GREEN Report 2018



はじめに



地圈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 Mitsuhata

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17回目となります。昨年度以来、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。本年度は、産業技術総合研究所の第4期中長期計画(5カ年)の4年目に当たります。第4期の特色は、産業技術政策の中核的実施機関として最先端研究・革新的技術シーズを事業化(民間企業による商業化)につなぐ「橋渡し」機能と目的基礎研究の強化、地域イノベーションの推進がミッションとなっていることです。当部門は GSJ 傘下の研究ユニットとして、「地圏の資源と環境に関する研究と技術開発」に取り組み、社会生活の改善と向上、さらには人類の持続可能な発展に貢献することをミッションに掲げております。第4期における当部門の研究課題は以下のとおりです。これら課題の中で地熱・地中熱に関する研究は、産総研再生可能研究センターの地熱チームおよび地中熱チームと連携し推進しております。

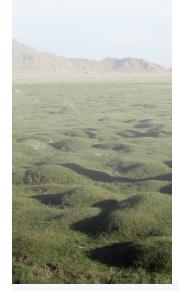
- ① 地下資源評価として,燃料資源,鉱物資源ならびに地熱・地中熱に関するポテンシャル評 価と調査の実施.
- ② 地下環境利用評価として,二酸化炭素地中貯留や放射性廃棄物の地層処分等に関する地質モデリング技術の開発と調査の実施.
- ③ 地下環境保全評価として,資源開発や各種産業活動等に起因する土壌・地下水に関する 評価手法の開発と調査を実施.

上記課題に対して、政策ニーズに対応した国家研究プロジェクトの牽引、産業ニーズに対応した民間企業との共同研究や技術コンサルティングの推進、また地域のニーズに対応した自治体等との連携を行っております。さらに将来的な展開を見据えて新たなシーズを創出する目的基礎研究、および GSJ が進める知的基盤整備事業の一環として地下資源・環境に関する基盤情報の整備を推進しております。

今回の報告会は「粘土・粘土鉱物 一枯渇の危機にある貴重な国内資源一」というテーマで開催します。粘土は微粒子で構成され、それが電気的に負に帯電していることに大きな特徴があります。そして、そのことに起因して、粘土は粘性、吸着性、イオン交換性、保水性、膨潤性、低透水性および可塑性等の様々な性質を持ち、我々人間の生活に大きく関係しております。地域産業としての窯業に関して、粘土は陶磁器の原料として国内で供給され、全国各地の独自の陶磁器は、近年、ジャパンブランドとして海外からの注目を浴びつつあります。また地下環境保全分野で、粘土は地下汚染物質の漏洩遮蔽や吸着浄化に利用されおり、放射性廃棄物の地層処分では人工バリヤの緩衝材として利用が計画されています。さらに粘土の吸着性能を人工的に改良し、産業での新たな用途を開発する研究も行われています。本報告会ではこれらに関連した話題を報告させて頂きます。この他にも粘土に関連した話題は、まだまだ沢山あります。地下資源に関して、粘土化変質帯は金属鉱床や地熱資源探査の重要な指標となっています。地質災害分野では、地滑りは、斜面での降雨による粘土層の膨潤・強度低下に起因します。そして、言うまでもなく農業にとって肥料の吸着性や保水力を有した粘土を多く含んだ土壌は重要です。今回の報告会を契機に、粘土をキーワードとした多方面に渡る分野横断的で統合的な研究へと発展できないかと思います。

本報告会では,各研究グループや個人の研究成果も詳しく知って頂くために,例年同様にポスターセッションの場を設け,ご参加頂いた方との研究交流を深めてまいりたいとも考えております.土壌汚染や地下水環境,鉱物資源,燃料資源,微生物,新材料・新技術の開発など,様々な研究成果の紹介を用意しております.

私どもは本報告会を,部門の研究成果を皆様にお知り頂くと同時に,皆様から直接,貴重なご意見を伺う絶好の機会と位置づけ,毎年定期的に開催しています.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

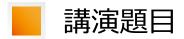
13:30~13:35	開会のあいさつ			
13:35~13:50	地圈資源環境研究部門 研究紹介	研究部門長	光畑 裕司	
13:50~14:30	国内非金属鉱物資源の現状と課題	鉱物資源研究グループ	高木 哲一	6
14:30~15:10	〔招待講演〕九州の陶石資源と成因の考察	長崎県窯業技術センター	武内 浩一	8
15:10~15:50	ポスターセッション			
15:50~16:30	〔招待講演〕粘土とその応用	千葉科学大学	八田 珠郎	10
16:30~17:00	ベントナイトなどのメチレンブルー吸着量の 測定方法の標準化に関する研究	地圏化学研究グループ	三好 陽子	12
17:00~17:30	粘土系吸着剤を用いた熱利用システム	地圏化学研究グループ	鈴木 正哉	14
17:30~17:35	閉会のあいさつ			
18:00~	懇親会			

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	18
鉱物資源研究グループの紹介	鉱物資源研究グループ長	相馬 宣和	20
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	24
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	26
地圏化学研究グループの紹介	地圏化学研究グループ長	鈴木 正哉	28
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	30
CO2地中貯留研究グループの紹介	CO2地中貯留研究グループ長	徂徠 正夫	32
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	張銘	34
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	36

ポスター概要

有機複合材料への利用に向けた雲母粘土鉱物の膨潤制御	森本和也,田村堅志,佐久間博,鈴木正哉	40
低温廃熱を利用した熱輸送システムにおける蓄熱材の開発	鈴木正哉,万福和子,三好陽子,森本和也	40
リンの資源動向	星野美保子	41
選鉱の高度化を目的とした粉体シミュレーション技術開発	綱澤有輝	41
富士山周辺地下水の δ D, δ ¹⁷ O, δ ¹⁸ O の高精度分析	町田 功, 小野昌彦, 井川怜欧, 丸井敦尚	42
島嶼部における地下水賦存状況の評価	小野昌彦, 松本親樹, 井川怜欧, 成冨真由, 利部 慎	42
資源開発と地下水汚染 〜石炭燃焼灰を用いた環境低負荷型の対策〜	松本親樹	43
釧路炭田に分布する古第三紀浦幌層群石炭の根源岩評価	高橋幸士 , 中嶋 健 , 鈴木祐一郎 , 森田澄人 , 佐脇貴幸 , 花村泰明	43
NMR プロファイリングを駆使した簡便な原油の特徴解析 - 探鉱技術への応用を目指して -	朝比奈健太, 根本 直	44
金属元素の安定同位体比分析手法の開発と高度化	荒岡大輔	44
天然ガス中のネオペンタン測定の重要性	猪狩俊一郎	45
クロロエチレン類の微生物分解速度と影響因子に関する検討	張 銘,吉川美穂	45
Effects of Silicic Acid on Arsenite Removal Performance of Magnesium Oxide and Hydroxide	杉田 創, 小熊輝美, 張 銘, 原 淳子, 川辺能成	46
トンネル掘削岩からの有害元素溶出特性の評価	原 淳子, 川辺能成, 張 銘, 永瀬弘喜, 友口 勝	46
地震液状化で変形したコアの CT 画像のマルチフラクタル解析	中島善人, 小松原純子	47
時間領域空中電磁探査における探査深度・水平影響領域の 簡易な把握手法の開発	小森省吾, 光畑裕司	47
山葵沢地熱地域における絶対重力の繰り返し測定について	堀川卓哉, 西 祐司, 杉原光彦, 村田泰章, 滝沢顕吾, 野内大介, 阿島秀司	48
超臨界条件下における花崗岩の変形挙動	北村真奈美, 高橋美紀	48
流体岩石反応に関わる溶液化学的性質の熱力学的な整理	佐々木宗建	49
水理・力学連成解析の高度化のための軟岩の変形と浸透性の関係解明	藤井孝志, 徂徠正夫, 雷 興林	49



国内非金属鉱物資源の現状と課題

Present states and issues on non-metallic mineral resources in Japan

鉱物資源研究グループ: 高木哲一 Mineral Resources Research Group:

Tetsuichi Takagi

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

1. はじめに

金属の抽出を目的とせず,鉱物が持つ特性や化学組成を 利用する鉱物資源を非金属鉱物資源(以下,非金属資源)と 言う. 鉱物の形態で様々な産業に用いられることから,工業 原料鉱物とも呼ばれる. 代表的な非金属資源は石灰石, 珪 石・珪砂, 粘土であるが, 広義の非金属資源には砕石・骨材 (砂利),石材なども含まれる.現在,国内の稼行金属鉱山は, 鹿児島県の菱刈鉱山など数鉱山を残すのみとなったが,非 金属鉱山は1,000ヵ所以上が稼行している. この理由は, 非 金属資源の容積単価が金属資源より安く輸送費がかさむこ と、国内鉱の性質に合わせた用途が定着していること、など による. 非金属資源は, 陶磁器などの地場産業に結びついて いる場合が多く,地方の活性化にも重要な役割を果たして いる. ところが,第二次世界大戦後から高度成長期に開発さ れた多くの非金属鉱山が寿命を迎えようとしている. ここ では,特に粘土資源に注目して現状を報告し,将来の方向性 について議論してみたい.

2. 粘土資源の現状

粘土鉱物とは径5µm 以下の層状珪酸塩鉱物を示すが,一般に粘土と言えば粘土鉱物を主体とする可塑性のある土を意味する. 以下に代表的な粘土資源について解説する.

カオリン: カオリナイト (Al₄Si₄O10(OH)8) を主体とする 白色の粘土で,国内では愛知県瀬戸地方,岐阜県東濃地方が 主要な産地である.両地方では,粗粒な石英粒を多く含むカオリン質粘土を蛙目粘土,有機物に富み石英粒に乏しいカオリン質粘土を木節粘土と呼ぶ. いずれも湖沼・河川性の 堆積物で,水ひによって精製されたカオリンは高い可塑性を持つ特徴がある.瀬戸焼,美濃焼の貴重な原料として,年間15万トン程度が採掘されているが,長年の採掘により良質な粘土が枯渇しつつある.現在,新規鉱山の開発や未利用低品位鉱の利用が喫緊の課題となっている.カオリンは米国等から年間数十万トン輸入されており,塗料,ゴム,接着剤,農薬等への添加剤に利用されているが,可塑性や価格の問題で陶磁器原料にはほとんど利用されていない.2000年代初頭まで熱水性カオリン(入来,関白,板谷,矢野馬木など)も盛んに採掘されたが,現在は全て終掘している.

ベントナイト: ベントナイトは, モンモリロナイト((Na, Ca)_{0.33}(Al,Mg)₂Si₄O₁₀(OH)₂・ nH_2O) を主体とする灰黒色 ~青灰色の粘土で, ガラス質火山灰や軽石が続成/熱水変質作用により粘土化したものである. 山形県, 宮城県, 新潟

県などで年間25万トン程度採掘され、十数万トンが中国、米国などから輸入されている。ベントナイトは、吸水による膨潤性、ゲル化による高い粘性、イオン吸着能などの特性があり、土木・建設用(止水剤、掘削泥など)、鋳物砂粘結剤、ペットのトイレ砂などに用いられる。カオリンと同様、粘土の特性を利用する資源であり、各鉱山産ベントナイトには各々適した用途や価格帯がある。したがって、輸入鉱による国内鉱の代替は容易ではなく、国内稼行鉱山の拡張・延命が重要な課題となっている。

セリサイト: セリサイト ($KAl_2AlSi_3O_{10}(OH)_2$) は雲母類の 1 種であり、花崗岩や珪長質火山岩類の熱水変質部に微細結晶として産する. 現在稼行している鉱山は愛知県東栄町の粟代鉱山のみで、年間数百トン程度生産されている. 同鉱山のセリサイトは、薄膜化すると美しい真珠光沢を示すことから、主に化粧品の原料として利用されている. 粒度、色調、結晶の剥がれやすさなどが独特であり、比肩する性能の海外鉱は知られていない. したがって、今後も同鉱山からの安定した供給が求められており、新鉱体の探査・開発が急がれている.

陶石:陶石は,石英とセリサイトを主成分とする熱水変質岩であり,白色度が高く,粉砕すると高い可塑性を持つことから,有田焼,九谷焼などの高級陶磁器や衛生陶器の原料として長年利用されている.現在,岡山県備前市や熊本県天草市などで年間2万トン程度が生産されている.良質な陶石の賦存域は地表下の熱水変質帯や岩脈などに限定されているため,高品位少量生産を維持して,鉱山の長寿命化を図っている.



瀬戸市暁鉱山の典型的な蛙目粘土. 粗粒な石英がカエルの 目に似ていることから付いた呼称.

ろう石: パイロフィライト (Al₂Si₄O₁₀(OH)₂) を主成分とする淡黄緑色の粘土で,主に流紋岩を母岩とする熱水変質岩として産する. シリカ・アルミナ原料として主に耐火レンガやガラス繊維等に用いられる. 1990年代までは,広島県,兵庫県,山口県などで年間数十万トン規模で採掘されていたが,現在は4万トン程度に落ち込み,替わって中国,韓国からの輸入鉱が中心となっている.

3. 課題と将来の方向性

鉱山は,一般に規模が大きいものでも50-70年程度が寿



天草陶石・伝兵衛木場鉱床の露頭. 中央の白色岩脈が良質 な陶石となっている.

命の限界であり、ここに来て多くの非金属鉱山で鉱量枯渇 の問題が顕在化している.しかし,資金不足,環境問題,後継 者不在など,鉱区の拡張や新規鉱山の開発には壁が立ちは だかっている.この状況は、粘土資源のみならず珪石・珪砂, 砕石・骨材資源なども同様である. 1990年代以降, 経済の 低迷や生活様式の変化により多くの非金属資源の需要は半 減したが、いずれも生活や産業活動に必須な資源であり、一 定規模の生産は継続しなければならない. 金属資源やろう 石は,特定の金属や酸化物の抽出・利用が目的であり産地 を問わないため、安価な輸入鉱によって国内鉱がほぼ代替 された. しかし, 多くの非金属資源は各鉱山の鉱物特性を利 用したものであり、代替可能な海外鉱が存在するとしても、 切替には設備,工程,価格などを見直す必要性が生じる.し たがって,非金属資源の安定供給には,稼行鉱山の拡張・長 寿命化,新規鉱山の開発は避けて通ることができない.この ような非金属資源の特質は、米など農産物に似ているとも 言える.

非金属鉱業は、農業や金属鉱業と異なり、鉱種・地域毎に組合等が分かれていて組織力が弱い、今後、現状を打開するには、各非金属鉱業で閉じていた壁を取り払い、非金属資源を利用する産業界(ガラス、セラミック、自動車、建設など)を含めて危機感を共有し、持続的な開発・供給を目指す協力体制を構築すべきである。そのために産総研が果たすべき役割は大きいと思われる。

九州の陶石資源と成因の考察

Resource of 'Toseki: pottery stone' in Kyushu and the hypothesis on its ore genesis.

長崎県窯業技術センター:武内浩一

Senior Researcher, Ceramic Research Center of

Nagasaki: Koichi Takeuchi

e-mail: takeuchi@pref.nagasaki.lg.jp

1. はじめに

窯業は明治時代から呼称されたことばで、経済産業省の工業分類にも窯業・土石という大項目が存在している。経済的な内容はファインセラミックス製品の出荷額が大半を占めているが、中項目に陶磁器という昔ながらの窯業分野も健在である。陶磁器産業の製品はタイル・衛生陶器・碍子(がいし)と食器で、これらは地殻の構成物質(岩石や鉱物)に化学的な処理をほとんど加えず直接利用する産業で、地球科学に最も近い産業として発展してきたといえる。ここでは日本独特の陶磁器原料である陶石について、現在主力の産地である九州の資源状況を報告する。また、筆者なりの成因モデルをご紹介して、皆様のご意見をいただければありがたく存じます。さらに、現在産総研と実施中の共同研究と、可塑性セリサイト資源としてポテンシャルが期待される土橋セリサイトの特長について紹介する。

2. 九州の陶石資源

陶石という言葉を調べると、「単味で焼成して陶磁器になる岩石」という説明が見られるが、実際に陶石として採掘されている原料には、より幅広い種類の岩石が含まれている。例えば、対州陶石は石英と曹長石で構成された岩石で、長石の代用原料として重要であるが、粘土鉱物を含んでいないため単味で陶磁器を作ることはできない。

九州の窯業原料の分布を図1に示す¹⁾. 九州ではセメント原料としての石灰石と珪石の生産が9割近くを占め,陶石は数%程度である.しかし,陶石は江戸時代初期に日本で最初の白磁の原料として利用されて以来,400年の長きにわたり生産され続け,西九州(いわゆる肥前地区)の磁器生産に大きく貢献した原料で,現在においても必須の存在となっている.

これまでに採掘された主な陶石産地は以下のとおりであるが、多くは資源量枯渇や需要減少のため生産活動を停止している. 現在生産されているのは、天草陶石(3社)と対州陶石(1社)である.

·天草陶石,泉山陶石,三股陶石,対州陶石,白川山土,八 代陶石

3. 天草陶石

(1)地質学的課題

天草陶石は熊本県天草下島の西海岸に産出する陶磁器用原料で,統計によると1975年以降約150万トンが生産され

た. それ以前の高度成長期にもほぼ同程度の生産量が推計できるので,戦後だけでも300万トン以上が生産されたと考えられる. 陶磁器製品の販売量減少に伴って,1970年代をピークとして生産量は減少を続けており,20年前に8社が操業していた陶石採石業者は現在3社となっている.

陶石鉱床は幅5~10m, 延長4~5km のほぼ直立した 岩脈状で, 皿山脈など数本の鉱床が存在する. 陶石を構成する鉱物は, 石英・カオリナイト・雲母族粘土鉱物(以下セリサイト)・曹長石・菱鉄鉱・方解石などである. 原岩は流 紋岩質の岩脈であると推定され, これまでに多くの研究が 行われてきた. しかし, 原岩から陶石化するプロセス, 例えば変質温度・塩濃度・二酸化炭素分圧など, 変質を引き起こした流体の物理化学的性質のデータは少なく, 長大な岩脈がまるごと陶石に変質するような鉱床生成過程についてはほとんど解明されていない. 講演では他地域の鉱床の成因と比較しながら, 天草陶石は一般的な熱水変質作用では説明が難しく, 「天草タイプ」の仮説を提案してみたい²⁾(図2).

(2) 持続的資源としての課題

天草陶石を主原料としている肥前地区の窯元から,「埋蔵

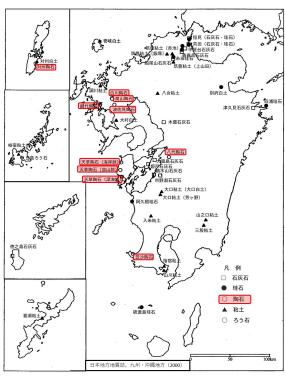


図1 九州の窯業原料産地(陶石鉱床を赤八ッチ)

(Type 1)(Type 2)(Type 3)(Type 4)AutometasomatismVolcanic gas alteration Geothermal alterationAmakusa type(自己変質作用)(噴気ガス変質作用)(地熱系熱水変質作用)(天草タイプ)



図2 陶石の生成モデル

量は大丈夫か?」という質問を受けることがある. 1970年代に熊本県工業試験場が開発した「低品位陶石の塩酸脱鉄技術」は,天草陶石の資源量維持に貢献した技術として特筆に値する(図3).かつてはFe₂O₃を1%以上含む陶石は白磁製造には使えず,規格外品として野積みされていたが,本技術で鉄分を0.4%以下に減らすことが可能となった. 脱鉄処理により累計60万トン以上の低品位陶石が高品質化されて出荷され,今後も天草陶石を有効利用するための重要技術として位置付けられている. さらに耐火度が低いためにこれまで採掘されなかった「低火度陶石」の利用方法も研究されており,この技術が使用されるようになれば資源量は飛躍的に拡大することが見込まれる.

しかしながら、資源の量的確保と原料の安定供給は、単純には結びつかない。企業活動としての原料採掘を考えると「人・もの・金」の安定が重要であるが、需要減退による生産量減少と出荷額の縮小が企業活動を困難にしている。特に陶石採掘業では「人」の確保が難しくなっている。つまり天草陶石での原料供給の課題は資源量確保ではなく、企業としての持続的活動の維持である。生産量を維持・増大する方策、つまり天草陶石の特性を活かした、新しい用途とマーケットの開拓が強く求められている3)。

4. 陶石を利用するために(最近の研究紹介)

(1) 乾式研磨法(ここまで見えた陶石の素顔!)

光学顕微鏡やSEM/EDSによる岩石や鉱石の組織観察は、 構成鉱物の晶出順序や変質過程を考察する上で重要な手が かりを与えてくれる.しかし、粘土鉱物を多く含む岩石の場 合、薄片や研磨片を作製する過程で、研磨に使用する液体が 原因で多くの鉱物が脱落して組織が欠損し、岩石が持つ本 来の組織を観察することが困難になる場合が多い.産総研 が開発した乾式研磨法は試料作製に伴うこれらの欠点を解 決する画期的な方法である.

乾式研磨法で作製した試料では、これまで見えなかったさまざまな原岩組織が明らかとなって、陶石の変質過程を考えるための新しい知見を得ることができた(図4)、微細で精細な組織を破壊することなく薄片に作り込むことができる乾式研磨法は、粘土鉱物を多く含む変質岩(窯業原料、地熱変質帯、熱水鉱床の母岩)の観察にとって、不可欠の試料作製方法である。



図3 塩酸脱鉄プラント(木山陶石鉱業所)

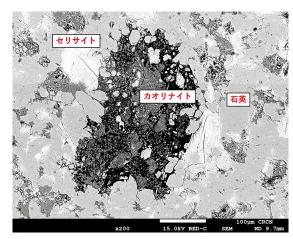


図4 乾式研磨法で作製した天草陶石の断面(反射電子像) 試料:2等石

(2) 土橋セリサイト

土橋鉱山は岡山県備前市三石地区の日本有数のロウ石鉱 床群の一角を占め、昭和39年から本格的開発が始まった。 土橋セリサイトは鉱山では「陶石」と呼称されており、構 成鉱物はセリサイトと石英で、主に衛生陶器と高級洋食器 に使用されている。

わが国ではセリサイト質原料も閉山が相次いで供給が困難になっている. 以前は可塑性に富んだ原料として村上セリサイトが広く利用されていたが,これも入手できなくなった. 陶磁器業界では村上セリサイトに替わる原料を求めていたが,スタンプミルと水簸分級で精製した土橋セリサイトが,良好な可塑特性を示すことが確かめられた. 土橋セリサイトの特長は,1µm以下の粒子が45%にもなる極微粒の粒子で構成されていることである. サブミクロン鉱物資源として新しい用途の開発が待たれる.

