でした(第2, 3図)。ダンスを中心とした芸術が盛んなようで、頻繁に音楽祭など様々なイベントが開催されていました(第4図)。モンペリエ大学は市街地から路面電車(トラム)で20分ほど行った郊外にあります。私は大学近くに滞在していたため、日常的には家と大学(とスーパーマーケット)を往復する毎日でした。

私が1年間滞在したGeosciences Montpellier(GM)は、モンペリエ大学内に設置され、モンペリエ大学とフランス国立科学研究センター(CNRS)の研究員が共に在籍する組織です(<https://www.gm.umontpellier.fr/> 閲覧日:2024年2月20日)。いわば、大学の学科に産総研の職員も半数程度在籍しているような組織で、日本ではあまり経験のできない特殊な環境でした。それでも、大学の教員と研究員とで、(私が感じられる範囲では)大きな差があるわけではなく、異なる立場であっても皆がGeosciences Montpellierの一員としての一体感を共有していました。特に、若手がGeosciences Montpellierの運営に積極的にに関わり、組織を盛り上げようとする姿勢が印象的でした。

4. モンペリエ大学での研究

私のモンペリエ大学での研究は、Sergeのチームがこれまで整備してきた、世界中の沈み込み帯におけるジオダイナミクスに関するデータベース「Submap」(Submap team, 2023)に基づく議論が主でした。日本は太平洋プレートとフィリピン海プレートが、ユーラシアプレートおよび北米プレートに沈み込む沈み込み帯に位置します。また、日本

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：フランス、体験記、長期滞在、研究生活、海外生活

周辺の沈み込み帯は、頻繁に発生する大規模な地震や活発な火山活動を理解するために、世界有数の観測データおよび研究成果の蓄積されているエリアです。しかし、日本で得られたデータや日本で行われてきた研究の多くは、それぞれ個別の事象を理解するために非常に詳細ではあるものの、局地的な研究であることが多い印象を受けます。一方、沈み込み帯を本質的に理解するためには、その局地的に観測・理解された事象がその地域に特異的に発生するものか、沈み込み帯で普遍的に発生するものかを理解する必要があります。Serge のチームは、フランスにしながら世界中の沈み込み帯の様々なデータをコンパイルし、沈み込み帯の普遍性や地域ごとの特殊性を理解する取り組みを行っています(宮川, 2023a, b)。そこで、日本の沈み込み帯に特

化して研究を進めていた私は、日本だけでなく世界の沈み込み帯まで視野を広げ、改めて日本周辺の事象について考えるために、彼のチームとの共同研究を実施しました。帰国後も、彼らのデータベースに新たに力学的なパラメータを加えるべく、日本で観測されている地震データを中心に解析を進め、連携を継続しています。

5. 海外を拠点とした研究活動

フランスはEUに属しているため、ヨーロッパ内での移動が非常に容易であり、この地理的な利点を生かして、在外研究期間中には多くの学会・研究集会への参加や研究室訪問を実施することができました(第1図)。主な学会・



第1図 モンペリエおよび訪問した都市の位置



第2図 モンペリエ旧市街地の街並み



第3図 モンペリエの中心コメディ広場のクリスマスシーズンの様子



第4図 モンペリエで開催された brass band フェスティバルの様子



第5図 Colloque FRENZS 2023 の際に実施された フレンチアルプスでの巡検の様子

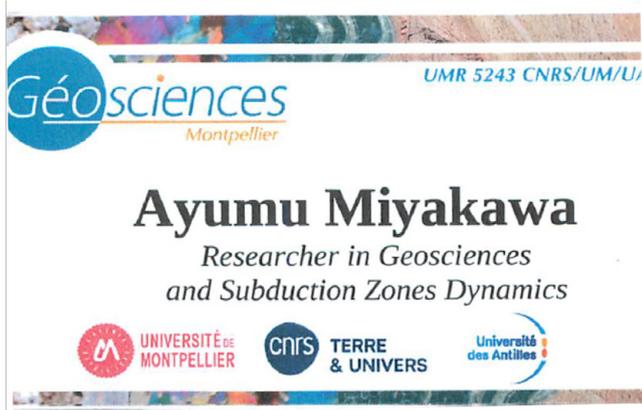
研究集会としては、4月にオーストリアのウィーンで開催された EGU General Assembly, 9月にパリで開催された Geomod 2023, 10月にフランスのコルシカ島で開催された Cargèse 2023 School on Subduction Zone Processes に参加しました。また、フランス国内で開催された国内向けの研究集会 Colloque FRENZS 2023 にも参加しました(第5図)。これらの学会や研究集会は、時期や開催地が異なるため、日本からの参加は非常に難しいのですが、フラ

ンスに滞在していることで容易に参加できました。さらに、異なる学会や研究集会で研究分野が近い方々と何度も顔を合わせることで親しくなり、研究室訪問や議論の機会を持つことができました。その結果、在外研究期間中にはスイスのチューリッヒ工科大学、イタリアのローマ第三大学、フランス国内ではパリのソルボンヌ大学・高等師範学校(ENS)、ナンシーのロレーヌ大学、オルレアン大学、グルノーブルのグルノーブルアルプ大学を訪問し、セミナー発表や密接な議論を行うことができました。このように、日本以外での在外研究を通じて築いたネットワークは、今後の研究活動においても大いに活用されることを期待しています。

6. 非英語圏での在外研究

フランスでの滞在中、日常的に英語を話す人はそれほど多くないことがわかりました。研究者の間では英語でのコミュニケーションが可能ですが、研究活動自体は主にフランス語で行われており、セミナーや日常の軽い議論もフランス語が中心です。スイスのチューリッヒ工科大学を訪問した際、大学内ではほぼすべての場面で英語が使われていましたが、これは非英語圏にもかかわらず、国によって研究文化に違いがあるためかもしれません。私自身、フランスへ行く前から、すべての場面で英語が通じるとは期待していなかったものの、フランス語を事前に十分に勉強していなかったため、フランス語でのコミュニケーションにはほとんど参加できませんでした。当初はこのことを非常に残念に感じていましたが、後になって「フランス語で話されているなら、自分にはあまり関係ない内容だろう」と割り切って生活するようになりました。その結果、見逃したチャンスもあったかもしれませんが、自分の研究に集中できたことは大きな利点でした。逆に日本に戻ってからは、日常的に受け取る情報量が多く、研究に集中することが難しい環境であることを痛感しています。

一方で、ラボのメンバーは毎日私をランチに誘ってくれて、研究のことはもちろん、長期休暇の旅行の予定や、家族のお祝いの準備など、多くのことを話してくれました。それには彼らにとっても少なからず心理的な負担があったはずですが、それでも私のことを仲間として受け入れ、コミュニケーションをとってくれたことにとっても感謝しています(第6図)。その中で、時間をかけて育んだ友情はかけがえのないものですし、触れた考え方や文化は、私に新しい視点を与えてくれたように思います。



第6図 ラボメンバーが有志で作成してくれたメンバーカード

7. オンライン時代の在外研究

私が在外研究をした2023年は、コロナ禍を経験したことで、多くの活動がオンラインで可能になっていました。オンライン会議が一般的になり、さまざまなツールを用いて物理的な距離を感じさせないコミュニケーションが実現していました。その結果、フランスにいながらも、多くの時間を日本とのやり取りに費やしていたことを、振り返ると少し後悔しています。フランスの朝は日本の夕方あたり、朝起きてすぐに日本からのメールを確認し、返信を済ませていました。また、日本とのオンライン会議も頻繁に行い、ほとんど毎日午前中は日本の業務に時間を割き、午後からは大学での研究に取り組んでいました。もちろん、このような状況は、日本で対応してくれた方々にも会議時間が日本の勤務終了間際に設定されるなど、多大なご迷惑をおかけしました。その結果、ホームシックになることなく、帰国後もスムーズに通常業務に戻ることができましたが、在外研究という貴重な時間を「日本にいてもできること」に費やしてしまったことが残念です。今やどこにいても同じように仕事ができる状況では、在外研究のような特別な環境で「何をするか」だけでなく、「何をしないか」についても慎重に考えるべきだと感じています。

8. さいごに

Sergeにトレッキングに誘ってもらったときに、帰り道で迷ってしまい軽い“藪漕ぎ”をしなければなりません。その時彼が、「こういう時フランス南部の方言で“バー

タシー (bartasser)”って言うんだよ」と笑いながら教えてくれました。私にとってフランスでの在外研究はまさに“バータシー”です。今回の在外研究を通じて、非常に多くの経験を積むことができました。もともと綿密に準備を進めていたわけではありませんが、多くの予期せぬ事態も今となっては、自分の成長につながった素晴らしい経験だったと感じています。新型コロナウイルスの蔓延による延期や、フランスでの度重なるストライキや暴動など、予想外の困難に直面した在外研究でした。しかし、当初は想像もしていなかった研究成果の芽生えや、新たな人々との出会いという、良い意味での予期せぬ出来事も多くありました。そうした、突然遭遇する様々な出来事に前向きに(笑いながら?)対応できるようになったことが、在外研究を通じて得た最大の成果かもしれません。

謝辞：本在外研究は地質調査総合センター(GSJ)の総合センター長裁量予算を原資とした人材育成費(在外研究)によるもので、多くの方にサポートしていただいて実現したものです。モンペリエでの生活を無事におくれたのは、現地でお世話になった名前を挙げきれない多くの方々のおかげです。貴重な機会を与えていただいたことに感謝いたします。

文献

- 宮川歩夢(2023a)世界の沈み込み帯データベース「Submap」のご紹介—a tool for mapping subduction zones—.地震第2輯 ニュースレター部, 76, no. NL3, 19–20.
- 宮川歩夢(2023b) Submap: a tool for mapping subduction zonesのご紹介. 日本地質学会 News, 26(7), 32–33.
- Submap team (S. Lallemand, N. Cerpa, M. Peyret and A. Heuret) (2023) Submap: a tool for mapping subduction zones. <https://submap.gm.umontpellier.fr/> (閲覧日: 2024年2月20日)

MIYAKAWA Ayumu (2024) Overseas study at Geosciences Montpellier (Montpellier, France) —*Bartasser en France*—.

(受付: 2024年2月22日)

「理」の付く地質用語

佐脇 貴幸¹⁾

1. はじめに

佐脇(2022)では、地質標本館の展示標本で観察できる「節理」と「片理」について解説しました。その際に感じたのは、「そういえば、『節理』とか『片理』以外にも、例えば『層理』や『葉理』といった『理』が接尾辞になっている地質学用語(特に岩石学的な記載用語)がいくつかあるが、なぜ『理』なんだろう?」という疑問でした。「理」という漢字ですぐに思い浮かぶ一般的な熟語としては、例えば真理、理論、物理、整理などがありますが、上述の地質学用語の「理」は、これらとは何か違った意味合い・使い方が感じられます。

そこで、小論では、「理」という漢字の持つ意味(字義)を再確認した上で、どんな「理」の付く地質用語があるのか、いつごろから使われているのか、などについて調べたことを記します。

2. 「理」の字義

筆者の手元にあった漢和辞典(長澤, 1974)では、「理」の字義として

- (一)おさめる (ア)整理する, (イ)さばく, (ウ)処理する, 処置する, (エ)玉をみがく, (オ)すじみちをつける, (カ)つくろう, 修理する, (キ)区別する, (ク)飾る
- (二)おさまる (三)みち, 道義 (四)道理, 理くつ
- (五)きめ (六)宇宙の本体 (七)理学
- (八)かまう (九)治の代用字 (十)裁判官, 理官

が示されていました。この中で、前述の地質学用語の接尾辞の意に合いそうなものは、「すじみちをつける」という意味ぐらいか、という感じがします。他の漢和辞典で調べてもおおよそ同じ内容ですが、「(五)きめ」に係わり、「木のもくめ:木理」, 「肌のきめ・すじ:肌理」などの意味も示されていました。これらの意味であれば地質学的な記載用語のイメージにだいぶ近づいた感じはしますが、まだいまいち腑に落ちません。そこで、さらに大きな辞典で「理」の字義を調べました。

上田ほか(1973)には「理」の字源として、「本義は玉をヲサメ磨くこと。転じて広く治め正す義とし、また玉の紋

理(すじめ)の義より転じてミチスジ・コトワケ等の義となる。」(注:一部旧字体を修正)とありました。また、藤堂(1993)には「理」の解字として、「里は『田』+『土』からなり、すじめをつけた土地。理は『玉』+音符里の会意兼形声文字で、宝石の表面にすけて見えるすじめ。動詞としては、すじめをつけること。」とありました。どうやらこの「すじめをつける」というところが、「理」が地質学用語の接尾辞に使われていることの本質的な理由であろうと考えられます。即ち、片理も節理も本来は面構造ではありますが、我々がまず最初にその存在に気が付くのは、岩石表面上に現れた線構造(すじめ)の模様であることが多いからです。

3. 明治時代の地質学用語の発生と整理

明治時代初期(文明開化期)には、西洋から日本に様々な学問・技術・文化などがもたらされました。それらを吸収するために、教育・研究機関の設立、お雇い外国人の来日、西洋への留学、辞書・教科書・啓蒙書等の出版など、様々な施策がとられました。もちろんその中には地質学、鉱物学、鉱山学などの地球科学分野の学問・技術の導入もあり、その過程は、例えば今井(1966)、土井(1978)、諏訪(2015)などやその引用文献に詳しく解説されています。

このような西洋からの学問・技術・文化の導入においては、外国語から日本語への翻訳が必須であり、例えば1876年(明治9年)出版(初版)の和田維四郎の〈金石學〉(和田, 1882)は、日本最初の鉱物学の教科書と位置付けられ、ドイツの複数の鉱物学の教科書を基に翻訳・編集されています。小論の主題としている「『理』の付く地質用語」、即ち岩石組織の記載用語もこのような翻訳によって生みだされたものだと考え、明治時代前半の教科書、辞典、用語集等を中心に調べてみることにしました。ただし、この時期の教科書類には索引が付いておらず、どこにどのような用語が記されているかを探し出すことは非常に難しいため、まずは見出し語が明確な辞典・用語集(以下、辞書類)にあたるものについて調べることにしました。

惣郷(1979)によると、幕末から明治にかけて出版された辞書類としては、1866年(慶応2年)出版(初版)の

1) 産総研 企画本部国際部(元地質調査総合センター)

〈改正増補 英和对訳袖珍辞書〉(堀・堀越, 1869), 1869年(明治2年)出版の〈改訂増補 和譯英辭書〉(高橋ほか, 1869)があり, これらには Basalt, Granite などが収録されていますが, あくまで一般的な英単語として収録されていると見なせます。これに引き続き, 明治初期に出版された鉱物・岩石に関する辞書類としては, 荒井(1872), 宮里(1874)があります。これらには, 様々な鉱物名と共に Basalt (柱石^{ハシライシ, タルキイシ}), Granite (花崗石^{ミカゲイシ}), Gneiss (片麻石^{サンバイシ}), Schist (剥易キ石) などのいくつかの岩石名と訳語が収録されています(ルビは原著のまま, 以下同様)。また, 武藤ほか(1879)では, Basalt, Schist の項目はありませんが, Granite, Gneiss などと共に, Graphitic granite (文花崗石^{モジミカゲイシ}), Volcanic rock (火山石: ルビは付けられていませんが, おそらく「クワザンイシ」)などの岩石名が見られます。さらに, 矢田堀(1881)では, 鉱物・岩石に関する見出し語数は少なく, Granite, Gneiss などは収録されていないものの, Plutonic rocks (火奮石^{クワフンセキ}), Sedimentary rocks (渣滓石^{ササイセキ}), Volcanic rocks (火山吐石^{クワザントセキ}) など, 現代では見慣れない和訳ではありますが, 地質学を知る者にとっては馴染み深い岩石名が収録されています。それらに加えて Stratified (有層累^{ユウソウレイ}), Unstratified (無層累^{ムソウレイ}) といった, 岩石構造・組織に近い用語もあります。しかしながら, 全般的に言えば, これらの辞書類には岩石組織に関する用語はほとんど収録されていません。

