Green Report 2005

地圈資源環境研究部門成果報告

〔特集〕CO2地中貯留

7 October 2005



^{独立行政法人} **産業技術総合研究所** 地圈資源環境研究部門

GREEN INSTITUTE FOR GEO-RESOURCES AND ENVIRONMENT http://unit.aist.go.jp/georesenv/

表紙解説

雪囲いの中の長岡CO2圧入井(正面、なお後方の小さなやぐらと ビニールシートはトモグラフィー計測のための仮設備)

まえがき



地圈資源環境研究部門長 Director of the Institute for Geo-Resources and Environment, AIST

政宏 瀬戸

Dr. Masahiro Seto

地圏資源環境研究部門の成果報告会は、今年が第4回目になります。産総研は、平成17年 4月から5年間の第2期中期目標期間(以下、第2期という。)に入りましたが、今回の報告会は 第2期における第1回目ということになります。前回までと同様、報告会にご参加いただいた皆 様からの多くのご意見やご教示をいただけると幸いです。

さて、地圏資源環境研究部門は、平成13年度から平成16年度までの4年間にわたる第1期 から現在の第2期に移行するに当たり、資源と環境を研究の2本柱とするというこれまでの方向 性を維持しつつ、重点研究課題と研究グループの編成などを改めて設定しました。以下、地圏資 源環境研究部門の第2期におけるミッション、重点研究課題、研究グループ編成、部門運営方針 などについて、その概略をご紹介させていただきます。

1. ミッション

地圏資源環境研究部門は、"地圏環境が有する機能の利用及び地球が生み出してきた燃料、鉱 物、水などの天然資源の供給を、地球がもつ物質生産と循環システムへの負荷を最小化して、持 続的かつ安定的に実現するための研究開発と知的基盤の整備を行う"ことをミッションとしてい ます。我々のミッションの産総研における位置づけは、"持続可能な開発"に産業技術の研究開 発によって貢献していくという産総研の経営理念のもとで、当部門が"持続可能な開発"に不可 欠な資源問題と地圏環境の保全を実現するための研究開発、科学的知見の整備を進め、それを社 会に迅速かつ適切に提供する役割と責任を担うということです。

当部門が研究対象とする環境負荷を最小化したもとでの資源開発、地圏利用の問題は、現在世 界的に進む市場の自由化・グローバル化の流れの中で、単に日本国内のみの資源の安定供給を図 り、国内の環境汚染問題を解決するということではなくなってきています。つまり、21世紀に おける人類の持続可能な開発を可能とするために、現在石油、天然ガスなどの化石燃料に代表さ れる再生不可能なエネルギーや資源に依存している人類がいかに持続的にエネルギー及び資源を 安定的に確保できるか、二酸化炭素排出削減や土壌・水環境の保全の問題に対していかに適切に 対処できるか、さらには進行する地球温暖化や人口増加の中で安全な水資源をいかに確保するか など、国際的な連携や枠組みも踏まえたグローバルな視点が必要になってきています。

地圏資源環境研究部門は、このようなグローバルな社会情勢のもと、当部門に結集した地質学、 地球化学、地球物理学、資源工学、地下水学などを専門とする研究者の研究ポテンシャルを融合 させながら「持続可能な開発」に貢献していきたいと考えています。

2. 第2期における重点研究課題

地圏資源環境研究部門は、そのミッションを達成するために以下の研究課題を第2期におけ る重点研究課題として設定しました。

- I. 地圏流体モデリング技術の開発
 - I-1 地圏流体挙動解明による環境保全及び資源探査技術の開発
 - I-2 土壌汚染リスク評価手法の研究
 - I-3 地層処分環境評価技術の研究
- Ⅱ. 低環境負荷天然ガス資源の評価・開発
- Ⅲ. CO2 地中貯留システムの解明・評価と技術開発
- Ⅳ.物質循環の視点に基づいた環境・資源に関する地質の調査・研究

具体的には、「I. 地圏流体モデリング技術の開発」の中では、地圏内部の水循環シミュレー ション技術の開発と地下水環境の解明、及び鉱物、天然ガス、地熱などの天然資源の資源量評価 技術及び資源探査技術の研究開発を行います。また、地圏の地質環境保全を目的とした土壌汚染 等に関する地質環境リスク評価技術と放射性廃棄物の地層処分に係わる環境評価に関する研究開 発を重点的に実施します。

「Ⅱ.低環境負荷天然ガス資源の評価・開発」においては、メタンハイドレートをはじめとす る日本周辺海域に豊富に存在する天然ガス資源について、資源ポテンシャル評価、効率的な探査 法、鉱床形成メカニズムの研究開発を実施します。

「Ⅲ. C02 地中貯留システムの解明・評価と技術開発」においては、"帯水層貯留"を対象として地下深部の帯水層に C02 を圧入した時の C02 の挙動をモニタリング、モデリングし、シミュレ ーション手法によって高精度に予測する研究開発を行います。

「Ⅳ.物質循環の視点に基づいた環境・資源に関する地質の調査・研究」においては、環境影響評価や環境対策技術に資する目的で水文環境に関するデータベースの整備を行います。また、 鉱物、燃料、地熱等の資源情報を体系的に整備し、資源地質に関するデータベースや各種資源図 の作成を行います。さらに、土壌・地質汚染に関する基本調査、地化学詳細調査、産業統計基本 データ、排出源の解析結果及び自然/人為起源の判別などに基づいて、土壌環境リスクマップの作 成を行います。

3. 研究体制

当部門のミッションを達成するための重点研究課題を遂行するため、研究体制は以下の 10 の研究グループを中心とした体制としました。当部門の研究運営の方針は、研究グループを単位 とした組織的な研究を重視し、"多様な個人の能力と組織力とを相乗させた研究競争力の一層の 強化"を図ることです。この方針のもと、地層処分、CO2 削減、土壌汚染などのニーズに対応す る"ニーズ対応型重点研究"と、次代の"技術の種"と"人"を創るための"シーズ創造型重点 研究"を他分野や他研究ユニットとも連携しながら強力に推進していきます。

(研究グループの構成)

- 地下水環境研究グループ
- ② 地圏環境評価研究グループ
- ③ 地圏環境技術研究グループ
- ④ 地質バリア研究グループ
- ⑤ 物理探査研究グループ
- ⑥ 地圏流体ダイナミクス研究グループ
- ⑦ 有機地化学研究グループ
- ⑧ 燃料資源地質研究グループ
- ⑨ 地熱資源研究グループ
- ① 鉱物資源研究グループ

上記の研究グループの構成は、第2期の開始にあたり見直しを行った結果です。研究グルー プの構成の見直しは、重点研究課題の設定に基づいて、C02 地中貯留、地層処分に関する研究体 制の一層の強化、地下水や土壌などの地圏環境保全研究への取り組みの強化、及びメタンハイド レート研究ラボの創出に伴う天然ガス資源研究体制の再構築という3つの視点で行いました。そ の結果として、C02 地中貯留研究の中核研究グループとして地圏環境技術研究グループを新設す るとともに、地下水研究の強化のための地下水環境研究グループの新設を行いました。また、メ タンハイドレートラボの創出に伴い第1期において実施したメタンハイドレート生産手法の研究 開発が研究ラボに移ったことから、天然ガス資源研究の体制を再構築し、資源量評価の研究を重 点化するために有機地化学研究グループを新設しました。

4. イノベーションハブ戦略への取り組み

産総研は、「第2期産総研研究戦略」の中で、それぞれの研究分野においてイノベーション ハブ機能を発揮し、研究成果の発信・普及及び技術移転などを通して社会に貢献していくことを 謳っています。地圏資源環境研究部門も、この研究戦略のもとで、資源及び環境分野でのイノベ ーションハブとしての機能を発揮するための活動に積極的に取り組んでいく予定です。具体的に は、"イノベーションハブ機能に不可欠な競争力の源泉は高いレベルの科学的知見の創出"という 意識のもと、高いレベルの科学的な成果の創出と発信に取り組むとともに、科学的な成果の「価 値」を分かりやすく社会に発信するための活動を強化していく予定です。

その中での広報活動の一環として、研究部門内に「広報委員会」を組織して組織的かつ機動的 な広報活動を行い、部門成果報告会の定期的な開催、広報誌 Green Newsの定期刊行、Webの充実 などにより部門の研究活動及び研究成果の発信及び普及に努めていきます。

最後に、部門成果報告会は、我々の研究成果を外部の方々にご理解いただくとともに、我々の 研究に対する貴重なご意見をいただくための重要な機会と位置づけており、今後とも毎年定期的 に開催していく予定です。今後とも変わらずご高配を賜りますよう、心よりお願い申し上げます。

平成17年10月7日

第4回(2005年)地圏資源環境研究部門成果報告会プログラム

(講演発表)

 13:00-13:05
 開催挨拶
 総括研究員 奥田 義久

 13:05-13:40
 地圏資源環境研究部門のこれまでの成果と第2期の計画・展望

 部門長 瀬戸 政宏

特集:CO2 地中貯留

13:40-14:20 招待講演:二酸化炭素の地中貯留

(財) 地球環境産業技術研究所

主席研究員 大隅 多加志

14:20-15:00 高精度地中挙動予測手法の研究

地圏環境技術研究グループ グループ長 當舎 利行

- 15:00-15:20 休憩
- 15:20-16:00 帯水層への CO2 貯留の物理探査モニタリング

地圏流体ダイナミクス研究グループ グループ長 石戸 恒雄

16:00-16:40 帯水層のおける地下水移動評価手法

地質バリア研究グループ 研究員 宮越 昭暢

16:40-17:20 ポスターコアタイム

(発表:各研究グループ,一部研究者の個別研究課題など)

- 17:30 -
- 懇親会(共用講堂前 1階レストラン)

ポスターセッション

(グループ発表)

| 地下水環境研究グループの紹介 | 石井 武政 |
|--------------------------------|------------------|
| 地圏環境評価研究グループの紹介 | 駒井 武 |
| 地圏環境技術研究グループの紹介 | 當舎 利行 |
| 地質バリア研究グループの紹介 | 楠瀬 勤一郎 |
| 物理探査研究グループの紹介 | 内田 利弘 |
| 地圏流体ダイナミクス研究グループの紹介 | 石戸 恒雄 |
| 有機地化学研究グループの紹介 | 坂田 将 |
| 燃料資源地質研究グループの紹介 | 松林 修 |
| 地熱資源研究グループの紹介 | 村岡 洋文 |
| 鉱物資源研究グループの 2004-2005 年の活動 | 渡辺 寧 |
| (個人発表) | |
| CO2 を含む頁岩の地震波速度異方性について | 西澤 修, 薛 自求(RITE) |
| 断裂分布の多様性の1次元競争成長モデル-数値シミュレーション | |
| : 地圏流体の流動・貯留規制因子に関する基礎的検討 | 茂野 博・佐々木 宗建 |
| 豊羽多金属鉱床の地質・様式・成因と探査 | 渡辺 寧・大田 英順* |

ジャルガラン・セレネン* モンゴルの希土類元素鉱床 タイトル:ランダム不均質構造による地震波速度異方性 齊藤 竜彦・西澤 修* 放射年代測定法による地熱系の長期変動解析 水垣 桂子* ホウ素およびフッ素の土壌吸着に関する研究 杉田 創 竹内 美緒* 海洋細菌 Marinomonas communis によるヒ素の回収 地圏環境リスク評価システムの開発 川辺 能成 原 淳子* 土壌汚染物質に関する自然浄化能評価 環境騒音の屋外伝搬に係る課題に向けた取り組み 今泉 博之·高橋 保盛* 人工地盤内漏水探査実験 ・ループ・ループ電磁探査法の適用・

光畑 裕司・Kwon Hyoung Seok・横田 俊之・内田 利弘

(株)奥村組:清水 智明·成本 和俊

人工地盤内漏水探査実験 広角地中レーダ法の適用-

横田俊之・Seol Soon Jee・Kwon Hyoung Seok・光畑裕司・内田利弘

(株)奥村組:清水智明·成本 和俊

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

- セリサイト鉱山における電気探査実験-

高倉 伸一・石戸 恒雄・須藤 定久・村上 浩康・安川 香澄 核磁気共鳴をもちいたコンクリートの新しいメンテナンス技術 中島 善人 4 端子対デジタル SIP (スペクトラム強制分極) 検層装置の開発 神宮司 元治*

講演「地圏資源環境研究部門のこれまでの成果と第 2 期の計画・展望」については別添の部門パン フレットを参照のこと

*の発表は別途要旨等の発表済み等の理由により本報告書には未収録

目 次

百

| まえ | がき | £ | 地圈資源環境研究部門 部門長 瀬戸 政宏 | 1 |
|----|----|---------|----------------------|---|
| 第4 | P | (2005年) | 地圏資源環境研究部門成果報告会プログラム | 5 |
| 目 | 次 | | | 7 |

第1部:CO2地中貯留

招待講演:二酸化炭素の地中貯留

| (財)地球環境産業技術研究所(RITE) 主席研究員 大隅 多加 | 1志 9 |
|----------------------------------|-------------|
| 高精度地中挙動予測手法の研究 | |
| 地圏環境技術研究グループ グループ長 當舎 利行 | 亍 15 |
| 帯水層への CO2 貯留の物理探査モニタリング | |
| 地圏流体ダイナミクス研究グループ グループ長 石戸 恒 | 雄 19 |
| 帯水層のおける地下水移動評価手法 | |
| / 地質バリア研究グループ 研究員 宮越 昭 | 暢 23 |

第2部:グループおよび個人の研究紹介

(グループ) 27 地下水環境研究グループの紹介 石井 武政 地圏環境評価研究グループの紹介 駒井 武 29 地圏環境技術研究グループの紹介 當舎 利行 31 地質バリア研究グループの紹介 楠瀬 勤一郎 35 物理探査研究グループの紹介 内田 利弘 39 地圏流体ダイナミクス研究グループの紹介 石戸 恒雄 43 有機地化学研究グループの紹介 坂田 将 47 燃料資源地質研究グループの紹介 松林 修 51 地熱資源研究グループの紹介 村岡 洋文 55 鉱物資源研究グループの 2004-2005 年の活動 渡辺 寧 59 (個人) 西澤 修・薛 自求 (RITE) CO2を含む頁岩の地震波速度異方性について 63 断裂分布の多様性の1次元競争成長モデルー数値シミュレーション: 地圏流体の流動・貯留規制因子に関する基礎的検討 茂野 博・佐々木 宗建 65

ホウ素およびフッ素の土壌吸着に関する研究 杉田 創 67 地圏環境リスク評価システムの開発 川辺 能成 69 人工地盤内漏水探査実験 ーループ・ループ電磁探査法の適用-

光畑 裕司・Kwon Hyoung Seok・横田 俊之・内田 利弘

(株)奥村組 技術研究所:清水 智明・成本 和俊 71 人工地盤内漏水探査実験 一広角地中レーダ法の適用-

横田 俊之・Seol Soon Jee・Kwon Hyoung Seok・光畑 裕司・内田 利弘

(株)奥村組 技術研究所:清水 智明・成本 和俊 73

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

-セリサイト鉱山における電気探査実験-

| | 高倉 | 伸一・ | 石戸 | 恒雄 | ・須藤 | 定久 | ·村上 | 浩康 | ·安川 | 香澄 | 75 |
|-------------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|----|----|
| 核磁気共鳴をもちいた: | コンク | リートの | D新し | いメ: | ンテナ | ンス技 | ī術 | | 中島 | 善人 | 77 |



二酸化炭素の地中貯留

Geological Storage of Carbon Dioxide

大隅 多加志 (おおすみ たかし) (財)地球環境産業技術研究機構 主席研究員

1. はじめに

「二酸化炭素(CO₂)の排出抑制」という 地球温暖化対策の難題を強引に解決しよう という目論見としての「CO₂地中貯留」に つき、現状での到達点をわが国での技術研 究開発を中心に紹介する。

2005年2月には京都議定書が発効し、わ が国では、政府のレベルでの京都議定書目 標達成計画が策定された。京都議定書の目 標とは、2008年からの5年間(これを第一 約束期間と呼んでおり、その期間に突入す るまでには、あと2年ほどであるが、その 対応が政治・経済上の大きな課題として受 け止められている度合いがと少なすぎるの ではないかと考ええる)の平均で、二酸化 炭素(CO₂)を含む 6 種の温暖化気体につ いての大気への人為的な排出量を 1990 年 当時のレベルから6%削減することが要請 されている。2008年からの約束期間の時期 には、約束達成の見通しが立つのかどうか 計画の有効性を測定しつつ極めて厳しい 「エネルギー・環境」政策の問い直しが予 想される。一方で2007年には、国際連合「気 候変動に関する政府間パネル (IPCC)」に よる温暖化問題全般に関わる第4次評価報 告書が完成し、京都議定書の第一約束期間 以後の温暖化気体排出削減目標設定に関わ る議論が本格化する。

2015 年や 2020 年という、そう遠くない 将来に、わが国や、わが国の産業活動の延 長線上で CO2 排出が増大するアジア地域か らの排出量についての見通しを踏まえ、責 任をもった対応が国際社会の一員として迫 られている。例えば日本国内分だけで、も し 2020 年時点で 1990 年レベルの 15%減 といった削減目標を達成するということに なるとするならば、現行の京都議定書目標 達成計画とはくらべられないほどの、かな り思い切った技術手段の導入が避けられな いだろう。実際、15%減という程度の目標 値は、欧州で議論されている「21世紀中葉 には先進国での CO₂排出を半減させる」と いう長期目標との対応から考えても、むし ろ控え目であり、より積極的な対応が望ま れる。

2. 二酸化炭素排出削減の技術手段

京都議定書目標達成計画において期待さ れ削減手段としてカウントされている対策 は、再生可能エネルギーをはじめとした代 替エネルギーの大幅導入と、いっそうの省 エネ努力である。ところで運輸部門や家 庭・業務向けの電力供給などからの CO₂の 排出削減が容易に進まないのは、これらの エネルギー供給については化石燃料に大幅 に依存しており、そのインフラ自体が社会 のありかたの密接に組みこまれているため である。これらのエネルギー分野では、省 エネを除くと燃料転換(石炭から石油、あ るいは石油から天然ガスといった、単位エ ネルギー獲得量あたりの CO₂ 排出量が少な い燃料種への転換)くらいしか、CO₂ 排出 削減に効果的な方策が見当たらない。

しかし、CO₂を大気以外のところに貯め こむことができれば話は違ってくる。大規 模な環境対策技術が社会に導入される過程 の段階で、ある期間、本質的な解決策とは 思えない技術が採用されることは、これま でにも経験されたことである。内燃機関で ある自動車のエンジン排ガス中の窒素酸化 物について 1970 年代以降の環境規制の際 には、発生そのものを抑える技術手段の採 用は燃料電池自動車や電気自動車の本格実 用化まで先送りされ、排ガス中からの触媒 による汚染質の除去という技術手段が成功 を収めた。この例と同様の事情が世界で進 行中である。

世界では多くの意欲的な「脱化石エネル ギー」技術開発が取り組まれている。燃料 電池は実用化と大幅な普及が望まれている 段階である。水素社会への真剣な期待も、 多くのところで表明されている。こうした 脱化石エネルギーへの期待を持ちつつも、

「地球温暖化問題」という環境のリスクを 『気候変化』として取り返しのつかない形 で顕在化させることなく、脱化石エネルギ ー技術へとスムーズに橋架けをしてゆくた め、今後数十年の間、「CO₂を大気以外のと ころに貯めこむ」技術、すなわち炭素隔離 技術を採用することが、世界で模索されて いるのが現状である。

海洋隔離や他の手段、また CO₂回収の技 術の現状については、IPCC の「二酸化炭素 回収貯留特別報告書」を、ご覧いただきた い。2005 年 9 月に IPCC 総会で承認され、 公刊の運びとなった。

3. 二酸化炭素の地中貯留技術

3.1 地球内部での CO₂ 挙動

CO₂が地中に貯まっていることは不自然 なことではない。地球の材料物質(隕石と して私たちは手にすることができる)が含 んでいた揮発性の物質のうち、もっとも量 の多いものは水であり、その10分の1くら いの量のCO₂がそもそも地球には存在して いたと考えられている。その大部分は、地 球の歴史を通じて炭酸塩岩として固定され、 いまや大気中には 0.04%ほどしか含まれて はいない。しかし、石灰岩に代表される炭 酸塩岩が海洋で生成したのであって、膨大 な量の CO2はまず大気中へ供給されたはず であり、地中を透過して CO2が大気にやっ てきたとしか考えられない。

水や CO₂などの揮発性物質が、地下深部 から地表にもたらされるのは、それが固体 よりも軽いからである。浮力が駆動力とな って気体として CO₂は地表に到達するので あろう。このような地中からのガスの放出 作用のうち、もっとも目覚しいのは火山活 動である。火山活動の場合は極めて粘性の 高い液体 (マグマ)が、その浮力で周囲の 岩石に割れ目を作りながら上がってくる。 これは突発的な現象 (噴火活動)として人々 の目を引くし、私たちの生活の営みがある ところでは自然災害をもたらすことになる。 マグマの粘性が高いことが割れ目を新たに 造る鍵である。

こうしてできた割れ目を利用して温泉の 自然湧出や噴気という自然現象が生じてい ることは、私たち火山国に住む者にとって は、なじみ深い。ここで割れ目を伝っての 水やガスの上昇は、多くの場合、継続的で あることに着目したい。地中の水(地下水 や温泉水)や気体種(CO₂など)が尽きる ことがないのは、それが上昇量に対して、 ずっと多量に貯まっているか、あるいは、 より深部から補充され続けているから、ま たあるいは循環的であるからである。

以上は、「新たに割れ目が作られるという ことがなければ、一度に多量に気体が地表 にもたらされることはない」という私たち の素直な理解の基礎を提供する。私たちが 経験する地中起源のガスの突出による災害 は、温泉の掘削を含む天然資源の採掘や地 下深部掘削の土木工事に伴うものが、ほと んどである。この場合、人間活動が割れ目 を作り出していることになる。

ここまでは、CO2の地中貯留の企てが試

みられるまえまでの、そして今後とも通用 する私たちの知識である。以下、この10年 間の理解の進展を振り返る。

3.2 海外事例

現在、CO₂の貯留が実現されている場所 を紹介しよう。1996年の9月から年間90 万トンほどの CO2 が一本の坑井を介して地 中1000mの深さに圧入されているスライプ ナー天然ガス田は、世界ではじめて、「気候 の保護(=地球温暖化防止)の目的で人為 起源の CO₂を地中に貯めこむ」という事業 を実現させた場所として名高い。欧州は北 海のほぼ中央部、英国とノルウェーの鉱区 を東西に分ける境界線のわずかに東側の地 に、CO₂を地中に送り込んでいる坑井が洋 上プラットホームから地中へと延びている。 ここは、新規の天然ガス開発プロジェクト に組み込まれて開始された商用実規模の 「CO₂帯水層貯留」のケースであるとして 紹介されることが多い。筆者自身、1993年 3月に、英国オクスフォードでの国際会議 の懇親会で、北海スライプナー鉱区天然ガ ス開発計画実施者であるノルウェー国有石 油会社の地球環境問題担当者から、この野 心的な計画を打ち明けられたときは、わが 耳を疑った。「帯水層貯留」という耳慣れな い用語も、その一因であったかもしれない。 「CO2帯水層貯留」はCO2地中貯留の中で、 いまや世界の主流である。わが国が5年前 に研究開発を開始したのも、「帯水層」貯留 に関わる技術である。そもそも、一般的に 帯水層とは、「地下水が蓄えられている地層。 通常は、粘土などの不透水層<水を通しに くい地層>に挟まれた、砂や礫からなる多 孔質浸透性の地層」のことであるが、CO2 地中貯留の関係者は、もう少し狭い意味で 用いることが多いようである。なぜならば、 CO2の圧入先は、地中の深度 1000m よりも 深い地層に設定されることが多く、そこで は地中水は、ほぼ地表との連絡を失い、多 くの場合、海水に匹敵する高塩分であるこ とが多いからである。飲用可能な水資源と

いう意味で「地下水」という用語を用い、 それを包蔵する地層という意味で「帯水層」 という言葉を用いる場合が多いこと踏まえ、 混乱を避けるために、スライプナー天然ガ ス田鉱区での地中 CO_2 挙動解明研究計画 (1998 年~2002 年に欧州で実施された) では「塩水帯水層中 CO_2 挙動解明研究計画 (Saline Aquifer CO_2 挙動解明研究計画 (Saline Aquifer CO_2 Storage の頭文字を とって、SACS プロジェクトと呼ばれた)」 とわざわざ「塩水」という形容詞付で研究 計画を命名するといった配慮をしたことも 思い起こされる。

CO2の圧入先が地中の深度 1000m以上 に設定される理由は簡単である。CO2の液 化圧力は、地中の温度条件では 70気圧以上 (実際には摂氏 31度以上では CO2を液化 すること可能でなく、その状態は超臨界状 態とよばれる)であり、対応する地中深度 700m以浅では CO2はガス状態であって、 貯留の効率(単位体積に詰め込むことがで きる物質量)という観点からは非効率であ ると考えられるからである。

3.3 わが国の研究開発

「CO2帯水層貯留」は、現時点で次のよ うに考えておけばよいだろう。すなわち、 堆積性の地層構造を有する 1000m 以深の場 所で、不透水層に挟まれた多孔質浸透性の 地層というのは、そのまま石油や天然ガス が見つかる可能性の高いところである。こ れらの場所では多くの石油・天然ガスの探 査活動が実施され、地中に関する情報が収 集されている。それゆえ、油層に CO₂を送 り込んで石油の増産を図るという 30 年以 上の実績をもつ技術(石油増進回収技術の 有力な方法)の延長線上に、CO₂帯水層貯 留技術は存在する。結論として、『石油や天 然ガスを包蔵していない、このような帯水 層へと CO₂を送り込む』というのが「CO₂ 帯水層貯留」の技術内容である。

圧入坑井を用いて地中に送り込まれた CO₂は、砂岩などの堆積岩の微細な間隙を 満たしている水を部分的に排除しながら、 自らの居場所を見つける。2000 年 10 月か ら準備され、2003 年 7 月から 2005 年の 1 月までの期間、筆者の属する(財)地球環 境産業技術研究機構が新潟県長岡市で実施 した、CO₂地中圧入実証試験では、天然ガ スの地下貯蔵の考え方にならって、CO₂気 体の圧入が実施された。日本を含む世界の 各地で天然ガスの地中貯蔵は実用となって おり、それらの現場では天然ガスの地中圧 入と回収とが日常的に実施されている技術 であるから、日量 40 トンという圧入規模は、 困難な課題とはいえず、むしろ関係者の努 力は、モニタリングに注がれた。

CO₂が地中で接触する水は、微細な間隙 中に存在する。圧入坑井から供給される CO₂は、圧入対象層を、水平方向に広がる 地層面に沿って外周方向に向かって水を排 除しつつ広がってゆくから、接触すること ができる水の総量は多くない。そこで、ひ とつのプロジェクトが終了した時点で、地 中に圧入された CO₂のうち、大部分が超臨 界状態のままであるだろうと考えられてい る。超臨界状態の CO₂は、天然ガスよりは 軽く石油よりは重い。したがって自らの浮 力でゆっくりと地中を上昇する傾向をもつ ものの、地層中に数多く存在する不透水層 (シール層) に阻まれて、長期間、地中に 留まることが期待される。

3.4 孔間弾性波トモグラフィー

地中での CO₂が前述のような挙動を示す ことを確認することは重要である。新潟県 長岡市郊外で実施された圧入実証試験のハ イライトは、地中奥深くのどの部分に、送 り込まれた CO₂が留まっているのかを、実 際に探ることであった。孔間弾性波トモグ ラフ手法が適用されたのである。そのため に観測井が3本掘削された。圧入開始の半 年前、2003年2月に、圧入井を挟む形で掘 削された2本の観測井間で、ベースライン 測定を実施し、これと CO₂ 圧入中や圧入終 了後の観測との比較が実施された。

その結果、圧入井から送り込まれた CO2

が、①圧入井の周囲の場所を占めて存在し ていること、②厚さ 10mほどの水を透しや すい地層(西側が浅くなるように傾いてい る)内に、留まっていること、が確認され た。これによって、緻密な不透水層がシー ルの役割を果たしていて地中の CO₂の上向 きの移動が妨げられていることが確認され、 CO₂の地中貯留が事前の想定どおりに実現 していることが確かめられた。

