

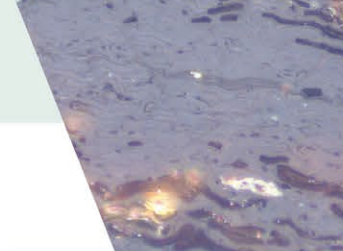
GREEN Report 2025

資源・環境制約時代における
地圏資源の循環利用に
向けた取り組み

第44回 地質調査総合センターシンポジウム
令和7年度 地圏資源環境研究部門 研究成果報告会

主催：   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
地圏資源環境研究部門

共催：産業技術連携推進会議 環境・エネルギー部会 地圏環境分科会
産業技術連携推進会議 知的基盤部会 地質分科会



はじめに



地圏資源環境研究部門長
相馬 宣和

Director of the Research
Institute for
Geo-resources and
Environment, GSJ, AIST
Dr. Nobukazu Soma

今回で 24 回目となる地圏資源環境研究部門の成果報告会を、第 44 回の地質調査総合センター（GSJ）シンポジウムと位置付けて開催させていただきます。

本年度から、産業技術総合研究所（産総研）は第 6 期中長期目標期間に入りました。第 6 期の産総研のミッションは「社会課題の解決と我が国の産業競争力強化に貢献するイノベーションの連続的創出」となり、その実現のために、(1) 世界最高水準の研究開発成果の創出及びその成果の確実な社会実装、(2) 企業、大学等の取組支援を通じたイノベーション基盤の強化への貢献、(3) 我が国のイノベーション・エコシステムの中核となる競争力のある研究所の運営、に力を入れて取り組むことになっています。特に (1) に対応して、組織的に社会実装を加速するための領域横断の実装研究センターが 7 つ設置され、そのうちネイチャーポジティブ技術、CCUS、レジリエントインフラの 3 センターには当部門からも多数の研究員を送り出しています。元々関係の深い再生可能エネルギー研究センター（地熱／地中熱）と併せて、実装研究センターも当部門との相互兼務関係を持つ強力な内部連携組織であり、産総研の総合力をより強く発揮できる体制となりました。当部門は GSJ 傘下の研究部門として、エネルギー・環境・資源制約への対応、レジリエントな社会の実現などの社会課題の解決と、我が国の産業競争力の強化への貢献を目指し、第 6 期も様々な活動を進めて参ります。

第 6 期の当部門のミッションは、「我が国が目指す『エネルギー安定供給確保、経済成長、脱炭素の同時実現』に貢献し、社会の GX 化を促進することを目的として、環境負荷の最小化を考慮した資源開発、地圏の各種機能の利活用、地圏環境評価や浄化のための、調査、研究、技術開発ならびに知的基盤整備を行うこと」と定めました。地圏資源、地圏環境、地圏の技術という 3 つの観点から研究活動を進めることはこれまで通りですが、産総研全体で社会実装に力を入れた組織変更が行われたことをふまえて改めて、“研究部門”という立ち位置を見つめ直し、学術分野の多様性や目的基礎としての萌芽性も大切にすること、基礎研究から応用・社会実装までを繋げる長期的視座、そして資源国との Win-Win の関係構築などの国際性までを意識して、未来にとって価値ある成果を様々な形で創出することを部門運営の目標としました。また、全所的な組織変更や研究活動上の変化をふまえ、当部門の研究グループ（RG）体制も再構成しました。具体的には、地圏資源化学 RG、地圏サステナビリティ評価 RG、生物地球科学 RG を新設するとともに、燃料資源地質 RG や物理探査 RG で一部研究員の配置換えを行いました。昨年度まであった CO₂ 地中貯留 RG の研究員の大半は CCUS 実装研究センター・CO₂ 地中貯留 RT に異動する形になりましたが、当部門のグループにも兼務を残し、より大きな CCUS の取り組みにおいて GSJ が中核的にコミットし易い体制となりました。第 6 期の当部門の研究実施体制の概要を図 1 に示します。

さて、第 6 期最初の成果報告会である今回は、新たな部門ミッションや研究グループ体制も意識して、「資源・環境制約時代における地圏資源の循環利用に向けた取り組み－社会を支える新たな研究開発の推進－」をテーマに掲げました。これに沿った研究活動の紹介として、非金属資源の持続的利用、CO₂ 吸収のための苦鉄質岩の利用、石炭中の希土類元素など、持続可能な形で資源を最大限活用するサーキュラーエコノミー（循環経済）

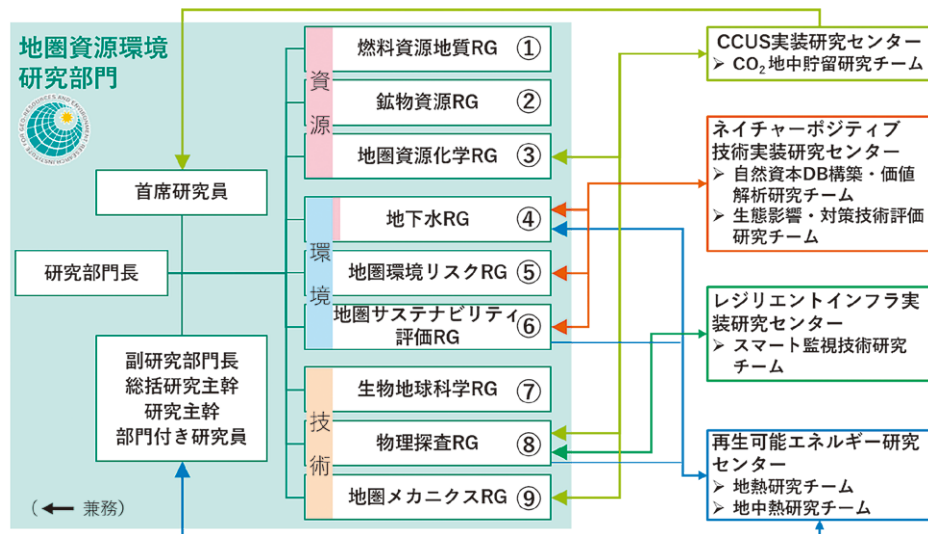


図1 2025年度の地圏資源環境研究部門の研究実施体制

への移行に地圏資源の分野から貢献できる、比較的萌芽的な最新トピックをお届けします。また、招待講演として、三菱マテリアル株式会社の高瀬敏郎様、高次晃一郎様より、資源開発とリサイクルとを一体に、実業としての循環型社会の実現に向けた企業の取り組みに関して、貴重なご講演を頂きます。当部門では資源と環境を表裏一体に捉えて、今回のテーマの循環型社会への貢献も目指しているところですが、狭い研究の立場だけからは見えていないものも多々あるかと認識しております。招待講演を伺って、御来場の皆様を含めて活発にご議論させて頂ければと思います。さらに本報告会では、各グループ紹介のショートプレゼン、グループおよび個人の研究紹介と交流の時間であるポスターセッションも用意しています。これらは必ずしも今回の成果報告会のテーマに直接沿う内容ばかりではありませんが、所属学協会、業界が異なる方々と出会える貴重な機会だと考えておりますので、ご専門の違う場合でもぜひお気軽にお声がけ頂いて、当部門の研究員との交流を楽しんで頂ければ幸いです。

当部門発足2年目から継続しております本成果報告会は、我々の研究活動を広く知って頂くと同時に、研究成果へのご関心や成果を使って頂く可能性のある皆様から直接ご意見を頂いて、我々の活動をより社会に有用なものへと高めていく切っ掛けとなる、大変重要な場だと考えております。日本社会は当部門発足時に比べて大分難しくなっているように感じますが、社会の根本的な部分を支えようという立ち位置で、今後も一層努力していく所存です。今後とも変わらぬご支援とご指導を賜りますよう、心よりお願い申し上げます。

令和7年11月28日

目 次

講演題目

13:30 ~ 13:35	開会の挨拶	副研究部門長	鈴木 正哉	
13:35 ~ 13:50	地圏資源環境研究部門の概要	研究部門長	相馬 宣和	
13:50 ~ 14:30	限りある資源を未来につなぐ ー三菱マテリアルが目指す循環型社会ー	招待講演：三菱マテリアル株式会社 金属事業カンパニー 資源循環事業部 事業推進部 部長 資源事業部 技術部 部長補佐	高瀬 敏郎 氏 高次 晃一郎 氏	8
14:30 ~ 14:55	非金属資源の持続的な利用に向けた技術開発 ー国内で排出されているケイ素・リン・炭素 資源の回収と循環利用ー	地圏資源化学研究グループ グループ長	森本 和也	10
14:55 ~ 15:25	グループ長によるショートプレゼン 各グループの研究トピックス, ポスター紹介			
15:25 ~ 16:35	ポスターセッション			
16:35 ~ 17:00	二酸化炭素削減のための天然鉱物活用に向け た取り組みー風化促進に関する屋外実験とモ デリングによる評価ー	地圏資源化学研究グループ 研究員	西木 悠人	12
17:00 ~ 17:25	希土類元素に富む石炭の形成機構と特徴解明 に向けた取り組み	燃料資源地質研究グループ 主任研究員	高橋 幸士	14
17:25 ~ 17:30	閉会の挨拶	地質調査総合センター長	中尾 信典	
18:00 ~	懇親会			

研究グループ紹介

燃料資源地質研究グループの紹介	燃料資源地質研究グループ長	吉岡 秀佳	18
鉱物資源研究グループの紹介	鉱物資源研究グループ長	星野 美保子	20
地圏資源化学研究グループの紹介	地圏資源化学研究グループ長	森本 和也	24
地下水研究グループの紹介	地下水研究グループ長	吉岡 真弓	26
地圏環境リスク研究グループの紹介	地圏環境リスク研究グループ長	原 淳子	28
地圏サステナビリティ評価研究グループの紹介	地圏サステナビリティ評価研究グループ長	保高 徹生	32
生物地球科学研究グループの紹介	生物地球科学研究グループ長	眞弓 大介	34
物理探査研究グループの紹介	物理探査研究グループ長	神宮司 元治	36
地圏メカニクス研究グループの紹介	地圏メカニクス研究グループ長	坂本 靖英	38
CO ₂ 地中貯留研究チームの紹介	CO ₂ 地中貯留研究チーム長	徂徠 正夫	42

燃料資源地質研究グループ微生物メタン生成活性の評価に¹³C 安定同位体トレーサー法を適用○宮嶋 佑典, 吉岡 秀佳, 片山 泰樹,
今井 利矩 (エネルギー・金属鉱物資源機構),
アオントアンティン (エネルギー・金属
鉱物資源機構)

48

秋田県矢島地域の中新統女川層のジルコン U-Pb 年代による年代層序の
高精度化とその日本海古海洋環境変遷史における意義○中嶋 健, 岩野 英樹 (株式会社京都フィッ
ション・トラック), 檀原 徹 (株式会社京
都フィッション・トラック), 平田 岳史 (東
京大学大学院) 朝比奈 健太

48

鉱物資源研究グループイオン吸着型希土類鉱床からの希土類沈殿回収法の最適化に向けた放射
性元素の選択的沈殿分離

○長澤 真, 昆 慶明, 実松 健造

49

輝石巨晶に含まれるメルト包有物解析による初生花崗岩マグマの銅鉱床
形成能力の評価

○天谷 宇志, 左部 翔大

49

イオン吸着型希土類鉱床の特徴—なぜ低品位鉱でも開発可能なのか—

○実松 健造, 長澤 真

50

LA-ICPMS による2次元元素イメージングと単体分離分析

○昆 慶明, 綱澤 有輝

50

地圏資源化学研究グループ

吸着剤を用いた熱と二酸化炭素の同時輸送システム

○鈴木 正哉, 宮原 英隆, 万福 和子

51

超臨界 CO₂と水の存在下における硬質砂岩の体積膨張の挙動に関する
研究○藤井 孝志, 昆 慶明, 天谷 宇志,
鈴木 正哉

51

地下水研究グループ

亀裂を胚胎する溶岩層の水みちとしての可能性を NMR 検層で評価する

○中島 善人, 井川 怜欧

52

山地流域の河川水質と微生物群集に対する表層崩壊の影響を調べる

○吉原 直志, 飯島 真理子, 堀川 卓哉,
西島 美由紀 (地質情報研究部門),
井口 亮 (地質情報研究部門)

52

地圏環境リスク研究グループ

マイクロプラスチックの土壌への残留性評価

○土田 恭平, 井本 由香利, 斎藤 健志,
原 淳子, 川辺 能成 (早稲田大学)

53

Mg 系及び Ca 系吸着材の併用添加による As(V) 及び As(III) 除去に
ついて○杉田 創, 斎藤 健志, 原 淳子,
森本 和也

53

有機フッ素化合物 (PFAS) の土壌・地下水中での挙動とリスク評価

坂本 靖英, 土田 恭平, 杉田 創, 原 淳子

54

地圏サステナビリティ評価研究グループ吸着層工法における吸着材の性能評価手法の標準化: JIS A 1291の制定
とその検討経緯○西方 美羽, 保高 徹生, 高田 モモ,
森本 和也, 井本 由香利

54

那須塩原市におけるネイチャーポジティブに向けた取り組み

○保高 徹生, TUM Sereyroith, 松本 親樹,
岩崎 雄一

55

生物地球科学研究グループ

水素化性メタン生成菌は地下メタンの同位体シグナルを上書きする

○眞弓 大介

55

還元力最強「補酵素 F₄₂₀」の電極反応を実現

○風呂田 郷史

56

物理探査研究グループ

地熱地域における重力の制約付き多層構造インバージョン

○堀川 卓哉

56

非破壊電気探査を用いた水道管路管理の予防保全推進のための実証実験

○神宮司 元治

57

地圏メカニクス研究グループ		
室内実験によるPDCビットの掘進速度モデルの適用可能範囲の拡張と制約	○金木 俊也, 宮崎 晋行	57
水理力学連成モデルによる流体注入に伴う断層安定性解析	○阿部 彩歌, 藤井 孝志	58
CO ₂ 地中貯留研究チーム		
分布式ひずみ測定に基づく浅部断層の水理・力学特性の数値解析	○後藤 宏樹, 薛 自求 (地球環境産業技術研究機構), 橋本 励 (地球環境産業技術研究機構)	58
CO ₂ 地熱発電における地化学反応が貯留層水理特性に及ぼす影響	○西山 直毅, 徂徠 正夫, 増岡 健太郎 (大成建設株式会社)	59
論文リスト		62



講演題目

限りある資源を未来につなぐ —三菱マテリアルが目指す循環型社会—

Mitsubishi Materials' Challenge Toward a Circular Society

三菱マテリアル株式会社 金属事業カンパニー
資源循環事業部事業推進部 部長：高瀬 敏郎
資源事業部技術部 部長補佐：高次 晃一郎

Mitsubishi Materials Corporation, Metals Company
Toshio Takase, General Manager,
Business Management Dept., Resource Circulation Div.
Koichiro Takatsugi, Assistant General Manager,
Mining Eng. Dept., Mineral Resources Div.

1. はじめに

三菱マテリアル株式会社は、「人と社会と地球のために、循環をデザインし、持続可能な社会を実現する」という企業理念のもと、長年のものづくりの技術とノウハウの蓄積により培われた高度な非鉄金属のリサイクル技術を活かし、金属資源を循環させるためのプラットフォームを構築することを目指している。

本稿では、当社の目指す資源循環型ビジネスにおいて中核的な役割を担う家電リサイクル事業、および鉱山開発による天然鉱物資源の確保を担う資源事業の概要・取り組みを紹介し、技術開発要素について議論したい。

2. 金属資源安定供給のためのアプローチ

当社の主要素材製品である銅は、脱炭素化社会実現のために必須な金属素材として、今後も需要の増加が見込まれる。一方で、国際エネルギー機構によると2020年代後半からは需要に対し供給が不足し、2030年には約550万トンの供給不足となると予測されている。限りある資源を安定的に社会に届けるため、当社は都市鉱山や廃家電製品からの有価金属資源の回収、鉱山投資による銅精鉱の確保といった、廃棄物・天然資源の両面からのアプローチで原料を安定的に確保している。

これら原料は、当社の強みである、銅・貴金属・鉛・錫製錬所で構成される「マテリアルグリッド」と呼ばれる生産

拠点を横断する高効率な製錬・精錬プロセスフローによって、高品質な製品として社会に供給される。

3. 家電リサイクル事業

3.1. 家電リサイクル制度概要

廃棄物の減量と資源の有効利用を通じて循環型社会を実現するため、使用済み家電4品目のリサイクル促進の仕組みとして、「特定家庭用機器再商品化法（家電リサイクル法）」が2001年4月に本格施行された。法施行後25年を迎えており、特定家庭用機器廃棄物の引取台数は昨年度（2024年度）14.5百万台、累計引取台数としては320百万台を超えている。また、リサイクル技術の向上等により、再商品化率は法施行時の66%から2024年度は87%にまで上昇した。

また、素材別の再商品化の実績では過去25年間の累計で、鉄として420万t、銅として36万t、アルミニウムとして25万tが家電リサイクルプラントで回収され、マテリアルリサイクルされている。

3.2. 家電リサイクルの取り組み

三菱マテリアルが家電リサイクル事業を開始したのは、家電リサイクル法施行前の1995年頃からである。当時は大型化した家電製品など適正処理が困難な廃棄物の出現や容器包装の使用拡大など、廃棄物の種類がより一層多様化し、

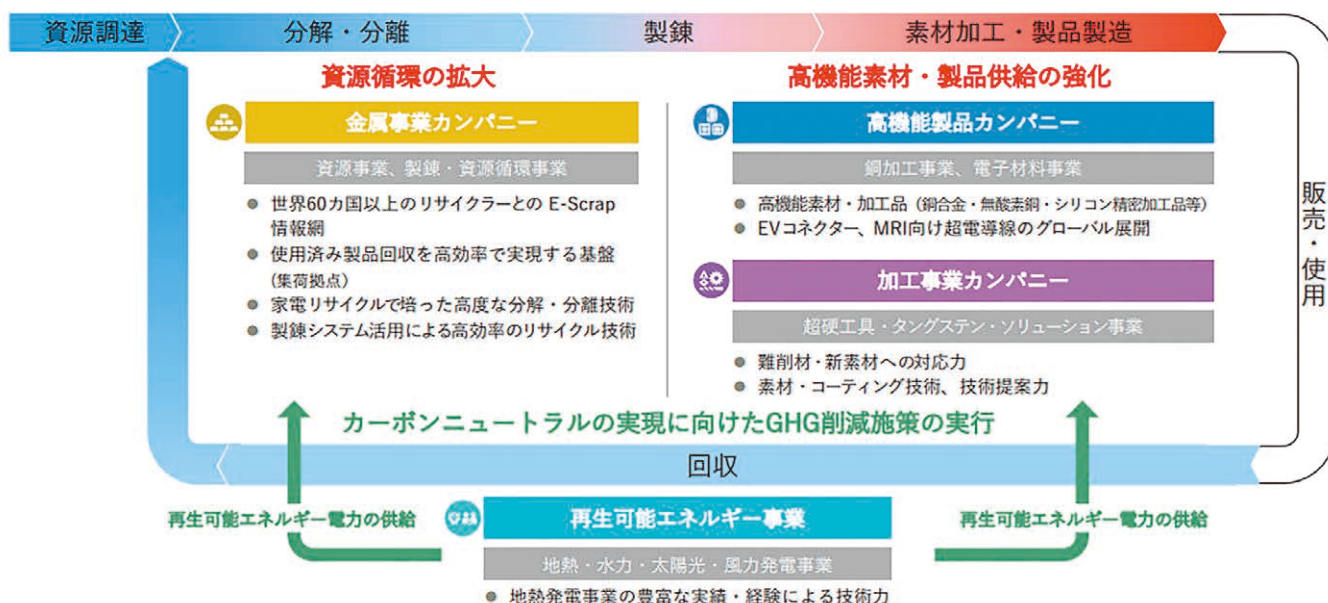


図 1 三菱マテリアルグループ中期経営戦略 2030 における「私たちの目指す姿」

最終処分場の不足と逼迫が叫ばれていた時代であった。その中で当社は、未来の循環型社会システムをビジョンとして持ち、循環型社会構築へ貢献するため、都市廃棄物であった廃家電のリサイクルを事業化し、現在に至る。

銅製錬事業でスクラップ処理に適したバススメルティング炉で構成される「三菱連続製銅法」を有していることも、本事業を推進する上で、大きな強みとなった。また、製錬事業にとっても家電リサイクルで回収した銅スクラップや廃基板類（E-scrap）を製錬原料とすることで、金・銀・PGMなどの貴金属原料の確保にとどまらず、原料の多様化や環境負荷の低減に貢献している。当社グループのE-scrap処理量合計は世界シェア No1である。

また、事業開始直後より、LCA評価を通じて家電リサイクルによる環境負荷低減効果の評価に取り組んでいる。現在、全国で46の家電リサイクル工場が稼働しており、当社グループが出資する家電リサイクル工場（6社7工場）で、全国でのリサイクル処理量の約25%に相当する、年間約350万台の使用済み家電製品の処理を行っている。

本事業は有価金属の回収・再資源化だけではなく、埋立処分量の削減による埋立処理場の残余年数確保の側面からも、廃棄物処理の問題解決という公共的な意味合いも強く、社会的価値と経済的価値を両立する持続性がある事業と言える。

4. 資源事業

4.1. 銅精鉱（天然原料）の確保の意義

資源事業では、南米を中心とした銅鉱山に出資し、銅製錬原料である銅精鉱の確保に注力している。現在の権益保有鉱山からの銅精鉱確保量は年間約15万t程であるが、2030年度には国内製錬所における銅精鉱処理量の約30%に相当する50万t以上に拡大することを目標としている。

近年の排ガスを始めとする環境規制・脱炭素社会への移行を背景として、鉱山で生産された銅精鉱を遥々海外の銅製錬所まで輸送して乾式製錬する、といった環境負荷が比較的高い従来型のビジネスは世界的に見直されようとしているものの、技術的なハードルが未だ存在する。

例えば、湿式製錬技術（浸出 - 溶媒抽出 - 電解採取）を用いて、鉱山内で電気銅まで生産する手法は、風化等の影響により変質し、化学的に不安定となった酸化銅鉱物の処理には広く実用化されている。これらの湿式製錬技術を硫化銅鉱石に適用するために数多くの技術が開発され、一部は既

に商業利用もされているが、未だに既存の浮遊選鉱プロセスによる銅精鉱生産を完全に置き換える迄には至っていない。

また、不純物を多く含むE-scrap等のリサイクル原料（二次原料）を既設の銅製錬プロセスで処理するには、不純物の少ない銅精鉱原料が必要である。つまり、リサイクルを中核とした循環型社会の実現のためには、一定量の天然原料の供給については鉱山開発が必要と言える。

4.2. 鉱山開発における課題

鉱山開発は鉱石の低品位化・遠隔化・深部化、環境規制の厳格化などを背景に難化傾向にあり、開発・操業コストも増加している。

当社出資の操業鉱山においても、操業コスト削減・環境負荷の低減を目的に、新技術を積極的導入している。例えば、負荷の高い登坂路において高圧電線からパンタグラフ経由で受電した電力でダンプトラックの走行を電動アシストするトロリーアシストシステムによる燃料使用量削減・GHG排出量の削減や、採掘ショベルのバケットに設置したセンサーによる原位置鉱石ソーティング技術による操業コスト削減などがある。

また、未回収の微量有価金属を回収し副産製品化することで、新たな収益源とし、主製品の見かけの操業コストを削減する試みも行っている。

新規鉱山の開発は初期探鉱段階から長い時間を要し、且つ最終的に経済的に開発される案件は少ない。リモートセンシング技術の発展やAIの活用による、有望な鉱兆地の発見や効率的な探鉱試験など、今後の技術発展による鉱山開発の短期化・効率化に期待したい。

5. おわりに

三菱マテリアルの目指す循環型社会は、廃棄物のリサイクルによる非鉄金属の資源循環を中心とする。一方で、リサイクルを実現するには、従来型の天然資源も必要であり、鉱山開発の探鉱技術開発や鉱物・鉱床の副産元素濃縮機構の解明などは地圏資源環境研究部門に大きく期待する所である。

今後も技術革新とパートナーシップを通じて、資源のライフサイクル全体を見据えた持続可能な社会の構築に取り組んでいく所存である。

非金属資源の持続的な利用に向けた技術開発—国内で排出されているケイ素・リン・炭素資源の回収と循環利用—

Technical development for the sustainable use of non-metal resources —Recovery and recycling of discarded carbon, silicon, and phosphorus resources—

地圏資源化学研究グループ
研究グループ長：森本 和也
Leader, Geo-Resources Chemistry Research Group:
Kazuya Morimoto
e-mail: kazuya.morimoto@aist.go.jp
<https://unit.aist.go.jp/georesenv/geochemi/>

1. はじめに

昨今の不安定化する国際情勢の中で地政学的なリスク・経済安全保障上のリスクはますます高まっており、国内の製造業・建設業・農業等を支える原料・エネルギーとして不可欠な特定重要物資（経済安全保障推進法に基づき指定）の安定供給の確保が喫緊の課題となっている。また、ゼロ・エミッションやサーキュラー・エコノミーの構築など、“持続可能な発展”のために資源循環利用技術の開発が重要度を増している。

こうした背景から、研究グループではベントナイト・カオリン・珪砂等の非金属鉱物、リン・炭素等の非金属元素、天然ガス・熱水等の地圏流体といった資源を主な対象として、成因調査や資源ポテンシャル評価、資源回収や利用技術の開発、機能性鉱物材料の開発等に資する研究を行っている。本発表では、国内で排出されているケイ素・リン・炭素について資源として回収し、循環利用する技術開発の一例を紹介する。

2. ケイ素（珪砂）の回収

珪砂は、自動車や建設業界で不可欠な板ガラス原料や、瓶ガラス原料、鋳物砂等として採掘される重要な非金属鉱物資源である。国内の珪砂資源の主要な産地である中部地方（愛知県北部から岐阜県東部）の鉱業界では、可採鉱量が枯渇寸前で、今後10年程度で終掘となる見込みが示されている¹⁾。リサイクル事業も進められているが、板ガラスのリサイクルの現状では、相当量のバージン原料を必要としている。さらに、円安や戦争による国際資源価格の高騰で、輸入鉱への全面的な切り替えは容易ではないと考えられる。したがって、国内の新規鉱床の探鉱・開発も重要であるが、これまで廃棄されていた低品位鉱の精製による資源化技術の開発も強く求められている。

珪砂や細骨材の精製工程で排出されるスラッジの中には相当量の珪砂（石英）が含まれるが、細粒な珪砂の他、主にカオリン・スメクタイト・雲母といった粘土鉱物や、長石等も含まれている。数十 μm スケールの粒度の差異を利用して分級によって粘土鉱物と分離、あるいは粒子の形状の違いから水簸によって粘土分と分離することで珪砂の割合を増やすことができる（図1）。分離条件の検討は試料毎に異なることになるが、目安として SiO_2 を85



図1 低品位鉱からの珪砂の回収

mass%以上に高めることができれば資源化できる可能性がある。

3. リン（リン酸）の回収

リンは、食料生産や自動車・電子部品など製造業分野において必要不可欠な元素で、とりわけ日本にとって重要性の高い資源である。日本は世界でもトップクラスのリン消費大国であるが、国内にリン鉱石資源をほぼ持たないため、リン資源は全量を海外からの輸入に頼っている²⁾。リン資源供給の海外依存度を減らして経済安全保障上のリスクを低減するためには、リン鉱石あるいはリン鉱石に由来する原料の国内使用量を削減する試みと同時に、特に飼料を起源としたリンを含有する排水・廃棄物からのリン回収・利用技術の開発が求められる。

こうした現状から、リン資源循環に関する技術開発として、機能性鉱物材料を用いた排水からの低濃度リン酸除去、下水污泥焼却灰からのリン酸抽出に取り組んでいる。ここでは、鉱物材料を吸着材として用いたリン酸イオンの吸着および脱離の評価について紹介する³⁾。選択的なリン酸イオン吸着材として、低結晶性のオキシ水酸化鉄（ β - FeOOH : Akaganeite）鉱物材料に着目して合成方法を検討した。室温で塩化鉄水溶液に弱アルカリを添加することで吸着材を合成し、低濃度リン酸イオンに対する選択的な吸着性能を確認した。また吸着したリンの利用を目的とした脱離を行う条件について検討し、脱離液（水酸化ナトリウム水溶液）の濃度を従来用いられている濃度よりも1/10以下で吸着材を再生可能であることを確認した。吸着材を繰り返し使用可能とする環境負荷の少ない再生方法を示すことができた（図2）。回収したリン酸を従来の肥料原料とするのではなく、より高付加価値の化成品原料とする

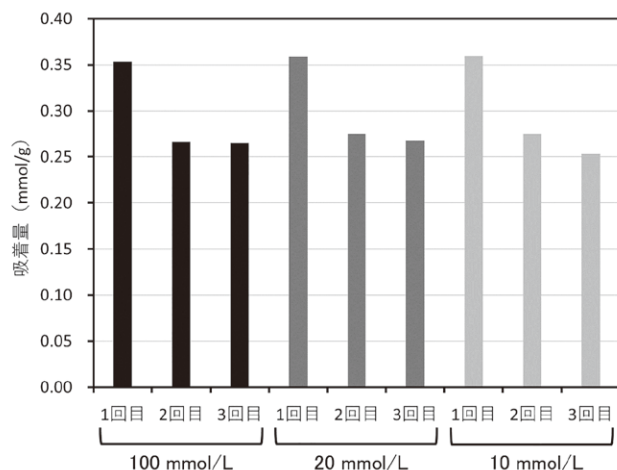


図2 濃度の異なる水酸化ナトリウムを脱離液として用いた際の繰り返しリン酸イオン吸着性能

ことが課題として挙げられる。

4. 炭素（二酸化炭素）の回収

地球温暖化対策として温室効果ガスの排出量削減の必要性が国際的に叫ばれており、中でも人為的に排出されている温室効果ガスとして二酸化炭素の影響量が最も大きいと見積もられている。産業プロセスから排出される燃焼排ガスや有機物質の生物分解で発生するガスに含まれる比較的低濃度の二酸化炭素を対象にした実用的な吸脱着材料と分離・回収プロセスの提案を行うことで、社会的課題である二酸化炭素排出量削減に貢献することが期待される。

ここでは、植物性の残渣を生物分解する際に発生する二酸化炭素を対象として、低濃度の二酸化炭素回収に適した非金属鉱物材料を用いて二酸化炭素回収・利用ユニットの設計を行った例を挙げる。二酸化炭素の吸着材として、細孔径を特定の大きさに揃えられた数種の合成ゼオライトを用いて、低濃度の二酸化炭素に対して選択性の高い合成ゼオライトを選定した。また二酸化炭素回収で問題となる空気中の多量の水蒸気に対処するため、産総研が開発した水蒸気吸着能に優れた非金属鉱物材料（ハスクレイ®）を前処理工程に備えた。回収した二酸化炭素は植物栽培の光合成促進のために利用することとし、ハスクレイで除湿した空気を送るだけで濃度（分圧）差を利用してゼオライトから二酸化炭素を簡便に放出できるようにした（図3）。課題

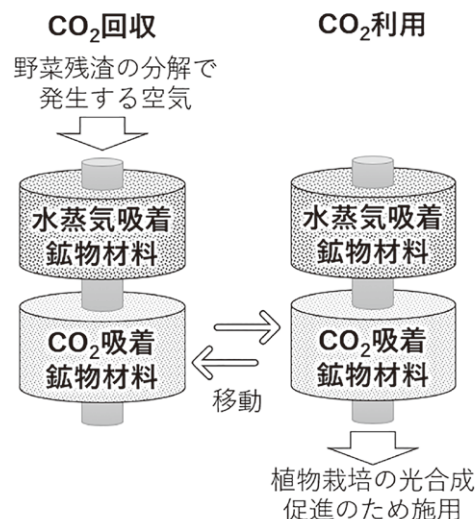


図3 二酸化炭素回収・利用システムの構成

として、除湿に用いる鉱物材料を繰り返し使用するために加熱などによる再生処理が必要となるが、低温再生を特徴とするハスクレイの使用は他の技術と比較して優位性を有する。

5. おわりに

ケイ素・リン・炭素に限らず、様々な「非金属資源」は国内の産業を支える資源であり、我々の生活に密接に関わっている。脱炭素社会やデジタル社会の実現にも欠かせない資源・エネルギーであり、また省エネ材料としての可能性を秘めた資源でもある。資源制約の大きなリスクに直面している今、非金属資源についても持続的で環境調和的な利活用を志向した研究開発に取り組んでいくことの重要性を感じている。

参考文献

- 1) 高木哲一（2024）国内非金属鉱物資源の現状と課題，金属，94，442-448.
- 2) 大竹久夫（2019）リンのはなしー生命現象から資源・環境問題までー，朝倉書店，147.
- 3) 森本和也（2024）下水処理過程におけるリン資源循環利用技術の開発，環境浄化技術，23，14-19.