上記のような地質学用語は, それに関連する学問が進展していく中で, 必要性があつてこそ発生し得る, と言えます。日本での鉱物学(及び岩石学)は, 和田維四郎による「金石学」から始まり, 小藤文次郎(小藤, 1884)により名付けられた「鉱物学」へと整理されました(岡本・木下, 1959, 序 p. 1)。これによって, 明治初期の出版物内にあつた鉱物名の「揺れ」が整理され, 小藤ほか(1890), 和田(1904)等に引き継がれて系統的な整理が進められました。また, 岩石名も玄武岩, 花崗岩, 片麻岩などのように語尾に「岩」を付けた上で系統的に整理されました。このようにして地質学が進展するにつれ, 鉱物名や岩石名といった「もの」についての名称(用語)は整理が進められましたが, その一方で地質学用語全般, 特に「もの」の状態を形容するための記載用語に関しては, 研究者の主観・思想といったものが入ってきてきやすいため, その統一・標準化は十分ではなかつたであろうと推測されます。

その意味で, 1914年出版(初版)の地学用語集〈英和・和英 地学字彙〉(東京地学協会, 1916), 1935年出版の日本最初の全般的な地質学用語に関する辞書〈地学辞典〉(加藤・渡邊, 1935)は, まさにその用語の統一・標準化を図った

ものと言えます(鈴木, 1994, p. 63; 会田, 2023)。東京地学協会(1916)の序文には「地学上ノ述語ヲ統一シテ斯学ノ發達進歩ヲ圖ルハ本會責務ノ一ナリ……」, 加藤・渡邊(1935)の序文には「次が用語の統一化といふことであつてそれは本辞典の主目的の一つである。鑛物を礦物と書いて見たり珪酸は硅酸ではなかつたか等の疑問躊躇は一掃しなければならぬ。……」と, 学問的な進歩を支えるためには, 用語の統一が必要であることを強く主張しています。以上のような地質学用語の発生と整理の流れを踏まえた上で, 「『理』の付く地質用語」に関してまとめていきたいと思ひます。

4. 「理」の付く地質用語

第1表に, 「『理』の付く地質用語」の8種と, それぞれが収録されている, 東京地学協会(1916)以降の辞書類をまとめました。第2表に, 辞書類に収録されているそれぞれの用語の解説の抜粋を示しました。第3表には, それらの用語がいつごろから使われ始めたのか(初出)を調べた結果を示しています。これらの用語を収録した辞書類を探すにあたっては, 地徳(1999), 会田(2023)の引用文献も参考にしました。また様々な古い文書の検索に関しては, 地質調査総合センター(以下, GSJ)内に所蔵されている図書類, 地質調査所初期出版資料デジタルアーカイブ(<https://gbank.gsj.jp/ld/app/darc/> 閲覧日: 2023年12月20日), 国立国会図書館デジタルコレクション(以下, NDL, <https://dl.ndl.go.jp/> 閲覧日: 2023年12月20日)等を活用しました。

4.1 層理(そうり)

「層理」は, 地質学において最も基本となる用語です。地層という「もの」に対して, 地層というものがどのような状態を成しているかを表現するための用語, と言えばよいでしょうか。その実例は, GSJのウェブサイトに掲載されている砂岩泥岩互層, 火砕流堆積物の成層構造の写真(<https://gbank.gsj.jp/geowords/picture/photo/alternation.html>, <https://gbank.gsj.jp/geowords/picture/photo/bedding.html> 閲覧日: 2023年12月21日), あるいは, 地質標本館の代表的な展示物である褶曲模型(https://www.gsj.jp/Muse/story/src/story_003.pdf 閲覧日: 2023年12月21日)などに端的に示されています。

さて, 「層理」の初出ですが, なかなか明確なことはわかりません。日本で最も古い地質学の教科書と思われる1876年(明治9年)出版の〈百科全書 地質学〉(柴田, 1876)に

第1表 辞書類中の『理』の付く地質用語

○：収録有り，△：当該語はないが類似語・関連項目の収録有り，－：収録無し

A. 引用元の文献リスト

1. 東京地学協会 (1916) ; 2. 加藤・渡邊 (1935) ; 3. 三野・工藤 (1956) ; 4. 藤本・鈴木 (1957) ; 5. 文部省 (1960) ; 6. 柴田 (1965) ; 7. 小林ほか (1967) ; 8. 片山ほか (1970) , 木村ほか (1973) ; 9. 飯島・加藤 (1978) ; 10. 地学団体研究会 (地学事典編集委員会) (1983) ; 11. 崎川ほか (1983) ; 12. 応用岩石事典編集委員会 (1986) ; 13. 文部省 (1988) ; 14. 国際協力事業団 (1988) ; 15. 地学団体研究会 (1996) ; 16. 猪郷ほか (1998) ; 17. 日本地質学会 (2004) ; 18. 鈴木 (2005) ; 19. 鈴木 (2009) ; 20. 木下ほか (1936) ; 21. 木下 (1952) ; 22. 木下 (1954) ; 23. 木下 (1960) ; 24. 木下 (1966).

B. 類似語・関連項目の収録 (△)

a. 成層; b. lamellar: 葉片状, laminated: 葉状; c. lamina: 葉層, lamellar: 葉状など; d. lamellar structure, laminated structure: 層状組織; e. 葉層; f. 片状構造; g. fissile: 剥性; h. はく離性; i. 剥離; j. 断裂劈開, 剥離; k. 剥離性, 剥離面; l. 剥離性; m. fissility の説明文はあるが訳語無し; n. fissility の説明文はあるが訳語無し. ただし cliff の説明文内に剥理を使用; o. 流状構造; p. 流れ組織; q. クリート; r. cleap, cleat: 炭層の劈開; s. 「火成岩の石理」, 「変成岩の石理」という項目有り; t. 組織; u. 構造, 組織; v. 組織, きめ. ただし地質学用語としての取り扱いではない; w. 構造.

用語(日本語)	用語(英語)	文献																								備考	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
層理	bedding, stratification	○	○	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△a	△a	△a	△a	△a	
葉理	lamina, lamination	△b	△c	-	○	△d	-	○	○	-	○	-	○	○	△e	○	○	○	○	-	○	○	○	○	○		
片理	schistosity	○	○	△f	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	○	○		
剥理	fissility	△g	-	-	-	-	○	-	△h	-	△i	-	△j	△h	-	△k	△l	△l	△l	-	△g	△m	△m	△m	△n		
流理(構造)	flow texture, flow structure	△o	○	-	○	△p	-	○	○	-	○	-	-	○	-	○	○	○	○	-	△o	△o	△o	△o	△o	「流理」だけで単独に使われることは少ない	
節理	joint	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	○		
炭理	cleat, cleet	△q	○	-	-	-	○	-	○	-	○	○	-	○	-	○	○	○	○	-	-	-	-	-	△r	東部石炭協会(編) (1949)にも収録	
石理	texture	○	○	○	△s	-	○	-	△t	○	△u	△v	○	△t	○	△w	△t	-	△t	○	○	○	○	○	○		

は、「砂質及ヒ石灰質等ノ巖石常ニ層状ヲナス者」(p. 2), 「有層岩石」(p. 29)などの表現がありますが、「層理」は出てきません。

NDLを利用して1900年以前の使用事例を検索した結果、第3表に示したように、最も古いものとして1881年の〈地学浅釋〉(雷侠児ほか, 1881)が見つかりましたが、訓点付きの表現のため、これを最初の用例と見るのは難しいかと思えます。その次のものとしては、1887年の地質図幅「富士」の説明書(鈴木, 1887)が検索され、これが今のところ確実な最も古い用例と思われる。その後は、地質学の教科書(長濱, 1892; 脇水, 1895)でも使われるようになっていきます。

なお、地質図幅「福岡」の説明書(鈴木, 1893)では、上記の「富士」と同じ鈴木氏が著者ではありますが、こちらでは玄武岩の割れ方(節理?)に対して、「層理」が使われています。これは、用語の用法がまだ明確に定まっていなかったことを示していると思われる。

4.2 葉理(ようり)

葉理は、層理よりも細かく薄い層状の構造をいいます。実例としては、GSJウェブサイトに掲載されている平行葉理の写真(https://gbank.gsj.jp/geowords/picture/photo/parallel_lamination.html 閲覧日: 2023年12月21日)

があります。

「葉理」についても、初出が確定できているわけではありませんが、NDLで検索した結果、最初は鉱物の記載用語として使われ始めたことがわかりました(第3表)。例えば、〈金石学〉(和田, 1882)で使われている「葉理」は、その文脈からすれば、現在で言うところの比較的細かい間隔の劈開でひらひらと鉱物が割れている状態にあたるものと思われる。

次いで、岩石の性状の記載用語として使われるようになり、その例として大塚(1896)、木下(1930)、今井(1931)などが見出されました。しかしながら、これらでは岩石が薄くあるいは細かく割れたり剥がれたりする状態、即ち「剥離」に近い意味での使われ方のようです。これと同様の使用例は、第3表には載せていませんが、明治後期から昭和初期にかけての文献で多数見つかります。第2表で、応用岩石事典編集委員会(1986)や、木下(1966)及びこれの旧版である各鉱物辞典で「葉理」にこの岩石の剥離の意味を充てているのは、こういった背景があるからでしょう。さらに、中村(1931)、青山(1933)などでは、“Foliation”の訳語として「葉理」を充てており、これも現在の使い方とは異なります。

さらに、NDLで順に年代を下って検索していった結果、表に載せているもの以外にもモンティスほか(1878,

第3表 「理」の付く地質用語の使用例
各用語（「葉理」以外）について、古い方から4~5例をピックアップ。国立国会図書館デジタルコレクション、地質調査所初期出版資料デジタルアーカイブで確認した文献についてはURLを付記している。確認日は2023年12月18日~12月26日の間。

用語	著者	文献	出版時期	同定 (西暦)	文章	参照url	備考
層理	雷俊兒(著)、馮高温(口訳)、華壽芳(筆)、乙骨太郎之、保田久成(点)	地学叢書	明治14年	1881	此言下海中假層 與ニ坡岸假層ニ同シ。	https://dl.ndl.go.jp/oid/831275/1/27	漢文に対しての訓点付きの部分なので、これを用語とみるのは難しい。原本は、1873年に華壽芳が筆寫して編纂したものを「雷俊兒」はG.I. Neil「理層温」はD.J. Macgowanのこと。左記のものは、中国で出版された版に訓点が付けられ、日本向けに出版されたもの(早坂, 1983)。
	鈴木 敏	20万分の1地質図幅「富士」及び説明書(富士國幅地質説明書)	明治20年	1887	……常ニ成層理(ストラチファイド)ストラクチャーノラ呈セリ……	https://dbank.esi.jp/oid/app/darc/viewer.html#arcbook/70000682_GeolMap_20_35_fuji_explanation/text	説明書19ページ。同じページに「……片晶理(スライス)のストラクチャーノラ呈シ……」という文章もある。なお、◇は読み取りできない部分。
	長澤兼吉	普通学全書 第廿二篇 地質学新書	明治25年	1892	……頗ル薄キ假理集疊スルヲ……	https://dl.ndl.go.jp/oid/831300/1/14	この文書の前後に、「成層岩」の説明有り。
	鈴木 敏	20万分の1地質図幅「福岡」及び説明書(福岡國幅地質説明書)	明治26年	1893	……剝離ノ易キ假理ヲ呈シ……	https://dbank.esi.jp/oid/app/darc/viewer.html#arcbook/70000789_GeolMap_20_83_fukuoka_explanation/text	説明書122ページ。玄武岩の説明に使われている。
	脇水謙五郎	新式普通 礦物學教科書	明治28年	1895	……必ず多少の假理を備ふるを要する、……	https://dl.ndl.go.jp/oid/832028/1/72	「水成岩」の説明で使われている。
	和田維四郎	金石學	明治15年	1882	……多クハ晶理アリヲ殊ニ葉理多シ……		左記のほか、244ページ(重晶石)、257ページ(礫石)の説明の部分で使われているが、すべて鉱物の形状に関するもの。また、「葉理泡沸石」(Heulandite)という鉱物表記もある。
	小宮山弘道	啓蒙博物學 五	明治17年	1884	……多クハ晶理アリ、殊ニ葉理多シトス、……	https://dl.ndl.go.jp/oid/832128/1/38	初版は明治9年だが、確認したのは明治15年の再刷。なお、明治19年版(三刷): https://dl.ndl.go.jp/oid/831991 でも同じ表記がなされている。
	大塚專一	20万分の1地質図幅「岡山」及び説明書(岡山國幅地質説明書)	明治29年	1896	……粘板岩ハ中國ニ殊ニ著明ナル發達ヲ得タル葉理ヲ呈スル岩種ナリ……	https://dl.ndl.go.jp/oid/1084083/1/41	左記のほかにも、粘板岩に記述のところで使われている。
	木下鶴城	小坂鑛山調査報文	昭和5年	1930	……三米以上ニ達シ、葉理著シク發達シ、其上部ハ薄キ粘土層ヲ隔テ……	https://www.esi.jp/data/rep-esi/No107.pdf	地質調査所報告第107号、39ページ。
	今井半次郎	地層學	昭和6年	1931	……前者は表面平滑で絹糸光澤を呈し、細かき葉理を有して往々デュレレーンを挟在してあるが、……		332ページ 腐植岩の記載。石灰に関するもの。410ページに、地層の分類に関する記述があり、「Laminae」の訳に「葉層」を充てている。
葉理	中村新太郎	始生代及び原生代	昭和6年	1931	第二圖はカンブリア時代の褶曲と葉理(fooliation)の方向を示はし……		12ページ このほか11、18、27ページで使われている。左記の文獻は、「岩波講座 地質學及び古生物學 礦物學及岩石學 第2巻 地質學」の一冊。
	青山樫雄	世界の地體構造	昭和6年	1933	……其の上には葉理 Foliation を示さない水成岩層がある。		10ページ脚注部分。
	小林貞一	日本群島地質構造論 中巻 前篇	昭和23年	1948	……互層には葉理の認められる事がある。		124ページで、「Lamination」の訳として充てたことが記されている。その他にも、208、263ページで使われている。
	小林貞一	第7章 堆積と地層	昭和24年	1949	細粒岩の類聚な互層や葉理の内には泥帯でできたと考えられるものが少なくない。		「地学概論 下巻」の一章。確認できたのは、第3版(1949年)、48ページ。なお、改訂第8版(1952年)ではかなり算構成が変わっているが、左記と同一の説明文が79ページに載っている。
	大塚專一	釜石近隣鑛床地質調査報文	明治26年	1893	赤褐色ヲ帶ヒ、絲光ヲ發シ、片理ヲ呈シ、板狀ニ割テ易ク、……	https://dl.ndl.go.jp/oid/847294/1/21	
	脇水謙五郎	新式普通 礦物學教科書	明治28年	1895	……之と合同分にして互層を失ふて塊狀に近きものを角閃岩と稱す。	https://dl.ndl.go.jp/oid/832028/1/71	
	大塚專一	20万分の1地質図幅「岡山」及び説明書(岡山國幅地質説明書)	明治29年	1896	……壓搾力ヲ受ケ片理ヲ呈ス、……	https://dbank.esi.jp/oid/1084083/1/29	
	藤澤務彦地質調査所	百萬分一尺日本帝國地質圖説明書(岡山國幅地質説明書)	明治33年	1900	……花崗岩狀ニ葉理シ、片理發達ニ從テ……	https://dl.ndl.go.jp/oid/1083065/1/30	左記のほか、多数のページで使用されている。
	鈴木 敏	20万分の1地質図幅「徳島」及び説明書(徳島國幅地質説明書)	明治29年	1896	……共ニ堅實キモ斜理ヲ呈シ、破れ目多ククシテ……	https://dl.ndl.go.jp/oid/1085038/1/64	「結晶剝岩」の説明文。
	小川琢治	臺灣諸島誌	明治29年	1896	片岩 光澤あり、斜理 Foliation を有し、……	https://dl.ndl.go.jp/oid/9911506/1/55	
剝理	鈴木 敏	20万分の1地質図幅「漢田」及び説明書(漢田國幅地質説明書)	明治30年	1897	……常ニ斜理ヲ呈スル岩種……	https://dl.ndl.go.jp/oid/1084951/1/15	
	山崎直方	岩石學教科書	明治32年	1899	……雲母片麻岩ニシテ、葉片狀ノ斜理ヲ有シ、……	https://dl.ndl.go.jp/oid/831892/1/100	このほか数カ所で使用されている。

p. 25), 高橋(1919, p. 352)など, 戦前から“Lamina”, “Laminae”の訳語として「片葉」, 「薄層」, 「葉層」といった用語を充てた例は見つかりましたが, 「葉理」を“Lamination”の訳語として充て, 現在のような「地層内の薄い層状構造」という意味合いで使った最も古い例は, どうやら戦後になってからの小林(1948, 1949)であることがわかりました。これらの事例から, 「葉理」は, 最初鉱物についての記載用語から始まり, 岩石が薄く割れるという性状の記載用語に転用されるようになり, 現在は薄い層状構造を意味する記載用語になった, 即ち他の用語に比べて複雑な経緯を持ち, いろいろな「もの」の記載に使われてきたということが言えます。

