GREEN Report 2017

地圏資源環境の研究ストーリー
−社会へつなげる研究を目指して−

第28回GSJシンポジウム
地圏資源環境研究部門
研究成果報告会

はじめに

地圏資源環境研究部門長
光畑　裕司

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

地圏資源環境研究部門の研究成果報告会は，今年で16回目となります．これまで本研究成果報告会は，当部門が主催として開催しておりましたが，今年度より地質調査総合センター（GSJ）シンポジウムの一つに位置付けられ，GSJ 主催という形になりました．GSJ では，これまで以上に一般社会や産業界にそのプレゼンスをアピールするよう広報やアウトリーチ活動に力を注いでおり，本報告会が GSJ 全体に地下資源や地下環境の関連組織へのアピールの場として高く評価された結果であると誇りに感じております．

本年度は，第４期中長期計画（５カ年）の中間点である３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（民間企業による事業化）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．

産総研の７研究領域のひとつである GSJ は，日本で唯一の「地質の調査」のナショナルセンターとして地質情報の整備に取り組むことが任務となっています．当部門も地質情報研究部門，活断層・火山研究部門，地質情報基盤センター，および福島県郡山市を拠点とした再生可能研究センターの地熱チーム・地中熱チームとともに，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具体的ミッションは以下のとおりで，政策ニーズ対応の研究を中心に据えて進めております．

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．

さらに，国の基盤情報として整備すべき地質情報の中で，特に地下資源・環境に関わる情報の整備を知的基盤整備として推進しております．そして，これらの政策ニーズ対応や知的基盤整備で得られた知見や成果を国の政策に反映させるためだけでなく，より社会に還元するために，研究論文として学術界に公表し，またデータベースとして一般に公開することに加えて，社会実装の主体である産業界と連携し，産業界のニーズに合わせて成果や知見を進化・適合させて行くことが，さらなる社会還元として重要であると考えております．産総研第４期では，研究成果を社会実装するための「橋渡し」機能の強化を最重要課題に謳っており，正に産業界との連携強化が必須となっております．そこで，今回の報告会テーマを「地圏資源環境の研究ストーリー ―社会へつなげる研究を目指して―」と致しました．招待講演として，産総研イノベーション推進本部での勤務のご経験をお持ちのパナソニック株式会社の山田由佳氏をお迎えし，当部門ならびに GSJ における研究成果や知見の社会への展開・還元への期待などについてご講演頂きます．さらに，「橋渡し」機能の強化の中で，“当部門をもっと知って頂くための試み” として当部門の中堅研究者が何を目指し，どのような成果を得，どう展開して行こうと考えているのかを皆様に紹介させて頂きます．

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

講演スケジュールと予稿

13:30 ～ 13:35	開会のあいさつ			
13:35 ～ 13:55	地圏資源環境研究部門　研究紹介	研究部門長	光畑 裕司	
13:55 ～ 14:35	【招待講演】 地球の知恵を社会の知恵につなごう！	パナソニック株式会社	山田 由佳	*8*
14:35 ～ 15:00	地下微生物によるメタン生成とその利活用	地圏微生物研究グループ	吉岡 秀佳	*10*
15:00 ～ 15:25	鉱床の成因研究と探査への応用	鉱物資源研究グループ	実松 健造	*12*
15:25 ～ 16:10	ポスターセッション			
16:10 ～ 16:35	次世代物理探査技術の開発と展開	物理探査研究グループ	神宮司 元治	*14*
16:35 ～ 17:00	表層土壌評価基本図の開発と 自然由来重金属類評価への適用	地圏環境リスク研究グループ	川辺 能成	*16*
17:00 ～ 17:25	地域の地下水研究からみえてきたもの	地下水研究グループ	町田 功	*18*
17:25 ～ 17:30	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	丸井 敦尚	*22*
鉱物資源研究グループの紹介	鉱物資源研究グループ長	高木 哲一	*24*
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	*26*
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	坂田 将	*28*
地圏化学研究グループの研究紹介	地圏化学研究グループ長	鈴木 正哉	*30*
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	*32*
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	*36*
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	*38*
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	*40*

ポスター概要

ドローン吊り下げ型電磁探査システムの開発	光畑裕司, 上田　匠, 加藤　晋, 神村明哉, 竹内厚司, 東千加良	44
磁気共鳴表面スキャナーの開発	中島善人	44
日本のビスマス鉱物資源	五十公野裕也	45
ASEAN 鉱物資源データベース高度化研修の実施について	大野哲二, 高橋　浩, Joel Bandibas	45
低品位粘土質花崗岩の窯業原料化に関する検討	綱澤有輝, 須藤定久, 高木哲一	46
金属元素の同位体比分析のための自動前処理手法の開発	荒岡大輔	46
レーザーアブレーション ICP 質量分析計を用いた元素濃度イメージング	昆　慶明, 横山隆臣	47
ハイアラーキカル・デシジョン・モデリング法に基づくサステナブル・レメディエーション意思決定ツールの検討	張　銘, 保高徹生, 古川靖英, 中島　誠	47
米国における基地汚染の事例	張　銘, 吉川美穂, 原　淳子, 川辺能成, 杉田　創	48
クロロエチレン類の分解経路及び分解微生物	張　銘, 吉川美穂	48
高濃度クロロエチレン類による嫌気的脱塩素分解および硫酸還元・発酵への影響	吉川美穂, 張　銘	49
マグネシウム系吸着材のヒ酸除去性能に及ぼすケイ酸の影響について	杉田　創	49
天然鉱物で“除湿”に貢献　～ナノ細孔を持つハスクレイで農業用除湿システムを構築～	鈴木正哉, 森本和也, 三好陽子	50
モバイル型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, 星野谷亜衣, 森本和也	50
地熱ガス中の軽質炭化水素と油田ガス・水溶性天然ガス中の軽質炭化水素の比較	猪狩俊一郎, 前川竜男, 坂田　将	51
熱分解ガスの移動と集積に伴う組成変化と混合ガスの成因	金子信行	51
前弧域メタンハイドレートの熱分解起源説	金子信行	52
ベントナイトのメチレンブルー吸着量測定方法の標準化研究　－ベントナイトを溶液中で分散させる方法の開発－	三好陽子	52
ナフタレン組成を用いた石油根源岩評価法の開発	朝比奈健太, 鈴木徳行	53
釧路堆積盆に分布する古第三紀浦幌層群の石炭・炭質泥岩の根源岩能力	髙橋幸士, 中嶋　健, 鈴木祐一郎, 森田澄人, 佐脇貴幸, 花村泰明	53
東南アジアにおける地中熱ヒートポンプシステムの運転評価	Arif Widiatmojo, 内田洋平, Shrestha Gaurav, 石原武志	54
会津盆地の第四系地下地質構造と水理構造の対比	石原武志, 金子翔平, Shrestha Gaurav, 内田洋平, Arif Widiatmojo	54
地下水の地図「水文環境図」の紹介	小野昌彦, 井川怜欧, 町田　功, 松本親樹, 丸井敦尚	55
岩盤や岩石の特性を簡便で高精度に計測・評価	及川寧己, 竹原　孝, 雷　興林, 藤井孝志	55
岩盤を早く掘る技術　～実験室内で岩石の掘削効率を評価～	宮崎晋行	56

知財・ソフトウェア紹介

高性能水蒸気吸着剤の開発	森本和也, 万福和子, 星野谷亜衣, 鈴木正哉	*58*
施設園芸における二酸化炭素回収施用装置の開発	鈴木正哉	*58*
土壌中に存在するナノチューブおよびナノカプセルの合成と応用	鈴木正哉	*59*

論文リスト *62*

講演予稿

地球の知恵を社会の知恵につなごう！

Let's use the wisdom of the earth as our wisdom!

パナソニック株式会社　ビジネスイノベーション本部
総括担当：山田由佳
General Manager, Business Innovation Division,
Panasonic Co.: Yuka Yamada
e-mail: yamada.yuka@jp.panasonic.com

講演予稿

1．はじめに

私は2015-2016年度の２年間，企業からの転籍出向という形で産総研に在籍し，産学連携の仕組みづくりなどに関わってきた．その中で，企業への「橋渡し」だけでなく，共に橋を架ける関係を構築することも大事であると実感し，テーマ探索としてのアイデアブレストなどにも取り組んできた[1)]．そのような中，特にこれまで縁のなかった地質調査総合センター（以下，GSJ）の方々との交流はとても新鮮で，上記アイデアブレストにも積極的に声掛けさせていただいた．また，企業に戻ってからも，私の貴重な資産として活用させていただいている．

そこで，今回，地圏資源環境研究部門（以下，地圏資源）において，「社会へつなげる研究を目指して」をテーマに研究成果報告会が開催されるにあたり，一見無関係な業界にいる私がなぜ GSJ の取り組みに関心を持つか，今後どのような関係を築きたいと考えているか，私の体験に基づく，産業界からの期待の一端を述べてみたい．

2．創造の源は，百年の計にあり

私は入社以来本社の研究所に所属してきたこともあり，今はないモノを創造し新たな事業に貢献する，ということがミッションであった．しかしながら，技術者のサガですぐに実現可能性の議論になり，創造的な発想というのは案外難しいものである．そのような中，最初に上司からいただいたヒントが，1901年の報知新聞に掲載されたという「20世紀の予言」である（図１）．その時代の有識者たちが，百年後の未来の姿を予測したものである．今は当たり前あるいは古くなった話が多い一方で，未だ夢物語の項目もある．それくらい大胆に考えてみよ，ということであったと思う．そして，2000年になって，改めて考える機会があった折に見つけたのが，科学技術庁　化学技術政策研究所が作成した「21世紀の科学技術の展望とそのあり方」である（図２）．昨今の重要課題として世界の研究者が取り組んでいるキーワードが並んでいる．私自身も，ナノテクノロジーを活用した環境エネルギー分野の新たな技術開発に取り組んできた．

パナソニックでは2018年度に創業百周年を迎え，「これまでの100年，これからの100年」に考えを巡らせる機会となっている．そこで，改めて先の資料を眺め，そのベースに共通するのは「サステナブルな社会」の実現だと再認識している．グローバルにも，SDG's（Sustainable Development Goals）が提唱され，企業の活動にも謳われるようになってきている．このような時代にこそ，100年という時代の流れをつないできた自然環境に素直に学ぶということが必要なのではないか．そして，地質関連の研究者には，これからの時代を進む上での水先案内人となってほしいと思っている．

3．地質・地圏は宝の山！

GSJの方々と話をすると，ややもすると，自分たちは産業界との連携，社会での活用は無縁と思いこんでいる研究者が見受けられる．果たしてそうだろうか？むしろ，地質の研究は，くらしと最も近い存在ではないかと感じることも多い．メディアでも，社会問題として自然環境が語られない日はない．少なくても，それまで全く異なる業界にいた私にとって，GSJの話は，新たな宝の山の発見でワクワクしてい

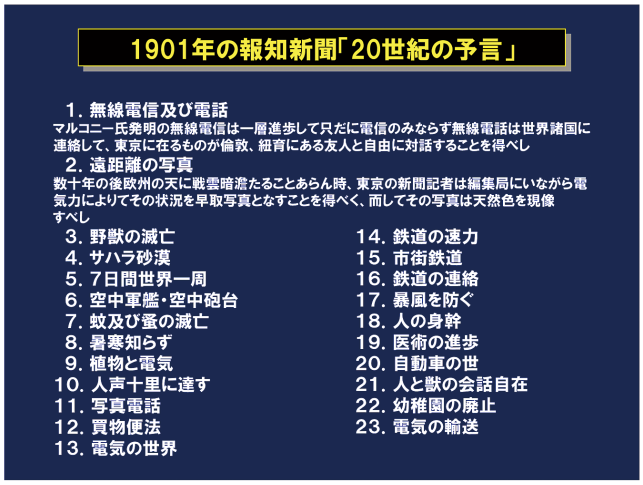


図１　1901年に報知新聞に掲載された「20世紀の予言」

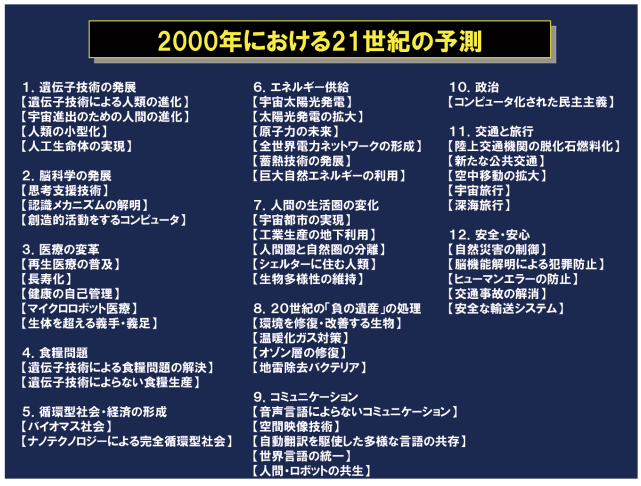


図２　2000年における21世紀の予測[2)]

た. その具体例をいくつか挙げてみたい.

（１）ジオミメティックは材料 / デバイス屋の夢

私は元々材料研究部門を担当しており, 生物に学ぶいわゆるバイオミメティック関連テーマも推進していた. さらに, その概念を拡げ, ある年の部門の運営方針では, 自然に学ぶジオ（Geo）ミメティックを目指そう！と発信した. 貝殻やハスの葉の表面を模した表面処理技術などは有名だが, 産総研に来て, さらにその奥深さを知った.

その一つがハスクレイである[3]. 粘土の研究と天然に存在するナノ物質の研究に端を発して開発され, デシカント空調システムに使われたというストーリーは, 家電メーカーとしても大変興味深い. また, 石灰を直接食べるメタン菌の発見も, エネルギー変換触媒技術を担当していたこともあり, 自然の驚異だと感心して話を伺っていた. 著名な国際誌にも掲載され[4], 産総研の研究ポテンシャルも示された好例となっていると思う.

（２）In situ 評価・モニタリングの先駆け

研究開発に携わる者として, 材料・デバイスの評価・解析は日常的に行ってきたが, 既存の評価装置に合わせてサンプル加工するのが一般的であり, 実際の使用状況とは異なる環境 / 形態での測定となることもある. 一方, 自然を相手にしている地圏資源の研究者は, 実環境下でいかに分析するかを工夫し, 時としてオリジナルな分析機器を開発されることもあり, in situ 評価, onsite モニタリングのまさに先駆けだと実感した.

例えば, コンクリート構造物をその場で診断するために, 片側開放型という特殊な形状の磁石を採用したプロトン核磁気共鳴スキャナーが開発されている. 本手法は水と油を識別できることを原理としていることから, さらに, 牛の霜降り度合いを評価する技術にも展開している[5]. このように, 基本原理に立ち返ることで, 異分野での展開も大いに期待できることを知った. やはり, 地質に係る研究は, 今後活用していきたい技術の宝庫である.

（３）サステナブルな社会を牽引

私は産総研在籍時, 産総研の新たな強みとするテーマ創りを支援してきたが, その中でも印象深いのが,「異分野融合」テーマとして地質や計量, 情報分野が融合・連携し, 大きな社会課題に対するソリューションとして取り組んでいる社会インフラ維持管理技術の研究である.「サステナブルな社会」を実践していく上でも, 地球環境に精通している地質の研究に, 昨今の IoT 技術も組み込み, 是非果敢にチャレンジしていっていただきたい.

以上, 思い返してみても興味深い研究ばかりであるが, これもまだ氷山の一角で, さらに掘り起こしていきたいと思っている. ただ, 問題なのは, これらの話は, 産総研の中に入ってみて初めて知ったということである.

４．地圏資源・GSJ は社会の先導役たれ！

私も産総研在籍以前は, 地質分野の研究と聞くと地震や火山ばかりを想像していた. しかしながら, 特に地圏資源研究部門の取り組みは, 材料や生物の研究とも通じており, 広い視野で地球の知恵を紐解く研究をしていると感じている. これを, 学会 / 業界だけでなく, 社会に広く知らしめる工夫をしてほしいと切に願う.

昨今, いずれの企業でも, 従来の業界にとどまらず, 新たな事業分野への進出・展開を検討している. ようやく SDG's への対応を本気で考えだし, 経済活動自体のサステナビリティの模索を始めている. そのような中で, 我々は, 新しい事業に結びつけるためのヒントを得る目利きを目指し, オープンイノベーションを掲げている. 情報が溢れている現代だからこそ, 無関係と思われる情報にどうアクセスできるか, ヒントを見出せるかが勝負となるのである.

だからこそ, 地圏資源ひいては GSJ の研究者には,「地球の知恵」を紐解き, 事実を伝えるに留まらず, その本質を見える形に展開し, 研究者自らの思いと共に発信していってほしい. そして, 共に橋を架け,「社会の知恵」につなげていきましょう！

参考文献

１）産総研 LINK 2016-07, p.8 (2016)
２）科学技術庁　科学技術政策研究所：「21世紀の科学技術の展望とそのあり方」(2000.12.7)
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，Vol.9, No.3, pp.154-164 (2016)
４）D. Mayumi et al.: Methane production from coal by a single methanogen, Science, 354, pp.222-225 (2016)
５）Y. Nakashima: Development of a single-sided nuclear magnetic resonance scanner for the in-vivo quantification of live cattle marbling, Applied Magnetic Resonance, 46(5), pp.593-606 (2015)

地下微生物によるメタン生成とその利活用

Characteristics and utilization of methane production by subsurface microbes

地圏微生物研究グループ：吉岡秀佳
Geomicrobiology Research Group:
Hideyoshi Yoshioka
e-mail: hi-yoshioka@aist.go.jp

1．はじめに

メタンは温室効果ガスの一つであり，大気中の濃度が増加傾向にあることから近年注目されている．一方で，燃料資源である天然ガスの主要な成分であり，石油や石炭に比べ，燃焼時の二酸化炭素や大気汚染物資の放出が少ないクリーンなエネルギー物質である．環境中のメタンの起源は二種類あり，一つは堆積有機物の熱分解反応で生成するもの（熱分解起源），もう一つは微生物よる堆積有機物の生分解反応で生成するもの（微生物起源）である．後者については，メタン生成菌という微生物が，生分解反応の最終段階で水素・二酸化炭素や酢酸等からメタンを生成している．微生物によるメタン生成は，泥炭湿地や水田土壌，湖沼等の酸素のない嫌気的条件で起こることは古くから知られている．近年，海洋や陸上の深部掘削で採取される地下試料からもメタン生成菌やメタン生成活性が検出されるようになり，地球上の深部地下圏にまでメタン生成活動が広がっていることが分かってきた．本講演では，地下微生物によるメタン生成活動に関する研究の紹介と燃料資源開発への活用方法について概説する．

2．微生物起源天然ガスの成因解明

天然ガスの起源は，ガスの組成や同位体比等の地化学分析によって評価される．水溶性天然ガスやメタンハイドレート（MH）に含まれるメタンは微生物起源と推定されることが多い．

発表者らのグループは，微生物起源のMHに注目して，MHの分布する地域の海底堆積物に含まれる微生物の多様性やメタン生成活性の研究を行ってきた*．海底下の MH は，地震探査記録に現れる BSR（海底擬似反射面：Bottom Simulating Reflector）の分布に基づいて推定されている．東部南海トラフには MH の濃集帯の存在を示唆する地域があり，掘削調査によりその存在が実証されている．我々はこの掘削調査で採取されたコア堆積物から DNA を抽出し遺伝子解析を行った結果，表層から BSR 付近の深度までの広い範囲でメタン生成菌の遺伝子が発見された．また，コア堆積物と人工海水を混ぜたスラリー試料にラジオアイソトープでラベル化した基質を添加したトレーサー実験を行い，表層から深部の MH 分布域（間隙水中の塩素濃度の低下で示唆される）までの広い範囲でメタン生成活性を検出した（図１）．これらの結果は，海底表層近くに分布する硫酸イオンとメタン濃度の境界（SMI）の直下でメタン生成が主に起こっているというこれまでの地化学研究の解釈とは異なり，地下深いところでもメタン生成が起こる可能性を示す重要な証拠である．

（*）本研究は，メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム（MH21）の一部として実施した．

しかし，MH が形成されるには，メタン生成だけでは不十分であり，堆積物中で生成したメタンが移動，集積して貯留層にメタンハイドレートとして濃集しなければならない．移動集積の過程の評価は，微生物研究ではなく，埋没する堆積盆の条件にメタン生成とガス・水の移動を組み込んだ数値シミュレーションを行い，貯留層に MH が集積することを確かめる必要がある．地下微生物によるメタン生成活動の評価は，天然ガス鉱床が形成するための基盤情報であり，これによって微生物起源 MH の分布域の推定や天然ガスの埋蔵量の評価につなげることが出来る．

3．現在の微生物メタン活性の評価

一方，天然ガス鉱床が堆積時の地質条件と異なる場合は，現在の微生物活動から堆積当時の状況を推定することは難しい．しかしながら，現在の地質条件で，地下微生物によるメタン活性が天然ガス鉱床に対してどの程度寄与しているのか評価することができる可能性がある．

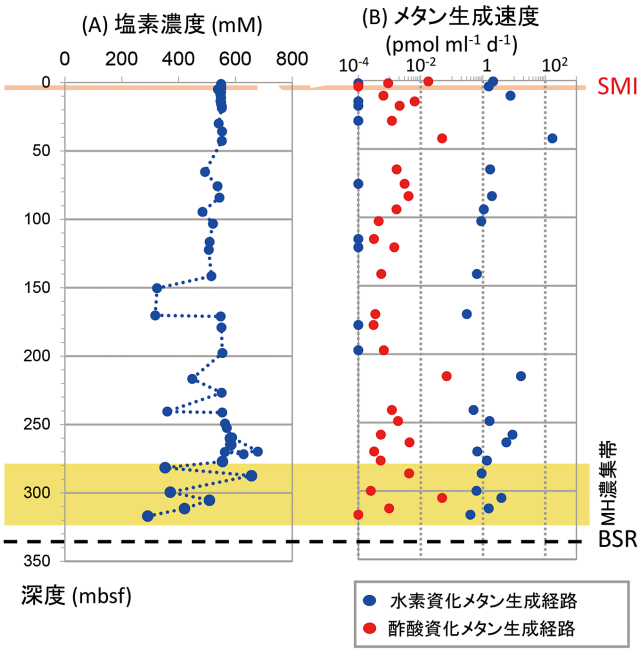


図１　南海トラフ堆積物の間隙水中の塩素濃度（A）と微生物メタン生成速度（B）の深度分布

南関東ガス田は千葉県を中心に広がる水溶性天然ガス鉱床である. 第三紀鮮新世から第四紀更新世前期の堆積岩を貯留層として地層水に天然ガスが溶存しているが, 堆積環境は深海底であり, 海水準変動と隆起によって後に陸域に変化した. 我々は, 南関東ガス田の地層水を採取し微生物研究を行ったところ, 地層水からメタン生成菌とメタン生成活性を発見しており (Mochimaru et al. 2007; Katayama et al. 2015), 100万年近く経過した地質時代の堆積岩の中で微生物が生きていることが分かった. 貯留層の地層水は堆積時の古海水に由来し、外部から微生物のエネルギー源となる物質が流入した痕跡は認められないので、貯留層内にメタンを作る材料が残っていると考えられる. 貯留層内の堆積有機物がエネルギー源として考えられるが, 一般的に, 堆積有機物は埋没する過程で微生物によって利用しやすい成分が分解されてしまうので, 地質時代の堆積岩には難分解性の有機物しか残っていないと考えられている. しかし, 発表者らは, 地下微生物を含む地層水と貯留層堆積岩を使った培養試験を行い, 地下微生物が地質時代の堆積有機物を分解して, メタンを発生することを発見した（図2. Yoshioka et al. 2015). 培養試験は地下環境と異なるものの, 地下微生物が地質時代の堆積有機物を分解する能力を有していることを示し, 埋没した堆積有機物は地下環境において微生物メタンの材料になり得ることを明らかにした.

4．地下メタン生成を利用した資源開発

そこで, 我々は地下微生物によるメタン生成活動を用い, 地下に分布する堆積有機物の分解を促進して地中のメタンを増加させることを検討している.

現在, 地上でバイオマスを利用したメタン発酵プラントが製造, 利用されているので, それらと比較すると地下メタン活動を利用した資源開発の特徴が整理できる. 地上のメタン発酵プラントは, 各種廃棄物（農産加工品や畜産, 生活廃棄物）や, 食品残渣等のバイオマスを恒温槽に入れてメタン発酵によって分解させ, メタンを含むバイオガスを発生させるものである. プラントには材料に応じた前処理装置と, 分解反応後に残渣が生じるため, それを回収するための装置が必要である. 地下でメタン発酵を行う場合, 地下に微生物の分解しやすいバイオマスを投入するという考えもできるが, 分解後に残る物質の処理を考慮しないといけない. 地下に存在する材料, すなわち, 堆積有機物を用いて微生物による有機物分解 - メタン生成反応を促進してメタンを増加させれば, 残渣は炭化水素であり除去する必要はない. しかし, 地質年代のスケールでメタンが増加しても燃料資源として利用することは難しいので, 人間活動の時間スケールで地下微生物の活動を促進する手立てを考える必要がある.

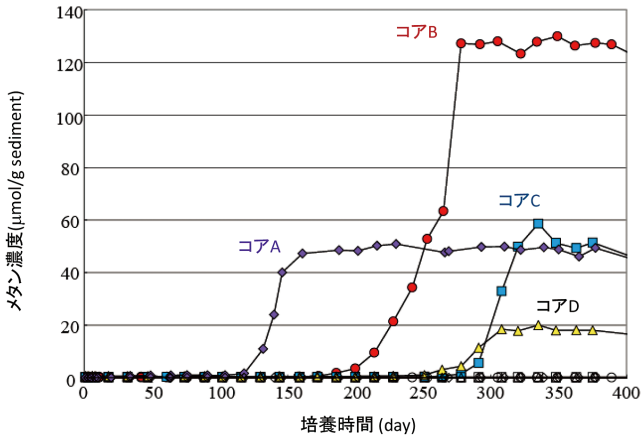


図 2　南関東ガス田のコア堆積物と地層水を用いた長期培養におけるメタン濃度の時間変化

5．展望

地下微生物の研究は歴史が浅く, 産業への応用・展開は始まったばかりである. 今回紹介した地下微生物によるメタン生成の利用は, ほんの一例にすぎない. 地下微生物の特徴を生かした様々な分野への展開が望まれる.

6．参考資料

Katayama T., Yoshioka H., Muramoto Y., Usami J., Fujiwara K., Yoshida S., Kamagata Y., Sakata S. (2015) Physicochemical impacts associated with natural gas development on methanogenesis in deep sand aquifers. The ISME Journal 9, 436-446.

Mochimaru H., Uchiyama H., Yoshioka H., Imachi H., Hoaki T., Tamaki H., Nakamura K., Sekiguchi Y., Kamagata Y. (2007) Methanogen diversity in deep subsurface gas-associated water at the Minami-kanto gas field in Japan. Geomicrobiology Journal 24, 93-100.

Yoshioka H., Mochimaru H., Sakata S., Takeda H., Yoshida S. (2015) Methane production potential of subsurface microbes in Pleistocene sediments from a naural gas field of the dissolved-in-water type, central Japan. Chemical Geology 419, 92-101.

