

# Green Report

## 2004

地圏資源環境研究部門成果報告

〔特集〕 地圏環境の監視・保全・再生技術の現状と課題  
—持続可能な循環型社会を目指して—

24 September 2004

写真：黄河水源付近、  
中国青海省。

### 表紙解説

当研究部門では、中国の母なる川、黄河の水文環境の研究を行っています。表紙の写真は青海省花石峡北東方の標高約3950m付近の景色で、黄河の支流が段丘の間を流れている様を写しています。黄河といえば泥土で濁った河川というイメージがありますが、上流域の湧水はまったく清く透明なものです。河川と流域の地下水の動きは地質環境と深く関わっています。人類にとって最も重要な水資源の確保と水資源環境を守るためにも、地質の調査や研究が必要です。詳しくは本文「中国黄河流域の水文環境」(石井武政)をお読みください。

## ごあいさつ

地圏資源環境研究部門長

Director of the Institute for Geo-Resources and Environment, AIST

松永 烈

Dr. Isao Matsunaga



地圏資源環境研究部門の成果報告会は、今回が第3回目になります。昨年の笹川記念会館での開催に引き続いて、今回も東京で開催することにしましたのは、できるだけ多くの関係者に我々の常日頃の研究活動とその成果についてご説明し、多くのご意見やご教示を頂ければと考えたからです。

報告会の形式は昨年を踏襲し、当部門の重点研究課題として整理している「資源」、「環境」、「知的基盤」の3つの課題についての説明と、ある課題分野を特集として詳しく説明することにしました。昨年の特集は「日本の天然ガス・メタンハイドレート」を取り上げましたが、本年は地圏の環境分野を対象に、「地圏環境の監視、保全、再生技術の現状と課題」を取り上げ、関連する幾つかの話題を提供するとともに、白鳥寿一氏には「土壤汚染対策技術の進展」と題したご講演をお願いいたしました。また、部門を構成する11の研究グループだけでなく、一部の研究者についても、日頃の研究成果を皆様に紹介できればと考えております。本年は、これら研究グループや個人の研究成果をより詳しく知っていただくために、ポスターセッションの時間を設けております。ご参加いただいた皆様方との交流を通して、今後より一層の研究の展開を図って行ければと思います。

さて、部門の成果報告会も今回で3回目になることは上述したとおりですが、今年度は3年余り前に産業技術総合研究所が設立されて以来、最初の区切りとなる第1期中期計画の最終年度にもあたります。既に、今年初めから次期5年間の中期計画に向けて、研究組織の見直し、再編が行われ、現在は研究戦略作りに向けての作業が進められている所です。当部門が含まれる地質・海洋の分野についても、本年5月には「地球科学情報」、「地圏資源環境」、「海洋資源環境」の3つの研究部門が、「地質情報」と「地圏資源環境」の2つに再編されました。幸い、当部門についてはこれまで通りの体制で、「エネルギー・資源の安定供給」と「環境と調和した地圏開発利用」を2つの柱とした研究を進めることになっております。一方で、上述したように、産業技術総合研究所では、ライフサイエンス、情報通信、ナノテク・材料・製造、環境・エネルギー、計量標準と、我々の属する地質・海洋の6つの研究分野と、産総研全体の研究戦略作りが進められてお

り、「エネルギー・資源の安定供給」や「環境と調和した地圏開発利用」に係わる研究や技術開発の戦略が問われている所です。

我々の対象とする地圏資源や地圏環境の分野は、ライフサイエンスやナノテクなどのいわゆる先端技術分野に比べると非常に地味な分野といえますが、一方で我々の生活や産業活動を支える重要な分野でもあります。今後、資源のリサイクルがより進められるにしても、依然新たな資源供給は必要です。さらに、リサイクルの不可能なエネルギー資源については、今世紀前半には石油資源の供給が滞ることが予測されています。

このような中、我々の研究についての成果（アウトプット）が重要なことはいうまでもありませんが、それらをどのように社会の中で活用できるかというアウトカムが求められています。そのためには、我々の研究成果を外部の方々に理解していただくことが第一歩となりますが、今回の成果報告会はその良い機会と考えております。皆様方からの積極的なご高配を重ねてお願い申し上げます。

## 目 次

頁

ごあいさつ

松永 烈

目 次

### 第1部：地圏環境の監視、保全、再生技術の現状と課題

#### －持続可能な循環型社会を目指して－

地圏環境評価・管理手法の開発

駒井 武

招待講演：土壤汚染対策技術の進展

白鳥 寿一

中国の母なる川、黄河の水文環境

石井 武政

帶水層への CO<sub>2</sub> 貯留について

当舎 利行

物理探査技術の環境調査への適用

内田 利弘

### 第2部：重点研究課題

天然資源の安定供給の確保

山口 勉

地圏の利用及び地圏環境の保全

矢野 雄策

塩淡境界面形状把握調査の紹介

楠瀬 勤一郎

地圏資源環境に関する知的基盤の研究

奥田 義久

### 第3部：グループおよび個人の研究紹介

地熱資源研究グループの紹介

村岡 洋文

燃料資源地質研究グループの紹介

棚橋 学

資源有機地化学研究グループの紹介

坂田 将

鉱物資源研究グループの紹介

渡辺 寧

物理探査研究グループの紹介

内田 利弘

開発安全工学研究グループの紹介

青木 一男

地下水資源環境研究グループの紹介

石井 武政

貯留層ダイナミクス研究グループの紹介

石戸 恒雄

地圏資源工学研究グループの紹介

當舎 利行

地圏環境評価研究グループの紹介

駒井 武

地質バリア研究グループの紹介

楠瀬 勤一郎

GIS を用いた音環境管理及び騒音伝搬予測における気象データの取り扱い

今泉 博之・高橋 保盛

地震波探査のための室内モデル実験：レーザードップラー振動計による弾性波伝播実験

西澤 修

火山防災と地熱開発の協力—磐梯山 1888 年噴火（水蒸気爆発）災害から学ぶ

茂野 博

電気分解法を用いたスケール捕集試験

柳澤 教雄・松村 高宏

沿岸地域帶水層における塩水浸入領域調査への電磁探査法の適用

光畠 裕司・内田 利弘・丸井 敦尚・楠瀬 勤一郎

パーカッションドリル振動の広帯域化・効率的な SWD 震源開発を目指して-

横田 俊之



## 第1部

# 地圏環境の監視、保全、再生技術の現状と課題 －持続可能な循環型社会を目指して－



## 地図環境評価・管理手法の開発

### Development of Site Assessment Tool for Soil Contamination

地図環境評価研究グループ長： 駒井 武  
Geo-analysis Research Group: Takeshi Komai  
Phone: 029-861-8294, e-mail: koma@ni.aist.go.jp

#### 1. はじめに

最近、各種の産業や人間活動を原因とする土壤・地下水汚染の件数が増加している。また、平成15年2月の土壤汚染防止法の施行に伴い、事業所や市街地における環境リスク管理が重要な課題となっている。土壤・地下水汚染の環境リスクを適切に管理するためには、汚染サイト調査やモニタリングを実施した後に、それらのデータを用いて汚染状態の程度、規模、拡がり（現状把握、将来予測を含めて）などの技術的な評価を行うことが重要である。これに加えて、汚染調査の結果や有害化学物質の情報をもとに、人や生態系に対する影響に関して定量的に評価することも必要となる。その手法のひとつとして、化学物質による環境影響を、その発生確率と影響度の関連で定量化する「リスク評価」の考え方が採用されている。産業技術総合研究所では、このような地図環境問題を科学的、合理的に評価・管理するための方法論とモデルの開発を実施している。ここでは、土壤汚染評価用に開発されたスクリーニングツールとその適用事例を中心に紹介する。

#### 2. 土壤汚染のリスク評価・管理

土壤汚染問題に対するリスク評価のアプローチを図1に示す。汚染評価には、リスクの特定、リスクの分析、リスクの定量化、およびリスクの処理などの各プロセスがあり、曝露に基づくリスクの解析に関する具体的な検討が行われる。一連のプロセスでは、全体のシステム（例えば、汚染土壤を含む土地とその周辺環境）の中で、リスクを生じる危険性を認知し、特定するとともに、その結果として生じる有害な影響を確率分析や結果分析により推定するといった手法がとられる。

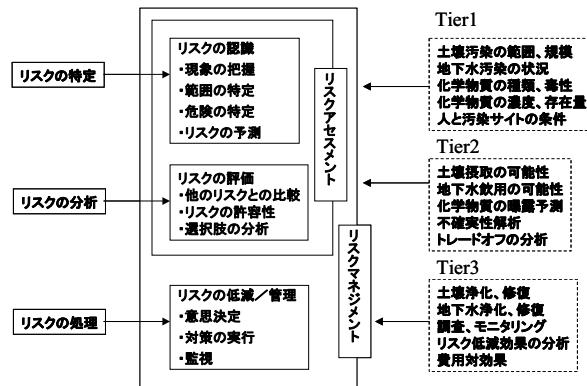


図1 土壤汚染のリスク評価とリスク管理

さらに、リスク評価の結果は、リスク削減の定量的な評価や浄化対策の費用対効果、浄化活動の優先順位などに有効に活用される。

汚染評価の判断基準としては、a) 環境基準や浄化目標値などによる一律的な評価、b) 曝露・リスクの解析にもとづくサイト毎の評価、の2つに大別できる。わが国の環境行政では、主にa)の一律的な評価が行われており、土壤環境基準および地下水環境基準などの基準値が設定されている。一方、工場、事業所といった特定の場所における自主管理を目的とした評価では、a)に加えて、b) サイト毎の諸特性（地質、水理、水利用、土地利用、生活形態など）に応じた汚染評価、すなわちサイトアセスメントを実施することが重要である。この場合、定められた基準値などによる一律の評価は行わず、環境マネジメントシステムの一貫として汚染調査・評価が実施される。個別の事業所において環境施策によるリスク低減の程度を明確化し、環境マネジメントの効果を最適化するためには、サイトアセスメントによるリスク管理の取り組みがきわめて重要といえる。

今回開発したスクリーニングツールは主に上記の b) の目的に使用されるが、具体的には次のような場合や状況において有効に活用できる。

- 1) 操業中の事業所、工場などの汚染評価
- 2) サイトアセスメント（ISO 環境マネジメントシステムを想定した評価）
- 3) 法制度で規定されない汚染物質の評価（油分、新規化学物質、複合汚染など）
- 4) 曝露とリスクの科学的な評価（真のリスクの把握、不確実性解析）
- 5) 汚染浄化によるリスク低減効果の評価

### 3. 曝露・リスク評価の方法論

工場、事業所内の土壤・地下水汚染による影響やリスクレベル、その周辺への環境影響などを明らかにするためには、土地の利用形態、地質条件、水理特性、土壤や地下水の特性といったサイト特有のデータやパラメータを用いた評価を行うことが必要である。このような汚染評価のプロセスをサイトアセスメントと呼んでいる。米国では、RBCA (Risk Based Corrective Action) の考え方方が広く普及しており、個々のサイトのリスクレベルを明確にするための汚染評価が実施され、それに基づく浄化目標の設定がなされている。

一方、平均的な濃度レベルなどの限られた情報だけで土壤汚染のリスク評価を行おうとする場合には、一般的な環境条件を想定した包括的アセスメントによるスクリーニングが行われる。米国、ドイツ、オランダ、英国などの欧米諸国では、それぞれの国で独自に開発された曝露評価モデルを使用して、比較的単純な曝露条件や典型的な曝露ファクターによる包括的アセスメントが実施されている。

地図資源環境研究部門では、諸外国の状況とわが国の独自性を十分に検討した上で、土壤汚染のスクリーニングを目的とした包括的アセスメント手法を開発している。この評価手法は、一般的な環境条件を想定して、土壤汚染の健康影響を包括的に評価するために使用される。以下、わが国における土壤特性やバックグラウンドレベル、非汚染地域における居住条件、井戸水の飲用などを付加したスクリーニングツールの概要と使用方法について紹介したい。

### 4. スクリーニングツールの開発

本評価において対象とする化学物質は、土壤・地下水環境基準の対象物質から農薬に関する項目を除いたもので、鉛、カドミウムなどの重金属類、ベンゼン、トリクロロエチレンなどの有機化合物およびフッ素、ほう素などの無機化合物である。スクリーニングツールの基本部分である評価システムでは、一般的な環境条件や曝露のシナリオを設定して、曝露量の分布やリスクを算出することができる。曝露のシナリオとしては、図2に示すような数値モデルと曝露経路を想定している。

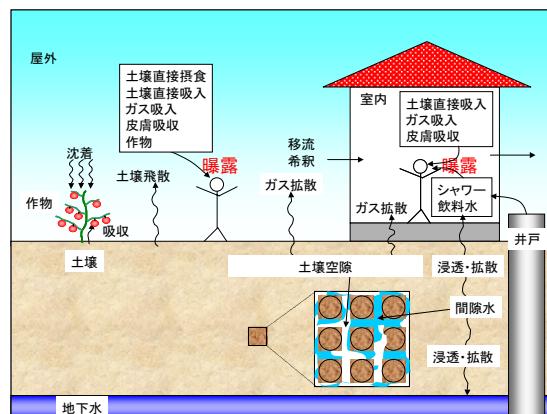


図2 評価システムにおける曝露の考え方

土壤に存在する化学物質は地下水、大気および作物・飲料水を経て、最終的に経口、吸入および皮膚吸収の3つの経路で人に取り込まれる。図3に本モデルにおける計算のフローを示す。はじめに土壤における固相、液相（間隙水）および気相（土壤空隙）の化学容量の計算を行い、初期条件として全土壤中の化学物質濃度を入力することにより、土壤における各相の濃度を算出する。この計算では、土壤中の有機炭素量、pH、溶解度および吸着などのファクターを用い、個々の化学物質や土壤特性により異なった値が得られる。

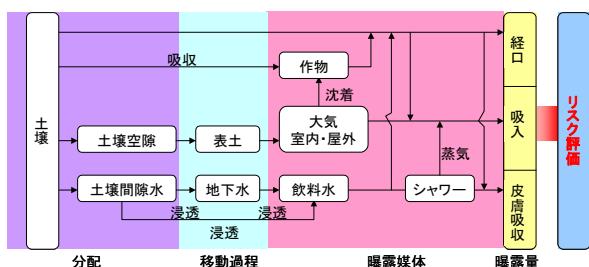


図3 評価システムにおける曝露経路と計算フロー

次に、土壤の各相から表土や地下水への移動過程の計算を行い、各種曝露媒体中（大気、作物、飲料水等）の化学物質濃度が決定され、さらに曝露シナリオに基づいて各媒体から人への曝露量が算出される。

評価システムの概要と入力データなどを図4に示す。これは、Windowsのパソコン上で動作可能な簡便なもので、入力画面や曝露経路などをビジュアルな表示としている。また、各種のパラメータとしては一般的なデフォルト値を準備し、ユーザ入力項目はできるだけ少なくするなどの工夫をしている。まず、評価システムの入力画面に従つて、土壤、飲料水（地下水）、食物摂取などの基本データを入力する。次に、化学物質の種類と物質濃度、汚染の範囲（広がり、深度）、地下水飲用の有無などを入力する。さらに、曝露に関する情報として、人の特性（体重、水と空気の摂取量）、居住環境や居住条件などを必要とするが、日本人の一般的なデフォルト値も用意されている。評価の結果として、大人、子供および生涯にわたる平均的な暴露量が解析され、毒性値などを用いてリスクに換算される。

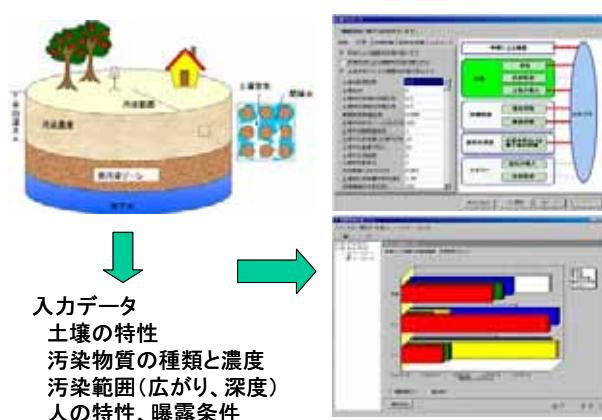


図4 評価システムの概要と計算例

図4には、鉛によって汚染された土壤の評価事例を示す。このケースは、300mg/kgの土壤含有量、オンサイト（汚染土壤の上に居住）を想定しているが、子供の期間における曝露量が一日耐用摂取量を越えるため、曝露条件によっては健康影響が懸念される。また、ヒ素により汚染された土壤および地下水では、0.05mg/L以上の土壤溶出量を想定する場合、生涯を通じての発ガンリスクが許容

できるリスクレベルを超過する可能性がある、などの評価結果が得られている。この他、わが国の土壤汚染や地下水汚染の多くの事例について評価を行っている段階であり、解析データの集積により汎用的なスクリーニングツールとして公開・普及をはかっていく予定である。

## 5. サイトアセスメントツールの概要

上記のスクリーニングツールによりリスクが大きいと判断された場合には、サイト特有のデータやパラメータを用いた汚染評価を実施することが必要である。この段階で使用するのがサイトモデルである。サイトモデルでは、土壤や帶水層の諸特性をはじめ、地理的条件、地質・水理条件、気象条件などのサイトに特有のデータをもとに、曝露を評価する。したがって、有害化学物質による汚染のレベルが比較的明確である場合に、汚染サイトからの曝露影響を定量的に評価するために使用される。また、リスクを目標レベル以下にまで低減するためには、どの程度まで地下水・土壤汚染を浄化・修復すればよいか、つまり対策目標をサイトモデルにより評価することも可能である。

特定の汚染された土壤や地下水を起点として、人が受ける曝露を評価するための数値手法がいくつか提案されている。その代表的なものが、米国のASTM基準(PS-104)をベースに開発されたRBCAモデルである。このモデルの基本的な考え方は図5に示すとおりであるが、これをベースにしてわが国独自の土壤や地下水の状況を勘案したサイトアセスメントツールを開発している。

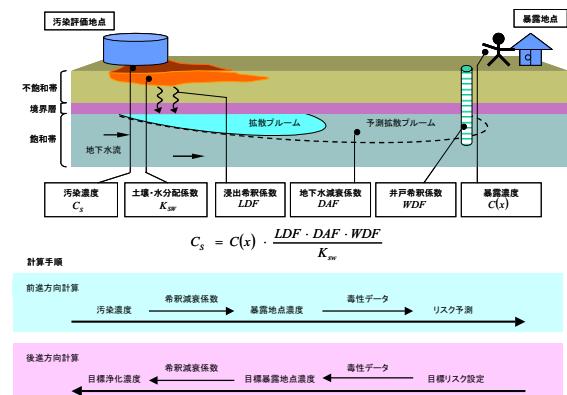


図5 サイトモデルにおける土壤・地下水汚染の拡散予測とリスク評価

サイトモデルを用いて、土壤や地下水における化学物質の空間的、時間的な移流・分散、分解などの環境動態についても考慮することができる。このような設定の下で、土壤の直接摂取、地下水を経由した摂取、大気を経由した摂取などを通じて、サイト上およびサイトから離れて居住している人が受ける曝露量が算定される。その計算結果とハザードデータを用いてリスクを評価し、目標とするリスクレベルと比較・検討する。

## 6. 詳細型アセスメントモデルの概要

陸水域や大気環境との相互作用を明確にし、浄化活動によるリスク低減を明らかにする場合には、さらに詳細なアセスメントを実施するケースもある。このような詳細型モデルには、土壤・地下水中の化学物質の移流・分散や吸着性・分解性を考慮した浸透流解析モデルと、土壤や地下水の他に大気・水域・海洋との物質移動を考慮した多媒体間解析モデルの2つのタイプがある。前者は主に汚染サイトの評価のために用いられ、後者は化学物質の広域的な影響を評価するために使用される。前述の包括的モデルやサイトモデルと比較すると、環境媒体における化学物質の時間的、空間的な分布を求めるために複雑な数値解析手法を用いること、2次元あるいは3次元的なグリッドを使用することなど、異なったモデルの構造をしている。

浸透流解析手法を基本とした詳細型モデルの考え方と構造を図6に示す。解析領域内は立体的なグリッドで3次元的に分割され、それぞれのグリッドに地質学的、水理学的な特性値（例えば、土壤の特性、浸透率など）が個別に与えられる。

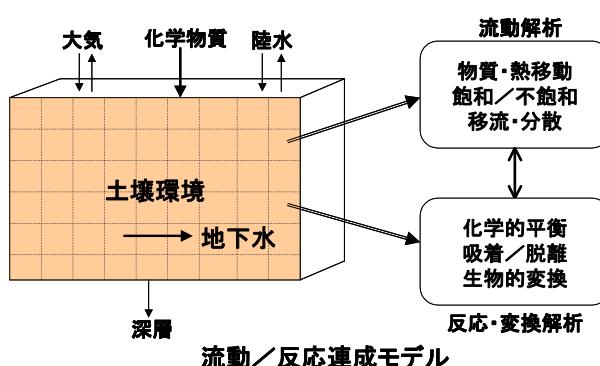


図6 詳細モデルの概要

地表からの汚染物質を含む涵養水は土壤中を浸透し、帶水層中に滞留するか、地下深部の地層あるいは再び地表面へと流動する。また、地下水やガス体に含まれる化学物質は、移流や分散をはじめ、各種の反応を伴って多孔質体内を移動する。さらに、大気や水域などの多媒体間で移流や分配平衡に基づいて物質交換が考慮される。

以上のように、当研究部門では関連の研究ユニットと連携して、図7に示すような各種のモデル開発を進めている。地質・土壤汚染問題をより現実のものとしてとらえ、科学的な調査に基づく汚染評価と、リスク評価を中心としたリスク管理の取り組みがますます重要になっている。

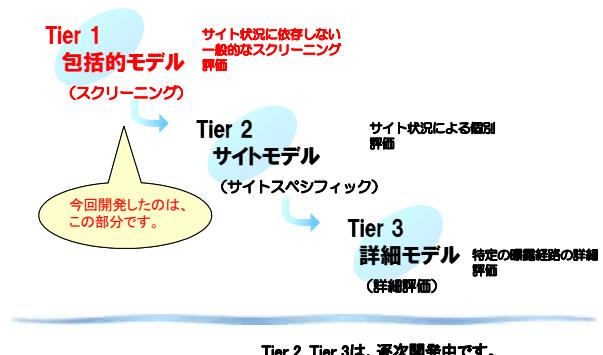


図7 地圏環境評価システムの階層構造

## 7. おわりに

土壤汚染問題を科学的、合理的に評価・管理することを目的として、リスク評価の方法論とモデルの開発を行い、土壤汚染評価用スクリーニングツールの基本部分を完成した。これらに使用する土壤特性、化学物質の特性、日本人の基本データなどについては、今後事例研究などによりさらに整備する必要がある。今回開発したスクリーニングツールは、近日中に産業技術総合研究所のホームページなどに公開する予定で、地圏環境の合理的なリスク管理に向けて広く普及したいと考えている。

### (参考文献)

1. 駒井 武:土壤汚染問題とリスクマネジメント、環境管理、38(8), (2003)

## 土壤汚染対策技術の進展

東北大学大学院 環境科学研究科

(同和鉱業(株) ジオテック事業部)

白鳥寿一

### 1. はじめに

平成15年に土壤汚染対策法が施行され、汚染土壤の処理対策も各所で実際に行われるようになってきた。有機物質による汚染では、分解が可能なため現地での対策をとる場合が多い。また、重金属は分解ができないため、掘削して外部への搬出を行い、専門の工場などで処理を行う等が一般的に行われるようになってきた。

このような、対策技術には多くのバリエーションが存在し、各汚染物質の化学的・物理的性質や汚染機構、汚染後の履歴、あるいは現地の土質状況を考慮して決定される必要があるが、各所で媒体としての土壤の特性が異なることが問題である。

最善の対策を予定どおり実行することは、現状までに得ている調査結果を考慮した上で汚染土壤の性状面から実績のある浄化事例の中から適合するものを選んでいく作業と、その選択されたものが、適用される現場の土壤において現実に実行することができるのか（処理適用性試験）という2つの観点から決定していくことが行われるべきである。しかし、現状では最善の対策を考慮するに足る周辺データの蓄積が不足していることから、充分な検討が出来ない場合も多い。

本稿では、土壤汚染対策の現状と今後考慮すべきと考えられる点について述べる。

### 2. 土壤汚染対策法のインパクトと現状

右に、環境省がHPで公表している、法施行後1年間の施行状況を示す。多くの特定施設が廃止されているが、多くの場合は工場を継続しているため、調査義務が猶予されている状況が伺える。このため、指定区域となった例は多くはない。

この他、法が施行された事によるによる世の中へのインパクトは以下のようなことがあげられる。

#### （1）土壤汚染の対象の明確化

土壤汚染対策が行われるケースとして、土壤汚染対策法にあたる、または関連すること（廃止時、形質変更時、売却時）、工場としての土壤汚染管理（4条にかからないように、将来のリスクを軽減しながら）の2点が主な対象であり、それ以外の汚染土壤は、土壤汚染対策法の直接の対象ではない。このことは対策を法に準拠して行なおうと考える人が増えた反面、同じ濃度の汚染があっても、法に触れない部分は、それが重大な汚染であっても放置してしまうのも一つの考え方とする可能性を秘めていることも事実である。

#### ■ 全国の平成15年2月15日から平成16年2月15日までの施行状況

法第3条関係	
有害物質使用特定施設の使用が廃止された件数	528件
土壤汚染状況調査の結果報告件数	62件
土壤汚染状況調査を実施中の件数	19件
都道府県知事の確認により調査猶予がされた件数	330件
上記確認の手続中の件数	65件
その他(調査を実施するか、確認の手続を行うか行政において検討中のもの等を含む。)	62件
法第4条関係	
調査命令を発出した件数(うち1件は指定区域として指定、1件は指定手続中)	3件
法第5条関係	
基準に適合しない汚染が認められ指定区域として指定した件数(法第3条:13件 法第4条:1件)	14件
指定区域解除件数	1件
法第7条関係	
措置命令発出件数	0件
法第8条関係	
措置費用請求件数	0件
法第9条関係	
指定区域内の土地の形質の変更に係る届出件数	8件
指定区域が指定された際当該指定区域内において既に実施された土地の形質の変更に係る届出件数	6件

## (2) 土壤汚染対策ビジネスへの期待

以前の報道から、社会は13兆円市場という報道に踊らされており、現況の不況下で多くの企業がこの領域に参入することを表明している。けれども市場はそれほど大きくはなく、そこに多くの企業が夢を持って飛び込んだことにより、市場は過当競争となっている。例えば調査では、既に指定調査機関だけでも、1400数社、赤字覚悟の低価格競争に堪えられず、早々と撤退する社も少なくはない。

## (3) 法の規定と、ビジネスとのギャップ

法では人への健康被害の防止が目的である。ところがビジネスは不動産との関係が最も多い。不動産物件から汚染物質・汚染土をなくすことが、最も大きなビジネスとなる。土壤汚染が一つの環境問題としてとらえられたことにより社会の関心が高まる中で、ビジネスとのギャップは適正処理や正しいリスクコミュニケーション、浄化技術の進展を少し違った方向に向けてしまっているかもしれない。

## 3. 今後の課題

### (1) システム面の整備

汚染の拡散を防ぐ意味でいえば、法で規定された部分の汚染土壤が認識されずに外部に拡散すること、外部搬出汚染土壤が不適正に処理・処分されることがあげられる。「目に見えなければそれでいい」が不法投棄、ひいては現在の土壤汚染問題のうちの大きな部分を占めていることは否定できないことを考えると、汚染可能性チェックを適正に行って顕在化することが重要である。また、厳格に行うことと併せ、費用対効果が悪い低汚染土や浄化後その状態となったものの、管理場所の確保のようなシステム面の整備は重要である。

この際、廃棄物処理法との関係もあるため、現状で必ずしも明確でない廃棄物と土壤をどのような物差しで分けるかという点も科学的に決めていく必要があると考えられる。

### (2) 技術面の改善

また、技術面の改善を図るには、純粹に研究開発等が注目されやすいが、実は、汚染土壤は過去

からの蓄積であり費用が当然必要なことに対して世の中が受認することや、今必要なこと、管理できるものを分別できる正確な知識の普及なども大きなポイントであろう。特に、本分野で先行した欧米の技術や情報が一挙に入ってきたことにより、技術の原理はあっても、我が国の土壤や周辺環境などといった個別の状況に対しての知見が置き去りにされてしまう例も見受けられる。もちろん、土壤汚染問題が注目されてから歴史が浅いことにより、基本的なデータの蓄積が少ないと理解できるが、科学的な知見集積しないままビジネスだけが優先された場合は、技術の正当な内容は常に周辺の人に対してブラックボックスとなってしまう懸念もある。

### (3) リスクコミュニケーション

土壤汚染の問題が土地・不動産という私有財産を対象とする限り、周辺との関係は避けて通れない問題である。

海外では、リスクを管理するという考え方方が根ざしつつあり、リスクアセスメントを行うツールも使われているが、どちらかといえば事を荒立てる嫌う我が国では、オブラートに包まれたままのコミュニケーションが行われる場合が多い。

汚染を皆で管理していく考え方であるMNAや自然起源の汚染とのつきあいは、正確なコミュニケーションの中で行われるべきものである。このためには、正しい知識を取得し普及させることが必要である。

## 4. 最後に

今まで研究というと一般の人達には非常に敷居の高いものであったかもしれないが、環境問題に関しては、広く使える形の情報を出し、皆で考えていくことが必要である。

それを常に意識して研究活動を行うと共に役立つものにしていければと考える。

## 中国黄河流域の水文環境 Water Environment of the Yellow River Basin, China

地下水資源環境研究グループ長：石井武政  
Leader, Water Environment Research Group: Takemasa ISHII  
Phone: 029-861-3827, e-mail: take-ishii@aist.go.jp

### 1. 研究の予算上の位置づけ

総合科学技術会議では平成14年度の基本的考え方として「科学技術の戦略的重點化」を示し、国家的・社会的ニーズが高い①ライフサイエンス、②情報通信、③環境、④ナノテクノロジー・材料の4つを「特に重点を置く分野」と指定した。文部科学省はこれを踏まえる形でもう一つ「防災」の分野を加え、「我が国が取り組むべき国家的な研究開発課題について、産学官の最も能力の高い研究機関を結集し、総合力を發揮できる体制により取り組むことを目的として」平成14年度から新たに委託事業を開始することとした。

文部科学省は上記の計5分野であらかじめ課題を設定して実施する委託事業を「新世紀重点研究創生プラン～リサーチ・レボリューション・2002(RR2002)～」と名づけた。この通称RR2002のうちの環境分野で設定された「⑥水資源予測モデルの開発」の中で、地圏資源環境研究部門を中心とする課題「地下水の収支・循環機構解明のためのモニタリングと地下水循環モデルの構築」が、「⑥水資源予測モデルの開発」を具体化した全体課題名「アジアモンスーン地域における人工・自然改変に伴う水資源変化予測モデルの開発」の一つサブテーマとして現在実施されている。

「アジアモンスーン地域における人工・自然改変に伴う水資源変化予測モデルの開発」は予算総額1億8千万円（平成16年度）ほどで、参画する機関（大学、民間、独立行政法人など）は20前後にのぼる。本稿では産総研が担当する「地下水の収支・循環機構解明のためのモニタリングと地下水循環モデルの構築」の最近の研究内容と成果を簡単に述べる。

### 2. 研究の内容と成果の概要

本研究は、1) 凍土の凍結・融解に関する実データの取得、2) 地下水の収支・流動に関するモニタリングおよび水質・同位体分析、3) 帯水層区分および地質構造の解析、4) 黄河流域の植生変化の解析、5) 地下水循環モデルの構築とシミュレーションの計5つの項目を立て

ている。これらを、池田敦（元筑波大学、現国立極地研究所）、内田洋平（当部門）、村岡洋文・玉生志郎（当部門）、浦井稔（地質情報研究部門）、西岡哲ほか（㈱地圏環境テクノロジー）の各氏の記述を基に、順に紹介する。

#### 1) 凍土の凍結・融解に関する実データの取得

黄河源流域における永久凍土の存在は地下水流動に大きく影響すると考えられる。これは難透水層となる永久凍土層が地下水面を規定するためと、地中水の凍結による貯留および融解による流出が地下水の収支・流動を季節的・経年に変化させるためである。そこで本項目では、源流域において永久凍土と地中水に関する実データを取得し、永久凍土が流域の水収支へ与える影響を評価することを目的とする。

平成15年度においては、8月中旬に青海省国道214号沿い（黄河源流域）の地形・地質状況を調べた（図1）。永久凍土の有無と季節的融解層厚を標高ごとに調べるため、4地点で弾性波探査（屈折法）を実施した（図2）。また、永久凍土の分布を推定する目的で、8地点に地表面温度連続観測のためのデータロガーを設置した。当初予定していた気温・地温・土壤水分・地下水表面の観測装置の設置は、いわゆるSARSによる渡航延期で現地調査が1回中止になったため、平成16年度に繰り越しになった。

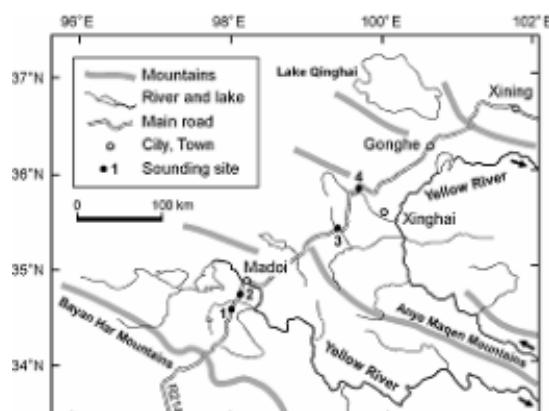


図1 調査地域。

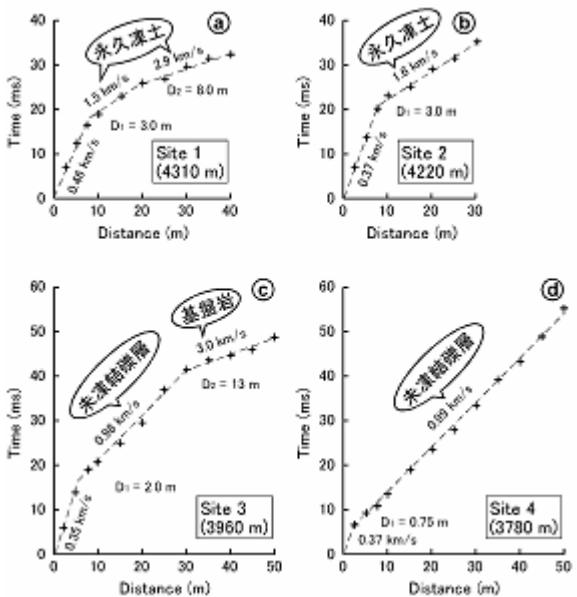


図2 弾性波探査結果。

## 2) 地下水の収支・流動に関するモニタリングおよび水質・同位体分析

本項目は、地下水位、一般水質組成、酸素・水素安定同位体比、地下温度プロファイルの4種類の情報を複合して水文調査に用いる「マルチトレーサー手法」を適用して、黄河領域内の広域地下水流动システムを明らかにすることを目的とする。現地では、黄河領域内の中国側観測井を用いて地下温度プロファイルの計測を行う。一般水質と酸素・水素安定同位体比の分析に関しては、観測井、揚水井、湧水、河川から採水を行う。同時に、水位計を領域内の井戸に設置し、地下水位の経年変化を連続観測する。

平成15年度の現地調査では「マルチトレーサー手法を用いた広域地下水流动系の解明」のた

め、青海省、甘肃省、寧夏回族自治区、河南省、河北省、山東省の6地域において、長期連続モニタリングのための水位計を設置した。同時に、黄河下流域の41地点において一般水質および酸素・水素安定同位体比測定のための地下水と河川水のサンプリングを行い、分析を実施した。

地下水、地表水の安定同位体比は、各省・自治区ごとにまとまって分布している(図3)。青海省の試料は、標高2,500mから4,800mで採水されたものであるが、3地点以外の試料は6省・自治区の中でもっとも重い値を示している。とくに、青海湖などの湖水の試料は蒸発効果によって安定同位体比が重たくなる傾向を示している。黄河領域の地下水の安定同位体比は、高度効果よりも地域的な降水の影響を強く受けているようである。日本の関東平野や秋田平野などの場合は、太平洋上の雲、または日本海上の雲がもたらす降水によって地下水が涵養されるので、同位体のデータは基本的に高度効果と内陸効果を考慮すればよい。黄河領域のように内陸側に広大な面積を有する場合には、地域ごとに同位体比が分布していること、標高がもっとも高い青海省の試料の多くが重たい傾向を示したことから、内陸循環による降雨-地下水涵養があると考えられる。

一方、青海省の源流域を流れている河川水は、全試料の中でもっとも軽い値を示した。青海省には標高3,932mに自然湧出の温泉(56.6°C)があり、同位体比も軽いが、他の試料の回帰直線からは $\delta D$ が少し軽い方向へシフトしている。ここでは、天水のほかに、マグマ起源の水の混入が考えられる。

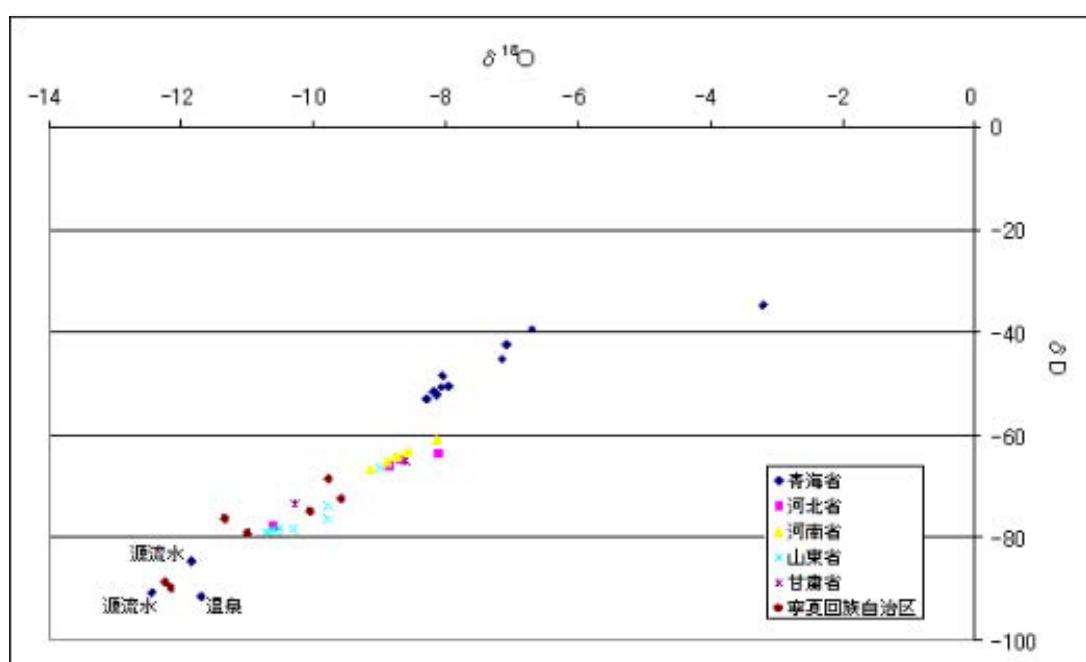


図3 酸素・水素安定同位体比を示すδダイアグラム。

### 3) 帯水層区分および地質構造の解析

地下水の流動は基本的に容れ物としての地層とその構造に支配されている。したがって、地層の重なり具合や厚さ、分布、層相、透水性などを把握することは極めて重要である。本項では、第四紀層が厚くまとまって分布する黄河下流域一帯および黄河中流域の河川沿いの地域で地質図あるいは地質柱状資料などにもとづいて帶水層を区分し、地質構造を明らかにする。また、深部地質情報や温鉱泉資料の収集が期待される華北平原については深層地下水の流動や広域的地質構造に関する考察を進める。さらに、先第四紀層の基盤岩の透水性を評価し、400万分の1縮尺程度のマップを整備する。研究期間第1期の約3年間で、本流河川に沿うあるいは直行する方向の地下地質断面図や断裂系詳細図を収集・編集する。ついで、地下水・地熱資源に関する情報を収集し、データベース化をはかる。

15年度は、石家庄の水文地質環境地質研究所を訪問し、華北全体の水事情について情報収集を行った。当研究所では1980年以降、地下水の地質・地化学・水位調査などのほか、地下水の酸素・水・炭素などの同位体測定を大量に行っており、地下水に関する膨大なデータが蓄積され、これらの測定結果から、地下水の帶水層区分や流動特性解析を行っている。特に石家庄から德州さらにその東方までの東西断面線に沿って、詳しい帶水層区分や水位・水質変化が解析されている。それによれば、帶水層は第四系で3層、第三系上部に1層、計4層が識別され、海水準より上位の地下水と下位の地下水では流動パターンが異なっているようである。海水は淡水よりも密度が高いことから、海岸線から内陸部に向かって塩淡境界が延びている。また、同位体のデータから下位の帶水層には1万年より古い水の年代値が得られている。

一方、北京の中国石油勘探開発研究院への訪問を通じて、黄河中流域の水事情について情報を収集した。黄河中流のオルドス高原中央部では、長慶ガス田開発や河套平野の網状河川での水利用が進められている。銀川周辺では石油・

天然ガス・地熱資源調査として、大深度のボーリング調査がなされて、第三系が10kmの厚さに達することが確認されている。

これらのほかに、黄河流域の地下水流动シミュレーションのため、地層の浸透率区分案を提案するとともに、浸透率の深度依存性を考慮して、浸透率決定のアルゴリズムを作成した。地下水流动シミュレーションの境界条件として、浸透率分布を与えるためには、(1)岩石コアの浸透率室内測定データが断裂系の発達する巨視的地質体のマトリックス部分の浸透率を表すに過ぎないこと、(2)シミュレーションの下底深度が4~5kmに及ぶ本研究においては、浸透率の深さ(圧力)依存性が無視できないこと、の2点から、単純に岩石コアの浸透率室内測定データを集めるだけでは不十分であるので、これらの点を解決するアルゴリズムを検討した。

### 4) 黄河流域の植生変化の解析

本プロジェクトで作成する黄河流域の水文モデルと比較可能な過去の植生変化を明らかにすることを目的とする。具体的には、衛星データまたは衛星データから作成された正規化植生指数を基に、過去20年間の植生変化を空間分解能0.1度程度、時間分解能1月程度で解析する。

千葉大学が公開しているNDVIデータセットを用いて黄河流域の20年間のNDVI平年値、NDVI変化アニメーションおよびNDVIの平年値からの残差アニメーションを作成した。NDVI変化アニメーションでは春から夏にかけてNDVIの増加が南から北へ、東から西へ広がり、秋から冬にかけてはその逆に減少していくことがわかる。NDVIの平年値ではNDVIの単調な増減を示す農地・森林、NDVIが小さく変化の少ない砂漠地域、NDVIが2つのピークを持つ二毛作地域等を識別することが可能である。NDVI残差アニメーションから黄河の氾濫に関連すると思われるNDVIの低下が見られた(図4)。NDVI残差アニメーションでは季節変化が除去されているため、平年値からの変化の時期・空間的広がりを直感的に見ることができるところが分かった。



1996-8-21

図4 1996年8月の黄河流域のNDVI残差アニメーション。黄河に沿って氾濫の影響と見られる植生指数の低下(楕円の部分)が見られる。

## 5) 地下水循環モデルの構築とシミュレーション

地形の変化に富み、気候変化も大きい黄河領域における地下水流动メカニズム（地下水収支・循環機構）を明らかにし、現況を再現した後、農業や産業発展に伴う流域開発による地下水流动系への影響を把握し、環境保全対策にも資することのできる領域情報統合モデルの構築を行うことを目的とする。