なお, 本節の本題からは外れますが, 現在は使われていない鉱物の記載用語として, 和田(1882)等には「葉理」と並んで「晶理」という表現もあります。現在これに対応する用語がはっきりしませんが, 「葉理」よりも大きい間隔で明瞭な割れ目を見せている劈開のことを指しているのかもしれませんが。また, 杉邨(1878, 卷之五, p. 73)には, 先に示した「紋理」が見出されました。さらに, 益富(1957, p. 30)には, 本草書にある石葉についての表現として「文理」, 「縦理」, 「横理」を挙げており, それぞれ「組織または模様」, 「縦の劈開性」, 「横の劈開性」のことを意味すると記しています。鉱物学の用語に「理」を使い始めたきっかけは, 漢字の字義と共に, この本草書の影響があるのかもしれませんが。

4.3 片理 (へんり) 及び剥理 (はくり)

これらは共に, 主に變成岩, 特に結晶片岩に対して使われる言葉ですので, 二つを合わせて記します。なお, 片理の実例については, 佐脇(2022)やGSJウェブサイトの片岩の写真(<https://gbank.gsj.jp/geowords/picture/photo/greenschist.html>, <https://gbank.gsj.jp/geowords/picture/photo/blackschist.html> 閲覧日: 2023年12月21日)などをご覧ください。

柴田(1876, p. 45-46)には, 粘土質板石(スレートのことか?)と雲母板石(雲母片岩のことか?)とを比較して, 「……粘土質板石ト雲母板石トハ之ヲ分割シテ薄片トナラシムヘキ特性ヲ有シ……」という表現があります。また, 鈴木(1887, p. 19)には「片晶理」という用語が出てきますが, これは鈴木(2005)にある「晶出片理(crystallization schistosity): 鉱物粒が規則的な配列をした變成岩の片理」のことを言っているのかもしれませんが。

しかしながら, NDLでの検索結果では, 明確に「片理」, 「剥理」という用語が出てくるのは, どうやら1890年代に入ってからようです。第3表に示したように, 現時点

で見つかった最古の「片理」は釜石付近の地質調査報告書(大塚, 1893), 「剥理」は地質図幅「徳島」の説明書(鈴木, 1896)にあります。共に地質調査所の職員であった大塚氏と鈴木氏(後の第三代地質調査所長)が, 結晶片岩を記載するにあたって, それぞれで言葉を使い分けているように見えるのが大変興味深いです。用語の使い方に対して, お二方には何かしらの信念があつたのしたことだったのでしょうか。

なお, 小川(1896)は“Foliation”の訳語に「剥理」を充てており, ここにも用語の使い方の揺れが見られます。

4.4 流理 (りゅうり)

「流理」は, 主に火成岩の組織・構造に対して使われる用語ですが, 第2表に示したように, 辞書類によって, 岩石内部の鉱物の配列を指している場合(微視的)と溶岩表面に浮き出た模様・構造を指している場合(巨視的)とがあるようです。GSJウェブサイトの流紋岩の流理(<https://gbank.gsj.jp/geowords/picture/photo/rhyolite.html> 閲覧日: 2023年12月21日)は, どちらかといえば後者の方の例になります。

第3表に示したように, NDLでの検索で最古のものとして, 地質図幅「横濱」の説明書(鈴木, 1884)が検索され, 丹沢山地の岩石(緑色凝灰岩)中に見られる鉱物の配列の記載用語として使われています。それ以降, 火山岩類の組織記載に使われるようになっていきます。

なお, 現在では「流理」単独で使われることは少ないように思いますが, 使用され始めたころはそうでもなかったことがわかります。これは, 文語的表現の文章であれば, 「流理」単独でも表現上の違和感が少ない, ということなのかもしれません。

4.5 節理 (せつり)

「節理」は, 岩石中に生じた, 変位がないあるいは極めて微小な割目のことです。節理の実例については, 佐脇(2022)やGSJウェブサイトの柱状節理の写真(https://gbank.gsj.jp/geowords/picture/photo/basalt_columnar_joint.html, https://gbank.gsj.jp/geowords/picture/photo/rhyolite_columnar_joint.html 閲覧日: 2023年12月21日)を参照してください。

「節理」の初出に関しては明確のようで, 歌代ほか(1978)に富士谷・原田(1883)が最初に使用したことが書かれています。確認のためNDLで検索したところ, 第3表に示した通りやはりこれが一番古く, 次いで地質図幅の説明書での使用例がありました(鈴木, 1884;山田, 1886)。

なお、歌代ほか(1978)には、『節理』は文字通りには『物事の道理』であるが、物の表面にあらわれた模様をいう用法も古くからあり」という記述があります。一種の言葉の転用により使われるようになった記載用語と言えましょうか。

4.6 炭理 (たんり)

「炭理」は、第2表にあるように、炭層中の節理・割れ目のこととされています。明治初期の石炭に関する文書としては、1879年(明治12年、脱稿は明治7年)出版の〈石炭篇〉(大島, 1879)、1880年(明治13年)出版の〈坑業要説 四篇(煤坑術)〉(吉井, 1880)などがありますが、「炭理」に相当する用語は見当たりません。なお、吉井(1880)には、炭層の構造に関係した用語として、^{フラー}差縫(=断層, p. 437)、^{ダイク}石壁(=岩脈, p. 441)などがあり、ここにも翻訳作業の苦労が見て取れます。

第3表にあるように、NDLでの検索ではこれまでの他の用語よりも遅く、1900年の資料で初めて見出されました(齋藤, 1900)。しかしながら、その使い方を見ると、上述の節理・割れ目のことではなく、褐炭の表面の状態、様子を表す用語として使われているようです。それから若干時間をおいて、三川(1921, 1922)の採炭学の文献が見つかりましたが、こちらでは明確に節理・割れ目の意味で定義されています。ここで「炭理」の再定義がなされた可能性が有ります。ただし、「炭理」を含む文献について、検索できた数が意外に少ない印象を持っています。明治から1960年代まで重要なエネルギー資源であった石炭に関しては、おそらく非常に多くの文献が出版されているはずですので、検索漏れがかなり多数あるのだらうと思います。

なお、三川(1921)、三川(1943, p. 28)、岡(1939, p. 91)、太田(1952)などでは「炭理」^{すみのめ}、「炭目」、「炭の目」などの用語も使われていることから、NDLでこれらの用語でも検索もしてみましたが、上記よりも古い時期の確実な情報は得られませんでした。また、岩崎(1910, p. 65)、岩崎(1922, p. 28)、岩崎(1924, p. 139)では、一貫して「割れ目」が使われていますが、これでは極めて一般的な言葉になってしまい、検索上の絞り込みができないと判断して、これを使った検索は見送りました。

4.7 石理 (せきり)

「石理」は、岩石学的な研究を始めるにあたってまず最初に行う、「岩石を観察する」という行為と切り離せない用語です。ただし、現在の岩石学ではあまり使用されること

はない用語で、今では岩石組織、岩石構造などといわれることが一般的です。

第3表にある通り、NDLの検索で地質学的な用語として最初に見つかったのは1877年のナウマン及び和田維四郎による大島の調査報告書(ナウマン・和田, 1877)で、それに引き続いて地質図幅の説明書でも使われています(鈴木, 1884; 西山, 1884)。

一方で、同じ時期の各地の物産品紹介の一覧(齋藤ほか, 1875; 土方ほか, 1876)にも「石理」が使用されており、こちらは地質学的な記載用語としての使われ方ではなく、石材の見た目、表面の状態を示している感じです。これは、「節理」のところで記したように、「理」には「すじめ」以外にも「きめ」といった表面の模様を示す意味もあり、「木理」、「肌理」、あるいは初期の「炭理」など同様に、当時は岩石の表面の状態を表す言葉として一般的に使われていたのではないかと想像されます。また、神保(1896, p. 33)には同様の表現として「第三 岩石ノはだ(石理)」という章があり、岩石中に見られる組織・構造の解説がなされています。以上を踏まえると、「石理」もやはり一種の用語の転用によるものだと言えそうです。

4.8 脈理 (みゃくり)

飯島・加藤(1978, p. 233)には「脈理」という言葉が掲載されています。白い石英脈が岩石中を貫いているような状態を指す言葉のようですが、他の地質学用語の辞書類には載っていないため、第1表、第2表には示していません。即ち、現代では地質学用語としてはほぼ使われていないと思います。しかし、ガラス工学では重要な用語のようであり、崎川ほか(1983)にはStriaeの訳語として収録され、ガラス生地本体と屈折率を異にする部分で、一種のガラスの欠陥を表現するための用語となっています。

さて、「脈理」についてNDLで1900年までの文書を検索したところ、植物学、薬学などの教科書がまず検索されましたが、その中に地質学関係のものも少数ながら見出されました。第3表にあるように、關藤(1877)、石川・横山(1894)では岩脈の記述に用いられ、ゲーキー・島田(1887)、園田(1890)ではロッキー山脈の記述に使われています。このように、「脈理」というのは何か別のものを細長く貫いた感じを表している言葉であることはわかります。ただし、これらの原語、即ち何という言葉から翻訳されたかについての情報は見つけられませんでした。もしかしたら、植物学、薬学等で使われていた用語を転用したのかもしれない。

5. おわりに

ふとした疑問から、『理』の付く地質用語に関して古い資料を細かいところまで調べていくと、他の類似語や知らなかったことが芋づる式に見えてきて、学生時代から当たり前と思って使ってきた地質用語が、「当たり前ではなかった」時代があったことを再認識できました。さらには、小論の主題とは外れますが、明治維新前、幕府により地質・鉱山技師としてブレイク (Blake, W. P.), パンプェリー (Pumpelly, R.) が招聘されてきたこと (今井, 1966, p. 30), そしてその二人の名が共に鉱物名に使われていること (blakeite: Frondel and Pough, 1944; pumpellyite: Palache and Vassar, 1925) ということも知ることができました。

なお、改めてここで注意していただきたいのは、小論で取り扱った用語の初出を探すにあたり、これまで出版されてきた全ての地質学の文献を検索できているわけではなく、また NDL の文字検索機能にも限界があるので、どうしても検索の見落としは避けられません。例えば、地質調査所初期出版資料デジタルアーカイブには 900 タイトル以上の古い資料が含まれており、それらの中にもっと古い使用例が見出される可能性は十分にあります。小論を読まれた方で、もし興味を持たれた方があれば、是非いろいろな地質学用語の発生の「源頭部」まで遡っていただければと思います。

謝辞: 業務部総務室図書担当の方々には、他の機関から古い資料を取り寄せるにあたってお世話になりました。ここに記して、厚く感謝いたします。

文 献

会田信行 (2023) 日本の地学事典の歴史と「ローム」の記述。地学教育と科学運動, no. 90, 43-52.
 青山信雄 (1933) 世界の地體構造。古今書院, 東京, 276p.
 荒井郁之助 (1872) 諸元素名稱及其畧稱表譯, 英和對譯辭書 (開拓使)。小林新兵衛, 東京, 534-541 及び 533-546。(国立国会図書館デジタルコレクション <https://dl.ndl.go.jp/pid/870099/1/538>, 及び <https://dl.ndl.go.jp/pid/1871490/1/540> 閲覧日: 2023年12月6日)
 地学団体研究会 (1996) 新版 地学事典 (初版第 1 刷)。平凡社, 東京, 1443p (本文).
 地学団体研究会 (地学事典編集委員会) (1983) 増補改訂

地学事典 (改訂版第 3 刷)。平凡社, 東京, 1612p (本文, 付録, 索引等).
 地徳 力 (1999) 地学辞典小史。穂別町立博物館研究報告, no. 15, 1-15.
 土井正民 (1978) わが国の 19 世紀における近代地学思想の伝播とその萌芽。廣島大学地學研究報告, no. 21, 170p.
 藤本治義・鈴木敬信 (編) (1957) 地学教育辞典 (初版)。朝倉書店, 東京, 488p (本文).
 富士谷孝雄 (著)・原田豊吉 (関) (1883) 地學要略 卷之一。富士谷孝雄, 東京, 110p.
 Frondel, C. and Pough, F. H. (1944) Two new tellurites of iron: mackayite and blakeite, with new data on emmonsite and "durdenite". *American Mineralogist*, 29, 211-225.
 ゲーキー (Geikie, A., 著)・富士谷孝雄 (訳) (1887) 中學校・師範學校教科用書 藝氏地文學。文部省編輯局, 東京, 684p.
 ゲーキー (Geikie, A., 著)・島田 豊 (訳) (1887) 地文學 下巻。共益商社, 東京, 336p.
 早坂一郎 (1953) 「地学浅釈」について。地学雑誌, 61, 154-156.
 土方幸勝 (編)・田中義廉 (関) (1876) 日本地誌略物産解。土方幸勝, 東京, 68p.
 堀 達之助 (編)・堀越龜之助 (改訂) (1869) 改訂増補英和對譯袖珍辭書 (慶應三年江戸再版)。蔵田屋清右衛門, 江戸 (東京), 499p。(国立国会図書館デジタルコレクション <https://dl.ndl.go.jp/pid/870101/1/1> 閲覧日: 2023年12月28日確認)
 猪郷久義 (監修)・宮野 敬・宮野素美子 (編著) (1998) 地学英和用語辞典 (初版 1 刷)。愛智出版, 東京, 351p.
 飯島 亮・加藤榮一 (1978) 原色日本の石 産地と利用。大和屋出版, 千葉, 261p.
 今井半次郎 (1931) 地層學。古今書院, 東京, 546p.
 今井 功 (1966) 黎明期の日本地質学 — 先駆者の生涯と業績 —。地下の科学シリーズ 7, ラテイス, 東京, 193p.
 石川貞治・横山壮次郎 (1894) 北海道廳地質調査 鑛物調査報文。北海道廳, 北海道, 350p.
 岩崎重三 (1910) 日本鑛石學 第一卷 石炭篇。内田老鶴圃, 東京, 332p.
 岩崎重三 (1922) 本邦石炭の研究及其研究法。内田老鶴圃, 東京, 114p.

