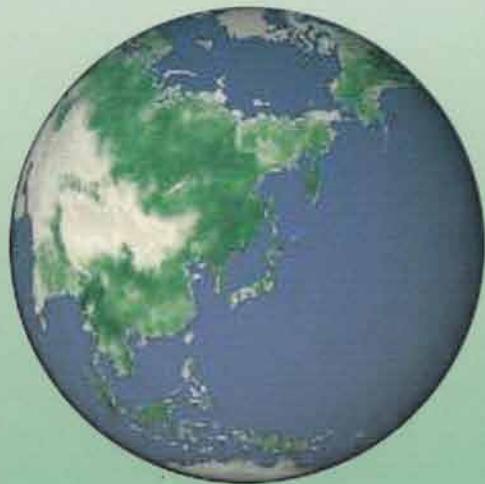




GREEN Report 2002

地圏資源環境研究部門成果報告会

一部門発足2年目の現状と展望



平成14年12月6日

AISTつくばセンター

独立行政法人産業技術総合研究所

地圏資源環境研究部門



まえがき

平成13年4月1日に、私たちの地圏資源環境研究部門は独立行政法人「産業技術総合研究所」の研究部門の一つとして誕生しました。平成13年度は発足の初年度であり、業務体制の確立など何かとあわただしい1年でしたが、2年目の本年度は幾分落ち着いてきた感があります。本年度から当部門の事業全般にわたる成果報告会を開催し、皆様に私どもの成果を紹介させていただくこととしました。

はじめに、当部門の運営のポイントについて述べさせていただきます。

ユニットのミッション

地熱・燃料・鉱物資源を含む天然資源の安定供給のための調査・研究・技術開発、また、地圏の利用や地圏環境の保全のための地圏環境に関する調査・観測及び利用技術の開発・研究を行う。

地圏資源環境研究部門は、産業や我々の社会生活に欠かせない天然資源の安定供給を目指して、地熱、化石燃料、鉱物など地圏に存在する基盤的天然資源の探査、評価・計画、開発、利用に関する研究を行います。また、地下空間の利用に関する研究も行います。さらには、これらの開発、利用行為によって生じる地圏環境への影響予測、保全計画、開発時保全、稼行時保全に関する研究を行います。これらは、地圏システムにおける資源及び環境の研究と総称することができます。

課題の設定・設計

地圏資源環境研究部門の研究範囲はこのように、広く多岐にわたっていますが、その中で、これまでに培った技術や情報の蓄積を基に、国内唯一の、地圏資源環境にかかる理学・工学の有機的研究連携組織として、特に国や社会からの要請が高く、他に比べ優位性の発揮できる部分に研究を重点化させます。これらの研究は、研究分野の専門性という点では、地球科学（地質学、地球物理学、地球化学、水文学）と地圏工学（資源工学、岩盤工学、安全工学）両分野の広範な専門知識と、これまで蓄えてきたデータに基づいて、他機関とも連携しながら七つの重点課題とその他の重要課題に取り組んでいきます。また重点研究の立脚点である地球科学や地圏工学の基礎を高度に保つことや、そこから有望なシーズを産み出すことにも配慮します。

1. 地熱貯留層評価管理技術の開発
2. 石炭起源ガス・ガスハイドレート資源評価技術の開発
3. 大規模潜頭性熱水鉱床の探査手法の開発

4. 東アジアにおける資源開発研究協力・技術協力
5. 地圏資源環境に関する知的基盤情報の整備・提供
6. 地圏利用のための地圏特性評価とモニタリングの開発
7. 地圏環境汚染評価手法の開発
8. その他の重要課題

実施体制

地圏資源と地圏環境の各研究範囲に応じて、満遍なく12の研究グループを配置し、重点課題と重要課題の研究に当たります。部門長をヘッドとする運営本部を設け、副部門長と総括研究員は運営上の役割を分担します。

1. 貯留層変動探査研究グループ
2. 高温岩体研究グループ
3. 地熱資源研究グループ
4. 燃料資源地質研究グループ
5. 資源有機地化学研究グループ
6. 鉱物資源研究グループ
7. アジア地熱研究グループ
8. 物理探査研究グループ
9. 開発安全工学研究グループ
10. 地下水資源環境研究グループ
11. 地圏環境立地研究グループ
12. 地圏環境評価研究グループ

社会状況変化への対応

私たちを取り巻く社会情勢は刻々と変化していますが、資源と環境を研究の2本の柱とすることは不变です。これまで資源によりウェイトを置いていましたが、今後は両者をバランスさせていきます。また、これらの研究が根ざす「地質の調査」も恒常的に行っていきます。

資源については国内の主だった資源が枯渇状態にあります。資源の探査・評価技術等の研究ポテンシャルを活かし、国際展開を図るとともに、国内未利用資源（ガスハイドレート、地中熱、等）の開発に役立つ研究を行っていきます。

地熱資源に関しては、ビッグプロジェクトが平成14年度に終了し、研究見直しの時期を迎えます。WGを組織し見直しの検討を開始したところです。

環境については、より安全な生活環境を求める強い社会の声があります。当部門は、地下水、地下モニタリング、岩石力学、土壤汚染等の研究を強化していきます。

新法（土壤汚染対策法）の発効を控え、特に期待の大きい土壤汚染を主体とする研究に専念する研究グループとして、平成14年10月に地圈環境評価研究グループを新設しました。産総研マッチングファンドを足がかりとして、内外と連携した研究を積極的に進めます。

外部評価への対応

産総研の発足とともに成果に対する外部評価の必要性が叫ばれ、当部門も外部委員を含む評価ボードによる評価を毎年受けることになりました。当部門では、重点研究項目ごとに担当者を指名し、説明資料のとりまとめとボード時の説明に当たっています。平成13年度には、お陰で高い評価をいたぐことができました。

適切に評価していただくには、分かりやすい評価資料を作成して、評価委員の方々との十分なコミュニケーションのもとに、私たちの研究を理解していただくことが重要だと考えています。この点、今後も努力を続けていきます。

成果報告会は、毎年定期的に開くよう予定しています。平素より当部門の業務運営に格別の御理解をいただいていることに厚く御礼申し上げるとともに、今後も変わらず御高配を賜りますよう、心よりお願い申し上げます。

平成14年12月6日

地圈資源環境研究部門長

野田徹郎

目次

第1部：重点研究課題

地熱貯留層評価管理技術の開発	山口 勉	1
石炭起源ガス・ガスハイドレート資源評価技術の研究	奥田 義久	5
大規模潜頭性熱水鉱床の探査手法の開発研究	青木 正博	7
東アジアにおける資源開発研究協力・技術協力	青木 正博	9
地図資源環境に関する知的基盤情報の整備・提供	奥田 義久	11
地図利用のための地図特性評価とモニタリングシステムの開発	松永 烈	13
地図環境汚染評価手法の開発	松永 烈	15
その他の重要課題	山口 勉	17

第2部：グループおよび個人の研究

最近の研究活動	野田 徹郎	21
地下の環境保全と資源開発	奥田 義久	23
高温岩体開発とトレーサ試験	松永 烈	25
安全衛生および国際担当としての活動／熱水鉱化作用に関する研究活動	青木 正博	27
高温岩体研究開発の今後の展開	山口 勉	29
貯留層変動探査研究グループの紹介	石戸 恒雄	31
地熱貯留層のモニタリングとモデリング	石戸 恒雄	33
重力モニタリングによる貯留層変動探査	杉原 光彦	35
熱水系の比抵抗探査とモニタリング	高倉 伸一	37
新しい物理探査手法の開発を目指して	当舎 利行	39
貯留層変動探査－坑井水理試験法の研究－	中尾 信典	41
熱水対流系の研究	西 祐司	43
地下の流体流動と熱流動のモデリング	安川 香澄	45
高温岩体研究グループの紹介	山口 勉	47
DSCAによる地圧計測法の研究	及川 寧己	49
地下深部開発・利用のための坑井内多成分弾性波計測による地下計測	相馬 宣和	51
岩盤力学を活用した研究の紹介	竹原 孝	53
人工貯留層の流動・抽熱特性について	天満 則夫	55
肘折HDR長期循環試験のトレーサーおよびスケールについて	柳澤 敏雄	57
メタンハイドレート生産手法開発	坂本 靖英	59
地熱資源研究グループの紹介	玉生 志郎	61
未利用地熱資源の開発を目指して！	玉生 志郎	63
地質データを用いた地中熱利用の適地選定手法の検討	大谷 具幸	65
地熱資源評価と火山学	阪口 圭一	67
流体流動に寄与する断裂系要素の研究	佐々木宗建	69
地熱資源の新評価・アセスメント－電子地球科学情報とGISを基盤として	茂野 博	71
地熱変質作用の研究	谷口 政穎	73
地熱地質学から地熱年代学へ：変動する地熱系	水垣 桂子	75
燃料資源地質研究グループの紹介	棚橋 学	77
メタンハイドレート地化学探査法とその他	棚橋 学	79
石炭起源天然ガス、メタンハイドレートの探鉱技術高度化に関する研究	小田 浩	81
ガスハイドレートの分布・産状・メタン量と資源量	佐藤 幹夫	83
燃料資源探鉱のための基礎的研究と関連業務に従事	徳橋 秀一	85
ターピダイト貯留岩研究を中心として	中嶋 健	87
燃料資源にかかる熱流量探査の研究	松林 修	89
南海トラフ付加体の地質構造と天然ガスポテンシャル	森田 澄人	91

日本海拡大時に堆積した淡水成堆積物	小松原純子	93
資源有機地化学研究グループの紹介	坂田 将	95
天然ガス資源の有機地化学的研究を中心として	坂田 将	97
自然界に存在する軽質炭化水素の研究	猪狩俊一郎	99
水溶性ヨウ素-天然ガス鉱床の地球化学的研究	金子 信行	101
新世紀の石炭地質研究をめざして	鈴木祐一郎	103
メタンハイドレートの合成実験を行って	前川 竜男	105
鉱物資源研究グループの紹介	須藤 定久	107
鉱物資源・骨材資源の研究を中心に	須藤 定久	109
風化花崗岩の資源評価の試み 一細骨材としての真砂の諸特性一	小村 良二	111
東アジアのメタロジエニー	佐藤 輿平	113
工業原料鉱物の研究を中心として	平野 英雄	115
資源探査におけるリスク削減の研究	村尾 智	117
鉱物資源探査手法の研究	渡辺 寧	119
アジア地熱研究グループの紹介	村岡 洋文	121
アジア地熱研究を中心として	村岡 洋文	123
世界の環境と開発のバランスを考える	大久保泰邦	125
アジア・日本の地熱資源の研究	佐脇 貴幸	127
物理探査研究グループの紹介	内田 利弘	129
電磁探査法の技術開発と適用	内田 利弘	131
プロトンNMR物理探査の研究	中島 善人	133
ランダム不均質媒質における地震波伝播の研究	西澤 修	135
電磁探査法データの2.5次元・3次元解析手法の開発	光畠 裕司	137
弾性波を用いた物理探査およびその応用	横田 俊之	139
開発安全工学研究グループの紹介	青木 一男	141
旧産炭地における地下水の挙動について	青木 一男	143
PDCビットの開発について	大野 哲二	145
環境低負荷発解体技術の開発について	緒方 雄二	147
坑井掘削の高度化および高能率化を目指して	唐澤 廣和	149
鉱山保安研究	鈴木 忠	151
鉱山を中心としたヒューマンファクターズとリスクマネジメント	田中 敦子	153
メタンに関する研究を中心として	羽田 博憲	155
災害事例データベースとその活用	和田 有司	157
地下水資源環境研究グループの紹介	石井 武政	159
RR2002における「黄河流域の地下水の收支・循環・利用に関する モデリングと将来予測に関する研究」	石井 武政	161
地下水水流動と地下温度構造に関する研究を中心として	内田 洋平	163
水文地質の研究	田口 雄作	165
地下水の研究	丸井 敦尚	167
地圈環境立地研究グループの紹介	国松 直	169
環境振動、施設立地に係わる研究活動の紹介	国松 直	171
屋外における騒音伝搬に係る研究	今泉 博之	173
放射性廃棄物処分概念の最近動向	楠瀬勤一郎	175
液状化、岩盤・地盤特性の計測・モニタリング	神宮司元治	177
ウインドスクリーン：屋外騒音計測	高橋 保盛	179
地下深部岩盤初期応力の実測	長 秋雄	181
地圈環境評価研究グループの紹介	駒井 武	183
地圈環境リスク評価システムの開発	駒井 武	185
蛍光トレーサーの特性調査および地熱開発に関する研究	杉田 創	187
地圈環境と微生物との相互作用の解明及び地質汚染浄化への応用	竹内 美緒	189
執筆者名索引		
執筆者名索引		191

地熱貯留層評価管理技術の開発

Technology for geothermal reservoir evaluation and management

総括研究員： 山口 勉
 Principal Research Scientist: Tsutomu Yamaguchi
 Phone: 0298-61-8733, e-mail: t-yamaguchi@aist.go.jp

1. 研究目的

地熱発電所の出力減衰を未然に防ぎ、経済性のある持続的開発を将来にわたって行うためには、発電開始後の早い時期に貯留層の変動を捉え、将来挙動を予測して最適生産シナリオを作成するための貯留層評価管理技術の開発が緊急の課題となっている。

当研究課題では、ヒストリーマッチングに地球物理学的モニタリング手法を適用した貯留層評価管理技術を確立し広く普及させることを目的としている。このために要素技術開発として、NEDOと連携を取りつつ先導的、基盤的、また補完的研究を平成14年度まで実施する。断裂系の水理特性探査では、SA法による逆解析法、NMR検層法の地熱井での実用化等を目標とする。貯留層変動探査では、可搬型絶対重力計を組み込んだ観測システム、貯留層深度を対象とした高密度3次元電気探査法、地熱地域での地震波アレイ観測法・散乱重合法の実用化等を目標とする。また、室内実験技術を駆使して探査の有効性向上のための基礎的知見を得るとともに、貯留層シミュレーションについての基礎研究の成果をNEDOへトランスファーし実用化を支援するとともに、関連技術の改良を図る。地質学的分析技術については熱源岩深度推定実験法等の地熱分野での実用化を図る。以上の要素技術開発は、実用化的観点で世界の最先端にあるものであり、その成果は、地下での流体流動が関与する他分野へも広く普及が可能である(図1)。

以上の要素技術開発に加え、平成14年度～16年度の3年間は、貯留層変動の把握・予測技術のシステム統合化を行う(図2)。複数のモニタリング項目を同時に実施することで、ヒストリーマッチングによるモデル構築の精度が飛躍的に向上すること、また定期点検時の集中観測が費用対効果に優れていることが予想される。地熱ディベロッパー等との共同研究により現場観測・シミュレーション解析を行い、抽出された問題点を解決するとともに、先導研究の成果を取り入れ普及可能な実用的システムを提案する。

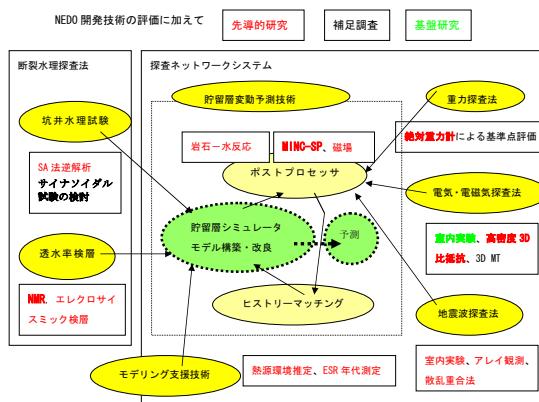


図1 要素技術開発（平成9-13年度）の体系。室内実験、野外計測技術、数値シミュレーション技術など基盤研究、先導研究の成果をNEDOにトランスファーするとともに補足調査等を通してNEDO技術開発を支援する

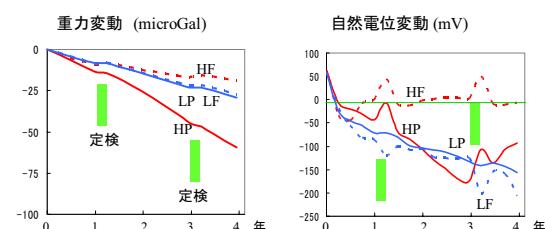
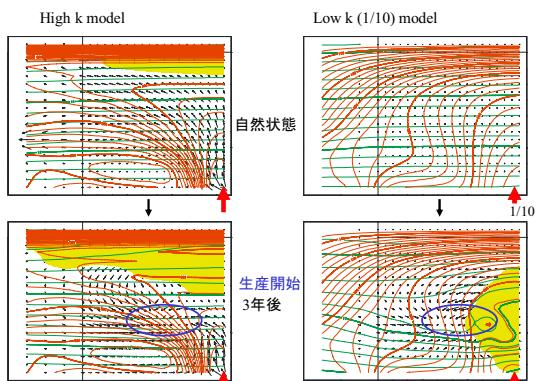


図2 「システム統合」の意義：貯留層の浸透率が大(H)か小(L)、媒質が多孔質(P)かフラクチャー型(F)として、4つの組み合わせについて発電開始後の重力変動、SP変動を数値シミュレーションした例。重力・SPの同時モニタリングによって、4つのタイプのいづれであるかを同定できることを示している。

2. 研究資源

1) 研究員

貯留層変動探査研究グループ(7)

石戸恒雄(リーダー)・當舎利行・杉原光彦・
西祐司・高倉伸一・中尾信典・安川香澄

物理探査研究グループ(5)

内田利弘(リーダー)・西沢修・横田俊之・中
島善人・光畠裕司

地熱資源研究グループ(2)

茂野博・水垣桂子

アジア地熱研究グループ(2)

佐脇貴幸・大久保泰邦

当部門外より松島喜雄・東宮昭彦・竹野直人

2) 予算

委託費「貯留層変動探査法の研究開発」

3. 平成14年度の研究計画

平成14年度はNEDO「貯留層変動探査法開発」のまとめの年に当たるが、WG活動等を通してこれを支援するとともに、坑井水理試験法、透水率検層法、モデリング支援技術、並びに重力、電気・電磁気、地震波の各探査法について、これまでの先導研究の成果を中間報告書としてまとめるとともに、逐次、国際誌等へ掲載する。

システム統合化については、奥会津地域、大霧地域において実用化を念頭においた重力・SP等観測システムを設計し、集中観測を通して問題点の抽出並びに解決を図る。また、既存データ並びに既存モデルに基づいた予備的な貯留層モデリングまでを行い、平成15年度以降の統合ヒストリーマッチングの準備を行う。

4. 平成14年度の進捗状況

断裂水理探査法の開発では、SA法による逆解析法について3次元モデルによる実データ解析を行いその実用化可能性を確認した。NMR検層法(写真1)については、これまでの研究成果を国際誌等に公表するとともに特許申請を行った(図3)。



写真1 澄川におけるNMR検層。

エラー!

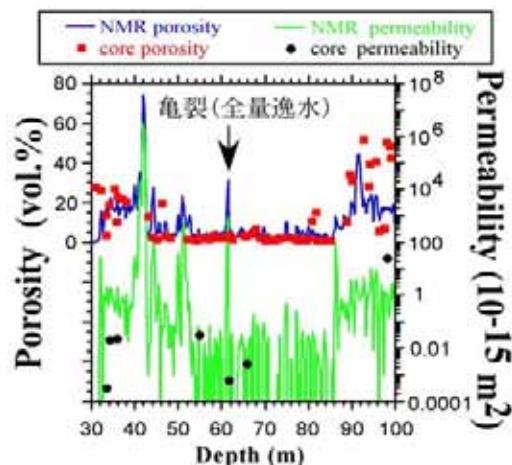


図3 NMR検層結果とコアデータとの対比

探査ネットワークの開発では、重力探査法において可搬型絶対重力計の目標精度0.005mGalを達成した。電気・電磁気探査法では、高温下での室内実験結果の評価を終え、世界に先駆けて高温下ゼータ電位の測定データを国際誌に公表した(図4)。またAMT法装置を導入し予備的評価を行うとともに、3次元電気探査法-自動電気探査装置の最大12Aへの高出力化などを達成し実用的システムを構築した(登録特許2件)(図5、写真2)。地震波探査法では、散乱重合法の新たな解析法を開発するとともに、実データ解析結果並びに室内実験に基づく検討結果を国際誌等に公表・投稿した(図6、写真3)。モデリング支援技術では、これまでの実験・解析結果をまとめ誌上発表した(図7)。以上に加え、九州電力、三菱マテリアル、電源開発、地熱エンジニアリング、道南地熱エネルギーとの計5件の共同研究を実施し、要素技術の実用化を目標に補完調査を実施した。

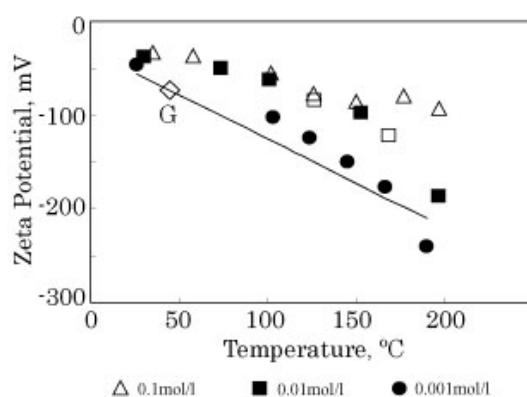


図4 ゼータ電位の温度変化

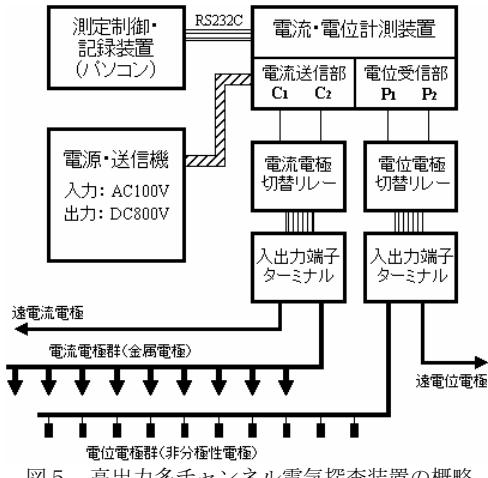


図5 高出力多チャンネル電気探査装置の概略



写真2 高出力多チャンネル電気探査装置

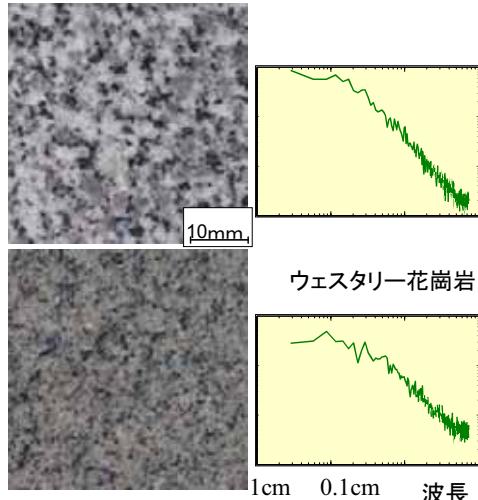


図6 花崗岩のランダム不均質構造

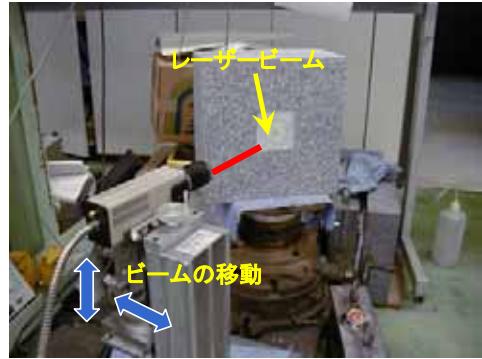


写真3. レーザードップラー振動計による弾性波動場計測実験。

システム統合化については、奥会津地域を対象に東北電力・奥会津地熱と、また大霧地域を対象に日鉄鹿児島地熱との共同研究をスタートさせた。奥会津地域では、基準点評価を高精度に行なった重力観測、電極分極を抑えたSP観測に成功し、定期点検時の蒸気生産停止に伴う0.01mGal程度の重力変動(図7、写真4)、及び低抵抗域に局在したSP変動を検出できた(図8)。この結果は、これまでにNEDO・産総研によって取得された定期点検時の変動データと合わせ、ヒストリーマッチングにて重要な拘束条件を提供する。大霧地域では、隣接の白水越地域の噴気試験に合わせて、重力・SP・比抵抗・AE・傾斜計の集中観測を実施した。SPで噴気試験に伴う蒸気ゾーン拡大による明瞭な変動を捉えるなど、新規開発地域での有効性を示した。いずれの地域においても、最近の掘削データの解析、既存モデルに基づいた予備的な貯留層モデリングを進めた。貯留層シミュレータと地球物理学的ポストプロセッサーをベースとした解析技術については、最近の岩石物性測定の結果を取り入れてSP、比抵抗、磁場、地震波等のポストプロセッサーについて断続型貯留層に対応した機能拡張を行い(図9)、成果普及のためのコンソーシアム設立の準備を進めた。

奥会津で2002年3~6月に2週間毎5日間の測定を実行。絶対重力測定結果(右下図)と、相対重力測定によって推定された時間変化(中央図赤線)には明瞭な差がある。10数マイクロガルの重力時間変化の評価における絶対重力測定の意義を示す

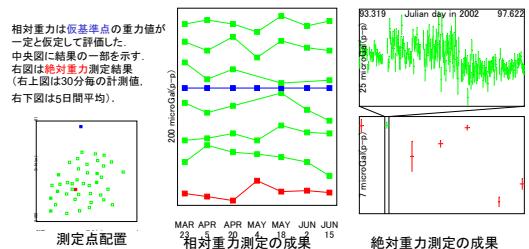


図7 奥会津地熱地域における絶対重力測定

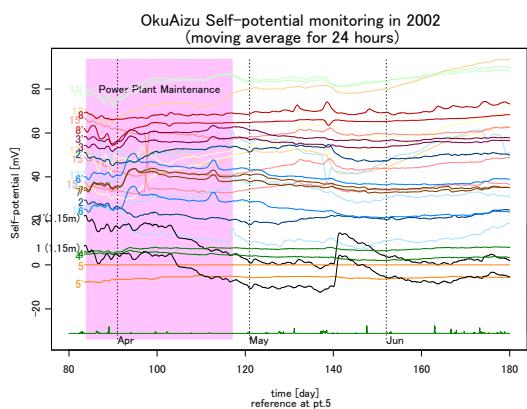


図8 奥会津地熱地域における自然電位変化



写真4 柳津西山地熱地域での絶対重力測定状況

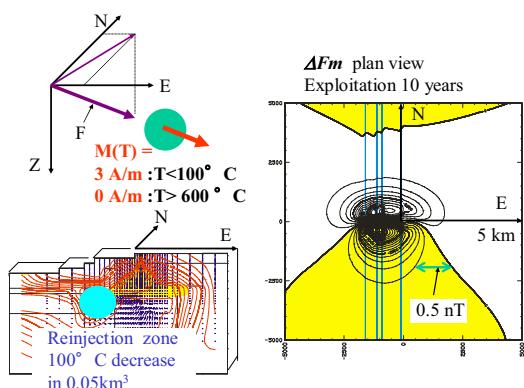


図9 磁場ポストプロセッサーによる計算例。

5. 平成15年度計画 システム統合化の2年次目の共同研究として、

奥会津地域では、前年度取得した重力・SPの同時モニタリングのデータを使った統合ヒストリーマッチングを実施する。大霧地域では、前年度に白水越地域の噴気試験に際して取得したデータを用いて貯留層モデルの構築を行う。また、5月の定期点検前後に比較的小規模な複数手法同時モニタリングを行い、そのデータを用いた統合ヒストリーマッチングを実施する。これら一連のモデリングを通して地球物理学的ポストプロセッサー等の解析ツールについて問題点を抽出し改良を進めるとともに、室内実験の結果から関連パラメータについての体系的設定法を構築する。

論文発表（査読有）

- 中島善人、多孔質媒質の空隙サイズのプロトン横緩和時間への影響:NMR検層のための基礎実験、物理探査、vol. 55, 31-44 (2002. 2)
- Watanabe, Y. and Nakashima, Y., RW3D.m:Three-dimensional random walk program for the calculation of the diffusivities in porous media, Computers and Geosciences, vol. 28, 583-586 (2002. 4), IF=0.424
- 中島善人、NMR物理探査の原理、物理探査、vol. 55, 105-12 (2002. 4)
- Hunt, T. M. and Sugihara, M., Measurements and use of the vertical gravity gradient in correcting repeat microgravity measurements for the effects of ground subsidence in geothermal systems, Geothermics, 31, 525-543 (2002. 9), IF=0.25
- Sivaji.C., Nishizawa, O, Kitazawa, G., and Fukushima, Y., A physical-model study of the statistics of seismic waveform fluctuations in random heterogeneous media, Geophys. J. Int., vol. 148, 575-595 (2003. 3), IF=1.544
- 當倉利行・石戸経士・中西繁隆・横井浩一、地熱地域における貯留層診断技術-熱水流動シミュレーションと組み合わせた解析方法、物理探査、54, 433-454 (2001. 12)
他3件

プロシードィングス

- Nakao, S., and Ishido, T., Hydrological characterization of fractured geothermal reservoir using sinusoidal pressure transient test, proceedings of the 6th International Symposium on Recent Advances in Exploration Geophysics in Kyoto, 96-101 (2002. 1)
- Takakura, S., Takahashi, T., Yokoi, K., and Sasaki, Y., Repeated 3-D electrical surveys for geothermal reservoir monitoring:A case study in the Ogiri field, Kagoshima, Japan, Proceedings of the 6th International Symposium on Recent Advances in Exploration Geophysics in Kyoto, 90-95 (2002. 1)
- 横田俊之・松島潤・大久保泰邦・六川修一・小池江幸・尾西恭亮、秋田県秋の宮地熱地域における繰り返し反射法地震探査による貯留層モニタリング-Baseline surveyについて-, 物理探査学会第106回学術講演会論文集, 59-62 (2002. 5)
他8件

出願特許等

- 高倉伸一、電気探査用の電極切替装置、特許第3297730号、14.4
- 高倉伸一、等分割式双方向型多芯ケーブル、特許第3297731号、14.4
- 中島善人、核磁気共鳴法を用いた地層の浸透率の推定方法、特願2002-220536、14.7

受賞、表彰

高倉伸一、物理探査学会学会賞



石炭起源ガス・ガスハイドレート資源評価技術の研究

Research on resources assessment of
coal-originated gases and natural gas hydrates

副研究部門長： 奥田義久

Deputy Director: Yoshihisa Okuda

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

1. 研究の目的と概要

クリーンエネルギーである天然ガスの資源安定確保に資することを目的として、日本周辺海域に分布し将来性のある非在来型天然ガス資源である石炭起源天然ガス・ガスハイドレート等の新たなタイプの天然ガス資源に関する地下資源探査・資源量評価・開発・安全対策・環境保全に関連する技術開発研究を実施し、特に、鉱床の成因・形成機構の解明と資源ポテンシャル評価技術の確立、およびガスハイドレートの貯留層内生産挙動予測技術等に関する研究を重点的に行う。

2. 研究資源

1) 参加研究グループ

燃料資源地質 RG、資源有機地化学 RG、高温岩体 RG、開発安全工学 RG、地圏環境評価 RG

2) 研究予算

委託費・運営費交付金：205 百万円

3. 研究の進捗状況

1) 石炭起源ガスに関する研究

三陸沖およびその周辺陸域の石炭起源天然ガス資源ポテンシャル評価に資することを目的として、ジャパンエナジー石油開発（株）と共同研究を実施しており、三陸沖資源ポテンシャル図作成作業を進めている（図1）。また、北海道第三紀の石炭層の共同調査を実施し、特に、北海道石狩炭田美唄地区、夕張地区、及び空知地区等で石炭、炭質頁岩等の試料を採集し、ビトリナイト反射率、石炭組織、ロックエバル等の炭質・バイオマーカーを分析した。石狩炭田の石炭中には、溶媒抽出物の飽和炭化水素留分中に特徴的な陸上高等植物の

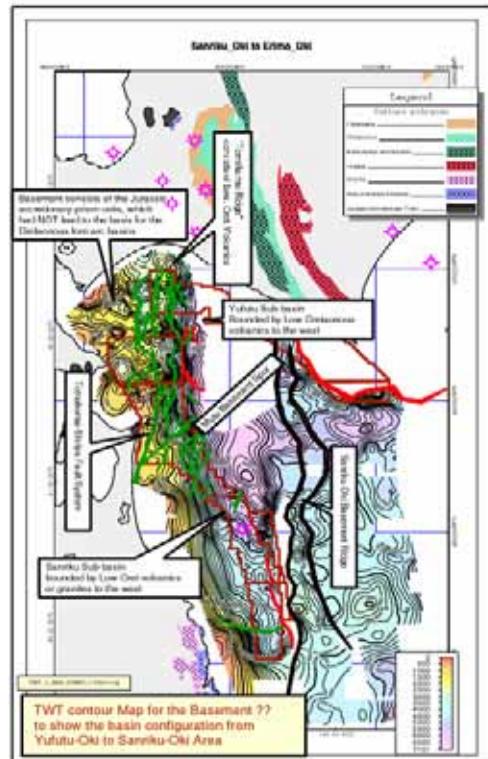


図1 三陸沖の基盤地質構造

2次代謝物由来するditerpaneが多く含まれております、diterpaneが石油天然ガスポテンシャル評価指標として有用と考え、北海道産の原油のバイオマーカーを検討したところ、宗谷地方産（豊富）原油にはditerpane化合物を多く含むものが存在し、その原油の根源有機物として石炭であると推測されるが、一方、札幌北方の厚田油田の原油にはditerpane化合物は含まれておらず、海成層起源の可能性が大きいことが明らかとなつた（図2）。この結果、北海道では、石炭起源と非石炭起源の原油天然ガス生成が可能と判明し、この結果、概ね、

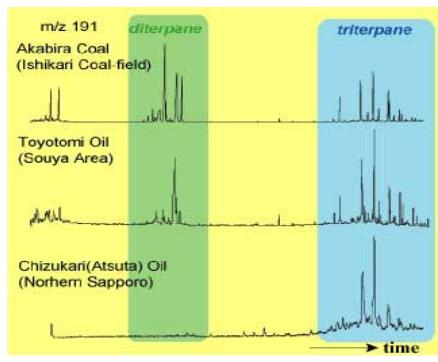


図2 赤平炭および豊富油ガス田の原油、厚田油田（知津狩）原油のバイオマーカー比較図

苦小牧、長沼、増毛を結ぶ南北線より東側に石炭起源の油ガス鉱床が成立したと推定される。

2) ガスハイドレート資源評価に関する研究

昨年度から今年度にかけて、カナダマッケンジーデルタにおけるメタンハイドレート掘削調査、ブレーク海嶺の地化学探査航海調査、南海トラフ海域における「しんかい2000」、「しんかい6500」、「KAIYO/KAIKO」調査航海に参加し、また、まもなく12月-1月の間に実施される第2白嶺丸「南海トラフ地化学探査航海」を準備中である。

今までの調査で得られたサンプル試料の分析を実施し、例えば、南海トラフの第二天竜海丘から得られた海底堆積物中の炭化水素組成を分析してアーケア起源と判断されるバイオマーカー（クロセタン、ペンタメチルアイコサン）を検出した。

また、ガスハイドレートの成因と関連する水溶性天然ガスのガス成分や付随水の炭素同位体組成を測定し、それらのメタンの起源や鉱床成因の地化学的検討している。例えば、わが国の水溶性天然ガスの炭素同位対比のヒストグラムは-66‰（南関東、新潟、宮崎）と-60‰（中条、象潟/金浦）にピークを持つバイモーダル分布を示し（図3）、その起源や成因が複雑であることを示している。

また、ガスハイドレート生産挙動予測技術研究として、主に圧密挙動評価用の解析モジュールの開発（室内実験のシミュレーション）と相対飽和率評価用の透水率評価モジュールの開発にかかる研究を、今年度から開始した（図4）。

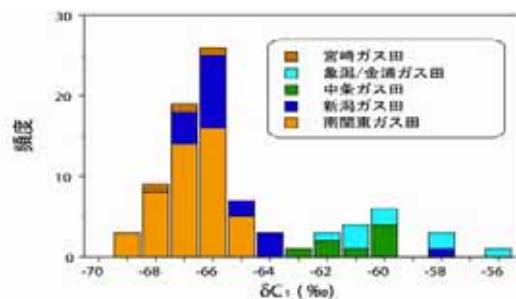


図3 国内水溶性天然ガスのメタン炭素同位体比の分布

生産シミュレータ開発

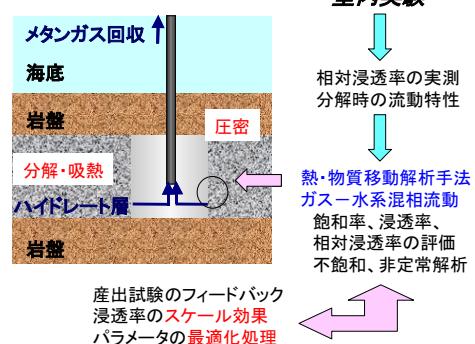


図4 生産シミュレータ開発研究の概念

4. 今後の研究計画

- 1) 石炭起源天然ガスの研究に関しては、地質調査と地化学分析により石炭質の根源岩ポテンシャル評価を進め、堆積盆評価を実施する。
- 2) ガスハイドレートの資源評価研究に関しては、地化学探査及び集積メカニズム解明等の研究を中心、ガスハイドレートの資源評価技術に関する研究を継続するとともに、生産挙動予測技術の研究を発展させる。

主要参考文献

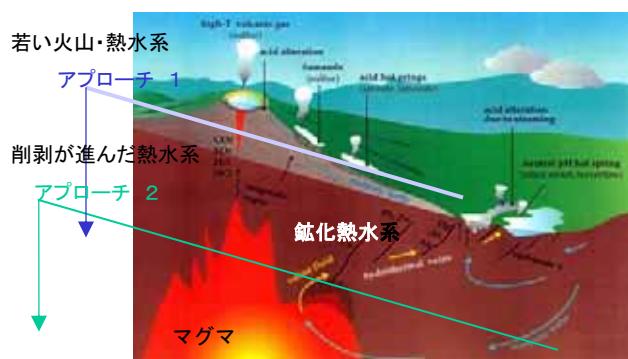
- ・金子信行・前川竜男・猪狩俊一郎、アーケアによるメタンの生成と間隙水への濃集機構、石油技術協会誌, 67, 97-110 (2002) .
- ・鈴木祐一郎・藤井敬三、石油システムにおける石炭からのガス生成機構の問題点. 石油技術協会誌, 67, 30-37 (2002) .
- ・Takeshi Komai, Taro Kawamura, S. Kang, Kazushige Nagashima and Yoshitaka Yamamoto: In situ Observation of Gas Hydrate Behavior under High Pressure by Raman Spectroscopy, J. of Physics(C), 14, .44, 11395-11400 (2002) .

大規模潜頭性熱水鉱床の探査手法の開発研究 Research for development of exploration logics for large-scale blind ore deposits

総括研究員： 青木正博
Principal Research Scientist: Masahiro Aoki
Phone: 0298-61-3820, e-mail: masahiro-aoki@aist.go.jp

1. 研究の目的と概要

中長期的な鉱物資源の安定供給のために、探査技術の高度化が必要である。露出鉱床の多くがすでに探査・開発された現状で残された課題は、潜頭鉱床の探査と資源量評価である。本研究においては、この困難な技術課題への取り組みとして、熱水鉱床の物質的・エネルギー的中心（冷却過程のマグマ）と、それを取り巻く様々な熱水現象の時空関係を実証的に検討し、潜頭性熱水金属鉱床の探査指針を導き出すことをねらう。地表から貫入岩頂部までの広範な温度圧力条件にわたる、熱水系の全体を視野に入れる必要があるため、削剥のきわめて少ない大規模潜頭鉱床の研究（第1図アプローチ1）と、削剥が進み貫入岩頂部付近まで露出した鉱床の研究（第1図アプローチ2）を相互補完的に実施する。



第1図 大規模潜頭性熱水鉱床の探査手法の開発研究の視野

2. 研究資源

1) 参加研究グループ

鉱物資源 RG、貯留層変動探査 RG、微小領域同位体 RG、北海道地質調査連携研究体、マグマ活動研究グループ

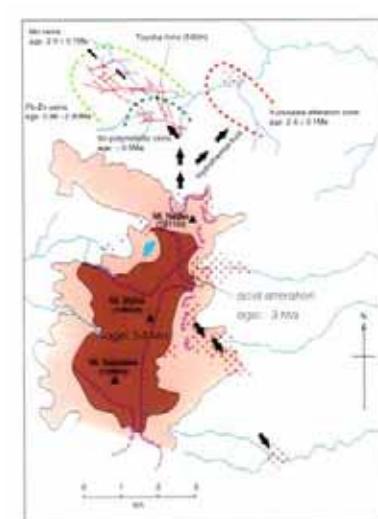
2) 研究予算

運営費交付金：6.1 百万円

3. 研究の進捗状況

1) 潜頭性大規模熱水鉱床の評価（アプローチ1）

北海道南部無意根－豊羽熱水系において、熱水活動の地表兆候の地球化学的解析、地下中深部の低比抵抗帯の電磁気探査による可視化、多金属ベースメタル鉱脈と熱水系の地表および中深部兆候の時空関係を明らかにすることにより、若い火山噴出物に覆われた大規模熱水鉱床の探査指針を導くことをねらう。無意根火山の最末期溶岩流（3.1Ma）と豊羽既知鉱脈群の誕生は時期的にも空間的にも接近し、両者が共通の熱源に関連して生

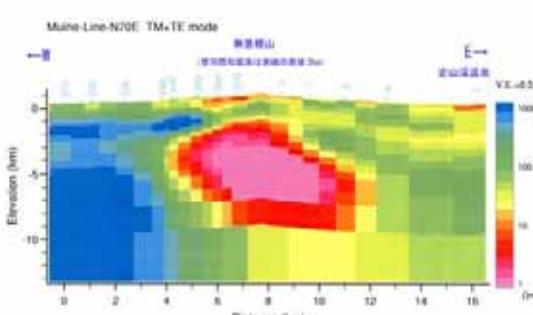


第2図 無意根火山の山体と既知豊羽鉱床の位置関係（矢印は変質帯から推定される熱水の流れ）

成されたこと、また、その後現在に至るまでに熱水系が幾たびか活動し、鉱床規模が拡大したことがこれまでに明らかにされた。過去3百万年間の熱水活動中心域は今もなお活発な地熱地域であり（第2図）、そ

の深部では冷却しつつあるマグマの縁辺部において金属元素が移動しているものと推定される。熱水系地表兆候および既知鉱床群と熱源を結ぶ構造

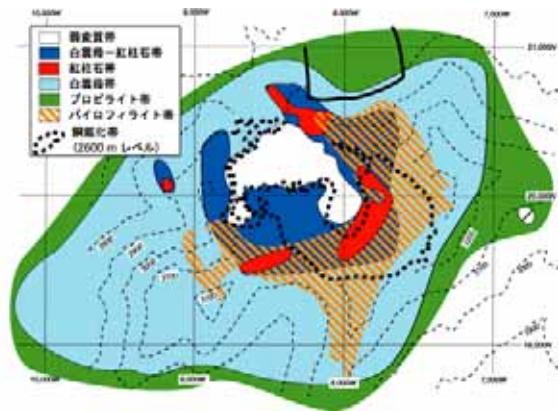
が鉱化熱水の通路であり、その3次元的解明が熱水鉱化作用の全体像復元のために重要である。その観点から、豊羽鉱山坑内発破を震源とするファンシューティング地震探査（平成13年以前に実施）により補足された、無意根山下部の弾性波減衰域を対象として電磁気探査を実施（第3図）し、地下2km以深に大規模な低比抵抗帯（第4図）を見いだした。低比抵抗帯はその形状より判断して、貫入岩頂部に発達する熱水変質帯であり、弾性波の減衰からその下方に未固結マグマが存在するものと推定される。地表の低比抵抗帯（噴気－温泉変質帯）と深部の低比抵抗帯を結ぶ垂直構造に、鉱床胚胎の可能性が高いと判断される。



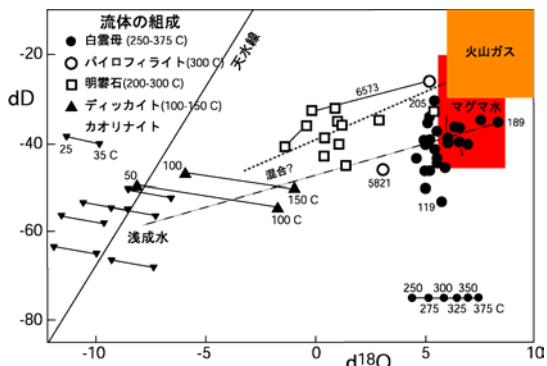
第4図 無意根山と豊羽鉱床の間を東西に切る測線の比抵抗断面

2) 金属鉱化作用と探査手法の研究

国内外の酸性貫入岩に伴う金属鉱床について、熱水現象の時空発展を明らかにし探査ロジックをリファインすることを目標とする。これまでに、南米、モロッコ、極東ロシア、トルコなどに研究を展開して来た中から、チリ・エルサルバドル斑岩銅鉱床の上部変質帯（貫入岩を中心に時間的・空間的に種々の変質鉱物組み合わせが累帯配列（第5図））から下部に胚胎する銅鉱床の示徴を解説した例を紹介する。斑岩銅鉱床の上部に発達す粘土鉱物は、それぞれの生成に関与した水の安定



第5図 エルサルバドル斑岩銅鉱床上部の変質鉱物累帯分布



第6図 エルサルバドル斑岩銅鉱床上部変質帯に関与した熱水

同位体組成を反映するため、粘土鉱物の酸素・水素安定同位体組成の解析により変質帯下部で金属を沈殿したマグマ源熱水の影響範囲が分かるものと期待される。エルサルバドルでは鉱床の直上部に当たる白雲母変質帯の中にマグマ水の強い影響が検出された（第6図）。この結果は、上部変質帯が天水起源であるとする従来の説明を覆し、白雲母の安定同位体組成が深部の大規模銅鉱床探査の確実な手がかりとなることを示した。

4. 今後の計画

それぞれのサブテーマで得られた研究成果を、大規模潜頭性熱水鉱床の探査指針としてとりまとめるとともに、国際展開の一環として、トルコ MTA、ロシア科学アカデミーとの共同研究を促進する。

主要参考文献

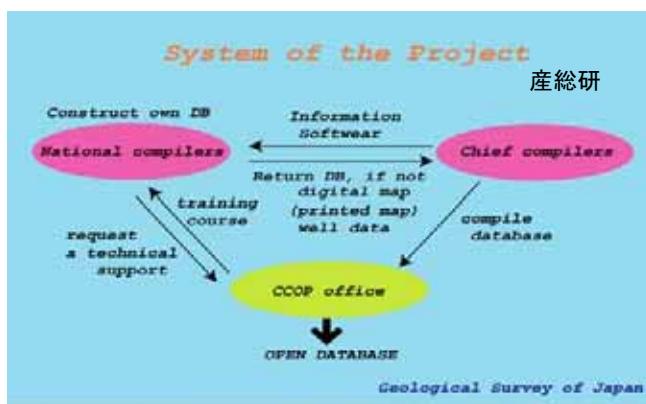
- Watanabe, Y. and Hedenquist, J. W. (2002): Mineralogic and stable isotope zonation at the surface over the El Salvador porphyry copper deposit, Chile, Economic Geology 96, 1175-1197.

東アジアにおける資源開発研究協力・技術協力 Research and technological cooperation for exploitation of natural resources in the east Asia

総括研究員： 青木正博
 Principal Research Scientist: Masahiro Aoki
 Phone: 0298-61-3820, e-mail: masahiro-aoki@aist.go.jp

1. 研究の目的と概要

<東・東南アジア地熱・地下水データベース>
 東・東南アジア地域において、CCOP 加盟 11 カ国と協力して、地熱資源データベース（地質・地球物理を含む広範な地球科学情報）、地下水データベース（地下水生産井戸の分布、深さ、地質柱状、水温）を構築するとともに、CD-ROM、インターネット、論文集の形で成果公表を図る。そのことを通じて、参加各国における地球科学データの整備、データベースシステムの確立を促進し、東・東南アジアの資源開発・環境保全の戦略作りに貢献する。実施体制を第1図に示す。



第1図 東・東南アジア地熱・地下水データベース構築にかかる実施体制

<遠隔離島小規模地熱の探査に関する研究協力>
 インドネシア東部において、熱帯地域にある遠隔離島の地熱資源に適した探査システムを構築し、その成果をインドネシアの地熱開発に定着させ、同国が重要課題として取り組んでいる地方電源化計画に寄与することを目的とする。この探査システムを当該地域に適用して掘削した NEDO 地熱調査井（中口径）から、少なくとも 10 トン/時の蒸気（～1Mwe）を得ることをもって、地熱探査システ

ムの有効性を検証することとする。

2. 研究資源

1) 参加研究グループ

アジア地熱 RG、地下水資源環境 RG、貯留層変動探査 RG、物理探査 RG、地質リモートセンシング RG、地殻物理情報 RG、深部流体 RG、秋田大学

2) 研究予算

運営費交付金 : 8.5 百万円

3. 研究の進捗状況

1) 東・東南アジア地熱データベース

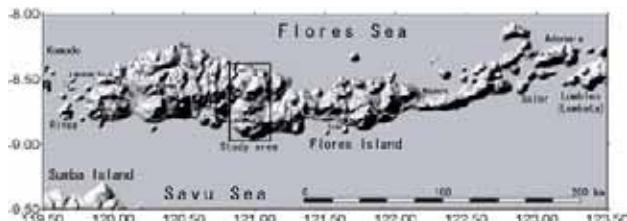
H13 年度に取り決めた、収集データ項目と共通データフォーマットに基づき、本格的なデータ収集体制に入っている。参加国間の技術レベル、コンピュータ機器、利用可能データの質・量が大きく異なるため、ギャップを埋めるためのインハウストレーニングを実施する予定である。

2) 東・東南アジア地下水データベース

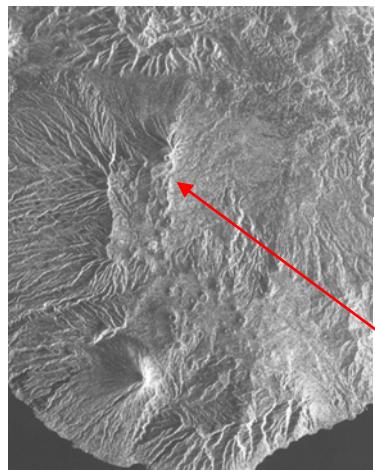
H13 に参加各国との調整により策定したデータベース統一フォーマットに従って、各国の地下水データのサーバ入力を開始した。サーバは暫定版として仮運用中であり、ID とパスワードが与えられた参加各国のみサクセス、データ追加を行うことができるようになっている。

3) 遠隔離島小規模地熱の探査に関する研究協力

インドネシアのフローレス島（第2図）において、インドネシア鉱山エネルギー省地質鉱物資源総局、NEDO と協力しつつ進めた遠隔離島地域に適した地熱探査技術開発（調査地域および熱源の性質について図3～6で説明）の検証として、NEDO



第2図 インドネシア・フローレス島中央の調査地域
(長方形枠の中)

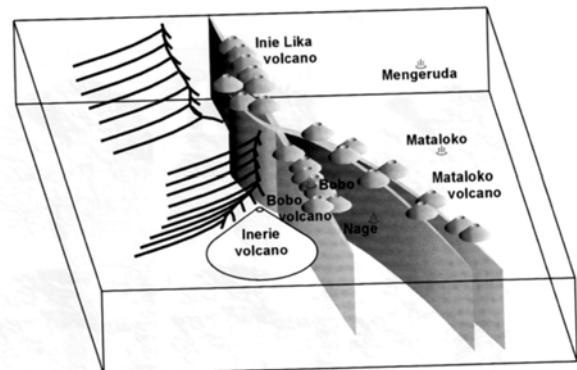


第3図 リモートセンシングの成果: JERS-1 SAR 画像は貴重なベスマップであり、イネリカ火山からボボ火山へかけての小火山群(バジャワ・シンダーコーン群)の認識の鍵となった。



第4図 地質調査の成果: バジャワシンダーコーン群が均一なカルクアルカリ安山岩からなり、南北に伸びるリフトゾーンに沿って噴出していること、その下部に熱源があることを明らかにした。

第5図 重力調査の成果: 密度仮定 2.0g/cm³のぶーゲ異常図。バジャワシンダーコーン群が南北に帯状に伸びる高異常の稜線となっており、その地下に垂直な岩脈群の存在が推定される。



第6図 バジャワシンダーコーン群とマグマ供給系のモデル

調査井が掘削された。その3ヶ月噴気テストにおいては、当初の期待値を上回る25トン／時の乾燥蒸気の安定噴出が確認され、地熱探査システムの有効性が検証された。研究成果は、参加2カ国、6機関から提出された31論文を含む348ページの英文特集号として出版された。

4. 今後の研究計画

東・東南アジア地熱・地下水データベースについては、H15がプロジェクト最終年度となる。データの最終的な収集と数値化を行い、データベースを構築する。遠隔離島小規模地熱の探査に関する研究協力はH14度終了。H15度以降の予定は立っていない。

主要参考文献

- Hirofumi Muraoka, Asnawir Nasution, Minoru Urai, Masaaki Takahashi, Isao Takashima, Janes Simanjuntak, Herry Sundhoro, Fredy Nanlohy, Kastiman Sitorus, Hiroshi Takahashi and Takehiro Koseki, Tectonic, volcanic and stratigraphic geology of the Bajawa geothermal field, central Flores, Indonesia, Special Publication: Indonesia-Japan Geothermal Exploration Project in Flores Island, 57-98 (2002).
- Toshihiro Uchida, TaeJong Lee, Mitsuru Honda, Ashari and Achmad Andan, 2-D and 3-D interpretation of magnetotelluric data at the Bajawa geothermal field, central Flores, Indonesia for application on reservoir modeling, Special Publication: Indonesia-Japan Geothermal Exploration Project in Flores Island, 347-352 (2002).

地圏資源環境に関する知的基盤情報の整備・提供（地質の調査）
Geological survey and reconnaissance on intellectual information
for geo-resources and geo-environment

副研究部門長： 奥田義久
Deputy Director: Yoshihisa Okuda
Phone: 0298-61-3630, e-mail: okuda.gsj@aist.go.jp

1. 研究の目的と概要

国内および周辺諸国における社会ニーズに対応する各種主題図を作成し、国土利用、資源安定供給等に必須な地球科学的情報基盤を構築するため、①未利用地熱資源評価に必要な地熱資源評価システムの設計、および数値地熱資源量分布図の作成、②1/200万鉱物資源図、燃料資源図、1/50万鉱物資源図、水文環境図、大都市圏の地質汚染図等の地圏資源環境に関する各種地球科学図を作成し、また、それに関連した各種地球科学情報をデジタル化して提供する。

また、アジアの金資源開発・利用のリスク要因のリスクアセスメントの高度化のために、環境汚染問題の評価を進める。

2. 研究資源

1) 参加研究グループ

燃料資源地質 RG、資源有機地化学 RG、高温岩体 RG、開発安全工学 RG、地圏環境評価 RG

2) 研究予算

運営費交付金：38 百万円

3. 研究の進捗状況

平成13年度には、従来図面として出版されてきた地熱資源図（50万分の1縮尺の6図幅分）を、地理情報システムを利用してすべて数値化し、CD-ROM版の地熱資源図として出版した（第1図）。今年度は、温度・貯留構造の解析・表示法を検討し、誌上発表し、また、地熱ボーリングコアの画像データベース暫定版を公開した。

図1 地熱資源図の一部
(東北地方地熱資源図)

鉱物資源図に関しては、50万分の1鉱物資源図「中国四国」・「九州」の印刷原稿を年度内に完成させることを目標として、調査および編纂作業を継続中である。

ところで、近年骨材資源について、砂利資源採取の規制が強まり、碎石資源に対する依存度が増大してきているが、平成12年より碎石法の権限取り扱いが国から都道府県に移管されたため、旧地質調査所時代からの基礎研究および旧通産省生活産業局の委託調査結果を編纂して、（社）日本碎石協会よりCD-ROM付都道府県別碎石資源図として、

「日本の碎石資源」を出版した。例えば、近年海砂利採取が禁止された広島県では、規制区域を除くと良質な碎石骨材資源となりえる堆積岩の碎石資源に乏しいことがわかる（図2）。

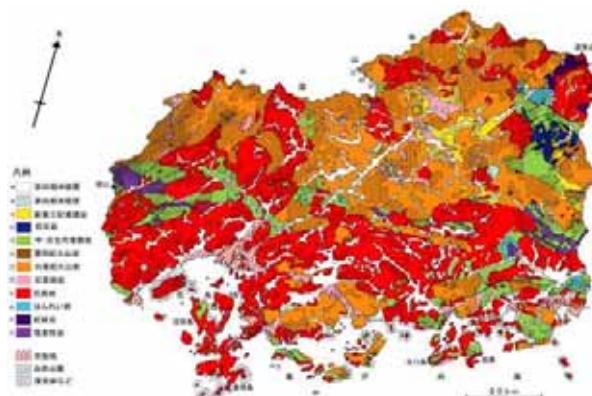


図2 広島県の碎石資源図

さらに、200万分の1鉱物資源図「珪石・長石」用の情報の数値化を進め、さらに経済産業省と国土交通省の協力を得て骨材資源の資料を収集し、新たに砂利产地についての各種の情報整理を開始した。

我が国の燃料資源情報の整備のため、三陸沖燃料資源図、水溶性ガス田図、ガスハイドレート分布ポテンシャル図、炭田図について燃料資源図の編纂をすすめるための補備調査、情報収集、データコンパイル作業を進めると同時に、マクロな面での広域的な地質の検討対比を行っており、特に、三陸沖燃料資源図は年度内に出版原稿完成を目指す。水溶性ガス田図に関しては九十九里ガス田全体の地下データの解析から得られたガス水比やヨウ素濃度の広域的分布状況、ガス産出層の構造図、層厚分布図などのデータを関係会社の技術者の協力を得ながら収集した。

さらに、ILP 年次総会において、メタンハイドレートアトラスプロジェクトを提案、採択された。メタンハイドレートアトラスプロジェクトのデータベース作成を目的とし、世界のメタンハイドレート分布域の地質地球物理資料を収集中。

地質汚染評価図の作成に関する現地調査・分析、ならびに水文環境図の作成は現在、継続中である。

本年度は、スケールマイニングの研究計画の最終年度に当たり、アジアのスマールスケールマイ

ニングに関する従来の研究成果が、ロンドンのマイニングジャーナル社から単行本として出版されることが決まり、現在製本中である。CD-ROMは国連ECLACおよびブラジル鉱物資源研究所と共同で編集作業を進めている。なお、フィリピンのフィールド調査については、地元への根回しとアンケートの試行を終え、現在、その結果を受けてアンケートのやり方を修正中である。

4. 今後の研究計画

地理情報システムを利用した数値地熱資源量分布図の開発については、地熱開発有望地域レベルについて解析・表示法等の検討を行う。地熱ボーリングコアの画像データについては、保管コアのデジタルイメージの取得をほぼ完了させる。

鉱物資源図については、50万分の1鉱物資源図「中国四国」・「九州」を出版すると同時に、「沖縄」の編纂に着手し、燃料資源図については三陸沖燃料資源図を出版する。

地質汚染評価図の作成では、調査研究をとりまとめ、「姉崎」図幅地域の評価図の編集・公開を進める。水文環境図の作成においては、「八ヶ岳水文環境図」の製図・印刷、「仙台平野水文環境図」の編集を継続する予定である。

ILP 年次総会において、メタンハイドレートアトラスプロジェクトを提案、採択された。メタンハイドレートアトラスプロジェクトのデータベース作成を目的とし、世界のメタンハイドレート分布域の地質地球物理資料を収集中である。

5. 主要な研究成果の発表状況

(1) 地球科学図類

阪口圭一・高橋正明、東北・九州地熱資源図（CD-ROM版）、地質図類・地球科学図、数値地質図(2002).