4. 今後の課題

実は世界でも、化石燃料の燃焼排ガスか ら分離回収した CO,を大気に放出しないと いう目的で地中に圧入した事例は、まだ存 在しない。長岡市でのフィールド実証試験 とほぼ同時期に実施されたカナダのワイバ ーン油田のケース(2000 年秋に開始し現在 も継続中、年間 100 万トンの CO₂を地中圧 入)では、国境を越えた米国ノース・ダコ ダ州からパイプライン輸送された石炭ガス 化炉由来の CO2 を利用しているものの、主 たる目的は石油増進回収である。また前述 の北海スライプナー天然ガス田で圧入され ている CO2の起源は、生産される天然ガス 中に 10% 程度含まれる不純物としての CO₂ が洋上プラットホーム上で分離回収された ものである。長岡では 500 日間でほぼ 1 万 トンの CO₂が地中圧入されたが、この CO₂ は市場から購入されたものである。

天然ガスの開発が近年、数多く実施され ていることに伴い、不純物としての CO₂の 扱いが大きな問題となっている。このため 地球温暖化防止の観点から天然ガスの生産 現場で地中処理しようという計画は目白押 しである。2004年には英国の石油メジャー BP 社がアルジェリアのインサラー天然ガ ス田で、やはり天然ガス随伴 CO₂を年間 100 万トンの規模で帯水層に圧入開始している。 日経サイエンス 10 月号の記事をご覧いた だきたい。2008年にはオーストラリアで大 規模な同様の計画がある。

一方で、火力発電所由来の CO₂を地中貯 留する計画は、具体化に至らないケースが ほとんどである。具体化の一歩手前まで進 んだケースとして、ノルウェーが同国最初 の天然ガス焚き火力発電所を計画し、その 中で CO₂の分離回収を予定しているという 話が 6、7年前にあったが、これは頓挫中で ある。2005年9月に、筆者が参加したノル ウェーのセミナーは、そうした計画地に近 接した、ある街で実施されたものである。 そこでの議論を私見を交えつつ紹介すると、 こうである。

地域の発展を確保し予見される電力の不 足に対処するために遠隔地からの送電に頼 ろうという計画は地球環境に配慮しない行 為である。厳然として存在する『送電ロス』 もあるし、遠隔地での発電所で CO₂が排出 されているのであれば、地球環境への負荷 をかけて地域の発展を図る行為であること は明確である。代替案として検討すべきは、 地域内に天然ガス焚の火力発電所発電所を 立地し、そこからの排出 CO₂を地中貯留す る(ないしは海洋隔離する)計画ではない だろうか?現状では、まだこれらを比較衡 量するための、将来世代が被るはずの「CO2 貯留のもつ潜在的なリスク」が十分に定量 化されていないかもしれない。

リスクが十分に明確化されたとしても、 経済の壁、コストの壁も大きい。たとえば、 欧州で開始された温暖化ガスの排出権取引 であるが、そこから発せられる価格シグナ ルは、まだ CO₂1トンあたり 1000 円程度で ある。それに比較して、CO₂の回収と圧縮 には、先進国では 4000 円から 5000 円を想 定しないとならないのである。石油増進回 収目的での CO₂地中圧入においても、排出 削減のクレジットを確定したいという動機 や、まさに事実が先行した天然ガス随伴 CO₂の地中圧入事業の延長線上に CO₂地中 貯留事業のビジネスモデルを構築するため といった考え方に沿って、投資が実行され ているのであろう。

IPCCは、年内に CO₂回収貯留特別報告書 を公表する。この特別報告書は、これまで の IPCC 出版物の中では、特定のエネルギー 関連技術を対象にした内容を持つものとし て、特異な性格を有している。前述した「脱 化石エネルギーのための橋架け技術として の CO₂回収貯留技術」という位置づけにも 触れており京都議定書に引き続く地球温暖 化防止の国際枠組みの議論に大きく影響す るであろう。この特別報告書の「政策策定 者のための要約」(各国政府が1行ごとにそ の内容を精査検討し、総会で承認された文 書)では第13項に「二酸化炭素回収貯留技 術は、化石燃料からの電力生産、ならびに 水素生産に伴う二酸化炭素の排出削減を可 能にする。なお水素生産では、長期的には、 分散型エネルギー供給システムや運輸部門 など非集中排出源からの CO₂についてもそ の一部を削減できるものである。」と記述し ている。

環境を守るためには、そのコストを誰か が負担する必要がある。環境税などの導入 は、コスト負担の一方法であろうが、わが 国では、まだまだ議論は始まったばかりで あるし、CO₂回収貯留のような具体的な技 術を想定した段階に進むには時間が必要で ある。しかし、国際的には、京都議定書第 一約束期間に引き続く削減目標の議論が、 上述のコストの乖離を埋める方向で議論が 進むことは確実である。既設の火力発電所 などの大規模 CO₂排出源からの CO₂を大量 に地中貯留することが実現するかどうかの 試金石と考えられる。

最近の英国の動きは急である。英国のブ リティッシュ・ペトロリアム(BP)社から の新聞発表によれば、同社は、北海で産出 する天然ガスを改質して、水素とCO₂とに 転換するプラントのエンジニアリング検討 (設計)を開始したと。プラント建設地は スコットランドの発電所であり、燃焼前脱 炭と呼ばれるこの工程から得られたCO₂は 既設のパイプラインを用いて石油増進回収 に用い、結果的に海底下3km以深に圧入 される予定。水素は発電用に供給され、35 万kW規模の新規電源となるという。2002 年に米国エネルギー省から発表された FutureGen構想は、石炭ベースであり、分離 回収された CO₂の用途も帯水層貯留の実証 試験用途 80%で、利益を生む可能性のある 炭層固定実証試験用途 20%である。BP社 計画は、FutureGen構想に類似しているよう で、政府資金を主体とする研究開発計画で はなく民間の天然ガス商用計画である点が、 まったく異なり実用化まで持ってゆくこと に意欲的である。もちろん発表期日が英国 の主催する首脳国サミット直前であった点、 政治的な思惑も見え隠れするが、同社はか ねてから CO2地中貯留の包括的なリスク評 価研究など、地道な努力も続けており、目 が離せない。

5. 終りに

二酸化炭素地中貯留に関連して、研究開 発を含む広い文脈から論じた。なお、本稿 は、地盤工学会の会誌「土と基礎」に寄稿 した論説に加筆したものである。



高精度地中挙動予測手法の研究

Study on the geophysical and geochemical properties of CO_2 in a saline aquifer

地圏環境技術研究グループ 當舎 利行 Environmental Technology Research Group: Toshiyuki Tosha Phone: 029-861-8735, e-mail:toshi-tosha@aist.go.jp

1. はじめに

京都議定書が2005年2月16日に発効され、2008年から2012年までの第1約束期間に割り当てられた削減目標を達成する必要がある。このため、地球の温暖化を促進する温室効果ガスの発生の抑制や自然エネルギーの利用などの対策技術の確立が早急に求められている。そのような技術の中で、CO2の地層処分が即効的な地球温暖化対策として検討されている。しかし、CO2が圧入された地層中においてどのような挙動をとるのか未知の部分が多く、今後のさらなる研究開発の必要性が指摘されている。

産業技術総合研究所(産総研) 地圏資源環境研 究部門では、産総研の研究部門重点化予算として 平成17年度より「CO₂地中貯留のための基礎的研 究」を開始するとともに、(財)地球環境産業技術 研究開発機構(RITE)からの(財)電力中央研究所 (電中研)と共同受託研究として「高精度地中挙 動予測手法の研究」が開始された。このRITEから の委託研究では、今後必要な技術開発の先駆けと して貯留層内でのCO₂の挙動を総合的に、また、 科学的に説明をすることが研究目標としてあげら れており、平成17年度から新たなグループとして 立ち上がった地圏環境技術研究グループをはじめ として地圏流体ダイナミクス研究グループや地質 バリア研究グループなど地圏資源環境研究部門の

他研究グループのみならず地質情報研究部門など

Snohvit Sleipner K-12Be CO2SINK ORECOPOL Alberta ECBM Teapot Do Range Sibilla Frio Kev ECBM プロジェクト EOR プロジェクト Cerro Fortunoso 天然ガス生産フィールド 帯水層 (IEA資料より) 図1. 世界の地中プロジェクト (IEA のまとめによる)

産総研の他部門からも研究支援を受けて研究を遂 行している。本小文は「高精度地中挙動予測手法 の研究」を中心として、産総研地圏資源環境部門 での CO₂地中貯留研究を中心に帯水層貯留につい て概説する。

2. 世界の地中貯留プロジェクト

CO₂地中貯留での通常のコンセンサスとしては、天 然ガス田や油田にその科学的根拠を求めており、トラ ップ構造を有するクロージャー(ドーム構造あるいは向 斜構造)がその貯留対象となっている。石油やガス田 では地質時代を通じて長期間にわたり石油や天然ガ スをそのクロージャー構造の中に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クロージ ャー構造にCO2を貯留することが考案された。これは、 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。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。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。また、 天然ガスには、数%のCO。が含まれており、従来は分 離して空気中に放出されていた。このCO。をガス層よ りは浅い地層に戻すことがノルウェーで行われている。 ここでは、沖合約 240km の北海中央部の Seipner 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CO₂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 CO₂を 1996 年より海底帯水層に 圧入しており、ノルウェーのCO₂年 間総排出量の 3%を削減している。

> 図1は、IEA がまとめた世界の地 中貯留プロジェクトである。大別し て、EOR でのCO₂圧入、天然ガス に伴う分離したCO₂圧入、炭層に 圧入して炭層に吸着しているメタ ンガスとCO₂を置換させて、メタン ガスを回収する ECBM(Enhanced Coal Bed Methane; メタン回収増 進技術)、そして帯水層貯留に分 かれている。このうち、EOR、天然

ガス田、ECBM はCO₂の貯留よりは資源の回収が主 なる目的と考えられる。これに対して、帯水層貯留は、 CO₂を圧入による温暖化対策が主目的となっている。 地中貯留プロジェクトは、アメリカ、ヨーロッパにて盛ん に実施されているが、その大半は EOR、天然ガス田、 ECBM である。特に、北米では EOR が各地で実施・ 計画されている。帯水層貯留のプロジェクトは、 Mountaineer と Frio で実施されている。

我が国では、北海道夕張での炭層固定実験とともに 新潟県の長岡での帯水層へのCO₂を圧入実験がある。 炭層固定では、2004年に小規模な圧入実験を実施し、 2005年にも1日あたり2トン程度の圧入実験を実施し ている。長岡では、2003年から2005年にかけて貯留 実験が行われ、1日あたり20トンから40トンで合計約 1万トンの注入が実施された。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 すると、年間1000万トン以上の貯留を実現する必要 がある。実用的な貯留規模は、ノルウェー・Sleipnerと 同じ1カ所あたり年間100万トン程度と見られているこ とから、地中貯留を実施する地点を10カ所以上確保 することが必要と考えられる。

3. 帯水層への貯留

水溶性天然ガス田に地中貯留のアナロジーを求め、 塩水帯水層へのCO。地中貯留を実現する考え方もあ る。塩水帯水層には、メタンなどの水溶性のガスが溶 解している地層があり、これらは水溶性天然ガスとして 利用されてきた。たとえば、千葉県の茂原地域などが その例であり、地層中から生産パイプなどを通じて、 地下水とともにメタンガスを採取している。このような水 溶性ガスを包有する地層は、向斜構造、一様に傾斜 する単斜構造、背斜構造など様々な地質構造を取っ ている。このため、ドーム構造という地層の地形学的な 形態に支配される構造性帯水層へのCO。地中貯留 に比べ、その貯留可能地域が飛躍的に増大する。こ のような非クロージャー構造の帯水層へのCO。貯留 の場合、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帯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。クロージャー構造の帯水層を含めて、 貯留可能地域を4つのカテゴリーに分類し、それぞれ の推定貯留可能量(括弧内;単位は百万トン)、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) 石油の既存データから、枯渇油層に超臨界CO₂ を貯留できるとして算出
- ◆ カテゴリー2 構造性帯水層(1,541) 石油公団の基礎試錘・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CO₂を貯留できるとし て算出

- ◆ カテゴリー3 陸域の帯水層(15,847) 水溶性ガス田にCO₂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 海域の帯水層(72,042) 海域の堆積盆地の面積から、帯水層にCO₂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

現在、長岡での圧入実験を実施している RITE が主 にドーム構造を対象としてCO₂地中貯留の研究を行 っているのに対し、産総研では RITE の研究対象を拡 張して、カテゴリー2からカテゴリー4 までを対象(総称 して一般帯水層とする)として研究を行う。図2に海域 での帯水層の分布(エンジニアリング振興協会、 1999)を示す。図2にて示されるように、海域の帯水層 は日本周辺の海域に大きく広がっているのに対して。 構造性の帯水層は、存在している範囲が限られる。し かし、この非クルージャー構造の帯水層への地中貯 留は、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 較して帯水層内でのCO₂の動きや探査方法など未知 の部分が多い。



4. 高精度地中挙動予測手法の研究の内容

地層中において、超臨界状態で圧入された CO₂ がどのような状態で滞留しているのか、どのよう に移動するのか、どの程度帯水層に溶けるのか、 または、鉱物として固定されるのかなど CO₂がど のような挙動を帯水層の中でとるのか、そして、 それらはどのようにモニターをすればよいのかな ど、一般帯水層での地中貯留に対して未知の部分 はまだまだ多い。帯水層内での CO₂の地層水への 溶解や岩石-水反応による鉱物としての沈殿を初 めとして、CO₂を圧入する地層周囲の岩盤の状態 を把握することは、地層や帯水層内の CO₂の挙動 を予測評価するために重要な技術であり、今後事 業化に当たって実施されるリスク評価やモニタリ



ングにとって必要不可欠である。高精度地中挙動 予測手法の目的は、この喫緊の課題を調査研究開 発して CO₂地中貯留の事業化に資する技術を開発 することであり、帯水層貯留を総合的に、科学的 に解明することが目標となっている。電中研の研 究は、主に地表近くの地層や施設であり、RITE・ 産総研の研究は、帯水層周りとなっている。産総 研および RITE の実施する研究のイメージを図 3 に示す。研究は、8 つのサブテーマに分かれてい る。それぞれの内容および平成 17 年度およびその 後の研究目標は以下の通りである。

- 1) CO2 地中挙動解析モデル(素案)の作成 RITE や欧米各国が実施した CO2 貯留研究の成 果を元に、帯水層に CO2 を貯留することによ って生じる様々な現象を整理し、CO2 地中挙動 を考える上で考慮すべきメカニズムを抽出し、 研究・調査が必要な内容・項目を明らかにする。
- 2)シミュレーターの特性把握 CO2の挙動予測に不可欠なシミュレーターと して、現在利用されている石油系のシミュレ ーター(GEM)と地熱系シミュレーター(TOUGH2、 STAR)との特徴を把握するために同じモデル を設定して比較計算を実施する。帯水層で想 定される温度・圧力範囲をカバーするよう例 題を作成し、H17年度は、不均一な温度分布が 存在する場合でのシミュレーションを実施す る。また、H18年度以降は、他の例題による比 較検討を実施するとともに、共通フィールド モデルによるCO2圧入をシミュレートさせて、

結果の比較検討を行うこととしている。(仮 想的な帯水層モデルを用いた CO2 注入の数値 シミュレーションとその結果については、本 レポート中の「帯水層 CO 2 地中貯留の物理探 査モニタリング:石戸恒雄」を参照)

- 新層モデリング手法の開発
 サが回の地所構造な考慮する
 - 我が国の地質構造を考慮するときに大きな特 徴の一つである断層帯での CO2 の挙動予測を 達成するために必要な基礎的データの収集を 実施するとともに断層帯の概念モデルを形成 する。断層モデリングでは、CO2の物理的な通 路としての断層破砕帯と圧力変化による鉱物 沈殿など地化学的反応とが検討の対象として あげられる。H17年度は、ナチュラグ・アナロ グ事例を通じて、地震などによる断層を通じ た CO2 の漏洩・移動のメカニズムについて断 層・断裂帯がどのように寄与しているのかを 抽出する。H18年度は、前年度での事例結果を 受けて、断層内での力学メカニズムおよび地 化学メカニズムについて検討をするとともに、 シミュレーションなどに必要な岩盤力学デー タや鉱物沈殿によるシール層の形成などの地 化学データについてバンキングを行う。H19 年度は、メカニズムやバンキングされたデー タを元に、断層の概念モデルを作成する。
- 4)帯水層における地層水移動評価手法 帯水層内に発生するジェネラル・フローは、 貯留された CO2 を物理的に移動させる可能性 を持っている。このため、このジェネラル・ フローがどの方向にどのような速度でながれ ているかを把握することは重要であり、特に、

長期の挙動予測をする際には他の移動要素よ りも大きなファクターとして入ってくる可能 性がある。このため、坑井データベースなど 地下水のデータベースなどから貯留層内ジェ ネラル・フローについて評価する手法を開発 する。H17 年度は、帯水層内の長期的な地下水 流動を評価するモデルの構築のため深部地下 水データのバンキングを行う。地下水データ のバンキングを行う。また、H18,19 年度は、 モデル地域にてシミュレーションを実施して、 貯留層内ジェネラル・フローについて一般化 への検討を行う。(水文地質学的な帯水層中の 流れや、地層中のながれについては、本レポ ート中の「帯水層における地下水位移動評価 手法:宮越昭暢」を参照)

- 5) CO2 遅延メカニズムの研究
 - 地下での CO2 移動を遅延させるメカニズムと しての地化学反応について、基礎的データを 収集し、帯水層での鉱物沈殿の可能性を検討 する。CO2 を注入する帯水層間隙水の地化学的 特性をとりまとめ、セメント鉱物などシール 鉱物の形成機構を、実データに基づきモデリ ングして、地化学反応による CO2 移動の遅延 効果に関する概念モデルを作成する。H17年 度は、CO2 流体と反応の可能性がある帯水層構 成鉱物と、帯水層間隙水の組成に関するレビ ューを行い、データをバンキングする。H18 年度は前年度の検討結果を受けて、シール鉱 物形成機構に関する実データを取得し、鉱物 沈殿のメカニズムを解明する。H19年度は、 メカニズムやバンキングされたデータをもと に、地化学反応による CO2 移動の遅延につい て、概念モデルを作成する。
- 6) キャップロックの健全性評価の研究 キャップロックは貯留層内から徐々に漏洩を する可能性ある地質構造であり、CO2の長期的 な挙動予測を達成するために重要である。こ のため、基礎データを収集し岩盤力学的な計 測を実施してシミュレーションに必要なデー タの蓄積を計る。特に、軟岩の岩石力学的デ ータは、ほとんど皆無であることから、キャ ップロックとして認識される岩石の岩石力学 的データの収集を図る。H17年度は、既存の岩 石試験器に、ベッセルなどを付加させて比較 的短期間のクリープ実験を実施する。また、 H18 年度は、短期間のクリープ実験を継続して データの収集を図るとともに、より長期的な 特性を求めるため装置を改良して実験を実施 する。H19年度は、長期安定性について、変形 シミュレーションを実施する
- 7) 沿岸部一般帯水層モデルの構築 帯水層中に圧入した CO2 の長期地中挙動予測 を実行するため、挙動メカニズムの解明に必 要な物性パラメターを主として既存データか ら収集するとともに、長期予測シミュレーシ

ョンが可能な沿岸部帯水層の地質構造・水理 地質構造モデルを作成し、一般帯水層での地 中貯留の成立性を検討する。H17年度は、モデ ル地区を選定し、地質図幅等既存文献や研究 論文を収集する。水溶性ガス井のボーリング データ・沿岸部の温泉の水質データ・ボーリ ングデータを収集し、温度測定データととも に、水理構造を推定して三次元水理構造モデ ルを作成し、シミュレーションに供するため の三次元メッシュデータを作成する。また、 帯水層の物性データの推定が可能なコアデー タの有無を明らかにするとともに、目的にあ わせた反射データの再解析を行う。

- 8) 二酸化炭素挙動予測手法の開発
- 安全評価手法の開発・最適モニタリングデザ インの設計等に資するよう、「CO2 地中挙動予 測手法の高度化」の各研究成果を総合的に取 りまとめる。H18 年度は挙動メカニズムについ ての既存知見を集大成し、数値シミュレータ ーによる CO2 地中挙動をシミュレートするこ とにより、メカニズムに対する現在の理解の 範囲と今後の課題を示す。また、H19 年度は CO2 地中挙動予測をもとに、最適な挙動モニタ リングの提案を行うおともに、日本の実デー タに基づき、CO2 地中挙動をシミュレートし、 隔離性能・長期の CO2 挙動を示すことを予定 している。

4. おわりに

本年度から開始された RITE 委託費「高精度地中 挙動予測手法の研究」の研究テーマのうち「1) C02 地中挙動解析モデル(素案)の作成」は、CO₂ 地中貯留の高精度化としての CO₂の挙動の全貌を 科学的に解明するための入り口に当たる研究課題 と位置づけられる。また、「7)二酸化炭素挙動予 測手法の開発」は総合的なとりまとめのテーマで あり、帯水層に圧入された CO2 の挙動予測手法と して CO₂の挙動の全貌がまとめられる。これらの 2 つのテーマは、その重要性を鑑みて、RITE と共 同して実施することとしている。そのほかのテー マは、帯水層を様々な地球科学的な観点から分析 をして CO2 がどのように動くのか、ないしは、ど のように溶解するのかなどを検討することとして いる。

研究は本年度から開始されているものの、委託契約が締結され、実際の研究が開始したのは8月に入ってからである。まだ、研究体制が整っていないサブテーマもあり3年間という異常に短い研究期間の中で CO₂の帯水層内での挙動の全貌を明らかにすることから、加速的な研究を実施する必要がある。

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



帯水層 CO₂地中貯留の物理探査モニタリング Geophysical monitoring of CO₂ injection into aquifers

> 地圏流体ダイナミクス研究グループ: 石戸恒雄 Reservoir Dynamics Research Group: Tsuneo Ishido Phone: 029-861-3829, e-mail: ishido-t@aist.go.jp

1.はじめに

帯水層への CO₂貯留においては、注入された CO₂ の挙動を把握する上で種々のモニタリングが不可 欠と考えられている。注入のオペレーションは、 CO₂が帯水層の中を水平・垂直方向にどの程度広が っているのか、どのような状態にあるのか、圧力 はどの程度高まっているのか等を把握しつつ進め なければならない。また帯水層からのリークの監 視も不可欠であり、これは必要に応じて注入停止 後も継続することになろう。

モニタリング手法として、坑井を用いた圧力観 測や、物理探査のうち反射法は基本的な手法と考 えられている。ノルウェーのスライプナーやカナ ダのウェイバーンでは注入した CO₂の分布が反射 法の繰り返しによって鮮やかに捉えられている。 この他にも重力、傾斜計、電磁法などが検討され ているが、物理探査手法によるモニタリングは坑 井観測を補完する上で重要である。また、キャッ プロックからのリークの監視などでは中心的な役 割を果たすことが期待される。

モニタリング手法の検討において、貯留層(帯 水層)シミュレーションが有効と考えられる。作 業仮説段階の貯留層モデルであっても、それに基 づいて注入CO₂の挙動や圧力変化を予測して、観測 井の配置や観測項目の検討に役立てることができ る。物理探査手法については、貯留層シミュレー ションの結果からそれぞれの観測量の変動を計算 できれば、より定量的な検討が可能になる。地熱 分野では、NEDO・産総研によって平成9-14年度に 実施した「貯留層変動探査法開発」の中で、各種 物理探査手法に対応した"地球物理学的ポストプ ロセッサー"を開発している。本報告では、仮想 の帯水層モデルを用いて行ったCO。注入の数値シ ミュレーションと、その結果に基づいて行ったポ ストプロセッサー計算について紹介し、CO。帯水層 貯留における物理探査モニタリングの意義を考え てみたい。

2. 帯水層への CO2 注入シミュレーション

注入された CO₂の分布や状態は、帯水層の構造 (空隙率、浸透率や深度、層厚、傾斜、キャップ ロックの形状など)や状態(圧力、温度、塩分濃 度、一般流の強さなど)に依存する。ここに紹介 する仮想の帯水層モデル(図1)は層厚一定の単純なものであるが、温度が25℃と45℃の2ケース、また不均質性を反映する分散のスケールがL=0と100mの2ケースについて、シミュレーションを行った。

CO₂の注入は、モデルの中心、帯水層下端の4つ のブロック(海抜-890 m)から年に100万トンのレ ートで50年間行い(注入温度は45℃)、この間とポ スト注入の250年間について計算を行った。



図1 数値シミュレーションに用いた仮想モデル。 水平方向に8 km x 8 kmの広がりをもち、深度方向 には海抜-600 mから-1000 mで、上から厚さ100 m のキャップロック層、厚さ200 mの帯水層、厚さ100 mの低浸透率層が分布する。帯水層の空隙率は30%、 浸透率は水平、鉛直方向にそれぞれ100、10 ミリダ ルシーを仮定。グリッド分割は中心付近では、深度 方向に20 m、水平方向に25 mとした。

計算には汎用貯留層シミュレータ STAR を用い、 状態方程式は BRNGAS ならびに CO2SQS を用いた。 BRNGAS は水・ CO_2 ・NaCl の3成分、気・液・固の3 相を扱えるが温度が 50℃以下、圧力が 50気圧以上 の範囲では精度が保証されない。これに対し、 CO2SQS はプロトタイプ段階であるが、 CO_2 臨界点近 傍、ならびに水・ CO_2 の2成分について 31℃以下で の気(CO_2)・液(CO_2 の溶解した H_2 0)・液(CO_2)の3相 を扱える。



図2 帯水層温度25℃の結果(深度方向は-600~ -1000 m、水平方向は2kmまでの範囲を表示)。状態 方程式はCO2SQS、分散スケールは0mの場合。圧力 (青、20 bars 間隔)と気相飽和度(黒、0.1 間隔) をコンターで、液相CO₂の存在範囲を黄色で示す。 CO₂の臨界圧力より高圧の領域では、臨界温度31℃ より低温側を液相領域、高温側を気相領域として表示。

帯水層温度が25℃の場合(図2)、超臨界状態 (45℃、約120気圧)で注入されたCO₂は帯水層温 度まで冷却され密度がかなり高い状態になる。圧 力が100気圧程度(図6)であるので飽和曲線を横 切らずに気相(的な)物性から液相(的な)物性 に移行する。50年後、この"液相CO₂"のフロント は約1.2 kmまで達し、ポスト注入の250年間、ほと んど拡大しない。帯水層に貯留されたCO₂は大部分、 液相状態にある(図4)。



図4 帯水層温度 25℃のケースについて、系内トー タルの液相 CO₂、水に溶解した CO₂、気相 CO₂それぞ れの質量変化。



図3 帯水層温度 45℃の結果。状態方程式は C02SQS、分散スケールは0m(200年後については 100mの結果も示す)。圧力(青、20bars間隔)と 気相飽和度(黒、0.1間隔)をコンターで、空隙中 の C0₂の質量割合が 1%以上の範囲を緑色で示す。200 年の結果は水平方向 4km までの範囲を表示。

帯水層温度が45℃の場合は等温過程であるが、 この場合(図3)、注入点を離れ圧力が低くなるに 従い密度は低下する。このため浮力の効果が効い て、ポスト注入の期間では、気相CO₂がキャップロ ックの下を遠方まで薄く広がる。また水への溶解 量はポスト注入期間も徐々に増える。分散のスケ ールがL=100 mの場合、流動に伴ってCO₂と水の混 合が促進され(図3)、140年目以降で気相CO₂量よ りも水に溶解したCO₂量のほうが多くなる(図5)。



図5 帯水層温度 45Cのケースについて、系内トー タルの気相 CO₂、水に溶解した CO₂それぞれの質量変 化。L=100 mのケースでは、140 年で前者と後者が 逆転している。



図6 帯水層圧力の時間変化。注入点ブロック (Z=-900 m)とキャップロック直下のブロック (Z=-700 m)での 300 年間の変化。

3. 地球物理学的観測量に現れる変動

"地球物理学的ポストプロセッサー"は、貯留 層シミュレーションによって計算される各ブロッ クの温度、圧力、気相飽和度、塩分濃度等の変化 から、重力などの(地表における)観測量の変化を 求めるための計算ツールである。重力では基本式 は単純であるが、他のポストプロセッサーでは各 ブロックの比抵抗や弾性波速度を求めるために 種々の関係式が用いられる。主な用途はヒストリ ーマッチングであり、地球物理学的観測量の変動 を貯留層モデルの拘束条件として利用可能にする。 また予測計算に適用することでモニタリングの設 計にも役立てることができる(図7)。

図8に示すのは、2. で述べた45℃のケースに反 射法ポストプロセッサーを適用した結果である。 注入開始後1年で、気(CO₂)液(H₂0)二相領域の上 面に対応したイベントが認められる。また、気液 二相領域内のP波速度の低下から帯水層下端から の反射波に到着走時の遅れが発生している。