黄河領域のように地理条件や気象条件が異なる極めて広範囲における地下水流动メカニズムを明らかにするためには、黄河全流域における地表面からの涵養や蒸発散等の水文学的諸要因の地域性を勘案するとともに、地表水を含めた地下水流动系を正確に捉える必要がある。本項目では、地表水と地下水を同時に考慮し、かつ、水循環システムを構成する様々な要因を集約させた包括的な水循環シミュレーション(GETFLOWS)により、黄河全領域と2つのケーススタディ都市に関する現況再現モデルの構築を行う。

黄河全領域の三次元水理地質構造モデル(Ver. 1)を構築し、降水分布、土地利用分布等の地域性を勘案した全領域水循環シミュレーション

を行った。すなわち、地質区分、降水分布、土地利用および衛星データから作成したDEM等の新たに収集・整備された諸データによってモデルの高度化を図った。また、高解像度格子モデル（100万格子）による解析ならびに呼和浩特、济南の両ケーススタディ都市の流況再現についても試行し、今後の詳細解析に向けた可能性を検討した。

100万格子規模の高解像度モデルにより推定された黄河領域全体の地表水分布を図5に示す。これは、地下水と地表水を区別することなく、なるべく自然な条件設定の下で地形・地質、気象要因等の水文過程とバランスする平衡状態を描き出したものであり、黄河本流と複数の支流が明瞭に描き出されていることがわかる。この解析結果に基づき、呼和浩特市、济南市の流域界を抽出し、詳細な地形・地質条件を組み込んだ領域初期化を行った（図6）。

黄河全流域の地下水流动は、ほぼ地形に規制された傾向となり、黄河本流の湧出域を捉えていることが確認された。济南市周辺の下流域の地下水流动は、中国側より入手した浅層地下水センターとおおむね整合することを確認している。

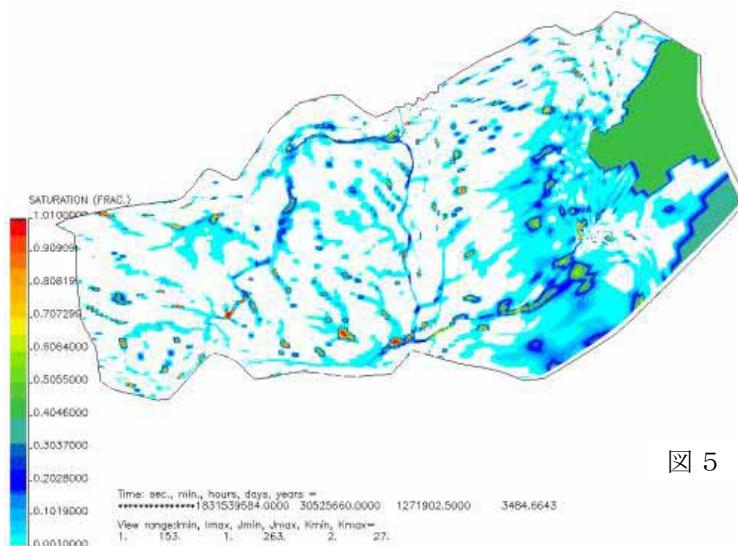


図5 黄河全領域の地表水分

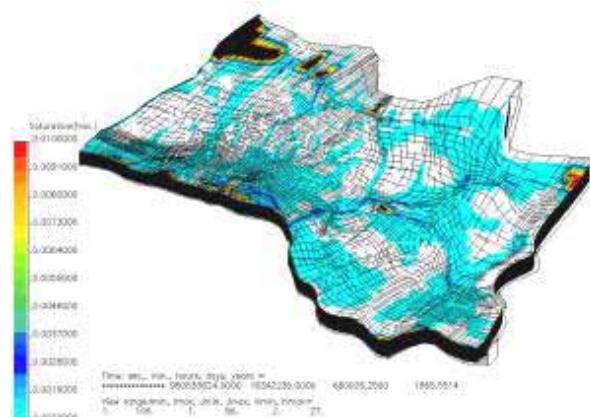
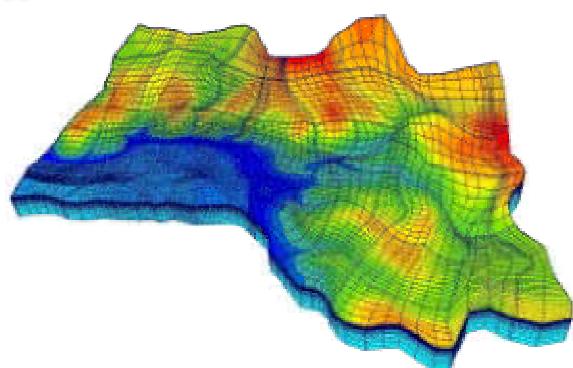


図6 呼和浩特市を対象とした部分流域モデルと地表水

## 帯水層への CO<sub>2</sub>貯留について

On the CO<sub>2</sub> sequestration in a saline aquifer

地圏資源工学研究グループ 當舎 利行  
Geoenergy Research Group: Toshiyuki Tosa  
Phone: 029-861-8735, e-mail:toshi-tosa@aist.go.jp

### 1. はじめに

地球の温暖化を促進する温室効果ガスの発生の抑制をはじめとする対策技術の確立が早急に求められている。この対策技術の中で、1)CO<sub>2</sub>発生抑制技術、2)CO<sub>2</sub>回収・貯蔵技術、3)CO<sub>2</sub>吸収源拡大技術のほか、ライフスタイルの変化など個人の意識の改革を通じた対策も求められている。帯水層へのCO<sub>2</sub>貯留は、2)CO<sub>2</sub>の回収・貯留技術に分類されている。地中や海洋は、CO<sub>2</sub>の循環の中で元来大きな貯留源になっていることから、地中貯留や海洋貯留は人工的にその貯留能力の一部を利用して、温室効果ガスの大気中への発生を抑制することになる。

温室効果ガスの抑制に様々な施策が講じられているが、地中貯留はそれらの中で最も速効性の高い方法の一つとして考えられている。本報告では、地中貯留の現状について報告をする。

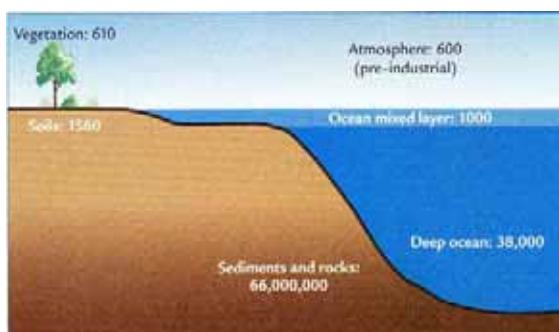


図1 主な炭素の貯留場所(単位:ギガトン)  
W. F. Ruddiaman(2000)より

### 2. 京都議定書(Kyoto Protocol)

第1条から第28条と2つの付属書からなる条約で1997年12月11日に、京都において作成された。各の批准によって発効されるものであるが、まだ発効していない。

この京都議定書の前にリオ・デジャネイロで1992年に地球環境サミットが行われ「気候変動枠組条約」が作成された。この条約は、大気中の温室効果ガスの増大が地球を温暖化し自然の生態系等に悪影響を及ぼすおそれがあるという認識の元に、大気中の温

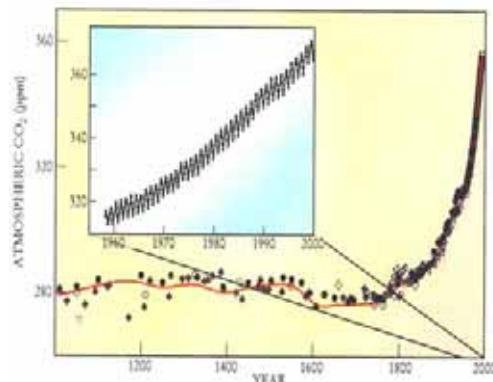


図2 大気中の二酸化炭素の変化  
産業革命以降に急激に増加している

室効果ガスの濃度を安定化させることを目的としている。1994年に発効した。

京都議定書は、この「気候変動枠組条約」の目的を達成するため開催されている締約国会議の第3回目(COP3; 第3回締約国会議)で採択された議定書であり、付属書に記載されている先進国等に対しCO<sub>2</sub>などの温室効果ガスの排出量を、第1約束期間(2008年～2012年)の間に、1990年の水準から先進国全体で少なくとも5%削減することを目標として掲げている。我が国は2002年6月4日締結しており、現在124の国及び欧州共同体が締結しているが、締結した国の排出量が44.2%であるため未発効となっている\*(2004年7月29日現在、気候変動に関する国際連合枠組条約-United Nations Framework Convention on Climate Change/UNFCCCホームページより)。

この京都議定書では、締約国各国の削減目標量が明示されている(日本6%、米7%、EU8%)ものの、この目標値の設定は先進国のみであり発展途上国の目標は、この条約には含まれていない。また、各国の数値目標を達成するための仕組みとして、市場原理を活用する京都メカニズム(先進国間同士の排出権取引、共同実施、先進国と途上国間のクリーン開発メカニズム)が導入されている。この京都議定書は、その国から地球大気中に最終的に排出される「排出量」の

\*京都議定書の発効:55ヶ国以上の批准と、批准した付属書締約国の1990年におけるCO<sub>2</sub>排出量が付属書締約国全体の55%以上、の二つの条件を満たしてから90日後に、京都議定書を批准した国に対して発効する。(第25条の1)

削減であって、「その国にある温室効果ガス全体の量」の削減ではないことから、京都メカニズムに加えて森林吸収源という仕組みを導入されており、光合成の過程で森林が吸収する量を大気中からの削減量として認めている。

### 3. 温室効果ガス

地球温暖化に寄与するようなガスであり京都議定書によって削減することが決まった温室効果ガスには、  
二酸化炭素( $\text{CO}_2$ )、  
メタン( $\text{CH}_4$ )、  
一酸化窒素( $\text{N}_2\text{O}$ )、  
ハイドロフルオロカーボン(HFC)、  
パーフルオロカーボン(PFC)、  
六フッ化硫黄( $\text{SF}_6$ )

の6種類となっている(京都議定書第3条)。

これらの温室効果ガスの中で二酸化炭素が最も量が多いため、他のガスに対しては温暖化効果係数を掛けて二酸化炭素換算として標記している場合もある。

京都議定書において定められている目標は、これらの温室効果ガスの排出量を、約束期間(第1約束期間 2008年～2012年)の間に、1990年の排出量の94%以下にすることとなっている(ただし、上記リストのハイドロフルオロカーボン以下の3つの物質に関しては、1995年が基準でもよいとされている)。図3に我が国の温室効果ガスの推移を示す。

温室効果ガスは、1995年以降13億トン前後の排出量にて推移しているものの、京都議定書の基準年である1990年から比較すると10%ほどの増加になっている。このため、基準年の94%という目標を達成するには、2001年の排出量では約13%の削減が必要となっている。

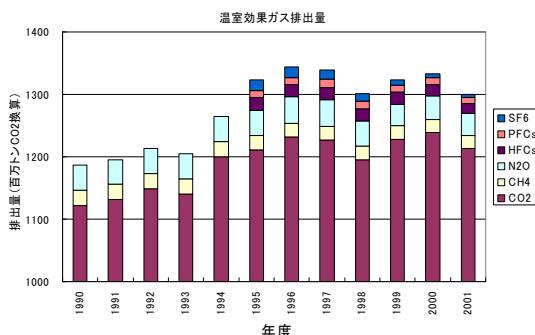


図3 温室効果ガスの排出(環境省地球環境局資料より作成)

### 4. 地球温暖化対策推進大綱

日本政府はCOP3閉幕後に地球温暖化対策推進本部を設け、日本が約束した温室効果ガス6種の排出量6%削減をどのような方法により達成するのか示した地球温暖化対策推進大綱を1998年に作成した。この推進大綱は2002年に見直しが行われた。新しい大綱では、削減目標量を

- ① エネルギー起源の二酸化炭素削減(±0.0%)
- ② 非エネルギー起源の二酸化炭素、メタン、一酸

化窒素の削減(-0.5%)

- ③ 革新的技術開発及び国民各界各層のさらなる地球温暖化防止活動の推進(-2.0%)
- ④ 代替フロン等3ガス(HFC、PFC、SF<sub>6</sub>)の抑制(+2.0%)
- ⑤ 吸収量の確保(-3.9%)

としており、残りの1.6%については、国際的動向を考慮しつつ、京都メカニズムの活用について検討するとなっている。地中にCO<sub>2</sub>などの温室効果ガスを隔離するという技術は、大綱の③革新的技術開発による削減として位置づけられている。

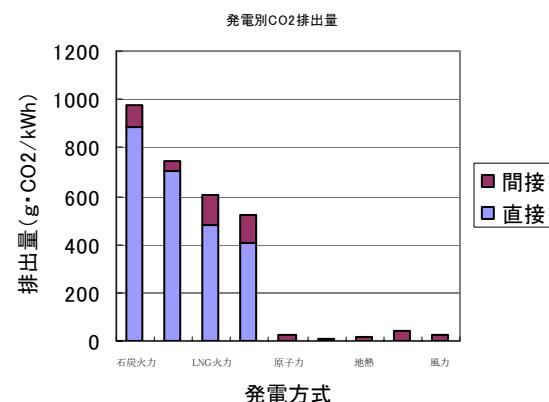


図4 発電別二酸化炭素LCA排出量(電中研ニュース)

### 5. 地中貯留プロジェクト

CO<sub>2</sub>地中貯留(帯水層貯留)は天然のアナロジーを科学技術上の根拠にしている。通常のコンセンサスとしては、ドライな天然ガス・油田にアナロジーを求めており、トラップ構造を有するクロージャー(ドーム構造)がその貯留対象となっている。このような石油・ガス田では長期間にわたり石油や天然ガスを保持していたことから、このアナロジーとしてトラップ構造を有するドーム構造にCO<sub>2</sub>を貯留することが考案された。これらは、特に地質的に古い地層に石油・天然ガスが胚胎している欧米にて支持されている考え方であり、岩塩ドームなどを貯留対象とする考えに繋がっている。また、枯渇した石油井戸にCO<sub>2</sub>を圧入し、油層中に残る原油を流動化させて回収する原油増進回収法(EOR)が欧米では実用化されていることから、CO<sub>2</sub>の貯留に石油・ガス田を用いることは自然の流れであった。

ノルウェーでは、沖合約240kmの北海中央部のスライプナー鉱区石油ガス田から生産される天然ガス中に9%含まれるCO<sub>2</sub>をアミン吸収法で分離し、海底1000mの砂岩帯水層に貯留を実施している。年間100万トンのCO<sub>2</sub>を1996年より海底帯水層に圧入しており、ノルウェーのCO<sub>2</sub>年間総排出量の3%を削減している(ノルウェーは京都議定書では、101%の削減、すなわち、1%の増加が認められている)。実施のインセンティブはノルウェー政府が近海油田に対して課した炭素税と言われている。

我が国では、新潟県の長岡にある廃油・ガス田にて

貯留実験が行われており、年間1万トン規模の注入が実施されている。しかし、削減目標量(1990年基準で6%:年間あたり約7000万トン)を考慮し、かつ、1990年から2000年以降の温室効果ガスの増加量を考慮すると、地中貯留は革新的技術開発の中のひとつの技術とはいえる、年間1000万トン以上の貯留を実現する必要がある。このため、試験的な長岡での圧入実験に引き続き、より貯留規模の大きな年間10万トン規模での圧入実験の準備が進んでいる。しかし、実用的な貯留規模は、ノルウェー・スライプナーと同じ1カ所あたり年間100万トン程度と見られている。



図5 ノルウェー沖スライプナーの位置

## 6. 水溶性ガス田への貯留

ドライな天然ガス・油田を地中貯留のアナロジーにして、トラップ構造を有するドーム構造を貯留の対象とする考え方の他に水溶性天然ガス田にアナロジーを求め、塩水帶水層へのCO<sub>2</sub>地中貯留を実現する考え方もある。

変動帯に属する日本では、トラップが完全無欠であり、キヤップロックに小さな割れ目や古い孔井のような漏洩箇所がまったくないことを事前に証明することが難しい。また、日本の主な排出源の近くにはドーム構造が少なく、ドーム構造にこだわれば、排出源の存在場所によっては遠くのドーム構造の利用を強いられ、輸送などのコストが高くなることが指摘されている。

これに対し、水溶性天然ガス田を天然のアナロジーとして求める場合には、水中にCO<sub>2</sub>を溶解させるので完全なトラップは必要なく、流出を遅らせるような水理・地質構造があればよいことになる。また、大規模排出源近くにも水溶性天然ガス田やメタンを溶解した化石塩水帶水層は存在が確認されているので、コストが安く大量処理が可能になり、産業界の要請に応ずることが可能である。さらに、メタン産出や地盤沈下防止などの付加利用価値があり、波及効果も大きい。この塩水帶水層への地中貯留システムは、石油探査技術にて大きな発展を遂げた反射法などにより構造的な探査が可能であるドーム構造に比較して探査方法が未確立でありその実態は未知の部分が多い。以下に、貯留可能地域を4つのカテゴリーに分類し、それぞれの推定貯可能量、ならびに貯留可能量を推定した

根拠を挙げる(エンジニアリング振興協会、1999)。

- ◆ カテゴリー1 大規模な油・ガス田  
1,987 百万トン  
石油の既存データから、枯済油層にドライな超臨界CO<sub>2</sub>を貯留できるとして算出
- ◆ カテゴリー2 構造性帶水層  
1,541 百万トン  
石油公団の基礎試錐・基礎調査データからクロージャー(石油貯留層ドーム構造)を探し、クロージャー内にドライな超臨界CO<sub>2</sub>を貯留できるとして算出。
- ◆ カテゴリー3 陸域の通常帶水層  
15,847 百万トン  
水溶性ガス田にCO<sub>2</sub>を溶解貯蔵するとして算出。ただし、水溶性ガスの詳しいデータまでは用いていないので、再検討が必要。
- ◆ カテゴリー4 海域の通常帶水層  
72,042 百万トン  
海域の堆積盆地の面積から、帶水層にCO<sub>2</sub>を溶解貯蔵するとして算出。ごくおおよその見積もりしかない。量的には大きいことと、排出源に近い所も想定される。



図5 カテゴリー4の分布域(RITEのホームページより改訂)

現在、長岡での圧入実験を実施している地球環境産業技術研究機構(RITE)がドーム構造を重視してCO<sub>2</sub>地中貯留の研究を行っているのに対し、地下水流動を重視した堆積盆地の研究を行うことで、より広範な地中貯留のプログラムが立案できると考えている。

## 7. 最適モニタリング設計技術に関する先導研究

筆者らは、電源開発(株)と共同してNEDOの地球

環境産業技術に係る先導研究委託研究として標記先導研究を実施している。CO<sub>2</sub>の地中注入時や地中貯留中のCO<sub>2</sub>の挙動をモニタリングすることが、地中貯留に対する社会的合意を得るために技術として非常に重要となっているため、CO<sub>2</sub>の注入時やその後の挙動を流体流動シミュレーションならびにシミュレーション結果と重力、比抵抗などの物理探査データを直接的に結びつけるポストプロセッサーを用いて予測し、最も費用対効果が期待できる方法(最適モニタリング手法)によるモニタリング技術開発を目標としている。研究は3つのサブテーマに分かれているが、それぞれのサブテーマの内容は以下のようになっている。

### ① CO<sub>2</sub>地中挙動に関する研究

これまでの研究では、気体状態で表現できると考えられる深度においても圧入するCO<sub>2</sub>の内部状態によっては液状態ないしは超臨界状態になっていることが予想されており、深度ならびに地層推定温度だけでは状態を正しく表せないことが判明した。

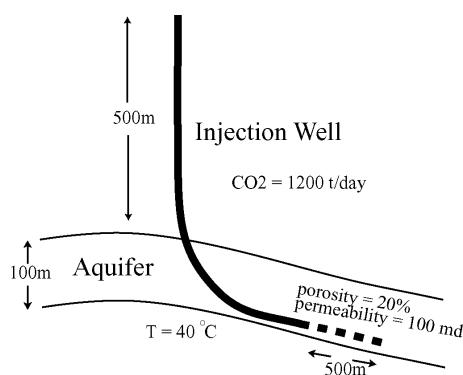


図6 モデル帶水層(断面図)

図6の上図のようなモデル帶水層にCO<sub>2</sub>を年間10万トン規模で注入したとしてシミュレーションを行ったところ、注入直後の圧力は超臨界条件以下であるもののすぐに条件を超えてしまう結果となる(図7)ことが判明した。ポストプロセッサーとの親和性のよいSTARシミュレーターは、現状では超臨界状態のCO<sub>2</sub>の取扱いに厳密には対応しておらず、超臨界状態に対応するように改良を加えるべきであるが、平成16年度は超臨界状態を表現しているプロトタイプのシミュレータ

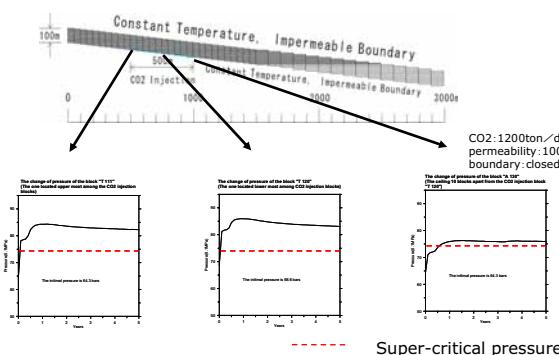


図7 モデル帶水層へCO<sub>2</sub>を圧入したときの圧力変化

一を用いて、液状態ならびに超臨界状態への対応について検討を行う。

### ② ポストプロセッサーに関する研究

試作を行った弾性波ポストプロセッサーに対して、バグのフィックスなどの最適化や機能拡張を行う。機能拡張では、現在試作した弾性波ポストプロセッサーが弾性波トモグラフィーへの対応を念頭とおいた2次元表示が主体であったので、弾性波の3次元的反射、屈折などが取り扱えるように3次元表示部分を強化する。

### ③ 物理探査データ取得のためのフィールド調査

モニタリングのための小規模な現場実験を、地下の条件が比較的明らかになっているフィールドにおいて実施し、現場観測からの最適観測条件について考察する。現場観測では、CO<sub>2</sub>の圧乳など大規模な実験の実施が不可能であることから、浅い帶水層(約50m)に空気を圧入する実験を実施した。図8に自然電位観測結果を示すが、圧入に対応して地表に設置した自然電位電極により大きな電位変化が観測された。これは、空気を圧入することにより地層内の酸化還元状態が変化をし、その変化がケーシングパイプなどの導電物質を通して地表に運ばれたものと考えられる。

空気の圧入による地層内での酸化還元電位の変化を自然電位観測にて確認できたことから、観測井が掘削されている地中貯留現場にて、それらの観測井のケーシングを利用して自然電位モニタリングの可能性が生じ、従来の弾性波によるモニタリングとは異なる手法での連続的なモニタリングの可能性が生じた。自然電位観測はCO<sub>2</sub>地中貯留の実証試験が継続して行われている長岡でも観測を継続しているので、CO<sub>2</sub>圧入との関係を整理して電磁気的な観測による最適なモニタリングへ指針を作成する。

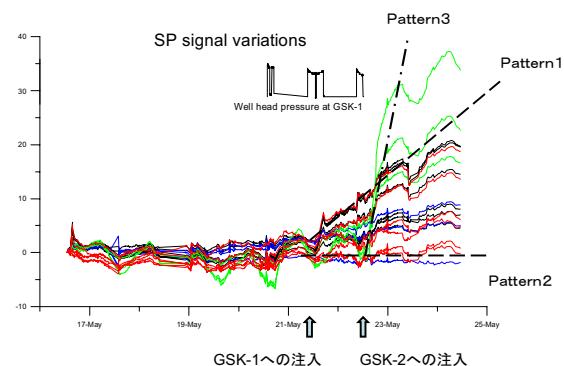


図8 空気圧入実験での自然電位変化。圧入井(挿入図参照)近い電極の自然電位が変化をしている。

## 参考文献

- エンジニアリング振興協会(1999):平成7年度先導研究報告書
- 小出 仁(1998):CO<sub>2</sub>の地中貯留——地球温暖化ガス排出削減の切り札——,環境管理,34,750-754.
- 電中研ニュース(2000), 338.
- W. F. Ruddiman(2000), Earth's Climate Past and Future, W.H.Freeman and Co., New York.

## 物理探査技術の環境調査への適用

### Application of geophysical methods for environmental problems

物理探査研究グループ長: 内田利弘  
 Leader, Exploration Geophysics Research Group: Toshihiro Uchida  
 Phone: 029-861-3840, e-mail: uchida-toshihiro@ait.go.jp

#### 1. はじめに

産総研の物理探査研究(特に旧地質調査所の研究)はこれまで石油、金属、地熱等の資源探査や、地震・火山等の自然災害に関するものが中心であった。しかし、近年の社会における物理探査のニーズは、地圏の環境保全あるいは人工構造物メンテナンスといった、生活圏に密着したところでの適用に重点が置かれつつある。物理探査研究グループでも、そのような変化に対応して、新たな研究テーマを策定しなければいけないと感じている。現在、当グループが実施している研究には、放射性廃棄物地層処分に関わる岩盤の評価・モニタリング技術や沿岸地域の塩淡境界面の把握、CO<sub>2</sub>地中貯留におけるキヤップロックの特性把握、地盤液状化ポテンシャル評価など、すでに「環境」というキーワードを持つものが中心になりつつある。今後は土壤・地下水汚染の評価についても視野に入れるべく検討を行っている。

「環境」に関わる事象において重要な要素は、基本的に、地層を構成する粒子、空隙の構造と、その中に存在する水、汚染物質などの移流特性である。これらを扱うには、物理探査以外にも、化学、水理学、地質学などの分野との融合や総合解析が不可欠である。物理探査には、ボーリングなどによって岩石・流体試料をサンプリングする前に、3次元的に地下の物性構造を把握したり、ボーリングによって得られている情報を補完し、より正確な3次元モデルの構築やシミュレーションなどに貢献したりするという役目がある。

本報告の結論としては、今後、そのような総合研究に向けて貢献できる研究を進めることが大切であるということが挙げられる。本報告では、現在行っている研究について、簡単に紹介する。

#### 2. 土壤汚染

##### 2.1 汚染物質の物性

土壤汚染の原因となる代表的物質である揮発性有機化合物(VOC、あるいは非水溶性液体(NAPL))について、電気・電磁気探査や地中レーダによる検出の研究や現地実験が多く行われている。

NAPL(あるいは VOC)は一般に石油起源の物質であり、通常の状態では電気的に高比抵抗であり、誘電率は水に比べて小さいという性質を持つ。それらの性質を利用し、電気探査や地中レーダによって

NAPL の賦存状況を知ることができると考えられ、それを実証する室内実験が行われた。しかし、土壤汚染の現場では、NAPL が多く含まれた地層は、周囲より低比抵抗であることが多く、その原因を解明する実験が行われた。

米国のある土壤汚染地で行われた研究を紹介する。図 1 は、廃棄ガソリン等の NAPL で汚染された場所に掘った浅い井戸で測定した電気検層の結果を示す (Atekwana et al., 2000)。それによると、地下水表面周辺に廃棄ガソリンの濃集部が存在するが、電気検層では低比抵抗を示しており、その下位の帶水層より低比抵抗になっている。

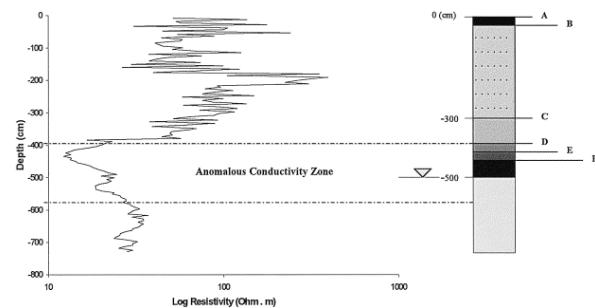


図 1: 米国の NAPL 汚染地における電気検層の例。この井戸は地表から地下水まですべての深度に NAPL が見られる。

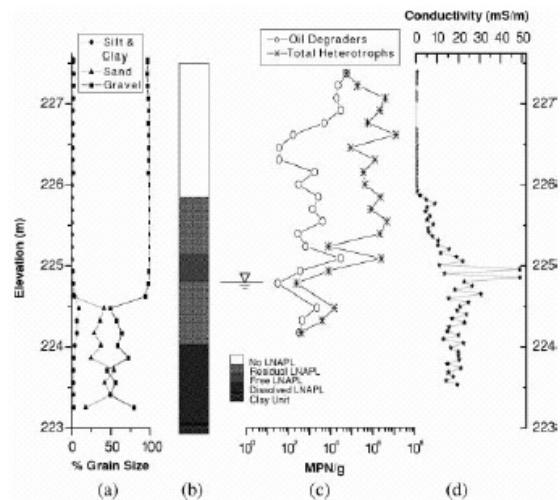


図 2: 米国の NAPL 汚染地における電気検層と油分解バクテリア等の個体数との比較。図(c)の白丸が油分解バク

テリア、黒丸は全バクテリア数、図(d)は電気検層の導電率を表す。

Atekwana et al., (2004) は、同地域の井戸の中の油分解バクテリアの個体数を調べ、電気検層と比較した(図 2)。地下水表面近傍で、導電率が大きく(比抵抗が低く)、この部分で、全バクテリアに占める油分解バクテリアの割合が大きくなっている。油分解バクテリアによって NAPL が分解され、それが地下水に溶けることによって、帶水層や遷移帯の比抵抗を下げていると報告されている。電気・電磁気探査や地中レーダーのデータの解釈は、これらの現象を理解した上で進める必要がある。

## 2.2 浅部電磁マッピング

浅部の比抵抗構造を求める手法として、電磁探査法の簡便な測定装置が開発されている。ここでは、米国 Geophex 社の装置 GEM-2 を用いた実験例について紹介する。このような電磁探査装置は、国外・国内の土壤汚染(NAPL や金属廃棄物など)の現場で、急激に適用例が増えている。

GEM-2 システムは、小さな送信コイルと受信コイルを内蔵した測定装置(図 3)で、両コイルの間隔は 1.66m である。装置を地上から約 1m の高さに保ち、測点毎に静止しながら測定する。用いる周波数は 330 Hz – 47 kHz の範囲で最大 15 通りである。GEM-2 から出力されるデータは、各周波数における 2 次磁場と 1 次磁場の比の同相・離相成分、見掛け導電率・見掛け磁化率である。

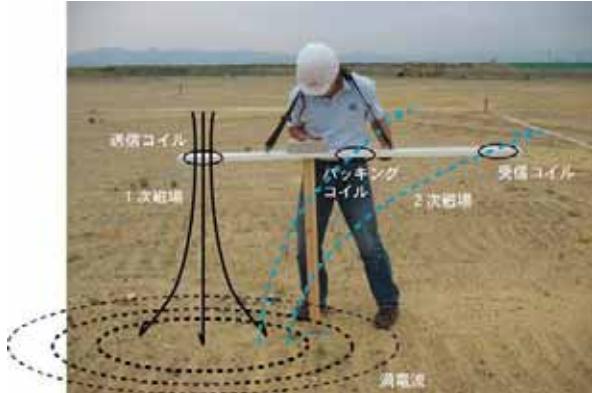


図 3: 電磁探査装置 GEM-2 の外観。白い板状のプラスチックケースに送・受信コイルが埋め込まれている。長さ 1m の棒の上に装置を載せて安定させている。

愛知県豊橋市において実施した実験の結果について紹介する(Kwon et al., 2004)。測線配置を図 4 に示す。測線 A, B では 2.25m 間隔で測点を配置し、2 次元マッピング領域では 2.25m 間隔で格子状に測点を配置した。測線 A のデータを図 5 に示す。計 53 測点の同相成分と離相成分をプロットしたものである。周波数は 13 通りである。一般に、地層が低比抵抗であるほど、同相成分と離相成分は大きな値を示す。また、周波数が小さいほど測定値は小さくなり、測定値の信頼性が悪くなる。これは、地下の情報を含む 2 次磁場信号が、送信コイルから直接受信コイルに届く 1 次磁場に比べてはるかに小さい強度しかないことにもよっている。

高周波数側のデータを使い、各測点で 2 層構造を仮定して 1 次元解析を行った結果を図 6 に示す。測線 A では高密度比抵抗探査も実施しており、その 2 次元解析結果を図 7 に示す。両者のモデルは良い整合性を示す。実験地は海岸の埋め立て地に位置し、表層の高比抵抗層は不飽和の埋め立て土に相当し、その下の低比抵抗層は海水に満たされた元々の砂質層に相当する。測線 A では、埋め立て土の厚い所が、測線中央と両端に見られる。

2 次元マッピング領域の解析結果を図 8 および図 9 に示す。図 8 は表層の比抵抗、図 9 は第 2 層の上面深度を表す。第 1 層の比抵抗はマッピング領域の中央から西側にかけて高い。第 2 層の深度は中央西側で深く、同心円状に周囲に浅くなる傾向にある。また、領域の東側では深くなる。これらは埋め立て地造成時の地形の状況を表しているものと思われる。

GEM-2 のような仕様のポータブル電磁探査装置によって、地下数十 m までの比抵抗分布を迅速に捕らえることができる。NAPL の汚染域や金属物による異常域を検出するには有効なツールであるといえる。また、GEM-2 の同相成分は、地下に透磁率(磁化率)の高い物質があると、低周波数で顕著な負値を示し、見掛けの磁化率を求めることができる。鉄製の廃棄物などが地下に埋まっているときには、その周辺で大きな磁化率を示すので、その存在を検出することができる。

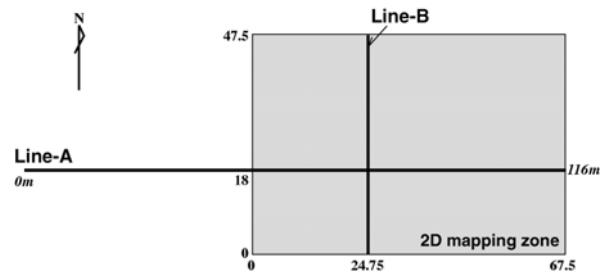


図 4: 豊橋市の埋め立て地における測線配置。灰色部は 2 次元マッピング領域を表す。

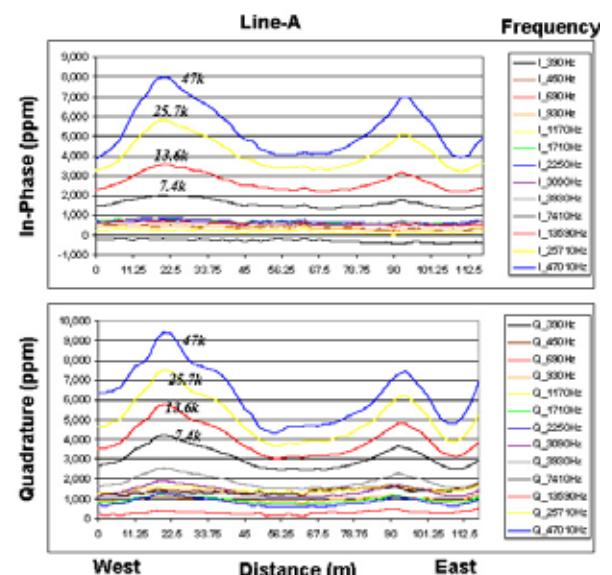


図 5: 測線 A の GEM-2 の(上)同相成分と(下)離相成分のデータ。周波数は 13 通り。1 次磁場に対する比を ppm の単位で表示。

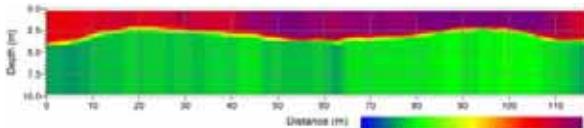


図 6: 測線 A の GEM-2 データの1次元解析結果。高い側の 6 周波数の同相成分と離相成分データを使用。

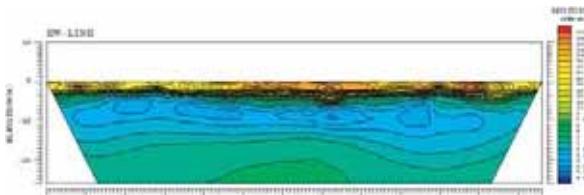


図 7: 測線 A の高密度電気探査の2次元解析結果。

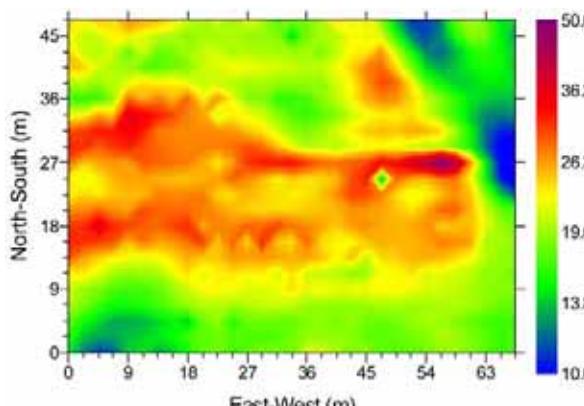


図 8: 2次元マッピング領域について、各測点で1次元3層構造解析を行ったときの、第1層(表層)の比抵抗分布(比抵抗センターの単位は  $\text{ohm}\cdot\text{m}$ )。

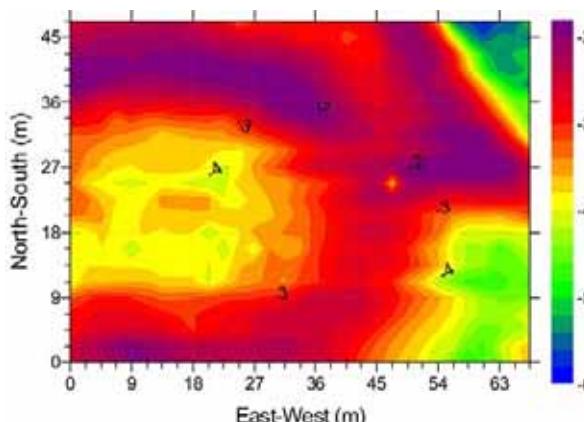


図 9: 2次元マッピング領域の第2層の上面深度分布(深度センターの単位は m)。

### 2.3 地中レーダ

地中レーダは、100MHz 帯付近の高周波数の電磁波を地中に送信し、地層境界面からの反射波を測定して、地層構造を推定する。電磁波の伝播速度や減衰率は地層の誘電率と比抵抗に依存するので、特に誘電率の大きい水や、比抵抗の大きい NAPL(分解される前)が分布するとき、それらの検出に有効である。

図 10 は、NAPLを対象としたときに探査の概念図

である。誘電率の大きく異なる水と NAPL の境界面をレーダで検出することを目指している。ただし、バクテリアによって分解された NAPL は低比抵抗となつていると考えられるので、電磁波の減衰が大きくなり、レーダの解析断面で顕著な信号が得られないことがある。図 11 はその例として、NAPL の分布域で反射波が消えてしまう現象を示している(Sauck et al., 1998)。

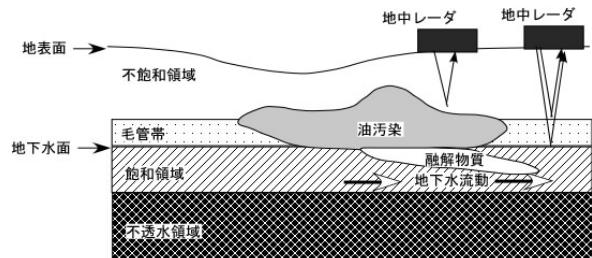


図 10: NAPLを対象する地中レーダ探査の概念。

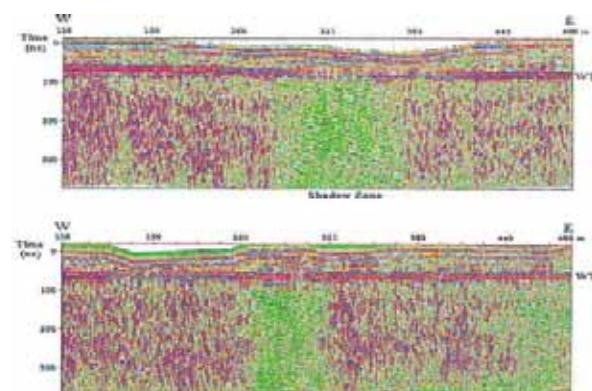


図 11: NAPL の分布域でレーダ信号が減衰し、反射面が不鮮明となる(緑色の卓越する部分)。

### 3. 塩淡境界面把握

放射性廃棄物地層処分場建設の 1 つの候補地条件として沿岸域という立地が検討されている。そのため、海岸付近から陸側にかけての地下深部の帶水層の性状や海水の浸入域とその時間変動を把握することが重要となる。当研究グループでは「塩淡境界面形状把握調査」の一環として、電磁探査法を用いる「塩淡境界面」の探査・評価法の研究を行っているので、ここではその成果を紹介する(光畠ほか, 2004)。

当研究の調査地の 1 つとして千葉県九十九里浜の蓮沼地域が選ばれた。海岸線に直交する方向に測線を設定し、AMT 法(可聴周波数帯域 MT 法)、時間領域電磁法(TEM 法)、GEM-2 などの手法を適用した(図 12)。それぞれ得意とする探査深度が異なるので、それらを総合して、塩水の浸入状況を推定することとした。

TEM 法および GEM-2 によるデータの解析結果を図 13、図 14 に示す。本実験に用いた TEM 法の装置は比較的浅部を対象とする仕様を有しており、深さ 100m までの比抵抗構造が得られた。比抵抗モデルは、表層の砂層の不飽和帯は高比抵抗であるが、砂層最下部は地下水面以下であり、低比抵抗を示す。その下位の粘性土層も低比抵抗で

あるが、深度 40mまでの顕著な低比抵抗層がモデルの西端まで続くことから、この部分については、海水の浸入があるものと推定される。粘性土層の深部の低比抵抗域については、化石海水の影響によるものと解釈している。

GEM-2 による測定は砂浜を横切る長さ 110m の測線で行った。図 14 に示す範囲ではすべて砂層に相当するので、比抵抗の変化は間隙を埋める塩水の量に依存すると判断される。波打ち際から約 30m 付近まで、浅部に連続する低比抵抗層が見られ、干溝に伴う塩水の浸入を表している。また、距離 64m 付近に同相、離相成分とも大きな異常値が得られ、砂の中に大量の空き缶などの廃棄物が見つかった。以上のように、塩水の分布把握について、電磁探査法が有効であることが示された。



図 12: 千葉県蓮沼地域における電磁探査法測線。橙色はAMT法、水色は TEM 法、赤色は GEM-2 の側線を表す。

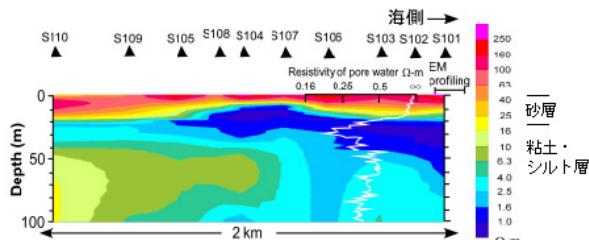


図 13: TEM 法の1次元解析結果。測点 102 付近に掘られた井戸の地層境界を右に示す。白い線は間隙水の比抵抗を表す。

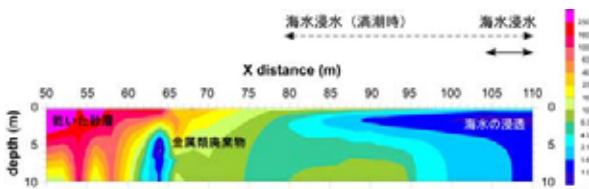


図 14: GEM-2 の離相成分データの1次元解析結果。

#### 4. おわりに

物理探査技術の環境調査への適用について、当研究グループで行っている研究の一部を簡単に紹介した。上記以外に、地盤液状化ポテンシャル評価

のための現位置の物理計測技術の開発とその他の物理探査手法との総合解析、CO<sub>2</sub> の貯留に伴う岩盤の弾性波物性の変動、NMR 計測による岩盤や種々の物質の透水性の評価法など、地盤環境に関する研究を進めている。詳細は、グループの研究者のポスター発表などを参照されたい。

土壤・地下水汚染問題、地層処分や CO<sub>2</sub> 貯留などの地下空間利用、人工構造物の検査など分野において、今後、他の手法との有機的な統合化を行いながら、物理探査技術の適用が進められるることは確かであると思う。そのような活動に当グループが貢献できるように努めたい。

#### 参考文献

- Atekwana, E. A., Sauck, W. A., and Werkema, D. D., 2000, Investigations of geoelectrical signatures at a hydrocarbon contaminated site: *J. Appl. Geophys.*, **44**, 167–180.
- Atekwana, E. A., Dale Werkema, D., Jr., Duris, J. W., Rossbach, S., Atekwana, E. A., Sauck, W. A., Cassidy, D. P., Means, J., and Legall, F. D., 2004, In-situ apparent conductivity measurements and microbial population distribution at a hydrocarbon-contaminated site, *Geophysics*, **69**, 56–63.
- Kwon, H. S, Mitsuhasha, Y, Uchida, T, Jinguuji, M, and Nakashima, Y., 2004, Characteristic and applicability of the multi-frequency small-loop EM data, *SEGJ 111th Conference (2004 Fall)*, Morioka.
- 光畑裕司・内田利弘・松尾公一・大里和己・丸井敦尚・楠瀬勤一郎, 2004, 物理探査学会第 111 回学術講演会(2004 年秋季)、盛岡。
- Sauck, W. A., Atekwana, E. A., and Nash, M. S., 1998, High conductivities associated with an LNAPL plume imaged by integrated geophysical techniques: *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, **2**, 203–212.