(2) 主要な論文発表

玉生志郎・阪口圭一・村田泰章, Image database of geothermal drill core samples, Geothermal Resources Council Transactions, vol. 26, p. 639-642 (2002).

渡辺寧、札幌一岩内地域マグマ鉱化热水系分布図、地質ニュース、実業広報社, 572, 24-25, 2002.

中嶋 健、タービダイト層厚分布の統計学的解析—その貯留岩キャラクタリゼーションへの応用の可能性—、石油技術協会誌, 67卷, 第3号, 308-320 (2002).

Murao, S., Daisa, E., Sera, K., Maglambayan, VB, and Futatsugawa, S. (2002) PIXE measurement of human hairs from a small -scale mining site of the Philippines, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 189, 168-173 (2002).

地圏利用のための地圏特性評価とモニタリングシステムの開発

Development of characterization technology and monitoring systems for underground utilization

副研究部門長： 松永 烈

Deputy Director: Isao Matsunaga

Phone: 0298-61-8201, e-mail: matsunaga-isao@aist.go.jp

1. 研究の背景と目的

地圏の利用や環境に関わる事項は、直接我々の目に触れること無いために認知されにくいが、将来の我々の生活に密接に関わっていることが多い。例えば、近年、石油地下備蓄や LNG 地下タンク等エネルギー関連施設や都市地域を中心とする地下利用が進む一方で、産業活動や廃棄物処分に伴う土壤や地下水汚染の問題が顕在化している。将来のエネルギーの需給を考える上で、核廃棄物の長期安定処分場の立地確保も重要な問題である。

これらの問題や課題に対応するためには、地下計測・監視、岩盤評価技術の開発が必要である。このため、①地圏利用のための新たな地盤物性評価センサーやシステムの開発、②核廃棄物処分を念頭にした深部岩盤および地下水の調査、および③地下の物性の空間分布および時間変化の高精度な把握のための物理探査技術の高精度化を進めている。

2. 関連研究課題と参加グループ

交付金による研究を除く本重点研究課題に関する研究課題と参加グループを以下に示す。

- 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、地圏環境立地 RG
- 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（原子力試験研究）、地下水資源環境 RG
- 塩淡境界の形状把握に関する研究（資源エネルギー庁評価費）、地下水資源環境 RG
- 地下深部岩盤初期応力の実測（原子力試験研究）、地圏環境立地 RG
- 放射性廃棄物地層処分における岩石の長期変形挙動解明と地層構造評価技術の開発に関する研究（原子力試験研究）、物理探査 RG・高温岩体 RG
- 深部地質環境評価のための電磁探査イメージング技術に関する共同研究（産総研国際協力推進グラント）、物理探査 RG
- 高精度物理探査技術の開発に係る時間領域電磁探査法データの処理および2次元解析法適用研究（MMAJ 委託費）、物理探査 RG

- キャップロック層岩盤の力学的長期安定性に及ぼす堆積層理面の影響評価（RITE 委託費）、物理探査 RG

3. 研究開発の内容

1) 地盤物性評価センサー等の開発

新しいセンサーとして、交流周期加熱法を用いた岩盤熱物性センサー、遷移金属イオン濃度を測定する電気化学式センサーおよび光音響分光法を用いた地下水センサーの開発を行うとともに、岩盤の含水条件等を評価するため、高周波インピーダンス測定や NMR 測定などのシステム開発を目指している。

2) 深部岩盤および地下水調査

放射性廃棄物等の地層処分を安全かつ低負荷で実施するため、地層処分の対象となる深度 1km まで調査ボーリング孔を掘削し、コアの採取・観察、検層、ボアホールレビュアによる孔壁亀裂観察、水圧破碎法岩盤初期応力測定を実施する。また、沿岸部の塩淡境界域に地下水観測井を設置してデータの集積を行うとともに物理探査現場試験を実施し、塩淡境界の 3 次元的分布を明らかにする。

3) 物理探査データ解析法の高度化

(1) 地震波探査に関しては、散乱重合法を 3 次元化し、並列計算による高速アルゴリズムを開発する。地震波トモグラフィについて、測定データから震源波形を推定するインバージョン手法を開発する。(2) 電磁波探査に関しては、任意の測定に対応した高精度の 2.5 次元インバージョン解析法の実用化を行う。(3) NMR 透水係数推定手法の確立を目指し(4) 現地で計測したボーリング掘削音の反射波解析と現位置の亀裂の比較検討を行い、解析法の改良を進める。

4. 主要な進捗状況

表 1 は上述の 3 つに大括りした研究項目毎に、どのグループが何を研究・開発しているかを示したものである。進捗状況の多くは、第 2 部の研究グループ紹介において記述されているので、表 1 をもとにそれらを参照して欲しい。

表1:大括りした3つの研究項目と研究グループの担当項目との関係

研究グループ	センサー・システムの開発	深部地盤調査・地下水調査	物理探査解析高度化
物理探査	・NMRシステム	・塩淡境界調査(物理探査) ・地震探査 ・電磁探査	
地圈環境立地	・熱物性量センサー ・重金属センサー ・インピーダンス測定	・深部応力・岩盤調査	
地下水資源環境	・地下水センサー	・塩淡境界調査(地下水調査)	
高温岩体			・掘削音反射

1) 地盤物性評価センサー等の開発

熱物性量センサーに関しては、熱周波数および含水率を条件とし、交流熱流印可時の温度振幅および位相差を計測している(図1)。重金属センサーは遷移金属の濃度定量機能確認実験を行った。高周波インピーダンス測定装置については、計測装置を試作して凝灰岩の計測を行った。可搬型NMR測定装置のコイルのプロトタイプを製作中。

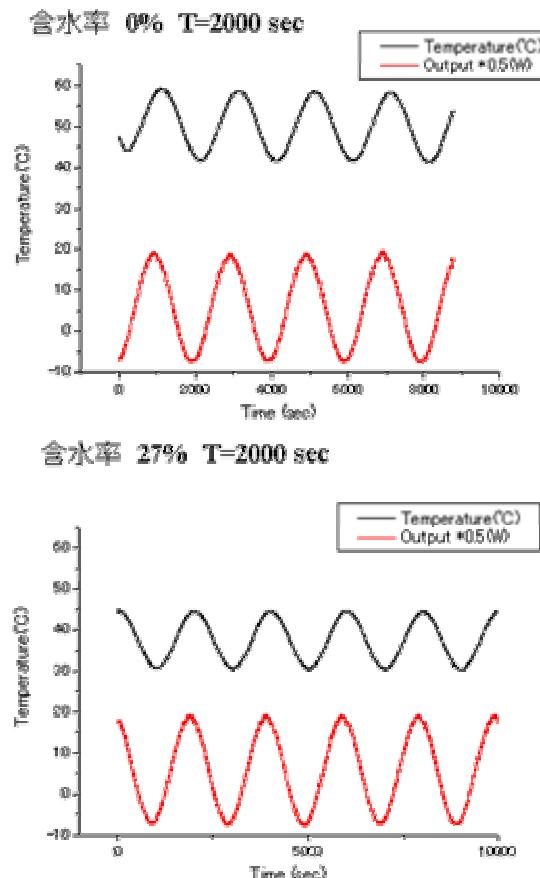


図1：含水率の違いによる熱物性量センサーの応答の差異

2) 深部岩盤および地下水調査

岡山県万成の測定孔を深度600mまで増掘し、

現場測定等の作業を完了し、取得データの解析を行っている(図2)。また、東濃鉱山から採取された軟岩の岩石コアを用いて、封圧環境下におけるAE法およびDRA法応力計測を実施した。

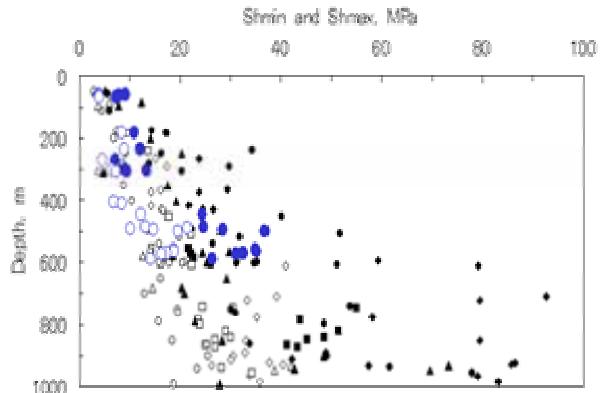


図2：地質学的に静穏域での深部地殻応力(万成孔:青塗りつぶしと青ぬき、その他国内:黒)

3) 物理探査データ解析法の高度化

(1)散乱重合法を3次元に拡張し、並列計算機使用を考慮してアルゴリズムを高速化した。地震波トモグラフィについて、インバージョン解析に使用する周波数の検討を行い、適切な周波数ステップの選択法を開発した。(2)人工信号電磁法はMMAJの測定システムに合わせて2.5次元インバージョン手法の改良を実施中。MT法3次元インバージョン解析法では、最適な拘束機能を追加し、安定化した。(3)NMR探査に関しては、可搬型NMR測定装置のコイルのプロトタイプを製作中。(4)掘削時の反射法探査では、昨年度取得した掘削音データの解析を行い、反射係数分布と検層結果との比較を行った。

5. 今後の展開

各センサーやシステムに関しては、室内実験による基礎データの集積を行うとともに、現場への適応を考慮した研究開発を進める必要がある。深部岩盤調査では段階的に増掘を行い、深部の岩盤調査と岩盤応力測定を引き続き実施する。物理探査データ解析法の高度化では、高速化、高精度化に必要なアルゴリズム等の改良や開発を進める予定である。

開発した技術や装置は、実際に現場へ適応することにより確実なものとなる。また、そのようなプロセスの中から新たな研究課題が生み出されるであろう。その意味で、共同研究などによって外部との積極的な連携ができればと考えている。

地圏環境汚染評価手法の開発 Development of assessment and remediation methods for contaminated soils

副研究部門長： 松永 烈
Deputy Director: Isao Matsunaga
Phone: 0298-61-8201, e-mail: matsunaga-isao@aist.go.jp

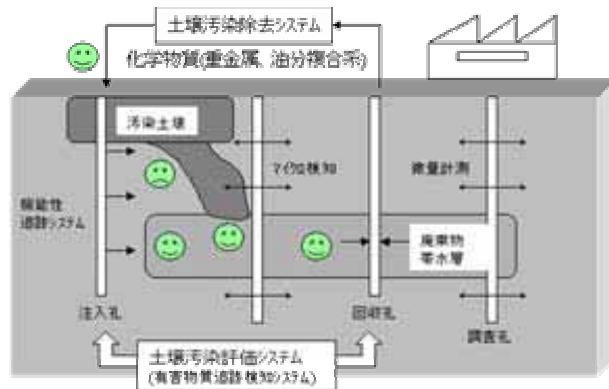
1. はじめに

地球環境の内でも地表面近くは、我々の活動と直接接しており、その活動の影響を直接受けるばかりでなく、その影響を我々の生活にフィードバックする。大気や地表の水は移動速度が速く滞留時間も短いため、その影響は比較的短時間の内に現れるため、その原因を把握して早期の対処が可能である。これに対し、当部門が研究対象とする地圏への影響、あるいは地圏からの影響は、その時定数が長く、しかも直接観察するのが困難なため、問題の把握や対応が難しいことが多い。ここで対象とする土壤・地下水汚染の問題はその典型的な例といえる。

近年、土壤・地下水汚染問題が顕在化し、各方面で精力的な取り組みがなされ始めている。当部門においても、設立時の体制を検討する段階からその重要性を認識し、地圏資源の開発、地圏の利用とともに地圏環境の保全を大きな柱として取り上げてきた。その意識の割に、研究予算獲得や体制作りの応答が遅れていたが、今年度になって産総研内の複数研究ユニットによる「土壤汚染の調査・評価・管理手法の開発」融合化研究予算の獲得に成功するとともに、10月には部門内に新たに地圏環境評価研究グループを設立し、積極的な取り組みを開始したところである。ここでは、当部門で行っている地圏環境汚染に対する取り組みの概要を紹介する。

2. 研究の目的

市街地や産業用地における土壤・地下水汚染問題が顕在化・深刻化する中で、平成15年1月には土壤汚染対策法が施行され、汚染土壤の直接的な摂取や地下水経由で曝露される化学物質の処理や管理が急務の課題となっている。一方で、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。これら問題に対処するためには、土壤・地下水汚染の調査から始まり、浄化、評価、管理に至る一連の取り組みが必要である（図1）。



環境省による「土壤・地下水汚染による調査・対策指針」及び「同運用基準」の策定

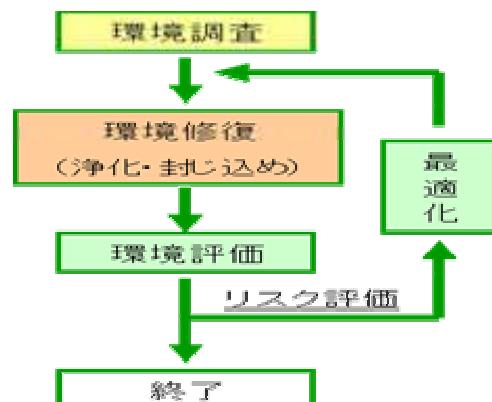


図1 土壤汚染への対応

図1に示す一連の流れは明快だが、実際の汚染に対処する場合には、多くの不確定要素が見込まれ、調査から管理に至るそれぞれの技術により、その効果や費用が大幅に違ってくる可能性が高い。

このため、相互の関係を考慮しつつ、それぞれの技術開発を進める必要がある。

3. 関連する研究課題

上述したように、地圏環境汚染に関わる技術は、汚染状況の調査結果をもとに、必要な浄化対策を取り、その効果を評価し、必要な管理を行うが、これら一連の技術に関連する技術は幅広く、産総

研内部でも当部門以外に、地球科学情報、環境管理、環境調和技術、化学物質管理の各研究ユニットが関連している。このような中で、当部門の役割は大きく、下に示した関連研究課題からも分かるように、リスク評価を中心として、調査や浄化技術の一部を担当している。

当部門の関連研究課題名と担当グループ名：

- 交付金「地圏環境評価の研究（地質）」：地圏環境評価 RG
- 交付金（融合化促進研究）「土壤汚染調査・評価・管理（リスク管理手法）」：地圏環境評価 RG
- 委託費「土壤汚染リスク管理手法調査事業」：地圏環境評価 RG
- 委託費「科学的自然減衰(MNA)による地下水汚染改善状況の評価手法に関する研究」（環境省）：地圏環境評価 RG
- 委託費「複合微生物活用型土壤・地下水高度汚染浄化技術の開発」（経済産業省）：地圏環境評価 RG
- 交付金「地質汚染浄化法の開発と地質汚染評価図作成」：地下水資源環境 RG、地圏環境評価 RG
- 積雪地帯地下水汚染実態解明に関する研究：地下水資源環境 RG
- 交付金「地下水汚染に関する研究」：地下水資源環境 RG

4. 研究開発の内容

土壤・地下水汚染の調査・評価・管理手法の開発の一環として、地下水汚染の修復に向けてバイオテクノロジー分野の技術開発を行う。すなわち、トリクロロエチレン（TCE）を分解する能力を持つメタン資化細菌を含む地下水を超高压下で帶水層に注入し、TCEで汚染された地下水の完全浄化を試みる（図2）。

図2 超高圧水を利用した洗浄工法（田中環境開発（株））とバイオレメディエーションを融合させ、短期間に難透水層汚染を浄化する手法を開発

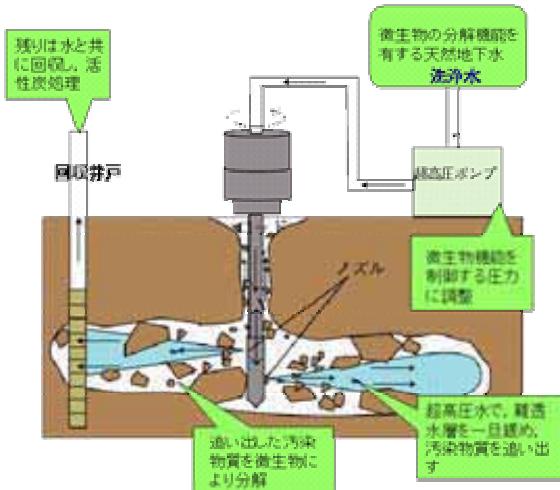


図2 超高圧水を利用したバイオレメディエーション手法

このため、埼玉県坂戸市の汚染帶水層を対象に

現場実証試験を実施し、天然ガス田分布地域から得たメタン資化細菌を含有する地下水と含まない水の比較試験を行い、汚染濃度の変化測定、メタン資化細菌数のモニタリングを行う。地質汚染浄化法の開発で実施する超高压水と細菌を組み合わせたTCE完全除去手法の開発は世界に類例がなく、従来の揚水曝気で行われてきた浄化方法に比較して処理時間を約1ヶ月（見込み）にまで短縮でき、コストの大幅な削減や、粘土層中のTCEの除去が期待できる。

土壤中含水量と汚染土壤からの溶出量をもとにした土壤汚染の曝露・リスク評価手法を開発するとともに、具体的な調査地点を対象とするサイトモデルを設定し、浄化・修復のリスク低減効果を定量的に評価できる手法を確立する（図3）。

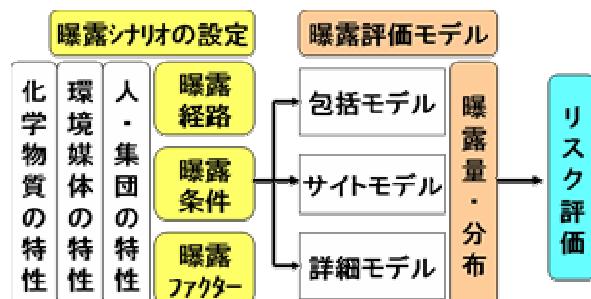


図3 曝露・リスク評価の方法論とモデルの活用

地質汚染や地下水汚染の実態解明を目的に、千葉県下にモデルフィールドを設定し、現場分析用蛍光X線分析装置を用いて表層土壤のヒ素、鉛の現場定量分析を、また土壤試料を採取したのち、クロム、マンガン、ヒ素、亜鉛、鉛などの重金属元素の含有量定量分析と公定法溶出分析を行う。また、これらの結果をもとに表層土壤の重金属汚染の分布図を作成する。

さらに、積雪地帯で一般に使用される融雪剤は融雪の効果をもたらす一方で、地下水汚染という悪影響を与えている。このため、山形・新潟県など積雪地帯における融雪剤に起因する地下水汚染の野外水文調査を実施し、地下水位や水質に関するデータを取得して融雪期以外の時期のデータと比較検討する。

5. 進捗状況

坂戸市における実際の汚染現場内試験地で汚染機構解明調査を行い、地質汚染浄化法の実証試験に適した場所を選定している。また、リスク評価については全国5箇所の土壤地下水の観測データおよび既存のデータをもとに包括的モデル作成を進めている。さらに、地質汚染評価図の作成に関連する現地調査・分析を継続中である。積雪地帯地下水汚染実態解明に関する研究については、現地での地下水調査時期を検討している段階である。

その他の重要課題 Other main studies in GREEN

総括研究員： 山口 勉

Principal Research Scientist: Tsutomu Yamaguchi
Phone: 0298-61-8733, e-mail: t-yamaguchi@aist.go.jp

1. 研究目的

その他の重要課題とは、中期計画作成当初（平成13年度）には開始されていなかった課題や、中期計画終了時（平成16年度末）までに終了が予定されていた研究等を含む。これらの研究は、「中期」の全期間（平成13年度～平成16年度）にわたって行われるわけではないが、地圈資源環境研究部門では平成14年度の重要な課題と位置付けて、研究を実施している。ここではこれらの重要課題から

高温岩体熱抽出システムの解析・評価

深部地熱資源採取技術の研究開発

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

の三つの課題について進捗状況を報告する。

高温岩体地熱発電システムの解析・評価に関して、当所はIEAの高温岩体関連タスクのとりまとめを行う等、これまでの研究活動に対して国際的にも高い評価を得てきている。今年度はこれまでに当所で実施してきた肘折人工貯留層を生産挙動、数値モデル及びトレーサ挙動の研究のとりまとめを行うとともに、当所のみではなくNEDOにより得られたデータも併せた総括的な日本の高温岩体研究開発の整理・体系化に着手する。

深部地熱資源採取技術の研究開発に関して、当所では深度3,000m程度の深部地熱坑井への適用を目指として深部地熱資源開発コストの低減を目的に、掘削技術開発、深部地熱坑井維持・管理技術、最適生産技術の要素技術を確立する。国外における地熱資源の開発は、開発の容易な浅部地熱資源を対象としており、深部地熱資源を対象とする研究は少ない。

地中熱利用については、我が国でこれを広く普及するためには、地下水の水位、流動、温度等の把握が必要である。本研究ではモデルフィールドを設定して地下水の水位、流動、温度及びそれらに影響を与える地質構造について調査を行い、地下水流动解析により地中熱を経済的・効率的に利用できる地点判定のための指標を作成する。また、数値シミュレーションによりモデルフィールドにおける地中熱利用施設の最適配置を求める手法を開発する。本研究開発はわが国の地質の状況に合わせた研究であり、本研究と同じ観点の研究は海

外ではない。

2. 研究資源

1) 研究員

高温岩体熱抽出システムの解析・評価

山口 勉 高温岩体研究グループ

柳澤教雄 高温岩体研究グループ

天満則夫 高温岩体研究グループ

及川寧己 高温岩体研究グループ

相馬宣和 高温岩体研究グループ

杉田 創 地圈環境評価研究グループ

深部地熱資源採取技術の研究開発

唐澤廣和 開発安全工学研究グループ

大野哲二 開発安全工学研究グループ

及川寧己 高温岩体研究グループ

竹原 孝 高温岩体研究グループ

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

大谷具幸 地熱資源研究グループ

内田洋平 地下水資源環境研究グループ

安川香澄 貯留層変動探査研究グループ

天満則夫 高温岩体研究グループ

2) 予算

委託費「高温岩体熱抽出システムの解析・評価」

委託費「深部地熱資源採取技術の解析・評価」

NEDO グラント「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」

3. 平成14年度の研究計画

1) 高温岩体熱抽出システムの解析・評価： 数値モデルでは、長期循環試験（図1）での観測データとのマッチングにより、貯留層の経時的变化を定量的に解明し、さらに最適生産法に関するモデルスタディーを行う。長期循環試験での定期的なトレーサ試験を継続し、貯留層の流动特性の経時变化や貯留層の注水方式の影響などを捉え、取りまとめを行う。インジェクションインピーダンスの経時変化と生産状況について整理・考察し、取りまとめを行う。流通式反応器を用いて、200°C以上の各種蛍光トレーサの分解速度、及びpHによる分解速度への影響の定量化し、試験方法について取りまとめを行う。IEA高温岩体ア

ンケートの集計を完了とともに、産総研及びNEDOにより得られた肘折実験のデータの総合的な整理を行う。



図 1 肘折現場の実験風景

- 2) 深部地熱資源採取技術の解析・評価：PDCビット（図2, 図3）の硬質岩掘削時の耐久性能向上やコスト削減のため、ビットの再加工及びビットへの振動付加がビット性能に及ぼす影響を評価する。地下深部の岩石コアを用いてDSCAによる地圧計測を行う。また、坑壁シミュレータを用いて解析を行い、坑壁の安定条件を決定する。岩盤内造成き裂開口変位及び表面変位の高精度計測が可能な技術を確立し、き裂内部を流れる流体の流動抵抗評価に関するデータの取りまとめを行う。

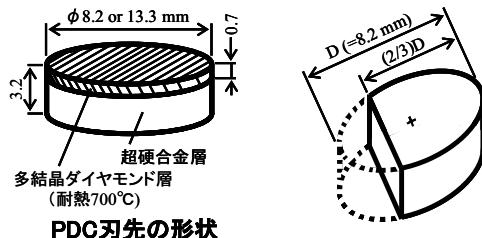


図 2 PDC 刃先形状

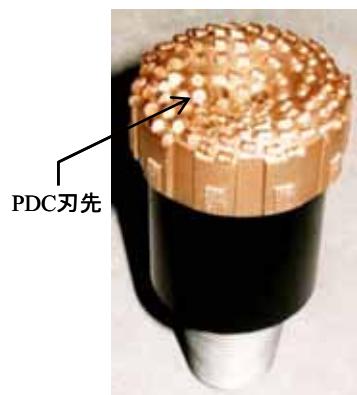


図 3 直径 142.88mmPDC ビット

- 3) 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：仙台平野の地下水流动系について地下水同位体測定結果を加えてとりまとめるとともに、濃尾平野の地下水同位体測

定を実施する。また、単位深度あたりの抽熱可能量と地層分布の関係について実データを元に検討する。さらに、濃尾平野に関する地下水流动を数値モデル化し、異なる地点、運転条件で熱抽出を行った場合についてモデル計算を実施する（図4は地中熱利用施設の一例）。

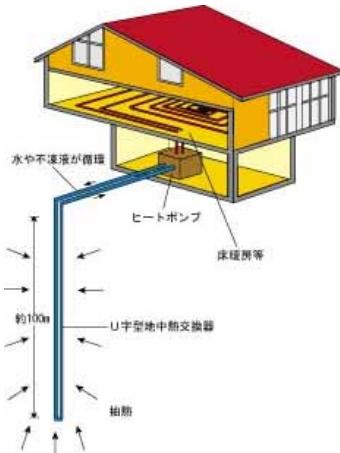


図 4 地中熱交換型ヒートポンプシステム

4. 平成14年度の進捗状況

- 1) 高温岩体熱抽出システムの解析・評価：数値モデルでは、PTS検層で5°C以内の範囲でマッチングができた（図5）。現在、数値モデルによる最適生産手法について実施している。トレーサ試験により浅部貯留層において循環の進行につれてトレーサの応答が早まる（貯留層内の流路の選択が進行すること）を確認し、注水比率と応答曲線の対応を求めた。インジェクションインピーダンスは、長期的には徐々に低下すること、短期的には坑底圧力に応じて敏感に増減することを明らかとした。フルオレセインナトリウムについて流通式反応器を用いて150～240°Cの温度範囲で熱分解試験を行った結果、240°Cで分解速度が激増することを明らかにした（図6）。産総研及びNEDOにより得られた肘折地区のデータの整理についての進め方の検討を行っている。

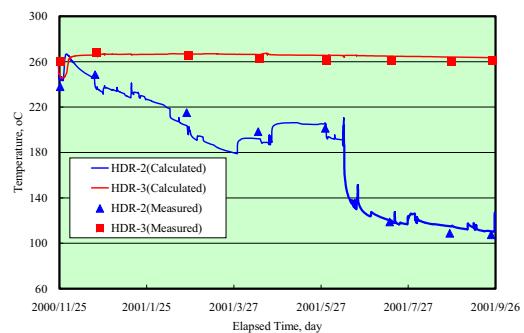


図 5 肘折実験のシミュレーション

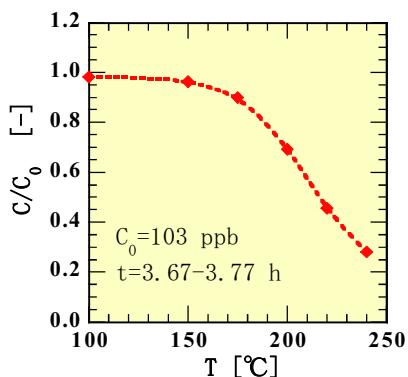


図 6 ウラニン熱分解の温度依存性

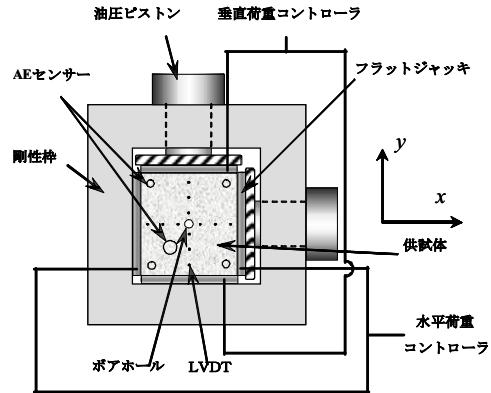


図9 室内水圧破碎実験装置

2) 深部地熱資源採取技術の解析・評価：PDC ビットの刃先配列などの改良により、寿命を 10m から 40m (図 7) に、製作コストを 2/3 に低減した。ビットへの振動付加が性能に及ぼす影響に関して検討中。DSCA を用いて 2 箇所の現場コアに対して実施した。坑壁応力有限要素法シミュレータでは約 2 万要素の 1/4 モデルに対して、境界条件の設定方法を検討している (図 8)。室内水圧破碎実験 (図 9) ではこれまでの 40 個の花崗岩を対象とした実験結果を精査し、まず 3 個を選択して再解析を行ない三乗則の成立を確認した (図 10)。砂岩・安山岩で実験を行なっており、AE を含めて検討を行っている。

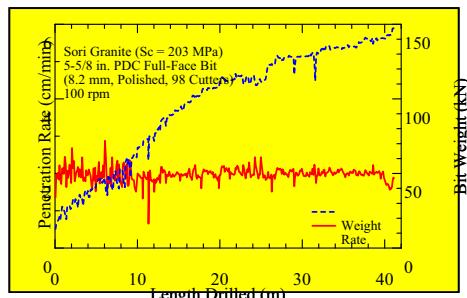


図 7 ビット耐久性向上 (10 m→40 m)

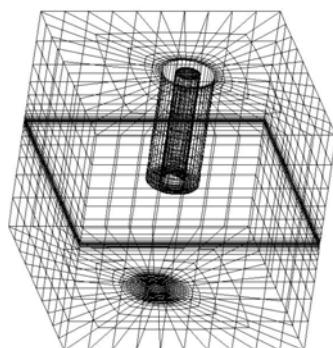


図 8 坑底部の三次元 FEM モデル

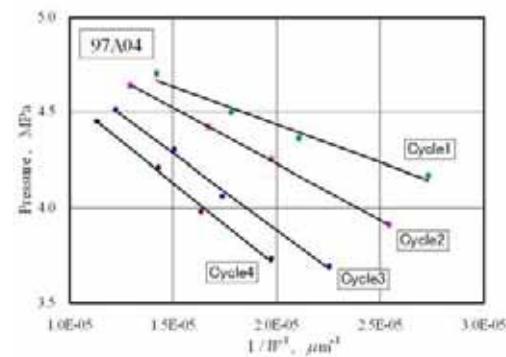


図 10 実験により得られた三乗則

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：濃尾平野 (図 11) に引き続き、仙台平野において水理水頭、地下温度、主要溶存成分及び酸素・水素同位体比の空間分布から、地下水流动系は、第四系内と第三系内で異なると判断した。孔井データに基づく地層分布の検討を行い、地中熱利用の適地選定に必要な地質要素について、まず礫層の厚さの水平的な変化を明らかにした。涵養域と流出域が明瞭な平野での地下水流动のモデル化により、涵養域と流出域でそれぞれ運転を行った場合の周辺への熱的影響に関して検討を行っている (図 12)。

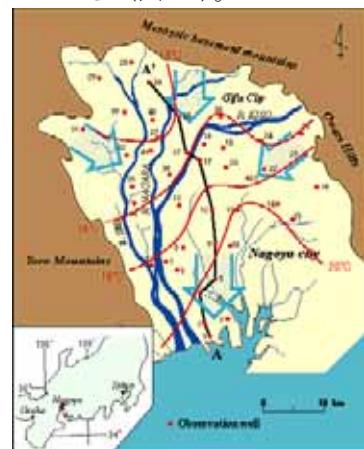


図 11 地下水温度分布の一例 (濃尾平野)

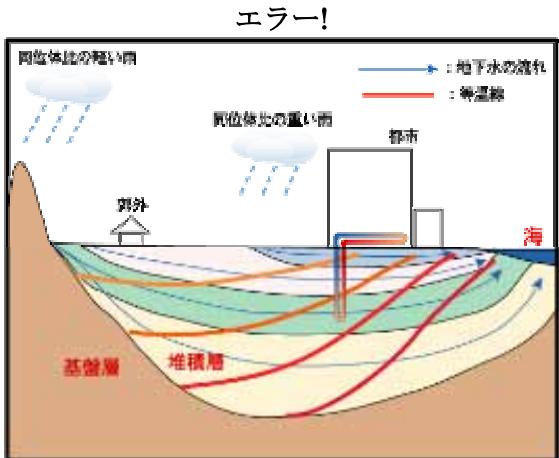


図12 地中熱利用と地下の温度分布を示す概念図

5. 今後の展開

高温岩体発電システムの研究では、平成14年度に実施予定の産総研及びNEDOにより得られた肘折地区のデータの整理結果を基に、高温岩体発電システムの体系化を行うとともにEGSへの展開を図る。

深部地熱資源採取技術の研究開発では掘削技術に関しては、中硬～硬質岩掘削の大幅な高能率化・低コスト化を図るために革新的な技術開発に着手する予定である。また深部地熱坑井維持・管理技術に関しては、天然ガス等、地熱以外の分野の深部井への適用を図る。最適生産技術に関しては、堆積岩を対象として、CO₂地中処分等に活用できる人工き製造成技術とモニタリング手法の開発を図る。

地中熱利用技術に関する研究では資源評価プログラムの供給を開始し、地中熱利用の研究について中核的拠点となることを目指す。当グループは引き続きグループ員の緊密な連携を図りながら、高温岩体研究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、これまでに得られた成果をもとに、地熱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。

参考文献

- 1) Norio Tenma, Tsutomu Yamaguchi, Kazuhiko Tezuka (JAPEX), Kouichi Kawasaki (NEDO) and George Zvoloski (LANL) (2002), "Productivity Changes in the Multi-Reservoir System at the Hijiori HDR Test Site During the Long-Term Circulation Test", Geothermal Resources Council Transactions, Vol. 26, 261-266.
 - 2) 天満則夫, 山口勉, 及川寧己, 手塚和彦, ジョージ・ジボロスキー(2001), 長期循環試験の数値シミュレーション結果による肘折高温岩体貯留層内の流動特性, 日本地熱学会誌, 23, 4, pp303-315.
 - 3) 柳澤教雄, 松永烈, 田尾博明, 杉田創(2002), Reservoir Monitoring by Tracer Test of a 2001 Long Term Circulation Test at the Hijiori HDR Site, Yamagata, Japan, Geothermal Resources Council Transactions
 - 4) 川崎耕一, 及川寧己, 當舎利行, 天満則夫, 佐藤勇一(2002), Heat Extraction Experiment at Hijiori Test Site (First Year), STANFORD GEOTHERMAL PROGRAM
 - 5) 及川寧己, 川崎耕一, 當舎利行, 天満則夫, 佐藤勇一(2002), The Present Status of Hijiori HDR Project, Proceedings of 4th Asia Geothermal Symposium.
 - 6) 及川寧己, 當舎利行(2001), 肘折高温岩体開発計画の経緯, 日本地熱学会誌, 23, 4, pp275-282.
 - 7) 山口勉, 及川寧己(2001), 高温岩体熱抽出システムの解析・評価, 地熱, 26, 59, pp72-79.
 - 8) 柳澤教雄, 藤本光一郎, 菱靖之(2002), Reservoir Monitoring by Tracer Testing during a Long Term Circulation Test at the Hijiori HDR Site, PROCEEDINGS, Twenty-Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering
 - 9) 松永烈, 柳澤教雄, 田尾博明, 杉田創(2002), Reservoir Monitoring by Tracer Testing during a Long Term Circulation Test at the Hijiori HDR Site, Proceedings of the 27th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University.
 - 10) 亀之園弘之, 柳澤教雄, 赤工浩平, 内田利弘, 宮崎真一, 土井宣夫, Information on the Kakkonda Deep Geothermal Reservoir Obtained by side-track Drilling of WD-1, Geothermal Resources Council Transaction.
 - 11) 柳澤教雄, 亀之園弘幸, 赤工浩平, 内田利弘, 宮崎真一, 土井宣夫(2002), Investigation of the Kakkonda Deep Geothermal Reservoir and side-track Drilling of WD-1, Proceedings of the 19th New Zealand Geothermal Workshop
 - 12) 唐澤廣和, 大野哲二, 小杉昌幸, J. C. Rowly(2002), Methods to Estimate the Rock Strength and Tooth Wear While Drilling with Roller-Bits--- Part 1: Milled Tooth Bits, J. of Energy Resources Technology, 124, 3, 125-132.
 - 13) 唐澤廣和, 大野哲二, 小杉昌幸, J. C. Rowly(2002), Methods to Estimate the Rock Strength and Tooth Wear While Drilling with Roller-Bits--- Part 2: Milled Tooth Bits, J. of Energy Resources Technology, 124, 3, 133-140.
 - 14) 唐澤廣和, 大野哲二, 大田彰則, 金子勉, 小泉匡弘, 山田直登, 宮本哲臣(2002), Proposal for New Type of Downhole Percussion Drills for Hard Rock Drilling, Geothermal Resources Council TRANSACTIONS. Vol. 26, 197-200.
 - 15) T. Ohno, H. Karasawa, H. Kobayashi(2002), Cost reduction of polycrystalline diamond compact bits through improved durability, Geothermics, Vol. 31, 245-262, .
 - 16) 内田洋平, 佐倉保夫, 谷口真人(2002), Mapping of Low-Enthalpy Geothermal Energy in Japan, Extended Abstracts Book of 2002 EAGE Conference in Florence.
- 講演**
- 1) 大谷具幸、地中熱利用のための資源評価手法の開発、つくば講座（新技術創出のための公開講座）(2002)
 - 2) 大谷具幸、地中熱利用の促進に必要とされる地下予測技術、パネルディスカッション「地中熱利用の普及促進に向けて」(2002)
- 受賞、表彰**
- 1) 杉田創、平成13年度日本地熱学会研究奨励賞、2001年12月4日
- 広報活動**
- 1) 大谷具幸・安川香澄・天満則夫・内田洋平、地中熱エネルギーーみんなの足ともにあるエネルギーー、産業技術総合研究所つくばセンター 平成14年度一般公開、2002.7.27
 - 2) 地質情報展 新潟 「のぞいてみよう大地の不思議」、2002.9.14-16



最近の研究活動 My recent research activity

研究部門長： 野田 徹郎

Director: Tetsuro Noda

Phone: 0298-61-3670, e-mail: noda-tetsuro@aist.go.jp

1. はじめに

私はもともとは地熱資源の研究者です。産総研になってからは、部門長としての日常業務にかまけて、研究活動はお留守になっています。先端的な研究は乏しいのですが、総説的な発表が幾つかありますので紹介します。

2. 研究紹介

(1) 地熱研究の方向性

日本の地熱開発は、国の地熱関連予算が大幅に減らされるなど、曲がり角を迎えてます。しかし、日本には大量の地熱資源が手付かずで眠っていること、再生できるエネルギーであること、CO₂の少ないクリーンな資源であること、他の新エネルギーコストと比べても負けないことから、疑いなく優秀な資源だと言えます。

と言っても、地熱資源の研究であれば何をやってもよいというわけではありません。原点に返つて、対象とする地熱系がどのような成り立ちと性

質かを理解した上で、どのような技術開発や調査が求められているかを吟味して、はっきりした目標を定めなければなりません。目標として適切かどうかを見定める方法としてブレイクスルー的解析に基づく考察をお勧めします。

ブレイクスルー的解析は、「問題の目的展開敵整理」(なぜそうするのかという目的を連鎖的に考えていくこと)と「目的“適”情報収集」(目的展開を逆にたどって必要な情報を判断する)を行うものです。これによって、意味のある、より大局的な解決策につながり、そのためにどんな情報を収集したらよいかがはっきりします。

地熱研究についてのブレイクスルー的解析の結論はこうです。地熱開発は地熱発電だけを目的にするものではないことに注意しないといけません。温泉と共に存できる総合的な地熱システム開発や、地中熱の開発も視野に入れて利用の拡大を図っていかねばなりません。地熱資源の多様性の見極めや、エネルギーの質(エクセルギーとアネルギー)が必要な情報の基本です。

また、研究以前の問題として、行政努力で開発が著しく進むと思われる部分もあります。産業界も、この機会に調査の進め方で反省しなければならない点もあります。関係者が、それぞれの努力を怠らずに実行する総合的な対応が必要です。

(2) 地熱探査指針の定量化

地熱探査を効率的に進めるためには、定量的で論理的な議論が必要です。これまで国の地熱開発促進調査は数多くの地域で実施され、豊富なデータの蓄えがあります。調査結果にどのような重み

評価基準項目	調査結果	重み
b1. 噴気が存在	b11. ○ b12. ×	-12.71 0
b2. 80°C以上の自然湧出泉ないし浅深度温泉が存在	b21. ○ b22. ×	24.50 0
b3. 深部地温が50%以上のAI(活動度指數)	b31. ○ b32. ○(浅い) b33. ×	57.96 -8.12 0
b4. 地化学温度計で200°C以上の貯留層温度が指示される	b41. ○ b42. × b43. 不明	43.32 0 27.82
b5. 近傍に第四紀火山が存在	b51. ○ b52. ×	6.42 0
b6. 30万年以降の変質帯が存在	b61. ○ b62. × b63. 不明	8.50 0 -7.68
b7. 高浸透性断裂帶ないし地層が存在	b71. ○ b72. 不明	0.74 0
d. 定数項		-9.69

表1：地熱開発促進調査における有望地域判定のための評価基準項目と重み

を付けると、うまく成功地域を選ぶことができるかを統計数学的に解いてみました。表1はその結果です。評価基準項目のそれぞれについての調査結果ごとの重みを足し合わせたのが、成功に関するスコアです。この結果を促進調査の実績に照らし合わせたのが図1です。スコアが30以上で成功例が現れ、スコアが60以上では100%成功しています。成功、不成功がうまく予測できる方法だと言えます。

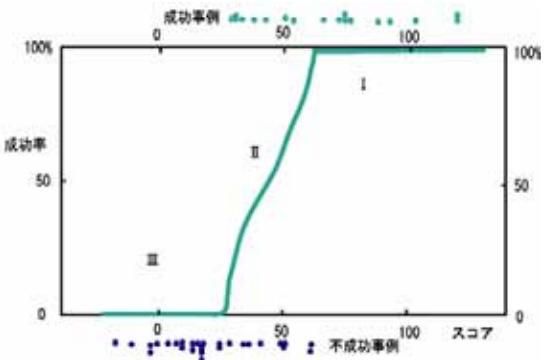
(3) アジアの地熱戦略

2001年にインドネシアのバンドンで開かれた、第4回アジア地熱シンポジウム「21世紀におけるアジアの地熱開発戦略」で講演をしました。地熱発電量こそフィリピンやインドネシアに後れをとっていますが、技術の高さや先進性からは日本はアジア諸国をリードする立場にあります。講演では、我々の研究開発の内容を紹介して、それにより地熱発電量が増加する水戸おいを示し(図2)，国際協力に意欲的に取り組む意気込みを紹介しました。まとめとして、村岡アジア地熱研究グループ長の発案による次の宣言を行い、出席者の賛同をいただきました。

- 1) シンポジウムの参加者は、今後、クリーンな地熱エネルギーの優位性を一般市民、政府、世界に広めていく「仲間(fellows)」になること。
- 2) シンポジウムの参加者は、この広報を進めていく「仲間」をお互いに助け合うこと。
- 3) シンポジウムの参加者は、「仲間」の輪を広げていく努力をすること。

3. その他の活動

日本地熱学会の評議員(平成14年末からは会長)を務めています。また、NEDOの地熱開発促進調査委員会の委員長を務めています。これらは地熱の学界や業界に貢献する活動です。さらに、日本温泉科学会の評議員や茨城県自然環境保全審議会の委員を務め、温泉の研究や温泉の健全な発展にも尽くしています。加えて、原子力安全委員会特定放射性廃棄物処分安全調査会の専門委員として、我が国の核廃棄物処分問題への対応にも貢献の幅を広げています。



I 成功例だけの領域

II 成功例と不成功例が入り混じる領域

III 不成功例だけの領域

図1：地熱開発促進調査における有望地域判定スコアと成功率

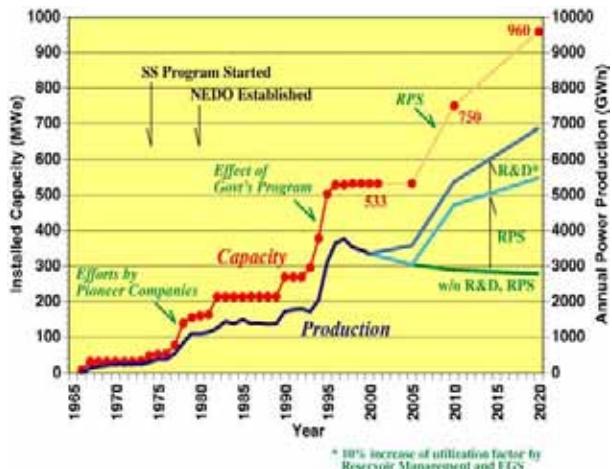


図2：設備容量と発電量の将来見通し

4. 参考文献

- 1)野田徹郎(2001)地熱技術開発の今後の方向性, NEDO Forum 2001, 地熱開発セッション, NEDO, 1-2.
- 2)Tetsuro Noda (2001) Geothermal Research Activities at AIST, Asian Geothermal Symposium 2001 Proceedings, 8p.
- 3)野田徹郎・大石公平(2001)調査データ数値解析による地熱開発促進調査地域の判定, 日本地熱学会平成13年学術講演会講演要旨集, B43.
- 4)野田徹郎(2002)地熱改革5つのポイント, 平成13年度地熱開発管理者研修会資料7-1, 新エネルギー財团17p.



地下の環境保全と資源開発 Environmental protection and development of underground resources

副研究部門長： 奥田義久

Deputy Director: Yasuhisa Okuda

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

1. はじめに

筆者は、地質調査所、石油（開発）公団、南太平洋沿海鉱物資源探査調整委員会（CCOP/SOPAC）などでの業務歴を経て、現在は、産業技術総合研究所地圈資源環境研究部門に所属している。この間、筆者が従事した主な業務は、海洋地質図の作成（図1）と、海洋鉱物資源および石油天然ガス資源の探査開発にかかる技術的な業務である。これらの業務に携わる過程では、堆積学、構造地質学、海洋地質学、石油地質、資源地質学、物理探査、資源開発工学の学問分野の境界領域にかかる分野の研究を行った。現在では、主に、地下の資源および環境にかかる一般的な研究総括業務に携わっているが、特に、わが国のみならず南極を含む環太平洋の海洋地質ならびに堆積学的研究、東アジアの含油ガス堆積盆地の燃料地質と資源評価に関する研究を行っている。

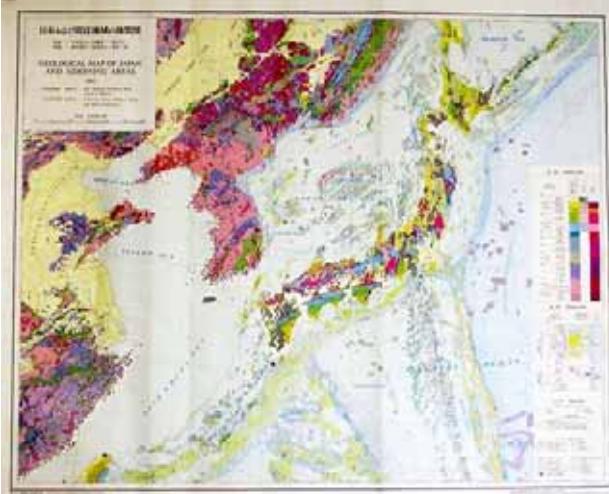


図1 日本およびその周辺地域の地質図

2. 最近の研究

筆者が行っている最近の主な研究は、①メタンハイドレートの総合的研究、②東アジアの広域地質と資源評価、および③環境保全と地盤沈下にかかる研究であり、以下に概要を紹介する。

1) メタンハイドレート

メタンハイドレートは、水分子がつくる籠の中にメタン分子がとり込まれて火をつけると燃焼する氷状物質であり、資源小国日本の周辺海域にも分布し、未来エネルギー資源として期待されている。メタンハイドレートが存在するには、低温・高圧の条件が必要で、例えば、0°Cで26気圧、10°Cで76気圧以上の圧力が必要である。すなわち、海底温度が0°Cの場合は260m以上の水深が、10°Cの場合は760m以上の水深が必要であり、その分布は極地の永久凍土地帯と大陸近くの大水深海域に限られる。

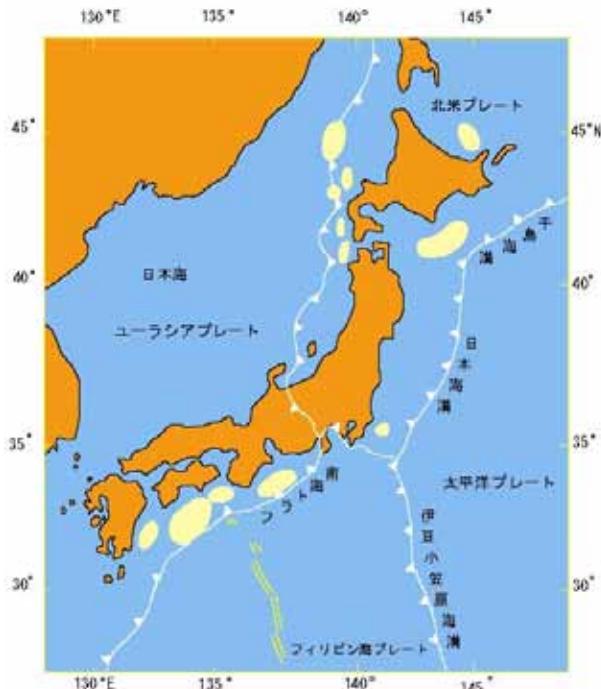


図2 日本周辺海域におけるメタンハイドレート分布概念図

また、メタンハイドレートの生成には、地下における大量のメタンの存在が必要である。このような地下での大量メタン発生のメカニズムは、海底下の微生物発酵で発生するメタンを起源とする生物発酵起源と、生物遺骸が埋没し地温・圧力の増加により続成作用を受けて発生するメタンを起

源とする熱分解起源があり、この成因の差で探査指針が異なる。

米国地質調査所とエネルギー省及び地質調査所(現産総研)は、世界のメタンハイドレート資源量試算を実施し、陸域では概ね数十兆m³、海域で数千兆m³のオーダーの結果が得られた。これは世界の天然ガス確認埋蔵量(145兆m³)の数十倍以上に相当する。

日本周辺海域でも、米国エネルギー省が南海トラフ北側に4200億~4兆2000億m³の資源量を試算した。また、旧地質調査所の調査では、南海トラフや北海道周辺海域等に分布が予想され、日本周辺海域の資源量を約6兆m³と試算した。この資源量は、日本の天然ガス年間使用量の約百倍程度に相当する。

海域のメタンハイドレートの存在は、昨年国の基礎試錐でも確認されており、水深2000m以上の大水深域に多くの資源分布が予想される。その開発利用には、商業的鉱床を発見する大水深探査・掘削技術や生産技術の開発が必要である。地下に眠るすべての資源の開発には100年以上かかるため、メタンハイドレートは、次世代天然ガス資源とも言えよう。

2) 東南アジアの油ガス田の概観

東南アジアで石油天然ガスを産する堆積盆地は、ニューギニア付近に分布する一部の堆積盆地を除くと、ほとんどすべてが新生代の堆積盆地である。この堆積盆地には何種類かのタイプがあり、なかには内陸部に存在するものもある。また、堆積物が海際に位置する堆積盆とか、海と大陸の中間付近に存在している盆地が存在する。東南アジアにおける地質データから、堆積盆地が位置する基盤の岩石を想定して地帯構造の上に現存する代表的な油ガス田をプロットすると図3のようになる。

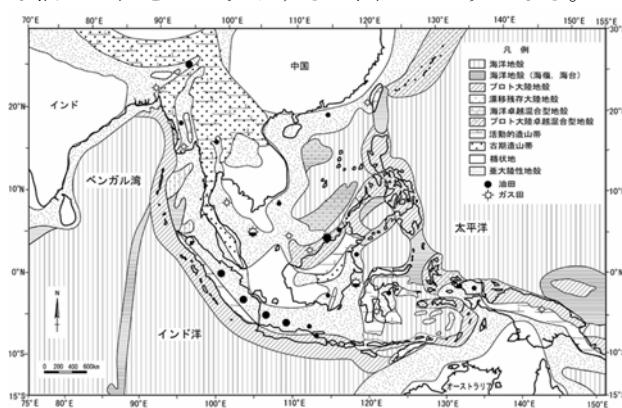


図3 東南アジアにおける油ガス田の分布と地殻の分類

インドシナ半島周辺では、(南北)ビルマ堆積盆、タイのマエソト油田が位置するチャオプラヤー堆積盆やエラワン海洋ガス田などが存在するタイ(湾)堆積盆、最近油ガス田の開発が活発化している珠江～南シナ海堆積盆やベトナム沖合のトン

キン湾～サイゴン・メコン堆積盆、マレー堆積盆などが発達する。

インドネシアの亜大陸地殻では、火山弧内側(海溝とは反対側)に存在する堆積盆地が多く、礁性石灰岩を貯留岩とするアルンガス田などが存在する北スマトラ堆積盆、横ずれの地質構造運動により形成されたレンチ堆積盆でミナス油田やドゥリ油田などのインドネシア原油の50%程度を生産する中央スマトラ堆積盆、南スマトラ堆積盆、スンダ海峡堆積盆、アルジュナ油田などの北西ジャワ堆積盆、および我が国の代表的自主開発油田であるアタカ油田が位置するカリマンタンのクタイ堆積盆(またはマハカム堆積盆)などが存在し、石油・天然ガスの生産が活発に行われている。

このほかプロト大陸地殻でも、やはり石油・天然ガスが発見されている。第二次世界大戦前から開発されていたボルネオ島のミリ油ガス田の基盤はプロト大陸地殻で、大陸地殻のブロックが、この地殻が形成された時に押し込まれたものである。ブルネイーサバ堆積盆にはこのような地殻が存在し、しばしば大規模なガス生産が認められる。さらに、フィリピンの西パラワン堆積盆内の北部パラワンに位置する地域で、古くからニド油田など小規模な油田の存在が知られていたが、マラパヤガス田が最近発見されて、現在パイプラインを敷設中で、ガス田の開発途上にある。

ただし、フィリピン本島では、プロト大陸地殻が存在して、多くの小さな堆積盆地が存在し、また、レンチ型堆積盆地が存在するものの、既発見油ガス田が少ない。その理由は、火山性の厚い堆積物が卓越して、一般に貯留岩の浸透率が低く、炭化水素資源ポテンシャルが低いとため考えられ、現時点では石油天然ガスの生産はほとんど行われていない。

最後に、最近注目されているガスハイドレートに関して付け加えるならば、地震探査の結果、南シナ海の周縁部(マニラ海溝や珠江、セレベス海の縁辺部)には比較的浅い海域に分布が予測されて有望であり、そのほかスンダ海溝、フィリピン海溝海域などにも分布することが推定されている。

3. おわりに

メタンハイドレートなどの非在来型天然ガスの開発に際しては環境保全に万全の策を講ずる必要があり、また、千葉県および新潟県などの水溶性天然ガスの採取に伴う地盤沈下等で経験している環境保全対策の、非在来型天然ガスの開発への適用検討が今後必要となろう。

主要参考文献

- 奥田 義久 (2001) 東南アジアの地質と天然ガス資源. 国際資源, 323, 9-17, 国際資源問題研究会
奥田 義久 (2002) メタンハイドレート一次世代の巨大な天然ガス資源－. AIST Today, 1.6, 19, 産業技術総合研究所



高温岩体開発とトレーサ試験 Tracer test and scale of HDR long circulation test in Hijiori

副研究部門長： 松永 烈

Deputy Director: Isao Matsunaga

Phone: 0298-61-8201, e-mail: matsunaga-isao@aist.go.jp

1. はじめに

地圈資源環境研究部門は、旧工業技術院地質調査所と資源環境技術総合研究所に所属していた研究者約70名から構成されている。筆者は、昭和51年に資源環境技術総合研究所の前身である公害資源研究所に入所以来、主に地熱の1つである高温岩体の開発に携わってきた。入所当初は、高温の岩盤に冷たい水を大量に注入し、熱応力と水圧によって人工的にき裂を入れようという力ずくの研究を行っていたが、1980年代前半にアメリカニューメキシコ州フェントンヒルで実施されていた日米独3ヶ国によるIEA共同研究に参加し、大規模な現場実験を経験して以来、地球化学的手法、特にトレーサ試験による貯留層評価の研究を行ってきた。残念ながら、数年前からは企画や研究管理の業務が増え、実験を行う機会は減ってしまったが、一昨年11月から今年8月まで山形県肘折のNEDO高温岩体実験場で行われた長期循環試験中には何度かトレーサ試験を行った。ここでは肘折での高温岩体実験の歴史とトレーサ試験の一般的な紹介を行うこととする。

2. 肘折での高温岩体実験

実験場は月山の東側に位置する直径がほぼ2kmの肘折カルデラの南端に位置している。肘折では、1984年から予備的な調査が開始され、翌1985年からはNEDOの事業となり、開発が進められてきた。

肘折でのHDR開発は、大きく2つの段階に分けることができる。即ち、1991年までの前半は深度1,800m付近の上部貯留層の開発が行われ、その後は深度2,200m付近の下部貯留層の開発が進められている(Matsunaga, 1994)。

上部貯留層の開発では、まず1986年に既存のSKG-2井坑底付近からの坑井刺激によりフラクチャを造成し、翌1987年に生産井HDR-1を掘削してフラクチャと導通することに成功し、翌年に2週間の循環試験を行った。その後導通性の改善と流体の回収率の向上を目指して1989年に注入点から西側の貯留層に向けてHDR-2井(1,910m)を、更に1990年には注入点から東側の貯留層に向

けてHDR-3坑井(1,907m)を掘削し、その都度循環試験(1989年に1ヶ月間、1991年に3ヶ月間)を実施した。特に、1991年に行った3ヶ月間の循環試験では、温度150~180℃の熱水・蒸気を安定して生産(回収率80%)することに成功し、地質構造の複雑な日本においてもHDRの概念が適応可能なことを実証した。

上部貯留層での技術開発と実験の成果をもとに、1992年からは下部貯留層の開発が開始された。1992年に水圧刺激で造成した貯留層に向けて、1993年と1994年にそれぞれHDR-3井(2,303m)とHDR-2井(2,303m)の増掘を行い、1995年と1996年の2回、循環抽熱試験を実施した。これら予備循環試験の結果をもとに、今後地表施設の整備を行って、2000年11月から長期間にわたる抽熱特性を把握するため、長期循環試験が開始され

(Kawasaki et al., 2002)、本年6月から8月にかけてはバイナリー発電による50kWのデモンストレーション発電にも成功した。

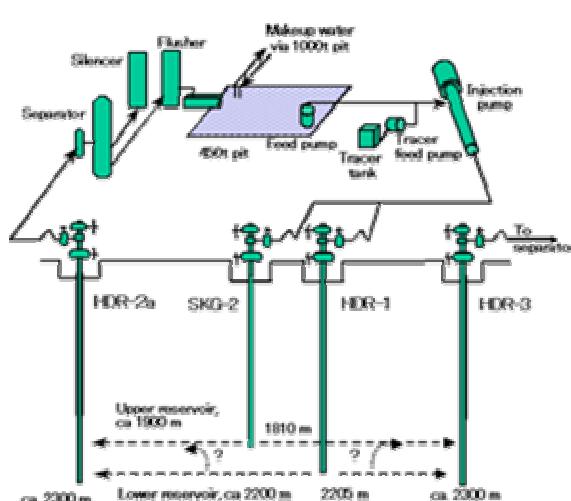


図1. 肘折長期循環試験時のフロー概念図

3. トレーサ試験

トレーサ試験は、以下のような利点があり、地熱貯留層の流動状況を評価する上で最も有効な方法の1つである。

➤HDR貯留層における流体の移動速度、水理学

的な導通性、容積、拡散の状態を直接調べることができる。

- 繰り返して試験ができるために貯留層の経時的な変化を評価できる、
- 試験を比較的容易に行うことができる、
- 適当な試験方法を選択することにより比較的低コストで試験を行うことができる。

このため、世界各地の HDR 実験場においてもしばしばトレーサ試験が行われている。肘折においても 1988 年に上部貯留層で 2 週間の循環試験を実施して以来、今夏の上下 2 層の貯留層による長期循環試験が終わるまでに計 30 回以上のトレーサ試験を行っている（写真 1,2）。



写真 1 1988 年肘折で最初に実施したトレーサ試験における生産流体採取風景と、写真 2 2001 年長期循環試験中の注入タンクへのトレーサ原液投入風景

上述したようにトレーサ試験には多くの利点があるが、今後はさらに

- 簡便に使用できるトレーサ、
- 高温の貯留層に適用できるトレーサ、
- 坑井内で使用するトレーサ注入器や検出器、
- 温度に関する情報取得のためのトレーサの開発が望まれる。この内、簡便に使用できるト

レーサとしては、計測が容易、入手や取り扱いが容易、安価等の点で、蛍光染料トレーサが適当と考えられる。蛍光染料を初めとする有機化合物トレーサを地熱貯留層評価に使用するため、ユタ大学のグループが精力的に研究を行っている（Rose et al., 2000）。一方、我々も蛍光染料トレーサを自動採取するだけでなく、光ファイバーを用いて連続観測するシステムを開発し肘折で使用した。

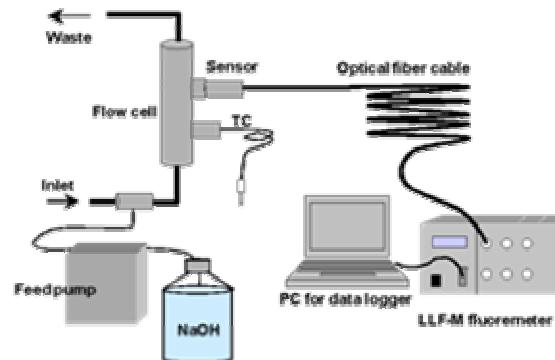


図 2. 光ファイバー蛍光光度計によるトレーサの連続計測システム

高温で使用できる放射性トレーサには検出感度が高いために注入量が少なくて良いという利点があり、フェントンヒルでは実績があるが、日本では安全性の点から使用することは不可能である。

温度情報取得のためのトレーサに関しては、エスティルや蛍光染料の分解を考慮した検討が行われている。

4. その他の活動

部門の外部担当として、産学官の各方面との連絡役を務めるよう努力している。学会活動としては、日本地熱学会の評議員と地中熱利用技術専門部会長の他、資源・素材学会理事（関東支部長）を務めている。また、IEA 地熱実施協定のアネックス III (HDR) のタスククリーダを務め、HDR 技術の情報交換と取りまとめを行っている。

最近は、産総研内の関連する 4 研究ユニットにまたがる融合化研究代表者として土壤汚染関連の研究に積極的に関与しています。土壤汚染関連の技術は民間企業との積極的な協力・連携が必要と考えておりますので、よろしくお願ひいたします。

参考文献

- Kawasaki, K. et al., 2002, Proc. 27th Workshop on Geothermal Reservoir Eng., Stanford Univ., Stanford, Cal., SGP-TR-171.
- Matsunaga, I., 1994, Geotherm. Resourc. Counc. Bull., 23, 62-64.
- Rose, P.E., Benoit, W.R., Bacon, L., Tanidja, B., Kilbourn, P.M., 2000, Proc. 25th Workshop on Geothermal Reservoir Eng., Stanford Univ., Stanford, Cal., STP-TR-165.