図7 貯留層シミュレーションにおける地球物理 学的ポストプロセッサーの用途。



図8 反射法ポストプロセッサーによって計算し た注入開始後1年の時間記録断面。帯水層温度45℃ のケース。



図9 自然電位ポストプロセッサーによって計算した注 入開始後1年と5年の時点での地表の自然電位プロファ イル(左図)と鉛直断面上の電位分布(上図、帯水層の上 端、下端を緑線で示す)。帯水層温度45℃のケース。 図9は、自然電位ポストプロセッサーを用いて 計算した自然電位変化である。これらの変化は帯 水層内の圧力変化によって発生している。帯水層 とキャップロックの間で流動電位係数に食い違い が存在し、電位変化は帯水層上端の圧力変化が大 きいほど大きい。図6からわかるように、1 年後 に比べ5年後の圧力増加は、注入深度では小さく なっているが、帯水層上端付近では逆に大きくな っている。この結果、5 年後のほうが電位変化が 大きくなっている。

図10は、MT法ポストプロセッサーによる計算 結果である。自然電位や反射法では、注入開始後 1年で顕著な変化が現れるが、比抵抗探査で捉え る変化は時間とともにゆっくりと大きくなる。帯 水温度45℃の場合、初期の比抵抗は約10Ωmであ るが、(伝導性のない) CO₂ガスの増加とともに気 液二相領域では50Ωm程度まで増加する。これを 反映して50年後の見掛比抵抗は5Hz付近で15% 程度の上昇となっている。今回は、CO₂ガス圧力の 増加に伴う水のpH低下と溶存イオン増加による 水の伝道度増加の効果は考慮していない。この点 は今後の検討課題である。

図11には、重力の時間変化を示す。結果は帯 水層温度によって大きく異なる。25℃の場合、CO₂ は密度700kg/m³以上の液相流体としてあまり広が らないので重力変化は小さいが、45℃の場合は広 い範囲で重力低下が大きい。分散のスケールによ る違いは水に溶ける割合の違いを反映しているが、 注入停止後に差が拡大している。注入停止後、圧 力の低下とともにCO₂ガス密度は大きく低下し

(45℃、70-100気圧でのC0₂ガス密度の圧力依存性 は極めて大きい)、その結果浮力による上方への移 動が卓越する。これが注入停止後の重力の増加を 緩やかなものにしているが、L=0mのほうがガス量 が多いので、重力増加はより抑制される。



図11 重力ポストプロセッサーによって計算し た注入点直上ならびに1km離れた地表観測点におけ る重力の時間変化。45℃のケースについては、L=0 とL=100 mの結果を示す。



図10 MT 法ポストプロセッサーによって計算し た注入点直上の観測点における注入開始前と開始 後50年での見掛比抵抗曲線。(帯水層温度は45℃)

4.おわりに

以上紹介した計算結果は予察的なものであるが、 反射法とともに重力測定が有効なモニタリング手 法であることを示している。深度1km程度の帯水 層では CO₂密度の温度、圧力依存性が大きく、地 下の状態の違いが重力変動パターンに明瞭に現れ る。自然電位の変化はそれほど大きくないが、帯 水層上端、キャップロックとの境界の圧力変化を 反映している。また、注入のオペレーションに応 じて短期間のうちに変化が発生する。比抵抗につ いては、今回のモデルでは低抵抗のキャップロッ クを仮定しているので、有意な変化が現れるまで に長期間かかるという結果になっている。

モニタリングの役割として、帯水層からの CO₂ リークの監視も重要である。今後、この点につい ても数値シミュレーションにより各物理探査手法 の適用性・有効性を検討する予定である。また、 これまでに地熱分野等で重力、自然電位、電気・ 電磁気、微小地震等の野外観測技術の開発を行っ てきたが、これらについても当該分野での適用を 図るべく研究開発を進める予定である。



帯水層中の地下水流動評価 Groundwater flow assessment in aquifer

1. はじめに

CO₂地中貯留においては,帯水層内の微細な地下 水流動や CO₂ 圧入に起因して発生する局所流動を 高精度に評価する必要がある。また,CO₂ の長期間 の移動予測が必要であり,局所流動の境界条件とな る深部かつ広域を対象とした地下水流動の評価が求 められる。地質バリア研究グループでは,このような地 下深部までを統一的に評価できる地下水流動モデル の開発を進めている。本報では,地下深部を想定し た低透水層と,広域地下水流動を想定した関東平野 において地下温度を用いた地下水流動の研究事例 を紹介する。

2. 地下水流動を反映した地下温度分布

地下水流動は地形・地質条件に支配されるが, Toth⁶⁾ は地質を等方均質と仮定して、上部境界を 地下水面, 側方および下部境界を不透水に設定し た鉛直二次元領域の中で、地下水面を単純な曲線 と仮定し,地下水流動を理論的に解析できること を提示した。Domenico and Palciauskas⁷⁾は, Toth⁶⁾ の解析式によって水理水頭分布を求めた後、熱輸 送式から温度分布を求める近似解を得て、地下水 流動と温度分布の関係を検討した(図1(a)~(d))。 地下温度分布は地下深部からの地殻熱流量と地表 面の年平均温度で決められるが, 地下水流動に伴 う熱移流の効果によって,温度分布に歪が生じる。 同一深度で比較した場合,地下水涵養域では地表 面からの影響を受けて低温となり、地下水流出域 では地下深部からの影響を受けて高温となる。こ れらの地下温度分布は,鉛直1次元である温度プ ロファイルには以下のような特徴として認められ る。すなわち、涵養域では全体に低温で地温勾配 が小さく下に凸な形状を示し、流出域では全体に

地質バリア研究グループ: 宮越昭暢 Geo-Barrier Research Group: Akinobu Miyakoshi Phone: 029-861-3684 miyakoshi-a@aist.go.jp

高温で勾配が大きく上に凸な形状となる。これら の地下温度分布の歪を空間的に捉えることで,地 下水流動を評価することが可能となる。

3. 温度プロファイルによる地下水流動の区分

宮越ら⁸⁾はロシア・カムチャッカ半島の南部に おいて,温度プロファイルを用いた深度方向にお ける地下水流動系の区分を行っている。調査地域 周辺では,沖積層の下位に白亜紀の花崗岩が分布 している。

調査地域内に分布する地下水位観測井において 温度プロファイルを測定した。測定間隔は 1m, 温



図 1. 地下水流動と地下温度分布 (a) 地下水流動 が存在しない場合の(b) 地下温度分布,(c) 地下水 流動に伴う熱移流の影響を反映した(d) 地下温度 分布,(d) と地表面温度上昇の影響を反映した(e) 地下温度分布 度計の分解能は 0.01℃である。また観測井に加え て周辺の揚水井および河川において水試料を採取 し,酸素・水素安定同位体比を分析した。

測定した地下温度プロファイルを図2に示す。 温度プロファイルは地温勾配から A~C の三つの 部分に区分できる。地下水面から深度 30m 付近ま での A 区間においては、勾配が-0.07~0.08℃/mと 大きく変動しており,季節変化の影響が及んでい ると考えられる。これより下位では、深度 150m 以浅は勾配が 0.03~0.08℃/mと変動幅がやや大き いのに対し, 深度 150m 以深は 0.03~0.04℃/mと 変化が小さいことから、それぞれ B 区間、C 区間 と区分できる。温度プロファイルと地質層序を比 較すると、浅部のA・B 区間は沖積層、深部のC 区間は白亜紀層に相当している。C 区間において 地温勾配が一定であることは、地下水流動による 熱移流の影響が小さいことを示しており、深部の 地下水流動が浅部よりも緩慢であることがわかる。 一方, B 区間においては地温勾配が大きく変化し ており、温度プロファイルに上に凸な形状が認め られる。地下水流速を求めるタイプカーブ¹⁾を適 用すると、この区間では上向きの流動が確認され ⁹⁾,深部の流動系とは異なることが示された。観 測井周辺の地下水・地表水の酸素・水素安定同位 体比も、浅部と深部で値が異なっており、温度プ ロファイルによる地下水流動系の区分を支持して いる。このように温度プロファイルを用いること で、1 地点のデータであっても深度方向の地下水 流動系の区分が可能である。

4.3 次元温度分布による広域流動の検討

日本最大の平野であり、人口の約30%が集中す る首都圏が形成されている関東平野において、地 下温度分布を用いて広域地下水流動の解明を試み た。地下温度プロファイルの測定は、図4に示す 観測井92地点で実施した。観測井の深度は50~ 600mであり、深度300m程度が最も多い。観測に 用いた温度計の分解能は0.01℃、温度プロファイ ルの測定間隔は地下水面から深度300mまで2m 間隔、それ以深は5m間隔であり、最深観測深度 は600mである。

関東平野を構成する堆積層群は、下位より三浦 層群および相当層(中新世~前期鮮新世)、上総層 群および相当層(後期鮮新世~前期更新世)、下総 層群および相当層(後期更新世)に大別され、盆 地状の堆積構造を成し、最大層厚は4000mを超え ると考えられている⁹⁾。観測井の多くは、平野の 主要な帯水層と考えられている下総層群および相 当層から上総層群および相当層の上部を対象とし ている。

地下温度の平面温度分布 ⁵⁾ を図 3 (a) ~ (c) に示す。平野内では低温域と高温域の分布に地域 性が認められ,低温域が丘陵や台地部に見られる のに対して,高温域は低地部の中でも平野中央部 に広く分布する。この一方で山地と平野の境界部 には,より高温な地域が存在している。特に利根 川中流域の館林台地から渡良瀬川低地付近では, 利根川付近を境として北部と南部で連続性が乏し く,北部が突出した高温域となっている。またこ の地域では,地下 500m より深部においても地温 勾配が高いことが報告されている¹⁰⁾。同様の高温





域は、平野北東部の鬼怒川中流域においても認め られる。両地域では第三系基盤岩の上面深度が浅 いことが報告されており⁹⁾、地域的な地質条件を 反映していると考えられる。

武蔵野台地や下総台地など、相対的に標高の高 い台地には低温域が形成されており、標高-50~





図 3. 平面温度分布(a)標高-50m, (b)標高-100m, (c)標高-150m

-150mで15.2~16.9 ℃を示して地温勾配は小さい。 これに対して加須低地東部には,地下浅部から深 部まで高温域が形成されている(標高-50m:16.4 ~16.9℃,標高-100m:16.9~18.4℃,標高-150m: 18.3~20.1℃)。またこれより南方の中川低地にも 高温域が存在するが,加須低地東部と比較して低 温となっている(標高-50m:15.8~16.1℃,標高 -100m:17.0~17.3℃,標高-150m:17.9~18.4℃)。 標高-50~-150mを比較すると,深部ほど加須低地 東部と中川低地での高温域が明確になる傾向が確 認される。

一方,測定した温度プロファイルは,温度の絶 対値および温度勾配から,流出域型,涵養域型, 中間域型の3タイプに分類できる⁵⁾。ただし一部 には,後述するように地温勾配が複雑に変化し, 分類不可能なものもある。温度プロファイルのタ イプ別分布を図4に示す。流出域タイプは,プロ ファイル全体の温度が高く 0.03℃/m 以上の高い 勾配を有し,平野中央部に分布する。これに対し て涵養域タイプは,プロファイルの温度が全体的 に低く 0.02℃/m以下と小さい勾配を有し,丘陵や 台地部に分布している。また中間域タイプは,勾 配が比較的一定(0.02~0.03℃/m)で流出域型や 涵養域型の中間的な形状を有し,流出域型の周辺 に分布している。したがって平野全体でみると, 温度プロファイルは平野周縁部の台地や丘陵から



図 4. 温度プロファイルのタイプ別分布

平野中央部に向かって, 涵養域型→中間域型→流 出域型へと変化している。

このような平野全体での地下温度分布および温 度プロファイルのタイプ別分布は、広域な地下水 流動を反映していると考えられる。すなわち低温 域と高温域はそれぞれ涵養域と流出域に相当し, 平野周縁の丘陵や台地で涵養され,平野中央部へ 向かう地下水流動を示唆している。関東平野にお ける近年の水理水頭分布では、地下水利用に伴っ て平野中央部の中でも加須低地東部付近の標高 -100~-300m 付近に極小域が形成されており、高 温域の分布は水理水頭分布と整合的である。

5. まとめ

地下水流動評価における地下温度の有用性を, 研究事例を交えて紹介した。鉛直1次元の温度プ ロファイルからは地下水流動の区分が可能であり, 3次元の地下温度分布からは広域な地下水流動の 検討が可能である。また規模の異なる流動系を統 一的に検討できるため,局地から広域スケールま で幅広く適用できる。

当部門では、地下浅部および深部における地下 温度データの豊富な蓄積がある^{10),11)}。本年度か ら始まった RITE からの委託研究「挙動予測の高 精度化」では、東京湾周辺地域について既存デー タと、本報で紹介した新データや同位体などの地 球化学データを併せる事により、広域・深部を統 一的に評価する手法の開発を進める。

引用文献

- 佐倉保夫:温度による地下水調査法,日本地 下水学会誌,26,4,pp.193-197,1984.
- 谷口真人:長岡平野における地下水温の形成 機構,地理学評論,60, pp.725-738, 1987.
- 内田洋平・佐倉保夫:濃尾平野における地下 温度プロファイル,地質調査所月報,50,10, pp.635-659,1999.
- J.R.Dim , Y.Sakura , H.Fukami and A.Miyakoshi : Spatialcharacteristics of groundwater temperature in the Ishikari Lowland, Hokkaido, northern Japan: analytical and numerical applications, Hydrogeology Journal, 10, pp.296-306, 2002
- 5) 宮越昭暢・内田洋平・佐倉保夫・林 武司: 地下温度分布からみた関東平野の地下水流

動, 日本水文科学会誌, 33, 3, pp.137-148, 2003.

- Toth, J. : A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins, Journal of Geophysical Research, 68, pp.4798-4812, 1963.
- Domenico, P.A. and V.V. Palciauskas: Theoretical analysis of forced convective heat transfer in regional groundwater flow, Geological Society of America Bulletin, 84, pp.3803-3814, 1973
- 8) 宮越昭暢・谷口真人・大久保泰邦・上村剛史: 高緯度地域における地下温度環境評価-積 雪および温暖化の影響評価-,日本地熱学会 誌,27,2,pp.163-172,2005
- 鈴木宏芳:関東平野の地下地質構造,防災科 学研究所研究報告,63, pp.1-19,2002
- (10) 矢野雄策・田中明子・高橋正明・大久保泰邦・ 笹田政克・梅田浩司・中司 昇:日本列島地 温勾配図 1:3,000,000,地質調査所, 1999
- 11) 丸井敦尚:地質調査所版全国井戸・水文デー タベースの概要と新版「いどじびき」につい て、地質ニュース、522、32-36、1998

第2部:グループ及び個人の研究



地下水環境研究グル―プの紹介 Introduction of the Water Environment Research Group

地下水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、エネルギーや環境などに関連 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)
 - 安川 香澄
 - 内田 洋平
 - 田口 雄作 (テクニカルスタッフ)
 - 阿部 正洋 (テクニカルスタッフ)
 - 宮崎 桂子 (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) 主な研究予算・課題
- 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」(継 続)
- 運営費交付金「タイ、ベトナムにおける地下水 流動系と地中熱分布の解明」(継続) 運営費交付金「水文環境図の作成」(継続)
- 3. 平成 16 年度までの進捗状況
- 「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」:山東省、 山西省、青海省、陝西省、寧夏回族自治区、 内蒙古自治区の各省・自治区で現地調査なら びに資料収集を実施したほか、つくば市にて

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。

- 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、地下水調査、水質・安定同位体分析を行った。これらは、熱輸送解析を含む地下水モデルの構築に寄与するものである。
- 3) 「タイ、ベトナムにおける地下水流動系と地 中熱分布の解明」:チャオプラヤ川流域(タ イ)および紅河流域(ベトナム)に存在する 多数の地下水観測井を対象に、地下水の水頭、 水質組成、同位体比、温度構造を調査し、広 域地下水流動系を明らかにするための基礎デ ータを得た。
- 4) 「水文環境図の作成」:「関東平野」「秋田平 野」「濃尾平野」の各水文環境図を編集し、 CD-ROM 媒体で出版した。これにより「仙台平 野」(図1参照)と合わせて第1期中期計画の 数値目標を達成した。



- 図1 「仙台平野水文環境図」の内容の一部.
- 4. 平成 17 年度の研究計画
- 「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 流域を対象とする地下水循環モデルの構築を

目指し、現地調査、資料収集、地下水位・凍 土長期連続モニタリング装置のデータ回収、 透水性分布図や断層分布図(図2参照)の作成、 中国側研究機関との詳細研究打合せなどを行 う。本年度はフィールドワークを主体とした 本格調査を展開するとともに、黄河流域全体 の地下水資源のシミュレーションを実施し、 モデルの妥当性を検証する。また、将来予測 のためのシナリオの準備を始める。なお、年 度後半に本研究に関わるワークショップの中 国(北京)開催を企図している。

- 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。この中で、水質・同位体分析、地中熱分布図作成を担当する。本研究には地下水の流動機構解明など基礎的な研究のほかに、地下水モデリングと高効率の地中熱利用ヒートポンプシステムの開発などが含まれる。本研究で得られたデータは GIS 上でとりまとめ、水文環境図の作成のための基礎資料とする。
- 3) 「タイ、ベトナムにおける地下水流動系と地 中熱分布の解明」:チャオプラヤ川流域(タ イ)と紅河流域(ベトナム)で、地下水保全 や省エネルギーにも寄与できる地中熱の利用 可能性を探るため、地中熱分布の把握に努め る。なお、本研究は、タイ地下水資源局、ベ トナム地質鉱物局の研究協力のもとに実施す る予定である。
- 4) 「水文環境図の作成」:「地質の調査」ミッションの一つである知的基盤情報の整備・提供の一環として、水文環境図「佐賀平野」のとりまとめに向けた現地水文調査、水質・同位体分析などを行う。

- 5. 期待される成果
- 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シナリオに基づく将来予測に寄与する。なお、モデルには様々な素過程の研究成果を可能な限り取り込み、モデルの完成度を高める。
- 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) タイやベトナムなど低緯度の熱帯地方では年間を通して地下温度が気温より高く、地中熱の冷房利用ができないが、多少の気温変化があり、かつ地下温度が比較的低い場合には、地中熱を利用できる可能性がある。そのような地域に関する"地中熱利用可能性マップ"の作成が考えられる。
- 4) 各地の地下水調査により集積されるデータは 水文環境図のとりまとめに適用する。また、 シリーズ化された CD-ROM 版水文環境図によ り、知的基盤情報提供の目標を達成していく。



図2 黄河流域一帯の断層位置(村岡、原図)



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、土壌・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。平成15年には、土壌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、自然的な起源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、 土壌・地下水の汚染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適用が不可欠で ある。このほか、地質・土壌環境における様々な 情報整備やデータベースの構築は、安全かつ豊か な国民生活のために必須である。さらに、地圏と 大気の境界における音響環境の保全や騒音の防止 などの研究開発は急務の課題である。

当研究グループでは、土壌・地下水環境におけ る汚染評価、環境影響評価および対策技術に関わ る理学的、工学的な研究開発を実施する。また、 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、重金属や有機塩素化合物等のリ スク評価・管理手法、環境汚染物質の将来予測に 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、天然物等を用いた環 境低負荷の浄化技術の開発、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。さらに、 産業活動や人間活動に伴い、音響環境の評価手法 に関する研究開発も重要になっている。そのため、 地理情報システムなどを活用した音響環境の予測 および評価技術の開発に関する研究を行っている。 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いる。当研究グループで はメタンハイドレートを経済的に生産するための 手法開発として、メタンハイドレートを含む地層 の浸透特性を明らかにするとともに、生産挙動を 予測するための生産シミュレータの開発を行う。

このような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。また、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 今泉博之 高橋保盛 杉田 創 竹内美緒 川辺能成 原 淳子 青木一男 *メタンハイドレート研究ラボ(兼務) 羽田博憲 *メタンハイドレート研究ラボ(兼務) *メタンハイドレート研究ラボ(協力) 坂本靖英 *地質情報研究部門(協力) 丸茂克美 **テクニカルス**タッフ 大野孝雄、小川桂子、金城直子、 杉原麻生、小神野良美 国際制度来訪者 Mohammeed Golam Mahbub Alam.
 - 国家時度大訪省 Mohammad Atiq ur Rahman
- 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(Iネルギー)」 運営費交付金「土壌・地質環境リスク評価技術 の開発」(部門重点化予算)

運営費交付金「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」(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「都市環境騒音対策の最適選択手法と数 値地図を活用した騒音場の簡易推計技術に関す る研究」(環境省)

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)

委託費「地圏環境インフォマティックスのシス テム開発と全国展開」(文部科学省)

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) 3. 平成 17 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)

地下環境の微生物の生態についての基礎研究を 行うとともに、主要な地質汚染物質であるヒ素に ついて、濃集メカニズムの解明や、浄化手法の開 発を行う。また、残留性有機塩素化合物に関する 新規浄化手法の開発および自然減衰能評価を行う。 土壌・地下水汚染に関わる知的基盤整備に資する ため、自然起源および人為起源に関する各種デー タを取得し、判別方法の技術的指針を作成する。

汚染土壌・地下水からのフッ素・ホウ素除去法 を確立するために、鉱物等への吸着挙動の解明を 行う。また、重金属等で汚染された土壌について、 土壌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。環境影響評価のため風雑音の特性 を解明し、種々の環境要因の変動特性を考慮可能 な騒音伝搬予測及び評価手法の開発を目指す。

2) 土壌・地質環境リスク評価技術の開発

わが国の地圏環境における環境リスクを評価す るためのサイトモデル(図1を参照)を完成し、 一般に公表する。また、土壌・地質汚染基本調査 や地化学詳細調査などに基づいて、代表的な地域 における土壌環境評価基本マップの作成に必要な 各種データを取得する。さらに、土壌・地質環境 評価のための詳細モデルのフレームワークを作成 し、必要なパラメータを集積する。



図1 土壌汚染リスク評価手法の開発

3) 地下水汚染の科学的自然減衰(MNA)の研究

日本国内数カ所の VOCs(TCE, PCE)による地 下水汚染サイトを調査し、観測データの解析や汚 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。MNAの判定を行うた めの重要な要素として地下水中における微生物の 浄化能の評価手法を検討する。そのため、実サイ トの地下水をサンプリング調査して、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し、自治体など が利用可能な MNA プロトコルを開発する。 4)地圏環境インフォマティックスのシステム構 築と全国展開

地圏環境情報を GIS 上に統合化し,地圏環境の 環境リスク評価、土壌・地質の自然汚染と人為汚 染の相互評価などを行い、土壌汚染対策、環境政 策立案の基礎情報、環境リスクの長期管理などが 可能な評価システムを開発する。図2には、情報 整備とシステム開発の概念を示す。今年度は、東 日本における地化学情報および環境調査に基づき、 地圏インフォマティックシステムに必要なデータ ベースを作成する。



図2 地圏環境情報の整備とシステム開発

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。

6)都市環境騒音対策の最適選択手法と数値地図 を活用した騒音場の簡易推計技術に関する研究

個々の騒音低減対策による効果を都市域で広域 的に考慮しながら最適な騒音対策を選択するため にソフトコンピューティング手法を開発する。併 せて、GIS と数値地図を活用し都市広域の環境騒 音を面的に推計する技術を構築し、騒音対策立案 の支援を目指す。今年度は、主要な騒音源に係る 属性データの抽出および騒音場の簡易推計モデル 構築の基礎検討を行う。

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、汚染評価システム、浄化技術、環 境影響評価手法などの研究成果を一般に普及させ、 土壌・地下水汚染や廃棄物処分場、環境アセスメ ントなどの問題解決に寄与することを目指す。



地圏環境技術研究グループの紹介 Introduction of the Environmental Technology Research Group

地圈環境技術GL: 當舎利行

Leader, the Environmental Technology Research Group: Toshiyuki Tosha Phone: 029-861-8735, e-mail: toshi-tosha@aist.go.jp

1. グループの研究目標

即効的な地球温暖化対策として CO,の地層処分が 我が国においても検討されており、小規模な圧入 実証実験が行われている。しかし、地層中におい て CO。がどのような挙動をとるのか未知の部分が 多く、今後のさらなる研究開発の必要性が指摘さ れている。帯水層内での CO。の地層水への溶解や 岩石-水反応による鉱物としての沈殿を初めとし て、CO。を圧入する地層周囲の岩盤の状態を把握す ることは、地層や帯水層内の CO2 の挙動を予測評 価するために重要な技術であり、今後事業化に当 たって実施されるリスク評価やモニタリングにと って必要不可欠な情報をもたらす。このような地 球化学的な研究や原位置応力などの岩盤工学的な 物性値の把握は CO。地中貯留などにおいて重要な 技術であることから、当研究グループでは、地圏 流体の挙動の研究や地下構造の推定、地層・岩盤 の特性評価、挙動予測のためのシミュレーション 技術やモニタリング技術など二酸化炭素や放射性 廃棄物の地層処分に必要な研究・技術開発を進め てゆく。また、経済的な地層処分の事業化のため は、低コスト高効率の革新的掘削技術、ビジネス モデル作成のためのリスク評価技術などが必要と されていることからこれらの研究開発も併せて実 施する。

一方、当グループ員が、長年にわたり研究を進め てきた資源開発の分野においても、熱エネルギー の実用的利用や開発時の保安技術などの研究を引 き続き進め、地層処分の研究開発と併せて、部門 のミッションである資源と環境の調和のとれた開 発や地圏の利用を図る研究や技術開発、ならびに 安全・リスク評価手法の検討を行ってゆく。また、 国内外での研究機関や企業との共同研究を企画・ 実践し、従来からの資源開発を主体とした研究成 果を多方面への応用研究として技術適応を図って 行くなど各種普及活動に取り組んで、研究成果の 社会へ転移を積極的に進めることとする。

2. グループの特色等

当研究グループは、今年度、地圏環境技術の効率 的な開発のため、他グループの研究員にも参加し てもらい、新たなメンバー構成により出発をした グループである。最も人数的に多い旧地圏資源工 学研究グループでは、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た。これらの研究・技術開発に加えて、岩石-水反応を変成岩岩石学からの立場からの研究や、地圏の開発に必要な掘削工学・安全工学の専門家が加わることにより環境問題を解決するための帯水層 CO₂地中貯留や放射性廃棄物地層処分における、様々な理学的・工学的問題点を解決する目的としたグループ構成となった。

1) グループ員(専門)

| 當舎 | 利行 | (地球物理学) |
|----|------|----------|
| 唐澤 | 廣和 | (掘削工学) |
| 奥山 | 康子 | (変成岩岩石学) |
| 田中 | 敦子 | (安全工学) |
| 及川 | 寧己 | (岩石力学) |
| 天満 | 則夫 | (貯留層工学) |
| 柳澤 | 教雄 | (地球化学) |
| 竹原 | 孝 (共 | 岩盤工学) |
| 相馬 | 宣和 | (地下計測工学) |

- 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」
 - 地球環境産業技術研究機構研究委託費 「高 精度地中挙動予測手法の研究」
 - 共同研究費 「電気分解法を用いたスケール 捕集試験」
 - 産総研研究部門重点化予算 「二酸化炭素地 中貯留のための基礎的研究」
 - 産総研運営費交付金 「地圏資源工学の研究」 等

3. 平成16年度までの進捗状況

1) 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開発に関する研究 岩盤安定性評価では、軟岩で多孔質供試体である 珪藻土・大谷石のほかに、空隙率に比して強度が 高いベレア砂岩を新たな供試体として選定し、低 応力レベル、温度・周圧を変えた条件での長期ク リープ試験を継続している。長期にわたる良質な データの蓄積には実験環境における試験方法の確 立および解析手法の検討が必要であることが明ら かとなった。また、使用機器の改良と圧力制御装 置の導入および温度コントロールシステムの改良 を行い、長期間安定した条件下での試験が可能に なった。

地下構造推定法では、鉱山内で取得された掘削音 データの解析を進め、坑道下部の堆積岩から深部 の花崗岩への不整合面を主なターゲットにその抽 出を試みた。定常性が乏しいコア採取作業時の掘 削音の解析手法として、周波数領域で放出弾性波 のモードを評価し、P 波あるいは SV 波と仮定可能 な周波数帯域を選別して相関解析を行う方法を考 案した。その結果、小規模なコア採取作業を利用 しても反射イメージングが可能であることが明ら かになった(図1)。この観測結果を室内実験にて 確かめるため、掘削方式の違いによる放出弾性波 特性の評価実験も実施した。



岩石コア地圧計測法の開発では、地圧計測法の一 つであるAE/DRA法の高精度化のために、封 圧下のAE/DRA法において側圧の影響を検討 するための室内実験を行った。その結果、AE/ DRA法において短時間の封圧載荷が応力記憶機 構に及ぼす影響は小さいことが分かった(図2)。