## 第2部

### 重点研究課題



# 天然資源の安定供給の確保

## Ensuring a Stable Supply of Mineral and Energy Resources

副研究部門長： 山口 勉  
Deputy Director: Tsutomu Yamaguchi  
Phone: 0298-61-8733、e-mail: t-yamaguchi@aist.go.jp

## 1. 産総研における資源研究

ローマクラブが「成長の限界」を発表したのは1972年のことである。その中で、静態可採年数が30年に満たない天然資源として金、銀、鉛、亜鉛、水銀、錫の6種類、さらに資源消費量の増加率を考慮した幾何級数的可採年数が30年に満たない天然資源として、上記に加え、銅、タンクスチール、石油、天然ガスの4種類を挙げている。幸いにして、「成長の限界」の発表からおおよそ30年が経過した今日でもこれら天然資源は枯渇していない。しかしながら、新しい大規模な鉱床の発見や消費量の大幅な減少などにより、事態が改善に向かっているわけでもない。天然資源の枯渇は、我々にとってより現実的な問題となっている。

持続可能な成長を目指す上で、社会システムが具備する要件は「投入の最小化」と「排出の最小化」である。前者は必要な資源・エネルギーについては、枯渇性資源・エネルギーの利用を可能な限り少なくするとともに、再生可能な資源・エネルギーの利用を可能な限り多くすることにより、経済活動に新たに投入される資源・エネルギーを可能な限り少なくすることと定義され、後者は経済活動に伴う廃棄物、二酸化炭素等の温室効果ガス、ダイオキシン等の有害化学物質、重金属、窒素酸化物、オゾン層破壊物質などの環境負荷物質などの生態系への排出をできるだけ少なくすることと定義される。具体的な取り組みとして、社会システムの中での3Rすなわち、物質のリサイクル(Recycle: 再資源化)、リデュース(Reduce: 省資源化、長寿命化などのによる廃棄物の排出抑制)、リユース(Reuse: 製品、部品の再利用)の促進が挙げられる。

図1では、平成12年度におけるわが国のマテリアルフローを示した。3Rの積極的な促進は、資源の枯渇や地球環境の観点から重要であるものの、図1から分かるように我が国に供給される自然界からの資源採取量は18.4億tに達し、再生利用量の2.3億tに比較して圧倒的に多い。3Rが重要なことは認めるものの、鉱物資源の採掘は当面避けられないという視点に立ち、ナショナルセキュリティの観点から引き続き、海外における積極的な鉱物資源の確保に努めるべきであろう。

一方、図 1 に示すようなマテリアルフローを、

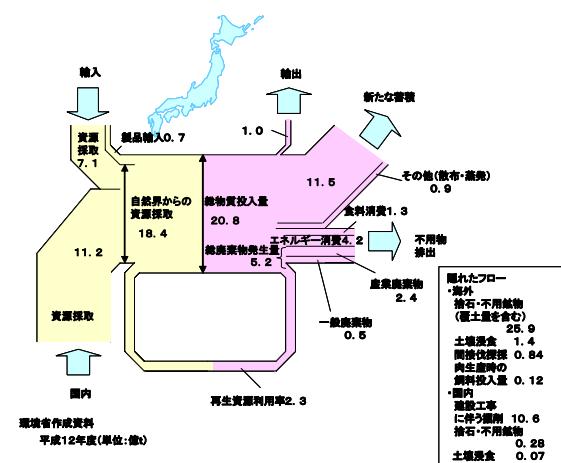


図1 わが国の物質収支

を考える場合、物質の流れのみに注目しがちであるが、物質を循環するためにはエネルギーが必要である。鉱石の採掘から素材化、製品の生産、流通、消費、使用済み製品のリユース、リサイクル、廃棄の過程、これら全ての過程でエネルギーが消費される。このエネルギー源の大部分は、再生不可能な資源（化石燃料）に依存している。したがって化石燃料の安定的な確保はもちろん、再生可能なエネルギー資源である地熱をはじめとし、太陽や風力などの導入促進を図ることも重要である。

このような観点から地圏資源環境研究部門では、第1期中期計画が開始された平成13年以降、「天然資源の安定供給確保」を重点課題に掲げ、その中で「地熱エネルギーのサステイナビリティ確保」、「メタンハイドレートを始めとする国産天然ガス資源の安定供給」および「国内・国外における大規模潜頭性熱水鉱床探査技術の体系化」を研究項目として実施してきたが、グループ研究の紹介にあるように、第1期中期計画の期間中に大きな成果を収めることができた。

## 2. 資源研究の現状と将来

鉱物資源やエネルギー資源の安定的な供給の確保はナショナルセキュリティの観点から、今後ますますその重要性を増すと考えられる。これら資源に関わる研究開発は、着実に進めていく必要がある。地圏資源環境研究部門では、第1期の成果

をもとに、第2期中期計画の期間内で、以下の項目について重点的に研究を実施することとしている。

- ・重希土類元素のポテンシャル評価に関する研究  
ハイブリッド車のモーター（永久磁石材料）や電子機器中の磁性材料等に使用される重希土類元素（HREE）の需要は今後益々増加することが確実視されている。しかしながら2000年以降、全世界の希土類元素（REE）の90%以上が中国で生産されるという極端な供給構造を持つ上（図2）、埋蔵量の枯渇、開発手法（大規模現地リーチング）による環境への悪影響が懸念されている。このような需給構造のもと、重希土類元素を機能材料として用いる産業活動の活発化に伴い、国家レベルでの重希土類資源の供給リスクヘッジに取り組む必要がある。このため、将来的な資源供給のための国家的調査・研究戦略に資するデータの整備、および鉱業セクターがREE資源探鉱可能エリアを把握・分析し、有望調査地域を選定する際に必要な地質学的基盤情報の作成を目的として資料・情報収集、および予備的な調査・分析を開始する予定である。

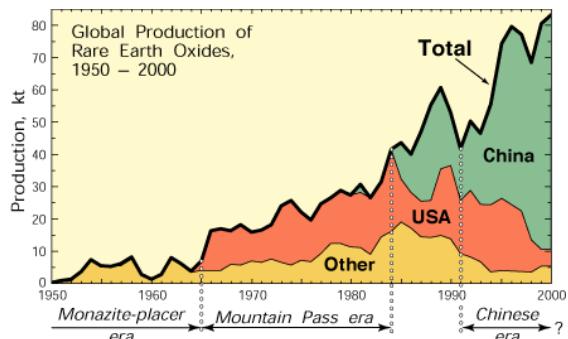


図2 酸化REE鉱石の1950年以降の供給構造(米国地質調査所).kt=1000t.

#### ・天然ガスの資源量評価等に関する研究

メタンハイドレートの資源量評価では、本格的な地化学調査を提案し探査法の確立を目指すとともに、日本周辺海域のハイドレート資源ポテンシャル推定の精密化を行い、エネ庁が実施するメタンハイドレート開発計画の円滑な進行に貢献する。また生産手法の開発では、実施体制の見直しも含め、研究の集中化、効率化を図る。

石炭起源天然ガス研究では、引き続き北海道・三陸沖堆積盆のポテンシャル評価を精密化するとともに、中国地方西部、九州北西部から韓半島にかけて分布する石炭起源ガスおよび日本海周辺の在来型天然ガスを含めて、石油開発企業との共同研究、国際共同研究等を通じて天然ガスピテンシャル評価手法の研究を行い日本周辺天然ガス資源ポテンシャル推定の精密化を行う。

燃料鉱床胚胎堆積盆と堆積物の形成機構、地球規模環境変動との関わり等を解明するために、第1期においては、秋田・新潟・房総など、主に陸

上で得られたデータを中心に地質解析を実施した。第2期においては、陸海域にまたがる地質情報総合解析を実施する。特に海域の南海トラフと陸域の房総半島の前弧海盆堆積盆において堆積盆の特性を明らかにする。また、堆積物に記録された古環境変動指標を読みとる手法を開発し、地圏環境保全への応用を図る。

#### ・天然ガスの地化学的研究

第1期では、南海トラフ海底堆積物、ガス鹹水付随堆積物、メタン菌細胞試料等の分析をもとに、堆積物中のメタン菌の活動を検出・評価するための脂質バイオマーカーを選定し、その分析法と解釈の基礎を確立した。また安定同位体（炭素・水素）分析による各種天然ガスの起源・生成機構を評価するとともに、その解釈の有効性を検討するための培養実験等も行った。第2期では、第1期の研究成果を踏まえ、基礎試錐等堆積物試料のバイオマーカー分析と炭素-14トレーサーを用いた培養実験を行い、南海トラフ海底等に生息するメタン菌の活動の実態（時空間的分布）と支配因子（温度、圧力、有機物組成等）を解明する。またメタン菌が生成するメタンの安定同位体比を培養実験等から予測し、ハイドレートメタンの同位体比と比較する。これらの結果を各種微生物分析の結果（生物機能工学研究部門との共同研究）と統合し、ガスハイドレート等の微生物起源天然ガス鉱床の形成機構を解明する。以上の研究成果は、JOGMECによるメタンハイドレート形成モデルの構築に活用され、MH21のガスハイドレート資源量評価に貢献する。また、現在生息するメタン菌の寄与が大きいと判断される場合は、その活動を刺激して微生物起源天然ガスの増産を促す技術開発の可能性も検討する。

#### ・地熱関連の研究

第2期では、第1期での貯留層変動探査法、システム統合化研究の成果を受けて、地熱貯留層の最適涵養技術の設計と開発を行うとともに、産業界への貯留層評価管理技術の普及を図る。具体的には、いくつかのモデルフィールドを選定し、既存データに基づいたヒストリーマッチングにより貯留層モデルの改良を図る。この改良貯留層モデルに基づいて現場で計画している貯留層管理上の作業（補充井掘削、注水涵養など）の結果を予測する。さらに、実際の作業の結果（効果）を各種モニタリング手法により把握し、予測結果の検証を目指す。これにより、貯留層モニタリング技術と将来予測技術の実証を行い、現場のニーズに即した貯留層管理技術として、その普及を図る。

中小地熱開発や地熱直接利用ではNEDOの地熱開発促進調査（中小地熱）と連携しつつ、中低温地熱資源データベースを作成し、中小地熱資源の探査ガイドラインを作成することを目標とする。

## 地図の利用及び地図環境の保全 Utilization and Environmental Protection of Geosphere

副研究部門長： 矢野雄策  
Deputy Director: Yusaku Yano  
Phone: 029-861-2412, e-mail: y.yano@aist.go.jp

### 1. はじめに

産総研の主要研究分野の中で、環境・エネルギー分野の研究、及び地質の調査を含む地球システム分野の研究は、短期的な経済原理の働きにくい研究分野であり、公的研究機関の真価を問われる研究分野である。

地図資源環境研究部門は、人類が生存する地球地表面の直下に広がる地図を対象とし、その環境とそこに胚胎する資源とを研究するユニークな研究集団である。

地図の環境問題は、これからの人類の生存と持続的発展に重大な意味を持つ研究分野であり、本部門の責務は今後さらに大きくなると考えている。

### 2. 地図環境の研究とは

研究の対象とする地図の特質は以下のようなことがあてはまる。

- 1) 人類生活圏の下に広がり、気圏や水圏と接する。
- 2) 気圏や水圏と比較して、深いアクセスが困難
- 3) 地球の構成要素であり、地質学的形成史を持つ。
- 4) 資源を含めて様々な物質から成る。
- 5) 地震や熱異常等大きな物理現象が起きている。
- 6) 流体が循環する場である。

上記1) や4)、5)のことから、地図の環境は人間の生活に大きな影響を持つし、逆に人間の活動が地図、特に地表近傍の環境に影響を与える。また、1)に含意されるように地図は大きな容量をもっていることから、人間の生活の上でこれを活用することが期待されている。

従って地図の環境を把握し保全すること、地図を利用することが重要。しかし、2)、3)の点、あるいは5)、6)のように複雑な現象が地図内で起きていることから、地図環境保全や利用の技術開発は、探査・掘削・モデル化など地図を知ることがその基盤となる。

地図環境の研究の概念を図1に示す。地図は地球の中で人間に近いところにあり重要な意味を持つ。その研究は探査から技術開発までプロードではあるが目的指向で一貫性を持つ分野である。

### 3. 地図環境研究の計画と実施体制

産総研は中期目標期間ごとに中期計画を定め、各年度ではその中期計画に沿った年度計画を立て

て研究を進めている。産総研のホームページ <http://www.aist.go.jp/> でも公開されているこれらの計画は、主として技術的な内容で整理されている。

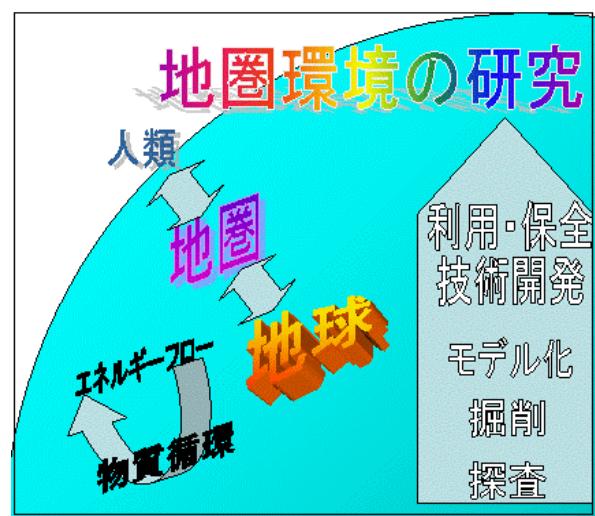


図1 地図環境の研究概念図

一方、研究の目標とするところを、出口（世の中にどう役に立つか）を主眼として分類整理し、第一期及び第二期の大きな計画として示したものが図2である。土壤汚染、地下水、地層処分、地中隔離、都市域の地図利用という出口で分類している。地図特性評価とモニタリングシステムの開発は、地図の環境研究のみにとどまらず、地図の資源研究にも応用される広い共通技術基盤であるが、特に地図の環境研究への具体的応用を意識して研究を進めている。また、図2の赤は地図の環境研究に関連する知的基盤研究を参考に示したものである。

実施体制として、本部門の11の研究グループのうち、5グループが地図環境関連研究を主としており、また他の多くのグループも研究分担を行っている。従って部門の常勤研究者約70名の半分が地図環境関連研究に携わっており、増える傾向にある。予算の面では平成16年度の地図環境研究は運営費交付金研究費1億円強、外部からの受託研究費が約2.5億円となっている。外部からの予算では特に地層処分関係の研究費が大きい。

地圏環境の研究に関しては、産総研の中でも関連する環境分野及び地質分野の研究ユニットと相互に協力することで強みを発揮するよう、分野別連絡会等を通じて連携を図っている。



## 図2 地圏環境の研究に関する、第一期及び第二期のロードマップ

#### 4. 最近の研究内容と成果の例

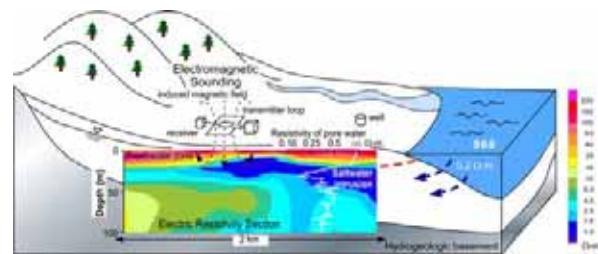
土壤汚染評価・管理手法の開発において昨年度は土壤汚染に起因する環境リスクを科学的に評価するための解析モデル、関係式の定式化及びプログラムを開発し、包括的アセスメントシステムとして公開用の Windows 版評価システムを完成了。

今年度はさらに我が国独自の土壤や地下水の状況を勘案し、サイト特有のデータやパラメータを用いたサイトアセスメントツールの開発、また、土壤・地下水中の化学物質の移流・分散や吸着性・分解性を考慮した浸透流解析モデルや土壤や地下水の他に大気・水域・海洋との物質移動を考慮した多媒体間解析モデルを用いた詳細型アセスメントモデルの開発を進めている。

地下水の研究では中国地質調査局と研究協力を  
行い、黃河流域の水文環境の研究として、地下水  
の收支・循環機構解明のためのモニタリングと地下  
水循環モデルの構築を進めている。また、ヒー  
トアイランド現象の抑制を目指した都市型地中熱  
利用システムの開発、融雪剤による地下水汚染の  
研究、濃尾平野や佐賀平野における地下温度場と  
地下水流动に関する研究を進めている。

地層処分に関する研究では、高温域の地球科学的特性と成因の研究、沿岸域の断層等の評価手法の研究、地下深部岩盤応力の研究、塩淡境界面形状把握調査、光音響分光法を用いた地下水センサーの開発等を行っている。その中で、塩淡境界面

形状と地下水流动の高精度評価では、塩淡境界面の三次元的な形状を多角的な方法で観測し、陸域を流下する淡水地下水と塩水地下水の圧力分布や流动状況、地下水流动環境などを高精度に評価する手法の開発に成果を上げている。東海村調査地で観測孔の整備を実施中である。また、海水の浸入領域を把握するために電磁探査法適用実験と解析により、低比抵抗領域の存在を検知した。



Electromagnetic Sounding of Saltwater Intrusion  
図3 海水の浸入域と低比抵抗領域（物理探査研究グループ、光畠）

CO<sub>2</sub>の地中隔離の研究においては、沿岸帶水層に圧入されたCO<sub>2</sub>の挙動のモニタリング技術と帶水層の隔離ポテンシャルの把握に向けて基礎的研究を加速しているところである。

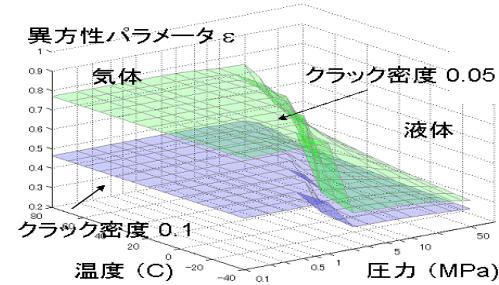
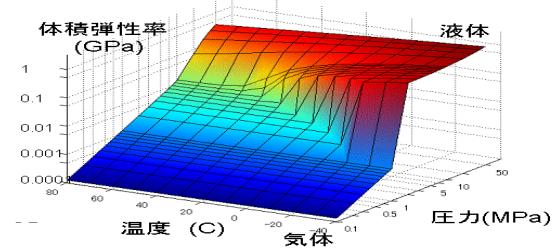


図4 CO<sub>2</sub>の物性変化に伴う貯留岩の物性変化(物理探査研究グループ、西澤)

都市域等の地図利用のための地図特性評価とモニタリングシステムの開発では、熱物性、地下水等センサー開発、岩盤評価技術開発、及び物理探査データ解析法の高度化を行っており、電磁探査・地震探査データ解析やオリジナル可搬型NMR測定装置の開発を進めている。

なお、成果全般の詳細は各グループの紹介を参照されたい。

## 塩淡境界面形状把握調査の紹介

地質バリア研究グループ長： 楠瀬勤一郎  
Leader, Geo-barrier Research Group: Kinichiro KUSUNOSE

### 1. 研究の目的及び必要性

塩淡境界面に沿った地下水流动は、核種が処分場から生物圈へ移行する際の主要な経路であると考えられる。処分場の隔離性能を評価するためには、塩淡境界面の形状やその変動、境界面に沿った地下水流动などの性質を解明する必要がある。しかし、塩淡境界面の形状やその変動についての野外データーは現状においてはきわめて乏しい。本事業では、野外調査により、塩淡境界面の形状や境界面に沿った地下水流动を把握し、地質状況に応じた塩淡境界面の形成機構を解明し、得られた知見を普遍化して、概要調査地区での調査に適用可能な、確度の高い広域塩淡境界面推定手法を開発する。

的に解釈することにより、広域の塩淡境界面を確度高く推定する手法を開発する。

### 3. 研究課題の最終目標

#### 【事業終了年度：平成18年度】

2km×2km程度の研究試験地を設定し、孔井での検層・地下水分析、地表物理探査、観測井による地下水連続観測により、広域の塩淡境界面の把握技術と塩淡境界面の変動メカニズムを明らかにする。また、野外調査と井戸データベース・地質図・室内実験などにもとづく調査とを総合することによって、確度の高い広域塩淡境界面推定手法の開発を行う。

### 2. 課題と計画の概要

本事業では、①沿岸域の現地調査に基づく研究と②井戸台帳や地下水試料・岩石試料を用いた統合データベースの構築を行っている。①では、研究試験地での物理探査・孔井での検層と地下水分析・観測井での連続観測により、塩淡境界面の形状を把握し、さらに、揚水などにより人工的に周辺の地下水を変動させ、塩淡境界面の変動を観測することにより、地質状況に応じた塩淡境界面形成機構を解明する。これらの研究で得られた知見を普遍化し、概要調査地区に適用可能な、井戸調査を含む野外調査手法を確立する。②では、深部地下水など、長期間滞留し、化学的に平衡状態になっている地下水の組成を、岩石-水反応試験および岩石組成から化学平衡理論による推定により求める。また、これを地下水データベースとリンクし、総合的なデータベース構築を試みる。総合的なデータベースと野外調査結果、地質図など既存文献資料を総合

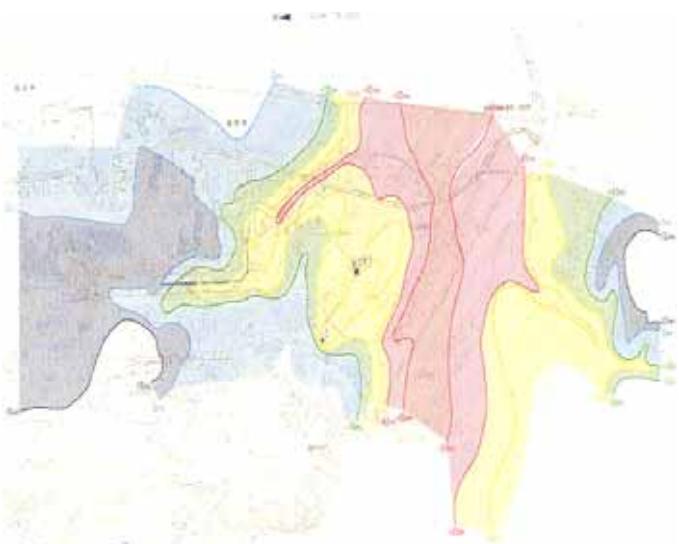


図1 本地域では各種調査の結果、埋没谷が存在し、地下水の流动を規制していることが分かっている。この地下谷にあわせて観測施設を整備し、大規模施設建設に伴う塩淡境界面の形状変化と地下水流动の関係について研究する。

#### 4. 現在までの達成状況(これまでの成果)

平成14年度に、千葉県蓮沼海浜公園内の研究試験地(50mX50m)で、孔井および物理探査手法による塩淡境界面の把握手法の検証・評価を行った。深部の比抵抗構造を明らかにするため、AMT法による調査・解析手法の開発に着手した。平成15年度より、茨城県東海村に、2kmX2km程度の研究試験地を設定し、蓮沼試験研究地で検証した手法を用い、塩淡境界面の把握を行った。調査結果を基に、地下水観測井の整備を行い、塩淡境界面の変動の観測を開始した。また、水理シミュレーションを行うための基盤データとして、弾性波探査をおこなって、調査地の地質構造を明らかにした。地下水データベース・深部岩盤データベースの構築、岩石-水反応試験を継続している。

#### 5.今後の課題と計画

今後、平成18年度の事業終了までに、研究試験地での地下水連続観測井により、塩淡境界面の形状やそれに沿った地下水流動状況を決定する要素を抽出することを計画している。さらに、井戸台帳や周辺岩盤と化学的に平衡な地下水組成の推定などのデータに基づく統合データベースと野外調査結果、地質図など既存文献資料とともに、沿岸部地下水流動モデルを構築し、塩淡境界面の形状や沿岸部の地下水流動を的確に把握する手法を確立する予定である。

本事業終了後に残された課題として、研究試験地における地下水観測により、塩淡境界面の形成機構を明らかにし、処分場の隔離性能の評価に使用できる、超長期での塩淡境界面の変動予測法の開発がある。具体的には、

- ・帶水層内の圧力分布の変化に伴う地下水流動状況の変化の把握
- ・地下水の流動メカニズム(移流・拡散)と核種拡散の関係解明
- ・地下水流動層の圧力分布ならびに水分量変化に伴う流動抑制現象の解明
- ・再冠水に伴う地下水流動状況の変化
- ・深部地下水の長期移流を解明するための水質組成変化解析による新手法の開発

- ・深部地下水環境を概観するためのデータベース(深部水理地質図 or 深部岩石DB)の構築
- ・長期地下水環境変化モニタリングのための要素抽出(適切な観測項目の選定)

がある。

#### 参考文献

- 1) 光畠 裕司・内田 利弘・岸本宗丸・大里和己・丸井 敦尚・楠瀬 勤一郎、電磁探査法による沿岸周辺地域における地下帯水層への塩水浸入領域調査 -その1-、物理探査学会第108回学術講演会、2003年5月28日
- 2) Mitsuhata Yuji and Toshihiro Uchida, Application of electromagnetic methods to the investigation of seawater intrusion into coastal aquifer - A case study in the Hasunuma area, Chiba prefecture, Japan, International Symposium on the Fusion Technology, of Geosystem Engineering, Rock Engineering and Geophysical Exploration, 2003 11/18 ~11/19, Seoul
- 3) Atsunao Marui, Groundwater discharge to the ocean in a volcanic island and a deposited layer field, Japan Quaternary Geology 47-4, 381-388, 2003 Dec.
- 4) Atsunao Marui and Hisako Seki, Deep groundwater in the Kanto Plane: JAHS 33-3 149-160, 2003, Aug.
- 5) 丸井敦尚・内田洋平・高倉伸一・佐藤皓・丸塚勝美・鈴木健訓・神田征夫、降雨時の加速器トンネル安定性に関する水文学的研究、日本水文科学会誌、33(1)、3-12 (2003)

## 地圏資源環境に関する知的基盤情報の整備・提供（地質の調査）

### Geological Survey and Reconnaissance on Intellectual Information for Geo-resources and Geo-environment

総括研究員： 奥田義久

Principal Researcher, Yoshihisa Okuda

Phone: 0298-61-3630, e-mail: okuda.gsj@aist.go.jp

#### 1. 研究の目的と概要

わが国国土の地下資源・環境の実態解明を行うためには、長期的な視野で、地圏資源環境に関する基本情報を体系的に整備することが重要である。このため、地圏資源環境研究部門では、国内および周辺諸国における社会ニーズに対応する各種主題図を作成し、国土利用、資源安定供給等に必要な地球科学的情報基盤に関する各種のデータベースを構築すると同時に、地圏資源環境にかかる基盤的な研究を実施し、知的基盤情報の整備・提供を行っている。

具体的には、①未利用地熱資源評価に必要な地熱資源評価システムの設計、および数値地熱資源量分布図の作成、②1/200万鉱物資源図、燃料資源図、1/50万鉱物資源図、水文環境図、大都市圏の土壤・地質汚染評価基本図等の地圏資源環境に関する各種地球科学図を作成し、また、それに関連する各種地球科学情報をデジタル化して提供している。このほか、アジアの金資源開発・利用のリスク要因のリスクアセスメントの高度化のために、環境汚染問題の評価を進めている。

#### 2. 研究資源について

##### 1) 参加研究グループ

地熱資源 RG、燃料資源地質 RG、資源有機地化学 RG、鉱物資源 RG、地下水資源環境 RG、地圏環境評価 RG

##### 2) 研究予算：214百万円

#### 3. 研究の進捗状況

##### 1) 資源環境関連図の作成

###### ①地熱資源

地熱資源に関しては、主として地熱の資源量評価に関する研究を実施している。平成13年度には、過去に図面として出版された地熱資源図（50万分の1縮尺の6図幅分）を、地理情報システムを利用してすべて数値化し、CD-ROM版の地熱資源図を出版した。また、平成14年度は、温度・貯留構造の解析・表示法を検討し、誌上発表し、また、地熱ボーリングコアの画像データベース暫定版を開発した。平成15年度には、未利用地熱資源の開発評価のために、主として非火山地域における熱異常のモデリング手法の検討を行った。

###### ②鉱物資源

平成16年9月に、50万分の1鉱物資源図「中国四国」を出版した（図1）。また、平成16年度出版予定の「南西諸島」の刊行により、日本列島の50万分の1鉱物資源図シリーズが完結する。

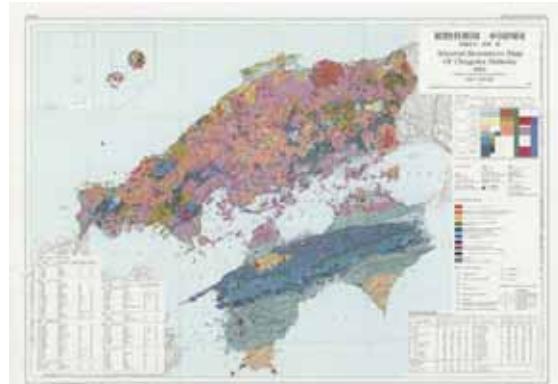


図1 鉱物資源図「中国四国」(須藤・村尾 2004)

この鉱物資源図「中国四国」の対象地域には、南から北に、四万十帯、秩父帯、三波川帯、領家帯、丹波帯、三郡帯が分布し、日本の中・古生代のメタロジェニーの特徴が最も顕著に表れている。こ

のうち中一古生代の付加体堆積岩類が卓越する秩父帯、丹波帯、三郡帯には、層状マンガン鉱床と石灰石鉱床が、また塩基性変成岩類の卓越する三波川帯には、別子型銅鉱床が多数分布する。中国地方の花崗岩類には、金属鉱床を伴わない領家帯、タンクスチーン鉱床を伴う山陽帯、モリブデン鉱床を伴う山陰帯に区分される。

米国地質調査所と行っているGlobal Mineral Resources Assessment Projectでは、今年度に東アジア地域の300万分の1鉱物資源図の刊行を目指として、アジア地域の鉱物資源データの編纂を継続し、平成16年2月にはCCOP諸国地域に関し、7月には東アジアの銅に関する資源評価を行った。

ところで、近年砂利資源採取の規制が強まり、骨材資源の碎石資源に対する依存度が増大している。このため、経済産業省からの支援を受け平成15年度には中国・四国地方各県の骨材資源の賦存状況の取りまとめと、海砂代替資源としての風化花崗岩の調査・評価法・陸砂利の評価法を調査した。この結果、岡山県・広島県・山口県の骨材生産量が海砂利採取規制とともに低下著しく、地域全体の生産量も年々減少していることが判明した

### ③燃料資源図

我が国の燃料資源情報の整備のため、三陸沖燃料資源図、水溶性ガス田図、ガスハイドレート分布ポテンシャル図、炭田図について燃料資源図の編纂をすすめるための補備調査、情報収集、データコンパイル作業を進めると同時に、マクロな面での広域的な地質の検討対比を行っており、特に、三陸沖燃料資源図は平成15年度内に編集を完了し、出版作業中である。

また、今年度中に5万分の1相当の炭田地質図を作成し、筑豊炭田図をCD-ROM版として出版する予定である。

なお、平成16年度は九十九里地域水溶性天然ガス田図の補足調査・編集、日本周辺ハイドレート分布図の編集を進めており、さらに今後、日本周辺全域の燃料資源地質図の編集をすすめることしている。

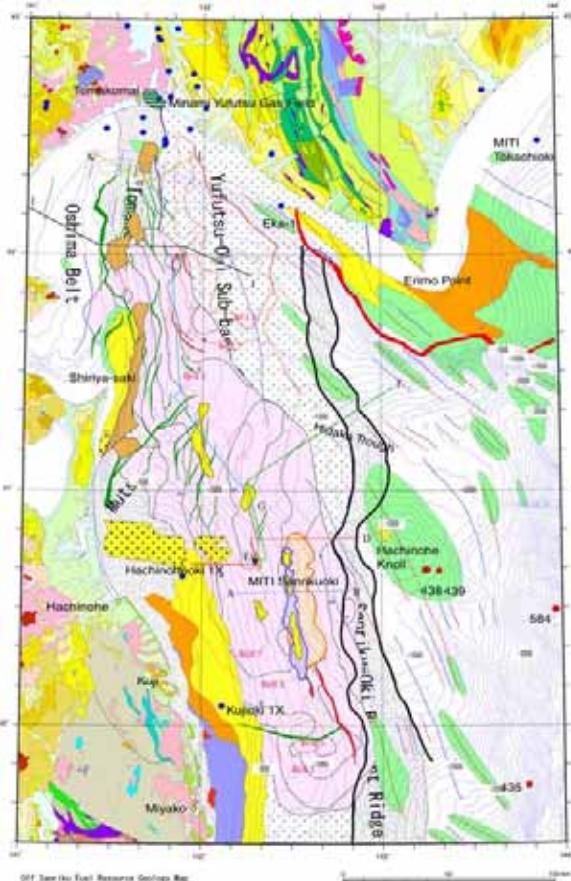


図2 三陸沖燃料資源図

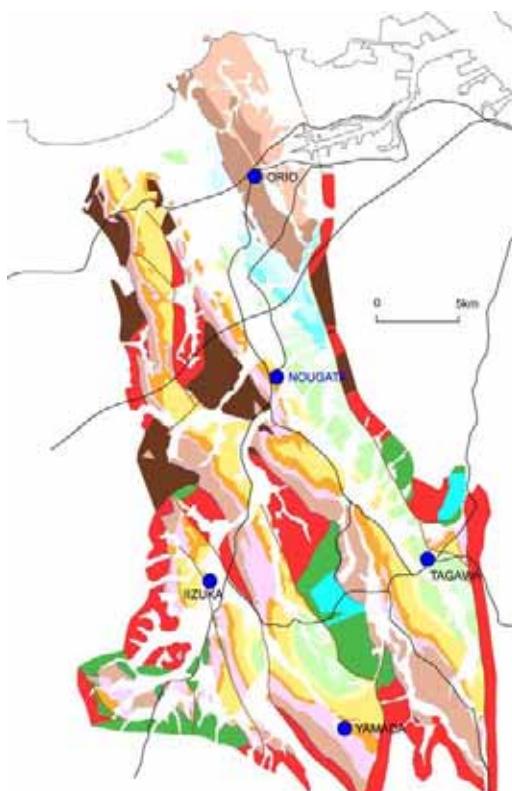


図3 筑豊炭田図

#### ④環境地質関連図

1/5万土壤汚染評価基本図に関しては、平成14年度に出版したこのシリーズで初めてとなる「姉崎」の成果普及に努めるとともに、平成16年度に出版する予定である「仙台地域」の現地調査・分析及び、編纂作業を進めている。

水文環境図に関しては、地質調査所時代、主に地下水の資源量を図示した「日本水理地質図」シリーズが刊行され、計41地域をカバーしてきたが、産総研移行後に、地下水を含む水文環境を流动や質に重点を置いた「水文環境図」として変化して最初の出版となる「仙台平野」を平成15年度内にCD-ROM出版した。平成16年度には「秋田平野」を出版する予定である。この他、「濃尾平野」「関東平野」等の編纂を進めている。

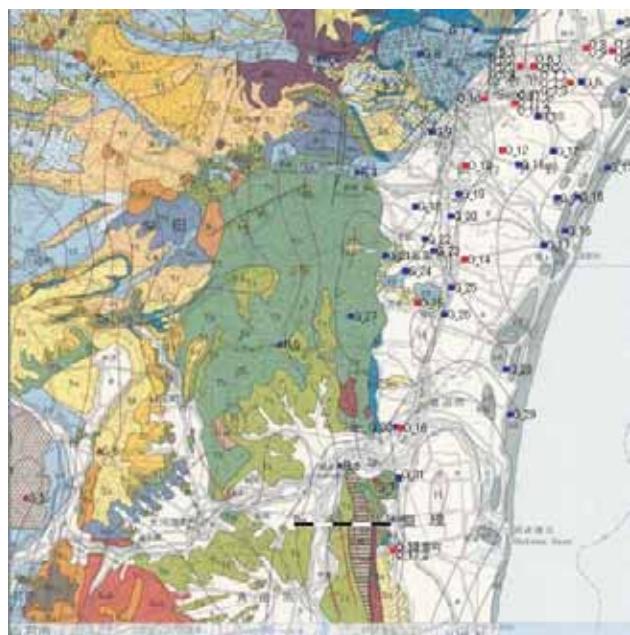


図4 水文環境図「仙台平野」

## 2) その他の研究

### ①資源開発におけるリスク削減の研究

資源開発に際してリスク要因となるスマールスケールマイニング(SSM)について、地球化学、環境科学、社会科学による学際的研究を行っており、平成15年度には、モンゴル国のボロー鉱化帯を選定し、水銀を用いて金鉱を処理する現場の実情を調査した結果、世界ではじめて、同地帯に砒素汚染が存在する可能性を見出した。

平成15年11月にはつくばでリスクコミュニケ

ーションのあり方を検討する国際シンポジウムを、16年3月にはフィリピンのバギオ市で国際シンポジウムを開催し、SSMの起業についてフィリピン鉱山地球科学局や労働雇用省、社会保険庁等を交えて討論を行ない、Proceedingsを発行した。

以上の研究成果を踏まえて、この問題に関する世界銀行主導の国際イニシアチブ"Community And Small Scale Mining (CASM)"に当部門から戦略委員を送り、東・東南アジアの問題を取り扱うCASM-Asiaを設立することを呼びかけてきたところ、CCOPに予算と事務局を置くことが認められたため、当グループよりプロジェクトのコーディネーターを派遣して、業務の協力にあたる予定である。

### ②熱水・热水の影響評価手法に関する検討研究

「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」では、概要調査地区の選定には、将来にわたって地震・火山などの自然現象による地層の著しい変動が生ずるおそれがあると見込まれることを調査して選定することが求められている。温泉などの熱異常について、火山の中心からの距離が離れるにつれ、水温や化学成分などの異常が小さくなるが、要調査地区選定上の考慮事項では、個別地区ごとに評価する事項において処分場への影響を及ぼすものの一つとして、マグマ等による熱・热水の影響をとりあげ、将来を含めその影響が著しい場所を概要調査地区に含めないこととしている。さらに、わが国には火山と明確な関連のない高温地域も知られているので、それらの熱異常の成因を明らかにし、いくつかのタイプに分類する必要がある。そして、それぞれのタイプに応じた調査・解析・評価手法の整備が必要となる。このため、環境研究部門では、平成15年度後半より、「熱水・热水の影響評価手法に関する検討研究」を開始した。本研究では、このような背景のもと、概要調査地区選定結果の信頼性を高めること、および適切な概要調査以降の調査計画の立案に資することを目的に、高温地域の地球科学的特性と成因の把握およびそれらの将来を含む影響の評価を行うための調査・解析・評価手法について検討研究を行っている。

## 第3部

### グループおよび個人の研究紹介



## 地熱資源研究グループの紹介

### Introduction of the Geothermal Resources Research Group

地熱資源研究グループ長： 村岡洋文  
Leader, Geothermal Resources Research Group: Hirofumi Muraoka  
Phone: 0298-61-2403, e-mail: hiro-muraoka@aist.go.jp

#### 1. グループの研究目的

21世紀における地熱エネルギーの利用拡大のためには、これまでの技術では手の届かなかった未利用地熱資源の開発が不可欠である。当研究グループでは平成16年度までに、国内およびアジアにおいて、未利用地熱資源の開発を目指して、平野部および火山地域の地熱系に係わる素過程の研究を行うとともに、地熱系モデリングの観点から未利用地熱資源のポテンシャル評価を行う。また、地熱資源量評価のために、地理情報システム(GIS)を利用した定量的かつ多目的な数値地熱資源量分布図を作成する。

#### 2. グループの研究資源

##### 1) グループ員

常勤研究員：村岡洋文、阪口圭一、佐々木宗建、  
佐脇貴幸、茂野博、玉生志郎、水垣桂子  
併任・分担研究員：大谷真幸ほか10名

##### 2) 予算

- ・運営費交付金「地熱資源の研究」
- ・NEDO産業技術研究助成事業「地中熱利用の最適化のための地下水水理予測手法に関する研究」
- ・NUMO「熱・熱水の影響評価手法に関する検討」

#### 3. 平成15年度の研究計画

本研究グループは、未利用地熱資源の開発を目指して、未利用地熱資源の実態解明と資源量評価に関するシリーズ研究を行う。ここでは特に先第三系基盤岩・貫入岩に賦存する地熱系、カルデラに伴う地熱系、平野部に賦存する地熱系を対象に、それぞれの開発にとって鍵となる透水性断裂系、カルデラに係わる熱水理構造、地中熱利用の最適化のための地下水水理に焦点を合わせた研究を行う。平成15年度は研究テーマを1) 未利用地熱資源の実態解明の研究、2) 未利用地熱資源の資源量評価の研究、3) 地中熱利用の最適化のための地下水水理予測手法に関する研究の三本柱とする。研究テーマ1) はa) 基盤内貯留層・貫入岩周辺部、b) 火山地域地熱系、c) 平野部地熱系に細分する。研究テーマ3) はNEDO産業技術研究助成事業「地中熱利用の最適化のための地下水水理予測手法に関する研究」と呼ばれるNEDO若手グラント

による地中熱利用に関する3ヶ年研究プロジェクトである。

1) a では透水性断裂を、坑井検層・噴気データ等を基に把握する。また、断裂の構成要素と透水性との相関性について数値指標を与える。さらに貫入岩体とその周辺に発達する断裂系の発達様式を把握するために、古地熱地域の岩石について流体包有物マイクロサーモメーターと岩石学的分析を行う。1) b では大型カルデラ地熱系の熱構造モデルを作成し、総合的なポテンシャル評価の様式等についてまとめる。また、複数の小型カルデラについて地質構造、火山・熱水活動史を調査検討するとともに、小型カルデラ地熱系モデル作成のための地質と年代に関する基礎データを蓄積する。1) c では各地平野部熱水系の流体特性を多変量解析法により明らかにする。2) a では日本の各種地熱資源賦存量の体系的な把握を目的として、GISと各種既存データを利用した地熱開発有望地域レベルの解析・表示法等の検討を行う。その表現形式として、東北地方を対象に温泉放熱量分布図の試作版を作成する。2) b では東アジア地域の地熱資源に関するデータベースのとりまとめを行う。2) c では地熱コア画像データベース構築を継続する。3) では濃尾平野と仙台平野をモデルフィールドとして、地中熱利用の最適化のための地下水水理予測手法に関する研究をとりまとめる。以上の研究によって、今年度は論文投稿10編、誌上発表10編、口頭発表20編を目標とする。

なお、平成15年度当初の計画になかったプロジェクト研究として、平成15年度10月から、新たにNUMO「熱・熱水の影響評価手法に関する検討」を開始した。本研究は、放射性廃棄物の地層処分計画の一環として、概要調査地区選定およびそれ以降の調査段階における熱・熱水の影響評価を行うための調査・解析・評価手法について検討するものである。ここでは、これを4) 熱・熱水の影響評価手法に関する検討として記述する。

#### 4. 平成15年度の進捗状況

1) a 基盤内貯留層の透水性断裂に関する研究では、コア試料の観察で確認した先第三系基盤岩中の透水性断裂を、NEDOの坑井検層・噴気データ

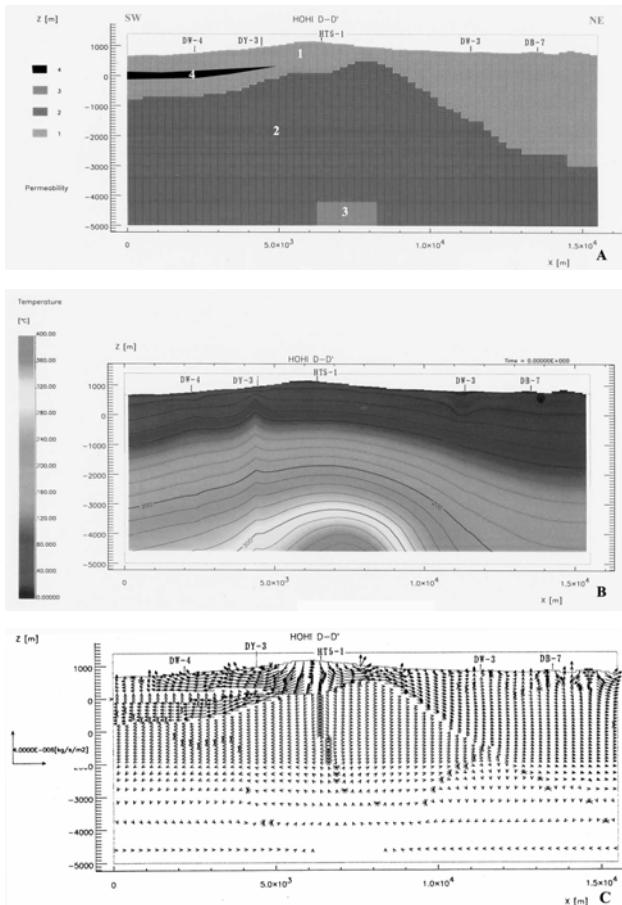


図 1 大岳・八丁原地熱地域を通る断面のシミュレーション. A) 地質コード分布, B) 等温線図, C) 流体流動ベクトル分布図.