二酸化炭素削減のための天然鉱物活用に向けた取り組みー風化促進に関する屋外実験とモデリングによる評価ー

Utilization of natural minerals for carbon dioxide removal –Evaluation of enhanced weathering by outdoor experiments and modeling–

地圏資源化学研究グループ・CO₂地中貯留研究チーム
研究員：西木 悠人
Researcher, Geo-Resources Chemistry Research Group & CO₂ Geological Storage Research Team:
Yuto Nishiki
e-mail: y.nishiki@aist.go.jp
https://unit.aist.go.jp/ccus/cgs/

1. はじめに

苦鉄質岩・超苦鉄質岩は、かんらん石や輝石などを含有する岩石であり、コンクリート用骨材などの用途で、国内複数か所に採石場が存在する。このような活用法のみならず、昨今はカーボンニュートラルの観点から、それらの風化作用に伴うCO₂の吸収（岩石風化促進技術）にも注目が集まっている。例えば、採掘した岩石を粉砕して、地表の土地に散布する手法が検討されている（図1）。メカニズムとして、まず造岩鉱物が雨水などに溶解することで、金属イオン（ナトリウム、マグネシウム、カリウム、カルシウムイオンなど）が溶出する。このとき、岩石と反応した水は、pHの上昇とともに、大気中の二酸化炭素（CO₂）を溶存種として吸収する（溶解トラップ）。さらに最終的には、その場で炭酸塩鉱物が生成することによるCO₂の固定化が期待されている。

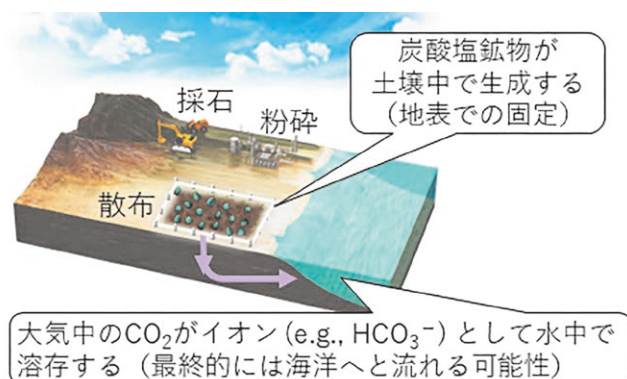


図1 岩石風化促進

そのため、実際に屋外で岩石の風化をモニタリングし、溶存イオン濃度や鉱物の存在量の変化を調べることは大きな意義がある。岩石の風化はそのエリアの気象条件によっても変わる可能性もある。また、苦鉄質岩・超苦鉄質岩は、その組成にバリエーションがあるため、岩石ごとにCO₂吸収ポテンシャルには差があることも想定される。

したがって、本研究では、(i) 種別の異なる複数の苦鉄質岩・超苦鉄質岩を扱い、それらの風化挙動を日本国内で実

験的に検証し、(ii) その実験に関して、測定結果と地球化学反応モデリングを比較するとともに、(iii) 事業化の際に想定される現場の条件で、同様に地球化学反応モデリングを実施することで風化促進事業におけるCO₂のトラップ量を評価した。

2. 屋外での岩石風化実験

2.1. 岩石採取と実験手法

本研究では、玄武岩3試料、かんらん岩1試料、蛇紋岩1試料を国内各地で入手し（表1）、粒径1–2 mmに粉砕した。図2のように、粉砕試料20 gを容器に入れ、上下を目開き0.6 mmのフッ素樹脂メッシュを挟み、産業技術総合研究所つくばセンターの事業所屋上に設置した。降雨があった日の数日以内に各岩石試料を通過した雨水および岩石試料を通過していない雨水を採取して、溶液分析（pHおよび溶存イオン測定）を実施した。また、実験開始から1年後には岩石試料を回収して、固体分析（粉末X線回析分析など）を実施した。

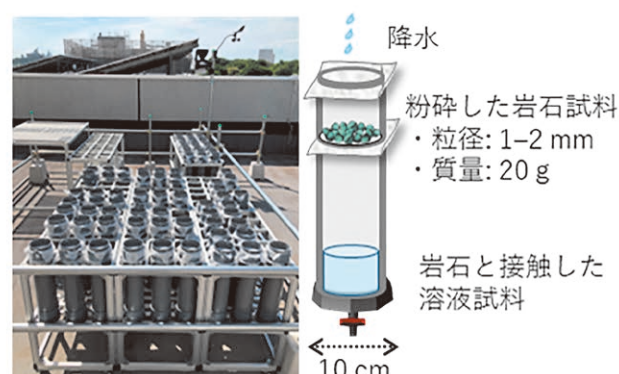


図2 実験手法

2.2. 実験結果・考察

岩石と接触することで、pHの上昇が見られた。表2は、実験開始後1年間で採水した計23回の溶液データの平均値

表1 実験試料

岩石	産地	構成鉱物
玄武岩（ソレライト）	北海道	斜長石、単斜輝石、磁鉄鉱など
玄武岩（アルカリ玄武岩）	長崎県壱岐島	斜長石、カリ長石、単斜輝石、かんらん石、磁鉄鉱など
玄武岩（ピクライト玄武岩）	新潟県佐渡島	かんらん石、斜長石、単斜輝石、スメクタイトなど
かんらん岩	北海道	かんらん石、単斜輝石、タルクなど
蛇紋岩	北海道	蛇紋石、ブルーサイト

表2 岩石試料と接触した雨水の分析結果

	pH	CO ₂ 吸収量 mg-CO ₂ / g-rock / year
玄武岩(北海道)	6.7	2.9 (雨水の2倍)
玄武岩(壱岐島)	6.7	3.3 (雨水の2倍)
玄武岩(佐渡島)	7.1	5.6 (雨水の4倍)
かんらん岩(北海道)	7.0	4.1 (雨水の3倍)
蛇紋岩(北海道)	8.0	31.1 (雨水の20倍)

である。蛇紋岩と接触した雨水のpHが高い理由は、蛇紋岩中に含まれるブルーサイトが極めて速い溶解速度を示すからである。一方、ケイ酸塩鉱物に関しては、かんらん石が比較的溶解しやすい鉱物のひとつであるため、かんらん石が多く含まれているかんらん岩や佐渡島の玄武岩（ピクライト玄武岩）が、蛇紋岩に次いでpHが高くなったと説明できる。pHの上昇に伴い、CO₂が溶解トラップとして吸収されたものの、1年間風化させた岩石試料からは炭酸塩鉱物の生成は明確には確認されなかった。

2.3. 実験結果の妥当性

地球化学反応モデリングソフトウェアThe Geochemist's Workbench (GWB)およびフランスの地質調査機関BRGMの熱力学データベースThermodynamを用いて、本実験のpH測定結果との整合性を検証した。各鉱物の溶解速度論を考慮して計算した結果、表2の実験値とおおむね類似するpHの値が得られた。玄武岩に関しては、北海道と壱岐島で6.7、佐渡島で7.3、かんらん岩では7.7、蛇紋岩では7.9であった。

3. 地表散布を想定した地球化学反応モデリング

先行研究(Beerling et al., 2020, Nature)では、事業化の際に想定される現場の条件で1次元反応輸送モデリングを実施している。岩粉を40 t/haの割合で土壌層15 cmに散布し（このとき約1 vol%が岩粉であり）、その岩粉を混合した土壌層の25 vol%が水で飽和されている間隙とし

て、そこに1年間降水を供給している。しかしBeerling et al. (2020)では、実際に、採取・分析された試料ではなく、理想的な玄武岩2種類のみを使ってモデリングしていた。そこで本研究のモデリングでは、散布する岩石を、2.の実験で用いた実際に日本国内に産する玄武岩試料とし、GWBを用いて計算した。

本報告では例として、佐渡島の玄武岩の鉱物組成を使ったモデリングの結果を図3に示す。岩粉の比表面積を2.の実験と同様にしても、炭酸塩鉱物の生成は見られず、Beerling et al. (2020)で提案されているような10 μm程度の微粉であれば炭酸塩鉱物が生成されることが確認できた。また、pHの上昇に大きく寄与するかんらん石と、方解石の生成のためにカルシウムを供給する斜長石が重要な鉱物種であり、これら両方が岩石中に含まれていることで炭酸塩が生成しやすいと考えられる。

なお、粒子径を10 μmとして同様にモデリングしても、北海道や壱岐島の玄武岩では炭酸塩の生成が見られなかった。すなわち、「玄武岩」と分類される岩石であっても、炭酸塩が生成しやすい試料と生成しにくい試料があることがわかる。このような、かんらん石が多く含まれない玄武岩に関しては、pHの上昇に寄与する鉱物や化学物質なども併せて散布すると、炭酸塩の生成量が多く見込めるようになる可能性がある。

4. まとめ

本研究では、風化促進実験でpHの上昇とCO₂の吸収を実証するとともに、その実験とモデリングの整合性を検証し、想定される現場の条件におけるモデリングへと拡張させた。実験では溶解トラップとしてのCO₂吸収が確認されたが、鉱物トラップに関しては確認できなかった。CO₂の鉱物トラップ量を増大させるために、細粒化はひとつの効果的な手段となるが、岩石試料によってはそれに加え、さらなる工夫が必要となる場合があると考えられる。

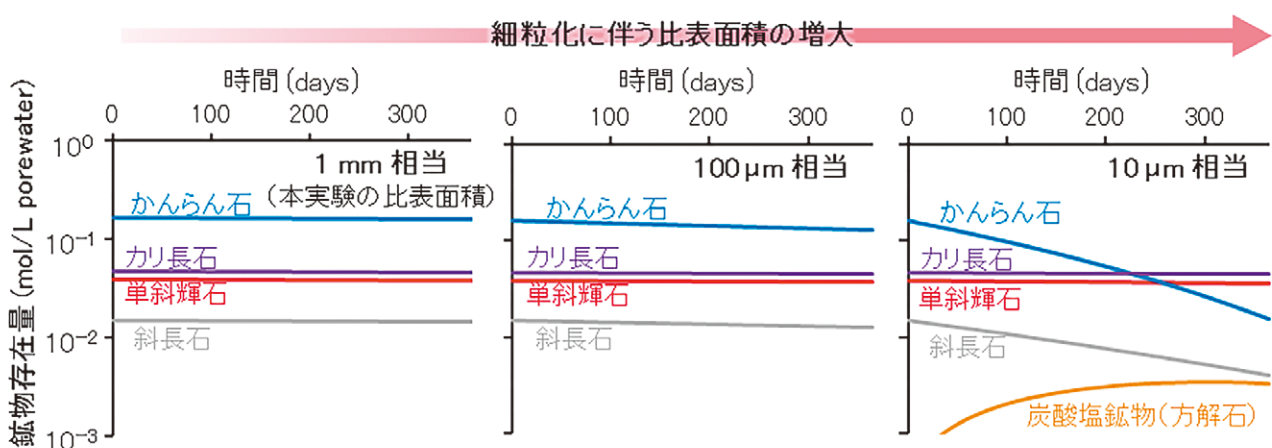


図3 土壌に散布する岩粉の比表面積の増大に伴う炭酸塩鉱物の生成

希土類元素に富む石炭の形成機構と 特徴解明に向けた取り組み

Activities to understand the formation mechanisms
and characteristics of REE-rich coals

燃料資源地質研究グループ

主任研究員：高橋 幸士

Senior Researcher, Fuel Resource Geology

Research Group: Koji U. Takahashi

e-mail: koji-takahashi@aist.go.jp

<http://unit.aist.go.jp/georesenv/fuelgeo/>

1. はじめに

希土類元素 (Rare Earth Elements: REE, La-Lu & Y) は、高性能バッテリーや強力な永久磁石の原材料であり、持続可能な社会の実現と産業の発展に不可欠である。その一方、REE 鉱床であるカーボナタイト鉱床やイオン吸着型鉱床は、地域的な偏在性が大きく、昨今の不安定な国際情勢の影響により、REE の安定供給に向けた研究や技術開発が世界的に加速している。

近年、新たな REE の供給源として、石炭や利用時の副産物 (石炭灰など) のポテンシャルに大きな注目が集まっている。本講演では、REE に富む石炭の形成機構と特徴解明に向けた研究動向をレビューすると共に、REE 供給源としての国内炭の評価に向けた我々の取り組みについて紹介する。

2. 希土類元素の供給源としての石炭

石炭は、一般に有機物を 50 wt% 以上含む堆積岩であり、燃料や石油・天然ガスの根源岩として、我々の生活を支える重要なエネルギー資源である。一方、物質的な側面から眺めると、石炭は、有機物を構成する主要な元素である C, H, N, O, S 以外にも、周期表上のほとんどの元素を含み、自然界において最も多量の鉱物を含むことから、最も複雑な物質 (地質試料) であると考えられている^[1]。

石炭中の REE に関する研究を初めて実施したのは、“現代地球化学の父”と呼ばれた Goldschmidt である^[2]。その後、REE 濃度が 1000 ppm を超える石炭層に関する研究を発端として^[3]、REE 供給源という新たな観点からの石炭研究が進展し、石炭由来の REE に関する年間の論文発表数は、2010~2020 年にかけて約 6 倍に急増した^[4]。

REE は、地表水や砕屑物、火山砕屑物、地下水や熱水によって石炭へ供給される^[5]。石炭と石炭灰中の REE 濃度の平均値は、68 ppm, 404 ppm と推定されている^[6]。カットオフ品位は、幾つか研究があるが、石炭灰では 1000 ppm (酸化物換算)、石炭では 800-900 ppm 程度である^[5]。石炭の場合は、層厚なども踏まえて検討されるが、これらのカットオフ品位の値は、イオン吸着型鉱床の一般的な REE 濃度 (~800 ppm)^[7] に相当する。

また、有機物は、軽 REE に比べて、中~重 REE との親和性が強い傾向があり^[8]、上部大陸地殻 (Upper Continental Crust: UCC) の平均値で規格化した石炭の REE パターンも中~重 REE に富む傾向を示す^[5]。代表的な REE 鉱床で

あるカーボナタイト鉱床では、U や Th の放射性元素の処理が大きな課題となるが、石炭中の U や Th 濃度の平均値は、UCC の平均値と同等以下である^[6,9]。REE と共に U や Th の濃集が生じる場合もあるが、現時点で供給過剰である Ce などの軽 REE に対し、需要が高い Dy や Tb などを含む中~重 REE が濃集しやすいという石炭の特徴は、相対的に REE 供給源としての品質が高い可能性を示している。石炭は、地域的な偏在性も低く、特に発電所などから発生する石炭灰は、従来の鉱床に対し、採鉱や運搬におけるコストを抑えられる可能性があることも利点である。

3. 石炭における希土類元素の存在態

石炭中の REE の存在態の理解は、効率的な回収法や REE の濃集機構、燃焼過程における挙動の検討に不可欠である。石炭中の元素の存在態は、1) Mineral association (MA): 肉眼や光学顕微鏡で視認出来る鉱物・準鉱物内のもの、2) Intimate Organic association (IOA): サブミクロン~ナノスケールの鉱物内のもの、有機物への吸着態、間隙水への溶存態、3) Organic association (OA): 有機物との化学結合 (共有結合や配位結合など) によって存在するもの、以上の 3 つに区分される^[8]。

石炭における一般的な MA-type の REE は、ジルコンやモナズ石中のものであり、OA-type の REE は、カルボキシル基などの官能基を持つ有機物 (フミン酸など) との錯体が良く知られている。REE は、石炭化度の低い段階 (泥炭や褐炭) では、有機物との相互作用によって存在するものが多く、埋没に伴う石炭化の進行によって次第に自生鉱物に取り込まれると考えられている^[10,11]。このような石炭化の進行に伴う REE の存在態の変化は、石炭への REE 濃集を理解する上で、泥炭や褐炭に流入した REE と有機物の相互作用が重要であることを示唆している。

4. 希土類元素が濃集する石炭の特徴解明

石炭中の REE に関する知見が着実に蓄積される中、REE が濃集する石炭の形成機構や特徴には不明な点が多い。石炭層における REE 濃集には、外部からの REE 供給が不可欠であるため、REE の“ドナー”である火山砕屑物や流体に着目した研究が多く、REE を受け取る“レシーバー”としての石炭の特徴に着目した研究が少ない。流入する REE に対する石炭の“レシーバー能力”についての知見を得ることが出来れば、REE が濃集する石炭層をより効率的に採鉱

することが出来る。

石炭中の μm スケールの有機物は、“マセラル”と呼ばれ、起源毎に異なる形態と物理・化学特性を示す。マセラル組成は、石油生成能力や形成環境の指標に用いられており、石炭を特徴づける重要なパラメータである。もし、マセラル毎のREEに関する情報を取得出来れば、顕微鏡観察によって測定可能なマセラル組成に基づき、REEに富む石炭の特徴や形成機構を検討出来る可能性がある。

現在、当部門では、レーザーアブレーションICP-MS (LA-ICP-MS) を用いたマセラル毎の微量元素分析を進めている。特に、REEと親和性の強いフミン酸などの沈殿物が起源である gelovitrinite (泥炭や褐炭では gelohuminite) に着目し^[12,13]、木質や柔組織に由来する主要なマセラルである telovitrinite (泥炭や褐炭では telohuminite) との比較を進めている (図1)。

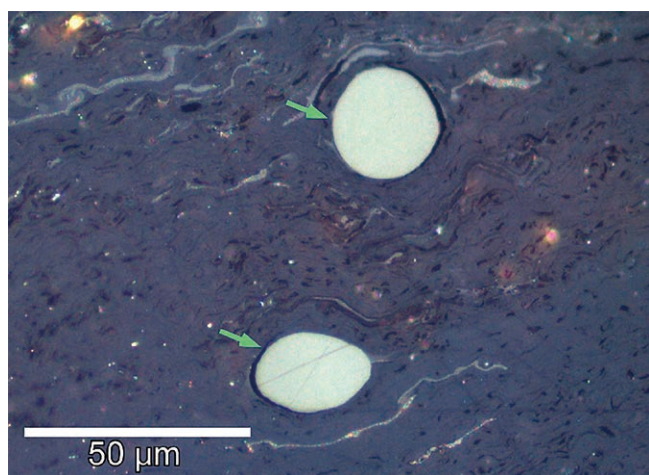


図1 植物細胞の構造が残る telohuminite と典型的な gelohuminite (矢印) の反射顕微鏡写真。

5. 国内炭の評価と国際的な位置づけ

東アジアの大陸縁辺域とその周辺には、白亜紀や新生代に形成された夾炭層が広く分布しているが、ロシア極東、中国、モンゴル、インドネシア以外の石炭中のREEに関する研究は少ない。国内炭についても、多くの炭鉱が閉山しており、石炭中のREEの基礎データは極めて限定的である。

その一方、白亜紀や新生代に形成された石炭は、gelovitriniteが増加するため^[12]、REEレシーバー能力が相対的に高い可能性がある。このような特徴を有する国内炭のREEに関する基礎データは、国内炭に由来するREE資源の追求のみならず、REE濃集が生じる石炭の特徴や形成機構の解明という世界共通の課題を検討する上でも重要である。当部門では、既に閉山された国内外の炭田試料を数多く保管している。これらの試料の基礎データは、知見の少ない国内や東～東南アジア地域の石炭の評価に有効であるた

め、現在、石炭中の微量元素分析に必要な低温灰化処理設備などの環境整備を進めている。

6. おわりに

石炭の持つ可能性は、時代と共に新たな観点が見出され、現在も広がりを見せ続けている。今後も一定の石炭利用が見込まれる中、石炭の特性評価に基づく最適な利用法の検討は、エネルギーの安定供給と環境負荷の低減の第一歩である。今後も当部門では、これまでの知見に基づく確かな石炭評価を進めながら、新たな評価軸や付加価値の創出に向けた取り組みを進めて行く予定である。

参考文献

1. Finkelman, R.B. et al. (2019) *Int. J. Coal Geol.*, 212, 103251.
2. Goldschmidt, V.M. & Peters, C.L. (1933) *Mathematisch-Physikalische Klasse*, 371-386.
3. Seredin, V.V. (1996) *Int. J. Coal Geol.*, 30, 101-129.
4. Eterigho-Ikelegbe, O. et al. (2021) *Min. Eng.*, 173, 107187.
5. Seredin, V.V. & Dai, S. (2012) *Int. J. Coal Geol.*, 94, 67-93.
6. Ketris, M.P. & Yudovich, Y.E. (2009) *Int. J. Coal geol.*, 78, 135-148.
7. Sanematsu, K. & Watanabe, Y. (2016) *Characteristics and genesis of ion adsorption-type rare earth element deposits*.
8. Dai, S. et al. (2020) *Int. J. Coal Geol.*, 218, 103347.
9. Taylor, S. R. & McLennan, S. M. (1985) *The continental crust: its composition and evolution*.
10. Arbuzov, S.I. et al. (2018) *J. Geochem. Expl.*, 184, 40-48.
11. Arbuzov, S.I. et al. (2019) *Int. J. Coal Geol.*, 206, 106-120.
12. ICCP (1998) *Fuel*, 5, 349-358.
13. Sýkorová, I. et al. (2005) *Int. J. Coal Geol.*, 62, 85-106.

謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会科研費 JP22K14108 の助成を受けて実施した。



研究グループ紹介

燃料資源地質研究グループの紹介

Introduction of the Fuel Resource Geology Research Group

研究グループ長：吉岡 秀佳

Leader, Fuel Resource Geology Research Group:

Hideyoshi Yoshioka

e-mail: hi-yoshioka@aist.go.jp

1. グループの研究目的

在来型の石油、天然ガスおよび石炭資源ならびに、メタンハイドレートやコールベッドメタン（CBM）、シェールガス・オイル等の非在来型燃料資源に関する探査手法・資源評価技術の高度化を目指し、その基礎となる鉱床成因モデルの構築、資源探査法の改良、資源ポテンシャル評価技術の研究開発を行う。

特に当研究部門の重点研究課題である「燃料資源に関する評価技術の開発」を遂行するため、生物地球科学、鉱物資源および物理探査研究グループと連携しながら研究を進める。

2. グループの研究体制、研究資金

2.1. 構成メンバー（令和7年度）

吉岡 秀佳	（研究グループ長）
後藤 秀作	（主任研究員）
持丸 華子	（主任研究員）
高橋 幸士	（主任研究員）
宮嶋 佑典	（研究員）
久保田 彩	（研究員）
佐藤 幹夫	（契約職員）
鈴木 祐一郎	（契約職員）
棚橋 学	（契約職員）
中根 由美子	（契約職員）
勝村 寛子	（契約職員）
星 裕貴子	（契約職員）
木村 由紀子	（契約職員）
安邊 啓明	（産総研特別研究員）
中嶋 健	（招聘研究員）
田中 明子	（招聘研究員）
井尻 暁	（招聘研究員）
青木 伸輔	（協力研究員）
高野 修	（産学官制度来所者）
金子 信行	（産学官制度来所者）

2.2. 主な公的研究資金

運営費交付金

「燃料資源地質の研究」

受託研究・補助事業研究（経産省）

「国内石油天然ガス地質調査・メタンハイドレート研究開発等事業（メタンハイドレートの研究開発）」

科研費

「位置別炭素同位体分析を用いた東アジア地域天然ガスの起源評価」

「メタン生成と共役するリグニン分解：深部ガス田から探る新たな微生物機能」

「希土類元素に富む石炭の形成機構：石炭マセラルの微量元素分析によるアプローチ」

「生体金属ニッケルの安定同位体比を用いたメタン生成菌探査への挑戦」

3. 主な研究成果および研究進捗状況等

3.1. メタンハイドレート資源に関わる鉱床成因、資源評価等に関する研究

- ・表層型MH回収・生産技術評価委員会において、これまで実施された海洋調査の結果についてまとめ、海洋産出試験の実施場所に関する検討を行った（佐藤・後藤・棚橋・吉岡）
- ・表層型メタンハイドレート賦存域で2022年に上越海丘、2023年に酒田海丘で実施した掘削による周辺海底への影響を把握するため、ROV「はくよう3000」及びホバリング型AUV「YOUZAN」を用いた海底画像撮影と試料採取及び海底直上海水のメタンセンサー観測を、地質情報研究部門と協力して実施した（佐藤・宮嶋・吉岡）。
- ・表層型メタンハイドレート賦存域である酒田海丘の海底及び海底下浅部地質構造把握のため、航走型AUV「Deep1」を用いた詳細地形地質調査を物理探査研究グループと協力して実施した（佐藤）。

3.2. 在来型資源の鉱床成因等に関する地質学的研究

- ・熟成指標であるビトリナイト反射率（VRr）は、石油根源岩ポテンシャルを検討する上で重要であるが、堆積岩中のビトリナイトは20 μm以下の場合が多く、正確な同定やVR測定が難しい。本研究では、深紫外光（266 nm）による顕微ラマン分光法を開発し、2 μmほどの有機物について、有機物の自家蛍光の影響を無視出来る手法を開発した。本手法は、数mmの試料片（カッティングス）にも応用可能であり、VRr = 0.14～5.21 % の範囲を±0.1 %（68 % 信頼区間）の誤差で評価可能である（Nakamura and Takahashi, in press）。

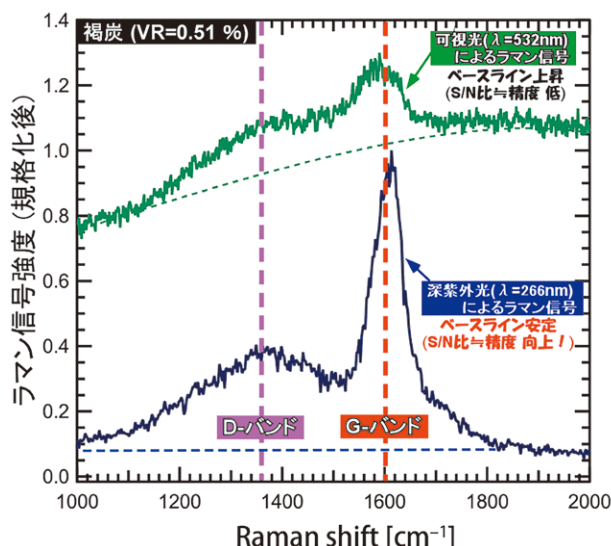


図1 褐炭試料の(上)従来の可視光による顕微ラマン分光スペクトルと(下)0.16 J cm⁻²で出力した深紫外光による顕微ラマン分光スペクトル (Nakamura et al., 2022 を編集)

(参考文献) Y. Nakamura et al., 2022, *Journal of Mineralogical and Petrological Science*, 117, 220316)

- ・大規模津波は沿岸を破壊し、大量の陸源碎屑物を運搬する。しかし、沿岸の津波堆積物は保存性が低く、完新世を除く地質記録では認識困難である。本研究では、北海道北部前期白亜紀深海堆積物中の琥珀密集重力流堆積物の堆積相解析を行いその形成要因を検討した。琥珀(化石樹脂)は未固結堆積物変形構造に類似する構造を示し、大気下で硬化する間もなく未固結のまま海底に到達したと考えられる。重力流堆積物中には植物片濃集や偽礫、スランプ構造等もみられ、堆積要因として大規模津波が推定された (Kubota et al. 2025)。

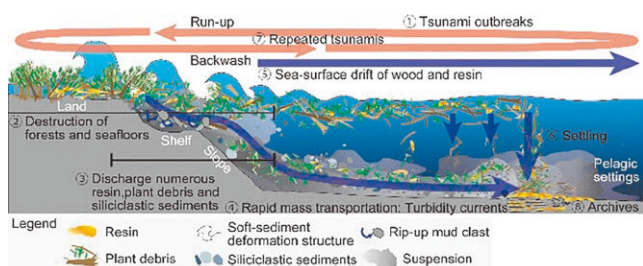


図2 深海に保存された巨大津波 (Kubota et al. 2025)

3.3. 燃料資源地質関連の試資料の整備

- ・地質調査総合センターの前身である旧地質調査所では、可燃性天然ガスおよび石油資源開発5か年計画(昭和37年9月策定)に基づき、構造試錐および層序試錐を実施しており、関連するデータやコア試料が、所内に保管され

ている。紙媒体の資料に関して、全てデジタル化し、外部からの貸し出し希望に対応することができるようにした(原則有料頒布)

□ 構造試錐 17坑 (ST シリーズ)

沢目、白雪川、二古、万願寺、寒河江、角間、西八橋、小滝、遠別、六郷、南横岡、矢島、柳田、由利原、花園、館合、十勝

□ 層序試錐 7坑 (GS シリーズ)

遊佐、能代 (山形・秋田)

蒲原2坑 (新潟)

春日部、大佐和、藤岡 (関東)

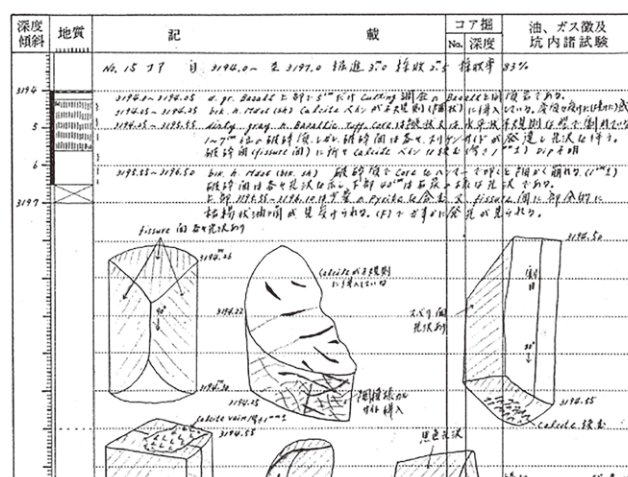


図3 コア試料の記載データ

4. 主要な研究成果 (令和6年度後半以降)

[誌上発表]

Kubota A., Takeda Y., Yi K., Sano S., Iba, Y. (2025) Amber in the Cretaceous deep sea deposits reveals large-scale tsunamis. *Scientific Reports* 15, Article number: 14298

Nakamura, Y., Takahashi K.U., and Kaneki S. (2025) Deep-UV micro-Raman spectroscopy estimates of peak metamorphic temperatures using rock chips bearing carbonaceous material, *American Mineralogist*, in press.

Nakajima, T., Saito, Y. (2025) Facies variations in gravelly cyclic steps deposited from turbidity currents: Miocene fan delta front deposits compared with modern active fan delta, central Japan. *The Depositional Record*, DOI:10.1002/dep2.315

塚崎あゆみ, 宮嶋佑典, 青柳 智, 吉岡秀佳, 堀 知行, 林 正裕, 石田 洋, 井口 亮, 鈴木 淳, 鈴木昌弘 (2025) 表層型メタンハイドレートの研究開発に係る環境影響評価, *海洋理工学会誌*, 29(2), 63-67.