安全衛生および国際担当としての活動／ 熱水鉱化作用に関する研究活動

Activities for safety management and promotion of international cooperation of IGRE / Research on hydrothermal mineralization

総括研究員： 青木正博

Principal Research Scientist: Masahiro Aoki

Phone: 0298-61-3820, e-mail: masahiro-aoki@aist.go.jp

1. まえがき

産総研発足以降の私の活動は、①事業所および部門の安全衛生担当、②部門国際担当としての活動、③热水鉱化作用に関する研究活動、④その他の活動に分けられる。それぞれについて概略を記述するとともに、今後他の方に利用される可能性のある固有技術、また、成果の如何は別として自身の研究指向性をあわせて紹介させていただく。

2. 安全衛生担当としての仕事

産総研発足とともに組織全体が労働安全衛生法の適用下に入り、私たちの職場でも徹底した安全衛生管理を行うようになった。分析機器の他に大量のサンプルや図面類を抱えていること、また分析する試料も岩石・鉱物から水・炭化水素・ガスまで多岐にわたること、クリーンルームから強力な電気集塵機を併用する粉塵環境まで多様な作業環境を必要とすることなどは、地質系研究機関としての避けがたい特徴である。この事業所において“研究の生産性”と、“万人に対して安全な環境の創出”を両立させることは、職員各位の意識改革と不断の努力なしには達成し得ない。この間、安全担当として心がけたことは、改善余地がありそうな案件については、即実態調査を行い、即対策を提案することにより、一日も早く研究現場の“脱皮”を達成することであった。幸いに、書架等の転倒防止工事・ガラス飛散防止フィルム貼り付け工事・保護用具の普及・居室の温熱環境の改善・電源コンセントおよびケーブル類の安全対策を含めて、他事業所に比較して圧倒的短期間で良好な研究環境を実現することができた。構成員一人一人がそれぞれの立場で責任を果たした結果である。今後も即決即断を旨としたい。

3. 部門国際担当としての活動

組織が産総研に変わり海外機関との協力関係が制度上リセットされたため、継続発展させるべき国際関係については MOU を締結し直すこととなつた。昨年から今年にかけて締結された MOU 7 件の中で、トルコ鉱物資源総局 (MTA)、および、ロシア

科学カデミー鉱床地質学・岩石学・鉱物学・地球化学研究所 (IGEM)、同火山研究所 (IV)、との共同研究キックオフには特に力を注いだ。本年 10 月にはロシア科学アカデミーの 2 研究機関から研究者を招聘し热水鉱床のモデリングに関するシンポジウムを開催するなど、まずは順調なスタートが切れたと考える。

その他、ベトナム、カンボジア、タイ、ペルー各国の地質調査所長の訪問に対応し、鉱物資源開発、環境影響評価、環境対策に関する研究協力の可能性について積極的な意見交換を行い、部門の将来課題の発掘を心がけた。

4. 热水鉱化作用の研究

热水鉱床の全体像を見るとおずこに強い関心があり、活動的な热水系（温泉）、活火山の噴気口、热水系の浅所が保存された化石热水系（浅热水性金鉱床）の調査などに携わってきた。いさか旧聞に属するが、青森県恐山の热水活動の解析（図 1）、登別热水系の解析、北海道豊羽一無意根热水系の解析はその例である。それらケーススタディーの結果として、热水系の时空発展の理解が鉱床探査の効率を確実に高める

と考えるに至った。化石地热系の鉱床調査に際しては、热水の化學組成と流動メカニズムだけでなく、热水活動のライフタイム、重複の有無をつねに意識している。

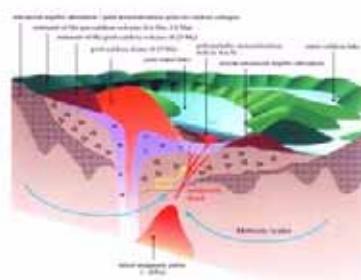


図1 恐山热水系モデル

热水現象の三次元分布は、比抵抗探査、試錐調査、地表地質調査の総合により推定されるが、時間関係や鉱物沈殿速度の情報は鉱物の化学（同位体）組成、成長組織、鉱物組み合わせの解析から得られる。その観点で、鉱物の成長組織に関心を

持っている。明礬石固溶体の組成累帯（図2）の研究はその例である。

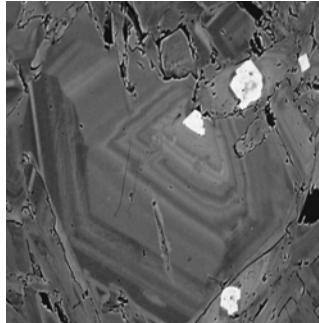


図2 マグマ発散物の強い影響下で生成した明礬石の示す顕著な組成累帯
(草津白根山)

活動的熱水活動の地表部では、温泉沈殿物の累重関係から熱水活動の時間発展が高解像度で観察できる。マグマの貫入によりキックオフされた熱水活動が、収束する迄の間にたどった化学進化を読む興味から、詳しく温泉沈殿物を見てきた。その延長上の課題として、最近は微生物活動の痕跡にも関心を持っている。微生物の痕跡は、“その微生物が健全に成育できる環境が定常に存在した結果”とは限らず、“熱水のパルスでコロニーが絶滅した結果”であることが多いというようである。また、間欠的なバクテリアコロニーの絶滅を示唆するシリカシンターは熱水鉱化作用の一般的地表表現との解釈に傾いている。（図3）。



図3 シリカと硫化物コロイド中のバクテリアコロニー(恐山)
熱水鉱化作用の実証的研究

究の周辺課題として、温泉水の流入、温泉沈殿物の酸化分解による有害重金属元素の拡散評価も重要と考えており、ロシア科学アカデミー火山研究所との間で、共同研究を進めている。

金属鉱物資源の安定供給への貢献は、地圏資源環境研究部門の社会的使命の一つである。その進め方のひとつは、将来の重要な資源供給国の研究機関との間で定常的な協力関係を構築し、当該国の資源開発に寄与することである。この観点から、ロシア科学アカデミーと協力して、極東ロシアの金鉱床地帯の研究を行ってゆきたい。

5. 研究の指向性など

野外地質調査、サンプリング（岩石・鉱物・水・ガス）から、試料の分析（ICP、EPMA、XRD*1などの機器分析～重量法、滴定法などの古典的化学分析）、水熱反応実験装置の試作と熱水プロセスの再現（*2）、溶液化学のコンピュータシミュレーションまで、自分自身が一貫しておこなうことを探している。人一倍旺盛な好奇心に駆られて他分野の方と交流した結果、身に付いた研究スタイルであるが、リスクキーな基礎研究を気軽にスタイルであるが、リスクキーな基礎研究を気軽に

アートする上では役に立っている。その実感から、研究者の質の高い相互作用が研究所の創造性・生産性にとって本質的重要性を持つと信じている。

*1 X線粉末回折による天然鉱物の同定には豊富な経験をもつ。肉眼観察と組み合わせて、短時間で正確な同定を行うとともに、ラインプロファイルから“鉱物種以上”的情報を読みとることにも関心が深い。パソコン用コンピュータで回折プロファイルを描く自作プログラムで作成したパターンデータベースは、複雑な鉱物組み合わせを短時間で正確に解析するための便利なツールとして、過去20年にわたって各方面の方に利用頂いている。

*2 鉱物の生成・分解過程を眼前に再現することによって、鉱物・鉱床の成因を直感的かつ定量的にしたいとのこだわりから、下記の実験装置を自作した。すでに解体したものもパーツと図面類は保存しており、関連のノウハウを提供できる。
X線回折水熱実験装置：熱水反応中の鉱物の結晶状態をモニターできる装置で、脱水、イオン交換、高温～低温転移など、温度と水分圧依存性の高い反応の解析ができる。

固液完全分離型水熱反応装置：熱水反応の温度条件を保ったまま、固液を分離する装置で、温度依存性の高い水～鉱物反応を“凍結”し、正確なイオン交換平衡定数を決めることができる。

フロースルー型熱水反応装置I：熱水～岩石を反応させ、反応後の熱水の溶存酸素濃度を連続分析することにより、2価鉄を含む岩石の酸素動的バッファ能力の評価に用いられた。

フロースルー型熱水反応装置II：熱水中で岩石と水を反応させ、反応前後の水質変化を連続モニターできる。系外から酸とガスを供給し、出口で大気との接触させずに流体のサンプリングができる。300°C～400°Cのマグマ水～岩石相互作用のシミュレーションのために制作された。I型との違いは、硫黄と炭酸ガスを含む酸性流体を導入できる点にある。

熱水循環型結晶育成装置：反応流体の物理化学的条件変化が、結晶中にいかなる形で記録されるかを実証的に解明する目的で制作したもの。結晶を大きく成長させるため、温度と濃度勾配を積極的に作り出す構造を持つ。熱水鉱床の探査ツール開発の位置づけから、明礬石固溶体の育成が試みられている。

6. その他の活動

鉱物資源に関する社会貢献として、金属鉱業事業団の資源アドバイザー、JICA集団研修コースにおける講師、大学院集中講義、資源地質学会評議員、編集委員、青年海外協力隊技術研修指導員、を引き受けている。地質調査総合センターおよび当部門の広報活動としては、地質標本館展示企画委員をつとめるとともに、「温泉と鉱物」などの普及講演を行っている。



高温岩体研究開発の今後の展開 R & Ds based on Hot Dry Rock Technology

総括研究員： 山口 勉

Principal Research Scientist: Tsutomu Yamaguchi
Phone: 0298-61-8733, e-mail: t-yamaguchi@aist.go.jp

1. まえがき

高温岩体地熱発電は次世代の地熱発電として位置付けられる。この方式は、地下約 2~3 km の高温の岩体中に大規模水圧により熱交換面となる人工き裂を造成することに特徴を有し、人工き裂の造成とそのき裂からの熱抽出挙動の解析が重要な研究課題となる。著者は昭和 56 年に資源環境技術総合研究所に入所以来、一貫してこの研究に取り組んできた。地下深部におけるき裂の造成に関しては、き裂の進展方向が地圧の方向に支配されることから、コアを用いて簡便に地圧の主方向や大きさを推定するための DSCA 法や、これを発展させた PSHA 法の提案を行った。これにより、国内外の地熱現場や大規模道路トンネル周辺の地圧状態の推定を行った。一方、熱抽出挙動の解析に関しては、地熱坑井近傍からの熱抽出挙動解析プログラムの開発、および米国ロスアラモス国立研究所と熱一流体挙動の汎用数値シミュレーションプログラムの開発を行った。本シミュレーションプログラムは、地下における地熱流体（熱水、蒸気）や化学物質の拡散、熱伝導等を有限要素法により解析するものである。これらのプログラムにより、高温岩体発電システムの定量的な寿命評価を行うことが可能となった。現在は、世界各国で実施されている高温岩体発電技術を要素別に体系化するため I E A のもとで調査活動を実施している。

しかしながら、平成 14 年度末をもって N E D O が高温岩体の研究開発を終了するのに伴い、当部門がこれまでに担当してきた高温岩体の解析・評価に関する研究も終了することとなる。N E D O が山形県肘折地区で実施していた現場実験は、その洗練された地下システムや規模において世界各国で実施されている同種のシステムと比較しても、極めて優れたものであった（図 1）。この研究開発が終了したことは、我が国のみではなく、このシステムの研究開発を進めている他の国にとっても大きな損失であると考える。とは言え、高温岩体地熱資源は、引き続き、エネルギー資源小国の日

本にとって大量に賦存する純国産の有望なエネルギーであることに変わりはなく、着実にその研究を進めていくことが重要である。



図 1 肘折現場における高温岩体現場実験

2. 地熱井活性化技術の研究

わが国における地熱発電設備容量は 53 万 kW であるが、近年では貯留層の枯渇が進行している地域があり、地熱による年間発電量は徐々に減少している。地熱は、太陽、風力等の他の新エネルギーと比較して利用率が高く（図 2）、唯一ベースロードとして使用可能な自然エネルギーであり、地熱井枯渇の進行を防止することが急務となっている。そこで、既存の地熱発電が直面している問題に対処し、持続的成長へつなげるための技術開発が必要不可欠になっている。高温岩体技術は地下を工学的に設計・加工していく技術であり、この地下システムへの設計・加工技術は既存の地熱発電においても適用可能である。高温岩体技術開発で培われた水圧破碎技術による貯留層造成技術、AE 計測やトーラーサ試験等の貯留層評価技術を積極的に転用・活用することによって、国内の地熱開発の閉塞状況を打破できると考える。そのために、これまでの高温岩体発電技術を基礎とした、枯渇貯留層への注水技術、水圧破碎による透水性改善

技術等を地熱井活性化技術の研究として体系化することが必要であると考える。

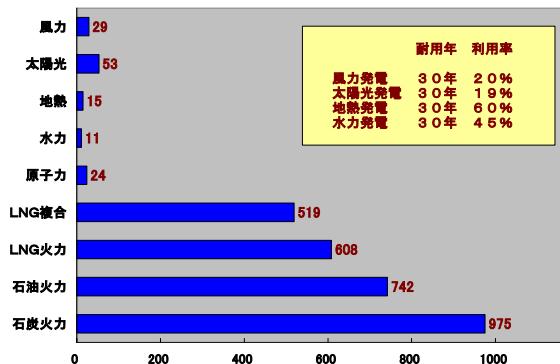


図2 炭酸ガス排出原単位の比較（単位 g·CO₂/KWh）

3. メタンハイドレート資源化技術の研究

メタンハイドレート資源化のキーポイントは、海底下約300mの地盤内に賦存している固体メタンハイドレート(図3)を連続的に分解し採取するために、経済性、環境調和性及び安全性の高い分解採取法及び坑井掘削・仕上法を開発することである。これまでに高温岩体で開発してきた地熱数値シミュレータに、メタンハイドレートの分解特性や地盤の圧密特性等を組み込み、水圧破碎技術等の適用を検討しながら分解採取法の研究、及び採取法とパッケージとなる坑井掘削法や仕上法の研究が必要である。

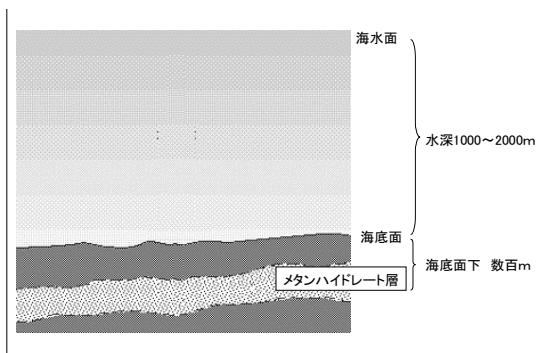


図3 海底下のメタンハイドレート層

4. 地下空間の長期安定性評価の研究

放射性高レベル廃棄物地層処分場の確保は、わが国のエネルギーから持続的発展を保証する上で緊急に解決すべき課題である。特にその力学的な長期安定性の評価は、処分場の設計を行う上で必要不可欠の研究課題と考える。これまでに行ってきた大深度地下空間の長期安定化技術を発展させ、地殻応力評価手法、岩石の長期変形特性の評価手法、き裂の力学的挙動に関する研究実績をもととして、高レベル核廃棄物地層処分技術の長期安定性評価に関する研究が必要である。

5. おわりに

本報では、著者がこれまでに実施してきた高温岩体に関する研究をもととして、今後どのような展開が考えられるかについてまとめてみた。ここで挙げた三つの例は、いずれも高温岩体研究の延長上にあるが、対象とする相手の性情が異なることから、それぞれにチャレンジングな内容を含んでいる。どの課題をとっても短時間に結果の得られるものはないが、着実に研究を進めていきたい。

貯留層変動探査研究グループの紹介 Introduction of the Geothermal Reservoir Research Group

貯留層変動探査研究グループ長： 石戸恒雄
 Leader, Geothermal Reservoir Research Group: Tsuneo Ishido
 Phone: 0298-61-3829, e-mail: ishido-t@aist.go.jp

1. グループの研究目的

重点研究課題「地熱貯留層評価管理技術の開発」の主担当グループとして、ヒストリーマッチングに地球物理学的モニタリング手法を適用した貯留層評価管理技術の開発を目的として研究を行っている。複数のモニタリング項目を同時に実施することで、ヒストリーマッチングによる貯留層モデル構築の精度が飛躍的に向上すること、また定期点検時の集中観測が貯留層維持管理の費用対効果に優れていることが予想される。平成14年度～16年度の3年間は、これまでのNEDO要素技術開発ならびに産総研（地調）での基礎研究・先導研究の成果を受けて、貯留層変動の把握・予測技術のシステム統合化を行う。

当グループの目指すのは、地下の流体流動を総合的に把握する技術開発である。地熱分野で新規地域の探査技術などとして使われるだけでなく、地下水汚染や放射性廃棄物の地層処分に関する監視技術として使われる可能性、また火山防災等に関連したモニタリング技術として発展する可能性も期待される。平成14年度～16年度の3年間はCO₂の地中貯留に関連したモニタリング技術について先導研究を行う。また、火山地域などにおいて、大学や海外研究機関との連携の下、地球物理学的観測など貯留層変動探査技術の基礎研究を進める。

2. グループの研究資源

1) グループ員

石戸恒雄（リーダー）・當舎利行・杉原光彦・西祐司・高倉伸一・中尾信典・安川香澄・菊地恒夫（NEDO出向中）

*当部門他グループより分担：10名

*地球科学情報研究部門より分担：2名

*深部地質環境センターより分担：1名

*大学からの併任など：3名

2) 予算

電源多様化技術開発等委託費「貯留層変動探査法の研究開発（平成14年度終了）／NEDO 地球環境産業技術に係る先導研究「最適モニタリング設計技術に関する先導研究」（平成14-16年度）／運営費交付金「貯留層変動探査の研究」

3. 平成13年度までの成果概要

断裂水理探査法の開発では、NEDO事業の解析・評価を行うとともに、貯留層を構成する断裂系の水理特性を高精度に把握するための坑井水理試験法、透水率検層法について、先進的な手法であるSA法による逆解析法の3次元化、ならびに音波・NMR・エレクトロサイスミックの各検層法についての実用化可能性の評価を行った。

探査ネットワークの開発では、補足調査等を通してNEDO事業の解析・評価を行うとともに、地球物理学の各モニタリング手法について、重力探査法として絶対重力計を用いた基準点評価法のFS、電気・電磁気探査法として室内実験による界面動電現象パラメータの体系的データ取得、3次元電気探査法の実用化等を行った。地震波探査法としてはレーザードップラー振動計を用いた室内実験を行い、アレイ観測法、散乱重合法等の評価を進めた。

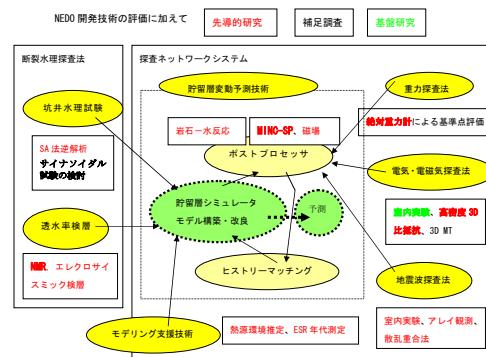


図1 要素技術開発（平成9-13年度）の体系。室内実験、野外計測技術、数値シミュレーション技術など基盤研究、先導研究の成果をNEDOにトランスファーするとともに補足調査等を通してNEDO技術開発を支援する。

数学的ポストプロセッサー、ヒストリーマッチング等の変動予測技術については、重力・SP等のポストプロセッサーに関する先導研究の成果をNEDOにトランスファーするとともに、室内実験結果等に基づいた改良、また磁場など新たなポストプロセッサーの開発を行った。地質学的なモデル

シング支援技術としては、熱源深度推定のための高圧下岩石融解実験、熱史推定のための ESR 年代測定実験等を行った。

平成 13 年度の成果公表は、国際誌 8 報をはじめ、NEDO との連携による GRC（米国地熱評議会）での 11 報（うち 5 報が産総研分）の発表等を行い、国際的な成果発信を図った。特許関連では登録 1 件、実施 1 件があった。また、NEDO 委託先メンバーをまじえた WG 等を通じて、NEDO フェーズ I のまとめを支援した。

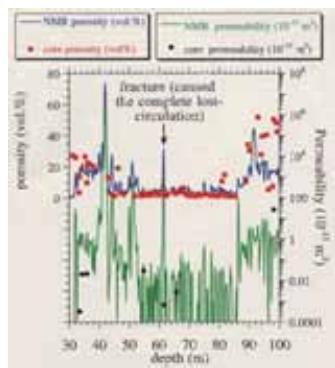
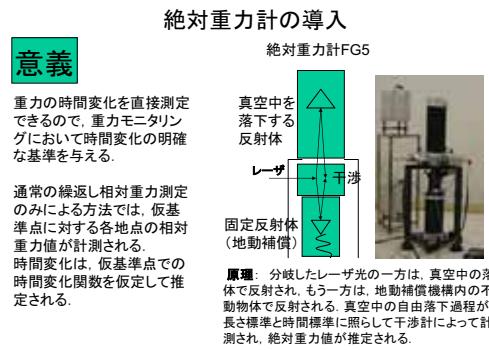
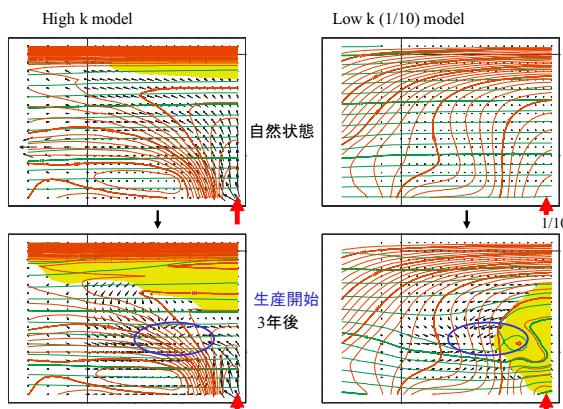


図 2 火山岩地域での NMR 検層。空隙率、浸透率測定ならびに亀裂開口幅の推定。

4. 平成 14 年度の研究計画

平成 14 年度は、デベロッパー・電力会社との共同研究を計画している。奥会津地域、大霧地域において実用化を念頭においていた重力・SP 等観測システムを設計し、集中観測によって問題点を抽出し、その解決を図る。奥会津地域では、定期点検前後の集中観測により、1ヶ月程度の蒸気生産停止に伴う重力・SP の変動を明らかにする。

大霧地域では、隣接の白水越地域の噴気試験に合わせて、重力・SP（比抵抗）集中観測とともに、断裂系把握のための AE・傾斜計観測を実施し、新規開発地域への適用性評価のためのデータ取得を行う。いずれの地域においても、既存データならびに既存モデルに基づいた予備的な貯留層



絶対重力測定の実例(奥会津)

奥会津で 2002 年 3-6 月に 2 週間毎 5 日間の測定を実行。絶対重力測定結果(右下図)と、相対重力測定によって推定された時間変化(中央図赤線)には明瞭な差がある。10 数マイクロガルの重力時間変化の評価における絶対重力測定の意義を示す。

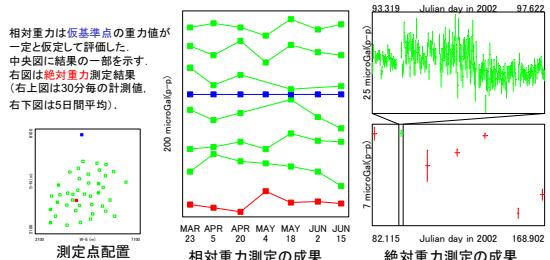


図 3 絶対重力計による基準点評価。

モデリングを行い、平成 15 年度以降の統合ヒストリーマッチングの準備を行う。

平成 14 年度は NEDO プロジェクト「貯留層変動探査法開発」の最終年度となる、WG 活動等を通してプロジェクトを支援し、坑井水理試験法、透水率検層法、モデリング支援技術、ならびに重力、電気・電磁気、地震波の各探査法について、これまでの先導研究の成果をまとめた。また、八丁原地域、澄川地域、鬼首地域、松川地域で民間企業と共同研究を実施し、個別の手法について補完調査を行う。

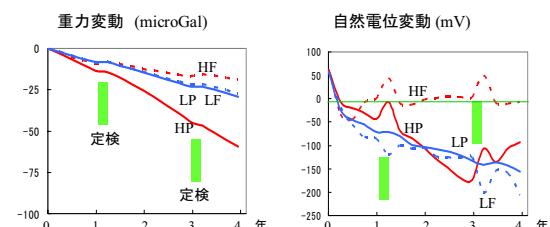


図 4 「システム統合」の意義：貯留層の浸透率が大(H)か小(L)、媒質が多孔質(P)かフラクチャ型(F)として、4つの組み合わせについて発電開始後の重力変動、SP 変動を数値シミュレーションした例。重力・SP の同時モニタリングによって、4 つのタイプのいずれであるかを同定できることを示している。



地熱貯留層のモニタリングとモデリング Monitoring and modeling of geothermal reservoirs

貯留層変動探査研究グループ： 石戸恒雄
Geothermal Reservoir Research Group: Tsuneo Ishido
Phone: 0298-61-3829, e-mail: ishido-t@aist.go.jp

1. まえがき

私の最近の個人研究活動は、地熱貯留層工学に関する研究と岩石－水系の界面動電現象に関する研究等に分けられる。

2. 地熱貯留層工学に関する研究

深部地熱や断裊型二相貯留層の生産性の問題^{1), 2)} や圧力遷移テストの解析理論³⁾、また岩石・水化学反応のカップルドシミュレーション⁴⁾等の研究を進めるとともに、「地熱」誌に1997-2000年の間、講座「地熱貯留層工学」を連載しNEDOのプロジェクト等で得られた成果の普及を図った。また、その内容を国内の技術者向け教科書として単行本にまとめた⁵⁾。

地熱貯留層シミュレーション（ヒストリーマッピング）に重力変動データを用いる試みはニュージーランドなどで行われていたが、重力に加え、自然電位、比抵抗、地震波などを用いることの有効性を提唱し⁶⁾、貯留層シミュレーション結果から自然電位、比抵抗の変動を計算するためのソフトウェアポストプロセッサーの開発を行ってきた。これらソフトウェアはNEDOプロジェクトの中で改良され実データの解析が行える段階になっているが、産総研側では、室内実験等によって得られた知見を解析プログラムに反映させるとともに、磁場など新たなポストプロセッサーの開発を手がけてきた⁷⁾。

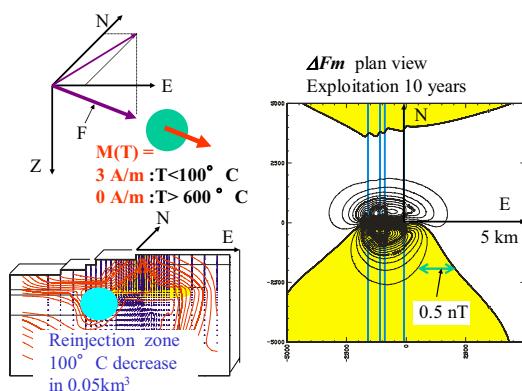


図1 磁場ポストプロセッサーによる計算例。

3. 岩石－水系の界面動電現象に関する研究

室内実験として高温下の流动電位、表面伝導の測定を進めている。その結果、世界に先駆けて200°Cまでの高温下においてゼータ電位測定に成功した⁸⁾。これらの結果は逐次、NEDO版を含め自然電位(SP/EKP)ポストプロセッサーの改良に反映させ、現在、ゼータ電位についての Ishido and Mizutani [1981] モデルの改訂を進めている。また、MINC 媒質に対応した機能拡張などを行っている(図2, 3参照)。

“equivalent porous medium”
 $\phi = \phi_f \Psi + \phi_m (1 - \Psi)$
 $k = \Psi k_f$

Ψ : volume fraction
of fracture zone
 λ : fracture spacing



図2 界面動電現象による携帯電流は、岩石の浸透率でなく空隙率に比例するため、マトリックスの寄与が大きい。

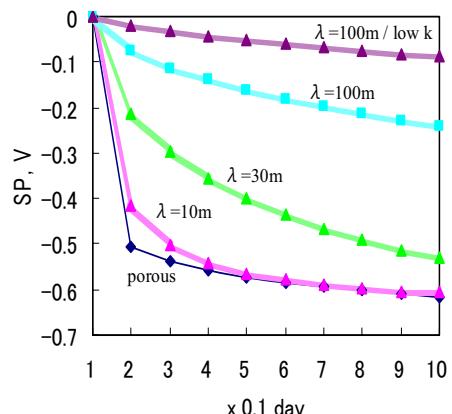


図3 圧力遷移試験時のSP変化。等価なポーラス媒質に比べ断裊型媒質ではSP変化がゆるやかになり圧力変化と逆の挙動を示す。

多相多成分の汎用地熱貯留層シミュレータに対応した EKP ポストプロセッサーについては、1995 年に開発して以来、地熱のみならず火山や地震の問題にも適用してきた^{9), 10), 11)}。

地熱貯留層からの流体生産に際しては、SP の時間変化が観測可能と考えられていたが [Ishido, Kikuchi and Sugihara, 1989]、開発した EKP ポストプロセッサーによってこの点の検討を進めた。生産エリアでは通常、圧力低下により正の SP 変化が発生するが、数値シミュレーションの結果から、気液二相ゾーンが急激に拡大する場合には、負の SP 変化が地上に卓越することを示した⁹⁾。これまでに奥会津地域等で検出された SP 変化¹²⁾はこのメカニズム—沸騰ゾーン中の液相流体の下降流に伴う携帯電流—によって説明できると考えている。SP モニタリングは生産開始後の貯留層のダイナミックな変化を捉えるのに有効であり、貯留層モデル構築のためのヒストリーマッチングにおいて他のモニタリングデータからは得られない独立した拘束条件を与えるであろう¹³⁾。今後、この点を貯留層変動探査法の「システム統合化」実験フィールドである奥会津地域、大霧地域で検証してゆきたいと考えている。

主な成果公表

- 1) Yano, Y. and T. Ishido (1998) Numerical investigation of production behavior of deep geothermal reservoirs at super-critical conditions, *Geothermics*, 27, 705–721.
- 2) Yano, Y. and T. Ishido (2000) Production and reinjection of fractured two-phase reservoirs, *Proc. WGC2000*, 2995–2998.
- 3) Nakao, S. and T. Ishido (1998) Pressure-transient behavior during cold water injection into geothermal wells, *Geothermics*, 27, 401–413.
- 4) Takeno, N., Ishido, T. and J.W. Pritchett (2000) Dissolution, transport and precipitation of silica in geothermal system, *Proc. WGC2000*, 2943–2948.
- 5) 石戸経士(2002)地熱貯留工学、日本地熱調査会、pp.176.
- 6) Ishido, T., Sugihara, M., Pritchett, J.W. and K. Ariki (1995) Feasibility study of reservoir monitoring using repeat precision gravity measurements at the Sumikawa geothermal field, *Proc. WGC' 95*, 853–858.
- 7) Ishido, T. and J.W. Pritchett (2001) Prediction of magnetic field changes induced by geothermal fluid production and reinjection, *GRC Transactions*, 25, 645–649.
- 8) Tosha, T., Matsushima, N. and T. Ishido (2002) Zeta potential measured for an intact granite sample at temperatures to 200°C, submitted to *Geophys. Res. Lett.*
- 9) Ishido, T and J.W. Pritchett (1999) Numerical simulation of electrokinetic potentials associated with subsurface fluid flow, *J. Geophys. Res.*, 104, 15247–15259.
- 10) Ishido, T., Kikuchi, T., Matsushima, N., Yano, Y., Nakao, S., Sugihara, M., Tosha, T., Takakura, S., and Y. Ogawa (1997) Repeated self-potential profiling of Izu-Oshima volcano, Japan, *Jour. Geomag. Geoelectr.*, 49, p. 1267–1278, 1997/12
- 11) Ishido, T. (2001) Numerical simulation of electrokinetic potential induced by subsurface fluid flow in geothermal and volcanic areas, European Union of Geosciences XI (Invited presentation).
- 12) Tosha, T., Ishido, T., Matsushima, N. and Y. Nishi (2000) Self-potential variation at the Yanaizu-Nishiyama geothermal field and its interpretation by the numerical simulation, *Proc. WGC2000*, 1871–1876.
- 13) Ishido, T. and J.W. Pritchett (2000) Using numerical simulation of electrokinetic potentials in geothermal reservoir management, *Proc. WGC2000*, 2629–2634.

Production-induced SP change

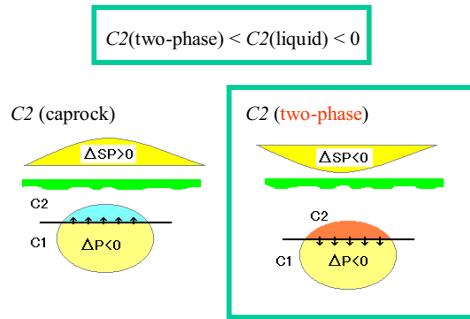


図 4 地熱流体生産に伴う自然電位変化のメカニズム。通常、生産ゾーン中心部は正電位となり、上部で低抵抗のキャップロックに接している場合には、地表にも正電位変化が現れる（左図）。生産による減圧で活発な沸騰が進行する場合には、沸騰ゾーン中の液相流体下降流の影響が卓越して地表に負電位変化が現れる（右図）。



重力モニタリングによる貯留層変動探査 Researches on gravity monitoring for reservoir dynamics

貯留層変動探査グループ： 杉原光彦

Geothermal Reservoir Research Group: Mituhiko SUGIHARA

Phone: 0298-61-3701, e-mail: m.sugihara@aist.go.jp

1. はじめに

産総研発足以降、私の個人研究活動の中心は重力モニタリングによる貯留層変動探査法開発であった。特に絶対重力計測の導入によって重力モニタリングの分解能の精度・分解能・確実性を高めることに重点をおいてきた。ここではその経過と成果の概要を示す。

2. 重力モニタリングの概要

地熱発電では地熱貯留層から蒸気を生産して利用する。適正な貯留層管理を行えば地熱資源は再生可能であって安定に発電を継続できる。このためには貯留層のモニタリングを行って貯留層管理にフィードバックする必要がある。貯留層モニタリングでは様々な手法を併用することになるが、その際、各手法の特徴を相補的に活用する。重力モニタリングも一つの手法である。重力モニタリングでは地下の質量分布の変化を検出するのであるが、観測量が物理的に明確であること、信号が遮蔽されにくい等の特徴がある。一般的には生産領域上では負の重力変化が、還元領域上では正の重力変化が観測される。図1のような空間的な変動パターン、或いは図2のような地点毎の時間変化パターンが貯留層変動探査の解析対象となる。

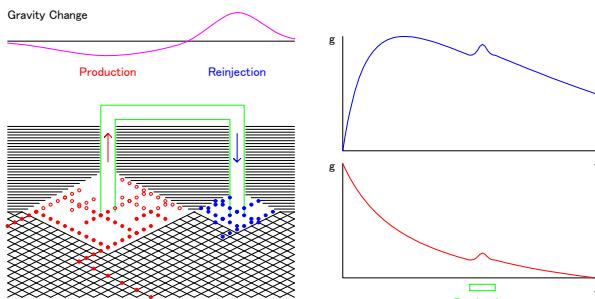


図1 重力変化の空間分布 図2 重力変化の履歴

通常の測定は貯留層領域を覆うように配置した観測点（図3）で、相互の重力差を相対重力計で計測する。一定期間後に同様の測定を繰り返し、各期間毎の重力差から各地点の重力変化を評価する。図4に柳津西山地熱地域での実測値を示す。定期

点検のための生産停止期間をはさんで2週間ごとに4-5日間の測定を7回行い、約3ヵ月後に再び5日間の測定を行った。

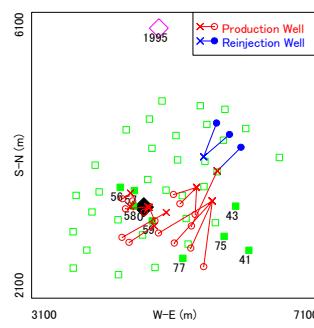


図3 重力観測網

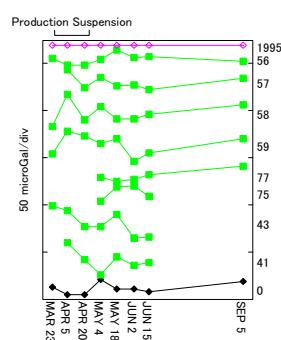


図4 測定結果

3. 絶対重力計測の効果

まず絶対重力測定結果とその効果を示す。

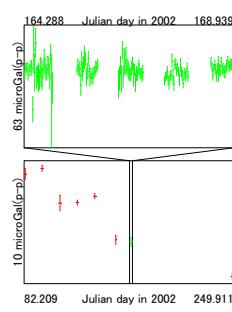


図5 絶対重力測定結果

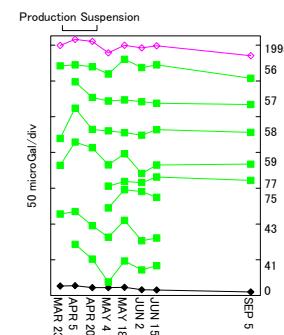


図6 補正後の結果

絶対重力測定では真空中を落下する物体の軌跡を長さ標準と時間標準を参照して計測する。1回の落下毎に重力値が算出される。通常は一定回数の落下実験毎に統計的に重力値を評価する。図5に示した期間中は絶対重力測定も行っていた（写真1）。各期間毎の絶対重力値を図5下に示す。図5上には7番目の期間中の100回の落下毎の重力評価値を示した。相対重力測定のみから推定した結果（図4）は仮基準点（1995）を仮定して得られたが、

そこで推定された絶対重力点での重力値（図 4 中の黒色成分）を実際の測定値（図 5）で置き換えることで、各地点での実際の重力変化を推定できる（図 6、文献 1）。



写真1 柳津西山地熱地域での絶対重力測定状況

柳津西山地域では発電所運転開始前から図 3 を一部分として含む観測網で重力モニタリングが行われてきた。このデータに対して貯留層数値モデルとの比較が行われ、最も優勢な生産ゾーンを中心とする重力変動成分は説明づけられた。この重力変動成分は今回の絶対重力計測結果と調和的である。まさにその中心部での絶対重力測定によって得られた半年間で約 $9 \mu\text{Gal}$ の減少傾向である。これより時定数の短い変化、また波長の短い変化については貯留層数値モデルとの対比はなされていない。それは観測データが複雑な様相を呈しているからである。補正後の図 6 を見ても絶対重力点での重力変化に比べて他の地点での変化は複雑であり振幅も大きい。これは相対重力測定結果に尚、多くの誤差が含まれている可能性を示唆する。相対重力計測データの評価の際には重力計のドリフトを推定している。この段階でも絶対重力計測との対比を行えばより正確なドリフト評価ができる誤差を軽減できるものとして試行中である。

4. 絶対重力計の導入の経過

絶対重力点と接続を行ったという程度の活用を除けば本研究以前には地熱地帯での重力モニタリングに絶対重力計を活用した例は無かった。本研究ではまず、発表直後の簡易版絶対重力計 FG5L を導入して地熱地帯での評価を試みた（文献 2）。

FG5L は標準機 FG5 に対して地動緩衝機構を持たずに地震計記録で補正すること、落下槽が短いことが顕著な差である。結局、FG5L では地熱地帯での実用的な結果は得がたいと判断して FG5 へアップグレードした。FG5 導入後は精力的に地熱地帯での測定を行っている。現在 4箇所で繰返し測定を行っている。FG5 は実績に基づく信頼性があるが、実際の計測を行う上では様々な調整が必要である。状態把握と測定上のノウハウの蓄積のために同型機を所有する各機関と共同して相互比較を定期的に行っている。



写真2 つくば山麓でのFG5の相互比較

5. その他の試み

柳津西山地域でのように注目地点で直接絶対重力測定を行うことが望ましい。そのためには発電機とテントを使用した機動的な絶対重力計測も試みている。しかし実用上は、重力変動の空間パターンを把握するには相対重力計測は欠かせない。定期点検時に予想される変動について、重力モニタリング結果を貯留層数値モデルと定量的に対比するには、前述のように、相対重力計測値の精度向上が必要である。

重力モニタリングの精度向上に関する別の試みとして、重力鉛直勾配異常の影響の評価を行った（文献 3）。地熱地帯での重力モニタリングの創始者の T. M. Hunt 氏と一緒に、最初の適用地（ニュージーランドのワイラケイ地熱地帯）で測定し、解析した経験は、感慨深く得るものも多かった。

参考文献

- 1) Sugihara, M. (2002) Precise gravity monitoring with an FG5 absolute gravimeter, at the Yanaizu-Nishiyama geothermal field, *Proc. 24th New Zealand geothermal workshop*, 171-174.
- 2) Sugihara, M. (2001) Absolute gravity measurement for geothermal reservoir monitoring, *GRC Transactions*, **25**, 697-700.
- 3) Hunt, T., Sugihara, M., Sato, T. and Takemura, T. (2002) Measurement and use of the vertical gravity gradient in correcting repeat microgravity measurements for the effects of ground subsidence in geothermal systems, *Geothermics*, **31**, 525-543.



熱水系の比抵抗探査とモニタリング Resistivity investigation and monitoring of hydrothermal systems

貯留層変動探査研究グループ： 高倉伸一
Geothermal Reservoir Research Group: Shinichi Takakura
Phone: 0298-61-3927, e-mail: takakura-s@aist.go.jp

1. まえがき

私の最近の個人研究活動は、貯留層変動探査法開発に関する研究、電気・電磁探査法による熱水系および地下水系の調査研究、その他の活動等に分けられる。

2. 貯留層変動探査法開発に関する研究

本研究では、地熱資源の持続的利用を目的として、地球物理学的モニタリング手法による貯留層評価管理技術の開発を行っている。筆者はその一つのテーマとして、電気・電磁探査法によるモニタリング手法の技術開発を担当しており、現在、1)繰り返し3次元電気探査による貯留層周辺の比抵抗変化の把握、2)電気・電磁探査モニタリング装置の開発、3)高温下における岩石の電気物性測定と物性解釈技術の研究を進めている。

2.1 繰り返し3次元電気探査による貯留層周辺の比抵抗変化の把握

出力30MWの地熱発電が実施されている鹿児島県大霧地域(図1)では、貯留層変動を把握するための自然電位モニタリングとMTモニタリングがNEDOの事業として実施してきた。しかし、地表で観測される自然電位やMTのモニタリングデータは、地下水環境変化に起因される浅部比抵抗構造の変化の影響を大きく受ける。そこで、浅部比抵抗構造の季節変化や経年変化を捉えるため、平成11年度より当該地域で半年ごとに3次元電気探査の繰り返し調査を実施してきた。得られたデータの3次元解析により、当該地域の空間的な比抵抗構造を把握し(図2)、貯留層上部までの比抵抗の時間変化を検出することに成功した(図3)。

2.2 電気・電磁探査モニタリング装置の開発

深部比抵抗モニタリング用の高出力多チャンネル電気探査装置を設計し(図4)、製作した(写真1)。本装置は、商用電源で動作し、最高出力2400W、最高送信電流3A、あらゆる電極配置の高密度電気探査の自動計測に対応し、自然電位のデータも取得可能という特長をもつ。現在は探査の精度と効率の向上を目指し、送信機の出力増大とソフトウェアの改良を図っている。

今年になり、AMT法による電磁探査モニタリング装置の検討を開始した。また、効率的な高密度

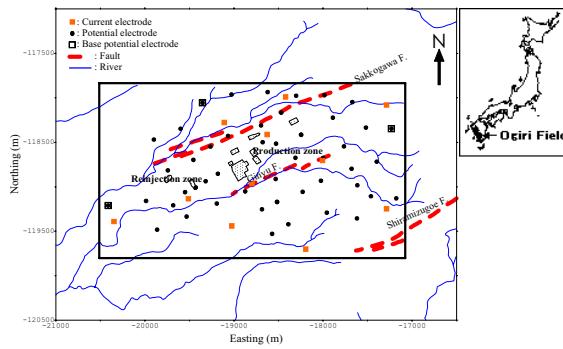


図1 鹿児島県大霧地熱地域の位置と3次元電気探査の電極配置。

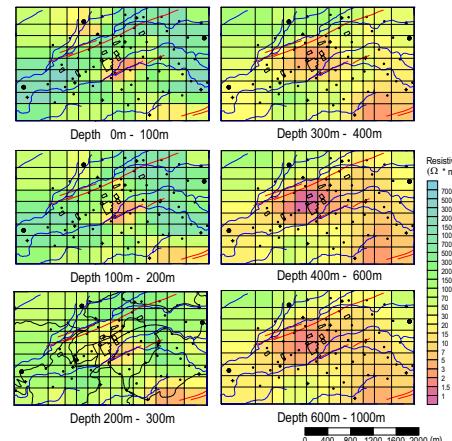


図2 2001年8月の3次元比抵抗構造

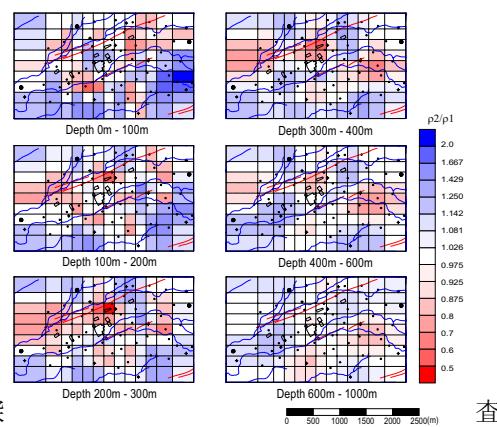


図3 2000年2月の比抵抗構造に対する2001年

を可能とする多芯ケーブルや電気探査装置のリレーに関する3件の特許を取得した。うち1件は民間会社と特許ライセンス契約が結ばれ、大学などにも利用されつつある。

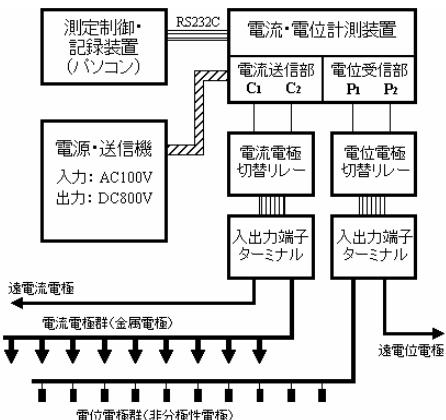


図4 高出力多チャンネル電気探査装置の概略



写真1 高出力多チャンネル電気探査装置

2.3 高温下における岩石の電気物性測定と物性解釈技術の研究

比抵抗モニタリングのデータを解釈するためには、岩石の電気物性の温度依存性を把握する必要がある。そこで、高温下（最高温度300°C）における岩石の電気物性を測定するシステムを製作した（写真2）。現在、岩石コアの測定を進めている。

また、筆者は変質鉱物が比抵抗に及ぼす影響についての探究を継続している。この研究の一部は、本年度の物理探査学会賞を受賞した。



写真2 測定装置(左)と恒温槽(右)

3. 電気・電磁探査法による熱水系および地下水系の調査研究

筆者は熱水系や地下水系の把握とその形成過程および将来予測を目的に、他の研究グループや他機関とともに、電気・電磁探査調査を実施してい

る。以下ではその代表的な4地域を紹介する。

3.1 有珠西山新生地熱帶

有珠2000年噴火で新しく生成された地熱地帯において、地球科学情報研究部門や北海道大学とともに、3回の繰り返し高密度電気探査と地温計測を行った。現在、比抵抗と温度の関係を把握するとともに、比抵抗から地熱系の発達推移をモニターする方法を検討している。

3.2 北海道無意根-豊羽地熱地域

鉱物資源研究グループの研究分担として、活動的热水系における深部鉱化作用の解明の研究に参加し、MT法調査によって無意根-豊羽地熱地域の深部热水系の比抵抗構造を求め、それに地質的解釈を加えた（図5）。

3.3 大強度陽子加速器の建設地

地下水資源研究グループの研究分担として、臨海部における超巨大構造物建設に伴う地下水環境変化観測プロジェクトに参加し、大強度陽子加速器の建設に伴う地下水環境変化を把握するための最適な物理探査モニタリング法の開発とその適用に取り組んでいる。また、大強度陽子加速器プロジェクトチーム員として、高エネルギー加速器研究機構と日本原子力研究所との共同研究に参画し、加速器建設地の地質構造の把握や今後の地下水観測体制などについて、技術的な協力・支援を行っている。

3.4 阿蘇火山および布田川断層

熊本大学との共同研究において、MT法探査技術を熊本大学に指導するとともに、阿蘇火山と布田川・日奈久断層でMT法調査を行い、その深部構造を明らかにした。この結果の一部は、熊本大学大学院の学生が資源素材学会2002年秋季大会で発表し、若手ポスター発表最優秀賞を受賞した。

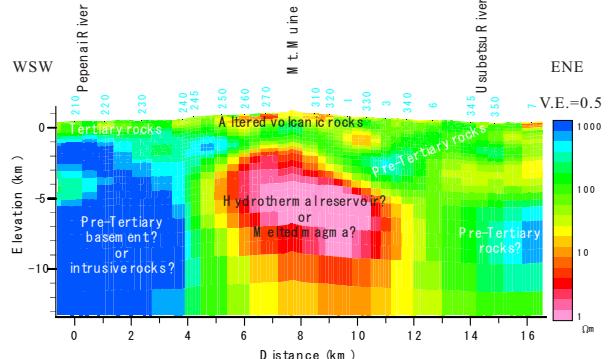


図5 北海道無意根-豊羽地熱地域の比抵抗構造

4. その他の活動

筆者は(社)物理探査学会の会誌編集委員会および用語辞典委員会の委員として、学会誌の改革や物理探査用語辞典の改訂に取り組んでいる。また、(財)地震予知総合研究振興会の分科会委員として、陸域震源断層調査への技術アドバイスをしている。さらに、日本学術会議/地球電磁気学研究連絡委員会の地球電磁気学将来計画のワーキンググループメンバーとして、将来計画の作成に関わっている。



新しい物理探査手法の開発を目指して On the development of the integrated geophysical survey method

貯留層変動探査研究グループ： 當舎利行
Geothermal Reservoir Research Group: Toshiyuki Tosa
Phone: 0298-61-2491, e-mail: toshi-tosha@aist.go.jp

1. まえがき

旧地質調査所時代より地熱地域での物理探査手法の開発を研究テーマに微小地震観測、自然電位観測などの物理探査の実施およびその解析を行ってきた。これらの研究は、地表調査や探査からでは推定の域を出ない地下の構造や物質の移動などを合理的に解釈することを目指した研究であり、物理探査を中心とする手法として地下の可視化を目的としている。したがって、地質・トレーサー・地化学探査など地下の可視化に有用な手法は、自己の研究の中に積極的に取り入れている。なお、産総研の発足を挟んで前後2年8ヶ月間、関連団体へ出向しており2002年3月に産総研へ復帰した。

2. 貯留層変動探査研究グループでの活動

1) 大霧地域での自然電位観測

鹿児島県姶良郡牧園町の大霧地熱発電所では1995年の運転開始以来、出力3万kWにて発電が続けられている。また、隣接する白水越地域では地熱開発促進調査が行われており2002年8月から調査井SZ-5ならびにSZ-4の噴気試験を2ヶ月間の予定で実施することから、同地域での自然電位モニタリングをはじめとする諸観測を計画した。

大霧地域は、貯留層変動探査法開発での電気電磁気探査法開発フィールドとされたことから、58地点の自然電位観測網が設置された。今回の観測では、この観測網を借用するとともに、新

たに白水越方面に観測点を設置して観測を行うこととした(図1)。

2002年8月1日にSZ-5の噴気試験が開始された。図2に、この噴気試験開始時前後で記録された自然電位の変化を示す。図では、白水越地域から最も離れた観測点(第1図にて■で示す)を基準電極として、SZ-5を通り北西-南東方向の観測点(北からP-3c, P-8c, P-18c, P-26c, P-32c, P-54c, S-4c, S-5c)での自然電位変化を表わす。噴気井(SZ-5)に近いP-4ならびにP-5は噴気開始に伴って30mV以上の電位変化を記録しており、その電位変化は、噴気井から遠ざかるにつれて小さくなっている。熱水流動シミュレーターSTARとポストプロセッサーを用いた解析を今後行ってゆく予定である¹⁾。

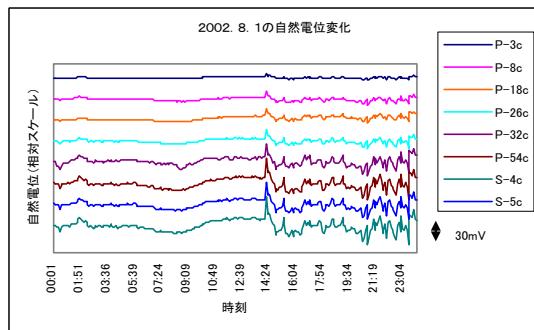


図2 噴気試験時の自然電位変化

2) 流動電位室内実験

界面動電現象による自然電位を考えた場合、理論的には流体流動と電荷移動(電流)とのカップリングがあるために流動と電流の方程式を連立させて解かねばならない。しかし、代表的は地質条件を考える限り、電位勾配による流体流動は無視できるので、流体運動での解を用いて自然電位分布を計算することができる。しかし、界面動電現象を表すカップリング係数はゼータ電位により大きく変動するため、高温下でのゼータ電位を正しく評価することが地熱地帯での自然電位解釈には不可欠となる。常温では岩石と流体(実験では塩化カリウムKCl溶液を使用)とのゼータ電位は負であり、界面動電現象により正の電荷が流れの方

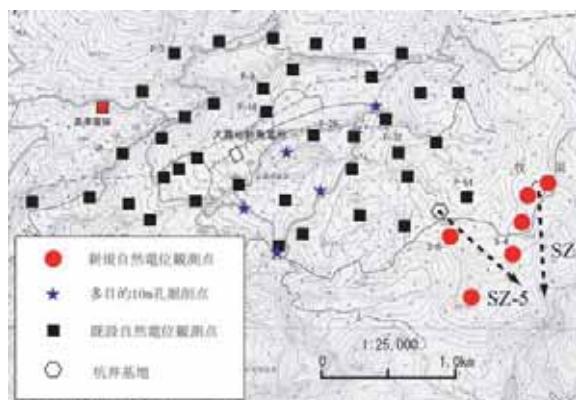


図1 自然電位電極配置図

向に運ばれることになる。また、ゼータ電位の絶対値が大きいほど多くの正電荷が運ばれることになる。

図3に示すような高温高圧実験装置ならびに試料両端に任意波形の圧力差を加えられる流量制御装置を用いて、200°Cまでの流動電位の測定を行った。

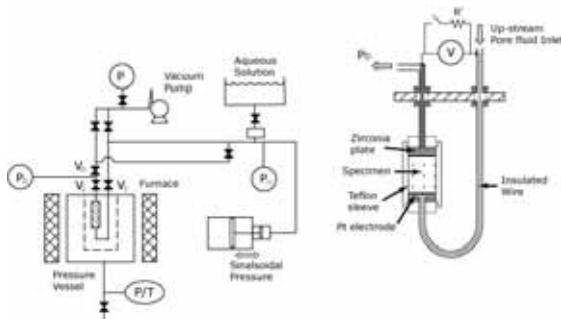


図3 高温高压実験装置の概要（左図）と試料回りの詳細図（右図）

稻田花崗岩について、3濃度のKCl水溶液に対して実験を行った。この実験結果を図4に示す。45°Cでの細粒の花崗岩での実験結果(G)と理論的な考察による温度変化(直線)に対して、0.001mol/LのKCl溶液での実験が良い一致を見ている。KCl濃度が高くなるに従ってゼータ電位の温度依存性が低くなる傾向が見受けられるが、0.1mol/Lの実験結果は岩石内部の電気的なインピーダンスが極端に低くなるため、誤差の多い結果となっている。しかし、いずれの温度範囲においてもゼータ電位は負の値を取り、かつ、温度とともに絶対値が増加する傾向を示す実験結果となつたことから、熱水により常温の水よりも多くの正電荷が運ばれ、上昇域で温度の低下に伴い正電荷異常が見られる現象に対して岩石実験的なバックデータを与える²⁾。

3. その他の活動

1999年7月より産総研の創立である2001年4月を挟んで2002年2月まで新エネルギー・産業技

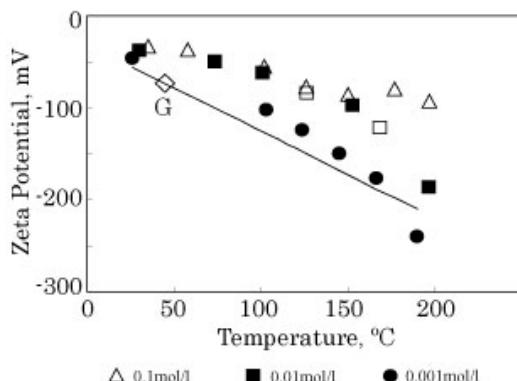


図4 ゼータ電位の温度変化

術総合開発機構(NEDO)地熱開発室にて地熱技術開発責任者として勤務した。研究所と異なった環境に身を置いてみると、日本の地熱が限られた中の活動に終始していることを感じ、産総研に復帰をした後も、エネルギーとしての地熱の利点や優位性を広報することも重要な活動と考えている^{3), 4), 5)}。また、開発した技術や方法の他分野での発展も今後の活動に不可欠と考え、2002年7月提案公募「地球環境産業技術に係る先導研究」に「最適モニタリング設計技術に関する先導研究」を提案し採択された。この先導研究では、流体流動シミュレーションならびにシミュレーション結果と重力、比抵抗などの物理探査データを直接的に結びつけるポストプロセッサーを用いてCO₂の注入時やその後の挙動を予測し、最も費用対効果が期待できる方法によるモニタリングを実施することを目的としている。

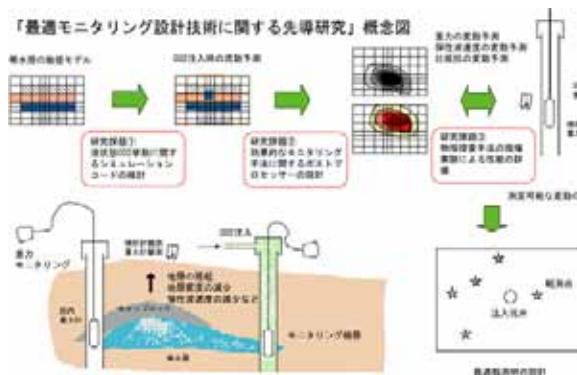


図5 最適モニタリング設計技術に関する先導研究の概念図

参考文献

- 1) 当舎利行. 石戸経士, 中西繁隆, 横井浩一(2001) 地熱地域における貯留層診断技術(熱水流動シミュレーションと組み合わせた解析方法), 物理探査学会, 54, 433.
- 2) T. Toshia, N. Matsushima and T. Ishido, Zeta Potential measured for an intact granite sample at temperatures to 200°C (submitted to Geophys. Res. Lett.).
- 3) 当舎利行(2001) 新しい地熱発電に向けた取り組み, クリーンエネルギー, 9, 30.
- 4) T. Toshia, K. Koide, H. Tokita and T. Sato(2001) Evaluation of the deep-seated geothermal resources in Japan, Proc., New Zealand Geotherm. Workshop, 23, 225.
- 5) T. Toshia, T. Kikuchi and T. Horikoshi (2002) Research and development of technologies for geothermal energy by NEDO – A Review, Geotherm., Resour. Coun. Trans., 26, 595.