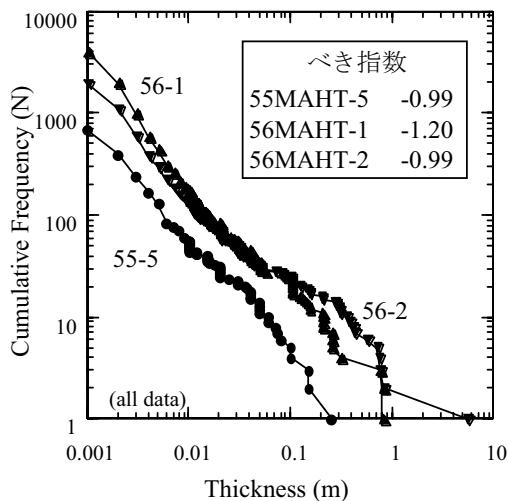


図 2 菱刈鉱床コアの鉱脈の脈幅.

に関する調査報告書を参照して、断裂と検層記録の対応関係を検討している。また、今までの研究成果である豊肥地域の標高-5 kmまでの広域的な流体流動のシミュレーション結果を、国際学会で発表するとともに国際誌に学会発表した(図 1)。ここで用いた地下の地質と温度分布から広域的な

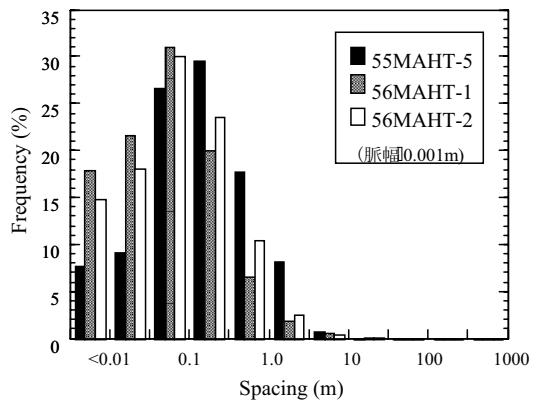


図 3 菱刈鉱床コアの鉱脈の間隔.

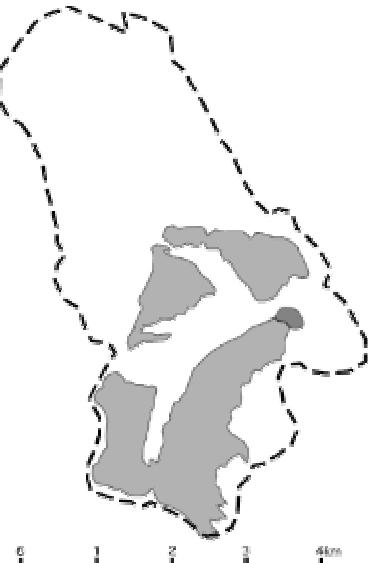


図 4 5万分の1地質図幅「陸奥川内」に記載された畠地区の湖成堆積物分布(灰色)とH15年度調査で明らかになった湖成堆積物分布(破線).

流体流動を簡便的にシミュレーションする方法は、学会参加者の関心を呼んだ。さらに、断裂系の構成要素における相関性の数値指標化のうち、構造的要素の相関性を把握するために、断裂系の全体像がほぼ明らかにされている菱刈鉱床について、コアに認められる鉱物脈の脈幅や脈間隔等を実測し、これにより得られた統計的特徴を、1次元での数値計算を通じ、断裂系の生成・発達過程の観点から数値指標化した(図 2, 図 3)。次年度は同データについて2次元でのモデル化・数値指標化を試みる。

1) a 貫入岩体とその周辺に発達する断裂系に関する研究では、秋田県湯沢雄勝地域の流体包有物の研究成果をとりまとめ、日本地熱学会誌上に出版した。

1) b 大型カルデラの地熱系の実態解明とボテンシャル評価の研究では、主に文献調査に基づき、

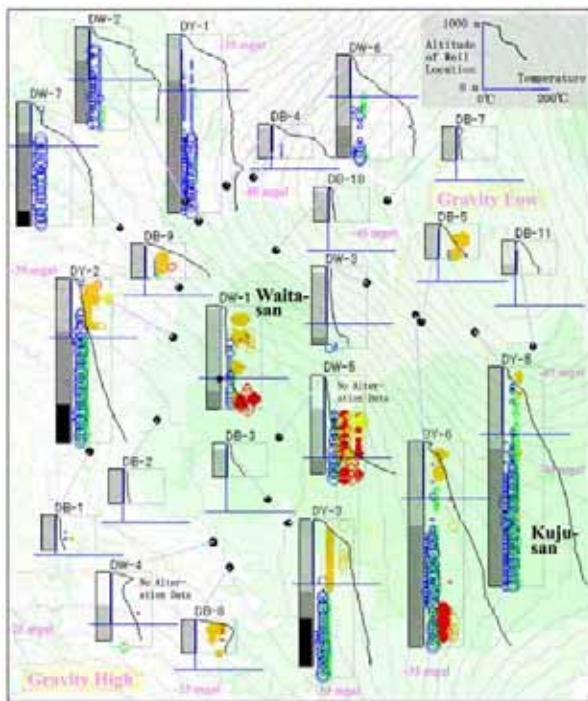


図 5 GIS を利用した地熱資源評価法の研究による、九州中央部「豊肥」地域の坑井（地質・変質・温度）データと地形・重力異常データとの重合表示例。

各地の大型カルデラの熱・水理構造モデル化に必要なパラメータの検討を実施した。

1) b 小型カルデラ地熱系モデルに関する研究では、下北地域（川内町・佐井村）に想定される2個の小型カルデラのうち、既存データの少ない畠地区を中心に現地調査を行った。その結果、湖成堆積物の分布は既存の図幅に記載されたよりも広いことが判明し、噴出物の可能性のある凝灰岩と湖成堆積物との境界を確認した（図4）。全体の構造は南会津の八塩田カルデラによく似ているが、中央部で後カルデラ期溶岩は見つかっていない。また噴出物・変質岩のESR年代測定法の基礎研究として3ユニットの火碎流堆積物を測定した結果、いずれもK-Ar年代やFT年代の0.6倍となり、補正した上で実用化できる可能性が出てきた。

1) c 平野部熱水系の解明の研究では、北海道石狩低地帯南部周辺に分布する「深部熱水」型資源に絞って、流体地球化学データの処理・解析・取りまとめを進めた。並行的に各種地理・地球科学情報について重合的な電子化処理を実施し、島弧衝突域における複雑な温度構造、貯留構造、流体起源の関係を明らかにした。

2) a GIS を利用した地熱資源評価法の研究では、地熱有望地域のケーススタディーとして「豊肥」地域を選び、地熱流体化学データおよび坑井温度・地質・変質データについて他の地理・地球科学情報との重合的な表示・解析作業を行い（図



図 6 2004年2月つくば開催最終ワークショップ。

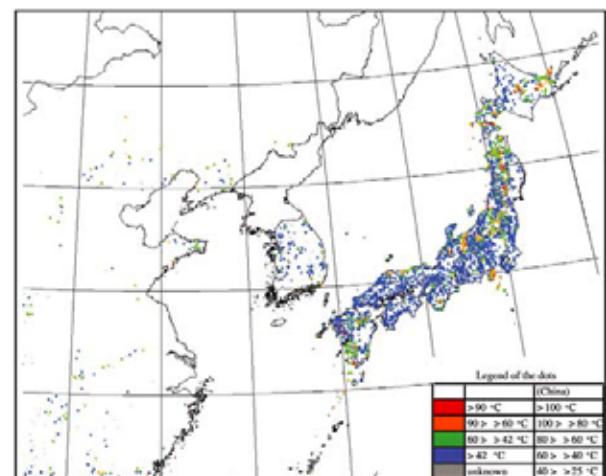


図 7 日本近辺の温泉データに関する出力例。

5), 手法・結果・問題点などを整理して発表した。また、火山防災と地熱開発の協力をテーマに、磐梯火山の1888年水蒸気爆発による大災害について検討を加え、今後の長期的・総合的な地熱資源評価の重要性を取りまとめて公表した。

2) a 温泉放熱量分布図作成の研究では、地熱資源図CD-ROMのデータを使用して、東北地方の一部について、補正無しの温泉放熱量分布を試算した。また、温泉放熱量計算での各種の補正法の検討を行った。

2) b アジア地熱資源データベースの研究では、2001年度から2003年度にかけ実施されたCCOPプロジェクトである「アジア地熱資源データベース」の中で、4回のナショナルコンパイラーアクセスを開き、最終会議を2004年2月に産総研にて開催した（図6）。これらの会議を通して収集された各国のデータを元にデータベースのプロトタイプを作成した（図7）。このプロトタイプでは、(1)温泉、(2)第四紀火山、(3)地熱坑井、(4)温度勾配、(5)地熱発電所、(6)地震、(7)地磁気、(8)重力等のデータを地質図上に投影したものとなっている。最終的な成果は“CCOP Technical Bulletin”にまと



図 8 コア画像データベースの葛根田地域 WD-1a  
コア画像の例.

めて出版する予定となっている。

2) b 各種二国間地熱研究協力では、平成9-13年度まで実施されたインドネシアとのODAプロジェクトのフォローアップ調査を行った。インドネシアは同プロジェクトの成果を受けて、現在、マタロコ地域に2坑の1000m深地熱井を掘削中であり、本プロジェクトの成果が確実に実際の開発に結びついていることを確認した。また、韓国が浦項(ポハン)市の地域暖房開発の目的で進めている地熱掘削プロジェクトのシンポジウムにおいて、研究協力としての提言の発表を行った(ただし、韓国KIGAMとの研究協力は物理探査研究グループが中心となって進めている)。

2) c 地熱保管コア画像データベース構築では、栗駒地域の1坑井240点の画像をRIO-DBに追加し、栗駒地域の他の20坑井についてWEB公開のための前処理を完了した(図8)。

3) 地中熱利用の最適化のための地下水水理予測手法に関する研究では、これまでに得た基礎データを用いて地下水流动・熱輸送広域モデルの開発と地中熱利用に伴う環境影響評価を行った。仙台平野を対象として 30 年間にわたって人工的に地中との熱交換のシミュレーションを行った結果、採熱地区のひとつにおいて温度低下領域が地下水流动の下流側である南側および東側に広がっていることが確認できた(図 9)。また、濃尾平野に位置する春日井市と一宮市においてサーマルレスポンス試験を実施し、春日井では  $2.54 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 、一宮では  $4.66 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  と他地域と比べて高い有効熱伝導率を確認した。

4) 熱・熱水の影響評価手法に関する検討では、平成15年度に、以下の項目の文献調査と予備的な解析を実施した

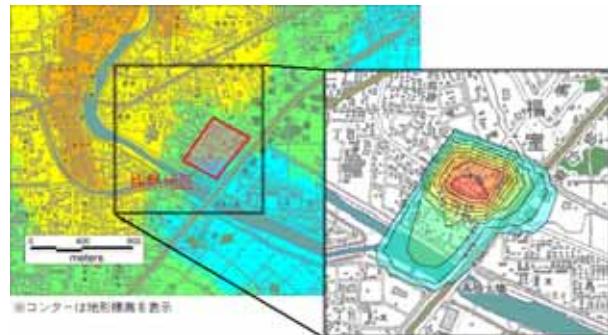


図9 30年間の採熱後の50m深における温度変化。

#### 4) a 高温地域の地球科学的特性の検討

- ① 温泉放熱量に基づく熱異常抽出・特性把握方法に関する検討
  - ② 岩石変質データベース構築に関する検討およびデータベース化
  - ③ 地球科学的特性に関する情報収集および2次元・3次元可視化

) b 高温地域の成因の検討

  - ① 広域流動シミュレーションによる成因の検討

) c 調査・解析・評価手法の検討

  - ① 電磁探査による深部構造解析手法
  - ② 震源データを用いた深部構造解析手法
  - ③ 放射年代測定法を用いた地熱系の長期変動解析手法
  - ④ 流体地化学に基づく熱・熱水の影響評価手法

## 5. 今後の展開に向けて

- ・未利用地熱資源の研究については、平成16年度が最終年度であり、現在、最終的なとりまとめに向けて、研究を進めているところである。

- ・平成17年度以降の展開としては、研究の出口をより明確化するため、NEDO地熱開発促進調査の新たな展開に対応して、中小地熱を対象とした中低温地熱資源データベースの作成を中心に研究を進める予定である。この場合、これまで扱ってきた火山近傍の高温地熱資源のみならず、より広い裾野をもつ低温地熱資源を、総合的に把握することが重要課題となる。

- ・この新しい展開のため、現在、資源エネルギー庁、新エネルギー・産業技術総合開発機構、地熱産業界、地方自治体、日本地熱学会等、外部への積極的な働き掛けを行っているところである。

- ・また、社会の地熱ニーズを的確に把握し、研究成果を外部に開かれたものとするため、今後はWEBサイトの強化についても、重要課題として取り組む予定である。

## 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：棚橋 学  
 Leader, Fuel Resource Geology Research Group: Manabu Tanahashi  
 Phone: 0298-61-3938, e-mail: tanahashi-m@aist.go.jp

### 1. グループの研究目的

石油、天然ガス、石炭等燃料鉱床探査技術の高度化をめざし、資源探査の基礎となる鉱床成因モデルの構築、燃料資源探査法の改良、資源ポテンシャル評価技術の研究開発を行う。特に、クリーンエネルギーとして期待される天然ガス資源確保に資するため、資源有機地化学研究グループと共同して重点研究課題「石炭起源ガス・ガスハイドレート資源評価技術の開発」を実施する。

### 2. グループの研究資源

#### 1) グループ員とその専門分野

(常勤研究者)

棚橋 学	燃料資源地質、海洋地質
徳橋 秀一	堆積地質
中嶋 健	海洋地質、堆積地質
佐藤 幹夫	海洋地質
森田 澄人	海洋地質、構造地質
小田 浩	石炭地質、堆積地質

(所内出向者)

松林 修	物理探査、地球熱学
(研究分担者)	
池原 研	海洋地質、堆積地質
渡辺 真人	微化石層序学、新生代地質
雷 興林	物理探査
横田 俊之	反射法地震探査法

#### 2) 予算

燃料資源地質RG H16予算 (8/20)

運営費交付金

1号業務「燃料資源地質の研究」	8,069千円
2号業務「燃料資源地質の研究」	1,617千円
受託研究（石油天然ガス・金属鉱物資源機構）	
「地化学探査の適用検討・評価」	予定
「日本周辺 BSR 地質解析の研究」	予定
合計	9,686千円

### 3. 研究の進捗状況

#### 1) 石炭起源天然ガス資源の鉱床成因、形成機構および資源ポテンシャル評価技術の地質学的研究

三陸沖堆積盆の天然ガスポテンシャル評価のため、北海道、東北地方等の地質調査と炭質物の分析を行い、根源岩形成時の古地理図作成等基礎情報を整備する。物理探査、坑井データから本地域の資源地質、堆積史、熱史、構造発達史を検討し、燃料資源地質図用のデータをまとめた。

○石狩、釧路、久慈等の炭田地域において野外露頭の地質調査、石炭等試料の採取を行い、地質データを収集し、炭質分析、バイオマーカー分析等を行い、石油ガス生成能力の評価を進めた。久慈炭田地域の久慈層群、野田層群の石炭は共に未熟成であり、ロックエベル分析によると共にガス生成型、根源岩ポテンシャルは中程度であった。

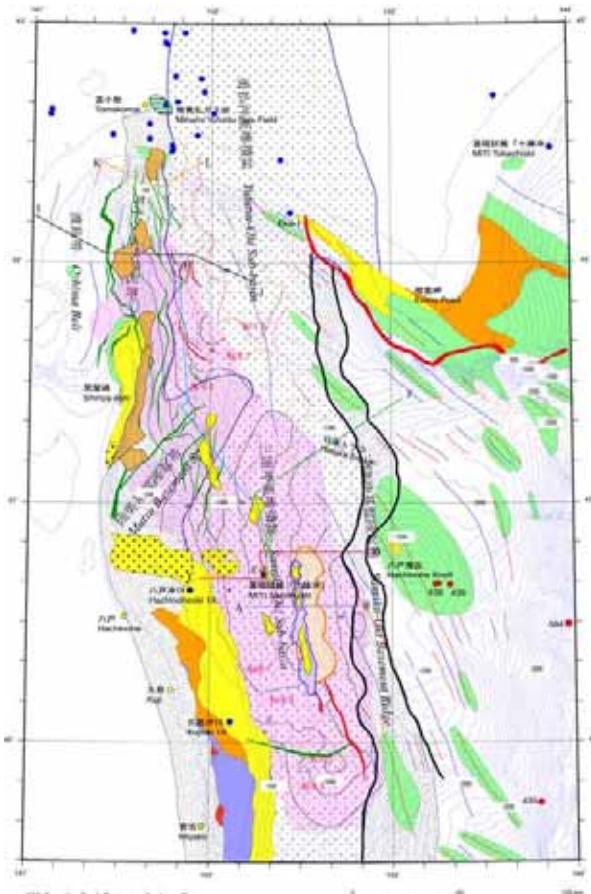


図1 燃料資源地質図 No. 1 「三陸沖」 作業図

○ジャパンエナジー石油開発（株）と共同研究を継続中。その成果を燃料資源地質図「三陸沖」にまとめた（図1）。

## 2) ガスハイドレート資源の鉱床成因、形成機構および資源ポテンシャル評価技術の地質

ガスハイドレート鉱床の探査法、資源評価法を開発するために、物性実験およびモデリング、南海トラフ等における野外調査、試料分析、データ解析、内外の資料収集を行う。石油天然ガス・金属鉱物資源機構委託費により、大学等と協力して南海トラフでの地化学探査航海を実施し、堆積物試料、地質情報を収集する。

○石油天然ガス・金属鉱物資源機構よりの受託研究により、一昨年度実施した「第2白嶺丸」、昨年度実施した東海大学「望星丸」による東海沖-熊野灘の地化学調査の分析解析を、東大理、東大洋研、北大理、広大生物資源、高知大洋研コアセンター、アメリカ海軍研究所との共同研究により進めた。さらに今年度10-11月には東海大学「望星丸」による調査航海に参加予定。また、地化学探査手法の評価、来年度の実施計画を検討する。

○同受託研究の一環として、昨年度末から今年度初めにかけて南海トラフで行われた基礎試錐「東海沖-熊野灘」に地化学調査グループとして参加し、コア試料の熱伝導率を測定する等、調査作業に協力した。今後、メタンハイドレート層の熱伝導率との比較や、同時に実施された光ファイバ精密分布型地層温度計データと併せた地殻熱流量の推定及びBSR深度の検討を行いハイドレート集積メカニズムの解明を進める。



図2 基礎試錐「東海沖-熊野灘」で使用された JOIDES Resolution 号、蒲郡港にて。



図3 地質標本館特別展「メタンハイドレート」のポスター

○熊野海盆の「淡青丸」による地震探査、「かいよう」による地質調査の航海に参加（予定）。 「かいよう」航海では長期温度計の設置を実施予定。

○熊野海盆深部の堆積物の性状を明らかにするため、泥火山噴出堆積物を用いて酸素・炭素同位体分析、ロックエベル式熱分解法分析、及び流体包有物分析を実施。流体の起源は熊野海盆の底部よりも下位に求められることが判明、流体から晶出した方解石脈の形成温度及び深度を推定。

○地質標本館の展示企画及び製作を担当、特別展「メタンハイドレート-新しいエネルギー資源への取り組みー」を開催。新しいエネルギー資源と期待されるメタンハイドレートに関する研究の紹介を目的としており、展示内容としてメタンハイドレートの性質、メタンの重要性、探査及び調査手法などを中心とし、MH21（資源開発研究コンソーシアム）の活動や、ハイドレートの工業的利用法も含め紹介した（図3）。

○一昨年度末に行われたカナダマリックの産出試験掘削時の試料分析結果に関する論文が印刷中。

○メタンハイドレート開発研究コンソーシアム（MH21）の海洋調査サブワーキンググループ活動を実施。

○メタンハイドレート関連情報交換のためのメーリングリスト（参加者 167 名）を運営している。本年度これまでに 64 件の文献を紹介。

- 日本エネルギー学会ハイドレート研究会および同「新規生産手法調査委員会」等で活動中。「砂泥互層」に関する調査を分担。

### 3) 在来型天然ガス資源等の鉱床成因、形成機構の地質学的研究

東北地方、新潟、房総、日本海等の含油ガス田堆積盆地域の地質調査により堆積学的データを収集し、統計学的解析、日韓層序対比等を実施する。構造発達史と根源岩、貯留岩の形成との関係を検討する。

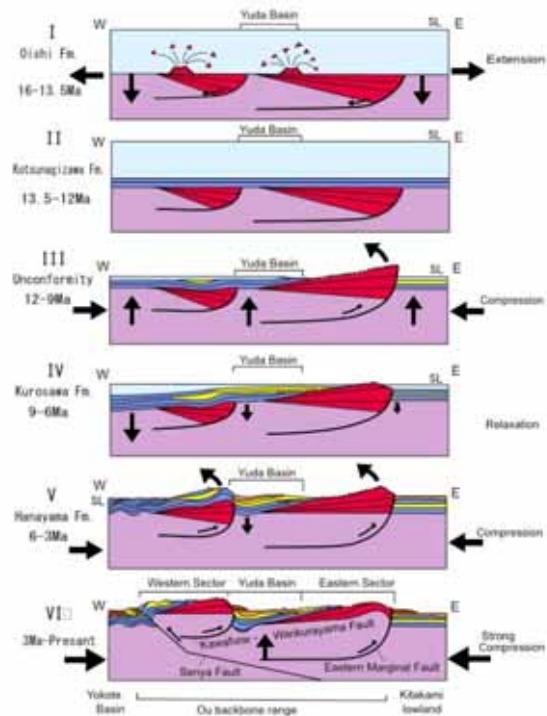


図4 横手- 北上間の奥羽山脈の 16Ma 以降の発達史とテクトニクス

- 石油・天然ガス探鉱の大水深化により脚光を浴びているタービダイト貯留岩の研究を進めている。
- 三陸沖陸成堆積盆から秋田・新潟油田地帯にいたる東北日本トランセクトのテクトニクスと石油・天然ガス鉱床成因との関係についての研究を実施。これまでの年代測定や地質構造調査の結果、東北日本トランセクトのうちの脊梁部の地形発達史とテクトニクスがほぼまとまり、国際学会で発表（図4）。

### 4) 天然ガス資源のポテンシャル評価技術の研究

我が国の天然ガス資源ポテンシャル評価の改訂のため、ハイドレート資源等を考慮した新しいポテンシャル評価技術の検討を進め、新たに実施する全国的資源ポテンシャル評価の準備を進める。

- 日本周辺ハイドレート資源評価のためのBSR の見直しとコンパイルを実施中。
- 日本周辺大陸棚の資源ポテンシャル評価の基礎データ収集を進めている。

### 5) 燃料資源地質図の作成

我が国の燃料資源情報の整備のため、燃料資源地質図の編纂をすすめるための補備調査、情報収集、データコンパイルを行う。三陸沖燃料資源図、水溶性ガス田図、ガスハイドレート分布ポテンシャル図について作業を進める。三陸沖燃料資源図を編集出版する。

- 石炭起源ガスに関するジャパンエナジー石油開発との共同研究の成果を中心として燃料資源地質図「三陸沖」の編集終了。年度内にCD-ROMで出版予定（図1）。

- 九十九里水溶性ガス田図は担当者の復帰により編集を再開した。

- ガスハイドレート分布ポテンシャル図は、BSR 再評価などの諸情報を取り込んだ作業図を作成しており、早期に出版を予定。

- 日本燃料資源図(1992)が古くなり、配布が困難となっているので、日本周辺大陸棚資源ポテンシャル評価に合わせて改訂準備を開始。

### 6) 燃料資源情報の収集

我が国の燃料資源情報の整備のため、新規に実施された探鉱情報の基本データを燃料資源地質データベースに順次取り込む。既存情報、文献等の情報収集を進め、効率的高機能なデータベース構築をめざす。ILPメタンハイドレートアトラスプロジェクトを推進する。

- 燃料情報収集は基礎調査データの電子化を中心として進めている。

### 7) 燃料資源地質の基礎的研究

燃料資源の生成機構、探査手法、評価手法等に関する基礎的萌芽的研究を行う。根源岩評価法、資源評価法、海洋地質調査法、地球環境論、堆積構造形成論、日本海の堆積史、地質構造発達史等について検討している。

- 新たに海底試料を用いた地球温暖化災害予測手法の研究に取り組み、本年度は予測手法の研究の基礎となる深海底での洪水堆積物の識別について論文を投稿予定。

- 富山湾の堆積物の化学分析についての共著論文を公表 (Ohta et al., 2004)。

- 長崎県の第三紀挿炭層の年代についての共著論文を投稿。

- フィッショング・トラック年代法を利用した寺泊層底生有孔虫化石マーカ一年代について論文を公表 (加藤ほか, 2004)。

- 韓国地質資源研究院(KIGAM)との間で行っている日韓第三紀含油ガス堆積盆の比較論的研究の基盤的研究成果として、韓半島陸域の地質の概要（各地質時代の地層の分布と標準層序）を模式地域の地層の露頭写真とともにまとめた（徳橋, 2004）
- 石油技術協会、SPWLA、日本掘削科学コンソーシアム等の役員、委員として活動。
- 大陸棚の資源問題に関して発表し、物理探査学会「大陸棚画定研究委員会」で活動。

#### 4. 今後の研究計画

石炭起源天然ガス資源の鉱床成因、形成機構および資源ポテンシャル評価技術の地質学的研究とガスハイドレート資源の鉱床成因、形成機構及び資源ポテンシャル評価技術の開発に関わる地質学的研究を、引き続き重点研究課題として実施する。さらに在来型天然ガス資源等の鉱床成因・形成機構の地質学的研究、燃料資源地質の基礎研究を実施する。

- 1) ハイドレート研究に関しては、資源エネルギー庁が策定した「メタンハイドレート開発計画」に基づき、石油天然ガス・金属鉱物資源機構が平成13年度より実施している資源量評価研究の一部として地化学調査等を分担し、地化学探査資料の分析解析を進め地化学探査手法の適用可能性を評価・確立すると共に日本周辺海域のBSRに関する地質解析を進める。
- 2) 石炭起源天然ガス資源研究に関しては、石炭及び炭質堆積物の根源岩ポテンシャル評価のための地質調査と地化学分析をすすめると共に、ジャパンエナジーとの共同研究として堆積盆評価を実施する。
- 3) 日韓の第三紀堆積盆の天然ガス・石油システムに関する地質学的・地化学的比較研究を進める。

#### 5. 期待される成果

- 1) 石炭起源ガス評価技術に関しては、三陸沖堆積盆周辺において地質調査等を行い資源ポテンシャル評価に貢献する。
- 2) 南海トラフ、カナダマッケンジーデルタ等におけるハイドレート賦存状況に関する基礎データ

の取得と解析、地化学探査法の研究、物性実験研究、ハイドレート堆積体の賦存状況の総括等の諸研究をすすめ、国家的課題であるハイドレート研究の一翼を担う。

#### 最近の主な公表論文

- 1) 加藤 進、小田 浩、壇原 徹：寺泊層底生有孔虫化石マークの年代、石油技術協会誌、69巻4号, p.385-394, 2004.
- 2) 森田澄人、駒井 武、海老沼孝郎：メタンハイドレート—新しいエネルギー資源への取り組み—。地質調査総合センター研究資料集, No.410, 2004.
- 3) Morita, S. et al.: Gas hydrate BSR and possible fluid migration in the Nankai accretionary prism. Proceedings of the International Symposium on Methane Hydrates and Fluid Flow in Upper Accretionary Prisms, p34-41, 2004.
- 4) Morita, S. et al. : Evolution of Kumano basin and sources of clastic ejecta and pore fluid in Kumano mud volcanoes, eastern Nankai Trough. Proceedings of the International Symposium on Methane Hydrates and Fluid Flow in Upper Accretionary Prisms, p92-99.
- 5) 中嶋 健：タービダイトから推定される日本海東縁佐渡島北方海域の地震発生ポテンシャル（序報）。歴史地震, 19, 176-179, 2003.
- 6) Ohta, A., Imai, N., Terashima, S., Tachibana, Y., Ikehara, K. and Nakajima, T. : Geochemical mapping in Hokuriku, Japan: Influence of surface geology, mineral occurrences and mass movement from terrestrial to marine environments. *Applied Geochemistry*, 19, 1453-1469, 2004.
- 7) 棚橋 学：燃料資源地質関連のWEBデータベースシステム、日本情報地質学会シンポジウム2003 講演要旨集、p.31-35, 2004.
- 8) 棚橋 学：メタンハイドレート分野での海底観測、月刊地球, 26巻4号, p.258-264, 2004.
- 9) Tanahashi, M. : Submarine surface geology and methane hydrate in Nankai Trough. Proceedings of the International Symposium on Methane Hydrates and Fluid Flow in Upper Accretionary Prisms, p48-51, 2004.
- 10) 棚橋 学：メタンハイドレート、沿岸環境学会（編）沿岸環境事典、p.243、共立出版、2004.
- 11) 棚橋 学：メタンハイドレート、日本エネルギー学会（編）エネルギー便覧「資源編」、p.13-19, コロナ社, 2004.
- 12) 棚橋 学、小島紀徳：エネルギー資源量と統計、日本エネルギー学会（編）エネルギー便覧「資源編」、p.197-206, コロナ社, 2004.
- 13) 棚橋 学、西村 昭：日本の排他的経済水域などの海底資源をめぐって、土木施工、45巻8号, p.68-75, 2004.
- 14) 徳橋秀一：韓半島南部地質巡検記、地質ニュース、no.598 (2004年6月号), p. 37-62, 2004



## 資源有機地化学研究グループの紹介 Introduction of the Fuel Resource Geochemistry Research Group

資源有機地化学研究グループ長： 坂田 将  
Leader, Fuel Resource Geochemistry Research Group: Susumu Sakata  
Phone: 0298-61-3898, e-mail: su-sakata@aist.go.jp

### 1. グループの研究目的

石油、天然ガス、石炭等の燃料鉱床探査および評価技術の高度化に貢献するため、炭化水素の起源と生成機構、濃集機構を解明し、地球化学的な鉱床形成モデルを構築する。特に、クリーンエネルギーと期待される天然ガス資源の確保をめざし、燃料資源地質研究グループと共同して、重点研究課題「石炭起源ガス・ガスハイドレート資源評価技術の開発」を実施する。

### 2. グループの研究資源

#### 1) グループ員

坂田 将 (リーダー)
猪狩俊一郎
金子 信行
鈴木祐一郎
前川 竜男
小田 浩 燃料資源地質研究グループより分担
古宮 正利 地球科学情報研究部門より分担
吉岡 秀佳 産総研特別研究員
大庭 雅寛 学術振興会特別研究員

#### 2) 予算

##### 運営費交付金

- 「資源有機地化学の研究（エネルギー）」
- 「資源有機地化学の研究（地質）」
- 「地圈・海洋における微生物のメタン生成・消費プロセスの解明」（内部グラント）

##### 委託費

- 「メタンガスの生成・集積に関するバイオマーカー分析によるメタン菌の活動記録の解析」（JOGMEC）
- 「メタン菌バイオマーカーに基づくメタンハイドレートの有機地球化学的研究」（学術振興会）

#### 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

- ・ガスクロマトグラフ質量分析計
- ・ガスクロマトグラフ燃焼同位体質量分析計
- ・元素分析装置
- ・イオンクロマトグラフ
- ・高速液体クロマトグラフ
- ・ビトリナイト反射率測定装置（石炭顕微鏡）

### 3. グループの特色

有機・生物地球化学、石油地質学、石炭岩石学の専門家集団であり、燃料資源を対象として、炭化水素の起源や鉱床成因等を検討し、資源量予測や鉱床探査に必要な理論とデータを提供する。また当研究部門の重点課題「石炭起源ガス・ガスハイドレート資源評価技術の開発」の地化学分野を分担し、成因や資源としての可能性の検討を行う。資源としての微生物起源メタンの地球化学的、鉱床学的研究を行っている点を特徴とする研究グループである。

### 4. 16年度前期までの研究進捗状況

#### 1) ガスハイドレート資源評価技術の地化学的研究

室内実験による測定と統計熱力学的解析をもとに GH 相平衡条件の評価技術を開発する。BM 分析と RI 培養実験をもとに南海トラフ海底堆積物中のメタン菌の活動を評価し、GH メタンの集積機構の解明に貢献する。

- ・メタン・エタン・プロパン等炭化水素ガスと希ガスを含む混合ガスの相平衡条件を測定した。その実験結果をもとに、ガスハイドレート相平衡条件を予想する統計熱力学的モデルの再検討を行い、複数の熱力学パラメータの改訂を行い、相平衡条件の予測結果の精度向上を行った。
- ・砂層海底堆積物等に胚胎するガスハイドレートの相平衡条件を検討するため、シリカゲル等多孔質物質中のガスハイドレートの生成実験を行い、孔隙の大きさによって、ガスハイ

- ドレートの相平衡条件が低温・高压側へ変化することを確認した。
- バイオマーカー分析によるメタン生成アキア活動度の復元：基礎試錐「南海トラフ」深部コアや四国沖・東海沖の表層堆積物、国内水溶性天然ガス鉱床のスラッジなどに含まれているメタン生成アキア起源のバイオマーカーの分析を行った。すべての試料において、エーテル脂質である複合態アキオールが検出されたことから、各試料中にアキアが生息していたことが明らかになった。さらに一部の試料からメタン生成アキアに特徴的なバイオマーカーである 2,6,10,15,19-ペンタメチルアイコサン (PMI) やヒドロキシアキオールを検出し、その分子構造や組成などから、メタン生成アキアの過去の活動について考察した。これらの成果を国際学会や国内学会で発表した（表 1）。

試料	mbsf / m	PMI	アルコー-	複合態ア-	アルコー-	複合態ヒ-
			ル態ア-	キオ-	ロキシア-	ドロキシ-
			ル	ル	ル	ル
基礎 試 錐 PSP-07-1	254.20	0	0	10	0	0.6
基礎 試 錐 PSP-11-1	266.20	n.q.	40	18	0	3.2
茂原 D-48	不明	0	0	2.5	0	1.6
新潟 K6-2	不明	0	0	9.7	0	1.3
四国沖 HP 04-1	0.1	24.5	2.4	21	0	0
四国沖 HP 04-2	1.0	28.7	6.0	17	0	0
四国沖 HP 04-3	2.0	29.5	6.3	14	0	0
四国沖 HP 04-4	5.1	53.2	3.7	15	0	0
第二 大 竜 S-2	0.82	68.4	66	56	190	92

n.q. = not quantified

表 1. 堆積物中の各種バイオマーカーの存在量

- 基礎試錐「東海沖一熊野灘」のコア掘削に参加し、バイオマーカー分析に必要なコア試料を新たに採取した。

## 2) 石炭起源ガス資源評価技術の地化学的研究

堆積盆内の炭層の分布と堆積相の関係の解析、BM による石炭と原油の対比等により石炭起源石油天然ガスの生成モデルを構築する。モデルに基づき三陸・北海道地域での石炭起源ガスのポテンシャルの時空分布を明らかにする。またコールベッドメタン(CBM)について、ポテンシャル評価の指標となるガス吸着能力と炭質の関係を実験等で明らかにすることを目指している

- 北海度勇払から石狩炭田を経て天北炭田へと続く、石炭起源と考えられる石油天然ガスを産する堆積盆が北方のどこまで延長するかを考察するため、戦前に国策会社の北樺太石油（株）により採取され地質調査所に保管されていたオハ油田、ヌトウ油田、カタングリ油田の原油についてバイオマーカー分析により根源有機物の堆積環境を解析をおこなった。環境の有効な指標とされている C27, C28, C29 ステランの構成比からは、北サハリンの原油が海棲環境起源であることが示唆された。少なくとも石油システムからは石狩炭田型の堆積盆は北サハリンへは連続しないようである。

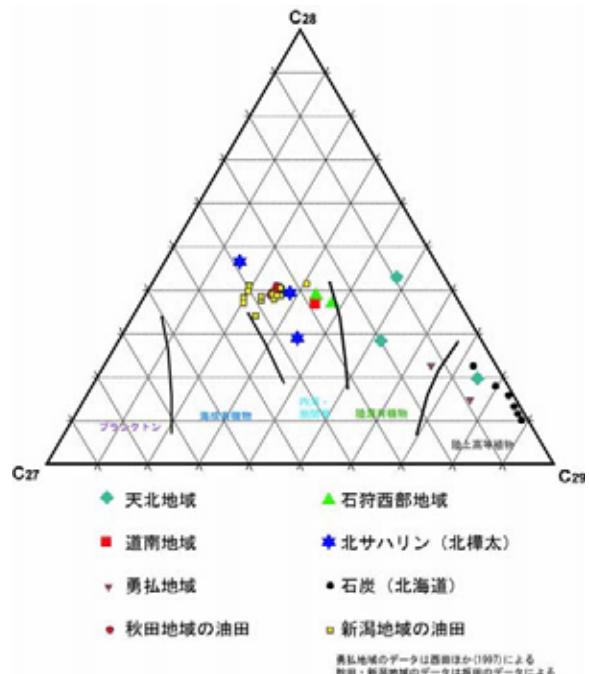


図 1. ステラン三角図による北サハリン、北海道の諸油田の根源有機物の堆積環境。比較のため秋田、新潟を示している

- これまでの研究でジテルペンが石炭や陸上高等植物由来の石油で重要な指標になる可能性を指摘した。しかし、石炭を含んでいる貯留槽内でのジテルペンの溶かし込みの可能性を指摘された。ジテルペンの有効な熟成指標である phyllocladane の 16 位の異性体反応を用いて、天北地域で貯留岩となっている宗谷夾炭層中の石炭と原油を比較した。石炭は指標となる  $16\beta(H)/(16\beta(H)+16\alpha(H))$  の値が 0 に近い値を示した。この数字は未熟成であることを示している。一方、稚内原油や勇知原油では、phyllocladane 指標は、1.0 に近い値を示し石油生成帯に入っていることを示す。原油と同様にジテルペンも熟成して移動してきたも

ので、貯留層での溶かし込みでないことが phyllocladane の結果から明らかにできた。

### 3) 在来型天然ガス資源等の地化学的研究

水溶性天然ガス等、国内在来型天然ガス鉱床のガス、付随水等の化学組成、同位体比を測定し、炭化水素の起源や鉱床成因を解明する。

- 千葉・新潟等の水溶性天然ガス附隨水の化学組成・同位体組成の測定結果に基づいて、その起原と続成による組成変化を解析した。また、メタンの同位体組成と比較し、微生物による CO<sub>2</sub>還元反応の水素同位体分別について考察した。
- 茂原ガス田において茂原型水溶性天然ガスと非茂原型水溶性ガスの炭化水素組成を比較した結果、茂原型は非茂原型に比べ、イソブタン/ネオペンタン比が低い等組成に相違のあることが明らかになった。また同地域の上ガス（地表から噴出しているガス）とガス井戸のガスの組成を比較した結果、上ガスは茂原型鉱床と類似した組成を示すことが明らかになった。

### 4) 燃料資源情報の収集

可燃性天然ガスに関する地化学データベースを構築し、適宜データを収集・補充する。二酸化炭素炭層固定等のニーズに対応するデータベースを構築するため、炭田調査関係資料の電子化、データベース化を進める。

- 天然ガス地化学データベースの作成に向け、250試料の未公表データの入力を行った。

### 5) 燃料資源図の編纂

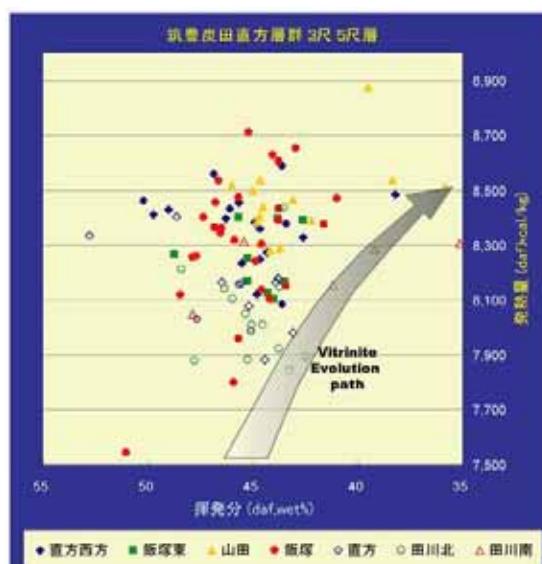


図2. 筑豊炭田の地域別の炭質

筑豊炭田に関する情報収集、デジタル化を進めるとともに、現地概況を調査し、炭田図の編集を進める。

- 筑豊炭田の地質・炭層対比、炭質を収集し、筑豊炭田図の執筆を開始した。また地域ごとの炭質を解析し、炭田形成史をの考察を進めている。

### 6) 地圏・海洋における微生物のメタン生成・消費プロセスの解明

BM分析、RI培養実験をもとに堆積物中のメタン菌の活動を評価する技術や、メタンの安定同位体比から微生物のメタン生成経路（二酸化炭素還元、酢酸分解）を評価する技術について検討するとともに、これらを水溶性天然ガス田等の試料に応用し、天然ガスの継続的な発生源としてのメタン菌の重要性を明らかにする。メタンの濃集機構を解明するために房総地域における堆積過程と地層水の移動に関するシミュレーションを行う。

- 好熱性、水素資化性で水溶性天然ガス鹹水中にも生息しているメタン菌 *Methano-bacterium thermoautotrophicus* ΔH を、純粋系（高い水素分圧下）で培養し、二酸化炭素還元経路での水素同位体分別を異なる成長段階、異なる成長温度（55°Cと65°C）において測定した。測定の結果、水素同位体分別係数（メタンの水素同位体比を水の水素同位体比で割った値）は、55°Cで0.70から0.72、65°Cで0.69から0.72であり、培養温度に対しての明瞭な傾向は見出されなかったが、成長段階の進行とともに低下する傾向が観察された。上記メタン菌を共生バクテリア *Syntrophothermus lipocalidus* TGB-C1と共に55°Cで培養し、メタン生成に伴う同位体比分別を測定した。水とメタンの水素同位体比の関係を解析するために、水の水素同位体比 δD を-134から-37‰の範囲で変えた培養水を使用した結果、両者の関係は式：

$$\delta D_{CH_4} = 0.725 \delta D_{H_2O} - 275$$

によく合致した（図3の相関直線）。この関係は Whiticar et al. (1986) の予測した関係と異なるが、二酸化炭素還元によるメタン生成が卓越する泥炭地 (Lansdown et al., 1992) 等陸上野外試料の分析データと調和的である。同位体分別係数（0.725）は水素濃度が高い純粋系での値に比べて有意に高いが、その差は小さく、Burke (1993)の仮説を定量的に支持するまでには至らない。

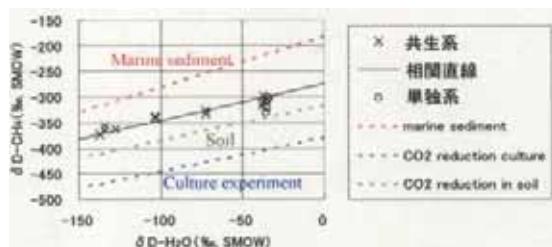


図3. 微生物起源メタンと付随水の水素同位体比の関係（培養実験と野外試料）

- メタン生成アーキアのバイオマーカー抽出及び同定方法の最適化：国内の水溶性天然ガス鉱床において生息が確認されたものと同種のメタン生成アーキアを培養し、その細胞試料から膜脂質成分であるエーテル脂質の抽出・分離精製・誘導体化の方法を検討し、確立した（図4）。さらに、ガスクロマトグラフ及びガスクロマトグラフ質量分析計によるバイオマーカーの同定及び定量法を検討し、最適化を図った。これらの成果を国際学会や国内学会で発表した。

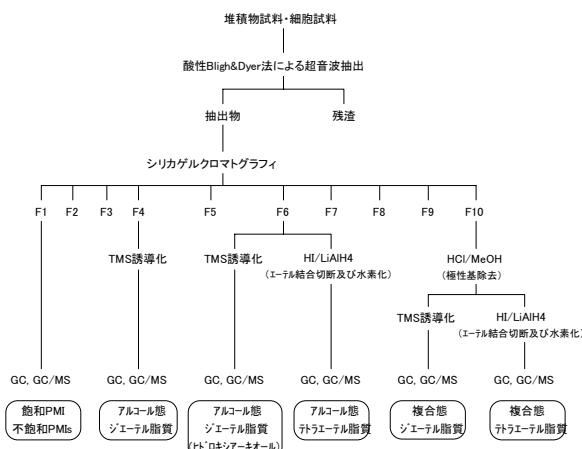


図4. エーテル脂質等の抽出・分離精製・誘導体化の方法

- 間隙水シミュレータを用いた水溶性天然ガス付随水の起源の推定は、初期条件や堆積盆地の深部の物性に大きく影響を受けるため、関東堆積盆地の基盤や三浦層群・上総層群の分布と構造運動についてデータの収集をおこなった。

## 7) 資源有機地化学の基礎的研究

空気や地熱ガス中の炭化水素、ガス田地帯地表漏出ガス、地震に伴う地表噴出ガス、天然ガス付随水中のヨウ素、微生物起源のBMに関する有機地化学的研究を進める。

- 南関東ガス田において地表漏出ガスと生産ガ

スを比較した結果、同位体比に違いが認められた。

- 2003年十勝沖地震に伴い千歳市泉郷地区において噴出した天然ガスの調査・分析を行い、石狩低地の地下において生成した微生物起源のメタンが移動・集積し、地震により噴出したものであることが明らかとなった。
- ヨウ素-129年代測定法の有効性に関する研究を進め、地質時代における<sup>129</sup>I/<sup>127</sup>I初生値の変化が年代値に大きな影響を与える可能性を指摘し、変化の要因について検討を行った。
- 新潟・茨城・群馬の空気を採取し炭化水素の分析を実施。解析の結果、今回は新潟でエタン濃度が高い試料の存在が観察された。これらの試料の不飽和炭化水素濃度は高くはないことから、新潟の一部の地域においてはガス田からの拡散が空气中飽和炭化水素濃度に影響を与えているものと推定された。
- 西太平洋の活発な海底熱水活動域から採取した堆積物について、総脂肪酸の濃度（全有機炭素量で規格化）と分子構造を分析した結果、総脂肪酸の濃度が通常の海洋堆積物に比べて著しく高いこと、バクテリアに特徴的な1不飽和脂肪酸に富むこと、などが判明した。堆積有機物の起源に関して、バクテリア等噴出生物の寄与が大きいことが明らかになった。

## 5. 主な論文成果

- Igari S., Comparison of atmospheric nonmethane hydrocarbons from gas and oil field areas and non gas and oil field areas: A case of Niigata, Ibaraki and Gunma in Japan, May and June 1995. *Geochem. J.*, 38, 285-289.
- Maekawa T., Experimental study on isotopic fractionation in water during gas hydrate formation. *Geochem. J.*, 38, 129-138.
- Yamanaka T. and Sakata S. Abundance and distribution of fatty acids in hydrothermal vent sediments of the western Pacific Ocean. *Org. Geochem.*, 35, 573-582.
- Fu F. F., Akagi T., Suzuki Y., Watanabe K. and Yabuki S. Rare earth element distribution in the acetic acid soluble fraction of combusted coals: Its implications as a proxy for the original coal-forming plants. *Geochem. J.*, 38, 333-343.