鉱物資源研究グループの紹介

Introduction of the Mineral Research Group

研究グループ長：星野 美保子

Leader, Mineral Research Group: Mihoko Hoshino

e-mail: hoshino-m@aist.go.jp

1. グループの研究目的

本グループでは、社会の動きに応じた各種鉱物資源のクリティカルリティを考慮しながら、資源の安定確保に貢献する鉱床学的研究、資源開発や素材製造に資する技術の開発や提供、精緻な分析・評価を実現する有用性の高い研究、国内外の鉱物資源情報を知的基盤として整備する目的で、データベース作成に係る鉱物資源情報の収集などを行っている。内外の研究機関や行政、民間企業とも連携し、それぞれの役割分担に応じた適切な“橋渡し”を行うことで、国全体としての鉱物資源の安定確保に資することが活動目的である。具体的には、カーボンニュートラル社会実現のために必要不可欠かつ需要が増加している希土類（レアアース）、リチウム、ニッケル、コバルト、銅などの鉱種を中心に調査・研究を行っている。

2. 研究活動の概要

経済産業省「鉱物資源開発の推進のための探査等事業（資源開発可能性調査）」を活動の柱としつつ、他事業や共同研究等も積極的に行っている。地理的にも相対的に有利で鉱物資源を含む経済的関係強化を期待できる東南アジアを近年は重要視しており、調査研究を行っている。一方このような社会情勢の下で国内資源の重要性を再認識し、探査技術開発の国内での展開や鉱物情報整備の他、多様な鉱物資源の可能性を念頭にいた現地調査にも力を入れている。また、各研究・技術の波及的展開を含めた基礎・応用研究や、各員のネットワークを生かした学術的な研究活動も進めており、未知の社会変化にも対応出来るよう研究能力の維持発展に努めている。

2.1. 鉱床の成因理解と探査のための研究

(1) 火成岩を対象とした銅鉱床探査手法の開発

銅は世界規模の脱炭素化と新興国の電線需要増大によって、世界中で必要とされている資源であるが、資源量の減少による枯渇が懸念されている。そのため、銅資源の安定供給維持に不可欠な鉱床探査の効率向上に貢献することを目指して、火成岩を対象とした地化学探査法の開発に取り組んでいる。本研究では、銅鉱床を形成したマグマが結晶化した火成岩と銅以外の鉱床を形成したマグマが結晶化した火成岩を判別する指針の導出を目的として、試料収集や元素分析、分析結果の解析を行った。

2025年度は、花崗岩や花崗閃緑岩の独立岩体とそれらに

伴われる銅鉱床や金鉱床、モリブデン鉱床が多数分布する北上山地から得られた火成岩試料を対象とした元素分析等の結果の解析と取りまとめを行った。その結果、銅鉱床を形成したマグマが結晶化した火成岩と、金やモリブデンの鉱床を形成したマグマが結晶化した火成岩の全岩元素組成やモード組成の特徴と、その岩体に関連する鉱床に濃集した元素種には明瞭な関係が認められなかった一方で、造岩鉱物として一般的な斜長石（図1）の銅含有量に差異が認められることが明らかになった。この成果は、類似した地質時代や地質環境で形成された火成岩体群から銅鉱床を形成した履歴をもつ火成岩体の選出が可能であることを示唆しており、銅鉱床探査の効率向上に貢献できる可能性がある。

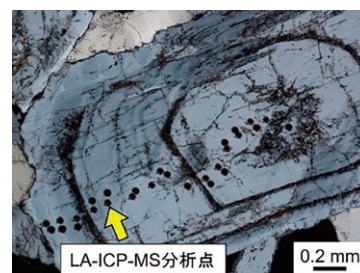


図1 LA-ICP-MSによって分析された斜長石

(2) 初生花崗岩質メルト包有物を用いた銅鉱床形成ポテンシャル評価手法の開発

銅鉱床の形成には、花崗岩質マグマから放出される熱水の寄与が重要であり、花崗岩が探査の鍵とされてきた。しかし、花崗岩は鉱床の形成により本来含まれていた金属・硫黄・水含有量等の初生的情報を消失している。そこで、玄武岩が花崗岩質マグマと地下深部で接すれば、玄武岩の斑晶に初生的な情報を保持した花崗岩質マグマがメルト包有物として捕獲されたと考えた。本研究では、花崗岩質メルト包有物の銅含有量を解明、地表の花崗岩と比較することで、花崗岩質マグマの銅鉱床の形成ポテンシャルを評価することを目的に研究を行っている。

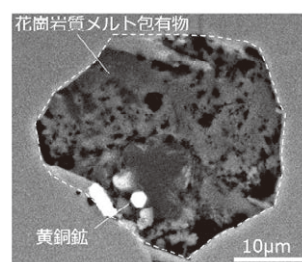


図2 単斜輝石斑晶に含まれる花崗岩質メルト包有物

現在、神奈川県北部丹沢地域の玄武岩に含まれる単斜輝石中に初生的な花崗岩質メルト包有物を発見し（図2）、その化学組成を明らかにしている。今後はナノスケール解像度のX線CTによる銅鉱物の精密な体積測定を実施し、花崗岩質マグマの銅含有量の復元を進める。

(3) イオン吸着型希土類（レアアース）鉱床におけるレアアースの存在形態解析・回収法最適化

レアアースの中でも地殻存在度が低く、より貴重な資源である重レアアース（ジスプロシウム、テルビウムなど）はそのほとんどが「イオン吸着型鉱床（イオン鉱）」から供給されている。しかし、イオン鉱は現在中国南部のみで開発されているため、重レアアース資源の安定供給の実現には、中国国外におけるイオン鉱の開発（＝供給源多角化）が急務となっている。

本研究では、イオン鉱開発のボトルネックとなっているレアアース沈殿回収プロセスに対し、X線吸収微細構造（XAFS）解析や、熱力学データベースを活用した化学平衡計算などによる存在形態解析に基づいた条件最適化を目的としている。特に、レアアースおよび不純物となるウラン・トリウムの沈殿挙動を解明し、条件最適化に向けた理論基盤の構築を目指す。得られた知見は実際の鉱山プラントに適用可能な低コストな手法として、現場に還元することを目標に研究を行っている。これまでの研究では、レアアース沈殿回収プロセスの前段階にあたる鉱石からのレアアース抽出回収プロセスにおいて、レアアースの存在形態の種類と抽出挙動の関係を明らかにしている（図3）（Nagasawa et al., 2024）。

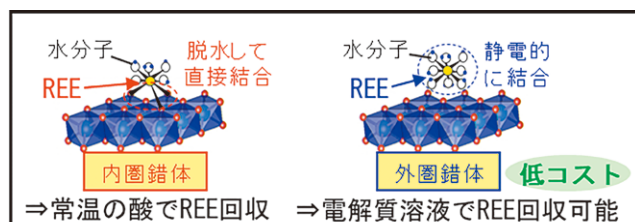


図3 イオン吸着型希土類（REE）鉱床におけるREEの存在形態の種類と最適な回収法の関係

2.2. 鉱石および素材製品の価値向上のための選鉱技術および分析・品位に関する研究

(1) 微小域元素・同位体分析を用いた資源研究

鉱物中の元素・同位体組成とその分布は、鉱石評価や鉱床成因研究において重要である。我々はレーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析計（LA-ICP-MS）を用い、野外調査で採取した試料や、外部から依頼された試料のマイクロメートルスケールの元素組成や、その2次元分布を分析している（図4）。鉱石中の目的元素や阻害元素の分布は、目的元素を鉱石から分離・抽出法の最適化を行う上での指針となる。

LA-ICP-MS分析は、ケイ酸塩鉱物や硫化物等の鉱物試料

だけではなく、ガラス、金属や植物等、あらゆる種類の固体試料に対して可能であり、工業製品評価の為の分析も行っている。現在は、数マイクロメートルへの微細集光フェムト秒レーザーアブレーションによる、高空間分解能元素・同位体イメージング法の開発を進めており、深さ方向で500nm以下の薄層中の微量元素分布を測定することが可能となった。

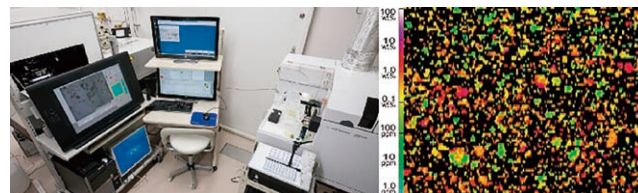


図4 レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析計（LA-ICP-MS）の様子（左）と銅鉱石中の銀分布（右）

(2) 安定同位体比分析技術の高度化とその応用

鉱床成因や探査のための新しい研究手法を開発すべく、金属元素の安定同位体比分析技術の高度化とレアメタル鉱床への応用に取り組んでいる。特に、今まではほとんど用いられていないリチウムやマグネシウムなどの金属元素の安定同位体比に着目し、分析環境の整備と実試料への応用を行ってきた。分析環境の整備として、イオンクロマトグラフにフラクションコレクタを接続させた自動元素分離装置（IC-FC）を導入し、分析のルーチン化や、対象とする元素の拡張、高速度化・高効率化のための手法開発を進めている（図5）。IC-FCを用いた所内外との連携にも積極的に取り組んでおり、秋田大学やJAMSTEC等と科研費などを通じた共同研究を実施している。実試料への応用としては、鉱物資源のみに留まらず、惑星科学、古生物学、生化学等の幅広い分野を対象として共同研究を展開し、成果を挙げている（Araoka et al., 2025; Yoshimura et al., 2025など）。



図5 自動元素分離装置（IC-FC）

(3) 選鉱技術の高精度・高効率化に関する研究

選鉱プロセスの高精度・高効率化に関する研究に取り組んでいる。低品位風化花崗岩（青サバ、マサ土）からの石英分の分離回収を目的とした粉碎・選鉱プロセスの最適化を行っている。また、LA-ICP-MS分析から得られる微小域元素組成に基づき、鉱石中の鉱物などの存在形態を評価する粒子解析ツールの開発にも取り組んでいる（特願2020-139452）。

また、粉体シミュレーションの選鉱プロセスを始めとす

る粉体プロセスへの適用にも取り組んでいる。粉体シミュレーションは、実験では直接観察することが難しい粉体装置内部の粒子挙動を可視化できるため、分離機構の解明や運転条件の最適化に有用なツールである。様々な粉体プロセスの機構解明や最適化を行うとともに、粉体シミュレーションの要素技術の高度化（図6）にも取り組み、東京大学との共同研究を通じて、成果を挙げている（Tsunazawa et al., 2024など）。

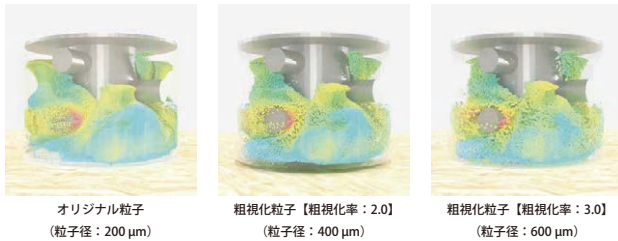


図6 湿式ビーズミル内の粒子挙動の可視化

(4) リン鉱石からの副成分としてのレアアースの回収法の研究

リン鉱床は、堆積性、火成作用、グアノなどの海洋島鉱床に分けられ、世界各地に分布しており、その資源量は3000億トンと膨大である。肥料用リン酸の主原料であるアパタイトは、非常に結晶構造の許容性が高く、レアアース(REE)を数百から数千ppm程度含有するため、REE資源としての側面も有する。そのため、リン鉱石から肥料用リン酸の副成分としてレアアースを効率的に回収できれば、コスト削減や新規鉱山の開発に伴う環境負荷の軽減などREE資源問題のブレイクスルーとなる可能性がある。そこで、リン鉱石に着目し、リン酸の製造過程で生成されるリン酸石膏からのREEを効率的に回収する方法の研究を進めている（図7）。



図7 レアアースを含有するリン酸石膏（左）回収されたレアアース精鉱（右）

2.3. 鉱物資源情報の研究

(1) 鉱物資源データベースの整備

近年の各種資源の価格高騰や供給をふまえ、日本の鉱物資源データベースの整備も取り組んでいる。日本は比較的銅、鉛・亜鉛鉱床が多い国であり、それらのほとんどは火山性塊状硫化物鉱床（黒鉛鉱床や別子型鉱床など）、熱水性鉱脈型鉱床、スカルン鉱床に分類される。銅、鉛・亜鉛鉱床の総数は、大規模なものであれば数百程度であるが、小規模な

ものも含めると数千に登ると推定される。過去には、「日本鉱産誌」、「日本の鉱床総覧」、「日本地方鉱床誌」といった文献によって各鉱床の分布や特徴が記録されていたが、鉱床の位置を特定するのが困難なものも多く、また、これらの資料にも含まれていない鉱床も存在する。一方で、明治期の地質図や地方土木地質図にも銅、鉛・亜鉛鉱床の位置が記されているが、位置情報が曖昧なものも少なくなく、また鉱床名が不明なものも多い。これらの鉱床の分布域は前述した日本鉱産誌による分布域とほぼ一致しているため、重複している情報が多いものと考えられる。近年、このような鉱床の情報を網羅した資料は公表されておらず、本研究に置いて銅、鉛・亜鉛鉱床の位置、鉱床名、鉱種などの情報を含めたデータベースの作成を行っている。本データベースは将来の国内鉱床探査や自然由来の土壤汚染の判断などに活用できる。

3. グループの研究体制

鉱物資源研究グループは、以下の体制で研究を実施している。

星野美保子	（研究グループ長）
実松健造	（上級主任研究員）
昆 慶明	（主任研究員）
荒岡大輔	（主任研究員）
網澤有輝	（主任研究員）
左部翔大	（研究員）
天谷宇志	（研究員）
長澤 真	（研究員）
生田目千鶴	（テクニカルスタッフ）
徳本明子	（テクニカルスタッフ）
宮腰久美子	（テクニカルスタッフ）
阿川友紀子	（テクニカルスタッフ）
佐野綾子	（テクニカルスタッフ）
高橋真弓	（テクニカルスタッフ）
松井恵子	（テクニカルスタッフ）
山崎陽生	（リサーチアシスタント）

4. 最近の主な研究成果（2023年以降）

- Amagai, T., and Kurosawa, M. (2023). Granitic - melt and carbonic - fluid inclusions in diopside megacrysts from ankaramitic basalt dikes at Kamisano, Yamanashi prefecture, northeastern Japan. *Resource Geology*, 73(1), e12324.
- Agangi, A., Hofmann, A., Echigo, T., Bolhar, R., Araoka, D., et al., (2025) The use of combined C-Mg isotope compositions of carbonates from orogenic Sb-Au deposits as a tracer of fluid interaction with sea-floor altered crust, *Chemical Geology*, 673, 122442.
- Araoka, D., Itano, K., Simandl, G.J., Paradis, S., and Yoshimura, T. (2025) Discrimination of

- carbonatite and Mississippi Valley-type deposits by partial least squares-discriminant analysis of trace elements and Mg isotope compositions in dolomite, *Journal of Geochemical Exploration*, 278, 107811.
- 荒岡大輔, 吉村寿紘, 中島 礼 (2024) パレオパラドキシア瑞浪釜戸標本産地から産出した貝化石のストロンチウム同位体年代 (予察), 瑞浪市化石博物館研究報告, 50, 13-16.
- Dekov, V., Yasuda, K., Kamenov, G., Yasukawa, K., Guéguen, B., Kano, A., Yoshimura, T., Yamanaka, T., Bindi, L., Okumura, T., Asael, D., Araoka, D., and Kato Y. (2023) Mn-carbonate deposition in a seafloor hydrothermal system (CLAM field, Iheya Ridge, Okinawa Trough): Insights from mineralogy, geochemistry and isotope studies, *Marine Geology*, 460, 107055.
- Furusho, A. et al. (2024) Enantioselective three-dimensional high-performance liquid chromatographic determination of amino acids in the Hayabusa2 returned samples from the asteroid Ryugu, *Journal of Chromatography Open*, 5, 100134.
- Hassan, H., Kaavera, J., Imai, A., Yonezu, K., Tindell, T., Sanematsu, K. and Watanabe, K. (2024) Cu-Au-Platinum Group Element Mineralization in the Mbesa Prospect, Southern Tanzania: Unconventional Magmatic Sulfides. *Economic Geology*, 119(3), 643-664.
- Kosaku, Y., Tsunazawa, Y., and Tokoro, C. (2023) A coarse grain model with parameter scaling of adhesion forces from liquid bridge forces and JKR theory in the discrete element method, *Chem. Eng. Sci.*, vol. 268, 118428.
- Miyajima, Y., Araoka, D. et al. (2023) Lithium isotope systematics of methane-seep carbonates as an archive of fluid origins and flow rates, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 361, 152-170.
- Moshi, M. C., Watanabe, Y., Boniface, N., Tsujimori, T., Tupaz, C., Araoka, D., Aoki, S., and Mshiu, E. E. (2024) Petrological, geochemical and mineralogical characteristics of Wigu Hill Carbonatite, Uluguru Mountains, Tanzania: insights into carbonatite evolution and REE mineralization, *Mineralium Deposita*.
- Nagasawa M., Shimizu Y., Yamaguchi A., Tokunaga K., Mukai H., Aoyagi N., Mei H., and Takahashi Y. (2024) Interpretation of vertical migration and enrichment processes of rare earth elements (REEs) in ion-adsorption-type mineralization in Japan based on REE speciation analyses, *Chemical Geology*, 670, 122431.
- Nitzsche, K. N., Yoshimura, T., Ishikawa, N. F., Kawahata, H., Ogawa, N. O., Suzuki, K., Araoka, D., and Ohkouchi, N. (2024) Zinc isotope fractionation during the sorption of Zn to minerals and organic matter in sediment cores affected by anthropogenic pollution, *Applied Geochemistry*, 169, 106047.
- Satori, S., Kon, Y., Watanabe, Y., Ogata, T., Echigo, T., and Aoki, S. (2025) Contribution of magma mixing to hydrothermal Cu mineralization: Evidence from the Arakawa area, Akita, Japan, *Ore Geology Reviews*, 186, 106862.
- Tsunazawa, Y., Tokoro, C., Ando, Y., Nakamura, T., Tsukimi, R., and Miyatake, N. (2023) Applicability of gravity separation to recycling biodegradable plastics, *J. Chem. Eng. J.* 56(1), 2215269.
- Tsunazawa, Y., Kosaku, Y., Kamo, R., Miyazawa, R., Nishina, Y., Tokoro, C., DEM study on investigation of wet particle conveying efficiency in an inclined belt conveyor system, *Advanced Powder Technology* 35 (2024) 104555
- Tsunazawa, Y., Soma, N., Iijima, M., Tatami, J., Mori, T., Sakai, M., Validation study on a coarse-grained DEM-CFD simulation in a bead mill, *Powder Technology* 440 (2024) 119743.
- Yoshimura, T., Araoka, D., Yamanaka, T., Mousa, N., Okumura, T., Makita, H., and Dekov, V.M. (2025) Stable isotope systematics of Mg, Sr, and Li in hydrothermal fluids and hypersaline lake brines in the East African continental rift (Djibouti), *Geofluids*, 2025, 5566477.
- Yoshimura, T., Araoka, D., Naraoka, H. et al. (2024) Breunnerite grain and magnesium isotope chemistry reveal cation partitioning during aqueous alteration of asteroid Ryugu, *Nature Communications*, 15, 6809.
- Yoshimura, T., Takano, Y., Naraoka, H., Koga, T., Araoka, D. et al. (2023) Chemical evolution of primordial salts and organic sulfur molecules in the asteroid 162173 Ryugu, *Nature Communications*, 14, 5284.
- Xiao, J., Zhao, Z., Bouchez, J., Ma, X., Pogge von Strandmann, P. A. E., Araoka, D., Yoshimura, T., Hossain, H. M. Z., Kawahata, H., and Jin, Z. (2023) Geothermal input significantly influences riverine and oceanic boron budgets, *Earth and Planetary Science Letters*, 621, 118397.
- Zeichner, S. S. et al. (2023) Polycyclic aromatic hydrocarbons in samples of Ryugu formed in the interstellar medium, *Science*, 382, 1411-1416.

地圏資源化学研究グループの紹介

Introduction of the Geo-Resources Chemistry Research Group

研究グループ長：森本 和也

Leader, Geo-Resources Chemistry Research Group:

Kazuya Morimoto

e-mail: kazuya.morimoto@aist.go.jp

<https://unit.aist.go.jp/georesenv/geochemi/>

1. グループの研究目的

地圏資源化学研究グループは、産総研の第6期中長期目標期間がスタートする機に地圏資源環境研究部門においても組織再編の検討が行われ、新たな研究グループとして2025年4月に発足した。産総研第6期中長期目標では、「社会課題の解決と我が国の産業競争力強化に貢献するイノベーションの連続的創出」が法人のミッションとして掲げられている。様々な社会課題がある中で、地圏資源環境研究部門の研究グループとして、とりわけ「エネルギー・環境・資源制約への対応」に貢献する研究開発成果を創出することを目的としている。また、地圏資源環境研究部門の本年度重点課題である「非金属資源」に係る研究開発を推進する。

地圏資源化学研究グループでは、ベントナイト・カオリン・珪砂等の非金属鉱物、リン・炭素等の非金属元素、天然ガス・熱水等の地圏流体といった資源を主な対象として、成因調査や資源ポテンシャル評価、資源回収や利用技術の開発に資する研究を行っている。研究開発においては、地球化学的・鉱物学的な解析だけでなく、溶液化学や材料化学等の手法も用いて、化学的な研究アプローチによって非金属資源の利活用を推進していく。また、産総研CCUS実装研究センターCO₂地中貯留研究チームとの連携で、CO₂の貯留・固定に資する研究開発にも貢献する。

2. グループの研究体制

地圏資源化学研究グループは、以下の体制で研究を実施している（2025年10月現在）。

森本 和也

佐々木 宗建

三好 陽子

須田 好

西木 悠人

鈴木 正哉（兼務、地圏資源環境研究部門）

児玉 信介（兼務、地質調査総合センター研究企画室）

藤井 孝志（兼務、CCUS実装研究センターCO₂地中貯留研究チーム）

西山 直毅（兼務、CCUS実装研究センターCO₂地中貯留研究チーム）

宮原 英隆（招聘研究員）

濱崎 聡志（テクニカルスタッフ）

万福 和子（テクニカルスタッフ）

黒澤 暁彦（派遣職員）

高橋 裕太郎（産学官制度来所者）

3. 研究活動の概要

3.1. 非金属鉱物を対象とした研究

粘土鉱物資源の活用促進に資する研究として、放射性廃棄物処分場において遮蔽材として利用されるベントナイトの性能評価に関する研究を実施している。また、ベントナイトの主成分であるスメクタイトの溶解に関する実験的研究として、溶解速度が未知なスメクタイトを対象にフロースルー実験を実施し、実験的に求めた速度論的パラメータを様々な地球工学的な分野で活用することを目指している。

3.2. 非金属元素を対象とした研究

非金属鉱物材料の資源循環や環境浄化技術への利用に関する研究として、特に未利用リン資源からリンを効率的に回収して利用する技術の開発に取り組んでいる。リン吸着能を有する鉱物材料の合成法の検討や、新たなリン回収法の開発を行っている。また、産業プロセスから排出される燃焼排ガスや有機物質の生物分解で発生するガスに含まれる比較的低濃度の二酸化炭素を対象にした吸脱着能を有する鉱物材料の開発にも取り組んでいる。

3.3. 地圏流体を対象とした研究

「蛇紋岩化反応系」において見られる特異な反応プロセスや、それに伴う生成物の消費・移動・集積過程の解明を目指し、野外調査や地球化学分析（ガス組成、安定同位体比、水の化学組成）を中心に行っている。また、岩石-熱水反応による有機物合成反応や嫌気性微生物代謝反応の解明を目的として、有機酸の炭素安定同位体トレーサー分析法の開発と応用にも取り組んでいる。

4. 主な研究予算

研究予算としては、産総研運営費交付金「地圏資源化学の研究」に加えて、以下のような外部予算プロジェクト等に参画している。

- ・受託研究「施設園芸等における再生可能エネルギーを活用した循環システムの構築」（福島国際研究教育機構「福

島国際研究教育機構における農林水産研究の推進」委託事業：代表)

- ・受託研究「製造業分野で重要な高純度リンマテリアルの循環利用技術開発」(NEDO 先導研究プログラム／新技術先導研究プログラム／新産業・革新技術創出に向けた先導研究プログラム：分担)
- ・受託研究「水素生成可能な岩石の探索と増進を踏まえた評価に係る研究開発」(NEDO 先導研究プログラム／フロンティア育成事業：分担)
- ・助成金「蛇紋岩に関連する炭化水素の成因解明：岩石内分布を考慮した化学形態別の炭素分析」(科学研究費若手研究：代表)
- ・助成金「蛇紋岩熱水系深部 - 無水マントル境界における非生物的炭化水素合成に関する実験的研究」(科学研究費基盤研究 A：分担)
- ・助成金「粘土ナノシート／ポリマー界面相互作用のマルチスケール解析と熱酸化劣化機構の解明」(科学研究費基盤研究 B：分担)

また、民間企業との共同研究や技術コンサルティングを実施している。

5. 主な研究成果

[査読付き論文]

Yuki Naganawa, Kei Sakamoto, Akira Fujita, Kazuya Morimoto, Manussada Ratanasak, Jun-ya Hasegawa, Masaru Yoshida, Kazuhiko Sato, Yumiko Nakajima (2025) One-Step Esterification of Phosphoric, Phosphonic and Phosphinic Acids with Organosilicates: Phosphorus Chemical Recycling of Sewage Waste, *Angewandte Chemie International Edition*, **64**, e202416487.
<https://doi.org/10.1002/anie.202416487>

Hajime Sugita, Kazuya Morimoto, Takeshi Saito, Junko Hara (2025) As(III) Removal via Combined Addition of Mg- and Ca-Based Adsorbents and Comparison to As(V) Removal via Those Mechanisms. *Sustainability*, **17**, 757.
<https://doi.org/10.3390/su17020757>

Hajime Sugita, Kazuya Morimoto, Takeshi Saito, Junko Hara (2025) Simultaneous Arsenic and Fluoride Removal from Contaminated Water Using Powder Reagents of CaO, Ca(OH)₂, and

CaCO₃ as Calcium-Based Adsorbents. *Sustainability*, **17**, 7718.

<https://doi.org/10.3390/su17177718>

Jaeguk Jo, Toshiro Yamanaka, Youko Miyoshi, Masaya Suzuki, Yoshihiro Kuwahara, Isao Kadota, Hitoshi Chiba, Bum Han Lee (2025) Nitrogen Distribution and Nitrogen Isotope Fractionation in Synthetic 2:1 Phyllosilicates under Hydrothermal Conditions at 200 °C and Saturated Vapor Pressure, *Applied Geochemistry*, **187**, 106403.

<https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2025.106403>

[特許]

鈴木正哉, 森本和也, 万福和子, 堀 峰也, 山崎雄貴, 吉田卓正, 「水蒸気吸着材を担持した除湿・結露防止部材及び該除湿・結露防止部材の製造方法」, 特許第 7598120 号, 登録日：2024 年 12 月 3 日。

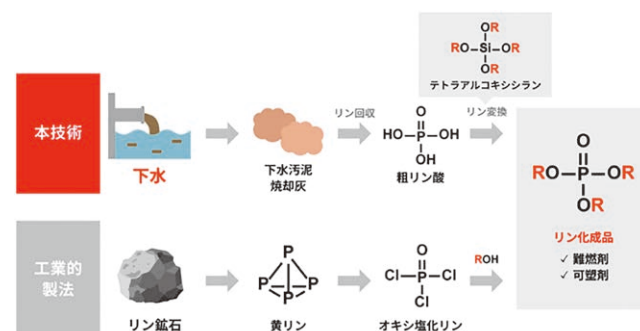
鈴木正哉, 森本和也, 万福和子, 堀 峰也, 吉田卓正, 山崎雄貴, 「水蒸気吸着材, 除湿剤, 及び結露防止剤」, 特許第 7606687 号, 登録日：2024 年 12 月 18 日。

森本和也, 鈴木正哉, 万福和子, 「園芸用施設の除湿および加温システム」, 特許第 7728582 号, 登録日：2025 年 8 月 15 日。

このほか特許出願 3 件 (未公開)

[プレスリリース]

「下水汚泥焼却灰からリン化成品を製造－リン酸を直接的にトリエステルへ変換できるケミカルリサイクル技術を開発－」, 発表・掲載日：2024 年 12 月 4 日。



開発したリン酸の直接的エステル化技術と従来の工業的製法
https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2024/pr20241204/pr20241204.html

地下水研究グループの紹介

Introduction of the Groundwater Research Group

研究グループ長：吉岡 真弓

Leader, Groundwater Research Group: Mayumi Yoshioka

e-mail: yoshioka-mayumi@aist.go.jp

http://unit.aist.go.jp/georesenv/gwrg/index.html

1. グループの研究目的

地下水研究グループでは、我が国が直面している「エネルギー・環境・資源制約」という社会課題の解決に向けたGXへの変革に貢献すべく、その基盤となり得る自然資本としての“地下水・水環境の保全・利用・管理”に資する研究開発を実施している。主な業務として、国の知的基盤整備の一環としての「水文環境図」の作成を基軸として、地域の地下水の資源・環境に関する情報を取りまとめ公開している。また、高レベル放射性廃棄物等の地層処分にかかる沿岸部の深層地下水の評価技術の高度化に向けた研究を実施している。さらに、ネイチャーポジティブ技術実装研究センターや再生可能エネルギー研究センター・地中熱研究チームと連携し、自然資本としての地下水を含む水環境の評価や、熱資源としての地下水の利活用など、多角的かつ分野融合を見据えた研究にも力を入れている。これらの経常的な研究課題を通して、看板性の強化、知的基盤整備の加速化、研究シーズの創出に関わる研究などを推進している。研究対象地域は、日本国内のみならず、CCOP（東・東南アジア地球科学計画調整委員会）などの国際活動などを通じて海外にも広がっている。

2. 各研究項目の内容

2.1. 地下水の地図「水文環境図」の作成

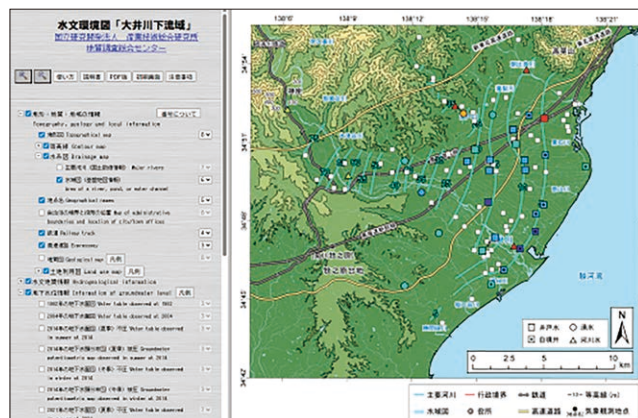
産業技術総合研究所法第三章において定められている業務、「地質の調査」の1つである知的基盤情報整備の一環として、「水文環境図」を作成している。水文環境図は、町田ほか（2010）の編集指針に沿った、全地域で調査・掲載する統一情報に加え、地域ごとのユーザーが必要とするローカル情報を分かり易く盛り込んだ、「地下水の地図」である。地下水流動（巨視的な地下水の動き）や地下水質は目に見えないが、その特徴には地域性がある。そのため、地下水に関連する過去のデータや水理地質、その地域の経済発展（土地利用など）を丹念に調べ、また、不足する地下水のデータに関しては新たな調査を行うことで、その全体像を解釈・把握し、水文環境図としてWeb上で誰もがアクセスできる形で公開している。

現在公開している水文環境図は、2025年9月末の段階で12地域である。最近では、2024年3月にNo.15「大井川下流域」を公開した。なお、2025年度には、No.1「仙台平野（第2版）」を公開予定である。また、その他の地域についても、「沖縄地域（仮）」の取りまとめを進めており、「京都盆

地」「松本盆地」に関しても引き続き調査を継続している。

水文環境図は、2001年に産業技術総合研究所地質調査総合センターとなって以降、20年以上にわたり作成・公開されてきた。その前身の旧地質調査所時代には「日本水理地質図」が作成されており、その成果は紙媒体（一部はラスターデータ）として、GSJのWebページから販売・公開されている。2021年以降、これら紙媒体の水理地質図のベクトルデータ化（Keyhole Markup Language: KML, KMZ化およびシェープファイル化）を引き続き進めている。

また、水文環境図と共に、当グループでは「全国水文環境データベース」を公開している。このデータベースでは、水文環境図を中心に、これまでに収集された地下水、湧水、河川水の水質・水温等のデータを、全国統一の凡例で閲覧および比較できる。現在、このデータベースのデータ更新および同位体データの拡充を進めている。