2) メタンハイドレート資源開発生産手法開発 メタンハイドレート(MH)層試料の圧密挙動・変形 挙動を測定による地層の力学的特性を明らかにす る研究では、原位置に相当する圧力環境・温度環 境下におけるサンドパイルの変形挙動を計測する ための装置を製作し予備実験を行った。また、MH の生産挙動を検討するための室内実験において、 コアに熱水を圧入した際に実験初期にコアの下流 において温度上昇が観測された。この温度上昇は MHの成長に伴う発熱現象であることが推測された。 そこで、これまで考慮されていなかった MH の成長 に関して、ハイドレート・水・ガスの各飽和率を 用いた式を作成して、数値シミュレーション上で 成長を取り扱えるように改良を行い、計算を行っ た。対象とした実験は、それぞれ MH の周圧が 5.0MPa と 7.5MPa とした場合の熱水圧入試験であ る。どちらの実験においても観測された初期の温 度上昇がシミュレーションで再現されるようにな った。また、ガスの累積生産量に関しても、各実 験の計測値と計算で得られたガス生産量はほぼ合 っており、再現性の高い結果が得られた。

3) 高周波電気分解装置によるスケール生成・捕 集メカニズム解明に関する研究

工場などにて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 した。その結果、通電により炭酸カルシウムスケ ールが析出するにつれて pH が低下すること、通電 前と2日経過後のコロイド状の炭酸カルシウム のゼータ電位を測定したところ、通電前は-10mV 付近に分布したが、2日経過後では 0mV 付近とな り、pH の変化に対応して、炭酸カルシウムがスケ ールとして凝集しやすい状況になっていることが わかった(図3)。



4) 地圏資源工学の研究

地圏開発の手法の一つとして、近年では水圧破砕 による貯留層内の流動特性の改善が試みられてい る。この貯留層内の流動特性の工学的な変更が生 産特性に与える効果を把握することは地圏の利用 を進める上で重要である。そこで、当グループで 開発された長期循環試験の再現が可能な肘折多層 貯留層の数値モデルを用いて貯留層の透水性を人 為的に変えた場合の抽熱・生産特性の変化量に関 して検討を行った。具体的には深部貯留層の透水 性を対象に3 通りの貯留層条件を考えた。貯留層 条件1は、長期循環試験結果をほぼ再現できたケ ース、貯留層条件 2 は HDR-3 側の透水性を約 2.1 倍に大きくしたケース、貯留層条件3は、HDR-2a の透水性を約 0.3 倍に小さくしたケースである。 なお、貯留層条件2ではHDR-3への迎え破砕によ る透水性の改善、貯留層条件3ではHDR-2aに対し てパッカー等の機器を適用して主要なき裂からの 生産を防ぎ、別の区間に新たなき裂を造成するこ とで対応できると考えられる。10年間の予測計算 を行った結果、貯留層条件3では浅部及び深部貯 留層からの生産流量がほぼ等しくなり、図4に示 すように貯留層条件 1(長期循環試験を再現)の予 測計算で得られた熱出力の約1.4 倍の熱出力が得 られる結果となった。これより、貯留層内の流動 特性の改善によって、より良い抽熱が可能である ことが推測された。



地圧計測法の基礎的研究として、地下深部の岩盤 にも適用可能な地圧計測法であるDSCAの基礎 理論について明らかにすることを目的に二軸条件 下における室内掘削実験を行い、一軸圧縮強度の 異なる2種類の岩石試料(砂岩と凝灰岩)のデー タを取得した。また、湿潤状態でのクリープ試験 実施のために、選定した供試体の力学的特性を把 握するために載荷速度を変化させた一軸圧縮試験 および三軸圧縮試験を実施した。多孔質体である 供試体の載荷速度依存性が確認できた。また、大 気圧下、恒温・恒湿度環境下における長期クリー プ試験を継続中である。

中小地熱など新しい地熱資源の研究として、これ までのグループならびに部門における地下熱エネ ルギー開発研究の成果をもとに、より普遍的に地 下熱利用エネルギーシステムを実現し導入促進を 図ることを目標にした、総合設計手法の検討を行 っている。本年度は、"総合設計"の概念的設計を 構築し、まず現在まで提唱されている地下熱利用 エネルギーシステムの形態について整理を行った。 また、不確実性や経済性などの、導入主体の意思 決定に資するデータ収集の一環として、地下開発 費用のアンケート調査の実施を予定している。ま た、高温岩体技術検証調査において作成した報告 書を基に技術解説書である「次世代地熱開発技術 の現状と課題」を作成し学会等で公開・配布した。 この高温岩体技術開発や CO。地中貯留のためのモ ニタリング技術等で開発した技術の他方面への適 用として、国内天然ガス田の貯留層構造計測のた めの微小地震計測および現場解析に参加し観測や 解析の実施に貢献した。 保安技術や掘削技術では、従来の回転掘削に比べ

保安技術や掘削技術では、従来の回転掘削に比べ て大きな掘削速度が得られる打撃掘削の岩石掘削 特性を究明するとともに、硬質岩石を効率的に掘 削できる耐熱性多結晶ダイヤモンドビットの開発 を進めている。図5に、4in.のローラコーンビッ トを用いて沢入花崗岩(一軸圧縮強度:210MPa) をビット回転数50rpmで回転および打撃掘削した ときのビット荷重と掘削速度との関係を示す。図 中の〇印が回転掘削、▲と■印が打撃掘削のデー タである。図から明らかなように、打撃掘削のデー タである。このように、打撃掘削の採用は掘削速 度の増大に極めて有効であることがわかった。今 後、掘削に要するエネルギーの観点からも、岩石 の回転および打撃掘削特性を評価していく予定で ある。



また、石炭鉱山の保安計測システムのリスク・ア セスメントから、安全対策技術の不整合の存在の 可能性の抽出を行うとともに、露天掘り鉱山にお けるハザードテーブルを検討中である.また、地 下開発におけるヒューマンファクターの支援の視 点から、特に避難安全性の検討を行っている.こ れらの成果は、鉱山保安法へのリスクマネジメントの導入の技術的根拠として行政に活用されている。さらに、地下資源開発に対する人間活動のリスク・アセスメント研究のポテンシャルを発展させて、CO₂地下貯蔵技術開発におけるリスクマネジメントのための、クリティカル・インベントリー 構築の検討も進めている(図6)。

一方、地質分野の重点課題であるCO₂地中貯留に関 連して研究として、想定される貯留層の地質環境 に対応したCO₂鉱物固定メカニズムを、ナチュラ ル・アナログの観点から一覧した上で、最終的に 選択された帯水層貯留に対して、「自生炭酸塩形 成」を可能な自然メカニズムとして選び出した。 帯水層でのCO₂鉱物固定の究極モデルとして、高空 隙率砂岩での炭酸塩セメント形成(写真1:北海 道,石狩層群の例.画面横=1.3mm)を考察した。



写真1. 石狩層群の中の炭酸塩



第2部:グループおよび個人の研究



地質バリアグループの紹介 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
- グループ員 楠瀬勤一郎 丸井敦尚 長秋雄 宮越昭暢 麻植久史 (テクニカルスタッフ)
- 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動変化観測 CCOP 地下水データベースの構築に関する 研究

3. 平成 16 年度までの主な研究の進捗の状況

3-1 地下深部岩盤初期応力の測定

3-1-1 研究の目的と研究概要

わが国では高レベル放射性廃棄物を地下 300 m以深に地層処分することになっている。この ような地下深部での地下空間の建設において、 地下地質環境の一つである岩盤初期応力状態の 測定・評価は重要である。これまでに工学分野 においては、地下発電所・鉱山・トンネルとい った山岳地域で応力解放法によってなされてき ている。地震学分野においては、地震活動の活 発な地域で水圧破砕法による測定がなされてき ている。本研究では、これまでの地下深部岩盤 初期応力測定の空白領域である地球科学的な静 穏域(測地測量による地殻変動量が少なく、地 震活動も低調な地域)において、深さ1000m級 の調査ボーリング孔を掘削し、各種岩盤調査と 水圧破砕法等による岩盤初期応力の測定を行う。 この調査孔での応力測定結果や既存応力測定デ ータから、国内の地下深部岩盤での応力状態、 地質条件との相関、応力値の地域性等を評価し、 国内での応力値の深さ分布をモデル化する。

3-1-2 平成 16 年度の成果

平成 16 年度は、全年度までに測定した深さ 750m までの応力値を評価する目的で、応力測定 孔周辺の地質調査・屈折法弾性波探査・電気探 査・コア物性試験・亀裂面物性試験・2 次元数 値解析による広域応力場の評価を行った。

周辺地質調査では、応力測定孔を中心として 南北 4km・東西 4km の地域を対象とした。調査 地域の花崗岩類には従来から粗粒相と細粒相の 存在が指摘されてきたが、調査の結果細粒花崗 岩が粗粒花崗岩の構造的上位に薄く重なること が明らかになった。また粗粒花崗岩内にも厚さ 1 mほどの層状細粒花崗岩がほぼ水平に迸入す る構造も見られた。750m ボーリング孔でも細粒 花崗岩と粗粒花崗岩の境界は 30 度以下の浅い 傾斜のものが多い。これらから、応力測定孔周
辺の花崗岩体の内部構造は粗粒花崗岩中に細粒 花崗岩が緩傾斜で迸入する構造であると推定さ れた。応力測定孔で見られた深さ 420m 以浅の変 質帯の東西方向の幅を確認する目的で、屈折法 弾性波探査と電気探査を実施したが、変質体の 幅を確認することはできなかった。コア物性試 験では、岩級区分の劣化に応じて、一軸強度・ 引張強度・弾性係数等の低下が確認された。物 性値低下の度合いは CM 級・CL 級において顕著 であった。割れ目のせん断強度試験の結果では、 岩種・硬軟等の4グループで大きな差異はみら れず、ピーク強度での粘着力 2.2MPa、摩擦角 35.7 度、残留強度の摩擦角 30.0 度であった。 また、割れ目のせん断剛性と初期鉛直剛性・最 大閉塞量を測定した。割れ目のせん断剛性は割 れ目沿いの風化・変質がみられない場合は法線 応力とよい相関が見られたが、風化・変質があ ると相関が悪かった。2次元数値解析は母岩と 割れ目の変形を別々に扱う複合降伏モデルで実 施した。採取コアでのコア硬さ分類より 750m までを18層に大別し、ボアホールテレビューア 観察による割れ目分布より750mまでを26層に 大別し、これらを複合して 36 層に分帯分けを行 った。各分帯の変形定数は硬さごとに変形係数 を仮定し区間長の重み付き平均値とした。解析 結果では、原位置応力測定結果と概ね合致する 結果を得た。

原位置作業は平成16年度で終了させ、調査実 施箇所が保安林内であったため岡山県の指導に 従って現状復帰と植樹を行った。

3-2 塩淡境界面形状把握調查

3-2-1 研究の目的と研究概要

塩淡境界面に沿った地下水流動は、核種が処分 場から生物圏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 に沿った地下水流動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。本研究では、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動を 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。このため、 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、岩石一 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。

3-2-2 平成16年度の成果

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。これを受けて、平成15年度に、茨城県東 海村の日本原子力研究所の敷地内に、2 k m X 2km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。試験地内にある加速器リンクの建設 予定地には、日本原子力研究所により、多くの 浅層地下水の観測井が設置され、塩淡境界面の 上面が観測されている。本研究では、日本原子 力研究所敷地内外に、これらの井戸を補完する 形で地下水観測井の整備を行い、塩淡境界面の 位置とその変動の観測を開始した。また、電気 探査と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。観測井掘削時に地質サン

プルの分析や各種の物理検層等の結果から、試 験地の深度200mまでに2層の滞水層があり、 それぞれに塩淡境界面が存在することが確認さ れた。平成16年度は、地下水観測井のデータ から、加速器リンク工事による地下水汲み上げ に伴って、海側より塩水地下水が内陸に浸入し てきた様子を明らかにすることができた。海水 準下40mにおいて地下水汲み上が行なわれて いるが、塩水地下水の浸入は、汲み上げ深度よ りも浅い、海水準下10m程度より上部の帯水 層に限られている。また、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、岩石一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こ とを目的として、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。



図 1 三次元的に見た塩淡境界面形状、深度 200mまで

- 3-3 地層処分技術調査等 (沿岸域断層評価手 法の開発に関する研究調査)
- 3-3-1 研究の目的と概要 海に囲まれたわが国では、処分場を考える上

で沿岸域の断層・破砕帯についての情報は、立 地および生物圏への各種移行経路を考える上 で無視することはできない。しかし、沿岸域 の比較的水深が浅い場所での地下構造調査は、 国等の各機関が様々な目的で行なっているも のの、統一的なコンパイルはされておらず、 また、陸域・海域で各々調査された地下構造、 特に断層・破砕帯等を統合する手法も確立さ れていない。本調査では、地層処分場の候補 地選定の際に重要な考慮事項となる可能性が ある、沿岸海域に於ける断層・大規模破砕帯 の分布と性状を、隣接する陸域と海域の活断 層調査文献から推定し、評価する手法を確立 する。

本調査では、候補地が沿岸域に選定された場 合の調査に必要な、既存データや調査手法に ついての基盤情報を整備するとともに、典型 的な調査事例の観測データを用いて、陸域断 層データと海域断層データの統合を試み、デ ータ統合における技術的な問題点を明らかに し、統合手法の最適化について調査する。

3-3-2 平成16年度の成果

これまでに、全国展開で沿岸部の地下構造の 解明に取り組んだ事例は少なく、国の諸機関 に地下構造調査データが断片的に散在するこ とが予想された。平成16年度は、平成15 年度に引き続き、陸域・海域の地質・地形の 調査を行っている産総研と国土地理院、海上 保安庁、海洋研究開発機構、石油天然ガス・ 金属鉱物資源機構が所有する断層・破砕帯調 査データの調査特性を調べ、データの存在す る場所やデータについての概要、関連情報を 一括した索引データ(メタデータという)の収 集を実施し完了した。メタデータは、データ そのものでないので、公開にあって著作権な どの問題が少なく、かつ、これらのデータを 利用するために必須な情報である。この調査 により、これらのデータがどの程度存在し、 どの程度の精度と深度で利用可能な状態にあ るのかを知ることが可能になると考えている。 諸機関の沿岸域データを公開する為、ワンス トップ・ポータルサイトの設計を行なうとと

もに、ネット上で公開する際の課題を明らか にした。

沿岸域の断層等の性状を明らかにする為、沿 岸海域の文献データと沿岸陸域の文献データ を統合することが求められる。しかし統合に 際しては、日本の陸域の標高は、基準地点で の平均海水面を基準として実計測された地形 モデル何に対し、水深データは、海域ごとの 平均潮位面の最低線を基準とするなど陸域と 海域の調査結果を統合する際にはさまざまな 問題が存在する。平成15年度に、陸域断層 調査文献と海域断層調査の結果を統合する際 の技術的な問題点に関する総合的な調査を行 い、断層・大規模破砕帯の分布と形状を明ら かにするための諸要素を検討した。この結果 を受けて、本年度は、沿岸海域の文献データ と沿岸陸域の文献データを統合する手法につ いて検討を行い、房総半島沿岸域を例に統合 を試みた。

3-4 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

3-4-1 研究の背景・目的・目標

これまでに実験室レベルで提案されている光 音響分光法を用いた長期安定水分センサーを現 場用に開発し、その実用化に関する研究を実施 する。このため、最初の3年間では実験室レベ ルのセンサーシステムを実用化するため、励起 光源の開発、レーザー伝播用ファイバーケーブ ルの選定、ディテクターの高精度軽量化等を行 う。その後2年で、観測井を設けて地下水位を 変動させながら水分変化を観測する現地適応試 験を実施する。

放射性廃棄物の地層処分において、その安全 性を評価する時に地下水の挙動を的確にとらえ ることが必要不可欠である。現在の我が国の地 下水モニタリングならびに挙動予測技術におい ては、いくつかの世界をリードする点といくつ かの限界がある。これを地層処分の地下水流動 に沿って核種拡散シナリオにあてはめると; (1)塩淡水境界に沿って深部から上昇する地下 水流動に沿って核種が拡散する。地下水の上向 き流動速度を求める必要がある。この課題に対 しては、産業技術総合研究所(旧地質調査所) が世界に先駆け既に堆積域の沿岸海低下で地下 水海底湧出を観測する方法を確立している。こ の手法を用いて、近年地下水の上向き流速を求 めることができるようになってきた。

(2)掘削工事に伴い空洞化した処分サイトに再 び地下水が侵入した場合、まず地下水の水分量 と地下水の圧力の間、淡水と塩水との間でのヒ ステリシス問題がある。地下水を抜き取るとき と再度注入するときの不可逆性に関する問題 (ヒステリシス)は、地下水頭(水圧)値の急 激な増加を生むことで落盤などの被害を発生さ せる原因になるほか、注入水と周辺地下水との 間で密度流を発生させ核種の拡散を引き起こし てしまうことになる。

この密度流や将来的に考えなければならない 人工バリア近傍のガス移行問題などが糸口とな って地下水流動が開始すると、それまで流動し ていなかった地下水までもが流動の対象となる ため、将来行われている地下水流動シミュレー ションでは予想できなかったような短い時間で 核種が拡散するおそれがある。そこで、本研究 ではこれらの地下水に関する実証的な研究を実 施することとした。

これまでに岩盤の水分量や水質に関しては 数々の方法で測定されているが、どれも地層処 分問題が対象とするような長期的な観測を考慮 しておらず、センサーの連続使用の限界は長い ものでも数年である。これでは使用に耐えない ため、本研究では光ファイバーケーブルを利用 した新たなセンサーの開発を試みた。光源やデ ィテクターを地上に置き、センサー(石英ガラ ス製)を先端につけたファイバーケーブルだけ を処分地坑道に挿入することで、長期的な観測 を実現した。

参考文献

- 産業技術総合研究所 2005
 - 平成16年度 塩淡境界面形状把握調查 報告書

産業技術総合研究所 2005

平成16年度 沿岸域断層評価手法の調 査研究 報告書



物理探査研究グループの紹介 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 http://unit.aist.go.jp/georesenv/explogeo/

1. グループの研究目的

放射性廃棄物地層処分、CO₂地中貯留、土壌・地下 水汚染、土木分野等の地圏環境分野における地盤・岩 盤の評価やモニタリング、及び、メタンハイドレート、地 熱等の資源分野における地質構造調査に不可欠な物 理探査技術の高精度化を目指し、各種探査手法の技 術開発と適用研究を行う。平成17年度は、放射性廃棄 物地層処分場の岩盤評価と長期モニタリング、地下水 環境・土壌汚染等における浅部地質環境評価、土木構 造物メンテナンス、地盤液状化ポテンシャル評価、CO₂ 地中貯留における地層物性評価などを対象とした物理 探査技術の開発を行う。また、技術シーズ開拓のため の基盤的研究を進める。

2. グループの概要

 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 光畑裕司 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) Soon Jee Seol(契約職員) 松島 潤(産学官制度、東京大学)

- 2) 平成 17 年度の研究テーマ
- 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」
- 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」
- 産総研ハイテクものづくり「地盤災害予防のための土 木建造物メンテナンス用核磁気共鳴物理探査装 置の開発」
- ほか
- 3) 研究の概要
- a) 地層処分場の岩盤評価と長期モニタリング

地層処分場の岩盤評価のため、人工信号源電磁探 査(CSEM)測定システムのプロトタイプの製作と性能試 験、CSEM 法 3 次元順解析プログラムの改良、不均質 構造の影響を考慮した反射法 3 次元散乱重合法の高 精度化を行う。また、処分施設の長期安定型センシン グのため、熱物性量、スペクトル誘導分極(SIP)及び比 抵抗の計測によって、廃棄体周囲の温度・含水率の変 化をモニタリングする手法を開発する。

b)土木構造物メンテナンス

土木建造物のメンテナンスのため、トンネル等のコン クリート構造物の中の亀裂・空隙を計測する NMR 計測 装置を開発する。今年度は探査深度 5cm を有するプロ トタイプを製作する。

c) 地盤液状化ポテンシャル評価

地盤液状化ポテンシャルの総合的な評価手法の開発 のため、ER-VPT(比抵抗貫入振動試験)による原位置 計測を継続するとともに、電磁マッピング、NMR 原位置 (ペネトレータ)計測装置のプロトタイプ製作、地盤試料 のX線CTによる液状化可視化モデル実験等を行う。 d) 浅部地質環境評価

地下水環境、土壌汚染等における浅部地質環境評価のため、電磁マッピング法のノイズ除去法等のデータ 解析法の研究、複数帯域地中レーダ探査のデータ解 析法の開発、パーカッション掘削を用いる SWD 法の開 発、ダイレクトプッシュ法による原位置物性計測法の開 発、多周波数3次元比抵抗探査装置の開発等を行う。 e) CO2 地中貯留における地層物性評価

地中貯留された CO2 の挙動を地震波を用いてモニタ リングするため、地震波伝播の室内実験および既存地 震探査データの解析を行い、注入された CO2 が岩石 の力学・輸送特性に及ぼす影響を明らかにする。

f) 物理探查技術の基盤的研究

地圏における資源開発及び地質環境評価のため、フ ィールドデータへの適用を重点に、物理探査による地 下構造の高精度イメージングのための技術開発を行う。 今年度は、韓国地質資源研究院との地熱資源調査に 係る電磁探査法のデータ解析法について共同研究、 及び、地震探査データ解析法(全波形トモグラフィ等) に関する研究を行う。 平成17年度の進捗状況

- 1) 地層処分場の岩盤評価と長期モニタリング
- a) 岩盤評価のための物理探査法開発

人工信号源電磁探査法システムの開発において、試 作品である24ビットと16ビット受信器及び高出力送信 機を用いて、茨城県茨城町周辺でデータ取得野外実 験を実施し、システムの改良必要点を明らかにした(図 1)。また地質構造に対応したデータが取得できることを 確認した。さらに3次元モデリング手法開発に関して、 有限要素法によるモデリングプログラムを試作し、計算 精度や境界条件などの改良について検討を行っている (図 2)。

反射法地震探査データの解析について、散乱重合法 の高精度化のため、散乱重合による速度構造解析法を 開発し、従来の CMP 重合法による速度解析結果と比 較した(図 3)。散乱重合により、地下構造に整合した速 度を推定することができ、地震解析断面も精緻さを向上 させることができた。



図 1:東茨城台地での野外データ取得実験における人工 信号源電磁探査(CSEM)法と AMT 法の測点配置および信号 源として設置した接地電線 Source A と B の配置。矩形で 取り囲んだ領域は、坑井により上総層群の不連続が推定 されている範囲を示す。



図 2: CSEM 法データの 2.5 次元解析により推定された比 抵抗構造モデル。

b) 処分施設の長期モニタリング

地層処分場の中長期的な監視技術として光ファイバ ーを用いた手法は、その耐久性や広域監視性で有用と 考えられる。本研究では、光ファイバーとケーブルヒー タを用いるハイブリッド熱物性量センサを適用するが、 実際の設置においては、ボーリング孔を利用する必要 である。その場合、孔内における熱源とセンサの位置関 係や充填物質およびケーシングが問題になると考えら れる。そこで、数値シミュレーションによる検討および屋 外実験を行い、ボーリング孔内計測における課題につ いて検討を行った。

数値シミュレーションにより、ボーリング孔の各位置に

おける対数温度勾配は、岩盤の熱伝導率が水平方向 に一定の場合、最終的に一定値となることが判明した (図 4)。岩盤の熱伝導率は、この対数温度勾配から求 めることができるため、ボーリング孔の熱容量や熱伝導 率、ケーシング等の影響は受けない。次に、60mのボー リング孔を用い、充填材を水として熱伝導率検層を行っ た(図 5)。地層の違いによる熱伝導率の差が明瞭に現 れている。なお、ここで得られた熱伝導率の値は、地中 熱利用のために行われた熱応答試験の結果と整合す る。



図3:東海沖海上地震探査データに対し、CMP 重合(上)およ び散乱重合(下)による速度構造推定および重合処理結果。 カラーは速度を、陰影は地震反射断面を表す。



図 4: ボーリング孔内の3ヶ所における温度上昇のシミュレー ション結果。時間軸は対数。

2) 土木構造物メンテナンス

土木建造物のメンテナンスのため、トンネル・ダムなど のコンクリート構造物中の欠陥(亀裂・空洞)を非破壊で 原位置計測できる NMR(核磁気共鳴)計測装置を開発 中である(図 6)。NMR は、水分子から直接シグナルを 得るので、コンクリート中の水で満たされた亀裂の幅や 空洞のサイズを定量的に検出できるという特長がある。 現在の進捗状況は、探査深度 1.5cm のプロトタイプ(図 7)を完成させて屋外での試運転を開始したところである。 また、磁石と高周波回路の高度化による探査深度 5cm を達成すべく、現在、磁気回路とコイルを設計中であ る。



図 5: 深度 60m のボーリング孔内で行った加熱実験によって 得られた深度別の熱伝導率。



図 6:トンネル壁の NMRスキャン作業風景の概念図。永久磁 石で壁の中の水分子中の水素原子核を歳差運動させ、その 歳差運動をコイルで検出する。



図 7:昨年度完成した NMR スキャナ(探査深度 1.5cm の プロトタイプ)。今年度は、マグネットを大型にし、高周波 出力を増加させて、壁から 5cm 奥にあるプロトンを検出 できるようにする。

3) 地盤液状化ポテンシャル評価

土木構造物の液状化対策において、地盤の動力学 的な液状化強度の予測は極めて重要である。本研究 では、振動機構を有する貫入プローブを地盤に貫入さ せ、加振加速度に対する地盤の間隙水圧および比抵 抗の応答から動力学的な強度を評価する計測手法の 開発を行っている。図8は、開発した貫入プローブを用 いた原位置実験で計測された地盤の加振加速度と比 抵抗変化を示した図である。液状化を起こす地層(砂 層)と起こさない地層(シルト層)で加速度と比抵抗の応 答に大きな違いが出ている。砂層の比抵抗が大きく変 化するのは液状化によって密度の増加するためである。 このように、加振に対するレスポンスによって、液状化現 象を発生する地層を確認することが可能である。今後 は、定量的な液状化強度の評価を行うため、室内実験 や屋外実験および理論的検討を行っていく。



図 8:トルコ・北アナトリア断層で実施した VPT 試験における 地盤の加振加速度と比抵抗変化:(a) 液状化砂層、および、 (b) 液状化しないシルト層における計測例。

4) 浅部地質環境評価

トンネル工事における止水グラウティング工法、堤防 や地下ダム建設でのグラウティング工法あるいはコンク リートダム工法やアースダム工法、廃棄物処理場にお ける遮水シート敷設など、地下水の止水や汚水の遮水 は土木工事や土壌環境保全にとって重要な技術であ る。これら工法の機能管理について物理探査の利用を 検討するために、ループ・ループ電磁探査法と地中レ ーダ(GPR)を取り上げ、人工地盤における基礎的な適 用実験を行っている(図 9、10、11)。



図 9:人工地盤漏水実験サイト(奥村組技術研究所)。深さ 2.3m のピットの中央に孔の開いたモルタル壁を設け、ピット 全体に川砂を埋めた。ピットの右側を飽和状態にして、モル タル壁を通しての水の移動を調べる。



図 10:ループ・ループ電磁探査法によって測定された鉛直二次磁場の離相成分(周波数:29kHz)。(a) ピット全体が不飽和 状態、(b) ピット全体が飽和状態、および(c) ピット右側は飽 和状態で、左側の水位が地表面下 1.7m の状態。二次磁場と 一次磁場の比を ppm で示す。



図 11:ピット右側の水位は地表下 0.68m、左側は地表下 1.4m の状態におけるワイドアングル GPR データの CMP 重合処理 結果。(a)電磁波反射断面、および、(b)平均的電磁波速度。 反射断面には、水位面からの電磁波の反射が見られる。左 右の地層での水分率の違いが速度変化として捉えられてい る。

5) CO2 地中貯留における地層物性評価

異方性の強い頁岩の空隙に CO₂ が含まれるとき, CO₂ の状態変化に伴う弾性波速度異方性の変化を調 べている。図12 は S波の伝播方向による群速度で、振 動方向の異なる二つの S 波(qS 波と SH 波)を示す。 圧力が低下して CO₂ が液体(赤線)から気体(緑線)に なると、群速度に見られる異方性が顕著に変化する。 特定方向では qS 波の速度低下が大きい。結果はキャ ップロック層への CO₂ 漏洩を地震波から検出する技術 に利用できる。



図 12:CO2を含む頁岩の S波の伝播方向による群速度。

- 6) 物理探查技術の基盤的研究
- a) 韓国における電磁探査法の共同研究

韓国地質資源研究院(KIGAM)との共同研究として、 韓国南東部のポハン地域における低エンタルピー地熱 開発および済州島における火山・地熱地質構造調査 のため、MT法・AMT法の適用研究、海水を考慮した2 次元、3次元解析法の研究を実施している。



図 13:ポハン地域における MT 法データの3次元解析結果。 モデルの日本海(東海)に相当するセルに海水の比抵抗値を 割り当てている。

b) ランダム不均質構造を考慮した地震波探査の研究

従来の地震波到達時刻から波線計算によって地下構造を求めるトモグラフィ手法では、大まかな地下構造 (長波長構造)のみが求められていた。しかし、実際にはより細かい構造(短波長不均質構造)が存在する。これは分解能以下であるから、ランダムな不均質構造と考えることができる。ここでは、地下構造を長波長構造に短波長のランダムな構造が重なったものと考え、ランダム不均質構造によって散乱される波による波形のゆらぎを考慮した地震波の解析方法を研究している(図14)。それにより、反射法やトモグラフィによる地下構造決定の信頼性と精度向上に生かすことができる。



図 14:地震トモグラフィの数値実験結果。短波長ランダム不 均質を含む構造(左)は通常の波線トモグラフィ(●発振点、 ☆受信点:坑井間トモグラフィ)では、右の図のようなイメージ しか得られない。



第2部: グループの研究

地圏流体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

地圏の流体・熱・化学種の循環系を対象に、挙 動解明・予測のための数値シミュレーションによ るモデル構築や地球物理学的観測等によるモデル 検証について基盤研究を進め、帯水層に圧入され た二酸化炭素挙動のモデリング技術の開発や地熱 貯留層管理技術の改良などを行う。CO。帯水層貯留 に関わるモデリングおよびモニタリング技術の開 発では、帯水層のCO₂隔離性能ならびに貯留ポテン シャルの評価のために、CO2の臨界点を含む10-100℃の条件下での水・CO2の多成分混相系につい て数値シミュレーション技術の基盤を確立する。 また地下深部の帯水層に圧入されたCO₆の挙動を 把握するための各種地球物理モニタリング技術に ついて、それぞれの手法の高精度化を図ると同時 にヒストリーマッチングへの適用性や漏洩検出能 力などを評価する。

地熱貯留層管理技術の開発では、民間企業との 共同研究として、各種モニタリングデータを統合 した貯留層モデルの改良を行い、その成果をソフ トウェアユーザ会などを通して普及する。地圏に おける物質の循環・集積メカニズムの解明と評価 に関する研究では、流体循環系の数値モデリング 技術ならびに野外観測技術について室内実験を含 む基盤的・萌芽的研究を進め、ユニット間の連携 などにより環境評価や資源探査の分野への展開を 図る。

2. グループの研究資源

 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・長谷英彰(非 常勤)

*当部門他グループより分担:安川香澄 *地質情報研究部門より分担:松島喜雄

2) 予算

運営費交付金「地圏流体ダイナミクスの研究」、 「二酸化炭素地中貯留のための基礎的研究」/RITE 委託費「高精度地中挙動予測手法の研究」/内部 グラント「良質な粘土鉱床の探査・評価技術の開 発」、マッチングファンド1件、共同研究費2件/ 深部地質環境 RC 委託費「堆積岩地域の物理探査に

よる調査」など

3. 平成 16 年度までの成果概要

「貯留層変動探査法システム統合化のための共 同研究|をH14-16年度にわたり大霧地域(日鉄鹿 児島地熱)ならびに奥会津地域(奥会津地熱・東 北電力)にて実施した。H16年度は、H15年度まで に取得した絶対重力計を用いたハイブリッド測定 データの再解析を行うとともに、補足調査として AMT 法による3次元電磁探査を実施し、大霧地域 生産ゾーンの比抵抗構造について詳細に検討した。 また、これまでに取得した AE の臨時集中観測デー タについて解析を行った。統合ヒストリーマッチ ングについては、データベースと数値シミュレー ションの連携を実現し、モデリング作業に適用し た。多岐にわたるデータを扱う実フィールドのモ デリングにおいて作業能率を大幅に向上させられ るとの見通しを得た。統合ヒストリーマッチング の結果については、WGC2005 にて公表。

奥会津地域については、H16 年度は、柳津西山 地熱発電所の定修前後に自然電位モニタリングを 実施し、生産の一時停止に伴う変動を検出した。 この変動は微細であるがH14 年度とほぼ同じパタ ーンを示し、ヒストリーマッチングの結果、気液 二相ゾーン内の液相流体の流動変化を反映したも のであることが判明した。統合ヒストリーマッチ ングについては、大霧と同様、データベースと数 値シミュレーションの連携を実現し、モデリング 作業に適用した。これまでの観測結果ならびに統 合ヒストリーマッチングの結果は WGC2005 にて公 表。

地熱貯留層管理技術について、三菱マテリアル、 秋田地熱、東北水力地熱エネルギーとの3件の共 同研究を継続し、自然電位モニタリングや圧力遷 移テスト解析などを実施した。また昨年度までに 実施した共同研究に関して、九州電力との絶対重 力計を用いたハイブリッド観測については中間報 告書作成、日本重化学工業との森地域での自然電 位モニタリングについては解析結果の国際誌投稿 などを行った。断裂型貯留層での圧力遷移・干渉 データの解析に関しては、インバージョン解析の 結果を国内誌に公表した。また、平成15年度に公 表済みの論文が日本地熱学会賞論文賞を受賞した。

貯留層シミュレータと地球物理学的ポストプロセッサをベースとした解析技術については、ユーザ ー会などを通じてその普及を図った。







図2 大霧発電所生産一時停止時にハイブリッド観 測により検出された重力変化。変動パターンは正負 各1個の変動源で定性的に説明できる。このデータ をヒストリーマッチングの中で再現することで、貯 留層モデルの改良、特に上部蒸気ゾーンの評価に役 立つことが期待される。



図3 大霧地域での臨時観測により明らかにされた 微小地震活動。補充井掘削計画などに活用されてい る。



図4 柳津西山発電所 H16 定期修繕時に観測された 自然電位変動。変動量は運転開始時のものに比べ小 さく、電極設置法などの工夫により取得が可能とな った。H14 のものとほぼ同様のパターンを示し、ヒ ストリーマッチングのための貴重なデータが得られ た。



図5 上の岱地域でのパルス的注水による圧力 干渉データ。パルス幅による水理拡散率の変化か ら断裂型貯留層の特性を推定。

基盤研究としては、流体を含む岩石の複素比抵 抗、ゼータ電位等について室内実験を継続し、よ り高精度のデータ取得に成功した。大学等との連 携による火山地域での地球物理学的観測としては、 阿蘇火口付近での AMT 法調査、有珠西山地熱地域 での5回目の電気探査・地温測定などを実施した。 弾性波シミュレーションについては、フラクチャ ーなどの強いコントラストがある場合でも安定し て計算できる新しい差分法シミュレータを開発し、 従来の差分法、有限要素法との比較検討を行った。 成果公表のうち、ゼータ電位測定については、国 内外の火山の岩石についての体系的な測定結果を 国際学会などへ発表した。また、火山体の SP 発生 メカニズムに関する数値シミュレーションについ ては、国際誌に公表するとともに、ニュージーラ ンド・ホワイト島の観測データのモデリング結果 を国際学会で発表した。







図6 多くの火山で観測されている SP の "W" 字型プロファイルを数値シミュレーシ ョンで再現し、火山活動監視の分野に新たな 知見を提供した。



図7 2000年有珠火山噴火で新しく生じた西山地熱地域の変化を探るため、2000年12月、2001年10月、2002年3月、2002年12月、2004年12月に比抵抗法と地温の繰り返し測定を実施した。地表付近の地温と見掛比抵抗とは負の相関を示す。高温帯に当たる低比抵抗帯は周辺部や深部へと拡大しているが、その変化の速度は遅くなっていることがわかる。

平成 14-16 年度に実施した NED0「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、 CO₂地中貯留に係わる地球物理学的モニタ リング技術ならびに地下流体流動モデリング技術 について研究を進めた。澄川地域では、H15 年度 の空気圧入実験に引き続き、CO₂注入基礎実験を行 い、 CO₂注入に起因する坑井周囲地表の重力・SP の変化、2次元断面上の比抵抗変化を捉えるのに 成功した。また、従来のポストプロセッサに加え、 新たに開発した反射法ポストプロセッサを仮想の 帯水層モデルに適用し、CO₂注入によって発生する 地球物理学的観測量の変動について検討した。成 果は国内学会発表の他、報告書としてまとめた。

「超臨界 CO_2 対応貯留層シミュレーション手法に 関する研究」では、帯水層へ注入した CO_2 挙動の数 値シミュレーション手法をより高精度化すること を目標に、2 年間の予定で電源開発との共同研究 (マッチングファンド)を開始した。H16 年度は 汎用貯留層シミュレータ STAR 用に新たに開発し た気 (CO_2) ・液 (CO_2) ・液 (H_2O) 三相の状態方 程式を用いて例題計算を行った。気 (CO_2) ・液 (H_2O) 二相条件については従来の状態方程式 BRNGAS と の比較計算を行い、BRNGAS の適用限界を明らかに した。

「熱・熱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した。

「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 実施し、新たな知見を得た。

「地質環境の数値モデリングに関する研究」(深 部地質環境研究センターの研究分担)では、会津 盆地西縁部などにおいて MT 法電磁探査、高密度電 気探査、SP 法探査などを実施し、水理モデル構築 のための基礎データを取得し、報告書にまとめた。 4. 平成17年度の研究計画

「二酸化炭素帯水層貯留に関わるモデリングお よびモニタリング技術の開発」では、帯水層の持つ C0₂隔離性能及び貯留ポテンシャルの評価のため に、地下深部の帯水層に圧入されたC0₂の挙動を把 握する地球物理モニタリング技術、ならびにC0₂の 挙動を予測するモデリング技術について研究開発 を進める。H17年度はC0₂臨界点近傍を扱う数値 シミュレーション技術についての高精度化、シミ ュレータ相互比較などを行うとともに、関連技術 について文献調査やモニタリング技術について野 外調査等を実施する。

「地熱貯留層管理技術の開発」では、民間企業と の共同研究として大霧、上の岱地域での微小地震 観測等を実施するとともに、大霧、奥会津、上の 岱地域について各種モニタリングデータを統合し た貯留層モデルの構築・改良を行う。また、ソフ トウェアユーザ会の運営など貯留層管理技術の普 及を図るとともに、DOE予算によるEGSプロジェク トに参加する。

「地圏における物質の循環・集積メカニズムの解 明と評価に関する研究」では、火山性熱水系や非火 山性広域流動系を対象に流体循環系の数値モデリ ング技術について研究開発を行う。電気・電磁気 探査手法については、数値モデルの構築・検証の ための野外観測技術として室内実験を含む基礎的 研究を進めるとともに、資源探査や環境評価の観 点から萌芽的研究を行う。地質情報RI重点化予算 「火山性流体移動連続観測による噴火予知技術の 高度化に関する研究」についてはマグマ活動RGと の連携により、連続SP観測や電磁探査を担当する。

以上に加え、深部地質環境RCへの研究分担として、「地質環境のベースライン特性に関する研究」 のうち物理探査モニタリングについて研究開発を 進める。H17年度はモデル地域での比抵抗、自然電 位調査を実施するとともに、重力、微小地震等の モニタリングについて準備を進める。また、概要 調査のガイドラインにかかる技術資料作成(H18 年度)に資するため、関連技術についてのレビュ ーを行う。



有機地化学研究グループの紹介

Introduction of the Organic Geochemistry Research Group

有機地化学研究グループ長: 坂田 将 Leader, Organic 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

地圏におけるメタン等炭化水素の生成,集積, 分解プロセスに関する生物・有機地化学的解析を 通じて,地球システムにおける物質循環に関する 基盤的情報を提供するとともに,燃料資源の開発, 地球環境保全に資する研究を行う.燃料資源地質 研究グループと共同して,当研究部門の重点課題 「低環境負荷天然ガス資源の評価・開発技術」に 取り組み,各種天然ガス資源の成因の地化学的解 析を目指す.

2. グループの研究資源

| 1) グル | レープ員 | |
|-------|------|------------------|
| 坂田 | 将 | (リーダー) |
| 猪狩修 | 发一郎 | |
| 金子 | 信行 | |
| 古宮 | 正利 | |
| 鈴木ネ | 右一郎 | |
| 吉岡 | 秀佳 | |
| 小田 | 浩 | 燃料資源地質研究グループより分担 |
| 大庭 | 雅寬 | 学術振興会特別研究員 |

<u>2)予算</u>

運営費交付金 「有機地化学の研究(地質)」 「有機地化学の研究(エネルギー)」 「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」(内部グラント)

委託費

「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」(科研費補助金)

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,メタンハイドレート(MH) 等天然ガスの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し,産 総研バイオ分野と連携して,地下微生物のメタン 生成・消費プロセスを解析する技術の開発・高度 化を行う.

4.17年度前期までの研究進捗状況

1) MH資源評価技術の地化学的研究

地化学分析と培養実験をもとにMH賦存海域の 地下微生物のメタン生成活動の実態の評価と支配 因子の解析を行い,海底MHの成因・メタンの集 積機構の解明に貢献する.室内実験による測定と 統計熱力学的解析をもとにハイドレート相平衡条 件の評価技術を開発する.

- 水溶液の溶媒がガスハイドレートの安定性に 与える影響を考察するため、アルコール水溶 液中で炭化水素ガスや二酸化炭素のガスハイ ドレートの相平衡条件を測定した。その結果、 アルコールの重量濃度が高いほど、また同じ 重要濃度ではアルコールの炭素数が小さいほ ど、ガスハイドレートを不安定化させる効果 が高いことが分った。
- 培養実験を用いたメタン菌によるメタン生成 能力の推定:基礎試錐「東海沖〜熊野灘」コ ア試料に¹⁴Cでラベル化した基質を添加してメ タン生成過程を追跡する培養実験を行い、地 下でのメタン生成速度を生成経路毎に評価した、測定されたメタン生成速度は東海沖コア

試料で 0~0.1 pmol/cm³/day (二酸化炭素還元 経路) と 0~1.0 pmol/cm³/day (酢酸分解経路), 第二渥美海丘コア試料で, 0~0.3 pmol/cm³/day (二酸化炭素還元経路), 0~1.0 pmol/cm³/day (酢酸分解経路) であった (図 1). 全試料を通した傾向としては, (1) メタン生 成速度が低く,特に,表層付近からの試料か らのメタン生成がほとんど検出されなかった. (2) 東海沖,第二渥美海丘ともメタンハイ ドレートを含む層とそれより深いところで, 相対的にメタン生成速度が高い傾向が見出さ れた.



図 1. 南海トラフ(第二渥美海丘)における(a) 酢酸分解経路によるメタン生成速度,(b)二酸化炭 素還元経路によるメタン生成速度

 ・
 脂質バイオマーカー分析によるメタン菌活動
 度の復元:基礎試錐「東海沖~熊野灘」コア 試料中の脂質バイオマーカーの分析を行った 結果, 2,6,10,15,19-ペンタメチルアイコサン (PMI) やヒドロキシアーキオールなど、メタ ン菌由来の脂質バイオマーカーが検出された. 海底表面から BSR の下層までの脂質バイオマ ーカーの鉛直分布が全有機炭素量(TOC)の 鉛直分布と類似性が高かったことから、メタ ン菌の活動は、そこに含まれる有機物量に依 存する可能性があることが推察された(図2). また脂質バイオマーカー濃度が高い深度域と MH 層が一致する傾向が見出された. さらにこ れらの脂質の安定炭素同位体比が PDB スケー ルで約-30‰と高めであったことから、メタ ン菌の活動は主としてメタン生成であること が判明した.



図2. 南海トラフ(第二渥美海丘)堆積物中のメタン 菌脂質バイオマーカーと全有機炭素量の鉛直分布(● は泥質,○は砂質,桃色部はMH層を示す)

2) 石炭起源ガス資源評価技術の地化学的研究

炭層の分布と炭質分析,油ガスの地化学解析等 により,石炭起源天然ガスに関する石油システム を構築し,ガス生成ポテンシャルを解析にする. コールベッドメタン(CBM)のガス組成,同位体比を 測定し,CBMの起源を明らかにする.CBM ポテンシ ャル解析で重要な石炭のガス吸着能力と炭質の関 係を実験等で明らかにする.

- ・ 2003 年に引き続き石狩炭田にある旧赤平炭鉱 坑口より炭層ガス(コールベッドメタン)を 採集した.また、夕張地域で現在進められて いる CO₂炭層固定化実証試験の現場において CBM 生産井(PW-1)より CBM 試料を採取した.
- 北海道天北地域の豊富ガス田は、以前おこなった付随する石油中のバイオマーカ解析から石炭起源である可能性が大きいと「判断されている。今回ガス試料を採取し、炭素同位体比測定をおこなった。
- 各試料の天然ガス組成,¹³C/¹²C,同位体分析結
 果は図3に示している.旧赤平炭炭鉱のデー
 タは前回の分析と一致し、時間的な変化は灰
 ことが確認された.
- 夕張の CBM はメタンが 99%以上を占める一般的な炭層ガス(CBM)と同じ組成であるが、ガスの起源は炭素同位体比から熱分解ガスと判断され、地中での移動や吸着、溶存などによる効果によって C2+以上の成分が失われた可能性が大きい.地層への滞留時間の長さで効果が変化すると考えられる.豊富ガスも分析結果から組成の変化が起きていると考えら

れるが,ガスは地中の貯留層で温水に溶存し た状態で存在しており,その影響による組成 変化が大きいと思われる.



図 3. CBM 等天然ガスのメタンの炭素同位体比と ガス組成よる生成起源の推定

在来型天然ガス資源評価技術の地化学的研究

天然ガス, 鹹水, 堆積物の地化学・微生物分析, 地層水移動シミュレーションをもとに, 水溶性天 然ガス等の在来型天然ガス鉱床の炭化水素の起源 や鉱床成因を解明する.

 ・ 茂原・新潟の水溶性天然ガス田の6坑井で採 取されたスラッジとかん水を、嫌気状態に保 ったまま実験室に持ち帰り、培養容器内で産 ガス層に近い温度で加熱し、生成するガスを モニターした、メタン生成は1ヶ月から3ヶ 月の間継続した(図4)、スラッジ毎にメタン 生成速度は異なり、温度、有機物量と相関は 認められなかった。



図 4. 水溶性天然ガス田のスラッジ・かん水から のメタン生成.

- ・ 千葉県の水溶性天然ガス付随水の化学・同位 体組成から、付随水は海水起源であるが、その酸素同位体組成は鉱物との交換反応を経ていると推定した.また、天然ガス中のメタンの水素同位体組成との比較より、そのメタンは、微生物により二酸化炭素が還元されて生成したと推定した
- 新潟・秋田の油田ガスのネオペンタン/イソペンタン比と 2,2-ジメチルブタン/2,3-ジメチルブタン比の間には直線関係が観察され、これらの比がいずれもガス生成温度に依存しているためと推定された。
- ・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と、シミ ュレータへの入力パラメーターの検討をおこ なった。

4) 燃料資源情報の収集・燃料資源図の編纂

二酸化炭素の炭層固定やガス爆発事故の防止等 のニーズに対応するため、炭田や天然ガスに関す る地質地化学データの収集、デジタル化、データ ベース・資源図の作成を進める.

- 研究用の天然ガス地化学データベースを作成 したが、爆発事故防止の観点から地下浅所の 可燃性天然ガスの分布域についての情報提供 に向けて、地化学データベースとの統合を検 討している。
- 筑豊炭田の地質・炭層対比,炭質データを元 に筑豊炭田図の執筆を進めた.残念ながら原 稿の完成が1年ずれ込んでしまっているが、 炭層の連続を地図上に直接表示することを目 指している。今年度末には CD-ROM 出版物と して出版を予定している.
- CO2 炭層固定化などで過去に収集されている
 炭田資料に関しても興味が寄せられており、
 既存資料のデジタル化を段階的に進めていく
 予定でいる。

<u>5)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</u>

安定同位体分析,バイオマーカー分析,培養実験により堆積物中の微生物のメタン生成・消費活動を評価する技術を開発する.

脂質バイオマーカー分析によるメタン菌活動
の評価:メタン菌や堆積物などの試料を使っ

て、メタン菌由来の脂質バイオマーカー分析 に最適な分析手法を検討・確立した. この手 法を用いて, 南海トラフにおけるメタン冷湧 水域の表層堆積物中の脂質バイオマーカーに ついて分析した結果,アーキオールやヒドロ キシアーキオールなどのジェーテル脂質や, テトラエーテル脂質の一部であった C40 イソ プレノイド化合物などを検出した(図5).こ れらの存在状態別の組成や鉛直分布の特徴か ら、さらには-100‰を下回る著しく軽い安定 炭素同位体比を持つことなどから、これらの 脂質バイオマーカーが, ANME-1や ANME -2と呼ばれる嫌気的メタン酸化を行ってい るメタン菌由来であることが推察され、さら にこのようなメタン菌が現在も活動中である ことが明らかになった.

図 5. 南海トラフのメタン冷湧水域(第二天竜海 丘)堆積物中のメタン菌脂質バイオマーカーの鉛 直分布

7) 有機地化学の基礎的研究

地圏の資源・環境に関する新規研究課題の探索, 新しい有機地化学的技術の開発等,萌芽的・共通 基盤的研究を行う.

- 南関東ガス田において地表湧出ガスと生産ガ スのガス組成・同位体組成を比較した結果, 湧出ガスは同じ地層の中を砂層の上面に沿っ て移動したことが示唆され,断層に沿った垂 直方向の上昇では説明が困難であることが明 らかになった.移動の過程ではメタンのガス 組成や同位体組成は大きく変化せずに,CO2 の同位体組成のみに大きな変化が認められた.
- 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.

- ・ 地熱ガス採取時に使用するゴムチューブから発生する炭化水素について解析を行った。
 その結果、天然ゴム(もっとも一般的に使われているゴム)を用いた場合には、エチレン(ガスの有機起源・無機起源を判定するための重要な成分)が発生し、試料採取チューブとしては不適であることが明らかになった。また、地熱ガス採取には加熱処理したバイトンチューブ・シリコンチューブの使用が望ましいことが明らかになった。
- 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 全般的にエタン濃度が高かった.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、新潟においてはガス田からの拡散 が空気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.

5. 主な論文成果

- 1) 金子信行・猪狩俊一郎:2003 年十勝沖地震 に伴い千歳市泉郷地区で噴出した天然ガス の起源. 石技誌,70,241-249.
- 2) 猪狩 俊一郎:地熱ガス中のRガス採取時 に使用する試料採取チューブから発生す る炭化水素.地質調査研究報告,56,25-29.
- 3) Maekawa T.: Phase equilibria for hydrate formation from binary mixtures of ethane, propane and noble gases (submitted).
- 4) Maekawa T., Igari S. and Kaneko N.: Chemical and isotopic compositions of brines from natural gas fields of dissolved-in-water type in Chiba, Japan (submitted).
- 5) Yoshioka H., S. Sakata, S., and Y. Kamagata: Hydrogen isotope fractionation by *Methanothermobacter thermoautotrophicus* in coculture and pure culture conditions (submitted).

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(平成17年7月31日まで) Leader, Fuel Resource Geology Research Group: Manabu Tanahashi Phone: 029-861-3938, e-mail: tanahashi-m@aist.go.jp 燃料資源地質研究グループ長: 松林 修(平成17年8月1日から) Leader, Fuel Resource Geology Research Group: Osamu Matsubayashi Phone: 029-861-3998, e-mail: matsubayashi-osamu@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
 (7/31 までグループ長;現在当部門の副部門
- 長)

| •/ | |
|---------|--------------|
| 松林 修 | 物理探查、地球熱学 |
| 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 |
| (研究協力者) | |
| 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 |
| 横田 俊之 | 反射法地震探查法 |
| | |

2) 予算

| 燃料資源地質RG H17 宁鼻(8/25 現4 | (土) |
|-------------------------|-----------|
| ・運営費交付金 | |
| 「燃料資源地質の研究」(地質) | 9,850千円 |
| 「燃料資源地質の研究」(エネルギ・ | 一) 600 千円 |
| ・受託研究(石油天然ガス・金属鉱 | 、物資源機構) |
| 「新しい MH 濃集・賦存モデルを考 | 慮 |
| した地化学調査の有効性再検討」 | 予定 |
| 合計 | 10,450千円 |
| | |

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

○天然ガスポテンシャル評価を目的とするジャ パンエナジー石油開発(株)との共同研究の形 で、北海道中軸部に見られる古第三紀~白亜紀 の石炭(夾炭層)を根源岩とする炭化水素ポテ ンシャルの見直しに焦点をあて、当グループと 有機地化学研究グループの研究者とで共同研究 を行ったが、物理探査、坑井データも活用して 資源地質、堆積史、熱史、構造発達史も検討し た。これら今までの共同研究成果を、2005 年 2 月に燃料資源地質図「三陸沖」にまとめて CD-ROM 出版した(図4)。

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

図1 地化学探査対象の海底下浅層部概念図

ガスハイドレート鉱床の探査法、資源評価法を 確立するために、南海トラフ等における野外調査、 試料分析、基礎実験およびモデリング、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、大学等と協力して地 化学探査結果の総合的な解析を実施する。

○石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)よ りの受託研究により、H14 年度実施した「第二白 嶺丸」、15-16 年度実施した東海大学「望星丸」に よる東海沖ー熊野灘の地化学調査の分析解析を、 東大理、東大海洋研、北大理、広大生物資源、高 知大海洋コアセンターとの共同研究により進めた。 また、地化学探査手法の評価および来年度以降の 実施計画を検討する。

○石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC) 受託研究の一環として、H15年度末から16年度初 めにかけて南海トラフで行われた基礎試錐「東海 沖一熊野灘」にて採取されたコア試料の熱伝導率 の実測結果と、同じく試錐孔にて測定された光フ ァイバー地層温度計による温度プロファイルとを もとに、地殻熱流量の推定及びBSR 深度と相境界 深度の関係を考察しハイドレート集積メカニズム に関する検討を進めている。

○「MH21 新規生産手法調査研究委員会」の委員 としてメタンハイドレート堆積層からの新規生産 手法に関して砂泥互層構造対策等についての文献 調査を行い、また海外調査(図2)に参加して成果 を報告書にとりまとめた。

図 2 MH21 調査研究委員会海外調査 (Denver Julsberg Basin における Tight sand gas site での水圧破砕法による天然ガス 生産現場の視察)。

○JOGMEC からの受託研究「日本周辺海域 MH 集 積場の地質学的研究」では富山及び新潟沖海域で のタービダイト貯留岩性状の評価のため、3 次元 物理探査記録等の既存資試料検討を行い報告書に とりまとめた。

○「淡青丸」による熊野海盆の熱流量調査に参加して BSR 分布域での長期式熱流量装置の回収に成功し、現在データを解析中。「淡青丸」による下

北半島東方 BSR 分布域での海底地質調査、さらに「かいよう」による佐渡南西沖でのハイドレート分布域の 調査の航海にも参加した。

- ○メタンハイドレート関連情報交換のため、オール日本の研究者が参加するメーリングリストの運営を 継続している。
- ○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。
- 3) <u>在来型天然ガス資源等の鉱床成因、形成機構</u> の地質学的研究

○韓国の科学技術部(MOST)の国際共同研究事 業費予算により、韓国地質資源研究院(KIGAM)と 産総研地質調査総合センター (GSJ-AIST) の間の 共同研究「日韓第三紀堆積盆の地質対比と石油シ ステムに関する研究」が、今年度から3年間の予 定で始まった。本共同研究では、韓国のポーハン 周辺の堆積盆、日本の新潟、北九州、山陰などの 第三紀堆積盆を主な対象地域とする調査や試料採 取をもとにした地質学的研究やシミュレーション による石油システムの解明が計画されている(図 3)。本年7月には、KIGAMの二人の研究者ととも に新潟含油・ガス堆積盆の地質調査等を行った。 また本年10月には、燃料資源地質研究グループと 有機地化学研究グループの3人の研究者が韓国の 第三紀堆積盆の調査に参加して日韓の堆積盆の比 較研究を進める予定。

図3 日韓第三紀堆積盆の研究対象地域

○石油資源開発(株)からの外部予算である受 託研究「砂岩分布予測についての数学的手法の調 査研究」を新たに獲得し、研究を開始した。

○岩手・秋田・山形県内で一週間と十日間の地

質調査を行い、堆積学的分析と年代測定を行った。 東北脊梁部のテクトニクスと鉱床成因に関する口 頭発表を国際2件、国内1件行い論文を国際誌に 投稿した。

○ノルウェーおよびトルコとの国際共同研究に 基づく地層と現世のタービダイトシステムの比較 研究を国内学会で2件口頭発表した

4) 燃料資源地質図の作成

○我が国全域の燃料資源情報を整備するための 燃料資源地質図の編纂をすすめている。補足野外 調査、情報収集、データコンパイルを進めている。 三陸沖燃料資源図はCD-ROM出版済み(図4)。水 溶性ガス田分布図、ガスハイドレート分布ポテン シャル図についても作業も進めている。

- 図 4 燃料資源地質図No.1「三陸沖」
 - ○ガスハイドレート分布ポテンシャル図として は、日本周辺海域の新しいBSR情報などを主と した最新版作業図を作成中である。
 - ○日本燃料資源図(1992)が古くなっているので、 日本周辺大陸棚資源ポテンシャル評価に合わ せた改訂を計画している。

5) 燃料資源情報の収集

○燃料資源地質データベースを構築中である。 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。

6) 燃料資源地質の基礎的研究

燃料資源の生成機構、探査法、評価法などに関 連した基礎的・萌芽的な研究を行う。根源岩評価 法、資源評価法、海洋地質調査法、地質構造発達 史、堆積構造形成論、日本海の堆積史、地球環境 論、等々さまざまな課題について検討して、その 結果を誌上発表や口頭発表している。

- ○海底試料を用いた地球温暖化災害予測手法の研究 として基礎的分析を行うとともに、深海底での洪 水堆積物について国際誌に投稿し受理された。ま た海底試料から復元された中部日本の過去7万年 間の気候変動について国際誌に投稿した。
- ・ 富山湾の堆積物の化学分析についての共著論文
 を国際誌に出版した。

日本海東縁でのタービダイトによる海域活断層の 評価の研究を行い、AGU での招待講演等の国際口 頭発表3件とテレビ取材1件があり、その成果は 地震調査研究推進本部の評価結果を通じて自治体 の津波防災対策策定に貢献した。

石油技術協会、SPWLA、日本掘削科学コンソーシア ム等の役員、委員として活動した。

大陸棚の資源問題に関して発表し、物理探査学会 の「大陸棚画定研究委員会」で活動。

4. 今後の研究計画

第二期においても、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重点研究課 題として実施する。合わせて、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。

○ガス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 価研究の一環として、新たなMH集積・賦存モ デルを考慮した地化学調査手法の検討を行って その方法を確立すると共に、日本周辺海域の BSR に関する地質解析を進める。

○韓国 KIGAM との国際協力の一環として、 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・地化学的比較研究および海 底ガスハイドレート探査法に関する共同研究を 協力に推進する。

5. 今後期待される主な成果

 1)石炭起源ガス評価技術に関しては、北海道
 や三陸沖堆積盆などについて調査研究結果のま とめを行い、資源ポテンシャル評価に貢献する。
 2)南海トラフ、佐渡南西沖等におけるハイド レート賦存状況に関する野外データの取得と解 析、そして地化学探査法の研究、基礎実験、ハ イドレートの賦存状況をとりまとめる研究を推 進し、国家的課題であるハイドレート研究の一 翼を担う。

3)韓国 KIGAM との共同研究により、日韓に おける炭化水素を胚胎する第三紀堆積盆の比較 研究が進展する。

6. 研究グループの成果公表状況

(2004年4月以降)

誌上発表、単行本など(国内):

加藤 進、小田 浩、壇原 徹:寺泊層底生有孔虫化 石マーカーの年代、石油技術協会誌、69 巻 4 号,

p. 385-394, 2004.