## 鉱物資源研究グループの紹介 Activity of the Mineral Resources Research Group

鉱物資源研究グループ長： 渡辺 寧

Leader, Mineral Resource Research Group: Yasushi Watanabe  
Phone: 0298-61-3811, e-mail: y-watanabe@aist.go.jp

### 1. グループの概要

鉱物資源は国民生活を維持するのに不可欠なものであり、鉱物資源を安定的に供給することはナショナル・セキュリティーに関わる重要課題である。当グループは、金属・非金属・骨材分野の専門家をもって組織し、金属資源等の海外に依存する鉱物資源、非金属資源や骨材資源のように主に国内で自給される鉱物資源、それぞれの安定供給のために必要な学術的研究・鉱物資源開発のための技術開発、情報の収集・解析を実施している。

平成15年度から16年度にかけては、1)活動的熱水系における深部鉱化作用の研究、2)金属鉱化作用と探査手法の研究、3)非金属鉱化作用と探査手法の研究、4)鉱物資源図及びデータベースの研究、5)資源開発におけるリスク削減の研究、6)骨材資源調査の6項目の研究を行っている。さらに国内唯一の鉱物資源専門家の集団として各種の鉱物資源に関するコンサルティングを行い、研究成果の普及を図っている。

### 2. グループ構成

渡辺 寧(リーダー)

小村良二

佐藤興平

須藤定久

村尾 智

大野哲二(平成16年7月15日より)

村上浩康

内藤 耕(併任)

太田英順(併任)

神谷雅晴(特別研究員)

寺岡易司(特別研究員)

### 3. 平成15-16年度の研究進捗状況

#### 1)活動的熱水系における深部鉱化作用の研究

地質・地化学・地球物理データに基づく無意根一豊羽マグマ熱水系モデルをもとに、金属鉱化作用を伴うマグマ熱水系の特徴を描き出し、削剥をほとんど受けていない火山体に伴う金属鉱床の探査指針の検討を行っている。優勢な金属鉱化作用を伴うマグマ熱水系の特徴は、①複合火山の形態を持つこと、②火山岩の組成がより珪長質に変化する傾向をもつこと、③火山を構成する噴出

物の年代より熱水活動の年代が新しいこと、④マグマに含まれる熱水が蒸気相と塩水相に分別する温度・圧力条件を満たしていること、⑤塩水相が上昇する裂縫系が存在すること、⑥地表部に広大な熱水変質帯が形成されるため火山崩壊や土石流堆積物が発達することが明らかになった(第1図)。このような条件は伸張構造場から中間的な応力場に変化する場で実現されることが考察された。これらの結果をポスターとして総括する作業を16年度後半に行う予定である。



第1図 無意根山東方小川林道沿いに分布する土石流堆積物。新鮮な安山岩礫に加え蒸気加熱型変質を受けた岩石が混在する。基質部分は粘土からなる。

#### 2)金属鉱化作用と探査手法の研究

深成岩に伴う鉱床の実態解明に基づき鉱床の成因を考察し、鉱床探査に有効な指針を得ることを目的とする。トルコ・テペオバ鉱床や日本の北上花崗岩類に伴う金鉱床を題材として、鉱化作用の生じた温度・圧力条件を推定するための分析を行うと共に、環太平洋地域の斑岩銅鉱床の形成場のコンパイルを行い、斑岩銅鉱床の形成する地質条件の検討を行った。さらに北上花崗岩地域に位置する田老黒鉱鉱床のテクトニックセッティングを検討するためにAr-Ar年代やSr-Nd同位体組成の分析を行なった。

平成16年3月には、日本学術振興会の援助を得て日本とスイスとの2国間セミナー"Spatial and temporal relationships between deep magmatic, porphyry and epithermal environments, and significance for ore formation processes"を開催し

た。上記セミナーは地圈資源環境研究部門の主催で平成 16 年 3 月 8-14 日につくば及び鹿児島県で行われた。研究発表を行った参加者は 26 名、スイス側研究者はジュネーブ大学、スイス技術研究所(ETH)、ローザンヌ大学から、日本側研究者は、産総研のほか東北大、早稲田大、九州大、住友金属鉱山(株)から参加した(第 2 図)。発表者以外に JOGMEC や鉱山会社からの参加者もあり、合計 50 名弱のセミナーとなった。

主要テーマは、①金属元素を輸送するマグマの化学組成、②マグマから分別した熱水が塩水と蒸気相に分離するときの金属元素の各相への分配、③鉱床の形成される構造場、④金属元素を輸送する熱水の化学的性質の多様性と変化である。特に②や④に関連して、これまで定性的にしか把握されていなかった流体中の金属元素の挙動・濃集が、実験技術と分析機器の進歩に伴い、現在では定量的に議論ができることが発表された。今後、新しい手法を駆使して、世界の代表的鉱床で生成プロセスを詳細に描き出し、これまでの「常識」を覆すべく共同研究をすすめることが確認された。



第 2 図 日本ースイスセミナーの主要参加者。

### 3) 非金属鉱化作用と探査手法の研究

韓国地質鉱物研究院との非金属鉱物資源の基礎/応用研究(2001-2004)の最終年度にあたり、韓国南部の Bobae セリサイト、Dongrae パイロフィライト、鳥川ベントナイト鉱床の調査を行い(第 3 図)、探査方針に関する探査のアドバイスを行った。

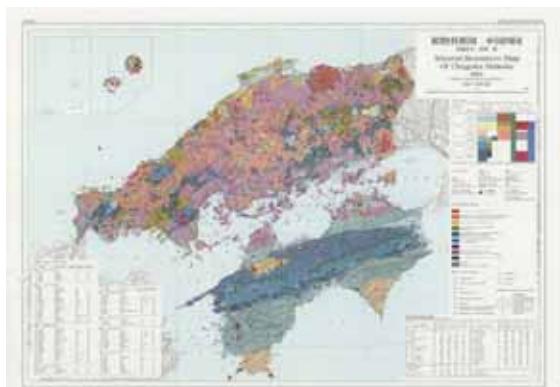


第 3 図 Bobae セリサイト鉱床の露天採掘場。

平成 16 年度より新たに資源の偏在性と需要の増加から将来的な資源不足の予想される重希土類元素のポテンシャル評価に関する予備的調査を本計画の中で開始した。平成 16 年度末にかけて、資料収集と予備的地質調査・分析を行う予定である。

### 4) 鉱物資源図及びデータベースの研究

昨年度の「九州」に引き続き、50 万分の 1 鉱物資源図「中国四国」を出版した(第 4 図)。本地域は、日本の中・古生代のメタロジェニーの特徴が最も象徴的に表れている地域である。この地域には、南から北に、四万十帯、秩父帯、三波川帯、領家帯、丹波帯、三郡帯が分布する。このうち中-古生代の付加体堆積岩類の卓越する秩父帯、丹波帯、三郡帯には層状マンガン鉱床と石灰石鉱床が、また塩基性変成岩類の卓越する三波川帯には別子鉱山で代表される別子型銅鉱床が多数分布する。中国地方の花崗岩類には、金属鉱床を伴わない領家帯、タンクステン鉱床を伴う山陽帯、モリブデン鉱床を伴う山陰帯に区分されることが読み取れる。



第 4 図 鉱物資源図「中国四国」(須藤・村尾 2004)。

平成 16 年度の「南西諸島」の刊行により、日本列島の 50 万分の 1 鉱物資源図シリーズが完結する。

アジア地域の鉱物資源データのコンパイルを継続して行っており、平成 16 年度には東アジア地域の 300 万分の 1 鉱物資源図の刊行を目指している。米国地質調査所と行っている Global Mineral Resources Assessment Project では、平成 16 年 2 月に CCOP 諸国地域に関して、7 月には東アジアの銅に関する資源アセスメントを行った(第 5 図)。



第 5 図 メンローパークにある米国地質調査所でのアセスメント作業。

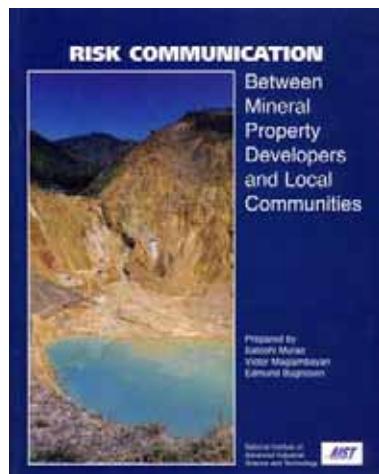
## 5)資源開発におけるリスク削減の研究

資源開発に際してリスク要因となるスモールスケールマイニング(SSM)について、地球化学、環境科学、社会科学による学際的研究を行った。

SSM 地帯における地球化学を論じるためにはさまざまな環境試料の迅速、正確な分析が必要である。そこで汎用性を持つ微量成分分析法である PIXE に注目し、水試料中の信号検出および鉱物中の微量成分の状態分析を試みた。河川と土壤の汚染について実態を把握するため、フィリピンとカンボジアで得た試料を分析し、いずれの国でも重金属汚染が存在すること、フィリピンでは水銀の汚染は増水期でも渴水期でも差がないことを確認した。

SSM の労働環境について研究するため、モンゴル国のボロ一鉱化帯を選定し、水銀を用いて金鉱を処理する現場の実情を調査した。その結果、世界ではじめて、同地帯に砒素汚染が存在する可能性を見出し、国際誌に報告した。

汚染地帯における関係者のリスクコミュニケーションについて考察するため、前年度までの学際的研究についてまとめ、報告書、学会誌論文及び単行本を出版した(第 6 図)。研究対象の一部であるイトゴン市については英文による報告書を作成し、関係者に送付した。



第 6 図 Risk Communication Between Mineral Property Developers And Local Communities (Murao et al., eds, Mining Journal Books).

平成 15 年 11 月にはつくばでリスクコミュニケーションのあり方を検討する国際シンポジウム、16 年年 3 月にはバギオ市で国際シンポジウムを開催し、SSM の起業についてフィリピン鉱山地球科学局や労働雇用省、社会保険庁等を交えて討論を行ない、Proceedings を発行した。

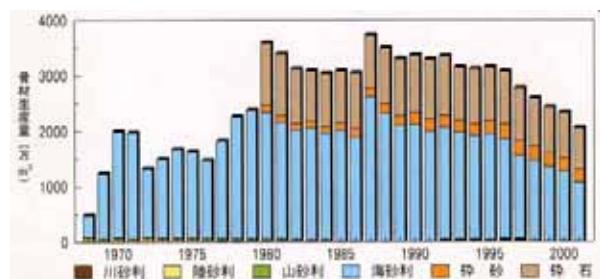
今年度は以上の成果を踏まえて、さらに SSM に関する学際的取り組みを強化する。SSM は複合問題であるため、学際的チームによる研究と国際的連携が必要である。鉱物資源研究グループはこの問題に関する世界銀行主導の国際イニシアチブ"Community And Small Scale Mining (CASM)"

に戦略委員を送り込んでいる。この委員を通じてその予算を活用し、東・東南アジアの問題を取り扱う CASM-Asia を設立することを呼びかけてきた。当グループの実績に鑑み、このたびこれが認められ、CCOP に予算と事務局を置くことになった。そこで、東・東南アジアにおける SSM の対策について、当グループよりプロジェクトのコーディネーターを派遣して、業務の協力にあたる予定である。

## 6)骨材資源調査

骨材資源調査は経済産業省産業技術環境局および製造産業局からの支援を受け行っている。平成 15 年度には中国・四国地方各県の骨材資源賦存状況に関する情報の取りまとめと、この地区の海砂代替資源としての風化花崗岩の調査・評価法・陸砂利の評価法についての基礎研究を実施した。これらの結果は平成 15 年度骨材資源調査報告書—中国・四国地方各県の骨材資源—(地図資源環境研究部門)に取りまとめた。

中国・四国地方では、岡山県・広島県・山口県の骨材生産量が海砂利採取規制とともに低下著しく、地域全体の生産量も年々減少していることが判明した(第 7 図)。



第 7 図 濑戸内 5 県の骨材生産量推移。

風化花崗岩のふるい分け粒度試験の結果は、粗粒の粒度組成を示し、細骨材としてそのまま使用することは不可能で、破碎・粉碎・分級・洗浄などの製砂処理が必要であることが判明した。比重・吸水試験の結果は、一部の試料は砂の品質基準値を満たすが、基準を満たさないものは原砂の破碎・粉碎処理が必要である。岡山県吉備郡真備町の山砂利層は基質量が多く、また一部はくさり礫比が高く、道路やコンクリート用の骨材には利用できないことが判明した(第 1 表)。

第 1 表 岡山県南部の山砂利層の礫質(小村, 2004)

地点	1	2	3	4
含 磷 比 (%)	<20-35	<40-50	<40-65	<50-65
層相区分	含礫シルト	含礫シルト	砂礫	砂礫
くさり礫 (%)	<95	<70-80	<80-90	<70-80
礫径(cm)	<5	<25	<20	<30
円磨度	亜円 > 亜角	亜円 - 亜角	亜円 - 亜角	亜円 - 亜角

本年度から日鉄鉱コンサルタント(株)と海砂利の代替資源としての真砂の資源評価法の研究を共同で開始した。またこれまで出版してきた鉱物資源情報のデジタル化を目指し、情報のGIS化のための予備的研究を開始した。

#### 7)鉱物資源に関するコンサルティング

平成15年度～16年度にかけて次の鉱物資源に関するコンサルティングを行った。

- ①モーリタニア・イスラム共和国における鉱物資源開発戦略策定調査の際の現地調査指導(平成15年9月、平成16年1-2月)(国際協力機構)
- ②APEC鉱業大臣会議勉強会(平成16年1-4月)(資源エネルギー庁鉱物資源課)
- ③学生・地質技師に対する地質調査指導(平成16年7月)(コロラド鉱山大学、第8図;アルゼンチン地質調査所)



第8図 コロラド鉱山大学の学生。

④JICAプロジェクトでタイ国へ赴任した専門家への技術サポート、砂利資源・台湾代表団への講義、中国青海省専門家への対応

⑤中部経済産業局の採石関係の委員、日本碎石協会・日本砂利協会・骨材資源工学会などの講演

#### 8)その他の活動

研究成果の普及のため、ショートコース「探査実務者のためのポーフィリーカッパー鉱床学」を平成16年6月21日(月)に川崎市のJOGMEC会議室で開催した。参加者はJOGMEC職員、民間鉱山会社の地質技師を中心に約90名が集まり(第9図)、斑岩銅鉱床の探査指針に関する発表と民間企業による探査例の紹介が行われた。



第9図 ショートコース開催風景。

また Society of Economic Geologists の Vice President 選出レクチャーとして韓国、中国、ベトナム、モンゴル、米国等でセミナー講演を行い、研究成果の普及に努めた(第10図)。



第10図 モンゴル南ゴビ砂漠のオユトルゴイ探鉱キャンプのゲルで行ったレクチャー風景。

#### 4. 研究グループの成果発表状況

平成15年10月以降の鉱物資源研究グループの主要成果発表状況は以下の通りである。

##### 出版物(国際)

Murao, S., Maglambayan, V. and Bugnosen, E. eds. (2003) Risk Communication between Mineral Property Developers and Local Communities. Mining Journal Book Ltd, 104p.

##### 出版物(国内)

地圏資源環境研究部門(2004)平成15年度骨材資源調査報告書－中国・四国地方各県の骨材資源－地圏資源環境研究部門, 58p.

##### 地球科学基本図

須藤定久・村尾 智(2004)50万分の1鉱物資源図「中国四国」。地質調査総合センターなど3図。

##### 誌上発表(国際誌)

Murao, S., Tumenbayar, B., Sera, K., Futatsugawa, S. and Waza, T. (2004) Finding of high level of arsenic for Mongolian villagers' hair, International Journal of PIXE (in press).

Murao, S., Nishiyama, F. and Sieng, S. (2004) Preliminary study of river waters in gold mining area of Cambodia, International Journal of PIXE (in press)など5編。

誌上発表(国際誌)	3編
誌上発表(地球科学情報誌)	1編
誌上発表(総説・報告)	13編
誌上発表(紹介・その他)	14編

口頭発表(国際)	4編
口頭発表(国内)	7編
セミナー(国際)	22編
セミナー(国内)	4編



## 物理探査研究グループ Exploration Geophysics Research Group

物理探査研究グループ長：内田利弘  
Leader, Exploration Geophysics Research Group: Toshihiro Uchida  
Phone: 029-861-3840, e-mail: [uchida-toshihiro@aist.go.jp](mailto:uchida-toshihiro@aist.go.jp)  
<http://unit.aist.go.jp/georesenv/explogeo/>

### 1. グループの研究目的

石油・メタンハイドレート・地熱等の資源探査、廃棄物地層処分場や CO<sub>2</sub> 地中隔離等における岩盤・地盤評価、地下水・土壤環境評価などにおいては、物理探査法を用いた物性の空間分布及び時間変化の高精度な把握が不可欠である。当研究グループでは、これらの分野における物理探査技術の高度化を目指した測定・解析技術の研究開発、及び、関連する物性解釈手法の研究を行い、それらの成果普及に努める。放射性廃棄物地層処分場の岩盤評価、土木・環境分野における地質環境評価、メタンハイドレート探査、地熱資源探査などに関連する物理探査技術の研究を通じて、地震波・電磁気探査データの高精度解析手法の開発、熱物性等の原位置計測技術の開発、および、NMR を用いた物理探査法の開発を行う。

### 2. グループの概要

#### 1) グループ員

内田利弘(リーダー)

神宮司元治

中島善人

西澤 修

松島 潤

光畠裕司

横田俊之

齊藤竜彦 (JSPS 客員研究員)

Hyoung Seok Kwon (JSPS 国際客員研究員)

#### 2) 平成 16 年度の研究テーマ

運営費交付金「高精度物理探査のためのデータ処理・解析技術の研究」

産総研内部グラント「加振に対する地盤の電気的応答を利用した動力学的強度計測手法の開発」

原子力特研「地層処分場岩盤特性評価のための高分解能物理探査イメージング技術の研究」

原子力特研「放射性廃棄物処分施設の長期安定型センシング技術に関する研究」

ほか

#### 3) 研究の概要

##### a) 地震探査データ解析

地震波 3 次元散乱重合法の速度構造推定法の改良と高精度化、全波形トモグラフィ解析の実データへ

の適用、掘削音を震源とする SWD 探査法について震源周波数特性の把握、地中レーダのデータ処理に関する基礎的研究を行う。また、弾性波速度変化モデリング、岩石試料を用いた波動伝播実験を行い、地下構造イメージング精度向上のための波形ゆらぎの解析と、統計的手法による既存解析技術の改良を行う。

##### b) 電磁探査データ解析

人工信号源電磁法の探査測定システム試作装置による実験とデータ処理ソフト開発、人工信号源電磁法 2.5 次元解析法の改良、MT 法 3 次元モデリングにおける地形の考慮とマルチグリッド法適用による高速化、MT 法 3 次元インバージョン解析の精度向上を行う。また、浅部電磁プロファイリング法の適用実験とデータ解析法を開発する。

##### c) NMR 物理探査法

原位置計測用 NMR ペネトレータの試作、自主開発の可搬型 NMR 測定装置の動作実験、掘削泥の NMR 物性データ解析に基づく NMR 検層の適用性評価、液状化砂層の CT 画像を用いた地層係数の解析プログラムの開発を行う。

##### d) 熱物性・液状化原位置計測等

これまでに開発した光ファイバー熱物性量センサの計測値の精度検証、含水量計測のための誘電率探査装置の試作を行う。また、液状化地盤評価のための貫入型振動プローブの試作と適用実験を行う。

### 3. 平成 16 年度の進捗状況

探査手法毎に研究の主な概要を以下に紹介する。

#### 1) 地震探査データ解析

##### a) パーカッションドリル SWD

土木分野で一般的に用いられるパーカッションドリルを用いた Seismic while drilling (SWD) に関する研究を行った。掘削時にパーカッションドリルから発生する弾性波は非常に單一周波数に偏っている(時間領域で見るとおおよそ連続サイン波形)。震源波形がそのような特徴を持つ場合には、反射法の基本となる相互相関法による震源波形の抽出がうまく行えず、相関後の波形にも強い周期性が残る。したがって、震源周波数を広帯域化することがパーカッションドリル SWD 開発の大きな課題である。本年度は基礎実験を行い、通常のパーカッションドリルから放出される弾性波の性状を把握とともに、広帯域化のため、掘削オペレータが手動で

制御可能な掘削パラメータを検討した。

図 1 に実験に用いた掘削パラメータを示す。通常のパーカッショントリルでは、掘削が安定した後は、ほぼ一定の周波数出力が得られる。今回の実験では 2 種類の広帯域化を試みた。まず、定常的掘削のオン・オフを繰り返す手法を試した。この手法は、全体のメカニズムが単純であるため、将来坑底駆動型のパーカッショントリルを設計する際に設計が容易であるというメリットがある。次の手法は、バイプロサイズのスイープ信号を模した掘削方法であり、最も出力周波数の広帯域化が可能である。

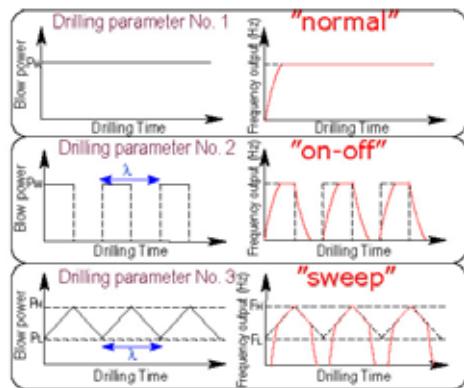


図 1: 実験に用いた 3 種類の掘削パラメータ。左側に掘削経過時間とパーカッショントリルの打撃力の関係を、右側に掘削経過時間と、予想される周波数出力(実線)をプロットした。掘削パラメータ 1 が通常のパーカッショントリリングに相当する。掘削パラメータ 2 は、掘削オペレーターが掘削スイッチのオン・オフを繰り返した掘削方法である。掘削パラメータ 3 はバイプロサイズのスイープ信号を模した掘削方法であり、掘削オペレーターが打撃圧を制御するハンドルを手動で制御することにより行った。

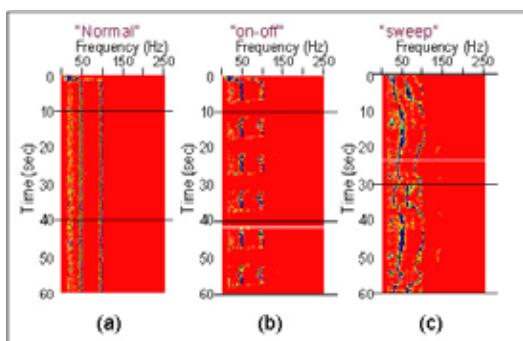


図 2: 出力振動の周波数成分の時間変化を 3 種類の掘削パラメータ毎に表示したもの。(a)通常のパーカッショントリル、(b)掘削スイッチのオン・オフを繰り返したもの、(c)バイプロサイズのスイープ信号を模したもの。

以上の 3 つのパラメータで掘削された際に発生する掘削振動の上下動成分を 5 メートル離れた地点で観測し、その周波数成分の時間変化をプロットしたものが図 2 である。この実験におけるパーカッショントリルによる定格打撃数は 1 秒間に 49 回であった。通常掘削では打撃間隔に相当する 49Hz と倍振動である 98Hz の信号が卓越し、その他の周波数成分のエネルギーがほとんどないことがわかる(図 2a)。掘削パラメ

ータ 2 では、震源が安定するまでの時間と、震源が完全に停止するまでの時間に周波数変化が見られるものの、全体としては 49Hz と 98Hz が卓越し、効果的に周波数を広げるためには、もっと頻繁に掘削スイッチのオン・オフを繰り返す必要があることがわかる(図 2b)。それに比較すると、図 2c に示したスイープ掘削では、周波数成分が広くなっていることが明らかであり、全体として 20-100Hz の周波数帯で十分なエネルギーを有することがわかる。

### b) 散乱重合法

繰り返し反射法地震探査法を用いて地下の物性変動を検出するためのデータ処理技術を開発することを目的とし、散乱重合法(重合前時間マイグレーション処理)の改変ならびにその適用性を評価した。

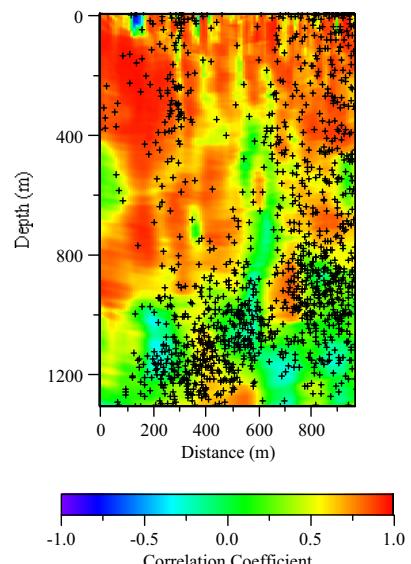


図 3: 葛根田地熱地帯において地熱井シャットイン前後に取得された繰り返し反射法地震探査データに対する散乱重合断面同士の相関係数マップ(カラーコンター)と微小地震分布。相関係数の小さい領域が熱水の相変化領域を示し、この領域が亀裂帯を示唆する微小地震の高密度域と一致している。

繰り返し反射法地震探査データに対する散乱重合法処理として、以下に述べる手法の改変を実施した。一般的に繰り返し反射法地震探査により取得される複数回データから、各回における地震探査断面を作成するためには、各回においてイメージングを最適化する速度(重合速度)を決定する必要がある。しかし、データ品質が良好でないデータにおいてはこの作業は容易ではない。そこで、複数の均質速度を用いて得られる散乱重合断面を重ね合わせることにより最終断面を得る方法を採用し、速度決定誤差の影響を受けない散乱重合法を提案した。この手法の有効性を数値実験により検証し、さらに葛根田地熱地帯における繰り返し反射法地震探査データに適用した結果、散乱重合断面で抽出された変動領域が地下の亀裂帯と密接に関係のある微小地震分布と一致していることを見いだし、変動領域が熱水の層変化であることを指摘した(図 3)。以上の一連の研究について

国際誌に掲載された。

### c) CO<sub>2</sub> 地中貯留と弾性波速度異方性

CO<sub>2</sub> の地層貯留には、上部に浸透率の小さいキャップロック層を有する帶水層が適している。キャップロックの CO<sub>2</sub> シール能力が長期にわたり安定であるか否かは、CO<sub>2</sub> 地層貯留の重要な問題である。頁岩のように細かい鉱物粒子が密に詰まった岩石は、理想的なキャップロックになると考えられている。頁岩の微細構造は異方性を有し、弾性波速度も異方性を示すので、岩石中の割れ目などの微細構造に変化が生じれば、これが弾性波速度異方性に影響を及ぼし、弾性波速度異方性の変化からキャップロックの変化を予測することができる。

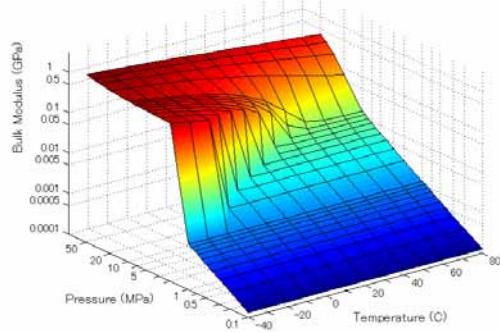


図 4:CO<sub>2</sub> の体積弾性率の温度、圧力依存性

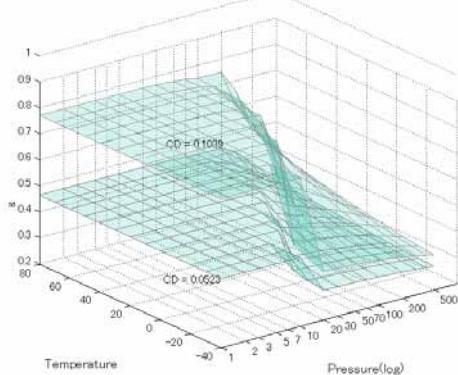


図 5:頁岩の縦波速度異方性の温度、圧力依存性

CO<sub>2</sub> は地下の温度・圧力条件下で、液体、気体、超臨界状態の三つの異なる相を形成する。また、条件によっては水の中でハイドレートを形成することもあり、空隙の物性を極端に変化させる。こうした状態変化は地震波の速度や減衰に影響を与えるが、とりわけ岩石の異方性への影響は顕著であると考えられる。そこで、異方性クラックモデルによって CO<sub>2</sub> の状態変化と頁岩の異方性変化との関係を予測した。図 4 は CO<sub>2</sub> の体積弾性率の温度・圧力への依存性を示す。高圧・低温では液体で値が大きく、低圧・高温では気体で値が小さくなる。図 5 は水平方向と鉛直方向の縦波速度の比を温度・圧力に対して示したものである。2 枚の面はクラックの量に対応しており、値が小さいほどクラックの量が多い。この図から、異方性の変化が岩石の割れ目内部の CO<sub>2</sub> の状態変化に対応していることが読み取れる。

取れる。以上の結果から、弾性波速度異方性変化は、CO<sub>2</sub> 地下貯留層上部のキャップロックの状態をモニタリングするのに有望であることがわかる。

### 2) 電磁探査データ解析

#### a) 地質環境評価のための電磁探査法開発

放射性廃棄物地層処分場の適地選定に必要となる地質構造調査・岩盤評価を目的に従来の電磁探査法の CSAMT 法と LOTEM 法を組み合わせたハイブリッド人工信号源電磁探査法システムプロトタイプの開発を実施した(図 6)。また沿岸地域帯水層への塩水浸入域調査を目的に、千葉県蓮沼地域と茨城県東海地域において電磁探査法適用実験を実施し、浸入領域を示唆する低比抵抗領域の存在を検出することができた。また、土壤・地下水汚染調査を目的とした電磁プロファイリング探査システムを導入し、システムの特性評価実験を実施し、問題点の把握を行った。

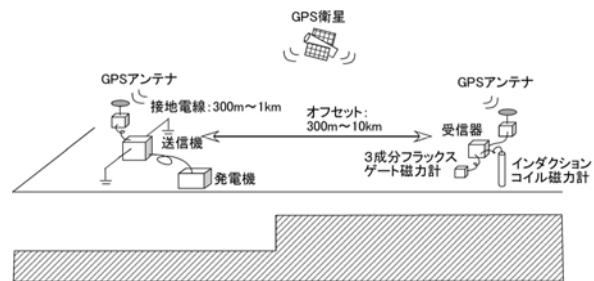


図 6:ハイブリッド人工信号源電磁探査測定システムの概念図。送信機より接地電線に正弦波形や休止波形の電流を送信すると、大地中の誘導電流が発生する。その電流が作る磁場を、GPS により時間同期された受信器により測定し、その観測値から地下の比抵抗構造を推定する。

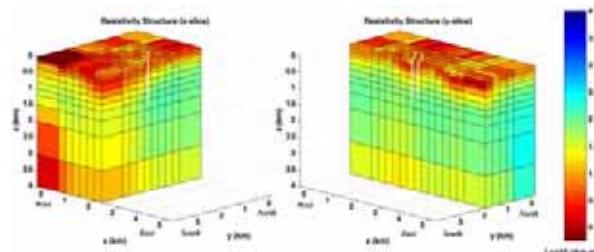


図 7:韓国ポハン地域における MT 法データの 3 次元比抵抗モデル。x=2.25km(左)および y=1.65km(右)の面で切って表示した。浅部の低比抵抗層は新第三紀の泥岩に相当し、その下の高比抵抗層は主に白亜紀の砂岩・泥岩および新第三紀の貫入岩に相当する。白い線は KIGAM の掘削した坑井を表す。

#### b) MT 法 3 次元インバージョン

韓国南東部に位置するポハン地域(低エンタルピー地熱地域)において、韓国地質資源研究院(KIGAM)との共同研究として MT 法調査を実施した。韓国は地層が一般的に高比抵抗であり、人工的な電磁ノイズが国全域で非常に強い。そのため、九州南部に参照測点を設け、リモートリファレンス処理を行うことによって十分な品質を有するデータの取得に初めて成功した。そのデータに対し、昨年度までに改良を加えた MT 法3次元インバージョン

ン解析プログラムを適用し解析を行った(図7)。調査地が海に近いところに位置するため、3次元モデルに海水に相当する領域を組み入れ、その影響を解析に含めた。

### 3) NMR 物理探査法

オリジナルの可搬型 NMR 物理探査装置の開発と、NMR データ解釈のための地質試料の NMR 物性計測実験を行った。NMR 物理探査装置の開発に関しては、コイルユニットを NMR 分光器本体に装着して、硫酸銅水溶液サンプル(模擬地質試料)から NMR シグナルを計測することに成功した(図8)。今後は、この装置のトンネル亀裂検出への応用を意識して、亀裂検出能力の向上を行う予定である(図9)。NMR 物性計測実験については、掘削泥に使用する粘土ゲルのプロトン緩和時間・水拡散係数データ(NMR 検層データ解釈に必須の物性)の計測実験を行った。その結果、粘土鉱物表面の結合水の厚さの簡便な推定方法を開発したので国内特許出願した。



図8:現在開発中のNMR物理探査装置。ワゴンに載った分光器本体(トランミッターと制御用PCを含む)と、永久磁石とrfコイルからなるセンサー単位で構成されている。



図9:NMR 物理探査装置によるトンネル壁の検査の概念図。磁石とコイルからなるセンサー単位で壁をスキャンすると、壁の内部の含水亀裂中のプロトンから NMR シグナルを検出できる。

### 4) 熱物性・液状化原位置計測等

#### a) 比抵抗貫入振動試験(ER-VPT)による砂層の動的評価手法の開発

地盤の液状化抵抗力の評価は、液状化対策や土木構造物の設計において重要であると考えられる。これまで、原位置における地盤の液状化抵抗を評価するためには、SPT(標準貫入試験)や CPT(コーン貫入試験)が用いられてきた。これらの手

法は、貫入抵抗により地盤の強度を評価する方法であるが、測定が比較的簡易であるため、幅広く利用されている。しかしながら、SPT や CPT は加振に対する直接的な地盤の応答を評価するものではない。そのため、原位置において直接地盤の動的応答を計測できれば、より高度な評価が可能になると考えられる。本研究では、振動機構を有する貫入プローブを地中に貫入させ、その加振に対する比抵抗などの動的な応答から地盤の動力学的な特性を評価する原位置計測技術の開発を行っている。昨年度末、試作したプローブを用いた原位置試験を実施し、砂層における比抵抗変化を計測することができた(図10)。現在、より強力な振動プローブの開発を行っており、再度の原位置試験を実施する。

#### b) マルチウェーブトモグラフィ装置を用いた 3 次元電気探査に関する研究

地盤汚染をはじめとする様々な環境問題に対応するために、高分解能で高精度な物理探査手法が求められている。3 次元電気探査手法は、高分解能で地中の 3 次元比抵抗マッピングを行うことが可能であるが、3 次元探査における測定数および測定時間は膨大であり、現実的には高分解能な計測は困難である。この問題を解決するためには、より高速な測定が必要となるが、送信電極および受信電極を切り替える現状のスキャン方式では限界がある。本研究では、複数の送信電極から微少周波数差を持つ電気信号の同時発信を行い、同期検波によって個別の波形を分離するマルチウェーブトモグラフィ装置の開発を進めている。これまでに試作機の開発を終了し、実験室内でのテストによって実効性を確認した。今後、屋外での実験を行い、3 次元比抵抗探査の実証試験を行う。

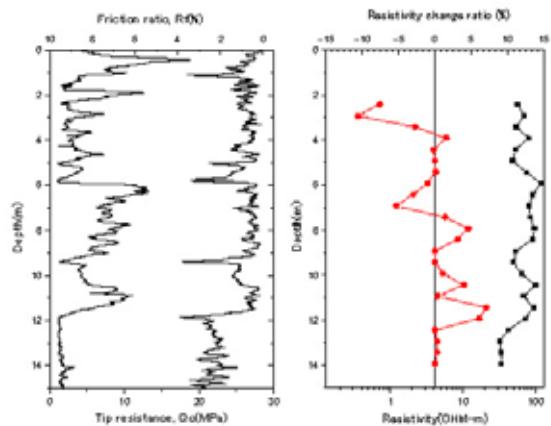


図 10:トルコのサファンジャ湖畔で行った CPT および ER-VPT 実験の結果。右図の黒■は比抵抗、赤●は比抵抗変化率の深度分布を示す。CPT により砂層と推定される深度では比抵抗値の変化が認められた。比抵抗値が変化していない深度の地層は、フリクション比が高く、CPT の分析の結果でも本地層が砂質シルト層および粘土質シルト層であると推定されている。

(参考) 本研究グループの研究の詳細については、<http://unit.aist.go.jp/georesenv/explogeo/>をご覧下さい。

## 開発安全工学研究グループの紹介

### Introduction of Geo-Resource Development and Safety Research Group

開発安全工学研究グループ長： 青木一男  
 Leader, Geo-Resource Development and Safety Research Group: Kazuo Aoki  
 Phone: 029-861-8203, e-mail: aoki-kazuo@aist.go.jp

#### 1. グループの使命

地圏における開発、保安・安全及び環境に係る研究を行い、資源の安定的供給に資することが目的である。地圏の開発に係る研究では、メタンハイドレート生産技術、掘削技術の高効率化等の研究を実施している。保安・安全に係る研究では、災害リスク評価手法等の研究を実施している。また、騒音伝搬予測手法の確立等、地圏に係る環境分野の研究も本格的に展開している。

#### 2. グループの研究資源

##### 1) グループ員

青木一男  
 今泉博之  
 唐澤廣和  
 鈴木忠  
 高橋保盛  
 田中敦子  
 羽田博憲  
 桧井明  
 前川竜男  
 緒方雄二  
 和田有司  
 蒋宇静  
 藤井光

\* 産総研特別研究員  
 \* 当部門他Gより分担  
 \* 爆発安全Cより分担  
 " "  
 \* 客員研究員（長崎大）  
 \* " (九州大)

##### 2) 予算

運営費交付金「特許実用化促進試作実証費」  
 環境省委託費「GISによる騒音源周辺環境を考慮した騒音伝搬予測に関する研究」  
 資工府委託費「メタンハイドレート生産手法開発」他