貯留層変動探査 一坑井水理試験法の研究－ Researches on hydraulic well test for reservoir dynamics

貯留層変動探査研究グループ： 中尾信典
 Geothermal Reservoir Research Group: Shinsuke Nakao
 Phone: 0298-61-3955, e-mail: sh-nakao@aist.go.jp

1. はじめに

私の個人研究活動は、主に貯留層変動探査法／坑井水理試験法の研究、システム統合化（大霧地域）の研究と、その他の活動に分けられる。

2. 貯留層変動探査／坑井水理試験法の研究

地熱貯留層の開発にあたっては、貯留層にどの程度の熱および流体が貯えられているか、また、どの程度の生産規模であれば貯留層の熱を効果的に回収できるか等を十分に評価しておくことが必要である。坑井を利用した水理試験（圧力遷移テスト）は、貯留層の透水性や広がりに関する物性値を測定するための最も重要かつ直接的な手法である。また、貯留層媒質がポーラス型かフラクチャー型かにより熱の回収に大きな差が出てくるが（図1）、坑井水理試験法により媒質の特性を調べることも可能となりつつある。

2-1) 坑井試験データの逆解析法の適用研究

坑井試験データの解析法として、シミュレーション・アニーリング法（SA法）の坑井試験への実用化研究を実施している。SA法は確率論的な最適化法を用いるため、解が初期モデルに依存しないという利点を有し、最適に近いモデルを求められる確度の高い手法である。現在までに、地熱貯留層の媒質をより精緻に表せるように、多孔質媒体とフラクチャー媒体の混在が可能なインバージョン・プログラムの開発を行っている。しかしながら、インバージョンでは解が一意に決められないという本質的な問題があるため、水理試験以外のデータ、たとえば、地熱井での注水や噴気に伴う地表の微小変形を高精度傾斜計で観測したデータ等を併せて解析を実施することにより、解の任意性を限定することが可能と考えられ、そのよう

Cold Sweep Process in Geothermal Reservoir

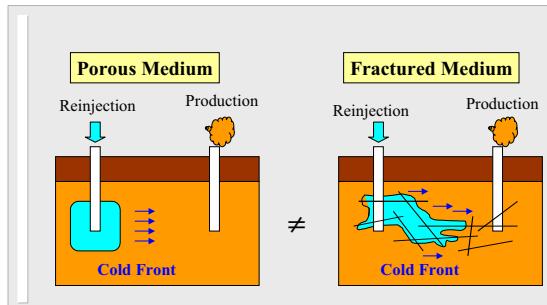


図1 ポーラス型貯留層とフラクチャー型貯留層のちがい

With Tilt-Data Constraint (Case S)

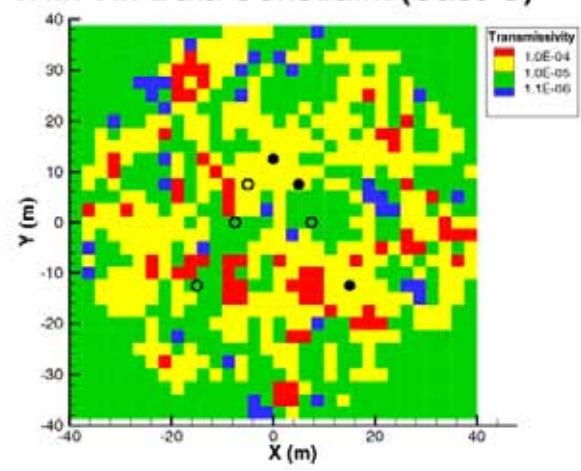


図2 傾斜計データを拘束条件として坑井試験データから求めた透水量係数分布

な手法のフィージビリティ・スタディを実施している。その一環として、坑井試験時に傾斜計データから求められた体積変化の大きい領域を透水性が高いとする拘束条件を与えた解析を実施した（図2）¹⁾。

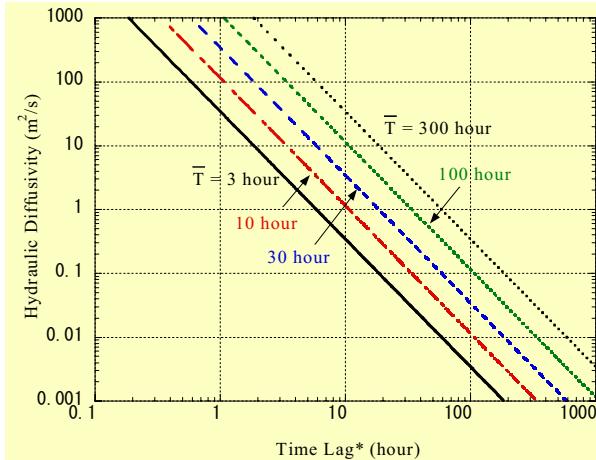


図3 サイナソイダル流量周期と時間遅れから求められる媒質の水理拡散率(能動井と観測井の距離が720mの場合)

2-2) 圧力制御坑井試験の数値実験

本研究では、流量を正弦波状・周期的に制御させる圧力干渉試験(サイナソイダル・テスト)の数値実験を実施し、観測井及び能動井での圧力遷移に対する注水周期や水理パラメータの検討を行っている²⁾。取得されるデータは観測井での圧力干渉信号の振幅と位相遅れで、位相遅れは主に2坑井間の性質により決まり、周囲の性質に依存しないため、不均質性の強い貯留層の特性を解明するのに有効と考えられる(図3)。数値実験の結果、時間遅れ(位相遅れ)から水理拡散率を求めるとき、媒質がポーラス型かフラクチャ一型かの判定が可能で、さらにフラクチャ一型の場合、フラクチャ一平均分布間隔が推定可能であることが判明した。本手法を北海道の地熱地域の観測データに適用し、フラクチャーパラメータを推定した³⁾。今後さらに検討を進め、解析法の確立に向けて研究を継続する予定である。また、数値実験と野外実験に加え、その中間的なスケールでの岩石試料を用いた流量制御型坑井試験の室内実験も実施している。

3. 貯留層変動探査／システム統合化(大霧地域)

大霧・白水越地域における多目的モニタリングのうち、傾斜計によるモニタリングの研究を担当している。平成14年度は白水越における噴気テスト開始前後に傾斜計によるモニタリングを行い、地表近傍での微小傾斜量の観測が噴気前後で得られるか否かの確認、ノイズ除去等の1次的なデータ処理を実施している(図4)。



図4 高精度傾斜計の設置作業

4. その他の活動

1) 産総研内

- 地質文献データベース委員：地熱、水文、資源開発に関する国内外の資料の中から、日本地質文献データベース、日本地質図索引図の入力および採録のかかる論文、地質図の選択業務を行っている。

2) 産総研外

- 日本地熱学会行事委員：学術講演会の開催通知、情報発信、申込みを電子的に受付をするためのホームページ等の運営を担当している。
- NEDO技術評価委員：NEDOの探査手法マニュアル化の支援を行っている。

3) 科学研究費補助金「オイルサンド SAGD 生産プラントにおける水蒸気チャンバーのモデリング技術開発」の研究分担をしている。

4) 研究予算獲得

- NUMO委託研究予算H15年度の獲得を目指している。

参考文献

- 1) Nakao, S., Karasaki, K. and Vasco, D. W. (2001) Sensitivity Study on Inverse Modeling of fluid Flow in Fractured Rocks Constrained by Tiltmeter Data, Proc. of the 5th Int. Symposium on RAEG, 111-118.
- 2) Nakao, S. and Ishido, T. (2001) Numerical Investigation of Sinusoidal Pressure Transient Test of Geothermal Wells, GRC Transactions, 25, 665-668.
- 3) 中尾信典・石戸経士(2002) 周期的流量による圧力遷移試験法を用いたフラクチャ一型地熱貯留層の水理特性評価、日本地熱学会誌、印刷中。



熱水対流系の研究 Researches of hydrothermal system

貯留層変動探査研究グループ： 西 祐司

Geothermal Reservoir Research Group: Yuji Nishi

Phone: 0298-61-3969, e-mail: y.nishi@aist.go.jp

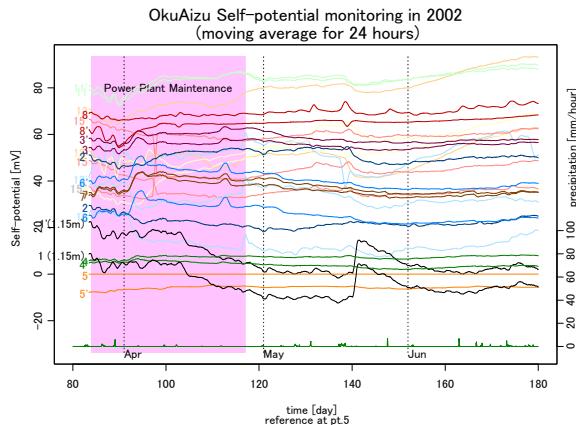
1. まえがき

産総研発足以降、私の個人研究活動は、①研究グループで推進している貯留層変動探査法に関する研究、②地球科学研究情報部門 マグマ活動研究グループ・京都大学 防災研究所と共同での薩摩硫黄島火山に関する研究、③従来のニュージーランド地質・核科学研究所との共同研究を基にしたニュージーランドの地熱・火山地帯の研究等に分けられる。これらの研究の中心にあるのが「(火山)熱水対流系」である。

2. 貯留層変動探査法開発に関する研究

「貯留層変動探査法開発」は、地熱貯留層の変化を地表物理探査によって捉え、貯留層シミュレーションにフィードバックすることによって、貯留層モデルの精度を向上させるための技術を開発し、貯留層評価、発電所出力安定維持、既開発地区周辺の貯留層の抽出等に有効な技術を確立する事を目的とした研究プロジェクトである。このプロジェクトの中で、奥会津地熱地域における自然電位モニタリングと貯留層モデリング、大霧地熱地域におけるAEモニタリング等を担当している。

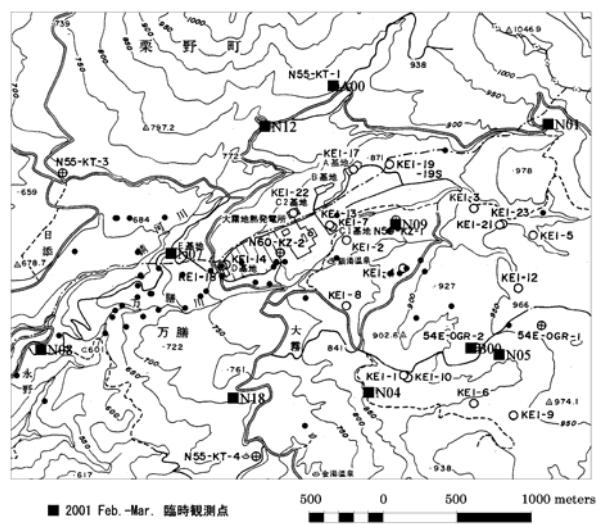
自然電位法は、自然電位〔自然に発生しているDC領域の電場による電位〕を測定し、その発生源と推定される地下の流体流動パターンやその時間変化を探査する手法である。



第1図 奥会津地熱地域における自然電位変化

奥会津地熱地域においては、それまでのプロファイル調査の結果を基に、2000年4月から8点において自然電位モニタリングを継続してきた〔西ほか, 2001〕。さらに、今年の定期修繕に際しては西側に5点を増設した13点のモニタリングを実施した。さらに、本地域における研究は、奥会津地熱株式会社及び東北電力株式会社との共同研究として実施しており、共同研究の産総研側の取りまとめ役も務めている。第1図に今年の柳津西山発電所定期修繕時期の自然電位変動を示す。定期修繕に伴う生産井の噴出停止・再開に伴う自然電位の変動が記録できた。今後は、NEDOの委託研究において奥会津地熱・東北電力両社が構築した地熱貯留層モデルをベースとして、これらの自然電位データ、重力データ等を反映させてより精度の高い統合ヒストリーマッチングを実施予定である。

また、地下の熱水流動によって地熱地帯に発生する極微小地震のことを、テクトニックな地震と区別してAE (Acoustic Emission)と称する。AEは、地熱貯留層内における熱水の流動に伴う圧力変動により発生し、熱水流動系の広がりやつながりに対する有効な探査項目と考えられている。



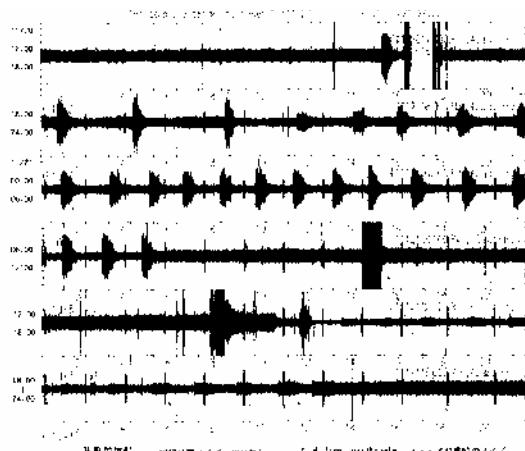
第2図 大霧地熱地域におけるAE観測結果

大霧地熱地域においては、熱水対流系内の熱水通路位置、熱水流動の変動をモニタリングすることを目的に AE 観測を続けてきた。第2図に 2001 年に実施した臨時観測中に発生した EA E の分布を示す〔西ほか, 2002b〕。本地熱地域の A E は、N E – S W は系の銀油断層沿いに発生していると思われる。今後は、2002 年の地熱開発促進調査白水越地域の噴気試験や大霧地熱発電所の定期検査等に関連して発生することが期待される A E の探知を目指し、これらの解析から同地域の熱水流路となっている断裂系について統合ヒストリーマッチングに反映していく予定である。

3. 薩摩硫黄島火山に関する研究

薩摩硫黄島の硫黄岳においては、地表近くまで上昇したマグマの周辺に火山熱水対流系が発達し、年間 17kton にのぼる火山ガスが放出されており、このような活発な活動がこの千年間安定して継続していると考えられている〔風早・篠原, 1994〕。この硫黄岳火山の火山熱水対流系の解明を目的として、地球科学研究情報部門 マグマ活動研究グループ及び京都大学 防災研究所と共同で、広帯域地震計・熱赤外画像等による調査を実施してきた。

硫黄岳においては、昨年 7 月以来、山頂火口内の degassing vent の急激な拡大と大量の火山灰放出が始まり、噴火と認定されるに至っている。この活動に伴い観測された周期的な微動の波形を第3図に示す。観測された爆発音の多くは比較的地表近くで発生した主に気体膨張による現象と推察されたが、爆発音とは別に周期的に発生する空気振動を伴った数分～10 分間隔の微動を観測した。これは、Ohminato and Ereditato[1996] の低周波震動と微動ノイズレベル変化の周期と同様な時間間隔で、間欠的なマグマ上昇と関連している可能性もある。

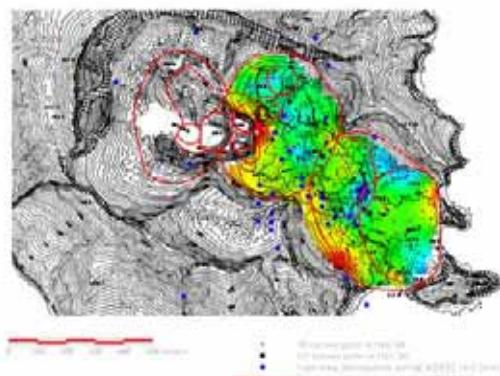


第3図 硫黄岳火山における周期的微動

4. ニュージーランドの地熱・火山地帯の研究

ニュージーランド地質・核化学研究所とは、独立行政法人化する前の地質調査所時代から、ホワイト島火山、ワイマング地熱地域、各地の間欠泉等々のニュージーランドの火山・地熱地帯において共同研究を積み重ねてきた。筆者はこの共同研究の中でホワイト島火山と間欠泉における各種観測に関して中心的な役割を果たしてきた。共同調査結果については、独法化後も継続して解析を進めている。

ホワイト火山においては、微小地震活動より、火口東側の火口原下に深度 1km に達する熱水対流系の存在が示唆された。また、火口原内における自然電位調査より、熱赤外調査と調和的な熱水の上昇域・下降域が明らかになっている。第4図に、同火山における微小地震震源と自然電位分布を示す。今後は、これらの調査から得たデータを基に、貯留層シミュレーションの技法を応用して同火山の火山熱水対流系のモデリングを実施していく予定である。



第4図 ホワイト島火山における
微小地震震源分布と自然電位分布

参考文献

- 1) 西祐司・石戸経士・杉原光彦・松島喜雄・当舎利行 (2001) 奥会津地熱地域における自然電位連続モニタリング(2). 日本地熱学会平成 13 年学術講演会.
- 2) 西祐司・松島喜雄・斎藤英二・井口正人 (2002) 薩摩硫黄島 硫黄岳の火山活動 2001–2002. 地球惑星関連学会 2002 年度同大会.
- 3) 西祐司・中尾信典・当舎利行 (2002) 大霧地熱地域における AE 観測. 日本地熱学会平成 14 年学術講演会.



地下の流体流動と熱流動のモデリング Modeling of subsurface fluid and heat flow

貯留層変動探査研究グループ： 安川香澄

Geothermal Reservoir Research Group: Kasumi Yasukawa

Phone: 0298-61-2408, e-mail: kasumi-yasukawa@aist.go.jp

1. まえがき

産総研発足以降、私の個人研究活動は、①貯留層変動探査研究グループでの研究活動、②アジア地熱研究グループでのインドネシアとの研究協力、③地熱資源研究グループにおける地中熱の研究、④その他の活動等に分けられる。

2. 貯留層変動探査研究グループでの研究活動

筆者は『貯留層変動探査法に関する研究』における地熱貯留層（地下の地熱蒸気や熱水が溜っている部分）内の状態変化の数値モデル化を主な研究テーマとし、そのために必要な温度・圧力データの他に、自然電位観測データを利用する方法を試みている。

地下の流体および熱の流動パターンが変化すると、地表面の電位分布（自然電位）が変化する。この現象を利用すれば、地表の電位分布測定によって地下の流動変化を捉えることができる。図1で、生産ゾーン内の測点A8およびG1では生産停止時に自然電位が減少、再開時に増加している一方、E9およびG基地ではその逆の現象が見られ、生産域外にあたると考えられる。

民間企業との共同研究により、2001年度までは北海道の森地域、また2002年度は岩手県の松川地域の地熱発電所周辺において自然電位を連続観測または繰返し観測し、解析した。森地域に関する本研究により2001年GRCの学会（米国）においてベストペーパー賞を受賞した¹⁾（図2）。本手法は地熱貯留層だけではなく、あらゆる分野での地下の流動モニタリングに有効と考えられる。

3. アジア地熱研究グループでのインドネシアとの研究協力

筆者はインドネシアとの研究協力事業『遠隔離島小規模地熱の探査に関する研究協力』（1997-2001年度）に研究員として参加し、貯留層工学と物理探査の側面から研究を進めた。フローレス島での現地調査には合計4回赴いた。2000年のNEDO井掘削以前には、マタロコおよびナゲで自然電位分布調査を行い、有望地の選定に資した（図3）。同プロジェクトで噴気試験に成功したNEDO井の位置は、自然電位調査の結果からも有望とされる地

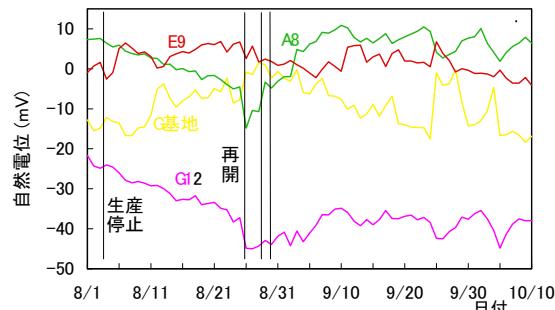


図1 森地域での自然電位変化の観測例



図2 GRC のベストペーパー賞



図3 フローレス島での自然電位測定

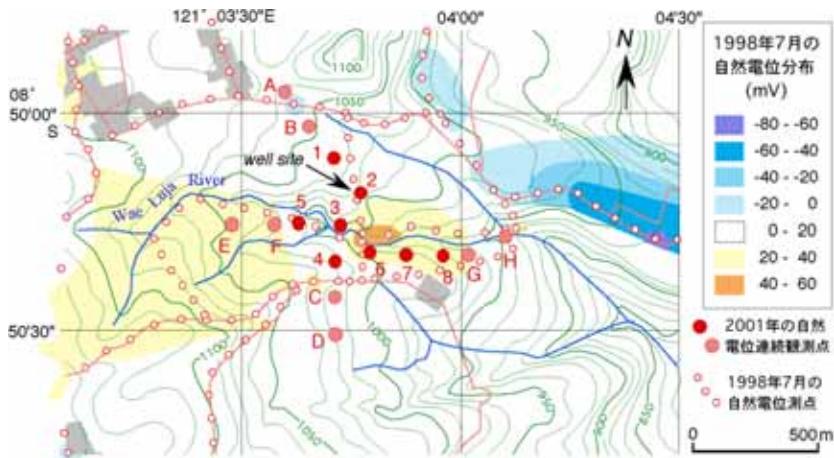


図4 フローレス島マタロコ地域の自然電位測定結果と坑井位置

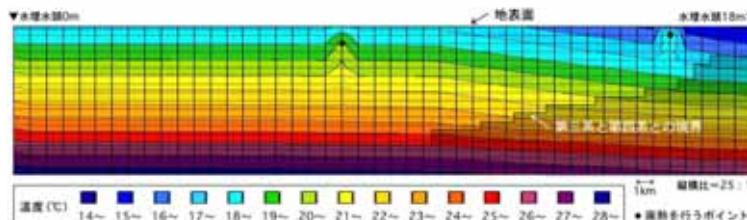


図5 2次元のシミュレーション計算結果

域であった(図4)。また2001年の噴気験時には、坑井周辺の電位変化を連続観測し、貯留層範囲の把握を試みた。

これに関連して、2001年度には主著論文を2編^{2), 3)}、地質調査所報告に公表したほか、2002年度は地質ニュース577号および578号に、アジア地熱研究特集号^{4), 5)}を企画、編集した。

4. 地熱資源研究グループにおける地中熱の研究

2001年度よりNEDO助成事業『地中熱利用の最適化のための地下水水理予測に関する研究』を開始した。

この中で筆者は、今年度までに、濃尾平野をモデル地区として地中熱利用を行った場合の河川上流域と下流域における地下の熱的環境への影響の違いをシミュレーションによって検討している。図5は、地中熱ヒートポンプを利用して年3ヶ月の冷房を10年間行った後、10年放置した場合の温度影響範囲のモデル計算結果を示している。地下水の流速および流動方向の違いにより、上流域で利用した場合と中流部で利用した場合とで、温度影響範囲がやや異なっている(右側が上流域、左側が下流域)。

また他のメンバーと共に、昨年度は仙台平野、今年度は濃尾平野の坑井水理調査を行った他、本年7月、ヒートポンプによる地中熱利用が進んでいるスイス、スウェーデンの研究機関等を訪問し、研究および利用面での動向調査を行った(図6)。

5. その他の活動

筆者は日本地熱学会の1)総務委員、2)企画委員、



図6 ヌーシャテル大学にて



図7 一般向けイベントのポスター

3)地中熱利用技術専門部会事務局として、地熱界の推進に努めるほか、4)地中熱利用促進懇談会役員として、地中熱の促進普及に努めている。とくに2)及び3)では、一般向けイベントの開催(図7)やパネルディスカッション、講演会の開催など本年度からの新たな企画に積極的に関わっていいる。部門内においては、地熱将来展望WG員、また地質調査総合センターにおいても、地質ニュース編集委員を勤め、本年は特にアジア地熱特集号の編集に貢献、広報活動に努めている。国際的には、本年4月よりInternational Geothermal Association(国際地熱協会)の情報委員を勤め、地熱業界の国際的な発展に努めている。

参考文献

- 1) Yasukawa, K., Ishido, T. and Suzuki, I. (2001) Reservoir Monitoring by Relative Self-Potential Observation at the Nigorikawa Basin, Hokkaido, Japan. 2001 GRC Transactions, 25, 705-710.
- 2) Yasukawa, K., Andan, A., Kusuma, D., Uchida, T. and Kikuchi, T. (2002) Self-Potential Mapping of the Mataloko and Nage Geothermal Fields, Central Flores, Indonesia for Applications on Reservoir Modeling. Bull. Geol. Surv. Japan, 53, 285-294.
- 3) Yasukawa, K., Kusdinara, E and Muraoka, H. (2002) Reservoir Response to a Well Test Identified through a Self-Potential Monitoring at the Mataloko Geothermal Field, Central Flores, Indonesia. Bull. Geol. Surv. Japan, 53, 355-363.
- 4), 5) 地質調査総合センター (2002) 地質ニュース, 577号および378号(印刷中)。

高温岩体研究グループの紹介 Introduction of the Geo-Energy Research Group

高温岩体研究グループ長： 山口 勉

Leader, Geo-Energy Research Group: Tsutomu Yamaguchi
Phone: 0298-61-8733, e-mail: t-yamaguchi@aist.go.jp

1. グループの研究目的

わが国における地熱資源量を飛躍的に増大させ、資源・エネルギーの安定供給を確保するためには、高温岩体地熱発電システムの実用化が必要不可欠である。NEDO は高温岩体地熱発電システムの要素技術を開発するために肘折地区において実験を行ってきたが、この研究開発は今年度で終了する。当研究グループは NEDO の研究開発のカップリング研究として、肘折地区で得られたデータの解析評価を実施してきたが、NEDO の研究開発の終了に伴い、当研究グループにおける解析評価も今年度で終了する。そのため、今年度を高温岩体解析評価の総まとめの年と位置付け、肘折人工貯留層を生産挙動、数値モデル及びトレーサ挙動の観点からとりまとめを行う。また、早期に地熱発電の増加に結びつく技術開発として期待されてきた深部地熱資源採取技術の解析評価も本年度で終了する。当研究グループは、地下深部まで掘削された坑井の安定維持技術と、地下き裂の流動抵抗に関する研究を実施してきたが、これらの研究に関してもとりまとめを行う。これら高温岩体の解析評価等で得られた知見を再整理し、天然地熱貯留層の活性化等に適用するための検討を開始する。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本年度よりメタンハイドレートを経済的に生産するための手法についての研究開発に本格的に着手する。メタンハイドレートを含む地層の力学的特性を明らかにするとともに、生産挙動を予測するための数値シミュレータの開発を行う。さらに、環境問題を解決するための CO₂ 地中貯留を目的として地下情報抽出システムの開発や、放射性廃棄物地層処分における岩石の長期変形挙動と地層構造評価技術を確立することを目標とする。海外との国際共同研究として豪州連邦科学技術研究機構(CSIRO)探査・鉱山開発部門を共同研究先としてインスティチュートパートナーシップ研究を実施してきたが、本年度は最終年度に当たるため、ワーキングショップを開催して、研究成果の発表を行う。

2. グループの研究資源

1) グループ員

山口 勉 (リーダー)

柳澤教雄

天満則夫

及川寧己

竹原 孝

相馬宣和

杉田 創

*地圈環境評価グループ（協力）

坂本靖英 *産総研特別職員

船津貴弘 *テクニカルスタッフ

2) 予算

運営費交付金「地熱工学の研究」

運営費交付金「岡山万成応力測定孔コアを用いたコア応力測定に関する研究」

委託費「高温岩体熱抽出システムの解析・評価」

委託費「深部地熱資源採取技術の解析・評価」

委託費「メタンハイドレート資源開発生産手法開発」

NEDO グラント「多成分 AE 解析を利用した CO₂ 地中貯留のための地下情報抽出技術の開発」

原子力特研「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」

3. 平成 14 年度の研究計画及び進捗状況

- 1) 高温岩体熱抽出システムの解析・評価：肘折高温岩体人工貯留層の流動特性などを解明するために、本年 8 月までに採取された現場データに関して、数値モデルによるシミュレーションを行っている。平成 12 年末から約 1 年間行われた長期循環試験(深部循環)では、深部貯留層の流動特性が試験期間中に大きく変化したことを明らかにするとともに、数値モデルの計算結果を用いて、浅部と深部貯留層からの抽熱量を分け、深部貯留層が徐々に冷えてきていることを明らかにした。現在、平成 13 年 12 月から実施された浅部と深部貯留層の 2 層に対する注水・循環試験(dual 循環試験)に関する数値シミュレーションを実施中である。また、貯留層内の流動特性の経時変化を調べるためにトレーサ試験を定期的に実施した。Dual 循環試験では浅部と深部貯留層をそれぞれ対象としたトレーサ試験も実施し、トレーサ応答曲線の立ち上り時間やピーク値、トレーサ回収率等の変化から、浅部と深

部貯留層の流動特性の差異や、個々の貯留層の流動特性が長期的に変化していることを明らかにした。



図1 肘折高温岩体時実験場の風景

- 2) 深部地熱資源採取技術の解析・評価：深部地熱資源採取技術の解析・評価：室内水圧破碎実験によるき裂内流動挙動に関して、実施した40例から3例に絞り込んでデータの再評価を行っている。また、深部地熱井の坑壁の安定保持で作成したモデルを用いた破壊条件等の検討を実施している。
- 3) メタンハイドレート資源開発生産手法開発：ハイドレート層を含む地層の力学的挙動を把握するための装置の検討、解析手法の検討を行う。また、数値シミュレータを用いて、パラメータスタディを実施する。
- 4) 多成分AE解析を利用したCO₂地中貯留のための地下情報抽出技術の開発：岩石水圧破碎実験を、安山岩を中心に進めた。今後、人工き裂へのCO₂注入試験も実施する予定である。高速データ処理アルゴリズムをプログラム化し、過去の実データ等を利用して性能評価を行っている。PS変換波を利用した地下構造検出法を開発し、反射波利用法と合わせてCO₂貯留域周辺構造推定法を取りまとめる。

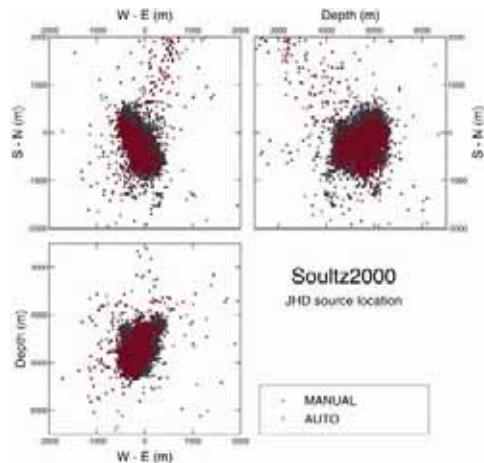


図2 原位置データのAE源位置標定結果

- 5) 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：堆積岩の変形挙動の時間依存性を明らかにするために、温度~200°C、拘束圧~9MPaの範囲でクリープ試験を行なう。現在まで、数種類の温度・拘束圧条件で試験を実施しデータの収集を行なっている。原位置の堆積軟岩試料を用いて、空洞周りの応力分布推定試験を封圧法 AE法により実施した。鉱山内部での堆積軟岩のコアリング時に掘削音の観測を実施し、小規模な鉱山内作業への掘削音を用いた地下構造推定法の適用可能性について検討する予定である。

- 6) 地熱工学の研究：地盤熱伝導率の簡易原位置計測法の新たな開発、地熱井坑内と地上配管部においてスケールが沈積するような状況の確認とそのメカニズムの解析、2層の水平多層貯留層を有するEGSモデルにおける各貯留層の透水性の変化と生産特性の違いの解析を行った。また、DSCA法の基礎理論を確立するための実験的検討及び各種弾性波の利用法等に関する研究等地熱工学に関する研究を行っている。
- 7) インスティチュート・パートナーシップ・プログラム国際共同研究：オーストラリアの炭田で得られた岩石コア試料を用いた地圧評価と、石炭コアの多段階クリープ試験を10例行っており、変形挙動をモデル化する。
- 8) 岡山万成応力測定孔コアを用いたコア応力測定に関する研究：応力測定孔から得られたコアを用いて地圧推定を行い結果を比較検討するため、孔井より得られたコアを観察して実験用のコアを採取する深度を決定した。

4. 今後の方針

当グループは引き続きグループ員の緊密な連携を図りながら、高温岩体研究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、これまでに得られた成果をもとに、地熱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。

参考文献

- 1) 相馬宣和、瀬戸政宏、松井裕哉、前田信行(2002), 封圧環境におけるAE法による原位置初期地圧測定法の開発, 資源と素材, 118, 8, pp. 546-552.
- 2) 天満則夫、山口勉、及川寧己、手塚和彦、ジョージ・ジボロスキ(2001), 長期循環試験の数値シミュレーション結果による肘折高温岩体貯留層内の流動特性, 日本地熱学会誌, 23, 4, pp303-315.
- 3) 柳澤教雄、松永烈、田尾博明、杉田創(2002), Reservoir Monitoring by Tracer Test of a 2001 Long Term Circulation Test at the Hijiori HDR Site, Yamagata, Japan, Geothermal Resources Council Transactions
- 4) 天満則夫、山口勉、手塚和彦、川崎耕一(2002), George ZYVOLOSKI(2002), Productivity Changes in the Multi-reservoir System at the Hijiori HDR Test Site during the Long-term circulation test, Geothermal Resources Council Transactions.



DSCAによる地圧計測法の研究 Earth stress measurement by DSCA

高温岩体研究グループ： 及川寧己
 Geo-Energy Research Group: Yasuki Oikawa
 Phone: 0298-61-8734, e-mail: y.oikawa@aist.go.jp

1. はじめに

地圧は地下における力のかかり具合を表す言葉で、例えばある方向の地圧が大きいという表現は、地下がその方向に強い圧縮の力を受けていることを意味する。図1に地圧計測の適用例をいくつか示すが、地圧は地下岩盤等を理学的あるいは工学的に考える際に重要な要素である。それは地下の岩盤もしくは岩盤中に開削等により確保した空間（貯蔵庫・トンネル・き裂など）の変形・破壊挙動が地圧によって大きく左右されるからである。アクセスの比較的容易な地下数十m程度の浅所であれば実用的な原位置計測手法が確立されつつあるが、数百メートルを超えるような地下深部の3次元的な地圧を考えた場合、有効な方法はまだ確立しておらず、複数の地圧計測手法や地質学的情報・地震学的情報などの異なる観点からの様々なデータを相互に比較しながら総合的に検討しているのが現状である。原位置計測に関しては特に地熱資源のようなそもそも高温の領域を対象にした場合は顕著であるが、地熱地帯ではなくても大深度になれば熱の問題があるため原位置計測そのものは困難になっていくと考えられる。そのような地下深部にも適用可能な地圧計測手法のひとつとして提案されているのが、地下で採取した岩石コアを用いて原位置の地圧を評価する方法である。

2. D S C A

DSCA (Differential Strain Curve Analysis, 差ひずみ曲線解析) は、地下で採取した岩石コアを用いて原位置の地圧を評価する方法の一つであり、ボーリングによって採取された定方位コア内部の三次元的な見かけ微小き裂の分布を計測し、その微小き裂分布と原位置地圧とを幾つかの仮定のもとで関連づけて地圧を評価する地圧計測法である。図2にDSCAの基本概念を示す。この方法では地圧の絶対値は直接求められないものの、三次元的な主応力の方向と各主応力間の相対値(主応力比)を求めることができる。

3. 高温岩体研究と地圧評価

高温岩体地熱エネルギーは、現在は未利用の地

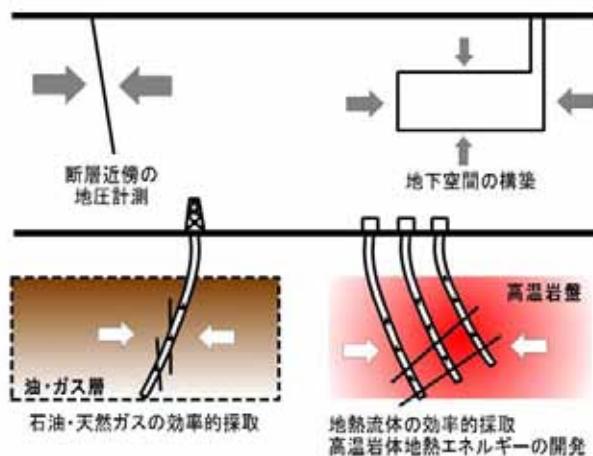


図1 地圧計測の応用例

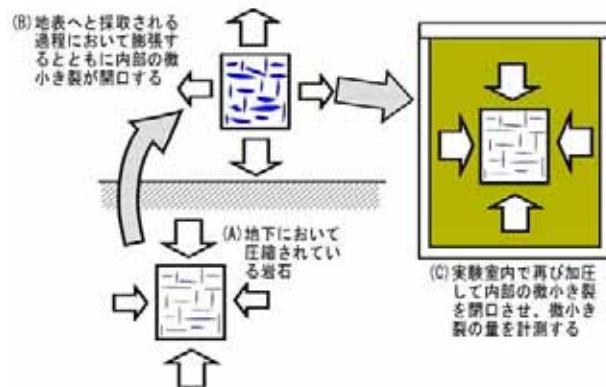


図2 DSCAの基本概念

熱資源のひとつであり、近年は日本・ヨーロッパ・オーストラリアなどで開発のための研究が進められている。高温岩体を開発するためには、現在のところ開発対象の高温岩盤に水圧破碎法によって複数のき裂で構成される熱交換面(人工貯留層)を造成し、それと地表との間に強制的に水を循環させて熱エネルギーを地表に取り出して利用することが最適と考えられている。図3に例として高温岩体地熱資源の利用法のひとつである高温岩体発電システムの概念を示す。この例では、地表に取り出した高温の蒸気や熱水を利用してタービンを回転させ発電を行う。高温岩体開発においては、

岩盤内のき裂を工学的に利用するが、図4に示すように開発の対象となる岩盤の地圧は水圧破碎法によって形成されるき裂の方向と規模に大きな影響を与えると考えられる。また、地下のき裂内を流動する水の挙動は、き裂面に直交する方向の地圧に大きく影響されると考えられることから、開発の対象となる岩盤の地圧は循環時の抽熱挙動予測においても重要な要因であり、これを精度よく把握することが高温岩体地熱エネルギーを開発する上で重要である。

4. 肘折高温岩体実験場における地圧評価

新エネルギー・産業技術総合開発機構は昭和60年度から平成14年度にかけて高温岩体開発のための現場実験を山形県肘折地区で実施していた。同地区の深度1,500m以深に賦存する花崗閃緑岩の基盤岩を対象に要素技術開発のための実験が行われ、小規模ながらも複数の注水井と複数の人工貯留層、そして複数の生産井を有する、世界最先

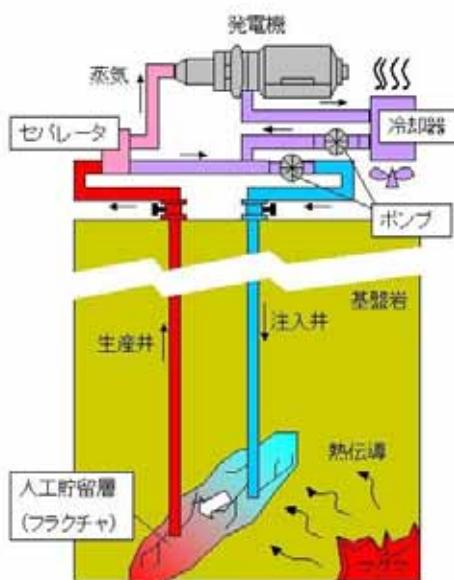


図3 高温岩体発電システム概念図

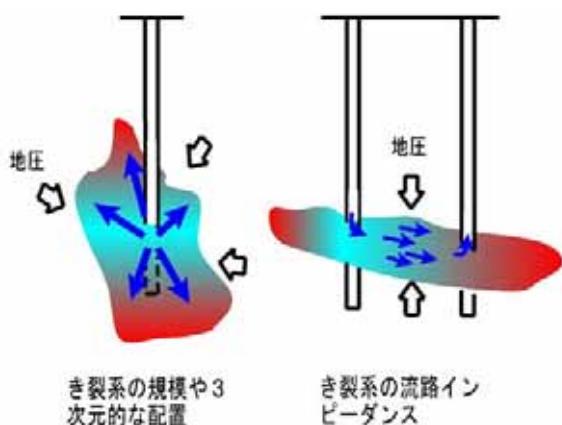


図4 地下のき裂系に及ぼす地圧の影響

端の地下抽熱システムの構築に成功した。当所では、この肘折実験場において実験用の坑井が掘削された際に採取された定方位コアに対して岩石コアを用いた地圧評価法のひとつであるDSCAを適用し人工貯留層周辺の地圧評価を試みた。その結果、人工貯留層の造成状況や地質学的な地圧状況と調和的な地圧が得られた¹⁾。データを比較した一例を図5に示すが、人工貯留層の3次元的なロケーションを示しているAE(人工貯留層内部を地表から圧入した水が流れることによって生ずる弾性波)の発生位置が時間とともに外側へと拡大し、その拡大方向がDSCAによる地圧評価で得られた地圧の最大主応力方向とよく対応していることが分かる。

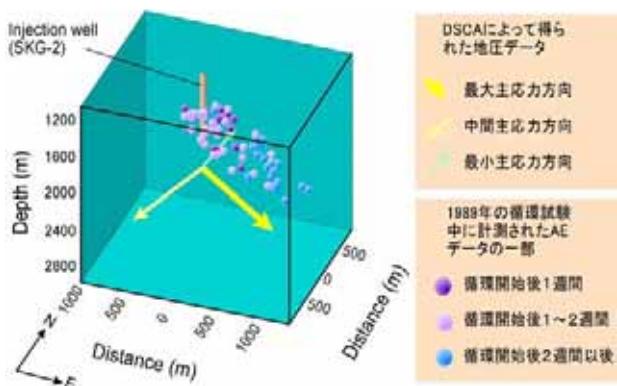


図5 DSCAによって得られた地圧データと肘折人工貯留層内部で発生したAEデータとの比較

5. おわりに

肘折実験場における計測からDSCAは地圧計測法として有望と考えられたため、DSCAの地圧計測理論において不明確であった原位置の主応力と実験室において計測される試料内部の三次元的な微小き裂分布の関連づけについての室内実験による検討を行うとともに、他の様々なフィールドにおいてもDSCAを実施し、その普遍性についても検討を進めている。他のフィールドへ適用してみたところ、他の地圧計測手法や地質学的に予想される地圧状況と矛盾しない場合も矛盾する場合もあることが分かってきており、今後はどのような場合に適用可能であるかについて明らかにしていくことが必要と考えられる。また、これまでの経験をふまえてDSCA実験に関する標準法の提案を行っている²⁾。

参考文献

- 1) 資源素材学会 (1995) 資源と素材, 111, 587-594
- 2) 資源素材学会 (2000) 資源・素材 2000(秋田)企画発表・一般発表 (A) 講演資料, 67-70



地下深部開発・利用のための坑井内多成分弹性波計測による地下計測 Downhole multi-component seismic measurement and analysis for development and utilization of deep subsurface spaces

高温岩体研究グループ： 相馬宣和

Geo-energy Research Group: Nobukazu Soma
Phone: 0298-61-8254, e-mail: n.soma@aist.go.jp

1. はじめに

これまで、高温岩体のような次世代型地熱開発、放射性廃棄物の地層処分、CO₂の地中貯留など、比較的幅広い分野における深部地下の開発・利用を対象にして、地下情報抽出法に関する研究を行ってきた。本項ではそれらの中から、AE（微小地震）と坑井掘削音の坑井内多成分弹性波計測に基づく手法による研究について、これまでの成果について簡単に紹介する。

2. 坑井内多成分弹性波計測

弹性波の計測では、地表に多点センサを配置する方法が広く用いられている。これに対し坑井内弹性波計測は、あらかじめ掘削しておいた坑井に専用の観測器を設置する計測手法である。一般に多数の観測用坑井を掘削するのは困難であるので、少数観測点に3成分以上のセンサを有する観測器を設置して行われる。観測器が地中にあるため地



図1 坑井内3成分弹性波検出器

表ノイズの影響が少なく、微弱なエネルギーの信号受信に優れ、高周波数領域まで受信可能であるため高分解能、3次元粒子運動軌跡の観測が可能である、などの利点があり、地下深部を対象とする場合や山間地のような地表条件にも適した計測方法である。

図1に現有する小孔径対応の坑井内3成分弹性

波検出器を示す。本器は、高感度 (3.0 V/g) でかつ低クロス感度 (15%以下) と3次元粒子運動軌跡の利用が可能な性能が確保されており、しかも外径60mm、重量13kgと、小規模な土木開発などでも幅広く利用しやすい設計となっている。

3. AEを音源とする地下き裂発生・成長域（貯留層）周辺からの情報抽出

地熱開発において、貯留層周辺の構造の計測は難易度が高いが重要なである。CO₂地中貯留を考える場合にも、貯留域の拡大が断層等に連結して地表に漏洩することが無いように、き裂成長域周辺を監視することは重要である。

3. 1. AEの反射波を利用した地下計測法

AE波形から反射波を抽出し地下イメージングを行う手法を開発し、これまでソルツ高温岩体テストサイト（仏・図2）などに適用している。本手法では、高精度な3次元粒子運動軌跡の形状評価により反射波の抽出を行い、S波偏波方向評価を加えた3次元的な逆解析によりイメージングを行う。

図3は、ソルツで1993年と2000年に観測されたAE波形350イベントの反射波の解析結果と、過去の浅部での反射法探査の解釈結果の比較である。AE反射波解析では各年のデータ毎に独立して解析し、最終結果を重畠して表示している。図中黒点で示されているのはこれまでの全AE源分布の投影であり、人工貯留層概観を表している。本図では高傾斜の反射体が多数検出されており、人工貯留層の近辺に何らかの高傾斜構造が存在していることを示唆している。これらは、探査深度が異なるものの、過去の反射法結果や地表の観察などによるソルツ地域の断層系モデルと調和的であり、また本地域のフラクチャーモデルとも走向、



図2 ソルツサイトの位置

傾斜、出現インターバルなどの点で矛盾が少ないと。また、人工貯留層の側壁の形状と検出された反射体の形状が類似しており、潜在する断層等構造が、貯留層の造成や流体循環に強く影響を与えていることが示唆されている。このように、従来不可能であった基盤岩内部の人工貯留層周辺の構造体の検出に成功した。

3. 2. 透過 AE 波形変化に注目した方法

前述の反射波解析を補完する方法の一つとして、AE の透過波中の変換波を利用した地下構造推定手法も検討している。変換波抽出法としては、地震学では成分間の類似性に注目したデコンボリューションによる方法が良く使われているが、AE の場合には P 波振幅にインパルス性が乏しいことなどから、その適用は困難である。そこで本研究では、高精度 3 次元粒子運動方向解析を高次のウェーブレット変換による時間一周波数領域で行い、振動方向の直交性評価による変換波成分の抽出を行い地下不連続体の抽出を試みた。

図 4 は反射波解析と同様、ソルツでの解析結果例である。図中のカラーの点は、弾性波速度を与えた場合に、それぞれの位置に対応する時刻の振動方向の P 波振動方向となす角によって色分けし

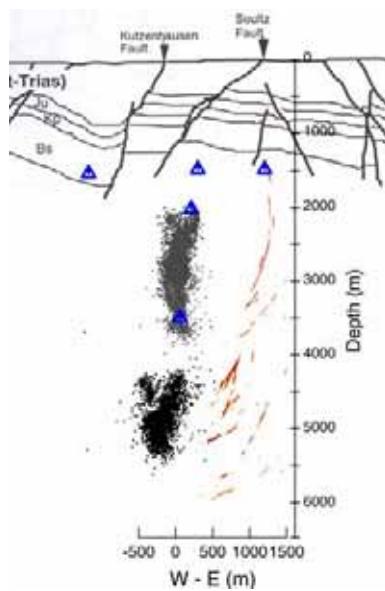


図 3 ソルツでの AE 反射波解析結果と浅部の反射法探査結果

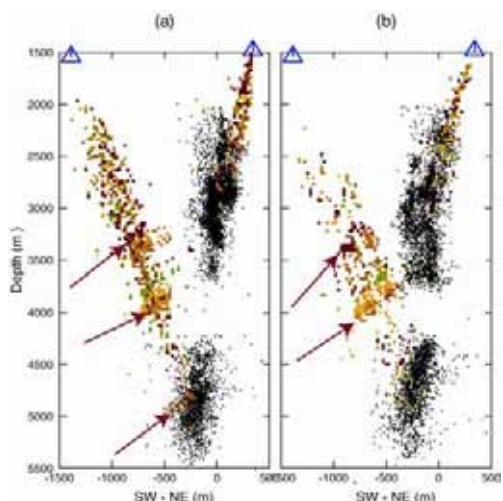


図 4 ソルツでの PS 変換波解析結果。(a) 注入井を含む、(b) 注入井から南東 200m の SW-NE 断面。矢印付近に不連続体が検出されている。

てマッピングしたものである。図の矢印付近がまとまって前後に比べて直交性が高くなっている、何らかの不連続構造を検出している可能性が高い。

4. 坑井掘削音を利用する地下構造推定法

高レベル放射性廃棄物の地層処分では、可能な限り多くの地下情報を取得することは非常に重要である。しかし現実的には、予算的な問題や社会的な影響などの制約を受けることは避けられない。そのようなことから、一つのボーリング調査から得られる地下情報量を増大させることは有効であると考え、岩石コアを用いる地圧測定法と合わせて、坑井ボーリング時の掘削音を利用する地下構造推定法（以下 SWD 法と称す）について検討している。SWD 法は、石油や地熱の分野での大規模なボーリングを対象に開発されてきた。本技術を比較的小規模な、土木開発での掘削行為に適用することができれば、放射性廃棄物地層処分での多くの場面で適用が可能になり、安価に連続的に地下情報の抽出が可能になると考えられる。

花崗岩採石場で実施された HQ 径ボーリングの掘削音を観測し、時空間相関解析により地下イメージングを試みた。図 5 に坑井掘削音を解析して得られた反射係数空間分布を示す。反射係数分布を各種検層結果と比較すると、比抵抗分布の変化点と良く一致しているように見える。本解析結果はわずか 10m の掘削区間の観測データから得られており、比較的小規模な掘削行為から深部までの地下情報を得られる可能性を示している。

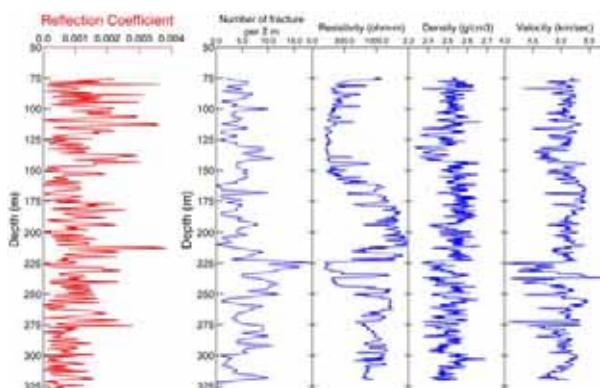


図 5 坑井掘削音解析による反射係数深度分布(赤)と各種検層結果(青: 左より、き裂密度、比抵抗、密度、弾性波速度)。

6. まとめ

坑井内多成分弾性波計測に基づき、AE および坑井掘削音を利用した地下構造推定法の開発を行ってきた。坑井内多成分計測の特徴を生かした信号処理により、従来法の適用困難であった領域の計測の実現や、小規模な掘削から深部の反射係数を推定することに成功した。今後も本技術の検討を深めることにより、悪条件下でも比較的低コストで深部計測を実現できる手法を開発し、実用可能なものに向上できるのではないかと考えている。



岩盤力学を活用した研究の紹介 Introduction of the application of rock mechanics

高温岩体研究グループ：竹原 孝

Geo-Energy Research Group: Takashi Takehara

Phone: 0298-61-8206, e-mail: t-takehara@aist.go.jp

1. まえがき

岩盤力学は資源の乏しい日本においては資源開発工学（既に死語か？）と密接な関連をもち、採鉱・地下開発には欠かせない分野である。筆者は、深部岩盤の物性把握や地下応力測定技術などにおける、水圧破碎などで造成された岩盤内き裂の挙動および流体のき裂内流動に関する研究を主として行っている。鉱山での現場計測など原位置での実験や室内実験などに取り組んで来たが、室内で行う深部地殻応力を模擬的に再現した実験を行うことは困難であり、実験モデルの妥当性や実験方法の検討など課題が多い。しかしながら、以前では2次元モデルが主流だった時代から3次元モデルへ拡張したシミュレーションによる解析手法の発達により、実験的な検討からシミュレーションを用いた手法を有効に活用することも検討課題である。

2. 研究内容

①深部地熱資源採取技術の解析・評価

岩盤内に人工的に造成されるき裂の挙動と、き裂内を流れる流体の挙動との関係を明らかにするために、室内実験における水圧破碎によるき製造



図1 人工き製造成用二軸荷重載荷装置
(表面変位計測装置, AE センサ設置時)



図4 室内実験用き裂開口変位計測型パッカー

成ならびに造成されたき裂内流体挙動の解析を行っている。き製造成の手法として、供試体中心にボアホールを削孔しフラットジャッキを用いて供試体に二軸載荷を行い（図1）造成き裂の方向を載荷していない自由面に平行な横き裂が造成されるように水圧破碎を実施する。供試体の異方性などにもよるが、自由面にほぼ平行にき裂が造成されるため、自由面表面変位の高精度計測（図2, 3）、注水流量、注水圧力、き裂開口変位の計測より、き裂内水圧分布の推定、造成き裂の厚みの分布および、室内実験における解析モデルの妥当性やき裂内流動抵抗分布の推定などを行っている。また、

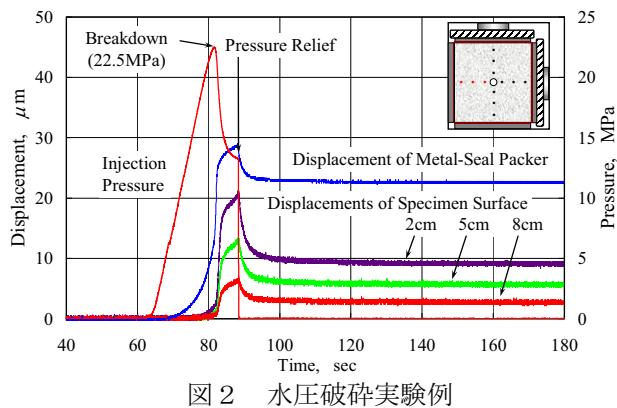


図2 水圧破碎実験例

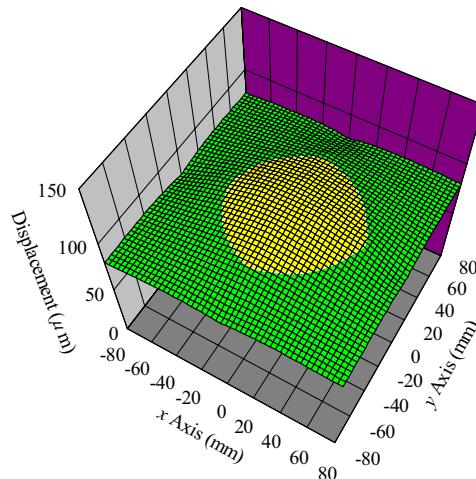


図3 注水実験中の供試体表面変位例

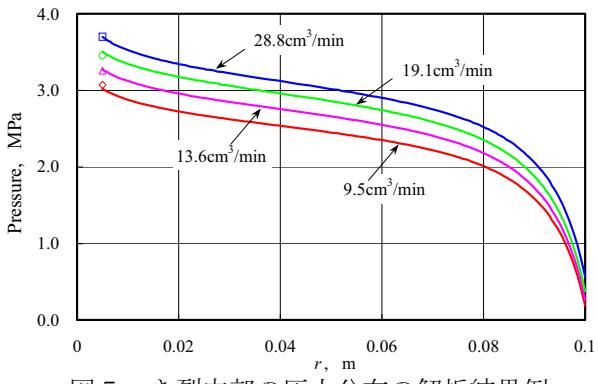


図 5 き裂内部の圧力分布の解析結果例

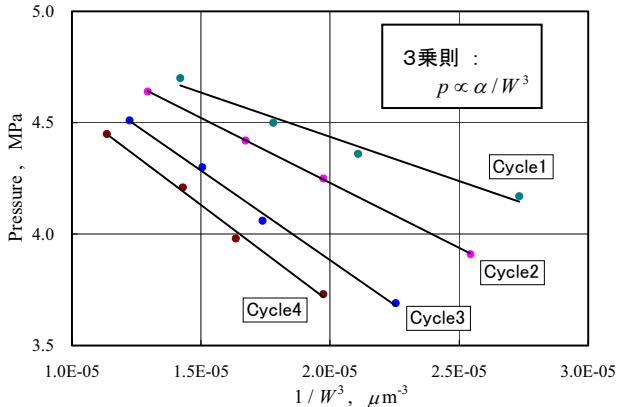


図 6 注水時のき裂開口幅と注水圧力の関係

横き裂開口変位計測が可能な水圧破碎用パッカーパー（図 4）を開発し、解析結果とき裂内流動で用いられる3乗則との比較も行っている（図 5, 6）。供試体には主として完品質の花崗岩を用いてきたが、堆積岩系の供試体を用いて、AE計測を行う実験にも取り組んでいる（後述）。この堆積岩系の供試体では透水係数や物性値など条件が花崗岩とは異なるため、新たな解析モデルを構築する必要があり、今後の課題となっている。

②多成分 AE 解析を利用した CO₂地中貯留のための地下情報抽出技術の開発

岩石水圧破碎実験による良質AEデータの取得と波形解析による地下情報の抽出を目的とした研究において、室内水圧破碎実験関連を担当している。供試体として堆積岩系の砂岩、安山岩を用いた実験を実施し、AE発生状況、き裂進展挙動の把握（図7）、水圧破碎造成き裂にCO₂を圧入する実験手法の検討を行っている。特に、浅所における地下開発や透水性の改善・CO₂圧入時の地下情報の抽出を

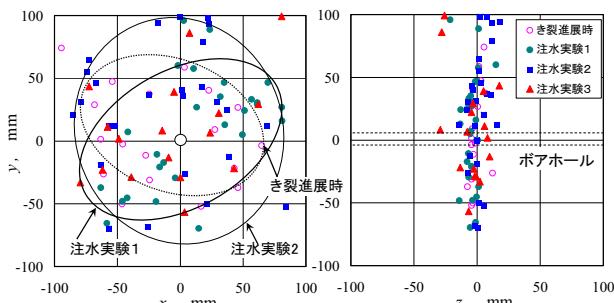


図 7 注水実験で観測された AE 発生位置

目的に研究を進めている。

③インスティチュート・パートナーシッププログラム国際共同研究

オーストラリア CSIRO との間で実施している国際共同研究の一環として、オーストラリアの炭田で得られた石炭コアを用いた多段階クリープ試験を行っている。石炭コアは、圧縮強度がコアにより異なり含水状態であることから温度・湿度の影響を受ける。そのため、コアの現状を維持した状況下での実験手法の検討、計測装置の設計・較正

（図 8）を行い、恒温・恒湿度環境下における多段階クリープ試験を現在までに 10 例実施し、実験データの蓄積ならびにデータの解析・CSIROとの情報交換を行っている。



図 8 材料試験機による製作治具の較正

④地熱工学の研究

地盤熱物性値の簡易測定法に関する研究として、N 値などを算出する際に使用する動的貫入試験装置を用いた地盤の熱伝導率を原位置で簡易測定できる手法を検討し、原位置での実験（貫入深度 27m）で実施したデータを用いて、簡便な手法で熱伝導率を求める測定方法を新たに開発した。

3. その他の活動

筆者は、岩の力学連合会（ISRM）の国内での編集委員会編集委員をしており、国内における岩の力学に関する情報発信として「岩の力学ニュース」の編集（年 4 回発行）、担当学会誌から岩の力学に関する文献収集および I.G.C. 分類を行い年 1 回発行の「岩の力学’**」の編纂に携わっている。また、所属学会での部門委員会や、小委員会の幹事を務めるなど、委員会関連の活動を行っている。

参考文献

- 1) 竹原孝、相馬宣和、瀬戸政宏、山口勉(2002)、堆積岩を用いた水圧破碎室内実験におけるき裂進展挙動の評価、平成14年度資源・素材学会春季大会講演集(I)資源編, pp. 257-258.
- 2) 神宮司元治、竹原孝、山口勉、国松直(2002)、貫入試験装置を用いた原位置地盤熱伝導率探査法、日本地熱学会誌, 24, 4, pp. 349-356.