- 岩崎重三 (1924) 日本鑛石學 第一卷 石炭篇 (大增訂第 8 版). 内田老鶴圃, 東京, 542p.
- 神保小虎 (1896) 日本地質學. 金港堂, 東京, 245p.
- 片山信夫・森本良平・木村敏雄・竹内 均 (1970) 新版地学辞典 II (第 1 刷). 古今書院, 東京, 656p (本文, 索引).
- 加藤武夫 (監修)・渡邊 貫 (編) (1935) 地学辞典 (第 1 刷). 古今書院, 東京, 2026p (本文, 付録, 索引等).
- 木村敏雄・竹内 均・片山信夫・森本良平 (1973) 新版地学辞典 III (第 1 刷). 古今書院, 東京, 799p (本文, 索引).
- 木下龜城 (1930) 小坂鑛山調査報文. 地質調査所報告, no. 107, 1-65.
- 木下龜城 (1952) 鑛物辞典. 風間書房, 東京, 922p (本文).
- 木下龜城 (1954) 輓近鑛物辞典. 風間書房, 東京, 922p (本文).
- 木下龜城 (1960) 鑛物学名辞典. 風間書房, 東京, 1002p (本文).
- 木下龜城 (1966) 岩石鑛物辞典. 風間書房, 東京, 1213p (本文).
- 木下龜城・石井清彦・青山信雄・赤木 健・村山賢一・佐藤戈止・鈴木達夫 (1936) 改訂版 英和和英 鑛物辞典. 綜合科學出版協會, 東京, 568p (本文, 索引, 付録等).
- 小林貞一 (1948) 日本群島地質構造論 中卷 前篇. 目黒書店, 東京, 275p.
- 小林貞一 (1949) 第 7 章 堆積と地層. 地学概論 下卷. 朝倉書店, 東京, 77-89.
- 小林貞一・畠山久尚・渡辺武男 (監修)・三省堂編修所 (編) (1967) 三省堂 地学小事典 (第 1 刷). 三省堂, 東京, 362p (本文, 付録).
- 国際協力事業団 (1988) 鑛山技術用語集. 国際協力事業団, 東京, 237p (本文).
- 小宮山弘道 (1884) 啓蒙博物學 五. 金港堂, 東京, 40p.
- 小藤文次郎 (1884) 金石學 一名鑛物學. 小藤文次郎, 163p. (国立国会図書館デジタルコレクション <https://dl.ndl.go.jp/pid/831989/1/1> 閲覧日: 2023 年 12 月 7 日)
- 小藤文次郎・神保小虎・松島鉦四郎 (1890) 鑛物字彙. 丸善, 東京, 39p. (国立国会図書館デジタルコレクション <https://dl.ndl.go.jp/pid/832045/1/1> 閲覧日: 2023 年 12 月 6 日)
- 雷俠児 (著)・瑪高温 (口訳)・華 蘅芳 (筆)・乙骨太郎乙・保田久成 (点) (1881) 地学淺釋. 丸屋善七等, 東京, 892p.
- 益富壽之助 (1958) 正倉院薬物を中心とする古代石薬の研究 正倉院の鉞物 I. 日本鑛物趣味の会, 京都, 211p.
- 三川一一 (1921) 採炭學 上. 大倉書店, 東京, 528p.
- 三川一一 (1922) 採炭學 中. 大倉書店, 東京, 517p.
- 三川一一 (1943) 最新 採炭學 上 (第 12 版). 松柏書院, 東京, 538p.
- 三野与吉 (監修)・工藤暢須 (編) (1956) 地学辞典 (初版). 東京堂, 東京, 530p (本文, 付録, 索引等).
- 宮里正静 (1874) 化學對譯辭書. 小林, 東京, 215p. (国立国会図書館デジタルコレクション <https://dl.ndl.go.jp/pid/830638/1/1> 閲覧日: 2023 年 12 月 6 日)
- 文部省 (1960) 文部省学術用語集採鉞や金学編 (第 4 版 第 2 刷). 社団法人日本鉞業会, 東京, 263p.
- 文部省 (1988) 文部省学術用語集地学編 (第 1 版第 2 刷). 日本学術振興会, 東京, 429p.
- ゼームス・モンティス (著)・横山彦次郎 (訳)・小瀬佳太郎 (記) (1888) 地文学講本 上卷. 寛裕舎, 東京, 139p. (国立国会図書館デジタルコレクション <https://dl.ndl.go.jp/pid/831354/1/1> 閲覧日: 2024 年 1 月 10 日)
- 武藤 壽 (編)・田中芳男・和田維四郎 (閱) (1879) 金石對名表. 博物館, 東京, 40p (和独英) +44p (独英和, 英独和).
- 長濱兼吉 (1892) 普通學全書 第廿二篇 地質學新書. 富山房, 東京, 216p.
- 長澤規矩也 (編) (1974) 新明解漢和辞典 (第 1 刷). 三省堂, 東京, 560p (本文).
- 中村新太郎 (1931) 始生代及び原生代. 岩波講座 地質學及び古生物學 礦物学及び岩石學 第 2 卷 地史學, 岩波書店, 東京, 1-30.
- エドモンド・ナウマン (著)・和田維四郎 (訳) (1877) 大島火山記. 學藝志林 第一冊. 東京大學法理文學部, 47p.
- 日本地質学会 (2004) 地質学用語集 - 和英・英和 - (初版 1 刷). 共立出版, 東京, 440p.
- 西山正吾 (1884) 20 万分の 1 地質図幅「伊豆」及び説明書 (伊豆圖幅地質説明書). 農商務省地質調査所, 東京, 50p.
- 農商務省地質調査所 (1900) 百萬分一 大日本帝國地質圖説明書. 農商務省地質調査所, 東京, 376p.
- 小川琢治 (1896) 臺灣諸島誌. 東京地学協會, 東京, 379p.

- 岡 新六 (1939) 石炭 (再版). 共立社, 東京, 694p.
- 岡本要八郎・木下亀城 (1959) 鉱物名辞典. 風間書房, 東京, 874p (本文).
- 太田 篤 (1952) 英和和英炭鑛用語集. 太田 篤, 52p.
- 大鳥圭介 (1879) 石炭篇. 日本鉱業史料集 第七期 明治篇 (前)上, 日本鉱業史料集刊行委員会編, 白亜書房, 東京, 127p (1985年復刻版).
- 大塚専一 (1893) 釜石四近鐵鑛床地質調査報文. 臨時製鐵事業調査委員会, 東京, 173p.
- 大塚専一 (1896) 20万分の1地質図幅「岡山」及び説明書(岡山圖幅地質説明書). 農商務省地質調査所, 東京, 263p.
- 応用岩石事典編集委員会 (編) (1986) 応用岩石事典. 白亜書房, 東京, 347p (本文, 付録).
- Palache, C. and Vassar, H. E. (1925) Some minerals of the Keweenaw copper deposits: pumpellyite, a new mineral; sericite; saponite. *American Mineralogist*, **10**, 412-418.
- 齊藤 生 (1900) 石炭と其試験法. 工業雑誌, **13**, no. 210, 9-10.
- (著者名記載なし) (1901) 石炭の検査法. 工業雑誌, **14**, no. 220, 15-19.
- 齋藤時泰・床井 弘 (編)・榊原芳野 (訂) (1875) 日本地誌略物産辨 卷一. 雄風舎, 東京, 60p.
- 崎川範行 (監修)・芦ヶ原伸之・増山信司 (編) (1983) 英和科学用語辞典 (第11刷). ブルーバックス B-268, 講談社, 東京, 954p (本文).
- 佐脇貴幸 (2022) 節理と片理. *GSJ地質ニュース*, **11**, 49-55.
- 關藤成緒 (訳) (1877) 百科全書 地文學 (明治十年文部省印行). 青史社, 東京, 113p (1983年復刻版).
- 柴田 勇 (1965) 理学工学 岩石事典. 白亜書房, 東京, 336p (本文, 索引).
- 柴田承桂 (訳) (1876) 百科全書 地質學 (明治九年文部省印行). 青史社, 東京, 119p. (1983年復刻版)
- 惣郷正明 (1979) 開拓使版英和辞書. 英学史研究, no. 12, 13-18.
- 園田賈四郎 (訳編) (1890) 新撰百科全書 地文學. 博文館, 東京, 178p.
- 杉野次郎 (1878) 金石學必携 内編上 (卷之一~卷之六). 丸屋善七・丸屋善藏, 東京, 355p. (<https://dl.ndl.go.jp/pid/831994/1/1> 閲覧日: 2023年12月21日)
- 諏訪兼位 (2015) 地球科学の開拓者たち. 岩波書店, 東京, 264p.
- 鈴木 敏 (1884) 20万分の1地質図幅「横濱」及び説明書(横濱圖幅地質説明書). 農商務省地質調査所, 東京, 134p.
- 鈴木 敏 (1887) 20万分の1地質図幅「富士」及び説明書(富士圖幅地質説明書). 農商務省地質調査所, 東京, 93p.
- 鈴木 敏 (1889) 熊本縣管内豫察地質調査報文. 農商務省地質調査所, 東京, 142p.
- 鈴木 敏 (1893) 20万分の1地質図幅「福岡」及び説明書(福岡圖幅地質説明書). 農商務省地質調査所, 東京, 157p.
- 鈴木 敏 (1896) 20万分の1地質図幅「徳島」及び説明書(徳島圖幅地質説明書). 農商務省地質調査所, 東京, 134p.
- 鈴木 敏 (1897) 20万分の1地質図幅「濱田」及び説明書(濱田圖幅地質説明書). 農商務省地質調査所, 東京, 136p.
- 鈴木淑夫 (1994) 岩石学. 鈴木淑夫, 東京, 443p.
- 鈴木淑夫 (2005) 岩石学辞典 (初版第1刷). 朝倉書店, 東京, 877p (本文, 索引).
- 鈴木淑夫 (2009) 石材の事典 (初版第2刷). 朝倉書店, 東京, 379p (本文, 索引).
- 高橋純一 (1919) 最新地文地理集成. 隆文館図書, 東京, 498p. (国立国会図書館デジタルコレクション <https://dl.ndl.go.jp/pid/960290/1/1> 閲覧日: 2024年1月10日)
- 高橋新吉・前田献吉・前田正名 (編) (1869) 改正増補和譯英辭書. American Presbyterian Mission Press, 上海, 700p. (国立国会図書館デジタルコレクション <https://dl.ndl.go.jp/pid/1871455/1/1> 閲覧日: 2023年12月28日)
- 東部石炭協會 (編) (1949) 炭礦関係用語英譯集. 東部石炭協會, 東京, 129p.
- 藤堂明保 (編) (1993) 学研漢和大事典 (初版第31刷). 学習研究社, 東京, 1740p (本文).
- 東京地學協會 (1916) 英和・和英 地學字彙 (訂正再版). 東京地學協會, 東京, 274p (本文).
- 上田万年・岡田正之・飯島忠夫・柴田猛猪・飯田伝一 (1973) 大事典 (特装版 第71版). 講談社, 東京, 2602p (本文).
- 歌代 勤・清水大吉郎・高橋正夫 (1978) 地学の語源をさぐる. 東京書籍, 東京, 195p.
- 和田維四郎 (1882) 金石學 (明治15年12月再刷). 博物局, 東京, 278p.

和田維四郎(1904)日本鑛物誌. 和田維四郎, 東京, 281p.

脇水鐵五郎(1895)新式普通 鑛物學教科書. 内田老鶴圃, 東京, 262p.

山田 皓(1886)20万分の1地質図幅「前橋」及び説明書(前橋圖幅地質説明書). 農商務書地質調査所, 東京, 37p.

山崎直方(1899)岩石學教科書. 金港堂, 東京, 248p.

矢田堀 鴻(1881)金石學及地質學之語. 英華學藝辭書, 片山平三郎, 東京, 216p. (国立国会図書館デジタルコレクション <https://dl.ndl.go.jp/pid/869196/1/50> 閲覧日: 2023年12月8日)

吉井 亨(1880)坑業要説 四篇(煤坑術). 日本鉱業史料集 第五期 明治篇下, 日本鉱業史料集刊行委員会編, 白亜書房, 東京, 3-86. (1985年復刻版)

注1 惣郷(1979)によれば, 荒井(1872)の「諸元素名稱及其畧稱表譯」には早い版と遅い版とで差があり, 早い版では“Chemical Appendix”(見出し語は341語), 遅い版では“Chemical and Mineralogical Appendix”(同559語)となっているとのことです. 文献一覧には両方の資料のURLを示しています.

注2 堀・堀越(1869)の「改訂増補 英和對譯袖珍辭書」は, 堀が編集した洋書調所版(英和對譯袖珍辭書)(文久2年, 1862年)を, 堀越が慶応2年(1866年)に増補改訂したものです(惣郷, 1979). 小論で引用したNDL所蔵版の表紙には「慶應三年江戸再版」と書かれていますが, その最終ページには「明治二己巳年 官許」と記されていることから, 出版年を明治2年(1869年)として表記しています. なお, 小論では基本的にNDLの所蔵版を引用していますが, 他のオンライン図書データベースでは, 「官許」が記されていない慶応2年版, 慶応3年版も見ることができます.

注3 益富(1958)については, 表紙の年号は1957, 奥付の発行日は昭和33年3月10日となっています.

注4 齊藤 生(1900)の「生」は, 著者の「名」ではなく謙遜表現として表記されている可能性があります. また, その次の「著者名なし」の文献については, 文献末尾に, 齊藤(1900)を含めた複数の文献を(雑誌編集部が?)取りまとめたものである旨が記されています.

注5 辞書類については, 本文から付録・索引等のページ数が連続する場合はその総ページ数を, 索引・付録等が別立てのページ数となっている場合はそれらを除いた本文のみのページ数を示しました. また, 版, 刷が奥付に明記されている場合は, その情報も書名に付記しました.

注6 NDLから引用した文献のうち, 第3表に載っていないものについて, 参照用のURLを付記しました.

SAWAKI Takayuki (2024) Geological terms with “Ri (理)”.