#### 3. 主な研究成果

##### 1) メタンハイドレート生産手法開発に関する研究（青木、羽田、桜井、前川、緒方、蒋、藤井）

メタンハイドレート（MH）生産手法の確立が急務とされている。当グループでは、異種ガスを用いた方法について検討している。図1は窒素を圧入し、MHを分解させた時の温度変化である。窒素圧入とほぼ同時に容器下部からMHの分解による吸熱反応で温度の低下が見られ、窒素による

MHの分解反応が明らかである。図2は、MHと窒素の交換反応時の垂直方向温度分布である。容器下部から上方に向かって反応が進行し、反応によるMH分解、温度低下が生じている。なお、最低温度は容器上部で観測されており、この温度変化の傾きから、垂直方向分解フロントの移動速度が求められる。

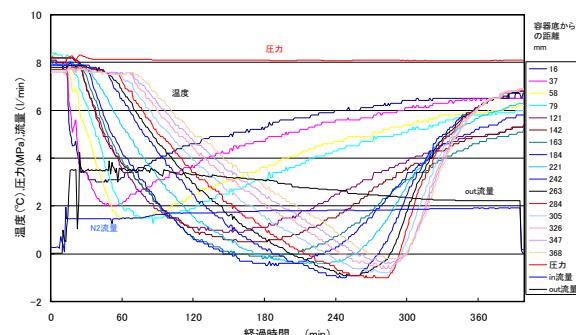


図1 窒素によるメタンハイドレート分解時の高さ方向温度変化

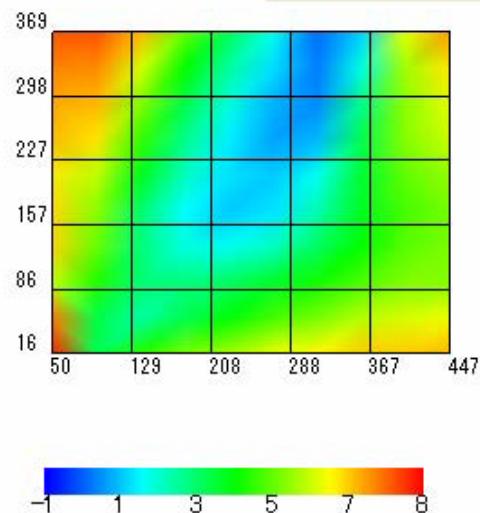


図2 メタン-窒素交換反応時の高さ方向温度分布

安定したMH開発に資するため、MH生産におけるMH堆積層の変形挙動を予測・評価する研究を実施している。MH堆積層の変形に係る種々の要因（図3参照）を考慮すると、その変形挙動を高精度で予測するためには、熱・浸透・応力を連成可能な解析手法の開発が必要である。図4は、当グループで開発した解析手法を足立らの加熱圧密試験<sup>\*)</sup>へ適用した例である。一定荷重で載荷（圧密）し、供試体中央部において加熱した場合の供試体上部の沈下量、および、供試体内部の温度変化である。●等の記号が足立等の実験結果、実線が当グループの解析結果である。実験結果と解析結果は良く符合し、開発した解析手法は熱・浸透・応力の連成解析が可能で、しかも、解析精度も満足できるものであることが分かる。

今後は、MH分解までを考慮可能な解析手法へ改良し、変形挙動の面からMH生産システムの評価を行う。

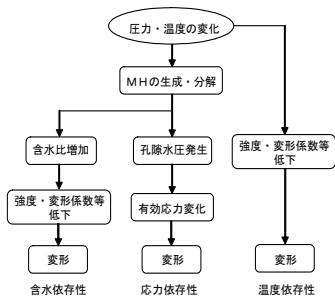
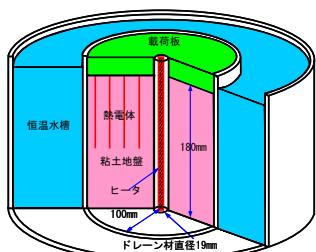
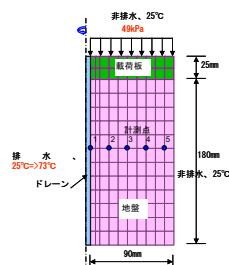


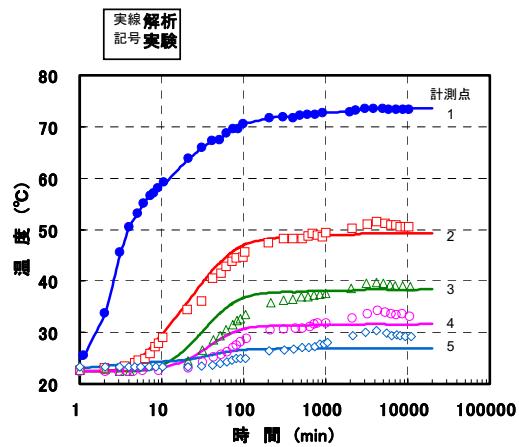
図3 MH堆積層の変形に係る種々の要因



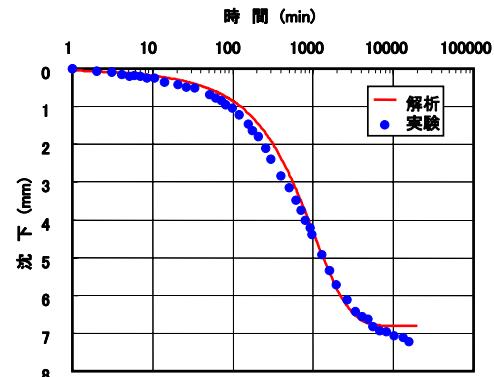
(a) 解析対象



(b) 解析モデル



(c) 供試体内部の温度変化



(d) 供試体上部の沈下量

図4 開発した解析手法の適用例

\*) 足立格一郎他：加熱ドレン改質地盤の圧密メカニズム、土木学会論文集、No. 596/III-43(1998)

## 2) 耐熱性多結晶ダイヤモンド刃先ビット開発に関する研究（唐澤）

掘削技術の高効率化に係る研究の一環として、民間企業と共同で「耐熱性多結晶ダイヤモンド刃先ビットの開発研究」を実施している。

従来の多結晶ダイヤモンド (polycrystalline diamond compact、PDC) に比べて耐熱温度が高い耐熱性多結晶ダイヤモンド (thermally stable polycrystalline diamond、TSP) が開発されている。本研究は、この TSP を用い、掘削性能が優れたビットを開発することが目的である。

図5に、試作 TSP コアビットを用いて実施した花崗岩（一軸圧縮強度：211MPa）に対する耐久試験結果を示す。ビット外径は 66.0mm、内径は 44.8mm で、ビットには直径が 8.2mm の TSP 刃先を合計 10 個取り付けた。総掘削長は 45m に達しており、この時のビット荷重は約 16kN である。本試験

後の TSP 刃先の一部には大きな欠損や摩耗が認められたものの欠損や摩耗が小さい刃先も存在し、ビットはまだ掘削可能な状態であった。

従来の経験から、研磨性の著しい硬質な花崗岩の掘削で得られた上記試験結果は、かなり優れたものである。

今後、当該 TSP ビットの性能を定量的に評価するとともに、一層の性能向上に係る研究開発を進める予定である。

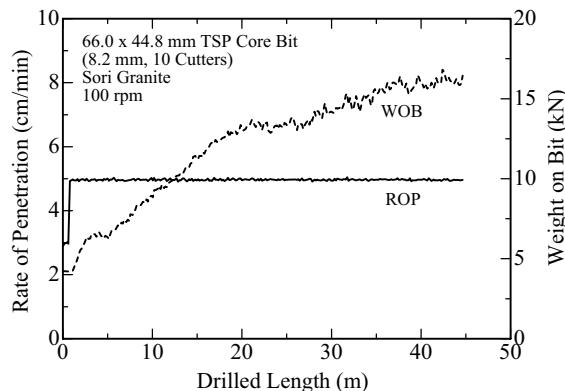


図5 TSP コアビットの耐久試験結果

### 3) メタンガス用防爆容器開発に関する研究（鈴木、唐澤、田中）

炭鉱坑内で使用するメタンガス用防爆容器の開発を実施している。従来のメタンガス用耐圧防爆容器は、

①高耐圧のためコストが高い。  
②防爆容器内に収納する電気機器の目視・聴音が困難である。  
等の課題がある。しかし、当該防爆容器の構造について日本工業規格(JIS)によって厳格な規格が定められているため、これらの課題を解決するには規格を打破できるような新しい概念に基づく防爆容器の開発が必要である。このため、当グループでは、比較的大きなすきまを有する開放型の防爆容器を考案した。この考えに基づいた防爆容器を試作し、メタンガス爆発試験・引火試験を行った結果、試作防爆容器の耐圧は 5~100kPa 程度で、従来の耐圧防爆容器(350~1000kPa)に比べて大幅な低耐圧化が可能であることが明らかとなつた。また、従来の耐圧防爆容器と同様の防爆機能を有することも確認している。

図6に開放型防爆容器（防爆型スピーカ）の一例を示す。本防爆容器は低耐圧のため廉価な肉薄鋼板や透明材料を用いて製作できるため、低コスト化や目視化が可能である。また、通気性にも優れているため、聴音化も容易である。

今後、本防爆容器の実用化を図り、石炭採掘の安全性と能率向上に少しでも貢献したい。

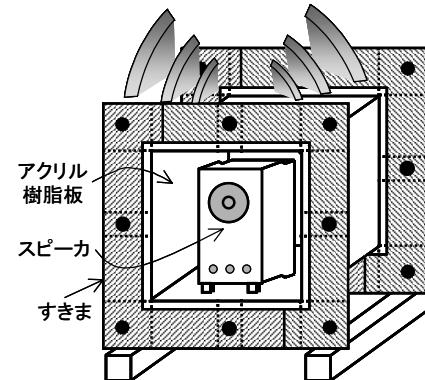


図6 開放型防爆容器（防爆型スピーカ）の一例（特許出願中）

### 4) 都市域の騒音管理及び伝搬予測に関する研究（今泉、高橋）

欧州連合(European Union: EU)は、EU人口の約20%（約8000万人）が許容レベル以上の騒音に暴露されているという現状を考慮し、EU内での騒音評価量の統一、地域毎の騒音マップ作成等を行い、それらを騒音低減対策施策等に役立てようとしている。この場合の騒音マッピングの基本は、騒音源からの伝搬予測技術であることは言うまでもない。

一方、日本でも道路交通騒音の評価を道路端から両側50mの範囲で実施するという面的評価が導入され、これを推計に基づいて実施することも可能となっている。

屋外の騒音伝搬に係る研究は、伝搬過程において音響エネルギーを減衰させたり、遮断したりする要因自身に関する研究と、それらの要因の特性を予測モデルに反映させるための研究等がある。騒音の伝搬に影響する要因としては、道路端に見られる防音壁の有無や地表面影響、気象条件等が重要な因子となる。これらの要因に関しては従来から研究されているが、特に気象に関しては時

間・空間的な変動が大きいため、その特性を十分把握するためには引き続き研究が必要である。

図7は、異なる地表面上における騒音伝搬減衰の短時間変動を、伝搬距離に対して示している(周波数: 1kHz)。5分間の測定データであるにもかかわらず、音源からの距離が増加するに従って、受音点における騒音レベルが大きく変動し、地表面の種類によっても変動傾向が異なっている。

実際に都市等の広域騒音場を把握しようとする場合、高精度な伝搬予測のためには、例えば騒音源特性や上記した伝搬過程に関する膨大なデータを揃える必要があり、且つ推計にかなりの時間を要することが容易に想像される。つまり、広域の騒音場の把握に関しては、高精度の予測は必ずしも適しているとは言えないかも知れない。ここで要求される予測結果の精度（正確さ）は、都市の一軒一軒の騒音レベルを把握することが目的なのか、それとも都市全域の騒音場がおおよそ把握できればいいのか等、騒音マップをどう活用するのかに大きく左右される。特に後者の場合は、広域騒音場を簡易/迅速に把握するための手法が必要になり、これは今後の課題である。

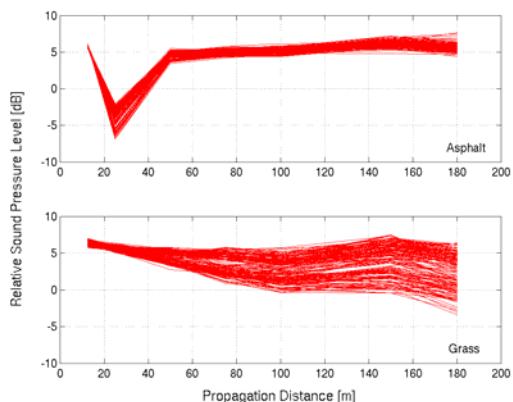


図7 異なる地表面上における騒音伝搬減衰の短時間変動

#### 4. 終わりに

開発安全工学研究グループの主な研究内容等について紹介した。

研究内容の詳細等については、ホームページの参照、あるいは、電話等でお問い合わせ下さい。

なお、現在、開設しているホームページのURLは以下のようである。

- ・開発安全工学研究グループ

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

- ・青木

<http://staff.aist.go.jp/aoki-kazuo/>

- ・今泉

<http://staff.aist.go.jp/hiroyuki.imaizumi/>

- ・高橋

<http://staff.aist.go.jp/takahashi-yasumori/>

- ・田中

<http://staff.aist.go.jp/a.tanaka/>

最後に、図8は産総研一般公開（H16.7.24）において当グループが出展した時のものである。炭鉱保安に係る研究成果をもとにして、ガス爆発の実演等を行った。ガスは一般の人の生活にも密接に関係しているため、大変興味を集め盛況であった。

以上のように、今後とも、論文を始め、研究成果の発信には努力したいと考えている。



(a)ガス爆発実演の様子



(b)ガス爆発の瞬間（○部分に赤い炎）  
メタンガスは濃度5~15%の時、爆発的に燃焼

図8 産総研一般公開(H16.7.24)において

## 地下水資源環境研究グループの紹介 Introduction of the Water Environment Research Group

地下水資源環境研究グループ長：石井武政  
Leader, Water Environment Research Group: Takemasa ISHII  
Phone: 029-861-3827, e-mail: take-ishii@aist.go.jp

### 1. グループの研究目的

地下水は、地域のあるいは地球規模の水循環・水収支の過程において極めて重要な位置を占めるが、一般に滞留時間が長く、また地上からは容易に見ることができないという特性を有している。このような特性を理解しつつ、野外調査や実験を通じて地下水に関する具体的なデータを取得し解析していくことは、エネルギー・環境などに関連する様々な課題に対処する上で欠かせない。地下水資源環境研究グループは、流域規模の水循環・水収支の評価、地下水汚染の実態調査と原因究明、地下水に関する知的基盤情報の提供を主要な研究目的としている。

### 2. グループの構成と研究資源

#### 1) グループメンバー

石井 武政 (リーダー)

田口 雄作

内田 洋平

林 武司 (特別研究員)

湯本 学 (テクニカルスタッフ)

他に、ユニット内外と所外からの研究併任者・研究分担者、客員研究員からなる。

#### 2) 主な予算

文科省 RR2002 (新世紀重点研究創生プラン「人・自然・地球共生プロジェクト」) 協力業務予算「地下水の収支・循環機構解明のためのモニタリングと地下水循環モデルの構築」(継続)

科研費予算「ヒートアイランド現象の抑制を目指した都市型地中熱利用システムの開発」(新規)

運営費交付金「地下水汚染に関する研究」(継続)

運営費交付金「地下温度場と地下水流動に関する研究」(継続)

運営費交付金「水文環境図の作成」(継続)

### 3. 平成15年度までの進捗状況

1) 「地下水の収支・循環機構解明のためのモニタリングと地下水循環モデルの構築」: 産総研との間で研究協力覚書(MOU)および同付属文書を締結している中国地質調査局から、本プ

ロジェクトの現地調査等に際しては中国地質環境監測院が窓口となることが示され、15年度の最初の出張では同監測院を訪問し、研究の趣旨説明と協力依頼を行った。また、黃河流域の陝西省および内蒙古自治区の関係機関を訪問し、現地の監測井を視察した。次いで、青海省、河北省、河南省、甘肃省、寧夏回族自治区、山東省の各省・自治区で現地調査ならびに資料収集を実施したほか、石家庄市および北京市にて中国地質調査局と合同でワークショップを開催し、成果を発表した。中国地質調査局では、中国側の2004年度の予算措置が講じられた。

- 2) 「地下水汚染に関する研究」: 融雪剤による地下水汚染の研究として新潟県ほかで積雪・融雪地帯の現地水文調査を実施し、各種の現場データを収集した。
- 3) 「地下温度場と地下水流動に関する研究」: 濃尾平野や秋田平野などにおいて地下水観測井を利用して地下300m程度までの地下の温度分布を測定し、温度構造を把握した。
- 4) 「水文環境図の作成」: 「仙台平野水文環境図」を編集し、CD-ROM媒体で出版した(図1および図2参照)。



図1 「仙台平野水文環境図」のCDジャケット。

- 5) 平成 14 年度終了の「高レベル放射性廃棄物地層処分のための地質環境の特性の広域基盤情報の整備」(文科省原子力特研)は、平成 15 年度に事後評価を受け、A から D までの 4 段階評価で A の評点を得た。
4. 平成 16 年度の研究計画
- 1) 「地下水の収支・循環機構解明のためのモニタリングと地下水循環モデルの構築」：黄河流域の現地調査、資料収集、地下水位長期間連続モニタリング、および各種水試料の分析に基づくマルチトレーサー手法の適用などを通じて、水収支・水循環に関する実データを取得し、研究対象地域の地下水循環モデルを構築する。すなわち、中国側研究機関と共同で、地下水位長期間連続モニタリングデータの解析、凍土観測機器の現地設置、水試料の採取と分析を行う(図 3 参照)。また、衛星データや地質資料の解析を通じて適切なパラメータを設定し、地下水水流動に関する全域モデル解析を行い、過去の姿の再現を試みる。また、ケーススタディ都市の部分流域モデル解析も実施する。
  - 2) 「ヒートアイランド現象の抑制を目指した都市型地中熱利用システムの開発」：九州北部の平野を対象に、現地地下水調査および熱輸送解析を含む地下水モデリングを行う。本研究で得られたデータは GIS 上でとりまとめ、地中熱分布図や水文環境図の作成のための基礎資料とする。
  - 3) 「地下水汚染に関する研究」：山形県や新潟県などで融雪期前後の地下水調査を行い、地下水のあり方(地下水面図、水質等)に関するデータを取得し、成果をとりまとめる。
  - 4) 「地下温度場と地下水水流動に関する研究」：濃尾平野や佐賀平野を対象に、政府機関、県や市、地元大学の協力を得て地下水観測井を利用して地下温度構造を調べるとともに、水試料を採取して水質・同位体の分析を行う。同位体分析では炭素 14 法による地下水の年代測定を試みる。
  - 5) 「水文環境図の作成」：秋田平野、関東平野、濃尾平野の各水文環境図を編集し、年度内の出版を行う。
5. 期待される成果
- 1) 中国地質調査局他との共同研究を通じて黄河の下流から源流域までを含む地下水循環モデルの構築を進めることにより地下水資源の過去の姿の復元ならびに将来予測に寄与する。
  - 2) 都市部のヒートアイランド現象軽減のために地中熱利用ヒートポンプを冷房主体で運転する場合、地下への排熱によって地下温度が上昇し、ヒートポンプの運転成績係数が低下する恐れがある。あらかじめ熱輸送を含む地下水流動系を解明しておけば、高効率の地中熱利用ヒートポンプシステムの開発ならびに運転を行うことができると期待される。
  - 3) 積雪・融雪地帯の地下水汚染について、融雪期とその他の時期との水質などの違いを明らかにする。
  - 4) 各地の地下水調査により集積されるデータは水文環境図への記載などに援用する。また、水文環境図はシリーズ化し、CD-ROM による知的基盤情報提供の目標を達成していく。



図 2 「仙台平野水文環境図」のコンテンツの一部。標高-50mにおける地下温度分布を示している。

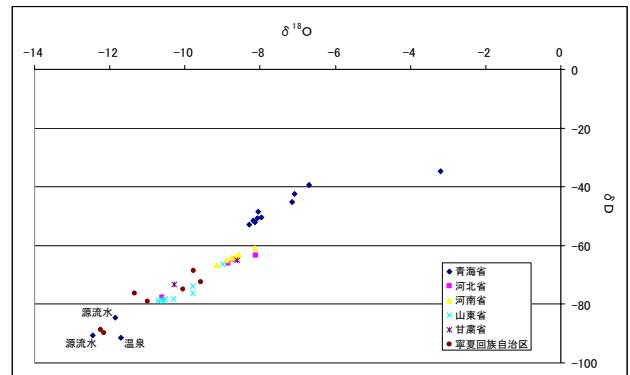


図 3 黄河流域水試料の酸素・水素同位体比。

## 貯留層ダイナミクス研究グループの紹介

### Introduction of the Reservoir Dynamics Research Group

貯留層ダイナミクス研究グループ長： 石戸恒雄  
 Leader, Reservoir Dynamics Research Group: Tsuneo Ishido  
 Phone: 029-861-3829, e-mail: ishido-t@aist.go.jp

#### 1. グループの研究目的

当研究グループは、地球物理学的モニタリング手法ならびに貯留層工学的モデリング手法を用いた地殻内流体挙動の解明・予測に関する研究を行っている。

平成 15-16 年度の 2 年間は、重点研究課題「地熱貯留層評価管理技術の開発」の主担当グループとして、ヒストリーマッチングに地球物理学的モニタリング手法を適用した貯留層評価管理技術の開発を目指す。これまでの NEDO による要素技術開発ならびに産総研での先導的研究の成果を受けて、貯留層変動の把握・予測技術について“システム統合化”を進める。

当研究グループは平成 14 年度まで「貯留層変動探査研究グループ」の名称のもと、NEDO の「貯留層変動探査法開発」に係わる基盤的・先導的・補完的研究を実施してきたが、同プロジェクトの終了を受けて、研究内容の見直しを行った。地熱貯留層評価管理技術については、以上述べたように“システム統合化”ならびに基盤研究を継続するが、新たに、地圈環境の諸問題解決への寄与を目的として、CO<sub>2</sub> 地中貯留に係わる先導研究などを実施し、これまでに培ってきた貯留層シミュレーション技術、地球物理モニタリング技術などの展開を図りたいと考えている。また、火山地域などにおいて、大学や海外研究機関との連携の下、地球物理学的観測などの基礎研究を継続する。

#### 2. グループの研究資源

##### 1) グループ員

石戸恒雄（リーダー）・菊地恒夫・杉原光彦・西祐司・高倉伸一・中尾信典・安川香澄  
 \*当部門他グループより分担：當舎利行・内田利弘  
 \*地球科学情報研究部門より分担：松島喜雄  
 \*深部地質環境センターより分担：竹野直人

##### 2) 予算

運営費交付金「貯留層変動探査法システム統合化のための共同研究」（平成 15-16 年度）／NEDO  
 「最適モニタリング設計技術に関する先導研究」（平成 15-16 年度）／内部グラント、マッチングファンド予算（平成 16-17 年度）各 1 件など

#### 3. 平成 15 年度までの成果概要

平成 14 年度まで実施した「貯留層変動探査法開発の解析・評価」のうち、断裂水理探査法については、圧力遷移試験データの逆解析法や、サイナソイダル（正弦波）テストに関する数値シミュレーション研究などを行った（図 1）。透水率検層法のうち NMR（核磁気共鳴）検層については、火山岩地域の試験井を用いて測定を行い、空隙率・浸透率分布の推定に成功した。

探査ネットワークの開発では、重力探査法において可搬型絶対重力計の目標精度 0.005mGal を達成した。電気・電磁気探査法では、高温下での流動電位や複素比抵抗の室内実験を進め（図 2），高温下ゼータ電位の測定データを世界に先駆けて国際誌に公表した（図 3）。また AMT 法（可聴領域地磁気地電流法）装置を導入し予備的評価を行うとともに、3 次元電気探査法－自動電気探査装置の最大 12A への高出力化などを達成し実用的システムを構築した（登録特許 2 件）。地震波探査法では、散乱重合法の新たな解析法を開発するとともに、実データ解析結果並びに室内実験に基づく検討結果を国際誌等に公表した。モデリング支援技術では、電子スピノン共鳴（ESR）を利用した変質年代測定法や、高圧下岩石融解装置を用いた熱源深度推定法など先導的研究を進めた。以上の成果については、平成 15 年度に「解析・評価 総括報告書」を出版した。

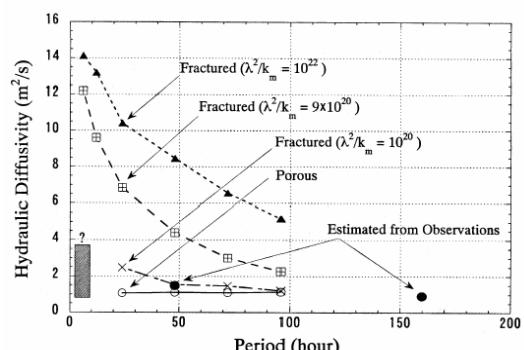


図 1 断裂型貯留層における水理拡散率の注水周期依存性（中尾・石戸、地熱学会誌、2003：平成 16 年度日本地熱学会賞受賞論文）。

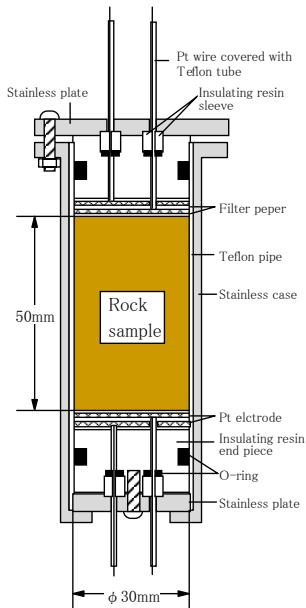


図2 最高300 °Cの高温下で含水岩石の電気伝導度を計測するためのサンプルホルダー(高倉, 2003).

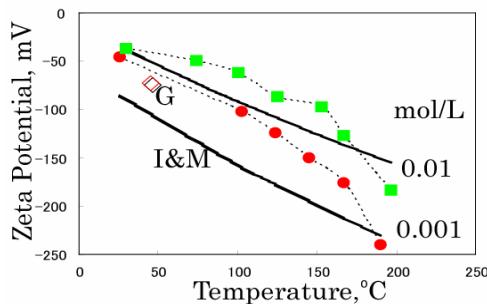


図3 高温下における花崗岩試料のゼータ電位測定結果(Tosha, Matsushima & Ishido, GRL, 2003).

平成14年度から開始した“システム統合化”については、奥会津地域を対象に奥会津地熱・東北電力と、また大霧地域を対象に日鉄鹿児島地熱との共同研究をスタートさせた。奥会津地域では、平成14年度に基準点評価を高精度に行った重力観測、電極分極を抑えたSP(自然電位)観測に成功した。また、重力、SP変動データに基づき、簡易モデルを用いた貯留層シミュレーションを実施し、統合ヒストリーマッチングの意義を検討した。その結果、奥会津地域のような蒸気卓越型貯留層を対象に、効率的に貯留層モデル精緻化の拘束条件を得るには、重力測定については繰り返し測定によって長期的な変化を捉えること、またSP測定については連続測定によって定期点検(生産井一時停止)時の短期的変化を捉えることが有効であることを示した。

大霧地域では、平成14年度に、隣接の白水越地域の噴気試験に合わせて、重力・SP・比抵抗・AE(微小地震)・傾斜計の集中観測を実施し、貯留層変動探査法の新規地域への適用性を評価するための基礎データを得た。また、平成15年度には、共同研究相手先の全面的協力により、多くの生産井

の一時停止が4月の定期修繕時に行われた。この期間を挟んでSP、重力、AE、傾斜計の多項目モニタリングを実施した。SP連続観測、重力繰り返し測定では、高精度の測定に成功し、貯留層変動に起因する短期的な変化を捉えた。特に重力測定では、絶対重力計と相対重力計によるハイブリッド観測により0.005mGalの精度を実現し(図4)、優勢な生産井のフィードポイントが位置する気液二相領域の変動を面的に捉えることができた(図5)。日鹿地熱の観測井圧力モニタリング結果と合わせ、貯留層モデル精緻化を図る上で極めて重要なデータを取得できた。

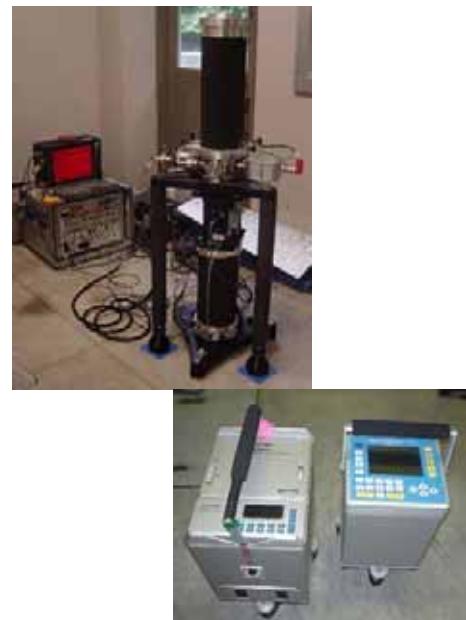


図4 ハイブリッド重力モニタリングでは、絶対重力計FG5(上写真)を基準として相対重力計(下写真)による重力変動観測値を評価する。これまでに比べ、格段に高精度のデータが得られるようになった。

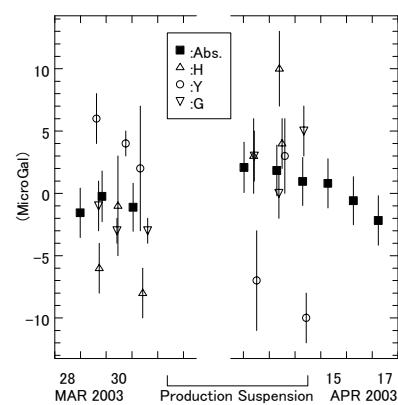


図5 大霧発電所生産一時停止時の重力変化。絶対重力計の測定値(■印)は5 microGalの精度、この値を基準とした相対測定も概ねこれに準ずる精度を達成。生産停止期間に生産エリアでは、10 microGalを超える増加が観測された(Sugihara, 2004)。

貯留層シミュレータと地球物理学的ポストプロセッサーをベースとした解析技術については、最近の岩石物性測定の結果を取り入れてSP, 比抵抗, 磁場等のポストプロセッサーについて断裂型貯留層に対応した機能拡張を行った。また、各種ポストプロセッサー等、NEDOより公開済みのソフトウェアの普及を目的に、「貯留層変動探査法ポストプロセッサー・ユーザー会」を設立した。

以上に加え、地球物理学的モニタリングや圧力遷移試験等の要素技術については、九州電力とのハイブリッド重力計測をはじめ、三菱マテリアル、秋田地熱、地熱エンジニアリングとの共同研究を進めた(図6)。

基盤研究としては、高温下での岩石物性室内実験(図2, 3参照)を継続するとともに、火山地域での地球物理学的観測(図7)やポストプロセッサーを用いた解析などを実施した。

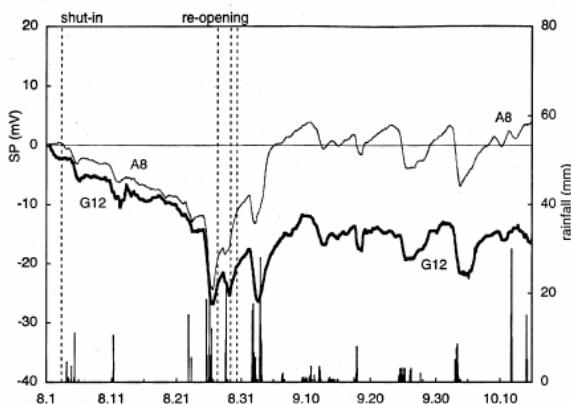


図6 森地熱発電所の定期修繕時に観測された自然電位変化(Yasukawa, Ishido & Suzuki, GRC, 2001: GRC Best Paper Award 受賞論文). 連続観測結果を“相対SP”処理することにより、生産、還元に起因するSP変化を抽出した。

平成14年度から開始したNEDO「二酸化炭素削減等地球環境産業技術研究開発事業」予算による「最適モニタリング設計技術に関する先導研究」では、CO<sub>2</sub>地中貯留に係わる地球物理学的モニタリング技術、地下流体流动モデリング技術について研究を進めた。

澄川地域での空気圧入基礎実験では、空気圧入に伴う坑井周囲地表のSP変化(図8)、2次元断面上の比抵抗変化を捉えるのに成功し、「貯留層変動探査法開発」で改良・開発の行われたモニタリング技術が、当該分野へも適用できることを確認した。

#### 4. 平成16年度の研究計画

貯留層変動探査法に係わる“システム統合化”については、大霧・白水越地域の3次元貯留層モデルを構築し、既存データならびに新規取得データ

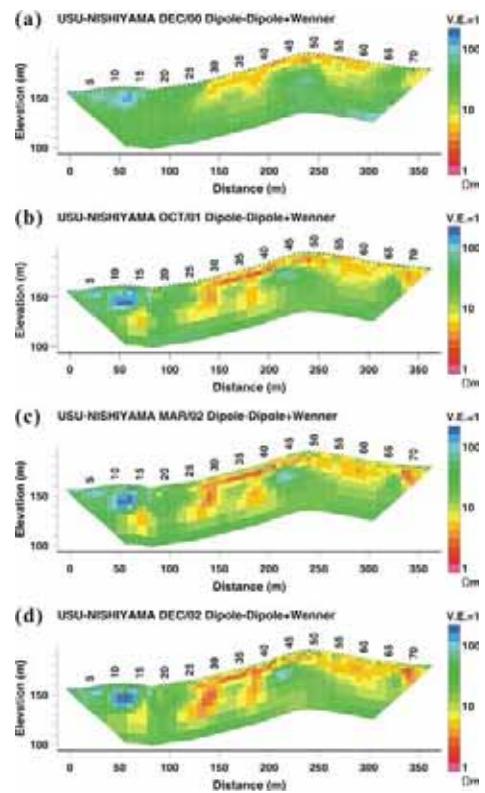


図7 有珠西山火口での精密電気探査による比抵抗繰り返し測定(高倉・松島・佐波, 2003). 比抵抗の変化は地下の温度変化や蒸気ゾーン形成を反映している。

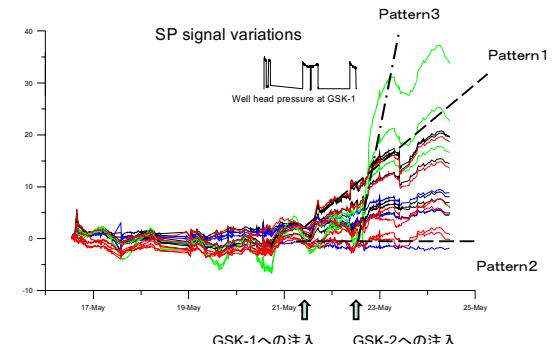


図8 空気圧入に伴う自然電位変化(當舎・杉原・石戸, 2004). GSK-1井への注入では、坑口近傍の電極の電位が20mVまで上昇、GSK-2井への注入では、坑口近傍を中心に50mVを超える電位上昇があった。これらの電位上昇は、地下の状態が還元環境から酸化環境へ移行したことによる酸化還元電位起源の変化と考えられる。

に基づいて統合ヒストリーマッチングを実施し、確度のより高い将来予測手法を提案する(図9)。また、重力、AEのモニタリングを継続するとともに、MT法補足データの収集を行う。奥会津地域に

については、5月の定期点検前後にSP変動データを取得するとともに、これまでに構築した貯留層モデルを用い、SP変動データを組み込んだ統合ヒストリーマッチングを実施し、精度のより高い将来予測手法を提案する。各種ポストプロセッサについては、実用化可能性の評価を進めるとともに、これまでにNEDO・産総研で開発した各種解析ツールの普及を図るために、ユーザー会の運営にあたる。

CO<sub>2</sub>地中貯留の最適モニタリング技術に関する先導研究では、地震波ポストプロセッサを用いた定量的検討などを行い、先導研究の成果をまとめることとする。

「熱・热水の影響評価手法に関する検討」のテーマでは、広域流動系を規制する岩石パラメータ、境界条件等の既存データを収集し、広域流動シミュレーションと感度解析に着手する。

「地球電磁気学的手法による良質な粘土鉱床の探査および評価技術の開発」のテーマでは、セリサイト鉱山を対象にいくつかの電気・電磁探査を実施する。

「地質環境の数値モデルングに関する研究」のテーマでは、深部地質環境センターの研究分担として、会津盆地西縁部などにおいてMT法電磁探査、SP法探査を実施し、それぞれの地域について水理モデル構築のための基礎データを取得する。

## 5. 第二期に向けて

平成17-21年度の次期中期計画においては、第一期での貯留層変動探査法、システム統合化研究の成果を受けて、地熱貯留層の最適涵養技術の設計と開発を行うとともに、産業界への貯留層評価管理技術の普及を図る。具体的には、いくつかのモデルフィールドを選定し、既存データに基づいたヒストリーマッチングにより貯留層モデルの改良を図る。この改良貯留層モデルに基づいて現場で計画している貯留層管理上の作業（補充井掘削、注水涵養など）の結果を予測する。さらに、実際の作業の結果（効果）を各種モニタリング手法により把握し、予測結果の検証を目指す。これにより、貯留層モニタリング技術と将来予測技術の実証を行い、現場のニーズに即した貯留層管理技術として、その普及を図りたいと考えている。

地圈環境の諸問題解決に係わるテーマでは、これまでに培ってきた貯留層シミュレーション技術、地球物理モニタリング技術などの展開を図る。CO<sub>2</sub>地中貯留に係わるテーマでは、モニタリング技術、地下流体挙動予測技術などの実用化に向けた研究を行う。また、地層処分に係わるテーマでは、広域流動系のベースライン把握手法、モデリング技術について、深部地質環境センターへの研究分担などを予定している。

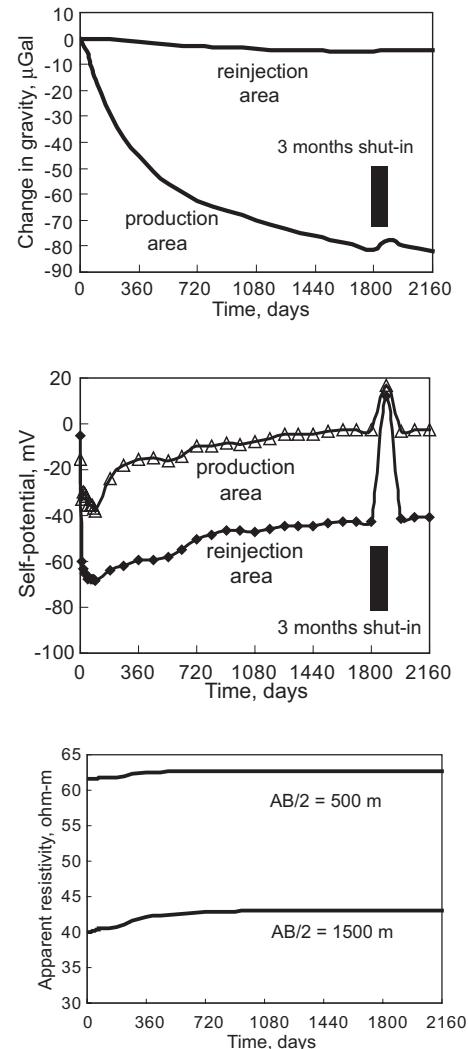


図9 大霧地域の予備的貯留層モデルを用いて、生産・還元による重力（上）、SP（中）、比抵抗（下）の変化を各ポストプロセッサにより計算。これまでに観測された各データの時間変動のパターンが概ね再現されている。現在、3次元詳細モデルによりヒストリーマッチングを進めている。



## 地圏資源工学研究グループの紹介

Introduction of Research Group for Geoenergy and Environment

地圏資源工学 G L : 當舎利行

Leader, Research Group for Geoenergy and Environment: Toshiyuki Tosh  
Phone: 029-861-8735, e-mail: toshi-tosha@aist.go.jp

### 1. グループの研究目的

当研究グループでは、岩石や地層の変形挙動、地下での応力の測定技術、地熱や資源開発のための水理的構造や地化学的反応の解明技術など地圏を開発するために必要な工学的技術の開発に取り組んできている。これらの技術の多くは、従来から地熱資源を対象として研究開発が進められてきた技術であるが、これらの技術の応用として、新しい資源であるメタンハイドレートを経済的に生産するための生産挙動予測技術、環境問題を解決するための CO<sub>2</sub> 地中貯留を目的とした地下情報抽出システムの開発や、放射性廃棄物地層処分における岩石の長期変形挙動と地層構造評価技術の確立など地圏開発のための技術開発を広く進めている。また、地熱開発で大きな障害となっているスケール研究成果を生かして工場など大量に水を利用する設備での流動系内でのスケール付着についても水処理メーカーとの共同研究を進めている。

従来、当グループにて研究が行われてきた高温岩体発電技術開発では、研究開発の政策的判断による中断を受けて、これまで開発された技術や習得されたデータの離散を防ぎ、研究開発の再開時に中断時点からの速やかな再開が可能なように技術とデータのとりまとめを行ってきてている。これら長年の研究により開発された技術は、海外にて広く取り入れられており、当グループのメンバーにも技術協力の依頼が続いている。一般の熱水蒸気を対象とした地熱開発では、中高温热水による地熱開発促進調査(C-2調査)が本年度よりNEDOによって開始されたことから、これらの中高温热水資源開発のための調査・技術開発にも取り組んでいる。

### 2. グループの特色等

20年近くにわたり、NEDOと協力関係の元で我が国の高温岩体技術開発に携わってきたことから、岩盤工学や貯留層工学のみならず物理探査学や地球化学などを専門とするメンバーがいる。高温岩体技術開発では、これら多彩な専門分野の技術者集団として、水圧破碎などによる貯留層造成や AE による造成規模の把握、トレーサーやシミュレーションによる生産循環などで先導的な役割を担ってきていた。このためこの分野での技術ポテンシャルは高く、海外での高温岩体技術開発への協力も行っている。また、これら高温岩体発電技術にて開発された技術を、メタンハイドレート

など他の資源の開発や放射性廃棄物処理・二酸化炭素地中処理などの資源や環境保全として地圏の開発に応用している。また、水問題専門家の立場から水処理技術開発も企業との共同研究を進めている。このように、当グループは岩石力学など工学部学科系出身者のみならず地質学など理学系学科出身者もあり、幅広い視点から地圏開発や工業開発を進めていくスタッフがそろっている。

#### 1) グループ員(専門)

當舎 利行(地球物理学)  
及川 寧己(岩石力学)  
天満 則夫(貯留層工学、物理探査学)  
柳澤 教雄(地球化学、鉱床学)  
相馬 宣和(地下計測工学)  
竹原 孝(岩盤工学)

#### 2) 予算

文部科学省試験研究費 「高レベル放射性廃棄物地層処分のための地質環境の特性広域基盤情報の整備」  
石油公団委託費「メタンハイドレート資源開発生産手法」  
NEDO 研究委託費「最適モニタリング設計技術に関する先導研究」  
共同研究費「電気分解法を用いたスケール捕集試験」  
産総研運営費交付金「地圏資源工学の研究」等

### 3. 平成 15 年度までの進捗の状況

#### 1) 岩石コアによる地下情報推定技術

岩石コアに対して一回の圧縮実験により地圧測定が可能なDSCA法による地圧計測技術の開発を進めている。コアの 3 次元解析の結果、水平面内では南北方向の地圧が小さく、深くなるにつれて正断層型から東西方向の地圧が大きい横ずれ型へ遷移するような応力場が推定されるなど、同一手法による連続的な地圧の測定が可能であることが判明した。また、地盤の長期変形を評価するため多段階クリープ実験を実施している。測定に当たり岩石コアが温度・湿度の影響を受けるため、コアの現状を維持した状況下での測定システムを構築した。このシステムを用いて、恒温・恒湿度環境下における多段階クリープ試験を実施している。