人工貯留層の流動・抽熱特性について Estimation of the Hijiori HDR reservoir

高温岩体研究グループ： 天満則夫

Geo-Energy Research Group: Norio TENMA

Phone: 0298-61-8239, e-mail: tenma-n@aist.go.jp

1. まえがき

産総研発足以降、私の個人研究活動は、①高温岩体熱抽出システムの解析・評価、②地熱工学の研究、③メタンハイドレートの生産手法の研究開発、④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等に分けられる。ここでは、特に①高温岩体熱抽出システムの解析・評価に関して、実施している数値シミュレーションによる貯留層評価に関して紹介したいと思う。

2. NEDO 肘折高温岩体実験場

山形県最上郡大蔵村肘折カルデラにあるNEDOの肘折高温岩体実験場には、2層の人工貯留層(浅部貯留層(深度 1800m 付近、岩盤温度 250°C)と深部貯留層(深度 2200m 付近、岩盤温度 270°C))、4本の坑井(SKG-2、HDR-1～-3)が存在している(図 1)。2000年11月27日から2002年8月31日まで、この肘折高温岩体実験場において、長期循環試験が実施された。この試験は、NEDOで進められている「高温岩体発電システムの開発-要素技術の開発」の最終ステージに位置付けられており、大きく3種類の試験が行われた。

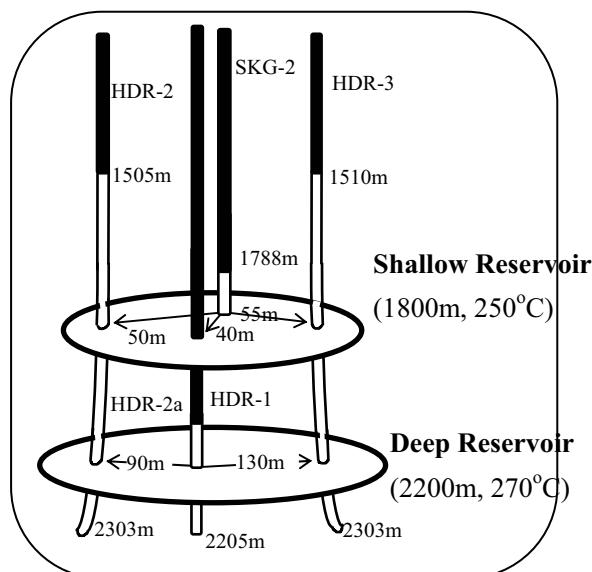


図1 肘折 HDR 貯留層の概念図
(坑井のケーシング区間を黒で示している)

まず、2000年11月27日から2001年11月15日まで実施された深部循環試験が最初の試験であった(図2)。この試験では、長期循環による人工貯留層の寿命の検討や循環試験データを基にした人工貯留層の特性把握が主目的となっていた。次に2001年12月23日から2002年4月28日まで、肘折高温岩体実験場にある2層の人工貯留層の特性把握を主目的としたデュアル循環試験が実施され、2002年6月1日から8月31日まで、生産蒸気を利用した発電試験を実施された。



図2 深部循環試験の状況

これらの試験では各坑井の地表での流量、温度、圧力の計測、AE観測、PTS検査、地化学調査、トーレーサ試験、水位観測等の計測が行われており、当所では貯留層評価の立場から地表での連続計測(流量、温度、圧力)を行うと共に、2層の貯留層内の流体流動を検討するために、深部循環試験期間中は、浅部貯留層とのみ導通しているSKG-2を用いた圧力モニタリングも実施した。この深部循環試験では、HDR-2aの坑口温度のドローダウンや、試験期間途中から浅部貯留層圧力が上昇する多層貯留層システムの流動特性の変化が観測された。今回は、これらデータを基に、深部循環試験のシミュレーションを行い、温度変化や貯留層内の流動特性の変化に関する検討を行った。

3. 肘折貯留層のモデル化

肘折貯留層モデルとしては、多層貯留層システム内の抽熱・生産特性の検討が目的であることから、水みちとなっているフラクチャを水平面に設定し、取り扱いを単純にし、図3に示すような浅部貯留層部分は、2枚のフラクチャ、深部貯留層は4枚のフラクチャよりなるモデルとした。

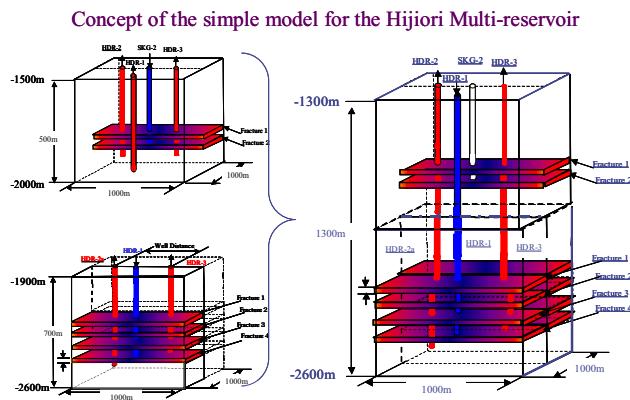


図3 数値モデルの概念図

シミュレーションコードは FEHM (Finite Element Heat and Mass Transfer Code) (Zyvoloski, 1992)を用いた。本コードでは、フラクチャとマトリクス内の微細な空隙の2重構造(Dual Porosity)を取り扱うことができる。さらに、肘折貯留層内の流動特性を表現するために、複数枚のフラクチャに対して、山下他(1997)が行ったように、圧力変化によって透水係数等が変化する Bed-of-Nails モデル(Gangi,1978)を用いたモデル化を行うことにした。すなわち、Bed-of-Nails モデルを用いて、地圧とフラクチャ内の水圧との差である有効圧力 P から図4に示すフラクチャの幅 W を求め、さらにこの W とフラクチャ内の水の流動抵抗係数を用いて、層流に関する三乗則(Whitherspoon, 1980)により、透水係数を求めるにした。

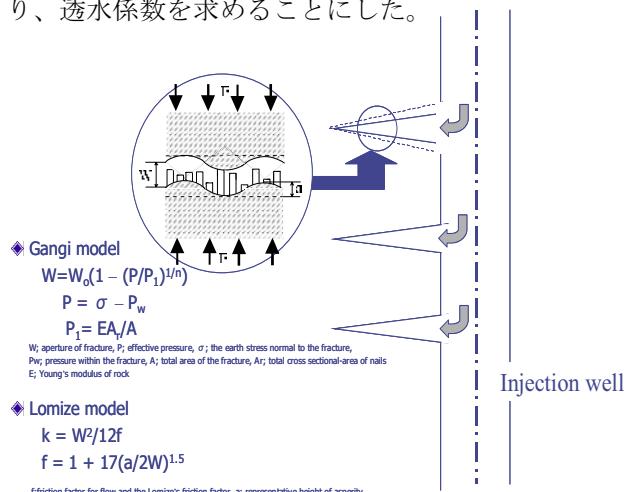


図4 フラクチャに適用したモデルの概念図

4. 計算結果と考察

深部循環試験の計算結果の一例として、浅部貯留層の圧力変化(図5)と抽熱量の変化(図6)を示す。浅部貯留層の圧力変化と本モデルの計算結果が良く合っていることがわかる。このことより本モデルが貯留層内の流動特性を検討する上で有効であることがわかる。また、本シミュレーションによって得られた抽熱量が、現場試験で得られた抽熱量とほぼ同等となることから本結果を用いて、浅部と深部貯留層の抽熱量の比較を行った。その結果、HDR-2a 側に関して、深部貯留層からの抽熱量が徐々に冷えてきていることが明らかになった。

5. おわりに

今後は、NEDO 肘折高温岩体実験場で実施された長期循環試験の残りの試験(デュアル循環試験及び発電試験)に関して、数値シミュレーションによる評価を進めていく予定である。

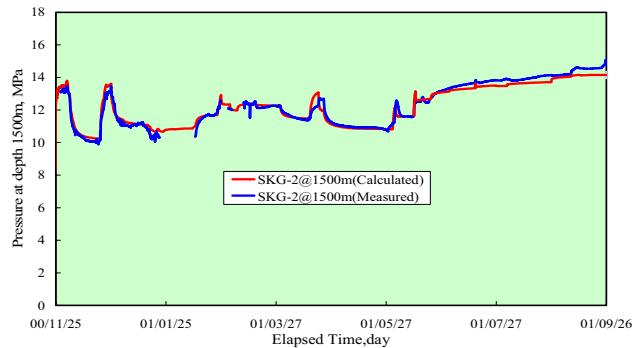


図5 浅部貯留層の圧力の経時変化と計算結果

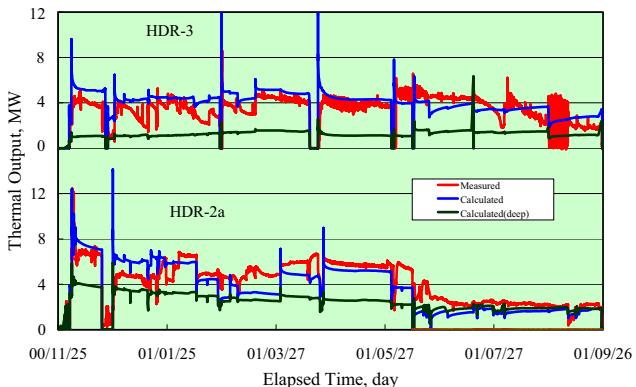


図6 抽熱量の経時変化と計算結果

参考文献

- 天満則夫, 山口勉, 手塚和彦, 川崎耕一, George ZYVOLOSKI (2002), Productivity Changes in the Multi-reservoir System at the Hijiori HDR Test Site during the Long-term circulation test, Geothermal Resources Council Transactions. 261-266
- 天満則夫, 山口勉, 手塚和彦, 川崎耕一, George ZYVOLOSKI (2003), Estimation of the productivity in the Multi-reservoir System at the Hijiori HDR Test Site during the Long-term circulation test, Proceedings of the SEGJ 6th.



肘折 HDR 長期循環試験のトレーサーおよびスケールについて Tracer test and scale of HDR long circulation test in Hijiori

高温岩体研究グループ： 柳澤教雄

Geo-Energy Research Group: Norio Yanagisawa

Phone: 0298-61-2410, e-mail: n-yanagisawa@aist.go.jp

1. はじめに

NEDO「高温岩体発電プロジェクト」は昭和60年度より実施され、水圧破碎や短期循環試験を繰り返してきた。その間産総研（旧資環研）もカッピング研究を行ってきたが、筆者は2000年11月の長期循環試験から本プロジェクトに参加した。その後、数回にわたるトレーサー試験、スケール付着状況調査と付着防止実験、さらに同位体分析、環境調査を行った。長期循環試験の終了にあたり各種試験のまとめや過去の研究、他地域の例との比較検討を行っている。

2. 肘折におけるトレーサー試験

1) 試験の概要

長期循環は2000年11月27日～2001年11月15日の下部貯留層への単独注水、2001年12月23日～2002年8月31日のデュアル循環試験の大きく2段階に分かれている。単独注水時は熱水ピット付近のトレーサータンクから、デュアル注水時はSKG2（浅部）とHDR1（深部）の注入井に直接高圧洗浄機でトレーサーを投入した（図1）。いずれの場合も感度が高く光ファイバー計でリアルタイム測定が可能なウラニンによる観測を軸とし、必要に応じナフタレンスルfonyl酸などの蛍光物質、KBrなどのハロゲン元素を同時投入した。



図1 デュアル注水時のトレーサー投入風景

サンプリング試料の分析は、トレーサーだけでなくClやNaなどの主要元素、酸素などの同位体分析も行い、NEDO実施の各種検層結果との対比を行った。

2) 深部循環時の特色

HDR-1（深部）の注水部から生産井までの距離はHDR-2が約90mとHDR-3よりも近いが、HDR-2のトレーサー湧出濃度もHDR-3に比べて1桁高く、応答がシャープであった。つまりHDR-2への導通性が格段によかった。この傾向は循環試験期間を通じて変わらず、また95, 96年の試験時と同様であった。循環試験の進行につれ、HDR-2の応答曲線はトレーサーの出現やピークが早くなり、ピーク濃度も増大する傾向を示した。一方、HDR-3は逆の傾向を示した（図2, 図3）。

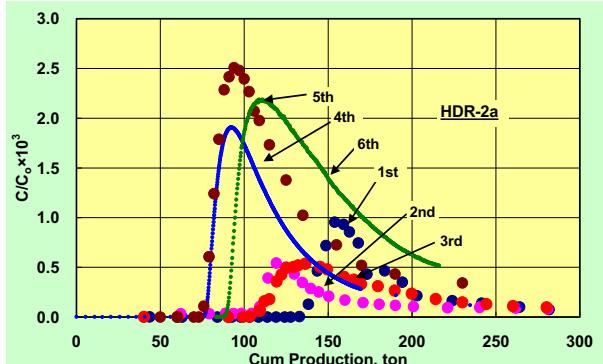


図2 深部注水時のHDR2-aのトレーサー応答曲線の変化

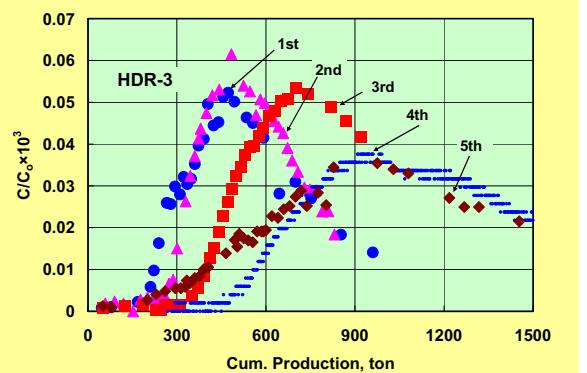


図3 深部注水時のHDR3のトレーサー応答曲線
HDR-2では5→6月にかけてトレーザー曲線の出現

やピークが急速に速まり、ピーク濃度も急増した。この時期にはトレーサー回収率の増大、C1 濃度の減少、S04 濃度の急増(図4)などが起こっている。これは、浅部貯留層の寄与がこの時期にはほとんどなくなったためと考えられる。また、HDR-3 ではトレーサーピークまでの容積増大から貯留層内流路の複雑化、あるいは HDR2 の変化に伴う浅部貯留層の寄与の増大が起こっていると推測される。

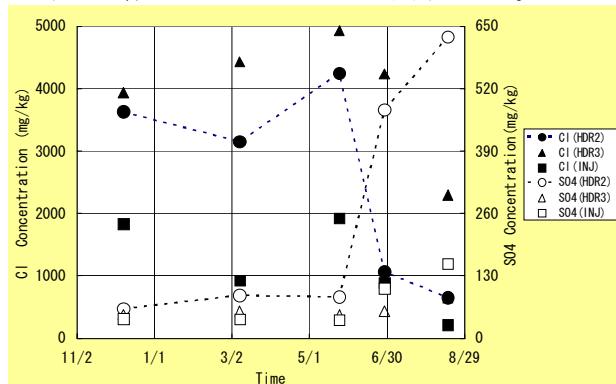


図4 深部循環時の生産井およびC1, S04 濃度の変化。点線で示した●がHDR2のC1、○がHDR2のS04濃度を示す。5～6月で急変している。

3) デュアル注水時の特色

デュアル循環は、当初 SKG-2(浅部)と HDR-1(深部)の注水比率が1:1であった。SKG-2からHDR-2、HDR-3の応答曲線は、HDR-1からのような強い異方性は示されなかった。循環開始の1月上旬に比べ、2月下旬の試験ではトレーサーの出現が早くなり、ピーク濃度が高くなり、この間にSKG-2から各坑井への流路の選択が進行した(図5)。その後は発電試験にむけてデュアル注水比調整を行い、4月以後はSKG-2への注水率を25%と半減させたため、トレーサーの出現は遅くなった。ただし、ピーク強度はHDR-2で減少したのに対し、HDR-3ではむしろ増加した。一方、HDR-1からHDR-2の応答曲線は、循環開始時期は深部単独注水時に比べ、出現容積は約2倍になり、ピーク濃度は半減した。これはSKG-2の寄与が増大したためと考えられる。循環の進行に伴い、注水比率の変更、注水の中止もあって出現容積は増減を繰り返した。

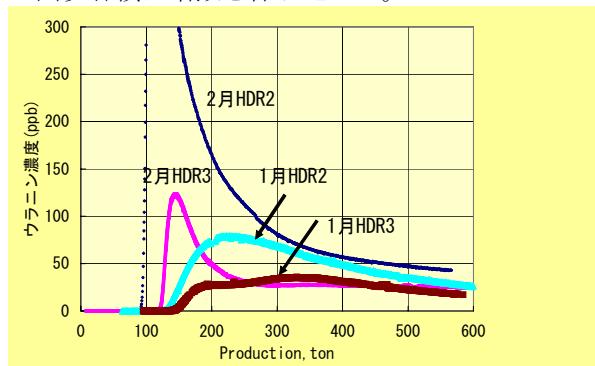


図5 デュアル循環時のSKG-2投入時のHDR2, HDR3の応答曲線

3. 肘折におけるスケール付着について

2001年春頃からPTSの検層器が途中で降下しな

くなり、坑内でのスケール付着問題がおきた。その後 PTS 検層時に白濁物質が浮上するようになってきたので、その分析を行った。その結果、坑内検層時の浮上物は HDR-2, 3 ともほとんどが硬石膏であり、一部に炭酸カルシウム、アモルファスシリカ、磁鉄鉱が含まれていた。

坑内の硬石膏は、坑内で熱水が加熱される過程で温度逆転層が生じたため、高温で溶解度が減少する硬石膏が過飽和になり析出したものと考えられる。この硬石膏の供給源は注入井から生産井の流路の花崗岩中の硬石膏脈と考えられている。地下で析出しなかったCa分は地上で方解石として沈積している。

この硬石膏スケール付着の対応策として、炭酸カルシウム付着防止に実績のあるポリアクリル酸ソーダ水溶液($\text{C}_2\text{H}_3\text{COONa}$)_nを投入し、その効果を検討した。注水ラインにおいてインヒビターの濃度が約5～20ppmになるようにし、9～12時間投入した。その後生産流体を定期的に採取し、HC03、S04、Ca およびトレーサーを分析した

その結果、インヒビターがHDR-2に出現すると同時に、S04 濃度は減少、HC03 濃度は増加した。Ca の減少はわずかである。インヒビターと同時注入のトレーサー濃度が減少後も S04 は濃度減少を続け、インヒビターの効果が数日にわたり持続している。HC03 についても同様の傾向が見られる。

これより、炭酸カルシウムに対してはインヒビターが析出防止作用をしていることが示されている。一方、硬石膏に関しては、S04 濃度が下がっているので、炭酸カルシウムのような単純な析出防止は考えにくい。ただし硬石膏は低温域で溶解度が高くなるので、インヒビターが低温域(例えは HDR-1→HDR-2 の下部貯留層内)で硬石膏の溶解を抑制し、結果として温度上昇域のスケール析出を抑えた可能性はある。この確認のためインヒビターと硬石膏(方解石)を用いた溶解実験を実施中であるが、現時点までに低温域での硬石膏溶解抑制を示唆する結果が出ている。

4. その他の活動

筆者はNEDO高温岩体開発技術検討委員をつとめとともに、日本地熱学会、日本鉱物学会および地学団体研究会の学会ホームページの管理運営を通じて学会活動の普及につとめている。また、部門内においても、広報委員等を通じて、広報活動に努めている。

参考文献

- 柳澤教雄、松永烈、田尾博明、杉田 創(2002), Reservoir Monitoring by Tracer Test of a 2001 Long Term Circulation Test at the Hijiori HDR Site, Yamagata, Japan, Geothermal Resources Council Transactions. 267-271



メタンハイドレート生産手法開発 A study for developing the production technique of natural gases from hydrate reservoir

高温岩体研究グループ：坂本 靖英

Geo-Energy Group: Sakamoto Yasuhide

Phone: 0298-61-8701, e-mail: sakamoto-yasuhide@aist.go.jp

1. はじめに

メタンハイドレートは水分子により形成されたケージ内にメタン分子を包蔵した氷状の物質であり、ハイドレート 1 m^3 から約 150 m^3 のメタンが生成すると言われている。日本近海の海洋堆積層中にもその存在が確認されており、現在の日本の年間天然ガス消費量の約 100 年分に相当する量が埋蔵されているという試算がなされている。ゆえに今日では、石油に代わる非在来型エネルギー資源としての期待が高い。

産総研では平成 13 年度より、石油公団、民間企業、大学等の連携により、「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」をスタートさせており、それは「資源量評価」、「生産手法開発」、「環境影響評価」の三つの研究分野から構成されている。

「生産手法開発」グループは、実験を主としたハイドレートの基礎物性の解明ならびに生産シミュレータ開発の二つに大別されるが、つくば西では主として後者のグループに属している。

メタンハイドレート生産シミュレータは、フィールドスケールでのハイドレート堆積層からのガスの生産性を評価することを目的としており、つくば西では、「分解速度評価」、「圧密挙動評価」、「浸透率評価」の各モジュール群の開発を担当している。私の研究活動は、多孔質体の熱・物質移動およびハイドレートの分解・堆積層の圧密による浸透率変化を予測することを目的とした「浸透率評価モジュール」の開発であり、本年度は、装置開発ならびにモジュール開発において必要とされるパラメータについて、以下の実験的検討を進めている。

- 1) 多孔質体におけるハイドレートの生成・分解挙動に関する検討
- 2) ハイドレート生成・分解に伴う多孔質体の透水性の変化に関する検討
- 3) 低温・高圧条件下におけるガス-水二相流動系相対浸透率の算出に関する実験的検討

2. ハイドレート貯留層における透水性に関する実験的検討

ハイドレートは多孔質体においては固体として

取り扱われるため、その量（飽和率）が増加すると、透水性は低下することになる。本研究は、まだ充分に明らかとされていないハイドレート貯留層の透水性（絶対浸透率）について、実験室レベルでその評価を試みたものである。

(1) 実験方法

内径 60mm、長さ 500mm のポリカーボネート製円筒状容器内に標準砂を充填し、孔隙内にハイドレートを生成させたものを模擬ハイドレート貯留層とした。実験装置の概略を図 1 に示す。

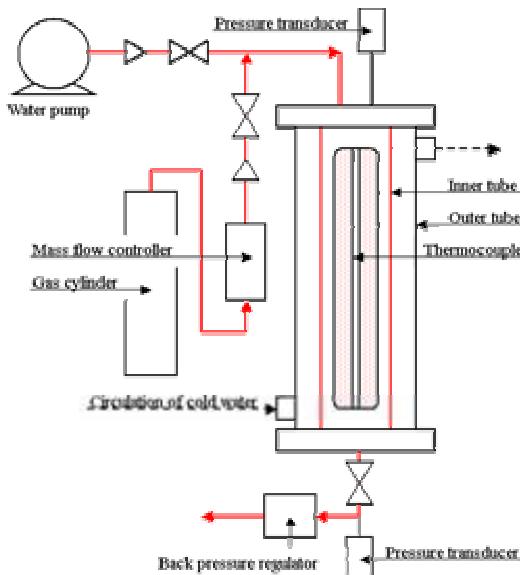


図 1 ハイドレート生成実験装置

実験は砂を充填した後、ガスを圧入してサンドパックを不動水飽和率の状態にする。さらにガスの圧入を継続して所定の実験圧力まで装置を加圧する。実験温度（約 0°C ）まで装置を徐々に冷却すると、ハイドレートの生成・成長が開始される。なおハイドレートの成長に伴い、ガスが消費され容器の内圧が低下するため、数段階にわたって装置の加圧を繰り返した。試料ガスとしてエタンおよびプロパンを用いた。エタンハイドレートは構造 I の結晶構造を形成し、水和数は 5.75 である。

一方、プロパンハイドレートは構造IIの結晶構造を形成し、水和数は17である。ガス占有率を90%とすると、構造Iでは水1gに対して約150ml、構造IIでは約50mlのガスをそれぞれトラップしていると仮定できる。

本実験では、次式を用いて見かけのハイドレート飽和率を求めた。

$$S_H = \frac{AL\varphi S_g \Delta P}{150} \cdot \frac{1}{AL\varphi} \quad (\text{ethane})$$

$$S_H = \frac{AL\varphi S_g \Delta P}{50} \cdot \frac{1}{AL\varphi} \quad (\text{propane})$$

ここで、A:装置の断面積[cm²]、L:装置の長さ[cm]、 φ :孔隙率[-]、 S_g :不動水飽和率に対応したガス飽和率[-]、 ΔP :ハイドレート成長時の装置圧力の低下分[atm]である。

ある程度ハイドレートの成長が進行した後に、約0°Cの冷水を一定流量で圧入する。圧入水フロントが流出端に到達し、サンドパック内の水の流動がほぼ定常状態に達した時点の差圧の値から、ダルシーの法則を用いて見かけの絶対浸透率を算出した。なお水圧入開始時にサンドパックは不動水飽和率状態にあるので、圧入の初期段階での水の产出はない。圧入水が流出端に到達した時点での累計水圧入量は初期段階でのガスの占める孔隙容積にほぼ等しく、これにより孔隙内のガスは完全に置換されており、限りなく水の単相流動に近い状態であるとみなせる。

(2) 実験結果と考察

絶対浸透率は元のサンドパック(飽和率0%)が14.7Darcyであるのに対し、ハイドレート飽和率が増加するにつれて減少の傾向を示し、飽和率33%では約0.1Darcyと元の値の100分の1程度まで減少した(図2)。とりわけ低飽和率域において減少

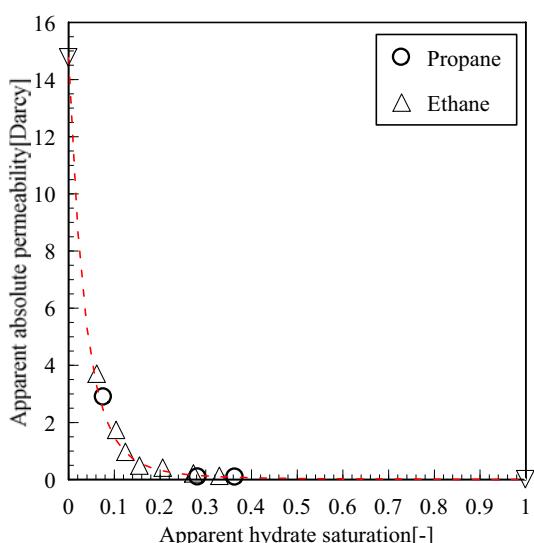


図2 ハイドレート飽和率と絶対浸透率の関係

の傾向が著しいのは、流体流動のための主流路から選択的にハイドレートが生成したためと推察される。

実験データを基に、豊浦標準砂を用いた場合のハイドレート飽和率の関数として、絶対浸透率に関する下記の実験式を導出した。式の導出には、増田らによる関係式¹⁾を参照し、図3のように浸透率減少乗数(permeability reduction index)Nを飽和率の関数として取り扱い、実験データとのフィッティングを図った。

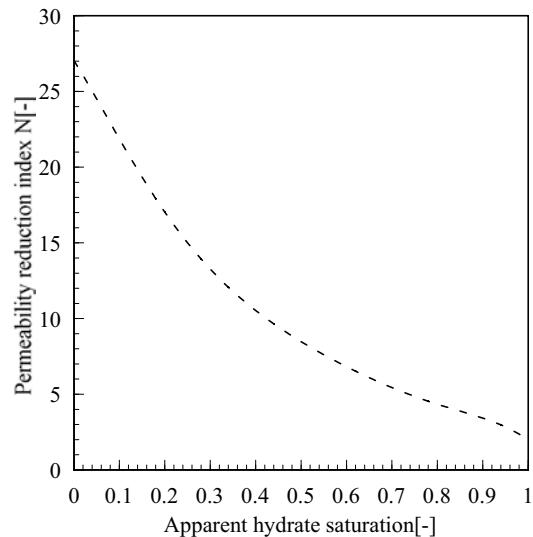


図3 浸透率減少乗数のハイドレート飽和率依存性

結果として、ハイドレート飽和率と絶対浸透率の関係を表す以下の実験式を得た。

$$K = K_0 (1 - S_H)^N$$

$$N = -285.63S_H^6 + 885.41S_H^5 - 1048.9S_H^4$$

$$+ 563.76S_H^3 - 92.81S_H^2 - 46.911S_H + 27.023$$

(3) 今後の課題

本実験においては、不動水飽和率状態のサンドパックに対して、ハイドレートを生成させている。ゆえにハイドレート飽和率は、その水飽和率に対応した値で最大(約40%)となる。それ以上の飽和率域では、当面実験式による外挿データを用いることになるが、何らかの形でハイドレート飽和率70%付近のデータを取得する必要がある。さらに粒度の異なる砂を用い、初期の絶対浸透率を変化させることで、求めた関係式の一般化を図る。

参考文献

- Masuda, Y., Kurihara, M., Ohuchi, H., Sato, T. (2002). A field-scale simulation study on gas productivity of formations containing gas hydrates. *Proceeding of the 4th International Conference on Gas Hydrate*, Yokohama, Japan, May 19-23.

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： 玉生志郎

Leader, Geothermal Resources Research Group: Shiro Tamanyu
Phone: 0298-61-3737, e-mail: s.tamanyu@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、未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用地熱資源のポテンシャル評価を行う。また、未用地分を含めた地熱資源量評価のために、地理情報システム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（分担者は除く）
 玉生 志郎, 大谷 具幸, 阪口 圭一, 佐々木宗建, 茂野 博, 谷口 政穎, 水垣 桂子

2) 予算

- ・運営費交付金「地熱資源の研究」
- ・NEDO 産業技術研究助成事業「地中熱利用の最適化のための地下水水理予測手法に関する研究」
- ・電源特会「貯留層変動探査法開発の解析・評価」の一部

3. 平成13年度までの進捗の状況

未用地熱資源の実態を解明するため、基盤内貯留層周辺部の透水性評価を透水性断裂のコア・検層データ解析および構成要素間の相関性から予察的な検討を行った。また、カルデラ等の火山性地熱系、平野部の熱水系について、地質地化学的手法で一部モデル化した。一方、未用地熱資源量評価のため、これまで手がけたすべての50万分の1地熱資源図のデータを数値化し、50万分の1地熱資源図 CD-ROM 版を1枚出版した（図1）。GIS/PCに基づく重合解析法（図2）、資源量評価手法等の検討を行うとともに、GIS/PCに基づく地熱資源評価システムについて、設計の基本方針を決定した。また、深部地熱資源探査技術に関する研

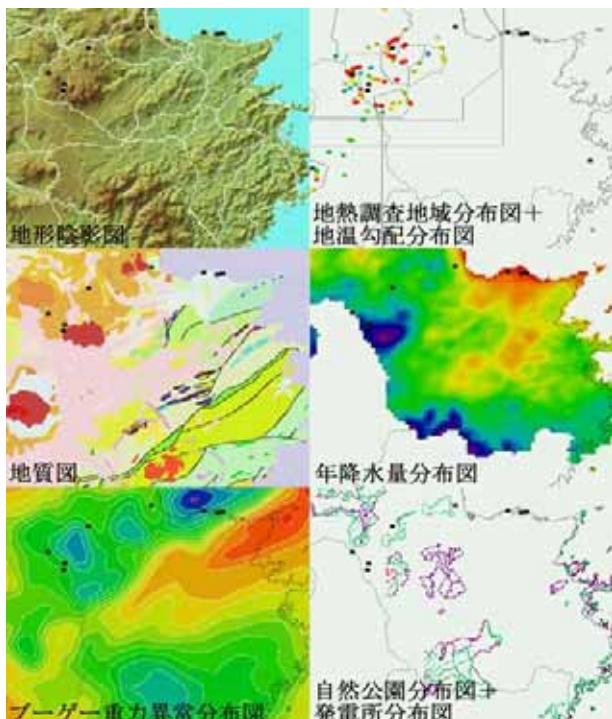
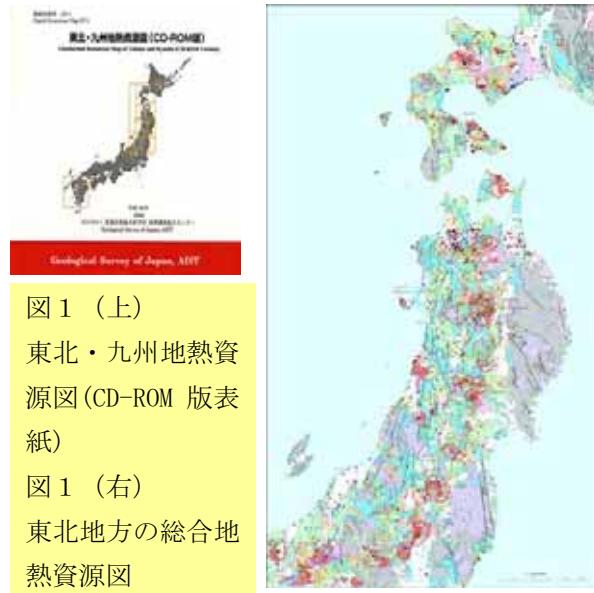


図2 20万分の1地勢図「大分」範囲の各種地理～地球科学情報の編集団

究として、熱源近傍の熱水系探査、熱源岩に関連する流体-岩石反応解析、応力場解析、ESR年代測定による熱水系変動時間解析を行った。

4. 平成14年度の研究計画

1) 未利用地熱資源の実態解明の研究

・基盤内貯留層周辺部の解明：基盤内貯留層周辺の未利用部を開発するために、秋田県湯沢・雄勝地域などで坑井間対比等により逸水ゾーンの三次元的な広がりについて検討する。また、断裂の空間分布特性の評価法を検討し、断裂群を包含する岩盤の透水性に関する代表体積をモデル解析する。

・火山地域地熱系の解明：カルデラ地熱系熱源の実態解明とポテンシャル評価を目指し、阿蘇地域ではコア解析を継続するとともに、主に文献調査に基づき、各地の大型カルデラの熱・水理構造モデルを試作する。一方、南会津および下北地域においては小型カルデラの現地調査を行う。吾妻北部地域においては、粘土鉱物のポリタイプ解析を加味し、地熱熱水作用の付加的観点から熱史を解明し、資源ポテンシャル評価に資する。また、従来採取した試料を標本館保管試料として登録する。

平野部地熱系の解明：平野部地質の3次元分布推定法について最適手法を選定し、地中熱利用に活用するための問題点を整理する(図3)。また、北海道～全国の代表的な平野部の熱水系について、流体化学的手法により実態をモデル化する。

2) 未利用地熱資源の資源量評価の研究

・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全国～広域的な温度・貯留構造の解析・表示法を検討・公表する。

・地熱ボーリングコアのデータベース構築を継続する。

5. 期待される成果

1) 未利用地熱資源の実態解明の研究

・基盤内貯留層周辺部の解明：透水構造に関する研究取りまとめた論文について、査読結果に応じて修正する。断裂系要素間の相関性について地化学的側面から解析した結果を、論文として取りまとめ。また、断裂の空間分布解析に関する成果のとりまとめは、国内外の学会誌に論文として投稿する。

・カルデラ地熱系の実態解明の研究：代表的な大型カルデラでの熱・水理構造モデル化に必要なパラメータの抽出を行う。また、今までの研究

成果を学会誌へ1件以上発表する。一方、南会津および下北地域に想定される小型カルデラについて、地質構造および火山活動史を盛り込んだ地質図を作成し、小型カルデラのタイプ区分の基礎となるデータを蓄積する。吾妻北部地域では、これまでの成果を取りまとめて、学会発表を行う。

・平野部地熱系の解明：北海道などの「深層熱水」資源の実態について、とりまとめて国内学術誌に1編以上発表する。

2) 未利用地熱資源の資源量評価の研究

GISを利用した評価法の検討：GISを利用した地熱資源評価システムの構築案の概要について、とりまとめて国内で誌上・口頭発表するとともに、全国～広域的な温度・貯留構造の解析・表示法を明らかにする。また、地熱資源図CD-ROMからの発展形としての評価法・評価図形式の予備的モデルを作成する。

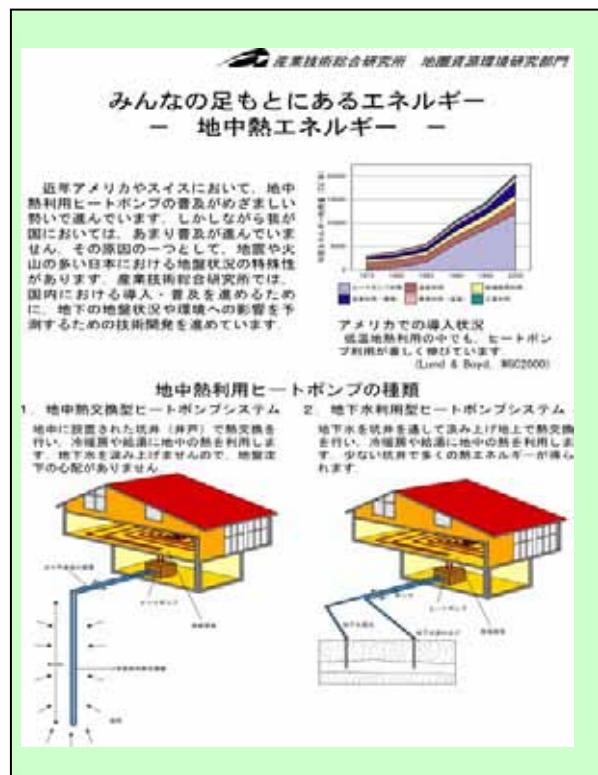


図3 地中熱利用の必要性と利用形態の例

参考文献：阪口圭一・高橋正明（2002）東北・九州地熱資源図(CD-ROM版)、数値地質図GT-1地質調査総合センター。



未利用地熱資源の開発を目指して！ Focusing on aiming for exploration of unexploited geothermal resources

地熱資源研究グループ： 玉生志郎

Geothermal Resources Research Group: Shiro Tamanyu

Phone: 0298-61-3737, e-mail: s.tamanyu@aist.go.jp

1. まえがき

産総研発足以降、私の個人研究活動は、①研究グループ長としての活動、②透水性断裂系の研究、③地熱コア画像データベース構築、④非火山性地熱資源の研究等に分けられる。

2. 研究グループ長としての活動

グループ研究計画作成、個人評価、外部評価資料作成、グループホームページ作成等々、組織改変に伴う事務的仕事を実行するとともに、グループの新規プロジェクト確保のため、各種公募案件の応募を試みた。

3. 透水性断裂の研究

基盤内貯留層周辺部の透水構造の解明を目指し、秋田県湯沢・雄勝地域で逸水ゾーンの断裂及び熱水性鉱物脈の特徴を抽出し、どのような因子が透水性を規制しているか検討している（図1）。また、地下温度と地層分布から流動ベクトルを算定し、広域流動パターンを作成している（図2）。

4. 地熱コア画像データベース構築

第7サイトのコア倉庫に保管されている地熱コアの、検索・画像データベースの構築を目指して、全体設計を行うとともに、暫定版を試作して公開している（図3）。また、保管コア（全体で 26.6km 長）のデジタル画像の取得を継続している。

5. 非火山性地熱資源の研究

今までに作成された東北日本の地熱資源図に基づいて、非火山性地熱資源の成因を明らかにさせるため、その分布と性状について検討している。その概念図を図4に、分布図を図5に示す。岩手県での非火山性温泉の排湯利用の例を図6に示す。



図1 透水性断裂の例

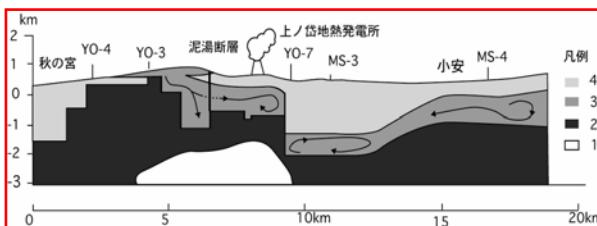


図2 上の岱地熱発電所周辺の広域熱水流動



図3 地熱コア画像イメージデータベース

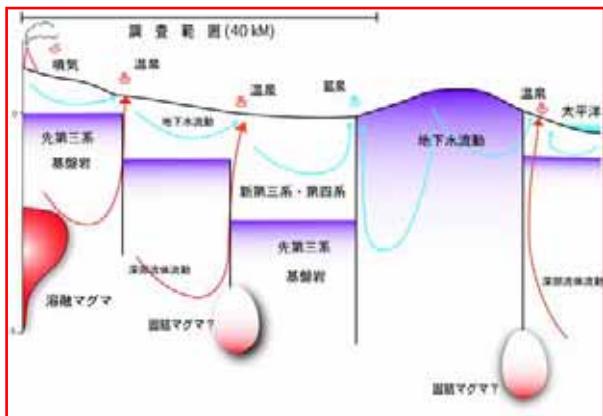


図4 非火山性地熱資源の概念図

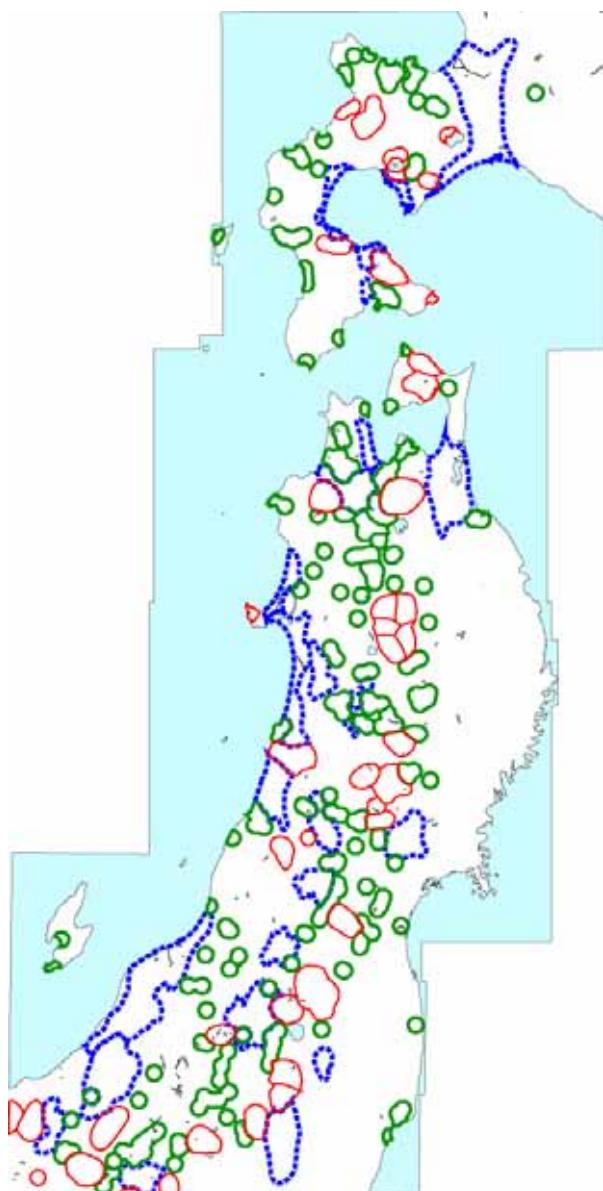


図5 東北日本の非火山地熱地域（緑色と青色破線地域）



図6 岩手県台温泉における温泉排湯利用融雪システムの説明ボード

6. その他の活動

筆者は日本地熱学会の総務委員長等を通じて、地熱学界の発展に協力しているほか、NEDO 等の委員を通じて、地熱開発の促進普及に努めている。また、学術会議地質学研究連絡委員会の委員として、学術会議の活動が活性化するように協力・支援している。

参考文献

- 1) Tamanyu, S., Sakaguchi, K. and Murata, Y. (2002) Image database of geothermal drill core, Geothermal Resources Council Transactions, vol. 26, p. 639–642
- 2) Tamanyu, S. and Sakaguchi, K. (2002) Distribution and characteristics of non-volcanic geothermal resources in the southern part of Tohoku arc, Japan. Proceedings of 2002 Beijing International Geothermal Symposium, p. 204–210.
- 3) 玉生志郎 (2001) 先第三系基盤岩類中の透水性断裂の特徴 一湯沢・雄勝地域の例一. 日本地熱学会平成13年学術講演会講演要旨集, B46.
- 4) 玉生志郎・阪口圭一 (2002) 東北地方南部の非火山性地熱資源の分布と性状. 日本地熱学会第109年学術講演会講演要旨.
- 5) 玉生志郎・阪口圭一 (2002) 非火山性地熱資源の分布と性状 – 東北地方北部の例. 日本地熱学会平成14年学術講演会講演要旨, B19.



地質データを用いた地中熱利用の適地選定手法の検討 Study on suitable area selection technique for underground thermal utilization using geological data

地熱資源研究グループ： 大谷具幸

Geothermal Resources Research Group: Tomoyuki Ohtani
Phone: 0298-61-3851, e-mail: tomo-ohtani@aist.go.jp

1. まえがき

産総研発足以降、私の個人研究活動は、①地中熱利用研究の取りまとめ役としての活動、②地中熱利用に関する地質情報についての研究、④その他の活動等に分けられる。

2. 地中熱利用研究の取りまとめ役としての活動

近年、民生部門の熱需要は増加傾向にあり、CO₂排出量削減の観点から地中熱利用は有効な手法であると期待されている。地中熱利用は地下から熱を回収するための技術はすでに完成の域に達しており（図1）、海外の一部の国々では急速に普及が進んでいるものの、日本では掘削費用を含む初期経費が高いことから、導入が進んでいない。この状況を開拓するための方法（図2）のひとつとして、地質・地下水情報から地中熱利用に適した地域を選び出す評価技術を開発し、導入のために活用することが考えられる。

地中熱利用に関する研究プロジェクトを立ち上げるために、産総研発足以降、公募案件に6件応募し、平成13年9月よりNEDO産業技術研究助成事業「地中熱利用の最適化のための地下水水理予測手法に関する研究」（大谷・内田洋・天満・安川）を立ち上げ、現在研究を進めている。

地中熱交換型ヒートポンプシステム

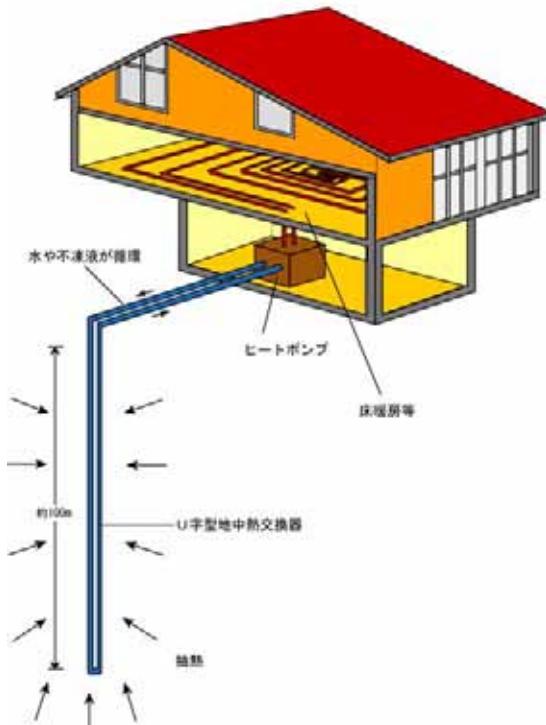


図1 地中熱利用の原理

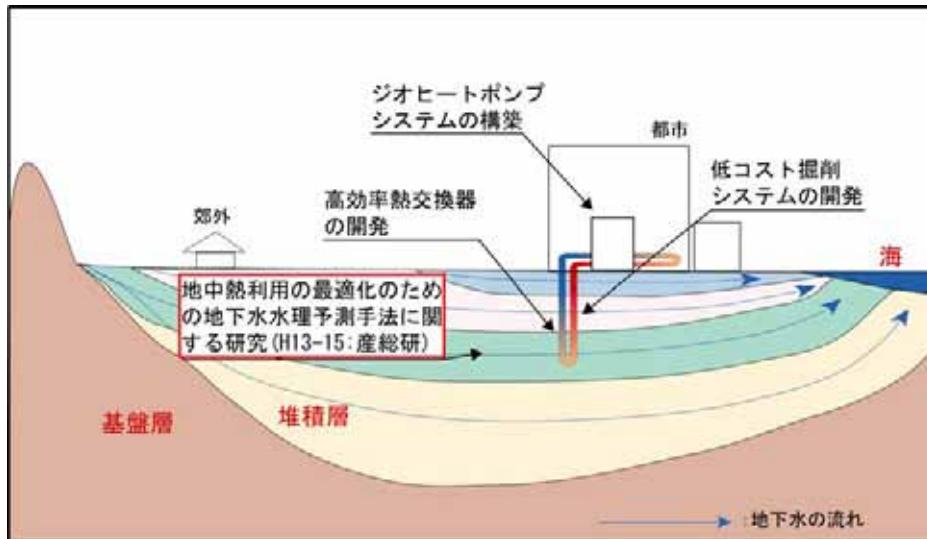


図2 日本において必要とされる技術開発課題

3. 地中熱利用に関する地質情報についての研究

地質モデリングによる適地選定方法について検討するために、3次元地質構造解析ソフトウェアMVS (C Tech 社製 Mining Visualization System)を用いて3次元的な地層分布の把握を試みた。これにより、地中熱利用の適地選定の際に重要な役割を果たすと期待される帶水層・礫層分布についての把握が可能となる。最終的には、井戸分布のらつきから任意の地点で求められた鉛直方向の地質情報についての精度（確率）を算出することにより、地中熱利用施設導入の際の成功確率の算出が可能になることが期待され、より経済的な導入

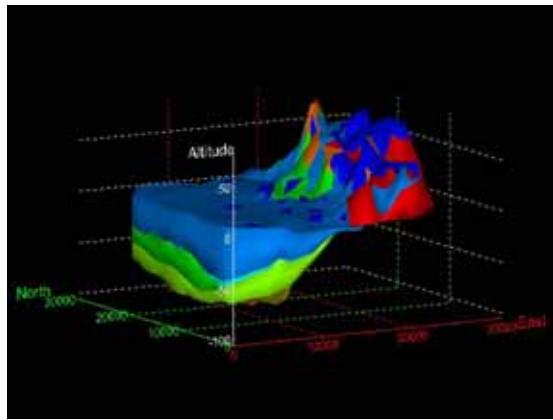


図3 名古屋地域の3次元地層表示

が図られると考えられる。

名古屋では1960年代に地盤沈下の被害が大きかったことから、古くから坑井情報が収集され、取りまとめられている。1988年に出版された最新名古屋地盤図¹⁾の坑井データをMVSに入力して解析を行った。最新名古屋地盤図には、名古屋市内の井戸情報4,190本が登録されている。坑井の分布は、多少のばらつきはあるものの、ほぼ名古屋市の全域に分布している。大半の坑井は70m以下であり、もっとも深い孔井で掘削深度152mである。最新名古屋地盤図に入力されている地層情報のうち、他の地層よりも地下水流速が大きいことが予想され、地中熱利用を考える際には見かけ上の熱交換効率が大きい地層である可能性が考えられる礫層に着目してその分布に関する検討を行った。図3は坑井データを基にしてデータ補間を行い、求められた3次元地質分布である。名古屋市では、西側が低地帯、東側が丘陵地となっている。鳥居松礫層は西へ行くほど分布深度が深くなり、その上には厚い沖積層が堆積している。これに基づいて礫層の3次元分布を確認して、地表の任意の地点における坑井掘削を行った際に想定される礫層への到着深度及び礫層の層厚を検討することができる。

地中熱利用における初期経費低減のために、できる限り浅い深度で有効な帶水層に到達することを考えると、名古屋市の東部では鳥居松礫層の分布深度が浅く、浅い坑井でも必要な熱量を得られ

る可能性が考えられる（図4）。一方、名古屋市の西部では鳥居松礫層の分布深度が深く、必要な熱量を得るために深い坑井が必要となる可能性がある。しかしながら、地下水流速の大きい礫層はみかけの熱伝導率が向上するものの、それは坑井の一部を構成するに過ぎず、他の地層における地下水流速がどの程度なのか、どの程度の熱伝導率が期待できるのか、という点も、坑井全体の熱交換効率を考える上では重要である。そのためには、礫層以外の熱伝導率も考慮に入れた上で、地層分布を検討する必要があるであろう。地中熱利用のためにこのような情報を取りまとめ、導入の際の

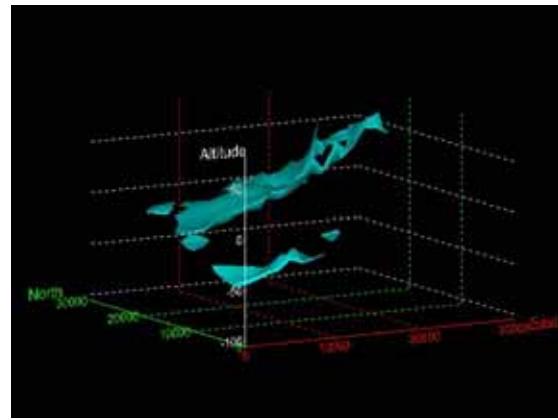


図4 鳥居松礫層の分布

参考となるように判定するための評価技術の開発が今後望まれる。

4. その他の活動

筆者は日本地熱学会の行事委員、地中熱利用技術専門部会役員等を通じて、地熱学界の推進に努めている。2002年6月27日には、つくば研究支援センター平成14年度つくば講座において、地中熱利用のための資源評価手法に関する講演を行った。また、AIST Today、常陽新聞への記事の掲載、産総研一般公開、平成13年度北陸、平成14年度新潟地質情報展への出典を行い、広く広報活動に努めている。

参考文献

- 1) 土質工学会中部支部 (1988) 最新名古屋地盤図. 487p.