(受付: 2024年1月12日)

第40回 GSI シンポジウム地圏資源環境研究部門研究成果報告会

海と陸をつなぐ地下水の動き

—地層処分研究における地圏資源環境研究部門の取り組み—

地圏資源環境研究部門広報委員会¹⁾

※ GREEN News 83 号を一部修正の上転載

令和5年12月8日(金)に秋葉原コンベンションホール & Hybrid スタジオにて、第40回 GSI シンポジウム「地圏資源環境研究部門研究成果報告会」を開催しました。今年度のテーマは「海と陸をつなぐ地下水の動き—地層処分研究における地圏資源環境研究部門の取り組み—」とし、対面及びオンライン配信による開催となりました。1件の招待講演と当研究部門からの5件の講演、及び当研究部門の研究成果に関するポスター発表を行いました。当日は111名の方にご来場頂くとともに、オンラインでも延べ107名の方にアクセス頂き、合わせて200名以上と多くの方にご参加頂きました。

はじめに、相馬宣和研究部門長は、第5期中長期計画に臨んで「持続可能な地圏の利用と保全のための調査と研究」をミッションに、重点研究課題として定めている、1) 地圏資源(Geo-Resource)の調査・研究及び活用、2) 地圏環境(Geo-Environment)の利用と保全のための調査・研究、3) 地圏の調査(Geo-Exploration)及び分析(Geo-Analysis)技術の開発と展開の3つの課題とその重要性について説明しました。また、当部門の9つの研究グループの最新の研究トピックスを社会実装という目標と絡めて紹介しました。さ

らに部門で実施している融合プロジェクトとして環境調和型産業技術研究ラボ(E-code)の紹介を行い、同じ課題を抱えている方と連携して、領域の垣根を超えた融合研究に取り組みたいと話しました(写真1)。

経済産業省資源エネルギー庁電力・ガス事業部放射性廃棄物対策課の北村 暁課長補佐(当時)による招待講演では、「我が国における地層処分の事業および研究開発の取組」という演題で、我が国における地層処分事業及び研究開発の取り組み状況について、ご紹介頂きました。本講演では、高レベル放射性廃棄物の地層処分システムとして深地層中への処分の実現性、実現に向けた研究開発の現状と今後の計画策定、地層処分の事業化に向けた現状、そして、人体への被ばくが想定されるシナリオに対応すべく、処分場周辺の地下水流動や化学的性質の評価の重要性や処分場閉鎖後の長期的安全性の評価といった多くの取り組みに関して詳細に解説頂きました。最後は、本事業に関連する研究開発において、当研究部門への期待と今後の指針をお示し頂き、講演を締めくくられました(写真2)。

地下水研究グループの井川怜敬上級主任研究員は、「海と陸をつなぐ研究～沿岸部プロジェクトの概要～」という演



写真1 相馬宣和研究部門長による講演



写真2 経済産業省資源エネルギー庁の北村 暁課長補佐(当時)によるご講演

1) 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：地層処分、沿岸域、地下水流動、ボーリング調査、数値シミュレーション、海底湧出地下水

題で、地層処分というプロジェクトにおける沿岸域の定義づけから、これまでに調査対象となっている幌延地域と駿河湾を選定した経緯やその学術的・社会的意義、各調査地域における成果の概要について講演しました。講演の最後には、今後の課題と共に地下水資源の持続的な利活用に向けた取り組みに関する現状を紹介し、地層処分を通じて得られた成果の大きな役割や波及効果に関する指針を示しました(写真3)。

企画本部の町田 功総括企画主幹(地下水研究グループ兼務)は、「沿岸部深層ボーリング調査からみえたもの」という演題で、海岸線付近におけるボーリング調査によって陸域から海域へ流動する淡水系地下水と、海域から流動してくる塩水系地下水の双方の情報の取得を目指した研究成果を紹介しました。淡水系地下水に対し、大局的には流速が小さい塩水系地下水の挙動解析は、地層処分の観点から重要である一方、これまでほとんどその流向流速の実態把

握は進んでいませんでした。本講演では、観測の結果、物理的な計測法では、塩水系地下水の流速が定量下限以下である一方、水温や地下水年代からのアプローチによってその流動解析を試みた成果の概要が示されました(写真4)。

地下水研究グループの吉岡真弓研究グループ長は、「数値シミュレーションで見る沿岸部における地下水の流れ」という演題で、これまでほとんど報告例のない大深度での塩水系地下水の流動解析のシミュレーション結果と課題に関する解説を行いました。講演の中で、深部の塩水系地下水よりも塩淡境界の下限付近において、流速が遅くなる領域が存在することが示唆されたこと、モデルと観測の比較はおおよそ一致するものの、まだ乖離のある部分があり、数値シミュレーションによるアプローチが観測コストや技術的な制約を抑える有用な手法であること、今後、地質構造モデルの構築や温度を含めたシミュレーションによる検討が必要であることといった得られた成果と今後の課題について紹介しました(写真5)。

地下水研究グループの小野昌彦主任研究員は、「沿岸部の地質環境を海底湧出地下水で探る」という演題で関連する成果を紹介しました。海底湧出地下水(Submarine Groundwater Discharge: SGD)を実際に発見するまでの経緯や戦略、発見後のSGDの面的調査と、調査域に噴出するSGDと現場の海水との混合線の解析から、SGDの化学組成やそれに基づく涵養域(起源)を推定し、現場付近の淡水地下水とは明らかに異なり、富士山で涵養された地下水であることを示しました。最後は、富士山と駿河湾が地下水を通じて繋がっていることを強調することで、本シンポジウムにおける成果発表を締めくくりました(写真6)。

ポスターセッションでは、研究グループの紹介を含む



写真3 井川怜欧・地下水研究グループ上級主任研究員による講演



写真4 町田 功・企画本部総括企画主幹(地下水研究グループ兼務)による講演



写真5 吉岡真弓・地下水研究グループ長による講演



写真 6 小野昌彦・地下水研究グループ主任研究員による講演

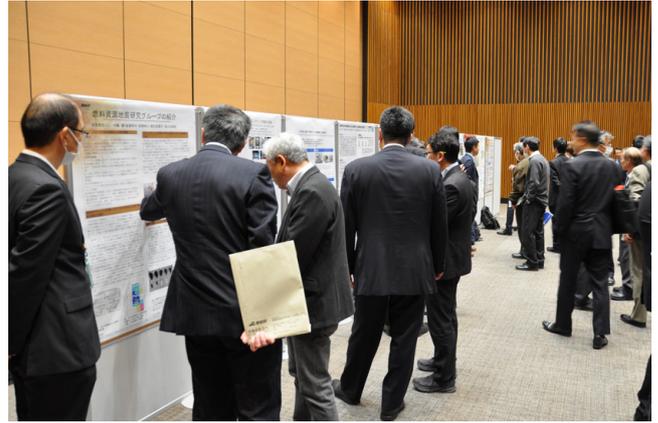


写真 7 ポスターセッションの様子

34 件のポスター発表を行い，研究・技術開発，知的基盤整備に関する成果について幅広い意見交換を行いました（写真 7）。なお，本シンポジウムの講演要旨が収録された「GREEN Report 2023」は，当研究部門の web サイト (<https://unit.aist.go.jp/georesenv/>) にて公開しています。ご興味・ご関心のある内容については，是非個別にご連絡頂き，今後の展開に繋げていただければ幸いです。

Public Relations Committee, Research Institute for Geo-Resources and Environment (2024) Report of the 40th GSJ Symposium —Movement of Groundwater connecting Sea and Land "The Approach of Research Institute for Geo-Resources and Environment for the Study on Geological Disposal"—.

（受付：2024 年 2 月 27 日）

メタンハイドレートが分布する海底のメタン動態を評価 —好気性・嫌気性微生物の共存がメタン消費のカギ—

宮嶋 佑典¹⁾・吉岡 秀佳¹⁾・青柳 智²⁾・堀 知行²⁾・鈴木 昌弘²⁾

※本稿は、2024年3月11日に行ったプレス発表(https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2024/pr20240311/pr20240311.html)に加筆し、再編したものです。

ポイント

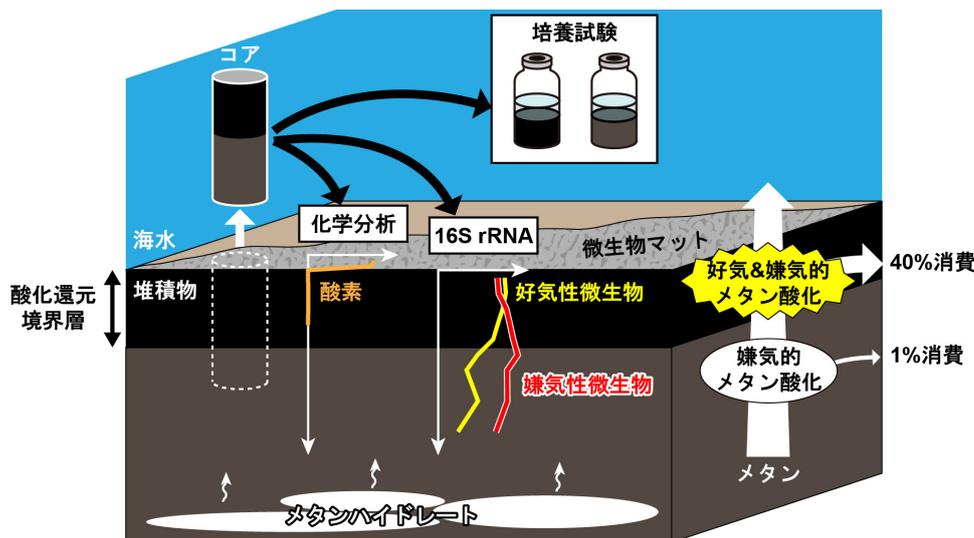
- 山形県酒田市沖の海底堆積物を対象に、微生物の鉛直分布と活性を解明
- 好気性・嫌気性微生物の共存領域を発見し、この領域を含む堆積物中でのメタン消費速度を推定
- 海底のメタン動態の理解やメタンハイドレート開発に伴う環境影響評価に貢献

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)地圏資源環境研究部門地圏微生物研究グループ宮嶋佑典研究員、燃料資源地質研究グループ吉岡秀佳研究グループ長、環境創生研究部門鈴木昌弘研究部門付、環境生

理生態研究グループ青柳 智主任研究員、堀 知行上級主任研究員らを中心とする研究グループは、2020年、メタンハイドレートが分布する山形県酒田市沖の海底の堆積物を対象に、化学分析と微生物分析、安定同位体トレーサー培養試験の結果を用いて、微生物がメタンを消費する速度を推定しました(第1図)。また、海底下の酸化還元境界層において、生育に酸素を必要とする微生物(好気性微生物)と必要としない微生物(嫌気性微生物)が共存してメタンを消費していることを新たに発見しました。これらの知見は、重要なエネルギー資源であり温室効果ガスでもあるメタンの海底での収支の正確な理解に貢献します。

なお、この研究の詳細は、2024年3月6日に Environmental Science & Technology 誌にオンライン掲載されました。



第1図 メタン消費速度を明らかにするため、メタンが湧出する海底堆積物の化学・微生物分析と微生物の培養試験を実施。

※原論文の図を引用・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圏資源環境研究部門
2) 産総研 エネルギー・環境領域環境創生研究部門

キーワード：メタンハイドレート、脂質、海底堆積物、メタン酸化、16S rRNA、安定同位体プローブ法

研究の社会的背景

メタンは天然ガスの主成分であると同時に温室効果ガスでもあるため、資源として持続的に利用するためには、その生成と消失過程を詳細に理解することが重要です。海底下深部で生成したメタンは、天然ガス田やメタンハイドレートとして地層中に一部とどまりますが、堆積物の隙間や断層などを通じて上昇し、海底面から海水中へ湧出しています。海洋は地球の表面積の70%を占めるにもかかわらず、海底から海水、そして大気へ放出されるメタンの量は、地球全体の放出数の数パーセント以下に抑えられています。これは海底の堆積物表層に生息する微生物が、メタンの消費に重要な役割を果たしているためと考えられています。しかし、これらの微生物の現場環境での活性や分布、メタン消費速度については、定量的な理解が進んでいません。

本研究は、地球化学から環境微生物学にまたがる分野融合的なアプローチによって、深海底の微生物によるメタン消費の機構解明に挑みました。

研究の経緯

産総研は、経済産業省の委託により、将来の国産エネルギー資源として期待される表層型メタンハイドレートの研究開発を実施しています(産業技術総合研究所, 2024)。表層型メタンハイドレートの研究開発プロジェクトでは、資源量の把握や深海における掘削・揚収技術などの検討に加えて、メタンハイドレートの開発に伴う海洋環境や生態系への影響評価についても重要な課題として取り組んでいます。2020年からは、日本海の山形県酒田市沖や新潟県上越市沖の表層型メタンハイドレートが分布する海域において、海洋観測船や遠隔操作型無人潜水機(ROV)を用いた海洋環境調査を継続的に実施してきました。これらの海域では、メタンを含む水の湧き出し(メタン湧水)を示す微生物マット(微生物の集合体)に表面が覆われた特徴的な海底面が多数存在することが確認され、微生物マット直下の堆積物に重金属などが濃集していることがわかりました(産業技術総合研究所, 2022)。今回はこの微生物マットで覆われた海底下の堆積物中における微生物活動とメタン消費に焦点を当てた研究を実施しました。

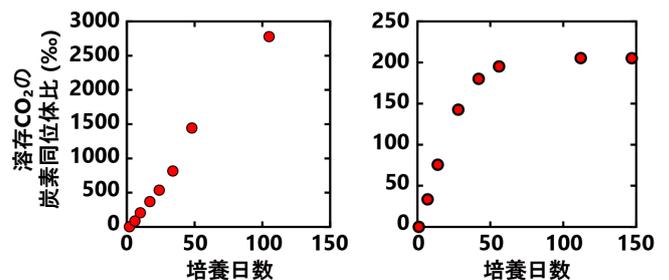
なお、本研究は、経済産業省のメタンハイドレート研究開発事業の一部として実施したほか、独立行政法人日本学術振興会の科学研究費助成事業(科研費)19H04244の助成を受けたものです。

研究の内容

海洋調査船「新世丸」およびROV「はくよう3000」を用いて、酒田市沖の水深約540mの海底を調査しました。灰色の微生物マットで覆われた海底と微生物マットのない参照地点の海底で、堆積物の化学的な特性や生息する微生物を調べるため、長さおよそ20cmのコア試料を採取しました。コア試料に対し、堆積物の隙間に存在する水(間隙水)の溶存成分であるメタンと酸素の濃度分析や堆積物の遺伝子・脂質解析を実施しました。また、メタンの湧出量を求めるため、湧出する水の流速を海底で計測しました。

濃度分析の結果、微生物マットで覆われた海底面から15cmまでの深度には、参照地点の堆積物と比較して高濃度のメタンが溶存していました。また、海底直上の海水は酸素を豊富に含みますが、微生物マット直下の堆積物では酸素が急激に減少し、表面の5mm以内でしか検出されないことがわかりました。これは、参照地点では酸素が海底面から1.5cm程度の深さまで比較的ゆるやかに減少し、それ以深で検出限界以下となる結果と対照的です。遺伝子・脂質解析の結果は、酸素を利用してメタンを消費する「好気性メタン酸化バクテリア」と酸素がない環境でメタンを消費する「嫌気性メタン酸化アーキア」が、微生物マット直下でのみ共存していることを示していました。

また、微生物マットで覆われた海底下の堆積物について、微生物によるメタンの消費速度を推定するために、炭素の安定同位体をトレーサーとした培養試験を実施しました。メタンは微生物により二酸化炭素に変換されるため、堆積物に安定同位体濃縮メタンを添加して培養を行うと、二酸化炭素の炭素同位体比が時間と共に増加します(第2図)。この同位体比の増加速度から、メタンの消費速度を推定しました。海底に近い温度で、培養開始時に酸素を与えた系と無酸素の系とで培養を行った結果、培養の初期において、