## 2) 人工貯留層造成・計測技術

人工造成き裂内における流体の流動抵抗を評価するために室内実験を行った。岩石供試体に水圧破碎実験により人工き裂の開口変位を計測し、人工き裂開口変位結果および供試体表面変位より得られる解析結果とき裂内流動で用いられる3乗則との比較・検討を行い、室内実験の成果を人工造成き裂評価に適用する研究開発を進めている。

多成分AE(微小地震)の初動自動検出法を波形エネルギー比解析、AIC、時間一周波数領域での3次元粒子運動解析、ウェーブレット変換の位相指標解析などの複数の手法の組み合わせによって開発した。本技術は少数の坑井内観測点における多成分観測時に利用できることから、受信波形が一般に複雑なうえS波も対象とする水圧破碎時のモニタリングへの初動自動検出の適用が可能となった。この技術は、CO<sub>2</sub>貯留等における安全監視などで微小地震を利用する際にも有効と考えられる。

## 3) 人工貯留層挙動予測技術

肘折高温岩体実験での浅部及び深部貯留層の同時注水時のシミュレーションを実施した。坑井内での温度圧力は、注入量の変化や二層の貯留層の内部変化により変化をするが、シミュレーションによりその変化を予想することが可能となった。この結果を基に各貯留層からの生産量を求めた。HDR-2aは試験初期では、75%と浅部貯留層からの寄与率が高く、浅部貯留層と深部貯留層への注入流量の変更を行った2002年4月以降では、浅部貯留層からの寄与率は低下している。これは、深部貯留層からの生産が増加し、浅部貯留層からの生産が減少したことを示している。

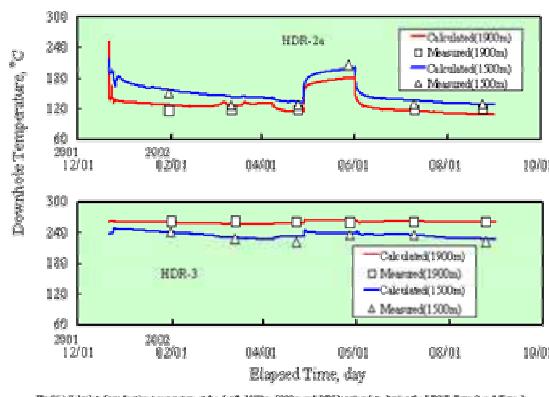


図1. 測定された温度変化とシミュレーション結果

## 4) 電気分解法を用いたスケール捕集試験

工場などに使用する水に含まれているスケールを、電気分解を利用して選択的に付着させることによって除去し、系全体のスケール付着を押さえる手法が実用化されている。しかし、電気分解実施中の水質変化やそのスケール捕集に対する効果はまだ解明されていないことから、通電に伴う水質の経時変化を把握することを目的に試験を実施している。電気分解により酸化還元電位が下がって還元状態となることに伴い、

炭酸カルシウムスケールが沈積する。その後、酸化還

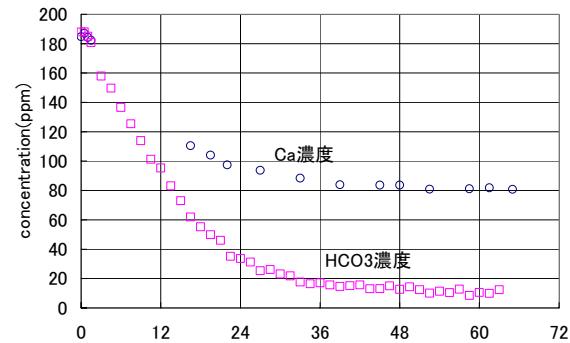


図2. Ca濃度 200ppm、炭酸イオン濃度 200ppmで電気分解を開始してからCa濃度および炭酸イオン濃度の変化

元電位は少しずつ上昇し、30時間前後で0になり、以後は酸化状態になる。しかし、30時間経過以後は、水溶液中のHCO<sub>3</sub>、Ca濃度、ならびに酸化還元電位はほぼ一定の値となり、スケールの生成速度が低下することが考えられる。

## 5) 高温岩体技術とりまとめ

NEDOにより高温岩体発電技術開発などにて開発された能動的地熱技術開発を体系別に検証・整理して、将来、当該技術が必要となったとき、あるいは、石油・天然ガス開発、核廃棄物、CO<sub>2</sub>等の地層処分など、他の分野での利用が求められたときなどに早急の対応が可能となるようまとめを行った。これらの成果は、報告書にまとめると共に、学会やWebページでの公表を行って、技術の普及につとめている。



図3. 高温岩体技術 Web ページ

## 4. 平成16年以降の研究

当研究グループは、地圏における環境問題や地圏資源を工学的に使用する際に必要とされる技術、また、工業として応用可能な技術について研究開発を進めている。この技術開発における応用分野は放射性廃棄物処分、CO<sub>2</sub>地中貯留、メタンハイドレート生産と多岐にわたっており、今後とも他のグループとの連携を十分にとて研究開発を進めていく。

## 地圏環境評価研究グループの紹介 Introduction of the Geo-analysis Research Group

地圏環境評価研究グループ長： 駒井 武  
Leader, Geo-analysis Research Group: Takeshi Komai  
Phone: 029-861-8294, e-mail: koma@ni.aist.go.jp

### 1. グループの研究目的

近年、土壤・地下水汚染問題が顕在化し、特に市街地や産業用地においては深刻な状況となっている。一昨年には土壤汚染対策法が施行され、事業所や工場などにおける地圏環境リスク管理が急務の課題となっている。また、鉱山・温泉地帯や海域に接する地域では、有害化学物質の存在量が多く、自然的原因による地質汚染の問題も発生している。これらに対処するためには、汚染物質の種類、存在量、形態などに関する科学的な解明を基礎にして、人への健康影響や生態系への環境影響を定量的に評価することが重要である。また、土壤・地下水汚染のサイト評価およびリスク管理を実施するため、地圏環境の調査・評価・管理に関する方法論の確立と実汚染サイトへの浄化技術の適用が不可欠である。

当研究グループは、土壤・地下水汚染の環境評価を主なターゲットにして平成14年に新たに発足した。その検討に際しては、環境地質、地化学、環境工学、地球工学、リスク科学などの研究分野の融合が不可欠であり、様々な観点からの理学的、工学的なアプローチを目指している。具体的には、土壤、地下水および地質構造を含む地圏環境における汚染物質の調査・分析、将来予測およびリスク評価を中心、実験、解析およびサイト調査(汚染評価、浄化実験など)を実施している。汚染物質としては、重金属、有機塩素系化合物およびダイオキシン類(PCBを含む)を対象としている。カドミウム、鉛、水銀などの重金属類では、存在形態の地化学的な解明、人為起源と自然起源の比較検討、効率的な浄化手法の開発などを実施している。トリクロロエチレンなどの有機塩素系化合物では、トレーサ物質を用いた環境挙動の解析、微生物を用いた浄化手法の検討、生分解による自然減衰の評価などを実施している。ダイオキシン類およびPCBでは、土壤中の存在形態および安全な浄化手法の検討を行っている。さらに、これら全ての汚染物質を対象として、地圏環境における曝露・リスク評価システムの開発に関する研究開発も実施している。この分野の研究を効率的に進めるため、環境省(国立環境研究所)、都道府県などの自治体、コンサルタント会社、浄化企業などと共同研究を行っている。

当研究グループでは、これまでの地圏環境における解析・評価技術の研究を発展させて、地質汚染の将来予測に関するシミュレーション、地層中における水とガスの混相流体の解析、多孔質体における流動性・反応性連成解析手法の開発、二酸化炭素の地層処分の解析・評価などの検討を行っている。一方、近年新しいエネルギー資源としてメタンハイドレートが注目されており、これを経済的に生産するための手法についての研究開発を取り組んでいる。メタンハイドレートを含む地層の浸透率特性を明らかにするとともに、生産挙動を予測するための数値シミュレータの開発を行う。これらの研究開発に関連して、海外との国際共同研究として、米国ロスアラモス国立研究所、韓国科学技術大学などと密接な協力関係にある。

### 2. グループの研究資源

#### 1) グループ員

駒井 武 (リーダー)  
徳永修三  
杉田 創  
竹内美緒  
川辺能成  
坂本靖英  
丸茂克美 \*地質情報研究部門(協力)  
テクニカルスタッフ 大野孝雄、清水美知代  
小川桂子、木野貴子、浦川春香

#### 2) 研究課題

運営費交付金「地圏環境評価の研究(地質)」  
運営費交付金「地圏環境評価の研究(エネルギー)」  
運営費交付金「土壤汚染調査・評価・管理手法の開発」(分野別重点課題)  
運営費交付金「地圏海洋における微生物のメンテナンス・消費プロセスの解明」(分野別重点課題)  
委託費「メタンハイドレート資源開発生産手法開発」(経済産業省)  
委託費「地下水汚染の科学的自然減衰(MNA)に関する研究」(環境省)  
委託研究「固体・ガス状試料の安全性評価システムの開発」(文部科学省)  
特許実用化共同研究「化学洗浄剤による有機ヒ素汚染土壤の浄化技術」

### 3. 平成 16 年度の研究計画及び進捗状況

#### 1) 地圏環境評価の研究（地質、エネルギー）

地下水・土壤汚染の評価を行うためには、地下水の流動挙動を正確に把握することが重要である。蛍光トレーサを用いた地下水流動モニタリング法を確立するため、蛍光強度に及ぼす地圏環境に関する諸因子の影響を実験的に検討する。また、地下水・土壤汚染のヒトや生態系に及ぼす留影響を評価するための環境調査の方法論およびGISを用いたリスクマッピングについて検討する。

地圏環境における有害金属類と微生物の相互作用を解明することを目的として、海底堆積物中の有機-無機態ヒ素の変換に関わる微生物とヒ素の形態別分析、堆積物中の微生物に対するヒ素の影響評価に関する研究を行っている。本年度は、地下環境の微生物の生態についての基礎研究を進めるとともに、主要な地質汚染物質の一つであるヒ素について、濃集メカニズムの解明や浄化手法の開発を行う。

#### 2) 土壤汚染調査・評価・管理手法の開発

分野別重点研究課題として、土壤汚染の調査、リスク評価、対策技術を含むリスク管理に至る一連のプロセスに関する検討を行っている。当研究グループでは、土壤汚染のリスク管理手法開発および浄化手法開発を担当している。リスク管理手法では、土壤中含量と汚染土壤からの溶出量を基にした土壤汚染の曝露・リスク評価手法を開発するとともに、具体的な調査地点を対象とするサイトモデルを設定し、浄化・修復のリスク低減効果を定量的に評価できる手法を確立する。本年度は、サイト特有のパラメータを反映できるサイトモデル（図1参照）を開発し、具体的な土壤汚染サイトに適用する。

また、重金属等で汚染された土壤について、土壤へのダメージを最小限にするとともに、有害物質を効果的に抽出除去する低環境負荷型浄化技術を開発する。そのため、土壤中の重金属類の存在状態および挙動を解明する。土壤中の重金属類を効率的に抽出可能な洗浄剤を探査し、効果が認められた洗浄剤を実汚染土壤に適用して実証試験を行う。

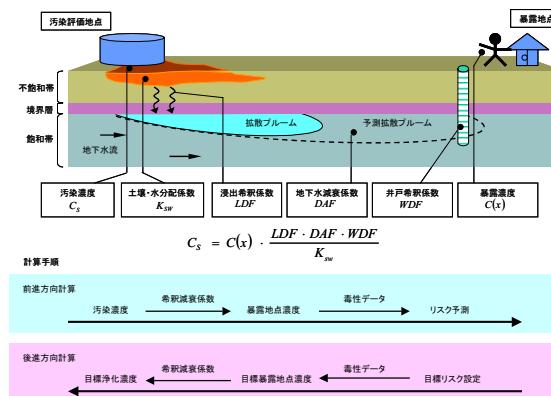


図1 土壤汚染リスク評価手法の概要

#### 3) 地下水汚染の科学的自然減衰(MNA)の研究

日本国内数カ所（山形県、兵庫県、熊本県など）の VOCs (TCE, PCE) による地下水汚染サイトを調査し、過去の汚染データの解析や汚染物質の挙動予測、微生物による分解速度の評価などの検討を行っている。（図2参照）MNA の判定を行うための重要な要素として地下水における微生物の浄化能の評価手法について検討する。そのため、実サイトの地下水をサンプリング調査して微生物群および微量成分の分析を実施し、現位置における微生物活性および有機塩素化合物に対する分解特性を明らかにする。また、微生物の分解・変換を考慮に入れた地下水中有害化学物質の挙動を解析するための手法について検討する。

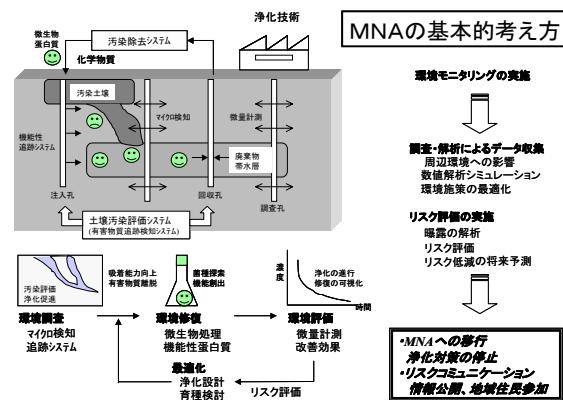


図2 科学的自然減衰(MNA)の基本的考え方

#### 4) 有機ヒ素汚染土壤の浄化技術

フェニル化ヒ素などの有機ヒ素化合物で汚染された土壤環境の浄化技術の開発を目的として、有機ヒ素化合物と土壤との相互作用を解析し、有機ヒ素化合物で汚染された土壤の効果的な洗浄浄化技術を開発する。また、使用済み浄化剤を処理してヒ素を濃縮すると同時に浄化剤を再利用する実用技術を開発する。

#### 5) メタンハイドレート資源開発生産手法開発

ガスハイドレートを含む堆積層におけるメタンガスおよび水の浸透率特性を把握するための実験的検討を行い、生産性評価のための解析手法の開発に反映させる。また、汎用シミュレータを用いて、絶対浸透率および相対浸透率の評価モジュールの開発を検討する。

### 4. 今後の方針

当グループは、グループ員の緊密な連携を図りながら、地圏環境評価に関する学術的成果を論文等で公表するとともに、積極的な対外活動を実施する。また、本分野のみでなく他の分野に関しても萌芽的研究から実用化研究まで幅広く研究を実施する。特に、汚染評価手法や浄化技術の研究成果を一般に普及させ、土壤・地下水汚染や廃棄物処分場などの問題解決に寄与することを目指す。

## 地質バリア研究グループの紹介 Introduction of the Geo-barrier Research Group

地質バリア研究グループ長： 楠瀬勤一郎  
Leader, Geo-barrier Research Group: Kinichiro KUSUNOSE

### 1. グループの研究目的

地質バリアグループは、昨年10月に設置された研究グループで、放射性廃棄物や二酸化炭素など、環境に有害な物質を地中に処分を考える上で重要な、地下の地質・岩盤の性質を明らかにするために必要な、水文学・岩盤力学の研究を行なうとともに、将来必要とされることが予想される、多岐にわたる地下の開発・利用に係る技術に関する調査・研究を行うことを目的としている。

### 2. グループの研究資源

#### 1) グループ員

楠瀬勤一郎  
丸井敦尚  
長秋雄  
宮越昭暢

#### 2) 研究テーマ

地下深部岩盤初期応力の実測  
塩淡境界面形状把握調査  
沿岸域断層評価手法の調査研究  
光音響分光法を用いた地下水センサーの開発と適用に関する研究  
臨海部における地下水流动変化観測  
CCOP 地下水データベースの構築に関する研究

### 3. 平成15年度までの主な研究の進捗の状況

地下深部岩盤初期応力の測定は、深度750mまでの掘削および、水圧破碎法による初期岩盤応力の測定を終了した。

塩淡境界面形状把握調査は、広域での観測・調査を行うため、平成15年は茨城県東海村に調査地を移し、ボーリングおよび物理探査により、塩淡境界面上面の深度分布を調査するとともに、観測孔の整備を進めた。

沿岸域断層評価手法の調査研究は、陸域の地質調査文献と海域の地質調査文献を統合し、沿岸部海底の断層・破碎帯を推定する方法を調査することを目的として、平成15年度から研究が始まった。平成15年度は、沿岸域産総研、水路部、国土地理院、石油天然ガス・金属鉱物資源機構などが行なった、沿岸部の地質調査のデータについて、メタデータの収集を行ない、その標準化について検討を始めた。



図1 東海村調査地での観測孔分布 おにぎり型のサークルは、建設予定の大強度陽子加速器の位置。

### 4. 平成16年度の研究計画

地下深部岩盤初期応力の測定では、野外の実測を終了し、今まで得られたデータのまとめ、室内実験による補備データの取得を行う予定である。

塩淡界面形状把握調査では、観測孔の整備を本年度完成させ、来年度以降、日本原子力研究所と高エネルギー加速器研究機構による大強度陽子加速度器の建設が塩淡界面や広域の地下水流动に与える影響を観測する予定である。特に、大重量の加速器により、垂直方向から地下水面上に高い圧力が加わることによる、塩淡界面の変形を観測することで、塩淡界面形状のメカニズムを明らかにし、数値シミュレーションによる海水準変動による塩淡界面の長期変動予測の精度を向上させることを期待している。



図2 大強度陽子加速器施設完成予想図（成瀬ほか  
(2003) より）

沿岸域断層評価手法の調査研究では、メタデータの収集を継続するとともに、データの標準化を試行する。また、陸域の地質調査文献と海域の地質調査文献の統合手法について検討を開始し、既存データの豊富な場所を例にとり、統合を試みる。

#### 参考文献

産業技術総合研究所 2004

平成15年度 塩淡界面形状把握調査  
報告書

産業技術総合研究所 2004

平成15年度 沿岸域断層評価手法の調  
査研究 報告書

成瀬日出夫・北見俊幸・市村隆人・梅津朋岳・

横田幸治・藤森叡・丸井敦尚 2003

原研南地区における潮位変動に伴う地下

水塩分濃度の観測、日本水文科学会秋季

学術大会予稿集、p 72-75

## GIS を用いた音環境管理及び騒音伝搬予測における気象データの取り扱い

### Treatments of meteorological data in a sound management and prediction using GIS

開発安全工学研究グループ：今泉博之・高橋保盛

Research Group for Geo-Resources Development and Safety: Hiroyuki Imaizumi, Yasumori Takahashi  
Tel: 029-861-8775, e-mail: hiroyuki.imaizumi@aist.go.jp

#### 1. 研究の目的

筆者らは、GIS（地理情報システム）を用いて都市域の複雑な伝搬状況を考慮できる騒音伝搬予測手法を開発するとともに、標準的な音環境管理手法の確立を目的とした研究を実施している。

一般的に GIS は、構造物の平面分布等の空間情報に自然・社会・経済等の属性データを統合的に管理・解析が可能なアプリケーションである。本研究では、過去から現在までの騒音に関する各種の数値地図や属性データ及び観測データなどを管理する機能と、騒音伝搬予測モデルと組み合わせることで現在から未来に対して騒音場の変化を推計し、騒音低減対策の立案や実行を支援する機能とを併せ持つシステムの開発に GIS を活用する。

本稿では、屋外騒音伝搬に密接に関わる気象要因に着目した検討として、上記システム上に開発した気象観測データを入力・管理・集計するための機能について紹介する。また、千葉県松戸市\*で観測された気象データの分析から得られた気象状況を考慮した騒音伝搬予測計算を行い、気象を考慮しない結果と比較した事例について述べる。なお、既往の研究では、都市規模の騒音予測の中で気象影響はあまり考慮されていない。

#### 2. 気象データ

気象データは、観測と数値計算に基づくものに大別できる。前者に着目すると、各地の気象台や測候所における各種の観測データが代表的である。また、地方自治体で地域内の数箇所で大気汚染観測などを主目的とした気象観測を行っている場合もある。気象台などにおける観測データは、日本全国を広範にカバーしている点や観測条件などが明確である反面、騒音場を検討している地域内に気象台や観測所が必ずしも存在しない場合やその

観測データがどの程度地域内を代表しているのかを吟味する必要があるなど、検討課題もある。一方、地方自治体などに設置された観測施設は、観測点数や地域代表性の点で有利であるが、観測場所やその条件に関する情報を入手することが一般的に困難と考えられる。さらに、観測データ形式についても種々異なる可能性がある。

#### 3. 地方自治体で観測された気象データの活用

本研究では、松戸市の気象観測データが収録された電子媒体を直接読み込み、構築を進めている GIS システム上で取り扱い可能なファイル形式に一括変換する機能を開発した。また、データ変換後に観測項目（気温、風向・風速など）の最大値/最小値や標準偏差などを算出し、GIS システム内でその分布をレイヤ表示する機能等を備えている。

図 1 は、気象観測データの取り込み後に行うデータ集計過程の一例を示す。また図 2 は、上記の拡張機能を用い、松戸市で観測された風向の発現頻度を毎月集計した結果である。夏期と冬期で明らかに卓越する風向が異なることがわかる。



図 1 気象観測データ処理（集計機能）

#### 4. 気象影響を考慮した都市域の騒音伝搬予測

松戸市の気象観測データの中、風向及び風速に関して分析した結果から、以下に示す 3 種類の気

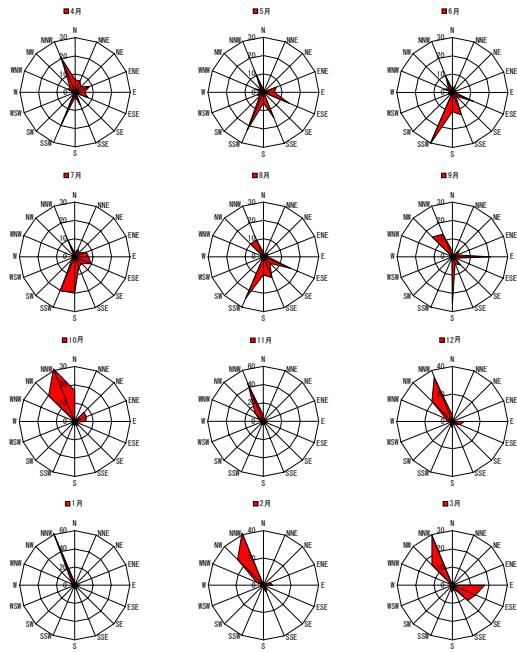


図2 風向の月別平均発現率

象状況を考慮した騒音伝搬計算を実施した。

Case 1: 風向 SSW で 3.5m 每秒の風速 (夏期)

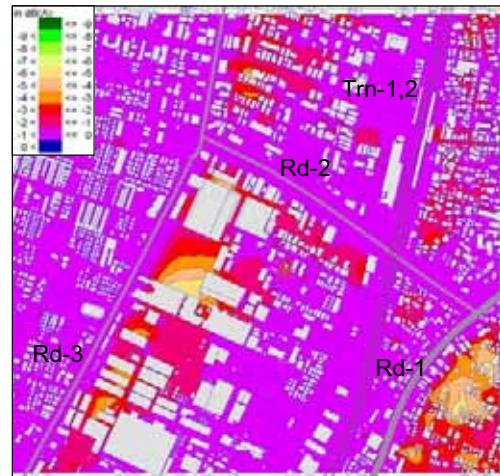
Case 2: 風向 NNW で 3.5m 每秒の風速 (冬期)

Case 3: 無風 (気象影響を判断する比較対象)

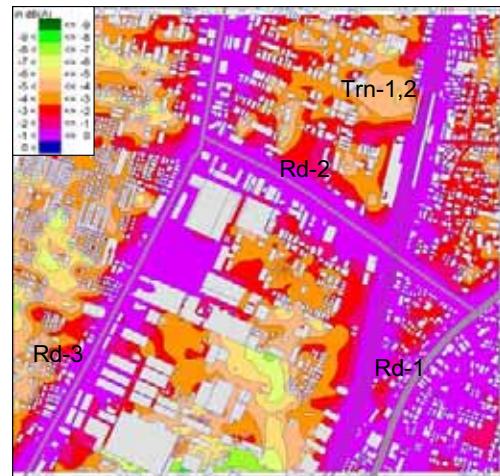
騒音伝搬予測を適用する範囲は、戸建て住宅が大部分を占め、主要な騒音源が道路交通と鉄道である 1km × 1km の地域である。各々の音響特性は前者について走行台数と平均速度などを、後者について運行本数と平均速度、車両タイプなどを考慮し算出した。建物の高さは、すべて 10.5m とした。また、地表面の音響特性はすべてコンクリートと同等の音響的にハードな条件とした。

図3は、地上高 4.0m における Case 1 及び 2 に対して得られた騒音分布と Case 3 に対して得られた分布の差を示す。夏期は、図中の左下から右上に向かって卓越した風が吹くため、Rd-1, 3 および Trn-1, 2 からの騒音伝搬方向に対してほぼ直交し、騒音伝搬に与える気象影響は小さく、無風条件下におけるレベル分布との差異は小さい。一方、冬期には図中の左上から右下に風が卓越するため、Rd-1, 3 および Trn-1, 2 から発生した騒音が風上屈折条件下で伝搬する地域では騒音レベルが低下し、反対に風下屈折条件下では騒音レベルの変動は小さくなつた。次に、夏期と冬期の騒音レベル分布を比較すると、レベル変動が 10dB 弱に達する地域も見られた。

以上より、都市域においても騒音伝搬に与える



(1) Case 1



(b) Case 2

図3 無風時との騒音レベル分布の差

気象影響は、ある程度広域的な騒音場の把握を必要とする場合には決して無視できないと考えられる。騒音伝搬と気象影響については、引き続き研究を行う必要がある。

## 5. 今後の研究展開

本年度は研究の最終年度に当たり、GIS 機能を活用した都市域における標準的な音環境管理及び騒音伝搬予測手法を確立することを目指している。その中で、本システムの具体的な活用方法についても検討する予定である。

また次年度以降は、都市域における音環境管理及び騒音伝搬予測に関する自治体関係者との意見交換の中から得られた様々な課題を解決するための研究を進める必要がある。

\*筆者らは、千葉県松戸市をモデル地区として協力を得ながら本研究を進めている。ここに感謝の意を表する。

## 地震波探査のための室内モデル実験：レーザードップラー振動計による弾性波伝播実験

### Laboratory model experiments for exploration geophysics: Experimental studies of seismic wave propagation by using a laser Doppler vibrometer.

物理探査研究グループ：西澤 修  
 Exploration Geophysics Research Group: Osamu Nishizawa  
 Phone: 0298-61-3971, e-mail: osamu-nishizawa@aist.go.jp

#### 1. 研究目的

地震波を用いて地下構造を探査するとき、想定したモデル構造からの反射波や変換波を地震波記録の中から探し出し詳しい構造を決める。ただし、実際には推定された構造の分解能以下の微細構造が存在し、微細構造の影響によって観測波形と推定構造から予測される地震波形との間に違いが生じる。微細構造を逐一決めることはできないが、これをランダムな不均質構造と考え、その統計的性質だけを問題にすることができる。

ランダム不均質構造の統計的性質と地震波記録の細かい変動との関係を明らかにすれば、地震波を用いた地下構造探査の精度や推定構造の確からしさを評価することが可能になる。

ランダム不均質中を伝播する地震波の研究方法には(1)理論、(2)数値シミュレーション、(3)実験室でのモデル実験、がある。多くの理論は均一なランダム構造のもとで導かれているため、地下の複雑な状況を理論のみを手がかりとして記述することは困難である。数値シミュレーションは近年手軽に行えるようになったが、その多くは2次元モデルに関するものである。ランダム不均質のような細かい変動を含む媒質の波動を3次元モデルで計算するためには、膨大な計算資源が必要となり、コンピュータ技術が進歩した昨今でも3次元モデルでのシミュレーションは依然困難である。一方、実験室では容易に3次元のモデル媒質を扱うことができる。

ここでは地震波探査による地下構造モデル決定の問題点と、その問題解決のための手法としてレーザードップラー振動計を用いた実験室での波動伝播モデル実験について紹介する。

#### 2. ランダム不均質とは何か

層構造モデルでは層の厚さと層の物性を決めればモデルが確定される。しかし、実際には各層は完全に水平で一様な厚さを持つのではなく、層と層の境界も完全な平面ではない。さらに岩石の内部には割れ目が存在し、層全体を一様な物性で表現することはできない。ところが、これらの変動を逐一明らかにすることはできないため、変動の統計的性質だけに着目し、変動を表すパラメータ

によってランダム不均質を記述する立場をとる。

ランダム不均質を表現するには、変動のスペクトルとそれによって計算される自己相関関数を用いる。図1は花崗岩（大島花崗岩・愛媛県産）の微細構造を示すイメージと、その解析によって得た縦波速度変動のスペクトルと自己相関関数である。ランダム不均質媒質は物性値（例えば弾性波速度）の変動の大きさ( $\varepsilon$ )と変動の相関距離 $a$ （花崗岩の場合は鉱物粒子の大きさに依存する）で表現される。

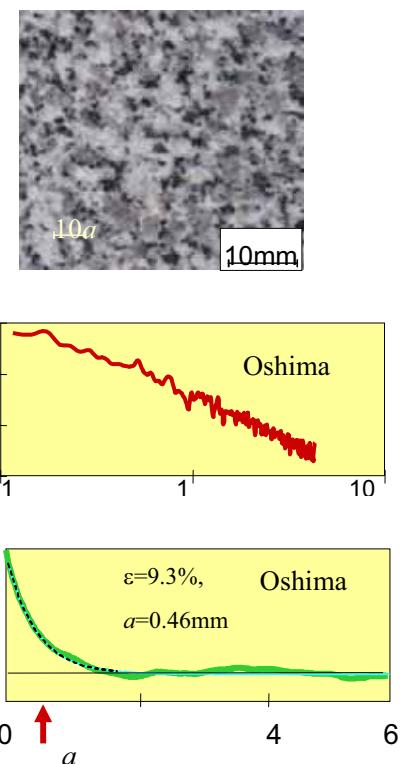


図1 大島花崗岩（愛媛県産）の表面にイメージと弾性波速度変動のスペクトルと自己相関関数。

#### 3. モデル実験の方法

実験室でのモデル実験では、高い精度で波動場を観測する必要がある。例えば、従来用いられてきた圧電素子では素子自身が弾性波の波長と同等の大きさを持つため、観測されるのは、素子が取

り付けられた場所の平均的波動場である。また、素子を貼ることによって、素子自身が波動場を乱す原因になる。波動場を正確に観測するためには、非接触で狭い面積の振動を調べる必要がある。

近年、この目的に合う超音波計測器が登場した。レーザードップラー振動計 (LDV) である。LDV は反射されたレーザー光のドップラーシフトから固体表面の振動速度を計測する。振動を計測する固体表面の面積は約 50 ミクロン程度で、狭い範囲の振動を正確に測定できる。いわば、小さな地震計である。第 2 図はモデル実験の様子で、圧電素子で弾性波を発生させ、岩石中を透過した弾性波を震源と反対側の面で観測する。

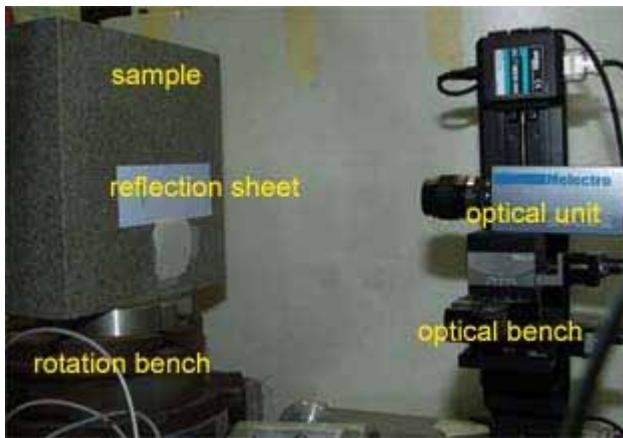


図 2 岩石中を伝播する波動の計測。LDV のビームを移動させ、観測点を移動しながら透過弾性波を観測する。

観測点の位置を動かすには、LDV の光学ユニットを移動させればよい。位置を精密にコントロールできる可動ステージを用い、マグネスケールによって位置を正確に計測すれば、観測点の位置精度 1mm 以下で波動場の計測が可能となる。図 3 は岩石の表面 50mm × 50mm の範囲での波動をとらえたもので、2mm 間隔で設置した 26 × 26 の格子点で観測された波の鉛直成分の振幅を、同一時間で取り出し 3 次元で表示している。花崗岩の微細構造による物性値のランダムな乱れにより、波形が崩れているのがわかる。

LDV はさらに、固体の面に垂直な成分の振動だけでなく、固体面に平行な振動である S 波も観測することができる。S 波を観測するためには、固体の表面に微小な球レンズを塗布した反射シートを使う(図 2)。球面レンズにレーザー光線が照射されると、入射方向と同じ方向にレーザー光が反射され、斜めからの入射に対しても、同方向の振動を計測することができる。斜め方向の振動を複数の方向から観測すると、面に平行な振動を得ることができる。

以上のように、LDV を用いた室内実験のデータに対し、通常の地震波探査と同様の解析処理手法を適用することができる。したがって、野外観測

を行う前に実験によって震源や観測点の配置をモデル化し、波動場を観測すれば不規則な構造からの波の乱れなど、地球内部のランダム不均質に起因する波動の乱れを実験的に観測することができ、実際の地震波探査の様子を忠実にモデル化することができる。

これまで、(1) 計測方法、(2) ランダム不均質構造を伝播する波動の観測と解析などに研究を行っており、成果は以下の文献にまとめられている。

これらの研究の結果、ランダム不均質構造の特性と地震波の走時や位相の乱れとの関係が定量的に把握され、高周波側での地震波の位相の乱れとランダム不均質の特徴的パラメータとの間の重要な関係のあることが明らかにされた。

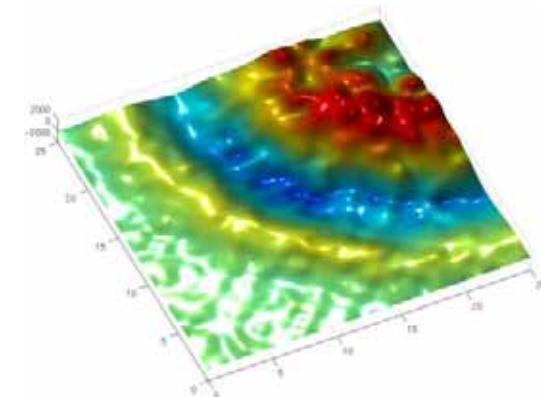


図 3 岩石中を伝播する波動。圧電素子からの波は図の右上の角に最初に到着する。その後同心円状に周囲に波動が到着するので、波の山や谷は同心円状に広がる。花崗岩内部のランダム不均質構造のために波の位相が乱されている。

#### 参考文献

- Nishizawa, O., Satoh, T., and Lei, X., *Rev. Sci. Inst.*, **69**, 2572-2573, 1998.
- Nishizawa, O., Sato, T., Lei, X., and Kuwahara, Y., *Bull. Seism. Soc. Am.*, **87**, 809-823, 1997.
- Fukushima, Y., Nishizawa, O., Sato, H., and Otake, M., *Bull. Seism. Soc. Am.*, **93**, 253-263, 2003.
- Sivaji, C., Nishizawa, O., Kitagawa, G., and Fukushima, Y., *Geophys. J. Int.*, **148**, 575-595, 2002.
- Spetzler, J., Sivaji, C., Nishizawa, O. and Fukushima, Y., *Geophys. J. Int.*, **148**, 165-178, 2002.
- Sivaji, C., Nishizawa, O., and Fukushima, Y., *Bull. Seism. Soc. Am.*, **91**, 292-303, 2001.
- 西澤 修・雷 興林・佐藤隆司, 不均質媒質での地震波伝播モデル実験 --- レーザードップラー速度計を用いた波動計測 --- 地質調査所月報, **47**, 211-224, 1996.
- 西澤 修・雷 興林・佐藤隆司, 不均質媒質での地震波伝播モデル実験とその意義 構造地質, No. 42, 41-49, 1997.
- 西澤 修・雷 興林・チャダラム シバジ, 不均質媒質での地震波伝播モデル実験 地震, **2**, 54, 171-183, 2001.

## 火山防災と地熱開発の協力—磐梯山 1888 年噴火（水蒸気爆発）災害から学ぶ

Cooperation of volcano hazard mitigation and geothermal energy exploitation –  
Learning from the 1888 eruption (steam explosion) hazard of Bandai Volcano, Northeast Japan

地熱資源研究グループ 茂野 博  
Geothermal Resources Research Group, Hiroshi Shigeno  
Phone: 029-861-3701; E-mail: hiroshi-shigeno@aist.go.jp

### 1. はじめに

火山活動と地熱活動は密接に関係する場合があり、災害防止、環境保全、資源開発の総合的・長期的な最適化を目標に、今後両分野の調査・研究のより多面的な協力が望まれる。筆者らが進めている「地理情報システム（GIS）を利用した地熱資源の評価（アセスメント）の研究」（例えば、茂野・阪口, 2002；茂野, 2004b）では、関連する自然災害の防止も重要な検討課題としている。

明治期以降、日本で最大規模の火山災害（死者 477 人）となった磐梯山 1888 年 7 月 15 日の噴火に関して、近年様々な研究・報告が行われているが、水蒸気爆発－山体崩壊の経過、機構などについてはいまだに不明な点が多い。特に、Sekiya and Kikuchi (1889) などが記載した線上配列した噴気割れ目群（噴火 3 週間後にも高さ 500 m 以上の蒸気柱列の噴出が続いている）（図 1）については、十分には考慮されていない。今回、上記の研究の一環として磐梯火山 1888 年噴火の経過、機構について概念的なモデル化を試みた（茂野, 2004a, 2004c）ので、その概要を紹介する。

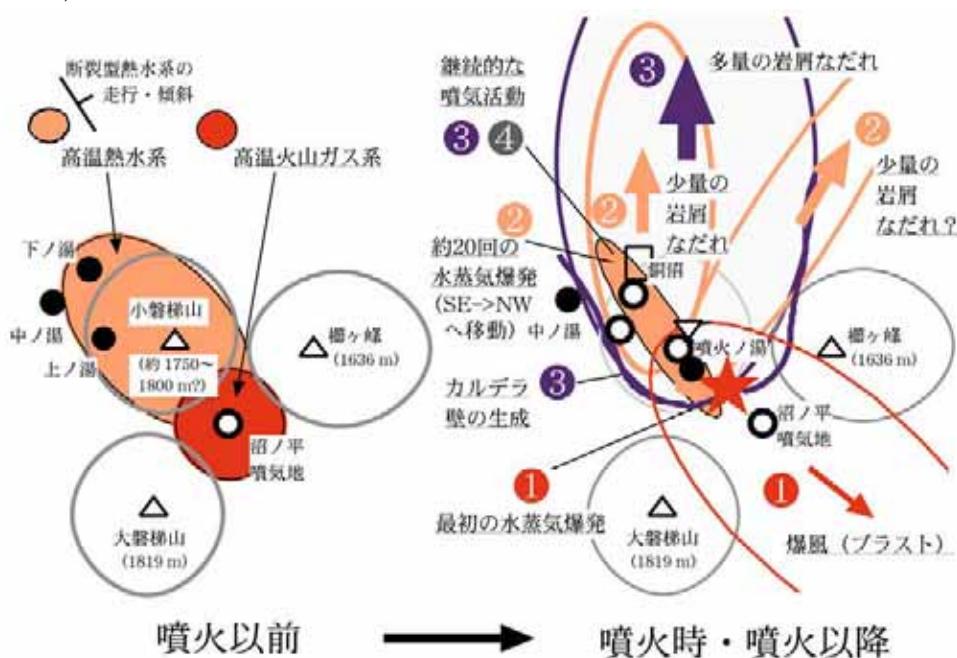


図 1 磐梯山 1888 年噴火から 3 週間後の北方からの風景 (Sekiya and Kikuchi (1889) の描画に基づく)

### 2. 概念モデル

図 2 に、磐梯火山中心部の平面図として、今回の概念的なモデルを示す。1888 年噴火は、概略的に以下の経過をたどったと推定される。

(0) 噴火前：噴火前には小磐梯山の地下に、SSE-NNW 走向（ENE 方向に急傾斜）の水平長約 1.5 km の断裂型の熱水系（恐らく蒸気・熱水混合型で温度 300°C 程度？）が生成しており、北西～西部の上ノ湯・下ノ湯（酸・中性 SO4 型, 1646



噴火後も活発だった噴火活動（4）に注目し、左図で噴火前の高温热水系の発達、右図でそれに起因した 3 時階、(1), (2), (3) の噴火活動をモデル化した。噴火前および噴火後の主要な温泉・噴気地の概略の位置を黒丸・白丸で示した。

両図は、上が北で幅が約 3 km である。

図 2 磐梯山 1888 年 7 月 15 日噴火（水蒸気爆発）の新しい概念モデル（平面図）（茂野（2004a）に基づく）

年発見、公式名は磐梯鉱泉）および中ノ湯（1872年発見、磐梯新鉱泉）に流体を供給していた。熱水系の熱と流体の多くは、磐梯火山の中心部、沼ノ平地域の地下深部から供給される火山ガスを起源としていたと考えられる。

(1) 噴火第1時階（ごく短時間）：噴火は、小磐梯山の南東斜面＝沼ノ平の上端部（後で崩壊消失）の水蒸気爆発で始まったと推測される（地下深部のマグマ溜まり上部～火道に蓄積していた火山ガスの上昇が関与した可能性が高い）。爆発口の位置と周辺地形との関係により、この水蒸気爆発は主に南東方向の沼ノ平～琵琶沢に沿って高温爆風・破碎物を送る結果となった。

(2) 噴火第2時階（数分間）：最初の水蒸気爆発による地下圧力低下や破壊が近傍へ広がり、上記熱水系で水蒸気爆発が発生した。これは、短時間で次々にNNW方向に移動しながら繰り返し（約20回、平均約80m間隔）、小磐梯山を縦断して北斜面の銅沼付近で終了した。なお、各水蒸気爆発の位置は Sekiya and Kikuchi (1889) が図示した各噴気割れ目の位置（図1）にほぼ対応していた（地形的圧力効果もあり、地表の爆発口は恐らく小磐梯山の山頂部を避けて西側に位置していた）。当時の小磐梯山と櫛ヶ峰の北斜面の地形により、北東方向の沢筋にも水蒸気爆発が一部発生した可能性が指摘される。

(3) 噴火第3時階（約2時間）：深部に残存した熱水系により、上記爆発口列を通じた高圧蒸気の放出はその後も継続した。上記の一連の水蒸気爆発によって「袈裟掛けに斬られたように」 SSE-NNW走向・ENE急傾斜の破壊面を生じた小磐梯山の大部分および櫛ヶ峰の一部分は、北方へ岩屑なだれとなり噴煙・鳴動を伴った大規模な山体崩壊を生じて行った（カルデラー流れ山地形の生成）。崩壊には、上記熱水系からの岩石中の残留高温流体の水蒸気爆発、変質帶の滑りなどが大きな効果を持った可能性が高い。

(4) 噴火後：深部に残存する熱水系により、高圧噴気列の活動はその後減衰しつつ長期間継続した。中ノ湯は残留したものの、上ノ湯・下ノ湯は崩壊に巻き込まれて消滅した。カルデラ壁の直下には噴気起源酸性の噴火ノ湯が生成したが、1954年の一部山体崩壊により消滅した。

### 3. おわりに

上記の磐梯火山1888年噴火の場合のみならず、熱水系・変質帶の分布は様々な火山災害に関係しているが、現状では必ずしも十分な調査・研究が行われていない。限られた日本の国土においては、活火山地域における災害防止・環境保全・資

源開発の総合的・長期的な最適化は重要であり、その目的で坑井掘削モニタリング調査を通じた熱水系・変質帶の実態把握の進展が今後望まれる

（茂野, 2004a）。 「地理情報システムを利用した地熱資源の評価の研究」（図3参照）では、上記に資する目的を含めて、既存の地熱調査井について報告されている各種データ、特に変質データの簡易的なデータベース化、電子統合処理・表示法の研究などを現在進めている（茂野, 2004b）。

### 文献

- 1) Sekiya, S. and Kikuchi, Y. (1889) The eruption of Bandai-san. Tokyo Imp. Univ. Coll. Sci. J., 3, 91-172.
- 2) 茂野 博・阪口圭一 (2002) 地理情報システム (GIS) を利用した地熱資源の評価 (アセスメント) 新計画. 地質ニュース, no. 574, 24-45.
- 3) 茂野 博 (2004a) 火山防災と地熱開発の協力—磐梯山 1888 年噴火 (水蒸気爆発) 災害を例に考える. 地熱エネルギー, 29, 17-32.
- 4) 茂野 博 (2004b) 地熱井の温度・地質・変質データの簡易データベース化と地図上統合表示—GIS を利用した地熱資源評価研究の一環として「豊肥」地域を例に. 地質ニュース, no. 595, 43-56.
- 5) 茂野 博 (2004c) 磐梯火山 1888 年噴火の新概念モデル—熱水系の分布効果に注目して. 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会予稿集 CD-ROM, V055-P008.pdf.