地熱資源評価と火山学 Geothermal resource assessment and volcanology

地熱資源研究グループ： 阪口圭一

Geothermal Resources Research Group: Keiichi Sakaguchi

Phone: 0298-61-3897, e-mail: k-sakaguchi@aist.go.jp

Home page: <http://staff.aist.go.jp/k-sakaguchi/>

1. 現在の研究の概要

タイトルに挙げた「地熱資源評価」と「火山（地質）学」をキーワードとして以下の研究を行っている。

(1) GIS を用いた地熱資源評価システムおよび地熱資源図の研究

(2) 大型カルデラ地熱系の実態解明の研究

(3) 地熱ボーリングコア・データベースの研究

本稿では、これらの研究課題について、万遍なくというよりは現在の問題意識を中心にして、(1) と (2) について報告する。

2. 地熱資源評価の研究

2. 1 研究の目標とこれまでの成果

包括的で客観的な国土の地熱資源評価のために、GIS を利用した地熱資源評価システムの設計を目指している。

旧地質調査所では地熱・温泉資源についての各種のデータ集や主題図を出版してきた。これらのアイデアも取り入れつつ、新しい形の数値地熱資源量分布図の形式を検討して作成することも目標としている。

地質調査所が最近実施してきた資源評価研究の1つのまとめとして、「東北・九州地熱資源図（CD-ROM版）」¹⁾を2002年3月に発行した（地熱資源研究グループのページも参照）。

このCD-ROMは、既出版50万分の1地熱資源図5図幅の内容をGISベクトル・データ集および温泉・噴気・地熱井属性データ集として1枚のCD-ROMに納めたものである。印刷図と同様の画面表示を標準的な画面表示の設定としていること、および図面データや属性データをGISベクトル・データおよび数値データとして提供していることを、それぞれ不十分な点は残るもの実現しており、印刷図と今後発展するであろう数値データ出版の中間的な出版物と位置付けられる。データの形式や構成、またインターフェイスの不十分な点については、今後も可能な限り改良していきたいと考えている。

2. 2 今後の研究

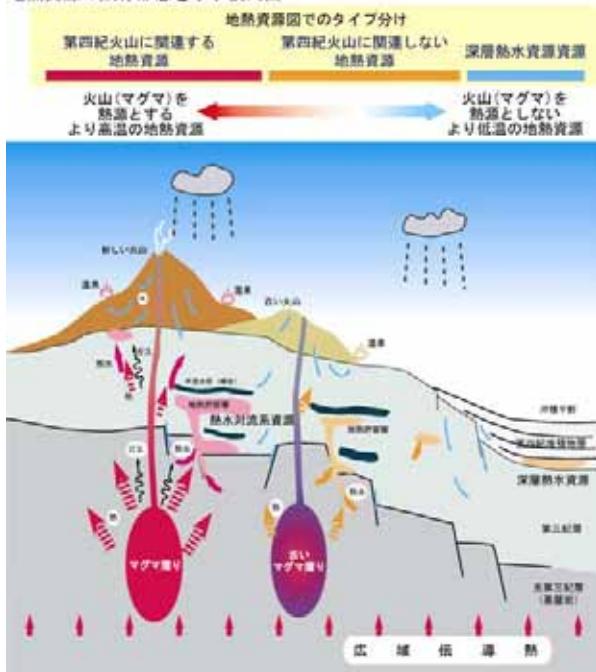
当初の予定通りの

(1) GIS を用いた各種データの重合試行、資源評価アルゴリズムの検討、資源図の形式検討の遂行の他に、

(2) 火山性低体温地熱資源～非火山性地熱資源～深層熱水資源の実態調査と資源評価を、重要な問題として意識し始めている。

(2) に挙げた資源は、発電用高温地熱資源を主要な研究対象にしていた当所の従来の地熱研究ではあまり顧みられていない。地熱資源図で用いた地熱資源の定義（第1図）においても、「第四紀火山に関連しない地熱資源」は「第四紀火山性地熱資源」および「深層熱水資源」以外のものという曖昧な定義でくわされている。「火山性資源」と「非火山性資源」の区分にも検討が必要である。「深層熱水資源」も重力異常データ推定された盆地構造中に胚胎する熱水資源として抽出されているが、賦存の実態や資源評価については最近の知見は多くない。

地熱資源の賦存形態を示す模式図



第1図 地熱資源図編集で用いた地熱資源分類の模式図。

これらの資源は、低温ではあるが、最近、特に新興温泉として、多くの開発が行われており、より人口稠密な地域に存在・近接することから、その開発が社会や自然・生活環境に与える影響は大きいといえる。エネルギーの有効利用や環境保全を視野に入れた実態・成因解明、資源・環境評価、利用法や利用技術の検討・開発、等が今後必要になると考えられる。

また、これらの新しい温泉は、1000m以上の大深度ボーリングによって開発されている場合が多く、地下地質・温度情報についての重要な情報を提供するものである。資源利用だけではなく、今後の地下利用や地下開発、地下環境保全のためにも、これらのデータの重要性を喚起しておくことが必要と考える。

このような考えに立って、本年度に「非火山地域の熱異常の研究」として宮城県、岩手県を対象とした調査と情報収集を実施中である。

3. 大型カルデラ地熱系の研究

3. 1 研究の目標とこれまでの成果

大型カルデラは、想定される大規模なマグマ溜りのために、地熱資源有望性の象徴のように語られることも多いが、日本国内では大型カルデラ内での大規模な地熱資源開発の実例は少なく、その地熱系の実態やポテンシャルについては不明の部分も残っている。また、日本特有の問題として、カルデラの陥没構造（形態）についてのいわゆる「じょうご型カルデラ」説の検証が未だ成されていないことも挙げられる。本研究では、地熱資源調査によって得られているいくつかの大型カルデラでの坑井データ等を利用して、大型カルデラの陥没・熱・水理構造を理解し、地熱系の実態やポテンシャルを解明することを目標としている。

これまでの研究では、坑井データによって阿蘇カルデラおよび霧島火山地下のカルデラの陥没構

造を検討した。阿蘇カルデラでは、急傾斜した縁に囲まれた陥没構造内部を厚いカルデラ形成期の噴出物が埋めていることを明らかにした（第2図）。霧島火山地下にも同様の構造を持つ鮮新世のカルデラが存在することを、坑井データから示した。

いずれの例でも、「じょうご型」陥没およびそれを埋めているとされる「fall-back 堆積物」を支持する証拠は得られず、「じょうご型カルデラ」というタイプを設けることの妥当性の検討が迫られたことになった。

3. 2 今後の研究

本年度以降は主に文献調査によってカルデラの水理・熱構造を調査し、地質・陥没構造の知見と組み合わせて、その熱水系のモデリングを図り、ポテンシャル評価のための適切なパラメータの設定等を検討する。

また、陥没構造のタイプ分けについても文献等での調査を継続する。

4. その他の活動

産総研内他グループへの研究協力として、

- (1) 地球科学情報研究部門地質図幅研究グループ
- (2) 地球科学情報研究部門火山活動研究グループ

への研究分担をおこなっている。また、

- (3) 地質情報展や一般公開への協力

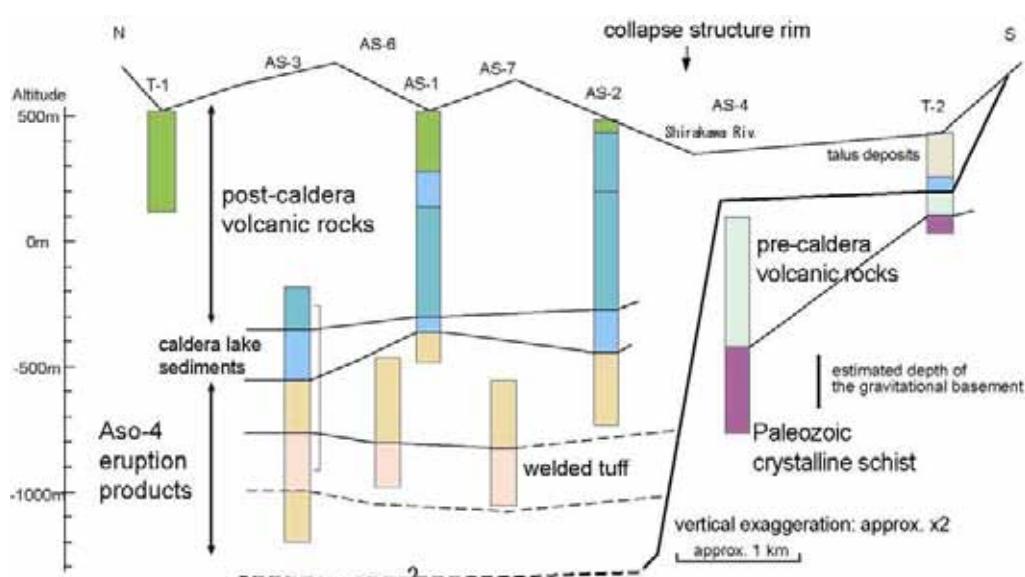
- (4) 日本地熱学会庶務幹事、総務委員

- (5) NEDO 地熱開発促進調査部会委員

等の活動により、地質・地熱の社会への普及や地熱開発事業、学会活動運営に協力している。

参考文献

- 1) 阪口圭一・高橋正明（2002）東北・九州地熱資源図（CD-ROM版）。数値地質図 GT1、地質調査総合センター。



第2図 坑井地層対比に基づく阿蘇カルデラ南西部の陥没形態。



流体流動に寄与する断裂系要素の研究 A study on fracture components contributing to fluid flow

地熱資源研究グループ：佐々木宗建

Geothermal Resources Research Group: Munetake Sasaki
Phone: 0298-61-3899, e-mail: sasaki-munetake@aist.go.jp

1. まえがき

地熱系には多数の鉱物脈や断裂が発達している。鉱物脈は流体流動の帰結として断裂が鉱物の沈殿により閉塞したものであり、断裂のうち閉塞の進んでいないものは現在も熱水の流路として機能していると考えられる。地熱系ではこの断裂の生成・発達・閉塞状況が時間的空間的に変化していくと考えられる。

地熱系における大局的な流体流動は数値シミュレーション等により把握することができるが、その流体流動と実際の岩石試料に観察される地質学的な断裂系要素（脈幅、走行傾斜、充填鉱物など）との相関性はあまり明確ではない。逆に、コア等の岩石試料から地質学的な断裂系要素を抽出した事例は枚挙に暇がないが、その断裂系要素の特徴から断裂内の流体流動（流量、流動方向、定・非定常状態など）を検討した事例は多くない。

そこで本研究（H13～H16年度）では、地熱系における断裂の生成・発達の時空間的な変遷と、それに伴う流体流動の変化と、岩石試料規模から地域規模に至るまで統合的にモデル化することを目標として、断裂系要素と流体流動との相関性について以下の各論的な整理・検討を進める。まず、①岩石試料規模で観察される個々の鉱物脈について、当時の断裂内の流体流動状況を推定する方法を検討する。次いで、②個々の断裂の特徴と地域規模での断裂の“群”としての特徴とを統計学的に連結する方法を検討する。これらの検討を基に、③現在の主要な流体流路を特定・抽出するための物理化学的な探査手法を提案することができればと思う。

本報告では①についてこれまでに検討した結果を述べる。研究対象とした鉱物脈は、国内地熱系に最も普遍に産出する石英脈と硬石膏脈である。なお、本研究は、グループ研究課題「未利用地熱資源の実体解明の研究：基盤内貯留層周辺部の解明」に位置づけられている。

2. 石英脈の内部構造のモデル化

石英脈はその断面において不均質な内部構造を呈することが多い（図1）。もし断裂内の流体流動が熱的かつ成分的に定常状態にあれば、石英脈の

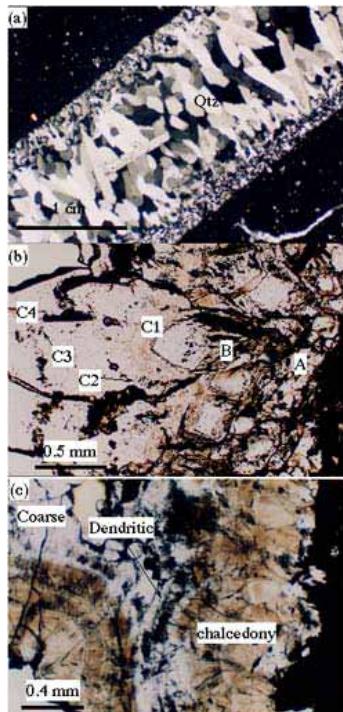


図1 石英脈の内部構造

断面に不均質性は現れない。そこで、簡易数値計算によって熱的非定常状態で石英脈を生成し、その内部構造を観察してみた（図2）。例図は石英に飽和した高温（300°C）の流体が、低温（100°C）の岩盤中に発達した単一断裂に一定流量で流入し、断裂内を移流するにつれて伝導的に冷却されてシリカ成分を沈殿していく場合であり、時間経過と共に断裂内は加熱されていく。同図には、流入口からの異なる4つの距離における模式断面での

生成年代、生成温度、石英とそれ以外のシリカ鉱物の沈殿量比の変化を描画してある。なお、流入口からの距離は流量によって規格化してある。本

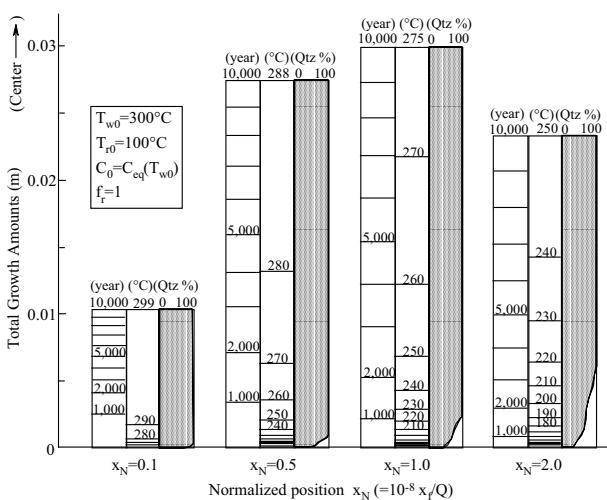


図2 石英脈の内部構造のモデル化の例

例の特徴は、単位幅あたりの成長に要する時間が脈のより内側で長くなっていること、断裂内が経時に加熱されるため成長温度が脈のより内側で高くなること、石英以外のシリカ鉱物が脈中の母岩際に生成しその量は下流側で多くなることである。流入口での濃度を高く初期設定すると、断裂の閉塞はより流入口近くで進行するようになる。

この石英脈の内部構造モデルは、計算初期条件に大きく依存するものの、地下から実際に採取された石英脈試料が、断裂内のどのような空間的位置を代表していたのかを推定するための手がかりとなろう。もし同一の石英脈の数カ所で試料を採取することができ、かつ、各試料断面において流体包有物の均質化温度、脈石英の年代値、石英中の含水量などを測定・分析することができるならば、流量等の流体流動条件を具体的に逆解析的に求めることができよう。例示した内部構造モデルにみられる特徴は、今後の天然の石英脈試料の観察・分析に際しての留意点あるいは着目点として参考となろう。

3. 硬石膏中の微量元素による流体流動

硬石膏(CaSO_4)は微量元素を多量に含有することで知られる。その含有量は当該鉱物を沈殿した流体中の微量元素濃度、流体温度、流体中の硬石膏に対する過飽和度（あるいは鉱物の成長速度）などに依存する。岩手県葛根田地熱系では2種類の硬石膏(G, T)が产出する（図3）。硬石膏GとTは各々、高角度の断裂と低角度の断裂に観察されやすい。既取得の分析データの再解析ではあるが、これら硬石膏と流体間におけるSrの分配定数を求

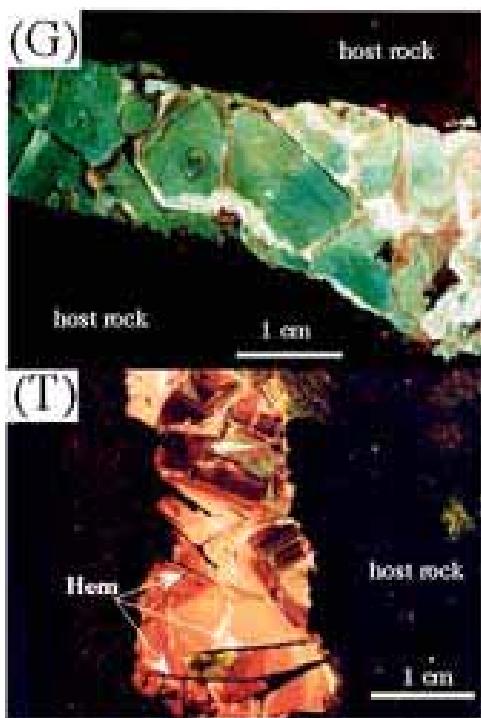


図3 カソードルミネッセンス観察の色調で識別される2種類の硬石膏G(緑色)とT(茶色)

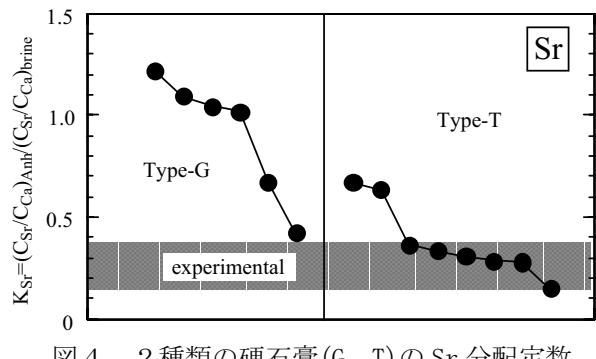


図4 2種類の硬石膏(G, T)のSr分配定数

めてみた（図4）。ここでは各硬石膏を沈殿した流体中のSr濃度は同じであったと仮定した。実験的に決定されているSrの分配定数と比較して、硬石膏Gは大きい分配定数を示し、硬石膏Tは実験値に近い値を示す。硬石膏GとTとでは、硫黄と酸素同位体比や、流体包有物の均質化温度と塩濃度において顕著な相違が認められなかったので、これら分配定数の相違は、流体中の過飽和度の大小（あるいは硬石膏の成長速度の大小）を反映していると考えられる。2種類の硬石膏が高角度の断裂と低角度の断裂との各々に観察されやすさを考えると、高角度の断裂と低角度の断裂とでは、熱水と天水との混合速度あるいは流体流動に伴う圧力低下の程度に多寡があったと判断される。それらの相違は、高角度の断裂内での高速の流体上昇と低角度の断裂内での緩慢な水平流動を示唆しているのかもしれない。

4. 今後の課題

岩石試料規模で観察できる個々の鉱物脈について、その内部構造や化学組成から、断裂内の過去の流体流動状況を推定する方法を模索した。

数値計算で得られた石英脈の内部構造モデルは、その移流方向の距離を流量により規格化できてしまうので、現実の断裂の実際の長さを推定するためには、複数の位置での試料の採取が必要となる。採取した一個の試料が、断裂のどの程度の長さを代表させることができるのかを判断するためには、当該地域の断裂群についての”代表的体積（長さ）”を概念的に把握しておく必要があろう。その把握方法については②のテーマとして現在、整理・検討を重ねている。

硬石膏脈に適用した地化学的検討方法を、より精緻化するためには今後、脈鉱物中の微少領域の分析方法をルーチン化すると同時に、溶液の代表である流体包有物中の微量元素の分析手法を確立する必要がある。また、地熱系に産するその他の主要鉱物（方解石、長石）についても、反応速度論を考慮した微量元素の分配定数を水熱実験的に決定してやる必要がある。なお、このような観点から現在、様々な水熱実験を準備しているが、うまく進展せず、多くの方々にご迷惑をお掛けしていることをこの場を借りてお詫び申し上げる。

地熱資源の新評価・アセスメント—電子地球科学情報とGISを基盤として New assessment of geothermal resources on the basis of electronic earth-sciences information and GIS



地熱資源研究グループ 茂野 博

 Geothermal Resources Research Group, Hiroshi Shigeno
 Phone: 0298-61-3701; E-mail: hiroshi-shigeno@aist.go.jp

1. はじめに

「情報技術（IT）世界革命」の中で、日本でも「GISアクションプログラム2002–2005」などを基軸に、各種の基盤的な地理情報（地球科学情報を含む）の電子DB化－公開化－インターネット化などが急速に進展しており、同時に様々なGIS（地理情報システム）の普及化・高度化が進んでいる。

今後、地圈資源環境分野においても、電子地理情報とGISの幅広く・高度なまた効率的・経済的な利用が非常に重要である。しかし、当分野でのそれらの利用については、変革期の現在様々な問題点がある。具体的には、1) 必要な基盤的電子地理情報の未整備、未公開、高価格、2) 汎用GISソフトの非標準性、難操作性、高価格、3) 空間（地下）3次元データの管理・処理に優れたGISソフトの未成熟、高価格、4) データ形式・ファイル

規格などの多様性・不統一性による多種類データの統合的な管理・処理の難しさなどが挙げられる。

2. 「地理情報システム（GIS）を利用した地熱資源の評価（アセスメント）の研究」

地熱資源研究グループでは、長期的・総合的な観点で標記の研究（第1期、2001–2004年度）を進めている。その中で、上記の問題について戦略的～暫定的な解決策を考察・提案すると同時に、電子地理情報とGISの様々な利用の可能性を検討しており、以下の報文などに取りまとめてきた。

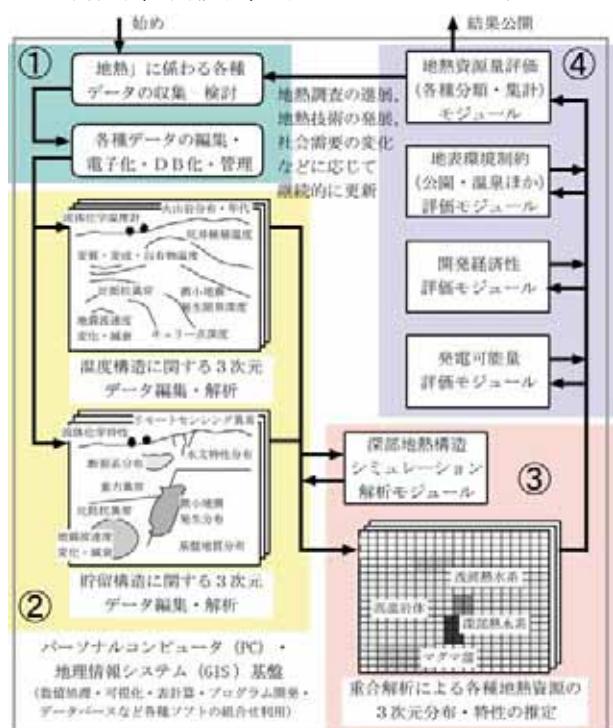


図1 統合性・継続性・公開性を重視したGIS利用の地熱資源評価・アセスメント支援システムの概念図。

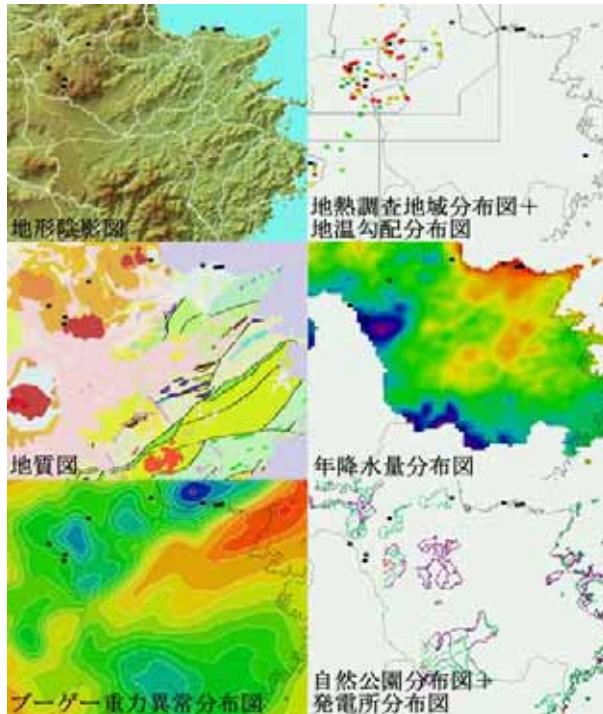


図2 20万分の1地勢図「大分」範囲の各種地理～地球科学情報の編集図。ファイルフォーマットの共通化（規格：国土地理院、数値地図250mメッシュ（標高））により、簡易的なGISソフトBird's View Proで画像化した。データは、国土地理院、地質調査所、国土交通省（WWW国土地形情報）、日本地図センターなどによる。

- 1) 茂野 博・阪口圭一 (2002a) 地理情報システム (GIS) を利用した地熱資源の評価 (アセスメント) 新計画. 地質ニュース, no. 574, 24–45.
- 2) 茂野 博・阪口圭一 (2002b) 電子地理情報を地熱調査・開発に利用する. 地熱エネルギー, 27, 252–273.
- 3) 茂野 博・阪口圭一 (2002c) 地質調査所「100万分の1日本地質図CD-ROM版」メッシュデータの様々な利用法—国土地理院・標高メッシュ・ファイルフォーマット化を通じて. 地質ニュース, no. 578 (印刷中).
- 4) 茂野 博 (---) 九州の地熱発電開発地域の地質鳥瞰図—山と風景のGISソフト「カシミール3D」による作図例. 地質ニュース (投稿中).
- 5) 茂野 博 (---) 公開震源データとGISを利用した深部地熱環境の推定—20万分の1地勢図「大分」地域を例とした試み. 地質ニュース (投稿中).

図1は、標準化多層2次元メッシュ系に基づいた統合的なデータ処理により、地下の温度・流体貯留構造、地熱資源の型・分布・資源量、開発の経済性・問題点などの柔軟な解析・評価を可能にする、モジュール化した評価支援システムの概念図を示す。また、図2・図3は、広域地域につ