参考文献

- 1) 武内浩一: 熱水性非金属鉱床 熱水性陶石・粘土鉱床, 日本地方地質誌8 九州・沖縄地方, p527-537 (2010)
- 3 武内浩一: 天草陶石鉱床の特徴と鉱床生成に関する 考察,岩石鉱物科学45,62-71,(2016)
- 3) 尾畑成造, 武内浩一: 陶磁器用原料の現状と課題, セラミックデータブック2017/18, 80-83, (2017)

粘土とその応用

Clay and its applications

千葉科学大学:八田珠郎

Chiba Institute of Scienceation: Tamao Hatta

e-mail: thatta@cis.ac.jp

1. はじめに

粘土は、セラミックス、化学関連、ナノテクノロジー・ナノハイブリッド材料、バイオ関連、健康と医療、環境、土木・建築、農業、石油・地熱開発、鉱工業等、種々の分野で利用されている¹⁾.

各分野のみならず、粘土のさらなる応用を期待するならば、直接的な利用以外に、従来多くは行われなかった条件での粘土の特性を検討する必要がある。本稿では粘土の高温加熱を例にとり、今後の応用に重要な研究方法の指摘を目的とする。

2. 粘土鉱物等の加熱による変化

日本粘土学会参考粘土試料の TG および DTA 曲線を示す (図 1 および図 2). 測定は室温から1,100 $^{\circ}$ まで, 10° / min の昇温速度で得られた結果である. しかし, さらに昇温 させた結果は多くは記載されていない. そこで, JCSS-3101 モンモリロナイト, カオリナイト JCSS-1101b とともにゲータイト FeO(OH), ギプサイト Al(OH) $_3$, $^{\circ}$ へマタイト Fe $_2$ O $_3$, $^{\circ}$ バーミキュライト(福島)(Mg, Fe $_2$ +, Al) $_3$ (Al,

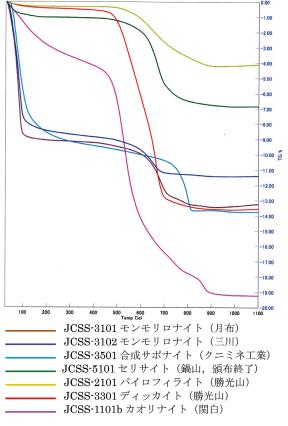


図1 日本粘土学会参考粘土試料の TG 曲線.

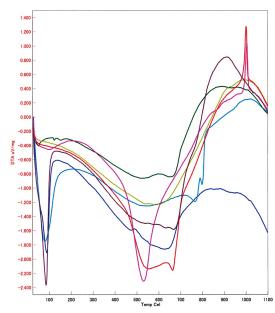


図 2 日本粘土学会参考粘土試料の DTA 曲線. 凡例は図 1 と同様.

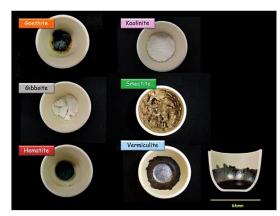


図 3 1,550℃加熱溶融 - 冷却後の試料.

 $Si)_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$ に対して、1,550℃までの加熱を行った。 アルミナるつぼを用い、昇温速度を8.5℃ /min とし 1,550℃まで昇温した後、1 時間保持し、室温まで 6 時間かけて降温させた。実験終了後の状態を図 3 に示す。とくにスメクタイト(モンモリロナイト)では薄い片状、バーミキュライトではきわめて高強度の生成物が得られた。 これらの生成物は XRD により次のように同定された。 ゲータイト→へマタイト、ギブサイト→コランダム、ヘマタイト→へマタイト、カオリナイト→ムライト($Al_6O_{13}Si_2$)・シリマナイト(Al_2SiO_5)、モンモリロナイト→ムライト・シリマナイト・ヘマタイト・クリストバライト,バーミキュライト→ Mg(Fe, Al) $_2O_4$ 他。 この結果より,相変化の確認とともに,物理・カ

学的性質変化も指摘される.

3. 再結晶化による分離

単に加熱特性を解析するだけでなく、溶融後の再結晶による成分分離が期待される. 例えば Cs の分離には有効であると考えられる. 土壌中の粘土鉱物に吸着した Cs の分離、濃縮には再結晶化が最適であろう. とくに東日本大震災の課題の中でも放射性 Cs の分離・濃集技術の開発は重要である.

火山灰土壌(武蔵野ローム)にCsOHを添加し、1,550℃で溶融させ、6時間かけ降温させた. 得られた生成物のSEM-EDSによる元素分布を図4に示す.完全な分離ではないが、元素分配の傾向が認められる. すなわち、Cs、Si、Al、O、K、Caで構成される領域とFe、Mg、Al、O、Naで構成される領域とに分けられる. したがって、溶融後の冷却過程での結晶成長により元素の分配が行われたことになる. 次に昇温および保持条件は変えず、冷却時間を86時間とした.

この条件での結果を図5に示す.この中には等軸晶系の単結晶も多く認められた.化学分析結果によると,長時間の徐冷により,明らかに単結晶の無水 pollucite(①)と基質部(②)に分離したことが理解された.

4. おわりに

粘土の応用例として、Cs の分離について述べた. 粘土の一次的利用はもちろんのこと、粘土を含む材料を用いて、金属元素の分離、分配を行うことは加熱溶融により可能と考えられる. しかし、再結晶を用いる分離において、冷却速度による分離の相違に関する研究は、決して多いとはいえず今後の課題である.

参考文献

1) 日本粘土学会(編)(2009) 粘土ハンドブック第三版, 技報堂出版,東京,990p.

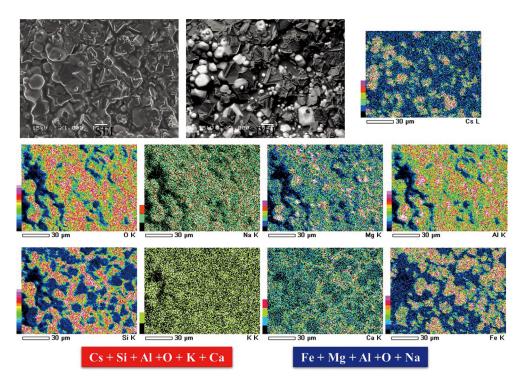


図 4 関東ロームに CsOH を添加, 1,550℃加熱溶融, 冷却速度 -4.3℃/min の条件で得られた生成物の元素分布(SEM-EDS).

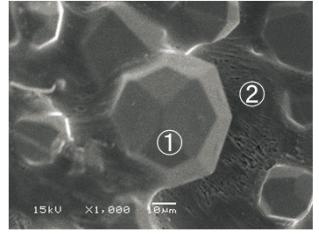


図5 冷却速度 – 0.3℃/min の条件で得られた無水 pollucite の単結晶 (SEM 像).

表 1 Pollucite (天然),図6 ①および②の化学組成の比較.

	Elva, Italy*	①単結晶	②基質
SiO ₂	44.27	43.83	41.26
Al_2O_3	16.10	16.02	13.89
Fe_2O_3		1.31	21.28
MgO		0.24	4.34
CaO		0.03	9.03
Na₂O	2.17	1.46	6.79
K_2O		1.42	0.00
Rb_2O	1.31		
Cs_2O	29.66	35.68	3.41
H_2O	6.32		
	99.83	99.99	100.00
	*Mindat		(wt%)

ベントナイトなどのメチレンブルー 吸着量の測定方法の標準化に関する 研究

Standardization of test method for methylene blue adsorption on bentonite and acid clay

1. ベントナイトと酸性白土

ベントナイトは、スメクタイトを主成分とする粘土岩であり、石英、クリストバライト、オパール、長石、雲母、ゼオライトなどのケイ酸塩鉱物、方解石、苦灰石などの炭酸塩鉱物、石こうなどの硫酸塩鉱物、黄鉄鉱などの硫化鉱物などを副成分として含む、酸性白土はスメクタイトを主成分としベントナイトと同様の鉱物を副成分として含む点はベントナイトと共通であるが、固体酸性である点がベントナイトと異なる。本稿ではベントナイトと酸性白土を合わせて「ベントナイトなど」と呼ぶ。また、ここでいうスメクタイトとは、モンモリロナイト、バイデライト、ノントロナイト、サポナイト、ヘクトライト、ソーコナイト、スチーブンサイトなどの粘土鉱物のグループの名称を指す。

ベントナイトなどは、膨潤性、陽イオン交換性、吸着・吸水性、増粘・粘結性、止水性などの性質をもつ。これらの性質を利用して、ベントナイトなどは基礎工事用止水材、掘削用泥水、鋳型の粘結剤、ペットの排泄物の固化材(猫砂)などとして用いられている。近年では、原子力発電所から発生する放射性廃棄物を処分する際に遮蔽材として用いられることで注目されている。

2. メチレンブルー吸着量測定

メチレンブルー吸着量測定とは、ベントナイトなどの主成分であるスメクタイトがメチレンブルーという色素を選択的に吸着することを利用して、その吸着量を測定する手法である。先に述べたように、ベントナイトなどは膨潤性や陽イオン交換性などの有用な性質をもつが、これは主成分であるスメクタイトがこれらの性質をもつことによる。したがってベントナイトなどはスメクタイト含有量が大きいほど、有用である(ただし、ベントナイトの場合、化学組成が異なるもの同士はメチレンブルー吸着量によってその有用性を単純比較できない)。

ベントナイトなどのメチレンブルー吸着量の測定方法は、1991年に日本ベントナイト工業会が提案した JBAS-107-91法が広く知られている. JBAS-107-91法では、ベントナイトなどを二りん酸ナトリウム溶液もしくは蒸留水に分散させ、そこにメチレンブルー溶液を1 mL ずつ加えていき、加えるたびに攪拌してその混合液の1滴をろ紙上に置いて、直径約1 cmの濃い青色のスポットを作製する(図1). 加えたメチレンブルーの量が多くなると、ろ紙上のスポットの周りにはハローと呼ばれる明るい青色のにじみが現れ

地圏化学研究グループ:三好陽子

Resource Geochemistry Research Group:

Youko Miyoshi

e-mail: youko-miyoshi@aist.go.jp

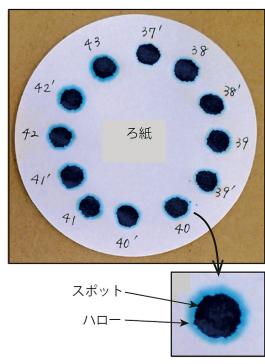


図 1 ろ紙上のスポットとハロー (各スポットに付属する数字は加えたメチレンブルー溶液の総量 (mL) を示す)

る(図1). ハローはベントナイトなどに吸着することができなかったメチレンブルーである. JBAS-107-91法では、スポットの周りにハローが幅1.5~2 mm に広がった時のベントナイトなどのメチレンブルー吸着量を求める. JBAS-107-91法のようなろ紙上に作製したスポットを観察してメチレンブルー吸着量を求める手法を「スポット法」と呼ぶ.

3. 標準化に取り組んだ背景

日本ベントナイト工業会が提案した JBAS-107-91法は, さまざまな問題点が指摘されている。その1つは, JBAS-107-91法は細かい手順が規定されていないことである。そのため, 細かい手順は試験実施機関ごとに異なるうえ¹⁾, 細かい手順が異なると測定結果が有意に異なることが報告されている^{2,3,4,5)}. また JBAS-107-91法は, 1991年に改定されたのを最後に改定されておらず, 陳腐化している。 JBAS-107-91法を改定する必要があることは専門家の間で認識されているが, 日本ベントナイト工業会が解散してしまったため, 改定には至らなかった.

先に述べたように、ベントナイトなどは原子力発電所から発生する放射性廃棄物の処分場において遮蔽材として用

いられる計画である.「処分場で利用する材料は,国内法規に基づく規格および基準によって選定すること」が,平成25年原子力規制委員会規則において定められている.処分場で用いるベントナイトなどの品質管理項目にメチレンブルー吸着量を加えるのであれば,その測定方法を国内法規に基づいて規格化することが必要である.

以上のような背景をふまえ, 地圏資源環境研究部門は, 2013年よりベントナイトなどのメチレンブルー吸着量の測定方法を JIS 化するための研究を開始した.

4. 標準化に向けた具体的な取り組み

(1) スポット法

ベントナイトなどを扱う企業16社を訪問し,各企業で行 われるメチレンブルー吸着量の測定方法を調査した. メチ レンブルー吸着量測定を自社で行う企業は16社のうち13 社であり、13社のうち10社はスポット法を行い、3社は後 に記述する比色法に準じた方法を行っていた. 各企業で行 われる測定方法の細かい手順は企業ごとに異なっていた1). 例えば、メチレンブルー吸着量測定では、ベントナイトなど にメチレンブルーを吸着させる前にベントナイトなどを二 りん酸ナトリウム溶液などに分散させるが,ベントナイト などを超音波分散によって分散させる企業と煮沸分散に よって分散させる企業が存在した. これは, 日本ベントナイ ト工業会による JBAS-107-91法の中に超音波分散法と煮 沸分散法が併記されており、その選択が試験実施者に任さ れているためである. しかし, ベントナイトなどを超音波分 散によって分散させた場合のメチレンブルー吸着量は,煮 沸分散の場合よりも有意に小さいことが報告されてい る^{2,3)}.

(2) 比色法

スポット法はろ紙上に作製したスポットの周りのハローが幅1.5~2 mm に達したことをもって終了する. ハロー幅の読み取りは目視により行うため試験者による違いが出やすく, 測定誤差の原因になることが指摘されている. これに対して比色法は, ベントナイトなどを二りん酸ナトリウム溶液などに分散させ, そこに過剰なメチレンブルー溶液を添加し, 余分なメチレンブルーを吸光光度計によって濃度測定することでメチレンブルー吸着量を求める手法であり,目視によるハロー幅の読み取りの作業がないという利点がある.

比色法のもう 1 つの利点は, ベントナイトなどを分散させた溶液に加えたい量のメチレンブルー溶液を一度に加え

ることができる点である.スポット法は八口ー幅1.5~2 mm を見極めるために,ベントナイトなどを分散させた溶液にメチレンブルー溶液を1 mL ずつ加え,加えるたびに攪拌してろ紙上にスポットを作製する必要があるが,比色法はその必要がない.ただし,ベントナイトなどを分散させた溶液に加えたい量のメチレンブルー溶液を一度に加えた場合のメチレンブルー吸着量は,1 mL ずつ加えた場合のメチレンブルー吸着量よりも有意に大きいことが実験によって示された⁶).

5. 現在の進捗状況

2017年8月より、一般社団法人 日本規格協会の支援を もとに、JIS 原案作成員会が始まった。JIS 原案作成員会に は、ベントナイトなどの生産者、ベントナイトなどを鋳物や 土木、廃棄物処分に使用する使用者、及び大学や公的研究機 関の研究者からなる中立者が参加して議論し、約1年をか けて JIS 原案を作成した。JIS 原案では、スポット法と比色 法を併記し、試験実施者が必要に応じて選択できることと した。

参考文献

- 1) 三好陽子, 堀内 悠, 高木哲一: 日本におけるベントナイトのメチレンブルー吸着量試験の現状, 粘土科学, 53(2), 26-36, (2015)
- 2) 三好陽子, 宮腰久美子, 高木哲一: ベントナイトのメ チレンブルー吸着量試験: 試験方法による結果の相 違について, 粘土科学, 54(2), 65-73, (2016)
- 3) 三好陽子, 鈴木正哉, 宮腰久美子, 高木哲一: ベントナイトのメチレンブルー吸着量測定においてベントナイトをピロリン酸ナトリウム溶液に分散させる方法, 粘土科学, 57(2), 11-17,(2018)
- 4) 堀内 悠, 高木哲一: 産総研におけるベントナイトの メチレンブルー吸着量測定方法, 地質調査総合セン ター研究資料集, No.555, (2012)
- 5) 千々松正和, 西田由紀, 小栗 光, 小峯秀雄, 篠木 進, 諸留章二: ベントナイトの品質管理のためのメチレ ンブルー吸着量試験に関する一考察(その1.試験方 法に関する検討), 土木学会第66回年次学術講演会(平 成23年度), CS3-007, (2011)
- 6) Miyoshi, Y., Tsukimura, K., Morimoto, K., Suzuki, M., Takagi, T.: Comparison of methylene blue adsorption on bentonite measured using the spot and colorimetric method, Applied Clay Science, 151, 140-147, (2018)

粘土系吸着剤を用いた 熱利用システム

Heat Utilization System by Clay Adsorbent

地圏化学研究グループ長:鈴木正哉

Leader, Resource Geochemistry Research Group:

Masaya Suzuki

e-mail: masaya-suzuki@aist.go.jp

1. はじめに

2015年12月にパリで開催された国連気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)において、京都議定書以降の新たな枠組みとしてパリ協定が採択された。地球温暖化防止に向けた温室効果ガス削減については、日本においてもさらなる省エネが必要とされる。日本における省エネ技術は、温室効果ガスの削減が社会問題となった1990年以降革新的な技術の発展を遂げた。廃熱の利用も進み、現在100℃以上の廃熱は効率的に利用されているが、100℃未満の低温廃熱の利用技術は、今もなお求められている。

低温廃熱の利用にあたっては、吸着式ヒートポンプシステム(吸着式冷凍機)やデシカント空調システムなどの吸着式熱エネルギーシステムの開発だけでなく、低温でこれらのシステムを稼働させることのできる吸着剤の開発が必要となる。40~80℃の低温で再生可能な吸着剤が開発されているが、無機材料であるにも関わらず、高分子収着剤と同様な優れた吸着性能を有する粘土系吸着剤「ハスクレイ®」について紹介する。

また熱利用システムとしては、ハスクレイに水蒸気を吸着させた際に発生する吸着熱を利用した、モバイル型の熱輸送システムとビニールハウス内における加温システムについて紹介する.

2. 無機系吸放湿材料「ハスクレイ」

ハスクレイは、もともと家庭用の除湿器などに用いられているデシカントローター用の低温再生型吸着剤として開発がなされたものである.

ハスクレイは粘土系の無機多孔質物質であり、従来の無機材料には見られない相対湿度と水蒸気吸着量の関係が右上がりの直線に近い挙動を示し、幅広い相対湿度範囲で水蒸気の吸脱着が可能な吸着剤である。ハスクレイという名称は、その構造に基づいて名付けられた造語であり、X線粉末回折図形において、非晶質な含水アルミニウムケイ酸塩(HAS: Hydroxyl Aluminum Silicate) と低結晶性粘土(Clay)の2種類のピークが見られることから、Hydroxyl Aluminum Silicateの頭文字3文字HASとClayを合わせHASClay(ハスクレイ)と称している。

合成物の粉末 X 線回折図形を図 1 に示す。合成物の X 線回折図形においては、 $2\theta=21$ ° と35°付近に層状粘土鉱物の (hk0) の反射に相当するブロードなピークと、 $2\theta=26$ ° と 40° 付近の非晶質アルミニウムケイ酸塩に特徴的であるブ

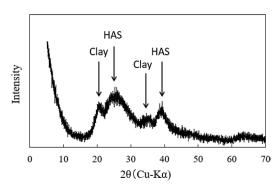


図1 ハスクレイの粉末 X 線回折図形

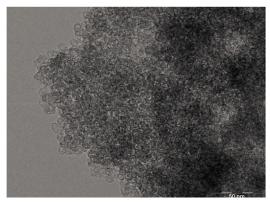


図 2 ハスクレイの透過型電子顕微鏡写真

ロードなピークの2種類のピークが見られた.

また八スクレイの透過型電子顕微鏡写真を図2に示す. 透過型電子顕微鏡観察の結果より, ハスクレイは約10nm程度のサイズの粒子からなっていた. このことから, ハスクレイは, 非晶質アルミニウムケイ酸塩と低結晶性粘土の混合体ではなく複合体であることが示された.

次に八スクレイの水蒸気吸着等温線を図3に示す.相対 湿度が増加するとともに水蒸気吸着量が増加しており,水 蒸気吸着等温線は直線的に近い形を有している.

また再生温度を変えて25℃相対湿度60%における水蒸気吸着量を測定した結果,脱水温度60℃における水蒸気吸着量は33.7wt%と60℃程度の低温でも再生が可能なデシカント空調用吸着材であることが示された.

3. モバイル型熱輸送

従来型の熱輸送システムでは、糖類等の融解熱を利用する固液相変化材を蓄熱材として用いていたが、蓄熱密度が低いため重量や容積が大きくなること、高価であること、固液相変化による蓄熱剤の融点によって熱利用先が限定されること、システムの稼働率が低くなること等が普及におけ

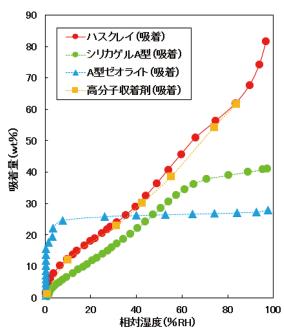


図3 ハスクレイと各吸着剤の水蒸気吸着等温線

る課題となっていた.そこで,これらの課題を解決するため, 高砂熱学工業(株),石原産業(株),大塚セラミックス(株), 森松工業(株),日野自動車(株)産総研の6機関はNEDO プロジェクト(戦略的省エネルギー技術革新プログラム) においてハスクレイを用いた蓄熱システムの開発に取り組んだ.

その結果, 従来のハスクレイ以上の蓄熱性能を保有し, 低コストで製造が可能な蓄熱材の量産製造技術を確立するとともに, 従来型の熱輸送システムに対して 2 倍以上の蓄熱密度(500kJ/L以上)を実現する可搬コンパクト型蓄熱システムを開発するに至った. 平成29年 3 月から, この蓄熱システムを用いて, 日野自動車羽村工場で発生する廃熱を,新田工場の加温工程や乾燥工程で利用するためのオフライン熱輸送の実証試験を行い, 目標とする蓄熱密度を有することを確認した.

ハスクレイの量産製造技術の確立においては、蓄熱材の 量産合成と造粒方法において製造技術のスケールアップを 図り、1,000トン/年レベルの生産を可能とする量産製造技 術を確立した(図4).

今年の7月よりスタートしたNEDOプロジェクトの実証ステージでは、定置型の蓄熱システムとともに、モバイル型では、6トンの蓄熱槽を用いた試験を行う.日野自動車羽村工場での廃熱により乾燥したハスクレイを羽村市のスイミングセンターに運び、プール温水と乾燥空気を供給し、ボイラー燃焼削減に対し年間を通じた評価を行う.