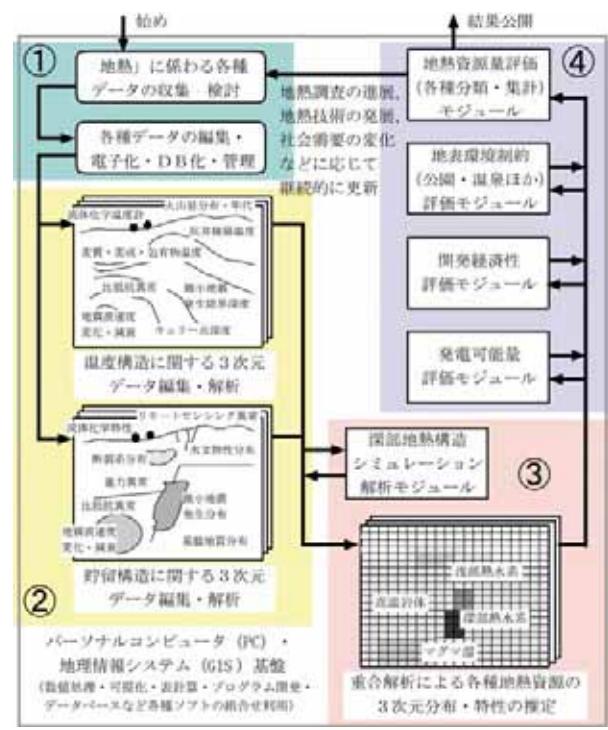


図3 統合性・継続性・公開性を重視したGIS利用の地熱資源評価・アセスメント支援システムの概念図

## 電気分解法を用いたスケール捕集試験

### Scale precipitation test using high frequency electrolysis

地図資源工学研究グループ 柳澤 教雄

(株) レイケン 松村 高宏

Research Group for Geoenergy and Environment: Norio Yanagisawa  
REIKEN Corporation: Takahiro Matsumura

#### 1. はじめに

工場など大量に水を利用するシステムでは、水の流動系内でのスケール付着が問題になっている。その対応策として、定期点検時の除去作業、薬品注入がなされているが、近年、電気分解を利用してのスケールを選択的に付着させることによって、系全体のスケール付着を押さえる手法が実用化されている。著者の一人の松村が所属する(株)レイケンでは高周波電気分解水処理装置ダイナクリーン D150T(以下 150T と表記)による水処理システムを設計している。

そのスケール捕集では、電気分解時に水が還元状態になることを利用しているが、電気分解実施中の水質変化やそのスケール捕集に対するメカニズムはまだ解明されていない。

そこで電気分解でスケール捕集のメカニズムを解明するために、通電期間中に連続的な水質測定を行い、通電に伴う水質の経時変化を把握する。また、特に炭酸カルシウムスケールに着目し、水中の Ca や HCO<sub>3</sub> 濃度を変化させたときの差異を考察する。

#### 2. 装置および試験の概要

図 1 に 150T の原理模式図を示す。150T は制御部と電極部(3 本の電極と電極カバー)からなり、この 3 本の電極の陽極と陰極を周期的に変化させることにより電極自体にスケールが付着することを防ぐとともに、電極近くに設置した電極カバーでスケールを捕集する。

試験は図 2 のように 50L の水槽に 150T 電極をセットし、水槽に pH、電気伝導度、溶存酸素(DO)、酸化還元電位(ORP)の測定用電極を浸し、測定

メーターおよびパソコンに接続し連続測定を可能にしたところで通電を開始した。

さらに、炭素イオン濃度および Ca イオン濃度の測定用試料をオートサンプラーで連続的に採取した。以上のように水質の経時変化を把握するシステムを確立させた上で、炭酸カルシウムスケールの捕集実験を行った。

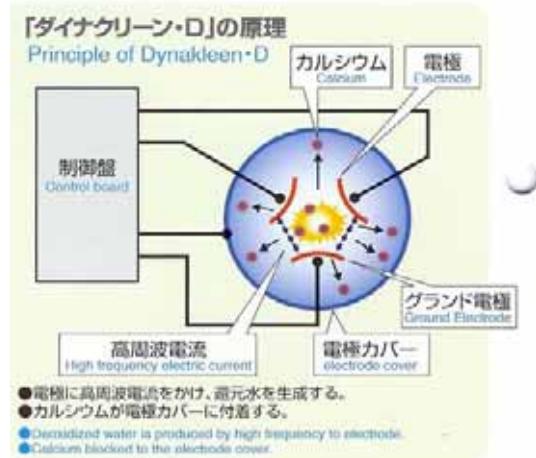


図 1 : ダイナクリーン D150T の原理図 ((株)レイケンのパンフレットより)



図 2 : 実験装置、150T および水槽

試料溶液は、蒸留水に乳酸カルシウムを溶解させて Ca 濃度が 200ppm となるように作成した。また、溶液の炭酸イオン濃度は炭酸水素ナトリウムを混合して調整した。さらに Ca 濃度依存性や、硫酸カルシウムを用いた実験も実施した。

また、スケール捕集量の測定、X線回折によるスケールの同定も併せて行った。

### 3. 試験結果

Ca 濃度 200ppm、炭酸イオン濃度 200ppm となるように調合した 50L の溶液で 150T による電気分解を開始してから、72 時間までの酸化還元電位(ORP)、pH、電気伝導度および Ca 濃度、炭酸イオン濃度の変化を図 3 に示す。

通電開始直後から ORP は急速に減少し、20 分程度で 0 に達し、3 時間程度で -250 に達するほどの還元状態になる。それに併せて、pH、電気伝導度も変化し始め、電極付近からは泡が発生し、Ca、HCO<sub>3</sub> 濃度が減少を始める。

これは、溶液が還元状態となることに伴い、Ca と HCO<sub>3</sub> との反応がおこり、炭酸カルシウムスケールが沈積することを示している。電極カバーには数時間程度で白いスケールが付着するのが観察できる。

その後、ORP 値は少しずつ上昇し、30 時間前後で 0 になり、以後は酸化状態になる。その時点までに pH は 5.3、電気伝導度は 70ms/m まで減少しているが、30 時間経過以後は、ほぼ一定の値となる。HCO<sub>3</sub> は 10ppm、Ca は 80ppm 程度まで減少した後、やはりほぼ一定の値となる。これより 30 時間経過以後は、スケールの生成速度が低下することが考えられる。

また、炭酸水素ナトリウムを用いない場合、通電開始直後に pH の急激な上昇に伴い炭酸イオン濃度も上昇することが確認された。これは、通電することにより特に陰極付近での急速なアルカリ化 (pH の上昇) に伴い空気中の二酸化炭素の吸収がなされ、結果として炭酸イオン濃度が増加したものと考えられる。その吸収された二酸化炭素を含む炭酸イオンと溶液中のカルシウムイオンが反応し、炭酸カルシウムのスケールを沈積させているのが観察された。

今後は、今回の試験結果をもとに、スケール捕集要因を把握するために、スケール捕集量の経時変化、電極近傍および電極カバー近傍の水質変化についての試験を実施する予定である。

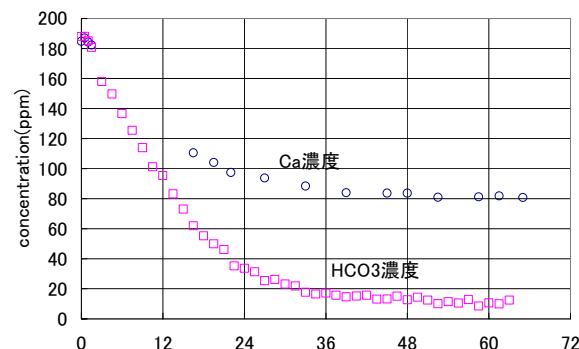
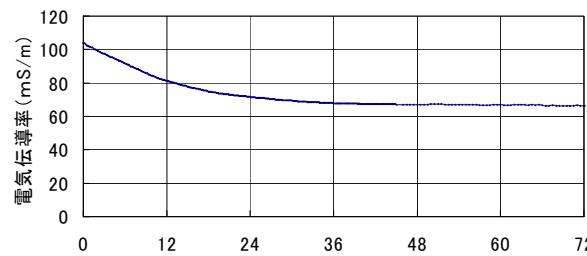
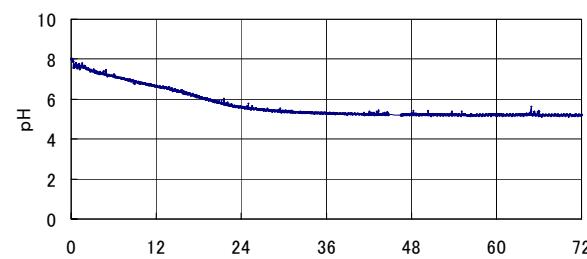
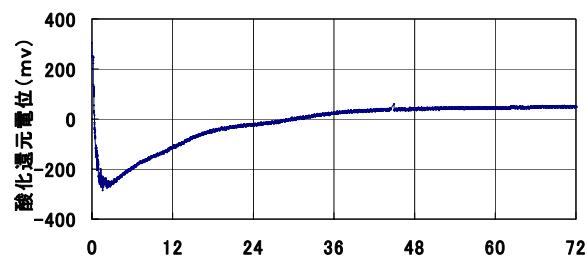


図 3 Ca 濃度 200ppm、炭酸イオン濃度 200ppm での 150T による電気分解を開始してから 72 時間までの溶液性状の変化: 上から酸化還元電位(ORP)、pH、電気伝導度、Ca 濃度および炭酸イオン濃度の変化

## 沿岸地域帯水層における塩水浸入領域調査への電磁探査法の適用 Application of electromagnetic prospecting methods to the investigation of seawater intrusion into coastal aquifer

物理探査研究グループ：光畠裕司・内田利弘  
地質バリア研究グループ：丸井敦尚・楠瀬勤一郎

Exploration Geophysics Research Group: Yuji Mitsuhasha, Toshihiro Uchida  
Phone: 0298-61-2387, e-mail: y.mitsuhasha@aist.go.jp  
Geo-Barrier Research Group: Atsunao Marui, Kinichiro Kusunose

### 1. はじめに

放射性廃棄物処分を含む廃棄物地層処分サイトの選定やその安定性の評価に関して、海岸付近からその内陸にかけての地下深部の帯水層への海水の浸入域を把握することが要求されている。沿岸地域では、海水が“塩水くさび”として帯水層に浸入し、そして地下深部の淡水が塩淡境界面に沿って上昇し、海底で湧水する現象が報告されている<sup>1)</sup>。すなわち何らかの汚染物質が地層処分サイトから予想外に漏出した場合、それは地下水によって運ばれ、最終的に海底湧水として海洋に流出することとなってしまう。また、沿岸地域では、ガイベン・ヘルツベルクの法則により地下水位の変動の約40倍で塩淡境界面が変動することが予想されており、地下環境の化学的変動の影響も懸念される。したがって、沿岸地域での地下深部の水理構造を調査した上で地層処分サイトの選定および安定性評価が不可欠となってくる。

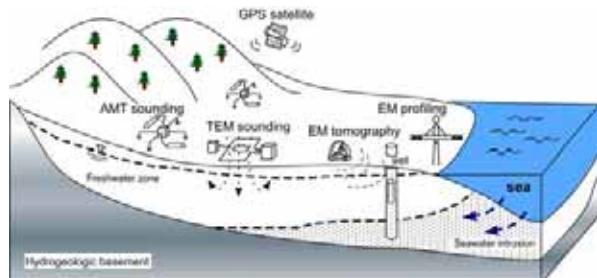


図1. 電磁探査法による沿岸域帯水層における塩水浸入領域調査の概念図。

我々は、沿岸域帯水層への塩水浸入域調査を目的に、様々な電磁探査法の適用実験を実施している。広域・深部調査法として、AMT (Audio-frequency magnetotellurics) 法、比較的浅部の調査法として時間領域電磁 (Time-domain EM, TEM) 法、浅部調査法として電磁プロファイリング法、さらに地表-坑井間の電磁トモグラフィ法を実施してきた(図1)。本報告では、平成15年度に千葉県山武郡蓮沼地域で実施したAMT法、TEM法および電磁プロ

ファイリング法の適用実験の結果について報告する。

### 2. 千葉県蓮沼地域における電磁探査適用実験

実験地域(図2)が位置する九十九里浜は房総半島北部の低地で、太平洋沿いに総延長約60km、幅約10kmにおよぶ砂堤列平野である。一般的な地質構成は、上位より完新世の砂丘砂・砂堤堆積物、海成堆積物より形成された更新統上総層群の国本層が存在する。国本層は砂岩泥岩互層と塊状砂質泥岩から成り、層厚は約320mと言われている。国本層の下位には水溶性天然ガスを産出する上総層群の梅ヶ瀬層・大田代層・黄和田層が存在する。実験地域の北西には比高30~40mの古海食崖があり、その北西は下総台地となっており、浅海成の砂層を主とした更新統下総層群が分布している。

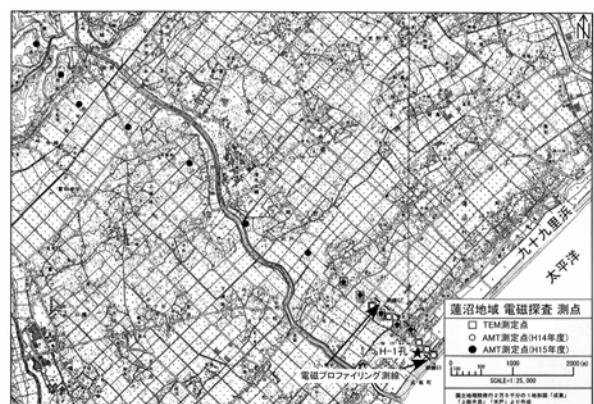


図2.千葉県蓮沼地域における電磁探査法調査測点配置図。

図3に蓮沼海浜公園に掘削されたH-1孔のコアサンプルの間隙水の導電率プロファイル<sup>2)</sup>を示す。近隣の海水の導電率が4500mS/m(0.22Ω-m)で、上部の砂層と下部の粘土層のそれぞれ下部に海水浸入が推定されている。また、粘土層のコアサンプルによる透水係数はおよそ $3 \times 10^{-8}$ (cm/s)と非常に低い値が報告されている<sup>2)</sup>。

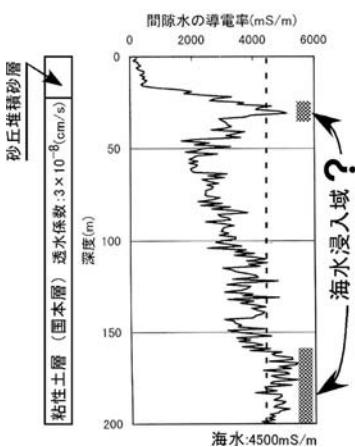


図 3. H-1 孔コアの間隙水の導電率プロファイル。

## 2.1 AMT 法適用実験

測定周波数は 10,000Hz~1 Hz 間の 54 周波数であり、全 17 測点のデータに対して平滑化拘束付き 2 次元インバージョン<sup>3)</sup>を適用した。推定された比抵抗モデルを図 4 に示す。海岸付近の表層に存在する高比抵抗層は砂丘堆積物に相当し、その下の低比抵抗層が塩水浸入域に相当すると考えられる。また内陸側、下総台地表層に存在する高比抵抗層は下総層群の砂層と考えられる。全体的に約 100m 以深に見られる低比抵抗は、上総層群に存在する鹹水に起因するのではないかと考えている。鹹水は上総層群の堆積時に地層中に閉じこめられた化石海水であると考えられている。これは、国本層の透水係数が非常に小さいこと、また、地下水水分析の結果から、国本層に胚胎する地下水の  $\text{SO}_4^{2-}$  成分が、溶存酸素の乏しい還元状態の下で非常に減少していること<sup>4)</sup>からも支持される。

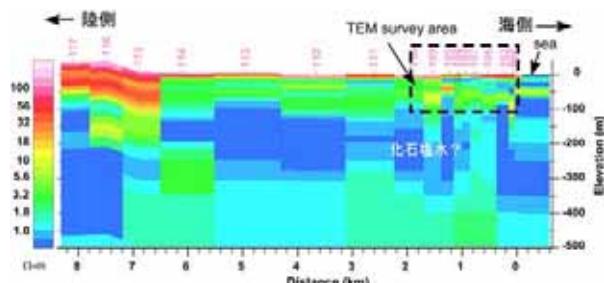


図 4. MT 法データより推定された 2 次元比抵抗モデル。

## 2.2 TEM 法適用実験

海岸付近の帶水層における塩水浸入の様子を詳細に把握するため TEM 法測定を 10 測点で実施し、電流遮断後 6.8μs~7.0ms の時間範囲の過渡応答を測定した。平滑化拘束付き 1 次元インバージョンを適用し、比抵抗断面図を作成した(図 5)。結果は AMT 法の結果と良く整合しており、また間隙水の比抵抗変化との傾向も非常に良く調和している。現段階では、深度 50m より浅い海側の低比抵抗領域が海水の浸入領域ではないかと考えている。

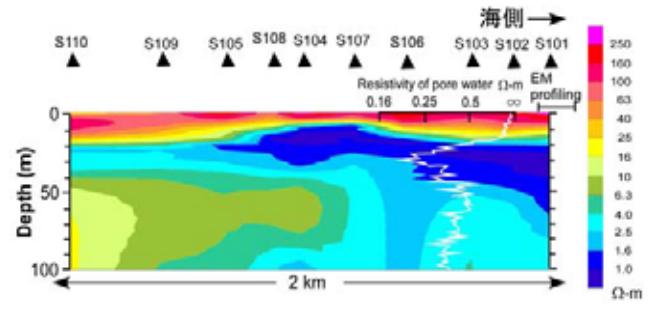


図 5. TEM 法データより推定された比抵抗モデル断面図。図中の白色曲線は間隙水の比抵抗を示す。探査範囲は、図 4 の破線枠の範囲に相当する。

## 2.3 電磁プロファイリング法適用実験

砂浜における海水浸入把握を目的に、小型送受信ループを利用した電磁プロファイリング法の適用実験を実施した。Geophex 社 GEM-2 システムを採用し、47kHz~325Hz の 9 周波数の測定を行った。そして 5 周波数の離相成分データについて、平滑化拘束付き 1 次元インバージョン法を適用し、比抵抗モデルを推定した(図 6)。海側に海水の浸透による低比抵抗領域が存在するが、砂丘側では金属類廃棄物による低比抵抗異常を除いて、深度 10m までは低比抵抗層の存在は認められなかった。

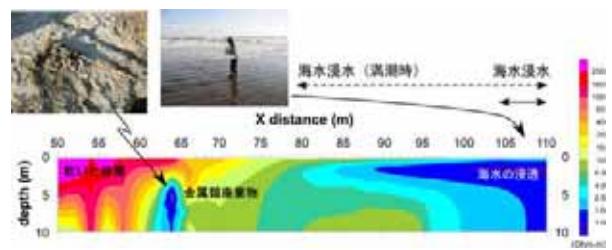


図 6. GEM-2 離相成分データの 1 次元インバージョン結果を用いて作成した比抵抗モデル断面図。

## 3. おわりに

蓮沼地域では、上総層群に胚胎される化石塩水の影響で深部の比抵抗が非常に低くなっている。また浅部の低比抵抗層も、国本層内の化石塩水の影響を受けていると考えられる。さらに表層地形に見られる砂堤や堤間湿地も帶水層への天水の供給に影響するかもしれない。今後、低比抵抗領域と化石塩水・海水浸入・天水・表層淡水地下水の関係を考察する予定である。

## 参考文献

- 丸井敦尚・林 武司, 2001, 塩淡境界面の三次元的形状把握に関する研究, 資源と素材, **117**, 816-821.
- 木山 保・丸井敦尚, 1999, 千葉県蓮沼海浜公園における地下水流動と塩水・淡水境界に関する研究 その 2; 1 号観測井コアサンプルによる塩淡境界深度の確認, 地質ニュース, **539**, 55-59.
- Uchida, T. and Ogawa, Y., 1993, Development of Fortran code for two-dimensional magnetotelluric inversion with smoothness constraint, Geological Survey of Japan open-file report, No.205, pp.115.
- 産総研, 2003, 塩淡境界面状把握調査報告書, pp.182.

## パーカッションドリル振動の広帯域化 - 効率的な SWD 震源開発を目指して-

Broadening frequency coverage of percussion drilling vibrations

- aiming at an effective SWD energy source development -

物理探査研究グループ： 横田俊之

Exploration Geophysics Research Group: Toshiyuki Yokota

Phone: 0298-61-2464, e-mail: yokota-t@aist.go.jp

### ABSTRACT

A percussion drill, widely used for the drilling in the civil engineering field, can be used as an energy source of the SWD (Seismic While Drilling) surveys if the frequency coverage of its drilling vibration is sufficiently broad. Economically, the practical use of the technology has a great impact on the drilling industry because it enables safe, economical and rapid drilling. However in fact, frequency contents of the seismic signals generated by percussion drilling are severely band limited because they primarily controlled by the blow rate of the drill. Therefore in this paper, broadening the spectral coverage of the percussion drill is attempted, and following results are derived. Frequency contents of the percussion drilling can be controlled by the manual operations of the hydraulic pressure inputs. It is because the hydraulic pressure change affects both on blow power and blow rate of drilling, and finally results in the change in frequency of drilling oscillations.

**KEY WORDS:** Seismic While Drilling, percussion drill, VSP, real-time drilling decisions

コントロールという単純な手法により、掘削振動が広帯域化されることが示され、将来 SWD 震源として有望であることがわかった。

### 2. 手法

#### 1) 坑底駆動型パーカッションドリルの開発

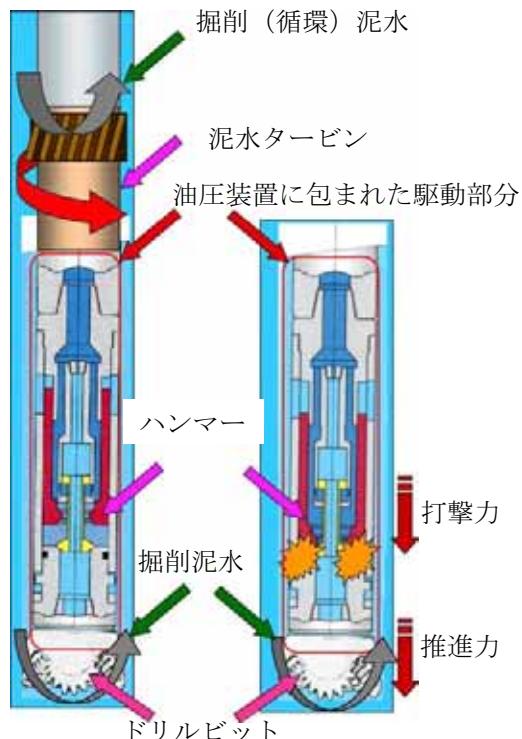


図1 パーカッションドリルの概念図

通常のロータリードリルに比較して、高速な掘削が可能である。

通常、石油フィールドなどの掘削に用いられる、ロータリー掘削技術は非常に熟成された掘削手法であり、過去1世紀に渡り、掘削技術の中心であり続けた。しかしながら、その掘削速度は、一般に低く、特に硬岩を掘削している場合には、その問題点は顕著となる。一方、パーカッショントリルにより、高速な掘削が可能である事は、よく知られた事実であった。しかしながらその適用範囲は、浅部掘削に限られていた。なぜなら、実用されているパーカッショントリルの多くが、トップハンマー方式と呼ばれる地表から掘削編成頂部を打撃する方式を採用しており、掘削管を振動が伝わる間

### 1. はじめに

SWD (Seismic While Drilling) という技術は、数多くの物理探査手法の中で、リアルタイムの検層手法として分類する事ができる。それは、掘削振動を人工震源として、ドリルビット位置の決定やビット前方の地質探査がリアルタイムに行うことが可能であり、それらの情報を統合して掘削災害の予測・防止などに役立てる事ができるためである。1989年に石油開発地域の掘削に SWD が導入されて以来<sup>(1)</sup>、石油フィールドでよく用いられるロータリードリルを用いた SWD 現場実験やその適用が数多く行われ、さまざまな成果をあげてきた<sup>(2)</sup>。

本研究では、土木分野で広く用いられている、パーカッショントリルを用いた、効果的な SWD 調査法開発を行った。特に、パーカッショントリルを SWD 用震源として用いた場合の問題点である、震源周波数帯域の狭小さの克服を目指した。基礎実験の結果、通常のパーカッショントリルが SWD 用震源として不向きである事が確認された。また、掘削オペレーターのマニュアル操作による打撃圧の

に減衰するため、掘削エネルギーを深部まで伝達する事ができないためである。また、循環泥水の力を直接打撃力に変換するマッドハンマー方式と呼ばれる手法もあり、この手法であると、深部までの掘削が可能である。ところが、ドリルの駆動部が常に強い摩擦力を持つ掘削泥水と接し続けるため、ドリル自体の磨耗がたいへん早く、実用上には問題が大きい。

従って我々は、図 1 に示された坑底駆動型パーカッションドリルを設計・開発する事とした。このドリルは、掘削泥水の力でドリル本体直上に取り付けられた泥水タービンを回転させ、その力で油圧装置に包まれたハンマーを駆動しその打撃力を推進力と変えるものである。ドリル本体がビット直上にあるために、ハンマーで生じた打撃力が効果的に推進力に変換される。また、掘削泥水とドリル本体が油圧装置で隔てられているため、磨耗の心配がない。

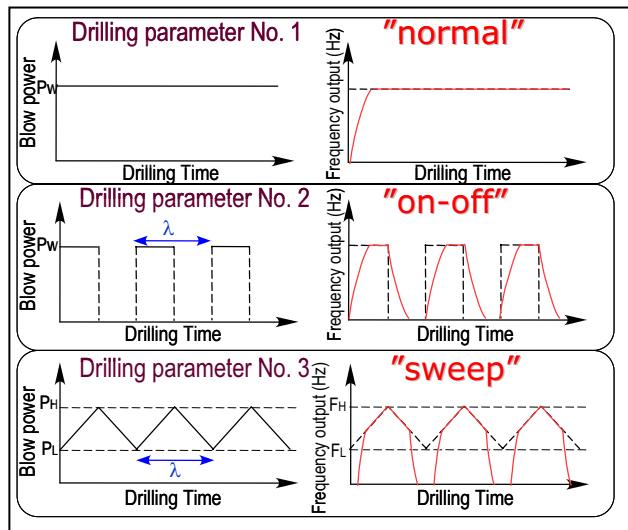


図 2 実験に用いられた、3種類の掘削パラメータ。それぞれのパラメータ毎に、左側に掘削経過時間とパーカッションドリルの打撃力の関係を、右側に掘削経過時間と、予想される周波数出力（実線）をプロットしている。掘削パラメータ 1 は通常のパーカッションドリリングに相当する。掘削パラメータ 2 は、掘削オペレーターが掘削スイッチの入／切を繰り返した掘削方法である。掘削パラメータ 3 はバイブロサイズのスイープ信号を模した掘削方法であり、掘削オペレーターが打撃圧を制御するハンドルを人力で制御する事により行った。

2) パーカッションドリル振動周波数の広帯域化  
通常のパーカッション掘削によって生じる波動は、基本的に非常に周波数帯域が狭い（連続サイン波に近い）。それは、掘削振動の振幅スペクトルが打撃間隔と、系全体の共振周波数に大いに支配されるためである。このような波形を用いて、SWD データ処理の基本である相互相関処理を行うと、波形はパルスとならず、大きく尾を引く結果となり、望ましくない。そこで、本研究では 2 種類の方法

で、掘削振動周波数の広帯域化を図った。それを模式的に示したものが図 2 である。

図 2 に示される、各掘削パラメータのうち、掘削パラメータ 1(normal)は通常のパーカッション掘削の様子を示す。掘削パラメータ 2 (on-off) は、掘削オペレーターが掘削スイッチの入／切を連続的に繰り返す事により、掘削停止と定常掘削の間の非定常的な状態を何度も作り出し、周波数帯域を広げる事を狙ったものである。この手法は、単純な on-off 回路で制御できるため、有効性が実証されれば、坑底機器として実機に組み込む際には最も有望であると考えられる。掘削パラメータ 3 (sweep) は、地震探査でよく用いられる、バイブルサイズのスイープ信号を模した手法である。震源の周波数帯域は最も広がる事が予想される。

### 3) 解析手法（周波数時間依存変化解析）

パーカッションドリルを用いた効果的な SWD 震源の開発という観点からすれば、震源周波数の広帯域化が最も重要である事は前述の通りである。そこで、解析手法も周波数の時間変化を捉えるのに適したものを探用する事が望ましい。そこで本研究では、図 3 に示す周波数時間依存変化解析（time-variant spectral analysis）という手法を採用した。

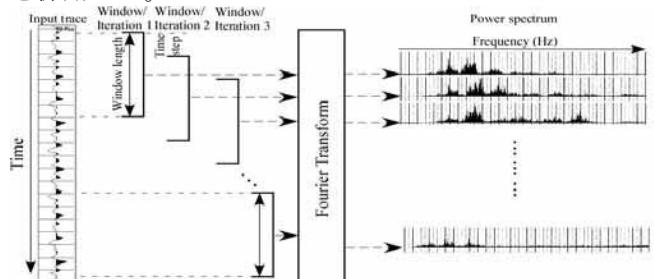


図 3 掘削振動周波数の時間変化解析法の概念図。ある短い時間ステップを持って移動するウインドウ内における振幅スペクトルを連続的に計算する事により、掘削振動周波数の時間変化を捉える手法である。

### 3. フィールド実験

#### 1) フィールド概要およびデータ取得

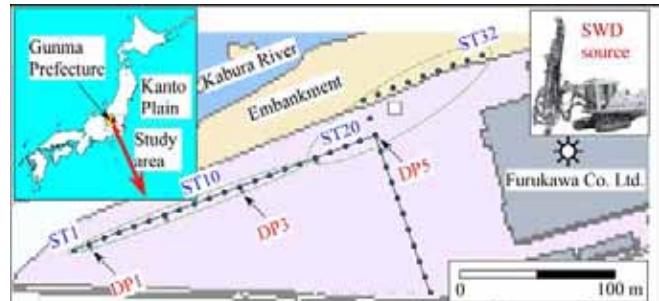


図 4 基礎実験が実施されたテストフィールド。SWD 震源として、典型的なパーカッションドリルであり、土木分野で広く用いられるクローラードリル（右上）が使用された。震源位置は DP1～5 の 5箇所であり、受振位置は ST1～43 の 43箇所である。

群馬県吉井町の古河機械金属（株）吉井工場において、SWD 基礎実験を実施した。震源として使用したのは、典型的なトップハンマー型のパーカッションドリルの、クローラードリルである。地面に伝わった波動（パイロットシグナル）を観測するために、クローラードリルの本体にパイロットセンサーと呼ばれる地震計を取り付けた。震源位置を DP1～DP5 の 5箇所、約 50m 毎に設けた。各震源位置において、掘削振動を発生させやすいように、 $1.5\text{m}^3$  の花崗岩ブロックを埋設し、そのブロックを掘削した。受振は長手方向約 300m、短手方向約 100m の T 字型アレイで行った。アレイ上に ST1～43 の 43 箇所の受振点を約 10m 毎に設置した。SWD 実験の参考とするために、同一のアレイを用いた反射法実験も同時に実施した。

## 2) 実験結果

図 5 にそれぞれの掘削パラメータで震源位置 DP5において掘削した場合に、パイロットセンサーで記録された振動の例を示す。図 5(a)は掘削パラメータ 1 の通常のパーカッション掘削の結果を示す。図 5(b)および(c)は掘削パラメータ 2(on-off)および掘削パラメータ 3(sweep)の結果をそれぞれ示す。各々の結果は 3 枚のパネルから成り立っており、左側が観測された掘削振動、中央が周波数の時間変化、上がトータルの振幅スペクトルである。

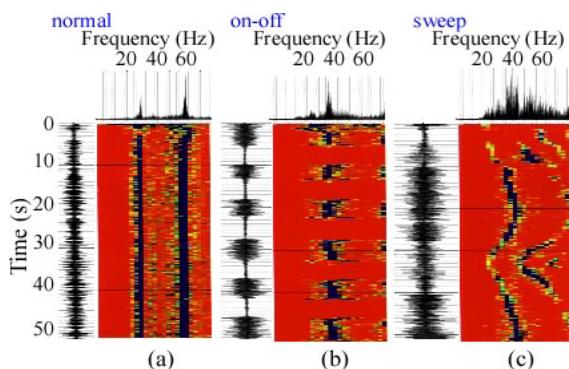


図 5 パイロットセンサーに記録された掘削振動およびその周波数スペクトルの一例（掘削位置 DP5）。

それぞれのパネルは、パイロット記録（左）、周波数成分の時間変化図（中央）、トータルの振幅スペクトル（上）の 3つで構成されている。(a)掘削パラメータ 1: 通常のパーカッション掘削の結果。(b)掘削パラメータ 2(on-off): 掘削中に掘削スイッチの入／切を連続的に繰り返した場合の結果。(c)掘削パラメータ 3(sweep): 掘削時の打撃圧を連続的に変化させ、バイブルサイズのスイープ信号を模した周波数成分とした場合の結果。

図 5 全ての結果に、倍周期の関係（30Hz と 60Hz）にある振動が明らかに観測されている。この掘削の例から言うと、掘削振動の打撃間隔自体が 30Hz に相当していたため、その打撃間隔に相当する周波数成分およびその倍周期が周波数解析のピークとして現れたと考えるのが妥当であろう。図 5(a)

に明らかなように、パーカッションドリルの掘削振動の周波数成分はたいへんに単色性（周波数が一箇所に集中する事）が強く、SWD 震源には不向きである。

周波数帯域を広げる試みは、両方とも確かに周波数帯域を広げている事がわかる。そのうち、掘削パラメータ 2（図 5(b)）で試みられた掘削の入／切り替えは、掘削開始時と掘削停止時の非定常状態を利用して周波数帯域を広げようという考えであった。しかしながら、掘削の入／切り替え間隔 5 秒に比較して、非定常時間が数分の 1 度程に短かったために十分周波数帯域を押し広げるにはいたっていない。掘削パラメータ 3 は最も広帯域な周波数を出す事に成功しており、約 20–80Hz に十分なエネルギーを持っている。

次にそれぞれの信号の自己相関関数を図 6 に示す。この自己相関関数の波形が短ければ SWD 震源として相応しく、長くなると SWD 震源には適していないという事を示す。

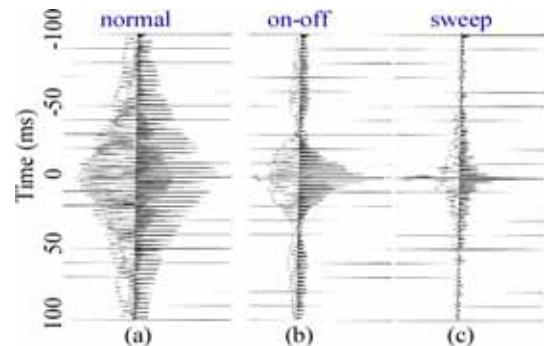


図 6 パイロット記録の自己相関関数。  
(a)、(b)、(c)はそれぞれ、掘削パラメータ 1、2、3 の場合のパイロット記録の自己相関関数。

図 6 から明らかなように、通常のパーカッション掘削振動（掘削パラメータ 1）の自己相関関数は 100 ms 以上も波形が連續し、分解能が非常に低いため、弾性波探査に使用する波形には不向きである。それに比較して、帯域増大を目指した掘削パラメータ 2 および 3 は共に波形が圧縮された。特に掘削パラメータ 3 の場合は、その波形はパルスに近づいていることがわかる。

続いて、地表に置かれた地震計に記録された掘削振動の周波数の時間変化についての結果を図 7 に示す。図 7 は、掘削位置が DP2 の場合に、DP2 からそれぞれ、1m・50m・100m・150m 離れた 4 箇所の受振点、ST7・ST12・ST17・ST22 で受振された記録の周波数スペクトルの時間変化を示す。図 7 の(a)・(b)・(c)はそれぞれ、掘削パラメータ 1・2・3 の結果である。振幅に関しては、それぞれの距離ごとで規格化されている。この掘削例では、打撃間隔が 49Hz に相当している。

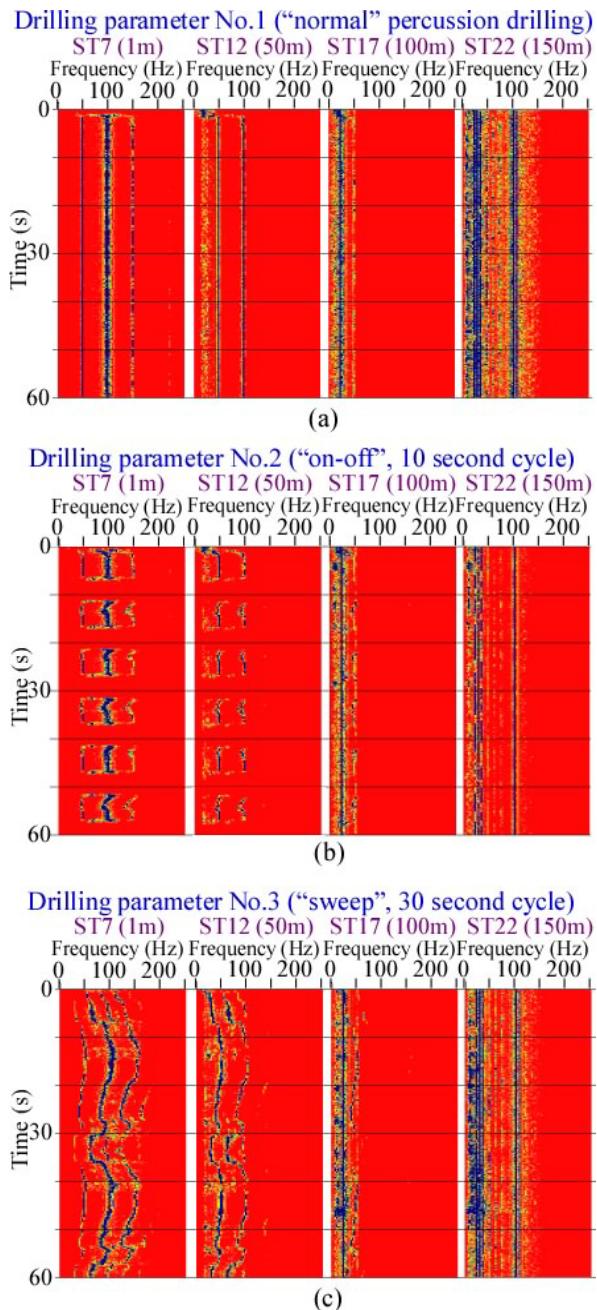


図 7 地表地震計で観測された掘削振動の周波数スペクトルの時間変化。  
それぞれの図は、掘削場所が DP2 の時に、ST7 (掘削位置から 1m)・ST12 (50m)・ST17 (100m)・ST22 (150m) で取得されたものである。(a)掘削パラメータ 1 (通常)、(b)掘削パラメータ 2 (on-off)、掘削パラメータ 3 (sweep)の場合を示す。

図 7 からわかるとおり、地表地震計で受振された記録も、パイロットセンサーで受振された記録と同様の特徴を示す。震源受振点間隔が延びると、波動の減衰や、様々なモードの波動の重畠により震源で発生した波動の周波数の時間変化の特徴はだんだんと失われていく。しかしながら、それは情報が完全に失われる事を意味するのではなく、パイロット記録と受振記録の相互相関をとる事により、振幅・位相の情報を復元する事ができる。

図 8 は、同一測点配置で観測された、反射法記録

のショットギャザーと SWD の相互相関処理結果を比較したものである。

### Reflection (ST22) SWD (DP5)

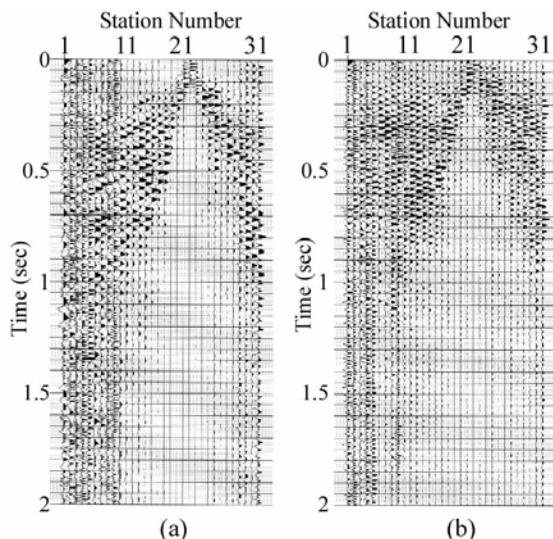


図 8 反射法とパーカッションドリルを用いた SWD の相互相関処理結果の比較。  
(a) 反射法探査のショットギャザー（震源位置 = ST22, DP5 から 1m, カケヤによる 10 回スタック）。  
(b) DP5 を掘削パラメータ 3 (sweep) で掘削した時に生じた掘削振動を、パイロットセンサーで記録したものと、地表地震計で記録したものとの相互相関を取った SWD 記録。

図 8 からわかるとおり、今回の広帯域化により、反射法記録と同程度の品質の SWD 記録を得る事ができた。しかしながら、細部を注視すると、反射法記録には現れている深部の反射イベントが捉えられていない点など、今後開発すべき点が残っている事がわかる。

#### 4. おわりに

パーカッションドリル振動の広帯域化に関する研究を行ない、以下の結果が得られた。

1. パーカッションドリルの一種であるクローラードリルを用いて基礎実験を行い、通常の掘削振動の周波数帯域の狭小さを確認すると共に、自己相関処理後の波形が長時間連続し、弾性波探査の用途には不向きである事を確認した。
2. 掘削オペレーターが手動で打撃圧を変化させるという簡単な操作で、掘削振動の周波数帯域は大幅に広げられ、最終的には 20–80 Hz 程度の周波数成分が利用可能となった。

#### 参考文献

- 1) Rector, J. W., III and Marion, B. P. (1989) MWD, VSP and check-shot surveys using the drill bit as a downhole energy source, *The 21st Annual Offshore Technology Conference*, Paper OTC 6024.
- 2) Rector, J. W., III and Hardage, B. A., 1992, Radiation pattern and seismic waves generated by a working roller-cone drill bit, *Geophysics*, **57**, 628–634.

地圏資源環境研究部門成果報告書2004

(GREEN REPORT 2004)

AIST04-C00014

---

平成16年9月24日発行

編集：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

発行者：松永烈

〒305-8567 つくば市東1-1-1(第七事業所) TEL 029-861-3513

〒305-8569 つくば市小野川16-1(西事業所) TEL 029-861-8100

---

# Green Report

## 2004

*Toward the Achievement of Sustainable Development.*

Research Reports of The Institute for Geo-Resources and Environment.  
With Special Topics of Current Research Trends and Issues in  
Monitoring, Maintenance and Remediation Technologies for  
Subsurface Environmental Problems.

24 September 2004