第2図 微生物マットで覆われた海底下堆積物の培養試験結果。左が酸素を与えた系、右が無酸素の系。
※原論文の図を引用・改変したものを使用しています。

前者のメタン消費速度は後者のその4倍近いことがわかりました。

さらに、微生物の脂質や16S rRNAへの安定同位体取り込みの追跡試験(安定同位体プローブ法)により、培養試験で特に活動的であった微生物種を特定することに成功しました。特定した微生物種について、堆積物中の微生物活性を示す16S rRNAや脂質の鉛直分布を基に、現場環境での分布も明らかにしました(第3図)。微生物の鉛直分布と、培養試験で得られたメタン消費速度を照らし合わせることで、好気性・嫌気性微生物それぞれの現場堆積物中でのメタン消費速度を推定しました。また、海底から湧出する水の流速と、間隙水に溶存するメタンの濃度からメタン湧出量を求めました。これらの結果から、微生物マットの下での堆積物中では、湧出するメタンの10%を好気性メタン酸化細菌が、30%を嫌気性メタン酸化アーキアが消費し、両者の共存によって合計40%のメタンが消費されていると見積もりました(第1図)。このことは、微生物マット直下に優占する嫌気性メタン酸化アーキアに加えて、好気性メタン酸化細菌も、メタンの消費に重要な役割を担っていることを示しています。

特筆すべきは、好気性メタン酸化細菌の活性を示す16S rRNAや脂質が、嫌気性メタン酸化アーキアの活動域である、酸素がほぼ検出されない海底下6 cmまで認められたことです。今回調査した酒田市沖の微生物マットで覆われた海底では、メタンを含む水が年間およそ2~3 mの流速で湧出しているという特徴があります。このような湧水は直上海水から堆積物への酸素の浸透を制限し、海底

下5 mm以深は酸素が検出限界以下となっています。しかし、活性のある微生物の鉛直分布を考慮すると、海底下6 cmまでの層では酸素が検出限界を下回りつつも好気性・嫌気性微生物の共存を可能にするレベルに保たれていると推測できます。

好気性・嫌気性微生物がどちらもメタンを消費していることは、世界の他海域でも示唆されていましたが、それぞれ海底の近傍と深部の堆積物にすみ分けて活動していると考えられてきました。本研究の結果は、海底下で活性のある種を特定することで、好気性微生物と嫌気性微生物が同じ酸化還元境界層で共存してメタンを消費していることを明らかにしました。また、微生物のこのような生理・生態がメタン収支に果たす役割を評価した初めての例となります。

今後の予定

今回調査した酒田市沖のようなメタン湧水域は、日本近海だけでなく世界各地のメタンハイドレート分布域に見られます。好気性微生物と嫌気性微生物の共存領域も、他地域の海底下に存在している可能性があります。他の海域についても、微生物のメタン消費速度を見積もることで、海底におけるメタン収支をより詳細に理解できると考えられます。

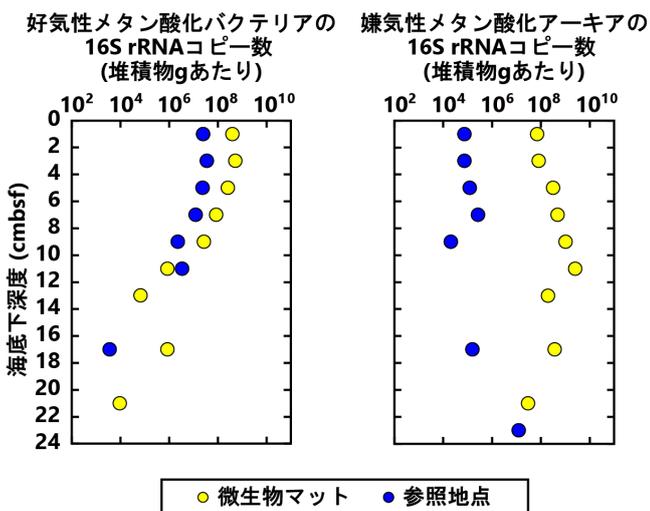
海洋表層の光合成で生産された有機物は、マリンスノーなどとして沈降する間に分解され、深海底には数パーセントしか到達しません。そのような栄養の乏しい環境にもかかわらず、酒田市沖や上越市沖で発見された微生物マットの海底周辺には、カニや貝類などの大型生物が密集することがしばしば観察されています。この要因はまだ明らかではありませんが、メタンや硫化水素を出発点とする微生物の化学合成によって成り立つ食物網が、深海底の生態系を支えている可能性が指摘されています。

微生物マットにおける詳細な微生物・化学反応プロセスを定量的に評価することで、表層型メタンハイドレート分布海域における生態系の構造や開発に伴う深海生態系への環境影響評価に対して、本研究の見聞を活用できると期待されます。

論文情報

掲載誌: Environmental Science & Technology

論文タイトル: Impact of concurrent aerobic-anaerobic methanotrophy on methane emission from marine



第3図 微生物マットおよび参照地点の海底下堆積物中の微生物分布。
※原論文の図を引用・改変したものを使用しています。

sediments in gas hydrate area

著者：Yusuke Miyajima, Tomo Aoyagi (共同筆頭), Hideyoshi Yoshioka (責任著者), Tomoyuki Hori (責任著者), Hiroshi A. Takahashi, Minako Tanaka, Ayumi Tsukasaki, Shusaku Goto, Masahiro Suzumura

DOI: 10.1021/acs.est.3c09484

用語解説

メタンハイドレート

「燃える氷」とも呼ばれる、かご状の水分子の中にメタン (CH₄) が閉じ込められた白い氷状の物質。低温高圧の条件でのみ安定で、自然界では大陸縁辺の海底下や陸上の永久凍土地帯に分布しています。日本近海では、砂粒子の隙間を埋めるように発達した「砂層型」と、海底下の浅い泥層の中に塊状に発達した「表層型」が、それぞれ太平洋側、日本海側に多く分布していることが知られています。

安定同位体トレーサー

同位体とは、原子番号は同じでも質量数 (原子量) の異なる元素で、放射能を持たず安定に存在しているものを安定同位体といいます。例えば、有機物を構成する炭素 (原子番号 6, 元素記号 C) には、炭素 12 (¹²C) と炭素 13 (¹³C) の 2 つの安定同位体があります。後者は自然界にわずか 1 % しか存在しません。炭素 13 のようなごく微量の安定同位体を人工的に濃縮し、それを含む化合物をトレーサーとして利用することで、化学反応や物質移動を高感度に追跡できます。今回は炭素 13 を 99 % に濃縮したメタンを用いて実験を行いました。

脂質

生物組織から抽出される成分のうち、水に溶けずヘキサンなどの有機溶媒に溶ける物質。炭素と水素を主成分とする炭化水素の骨格を持ち、細胞膜を構成する脂肪酸やコレステロールなどを含みます。炭化水素の骨格は分解されにくいいため、堆積物中のバクテリア・アーキアの検出やバイオマス (生物量) の推定に用いられます。

好気性メタン酸化バクテリア

バクテリア (細菌) のうち、下記の反応により酸素を利用してメタンを消費できる微生物の総称。



嫌気性メタン酸化アーキア

アーキア (古細菌) のうち、酸素に依存せずメタンを消費できる微生物の総称。代表的なものは硫酸還元バクテ

リアと共同し、海水に含まれる硫酸を利用して下記の反応を起こします。ほかにも、硝酸や鉄、マンガンを利用した反応が知られています。



16S rRNA

バクテリアやアーキアを含む原核生物の細胞内に存在し、生体タンパク質合成を行うリボソームの構成要素。RNA 分子である 16S rRNA は、それをコードする DNA 分子の 16S rRNA 遺伝子と比べ、合成や分解がされやすいという特徴を持ちます。16S rRNA を環境から細心の注意を払って抽出することで、代謝活性のある (活動的な) 微生物を直接的に検出することができます。16S rRNA の配列情報は微生物種の分類に用いられます。

安定同位体プローブ法

環境試料に炭素 13 (¹³C) を濃縮した化合物を加えて微生物を一定期間培養した後、¹³C 濃縮化合物を分解して取り込み、取り込まなかった微生物 RNA よりも重くなった微生物 RNA 分子を超遠心で分離して、次世代シーケンサーで一度に大量の塩基配列を決定し、¹³C を取り込んだ微生物種を高感度に同定する方法です。高感度 Stable Isotope Probing (SIP) 法とも呼ばれます。

化学合成

光合成に対し、光のエネルギーに依存せずメタンや硫化水素など無機物の化学反応エネルギーを利用して有機物を合成すること。深海の熱水噴出孔やメタン湧水域には、微生物の化学合成を基盤とする化学合成生態系が存在します。

文献

産業技術総合研究所 (2022) 海底メタン湧出域の生物地球化学システムを調査 —表層型メタンハイドレートの開発に係る環境影響評価に貢献—. https://www.aist.go.jp/aist_j/new_research/2022/nr20221107/nr20221107.html (閲覧日: 2024 年 4 月 9 日)。

産業技術総合研究所 (2024) 表層型メタンハイドレートの研究開発。 <https://unit.aist.go.jp/georesenv/topic/SMH/index.html> (閲覧日: 2024 年 4 月 9 日)。

MIYAJIMA Yusuke, YOSHIOKA Hideyoshi, AOYAGI Tomo, HORI Tomoyuki and SUZUMURA Masahiro (2024) Assessment of Seafloor Methane Dynamics in Gas Hydrate Area —Coexistence of aerobic and anaerobic methanotrophs is key to methane consumption—.

(受付: 2024 年 3 月 28 日)

令和2年度廣川研究助成事業報告

固体化学反応による堆積有機物の低分子化技術に関する動向調査と国際共同研究に向けた情報収集

朝比奈 健太¹⁾

1. はじめに

令和2年度廣川研究助成事業により、2023年1月17日から21日まで、ドイツの西部、ノルトライン＝ヴェストファーレン州アーヘン市にあるアーヘン工科大学(RWTH Aachen University) Carsten Bolm 教授のもとを訪問いたしました。滞在期間中、互いの研究内容について共有したほか、課題解決に向けた議論や共同研究に向けた打ち合わせを行いましたので、その概要について報告します。

2. 訪問の背景・目的

持続可能な社会に向けて、風力や太陽光発電など再生可能エネルギーや、バイオプラスチックをはじめとする脱炭素技術や工業製品の導入が進められています。一方、航空機や船舶、化学産業のように二酸化炭素の排出をゼロにすることは理論上で可能でも、コストや消費電力、生産量など様々な制約などから2050年時点での二酸化炭素の排出削減が極めて困難な産業、いわゆる Hard-to-Abate sector が存在します。そのためエネルギーセキュリティの観点から、今後も石油や天然ガスなど従来の炭化水素資源も、エネルギー源や工業原料として一定量供給できる必要があります。最近、筆者は、石炭の新たな利活用法として、石炭の液化・ガス化法の検討を行っています。

これまでに、石油や天然ガスに比べて埋蔵量が多く安価な石炭は、水蒸気改質による水素ガス製造法などの利用拡大方法が検討されています。同様に、石炭の液化法やガス化法は、エネルギーや工業原料として利用しやすいオイルやガスに変換させる技術として、古くから研究が行われてきました。近年、商業化が進められている「石炭ガス化複合発電」も、石炭のガス化法を応用した技術の1つです。

従来、石炭の液化やガス化は、高温かつ高圧条件(400℃以上、15 MPa以上)で石炭を分解する熱分解法が採用

されてきました。この熱分解法では、エネルギー投入量や生産コストが高く、環境負荷が大きいことが課題でした(Mochida *et al.*, 2014)。この問題を解決するために、触媒開発も進められていますが、理想的な常温・常圧かつ再利用可能な触媒の発見には至っていません。その要因の1つとして挙げられるのが、石炭の性状にあります。通常の化学反応は、溶媒を反応媒体として用いることが一般的です。しかしながら、複雑な高分子化合物である石炭は、水や有機溶媒に溶けないため、通常の化学反応のように溶媒を用いることができません。このことが障壁となっており、石炭の液化・ガス化に利用できる化学反応の選択性を狭めています。そのため、熱分解法のような激しい条件で反応させる以外、効率的に固体である石炭を低分子化することができていません。

以上のような現状認識から、筆者は全く新しいアプローチで石炭の液化・ガス化法を考案する必要があると考えました。そこで、筆者が着目したのが、「メカノケミカル反応」です。メカノケミカル反応は、物質の粉碎に使用するボールミルを用いて、その機械的エネルギーで化学反応を起こす方法です。この手法は、無機化学分野で古くから学術的・工学的に研究開発が行われており、2010年以降、有機合成化学分野でも著しく発展してきています。筆者は、無溶媒で固体物質の化学反応を起こすことが可能なメカノケミカル反応は、固体の石炭を分解させる最適な方法と考えました。本手法を確立することができれば、外部からの加熱・加圧を必要とせず、ボールミルを作動させるために必要な電力のみで、石炭を液化・ガス化することが可能です。

そこで筆者は、世界に先駆けてメカノケミカル反応とその触媒の開発を行ってきたアーヘン工科大学 Carsten Bolm 教授を訪問し、石炭の液化・ガス化にメカノケミカル反応を適応するための研究方法について知見を得ることを目的としました。

1) 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：石炭、メカノケミカル反応、低分子化

3. 訪問の内容

ドイツ西部のアーヘンは、ベルギーとオランダの2か国と国境沿いに面しており、フランクフルトから高速鉄道で約2時間の距離に立地しています。市内には、ドイツの世界遺産第一号のアーヘン大聖堂、市庁舎など歴史的な建造物や石畳の古い街並みを残す美しい街でした。訪問当日の朝は、ホテルからアーヘン工科大学まで徒歩で30分ほどかけて街並みを楽しみながら向かいました(写真1)。

まず筆者は、Bolm教授のオフィスを訪問しました(写真2)。当然筆者は、Bolm教授とお会いするのは初めてでしたが、事前にメールで送付していた筆者の研究概要を基に、Bolm教授自身の研究テーマとの関連性についての話題

で盛り上がり、すぐに打ち解けることができました(写真3)。アーヘン工科大学は、非常に国際色豊かで、ドイツ以外の国から留学またはポスドクとして来ている学生が多いのが特徴です。実際に、Bolm教授の研究室の学生は、半数以上がドイツ国外からの留学生であることや、Bolm教授の学生の中には、2か月前まで北海道大学で研究交流されていた方もいました。その後、筆者の研究を紹介するセミナーをする機会を頂きました。このセミナーには、Bolm教授の研究室を中心に同大化学科の教員や学生が、60名ほど参加されました。またセミナーは、Bolm教授のご厚意により、同大学教授で環境化学と有機地球化学を専門としているJan Schwarzbauer教授とその学生も参加されました(写真4)。このセミナーでは、筆者がこれまで行って



写真1 アーヘン大聖堂



写真3 Bolm教授との記念写真(左: Bolm教授, 右: 筆者)



写真2 アーヘン工科大学



写真4 Schwarzbauer教授との記念写真(左: Schwarzbauer教授, 右: 筆者)

きた研究紹介として、地下での生体有機分子の熱分解反応や、堆積有機物の化学修飾による分析法の解説を行いました (Asahina and Suzuki, 2018; Asahina *et al.*, 2022). 筆者は、生体有機分子を人工的に加熱することで、地熱による熱分解プロセスの解明を行っていますが、この研究手法は有機化学反応の解析とも共通することから、模擬実験の方法や反応メカニズム、堆積有機物の化学修飾に採用した反応に関する質問が多く出ました。

