



GREEN

INSTITUTE FOR GEO-RESOURCES AND ENVIRONMENT

GREEN NEWS

Institute for Geo-Resources and Environment

GREEN NEWS (グリーンニュース)

独立行政法人産業技術総合研究所

地圏資源環境研究部門 広報誌

第22号:平成20年10月発行

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

No.22

Oct.
2008

目次

| | | |
|----------------------|---------------------|-----|
| 医療と地質 -新たな研究領域の模索- | 駒井 武 | 1 |
| 第7回部門成果報告会のお知らせ | 広報委員会 | 2 |
| 2008年部門グラント紹介 | | |
| 温泉エコジェネシシステムの開発支援研究 | 村岡 洋文 他 | 3 |
| ラテライト型希土類鉱化作用の研究 | 実松 健造 他 | |
| 省エネ型吸着式エネルギーシステムにおける | 鈴木 正哉・月村 勝宏 | |
| 高性能吸着剤の構造と吸着メカニズムの解明 | | |
| に関する研究 | | |
| 2007年部門グラント報告 | | |
| インジウム濃集プロセスの研究 | 村上 浩康 他 | 4 |
| 微生物の遺伝的特性を用いた水文地質学的 | 町田 功 他 | 4~5 |
| シーズ研究 | | |
| 土木建造物の品質管理用核磁気共鳴 | 中島 善人 | 6 |
| 表面スキャナーの開発 | | |
| ただ今研究中 | | |
| 地下のリアルタイム可視化を実現 | 神宮司 元治 | 7 |
| -マルチ送信比抵抗探査装置- | | |
| 第8回アジア地熱シンポジウム案内 | 第8回アジア地熱シンポジウム実行委員会 | |
| 一般公開報告 | | 8 |
| RE2008報告 | | |
| 行事カレンダーなど | | |

医療と地質 -新たな研究領域の模索-

地圏資源環境研究部門 副研究部門長 駒井 武



医療と地質は、あまり縁がなさそうですが、実は歴史的にも科学的にみても極めて深い関係にあると言えます。われわれは、有史以来の長い間、特定の地質や土壌の上で生活し、井戸水を飲み、その周辺でとれた作物や魚介、肉類等を食してきました。これらの水や土壌、食物の中には、その地域の特徴を反映したミネラルや様々な化合物を含んでおり、環境媒体内の含有成分と生物内の化学組成とは高い相関を持っています。近年発展をとげている生物地球化学や薬学の分野では、明示的な相関パラメータとして生物学的利用能(バイオアベイラビリティ)を用いています。極端な言い方をすれば、人間の体や遺伝情報などは食物だけでなく、地圏環境情報に強く依存するということになります。

このような地質に深く関わる金属元素や無機・有機化合物の情報をもとに、健康や医療、公害のような社会的な課題について科学的な検討を行うのが医療地質(Medical Geology)の研究領域です。国内では深刻な公害問題は少なくなっていますが、地域によっては土壌や地下水中でヒ素や鉛が高濃度分布を示すところもあり、一部では健康影響が懸念されています。最近の地圏インフォマティクスの研究では、一般環境の表層土壌でも、有害元素などの分布が極めて偏在化しており、国内では3桁以上の含有量や溶出量の違いがあることが分かっています。自然の環境でも、地域によって有害元素や化学物質の摂取の質・量が異なることは明らかな事実です。

一方、途上国や経済発展の著しい国々では、依然として土壌・水質汚染による深刻な環境・健康問題が山積しています。これまでに

訪問したバングラディッシュやパキスタンでは、ヒ素やフッ素による飲料水汚染が深刻で、何万人という市民が皮膚がんや内臓疾患により亡くなっています。また、作物中のカドミウム濃度が高い汚染米の問題も知られています。これとは逆に、土壌中のセレンが極端に少ないセレン欠乏症のような医療問題も報告されています。最近では、長距離を飛散する微細な粉塵の中に有害な化学物質が含まれ、それにより喘息やアレルギーを引き起こすといった地球規模の問題も起こっています。このような国際的な課題を解決することは、これまで多くの公害問題に対処してきた先進国の責務かと思えます。

いま、社会に向けてどのような具体的な成果や政策が発信できるかが問われています。上記の医療地質学は、環境地質学や地球科学の基礎的な研究成果を住民の健康や医療、環境政策の意思決定などに反映できるユニークな学術分野と言えます。住民や団体としての知る権利、政府や自治体としての周知させる義務、いずれも共通基盤としての情報の整備が不可欠です。将来の環境・健康問題では、既往のトップダウン的な規制であるガバメントから、ボトムアップ型のガバナンスへの転換が強く求められ、その方法論に基づくリスク管理は、産業界や自治体などの自主的取組みの推進に大きく寄与すると考えられます。医療地質学の確立とこれに関連する地圏環境情報の研究は、わが国のみならず国際的な視点に立った本格的な研究を実施する上で、研究分野の垣根を越えた展開を可能にする新領域となるかもしれません。

平成20年度（第7回）部門成果報告会のお知らせ

広報委員会

今年度(第7回)の成果報告会は、下記の要領で実施することが決まりましたので、お知らせします。

日時：2008年11月20日（木）午後

場所：秋葉原コンベンションホール（秋葉原ダイビル2F）

(<http://www.akibahall.jp/data/access.html>)

テーマ：持続可能な社会を目指す地圏資源研究
-環境を意識したアプローチ-

※参加申込等詳細は以下のurlを参照ください。

(<http://unit.aist.go.jp/geoenv/event/houkokukai08.html>)



プログラム

- 13:00-13:20 部門研究紹介 研究部門長 矢野雄策
- 13:20-13:50 「持続可能な地下水利用と環境の維持」
地下水研究グループ 丸井敦尚
- 13:50-14:20 「地下微生物の天然ガス生成ポテンシャル」
地圏微生物研究グループ 坂田 将・吉岡秀佳・持丸華子
- 14:20-14:50 「再評価されつつある地熱開発ニーズに応えて」
地熱資源研究グループ 村岡洋文
- 14:50-15:30 ポスターセッション
- 15:30-16:20 招待講演「持続型炭素循環システム」
東京大学 佐藤光三
- 16:20-16:50 「鉱物資源研究グループの希土類資源調査の現状」
鉱物資源研究グループ 渡辺 寧・実松健造・守山 武
- 16:50-17:15 ポスターセッション
- 17:15-19:00 懇親会（ポスター会場）

【各グループの紹介】

| 各グループの紹介 | | ポスターセッション | | | |
|------------------------|------|-----------|------|----------|------|
| 地下水RG | 丸井敦尚 | 物理探査RG | 内田利弘 | 地熱資源RG | 村岡洋文 |
| 地圏環境評価RG | 駒井 武 | 地圏化学RG | 佐脇貴幸 | 鉱物資源RG | 渡辺 寧 |
| CO ₂ 地中貯留RG | 當舎利行 | 地圏微生物RG | 坂田 将 | 地質特性RG | 伊藤一誠 |
| 地圏環境システムRG | 高倉伸一 | 燃料資源地質RG | 棚橋 学 | 地下環境機能RG | 竹野直人 |