- 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.
- 棚橋 学:メタンハイドレート、沿岸環境学会(編)沿 岸域環境事典、p.243、共立出版、2004.
- 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.

徳橋秀一(2005):タービダイトの話-房総半島はター

ビダイトの一大宝庫です-. 地質ニュース, no.605 (2005 年 1 月), 18-23.

石原与四郎*・徳橋秀一(2005): 房総半島安房層群最上 部安野層の堆積様式一前弧堆積盆を埋積するタービダ イト・システムの一例―. 地質学雑誌, vol. 111, no. 5, 269-285. (*福岡大学理学部)

- 中嶋 健(2005)「メタンハイドレート堆積層からの天 然ガス新規生産手法に関する調査研究」成果報告 書,砂泥互層貯留層形成メカニズム,社団法人日 本エネルギー学会、81-87.
- 棚橋 学、大澤正博、中西敏、小田 浩、佐藤俊二、畑 中実、鈴木 祐一郎、中嶋 健、徳橋 秀一(2005) 燃料資源地質図 CD-ROM 出版「三陸沖」, 地質調査 総合センター.
- 小松原純子、鵜飼宏明、檀原 徹、岩野英樹、吉岡 哲、 中嶋 健、鹿野 和彦、小笠原憲四郎(2005)九州 北西部,下部-中部中新統野島層群のフィッショ ン・トラック年代と沈降速度.地質学雑誌,111(6), 350-360.

中嶋 健 (2005) 紹介 日本の地形3「東北」,日本地 質学会News, 8 (4).

②誌上発表(国際):

- Ohta, A, Imai, N., Terashima, S., Tachibana, Y., Ikehara, K. and Nakajima, T. (2004) Geochemical mapping in Hokuriku, Japan: Influence of surface geology, mineral occurrences and mass movement from terrestrial to marine environments. *Applied Geochemistry*, 19, 1453-1469.
- Tanahashi, M. (2004) 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.

| ③口頭発表(国際) | 合計9件 |
|------------|------|
| ④口頭発表(国内) | 合計4件 |
| ⑤セミナーや依頼講演 | 合計3件 |

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:大谷具幸ほか10名

2)予算

- ・運営費交付金「中小地熱資源の研究」
- ・運営費交付金「地熱資源の研究」
- ・NUMO「熱・熱水の影響評価手法に関する検討」

3. 平成 16 年度の研究計画

本研究グループは,地熱開発促進に向けて,国 内の中核的研究グループとして、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 積極的な働き掛けや貢献を行う. また, 本研究グ ループは,第1期中期計画の主要研究課題として, 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, カルデラに関わ 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. 今年度は 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. 各研究テーマの詳 細については、下欄に詳述したので、ここでは省 略する. 平成15年度からスタートした「熱・熱水 の影響評価手法に関する検討」についても、4) として、グループの研究として位置づける.なお、 今年度は第1期中期計画のまとめの年であり, 「未利用地熱資源の実態解明と資源量評価に関す るシーズ研究」については,研究成果公表を極力 年度内に投稿状態とすべく, 論文投稿 10 編, 誌上 発表 10 編, 口頭発表 20 編を目標とする. また, 比較的新規の「熱・熱水の影響評価手法に関する 検討」については、誌上発表8編、口頭発表2編 を目標とする. さらに、本研究グループは国内の 中核的地熱資源研究グループであることから、グ ループの Web サイトの充実をグループの研究活動 として位置づけることとし、今年度内にグループ Web サイトを充実させることを目標とする.

1) a 基盤内貯留層周辺部の解明: 逸泥ゾーン の 3D 分布をモデル化する. 透水性断裂系の構成要 素間相関性に数値指標を与える.貫入岩体と周辺 の断裂系や接触変成・熱水変質の研究をとりまと める. 地熱系の変動時間測定のため火山性石英の ESR 年代測定法を確立する. 1)b 火山地域地熱 系の解明:大型カルデラ地熱系の熱構造モデル・ ポテンシャル評価のまとめを行う.また、小型カ ルデラ地熱系モデル作成の基礎データを暫定的に 取りまとめる. 1) c 平野部地熱系の解明:平野 部熱水系の賦存環境の多様性を多変量解析法によ り明らかにする. 2) a GIS を利用した評価法の 検討: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 解析・表示法等のケーススタディーの成果を取り まとめる. その一表現形式として, 東北地方を対 象に温泉放熱量分布図の有効性や問題点を評価す る. 2) b アジア地熱資源データベースの研究: 東アジア地域の地熱資源に関するデータベースの 取りまとめと成果の普及・出版を行う. 2) c 地 熱保管コア画像データベース構築:地熱ボーリン グコアの画像データベース構築を継続する.3) 地中熱利用研究:濃尾平野と仙台平野をモデルフ ィールドとして,地下温度・地下水調査,地質構 造調査,水質同位体調査,モデリングなどを行い, 地層分布の予測手法や地下水による温度分布の予 測手法の開発および地下温度分布の変化や地下水 流動の解明等を行う.4)熱・熱水の影響評価手 法に関する検討(受託研究):放射性廃棄物の地層 処分のための基礎的な文献調査として,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,データ収集と解析を行う.

4. 平成16年度の研究成果

1) a 基盤内貯留層の透水性断裂に関する研究 では、透水性分布モデル作成のため、逸泥量と断 層形態との比較検討を行った.その結果、逸泥量 の大きい箇所は低角の断層に伴う場合が多く、し ばしば晶洞や熱水破砕角礫を伴っていることが判 った.資源量の大きい貯留層を探すためには.こ のような低角の破砕帯に着目する必要がある.ま た、断裂系の構成要素間の相関性を、簡易数値モ デルによって定量的に把握することを目標に、反 応-流動系及び断裂の生成-成長過程を検討した. とくに本年度は、菱刈鉱床について断裂系形成に

図 1 菱刈鉱床付近の展張場における平行断裂群 の形成過程のモデル化.

対する母岩の影響を明らかにし(図1),2件のロ 頭発表を行い,1編の論文投稿を準備中である. さらに、地熱地域の岩石についての研究では、花 崗岩中の流体包有物の産状、ガス組成に関するデ ータを再検討し、これまで分析してきた活地熱系 のデータと対比することで、マグマ期~熱水期の 地殻流体の変遷を考察した(図2).

1) b大型カルデラの地熱系の実態解明とポテ ンシャル評価の研究では、阿蘇カルデラでのボー リングコアの解析を行い、阿蘇-4 噴火中に火道が 移動した可能性を見いだした.また、小型カルデ ラについては畑地区で湖成堆積物のすぐ外側に未 報告の凝灰岩を発見し、概略地質図を作成した. さらに、地熱変質岩の ESR 年代測定結果から、地 熱による年代値リセットの確認および古地温の目 安が得られた(図3).

1) c 平野部熱水系の解明の研究では,北海道 石狩低地帯南部の「深部熱水」型資源の流体化学 データを中心に統合処理・解析を進め,成因モデ ルを高度化して西部の火山地域近傍深部の降水起

図 3 秋田県湯沢市川原毛付近の地熱変質帯の ESR リセット年代値分布.

図 4 石狩低地帯南部周辺の熱水系分布の概念モ デル図.代表的な地熱水の特性(灰色は高塩濃度) を示し,ブーゲー重力異常値の断面投影を加えた.

源高温熱水系,東部の逆断層系に沿って時空分布 する化石海水起源熱水系などの特性を説明した (図 4). その成果を口頭発表し,誌上発表に向け て取りまとめを進めた.また,熱水系の発達に重 要な断裂系の特性について,生成-分布の数理モ デル化-数値シミュレーションを進めた.

2) a GIS を利用した地熱資源評価法の研究で は、標準250mメッシューレイヤー系を用いた地 熱資源評価の事例研究として、20万分の1地勢図 「大分」地域について、各種情報重合処理による 2次元的有望地域抽出、簡易数値シミュレーショ ンによる3次元的資源評価を行い、その結果を論 文投稿するとともに、第1期成果の電子公開化に 向けた準備作業を進めた(図5).また、従来の地

図 5 大分」地域の簡易3次元的な地熱資源評価 図.温度等値線と地熱資源型のW-E 方向の断面分 布(深度 0.0~5.0 km)を5つの緯度について示 す.(1)は由布-鶴見・伽藍火山地域,(3)は九 重火山北麓地域,(5)は阿蘇火山地域を含む.

図 6 50kW 級カリーナサイクルを最小単位とする 温泉カスケード発電ポテンシャルの評価例.

熱流体化学・坑井変質データの統合的処理手法, 火山防災と地熱開発との協力の重要性などの検討 結果について,成果発表を行った.さらに,わが 国の高温温泉の上流側に,カリーナサイクル発電 を導入して温泉発電を行った場合の,発電量・市 場規模推定のための予察的研究を行った(図 6).

2) b アジア地熱資源データベースの研究では、 「アジア地熱資源データベース (CCOP プロジェク ト) に関して各ナショナルコンパイラーから、最 終的な報告書となる"CCOP Technical Bulletin" 用原稿を収集し、出版の準備を進めた.また、2004 年10月26-27日に,韓国デジュン(大田)市の韓 国地質資源研究院(KIGAM)において、産業技術総 合研究所(地圏資源環境研究部門)および KIGAM の主催で第6回アジア地熱シンポジウムを開催し た. このシンポジウムは韓国通商産業エネルギー 省,東南アジア地球科学計画調整委員会 (CCOP), 日本地熱学会、および新エネルギー・産業技術総 合開発機構(NEDO)の後援のもとに開催され,韓 国外からは13名の招聘者を含め23名の参加があ り、これに韓国内からの参加者を含めて、総参加 者数は 105 名に上った. とくに今回は KIGAM がか なりの予算を分担したため、日欧からの特別講演 も加わり、プロシーディングスの内容もアジア各 国の最新の地熱開発動向など, 充実した内容とな った (図7).

2) c 地熱保管コア画像データベース構築では, 保管地熱コアのうち未撮影であった 1120 箱をデ ィジタル画像化し,データ整理し,地熱ボーリン

図7 第6回アジア地熱シンポジウムの模様.

図8 地熱コアデータベースの追加データ例.

グコア画像 DB に追加データとしてアップロード 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、第1期中期計画を通じ て, 仙台平野および濃尾平野において, 坑井温度 測定,地下水の同位体分析,自然状態シミュレー ション、熱採取シミュレーションなどを行ってき た. これらの成果のうち、とくに総合的なデータ 収集とシミュレーションを行ってきた仙台平野の 研究成果をまとめて, Proceedings of the 6th Asian Geothermal Symposium や日本地熱学会誌に 論文発表を行った.また、これら国内の成果を、 海外の平野地域に応用するため、今年度はタイの チャオプラヤ盆地(図9)とベトナムのハノイデ ルタにおいて、予察的研究を開始した. 地中熱利 用はこれまで,熱帯地域においては地下温度が高 いため、冷房に利用することが困難とされてきた. しかし、今回の予察的な坑井温度測定の結果、こ れらの地域においても、地下水の涵養域に当たる 平野の頂部付近においては、山岳地域からもたら される比較的低温の地下水のため、地中熱利用の 可能性が出てきた. この研究については, 第2期 中期計画において、さらに発展させる予定である.

4)熱・熱水の影響評価手法に関する検討では, わが国における高温地域の地球科学的特性と成因 を把握するため,および概要調査地区選定とそれ 以降の調査段階における熱・熱水の影響評価のた め、以下の検討を実施した.

(1) 高温地域の地球科学的特性の検討

高温地域における熱源分布,地下温度構造,深 部断裂,熱水対流の分布・形状等の特徴を把握す るために,文献調査およびデータの収集・整理を 行った.また,東北地方と中国・四国地方を対象 に,高温地区を含む広域地域のタイプ分けを行う とともに,横断面の概念モデル図を作成した(図 10,図11).

(2) 高温地域の成因の検討

高温地域の成因を検討するために、東北地方の 東西断面線を含む地域の標高データを使用して仮 想的な2次元広域地下水流動モデルを作成し、地 熱用の多成分多相流体流動シミュレータによる感 度解析を一部実施した.

(3) 調査・解析・評価手法の検討

熱・熱水の影響評価における最適な調査・解析・ 評価手法を確認するために、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)電磁探査による深部構造解析 手法、3)震源データを用いた深部構造解析手法、 4)放射年代測定法を用いた地熱系の長期変動解 析手法、5)流体地化学に基づく熱・熱水の影響 評価手法、6)変質帯形成シミュレーションを利 用した地下環境評価モデル構築支援技術の開発を、

図9 タイ・チャオプラヤ盆地における温度検層.

図10 東北地方高温地域のタイプ分け概念図.

図11 中四国地方高温地域のタイプ分け概念図.

それぞれ実施した.

5. 第2期中期計画の展開に向けて

平成17年度以降の第2期中期計画における展開 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 んでいる.

鉱物資源研究グループの 2004-2005 年の活動 Activities of the Mineral Resources Research Group during the period from 2004 to 2005

鉱物資源研究グループ長:渡辺 寧 Leader, Mineral Resources Research Group: Yasushi Watanabe Phone: 029-861-3811, e-mail: y-watanabe@aist.go.jp

1. グループの研究概要とこれまでの成果

日本の産業や国民生活に不可欠な各種の鉱物資 源の安定供給はナショナル・セキュリティーに関 わる重要課題である.当研究グループは金属・非 金属・骨材・GISの専門家をもって組織し,各種 の鉱物資源の安定供給のために必要な学術研究, 資源探査・開発のための技術開発,流通安定化の ための情報の収集・解析を行っている.要請に応 じ CCOP 等の国際機関,経済産業省,資源エネル ギー庁,JICA,JOGMEC,地方自治体等の実施す る鉱物資源に関するプロジェクトに対して技術協 力を行うとともに,各種役職を通し国内外の鉱物 資源に関わる学会の活動を支援している.

第1期中期計画には、大規模潜頭性熱水鉱床の 探査指針を得るため、北海道札幌市の無意根-豊 羽熱水系を模式地として地質・地球物理・鉱物学 的研究を行い、探査指針の提案を行った(第1図). また、日本列島の鉱物資源情報を50万分の1鉱物 資源図としてとりまとめて出版した(第2図).これ らの研究は地圏資源環境研究部門の第1期中期目 標3大成果の2つに数えられている.さらに経済 産業省製造産業局からの委託に基づき西日本の骨 材資源の分布状況とその性状を報告書に取りまと めてきた(第3図).

第1図 大規模潜頭性熱水鉱床の探査手法開発プ ロジェクト報告書(Watanabe & Ohta, 2005).

2005年度から始まった第2期に、当研究グルー プは、希土類、銅、インジウム等、日本の産業が 特に必要とする元素の探査手法の研究をテーマと して掲げている.近年の金属価格高騰により、鉱 石の日本への供給が不安定化しており、2004-2005 年には備蓄金属の放出も行われた.日本の鉱山会 社や JOGMEC は日本独自の資源供給源を確保す るため,海外での資源探査を積極的に行っており, これを側面から支援するためである.また,これ まで出版してきた鉱物資源情報の GIS 化に取り組 むとともに,引き続き東日本の骨材資源のポテン シャル評価を行う予定である.

第2図 鉱物資源図「南西諸島」(須藤・小笠原, 2005)の一部.

第3図 九州の砂利資源分布図(須藤・藤橋, 2005).

2. グループの構成

| リーダー | 渡辺 寧 |
|----------|------------------------------|
| グループ員 | 小村良二・佐藤興平・須藤定久・ |
| | 大野哲二・村上浩康 |
| 外来研究員 | 神谷雅晴・寺岡易司・平野英雄 |
| JSPS 海外特 | Jargalan Sereenen (2005年6月30 |
| 別研究員 | 日-2007年6月29日) |
| | Xiaofeng Li (2005年11月1日-2007 |
| | 年10月31日) |
| 併任者 | 村尾 智・内藤 耕 |
| 2 号契約職員 | 藤橋葉子・Fan Lun |

3. 平成 17 年度の研究計画

平成17年度には次に掲げる5つの研究テーマを 産業技術総合研究所交付金およびその他の予算で 実施している.

1)重希土類元素の資源ポテンシャル評価の研究:

今後,需要の増大が予想される重希土類元素の 資源ポテンシャル評価を行う.重希土類元素の濃 集が予想される地域の地質調査・試料分析を行い, 資源ポテンシャル評価を行うと共に,重希土類元 素の濃集機構に関する研究を行う.今年度はこれ まで韓国(第4図)および中国で予備調査を行った (第5図).韓国地質鉱物研究院とは4年計画 (2006-2009年)で韓国及び日本両国における希土類 元素鉱床の共同研究を行うことを計画している. また平成17年度 JSPS 科学研究費補助金でモンゴ ルにおける「重希土類元素の濃集機構と資源ポテ ンシャル評価の研究」を開始している.

第4図 韓国南部のハロイサイト鉱床.イオン吸 着性希土類元素の濃集が予想される.

第5図 世界最大の鉱量を誇る中国内蒙古 Bayan Obo 希土類鉱床の露天採掘場.

2)金属鉱化作用と探査手法の研究

鉱床探査の指針を編み出すためには、鉱床を形 成した地質・化学・物理プロセスを理解し、何が 鉱床を形成する鍵になったかを明らかにする作業 が必要である.本研究では斑岩銅鉱床や花崗岩に 伴う鉱床、そのほかの金属鉱床鉱床形成プロセス の解明を基にした鉱床探査指針の提案を目指して いる.

トルコ鉱物資源調査開発総局と共同で行った 「トルコ西部の熱水性鉱床の研究」(2001-2005年)で は、同国西部で新たに発見されたテペオバ鉱床の 地質・鉱物・年代学的研究を行った.その結果、 同鉱床の銅・モリブデン鉱化作用は、25.6-25.0Ma に花崗閃緑岩質マグマの地下深部(~7km)への併 入に伴った角礫化作用の際に起こったことが明ら かになった(第6図,第7図:Murakami et al., 2005). 2005年3月にはトルコから研究者をつくばに招聘 しシンポジウムを開催し、今後の成果の取りまと め方について意見交換を行った.

第6図 テペオバ鉱床の鉱化角礫岩.角礫岩基 質の黄色部が黄銅鉱.

第7図 テペオバ鉱床産モリブデナイトの Re-Os 年代.従来の K-Ar 法と比べて鉱化年代を直接,精 度良く決定することが可能.

東アジアのテクトニクスと金属鉱化作用の研 究:東アジアでは白亜紀~古第三紀の花崗岩の活 動に伴い,広域的に錫・タングステン・ベースメ タル・金等の鉱床が形成されている.還元型花崗 岩類は錫鉱床,酸化型花崗岩類は金やモリブデン 鉱床を伴う.これらの花崗岩類の形成には地殻の 構成物が深く関与しており,還元型花崗岩類は炭 素を含む付加体からなる地殻,酸化型花崗岩類は 火成岩からなる地殻を有する地域で形成される. 日本列島を日本海が拡大する以前の状態に復元す ると、日本列島の錫-タングステン鉱化帯はシホ テアリンのジュラ紀付加体地域の錫-タングステ ン鉱化帯に連続し、西南日本のモリブデン鉱化帯 は金鉱化作用を伴う東シホテアリン火山-深成岩 帯に連続する(第8図: Sato et al., 2004).

第8図 花崗岩類のタイプと年代・地域・随伴鉱 化作用総括図.酸化型花崗岩,還元型花崗岩はそ れぞれ細メッシュ,粗メッシュで示されている.

日本鉱業振興協会助成金による「鉱床母岩の化 学組成変化を利用した鉱床探査の研究」では, 鹿児 島県菱刈鉱床を模式地として, 含金石英脈を胚胎 する鉱床母岩の帯磁率及び王水溶解溶離液の化学 組成分析を行った.その結果, 一様な変質鉱物組 み合わせを持つ母岩でも, 石英脈に近づくにつれ て帯磁率やいくつかの元素には増加または減少す る傾向が認められた.これらの結果は, 母岩の王 水溶解溶離液の As/Sr 比, Al/Na 比, K/Na 比の変 化が鉱床探査に応用できることを示している(第 9 図: 村上, 2005).

第9図 菱刈金鉱床母岩の王水溶解溶離液のK/Na 比, As/Sr 比, Al/Fe 比及び Al/Na 比の変化.

3) 骨材資源評価に関する研究

経済産業省製造産業局住宅産業窯業建材課の委託に基づき,全国の骨材資源の分布状況とその性状をとりまとめ,報告書として出版している.2004 年度は九州地域についてとりまとめ(第3図),2005 年度は中部および近畿地方の骨材についてとりま とめを行っている.また2004年度には日鉄鉱コン サルタントとの共同研究「真砂の骨材資源として の品質評価及び資源量評価」を実施した.

4)鉱物資源データベースの研究

鉱物資源に関わる各種のデータベースを構築し,

地質図や鉱物資源図の電子ファイルとして出版す るとともにインターネット上で情報公開を目指す.

2004年度には50万分の1鉱物資源図「南西諸島」 を出版し,20万分の1地質図幅「豊橋及び伊良 湖岬」・「福島」の出版に協力した.2005年度は, ①北海道地域の鉱物資源 GIS データベース作成, ②20万分の1地質図幅5地域の鉱物資源情報の集 積(第10図,第11図),③世界の重希土類元素に関 するデータベース作成,④東アジアの鉱物資源 GIS データベース作成、④東アジアの鉱物資源 GIS データベース作成と中央アジアの地質編纂図 の作成を行う.また米国地質調査所と地圏資源環 境研究部門・CCOP・関係諸国が行っている東南ア ジア及び東アジアの鉱物資源評価プロジェクトに 参加し,銅・白金族元素・カリウムのポテンシャ ル評価を各国毎に行い,現在その取りまとめを行 っている(第12図).

第10図 白河地域の鉱物資源(小村・大野原図).

第11図 茨城県那珂郡山方町西金の関東商工の採 石場.硬質の砂質黒雲母ホルンフェルスを採取し ており,線路の敷砂利等に使用されている.

第 12 図 2005 年 2 月に昆明で行われた第 3 回鉱 物資源ポテンシャル評価会議の様子.

5)鉱物資源に関するコンサルティング・国際協力 当研究グループでは要請に応じ CCOP 等の国際 機関,経済産業省,資源エネルギー庁,国際協力 機構,JOGMEC,地方自治体等の実施する鉱物資 源に関するプロジェクトに参加し,技術支援活動 を行っている.2004-2005 年度には,以下のプロジ ェクトに参加している.

Communities And Small-Scale Mining (CASM): CASM はスモールスケールマイニングに関する情報の整理・提供を行い,ワークショップや人的交流の促進によって各国の活動を支援する組織で, 世界銀行と英国国際開発庁が運営している.当研 究グループは CASM に委員を出しており,JSPS 予算による「水銀汚染地帯における住民とのリス クコミュニケーションに関する研究」(2004)を行 ってきた.2004 年には,アジアにおいて新たに CASM-Asia を CCOP の協力の下で発足させ,第1 回会合を 2005 年 5 月に開催した(第13 図).この会 議では各国の実情,スモールスケールマイニング の多様性と問題点,データベース構築等について 話し合われた.

第13図 第1回 CASM-Asia 会議の様子.

モーリタニア・イスラム共和国鉱物資源開発戦略プラン策定プロジェクト: JICA が実施する本プ ロジェクトに技術専門家として2004年10月,2005 年1-2月の2度にわたり参加し(第14図),モーリ タニアの南部のクロム鉱床,北部のタシアスト金 鉱床,ズエラットの鉄鉱床,グエルブ・モグヘレ イン銅・金鉱床の地質・鉱床調査を行った.調査 結果は論文や2005年6年の資源地質学会年会で報 告し,今後最終報告書を作成し,2005年11月のモ ーリタニアでの最終報告会,2006年3月のカナダ でのPDAC 会議で報告する予定である.

第14図 サハラ砂漠西部, モーリタニア北西タシ アスト金鉱床でのトレンチ.

トルコ地質リモートセンシングプロジェクト: 2005 年 7 月に JICA の実施するトルコ地質リモー トセンシングプロジェクトの「リモートセンシン グデータを用いた接触交代鉱床探査における GIS 要素の抽出」に当研究グループから専門家を派遣 した.技術研修の対象者はトルコ鉱物資源総局の 地質技師で,スカルン型鉱床の一般的特徴,鉱床 周辺におけるリモートセンシングデータの使用法 に関する講義を行った(第15図).またトルコ中部 の鉄及び鉛・亜鉛スカルン鉱床で,鉱石・変質鉱 物の把握,ASTER データからの判読情報と地質と の整合性の検証に関する野外調査実習を行った.

第 15 図 トルコ地質リモートセンシングプロジ ェクト参加者.

文献

- Murakami, H., Watanabe, Y. and Stein, H. (2005) Re-Os ages for molybdenite from the Tepeoba breccia-centered Cu-Mo-Au deposit, western Turkey: Brecciation-triggered mineralization. Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge, Vol. 1, Mao, J. and Bierlein, F. eds., Springer, p.805-808.
- 村上浩康(2005) 鉱床母岩の化学組成変化を利用 した鉱床探査(元素比マッピング法)-菱刈浅熱 水性金鉱床の例-.資源地質学会第55回年会講 演会講演要旨集, P-18.
- Sato, K., Kovalenko, S.V., Romanovsky, N.P., Nedachi, M., Berdnikov, N.V. and Ishihara, T. (2004) Crustal control on the redox state of granitoids magmas: tectonic implications from the granitoids and metallogenic provinces in the circum-Japan Sea Region. Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences, 95, P. 319-337.
- 須藤定久・藤橋葉子(2005) 平成 16 年度骨材資源 調査報告書-九州・沖縄地方各県の骨材資源-. 62p.地圏資源環境研究部門.
- 須藤定久・小笠原正継(2005) 鉱物資源図「南西諸 島」. 地質調査総合センター.
- Watanabe, Y. and Ohta, E. (2005) Polymetallic Pb-Zn-Ag-In Toyoha deposit: Geology, style, genesis and exploration. Institute for Geo-Resources and Environment, 17p.