セミナー後、まず筆者は Bolm 教授の研究室から徒歩 15 分ほどの距離にある Schwarzbauer 教授の研究室を訪問しました。Schwarzbauer 教授の研究室では、筆者と同様に、堆積岩の加熱実験を行い、石油や天然ガスの成因に関する研究を行っています。筆者の加熱実験は、脱気したガラス封管中で加熱する閉鎖系で行っていますが、Schwarzbauer 教授の研究室では、ガラス管中のサンプルに不活性ガスを通気しながら加熱する開放系で行っています。開放系の実験は、加熱終了まで生成物を回収できない閉鎖系実験と異なり、加熱により生成した揮発性物質を半連続的に回収できます (写真 5)。そのため、Schwarzbauer 教授の採用している開放系実験は、生成物の加熱に伴う二次的な熱分解の影響をほぼ排除することができます。また、環境化学の研究も取り組んでいる Schwarzbauer 教授の研究室は、堆積物中におけるプラスチックごみの長期的な分解プロセスの解明に向けた加熱実験も行っていました。

Schwarzbauer 教授の研究室訪問を終えた筆者は、再び Bolm 教授の研究室に戻り、大学近くのレストランで昼食をとりながら、メカノケミカル反応の研究動向や歴史、日

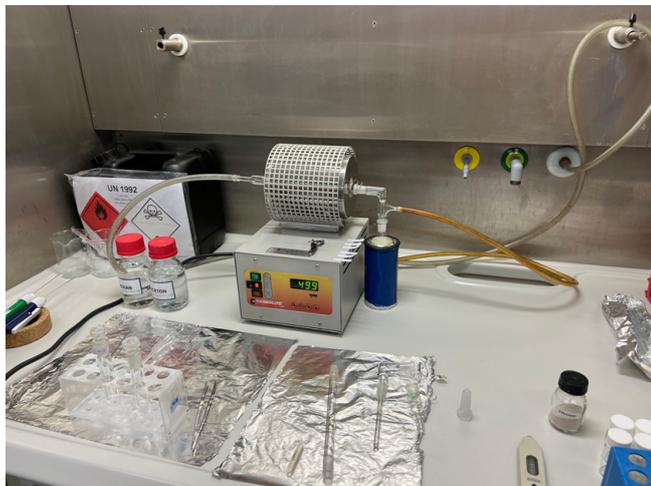


写真 5 Schwarzbauer 教授の研究室で使用している開放系の加熱実験装置

本の大学との連携やこれまでの Bolm 教授の研究経歴などについて教えて頂きました。その後、研究室に戻り、Bolm 教授の学生に研究室を案内して頂きました。彼の研究室には、数 g オーダーから数百 g オーダーまでの試料を粉碎できる大小様々な遊星ボールミルやミキサーミルが揃っていました。通常のボールミルだけでなく、粉碎時の摩擦による昇温の防止や、低温で粉碎するために、冷却システムを備えたボールミルや、反対に加熱できるボールミルも設置されていました。また、粉碎中の試料は取り出すことができないため、反応をモニタリングすることができません。Bolm 教授の研究室では、硬化プラスチック製の透明な粉碎容器を特注し、容器内の試料の状態を吸光スペクトルで測定できるシステムを導入することで、反応モニタリングを可能にしています。さらに、彼の研究室では、この透明な粉碎容器に特定の波長の光を照射し、光化学反応を組み合わせた研究も行っていました。粉碎に使用するボールにおいても、触媒でコーティングする工夫や、メカノケミカル反応における粉碎助剤の役割など、今後、筆者の研究で反応デザインを検討する上でかなり参考になりました。

研究施設の見学を終えた後、Bolm 教授のオフィスで、メカノケミカル反応の基礎知識や彼の研究成果についての講義をしていただきました。この講義では、ボールミルによる圧縮、張力、せん断力、衝撃を使った化学反応の特徴や種類に関する説明と、メカノケミカル反応は、工業原料の合成のような応用研究のみならず、生命起源と関係する化学進化のような基礎研究にも応用できることを伺いました (Hernández and Bolm, 2017, Bolm *et al.*, 2018)。さらに CO₂ の還元など気体反応にも利用できることも紹介していただき (Bolm and Hernández, 2019)、メカノケミカル反応 = 固体反応という固定概念を持っていた筆者にとっては驚きでした。筆者が進めている石炭の液化・ガス化に関する研究では、石炭の粉碎時に大量の CO₂ が生成することが課題となっていました。そのため、気体反応に関する知見は筆者にとって有益な情報でした。Bolm 教授は、石炭と構造的・物性的に類似するリグニン (植物組織の主成分) の低分子化や分子構造の変換に関する研究をされていた経験があります (Dabral *et al.*, 2018)。この研究で培った手法や知見を基に、石炭を液化・ガス化する際に検討すべき粉碎方法や粉碎助剤などの添加剤を教えてくださいました。また最後に、石炭の液化・ガス化に関する研究は、Bolm 教授が進めている固体医薬品の分解プロセスを解明する研究にも関連しているため (Kaiser *et al.*, 2021)、新たな結果が得られた際は、情報交換をしてほしいと話してくれました。

4. 終わりに

今回の訪問は、当初、半日程度を予定しておりましたが、研究相談中に文献調査を行ったり、関連テーマの学生も交えて議論したり、朝8時30分に訪問してから17時過ぎまで9時間近くお付き合い頂き、充実した1日を過ごすことができました。帰国後、筆者は今回の出張で得られた情報を基に研究を進めており、誌上公表に繋がりそうなデータが集まりつつあります。

また新型コロナウイルス感染症が蔓延して以来、久しぶりに海外の研究機関を訪問することができました。訪問前年の2022年10月末に訪問の打診をして以来、メールで簡単な研究相談を数往復していました。しかし今回、対面での打ち合わせや実験設備を拝見したことにより、多くの知識やアイデアを得ることができました。コロナ禍でオンライン会議システムが普及し、気軽に海外とコンタクトができるようになった一方で、バーチャルのみでは得られない対面での交流の良さを実感できた機会となりました。

謝辞：今回の渡航は、廣川研究助成事業により実現することができました。本事業にご寄付頂いた旧地質調査所OB 廣川 治氏のご遺族、および本事業の運営にご尽力頂いた関係者の方々に心より感謝申し上げます。

文 献

Asahina, K. and Suzuki, N. (2018) Methylated naphthalenes as indicators for evaluating the source and source rock lithology of degraded oils. *Organic Geochemistry*, 124, 46-62.

Asahina, K., Takahashi, S., Saito, R., Kaiho, K. and Oba, Y. (2022) Maleimide index: A paleo-redox index based on the fragmented fossil-chlorophylls obtained by chromic acid oxidation. *RSC Advances*, 12, 31061-31067.

Bolm, C., Mocci, R., Schumacher, C., Turberg, M., Puccetti, F. and Hernández, J. G. (2018) Mechanochemical activation of iron cyano complexes: A prebiotic impact scenario for the synthesis of α -amino acid derivatives. *Angewante Chemie International Edition*, 23, 2423-2426.

Bolm, C. and Hernández, J. G. (2019) Mechanochemistry of gaseous reactants. *Angewante Chemie International Edition*, 58, 3285-3299.

Dabral, S., Wotruba, H., Hernández, J. G. and Bolm, C. (2018) Mechanochemical oxidation and cleavage of lignin β -O-4 model compounds and lignin. *Sustainable Chemical & Engineering*, 6, 3242-3254.

Hernández, J. G. and Bolm, C. (2017) Altering product selectivity by mechanochemistry. *The Journal of Organic Chemistry*, 82, 4007-4019.

Kaiser, R. P., Krake, E. F., Backer, L., Urlaub, J., Baumann, W., Handler, N., Buschmann, H., Beweries, T., Holzgrabe, U. and Bolm, C. (2021) Ball milling – a new concept for predicting degradation profiles in active pharmaceutical ingredients. *Chemical Communications*, 57, 11956-11959.

Mochida, I., Okuma, O. and Yoon, S. -H. (2014) Chemicals from direct coal liquefaction. *Chemical Reviews*, 144, 1637-1672.

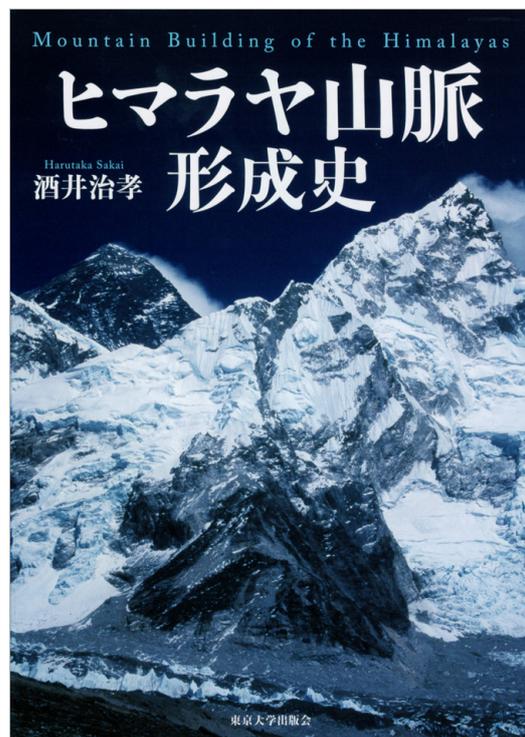
ASAHINA Kenta (2024) Report of the Hirokawa Research Fund in the 2020 fiscal year: A visit for future collaborative research on development of technology to reduce the molecular weight of sedimentary organic matter by solid-state chemical reactions.

(受付：2024年4月15日)

ヒマラヤ山脈形成史

酒井治孝 [著]

東京大学出版会
発売日：2023年3月16日
定価：7,200円（税別）
ISBN：978-4-13-060768-1
B5判（25.7 x 18.2 x 2.0 cm）
ハードカバー
240ページ



私は、大学院生時代以来、長年にわたって北海道中軸部の日高山脈周辺の地質研究に携わってきた。この地域は後期中新世以来、千島前弧スリバーが東北日本弧に衝突して、山脈の西側斜面に千島弧の地殻断面が大規模に露出し、国内屈指の“衝突帯”であると考えられている。ところで、世界を代表する“衝突帯”と言えば、まず我々地質研究者の脳裏に思い浮かぶのは、中央アジアのヒマラヤ山脈やチベット高原であろう。ここでは、“約5500万年前に、ゴンドワナ大陸から分裂したインド亜大陸が、インド・オーストラリアプレートに乗って北上してユーラシア大陸に衝突し、インド亜大陸を厚く覆っていたテチス海の堆積物が大規模に隆起することによって、ヒマラヤ山脈が誕生した！”という明快なストーリーが描かれている。1998年5月、日中共同チョモランマ峰科学調査隊は、最高峰であるチョモランマ（標高8848.9 m）山頂付近に露出するチョモランマ石灰岩層から、約4.6億年前（オルドビス紀）の三葉虫やウミユリ等の大型化石を採取しており、この山が10000 mほど隆起した直接的な証拠となっている。

第四紀学的視点から見ると、ヒマラヤ山脈は、世界で最も若い山脈であることが知られている。8000 m級の山々が東西2400 kmにわたって連なるため、アラビア海から吹きつける季節風の障壁となり、これによって中央～西南アジアには乾燥気候が、東～南アジアには湿潤なモンスーン気候が発生したと考えられている。また、ヒマラヤの山々が高くなり過ぎて、大規模な重力崩壊が生じたことが知ら

れている。この際、大量の碎屑物が生成され、急激な化学的風化作用により大気中の二酸化炭素濃度が低下して寒冷化が進み、現在の氷期-間氷期サイクルが生まれたと主張する仮説も提唱されている。さらに、隆起するヒマラヤ山脈やその北方のチベット高原に源流を持つ大河川は、何れも河口に大規模デルタ（沖積低地）を形成し、アジアの穀倉地帯となっている。これらのデルタに運びこまれた土砂量は、世界の50%を占めるとも言われている。

私が京都大学名誉教授の酒井治孝さんと初めてお会いしたのは、故岡田博有先生のご尽力により、日本学術振興会特別研究員（PD）として九州大学理学部地球惑星科学科に在籍していた頃であった。当時の九州大学教養部（現在の大学院比較社会文化研究院）は、理学部のある東区の箱崎から遠く離れた中央区の六本松にあった。今では福岡市地下鉄七隈線が開通していて、六本松～七隈付近の交通事情は大幅に改善されているが、当時は都心の天神から六本松まで西鉄バスで20～30分ほどかかったかと記憶している。

酒井さんはほぼ面識のない私を、教養部地学教室のセミナーにお招きくださった。そこで私からは、2時間ほど日高山脈や北海道～サハリンの造構史についてスライドを用いてご紹介させていただいた。その後の懇親会において、酒井さんからは様々なお話をお伺いした。彼も辛くて長いPD生活を過ごされたそうで、当時PDの身の上であった私の身の振り方についても、たいへん親身になってアドバ

イスしてくださった。

当時の九州大学には地質分野の教員として、二人の“さかい”さんが在籍されていた。一人は理学部の坂井卓さん、もう一人が教養部の酒井治孝さんであった。学内の皆さんは親しみを込めて、酒井さんを“さけい”さんと呼んでおられた。ちなみに、坂井さんも酒井さんも、大学院生時代は勘米良亀齡先生の主催する層序学講座に所属し、共に九州四万十帯の付加体やオリストストロームに関する先駆的な研究をなさっていた。酒井さんは、博士課程の途中で休学し、1980～1983年にネパールのトリブバン大学に講師として滞在され、本書に描かれたヒマラヤ研究を開始された。このような海外経験もあって、出身地である九州や西日本に留まらず、よりグローバルなアジアという視点で研究展開されるようになったようにお見受けする。1989年に九州大学教養部助教授に就任され、1997年に九州大学比較社会文化研究院教授に昇進、2007年に京都大学理学部教授として転任、2018年の定年退職後、京都大学名誉教授となられた。

この度、酒井さんが、ヒマラヤの調査を開始してから40年目の節目として、“ヒマラヤ山脈形成史”と題する彼のヒマラヤ研究の集大成とも言えるハードカバーの書籍を東京大学出版会から出版された。ヒマラヤ山脈の形成史の謎は、2022年時点でどこまで解明されているのであろうか？ 僭越ながら私の視点から、この書籍の概要についてみなさまにご紹介してみたいと思う。本書の目次は、以下の通りである

はじめに

- 1章 ヒマラヤ山脈の地形と地質の概観
- 2章 大陸衝突とその証拠
- 3章 レッサーヒマラヤに記録された19-16億年前の地球史
- 4章 レッサーヒマラヤに残る超大陸パンゲアの痕跡とテチス海の消滅
- 5章 沈み込み、変成したインド亜大陸とその再溶融
- 6章 ヒマラヤの誕生—1500万年前の変成帯の地表露出
- 7章 テチス海に5億年にわたって堆積した1万メートルの地層
- 8章 北方にすべり落ち、横臥褶曲したテチス堆積物
- 9章 レッサーヒマラヤに押し被された巨大な変成岩ナップ
- 10章 変成岩ナップの運動史を探る
- 11章 変成岩ナップ、レッサーヒマラヤ、高ヒマラヤの

熱履歴を探る

- 12章 前縁盆地と深海扇状地の堆積物からヒマラヤの謎を解く
- 13章 前縁山地マハバーラトの上昇
- 14章 現在の地殻変動—地震・活断層・温泉
- 15章 ヒマラヤ山脈形成のメカニズムを探る
おわりに

本書では、現在までに判明している衝突前の状況と、衝突後ヒマラヤ山脈が形成され現在にいたる間の変動プロセス、さらに現在の地殻変動の状況について、15章に切り分けて詳しく論じている。