鉱床の成因研究と探査への応用

Study of ore genesis and its implications for exploration

鉱物資源研究グループ：実松健造
Mineral Resources Research Group:
Kenzo Sanematsu
e-mail: k-sanematsu@aist.go.jp

講演予稿

1．はじめに

現代産業を支える金属・非金属資源にはリサイクル率が高いものもあるが，その大部分が陸上の鉱床から生産される．鉱床は自然界で有用元素・鉱物が農集した岩石（鉱石）の集合体であり，一般的に，有用元素・鉱物の含有率（品位）が高く，資源量が多くて経済的な採掘が可能となると鉱山となりうる．ただし，容易に見つかり高品位な鉱床は真っ先に発見・開発される傾向がある．例えば，銅，鉛 - 亜鉛，ニッケル鉱床を例にとると，従来は地表付近の300 m より浅いところで発見される鉱床が大半であったが，近年では発見される深度が深くなりつつある[1)]．どのような地質帯に鉱床があるか，鉱徴地があればその下部にどれくらいの鉱床が存在しているかを，試錐を行う前またはその最中に効率的に判断する必要がある．鉱床の成因を研究する目的はそのためである．様々な鉱床の研究をもとに鉱床の成因を明らかにし，より完成された一般的な鉱床モデルを作成することによって，どのようなテクトニック・セッティング，地質構造，変質帯，地化学異常，物理的特性を狙って探査するべきかが分かるからである．

金属鉱物資源（図１）に注目すると，当然ながら鉄，アルミニウム，貴金属元素，銅や亜鉛といったベースメタルの需要が高い[2)]．レアメタル（図１の青枠）となると，需要はあっても少量である，または特定の産業にしか需要がないといった鉱種がほとんどである．加えて，ベースメタル等の副産物として回収される元素が多いことから，レアメタル鉱床の成因研究は世界的にもあまり多くはない．鉱物資源研究グループでは，10年以上前からレアメタルの中でも希土類元素，その中でも重希土類の需要の増加を懸念し[3)]，世界

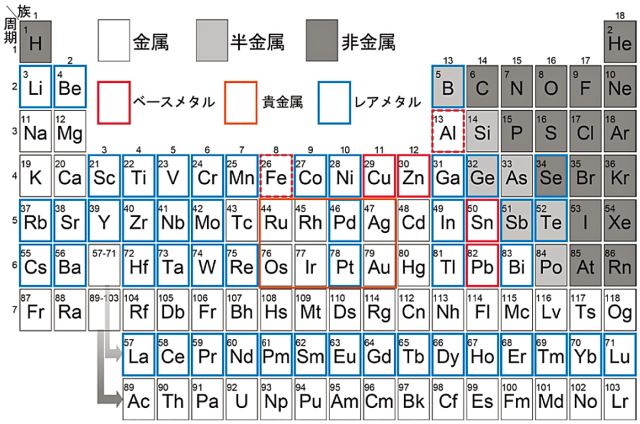


図１　周期表と金属鉱物資源の分類

の希土類鉱床の成因を研究してきた[4)]．この時の希土類の需給が逼迫した原因の一つとして，ハイブリッド車の駆動用モーターのための希土類磁石の需要が挙げられる[5)]．それに加えて現在は，世界的に需要が伸びる電気自動車の材料の確保が憂慮されつつある．引き続き希土類が必要とされると同時に，リチウムイオン二次電池に使用されるリチウム，コバルト，ニッケル等といったレアメタルが必要である．ここでは，希土類とコバルトを産出する鉱床の特徴について，これまでの研究成果，今後の研究方針を含めながら簡単に説明する．尚，リチウム資源については，荒岡（2015）[6)] などにまとめられている．

2．希土類鉱床

軽希土類はカーボナタイト鉱床から生産されている．カーボナイトとはマグマ性の炭酸塩岩であり，希土類品位数 wt% に達することがあるが，ほぼ例外なく軽希土類に富み重希土類に乏しい．中国以外でも鉱床は確認されているが，例外なくトリウム等の放射性元素に富むために開発が難しい場合が多い．また，風化したカーボナタイトからなる鉱床では，構成鉱物が細粒であるために選鉱における実収率が低下する．

重希土類は軽希土類よりも一般的に効果で希少である．そのほとんどが中国のイオン吸着型鉱床から生産されている．鉱石は風化岩（元々は花崗岩であることが多い）であり，希土類が粘土表面に静電気的に吸着していると考えられている．そのため，電解質溶液を用いたイオン交換によって，比較的簡単に希土類の混合酸化物を作成できる．一般に発破，破砕・粉砕，選鉱が不要であり，放射性元素濃度が高くない．希土類品位は0.08 wt% 程度と低いが，比較的重希土類に富む[7)]．鉱床の情報は限られているものの[8)]，既存の文献や様々な風化花崗岩のデータから，その成因は明らかになってきた[7)]．例えば，重希土類に富む鉱石は風化過程ではなく，マグマの分化過程で重希土類に富むようになったため，原岩花崗岩は SiO_2 ＞73 wt% 程度が望ましい．鉱石は一般に Ce に枯渇し，P_2O_5 にも乏しいため（<0.08 wt% 程度），地化学探査の指標となる．よりコストを抑えて有望地を抽出するには，気候や地形の情報が役に立つ．鉱床が形成された時代と現在の気候は異なるが，岩石の風化は比較的最近のことであるため，鉱床はケッペンの気候区分における温帯に多く（一部は熱帯に属する）確認される[7)]．また，鉱床が位置する標高は海抜400 m 以下が多い[7)]．これは，標

高が高いと侵食速度も速く，鉱石を含む風化岩が削剥されやすいからであると考えられる．このように，イオン吸着型鉱床の成因がより明らかになることによって，今後の探査に応用することができる．

従来の希土類鉱床は前述したイオン吸着型を除くと，放射性元素濃度が高い鉱床がほとんどである．今後の更なる希土類の需要と安全な鉱山開発を考えると，リン灰岩からリン酸の副産物としての希土類の回収が重要である[4]．リン灰岩鉱床はグアノ，堆積性，マグマ-熱水性の 3 種類がある．グアノは海鳥のふん等の肥料成分が濃縮したものであり，リン酸肥料としては優良だが，希土類品位は低く，資源量も少ない．堆積性リン灰岩鉱床は海底に堆積した生物の遺骸などを主成分としており，希土類品位は低いが資源量は多い．マグマ - 熱水性の鉱床は一般に鉄酸化物 - リン灰石鉱床（またはキルナ型鉱床）と呼ばれ，希土類品位はグアノや堆積性よりも高く，資源量は中程度と予想される．このタイプの鉱床はあくまで元々はリン灰石ではなく鉄が主な産物であるため，リン灰石の希土類資源としての有用性や鉱床の成因について今後詳しく研究する必要がある．

3．ニッケル - コバルト鉱床

リチウムイオン電池の需要増加が予想されるため，コバルトの価格は最近急騰している．加えて，コバルトの世界の生産量及び埋蔵量は，コンゴ民主共和国及びザンビアに分布する堆積性銅鉱床地帯（いわゆるカッパーベルト）で半分近くを占められており[9]，カントリーリスクも高い．その他のコバルト含有鉱床は，マグマ性ニッケル - 銅鉱床とラテライト質ニッケル鉱床である．

マグマ性ニッケル鉱床は，超苦鉄質の珪酸塩マグマから不混和な硫化物マグマが分離し，その中にニッケル，コバルト，銅が多く分配されることによって形成される．少量の白金族元素も伴う．コバルト鉱物は硫化物やヒ酸塩として産出する．カナダ，ロシア，豪州等に確認される鉱床である．

ラテライト質鉱床は，超苦鉄質岩中が高温多湿な条件で風化し，カンラン石が分解してできる蛇紋石等の中にニッケルが濃集して形成される．ニューカレドニア，豪州，フィリピン，インドネシア，キューバ等，低緯度地域に鉱床が分布する[10]．ラテライト質鉱床は少量のコバルトを含んでいるが，必ずしも副産物としてコバルトが回収されているわけではない．コバルトは主にマンガン酸化物中に含まれ，鉱床の特定の部分に濃集することが多い．また，ニッケル / コバルト比は鉱床ごとにも異なるため[10]，コバルトに富む鉱床の情報収集や，その成因の解明が重要となるだろう．赤色を呈するラテライトを地表で見つけることは難しくないが，地表付近は有用元素が溶脱した不毛または低品位なラテライト（リモナイト）であるため，地表で得られる化学組成や鉱物組み合わせといった情報から深部の鉱化作用を推定することが望まれる．また，ラテライト質鉱床にはスカンジウム（希土類の一つ）も比較的高濃度で含まれており[11]，その評価もまた重要になるだろう．

参考文献

1）R. Schodde: The global shift to undercover exploration - How fast? How effective? SEG 2014 Conference, Keystone, Colorado, (2014).

2）N.T. Arndt, L. Fontboté, J.W. Hedenquist, S.E. Kesler, J.F.H. Thompson and D.G. Wood: Future Global Mineral Resources, Geochemical Perspectives, 6(1), pp. 1-171, (2017).

3）Y. Kanazawa and M. Kamitani: Rare earth minerals and resources in the world. Journal of alloys and compounds, 408, pp. 1339-1343, (2006).

4）M. Hoshino, K. Sanematsu and Y. Watanabe: REE Mineralogy and Resources. Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths, 49, pp. 129-291, (2016).

5）T. Minowa: Rare earth magnets: conservation of energy and the environment. Resource Geology, 58(4), pp. 414-422, (2008).

6）荒岡大輔：リチウム資源 - 各鉱床タイプの概要とリチウム同位体による成因論 -. 岩石鉱物科学，44（5），pp. 259-270，（2015）．

7）K. Sanematsu and Y. Watanabe: Characteristics and genesis of ion-adsorption type deposits. Reviews in Economic Geology, 18, pp. 55-80, (2016).

8）Y. Xie, Z. Hou, R.J. Goldfarb, X. Guo and L. Wang: Rare earth element deposits in China. Reviews in Economic Geology, 18, pp. 115-136, (2016).

9）U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, U.S. Geological Survey, pp. 1-202, (2017).

10）V.I. Berger, D.A. Singer, J.D. Bliss and B.C. Moring: Ni-Co laterite deposits of the world; database and grade and tonnage models: U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1058, pp. 1-26, (2011).

11）実松健造，星野美保子，渡辺　寧：ラテライト型スカンジウム含有鉱床．資源地質，62（1），pp. 17-26，（2012）．

次世代物理探査技術の開発と展開

Development of New Generation Geophysical Prospecting Instruments and its Application to the Social Problem

物理探査研究グループ：神宮司　元治
Geophysical Exploration Research Group:
Motoharu Jinguuji
e-mail: m.jinguuji@aist.go.jp

1．はじめに

物理探査技術は，センサー技術・コンピュータ技術の発達と共に高度化し，資源・土木分野を中心に活躍しているが，今後も技術的発展が期待される．更なる社会応用を果たすためには，技術的な進歩だけでなく今後利用が拡大すると思われる分野へ適合した技術としての積極的な展開も必要と考える．特に我が国においては，少子高齢化や社会インフラの急速な老朽化，再生可能エネルギーの普及促進，災害に強い社会システムの構築などが，重要な社会的課題として挙げられており，これらの社会的課題に応えられる新しい物理探査技術が求められている．本講演では，新しい物理探査技術の開発を通して，これらの社会的課題にどう取り組んでいくべきか，その展開について事例を示したい．

2．老朽化する社会インフラへの対応（水道管腐食土壌調査，市街地電気探査）

老朽化する社会インフラの代表例として，水道管の老朽化が挙げられる．我が国の水道管は，高度経済成長期から急速に整備されてきたが，その多くが法定耐用年数を超え，老朽化が急速に進んでいる．国土交通省の試算では，2025年には，設備更新費用が水道収入から賄える投資額を上回ると予測されており，老朽水道管を計画的に更新する必要が増している．水道管の腐食は，その周辺の土壌環境に依存し，その中でも土壌の比抵抗は，水道管の電食（電気化学的腐食現象）に関係があり，特に比抵抗が低い塩分を多く含む粘土（海成粘土）で激しい腐食が発生することがこれまでの経験で知られている．地方自治体の一部では，水道管の更新や修理を計画的に進めるために，地面を開削して地盤の比抵抗などの土壌パラメータや水道管の腐食の程度を調べる管体調査を行っている．しかしながら，この方法は，地面を掘り返して埋め戻すなどの作業において，コストや時間，労力の負担が大きく，多数の水道管の更新箇所で適用することは困難である．

産業技術総合研究所では，高周波の交流電流をアスファルトやコンクリート路盤の上から通電し，地下の比抵抗構造を調べることで，比抵抗を用いて土壌の腐食性評価や海成粘土などの腐食性土壌の存在の有無を確認できる電気探査装置の開発に成功した[1)]．本電気探査装置は，地表から路面を傷つけずに水道管設置深度の比抵抗調査が可能である（図１）．

本電気探査装置は，極めて吸水性の高い PVA（ポリビニルアルコール）素材でできた小型で高周波交流電流の通電性の高いローラー状の電極と，お互いの送受信機間で GPS 信号により完全に相互同期した直交同期検波により，微弱な電気信号を検出できると共に，高い電気的ノイズ耐性を有している．現在，本電気探査装置を用いて，自治体の水道局の協力の下，管体調査を行った場所や，水道管工事に併せて路上からの調査を行い，実際の土壌サンプルとの比較実験を継続的に行っている（写真１，図２）．

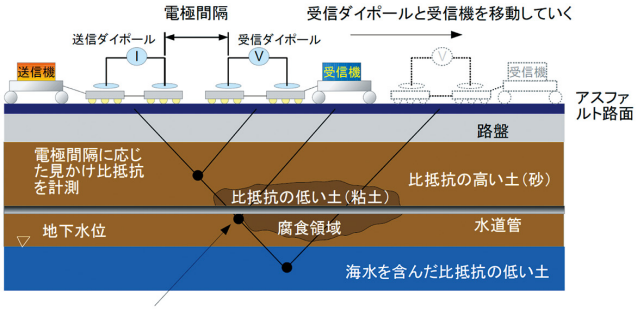
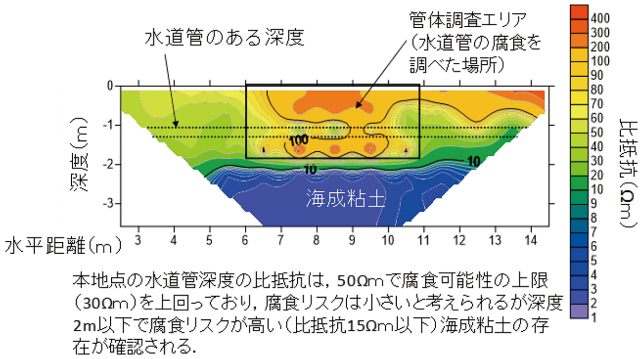


図１　開発した装置を用いた測定原理の概念図（断面図）

本測定装置については，プレス発表後に多数の新聞に掲載され，複数の自治体や企業からの問い合わせも多く，水道管だけでなくガス管を含めた実用化に向けて調査実績と装置の改良に努めているところである．また，ボーリング調査が困難な市街地における地盤調査法としての展開も可能であり，液状化調査を始めとする都市域での地盤調査への応用も期待できる．

写真１　今回開発した装置を用いた路上での比抵抗測定調査



本地点の水道管深度の比抵抗は，50Ωmで腐食可能性の上限（30Ωm）を上回っており，腐食リスクは小さいと考えられるが深度2m以下で腐食リスクが高い（比抵抗15Ωm以下）海成粘土の存在が確認される．

図２　比抵抗断面図

３．再生可能エネルギー普及への貢献（地中熱利用技術）

再生可能エネルギーは，地球温暖化対策へ向けての二酸化炭素排出量の削減，エネルギー資源に乏しい我が国における省エネルギー利用技術として注目を集めている．その中でも，地中熱利用技術は，地盤の熱特性を利用した省エネルギー技術であり，我が国においても普及拡大が期待されている．産業技術総合研究所では，福島再生可能エネルギー研究所と共同で物理探査研究グループにおいても地中熱に関する研究を行っている．特に地盤の熱特性計測による地中熱利用地盤の評価技術の研究を推進している．

再生可能エネルギーの一つである地中熱利用は，風力発電や太陽光発電と同様に，地盤の熱特性や地下水流動の有無による地域・場所差がある．地中熱利用の採熱量に影響する重要な地盤の熱特性パラメータには，地盤の有効熱伝導率が挙げられ，地盤の有効熱伝導率を計測することで，必要な熱交換井の設計を行うことができる．従来，このような設計に必要な有効熱伝導率を計測するために，ボーリング孔を掘削し，採熱管を地中に埋設して温水を循環させ，地盤の有効熱伝導率を評価するサーマルレスポンステスト（TRT）が行われてきた．つまり，TRTを行うためには，新規にボーリング孔を掘削する必要があり，また，計測に費用や日数がかかるため，よりコストの低い調査法が求められてきた．産総研では，旧来から光ファイバ温度センサーとケーブルヒータを用いた熱伝導率プロファイリング法（TCP）について研究を行ってきたが，近年，電子温度センサーの小型化とデジタルネットワーク化によって，極めて細い（直径6 mm）多点ケーブル温度センサーが開発できるようになった．高価な光ファイバ温度計を用いずに，低価格な多点ケーブル温度センサーが利用できるようになったため，低コストで小口径のロッドを用いた熱伝導率プロファイリング法の適用が可能になった．本センサーは，一般的な土木調査で良く用いられるボーリングロッドに挿入することが可能であり，建築物の建設前に行われる土木調査で一般的に用いられる標準貫入試験やサウンディング試験においても，適用が可能である．

ここで，図３に標準貫入試験終了後に熱伝導率プロファイリング法を適用し，深度方向50 mまでの有効熱伝導率の深度分布を計測した例を示す．なお，図３の中で赤線がN値，黒線が有効熱伝導率である．また，ボーリングサンプルから判別した大まかな地層を図中に示す．地層構造やN値の変化に併せて，有効熱伝導率が変化している．なお，本地点の平均有効熱伝導率は，1.24 W/mKであり，砂・シルト地盤として平均的な値である．このように，標準貫入試験と同時に有効熱伝導率の測定が可能なため，建築物の本格設計前に行うことができ，地中熱導入決定のための予備調査として意義があると考えられる．なお，本技術は，福島県内の複数の企業が実用化を目指し，有限責任事業組合を結成して実用機の開発を行っている．

４．まとめ

社会的課題の解決に向け，物理探査技術を利活用してどう取り組んでいくか，事例を示した．本事例だけでなく，ボーリング技術者の高齢化・労働力不足なども問題となっており，地質調査のロボット化や無人化，ドローン技術の応用などの変化にも対応していく必要があると考える．次世代の物理探査技術は，これらの諸問題の解決に必須な技術と考えており，今後もその発展に貢献したい．

参考文献

１）http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2017/pr20170711/pr20170711.html

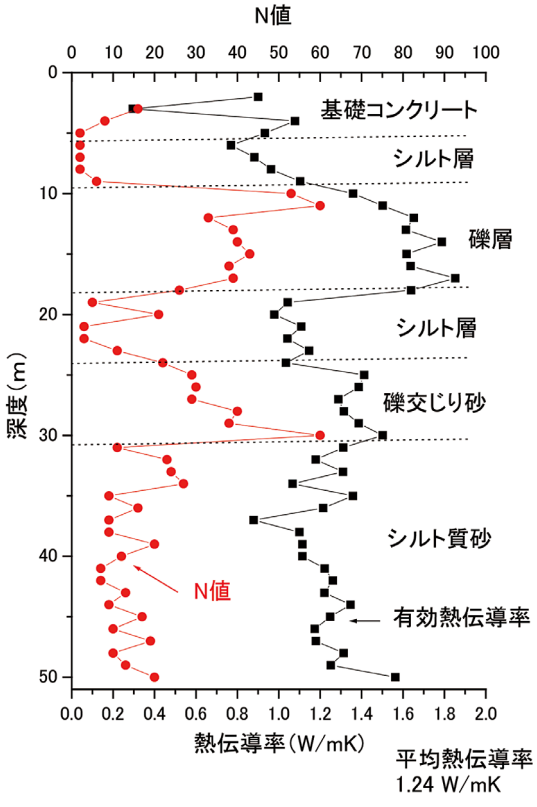


図３　標準貫入試験終了後に同じボーリング孔で熱伝導率プロファイリング法を行った例

表層土壌評価基本図の開発と自然由来重金属類評価への適用

Development of Geochemical and Risk Assessment Map of Subsurface Soils and an Evaluation for Naturally Occurring Soil Contamination

地圏環境リスク研究グループ：川辺能成
Senior researcher: Yoshishige Kawabe
e-mail: y-kawabe@aist.go.jp

講演予稿

1．はじめに

重金属類は多かれ少なかれ土壌中に含まれているため，屋外活動等において直接的に摂取や吸入によりヒトへ暴露される可能性がある．また，土壌から溶出した重金属類が地下水や農作物を経て，それをヒトが摂取することにより間接的に暴露されることも想定される．したがって，表層土壌に含まれる重金属類の人への健康リスクを定量的に評価するためには，地域ごとの表層土壌中の重金属類の含有量や溶出値等の情報を整備することが重要である．また，これらの情報は重金属類に対する自然起源と人為起源の判別や土地の適正利用，産業用地の診断等にも活用でき，今後全国的に整備していく必要性がある．産総研ではこれまで宮城，鳥取，富山，茨城および高知県の表層土壌評価基本図を開発してきた．本稿では，これまで開発してきた表層土壌評価基本図の概要ならびにそれを用いた自然由来重金属類評価の事例について紹介する．

2．表層土壌評価基本図の開発[1)]

表層土壌基本図作成のための調査では，5 万分の 1 土地分類基本調査図（国土交通省）の土壌種区分および主要河川の分水界に基づき，主要な土壌種について採取地点を定めた．また，土壌採取地点が5 km メッシュ区分中に 1 試料以上とし，空間的な情報が網羅できるように設定した．試料の採取では，表層の腐葉土層，植生および大礫は除去して深度50 cm 程までの土壌を掘削採取した．また，大気からの影響をできるだけ除去するため，表層5 cmの部分は採取対象外とした．採取した土壌は十分に風乾させた後，礫や植物片を取り除いて非金属製の2 mm メッシュのふるいを通して，各種分析および試験に用いる前処理検体とした．

この前処理後の検体を用いて，土壌の化学特性（pH 等），蛍光エックス線を用いた全含有量分析，公定法（環境告示18号，環境省告示19号）に準ずる手法による溶出試験（水溶出試験）[2)]，含有量試験（0.1M 塩酸溶出試験）を行い，これらのデータベースを作成した．溶出試験の値に関しては，ヒ素などの重金属類や SO_4 などの無機イオン20成分，土壌構成成分の全含有量値に関しては，SiO_2 などの酸化物および重金属類19成分のデータを掲載している．

一方，有害性を有する12 成分（As, Cd, Pb など）についてはヒトへの暴露量を基にしたリスク評価を行っている．リスク評価では直接的な暴露として，土壌の直接摂食および土壌粒子の吸入を，間接的な暴露としては農作物摂取ならびに地下水摂取による暴露を考慮している．そして，各経路からのヒトへの全暴露量を推算し，TDI（Tolerable Daily Intake：耐容一日摂取量）[2)] や RfD（Reference Dose：参照用量）[3)] と比較することにより，リスクの大小を評価している．

表層土壌評価基本図では，採取地点を含む土壌種の領域における土壌化学データが提示されており，これらの土壌化学データはこの地域の土壌化学バックグランドデータの一例として参照できる．また，これらのデータをコンター図として表示することが可能であり，それぞれの地域における重金属類濃度の空間分布やそれらのヒトへのリスク評価結果を視覚的に把握できる（図 1 ）．

3．表層土壌評価基本図による自然由来重金属類の評価

表層土壌評価基本図では，それぞれの地域における重金属類のバックグランドデータが掲載されており，これらの

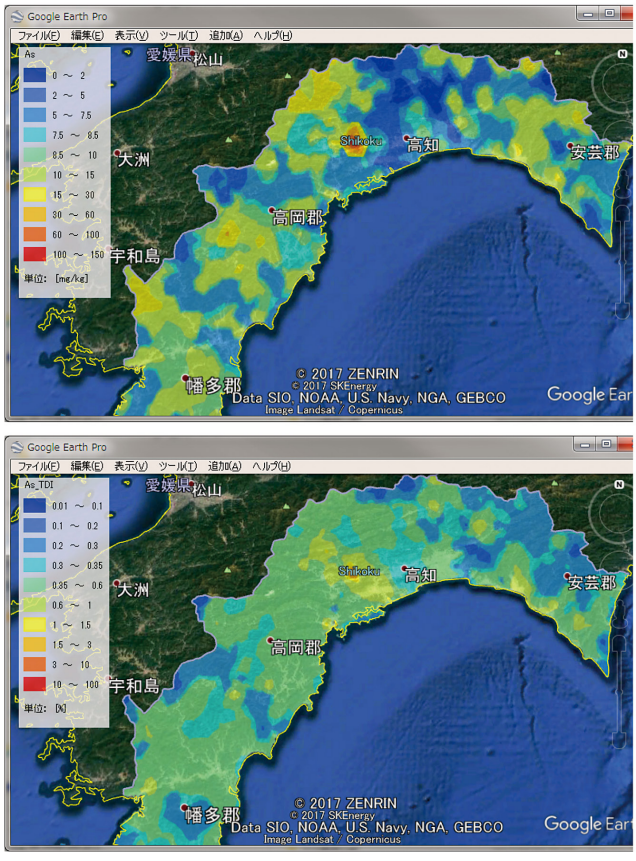


図 1　表層土壌評価基本図（高知県）による土壌中ヒ素の含有量の空間分布（上）ならびにヒトの許容摂取量（TDI）に占める暴露割合（下）

データは公定法に準ずる手法で土壌の採取・分析を行っているため，現場で行われる土壌環境調査のデータと比較検討が可能である．また，表層土壌中の有害重金属類のバックグランドレベルを空間データとして明示したことで，人為由来の汚染が生じた場合に汚染の由来の判断に活用され，さらには汚染の絞り込みにも有用な役割を果たしていくことが期待できる．さらに土砂災害や洪水による土砂や大地震による津波堆積物が陸上に堆積した場合には，その地域のバックグランドデータが，復旧の目安やそれらの処理・管理等の方針を立てるための参照値となる．

実際に2011年３月に発生した東日本大震災では大量の津波堆積物が東日本沿岸部に堆積した．そこで，宮城県の沿岸域において，津波が想定された地域の表層土壌と津波堆積物中のヒ素の含有量や溶出値を比較した．その結果，沿岸域におけるヒ素の含有量は表層土壌より津波堆積物の方がやや高く，津波堆積物により陸域に重金属が付加されていることが明らかになった（図２）[4]．一方，溶出値については，表層土壌と津波堆積物でほとんど違いはなく，津波堆積物からも表層土壌と同様に基準値を超過する濃度が検出された（図３）[4]．また，仙台平野部において，高溶出値を示す表層土壌および津波堆積物の分布位置はほぼ一致する傾向を示していた（図３）[4]．このように津波堆積物は沿岸域の表層土壌に有害重金属を付加したことが懸念されるが，表層土壌評価基本図と同様のリスク評価手法を用いて人体への健康影響を算出したところ，いずれの元素に関しても今回の調査結果の濃度レベルでは人体リスクはなく，土壌・地下水へ及ぼす鉛・ヒ素の汚染の影響はないと判断された．

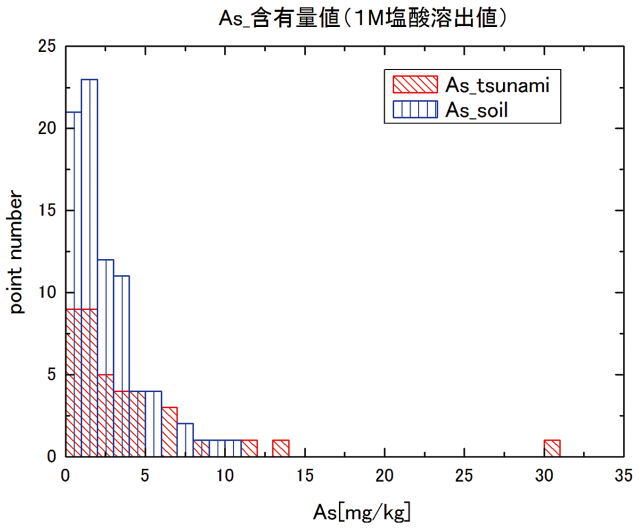


図２　沿岸域に分布する既存土壌および津波堆積物中のヒ素含有量のヒストグラム[4]

４．おわりに

本稿では，これまで開発してきた表層土壌評価基本図の概要ならびにそれを用いた自然由来重金属類評価の事例について紹介した．今後もこれらの情報整備を全国的に展開していく予定であり，土地の有効利用のための立地リスク診断，自然起源と人為起源汚染の判別，リスクコミュニケーションなどに幅広く利活用されることを期待したい．

参考文献

１）原　淳子，川辺能成，駒井　武：表層土壌の地球科学情報データベースの公開と活用，地質ニュース667，68-73，(2010)．

２）WHO : Guideline for Drinking-Water Quality, second ed. (1996).

３）USEPA : Health effects assessment. In: Office of Emergency and Remedial Response. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., (1989).

４）地質分野研究企画室（編）：巨大地震による複合的地質災害に関する調査・研究報告書，地質調査総合センター速報，66，383-399，(2014)．

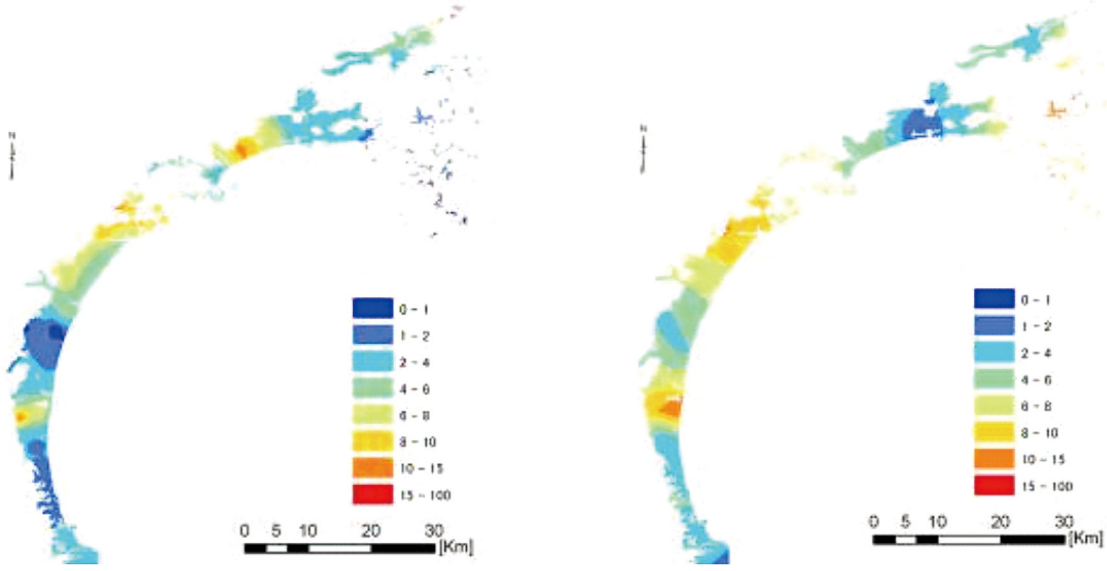


図３　既存表層土壌からのヒ素溶出値（左）ならびに津波堆積物からのヒ素溶出値（右）[4]

地域の地下水研究からみえてきたもの

Production of easy-to-understand information from a viewpoint of local hydrogeological research

地下水研究グループ：町田　功
Groundwater Research Group: Isao Machida
e-mail: i-machida@aist.go.jp

講演予稿

1．はじめに

我が国の地下水を取り巻く社会状況は，近年大きく変化している．2014年７月に施行された水循環基本法[1]は，従来，私水として意識されてきた地下水を「国民共有の財産」として明確に位置づけた．これにより健全な水循環を妨げるような地下水利用に対する規制の足掛かりができただけでなく，この法律の施行自体が国民の地下水保全への意識の高まりを引き起こしている．そのため，今日多くの事業者（飲料メーカーや製紙会社等）や自治体にとって，地下水にかかる情報は極めて重要になりつつある．

一方，深層地下利用に目を移すと，原子力発電所の稼働に伴い発生する高レベル放射性廃棄物の地層処分に関連し，2017年７月には科学的特性マップ[2]が公開された．このマップは科学的見地から処分地として相対的に好ましい（好ましくない）特性を有する地域を示したものである．このような全国一律の基準で描かれたマップは，今後，自治体等との対話にて大きな役割を果たすと考えられる．

このような地下利用や地下水利用は，地域の生活，経済，環境，時には信仰などと密接に関わっているため，その課題解決には他分野の専門家あるいは地域の人々との協働，協議が必要となる場合が多い．この側面は近年，地下水を含む水関連学会において研究者共通で取り組むべき課題として認識されつつある．すなわち，今日の水文地質学者は理論的な正しさを主張するだけでなく，必ずしも地下水の専門家ではない人々との対話によって，より社会的に受容される最適解を見出す努力が必要とされている．今日の水文地質学はこの方法を模索している段階にある．

2．個人の視点

地球科学に携わる多くの研究者は，興味深いデータが得られた時などは，是非ともそれを多くの人に伝えたいと思うものである．筆者も地下水の採水調査などで得られたデータの面白さを，研究に協力してくれた自治体の方々や井戸所有者などに説明したいと思う場面があった．しかし，いざ実践してみると自分の言いたいことが十分に伝わらないと感じることが多かった．例えば，井戸の比湧出量の大小（１本の井戸からの揚水可能量の指標），地下水水質の特殊性（溶存イオンの種類と濃度），地下水年代の古さ（地下水が涵養されてから経過した時間）を説明しても，受け手側はその特徴をはっきりと認識できない．研究者がそのデータを興味深いと感じる理由は，バックグランドとして既存のデータが頭の中に入っており，一般的なデータとは何か，を大まかに理解しているためである（図１）．

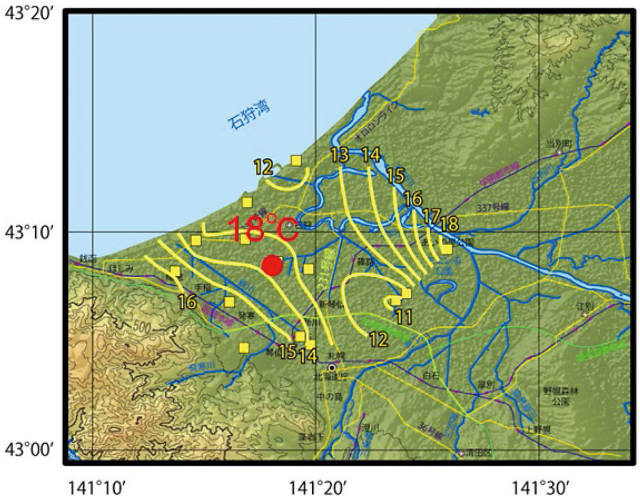


図１　地下水情報の評価が周辺データとの比較によってなされる例．赤色で示した地下水の水温データ（18℃）が得られた場合を考える．仮に周辺の水温データ（黄色のコンター）が明らかになっていなければ，その特徴が理解できない．ある地下水の特徴を素早く正確に理解するためには，適切なリファレンスが必要である．（上図は札幌周辺の深度100 m の水温分布[3]）

この重要性は，自治体が良質の地下水を観光資源あるいは商品にする場合を考えると明らかである．地域の地下水データの特異性や優位性を説明するためには，“一般的な値”と比較することで，より明確に示すことができる．残念ながら，現在は地下水に関する一般的な情報が少ないため，専門家以外はある地域で得られたデータが，どのような特徴を持つのか判断できず，人々は地下水に対する興味を失いやすくなっている．さらに専門家であっても，一般的性質すなわち軸となる情報を持っていないために，自らの調査結果を細分化しすぎてしまい，結果としてデータの持っている有益な情報を見落としてしまうことがある．地下水研究グループという括りで眺めても，今まで数多くの平野や盆地スケールでの広域地下水流動に関する調査研究を行ってきたものの，その地域の地下水全体が持つ，日本の中での特徴を論じることはできなかった．このような状況を考えると，地下水情報に関する一般性の明示が，学術的にも個人的にも克服すべき課題の一つになっていると考えられる．もし，日本の地下水に関連するデータについて，その“一般的な値”を提示することができれば，それはリファレンスデータとして社会的にも有意義であろう．

3．現在の方針

地圏資源環境研究部門地下水研究グループでは，地下水に関するデータベースの作成が継続的に行われている．今年度からはこれと並行して，現地調査や再解析などによって得られたデータから，平野や盆地スケールでの広域地下水情報を示す簡略図の作成を行い（概念モデル），それを最終的にカタログ形式にまとめる作業に着手した．特に重点を置いているのは，過去に涵養された地下水の年代分布である．あまり知られていないが，我が国の地下には最終氷期に降った雨が残留している深度領域があり，近年その分類が可能となってきた[4]．今回の作業では，日本の地下水を年代別に，現世の水（最終氷期以降に涵養された水），氷期の水（最終氷期に涵養された水），化石海水（地下水年代が100万年オーダーの古い水）の三つに分類し，その分布を明らかにする．この地下水年代分布は，自然状態での地下水の流動性を求めることにつながる．

本研究の速報を表 1 に示す．この表によれば，特殊なケースを除いて，現世の水の分布範囲は地表から深度100～200 m 程度となっている．一方で背後に大きな動水勾配（地下水位の勾配）を背負う富士山や，単斜構造（地層が斜めに傾いている地域）を有する千葉県君津市では，250 m 以上の深度でも氷期の水のシグナルを見出すことはできなかった．従来，平野や盆地スケールの地下水のあり方として，不透水性基盤（例えば中新統）の上位に透水層（第四系等）が堆積しており，その中に地下水が胚胎される，という概念が浸透しており，地質の違いが地下水の流れを規定すると言われてきた．しかし，平野部における現世の水と氷期の水との境界は第四系完新統内に存在する場合すらある（図 2 ）[6]．すなわち，地形がフラットな地域あるいは平野面積が大きな地域においては，平野部に涵養された地下水は，強い水平方向の流動が支配的となり，今日の降水はさほど深層まで移動しないのである．このような結果は，従来の地下水流動解析に用いる透水係数の与え方や下部境界条件の推定方法に影響を与えるだろう．

	Modern water	Glacial water	Fossil seawater
	m from ground level		
Sarobetsu Moor	20	80 – 500	800
Yufutsu Plain (East)	100	—	—
(West)	> 200	—	—
Niigata Plain	50	120	> 560
Yamagata Basin	150	750	—
Mt. Fuji	> 250	—	—
Kimitsu	500	—	—

表 1　我が国の盆地や平野の地下における現世の水，氷期の水，化石海水の分布（速報）[5]．なお，下表は今後修正の可能性がある．

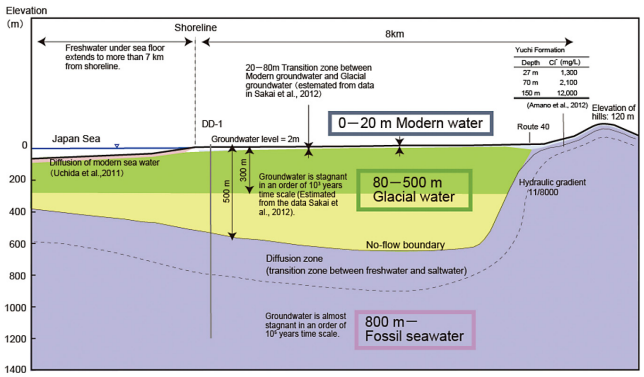


図 2　北海道天塩郡サロベツ原野の地下水（Ikawa et al.（2014）[6] 等より作成）

将来的には，この年代分布を決定する要因を検討する予定である．具体的には流域特性（地形（傾斜，隆起・沈降など），地質（鉱物種類），気象（降水量，気温），水文地質（動水勾配））と，地下水年代分布の関係を見出し，個々の盆地や平野での地下水のあり方を決定する要因について検討する．本研究は我が国の平野や盆地スケールでの地下水流動の一般性を明らかにする試みととらえることができ，同時に他分野との協働あるいは地下水に関する知識普及促進のための試みの 1 つとも捉えることができる．

参考文献

1）平成26年法律第16号．平成26年 4 月 2 日公布，同年 7 月 1 日施行．

2）経済産業省資源エネルギー庁：http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/kagakutekitokuseimap/（平成29年10月17日閲覧）．

3）町田　功・井川怜欧・小野昌彦・森野祐助・内田洋平・丸谷　薫・吉岡真弓・阿部博昭（2015）：水文環境図「石狩平野（札幌）」．水文環境図，No.8，産業技術総合研究所地質調査総合センター．

4）Hasegawa, T. Nakata, K, Tomikoka, Y, Ota, T. (2017): Research and development on groundwater dating for very old groundwater in coastal area, Goldschmidt2017, Session21g, 3163, Abstract.

5）町田　功・小野昌彦・井川怜欧・丸井敦尚（2017）：深層地下利用と水文科学―周辺学術分野との協働のためのレビュー方法―，日本水文科学会30周年記念大会，ポスター．

6）Ikawa, R. Machida, I. Koshigai, M. Nishizaki, S. and Marui, A. (2014): Coastal aquifer system in late Pleistocene to Holocene deposits at Horonobe in Hokkaido, Japan, Journal of Hydrogeology, 22, 987-1002.

研究グループ紹介

地下水研究グループの紹介

Introduction of the Groundwater Research Group

研究グループ長：丸井敦尚
Leader, Groundwater Research Group:
Atsunao Marui
e-mail: marui.01@aist.go.jp

1．グループの研究目的

地下水研究グループは，地下水の保全と開発・利用に関する課題を研究している．社会への貢献や研究成果の反映先を意識しつつ，外部研究機関との連携も保ち，体系的な研究を実施している．水文環境図の作成を基軸に，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．部門の重点課題でもある放射性廃棄物地層処分，CO_2 地中貯留プロジェクトに関しても知識や成果を共有し，積極的に協力し研究を推進している．さらに，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，部門のミッション達成に貢献する．研究対象地域は日本国内のみならず，CCOP 活動などを通して海外にも拡がっている．

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，ユーザーが必要とする個別の地域情報を分かりやすく盛り込むよう心掛けている．図には地形，地質，地下水位，水質，地下温度などの情報が掲載されており，最新の水文地質情報を見ることができる．近年では No.7「熊本地域」，No.8「石狩平野（札幌地域）」No.9「富士山」が出版された．

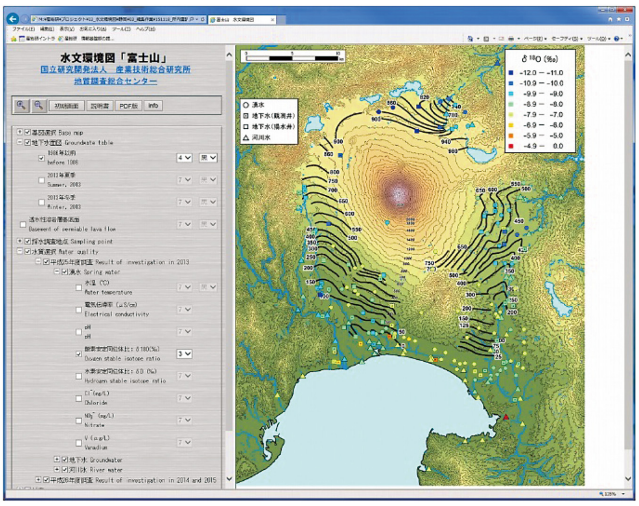
水文環境図を作成するに当たり，地下水研究グループではその作成指針を発表している（町田ほか，2010）．これに基づき，地形，地質，地下水位，水質，地下温度などの基礎情報が掲載されており，地下水の流動や起源など最新の水文地質情報を見ることができる．また，最新の「富士山」では地域地下水の特徴であるバナジウムを水質項目に追加し，地域の固有情報に配慮した形でデータを掲載している．地球科学情報としてこの図を使っていただくために，記載内容は，流域の水循環に着目し，地下水盆の解明を意識した内容になっている．

地下水研究グループでは，当該研究を基礎とする地下水データベースを構築しており，東日本大震災後のインフラ復興や水循環基本法・同基本計画の策定などに貢献してきた．さらに，土壌汚染対策法や環境保護基本計画に係る地下水流動シミュレーションを実施し，各地の自治体における地下水管理を支援している．

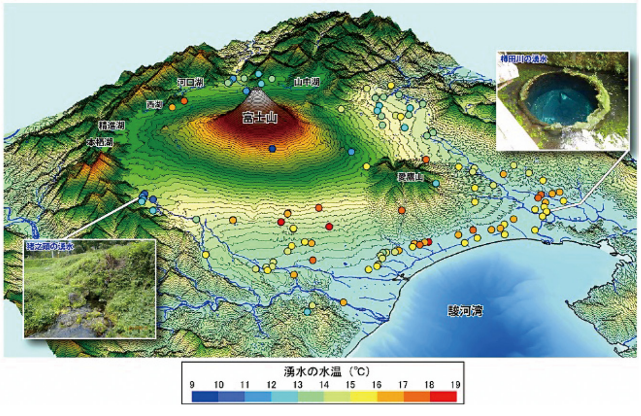
2.2.　高レベル廃棄物の地層処分に関する研究

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，廃棄物を地下深部に埋設してしまう地層処分が検討されている．地層処分では安全性の確保が最も重要な課題の一つであり，地下水の水質や流動状況の把握が急務である．産総研は，北海道の幌延ならびに駿河湾において，沿岸域における地下水プロジェクトを実施している．海陸連続探査技術の開発や，大深度ボーリングを行うことで，沿岸域深部の水文地質環境を把握することを目的として研究してきた．

今年 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



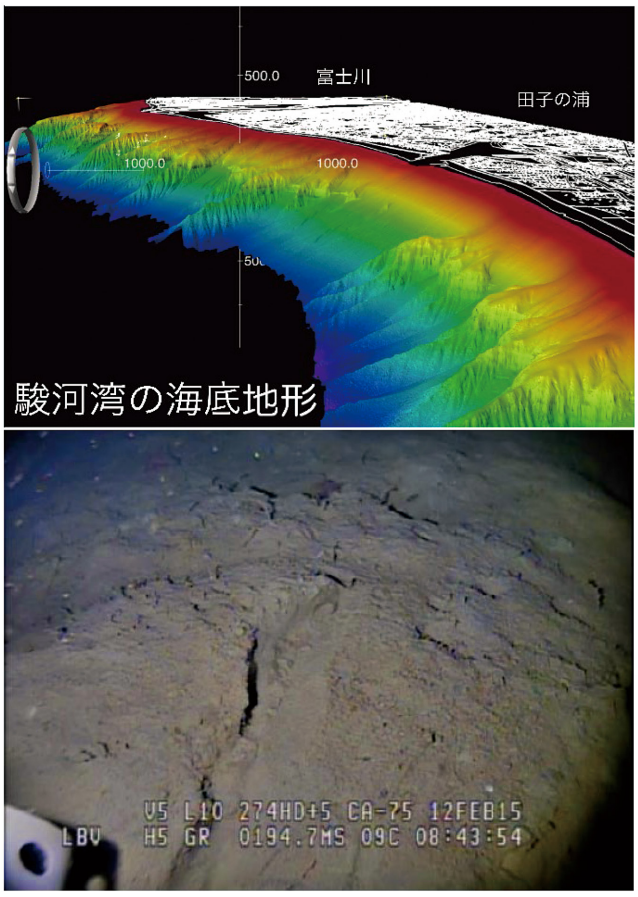
最新の水文環境図（富士山）



富士山地域の湧水と水温の鳥瞰図
（水文環境図からの 3 次元化）

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である．

地下水研究グループはこれまでに九十九里海岸や茨城県東海村などで沿岸部の地下水に係る研究を重ねてきた．とりわけ北海道幌延では，外部研究機関と連携し，沿岸域において深部地下水の水質調査や年代測定などを実施してきた．その結果，沿岸海域の地下深部には，氷河期を越え長期的に安定した地下水塊があることを発見した．また，駿河湾においては，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するルートを解明することに成功した．これにより，地下水の流動経路や滞留している領域を３次元的に明らかにした．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．



駿河湾の海底地形（上）と田子の浦東部海底の亀裂とゆらぎ（海底湧出地下水：下）の状況．陸域地下水の湧出ポイントの同定や地下水の分析・解析から地下水流動の大循環が分かってきた．

2.3.　海外での地下水（CCOP）研究

地下水研究グループは，旧地質調査所時代から CCOP のプロジェクトに対して積極的に参加・サポートを行ってきた．日本は，地下水の管理技術について最先端のテクノロジーを有しており，その技術を CCOP 加盟国へ移転することは，アジア地域における適切な水資源の管理・利用のみならず，我が国のアジア戦略に資するものである．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．また，再生可能エネルギーである地中熱をタイやベトナムなどの途上国に展開することで，地球温暖化抑制への貢献のみならず，地下水資源がもつ新たな価値を発信している．

３．グループの研究体制

丸井　敦尚（研究グループ長，総括研究主幹）
町田　功（主任研究員）
佐々木　宗建（主任研究員）
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）
柳澤　教雄（兼務）
内田　洋平（兼務）
シュレスタ・ガウラブ（兼務）
石原　武志（兼務）
アリフ　ウィディアトモジョ（兼務）
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）
飯泉　綾子（派遣）
菅谷　裕行（派遣）
木方　建造（産学官制度来所者）
楠瀬　勤一郎（産学官制度来所者）
田瀬　則雄（産学官制度来所者）

主要な成果

産業技術総合研究所・日本原子力研究開発機構・原子力環境整備促進・資金管理センター，電力中央研究所(2017)：平成28年度地層処分技術調査等事業「沿岸部処分システム高度化開発」報告書，資源エネルギー庁，364p. 等

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：高木哲一
Leader, Mineral Resources Research Group:
Tetsuichi Takagi
e-mail: takagi-t@aist.go.jp

1．グループの研究目的と構成

鉱物資源研究グループは，陸域の鉱物資源を対象とした資源探査・評価，選鉱試験など資源上流部に関わる研究を実施しており，現在９名の職員，11名の契約職員が所属している．ここでは当グループの研究内容を，レアメタル資源，非金属資源，鉱物資源情報，分析・選鉱技術開発の４つに分けて紹介する．

研究メンバー構成
高木 哲一（研究グループ長）
大野 哲二
児玉 信介
実松 健造
星野 美保子
昆 慶明（兼務）
荒岡 大輔
綱澤 有輝
森本 慎一郎（兼務）
横山 隆臣（産総研特別研究員，PD）
向井 広樹（産総研特別研究員，PD）
五十公野 裕也（産総研特別研究員，PD）
須藤 定久（テクニカルスタッフ）
月村 勝宏（テクニカルスタッフ）
Buenaventulada C. Segwaben（テクニカルスタッフ）
宮腰 久美子（テクニカルスタッフ）
生田目 千鶴（テクニカルスタッフ）
松永 いづみ（テクニカルスタッフ）
徳本 明子（テクニカルスタッフ）
浅野 子竜（リサーチアシスタント・筑波大）

2．レアメタル資源の研究

レアメタルとは，鉄やアルミニウムなどの汎用金属と金・銀などを除いた希少な金属資源で，31鉱種が経済産業省によって指定されている．現在，中国の成長減速などにより金属資源は全般に安値が続いているが，電気自動車の普及などにより，特定のレアメタル需要が急増する可能性があり，産総研では将来の危機に備えて基礎情報の収集や既存鉱山の権益確保などを進めている．鉱物資源研究グループは，省エネルギーに資するレアメタル資源（重レアアース，リチウムなど）を中心に資源国の地質調査所，政府機関，民間企業などと共同で調査研究を実施している．

2017年度は，経産省委託事業により，南アフリカ共和国地質調査所（CGS），同国鉱物処理研究所（MINTEK）と共同で重レアアース鉱石の選鉱技術開発を実施している．現在産総研が資源評価に取り組んでいるプレトリア市北方のレアアース鉱床の鉱石について追加の選鉱実験を実施し，最適な選鉱技術の開発を目指している．また，多くのレアメタル鉱床を胚胎する Bushveld 花崗岩分布域の鉱徴地に関する現地調査を実施した（写真１）．

海外レアアース資源探査の一環として，米国のレアアース鉱床の研究を米国地質調査所（USGS）と共同で実施している．2016年度からミズーリ州に分布する IOCG 型鉱床に付随するレアアース資源の研究に参画し，主に安定同位体を用いた地球化学的研究を通じて鉱床成因の研究および資源ポテンシャル評価を実施中である．

また，2016年度からカナダ・ブリティッシュコロンビア地質調査所との共同研究を開始した．ブリティッシュコロ

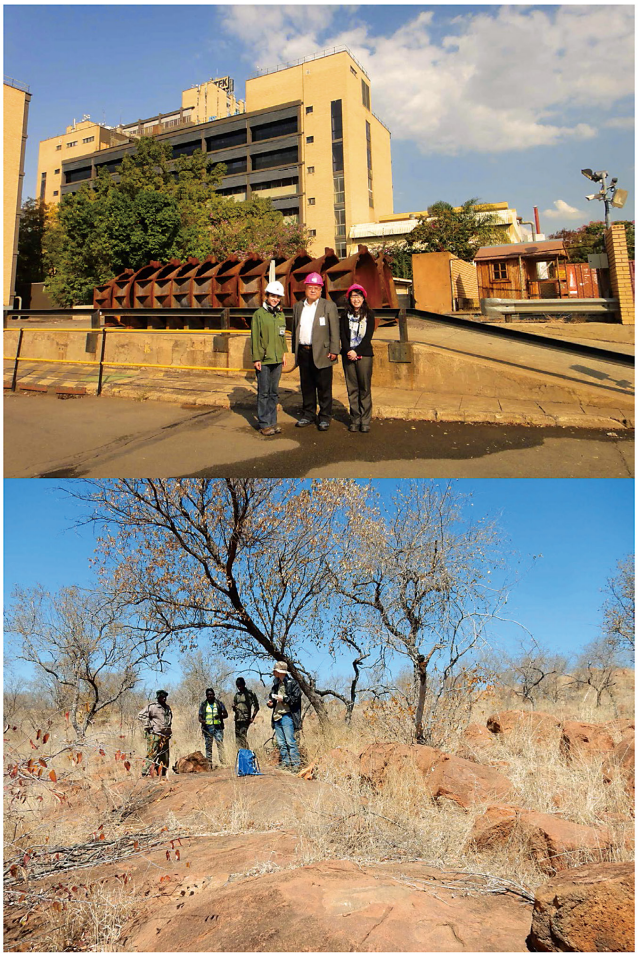


写真１　南ア MINTEK の視察・情報交換（上），Bushveld 地域での現地調査（下）

ンビア州は豊富なレアメタル資源を有し，同地質調査所は高い研究ポテンシャルを有する．2017年度は，昨年度採取した試料の安定同位体組成などを分析・解析し，鉱床成因の解明を進めている．さらに，アルゼンチン地質調査所（SEGEMAR）との共同研究を本格的に開始し，2017年度は同国中・北西部にて１ヶ月間におよぶレアメタル鉱床・鉱徴地の現地調査を実施した．ミャンマー地質調査所（DGSE）とのレアメタル鉱床に関する共同研究も推進しており，11月に１ヶ月間の現地調査を実施する予定である．

３．非金属鉱物資源の研究

非金属鉱物資源（工業原料鉱物）は，現在でも主に国内鉱山から供給されている．鉱物資源研究グループでは，これらの中で，特に粘土資源・珪質資源に注目し研究を行っている．2017年度は，昨年度に引き続き瀬戸・東濃地方に分布する未利用資源の窯業原料化に関する研究を継続している．本研究は，同地域に分布する「青サバ」と呼ばれる低品位鉱の賦存状況調査（写真２上）および選鉱による利用技術の開発を目的としている．これまでの研究で，青サバは，一定量の雲母類を磁選で除去することにより，既存のカオリン粘土の増量剤として十分に利用できることが確認された（写真２下）．また，海外産タルク鉱石の研究，国内ベントナイト・珪石・珪砂鉱床の賦存状況に関する研究なども実施中である．

写真２　青サバ露頭の現地調査（上），青サバを使用した陶器の焼成試験結果（下）右から粘土中の青サバ100 %, 80 %, 50 %, 0 %（還元焼成，岐阜県窯業原料協同組合による）

４．鉱物資源情報の研究

鉱物資源研究グループでは，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・中央アジア鉱物資源図，500万分の１アジア地質図などを出版し，2014年度にこれらの集大成である500万分の１アジア鉱物資源図を出版した．また，地質図幅における鉱物資源情報の記載も担当しており，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．

５．分析・選鉱技術開発

鉱物資源の研究を進める上で，鉱石や鉱物の精度の高い分析や選鉱実験は不可欠である．そのために，鉱物資源研究グループでは鉱物・鉱石分析施設，選鉱実験施設の高度化を実施している．2017年度は，LA-ICPMSのフェムト秒レーザー発振源更新，湿式揺動テーブルやハイドロサイクロンの試験運転開始，MC-ICPMSやSHRIMPによる安定同位体組成の分析ルーチンの開発を継続中である．

６．今後の展望

現在，レアメタルの需給状況は世界的にほぼ安定している．しかし，リチウムなど一部の元素は需給が逼迫して急激に値上がりしており，レアアースも電気自動車の急速な普及，中国国内の環境問題による生産制限などにより，値上がりに転じる可能性は高い．したがって，今後も予断を許さず，需給動向を注視する必要がある．国内の非金属鉱物資源も，カオリン，ベントナイトや珪石・珪砂など窯業に必須な鉱物資源が枯渇しつつあり，政策的・技術的に早急な対策が必要な状況にある．鉱物資源研究グループは，経済産業省，JOGMEC，民間企業などと連携し，確実な資源情報の収集と技術開発を実施すると共に，論文・報告を通じた資源問題の啓蒙を行っていく所存である．また，ポスドク研究者，リサーチアシスタント制度を通じた若手資源研究者の育成にも貢献していきたい．

主要な成果

Hoshino, M. ほか６名（2017），Geological Fieldwork 2016, 2017-1, 215-214, British Columbia Geological Survey.
実松健造（2016）GSJ 地質ニュース，6-2, 48-52.
Araoka, D. ほか４名（2016），Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 17-10, 3835-3853.

燃料資源地質研究グループの紹介

Introduction of the Fuel Resource Geology Research Group

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

1．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29年度）

研究スタッフ

中嶋　健（研究グループ長）, 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27年度以降）

・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」

「ナフタレン組成を用いた新たな石油熟成指標の開発」

・受託研究・補助事業研究（経産省）

「メタンハイドレート開発促進事業」の一部「資源量評価に関する研究開発」

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」

「表層型メタンハイドレートの資源量把握に向けた広域地質調査, 詳細地質調査および地質サンプル取得」

・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

「水蒸気爆発とマグマ爆発：噴煙中の水蒸気の同位体組成を利用した遠隔推定法開発」

「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）

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

・平成25年度から3年間, 表層型メタンハイドレートの資源量評価を目的とする経産省受託研究として, 日本海等の集中的な調査を実施した.（全員）

・同プロジェクトでは, 広域音響調査によるマウンド等の特異点の捜索（佐藤）, AUV深海音響探査による地形・地質構造調査や海洋電磁探査による比抵抗分布調査(森田・棚橋), ROV潜航調査による海底観測と長期モニタリング等（佐藤・後藤）を実施し［写真1］, 再委託先の明治大学と協力しながら総合的な地層性状と資源量評価を行った. また, 表層型メタンハイドレートフォーラム（明治大と共催）を開催して調査報告を行った. さらに, 外部有識者による表層型メタンハイドレート資源量調査結果検討委員会を開催し, 研究成果の妥当性が承認された.（全員）

・繰り返す隆起により堆積物中のガスハイドレートが分解する過程を数値シミュレーションで明らかにし, 国際誌で公表した.（後藤）

・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）

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

・CBM形成にも寄与し得る, 石炭から直接メタンを生成するメタン菌の発見に至る研究に貢献し, Science誌に公表した.（鈴木）

・シェールガス・オイルについて, 北米等の文献調査とともに, 本邦炭田堆積盆での可能性について検討を進めている. またCCOPを通じて韓国KIGAMと協力しながら女川層等のシェール評価を行い, アジアへの国際協力に努めている［写真2］.（鈴木・髙橋）

3.3. 在来型天然ガス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，地形・地質調査を行い，学会で招待講演 3 件，　一般講演 1 件を行った．The Geology of Japan の分担執筆，地質学雑誌特集号への投稿論文 2 編の執筆・投稿を行った．（中嶋）

・深海システムの貯留岩形態・根源岩ポテンシャルと新潟頸城型原油の新たな形成モデルについて石油技術協会シンポジウムで招待講演し，論文公表した．また，日本堆積学会2017年論文賞を受賞した［写真 3］（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，国際誌において論文 1 編を公表した．（髙橋）

・指標分子の乏しい微生物分解を受けたオイルの根源岩評価を目指して，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，国際学会での講演，国際学術誌 1 編の執筆・投稿を行った．（朝比奈）

3.4. 共同研究

・JX 石油開発（株）との共同研究で，釧路炭田や新潟地域等の調査を実施した［写真 4］．（中嶋・髙橋・朝比奈・鈴木）

・石油資源開発（株）との共同研究で，日高地域の調査を実施した．（中嶋）

・西部ガス（株）との共同研究で，九州地方の石灰評価を実施した．（髙橋・鈴木）

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，同位体平衡温度計を利用した地殻熱流量整備の基礎研究として，水蒸気の安定同位体組成を測定する新手法の開発を進め，学会発表等を行った．（髙橋）

・弱酸性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）

4．最近の主要な研究成果

［受賞］日本堆積学会2017年論文賞　中嶋　健

［誌上発表］

中嶋　健（2016）深海チャネル - 自然堤防 - 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，81，33-45.

Goto, S., Matsubayashi, O. et al. (2016) Simulation of gas hydrate dissociation caused by repeated tectonic uplift events. *JGR.*, **121**, 3200-3219.

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.* in press.

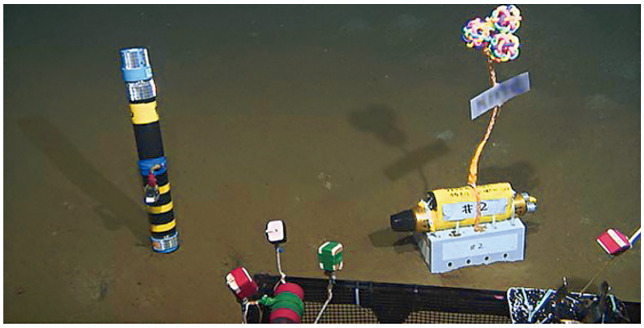


写真 1　ROV 潜航調査による海底地殻熱流量測定

写真 2　CCOP-KIGAM 非在来型燃料資源会議（インドネシア，ジョグジャカルタ市）

写真 3　日本堆積学会論文賞受賞式

写真 4　釧路炭田での露頭調査

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：坂田　将
Leader, Geomicrobiology Research Group:
Susumu Sakata
e-mail: su-sakata@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29年度）

2.1.　グループ員

研究スタッフ

坂田　将（リーダー），片山泰樹（兼務），金子雅紀，須田好，竹内美緒（兼務），眞弓大介，持丸華子，吉岡秀佳

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，篠塚由美，執印訓子，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」
「枯渇燃料資源を再生する次世代バイオリアクターの開発」
「未利用石炭資源を用いた微生物による天然ガス生産システム生産に向けて」
「未回収燃料資源からの天然ガス創成技術の開発」

委託研究費・研究助成金

「平成29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）
「ゲノム解析と培養試験による海洋のメタン酸化微生物群の共生機構の解明」（科研費）
「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）
「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）
「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）

共同研究費

「油層微生物の原油分解メタン生成メカニズムと賦活化・導入条件に関する研究」（国際石油開発帝石㈱・東京ガス㈱）
「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㈱）
「地下微生物の研究」（北海道科学技術総合振興センター）

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，JOGMEC，国際石油開発帝石㈱，東京ガス㈱，JX 石油開発㈱，西部ガス㈱，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．

４．28年度後期－29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

・MH21の研究の一部として，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低温性のメタン生成菌の集積培養・分

離を行い, 単離されたメタン生成菌を用いて, メタン生成活性の温度依存性および圧力依存性を評価した. また, 堆積物中に含まれるメタノール濃度の測定を行い, シール層泥岩におけるメタノール利用性メタン生成活性が高いことを見出した.

4.2. 未回収燃料資源からの天然ガス創成技術の開発

石炭からメタンを生成するメタン生成菌（群）の分布・生態調査を目的とし, 以下の項目を実施した.

- 北海道北部の炭田から採取したガス試料のメタン /（エタン + プロパン）比, およびメタンの炭素・水素同位体比を測定した結果, 当サイトのメタンは微生物起源であることが明らかになった.
- 北海道東部の炭田から採取した石炭試料を用いて, 現場環境を模擬する高圧培養実験を実施した. 現在, 培養400日においてメタン濃度が微増しており, 今後もモニタリングを継続する.
- 石炭資源の調査：九州地方における炭田の野外調査および石炭試料の熟成度分析を行い, 将来的な掘削研究のフィールドの選定を行った. その結果, 九州中部の炭田における石炭は炭質と熟成度の観点から CBM の生成ポテンシャルが高いこと, また炭層の現場温度が高温性菌の生育に適していることから, 未利用石炭の生物的天然ガス変換技術の将来的な応用先として有望であることが判明した.

4.3. 地下圏メタン生成菌の新たな代謝経路の解明

- 深部地下環境から分離した *Methermicoccus* 属のメタン生成アーキアが, 30種類以上の多様なメトキシ芳香族化合物を直接利用してメタンを生成することを発見した. 近縁のメタン生成古細菌のメトキシ芳香属化合物の利用性を調べるために, *Methanosarcinales* 目に含まれる *Methermicoccus* 以外の 9 属のメタン生成古細菌についても培養試験を行った結果, 明確な利用性は確認されなかった. メトキシ芳香属化合物からのメタン生成経路を明らかにするため, 2－メトキシ安息香酸を用いて *Methermicoccus* を培養したところ, 2−メトキシ安息香酸の減少とともに2－ヒドロキシ安息香酸とメタンの生成が観察された. しかも2－ヒドロキシ安息香酸の生成量はもとの2−メトキシ安息香酸とほぼ当量であることから, メトキシ基の脱メチル化でメタンを生成したことが示唆された. 安定同位体トレーサー法でその代謝経路を解析した結果, これまで知られている 3 種のメタン生成経路とは全く異なる新規な経路であることが判明した. すなわち, 脱メチル化の後, 1）acetyl-CoA の生成とその開裂によるメタン生成, 2）二酸化炭素の還元によるメタン生成が, 同時に起きていると推察された.

4.4. 基礎的研究

- メタン生成補酵素 F430は, 原位置メタン生成ポテンシャルを定量的に推定するための画期的なバイオマーカーツールとして期待されている. しかしながら, バイオマーカーとしての応用のためには, 補酵素 F430がメタン生成菌の死後, 速やかに分解し, 地質年代を通して環境中に残らないことを確かめる必要がある. 本研究では 4 ～60℃ および pH5, 7, 9の嫌気条件下にて, 補酵素 F430の非生物的分解初期過程であるエピ化速度を決定した. 補酵素 F430のエピ化は見かけ上の 1 次反応で進行し, その速度定数は温度と強い相関を示した. 一方で, pH との相関は見られないが, 中性よりも酸性, アルカリ性条件化における分解速度の方が若干早い傾向が確認された. 各温度における半減期は60, 34, 15℃の順に, 11～15時間, 2 ～ 5 日, 29～71日程度である. これらの実験結果をもとに, 例えば, 海底面の低温条件（～2℃）における補酵素 F430の半減期は95～305日と推定される. 以上のことから, 補酵素 F430は地質年代を通して環境中に残存する可能性は低く, 原位置メタン生成ポテンシャルを定量するためのバイオマーカーとして応用可能であることが証明された.

5．主な論文成果・受賞（2016年10月以降）

Mayumi D, Mochimaru H., Yoshioka H., Sakata S. et al. (2016) Methane production from coal by a single methanogen. Science **354**, 222-225.

Kaneko M. et al. (2016) Estimation of methanogenesis by quantification of coenzyme F430 in marine sediments. Geochemical Journal **50**, 453-460

Mochimaru H., Katayama T., Sakata S. et al. (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 **66**, 4873-4877.

Mayumi D. (2016) Poster Award, 6th International Symposium on Applied Microbiology and Molecular Biology in Oils Systems.

Tamazawa S., Mayumi D., Mochimaru H., Sakata S. et al. (2017) *Petrothermobacter organivorans* gen. nov., sp. nov., a novel thermophilic, strictly anaerobic bacterium of the phylum *Deferribacteres* isolated from a deep subsurface oil reservoir. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology **66**, 4873-4877.

Sano Y., Sakata S. et al. (2017) Origin of methane-rich natural gas at the West Pacific convergent plate boundary. Scientific Reports **67**, Article No.15646.

地圏化学研究グループの研究紹介

Introduction of the Resource Geochemistry Research Group

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．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

1）グループ員（平成29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
水垣 桂子	地熱地質層序学，構造地質学
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
星野谷 亜衣	テクニカルスタッフ

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」
「低コスト粘土系吸着剤を用いた低温熱源利用デシカントモジュールの設計と開発」
「非金属鉱物資源の探査～改質～機能性材料創成プロジェクト」
「ベントナイトのメチレンブルー吸着量測定方法」
TIA「かけはし」事業「社会実装を考慮した革新的環境回復技術開発の検討」
「ハスクレイを用いた二酸化炭素回収システムの開発」
・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）
・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
「高分子ガス吸着材料の評価とその技術の確立に関する研究」
「アモルファス系吸着剤の検討」
「天草陶石の有効利用に関する研究」

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
・ESR（電子スピン共鳴）装置
・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28年度～29年度前期までの研究進捗状況

1）燃料資源に関わる地化学的成因研究，資源評価

関東平野南部に分布する南関東ガス田は，日本最大の水溶性天然ガス（主成分はメタン）資源の賦存地域である．日本国内での燃料資源情報の把握，及びアウトカムとして深層熱水型温泉の開発・坑井掘削の指針策定，利用されず排気／廃棄されている温泉のメタンガスの有効利用等に資するため，南関東ガス田を含めた関東平野全域における水溶性天然ガスの賦存状況に関わる地質学的情報を整備してきた．

平成28年度は，天然ガスの成因において，微生物起源ガスと熱分解ガスの“混合ガス”とされているものが，混合という単純な一つのプロセスで生成したのではなく，熱分解ガス（気相メタン）と移動経路の微生物起源ガス（地層水中の溶存メタン）との交換反応（炭素同位体比の減少）と，低圧において生じる気相ガス／溶存ガス間での組成分別反応の結果であることを明らかにした．また，沖縄本島南部ガス田において熱分解ガスを産出する基盤岩の地層と熱史を解明するための基礎研究として，陸上に露出する始新統嘉陽層の細粒凝灰岩薄層に対して，ジルコンのU-Pb年代測定とフィッショントラック年代測定を行った．噴出年代として始新世前期の年代値が得られ，両年代値に大きな差がなかったことから，200℃を超えるような温度帯にまでは埋没しなかったことが明らかとなった．

産業技術総合研究所第七事業所では，2015年に水道管改修工事が行われた．その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．

２）機能性鉱物材料に関わる化学的・鉱物学的・材料学的研究

非金属鉱物資源の産状，分布，成因，及びその工業的利用（材料）等にかかわる現地調査・実験を行い，資源の安定供給と製品化に資する研究開発を実施すること，また，岩石・鉱物と地圏流体との関係を地球化学・地質学・鉱物学的手法により明らかにすることを目的としている．

NEDO再委託事業では，2017年３月に共同研究先である高砂熱学工業（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）とともにプレスリリースを行った．産総研が開発した100℃以下の低温廃熱を利用可能な蓄熱材「ハスクレイ」をベースに，さらに高性能化した蓄熱材の量産製造技術を確立するとともに，蓄熱材ハスクレイを組み込んだ，従来型より２倍以上の蓄熱を可能とする可搬コンパクト型蓄熱システムを共同で開発した．

さらに，日野自動車（株）工場間におけるオフライン熱輸送の実用化検証試験を開始した．この検証試験で得られた知見をもとに，冷房・除湿・暖房・給湯・乾燥工程等へ適用する熱利用システムとして市場展開を目指している．

改良型ハスクレイの外観

量産製造装置の外観

３）ベントナイトのメチレンブルー吸着量試験法の検討

幅広い分野にて工業的に利用されているベントナイトにおける，ベントナイト中の粘土（モンモリロナイト）含有量の指標となるメチレンブルー吸着量試験の試験手順の違いが吸着量に及ぼす影響について，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・ろ紙による影響に関して個々に考察を行い，論文として公表を行った．

またベントナイトのメチレンブルー吸着試験法についてはJIS化を目指しており，一般財団法人 日本規格協会のJIS原案作成公募制度に採択された．現在 JIS 原案作成に向けて活動を行っている．

４．平成28年度後半～平成29年度前半の研究成果と受賞（主なもの，下線部がグループ員）

【誌上発表（論文）】

安楽総太，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（２），pp.17-30.

M. Jige, T. Takagi, Y. Takahashi, Y. Tsunazawa, K. Morimoto, M. Hoshino, K. Tsukimura (2017), Fe-bearing kaolinite in green saprolite beneath sedimentary kaolin deposits, Seto district, central Japan, *Scientific Research Abstract*, 7, pp372.

Y. Yanagawa, A. Ijiri, B. Anja, S. Sakai, Y. Miyoshi, S. Kawaguchi, T. Noguchi, M. Hirai, S. Axel, J. Ishibashi, Z. Takagi, N. Sunamura, T, T. Urabe, T. Nunoura, K. Takai (2016) Defining boundaries for the distribution of microbial communities beneath the sediment-buried, hydrothermally active seafloor, ISME Journal, 11(2), pp.529-542.

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，CO_2 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，地滑り，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29年度においては，以下の７項目を中心に実施している．

- 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，CO_2 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（2017.10.1現在）

以下の９人体制で研究を実施している．

横田 俊之（研究グループ長）
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）
紙谷 進（派遣職員）

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29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（資源エネルギー庁）
- 平成29年度希少金属資源開発推進基盤整備事業（探査基盤技術高度化支援事業）（資源エネルギー庁再委託）
- 安全なCCS実施のためのCO_2貯留技術の研究開発事業（経済産業省再委託）

等々．

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

３．最近の主な研究内容と成果

3.1.　公表論文等

中島善人（2017）画像セグメンテーション用アルゴリズム GrowCut の解説：液状化画像を例題にして．地学雑誌，（印刷中）．

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.

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*.

Nakashima, Y. and Komatsubara, J. (2016) Seismically induced soft-sediment deformation structures revealed by X-ray computed tomography of boring cores. *Tectonophysics*, **683**, 138-147.

Ikeda, S., Nakano, T., Tsuchiyama, A., Uesugi, K., Nakashima, Y., Nakamura, K., Yoshida, H. and Suzuki, Y. (2017) Three-dimensional study by synchrotron radiation computed tomography of melt distribution in samples doped to enhance contrast. *Mineralogical Magazine*, *https://doi.org/10.1180/minmag.2016.080.163*

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.

Hata, M., Takakura, S., Matsushima, N., Hashimoto, and Utsugi, M. (2016) Crustal magma pathway beneath Aso caldera inferred from three-dimensional electrical resistivity structure. *Geophys. Res. Lett.*, **43**, 10,720-10,727.

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　マルチフラクタルスペクトル解析による液状化構造の定量化

コアやトレンチで観察できる，液状化・流動化に起因する乱れた地層の構造は，過去の地震の痕跡である．その乱れの程度は，震央距離や地盤の剛性などに関係する．したがって，地層の乱れは，丁寧に読み解けばそのサイトの正確な液状化リスク評価に貢献できる重要な情報をもっている．しかし，そのような地層の乱れを定量化する手法の開発はこれまで不十分であった．そこで当研究では，不均一で乱れたパターンの定量化に有効とされるマルチフラクタル解析を，コアに記録された液状化・流動化した地層のパターンに適用して，その有効性を吟味した．

液状化した地層の例を図 1 に示す．図 1 は，ボーリングコアの X 線 CT 画像である．このコアは，2011年の東日本大震災直後に，地表で液状化による噴砂が実際に確認されたサイトで取得されたものである．元来は水平に堆積していたであろう葉理が，地震に伴う液状化現象によって激しく攪拌されて乱れている様子が確認できる．この画像の濃淡を磁鉄鉱などの含鉄鉱物（鉄は X 線吸収が強いので，CT 画像上では強調される）の空間分布とみなして，2 次元マルチフラクタル解析を行った．結果を図 2 に示す．一般に，マルチフラクタルスペクトル f(α) は，上に凸な放物線に似た形状を示すが，その放物線の開き具合（f を α の二次式で近似したときの α^2 の係数）は含鉄鉱物の不均一な空間分布に敏感である．図 1 の他にも，乱れの程度の異なるさまざまな CT 画像を解析した結果，放物線的なスペクトルの開き具合が，液状化による地層の乱れの強弱と相関があることが分かった．したがって，マルチフラクタル解析は，地盤液状化リスク評価のための定量化ツールとして利用できる可能性があると結論できる．

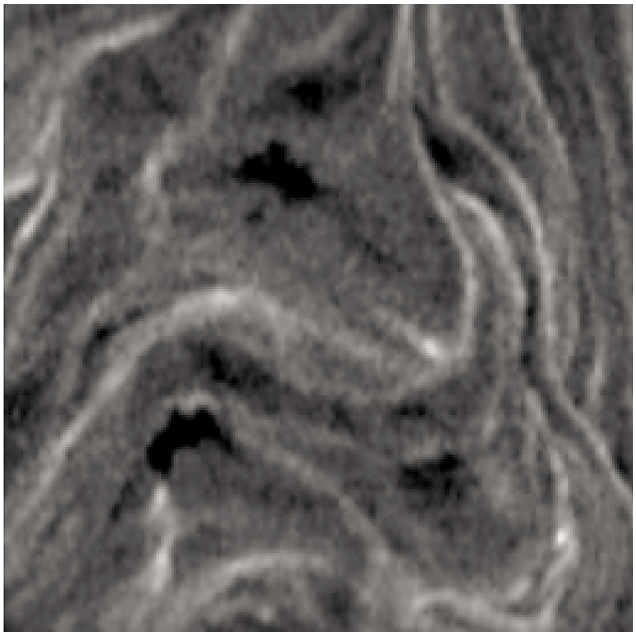


図 1　地震液状化で流動化したボーリングコアの 2 次元 CT 画像．灰色の画素は砂質，暗い画素はシルト質．特に明るい画素には，磁鉄鉱など鉄を含む鉱物が濃集している．元画像サイズは5.9 cm×5.9 cm.

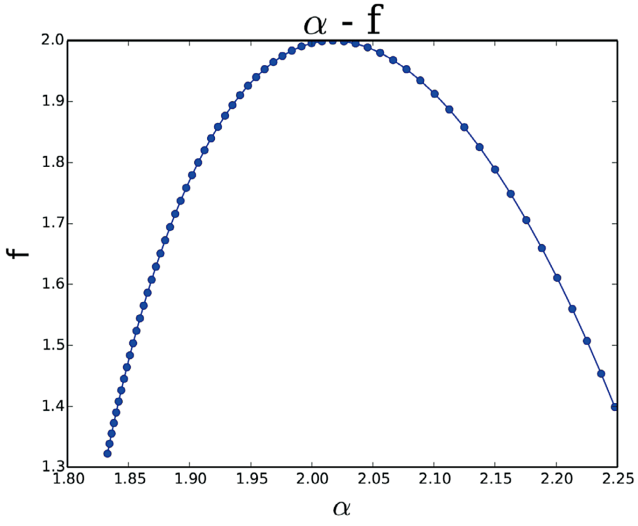


図 2　図 1 の画像のマルチフラクタル解析結果のマルチフラクタルスペクトルf(α)．αは，リプシッツ・ヘルダー指数．

3.3　地下水流動調査および埋立廃棄物調査を目的とした可搬型多チャンネル比抵抗・IP 探査装置の導入

大規模な河川などが無く，ダムのような大規模な貯水施設を持たない離島地域等において，地下水は生活用水・農業用水として利用可能な貴重な水資源であり，地下水流動および貯留域の広がりや貯留されている地下水の水質の把握は，安心・安全な住民生活の維持に直結する．また，廃棄物の埋立処分場においては，埋設された廃棄物が安定して埋設時の状態を維持しているかを把握することは非常に重要な課題である．そのような安全性の評価においては，地下水流動の把握が一つの重要な鍵となる．このような目的の調査を実施する際に，強制分極法（IP 法）を利用した探査は一つの有効な手法であると考えられる．そのため当グループでは，上記のようなサイトにおいて，それぞれの調査目的に適合するように効率良く IP 法探査を実施し，地下比抵抗構造・充電率構造を把握することを目的として，可搬型多チャンネル比抵抗・時間領域IP探査装置の導入及び計測システム整備を進めている（図 3 ）．本装置は比較的高い電流出力を有し，最大で2.5 Aまでの電流を地下に流すことが可能である．また，カーバッテリーのような小型電源を利用可能であり可搬性に優れる他，48チャンネルの測定システム（スキャナ）を予め設定したシーケンスを用いて自動的に制御可能であり，高効率・高密度にデータを取得することが可能である．時間領域の IP 信号も高い時間分解能で取得可能であり，高精度に充電率を計測することが可能である．今後，本システムを地下水流動調査・埋立廃棄物調査などに適用していく予定である．

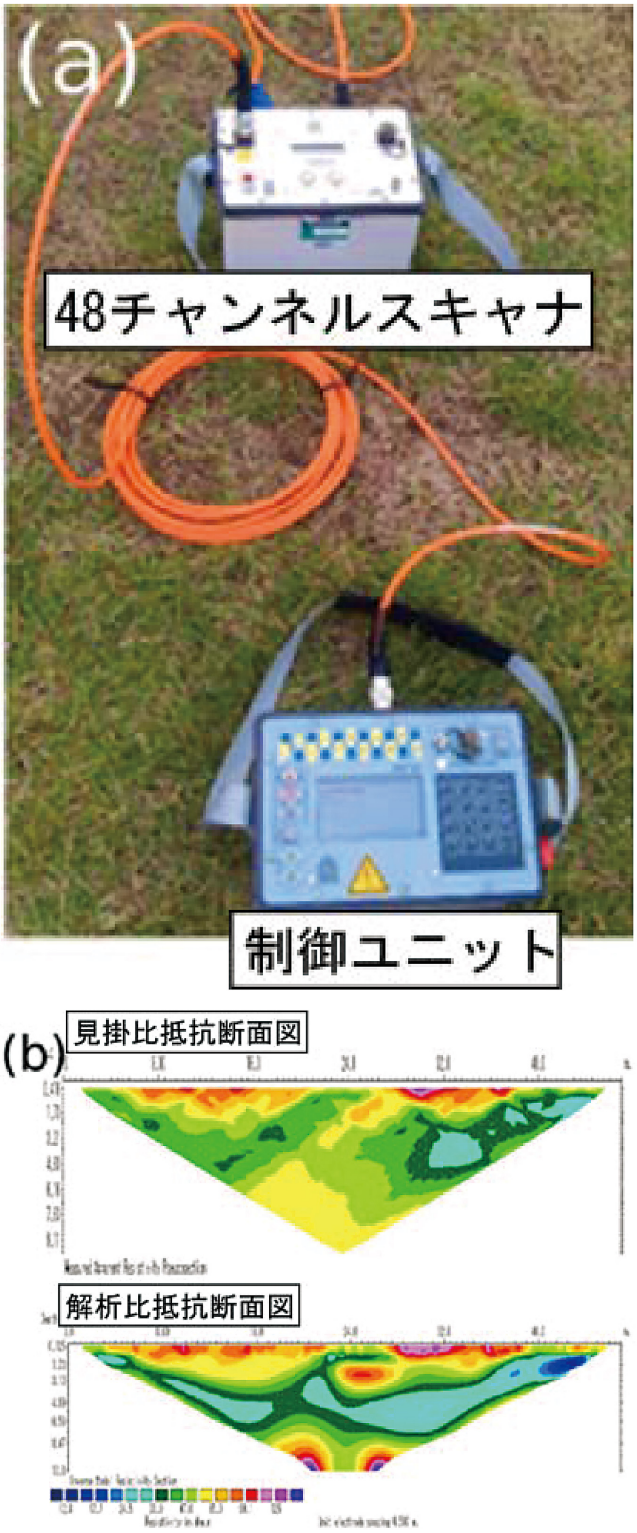


図 3　多チャンネル比抵抗・IP 探査装置．(a) 48チャンネルスキャナ（上）は制御ユニット（下）と接続して使用する．(b) 本装置により産総研第 7 事業所グラウンドで取得された探査結果例．見掛比抵抗分布（上）及び解析比抵抗断面図（下）．

3.4　高周波交流電気探査装置を用いた液状化地盤調査事例

高周波交流電気探査技術は，地表面に打設する通常のステンレス棒電極から舗装路面を傷つけずに調査が可能なローラー電極まで様々な種類の電極使用することができ，ほぼ全ての地表面条件下で，簡易に電気探査の計測が可能である．これまで，主として水道管の腐食性土壌評価に着目し，アスファルト舗装が施された路面上から地下の比抵抗構造を調査が可能な高周波交流探査装置の開発を行ってき

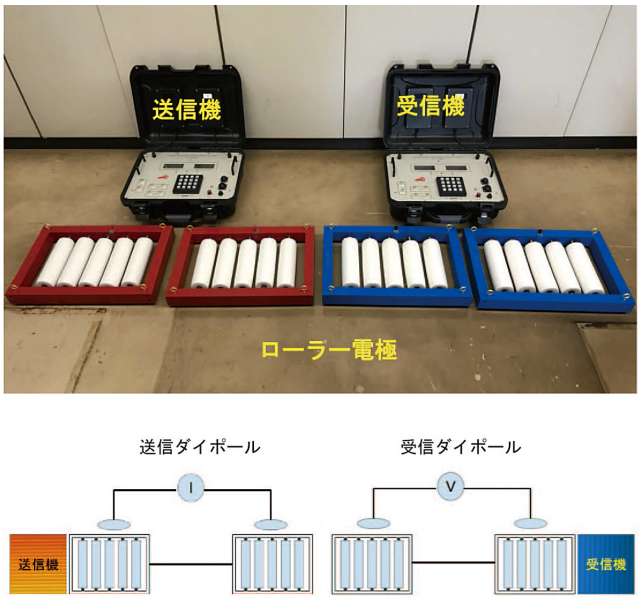


図 4　高周波交流電気探査装置と PVA ローラー電極．（上）装置の写真．（下）PVA ローラー電極を用いた電気探査の概念を表す平面図．

た. 本年度は, 当該装置の液状化地盤に対する適用性を確認するため, 液状化が発生した地盤において実際に野外での比抵抗探査実験を実施した. なお, 通常の直流電気探査装置を用いた液状化地盤の評価については, これまで茨城県潮来市日の出地区の液状化被災地における実験で検証済みである.

今回, 液状化評価のための比抵抗探査実験を行った場所は, 2016年の熊本地震の際に実際に液状化被害が発生した, 熊本市内の小学校の校庭である. 比抵抗探査実験には, 産総研が開発した高周波交流電気探査装置と PVA（ポリビニルアルコール）ローラー電極を用いた（図 4 ）. 実験地の地表面は砂であったが, PVA ローラースポンジの保水性には問題なく, 一度の給水の必要もなく, 約 2 時間で 2 次元比抵抗探査実験を行うことができた. 比抵抗実験は, 電極間隔2 m のダイポール・ダイポール電極配置を用いて, 32 m の測線で行った.

その結果を図 5 に示す. 測線全域にわたって, 深度約2 m から4 m までシルト粘土層が存在することがわかる. 簡易液状化評価の対象となる, 地表から深度6 m まで範囲では, 液状化層と想定される砂層は, 地表から深度約2 m までに存在する砂質の盛土層のみであると考えられる. また, 本地点の地下水位は, 過去に行われたボーリング調査結果から, 地表面下1 m と推定される. 前述のように, 比抵抗断面図より液状化評価の際に考慮すべき砂質層は, 地表より深度約2 m までと推定される. 液状化評価の際には, 不飽和地盤では液状化は発生しないと考えるため, 今回の実験場所では, 液状化層の層厚は砂層の層厚から水位を引いた約1 m と推定される. これから予測される液状化層の層厚（H2）と非液状化層の層厚（H1）の層厚比は 1 となり, 図 6 に示すように, 液状化の影響が地表面に達するぎりぎりの値と推定される.

このように, 高周波交流電気探査を用いて, 砂層とシルト・粘土層を明瞭に区別することが可能であり, 高周波交流電気探査装置が, 液状化・非液状化層の層厚比による簡易液状化評価実施のための電気探査装置として適用可能であることが分かった.

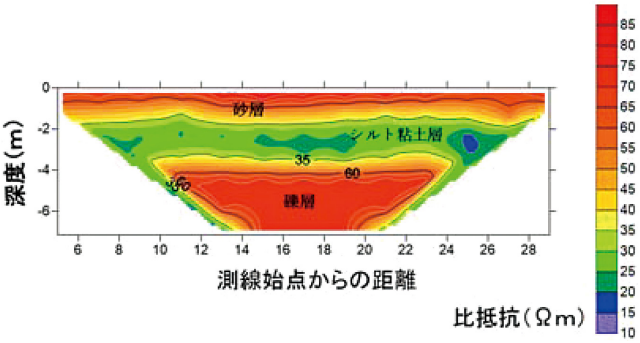


図 5　熊本市の液状化被害地で, 高周波交流電気探査装置および PVA ローラー電極を用いて取得された比抵抗断面. 過去に実施されたボーリング調査結果を参考にすると, 地表から深度約2 m までが砂質層, 深度約 2 m から4 m までがシルト・粘土層, 深度約4m 以深が礫層と判断できる.

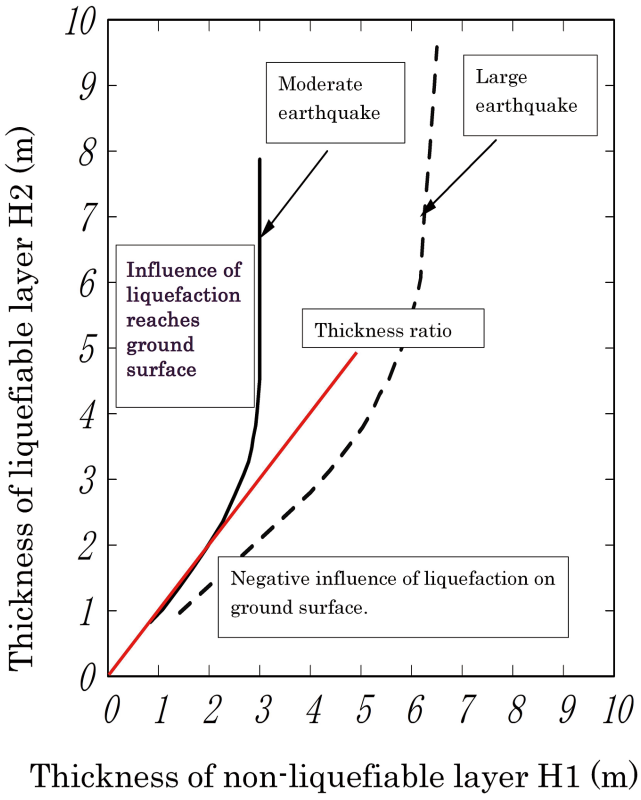


図 6　液状化層厚比による簡易液状化判定結果. 電気探査結果および地下水位の情報より, 非液状化層の層厚（H1）および液状化層の層厚（H2）がともに1 m と考えられる（図中に赤丸でプロット）. 本地点は, 液状化の影響が地表面に現れるぎりぎりの場所と推定される.

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

CO_2地中貯留は，産総研第４期中期計画の「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」項目の地球温暖化対策の重要研究課題の一つとして，また平成29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，それぞれ位置付けられており，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，CO_2地中貯留全般に資する研究を推進している．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，岩石実験などは，CO_2地中貯留以外の分野においても必要な技術であることから，地圏環境の利用と保全に関わる研究や，資源の安定供給に貢献する地熱資源等の再生可能エネルギーの研究にも取り組んでいる．

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.　CO_2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．

超伝導重力計はこれまで測地観測所等の理想的な環境下で使用されてきたが，我が国のCO_2地中貯留では海岸近傍が典型的なサイトと想定され，このような厳しい環境への対策が必要となる．これに対して，観測設備としてエンクロージャを用いることで，観測開始から２年半以上にわたる重力データの連続計測に成功した（図１）．測定においては，超伝導重力計の試験球により強いフィードバックをかけたMediumモードによる測定を試行し，地震の多い我が国における有効性を検証した．

取得された重力データについて，定型的な手法を用いて潮汐応答成分，気圧応答成分，不規則成分を分離し，目的とする信号が含まれるトレンド成分の説明を試みた．得られたトレンド成分の時間変化は気圧変化と傾向が一部共通しており，定型的な手法では気圧応答成分を分離しきれない可能性が考えられた．一方で，トレンド成分の時間変化は気圧変化のみでは説明できないことから，その他の現象（降水，地下水流動，土壌水分量変化など）に起因する重力変化も検討していく必要がある．

2.2.　長期遮蔽性能評価技術の開発

CO_2地中貯留におけるキャップロックの長期遮蔽性能評価を目的として，地化学反応プロセスが岩石の水理特性に及ぼす影響について検討を行った．地化学プロセスが関与する遮蔽性能パラメータとして，岩石内部のスロート径（空隙構造）と接触角（界面状態）の２種類が想定されることから，それぞれのパラメータの評価に適した研究手法の適用を図った．

空隙構造の変化に関しては，各種堆積岩を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．短時間の反応にも関わらず，P_{CO2}の増加に対して浸透率が増加する岩石が見出されたが，この原因として岩石中に含まれるカルサイトの溶解に起因した空隙体積の増加が示唆された．

界面状態の変化に関しては，これを定量付けるパラメー

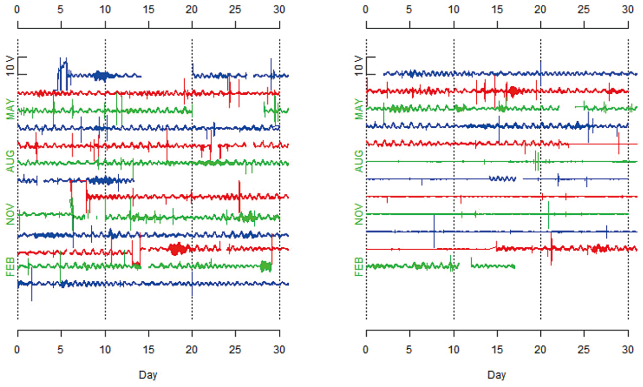


図１　苫小牧サイトで取得された重力データ

タである接触角自体がきわめて誤差の大きなパラメータであることから，スロート径が既知の岩石試料のスレッショルド圧を測定することで，接触角を逆算する方法を考案した．このため，穴径が10 μm 以下の微細穴加工を施した岩石試料を作製し，この穴を通して超臨界 CO_2 がブレークスルーする際のスレッショルド圧の計測に成功した（図２）．これに関連して，二次元放射流モデルを用いた数値シミュレーションによる感度解析結果からも，地化学反応により接触角が変化した場合に，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唆された．

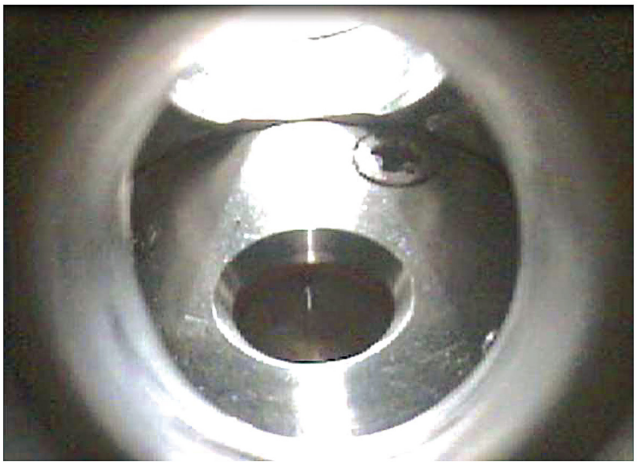


図２　微細穴加工を施した岩石試料からの超臨界CO_2のブレークスルー

2.3.　室内岩石注水実験

CO_2 地中貯留では，CO_2 の圧入に伴い地下流体の圧力や岩盤内の応力が変化し，岩盤が変形する．このような岩盤の変形プロセスを理解し，CO_2 の圧入が引き起こす環境変動を予測・制御するためのジオメカニクスモデリング手法開発の一環として，室内実験による基礎データの取得にも取り組んでいる．

ここでは，試料上端からの非濡れ相流体の排出が観察可能な実験装置を開発し，水で飽和した Berea 砂岩に対して静水圧応力条件下において下端から空気の注入試験を実施するとともに，変形・浸透パラメータ（SkemptonのＢ値・絶対浸透率）を計測可能であることを確認した．今後は，異なる岩種の試料に対して，試料のひずみを計測しながら同様の実験を実施するとともに，得られた実験結果を二相流動・変形連成過程に基づき定量的に説明する予定である．

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，科研費補助金でのCO_2 挙動に関わる基礎的研究や，CO_2 地中貯留ならびに地熱関連での民間共同研究を実施している．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）
西 祐司
藤井 孝志
加野 友紀
後藤 宏樹
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）

４．最近の主な研究成果（2014年以降）

Sorai, M., Fujii, T., Kano, Y., Uehara, S. and Honda, K. (2014) Experimental study of sealing performance: Effects of particle size and particle-packing state on threshold pressure of sintered compacts. *J. Geophys. Res.*, 10.1002/2014JB 011177.

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）CO_2 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 CO_2 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 CO_2. Mat. Trans., 56, 679-686.

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，ならびに浄化技術の実用化を実施する．さらに，技術研修や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．

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（H29.10時点）

張 銘（研究グループ長）
村尾 智
川辺 能成
原 淳子
坂本 靖英（兼務）
保高 徹生
杉田 創
井本 由香利
栗原 モモ（産総研特別研究員）
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）
吉川 美穂（テクニカルスタッフ）
小熊 輝美（テクニカルスタッフ）
駒井 武（客員研究員）
山崎 哲生（客員研究員）
西脇 淳子（協力研究員）
野呂田 晋（産学官制度来所者）
中村 謙吾（産学官制度来所者）
堀 睦（産学官制度来所者）
宋 然然（産学官制度来所者）
石井 香帆（産学官制度来所者）
黒澤 暁彦（派遣）
山口 真貴（派遣）

また，部門内関連グループのほか，所内では，安全科学研究部門やナノシステム研究部門，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EPAや複数の中国の大学及び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ができた.

・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.

・自然由来汚染の調査と判別技術
・VOCs による複合汚染の浄化対策技術
・水中低濃度放射性 Cs の迅速計測技術
・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
・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
・吸着材の性能評価技術
・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
・ジオインフォマティクスなど

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

5．主な論文成果（平成27年10月以降）

Hara, J. (2017): Oxidative degradation of benzene rings using iron sulfide activated by hydrogen peroxide/ozone, *Chemophere*, 189, 382-389.

Yoshikawa, M., Zhang, M., and Toyota, K. (2017): Integrated anaerobic-aerobic biodegradation of multiple contaminants including chlorinated ethylenes, benzene, toluene, and dichloromethane, *Water, Air, and Soil Pollution*, 228(1), 25, doi:10.1007/s11270-016-3216-1.

Yasutaka, T., et. al. (2017): Reproducibility of up-flow column percolation tests for contaminated soils, *PLoS One*, 12(6),

Takada, M., Yasutaka, T, and Okuda, T. (2016) Simplified measurement method for dissolved radio-Cs in litter and soil seepage water using copper-substituted Prussian blue, *Chemosphere*, 163, 234-241.

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.

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では，環境に調和した地圏の開発・利用を図るため，岩盤応力測定や岩石コア実験による地下構造の評価技術，地球物理手法を利用したモニタリング技術，数値シミュレーションによる地下環境とリスク評価のモデリング技術などの基盤研究と技術開発を進めている．また，CO_2 地中貯留研究や放射性廃棄物地層処分研究などへの適用研究を行っている．当研究グループ員が長年にわたり研究を進めてきた各種技術は，浅部から深部に至る地圏環境の解明，廃棄物地下処分や地下資源開発等に伴う誘発地震の解明，地圏の流体や熱の変動予測，地熱等資源の継続的利用などに役立ってきた．今後ますます高度化・多様化する社会のニーズに的確に応えられるよう，技術ポテンシャルの維持・向上に努めている．さらに，これらの技術を地下資源の安定的確保や継続的利用あるいは地質災害や地質汚染の防止を図る研究などへも積極的に応用して，安全で安心できる社会の実現に貢献することを目指している．このため，他のグループ・ユニット間の連携による研究，外部研究機関や企業との共同研究を積極的に進めるとともに，研究成果を迅速に発信し，社会への技術の普及と振興に取り組む．

2．グループの特徴

研究グループは，「環境との調和を考えた地圏の開発・利用を図ること」を基本理念とし，CO_2 地中貯留，地熱開発，地層処分，地下利用などに必要な技術開発を主たるミッションとする研究を推進しています．メンバーは，岩石力学，掘削工学，岩盤工学，地震学などの専門家である．マルチスケール（室内からフィールド）においてマルチアプローチ（実験，物理探査，数値シミュレーション）を用いて，環境に調和した地下の有効利用及び資源開発に必要な技術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，予算項目は複数にまたがっている．

2.1.　グループの研究体制

地圏メカニクス研究グループは，以下の体制で研究を実施している．

雷 興林（研究グループ長）
成田 孝
及川 寧己
宮崎 晋行
竹原 孝
唐澤 廣和
奥山 康子
片岡 みなみ

3．主要実験装置と計測システム

当該研究グループで保有する主要な実験装置および計測システムは以下の通りである．

1）掘削試験装置（図 1）
2）三軸圧縮装置（図 2）
3）大型三軸圧縮装置（図 3）
4）多チャンネル高速AE波形収録・弾性波計測システム

4．主な研究内容

4.1.　PDC チップを有するパーカッションビットの掘削性能評価

バリスティックタイプおよびラウンドタイプのチップを取り付けたパーカッションビットを用いて，様々な岩石を用いて系統的に室内で掘削し，それらのビットの掘削性能を評価する．PDCパーカッションビットとWC-Coパーカッ

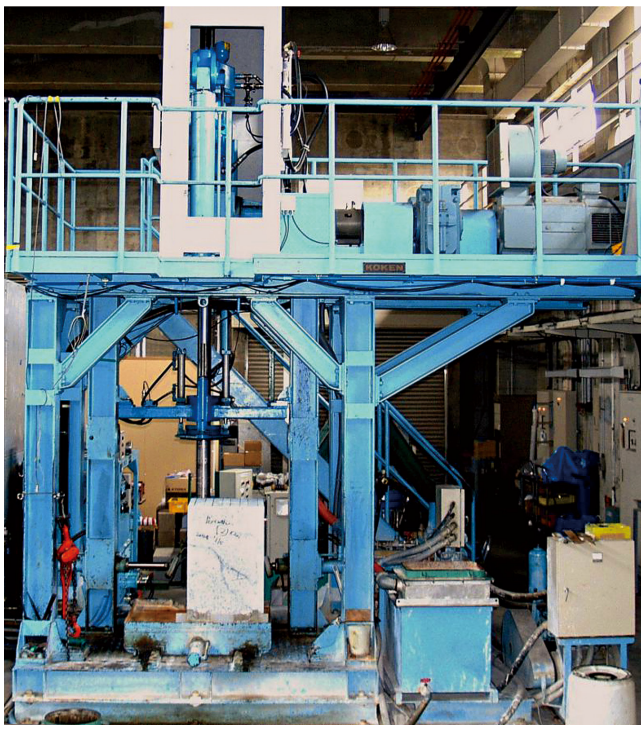


図 1

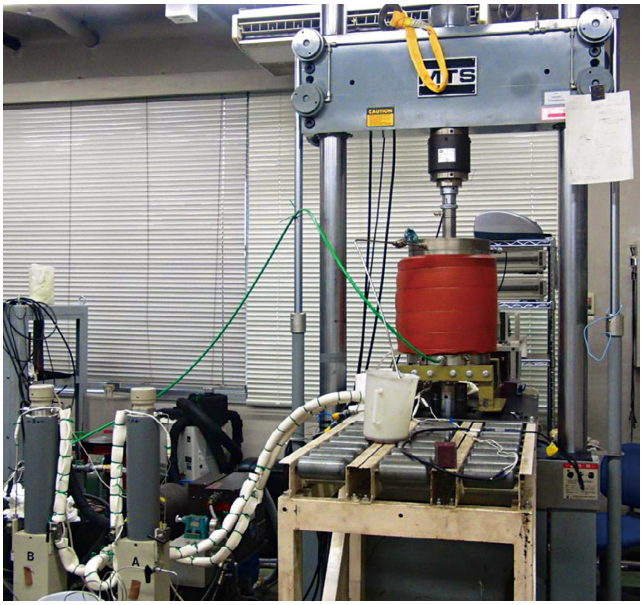


図 2

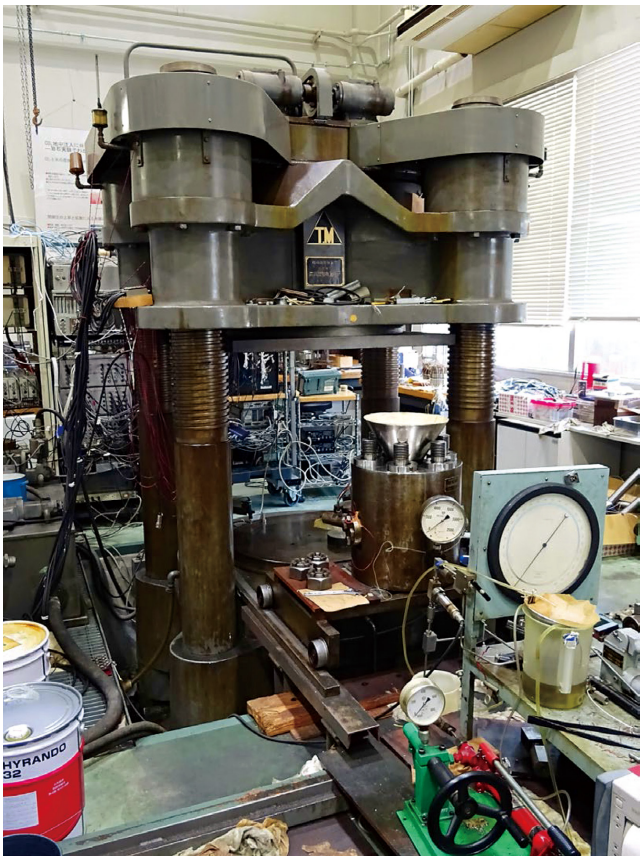


図 3

ションビット及びそれらのチップ先端の形状の違いの影響を調べるため, 系統的な試験を実施した. 産業界との連携により, 得られた試験データと解析結果はチップ及びビットの開発や, 様々な分野での掘削コストの削減に寄与すると考えられる.

4.2. 地圏メカニクスに関する実験研究

当グループに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している. 図 4 には緻密砂岩の注水実験で得られた注水に伴う弾性波速度変化を示す.

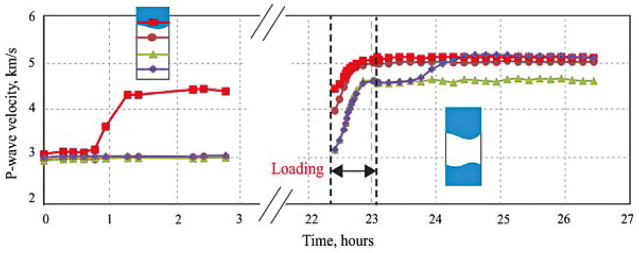


図 4 緻密砂岩注水に伴う弾性波速度変化（Li et al, 2016）

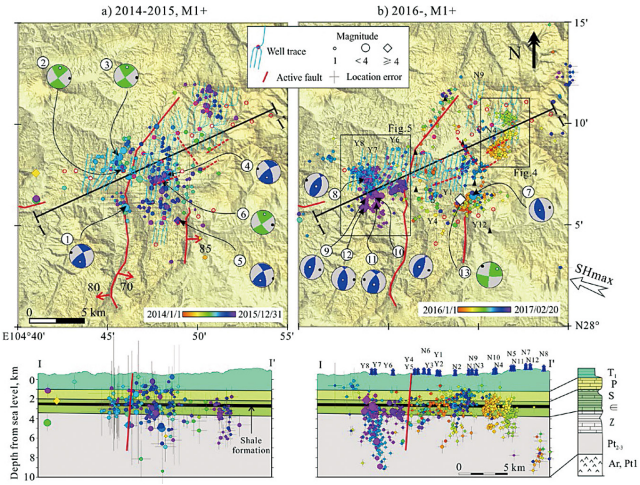


図 5 シェールガス水圧破砕による誘発地震事例（Lei et al, 2017）

4.3. 注水誘発地震に関する研究

地熱開発・シェールガス生産・CO_2地下貯留・工業廃水の地下処分などの分野で, 地下深部に流体を圧入する必要がある. 注水による誘発地震に関するリスク評価及び対策が, 重要かつ緊急な課題となっている. 当グループでは, 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（図 5 ）.

5 . 主な研究論文

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

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

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

Li, X., X. Lei, et al., 2017, *RMRE.*

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

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

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

ポスター概要

ドローン吊り下げ型電磁探査システムの開発

地圏資源環境研究部門　光畑裕司*, 物理探査研究グループ客員研究員　上田　匠, 知能システム研究部門　加藤　晋　神村明哉
竹内厚司　東千加良　［連絡先］y.mitsuhata@aist.go.jp

成果概要

従来の携帯歩行型の電磁探査システムを, ドローンで吊り下げて航行計測するシステムの開発を実施している. 地滑り等の土砂災害地で埋没車両や地盤調査が遠隔で可能となる探査システムの開発に, 物理探査とロボットの専門家がタッグを組んで挑んでいる. 今回, 実際に車両が埋設された静岡県内の実験サイトで検証実験を行い, 地下1.5mの土砂内の埋没車両の位置の特定に成功した.

研究内容

集中豪雨や地震に起因する土砂災害では, 二次災害の推移をより正確に予測するために, 地滑りで形成された天然ダムのような災害地での地盤特性の把握が重要となってくる. さらに土砂災害により埋没された車両の緊急の探索が要求される場合もある. 災害現場への人の立ち入りは危険であり, 遠隔操作で探査が可能なシステムの開発が急務である. 我々は異分野連携のもとで, NEDO 事業※において民間企業と共同で, ドローン吊り下げ航行の安定化, 計測データの処理・表示, ノイズ低減等の要素技術の開発を実施してきた. 今回, プロジェクトの一環として車両を埋設した実験サイトをもつ一般社団法人 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所において検証実験を実施し, 地下1.5m の土砂内の埋没車両の位置特定を達成した.

研究成果はどう使われるか

今回の事例により, ドローンを利用した埋没車両探査の道が開かれたと言える. 本システムの更なる改良を行うことで, 災害現場での救助の迅速化に貢献できる可能性がある. 将来的には, 地質調査企業等への橋渡し展開を図る予定である.

※ NEDO 事業
プロジェクト名：インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト（2014年度～2018年度）
研究テーマ名：災害調査用地上／空中複合型ロボットシステムの研究開発（2014年度～2017年度）

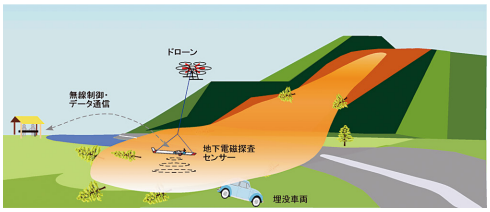


図 1　ドローン吊り下げ型電磁探査システムによる土砂災害現場での埋没車両の探査イメージ

図 2　精密ドローン航行計測による埋没車両探査データ（測定周波数60kHz）

磁気共鳴表面スキャナーの開発

物理探査研究グループ　中島善人
［連絡先］nakashima.yoshito@aist.go.jp

成果概要

土木現場における水の非破壊定量というニーズ（図 1 ）に応えるため, 水の非破壊定量を得意とするプロトン磁気共鳴現象を計測原理とした構造物の表面スキャナーを開発中である. 現場に携行可能な試作品（図 2 ）は, 年内に完成予定.

研究内容

このスキャナーは, 探査深度（センサーから感度領域までの距離）が約3cm で, 通常の100V 商用電源のあるところなら動作する. 静磁場と高周波磁場の数値シミュレーションを多数回行って試行錯誤した結果, 2015年に完成した室内実験用プロトタイプと比べて, 感度領域の磁場強度が約半分に低下するものの, 探査深度を約3cm に維持したまま磁石重量を約1/3に低減することができた. この軽量化によって, 気軽に現場に持ち出せるポータブルでコンパクトな計測システム（図 2 ）が実現可能になった.

研究成果はどう使われるか

連携していただける企業・研究機関を探しつつ, 以下の応用を考えている.

- 老朽化した道路やコンクリート建造物などのインフラ内部に溜まった地下水・雨水の定量（図 1 ）.
- 特に寒冷地では, 亀裂の進展の原因になりうる, それら水の凍結の有無の検査.
- 打設したコンクリートの強度発現を支配するセメント鉱物の水和反応のモニタリング.

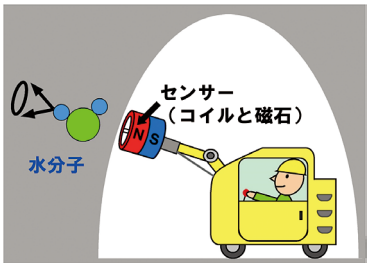


図 1　磁気共鳴表面スキャナーによるトンネルでの水の計測風景（イメージ）.

図 2　年内完成予定の磁気共鳴表面スキャナー. 手に持っている磁石（青いカバー付）を前景のアームに取り付ける予定.

日本のビスマス鉱物資源

鉱物資源研究グループ　五十公野裕也
［連絡先］y-izumino@aist.go.jp

成果概要

日本のビスマス鉱物資源について既存の文献等から調査した. その結果, 資源として有望な日本のビスマス鉱床は（１）磁鉄鉱系花崗岩に伴う鉱床,（２）チタン鉄鉱系花崗岩に伴う鉱床,（３）チタン鉄鉱～中間型花崗岩に伴う鉱床,（４）錫多金属型鉱床に伴う鉱床の４つのタイプに分類されることを明らかにした（図１）. 今回はそれぞれのタイプの鉱床学的な特徴を中心に発表する.

研究内容

レアメタル資源の１つであるビスマスに着目し, ビスマスの資源探査および国内資源の再評価を目的に, 日本のビスマス資源とその鉱物学・鉱床学的な特徴を明らかにする研究を行っている. 日本ではかつてはビスマスを副産物的に産出していたが, 国内のビスマス資源に関する総括的な研究はこれまでにほとんど行われていなかった. そこで, これまでの既存のデータを整理し, 日本のビスマス鉱物資源の特徴を要約するために, 既存の論文や報告書などの文献から調査した. その結果, 国内の主要なビスマス鉱床は花崗岩と成因的な関係が見られ, さらに上記の成果概要で述べた特徴を明らかにした. 今後は各タイプごとにビスマスを含む鉱石を分析し, 鉱物学的な特徴および花崗岩との対応関係について明らかにしていく予定である.

研究成果はどう使われるか

今回得られたデータは国内のビスマス鉱物資源の再評価に利用できると考えられる. さらにビスマス鉱物の鉱物学的特徴を知ることで, より詳細なビスマスの資源量評価に繋がることが期待される.

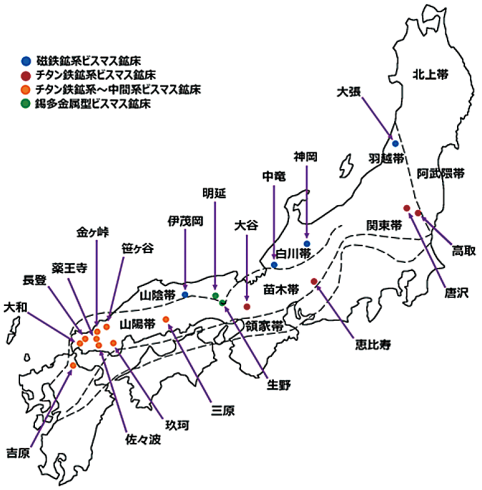


図１　日本の主要ビスマス鉱床分布図

ASEAN 鉱物資源データベース高度化研修の実施について

鉱物資源研究グループ　大野哲二*, 地質情報研究部門　高橋　浩, 活断層・火山研究部門　Joel Bandibas
［連絡先］t-ohno@aist.go.jp

成果概要

当研究部門を含む地質調査総合センターでは, JICA の支援の下で2015年度より「ASEAN 鉱物資源データベース高度化研修」を実施してきた. 本研修は ASEAN で公開中の鉱物資源データベースの高度化を支援するものであり, 日本での研修に加え, 現地研修（カンボジア（2015), ミャンマー（2016), ラオス（2017））を行うところに特徴がある.

研究内容

本研修は, 大別して１）web ベース GIS, ２）リモート・センシング, ３）シームレスジオロジーの３項目で構成される. Web ベース GIS では, OGC スタンダードである Web Map Service（WMS）を利用した情報公開を行なうための基礎から応用, さらにシステム管理や移動体からのデータ利用法等も研修する. リモート・センシングは, 人員が不足しがちな国において現地調査以外の地質, 鉱床調査法として要求が高いが, 研修では, ASTER, PALSER DEM を用いた地形解析法とその応用, および ASTER による鉱物同定の基礎を学ぶ. シームレスジオロジーではミャンマー, タイ, ラオス, カンボジア, ベトナムの５カ国を含む, 国境による不連続のない地質図を作成することを目的に, 地質分類法の基礎を学び, さらに巡検によって基礎的な地質調査を行う.

研究成果はどう使われるか

本研修は, 研修参加者のみならずその所属部署や上位団体（ASOMM+3等）でも評価が高い. 内容に比べて研修時間が十分とは言えないため, 本研修のみで目的のレベルに到達できるわけではないが, 学習の切っ掛けとなるものである.

図１　ラオスにおける研修風景

図２　国内巡検

低品位粘土質花崗岩の窯業原料化に関する検討

鉱物資源研究グループ　綱澤有輝*　須藤定久　高木哲一
［連絡先］tsunazawa-y@aist.go.jp

成果概要

・低品位粘土質花崗岩（青サバ）から不純物の除去を検討
・分級と乾式磁選によって，青サバの粗粒から有色鉱物の除去を達成
・分級と湿式磁選によって，青サバの細粒から鉄成分の除去を達成

研究内容

近年良質な窯業原料である蛙目（がえろめ）粘土や木節粘土の枯渇が危惧されている．「青サバ」と呼ばれる未利用の低品位粘土質花崗岩は鉄分を含む有色鉱物を有するものの，蛙目粘土や木節粘土の代替原料として利用できれば，資源量の確保に一定の貢献になると期待されている．そこで，低品位粘土質花崗岩の窯業原料化を目的として，分級および磁選による鉄分の除去を試みた．有色鉱物に粒度特性があることに着目したところ，2mm 以上の粒群では，黒色の鉱物を視認できなかったことに加え，鉄成分が XRF 分析から検出されなかった．また，2mm 以下の粒群は，乾式磁選によって，黒色の鉱物および鉄成分が良好に除去できることが確認された．250μm 以下の粒群（細粒）は，湿式磁選によって，鉄成分の除去が確認された．

研究成果はどう使われるか

・鉄成分の除去後の細粒を，実際の窯業原料として利用可能か検討予定
・瀬戸・東濃に産する種々の低品位粘土質花崗岩も，同様に利用できるか検討予定

写真 1　瀬戸市丸藤鉱山

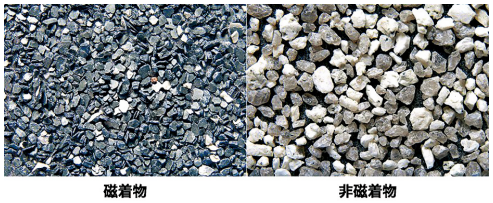


写真 2　粗粒の磁選産物

金属元素の同位体比分析のための自動前処理手法の開発

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

様々な金属元素の同位体比を簡便に分析するために，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およびフラクションコレクタを用いた目的元素の分離法を組み合わせることで，短時間での自動マルチ元素分離手法を開発した．現在は，Li，Mg，Sr 等の同位体比分析前処理法を確立しており，本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

アルカリ金属・アルカリ土類金属元素や遷移元素の安定同位体比は，物質の起源や地質学・生物学的プロセスを解析する新しいツールとして近年注目されている．多重検出器型 ICP 質量分析計の発展により，これらの元素の同位体比測定は比較的簡便になってきた．一方，同位体比測定には試料の溶液化および目的元素の単離が不可欠であるが，これらの操作は煩雑で長時間を要し，同位体比利用の普及を妨げる要因となっている．そこで本研究では，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マルチ元素分離手法を開発した．そして，GSJ 発行標準物質のリチウム・マグネシウム同位体比について，従来法による先行研究結果と本手法による結果を比較することで，本手法の正確性を確認した．

研究成果はどう使われるか

本手法を用いることで，従来法と比較して簡便かつ短時間で同位体比分析の前処理を行うことができる．そのため，地質分野に留まらず，生物分野など幅広い分野との共同研究が期待できる．

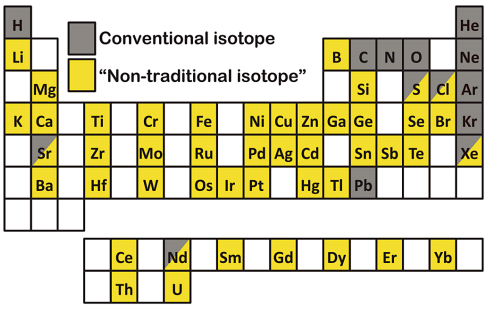


図 1　同位体比の測定が可能な元素

図 2　鉱物資源研究グループの同位体比測定用装置（MC-ICP-MS）

レーザーアブレーション ICP 質量分析計を用いた元素濃度イメージング

鉱物資源研究グループ　昆 慶明*　横山隆臣
［連絡先］yoshiaki-kon@aist.go.jp

成果概要

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）を用いた，微量元素濃度イメージング法を開発しました．本分析法は，平滑な面を有する固体試料について，10 cm ～500 μm 領域の，元素濃度分布を大気中で測定できます．Li ～ U までのほぼ全元素（希ガス・ハロゲン・大気成分を除く）を，主成分元素（dg/g）～微量元素（ng/g）までの幅広い濃度範囲にわたり，一度に測定できます．

図 1　LA-ICP-MS 装置写真

研究内容

LA-ICP-MS（図 1 ）は，試料表面に集光したレーザーにより試料を溶発，プラズマでイオン化した後に高感度質量分析を行う装置です．本分析法は，従来の主成分元素濃度イメージングを行う SEM-EDS，EPMA，μXRF 等とは異なり，ng/g オーダーまでの微量元素濃度分析が可能です（図 2 ）．しかし，一般の LA-ICP-MS にはイメージング用の測定・データ解析ツールが備えられておらず，本分析法は一般的な普及には至っていません．そこで，我々は独自のツールを開発し，分析の迅速・高精度化を行うだけでなく，様々な固体試料を用いた精度検証を進めています．

研究成果はどう使われるか

本分析法は，あらゆる固体試料表面の元素濃度分布を可視化することが可能です．そのため，天然の鉱物のみならず，各種素材・工業製品等幅広い試料への応用が期待されます．

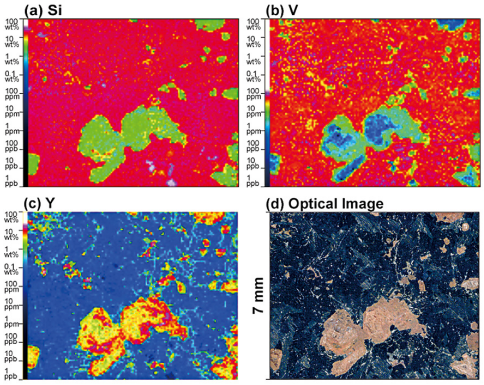


図 2　レアメタル鉱石（アパタイト）中の元素濃度分布

ハイアラーキカル・デシジョン・モデリング法に基づくサステナブル・レメディエーション意思決定ツールの検討

地圏環境リスク研究グループ　張　銘*　保高徹生，竹中工務店　古川靖英，国際航業　中島　誠
［連絡先］m.zhang@aist.go.jp

成果概要

サステナブル・レメディエーション（SR）については，土壌・地下水汚染分野において盛んに検討されている一つ重要な課題である．しかし，考慮すべき要素が環境，経済及び社会にわたり，それぞれの要素については，さらに多数の評価項目も存在する．本研究では，多岐にわたる評価項目を客観的に評価・説明できるツールとして，階層化意思決定手法の適用可能性を検討した．

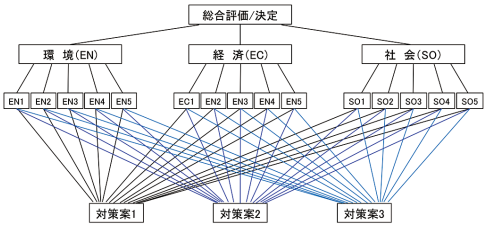


図 1　サステナブル・レメディエーションに係る意思決定プロセスの階層例

研究内容

サステナブル・レメディエーションは一律の環境基準に基づく浄化対策技術ではなく，米国環境保護庁（US EPA）及び米国試験材料協会（ASTM）が提唱したグリーン・レメディエーション（Green Remediation: GR）より発展させたものである．グリーン・レメディエーションでは，浄化活動に伴う環境負荷のみ評価するが，サステナブル・レメディエーションについては，環境面のほか，経済及び社会的側面も考慮する必要がある．また，立場が異なれば重視される項目も異なるため，意思決定あるいは合意形成に客観的かつ利用されやすいツールの開発が必要不可欠と考えられる．本研究では，階層化意思決定手法の概念を整理するとともに，同手法をサステナブル・レメディエーション意思決定ツールとしての適用可能性を提示した（図 1 ）．

研究成果はどう使われるか

サステナブル・レメディエーションの実施において，立場の異なる者が環境，社会及び経済の諸要素をバランスよく考慮し，階層化意思決定手法を客観的な意思決定ツールとして利用することが可能となる．

米国における基地汚染の事例

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

成果概要

軍事基地は一般的な市街地や工業用地などと異なり，施設の関連情報には秘匿性を有するため，基地における汚染の実態についてはまだ一般的に知られていないのが現状である．本研究では，筆者らが収集・調査した米国における基地汚染の公表事例を整理し，その発生のメカニズムなどについて議論を行うとともに，基地を対象とした複合汚染浄化・対策技術開発の重要性を提唱した．

研究内容

基地の返還・移転や基地関連施設の事故などにより，基地における土壌・地下水汚染の問題は顕在化してきた．沖縄には在日米軍専用施設が30数ヶ所あり，その面積は県土面積の約10%を占めている．基地の返還については社会や政治的要因により不確定的な部分があるものの，将来に亘ってはいずれ発生すると予想される．返還された基地の跡地を有効に利用するためには，土壌・地下水汚染の調査と適切な対策を講じることが必要不可欠であり，発生しうる複合汚染を想定した先行的技術開発が極めて重要であると考えられる．本調査研究では，米国環境保護庁が公表した米国で再編と閉鎖した134軍事関連施設跡地の情報を基に，基地で発生しうる汚染物質の情報を体系的に整理した（表１）．

汚染の種類	代表的物質	用　途
有機化合物	燃料油	ジェット燃料 ※鉛添加の可能性有
	PCB	変圧器、コンデンサ ※自然環境中難分解
	VOCs TCEほか	エンジンの冷却・洗浄 ※その他の溶剤も有
重金属類	鉛	ジェット燃料 鉛弾 鉛バッテリー
	ヒ素	殺虫剤、殺菌剤
	水銀	殺菌剤
	六価クロム	防食表面処理塗布剤
消防・消火剤	四塩化炭素	消火剤
	有機ふっ素化合物	消火剤 ※訓練でも使用
その他	火薬類	
	不発兵器	
	ダイオキシン	
	DDT	
	放射性物質	

表１　基地で発生しうる汚染の種類

研究成果はどう使われるか

基地における土壌・地下水汚染は単一種類の物質である可能性が低いため，存在しうる汚染物質による複合汚染に適した浄化対策技術の開発が必要不可欠である．本調査研究の成果は先導的かつ戦略的な研究開発に利用可能である．

クロロエチレン類の分解経路及び分解微生物

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

クロロエチレンは平成29年４月１日より施行された，土壌汚染対策法の新規規制物質として追加された．これにより，クロロエチレンの汚染浄化対策技術の開発が必要不可欠となった．環境微生物を利活用したバイオレメディエーションは低コスト・低環境負荷との観点から優位性が高いと考えられ，本調査研究では，クロロエチレン類の分解経路及び分解微生物について体系的に整理した．

研究内容

土壌・地下水中の汚染物質として存在するクロロエチレン（VC）は，主に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（図１）．微生物による分解は一般に，好気性微生物による酸化分解と嫌気性微生物による還元分解に大きく分類することができる．PCE に関しては，一般的に還元分解で分解されやすいとの共通認識がある．TCE 以降は酸化分解でも還元分解でも可能であるが，地下深部においては，還元的な状態が多い．*cis*-DCE，特に VC 以降の分解については，還元分解よりも酸化分解速度が速く，また，VC は比重が水より軽いため地表付近の酸化環境に到達する可能性が高い．これらの現状を踏まえ，本調査研究では，還元分解を行う主要分解微生物に加えて，酸化分解についても情報を収集した．

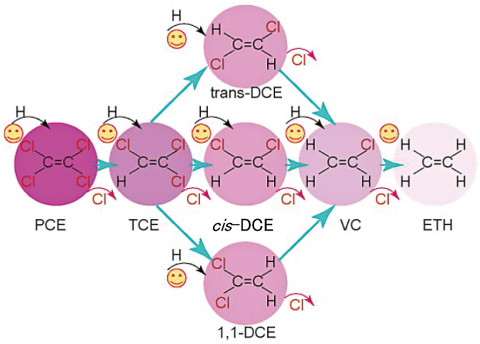


図１　PCE の脱塩素分解経路

研究成果はどう使われるか

クロロエチレン類の分解経路及び分解微生物に関する体系的な情報を用いることにより，実際の汚染サイトがどのような環境条件下にあるか，また，どのような浄化措置が適用可能かの判断が可能となる．

高濃度クロロエチレン類による嫌気的脱塩素分解および硫酸還元・発酵への影響

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

成果概要

微生物による嫌気的脱塩素分解を利用したクロロエチレン類のバイオレメディエーションは，高濃度の汚染サイトでは困難であると認識されている．本研究では要因解明のため，高濃度のテトラクロロエチレン（PCE）が嫌気的脱塩素分解，さらに嫌気的脱塩素分解と共に生じる硫酸還元や発酵などの微生物反応（図１）へ与える影響を検討した．

研究内容

高濃度 PCE 条件下での嫌気的脱塩素分解，硫酸還元，発酵状況を把握することを目的とし，PCE の分解実験を行った．クロロエチレン類を嫌気的脱塩素分解する微生物培養液に1.5-150 mg/L の濃度の異なる PCE を添加し，培養瓶を密閉した．培養瓶気相のクロロエチレン類濃度，および液相の硫酸イオン，有機酸濃度，微生物叢を経時的に分析した．

PCE の嫌気的脱塩素分解，硫酸還元，有機酸の発酵は高濃度 PCE により阻害され，特に嫌気的脱塩素分解と硫酸還元が大きく阻害された．また，PCE の嫌気的脱塩素分解，硫酸還元いずれにも *Desulfosporosinus* 属細菌が関与していた可能性が高かった．本研究で用いた微生物培養液の中では，この微生物の活性低下が高濃度 PCE の分解を阻害していると推察された．

研究成果はどう使われるか

汚染サイトの浄化設計において，高濃度 PCE による微生物への影響を定量的に評価した本研究の基礎データを利用することで，バイオレメディエーションの成否判断の基準とすることが出来ると考えられる．

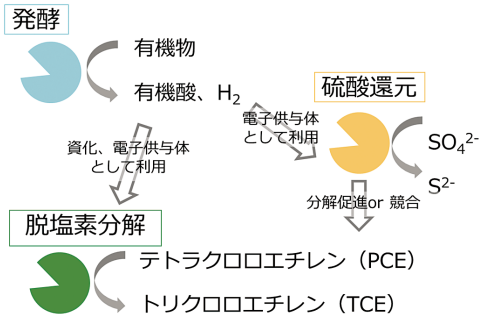


図１　PCE の嫌気的脱塩素分解と硫酸還元・発酵の関係概念図

マグネシウム系吸着材のヒ酸除去性能に及ぼすケイ酸の影響について

地圏環境リスク研究グループ　杉田　創
［連絡先］hajime.sugita@aist.go.jp

成果概要

ヒ素汚染水に対してマグネシウム化合物を吸着材として用いることによって，ヒ素を効果的に吸着除去できることが報告されているが，シリカ成分を相当量溶存している地下水においては，ヒ素除去性能の低下が懸念される．そこで，ケイ酸を共存させた模擬ヒ素汚染水を用いたヒ素除去試験を実施し，Mg 系吸着材へのヒ素の吸着挙動に及ぼすケイ酸の影響等について検討を行った．

研究内容

ヒ素吸着材として 4 種類の Mg 化合物(MgO, $Mg(OH)_2$, $MgCO_3$-L（軽質），$MgCO_3$-H(重質)）を用い，ケイ酸 - 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，ヒ素除去能に及ぼすケイ酸の影響を調べた．その結果，いずれの Mg 系吸着材についても全体的には初期ケイ酸濃度が高いほど，処理水中に残存するヒ素濃度が高くなることが明らかになった．溶液中のヒ素成分は，Mg 化合物表面の OH 基あるいは炭酸成分とのイオン交換的な反応を生じ，Mg 化合物表面にヒ酸マグネシウム化合物を形成(実質的には，化学吸着と同一の現象)することによって液相から除去されるが，ケイ酸成分が多量に溶存している場合，競合吸着を生じるため，ヒ素除去率が低下したと考えられる．一般的なシリカ含有量の地下水であっても，ケイ酸の影響によって Mg 系吸着材のヒ素除去性能が大幅に低下する可能性があることが示された．

研究成果はどう使われるか

ヒ素汚染水中に含まれるケイ酸成分によって引き起こされる吸着材へのヒ素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．

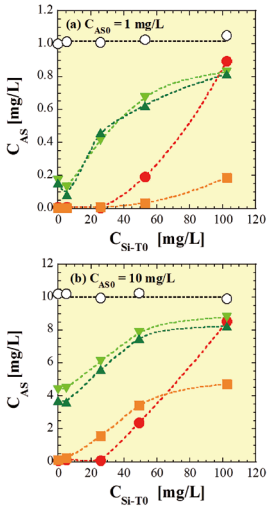


図１　処理水中の残存ヒ素濃度に及ぼすケイ酸の影響
C_{AS0} =（a）1 mg/L,（b）10 mg/L, W_{AD0}/V = 2 g/L
○吸着材なし, ●MgO, ■$Mg(OH)_2$, ▼$MgCO_3$-L, ▲$MgCO_3$-H
注釈）
C_{AS0}：初期ヒ素濃度
C_{AS}：残存ヒ素濃度
W_{AD0}/V：初期吸着材添加濃度
C_{Si-T0}：初期全ケイ酸濃度（Si 換算値）

天然鉱物で“除湿”に貢献　～ナノ細孔を持つハスクレイで農業用除湿システムを構築～

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

成果概要

ビニールハウスでの作物栽培において，夜間の除湿および二酸化炭素の施用は，品質の向上・収量増大において重要な要素とされている．作物栽培における二酸化炭素の施用においては，燃焼排ガスの前処理において除湿が必要不可欠である．そこで優れた水蒸気吸着性能を有し低温で再生が可能なハスクレイを用いてデシカントローターを作製し，小型で低コストな除湿システムの構築を行った．

研究内容

農業分野における除湿は，夜間除湿や燃焼排ガスからの除湿となることから，いずれも相対湿度90%以上と高湿度領域での水蒸気除去が求められる．そのような中，高湿度領域において水蒸気吸着量が多く，かつランニングコスト低減に求められる80℃程度で再生可能な吸着剤であるハスクレイを用いて，デシカントローターの開発を行った．燃焼排ガスからの除湿では，まず外気によって冷却されるが，露点温度 0℃程度まで下げた後に，ハスクレイローターを用いてデシカント除湿を行ったところ，露点温度－30℃まで除湿できることが明らかとなった．二酸化炭素を貯留するゼオライトの性能低減を防ぐためには露点温度－50℃程度が必要であるが，ハスクレイローターによる第一段階の除湿量が多いことから，第二段階の除湿に必要なゼオライトの量が減り，小型化が可能となった．

研究成果はどう使われるか

デシカントローターは，農業分野における夜間除湿および光合成促進を目的とした二酸化炭素回収貯留の前処理での除湿のみならず，デシカント空調や家庭用除湿機など，幅広い分野において，様々な目的に利用することができる．

図１　ハスクレイデシカントローターの写真

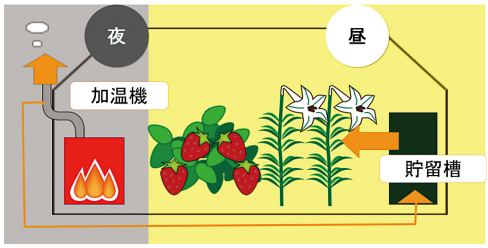


図２　二酸化炭素回収供給システム概要

モバイル型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　星野谷亜衣　森本和也
［連絡先］masaya-suzuki@aist.go.jp

成果概要

省エネシステムとして，100℃以下の低温排熱を利用した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．現在NEDO の戦略的省エネルギー技術革新プログラムにおいて研究が進められており，トラックに搭載した 2 トンのハスクレイを工場等の低温廃熱を用いて乾燥させた後，そのままトラックを利用場所へ移動させる熱の利用に関しての実証試験が行われた．

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，連続的な造粒体の作製方法の検討が必要となる．ハスクレイの合成においては，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，トンレベルでのハスクレイの合成においても，安定的に供給することが可能となった．また造粒体の製造においては，混錬時の水分を調整することによって安定的に製造することが可能となった．

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　実証試験に用いた熱輸送トラック

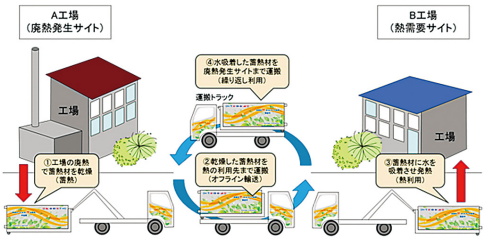


図２　オフライン熱輸送システムにおける熱利用イメージ

地熱ガス中の軽質炭化水素と油田ガス・水溶性天然ガス中の軽質炭化水素の比較

地圏化学研究グループ　猪狩俊一郎*, 地圏資源環境研究部門　前川竜男, 地圏微生物研究グループ　坂田　将
[連絡先] s-igari@aist.go.jp

成果概要

これまで我々は, 秋田・新潟等の油田ガスや宮崎・静岡・千葉等の水溶性ガス中の軽質炭化水素を測定してきた. その結果から, 油田ガスでは生成温度が, 水溶性ガスではヒドロキシラジカルによる分解が, 炭化水素組成に影響を与えているものと推定した. 今回, 秋田県玉川温泉と後生掛温泉の地熱ガスの炭化水素組成を, 油田ガスや水溶性ガスと比較し, その支配因子について考察を行った.

研究内容

玉川・後生掛の地熱ガスは, 油田ガスよりも高いネオペンタン / イソブタン比を示す. 我々は, 油田ガスの同比は生成温度が高いほど高くなり, ガス生成温度の有効な指標であることを報告してきた. 玉川・後生掛の地熱ガスは油田ガスよりも高温で生成したものと考えられるため, 玉川・後生掛の高いネオペンタン / イソブタン比は生成温度の高さに依存しているものと推定される. このことにより, ネオペンタン / イソブタン比がガス生成温度指標として地熱ガスでも有効であることが示された. また, エチレン・プロピレン等の不飽和炭化水素は油田ガスや水溶性ガス中にはほとんど含まれないが, 玉川・後生掛の試料には含まれる. その原因は明確ではないが, 油田ガスに比べ比較的新しく, 水の付加などによる分解を受けていないためと考えられる.

研究成果はどう使われるか

天然ガス等のネオペンタンは微量なため測定されないことが多いが, 測定により生成温度に関する情報が得られることが明らかになった. ネオペンタン / イソブタン比等がガス生成温度の指標として使用されることが期待される.

図 1　地熱ガス採取システム

熱分解ガスの移動と集積に伴う組成変化と混合ガスの成因

地圏化学研究グループ　金子信行
[連絡先] nobu-kaneko@aist.go.jp

成果概要

混合ガスは, 熱分解ガスと微生物起源ガスの混合したものと認識されているが, 新潟堆積盆地の天然ガスデータの解析からは, 混合による埋蔵量の増加はなく, 質的に中間的なものが形成されただけに過ぎないことが明らかとなった.

研究内容

天然ガスの起源は, メタンの炭素同位体比とメタン／(エタン＋プロパン) 比により分類され, 両者を端成分とした混合線付近に分布するものは混合ガスと呼称される. 新潟堆積盆地の天然ガスの地化学データを, 深度データとともに解析した結果, 沿岸域では全深度に渡って浅部に向かいメタン炭素同位体比の減少が確認された. 一方, メタン／(エタン＋プロパン) 比の増加は, 深度2,500mより浅い試料でのみ認められた. このことは, 海底下浅部で生成した微生物起源ガスが, 埋没により深部に運ばれ, やがてより深部で生成し移動してきた熱分解ガスとの間で交換反応を行うことによりメタンの炭素同位体比が変化し, 臨界点以下の温度／圧力条件下で起こる気相／溶存ガス間での組成分別により, エタン以上の成分がより失われた結果と解釈した. 従来より主にメタン炭素同位体比により天然ガスの起源が推定されているが, 遊離ガスを微生物起源と決定するには, 熱分解ガスが変性したものでないという証明が必要である.

研究成果はどう使われるか

石油・天然ガス鉱床の成立には, 炭化水素の生成／移動／集積が必要であるが, 最も分かっていないのが移動過程である. 天然ガスの地化学データから移動／集積過程を理解することで, 堆積盆地内での炭化水素の分布や胚胎状況を予測し, 探鉱活動に資することが可能となる.

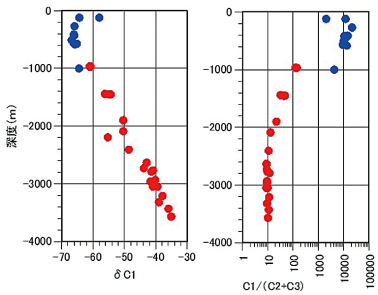


図 1　東新潟ガス田・松崎ガス田の生産ガスのメタン炭素同位体比, メタン／(エタン＋プロパン) 比の深度変化. 深度は貯留層の中間深度. ●：構造性ガス, ●：水溶性ガス

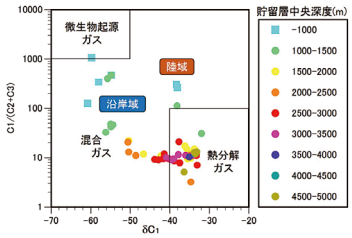


図 2　新潟産天然ガスのバーナード図（深度別）陸域では間隙水が天水により置換されているため, 同位体比の変化はない.

前弧域メタンハイドレートの熱分解起源説

地圏化学研究グループ　金子信行
［連絡先］nobu-kaneko@aist.go.jp

成果概要

前弧域に分布するメタンハイドレートは微生物起源ガスの特徴を示すが，ハイドレートの生成に必要なフリーガスの起源は，前弧海盆の下にある付加体で生成した熱分解ガスであるという仮説を提唱する．断層等を通じて上方に移動したガスは，低圧における気相／溶存ガス間の組成分別作用によりエタン以上の成分を失い，微生物起源の溶存メタンとの交換反応により炭素同位体比が小さくなったが，その起源は熱分解ガスである．

研究内容

前弧域の砂層型メタンハイドレートは微生物起源とされるが，濃集やフリーガスの形成機構については，不明の点が多い．微生物がメタンを生成するのは，およそ海底下1,000m 程度までとされる．一方，前弧域では付加体や前弧海盆の発達に伴い，熟成～過熟成に達した堆積物が大量に存在し，熱分解ガスが多量に生成・排出されたはずであるが，顕著な集積は確認されていない．集積がないのはトラップがないからとされるが，海底下浅部は物理化学的にハイドレートの安定領域であり，海底へと逸散する前にハイドレートとしてトラップされるはずである．新潟堆積盆地の天然ガス分析結果から，移動過程では溶存ガスとの交換反応によりメタン炭素同位体比が減少し，さらに低圧におけるエタン以上の成分の選択的溶解が明らかとなり，フリーガスの起源が熱分解ガスであっても，海底下浅部においては，微生物起源ガスと同じ特徴を示すことになる．

研究成果はどう使われるか

ハイドレートの集積に係わる付加体や断層の役割を検証することにより，ハイドレート濃集帯の形成機構やプレート収束域での炭素サイクルの解明に繋がる．

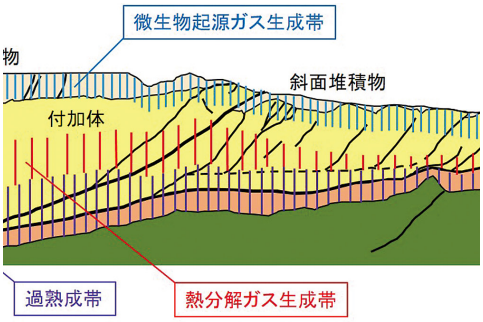


図１　前弧域でのガス生成場の概念図

ベントナイトのメチレンブルー吸着量測定方法の標準化研究 －ベントナイトを溶液中で分散させる方法の開発－

地圏化学研究グループ　三好陽子
［連絡先］youko-miyoshi@aist.go.jp

成果概要

ベントナイトの代表的な性能評価手法であるメチレンブルー吸着量測定方法の標準化を進めている．ベントナイトのメチレンブルー吸着量を測定するためには，ベントナイトを溶液中に分散させ，そこにメチレンブルーを添加する．本研究は，ベントナイトを溶液中に分散させるための新しい方法を開発した．

研究内容

ベントナイトはモンモリロナイトという粘土鉱物を主成分とする粘土岩であり，土木分野，鋳物分野，農業分野などで利用されている．ベントナイトはメチレンブルーを吸着できる量によって，その性能を評価されることが多い．本研究は，メチレンブルー吸着量測定方法の標準化に取り組んでおり，大学や企業の研究者と連携をとって進めている．ベントナイトのメチレンブルー吸着量を測定する際には，ベントナイトをピロリン酸ナトリウム溶液中に分散させ（図１），そこにメチレンブルーを添加する（図２）．我々は今回，ベントナイトを溶液中で分散させるための新しい方法（一晩撹拌法）を開発した．この方法は，従来の分散方法（超音波分散法，煮沸分散法）と同様にベントナイトを分散させることができ，分散の条件を他の試験機関と合わせやすいというメリットがある．

研究成果はどう使われるか

従来の分散方法は，分散の条件を他の試験機関と合わせにくいというデメリットがあった．一晩撹拌法を用いることによって，他の試験機関と分散条件を合わせて測定を行うことが可能となった．

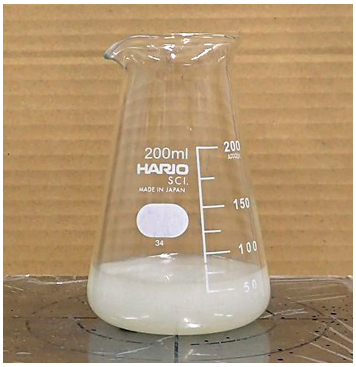


図１　ベントナイトをピロリン酸ナトリウム溶液中に分散させた溶液

図２　ベントナイトのメチレンブルー吸着量測定の様子

ナフタレン組成を用いた石油根源岩評価法の開発

燃料資源地質研究グループ　朝比奈健太★, 北海道大学　鈴木德行
［連絡先］kenta-asahina@aist.go.jp

成果概要

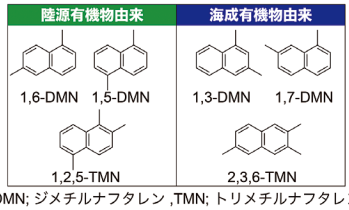
本研究では, 微生物分解により指標分子が消失したオイルの根源岩評価を目指し, ナフタレン組成を用いた石油根源岩評価法を開発した. 加水熱分解実験を基に, 起源有機物評価指標と根源岩の岩相評価指標を構築した. このナフタレン指標を先行研究で根源岩が明らかになっているオイルの分析に適用した結果, オイルの起源と根源岩の岩相を評価できることを明らかにした.

研究内容

種々の分解作用に強いナフタレン類は, 微生物分解により指標分子が消失したオイルにも主要な成分として含まれている. このナフタレン類の特徴を利用し, 分解が進んだオイルの根源岩評価に有用なナフタレン指標の開発を行った. 加水熱分解実験により, 陸源または海成有機物を特徴付けるナフタレン類（図１）と, 粘土鉱物がナフタレン組成に与える影響を明らかにした（図２）. さらに本研究は, 実験結果を基にナフタレン組成を用いた起源有機物評価指標と根源岩の岩相評価指標（粘土鉱物量）を開発した. 本研究のナフタレン指標を様々な根源岩に由来するオイルの根源岩評価に適用した結果, 起源有機物と粘土鉱物量を評価できることが確認された.

研究成果はどう使われるか

従来, 指標分子が乏しい微生物分解を受けたオイルは, 有機地化学分析による根源岩評価が困難であった. 本成果は, 指標分子が少ない微生物分解や熱分解を受けたオイルの根源岩評価に有用な指標である.



DMN; ジメチルナフタレン ,TMN; トリメチルナフタレン

図１　陸源及び海成有機物から生成する特徴的なナフタレン類

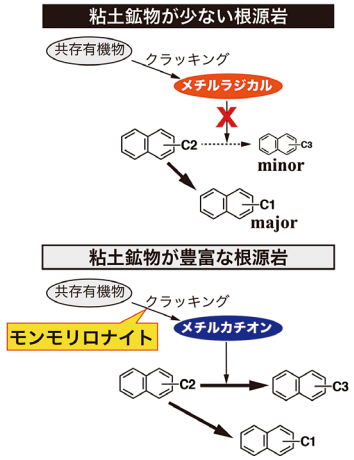


図２　粘土鉱物がナフタレン組成に与える影響

釧路堆積盆に分布する古第三紀浦幌層群の石炭・炭質泥岩の根源岩能力

燃料資源地質研究グループ　髙橋 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, 釧路堆積盆地に分布する古第三紀浦幌層群の石炭・炭質泥岩の根源岩能力評価を行った. 野外調査で採取した浦幌層群の石炭・炭質泥岩は, やや未熟成な石炭ではあったものの, 高い根源岩能力を有し, 北海道勇払油ガス田の根源岩である古第三紀石狩層群夾炭層と同等であ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, その根源岩能力の評価が求められている. そこで本研究では, JX 石油開発株式会社との共同研究の一環として, 北海道東部の釧路堆積盆に分布する新生代古第三紀浦幌層群の石炭・炭質泥岩の根源岩能力の評価を行った. 本研究では, 合計24個の石炭・炭質泥岩を採取し, 工業分析・元素分析・ロックエバル分析を実施した. 工業分析の結果, 浦幌層群の石炭は, 亜瀝青炭～瀝青炭に分類された. 元素分析・ロックエバル分析の結果, 採取試料は, 初期オイル生成帯前後のやや未熟成な試料であることが示唆された. しかしながら, 採取試料の根源岩能力は, 北海道勇払油ガス田の主要な根源岩とされる古第三紀石狩層群夾炭層に匹敵し, 十分な熟成度に達すれば, 多量の石油炭化水素を生成することがわかった.

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.

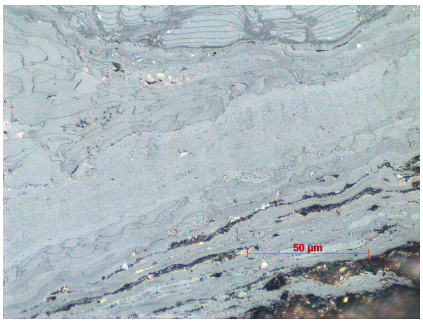


図１　採取した石炭試料の顕微鏡写真. やや未熟成な試料であるため, 植物組織の形態を保持した組織（上方）と均質化が進んだ部分（中央）が混在する.

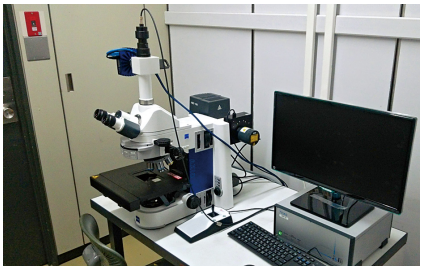


図２　石炭の組織観察に用いた反射顕微鏡システム

東南アジアにおける地中熱ヒートポンプシステムの運転評価

福島再生可能エネルギー研究センター地中熱チーム　Arif Widiatmojo★　内田洋平　Shrestha Gaurav　石原武志
［連絡先］arif.widiatmojo@aist.go.jp

成果概

本研究は, CCOP（東・東南アジア地球科学計画調整委員会）の地下水プロジェクトにおけるサブプロジェクトとして, 2013年度より開始したものである. この研究では, 東南アジアにおける省エネ社会の実現を目指すため, 再生可能エネルギーの一つである地中熱ヒートポンプシステムの熱帯地域における普及可能性を実証することを目指している.

研究内容

本研究では, 東南アジアにおける地中熱ヒートポンプシステムの普及を目的として, タイ（３地点）およびベトナム（１地点）において, 地中熱の実証試験を実施している. 稼働状況は, タイ国立地質博物館でのシステムが最も良い COP を記録している.

今後は, 各地点のデータを詳細に解析し, 運転方法の最適化を予定している. また, タイ・バンコク周辺とベトナム. ハノイ周辺における地中熱ポテンシャルマップについても, 作成を計画している.

研究成果はどう使われるか

研究成果を活用することにより, 日本の地中熱関連企業が東南アジアへ事業展開するための足かがりとなる. また, 消費電力の中でも大きな割合を占める冷房電力を削減することにより, 東南アジアにおける CO_2削減にも貢献できる可能性がある.

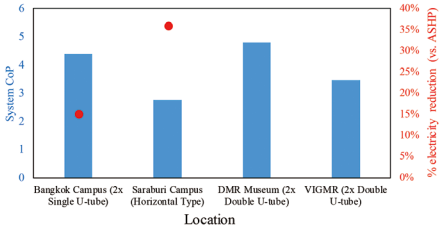


図１　Average System-CoP of the Ground Source Heat Pump and average percentage of electricity reduction compared to normal Air Source Heat Pump for Bangkok and Saraburi Campus system.

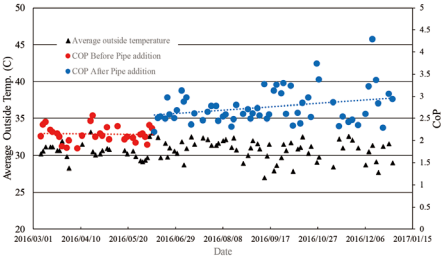


図２　Long-term System-CoP of GSHP installed at Saraburi campus where using shallow horizontal heat exchanger were used.

会津盆地の第四系地下地質構造と水理構造の対比

福島再生可能エネルギー研究センター地地中熱チーム　石原武志★　金子翔平　Shrestha Gaurav　内田洋平　Arif Widiatmojo
［連絡先］t84-ishihara@aist.go.jp

成果概要

日本の平野・盆地を構成する第四紀の地層（第四系）は, 地下水帯水層として重要な役割を担っている. 産総研地中熱チームでは, 東北の平野・盆地において地中熱ポテンシャル評価のための地下地質構造および水理構造の解析を進めている. 本研究では, 福島県の会津盆地で掘削された地質コアの解析により第四系地下地質層序を明らかにするとともに, 各層序における帯水層の水理定数（透水係数）との対比から, 第四系の水文地質構造について検討した.

研究内容

本研究では, 会津盆地で深度100～130m のコア試料を採取した. コアの観察と各種年代測定結果に基づき, 第四系の認定と区分を行った. また, 会津盆地内に地下温度観測用の井戸（深度100m）を複数設置し, 地下温度プロファイルと揚水試験による帯水層の水理定数の取得を行っている. 透水係数は既存の地下水調査報告書に記載されているものも収集した.

会津盆地の第四系は, 礫層を主体とし砂層・ 泥層を不規則に挟む上部（Qu）と, 凝灰岩と礫層を主体とする下部（Ql）に大別される. 透水係数は, Qu で2.82E-03～4.00E-02, Ql で9.04E-04～3.54E03の値を示し, 上部層中の帯水層の透水性が下部層中の帯水層よりも高い傾向にある. 会津盆地の第四系 Qu と Ql は異なる帯水層として近似できることが示された.

研究成果はどう使われるか

地中熱チームは, 地域の水文地質特性を活用した地中熱利用の普及促進を目指している. 本研究成果は, 地中熱ポテンシャルマップの精度向上や, 地中熱システムの導入を検討するための基礎情報として貢献できると考えられる.

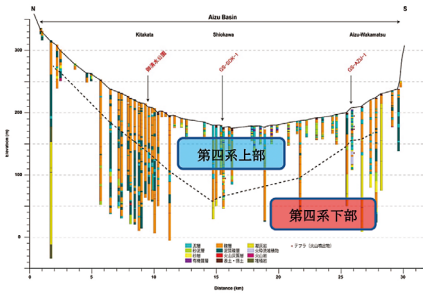


図１　会津盆地の地下地質層序（南北断面）

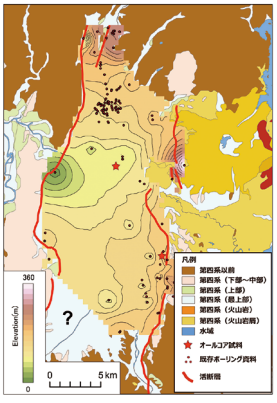


図２　会津盆地の第四系上部層と下部層の境界面高度分布

地下水の地図「水文環境図」の紹介

地下水研究グループ　小野昌彦*　井川怜欧　町田　功　松本親樹　丸井敦尚
［連絡先］masa.ono@aist.go.jp

成果概要

水文環境図は，地下水研究グループが編集し，GSJ が出版している CD 媒体の地球科学図である．本図には地域の水文地質情報（地質，帯水層，地下水位，水温，水質など）がデジタルデータで収録されており，これらを 1 枚の地図上で重ねて閲覧できる．近年では No.7熊本地域，No.8石狩平野（札幌），No.9富士山を出版しており，平成29年度は大阪平野の出版を予定している．

研究内容

水文環境図の作成は文献収集，現地調査，室内分析，編集作業の順に進められる．最初に対象とする地域の水文地質に関する既存文献を集め，その中から地質，帯水層，地下水位や地下水面図，土地利用，透水係数，水温，水質などの情報をとりまとめ，紙媒体に記された図面や表をデジタルデータに変換し，過去のデータとして収録する．現地調査では，大学や公設試などの地元研究機関と協力して，観測井における地下水位や地下温度の測定，井戸水，湧水，河川水を対象とした採水を行う．現地調査で得られた試料は溶存イオン類，同位体，微量元素など，地下水の流動や水質形成に関わる項目を分析し，現地調査の結果と併せて最新のデータとして収録する．以上で得られたデータや知見を GIS で統合して図面化し，水文地質情報をまとめた説明書を加えて出版する．

研究成果はどう使われるか

水文環境図は地下水や地中熱などの利用に資する情報をまとめた地下水の地図である．本図を活用することで，地域の地下水情報を視覚的に理解できるため，地下水・地中熱資源の効率的な利用や地下水の管理・保全へと繋がる．

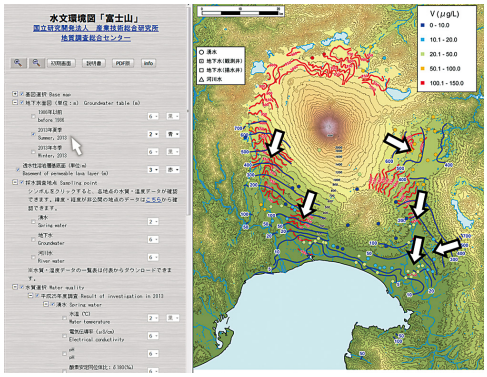


図 1　水文環境図の画面（No.9富士山を例として）
左側のフレームでデータを選択すると，右側のフレームの地形図にデータが表示される．図中の矢印は，地下水面図（青の実線）から判断される地下水の流れを表したものである．赤の実線は透水性溶岩層の分布，色付きの〇は湧水のバナジウム濃度を示している．

岩盤や岩石の特性を簡便で高精度に計測・評価

地圏メカニクス研究グループ　及川寧己　竹原　孝*　雷　興林，CO2地中貯留研究グループ　藤井孝志
［連絡先］t-takehara@aist.go.jp

成果概要

地熱や石油・天然ガスなどの地下資源開発，CO_2地中貯留や放射性廃棄物地層処分の事業では，環境に配慮しながら安全かつ効率良く地下を利用することが求められる．そのために，岩盤や地層の力学的強度，変形特性，破壊過程，透水性，遮蔽性能等の様々な性質を簡便で高精度に計測・評価する技術の研究に取り組んでいる．

研究内容

室内実験・フィールド計測・数値シミュレーションを通して，実際の地下の温度・圧力条件における，岩盤・岩石の力学的評価（強度，変形特性，長期的安定性等），遮蔽性能評価（浸透率，毛管圧等），岩盤応力の測定，AE（微小破壊音）を用いた岩盤内き裂評価や岩石の破壊過程の解明などを行っている．これらの研究は CO_2地中貯留の研究（深度1km），地熱資源の研究（深度 2 ～5km），注水による誘発地震の研究に適用される．

研究成果はどう使われるか

高度化・多様化する社会ニーズに的確に応えられるよう，地下資源の安定確保や継続的利用，地質災害や地質汚染の防止を図る研究などにも積極的に応用して，地下利用の高度化に貢献する．

図 1　岩石の強度・変形特性，力学的長期安定性，透水性・遮蔽性能，破壊過程の AE の特徴等の様々な性質を簡便に計測するための室内実験装置

岩盤を早く掘る技術　～実験室内で岩石の掘削効率を評価～

地圏メカニクス研究グループ　宮崎晋行
［連絡先］miyazaki-kuniyuki@aist.go.jp

成果概要

岩盤の掘削技術は，地圏の開発・利用・調査などさまざまな分野で使われているが，一般的に「掘削コストは高い」と言われている．掘削コストを低下させるためには，掘削速度の速いビットや耐久性の高いビットを開発することにより，掘削工期を短縮することが極めて重要である．本研究は，室内実験により，新規に開発されたビットや刃先材の性能を評価し，それらの製品化を目指すものである．

研究内容

新規に開発されたビットを掘削試験装置（図１）に取り付け，岩石を掘削する．掘削中，ビット荷重やビットトルク，掘削速度などを測定して，そのビットの掘削効率を評価する．また，ビットの刃先材が摩耗してくると，この掘削効率が低下するので，刃先材の耐久性評価にも活用できる．さらに，軟岩から硬岩まで，実用化の目的に応じて，さまざまな種類の岩石に対応可能である．実際の掘削現場に比べて，岩石特性などある程度コントロールされた環境下で性能評価試験を実施できるため，ビットや刃先材の基本的な性能を的確に取得することが可能である．例えば，図２では，ビット荷重の増加に伴い，掘削速度が増加することや，掘削長が大きくなるとともに掘削速度が低下することがわかる．また，異なるビットＡとＢに対し，被削岩石や回転数などほぼ同条件での掘削速度の比較が可能である．

研究成果はどう使われるか

室内での掘削試験は，実際の掘削現場でのフィールド試験に比べて，容易かつ的確に掘削効率を評価できるため，ビットや刃先材の新規開発や実用化の加速化に貢献する．

図１　掘削試験装置

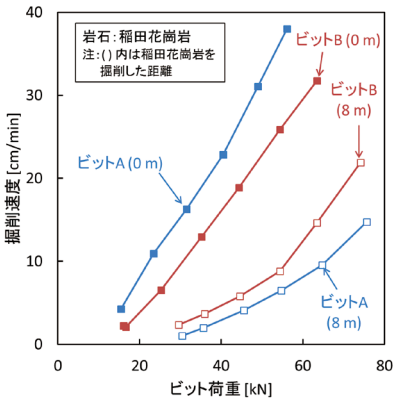


図２　掘削試験結果

知財・ソフトウェア紹介

高性能水蒸気吸着剤の開発

地圏化学研究グループ　森本和也*　万福和子　星野谷亜衣　鈴木正哉
［連絡先］kazuya.morimoto@aist.go.jp

成果概要

火山灰の風化土壌生成物として知られるアロフェン・イモゴライトの合成法を基に，優れた水蒸気吸着性能を有するハスクレイを開発した．ハスクレイは，低結晶性の粘土と非晶質物質の複合体からなるアルミニウムケイ酸塩であり，低湿度から高湿度まで幅広い湿度帯にて水蒸気を吸着することができることから，60～80℃の低温熱源を利用した省エネ用吸着剤として適した材料である．

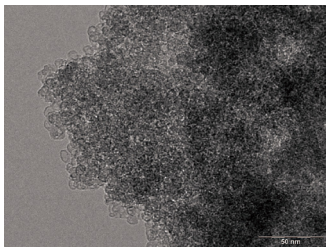


図１　ハスクレイの透過型電子顕微鏡写真

研究内容

アルミニウムケイ酸塩からなるハスクレイの合成には，大きく分け２種類あり，150℃以上の高温での水熱合成が必要なハスクレイ（ハスクレイ高性能版：ＧⅠ）と，80～100℃での水熱合成が可能なハスクレイ前駆体（ハスクレイ工業的合成版：ＧⅡとＧⅢ）があり，それぞれに関して，産総研では特許を出願している．以下に主なものを掲載する．

・非晶質アルミニウムケイ酸塩の製造方法（特願2016-005396）
・アルミニウムケイ酸塩複合体及び該複合体からなる高性能吸着剤（特許第5212992号，米国8865020号，中国 ZL200880122792.2）
・中湿度領域において優れた水蒸気吸放湿特性を有する非晶質アルミニウムケイ酸塩（特許第4576616号，米国7887770号）

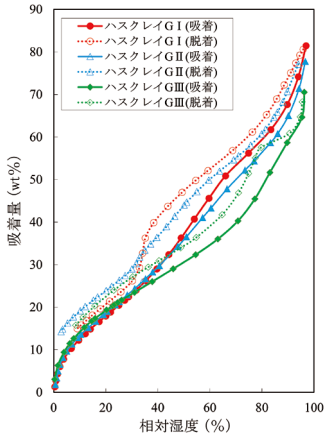


図２　ハスクレイの水蒸気吸着等温線

研究成果はどう使われるか

ハスクレイは，幅広い湿度帯にて水蒸気を吸着できることから，デシカント空調機や家庭用除湿機などの吸着剤として使用することができ，60～80℃程度の低温廃熱を利用した省エネシステム用吸着剤としての利用が期待されている．

施設園芸における二酸化炭素回収施用装置の開発

地圏化学研究グループ　鈴木正哉
［連絡先］masaya-suzuki@aist.go.jp

成果概要

施設園芸における作物の栽培において，光合成促進のために二酸化炭素の施用が必要とされている．施設園芸栽培では，冬季に加温が必要であることから，夜間加温機から排出される排ガスから二酸化炭素を回収貯留し，翌朝以降貯留した二酸化炭素を園芸作物へ施用するシステムの開発を行った．このことにより，作物の収率向上に加え，二酸化炭素排出総量と燃料費の削減が可能となる．

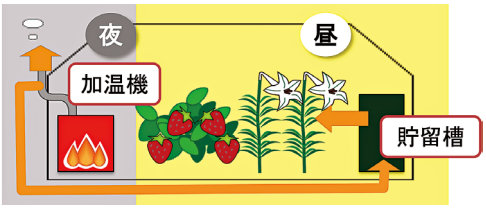


図１　二酸化炭素貯留・施用装置概要

研究内容

加温機の排ガスから二酸化炭素を回収・貯留し，翌朝以降に二酸化炭素をビニールハウスに施用する装置を開発した．装置には，圧力スイング法により大気圧より高い圧力にて回収・施用する方法と，温度および圧力を用いずに二酸化炭素の濃度差を用いて回収・施用する方法の２種類の装置の開発を行った．

・燃焼排ガス中の二酸化炭素を利用した圧力スイング法による園芸用施設への二酸化炭素供給装置（特許第5578469号：産総研・奈良県・大阪瓦斯（株）・日本軽金属（株）共同出願）
・燃焼排ガス中の二酸化炭素を利用した園芸用施設への二酸化炭素供給装置（特許第6179915号：産総研・奈良県・農研機構・大阪瓦斯（株）・日本軽金属（株）共同出願）

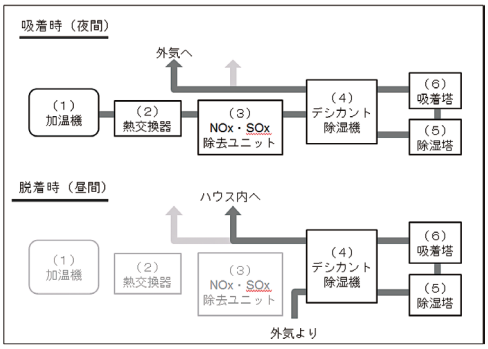


図２　濃度差法による二酸化炭素回収・施用装置概要

研究成果はどう使われるか

ビニールハウスでの施設園芸栽培において排ガスから回収した二酸化炭素を施用することにより，作物の品質および収率の向上が見込まれ，二酸化炭素排出総量と燃料費の削減による温暖化対策と省エネへの貢献も期待される．

土壌中に存在するナノチューブおよびナノカプセルの合成と応用

地圏化学研究グループ　鈴木正哉
[連絡先] masaya-suzuki@aist.go.jp

成果概要

火山灰の風化土壌中には，ナノチューブ状のイモゴライトやナノカプセル状のアロフェンが生成されており，これらのナノ物質は比表面積が大きく，高い反応性を有している物質である．また水蒸気吸着性能も優れており，調湿材料や結露防止剤として利用することが可能である．これらの天然に存在するナノ材料に関して，純度の高い合成方法を確立し，試料提供が可能な体制を整えた．

研究内容

アルミニウムケイ酸塩からなるイモゴライト，アロフェンの合成法および用途に関して，産総研では特許を出願している．以下に主なものを掲載する．

・微細孔を有するチューブ状アルミニウムケイ酸塩の製造方法（特許第4538626号）
・ヒートポンプ用熱交換材（特許3785455号）
・高湿度条件下において優れた吸水挙動を示す調湿材料(特許第3398761号)
・前駆体連続添加によるチューブ状アルミニウムケイ酸塩の高濃度合成法（特許3163360号）
・高濃度な無機溶液からのチューブ状アルミニウムケイ酸塩の合成法（特許第3146360号）

研究成果はどう使われるか

アルミニウムケイ酸塩からなるナノ物質は，比表面積が大きく，水蒸気吸着性能にも優れていることから，熱交換剤，調湿剤，結露防止剤，燃料貯蔵媒体，二酸化炭素吸着剤，有害物質吸着剤など様々な応用に用いることが可能である．

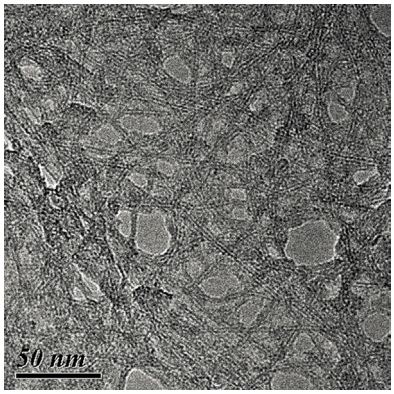


図１　合成イモゴライトの透過型電子顕微鏡写真

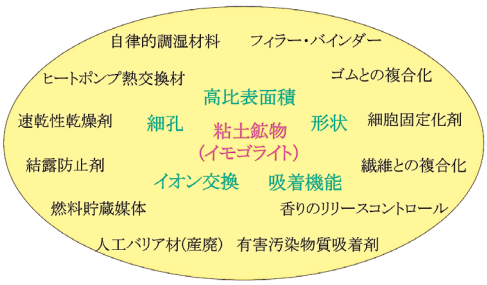


図２　イモゴライトの応用

論文リスト

論文リスト
2015～2017年

安川 香澄, 野田 徹郎, 鴇田 洋行, 内山 明記, 松林 修, 阪口 圭一（2015）Advanced Software for Harmonious Geothermal Development with Nearby Hot Spring. Proceedings of World Geothermal Congress 2015.

石戸 恒雄, J.W. Pritchett, 西 祐司, 杉原 光彦, S.K. Garg, J.L. Stevens, 當舎 利行, 中西 繁隆, 中尾 信典（2015）Application of Various Geophysical Techniques to Reservoir Monitoring and Modeling. Proceedings of World Geothermal Congress 2015.

柳澤 教雄（2015）Case Study of Calcium Carbonate Scale at EGS and Hot Spring Binary System. Proceedings of World Geothermal Congress 2015. 1-10.

Keith Lichti, 柳澤 教雄（2015）Geothermal Energy Materials and Process Issues. Proceedings of World Geothermal Congress 2015. 1-8.

佐藤 真丈, 小原 功司, 小野 和昭, 森 豊, 大里 和己, 岡部 高志, 中田 晴弥, 柳澤 教雄, 村岡 洋文（2015）Development of Micro Grid Kalina Cycle System - The First Demonstration Plant in Hot Spring Area in Japan. Proceedings of World Geothermal Congress 2015. 1-9.

内田 利弘, 高倉 伸一, 上田 匠, 佐藤 龍也, 阿部 泰行(2015) Three-Dimensional Resistivity Structure of the Yanaizu-Nishiyama Geothermal Reservoir, Northern Japan. Proceedings of World Geothermal Congress 2015. 1-7.

藤井 孝志, 船津 貴弘, 及川 寧己, 徂徠 正夫, 雷 興林(2015) Evolution of Permeability during Fracturing Processes in Rocks under Conditions of Geological Storage of CO_2. Materials Transactions 56 (5). 679-686.

安川 香澄, 笹田 政克（2015）Country Update of Japan: Renewed Opportunities. Proceedings of World Geothermal Congress 2015.

Ono Kenji, Hiradate Syuntaro, 森田 沙綾香, Hiraide Masakazu, Hirata Yasumasa, Fujimoto Kiyoshi, Tabuchi Ryuichi, Saimon Lihpai (2015) Assessing the carbon compositions and sources of mangrove peat in a tropical mangrove forest on Pohnpei Island, Federated States of Micronesia. Geoderma 245. 11-20.

川辺 能成, 駒井 武（2015）Insolubilizing Effect of Heavy Metals in Soil by Calcium Polysulfide. Program of SETAC Europe 25th Annual Meeting 413-414.

田村 亨, 澤井 祐紀, 池原 研, 中島 礼, 原 淳子, 金井 豊（2015）Shallow-marine deposits associated with the 2011 Tohoku-oki tsunami in Sendai Bay, Japan. Journal of Quaternary Science 30 (4). 293-297.

中島 善人（2015）Development of a Single-Sided Nuclear Magnetic Resonance Scanner for the In Vivo Quantification of Live Cattle Marbling. Applied Magnetic Resonance 46 (5). 593-606.

昆 慶明, 江島 輝美, 森田 沙綾香, 高木 哲一（2015）Spatial U-Pb age distribution of plutonic rocks in the central Abukuma Plateau, northeastern Japan Arc. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences 110 (3). 145-149.

Daniel Atencio, Artur C. Bastos Neto, Vitor P. Pereira, Jose T. M. M. Ferron, 星野 美保子, 守山 武, 渡辺 寧, 宮脇　律郎, Jose M.V. Coutinho, Marcelo B. Andrade, Kenneth Domanik, Nikita V. Chukanov, 門馬 綱一, 平野 英雄, 恒松 麻衣子（2015）Waimirite-(Y), orthorhombic YF3, a new mineral from the Pitinga mine, Presidente Figueiredo, Amazonas, Brazil and from Jabal Tawlah, Saudi Arabia: Description and crystal structure. Mineralogical Magazine 79 (3). 767-780.

保高 徹生, 内藤 航（2015）Assessing cost and effectiveness of radiation decontamination in Fukushima Prefecture, Japan. Journal of Environmental Radioactivity 151. 512-520.

竹内 美緒, 山岸 昂夫, 鎌形 洋一, 大島 健志朗, 服部 正平, 片山 泰樹, 花田 智, 玉木 秀幸, 丸茂 克美, 前田 広人, 根建　心具, 岩崎　渉, 諏訪　裕一, 坂田 将（2015）Tepidicaulis marinus gen. nov., sp nov., a marine bacterium that reduces nitrate to nitrous oxide under strictly microaerobic conditions. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology 65. 1749-1754.

実松 健造, 昆 慶明, 今井 亮（2015）Influence of phosphate on mobility and adsorption of REEs during weathering of granites in Thailand. Journal of Asian Earth Sciences 111. 14-30.

船津 貴弘, 竹原 孝, 笹岡 孝司, 島田 英樹, マヒンダ・クルップ（2015） 来待砂岩および諫早砂岩を用いたSCB 試験片によるモードⅠ破壊靭性と試験片寸法との関係. 応用地質 56（2）. 46-55.

宮崎 晋行, 遠藤 義宏, 天満 則夫, 山口 勉（2015）Effects of Particle-Size Distribution on the Viscoelasticity of Artificial Methane-Hydrate-Bearing Sand. International Journal of Offshore and Polar Engineering 25 (2). 112-119.

丸井 敦尚, Adrian H. Gallardo（2015）Managing Groundwater Radioactive Contamination at the Daiichi Nuclear Plant. International Journal of Environmental Research and Public Health 12 (7). 8498-8503.

檀上 徹, 高倉 伸一, 有光 悠紀, 藤本 将光, 石澤 友浩, 深川 良一（2015）重要文化財後背斜面における比抵抗法電気探査を用いた地下水帯の把握. 歴史都市防災論文集 9. 9-16.

徂徠 正夫, 加野 友紀, 本多 克也（2015）Experimental study of sealing performance:2. Effects of particle size distribution on threshold pressure of sintered compacts. Journal of Geophysical Research120. 4931-4945.

稲垣 史生, Kai-Uwe Hinrichs, 久保 雄介, Marshall W. Bowles, Verena B. Heuer, Wei-Li Hong, 星野 辰彦, 井尻 暁, 井町 寛之, 伊藤 元雄, 金子 雅紀, Mark A. Lever, Yu-Shih Lin, Barbara A. Methé;, 森田 澄人, 諸野 祐樹, 谷川 亘, Monika Bihan, Stephen A. Bowden, Marcus Elvert, Clemens Glombitza, Doris Gross, Guy J. Harrington, 堀 知行, Kelvin Li, David Limmer, Chang-Hong Liu, 村山 雅史, 大河内 直彦, 小野 周平, Young-Soo Park, Stephen C. Phillips, Xavier Prieto-Mollar, Marcella Purkey, Natascha Riedinger, 真田 佳典, Justine Sauvage, Glen Snyder, Rita Susilawati, 高野 淑識, 田角 英二, 寺田 武志, 戸丸 仁, Elizabeth Trembath-Reichert, David T. Wang, 山田 泰広（2015）Exploring deep microbial life in coal-bearing sediment down to similar to 2.5 km below the ocean floor. Science 349. 420-424.

杉田 創, 小熊 輝美, 張 銘, 原 淳子, 柳澤 教雄（2015）使用済みマグネシウム塩ヒ素吸着材に関する安定性評価. 第11回環境地盤工学シンポジウム発表論文集 185. 355-362.

柳澤 教雄, 佐々木 宗建, 杉田 創, 佐藤 真丈, 大里 和己（2015）Geochemical Monitoring of Hot springs surrounding Matsunoyama binary power plant. 日本地熱学会誌 37（3）. 87-94.

森 千秋, 佐藤 徹, 加野 友紀, 大山 裕之, Dmitry Aleynik, 津旨 大輔, 前田 義明（2015）Numerical study of the fate of CO2 purposefully injected into the sediment and seeping from seafloor in Ardmucknish Bay. International Journal of Greenhouse Gas Control 38. 153-161.

大塚 宏徳, 森田 澄人, 棚橋 学, 芦 寿一郎（2015）Foldback reflectors near methane hydrate bottom-simulating reflectors: Indicators of gas distribution from 3D seismic images in the eastern Nankai Trough. Island Arc 24 (2). 145-158.

三好 陽子, 堀内 悠, 須藤 定久, 宮腰 久美子, 雨宮 清, 高木 哲一（2015）福島県に分布するベントナイト廃止鉱山周辺域の調査. 粘土科学 53（3）. 85-93.

堀内 悠, 大野 哲二, 星野 美保子, Ki-cheol Shin, 村上 浩康, 恒松 麻衣子, 渡辺 寧（2015）南アフリカ共和国における希土類資源地化学探査としてのアリ塚調査報告. 大分地質学会誌20. 38-45.

昆 慶明, 平田 岳史（2015）Determination of 10 major and 34 trace elements in 34 GSJ geochemical reference samples using femtosecond laser ablation ICP-MS. Geochemical Journal 49 (4). 351-375.

森本 和也, 田村 堅志, 安楽 総太郎, 佐藤 努, 鈴木 正哉, 山田 裕久（2015）Synthesis of Zn-Fe layered double hydroxides via an oxidation process and structural analysis of products. Journal of Solid State Chemistry 228. 221-225.

町田 功, Sven Rumohr, Claudia Hartwig, Kirsten Orth, Traugott Schyett（2015）ドイツ・ヘッセン州の地下水管理. 日本地下水学会誌 57（3）. 307-316.

藤井 孝志, 上原 真一, 林 敬太, 徂徠 正夫, 高橋 美紀, 中尾 信典（2015）CO_2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.

田中 敦子, 坂本 靖英, 眞弓 大介, 東野 晴行, 坂田 将, 中尾 信典（2015）CCSと微生物機能の融合技術（Bio-CCS）リスク評価の試み. Journal of MMIJ 131（8）,（9）. 524-532.

柳澤 教雄（2015）Case study of the Change of Scale with production. GRC Transactions 39. 1029-1032.

杉原 光彦, 名和 一成, 石戸 恒雄, 相馬 宣和, 西 祐司（2015）Potentiality of continuous measurements using a small-sized superconducting gravimeter for geothermal reservoir monitoring. GRC transactions 9. 635-642.

荒岡 大輔（2015）リチウム資源－各鉱床タイプの概要とリチウム同位体による成因論－. 岩石鉱物科学 44（5）. 259-270.

眞中 卓也, 牛江 裕行, 荒岡 大輔, 大谷 壮矢, 稲村 明彦, 鈴木 淳, H. M. Zakir Hossain, 川幡 穂高（2015）Spatial and Seasonal Variation in Surface Water pCO_2 in the Ganges, Brahmaputra, and Meghna Rivers on the Indian Subcontinent. Aquatic Geochemistry 21 (5). 437-458.

三好 陽子, 石橋 純一郎, 島田 和彦, 井上 博靖, 上原 誠一郎, 月村 勝宏（2015）Clay Minerals in an Active Hydrothermal Field at Iheya-North-Knoll, Okinawa Trough. Resource Geology 65 (4). 346-360.

吉岡 秀佳, 持丸 華子, 坂田 将, 武田 洋, 吉田 聡（2015）Methane production potential of subsurface mi-

crobes in Pleistocene sediments from a natural gas field of the dissolved-in-water type, central Japan. Chemical Geology 419. 92-101.

徐 維那, 森本 慎一郎（2015）Domestic Yttrium Consumption Trends in Japan. Journal of Industrial Ecology 1-8.

昆 慶明, 荒岡 大輔, 江島 輝美, 平田 岳史, 高木 哲一（2015）Rapid and precise determination of major and trace elements in CCRMP and USGS geochemical reference samples using femtosecond laser ablation ICP-MS. Symposium on critical and strategic materials. British Columbia Geological Survey Paper 2015-3.

杉原 光彦（2015）A re-evaluation of gravity changes in the early stages of exploitation at the Yanaizu-Nishiyama geothermal field, Japan. Proceeding of New Zealand geothermal workshop 2015.

ヤーサーニクピーマン, 細野 高啓, 小野 昌彦, ヤンヒージュン, 嶋田 純, 滝川 清（2015）Assessment of the spatial distribution of submarine groundwater discharge（SGD）along the Yatsushiro Inland Sea coastline, SW Japan, using Rn-222 method. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 307 (3). 2123-2132.

高畑 修, 熊田 正次郎, 安藤 淳也, 宮口 新治, 石山 宏二, 保高 徹生, 小峯 秀雄（2015）道路維持管理に伴い発生する放射性物質含有土への土壌洗浄工法の適用性評価. 地盤工学ジャーナル 10（４）. 489-502.

川辺 能成, 原 淳子, 保高 徹生, 坂本 靖英, 張 銘, 駒井 武（2015）Risk Evaluation for Heavy Metals in Tsunami Deposits after the Great East Japan Earthquake. WECC2015 proceedings.

江島 輝美, 赤坂 正秀, 永尾 隆志, 大藤 弘明（2015）Occurrence of Fe^{3+} and formation process of precipitates within oxidized olivine phenocrysts in basalt lava from Kuroshima volcano, Goto islands, Nagasaki, Japan. Mineralogical Magazine 79 (7). 1833-1848.

大木 達也, 西須 佳宏, 星野 美保子（2015）海底熱水鉱床の選鉱性に影響を及ぼす鉱物相の形態的特徴. Journal of MMIJ 131（12）. 619-626.

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, 及川 寧己, 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－自然堤防－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.

荒岡 大輔, 昆 慶明, 江島 輝美（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, 鈴木 正哉（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.

鈴木 正哉, 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.

小野 昌彦, 井川 怜欧, 町田 功, 丸井 敦尚（2016）富士山南西麓における地下水の^{222}Rn 濃度分布, RADIOISOTOPES 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.

高木 哲一（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, 川辺 能成, 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, 吉岡 秀佳, 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, 保高 徹生, 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, 星野 美保子, 昆 慶明, 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, 雷 興林, 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.

実松 健造, 江島 輝美, 昆 慶明, 間中 崇行, Khin Zaw, 森田 沙綾香, 徐 維那（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, 丸井 敦尚（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) CO_2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, 中嶋 健, 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.

実松 健造, 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 澄人, 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, 保高 徹生, 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, 星野 美保子, 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, 保高 徹生, 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 F_{430} 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, Susumu Sakata, 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, Palaeoecology 454. 65-74.

Hanako Mochimaru, Hideyuki Tamaki, Satoshi Hanada, Hiroyuki Imachi, Kohei Nakamura, Susumu Sakata, 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, Yasutaka T, 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, Yasutaka T, 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ほか(2016) Methane production from coal by a single methanogen. Science 354, 222-225.

Daisuke Araoka, 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）PARTICLE-BASED SIMULATION TO INVESTIGATE COMMINUTION OF E-WASTE FOR EFFECTIVE RECYCLING PROCESS, XXVIII International Mineral Processing Congress.

Adi Maulana, 実松 健造, 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, 雷 興林, Qi Li（2016）Injection-induced fracturing process in a tight sandstone under different saturation conditions, Environmental Earth Sciences 75, 1-12.

奥山 康子, 船津 貴弘, 藤井 孝志ほか（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, 星野 美保子, 田口 幸浩（2016）Characteristic Features of REE and Pb-Zn-Ag Mineralizations in the Na Son Deposit, Northeastern Vietnam, RESOURCE GEOLOGY 66, 404-418.

辻 英樹, 錦織 達啓, 保高 徹生, 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, TECTONOPHYSICS 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 CO_2-Hydrate Sand, INTERNATIONAL JOURNAL OF OFFSHORE AND POLAR ENGINEERING 26, 315-320.

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, 昆 慶明, 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, 昆 慶明, 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.

星野 美保子, 昆 慶明, 児玉 信介, George J. Simandle, Suzanne Paradis, Craig Green, 生田目 千鶴, 松永 いづみ, 高木 哲一（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, 高倉 伸一ほか（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, 三好 陽子ほか（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, 及川 寧己ほか（2017）Literature Review and Experimental Study on the Factors Affecting the Direct Tension Test on Rocks, GEOTECHNICAL TESTING JOURNAL 40, 335-344.

雷 興林, 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.

C. Xie, 雷 興林, 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.

吉川 美穂, 張 銘, 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, 雷 興林, 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, 保高 徹生, 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 ,昆 慶明, 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 , 黒澤 暁彦ほか（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), GEOSCIENCES 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）TEMPORAL 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, 雷 興林, 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 evaluating the timing of hydrocarbon gas expulsion, INTERNATIONAL 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, 中島 善人, 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.

平成29年12月5日発行
■発行　国立研究開発法人 産業技術総合研究所
　　地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門
〒305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1 (中央第7)
TEL 029-861-3633

地圏資源環境研究部門 研究成果報告会2017
GREEN Report 2017
AIST04-C00014-16
本誌記事写真等の無断転載を禁じます。