「水文環境図 No.15 大井川下流域」の例

2.2. 沿岸部の深層地下水研究

原子力発電所から出た放射性廃棄物の処分方法の1つとして、廃棄物を地下深部の地層中に閉じ込めてしまう地層処分がある。地層処分においては、廃棄体近傍の人工バリアと周辺地盤の天然バリアから複合的に多重バリアが形成されると考えられている。2017年には経済産業省資源エネルギー庁から「科学的特性マップ」が公開され、好ましい範囲の要件・基準の1つとして沿岸部（海岸からの距離が20km以内目安）が挙げられており、沿岸部における深層地下水研究のさらなる進展が求められている。

本件にかかる研究として、地下水研究グループでは20年程前から九十九里海岸や茨城県東海村などの沿岸部にて調査を行ってきた。平成19年度からは物理探査研究グループ

と連携し、北海道天塩郡幌延町にて、ボーリング調査と物理探査の両面から陸海接合部の深層地下水の実態把握に係る研究を実施した。その結果、沿岸海域の地下深部には氷河期を越えた長期的に安定した地下水塊が存在することを発見した。平成31年度～令和5年度には、電力中央研究所ならびに原子力環境整備促進・資金センターと共同で「沿岸部処分システム評価確証技術開発」事業に取り組んだ。本事業では、陸域地下水の流れが速い富士山地域、特に駿河湾沿岸において、塩淡水境界（沿岸部の地下に形成される淡水系地下水と塩水系地下水の境界帯）とその深部での塩水系地下水の挙動に焦点を当てた研究を行い、沿岸部での大深度ボーリング調査技術の体系化や沿岸部深部の地下水年代分布を明らかにした。令和6年度からは4年間の委託事業として、電力中央研究所、原子力環境整備促進・資金センターおよび日本原子力研究開発機構と共同し、「沿岸部地質環境調査・処分システム評価統合化技術開発」事業を進めている。本事業では、沿岸海底特有の地質環境を含めた施設設計と安全評価技術を統合しうる処分システム構築に向けた技術の高度化を目指す。当グループでは、日本全国の沿岸域地下水環境の類型化および塩淡水境界深部における塩水系地下水の流動評価技術・海底湧水調査技術の高度化に取り組んでいる。

2.3. 地下水に関する研究

前述の主要な研究テーマ以外においても、外部機関や他領域と連携し、様々な研究テーマに取り組んでいる。沿岸－海洋を通じた各種の環境問題に対し、現地での地下水や海底湧水、地表水のサンプリング・分析を行い、地下水質・流動と地形地質の関係や人間由来の硝酸態窒素やリンなどの起源追跡に関する調査・研究を実施している。また、大学と共同で、断層帯周辺の地下水流動に関する調査技術開発に関する研究や、豪雨や地震等によって発生する斜面崩壊による地形変化が地下水水質に与える影響評価に関する研究、地中熱利用評価のための地盤の熱物性に関する研究、地

下水の経済価値の評価方法に関する研究、坑廃水問題の解決に資するための鉱山地域での水文調査、などがある。海外機関では、タイ王国・地下水資源局と水資源管理技術の開発に関する連携を進めている。

これらの他にも、水循環基本法の制定を受け、流域水循環計画策定等に向けた自治体関係者との協働や、地下水資源の持続的な利用や保全・管理に関する講演・講義等を行い、我が国の地下水利用・管理に資する活動を継続している。

3. グループの研究体制

吉岡 真弓	（グループ長）
井川 怜欧	（上級主任研究員）
小野 昌彦	（主任研究員）
石橋 未来	（研究員）
中島 善人	（招聘研究員）
塚本 斉	（招聘研究員）
鶴 哲郎	（招聘研究員）
木方 建造	（産学官制度来所者）
菅谷 裕行	（テクニカルスタッフ）
松浦 綾子	（テクニカルスタッフ）
宮崎 桂子	（テクニカルスタッフ）
町田 功	（兼務）*
松本 親樹	（兼務）**
吉原 直志	（兼務）**
飯島 真理子	（兼務）**
冨樫 聡	（兼務）***
シュレスタ ガウラヴ	（兼務）***
石原 武志	（兼務）***
島田 佑太朗	（兼務）***
中山 宏之	（兼務）***

* 地圏資源環境研究部門

** ネイチャーポジティブ技術実装研究センター

*** 再生可能エネルギー研究センター

地圏環境リスク研究グループの紹介

Introduction of the Geo-Environmental Risk
Research Group

研究グループ長：原 淳子

Leader, Geo-Environmental Risk Research Group:

Junko Hara

E-mail: j.hara@aist.go.jp

1. グループの研究目的

地圏環境においては、我々人間活動に伴い、重金属類や難分解性有機化合物、新規有害物質、マイクロ・ナノプラスチックなど多岐にわたる汚染問題が発生している。一般的に、土壌・地下水汚染など地圏環境における化学物質の挙動は目に見えるものではなく、土壌への吸脱着、自然触媒機能や微生物による分解、雨水涵養による希釈など様々な現象が複合的に作用しながら変動している。そのため、汚染物質の輸送経路や環境中での蓄積性について、土壌への吸脱着、自然触媒機能や微生物による分解、動態、雨水涵養による希釈など様々な現象を定量的に把握し、評価していくことが重要となる。さらに、土壌・地下水環境中へ放出されたこれらの化学物質が生態系やヒトへ及ぼす影響はリスク管理の観点から化学物質の動態と共に取り組むべき課題である。

また、わが国の土壌汚染の7-8割を占める重金属類に関しては、汚染源の特定や汚染発覚時において、地域ごとの自然由来重金属類のバックグラウンド情報が不可欠となっている。

このような背景から、当グループでは、

①地圏環境リスクの研究

②環境調和型汚染土壌対策・浄化技術の開発

③土壌汚染にかかわる基盤情報の整備と公開

の3つの研究課題を柱に、各種調査・研究活動を実施している。

2. 各研究項目の概要

2024年度末-2025年度にかけて、地圏環境リスク研究グループは当部門ミッション、外部研究助成金、技術コンサル等含め、上記3つの研究課題に対して各要素研究に取り組んできた。

以下では、要素研究の実施概要および成果を報告する。

2.1. 地圏環境リスクの研究

2.1.1. マイクロプラスチックにおける環境汚染物質の吸着・脱離特性評価

マイクロプラスチック（MPs）は、生物体を含む、あらゆる環境中で検出され、近年、地球規模の環境問題に発展している。人間活動で排出される MPs は、海洋に流出するまでの長い滞留時間において、環境汚染物質を高濃度に吸着・濃縮するという報告もある。そこで、特に MPs に対する重

金属類（ヒ素や鉛など）の吸着現象に着目し、その特性を評価した。加えて、紫外線により劣化した MPs に対する、これら重金属類の吸着特性も試行的に検討した。

対象とした主要なプラスチックである、ポリプロピレン、ポリエチレン、ポリ塩化ビニルについては、ヒ素に関して有意な吸着が生じなかった。一方で、鉛では明らかな吸着が認められた。このことは、MPs 表面が負に帯電しているという結果と整合的であり、陽イオンとして存在しやすい鉛が相対的に多く吸着されやすいことが推察された。また、紫外線で劣化した MPs では、特に鉛の吸着量は、顕著に増加する傾向が実験的に明らかになった。

2.1.2. 土壌中ナノプラスチック（NPs）の土粒子への吸着性を評価

NPs の土壌中での移動性の解明を目的に、NPs の土粒子への吸着性の評価を行った。絶対値が大きな負のゼータ電位をもつポリスチレンからなる NPs の場合、正のゼータ電位を有する土粒子には吸着しやすいこと、酸性条件下ではさらにその吸着性が高くなることを明らかにした。また、土粒子にナノプラスチックが吸着することで、土粒子自体が凝集して粒子サイズが大きくなることを確認した。以上から、正のゼータ電位を有する土壌に存在する NPs は、特に酸性条件下において、その場に滞留しやすく移動しにくいと推察された。

2.1.3. 地圏環境における有機フッ素化合物類に関するリスク評価モデルの構築

地圏環境を対象とした PFAS のヒト暴露リスク評価モデル（GERAS）構築とモデル開発を進めた。本年度は、PFAS の中でも法的な規制が懸念される PFOS, PFOA, PFHxS に着目し、先行文献の調査によるシミュレーションに必要なパラメータの取得と、PFAS に対応した GERAS のモデル構築を行い、PFAS のリスク評価を行った。模擬汚染サイトのモデル解析では、表層土壌を4 m、各 PFAS 種の初期濃度を 10 g/kg を設定した。その結果、土壌への吸着特性の違いに起因して PFOS と PFOA のリスクレベルは基準値以下であったが、PFHxS のリスクレベルは最大で基準値の約200倍を示した。以上から、PFHxS が最もリスクが高く、早急な浄化が必要になる結果が得られた。

2.1.4. 持続的な地中熱利用の長期運用を目指した地下熱・地下水環境影響評価

近年、注目されている地中熱利用において、その持続的な利用と発展が強く望まれているが、詳細なモニタリングに基づく原位置での観測例に乏しく、その運用に伴う地下環境への影響は、十分に明らかにされていない。そこで、地中熱利用ヒートポンプシステムの稼働が、地下温度・地下水質に及ぼす影響の評価を目的としたモニタリングを継続している。

これまで、4年間ほどに亘り、通常の稼働条件に近い冷暖房運転、すなわち、夏期には温度一定の冷房運転、冬期には温度一定の暖房運転を行ってきた。その結果、システムの熱源となる地中熱交換器から最も近い、水平距離で1 mの地点において、継続して最大2～3℃程度の温度上昇ならびに温度低下が認められた。これらの温度変化による地下水質への影響は、これまでのところ、特にないと考えられる。

2.1.5. TRWP（タイヤ摩耗粉）からの有害懸念物質の溶出リスクと派生物質の動態解明

現在、タイヤ摩耗粉に含まれる添加剤6PPDに由来する溶出成分の生態毒性の問題が顕在化している。タイヤの添加物には6PPD以外にも複数の添加剤が使用されており、タイヤ成分の水溶出後の安定性および派生物質の定量的な解析を進め、環境中での温度変化、紫外線、オゾン等による溶出量の変化および溶出水中での化学物質の動態を明らかにした。さらに、特定の魚類および植物に対する吸収・毒性評価を進め、国内における環境中への有害物質の放出濃度レベルの検証を実施した。その結果、生態リスクの高い6PPDQは劣化のないタイヤからは検出されず、オゾンおよびUV照射された摩耗粉から検出され、環境中では数週間は減衰せず安定に溶存することが明らかとなった。

2.2. 環境調和型土壌汚染対策・浄化技術の開発

2.2.1. Mg系吸着材及びCa系吸着材の併用添加によるヒ素除去

本研究では、ヒ素（As）除去性能の向上と吸着材からの母材成分の溶出抑制（吸着材の環境安定性の向上）を目的として、Mg系吸着材とCa系吸着材の併用添加によるヒ素As(V)及び亜ヒ素As(III)除去試験を系統的に実施し、それぞれの吸着材を単独で添加した場合の結果と比較した。

As(V)のAs除去率 R_{AS} の中で最も高い値を示したのは、 $MgCO_3 + Ca(OH)_2$ であり、次いで $MgCO_3 + CaO$ であった。As(III)の R_{AS} 値についても、 $MgCO_3 + Ca(OH)_2$ 及び $MgCO_3 + CaO$ は比較的高い値を示したが、MgO単独添加の方が高い値を示した。一方、Mg系吸着材とCaOまたは $Ca(OH)_2$ の併用添加は、Mgの溶出を抑制することが明らかになった。加えて、CaOまたは $Ca(OH)_2$ と $MgCO_3$ の併用添加によってCaの溶出が抑制されることも明らかになった。As(V)及びAs(III)ともに、As除去性能の向上及び母材

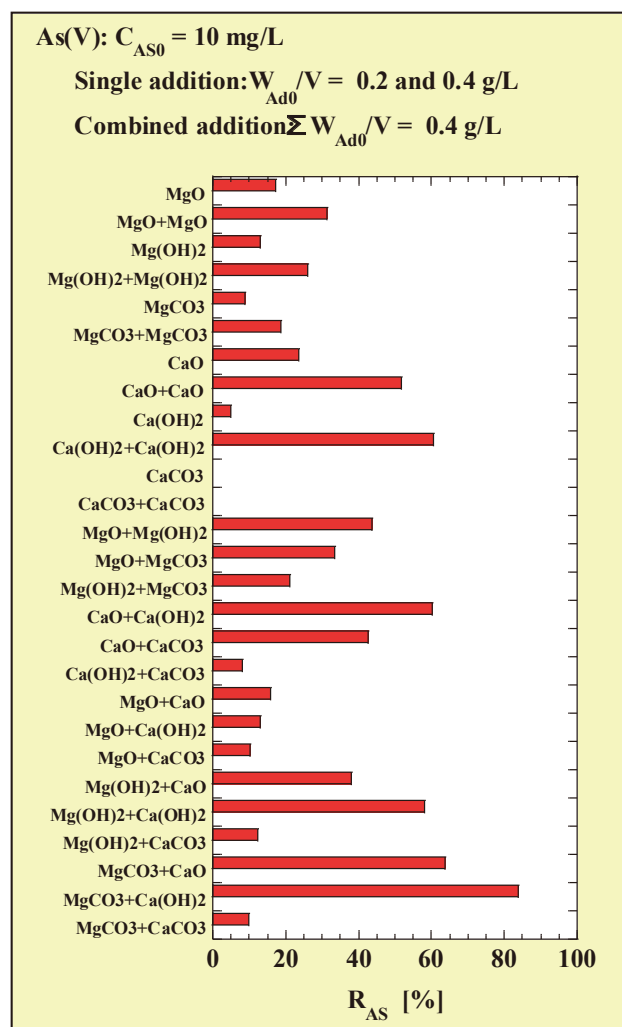


図1 吸着材の組み合わせによるヒ素除去率の比較の一例
 C_{AS0} : 初期ヒ素濃度 [mg/L]
 W_{Ad0}/V : 吸着材添加濃度 [g/L]

成分の溶出抑制の観点から最も顕著な相乗効果が認められたのは $MgCO_3 + Ca(OH)_2$ 及び $MgCO_3 + CaO$ であると評価された。As吸着後、これら2つの併用添加試験で得られた固体サンプルのXRD分析により、 $Mg(OH)_2$ と $CaCO_3$ が生成されたことが確認された。さらに、As(III)またはAs(V)を含むアルカリ溶液を用いた $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 添加試験及び $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O + Na_2CO_3$ 添加試験の結果から、As(V)は $Mg(OH)_2$ と $CaCO_3$ の両方に取り込まれることで、As(III)は主に $Mg(OH)_2$ に取り込まれることで液相から除去されることが解明された。

2.2.2. 上向流カラム通水試験における局所平衡仮定の検証

土壌を含む地盤材料からの有害物質の溶出評価において、局所平衡の仮定は試験結果の利用や試験のロバスト性において重要である。本研究では、2019年にISO 21268-3として規格化された上向流カラム通水試験を対象に、局所平衡仮定を検証するため、約6,000通りのパラメータの組み合わせで数値シミュレーションを実施し、溶出挙動を比較した。その結果、規格範囲内で最長および最短の接触時間条

件で得られる溶出曲線は、幅広い条件において見掛け上同等の形状を示し、試験のロバスト性が示された。一方で、この見掛け上同等の形状は、平衡・準平衡条件に限らず、非平衡溶出の場合にも観察された。これらの結果は、接触時間条件が異なる試験結果の一致をもって平衡到達と解釈する従来の考え方の見直しを促し、平衡溶出を検証する手法の開発の重要性を示すものである。

2.2.3. 有機塩素化合物による汚染土の微生物浄化技術の開発

発がん性の有機塩素化合物による土壌・地下水汚染を微生物により浄化するための研究を行った。昨年度までの研究で浄化期間の短縮化にはメタン生成菌と二価鉄の存在が重要であることを明らかとしてきた。このメカニズムを解明するために、浄化を担う *Dehalococcoides* 属細菌と当該メタン生成菌の単離に向けた培養を行い、それぞれの菌の高度な集積培養系を作製することができた。温度、抗生物質、塩類等の培養条件を変え、これらの菌が増殖するために適した条件を検討した。二価鉄による微生物浄化促進効果は、メタン生成菌の増殖を介した間接的な作用によるものであるという仮説を支持する結果が得られ、浄化メカニズムの解明に向けて一歩前進した。

また、微生物浄化を汚染サイトへ適用することを見据え、2025年度からは土壌粒径をパラメータとしたカラム試験に着手し、土壌構造が微生物浄化へ与える影響を解明するための研究を開始した。

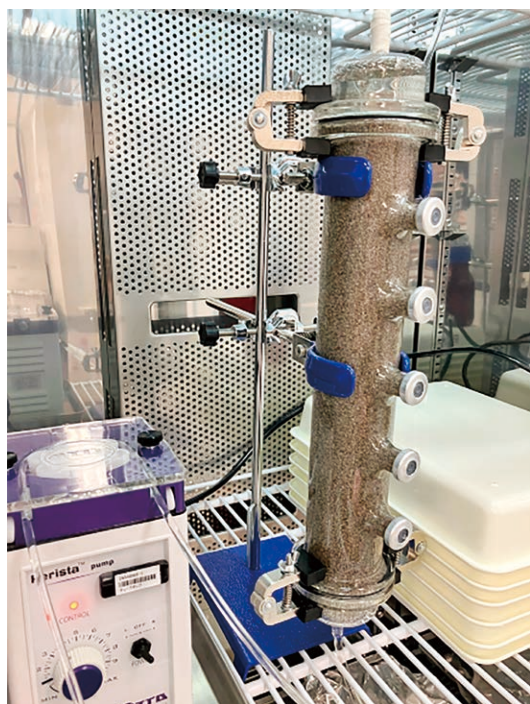


図2 カラム試験の実験風景

2.3. 表層土壌評価基本図の整備

表層土壌は農業や生活環境に与える影響が大きく、表層土壌における鉛やヒ素及びカドミウム等に代表される重金属類の含有量や溶出量、そして調査地域の産業構造と地域

住民のライフスタイルを考慮したリスクを定量的に評価することは、土地の有効利用や産業用地の立地リスク診断、自然起源と人為起源汚染の判別、また自治体等におけるリスクコミュニケーション等に非常に有用である。当研究グループでは、わが国を対象として表層土壌中の重金属類などの分布特性や重金属類のヒトへの健康リスクを評価した表層土壌評価基本図の整備を実施している。2024年度末に中国地方を出版し、プレス発表を行い、2025年度は、近畿地方の出版に向けて必要情報の整備を行った。

3. グループの研究体制

地圏環境リスク研究グループは、以下の体制で研究を実施している。

研究スタッフ：原 淳子（グループ長）

杉田 創

井本由香利

斎藤健志

吉川美穂

土田恭平

名誉リサーチャー：駒井 武

客員研究員：川邊能成

テクニカルスタッフ：花田順子

野島彩友美

深井沙英子

山口亜矢子

山岸有香里

RA：奥山寛太（埼玉大学大学院）

4. 主な研究資金

産総研「運営交付金」のほか、複数の「受託研究」、「共同研究」、「技術コンサルタント」および「科研費・補助金・助成金」などで実施している。

5. 2022年度の主な研究成果

Hajime Sugita, Kazuya Morimoto, Takeshi Saito, Junko Hara (2025) Simultaneous Arsenic and Fluoride Removal from Contaminated Water Using Powder Reagents of CaO , Ca(OH)_2 , and CaCO_3 as Calcium-Based Adsorbents. Sustainability, 17, 7718, <https://doi.org/10.3390/su17177718>

Hajime Sugita, Kazuya Morimoto, Takeshi Saito, Junko Hara (2025) As(III) Removal via Combined Addition of Mg- and Ca-Based Adsorbents and Comparison to As(V) Removal via Those Mechanisms. Sustainability, 17, 757, <https://doi.org/10.3390/su17020757>

Kyohei Tsuchida, Yukari Imoto, Takeshi Saito, Junko Hara, Yoshishige Kawabe (2025) Effect of solution pH on nanoplastic adsorption onto soil

particle surface and the aggregation of soil particles. *Science of The Total Environment*. Vol.975, 178712.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116366>.

Yukari Imoto (2024) Insight into the relationship

between similarity and the degree of equilibrium of contaminant release curves through numerical simulations, *Journal of Contaminant Hydrology*, 267, 104451.

<https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2024.104451>



地圏サステナビリティ評価研究 グループの研究紹介

Introduction of the Geo-Sustainability
Evaluation Research Group

研究グループ長：保高 徹生

Leader, Geo-Environmental Evaluation Research

Group: Tetsuo Yasutaka

e-mail: t.yasutaka@aist.go.jp

<https://unit.aist.go.jp/georesenv/geosustain/>

1. はじめに

当研究グループは、2025年4月1日に地圏環境評価グループから名称を変更し、地圏サステナビリティ評価研究グループとなった。また、組織改編に伴い、研究グループ員のうちの3名が、4月1日に発足したネイチャーポジティブ技術実装研究センターの主務となっている状況である(研究グループ長の保高もネイチャーポジティブ技術実装研究センターの副センター長が主務)。このように多少複雑な状況であるが、地球化学、岩石学・鉱物学、リスク学、社会科学等を専門とする研究者により、地圏サステナビリティに関する研究を進めている。

具体的には、地熱、休廃止鉱山、土壤汚染、福島第一原子力発電所の事故、廃棄物による環境汚染等の環境リスク評価や試験法の開発・標準化、環境回復活動、環境動態評価、コミュニケーション、持続可能性(環境・社会・経済)評価に関する研究を実施している。

これらの研究課題に関して、研究機関としての価値ある研究成果を上げる(論文、学会発表、特許)のみならず、標準化や実用化を見据えた産総研外部からの要請への対応、精度の高い研究成果情報の発信・普及等を推進することを基本理念としている。

2. 研究活動の概要

(1) 持続可能な開発と環境管理に関する研究

福島第一原子力発電所事故後に実施された環境除染由来の放射性物質を含む除去土壌と廃棄物の福島県外最終処分場の社会受容性に関する研究を環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF22S20930, JPMEERF20251001)により推進した。具体的には、オンラインインタビュー調査や郵送法アンケートの解析により、福島県外最終処分場政策に対する市民の意見を形成する要因や、社会受容性への影響要因を、手続き的公正や保護価値、福島への慮りに着目して解析した(Takada et al.(2025a); Murakami et al.(2025); 村上ら(2025))。また、オンラインアンケートの解析により、低放射能濃度の除去土壌は、最終処分の対象とするより、広域公園等として再生利用する方が、社会的受容が高くなる事を明らかにした(高田ら(2025))。ほか、除去土壌等の最終処分場の社会受容性への、信頼、便益認知、リスク認知といった影響要因が、高レベル放射性物質の廃棄物処分場や産業廃棄物の処分場とどのように異なるかを解析した(Takada et al.(2025b))。そのほか、福島第一原

子力発電所と現在除去土壌等が保管されている中間貯蔵施設の立地自治体で開催された住民懇談会の議事録を定量テキスト解析し、避難中の住民を含めた市民の関心の時間的変化明らかにした(Fujii et al.(2025))。福島県双葉町下羽鳥地区において地域の記憶と記録を残す大字誌を作成した。

さらに、放射線防護の観点から放射線の耐用性を議論するうえで必要ながんリスクのベンチマークを整理した(Hirouchi et al.(2025))。

また、休廃止鉱山に関する研究として、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導入実証事業」や民間事業者と連携を進め、マンガン酸化菌を用いたパッシブトリートメント技術の開発、遠隔モニタリング技術の開発を進めている。マンガン酸化菌を用いたパッシブトリートメントに関しては、現場実証プラントを継続し、メカニズム解明、さらにスケールアップの課題整理を実施した。休廃止鉱山における遠隔モニタリング技術はすでに7鉱山で導入済みである。

(2) 土壤汚染等に関する標準化研究

吸着層工法に用いられる吸着材の性能評価方法の標準化を推進し、JSAの公募に採択された後、JIS原案作成委員会を組織し、標準化に関する議論を進め、JIS原案をJSAに提出した。具体的には、JIS A 1291-1「吸着層工法における吸着性能の試験方法第1部：バッチ試験」およびJIS A 1291-2「吸着層工法における吸着性能の試験方法第2部：カラム試験」が公開された(日本規格協会,(2025))。また、公開されたJISの概要およびJISの制定に向けたプロセスを学会発表で紹介した(西方ら,(2025a))。さらに、試験の標準化に際し、複数機関による吸着材の性能評価試験の室間精度および室内精度評価試験が実施された(西方ら,(2025b))。くわえて、バッチ吸着試験を実施する際に試験溶液に含まれる共存イオンが吸着性能に与える影響を評価するため、試験溶液の溶媒に土壌抽出液を用いたバッチ吸着試験を実施し、結果を整理した(Nishikata et al., (2025), 西方ら,(2025c), 西方ら(2025))。

3. グループの研究体制

1) 研究グループ員(令和7年10月1日現在)

保高徹生*

リスク評価

最首花恵

地球化学、地熱

西方美羽 無機地球化学
 高田モモ* リスク評価, 社会受容性評価
 Tum Sereyroith* 鉱山, ネイチャーポジティブ
 * ネイチャーポジティブ技術実装研究センターが主務

リサーチアシスタント

佐々木大記
 武田理熙

テクニカルスタッフ

- ・ 五十嵐順子
- ・ 片山寛子
- ・ 金井裕美子
- ・ 肝付宏実
- ・ 田畑卓哉
- ・ 藤井和美
- ・ 藤井新子
- ・ 藤田 司
- ・ 佐山友香

派遣職員

中村洋行

4. 最近の主な研究成果・引用文献

【国内標準】

- JIS A 1291-1, 吸着層工法における吸着性能の試験方法
 第1部: バッチ試験, 2025
 JIS A 1291-2, 吸着層工法における吸着性能の試験方法
 第2部: カラム試験, 2025

【主な査読付き論文】

- Fujii, S.; Takada, M.; Yasutaka, T., Post-accident changes in the interests of residents of a municipality near the Fukushima Daiichi nuclear power station: text analysis of residents' town meeting minutes. Radioprotection2025, 60 (2), 186-194.
 Hirouchi, J.; Kujiraoka, I.; Takahara, S.; Takada, M.; Schneider, T.; Kai, M., Comparison of radiation-related cancer risk against baseline cancer rates in 33 countries using disability-adjusted life years (DALYs), lifetime incidence risk and lifetime mortality risks. J. Radiol. Prot.2025, 45 (1).
 Murakami, M.; Takada, M.; Shibata, Y.; Shirai, K.; Ohnuma, S.; Yasutaka, T., Exploring the differences and influencing factors between top-down and opinion-reflective approaches regarding public acceptance of final disposal of soils removed after the Fukushima nuclear accident. Radiat. Prot. Dosim.2024, 200 (16-18), 1514-1518.
 村上道夫; 高田モモ; 柴田侑秀; 白井浩介; 大沼進; 保高徹生, 決定木分析による除去土壌等の最終処分場受け入れ要因の解析. リスク学研究2025, 35 (2), 73-82.
 Takada, M.; Murakami, M.; Ohnuma, S.; Shibata, Y.;

Yasutaka, T., Public perception and underlying values regarding final disposal of radioactively contaminated soil from a large nuclear accident. Environ. Manage.2025a.

高田モモ; 三成映理子; 松本親樹; 岩崎雄一; 鈴木 薫; 保高徹生, 除去土壌の再生利用と最終処分: 社会受容への影響の比較. 環境放射能除染学会誌2025, 13 (2), 33-44.

Takada, M.; Suzuki, K.; Shirai, K.; Yasutaka, T., Public perceptions of radioactively contaminated waste resulting from environmental decontamination efforts after a large nuclear accident: a comparison with high-level radioactive waste and industrial waste. J. Radiol. Prot.2025b, 45 (3), 031521.

西方美羽, 加藤智大, 森本和也, 井本由香利, 高田モモ, 勝見 武, 肴倉宏史, 乾 徹, 保高徹生, 吸着層工法における吸着材の性能評価手法の標準化: JIS A 1291の制定とその検討経緯, 資源・素材2025 (札幌) 論文集, 2025a

西方美羽, 加藤智大, 森本和也, 井本由香利, 高田モモ, 勝見武, 肴倉宏史, 乾 徹, 保高徹生, 吸着層工法に用いられる吸着材の性能評価試験法 (JIS-A1291-1) の室内・室間精度評価, 第16回環境地盤工学シンポジウム論文集, 2025b

Miu Nishikata, Yohey Hashimoto, Kazumi Fujii, Tomohiro Kato and Tetsuo Yasutaka, Fluoride Sorption Performance of a Layered Double-Hydroxide-Based Adsorbent Using Soil Extract Solution as the Solvent, Minerals 2025, 15(9), 937

西方美羽, 藤井和美, 加藤智大, 保高徹生, 土壌抽出液を用いたバッチおよびカラム吸着試験における見掛けの分配係数の違い, 第60回地盤工学研究発表会論文集, 2025c

西方美羽, 藤井和美, 加藤智大, 保高徹生, 土壌抽出液を溶媒としたバッチ吸着試験による吸着材の性能評価, 第30回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会, 2025d

【受賞】

第13回環境放射能除染研究発表会 優秀口頭発表賞: 受賞者: 武田 理熙, 高田 モモ, 村上 道夫, 白井 浩介, 大沼 進, 柴田 侑秀, Thierry SCHNEIDER, 保高 徹生,
 第30回 地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会 優秀発表賞: 受賞者: 武田 理熙, 高田 モモ, 村上 道夫, 白井 浩介, 大沼 進, 柴田 侑秀, Thierry SCHNEIDER, 保高 徹生,
 第13回環境放射能除染研究発表会 優秀ポスター発表賞
 「除去土壌等の最終処分の社会受容性への影響因子: 高レベル放射性廃棄物と産業廃棄物との比較
 受賞者高田 モモ, 保高 徹生, 鈴木 薫

生物地球科学研究グループの紹介

Introduction to the Biogeoscience Research Group

研究グループ長：眞弓 大介

Group Leader: Daisuke Mayumi

E-mail: mayumi-daisuke@aist.go.jp

<http://unit.aist.go.jp/georesenv/geomicrob/>

1. グループの研究目的

「微生物学」と「地球化学」の知見を融合し、地下深部における生命活動や物質循環の解明を目指す。特に、地下微生物群集の代謝とその天然ガス生成・酸化への関与を探り、資源循環や気候変動緩和に資する知見を創出する。さらに、同位体挙動を利用した探査・モニタリング技術や環境修復、再生可能エネルギー利用などの応用研究にも取り組み、学術的成果と社会実装の両立を目指す。

2. グループの特色

地質学・地球化学・微生物学などを融合する学際的アプローチで、化学分析、同位体分析、嫌気微生物培養、遺伝子解析、生化学分析、電気化学分析を駆使し、地下微生物群集の機能や物質循環を多角的に解明する。さらに、産総研の総合力と国内外の研究機関や企業との連携を通じ、基礎科学の進展と社会課題解決の双方に資する新たな知見と技術の創出を目指す。

3. 令和6年度後期～7年度前期の主な研究成果 天然ガスの資源量評価や探査に資する同位体地球化学の新知見

地下に生息するメタン生成古細菌（以下「メタン菌」）が、熱分解起源の天然ガスの「指標」を生物起源のものに変えてしまうことを発見した。これにより、これまでの天然ガスの起源や資源量に関する情報が大きく変わる可能性があり、これまで見落とされていた新たな天然ガス鉱床の発見につながることを期待される。

天然ガスの主成分であるメタンがどこでどのように作られているのかを理解することは、地球全体の天然ガス資源量を評価するために重要である。これまで、メタンの生成起源を見分けるために「安定同位体シグナル」が重要な指標として使われてきた。しかしこの識別法は、地下でメタン菌が作る生物起源メタンの安定同位体シグナルを実験室でのメタン菌培養では再現できないという、半世紀近く解決されていない大きな問題を抱えていた。今回、地下の環境を忠実に模擬可能な高圧培養装置を開発したことで、世界で初めて、地下で作られる生物起源メタンの安定同位体シグナルを実験的に再現することに成功した。さらに本研究では、熱分解起源メタンがメタン菌と共存した場合、その安定同位体シグナルがメタン菌によって生物起源のものに上書きされてしまうという驚くべき現象を発見した。この発見は、

熱分解起源メタンの存在量が実際よりも少なく見積もられている可能性と現在推定される天然ガス鉱床の成因を大きく見直す必要性を示す。それにより、天然ガス鉱床の探査方法の再考が促され、今まで見落とされていた新しい天然ガス鉱床の発見につながることを期待される。

参考文献は以下のとおり。

- 1) Mayumi *et al.*, Science, 2024, DOI: 10.1126/science.ado0126
- 2) 産総研ニュース「地下微生物が天然ガスの起源を偽装!？」(https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2024/pr20241220/pr20241220.html)

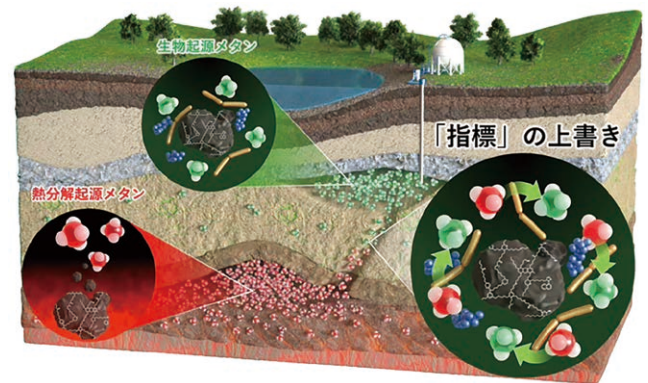


図1 天然ガスの生成起源とメタン菌による指標の上書き

4. グループの研究体制（令和7年度）

4.1. 人員体制

生物地球科学研究グループでは、以下の18人体制で研究を実施している。

眞弓大介	（研究グループ長）
片山泰樹	（上級主任研究員）
金子雅紀	（主任研究員）
朝比奈健太	（主任研究員）
風呂田郷史	（研究員）
小村悠人	（研究員）
石川理美	（テクニカルスタッフ）
篠塚由美	（テクニカルスタッフ）
岩波理恵子	（テクニカルスタッフ）
大原真理	（テクニカルスタッフ）
小林みゆき	（テクニカルスタッフ）
深谷千恵	（テクニカルスタッフ）
前田治男	（客員研究員）
辻村清也	（客員研究員）

坂田 将 (客員研究員)
橋本梨香子 (客員研究員)
嶋田和真 (リサーチアシスタント)
大隅優太郎 (リサーチアシスタント)

4.2. 研究予算 (公的外部資金)

- ・受託研究「令和7年度国内石油天然ガスに係る地質調査・メタンハイドレートの研究開発等事業 (メタンハイドレートの研究開発)」(資源エネルギー庁)
- ・受託研究「取得コア試料の微生物学的分析」(独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構)
- ・受託研究「モデル鉱山における Mn 酸化菌を活用した接触酸化方式の最適化及び現場適用に向けた検討」(独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構)
- ・科研費 (基盤研究 (A)) : 地下生命圏における炭素循環の立役者 : 進化型メタン生成菌の探索と機能解明
- ・科研費基盤研究 (B)) : メタン生成アーキアの生物学的・代謝的多様性解明と地下炭素循環の再構築
- ・科研費基盤研究 (B)) : メカノケミカル反応を用いた常温・常圧条件での石炭の低分子化技術の開発
- ・科研費萌芽 : 新門細菌 Atribacterota は何故ゲノムを包む細胞内膜を有するのか ?
- ・科研費 (国際共同研究加速基金 (国際共同研究強化)) : 新規メタン生成経路の生化学的解明

5. 最近の主な研究成果

Taiki Katayama, Masaru K. Nobu, Yoichi Kamagata, Hideyuki Tamaki. *Fidelibacter multiformis* gen. nov., sp. nov., isolated from a deep subsurface aquifer and proposal of *Fidelibacterota* phyl. nov., formerly called Marine Group A, SAR406 or Candidatus Marinimicrobia. *Int J Syst Evol Microbiol*, 74, 006558 (2024).

Taiki Katayama, Hideyoshi Yoshioka, Toshiro Yamanaka, Susumu Sakata, Yasuaki Hanamura. The geothermal gradient shapes microbial diversity and processes in natural-gas-bearing sedimentary aquifers. *Biogeosciences*, 21, 4273-

4283 (2024).

Sereyroith Tum, Taiki Katayama, Naoyuki Miyata, Miho Watanabe, Yohey Hashimoto, Miu Nishikata, Tetsuo Yasutaka. Geochemical insights and model optimisation for pilot-scale passive treatment of manganese and zinc in a legacy mine in Japan. *Heliyon*, 30, e30464 (2024).

Daisuke Mayumi, Hideyuki Tamaki, Souichiro Kato, Kensuke Igarashi, Ellen Lalk, Yasunori Nishikawa, Hideki Minagawa, Tomoyuki Sato, Shuhei Ono, Yoichi Kamagata, Susumu Sakata, Hydrogenotrophic methanogens overwrite isotope signals of subsurface methane, *Science*, **386**, 1372 (2024).

Yan Huang, Kensuke Igarashi, Laiyan Liu, Daisuke Mayumi, Tomomi Ujiie, Lin Fu, Min Yang, Yahai Lu, Lei Cheng, Souichiro Kato, Masaru K. Nobu, Methanol transfer supports metabolic syntrophy between bacteria and archaea, *Nature*, **639**, 190 (2025).

Satoshi Furota, Masanori Kaneko, Seiya Tsujimura, Daijiro Takeshita, Yusuke Nakamichi, Kensuke Igarashi, Masaru K. Nobu, Miho Yoshikawa, Kenta Asahina, Chie Fukaya, Toshie Ishitsuka, Kazuma Shimada. Bidirectional electro-enzymatic reaction of coenzyme F420 using benzyl viologen and F420-dependent sulfite reductase. *Bioelectrochemistry*, 164, (2025).

Shunsuke Nomura, Pablo San Segundo-Acosta, Evgenii Protasov, Masanori Kaneko, Jörg Kahnt, Bonnie J. Murphy, Seigo Shima. Electron flow in hydrogenotrophic methanogens under nickel limitation. *Nature*, 644, 490-496 (2025).

Toshihiro Yoshimura, Naoto F. Ishikawa, Nanako O. Ogawa, Soichiro Kusaka, Shigeyuki Wakaki, Tsuyoshi Ishikawa, Kazuya Nagaishi, Masanori Kaneko, Yuta Isaji, Yoshito Chikaraishi, Naohiko Ohkouchi. Magnesium isotopic variation in marine fish organs. *Prog. Earth Planet. Sci.* 12, 1-12 (2025).

物理探査研究グループの紹介

Introduction of the Exploration Geophysics Research Group

研究グループ長：神宮司 元治

Leader, Exploration Geophysics Research Group:
Motoharu Jinguuji

E-mail: m.jinguuji@aist.go.jp

<https://unit.aist.go.jp/georesenv/explogeo/>

1. グループの研究目的と課題

本研究グループでは、地熱、鉱物資源、メタンハイドレート、地下水などの地下資源の安定確保・利用に資する物理探査手法の研究、放射性廃棄物の地層処分やCO₂地中貯留など、地圏環境のバリア機能の活用および地下環境保全のための物理探査の研究、さらに地震災害や火山噴火など防災分野への対応を目的とした物理探査技術の高精度化を目指し、研究を推進する。また、強靱な国土構築への貢献のため、レジリエントインフラ実装研究センターと連携し、インフラ関係の社会課題を領域横断的に解決することにも積極的に取り組む。令和7年度は、以下の4項目を中心に研究を行う。

1. 海底熱水鉱床やメタンハイドレートなどの探査を目的とした海域や、陸域の鉱物資源・非鉱物資源探査に関する物理探査法の研究。
2. 発電所の立地評価や地層処分場の選定に向けた、深部地質情報の取得のための物理探査手法の開発に関する研究。
3. 火山・断層などの地下構造の解明や物理モニタリングに資するデータ取得・解析などの物理探査技術に関する研究。
4. 国土強靱化に資するインフラ維持管理との連携を視野に入れた、新たな物理探査技術の研究開発および社会実装を目指した研究。

2. 各研究項目の内容

2.1. 物理探査技術による深部3次元地質構造解析・評価に関する高度化研究

深さ数100m～30kmにおける深部の地質情報は、地熱資源開発・二酸化炭素地中貯留、及び高レベル放射性廃棄物地層処分をはじめとする地下空間の利用、また、発電施設等の重要インフラ施設の火山影響評価の観点から必要不可欠な情報である。しかしながら、深部の解析構造の不確実性や構造解釈の難しさ等、解決すべき技術的課題は多い。当グループでは、広帯域MT法電磁探査を軸に、DAS（光ファイバーケーブルによる振動計測）等最新の物理探査技術も導入し、3次元深部構造解析技術の高精度化を目指している。また、岩石物性研究の他、地球化学・岩石学・火山学に関する最新の学術研究により得られた知見に基づき、信頼度の高い定量的構造解釈技術の開発を進めている。これらの技

術高度化により、将来的には地下空間利用・地上設備の安全性評価に資する深部地質情報の提供が可能になると期待される。

2.2. MT探査における電磁ノイズ低減手法の開発

地下比抵抗構造の高度なモデリングと解釈を目指し、MT法探査の電磁ノイズ低減手法を開発するとともに、火山・断層・鉱山地域の比抵抗構造研究を進めている。阿寒カルデラ、有珠山、伊豆半島を対象に地下構造を推定し、火山活動や断層帯の理解に貢献している。また、内陸地震地域では活断層と火山の相互作用解明に取り組んでいる。MT法電磁探査データ中に存在する電磁ノイズ（直流電車や送電線などの影響）の低減を目的として、解析技術の開発および実装を行っている（図1）。既存の解析技術要素の有効性（ノイズパターンごとのノイズ除去性能等）を検討するとともに、最新の技術導入も進め、電磁探査手法の高度化を進めている。

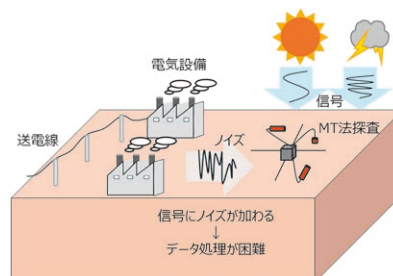


図1 MT法におけるノイズ源

2.3. 宇宙線ミュオンを用いたトンネルインフラなどのモニタリング技術の開発

宇宙線に含まれる素粒子ミュオンは1cm²あたり毎分一つ程度の頻度で地上に降り注いでいる。密度長（飛来経路の長さと同平均密度の積）に応じて、飛来強度が減衰する性質を利用して、物体内部の密度推定に利用可能である。地下インフラの維持管理において、空洞などの予期せぬ地下変状に起因する密度変化の検知への本技術の活用を検討している。その用途に適した屋外計測システム構築に向けて、プラスチックシンチレータを利用したミュオン計測システムを構築した。本計測システムでは到来方向の絞り込み、ノイズ抑制のために3枚のシンチレータを同時に通過した信号を計測している。本システムを用いて地上および地下でのミュオン計測実験を実施している。現場計測に向けては、温度、湿度等への対策や小型化、軽量化を行う。

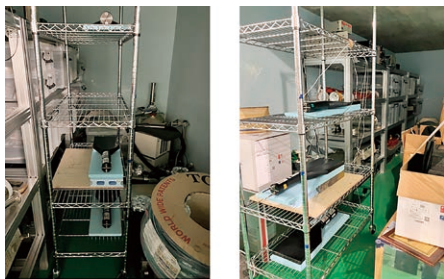


図2 地下での測定の様子

3. グループの体制

3.1. 人員体制 (2025.10.1現在)

以下の15人体制で研究を実施している。

神宮司 元治	(研究グループ長: RICI 兼)
横田 俊之	(キャリアリサーチャー: RICI 兼)
浅田 美穂	(主任研究員)
小森 省吾	(主任研究員)
湊 翔平	(主任研究員: RICI 兼)
加野 友紀	(主任研究員: CCUS 兼)
梅澤 良介	(主任研究員: RICI 兼)
堀川 卓哉	(研究員: CCUS 兼)
児玉 匡史	(研究員: RICI 兼)
井上 智裕	(研究員)
高倉 伸一	(招聘研究員)
山口 和雄	(テクニカルスタッフ)
山口 佳美	(テクニカルスタッフ)
木村 タ子	(テクニカルスタッフ)
市川 雅之	(リサーチアシスタント)

当グループでは様々な物理探査手法の研究開発に取り組んでいる。また、グループ員のうち5名がレジリエントインフラ実装研究センター(RICI)に、2名がCCUS実装研究センター(CCUS)に所属し、研究成果の社会実装を推進している。

3.2. 研究予算

研究予算としては、産総研運営費交付金に加えて、以下のような公的外部予算プロジェクトに従事している。

- ・令和7年度国内石油天然ガスに係る地質調査・メタンハイドレートの研究開発等事業(メタンハイドレートの研究開発)(資源エネルギー庁)
- ・令和7年度鉱物資源開発推進探査等事業(資源開発可能性調査)(経済産業省)

また、民間企業とも積極的に共同研究を実施し、ニーズの把握と成果の橋渡しの促進に努めている。

4. 最近の主な研究成果

Kodama, M., Yokota, T., Matsushima J., Tanaka, H.K.M., Kin, T., Okamoto, N., and Shiba, H. (2023) Anomaly detectability in multidimensional

muon tomography under a trade-off relationship between anomaly size, density contrast, and exposure time. *Journal of Applied Geophysics*, **209**, 104920.

<https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2022.104920>

Asada, M., Satoh, M., Tanahashi, M., Yokota, T., and Goto, S. (2022) Visualization of shallow subseafloor fluid migration in a shallow gas hydrate field using high-resolution acoustic mapping and ground-truthing and their implications on the formation process: a case study of the Sakata Knoll on the eastern margin of the Sea of Japan, *Marine Geophysical Research*, **43**, 34.

<https://doi.org/10.1007/s11001-022-09495-9>

Yoshihara, N., Matsumoto, S., Umezawa, R., Machida, I. (2022) Catchment-scale impacts of shallow landslides on stream water chemistry, *Science of The Total Environment*, **825**, 153970.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153970>

Umezawa, R., Jinguuji, M., and Yokota, T. (2022) Characterization of a river embankment using a non-destructive direct current electrical survey, *Near Surface Geophysics*, **20**, 238-252.

<https://doi.org/10.1002/nsg.12202>

Jinguuji, M., and Yokota, T. (2022) Investigating soil conditions around buried water pipelines using very-low-frequency band alternating current electrical resistivity survey, *Near Surface Geophysics*, **20**, 192-207.

<https://doi.org/10.1002/nsg.12191>

Aizawa, K., Utsugi, M., Kitamura, K., Koyama, T., Uyeshima, M., Matsushima, N., Takakura, S., Inagaki, H., Saito H., and Fujimitsu Y. (2022) Magmatic fluid pathways in the upper crust: insights from dense magnetotelluric observations around the Kuju Volcanoes, Japan, *Geophysical Journal International*, **228**, 755-772.

<https://doi.org/10.1093/gji/ggab368>

Mitsuhata, Y., Ueda, T., Kamimura, A., Kato, S., Takeuchi, A., Aduma C., and Yokota, T. (2022) Development of a drone-borne electromagnetic survey system for searching for buried vehicles and soil resistivity mapping, *Near Surface Geophysics*, **20**, 16-29.

<https://doi.org/10.1002/nsg.12189>

<https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1999261>

Horikawa, T., Katsura, M., Nakashima, S. (2024) Evaluation of drying shrinkage effects on the elastic properties of porous sandstones using a modified micromechanical model. *Geophysical Journal International*, **237**, 2.

地圏メカニクス研究グループの紹介

Introduction of the Geo-Mechanics Research Group

研究グループ長：坂本 靖英

Leader, Geo-Mechanics Research Group: Yasuhide Sakamoto

e-mail: sakamoto-yasuhide@aist.go.jp

1. グループの研究目的

当グループでは、マルチスケール（コアスケールからテクニックスケール）・マルチ分野（資源・環境・地震）・マルチアプローチ（実験岩石力学、地球物理学、構造地質学、数値計算）を包括・融合した地圏メカニクスに関する基礎研究と応用技術開発を推進する。具体的には、1) 地熱開発・CO₂地中貯留のための誘発地震予測・制御技術開発において、原位置条件下での岩石実験を通じた断層再活動と誘発地震発生メカニズムの解明、2) 掘削技術の発展を目的として、室内試験によるビット性能評価および掘削条件最適化のためのモデルの高度化、3) 沈み込み帯における水理学的モデルの発展による誘発地震予測モデル構築への展開や、断層周辺での浸透率特性評価等を通じたジオメカニクスモデリングの最適化、さらにこれらの研究開発を通じ、4) 地下開発・利用技術の最適化と安全性評価に関わる新たな技術シーズの創出や、技術の社会実装への展開を念頭に置き、岩石の力学挙動の解析や物性評価に対する当グループの基盤技術の強化の4点を具体的なミッションとする。これらのミッションの下、高度化・多様化する社会のニーズに的確に応えるべく、地下資源の安定供給や地圏環境の継続的利用と保全或いはリスク低減のための研究を積極的に展開し、安心・安全な社会の実現に貢献することを目指す。また、国内外での研究機関や民間企業との共同研究を積極的に推進することで、当グループの研究成果や技術を社会に還元する。

2. グループの特徴

当研究グループのメンバーは、岩石力学、掘削工学、岩盤工学、貯留層工学、構造地質学、地震学などの専門家であり、上記のマルチスケール・マルチ分野・マルチアプローチを包括・融合して研究開発に取り組んでいる。研究対象は環境評価・災害低減・環境回復を含め多岐にわたる。研究内容も基礎研究から応用研究まで幅広く、予算は科研費、官民委託費、技術コンサルティング等にまたがっている。

2.1. グループの研究体制

地圏メカニクス研究グループは、以下の体制で研究を実施している。

坂本靖英（研究グループ長、兼務）

竹原 孝

宮崎晋行

北村真奈美

金木俊也

阿部彩歌

竹田幹郎（兼務、本務 GSJ 連携推進室長）

後藤宏樹（兼務、本務 CCUS 実装研究センター・CO₂地中貯留研究チーム）

2.2. 研究予算

- ・地圏メカニクスの研究（運営費交付金）
- ・インデンテーション試験による一軸圧縮強度の簡便な測定手法の開発（運営費交付金、部門内部競争グラント）
- ・断層岩中の脱水反応の痕跡から地震時の滑り挙動を推定するための新たなモデルの構築（科研費（若手））
- ・母岩の浸透率が注水誘発地震の規模に及ぼす影響（科研費（基盤 B））
- ・生分解性キレート剤を利用した玄武岩層への CO₂地中貯留・鉱物固定促進法（科研費（基盤 B））
- ・地熱貯留層の浸透性維持に向けた高温高压熱水環境下の浸透率測定実験（科研費（基盤 B））
- ・ジオメカニクスモデリングに関する解析・情報整理に関する技術コンサルティング（技術コンサル）

2.3. ジオメカニクス包括技術

地圏メカニクス研究グループでは、大型岩石注水破壊試験装置（図1）、岩石透水・透気試験装置（図2）、大型室内掘削試験装置（図3）、掘削カッティング試料試験装置（図4）等に加え、データ解析と数値シミュレーションを統合したジオメカニクス包括技術を有する。

特徴：

- ・マルチ分野（EGS、CCUS、廃水処分、非在来型資源開発）の課題を融合
- ・マルチスケール（室内、フィールド）の包括
- ・マルチアプローチ（岩石試験、フィールド実証・検証、数値シミュレーション）の統合
- ・マルチ専門（岩盤工学・構造地質学・地球物理学）研究者チーム
- ・基礎研究と技術開発を展開し、企業との連携を強化

将来への技術展開：

- ・室内実験結果に基づき、亀裂や断層の力学・水理特性に関する各種構成則をアップデート
- ・化学要素の考慮

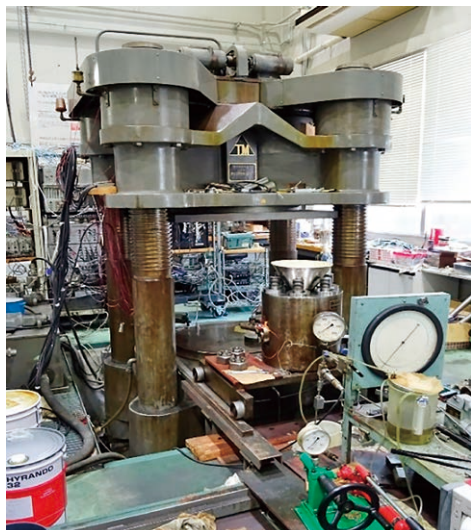


図1 大型岩石注水破壊試験装置



図3 大型室内掘削試験装置

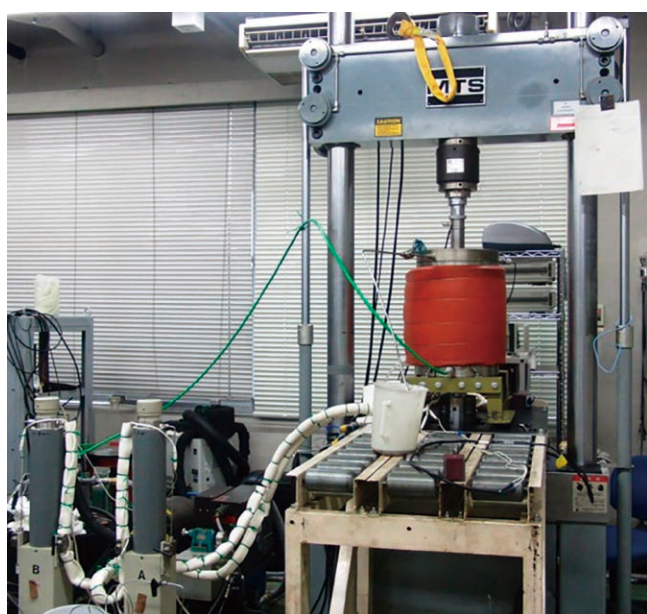


図2 岩石透水・透気試験装置

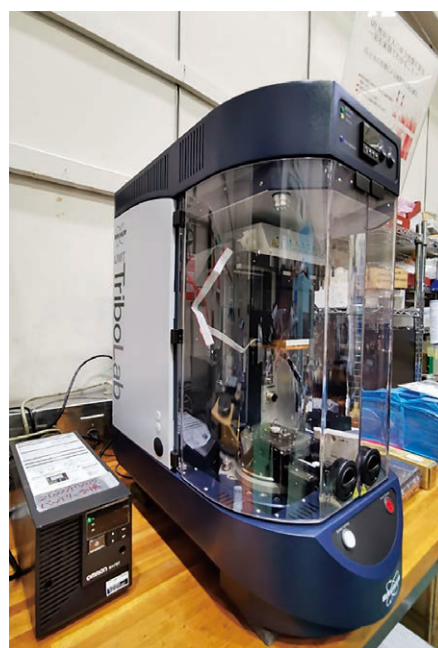


図4 掘削カッティング試料試験装置

- ・更新した構成則と化学要素をジオメカシミュレーションに反映
- ・CCUS・EGS・シェールガス開発等の性能及びリスク（誘発地震等）評価技術の精緻化と社会実装を進めるベンチマーク：

- ・多様な岩石試料を用いて、押し込み試験・破壊試験・注水試験に伴い、物性・力学・水理特性及び微小地震（AE）等を高精度に同時測定可能
- ・熱・岩力・水理連成解析や大規模亀裂モデルを用いたジオメカシミュレーションが可能

3. 2025年度研究成果

(1) 岩石の力学挙動の解析や物性評価に対する基盤技術の強化

①注水に伴う誘発地震の発生メカニズムの解明に資する実験的研究

地下への注水を伴う地圏の開発・利活用のためには、注

水に伴う誘発地震発生メカニズムの解明が必要である。そのために、当グループ所有の油圧式三軸装置を用いて現場での注水を模擬した室内注水試験をおこない、各種パラメータが誘発地震発生に与える影響を検証している。その結果、断層面の注水加圧速度とそれに伴う断層面上の間隙水圧分布が、地震の発生に関与する応力降下の様式を左右している可能性が示唆された。これをさらに実験的に検証するために、断層面上の間隙水圧実測に向けて実験機構の改良設計を行った。

② 流体圧以外のポテンシャルエネルギーに起因する浸透流や物質拡散による物質移行現象の解明

通常、地下流体・物質は流体圧を主な駆動力として流動するのに対し、地盤や岩盤が透過性の非常に低い粘土や岩石から構成される場合には、流体圧以外のポテンシャルエネルギーに起因する浸透流や物質拡散が移行現象として卓越し得ることが知られている。そこで、地下岩盤の封じ込め機能の評価や原油増進回収メカニズムの解明を目的とし

て、地下での圧力流動、物質拡散、浸透流を評価するための室内実験システムを開発するとともに、これらの物質移行現象を数値解析的に考慮可能なモデル構築への展開を図っている。

③ 炭質物を用いた新たな地質温度計の開発および断層帯への応用

地圏を構成する岩石は、過去の被熱履歴に応じてその物性を変化させる。岩石物性の評価に関する基盤技術を強化するため、炭質物を用いた地質温度計の開発・改良および断層帯への応用に取り組んでいる。前者では、特に Python を用いたデータ解析の自動化に焦点を当て、従来よりも正確かつ簡便な岩石の被熱履歴の推定手法を確立した。後者では、既存の温度計を基に、地震時の断層滑りによる粉碎の影響を考慮することで、断層帯に適用可能な新たな温度計を構築した。提案した温度計を用いて滑り挙動が既知の天然試料を解析した結果、既往研究と調和的な結果を得たことから、本温度計を用いることの妥当性を確認した。

(2) 岩石掘削ビットの性能評価および掘削条件最適化モデルの構築

地圏の開発や利用、調査等、岩盤の掘削を伴うさまざまな事業において、坑井の掘削コストが占める割合は大きいことがよく知られている。掘削を効率化して工期を短縮し、コストを削減することは、これらの事業を推進する上で重要な課題である。石油・ガス井や地熱井をはじめとする深い坑井の掘削において、与えられた条件（地質や坑井計画、使用するビットの種類など）での岩盤の掘削効率を評価するシステムの開発を目指している。

システムの開発に当たって最も重要な要素のひとつは、さまざまな掘削条件を踏まえて岩盤の掘進速度を精度良く推定することである。過去に掘進速度を推定するモデルを提案しているが、そのモデルは、限られたタイプかつ限られたサイズのビットを前提に構築されている。そこで、モデルの適用範囲を拡張することを目的として過去の実験データの再解析を行ったところ、例えば、寸法の異なるビットに対しても、使用開始直後を除いた大部分の領域において当該モデルが適用可能であることを確認した。また、当該モデルでは、岩盤の特性を表すパラメータとして、実験によって比較的取得しやすい、岩石の乾燥状態での一軸圧縮強度のみを用いており、岩種ごとの特性を十分に反映できていない可能性があった。そこで、例えば、岩石の湿潤状態における強度特性を当該モデルに反映させ、掘進速度の推定精度の向上を図った。

(3) 地圏における水理－物質輸送－力学連成解析技術の高度化

① 地圏の開発・利活用に伴う誘発地震ならびに自然地震予測モデルへの展開

注水事業を伴う地圏産業を安全かつ効率的に推進するた

めには、注水による短期的・長期的な応力変化に伴う誘発地震の災害リスク評価が重要である。その際、注水開始時点での地下の応力状態の適切な設定が必要となる。そこで、注水を伴わない場合において、連続体中の線断層における滑り挙動をモデル計算した結果、地震サイクル中における断層上の応力状態は、採用する断層構成則によって大きく変化することが明らかとなった。また、大地震に先行して発生する準静的な断層クリープの加速・局所化・移動も構成則によって大きく変化した。これらの結果は、たとえ単純な系であっても、誘発・自然地震現象の発生機構が複雑となる可能性を示唆している。

② CO₂注入に伴う周辺断層への影響評価に関する解析的検討

CO₂の地下貯留の際には安全に CO₂をターゲットの地層に長期間貯留することが必要とされている。CO₂を地下に圧入することにより、その周辺に局所的な水圧や応力、ひずみの変化を引き起こす。貯留サイトの周辺断層は CO₂の地上漏洩の流路になる可能性もあり、また断層が変位した場合は有感地震の懸念も考えられる。このような CO₂の圧入による周辺断層への影響を、水理・熱・力学を連成した物理モデルを用いた数値シミュレーションによって解析し、CO₂の適切な圧入地点、圧入レートや圧入期間の検討、モニタリング手法の検討等に資する研究を行っている。

4. 成果公表

- 1) Abe, A., Tamura, K., Hirase, K. Terai, A., & Tosha, T. Numerical study on thermal performance of enhanced geothermal system with CO₂ using multistage hydraulic stimulation. *Sustainable Energy res.* 12, 40 (2025).
<https://doi.org/10.1186/s40807-025-00189-5>
- 2) Akamatsu, Y., Okuda, H., Kitamura, M., and Sawai, M., Mesoscale fractures control the scale dependences of seismic velocity and fluid flow in subduction zones, *Tectonophysics*, 896:230606, 2025/02.
<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2024.230606>
- 3) Tanikawa, W., Hirose, T., Hamada, Y., Okazaki, K., Tadaï, O., Suzuki, T., Kitamura, M., and Asahi, F., Effect of particle characteristics on granular friction evaluated by dual-slip-plane friction tests, *Progress in Earth and Planetary Science*, 12 (1), 2025/03.
<https://doi.org/10.1186/s40645-025-00693-8>.
- 4) Cornard, P., Schleicher, A., Regalla, C., Hamahashi, M., Kitamura, M., Fukuchi, R., Pickering, K., Kitajima, H., and Wiersberg, T., Recent advances in the use of drill cuttings for determining subduction zone structure, stratigraphy, and stress state, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 26 (5), 2025/05.

<https://doi.org/10.1029/2024GC012094>.

- 5) Okuda, H., Akamatsu, Y., Kitamura, M., and Sawai, M., Elastic properties of rocks from the seismogenic zone and minimum fault size to nucleate megathrust earthquakes, *Progress in Earth and Planetary Science*, 12 (1), 2025/07.
<https://doi.org/10.1186/s40645-025-00723-5>
- 6) Nakamura, Y., Takahashi, K.U., and Kaneki, S. Deep-UV micro-Raman spectroscopy estimates

of peak metamorphic temperatures using rock chips bearing carbonaceous material. *American Mineralogist*, in press.

<https://doi.org/10.2138/am-2025-9766>

- 7) Kaneki, S., and Noda, H. Diverse preseismic creep behavior realized with various state-evolution laws: insight from dynamic earthquake cycle simulations. *Earth, Planets and Space*, in press.
<https://doi.org/10.1186/s40623-025-02269-8>

CO₂ 地中貯留研究チームの紹介

Introduction of the CO₂ Geological Storage Research Team

研究チーム長（兼務）：徂徠 正夫

Leader, CO₂ Geological Storage Research Team

e-mail: m.sorai@aist.go.jp

1. チームの研究目的

CCUS は、産総研第 6 期中期計画の「世界最高水準の研究成果の創出及びその成果の着実な社会実装」に含まれる「産総研の総合力を活かした融合研究の強化」、ならびに令和 7 年度 CCUS 実装研究センターポリシーステートメントにおいて、重点課題の一つとして位置づけられており、一層の研究開発に加えて社会実装の促進が求められている。このような状況に鑑み、当チームでは、CO₂の貯留・固定に資する研究開発を全面的に推進している。一方、地圏流体の挙動解析、挙動予測のためのシミュレーション技術、モニタリング技術、屋内外での実験技術等は、資源の安定供給に貢献する地熱資源や天然水素開発など CO₂地中貯留以外の分野においても必要な技術であり、地圏環境の利用と保全の観点から社会のニーズにあった研究を進めている。

2. 安全な CCS 実施のための CO₂貯留技術の研究開発

安全かつ大規模・効率的な CO₂地中貯留技術の実現に向け、我が国の貯留層に適した実用化規模（100万トン／年）での CO₂地中貯留技術を開発するとともに、CCS の社会受容性の獲得を志向した研究開発を行うために、平成28年に二酸化炭素地中貯留技術研究組合（令和 7 年10月現在、産総研を含む 2 機関と民間企業 9 社）を設立した。この中で当チームは、貯留した CO₂の低コストでのモニタリング技術や、水理－力学連成解析技術、地化学反応速度測定技術など、産総研が独自に有する優位性のあるコア技術を基にプロジェクトを推進してきた。

現在は、豪州の CO₂圧入試験サイトで計画されている光ファイバー等による断層安定性監視実証試験において、データを解析するためのジオメカニクスモデリングにより、断層安定性の監視・健全性評価を行っている。今年度は、Perth

南部サイトの現場岩石を用いた断層摩擦－透水実験により、断層モデルの構築に必要なパラメータを取得するとともに（図 1）、これらの測定結果ならびに公表情報を考慮しつつ、流動・変形連成シミュレーションで用いる単相流動・変形連成モデルを構築した。同様に、Otway サイトについても、浅部断層への注水試験結果等に基づいた単相流動・変形連成モデルを構築し、間隙圧とひずみの変化についてシミュレーションと現場試験結果が概ね整合することを確認した。

3. 地熱条件下での CO₂流動反応連成挙動の検討

高温貯留層に CO₂を圧入して地熱発電を行うと同時に、CO₂の一部を地熱貯留層中で炭酸塩鉱物として固定することを意図した、JOGMEC 事業「カーボンリサイクル CO₂地熱発電技術」が令和 3 年より開始した。本プロジェクトは地熱発電を主眼としているが、CCS の一つの形態として捉えることもでき、当チームでは高温下での CO₂の挙動に焦点を当てた研究に取り組んでいる。

3.1. 流通試験による貯留層水理特性変化の検証

温度200℃、間隙流体圧10MPa、流速0.12ml/minの条件下で、安山岩コアへの CO₂溶解水の流通試験を42日間実施した。実験の結果、浸透率は試験初期に $2.7 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ から $2.9 \times 10^{-17} \text{ m}^2$ まで減少したが、その後継続的に増加し、最終的には初期値の 3 倍に達した（図 2）。試験後コアの微細構造観察の結果、鉱物溶解に伴う二次間隙の形成と二次鉱物沈殿の両反応が進行していたことが確認された。試験前は連結していなかった間隙同士が溶解によって連結した産状が認められ、この連結性の増加が浸透率の増加に寄与した可能性が考えられる。一方、玄武岩に CO₂溶解水を流通さ

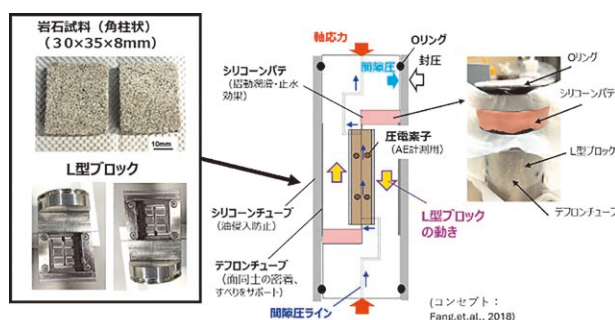


図 1 摩擦－透水－AE 実験セットアップ用治具の概要

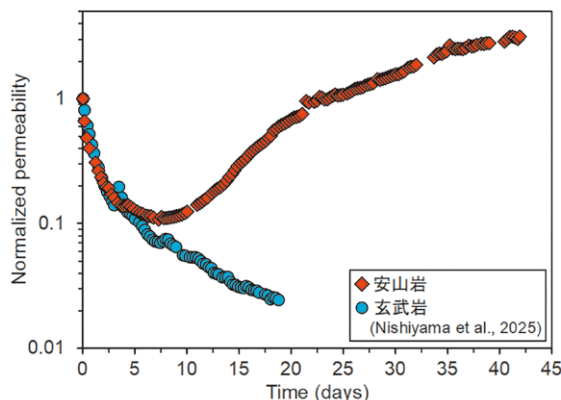


図 2 CO₂溶解水流通に伴う浸透率の経時変化

せた場合、浸透率が継続的に減少したことから、地化学反応に伴う貯留層の浸透率変化は岩相に依存する可能性が示唆された。

3.2. 分子動力学計算による界面相互作用の解析

CO₂/水系ならびにCO₂/水/鉱物系の分子動力学シミュレーションを実施し、混合系の粘性係数、拡散係数（図3）、モビリティおよび鉱物表面の濡れ性について検討した。濡れ性に関しては、吸着水膜の自由エネルギー計算に基づく濡れ性推定手法に加え、吸着水の乾燥速度比較シミュレーションを実施し、鉱物種ごとの濡れ性の差異を地熱貯留層を想定した温度条件（270℃、300℃）で評価した。

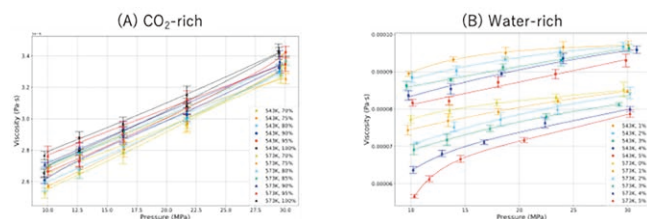


図3 混合系の粘性係数の圧力依存性：A) CO₂リッチ相、B) 水リッチ相

3.3. ナチュラルアナログからの炭酸塩鉱物反応メカニズムの検討

北海道ウトロ温泉において炭酸塩鉱物の種結晶を用いた溶解実験を行い、各種CO₂濃度条件下での炭酸塩鉱物の溶解速度を測定した。加えて、炭酸塩鉱物に対して過飽和状態にある高温泉において、炭酸塩鉱物の成長実験も行った。昨年度までに取得した各温泉での結果と併せることで、高温現場環境下における成長速度の飽和度依存性として提示した（図4）。天然下での炭酸塩鉱物の反応速度は、溶解と成長いずれに対しても、従来得られていた室内実験ベースの文献値よりも低いことが示された。このような結果は、地熱貯留層内でのCO₂の炭酸塩化の時間スケールの過大評価を避ける上で重要な制約条件になると考えられる。

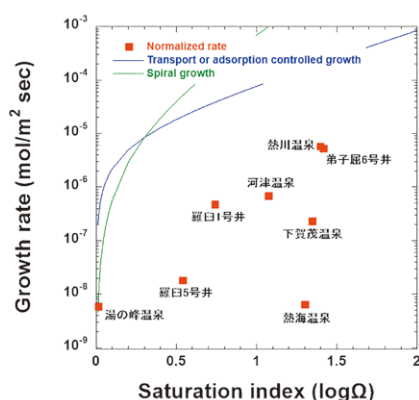


図4 高温泉におけるカルサイトの成長速度の飽和度依存性

4. 海洋玄武岩層を活用した大規模CO₂貯留・固定化技術に関する基礎調査研究

産総研は令和5年より、内閣府戦略的イノベーション創造プログラム第3期課題「海洋安全保障プラットフォーム

の構築」におけるサブ課題「海洋玄武岩層を活用した大規模CO₂貯留・固定化技術に関する基礎調査研究」に参画している。この中で当チームは本プロジェクトの中核組織として、玄武岩海山の地質モデル構築、玄武岩海山中でのCO₂挙動の解析、ならびに玄武岩海山の水理・力学特性評価の各課題に取り組んでいる。

4.1. 玄武岩海山中でのCO₂挙動の解析

玄武岩海山表層部に加え、国際海洋科学掘削計画等で採取された岩石コア試料や陸上で入手できる類似環境下での岩石等を対象として、絶対浸透率や空隙率、スレッショルド圧等を評価した。併せて、水理特性に対する亀裂の影響を評価するために、様々な亀裂密度を有する玄武岩について絶対浸透率を測定した。これらの玄武岩試料を対象としたバッチ式反応実験も行い、地化学反応が遮蔽性能や鉱物固定化に及ぼす影響も評価した。

4.2. 玄武岩海山の水理・力学特性評価でのCO₂挙動の解析

流体圧入に伴う玄武岩の水理・力学応答の解明を目指し、注水実験システムを完成させるとともに、次年度以降の二相流動実験への拡張を見据えた実験システムの高圧ガス対応化の設計・製作を行った（図5）。また、玄武岩の水理・力学物性値の取得・蓄積を進めるとともに、玄武岩コアへの注水実験を通じて注水に対する玄武岩の水理・力学応答を明らかにした。

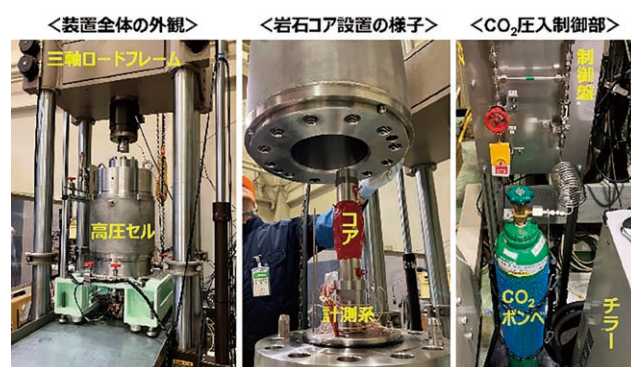


図5 液相CO₂流動・力学実験システムの外観

5. 風化促進に係る研究開発

玄武岩等の苦鉄質岩を粉砕して地上に散布し、大気中のCO₂との反応により鉱物化させることでCO₂削減を図る風化促進に関して、NEDO ムーンショット型研究開発事業「LCA/TEAの評価基盤構築による風化促進システムの研究開発」が令和4年に開始した。本プロジェクトはゼロエミッション国際共同研究センター主導で実施されたが、当チームは、風化促進用岩石選定に資する苦鉄質岩データベースの構築、ならびにCO₂の炭酸塩化速度および固定量の定量化技術開発について担当した。

5.1. 風化促進用岩石選定に資する苦鉄質岩データベースの構築

昨年度に続き、国内の玄武岩産地の中から、活動時期、化学組成および産状の異なる玄武岩質噴出物が採取可能な地域を抽出し、地質調査と採取岩石の各種分析を行った。採石候補地の岩石データと併せることで、最終的に国内約20地域における苦鉄質岩データベースとして整備した。

5.2. CO₂の炭酸塩化速度および固定量評価技術の開発

つくば事業所屋上における岩石風化実験を継続し、2年以上に及び屋外暴露条件下で岩石からのイオン溶出速度を実測した（図6）。溶出後の雨水のpH増加は、CO₂の吸収量増大の効果があるが、その効果は純粋な雨水と比較して、MgOで50倍以上、蛇紋岩で20倍、橄欖岩と玄武岩で2～4倍程度に相当することが明らかとなった。炭酸塩化はMgOのみで観測されたが、粒子表面に形成する含水Mg炭酸塩鉱物量は時間とともにほぼ線形に増加することが示された。



図6 屋上定点での長期風化実験

6. その他の研究グループの活動

国内の地質条件を踏まえつつさらなる貯留量の増大を図るためには、貯留層への最適圧入手法の検討が必要である。これに関して、現場での実証検討は困難であることから、当チームではCO₂の流動シミュレーションによる感度解析を実施している。ここでは、垂直井、傾斜井、水平井等の異なる井戸形状に対して、貯留層内でのCO₂の広がりを計算することで、貯留層を最大限活用できる圧入法を検討中である（図7）。

また、NEDO 先導研究プログラム / フロンティア育成事業「水素生成可能な岩石の探索と増進を踏まえた評価に係る研究開発」におけるサブ課題「水素挙動メカニズムの解明」に参画し、地下環境下での水素の拡散係数、スレッショルド圧等に関する研究も開始した。さらに、各種技術コンサルティングや民間共同研究等も実施している。

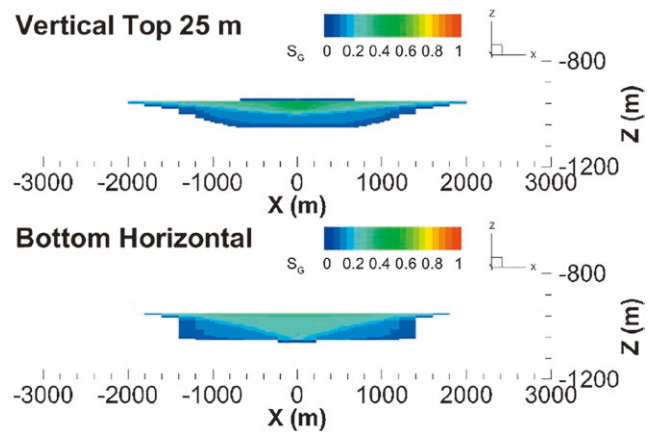


図7 井戸形状・フィードポイントによる貯留層内CO₂広がり
の差異（上）貯留層上部25m 鉛直井および（下）貯留層
底部水平井

7. グループの研究体制

CO₂地中貯留研究チームは、以下の体制で研究を実施している。

徂徠正夫	（首席研究員、研究チーム長）
藤井孝志	
朝比奈大輔	
加野友紀	
西山直毅	
後藤宏樹	
堀川卓哉	（兼務）
西木悠人	（兼務）
成瀬雄一郎	（リサーチアシスタント）
池田 博	（産学官制度来所者）
上原真一	（産学官制度来所者）

8. 最近の主な研究成果（2021年以降）

- Sorai, M. (2021) Effects of calcite dissolution on caprock's sealing performance under geologic CO₂ storage, *Transport in Porous Media*, DOI:10.1007/s11242-020-01525-7.
- Horikawa, T., Katsura, M., Yokota, T., Nakashima, S. (2021) Effects of pore water distributions on P-wave velocity – water saturation relations in partially saturated sandstones, *Geophysical Journal International*, 226, 1558–1573.
- 徂徠正夫, 後藤宏樹, 杉原光彦, 西祐司, 中尾信典 (2021) CO₂地中貯留における反射法探査の補完としての重力連続測定の運用方策, *Journal of MMIJ*, 137, 46–50.
- Shiga, M., Aichi, M., Sorai, M., Morishita, T. (2021) Structure and dynamics of interfacial water on muscovite surface under different temperature conditions (298 K to 673 K): molecular dynamics investigation, *Water*, 13, 1320.
- Tsuji, T., Sorai, M., Shiga, M., Fujikawa, S., Kunitake, T. (2021) Geological storage of CO₂-N₂-O₂

- mixtures produced by membrane-based direct air capture (DAC), *Greenhouse Gases: Science and Technology*, DOI:10.1002/ghg.2099.
- Goto, H., Sugihara, M., Nishi, Y., Ikeda, H. (2021) Simultaneous gravity measurements using two superconducting gravimeters to observe temporal gravity changes below the nm/s² level: ocean tide loading differences at different distances from the coast, *Geophysical Journal International*, DOI:10.1093/gji/ggab300.
- 加藤孝幸, 水落幸広, 二ノ宮淳, 岡本征雄, 矢島達哉, 齊藤晃生, 徂徠正夫 (2021) 神居古潭帯周辺における蛇紋石の沈澱現象と低温蛇紋岩化作用, *総合地質*, 5, 25-48.
- Shiga, M., Morishita, T., Aichi, M., Sorai, M. (2021) Effect of surface coverage of water molecules on methane adsorption on muscovite and pyrophyllite: molecular dynamics study, *Energy and Fuels*, 13, 1320.
- Shiga, M., Morishita, T., Sorai, M. (2022) Interfacial tension of carbon dioxide - water under conditions of CO₂ geological storage and enhanced geothermal systems: a molecular dynamics study on the effect of temperature, *Fuel* 337, 127219.
- 加野友紀, 藤井孝志, 徂徠正夫 (2022) 安全・安心な CO₂地中貯留に向けた取り組みの現況, *安全工学* 61, 441-447.
- Shiga, M., Morishita, T., Aichi, M., Nishiyama, N., Sorai, M. (2023) Correlation between contact angle and water film energetics in carbon dioxide - water - clay mineral interfacial systems: a molecular dynamics study, *Energy Fuels* 37, 16688-16700.
- Fujii, T., Oikawa, Y., Lei, X., Sorai, M. (2024) Experimental investigation of the hydro-mechanical response of soft rocks in the CO₂ injection process - Impacts of fracture roughness and brittleness index on the evolution of permeability behavior, *Int. J. Rock Mechanics Mining Sci.* 177, 105742.
- Shiga, M., Morishita, T., Nishiyama, N., Sorai, M., Aichi, M., Abe A. (2024) Atomic-scale insights into the phase behavior of carbon dioxide and water from 313 to 573 K and 8 to 30 MPa. *ACS Omega* 9, 20976-20987.
- Shiga, M., Sorai, M., Morishita, T., Aichi, M., Nishiyama, N., Fujii, T. (2025) Feature extraction and classification of digital rock images via pre-trained convolutional neural network and unsupervised machine learning, *Mach. Learn.: Sci. Technol.* 6, 025033.
- Horikawa, T., Sorai, M. (2025) Evaluating the variations in electric potentials of metallic casing wells associated with CO₂ geological storage, *Geoenergy Sci. Engineer.* 247, 213683.
- Nishiyama, N., Sorai, M., Masuoka, K., Shiga, M. (2025) Changes in permeability and pore structure induced by CO₂-water-basalt interaction: Insights from flow-through experiments at 200°C, *J. Geophys. Res.* 10.1029/2025JB031141.
- Shiga, M., Morishita, T., Nishiyama, N., Aichi, M., Sorai, M., Ion transport in water film on mica and silica surfaces: Insights from microsecond molecular dynamics and logarithmic mean-force dynamics, (submitted).

ポスター概要

微生物メタン生成活性の評価に ^{13}C 安定同位体トレーサー法を適用

燃料資源地質研究グループ 宮嶋 佑典, 吉岡 秀佳, 生物地球科学研究グループ 片山 泰樹,
エネルギー・金属鉱物資源機構 今井 利矩, アオンタンティン
[連絡先] hi-yoshioka@aist.go.jp

成果概要

海底下堆積物における微生物（メタン生成菌）によるメタン生成活性を知ることは、天然ガスやメタンハイドレートのリソース量評価に重要である。本研究は微生物メタン生成速度の測定に、従来の放射性炭素同位体 ^{14}C の代わりに安定炭素同位体 ^{13}C をトレーサーに用いる手法を検討し、実際の海底下堆積物へ適用した。

研究内容

主要な 3 つのメタン生成経路に対して ^{13}C トレーサー法が適用できるか検証するため、重炭酸、酢酸、メタノールをそれぞれ基質として利用するメタン生成菌株に ^{13}C ラベル化基質を添加し、培養を行った。その結果、どの基質条件でも ^{13}C がメタンに経時的に濃縮していく傾向が観察され、メタンの炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$ 値) の増加速度からメタン生成速度を算出することに成功した。次に、南海トラフ西部の日向灘で地球深部探査船ちきゅうを用いて採取された海底堆積物コア試料に対し、本手法を用いてメタン生成速度の測定を行った。その結果を、同じ試料について ^{14}C ラベル化重炭酸を用いて測定したメタン生成速度と比較したところ、両者は有意な相関を示した。このことは、 ^{13}C トレーサー法が従来の ^{14}C 法と同様に、実環境におけるメタン生成活性の評価・比較に有用であることを示唆している。

研究成果はどう使われるか

放射性同位体とは異なり ^{13}C は法規制を受けないため、本手法によるメタン生成活性評価は遺伝子解析や地化学分析と組み合わせた幅広い応用研究に利用可能である。本研究は、経済産業省の委託により実施している MH21-S 研究開発コンソーシアム (MH21-S) の研究の一環として行ったものである。

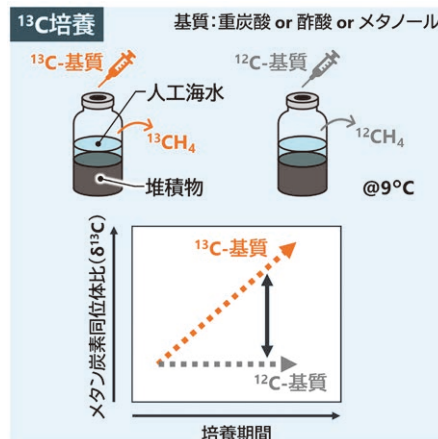


図 ^{13}C トレーサーを用いたメタン生成活性評価の概要

秋田県矢島地域の中新統女川層のジルコン U-Pb 年代による年代層序の高精度化とその日本海古海洋環境変遷史における意義

燃料資源地質研究グループ 中嶋 健, 株式会社京都フィッション・トラック 岩野 英樹, 檀原 徹, 東京大学大学院 平田 岳史, 生物地球科学研究グループ 朝比奈 健太
[連絡先] takeshi.nakajima@aist.go.jp

成果概要

秋田油田の石油根源岩である女川層のジルコン U-Pb 年代測定を行い、高時間分解能の年代層序を構築した結果、女川層の堆積開始時から堆積速度が増加し、女川層下部で堆積速度が大きかったこと、女川層上部で一時的に減少したことが判明した。同様の变化は佐渡島でも確認されており、日本海東縁で同時に生じた生物生産などの古海洋環境変化を反映した可能性がある。

研究内容

秋田県矢島地域の女川層の下部と中部から新たに 2 点のジルコン U-Pb 年代測定を行い、それぞれ $12.7 \pm 0.2 \text{ Ma}$, $10.8 \pm 0.3 \text{ Ma}$ の年代値を得た。これにより、従来年代指標の乏しかった層準に新たな年代制約を与えることができ、年代層序を高精度化することができた。改訂された年代モデルより、従来の女川層を下位の須郷田層と上位の女川層とに再区分した。また、須郷田層と女川層の境界の年代は $13.1\text{--}12.7 \text{ Ma}$ と推定された。さらに、須郷田層の堆積速度が小さいのに対して、女川層基底で堆積速度が急増し、約 $11.5\text{--}10.8 \text{ Ma}$ 間の女川層下部の堆積速度は、 $69\text{--}378 \text{ m/m.y.}$ と極めて大きく、その直後から堆積速度は一時低下し、約 9.4 Ma から再び増加することが推定された。同様の堆積速度の変化は、佐渡島などでも確認されており、日本海東縁で同時に生じた古海洋環境変化を反映した可能性がある。

研究成果はどう使われるか

本研究の結果は、女川層下部で特に生物生産が高まったことを示唆し、良好な根源岩が堆積したことを示す。従って、今後の日本海側での石油・天然ガスの探査に有益な情報を与える可能性がある。

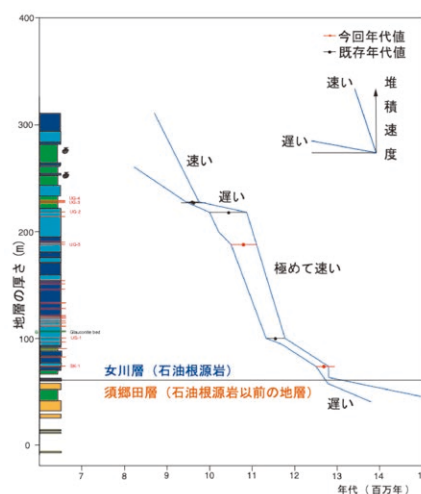


図 秋田県矢島地域の女川層の堆積速度変化

イオン吸着型希土類鉱床からの希土類沈殿回収法の最適化に向けた放射性元素の選択的沈殿分離

鉱物資源研究グループ 長澤 真, 昆 慶明, 実松 健造
[連絡先] m.nagasawa@aist.go.jp

成果概要

イオン吸着型希土類鉱床における希土類元素浸出液（貴液）に対し、重炭酸アンモニウム溶液を用いて貴液 pH を段階的に増加させることで、不純物である放射性元素（トリウム）の選択的沈殿分離が可能であることを明らかにした。また、熱力学データベースを活用した化学平衡計算の結果、ウランの分離除去には pH 調整とは異なるアプローチ（Eh 調整）が必要であることが示唆された。

研究内容

イオン吸着型希土類鉱床の開発にあたりボトルネックとなっている希土類元素の沈殿回収プロセス（図）に対し、計算化学や分光法による化学種（元素の存在形態）解析に基づき希土類元素および不純物（トリウム・ウラン）の沈殿挙動を解明することで、条件最適化に向けた理論基盤の構築を目指す。

本研究では、某国末操業鉱山から採取した貴液に対し、沈殿剤である重炭酸アンモニウム溶液を用いて貴液 pH を段階的に増加させたバッチ試験を実施した。その結果、段階的 pH 調整により、トリウムの 99% を除去したうえで希土類元素の 90% 以上を回収可能であることを明らかにした。一方、ウランの除去率は 60% 以下に留まり、希土類元素と共沈している可能性が示唆された。今後、ゼロ価鉄粉などを用いた Eh 調整による還元実験を行い、ウランの選択的沈殿分離を試みる。

研究成果はどう使われるか

本研究の成果を実際の鉱山プラントに適用することで、低コストに不純物を分離除去した高純度な希土類沈殿物（シュウ酸塩や炭酸塩）を生産することが可能となり、末操業鉱山の操業開始に大きく貢献し得ると考えている。



図 イオン吸着型希土類鉱床の開発フローと課題

輝石巨晶に含まれるメルト包有物解析による初生花崗岩マグマの銅鉱床形成能力の評価

鉱物資源研究グループ 天谷 宇志, 左部 翔大
[連絡先] amagai-takashi@aist.go.jp

成果概要

大規模な銅鉱床の成因解明のため、地表に露出した花崗岩が研究されてきたが、鉱床の形成によって花崗岩マグマの初生的な特徴は失われている。我々は、地殻深部の初生的な特徴を保存した花崗岩マグマのメルト包有物を発見した。このメルト包有物の主要成分や硫化物の特徴は、地表の花崗岩と類似しており、メルト包有物の詳細解析が花崗岩の銅鉱床形成能力の評価に有用である。

研究内容

地表の花崗岩では失われている初生的な花崗岩マグマの銅・硫黄・水含有量を解明するために、神奈川県丹沢地域の深部由来の玄武岩の輝石巨晶を電子顕微鏡で詳細に観察した。本地域の玄武岩は地下 20–30 km から地表に噴出する際に、下部地殻の初生的な花崗岩マグマをマグマの液滴（メルト包有物）として鉱物中に捕獲する可能性がある。初生花崗岩メルト包有物の推定主要組成は、地表の花崗岩と類似していた。メルト包有物中に析出した黄銅鉱（CuFeS₂）の量比から推定した花崗岩マグマの銅含有量は、斑岩銅鉱床に匹敵したが、花崗岩マグマの推定含水量は、2wt%以下と少なく、大規模な銅鉱床が形成されにくい可能性を示唆する。メルト包有物の詳細解析は、地表の花崗岩の銅鉱床の形成能力を評価するツールとなる可能性がある。

研究成果はどう使われるか

- ・大規模な花崗岩由来の銅鉱床の形成メカニズムの解明
- ・初生花崗岩メルト包有物を用いた大規模銅鉱床の探査指標の開発

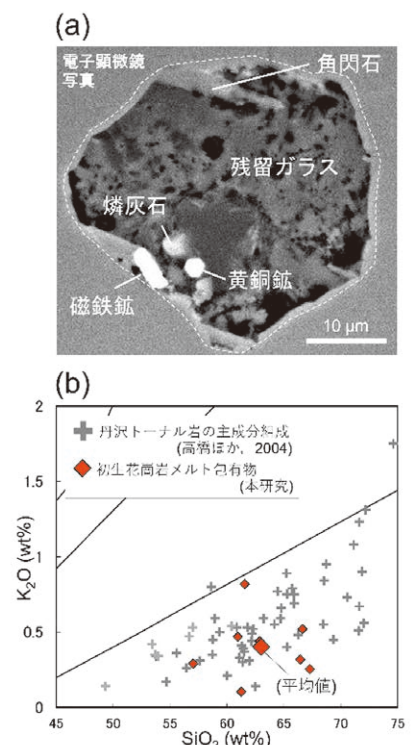


図 輝石巨晶中の初生花崗岩メルト包有物 (a) と地表花崗岩の組成との対比 (b)

イオン吸着型希土類鉱床の特徴—なぜ低品位鉱でも開発可能なのか—

鉱物資源研究グループ 実松 健造, 長澤 真
[連絡先] k-sanematsu@aist.go.jp

成果概要

文献やレポート中の風化型希土類鉱床をレビューし、イオン吸着型鉱床のみを選出した。類似の鉱床（例えば、clay-hosted deposit）にはイオン吸着型でない風化残留鉱床も含まれていることが分かった。また、イオン吸着型鉱床のほとんどは、Sanematsu and Watanabe (2016) で示されたように、現在の温帯および熱帯の気候区分に位置することが分かった。

研究内容

近年着目される希土類（レアアース）鉱床については、その特徴が正確に記述されていないものもあり、混乱の原因となる。本研究ではイオン吸着型鉱床と他の希土類鉱床との違いに焦点を当ててレビューする。

鉱石中の希土類は鉱物の結晶構造中に存在しているか、内圈錯体または外圈錯体として鉱物表面に存在している。イオン吸着型鉱床の最大の特徴であり他の鉱床にない利点は、希土類の大部分が粘土鉱物表面に外圈錯体として静電的に吸着していることである。硫酸アンモニウムのような電解質溶液を用いて、イオン交換により簡単に希土類を抽出可能であり、不純物が少ないため、混合希土類酸化物の作製が低コストで済む。一方でその他の鉱石中の希土類は結晶構造内にあるか内圈錯体として鉱物表面に強く吸着しているため、強酸や強アルカリを用いて取り出す必要があるため、全体的に高コストとなる。

研究成果はどう使われるか

本研究成果はイオン吸着型希土類鉱床の探査、評価、開発可能性調査に役立てられる。

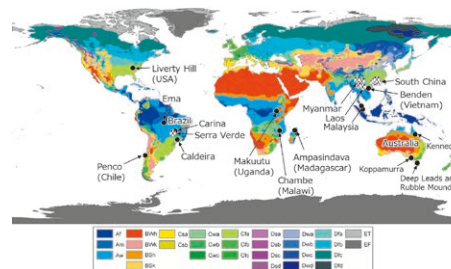


図 ケッペンの気候区分 (Peel et al., 2007) とイオン吸着型希土類鉱床の分布

LA-ICPMS による 2 次元元素イメージングと単体分離分析

鉱物資源研究グループ 昆 慶明, 網澤 有輝
[連絡先] yoshiaki-kon@aist.go.jp

成果概要

鉱床の開発可能性を判断するためには、鉱石品位だけでなく、不純物となり得る忌避元素や副産物となり得る有用元素が鉱石中にどのような存在形態であるかを評価することが重要である。微小域元素分析の分析点の鉱物種を元素組成に基づいて分類できる画像処理のアルゴリズムを組み合わせることで、微量元素の定量と分析領域中の粒子抽出や解析を同時に実現する手法を開発した。

研究内容

従来の分析手法では別々にしか行えなかった個々の鉱石粒子中の鉱物種の同定と、各分析点における微量成分まで含めた元素組成の評価を同時に行う新たな粒子解析技術を開発した。本解析技術では、レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析計 (LA-ICP-MS) による微小域組成分析から得られるデータから、鉱石中の鉱物の存在形態を評価する。具体的には、理想的な鉱物組成をリファレンスとして、主成分の濃度の閾値を設定し、分析点の主成分の元素組成から分析点の鉱物種を同定し、鉱物内の微量元素の量に差に応じて詳細に分析点を分類する。また、画像処理のアルゴリズム等を応用して、個々の分析点の位置情報から粒子を抽出することで、各粒子の元素濃度に加えてサイズや単体分離等の粒子情報を得る。

研究成果はどう使われるか

本解析技術は、副産物も考慮した鉱床の開発可能性の判断、不純分低減プロセスや分離技術の高精度化に利用が期待される。また、微量元素とその存在形態の同時評価は、材料やデバイス開発などにも展開できる可能性がある。

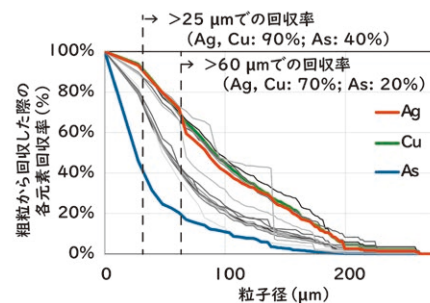


図 回収する最小粒子径と元素回収率との相関。この場合ヒ素は微細な粒子に多く含まれるため、粗粒を回収することでヒ素分離が可能

吸着剤を用いた熱と二酸化炭素の同時輸送システム

地圏資源化学グループ 鈴木 正哉, 宮原 英隆, 万福 和子
[連絡先] masaya-suzuki@aist.go.jp

成果概要

農業分野におけるビニールハウス等での施設園芸栽培においては、夜間の暖房と、昼間の光合成促進のための二酸化炭素施用が行われている。上記背景より、燃焼排ガスの排熱を利用したデシカント式熱輸送と、燃焼排ガス中の二酸化炭素回収による二酸化炭素輸送を組み合わせ、吸着剤ハスクレイを乾燥した後に二酸化炭素を吸着させ、熱と二酸化炭素の同時輸送に関し試験を行った。

研究内容

吸着剤の熱・CO₂ 吸放出量を把握するため、ハスクレイ GI およびゼオライト 13X を用い、吸着剤をそれぞれ 60℃, 80℃, 100℃ と所定の温度で乾燥させ冷却した後、170cc 程度のカラム容器に入れ、10vol% の二酸化炭素を吸着させ、カラム試験を行った。カラム試験は、流量計にて窒素ガス流量を 1.1L/min に調整し、パブリックさせ相対湿度 95% RH の空気にてカラム容器に通した。ハスクレイ GI およびゼオライト 13X のどちらにおいても、乾燥温度が高くなるにつれ、水蒸気吸着量および二酸化炭素放出量が多くなっていった。水蒸気吸着量においては、ハスクレイ GI の方が、ゼオライトよりも 2 ~ 3 倍程度多く、二酸化炭素放出量においては、乾燥温度 60℃ ではほぼ同じであるが、乾燥温度 100℃ では、ゼオライトの方が 2 倍程度の放出量を示していた。

研究成果はどう使われるか

バイオマス発電所やバイオマスボイラーなど、将来的に化石燃料を使用しない燃料として利用されることが推測される燃焼系の排ガスから、熱と二酸化炭素を回収し、ハウス栽培における熱（暖房）と二酸化炭素施用に用いられる。

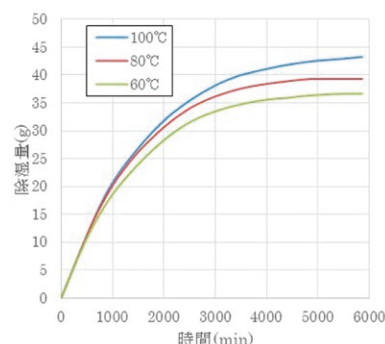


図 1 除湿量（ハスクレイ GI）

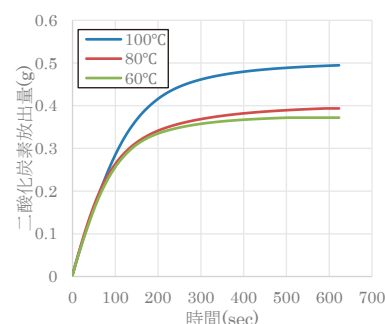


図 2 二酸化炭素放出量（ハスクレイ GI）

超臨界 CO₂ と水の存在下における硬質砂岩の体積膨張の挙動に関する研究

地圏資源化学研究グループ 藤井孝志, 鈴木正哉, 鉱物資源研究グループ 昆 慶明, 天谷 宇志
[連絡先] takashi.fujii@aist.go.jp

成果概要

CO₂ 地中貯留条件を想定し、三軸応力条件下での超臨界 CO₂ と水に浸漬させた硬質堆積岩（硬岩）の膨張挙動を調べた結果、超臨界 CO₂ と水の共存下では、粘土の少ない硬岩においても、粘土リッチの岩石の膨潤挙動のような岩石マトリックスの体積ひずみの増加がみられ、浸漬から約 5 日後には最大で約 0.3% に達することが観測された。また、それに伴い、約 1MPa の軸応力の増加がみられることがわかった。

研究内容

粘土の水または CO₂ の吸着に伴う膨潤／収縮挙動は、地中利用において影響を及ぼすことが予想される。たとえば、岩盤の拘束条件下で、CO₂ 圧入に伴う膨潤／収縮による粘土層のき裂の発生は、CO₂ 漏洩に関連した坑井の健全性に影響を与える。これまで、粘土が豊富な岩石の水またはガスの吸着性とそれに伴う膨潤性については数多く報告されている。一方で、CCS の主要な海外サイトで対象となる粘土の少ない硬岩については、CO₂ の吸着性が報告されているものの、それによるマトリックスの体積変化については報告されていない。本発表では、CO₂ 地中貯留条件を想定し、超臨界 CO₂ と水の存在下での硬質砂岩の膨張挙動を調べた結果について報告する。

研究成果はどう使われるか

本研究成果は、硬岩を中心とした CCS に関連したジオメカニクスモデリングについて、岩石マトリックスの体積膨張の効果を新たに考慮した精緻なモデリング開発に貢献する。

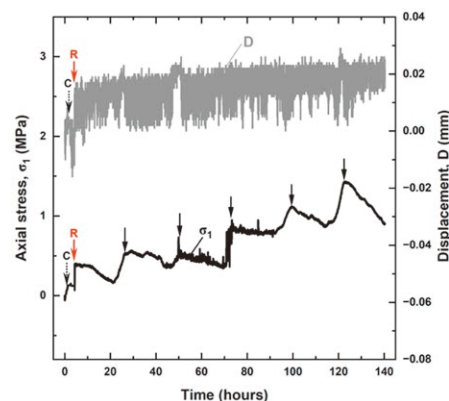


図 1 ベレア砂岩における超臨界 CO₂ と水の浸漬時間（超臨界 CO₂ 圧入による水の掃攻時間を含む）に対する変位 (D) と軸応力 (σ_1) の変化. C: 掃攻過程の終了の時点, R: 軸応力の再設定の時点.

亀裂を胚胎する溶岩層の水みちとしての可能性を NMR 検層で評価する

地下水研究グループ 中島 善人, 井川 怜欧
[連絡先] nakashima.yoshito@aist.go.jp

成果概要

地層中の亀裂は広域地下水流動を支配する水みち（透水性の高いゾーン）になりうるが、透水性を定量評価するのに必要な亀裂の開口幅を地下の原位置で計測できる手法は少ない。我々は、核磁気共鳴（NMR）検層を調査孔で実施した結果、溶岩層中の亀裂の開口幅を定量できた。その開口幅から導出される高い透水係数値は、溶岩層がこの地域の地下水系の水みちであることを示唆している。

研究内容

NMR 検層は水分子の水素原子核を計測対象としており、間隙水の定量評価（間隙率や間隙サイズなど）ができる。亀裂を胚胎する溶岩層で NMR 検層を含めた総合的な物理検層を実施した結果、図のように 5 つの開口亀裂を検出した。亀裂中の水由来の NMR 信号強度を抽出することで、開口幅を 1 cm 前後と定量できた。その結果、この亀裂を胚胎する厚さ 7m の溶岩層の透水係数は 0.33 m/s と算出され、溶岩層の上位にある厚さ約 140m の砂礫層（透水係数は約 10^{-5} m/s）にくらべて桁違いの透水性があること（水みちであること）がわかった。

Nakashima and Ikawa (2025) J. Nucl. Sci. Technol. 62, 592-615.

研究成果はどう使われるか

- ・広域地下水流動を支配する亀裂タイプの水みちの定量的な評価
- ・解析モデルを変更すれば、亀裂のない多孔質な地層の透水係数も定量可能

本研究には、経済産業省資源エネルギー庁委託事業「令和 2 年度～令和 5 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 (JPJ007597) (沿岸部処分システム評価確証技術開発)」の成果の一部を利用した。

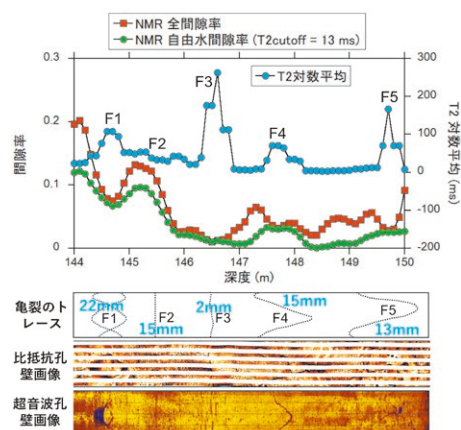


図 NMR 検層と孔壁画像検層の結果。この深度には厚さ 7 m の第四紀玄武岩層がある。孔壁画像検層から 5 つの亀裂 (F1-F5) が同定された。自由水間隙率とは、プロトン横緩和時間の長い間隙水の寄与であり、マクロな亀裂由来の信号である（ミクロな間隙由来の信号ではない）。この自由水間隙率の量から算出した亀裂開口幅を水色で示した。その平均値 (15 mm) の開口幅の水平亀裂が 1 本だけこの地域に延伸していると仮定すると、その透水係数を 0.33 m/s と算出できる。なお、NMR データを処理して得た T2 対数平均のプロファイルも、スパイク位置として亀裂のある深度を検出できている（亀裂 F2 を除く）。

山地流域の河川水質と微生物群集に対する表層崩壊の影響を探る

地下水研究グループ 吉原 直志, 飯島 真理子, 物理探査研究グループ 堀川 卓哉,
地質情報研究部門 海洋環境地質研究グループ 西島 美由紀, 井口 亮
[連絡先] n.yoshihara@aist.go.jp

成果概要

2018 年 9 月 6 日に発生した北海道胆振東部地震によって、北海道厚真町・安平町の山地流域では表層崩壊が多発した。本研究では、地形解析、水質分析、環境 DNA 解析、自然電位測定の結果から、この山地流域群における河川水質と微生物群集が崩壊堆積物の形成に影響されて変化していたことを発見した。

研究内容

調査対象とした厚真町・安平町の山地流域群における表層崩壊の発生規模は、各流域で採取した河川水の硝酸イオン (NO_3^-)、アンモニウムイオン (NH_4^+)、硫酸イオン (SO_4^{2-})、炭酸水素イオン (HCO_3^-)、マンガンイオン (Mn^{2+})、鉄イオン (Fe^{2+}) の濃度と相関関係にあった。これらのイオンの濃度は酸化還元条件に影響を受けやすいことから、山地流域の内部では表層崩壊に伴って酸化還元環境が変化すると予想される。崩壊堆積物を通過してきた湧水の水質を分析したところ、崩壊堆積物の内部には還元的（嫌氣的）な環境が存在することが分かった。これらの結果は、環境 DNA 解析、自然電位測定、種々の統計解析からも裏付けられた。最終的に、崩壊堆積物中で有機物の酸化に伴う種々の還元反応が進行し、それが河川水質や微生物群集に影響したと結論づけられた。

研究成果はどう使われるか

表層崩壊は土砂災害の誘因として広く認識されている。本研究では、表層崩壊が水環境や微生物生態系にも影響しうることを明らかにした。本研究で得られた知見は、表層崩壊の発生リスクが高い地域における水資源の質的安全性と生態系の健康状態を評価するための基盤になると考えられる。

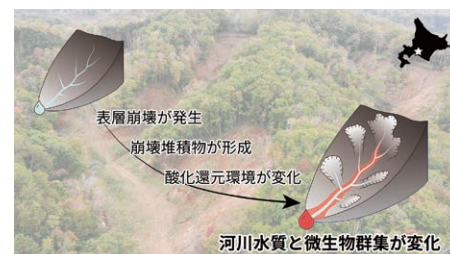


図 山地流域における表層崩壊、河川水質、微生物群集の関係

マイクロプラスチックの土壌への残留性評価

地圏環境リスク研究グループ 土田 恭平, 井本 由香利, 斎藤 健志, 原 淳子, 早稲田大学 川辺 能成
[連絡先] k.tsuchida@aist.go.jp

成果概要

マイクロプラスチック (MPs) は, ごみの不法投棄や河川の氾濫, 農耕地でのプラスチックの利用などに起因して地圏環境中へ流出しており, MPs のヒトへの健康影響が懸念されている. よってリスク管理の観点から, 表層土壌中にどの程度残留, もしくは地下水へ移動するかを明らかにする必要がある. 本研究では通水試験により, MPs の土壌への残留性の評価を行った.

研究内容

本研究では, 豊浦砂を充填したカラムと, 粒径の異なる 2 種類のポリスチレン (PS) 粒子とポリエチレン (PE) 粒子の合計 3 種類の MPs 懸濁液を用いて通水試験を行った. 流速は 1Pore Volume/h で, 純水を 1h, MPs 懸濁液を 2h, 純水を 2h カラム下端から通水した. また, MPs 懸濁液中の MPs の粒径も測定した. 通水試験の結果, PS 粒子より PE 粒子の方が土壌への残留性が大きかった. また, 流出液中の PE 濃度は PS と比較して, 濃度の経時変化に不規則な変動が観測された. 懸濁液中の MPs の粒径を測定した結果, PE 粒子は凝集し, 見かけの粒径が増大していることが明らかになった. よって凝集によりサイズが増大した PE 粒子が, 土壌間隙内に蓄積した可能性が考えられる. 以上から, MPs 粒子の土壌への残留性は, プラスチックの凝集の有無によって異なることが明らかになった.

研究成果はどう使われるか

土壌中での MPs の残留性を明らかにすることにより, 土壌中 MPs の分布や MPs の地下水への移行量を把握することができ, MPs のリスク評価につながる事が期待される

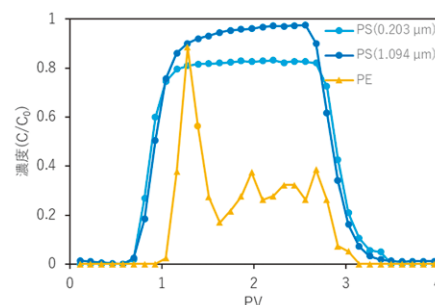


図 流出液中の MPs 濃度経時変化 (0h は MPs 通水開始時間を示す.)

Mg 系及び Ca 系吸着材の併用添加による As(V) 及び As(III) 除去について

地圏環境リスク研究グループ 杉田 創, 斎藤 健志, 原 淳子, 地圏資源化学研究グループ 森本 和也
[連絡先] hajime.sugita@aist.go.jp

成果概要

多くの研究者によってヒ素 (As) 吸着材として Mg 系及び Ca 系吸着材個々の As 除去性能が研究されてきたが, これらを併用使用した As 除去に関する研究はほとんど行われていない. 本研究では, Mg 系及び Ca 系吸着材として, それぞれの酸化物, 水酸化物及び炭酸塩を用い, Mg 系及び Ca 系吸着材の併用添加による As 除去性能の向上及び母材成分の溶出抑制効果に関する評価を行うとともに, それらのメカニズムを明らかにした.

研究内容

MgO, Mg(OH)₂, MgCO₃, CaO, Ca(OH)₂ 及び CaCO₃ を吸着材として単独添加及び併用添加によるヒ素 As(V) 及び亜ヒ素 As(III) 除去試験を実施した. MgCO₃ + CaO 及び MgCO₃ + Ca(OH)₂ の併用添加は高い As 除去性能を示すとともに, 母材からの Mg 及び Ca の溶出を抑制する効果が高いことを明らかにした. さらに, XRD 分析によって, この溶出抑制効果は Mg(OH)₂ 及び CaCO₃ の生成に起因することを明らかにした. 加えて, 補足試験によって As(V) は Mg(OH)₂ と CaCO₃ の両方に取り込まれることで, As(III) は CaCO₃ にはほとんど取り込まれず, 主として Mg(OH)₂ に取り込まれることで液相から除去されることを明らかにした.

研究成果はどう使われるか

本研究の成果を踏まえて, Mg 系及び Ca 系吸着材の母材となる Mg 及び Ca 化合物は天然の岩石や鉱物として地球上に豊富に存在しており, 入手が容易であることから発展途上国など経済的に裕福ではない地域で積極的に利用されることが期待される.

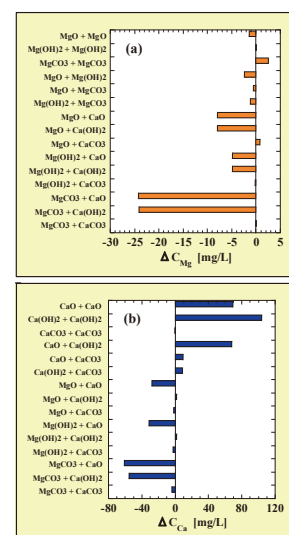


図 母材成分の溶出抑制効果: (a)Mg 成分の抑制効果, (b) Ca 成分の抑制効果

* 試験条件: 初期 As(III) 濃度 = 1 mg/L, 吸着材添加濃度 = 0.4 g/L (各 0.2 g/L)

** 値が低いほど溶出抑制効果が高いことを意味している.

参考 URL:
<https://doi.org/10.3390/su15054689>.
<https://doi.org/10.3390/su17020757>.

有機フッ素化合物（PFAS）の土壌・地下水中での挙動とリスク評価

地圏環境リスク研究グループ 坂本 靖英, 土田 恭平, 杉田 創, 原 淳子
[連絡先] j.hara@aist.go.jp

成果概要

近年注目されている有機フッ素系化合物（PFAS）は表層部（不飽和帯）に残留した成分による汚染の長期化が懸念されるため、PFAS のリスク評価には不飽和帯での時空間分布の予測が不可欠である。今後直面する土壌中の PFAS 汚染規制に先立ち、地圏環境を対象とした PFAS のヒト暴露リスク評価モデル（GERAS）構築とモデル開発を開始した。

研究内容

本研究では、PFAS の中でも難分解性、高蓄積性、長距離移動性の性質を持つ PFOS, PFOA, PFHxS に着目し、先行文献の調査によるシミュレーションに必要なパラメータの取得と、PFAS に対応した GERAS のモデル構築を行い、PFAS のリスク評価を行った。表層土壌を 4 m に設定し、初期濃度として 10 g/kg を設定した。その結果、PFOS と PFOA のリスクレベルは基準値の 1 倍以下であり、80 年の計算期間でのリスクは非常に小さいことが明らかになった。一方で、PFHxS のリスクレベルは最大で基準値の約 200 倍を示し、1 倍を超える結果となった。以上から、PFHxS が最もリスクが高く、早急な浄化が必要になると考えられる。

研究成果はどう使われるか

開発中のシステムは、PFAS の土壌・地下水環境中での長期挙動予測や人への健康リスク評価を可能とするとし、自治体・事業者等による土壌・地下水汚染の自主的かつ適切な管理に貢献する。

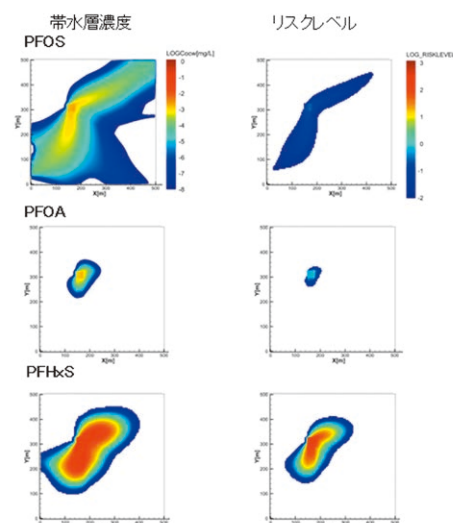


図 PFAS リスク評価の一例（初期濃度10 g/kg, 表層4m に設定）

吸着層工法における吸着材の性能評価手法の標準化：JIS A 1291の制定とその検討経緯

地圏サステナビリティ評価研究グループ 西方 美羽, 保高 徹生, 高田 モモ, 地圏資源化学研究グループ 森本 和也,
地圏環境リスク研究グループ 井本 由香利
[連絡先] m.nishikata@aist.go.jp

成果概要

2019 年から産総研を中心に、吸着層工法に使用される吸着材の性能評価試験方法の標準化活動が進められ、2025 年 3 月に『JIS A 1291 吸着層工法における吸着性能の試験方法』が制定された。吸着層工法とは、掘削ズリ等の自然由来重金属を含む建設発生土の低環境負荷な対策の一つである。本発表では JIS の制定プロセスや実施された検討事項を紹介する。

研究内容

自然由来重金属等を含む建設発生土の低コスト低環境負荷な対策のひとつとして吸着層工法がある。吸着層工法は盛土の下部に吸着層と呼ばれる、吸着材と透水性の高い土壌の混合層を敷設することで有害元素の拡散を防ぐ手法である（図 1）。吸着層の性能を評価するに際し、求められる性能要件を満たす評価方法が確立していないという課題があり、2019 年から産総研を中心に試験方法の標準化活動が進められてきた。吸着層に求められる性能要件の定義や試験案の作成、試験の精度評価を行った後に JIS 原案を作成し、2025 年 3 月に JIS が制定された（図 2）。試験法の作成時には性能評価指数の求め方や吸着材と水の接触影響の評価方法等、さまざまな検討が行われた。

研究成果はどう使われるか

確立した試験手法が制定されたことで、主成分の異なる吸着材を同一条件で比較することが容易になった。試験で得られる性能評価指数を工法の設計にどのように反映させるかは今後の課題である。

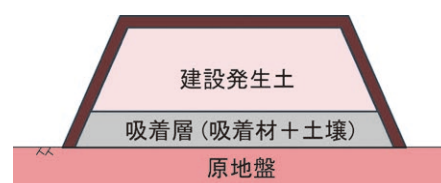


図1 吸着層工法の模式図

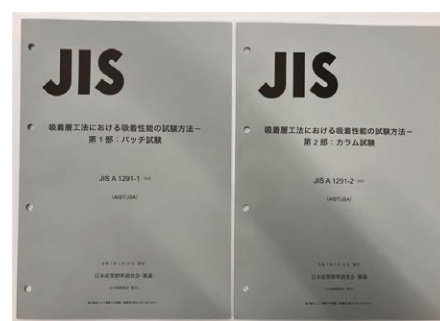


図2 制定されたJISの表紙

那須塩原市におけるネイチャーポジティブに向けた取り組み

地圏サステナビリティ評価研究グループ 保高 徹生, TUM Sereyiroith, 松本 親樹, 岩崎 雄一
[連絡先] t.yasutaka@aist.go.jp

成果概要

地圏サステナビリティ評価研究グループでは、2025 年度からスタートしたネイチャーポジティブ技術実装研究センターと連携して、那須塩原市のネイチャーポジティブに向けた取り組みを支援している。本発表では、2025 年 6 月に那須塩原市、産総研、国環研で設立したネイチャーポジティブ那須野が原アライアンスや那須野が原で産総研が実施している研究を紹介する。

研究内容

2025 年 6 月に那須塩原市、産総研、国環研で設立したネイチャーポジティブ那須野が原アライアンスを立ち上げた。本アライアンスは、企業、団体、研究機関、個人など、様々な主体が相互に連携を図り、地域の自然環境が健全な状態になる、いわゆる「ネイチャーポジティブ」を実現させるための枠組みである。本発表では、ネイチャーポジティブ那須野が原アライアンスの取り組みや那須野が原地域で産総研が実施している研究を紹介する。

研究成果はどう使われるか

ネイチャーポジティブ那須野が原アライアンスの意義は、地域に根ざした自然資本の価値を再評価し、生物多様性の回復と持続可能な地域社会の実現を結びつける協働基盤を構築する点にある。行政・企業・研究機関・市民が連携し、農地・森林・河川を含む生態系の保全と再生を地域経済や暮らしの豊かさと一緒に推進することで、ネイチャーポジティブの理念を具現化し、国内外に発信する先進モデルとしての役割を果たす。



図 ネイチャーポジティブ那須野が原アライアンスのロゴ

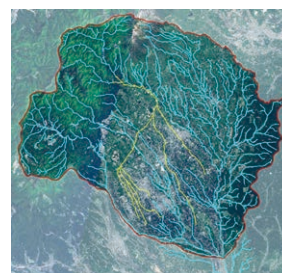


図 那須野が原（青線：河川、黄色線：疎水）国土交通省国土地理院の国土基本図（オルソ画像）を加工して作成

水素資化性メタン生成菌は地下メタンの同位体シグナルを上書きする

生物地球科学研究グループ 眞弓 大介
[連絡先] mayumi-daisuke@aist.go.jp

成果概要

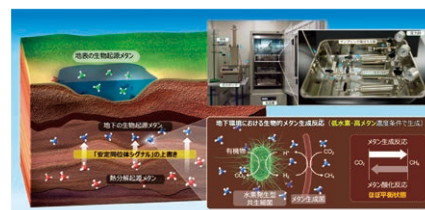
天然ガス（メタン）は、メタン生成菌が作る「生物起源」と地下深部の地熱によって発生する「熱分解起源」に分類される。これまで、メタンの生成起源を特定する際には「安定同位体シグナル」が重要な指標として用いられてきた。地下由来の生物起源メタンは、同位体平衡に近い安定同位体シグナルを示すことが特徴であるが、このシグナルをメタン生成菌の室内培養実験で再現した例はなく、同位体地球化学と微生物学の解釈には大きな隔たりがあった。

研究内容

今回、地下環境を忠実に模擬する高圧培養装置を開発し、水素発生型細菌と水素資化性メタン生成菌を共培養することで、同位体平衡に近い安定同位体シグナルを初めて再現することに成功した。さらに、地下環境において、水素資化性メタン生成菌が熱分解起源メタンの安定同位体シグナルを生物起源メタンのものに「上書き（再平衡化）」する現象を発見した。この発見は、熱分解起源メタンの存在量が実際よりも少なく見積もられている可能性と現在推定される天然ガス鉱床の成因を大きく見直す必要性を示す。それにより、天然ガス鉱床の探査方法の再考が促され、今まで見落とされていた新しい天然ガス鉱床の発見につながる事が期待される。

研究成果はどう使われるか

天然ガスの起源や成因を再考する起爆剤となり、天然ガス鉱床の新しい探鉱法や資源量評価の見直しが行われる。



還元力最強「補酵素 F₄₂₀」の電極反応を実現

生物地球科学研究グループ 風呂田 郷史
[連絡先] sato.furota@aist.go.jp

成果概要

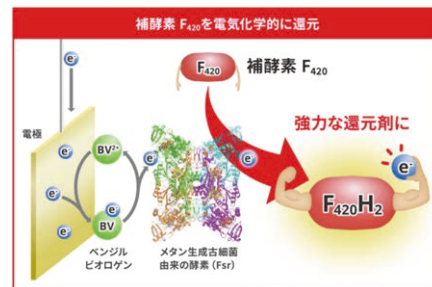
二酸化炭素からメタンを作るメタン生成古細菌が利用する補酵素 F₄₂₀ を電気化学的に酸化還元する技術を世界で初めて確立した。補酵素 F₄₂₀ は最も高い還元力をもつ電子運搬体のため、本技術は補酵素 F₄₂₀ が仲介する酵素還元反応を利用した新たな分子製造技術の開発への応用が期待されます。また、本技術はメタン生成代謝の活性度センサ開発の基盤技術にもなり得ます。

研究内容

メタン生成古細菌由来の F₄₂₀ 依存亜硫酸還元酵素 (Fsr) を触媒に、ベンジルビオロゲン (BV) をメディエーターに利用することで、補酵素 F₄₂₀ の電極反応技術を世界で初めて確立した。補酵素 F₄₂₀ は酸化体と還元体と 2 つの状態を有する分子であり、酸化体は 420 nm に強い吸光特性を持つ。今回の実験では、金メッシュ電極を用いた電気化学実験と、その電極を通過する光の吸光スペクトル測定を同時に実施した。その結果、Fsr と BV を添加した系でのみ印加電位の変化にตอบสนองする 420 nm 光の吸光度に変化が出現することを発見した。この結果は、Fsr と BV を添加した系でのみ補酵素 F₄₂₀ の電気化学的な酸化還元反応が進行することを裏付ける。この電極反応系に基づく酵素修飾電極開発を進めることで、補酵素 F₄₂₀ の産業利用やメタン生成菌の代謝活性度センサ開発が促進される。

研究成果はどう使われるか

還元力が最も強い電子運搬体である補酵素 F₄₂₀ を利用した酵素反応産業利用の促進や、メタン生成菌の代謝活性度センサの基盤技術としての活用が期待される。



補酵素 F₄₂₀ 電気化学反応系のイメージ

地熱地域における重力の制約付き多層構造インバージョン

物理探査研究グループ 堀川 卓哉
[連絡先] t.horikawa@aist.go.jp

成果概要

地下が密度の異なる 3 種類以上の岩体で構成されているという仮定の下、重力探査データから各層の厚さを求める逆解析手法を開発した。数値テストにより、本手法で望ましい解を得るための初期条件などを示したほか、実際の地熱資源開発地域に適用し、推定された地下密度構造が先行研究とよく一致することを確認した。

研究内容

地熱資源開発において重力探査は広く用いられる物理探査手法である。重力の逆解析には、地下をメッシュ分割し各メッシュの密度を求める方法と、層構造を仮定し各層の密度を与えた上で層厚を求める方法がある。地熱開発地域では、調査井の掘削や地質調査により層序や各岩体の密度の情報が得られやすく、先験情報を陽に与えられる層構造インバージョンが有効と考えられる。しかし、一般的な 2 層構造モデルでは、火山活動により多様な密度の岩体が存在する地熱地域への適用が難しい。そこで本研究では、先験情報や探査深度に対する感度補正などの制約を課すことで、重力からもっともらしい多層構造を推定する手法を開発した。数値テストにより、本手法で妥当な解を得るための初期条件などを提示したほか、実データへの適用によって有効性を確認した。

研究成果はどう使われるか

開発初期段階など、調査井が少なく先験情報が限られた状況において、推定された密度構造は次の掘削ターゲットを検討する際の材料となる。また、貯留層シミュレーションにおける地下の数値モデル作成にも寄与することが期待される。

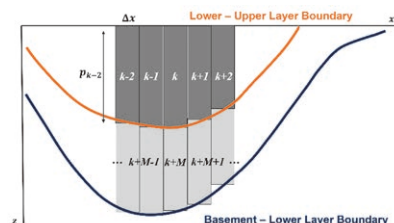


図 1 3層構造インバージョンの概要図。各層を M 個の短冊に分割し、各短冊の幅が Δx 。各層の密度は事前に与え、短冊の高さ p を逆解析で求める (Horikawa & Kusumoto, accepted).

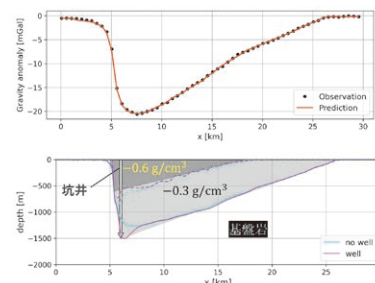


図 2 半地溝構造を模擬した 3 層構造インバージョンテストの結果。(上) テストモデルで観測される重力異常 (黒点)。逆解析で推定された構造から計算される重力異常 (赤線)。(下) テストモデル及び推定された密度構造。坑井の情報を入れない場合 (シアン) と比べ、入れた場合 (ピンク) の方が高傾斜断層近傍の層境界をよく再現できている。

非破壊電気探査を用いた水道管路管理の予防保全推進のための実証実験

物理探査研究グループ 神宮司 元治
[連絡先] m.jinguuji@aist.go.jp

成果概要

水道管路の予防保全管理を実現するため、非破壊探査技術と水道マネジメント技術を融合し、劣化状況や更新優先度を科学的に評価する枠組みを提示した。高周波交流電気探査により広域の腐食土壌を効率的に把握し、コスト削減とリスク低減を可能とする社会実装モデルを構築し、モデル地区で実証実験を行った。

研究内容

本研究では、老朽化した水道管路の予防保全を目的に、非破壊探査技術とマネジメント技術を用いた新しい維持管理手法を開発した。産総研がこれまでに開発した水道管周囲の腐食土壌調査技術を基盤とし、その効率化とコスト削減を図るため、広範囲の地盤比抵抗を短時間で測定可能な高周波交流電気探査システムを導入した。この手法により、従来困難であった面的かつ大規模な調査が可能となり、管路の劣化状況や腐食リスクを科学的に評価できる。さらに、選定したモデル地区で実証実験を実施し、探査データを解析して更新優先度を定量的に示すことで、リスク管理型の予防保全に基づく水道管路マネジメントの有効性を検証した。加えて、水道コンサル企業との連携を通じ、成果を自治体の水道管路管理システムへ実装し、実務適用に向けた展開可能性を検討した。



図 福岡市天神における調査の様子

研究成果はどう使われるか

研究成果は自治体の水道管路管理に導入され、非破壊探査に基づく科学的評価により更新判断を合理化し、効率的な維持管理とコスト削減を実現する。

室内実験による PDC ビットの掘進速度モデルの適用可能範囲の拡張と制約

地圏メカニクス研究グループ 金木 俊也、宮崎 晋行
[連絡先] kaneki.shunya@aist.go.jp

成果概要

PDC ビットを用いた室内掘削試験から、Miyazaki et al. (2022) の掘進速度モデルの適用可能範囲の拡張・制約を行った。掘削現場で想定される様々な岩石種・回転速度・ビット径に対して、摩耗度が低いビットには Miyazaki のモデルが適用できない一方、十分に摩耗したビットには広く適用可能であることが確認された。一方、摩耗度に関係なく、ローラーコーンビットには適用できないことがわかった。

研究内容

Miyazaki et al. (2022) は、掘進速度がビット荷重の二乗に比例するモデルを提案した。本研究では、Miyazaki のモデルの適用可能範囲の拡張・制約を行うべく、四種類の摩耗度をもつ PDC ビットを用いた室内掘削試験を実施した(図(上))。その結果、ビット摩耗度の指標である IADC dull grade が 1 より小さいビットでは Miyazaki のモデルは成り立たない一方、これよりも摩耗したビットでは岩石強度・回転速度・ビット径によらず二乗則が概ね成り立つことがわかった。一方、ローラーコーンビットの試験結果(Karasawa et al., 2002a, b) は摩耗度によらず二乗則と調和的でないことがわかった。よって、Miyazaki のモデルは、掘削現場で想定される岩石種・回転速度・ビット径に対し、十分に摩耗した PDC ビットを用いる限りは広く適用可能であると言える。

研究成果はどう使われるか

岩盤掘削を伴う地圏産業において、掘削計画の最適化を通じた工期の短縮を目指す際、事業現場において Miyazaki のモデルを採用することの根拠として用いられる(図(下))。

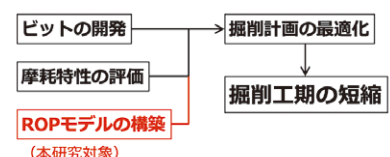


図 (上) 室内試験で掘削された岩石試料。(下) 掘削工期の短縮を最終目的とする本研究の位置付け。

水理力学連成モデルによる流体注入に伴う断層安定性解析

阿部 彩歌^{1,2}, 藤井 孝志^{1,3}

¹ 二酸化炭素地中貯留技術研究組合, ² 産総研 地圏メカニクス研究グループ, ³ 産総研 CO₂ 地中貯留研究チーム
[連絡先] ayaka-abe@aist.go.jp

成果概要

CO₂ 貯留サイトをターゲットとし、CO₂ を圧入した際の貯留層や周辺断層の間隙圧や応力・ひずみの変化を、水理・熱・力学を連成した物理モデルを用いた数値シミュレーションによって解析した。CO₂ の圧入に伴い断層沿いに間隙圧が上昇し、断層ゾーンにひずみ・応力変化が引き起こされる様子が観測された。

研究内容

地熱開発や CO₂ 地下貯留等の、生産または圧入によって地下の流体流動を起こす操業では、貯留層周辺の間隙圧に変化を起こし、更にその周辺に局所的な応力、ひずみの変化を引き起こす。そのため、操業中の貯留層の挙動を理解するためには、水理・熱・力学を連成した物理モデルを用いた数値シミュレーションによる解析が不可欠となる。本研究では、CO₂ 地下貯留試験で取得される現場データを解析するための水理・熱・力学を連成した貯留層モデルを構築し、断層安定性の監視・健全性評価を行うことを目的としている。これまで現場岩石を用いて各種室内実験を実施し、取得した摩擦強度等のパラメータに基づきモデルの構築を行った。また、一面せん断実験を通じて摩擦係数も求めた。これらの取得パラメータをモデルに反映し、注水シミュレーションを行った。

研究成果はどう使われるか

CO₂ の圧入による周辺断層への影響を解析することによって、CO₂ 圧入サイトの候補地の評価、適切な圧入地点や圧入レート、圧入期間の検討、モニタリング手法の検討、リスクマネジメントに活用することができる。

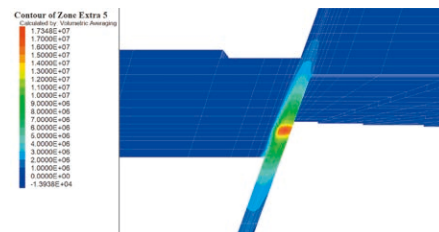


図 1 断層周辺の間隙圧の変化

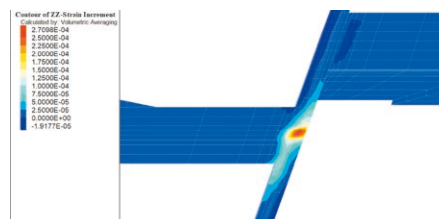


図 2 断層周辺の鉛直ひずみの変化

謝辞：この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP18006）の結果得られたものです。

分布式ひずみ測定に基づく浅部断層の水理・力学特性の数値解析

後藤 宏樹^{1,2}, 薛 自求^{1,3}, 橋本 励^{1,3}

¹ 二酸化炭素地中貯留技術研究組合, ² 産総研 CO₂ 地中貯留研究チーム, ³ 地球環境産業技術研究機構
[連絡先] h.goto@aist.go.jp

成果概要

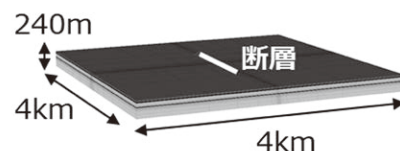
地下への流体圧入に対する断層およびその周辺の水理・力学的応答を理解することを目的として、豪州の流体圧入試験サイトにおける注水試験の数値シミュレーションを実施した。その結果、分布式ひずみ測定と流動・変形連成シミュレーションの組み合わせが、水理地質モデルの制約および選択的流動経路の同定に有効である可能性が示唆された。

研究内容

地下への流体圧入に対する断層およびその周辺の水理・力学的応答を理解することを目的として、豪州の流体圧入試験サイトにおける注水試験の数値シミュレーションを行った。試験は、断層を含む比較的浅部の石灰岩層を対象に実施され、期間中は 2 本の観測井において深度方向に分布式ひずみ測定が行われた。流動と変形を連成させた数値シミュレーションを実施したところ、観測結果を再現するためには、断層に対して周囲の地層よりも高い浸透性を設定する必要があることが分かった。実際に断層が高浸透性を有するのか、あるいは断層以外に高浸透性の流路が存在するのかは明らかではないものの、これらの結果は、分布式ひずみ測定と流動・変形連成シミュレーションの組み合わせが、水理地質モデルの制約および選択的流動経路の同定に有効である可能性を示唆している。

研究成果はどう使われるか

本研究の成果は、CO₂ 地中貯留を含む地圏の開発・利用において、断層およびその周辺の流動・変形挙動の予測に資するものであり、安全かつ効率的な操業の実現に貢献する。



断層に直交する鉛直断面

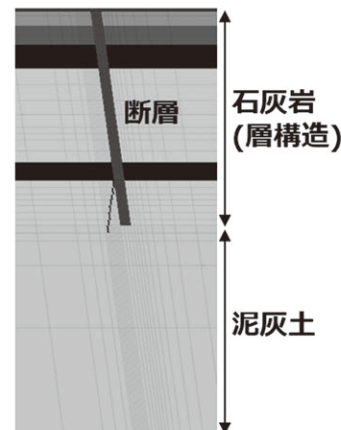


図 解析に用いた計算メッシュ

謝辞：この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP18006）の結果得られたものです。

成果概要

CO₂ 地熱発電技術において、地熱貯留層への CO₂ 圧入に伴う地化学反応が浸透率に及ぼす影響を評価するために、温度 200℃、間隙圧 10 MPa の条件下で玄武岩および安山岩コアに対して CO₂ 溶解水を流通させた。その結果、玄武岩については粘土鉱物の沈殿に伴う間隙の閉塞によって浸透率が継続的に減少する一方、安山岩では浸透率が流通初期に低下した後、継続的に増加することが明らかとなった。

研究内容

著者らは、カーボンリサイクル CO₂ 地熱発電技術プロジェクトの一環として、地化学反応に伴う水理特性変化の検証を進めている。本研究では、地熱貯留層として想定される玄武岩および安山岩コアを用いた CO₂ 溶解水の流通試験を実施し、反応が浸透率に及ぼす影響を評価した。実験条件は 200℃、間隙圧 10 MPa とした。実験の結果、玄武岩については浸透率が継続的に減少した。一方、安山岩の浸透率は試験開始後 7-10 日目で約 1 桁低下したが、その後は継続的に増加した(図 1)。流速が大きいほど、浸透率の増加は顕著であった。試験後の安山岩内部では、石基中のガラスの選択的溶解により間隙が形成されると同時に、粘土鉱物の沈殿が確認された。溶解が顕著な領域では、間隙同士が新たに連結しており、このような新たな流体流路の形成が浸透率増加に寄与したと考えられる。

研究成果はどう使われるか

得られた成果は、地熱貯留層において地化学反応が生じた際に、CO₂ 循環の継続性や採熱効率がどのような影響を受けるのかを予測する上での基礎情報としての利用が期待できる。

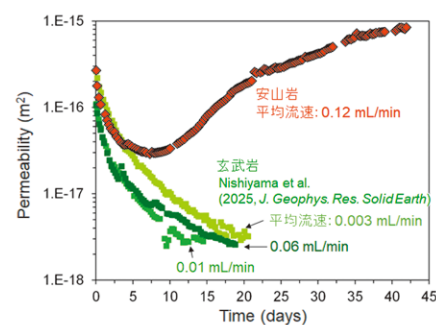


図 1 CO₂-水-岩石反応に伴う玄武岩と安山岩の浸透率変化



論文リスト

Yoshikazu Ohno, Anan Takahashi, Motosuke Tsutsumi, Azusa Kubota, Akira Iguchi, Mariko Iijima, Nanami Mizusawa, Takashi Nakamura, Atsushi Suzuki, Michio Suzuki, Jun Yasumoto, Shugo Watabe, Kazuhiko Sakai, Tomomi Nemoto, Ko Yasumoto (2024) Live imaging of center of calcification formation during septum development in primary polyps of *Acropora digitifera*, *Frontiers in Marine Science*.

<https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1406446>

井口 亮, 飯島 真理子, 水澤 奈々美, 大野 良和, 安元 剛, 鈴木 淳, 菅 駿一, 田中 健, 財津 桂 (2024) たった一つのサンゴポリプで代謝物解析が可能にーサンゴを調べる新たな評価手法の確立に成功ー, *GSJ 地質ニュース*. チョン 千香子, 大畑 昌輝, 荒岡 大輔, 飯島 真理子, 塚崎 あゆみ, 町田 功, 山内 喜通, 鈴木 昌弘, 山岡 香子, 青木 伸行 (2024) ラボ間比較試験による環境水中のリン酸分析の妥当性検証, *分析化学*.

<https://doi.org/10.2116/bunsekikagaku.73.553>

Hajime Sugita, Kazuya Morimoto, Takeshi Saito, Junko Hara (2024) Removal performance and adsorption behavior on Mg-based adsorbents in As(III) and F simultaneous removal as in comparison with As(V), *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*.

<https://doi.org/10.1144/geochem2024-022>

Xinglin Lei (2024) Fluid-driven fault nucleation, rupture processes, and permeability evolution in Oshima granite – Preliminary results and acoustic emission datasets, *Geohazard Mechanics*.

<https://doi.org/10.1016/j.ghm.2024.04.003>

Kodai Gibu, Nanami Mizusawa, Mariko Iijima, Yoshikazu Ohno, Jun Yasumoto, Ko Yasumoto, Akira Iguchi (2024) Polyamine impact on physiology of early stages of reef-building corals–insights from rearing experiments and RNA-Seq analysis, *Scientific Reports*.

<https://doi.org/10.1038/s41598-024-72943-6>

Andrea Agangi, Axel Hofmann, Takuya Echigo, Robert Bolhar, Daisuke Araoka, Vincent Mashoene, Lucia T. Ndhlovu, Ryohei Takahashi, Pearlyn C. Manalo (2024) The use of combined C-Mg isotope compositions of carbonates from orogenic Sb-Au deposits as a tracer of fluid interaction with sea-

floor altered crust, *Chemical Geology*.

<https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2024.122442>

Takeshi Nakajima, Yoshiki Saito (2024) Facies variations within gravelly cyclic steps deposited from turbidity currents: Miocene fan delta front deposits compared with modern active fan delta, central Japan, *Depositional Record*.

<https://doi.org/10.1002/dep2.315>

Taiki Katayama, Masaru K. Nobu, Yoichi Kamagata, Hideyuki Tamaki (2024) *Fideibacter multiformis* gen. nov., sp. nov., isolated from a deep subsurface aquifer and proposal of *Fideibacterota* phyl. nov., formerly called Marine Group A, SAR406 or Ca. Marinimicrobia, *INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEMATIC AND EVOLUTIONARY MICROBIOLOGY*.

<https://doi.org/10.1099/ijsem.0.006558>

Junko Hara, Kazuhiro Sayama (2024) Accounting of weathering enhancement by mafic mineral spreading for CO₂ storage, *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*.

<https://doi.org/10.1144/geochem2024-03>

Yukari Imoto (2024) Insight into the relationship between similarity and the degree of equilibrium of contaminant release curves through numerical simulations, *Journal of Contaminant Hydrology*.

<https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2024.104451>

Akihiro Hamanaka, Takashi Sasaoka, Hideki Shimada, Shinji Matsumoto, Ginting Jalu Kusuma, Mokhammad Candra Nugraha Deni (2024) Mitigation of Acid Mine Drainage Using Blended Waste Rock in Near-Equatorial Climates—Geochemical Analysis and Column Leaching Tests, *Physchem*.

<https://doi.org/10.3390/physchem4040033>

Takuya Tatsumoto, Yutaro Takaya, Yuki Tsunazawa, Taketoshi Koita, Keishi Oyama, Chiharu Tokoro (2024) Validation of DEM simulations for a drum-type agitation mill using particle velocities measured by 3D PTV, *Advanced Powder Technology*.

<https://doi.org/10.1016/j.appt.2024.104693>

Tomohiro Toki, Koma Yasumura, Naoto Takahata, Yusuke Miyajima, Haruya Miyaki, Kiyokazu

- Oohashi, Makoto Otsubo (2024) Origin of helium in basement rocks and carbonate veins in Yonaguni Island, *Geochemical Journal*.
<https://doi.org/10.2343/geochemj.GJ24024>
- Sereyroith Tum, Taiki Katayama, Naoyuki Miyata, Miho Watanabe, Yohey Hashimoto, Miu Nishikata, Tetsuo Yasutaka (2024) Geochemical insights and model optimisation for pilot-scale passive treatment of manganese and zinc in a legacy mine in Japan, *Heliyon*.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40363>
- Michio Murakami, Momo Takada, Yukihide Shibata, Kosuke Shirai, Susumu Ohnuma, Tetsuo Yasutaka (2024) Exploring the differences and influencing factors between top-down and opinion-reflective approaches regarding public acceptance of final disposal of soils removed after the Fukushima nuclear accident, *Radiation Protection Dosimetry*.
<https://doi.org/10.1093/rpd/ncae017>
- Akira Takeda, Yusuke Unno, Mathew J B Swallow, Yasumi Yagasaki, Tetsuo Yasutaka, Naofumi Akata (2024) DEVELOPMENT OF EVALUATION METHOD FOR RADIOCESIUM AVAILABILITY IN SOIL BY BIOMIMETIC APPROACH, *Radiation Protection Dosimetry*.
<https://doi.org/10.1093/rpd/ncae129>
- Naohide Shinohara, Noboru Kurihara, Wataru Naito, Aya Iwai, Tetsuo Yasutaka, Toshihiro Morioka, Toshiyuki Takatsuji, Masayuki Ogata, Koichi Tatsui (2024) Wind velocity and dispersion/advection-diffusion of artificial droplets and droplet nuclei in a domed all-weather multi-purpose stadium, *Scientific Reports* volume.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-76806-y>
- Azusa Kubota, Yoshikazu Ohno, Jun Yasumoto, Mariko Iijima, Michio Suzuki, Akira Iguchi, Kanami Mori-Yasumoto, Mina Yasumoto-Hirose, Tsuyoshi Sakata, Takaaki Suehiro, Kaho Nakamae, Nanami Mizusawa, Mitsuru Jimbo, Shugo Watabe, Ko Yasumoto (2024) The Role of Polyamines in pH Regulation in the Extracellular Calcifying Medium of Scleractinian Coral Spats, *Environmental Science & Technology*.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.4c10097>
- Mazlinfalina Mohd Zin, Mohd Basril Iswadi Basori, Kenzo Sanematsu, Takayuki Manaka, Khin Zaw, Christian Dietz, Habibah Jamil, Abhisit Salam (2024) Geology, Mineralogy and Sulphur Isotope Constraints of the Buffalo Reef Gold Deposit, Central Belt, Peninsular Malaysia: Implications for Ore Genesis, *GEOLOGICAL JOURNAL*.
<https://doi.org/10.1002/gj.5106>
- Makoto Nagasawa, Yusuke Shimizu, Akiko Yamaguchi, Kohei Tokunaga, Hiroki Mukai, Noboru Aoyagi, Huiyang Mei, Yoshio Takahashi (2024) Interpretation of vertical migration and enrichment processes of rare earth elements (REEs) in ion-adsorption-type mineralization in Japan based on REE speciation analyses, *Chemical Geology*.
<https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2024.122431>
- Daisuke Mayumi, Hideyuki Tamaki, Souichiro Kato, Kensuke Igarashi, Ellen Lalk, Yasunori Nishikawa, Hideki Minagawa, Tomoyuki Sato, Shuhei Ono, Yoichi Kamagata, Susumu Sakata (2024) Hydrogenotrophic methanogens overwrite isotope signals of subsurface methane, *Science*.
<https://doi.org/10.1126/science.ado0126>
- Jun Matsushima, Masashi Kodama, Mohammed Y Ali, Fateh Bouchaala, Hiroyuki K M Tanaka, Tadahiro Kin, Hamid Basiri, Toshiyuki Yokota, Makoto Suzuki (2024) Joint measurement of cosmic-ray muons and seismic waves at laboratory scale, *Geophysical Journal International*.
<https://doi.org/10.1093/gji/ggae360>
- Yuya Akamatsu, Hanaya Okuda, Manami Kitamura, Michiyo Sawai (2024) Mesoscale fractures control the scale dependences of seismic velocity and fluid flow in subduction zones, *Tectonophysics*.
<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2024.230606>
- Yoshito Nakashima, Reo Ikawa (2025) Exploratory Study of Nuclear Magnetic Resonance Well Logging Technology on the Hydrogeological Characteristics of Deep Geological Formations, *Journal of Nuclear Science and Technology*.
<https://doi.org/10.1080/00223131.2025.2451025>
- Tinh Thanh Bui, Yasushi Watanabe, Carmela Alen J. Tupaz, Takuya Echigo, Shogo Aoki, Mihoko Hoshino (2025) Rare-earth mineralization in Dong Pao deposit, Laichau Province, Vietnam, *RESOURCE GEOLOGY*.
<https://doi.org/10.1111/rge.70006>
- Hajime Sugita, Kazuya Morimoto, Takeshi Saito, Junko Hara (2025) As(III) Removal via Combined Addition of Mg- and Ca-Based Adsorbents and Comparison to As(V) Removal via Those Mechanisms, *Sustainability*.
<https://doi.org/10.3390/su17020757>
- Satoshi Furota, Masanori Kaneko, Seiya Tsujimura, Daijiro Takeshita, Yusuke Nakamichi, Kensuke Igarashi, Masaru K. Nobue, Miho Yoshikawa, Kenta Asahina, Chie Fukaya, Toshie Ishitsuka, Kazuma Shimada (2025) Bidirectional Electro-Enzymatic Reaction of Coenzyme F420 Using

Benzyl Viologen and F420-Dependent Sulfite Reductase, *Bioelectrochemistry*.

<https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2025.108922>

Yan Huang, Kensuke Igarashi, Laiyan Liu, Daisuke Mayumi, Tomomi Ujiie, Lin Fu, Min Yang, Yahai Lu, Lei Cheng, Souichiro Kato, Masaru K. Nobu (2025) Methanol transfer supports metabolic syntrophy between bacteria and archaea, *Nature*.
<https://doi.org/10.1038/s41586-024-08491-w>

Hanae Saishu, Momo Takada, Tetsuo Yasutaka, Nobukazu Soma (2025) Understanding the latent needs of diverse stakeholders unfamiliar with geothermal energy, *Geothermics*.

<https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2024.103154>

Mariko Iijima, Ko Yasumoto, Jun Yasumoto, Akira Iguchi, Mina Yasumoto-Hirose, Kanami Mori-Yasumoto, Nanami Mizusawa, Mitsuru Jimbo, Kazuhiko Sakai, Atsushi Suzuki, Shugo Watabe (2025) Adverse effects of total phosphate load from the environment on the skeletal formation of coral juveniles, *Marine Pollution Bulletin*.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117395>

天谷 康孝, 一ノ瀬 彩, 井川 怜欧, 大川 顕次郎, 坂本 憲彦, 金子 晋久 (2025) 湧水に浸すと発電できる「湧水温度差発電」の現状と展望, 計測標準と計量管理.

Jun Hirouchi, Ikuo Kujiraoka, Shogo Takahara, Momo Takada, Thierry Schneider, Michiaki Kai (2025) Comparison of radiation-related cancer risk against baseline cancer rates in 33 countries using disability-adjusted life years (DALYs), lifetime incidence risk and lifetime mortality risks, *JOURNAL OF RADIOLOGICAL PROTECTION*.
<https://doi.org/10.1088/1361-6498/adba6f>

Momo Takada, Michio Murakami, Susumu Ohnuma, Yukihide Shibata, Tetsuo Yasutaka (2025) Public perception and underlying values regarding final disposal of radioactively contaminated soil from a large nuclear accident, *Environmental Management*.
<https://doi.org/10.1007/s00267-025-02124-2>

Yohey Hashimoto, Yukari Imoto, Miu Nishikata, Hiroki Suga, Shan-Li Wang, Tetsuo Yasutaka (2025) Unveiling the potential mobility and geochemical speciation of geogenic arsenic in the deep subsurface soil of the Tokyo metropolitan area, *Journal of Hazardous Materials*.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136580>

Jun Yasumoto, Mariko Iijima, Akira Iguchi, Takashi Nakamura, Ryogo Takada, Mina Yasumoto-

Hirose, Yuichi Iwasaki, Tetsuo Yasutaka, Kanami Mori-Yasumoto, Ryuichi Shinjo, Ryota Ide, Alice Yamazaki, Nanami Mizusawa, Yoshikazu Ohno, Atsushi Suzuki, Shugo Watabe, Ko Yasumoto (2025) Coral decline linked to exchangeable phosphate in seawater from coastal calcareous, *Marine Biotechnology*.

<https://doi.org/10.1007/s10126-025-10412-5>

堀 知行, 太田 雄貴, 宮嶋 佑典, 井口 亮, 塚崎 あゆみ, 鈴木 淳, 鈴木 昌弘, 青柳 智, 吉岡 秀佳 (2025) メタンハイドレート賦存域海底における好気・嫌気メタン酸化の共存 -メタン動態と生物群集へのインパクト-, *日本微生物生態学会誌*.

https://doi.org/10.20709/jsmeja.40.1_3

Yuki Naganawa, Kei Sakamoto, Akira Fujita, Kazuya Morimoto, Manussada Ratanasak, Jun-ya Hasegawa, Masaru Yoshida, Kazuhiko Sato, Yumiko Nakajima (2025) One-Step Esterification of Phosphoric, Phosphonic and Phosphinic Acids with Organosilicates: Phosphorus Chemical Recycling of Sewage Waste, *ANGEWANDTE CHEMIE-INTERNATIONAL EDITION*.

<https://doi.org/10.1002/anie.202416487>

Hiroshi Habe, Tomo Aoyagi, Tomoyuki Hori, Tomohiro Inaba, Yuya Sato, Tetsuo Yasutaka (2025) Distinctive microbial communities linked with pH and heavy metals in mine drainages across all regions of Japan, *Science of The Total Environment*.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179222>

Hiroshi Sudo, Takeshi Saito, Aung Nanda, Takeshi Fujino (2025) Characterizing the water quality of hot springs in southeastern Myanmar, *Limnology*.
<https://doi.org/10.1007/s10201-025-00789-6>

Wataru Tanikawa, Takehiro Hirose, Yohei Hamada, Keishi Okazaki, Osamu Tadai, Takahiro Suzuki, Manami Kitamura, Hirofumi Asahi (2025) Effect of particle characteristics on granular friction evaluated by dual slip-planes friction tests, *Progress in Earth and Planetary Science*.
<https://doi.org/10.1186/s40645-025-00693-8>

Takuya Horikawa, Masao Sorai (2025) Evaluating the variations in electric potentials of metallic casing wells associated with CO₂ geological storage, Central Japan, *Geoenergy Science and Engineering*.
<https://doi.org/10.1016/j.geoen.2025.213683>

Shohei Minato, Ranajit Ghose (2025) Time-lapse S-wave tomography at a test dyke with changing water levels, *Geophysics*.

<https://doi.org/10.1190/geo2024-0702.1>

Kyouhei Tsuchida, Yukari Imoto, Takeshi Saito, Junko

- Hara, Yoshishige Kawabe (2025) Effect of solution pH on nanoplastic adsorption onto soil particle surface and the aggregation of soil particles, *Science of The Total Environment*.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178712>
- Yasuhiro Iba, Aya Kubota, Yusuke Takeda, Mehmet Oguz Derin, Shin Ikegami, Jörg Mutterlose, Takahiro Harada, Tomonori Takeuchi, Kazuki Tainaka (2025) Nature visible only digitally, *Patterns*.
<https://doi.org/10.1016/j.patter.2025.101210>
- Yuanyuan Wang, Wenshuai Li, Ryoichi Nakada, Makoto Nagasawa, Jianxi Zhu, Hongping He, Yoshio Takahashi (2005) Abnormally heavy cerium stable isotope composition in regolith: Implications for redox tracing, *Geochimica et Cosmochimica Acta*.
<https://doi.org/10.1016/j.gca.2025.02.025>
- Ryota Fukai, Yusuke Takeda, Yuki Masuda, Daiki Yamamoto, Yasuhiro Iba, Shintaro Sasaki, Shin Ikegami, Aya Kubota, Reo Sato, Tomohiro Usui (2025) The bright-field grinding tomography of coarse-grained calcium-aluminum-rich inclusions in the Allende meteorite, *Icarus*.
<https://doi.org/10.1016/j.icarus.2025.116648>
- Aya Kubota, Yusuke Takeda, Keewook Yi, Shin-ichi Sano, Yasuhiro Iba (2025) Amber in the Cretaceous deep sea deposits reveals large-scale tsunamis, *Scientific Reports*.
<https://doi.org/10.1038/s41598-025-96498-2>
- P. H. Cornard, A. M. Schleicher, C. Regalla, M. Hamahashi, M. Kitamura, R. Fukuchi, K. T. Pickering, H. Kitajima, T. Wiersberg (2025) Recent Advances in the Use of Drill Cuttings for Determining Subduction Zone Structure, Stratigraphy, and Stress State, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*.
<https://doi.org/10.1029/2024GC012094>
- Daisuke Araoka, Keita Itano, George J. Simandl, Suzanne Paradis, Toshihiro Yoshimura (2025) Discrimination of carbonatite and Mississippi Valley-type deposits by partial least squares-discriminant analysis of trace elements and Mg isotope compositions in dolomite, *Journal of Geochemical Exploration*.
<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2025.107811>
- Taiki Katayama, Hideyoshi Yoshioka, Toshiro Yamanaka, Susumu Sakata, Yasuaki Hanamura (2024) The geothermal gradient shapes microbial diversity and processes in natural-gas-bearing sedimentary aquifers, *Biogeosciences*.
- 村上 道夫, 高田 毛毛, 柴田 侑秀, 白井 浩介, 大沼 進, 保 高 徹生 (2025) 決定木分析による除去土壌等の最終処分場受け入れ要因の解析, *リスク学研究*
<https://doi.org/10.11447/jjra.O-24-013>
- S. Fujii, M. Takada, T. Yasutaka (2025) Post-accident changes in the interests of residents of a municipality near the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: Text analysis of residents' town meeting minutes, *Radioprotection*.
<https://doi.org/10.1051/radiopro/2024045>
- Hanaya Okuda, Yuya Akamatsu, Manami Kitamura, Michiyo Sawai (2025) Elastic properties of rocks from the seismogenic zone and minimum fault size to nucleate megathrust earthquakes, *Progress in Earth and Planetary Science*.
<https://doi.org/10.1186/s40645-025-00723-5>
- Ayaka Abe, Kohei Tamura, Keiji Hirase, Amane Terai, Toshiyuki Tosha (2025) Numerical study on thermal performance of enhanced geothermal system with CO₂ using multistage hydraulic stimulation, *Sustainable Energy research*.
<https://doi.org/10.1186/s40807-025-00189-5>
- Shinji Matsumoto, Sereyroith Tum, Tagiru Ogino, Miu Nishikata, Tetsuo Yasutaka, Tomoko Oguri, Tsuyoshi Shintani (2025) Identification of Inflow Sources and Pathways to a Waste Rock Dump Located in a Former River Channel in a Mountainous Abandoned Mine of Japan: A Case Study 60 Years Post-Construction, *Journal of Hydrology: Regional Studies*.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102645>
- Yoshio Takahashi, Hikaru Miura, Shinya Yamada, Oki Sekizawa, Kiyofumi Nitta, Tadashi Hashimoto, Takumi Yomogida, Akiko Yamaguchi, Shinji Okada, Takaaki Itai, Hiroki Suga, Teruhiko Kashiwabara, Kohei Sakata, Masato Tanaka, Minako Kurisu, Makoto Nagasawa, Takahiro Kawai, Ayu Takemoto, Shuntaro Yoshida, Tomohiro Ohno, Hideyuki Tatsuno, Ryota Hayakawa, Hirotaka Suda, Yoshitaka Ishisaki, Takuma Okumura, Yuto Ichinohe, Tasuku Hayashi, Yuki Imai, Hirofumi Noda, Toru Tamagawa, Tadaaki Isobe, Toshiyuki Azuma, William B. Doriese, Joel N. Ullom, Daniel S. Swetz, Malcolm Durkin, Galen C. O'Neil, Satoshi Kohjirou, Shogo Higaki, Daisuke Tsumune, Masayoshi Yamamoto, Tomoya Uruga, Yuichi Kurihara (2025) Speciation of cesium in a radiocesium-bearing microparticle emitted from Unit 1 during the Fukushima Nuclear accident by XANES spectroscopy using transition edge sensor, *Journal of Hazardous Materials*.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.139031>
- Shota Satori, Yoshiaki Kon, Yasushi Watanabe,

Takeyuki Ogata, Takuya Echigo, Shogo Aoki
(2025) Contribution of magma mixing to
hydrothermal Cu mineralization: Evidence from
the Arakawa area, Akita, Japan, Ore Geology
Reviews.

[https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2025.
106862](https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2025.106862)



令和7年11月28日発行 地圏資源環境研究部門 研究成果報告会 2025
GREEN Report 2025 AIST04-C00014-24 (本誌記事写真等の無断転載を禁じます)

■編集・発行
〒305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1 つくばセンター 中央事業所7群
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 地圏資源環境研究部門
<https://unit.aist.go.jp/georesenv/>