1章では、ヒマラヤ山脈とその周辺地域の地形・地質を概観し、2章では、大陸衝突の証拠となった具体的な事象を解説している。3-4章では、レッサーヒマラヤの過去20億年の地史を、5-6章では、沈み込みの過程で起こった変成作用と変成帯の急激な上昇、それに伴う花崗岩の形成過程について、7-8章では、ヒマラヤ山脈の北側斜面を構成するテチス海の堆積物と重力滑落・横臥褶曲の成因について、9-11章では、巨大変成岩ナップの成因について論じている。特に、巨大変成岩ナップが地表に出現した約1500万年前に、現在のヒマラヤ山脈が隆起し、これと同時にモンスーン気候が誕生していたという論旨が、酒井さんの思い描くヒマラヤ造山運動の核心をなしているように思う。

12章では、前縁盆地であるシワリク丘陵の地層（シワリク層群）並びに国際深海掘削計画によってベンガル深海扇状地から採取された堆積物コアの解析から、ヒマラヤ造山運動の地史を読み解いた研究事例について、13章では、ヒマラヤ造山運動後に起こったレッサーヒマラヤの隆起について、14章では地震・活断層の分布から、ヒマラヤ山脈地域の地殻変動の現状について解説している。最後の15章では、従来の地質学の情報に、最近のチベット高原とヒマラヤの地下構造の地震波探査のデータを重ね合わせて、ヒマラヤ山脈の形成メカニズムの再検討を試みている。

各章末には12のコラムが挿入されており、章の内容に関連した話題が提供されている。巻頭には14ページにおよぶカラー版のグラビアが掲載されており、読者の理解を助けている。これに加え表紙や裏表紙に掲載された写真もあり、これらの写真や図面についての詳しい解説が巻末にまとめられている。また巻末には13ページの参考文献リストが付記されており、原著論文へのアクセスが容易となっている。



登山愛好家としての視点から見た場合、ヒマラヤ山脈の8000 m 級の高嶺は、これまでも世界の名だたる登山家が、初登頂を目指して果敢に挑んできた聖域と言える。既に、1950～1960年代には標高8000 m 級の14の峰はすべて踏破されてはいたが、その後も、より厳しい季節に、より厳しいルートで、さらにより軽量の装備を用いての登頂を目指し、登山家の飽くなき挑戦は続いている。その一方で、高嶺を目指さずとも山麓のベースキャンプ付近まで、世界中のトレッカーが気軽に訪れる時代にもなっている。これには、以前に比べてネパールの観光地化が進み、現地へのアクセスが容易になっていることも大きく関わっていると思う。

本書の内容は極めて専門的であり、販売価格も7000円を超えているので、私費で購入するのは些か躊躇されることであろう。ただ、私の知る限り、ここまで総括的かつ子細にヒマラヤ山脈の地形・地質について論じた書籍は皆無であり、特に、私のような衝突帯のテクトニクス研究を行っている地質研究者にとっては、必読の書と思う。もちろん、地質学の素養の無いトレッキング関係者、登山愛好家や旅行関係者が容易に読み解ける内容とは言いがたいが、豊富な露頭写真や図面を俯瞰的に見ていただくだけでも、十分にダイナミックなヒマラヤ山脈の地形・地質観を堪能して

いただけるかと思う。

ヒマラヤ山脈は、我々日本人を含めたアジアモンスーン地域に居住する40億もの人々の生活に、直接もしくは間接的に多大な影響を与え続けてきている。特に、昨今社会問題となっている話題は、“地球温暖化の影響によって、ヒマラヤ山脈の80%の山岳氷河が今世紀末までに融解し、山麓に位置するネパールでは大規模な洪水や土砂崩れ、なだれ災害等のリスクが高まる。”というシナリオである。この場合、大河川の下流域でも水害が発生するリスクが高まり、やがてその水も枯れ果てて、地球規模での干ばつが起きる可能性までも示唆されている。一方、現在でもインド・オーストラリアプレートは67 mm/yrの速度で北上し続け、その結果として約5 mm/yrのヒマラヤ山脈の隆起運動が継続しているという。この隆起運動に誘発されて、断層活動もアクティブであり、このためネパールは、日本列島と同様に世界屈指の地震多発地帯となっているのである。我々のような日本の地球科学分野の研究者も、上記のシナリオを遠く離れた異国の話とは捉えず、アジアの同胞として、深く関心を持つべきと考えている。

(産総研 地質調査総合センター 地質情報基盤センター
／ふじのくに地球環境史ミュージアム 七山 太)



見邨 和英 (みむら かずひで)

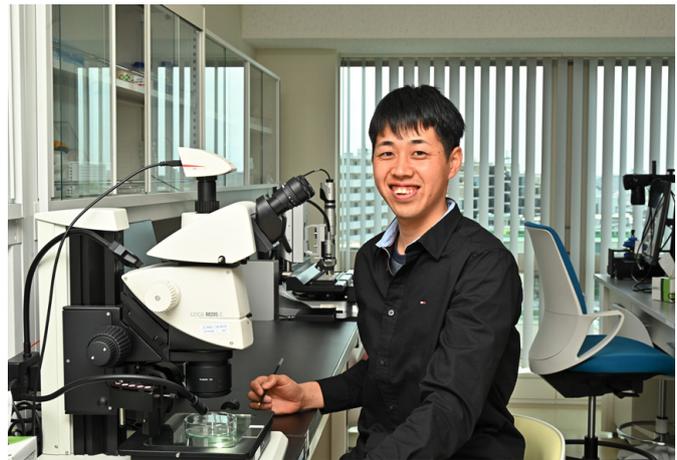
地質情報研究部門 地球変動史研究グループ

地質情報研究部門地球変動史研究グループに配属になりました。見邨和英です。2021年3月に東京大学大学院工学系研究科にて博士を取得し、3年間千葉工業大学にて主任研究員として勤務しておりました。

私は学部時代から、新しい海底鉱物資源として注目されている、レアアースに富む深海堆積物「レアアース泥」の成因の研究を行っておりました。特にレアアース泥の堆積年代決定を目的に、魚類の歯や鱗の微化石「イクチオリス」の生層序について重点的に研究を行ってきました。博士取得後は、より多数のサンプルからより多くの微化石を観察するため、機械学習を用いた効率的な化石観察技術の開発を行いました。また、ここで学んだ機械学習技術を活用して、海水中の音波反射強度のマッピング画像から海底熱水活動を自動で検知する手法の検討も行いました。

今後は、より幅広い分野に機械学習技術を適用して、地質調査総合センターで行われている研究

業務の効率化に貢献したいと考えています。中長期的には、機械学習によって取得できる膨大なデータを解析することで新しい知見を見出したいと考えています。これからどうぞよろしくお願いたします。



鈴木 敬介 (すずき けいすけ)

地質情報研究部門 層序構造地質研究グループ

地質情報研究部門層序構造地質研究グループに配属されました。鈴木敬介と申します。2022年3月に新潟大学大学院自然科学研究科環境科学専攻にて博士の学位を取得しました。その後、同大学では、博士研究員、非常勤講師、特任助教を経験しました。産総研には2023年4月から日本学術振興会特別研究員PDとして入所しておりましたが、今年度からは晴れて常勤となりました。

私の専門は、古生代を対象とした地質学です。数億年前という遙か昔に形成された地層は長年の時を経て固結・風化し、今となっては見てくれの悪い岩石として陸域に露出します。専門家以外の方にとっては、そのような地層の何を見れば良いのか皆目見当が付かないことでしょう。私が研究を始めた当初は正にその状態でした。一人で意気揚々と野外調査に出掛けただけ、地層の姿勢さえ把握出来ず、途方に暮れたことを覚えています。しかし、見てくれが悪くても地層は地層です。それらを岩石試料として室内に持ち帰り、岩石切断・研磨を進めていけば、そのうち綺麗な成層構造に出会えます。私はこの地道な作業を学士から現在にかけて一貫して続け、これまで古生代の地層を見る目を養ってきました。

この力を活かせる場に研究職として就職出来たことを非常に嬉しく思います。今後は日本各地で地質図幅の作成に取り組みながら、所内の幅広い

方々と関わり、自身の研究に新たな展開を拓きたいと考えています。まだ至らない点ばかりですが、皆様どうぞよろしくお願いたします。





池田 あやめ (いけだ あやめ)

地質情報研究部門 リモートセンシング研究グループ

地質情報研究部門リモートセンシング研究グループの池田あやめと申します。2024年3月に名古屋大学大学院環境学研究科地球環境科学専攻にて学位を取得し、4月から産総研に入所いたしました。

私はこれまで、月のリモートセンシングで得られた複数のデータを組み合わせて月のクレータ地形が変動する素因の解明に取り組んできました。月には約40億年前に形成されたとされる非常に古いクレータが存在していますが、このような古い地形にも比較的最近に形成されたとみられる落石やレゴリスの流動地形、岩塊が密集して分布する領域が発見され、月表面は現在も活発に変動していると考えられます。大学院時代に提案したモデルでは、天体衝突だけでなく太陽加熱による岩盤破碎もクレータ斜面の岩塊供給に大きな影響を与えている可能性を示しました。

産総研では、これまでの技術や知見を活かして、地球での斜面災害リスク評価や環境モニタリングにも貢献していく所存です。将来的には、地球と月をはじめとする太陽系天体を比較惑星学の観点から捉え、広い視点から人類の発展とそれに伴う社会課題解決に貢献できればいいなと考えております。皆様どうぞよろしくお願いいたします。



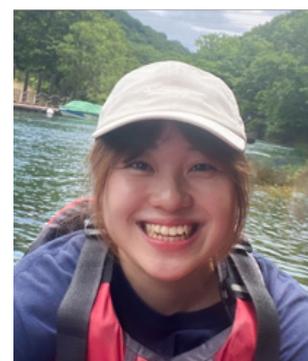
飯塚 睦 (いづか むつみ)

地質情報研究部門 地球変動史研究グループ

今年度より地質情報研究部門地球変動史研究グループに研究員として配属されました飯塚 睦と申します。北海道大学で学位取得後、同部門海洋地質研究グループの特別研究員を経て、現在に至ります。これまで、海底堆積物の地球化学や微生物学の分析から、過去の温暖な時代の南極域の気候変動を復元し、将来の温暖化した地球の気候変動予測に役立つような研究に取り組んできました。

このような研究背景には、高校時代に小笠原諸島で自然の美しさに触れ、環境問題に強い関心を持ったことがきっかけにありました。また同時期に、研究者の講演を聞く機会があり、未知の事象に立ち向かい、社会に貢献する研究者という職業に憧れを持つようになりました。

これからは、これまでの分析・調査技術を活かして、海底堆積物中のマイクロプラスチックの研究に取り組み、社会的な課題となっているマイクロプラスチックの環境への影響評価を目指していきます。このような研究を通して、産総研の技術を習得し、他分野の方との連携を深めながら、高校時代に憧れた研究者になれるよう、産総研職員として研究を行っていきたいです。これからも、ご指導とご支援をいただけますよう、何卒よろしくお願いいたします。



地質情報展2024
やまがた

山と盆地をつくる

大地のヒミツ

2024.

9/6~8日
金 日

楽しく地球を学べる3日間!

時間

6,7日 9:30~17:00
8日 9:30~16:00

※最終入場は終了時刻の30分前

入場無料



Webをチェック→

会場

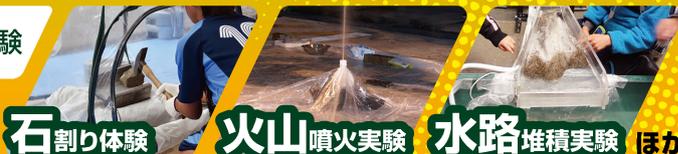
山形テルサ 3F アプローチ

JR山形駅西口徒歩10分 駐車場(有料あり)

展示

山形の地質や地震、火山、資源の解説パネル

実験・体験



石割り体験

火山噴火実験

水路堆積実験 ほか

講演

9/7土

GSJ研究者3名による
山形の地震、火山、地下水のお話
1F大会議室 14:00~16:00 事前申込不要



国立研究開発法人産業技術総合研究所

主催: 地質調査総合センター・東北センター・

一般社団法人

福島再生可能エネルギー研究所、日本地質学会

共催: 鳥海山・飛鳥ジオパーク推進協議会

後援: 山形県立博物館、山形市教育委員会、特定非営利活動法人 日本ジオパークネットワーク、一般社団法人 東北地質調査業協会、
NHK山形放送局、山形新聞・山形放送、エフエム山形

協力: リトルリバーリサーチ&デザインジャパン

お問い合わせ
事務局

TEL : 029-861-3540 (平日昼のみ)

Email : M-johoten2024-ml@aist.go.jp

URL : <https://www.gsj.jp/event/johoten/>

背景写真: 山形県広報写真ライブラリー

楽しく学ぶ！

体験・実験コーナー

化石のレプリカ作り

古生代 三葉虫
中生代 アンモナイト
新生代 巻貝 (ビカリヤ)

整理券配付 ※9/6(金)はなし

石割り体験

※9/8(日)は15時終了

液状化実験

鳴り砂

ロックバランスング

地盤の揺れ実験

水路堆積実験

火山噴火実験

塗り絵で地質図

蔵王山編

見て・さわって・作って学べるコーナーです。お子様といっしょに楽しんでください！

見て・聞いて学ぶ！

展示・解説

山形の地質と資源

- 山形の地史・地質・県の石
- 地球化学図
- 巨大地質図でみる東北地域
- 山形の地下水・地中熱
- 鉱物資源・温泉・油田と微生物 ほか

山形の火山と地震

- 蔵王山・鳥海山・吾妻山
- 活断層・地震・津波 ほか

地域の情報

- 東北センター・福島再生可能エネルギー研究所(FREA)・連携/関連企業紹介
- ジオパーク紹介

研究者に話を聞けるチャンス！



地質標本館がやってきた！

標本館の展示紹介とミュージアムグッズ（風呂敷、マスキングテープなど）や地質調査総合センターの出版物（山形周辺・近刊の地質図など）の販売をおこないます。

マスキングテープ 鉱物
マスキングテープ アンモナイト
折りたたみトート
クリアファイル 東北の地質図
地質図風呂敷

至天童

アクセス

山形駅から徒歩10分

周辺駐車場のご案内は山形テルサのウェブサイトをご覧ください

至上山

会場 山形テルサ 山形市双葉町 1-2-3

有料駐車場

・展示の内容は予定です。予告なく変更あるいは取りやめになる場合がございます。
・地質情報展のスナップ写真を産総研地質調査総合センターのウェブサイトおよび出版物等に掲載させていただく場合がございます。その他の目的に使用することはございません。

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13巻 第7号
令和6年7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. 13 No. 7
July 15, 2024

Geological Survey of Japan, AIST

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

ウミネコの島，青森県八戸港の蕪島と下部白亜系原地山層

[cover photo](#)



八戸港の蕪島^{かぶしま}は，その頂きに弁財天が祀られているとともに，ウミネコの繁殖地として著名である。明治時代までは孤島であったが，戦時中に海軍によって要塞化され，陸続きとなった。この一帯は八戸港の東縁に位置し，主に漁港となっているが，江戸時代には鮫浦と呼ばれ，八戸藩の交易港として栄えた。蕪島^{かぶしま}～種差間^{たねさし}の海岸沿いには，約 130-110 Ma に噴出した流紋岩～安山岩質の溶岩と火砕岩からなる原地山層^{はらちやま}が露出する。そのマグマは，当時の若い海洋プレートの溶融によって生じたアダカイト起源と考えられている。

(写真・文：七山 太)

産総研地質情報基盤センター / ふじのくに地球環境史ミュージアム)

Kabushima Island as a black-tailed gull habitat, and the Lower Cretaceous Harachiyama Formation in Hachinohe Port, Aomori Prefecture, Japan.

Photo and caption by NANAYAMA Futoshi