いてのいくつかの試行的な検討事例を示す。

3. おわりに

「地熱」は、純国産でCO₂排出量が少なく、付加価値の高い多様な利用が可能なエネルギー資源であるが、現状での若干低い経済競争性、自然公園・温泉地との調整問題などから開発・利用が停滞している。本研究の将来計画（第2期+）では、評価支援システムを中心とした継続的・公開的な地表・地下情報の蓄積・処理解析・提供により、各種の地熱・温泉資源の探査・開発・管理への寄与のみならず、自然環境の保全、自然災害の防止・軽減化を含めた長期的・総合的な火山・地熱地域の最適利用化の合意形成に貢献して行きたい。

~~~~~

追記：「非第四紀火山地域の熱水系の地球化学的研究」

平野部地下、堆積盆地の深部などに大量に賦存する多様な中・低温热水系について、中長期的な利用進展に資する目的で、流体化学的一総合的なモデル化解析評価の研究を別途進めており、その概要・成果については別の機会に改めて紹介したい。 (作成, 2002.11.08)

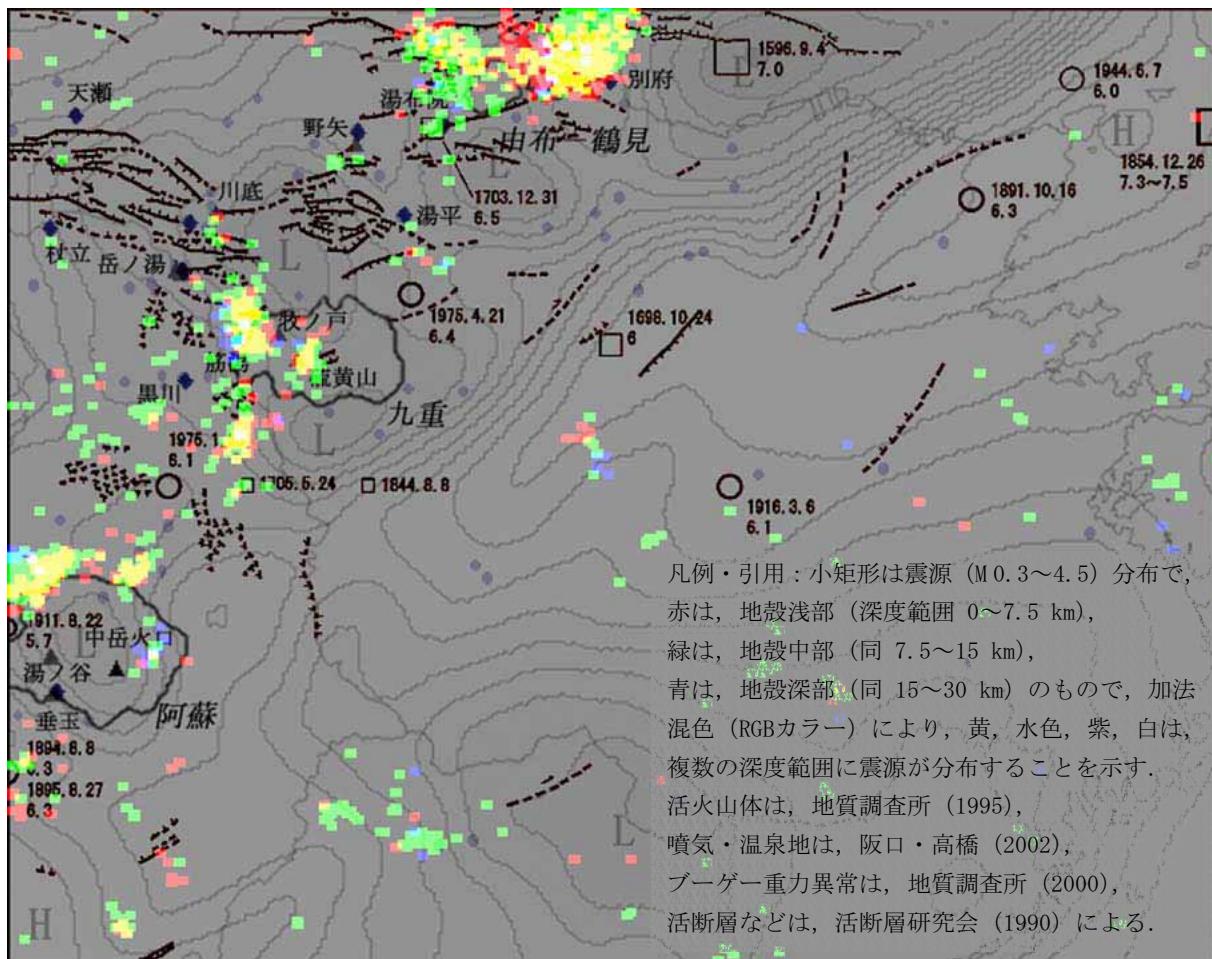


図3 20万分の1地勢図「大分」範囲の地殻内震源 (1998~2000年) と各種データ (活火山体、噴気・温泉地、ブーゲー重力異常、活断層など) の分布の重合表示図。震源は、気象庁公開の震源データファイルによる。



## 地熱変質作用の研究 Hydrothermal rock-alteration in the geothermal field

地熱資源研究グループ： 谷口政碩

Geothermal Resources Research Group: Masahiro Taniguchi

Phone: 0298-61-3939, E-mail Address: taniguchi-ma@aist.go.jp

旧地質調査所東北出張所入所以来X線回折を主要手法として、東北グリーンタフ・油田新第三系のゼオライト・粘土鉱物を対象とし、ゼオライト鉱床の成因、有機熟成作用における石油発生帯認知あるいは中新世火山活動による古地熱変質作用の解明に従事してきた。他方地熱変質については過去に全国地熱・地熱開発両基礎調査研究に係わった。その経緯から、産総研移行後当該グループ員としてそのミッションを明確にするために下記の2テーマに取り組んでいる。

### 1. 吾妻北部地域地熱変質作用の再検討

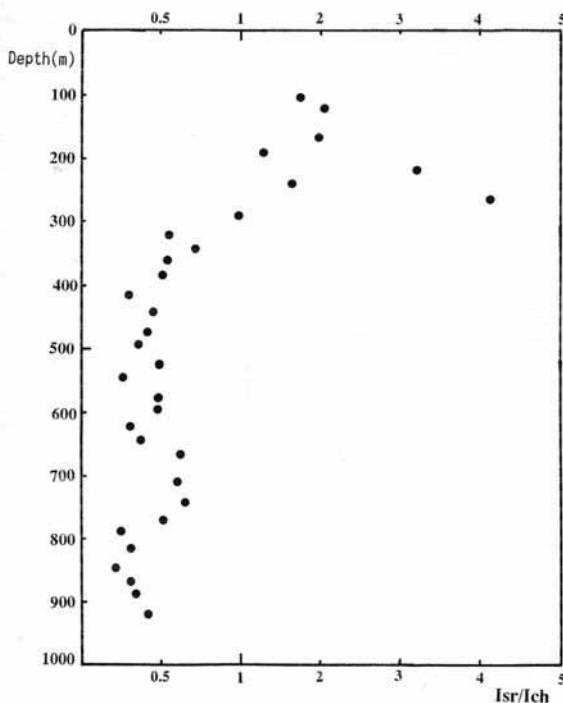
NEDO が 1974 年に発足し、我が国の地熱地帯における開発を目指した本格的な調査研究がスタートした。初期の地表調査を踏まえ、精密調査としての全国地熱資源総合調査等が 1980 年以降展開され、膨大な数の岩芯掘削により取得されたデータに基づき、有望地域の抽出が行われた。この評価に際し地熱変質作用の解析結果は低い指標と見なされた経緯が伺える。変質鉱物は第一義的には個々の試料の変質作用の最大の情報を提供する熱史解析の指示者であるが、鉱物同定の曖昧さ等が災いし、その解析は皆無に近い。標記地熱地帯における従来の解析では、地表の広い酸性変質帶の分布にも拘わらず、岩芯の変質作用の主体はグリーンタフ変質で、深部に局所的に熱水作用が付加したとされ、評価も低い。変質作用解析の復権を目指し、ポテンシャル評価に資し、解析手法の確立のため標記地域をモデルとし再検討を実施している。

熱源に最も近い N59-AZ-7 の調査井（新第三紀末・姥湯溶結凝灰岩・掘削長 1280m・平均地温勾配 19.4°C/100m・孔底温度 263°C）について X 線回折等により下記の知見を得ている。

- (1) 全層を通じ珪化作用が著しく、また炭酸塩化作用も無視できない。
- (2) 確立された変質分帶は
  - a. 地表～ 60m ; Kaolinite-Sericite 帯 (I)
  - b. 60～158m ; Sericite-Chlorite(±) 帯 (IIa)
  - c. 158～801m ; Sericite-Chlorite 帯 (IIb)
  - d. 801～1006m ; Epidote-Chlorite-Sericite 帯 (III)
  - e. 1006m～孔底 ; Epidote-Wairakite-Chlorite-Sericite 帯 (IV)

であり、I・II 両帶は酸性変質作用によることが判明した。

(3) Wairakite 出現の孔内温度は約 200°C で、合成実験結果にマッチしていることから、生成以後の地熱系の熱収支はそのバランスを保持していると示唆される。



第1図 調査井 N59-AZ-7 における Sericite と Chlorite の粉末 X 線強度比の深度分布.

### 2. インドネシア東部フローレス島マタロコ地熱地帯の変質作用

1997～2001 年に旧地質調査所、Nedo 及びインドネシア火山研究所により共同研究事業が推進された（詳細はアジア地熱研究グループの紹介を参照）。2000・2001 両年の来庁者に施した X 線分析指導の際のデータを基礎とし、その後入手したカッティングス試料の内、地表の粘土化帶において掘削された調査井 MT-1 について、試料数を追加し検討した。同井の掘削中蒸気噴出を伴う地表裂縫が発生し、深度 207m において中止に至った。本研究は地熱系の推察を目指し実施され、下記の知見を得た。

(1) 全層を通じ Smectite 化作用が著しいが、炭酸塩化作用はほぼ無視できる。

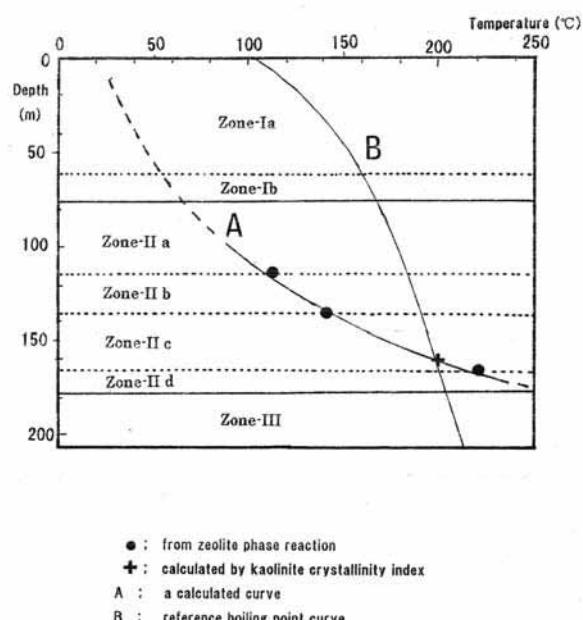
(2) 確立された変質分帶は

- a. 地表 - 61m ; Kaolinite- $\alpha$ -Crotobarite 帯 (Ia)
- b. 61 - 78m ;  $\alpha$ -Crotobarite-Smectite 帯 (Ib)
- c. 78 - 115m ; Heulandite 帯 (IIa)
- d. 115 - 136m ; Laumontite 帯 (IIb)
- e. 136 - 166m ; Wairakite-Epistilbite(±)  
-Yugawaralite(±) 帯 (IIC)
- f. 166 - 178m ; Wairakite 帯 (IId)
- g. 178 - 孔底 ; Kaolinite 帯 (III)

であり、酸性変質作用が繰り返しあつたことが明らかとなった。

(3) Liou 一派による Zeolite の相平衡実験に照合すると II 帯形成末期の熱水系の熱構造は指數関数的に表され (図 2), 下部の Kaolinite 帯の生成と矛盾はない。

(4) Wairakite は III 帯においても晶出しているが、同帶には Yugawaralite が認められないことから Kaolinite 帶生成以後とみなされる。Wirschrung and Höller (1989) による Wairakite の合成実験に照合すると III 帯の本鉱物の生成には約 200°C 以上要することから蒸気卓越型地熱貯留層は浅所潜頭の可能性が指摘されるに至った。



第2図 ゼオライトの相転移熱水実験から導かれるゼオライト化作用（第1ステージ）末期の古地温分布。

### 3. その他

旧地質調査所時代からの併任業務として、地質科学情報研究部門地球化学グループの”地球化学図による全国的な有害元素のバックグラウンドと環境汚染評価手法の高度化に関する研究”（公害防止技術）と同グループにおける”地球化学標準試料の研究”（交付金）を分担し、主としてX線分析

による鉱物組成解析データを提供している。前者の対象は河川堆積物である。



## 地熱地質学から地熱年代学へ：変動する地熱系 Geothermal geochronology: An approach to dynamic geothermal systems

地熱資源研究グループ： 水垣桂子

Geothermal Resources Research Group: Keiko Mizugaki  
Phone: 0298-61-2385, e-mail: k.mizugaki@aist.go.jp

### 1. はじめに

地熱系は時々刻々と変動しており、日単位や年単位の変動を把握するには主に地球物理学的手法が用いられる。しかし地熱系の寿命といったような長い時間スケールの変動に対しては地質学的手法が必要であり、熱によってリセットされる現象を利用した年代測定法が特に有効である。この観点から、筆者は産業技術総合研究所発足後は特に電子スピン共鳴(ESR)年代測定に重点を置いて地熱系の変動時間の研究を行っている。同様の研究は熱ルミネッセンス(TL)年代測定法を用いて先駆的に行われており、このような分野を「地熱年代学」と呼ぶことを提案する。

### 2. 電子スピン共鳴(ESR)年代測定法

放射線が物質に当たると物質内の電子をはじき飛ばし、飛ばされた電子は結晶格子欠陥などにトラップされると安定するが、熱によってトラップから解放される。通常の自然環境では岩石内の放射性元素や宇宙から来る微弱な放射線が存在するため、結晶格子が生成された時、または一度加熱されてから冷却した時を起点として、物質内のトラップに電子が蓄積される。トラップされた電子の数は被爆線量に比例するので、これを計数することにより試料の被爆線量を測定し、1年あたりの放射線量で割ると年代値を算出することができる。トラップされた電子の計数法として、電子が電磁波を吸収してスピンを反転させる現象を利用するものがESR法、試料を加熱して電子をトラップから解放した際に発光する現象を利用するものがTL法である。ESR法は電子を解放しないのでトラップの種類を識別できるという利点がある。いずれの手法も普遍的な鉱物である石英をはじめいろいろな物質を測定できるのが最大の利点である。



図1 ESR装置の測定部。電磁石、マイクロ波ユニット、試料キャビティで構成される。

るが、比較的新しい手法であるため測定例の蓄積がまだ十分とは言えず、石英と化石については実用化まであと一歩、それ以外の試料については年代値の報告例はほとんど無い。従って、まず石英のESR年代について十分なクロスチェックを行い、年代測定法として確立することが急務である。

### 3. 火山噴出物のESR年代測定

火山噴出物に含まれる石英は一般に、ESR測定を妨害する不純物がほとんどなく、高温で噴出した後の冷却時点を年代値の起点と考えてよいため、精度の高いESR年代値が期待できる。また火山活動年代は地熱ポテンシャルと密接な関係がある。筆者は福島県の柳津堆西山地熱発電所周辺の地質調査により、埋積された砂子原カルデラの存在とその火山活動史を明らかにした<sup>1)</sup>。ここでは後カルデラ期にカルデラ湖周辺山地に堆積した火碎流堆積物1が侵食によりカルデラ湖に流入・再堆積して湖成堆積物を形成している。この湖成堆積物と火碎流堆積物1、またこれとあまり間をおかずに噴出したと思われる火碎流堆積物2の石英粒子についてESR年



図2 肘折火山堆積物の石英粒子

表1 火碎流堆積物とその2次堆積物のESR年代値<sup>(2)</sup>および未公表データ)。

| カルデラ | 地質区分    | 採取地点 | Al年代(万年) | Ti年代(万年) |
|------|---------|------|----------|----------|
| 砂子   | 火碎流堆積物2 | C164 | 13±1     | 32±3     |
|      |         |      | 13±2     | 31±3     |
|      |         |      | 14±1     | 31±2     |
|      |         | B144 | 13±1     | 31±3     |
|      |         | G37  | 14±1     | 38±3     |
|      | 湖成堆積物   | G37  | 14±1     | 35±4     |
| 原    | 火碎流堆積物1 | E118 | 21±3     | 58±8     |
|      |         |      | 13±1     | 27±2     |
|      |         |      | 13±1     | 24±2     |
|      |         | B46  | 12±1     | 21±2     |
|      |         |      | 13±1     | 23±1     |
|      | 湖成堆積物   | H14  | 15±1     | 31±3     |
| 肘折   | 火碎流堆積物  | H13  | 1.3±0.2  | 0.8±0.2  |
|      |         | H1   | 1.3±0.2  | 0.9±0.2  |
|      |         |      | 1.4±0.3  | 0.8±0.3  |

代測定を実施した。また、同規模の小型カルデラである山形県の肘折カルデラの火碎流堆積物と湖成堆積物についても石英粒子の ESR 年代を測定した。いずれも  $\text{SiO}_2$  の Si を置換する Al および Ti にトラップされた電子 (Al 中心, Ti 中心) の ESR 信号が観測され、それについて年代値を計算した結果が表 1 である。肘折では Al 中心年代どうし, Ti 中心年代どうしは非常によく一致し, Al 中心年代と Ti 中心年代、さらに既存の  $^{14}\text{C}$  年代も誤差の範囲で一致する。砂子原でも Al 中心年代どうしはよく一致し、湖成堆積物が地熱活動で加熱されず噴出年代を保持していることはもちろん、地点 B33 の湖成堆積物に古い石英粒子が混入していることが浮き彫りとなる程の測定精度を達成した。しかし Al 中心年代が Ti 中心年代や他手法の年代値 (20 ~ 30 万年) より若く出ること、および Ti 中心年代がややばらつくことが今後の検討課題として残されている。

#### 4. 石英脈の年代による地熱系変動時間スケール

石英脈は過去の熱水から沈殿したものであり、その ESR 年代の起点は結晶晶出時または冷却時と考えられる。従って、一連の熱水系から沈殿した石英脈群で場所によって異なる年代値が得られれば、冷却がどこから始まってどこで終わったか、全体の冷却に何年かかったか、ということがわかる。また、トラップの種類ごとにリセット温度が異なることを利用すれば、冷却速度を算出することができる。

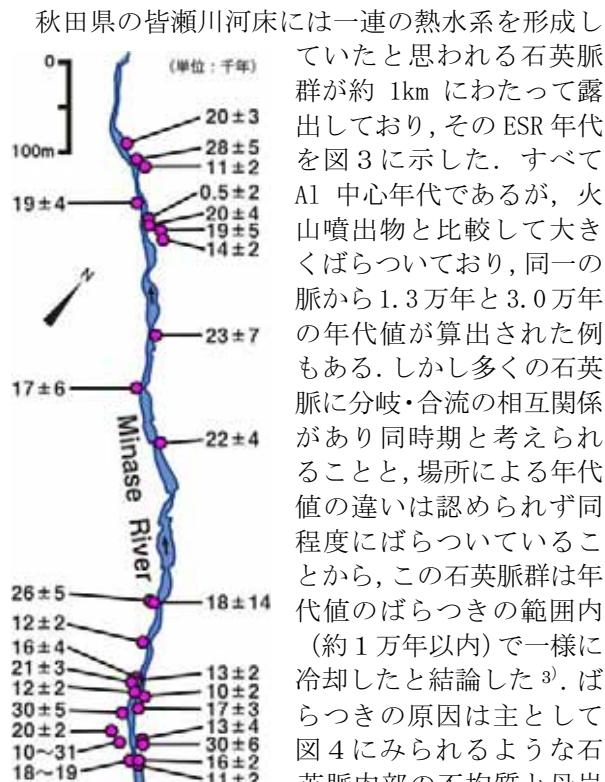


図 3 秋田県皆瀬川沿いに分布する石英脈の ESR 年代値<sup>3)</sup>。

ていたと思われる石英脈群が約 1km にわたって露出しており、その ESR 年代を図 3 に示した。すべて Al 中心年代であるが、火山噴出物と比較して大きくばらついており、同一の脈から 1.3 万年と 3.0 万年の年代値が算出された例もある。しかし多くの石英脈に分岐・合流の相互関係があり同時期と考えられることと、場所による年代値の違いは認められず同程度にばらついていることから、この石英脈群は年代値のばらつきの範囲内 (約 1 万年以内) で一様に冷却したと結論した<sup>3)</sup>。ばらつきの原因は主として図 4 にみられるような石英脈内部の不均質と母岩 (礫質凝灰岩) の不均質にあると考えられ、この点をさらに検証中である。



図 4 縞状石英脈 ( $1.7 \pm 0.3$  万年<sup>3)</sup>)。

また、冷却速度を測定するため複数の種類のトラップを持つ石英脈の年代測定を準備中である。

#### 5. 変質岩の年代による地熱系変動時間スケール

石英脈の場合と同様に、地熱変質岩に含まれる石英を用いて冷却年代を測定し、地熱活動の時間スケールを測ることができる。この研究はまだ始めたばかりであるが、試験的に柳津西山地域の変質した凝灰岩の石英斑晶の ESR 年代を測定したところ、火山活動年代より 1 衍若い約 2 万年の値が得られ、地熱活動による若返りを示した<sup>4)</sup>。現在は広い変質帯から系統的に試料を採取して測定準備中である。

#### 6. その他の活動

筆者は 2002 年 5 月に個人公式ホームページ ([URL: http://staff.aist.go.jp/k.mizugaki/](http://staff.aist.go.jp/k.mizugaki/)) を開設し、最新の研究成果とともに一般向けの解説や見学ガイドを公開しているほか、地質情報展の展示物作成や来場者への説明を行い、地質学および地熱資源に関する広報普及活動に努めている。また、地質調査総合センターが発行する地質調査研究報告の編集委員、日本地熱学会の編集委員を務め、学界に貢献している。



図 5 ホームページ上の見学ガイドと用語解説ウィンドウ。

#### 参考文献

- 1) Mizugaki, K. (2000) Geothermics, 29, 233–256.
- 2) 水垣桂子 (2002) 日本地質学会第 109 年学術大会, P-72.
- 3) Mizugaki, K. (2002) Proceeding International Symposium on New Prospects of ESR Dosimetry and Dating (in press).
- 4) 水垣桂子 (2001) 日本地熱学会平成 13 年学術講演会, B45.

## 燃料資源地質研究グループの紹介 Introduction of the Fuel Resource Geology Research Group

燃料資源地質研究グループ長： 棚橋 学  
Leader, Fuel Resource Geology Research Group: Manabu Tanahashi  
Phone: 0298-61-3938, e-mail: tanahashi-m@aist.go.jp

### 1. グループの研究目的

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

### 2. グループの研究資源

#### 1) グループ員とその専門分野

(常勤研究者)

|         |              |
|---------|--------------|
| 棚橋 学    | 燃料資源地質、海洋地質  |
| 徳橋 秀一   | 堆積地質         |
| 松林 修    | 物理探査、地球熱学    |
| 佐藤 幹夫   | 海洋地質         |
| 中嶋 健    | 海洋地質、堆積地質    |
| 森田 澄人   | 海洋地質、構造地質    |
| 小田 浩    | 石炭地質、堆積地質    |
| (研究分担者) |              |
| 池原 研    | 海洋地質、堆積地質    |
| 渡辺 真人   | 微化石層序学、新生代地質 |
| 雷 興林    | 物理探査         |
| 横田 俊之   | 反射法地震探査法     |

#### 2) 予算

運営費交付金

1号業務「燃料資源地質の研究」 11,652千円

2号業務「燃料資源地質の研究」 732千円

受託研究（石油公団）

「地化学探査の適用検討・評価」 73,074千円

### 3. 研究の進捗状況

- 1) ジャパンエナジー石油開発（株）と、三陸沖及びその周辺陸域の石炭起源天然ガス資源ポテンシャルに関する共同研究を実施中。三陸沖燃料資源図作成作業をすすめ、根源岩ポテンシャル評価のため北海道第三紀石炭層（夕張および空知地域）の共同調査を実施。石炭起源ガス賦存に関わる地温履歴を検討。
- 2) 資源エネルギー庁／石油公団が実施してい

る「メタンハイドレート開発研究」において、メタンハイドレート研究開発コンソーシアム活動に参加し協力。

石油公団からの受託研究「地化学探査手法の適用検討・開発に関する研究」を予定。資源有機地化学 RG、東大、北大、広大、高知大と協力。今年度12月-1月に第2白嶺丸による「南海トラフ地化学探査航海」を予定。図1参照。

南海トラフ海域において、「しんかい2000」、「しんかい6500」、「KAIYO/KAIKO」調査航海に参加し、ガスハイドレート分布と地質地球物理学的条件に関する試料、データを収集し既存データと共に資料を解析。

高精度地層温度測定の手法に関して、関係研究機関・民間会社の協力のもとに基礎試錐現場にて適用できるシステムを検討、実現の見通しを得た。

NRL によるブレーク海嶺の地化学探査航海に参加、地化学探査手法に関する情報を収集。

H13 年度カナダマッケンジーデルタのメタンハイドレート掘削調査で得られた石炭試料の分析を実施。

実験室における含ハイドレート模擬地層の電磁気学的物性について ICGH-4 で発表。南海トラフ海域での熱流量観測・解析の論文を執筆中。

日本周辺海域のハイドレート分布予測に関するまとめを ICGH-4 で発表。新たに北海道周辺海域（日本海東縁、網走沖、十勝沖、日高沖）について資源量試算を改訂し発表。海底下浅部（特に泥火山）に発達するハイドレートの評価法について検討。

- 3) 新潟堆積盆におけるタービダイト砂岩の重鉱物組成や時系列特性に関する成果を公表。堆積機構、堆積環境、堆積形態をめぐるタービダイトの議論について紹介。地質ニュースに連載したタービダイトの話シリーズを復刻版として発行。韓国地質資源研究院（KIGAM）の研究者と前弧堆積盆の研究の進め方について議論。

秋田県内で地質調査、堆積学的分析を実施。成果の一部を学会発表、論文執筆中。トルコ・

ノルウェーでの堆積作用研究に関する国際共同研究に参加。タービダイトの統計解析の石油地質への応用についての論文を発表。

新潟及び秋田油田地帯の坑井コアで採取されたジルコンのフィッショントラック年代値を解析し、論文を作成中。

#### 4. 今後の研究計画

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

- 1) ハイドレート研究に関しては、資源エネルギー庁が策定した「メタンハイドレート開発計画」に基づき、石油公団が実施する資源量評価研究の一部として地化学探査等を分担し、地化学探査資料の分析解析を進め地化学探査手法の適用性を評価する。
- 2) 石炭起源天然ガス資源研究に関しては、石炭及び炭質堆積物の根源岩ポテンシャル評価のための地質調査と地化学分析をすすめると共に、ジャパンエナジーとの共同研究として堆積盆評価を実施する。三陸沖燃料資源図を出版する。
- 3) 日韓の第三紀堆積盆の天然ガス・石油システムに関する地質学的・地化学的比較研究を進

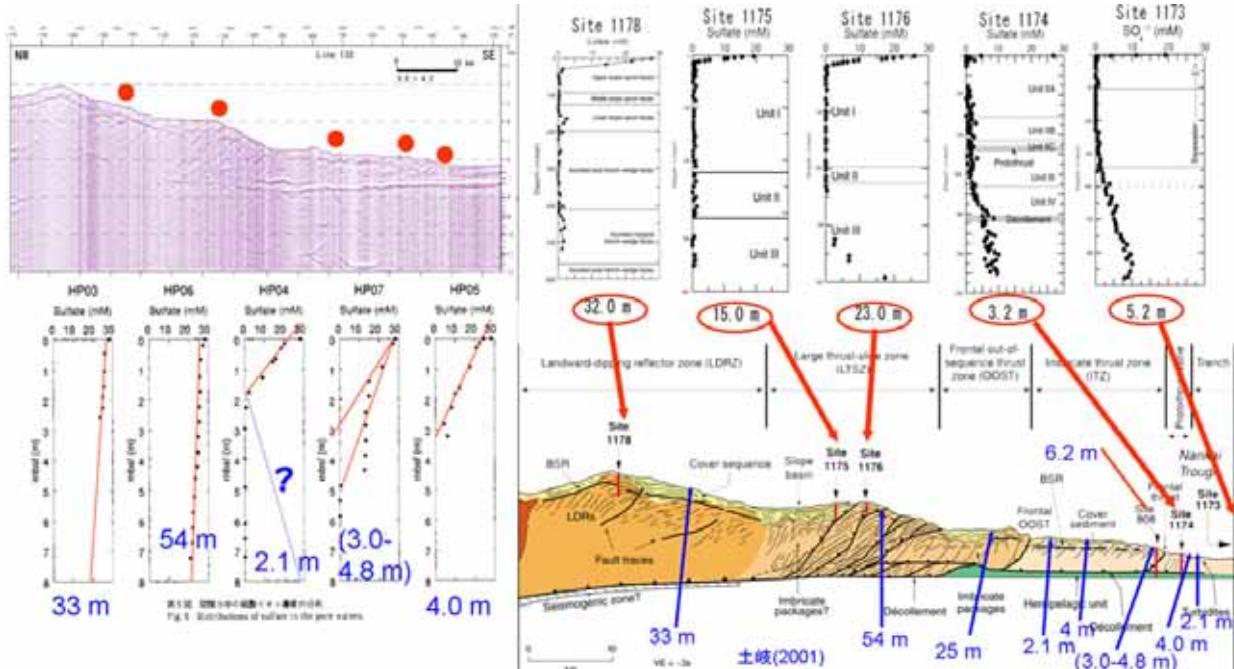


図1 地化学探査手法の予察的結果（室戸沖南海トラフ）左はNEDO先導研究航海で実施したピストンコアの間隙水中の硫酸イオン濃度プロファイル、右はODP190節による結果を加えたもの。下方からのメタンフラックスを示すと考えられるSMI（硫酸-メタン境界面）深度と付加体の構造との良い対応が見られる。SMIの面的なマッピングにより、高フラックス部（ハイドレート堆積体が浅い）を抽出できると期待される。

める。

#### 5. 期待される成果

- 1) 石炭起源ガス評価技術に関しては、三陸沖堆積盆周辺において地質調査等により資源ポテンシャル評価に貢献する。
- 2) 南海トラフ、カナダマッケンジーデルタ等におけるハイドレート賦存状況に関する基礎データの取得と解析、地化学探査法の研究、物性実験研究、ハイドレート堆積体の賦存状況の総括等の諸研究をすすめ、国家的課題であるハイドレート研究の一翼を担う。

#### 主な公表論文

- 1) 中嶋 健 (2002) タービダイト層厚分布の統計学的解析－その貯留岩キャラクタリゼーションへの応用の可能性－. 石油技術協会誌, 67巻, 第3号, 308-320. (2002)
- 2) 大澤正博・中西 敏・棚橋 学・小田 浩, 三陸へ日高沖前弧堆積盆地の地質構造・構造発達史とガス鉱床ポテンシャル, 石油技術協会誌. v. 67, p. 38-51(2002)
- 3) 棚橋 学 メタンハイドレート資源の開発 物理探査 (印刷中).
- 4) Morita, S. et al.: Distribution of BSR and Possible Fluid Migration in the Western Nankai Trough. Proceedings of The Fourth International Conference on Gas Hydrates. p. 150-153(2002).
- 5) Sato, M.: Distribution and resources of marine natural gas hydrates around Japan. Proceedings of The Fourth International Conference on Gas Hydrates, p. 175-178. (2002).
- 6) 徳橋秀一編著: タービダイトの話 (地質ニュース復刻版). 実業公報社, pp. 251 (2002).



## メタンハイドレート地化学探査法とその他 Geochemical exploration of methane gas hydrate, and others

燃料資源地質研究グループ：棚橋 学  
 Fuel Resource Geology Research Group: Manabu Tanahashi  
 Phone: 0298-61-3938, e-mail: tanahashi-m@aist.go.jp

### 1. まえがき

産総研発足以降の仕事は、①研究グループ長としての活動、②ガスハイドレート資源探査法、評価法、③石炭起源ガス地域の地質研究、④資源賦存地域の地下地質データベース作成、⑤海洋地質関係の仕事に分けられる。

### 2. 研究グループ長としての活動など

グループ研究計画作成、個人評価、外部評価、安全衛生活動、グループホームページ作成、組織改変に伴う事務的仕事を行った。当グループは、資源有機地化学研究グループと密接に共同協調して研究を進めている。そのため、事務的な仕事の一部は坂田グループ長と分担して省力化を図っている。少人数ではあるが、地質学、地球物理学、地球化学の多様な専門のメンバーとの共同での議論などを通じて、互いに刺激を与えつつ燃料資源に関する研究を進めている。

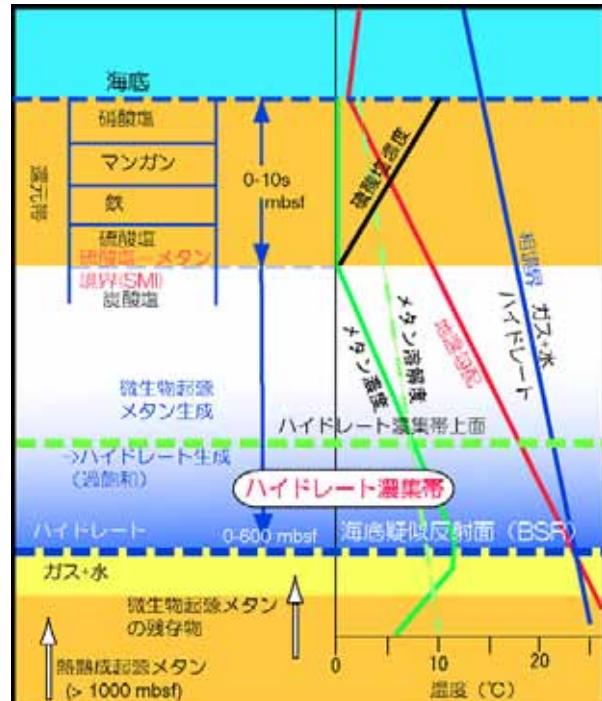
ユニットでの活動としては、広報委員、GSJの地質情報整備部会委員を行っている。

### 3. ガスハイドレート資源探査法

国のメタンハイドレート開発計画において、当部門は、生産手法開発技術の研究の一部と、資源量評価技術の研究の一部を分担しているが、筆者らは、その後者を担当している。

本研究は石油公団からの受託研究を中心として、交付金での研究も行っている。メタンハイドレートは、在来型の石油天然ガスに比べて極域や、海域でも浅部に存在することが特徴である。しかしながら、現段階では海底から、ハイドレート堆積体にいたる海底下数百mの地質状況はよくわかっていないのが実情である（図1）。その探査においては、海底浅部の詳細な地質・環境の理解が不可欠と考えられ、海底下浅部を主な対象とした海洋地質学的アプローチと、より深部を対象として発達してきた石油天然ガス探査法との総合が重要である。

筆者らは、海底表層部の地質状況を精確に把握することで、海底下のメタンハイドレートの賦存状況の徵候をとらえる地化学探査法を提案している。この手法はピストンコアで採取できる海底表



NRL資料を一部改変  
 図1 海底下の地質環境の概念図

層10m程度の堆積層内の間隙水の化学組成分布から、より深部からのメタンフラックスを推定し、メタンハイドレート堆積体の発達状況を探査するというものである。先に、NEDO先導研究「ガスハイドレート資源化研究」において予察的な成果が得られており、それに基づいて本手法を提案し、メタンハイドレート開発計画に取り込まれたものである（図2）。石油公団からの受託研究として、手法開発、適用性評価を、次の大学・企業等と共同して実施している。北大理、東大理、東大洋研、広島大生、高知大理、シュルンベルジェ社、米NRL。

本研究では、12月22日から1月11日にかけて、南海トラフ海域において第2白嶺丸の大水深調査航海に参加し、ピストンコアを中心とした試料採取と、地形調査などを行う予定である（図3）。

ハイドレート研究の一環として、米NRLが7月に米国東岸沖のブレーク海嶺ダイアピルで実施したR/V Cape Hatterasの地化学探査航海（図4）に

参加した。ピストンコアリングによって、ハイドレートを含む堆積層を採取し、ハイドレートと堆積物中の炭素プールの間の炭素の循環について調べることを目標としている。20点ほどの採泥によって2点からガスハイドレートの小片が採取された。10日程度の短い航海だったが、我々の航海の計画立案などにいろいろ参考になった。

地化学探査手法の確立のためには海底地質状況、物理探査データ、坑井地質データとの総合解析が不可欠であり、JAMSTEC等の海底調査に参加したり、石油公団の資源量評価作業等に積極的に協力していきたいと考えている。

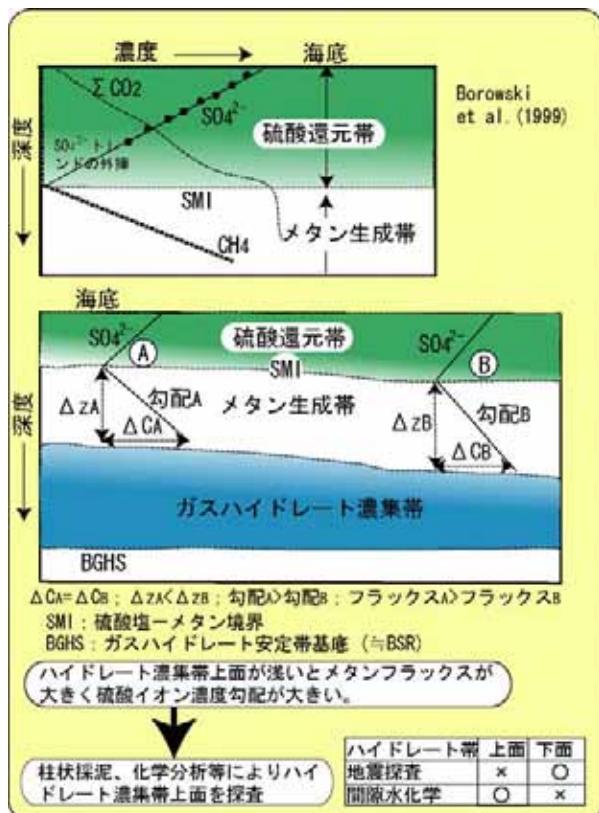


図2 地化学探査手法の概念図

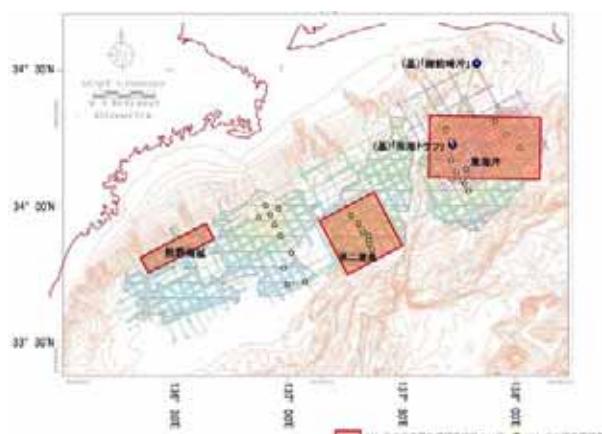


図3 大水深基礎調査航海3-1次航海(12月22日～1月11日)採泥点計画図

筆者は国内産学界の関心のある方々に呼びかけ



図4 ブレーク海嶺ダイアピル域における R/V Cape Hatteras 航海でピストンコアによって採取されたハイドレート試料

て、メタンハイドレートメーリングリストを運営し、文献紹介、情報交換を行っている。(現在117名、参加希望の方はご連絡下さい。)

#### 4. 石炭起源ガス地域の地質研究

石炭起源天然ガス鉱床が発達していると期待される三陸沖海域において、この海域で資源探査活動を行っているジャパンエナジー石油開発(株)と共同して、その資源ポテンシャル評価研究を実施している。筆者は三陸沖燃料資源図編纂を担当し、作業を進めている。

#### 5. 資源賦存地域の地下地質データベース作成

深部地質研究センターの併任メンバーとして、深部地質研究のための資源探査データ、情報の有効利用を目的として、これらのデータ、情報の整備を行っている。

#### 6. その他の活動

その他の研究活動としては、海洋資源環境部門の研究分担者として、海洋地質図編集を続けているほか、金属鉱業事業団との大水深基礎調査での音響層序学に関する共同研究、海底探査法の受託研究を分担して実施している。

MH21コンソーシアム海洋調査サブグループ、金属鉱業事業団大水深基礎調査WG、石油技術協会幹事、海洋調査研究会、エネルギー学会メタンハイドレート研究会、IODP iPPSP、ILP Gas Hydrate Atlas project、ANTOSTRAT SDLSなどの所外の活動に協力している。

#### 参考文献

- 1) 棚橋学(2002)メタンハイドレート資源の開発 物理探査(印刷中) .
- 2) 棚橋学(2002)メタンハイドレート概論 クリーンエネルギー、v. 11, No. 8, p. 22-27.
- 3) 棚橋学(2002)メタンハイドレート資源評価の現状と将来、コージェネレーション、v. 17, No. 2, 17-23.
- 4) 大澤正博・中西敏・棚橋学・小田浩(2002)三陸～日高沖前弧堆積盆の地質構造・構造発達史とガス鉱床ポテンシャル、石油技術協会誌、v. 67, p. 38-51.



## 石炭起源天然ガス、メタンハイドレートの探鉱技術高度化に関する研究 Researches on improvement for exploration technology of coal-derived natural gas and methane hydrate

燃料資源地質研究グループ：小田 浩  
Fuel Resource Geology Research Group: ODA Hiroshi  
Phone: 0298-61-3676, e-mail: hiroshi-oda@aist.go.jp

### 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

国内産石炭の石油・天然ガスポテンシャル評価のため、北海道の石狩、釧路、留萌、天北などの炭田地域の地質調査、石炭等試料の採取を行い、地質データを収集、整備した。また既存の物理探査、坑井地質、物理検層データから本地域の資源地質、堆積史、歴史、構造発達史を検討している。本研究の一部はジャパンエネルギー石油開発株式会社と共同で実施している。また石狩炭田、釧路炭田、久慈炭田の石炭について、ビトリナイト反射率、石炭組織、ロックエバル等の炭質分析、バイオマーカー分析等を行い、石炭の天然ガス生成ポテンシャルの地化学的評価法開発のFSを実施中である。

石炭を根源岩とする南勇払油ガス田の成功、平成11年の基礎試錐「三陸沖」での天然ガスの产出などにより、北海道や東北日本太平洋岸地域では石炭を根源岩とする油ガス田が探鉱対象として重要度を増している。しかし、全ての石炭が必ずしも天然ガス・石油生成能力が高いわけではないため、石炭起源の天然ガス・石油資源の探鉱リスクを軽減するためには、どのような炭質の石炭が高い石油生成能力を持っているかを明らかにしなければならない。

岩手県三陸北部沿岸には久慈炭田が知られており、同時代の石炭層が海底下に分布する八戸市沖合では、平成11年に国との基礎試錐「三陸沖」において石炭を起源とする天然ガスの产出に成功した。本研究では、久慈炭田および基礎試錐「三陸沖」から产出する石炭を対象につ地質データ、有機炭素量(TOC)測定、ロックエバル分析、ビトリナイ

ト反射率(Ro)測定を検討して、これらの天然ガス・石油生成能力を評価した。

岩手県三陸北部沿岸の久慈炭田地域では、上部白亜系久慈層群と下部漸新統野田層群に石炭層の分布する。

久慈層群は全層厚430mで石炭のTOCは41~64%、S2は19~78mgHC/g、HIは46~122mgHC/gで、根源岩ポテンシャルは中程度である。HI-OI二成分図でHIが200以下、OIが50以下の領域にあり、全試料がII/III~III型ケロジェンを含んでいる。また、HI-TOC二成分図においても全試料のHIが200以下であり、ガス生成型の石炭と判断される。一方、S2/S3は2.2~13で石油生成型となるが、石炭中のレジナイトはOIが比較的低いためにS2/S3が相対的に高い値を示した可能性がある。熟成度指標Tmaxは398~429°Cと低く、Roは0.29~0.45%であるため、久慈層群の石炭は未熟成である。

野田層群は全層厚350mで久慈層群とは平行不整合の関係である。石炭のTOCは31~65%、S2は20~90mgHC/g、HIは34~172mgHC/gで、根源岩ポテンシャルは中程度である。HI-OI図から全試料がII/III~III型ケロジェンを含み、HI-TOC図からガス生成型の石炭である。S2/S3は2.7~18で石油生成型と判断されるが、石炭中のレジナイトが多いためにS2/S3が高い値を示したと考えられる。しかし、Tmaxが379~430°C、Roは0.35~0.45%と低い未熟成の石炭である。

また、平成11年に基礎試錐「三陸沖」(八戸市沖合 60km、水深 857m)で产出した天然ガスは、上部白亜系~中部中新統に形成された石炭や炭質頁岩が根源岩であると推定される(石油公団、2000)。石炭は全層準においてロックエバルのHI

が 50～200 mgHC/gTOC の値を示し(石油公団, 2000)、中程度から高い根源岩ポテンシャルを有する。これらのケロジェンは II/III～III 型の中間型であるため、ガス生成型の根源岩と判断される。Ro は深度とともに増加し、深度約 3,000 m の野田層群相当層中で 0.5 % 前後に達するが、久慈層群相当層でも 0.6 % 前後、深度約 4,500 m の坑底でも 0.66 % にとどまる(石油公団, 2000)。このように陸域の野田層群および久慈層群と同様に石炭を主とする根源岩がほとんど熟成していない。しかし、これらの石炭は天然ガス・石油生成能力が高いため、熟成帯まで埋没した石炭からガス生成は期待できる。

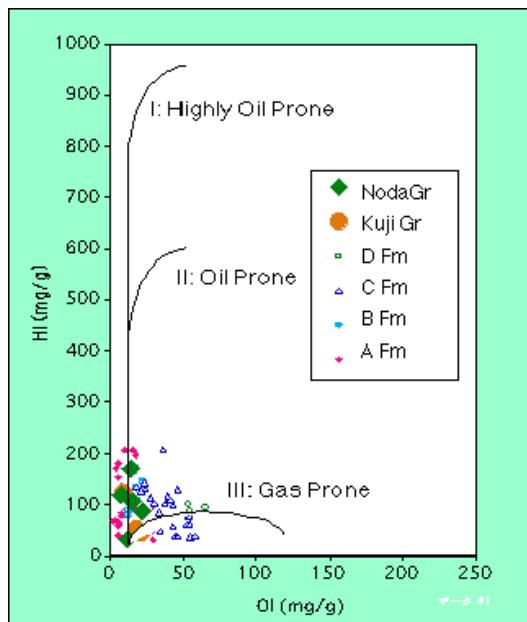


図 1 久慈炭田地域の石炭試料のロックエバール分析データ（基礎試錐「三陸沖」は石油公団（2000）より引用）

我が国では日本海側の新潟・秋田グリーンタフ地域、つまり背弧堆積盆地が主な天然ガス・石油探鉱の対象となっていた。一方、北海道勇払沖油ガス田の生産などにより石炭を根源岩とする石油・天然ガス資源も重要性を増している。北海道中軸部から東北日本太平洋沿岸には白亜紀・古第三紀堆積盆が広く分布しており、石狩炭田や常磐炭田が知られている。これらの久慈炭田をはじめ石狩炭田や常磐炭田に産出する石炭の天然ガス・石油生成能力を明らかにすれば、北海道・東北日本の前弧堆積盆地における新たな天然ガス・石油鉱床の発見の可能性がある。

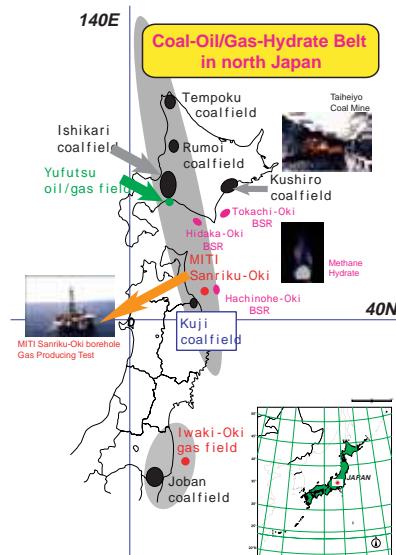


図 2 国内において石炭起源天然ガス、メタンハイドレートの胚胎が有望な地域

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

世界初のメタンハイドレート層からの生産テストを主目的とした掘削調査が、平成 13 年 12 月から平成 14 年 3 月まで、北極海に面するカナダのマッケンジーデルタに於いて行われた。本プロジェクトには石油公団、カナダ地質調査所、米国地質調査所等の機関が参加し、日本、カナダ、米国、ドイツ、インドによる 5 ヶ国共同国際プロジェクトとして実施された。

筆者は、平成 14 年 2 月に本調査に現地参加して、コア掘削で採取した褐炭試料等石炭について堆積環境を中心とした研究を行った。本掘削で得られた褐炭試料を中心にビトリナイト反射率、マセラル組成の分析を行っている。

## 3. その他の研究活動

筆者は、石油技術協会探鉱技術委員会の探鉱新技術分科会委員、SPWLA (Society of Professional Well Log Analysts) 日本支部役員を通じて、天然ガス・石油探鉱技術の研究・開発の推進に努めている。平成 14 年 8 月には当所に於いて第 20 回有機地球化学シンポジウム（有機地球化学研究会の年次報告会）を開催し、世話人の一員として当シンポジウムの世話人として開催準備や期間中の諸作業に参加するなどの活動に努めている。



## 天然ガスハイドレートの分布・産状・メタン量と資源量 Distribution, occurrences and resources of the natural gas hydrates

燃料資源地質研究グループ： 佐藤 幹夫  
Fuel Resource Geology Research Group: Mikio SATOH  
Phone: 0298-61-3907/3677, e-mail: mikio-satoh@aist.go.jp

### 1. はじめに

私は地質調査所海洋地質部入所(1986年)以来、海洋地質における音波探査(地震探査)の専門家として、「日本周辺海域の海洋地質調査及び海洋地質図作成プロジェクト」、「北西太平洋における物質循環の研究(NOPACCS)」、「南極地域石油・天然ガス基礎地質調査(石油公団)」等に従事、参加、協力してきた。1991年より「天然ガスハイドレート(メタンハイドレート)の分布とメタン量及び資源量の推定」の研究を開始し、日本周辺海域及び世界の分布の編纂とメタン量及び資源量の試算を行っている。この間国際深海掘削計画(ODP)で初めての天然ガスハイドレートを主目標とした第164次航海(1995.10~12)に乗船研究者として参加し、この分野の研究の飛躍的な発展に貢献した(図1)。

産総研在籍後は燃料資源地質研究グループに所属し、引き続き「天然ガスハイドレート(メタンハイドレート)の分布とメタン量及び資源量の推定」の研究を行い、当部門の重点研究課題である「石炭起源ガス・ガスハイドレート資源評価技術の開発」に対して貢献していく所存である。

### 2. 天然ガスハイドレート(メタンハイドレート) の分布とメタン量及び資源量の推定

天然ガスハイドレート(メタンハイドレート)は、非在来型資源、地球温暖化物質、海底地滑り等との関係から近年日本のみならず世界中で注目されており、その分布と含まれるメタン量及び資源量の把握が重要である。このため、内外の文献及び旧地質調査所所有の地震探査記録等を使用して、日本周辺海域及び世界の天然ガスハイドレートの分布とメタン量及び資源量の試算を行なった(佐藤ほか, 1996)。



図1 ODP Leg164でBlake Ridgeより回収された天然ガスハイドレート(白色の部分)。灰色部はシルト。

これは我が

図2 日本周辺海域の天然ガスハイドレートの分布。ピンク色はBSRの分布、赤丸は掘削により試料採取された地点。

国で最初のきちんとした分布のまとめ及び試算結果の報告であり、各種文献や政府関係資料で引用されている。

天然ガスハイドレートの研究は現在石油公団を中心にカナダでの実証井・生産テスト井や南海トラフでの基礎物理探査(2D/3D地震探査)及び基礎試錐による掘削調査、またODP等の科学調査等が進行中であり、2002年度には同海域で産総研当部門の研究者を中心とした「地化学探査」の調査航海が予定されている。これらの成果を反映した最新の分布図の作成、産状・分布様式のまとめ及びメタン量及び資源量試算方法の再検討とこれをふまえた試算作業を現在も引き続き行なっている

(図2、図5)。2001年度には現時点でのまとめを総説3編、解説1編及び口頭発表4件(うち3件は依頼講演)にて公表し、2002年度には横浜で開催された第4回ガスハイドレート国際会議(ICGH-4)にて発表した。また2002年9月には北

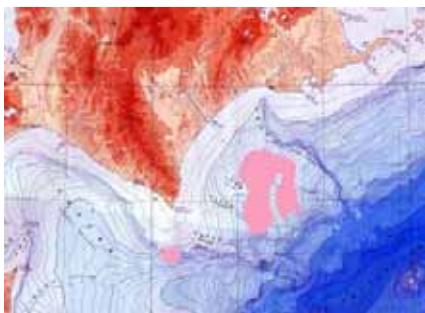


図3 日高・十勝沖のBSR分布(ピンク色の部分).

トの分布は海域に限られ、太平洋、日本海、オホーツク海の海底でその存在が推定されており、このうち南海トラフ(四国沖および東海沖)及び日本海東縁(奥尻海嶺)で試料が採取されている(図2)。日本周辺海域でのメタンハイドレート中のメタン量は $(22\sim150.3)\times10^{12}\text{ m}^3$  (約22~150兆立方メートル), このうち資源として考慮できる程度に集積したものの量(原始資源量)は $(4.4\sim22)\times10^{12}\text{ m}^3$  (4.4~22兆立方メートル)と試算され、後者は日本の天然ガス年間消費量と比して2桁大きく、このうち80~90%以上が南海トラフ周辺及び九州東方海域にあると考えられている。ただしこの値には多くの仮定が含まれているので細かい数字の議論には意味はなく、現状では全メタン量は $10^{13}\sim10^{14}\text{ m}^3$ , 資源量はこれより1桁小さいオーダーであろうという程度の理解に留めておくのが適当である。

### 3. その他の活動

1) 日本エネルギー学会メタンハイドレート研究会での活動: 同研究会に参加し、国内外のメタンハイドレート関係の動向に関する情報交換を行っている。2001年度には研究会メンバーにより日本エネルギー学会誌に「講座メタンハイドレート」の連載(8回予定)を行ったが、このうち2回分(うち1回は共著)を執筆した。また2002年度には受託調査「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調査」を研究会を中心に実施しているが、これに海洋地質の専門家として参加している。

2) 日韓科学技術フォーラム「海洋・地球分科会」への参加: 2001年10月末~11月初めにソウルで開催された同フォーラムに参加し、「日本周辺海域の天然ガスハイドレート」についての講

演を行い、韓国の研究者に対して産総研(旧地調)及び日本の天然ガスハイドレートの分布のまとめを日本地質学会(新潟)にて発表した(図3)。

日本周辺では天然ガスハイドレート

イドレー  
ト研究の  
成果を紹  
介するとともに、韓国の海洋地質科学者(KIGAM, KORDI等)との交流を図り、今後の日韓共同研究への基礎となる情報交換及び人的交流を行った(図4)。

3) ODP及びIODP/OD21への貢献: ODP(国際深海掘削計画)第164次航海(1995.10~12)に乗船研究者として参加し、国際プロジェクトの遂行に貢献した。また、IODP/OD21国内科学掘削推進委員会専門部会員(2001.6~)として、今後の統合国際深海掘削計画(IODP)の立ち上げに協力している。

### 参考文献

- 佐藤幹夫・前川竜男・奥田義久(1996), 天然ガスハイドレートのメタン量と資源量の推定, 地質学雑誌, 102(11), 959~971.
- 佐藤幹夫・青木 豊(2001), メタンハイドレート資源の地質と探査(講座ガスハイドレート(III)). 日本エネルギー学会誌, 80(10), 973~995.
- 佐藤幹夫(2001), メタンハイドレートの分布とメタン量及び資源量(講座ガスハイドレート(IV)). 日本エネルギー学会誌, 80(11), 1064~1074.
- 佐藤幹夫(2001), メタンハイドレートの分布とメタン量・資源量. 海洋と生物, 23(5), 460~464.
- SATOH, Mikio (2002), Distribution and resources of marine natural gas hydrates around Japan. Proceedings of The Fourth International Conference on Gas Hydrates, 175~178.

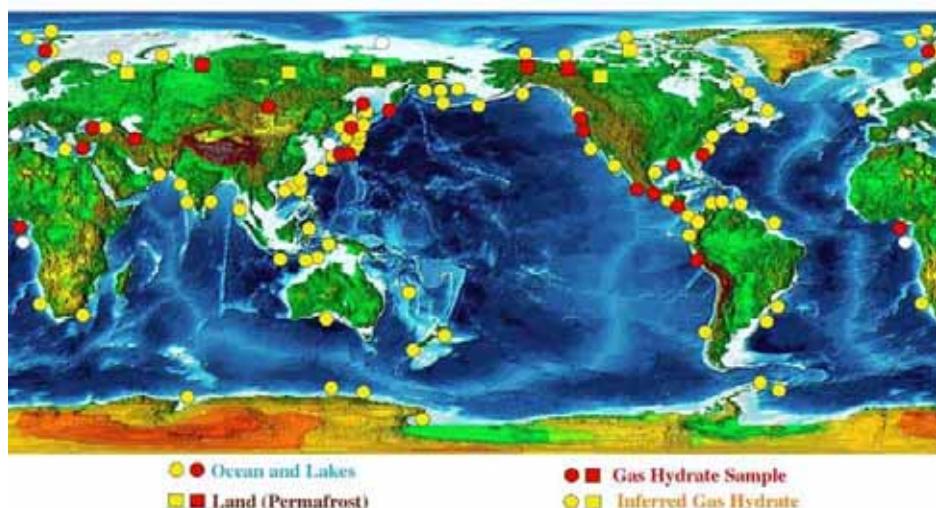


図5 世界の天然ガスハイドレートの分布. 丸は海域、四角は陸域。赤は試料採取(確認)地点、黄は推定地点。



図4 第3回日韓科学技術フォーラム(ソウル)「海洋・地球分科会」での発表者。



## 燃料資源探鉱のための基礎的研究と関連業務に従事

Basic researches and related activities  
for fuel resource exploration

燃料資源地質研究グループ： 徳橋秀一  
Fuel Resource Geology Research Group: Shuichi Tokuhashi  
Phone: 0298-61-3951, 3676; E-mail: tokuhashi-s@aist.go.jp

### 1. まえがき

筆者は、(1) 石油・天然ガスのタービタイト貯留岩に関する基礎的研究、(2) 石炭（夾炭層）起源天然ガス探鉱に関する共同研究の推進、(3) 九十九里周辺の水溶性天然ガス田の燃料資源図作成、(4) その他の予察的研究、(5) 各種の対外関連業務への協力、等に従事している。

### 2. タービタイト貯留岩に関する基礎的研究

近年、石油・天然ガスの探鉱フロンティアが大水深化するにつれ(図1)，半深海域以深で形成されるタービタイト砂岩の石油・天然ガス貯留岩としての役割がますます注目され、地下深部でのタービタイト貯留岩の分布や特性を効率的に予測するために、その堆積機構・堆積環境・堆積形態に関する議論が世界的に活発に行われている。筆者は、背弧側の新潟堆積盆、前弧側の南関東堆積盆（房総半島）で形成されたタービタイト砂岩の堆積学的研究に従事するとともに、タービタイトに関する最近の議論の動向や問題点について、学会等で発表している。また、タービタイトに関する適当な日本語解説書がないことから、これまで共著者とともに地質ニュースに連載した＜タービタイトの話＞シリーズや関連した話題を集めた単行本「タービタイトの話（地質ニュース復刻版）」を今年7月に発行し、好評を得ている（図2）。

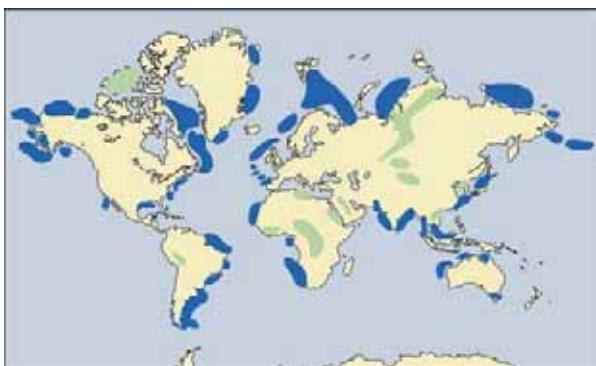


図1 世界の主要な炭化水素探鉱フロンティア（青い部分が、大水深探鉱地域）  
(D. A. V. Stow et al., 2000).

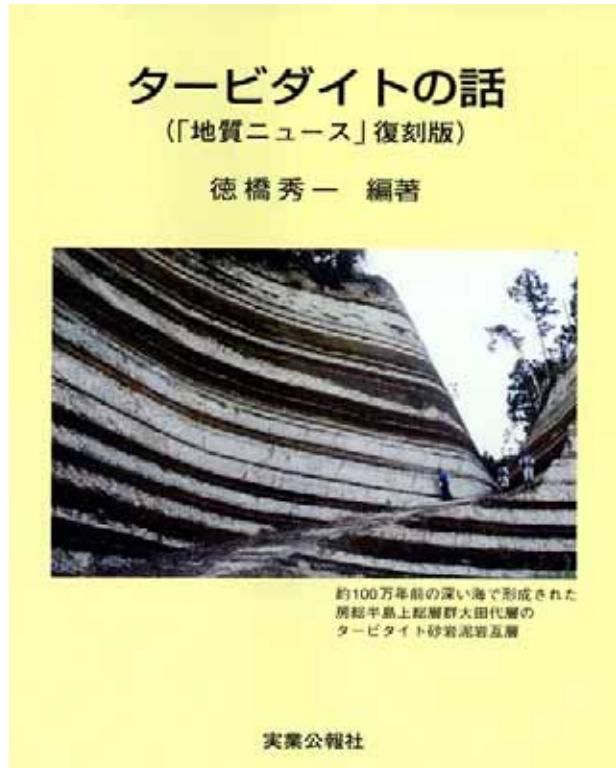


図2 「タービタイトの話（地質ニュース  
復刻版）」（実業公報社刊）の表紙。

### 3. 石炭起源石油・天然ガス探鉱に関する共同研究の推進

北海道勇払ガス田での生産開始（平成8年）、基礎試錐「三陸沖」産出テストでの大量の天然ガスの噴出（平成11年）など、最近、東北日本三陸沖から北海道中軸低地帯にかけて分布する古第三紀などの石炭（夾炭層）起源の天然ガスポテンシャルが注目され、ガスの生成機構の解明やポテンシャルの見直しが求められている。こうした背景から、石炭や地質の研究に実績を有する産総研の燃料資源研究2グループの研究者と三陸沖海域のデータを豊富に有するジャパンエナジー石油開発株式会社との間で平成12年に共同研究を立ち上げ、現在、三陸沖燃料資源図の作成や三陸海岸周



図3 北海道の露天掘り石炭（北菱美唄炭鉱）。

辺～北海道中軸低地帯の石炭の調査・分析の実施などをプロモートしている（図3）。

#### 4. 水溶性天然ガス田の燃料資源図作成

千葉県産の水溶性天然ガスは、日本の天然ガス生産量の約2割を占め、その大半が九十九里周辺から産出している（図4）。また、ガスを産出するために揚水するかん水からは、世界の約1/3のヨウ素を生産している。現在、九十九里地域の水溶性天然ガス・ヨウ素生産会社の技術者の協力を得ながら、九十九里周辺水溶性ガス田全体の概要を示す燃料資源図の作成を準備している。



図4 水溶性天然ガスの生産施設

#### 5. その他の研究（予察的研究）

現在、韓国地質資源研究院（KIGAM）の石油－海洋資源研究部門の研究者との間で、日本海とその周辺に分布する日本と韓国の第三紀堆積盆の構造・層序・石油システム等に関する比較論的研究について予察的な検討を行っている。これまでにKIGAM研究者の短期フェロー研究員としての受



図5 韓国浦項堆積盆縁辺部の第三紀層（ファンデルタ堆積物？）。

入と情報交換、日韓両国の地質の予察的見学（図5）、関連資料の収集などを行っている。

#### 6. 各種対外関連業務等への協力

現在、資源エネルギー庁の国内基礎調査実施検討委員会委員、石油公団の基礎試錐技術検討委員会委員長、京葉天然ガス協議会の環境委員会生産技術部会学識者検討会委員、石油技術協会理事（探鉱技術委員会委員長）などの委嘱を受け、それぞれの業務や活動の円滑な実施と発展のために協力している。また、千葉大学大学院自然科学研究科の客員教授として講義等を行っている。

#### 参考文献

徳橋秀一編著：「タービダイトの話（地質ニュース復刻版）」2002年7月実業公報社発行。カラーポスター7ページ、本文約250ページ。定価2000円（税込、別途送料必要）。（問合・注文先：実業公報社 Tel: 03-3265-0951 ; FAX: 03-3265-0952 ; E-mail: j-k@jitsugyo-koho.co.jp）



## タービダイト貯留岩研究を中心として Focusing on turbiditic reservoir studies for petroleum exploration

燃料資源地質研究グループ：中嶋 健

Fuel Resource Geology Research Group: Takeshi Nakajima

Phone: 0298-61-3958, e-mail: takeshi.nakajima@aist.go.jp

### 1. まえがき

産総研発足以降の私の個人研究活動は、①タービダイト貯留岩研究、②東北日本油田地帯のテクニクス・鉱床成因についての研究、③その他の活動等に分けられる。

### 2. タービダイト貯留岩研究

国内外の石油・天然ガス探鉱の大水深化により石油産業界で急速にニーズの高まっているタービダイト貯留岩についての研究を、筆者は従来行ってきた海洋地質学・堆積学の経験を生かして中心的課題として取り組んでいる。

#### 2. 1. 深海底のマッドウェーブの形成モデルと貯留岩評価の研究

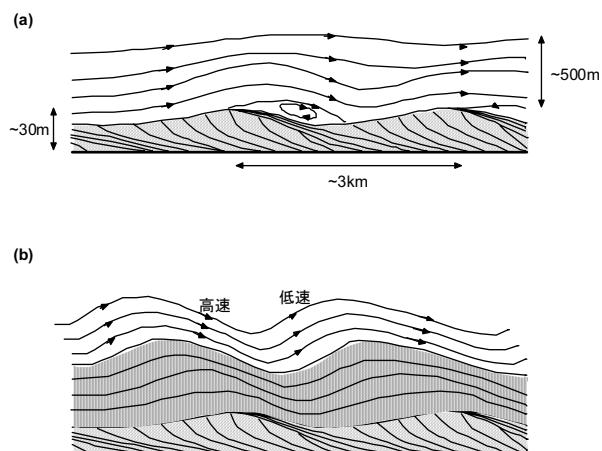


図1 深海底マッドウェーブの形成モデル。  
(a) 強力な乱泥流による巨大な水底デューンの形成 (b) 後続の小規模な乱泥流によるウェーブの成長

深海底にはマッドウェーブと呼ばれる、タービダイトで構成された波長数キロに及ぶ巨大な堆積地形が存在することが知られていたが、発見から40年間にわたりその形成機構が解明されていなかった。筆者らは日本海富山深海長谷沿いに分布するマッドウェーブの海洋地質学的研究から、マッドウェーブが乱泥流により形成された巨大な水底デューンをきっかけとして多数の乱泥流と堆積地形の相互作用の結果成長するとの新たなモデル（図1）を提唱し、権威ある国際堆積学会のSedimentology誌に掲載された。

筆者らの発見は、従来泥質堆積物が中心で貯留岩にはなりにくいと考えられていたマッドウェーブの基底に、良好な貯留岩に成りうる水底デューンの砂岩が存在することを予測するもので、深海底マッドウェーブが今後の探鉱ターゲットとなる可能性を示した。筆者は今春 Houston で開かれた米国石油地質協会（AAPG）年会でもこの成果を発表し、石油開発企業を含めた多くの参加者から反響を得た。

#### 2. 2. タービダイト貯留岩の層厚分布に関する統計学的研究

貯留岩の3次元分布や、炭化水素埋蔵量推定の基礎となる貯留岩の体積についての情報は、物理探査記録や坑井で得られる貯留岩の層厚分布から通常は間接的に推定されている。筆者は貯留岩の分布や体積の推定精度の向上を目標に、タービダイトを例に取って層厚から体積分布等を導く統計

学や確率論的手法 (Stochastic modeling) のレビューを行い、石油技術協会誌に発表した。国内石油開発企業はこれから Stochastic modeling を導入して貯留岩評価に取り組もうとしている段階にあり、タイムリーに発表された筆者の論文は国内企業研究者から反響をいただき、既に共同研究の打診も受けている。

### 3. 東北日本油田地帯のテクトニクス・鉱床成因についての研究

秋田・新潟の油田は開発の歴史が古いにも関わらず、なぜ根源岩生成の場となった女川の海が生まれたのか、あるいはなぜその後貯留岩となったタービダイトが油田地帯に堆積したのか等、基本的な鉱床の成因が未だ十分解明されたとは言えない。筆者はテクトニクスと鉱床成因との関係の解説を目指して秋田堆積盆をモデルにしてフィッショニ・トラック年代測定による広範囲の年代層序とテクトニクスの対比を行っている。現在までの研究の結果、①中・後期中新世の女川堆積盆の形成・閉鎖的還元的日本海の形成（根源岩の成立）、②鮮新世のタービダイト貯留岩の形成（貯留岩の成立）、③鮮新世以降の油田地質構造の形成（トラップの成立）のすべてにテクトニクスが主要な役割を果たしてきたことが明らかになりつつある。この結果は、従来の東北日本の後期新生代テクトニクスモデルのメジャーな改訂を行うとともに、リフトベースンに発達した世界の同様な石油・天然ガス鉱床の鉱床成因モデルにも大きな影響を及ぼしうる成果だと考えている。その成果の一部は既に秋田大学のシンポジウムや地質学会で発表した他、現在外部予算に応募中で、本研究の成果は今後いくつかの論文として出版の予定である。

### 4. その他の活動

石炭起源天然ガス資源の研究として、三陸沖等のポテンシャル評価に関するジャパンエナジー

(株)との共同研究を行っている。南海トラフのガスハイドレート地化学探査に関する委託費について研究分担を行っている。またタービダイト貯留岩に関するノルウェー・トルコとの国際共同研究や、燃料資源に関する基礎的研究として南極海の古環境・堆積作用に関する研究など広範な燃料資源研究に取り組んでいる。また、石油技術協会砂岩分科会委員として学会活動にも取り組んでいる。