4. 施設園芸栽培における加温と除湿

施設園芸栽培での冬季の加温における暖房費は. 重油の 高騰等も含め, 農家にとって大きな負担となっている. 上記 背景から, ハスクレイが高湿度領域において吸着量が多い こと, またビニールハウス内の夜間の湿度が高いことを利



図4 実証試験に用いたハスクレイ造粒体

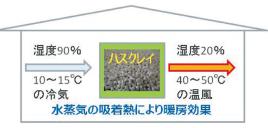


図 5 ビニールハウスでの加温システムの概要

用した, ビニールハウスでの加温システムを考案し実証試験を行っている.

夜間は、ビニールハウス内の高湿度の空気を、ハスクレイを充填した吸着塔に送り込むことにより水蒸気が吸着され、湿度の低い温風が供給される(図5).この温風により、ハウスの中が加温され暖房機の運転回数を減らすことが可能となる.

またこの運転により、ビニールハウス内の湿度を下げることができ、栽培植物の病気の発生を防ぐことが可能となる.

昼間は、ハスクレイに吸着された水蒸気を離脱させるため、相対湿度の低い外気を送り込むことにより再生を行う。このことにより再生時に熱源を使用しなくても稼働させることのできる温風供給システムを構築することが可能となった。

参考文献

- M.Suzuki,, R Nakanishi, K. Inukai, M. Maeda, S. Hiradate and K. Tsukimura, "A New Amorphous Aluminum-Silicate: High Performance Adsorbent for Water Vapor and Carbon Dioxide", Trans Mat. Res. Soc. Japan.34(2), 369-372(2009).
- 2) 鈴木正哉,前田雅喜:粘土系無機多孔質材料によるデシカント空調用吸着剤の開発,日本冷凍空調学会論文集29(1),89-96(2012)
- 3) 鈴木正哉, 前田雅喜, 犬飼恵一: 高性能吸着剤ハスクレイの開発, シンセシオロジー9(3), 154-164(2016)



地下水研究グループの紹介

Introduction of 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・利用に関する研究を実施している。主な業務には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。同じく地層処分に係る沿岸域の深層地下水流動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拡げている。また、産総研福島再生可能エネエルギー研究所(FREA)の地中熱チームとも強く連携し、地下水資源の多角的な利活用を推進している。

2. 各研究項目の内容

2.1. 水文環境図の作成に関する研究

「地質の調査」ミッションの一つである知的基盤情報整備の一環として、水文環境図を作成している。水文環境図は既存の全国統一情報に加え、地域ごとにユーザーが必要とするローカル情報を分かり易く盛り込んだ、地下水の地図である。近年ではNo.8「石狩平野(札幌地域)」、No.9「富士山」が出版された。現在も複数地域での調査が行われているが、「勇払平野」と「筑紫平野(改訂版)」、そしてFREA地中熱チームと連携して編集を進めている「大阪平野」は平成30年度に出版予定である。なお、実際の作業は民間企業、大学、地域の研究機関などと連携しつつ進めている。

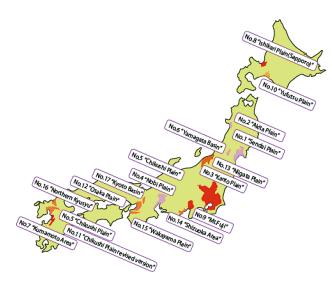
水文環境図を作成するにあたり、地下水研究グループではその作成指針を発表している(町田ほか、2010). これに基づき、水文環境図では地形、地質、地下水位、水質、地下温度などの基礎情報を収録しており、地下水の流動や起源など最新の水文地質情報を見ることができる. また、最新の「富士山」では地域地下水の特徴であるバナジウムを水質項目に追加し、地域の固有情報に考慮した形でデータを掲載している. さらに今年度より、水文環境図のウェブ発信を行うことを決定し、内容の検討に取り掛かった. これも平成30年度にプロトタイプを公表する予定である.

2.2. 高レベル廃棄物の地層処分に関する研究

現在, 社会的な関心を集めている原子力発電所から出た



水文環境図の例(No.8「石狩平野(札幌)」) 左が操作パネル, 右が地図である. 現在の CD 版からウェブ での発信を検討中である.



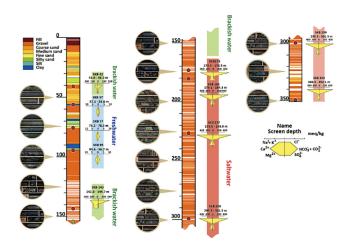
水文環境図の編集地域と編集予定地域 赤色が出版済み, 橙色が編集中, 桃色が改訂版

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廃棄体近傍の人工バリアと周辺地盤の天然バリアから複合的に多重バリアを形成することになっているが,当該研究では地下水シナリオを考慮したうえで, 天然バリアの健全性を評価することが責務となっている. 近年では2017年7月に国から科学的特性マップが公開され,地層処分研究の更なる進展が求められている.

地下水研究グループは九十九里海岸や茨城県東海村など で沿岸域の地下水研究を重ねてきた。そして、平成19年度 からは北海道天塩郡幌延にて物理探査研究グループと連携 し、ボーリング調査結果と物理探査の両面から陸海接合部 の深層地下水の実態把握を行い、その結果、沿岸海域の地下 深部には、氷河期を越えた長期的に安定した地下水塊があることを発見した。平成25年度からは静岡県駿河湾においても沿岸域における地下水プロジェクトを実施している。この調査でも陸海接合部に注目して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。実際の作業としては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、地下水年代分布の解明に成功した。さらに、船上の調査により、海底に湧き出す地下水(海底湧出地下水)をとらえ、陸域の地下水が流動し海域に流出していることを示した。これは陸から海までの深層地下水の流動経路を一貫して扱った国内外初の成果である。将来的には長期的に安定した地下水領域を発見する手法を開発し、処分研究の安全性評価に資する予定である。

2.3. 海外での地下水研究

地下水研究グループは、旧地質調査所時代から海外の調査研究を積極的におこなってきた。近年はJICAからの要請にてモンゴル国ゴビ砂漠における深層地下水流動解明のた



駿河湾沿岸部での掘削結果 多深度掘削により,良質の地下水試料を連続的に採取し,それぞれの深度の地下水年代を測定することに成功した. 2018年度国際水文地質学会(韓国)にて,丸井および井川が報告した.



北海道幌延町にておこなわれた特殊注揚水試験の実験風景

めの現地調査,九州大学との共同でインドネシア・カリマンタン島の露天掘り石炭鉱山における酸性鉱山廃水に関する現地調査などを実施した.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.日本の企業がアジア諸国へ展開する場合,「水」の安定供給は必要不可欠であり,そのためにも国の研究機関である産総研は,長期的展望に基づいて,アジア地域における地下水資源の知的基盤整備が求められている.

3. グループの研究体制

町田 功(グループ長)

丸井 敦尚(総括研究主幹)

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)

内田 洋平(併任)

柳澤 教雄(併任)

冨樫 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ョ(併任)

樽沢 春菜 (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)

菅谷 裕行(派遣)

木方 建造 (産学官制度来所者)



CCOP での発表風景

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

e-mail: n.soma@aist.go.jp

1. グループの研究目的

各種鉱物資源の安定供給は国民生活の維持に不可欠であり、ナショナルセキュリティに関わる重要課題である。また、特定の重要元素や化合物レベルで、学術および産業界における"需要側の技術革新"を睨んだ上で供給側の戦略的確保に資することは、我が国の今後のイノベーションを支える上で重要な観点になりつつある。

本グループでは、社会の動きに応じた各種鉱物資源のクリティカ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等を行っている。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て適切に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、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・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] 非金属鉱物資源調查)

産総研特別研究員 PD

横山隆臣 (質量分析)

向井広樹 (電子顕微鏡)

テクニカルスタッフ

須藤定久([OB] 非金属鉱物資源調查)

月村勝宏([OB] 結晶学)

Calabia Buenaventurada (選鉱技術)

生田目千鶴 (分析評価技術)

德本明子(分析評価技術)

リサーチアシスタント

浅野子竜([筑波大]鉱床学)

他, 客員研究員 5 名, 技術研修員 5 名

3. 研究活動の概要

各専門性を生かして,鉱徴地の調査から素材製造に係る鉱石評価にまで至る,鉱物資源を巡る幅広いフェーズに対応する具体的研究活動を行っている.経済産業省委託事業「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)」を柱とし,他の委託事業,助成金,民間等との共同研究等も積極的に行っている.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)鉱物資源開発可能性調査

2010年11月のミャンマーの民政移管以降,同国の天然資源は各国から注目されている. ミャンマーは錫,タングステン,銅,亜鉛-鉛,アンチモン,金-銀,宝石などの鉱物資源が豊富であると考えられている. 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を始めたところである. 一方,平成29年度と30年度は,同国での新たな鉱床発見を目的として,ラテライト型ニッケル鉱床などを胚胎するオフィオライト帯の広域調査と精査を行っている(図1).



図 1 ミャンマー共和国 Mwe Taung ニッケル鉱床での試 料採取の様子

(2) 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、鉱床から削剥された砕屑物は、下流へと流されるために地化学異常として認識され、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鉱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,全岩化学分析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(図2).



図 2 金鉱床地域での川砂試料採取の様子

(3) 新規重希土類資源としてのリン鉱床の研究

重希土類の新しい供給源として、リン鉱床に注目した研究を行っている。希土類元素(REE: La-Lu, Y)は、地球化学的な性質の違いにより、軽希土類(LREE: La-Eu)と重希土類(HREE: Y, Gd-Lu)に分けられる。LREE は中国以外にもカーボナタイト鉱床など様々なタイプの鉱床から生産可能であるが、HREEの供給源は今なお中国南部のイオン吸着型鉱床にほぼ限定されている。イオン吸着型鉱床のHREEは、粘土鉱物などの表面に吸着しており、電解質溶液でイオン交換することによって非常に低コストで回収できるという利点がある。そのため、中国以外にもHREE 鉱床は数多く存在するが、コスト面で競合できないというのがHREE 資源開発の現状である。

リン酸は、植物の主要栄養素(窒素、カリウム、リン)の一つであり、世界で生産されるリン酸の90%以上が肥料用である. 肥料用の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、REEを数百から数千 ppm 程度含有することが古くから知られている. また、一部のアパタイトには、HREEを10%以上含有するものもある(図3). 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、その経済埋蔵量は690億トンと膨大である. 肥料用のリン酸を生産する過程で、HREEを副産物として効率的に回収できれば HREE資源問題のブレイクスルーとなる. リン鉱石からの HREEの生産を目指して、世界各地の鉱床調査、鉱石の評価および資源精製化学研究グループ(産総研・環境管理研究部門)と共同で新規の HREE の吸着剤の開発を行っている.

(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。人工衛星や航空機で取得されたリモートセンシングデータを用いて鉱床形成に関係の深い鉱物を識別する手法を開発する(図4). また、地形特徴を利用した地質解析手法の開発なども行っている. このほか、リモートセンシングデータを解析する際に参照データとして使用する鉱物・岩石の分光反射率測定を行い、スペクトルライブラリとして整備している.

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、野外調査にて採取した試料や、外部より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



図 3 高濃度の HREE を含有する南アフリカのアパタイト 鉱石

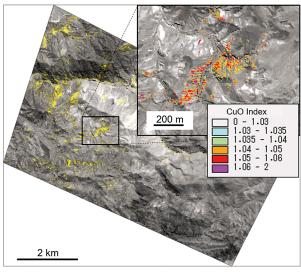


図4 衛星データによる酸化銅抽出結果

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(図5).

LA-ICP-MS 分析は、ケイ酸塩鉱物や硫化物等の鉱物試料だけではなく、ガラス、金属や植物等、あらゆる種類の固体試料に対して可能であり、工業製品評価の為の分析も行っている.

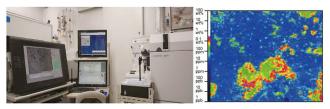


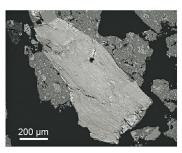
図 5 レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析 計(LA-ICP-MS)の様子(左)と希土類元素鉱石中 のルテチウム分布(右)

(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、今までほとんど用いられてこなかったリチウムやマグネシウムなどの金属元素の安定同位体比に着目し、分析環境の整備を行ってきた。現在は、イオンクロマトグラフィーを用いた簡便な同位体前処理装置の開発などを通じ(Yoshimura et al. 2018)、新たな同位体比分析法の開発にも取り組んでいる。また、重要度の高いリチウムやレアアースといったレアメタルの鉱床を対象として、開発した安定同位体比を応用し、鉱床の成因についての最先端の研究を米国地質調査所(USGS)やカナダ・ブリティッシュコロンビア州地質調査所(BCGS)といった海外の地質調査所と共同で行っている。さらに、鉱床成因研究だけでなく、地球表層での物質循環など幅広い分野での共同研究を多数展開し、成果を挙げつつある(Manaka et al. 2017)

(3) ミクロ/ナノスケールでの鉱石の分析・評価

レアメタルを中心とした金属資源が鉱石中においてどのように存在しているかを明らかにすることを目指し、ミクロあるいはナノといったスケールの微小領域で観察・分析を行っている. 特に走査型電子顕微鏡 (SEM), 電子線マイクロアナライザ (EPMA) あるいは透過型電子顕微鏡 (TEM)といった装置を用いて、有用元素が鉱石中においてどのよ



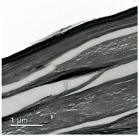


図 6 希土類元素を含む雲母鉱物の SEM 像(左) および TEM 像(右)

うな鉱物にどの程度含まれているかを詳細に調べている (図6).

また LA-ICP-MS 等の装置を電子顕微鏡と組み合わせて 用いることによって,鉱物中で有用元素が極低濃度の場合 でも検出することができ,多種多様な鉱石についての分析・ 評価が可能となっている.

(4) 未利用資源開発のための選鉱に関する研究

未利用資源の開発を目的として,低品位鉱石に対する選鉱技術の研究に取り組んでいる.銅鉱石を対象として,選鉱の前処理である粉砕の最適化に関する研究を実施している.鉱物自動解析装置を用いた分析から粉砕産物の単体分離度を系統的に評価することで,銅の単体分離促進に適した粉砕装置やその運転条件を検討した.

また、瀬戸・東濃地域に分布する「青サバ」と呼ばれる 低品位鉱を窯業原料にするための技術開発を目的として、 青サバの精製に取り組んだ、粒度ごとの磁力選鉱などにより不純物を一定量除去したところ、粘土の代替原料の一部 として青サバが利用できることを明らかにした(図7).

さらに、選鉱プロセスの最適化を目的とした粉体シミュレーション技術の開発にも取り組んでいる。付着力や磁力などの物理モデルの開発とともに、粉砕機や選別機内の粒子挙動解析への応用を進めている。



図7 青サバの磁選産物 (画像寸法はそれぞれ28.2×20mmで,産物粒径は1~2mmである)

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. また今年度より, 日本の鉱物資源データベースの整備を開始した.

(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, 当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「高知(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」「輪島」「宮津」などを調査・編集中である。

4. 主な研究成果

[誌上発表]

- 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.
- Ejima, T., Osanai, Y., Akasaka, M., Adachi, T., Nakano, N., Kon, Y., Ohfuji, H. and Sereenen, J., (2018) Oxidation States of Fe in Constituent Minerals of a Spinel Lherzolite Xenolith from the Tariat Depression, Mongolia: The Significance of Fe3+ in Olivine. *Minerals*, 8, 204.
- Hoshino, M., Watanabe, Y. and Kon, Y. (2017) Implication of apatite and anhydrite for formation of an Iron-Oxide-apaite (IOA) rare earth element prospect, Benjamin River, Canada. Resource Geology, 67, 361-383.
- Itano, K., Iizuka, T. and Hoshino, M. (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.
- Jige, M., Takagi, T., Takahashi, Y., Kurisu, M., Tsunazawa, Y., Morimoto, K., Hoshino, M. and Tsukimura, K. (2018) Fe-kaolinite in granite saprolite beneath sedimentary kaolin deposits: A mode of Fe substitution for Al in kaolinite. American Mineralogist, 103-7, 1126-1135.
- Manaka, T., Araoka, D., Yoshimura, T. Hossain, H.M.Z., Suzuki, A., Nishio, Y. and Kawahata, H. (2017) Downstream and seasonal changes of lithium isotope ratios in the Ganges-Brahmaputra river system, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 18, 3003-3015.
- Mukai H., Tamura K., Kikuchi R., Takahashi Y., Yaita T., and Kogure T. (2018) Cesium desorption behavior of weathered biotite in Fukushima considering the actual radioactive contamination level of soil, Journal of environmental radioactivity, 190-191, 81-88.
- Sakate, D., Iwasaki, Y., Kon, Y., Yokoyama, T. and Ohata, M., (2018) Examination of the Mass Transfer of Additive Elements in Barium Titanate Ceramics during Sintering Process by Laser Ablation ICP-MS. *Analytical Sciences*, 34, 739-742.
- 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*.
- Yoshimura, T., Araoka, D., Tamenori, Y., Kuroda, J., Kawahata, H. and Ohkouchi, N. (2018) Lithium, magnesium, and sulfur purification from seawater using an ion chromatograph with a fraction collector system for stable isotope measurements, *Journal of Chromatogrphy A*, 1531, 157-162.

[口頭発表]

- 平井遼, 児玉信介, 山口靖 (2018) ASTER データによる波長 2.35 μm 付近に吸収を持つ鉱物の識別(その2). 日本リモートセンシング学会 , 第65回学術講演会 , 高松
- 向井広樹, 昆慶明, 実松健造 (2018) イオン吸着型鉱床に おけるレアアース吸着鉱物についての研究, 地球惑星 連合大会, 2018.5.23
- 向井広樹, 昆慶明, 実松健造 (2018) イオン吸着型鉱床に おける希土類元素吸着鉱物についての顕微解析, 日本 鉱物科学会, 2018.9.19
- 実松健造 (2018) ニッケル鉱床の副産物としてのコバルト. 資源地質学会第68回年会講演会要旨集. p42.
- Sanematsu, K., Kon, Y., Gozalvez, M. R., Alvarez, D., Cecenarro, F., Iannizzotto, N. F., Tsunazawa, Y., Yokoyama, T., Herrmann, C., and Zappettini, E. O., (2018) Geochemical characteristics and U-Pb zircon ages of granites in a tungsten-mineralized district of Catamarca Province in Sierras Pampeanas, Argentina. Abstract of the 15th Quadrennial International Association on the Genesis of Ore Deposits (IAGOD) Symposium, Salta, Argentina, p58-59.
- Sanematsu, K., and Kon, Y. (2018) Geochemical characteristics of ion-adsorption REE ores in Asia. Abstract of the 15th Quadrennial International Association on the Genesis of Ore Deposits (IAGOD) Symposium, Salta, Argentina, p279-280.
- 綱澤有輝 (2018) 離散要素法を用いたボールミル粉砕過程 の粒度分布の予測手法の検討 , 資源・素材学会平成 30年度春季大会 , 2018.3
- Tsunazawa, Y., and Tokoro, C. "Modeling and Prediction of Particle Size Distribution in Milling Process using Discrete Element Method", 13th World Congress in Computational Mechanics, 2018.7 New York.

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. グループの研究目的

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

特に当研究部門の重点研究課題である「燃料資源に関する評価技術の開発」を遂行するため、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. グループの研究体制, 研究資源

2.1. 構成メンバー (平成30年度)

研究スタッフ

中嶋 健 (グループ長), 佐藤 幹夫, 後藤 秀作, 髙橋幸士, 朝比奈健太

テクニカルスタッフ,派遣職員,客員研究員 鈴木祐一郎,松林 修,中根由美子,仁道 純子,中村 祐 貴,佐々木 進,棚橋 学,徳橋 秀一,高野 修

2.2. 主な研究資金(平成29,30年度)

・運営費交付金

「燃料資源地質の研究」

「国内における新たな炭化水素ガス資源の評価」 「新生代石炭からの石油炭化水素排出温度の解明」 「ナフタレン組成を用いた新たな石油熟成指標の開発」 「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」

「有機地化学標準物質ライブラリー拠点の基盤整備」 「戦略予算:国内石油産業を復興する Oil to Gas (O2G) 革命」

- ・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)の一 部「生産手法開発に関する研究開発」
- ・共同研究費 (JX 石油開発 (株))「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」

(石油資源開発(株))「砂岩貯留岩の堆積分布様式に関す

る研究」

(西部ガス (株))「天然ガスに関する九州 CBM ポテンシャルを評価する FS 研究」(分担)

• 科研費

「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29年度研究助成「原油中のナフタレン組成を指標に用いた地下深部の石油根源岩評価法の確立」

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
- ・上越沖海域の海底堆積物の熱物性(熱伝導率, 熱容量および熱拡散率)を計測し, その特性を明らかにし, 国際誌で公表した.(後藤)
- ・メタンハイドレート安定領域下限深度を推定することを 目的に、上越沖海域で計測した地殻熱流量に基づき、温度 構造モデルの構築を進めている.(後藤)
- ・オホーツク海網走沖海域,日本海の最上トラフ海域および隠岐トラフ海域において海洋電磁探査を実施した. (後藤)

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

・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 [写真 1]. (鈴木・高橋・朝比奈)

3.3. 在来型資源の鉱床成因等に関する地質学的研究

- ・東北日本及び北陸地方の油・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,総説 1 編を公表した.(中嶋)
- ・深海システムの貯留岩形態・根源岩ポテンシャルについての論文により日本堆積学会2017年論文賞および石油技術協会賞(論説賞)を受賞した [写真 2]. 学会のセッションコンビーナーや海外研究者の招聘を行った(中嶋).
- ・炭化水素ガスの安定同位体組成を指標とした新生代石炭

からの天然ガス排出タイミング推定法を提案し,招待講演を1件,国際学術誌において論文1編を公表した. (高橋)

- ・ナフタレン組成を用いた石油の起源有機物と根源岩の岩相評価法を開発し,微生物分解により劣化したオイルの根源岩評価に有用な方法として,国際学術誌1編で公表した.(朝比奈)
- ・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。我々はプロトン NMRを用いたオイルの迅速な特徴把握と俯瞰解析法を開発し、国内学会で講演を行った。(朝比奈)

3.4. 共同研究

- ・JX 石油開発(株) との共同研究として, 釧路炭田, 新潟地域, 青森地域, 及び日高地方等の調査および巡検を実施した [写真 3]. (中嶋・髙橋・朝比奈) そのうち, 釧路炭田に分布する古第三紀浦幌層群夾炭層の炭化水素ポテンシャルや熟成度分布の成果をまとめ, 国内外の学会で講演を行った.
- ・石油資源開発(株)との共同研究で,日高地域の砂岩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 法の開発を進めている.(髙橋)
- ・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)
- ・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 の海洋貧酸素化が起きた証拠を得るために,大量絶滅期 の堆積岩試料のバイオマーカー分析を実施した.(朝比奈)

4. 最近の主要な研究成果(受賞・誌上発表)

日本堆積学会2017年論文賞 中嶋 健 2018年石油技術協会賞(論説賞) 中嶋 健 Takahashi, K. and Suzuki, N. (2017) Semi-open and

- closed system pyrolysis of Paleogene coal for evaluating the timing of hydrocarbon gas expulsion. *Int. Jour. Coal Geol.*, **178**, 100-109.
- Goto, S., Morita, S., Tanahashi, M. et al. (2017) Physical and thermal properties of mud-dominant sediment from the Joetsu Basin in the eastern margin of the Japan Sea, *Mar. Geophys. Res.*, **38**, 393-407.
- Asahina, K., and Suzuki, N. (2018) Methylated naphthalenes as indicators for evaluating the source and source rock lithology of degraded oils, *Organic Geochemistry*, **124**, 46-62.
- 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.



写真 1 CCOP-KIGAM 非在来型燃料資源会議(タイ, バンコク市)



写真 2 石油技術協会賞 (論説賞) の受賞式



写真3 日高地方での露頭調査

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

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(平成30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, 竹内美緒, 眞弓大介, 持丸華子, 坂田 将

テクニカルスタッフ

天野千尋,飯舘啓子,石川理美,氏家知美, 小林みゆき,篠塚由美,執印訓子, 竹之内美佐,野澤富美江,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」

「国内石油産業を復興する Oil to Gas (O2G) 革命」 「国内水溶性ガス田における天然ガス・ヨウ素生産阻害の原因究明と技術コンサルティングへの展開」 「腐植有機物の分子構造解明に向けた予察的研究」 「比抵抗異方性に着目した低コスト・簡易な石炭熟成度評価法の開発」

委託研究費・研究助成金

「平成30年度メタンハイドレート開発促進事業に関する 委託研究-取得コア試料の微生物学的研究」(JOGMEC委 託研究費)

「地下深部油ガス田におけるメタン生成機構の解明 – 共生培養法によるリグニン関連物質分解微生物の網羅的分離培養」(発酵研)

「光合成とメタン生成のリンケージ:機能特異分子補酵素

F430分析という新手法の展開」(科研費)

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

「生物的石炭分解メタン生成ポテンシャルとメカニズム に着目した炭層特性評価技術の開発」(科研費)

「資源創成型 CCS 技術の開発に向けた国際共同研究」(科研費)

「枯渇油田再生化技術開発を志向した原油分解メタン生成機構の解明と新規微生物の獲得」(科研費)

「堆積物環境に優占する未培養アーキアの分離培養と生理生態機能の解明」(科研費)

「初期地球解読に向けた陸上蛇紋岩温泉の炭素循環研究」 (科研費)

「ガスクロマトグラフィーによる低濃度試料中の揮発性 脂肪酸分析法の確立」(科研費)

「メタン生成触媒を用いた革新的バイオガス生産システムの創製」(科研費)

「Exp. 370. 海底下生命圏を支配する地質学的, 物理化学的環境要因の解明」(科研費)

「深部地下圏における根源有機物からの生物的メタン生成機構の解明」(科研費)

「悠久の時間を生き抜く謎を解く-地下微生物が作る新規物質の同定と測定法の開発-」(科研費)

共同研究費

「油層微生物の原油分解メタン生成ポテンシャル評価と 現場適用技術に関する研究」(国際石油開発帝石㈱)

「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」(JX 石油開発㈱)

「天然ガスに関する研究」(西部ガス㈱)

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㈱、JX石油開発㈱、西部ガス(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. 29年度後期~30年度前期の研究進捗状況

4.1. メタンハイドレート成因解明のための生物地球 化学的研究

・メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム (MH21) の研究の一部として,静水圧で加圧できる培養 容器の改良を行い,以下の研究を行った.東部南海トラフ における地盤調査及び海洋産出試験事前掘削において採 取されたコア堆積物試料から単離されたメタン生成菌を 用いて高圧培養試験を行い,圧力がメタン生成活性に与える影響を評価した.同サイト海底堆積物の表層部から メタンハイドレート濃集帯までの広い範囲で,補酵素 F430を検出し,メタン生成活性の分布を明らかにした.

4.2. 未回収燃料資源からの天然ガス創成技術の開発

・油層環境の生物的原油分解メタン生成ポテンシャルを評価するため、東北日本地域の油ガス田から採取した原油の炭化水素組成を GC(ガスクロマトグラフ)-FID(水素炎イオン化検出器)と GC-MS(質量分析計)で分析した結果、多くの原油では n-アルカンが最も多い成分である一方、一部の原油(A 油田)ではプリスタン、フィタンなどのイソプレノイドアルカンが n-アルカンよりも多く、原油生分解の影響が示唆された。またガス成分(メタン〜ブタンや二酸化炭素)の組成と炭素同位体比を GC-メタナイザーFIDと GC-C(燃焼)-IRMS(同位体比質量分析計)で分析した結果、特に A 油田のガスにおいて二酸化炭素、プロパン、n-ブタンの炭素同位体比が相対的に高い特徴があり、炭化水素の生分解とメタン生成の影響が示唆された。さらに、微生物の生育に影響す

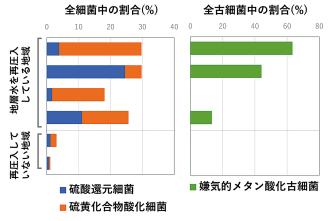


図1 地層水を再圧入している地域と,再圧入していない地域の帯水層中の微生物群集.

る油層水中の各種イオン(塩化物イオン,アンモニウムイオン,リン酸イオン)など,微生物の生理活性に関わる各種微量金属イオンやビタミン類,及びメタン生成菌と競合する微生物の生育に関係する各種イオン(硫酸イオン,硝酸イオン,亜硝酸イオン,鉄イオン)の濃度を測定した。その他に、原油分解反応における最初の代謝産物であるアルキルサクシネートやベンジルサクシネートなどのアルカン誘導体、ベンゼン誘導体の油層水中濃度をGC-MSで測定し、原油分解メタン生成の兆候をより高精度に明らかにした。

4.3. 在来型・非在来型天然ガスの生物地球化学的研究

・国内の重要な燃料資源として位置づけられる水溶性天然 ガス田において,生物起源メタンの生成に寄与している と言われている深部帯水層中の微生物の研究を進めてい る. 微生物を用いた天然ガス回収技術開発を行う上で重 要な基盤情報となる, 天然ガス生産後の硫酸を含む地層 水を地下に再圧入した環境における微生物群集を調査し た, 地層水試料中に含まれる微生物由来 DNA を抽出し遺 伝子の解析を行った結果, 地層水を再圧入しない環境と 比較して群集を構成する種の系統分布が大きく変化し た. 特に硫酸代謝に関与する微生物群である硫酸還元細 菌,それと共生する嫌気的メタン酸化古細菌,硫黄化合物 酸化細菌が優占した(図1). これらは地層水の圧入に よって新たに地下に導入された微生物群ではなく, 堆積 当時の環境である深海堆積環境に由来するものであるこ とが示唆され, 人為的な環境変動に対応した深部地下微 生物群集の動態が明らかとなった.

5. 平成29年後半~平成30年度前半の研究成果(主なもの,下線部がグループ員)

【紙上発表(論文)】

Katayama T., Yoshioka H., Yamanaka T., Takeuchi M., Muramoto Y., Usami J., Ikeda H. and <u>Sakata S.</u> (2018) Microbial community structure in deep natural gas-bearing aquifers subjected to sulfate-containing fluid injection. Journal of Bioscience and Bioengineering, (in press).

Takano Y, Chikaraishi Y., Imachi H., Miyairi Y., Ogawa N.O., <u>Kaneko M.</u>, Yokoyama Y., Krüger M., Ohkouchi N. (2018) Insight into anaerobic methanotrophy from ¹³C/¹²C-amino acids and ¹⁴C/¹²C-ANME cells in seafloor microbial ecology. Scientific reports 8:14070, DOI:10.1038/s41598-018-31004-5.

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:鈴木正哉

Leader, Resource Geochemistry Research Group:

Masaya Suzuki

e-mail: masaya-suzuki@aist.go.jp

1. グループの研究体制・研究方針

地圏化学研究グループは、石油・天然ガス・温泉水等の 地殻流体、粘土等の非金属鉱物資源・材料を研究対象とし、 地球化学的・地質学的・鉱物学的手法により、資源の成因 解明・開発、環境保全、製品化、標準化等に資する研究を進 めていくことをグループの目標としている。また、これらの 研究課題に関して、研究機関としての価値ある研究成果を 上げるだけでなく、産総研外部要請への対応、精度の高い情 報の発信、研究成果の普及等を推進することを基本理念と している。

2. グループ員及び研究項目等

2.1. グループ員(平成30年10月1日現在)

鈴木 正哉 鉱物学, 材料化学

金子信行 地球化学,石油鉱床学

猪狩 俊一郎 有機地球化学

佐々木 宗建 資源開発

森本 和也 鉱物学, 地球化学

三好 陽子 粘土鉱物学, 無機地球化学

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石橋 夏紀テクニカルスタッフ

2.2. 主な研究資金(平成28年度,平成29年度)

・運営費交付金

「地圏化学の研究」

「ベントナイトのメチレンブルー吸着量測定方法」 「ハスクレイを用いたデシカントモジュールにおける評価 システムの構築」

• 委託研究

「80℃以上の低温廃熱を用いる革新的蓄熱材及 びシステムの開発」(NEDO 再委託) 「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)

・科研費

「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」

・共同研究

「ベントナイトのメチレンブルー吸着量測定方法」 「空気分離装置における前処理装置の省工ネ検討」 「蓄熱材ハスクレイの性能実証に関する研究」 「天草陶石の新たな利用方法の開発」

2.3. 主な研究設備

- ・ガスハイドレート合成実験装置
- ・ガスクロマトグラフ
- ・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. 平成29年度~30年度前期までの研究進捗状況

3.1. 燃料資源に関わる地化学的成因研究,資源評価世界の天然ガス埋蔵量の大部分を占める熱分解ガスと、国産の重要な資源である水溶性天然ガスなどの炭化水素の起源・成因に関する研究を行い、国内外の燃料資源情報の

把握と、微量炭化水素の分析技術の高度化を進めた.

平成29年度は、微生物起源とされる前弧域のメタンハイドレートを形成した遊離ガスの起源は、付加体で生成した熱分解起源ガスであるとする新たな成因説を提唱した。付加体で生成した熱分解ガスが堆積物中を上方移動する間に、低圧での気相/溶存ガス間の組成分別によってエタン以上の成分を失い、また前弧海盆堆積物中で大量に生成した微生物起源の溶存ガスとの交換反応を行うことで、微生物起源の炭素同位体比を示す遊離ガスからメタンハイドレートが形成された。

産総研第七事業所で 2015 年に行われた水道管改修工事による水道水の汚染を調べるため,軽質非メタン炭化水素濃度を連続的に測定し.結果が地質調査研究報告に掲載された.また,都市化が進むつくば市の非メタン炭化水素(光化学オキシダントの原料物質)濃度の経年変化を調べるため,今年度も産総研内大気の測定を行った.また,バブリングによる水中の軽質非メタン炭化水素測定法の開発を行った.

3.2. 流体岩石反応に関わる化学的研究

流体岩石相互作用を解明するには流体・鉱物・これら界面における物理化学的な諸性質の理解が必要である。それゆえ文献の熱力学的データを基に各元素の酸化物の水に対する溶解度を計算し、各元素の溶解度が pH に対する増加、減少、凹型に分類されることを確認し、今後のより詳細な検討のための基礎情報を作成している。

一般に物質の溶液化学的性質は酸・塩基反応を基本と

し、バルク溶液中での性質は、酸化物の溶解度の pH と温度に対する依存性のうちに観察することができる。酸化物は一般に、水に溶解し酸として働く酸性酸化物、塩基として働く塩基性酸化物、両方の働きを示す両性酸化物に分類することができ、非金属元素には酸性酸化物が、金属元素には塩基性酸化物が多く認められる。酸化物の溶解度のpH依存性は、反応におけるヒドロキソ錯体の錯生成定数に、温度依存性は反応熱の出入りに関係し、溶解度の大小は酸化物の生成自由エネルギーの大小を反映する。本研究では、文献の熱力学的データを収集し、各元素の酸化物の溶解度を計算し、周期表上で比較することで、上述の諸性質に関する確認作業を行った。

3.3. 機能性鉱物材料に関わる化学的・鉱物学的・材料学的研究

自然由来の複合汚染土壌から溶出が懸念される有害物質,特に報告事例の多いヒ素とフッ素について,鉄鉱物を用いた不溶化技術の開発を開始した. ヒ素およびフッ素の不溶化資材として,陰イオン交換能を持ち,酸・アルカリに対する安定性も高い鉄鉱物のアカガネアイトに着目した. アカガネアイト結晶はナノトンネル構造を有することから,ナノトンネル構造内にヒ素・フッ素陰イオンを取り込み,安定的に保持することが期待される。

アカガネアイトの合成条件について検討を行った. 塩化 第二鉄試薬を原料として用い,溶液濃度・合成温度・合成 時間ついて条件を検討し、それに伴う溶液 pHの変化につい ても追跡した. 合成物の鉱物学的キャラクタリゼーション を,粉末 X 線回折分析, 蛍光 X 線分析, 走査型電子顕微鏡観 察により実施した. 鉱物相の同定と化学組成を明らかにし, アカガネアイトの生成量と結晶性について評価すること で,アカガネアイトの最適な合成条件を探索することがで きた. 最適化した合成方法で得られたアカガネアイトに対 して,ヒ酸イオン・フッ化物イオンの吸着実験を実施した. ヒ酸イオンおよびフッ化物イオンをそれぞれ単独で添加し たときのアカガネアイトに対する吸着特性を評価するた め,固液比を定めたバッチ式の吸着試験により,所定時間振 とうした後,固液分離し,溶液中に残存したイオンの濃度を 測定した. ヒ酸イオンの分析には誘導結合プラズマ質量分 析計を, フッ化物イオンの分析には共存する鉄イオン等の 影響を避けるためイオンメーターを用いた方法で濃度測定 を行った. アカガネアイトに対するヒ酸イオンおよびフッ 化物イオンの吸着実験においては,イオンの正確な定量分 析手法の確立と、それぞれのイオン単独での吸着特性を評 価することができた.

またイオン吸着能を有する火山灰土壌、特にアロフェン・イモゴライトを含む火山灰土壌についてフッ素・木ウ素の吸着能についての検討を行った。その結果、フッ素の吸着においては、イモゴライトの方が、アロフェンよりも吸着量が多く、Si/Al モル比がフッ素吸着の一つの因子になっている

こと、イモゴライトの構造がフッ素吸着の大きな因子となっていることが推測された。さらにアルミニウムが存在する条件下では、フッ素はアルミニウムとの錯体を形成しプラスの電荷を有することから、フッ素の吸着ではアルミニウムの存在について考慮する必要性があることが明らかとなった。ホウ素の吸着においては、表面電荷による吸着機構の説明はできないが、アロフェンおよびイモゴライトの構造が木ウ素の吸着に対して、何らかの役割を有していることを明らかにした。

3.4. ベントナイトのメチレンブルー吸着量試験法の検討

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試験法には、スポット法と比色法の2つの試験法があるが、メチレンブルー吸着量において、スポット法と比色法の整合性について検討した結果を論文として公表を行った。またメチレンブルー吸着量試験における、分散溶液・分散方法・メチレンブルー溶液添加量・スポット作成器具・ろ紙による影響をまとめ、スポット法と比色法の2つの試験法を含めた JIS 原案作成を行った。

4. 平成29年度後半~平成30年度前半の研究成果 (主なもの,下線部がグループ員)

【誌上発表(論文)】

- Y. Miyoshi, K. Shimada, T. Sato, S. Uehara, J. Ishihara (2017), Convenient analysis of chemical composition of clay fraction of sediment by electron probe microanalyzer, Geochemical Journal, 51(6), pp.583-588.
- Y. Miyoshi, K. Tsukimura, K. Morimoto, M. Suzuki, T. Takagi (2018) Comparison of methylene blue adsorption on bentonite measured using the spot and colorimetric methods, Applied Clay Science, 151, pp140-147.



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/explogeo/

1. グループの研究目的と課題

本研究グループでは、地熱・地中熱、鉱物資源、メタンハイドレート等の地下資源分野、放射性廃棄物地層処分、CO2地中貯留等の地下環境利用分野、そして土壌汚染等の地下環境保全分野、さらに加えて地盤液状化、断層、火山等の防災分野やインフラ維持管理の土木分野等、広範囲な適用対象に対して、地質・地盤構造調査や岩盤評価、モニタリングに不可欠な物理探査技術の高精度化を目指し、各種探査法の技術開発と適用研究を行っている。平成30年度においては、以下の7項目を中心にしている。

- ▶ 地下資源評価として、
- 1) 海底熱水鉱床やメタンハイドレート等の探査を目指した海底電気・電磁探査法や, 陸域における強制分極法による鉱物資源探査, 坑井利用探査技術等の基礎研究,現場調査を行う.
- 2) 地中熱利用における事前評価手法の研究, 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処理・解析に関する基礎的技術開発を行う.
- また,地下環境の利用分野として,
- 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や海底電磁探査の取りまとめを行う。
- 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を行う.
- ▶ さらに地下環境保全分野として、
- 5) 土壌汚染に関連して,油分および鉱滓土壌汚染評価への各種物理探査適用結果の取りまとめ,および汚染現場での各種物理探査法適用実験を行う.
- ▶ 加えて, 防災・土木分野への展開も視野に入れた基礎 研究・技術開発としては,
- 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 タリングに関する基礎的研究を行う。
- 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 のための新規物理探査技術開発や民間企業への技術 移転を目指した研究連携活動を行う.

2. グループの体制

2.1. 人員体制 (2018.10.1現在)

以下の9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)

小森省吾 (研究員)

上田匠 (客員研究員)

中山京子(テクニカルスタッフ)

木村夕子(テクニカルスタッフ)

万沢かりん(リサーチアシスタント)

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、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構や一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構等と連携して研究を推進している。

2.2. 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。

- ・平成30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
- · 平成30年度希少金属資源開発推進基盤整備事業 (探查基盤技術高度化支援事業)
- ・安全な CCS 実施のための CO2貯留技術の研究開発事業 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.

3. 最近の主な研究内容と成果

3.1. 公表論文等

Komori, S., Masaki, Y., Tanikawa, W., Torimoto, J., Ohta, Y., Makio, M., Maeda, L., Ishibashi, J., Nozaki, T., Tadai, O., and Kumagai, H. (2017) Depth Profiles of Resistivity and Spectral IP for Active Modern Submarine Hydrothermal Deposits: A Case Study from the Iheya North Knoll and the Iheya Minor Ridge in Okinawa Trough, Japan. *Earth, Planets and Space*, **69**, https://doi.org/10.1186/s40623-017-0691-6.

Jinguuji, M. and Toprak, S. (2017) A case study of liquefaction risk analysis based on the thickness and depth of the liquefaction layer using CPT

and electric resistivity data in the Hinode area, Itako City, Ibaraki Prefecture, Japan, *Exploration Geophysics*, **48**, 28-36.

Yokota, T., Jinguuji, M., Yamanaka, Y., and Murata, K. (2017) S-wave reflection and surface wave surveys at the liquefaction affected areas -A case study of the Hinode area, Itako, Ibaraki, Japan-, *Exploration Geophysics*, **48**, 1-15.

3.2. 磁気共鳴物理探査装置のセンサーユニットの開発

インフラのメンテナンスなど浅層土木に貢献することは、本研究グループの重要なミッションの一つである。その一環として、打設直後あるいは老朽化したコンクリート中の水の原位置非破壊定量計測装置として、磁気共鳴物理探査装置の開発を行っている(図1a)、永久磁石とコイルからなるセンサーユニットの設計は、優れた装置開発のための最重要課題である。磁石とコイルを注意深く3次元的に配置してセンサーの感度領域を計算する3次元シミュレーションの進捗について報告する。

シミュレーション結果の一例を図1bに示す.まず,永久 磁石の磁場ベクトルと,コイルの作る高周波磁場ベクトルを独立に3次元計算する.次に,空間の各位置で両者のベクトル大きさと交差角度を計算して,その位置のセンサー感度(そこに水由来のプロトンがあった場合の信号強度.規格化された無次元量)を計算し,感度マップを作成した.感度領域は,図1bにあるように一般に非常に複雑な形状をしているが,磁石重量が一定という条件の下で,できるだけコ

図 1 コンクリート中の水の原位置非破壊定量計測のため の磁気共鳴物理探査装置.(a) コンクリートのスキャン風景(イメージ).(b) センサー(コイルと磁石) の感度領域シミュレーション例.

イルから遠くに(探査深度向上のため), できるだけ体積が大きく(信号強度向上のため)なるように, 試行錯誤でベストな磁石とコイルの構造を探索した. その結果, 有望な構造が見つかったので, さらに計算精度(メッシュ粗さなど)を改善して検討中である.

3.3. 多チャンネル比抵抗・IP探査装置を利用した時間領域 IP 法電気探査システムの整備・フィールド適用

本研究グループでは、昨年度に引き続き、地下水資源の保 全を目的とした強制分極(IP)法電気探査システムの整備 及び適用試験を行っている. IP現象は,岩石中に電荷が溜ま りやすい構造・物質が存在することで生じる現象で,時間 領域においては、岩石中に流れる直流電流を遮断した際に 生じる電位差の時間減衰として捉えられる. 同現象は, 黄鉄 鉱のような金属硫化物の存在のほか, 粘土鉱物により空隙 が狭まることでも生じることが知られており, 地下の透水 性や岩相の区別に有効であると考えられている. 一般に IP 信号は微弱であるため,高精度な計測が要求されるが,同時 に高効率にデータ取得を行うことも重要である. 今年度は, 高精度かつ高効率なデータ取得を目的とした時間領域IP法 電気探査システムの改良を行った. 電流送信用のシステム と電位計測用のシステムを分離させる(図2a)ことで,送 信電流によるノイズが電位計測に与える影響を最小限に抑 えるとともに,48チャンネル測定システム(スキャナ)に より多チャンネルでの電位同時計測を利用することで, 従 来の単芯ケーブルを用いた逐次計測よりも高速で,かつ大 量のデータを取得し, 高解像度な構造を得ることが可能で あることを確認した (図2b). 本システムは沖縄県・宮古島 における地下水資源調査に導入されたほか, 現在もさらな る解析精度向上のための改良を実施中である.

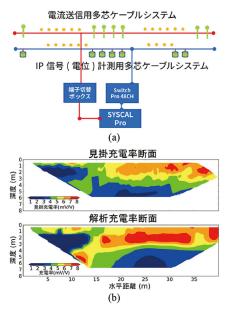


図 2 時間領域IP法電気探査システムの概要.(a) 多芯ケーブルを用いた電流送信・電位計測システムの概念図.(b) 産総研北事業所内敷地で取得された探査結果例.見掛充電率断面(上)及び解析充電率断面(下).約1時間で280点のデータを取得した.

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. グループの研究目的

CO2地中貯留は、産総研第4期中期計画の中で「持続可能な社会発展に資する地圏の資源および環境の利用と保全のための基盤情報整備と評価技術の開発」における地球温暖化対策の重要研究課題の一つとして、また平成30年度当研究部門のポリシーステートメントにおける地下環境利用評価のためのユニット戦略課題として、それぞれ位置づけられており、一層の研究の促進が求められている。このような状況に鑑み、当グループでは、CO2地中貯留全般に資する研究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、地化学研究、岩石実験等は、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 CO_2 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 CO_2 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。この中で当グループは,貯留した CO_2 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

当グループでは、地上に設置した超伝導重力計による高精度重力モニタリング手法を中心として、長期モニタリング技術の確立を目指している。本手法は、比較的低コストかつ保守が容易な受動的連続監視手段であることから、弾性波探査(反射法)を補完する技術として期待されており、苫小牧実証試験サイトにおいてシステムの開発とその適用性の検証を実施している。 これまでに、海岸近傍の厳しい環境下で観測開始後3年半にわたる重力の連続計測を達成し、海岸近傍点における重力データの蓄積を図ってきた。同時に、新たに導入した2台の超伝導重力計を活用して、並行観測によるドリフト比較、移設の影響評価、短期間重力変化計測の可能性調査等の研究を進めている。また、重力変化

に対する降雨の影響の検討に加えて,土壌水分の影響低減を考慮した観測基台を苫小牧に新設し,苫小牧における並行観測も開始した.

長期モニタリングへの課題となる技術開発においては、初段のデータ処理となるルーチン的解析の検討を進め、また苫小牧サイトで取得される重力データから降雨に起因する重力変化を取り除く方法を構築することを目標とした検討を実施した。ここでは、降雨発生後の重力の増加とその後の減少が確認されたことを踏まえ、降雨に伴う土壌浸透プロセスの数値シミュレーションにより、土壌水分分布の変化に起因する重力変化を算出した。その結果、降雨開始後30時間程度までの実測値を説明できることが示された(図1).

2.2. 長期遮蔽性能評価技術の開発

地化学反応プロセスがキャップロックの遮蔽性能に及ぼす影響について、岩石内部のスロート径(空隙構造)と接触角(界面状態)に注目した検討を行った。空隙構造に関しては、各種堆積岩と炭酸塩含有焼結体を CO_2 地中貯留を模した含 CO_2 温泉水中で反応させ、反応に伴う水理特性の変化を解析した。その結果、 CO_2 圧入に際して予想される炭酸塩鉱物に対して未飽和($log\Omega<0$)の条件下において、岩石種により、炭酸塩鉱物の溶解により浸透率が増加するケースと、炭酸塩鉱物の再沈殿により浸透率が低下するケースがあることが示唆された。

界面状態に関しては,昨年度考案した接触角導出法を検証した結果,試料の浸透率を増加させることが不可欠であることが判明した. 二次元放射流モデルを用いた数値シミュレーションからは,地化学反応により接触角が変化し

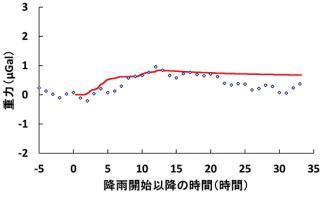


図1 重力変化の実測値と計算値の比較

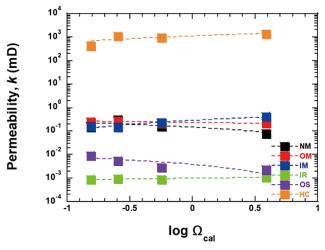


図2 反応に伴う堆積岩の浸透率の変化

た場合に、キャップロックの長期的な遮蔽性能に影響を及ぼす可能性が示された。ここでは特に、枯渇ガス田などに想定される CH₄の存在が流体挙動およびスレッショルド圧による遮蔽効果に影響することが示唆された。

2.3. ジオメカニクスモデリング技術の開発

ジオメカニクスシミュレーションの高度化を図るため、 貯留層および遮蔽層岩石試料について、間隙圧および封圧 の変動に対する歪および水理特性の変化を室内実験により 測定した. 水で飽和した円柱形岩石試料に対して下端から 空気を浸入させる実験を実施した結果、 岩石試料の Skempton の B 値、排水条件における体積弾性率、絶対浸 透率の計測が可能であることが確認された.

また,変成度の異なるキャップロックや貯留岩を用いて, 岩石の変形,破壊,すべりまでの浸透率変化を調べた.き裂 発生に伴う浸透率の変化は,き裂発生の前後で適用される 式が異なることが示された.特に,き裂発生後の浸透率変化 は,変形に伴うき裂幅の変化に関連づけた既往の解釈とは 異なる傾向を有することが明らかとなった.

2.4. その他の研究グループの活動

 CO_2 地中貯留における社会的受容性に関する研究に加えて、NEDO エネルギー・環境新技術先導プログラム予算や科研費補助金での CO_2 挙動に関わる基礎的研究、 CO_2 地中貯留ならびに地熱関連での民間共同研究等を実施している。 また、韓国 KIGAM との CO_2 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。

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.

徂徠正夫 (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)

中村友梨江(産総研特別研究員)

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)

當舎利行(産学官制度来所者)

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(2015年以降)

Sorai, M., Kano, Y. and Honda, K. (2015) Experimental study of sealing performance: 2. Effects of particle size distribution on threshold pressure of sintered compacts. J. Geophys. Res., 10.1002/2015JB011958.

藤井 孝志,上原 真一,林 敬太,徂徠 正夫,高橋 美紀,中尾 信典 (2015) CO₂地中貯留における泥岩の遮蔽性能に及ぼす有効圧変化の影響.資源・素材学会誌,131,509-517.

Fujii, T., Uehara, S. and Sorai, M. (2015) Impact of effective pressure on threshold pressure of Kazusa Group mudstones for CO₂ geological sequestration. Mat. Trans., 56, 519-528.

Fujii, T., Funatsu, T., Oikawa, Y., Sorai, M. and Lei, X. (2015) Evolution of Permeability during Fracturing Processes in Rocks under Conditions of Geological Storage of CO₂. Mat. Trans., 56, 679-686.

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.

地圏環境リスク研究グループの紹介

Introduction of Geo-Environmental Risk Research Group 研究グループ長:張 銘

Leader, Geo-Environmental Risk Research Group:

Ming Zhang

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

1. グループの研究目的

土壌・地下水汚染, 地球温暖化及び放射性物質を含む各種廃棄物の安全かつ合理的な管理など, 実社会が直面している種々の環境問題を解決するための研究開発を行う. また, 研究成果を広く社会へ還元するために, 研究論文のみならず, 多様なリスクを定量的に評価可能な地圏環境リスク評価システム(GERAS)の製品化と普及, 表層土壌評価基本図の整備と出版, ならびに汚染浄化技術の実用化と関連成果の社会的実装を実施する. さらに, 国際規格制定への参画などによって, 国際社会への貢献にも努める. 図 1 に研究グループのミッション及び理念を示す.

2. グループの研究資源

地圏環境リスク研究グループでは、複雑化・多様化する 地圏環境及びリスク問題を的確かつ効率的に解決するため に、多様なバックグラウンド、スキル及び豊富な実績・経験 を有する人材の確保、または必要な人材との連携・協力、内 外部研究資金の獲得及び研究ファシリティの整備に努力・ 邁進している.

Contributions to the Society

- ✔産学: 技術研修、連携講座、非常勤講師...
- ✔産業: 技術相談、技術移転、海外進出支援.
- ✔行政: 意見交換、委員会、政策提言、支援研究...

Integration & Application

- ✔表層土壌評価基本図(1県/2年間)
- ✔国際基準の改定及び制定への参画
- ✓CCS、地層処分及び休廃止鉱山管理への適用
- ✓民間共同研究による実用化の促進

Advanced R & D

✓土壌汚染の調査・評価技術 重金属類、VOCs、放射性物質…/気体、液体、固体

✔浄化対策技術

物理化学的、電気化学的、微生物学的手法...

✔リスク評価と管理技術

地圏環境リスク評価システム(GERAS) 持続性を考慮した汚染対策フレームワーク

図1 研究グループのミッションと理念

2.1. グループメンバー構成(H30.10時点)

張 銘(グループ長)

村尾 智

川辺能成

原 淳子

保高徹生

杉田 創

井本由香利

吉川美穂

高田貞江(テクニカルスタッフ)

渡邊真理子(テクニカルスタッフ)

張紅(テクニカルスタッフ)

軽部京子(テクニカルスタッフ)

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)

金井裕美子(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)

山崎哲生 (産学官制度来所者)

中村 謙吾 (産学官制度来所者)

宋 然然 (RA・産学官制度来所者)

黒澤暁彦 (派遣)

小松智代 (派遣)

また,部門内関連グループのほか,所内では,エネルギー・環境領域,所外では,東北大学や国立環境研究所及びその他の大学と企業,海外では,米国,イギリス及び中国の複数大学並びに中国科学院傘下の研究所と連携・協力し,研究開発を進めている.

2.2. 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、或いは、気体、液体及び固体物質の何れの種類の汚染対象物質も分析・評価するために、以下に示す主要機器の整備、または研究目的に応じた試験システムの開発を達成している。

- ・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)
- ・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)
- ·原子吸光分析装置(AA)
- ・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)
- ・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

2.3. 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」及び「科研費・補助金・助成金」などで実施している.

3. 連携可能な技術

地圏環境リスク研究グループでは,実用化可能な種々の 技術を有しており,連携による利用促進や新たな技術開発 を効率よく実施することが可能である.

- ・重金属類含有建設残土の評価・管理技術
- · VOCs による複合汚染の浄化対策技術
- ・重金属類汚染の浄化及び不溶化対策技術
- ・有用微生物コンソーシアムと集積培養技術
- ・水中低濃度放射性 Cs の迅速計測技術
- ・吸着材の性能評価技術
- ・多相流物質移行解析及びリスク評価技術
- ・重金属類の濃集と溶出反応機構の評価技術
- ・土壌中腐植物質が有害重金属の移行に及ぼす影響の評価技術
- ・坑廃水処理と鉱山跡地の有効利用技術
- ・発光微生物による汚染物質の毒性と濃度評価技術
- ・ガス交換を考慮した物質移行評価技術
- ・重金属類のオンサイト・高精度調査技術

- ・人力小規模採掘のリスク評価と管理技術
- ・難透水性材料の高精度透水試験技術
- ・地盤と岩盤材料を対象とした拡散試験技術
- ・酸化・還元条件を制御したカラム試験技術
- ・鉛ガラスの溶出試験技術
- ・焼却灰や建設残土等の産廃処理技術
- ・ジオインフォマッチクスなど

4. 代表的なトピック

地圏環境リスク研究グループでは,地圏環境リスクの研究,先進的計測評価技術の開発と基準化,環境調和型土壌汚染対策・浄化技術の開発と実用化,土壌汚染リスク評価技術の開発と社会実装及び土壌汚染に係る基盤情報の整備と公開という複数研究課題を戦略的に展開している.各々の研究課題において,研究計画の通り,研究を進めており,着実な成果が得られている.

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、

⑥ 「地圏環境リスク研究グループ」⑥ 名をキーワードとして検索することが可能である.

5. 主な論文成果(平成29年10月以降)

- Yoshikawa, M., Zhang, M., Kurisu, F., and Toyota, K. (2017): Bacterial Degraders of Coexisting Dichloromethane, Benzene, and Toluene, Identified by Stable-Isotope Probing, *Water, Air, and Soil Pollution*, 228(418), 1-10.
- Qiao, W., Ye, S., Wu, J., and Zhang, M. (2018): Surfactant-Enhanced Electroosmotic Flushing in a Trichlorobenzene Contaminated Clayey Soil, *Groundwater*, 56(4), 673-679.
- Imoto, Y., Yashutaka, T., Someya, M. and Higahino, K. (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.
- Hara, J., Norota, S., Kawabe, Y., Sugita, H., and Zhang, M. (2018): Characteristics of Arsenic in Humic Substances Extracted from Natural Organic Sediments, *Environmental Science and Pollution Research*, 25(16), 15680-15691.

上記論文のほか、地圏環境リスク研究グループとしては年間20篇以上の誌上発表及び年間60件以上の口頭発表を行っており、グループのホームページで公表している.https://unit.aist.go.jp/georesenv/georisk/japanese/publications/index.html

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. 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と数値解析技術は, 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 二クス環境の解明, 地圏の流体が地震発生過程に果たす役 割の理解, CO2等の地中貯留・廃棄物処分・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 会の持続発展に努める. このため, グループ内研究ツールの 統合と融合及び他のグループ・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企画・実践する.

2. グループの特徴

当研究グループのメンバーは、岩石力学、掘削工学、岩盤工学、構造地質学、地震学などの専門家である。マルチスケール(コアスケール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から災害低減までと多岐にわたり、研究内容も基礎研究から応用研究までと幅広く、予算は科研費、官民委託費、技術コンサルティング等にまたがっている。

2.1. グループの研究体制

地圏環境システム研究グループは,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

宮崎晋行

北村真奈美

奥山康子

受け入れ研究員不定数

3. 主要試験・計測・解析ツール

- 1)掘削試験装置(図1)
- 2) 三軸圧縮透水実験装置(図2)
- 3) 大型三軸圧縮・水圧破砕 AE 実験装置(図3)
- 4)精密微小試料圧入試験装置(図4)
- 5) 多チャンネル高速AE波形収録・弾性波計測システム
- 6) 地圏環境シミュレーション(GERAS)
- 7)マルチスケール(AE・微小地震・地震)マルチアプローチを融合したデータ解析システム(GeoTaos)

4. 主な研究内容

4.1. 地圏メカニクスに関する実験研究

当グループでは様々な室内岩石試験装置と物性計測システムを駆使し、岩石試料を用いる三軸クリープ試験・透水試験等を行い、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ックモデリングに資する実験研究を系統的に実施する.



図1 掘削試験装置



図 2 三軸圧縮透水実験装置

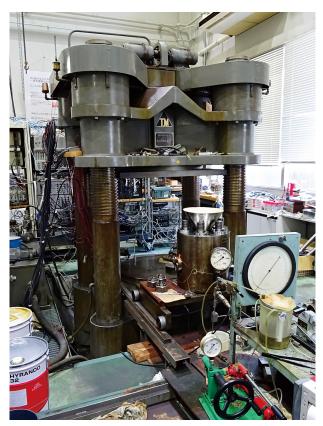


図 3 大型三軸圧縮・水圧破砕 AE 実験装置

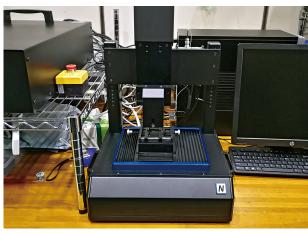


図 4 精密微小試料圧入試験装置

4.2. 岩石掘削用ビットに関する研究

民間企業や大学との共同研究, JOGMEC 受託研究等により,鉱山開発,海底鉱物資源開発,地熱資源開発等,多岐にわたる応用先をターゲットとして,地層・鉱床の特徴を踏まえた岩石掘削用ビットの室内掘削試験を実施し,実用化のための掘削性能評価と改良点の抽出等を行う.

4.3. 地圏環境シミュレーションおよびリスク評価手法に関する研究

地圏における水理 – 物質輸送 – 力学連成系等に関するシミュレーションおよびリスク評価技術に関する研究開発を行う. 具体的には, 地圏環境リスク評価システム(GERAS)の数値解析モデルの高精度化と社会実装に向けた取り組みを推進する.

4.4. 超臨界地熱開発に関連する高温高圧岩石実験

減圧破砕や熱処理等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破壊実験・浸透率測定・X線CTやSEMを用いて微細組織観察を行い,破壊強度・浸透率の温度依存性および亀裂量と強度の相関関係,変形メカニズムを解明する.

4.5. 注水誘発地震に関する研究

地熱開発・シェルガス生産・CO₂地下貯留・工業廃水の地下処分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を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・海外現場の事例研究・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ている.

5.2017年以降主な研究論文

Lei, X., et al., 2017, Scientific Reports.

Lei, X., et al., 2017, *Progress in Computational Fluid Dynamics*.

Lei, X., et al., 2017, in Advances in Acoustic Emission Technology.

Li, X., X. Lei, et al., 2017, *Journal of Natural Gas Science and Engineering*.

Li, X., X. Lei, et al., 2017, Rock Mech. Rock Eng.

Miyazaki, K., et al., 2017, Energies.

Ohuchi, T., X. Lei, et al., 2017, Nature Geoscience.

Ohuchi, T., X. Lei, et al., 2018, Contrib. Mineral Petrol.

Xie, C., X. Lei, et al., 2017, Journal of Asian Earth Sciences.



有機複合材料への利用に向けた雲母粘土鉱物の膨潤制御

地圏化学研究グループ 森本和也* 鈴木正哉, 物質・材料研究機構 田村堅志 佐久間博[連絡先] kazuya.morimoto@aist.go.jp

成果概要

層状構造を有する雲母粘土鉱物の一種であるセリサイトについて,層間への界面活性剤のインターカレーションを試みた. 焼成したセリサイトを用いることで, 界面活性剤が一層おきにインターカレーションする現象を確認した. セリサイトの膨潤シーケンスを制御することで, 材料設計に多様性をもたらし, 触媒担体やコンポジット材料などの有機複合材料への利用が期待される.

研究内容

雲母粘土鉱物(セリサイト)は、厚さ約1ナノメートルのケイ酸塩層が積層した構造をしている。ケイ酸塩層は負の電荷を帯びており、層間にカリウムイオンなどの陽イオンを挟み込んでいるが、層電荷が高いために層と陽イオンとの結合が強く、通常は膨潤性を示さない、雲母粘土鉱物の結晶径は比較的大きい(高アスペクト比)ことから、層間の膨潤・剥離により反応表面積を増加させることができ、ナノシート材料としての利用が期待される。

層間陽イオンとしてカリウムイオンを含むセリサイトについて, 界面活性剤の一種であるドデシルアミン塩酸塩 (DDA) を用い, イオン交換により層間の膨潤制御を試みた. 未処理のセリサイトを用いた場合と異なり, 焼成したセリサイトを用いた場合のみ, DDA はセリサイト層間に一層おきにインターカレーションすることを明らかにした.

研究成果はどう使われるか

有機 - 無機複合系のナノ構造制御は材料の性能向上や機能発現のために極めて重要な技術である. 雲母粘土鉱物の膨潤・剥離化プロセスにおいて層のシーケンスを制御する本技術は, 新規な複合材料の創製に活かすことができる.

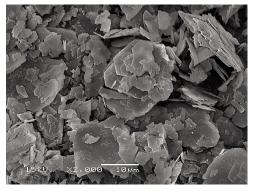


図1 セリサイトの電子顕微鏡写真

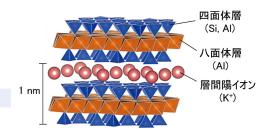


図2 セリサイトの結晶構造



低温廃熱を利用した熱輸送システムにおける蓄熱材の開発

地圏化学研究グループ 鈴木正哉* 万福和子 三好陽子 森本和也 [連絡先] masaya-suzuki@aist.go.jp

成果概要

100℃以下の低温排熱を利用した省エネシステムが検討されており、中でもモバイル型の熱輸送システムが注目されている。昨年度まで NEDO のプロジェクトにおいて研究が進められ、トラックに搭載した 2 トンのハスクレイを、工場での低温廃熱を用いて乾燥させた後、トラックを利用場所へ移動させる熱利用の実証試験を行うとともに、省エネ効果についての検討を併せて行った。

研究内容

熱利用の実証試験を行うにあたって、2 トンのハスクレイ造粒体の製造が必要となる。それゆえ、トンレベルでのハスクレイの合成を可能にするとともに、工業的な造粒体の作製方法の検討が必要となるが、合成においては、水ガラスと硫酸アルミニウムの原料混合時における pH を制御することにより、トンレベルでの合成においても安定的に供給することが可能となった。また加熱温度を上げることにより、さらに高性能な蓄熱材の工業的な合成にも成功した。

実際の実証試験において、トラックに2トンのハスクレイ造粒体を搭載し、100℃で乾燥させた後、トラックを利用場所へ移動させ乾燥工程にて熱の利用を行ったところ、目標としていた熱の利用が可能であることが確かめられるとともに、経済性を達成するための条件も明らかとなった。

研究成果はどう使われるか

モバイル型熱輸送システムの開発により、これまで使用されずに捨てられていた100℃以下の低温排熱を利用できることになる。また熱の利用先として乾燥工程、温水、暖房等に利用が可能である。



図 1 オフライン熱輸送システムにおける 熱利用イメージ



図2 実証試験に用いた熱輸送トラック

リンの資源動向

鉱物資源研究グループ 星野美保子 [連絡先] hoshino-m@aist.go.jp

成果概要

本研究では、枯渇が懸念されているリン資源に対して、鉱石の化学分析および文献調査を行った。その結果、火成起源のリン鉱石は、堆積性のものに比べて純度が高く、カドミウムや放射性元素などの有害元素の含有量が少ないだけでなく、レアアースのような有用金属を高濃度で含有することが明らかとなった(図1).

研究内容

リンは肥料用のイメージの強い元素であるが、自動車、電子部品、医薬品や加工食品など様々なものに利用されている身近な元素である。我が国で消費されるリンのほとんどは、天然のリン鉱石から生産されている。リン鉱床は、主に堆積性、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いる(図2)。しかし、世界的な人口増加に伴う需要の増加や高品位の鉱石の枯渇が指摘されており、効率的なリンのリサイクル研究やリン鉱石からリン酸を生産する際にでた残渣からリンを回収する試みが行なわれている。本研究では、南アフリカやヨーロッパをはじめとする世界各地のリン鉱石の化学分析の結果や文献調査に基づいて、リンの需給状況などリンの資源動向について紹介する。

研究成果はどう使われるか

EU では肥料用のリン鉱石中のカドミウムの環境基準を段階的に引き上げることを決定しており、今後高品質のリン鉱石の確保が難しくなることが予想される. 本研究の結果は、日本へのリンの安定供給のための基礎データとなる.



図1 高濃度のレアアースを含有するリン鉱石



図2 世界のリン鉱床の分布図(経済性のあるもののみプロット)



選鉱の高度化を目的とした粉体シミュレーション技術開発

鉱物資源研究グループ 綱澤有輝 [連絡先] tsunazawa-y@aist.go.jp

成果概要

粉体挙動の解析手法である離散要素法を用いたシミュレーション技術の 開発を進めている。本研究では、粒子流体間の相互作用力や付着力、磁力と いった物理モデルや要素技術の開発とともに、選鉱の前処理である粉砕に おける粒度分布変化の予測手法や単体分離度の促進に効果的な粉砕条件の 検討を行なっている。さらに、粉砕機や選別機内の粒子挙動解析への応用を 進めている。

研究内容

鉱物資源の選鉱において、コストやエネルギー消費を抑えて、高精度な濃縮や選択的分離を達成するためには、その高度な操作設計が求められている。そこで、選鉱の高度化を目的として、粉体挙動の解析手法である離散要素法を用いたシミュレーション技術の開発を行っている。選鉱の前処理である粉砕による単体分離の促進に寄与する条件の検討の一環として、粒度分布変化の予測手法の開発を試みた。ボールミル内の媒体ボールの衝突過程から、間接的に試料の粉砕過程を評価し、実験結果との間に相関性を見出すことで、シミュレーションから粉砕による粒度分布変化の予測手法を構築した。また、シミュレーションの要素技術開発として、粒子に複数の成分が混在する片刃粒子に作用する磁力をモデル化し、磁選機内の粒子挙動解析への応用に取り組んでいる。

研究成果はどう使われるか

本研究で開発した粉体シミュレーションによって, 粉砕機や選別機内の 粒子挙動が詳細に把握できる. また, 粉砕・選別装置の最適条件の検討, 粉 砕機や選別機の装置設計への応用が期待される.

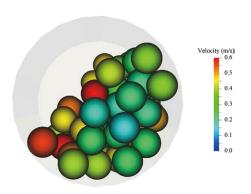


図1 ボールミルの粒子挙動解析例

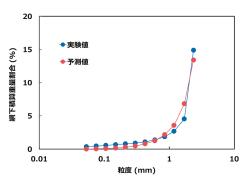


図 2 解析値と実験値の粒度分布比較

富士山周辺地下水の δD , $\delta^{17}O$, $\delta^{18}O$ の高精度分析

地下水研究グループ 町田 功* 小野昌彦 井川怜欧 丸井敦尚 [連絡先] i-machida@aist.go.jp

成果概要

富士山麓は極めて地下水が豊富な地域として知られている。富士市の深層地下水の δD , $\delta^{18}O$ は同位体的に軽く, それは涵養域が高標高域にあるためとされている(同位体の高度効果)。一方, これらの地下水には雪解け水が多く含まれるという説があったが, はっきりとしたことは分からなかった。本研究では同位体の高精度分析によりこの説を支持する結果を得た.

研究内容

従来,日本の多くの地域では降水のd-excess (d-excess= δ D- $8\delta^{18}$ O) が、冬季に高く,夏季に低くなることが知られており,富士山周辺も同様である。したがって,富士山麓の深層地下水に雪解け水が多く含まれるなら,そのd-excess は浅層地下水と比較して高い値を示すはずである。しかしながら,流動の過程で一年間の涵養水は,地下でほぼ完全に混合するため,地下水中にて d-excess に違いを検出できたとしても非常に小さなものとなることが予想できた。そこで本研究では VSMOW-SLAP スケールという高精度の手法で,さらに10回以上の繰り返しの分析を実施した。加えて新たに 17 O-excess を国内外で初めて水文地質研究に取り組み,その空間分布を明らかにした。

研究成果はどう使われるか

同位体の高精度分析により, 従来見いだせなかった雪解け水の涵養の寄与を明らかにすることができた. 本研究は同位体による広域地下水流動解析法の高度化と位置づけることができる.

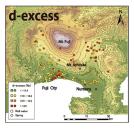


図 1 富士山周辺地下水のd-excessの空間 分布

d-excessの分析精度は±0.21%である. わずかな差異が検出可能になったことにより, 斜面によるd-excessの違いが明らかになった.

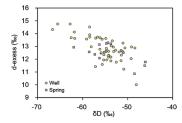


図2 δDとd-excessの関係 高精度分析により両者の間に明瞭な相関関係が得られた。このような相関が表れる理由は、高標高域を涵養域とする地下水は(δ値が軽いもの)、その起源として雪解け水を多く含むため(d-excessが高い)と考えられる。



島嶼部における地下水賦存状況の評価

地下水研究グループ 小野昌彦* 松本親樹 井川怜欧, 長崎大学環境科学部 成富真由 利部 慎[連絡先] masa.ono@aist.go.jp

成果概要

本研究では島嶼部における地下水資源評価の観点から,長崎県対馬を対象に地下水等の採水を行い,水質や溶存ガス,同位体等の地化学トレーサーを用いて地下水の賦存状況を評価した.地化学分析の結果から,島内の深度1,000mを超える深部で淡水の水質を示す地下水が確認され,その年代を推定したところ,現在から1万年以上前の氷期に涵養された地下水である可能性が示唆された.

研究内容

地下水は人間生活を支える水資源として古くから利用されており、特に 島嶼部では表流水が短期間で海へ流出することから、地下水の利用が欠か せない、一方で、持続的な地下水の利用や保全を行うためには、地下水の流 動や賦存状況の実態解明が必要である。地下水研究グループでは、地下水の 利用・保全に資する情報を収録した水文環境図の作成を行っており、これ まで都市部を対象に図面の整備を進めてきた。今回、新たに島嶼部における 地下水情報の整備についても検討を始め、その最初のステップとして長崎 県対馬を対象に長崎大学と共同で地下水の賦存状況を調査した。現地では 地下水や河川水を採取し、溶存イオン、酸素・水素・炭素等の同位体、ヘリ ウム等の希ガスを分析し、地下水質(淡水、塩水)や地下水年代(地下に浸 透して何年経過したか)を評価した。

研究成果はどう使われるか

日本には大小様々な島があり、地下水はそれらの島々における重要な水 資源である。本研究の成果はそのような水資源としての活用が期待できる 淡水地下水が、対馬のみならず他の島嶼の深部にも存在する可能性を示唆 している。



図1 採水調査の様子

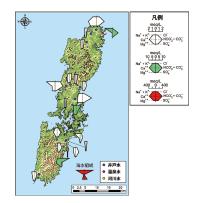


図 2 水試料に含まれるイオンの組成と濃度を示すシュティフダイアグラム



資源開発と地下水汚染 ~石炭燃焼灰を用いた環境低負荷型の対策~

地下水研究グループ 松本親樹 [連絡先] shin.matsumoto@aist.go.jp

成果概要

種々の室内実験の結果に基づき、予想される課題(金属溶出、土壌侵食、植物生育阻害)に石炭燃焼灰(石炭灰)が与える影響、そのメカニズム、および着目すべきパラメータを整理することができた。加えて、それらの結果に基づき、石炭灰の酸性鉱山排水問題への適用指針の大枠を構築した。

研究内容

「資源開発」に伴い、地中に存在する様々な鉱物が大気中に暴露され、重金属等を含む汚染水(鉱山排水)が発生することがある。そのような鉱山排水が処理されることなく流出すると、河川等の地表水を汚染するだけでなく、地下に浸透した先で地下水の汚染を引き起こす。また一般に、地下水汚染が一度発生すると広域かつ長期間継続するため、資源の開発段階において発生源に対策を講じることが重要となる。本研究では、石炭の燃焼に伴い発生する産業廃棄物である石炭灰を、そのような問題の対策に適用することで、産業廃棄物の有効利用と環境問題の解決を同時に達成する新たな対策法の確立を目指した。また、資源開発地域において予想される課題に対して、1. 重金属の溶出、2. 土壌侵食、3. 植物生育への影響というように分野を横断する視点から石炭灰の適用可否を検討した。

研究成果はどう使われるか

多量の石炭灰と酸性鉱山排水が発生する地域において,本研究の成果は,石炭灰の酸性鉱山排水問題への適用指針となる.また,このように石炭灰の有効利用と環境問題の解決を同時に達成することは,「環境低負荷型の資源開発」の実現に繋がることが期待される.



図1 石炭開発の様子



図 2 資源開発地域における酸性鉱山排水 の様子



釧路炭田に分布する古第三紀浦幌層群石炭の根源岩評価

燃料資源地質研究グループ 高橋 幸士* 中嶋 健 鈴木祐一郎,研究戦略部研究企画室 森田澄人,地質情報基盤センター 佐脇貴幸, JX 石油開発株式会社 花村泰明 [連絡先] koji-takahashi@aist.go.jp

成果概要

JX 石油開発株式会社との共同研究の一環として, 釧路炭田に分布する古第三紀浦幌層群の石炭・炭質泥岩の石油生成能力評価, 及び同炭田地域における熟成度分布を検討した. その結果, 浦幌層群石炭・炭質泥岩は, オイル-ガス指向型, またはオイル指向型の根源岩であり, 炭田北部の試料ほど熟成が進行していることが示唆された.

研究内容

国内には新生代石炭が広く分布しており、その石油生成能力の評価が求められている。本研究では、JX 石油開発株式会社との共同研究の一環として、北海道東部の釧路炭田に分布する古第三紀浦幌層群の石炭・炭質泥岩の石油生成能力、及び熟成度評価を行った。本研究では、合計24個の石炭・炭質泥岩を採取し、ロックエバル分析とビトリナイト反射率測定を実施した。その結果、採取試料は、オイル指向型、またはオイル・ガス指向型の根源岩に分類された。また、炭田北部の試料ほど熟成が進行していることが示唆された。釧路炭田の北側には、火山帯が分布しており、一般に北部であるほど地温勾配が上昇する。釧路炭田における浦幌層群の熟成度分布は、火山帯からの距離を反映した熱履歴の違いを反映している可能性がある。

研究成果はどう使われるか

本研究は、これまでほとんど検討されていなかった浦幌層群の石炭・炭質泥岩の根源岩能力と熟成度分布を明らかにした。本研究成果は、釧路堆積盆における石油・天然ガス資源ポテンシャルを評価するための基礎データとして活用される。



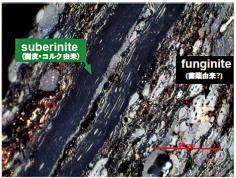


図 1 採取した石炭試料の顕微鏡写真.緑 色,青色,黒色の順に石油生成能力が 高い.

NMR プロファイリングを駆使した簡便な原油の特徴解析 - 探鉱技術への応用を目指して -

燃料資源地質研究グループ 朝比奈健太*,バイオメディカル研究部門 根本 直 [連絡先] kenta-asahina@aist.go.jp

成果概要

我々は, 医療・食品分野で利用され始めている NMR- メタボリックプロファイリング法を原油試料に適用し, 簡便かつ迅速に原油の特徴を抽出できる可能性を見出した. 本手法は, 前処理を一切必要とせず, 1 試料あたりわずか15分程度で測定できるため, 大幅な時間の削減にも繋がった.

研究内容

バイオマーカーは、起源有機物や熟成度、堆積環境などの情報を与えてくれる一方で、分離精製や長時間にわたる測定などの課題がある。そこで我々は、迅速に原油の特徴を把握する方法として、NMR プロファイリング法に着目した。この手法は、分子の構造決定や相互作用解析に利用されているFT-NMR 装置を計測的に利用し、混合物試料から直接情報を抽出できる。前処理をほとんど必要としないため、簡便な分析手法でもある。本研究では、性状や根源岩の情報が豊富な国内の原油17試料の NMR スペクトルを測定した。各スペクトルを約240変数に数値化し、主成分分析(PCA)にて可視化してノンターゲット解析を行った。散布図から溶媒・水分情報を排除する特徴選択を行ってデータ分布の構造の変化を観察し、起源有機物や微生物分解の程度などの特徴を迅速に把握できる可能性を見出した(図 1)。

研究成果はどう使われるか

NMR プロファイリング法による原油の特徴解析法は, 非破壊で従来のバイオマーカー分析で得られる根源岩情報を劇的に短時間で得ることができる. 今後, 本手法を確立することで, 石油探鉱や採掘計画のための基礎的計測技術として深化と応用化を目指す.

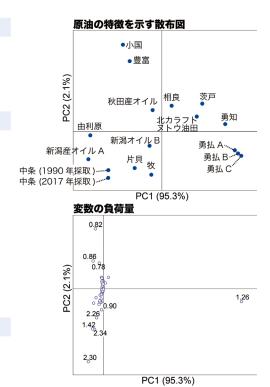


図 1 NMRプロファイリングによる国内原 油の解析



金属元素の安定同位体比分析手法の開発と高度化

鉱物資源研究グループ 荒岡大輔 [連絡先] d-araoka@aist.go.jp

成果概要

鉱物資源研究グループでは、様々な金属元素の同位体比分析手法を立ち上げてきた。さらに、分析手法の簡便化のため、ホウ酸塩溶融法を用いた岩石試料の分解と、イオンクロマトグラフィーを用いた目的元素の分離法を組み合わせ、短時間での自動マルチ元素分離手法を開発した。これら開発した手法を用いて国内外の研究機関と様々な共同研究を展開している。

研究内容

安定同位体比は物質の起源や地質学・生物学的プロセスを解析するツールとして広く利用されてきた。近年では分析装置の発展により、水素、酸素、炭素などの従来から利用されてきた同位体比だけでなく、アルカリ金属・アルカリ土類金属元素や遷移金属元素の安定同位体比も高精度測定が可能になってきた(図1)。そこで鉱物資源研究グループでは、Li、Mg、Fe、Sr、Cdといった研究例のほとんどない新しい安定同位体の分析手法を整備してきた。さらに、ホウ酸塩溶融法とイオンクロマトグラフィーおよびフラクションコレクタを組み合わせた、岩石試料からの簡便な自動マルチ元素分離手法を開発した(図2)。また、本手法を用いて GSJ 発行の標準物質のリチウム・マグネシウム・ストロンチウム安定同位体比を測定し、本手法の正確性を検証した。

研究成果はどう使われるか

本手法を用いることで,物質・元素の起源や科学的プロセス,年代情報などを得ることができる.そのため,地質分野に留まらず,生物・材料分野など幅広い分野との共同研究が期待できる.

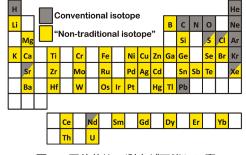


図1 同位体比の測定が可能な元素

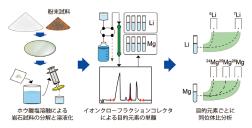


図 2 開発した同位体分析前処理手法の概要

天然ガス中のネオペンタン測定の重要性

地圏化学研究グループ 猪狩俊一郎 [連絡先] s-igari@aist.go.jp

成果概要

天然ガスの炭化水素組成は天然ガスの基本的な測定項目であり、測定例は多い.油田ガスの場合、C1-C5炭化水素組成が測定されることが多い. C5に関しては3種の異性体のうちn-ペンタン・イソペンタンは一般に測定されているが、ネオペンタンに関してはほとんど測定例がなかった.そこでネオペンタンを含むC1-C6炭化水素の全構造異性体の測定を行った.

研究内容

これまで、イソブタン /n- ブタン比は生成温度の指標となりえる可能性があるものと考えられてきたが、明確ではなく、他に生成温度の指標となる炭化水素間の比も殆ど無かった。秋田・新潟の油田ガスの場合、ネオペンタン / イソペンタン比・ネオペンタン / イソブタン比は生成温度の指標と考えられる δ^{13} C(C2)と相関を示し、指標となり得るものと考えられる。 さらに n 体は微生物による分解を受けやすいためイソブタン /n- ブタン比は微生物分解の影響を受けるが、ネオペンタン / イソベンタン比・ネオペンタン / イソブタン比は比の中に n 体を含まないため微生物分解による影響を受けにくく、より有効な生成温度の指標となり得るものと考えられる.

研究成果はどう使われるか

天然ガス間の生成温度の比較に使用される. ある程度微生物による分解を受けたガスでも使用可能である.

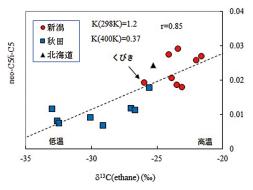


図 1 ネオペンタン/イソペンタン比とδ¹³C (ethane) の関係



クロロエチレン類の微生物分解速度と影響因子に関する検討

地圏環境リスク研究グループ 張 銘* 吉川美穂 [連絡先] m.zhang@aist.go.jp

成果概要

平成29年4月よりクロロエチレンが土壌汚染対策法の特定有害物質として新たに追加された.本研究では、クロロエチレンの親物質であるテトラクロロエチレン (PCE) やトリクロロエチレン (TCE) などを含むクロロエチレン類の微生物分解速度及び影響因子に関する検討を行い、原位置及び室内実験における分解速度の差異並びに分解速度に影響を及ぼす主要因子を明らかにした.

研究内容

汚染サイトに存在するクロロエチレンは元々の汚染物質ではなく,テトラクロロエチレン(PCE)やトリクロロエチレン(TCE)などの親物質の分解によって生成されたものである.地下深部では,還元的な雰囲気が多いため,本研究では,嫌気性微生物によるクロロエチレン類の還元分解速度に関する文献調査を行うとともに,室内分解実験結果との比較・検討により原位置での分解速度は室内分解速度より数十倍以上も遅いことが判明した.また,クロロエチレン類の微生物分解速度に影響を及ぼす因子を微生物学的,化学的及び物理学的因子に分類・考察し,有用分解微生物の存在とその濃度,共存微生物,汚染及び共存汚染物質濃度,土壌粒度及び透水性などが微生物分解速度を規制する主要因子であることを明らかにした.

研究成果はどう使われるか

新規法規制物質として土壌汚染対策法に指定されたクロロエチレンによる汚染サイトに関して、微生物分解による浄化の可否判断や浄化条件の設計及び浄化期間の予測などに利活用することが可能である.

VOCs	分解定数(d-1)	半減期(d)	文 献
PCE	0.002	347	Roberts et al., 1982
	0.0075 -0.071	9.8 ~92	Bagley and Gosset , 1990
	0.0079	88	Bouwer et al., 1981
	0.0021	330	Praamstra, 1996
TCE	0.001 -0.003	231-693	Wilson et al., 1994
	0.008	87	Wilson et al., 1996
	0.0062	112	Barrio-Lage et al., 1987
	0.004	173	Poulsen et al., 1996
	0.0001 -0.003	231-6930	Martin andImbrigiotta 1994
	0.0033	210	Kleopfer et al., 1985
	0.006	116	Bouwer et al., 1981
cis- DCE	0.0014 -0.002	347-495	Wilson et al., 1994
	0.004	173	Barrio-Lage et al., 1986
VC/CE	0.0005 -0.002	347-1386	Wilson et al., 1994

図1 原位置分解速度に関する調査事例

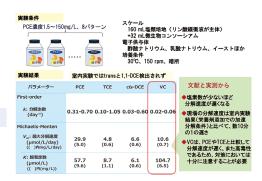


図2 室内分解実験により得られた分解速度



Effects of Silicic Acid on Arsenite Removal Performance of Magnesium Oxide and Hydroxide

地圏環境リスク研究グループ 杉田 創* 小熊輝美 張 銘 原 淳子 川辺能成 [連絡先] hajime.sugita@aist.go.jp

成果概要

マグネシウム化合物をヒ素吸着材として用いることによって, ヒ酸及び 亜ヒ酸を効果的に吸着除去できることが報告されている. 一方で, ヒ酸の除 去性能は, 汚染水にケイ酸成分が溶存している場合, 著しく低下することも 報告されている. 亜ヒ酸についてもケイ酸成分の存在によって除去性能の低下を生じることが予想されるため, Mg 系吸着材への亜ヒ酸の吸着挙動に 及ぼすケイ酸の影響等について模擬ヒ素汚染水を用いたヒ素除去試験を実施し, 検討を行った.

研究内容

ヒ素吸着材として 2 種類のマグネシウム化合物(MgO 及び Mg(OH) $_2$)を用い、ケイ酸 - 亜ヒ酸混合溶液を模擬ヒ素汚染水としたヒ素除去試験(振とう試験)を実施し、亜ヒ酸の除去性能に及ぼすケイ酸の影響を調べた。その結果、MgO と Mg(OH) $_2$ への亜ヒ酸の吸着挙動はケイ酸の影響を受けることが確認されたが、その挙動については、MgO と Mg(OH) $_2$ の間で大きな違いがあることが明らかにした。 MgO の亜ヒ酸除去性能は、初期ケイ酸濃度が25 mg/L以下ではケイ酸の影響はほとんど見られなかったが、50 mg/Lで急激に低下し、100 mg/Lでは50%以下になった。 Mg(OH) $_2$ の亜ヒ酸除去性能は、初期ケイ酸濃度が5 mg/Lのような低い場合ではむしろ増加した。そして、50 mg/Lで大きく低下した後、100 mg/L では幾分増加した。

研究成果はどう使われるか

ヒ素汚染水の浄化において,ケイ酸成分によって引き起こされる吸着材へのヒ酸及び亜ヒ酸の吸着阻害の影響を加味した Mg 系吸着材の運用方法あるいは吸着材改良のための基礎データとして役立てられることが期待される.

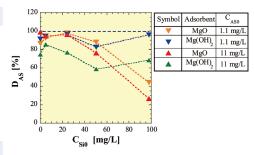


図1 亜ヒ酸除去性能に及ぼすケイ酸の影響

注釈)

 C_{ASO}: 初期亜ヒ酸濃度 [mg/L], C_{SiO}: 初期

 ケイ酸濃度 (Si 換算値) [mg/L], D_{ASO}: 亜

 ヒ酸除去率 [%]



トンネル掘削岩からの有害元素溶出特性の評価

地圏環境リスク研究グループ 原 淳子* 川辺能成 張 銘, DOWA エコシステム株式会社 永瀬弘喜 友口 勝 [連絡先] j.hara@aist.go.jp

成果概要

改正土壌汚染対策法では、自然由来の重金属類汚染も規制対象であるが、これら土壌の有効利用等の規制見直し、技術対策が喫緊の課題となっている。一方、土木建設工事等で発生する建設残岩に関しては、ガイドラインが定められているものの、未だに法規制が定められておらず、国として明確な指針を示すことができていない状況が続いている。このような背景から、現在、我々は建設残岩からの有害元素溶出特性を適切に評価すべく、建設残岩に関する試験法、リスク評価法、利活用技術の開発を目指し、関連技術の再検討を進めている。

研究内容

第一段階の研究としては,数種の建設残岩を対象として溶出スクリーニング試験時の評価粒度の妥当性を検討した.トンネル工事等から排出される建設残岩はコンクリート成分の影響により,高アルカリ域での溶出が余儀なくされる.その結果,土壌と同様に2mm以下の粒度でヒ素溶出量を評価した場合,実際には粗粒子から構成される岩石からの溶出に比べて過剰な溶出条件で評価することで,ヒ素の吸着・共沈作用を促し,ヒ素の溶出を促進することで安全側に過大評価するのではなく過小評価してしまう可能性もあることが示唆された.

研究成果はどう使われるか

建設現場で発生する残岩中に含まれる有害元素の取り扱いに対し,過剰な対策かつ過小なリスク評価がなされることがないように的確な評価手法を定める必要がある.本研究は現行手法の問題点を明らかにしており,今後の手法開発の一助になると期待される.



図1 土木工事で発生する掘削残岩の例

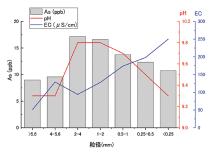


図 2 ヒ素溶出量の粒径依存性



地震液状化で変形したコアの CT 画像のマルチフラクタル解析

物理探査研究グループ 中島善人*, 地質情報研究部門 小松原純子 [連絡先] nakashima.yoshito@aist.go.jp

成果概要

地震液状化で葉理が不規則に変形したボーリングコアの X 線 CT 画像について, マルチフラクタルスペクトル解析を行った. スペクトルの極大値付近のスペクトル形状の開度(広がり具合)という視点でみれば, 不規則で不均一な葉理の変形の程度を定量化できることがわかった.

研究内容

地球科学では、変形・混合をこうむって不均一なパターンを呈する試料の画像について、その変形・混合の程度を定量化したいケースがある。東北地方太平洋沖地震で液状化を起こしたサイトから回収したボーリングコアを例にとって、その X線 CT 画像を鉄(X線の強い吸収体)の空間分布とみなし、マルチフラクタル解析を試み、f(α) スペクトルを得た(αはリプシッツ・ヘルダー指数).図1の結果が示すように、f(α) スペクトルの極大値付近のスペクトルの開度という視点で、液状化による不規則で不均一な葉理の変形・混合の変遷を定量化できた。すなわち、未変形状態(A)ではスペクトルの開度が中くらい→液状化による変形が少し進むと(B)開度が大きくなる→変形がかなり進んで均質化すると開度はかなり狭くなる(C-E)、という順で変遷することがわかった。

研究成果はどう使われるか

マルチフラクタル解析は、フーリエ解析が苦手とする不規則で不均一な $1\sim 3$ 次元の空間分布の定量化に貢献できる. たとえば、

- ・地盤液状化や褶曲などによる地層の変形・混合度の定量
- ・鉱物資源の偏在や重金属土壌汚染マップの定量解析
- に適用可能である.

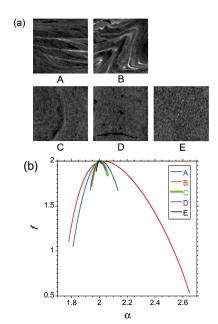


図1 (a) 様々な変形度を示すコアの 2次 元 CT 画像. 画像サイズは, 一辺が約 5cm. (b) (a) の各画像に対応するマ ルチフラクタルスペクトル. (Nakashima, Y. and Komatsubara, J. 2018 Fractals, 26, article ID 1850018)



時間領域空中電磁探査における探査深度・水平影響領域の簡易な把握手法の開発

物理探査研究グループ 小森省吾* 光畑裕司 [連絡先] komori.shogo@aist.go.jp

成果概要

表層地質の把握や地下水・地熱資源ポテンシャル評価を目的とした広域・多点の電磁探査手法,特に空中電磁探査への注目が集まっている.近年では,大きな探査深度が期待される時間領域空中電磁探査 (Airborne TEM)の開発研究・実用化が進んでいる.本研究では,同探査手法の探査領域(探査深度・水平影響領域・無感度領域)を簡易かつ直感的に把握するための手法を考案した.

研究内容

本研究では、異なる比抵抗値を持つ2層構造モデルを仮定し、送信ループに流れる電流を遮断した後にモデル中に誘導される電磁場拡散のシミュレーションを行った。電場分布の時間拡散を可視化すると共に、2次磁場の過渡応答の均質一様モデルからのずれに着目することで、電流遮断後に時間と共に拡大する探査深度・水平影響領域をシンプルに定義した。

その結果,地下比抵抗の変化は電場の拡散速度を制御するために探査領域の広がりに影響を与えること,飛行高度の変化は,early time における水平影響領域に大きな影響を与えるが,探査深度には殆ど影響を与えないこと,送信ループ直下にはループ径を超える無感度領域が比較的広い範囲に分布することが明らかになった.

研究成果はどう使われるか

本手法は簡易なため、空中電磁探査の計画段階において空間分解能など 導入すべき機材の仕様検討に有効であるほか、逆解析への応用も期待でき、 実用化に向けてさらなる研究を継続中である.

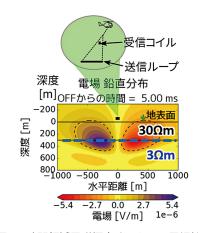


図1 時間領域電磁探査法における電場拡散

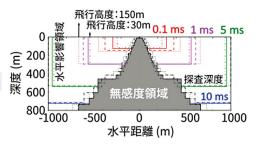


図 2 探査領域の把握結果の一例

山葵沢地熱地域における絶対重力の繰り返し測定について

CO2地中貯留研究グループ 堀川卓哉* 西 祐司 杉原光彦, 福島再生エネルギー研究所 村田泰章, 電源開発 (株) 滝沢顕吾 野内大介, 湯沢地熱 (株) 阿島秀司 [連絡先] t.horikawa@aist.go.jp

成果概要

昨年度より産総研は電源開発(株)との共同研究として,来年運転開始予定の山葵沢地熱発電所,及びその周辺地域における繰り返しハイブリッド重力測定を用いた地熱貯留層のモニタリングを行っている。本報告会では,相対重力の巡回測定と基準点での絶対重力測定を組み合わせるハイブリッド重力測定のうち,絶対重力測定の概要と課題について報告する。

研究内容

貯留層モニタリングのための重力測定においては、相対重力計を用いた巡回測定に加え、絶対重力測定で基準点の重力値の経時変化を評価することが重要である。発電所から十分に離れ、かつ測定環境が良く長期的なモニタリングに耐えうる点に基準点を設けた。来年度の発電所運転開始を見据え、基準点で絶対重力計 FG-5 (#217) を用いたベースライン測定を 4度行った (H29年 8月、10月、H30年 6月、8月)、その結果、潮汐、機械高、気圧補正後の重力値の期間平均は順に、(9.800739×10 8 +)51.9,56.7,49.9,52.4 μ gal となった。誤差は各期間ともに約 \pm 1.9 μ gal であり、重力値に有意な変動は見られなかった。H29年10月測定分のみ大きな値が測定されたが、これは 2 日間の測定中に計40 μ mmの降雨があったためだと考えられる。

研究成果はどう使われるか

基準点における絶対重力値を測定することにより,各測点の重力の経時変化を絶対的に求められる.高精度なハイブリッド重力モニタリングにより,地熱貯留層の詳細な理解と地熱資源の効率的な利用に貢献する.



図1 山葵沢地域の概要と重力測定点の分布

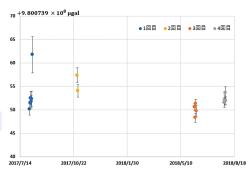


図 2 測定日ごとの重力値(横軸:測定日, 縦軸:重力値[µgal])



超臨界条件下における花崗岩の変形挙動

地圏メカニクス研究グループ 北村真奈美*,活断層・火山研究部門 高橋美紀 [連絡先] kitamura.m@aist.go.jp

成果概要

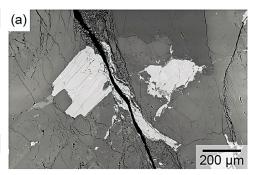
近年,より効率的な地熱エネルギー回収を目的として,マグマ近傍の高温 岩体をターゲットとし,超臨界流体よりエネルギーを得る新たな地熱開発 が計画されている.岩石の変形挙動や力学特性は,新たな地熱開発計画を遂 行する上で重要な基礎情報である.そこで本研究では超臨界流体が存在す る環境において,マグマ近傍の主要な岩石である花崗岩の変形挙動を調 べた.

研究内容

本研究では超臨界高温高圧条件下においてインタクト花崗岩の破壊実験を実施した。 花崗岩は温度が上がるにつれて, ヤング率・強度が低下した。 また全ての実験において巨視的な破断面を生じる脆性破壊を示した。 しかしひずみ速度10⁻⁶s⁻¹において,650℃以上ではゆっくりとした応力降下を示し,延性変形へと変形様式が遷移し始めていることが明らかになった。

研究成果はどう使われるか

花崗岩は日本の地熱地域に分布する主要な岩石の1つである. 本研究から花崗岩の変形挙動や力学特性が明らかになれば, 超臨界地熱開発において掘削オペレーションや誘発地震発生リスク評価へと役立つと考えられる.



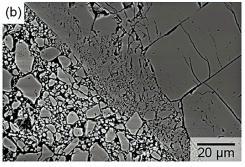


図 1 実験後試料のせん断面 (SEM 画像). (a) 温度550℃, (b) 温度750℃.



流体岩石反応に関わる溶液化学的性質の熱力学的な整理

地圏化学研究グループ 佐々木宗建 [連絡先] sasaki-munetake@aist.go.jp

成果概要

流体岩石相互作用を解明するには流体・鉱物・これら界面における物理 化学的な諸性質の理解が必要である。本研究では文献の熱力学的データを 基に各元素の酸化物の水に対する溶解度を計算し、各元素の溶解度がpHに 対する増加、減少、凹型に分類されることを確認し、今後の溶液化学的な性 質のより詳細な検討のための基礎情報を得た。

研究内容

一般に物質の溶液化学的性質は酸・塩基反応を基本とし、バルク溶液中での性質は、酸化物の溶解度のpHと温度に対する依存性のうちに代表的に観察することができる。酸化物は一般に、水に溶解し酸として働く酸性酸化物、塩基として働く塩基性酸化物、両方の働きを示す両性酸化物に分類され、非金属元素には酸性酸化物が、金属元素には塩基性酸化物が多い。酸化物の溶解度のpH依存性は、反応におけるヒドロキソ錯体の錯生成定数に、温度依存性は化学反応における反応熱の出入りに関係し、溶解度の大小は主に酸化物の生成自由エネルギーの大小を反映する。本研究では、文献の熱力学的データを収集し、各元素の酸化物の溶解度を計算し、周期表上で比較することで、各元素について上述の諸性質に関する確認作業を行った。

研究成果はどう使われるか

本研究は予察段階であるが、今後に物質の溶液化学的性質に関わる種々の熱力学的パラメーターについて特性を検討・整理することで、熱水系における物質移行過程の理解や地化学的モデリングの精緻化に役立つことが期待される。

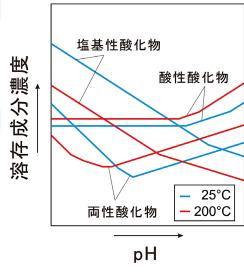


図1 酸化物の水に対する溶解度の例(模 式図).



水理・力学連成解析の高度化のための軟岩の変形と浸透性の関係解明

CO2 地中貯留研究グループ 藤井孝志* 徂徠正夫, 地圏メカニクス研究グループ 雷 興林 [連絡先] takashi.fujii@aist.go.jp

成果概要

貯留層への CO_2 流体の圧入は,有効応力の低下を引き起こす.そのため,安全な CO_2 地中貯留技術の実施には,力学と水理の関係について深く理解した上で実施する必要がある.本研究では,力学と水理の関係解明のために,室内岩石コア実験を実施し,得られたデータに基づき,CCS 等に適用可能な水理一力学の連成解析の高度化のための構成則を求めた.

研究内容

CO2 地中貯留で想定される様々なキャップロック, および貯留岩を用いて, 岩石の①変形, ②せん断・すべり, ③応力緩和, ならびに④有効圧の低下が浸透性に及ぼす影響について実験的に評価した. 得られた浸透率(水理)とひずみ(力学)の関係性に基づき, 水理一力学連成解析の高度化に必要な構成則を求めた. 具体的には, 図1に示すように, 軸ひずみと浸透率の実験データの代表値に対して, 先行研究で提案されたモデルでフィッティングを行った結果, おおよそ従来モデルで説明が可能であることがわかった.

研究成果はどう使われるか

実際の室内岩石コア実験で得られたデータに基づく構成則は,安全なCO₂地中貯留技術開発に必要な水理—力学連成解析の高度化,およびその解析方法の簡便化を可能とする.

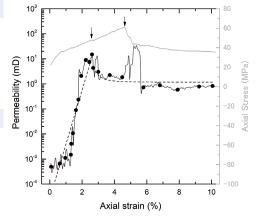


図 1 泥岩における浸透率と軸ひずみの関係, およびモデルフィッティングの 結果

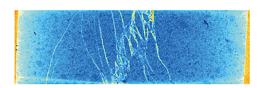


図 2 X線CTによる実験後試料の内部観察 の結果



論 2016~2018年

- 中村 謙吾, 佐藤 海里, 川辺 能成, 桑谷 立, 駒井 武 (2016) 名取川水系の重金属類の環境評価に関する調査及び 数理統計解析. Journal of MMIJ 132 (1). 22-30.
- 羽柴 公博, 谷 和夫, 岡田 哲実, 白鷺 卓, <u>及川 寧己</u>, 若林 成樹(2016) 岩石の一軸引張試験の方法と留意点. Journal of MMIJ 132 (1). 7-13.
- 雷興林, 船津 貴弘, 馬 勝利, 劉 力強 (2016) A laboratory acoustic emission experiment and numerical simulation of rock fracture driven by a high-pressure fluid source. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engeneering 8. 27-34.
- 中嶋 健(2016) 深海チャネルー自然堤防ー海底扇状地システムの貯留岩形態・根源岩ポテンシャルに関する最近の知見. 石油技術協会誌 81(1).33-45.
- 五十公野 裕也, 村尾智, 中島 和夫(2016) 山形県大張鉱 床産銅鉱石から発見されたベテフチン鉱とその意義, 社会地質学会誌12, 39-41.
- <u> 荒岡 大輔, 昆 慶明, 江島 輝美</u> (2016) SHRIMP によるジルコン U-Pb 年代測定: 試料調製法及び標準試料測定結果, 地質調査研究報告 67, 59-65.
- 綱澤 有輝, 須藤 定久, 高木 哲一 (2016) 乾式磁力選鉱および分級による粘土質風化花崗岩からの脱鉄の検討, 地質調査研究報告 67, 111-117.
- 杉田 創, 駒井 武, 井本 由香利, 原 淳子 (2016) 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, 417-430.
- 杉田 創, 小熊 輝美, 張 銘, 原 淳子 ほか (2016) Mg 系及 び Ca 系使用済ヒ素吸着材に関する環境安定性評価 土壌の影響 , 土木学会論文集 G (環境) 72, Ⅲ _437-Ⅲ _448.
- 山田 裕久, 大和田 朗, 平林 恵理, 佐藤 卓見, <u>鈴木 正哉</u> (2016) ベントナイトの光学顕微鏡用薄片の作製, 粘 土科学 55, 1-4.
- <u>鈴木 正哉</u>, 前田 雅喜, 犬飼 恵一 (2016) 高性能吸着剤ハスクレイの開発, Synthesiology 9, 154-164.
- <u>小野 昌彦, 井川 怜欧, 町田 功, 丸井 敦尚</u> (2016) 富士山 南西麓における地下水の²²²Rn 濃度分布, RADIOISO-TOPES 65, 431-439.
- 前川 竜男(2016)Equilibrium Conditions of Xenon Hydrates in the Presence of Aqueous Solutions of Alcohols, Glycols, and Glycerol. Journal of Chemical and Engineering Data 61 (1). 662-665.
- 保高 徹生, 張 紅, 村山 康樹, 濱 芳人, 塚田 泰久, 古川 靖 英 (2016) Development of a green remediation

- tool for sustainable remediation in Japan. Science of the Total Environment 563-564. 813-821.
- 保高 徹生, 宮津 進, 今藤 好彦, 辻 英樹, 有田 康一, 林 誠二, 川本 徹, 髙橋 顕(2016)Development of a rapid measurement method for radiocesium in seawater using copper- substituted Prussian blue impregnated nonwoven cartridge filter. Journal of Nuclear Science and Technology 53. 1243-1250.
- <u>高木 哲一</u> (2016) レアメタル資源の安定供給を目指して. Synthesiology 9 (1). 15-25.
- 中村 謙吾, 桑谷 立, <u>川辺 能成</u>, 駒井 武 (2016) Extraction of heavy metals characteristics of the 2011 Tohoku tsunami deposits using multiple classification analysis. Chemosphere 144. 1241-1248.
- Ning-Jun Jiang, <u>吉岡 秀佳</u>, 山本 晃司, 曽我 健一 (2016)
 Ureolytic activities of a urease-producing bacterium and purified urease enzyme in the anoxic condition: Implication for subseafloor sand production control by microbially induced carbonate precipitation (MICP). Ecological Engineering 90. 96-104.
- 宮津 進, <u>保高 徹生</u>, 吉川 夏樹, 田巻 翔平, 中島 浩正, 佐藤 郁, 野中 昌法, 原田 直樹 (2016) Measurement and estimation of radiocesium discharge rate from paddy field during land preparation and mid-summer drainage. Journal of Environmental Radioactivity 155-156. 23-30.
- 尾形 剛志, 成田 弘一, 田中 幹也, <u>星野 美保子</u>, <u>昆 慶明</u>, 渡 辺 寧 (2016) Selective recovery of heavy rare earth elements from apatite with an adsorbent bearing immobilized tridentate amido ligands. Separation and Purification Technology 159. 157-160.
- C. Xie, <u>雷 興林</u>, 呉 小平, Hong Fu, Ziyao Xiong, Qingbo Ma, Xionglin Hu (2016) Effect of tidal stress on fault nucleation and failure of the 2007 M (s) 6.4 Ning' er earthquake. Science China Earth Sciences 59 (2). 397-407.
- <u>実松 健造, 江島 輝美</u>, <u>昆 慶明</u>, 間中 崇行, Khin Zaw, 森田 沙綾香, <u>徐 維那</u>(2016)Fractionation of rare-earth elements during magmatic differentiation and weathering of calc-alkaline granites in southern Myanmar. Mineralogical Magazine 80 (1). 77-102.

- Adrian H. Gallardo, <u>丸井 敦尚</u> (2016) The aftermath of the Fukushima nuclear accident: Measures to contain groundwater contamination. Science of the Total Environment 547. 261-268.
- 田中 敦子 (2016) CO₂地中貯留 (CCS) とコミュニケーション. セーフティダイジェスト 62 (3). 2-8.
- 森本 和也, 田村 堅志, 佐久間 博(2016)Generation of Second-Stage Structure in the Alkyl-ammonium Cation and Potassium Sericite Mica System. Chemistry Letters 45 (3). 336-338.
- 森本 和也,田村 堅志,山田 裕久,佐藤 努,鈴木 正哉(2016)

 Determination and reduction of Fe (III) incorporated into Mg-Fe layered double hydroxide structures. Applied Clay Science 121-122. 71-76.
- 伊藤 慎, 亀尾 浩司, 里口 保文, 増田 富士雄, 廣木 義久, 高野 修, <u>中嶋 健</u>, 鈴木 徳行(2016)Neogene-Quaternary sedimentary successions. The Geology of Japan 309-337.
- 高倉 伸一 (2016) 調査地の特性や探査の目的に応じた多チャンネル電気探査装置の開発. 物理探査 69 (2). 117-126.
- 唐澤 廣和, 大野 哲二, 宮崎 晋行, エコ アフマディ(2016) Experimental results on the effect of bit wear on torque response. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 84. 1-9.
- Satur Jacqueline, Calabia Buenaventurada, 星野 美保子, Sayaka Morita, 徐 維那, 昆 慶明, 高木 哲一, Yasushi Watanabe, Litshedzani Mutele, Stewart Foya (2016) Flotation of rare earth minerals from silicate-hematite ore using tall oil fatty acid collector. Minerals Engineering 89. 52-62.
- <u>実松 健造</u>, 渡辺 寧(2016)Characteristics and genesis of ion adsorption-type rare earth element deposits. Reviews in Economic Geology 18. 55-79.
- 後藤 秀作, 松林 修, 長久保 定雄 (2016) Simulation of gas hydrate dissociation caused by repeated tectonic uplift events. Journal of Geophysical Research 121 (5). 3200-3219.
- 稲垣 史生, Kai-Uwe Hinrichs, 久保 雄介, 金子 雅紀, 森田 <u>澄人</u>, 堀 知行, IODP Exp.337乗船研究者一同(2016) IODP Expedition 337: Exploring Limits of Life in the Deep Coalbed Biosphere off Shimokita, Japan. Scientific Drilling 21. 17-28.
- 中島 善人, 小松原 純子 (2016) Seismically induced soft-sediment deformation structures revealed by X-ray computed tomography of boring cores. Tectonophysics 683. 138-147.
- 永井 孝志, 藤井 健吉, 平井 祐介, 村上 道夫, 小野 恭子, <u>保</u> 高 <u>衛生</u>, 河野 真貴子, 井上 知也, 岸本 充生 (2016) 化学物質のリスクを中心としたレギュラトリーサイ エンスの事例解析―日本リスク研究学会レギュラト リーサイエンスタスクグループ活動報告―. 日本リス

- ク研究学会誌 26 (1).13-21.
- 宮坂 亜由美, 木股 三善, <u>星野 美保子</u>, 越後 拓也, 西田 憲正 (2016) Manganese contents in volcanic pyroxenes in island arcs: case study from the South 2 Yatsugatake Volcanic area, Japan. Neues Jahrbuch fur Mineralogie-Abhandlungen 193 (3).311-323.
- 内藤 航, <u>保高 徹生</u>, 黒澤 忠弘, 上坂 元紀, 山田 千恵, 石井 秀樹(2016)Relationship between Individual External Doses, Ambient Dose Rates and Individuals' Activity-Patterns in Affected Areas in Fukushima following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. PLoS One11 (8).
- 張銘, 吉川 美穂(2016)An Overview of Remediation Technologies for the Sites Contaminated with Volatile Organic Compounds. Geo-Chicago 2016 Sustainability, Energy, and the Environment, ASCE Geotechnical Special Publication Nos. 273. 295-301.
- 宮崎 晋行, 大野 哲二, 唐澤 廣和, 高倉 伸一, エコ アフマ ディ(2016)Performance Evaluation of PDC Percussion Bits through Laboratory Drilling Tests. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 87. 1-7.
- Wataru Tanikawa, Osamu Tadai, Sumito Morita, Weiren Lin, Yasuhiro Yamada, Yoshinori Sanada, Kyaw Moe, Yu' suke Kubo, Fumio Inagaki(2016) Thermal properties and thermal structure in the coalbed basin off Shimokita. Journal of Geophysical Research 73. 445-461.
- Taiki Katayama, Hideyoshi Yoshioka, Hiroshi A. Takahashi, Miki Amo, Tetsuya Fujii, Susumu Sakata (2016) Changes in microbial communities associated with gas hydrates in subseafloor sediments from the Nankai Trough. FEMS Microbiology Ecology 92.
- Masanori Kaneko, Yoshinori Takano, Nanako O. Ogawa, Yuki Sato, Naohiro Yoshida, Naohiko Ohkouchi (2016) Estimation of methanogenesis by quantification of coenzyme F₄₃₀ in marine sediments. Geochemical Journal 50.
- Miho Yoshikawa, Ming Zhang, Koki Toyota (2016) Enhancement and Biological Characteristics Related to Aerobic Biodegradation of Toluene with Coexistence of Benzene. Water, Air, & Soil Pollution.
- Junko Hara, Yasuhide Sakamoto, Yoshishige Kawabe (2016) Evaluation of natural degradation of persistent organic chemicals in acid sulfate soils distributed in a coastal area. International Journal of Environmental Science and Development 7. 441-444.
- Kaori Seki, Wataru Kanda, Toshiya Tanbo, Takeshi

- Ohba, Yasuo Ogawa, Shinichi Takakura, Kenji Nogami, Masashi Ushioda, Atsushi Suzuki, Zenshiro Saito, Yasuo Matsunaga (2016) Resistivity structure and geochemistry of the Jigokudani Valley hydrothermal system, Mt. Tateyama, Japan. Journal of Volcanology and Geothermal Research 325. 15-26.
- Toshifumi Komatsu, Reishi Takashima, Yasunari Shigeta, Takumi Maekawa, Huyen Dang Tran, Tien Dinh Cong, <u>Susumu Sakata</u>, Hung Doan Dinh, Osamu Takahashi (2016) Carbon isotopic excursions and detailed ammonoid and conodont biostratigraphies around Smithian-Spathian boundary in the Bac Thuy Formation, Vietnam. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoeclogy 454. 65-74.
- Hanako Mochimaru, Hideyuki Tamaki, Satoshi Hanada, Hiroyuki Imachi, Kohei Nakamura, <u>Susumu Sakata</u>, Yoichi Kamagata (2016) Methanomicrobium antiquum sp. nov., a hydrogenotrophic methanogen isolated from deep sedimentary aquifers in a natural gas field. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.
- Takada M, <u>Yasutaka T</u>, Okuda T (2016) Simplified measurement method for dissolved radio-Cs in litter and soil seepage water using nonwoven fabrics impregnated with copper-substituted Prussian blue. Chemosphere 163. 234-241.
- Naka A, <u>Yasutaka T</u>, Sakanakura H, Kalbe U, Watanabe Y, Inoba S, Takeo M, Inui T, Katsumi T, Fujikawa T, Sato K, Higashino K, Someya M (2016) Column percolation test for contaminated soils: Key factors for standardization. Journal of Hazardous Materials 20. 326-340.
- Daisuke Mayumi, Hanako Mochimaru, Hideyoshi Yoshioka, Yuichiro Suzuki, Susumu Sakata(まか (2016) Methane production from coal by a single methanogen. Science 354, 222-225.
- <u>Daisuke Araoka</u>, Yoshiro Nishio, Toshitaka Gamo, Kyoko Yamaoka, Hodaka Kawahata (2016) Lithium isotopic systematics of submarine vent fluids from arc and back-arc hydrothermal systems in the western Pacific. Geochemistry Geophysics Geosystems. DOI: 10.1002/2016GC006355.
- 綱澤 有輝, 所 千晴, 松岡 光昭, 大和田 秀二, 徳一 博之, 老田 正道, 太田 洋文(2016)Investigation of Part Detachment Process from Printed Circuit Boards for Effective Recycling Using Particle-Based Simulation, MATERIALS TRANSACTIONS 57, 2146-2152
- 綱澤 有輝, 福井 将, 所 千晴, 大和田 秀二 (2016) PAR-TICLE-BASED SIMULATION TO INVESTIGATE

- COMMINUTION OF E-WASTE FOR EFFECTIVE RECYCLING PROCESS, XXVIII International Mineral Processing Congress.
- Adi Maulana, <u>実松 健造</u>, 榊原 正幸 (2016) An Overview on the Possibility of Scandium and REE Occurrence in Sulawesi, Indonesia, Indonesian Journal on Geoscience 3, 139-147.
- Xiaying Li, <u>雷 興林</u>, Qi Li (2016) Injection-induced fracturing process in a tight sandstone under different saturation conditions, Environmental Earth Sciences 75, 1-12.
- <u>奥山 康子</u>, 船津 貴弘, <u>藤井 孝志</u>ほか (2016) Mid-crustal fluid related to the Matsushiro earthquake swarm (1965-1967) in northern Central Japan: Geochemical reproduction, TECTONOPHYSICS 679, 61-72.
- Pham Ngoc Can, 石山 大三, Tuan-Anh Tran, <u>星野 美保</u> 子, 田口 幸浩 (2016) Characteristic Features of REE and Pb-Zn-Ag Mineralizations in the Na Son Deposit, Northeastern Vietnam, RESOURCE GE-OLOGY 66, 404-418.
- 辻 英樹, 錦織 達啓, <u>保高 徹生</u>, 渡邊 未来, 伊藤 祥子, 林誠二 (2016) Behavior of dissolved radiocesium in river water in a forested watershed in Fukushima Prefecture, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH 121, 2588-2599.
- 土岐 知弘, 木下 正高, 森田 澄人, 益田 晴恵, Rashid Harunur, 吉西 晴香, 中野 孝教, 野口 直人 (2016) The vertical chloride ion profile at the IODP Site C0002, Kumano Basin, off coast of Japan, TEC-TONOPHYSICS 710-711, 88-96.
- 宮崎 晋行, 及川 寧己, 羽田 博憲, 山口 勉(2016)Triaxial Compressive Property of Artificial CO₂-Hydrate Sand, INTERNATIONAL JOURNAL OF OFFSHORE AND POLAR ENGINEERING 26, 315-320.
- 徐維那,森本 慎一郎 (2016) 日本国内におけるコバルト の物質フロー解析及び中期的消費量予測, Journal of MMIJ 132, 66-70.
- 安楽 総太郎, 松原 勇武, 森本 和也, 佐藤 努 (2017) オマーンオフィオライトに湧出する高アルカリ泉周辺における二次鉱物の生成とその要因, 粘土科学 55, 17-30.
- 横田 俊之, 神宮司 元治, 山中 義彰, 村田 和則(2017) 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による液状化発生領域での表面波探査 千葉県香取市利根川北岸地区の例 , 物理探査 70, 25-34.
- 村尾智, 五十公野 裕也, 児玉 敬義, 中島 和夫 (2017) 茨城県高取地域より産したニオブ・タンタル含有鉄マンガン重石, 社会地質学会誌 13, 6-8.
- 坂本 靖英, 中垣 匡司, 藤原 和弘, 小谷 忠明, 井上 英明, 谷 口 彩華(2017)シロアリ防除剤としてのクロチアニ ジンの土壌処理におけるリスク評価 - 土壌・地下水 環境下での多相・多成分流動モデルに基づく処理薬

- 剤の土壌吸着特性評価 , 土木学会論文集 G (環境) 73, 20-38.
- 坂本 靖英, 保高 徹生, 白川 俊明, 山村 正樹(2017) 六価 クロムに起因した土壌・地下水汚染の長期挙動予測に関する研究 -地下水濃度のモニタリング結果および揚水による回収量のヒストリーマッチングによる汚染状況の再現とリスク評価 , 土木学会論文集G(環境)73,81-100.
- T. Chuenpee, 西川 治, <u>昆 慶明</u>, 蜷川 清隆, 豊田 新, 緒方 武幸, 内田 隆, 高島 勲 (2017) Gamma radiation-induced thermoluminescence, trace element and paramagnetic defect of quartz from the Sambagawa metamorphic belt, Central Shikoku, Japan, APPLIED RADIATION AND ISOTOPES 120, 30-39.
- 渡辺 寧, <u>昆 慶明</u>, 越後 拓也, 亀井 淳志(2017)Differential Fractionation of Rare Earth Elements in Oxidized and Reduced Granitic Rocks: Implication for Heavy Rare Earth Enriched Ion Adsorption Mineralization, RESOURCE GEOLOGY 67, 35-52.
- Craig Green, George J. Simandle, Suzanne Paradis, Fiona Katay, 星野 美保子, 昆 慶明, 児玉 信介, Chris Graf (2017) Geological setting of the Rock Canyon Creek REE-fluorite deposit, British Columbia, Canada, Geological Fieldwork 2016 2017, 195-203.
- <u>星野 美保子</u>, <u>昆 慶明</u>, <u>児玉 信介</u>, George J. Simandle, Suzanne Paradis, Craig Green, <u>生田目 千鶴</u>, 松永 いづみ, <u>高木 哲一</u> (2017) Mineralogy of the Rock Canyon Creek REE-fluorite deposit, British Columbia, Canada, Geological Fieldwork 2016 2017, 205-213.
- 相澤 広記, 麻植 久史, 小池 克明, <u>高倉 伸一</u>ほか(2017) Seismicity controlled by resistivity structure: the 2016 Kumamoto earthquakes, Kyushu Island, Japan, EARTH PLANETS AND SPACE 69:4.
- 柳川 勝紀, 井尻 暁, Anja Breuker, 酒井 早苗, <u>三好 陽子</u> ほか(2017)Defining boundaries for the distribution of microbial communities beneath the sediment-buried, hydrothermally active seafloor, ISME Journal 11, 529-542.
- 羽柴 公博, 岡田 哲実, 谷 和夫, 白鷺 卓, 早野 公敏, 中村 敏明, <u>及川 寧己</u>ほか(2017)Literature Review and Experimental Study on the Factors Affecting the Direct Tension Test on Rocks, GEOTECHNI-CAL TESTING JOURNAL 40, 335-344.
- 林 誠二, 辻 英樹, 伊藤 祥子, 錦織 達啓, <u>保高 徹生</u> (2017) 平成27年関東・東北豪雨時における河川流域スケー ルでの放射性 Cs の流出実態, 土木学会論文集 72, 37-43.
- <u>雷興林</u>,馬 勝利,王 小龍,蘇 金蓉 (2017) Fault-valve behaviour and episodic gas flow in overpressured aquifers - evidence from the 2010 Ms5.1

- isolated shallow earthquake in Sichuan Basin, China, PROGRESS IN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS 17, 2-12.
- 神宮司 元治, Selcuk Toprak (2017) A CASE STUDY OF LIQUEFACTION RISK ANALYSIS BASED ON THE THICKNESS AND DEPTH OF THE LIQUEFACTION LAYER USING CPT AND ELECTRIC RESISTIVITY DATA IN THE HINODE AREA, ITAKO CITY, IBARAKI PREFECTURE, JAPAN, Exploration Geophysics 48, 28-36.
- 横田 俊之, 神宮司 元治, 山中 義彰, 村田 和則(2017)S-wave reflection and surface wave surveysin liquefaction affected areas: A case study of the Hinode area, Itako, Ibaraki, Japan, Exploration Geophysics 48, 1-15.
- 中村 友梨江, 栗林 貴弘, 長瀬 敏郎, 今井 裕之(2017) Cation ordering in iridescent garnet from Tenkawa village, Nara prefecture, Japan, Journal of Mineralogical and Petrological Sciences 112, 97-101.
- 保高 徹生ほか (2017) 陸水中における微量溶存態放射性 セシウムの濃縮法の比較, 分析化学 66, 299-307.
- 久富 渉生, 福井 将, 松岡 光昭, <u>網澤 有輝</u>ほか(2017) DEM シミュレーションによるビーズミルの媒体分離 に適した装置設計, 粉体工学会誌 54, 377-383.
- Minami Kataoka, Eqlima Mahdavi, Takahiro Funatsu, 竹原孝ほか(2017)Estimation of Mode I Fracture Toughness of Rock by Semi-Circular Bend Test under Confining Pressure Condition, Procedia Engineering 191, 886-893.
- C. Xie, <u>雷 興林</u>, Xiaoyan Zhao, QingBo Ma, ZiYao Xiong (2017) Tidal triggering of earthquakes in the Ning' er area of Yunnan Province, China, JOURNAL OF ASIAN EARTH SCIENCES 138, 477-483.
- <u>吉川 美穂</u>, <u>張 銘</u>, Koki Toyota (2017) Integrated Anaerobic-Aerobic Biodegradation of Multiple Contaminants Including Chlorinated Ethylenes, Benzene, Toluene, and Dichloromethane, WATER AIR AND SOIL POLLUTION 228, 25-13.
- 宮崎 晋行, 天満 則夫, 山口 勉(2017)Relationship between Creep Property and Loading-Rate Dependence of Strength of Artificial Methane-Hydrate-Bearing Toyoura Sand under Triaxial Compression, Energies 2017, 10, 1466.
- Hongyu Zhai, Xu Chang, Yibo Wang, 薛 自求, <u>雷 興林</u>, Yi Zhang(2017)The sensitivity analysis of seismic velocity and attenuation variations for Longmaxi shale during hydraulic fracturing test in laboratory, Energies 2017, 10, 1393.
- Kengo Nakamura, <u>保高 徹生</u>, Tatsu Kuwatani, Takeshi Komai (2017) Development of a predictive model for lead, cadmium and fluorine soil water

- partition coefficients using sparse multiple linear regression analysis, CHEMOSPHERE 186, 501-509.
- Michio Murakami, Mahua Saha, Yuichi Iwasaki, Rei Yamashita, Yukio Koibuchi, 塚田 祥文, Keisuke Sueki, 保高 徹生 (2017) Source analysis of radiocesium in river waters using road dust tracers, CHEMOSPHERE 187, 212-220.
- 小森省吾, 正木 裕香, 谷川 亘, 鳥本 淳司ほか (2017)
 Depth profiles of resistivity and spectral IP for active modern submarine hydrothermal deposits: a case study from the Iheya North Knoll and the Iheya Minor Ridge in Okinawa Trough, Japan, EARTH PLANETS AND SPACE 69, 114.
- 江島 輝美, 米田 まり, 赤坂 正秀, 大藤 弘明, <u>R 慶明</u>, 永 嶌 真理子, 中牟田 義博 (2017) Precipitates within olivine phenocrysts in oxidized andesitic scoria from Kasayama volcano, Hagi, Japan, Journal of Mineralogical and Petrological Sciences 112, 116-126.
- 吉川 美穂, 竹内 美緒, 張 銘(2017)Spatial Distribution of Dehalococcoides 16S rRNA and Dehalogenase Genes at Sites Contaminated with Chlorinated Ethylenes, Environment and Natural Resources Research 7, 37-46.
- 保高 徹生, Angelica Naka, 肴倉 宏史, <u>黒澤 暁彦</u>ほか (2017) Reproducibility of Up-flow Column percolation tests for contaminated soils, PLoS One 12, 6.
- 松本 親樹, 島田 英樹, 笹岡 孝司 (2017) Interaction between physical and chemical weathering of argillaceous rocks and the effects on the occurrence of Acid Mine Drainage (AMD), GEOSCI-ENCES JOURNAL 21, 397-406.
- Tomohiro Ohuchi, 雷興林, Hiroaki Ohfuji, Yuji Higo, Yoshinori Tange, Takeshi Sakai, Kiyoshi Fujino, Tetsuo Irifune (2017) Intermediate-depth earthquakes linked to localized heating in dunite and harzburgite, Nature Geoscience 10, 771-776.
- Udayagee Kumarasinghe, 井上 弦, 斎藤 健志, 長森 正尚, 坂本 靖英, M.I.M. Mowjood, 川本 健 (2017) TEM-PORAL VARIATIONS IN PERCHED WATER AND GROUNDWATER QUALITIES AT AN OPEN SOLID WASTE DUMPSITE IN SRI LANKA, International Journal of GEOMATE 13, 1-8.
- Xiaying Li, <u>雷 興林</u>, Qi Li (2017) Experimental Investigation of Sinian Shale Rock under Triaxial Stress Monitored by Ultrasonic Transmission and Acoustic Emission, Journal of Natural Gas Science and Engineering 43, 110-123.
- 髙橋 幸士, 鈴木 徳行 (2017) Semi-open and closed system pyrolysis of Paleogene coal for evaluat-

- ing the timing of hydrocarbon gas expulsion, IN-TERNATIONAL JOURNAL OF COAL GEOLOGY 178, 100-109.
- 雷興林, 王 小龍, 蘇 金蓉, Hong Fu, Guosheng Qu (2017) Fault reactivation and earthquakes with magnitudes of up to Mw4.6 induced by shale gas fracking in the Sichuan Basin, China, Scientific Reports 7, 7971.
- 池田 進, 中野 司, 土山 明, 上杉 健太朗, <u>中島 善人</u>, 中村 光一, 吉田 英人, 鈴木 芳生(2017)Three-dimensional study by synchrotron radiation computed tomography of melt distribution in samples doped to enhance contrast, MINERALOGICAL MAGAZINE 81, 1203-1222.
- 原 淳子 (2017) Oxidative degradation of benzene rings using iron sulfide activated by hydrogen peroxide/ozone, CHEMOSPHERE 189, 382-389.
- <u>吉川 美穂</u>, <u>張 銘</u>, Koki Toyota (2017) Biodegradation of Volatile Organic Compounds and Their Effects on Biodegradability under Co-Existing Conditions, MICROBES AND ENVIRONMENTS 32, 188-200.
- 柏谷 公希, 武藤 雄太, 久保 大樹, <u>井川 怜欧</u>, 中屋 眞司, 小池 克明, <u>丸井 敦尚</u>(2017)Spatial variations of tritium concentrations in groundwater collected in the southern coastal region of Fukushima, Japan, after the nuclear accident, Scientific Reports 7.
- Y. Zhang, 西澤 修, Hyuck Park, 木山 保, <u>雷 興林</u>, 薛 自 求(2017)Pathway-flow relative permeability of CO2: measurement by lowering pressure drop, WATER RESOURCES RESEARCH 53, 8626-8638.
- 保高 徹生, 井本 由香利, <u>黒澤 暁彦</u>ほか (2017) Effects of colloidal particles on the results and reproducibility of batch leaching tests for heavy metal-contaminated soil, SOILS AND FOUNDATIONS 57,861-871.
- 吉川 美穂, 張 銘, Futoshi Kurisu, Koki Toyota (2017) Bacterial Degraders of Coexisting Dichloromethane, Benzene, and Toluene, Identified by Stable-Isotope Probing, WATER AIR AND SOIL POLLU-TION 228, 1-10.
- <u>杉田 創, 小熊 輝美, 張 銘, 原 淳子, 川辺 能成</u>(2017) Mg 系使用済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)73, Ⅲ _407- Ⅲ _418.
- 佐野 有司, 木下 尚也, 鹿児島 渉悟, 高畑 直人, <u>坂田 将</u>ほか(2017)Origin of methane-rich natural gas at the West Pacific convergent plate boundary, Scientific Reports 7.
- Xiaying Li, <u>雷 興林</u>, Qi Li(2017)Response of Velocity Anisotropy of Shale under Isotropic and Anisotropic Stress Fields, ROCK MECHANICS AND

- ROCK ENGINEERING.
- <u>今泉 博之</u>, <u>大野 哲二</u>, <u>唐澤 廣和</u>, <u>宮崎 晋行</u> ほか (2017) 地熱井掘削のための PDC ビットの開発, 日本地熱学会誌 39, 217-227.
- 村中 康秀, 神谷 貴文, 伊藤 彰, 大山 康一, 渡邊 雅之, <u>小野</u> <u>昌彦</u>, <u>丸井 敦尚</u>(2017)駿河湾奥部(富士川河口~ 田子の浦港)の海底地形と海底面状況,富士山研究 11, 23-33.
- 森 千秋, 佐藤 徹, 大山 裕之, 加野 友紀 (2017) 海底漏出 物質の漏出位置と漏出量の数値推定法の開発, 日本船 舶海洋工学会論文集 26, 203-212.
- 小森省吾, 宇津木充, 鍵山恒臣, 吉川慎, 陳中華ほか(2017) Resistivity mapping in the Tatun Volcano Group, Northern Taiwan, revealed by VLF-MT surveys, TERRESTRIAL ATMOSPHERIC AND OCEANIC SCIENCES 28, 833-842.
- <u>吉岡 真弓</u>, <u>高倉 伸一</u>, <u>内田 洋平</u> (2017) Estimation of groundwater flow from temperature monitoring in a borehole heat exchanger during a thermal response test, HYDROGEOLOGY JOURNAL 26, 853-867.
- 三好 陽子, 島田 和彦, 佐藤 暢, 上原 誠一郎, 石橋 純一郎 (2017) Convenient analysis of chemical composition of clay fraction of sediment by electron probe microanalyzer, GEOCHEMICAL JOURNAL 51, 583-588.
- 後藤 秀作, 山野 誠, 森田 澄人(ほか (2017) Physical and thermal properties of mud-dominant sediment from the Joetsu Basin in the eastern margin of the Japan Sea, MARINE GEOPHYSICAL RESEARCH 38, 393-407.
- Tomohiro Ohuchi, <u>雷 興林</u>, Yuji Higo, Yoshinori Tange, Takeshi Sakai, Kiyoshi Fujino(2017)Intermediate-depth earthquakes linked to localized heating in dunite and harzburgite, Nature Geoscience 10,771-776.
- 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, Geo-

- sciences 8, 1-9.
- 江島 輝美, <u>昆 慶明</u>, 河野 重範, <u>荒岡 大輔</u> (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, <u>張銘</u> (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 audiofrequency 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.
- <u>栗原 モモ</u>, 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 ENVIRON-MENTAL RADIOACTIVITY 187, 81-89.
- 祖徠 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, FRACTALS-COMPLEX GEOMETRY PATTERNS AND SCALING IN NATURE AND SOCIETY 26.
- Kiyoshi Shizuma, Yoko Fujikawa, 栗原 モモ, 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, ENVI-RONMENTAL 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, ENVI-RONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH 25, 15680-15694.
- 吉村 令慧, 小川 康雄, 行竹 洋平, 神田 径, <u>小森 省吾</u>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, <u>星野 美保子</u> (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.
- <u>井本 由香利</u>, <u>保高 徹生</u>, 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, <u>中島 善人</u> (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, <u>坂本 靖英</u>, 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) EF-FECTIVENESS OF PERMEABLE REACTIVE BAR-RIER (PRB) ON HEAVY METAL TRAP IN AQUIFER AT SOLID WASTE DUMPSITE: A SIMULATION STUDY, International Journal of GEOMATE 15, 225-232.