【個人発表】

| ポスター発表題目 | 発表者 |
|--|--|
| 大気を水資源とした造水技術の開発に関する取り組み | 駒井 武・杉田 創・大石昭二(環境管理技術研究部門)・山崎淳司(早稲田大学・理工学術院) |
| 鉱物油に起因する土壌汚染のリスク評価を目的とした油-水混相流動挙動に関する研究 | 坂本靖英・西脇淳子・川辺能成・駒井 武 |
| Natural microbial attenuation of tetrachloroethylene(TCE) trapped in clayey sediments | 竹内美緒・川辺能成・渡邊英治(山形県環境科学研究センター)・大岩敏男(山形県環境科学研究センター)・高橋 学・難波謙二(福島大学共生システム理工学類)・鎌形洋一(ゲノムファクトリー研究部門)・花田 智(生物機能工学研究部門)・杉原麻生・駒井 武 |
| 高密度3次元電気探査とダイレクトブッシュ技術を用いた油汚染地区の探査 | 神宮司元治・横田俊之・光畑裕司・中島善人・内田利弘 |
| 石油関連施設跡地における三次元地中レーダ探査適用研究 | 横田俊之・神宮司元治・中島善人・光畑裕司・内田利弘・駒井 武 |
| 自然エネルギーを用いた重金属汚染浄化に関する研究 | 張 銘・小野 暁((株)ニュージェック)・澤田 章(エヌエス環境(株)) |
| Potential methane production in sediments from the Cascadia Margin, IODP.Expedition 311 | 駒井 武・丸茂克美(地質情報研究部門)・杉田 創 |
| Methanogenic archaeal diversity and isolation in natural gas field | 吉岡秀佳・東 陽介(生物機能工学研究部門)・中村孝道(生物機能工学研究部門)・丸山明彦(生物機能工学研究部門)・坂田 将 |
| 関東平野下に賦存する可燃性天然ガスについて | 持丸華子・吉岡秀佳・玉木秀幸(生物機能工学研究部門)・坂田 将・鎌田洋一(ゲノムファクトリー研究部門) |
| 南関東ガス田の鉱床成因モデル -前弧域での微生物起源メタンとヨウ素の濃集に関する地質学的・地球化学的制約- | 金子信行・佐脇貴幸・棚橋学 |
| 土壤中に存在するナノ物質をもとにした吸着式エネルギーシステム用高性能吸着剤の開発 | 金子信行 |
| TRU廃棄物処理における放射性ヨウ素の固定化 | 鈴木正哉・月村勝宏 |
| Geochemical reaction modeling for ferrihydrite nanoparticles in the Lake Karachai area, Russia | 鈴木正哉・月村勝宏 |
| 地層処分における連成解析モデルの重要性 | 鈴木正哉・月村勝宏・鈴木庸平 |
| 海底電気・電磁探査法モデリング技術の開発 | 李 琦・伊藤一誠 |
| 幌延沿岸域における物理探査研究プロジェクトについて | 光畑裕司・上田 匠・内田利弘 |
| 地盤振動特性を考慮した戸建て住宅の環境振動評価 | 内田利弘・光畑裕司・上田 匠・安藤 誠・丸井敦尚・楠瀬勤一郎 |
| 一般帯水層CO ₂ 地中貯留での地化学トラッピング: 東京湾岸モデルの検討 | 国松 直 |
| 東京湾周辺地域における地下水の流動ならびに環境の変化 | 奥山康子・徂徠正夫・柳澤教雄・佐々木宗建・戸高法文(J-Power) |
| X線CTを用いた多孔質帯水層の拡散特性の異方性の評価 | 宮越昭暢・林 武司(秋田大学) |
| 地熱井セメントの物性試験とケーシングセメントの接着強度試験 | 中島善人・紙谷 進・中野 司(地質情報研究部門) |
| 海洋プレート斜め沈み込みの簡易モデル化と数値シミュレーション: 手法と応用 | 唐澤廣和・及川寧己・天満則夫・竹原孝・林 一夫(東北大) |
| 炭酸カルシウムスケール処理における高周波電気分解装置の適用 | 須藤祐子(東北大)・佐久間澄夫(地熱エンジニアリング) |
| 「濁川型カルデラ」の再検討 | 茂野 博 |
| 都市部における地中熱ヒートポンプシステムの導入に係る環境評価 | 柳澤教雄・松村高宏((株)レイケン) |
| ラオス南部、玄武岩ラテライトの希土類資源 | 水垣桂子・萬年一剛(神奈川県温泉地学研究所) |
| インド東部ペルディ熾灰石鉱床のTa-Nb鉱化作用 | 今泉博之・天満則夫・安川香澄・内田洋平・高橋保盛 |
| | 実松健造・守山 武・渡辺 寧 |
| | 守山 武・石原舜三・Panigrahi, M.K.・Pandit, D.・渡辺 寧 |

「2008年度研究力強化のための競争グラント」について

部門グラントとは、当部門における研究力の強化に向けた研究シーズの新たな創出や育成を図るために、地圏の利用、地圏環境の保全または資源の安定供給に関する研究課題に対して、研究者からの研究課題提案に基づいて予算を配分する制度です。本年度はここで紹介する3テーマを選定しました。来年その成果をご紹介できる予定です。

温泉エコジェネシシステムの開発支援研究

地熱資源研究グループ 村岡洋文・佐々木宗建・柳澤教雄

わが国特有の地熱発電開発の障壁は温泉文化であり、28,154個もある温泉です。この障壁を地熱発電に昇華させてしまうブレークスルーが、私たちの提案する温泉発電ビジネスモデルです。

現在、温泉は浴用利用にしか使われていないため、高温温泉では浴用温度より高温の熱エネルギーが全て捨てられています。加えて成分を薄めないまま、浴用に適温化することに苦慮しています。高温温泉の上流側で温泉発電を行えば、この捨てている熱エネルギーを利用でき、同時に浴用適温化が実現できます。これが私たちの提案する温泉発電ビジネスモデルであり、すでに広く反響を得ています。

100℃未満の熱水にはカーリーナサイクル発電が実用化されていますが、温泉に普及するためには50kw程度の小型プラントの開発が必要です。私たち（委託先：地熱技術開発株式会社、以下GERD、再委託先：産総研）はこの提案「温泉エコジェネシ

システムの開発」をNEDOの新エネベンチャー技術革新事業に応募し、H19年度にはフェーズI (FS) に採択され、今年3月にはその成果がNEDO評価委員会に評価され、H20-21年度フェーズII (本格開発) に採択されました。