### 5. 参考文献

- Nakajima T. and Satoh M. (2001) The formation of large mudwaves by turbidity currents on the levees of the Toyama Deep-Sea Channel, Japan Sea. *Sedimentology*, 48, 435–463.
- 中嶋 健 (2002) タービダイト層厚分布の統計学的解析—その貯留岩キャラクタリゼーションへの応用の可能性—. 石油技術協会誌, 67, 308–320.



## 燃料資源にかかる熱流量探査の研究 Heat flow surveys with special reference to fuel resources

燃料資源地質研究グループ： 松林 修  
Fuel Resource Geology Research Group: Osamu Matsubayashi  
Phone: 0298-61-3695 e-mail: matsubayashi-osamu@aist.go.jp

### 1. はじめに

石油・天然ガスなどの化石燃料資源（または炭化水素資源）の探査および資源評価において色々な手法が組み合わせて用いられるが、ここではこれらの手法の中で熱流量探査（もっと広くは地温測定）が果たす役割という観点から、熱流量研究の動向と活動を紹介する。「熱流量」とは地球表面単位面積・単位時間当たりの熱伝導的エネルギー輸送量（単位は  $\text{mW}/\text{m}^2$ ）のことである。実際には地温勾配  $dT/dz$ （鉛直方向下向き）と地層熱伝導率  $k$  との積として与えられる観測量である。火山などの地質条件の場において地下温度が顕著に高いような場合にそれが地熱エネルギーとして利用可能であることは明らかであるが、ここでは地熱エネルギーには触れず、話題を限定して石油・天然ガス・ガスハイドレートなどの炭化水素資源の資源探査と資源評価の関連分野にしぼる。これら燃料資源が地層中で地質学的な長時間をかけて熟成するプロセスに際して地層温度の条件は最も重要なものの一つであって、在来型資源である石油に対する「オイル・ウィンドウ」の温度は大体  $70\text{--}120^\circ\text{C}$  程度の範囲とされた。但し、反応時間のファクターも同時に考慮されねばならず、石油堆積盆での資源評価においては熱履歴をトータルで考えることが行われてきた（例えば Waples, 1985）。近年は資源評価のための堆積盆地質モデリングの進歩が著しく、以前より定量性が高まってきており熱流量をパラメータとして考慮するものが多くなっている。以下で熱流量の値が実際どのような分布か、どうすれば従来のデータ欠落域について良質のデータが取得できるかを考察する。

### 2. 热流量データの地域的分布について

例としてアジアにおける大規模堆積盆における熱流量値を挙げると、東南アジアの場合は比較的データがよくそろっていて、平均熱流量値が低いものとしては東マレーシアのサバ堆積盆において  $58 \text{ mW/m}^2$ 、反対に高い平均値としてベトナム北部のレッド・リバー堆積盆にて  $117 \text{ mW/m}^2$  となっている。余り大きな違いではないが、地域毎に幾らかの差異が見られる (GSJ and CCOP, 1997; 松林, 1997)。一般に、高い平均値の所は地質時代の火成活動の痕跡があるとか、断層帯を含んでいて現在またはごく最近まで活動的であったというような原因をもっている。これらのマッピングされた熱流量データは、大多数が深さ数千mに達する資源探査坑井における坑底温度測定の結果から求めたものである。他方で、世界中の海洋底でも 1960 年代以来熱流量測定が行われている。日本周辺海域では 1990 年終わり頃から、ガスハイドレート資源の面からも注目される南海トラフ海域において NEDO のプロジェクトや大学や JAMSTEC の研究航海によって海底表面熱流量の精査が盛んに行われた (山野ほか、2000)。測定点の分布が密になってくるに従って、そこから抽出できる熱的な情報精度を高くすることができる。これら西南日本周辺のデータについては、他の地球物理的観測量とともに GSJ and KIGAM (2002) の CD-ROM にも収録されて公開されている。

### 3. 海域での熱流量測定法の技術開発 - 最近の話題 -

従来、学術的に熱流量の測定対象となった水深の深い海底面では表層温度環境が非常に安定性が高いので、長さ数メートルの槍型熱流量プローブ

により正確な地温勾配が測定された。表層の堆積物がプローブの刺さる程度に軟らかい限りは、原理的にこの方式で資源調査海域でも熱流量測定点を増やすことが可能である。しかしここに2つの問題がある。一つは陸に近く水深が浅くて海底水温変動が熱的に大きい場合であり、もう一つは表層堆積物が固結していて硬い場合である。この両方の問題に対して私は現在技術開発に取り組んでおり、これらに成功すれば熱流量情報の整備に貢献できると期待している。

### (3-1) 硬い堆積物中での海底表層熱流量測定

この問題に対処するため、我々は簡易ドリル式熱流量測定装置を開発・実験中である。ガスハイドレート分布海域の海底表層には、その特徴的な化学的反応により炭酸塩岩を主とするクラストが生成している場合がしばしばある。そのような硬い表層堆積物を突き刺して熱流量測定ができるよう、海底で潜水船やROVを用いて細い穴をドリリングしたのち精度良い温度測定ができるような装置を考案して、2002年夏に南海トラフの熊野海盆において実験を行った。解決すべき技術的な要素は、バッテリーの電源でドリリングする際のモーター・トルクを確保することや水圧への対策であったが、それらについては一応の成功を収めた。今後、掘削摩擦熱の影響が減衰して温度が平衡に達するまでの長時間観測を行い、この方式の実用性を見極める予定である。

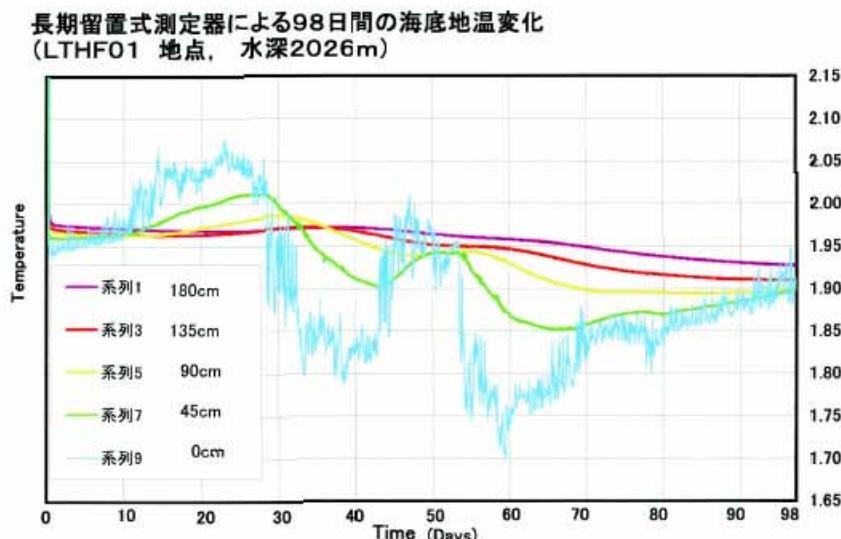
### (3-2) 海底表層での長期温度測定

炭化水素資源（ハイドレートを含む）の分布域は一般に陸に近く、従来の海底熱流量測定法が

そのまま適用できないことが予想され、海底表層堆積物中での温度変化を観測してそこでの熱的な状態を詳しく調べることが重要である。下の図は四国室戸岬沖の2026m水深の海底において長期観測用槍型プローブを設置して98日にわたる温度測定を行った結果（松林・山野、2001）であるが、この点の底層水温の変動幅は予期したよりも大きくこのような場合の熱流量データの解釈は十分な吟味が必要であることが示された。底層水温変化のスペクトルは場所場所によって異なるものと考えられるので、この種の観測点をさらに増やして実体を明らかにできるように努力している。

## 4. 参考文献

- GSJ and CCOP (1997) Heat flow map of East and Southeast Asia 1:5,000,000 with explanatory text, GSJ Misc. Map Ser. 36,
- GSJ and KIGAM (2002) Geoscientific maps of southern part of Korea, western part of Japan and their adjoining seas 1:4,000,000 (CD-ROM Version), GSJ-AIST and KIGAM.
- 松林 (1997) 東南アジア地域の新しい地殻熱流量データ. 地質ニュース 517, 20-23.
- 松林・山野 (2001) 付加体中の流体移動の解明に関わる海底熱流量の長期観測. 月刊地球号外 No.32, 220-225.
- Waples (1985) Geochemistry in petroleum exploration. D.Reidel Publishing Company, 232p.
- 山野・木下・松林・中野 (2000) 南海トラフ付加体の温度構造と間隙流体による熱輸送. 地学雑誌 109, 540-553.





## 南海トラフ付加体の地質構造と天然ガスポテンシャル Geologic structure and natural gas potential in the Nankai Prism

燃料資源地質研究グループ： 森田澄人

Fuel Resource Geology Research Group: Sumito Morita  
Phone: 0298-61-2490, e-mail: morita-s@aist.go.jp

### 1. まえがき

私は石油公団石油開発技術センターにおける2年間の出向期間を終え、2002年4月に産総研に復帰した。個人研究活動は、①南海トラフ付加体の地質構造とBSR分布、②熊野海盆泥火山の地質とガスポテンシャル、及び石油公団勤務時を含めた③メタンハイドレート資源開発、そして④その他研究活動等に分けられる。

### 2. 南海トラフ付加体の地質構造とBSR分布

南海トラフ付加体にはメタンハイドレートの分布指標となるBSR (Bottom Simulating Reflector: 海底擬似反射面) が広く分布している。本研究ではBSRの分布、深度、振幅及び地質構造との関連から、天然ガス及びメタンハイドレートの集積メカニズム解明を推進している。

室戸沖で行われた日米共同3D地震探査のデータ解析により、巨大逆断層帶ではBSRが逆断層の上盤側に明瞭に現れることを明らかにした。また調査海域全体にわたり、BSR深度から求めた地殻熱流量が海側へ向かって、逆断層ブロック内の上昇と逆断層を介した急落を繰り返すノコギリ型の変化を示すことを求めた(図1)。また、以上の特徴から付加体の褶曲／逆断層構造に特有の地層間隙流体の移動モデルを提案した(図2)<sup>1)</sup>。

### 3. 熊野海盆泥火山の地質とガスポテンシャル

近年、熊野海盆では直径2km以下、比高100m前後の泥火山群が確認されている(図3)。本研究では泥火山の形成様式と起源、そして泥火山本体及びその周辺地層における天然ガスポテンシャルを追求している。

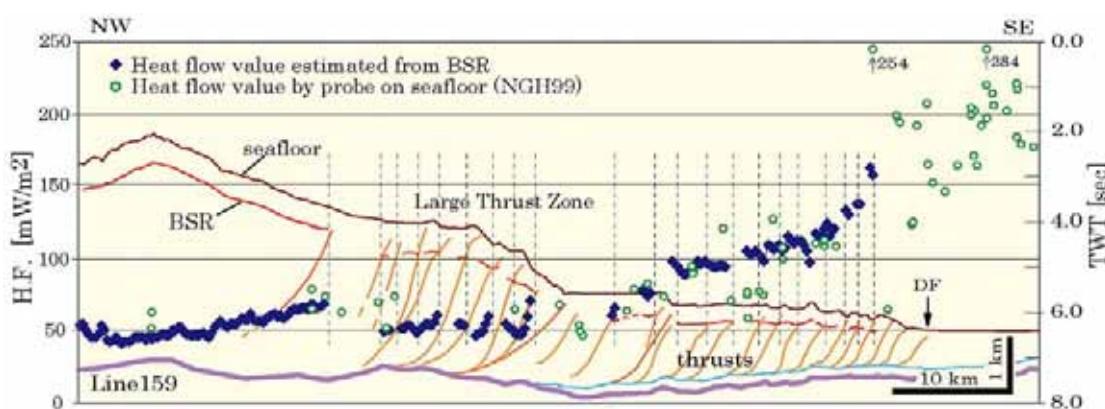


図1 室戸沖南海トラフ付加体でのBSR分布と地殻熱流量変化。

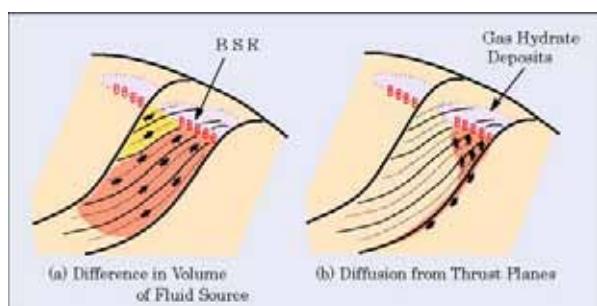


図2 巨大逆断層帶での流体移動様式。逆断層ブロック内では、地層に沿った移動と浅部地層での拡散が流体移動をコントロールしている。

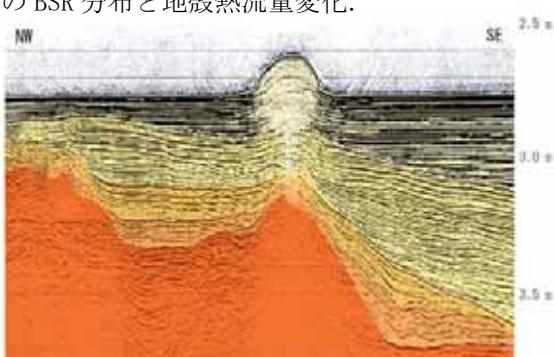


図3 熊野海盆泥火山の一つ、第3熊野海丘の地震探査断面。熊野海盆堆積層と指交構造を示す(基礎物理探査「東海沖-熊野灘」)。

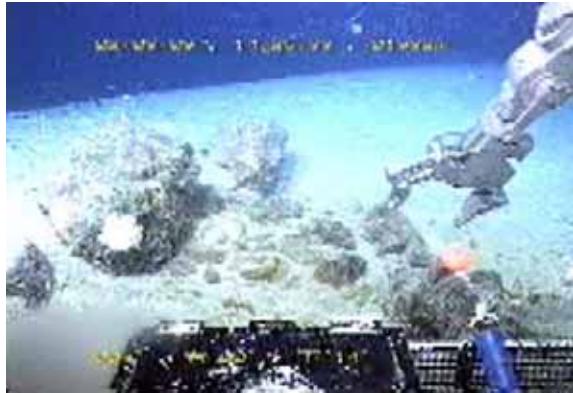


図4 第4熊野海丘での岩石試料採取。泥質の表層では所々に岩石が点在する(ROV「かいこう」)。

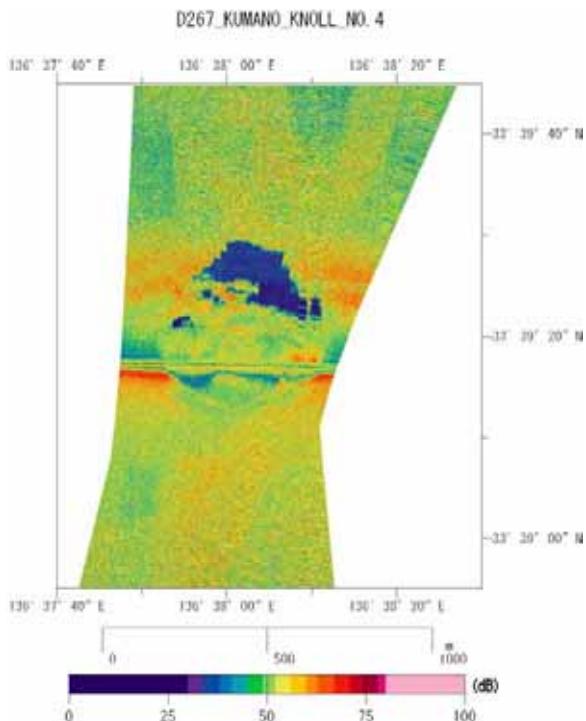


図5 第4熊野海丘は概してプリン型の地形を示し、さらに上部平坦面中央に高まりを持つ(「かいこう」サイドスキャンソナー画像)。

潜航調査船「しんかい 6500」及びROV「かいこう」による海底観察、底質サンプリング(図4)及び音響探査(図5)を行い、多くの泥火山が中期中新統堆積物の噴出物で構成されることがナノ化石の同定から明らかになった<sup>2)</sup>。また、泥火山表層は起伏に富み、クレーターや化学合成生物コロニーが観察され、炭化水素ガスを含んだ冷湧水の存在が認められた。現在、泥火山で採取した底質試料について有機物分析を行っている。

#### 4. メタンハイドレート資源開発

経済産業省のメタンハイドレート資源開発計画を受け、石油公団においてメタンハイドレート資源開発研究コンソシアム(MH21:2001年度～)の発足と研究計画の策定に携わった。

研究面においては、国際共同研究マリックプロ

ジェクト(2001年度)に加わり、永久凍土地域であるカナダマッケンジーデルタのメタンハイドレート層掘削・コアリングとガス生産試験に参加した(図6)。

また、基礎物理探査として東海沖・熊野灘海域において2D(2001年度)及び3D地震探査(2002年度)<sup>3)</sup>を実施し、現在解釈作業を進めている。さらに2002年末から2003年初頭にかけて、同海域においてメタンハイドレート資源探査を目的とした地化学探査を実施する。これにはピストンコアリングを中心とする底質調査を行う予定である。



図6 カナダマッケンジーデルタでのメタンハイドレート掘削リグ。この時期、外気は-40℃台。

#### 5. その他の活動

天然ガスポテンシャルの評価を目的とした堆積盆地の地質構造解析とその復元を行うため、熊野海盆の地震探査記録の解析を今秋開始した。

またInternational Lithosphere Program(ILP)におけるメタンハイドレート・アトラス・プロジェクトの推進活動として、世界のメタンハイドレート分布域のデータベース用資料を収集中である。

#### 参考文献

- 1) Morita, S., Nakamura, Y., Kuramoto, S., Taira, A., Bangs, N.L., Shipley, T.H., and Moore, G.F. (2002) Distribution of BSR and Possible Fluid Migration in the Western Nankai Trough. Proceedings of the Fourth International Conference on Gas Hydrates, 150-153.
- 2) Morita, S., Aoike, K., Sawada, T., Ashi, J., Gulick, S.P.S., Flemings, P.B., Kuramoto, S., Saito, S., Mikada, H., Kinoshita, M. and Science Parties on YK02-02 and KR02-10 (2002) Observations and Rock Analyses in a Kumano Mud Volcano in Nankai Accretionary Prism. EOS, American Geophysical Union, in press.
- 3) Morita, S., Shimizu, S., Ochiai, K., Amano, H., Ishiyama, T., Hato, M., Inamori, T., Takayama, T., Baba, K., Tanaka, T., and Unou, S. (2002) JNOC's High-Resolution 2D and 3D Seismic Surveys for Methane Hydrate Exploration in the Eastern Nankai Trough. Proceedings of the Fourth International Conference on Gas Hydrates, 154-157.



## 日本海拡大時に堆積した淡水成堆積物 Fluvial and lacustrine deposits related to the opening of the Japan Sea

NEDO 養成技術員： 小松原純子

NEDO fellow: Junko Komatsubara

Phone: 0298-61-3800, e-mail: j.komatsubara@aist.go.jp

### 1. はじめに

世界の石油・天然ガス鉱床は、開裂堆積盆もしくはプルアパート堆積盆に胚胎することが多い。たとえば新潟・秋田、あるいは北海などの油田・ガス田がよい例である。とくに開裂時の急速な沈降によって堆積した厚い砂岩や火砕岩は良好な貯留岩になりうることが知られており、近年注目を集めている。

筆者は昨年10月から1年半の予定でNEDO養成技術員として地図資源環境研究部門に在籍している。日本海形成初期の開裂堆積盆で形成された厚い淡水成層を対象に、その堆積盆発達モデルを構築することを目的として研究を行っている。

ここでは現所属以前から引き続き行っている研究の内容を紹介したい。

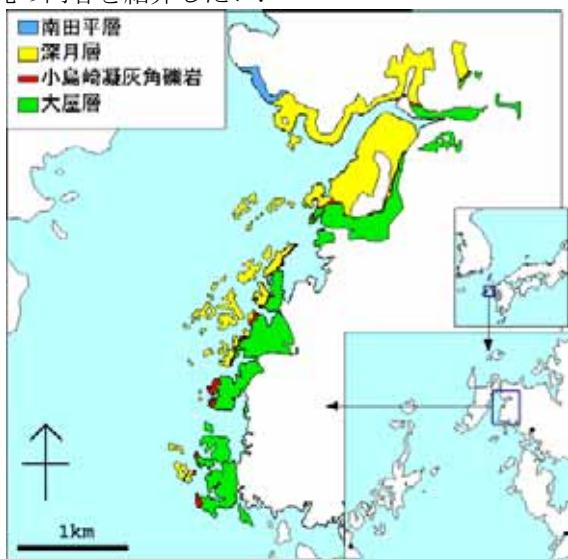


図1 調査域の野島層群の分布

### 2. 野島層群

日本海が拡大し始めた初期には淡水湖が発達しており、その堆積物は現在の日本海の沿岸に点在している。それらの地層のなかでも露出がよく、地質構造が単純で、変成を被っていないことから、長崎県北松浦郡の海岸沿いと離島に分布する下部中新統野島層群を調査対象とした(図1)。下位から大屋層、深月層、南田平層の3層に分けられて

いる。大屋層下部と深月層中部からは淡水棲貝化石が報告されている(Matsushita, 1949; 沢田, 1958)。南田平層中部からは放散虫化石、最上部からは海棲貝化石が報告されており(長浜, 1954; 加藤, 1992)、南田平層中部以上では海水の影響があつたことが明らかである。

### 3. 総有機炭素・硫黄含有量

日本海に海進が起こる前の堆積物であることを確認するため、泥岩について総有機炭素含有量(TOC)と総硫黄含有量(TS)を測定した。風化・変成を受けていない通常の堆積物では淡水成堆積物と海成堆積物とでTSと総有機炭素含有量と総硫黄含有量の比(C/S)に明らかな差が出るといわれている(泊ほか, 1983; Berner, 1984; Berner and Reiswell, 1984など)。その結果、淡水棲貝化石を産しない層準もすべて淡水成であるという結果を得た(図2、現在露出がない最上部を除く)。これはつまり野島層群は海水準とは直接関係なく、主に構造運動のみに支配されて堆積したということを示す。

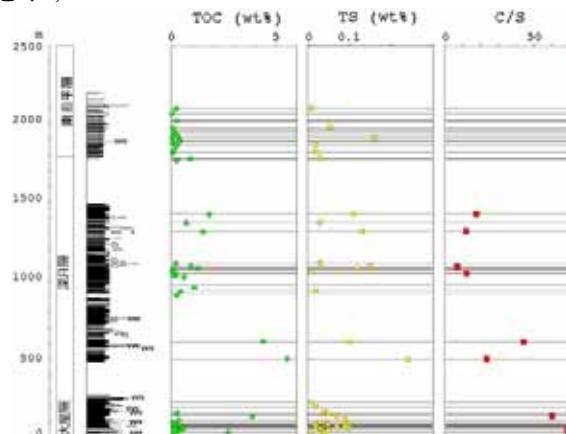


図2 野島層群のTOC、TS、C/S

### 4. 堆積相・古流向解析

岩相と堆積構造から野島層群を構成する地層は9種類の堆積相、7つの堆積相組み合わせに分類され、その三次元的な分布から淡水湖、淡水デルタ、河川の3つの堆積環境が推定される(図3)。砂岩の斜交層理から求めた古流向は南から北で、

堆積物は南から供給されたことを示す。貯留岩になりうる淘汰のよい細粒ー中粒砂岩層（図4）はデルタフロントや分流流路や河川流路で堆積した。砂岩体を取り囲むように分布する泥層（図5）は湖底もしくは氾濫原で堆積した。

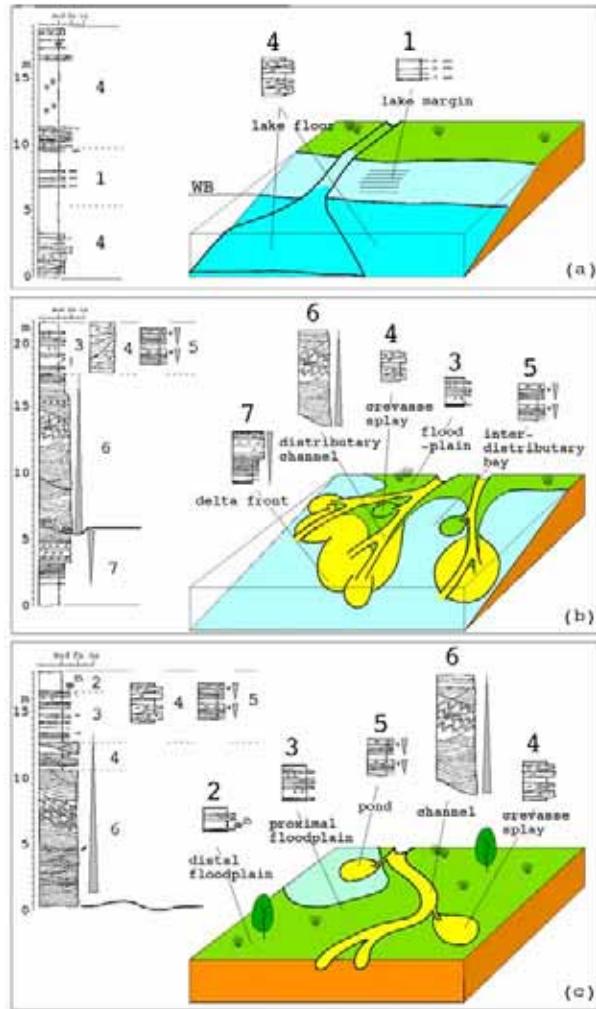


図3 野島層群の堆積環境

## 5. 日本海拡大との関連

2200m以上に及ぶ完全に非海成の堆積物が一連整合の地層として残っているということは、大量の堆積物の供給と、それを堆積させるだけの堆積盆の沈降がなければならない。深月層基底の小島崎凝灰角礫岩層からはFT年代( $18.5 \pm 2.3$  Ma,  $18.9 \pm 2.9$  Ma; Sakai et al., 1990)が得られており、これは日本海の拡大時期に一致する。また日本海の拡大テクトニクスに重要な役割を果たしたとされている対馬-五島構造線と野島層群の堆積盆は現在の位置で70km程度しか離れておらず、復元された堆積環境もすでにわかっている対馬-五島構造線の活動に調和的である。ゆえに野島層群は直接的には対馬-五島構造線の影響下で堆積したと考えられる。

## 6. 現在進行中の事柄

1990年のIUGS地質年代小委員会でFT年代の標



図4 野島層群に特徴的な淘汰のよい砂岩層



図5 植物根化石の卓越する氾濫原堆積物

準化に関する勧告が出され、それ以前に出されたFT年代は参考値と見なされるようになった。そこで改めて小島崎凝灰角礫岩層を含む凝灰岩層の年代を測定し直した。測定は(株)京都フィッシュントラックに依頼した。現時点での結果はSakai et al. (1990)とおおむね一致しているものの、層準によっては外来粒子が非常に多いなどの問題があり、今後検討していく必要がある。

## 参考文献

- Berner, R. A. and Raiswell, R., 1984, C/S method for distinguishing freshwater from marine sedimentary rocks. *Geology*, 12, 365-368.
- Berner, R. A., 1984, Sedimentary pyrite formation: An update. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 605-615.
- 加藤敬史, 1992, 野島層群の地質年代. 日本地質学会西日本支部報(101), 20.
- 泊武, 坂本亨 and 安藤厚, 1983, 茨城県中部地域における上部新生界堆積岩の全硫黄量と堆積環境. 地調月報, 34(6), 279-293.
- 長浜春夫, 1954, 佐世保炭田におけるいわゆる佐世保層群上部について. 地調月報, 5, 413-440.
- Matsushita, H., 1949, A summary of the Palaeogene stratigraphy of Northern Kyushu. *Memoirs of the Faculty of Science, Kyushu University, Series D*, III(2), 91-107.
- Sakai, H., Nishi, H. and Miyachi, M., 1990, Geologic age of the unconformity between the Sasebo and the Nojima Groups, Northwest Kyushu and its tectonic significances. *Journal of the Geological Society of Japan*, 96(4), 327-330.
- 沢田秀穂, 1958, 日本炭田図 II 北松炭田地質図説明書. 地質調査所. the Geological Society of Japan, 96(4), 327-330.

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

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

### 1. グループの研究目的

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

### 2. グループの研究資源

#### 1) グループ員

|       |                                     |
|-------|-------------------------------------|
| 坂田 将  | リーダー, 東北大学併任                        |
| 猪狩俊一郎 |                                     |
| 金子 信行 |                                     |
| 鈴木祐一郎 |                                     |
| 前川 竜男 |                                     |
| 小田 浩  | 燃料資源地質研究グループ<br>より分担                |
| 古宮 正利 | 地球科学情報研究部門微小<br>領域同位体研究グループ<br>より分担 |

#### 2) 予算

##### 運営費交付金

- 資源有機地化学の研究（エネルギー）
- 資源有機地化学の研究（地質）

#### 3) 主な研究設備

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

### 3. グループの特色

有機・生物地球化学、石油地質学、石炭岩石学の専門家集団であり、燃料資源を対象として、炭化水素の起源や鉱床成因等を検討し、資源量予測や鉱床探査に必要な理論とデータを提供する。



図1 ガスクロマトグラフ燃焼同位体質量分析計。  
 メタンやバイオマーカー等、特定炭化水素成分の炭素同位体比を測定するための装置。

また当研究部門の重点課題「石炭起源ガス・ガスハイドレート資源評価技術の開発」の地化学分野を分担し、成因や資源としての可能性の検討を行う。資源としての微生物起源メタンの地球化学的、鉱床学的研究を行っている点を特徴とする研究グループである。

### 4. 14年度前期までの研究進捗状況

#### 1) ガスハイドレート資源評価技術の地化学的研究

- ・室内合成実験により、エタン・プロパン等の炭化水素ガス及びそれらの混合ガスについてのガスハイドレートの相平衡条件を決定。実験結果に基づき相平衡条件の統計熱力学パラメータを算出、プログラムの改良により多成分系の



図2 ガスハイドレート合成実験装置

相平衡条件の推定への拡張を実施.

- ガスハイドレートの分布が推定されている南海トラフ海域において、メタン冷湧水域、泥火山直上等から海底堆積物試料を採取。東海沖堆積物中の炭化水素組成を分析、メタン消費アーケア起源のバイオマーカーを検出。

#### 2) 石炭起源ガス資源評価技術の地化学的研究

- 炭質・バイオマーカー分析をもとに石炭の堆積環境を把握するため、北海道太平洋炭鉱、石狩炭田美唄・夕張・空知地区で石炭、炭質頁岩等を採集。
- 三陸沖天然ガス鉱床との関連が推定される久慈炭田の石炭試料について、ビトリナイト反射率測定、石炭組織分析を実施。
- ・筑豊および佐世保炭田について、既存の炭質データ（発熱量・揮発分）に基づき炭質の空間的な変化を解析。
- 石狩炭田の炭田ガスの過去の分析結果（未公表）と石炭化度やバイオマーカーを比較検討中。
- 北海道産原油・石炭試料のバイオマーカー解析により石炭起源と非石炭起源の原油を識別。

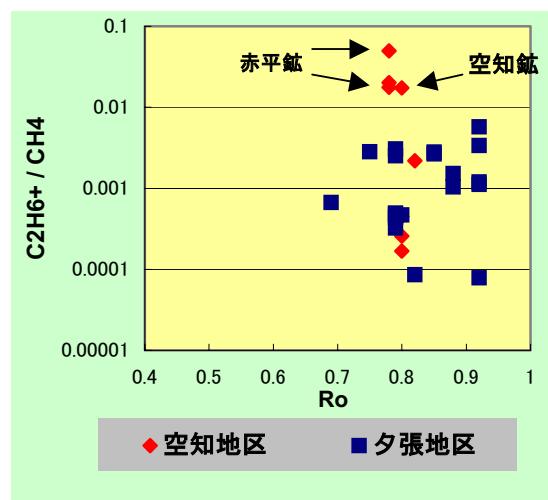


図3 石狩炭田の石炭ガス分析。赤平・空知炭鉱のガス組成が他と大きく異なっている

#### 3) 在来型天然ガス資源等の地化学的研究

- 東北日本、南関東、沖縄等の水溶性天然ガス・付随水を採取、化学組成、同位体比を測定し、メタンの起源や鉱床成因を地化学的に検討。
- アーケアによるメタン生成反応における炭酸塩鉱物起源溶存炭酸の寄与の重要性を明示。堆積盆地における堆積物の埋没・圧密による間隙水の滞留に基づく元素濃集モデルを提示。
- 新潟中条ガス田のガス組成をもとに、2,2-ジメチルブタン/2,3-ジメチルブタン比等がガスの相対的な生成温度比較の指標として有効である可能性を提案。

#### 4) 燃料資源情報の収集

- 既存炭田地質・炭質データの整理、データベース化に向け、作業進行中。
- 天然ガス地化学データベースの作成に向け、データの収集、項目の確定、基本ソフトの整備を実施、入力作業を進行中。

#### 5) 燃料資源図の編纂

- 筑豊炭田の地質・炭質データを収集、炭質データの部分的な電子ファイル化と、地域別の炭質解析を実施。各炭鉱の炭層柱状図を収集し、電子ファイル化の作業を進行中。

#### 6) 環境変動要因としての海底下メタンハイドレートに関する地球科学的研究

- 海底下メタンハイドレートの生成・集積・分解・メタン放出に関する過去の研究成果をレビュー、今後の課題を明確化。環境変動に関わる海底下ガスハイドレートの安定領域基底深度の変化についてシミュレーションを実施。

#### 7) 資源有機地化学の基礎的研究

- 秋田県玉川、後生掛地域の自然噴気を採取、分析を実施。炭化水素成分は有機起源と無機起源の混合物であり、その組成が生成温度に依存していると推定
- 新潟・群馬・茨城の空気を採取し炭化水素の分析を実施。油ガス田が大気中炭化水素濃度に大きな影響は与えていないと指摘。
- ヨウ素に関する研究動向を調査するとともに、石油技術協会にてヨウ素をテーマにした分科会を開催。
- 2002年8月2日第20回有機地球化学シンポジウムを産総研つくば共用講堂で開催



図4  
シンポジウム  
の様子

#### 5. 主な論文成果

- Igari S, Organic geochemical study of natural gases from major gas fields in Japan. 地質報告, 52, 445-469 (2001)
- 金子信行・前川竜男・猪狩俊一郎、アーケアによるメタンの生成と間隙水への濃集機構、石技誌, 67, 97-110 (2002)
- 鈴木祐一郎・藤井敬三、石油システムにおける石炭からのガス生成機構の問題点. 石技誌, 67, 30-37 (2002)



## 天然ガス資源の有機地化学的研究を中心として Focusing on organic geochemical studies on natural gas resources

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

### 1. まえがき

産総研発足以降、私の個人研究活動は、①研究グループ長としての活動、②天然ガス資源の有機地化学的研究、③その他の活動等に分けられる。

### 2. 研究グループ長としての活動

グループの研究計画のとりまとめ、予算要求、予算の配分と管理、研究評価（短期、長期、外部）、各種連絡（拡大会議、安全衛生会議、その他）など、グループの運営に関する各種業務を行った。

### 3. 天然ガス資源の有機地化学的研究

#### 1) ガスハイドレート資源評価技術の地化学的研究

① バイオマーカー分析をもとに微生物（アーケア）によるメタンの生成、消費記録を検出する方法を検討する目的で、南海トラフ（熊野灘、東海沖、駿河湾、室戸沖）の海底堆積物を収集した。このうち東海沖の表層堆積物柱状試料（全長123cm）について炭化水素の分子組成を分析した。アーケアに特徴的なバイオマーカーであるペンタ

メチルアイコサン類（PMI）、クロセタン類（Cr）が検出され（図1）、両成分の濃度には顕著な相関関係が見いだされた。これまでの研究からCrは嫌気的にメタンを消費するアーケアに特徴的なバイオマーカーと推定されており、PMIも同起源と推定される。特に深度80～87cmの試料から高い濃度のPMIとCrが検出された。このことは、間隙水中のメタンの分析結果（深さ90cmから60cmにかけて、

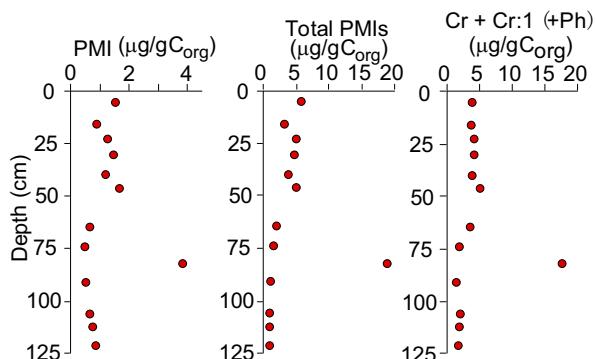


図2 アーケア起源イソプレノイドアルカン濃度の深度分布

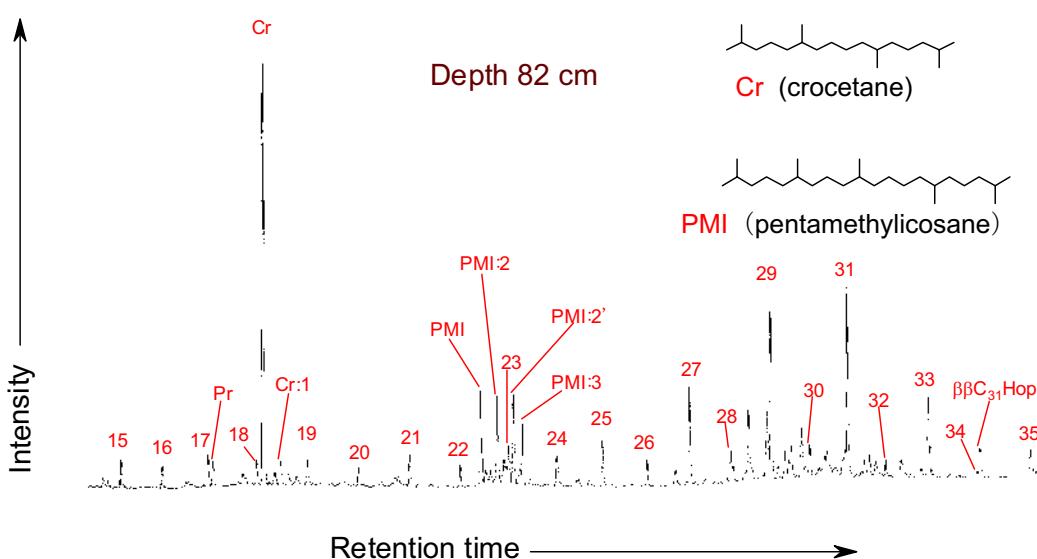


図1 東海沖海底堆積物中心深度82cmの試料（溶媒抽出物の炭化水素画分）のガスクロマトグラム

メタンの濃度減少とともに炭素同位体比が上昇する傾向)と整合的である。

② 石油公団の委託研究として「メタンハイドレート集積メカニズムの解明に関する研究(バイオマーカー分析によるメタン菌の活動記録の解析及びメタンガス生成の解明)」を提案、14年度に開始した。基礎試験試料(南海トラフ)に含まれるメタン菌起源のバイオマーカーの濃度を測定し、ほかの地化学指標のデータや堆積学的観察結果と併せて検討することにより、メタン菌の活動を支配する地質学的・地球化学的因子を解明することを目指す。またメタン生成経路の異なるメタン菌を個

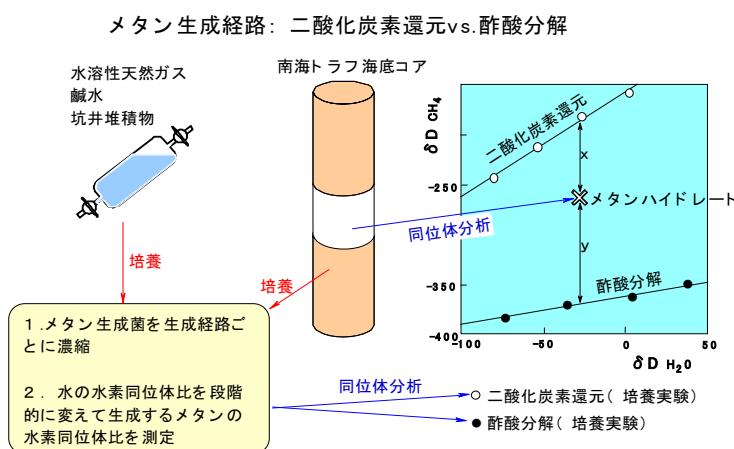


図3 メタン菌の培養、同位体分析に基づくハイドレートメタンの生成経路評価法の検討

別に実験室で培養し、メタン生成に伴う同位体分別の特徴を解明することにより、ハイドレートメタンの成因(生成経路別寄与率)を同位体地球化学的に評価する手法の確立を目指す(図3)。

## 2) 在来型天然ガス資源等の地化学的研究

宮崎、焼津ガス田の水溶性天然ガスの炭化水素組成、メタンの炭素・水素同位体比を測定した結果、メタンは熱分解起源と微生物起源(二酸化炭素還元経路)の混合で、混合比が多様なこと、ほとんど熱分解起源のケースもあること、が推定された。

## 3) 地球環境変動要因としての海底下メタンハイドレートに関する地球科学的研究

バイオマーカーをもとに、海底下MHの根源層を推定したり、MH分解イベントの記録を解読する方法について、過去の研究成果と今後の研究課題を明確にし、報告書にまとめた。メタン資化細菌のバイオマーカーであるホパン類がハイドレートメ

タンの分解の記録として利用できる可能性が提案されており、この点を検討するために、より多くの堆積物試料についてバイオマーカー測定を行うことが今後の課題と考えられる(図4)。

## 4. その他の活動

### 1) 危険薬品専門委員会

危険薬品専門委員として、研究部門内の既存危険薬品調査の実施要領の策定と伝達、とりまとめを行った。委員会はメールによる持ち回り委員会のみ。

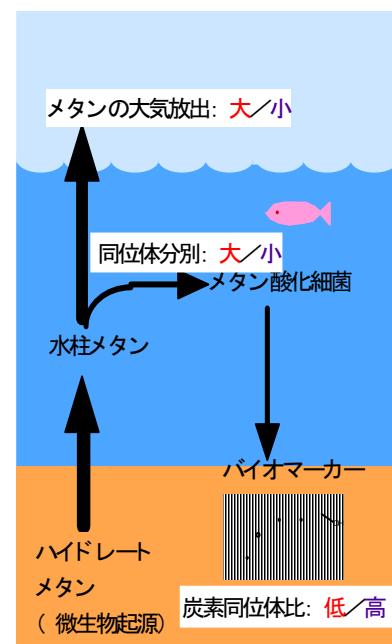


図4 メタンハイドレートの分解記録としてのバイオマーカーの可能性

## 2) 日本地球化学会活動

平成13年末まで評議員・庶務幹事として、評議員会、幹事会、総会、講演会等の準備と報告、会誌広告、研究助成、科研費の申請・執行、学術会議対応、その他学会運営全般に関する庶務担当業務を行った。平成14年度は評議員のみ。

## 3) 東北大学連携大学院

平成14年11月に集中講義「バイオマーカーの組成と炭素同位体比から得られる地球化学的情報」(2.5日)を実施。

### (参考文献)

坂田 将(2001) メタン生成バクテリアの同位体・有機地球化学. 月刊地球,号外31, 101-105.



## 自然界に存在する軽質炭化水素の研究 Studies on natural light hydrocarbons

資源有機地化学研究グループ： 猪狩俊一郎  
Resource Organic Geochemistry Research Group: Shunichiro Igari  
Phone: 0298-61-3720

### 1. まえがき

産総研発足以降、①天然ガス中の軽質炭化水素の研究、②地熱ガス中の軽質炭化水素の研究、③油ガス田地帯空気中の軽質炭化水素の研究、等自然界に存在する軽質炭化水素の研究を行なっている。軽質炭化水素は、化学的取扱が容易であり、その支配因子を明らかにすることは、より複雑な、バイオマーカー等有機物質の挙動解明につながる。

また、この他に④その他の活動（各種委員等）を行なっている。

### 2. 天然ガス中の軽質炭化水素の研究

天然ガス中の軽質炭化水素組成は、ガス間の対比の基礎的な指標でありながら、その支配因子は明らかになっていない。秋田・新潟の天然ガスについて、ほとんど測定例のないネオペンタンやC6炭化水素を含む炭化水素成分の分析をおこなった。その結果、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-ジメチルブタン比は生成温度の影響を受けているものと推定され、両者の間

(図1)には良好な直線関係が観察され、これらの比の組み合わせが、生成温度の対比に有効なことが明らかになった。

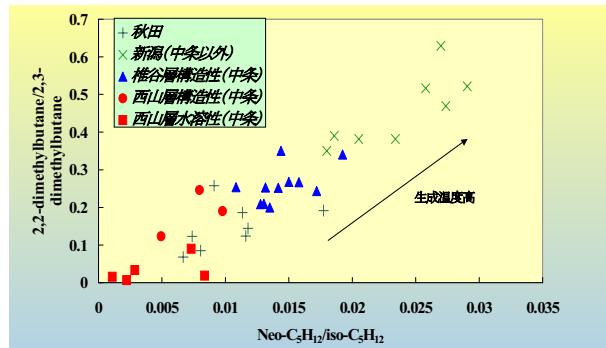


図1 炭化水素組成の生成温度への依存(秋田・新潟)

### 3. 地熱ガス中の軽質炭化水素の研究

地熱ガス中の軽質炭化水素は深部地熱環境の指標として、期待されているが、その起源や、支配因子についてはほとんど明らかになっていない。秋田県の玉川温泉と後生掛温泉の地熱ガス中の軽質炭化水素を分析した結果、エチレン等不飽和炭化水素を含むことから、その一部が無機起源であることが推定された。また生成温度の指標であるイソブタン/ネオペンタン比が普通の天然ガスと比べ低いことから(図2)天然ガスよりも生成温度が高いものと推定された。



玉川温泉地域の地熱ガス

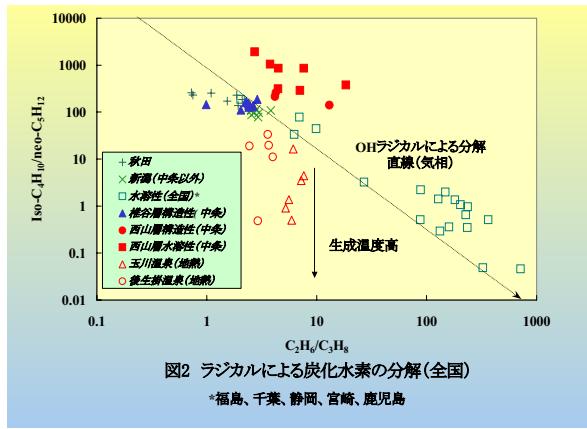


図2 ラジカルによる炭化水素の分解(全国)

\*福島、千葉、静岡、宮崎、鹿児島

#### 4. 油ガス田地帯空気中の軽質炭化水素の研究

空気中の非メタン炭化水素はオゾンを分解する等の理由により、その挙動が注目されている。しかしながら、油ガス田からの放出が空気中炭化水素濃度に与える影響についてはほとんどしられていない。そこで、定期的に油田地帯である新潟と、非油田地帯である茨城・群馬の空気を採取し分析している。空気中エタンの起源は天然ガス田からの放出のほかに、自動車、都市ガス、植物等が考えられる。これに対しアセチレンの起源はほとんど自動車のみである。エタンとアセチレンのクロスプロットを図3に示す。両者の間には正の相関が観察され、エタンの主な起源は油ガス田地帯で



空気採取地点の例（新潟県見附市）

も、非油ガス田地帯でも自動車であることが明らかになった。しかしながら新潟の試料では一部エタンの相対濃度が高いものがあり、資料採取地点が油ガス田に近いことから、油ガス田は局所的に空気中炭化水素濃度に影響を与えることが明らかになった。

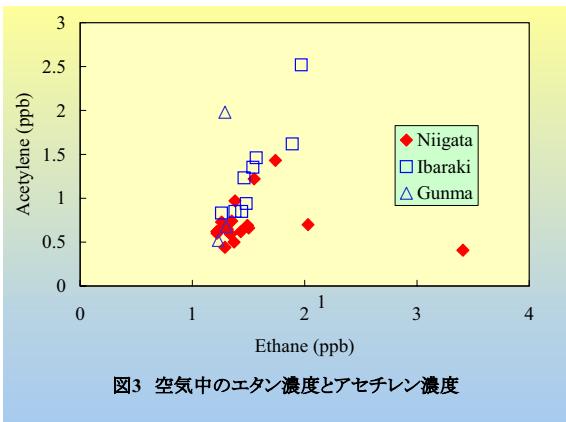


図3 空気中のエタン濃度とアセチレン濃度

#### 5. その他の活動

筆者は標本館展示企画委員として、標本館の企画に携わっている。また地質調査研究報告編集委員として、その編集に携わっている。



## 水溶性ヨウ素- 天然ガス鉱床の地球化学的研究 Geochemical study for hydropressed natural gas and iodine deposits

資源有機地化学研究グループ： 金子信行  
Fuel Geochemistry Research Group: Nobuyuki Kaneko  
Phone: 0298-61-3677, e-mail: nobu-kaneko@aist.go.jp

### 1. まえがき

産総研発足以降の個人研究活動は、国内の水溶性ヨウ素- 天然ガス鉱床を対象としての①アーケア（古細菌）が生成するメタンの生成条件とその濃集機構に関する地質学的・地球化学的研究と、②地層水中のヨウ素の起源と濃集機構に関する地球化学的研究、③その他の活動等に分けられる。

### 2. アーケア起源メタンに関する研究

国内天然ガス総生産量に占める水溶性天然ガスの割合はおよそ 20%であり、そのほとんどは千葉県の南関東ガス田で生産されている（図 1）。水溶性天然ガスはメタンを主成分とし、二酸化炭素を数%以内含むが、エタン以上の炭化水素の割合が少ない特徴がある。このメタンはアーケアと呼ばれる微生物が作り出したもので、主要な生成経路が二酸化炭素の還元反応であることがメタンを構成

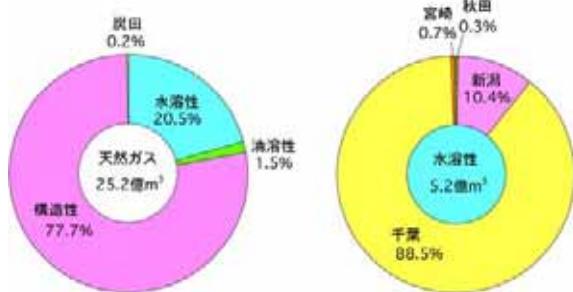


図 1 国内天然ガス鉱床別生産量および水溶性天然ガス県別生産量（2001 年）

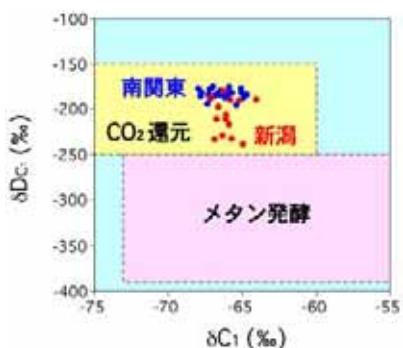


図 2 メタンの炭素・水素同位体比によるメタン生成経路の分類

する炭素と水素の同位体組成により明らかになっている（図 2）<sup>1)</sup>。

ポテンシャルの高い水溶性天然ガス鉱床の存在する地質条件としては、海成層であること、堆積速度が速くて若い堆積物が厚く堆積していること、陸源有機物に富むことなどが指摘されている。しかしながら、これらの条件と鉱床成因との関係が詳細に議論されることはなかった。アーケアが生成するメタンは水溶性天然ガス鉱床を形成するだけでなく、日本周辺の海洋底下に広く分布すると考えられているメタンハイドレートの起源としても重要であり、メタンの濃集機構の解明が求められている。

海洋底の堆積物中の間隙水に溶存するメタンの炭素同位体比は、一般に浅所では-100‰程度の低い値から急激に増加し、深くなるにつれて一定の値に収束するような変化を示す（図 3）。これは、アーケアが二酸化炭素を還元してメタンを生成する過程で起こる同位体分別によるもので、反応が半閉鎖系で起きていることを示している。即ち、有機物や炭酸塩鉱物からの溶存炭酸の供給と、メタン生成及び炭酸塩鉱物の沈殿による消費とが同時に起きていることによるものである。集積したメタンの炭素同位体比 ( $\delta C_1$ ) の計算式を解析した結果、収束する値 ( $\delta C_1^\infty$ ) は供給される溶存炭酸の炭素同位体比 ( $\delta C^*$ ) 及びその供給量とメタン生成量の比 ( $\Gamma$ ) の二つによりコントロールされ、

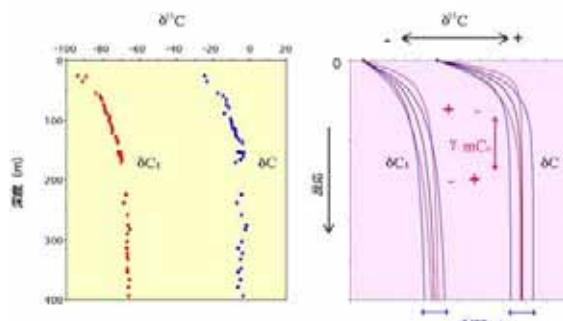


図 3 Blake Ridge (DSDP, Leg 76) における溶存メタン及び溶存炭酸の炭素同位体比 ( $\delta C_1$ ,  $\delta C$ ) の深度変化（左）と半閉鎖系での反応の進行による同位体比の変化と各要素との関係（右）

また同位体比の変化の速さは、初期溶存二酸化炭素量 ( $m\text{Co}$ ) 及び炭酸塩鉱物の沈殿量とメタン生成量の比 ( $\gamma$ ) によりコントロールされていることが明らかとなった(図3)。

メタンが多量に生成した場合にはこの収束値に近い値を示すと考えられることから、国内のガス田から採取した天然ガスの同位体組成を測定することにより、アーケア起源ガスの濃集機構の解明を現在進めている。天然ガス中の二酸化炭素とメタンの炭素同位体比の分析には、ガスクロマトグラフ燃焼質量分析計 (GC/C/MS) を用いている(図4)<sup>2)</sup>。南関東ガス田におけるメタンと溶存炭酸の炭素同位体比の組合せからは、効率的なメタン生成には有機物の分解により供給される量の9倍の溶存炭酸が炭酸塩鉱物から供給される必要があることが示された。



図4 ガスクロマトグラフ燃焼質量分析計

### 3. 地層水中のヨウ素の起源に関する研究

国内の水溶性天然ガス鉱床の多くが海成層中に胚胎し、天然ガスが地下において溶存する地層水は化石海水と考えられるが、その中には海水の1000–3000倍ものヨウ素が濃集している。2000年における国内のヨウ素生産量は6860トンであり、我が国は全世界生産量の37%を占める世界第2位のヨウ素生産国である(図5)。

ヨウ素は藻類に多く含まれることから、地層水中のヨウ素の起源は藻類であると長い間考えられてきた。しかしながら、現在ヨウ素を産出している地層中の有機物は陸源有機物を多く含み、海棲藻類に由来する有機物には乏しい。酸素を多く含み、分解により二酸化炭素を生成しやすい陸源有機物は、メタンの生成を説明しやすいが、一方ヨウ素の起源を海棲藻類と考えるならば、相反する

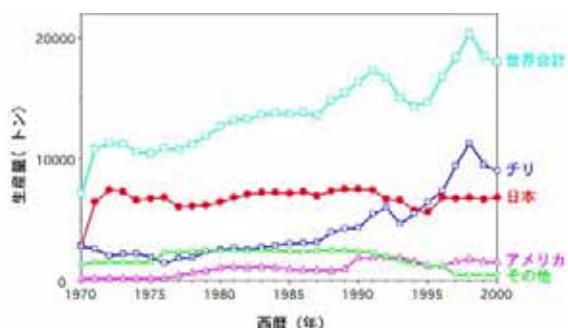


図5 主要生産国のヨウ素生産量の推移

起源有機物の存在が必要となり、高濃度に両者が共存することの説明が困難である。このため、陸源有機物が海水中のヨウ素を吸着することにより、堆積物深部へとヨウ素を運搬する可能性を検討している。

これらの地球化学的な検討に加え、堆積・埋没による地層の圧密と流体の挙動が、堆積盆地浅部でのヨウ素とメタンの濃集に重要であると考え、地質学的な側面からの検討を現在進めているところである。

### 4. その他の活動

筆者は1994年より石油技術協会探鉱技術委員会の委員を務め、石油開発業界に関する情報収集を行うとともに、シンポジウムや春季講演会の運営に関わっている。また、2001年6月より同委員会探鉱新技術分科会の座長を務め、新しい石油探鉱技術を紹介・検討するために年3-4回の話題提供の企画・運営を行っている。

### 参考文献

- 1) 金子信行ほか (2002) 石技誌, 67, 97-110
- 2) 金子信行ほか (1999) 地調月報, 50, 383-393



## 新世紀の石炭地質研究をめざして New approaches on coal geology and geochemistry

資源有機地化学研究グループ： 鈴木祐一郎  
Fuel Geochemistry Research Group: Yuichiro Suzuki  
Phone: 0298-61-3919, e-mail: yu-suzuki@aist.go.jp

### 1. はじめに

2002年1月、国内唯一の大規模炭鉱であつた釧路市の太平洋炭鉱が閉山し、国内では小規模な露天鉱を除き石炭の商業生産は終了した。しかし、我が国は現在世界一の石炭輸入国であり、石炭の炭質評価という点を中心に石炭資源に関する研究課題も多く残っている。

また、石炭を根源岩とする石油や天然ガスの存在が注目されており、我が国でもこの様な視点から新たな石油ガス探鉱を目指す必要性がある。

地球温暖化の視点からは石炭は  $\text{CO}_2$  を多量に排出する悪者と考えられている。しかし、地下の石炭層は多量の  $\text{CO}_2$  を吸着・貯蔵する能力が有ることから注目を集めている。旧地質調査所で100年以上にわたり進められてきた我が国石炭資源に関するデータが、今後国家プロジェクトとして  $\text{CO}_2$  炭層固定化を進める上で貴重な役割を担うことが可能であろう。

### 2. 石炭起源の石油は何処に

#### —バイオマーカーからのアプローチ—

北海道は、九州と並ぶ我が国的主要炭田地帯であり、また勇払油ガス田を初めとして道央、道北

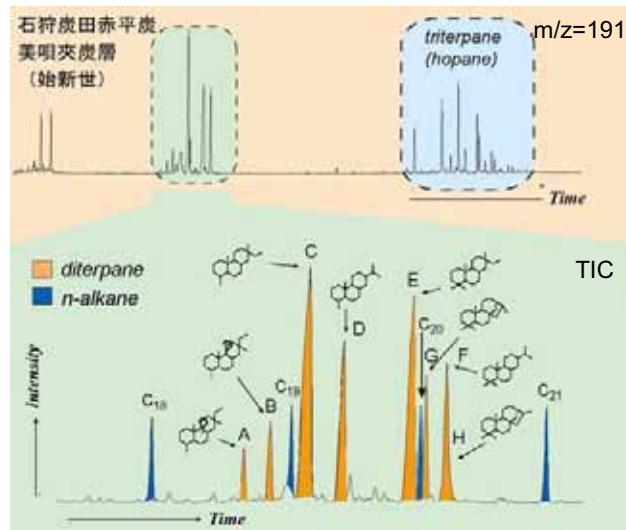


図1：赤平炭の質量数191イオンクロマトグラム  
(上)とジテルペン部分のトータルイオンクロマト上の拡大図(下)

地域に小規模な油田、ガス田がいくつか存在する。これらの石油の起源について、石狩炭田の石炭と原油中のバイオマーカーを用いて対比を試みた。

図1は、赤平炭鉱の美唄層の石炭中の飽和炭化水素分析結果である。特徴的なバイオマーカーとしてジテルペン化合物が含まれていることが確認された。石狩炭田や釧路炭田の各地層の石炭分析から、すべての石炭にジテルペン化合物が含まれていることが確認された。

一方、道北の天北地域の勇知油田や豊富油田、道央の札幌の北に位置する厚田油田や茨戸油田についてバイオマーカー分析をおこなった結果は図2である。ジテルペンに特徴的な質量数191のイオンクロマトで各油田の原油を比較すると、ジテルペン化合物の含有の有無で区別することが可能である。天北地域の原油は含んでいる対し、道央の原油は含んでいない。

バイオマーカー分析からは、天北地域の油田の原油は、その根源岩が石炭であり、道央の厚田油田などはその根源岩は、海成層中の有機物の可能性が大きいを判断される。

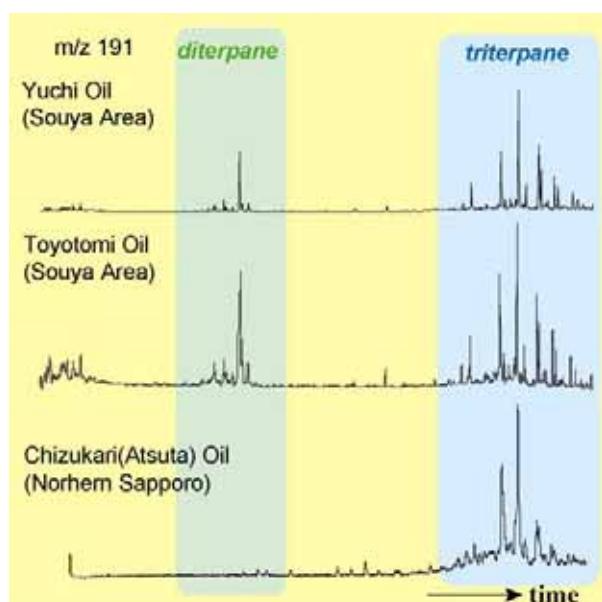


図2：天北地域勇知油田、豊富油田、道央地域  
厚田油田産出の各原油からの飽和炭化水素  
分の質量数191イオンクロマトグラム

今後、天然ガスの起源でも同様な根源岩による違いが地域間ではあるかを炭素同位体など用いて検証する必要がある。

### 3. 炭田における炭質の水平変化

#### —発熱量・揮発分図を用いた解析—

元素分析は、van Krevelen ダイアグラムを用いて、石炭分野のみならず、石油探鉱の分野でも起源有機物の推定および熟成度（石炭化度）の指標としてよく用いられている。熟成度の指標としてはビトリナイト反射率も広く用いられている。

しかし、筑豊炭田や佐世保炭田は、かなり以前にすべての炭鉱が閉山になり、現在石炭試料を採取することは困難である。しかし、石炭の基本的分析である工業分析、発熱量のデータが多く残されており、純炭発熱量と揮発分を軸に取った図が van Krevelen 図と同様には根源岩能力評価に有効であることは、鈴木・藤井(1999)などで示されている。

筑豊炭田は、図 3 に示したようにいくつかの地域に区分され、炭質も地域によってばらつきがある

ことが知られていた。炭田全地域で主要な炭層となっていた三尺五寸層の既存発熱量・揮発分データを図にプロットしたのが図 4 である。田川や直方西方が比較的熟成度が低く、飯塚や山田

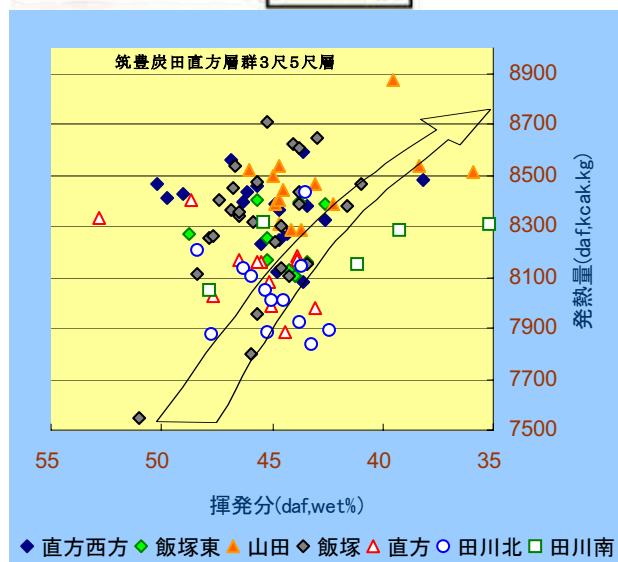
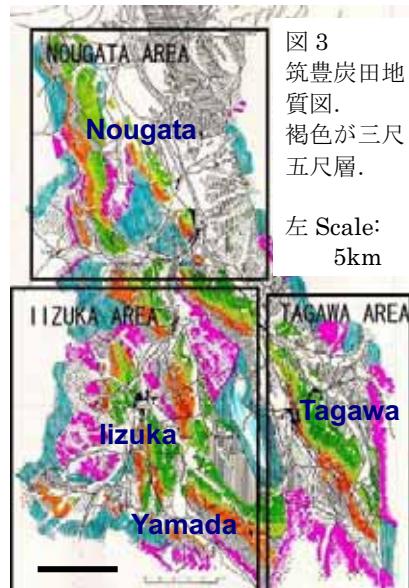


図 4 筑豊炭田三尺五寸層の石炭の炭質

が高い。2列ある分布の中で西の列が、東の列に対し相対的に熟成度が高い関係が明らかである。東の列で見れば、田川南部が高く、北に向かい低くなる。図 4 の発熱量・揮発分図では左上に向かい水素分(揮発分)が増加する関係になるが、図からは西の列が相対的に水素分に富むと判断される。

以上述べた結果は、石炭の堆積および埋没過程での熱履歴に由来するものである。炭層の発達状況などを総合してより詳細に検討し、炭田堆積盆の発達史を明らかにし、出版予定の炭田地質図へ反映させる予定である。

### 4. CO<sub>2</sub>の炭層固定化について

図 5 は CO<sub>2</sub> の炭層固定化の概念を示したものであるが、この方法は別名コールベッドメタン(CBM)回収増進法とも呼ばれ、固定化の副産物として置換されたメタンが回収できる。CO<sub>2</sub> 地層区分法としてはもっともエネルギー効率がよい方法である。

この方法の成功のかぎを握る重要な要素が、石炭中のガス透過率である。この点については、従来の炭質パラメータを利用し評価する方法の開発が必要であり、どのような炭質の石炭が CO<sub>2</sub> 固定化に有利かの判断は、実証時のサイト決定や国内のポテンシャル総合評価で重要な要素となるであろう。今後この点での研究を進める方向で準備している。

#### 参考文献

- 鈴木祐一郎・藤井敬三、石油システムにおける石炭からのガス生成機構の問題点、石技誌、67、30-37 (2002).

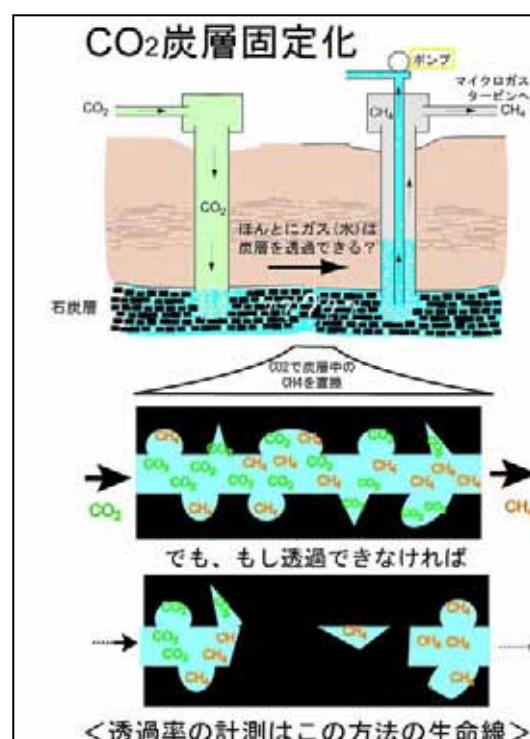


図 5 CO<sub>2</sub> の炭層固定化の概念図



## メタンハイドレートの合成実験を行って Experimental study on methane hydrates

資源有機地化学グループ： 前川竜男

Fuel Geochemistry Research Group: Tatsuo Maekawa  
Phone: 0298-61-3720, e-mail: tatsu-maekawa@aist.go.jp

### 1. まえがき

産総研発足以来、筆者はおもに、次世代の天然ガス資源として期待されているメタンハイドレートについて、その合成実験を手法として、メタンハイドレートの安定条件の測定、メタンハイドレート生成・分解過程でのガス・水の挙動について研究を行っている。

### 2. メタンハイドレートの安定条件



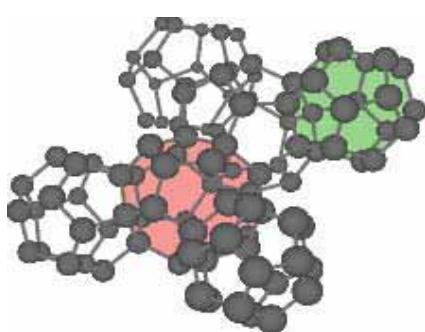
- 燃える氷 -  
メタンハイドレート

メタンハイドレートは、白い氷状の固体結晶で、水とメタンから生成される。この物質は、低温・高圧の温度・圧力条件で安定に存在する。天然では、低温域である高緯度・極地方の永久凍土や、高水圧のかかる大陸縁辺の深海堆積物中に存在することが知られている。天然のメタンハイドレート

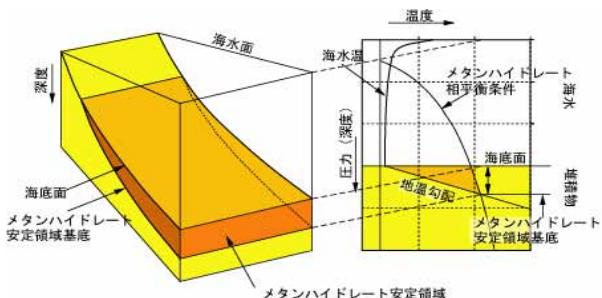
には、メタンのほかにエタン・プロパン等が含まれることがある。メタンは天然ガスの主成分であり、メタンを大量に含むメタンハイドレートは次世代のエネルギー資源として有望視されている。

このようなメタンハイドレートが、深海堆積のどこに存在しているかを推定する方法の一つに、メタンハイドレートの安定条件、地温勾配および

海底温度から見積もある方法がある。筆者は、この推定法に寄与するため、実験室内の合成実験によりメタ



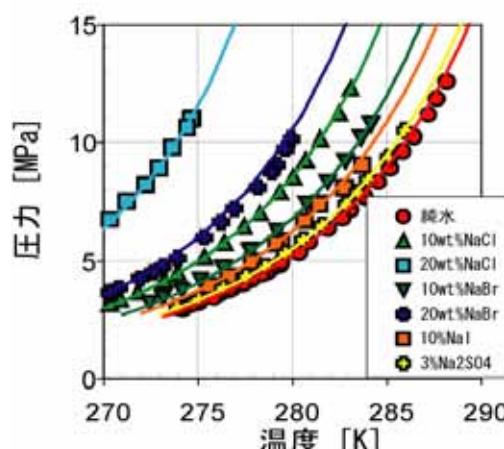
メタンハイドレートの結晶構造



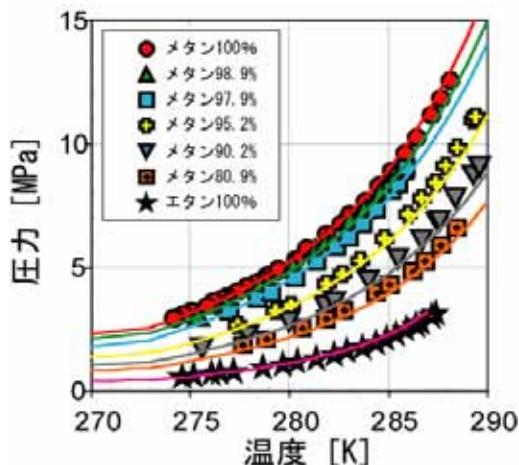
深海堆積物下のメタンハイドレート安定領域

ンハイドレートの安定条件を決定している。

メタンハイドレートの安定に存在しうる温度・圧力条件は、温度 0°C のとき、2.6 MPa 以上の圧力である。この圧力は、水圧に換算すると深度 260 m 以深の圧力となる。温度が高いと、安定に存在しうる圧力も高くなる。一方、メタンハイドレートが海水等の塩分を含んだ水溶液と共に存在する場合や、メタン以外のガス、例えばエタン・プロパン・二酸化炭素を含んでいる場合は、上記の安定条件より離れることが知られている。筆者らが本研究室で決定した安定条件を図に示す。現在、筆者はメタンの他、多成分のガス種を含む混合ガスの安定条件を実験により決定しており、また統計熱力学的な解析もあわせて行っている。



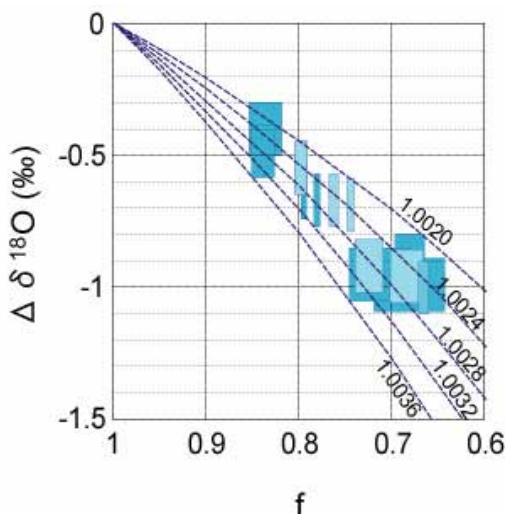
塩水中のメタンハイドレート安定条件



メタン-エタン混合ハイドレート安定条件

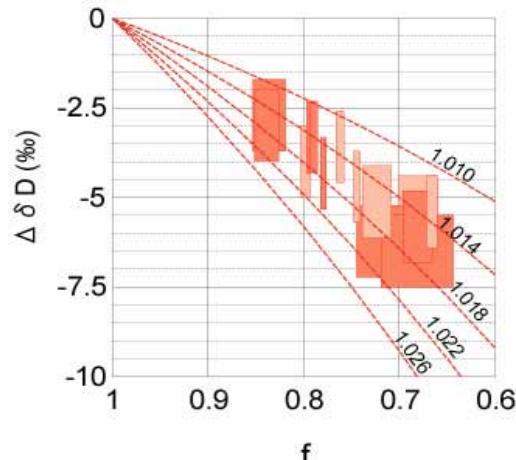
### 3. メタンハイドレート生成過程での水の挙動

実際に深海堆積物中にどれだけのメタンハイドレートが存在しているのか推定することは重要である。南海トラフ等の深海堆積物の掘削により、天然に存在するメタンハイドレートが回収されているが、メタンハイドレートは掘削・回収の過程で分解してしまうことが多い。一方、堆積物間隙水を分析すると、メタンハイドレートの痕跡が認められる。それは、分解したメタンハイドレート起源の水が堆積物間隙水に付加されることが原因で、塩分濃度が低くなり、水の酸素同位体組成が重くなる現象が認められるからである。筆者は、室内合成実験により、メタンハイドレートを合成させ、その生成・分解過程における水の塩分濃度および酸素・水素同位体組成を分析して、その水の挙動を調査している。



メタンハイドレート生成過程で起こる水の酸素同位体組成変化: 横軸はメタンハイドレート生成量、縦軸は酸素同位体組成変化  
: 数字は同位体分別係数

その結果、メタンハイドレートが生成するときは、塩分をほとんど取り込みず、水の重い同位体 ( $D$ ,  $^{18}O$ ) をメタンハイドレートの結晶内に濃縮することがわかった。また、その同位体分別係数は氷-水の同位体分別係数とほぼ同じであることも明らかになった。



メタンハイドレート生成過程で起こる水の水素同位体組成変化

### 4. その他の研究活動

日本各地の水溶性の天然ガスや、地熱・温泉ガス中に存在するメタンの起源の推定を、メタンとともに流出される附随水の化学組成・同位体分析から行っている。メタンの起源としては、微生物活動によって堆積した有機物が分解されてメタンが発生する過程や、有機物が埋積し地熱の影響により熱分解する過程等が知られており、それらのメタンが生成する環境を共存する水環境から推定しようという研究である。

### 参考文献

- 1) Pressure and temperature conditions for methane hydrate dissociation in sodium chloride solutions : Maekawa T., Itoh S., Sakata S., Igari S. and Imai N. (1995) *Geochem. J.* 29, 325-329.
- 2) 天然海水中のメタンハイドレートの安定条件 : 前川竜男・今井 登 (1996) *地質学雑誌* 102, 945-950.
- 3) Equilibrium conditions of methane and ethane hydrates in aqueous electrolyte solutions : Maekawa T. and Imai N. (2000) *Annals of the New York Academy of Sciences* 912, 932-939.
- 4) Equilibrium conditions for gas hydrates of methane and ethane mixtures in pure water and sodium chloride solution : