

GREEN Report 2020

地圏に関わる
社会課題の解決に向けて

第33回GSJシンポジウム 地圏資源環境研究部門 研究成果報告会
〈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

はじめに



地圏資源環境研究部門長
光畑 裕司

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

地圏資源環境研究部門の研究成果報告会は、おかげさまで今回 19 回目となります。本成果報告会は地質調査総合センター (GSJ) シンポジウムとして位置づけて開催しております。昨年 12 月から広まった新型コロナウイルスは、第 1 波、第 2 波そして現在、第 3 波による感染拡大の収束が見通せない状態となっております。社会活動・経済活動の萎縮はさらなる不安を生み、また差別や偏見等も加わり、世の中全体が負のスパイラルに陥りつつある状況にあると感じております。そのような状況にあっては、情報を常に更新し、知識を増やし、知恵を働かせ、冷静に正しく恐れる姿勢を整えることが、個人レベルでも必要とであると改めて認識しております。

本年度は、産業技術総合研究所の第 5 期中長期計画(5 力年)の最初の年度に当たります。第 5 期に臨んで当部門では、“持続可能な地圏の利用と保全のための調査と研究”をミッションに、重点研究課題として、1) 地圏資源(Geo-Resource)の調査・研究および活用、2) 地圏環境(Geo-Environment)の利用と保全のための調査・研究、3) 地圏の調査(Geo-Exploration)および分析(Geo-Analysis)技術の開発と展開、という 3 つの課題を定めました。今回の重点研究課題で、昨年度まで続いた第 4 期と異なる点は、3) として技術開発と適用展開を掲げた点です。第 4 期では、技術シーズを事業化につなぐ「橋渡し」研究が産総研の基幹目標に掲げられ、当部門でも注力し、結果として 2014 年度の民間資金研究予算を 2019 年度には 3 倍にすることができました。その達成要因の一つは、民間ニーズに対応した技術開発とその適用で、今後もそれが重要であると実感したからであります。

さらに、産総研全体の第 5 期における目標としては、①産総研の総合力を活かした社会課題の解決、②経済成長・産業競争力の強化に向けた橋渡しの拡充、③イノベーション・エコシステムを支える基盤整備が掲げられております。これらの目標の中で当部門の主な担当として、①に関する領域横断的な融合研究テーマとして、地質調査総合センター (GSJ) が代表領域を担う“環境保全と開発・利用の調和を実現する環境評価・修復・管理技術の開発(環境調和型産業技術研究ラボ, Researchlaboratory on environmentally-conscious developments and technologies, 略して E-code)”に参画します。加えて他領域が主体となる融合課題:ゼロエミッション、資源循環、インフラに関するテーマに参画します。また②については、GSJ として推進する課題:“産業利用に資する地圏の評価”に、上記の部門重点研究課題の 3 つをそれぞれ位置づけております。③に関しては、標準化の推進として、土壤汚染等評価・措置に関する試験方法の標準化に取り組み、知的基盤の整備では、GSJ の一員として地下水等の情報の着実な整備と利活用促進を推進します。今回の報告会では、「地圏に関わる社会課題の解決に向けて」というテーマを設定させて頂き、産総研第 5 期における当部門の取組について、順次ご紹介させて頂きたいと思っております。今回、コロナ禍という状況のために、オンラインでの開催とさせて頂きました。そのため、各研究グループや個人の研究成果を詳しく知って頂くために例年行ってきたポスターセッションは今回設定致しませんでした。その分、研究内容を GREEN Report 2020 にてご報告差し上げますので、ご質問等ございましたら当部門のウェブサイト(<https://unit.aist.go.jp/georesenv/>)からご連絡頂ければ幸いです。このようなコロナ禍を早くくぐり抜け、その先に以前よりも強靱で持続可能な社会の構築が達成できるよう、当部門、一層努力していく所存でございます。今後とも変わらないご高配を賜りますよう、心からお願い申し上げます。



目次

講演題目

13:00 ~ 13:10	開会のあいさつ	副研究部門長	今泉 博之	
13:10 ~ 13:45	地圏資源環境研究部門研究紹介	研究部門長	光畑 裕司	
13:45 ~ 14:10	環境保全と開発・利用の調和を目指して —環境調和型産業技術研究ラボ (E-code) の紹介—	地質調査総合センター 研究戦略部長	中尾 信典	6
14:10 ~ 14:35	地質学をベースにした燃料資源探鉱支援	燃料資源地質研究グループ 研究グループ長	中嶋 健	10
14:35 ~ 14:50	休憩			
14:50 ~ 15:15	物理探査技術を用いた社会課題解決の試み	物理探査研究グループ 研究グループ長	横田 俊之	12
15:15 ~ 15:40	地圏環境に関する研究開発と社会実装や 標準化活動の一例 —水中の放射性セシウムのモニタリング手法等 を事例として—	地圏化学研究グループ 研究グループ長	保高 徹生	16
15:40 ~ 16:05	土壌溶出量調査における公定試験の改正と 試験方法の高精度化に関する研究	地圏環境リスク研究グループ 主任研究員	井本 由香利	18
16:05 ~ 16:10	閉会のあいさつ	理事 (地質調査総合センター長)	矢野 雄策	

研究グループ紹介

地下水研究グループの紹介	地下水研究グループ長	町田 功	22
鉱物資源研究グループの紹介	鉱物資源研究グループ長	相馬 宣和	26
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	中嶋 健	30
地圏微生物研究グループの紹介	地圏微生物研究グループ長	吉岡 秀佳	34
地圏化学研究グループの紹介	地圏化学研究グループ長	保高 徹生	36
物理探査研究グループの紹介	物理探査研究グループ長	横田 俊之	38
CO ₂ 地中貯留研究グループの紹介	CO ₂ 地中貯留研究グループ長	徂徠 正夫	42
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	川辺 能成	46
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	雷 興林	50

研究トピック紹介

水文環境図 No.12「紀の川平野」の公開	地下水研究グループ 和歌山大学システム工学部	町田 功 井伊博行	56
CO ₂ ・CH ₄ の粘土鉱物表面への吸着現象に関する分子動力学的研究	CO ₂ 地中貯留研究グループ	志賀正茂	57
発光バクテリアを用いた土壌汚染評価手法の開発	地圏環境リスク研究グループ	杉田 創, 駒井 武	58
オープンループ方式地中熱利用システムの導入適地に関する基礎的検討	再生可能エネルギー研究センター 地中熱チーム	金子翔平, 富樫 聡 シュレスタ・ガウラブ, 石原武志, 内田洋平	59
持続可能な地下蓄熱に向けた大谷石熱物性評価に関する研究	再生可能エネルギー研究センター 地中熱チーム	霜山 竣, 富樫 聡, 内田洋平	60
加賀平野における地中熱ポテンシャル評価のための水文地質構造解析 - 沖積層の層序に着目して -	再生可能エネルギー研究センター 地中熱チーム	佐野星河, 石原武志, 富樫 聡, 内田洋平	61
地中熱利用に関する戦略的普及策検討のための全国自治体アンケート調査	地中熱チーム 特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会	富樫 聡, 内田洋平, シュレスタ・ガウラブ, 石原武志, アリフ・ウィ ディアトモジョ 笹田政克	62
新第三紀東北日本弧の火成活動に伴われる銅の移動・濃集システムの研究	鉱物資源研究グループ 秋田大学	左部翔大, 昆 慶明, 渡辺 寧, 越後拓也	63

論文リスト

64



講演題目

環境保全と開発・利用の調和を目指して -環境調査型産業技術研究所(E-code)の紹介-

Aiming for harmony between environmental preservation and industrial development
-Overview of E-code-

研究戦略部長・研究ラボ長：中尾 信典
Deputy Director General, Director of Laboratory:
Shinsuke Nakao
e-mail: sh-nakao@aist.go.jp

1. はじめに

令和2年(2020)度から産総研の第5期中長期目標期間(5か年)が始まった。近年、エネルギー・環境制約、少子高齢化、防災等、様々な社会課題に直面し、それらの解決が強く求められていることから、第5期では、「世界に先駆けた社会課題の解決」を主なミッションとして掲げている。エネルギー・環境制約、少子高齢化、自然災害等の社会課題の解決と、日本の持続的な経済成長・産業競争力の強化に貢献する革新的なイノベーションの創出に向け、ゼロエミッション社会、資源循環型社会、健康長寿社会等の「持続可能な社会の実現」を目指して研究開発に取り組み、それらの活動を通じたSDGsの達成を目指すこととしている。

社会課題の解決に向けた取り組みの一つとして、環境との調和を図りながら資源・エネルギーの開発や国土の利用を推進させることが、人間社会の持続的な発展に貢献するために、これまで以上に強く求められている。そこで、地質調査総合センター(GSI)が代表研究領域となり、産総研の6研究領域が参画する「環境調和型産業技術研究所(Research laboratory on environmentally-conscious developments and technologies, 略してE-code)」を立ち上げた。E-codeでは、「地圏」「沿岸」「海洋」における各種開発利用に対する環境影響測定・評価・修復技術の開発、データベース・マップ等の基盤情報の整備、ならびに社会実装に向けたリスク評価・社会経済影響分析等を融合させ総合的に研究を推進する。ここではE-codeの概要を紹介する。

2. 現状の問題認識

近年、様々な開発をする際に、環境影響を無視することはできない状況である。図1は我々の周辺(地圏・沿岸域・海洋)を取り巻く環境問題を示している。例えば、建設現場では自然由来の重金属を含む大量の土砂発生の問題、豊洲に代表される工場跡地などでの有機化合物による土壌汚染の問題、原発事故に伴う除染処理の問題、また、全国90箇所以上の休廃止鉱山において坑廃水処理が継続している。沿岸域・平野部では水道費用の増加に伴う安全で安価な地下水利用の増加が発生し、海水浸入の発生が懸念されている。一方、これはいいニュースであるが、2020年7月に石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)が南鳥島南方のEEZ内で海底のコバルトリッチクラストの採掘に成功している(石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 2020)。今後、国際的な

枠組みの中で資源開発等に伴う環境影響に関する議論が進む予定である。

このような状況の中で、現状の社会では、これまでの資源開発・産業利用跡地の環境修復が、次世代へのツケになっている場合があり、さらには、新たな国土開発・利用では、環境影響への不安が常に付きまとう、払しょくできない状況といえる。また、コバルトリッチクラストのように、新たな海底資源開発では、環境影響を評価する手法の確立が国際的に求められている。さらに、地球温暖化の影響を直接受けやすい沿岸域においては、海面上昇、海洋酸性化、貧酸素化等、異常気象による水害、海岸・河岸の浸食、地下水の塩水化等の環境問題が、深刻化している。

現状の社会を、「将来あるべき社会」すなわち、持続可能な国土の産業利用や資源開発ができる社会へと変えていくためには、バックグラウンドとしての環境についての基盤情報を調査・整理して、環境調和型開発および環境管理方法を予め検討することで、環境負荷を抑えた形での円滑な開発と社会コストの低減を目指すことが重要である。



図1 我々の周辺を取り巻く環境問題

すなわち、環境基盤情報の整備、環境影響評価・計測・モニタリング技術および修復技術の開発、そしてリスク評価等の社会実装が必要であると考えている。

3. 取り組む課題と全体像

E-codeの取り組みの全体像を図2に示す。一番上の枠に、地圏、海洋、それら境界に位置する沿岸域、3つの場での各種開発と対応する環境影響をリストしている。放射性セシウム含有土壌のように年間数千億円以上のコストが必要になるケースもある。具体的な研究内容は中央の枠に示すとおり、大きく3つ、環境基盤情報の整備、環境影響評価技術の開発、リスク評価・社会経済影響分析である。環境基

盤情報の整備については、自然由来重金属類データベース(DB)、休廃止鉱山DB、自然放射線マップ、および沿岸域地下水・衛星DBの、4つのDB類を構築することで、様々な開発による環境影響を事前に評価できるシステムを整備していく。環境影響評価技術では、目的に応じた、計測モニタリング技術、開発・浄化技術の高度化を図る。さらに、これらの基盤情報、技術を社会実装するために必要な、リスク評価・社会経済影響分析も組み合わせて実施していく。これらの研究課題は様々な機関、特に関係省庁と連携し、国プロなどの競争的外部資金等を獲得して進めていく。

この5か年計画が終了する2024年までの社会実装として、国際ガイドラインや国内ガイドラインの制定、2022年度に見直しがされる国の海洋エネルギー・鉱物資源開発計画への提案、5年に一度見直しがされる土壤汚染対策法への反映、経産省の進めるISO等の標準化への積極的参画や、DBの公開などにより、環境調和型の開発利用の方法論・プロトコルを提示していくことを積極的に推進していきたい。



図2 E-codeで取り組む課題、研究内容、および2024年までの社会実装のイメージについて示した全体像

4. 研究体制と各チームの概要

E-codeの研究実施体制について説明する(図3)。副ラボ長は、光畑裕司・地圏資源環境研究部門長である。GSJが主体となり、運営をGSJ研究企画室と地圏資源環境研究部門15名が担当する。研究チームは、陸域を担当する地圏環境

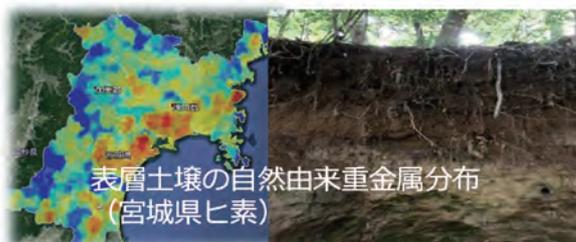


図3 E-codeの研究実施体制

研究チーム21名、海洋を担当する海洋環境研究チーム10名、沿岸域を担当する沿岸環境研究チーム18名、そして、これら地域別チームに横串を通してリスク評価等の社会科学的研究を推進する環境調和型開発社会実装研究チーム46名の、4つの研究チームで構成される。これらの研究チームには、産総研内6研究領域の研究者、全体で95名(重複含む)が参画し、人数からみた各領域のおよそのエフォート割合は、GSJ 40%、エネルギー・環境領域 30%、計量標準総合センター 20%、残り3領域 10%となっている。以下に4研究チームの概要を述べる。

(1) 地圏環境研究チーム

地圏環境研究チームでは、地圏環境リスク課題の環境調和型管理および対策に資する基盤情報整備を目指した研究活動に取り組む。鉱害や原子力あるいは工事等で発生する重金属などの汚染では、年間数千億円以上の対策費が計上されているという現状がある。一方で、工事等で発生、あるいは鉱山周辺に存在する重金属類は、もともと一般的な地圏環境に広く分布しているものであるため、一概に汚染物質として処理等を行うのではなく、自然由来を考慮した管理・対策指針を示すことが極めて重要となる。そこで、地圏環境研究チームでは、自然由来重金属DB、休廃止鉱山DBおよび自然放射線マップの3つの自然由来に関わるDBおよびマップを公開して、環境調和型の環境管理方法を提案していく(図4)。



①全国の自然由来重金属類DBの拡張



②休廃止鉱山DBの整備



③自然放射線マップの詳細化

図4 地圏環境研究チームの研究課題

(2) 海洋環境研究チーム

海洋環境研究チームでは、国の海洋エネルギー・鉱物資源開発計画のなかで、海洋の環境影響評価に関する課題（主に環境ベースライン調査）を、国プロとして現在遂行しており、今後もそれらのプロジェクトを発展させていく（図5）。海洋環境研究チームの研究の目玉は大きく分けて二つある。一つ目は海洋メタロミクス研究で、鉱物資源開発に伴って水中に回帰する重金属が生物に取り込まれて、どのような影響を及ぼすかを、総合的に理解するための研究である。二つ目は、複層ビッグデータ解析であり、生物群集特性を統合した複層ビッグデータ解析を導入し、開発対象域の選定に資する評価技術の確立を目指す。

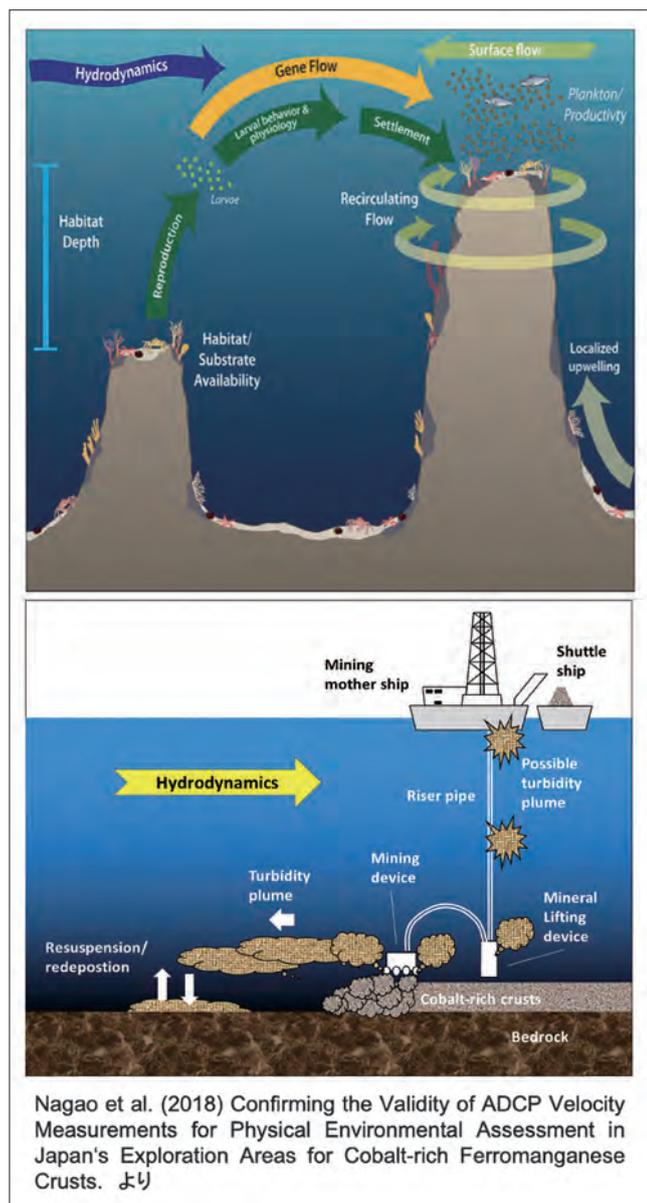


図5 海洋環境研究チームの研究：海山生態系とコバルトリッチクラスト（Nagao 他（2018）より）

(3) 沿岸環境研究チーム

沿岸環境研究チームでは、沖縄本島と、メコン川流域をテストケースとして、気候変動の影響を考慮した、沿岸域の環境影響評価技術の開発を目指す（図6）。人口と産業が集中

する沿岸域は、一方で、多種多様な生物が生息し、環境を守ること重要なミッションであり、近年は、海面上昇などの中長期的な地球規模での評価も求められている。沿岸域の基盤情報を広範囲に把握可能なリモートセンシング技術や、陸域から沿岸域までの各種物質の輸送情報が得られる地下水調査等を取り入れて融合研究を推進する。また、栄養塩の分析や年代測定等の環境影響評価をする上で重要な分析技術についても、高度化していく。

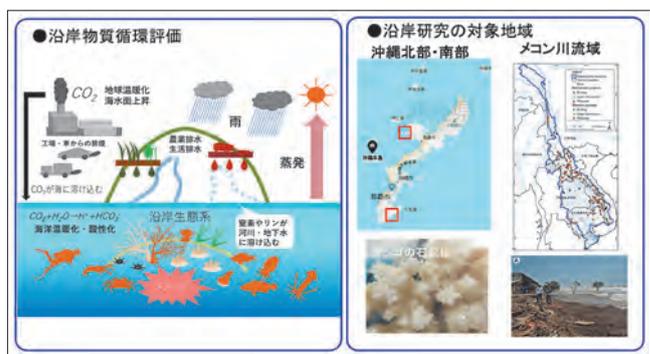


図6 沿岸環境研究チームの研究対象地域

(4) 環境調和型開発社会実装研究チーム

社会実装研究チームでは、①環境調和型の浄化技術、②モニタリング技術といった、先の3チームに含まれない、技術開発を推進する。特に浄化技術開発では、2045年に福島県外で最終処分が決まっている放射性セシウム含有土壌や焼却灰等の減容化を図るための次世代型吸着材の開発等を重点的に推進する。また、③融合を促進するプラットフォームの構築として、チーム内やE-code内の融合を促進する。さらに、④技術の社会実装に関わる研究として、自然由来重金属、休廃止鉱山、放射性物質をテーマに、リスク・コスト評価、社会経済影響分析、合意形成・社会受容性等に関わる研究を推進する。

5. まとめ

E-code では、環境保全と産業の調和を目指す研究開発を進める。その際、産総研内の研究領域の融合によりシナジー効果を最大限引き出せるように研究を実践していく。研究対象の場は、地圏、海洋、沿岸域であり、研究課題は、環境基盤情報の整備、環境影響測定、評価、修復技術の開発、そして、社会実装に向けたリスク評価、社会経済影響分析等である。5年後の2024年に向けた社会実装として、環境調和型の開発利用の方法論・プロトコルの提示などを推進していく。

参考文献

- 1) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構（2020）世界初、コバルトリッチクラストの掘削試験に成功 ～海底に存在するコバルト・ニッケルの資源化を促進～. ニュースリリース, 令和2年8月21日.

http://www.jogmec.go.jp/news/release/news_01_000162.html

- 2) Nagao et al.(2018) Confirming the Validity of ADCP Velocity Measurements for Physical Environmental Assessment in Japan' s Exploration

Areas for Cobalt-rich Ferromanganese Crusts, The proceedings of the 28th (2018) International Ocean and Polar Engineering Conference, 136-143.



地質学をベースにした 燃料資源探鉱支援

Geological support for exploring Fuel Resources

燃料資源地質研究グループ長：中嶋 健
Leader, Fuel Resource Geology Research Group:
Takeshi Nakajima
e-mail: takeshi.nakajima@aist.go.jp

1. はじめに

近年、地球温暖化の危機が叫ばれ、CO₂の排出削減を進めるために、化石燃料からの脱却は緊喫の課題である。このような背景のもと、化石燃料からなる燃料資源の研究開発は今後必要ないのであろうか？図1は、一次エネルギー国内供給の推移¹⁾を示したものである。2018年度は総量では1990年度と同程度であるが、化石燃料の割合は83%から86%へと増加している。内訳を見ると、石油の割合が徐々に減少し、よりCO₂排出量の少ない天然ガスへのシフトが続いて来た。特に、2011年東日本大震災の後は、原子力の減少分をほぼ天然ガスが補った。一方で、CO₂排出量の多い石炭が徐々に増え、2013年度以降は、ほぼ25%を維持しているのに対して、再生可能エネルギーの増加は緩やかである。

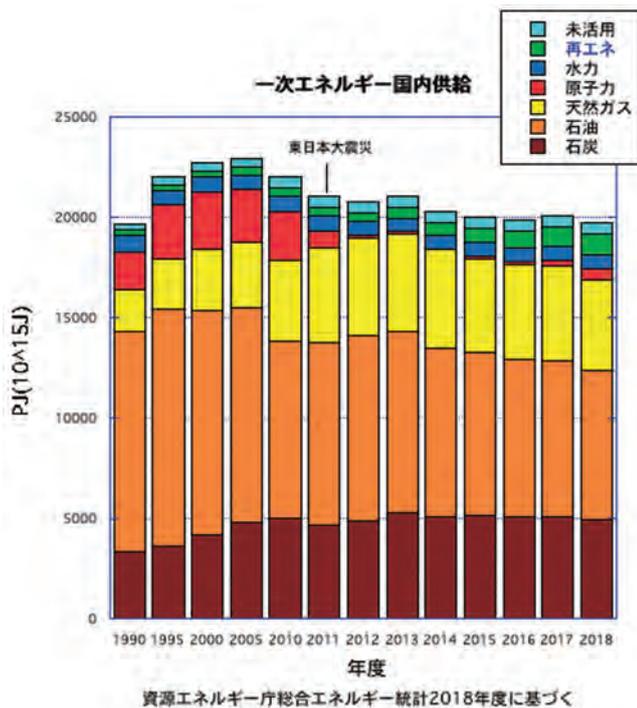


図1 一次エネルギー国内供給の推移¹⁾

将来の世界のエネルギー需要予測を国際エネルギー機関(IEA)のシナリオ²⁾で見ると、2040年の世界の一次エネルギー消費量は、現在執行されている政策のみを仮定した現行政策シナリオでは2017年比で1.37倍に増加し、化石燃料消費も大幅に増加する。パリ協定で発表された各国の温室効果ガス削減目標が達成され、既存技術の進展が続くとした公表政策シナリオでも、2040年は2017年比で1.27倍に増加し、化石燃料消費も微増してしまい、気温上昇を2°C以下に下げることが必要な措置を逆算した仮想的な持続可

能開発シナリオ(2017年比0.95倍)に遠く及ばない。

さらに、最も用途の広い石油の場合、2018年度国内使用量の48%は運輸燃料として、25%はプラスチック・化繊等の化学製品材料として利用され、他には熱源として24%、発電用は2.3%に過ぎず³⁾、将来石油の消費を再生可能エネルギーや原子力ですべて置き換えることは不可能である。これらのことから、20年後にも世界的には現在と少なくとも同程度の化石燃料が必要となり、その中でよりクリーンな天然ガスへの転換を進めていく研究開発や探鉱が重要であると考えられる。

本稿では、まず石油・天然ガス・石炭等の燃料資源の探鉱における地質学の重要性を述べた上で、当研究部門で行われている民間石油開発業界への国内探鉱支援の取り組みのうち、地質学をベースとした取り組みの例をいくつか紹介する。

2. 燃料資源の探鉱は地質学そのもの

化石燃料である石炭・石油・天然ガスは、いずれも太古の植物や海の藻類の遺骸が堆積して地層となり、地下深く埋もれることで地熱や圧力を受けて有機物が変化(熱熟成)して生成された。在来型の石油・天然ガス鉱床(図2)は、地下深くのこれらの地層(根源岩)にできた石油・天然ガスがさらに地層中を移動し、背斜構造を作っている地層中の孔隙の多い貯留層に蓄えられることでできる。従って、どこに石油や天然ガスがあるかを探す作業(探鉱)では、根源岩となる地層が出来たときの環境、それが埋もれた場所や深さ、貯留層の堆積環境や形態・性状、背斜構造を作った地殻変動、移動の経路と時期等の地層の成り立ちの歴史(地史)をできるだけ詳しく理解する必要がある。地史を理解するプロセスは地質学そのものである。非在来型燃料資源と言われるシェールガス・シェールオイル・コールベッドメタン(CBM)・メタンハイドレートなども、地層中で蓄えられる場所や存在形態に違いがあるものの、その起源(根源岩)は在来型と同じであり、その探鉱には地質学が欠かせないことに変わりはない。

3. 地質学を用いた国内探鉱支援

海域での探鉱活動が行われている北陸地方の基礎的な地質学による探鉱支援の例を紹介する。海域から得られる地質情報は限られるため、かつて海底でできた地層がその後隆起して陸域に露出する地域を調べることが有効である。

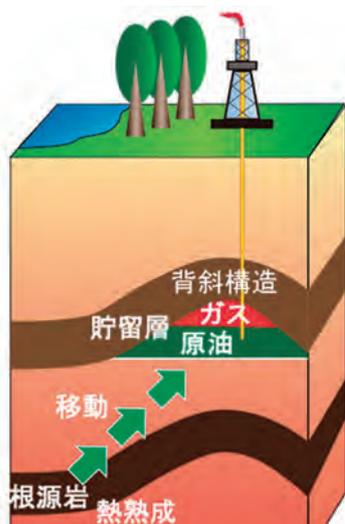


図2 在来型石油・天然ガス鉱床の概念図

そのような地域の代表とされる富山県八尾地域の地層の地史を解明するために、U-Pb法及びFT（フィッション・トラック）法による絶対年代測定を行った結果、地層中に多数の不整合と呼ばれる堆積の中断・削剥があったことが判明した。北陸地方の他の陸域や海域の不整合の時期と対比することで、北陸地方の地史を解明した⁴⁾。この成果は、海域での背斜構造（図2）の形成時期や石油・天然ガスの移動の時期を推定するのに使われる。

日本の石油・天然ガス田の多くは日本海側の秋田・山形・新潟県に集中する。その理由は、約1000万年前に日本海で海洋藻類起源の良好な根源岩（図2）が堆積したからであるが、何故その時期の日本海にだけ堆積したのか、その成因は判明していなかった。奥羽山脈の地史から山脈隆起史を解明する基礎的な研究の結果、約1200万年前の奥羽山脈の隆起と日本海側での根源岩形成開始が同期していることが判明し、それ以前には開放的縁海だった日本海が、奥羽山脈の隆起により半閉鎖的海盆となり、有機物の保存に最適な還元的な海底環境に変化したことが原因と推定した⁵⁾。基礎的研究ながら、根源岩成因論に貢献した例である。

海域探鉱支援の例では、新たな石炭起源天然ガス探鉱が行われている三陸沖で、3次元震探の解析から巨大海底地すべりの存在が明らかとなり⁶⁾、当該海域で探鉱を進める上での掘削障害の情報を提供している。

釧路堆積盆地では、石炭の石油根源岩としての能力を評価した結果、一部に高い石油生成能力が確認され、北部の石炭ほど熟成が進行し、石油生成に至っている可能性が明らかとなった⁷⁾（図3）。

4. 今後の展望

我が国においても、2050年までに温室効果ガスを実質ゼロにすることが表明されたが、その実現のためには、CCUSやカーボンリサイクル²⁾と呼ばれる革新的技術開発を進める必要がある。とりわけ用途の広い石油を人工的に製造する技術が鍵を握るが、複雑な石油の製造技術の確立には自

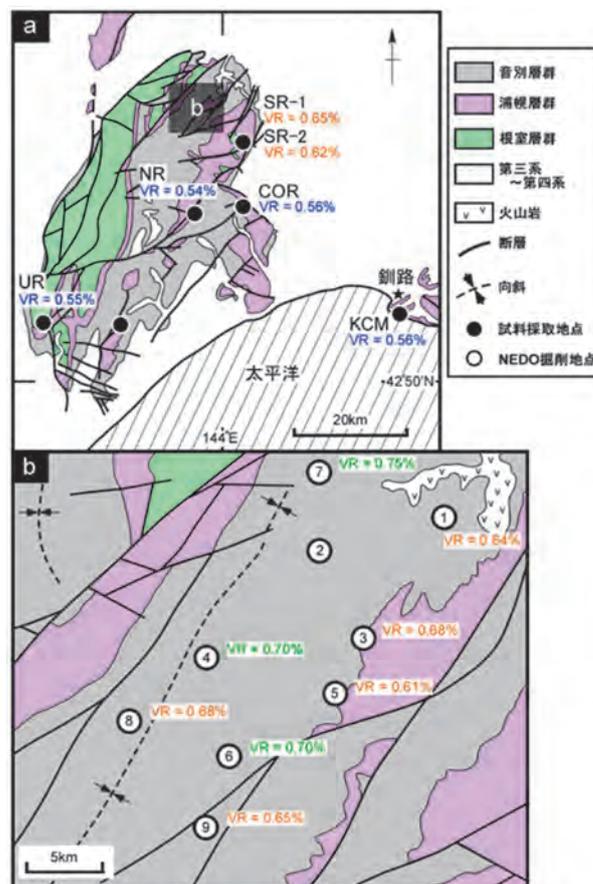


図3 釧路堆積盆地での石炭層の熟成度評価⁷⁾

然界の石油生成プロセスの解明が欠かせず、ここでも地質学が大きな役割を果たすと考えられる。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁総合エネルギー統計. https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/results.html#headline2 2020年11月8日閲覧
- 2) 資源エネルギー庁（2020）令和元年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書2020）. <https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2020pdf/> 2020年11月8日閲覧
- 3) 石油連盟（2020）調べてみよう石油の活躍. <https://www.paj.gr.jp/about/data/shirabetemiyou2020.pdf> 2020年11月8日閲覧
- 4) 中嶋 健ほか（2019）富山県八尾地域の新生界年代層序の再検討とテクトニクス. 地質雑, 125, 483-516.
- 5) 中嶋 健（2018）日本海拡大以来の日本列島の堆積盆テクトニクス. 地質雑, 124, 693-722.
- 6) 森田澄人ほか（2011）海底スランプ堆積層とそれに関わる脱水構造：下北沖陸棚斜面の三次元地震探査データから. 地質雑, 117, 95-98.
- 7) Takahashi K. U. et al. (2020) *Int. J. Coal Geol.*, 217, 103322. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2019.103322>. 2020年11月8日閲覧

物理探査技術を用いた 社会課題解決の試み

Solving social issues using geophysical exploration
technology

物理探査研究グループ長：横田 俊之
Leader, Exploration Geophysics Research Group:
Toshiyuki Yokota
Phone: 029-861-2464, e-mail: yokota-t@aist.go.jp
http://unit.aist.go.jp/georesenv/explogeo/

1. はじめに

物理探査技術は、鉱物資源や燃料資源などの資源探査、放射性廃棄物地層処分やCO₂地中貯留等に係る立地調査、地盤液状化・地滑り・断層・火山等の防災分野等、広範囲な分野において利用されており、多くのニーズがある。

物理探査研究グループは産総研発足以来、物理探査のデータ取得・解析技術などに力を入れて技術開発を行ってきた。例えば、現在地熱開発における標準的探査手法となっているMT法のデータ取得技術やデータ解析技術の開発において、長年先駆的な役割を務めてきた。

産総研では、当時国プロ（国が主導する研究開発プロジェクト）での研究開発が多かったこともあり、技術を社会に出すことを意識して研究開発を行ってきたわけではなかったものの、民間から望まれるソフトウェアやノウハウなどは積極的に無償で開示を行ってきた。

産総研第4期に入り、社会ニーズに沿った技術開発や、民間企業での産総研技術の実用化（以下、橋渡しという）が目標として掲げられ、研究者もそのような観点で研究を推進することが求められるようになった。

産総研第5期では、第4期に掲げられた目標をさらに推進し、産総研の研究力を結集して社会課題解決を図るために、研究分野融合型のラボが創設された。我々、GSJの研究者も資源循環利用技術研究ラボ、環境調和型産業技術研究ラボ、サステナブルインフラ研究ラボなどに所属し、社会課題解決を目指した研究を行うこととなった。本報告では、持続可能な安全・安心社会のための革新的インフラ健全性診断技術および長寿命化技術の開発を目指すサステナブルインフラ研究ラボにて取り組む予定の二つの研究事例について紹介する。

2. 物理探査技術の橋渡し事例

2.1. 橋渡しにむけて：NMR 物理探査

土木建造物中の水の存在は、建造物の健全性という意味で重要な意味を持つ。原位置・非破壊で水の存在を計測可能な物理探査技術が期待されている。たとえば、老朽化したトンネルやダムなどのコンクリート製のインフラ内部に水が溜まると鉄筋がさびたり、凍結・融解を繰り返すことにより亀裂が進展するリスクが生じるため、コンクリート内部の水を定量する技術が望まれている。また、インフラ関連の民間企業には、打設したばかりのコンクリートが水和反応により強度が増強する過程を現場でモニタリングしたい



図1 片側開放型NMRによるコンクリートの計測風景（イメージ）。水色矢印は、センサーユニット（永久磁石と高周波コイル）。黄色矢印は、NMR分光器本体。

というニーズもある。そのような社会的要求に応える技術の一つに、プロトン核磁気共鳴（NMR）物理探査法がある。その原理は、病院のMagnetic Resonance Imaging（MRI）と同様に、静磁場のもとで歳差運動をするプロトン（水分子などの水素原子の核）の動きを共鳴周波数に相当するラジオ波で制御するものである（ただし時間がかかるのでイメージングは通常は行わない）。磁石と高周波コイルからなるセンサーユニットの構造を片側開放型¹⁾という特殊なデザインにすれば、路面やビル壁のように大きな物体でもその表面数mm～数cmの部位の水を定量計測できる（図1）。

我々は、このNMR物理探査技術および装置を用いて上記ニーズに応えるために、イノベーションコーディネーターの仲介のもとに、民間企業と直に共同研究・開発を行っている。

水や油分子中のプロトンを原位置・非破壊で定量可能にするNMR物理探査装置は、土木以外の分野にも応用できる。たとえば、資源探査（油田の検層）、農林水産業（生きた牛の霜降り度やマグロの大トロの含有量のスキャン）など



図2 片側開放型 NMR によるクロマグロの計測風景。水色矢印は、センサーユニット（永久磁石と高周波コイル）。黄色矢印は、NMR 分光器本体。

があげられる。また、製造関係の民間企業には、工業原料や完成品の品質を左右する水分や有機物の含有量や状態を工場インライン検査したいというニーズにも対応できる。

一例として、マグロの NMR スキャンの例を紹介する。マグロに限らず魚介類の脂質含有量は味覚を、ひいては価格を左右する重要な指標である。当研究グループにて開発したセンサーユニット（重量約6kg）は、切断せずに体表からマグロをスキャンして（図2）、全身の肉質評価（赤身か中トロか大トロか）を行うことができた。具体的には、体表から12 mm 内部の部位の脂質含有量を誤差1.8wt%で計測できるプロトタイプの開発に成功した²⁾。現状では、1部位の計測に要する時間は約100秒である。現在、センサーの軽量化、計測所要時間の短縮化を中心とした改良を実施中である。

プロトン NMR 物理探査装置の適用可能範囲は、水や油の含有量計測だけにとどまらない。分子運動の経時変化計測を利用した、高分子製品の紫外線や風雨による劣化、化学プラントにおける密閉容器内の化学反応のモニタリング、さらには、流速計測を利用した配管内部の流れの確認などの分野へも適用できる可能性がある。我々はひきつづき、当該技術を発展させ、社会のニーズに合わせ、社会への橋渡しを継続していく予定である。

2.2. 橋渡しにむけて：高周波電気探査装置

我が国の水道管インフラは、高度経済成長期に急速に整備された。そのため、その多くが法定耐用年数の40年を超え急速に老朽化が進み、昨今各地で漏水などのトラブルを起こしている。その一方で、わが国では急速に高齢化が進み今後の人口減少に伴って、水道収入を設備費更新費用が上回

る日がそう遠くない将来来ると予測されている。そのため、水道インフラの維持管理を行う地方自治体は、優先順位をつけて設備更新を行う必要性に迫られている。

我が国で多く使用されている鑄鉄管およびダクタイル管の水道管の腐食は、埋設環境に大きく影響を受ける。同じ年数が経過した水道管でも、その埋設環境の差により、腐食割合が大きく異なることもある。これまでは、水道管路の代表的な場所を掘削し、管路の露出による腐食量の測定と共に、持ち帰った土壌の分析作業により、水道管腐食の評価を行ってきた。しかしながら、このような調査方法は、時間とコストがかかりすぎるため、長大な水道管を調査する手法として現実的ではない。水道管腐食評価には、表1³⁾に示す、米国国家規格（ANSI）が用いられている。5つのテスト結果の評点の合計が10以上の場合腐食可能性がある土壌であると判断される。

表1 米国国家規格による埋設水道管腐食評価

調査項目	測定値	評点
比抵抗 (Ωm)	< 15	10
	15 ~ 18	8
	18 ~ 21	5
	21 ~ 25	2
	25 ~ 30	1
	> 30	0
pH 値	0 ~ 2	5
	2 ~ 4	3
	4 ~ 6.5	0
	6.5 ~ 7.5	0
	7.5 ~ 8.5	0
	> 8.5	3
Redox 電位 (mV)	> 100	0
	50 ~ 100	3.5
	0 ~ 50	4
水分	< 0	5
	排水悪く常に湿潤	2
	排水良く概して湿潤	1
硫化物	排水良く概して乾燥	0
	検出	3.5
	痕跡	2
	なし	0

表1からわかる通り、評点中で比抵抗の配分が一番大きく、15 Ωm 未満であればそれだけで腐食可能性がある土壌であると判断される。

一方で産総研では、トモグラフィ装置に関する特許⁴⁾を有しており、この技術を拡張すれば、埋設水道管の腐食リスクを効率的に調査できると考え、舗装路面上から効率的に水道管周囲の土壌の比抵抗を調査できる高周波電気探査装置（図3）を開発した⁵⁾。

本装置の概要について簡単に説明する。高周波電気探査装置を用いたシステムの特徴として、電極に吸水性・保水性・柔軟性・弾力性・耐摩耗性に優れたポリビニルアル



図3 高周波電気探査装置の外観。水を含ませた PVA 電極の一对から電極を流し、他の一对の電極で電位を計測する。送信・受信ダイポールの間隔を広げることにより、深部を調査することが可能となる。

コール (PVA) スポンジを用いて地面との静電結合の高い電極を使用している点および、周波数20 kHzの高周波の交流電流を用いる点が挙げられる。これらの組み合わせにより、誘電率の高い水を大量に含んだ PVA 電極から、高周波の交流電流を流すことにより、アスファルト路面のような絶縁体の路面上からでも、電極と地面の間の容量結合を利用することにより地下に通電することが可能となる。さらに、直交同期検波を用いて微小信号の検出能力を上げることにより、都市域の電氣的ノイズの高い環境においても調査を可能とする工夫を加えた。

実際の調査時には、送信ダイポールと受信ダイポールの間隔を変更させながら計測を行う。送・受信ダイポールの間隔を広げることにより、より広い範囲の比抵抗を計測、すなわち地下深部の比抵抗計測が可能となる。また、送・受信ダイポールの中心位置とそれらの距離を変更させながら計測を行うことにより、浅部から深部まで 2 次元的に比抵抗計測を行うことが可能となる。

図4に2次元探査結果の例を示す。この例では、既に掘削を用いた管体調査が実施済みで、掘削された土壌を高比抵抗な土壌と入れ替え済みの地点での高周波電気探査装置による2次元探査結果を示す。管体調査が実施された箇所が数100Ωmの比抵抗値を示すことからわかる通り、改良効果が現れている。管体埋設深度における管体調査実施箇所以外の比抵抗値はこの地点もともとの比抵抗値に近い約30~50Ωmとなっており、腐食リスクが低い地点であったと考えられる。管体埋設深度より少し深い、深度約2 m以深には比抵抗5Ωm以下の層が広がっている。この層は、関東平野でよくみられる海成粘土層と解釈される。仮にこの層に水道管を埋設すると、腐食リスクは非常に高まると考えられる。

これまでのトモグラフィ装置に関する特許に加え、PVA電極及び高周波交流電流を用いて、埋設水道管周囲の土壌の比抵抗値を効率的に計測し、埋設水道管の腐食リスクを

判断する技術に関して新たに特許を出願した⁶⁾。現在、本技術を物理探査コンサルティング関係の民間企業に実施許諾し、システム全体として信頼性や利便性を高めるための共同研究を実施している。

今後、当該技術に興味がある水道調査会社と共同で、水道管腐食リスク調査パッケージとしての調査技術の開発を進めるとともに、地方自治体などの水道事業体に対して課題解決型の提案を行っていく予定である。

3. おわりに

物理探査技術は広範囲な分野において利用されており、多くのニーズがある。産総研では、社会課題解決のために産総研の研究を生かしていこうという方針が定められており、その方針にのっとり、社会課題解決のための研究を実施していく予定である。本報告では、サステナブルインフラ研究ラボで取りくむ予定の二つの研究事例について紹介した。

水分子、油分子中のプロトンを、原位置にて非破壊で計測できるNMR物理探査は、老朽化したトンネルやダムなどのコンクリート製のインフラ内部の非破壊検査に適用可能であり、インフラ関係の民間企業との共同研究を実施中である。NMR物理探査装置の適用可能範囲は、インフラ関係にとどまらない。農業関係、高分子製品、化学プラントへの適用など多くの分野で社会課題の解決を視野に入れた研究を続けていく予定である。

路面上から道路を傷つけずに地下の比抵抗と地質構造を推定できる高周波交流電気探査法は、簡易かつ高速に地下を探査可能である。この技術の導入により、従来型の地点毎の土壌サンプル調査から、路線・街区の線的・面的な水道管腐食土壌調査が可能となる。我が国の水道管の老朽化は深刻な社会問題となっており、水道収入の減少や自治体の人口減の影響など、水道インフラの効率的な保守・点検が必要となっている。本技術がこの社会課題解決に大きく貢献することが期待される。

参考文献

- 1) Nakashima, Y., Sawatsubashi, T. and Fujii S. (2020) Nondestructive quantification of moisture in powdered low-rank coal by a unilateral nuclear magnetic resonance scanner. *International Journal of Coal Preparation and Utilization* (in press).
- 2) Nakashima, Y. (2020) Development of a hand-held magnetic resonance sensor for the nondestructive quantification of fat and lean meat of fresh tuna. *Journal of Food Measurement and Characterization*, **14**, 2947–2955.
- 3) ANSI/AWWA (1999) C105, A21.5.
- 4) 神宮司元治 (2006) トモグラフィ装置, 特許第3837546号.
- 5) 神宮司元治 (2017) 次世代物理探査技術の開発と展開,

6) 神宮司元治 (2017) 金属管腐食予測システム及びその方法, 特願2017-000952, 2017/01/06.

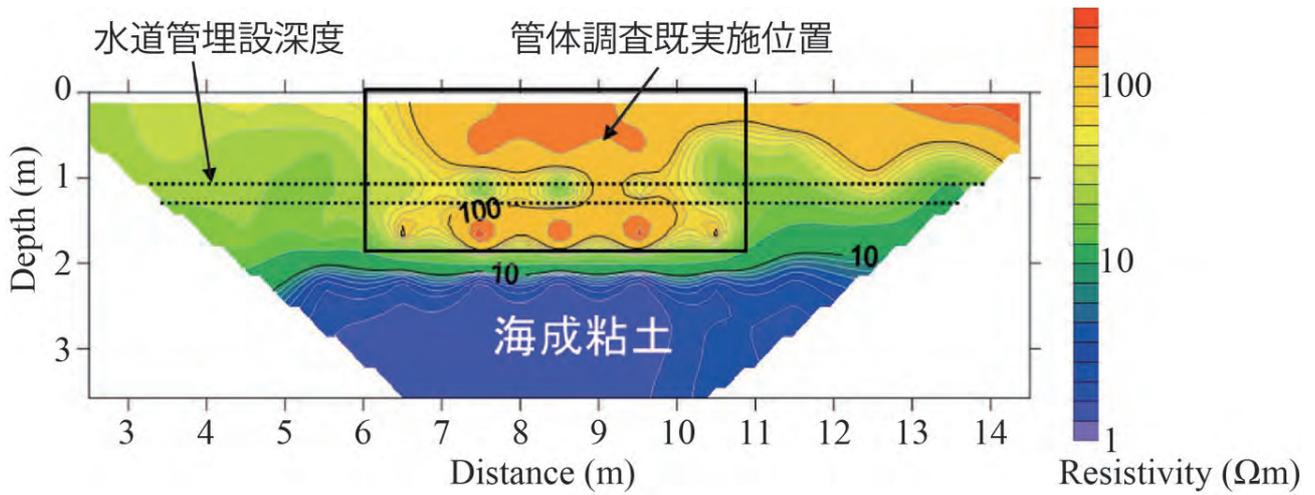


図4 高周波電気探査装置を用いた2次元比抵抗探査結果. 点線で示した深度に水道管が埋設されている. この地点では, 黒枠で囲った部分で既に管体調査が実施されており, 掘削位置は比抵抗が高い土壌で埋め戻されている. 調査地点の深部には海成粘土と解釈される, 低比抵抗層が広がっている.

地圏環境に関する研究開発と社会実装や標準化活動の一例
 -水中の放射性セシウムモニタリング手法等を事例として-
 Case study of geo-environmental research and
 development, social implementation, and
 standardization activities

地圏化学研究グループ長：保高 徹生
 Geo-environment Chemical Research Group:
 Tetsuo Yasutaka
 Phone:029-849-1545, e-mail: t.yasutaka@aist.go.jp

1. はじめに

2020年度より産総研の第5期が始まった。第5期中長期計画では、イノベーションを支える基盤整備として、標準化活動の一層の強化が示されており、標準化推進センターの設置などの取り組みが実施されている。標準化推進センターでは、従来の業界団体を中心とした標準化活動が難しい横断的な標準化テーマが増加している状況にある背景を踏まえ、政策的ニーズや産業界のニーズに基づく業界横断的な標準化を主導し社会の利益につながる標準化活動を標榜するなど、内外の開発された技術の標準化の重要性は高まると考えられる。

筆者も産総研に入所してから約10年が経過し、地圏環境に関する技術や試験法の開発、その社会実装や標準化活動に携わってきた。その中で本稿では、水中の放射性セシウムモニタリング手法の技術開発から社会実装、精度評価（標準化）を中心に紹介する。また、発表においては、汚染土壌中の汚染物質の溶出挙動を評価する手法の一つである上向流カラム通水試験の国際標準化についても報告する予定である。

2. 水中の放射性セシウムモニタリング手法

2.1. 背景と技術的課題

東京電力福島第一原子力発電所の事故により、環境中に多くの放射性セシウム（以下、放射性Cs）が放出され沈着した。山地や農地、都市域に沈着した放射性Csは、風雨等により溪流や河川に流入し、最終的には海洋や湖沼へと流出している。そのため、飲料水の安全確保、農用地の灌漑用水経由の作物への移行、長期的な環境動態を把握するためには、多地点での放射性Csの長期的なモニタリングが不可欠である。一方、福島県内の多くの河川における放射性Cs濃度は徐々に低下して、多くの地点で2014年の時点で溶存態放射性Cs濃度は0.1 Bq/L未滿¹⁾、2017年では溶存態放射性Cs濃度は0.01 Bq/L未滿であった²⁾。これらの濃度レベルにおいては、一般的な2Lのマリネリ容器を用いたゲルマニウム半導体検出器での測定は難しいため、メンブレンフィルタを用いたろ過法により固液分離を行い、蒸発濃縮法³⁾もしくはモリブデン酸アンモニウムを用いた共沈法（AMP法）⁴⁾により、20 L～100 L程度のサンプル水のろ過・濃縮する方法が採用されてきた。しかしながら、この方法は約6時間～1週間程度の時間を要すること、また、採水現場から20～100 Lの採水・実験室への運搬が必要なこ

となど、前処理工程を軽劣化・短縮化した実用的な手法の確立が求められていた。

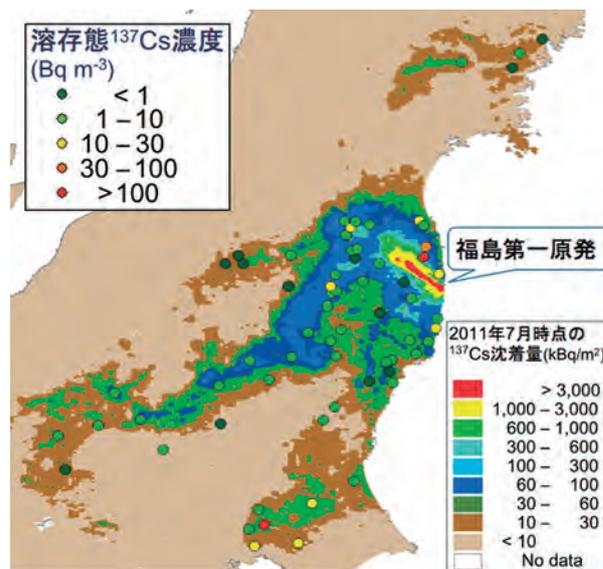


図1 2017年の広域の溶存態放射性Cs濃度²⁾

2.2. 開発技術と社会実装

環境水中における低濃度放射性Cs濃度の形態別測定を簡便かつ迅速に行うために、産総研のナノシステム研究部門（現ナノ材料研究部門）の川本徹グループ長が開発していたナノ粒子プルシアンブルーを担持した不織布を用いて溶存態の放射性Csを迅速に濃縮する技術を日本バイリン（株）と連携して、JST先端計測プログラムの補助を頂き開発した。この装置は、懸濁物質を回収する不織布カートリッジと溶存態放射性Csを回収するプルシアンブルー担持不織布カートリッジの2種類を直列することで、固液分離・溶存態放射性Cs濃縮を同時に行うことができる。特に、①ナノ粒子プルシアンブルー担持不織布カートリッジに0.5L/分の通水速度で通水することで97%以上の溶存態放射性Csが回収可能であり、従来は6時間～3日程度かかっていた20Lのサンプル水の溶存態放射性Csの濃縮を40分で実施可能となったこと、②10kgと比較的軽量なため現地での濃縮が可能であり、サンプル水の持ち帰りが不要なこと、③固液分離が同時にできることが特徴である^{5,6)}。開発後には、複数の機関から依頼を受けて前述したカートリッジ及びモニタリングシステムの販売が開始された。

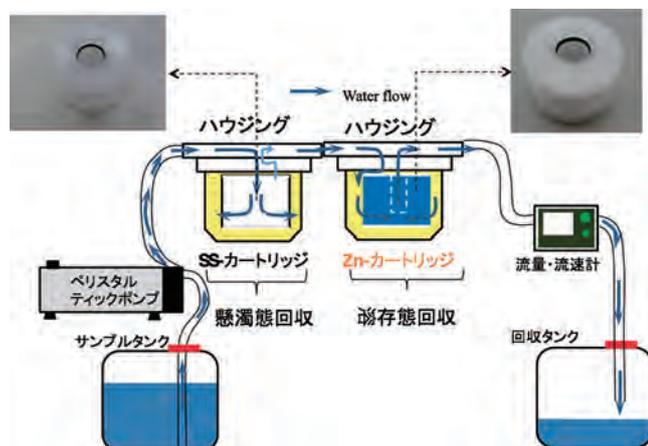


図2 開発したモニタリングシステム（保高ら（2013）を一部改定⁵⁾）

実際に本技術の社会実装が進むと、使用する現場からはさらなる迅速化のニーズがでてきたため、前述した川本徹グループ長と連携し、プルシアンブルー色素の鉄元素を亜鉛元素に置き換えた亜鉛置換体プルシアンブルーを用いたカートリッジ（Zn-C）を新たに開発した⁷⁾。このZn-Cは、①2.5L/分で約96%の溶存態放射性Csの吸着が可能、②pH3-10の範囲で同様の吸着率が確保でき、③通水可能量が100Lまで拡張された。これにより、20Lの濃縮を8分、100Lの濃縮を40分で可能となり、従来法の1つである濃縮乾固法と比較して所要時間が45~1,000分の1まで削減可能となった。2019年現在、本方法は20以上の研究機関や大学、環境コンサルタント会社で活用されている。

2.3. 標準化への取り組み

先に述べたとおり、低濃度の水中の放射性セシウムを存在形態別に測定するための方法として、従来からの蒸発濃縮法やAMP法、筆者らが開発したプルシアンブルーカートリッジ法（PB法）、フェロシアン化コバルトを含む抽出ディスクを用いた固相抽出法⁸⁾等が存在するが、異なる方法間の精度評価が実施されておらず、また同一方法でも機関毎に手順等に相違がある等の課題があった。

これらの課題を解決するため、産総研 地圏資源環境研究部門が事務局となり、「各機関で用いている異なる溶存態放射性セシウムの濃縮方法の精度評価」および「各種固液分離・溶存態濃縮方法の技術普及のための技術資料作成」を目的として「水中の放射性セシウムのモニタリング手法に関する技術資料検討委員会」（委員長 恩田裕一・筑波大学教授）を2014年6月に立ち上げ、2015年9月に検討結果を技術資料（「水中の放射性セシウムのモニタリング手法に関する技術資料」）として取りまとめ公開した⁹⁾。また、精度評価試験では、国際原子力機関（IAEA）らと連携した国内/国際精度評価試験を本委員会および後述するコンソーシアムにおいて複数回実施し、いずれの手法でも同等程度の精度を示すことを確認した¹¹⁾。さらに、2016年以降は、公的研究機関や民間企業14社が参画する「環境水等の放射性

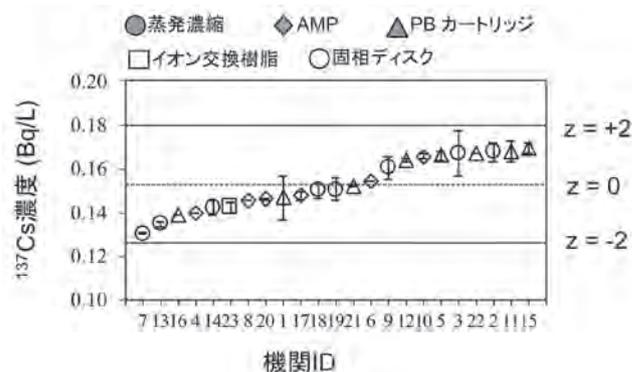


図3 精度評価試験の結果¹¹⁾

セシウムモニタリングコンソーシアム」を立ち上げ、技術資料改定、精度評価試験を継続している。

3. 終わりに

技術を社会実装するためには、技術開発だけでなく、その技術を評価する仕組み、精度を担保する仕組みが重要となる。また、標準化と言っても、ISOやIECなどの国際標準化、JISなどの国内標準化、法令で定められた試験法の開発、業界団体等が作成する技術指針など、様々なケースがあり、どれを目指すのかは、その目的や内容に応じて変化する。今後も地圏環境に関する研究開発から標準化まで、幅広く社会に貢献したい。

参考文献

- 1) Tsuji et. al., (2014) Water Research, 60, 15-27.
- 2) Tsuji et. al.,(2019) Science of the Total Environment, 697, 134093.
- 3) 文部科学省(1982)：ゲルマニウム半導体検出器等を用いる機器分析のための試料の前処理法
- 4) Aoyama et al.,(2000) Applied Radiation and Isotopes, **53**, 159-162.
- 5) 保高 徹生他(2013) 分析化学, **62**-6, 499-506.
- 6) Tsuji et al.,(2014) Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, **299**, 139-147.
- 7) Yasutaka et al.,(2015) Journal of Nuclear Science and Technology **52**-6, 792-800.
- 8) Boni et al.,(1996) Analytical chemistry, **38**, 89-92.
- 9) 水中の放射性セシウムのモニタリング手法に関する技術資料検討委員会(2015)：環境放射能モニタリングのための水中の放射性セシウムの前処理法・分析法
- 10) Kurihara et al.,(2019) Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry.
- 11) 保高 徹生他, (2017) 分析化学, 66(4), 299-307.

土壌溶出量調査における公定試験の改正と試験方法の高精度化に関する研究

Recent procedure changes and studies for achieving reproducible results in soil leaching tests

地圏環境リスク研究グループ：井本 由香利
Geo-Environmental Risk Research Group:
Yukari Imoto
E-mail: y-imoto@aist.go.jp

1. はじめに

土壌汚染対策法では、土壌に含まれる有害成分が地下水を經由して摂取されるリスクを管理することを目的として、土壌溶出量調査に係る測定方法（平成15年環境省告示第18号、以下土壌溶出量試験）を定めている。この試験は土壌からの有害成分の溶出状況を、基準と比較することで当該土壌による汚染の恐れがあるかどうかを判定する試験であり、試験手順は、平成3年環境庁告示第46号（土壌の汚染に係る環境基準について、以下環告第46号試験）の付表に掲げる方法で行うこととされている。この試験の手順については、平成6年の改正以降は大きな変更がなかったが、平成30年に手順の一部が変更され、改正告示が平成31年4月に施行された。本報告では、試験手順の改正の内容とこれに関連する調査研究について紹介する。

2. 土壌溶出量試験の改正

平成30年の試験手順の改正では、風乾温度や振とう方向、ろ過方法等の条件が明確に定められた。手順変更の内容を表に示す。土壌溶出量試験においては、各試験操作・条件の詳細が明記されていないことによって生じる試験結果の再現性の低下が問題となっていた。これに対して、平成28年「今後の土壌汚染対策の在り方（第1次答申）」¹⁾にて、分析コスト・時間の増大につながらないよう配慮しつつ、分析結果のばらつきを抑制する方向で検討を行うという方針が示され、中央環境審議会における継続審議を経て今回の改正に至った。

土壌溶出量試験が定められる以前より運用されている環告第46号試験は、遡ると、1986年に国有地を対象として取りまとめられた「市街地土壌汚染に係る暫定対策指針」の中の汚染土壌判定と処理対策選定の判定試験に辿り着く²⁾。土壌汚染対策法における土壌溶出量調査に係る公定試験として位置づけられるまでの間にも、溶媒のpH調整や使用する試薬、遠心分離速度、フィルターの材質や孔径に関する試験条件が変更されている。これらの変更は、入手しうる機器・機材が時代によって変わることを踏まえた上で測定精度の向上を図ったものと推察され、試験手順の改正の背景にある考え方は基本的に同じと考えられる。

表 平成30年の環告第46号試験の手順変更内容

項目		変更の内容
試料の作成	風乾	風乾の温度は 30℃ を超えない温度とする。
	粒径調整	土粒子をすりつぶす等の過度な粗砕を行わないこととする。
試料液の調整	溶媒	溶媒の pH 調整は不要。 水は JIS K 0557 に規定する A3 又は A4 のものとする。
溶出	容器	振とうに用いる容器については溶媒体積のおおむね2倍とする。
	振とう方法	振とうの方向は水平方向とする。
検液の作成	遠心分離	回転数から重力加速度として規定し、3,000 G とする。
	ろ過	【揮発性有機化合物の場合】ろ過は行わない。 【上記以外の物質の場合】メンブレンフィルター直径は 90 mm とする。 ろ過の開始から30分間はフィルターの交換は行わず、ろ過時間が 30 分を超える場合は、概ね 30 分ごとに交換する。

3. 試験方法の高精度化に向けた研究

土壌溶出量試験においては、一部の試験操作・条件が詳細に記載されていないことにより試験実施者によって操作が異なり、試験結果にばらつきが生じているという指摘がされていた。試験結果は土壌の措置やそのコストを左右することから、公平性の確保は公定試験の重要な課題であり、関連学会等において多数の調査研究報告や議論がなされてきた³⁾。特に鉛などの一部の重金属類に関しては、土壌溶出量試験の検液中の土壌コロイド等濁り成分により試験結果が影響を受ける事例が報告されていた。ここでは、検液中の土壌コロイドに着目して、振とう方法や固液分離操作の違いが試験結果の再現性に及ぼす影響について調査した研究を2件紹介する。

(1) 振とう条件が濁度と重金属濃度に与える影響⁴⁾

改正前の試験における振とう操作においては、振とう速度（200rpm）と時間（6時間）が定められており、振とう方向としては水平・垂直の両方が認められていた。諸外国の同様の試験では、速度5rpmの回転式の振とう方法が採用されている。本研究では、振とう方法や振とう強度が土壌溶出量試験の検液中の濁度と重金属等濃度に与える影響を明らかにするため、3種類の汚染土壌からの砒素、鉛、セレン、ふっ素、塩素の溶出挙動を調査し、試験結果の再現性について考察した。その結果、次の結論が得られた。1) 土壌の種類によっては、水平・垂直の振とう方法により発生する濁質量に差が生じる。2) 土壌との親和性が高い鉛と一部の土壌の砒素の濃度は、検液中の濁質量と正の相関があることから、試験の再現性の改善という観点からは、振とう方向を統一することが望ましい。3) 土壌との親和性が低いセレン、ふっ素、塩素の濃度は、濁質量との明確な相関は見られないものの、振とう強度の増加に伴って濃度が増加する事象が確認された。

(2) 固液分離操作が試験結果に与える影響⁵⁾

土壌溶出量試験などのバッチ型試験では、振とう操作中に発生した土壌微粒子を除去するために遠心分離やろ過といった固液分離操作が必要になる。改正前の試験における遠心分離では回転数3,000rpm、遠心分離時間20分、また、ろ過においては孔径0.45 μ mのメンブレンフィルターの使用が定められていたが、重力加速度やフィルターの単位面積当たりのろ過量等に関しては規定されていなかった。そこで本研究では、重金属汚染土壌に対して溶出試験を実施し、固液分離操作に関するパラメーターの影響を比較した。その結果、一部のタイプの土壌においては、重力加速度とフィルターの単位面積当たりのろ過量の両方が試験の再現性に影響を与えることが示された。具体的には次の通りである。1) 鉛などの土壌と親和性の高い金属の検液中濃度は遠心分離強度（重力加速度×時間）によって大きく異なる。回転数3,000rpmは装置毎に異なる回転半径（20–40cm）により重力加速度2,000から4,000G相当となるため、試験結果の再現性改善のためには、遠心分離の速度は回転数ではなく重力加速度で定める必要があることが示された。2) ろ過中にフィルターケーキや目詰まりが生じる場合、ろ過量の増加に伴って検液中の金属濃度は大幅に低下

した。これは、フィルター孔径未満の大きさの土壌コロイドがフィルターケーキによって捕捉されたためと考えられる。試験の再現性向上の観点からは、ろ過におけるフィルターの交換頻度等を規定することが望ましい。

4. おわりに

本報告では、我が国の土壌汚染対策における公定試験に関する高精度化に向けた取り組みについて、平成30年の改正を中心に紹介した。今回の試験手順の改正においては、実環境に近い条件で評価するという諸外国の考え方を踏まえつつ、汚染状態を適切に分析する手順の明確化を図るという考え方が基本にある¹⁾。これの実現に向けて、今回の改正では触れられなかったフィルターの材質等の残された課題に関して引き続き調査研究を進めているところであり⁶⁾、今後関係機関と協力して検討を継続する予定である。

参考文献

- 1) 中央環境審議会，平成28年「今後の土壌汚染対策の在り方について（第一次答申）」，(2016)。
- 2) 井本由香利，保高徹生，肴倉宏史，宮口新治，バッチ溶出試験の課題と対応（3）土壌溶出量試験の歴史，第22回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究会 講演集 (2016)。
- 3) 渡邊保貴，保高徹生，井本由香利，井野場誠治，肴倉宏史，地盤環境安全性を評価するための溶出試験とグランドデザイン，地盤工学会誌，68巻3号 (2020)。
- 4) Yasutaka, T., Imoto, Y., Kurosawa, A., Higashino, K., Someya, M., Kalbe, U., Sakanakura, H., Effects of colloidal particles on the results and reproducibility of batch leaching tests for heavy metal-contaminated soil, *Soils Found.*, 57, 861-871(2017)。
- 5) Imoto, Y., Yasutaka, T., Someya, M., Higashino, K., Influence of solid-liquid separation method parameters employed in soil leaching tests on apparent metal concentration, *Sci. Total Environ.*, 624, 96-105(2018)。
- 6) Someya, M., Higashino, K., Imoto, Y., Sakanakura, H., Yasutaka, T., Effects of membrane filter material and pore size on turbidity and hazardous element concentrations in soil batch leaching tests, *Chemosphere*, in press.

研究グループ紹介

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：町田 功
Leader, Groundwater Research Group:
Isao Machida
e-mail: i-machida@aist.go.jp

1. グループの研究目的

地下水研究グループでは、社会への貢献や研究成果の反映先を意識した地下水の保全と開発・利用等に関する研究を実施している。主な業務の一つに水文環境図の作成があり、これを基軸に地下水の資源・環境に関する情報を体系的に取りまとめている。また、地層処分に係る沿岸部の深層地下水研究にも力を入れている。これら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担当している。研究対象地域は日本国内のみならず、JICA、CCOP（Coordinating Committee for Geoscience Programmes in East and Southeast Asia：東・東南アジア地球科学計画調整委員会）活動などを通して海外にも展開している。また、産総研福島再生可能エネルギー研究所（FREA）の地中熱チームとは、水文環境図を利用した地中熱ポテンシャルマップの作成に係る連携をはじめ、多角的な地下水研究を推進している。

本稿では第5期が始まるにあたり、これらの具体的な取り組みについて述べるが、特に水文環境図と地層処分研究に関して、今までの経緯を今一度整理し、今後の計画を紹介する。

2. グループ員

町田 功（研究グループ長）
井川 怜欧（主任研究員）
吉岡 真弓（主任研究員）
小野 昌彦（研究員）
松本 親樹（研究員）
吉原 直志（研究員）
内田 洋平（併任）
富樫 聡（併任）
シュレスタ・ガウラブ（併任）
石原 武志（併任）
アリフ・ウィディアトモジヨ（併任）
丸井 敦尚（招へい研究員）
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）
木方 建造（客員研究員）ほか

3. 水文環境図の作成

3.1. 第3期までの成果

産総研地質調査総合センターは、その前身の旧地質調査所時代から地下水に関する評価図を出版しつづけてきており、その歴史は日本水理地質概観図（地質調査所、1957）から数えて60年以上になる。1961～1998年まで41地域で出版された日本水理地質図は、一枚紙あるいは図と説明書からなる紙媒体であり、その作成目的は蓄積した調査データの死蔵を防ぐことであったとされている。

2001年に地質調査所は産総研地質調査総合センターとなり、2002年度からはCD版（有償）の水文環境図が出版された。これは既存の紙媒体の地図とは異なり、webブラウザ上で閲覧したい情報を選択できる画期的なものであった。しかし、2008年前後から我が国の地下水をとりまく状況は大きく変化し始め、同時に水文環境図の利用者から多くの要望が寄せられるようになった。そこで、水文環境図の編集方針の見直しをおこない、流動や水資源の評価を中心とした現在の編集項目が定められた。詳細な経緯は、町田ほか（2019）を参照されたい。

3.2. 第4期の成果

上述の通り、水文環境図はさまざまな地下水の情報を任意に重ね合わせて表示する機能を搭載するためCD版としていたが、データを表示するためのwebブラウザの更新などにより、過去の水文環境図を閲覧できなくなる問題があった。そこで、ユーザーが求める情報について再検討をおこなうとともに、webサイトを通じてより簡単に選択的に情報を閲覧できるオンラインシステムの構築を進め、2019年5月に、これまでのものを含む6地域について無償公開を開始した。また、FREAの地中熱チームと強く連携し、同年6月に水文環境図No.11「大阪平野」を地中熱ポテンシャルマップと同時に公開した。web版の公開と大阪平野のマップについてはそれぞれ産総研プレスリリースが行われており、多くのマスメディアにて紹介された。水文環境図は、第4期までに7地域がweb公開されている。

現在の水文環境図はリスト画面、マップ画面、説明書からなり、例えば、リスト画面の項目をクリックすることにより、マップ画面に情報が表示される（図1）。また、2019年には全国大の地図にデータが表示される、全国水文環境データベースのプラットフォームを構築した。これについては後述する。

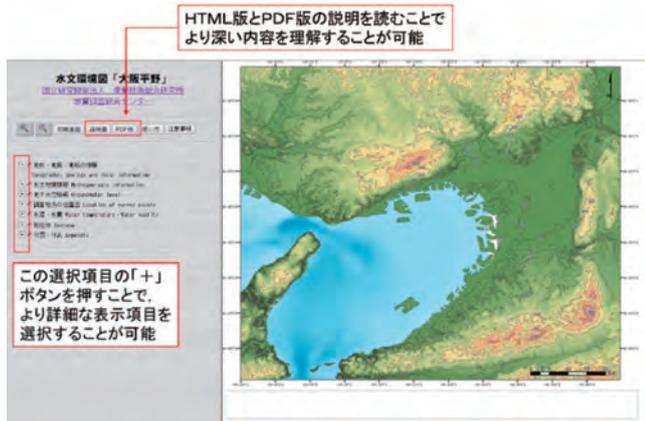


図1 水文環境図の例 (No.11「大阪平野」)
左がリスト画面, 右がマップ画面である。

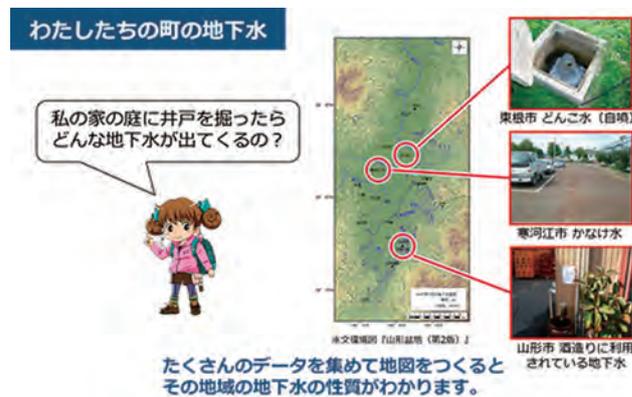


図3 水文環境図の説明スライド (公開中)
GSJ 研究戦略部研究企画室と共同で作成

3.3. 第5期の目標

近年, 高い経済性と安定性に着目した大規模施設における井戸の設置, そして流域水資源の持続的な利活用を目的とした新しい法律 (水循環基本法: 2014年) の施行といった社会情勢の変化が生じている。また, 投資家による ESG 投資の指標の1つに CDP 水セキュリティ (https://cdp-jp.net/common/cms_editor/uploads/files/water_basic_0329.pdf) があるが, これが日本企業に対しても取り入れられるなど, 地下水の情報自体も重要になりつつある。さらに, 地下水の安定した温度を利用した省エネルギー技術である地中熱利用も促進されており, 地下水は, 省エネ対策の観点からも存在感を増している。

上記のような社会情勢を考慮し, 第5期 (2020-2024) は水文環境図の編集の加速化を目指す。具体的には産総研内および外部機関との積極的な連携を行い, 5年間に5地域を公開する予定である。現在, 大阪市立大学, 京都大学, 長崎大学, 和歌山大学, 静岡県環境衛生科学研究所, 新潟県地中熱利用研究会との連携をおこなっている。2020年には山形盆地 (第2版) が公開 (<https://gbank.gsj.jp/WaterEnvironmentMap/contents/yamagata/yamagata.htm>) され, 2021年3月末までに新たに「紀の川平野」と

「静清地域」を公開予定である。2024年度までに公開を予定しているのは, 「仙台平野 (第2版)」, 「新潟平野」, 「大井川流域」である (図2)。

一方, 水循環基本計画のもとで実施される地下水の持続的な利活用は, ステークホルダーとの合意のもとにおこなわれることになる。しかし今日, 地下水を正しく理解, あるいは興味を持っている市民は決して多くはない。長期的な視野で地下水の保全と利活用を考えると, 市民への啓発は極めて重要であるため, 水文環境図のような専門家向けのマップだけではなく, より分かりやすい発信方法や, データのまとめ方の検討も必要である。そこで, 2020年にはトップページの改修をおこない, 水文環境図に関する, 一般向けのスライドを作成した (図3)。

加えて, 第5期では3.2節で述べた全国水文環境データベースの拡充を計画している。具体的には大学等と連携することにより, 外部からのデータおよびデータベースを積極的に組み込んでいく。このデータベースが拡充されることにより, 日本各地の地下水の特性が全国大のマップに表示され, 実データから地域の特性が明らかになる (図3)。このように地域の地下水が差別化されることにより, 地下水に対する興味が高められ, さらに日本の地下水の特性をわかりやすく発信していくことが可能となる。



図2 新潟県での調査風景
机上調査と現地調査から水文環境図を編集する。



図4 全国水文環境データベース
全国大の地図に水質情報などが表示される

4. 沿岸部の深層地下水流動に関する研究

4.1. 背景と第4期までの成果

原子力発電所から出た放射性廃棄物の有効な処分方法として、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検討されている。地層処分においては、処分した放射性核種が漏洩し、地下水によって輸送されることを想定した安全評価が重要になる。核種は時間の経過とともに（放射壊変によって）危険度が低下することを考えると、地下水の流速が遅い領域を処分サイトとしたほうが安全評価上有利である。一般に深層になればなるほど、地下水の流速は遅くなるため、本テーマの主たる研究領域は深層である。このうち地下水研究グループでは、特に沿岸部における研究および調査・評価技術の高度化に継続して関わっている。

初期の研究では九十九里海岸や茨城県東海村などが研究地域であった。平成19年度からは北海道天塩郡幌延町沿岸部にて当研究部門の物理探査研究グループと連携し、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評価手法の高度化を行った。この時、明らかになったのは沿岸部の浅層から深度1,200mまでの地下水年代の分布である。地下水年代とは、涵養してから現在までに経過した時間であり、長期的な地下水の流速を反映している。よって、その空間分布を把握することや、評価手法の高度化は、沿岸部での処分を考える上で重要である。平成19~25年に行われた調査では、沿岸部の地下100mに、氷河期に涵養されたと考えられる淡水地下水が見いだされ、それが海底下まで連続している可能性が示された（図5）。

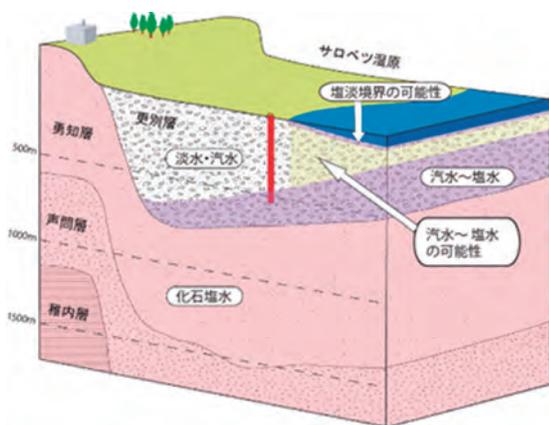


図5 海底下に淡水の地下水が存在する可能性を指摘（産総研, 2013）

一方、平成25年度からは静岡県駿河湾周辺においても沿岸部での地下水調査を実施している。この調査では陸海接合部に注目して海域や海底についても調査をおこない、地下水流動系の流出域の実態解明をおこなった。また、波打ちぎわにて多深度ボーリングを実施し、合計11深度にて良質の地下水試料を採取し、沿岸部地下水の地下水年代の鉛直分布を解明した（図6）。これらについては今年度の研究に深く関係するため、次節にて述べる。

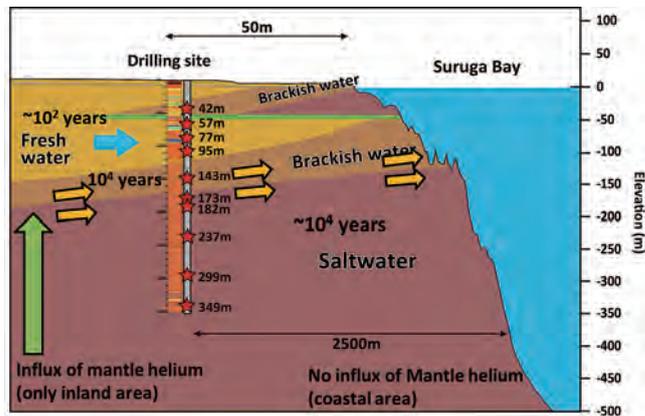
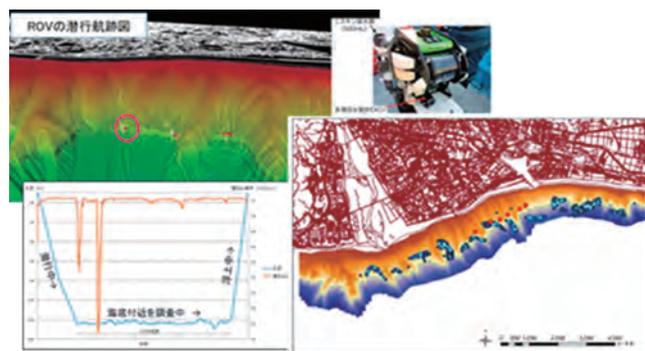


図6 駿河湾沿岸部の深層地下水流動概念モデル

4.2. 第5期の目標

平成31年度から始まった新フェーズ「沿岸部処分システム評価確証技術開発」では、沿岸部深層の地質環境調査技術の開発と、他機関・異分野間の連携を重視した研究が行われている。具体的には、駿河湾にて海底湧出地下水の調査法や評価法について研究するとともに、沿岸部陸域にて深度160m以上のボーリングを実施し、塩淡水境界の深度や、多深度の地下水の化学組成および年代、さらには実流速などを調査、研究する。

海底湧出地下水の位置や湧出量の実態把握は、広域地下水流動の流出域の情報を得ることにつながるが、水深100mを超えるような海底湧出地下水については、従来、ほとんど調査が行われていなかった。そこで地下水研究グループは、平成25年度より静岡県環境衛生科学研究所と連携し、深層の海底湧出地下水の実態解明に係る技術の高度化に取り組んできた。これまでの研究では、ROVと高精度音響カメラを組み合わせた探査手法を検討し、模擬実験や実海域での試験を通じて太陽光が届かない深度での湧出水の検出に成功している（図7）。今年度は海水混入率をおさえた海底湧出地下水のサンプリング方法について研究を行い、実際に採取する。今後は地質等の条件の異なる様々な沿岸部海域を対象とした検討を進めて探査手法の体系化につなげる予定である。さらには、沿岸域の水環境や生態系など様々な沿岸域環境を評価する際に、海底湧出地下水の研究成果を活用していく。



- 顕著な淡水の湧出が確認された地点
- 散乱記録から推定された海底湧出地下水の位置

図7 駿河湾における海底湧出地下水の調査結果

また、海底湧出地下水は地下水のパスとも考えられることから、その深度領域および周辺の地下水試料を陸域ボーリング調査にて採取し、海底湧出地下水の水質等と比較することによって、地下水のパスの役割や、陸域から海底下までの地下水流動をより詳細に明らかにすることができる。このような海と陸を組み合わせた調査方法および評価技術の確立は、安全評価を考える上で重要である。

なお、本フェーズを通して、我々は地下水流動系の比較研究を念頭に置いている。駿河湾沿岸部は地下水流動が国内でもっとも活発な地域の代表例であると考えられることから、従来まで調査を行ってきた地下水流動が緩慢な幌延町沿岸部とは対極にある。この地下水流動が対極にある2地域の結果を合わせることで、国内の沿岸部地下水の実態把握にせまることができるだろう。

また、本フェーズは原子力環境整備促進・資金管理センター、電力中央研究所とともに3機関の共同研究体制としている。参画している研究員は、地質分野、地下水分野、工学技術分野である。本フェーズでは新たに分野間ワーキンググループを構築し、積極的な意見交換をおこなうとともに、異分野間でのデータのやりとりや情報共有を進めていく予定である。

5. 坑廃水問題に対する取り組み

我が国でかつて開発された鉱山からは、閉山後も酸性かつ金属を多く含む坑廃水が継続的に発生しており、この廃水の処理を必要とする鉱山は国内に80ほどある。現在は隣接する処理場において中和処理等の廃水処理が実施されているが、坑廃水が継続的に発生する限り、毎年処理費用を要する。国・自治体において、これが長期にわたり経済的負担となることから、処理コスト削減に向けた取り組みが必要とされている。坑廃水の流出量の削減を目的とした「発生源対策」は大幅なコスト削減に直結し得るが、坑廃水の起源が複雑であることから、その制御は困難であると考えられてきた。

そこで、地下水研究グループでは第4期の後半から産総研内の他の研究グループと連携し、国内の休廃止鉱山の坑廃水及びその近傍の河川水・湧水について、水質や同位体分析をおこない、それらと鉱山の保有する既存情報（坑廃水量や地下水位等）を比較することで、当該地の地下水流動の解明と坑廃水の起源推定に取り組み始めた。第5期では、国内の複数の休廃止鉱山に調査を拡大し、これらに必要な情報や調査手法等についてまとめていく予定である。

6. 国際交流・研究

地下水研究グループは、旧地質調査所時代から海外からの研修生の受け入れや、海外調査研究を積極的におこなってきた。第4期の後半はJICAからの資源の絆プロジェクトで3名の研修生を受け入れ、また講習会の講師等を務めた。また、CCOP加盟国への技術移転などを実施し、アジア地域における適切な水資源の管理・利用に貢献している。その他、東北大学と共同してモンゴルにて、そして九州大学と共同してインドネシア・カリマンタン島にて露天掘り石炭鉱山の現地調査などを実施している。第5期も積極的に国際活動を取り組んでいく予定である。

7. 第4期（後半）のプレス発表・受賞 産総研プレスリリース（2件）

- ・地下水のマップをネットで公開 – 誰もが地下水の情報を利用できる環境づくり – 町田功, 丸井敦尚, 井川怜欧, 吉岡真弓, 小野昌彦, 松本親樹, 2019年5月31日。
- ・大阪平野が持つ地中熱ポテンシャルを「見える化」。井川怜欧, 内田洋平, 吉岡真弓, 2019年6月14日。

受賞（2件）

- ・ Batdemberel, B., Nakamura, K., Machida, I., and Watanabe, N. and Komai, T.: Construction of a conceptual model for confined groundwater flow in the Gunii Khooloi Basin, Southern Gobi Region, Mongolia. Best Poster Award, IAH 2018, Korea.
- ・ Matsumoto, S., Ono, M. and Machida, I.: Application of isotope method for identifying groundwater flow paths into closed mine sites in Japan, Mitsui Matsushima Award for Best Paper, International Symposium on Earth Science and Technology 2019.

参考文献

- 産総研(2013): 平成24年度成果報告書 沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度化開発(とりまとめ詳細版). 208p.
- 地質調査所(1957): 日本水理地質概念. 地質調査所.
- 町田 功, 井川怜欧, 吉岡真弓, 小野昌彦, 松本親樹, 丸井敦尚 (2019): 誰もが簡単に利用できる地下水の情報発信に向けて. 日本水文科学会誌, 49, 1, 37-41.

鉱物資源研究グループの紹介

Introduction of the Mineral Resources Research Group

研究グループ長：相馬宣和

Leader, Mineral Resources Research Group:

Nobukazu Soma

Phone 029-861-8254, e-mail: n.soma@aist.go.jp

1. グループの研究目的

新型コロナの出現など、国際的に不安定要因は増加しており、各種鉱物資源の長期安定確保の重要性はこれまで以上に高まっている。特定の重要元素や化合物レベルで、需要側の技術革新を踏まえた戦略的確保に資することは、今後のイノベーションを支える重要な観点である。

本研究グループでは、社会の動きに応じた各種鉱物資源のクリティカリティを考慮しながら、資源の早期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、鉱物資源開発に寄与する各種情報の収集と質の高い発信、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、研究グループ総体の活動目的である。

2. メンバー構成と主な担当

研究グループ長 相馬宣和（〔兼務〕RG 総括）

主任研究員 / 研究員

大野哲二（基盤情報の整備・分析・発信）

児玉信介（広域資源評価、遠隔探知技術）

実松健造（鉱床成因研究、探査法開発）

星野美保子（鉱石評価、鉱床成因研究）

昆 慶明（微小域元素・同位体分析）

荒岡大輔（元素・同位体分析、鉱石評価）

綱澤有輝（選鉱、粉体工学）

高木哲一（〔兼務〕非金属鉱物資源調査）

産総研特別研究員 PD

Tomy Alvin Rivai（鉱床成因研究）

戸塚修平（鉱床成因研究、同位体分析）

テクニカルスタッフ

Calabia Buenaventurada（選鉱技術）

生田目千鶴（分析評価技術）

徳本明子（分析評価技術）

杉山貴子（基盤情報の収集・整理）

藤井和美（分析評価技術）

リサーチアシスタント

左部翔大（〔秋田大〕鉱床成因研究）

客員研究員 5 名、技術研修員 7 名。

3. 研究活動の概要

経産省「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、他事業や共研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いるが、本年は Web 会議等も活用した現地への協力が主であった。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お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、各研究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。

3.1. 鉱床の成因理解と探査のための研究

(1) 東南アジア地域における鉱物資源開発可能性調査

ミャンマーは錫、タングステン、銅、鉛、アンチモン、金・銀、宝石などの鉱物資源が豊富であり、2010年11月の民政移管以降、同国の天然資源は各国から注目されている。しかし、十分に探鉱されていない地域や、詳細が不明な鉱床も多いことから、ミャンマー全土の情報収集を含めた鉱物資源の開発可能性調査を行っている。2019年度からは、現在日本企業が概査権を有しているサガイン管区の 2 か所の鉱区に立ち入り、銅や金鉱床の発見を目標にした土壤地化学探査を実施した。

また、東南アジアで操業中の鉱山や選鉱プラントには、精鉱の更なる高品位化や、尾鉱からの鉱石鉱物回収の余地が残されている。スズ鉱山に注目し、選鉱の最適化による精鉱

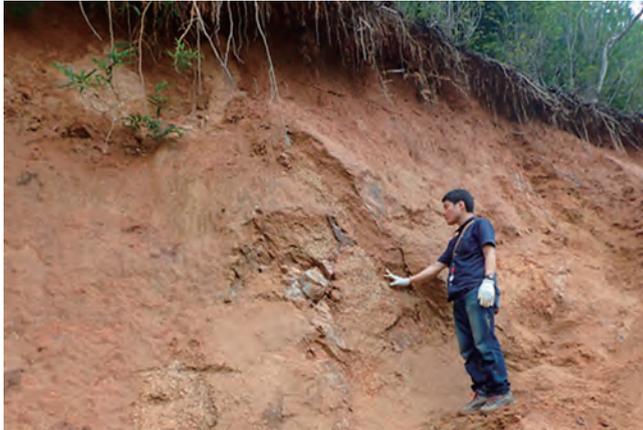


ミャンマー連邦共和国での土壤地化学探査

からの不純物の除去や、尾鉱からスズ鉱物以外の鉱石鉱物を回収するための研究を行った。

(2) 国内の希土類資源の評価

日本国内における希土類資源の賦存量評価を目的として、調査・研究を行った。中国地方の花崗岩地域におけるイオン吸着型重希土類資源に注目し、風化花崗岩類の存在状況を把握するための野外調査、試料採取、全岩化学分析などを行った。



中国地方の風化花崗岩の露頭

(3) 新たな地化学探査法の開発

世界中で確認されている金属鉱床のほとんどは、その一部または変質帯が地表に露出している。河川が発達している場合、鉱床から剝された碎屑物は下流へと流されて地化学異常として認識されるため、川砂を対象にした地化学探査は最も有効な方法の一つであると言える。効率良くコストを抑えて探査するために川砂の全岩化学分析を行うのが従来の方法であるが、本研究では、川砂の特定の鉱物に着目した局所分析により、鉱物中の化学組成や元素比を求めることに挑戦する。局所分析には主に LA-ICP-MS（後述）を用いるため現状では高コストとなるが、従来法では見つからなかった地化学異常を発見し、鉱床探査に応用することが本研究の目的である。2020年度は東北地方の金・タングステン等の鉱床を流域に持つ河川での試料採取を行い、試料の分析を進めている。

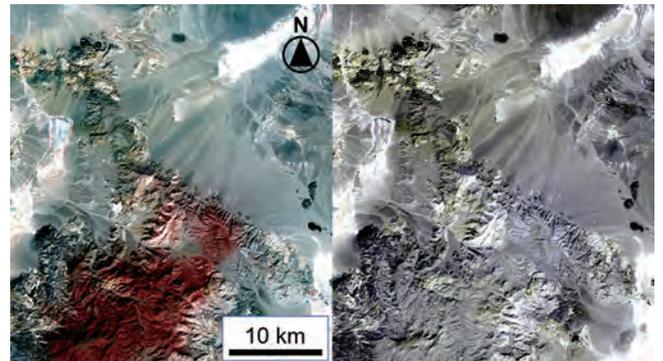


岩手県赤金鉱山周辺川砂試料採取の様子

(4) リモートセンシングによる鉱床探査技術および広域資源評価に関する研究

鉱床探査の初期段階において調査範囲を絞り込むことを目的として、リモートセンシングによる広域資源評価の研究を行っている。本年度は、ASTER データを用いた鉱物分布推定において植生の影響を軽減する手法を開発した。また、合成開口レーダデータを用いた熱帯地域における地質情報抽出を進めている。

このほか、野外分光放射計を用いた熱水変質鉱物推定手法の開発と現地調査への活用に関する研究にも取り組んでいる。本年度は、反射スペクトルと鉱物量比の関係を理解するため、これまでに収集した岩石試料について反射スペクトル等の基礎データを取得した。



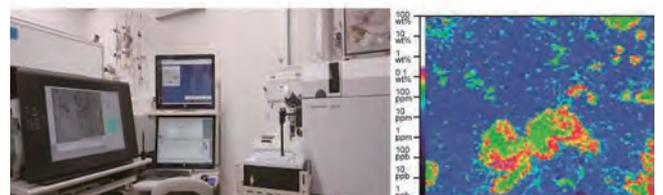
ASTER 画像（左：元画像、赤色が植生の多い画素。右：植生の影響を軽減した画像）

3.2. 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・評価に関する研究

(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。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、工業製品評価の為に分析も行っている。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いる。



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）と希土類元素鉱石中のルテチウム分布（右）

(2) 安定同位体比分析技術の高度化

新しい鉱床成因研究手法を開発すべく、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、科研費による分析環境の整備を行ってきた。現在は、秋田大学や南アフリカの白金族鉱床を対象とした鉱床成因研究を科研費を通じて推進している。また、熱水中のMgの挙動解析など、地球科学分野で共同研究を展開し、成果を挙げている (Eom et al., 2020)。

(3) 選鉱技術の高度化

選鉱技術の高精度化を目的として、錫、タングステン、銅、希土類元素などの金属鉱物や珪砂などの非金属鉱物を対象とした選鉱技術の開発や基礎研究に取り組んでいる。とくに、鉱物自動解析装置 (MLA) や LA-ICP-MS を用いた微小領域の元素分析を活用し、主成分だけでなく微量成分の組成に基づいた鉱石中の鉱物の存在形態を分析、評価技術の開発にも取り組んでいる。



MLA による銅鉱石中の鉱物評価

また、選鉱プロセスの最適化を目的としたシミュレーション技術の開発にも取り組んでいる。シミュレーションは、実験で直接観察することが難しい装置内部の粒子挙動を可視化できるため、装置の最適設計や運転条件の検討に有用である。民間企業との共同研究や受託研究を通して、磁力などの物理モデルの新規開発に取り組むとともに、比重選別機などの選別装置の選別機構の解明やその最適装置設計を進めている。

(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開発

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3,000億トンと膨大である。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、レアアースを数百から数千 ppm 程度含有するため、レアアース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、アパタイト鉱石に着目し、REE含有量の評価およびリン酸の生成過程でREEを効率的に回収する方法の開発を進めている。

3.3. 鉱物資源情報の研究

(1) 鉱物資源データベースの整備

海外鉱物資源情報の把握を目的として、アジア地域の地質図・鉱物資源図、鉱物資源データベースなどの作成に継続的に取り組んでいる。これまでに300万分の1東アジア・中央アジア地質図及び鉱物資源図、500万分の1アジア地質図及び鉱物資源図を出版した。これらデータについては、国内外のデータベースプロジェクト等でも活用されている。また、国内企業による海外鉱山開発の一助になることも目的として、東南アジアを対象とした精度の高い鉱物資源データベースの整備も進めている。

一方で、近年の外資による国内金属鉱床開発の機運を受け、日本の鉱物資源データベースの整備にも取り組んでいる。本年度は昨年度にひきつづき日本の金鉱床についての情報整備を進めている。日本の金鉱床開発は、昭和20年代の金山整備令によって特に中小鉱区については開発途上のまま中断した形になっているものも多く、将来的な再開の可能性も考えられる。



日本の代表的な金鉱床の分布と産出量比較

(2) 鉱物資源に関する地質図幅

産総研では地下情報把握のための基図として地質図幅を整備しているが、本研究グループでは必要に応じて同図における鉱物資源情報の記載を担当している。本年度は20万分の1「輪島 (第二版)」の記載に協力し、出版に至った。また、5万分の1「豊田」、20万分の1「野辺地」「宮津」などを調査・編集集中である。

4. 主な研究成果

[誌上発表]

Araoka, D. and Yoshimura, T., (2019) Rapid purifica-

tion of alkali and alkaline-earth elements for isotope analysis ($\delta^7\text{Li}$, $\delta^{26}\text{Mg}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, and $\delta^{88}\text{Sr}$) of rock samples using borate fusion followed by ion chromatography with a fraction collector system. *Analytical Sciences*, 35, 751-757.

- Ejima, T., Kon, Y., Kawano, S., Araoka, D. (2018). Zircon U-Pb dating of gabbro and diorite from the Bato pluton, northeast Japan. *Island Arc*, 27, e12222.
- Eom, J., Yoshimura, T., Araoka, D., Gamo, T., and Kawahata, H. (2020) Magnesium isotopic composition of submarine vent fluids from arc and back-arc hydrothermal systems in the western Pacific. *Chemical Geology*, 551, doi: 10.1016/j.chemgeo.2020.119767.
- Hoshino, M., Zhang, M., Suzuki, M., Tsukimura, K., and Ohta, M. (2020) Characterization of Pb-Bearing Minerals in Polluted Soils from Closed Mine Sites. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231, doi: 10.1007/s11270-020-04548-4.
- Ichimura, K., Sanematsu, K., Kon, Y., Takagi, T., and Murakami, T. (2020) REE redistributions during granite weathering: Implications for Ce anomaly as a proxy for paleoredox states. *American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials*, 105, 848-859.
- Isaji, Y., Yoshimura, T., Araoka, D., Kuroda, J., Ogasawa, N. O., Kawahata, H. and Ohkouchi, N. (2019) Magnesium isotope fractionation during synthesis of chlorophyll a and bacteriochlorophyll a of benthic phototrophs in hypersaline environments. *ACS Earth and Space Chemistry*, 3, 1073-1079.
- Kaavera, J., Imai, A., Yonezu, K., Tindell, T., Sanematsu, K., and Watanabe, K. (2020) Controls on the disseminated Ni-Cu-PGE sulfide mineralization at the Tubane section, northern Molepo Farms Complex, Botswana: Implications for the formation of conduit style magmatic sulfide ores. *Ore Geology Reviews*, 126, 103731.
- Kato, T., Tsunazawa, Y., Liu, W., Tokoro, C. (2019) Structural Change Analysis of Cerianite in Weathered Residual Rare Earth Ore by Mechanochemical Reduction Using X-ray Absorption Fine Structure, *Minerals*, 9(5), 267.
- Maeda, A., Yoshimura, T., Araoka, D., Suzuki, A., Tamenori, Y., Fujita, K., Toyofuku, T., Ohkouchi, N. and Kawahata, H. (2019) Magnesium isotopic composition of tests of large benthic foraminifers: implications for biomineralization. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, doi: 10.1029/2019GC008314.
- 丸山 亮, 児玉信介, 川畑 陽平 (2019) 高波長分解能衛星データによる酸化銅および酸化鉄 (赤鉄鉱) の検出法と探査への応用, *資源地質*, 69, 1, 1-12.
- Maulana, A., Van Leeuwen, T. M., Takahashi, R., Chung, S.-L., Sanematsu, K., Li H. and Irfan U. R. (2019) Geochemistry and geochronology of VHMS mineralization in the Sangkaropi district, central-West Sulawesi, Indonesia: Constraints on its tectono-magmatic setting. *Ore Geology Reviews*, 144, doi: 10.1016/j.oregeorev.2019.103134.
- Mukai, H., Kon, Y., Sanematsu, K., Takahashi, Y., and Ito, M. (2020) Microscopic analyses of weathered granite in ion-adsorption rare earth deposit of Jianxi Province, China. *Scientific Reports*, 10, doi: 10.1038/s41598-020-76981-8.
- Qin, H.-B. Yang, S., Tanaka, M., Sanematsu, K., Arcilla, C., and Takahashi, Y. (2020) Chemical speciation of scandium and yttrium in laterites: New insights into the control of their partitioning behaviors. *Chemical Geology*, 552, 119771.
- Rivai, T. A., Syafrizal, Yonezu, K., Tindell, T., Boyce, A. J., Sanematsu, K., Satori, S., and Watanabe, K. (2020) The Dairi SEDEX Zn + Pb + Ag deposit (North Sumatra, Indonesia): Insights from mineralogy and sulfur isotope systematics. *Ore Geology Reviews*, 122, doi: 10.1016/j.oregeorev.2020.103510.
- Rivai, T. A., Yonezu, K., Sanematsu, K., Kusumanto, D., Imai, A., and Watanabe, K. (2019) A Low - Sulfidation Epithermal Mineralization in the River Reef Zone, the Poboya Prospect, Central Sulawesi, Indonesia: Vein Textures, Ore Mineralogy, and Fluid Inclusions. *Resource Geology*, 69, No. 4, p. 358-401.
- Tsunazawa, Y., Hisatomi, S., Murakami, S., and Tokoro C. (2018) Investigation and evaluation of the detachment of printed circuit boards from waste appliances for effective recycling. *Waste Management*, Vol. 78, pp. 474-482.
- Tsunazawa, Y., Liu, C., Toi, R., Okura, T., and Tokoro C. (2018) Crystal formation and growth by slow cooling for recovery of magnetite particles from copper smelting slag. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*.
- Tupaz, C. A. J., Watanabe, Y., Sanematsu, K., Echigo, T., Arcilla, C., and Ferrer, C. (2020) Mineralogy and geochemistry of the Berong Ni-Co laterite deposit, Palawan, Philippines. *Ore Geology Reviews*, 125, 103686.
- Yamashita, S., Mukai, H., Tomioka, N., Kagi, H., Suzuki, Y. (2019) Iron-rich Smectite Formation in Subseafloor Basaltic Lava in Aged Oceanic Crust, *Scientific Reports*, 9, 11306.

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：中嶋 健

Leader, Fuel Resource Geology Research Group:
Takeshi Nakajima

e-mail: takeshi.nakajima@aist.go.jp

1. 研究グループの研究目的

燃料資源地質研究グループは、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、地圏微生物、地圏化学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. 研究グループの研究体制、研究資源

2.1. 構成メンバー (令和元～2年度)

研究グループ長

中嶋 健 堆積学, 海洋地質学, 燃料地質学

研究スタッフ

佐藤 幹夫 海洋地質学, 燃料地質学

後藤 秀作 地球熱学

高橋 幸士 石炭地質学, 有機地球化学

朝比奈 健太 有機化学, 有機地球化学

風呂田 郷史 有機地球化学, 堆積学

テクニカルスタッフ

鈴木祐一郎

松林 修

棚橋 学 (令和2年度～)

中根由美子

仁道 純子

中村 祐貴 (～令和元年度)

産学官制度来所者

徳橋 秀一

高野 修

2.2. 主な研究資金 (令和元～2年度)

・運営費交付金

「燃料資源地質の研究」

「腐植有機物の分子構造解明に向けた予察的研究」

「石炭の物理性質に着目した低コスト・簡易な石炭熟成度評価法の開発」

「戦略予算：国内石油産業を復興する Oil to Gas (O2G) 革命」

「官能基の定量分析法開発で導く微生物メタン生成機構の解明」

「微生物代謝活性センサデバイス開発に向けた調査研究 (TIA かけはし)」

・受託研究・補助事業研究 (経産省)

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事業 (メタンハイドレートの研究開発)

・共同研究費

「国内堆積盆の炭化水素ポテンシャル評価手法に関する研究」(～令和元年度)

「砂岩貯留岩の堆積分布様式に関する研究」

(～令和元年度)

「堆積盆の炭化水素ポテンシャル評価手法に関する研究」(令和2年度～)

「在来型・非在来型炭化水素砂岩貯留岩の堆積・形成プロセスに関する研究」(令和2年度～)

・科研費

「新生代ビトリナイトの反射率変化：新生代地質体の最高被熱温度推定」

「アミノ酸の窒素同位体比分析で解明する陸源有機物供給の沿岸生態系への重要性」

「史上最大大量絶滅期の無酸素海洋の要因としての火山活動と高一次生産の評価」(分担)

「混濁流による高流砂階のベッドフォームの堆積構造解明と堆積モデルの構築」(分担)

・助成金

((公財))新井科学技術振興財団 平成30年度研究助成「新生代石炭の石油生成タイミング評価法の確立」

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

・表層型メタンハイドレートの賦存状況を把握することを目的に、物理探査研究グループと協力して庄内沖最上トラフ海域において高分解能三次元反射法地震探査および二次元反射法地震探査を実施した。(佐藤, 後藤)

・表層型メタンハイドレート賦存域の海底の現場状況及び海底環境の把握を目的に、物理探査研究グループと協力して庄内沖最上トラフ海域において高分解能海底画像マッピング調査を実施した。また同海域で引き続いて行われた海域環境調査 (環境創生研究部門, 地質情報研究

部門、及び当部門地圏微生物研究グループが実施) での潜航調査に必要なデータを提供した (佐藤) [図 1]

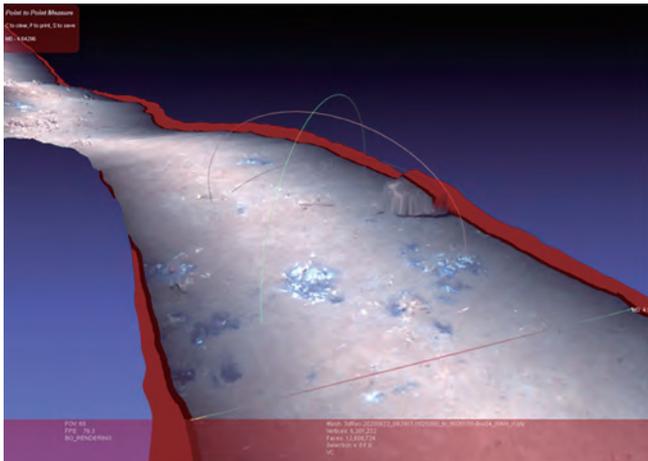


図 1 微生物マット及び炭酸塩岩が観察された海底画像

- ・表層型メタンハイドレート賦存域の海底の現場状況の把握等を目的に、庄内沖最上トラフ海域において海底環境モニタリング調査 (海底機器設置) を実施した。(後藤)
- ・堆積物中における微生物活動のセンシング技術の開発を目的に、メタン生成菌の培養実験と代謝活性のモニタリングを開始した。(風呂田)

3.2. その他の非在来型資源に関わる鉱床成因、資源評価等に関する研究

- ・メタン生成菌によるコールベッドメタン生成機構の実態を解明するため、石炭中のメトキシ基を高精度・高精度に定量分析する方法を確立した。今後の培養実験を掛け合わせた実験により、基質ポテンシャルの高いメトキシ基の保存形態の解明が期待できる [図 2]。(風呂田)

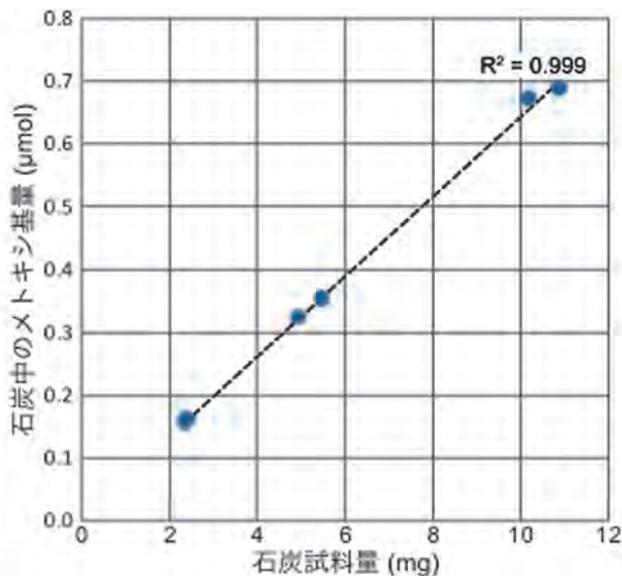


図 2 石炭中メトキシ基の定量分析結果. mg オーダーの試料による定量分析を可能にした.

- ・CCOP を通じて韓国 KIGAM と協力しながら女川層等のシェール評価を行い、アジアへの国際協力に努めている。(鈴木)

- ### 3.3. 在来型資源の鉱床成因等に関する地質学的研究
- ・北陸地方の油・ガス構造の形成に関わるテクトニクスについて、地質調査を行い、論説 1 編と口絵を公表した。(中嶋)
 - ・釧路炭田地域に分布する新生代浦幌層群石炭層の石油根源岩能力及び熟成度の分布に関する成果を国際誌で公表し、CCOP 国際会議で報告した [図 3]。(高橋)

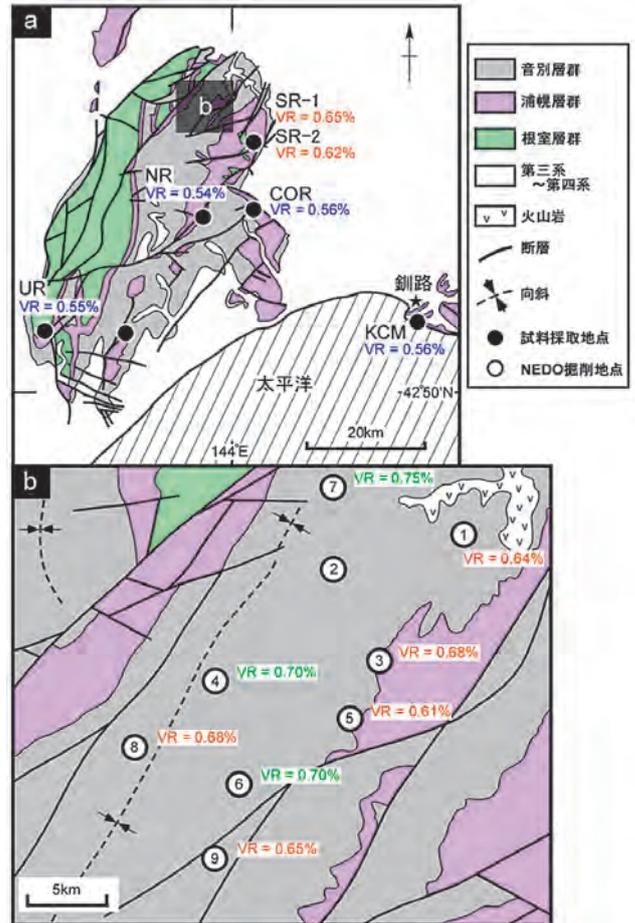


図 3 釧路炭田における浦幌層群石炭層の熟成度 (ビトリナイト反射率: VR %) 分布. VR 値の色は熟成に伴う石油生成段階を示し、青色が未熟成帯、茶色が境界域、緑色が石油生成帯

- ・新生代石炭からの石油排出温度や新生代地質体の最大埋没深度を推定するため、水素分に富む新生代石炭中のビトリナイト抑圧現象に対応した反応速度論の構築と、反射率の温度換算法に関する実験的研究を進めた。(高橋)
- ・熟成に伴う石炭の化学構造変化に着目し、主に国内の新生代石炭の石油生成タイミングやオイル指向性の評価を進めた。(高橋)
- ・新生代石炭の石炭組織の組成比を検討し、石油生成能力の高い石炭が形成される環境を解明するための基礎研究を進めた。(高橋)
- ・国内を代表する中新世石油根源岩の形成機構を解明するため、秋田堆積盆の堆積岩試料の有機化学分析を行い、堆積環境の復元を行った (朝比奈・中嶋・高橋)。
- ・粘土鉱物がメチル化ナフタレンの異性化速度に与える影響とそのメカニズムを実験的に明らかにし、ナフタレン

組成を用いた熟成指標を再構築するための基礎データを収集した。本研究成果を国際誌で公表した [図 4] (朝比奈・中嶋)。

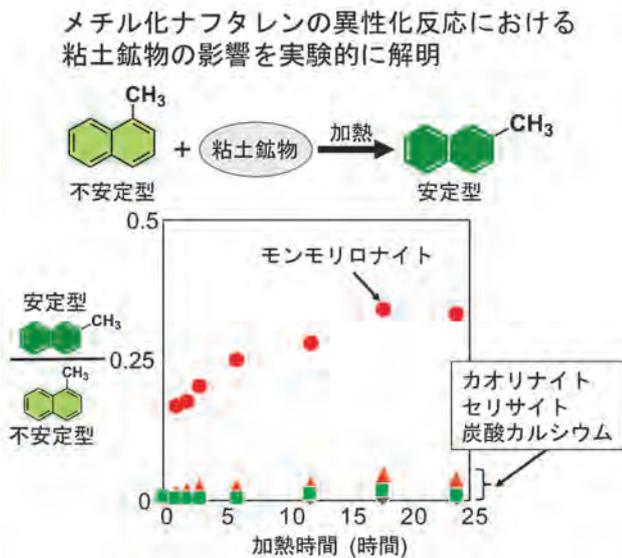


図 4 メチル化ナフタレンの異性化反応速度に影響を与える粘土鉱物を特定。

- ・石炭化に伴う空隙構造など物理的性質の変化に着目し、低コスト・簡易な石炭熟成度評価法の開発を進めた。(高橋)
- ・オイルや堆積岩中の芳香族化合物を用いた起源有機物の推定法を検討するために、裸子植物に由来する生体有機分子の加熱分解実験を実施した。裸子植物特有の熱分解生成物と分解メカニズムについて、国際学会で公表した。(朝比奈)
- ・従来のバイオマーカー分析は、分離精製が必須であり、測定時間も長いという問題があった。そこでプロトン NMR を用いたオイルの迅速な特徴把握として、NMR petroleum profiling 法を確立し、国際学会及び国内学会で講演を行った。(朝比奈)
- ・堆積岩試料の加熱分解生成物の評価に NMR petroleum profiling 法を適用し、熟成に伴い排出される有機物の特徴把握を試みた。(朝比奈)
- ・フォアランド堆積盆における有機物の堆積過程を植物バイオマーカー分析で評価した。その成果を取りまとめ、国際誌上に発表した(風呂田)

3.4. 共同研究

- ・国内堆積盆の調査および巡検を実施した。(中嶋・高橋・朝比奈) そのうち、炭田に分布する古第三紀夾炭層、及び東北日本の珪質岩の石油根源岩能力評価に関する成果をまとめ、国内外の学会で講演を行った。
- ・国内探鉱地域の砂岩鉱物組成および粒度組成の検討を行った。(中嶋)

3.5. 地球環境に関する基礎的調査研究

- ・科研費研究において、火山噴火タイプの推定や同位体平衡温度計を利用した地殻熱流量整備に向けた基礎研究として、水蒸気の安定同位体組成を簡便に測定可能な新手法を開発し、国際学術誌 1 編で公表した。(高橋)
- ・低温熱水が湧出する薩摩硫黄島の長浜湾において、熱水の湧出速度と温度変化の長期モニタリングを実施している。(後藤)
- ・深い坑井で得られた地下温度データから地下熱伝導率分布および熱流量を推定する方法を考案し、国際学術誌 1 編で公表した。(後藤)
- ・海底堆積物中の有機炭素と花粉の輸送からみた、重力流による深海への輸送過程について国際シンポジウムで発表した。(中嶋)
- ・東京大学との科研費研究(分担)において、大量絶滅期の貧酸素海洋と一次生物生産の変化の関係性を明らかにするために、化石クロロフィルの分析条件を検討した。また高精度な分析に必要な標準物質の整備も行った。その結果、クロム酸による反応処理をする堆積物粉末の必要量、反応温度及び時間の最適条件を確立した [図 5]。(朝比奈)

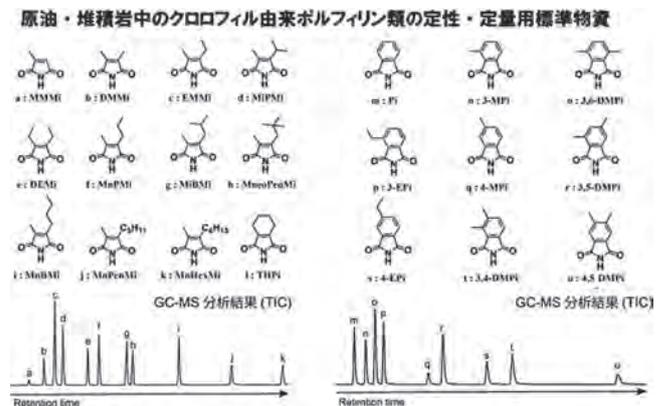


図 5. 化石クロロフィルの標準物質

- ・工業排水処理技術の開発を目的として、電気化学的手法を用いた処理技術の開発およびその基礎的実験を実施した。(朝比奈)

4. アウトリーチ活動

- ・産総研一般公開への出展「黒い石がいっぱい！どれが石炭？」(高橋, 朝比奈, 佐藤, 中嶋)
- ・地質情報展(山口)への協力(高橋)
- ・出前実験教室等(朝比奈)

5. 主要な研究成果(2019年以降)

[誌上発表]

Takahashi, K.U., Tsunogai, U., Nakagawa, F. and Sukigara, C. (2019) Stable hydrogen and oxygen isotopic compositions of water vapor in volcanic plumes sampled in glass bottles using cav-

ity ring-down spectroscopy. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **384**, 232-240.

中嶋 健・岸本清行 (2019) 日本海南東部の海底地形アナグリフ. *地質雑*, **125**, IV.

中嶋 健ほか (2019) 富山県八尾地域の新生界年代層序の再検討とテクトニクス. *地質雑*, **125**, 483-516.

高野 修・中嶋 健 (2019) 富山深海長谷への碎屑物供給系としての北部フォッサマグナ信越堆積盆: 後期新生代深海堆積システム・堆積テクトニクスの変遷. *地質雑*, **125**, 467-481.

Takahashi, K.U., Nakajima, T., Suzuki, Y., Morita, S., Sawaki, T. and Hanamura, Y. (2020) Hydrocarbon generation potential and Thermal maturity of coal and coaly mudstones from the Eocene Urahoro Group in the Kushiro Coalfield, eastern Hokkaido, Japan. *Int. Jour. Coal Geol.*, **217**, 103322.

Hideyuki Nakano, Naoki Hirakawa, Yasuhiro Matsubara, Shigeru Yamashita, Takuo Okuchi, Kenta Asahina, Ryo Tanaka, Noriyuki Suzuki, Hiroshi Naraoka, Yoshinori Takano, Shogo Tachibana,

Tetsuya Hama, Yasuhiro Oba, Yuki Kimura, Naoki Watanabe, Akira Kouchi (2020) Interstellar organic matter: a hidden reservoir of water inside the snow line. *Scientific Reports*, **10**, 7755, 2020.05

Goto, S., M. Yamano (2020): Inversion of thermal conductivity and heat flow from borehole temperature data affected by recent variation in ground surface temperature, *Geothermics*, **86**, 101862.

Asahina, K., Nakajima, T., Morimoto, K., Hanamura, Y., Kobayashi, M.(2020) The effects of clay minerals on methylated naphthalenes as maturity indicators of sedimentary organic matter. *Chem. Lett.*, **49**, 728-731

Furota, S., Sawada, K., Kawakami, G. (2020), Depositional processes of plant fragment-concentrated sandstones in turbiditic sequences evaluated using terrestrial plant biomarkers in the Miocene Kawabata Formation (Yubari, Hokkaido), Japan. *Int. Jour. Coal. Geol.*(accepted).

地圏微生物研究グループの紹介

Introduction of the Geomicrobiology Research Group

研究グループ長：吉岡秀佳

Leader, Geomicrobiology Research Group:

Hideyoshi Yoshioka

Phone 029-861-3810, e-mail: hi-yoshioka@aist.go.jp

1. グループの研究目的

地圏における微生物の分布と多様性、機能、活性を評価することにより、元素の生物地球化学的循環に関する基盤的情報を提供するとともに、資源開発、環境保全や地圏の利用に資する研究を行う。当研究部門の戦略課題である燃料資源に関する情報整備と評価技術の開発に取り組み、油ガス層や炭層、海底堆積物等に生息する微生物の活動（メタン生成・消費、石油・石炭・ケロジェン分解等）の実態解明を目指す。

2. グループの研究資源（令和2年度）

2.1. グループ員

研究スタッフ

吉岡秀佳（リーダー）、片山泰樹、金子雅紀、
須田好、眞弓大介、宮嶋佑典、持丸華子、
坂田将、大槻隆司

テクニカルスタッフ

天野千尋、石川理美、氏家知美、大原真理、小林みゆき、
篠塚由美、執印訓子、竹之内美佐、野澤富美江、
星裕貴子、三朝千稚

2.2. 予算

運営費交付金

「地圏微生物の研究」

「メタン生成補酵素を用いた革新的バイオガス生産システムの創製」

「生物・地球化学調査に基づく休廃止鉱山の坑廃水の起源探索。坑廃水処理の最適化に向けて」

「海底冷湧水域における水、炭酸塩試料を用いた深部流体フラックス」

委託研究費・研究助成金

「油層の地球化学的・微生物学的特性に合わせたテララメード型枯渇油田再生技術の開発」(科研費)

「炭層環境における微生物起源 CBM 形成メカニズムの解明および CBM 増産技術の開発」(科研費)

「機能特異分子で描く新しいメタン生成観」(科研費)

「深部油ガス田に生息する新規微生物の生態解明と海洋における機能の解明」(科研費)

「U-Pb 年代測定用の標準試料を自由自在に合成する：地球年代学の飛躍的發展への寄与」(科研費)

「取得コア試料の微生物学的分析」(受託研究)

「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）」(受託研究)

3. グループの特色

有機・生物地球化学、微生物生態学を専門とする研究者で構成され、坑井等からの各種地下試料（堆積物、岩石、水、ガス、油等）の採取と、化学・同位体分析、培養、遺伝子解析、同位体トレーサー実験等を通じて、地圏微生物の活動に関する基盤的情報を提供する。燃料資源地質・地圏化学研究グループ、生物プロセス研究部門、石油天然ガス・金属鉱物資源機構、国際石油開発帝石(株)、JX石油開発(株)、三菱ガス化学(株)、北海道科学技術総合振興センター、放射線医学総合研究所等と連携し、水溶性天然ガス、コールベッドメタン、メタンハイドレートの成因解明や効率的開発、未回収燃料資源からの天然ガス創成技術の検討を重点的に進める。

4. 令和元年度後期～2年度前期の研究進捗状況

4.1. 在来型天然ガス資源の効率的開発のための生物地球化学的研究

・千葉県に分布する南関東ガス田には、地下の微生物起源のメタンが大量に賦存しており、天然ガスとしての効率的な利用の面から重要な研究対象である。南関東ガス田の地層水および堆積物試料から新しい門に分類される新種の細菌、RT761株を分離、培養した。門は細菌の分類階級の中で最上位にあたることから、同菌株の新規性は極めて高い。また、これまでRT761株やその近縁種は、特に、メタンハイドレートが分布する深海底の堆積物ではその環境を代表する未培養系統群として見つかっており、メタンハイドレートや天然ガス資源の成因に果たす役割の解明に高い関心が集まっていた。透過型電子顕微鏡を用いて RT761株の細胞内構造を観察したところ、グラム陰性菌と同じ細胞膜構造（外膜と細胞膜）に加え、細胞内にもう1つ別の膜がゲノムDNAを覆う形で存在していた（図1）。真核生物の特徴とも言える「ゲノムDNAを包む細胞内膜」が原核生物であるRT761株の細胞で観察されたことは非常に驚くべき結果であった。細胞内の膜構造をさらに詳細に観察するため、日本電子株式会社の電界放出形クライオ電子顕微鏡を用い、自然状態に近い細胞を観察し、立体的に可視化したところ、RT761株は独

立した3つの膜を持つことが確認された。遺伝情報を分配するゲノムDNAの複製が細胞内の局所空間で行われている点や、DNA複製の場とは物理的に区切られた別の空間でも生命活動を駆動するタンパク質が合成されている可能性など、生命活動の根本的なあり方が既知の細菌とは異なる可能性が高い。細菌を含む原核生物の細胞構造・機能の組織化や細胞の進化を理解する上でも興味深い発見となった。RT761株は地下の有機物を分解してメタン生成菌に水素を供給する能力を持つことが分かった。これはRT761株が代表する新しい門に分類される細菌が地下の天然ガス資源を形成する過程で重要な役割を担っていることを示している。そのユニークな細胞構造「層状」を意味するラテン語「laminatus」を含め、正式な学名 *Atribacterota* (アトリバクテロータ) 門を命名提案するとともに、*Atribacterota* 門を代表する標準細菌株RT761を新属新種 *Atribacter laminatus* (アトリバクター ラミナタス) として提案した。



図1 RT761株の細胞内部構造。細胞内膜(矢印)がゲノムDNA(N)を包んでいる

4.2. 地圏微生物の基礎的研究

・メタンは二酸化炭素と同様に温室効果を持つガスである。近年大気中のメタン濃度の増加が観察されていることから、表層環境におけるメタンフラックスを理解し、大気への放出を制限することが重要な課題である。海域においては、地下から流出するメタンの大部分が微生物による嫌氣的メタン酸化活動によって消費されるため、大気への放出は抑制されていることが知られている。一方で、陸域におけるメタンの酸化・消費プロセスはよく分かっていない。これまで、関東平野の中川低地沖積層に微生物起源のメタンが含まれており、淡水環境に適応した嫌氣的メタン酸化古細菌(ANME-1)が分布することを明らかにした(Takeuchi et al., 2011)。堆積物の間隙水及び下部礫層の地下水の化学分析と、トレーサーを用いた堆積物の培養実験を行った結果、沖積層のメタンは、主に泥岩において生成され集積したが、その後、表層からの

天水の浸入によって嫌氣的メタン酸化活動が起こり溶存メタンを消費したと考えられた。更に、古細菌の脂質と溶存二酸化炭素の炭素同位体比の結果から、天水が浸透する以前は、ANME-1がメタン酸化ではなく、メタン生成活動をしていた可能性が示唆された。

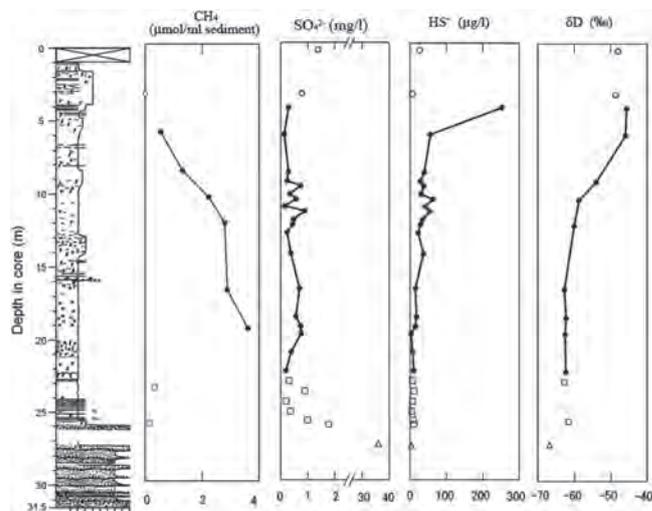


図2 関東平野中川低地沖積層の間隙水および地下水のガス・水成分の深度プロファイル

5. 令和元年後半～令和2年度前半の研究成果 (主なもの、下線部がグループ員)

【発表(論文)】

Katayama T., Nobu M., Kusada H., Meng X., Hosogi N., Uematsu K., Yoshioka H., Kamagata Y., and Tamaki H. (2020) Isolation of a member of the candidate phylum 'Atribacteria' reveals a unique cell membrane structure. *Nature Communications*, 11 (6381). (12月14日プレス発表)

Yoshioka H., Takeuchi M., Sakata S., Takahashi M., Tanabe S., Inamura A., Yasuhara M. (2020) Microbial methane production and oxidation in the Holocene mud beneath the Kanto Plain of central Japan. *Geochemical Journal*, Vol. 54 (No. 4), pp. 243-254.



地圏化学研究グループの紹介

Introduction of the Resource Geochemistry Research Group

研究グループ長：保高徹生

Leader, Resource Geochemistry Research Group:
Tetsuo Yasutaka

Phone: 029-849-1545, e-mail: t.yasutaka@aist.go.jp

1. グループの研究体制・研究方針

産総研第5期中長期目標および部門ポリシーステートメントと研究グループの目標に沿った研究業務として、「環境調和型産業技術研究ラボ」、「土壌汚染等に関する標準化研究」を新たに開始するとともに、「燃料資源や地熱」、「鉱物資源・材料」、「地圏化学」、「持続可能な環境汚染対策に関する研究」を推進し、「橋渡し」につながる技術シーズの創出や目的基礎研究課題の開拓等についても戦略的に取り組む。そのために、地圏内の物質（流体、岩石、鉱物等）の分布・挙動や地圏環境の評価・持続可能性を、地化学的・地質学的・鉱物学的手法や環境科学・リスク学的手法により明らかにすることを旨とする。この方向性を踏まえ、天然ガス・石油等のエネルギー燃料資源、非金属鉱物資源・材料、地圏流体・岩石・鉱物や地圏環境汚染等を研究対象とし、資源の成因解明・開発、地圏環境保全・評価・修復の研究を推進し、標準化および社会実装に資する研究を進める。

2. 研究グループ員及び研究項目等

1) 研究グループ員（令和3年1月1日現在）

保高徹生	リスク評価
猪狩俊一郎	有機地球化学
佐々木宗建	資源開発
森本和也	地球化学, 鉱物学
最首花恵	地球化学
三好陽子	粘土鉱物学, 無機地球化学
西方美羽	地球化学
柳澤教雄	鉱物学, 地球化学
鈴木正哉	鉱物学, 材料化学
金子信行	テクニカルスタッフ
古澤みどり	テクニカルスタッフ
万福和子	テクニカルスタッフ
佐々木尚子	テクニカルスタッフ
軽部京子	テクニカルスタッフ
金井裕美子	テクニカルスタッフ
藤田司	テクニカルスタッフ
片山寛子	テクニカルスタッフ
黒澤暁彦	派遣職員
伊藤剛	派遣職員
月村勝宏	産学官制度来所者
山田裕久	産学官制度来所者
宮原英隆	産学官制度来所者

白井浩介	産学官制度来所者
高田モモ	産学官制度来所者
戸田賀奈子	産学官制度来所者
加藤智大	産学官制度来所者

2) 主な研究資金（令和元年度、令和2年度）

- ・運営費交付金（代表的なもののみ掲載）
「工場および農業用ビニールハウスでの低コストな除湿機の試作」
「土壌汚染等評価・措置に関する標準化活動費」
「環境調和型浄化技術」
「CNP 融合循環技術に向けたリン循環技術」
「CO₂回収・利用に向けた有機/無機複合吸着材の開発」
- ・受託研究（代表的なもののみ掲載）
「低温廃熱利用を目的としたハスクレイ蓄熱材及び高密度蓄熱システムの開発」(NEDO 再委託)
「高濃度の放射性セシウム汚染土壌に適応可能な微粉砕による高度減容化」
「未利用地熱エネルギーの活用に向けた技術開発（在来型地熱資源における未利用酸性熱水活用技術の開発）」
「農林水産・食品産業の情報化と生産システムの革新を推進するアジアモンsoonモデル植物工場システムの開発」
- ・科研費（代表的なもののみ掲載）
「ナノトンネル構造を有する鉄鉱物を用いたヒ素・フッ素複合汚染土壌の不溶化」
「汚染土壌中の吸着セシウムイオンのミクロ構造の解明」
「大規模環境汚染に対する合理性・持続可能性を包括した環境修復フレームワークの構築」
- ・共同研究・技術コンサルティング
15件以上あるが、紙面の関係で割愛

3) 主な研究設備

- ・ガスハイドレート合成実験装置
- ・イオンクロマトグラフ
- ・二酸化炭素吸着量評価装置
- ・水蒸気吸着量測定装置 など

3. 令和元年度後半～令和2年度前半の研究進捗

- 1) 燃料資源や地熱エネルギーに関わる地質学的・地化学的調査研究
燃料資源に関する微量炭化水素の分析技術の高度化を進

めた。天然ガスの微生物分解の重要な指標であるイソブタン/n-ブタン比が、水が分解して生成するOHラジカルの影響を受けて、化学的変化する可能性について検討を行った。その結果、同比はOHラジカルによる分解を受けても大きくは変化しない可能性が示された。テドラバッグを用いた空気中非メタン炭化水素の簡易な測定法の開発を行った。

地熱開発において、現在利用されていない高温の酸性熱水における開発可能性を検討するために、当該環境で使用可能なケーシング・配管材料の調査を行った。そのために温度300~370℃、pHが3前後の酸性環境下における材料腐食実験を行った。その結果、350℃の材料腐食速度が300℃より低下する現象が見られた。材料腐食予測式を用いて、温度の上昇に伴う流体のpH変化を考慮して計算したところ、実験と同様の傾向が確認された。

また、地熱貯留層の存在や地熱発電開発の成功に関連が深いと経験的に考えられている「熱水変質帯」に注目して、地熱発電可能資源量の推計法の実現性を調査した。文献から得られる熱水変質帯の分布面積等を推計の基礎となるデータと位置付け、地熱発電所のある地域における実際の地熱発電実績と熱水変質帯データとの関係式の構築を目指した。また、過去の文献を用いて現在の地熱ポテンシャルを評価することの妥当性を検討するため熱水変質帯での現地調査を行った。

2) 機能性鉱物資源・材料に関わる化学的・鉱物学的・材料学的研究

ベントナイト中の粘土（スメクタイト）含有量の指標となるメチレンブルー吸着量の試験法についてのJIS Z 2451「ベントナイトなどのメチレンブルー吸着量の測定方法」に関して、JISの解説書に含めることができなかった補足データを地質調査総合センター研究資料集（No.701）として取りまとめて公開した。また、メチレンブルー吸着量の試験法であるスポット法と比色法の整合性について、様々なベントナイトを用いて比色法を基準としたスポット法におけるメチレンブルー吸着量を精査し、論文発表を行った。

非金属鉱物の機能性評価と材料としての利用を目的として、高アスペクト比を有する陰イオン交換性層状鉱物について層剥離によるナノシート化を試みた。単層に剥離したナノシートを確認するとともに、ナノシートが分散液中で形成する液晶性の発現についても明らかにした。

令和元年度にNEDO再委託事業において、産総研が開発した蓄熱材料「ハスクレイ」をベースとした改良型ハスクレイ造粒体を用いた可搬型蓄熱および定置型システムの年間を通じた実証試験を実施した。その結果、可搬型蓄熱および定置型システムのどちらにおいても経済性が成り立つことが示された。また、ハスクレイを用いた除湿システムの農業分野への展開を図った。ハウス栽培における作物の結露防止のため、ハウス内空気の除湿について実証試験を行い、特に明け方におけるハウス内空気の除湿を効果的に行うこ

とができる除湿システムを構築するに至った。

3) 持続可能な環境汚染対策に関する研究

フッ素やヒ素、リンなどの環境汚染物質の水圏からの除去を目的として、選択的に汚染物質を吸着できる鉱物由来の機能性材料の開発を行った。陰イオンに対して高い吸着性を示し、環境親和的で且つ安価な元素組成からなり、pH安定性も高い鉱物としてβ-FeO(OH)に着目して、加熱温度・時間・pH・共存イオンなどの条件を変えた合成を検討した。その結果、100℃以下における合成で低結晶性のβ-FeO(OH)が生成することを粉末X線回折分析により確認し、従来よりも回収量や所要時間などの点で優位性を持つ合成方法を開発した。

大規模環境汚染に対する合理性・持続可能を包括した環境修復フレームワークの構築として、里山・森林地域の広葉樹林への放射性セシウム移行モデルの構築、休廃止鉱山の坑廃水のリスク評価に関する研究を推進した。また、福島第一原子力発電所事故由来の放射性セシウムによる汚染物の処理・処分方法について複数の減容化オプションの評価モデルを構築した。旧避難区域において除染や里山の利活用に関するヒアリング調査を実施した。さらに、大規模環境災害の社会的影響について、質的分析と環境・社会・経済のカテゴリへの分類とを組合せた手法により地域住民が重要視するSustainable Remediation (SR)の指標を抽出、環境汚染の影響地域住民の関心・心配の時系列的変遷と研究者の役割とを整理した。

4) 土壌汚染等に関する標準化研究

自然由来重金属汚染土壌の対策方法の一つである吸着層工法に用いる吸着材の評価方法の標準化を進めた。令和2年度は吸着材の前処理方法、試験に用いる土壌や試薬の検討などを行った。また室内・空間再現性評価試験を行い、試験方法の再現性を評価した。

4. 令和元年度後半～令和2年度前半の研究結果と受賞（主なもの、下線部が研究グループ員）

【誌上発表】

K. Tsukimura and M. Suzuki (2020) J. Appl. Cryst., 53, 197-209.

宮原英隆・鈴木正哉・松田 聡・森本和也・万福和子・他5名(2020). 空気調和・衛生工学会論文集, 285, 1-8.

三好陽子, 鈴木正哉, 宮腰久美子, 高木哲一 (2020). 粘土科学, 59, 2, 33-45.

K. Asahina, T. Nakajima, K. Morimoto, 他2名(2020) Chem. Lett., 49, 6, 728-731.

M. Kurihara, Y. Onda, T. Yasutaka(2020) Journal of Environmental Radioactivity 223, 106417.

T. Yasutaka, Y. Kanai, M. Kurihara, 他5名(2020) Radioprotection 55 (3), 215-224.

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：横田俊之

Leader, Exploration Geophysics Research Group:

Toshiyuki Yokota

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

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

1. グループの研究目的と課題

本研究グループでは、地熱・地中熱、鉱物資源、メタンハイドレート、地下水等の地圏資源の調査・研究、放射性廃棄物地層処分、CO₂地中貯留等の地圏環境の利用と保全のための調査・研究、さらに加えて地盤液化、地滑り、断層、火山等の防災分野等、広範囲な適用対象に対して、地圏の調査及び分析技術の開発の一環として、物理探査技術の高精度化を目指し、各種探査法の適用研究を行っている。また、強靱な国土・防災への貢献のためにサステナブルインフラ研究ラボに参画し、インフラ関係の社会課題の領域間融合での解決に積極的に貢献することを心掛けている。2020年度においては、以下の7項目を中心にした研究を実施している。

- 地圏資源の調査・研究として、
 - 1) 海底熱水鉱床やメタンハイドレート等の探査を念頭に置いた海域での各種物理探査法や、陸域におけるAMT法、強制分極(IP)法等による鉱物資源探査等に関する研究。
 - 2) 地中熱利用における事前評価手法の研究および地熱地域における広域熱水系把握調査および空中電磁探査のデータ解析に関する基礎的技術開発。
- また、地圏環境の利用と保全のための調査・研究として、
 - 3) 地層処分場選定における地質環境評価のため、沿岸域モデルフィールドにおける2次元および3次元弾性波探査反射法適用試験の取りまとめ。
 - 4) 二酸化炭素地中貯留プロジェクトでは、CO₂モニタリングを前提とした重力探査に関する基礎的研究。
 - 5) 土壌汚染に関連して、過去に実施した物理探査適用結果の取りまとめ。
- さらに、地圏の調査及び分析技術の開発として、
 - 6) 断層評価のための各種物理探査法の適用結果についての取りまとめ、活動的火山の地下構造解明や物理モニタリングに関して、データ取得・解析に関する研究。
 - 7) インフラ維持管理目的や災害ロボット技術等との連携のために、NMR法や無人機物理探査技術などの新規物理探査技術開発を領域間融合研究として行い、民間企業への技術移転やその後の技術の普及を目指した研究連携活動。

2. 各研究項目の内容

2.1. 二重エネルギーCTによる重元素の非破壊定量法の開発

重元素で汚染された地下水あるいは土壌コア試料中の重元素の原子番号モル濃度を計測する場合には、その有害性のために未開封のまま非破壊定量することが望ましい。今回、非破壊スキャンが可能なX線CT法を二重エネルギー式(2つの加速電圧を採用)に拡張することで、このニーズに対応できることをCTの計算機シミュレーションにより確認した。

シミュレーション時には、無視できるほど肉厚の薄い円柱容器に入れた、重元素を分散させた水試料を想定した。図1(a)に示す、ヨウ素ガスを水に溶かした状態に関するシミュレーションでは、X線源の多色性に由来するビームハードニング(カップリング)という偽像(artefact)により、均一な水溶液試料であるにもかかわらず、試料の縁付近の画素値が高い(明るい)結果が得られる。この偽像が重元素の原子番号とモル濃度に敏感であることを利用して、水試料中の重元素を非破壊定量する。

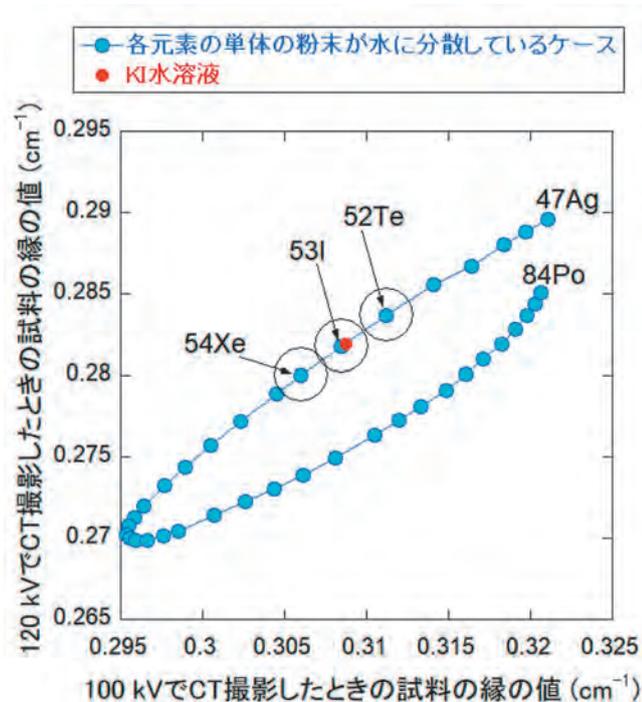
AgからPoまでの重元素の単体を水に分散させた仮想的な試料で二重エネルギーCTシミュレーションを行った結果を図1(b)に示す。装置の誤差レベルを考慮しても、ヨウ素を含む水試料の値(⁵³Iを中心とする円)は、キセノンの誤差円(⁵⁴Xeを中心とする円)に一部が重なっているものの、他の元素とは明確に異なる位置にプロットされることがわかる。ヨウ素を含む試料については、キセノンを含む試料との識別は若干困難であるが、この手法で原子番号を特定可能である。KI水溶液(赤丸)についてもヨウ素単体とほぼ同じ位置にプロットされているので、軽元素(カリウム)の重元素特定作業への悪影響は深刻ではない事がわかる。なお、詳細は省略するが、水溶液中のヨウ素のモル濃度の推定にも成功している(Nakashima and Nakano, 2020)。今後は、鉛などを含む土壌汚染コア試料への拡張を計画している。

2.2. 金属鉱床探査支援のための岩石物性データベースの設計

金属鉱床探査の対象は地下深部の潜頭性鉱床に移りつつあり、物理探査への期待が高まっている。物理探査からは地下の物性分布の情報が得られるが、その情報を用いて地質構造を解釈するとなると不十分なことが多い。その原因の



(a)



(b)

図1 CTシミュレーション結果. (a) 円柱試料(直径8cm)に43mMのヨウ素を分散させた均一な水溶液試料を100kVで二次元CTシミュレーション撮影した結果. (b) 同一円柱試料を100kVと120kVの加速電圧でCT撮影したときの水溶液試料の縁の画素値のクロスプロット. 現実のCT装置の典型的な誤差レベルを3元素について黒い円で示した.

一つとして、岩石物性に関する知識の不足があげられる。金属鉱床地域にある岩石や鉱石の物性を記録したデータベースが構築されれば、物理探査データの解釈の基準ができ、探鉱支援者を大いに支援できると期待される。経済産業省資源エネルギー庁の探査基盤技術高度化支援事業で開発・運用していた探鉱支援システム GRIAS では、鉱石の物性データを検索・表示するライブラリがあり、データベースとし

て利用されていた。しかし、GRIAS は独自のサーバー上で運用されており、情報セキュリティに優れていたが、一般ユーザーにとっては、必ずしも使いやすいものではなかった。そこで、誰もが利用しやすい岩石物性データベースの構築を目指し、スタンドアローンのPC上で動作するプロトタイプを作成した。

(1) 基本設計

岩石物性データを Excel で整理・記録し、オープンソースのデータベース管理システム SQLite にインポートして、ブラウザ上で表示や検索可能とした。

(2) 記録するデータの項目

データベースに記録する項目を表 1 に示す。物性データに加え、岩石・鉱物の地質学・岩石学・地化学データ、採取位置などのデータも記録した。

(3) データ表示

各項目のデータを表形式で表示、化学分析結果、グラフやサンプル写真のような画像データ、SIPやTDIPの測定データのテキストファイルをハイパーリンクで参照可能とした。個々の岩石試料についての代表的なデータやグラフを個票として表示可能とした(図2)。また、岩石試料の位置を電子地図上に表示する機能を設けた(図3)。

(4) 検索機能

データ検索は、鉱石の種類、鉱床タイプ、岩石・鉱物名、鉱山名などの項目で実施可能とした。また、国内鉱床、海外鉱床、標準的試料、一般岩石(非鉱石)でも絞り込みできる。

表 1 データベースに記録した項目

・サンプル番号、サンプル名、鉱床タイプ、岩石・鉱物名、岩石の記載情報、鉱化や変質状況
・コア提供者からの情報(品位を含む)
・採取位置(国、地方・県、市町村、鉱山、緯度、経度)
・化学分析[PDF]、XRF分析[PDF]
・サンプルの情報(写真[JPG]、形状・断面積・長さ)
・湿潤密度、乾燥密度、有効間隙率、帯磁率、質量帯磁率、浸透率
・SIP電気物性(測定条件、代表的周波数の比抵抗と位相、比抵抗と位相のグラフ[GIF]、数値データファイル[CSV])
・TDIP電気物性(測定条件、比抵抗、充電率、減衰曲線のグラフ[GIF]、数値データファイル[CSV])

試料番号	1405	試料名	1405
鉱床タイプ	VMS鉱床	試料区分	1:標準的鉱床
主な鉱物・岩石	黄鉄鉱		
鉱化	硫化	産層	
説明	黄鉄鉱床、経路地状	国	日本
州・県	秋田県	住所	秋田県鹿角郡小坂町
鉱山	小坂鉱山	プロジェクト名	
緯度	40.328765	経度	140.761422
化学分析	../file/PDF/Chem/Chem1405.pdf	形状	円筒形
長さ(mm)	50.11	直径(mm)	30.12
湿潤密度(g/cm³)	4.237	乾燥密度(g/cm³)	4.234
帯磁率(%)	1.3	帯磁率(10 ⁻⁸ SI)	-0.027633333
質量帯磁率(10 ⁻⁶ m ² /kg)	0.21	透水係数(m/s)	0



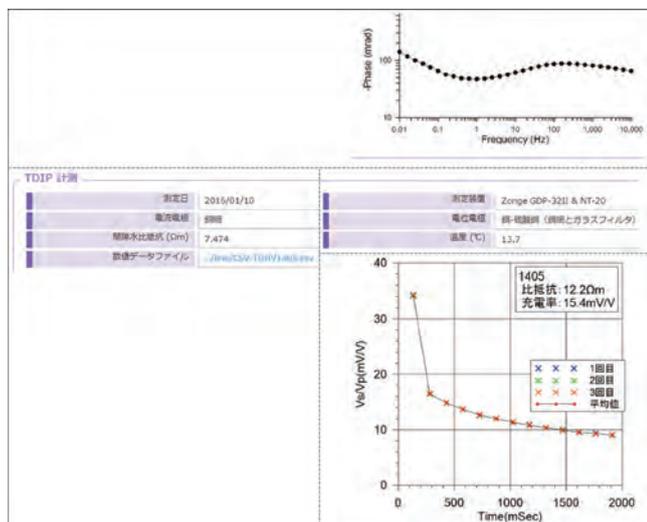


図2 データやグラフの表示イメージ. 高倉(2020)のFig.2 および Fig.3を一部改変

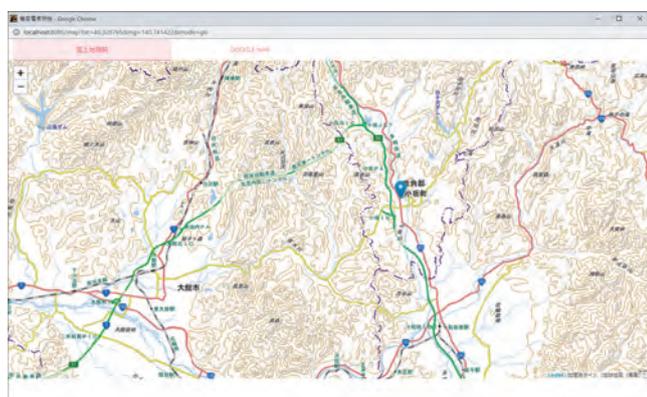


図3 岩石サンプルの取得位置表示の例. 背景地図は地理院地図を用いた. 高倉(2020)の Fig.4を引用

2.3. スパースモデリングを利用したミュオントモグラフィの空間・時間・密度分解能の評価

ミュオグラフィは、素粒子ミュオンの強度を測定することにより、物体内部の密度分布を推定する方法である。これまでは、火山、遺跡、原子炉等の密度分布推定に適用されてきたが、近年、検出器の小型化により地下への適用が可能になってきた。例えば、検出器をボアホール内に挿入し、地下の3次元密度分布を得ることも現実的になりつつある。そのように、計測に関する発展はあるものの、依然として地下における検出器の数は限られており、観測データ数は限定的であるため、未知数である密度分布を求める問題は劣決定問題となることが多い。これまでは、平滑化付き最小二乗法などコンベンショナルな手法が用いられてきたが、密度分布の大部分が一様と仮定できる場合には、スパースモデリングを利用することにより、限られた観測データから密度異常検知をすることが期待できる。

そこで、密度異常検出に対するスパースモデリングの適用性について検討をおこない、従来の手法との比較検討をおこなった。また、これまでのところ、ミュオグラフィの空間・時間・密度分解能の定量的相互関係はわかっていないため、それらについても検討をおこなった。

今回は、それらの検討を数値シミュレーションによりおこなった。その際に用いたモデルは、図4に示す空洞を模したモデルである。モデルのスケールは、9m×9mで空洞の上部および下部に1m間隔で9個の検出器を設置して観測を行うことを想定した。空洞のサイズを1m×1mおよび0.6m×0.6mとした二つのモデルについて検討をおこなった。

図5にシミュレーション結果を示す。空洞（密度異常）のサイズが大きい1m×1mの場合よりも、そのサイズが小さい0.6m×0.6mの方が両者の結果に差が大きいことが見て取れる。

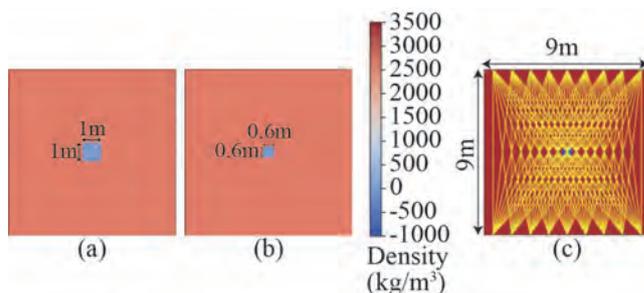


図4 空洞を模した密度モデルおよび検出器の配置. (a),(b)は空洞が存在する場合の密度モデル, 空洞のサイズは、それぞれ1m×1m および0.6m×0.6mである. (c)は観測配置の概念を示している. 空洞の上下でミュオンを計測し、その減衰より経路上の密度を逆解析する。

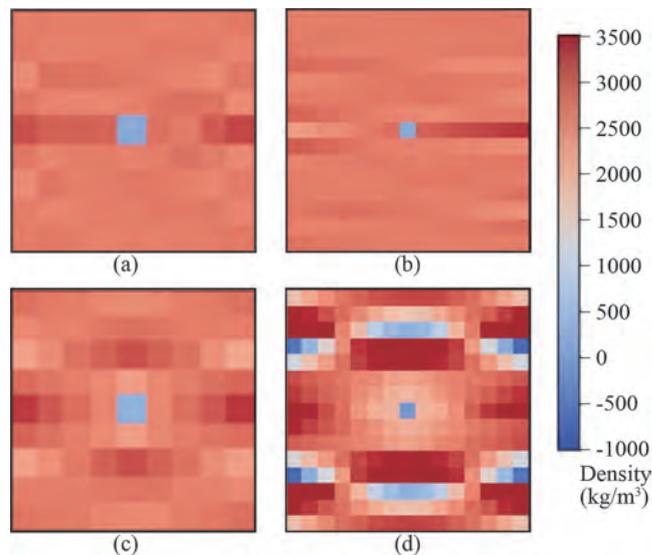


図5 シミュレーション結果. (a),(b)は図4に示した空洞モデルに対して、スパースモデリングを適用した結果. (c),(d)は同じモデルに通常の平滑化制約付き最小二乗法インバージョンを適用した結果。

3. 研究グループの体制

3.1. 人員体制 (2020.10.1現在)

以下の14人体制で研究を実施している。

- 横田俊之 (グループ長)
- 高倉伸一 (上級主任研究員)
- 中島善人 (上級主任研究員)
- 神宮司元治 (主任研究員)
- 浅田美穂 (主任研究員)

小森省吾 (研究員)
 梅澤良介 (研究員)
 上田匠 (客員研究員)
 松島潤 (客員研究員)
 佐竹海 (リサーチアシスタント)
 児玉匡史 (リサーチアシスタント)
 井手健斗 (リサーチアシスタント)
 山口和雄 (テクニカルスタッフ)
 木村夕子 (テクニカルスタッフ)

部門内では、地下水研究グループ、CO₂地中貯留研究グループ、鉱物資源研究グループ、燃料資源地質研究グループ等、産総研内では、再生可能エネルギー研究センター、活断層・火山研究部門、地質情報研究部門、知能システム研究部門等と、さらに、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構等と連携して研究を推進している。

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2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2年度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) (資源エネルギー庁)
- ・安全なCCS実施のためのCO₂貯留技術の研究開発に係る再委託 (二酸化炭素地中貯留技術研究組合) 等々。

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

- Nakashima, Y. (2020) Development of a hand-held magnetic resonance sensor for the nondestructive quantification of fat and lean meat of fresh tuna. *Journal of Food Measurement and Characterization*, **14**, 2947–2955.
- Nakashima, Y. and Nakano, T. (2020) Nondestructive quantification of heavy elements through the

analysis of beam hardening artifacts using double-exposure X-ray computed tomography: A Theoretical Consideration. *Chemistry Africa*, **3**, 363–370.

Matsunaga, Y., Kanda, W., Takakura, S., Koyama, T., Saito, Z., Seki, K., Suzuki, A., Kishita, T., Kinoshita, Y., and Ogawa, Y. (2020) Magmatic hydrothermal system inferred from the resistivity structure of Kusatsu-Shirane Volcano. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **390**, 106742. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2019.106742>

Kanda, W., Utsugi, M., Takakura, S., and Inoue, H. (2019) Hydrothermal system of the active crater of Aso volcano (Japan) inferred from a three-dimensional resistivity structure model. *Earth Planets Space* **71**, 37. <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1017-7>

Nakashima, Y. (2019) Non-Destructive quantification of lipid and water in fresh tuna meat by a single-sided Nuclear Magnetic Resonance scanner. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, **28**, 241–252. <https://doi.org/10.1080/10498850.2019.1569742>

Nakano, T., and Nakashima, Y. (2019) Analytical expressions for the reconstructed image of a homogeneous cylindrical sample exhibiting a beam hardening artifact in X-ray computed tomography. *Journal of X-Ray Science and Technology*, **26**, 691–705. <https://doi.org/10.3233/XST-18378>

Ikeda, S., Nakashima, Y., and Nakano, T. (2019) Three-dimensional observation of the boundary region between massive feldspar and graphic granite by X-ray computed tomography. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **114**, 1–17. <https://doi.org/10.2465/jmps.180114>

高倉伸一 (2020) 金属鉱床探査を支援する岩石物性データベースの設計, 物理探査学会第143回学術講演会論文集, 38–41.

CO₂ 地中貯留研究グループの紹介

Introduction of the CO₂ Geological Storage Research Group

研究グループ長：徂徠正夫

Leader, CO₂ Geological Storage Research Group:

Masao Sorai

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

1. 研究グループの研究目的

CO₂地中貯留は、産総研第5期中期計画の中で「産業競争力の強化に向けて各領域で重点的に取り組む研究開発」に含まれる「産業利用に資する地圏の評価」、ならびに地質調査総合センターの令和2年度ポリシステートメントの「社会課題の解決に向けた橋渡しの拡充」において、それぞれ重要課題の一つとして位置づけられており、一層の研究開発の促進が求められている。このような状況に鑑み、当研究グループでは、CO₂地中貯留全般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. 各研究項目の内容

安全かつ大規模・効率的なCO₂地中貯留技術の実現に向けて、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4月に、産総研を含む2機関と民間企業4社(令和2年10月より2社追加)により二酸化炭素地中貯留技術研究組合を設立した。この中で当研究グループは、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いる。

2.1. CO₂長期モニタリング技術の開発

(1) 長期連続重力データ取得法の検証

苫小牧サイトでの超伝導重力計による高精度重力モニタリングを継続して実施し(図1)、特に前年度に実施した運用方法の効果を確かめつつ、連続稼働に伴う機器の状態監視および保守・点検作業を行った。これまでに試行してきた運用方法により、塩害や連続稼働に伴う機器の劣化・損傷などを防ぎつつ、着実に重力および補助データの蓄積が進んでおり、今後もその適用性を検証していくとともに、必要に応じた課題解決を行う予定である。2台の超伝導重力計による並行観測により、欠測の防止のみならず、データの質を良好な状態に保つことにも成功している。



図1 苫小牧重力観測点の外観(手前および奥にある上部が半球状のエンクロージャ内に超伝導重力計を設置)

(2) 沿岸域設置時のノイズ除去方法の確立

前年度に開発した重力データから地下水位変動の影響を除去する解析方法について、四季変化を含むより長期間の重力データに対する適用性を調べた。その結果、重力残差の標準偏差は0.83 μ Galとなり(図2)、前年度に3ヶ月間のデータに対して得た標準偏差と同等であることが示された。このことは、当該手法が長期重力データに対しても適用可能であることを意味している。ここで用いた手法は簡便であるため、実用性が高い手法であると言える。なお、積雪センサの不調により積雪深データを取得することができなかった。これに関しては、暖冬の影響により降雪量が少なかったものの、上述の重力残差からは積雪期や融雪期に特異な兆候は認められないように見受けられることから、積雪・融雪の影響は必ずしも明瞭でないことが予想される。いずれにしろ、今後、積雪・融雪が重力に影響を与えているかを調べるとともに、その影響が大きい場合にはその影響を除去する方法を開発する必要がある。

一方、降水過程が重力変化に与える影響を定量的に評価するために、自然電位モニタリングを継続して行うとともに、降雨浸透シミュレーションにより得られた自然電位・重力の降雨応答を観測結果と比較した(図3)。水理地質モデルを用いた降雨浸透シミュレーションに基づき、自然電位と重力の降雨応答を計算した結果、計算結果は観測結果と概ね整合した。今後は、モニタリングの継続とともに、降水に伴う自然電位・重力の擾乱についてより正確な推定を行うため、シミュレーションの高精度化を試みる必要があ

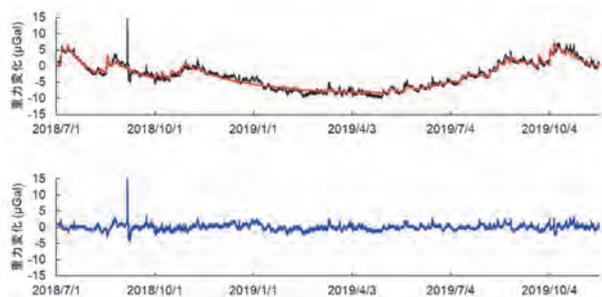


図2 苫小牧サイトで得られた508日間の重力データ（上図：潮汐，極潮汐，気圧応答成分，不規則ノイズを除去した値（黒線），地下水位変動に基づく補正值（赤線）；下図：黒線から赤線を除去した重力残差）

る。これに関連して，数値シミュレーションにより計算される温度，圧力，CO₂飽和度等の変化量を，観測可能な物理量（理論計算値）に変換するプログラム（ポストプロセッサ）について，鋼管表面で発生する酸化還元反応において反応物質の拡散律速の及ぼす影響を取り扱えるよう機能拡張も行うとともに，例題計算によりその機能を確認した。

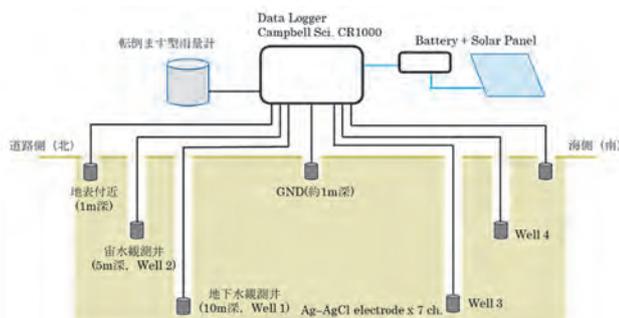


図3 連続観測用自然電位モニタリングシステムの構成

加えて，苫小牧サイトにおける地表面変動が重力変化に及ぼす影響を検討することを目的として，地表面標高観測を実施した。2019年2月～2020年1月までに得られた観測結果について，観測点から最も近い距離にある苫小牧清水町の電子基準点との間で基線解析を行い，電子基準点に対する観測点の標高差とその変動を求めた結果，観測期間を通じて標高差は概ね誤差範囲内の変化に収まった。高精度な重力モニタリングを維持するため，今後も地表面変動モニタリングを継続していく必要がある。

(3) 重力モニタリング運用方策の試案策定

これまでに蓄積してきたノウハウや技術等を参照しつつ，重力モニタリングの解析に不可欠となるデータおよびプロセスの抽出，データ解析の簡便化の方法等の検討を行った。また，特に我が国の沿岸域を対象とした高精度重力モニタリングの運用方策について，観測・データ取得に関するハード的な側面および取得したデータの処理・利用方法というソフト的な側面からそれぞれ試案を作成した。ハード面については，重力観測，補助データ取得，耐環境性等の3つの項目ごとにそれらの必要性を検討した。ソフト面については，これまでに行ってきた検討に基づき，現時点で最適な解析の手順を整理した。

2.2. 長期遮蔽性能評価技術の開発

CO₂地中貯留におけるキャップロックの長期遮蔽性能評価を目的として，地化学反応プロセスが岩石の水理特性に及ぼす影響について検討を行った。地化学プロセスが関与する遮蔽性能パラメータとして，岩石内部のスロート径（空隙構造）と接触角（界面状態）の2種類が想定されることから，それぞれのパラメータの評価に適した研究手法の適用を図った。

空隙構造の変化に関しては，炭酸塩を含有する人工試料を10 MPa，40°Cの超臨界CO₂-水系で反応させ，反応に伴う遮蔽性能の変化を解析した（図4）。今回，炭酸カルシウム含有量の違いに注目したが，炭酸カルシウムの溶出量は地層水中での溶解度によって規定されるため，炭酸カルシウム含有量とは無関係に，元の水理特性の違いに依存して遮蔽性能への影響が変化することが明らかとなった。ただし，CO₂の溶解した地層水はキャップロック内部まで浸透しにくいことに加えて，炭酸カルシウムの再沈殿による孔隙閉塞の効果が高まるため，反応に伴う遮蔽性能低下のリスクは低い。一方，炭酸塩脈とマトリックスの境界部分は，その空隙のサイズや連結性によっては漏洩経路となり，反応の進行のみならず，力学変形によって流路体積がさらに拡大する可能性がある。したがって，キャップロックの不均質構造について，地化学-力学-水理連成データを取得することが今後の課題である。

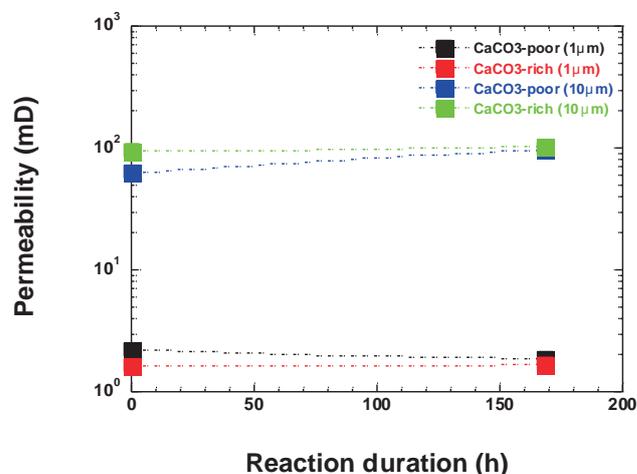


図4 反応に伴う炭酸塩含有焼結体の浸透率の変化（焼結体の粒径と炭酸カルシウム含有量の違いごとにプロット）

次に，CO₂地中貯留の安全性向上に地化学プロセスを有効に活用する方策として，CO₂の炭酸塩化による坑井周囲からの漏洩防止を検討した。各種試薬を添加した温泉水中で岩石試料へのCO₂注入の有無の効果を調べたところ，特にケイ酸ナトリウムで反応開始直後に急激な流動の停止が確認された（図5）。すなわち，これまで知られていた実験室レベルでの結果が天然においても改めて検証されたとと言える。

地化学反応のキャップロック力学特性への影響評価に関しては，各種岩石を10 MPa，40°Cの超臨界CO₂-水系で

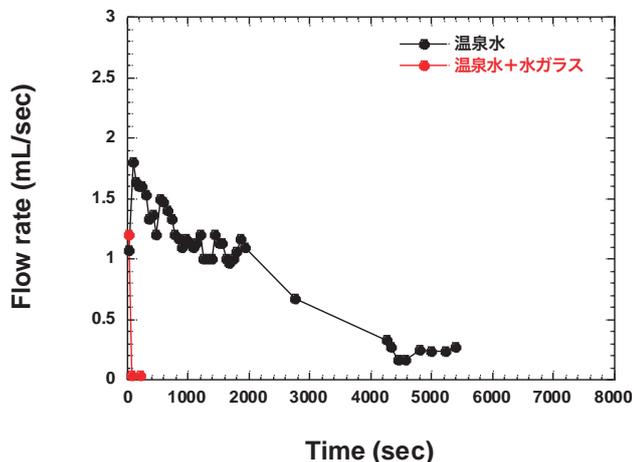


図5 水ガラスを混入した温泉水における流量変化

最長2週間反応させ、反応前後における力学-水理特性への影響を調べた。その結果、岩石ごとの鉱物組成の違いのみならず、岩石の粒子構造にも依存して、両者の関係に地化学反応が及ぼす影響が異なることが明らかとなった。一方、反応時間を長くすることで全く異なる力学-水理特性が観測されたが、粘土鉱物の生成に起因するものかどうかについて検討する必要がある。いずれにしても、今後は、地化学-力学-水理連成データの拡充を行うとともに、地化学-力学-水理連成を考慮した遮蔽性能評価手法の検討を行うことが課題である。

2.3. ジオメカニクスモデリング技術の開発

二相流動・変形連成過程の検討を目的として、水で飽和した円柱形岩石試料に下端から空気を浸入させる実験を実施した。実験では、試料上端からの空気の排出状況を圧力容器外部から目視観察するとともに、空気の浸入開始後の試料中央部分のひずみを計測した。その結果、空気が試料上端に到達して以降もひずみデータの取得が可能であることが確認された。二相流動と変形を連成させた数値シミュレーションからは、ひずみの実験結果が良好に再現された。このことは、実験結果が二相流動・変形連成過程に基づき説明されることを意味している。今後、同様の数値シミュレーションにより、空気が試料上端に到達した後の実験結果を定量的に説明する必要がある。

一方、軟岩のCO₂吸着・膨潤実験では、CO₂地中貯留条件下（封圧：20MPa、間隙圧10MPa）において、軟岩へのCO₂吸着に起因した膨潤挙動に伴う力学特性（体積ひずみおよび軸応力）の変化を調べた（図6）。泥岩については、CO₂が岩石内に十分に浸透しなかったことから、CO₂が岩石の力学的変形（膨潤、緩和）等に及ぼす影響を評価することができなかった。しかしながら、砂岩については、岩石中に含まれる膨潤性を有する粘土鉱物の含有量が3.7%と低いにも関わらず、実験前後の細孔径分布の比較から、岩石の膨潤を示唆する結果が得られた。すなわち、CO₂地中貯留において、CO₂圧入に伴う膨潤または緩和現象が、岩盤の体積変化

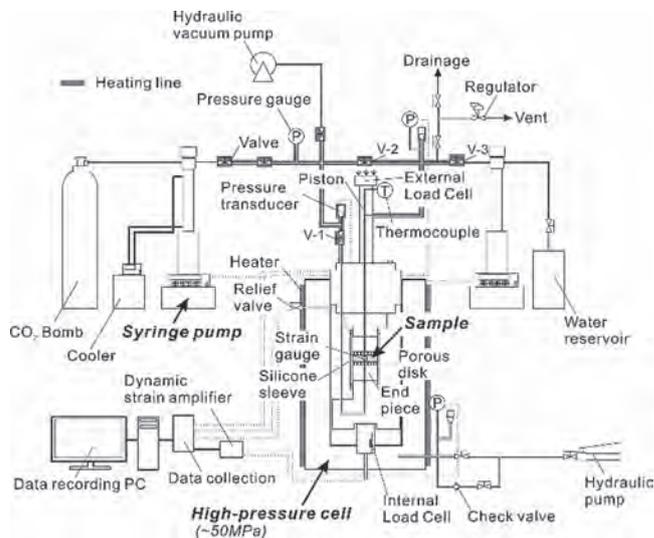


図6 吸着・膨潤実験装置の模式図

に影響を及ぼし得ることが予想される。室内実験を踏まえたモデリング結果からは、膨潤を考慮すると断層帯やキャップロックの遮蔽性能が向上するが、膨潤応力の発生により断層のすべり傾向が高くなる可能性が示唆された。したがって、CO₂地中貯留のより厳密な評価を行うためには、これまで開発してきたジオメカニクスモデリング手法に対して当該現象を新たに考慮することが重要である。

2.4. 国際標準に準拠したリスクコミュニケーション手法の要件整理

CCS事業の社会受容性向上に関する国際動向について、会合参加および文献による調査を行った。CO₂地中貯留技術に関する国際標準技術委員会（ISO/TC265）が整備を進めるCCSに関する国際標準は、CCS事業の円滑なマネジメントのため、社会受容性の構築と維持を重視している。前年度は、特にCCS事業のマネジメントのためのコミュニケーションの課題について国際動向の要請を取り上げて検討した。今回、さらにステークホルダーエンゲージメントを中心に検討したところ、これによりCO₂地中貯留のスムーズな認証や許認可が進むばかりでなく、ステークホルダーとCO₂地中貯留事業者との良好で協調的な関係の中でCCSが促進し得ることが示された。

2.5. その他の研究グループの活動

科研費補助金でのCO₂挙動に関わる基礎的研究に加えて、CO₂地中貯留ならびに地熱関連での民間共同研究および技術コンサルティング等を実施している。また、韓国KIGAMとのCO₂地中貯留に関するワークショップの共同開催など、国際的な連携も進めている。一方、当研究グループは令和2年1月に創設されたゼロエミッション国際共同研究センターにも参画し、第5期の全所的な重点推進課題である「温室効果ガス大幅削減のための基盤技術開発」に対してCCUSの観点から課題解決に尽力している。

3. グループの研究体制

CO₂地中貯留研究グループは、以下の体制で研究を実施している。

俣徠正夫（研究グループ長）

藤井孝志

加野友紀

後藤宏樹

堀川卓哉

西 祐司（招聘研究員）

石戸恒雄（テクニカルスタッフ）

田中敦子（テクニカルスタッフ）

杉原光彦（テクニカルスタッフ）

志賀正茂（リサーチアシスタント）

上原真一（産学官制度来所者）

池田 博（産学官制度来所者）

楠瀬勤一郎（産学官制度来所者）

4. 最近の主な研究成果（2018年以降）

Sorai, M., Sasaki, M. and Kuribayashi, T. (2018) Field reaction experiments of carbonate minerals in spring waters: natural analogue of geologic CO₂ storage, *Geofluids*, Article ID 2141878, 1-11.

Goto, H., Sugihara, M., Ikeda, H., Nishi, Y., Ishido, T. and Sorai, M. (2019) Continuous gravity observation with a superconducting gravimeter at the Tomakomai CCS demonstration site, Japan: Applicability to ground-based monitoring of offshore CO₂ geological storage, *Greenh. Gases*, 9,

934-947.

Kano, Y., Sato, T., Oyama, H. (2020) Numerical study on the formations of gas channels and subsequent bubbles in unconsolidated sandy seabed sediment using a coupled LBM-DEM method, *J. Natural Gas Sci. Eng.*, 74, 103101.

Goto, H., Sugihara, M., Ikeda, H. and Ishido, T. (2020) Laboratory test of a superconducting gravimeter without a cryogenic refrigerator: implications for noise surveys in geothermal fields, *Explor. Geophys.*, 51, 494-505.

Goto, H., Ishido, T. and Sorai, M. (2020) Numerical study of reservoir permeability effects on gravity changes associated with CO₂ geological storage: implications for gravimetric monitoring feasibility, *Greenh. Gases*, 10, 557-566.

Sorai, M. Effects of Calcite Dissolution to Caprock's Sealing Performance under Geologic CO₂ Storage, *Trans. Porous Media* (accepted).

加野 友紀, 石戸 経土, 中尾 信典, 遮蔽層の不均質性が深部互層系に圧入された CO₂長期挙動にもたらす影響に関する数値シミュレーション, J. MMIJ (受理) .

俣徠 正夫, 後藤 宏樹, 杉原 光彦, 西 祐司, 中尾 信典, 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実用方策, J. MMIJ (投稿中) .

Shiga, M., Aichi, M. and Sorai, M. Quantitative investigation on the contributing factors to the contact angle of the CO₂/H₂O/muscovite systems using the Frumkin-Derjaguin equation, Article ID 6656460, 1-11.

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：川辺能成

Leader, Geo-Environmental Risk Research Group:

Yoshishige Kawabe

E-mail: y-kawabe@aist.go.jp

1. 研究グループの研究目的

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一般的に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。また、それら化学物質は土壌から地下水、河川、海あるいは農作物など移行することにより、生態系やヒトと関わり合いを持つこととなる。したがって、物理・化学・生物学等の総合的な理解に基づき、地圏環境中の化学物質の動態や化学物質のヒトや生態系への影響を定量的に評価することが極めて重要である。

当研究グループでは、地圏環境に存在する有害化学物質のヒトへのリスクを評価できる地圏環境リスク評価システム（GERAS）の開発、微生物や機能性材料を活用した有害化学物質の浄化挙動の解明および浄化手法の開発、土壌汚染評価のための各種試験手法の開発などの研究を実施するとともに、知的基盤情報として表層土壌評価基本図の整備を実施している。

2. 各研究項目の内容

2020年度、地圏環境リスク研究グループは以下の研究を実施しており、その研究成果については学術誌や学会発表などで公表している。また、主要研究課題については、グループのホームページに掲載しており、下記 URL : <https://unit.aist.go.jp/georesenv/georisk/japanese/home/index.html> または、ネットの検索エンジンを利用し、「地圏環境リスク研究グループ」名をキーワードとして検索することが可能である。

2.1. 土壌・地下水汚染の修復技術に関する研究

土壌・地下水汚染の修復技術の研究では、重金属類の汚染を対象として、安価かつ効果的なマグネシウム及びカルシウム化合物に代表される無機鉱物系吸着材によるヒ素汚染水の浄化に関する研究を行っている。この研究では、吸着剤のヒ素の吸着能を評価するだけでなく、共存イオンの影響や使用済吸着材が pH 等の環境条件の変化により、どのような影響を及ぼすか検討することで安全性の評価を実施している。

有機化合物汚染対策に関しては、トリクロロエチレンなどに代表される揮発性有機化合物の微生物や鉄粉等を利用した原位置分解に関する研究を実施したほか、難分解性化

合物についても酸性硫酸塩土壌や酸化剤を用いた原位置利用を目指した研究を行っている。これらの研究では、速度論的解析モデルによる分解挙動の解明や共生微生物がターゲットとなる分解微生物に及ぼす影響について評価を実施している。また、新規法規制物質であるクロロエチレンや 1,4-ジオキサンの分解挙動や、複合汚染下における浄化技術の検討も進めている。

2.2. 土壌・地下水汚染の評価技術に関する研究

土壌汚染リスク評価に関する研究では、地圏環境リスク評価システム（GERAS）について環境基準および発がん性などの毒性データの更新を実施したほか、発光バクテリアを利用した石油系炭化水素の簡易土壌汚染手法について、アルカン類の急性毒性評価ならびにアルコール類に関する急性毒性の評価を行った。また、台風による洪水堆積物中の重金属類の特性やそのリスクに関する検討を行っており、「2.4 代表的なトピック」で紹介する。さらに、土壌溶出試験の評価手法については、溶出させた懸濁液から土壌粒子を取り除く、フィルター過の影響について材質による影響などの評価を行っている。

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。2005年より宮城県の表層土壌調査に着手し、2008年に宮城県版および鳥取県版、2012年に富山県版、2014年に茨城県版、そして2017年に高知県版（図1）を公開した。そして昨年度から今年度にかけて四国地域の調査を実施（写真1）するとともに、各種分析および解析を進め、四国地域版の公開に向けた作業を行っている。さらに次の地域として九州地域の整備に向けた情報収集を実施している。

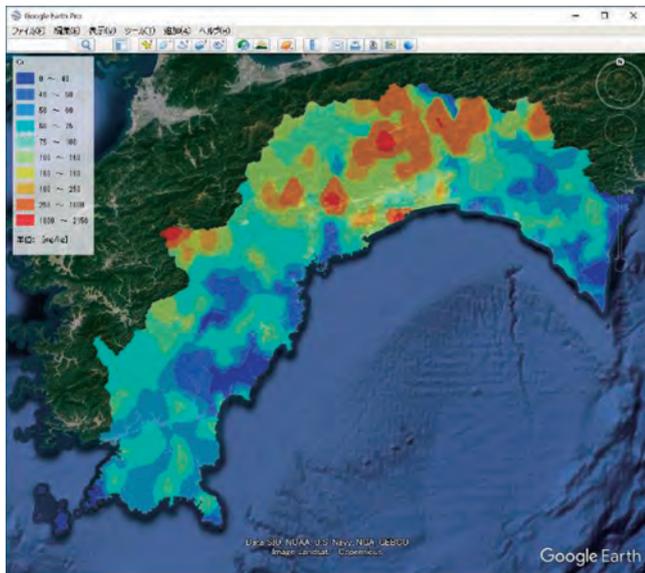


図1 表層土壌評価基本図高知県 (クロム含有量)



農地に堆積した洪水堆積物



写真1 愛媛県内の表層土壌調査の様子



公園に堆積した洪水堆積物

写真2 2019年10月の台風19号による阿賀野川周辺の洪水堆積物

2.4. 代表的な研究トピック (台風による洪水堆積物中の有害重金属類とそのリスクについて: 2019年度水環境学会年会で発表)

2019年10月に発生した台風19号の大雨により、東日本を中心に多くの河川で洪水が発生し、居住地域や農地に多くの洪水堆積物が堆積した (写真2)。これらの洪水堆積物は河川上流から運ばれている可能性もあり、鉱山等が存在する場合には多くの重金属類が含まれることも考えられる。そこで、新潟県阿賀野川を対象として、本台風による増水で堆積した洪水堆積物中の重金属類の含有量や溶出量の分布特性およびそのリスクについて検討した。

洪水堆積物の重金属類の溶出量および含有量については、ヒ素や鉛などの重金属類についても環境基準値で定められた溶出量や含有量を超過することはなかった。溶出量については比較的ホウ素が多い傾向にあったが、含有量は小さくなっていった。また、含有量については、鉛やヒ素で我が国における一般的な土壌中の重金属類含有量より値が多くなっていた。

これら洪水堆積物の重金属類の溶出量および含有量の結果を基にヒトの生涯曝露量を算出したところ、どの重金属類についても耐容一日摂取量 (Tolerable Daily Intake: TDI) を超過することはなかった (図2)。したがって、これら河川堆積物中の重金属類の曝露による人の健康リスク

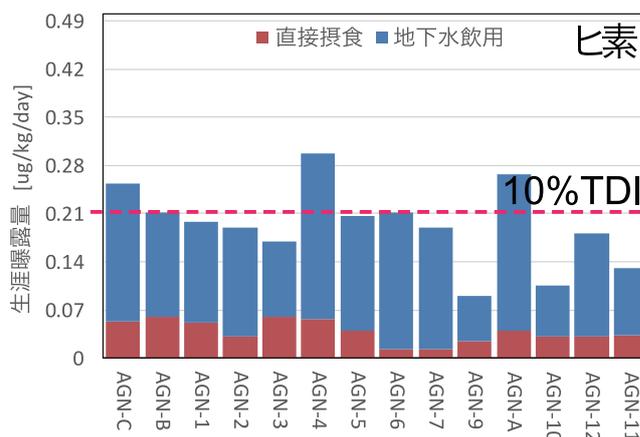


図2 洪水堆積物中のヒ素の曝露量とリスク

は小さいものと考えられたが、ヒ素については TDI 値の 10% を超過する試料も何地点か存在しており、食品など他の経路からの曝露も考慮した場合には、TDI 値を超過する可能性も示唆された。

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。

川辺能成 (グループ長)

杉田 創

原 淳子

井本由香利

吉川美穂

張 銘 (グループ付)

小神野良美 (テクニカルスタッフ)

小熊輝美 (テクニカルスタッフ)

箭田佐衣子 (テクニカルスタッフ)

渡邊真理子 (テクニカルスタッフ)

駒井 武 (名誉リサーチャー)

西脇淳子 (協力研究員)

中村謙吾 (協力研究員)

宋 然然 (技術研修員)

柿原結香 (技術研修員)

吉川友孝 (技術研修員)

小松智代 (派遣)



写真3 液体クロマトグラフ質量分析計



写真4 卓上型蛍光 X 線分析装置

4. 主な研究ファシリティ

多種多岐にわたる汚染物質を精度よく分析し、地圏環境における存在形態や移動・移行、物質間の相互作用、並びに浄化のメカニズムなどを解明するために、地圏環境リスク研究グループでは、研究ファシリティの整備、研究環境の改善及び安全管理にも力を注いでいる。重金属類や揮発性有機化合物 (VOCs) 及び放射性物質、あるいは、気体、液体及び固体物質のいずれの種類かの汚染対象物質の分析・評価に対応するために、以下に示す主要機器を整備している。

- ・ガスクロマトグラフ質量分析計 (GC-MS)
- ・ガスクロマトグラフ (GC, 有機, 無機対応)
- ・高速液体クロマトグラフィー / 質量分析 (HPLC/MS) (写真3)
- ・イオンクロマトグラフ (IC)
- ・誘導結合プラズマ発光分光分析装置 (ICP, ICP-AES)
- ・誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS)
- ・全自動元素分析装置 (CHNS/O)
- ・全有機炭素分析装置 (TOC/TC, 液体, 固体)
- ・蛍光 X 線分析装置 (XRF, 携帯型, 卓上型) (写真4)
- ・紫外可視分光光度計
- ・X 線回折装置 (XRD, 携帯型, 卓上型)
- ・フーリエ変換赤外分光光度計 (FT-IR)
- ・比表面積・細孔分布測定装置 (BET 法)

- ・微生物・遺伝子分析・定量装置 (PCR, リアルタイムPCR)
- ・冷却遠心分離機
- ・携帯型放射線量・成分測定装置
- ・可搬型放射能測定装置
- ・多項目水質計 (溶存酸素, 電気伝導率, pH, 酸化還元電位 (ほか, 10項目同時測定可能))
- ・高精度全自動透水試験装置 (難透水性試料にも対応)
- ・動電学的浄化試験システム
- ・カラム試験装置
- ・拡散試験装置ほか

5. 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」および「科研費・補助金・助成金」などで実施している。

6. 最近の主な研究成果

Feng, Y., Du, Y., Zhou, A., Zhang, M., Li, J., Zhou, S., Xia, W. (2020) Geoenvironmental properties of industrially contaminated site soil solidified/ stabilized with a sustainable by-product-based binder. *Science of the Total Environment*, (in

press).

- Pujiwati, A., Wang, J., Nakamura, K., Kawabe, Y., Watanabe, N., Komai, T. (2020) Data-driven analysis for source apportionment and geochemical backgrounds establishment of toxic elements and REEs in the Tohoku region, Japan. *Chemosphere*, 263, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128268>.
- Imoto, Y., Yasutaka, T. (2020) Comparison of the impacts of the experimental parameters and soil properties on the prediction of the soil sorption of Cd and Pb. *Geodermas*, 376, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114538>.
- Zhang, M., Hao, Y., Zhao, Z., Wang, T., Yang, L. (2020) Estimation of coastal aquifer properties: A review of the tidal method based on theoretical solutions. *Wiley Interdisciplinary Reviews-Water*, (in press).
- Yang, L., Zhang, M., Hao, Y., Wang, T., Zhao, Z. (2020) Determining the hydraulic properties of coastal aquifer systems using groundwater response to tidal fluctuations: Applicability and limitations. *Coastal Engineering Journal*, <https://doi.org/10.1080/21664250.2020.1775948>.
- Li, C., Zhang, H., Hao, Y., Zhang, M. (2020) Characterizing the heterogeneous correlations between the landscape patterns and seasonal variations of total nitrogen and total phosphorus in a peri-urban watershed. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 34067-34077.
- Yoshikawa, M. and Zhang, M. (2020) Constraints in anaerobic microbial dechlorination, fermentation, and sulfate-reduction induced by high concentrations of tetrachloroethylene. *Water Air & Soil Pollution*, 231, <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04752-2>.
- Zhang, Z., Wenke, W., Gong, C., Zhang, M. (2020) A comparison of methods to estimate groundwater recharge from bare soil based on data observed by a large - scale lysimeter. *Hydrological Processes*, 231, <https://doi.org/10.1002/hyp.13769>.
- Guo, Y., Dong, S., Hao, Y., Liu, Z., Yeh, T. J., Wang, W., Gao, Y., Li, P., Zhang, M. (2020) Risk assessments of water inrush from coal seam floor during deep mining using a data fusion approach based on grey system theory. *Complexity*, <https://doi.org/10.1155/2020/8205370>.

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：雷 興林
Leader, Geo-Mechanics Research Group:
Xinglin Lei
e-mail: xinglin-lei@aist.go.jp

1. 研究グループの研究目的

地圏メカニクス研究グループは、環境に調和した地圏の開発・利用を図るため、地圏メカニクスを中心とする基礎研究と橋渡し研究を展開している。当グループ員が長年にわたり研究を進めてきた実験技術・データ処理技術・数値解析技術は、地下利用のための効率的な掘削、浅部から深部に至る地圏メカニクス環境の解明、誘発地震の発生メカニズムの理解と関連災害の低減・防止、CO₂等の地中貯留・廃棄物処分・非在来型石油天然ガス資源及び地熱等資源の継続的利用などに役立ってきた。

今後も高度化・多様化する社会のニーズに的確に応えられるように、理・工学出身研究員の協力による相乗効果を最大限発揮し、研究・技術ポテンシャルの維持・向上に努める。そして、地下資源の安定供給や地圏環境の継続的利用と保全あるいはリスク低減のための研究と技術開発を展開し、安全で安心できる社会の実現に貢献することを目指す。さらに、研究成果を迅速に発信し、社会の持続的発展に努める。このため、グループ内の研究ツールの統合と融合及び他の研究グループ・研究ユニット間の連携による相乗効果を最大限に促進するとともに、国内外での研究機関や企業との共同研究を遂行する。

2. 研究グループの特徴

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、構造地質学、地震学などの専門家である。マルチスケール（カッティングスからテクトニクススケール）・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. 研究グループの体制

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。

雷 興林（研究グループ長）
及川寧己
竹原 孝
坂本靖英（出向中）
宮崎晋行

北村真奈美
奥山康子
受け入れ研究員不定数

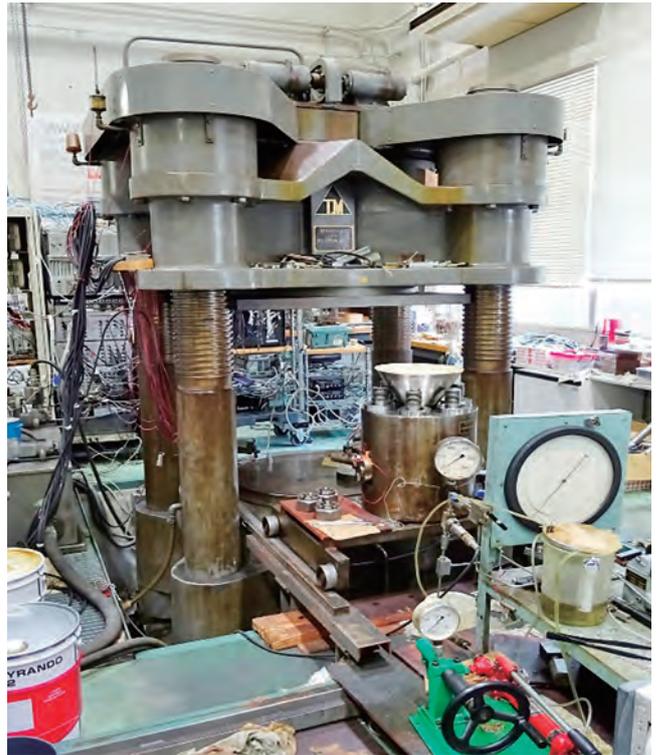


図1 大型岩石（水圧）破壊試験装置

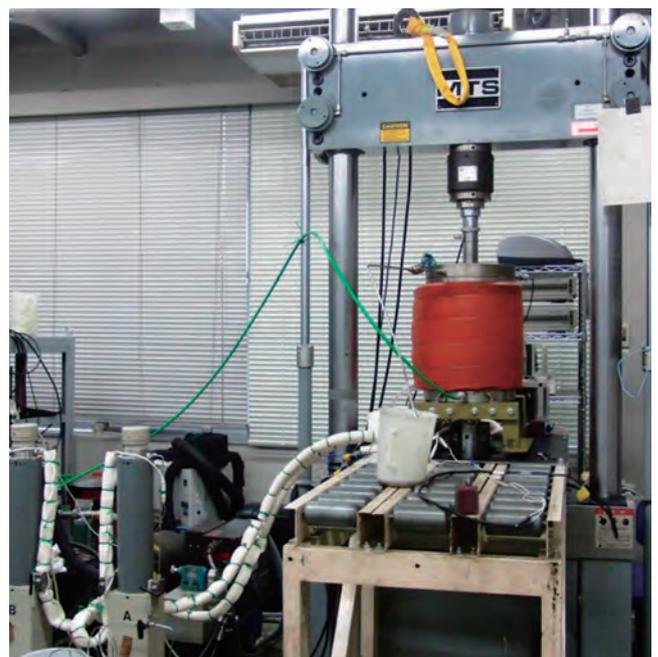


図2 岩石透水実験装置

3. 主な研究内容と成果

3.1. 地圏メカニクスに関する実験研究

当研究グループには様々な室内岩石試験装置(図1, 2)と物性計測システムを駆使し, 岩石試料を用いる三軸岩石破壊試験・透水試験・断層滑り実験・水圧破碎実験等を行い, 流体及び流体圧の拡散に伴う岩石変形・微小破壊・岩石物性値を稠密にモニタリングするにより地圏メカニクモデリングに資する実験研究を系統的に実施した。

これらの実験研究は地震素過程の解明や, 最近では被害性誘発地震リスク評価に資するもので, 様々な分野に役立つ。

3.2. 岩石掘削技術に関する研究開発

地圏の開発・利用・調査などの様々な事業において, 一般に掘削コストが高いと言われている。掘削コストを削減し, 事業を促進するためには, 高性能(高掘進速度, 高耐久性)な掘削ビットを開発することが重要な課題である。当研究グループでは, 石油・天然ガス開発, 地熱資源開発, 鉱物資源開発など, 多岐にわたる応用先をターゲットとして, それぞれの地層・鉱床の特徴を踏まえた掘削ビットの開発に関する研究を行っている。主に, 室内掘削試験装置(図3)と掘削ビットを用いて岩石の掘削試験を行い, 掘進速度や耐久性などの基本的な掘削性能を取得し, 実用化に向けた改良点の抽出などを行っている。また, 掘削工期を短縮することを目的とし, 想定される坑井の深さや被削岩石の種類に応じて, ビットタイプまたはビットデザインの選定もしくは掘削条件の設定に資する基礎データの取得を行っている。



図3 室内掘削試験装置

3.3. 超臨界地熱開発に関連する実験研究

減圧破碎により亀裂が生じた花崗岩について, 超臨界流体・高温・高圧条件下において三軸変形実験・浸透率測定を実施し, X線CTやSEMを用いて微細組織観察をおこな

い, 物理特性(弾性特性・破壊強度・浸透率等)の温度依存性および亀裂量と物理特性の相関関係, 変形メカニズムを解明する。一方で, 熱処理により亀裂が生じた花崗岩について, 高圧条件下において三軸圧縮変形・水圧破碎中の微小破壊音(アコースティックエミッション, AE)特性を測定し, 誘発地震リスク評価に関連する岩石が破壊に至るまでのAE特性を調べている。

3.4. CO₂を圧入した岩石の力学特性に関する研究

CO₂の地中貯留における, 貯留対象岩盤領域の短期的・長期的力学挙動の予測に資する基礎データを得るため, 実験室内に陸域におけるCO₂の地中貯留を想定した地下条件(温度・圧力)を模擬し, 水飽和した岩石試験片にCO₂を圧入した場合とそうで無い場合との変形特性の違いについて実験的に明らかにするための三軸載荷試験を実施した。対象岩石としては地中貯留においてシール層に相当するような国内産の泥岩を用いた。短期的力学挙動に関しては, 三軸載荷試験を行い, CO₂飽和率と圧縮強度やヤング率などの弾性パラメータおよび非排水状態の体積弾性率などの多孔質弾性パラメータに及ぼすCO₂圧入の影響を調べた。一連の実験において強度に関しては明瞭な違いは現れなかったが, ヤング率とポアソン比に関しては共に, 飽和率が10%を超えると減少が始まり, 飽和率に応じて低下する傾向が見られた。多孔質弾性パラメータに関しては, 得られた飽和率と非排水状態の体積弾性率の関係から, 圧入したCO₂は試験片全体に均一に分布している状態に近いと考えられる。長期的力学挙動に関しては, 三軸クリープ試験を行い, CO₂圧入がクリープ挙動やクリープ寿命に及ぼす影響を調べた。クリープ挙動については水飽和試験片, CO₂圧入試験片共に定性的には似た傾向を示した。両者ともクリープ破壊に至るか至らないにかかわらず, 1次クリープ領域でクリープひずみ速度が時間の m 乗に反比例するような関係(対数側)が見られた。また両者ともクリープ寿命がクリープ応力の n 乗に反比例するような関係を示し, 最小クリープ速度とクリープ寿命は反比例の関係を示すことが分かった。

3.5. 連続的岩盤強度推定に関する研究開発

CO₂地中貯留では, 貯留に伴う貯留層・遮蔽層・上位岩盤の変形・変位が社会的受容上の懸念事項の1つである。また, 岩盤の重大な変形・変位はその破断とCO₂の漏洩につながる可能性があり, 重要な事業リスクの1つでもある。これら懸念とリスクに対処するため, 貯留の事前評価段階から, 岩盤の力学的挙動を数値シミュレーションすることが普通である。また事業展開中も, CO₂圧入に伴う岩盤の力学的応答は継続的にモニタリングされ, 流体流動・岩石力学シミュレーションによる安全性確認が繰り返される。

現況の流体流動・岩石力学シミュレーションは, 単純化された地質モデルにて行われ, モデルの精緻さは貯留層地

質モデルなどに比べると著しく劣る。その理由の一つは、岩盤の物理特性に関する岩石力学的パラメータの絶対的不足である。岩石力学的諸パラメータは、貯留サイトで掘削された坑井より試料（例：岩石コア）を回収し、実験することで求めることができるが、コストの問題で多数のコアを採集することは非現実的である。そこで掘削時の泥水循環とともに連続的に採取することができる掘削カッティング試料を用いた実験が有用である。そのため、岩盤強度データを取得する目的で、掘削カッティングスに対するインデンテーション試験（図4）による岩盤強度の取得法の開発と実験研究を行っている。

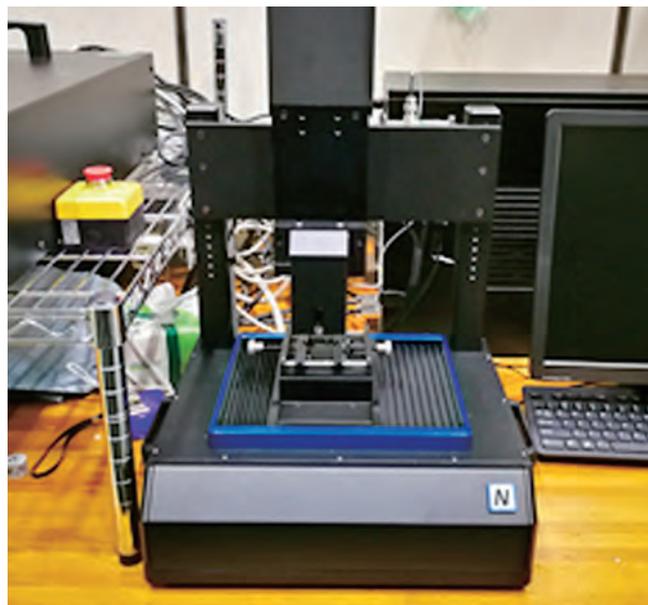


図4 精密微小試料圧入試験装置

3.6. 岩石韌性に関する研究開発

地層処分やLPG, LNGの地下貯蔵など地下構造物を構築するにあたり、地下の岩盤構造物の長期的な安定性を評価するためには、岩石内部の潜在き裂の挙動を実験的な手法によって明らかにすることが重要である。本研究では結晶質岩を対象として、岩石内部の微小き裂の進展挙動に着目し、き裂進展に対する抵抗力である破壊韌性値を求めることを目的とした。破壊韌性値を求めるためには様々な試験法が提案されているが、ISRM指針（2014）によるSCB試験法に準じた実験を行った。破壊韌性試験を行うにあたり、異なる力学的特性を有する三つの軸方向とそれに直交する面を定義した。本実験では、各面に対して圧裂引張試験、破壊韌性試験を行い、それぞれの試験から岩石試料の異方性について考察した（図5）。

3.7. 地圏環境における数値シミュレーション技術の高度化

地圏環境における数値シミュレーション技術の高度化ならびにリスク評価技術に関する研究開発を実施した。地圏環境リスク評価システム（GERAS）の開発では、事業所における重金属類に起因した帯水層汚染を対象として、帯水



図5 SCB試験片を試験機に設置した様子

層内の重金属類分布のヒストリーマッチングを通じて再現された現在の汚染状況に基づき、汚染の将来予測と揚水による浄化対策の効果を定量的に評価することで、事業所等における土壌・地下水汚染対策の効率化に貢献するとともに、地圏環境リスク評価技術の社会実装を推進した。地圏環境シミュレーションの一環としてのメタンハイドレート生産手法開発では、減圧法実施後の二次回収を目的とした酸注入または原位置低温酸化プロセスを対象とし、ガス相の他成分系の取り扱いや、原位置での鉱物の溶解や注入有機物の酸化反応を考慮した数値解析モデルの高度化を図り、本プロセス適用時の貯留層内現象の解明を図るとともに、メタンガスの増進回収効果を定量的に評価した。これらの研究成果は学術論文として公表している。

3.8. 注水誘発地震に関する研究

地熱開発・シェールガス生産・CO₂地下貯留・工業廃水の地下注入などの分野において、注水による誘発地震に関するリスク評価及び対策という重要かつ緊急な課題に着目し、マルチスケール・マルチアプローチ手法を駆使し、室内実験研究・海外現場の代表的事例（中国四川盆地の注水誘発地震）研究・数値シミュレーションを通して注水誘発地震の特徴、識別、発生条件の解明とリスク低減に関する技術の開発に資する研究を実施し、数多くの成果を国際誌に公表した。また、一連の研究を通して豊富な機能を有する総合地震データ処理ソフトウェアGeoTaos（図6, 7）を開発し、公開した。GeoTaosには、相対震源決定・テンプレートマッチングによる微小地震検出・モメントテンソル解・応力場インバージョン・潮汐計算等を含め、様々な手法を統括している。

5. 2015年以降主な研究論文

Hashiba, K., K. Fukui, K. Miyazaki, and K. Watanabe (2020), Mechanical and cutting characteristics of

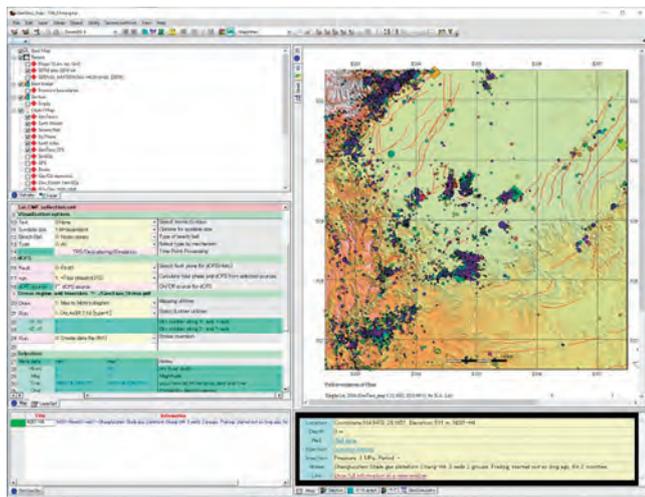


図6 地震データ処理ソフトウェア GeoTaos

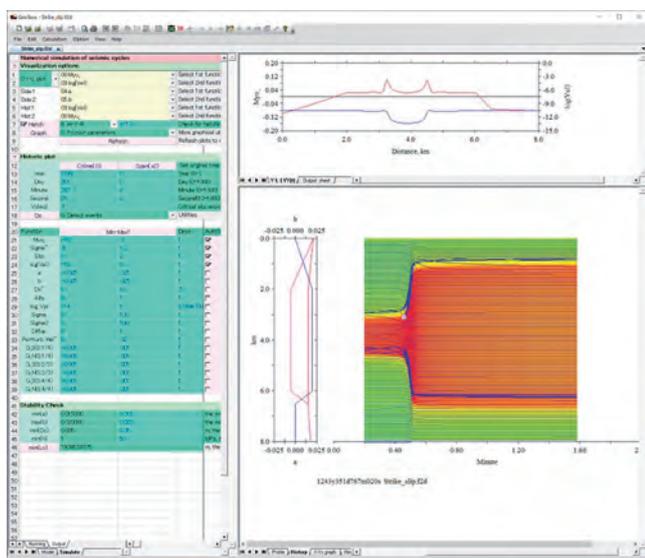


図7 GeoTaos による断層 Reactivation シミュレーション

cobalt-rich ferromanganese crusts, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 53(6), 2929-2934.

Kitamura, M., H. Kitajima, H. Sone, Y. Hamada, and T. Hirose (2019), Strength profile of the inner Nankai accretionary prism at IODP Site C0002, *Geophysical Research Letters*, 46(19), 10791-10799.

Lei, X., J. Su, and Z. Wang (2020), Growing seismicity in the Sichuan Basin and its association with industrial activities, *Science China Earth Sciences*, doi: 10.1007/s11430-020-9646-x.

Lei, X., Z. Wang, and J. Su (2019), The December 2018 ML 5.7 and January 2019 ML 5.3 Earthquakes in South Sichuan Basin Induced by Shale Gas Hydraulic Fracturing, *Seismological Research Letters*, 90(3), doi:10.1785/0220190029.

Lei, X., Z. Xue, and T. J. A. S. Hashimoto (2019), Fiber Optic Sensing for Geomechanical Monitoring:(2)-Distributed Strain Measurements at a

Pumping Test and Geomechanical Modeling of Deformation of Reservoir Rocks, *Applied Sciences*, 9(3), 417, doi:10.3390/app9030417.

Lei, X. (2019), Evolution of b-Value and Fractal Dimension of Acoustic Emission Events During Shear Rupture of an Immature Fault in Granite, *Applied Sciences*, 9(12), doi:10.3390/app9122498.

Miyazaki, K., T. Ohno, H. Karasawa, and H. Imaizumi (2019), Performance of Polycrystalline Diamond Compact Bit based on Laboratory Tests Assuming Geothermal Well Drilling, *Geothermics*, 80, 185-194.

Sakamoto, Y., F. Kaneko, Y. Nakano, K. Nakamura and T. Komai (2019), Numerical Study on Enhanced Gas Recovery from Methane Hydrate Reservoir During In-situ Heating Process by Acid Injection, *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, 29(3), 347-358, doi:10.17736/ijope.2019.jc744.

Sakamoto, Y., F. Kaneko, Y. Nakano, K. Nakamura and T. Komai (2020), Numerical Study on the Application of In situ Low-temperature Oxidation for Enhanced Recovery from Methane Hydrate Reservoir, *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, 30(2), 228-239, doi:10.17736/ijope.2020.jc760.

Wang, X., X. Lei, S. Ma, Y. Zhang, Z. Guo, and X. Wen (2020), Phase velocity structure and azimuthal anisotropy beneath Sichuan Basin and surrounding areas from Rayleigh wave, *CHINESE JOURNAL OF GEOPHYSICS-CHINESE EDITION*, 63(2), 445-459, doi: 10.6038/cjg2020M0700.

Zhang, L., X. Lei, W. Liao, J. Li, and Y. Yao (2019), Statistical parameters of seismicity induced by the impoundment of the Three Gorges Reservoir, Central China, *Tectonophysics*, 751, 13-22, doi:10.1016/j.tecto.2018.12.022.

及川 寧己, 竹原 孝, 雷 興林, 深沢 洋規, 山口 勉 (2020), CO₂を圧入した泥岩の三軸圧縮実験における付加的なスレシヨルド圧力計測の試み, *Journal of MMIJ*, 136(10), 110-116.

■ 研究トピック

水文環境図 No.12「紀の川平野」の公開

Release of Water Environmental Map No.12
“Kinokawa Plain”

地下水研究グループ：町田 功
和歌山大学システム工学部：井伊博行
Groundwater Research Group: Isao Machida
Faculty of Systems Engineering, Wakayama Univ.:
Hiroyuki Ii
E-mail: i-machida@aist.go.jp

1. 研究概要

水文環境図は、さまざまな地下水の情報を任意に重ね合わせて表示することができる、地下水の地図である。本環境図は2002年から出版されていたが、2019年ウェブ公開され、現在は、関東平野、熊本地域、石狩平野、富士山、筑紫平野、勇払平野、大阪平野が閲覧可能となっている (<https://gbank.gsj.jp/WaterEnvironmentMap/main.html>)。現在、和歌山大学と共同で水文環境図 No.12 “紀の川平野” を編集しており、2021年2月に公開予定である。本報告では一足先に、編集内容の一部を紹介する。

2. 研究内容

水文環境図 No.12「紀の川平野」で調査対象としたのは、橋本市、九度山町、かつらぎ町、紀の川市、岩出市、和歌山市である。これらの自治体の平野部は、中央構造線に沿って和泉山脈と紀伊山地に挟まれた鳥毛状をなしている(図1)。和泉山脈を構成する和泉層群と、紀伊山地を構成する中生代三波川変成岩類は平野部の浅層にて接しているようにみえるが、実際は平野部の地下で三波川変成岩類が800 m 以上も落ち込んでいる地域があることが明らかになっている¹⁾。すなわち、紀の川平野は東西に延びる深い谷に未固結の堆積物が堆積した形になっている。本環境図では、浅層地下水から深層の温泉水までを調査対象としているが、上記のような地質構造を考えると、この大規模な谷の充填物中の地下水を扱っていることになる。

本環境図の掲載コンテンツとして、従来の水文環境図と同様、地下水位、地下水水質、地下水取水層などがあり、加えて中央構造線に沿って上昇していると推定される、深部流体が地下水に及ぼす影響についても説明を加えた。一方、地下水利用という観点から最も興味深いのは水源井の位置である。上記自治体の水道事業に用いられている水源井は、紀ノ川の近傍に位置しているものが多い。河川近傍に井戸にて大量の揚水をおこなうと、いずれは河川水を引き込むことになるが、これは河川等と井戸の間の地層を利用し、物理的、化学的、生物学的に水を“ろ過”する、バンクフィルトレーションと似たシステムである。紀の川周辺でのろ過効果は定かではないが、河川水を直接採取するよりも恒温性

は高くなることなどを考えると、メリットはあるだろう。このような事実を考えると、紀の川の水質および水量を適切に管理することが、紀の川平野全体の水資源の保全に対して極めて重要であると考えられる。そこで、本環境図には、紀の川の水質情報なども加えている。

3. 社会課題の解決に向けたビジョン

従来、地下水は生活用水、農業用水、工業用水などに利用されてきた。近年、高い経済性と安定性に着目した大規模施設における井戸の設置、そして流域水資源の持続的な利活用を目的とした新しい法律(水循環基本法：2014年)の施行といった社会情勢の変化が生じており、さらには投資家による ESG 投資の指標の1つに CDP 水セキュリティ (https://cdp-jp.net/common/cms_editor/uploads/files/water_basic_0329.pdf) が加わるなど、地下水を取り巻く環境は大きく変化しつつある。また、地下水の安定した温度を利用した省エネルギー技術である地中熱利用も促進されており、地下水は省エネ対策の観点からも存在感を増している。すなわち、今日では地下水を水資源として利用したい、エネルギーとして利用したい、地下水の情報を得たい、地下水を管理したいという様々なニーズがある。水文環境図は、地下水の情報を見える化することにより、これらニーズの基盤となる情報を提供する。

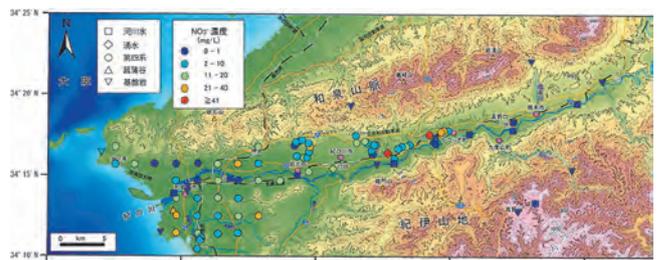


図1 水文環境図「紀の川平野」のマップ画面

参考文献

- 1) 吉川宗治・岩崎好規・井川 猛・横田 裕：反射法地震探査による和歌山県西部の中央構造線の地質構造。地質学論集, 40, pp.177-186, (1992)

CO₂・CH₄の粘土鉱物表面への 吸着現象に関する分子動力的研究

Molecular Dynamics Study on Adsorption of
CO₂・CH₄ on Clay Mineral Surface

CO₂地中貯留研究グループ：志賀正茂
CO₂ Geological Storage Research Group:
Masashige Shiga
E-mail: m.shiga@aist.go.jp

1. 研究概要

CO₂地中貯留技術やCO₂圧入による石油ガス回収技術(CO₂-Enhanced Oil Recovery/Enhanced Gas Recovery)は持続可能な資源開発における重要な選択肢として世界中で活発に研究開発が行われている[例えば, 1), 2)]. 対象となる地層の空隙はサブミクロンスケールの領域であり, 鉱物表面での分子の吸着現象の理解はCO₂の挙動の正確な推定と効率的な制御の観点で重要である. そこで, これまで数多くの吸着量測定実験が実施されてきた[例えば, 2)]. 一方, 地層から採取したコアサンプルを用いた試験では吸着構造を直接観察することが難しいため, 現象の詳細な理解が容易でない. そこで, 本研究では分子動力学シミュレーションを用いて粘土鉱物の一種である白雲母に対するCO₂・CH₄の吸着性能を調べた.

2. 研究内容

分子動力学シミュレーションを用いて, 粘土鉱物の一種である白雲母表面に対するCO₂とCH₄の吸着現象を調べた. 図1(a)にCO₂・CH₄それぞれの分子モデルを示した. 図1(b)に示すのが計算系の初期条件のスナップショットであり, 図1(c)に示すのが平衡状態での計算系のスナップショットである. 図1(c)より, 白雲母表面の最近傍でCO₂がCH₄よりも多く存在している様子が見られた. 密度分布の解析から, CO₂の吸着層が形成され, CH₄に対して優先的に吸着することがわかった. この吸着構造はメタンガス回収におけるCO₂圧入の優位性が示す結果である.

3. 社会課題の解決に向けたビジョン

実際の地下の環境では岩石の不均質性やCO₂・CH₄以外の分子種が吸着現象に影響を及ぼすことが想定される. したがって, 今回は考慮しなかった要素の影響についても引き続き調べていくことが求められる. それにより, 吸着量の推定モデルの精度向上や, コア試験の結果の解釈に貢献することが期待される.

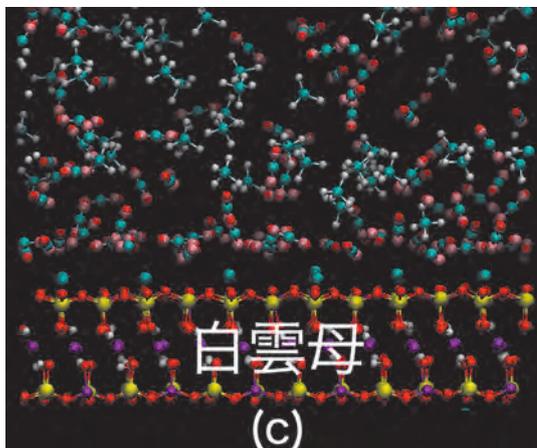
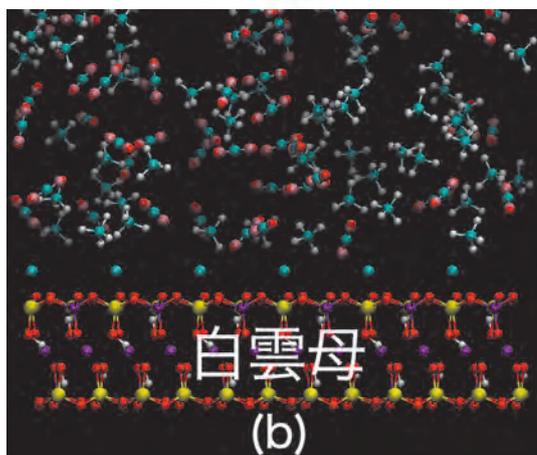
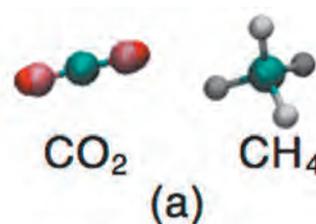


図1 シミュレーションのスナップショット ((a) CO₂・CH₄分子モデル (b) 初期状態 (c) 平衡状態).

参考文献

- 1) DePaolo, D. J., & Cole, D. R. (2013). Geochemistry of geologic carbon sequestration: an overview.
- 2) Klewiah, I., Berawala, D. S., Walker, H. C. A., Andersen, P. Ø., & Nadeau, P. H. (2020). Journal of Natural Gas Science and Engineering, 73, 103045.

発光バクテリアを用いた 土壌汚染評価手法の開発

Development of Soil Pollution Evaluation Method
Using Luminous Bacteria

地圏環境リスク研究グループ：杉田 創, 駒井 武
Geo-Environmental Risk Research Group:
Hajime Sugita
E-mail: hajime.sugita@aist.go.jp

1. 研究概要

近年、ガソリン等石油系炭化水素をはじめとする有機化合物や自然由来及び人為由来の重金属類による土壌汚染が顕在化し、土壌汚染調査及び土壌汚染対策のニーズが高まっている。当研究グループでは、2007年度から民間企業との共同研究を発端として、急性毒性試験法や環境リスク評価手法あるいは汚染物質の簡易検出技術として注目されている発光バクテリアを利用したバイオアッセイによる土壌汚染評価手法の開発を目指している。

2. 研究内容

2.1. 原理

発光バクテリアは代謝によって通常一定強度の安定した光を発しているが、有害物質に暴露されると代謝が低下し、発光強度が減少するため、この発光強度の減少量によって汚染物質の毒性を検知・評価する。本研究で提案する手法では、汚染土壌の抽出液から検液を作製し、この検液とブランク溶液（抽出溶媒のみから作製したもの）をそれぞれ発光バクテリアに加え、それらの発光強度の初期値からの減少量を比較することにより、対象となる汚染物質の毒性の強さを評価する。

2.2. 重金属類に関する土壌汚染評価手法の開発

抽出溶媒として純水を使用することを前提とした検液を作製し、以下の重金属類を対象として急性毒性試験を実施した。

- ・土壌汚染対策法の第二種特定有害物質¹⁾
Cd, Cr⁶⁺, CN, Hg, Se, Pb, As, F, B
- ・メッキ金属²⁾
Fe, Ni, Cu, Zn, Ag, Sn
- ・ナノ粒子³⁾
酸化金属 (SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, ZnO, CuO),
カーボンナノチューブ, Ag ナノ粒子

2.3. 有機化合物に関する土壌汚染評価手法の開発

抽出溶媒としてメタノールを使用することを前提とした検液を作製し、以下の有機化合物を対象として急性毒性試験を実施した。

- ・石油系炭化水素⁴⁾
ガソリン, 灯油, 軽油, ベンゼン, トルエン等
- ・メタン系炭化水素⁵⁾
ペンタンからドデカンまでの直鎖アルカン
- ・アルカン構造異性体⁶⁾
ペンタン及びヘキサンの構造異性体

3. 社会課題の解決に向けたビジョン

現場において土壌汚染調査の対象となる汚染物質の種類がおおよそ特定されている場合、当該土壌汚染評価手法は、オンサイトの迅速かつ簡便なスクリーニング手法として利用可能である。さらに、汚染物質の種類が同定されている場合、これまでに取得・蓄積してきたデータを適用することにより、汚染濃度の概算値をその場で知ることができ、現場での定期的なモニタリングを簡便に実施することも可能である。

上記に加えて、本研究で得られた各汚染物質の急性毒性影響に関する多くの知見は学術的にも有意義なものであり、毒性学分野にも寄与できると考えられる。さらにはリスクコミュニケーションツールとして広く役立てられることが期待される。

参考文献

- 1) 杉田創, 駒井武, 井本由香利, 原淳子, 今泉博之 : 発光バクテリアを用いた重金属等の土壌汚染簡易評価手法の開発 - 急性毒性評価による土壌汚染濃度のスクリーニング, 地下水学会誌, 55(4), pp.329-347, (2013)
- 2) 杉田創, 駒井武, 井本由香利, 原淳子 : 発光バクテリアを用いた重金属等の土壌汚染簡易評価手法の開発2- メッキ金属に関する急性毒性評価, 地下水学会誌, 58(4), pp.417-430, (2016)
- 3) 杉田創, 駒井武 : 発光バクテリアに及ぼす液中ナノ粒子の急性毒性影響について - ナノ粒子分散液を用いた急性毒性評価試験による検討, 地下水学会誌, 60(4), pp.435-459, (2018)
- 4) 杉田創, 駒井武, 西脇淳子, 川辺能成 : 石油系炭化水素を対象とした発光バクテリアを用いた簡易土壌汚染評価手法の開発 - 抽出溶媒の選定および石油系炭化水素の毒性評価, 資源と素材, 126(12), pp.684-690, (2010)
- 5) 杉田創, 駒井武 : 石油系炭化水素を対象とした発光バクテリアを用いた簡易土壌汚染評価手法の開発2- メタン系炭化水素 (アルカン類) に関する急性毒性評価, 地下水学会誌, 62(1), pp.59-73, (2020)
- 6) 杉田創, 駒井武 : 石油系炭化水素を対象とした発光バクテリアを用いた簡易土壌汚染評価手法の開発3- アルカン構造異性体に関する急性毒性評価, 地下水学会誌, 62(4), pp.573-587, (2020)

オープンループ方式地中熱利用システムの導入適地に関する基礎的検討

Fundamental examination of suitable area for installation of open-loop ground source heat pump systems

再生可能エネルギー研究センター地中熱チーム：
金子翔平, 富樫 聡, シュレスタ・ガウラブ
石原武志, 内田洋平
RENRC Shallow Geothermal team:
Shohei Kaneko, Akira Tomigashi, Gaurav Shrestha,
Takeshi Ishihara, Youhei Uchida
E-mail: shohei-kaneko@aist.go.jp

1. 研究概要

オープンループ方式の地中熱利用ヒートポンプシステム(以下, オープンシステムとする)の安定的かつ長期的な運用には, 揚水井・還元井における目詰まりの抑制が必要である。この目詰まり発生要因には, 地域特有の水文地質環境(特に, 地下水水質など)が起因するものがある。これまで, 数値解析結果からオープンシステムの適地マップを作成した事例が報告されているものの, 数値解析と地下水水質の両方の観点から適地を評価した事例はない。そこで本研究では, 地下水水質を考慮したオープンシステムの適地マップ作成を目的として, 福島県会津盆地を対象にオープンシステムの導入適地に関する基礎的検討を行った。

2. 研究内容

日本地下水開発(ほか¹⁾)によるNEDO 委託事業「再生可能エネルギー熱利用技術開発」の成果を踏まえて, 次の2つの水文地質条件を満たす場合をオープンシステムの導入適地と判定した: ①第四系の帯水層層厚が20 m 以上であること, ②鉛直上向きの地下水流れがないこと。また本研究では, Shrestha et al.²⁾がDHI社製の3次元地下水流動・熱輸送シミュレータFEFLOWを用いて構築・検証した, 会津盆地の地下水モデルを用いて, 上記の導入適地の判定を行った。その結果, 盆地内では, 第四系層厚がほぼ全域で20 m 以上を示した。また数値シミュレーションの結果, 盆地内の河川とその周辺部で上向きの地下水流れが確認され, 上記の地域以外では適地と判断された。

地下水水質については, 庄司・柴崎³⁾の分析結果(62点)を用いた。またオープンシステム利用のための水質評価には, 冷凍空調機器用冷却水水質基準 JRA-GL02の冷却水系一過式の値を使用した。スクリーン目詰まりに影響しうる4項目(全硬度, カルシウム硬度, 酸消費量, 鉄)に着目すると, 基準値を全て満たすのは31地点であった。鉄については, 粘性土層の割合が大きい地域ほど濃度が高い傾向がみられた。今後は, 地下水注入の実証実験により, 水理水頭の変化が地下水注入能力に与える影響等を検証する予定である。

3. 社会課題の解決に向けたビジョン

本研究の最終的な成果となる適地マップ作成により,

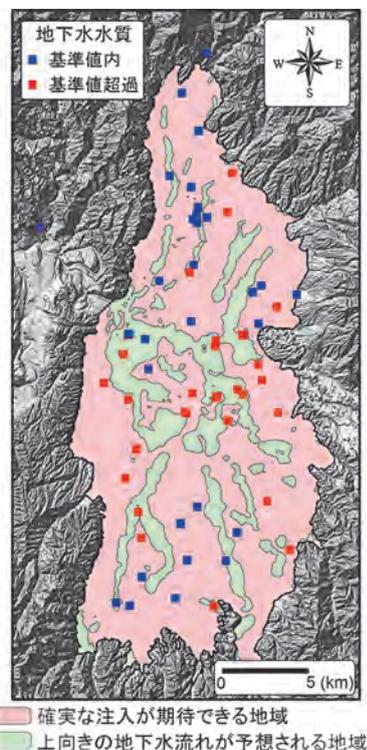


図1 水質情報を加味したオープンシステム適地マップ

システムの普及・認知度向上が期待される。地下水を利用するオープンシステムの普及は, CO₂削減を通じた脱炭素化社会への実現・発災時の安全な地下水利用に貢献できる。

参考文献

- 1) 日本地下水開発株式会社ほか: 再生可能エネルギー熱利用技術研究開発, 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 平成26年度~平成30年度成果報告書, (2019)
- 2) G. Shrestha et al.: Performance evaluation of a ground-source heat pump system utilizing a flowing well and estimation of suitable areas for its installation in Aizu Basin, Japan. Hydrogeology Journal, 25, 1437-1450, (2017)
- 3) 庄司美由, 柴崎直明: 会津盆地の地下水の水質~とくに鉄濃度の分布について~, 共生のシステム, 15, 137-143, (2015)

持続可能な地下蓄熱に向けた大谷石熱物性評価に関する研究

Research on OYA Stone Thermophysical Property Evaluation for Sustainable Underground Thermal Storage

再生可能エネルギー研究センター地中熱チーム：
霜山 竣, 富樫 聡, 内田洋平
Shallow Geothermal and Hydrogeology Team:
S.Shimoyama, A.Tomigashi, Y.Uchida
E-mail: shun-shimoyama@aist.go.jp

1. 研究概要

宇都宮市大谷町にある大谷石採掘跡地地下空間には10℃未満の水が貯留しており、冷熱源として農業・冷房等に利用されている。この冷熱源の持続的な利用に向けて、貯留水の長期蓄熱状況の予測が重要になるが、予測計算には正確な大谷石熱物性の把握が必要不可欠である。

本研究では、空間的な大谷石熱物性を評価する目的で、大谷石壁面に熱的インパクトを与えた時の岩体内温度変動を観測して熱拡散率（熱伝導率×体積熱容量）を推定する伝熱実験¹⁾とボーリング孔内にすべての深度で一様かつ一定の加熱量を与えた時の温度変化から地盤の熱伝導率と体積熱容量を推定する熱応答試験²⁾を実施した。

2. 研究内容

伝熱実験は、大谷石壁面に奥行き方向0.4 mの調査孔(径16 mm)を掘削し、0.1 m, 0.2 m, 0.4 m 間隔に温度計を設置して約1か月間観測した(図1左図)。また、宇都宮市が2010年度に2地点で実施した伝熱実験データも整理し³⁾、計3地点で平面的な大谷石の熱拡散率を評価した。

熱応答試験は、深度100 m, 孔径20 mmの調査孔(地点1)と深度70 m, 孔径66 mmの調査孔(地点2)の2地点で実施した(図1右図)。試験は、全長50 mのヒーターケーブルと多点温度検層器(1 m 間隔で観測)を使用し、加熱量1,000 W, 加熱期間3日間, 回復期間4日間の試験条件で実施した。また、久保田ほか(2013)が大谷地域で実施した熱応答試験データも整理し(地点3)⁴⁾、計3地点で熱応答試験による空間的な大谷石の熱伝導率および体積熱容量を評価した(図2)。



図1 (左図) 伝熱実験の様子, (右図) 熱応答試験の様子

3. 社会課題の解決に向けたビジョン

大谷石熱物性の正確な評価により、地下空間貯留水の長期蓄熱状況が予測できれば、冷熱利用事業の持続可能性の向上が期待され、地域の産業振興につながると考えられる。

また、岩盤・地盤の熱物性(熱伝導率と体積熱容量)に着目した地下蓄熱状況の予測技術は、地中熱利用システムの一つである帯水層蓄熱(ATES)システムに応用できる可能性が高い。

参考文献

- 1) 霜山竣, 富樫聡, 佐藤大地, 金子翔平, 佐藤怜, 柴崎直明: 大谷地域の地下空間を利用した原位置調査と数値解析による岩盤の熱物性評価手法の提案, 土木学会論文集 G (環境), Vol.75, No.5, pp.289-299, (2020)
- 2) 富樫聡, 霜山竣, 内田洋平, 石原武志, シュレスタ ガウラブ: 地盤・岩盤の体積熱容量を推定するための原位置試験と解析手法の提案, 日本応用地質学会令和2年度研究発表会講演論文集, pp.61-62, (2020).
- 3) 宇都宮市環境部環境政策課: 宇都宮市地域クリーンエネルギー賦存量等調査および実証調査(平成21年度「緑の分権改革」推進事業)業務成果報告書, pp83-93, (2011).
- 4) 久保田隆二, 内山昭憲, 後藤慎二, 藤原盛光, 田村八州夫, 神宮司元治: 低価格仕様の地盤有効熱伝導率検層装置の開発, 物理探査学会第129回学術講演論文集, pp.207-210, (2013).

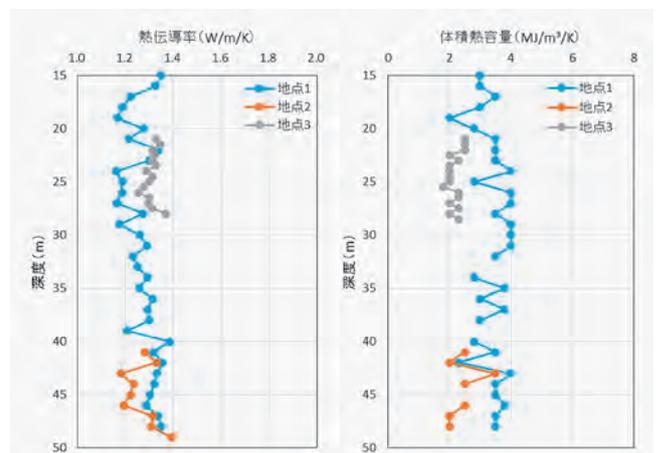


図2 熱応答試験による大谷石熱物性推定結果 (左図) 熱伝導率, (右図) 体積熱容量

加賀平野における地中熱ポテンシャル評価のための水文地質構造解析 - 沖積層の層序に着目して -

Analysis of Hydrogeological Structure for Evaluation of Suitability of the Ground-Source Heat Pump System in Kaga Plain: Focusing on the Stratigraphy of the Alluvium

再生可能エネルギー研究センター地中熱チーム：
佐野星河, 石原武志, 富樫 聡, 内田洋平
RENRC Shallow Geothermal team:
S.Sano, T.Ishihara, A.Tomigashi, Y.Uchida
E-mail: seiga-sano@aist.go.jp

1. 研究概要

これまでに、平野・盆地スケールの水文地質モデルを構築し、三次元の地下水流動・熱輸送解析を用いて地中熱利用のポテンシャルを評価する研究は国内各地で行われている。しかし、地下水流動・熱輸送解析で用いられてきた水文地質モデルは、平野・盆地の主な構成層である第四系を一括するか、年代区分による表現であったため、帯水層の三次元分布が必ずしも反映されていない。

本研究では、石川県に位置する加賀平野を対象に、平野に分布する第四系（特に沖積層）の礫層・砂層・泥層の三次元分布に着目して水文地質モデルを構築した。本発表では加賀平野内の水文地質構造の特徴を述べる。

2. 研究内容

加賀平野内の地質断面図と深井戸資料、既存ボーリング試料解析の結果を収集し、水文地質モデルの構築、解析を行った。

本地域の第四系の水文地質区分を表-1に示す。沖積層に関しては海津（1994）をもとに5層に区分し、沖積層の下位に位置する卯辰山層と大桑層については、層序区分せずそれぞれ一括した。

表-1 研究地域の第四系水文地質区分

地質時代		地質区分	主な層相	記号	
第四系	完新統	沖積層	最上部層	泥・砂	UM
			上部砂層	砂	US
			中部泥層	泥	MM
			下部砂泥層	砂・泥	LS
			基底礫層	礫	G1
	更新統	卯辰山層	礫・砂・泥	U	
		大桑層	砂岩	O	

本地域内では上部砂層（US）と基底礫層（第一礫層：G1）が主な帯水層と考えられる。USは海岸付近に発達した砂丘堆積物などからなり、河北平野北東沿岸部を中心に最大30m以上の厚さで堆積している（図1）。G1は、河北平野

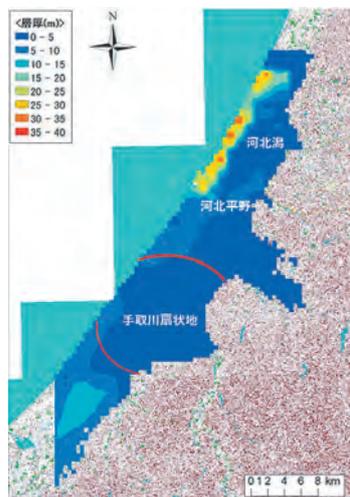


図1 USの層厚分布

と手取川扇状地に広く分布している。G1上面の標高は、河北平野南東部の金沢駅付近で約-5m、北東部の河北潟で約-70mであり、北東方向へ分布高度が下がる。手取川扇状地の扇頂～扇中部では表層からG1が分布し、層厚は最大70mである一方、河北平野のG1層厚は10~20m程度まで薄くなる。

以上より、両地域ではG1に沿って、南西から北東方向への地下水流れが存在することが考えられる。

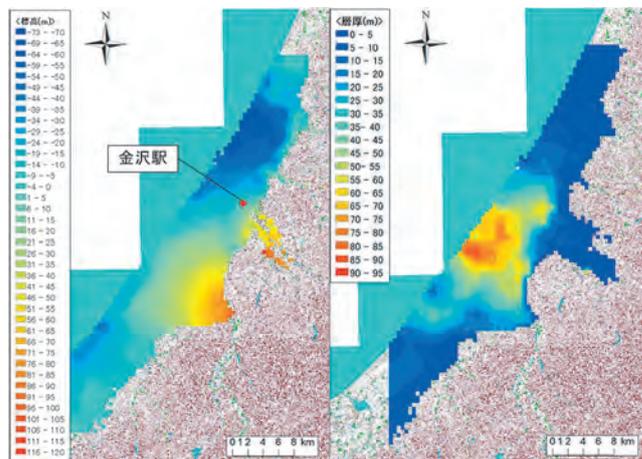


図2 G1上面の標高（左）とG1の層厚分布（右）

3. 社会課題の解決に向けたビジョン

本研究の成果である水文地質モデルは、地下水位や地下温度等の水文データと組み合わせ、三次元の地下水流動・熱輸送解析を実施する。その結果を用いて本地域において地中熱ヒートポンプシステムの適地性の評価につなげる。

地中熱利用に関する戦略的普及策検討のための全国自治体アンケート調査

A Study of Consciousness of Local Governments by Questionnaire to Promote Shallow Geothermal Energy

地中熱チーム：富樫 聡, 内田洋平, シュレスタ・ガウラブ, 石原武志, アリフ・ウィディアトモジョ
特定非営利活動法人地中熱利用促進協会：笹田政克
Akira Tomigashi, Youhei Uchida, Gaurav Shrestha, Takeshi Ishihara, Arif Widiatmojo, and Masakatsu Sasada
E-mail: akira-tomigashi@aist.go.jp

1. 研究概要

我が国において地中熱利用システムは、欧米諸国や中国・韓国に比べると、標準的な省エネ技術として実装されているとは未だ言い難い。地中から採熱（または地中に放熱）するための井戸が必要であり、井戸掘削費用を含む初期コストが高額となることに加えて、認知度不足も普及の障壁になっていると考えられる。以上の背景の下、本研究では、現状を打破する地中熱利用の戦略的普及策検討に役立てるために、全国市町村を対象とする地中熱アンケート調査を実施した。

2. 研究内容

全国1,741市町村を対象として、再エネ関連の上位計画策定状況、自治体内における再エネ推進の状況、地中熱利用を含む公共施設における再エネ導入状況、地中熱に対する認知度、地中熱が普及するために必要と思うこと、各種補助制度の理解度、補助制度の利用状況、地中熱利用に対する意欲等についてアンケート調査を実施した。調査は2019年11月～2020年1月で行い、回答数は1,391市町村であった（回答率79.9%）。

公共施設等での再エネ設備の設置・導入の実施・検討をしている自治体に対して、設置・導入の実施・検討を行っている再エネを質問したところ、回答した自治体のうち13.5%（146市町村）が地中熱の公共施設への導入・検討を行っており、太陽光発電、木質バイオマス熱に次いで件数が多いことが明らかとなった。太陽光に比べると数は少ないものの、地中熱は自治体からすでに選ばれつつある状況と言える。また、「貴自治体の区域内において、地中熱利用を普及させるためには何が必要とお考えですか」という質問に対して、最も多くの回答数を得たのは「メリット（経済性、環境性）がわかる情報の整備」（928市町村、回答率66.7%）であった。次いで、国の補助制度の充実、初期コストの低減、認知度不足の解消、導入適地を判断できるマップの整備と続く。回答数が多かったこれらの上位5項目は情報と資金の問題に大別でき、地中熱の普及にあたり自治体が抱える課題が浮き彫りとなった。さらに、自治体内におけ

る地中熱の普及状況については、独自の補助・助成制度を持つ自治体ほど導入がすすんでいる傾向が見られたことから、今後は補助・助成制度の利用状況に関する詳細な実態調査が求められる。

地中熱に対する認知度・導入意欲・関心に着目すると、再エネの導入推進を位置付けた計画（環境基本計画、再エネビジョン等）がある自治体ほど認知度が高く、また、アンケート回答者の所属が環境・エネルギー・企画・政策・産業振興等の関係部局の場合に、特に認知度が高い結果となった。ただし、導入意欲・関心については、約70%の自治体が「関心はあるものの普及のための主体的な働きかけは考えていない」と回答しており、これらの自治体に対する意識醸成と支援を充実する必要がある。

自治体人口を指標として、アンケート調査結果のクロス集計を行ったところ、地中熱に対する認知度・導入意欲・関心は、すべての項目で自治体人口が多いほど高まることがわかった。これは、人口が多い自治体ほど地球温暖化対策に取り組む必要性が高く、再エネメニューの検討の過程で地中熱の理解につながったためと考えられる。

3. 社会課題の解決に向けたビジョン

公共施設に地中熱が導入されることで、公的機関が安心して利用できる再エネであると認知したこととなり、民間市場への大きな波及効果が期待される。したがって、地中熱利用の社会実装を加速させるには、地方自治体の取り組みが重要となる。本アンケート調査結果を踏まえると、地球温暖化対策を推進する自治体で地中熱の成功事例を集中的に増やす、自治体上位計画への地中熱利用の位置付け、地中熱関連の補助・助成制度の利用状況に関する実態調査の実施、自治体環境行政に訴求するための全国地中熱基盤情報の整備等の推進が、我が国において戦略的に地中熱利用を普及させるための方策として重要と考える。

今後は、47都道府県を対象として同様の調査を実施し、基礎自治体と広域自治体の意識差や連携の在り方についても検討する予定である。

新第三紀東北日本弧の火成活動に伴われる銅の移動・濃集システムの研究

Copper Mineralization and Mobilization Systems Associated with the Neogene Magmatism in the Northeast Japan Arc

1. 研究概要

海洋プレートの沈み込みに伴う火山弧であるが斑岩型銅鉱床が欠如する東北日本弧には新第三紀に形成された鉱脈型銅鉱床が多数存在する (図1)。それらの鉱床は数百年にわたり、銅などの金属を供給してきたが、既に閉山から約40年以上が経過し、斑岩型銅鉱床などの鉱化作用を伴うマグマ-熱水系の研究から得られた知見や評価技術が適用されておらず、探査や鉱床学的な研究はほとんど行われていない。特に、鉱脈型銅鉱床と斑岩型銅鉱床はしばしば隣接して存在し、一連のマグマ-熱水活動によって形成された例も多数存在することから、斑岩型銅鉱床の探鉱余地を指摘する意見もある (Arribas and Mizuta, 2018)。また、実際に斑岩型銅鉱床を対象として試錐探鉱が実施された例も存在する (石原, 2017; 通商産業省, 1981)。

本研究では鉱脈型銅鉱床と珪長質貫入岩が隣接して存在する秋田県荒川地域 (図1) を対象として、鉱床と貫入岩の関連を明らかにするために銅鉱化作用とマグマ-熱水系の解明を行ってきた (図2a)。その結果、鉱床と隣接して存在する珪長質貫入岩は、鉱床と時間的・空間的な成因上の関連を有し、鉱床を形成した火成岩の一部であることが明らかとなった。この結果に基づき、現在は鉱床形成の際に銅などの金属や硫黄を運搬する熱水の供給源としてのマグマの性質やその供給過程の解明を目的として研究を行っている。

2. 研究内容

これまでの研究によって銅鉱床の形成に関連したと推定された貫入岩を対象として、地質調査や岩石記載を行った。荒川地域では、デイサイト質な貫入岩体主体部はデイサイト~玄武岩質の幅広い組成を示す暗色包有岩を含んでいる。これらの包有岩は、マグマ混交の組織を示し、鉱床を形成したデイサイト質マグマの成り立ちに関連があると考えられる。特に最も苦鉄質な包有岩には、しばしば銅硫化物やそれらを含むメルト包有物が存在している (図2b)。包有岩を構成する造岩鉱物やメルト包有物を対象とした鉱物化学分析によって、マグマから地表付近の熱水系に至るまでの銅や硫黄の移動過程を解明すると共に、斑岩型銅鉱床の賦存性を評価するために研究を進めている。

鉱物資源研究グループ：左部翔大, 昆 慶明,
秋田大学：渡辺 寧, 越後拓也
Mineral Resources Research Group: S. Satori, Y. Kon, Akita Univ.: Y. Watanabe, T. Echigo
E-mail: s.satori@aist.go.jp



図1 東北日本弧北部における新第三紀金属鉱床の分布 (Takashima and Igarashi, 1973を改変)

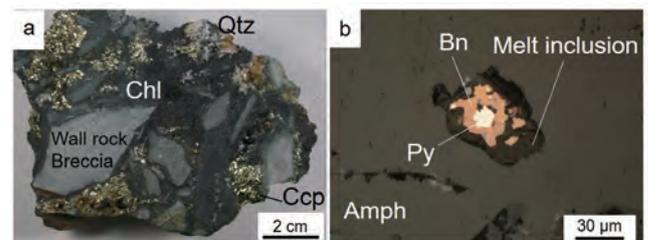


図2 銅の濃集結果と移動過程を示す試料

- 荒川産銅鉱石。母岩の角礫間に黄銅鉱 (Ccp), 緑泥石 (Chl), 石英 (Qtz) が存在する。
- 包有岩中の角閃石 (Amph) に含まれるメルト包有物。斑銅鉱 (Bn) と黄鉄鉱 (Py) を含む。

3. 社会課題の解決に向けたビジョン

世界の銅資源の7割が斑岩型銅鉱床に由来するが、探査による鉱床発見率は年々低下傾向にあり、鉱床の新規発見は一層困難になりつつある。典型的な火山弧として鉱床学的に十分に研究や探査が行われていない東北日本弧に再注目することで、国内外のフィールドで役立つ新たな知見を生み出し、金属資源確保に貢献することを目指している。

参考文献

- A. Arribas and T. Mizuta, Resource Geology, 68, pp. 146-163, (2018)
- 石原舜三, 資源地質, 67, pp. 161-164, (2017)
- 通商産業省, 広域調査報告書蒲原地域, (1981)
- K. Takashima and T. Igarashi, 日本鉱床生成図 200万分の1地質編集図 14, (1973)

論文リスト

- Michio Murakami, Yoshitake Takebayashi, Yoshihito Takeda, Akiko Sato, Yasumasa Igarashi, Kazumi Sano, 保高 徹生ほか (2018) Effect of Radiological Countermeasures on Subjective Well-Being and Radiation Anxiety after the 2011 Disaster: The Fukushima Health Management Survey, *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15.
- 吉村 寿紘, 荒岡 大輔, 為則 雄祐, 黒田 潤一郎, 川幡 穂高, 大河内 直彦 (2018) Lithium, magnesium, and sulfur purification from seawater using an ion chromatograph with a fraction collector system for stable isotope measurements, *JOURNAL OF CHROMATOGRAPHY A* 1531, 157-162.
- Junko Nishiwaki, 川辺 能成, Takeshi Komai, 張 銘 (2018) Decomposition of Gasoline Hydrocarbons by Natural Microorganisms in Japanese Soils, *Geosciences* 8, 1-9.
- 江島 輝美, 昆 慶明, 河野 重範, 荒岡 大輔 (2018) Zircon U-Pb dating of gabbro and diorite from the Bato pluton, northeast Japan, *ISLAND ARC* 27, 1-15.
- Wenjing Qiao, Shujun Ye, Jichun Wu, 張 銘 (2018) Surfactant-Enhanced Electroosmotic Flushing in a Trichlorobenzene Contaminated Clayey Soil, *Groundwater* 56, 673-679.
- 三好 陽子, 月村 勝宏, 森本 和也, 鈴木 正哉, 高木 哲一 (2018) Comparison of methylene blue adsorption on bentonite measured using the spot and colorimetric methods, *APPLIED CLAY SCIENCE* 151, 140-147.
- 高橋 幸祐, 高倉 伸一, 松島 喜雄, 藤井 郁子 (2018) Relationship between volcanic activity and shallow hydrothermal system at Meakandake volcano, Japan, inferred from geomagnetic and audio-frequency magnetotelluric measurements, *JOURNAL OF VOLCANOLOGY AND GEOTHERMAL RESEARCH* 349, 351-369.
- 福井 将, 綱澤 有輝ほか (2018) Effect of Agitator Shaft Direction on Grinding Performance in Media Stirred Mill: Investigation Using DEM Simulation, *MATERIALS TRANSACTIONS* 59, 488-493.
- 栗原 毛毛, 恩田 裕一, 加藤 弘亮, Nicolas Loffredo, 保高 徹生, Frederic Coppin (2018) Radiocesium migration in the litter layer of different forest types in Fukushima, Japan, *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY* 187, 81-89.
- 徂徠 正夫, 佐々木 宗建, 栗林 貴弘 (2018) Field reaction experiments of carbonate minerals in spring waters: natural analogue of geologic CO₂ storage, *GEOFLUIDS* 2018.
- 中島 善人, 小松原 純子 (2018) MULTIFRACTAL ANALYSIS OF SEISMICALLY INDUCED SOFT-SEDIMENT DEFORMATION STRUCTURES IMAGED BY X-RAY COMPUTED TOMOGRAPHY, *FRAC-TALS-COMPLEX GEOMETRY PATTERNS AND SCALING IN NATURE AND SOCIETY* 26.
- Kiyoshi Shizuma, Yoko Fujikawa, 栗原 毛毛, Yushi Sakurai (2018) Identification and temporal decrease of Cs-137 and Cs-134 in groundwater in Minami-Soma City following the accident at the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant, *ENVIRONMENTAL POLLUTION* 234, 1-8.
- 原 淳子, 野呂田 晋, 川辺 能成, 杉田 創, 張 銘 (2018) Characteristics of arsenic in humic substances extracted from natural organic sediments, *ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH* 25, 15680-15694.
- 吉村 令慧, 小川 康雄, 行竹 洋平, 神田 径, 小森 省吾ほか (2018) Resistivity characterisation of Hakone volcano, Central Japan, by three-dimensional magnetotelluric inversion, *EARTH PLANETS AND SPACE*.
- 松本 親樹, 緒方 俊太, 島田 英樹, 笹岡 孝司, 濱中 晃弘, Ginting Jalu Kusuma (2018) Effects of pH-Induced Changes in Soil Physical Characteristics on the Development of Soil Water Erosion, *Geosciences* 8, 1-13.
- 板野 敬太, 飯塚 毅, 星野 美保子 (2018) REE-Th-U and Nd isotope systematics of monazites in magnetite- and ilmenite-series granitic rocks of the Japan arc: Implications for its use as a tracer of magma evolution and detrital provenance, *CHEMICAL GEOLOGY* 484, 69-80.
- 井本 由香利, 保高 徹生, 染矢 雅之, 東野 和雄 (2018) Influence of solid-liquid separation method parameters employed in soil leaching tests on apparent metal concentration, *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT* 624, 96-105.
- 綱澤 有輝, 久富 渉生, 村上 進亮, 所 千晴 (2018) Investigation and evaluation of the detachment of printed circuit boards from waste appliances for effective recycling, *WASTE MANAGEMENT* 78, 474-482.
- 綱澤 有輝, 劉 暢之, 戸井 龍太郎, 大蔵 隆彦, 所 千晴 (2018) Crystal formation and growth by slow cooling for recovery of magnetite particles from copper smelting slag, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*.
- 地下 まゆみ, 高木 哲一, 高橋 嘉夫, 栗栖 美菜子, 綱澤 有輝, 森本 和也, 星野 美保子, 月村 勝宏 (2018) Fe-kaolinite in granite saprolite beneath sedimentary kaolin deposits: a mode of Fe substitution for Al in kaolinite, *AMERICAN MINERALOGIST* 103, 1126-1135.
- 松本 親樹, 石松 紘宇, 島田 英樹, 笹岡 孝司, Ginting Jalu Kusuma (2018) Characterization of Mine Waste

and Acid Mine Drainage Prediction by Simple Testing Methods in Terms of the Effects of Sulfate-Sulfur and Carbonate Minerals, Minerals 8, 403.

覺本 真代, 坂本 靖英, 宮崎 晋行, 青木 一男, 瀧口 晃, 安井 彩, 森 二郎 (2018) メタンハイドレート生産井における異種材料間接触面摩擦挙動のモデル化 - メタンハイドレート貯留層の地層変形挙動予測に関する研究 (第3報) -, Journal of MMIJ 134, 117-130.

中野 司, 中島 善人 (2018) Analytical expressions for the reconstructed image of a homogeneous cylindrical sample exhibiting a beam hardening artifact in X-ray computed tomography, Journal of X-Ray Science and Technology 26, 691-705.

Udayagee Kumarasinghe, 川本 健, 斎藤 健志, 坂本 靖英, M.I.M. Mowjood (2018) Evaluation of applicability of filling materials in Permeable Reactive Barrier (PRB) system to remediate groundwater contaminated with Cd and Pb at open solid waste dump sites, PROCESS SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION 120, 118-127.

朝比奈 健太, 鈴木 德行 (2018) Methylated naphthalenes as indicators for evaluating the source and source rock lithology of degraded oils, ORGANIC GEOCHEMISTRY 124, 46-62.

Udayagee Kumarasinghe, 坂本 靖英ほか (2018) EFFECTIVENESS OF PERMEABLE REACTIVE BARRIER (PRB) ON HEAVY METAL TRAP IN AQUIFER AT SOLID WASTE DUMPSITE: A SIMULATION STUDY, International Journal of GEOMATE 15, 225-232.

Tomohiro Ohuchi, 雷 興林, Yuji Higo, Yoshinori Tange, Takeshi Sakai, Kiyoshi Fujino (2018) Semi-brittle behavior of wet olivine aggregates: the role of aqueous fluid in faulting at upper mantle pressures, CONTRIBUTIONS TO MINERALOGY AND PETROLOGY, 173.

H. M. Zakir Hossain, Quazi Hasna Hossain, 亀井 淳志, 荒岡 大輔 (2018) Compositional variations, chemical weathering, and provenance of sands from the Cox's Bazar and Kuakata beach areas, Bangladesh, Arabian Journal of Geosciences 11, 749-1 - 749-17.

岩間 弘樹, 五十嵐 雅之, 若山 樹, 米林 英治, 眞弓 大介, 前田 治男, 須田 好, 玉木 秀幸, 坂田 将, 鎌形 洋一 (2018) 微生物原油分解 EOR フィールドパイロットに向けて ~微生物培養実験からパイロット計画策定まで~, 石油技術協会誌 83, 455-460.

Yohei Hamada, Takehiro Hirose, Akira Ijiri, Yasuhiro Yamada, Yoshinori Sanada, Saneatsu Saito, Noriaki Sakurai, Takamitsu Sugihara, Takahiro Yokoyama, Saruhashi Tomokazu, Tatsuhiko Hoshino, Nana Kamiya, Stephen Bowden, Margaret

Cramm, Susann Henkel, Kira Homola, Hiroyuki Imachi, 金子 雅紀, Lorenzo Lagostina, Hayley Manners, Harry-Luke McClelland, Kyle Metcalfe, Natsumi Okutsu, Donald Pan, Maija Jocelyn Raudsepp, Justine Sauvage, Florence Schubotz, Arthur Spivack, Satoshi Tonai, Tina Treude, Man-Yin Tsang, Bernhard Viehweger, David T. Wang, Emily Whitaker, Yuzuru Yamamoto, Kiho Yang, Masataka Kinoshita, Lena Maeda, Yusuke Kubo, Yuki Morono, Fumio Inagaki, Verena B. Heuer (2018) In-situ mechanical weakness of subducting sediments beneath a plate boundary decollement in the Nankai Trough, Progress in Earth and Planetary Science 5.

松本 親樹 (2018) 資源開発と地下水汚染, 地下水技術 60, 25-30.

古川 靖英, 小林 剛, 保高 徹生, 本藤 祐樹, 藤江 幸一 (2018) 揮発性有機塩素化合物汚染における土壌汚染対策技術選定時のサステナブルアプローチの有効性検討と従来手法との比較, 土木学会論文集 74, 152-164.

杉田 創, 駒井 武 (2018) 発光バクテリアに及ぼす液中ナノ粒子の急性毒性影響について - ナノ粒子分散液を用いた急性毒性評価試験による検討 -, 地下水学会誌 60, 435-459.

小野 昌彦, 町田 功, 井川 怜欧, 神谷 貴文, 大山 康一, 村中 康秀, 伊藤 彰, 丸井 敦尚 (2018) Regional groundwater flow system in a stratovolcano adjacent to a coastal area: a case study of Mt. Fuji and Suruga Bay, Japan, HYDROGEOLOGY JOURNAL.

雷 興林, Shinian Li, 劉 力強 (2018) Seismic b-value for Foreshock AE Events Preceding Repeated Stick-slips of Pre-cut Faults in Granite, Applied Sciences-Basel 8, 1-10.

中野 裕介, 中村 謙吾, 坂本 靖英, 駒井 武 (2018) 酸注入による原位置発熱を利用したメタンハイドレート貯留層からのガス増進回収効果の評価, 石油技術協会誌 83, 461-472.

杉田 創, 小熊 輝美, 張 銘, 原 淳子, 川辺 能成 (2018) 使用済 Ca 系ヒ素吸着材の環境安定性に及ぼすケイ酸の影響, 土木学会論文集 G (環境) 74, III_493-III_502.

栗原 モモ, 恩田 裕一, 鈴木 弘行, 岩崎 雄一, 保高 徹生 (2018) Spatial and temporal variation in vertical migration of dissolved Cs-137 passed through the litter layer in Fukushima forests, JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY 192, 1-9.

西山 依里, 東 光一, 森 宙史, 須田 好, 中村 仁美, 大森 聡一, 丸山 茂徳, 本郷 裕一, 黒川 颯 (2018) The Relationship Between Microbial Community Structures and Environmental Parameters Revealed by Metagenomic Analysis of Hot Spring Water in the Kirishima Area, Japan, Frontiers in Bioengineering and Biotechnology 6, 1-11.

坂田 将 (2018) 天然ガス・石油の成因と微生物の寄与に

- 関する有機地球化学的研究, RESEARCHES IN ORGANIC GEOCHEMISTRY 34, 1-13.
- 原 えり, 吉本 拓也, 茂野 俊也, 眞弓 大介, 鈴木 利廣, 三ツ橋 恭平, 阿部 章浩, 中島 敏明 (2018) Ecological impact evaluation by constructing in situ microcosm with porous ceramic arrowhead, CHEMOSPHERE 219, 202-208.
- Barbara Mco, Paul Bardos, Frederic Coulon, Emerald Eickson-Mulanax, Lara J. Hansen, Melissa Harclerode, Deyi Hou, Eric Mielbrecht, Haruko M. Wainwright, 保高 徹生, William D. Wick (2018) Resilient Remediation: Addressing Extreme Weather and Climate Change, Creating Community Value, REMEDIATION 29, 7-18.
- 川辺 能成, 駒井 武 (2018) A case study of natural attenuation of chlorinated solvents under unstable groundwater conditions in Takahata, Japan, BULLETIN OF ENVIRONMENTAL CONTAMINATION AND TOXICOLOGY 102, 280-286.
- 加藤 達也, 綱澤 有輝, Wenying Liu, 所 千晴 (2019) Structural Change Analysis of Cerianite in Weathered Residual Rare Earth Ore by Mechanochemical Reduction Using X-Ray Absorption Fine Structure, Minerals.
- Xiyang Dong, Chris Greening, Jayne E. Rattray, Anirban Chakraborty, Maria Chuvochina, 眞弓 大介, Jan Dolfing, Carmen Li, James M. Brooks, Bernie B. Bernard, Ryan A. Groves, Ian A. Lewis, Casey R. J. Hubert (2019) Metabolic potential of uncultured bacteria and archaea associated with petroleum seepage in deep-sea sediments, Nature Communications.
- 神田 径, 宇津木 充, 高倉 伸一, 井上 寛之 (2019) Hydrothermal system of the active crater of Aso volcano (Japan) inferred from a three-dimensional resistivity structure model, EARTH PLANETS AND SPACE.
- 吉川 省子, 保高 徹生, 井倉 将人, 大越 聡, 藤原 英司, 斉藤 隆, 矢ヶ崎 泰海, 山口 紀子, 江口 定夫 (2019) Relationship between radiocesium absorbed by paddy rice and trapped by zinc-substituted Prussian blue sheet buried in soil, SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION.
- Yaser Nikpeyman, 細野 高啓, 小野 昌彦, Heejun Yang, 一柳 錦平, 嶋田 純, 滝川 清 (2019) Sea surficial waves as a driving force that enhances the fresh shallow coastal groundwater flux into the oceans, Environmental Earth Sciences.
- Tatsuya Kato, Giuseppe Granata, Yuki Tsunazawa, Tetsuichi Takagi, Chiharu Tokoro (2019) Mechanism and kinetics of enhancement of cerium dissolution from weathered residual rare earth ore by planetary ball milling, MINERALS ENGINEERING.
- 境澤 亮祐, 佐藤 徹, 森 千秋, 大山 裕之, 津旨 大輔, 坪野 考樹, 加野 友紀 (2019) Position and flux estimation of the unexpected seepage of CO₂ purposefully stored in a subseabed geological formation, International Journal of Greenhouse Gas Control.
- Akam, C., George J. Simandle, Ray Lett, Suzanne Paradis, 星野 美保子, 昆 慶明, 荒岡 大輔, Craig Green, 児玉 信介, 高木 哲一, Manzur Chaudhry (2019) Comparison of methods for the geochemical determination of rare earth elements: Rock Canyon Creek REE-F-Ba deposit case study, SE British Columbia, Canada, GEOCHEMISTRY-EXPLORATION ENVIRONMENT ANALYSIS.
- 松本 親樹, 町田 功 (2019) Investigation of Groundwater Flow using $\delta^{18}\text{O}$ and δD in the A Sulphur Mine in Japan, Proc. of 23rd International Conference on Environment and Mineral Processing and workshop Waste - Secondary Raw Materials.
- 雷 興林, 王 志偉, 蘇 金蓉 (2019) The December 2018 ML 5.7 and January 2019 ML 5.3 earthquakes in south Sichuan basin induced by shale gas hydraulic fracturing, SEISMOLOGICAL RESEARCH LETTERS.
- 太田 雄貴, 黒田 潤一郎, 山口 飛鳥, 鈴木 淳, 荒岡 大輔, 石村 豊穂, NGHP Expedition 02 JAMSTEC Science Team, 川幡 穂高 (2019) Monsoon-influenced variations in plankton community structure and upper-water column stratification in the western Bay of Bengal during the past 80 ky, PALAEOGEOGRAPHY PALAEOCLIMATOLOGY PALAEOECOLOGY.
- K. Nakata, T. Hasegawa, D. K. Solomon, K. Miyakawa, Y. Tomioka, T. Ohta, T. Matsumoto, K. Hama, T. Iwatsuki, M. Ono, A. Marui (2019) Degassing behavior of noble gases from groundwater during groundwater sampling, Applied Geochemistry.
- Yu Nagata, Masaya Minagawa, Shosei Hisatomi, Yuki Tsunazawa, Kyoko Okuyama, Motonori Iwamoto, Yasuyoshi Sekine, Chiharu Tokoro (2019) Investigation of optimum design for nanoparticle dispersion in centrifugal bead mill using DEM-CFD simulation, Advanced Powder Technology.
- 雷 興林, Shinian Li, 劉 力強 (2019) Evolution of b-Value and Fractal Dimension of Acoustic Emission Events During Shear Rupture of an Immature Fault in Granite, Applied Sciences-Basel.
- 松本 親樹, 濱中 晃弘, 村上 海人, 島田 英樹, 笹岡 孝司 (2019) SECURING TOPSOIL FOR REHABILITATION USING FLY ASH IN OPEN-CAST COAL MINES: EFFECTS OF FLY ASH ON PLANT GROWTH, Journal of the Polish Mineral Engi-

neering Society.

伊左治 雄太, 吉村 寿紘, 荒岡 大輔, 黒田 潤一郎, 小川 奈々子, 川幡 穂高, 大河内 直彦 (2019) Magnesium isotope fractionation during synthesis of chlorophyll a and bacteriochlorophyll a of benthic phototrophs in hypersaline environments, ACS Earth and Space Chemistry.

濱中 晃弘, 山崎 寛人, 笹岡 孝司, 島田 英樹, 松本 親樹 (2019) Application of Fly Ash to Acidic Soil to Improve Plant Growth in Disturbed Land of Open-cut Mining, Proc. of 18th Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production.

前川 竜男 (2019) Equilibrium conditions of xenon hydrates in the presence of water-soluble additives of dimethyl sulfoxide, amides and amines, FLUID PHASE EQUILIBRIA.

Damak Fadwa, 浅野 眞希, 馬場 浩司, 須田 碧海, 荒岡 大輔, Ahmed Wali, 磯田 博子, 中嶋 光敏, Mohamed Ksibi, 田村 憲司 (2019) Interregional traceability of Tunisian olive oils to the provenance soil by multielemental fingerprinting and chemometrics, FOOD CHEMISTRY.

Kyoko Ono, Tetsuo Yasutaka, Takehiko I. Hayashi, Masashi Kamo, Yuichi Iwasaki, Taizo Nakamori, Yoshikazu Fujii, Takafumi Kamitani (2019) Model construction for estimating potential vulnerability of Japanese soils to cadmium pollution based on intact soil properties, PloS one.

Shuhei Nomura, Michio Murakami Wataru Naito, Tetsuo Yasutaka, Toyoaki Sawano and Masaharu Tsubokura (2019) Low dose of external exposure among returnees to former evacuation areas: a cross-sectional all-municipality joint study following the 2011 Fukushima Daiichi nuclear power plant incident, Journal of Radiological Protection.

川辺 能成, 原 淳子 (2019) Chemical Properties of Tsunami Deposits Caused by the Great East Japan Earthquake, Proceedings of AOGS2019.

宮崎 晋行, 大野 哲二, 唐澤 廣和, 今泉 博之 (2019) Performance of Polycrystalline Diamond Compact Bit based on Laboratory Tests Assuming Geothermal Well Drilling, GEOTHERMICS.

中嶋 健, 岸本 清行 (2019) 日本海南東部の海底地形アナグリフ, 地質学雑誌.

荒岡 大輔, 吉村 寿紘 (2019) Rapid purification of alkali and alkaline-earth elements for isotope analysis (δ Li-7, δ Mg-26, Sr-87/Sr-86, and δ Sr-88) of rock samples using borate fusion followed by ion chromatography with a fraction collector system, ANALYTICAL SCIENCES.

中嶋 健, 岩野 英樹, 檀原 徹, 山下 透, 柳沢 幸夫, 谷村 好弘, 渡辺 真人, 佐脇 貴幸, 中西 敏, 三石 裕之, 山科 起行, 今堀 誠一 (2019) 富山県八尾地域の新生界年代層序の再検討とテクトニクス, 地質学雑誌.

高野 修, 中嶋 健 (2019) 富山深海長谷への砕屑物供給系としての北部フォッサマグナ信越堆積盆: 後期新生代深海堆積システム・堆積テクトニクスの変遷, 地質学雑誌.

Momo Kurihara, 保高 徹生, Tatsuo Aono, Nobuo Ashikawa, Hiroyuki Ebina, Takeshi Iijima, Kei Ishimaru, Ramon Kanai, Zin'ichi Karube, Yae Konnai, Tomijiro Kubota, Yuji Maehar, Takeshi Maeyama, Yusuke Okizawa, Hiroaki Ota, Shigeyoshi Otosaka, Aya Sakaguchi, Hisaya Tagomori, Keisuke Taniguchi, Masatoshi Tomita, Hirofumi Tsukada, Seiji Hayashi, Sangyoon Lee, Susumu Miyazu, Moono Shin, Takahiro Nakanishi, Tatsuhiro Nishikiori, Yuichi Onda, Takuro Shinano, Hideki Tsuji (2019) Repeatability and reproducibility of measurements of low dissolved radiocesium concentrations in freshwater using different concentration methods, JOURNAL OF RADIOANALYTICAL AND NUCLEAR CHEMISTRY.

杉田 創, 小熊 輝美, 張 銘, 原 淳子, 川辺 能成 (2019) 使用済 Ca 系ヒ素吸着材に及ぼす溶液 pH の影響 - 亜ヒ酸及びヒ酸の溶出挙動について, 第13回環境地盤工学シンポジウム発表論文集.

張 銘 (2019) Challenges of solving the problem of soil and groundwater contamination -An interdisciplinary approach-, Synthesiology-English edition.

Zhixue Zhao, Xiaoguang Wang, Yonghong Hao, Tongke Wang, Abderrahim Jardani, Herve Jourde, Tian-Chyi Jim Yeh, 張 銘 (2019) Groundwater response to tidal fluctuations in a leaky confined coastal aquifer with a finite length, HYDROLOGICAL PROCESSES.

井伊 博行, Kitagawa Hiroki, Kubohara Takuma, 町田 功 (2019) OXYGEN AND HYDROGEN STABLE ISOTOPIC RATIOS AND SOLUBLE SUBSTANCES OF GROUNDWATER IN THE KINOKAWA RIVER CATCHMENT, KII PENINSULA, JAPAN, International Journal of GEOMATE.

前田 歩, 吉村 寿紘, 荒岡 大輔, 鈴木 淳, 為則 雄祐, 藤田 和彦, 豊福 高志, 大河内 直彦, 川幡 穂高 (2019) Magnesium Isotopic Composition of Tests of Large Benthic Foraminifers: Implications for Biomineralization, GEOCHEMISTRY GEOPHYSICS GEOSYSTEMS.

新谷 毅, 益田 晴恵, 岡崎 香生里, Emilie EVEN, 小野 昌彦, 丸井 敦尚 (2019) Characterization of groundwater based on $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ and Cl^- concentration beneath the Osaka Plain, Southwest Japan,

- Seiya Yamashita, Hiroki Mukai, Naotaka Tomioka, Hiroyuki Kagi, Yohey Suzuki (2019) Iron-rich Smectite Formation in Subseafloor Basaltic Lava in Aged Oceanic Crust, Scientific report.
- 上沢 進, 張 銘, Robert C. Borden, 駒井 武 (2019) 難透水性地盤におけるバイオレメディエーションのための浄化促進剤投入方式に関する研究 – ウォータージェットを用いた現場実証試験 –, 地盤工学ジャーナル.
- 上沢 進, 張 銘, 駒井 武 (2019) 難透水性地盤におけるバイオレメディエーションのための浄化促進剤投入方式に関する研究 – 基本性能に関する理論的検討 –, 地盤工学ジャーナル.
- Adi Maulana, Theo van Leeuwen, 高橋 亮平, Sun-Lin Chung, 実松 健造, Huan Li, Ulva Ria Ifran (2019) Geochemistry and geochronology of VHMS mineralization in the Sangkaropi district, central-West Sulawesi, Indonesia: Constraints on its tectono-magmatic setting, ORE GEOLOGY REVIEWS.
- 井本 由香利, 保高 徹生 (2019) バッチ型土壌溶出試験における試験条件の影響比較, 第13回環境地盤工学シンポジウム論文集.
- 保高 徹生, 江種 伸之 (2019) テトラクロロエチレン及びその分解生成物の分解定数が到達距離に与える影響の基礎的検討, 第13回環境地盤工学シンポジウム論文集.
- 井岡 聖一郎, 町田 功 (2019) 青森県藤崎町における深度10m以浅地下水の硫酸還元反応に関連した化学種の水質調査, 日本水文科学会誌.
- 片山 泰樹, 鎌形 洋一 (2019) Genus Methanomicrobium Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria.
- 坂本 靖英, 金子 冬生, 中野 裕介, 中村 謙吾, 駒井 武 (2019) Numerical Study on Enhanced Gas Recovery from Methane Hydrate Reservoir during In Situ Heating Process by Acid Injection, INTERNATIONAL JOURNAL OF OFFSHORE AND POLAR ENGINEERING.
- Manami Kitamura, Hiroko Kitajima, Hiroki Sone, Yohei Hamada, Takehiro Hirose (2019) Strength profile of the inner Nankai accretionary prism at IODP Site C0002, Geophysical Research Letters.
- 木村 志照, 三浦 俊彦, 鈴木 和明, 保高 徹生, 野田 泰史, 足立 とう子, 橋 宏和 (2019) 気泡シールド工事で発生する気泡混合土の環境影響評価, 材料.
- Jae Hoon Kim, Jin-Han Ree, Jeong-Heon Choi, Naveen Chauhan, 廣瀬 丈洋, 北村 真奈美 (2019) Experimental Investigations on Dating the Last Earthquake Event using OSL Signals of Quartz from Fault Gouges, TECTONOPHYSICS.
- 三好 陽子, 石橋 純一郎, 上原 誠一郎, 島田 和彦, Kevin Faure (2019) The subseafloor thermal gradient at Iheya North Knoll, Okinawa Trough, based on oxygen and hydrogen isotope ratios of clay minerals, JOURNAL OF VOLCANOLOGY AND GEOTHERMAL RESEARCH.
- 高橋 幸土, 角皆 潤, 中川 書子, 鋤柄 千穂 (2019) Stable hydrogen and oxygen isotopic compositions of water vapor in volcanic plumes sampled in glass bottles using cavity ring-down spectroscopy, JOURNAL OF VOLCANOLOGY AND GEOTHERMAL RESEARCH.
- 原 淳子, 川辺 能成, 永瀬 弘喜, 友口 勝, 張 銘 (2019) 建設残岩からの有害元素溶出特性の評価, 第24回地下水・土壤汚染とその防止対策に関する研究集会講演集.
- 後藤 宏樹, 杉原 光彦, 池田 博, 西 祐司, 石戸 恒雄, 徂徠 正夫 (2019) Continuous gravity observation with a superconducting gravimeter at the Tomakomai CCS demonstration site, Japan: Applicability to ground-based monitoring of offshore CO2 geological storage, Greenhouse Gases-Science and Technology.
- 北村 真奈美, 北島 弘子, 曾根 大貴, 濱田 洋平, 廣瀬 丈洋 (2019) Strength profile of the inner Nankai accretionary prism at IODP Site C0002, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS.
- Rivai Alvin Tomy, 米津 幸太郎, Syafrizal, 実松 健造, Damar Kusumanto, 今井 亮, 渡邊 公一郎 (2019) A low-sulfidation epithermal mineralization in the River Reef Zone, the Poboya prospect, Central Sulawesi, Indonesia: Vein textures, ore mineralogy, and fluid inclusions, RESOURCE GEOLOGY.
- 申 文浩, 久保田 富次郎, 万福 裕造, 鈴木 幸雄, 保高 徹生, 松波 寿弥, 太田 健 (2019) Behavior of radiocesium in decontaminated paddy fields in Fukushima Prefecture, Japan, PADDY AND WATER ENVIRONMENT.
- Tomohiko Itabashi, 保高 徹生, Jining Li, Yohey Hashimoto, Masato Ueshima, Hirofumi Sakanakura, 井本 由香利, Masaaki Hosomi (2019) Speciation and Fractionation of Soil Arsenic from Natural and Anthropogenic Sources: Chemical Extraction, Scanning Electron Microscopy, and Micro-XRF/XAFS Investigation, ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY.
- 川辺 能成 (2019) Kinetic parameters of Pseudonocardia dioxanivorans in the presence of heavy metals, Proceedings of MEWE2019.
- 雷 興林, 王志偉, 蘇 金蓉 (2019) Possible link between long-term and short-term water injections and earthquakes in salt mine and shale gas site in Changning, south Sichuan Basin, China, Earth

and Planetary Physics.

柳澤 教雄, 増田 善雄, 佐藤 真丈, 笠井 加一郎, 大里 和己, 佐倉 弘持 (2019) The material corrosion test on pH adjustment condition by acid at geothermal field in Japan, Proceedings of 41th New Zealand Geothermal Workshop.

松本 親樹, 小野 昌彦, 町田 功 (2019) Application of Isotope Methods for Identifying Groundwater Flow Paths into Closed Mine Sites in Japan, Proc. of International Symposium on Earth Science and Technology 2019.

Yankun Sun, 薛 自求, Tsutomu Hashimoto, 雷 興林, Y. Zhang (2019) Distributed Fiber Optic Sensing System for Well-based Monitoring Water Injection Tests—A Geomechanical Responses Perspective, WATER RESOURCES RESEARCH.

有馬 謙一, 山田 一夫, 大迫 政浩, 保高 徹生, 芳賀 和子 (2019) 福島第一原子力発電所事故由来の放射性セシウムによる汚染物の処理・処分方法の総合的比較 (第 1 報) 焼却残渣の熱処理・灰洗浄を含む減容化プロセスの定量的評価方法の開発, 環境放射能除染学会誌.

Thierry SCHNEIDER, Mélanie MAÎTRE, Jacques LOCHARD, Sylvie CHARRON, Jean-François LECOMTE, Ryoko ANDO, Yumiko KANAÏ, Momo KURIHARA, Yujiro KURODA, Makoto MIYAZAKI, Wataru NAITO, Makiko ORITA, Noboru TAKAMURA, Koichi TANIGAWA, Masaharu TSUBOKURA, Tetsuo YASUTAKA (2019) The role of radiological protection experts in stakeholder involvement in the recovery phase of post-nuclear accident situations: Some lessons from the Fukushima-Daichi NPP accident, RADIOPROTECTION.

Hideki Tsuji, Yumiko Ishii, Moono Shin, Keisuke Taniguchi, Hirotsugu Arai, Momo Kurihara, 保高 徹生, Takayuki Kuramoto, Takahiro Nakanishi, Sangyoon Lee, Takuro Shinano, Yuichi Onda, Seiji Hayashi (2019) Factors controlling dissolved Cs-137 concentrations in east Japanese Rivers, SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT.

Ling Yang, 張 銘, Yonghong Hao (2019) Identification of hydraulic diffusivity of aquifer using the response of groundwater level to multi-frequency tides, Journal of Tianjin Normal University (Natural Science Edition).

Hongyu Zhai, Xu Chang, Yibo Wang, 雷 興林, 薛 自求 (2019) Analysis of acoustic emission events induced during stress unloading of a hydraulic fractured Longmaxi shale sample, JOURNAL OF PETROLEUM SCIENCE AND ENGINEERING.

Yaru Guo, Shuning Dong, Yonghong Hao, Zaibin Liu, Tian-Chyi Jim Yeh, Wenke Wang, Yaoquan Gao,

Pei Li, 張 銘 (2019) Risk Assessments of Water Inrush from Coal Seam Floor during Deep Mining Using a Data Fusion Approach Based on Grey System Theory, COMPLEXITY.

金子 信行, 猪狩 俊一郎 (2019) 天然ガスの生成・移動・集積過程における炭素同位体・化学組成の変化, 石油技術協会誌.

高橋 幸士, 中嶋 健, 鈴木 祐一郎, 森田 澄人, 佐脇 貴幸, 花村 泰明 (2019) Hydrocarbon generation potential and thermal maturity of coal and coaly mudstones from the Eocene Urahoro Group in the Kushiro Coalfield, eastern Hokkaido, Japan, INTERNATIONAL JOURNAL OF COAL GEOLOGY.

Makoto Matsushita, Shugo Ishikawa, Kenta Magara, Yu Sato, Hiroyuki Kimura (2019) The potential for CH₄ production by syntrophic microbial communities in diverse deep aquifers associated with an accretionary prism and its overlying sedimentary layers, Microbes and Environments.

Y. Nakashima, T. Sawatsubashi, S. Fujii (2019) Non-destructive quantification of moisture in powdered low-rank coal by a unilateral nuclear magnetic resonance scanner, International Journal of Coal Preparation and Utilization.

Yasuo Matsunaga, Wataru Kanda, Shinichi Takakura, Takao Koyama, Zenshiro Saito, Kaori Seki, Atsushi Suzuki, Takahiro Kishita, Yusuke Kinoshita, Yasuo Ogawa (2019) Magmatic hydrothermal system inferred from the resistivity structure of Kusatsu-Shirane Volcano, Journal of Volcanology and Geothermal Research.

Kyaw Zay Ya, 大竹 翼, 小出 葵, 実松 健造, 佐藤 努 (2019) Geochemical characteristics of ores and surface waters for environmental risk assessment in the Pinpet iron deposit, southern Shan State, Myanmar, RESOURCE GEOLOGY.

栗原 雄一, 高畑 直人, 横山 隆臣, 三浦 輝, 昆 慶明, 高木 哲一, 桧垣 正吾, 山口 紀子, 佐野 有司, 高橋 嘉夫 (2019) Isotopic ratios of uranium and caesium in spherical radioactive caesium-bearing microparticles derived from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant, Scientific Reports.

王 小龍, 雷 興林, 馬 勝利, Ye Zhang, 郭 志, 閻 学澤 (2019) Phase velocity structure and azimuthal anisotropy beneath Sichuan Basin and surrounding areas from Rayleigh wave, CHINESE JOURNAL OF PHYSICS.

月村 勝宏, 鈴木 正哉 (2019) Quantifying nanoparticles in clays and soils with a small-angle x-ray scattering method, JOURNAL OF APPLIED CRYSTALLOGRAPHY.

加野 友紀, 佐藤 徹, 大山 裕之 (2019) Numerical Study on the Formations of Gas Channels and Subse-

- quent Bubbles in Unconsolidated Sandy Seabed Sediment Using a Coupled LBM-DEM Method, *Journal of Natural Gas Science and Engineering*.
- H. M. Zakir Hossain, Quazi Hasna Hossain, 亀井 淳志, 荒岡 大輔, Muhammad Sultan-UI-Islam (2019) Geochemical characteristics of Gondwana shales from the Barapukuria basin, Bangladesh: implications for source-area weathering and provenance, *Arabian Journal of Geosciences*.
- 杉田 創, 駒井 武 (2019) 石油系炭化水素を対象とした発光バクテリアを用いた簡易土壌汚染評価手法の開発2 –メタン系炭化水素(アルカン類)に関する急性毒性評価–, *地下水学会誌*.
- 杉田 創, 小熊 輝美, 張 銘, 原 淳子, 川辺 能成 (2019) 陰イオン交換樹脂を用いた亜ヒ酸 - ヒ酸分離手法について, *地下水学会誌*.
- Tomy Alvin Rivai, Syafrizal, Kotaro Yonezu, Thomas Tindell, Adrian J. Boyce, Kenzo Sanematsu, Shota Satori, Koichiro Watanabe (2019) The Dairi SEDEX Zn + Pb + Ag deposit (North Sumatra, Indonesia): Insights from mineralogy and sulfur isotope systematics, *Ore Geology Reviews*.
- Hiroto Kajita, Yuki Ota, Toshihiro Yoshimura, Daisuke Araoka, Takuya Manaka, Ouyang Ziyu, Shinya Iwasaki, Akihiko Inamura, Etsuo Uchida, Hongbo Zheng, Qing Yang, Ke Wang, Takuya Yanase, Atsushi Suzuki, Hodaka Kawahata (2020) Seasonal and spatial variations of chemical weathering in the Mekong basin: From the headwaters to the lower reaches, *Aquatic Geochemistry*.
- Mihoko Hoshino, Ming Zhang, Masaya Suzuki, Katsuhiko Tsukimura, Masaki Ohta (2020) Characterization of Pb-Bearing Minerals in Polluted Soils from Closed Mine Sites, *Water, Air, & Soil Pollution*.
- Hiroki Goto, Tsuneo Ishido, Masao Sorai (2020) Numerical study of reservoir permeability effects on gravity changes associated with CO₂ geological storage: implications for gravimetric monitoring feasibility, *Greenhouse Gases-Science and Technology*.
- Zaiyong Zhang, Wenke Wang, Chengcheng Gong, Ming Zhang (2020) A comparison of methods to estimate groundwater recharge from bare soil based on data observed by a large - scale lysimeter, *Hydrological Processes*.
- Yu Nagata, Yuki Tsunazawa, Kouji Tsukada, Yuichi Yaguchi, Yosuke Ebisu, Kohei Mitsuhashi, Chiharu Tokoro (2020) Effect of the roll stud diameter on the capacity of a high-pressure grinding roll using the discrete element method, *MINERALS ENGINEERING*.
- Hideyuki Nakano, Naoki Hirakawa, Yasuhiro Matsubara, Shigeru Yamashita, Takuo Okuchi, Kenta Asahina, Ryo Tanaka, Noriyuki Suzuki, Hiroshi Naraoka, Yoshinori Takano, Shogo Tachibana, Tetsuya Hama, Yasuhiro Oba, Yuki Kimura, Naoki Watanabe, Akira Kouchi (2020) Interstellar organic matter: a hidden reservoir of water inside the snow line, *Scientific Reports*.
- Nobuo Matsushima, Mitsuru Utsugi, Shinichi Takakura, Tadashi Yamasaki, Maki Hata, Takeshi Hashimoto, Makoto Uyeshima (2020) Magmatic-hydrothermal system of Aso Volcano, Japan, inferred from electrical resistivity structures, *Earth, Planets and Space*.
- Koji Ichimura, Kenzo Sanematsu, Yoshiaki Kon, Tetsuichi Takagi, Takashi Murakami (2020) REE redistribution during granite weathering: Implications for Ce anomaly as a proxy for paleoredox states, *American Mineralogist*.
- Kenta Asahina, Takeshi Nakajima, Kazuya Morimoto, Yasuaki Hanamura, Miyuki Kobayashi (2020) The effects of clay minerals on methylated naphthalenes as maturity indicators of sedimentary organic matter, *Chemistry Letters*.
- Yukari Imoto, Tetsuo Yasutaka (2020) Comparison of the impacts of the experimental parameters and soil properties on the prediction of the soil sorption of Cd and Pb, *Geoderma*.
- Kimihiro Hashiba, Katsunori Fukui, Kuniyuki Miyazaki and Kazuo Watanabe (2020) Mechanical and Cutting Characteristics of Cobalt-Rich Ferromanganese Crusts, *Rock Mechanics and Rock Engineering*.
- Tupaz, C. A. J., Watanabe, Y., Sanematsu, K., Echigo, T., Arcilla, C., Ferrer, C. (2020) Ni-Co Mineralization in the Intex Laterite Deposit, Mindoro, Philippines, *Minerals*.
- Aoyagi T., Inaba T., Aizawa H., Mayumi D., Sakata S., Charfi A., Suh C., Lee J., Sato Y., Ogata A., Habe H., Hori T. (2020) Unexpected diversity of acetate degraders in anaerobic membrane bioreactor treating organic solid waste revealed by high-sensitivity stable isotope probing, *Water Research*.
- Chongwei Li, Haiyan Zhang, Yonghong Hao, Ming Zhang (CA) (2020) Characterizing the heterogeneous correlations between the landscape patterns and seasonal variations of total nitrogen and total phosphorus in a peri-urban watershed, *Environmental Science and Pollution Research*.
- Shusaku Goto, Makoto Yamano (2020) Inversion of thermal conductivity and heat flow from borehole temperature data affected by recent variation in

ground surface temperature, Geothermics.

Yoshikawa, Seiko; Igura, Masato; Yasutaka, Tetsuo; Eguchi, Sadao (2020) Physicochemical and time factors affecting ¹³⁷Cs transfer through a paddy soil-rice system, *Soil Science and Plant Nutrition*.

Nakashima, Y. (2020) Development of a hand-held magnetic resonance sensor for the nondestructive quantification of fat and lean meat for fresh tuna, *Journal of Food Measurement and Characterization*.

Yoshikawa, M. and Zhang, M. (2020) Constraints in anaerobic microbial dechlorination, fermentation, and sulfate-reduction induced by high concentrations of tetrachloroethylene, *Water Air & Soil Pollution*.

Ling Yang, Ming Zhang (CA), Yonghong Hao, Tongke Wang and Zhixue Zhao (2020) Determining the hydraulic properties of coastal aquifer systems using groundwater response to tidal fluctuations: Applicability and limitations, *Coastal Engineering Journal*.

Xiaying Li, Xinglin Lei, Qi Li (2020) Influence of bedding structure on stress-induced elastic wave anisotropy in a tight sandstone, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*.

Hideyoshi Yoshioka, Mio Takeuchi, Susumu Sakata, Hiroshi A. Takahashi, Manabu Takahashi, Susumu Tanabe, Takeshi Hayashi, Akihiko Inamura, and Masaya Yasuhara (2020) Microbial methane production and oxidation in the Holocene mud beneath the Kanto Plain of central Japan, *Geochemical Journal*.

Tetsuo Yasutaka, Yumiko Kanai, Momo Kurihara, Tatsuaki Kobayashi, Akihiko Kondo, Terumasa Takahashi (2020) Dialogue, radiation measurements and other collaborative practices by experts and residents in the former evacuation areas of Fukushima: A Case Study in Yamakiya District, Kawamata Town, *Radioprotection*.

Xinglin Lei, Jin Rong Su, Zhi Wei Wang (2020) Growing seismicity in the Sichuan Basin and its association with industrial activities, *SCIENCE CHINA Earth Sciences*.

Jiwon Eom, Toshihiro Yoshimura, Daisuke Araoka, Toshitaka Gamo, Hodaka Kawahata (2020) Mg Isotopic Composition of Submarine Vent Fluids from Arc and Back-arc Hydrothermal Systems in the Western Pacific, *Chemical Geology*.

Momo Kurihara, Yuichi Onda, Tetsuo Yasutaka (2020) Difference in leaching characteristics and capacities of dissolved radiocaesium and potassium from litter layer in Japanese cedar and broadleaf forests in Fukushima, Japan, *Journal of Environ-*

mental Radioactivity.

Arie Pujiwati, Jiajie Wang, Kengo Nakamura, Yoshihige Kawabe, Noriaki Watanabe, Takeshi Komai (2020) Data-driven analysis for source apportionment and geochemical backgrounds establishment of toxic elements and REEs in the Tohoku region, Japan, *Chemosphere*.

Shinji Matsumoto, Isao Machida, Klaus Hebig-Schubert, Sarah Zeilfelder, Narimitsu Ito (2020) Estimation of Very Slow Groundwater Movement Using a Single-Well Push-Pull Test, *Journal of Hydrology*.

Hai-Bo Qin, Shitong Yang, Masato Tanaka, Kenzo Sanematsu, Carlo Arcilla, Yoshio Takahashi (2020) Chemical speciation of scandium and yttrium in laterites: New insights into the control of their partitioning behaviors, *Chemical Geology*.

Tupaz, C. A. J., Watanabe, Y., Sanematsu, K., Echigo, T., Arcilla, C., & Ferrer, C. (2020) Mineralogy and geochemistry of the Berong Ni-Co laterite deposit, Palawan, Philippines, *Ore Geology Reviews*.

Krzysztof Hryniewicz, Yusuke Miyajima, Kazutaka Amano, Magdalena N. Georgieva, Michal Jakubowicz, Robert G. Jenkins, Andrzej Kaim (2020) Formation, diagenesis and fauna of cold seep carbonates from the Miocene Taishu Group of Tsushima (Japan), *Geological Magazine*.

Yasong Feng, Yanjun Du, Annan Zhou, Ming Zhang, Jiangshan Li, Shiji Zhou, Weiyi Xia (2020) Geo-environmental properties of industrially contaminated site soil solidified/stabilized with a sustainable by-product-based binder, *Science of the Total Environment*.

Ying-Hui Yang, Jyr-Ching Hu, Qiang Chen, Xinglin Lei, Jingjing Zhao, Weile Li, Rui Xu, Chun-Ying Chiu (2020) Shallow slip of blind fault associated with the 2019 Ms 6.0 changing earthquake in fold-and-thrust belt in salt mines of Southeast Sichuan, China, *Geophysical Journal International*.

Zhiwei Wang, Xinglin Lei, Shengli Ma, Xiaolong Wang, Yongge Wan (2020) Induced earthquakes before and after cessation of long-term injections in Rongchang gas field, *Geographical Research Letter*.

Hiroki Mukai, Yoshiaki Kon, Kenzo Sanematsu, Yoshio Takahashi, Motoo Ito (2020) Microscopic analyses of weathered granite in ion-adsorption rare earth deposit of Jianxi Province, China, *Scientific Reports*.

Satoshi Furota, Ken Sawada, Gentaro Kawakami (2020) Depositional processes of plant frag-

ment-concentrated sandstones in turbiditic sequences evaluated using terrestrial plant biomarkers in the Miocene Kawabata Formation (Yubari, Hokkaido), Japan, *International Journal of Coal Geology*.

Yusuke Miyajima, Ayaka Saito, Hiroyuki Kagi, Tatsunori Yokoyama, Yoshio Takahashi, Takafumi Hirata (2020) Incorporation of U, Pb, and rare earth elements in calcite through crystallization from amorphous calcium carbonate: simple preparation of reference materials for microanalysis, *Geostandards and Geoanalytical Research*.

Masashige Shiga, Masaatsu Aichi, Masao Sorai (2020) Quantitative Investigation on the Contributing Factors to the Contact Angle of the CO₂/H₂O/Muscovite Systems Using the Frumkin-Derjaguin Equation, *Geofluids*.

Toshihiro Yoshimura, Shigeyuki Wakaki, Tsuyoshi Ishikawa, Toshitaka Gamo, Daisuke Araoka, Naohiko Ohkouchi, Hodaka Kawahata (2020) A systematic assessment of stable Sr isotopic compositions of vent fluids in arc/back-arc hydrothermal systems: effects of host rock type, phase separation, and overlying sediment, *Frontiers in Earth Science*.



令和3年1月22日発行

■編集・発行 国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門
〒305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1 (中央第7)
TEL 029-861-3633

地圏資源環境研究部門 研究成果報告会2020
GREEN Report 2020
AIST04-C00014-19

本誌記事写真等の無断転載を禁じます。