それならば、何故、部門の競争グラントに応募する必要があったのでしょうか？実はフェーズII予算の大部分はカーリーナサイクル発電の本体製作に必要になります。そのため、産総研はその予算の一部で、熱交換器の温泉沈殿物耐性、とくに炭酸カルシウム沈殿物耐性の問題等を解決しなければなりません。これには温度・圧力・CO₂分圧・pH・電極などに対する溶解度の基礎的な研究が含まれます。この基礎的な研究部分を本競争グラントで補強する予定です。

炭酸カルシウム沈殿物は温泉発電だけでなく、温泉の浴槽などにおいても、主要な障害物ですので、その成果は広く利用することが期待されます。

ラテライト型希土類鉱化作用の研究

鉱物資源研究グループ 実松健造・守山 武・渡辺 寧

希土類元素は一般にLaからLuまでの自然界に存在する14元素を指します。希土類の用途は多様ですが、最近ではハイブリッド車などに使用される希土類磁石の需要が増えています。一方で希土類の供給の9割以上を中国に依存しているため、希土類の安定供給のために新たな鉱床の開発が不可欠です。代表的な希土類鉱床の一つとして、イオン吸着型鉱床が挙げられます。これは、化学的風化作用を受けた花崗岩の粘土鉱物に希土類が吸着されて形成した鉱床です (Wu et al., 1990)。花崗岩中の希土類元素の多くは難溶性鉱物 (ジルコンなど) や放射性鉱物 (モナザイトなど) に含まれており回収が困難ですが、イオン吸着型鉱床では容易に希土類を回収できるのが大きな特徴です。

一般に花崗岩質の岩石の方が希土類含有量は高くなりますが、アルカリ玄武岩も比較的希土類に富むことが知られています。本研究グループは、ラオスのアルカリ玄武岩の風化産物であるラテライトが特に希土類に富むことに注目しました (図1)。この地域では、新鮮な玄武岩や十分に風化してできたボーキサイトと比べ、適度に風化したラテライトが高い希土類含有量を示します。このことから、希土類がラテライト中の風

化鉱物 (特に鉄鉱物) に含まれていると考えられます。これらの鉄鉱物中の元素は希土類元素に置換されにくいので、ラテライト中の希土類はイオン吸着型鉱床のようにOH基に吸着されていると推測されます。本研究の目的は、このような玄武岩起源ラテライトの希土類資源ポテンシャル (希土類の存在量や存在形態など) と、希土類が濃集するメカニズムを明らかにすることです。地質調査はラオス南部およびベトナム南部の玄武岩台地で行います。希土類が資源として理想的な量・形態で存在していれば、本研究は新たな希土類鉱床の開発に大きく貢献できると考えています。

Wu, C.-Y., Huang, D.-H. and Guo, Z.-X. (1990) REE geochemistry in the weathered crust of granites, Longnan area, Jiangxi province. Acta Geologica Sinica, v. 3, p. 193-210.

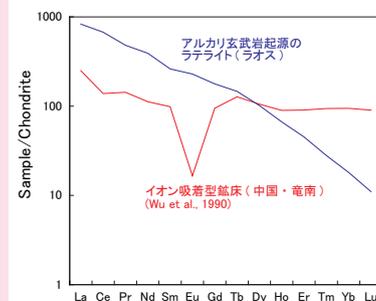


図1 ラオスのラテライトと中国竜南地区のイオン吸着型鉱床 (Wu et al., 1990) のコンドライト規格化希土類元素パターン

省エネ型吸着式エネルギーシステムにおける高性能吸着剤の構造と吸着メカニズムの解明に関する研究

地下環境機能研究グループ 鈴木正哉・部門付 月村勝宏

地球温暖化問題が世界共通の認識になっている現代において、廃熱の有効利用や電力使用の抑制などによる省エネは従来以上に強く求められています。そのような問題解決の一方法として、水蒸気の吸着と脱着を巧みに利用した吸着式エネルギーシステムがあります。吸着式エネルギーシステムには、除湿を行った後その乾燥空気の温度を下げることで、省エネだけでなく冷房病などを防ぐことができるデシカント空調システムや、工場での廃熱や太陽熱等の低温熱源を用いて温水や冷水を得ることのできる吸着式ヒートポンプシステムなどがあります。私達はこれまで、吸着式エネルギーシステムを効率的に作動させるために、天然の土壌中に存在するナノカプセル状のアロフェン、あるいはナノチューブ状のイモゴライトによる高性能吸着剤の開発に取り組んでまいりました。

上記背景のもと、平成17~19年度NEDOによる研究費により、

イモゴライトの部分的な構造を有する高性能な水蒸気吸着剤の開発に成功しました。またこの素材は二酸化炭素吸脱着量においても優れており、大気圧以上1MPaまでの範囲においては、現在PSA (=Pressure Swing Adsorption)材料として用いられているゼオライトと比較して2倍以上の吸脱着性能を有しています。しかしこの吸着剤がどのような構造を有し、また何故このような優れた吸脱着特性を有しているのかについては全くわかっておりません。

それゆえ本研究では、高性能吸着剤の構造と水蒸気および二酸化炭素の吸脱着メカニズムの解明について研究を行なっています。そしてさらに性能が高くまた低コストで合成できる吸着剤の開発に向けた指針を明らかにし、省エネ型吸着式エネルギーシステムを広く普及させられることのできる高性能吸着剤の開発を目標としています。

インジウム濃縮プロセスの研究

鉱物資源研究グループ

村上浩康・渡辺 寧・実松健造・守山 武・石原舜三

①研究の背景

インジウムは、私たちの生活に馴染み深い薄型テレビや携帯電話などの液晶画面に組み込まれる透明電極として主に使用されています。近年、日本は世界のインジウム年間生産量の50%以上を消費していますが、その価格は、中国などの旺盛な消費による原料高騰とあいまって、2001年に比べて数倍も高騰していることから、資源供給障害への危機感が高まってきています。工業分野ではリサイクル、省資源技術の開発が進められていますが、日本のみならず世界の需要に見合うインジウム資源を確保するため、地球科学分野では正確な資源量の試算や効率の良い探査手法の開発が求められています。

従来、インジウムを産する鉱床タイプは、チタン鉄鉱系花崗岩に関連したスズを伴うスカルン型鉱床（カルシウム含有鉱物を伴う鉱床タイプ）や鉱脈鉱床であると理解されていました（例えば Murao et al., 1991）。しかしながら、日本のグリーンタフ帯に産出する豊羽鉱床や足尾鉱床がインジウムを産する鉱床として大規模であると認定されて以来（Ishihara et al., 2006）、磁鉄鉱系花崗岩帯を含めて生成場の再検討が必要となってきました。

このような背景のもと、平成19年度には地圏資源環境研究部門の競争的資金を活用し、中国、ボリビアなどを調査対象として現地調査及び各種化学分析を行いました。この研究では、世界の主要なインジウム産出国における資源量評価や、インジウム鉱床生成場におけるその濃縮プロセスを明らかにすることを目的としています。その研究成果の発信を通じて今後のインジウム鉱床の探査指針に一石を投じることにより、インジウムの国際的な資源確保に貢献することを目指しています。