CO₂を含む頁岩の地震波速度異方性について Seismic velocity anisotropy in shale having cracks filled with CO₂.

西澤 修 (物理探査研究グループ)・薛 自求 (RITE) Osamu Nishizawa* (Exploration Geophysics RG) and Ziqiu Xue (RITE) *Phone: 029-861-3971, e-mail: osamu-nishizawa@aist.go.jp

1. 研究目的

CO₂地中貯留のサイトとして地下の構造性帯水 層が想定されている.構造性帯水層は,貯留層を 形成する透水性の高い岩石と,その上部を覆う透 水性の低いキャップロック層から構成される.キ ャップロック層の CO₂ シール能力が長期にわた り安定であるか否かは地中貯留の重要な問題であ り,キャップロック層の状態を知るための有効な モニタリング技術が求められている.

キャップロックは頁岩(shale)や泥岩で形成され ている場合が多く、細かい鉱物粒子が密に詰まっ たものである. 頁岩の中には微細構造に顕著な異 方性を持ち,力学的性質にも強い異方性を示すも のがある. P 波速度の伝播方向による違いや S 波 スプリッティングティングのような地震波速度異 方性は,通常の地震波探査や弾性波検層によって 検出できるので,これらの変化を検出できれば, モニタリング技術としての応用が可能である.割 れ目など岩石の微細構造に変化があれば、弾性波 速度異方性にも変化が現れ,岩石の弾性波速度異 方性からキャップロックの状態変化を調べること ができる. 岩石の割れ目や空隙中に存在する CO, の状態が変化すれば,その影響が弾性波速度異方 性に現れるはずであり、岩石中の CO, の状態につ いての情報を得ることもできる. このような性質 は、キャップロックの安定性をモニタリングする のに重要な手がかりとなるかもしれない.

CO₂ は地下の温度・圧力条件下で,液体,気体, 超臨界の三つの異なった相が現れる.こうした変 化は地震波速度や地震波の減衰に影響を与え,同 時に岩石の異方性の変化を引き起こす.

岩石の地震波速度異方性は、大きく分けて二つ の原因による.

- 1. 鉱物の選択配向のように岩石構成要素の非等 方的分布によるもの
- 微小クラックや割れ目の選択配向など、岩石 中の不連続部分の非等方的分布によるもの

1. は岩石が異方性の強い鉱物を含む場合に見られる.また,粘土鉱物も岩石の微細構造と関係して非等方的な分布や配向を示し,異方性の原因となっている.2 は微細構造に関係し,堆積岩では 層理面に平行な面を持つ割れ目やクラックが現れる.クラックの内部は水や油,あるいはガスのよ うな流体で充たされており、これらは岩石に比較 して著しく小さい体積非圧縮率 (bulk modulus) を 持つので、少量の場合でも岩石の弾性波速度に強 い影響を及ぼす.

これまでの研究では、1 と2 が別々に取り扱わ れていたが、ここでは異方性媒質中の定配向クラ ックモデルによる実効弾性定数計算法 (Nishizawa, 1982; Nishizawa and Yoshino, 2001)を使い、両者を 同時に考慮して、CO₂の状態変化が岩石の弾性波 速度異方性に及ぼす影響の大きさを調べる.実験 や観測と比較できる資料を提供するため、CO₂を 含んだ頁岩の弾性波速度異方性を数値計算で求め、 変化の大きさ検討する.

2. CO₂の密度,体積弾性率

CO₂は,想定される地下条件下で液体,気体, 超臨界状態(臨界点 31.1℃,7.38 MPa)となる. ここでは,温度条件を-40℃ から 80℃,圧力条件 を 0.1 MPa から 50 MPa とし CO₂の密度,音速の データをもとに体積弾性率を得る.圧力,温度に 対し体積弾性率を 3 次元表示したものが図 1 で ある.低温・低圧側では,液体と気体の境界での 物性変化が大きく,体積弾性率は 10,000 倍近い変 化をする.クラックを含む岩石の弾性波速度はク ラック内部に含まれる流体の体積弾性率に依存す るので,定方位に配列したクラックを含む岩石で は,体積弾性率の大きな変化から,弾性波速度異 方性の顕著な変化を期待することができる.

図1. CO₂の体積弾性率の温度, 圧力変化.

3. 頁岩の弾性波速度異方性と CO₂の状態

頁岩は層理面に垂直な軸を回転対称軸とする 水平等方性(Transversely Isotropic: TI)の異方性で 近似できる.このとき対称軸からの角度 θ で異 方性のすべての性質を表現できる.軸方向は θ = 0で,水平等方面の方向は θ = $\pi/2$ である.そ れぞれの方向は野外での鉛直方向と水平方向に ほぼ対応するとしてよい.

頁岩の弾性定数は Hornby (2002) による野外 での計測結果をもとにして,以下の値を用いた. 密度: 2.420 × 10^3 kg/m³ = 2.42 Mg/m³ 弾性定数: (単位 GPa,独立成分は5個) C_{11} = 22.48, C_{33} = 14.89, C_{12} = 11.74, C_{13} = 8.78, C_{44} = 2.74, C_{66} = (1/2)(C_{11} - C_{12}) = 5.37.

岩石中の割れ目の効果は以下のクラック密度 χ によって示される.

$$\chi = 3 \phi / 4 \pi \alpha \tag{1}$$

φはクラックの空隙率, αはクラックの平均ア スペクト比でクラックを扁平な回転楕円体で近 似したときの短軸と長軸の比である.

弾性波速度の変化は S-波に比べ P-波のほうが 大きい. 鉛直方向と水平方向の P-波速度をそれ ぞれ $V_P(0), V_P(\pi/2)$ とすると,

$$\epsilon = \left[V_{P}(\pi/2) - V_{P}(0) \right] / V_{P}(0)$$
(2)

は水平等方性媒質における P 波速度の異方性を 表す(Thomsen, 1986). 図 2 は異方性パラメータ ϵ の温度圧力変化を示したもので、 χ が同じ値 のとき、 CO_2 が液体の状態と気体の状態とでは ϵ に大きな差が見られる.

図 2 P波速度異方性の変化.地層面に垂直な方向と 面に沿う方向の P波速度の差と地層面に垂直な P波速 度との比を ϵ で表す.通常は地層面は水平なので、そ れぞれが鉛直方向と水平方向の速度に対応すると考え てかまわない. ϵ の値はクラック密度 χ と割れ目の中 の CO₂ の状態(液体-気体)に依存して顕著に変化 する.

坑井検層などの野外観測では点震源を考えなければならない.点震源に対する各方向の弾性 波速度は、通常計算される位相速度ではなく、 群速度で比較する必要がある.群速度は、k を 波数、ωを角振動数とすると、dk/dω で与えられる.以下では、点震源からの波のエネルギー の伝播方向が軸となす角度をφとし、この方向 の群速度の大きさを平面上にプロットする.

図3は群速度の図である.今回用いた頁岩で は準*S*波(*qS*波)の群速度に3重点が現れ,ク ラック密度の増加とともに3重点出現領域は小 さくなる.実際の観測結果の解釈ではこうした 複雑な現象の出現も考慮しなければならない.

図 3 *P*波と*S*波の群速度をエネルギーの伝播方向 *ϕ*について描いたもの. 準*S*波と呼ばれる波 (*qS*) に 3 重点が現れている.

参考文献

- Nishizawa, O., 1982. Seismic velocity anisotropy in a medium containing oriented cracks – Transversely isotropic case —, J. Phys. Earth, 30, 331-347.
- Hornby, B. E., Howieand, J. M. and Ince, D. W., 2002 Anisotropy Correction for Deviated Well Sonic Logs: Application to Seismic Well Tie. preprint.
- Thomsen, L., 1986. Weak elastic anisotropy, Geophysics, 51, 1954–1966.
- Nishizawa, O. and Yoshino, T., 2001. Seismic velocity anisotropy in mica-rich rocks: An inclusion model, Geophys. J. Int., 145, 19-32.

断裂分布の多様性の1次元競争成長モデル-数値シミュレーション: 地圏流体の流動・貯留規制因子に関する基礎的検討

Fracture distribution diversity simulated using 1-D competitive growth model: A basic study on a controlling factor of geo-fluid flow and reserve.

> 地熱資源研究グループ: 茂野 博・佐々木宗建 Geothermal Research Group: Hiroshi Shigeno and Munetake Sasaki Phone: 029-861-3701, e-mail: hiroshi-shigeno@aist.go.jp

1.はじめに

岩石は、多様な断裂(fracture)が発達することによって、その強度が低下するとともに透水性が増大する.したがって、断裂の特性・分布を把握・モデル化することは、地圏資源環境分野では非常に重要である.深部地熱資源では、結晶質岩中の断裂系分布が流体流動・貯留を規制する場合が多く、本研究はその検討から派生した.

今回,断裂規模の頻度分布について,非常に簡 易的ではあるが本質的な意味を含むと思われる1 次元の確率的な競争成長モデルに基づいて,一連 の数値シミュレーションにより検討した.今回の モデルは,断裂間および断裂とその周辺間の相互 作用について直接的には取り扱わない.したがっ て,その結果が広範囲には適用できない可能性が あるが,断裂分布の多様性の基礎的理解などに寄 与することが期待される(茂野・佐々木,2005).

2. モデルと方法

今回のモデルと数値シミュレーションでは,基本的に伸張性(~弱圧縮性)の応力場で脆性破壊によって生成する断裂系を主要対象としている. 断裂系の生成過程では,新たな断裂の発生に比較して既存断裂の端部の成長が生じ易い(大きなものほど)という傾向が認められる.今回,これに基づいて非常に単純化した1次元の確率的な断裂系の生成モデル(競争成長モデル)を作成した. その概要は以下の通りである.

1次元連続均質空間を代表する等間隔の点の配 列 Mat_F(配列要素数,N0)を取り,毎回各点に 乱数(R0: 0.0~1.0)を与えて最高値となる1点 に得点(1,断裂の発生・成長に対応)を与え, これを繰り返す(繰り返し数,M).得点を持つ点 (i)では,累計得点(Fi)の関数(「競争関 数」)によって乱数値が変化する(Ri)とする. 今回は,Fiとともに単純・急激に Riが増大する 場合を考え,競争関数を Ri = R0i * FF ^ Fi (ただし,FF は「競争定数」で~1.0)と設定し た.特定の M時点での状態について,各点の累計 得点の配列 Mat_A,有得点点から次の有得点点ま での隔たりの配列 Mat_Bとして整理する.

上記のモデル実験は,系全体の破壊速度を一定 に設定し,均質岩石中の環境を非常に単純に確率 化して,新規断裂の発生と既存断裂の拡大との競 争が引き起こす現象を,以下の2つをパラメータ として観察することに相当する.すなわち,M (時間の経過,エネルギー累積流入量などに相 当)とFF(岩石の「脆性破壊強度」に関連;~ 値が大きいほどランダムな初期欠陥-微小亀裂の 分布密度が低く,断裂の発生箇所が限定化され る)である.Mat_AとMat_Bは,岩石試料(露頭, コアなど)について断裂の規模(長さ,面積,幅 など)と断裂面に直交する方向の間隔(スペーシ ング)を計測・整理したデータに対応する.

3. 結果

今回の一連の数値シミュレーション実験の結果 として,図1に断裂系生成の経時変化(M値を漸 次増加させたもの)の例を示す.

一連の実験結果を整理して,図2の4小図に,
FF 値を系統的に変化させた数値シミュレーション結果(FF = 1.0 ~ 1.1 の8つの場合)の例を,
一定時点で整理して比較した(すべて N0 = 10,000 で一定). 左側には断裂の規模について,
右側には断裂の間隔について,それぞれ log r - log N(r)(大きな方から累計)で表示した.上側は M = 1,000,下側は M = 10,000 の時点である.

さらに図3では,M・FF の2パラメータ値を横 軸・縦軸とし,断裂規模の分布を類型化分類して 各型の分布領域を表示した.ここでは,小規模な 断裂がランダムに分布する場合を「ポアソン分布 型」,断裂規模の分布に自己相似性が顕著な場合 を「フラクタル分布型」,1本の断裂が卓越する 場合を「単一大規模分布型」と呼ぶ.上記の結果 は,以下のように整理される.

(1) 断裂規模の分布は, ある程度広い M 値と FF 値の組み合わせの範囲で「フラクタル性」を 持つ.そのフラクタル次元(D)は, 断裂形状を 1次元的(線状~面の幅が狭い面状)に考えれば ~1.0,2次元的(面状,特に同心円状)に考え れば~2.0となる.

(2) 断裂の規模は,時間とともに「ポアソン分 布型」「フラクタル分布型」「単一大規模分 布型」へと変化する.一連の変化により,「フラ クタル次元(D)値」は低下する(3型ともに, log r - log N(r) 図で線状に分布すると見なし て).なお,「単一大規模分布型」では,少数の大 規模な断裂を除外(無視・例外視)すれば,「フ ラクタル分布型」として認識(誤認)されること に注意する必要がある.

(3) 同一時点(同一 M 値)で見れば,FF 値が 大きいほど断裂数が少なく,「フラクタル次元 (D)値」は低い傾向にある.したがって,FF 値 が異なる場合を比較すれば,断裂分布密度と「フ ラクタル次元(D)値」とには,正の相関が認め られる傾向が指摘される.

(4) フラクタル分布で一定化する断裂数(NF)
 には規則性があり,概略 NF = 1 / (FF - 1)である.また一定化に要する期間(MF)は,概略 MF
 = NF * 10 の関係にある(以上,今回の N0 = 10,000 の場合).なお,N0 値が異なる場合や極端な FF 値の場合にはこの関係式は修正を要する.

4.おわりに

近年,岩石破壊室内実験が様々な目的で実施され,AE測定などによって微小破壊の発生位置・ 規模の経時変化などが解析されるとともに、2次 元変位-応力-破壊モデルなどによって破壊経過 の数値シミュレーションが試みられている.本説 では簡易的・仮想的な数値実験を行ったが、その 結果は上記の実験結果に調和的である.すなわち, 断裂の規模は「ポアソン分布型」「フラクタル 分布型」「単一大規模分布型」へと経時変化し, 変化は岩石特性や場の条件に依存する.

今回の手法は,地下流体流動・貯留が関係する 石油・天然ガス資源,地熱(自然熱水系,高温岩 体人工熱水系)資源, CO2 地下貯蔵などの地圏 資源環境分野における断裂系分布の理解や制御へ の応用が期待される.例えば,佐々木(2004)は 菱刈金鉱床周辺の調査井コアについて,鉱物脈の 厚さと間隔を多数測定して今回の結果に調和的な 結果を報告している. すなわち,鉱物脈の厚さ

図 2 競争成長シミュレーション結果のまとめ(1) : 左側 は断裂規模,右側は断裂間隔を log r - log N(r) で表示 し,上側は M = 1,000,下側は M = 10,000 を表示した. パラメータは N0 = 10,000,FF = 1.0~1.1 である.

図3 競争成長シミュレーション結果のまとめ(2) :パラ メータ空間 log M - log FF 図上に,類型化分類として 「ポアソン分布型」(白丸),「フラクタル分布型」(灰丸), 「単一大規模分布型」(黒丸)の概略の領域を示した.

(1 mm~5 m) は概略 D = 1 のフラクタル分布を 示し,鉱物脈の分布密度は四万十層群中が第四紀 火山岩類中に比較して明瞭に高い.しかし,本説 の方法はその簡易性ゆえに,注意深い配慮をもっ て現実の複雑な問題へ適用する必要がある.

文献

佐々木宗建(2004)菱刈ボーリングコアに見られる鉱物脈の 統計的特徴.資源地質学会第 154 回年会講演会要旨集,P-28.

茂野 博・佐々木宗建(2005)「フラクチャー」と「フラクタ ル」の関係?-1次元競争成長モデル数値シミュレーション による検討.地質ニュース(印刷中).

ホウ素およびフッ素の土壌吸着に関する研究 Study on Adsorption of Boron and Fluorine on Soils

1.はじめに

ホウ素およびフッ素による土壌汚染や水質汚染 に対する適切な汚染評価法や効率的な浄化法を開 発するためには、ホウ素およびフッ素と土壌 - 土 壌間隙水・地下水との相互作用についての知見が 必要不可欠である。本研究では、恒温振盪器を用 いて土壌吸着試験を行い、ホウ素およびフッ素の 土壌吸着挙動について平衡論的解析を行った。

2. 実験方法

土壌試料として黒ボク土, 黄褐色森林土, 鹿沼 土および泥炭を用いた。これらはそれぞれ黒土, 赤玉土, 鹿沼土という商品名で一般に市販されて いるもので, 泥炭は神奈川県で採取されたものを 用いた。なお, 鹿沼土は鹿沼軽石とも呼ばれてい る。黒ボク土, 黄褐色森林土, 鹿沼土は室内で十分 に風乾した後粉砕し, 篩で分級した。実験には 1 ~2 mm と 0.25 ~ 0.5 mm の 2 つのグループを用い た。なお, 泥炭については分級を行わず, 塊状のも のは砕いて用いた。

土壌試料および任意の濃度のホウ酸イオンおよ びフッ化物イオンを含有している溶液(1,10,100 ppm)をポリエチレン製密閉容器にそれぞれ所定 量封入し、室温(25±2)で振盪器によって約1 日振盪させた。振盪後、試料を遠心分離器で固液 分離し、上澄み液を孔径0.45µmのメンブレンフ ィルターでろ過し、そのろ液を上記と同様のポリ エチレン製密閉容器で保管した。そして、任意に 希釈して試料中のホウ酸イオンをICP-AESで、フ ッ化物イオンをイオンクロマトグラフィーを用い て濃度を定量した。なお、振盪約1日後の液相中 の残存濃度を吸着平衡濃度としてデータ解析を行 なった。

図1 土壌試料: 左から黒墨土, 黄褐色森林土, 鹿沼土, 泥炭

地圏環境評価研究グループ: 杉田 創 Geo-Analysis Research Group: Hajime Sugita Phone: 029-861-8860, e-mail: hajime.sugita@aist.go.jp

3.実験結果

実験結果の一例としてホウ素およびフッ素それ ぞれについて初期濃度を100 ppm として行なった 実験の結果を図2に示す。縦軸のCBおよびCFは それぞれ液相中に残存しているホウ素およびフッ 素濃度,横軸のWS/WLは土壌/水比である。全体 的な傾向として土壌の単位重量あたりの吸着量の 大きさは下記のようになった。

ホウ素に関して: 黄褐色森林土>黒ボク土 鹿沼土>泥炭

フッ素に関して: 黒ボク土 黄褐色森林土 > 鹿沼土 > 泥炭

初期濃度が 1ppm および 10ppm についても同様の 傾向であった。また、いずれの土壌試料について も、フッ素・ホウ素の初期濃度に対するそれらの 吸着量の割合は両者とも初期濃度が低いほど高く なった。一例として黒ボク土に関する実験結果を 図3に示している。

図3 ホウ素およびフッ素の吸着量の割合への 初期濃度の違いによる影響

4.比表面積および化学成分の影響

粒径1~2mmと0.25~0.5mmの2つのグループ で区分して吸着試験を行なったが、ホウ素・フッ 素ともに粒径の違いによる明確な吸着量の差異は 見られなかった。このことから、粒径による外表 面積の差に比較して、内表面積の方がはるかに大 きく、吸着量のBET比表面積への依存性が予想さ れた。そこで、各土壌試料のBET比表面積を窒素 吸着法で測定した(表1)。しかしながら、BET比 表面積の大きさは、鹿沼土>黄褐色森林土>黒ボ ク土>泥炭であることから、BET比表面積とホウ 素・フッ素吸着量との間にも相関関係は認められ なかった。

表1 土壌試料の BET 比表面積

| 土壌試料名 | BET 比表面積 |
|--------|-----------|
| | $[m^2/g]$ |
| 黒墨土 | 17 |
| 黄褐色森林土 | 135 |
| 鹿沼土 | 210 |
| 泥炭 | 6.7 |

各土壌試料について蛍光 X 線分析によって定量 された化学成分を検討した結果,土壌へのホウ素 およびフッ素吸着量ともに土壌中のカルシウム, マグネシウムおよびアルミニウム含有量との間に 特別な相関関係は認められなかった。また,腐食 物質の含有量を反映していると考えられる全炭素 量との間にも吸着量に関する定量的な相関は見ら れなかった。したがって,土壌の化学組成で単純 にホウ素・フッ素の吸着量を推算することは不可 能であることがわかった。

5.吸着等温線

図 4 と図5 にそれぞれホウ素およびフッ素の吸 着等温線を土壌の種類ごとに示す。いずれの図中 のデータもそれぞれほぼひとつの直線で相関させ

図5 土壌へのフッ素の吸着等温線

られた。これは本実験で得られた吸着データが下 式で表される Freundlich の吸着式に適応すること を意味している。

ホウ素に関して: $W_{\rm B} / W_{\rm S} = \alpha C_{\rm B}^{\ \beta}$

フッ素に関して: $W_{\rm F} / W_{\rm S} = \alpha C_{\rm F}^{\ \beta}$

ここで、 $W_{\rm B} / W_{\rm S} \geq W_{\rm F} / W_{\rm S}$ はそれぞれ土壌単位重 量あたりのホウ素とフッ素の吸着量であり、 $\alpha \geq \beta$ はそれぞれ吸着定数と吸着指数と呼ばれるもので、 本研究で得られた値を表 2 に示す。

| = | 2 | |
|-----|---|--|
| ৰহ | 2 | |
| ~ ` | _ | |

| | ホウ素に関する吸着パラメータ | | | | |
|--------------------------------|------------------------------|------------------------------------|--|--|--|
| 土壤試料名 | | | | | |
| 黒ボク土 | 4.84 | 0.788 | | | |
| 黄褐色森林土 | 11.6 | 0.789 | | | |
| 鹿沼土 | 5.38 | 0.785 | | | |
| 泥炭 | 1.29 | 0.847 | | | |
| | | | | | |
| | フッ素に関する | 吸着パラメータ | | | |
| 土壤試料名 | フッ素に関する | 吸着パラメータ | | | |
| 土壌試料名 黒ボク土 | フッ素に関する 311 | 吸着パラメータ 0.529 | | | |
| 土壌試料名 黒ボク土 黄褐色森林土 | フッ素に関する 311 291 | 吸着パラメータ 0.529 0.550 | | | |
| 土壌試料名 黒ボク土 黄褐色森林土 鹿沼土 | フッ素に関する 311 291 122 | 吸着パラメータ 0.529 0.550 0.596 | | | |

6.まとめ

本研究では、ホウ素およびフッ素に関する土壌 吸着試験を行ない、その実験結果を解析すること によって、ホウ素およびフッ素の土壌吸着挙動が Freundlich の吸着式で表せることを明らかにした。 そして、データ解析によって得られたホウ素およ びフッ素に関する土壌吸着パラメータ値を使用す ることによって、実際の土壌へのホウ素およびフ ッ素の吸着量を推算することを可能にした。

地圏環境リスク評価システムの開発 Risk Analysis by Geo-environmental Risk Assessment Model

地圏環境評価研究グループ 研究員: 川辺能成 Geo-Analysis Research Group Phone: 029-861-8795, e-mail: y-kawabe@aist.go.jp

1. はじめに

近年,産業活動に起因した土壌・地下水汚染の 事例が増加しており,これらの環境問題を客観的 に評価するための手法として,暴露をもとにした リスク評価のアプローチが重要である.この際利 用されるのが暴露評価モデルであり,大きく分け ると包括的モデル,サイトモデルおよび詳細型モ デルの3つに分類される¹⁾.包括的モデルは,暴 露・リスクを基礎とした健康影響,生態系影響の 定量評価,環境基準値や目標リスク設定のモデル であり,環境問題を科学的に評価する足がかりと なる.そのため,わが国特有の土壌特性や暴露フ ァクターを考慮したモデル開発が重要である.

著者らは、土壌や地下水に負荷された化学物質 のヒトへの暴露量およびリスクを算出できる包括 的暴露評価システム(地圏環境評価システム: GERAS-1)を開発している^{2,3)}.ここでは、GERAS-1 の概要やこのシステムを用いて重金属類や有機化 合物の暴露・リスク評価を行った事例について紹 介する.

2. 地圏環境評価システム (GERAS)

地圏環境評価システム (GERAS)は、図1に示す ように包括的モデル (GERAS-1)とサイトモデル (GERAS-2)で構成され、WINDOWS 上で動作する暴 露評価モデルである.このモデルでは、有機炭素 含有量が多いなどのわが国特有の土壌特性や暴露 ファクターを考慮し、また、有機化合物について は、土壌溶出値を入力することにより評価が可能 であるといった特色がある.現在のところ GERAS-1 についてはほぼ完成しており、サイトモデルの開 発およびそのパラメータ整備を行っている.

GERAS-1では、まず評価対象化学物質を選択し、 基礎パラメータの設定を行う.そして、サイト特 有の土壌、暴露経路ならびにレセプター(暴露対 象)に関するパラメータ設定を行う.GERASにおいて考慮した暴露経路は、土壌の直接摂食、飲用 水や農作物を摂取する経口暴露、土壌から大気へ 蒸発した化学物質や飛散した土壌粒子を呼吸する 吸入暴露および土壌との接触や飲用水との接触に よる皮膚吸収暴露となっている.これらのパラメ ータの設定が完了すると計算が行われる.本モデ ルでは、はじめに土壌における固体、液体(間隙 水)および気体(土壌空気)を対象として化学物 質のフガシティー容量の計算を行う.初期条件と して居住地域における土壌からの有機塩素化合物 の溶出値を与えることにより,土壌空気および土 壌間隙水中の化学物質の濃度を算出する.この計 算では土壌中の有機炭素量や pH および吸着など のファクターによりそれぞれの化学物質に対して 異なった値が得られる.次に土壌の各相から大気 や地下水への移動過程の計算を行い,そして,各 種暴露媒体中(大気,作物,地下水など)の有機 塩素化合物濃度が決定される.最後に暴露シナリ オに基づいて,各媒体からヒトへの暴露量が算出 され,有害化学物質の毒性によりリスクが評価さ れる.リスクの評価には,発ガン性物質の発ガン リスク 10⁵あるいは 10⁻⁶(10 万あるいは 100 万人

図1地圏環境評価システム(GERAS)の画面

| 化学物質 | 含有量基準 (重金属) [mg/kg] | TDI | 全暴露 | 量[µg/kg/d] | 全暴露 | '量/TDI [%] | 浄化目相 | 票[mg/kg](重金属) [mg/l] (有機化合物) |
|--------|--------------------------|-----------|------|------------|-----|------------|------|---------------------------------|
| 化于物具 | 溶出基準 (有機化合物) [mg/ I] | [µg/kg/d] | 砂質土 | 関東ローム | 砂質土 | 関東ローム | 砂質土 | 関東ローム |
| Pb | 150 | 3.6 | 0.47 | 0.46 | 13 | 13 | 110 | 120 |
| Cd | 150 | 1.0 | 0.95 | 0.58 | 95 | 58 | 16 | 26 |
| ベンゼン | 0. 01 | 2.6 | 0.19 | 0.15 | 7.3 | 5.9 | 0.01 | 0. 02 |
| PCE | 0. 01 | 14 | 0.37 | 0.31 | 2.6 | 2. 2 | 0.04 | 0.05 |
| cisDCE | 0.04 | 17 | 2.6 | 2.1 | 15 | 12 | 0.03 | 0.03 |

表1 GERAS-1 による土壌含有量値あるいは土壌溶出基準値における各種リスク

に1人がガンになる確率)や非発ガン性物質では 許容摂取量(1日当り許容できる摂取量)に対す る比率を判定基準(エンドポイント)とした.

3. GERAS-1 による汚染評価事例

GERAS-1 を用いて重金属類(ヒ素)および 有機化合物(トリクロロエチレン:TCE)を評価し た. それぞれの汚染物質の濃度は、現行の土壌 汚染対策法による基準値(ヒ素:含有量 150mg/kg, TCE:溶出値 0.03mg/L)とし, 土質 は関東ロームとした.暴露シナリオは住宅地と し, 土壌の直接摂食, 土壌吸入, 大気吸入(屋 内・屋外),地下水摂取,農作物摂取および皮膚 吸収からの暴露を考慮した.そして,暴露期間 を生涯 70年(小人6年,大人64年)とし,生 涯暴露量を算出した.世界保健機構(WHO)で は、これらの化学物質の耐容一日摂取量(TDI: ヒ素=2.1, TCE=24 µ g/kg/day) を定めている が、食品経由など本モデルで考慮していない暴 露経路からの暴露も想定されるため, TDI の 10% (ヒ素: 0.21, TCE: 2.4 µ g/kg/day) をエ ンドポイントとした.

図2に暴露評価の結果を示す.ヒ素の場合で は主要経路が土壌の直接摂食および地下水摂取 であるのに対して、トリクロロエチレンでは、

図 2 ヒ素および TCE の暴露経路および暴露割合

大気吸入および地下水摂取が主要経路となって いることが分かる.また,それぞれの化学物質 の全暴露量はヒ素で 0.85 µ g/kg/day および TCE0.76 µ g/kg/day と算出された.リスクの エンドポイントと比較するとヒ素の場合で4倍 高くなっており,リスクがあると診断される. 一方,TCEの場合ではエンドポイントより小さ くなったことから,この程度の汚染では,リス クが大きくないと判断される.主な有害化学物 質について暴露リスク評価を行った結果を表1 に示す.

本暴露評価モデルでは,各暴露経路からの暴 露量やその割合およびリスクが容易に評価でき る一方で,目標リスクから浄化目標を設定する ことも可能である.ヒ素ではリスクがあると判 断されたが,何らかの浄化手法により土壌含有 量を 37mg/kg 以下まで浄化できれば暴露量は エンドポイント以下となる.また,主要経路か らの暴露を遮断することにより,リスクを低減 することも可能である.ヒ素の場合では主要経 路が土壌の直接摂食および地下水摂取となって いる.したがって,これらの暴露経路からの暴 露を遮断できれば,(例えば,飛散対策や地下水 飲用の指導)リスクは低減できる(表 2).

4. おわりに

近年,わが国においてもリスクを基にした汚染 評価およびリスク管理に関する考え方が浸透しつつあり,わが国に適合した暴露評価モデルの開発が重要である.このためには,土壌・地下水に関する諸パラメータを整備する必要があり,今後これらのパラメータ整備を行い,地 圏環境評価システムを完成させる予定である.

参考文献

1)駒井:ケミカルエンジニヤリング, **47**, 127 (2002).

2)川辺ら:資源と素材,**119**, 427 (2003). 3)川辺ら:資源と素材,**121**, 19 (2005).

| 表 2 ヒ素汚染サイト (150mg/kg)のリスクと対策(|
|--------------------------------|
|--------------------------------|

| 计体计 | 全暴露量 | エンドポイント | 浄化目標 |
|---------|-------------|-----------|---------|
| 刈束法 | [µg/kg/day] | に対する比 [-] | [mg/kg] |
| | 0.85 | 4.0 | 37 |
| 飛散対策 | 0.45 | 2. 1 | 70 |
| 地下水飲用指導 | 0.50 | 2. 4 | 63 |
| 飛散+飲用指導 | 0.10 | 0. 47 | 320 |

人工地盤内漏水探査実験 ーループ・ループ電磁探査法の適用ー Application of a small loop-loop electromagnetic induction method to water-leakage investigations in an artificial ground

物理探査研究グループ: 光畑裕司・Kwon Hyoung Seok・横田俊之・内田利弘 (株)奥村組 技術研究所: 清水智明・成本和俊 Exploration Geophysics Research Group: Yuji Mitsuhata, Kwon Hyoung Seok, Toshiyuki Yokota, Toshihiro Uchida Phone: 0298-61-2387, e-mail: y.mitsuhata@aist.go.jp Okumura Co., Ltd.: Shimizu Tomoaki, Narumoto Kazutoshi

1. はじめに

近年、産業廃棄物の不法投棄や工場からの廃液 等に関連した地質環境汚染(土壌汚染・地下水汚 染)に関する問題が顕在化し、汚染領域や廃棄物 を地表から非破壊で探査する物理探査法の適用が 重用視されている。また、土木・防災分野におい ては、トンネル工事やダム建設あるいは地滑りや 地盤液状化の地盤・岩盤評価のため物理探査法の 利用が期待されている。さらに、農業や工業での 地下水の利用に関して、地下水の枯渇や塩水化に ついて物理探査法が適用されている。これらの問 題は、地下水の分布や地下水流動の把握が重要な 因子となっている。最近では、このような地下水 や土壌環境調査を専門にした物理探査として、 Hydrogeophysics という分野まで現れてきている。

地下水流動や汚染物質の輸送予測を目的に、現 在様々な数値シミュレーションが実施されるが、 その信頼性は水理パラメタである有効間隙率・透 水係数および水飽和度の分布を如何に正しく設定 するかに強く依存する。電磁探査法 (Electromagnetics, EM)と地中レーダ探査法 (Ground Penetrating Radar, GPR)は地盤中の比抵 抗と誘電率の分布を調査することができる探査法 である。誘電率からは地下水位の分布が、比抵抗 からは有効間隙率や透水係数の分布が評価できる 可能性がある。従って、孔井における水理試験計 測値とこれらの物理探査から推定される値を統合 することで、信頼性の高い水理パラメタ分布を3 次元的に得ることが可能となる。我々は、このよ うな可能性を考慮して、浅層を対象とした EM 法と GPR 法の適用実験を行い、各手法の技術的問題点 を把握・改良して行く予定である。

2. 適用実験の目的と模擬地盤の概要

トンネル工事、ダム建設における止水グラウテ ィング工法、堤防や地下ダム建設でのコンクリー トダム工法やアースダム工法、廃棄物処理場にお ける遮水シート敷設など、地下水の止水や汚水の 遮水は土木工事や土壌環境保全にとって重要な技 術である。これら工法の機能管理について物理探 査の利用を検討するために、ループ・ループ EM 法と GPR 法を取り上げ、人工地盤における基礎的 な適用実験を行った。

実験場所は、(株)奥村組 技術研究所(茨城県 つくば市)に造成された模擬地盤(図1)である。 これは、広さ 9.5m×9.5mの領域に、深さ 2.3mの ピットを掘削し、ピット底面と側面(斜面)に遮 水シートを敷設、そして中央にモルタル壁を設置 し、ピット全体に川砂を充填して、人工的に造成 したものである。

- 図1 模擬地盤実験サイト(奥村組 技術研究所) (a) 模擬地盤内部、(b)完成後の模擬地盤全景.
- ループ・ループ EM 法データ取得 本手法は、小さな送信コイルと受信コイルを用
いて、大地の比抵抗分布を推定する手法である。 送信ループから変動磁界を発生させると、大地中 にレンツの法則により起電力が発生し、大地の比 抵抗に応じて渦電流(誘導電流)が発生する。そ の渦電流によって新たに生じる二次磁場を地表で 観測し、その値から地下の比抵抗値を推定する(図 2)。本研究で利用した測定システムは米国 Geophex 社の GEM-2 システム(Won et al., 1996)で ある。送信・受信ループ間隔は1.66mで、同一の 板に固定されており、47kHz~325Hz の最大 15 周 波数の送受信が可能である。



測定に際して、模擬地盤を含む 16m×16m の範 囲に 1m 間隔で測点を配置し、合計 289 測点とし た(図3)。測定周波数は40~1kHzの12 周波数で、 測定システムを地表から 1m の高さに保って、各測 点でデータ取得を行った(図4)。全測点で測定を



図3 模擬実験サイトでの(a)測点配置と(b)ピットの 断面図. 右側は深さ 0.4m、左側は深さ 1.7m に地下水 面がある場合.

GEM-2 システムの問題点として、システム特性の較正の不完全性と環境ノイズによるバイアスが 最近報告されつつある。我々は、測定終了時にセンサーを鉛直方向に高く揚げ、環境ノイズを測定 し、測定データに含まれるバイアスを評価した。



図4 GEM-2 システムによる測定の様子.

4. 地下水位に対応した測定データの変化

模擬地盤内に地下水を湛水し、右側の注水孔と 左側の揚水孔を利用して左側、右側の水位を調節 した。地下水の比抵抗は当初 59Ω-m であったが、 川砂層を浸透通過する過程で容存成分量が増加し たためか、9Ω-mまで低下し、安定した。モルタル 壁には深さ1.1mの位置に、25cm間隔で21 個の孔 が開けられており、右側から左側に地下水が流動 できるようになっている。図5に異なる三つの状 態での測定データの平面図を示す。低比抵抗を示 す地下水の分布に対応して、大きな値(赤色)が 分布しているのが理解できる。



5.おわりに

さらに、ループ・ループ EM 法データのバイアス 補正やキャリブレーション補正の改良を行いデー タの品質改善を図る。そして、3次元的な比抵抗 分布とその変化、また GPR 探査結果との融合を図 る予定である。

謝辞

(株)奥村組 技術研究所の寺田道直氏、蛭子清二氏に は実験実施についてご協力頂きました。ここに感謝の意 を表します。

参考文献

Won, D.A. Keiswetter, G.R.A. Fields, and L.C. Sutton, 1996, GEM-2: A new multifrequency electromagnetic sensor, *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 1, 129-138.



第2部: グループおよび個人の研究

人工地盤内漏水探査実験 –広角地中レーダ法の適用-

Applicability of wide-angle GPR method to water-leakage detection in an artificial sandy ground

物理探査研究グループ: 横田俊之、SEOL Soon Jee、KWON Hyoung Seok、光畑裕司、内田利弘 (株)奥村組 技術研究所: 清水智明、 成本和俊 Exploration Geophysics Research Group: Toshiyuki Yokota, SEOL Soon Jee, KWON Hyoung Seok, Yuji Mitsuhata, Toshihiro Uchida Phone: 0298-61-2464, e-mail: yokota-t@aist.go.jp Okumura Corp., Ltd.: Shimizu Tomoaki, Narumoto Kazutoshi

1. はじめに

近年わが国においては、ガソリンスタンドや工場 などのタンクからの油流出事故などの要因や産業 廃棄物の不法投棄に起因する土壌汚染や地下水汚 染などの発生件数が増加し、問題となってきてい る。また、土木分野においては、トンネルや地下 ダム建設における止水グラウティング工法の効果 の評価、もしくはそれら建造物老朽化に伴う止水 能力の低下監視という問題は、保安・環境保全の 観点から重要な問題である。これらの問題を解決 するための一つの大きな鍵は、地下水分布および 流動の効率的な把握であり、物理探査技術の適用 が大いに期待される分野である。

人工建造物が存在するような地殻浅部の地層の導 電性を規定するのは、主として地下水の存在であ り、地下水探査関連の問題を考える場合には、電 気・電磁探査法を用いた地下調査が一般に有効で あるとされる。人工建造物の多くが存在する極表 層部(深度 5m以浅)に限定して考えると、地中 レーダ(GPR)が特に有効な領域である。なぜなら、 GPR は他の探査手法に比較して、優れた分解能を 持つためである。本研究の主たる目的である人工 建造物の漏水問題にも GPR は最も有効な調査法の 一つであると考えることができる。

GPR のデータ取得法としては、発信アンテナと受 信アンテナ間の距離を一定に保つ、通称プロファ イル測定が主流である。この測定法は、測定され たデータに極簡単なデータ処理を施すだけで、簡 便に反射断面記録を得ることができるという大き な利点を持っている。しかしながら、アンテナ間 の距離が固定されているため、コヒーレントノイ ズを抑制する効果的な手法がない。また、水分率 の指標となり得る誘電率分布を導出することがで きない。以上により本研究では、通常のプロファ イル測定結果より得られる情報に加えて、ワイド アングル(広角)測定から得られる新たな情報の 統合・有効活用を目指した。本報告ではワイドア ングル GPR について記述する。

2. 手法

1) ワイドアングル GPR データ取得

本研究のデータ取得に用いた GPR アンテナは、米 国 GSSI 社製のシールド付きボウタイ型アンテナ である。このタイプは、一つの筐体に送信アンテ ナと受信アンテナがともに内蔵された、送受信一 体型の構造となっている。本研究では、二つのア ンテナ筐体のうち一方(中心周波数 200 MHz)の 筐体中にあるアンテナ対のうち一方を受信アンテ ナとして用い、もう一方のアンテナ筐体(中心周 波数 400 MHz)中にあるアンテナ対のうち一方を 送信アンテナとして用いた。受信アンテナを 20 cm おきに設置された受信点に固定した上で、等間隔 (1cm)に送信し、データ取得を行った(図 1)。



図1 ワイドアングル GPR 測定の手順。2 組の GPR アン テナをそれぞれ送受信アンテナとして独立に使用。多く の電磁波射出角を持つデータを取得する事により、地下 の電磁波速度(比誘電率)を導出可能。

3. フィールド実験

1)フィールドおよび実験の概要

実験場所は、つくば市内の(株)奥村組 技術研究 所に造成された模擬地盤である。模擬地盤は、9.5m ×9.5m の領域に掘られた、深さ 2.3m のすり鉢状 の実験用ピットを川砂で埋め戻したものである。 ピットの中央部にはセメントモルタル壁(頂部は 地表面 - 0.3m) が南北方向に設置され、東西の水 理条件を分割する役割を担った。漏水実験は静的 状態2条件と動的状態動的状態2条件の合計4条 件で実験が行われた。静的状態実験においては、 モルタル壁は健全に保たれ、湛水された水は移動 しないという水理条件が形成された。動的状態実 験においては漏水を模す為に、モルタル壁に穴を あけ、その穴を通って東西領域間に一定流量の水 が流れるように、西側領域に掘削された水位制御 孔(揚水井)からポンプで揚水し、揚水した水を 東側領域の水位制御孔(注水井)に再注入すると いう手法をとった。(実験場および実験の詳細につ いては、光畑他(2005)を参照のこと)。GPR 探査 については、模擬地盤の実験用ピットの地表のみ に限定してデータ取得を行った。ワイドアングル GPR 測定においては、測線長 8m (4m-12m)・固定ア ンテナ間隔 20cm (約 40 受信点) という条件でデ ータ取得に約1時間を要した。

2) 実験結果

図2に電磁波反射のマイグレーション断面および マイグレーション速度分布を示す。これは、モル タル壁に穴を開けた動的状態で、西側の地下水面 が地表面下およそ1.4m、東側がおよそ0.4mの場 合の結果である。(b)は西側領域を南北側線で調査 した結果であり、ほぼ水平な水位面が明瞭な電磁 波反射面(青い線、深度1.4m)としてイメージン グされた。(c)はピット中央部を東西に調査した結 果である。その結果西側においては西から東に向 かって、地下水面に相当する反射面深度が約1.3m から1.1mへと上昇している事がわかる。(e)のマ イグレーション速度分布を見ると、水位面が深い 西側領域においては一面、おおよそ100mm/nsとい う比較的乾燥した砂の電磁波速度に近い値を示し ているが、水位面が浅い東側領域では、80mm/ns と水の存在による速度低下がおきている。

4. おわりに

ワイドアングル GPR 探査法により、砂質模擬地盤 を探査した結果、以下の結論が得られた。

1. 地下水面を明瞭で連続した反射面としてイ メージングする事が出来た。モルタル壁近傍では、 モルタル壁からの漏水に起因すると考えられる地 下水面の傾斜をも捉える事が出来た。

2. 地下水飽和領域が速度低下として把握する ことが可能であった。

謝辞

(株)奥村組 技術研究所の寺田道直氏、蛭子清二 氏には実験実施についてご協力頂きました。ここ に感謝の意を表します。

参考文献

1) 光畑裕司、Kwon Hyoung Seok、横田俊之、内田利弘、 清水智明・成本和俊 (2005):人工地盤内漏水探 査実験 ーループ・ループ電磁探査法の適用-, Green Report2005 (印刷中)





第2部: グループおよび個人の研究

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 - セリサイト鉱山における電気探査実験-

Development of investigation and evaluation techniques for a good quality clay mineral deposit by electromagnetic methods

-An experiment of electrical methods in a mica deposit-

地圏流体ダイナミクス研究グループ:高倉伸一・石戸恒雄

鉱物資源研究グループ:須藤定久・村上浩康

地下水環境研究グループ:安川香澄

Reservoir Dynamics Research Group: Shinichi Takakura, Tsuneo Ishido

Mineral Resources Research Group: Sadahisa Sudo, Hiroyasu Murakami

Water Environment Research Group: Kasumi Yasukawa

Phone: 029-861-3927, e-mail: <u>takakura-s@aist.go.jp</u>

1. はじめに

日本では良質な粘土が各地で産出され、窯業が 発展してきた。また、国内産の粘土は工業製品の 原材料や土壌改良材などにも広く利用され、最近 では新素材の材料としても注目されている。しか し、地表から採掘できる良質な粘土は少なくなっ ており、新たな探査が求められているが、これま では現場の人間の経験や勘に頼ることが多く、探 査技術は確立していないのが現状である。

粘土鉱物は一般に岩石が熱水・続成・風化変質 を受けて生成され、水を含みやすく、イオン交換 能が大きいので、母岩とは電気化学的特性が大き く異なることが多い。したがって、電気・電磁探 査法や自然電位法のような地球電磁気学的手法を 用いることで、地下にある粘土鉱物の検出やその 種類や性質の把握が可能になると考えられる。

このような背景から我々は、地球電磁気学的手 法を用いた粘土鉱床の探査と評価技術を開発する 研究を開始した。平成16年度は、愛知県北設楽 郡東栄町振草地区にあるセリサイト(絹雲母)鉱山 をモデルフィールドとして、様々な電気探査の手 法を適用する実験を試みた。本報告では、この結 果の概要について報告する。

2. セリサイト鉱山の概要

振草地区のセリサイト鉱山は新第三紀の火山活 動で形成された大峠コールドロン中にある。周辺 では流紋岩質火砕岩類が広く分布し、放射状及び 環状の岩脈が多数見られる。セリサイト鉱体の多 くは岩脈内部や縁に発達する節理に沿って発達し ており、各所で岩石の割れ目からセリサイトが染 み出すなどの鉱徴が観察される。ここで産出され るセリサイトは、その純度の高さと優れた官能特 性、高い白色度を有していることから世界的に見 ても大変貴重なもので、化粧品、特にファンデー ション用の体質顔料として必要不可欠な存在になっている。

3. 電気探査実験

電気探査実験では、図1に示すようにセリサイ ト鉱山の北部を覆うように、7本の東西方向の測 線と、2本の南北方向の測線を設置した。これら の測線は、高さ約105mのレベルにある西坑や本多 山坑や高さ85mのレベルにある井戸入坑の坑道を 覆っており、坑内で確認されている主要な鉱脈を 横切っている。今回の実験では、これらの測線の 全部あるいは一部を用いて、高密度比抵抗法、3 次元比抵抗法、自然電位法、鉱体流電電位法、IP 法、およびAMT法測定を実施した。また、井戸入



図1 振草地区セリサイト鉱山の地形、坑道図 および電気探査測線図。

坑内では自然電位法の測定を行った。さらに、坑 内での IP 法測定も試みた。ここでは、高密度比抵 抗法と自然電位法の解析・解釈結果の概要を示す。 (高密度比抵抗法)

高密度比抵抗法では、それぞれの測線に沿って 5m間隔でステンレス電極を配置し、多チャンネル 電気探査装置と多芯ケーブルを使用して、ダイポ ール・ダイポール配置とウェンナー配置のデータ を取得した。そして、各測線ごとに2次元解析を 実施した。全測線の地表下約 60m までの比抵抗構 造を図2に示す。



この図を見ると、1000 Ω m を超える高比抵抗体 の中に 100 Ω m 程度の小さな低比抵抗体が点在す ることがわかる。代表的な岩石のサンプル測定を したところ、安山岩が 1500~4000 Ω m、凝灰岩が 800~2000 Ω m、セリサイト粘土が 80~300 Ω m 程度 であったので、高比抵抗体は母岩となっている安 山岩や凝灰岩に対応し、低比抵抗体はセリサイト 脈に対応すると判断できる。低比抵抗体は調査地 域全体に分布しており、局所的に見られることか ら、セリサイト脈は場所によって幅や走向を変え ていると推定される。また、高比抵抗体の中でも 1000 Ω m 前後の部分や 10000 Ω m を超える部分があ り、比抵抗構造は複雑で、場所によって変質や含 水状況が異なると推定される。

(自然電位法)

地表の自然電位の測定は、高密度比抵抗法の電 極位置で、すなわち各測線に沿って5m おきに実 施した。また、井戸入坑内での測定は、坑道に沿 って約 20~30m 間隔で実施した。自然電位の基準 点を調査地の東方約 550m の位置に置き、銀-塩化 銀電極を用いて、各測点と基準点との電位差を計 測した。なお、地表の測定結果については標高と の相関が見られたため、標高に対し自然電位をプ ロットし、回帰直線によって補正係数-0.2898mV/m を求め、各測点の電位差を補正した。地表および 井戸入坑の自然電位分布図を図3に示す。



図3 地表(左)と井戸入坑(右)の自然電位分布。 調査地域の約 550m 東方の基準点との電位 差を示している。

自然電位値は地表、坑内とも、全体的には調査 地域西部では高く、東部では低くなる傾向がある。 特に調査地域の北西部は高い電位異常を示す。こ のような電位分布を作り出す原因は不明であるが、 東西で異なる粘土の性状や鉱化作用の強弱など地 質環境との関連性を考察している。

4. 今後の研究展開

平成 16 年度は愛知県北設楽郡東栄町振草地区 にあるセリサイト鉱山をモデルフィールドとして、 各種電気探査の適用実験を行った。実験データか ら求めた比抵抗構造や自然電位分布を、地表およ び坑内で得られている既存の地質情報と比較した ところ、両者は調和的であることが確認された。

また、ここでは示していないが、地表や坑内で 実施した IP 法より、セリサイト脈とその周辺に分 布する安山岩が高い充電率を示すことがわかり、 IP 法がセリサイト脈の直接探査に有効であるとい う感触を得た。なお、坑内で IP 法を実施するため、 非分極性電極を坑壁に設置する方法を開発したが、 この方法の有効性が今回の実験によって確かめら れたので、特許申請を行った。

平成17年度は、良質なセリサイトに富む鉱脈と そうではない鉱脈との区別のため、タイプの異な る複数の鉱脈を選び、比抵抗法とIP法の坑内測定 を実施するとともに、比抵抗異常や充電率異常が 捉えられた場所での精密な地質調査、岩石サンプ ルの化学分析や電気物性測定を行う予定である。 また、他の坑道内での自然電位測定や鉱山周辺で のAMT法の追加測定を行い、良質なセリサイトを 生成する酸化還元環境や深部熱水環境の解明を進 める。そして、それらのデータを総合し、良質な 粘土鉱床の探査および評価技術を確立したい。



第2部: グループおよび個人の研究

核磁気共鳴をもちいたコンクリートの新しいメンテナンス技術 New Method of Maintenance of Concrete by Nuclear Magnetic Resonance

物理探査研究グループ: 中島善人 Exploration Geophysics Research Group: Yoshito Nakashima Phone: 0298-61-3960, e-mail: nakashima.yoshito@aist.go.jp

1. はじめに

コンクリートは、すべての建築材料と同様、い つかは耐用年数を迎えて崩壊する。コンクリート ブロックの崩落事故は 1999 年ころ新幹線トンネ ルで頻発して社会問題になったが、今後さらなる 崩壊が起こる可能性が指摘されている¹⁾。高度経 済成長期以降に建設された多くのトンネル、橋梁、 およびマンションが 2006 年以降次々と寿命を迎 えるからである。言うまでもなく、コンクリート 建造物の崩壊は、国民の生命と財産を脅かす深刻 な危機であり、事故を未然に防ぎ建造物の寿命を 延ばすため、保守点検によって欠陥を早期発見し 適切な補修工事を施す必要がある。そのため、よ り精度の高いメンテナンス技術の新規開発が社会 から求められている状況にある。

種々のコンクリート欠陥の中でも、水を含む空 洞や亀裂は、凍結による亀裂進展、雨水や地下水 の浸透によるセメント水和物や鉄筋の変質を引き 起こすので、早期に検出しなければならない危険 性の高いものである。しかし、赤外線や打音等の 従来の検査技術では、水を含む欠陥を定量的に評 価・検出できない場合がしばしばある。このよう な社会的、技術的状況をふまえて、当部門では、 プロトン核磁気共鳴分光学を応用して、水を定量 計測できるユニークな物理探査装置(図1)の開 発を行っており²⁻⁴⁾、ここに開発進捗状況をレポー トするものである。

2.NMR 表面スキャナー

核磁気共鳴(Nuclear Magnetic Resonance, 以下 NMR と略記)とは、磁場中での原子核の歳差 運動を計測する分光学である。コンクリート欠陥 の評価においては、ターゲットとなる原子核は、 コンクリート中の空洞や亀裂中の水分子中の'H 核(プロトン)である。このように、NMR は水分 子を非破壊で直接的に計測できることを最大の特 長としており、弾性波や電気伝導度を用いた他の 物理探査技術に比べて水の定量能力で抜きんでて いる。



図 1 NMR 表面スキャナーによるコンクリ ート壁の検査のイメージ。水で満たされた空 洞中の水分子の水素原子核を、磁石で歳差運 動させコイルで検出する。

図2は、NMR 表面スキャナーのセンサー部分で ある。円筒形の磁石の端面に「背中合わせ状態」 のD型コイルが2つ載せてある。このコイル表面 から1.5 cm離れた空間がセンサーの感度領域であ り、探査深度は1.5 cmということになる。このセ ンサーは、シグナルの増幅・フィルタリングなど を行う分光器本体に同軸ケーブルで接続されてい る。

計測手順としては、まず、センサーをコンクリ ートに押し当てて(図3)、コイルから¹H 核の共 鳴周波数に相当する 3.5MHz のラジオ波パルスを 照射する。次に、パルスの照射によって励起され たスピン系が熱平衡に回帰する横緩和過程を、同 じコイルを用いてリアルタイム計測する。横緩和 過程はたかだか 2·3 秒のスケールの現象であるが、 S/N が悪いと多数回積算することになるので、計 測所要時間は数分から 10 数分になる場合がある。 ちなみに、計測中はコイルに電流が流れるだけな ので、機械的に動く部分はなく、したがって騒音 はほとんど発生しない。得られた横緩和の時系列 データの振幅は、感度領域中の水分子の数に比例 するので、水の体積分率すなわち水で飽和した多 孔質媒体の空隙率に定量的に換算できる。



図 2 NMR 表面スキャナーシステムのセンサ
一部分(磁石とコイルからなる)。センサーの
感度領域の概形を立方体で図示。

3. 開発の進捗状況と今後の展開

現在、基本的なシステム構築作業は完了し、屋 外での試運転(図 3)を開始したところである。 また、水の定量能力を確認するための室内キャリ ブレーション実験も併行して行っている²⁻⁴⁾。その 室内実験の結果、この計測システムは開口量 0.1cm 以上 1.5cm 以下の水を含む亀裂の定量計測 ができることがわかった。

このように、探査深度が 1.5 cm しかないプロト タイプながらも、コンクリート中の亀裂幅を定量 的にスキャンできることが確認できた。今後は、 トンネル等での原位置試験を計画している。また、 コンクリート表面には現れないより深部の空洞ま たは亀裂の検出も重要な開発課題である。当部門 では、探査深度 5 cm 以上の NMR 表面スキャナーも 別途開発中であり、企業との共同研究を視野に入 れながら、NMR 物理探査技術の社会への提供を今 後も進めていく予定である。



図 3 NMR 表面スキャナーシステムの屋外で の試運転風景。図2のセンサー部分をコンクリ ートに押し当てて、表面から1.5cm奥にある水 を計測中。右隣のラックは分光器本体で、3相 200V電源に接続されている。

参考文献

- 1)小林一輔(1999)コンクリートが危ない, 岩波 書店.
- 2) 中島善人・宇津澤慎(2005) 核磁気共鳴を用い た物理探査装置の開発:岩盤、コンクリート の水理学的パラメーターの原位置計測にむけ て、地質と調査(印刷中).
- 3) S. Utsuzawa, Y. Nakashima, R. Kemmer (2005) Unilateral NMR device using a novel barrel shaped magnet, J. Magn. Reson. (投稿中).
- 4) 中島善人(2005) NMR 表面スキャナー:コンクリ ートの新しいメンテナンス技術の提案,産総 研 Today, 10 月号(印刷中)下記のサイトで フルテキストの無料ダウンロード可能. http://www.aist.go.jp/aist_j/aistinfo/aist_tod ay/at_research_main.html

地圈資源環境研究部門成果報告書2005 (GREEN REPORT 2005) AIST04-C00014-2

平成17年10月7日発行 編 集:独立行政法人産業技術総合研究所 地圈資源環境研究部門

発行者:瀬戸政宏

〒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 2005

Geological Storage of CO2

Research Reports of The Institute for Geo-Resources and Environment. With Special Topics of Geological Storage of CO2

7 October 2005



GREEN INSTITUTE FOR GEO-RESOURCES AND ENVIRONMENT

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

地圈資源環境研究部門成果報告書2005 (GREEN REPORT 2005) AIST04-C00014-2