②研究成果と今後の課題

現在までのインジウム資源量に関する研究により、中国南部（11,000トン In、石原ほか、2006）、日本（9,000トン In、Ishihara et al., 2006）、更には北中国—シホテアリン地域（900トン、Ishihara et al., submitted）などのインジウム資源量が報告されています。ボリビアの場合、重要な鉱床のインジウム含有量最低値はポリパー（1,091トン）、ポルコ（1,139トン）、ワリワリ（1,825トン）、コルキリ（629トン）で、合計4,684トン Inと試算されています（石原・村上、2008）。しかしながら、鉱床ごとの生産量・残存鉱量・インジウム品位の産出に不確定要素が多く、本研究の現地調査にて採取した鉱石や鉱山の選鉱産物を用いて更なる分析と検討を進めています。これら鉱床では、錫・銅・亜鉛鉱物に少量のインジウムが含まれ、特にボリビアのポトシ鉱山周辺の鉱床で多産する傾向があります。なお、ボリ

ビア・アルゼンチンにおける含インジウム鉱床の現地調査では、アルゼンチン国立科学技術審議会（CONICET）Maria Florencia Marquez-Zavalía 博士を招聘し共同調査を行っています。アルゼンチン共和国の調査では、カタマルカ県、カビジータス地域に分布する亜鉛鉱石中にインジウムが存在することを見出し、アルゼンチン共和国はインジウム埋蔵国である可能性が判明しています。

中国での調査は、中国南部に位置する含インジウム亜鉛—スズ多金属鉱床（都龍、大廠鉱床）を対象とし、中国地質科学院鉱産資源研究所と連携して行いました。なお、中国地質科学院鉱産資源研究所（北京）と産業技術総合研究所地質調査総合センターは共同研究「中国南部の含インジウム鉱床と日本の金属鉱床に関する研究」を実施しています。調査の結果、大廠鉱床では、デボン紀珪質岩及び珪質石灰岩の層面に沿って層状の硫化物鉱体が卓越し、それらは熱水変質を受けていることが判明しました（村上・石原、2008）。このことから、堆積岩中に起源を持つインジウムが火成岩の貫入を受けて再濃集した、という仮説を立て、微量に含まれるインジウムの含有量を測定し、堆積岩と鉱床形成との因果関係を解明する研究を行っています。また、インジウム含有鉱物の化学組成分析により、インジウム含有鉱物種について比較・検討を行い、インジウム濃縮プロセスやインジウム—スズ鉱化作用の関連性を解明することを目指しています。

（引用文献）

- Ishihara, S., Hoshino, K., Murakami, H. and Endo, Y. (2006) Resource evaluation and some genetic aspects of indium in the Japanese ore deposits. *Resource Geology*, 56, 347-364.
- 石原舜三・石山大三・秦克章 (2006) 大興安嶺山脈南部のスズ多金属帯におけるインジウム資源の評価。資源地質、56, 212-215.
- 石原舜三・村上浩康 (2008) ボリビアの主要な亜鉛・錫鉱床とインジウム資源量の評価。資源地質、58, 4-13.
- Ishihara, S., Qin, K. Z. and Wang, Y. (submitted) Resource evaluation of indium in the Dajing tin-polymetallic deposits, Inner Mongolia, China. *Resource Geology*.
- 村上浩康・石原舜三 (2008) 中国南部のインジウム鉱床：ダーチャン（大廠）とツーロン（都龍）。資源地質、58-2, V-IV
- Murao, S. et al. (1991) Geology of indium — a review. *Mining Geology*, v. 41, 1-13.

微生物の遺伝的特性を用いた水文地質学的シーズ研究

地下水研究グループ 町田 功・地質特性研究グループ 鈴木庸平・地圏環境評価研究グループ 竹内美緒

断片的に得られる地下情報から、その全体像を把握することは、地質学分野の最も重要な仕事の1つです。私達はこの地下情報として地下水に注目し、地球化学的、水文学的、微生物学的な解析を試みています。今回の研究で重視した点は、1) 深層地下水流動過程の水質形成にどの程度、微生物が影響を及ぼしているのか、という生物地球化学的視点、2) 深層地下水という地表から隔離された環境で、どのような微生物が生息しているのか、という微生物生態学的視点、3) 地下水中の微生物が持つ遺伝子情報が分子時計となりうるか、という新しい手法の検討です。以下に、これらの点に注目した背景を述べます。

1) の視点については、同様の研究が米国・カナダを初めとした諸外国で行われています。ただし、これらの研究で調査対象とされている帯水層システムは第三系以前のものであることが多く、かつその規模は数10km～数100kmに及ぶものが一般的です。一方、我が国は比較的複雑な地形地質構造を持ち、第四系内に貯留された地下水が水資源として重要です。そのため、諸外国の研究成果を直接我が国に適用することは無理があり、むしろ日本では第四系内の、より

狭い範囲に絞った、詳細な調査解析が必要になります。2) について、深層地下水中の微生物種および個体数などの空間分布を示した例は多くありません。そのため、まずは地下水中の微生物情報に関する基本的な現状把握を行うことが必要となります。加えて微生物情報は地下水調査手法の1つとなりうる可能性を持っているため、この面からも考察を行います。3) の視点は、私達が独自に考案したものです。微生物一細胞が持つ約200万個の塩基(ATCG)から成る遺伝子情報を利用し、分子時計と呼ばれる変異導入による塩基配列の変化と時間との相関性を基に地下水の年齢を推定できるかどうかを判断します。

研究対象としたのは、千葉県君津市に分布する深層地下水であり、この地下水は第四系砂泥岩層内に胚胎されています。この地域の地下水は、現在のところ南の鬼泪—鹿野山系列周辺で涵養され、北の小糸川に向かって流動していると想定されており（図1）、その深さは涵養域周辺では約100m深、5km程度下流（地点0, 43, 52, 67周辺）では約350～400m深程度です。君津市を選択した最大の理由は、これらの地下水が自噴によって得られることです。普通、還元

下にある深層地下水中の微生物を採集するには、井戸または掘削孔から多量の揚水を行い、掘削流体もしくは孔内に留まっている地下水を、大気に触れさせないようにしながら新鮮な地下水に置換しなければなりません。これには多額の費用と時間がかかってしまうという難点があります。自噴井を用いることにより、高品質の地下水を容易に取得でき、詳細な地下微生物の分布を明らかにできる可能性があります。

以下では生物地球化学的な視点から得られた結果を、炭素14による年代測定解析を中心に述べ、その後、微生物生態学的な視点から得られた解析結果について述べたいと思います。深層地下水の炭素14測定年代値は、地下水流動に対して上流(図1のさらに南)から下流(地点0, 43, 52, 67周辺)に向かって古くなり、見かけの年代にして1500~7600年が得られました。しかし、水質解析用シミュレーションを用いた計算によると、正しい地下水年代(調整年代: adjusted age)は100~4300年程度となることが推定され、両者の違いは最大で3300年と極めて大きいものとなりました。この原因は、主として地層中に存在する炭酸塩種の溶解によるものです。得られた調整年代によると、大体5kmの距離を4300年で進むわけですから、深層地下水流動の速度は一年で約1m程度と見積もられます。また、地下水流動方向に沿って水質成分の1つであるTOCの上昇が認められ、かつ、炭素13同位体比が徐々に減少する傾向が認められました。これは有機物の分解に起因するCO₂の供給が存在することを示唆しています。すなわち比較的涵養域に近い領域においても地下水水質には微生物活動の影響が関わっている可能性が示されました。地下水中の微生物数を調べてみると、10³オーダー/ml程度と数は少ないのですが、全ての地点で生きているものが確認されました。現在では、地下水の有機酸分析なども行っており、水質形成メカニズムとの関係について検討中です。

次に微生物生態学的視点の解析結果について述べます。深層自噴地下水を用いた微生物採取法、微生物研究については、先行研究事例は極めて少ないため、まずは採取法の有効性を確認する必要があります。そのため、上記の水質調査を行った後、そのデータを基に4地点(地点0, 43, 52, 67)を選定して、地下水中の微生物細胞を回収しました。今回解析に用いた遺伝子である、16SリボソームRNAはタンパク質を合成するために必須の生体分子です。そのため、生物分野では、この16SリボソームRNAの遺伝子配列を微生物の同定に用いており、塩基配列が97%以上同じ微生物を同種と見なしています。

今回の解析では地下水にて優占する事が知られる微生物を対象に遺伝子解析を行いました。図1の円グラフは、4地点から採集した地下水中の微生物が持つ16SリボソームRNA配列を微生物の中で最も高次の分類レベルである、門でグループ分けした結果です。このよ

うに、数kmレベルで近接し、かつ水質が類似した地下水環境であっても、各地点で優占する微生物が門レベルで異なり、その生態にはバリエーションがあることが分かりました。

特筆すべきは、微生物群集構造解析の結果(図1右)です。今回の調査によって、これまでに知られている微生物と塩基配列の相同性が90%未満の、未知の微生物(Spirochaetes)が地点52にて優占していることが分かりました。この未知の微生物に近縁なもの(相同性99%)が唯一検出されたのが岐阜県東濃に存在するウラン鉱山で、鉱道の掘削孔から厳密に品質管理して揚水した地下水に含まれていました。この結果は、深層自噴地下水が高品質な地下微生物試料である事を意味しています。また東濃鉱山の未知微生物の塩基配列は、君津市の深層自噴地下水に含まれる未知微生物と種レベルで相同(>99%)ですが、残りの1%で著しく異なります。これは人間で言えば人種の違いに相当する違いであり、地理的違いに基づく遺伝的な隔離がある可能性が示されました。

しかし今、我々の頭を悩ませているのが、まさにこの遺伝子の類似性と空間分布の関係なのです。実はこの未知の微生物と遺伝子的に全く同じ微生物が、距離の離れた地点43においても検出されたのです。この結果は何を意味するのでしょうか? 遺伝子解析のみを考えると、地点52と地点43にて地下水を介した微生物の遺伝的交流がある可能性が高いと判断されます。しかし、それならば両者の中間地点である地点67や、近傍の地点0にも遺伝的に同じ微生物が検出されても良いはずですが、また、地点43と地点52で遺伝的交流があると考えられることについては、地下水が西から東へ流動しているならば十分ありえることですが、その一方で地形的特徴や炭素14同位体比等の分布を見ると、地下水は南から北へ流動しているように見えます。これらの矛盾については今後、さらなる調査を行うことによって解明していく予定です。

最後になりますが、16SリボソームRNAが有する変異の分子時計としての可能性については、上記の4地点の結果(東西方向の分布)からははっきりとした傾向は見えてきませんでした。そのため、現在は南北方向の分布を調査し、解析をおこなっています。本研究で得られた結果には謎が多く、結果を完全に解析するためには今しばらくの時間が必要です。今後もさらなる調査、解析を行い、地球化学、水文学、微生物学を融合させた総合的な研究を進展させていきたいと考えています。

参考文献

Machida, I., Suzuki, Y., and Takeuchi, M., (2008) The chemical evolution of groundwater with ¹⁴C dating in recharge zone, IAHS Publication, printing

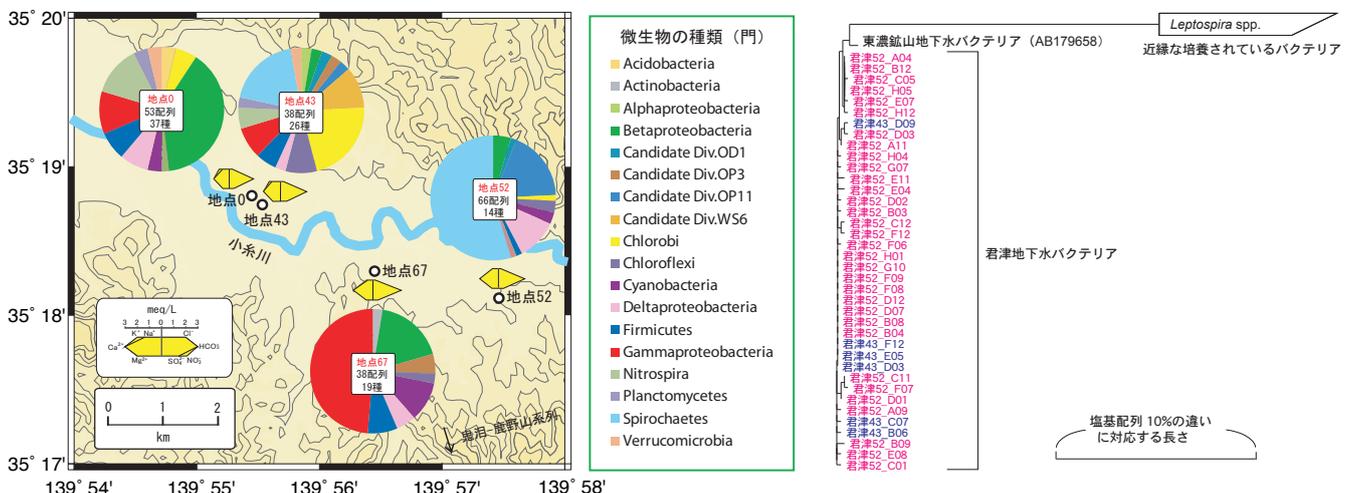


図1 地下水中の微生物種と水質のシェティフダイヤグラム表示(左)と得られた微生物種間関係(右)。右の系統樹において、塩基配列の違いは横方向の距離に比例している。右下のスケールが塩基配列10%の違いを示す長さである。地点52にて得られた微生物とLeptospira spp.の間には約85%の違いがある。

土木建造物の品質管理用核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

土木分野においては、コンクリートなどの水を含む土木建造物の品質管理を現場で迅速に非破壊で行える計測技術が求められています。たとえば、地下水を含む多孔質なトンネル壁（図1）や雨にぬれた道路の体積含水率の計測、打設したコンクリート中でおきている強度発現の鍵をにぎるセメント鉱物の水和反応のモニタリング、というニーズです。私たち物理探査研究グループでは、この現場における品質管理のニーズに応えるため、水の定量計測に定評のあるプロトン核磁気共鳴の原理を応用した物理探査装置のプロトタイプを開発しました。それが、表題の核磁気共鳴表面スキャナーです。この装置は、計測対象物中の水分子の水素原子の核スピンの緩和過程を計測することで水の量や分子運動特性を推定するもので、原位置非破壊計測の分野に核磁気共鳴という新しいツールを提供しようという意気込みがあります。ここでは、完成したプロトタイプの紹介と、それを用いておこなったテスト試料の室内計測実験のレポートをします。

図2が、開発した核磁気共鳴表面スキャナーのプロトタイプです。センサー部分と分光器本体を同軸ケーブルでつないだ状態で使用します。センサー部分のズームをモード化したものが図3です。センサー部分は、ネオジム磁石（直径約30cm高さ約9cmの円柱型で約40kg）と高周波コイルからなります。コイルの上に置かれた試料中の水分子は、磁石磁場によって核磁化が発現しており、それに共鳴周波数に相当する4.1MHzの高周波磁場をコイルから与えて磁化ベクトルを歳差運動させ、同じコイルでその運動の時間変化（横緩和過程）をファラデーの電磁誘導の法則を利用して検知します。上述の「水の定量」「原位置」「迅速」「非破壊」というニーズのうち、技術的に一番きつのが「非破壊」です。通常の核磁気共鳴分光装置は、試料を切断・整形してたとえば直径数mmのガラス管に封入して計測します。しかし、これでは、巨大な土木建造物を非破壊で計測することができません。そこで、非破壊で試料を計測できるよう、センサー部分に片側開放型という特殊な構造を採用しました。それは、図3のように磁石とコイルを試料から遠ざける構造であり、通常の核磁気共鳴装置と比べて静磁場と高周波磁場は著しく弱く不均一になり、緩和波形の信号・雑音比が悪くなるという技術的困難が発生します。それをコイルと磁石のデザインや高周波パルスの工夫で乗り切ることが装置開発の中心になりました。そのおかげで、試料のサイズに制限なく、非破壊で試料表面から数mm～数cm奥まで（探査深度はコイルの形で調整可）の水由来プロトンの横緩和過程をほぼリアルタイムで原位置定量計測できるスペックを達成しました。

図2の装置で計測したデータの例を紹介します。寒冷地における含水コンクリートの凍結・融解現象では、凍結時の水の体積膨張が

もたらす亀裂進展が建造物の安全性を脅かします。現場でのコンクリート壁の凍結状態の非破壊検査への応用を念頭において、凍結した含水モルタル試料が融解する過程をモニタリングしました。多孔質なモルタル試料（普通ポルトランドセメントに細骨材を混ぜたもの、有効空隙率17 vol.%）を水に浸したあと-20℃の冷凍庫で凍結させ、図3の要領でコイル上に室温で放置し、空隙の氷が水に変化する様子を PAPS-CPMG というパルス系列で時間をおいて5回計測しました。融解にともなう横緩和波形（指数関数的減衰）の時間変化を図4にしめします。1つの波形データの取得に要する時間は、4分でした。核磁気共鳴は、分子の熱運動によるスピン緩和過程を計測する分光法であり、熱運動能力が低い固体の水からのシグナルは、減衰の定数数が液体の水のそれに比べて桁違いに短いので、この装置では検出できません。したがって、得られた図4の緩和波形は、図3の感度領域にある液体状の水分子のシグナルのみであり、その緩和波形の振幅（時刻ゼロに挿入した信号値）は液体の水の量に比例します。ご覧のように、多少のノイズはありますが、氷の融解にともなって水由来の信号強度が時間とともに増加する様子をはっきり確認できます。ちなみに、完全に融解した状態（84分後）の波形の振幅から推定した体積含水率（14 vol.%）は、有効空隙率（17 vol.%）とほぼ一致します。また、打設したコンクリート中でおきているセメント鉱物の水和反応の原位置モニタリングを念頭において、図2の装置によるセメントペーストの硬化過程のモニタリングを行い、セメント鉱物の水和反応の進行と水分子の消費を横緩和波形の振幅低下と減衰定数数の減少としてモニタリングすることに成功しました（中島・宇津澤, 2008）。このように、開発したプロトタイプは、室内実験レベルではありますが、土木現場での品質管理に使えるポテンシャルがあることをしめせました。

片側開放型の核磁気共鳴装置は、1980年代に強力な希土類磁石が開発されてこそ実用化された、目新しい物理探査技術です。そのため、土木工学・地盤工学の分野でも知名度が低く、私たちのグループ以外では、国内で開発を行っている組織は非常に限られています。しかし、核磁気共鳴表面スキャナーは非破壊・原位置での計測を可能にし、しかも計測対象は水分子に限定されず、水素を含む液体・ゲル状の高分子も計測可能です。その意味で開けた将来性があり、今後とも、装置開発・実用化を企業との連携を視野に入れて続けていきたいと思っています。

参考情報：

中島・宇津澤（2008）水土の知（農業農村工学会誌）76,795-799.

Utsuzawa et al. (2008) Abstract of MRPM9.

宮木・中島（2008）特願2008-226606.

共同研究者（AIST 外来研究員）：宇津澤 慎、宮木 智



図1 トンネル壁のNMRスキャン作業風景のイメージ



図2 開発した核磁気共鳴表面スキャナーのプロトタイプ

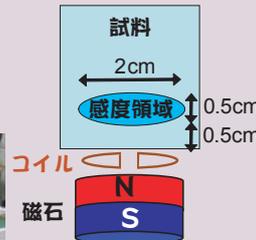


図3 図2のセンサー部分の模式図

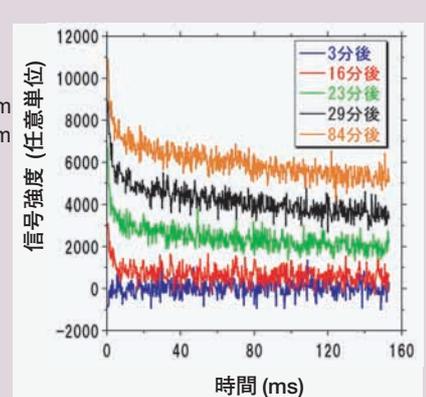


図4 融解中の凍結モルタル試料の緩和波形。枠内の時刻は凍結試料を室温にさらしてから経過時間

我々の足下の地下はわずか数センチ下でさえも直接見ることができません。X線などを使った医療用のコンピュータ・トモグラフィ技術は、地下と同じように直接中を見ることができない人体の中を自由に可視化することができ、現在では、医療分野で欠かすことのできない技術として大活躍しています。弾性波や電気・電磁気を使って地下を可視化するジオトモグラフィ技術でも、同様に地下を瞬時に可視化して地質構造やその地下の状態を知ることができれば、地下の探査や防災分野、工事現場での品質管理など様々な分野で応用することができると思います。比抵抗トモグラフィ技術とは、地表面やボーリング孔にたくさんの電極を配置して、電流電極と電位電極を切り替えることにより地下の様子を解析して比抵抗（導電率の逆数です）の分布を2次元・3次的に可視化する方法です。地盤や岩盤の比抵抗は、砂や岩石の間隙の大きさやそこに含まれる水の量、その水の塩分濃度と密接な関係があり、地質の構造を調べたり地下の水分量の増大などをモニタリングしたりすることが可能です。ところが、地下を詳細に調べたい場合、その配置した電極の膨大な組み合わせを切り替えて行かなければなりません。また、地面に電流を流す場合、接地抵抗という邪魔者のため、電流をスムーズに流すためには送信電極に高電圧をかけなければなりません。さらに、電磁誘導というノイズを発生させる要因のため、高い周波数の信号を使うことも困難です。そのため、高電圧がかかる送信機を高速で切り替えるのが技術的に難しく、高速化が難しい状況が続いていました。これらの問題を解決し高速にトモグラフィデータを取得できるように、本研究では送信機の切り替えを大幅に減らす同時送信・同時受信という技術開発を行いました。同時送信・同時受信では、複数の送信電極から、周波数の異なる送信信号を同時に送信し、その受信信号を検波により分離します（図1）。複数のラジオ送信局からでた周波数の異なる電波を、ラジオをたくさん用意してそれぞれのチャンネルで聞いているようなイメージを思い浮かべてください。ただし、受信電極で検出された各送信電極からの信号には、受信電極から近い送信電極からのものから遠いものまで様々な送信信号が混合されており、最大信号の大きさは最小信号の1000倍に達

する場合があります。そのため、本研究では信号分離能力の極めて高い同期検波により信号分離を行っています。図2は、本研究で開発したマルチ送信比抵抗探査装置とその主な仕様ですが、新しい試作装置では、毎分1200点のデータを取得することができ、ほんの10分程度で1万点を超える本格的な3次元計測データを取得することができます。また、図3のような測定支援ソフトウェアを使うことによって簡易にその場で、逆解析を含む可視化表示を行えます。図4は、本研究所内の敷地で他の市販の測定機との比較を行った例ですが、市販の測定機に比べて60倍の速度で、遜色ないデータの取得が可能であることが分かりました。今後、本システムの実用化、製品化に向けて努力したいと思います。

謝辞

本研究開発は、産総研ハイテクものづくりプロジェクト「マルチウエーブ高速3次元比抵抗トモグラフィ装置の開発」で実施させていただきました。

参考文献

- 1) Development of multi-transmission high-speed resistivity survey system : Motoharu JINGUUI, Toshihiro UCHIDA and Yoshiaki KARINO, SEG 77th Annual International Meeting, Expanded Abstracts, Society of Exploration Geophysicists, 2007.

| | 市販機 (国内で一般的に使われている測定機) | 試作機 (AISTプロトタイプ機) |
|----------|------------------------|-------------------|
| 送受信チャンネル | 電流1 電位4 | 電流8 電位8 |
| 送信出力 | 800Vpp | 720Vpp (8CH) |
| 出力コントロール | 電流制御 定電流制御 | インピーダンス制御 |
| 対応電極配置 | 2極法 4極法 | 2極法 4極法 (3次元のみ) |
| スキャナー装置 | 内蔵 (32CH) 外部 64CH | 256CH 32ブロック選択 |
| 計測速度 | 毎分20点 | 毎分1200点 |

図2

速度60倍、従来機が1時間かかって測定できたデータを1分で取得できる。

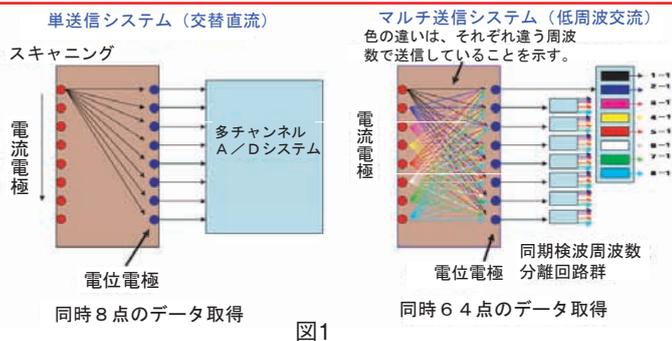


図1

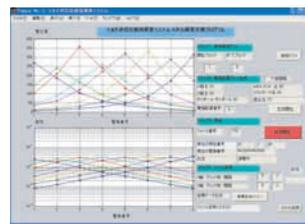


図3

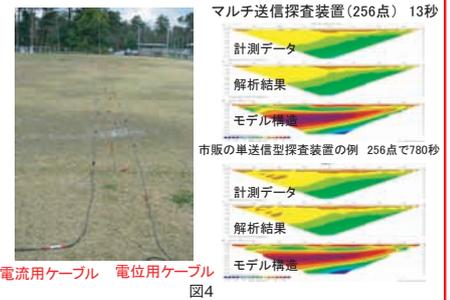


図4

第8回アジア地熱シンポジウムのご案内

第8回アジア地熱シンポジウムを、2008年12月、ベトナムのハノイで開催します。アジア圏内での情報交換を深め、地熱開発の妨げとなっている諸問題解決につなげるのが目的です。またエキスカーションでは、地熱利用開発地のほか、世界自然遺産である風光明媚なハロン湾を訪れます。参加は無料ですので (エキスカーションは実費徴収)、皆様ふるってご参加ください。

■概要

テーマ: Geothermal Energy: Emerging issues and its role in energy security and environmental protection for Asia (地熱エネルギー: アジアのエネルギーセキュリティと環境保護における役割)

日程: 2008年12月9日 (火) ~ 12日 (金)、うち後半2日はエキスカーション

場所: Vietnam Institute of Geosciences and Mineral Resources (VIGMR)

内容: 開会講演、テクニカルセッション (招待講演・一般講演)、エキスカーション

第8回アジア地熱シンポジウム実行委員会

主催: (独) 産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門, VIGMR, Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources (KIGAM)

協賛: Asian Institute of Technology, Vietnam National University, International Geothermal Association, Coordinating Committee for Geosciences Program in East and Southeast Asia, and The international Year of the Planet Earth, Japan

■参加および発表申込み

※発表および参加申込期限は既に過ぎていますが (2008年9月15日)、若干名の追加参加は可能ですので、参加ご希望の方はお早めに、下記までお問合せ下さい。

論文提出期限: 2008年10月15日 (発表申込者に、論文フォーマットを送ります)

お問合せ・連絡先: asia8@m.aist.go.jp
URL: <http://unit.aist.go.jp/georesenv/event/asia8.html>

写真は、エキスカーションで訪問予定のハロン湾 (Halong Bay)。大小3000の島々から成る景勝地で、世界自然遺産に指定されている。



一般公開報告

7月26日(土)産総研つくばセンターの一般公開が行われ、5,000人以上の参加者がありました。地圏化学研究グループが、「北海道の砂を観察しよう」、「知っているようで知らない身近な物質：粘土と天然ガス」という展示、デモを行いました。



RE2008報告

再生可能エネルギー・地熱フォーラム:生かそう日本の熱い大地

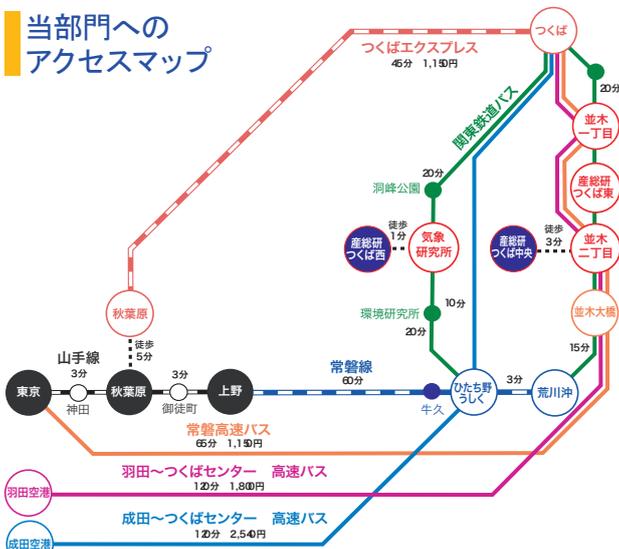
8月1日の午後、再生可能エネルギー・地熱フォーラムが開催されました。このフォーラムは、今年で第3回となる、新エネルギー世界展示会(RENEWABLE ENERGY 2008 TOKYO FAIR、7月30日～8月1日:東京ビッグサイト)国際フォーラムの一部で、部門からも多く参加・協力しました。今年、「生かそう日本の熱い大地:地球の熱エネルギーとその利用技術の広がり」という標題で、講演会とパネルディスカッションが行われました。新エネルギー世界展示会の延べ参加者数は44,547、地熱フォーラムへの登録参加者は96名でした。



行事カレンダー

| | | |
|------------|--|--------------------------|
| 10/6-8 | Acoustics Week in Canada http://www.caa-aca.ca/conferences/Vancouver2008 | Vancouver (Canada) |
| 10/10 | 静岡大学-産総研-CCOPコロキウム:スモールスケールマイニングに関する国際動向とわが国の今後の対応 | 東京・静岡大学 東京事務所 |
| 10/10-14 | 日本火山学会 2008年秋季大会 http://www.soc.nii.ac.jp/kazan/J/ | 盛岡 岩手大学 |
| 10/21-23 | 13th International Conference on Low Frequency Noise and Vibration and its Control http://www.lowfrequency2008.org/ | 東京・芝パークホテル |
| 10/21-23 | 物理探査学会創立60周年記念シンポジウム http://www.segj.org | 東京・タワーホール船堀 |
| 10/26-29 | INTER-NOISE 2008 http://www.internoise2008.org/homePage.htm | Shanghai (China) 東京・ |
| 10/28 | 石油技術協会平成20年度秋季講演会 | オリンピック記念青少年総合センター |
| 10/30-11/1 | 日本地熱学会平成20年学術講演会 http://www.soc.nii.ac.jp/grsj/index.htm | 金沢・金沢大学 |
| 11/7 | 第11回ヨウ素学会シンポジウム http://fui-iodine.org/ | 千葉・千葉大学 |
| 11/16-20 | 9th International Conference on Greenhouse Gas Technologies http://mit.edu/ghgt9/index.html | Washington, D.C. (U.S.A) |
| 11/16-21 | 第7回国際地下圏微生物シンポジウム http://www.issm2008.com/ | 静岡・静岡グランシップ |
| 11/20 | 第7回地圏資源環境研究部門成果報告会 http://unit.aist.go.jp/georesenv/event/houkokukai08.html | 東京・秋葉原コンベンションホール |
| 12/9-12 | The 8th Asian Geothermal Symposium (第8回アジア地熱シンポジウム) http://unit.aist.go.jp/georesenv/event/asia8.html | Hanoi (Vietnam) |

当部門へのアクセスマップ



つくば中央第7事業所への交通手段

つくばエクスプレスをご利用の場合: 終点つくば駅でつくばエクスプレス下車、関東鉄道荒川沖方面路線バスに乗り、並木二丁目下車、徒歩7分。
産総研の無料マイクロバス(つくば駅と産総研間を運行)情報
http://www.aist.go.jp/aist_j/guidemap/tsukuba/tsukuba_map_main.html

当部門研究施設は第7事業所及び西事業所に配置しております。

- | | |
|----------------------------|------------------|
| 地下水RG (7) | 地質特性RG (7) |
| 地圏環境評価RG (西) | 地下環境機能RG (7) |
| CO ₂ 地中貯留RG (7) | |
| 地圏環境システムRG (西) | |
| 物理探査RG (7) | つくば中央第七事業所 |
| 地圏微生物RG (7) | 〒305-8567 |
| 地圏化学RG (7) | 茨城県つくば市東1-1-1 |
| 燃料資源地質RG (7) | tel 029-861-3633 |
| 地熱資源RG (7) | つくば西事業所 |
| 鉱物資源RG (7) | 〒305-8569 |
| | 茨城県つくば市小野川16-1 |

JR常磐線荒川沖駅よりバスをご利用の場合: つくばセンターまたは筑波大学中央行き関東鉄道路線バスに乗り、並木二丁目下車、徒歩7分。

東京駅八重洲南口より高速バスつくば線をご利用の場合: つくばセンター行きに乗り、並木二丁目下車、徒歩7分。

- 上記以外的高速バス路線
- つくばセンター⇄羽田空港
 - つくばセンター⇄新東京国際空港(成田)

GREENニュース No.22 Oct. 2008

2008年10月1日発行
通巻第22号・年4回発行
本誌記事写真等の無断転載を禁じます。



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

発行: 独立行政法人産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 研究部門長 矢野 雄策
編集: 地圏資源環境研究部門 副研究部門長(広報委員会委員長) 棚橋 学
〒305-8567 つくば市東 1-1-1(第七事業所) TEL 029-861-3633
〒305-8569 つくば市小野川 16-1(西事業所)
ホームページ <http://unit.aist.go.jp/georesenv/>
ご意見、ご感想をお待ちしております。
上記サイト「お問い合わせ」のページから電子メールを送信できます。



AIST03-E00019-22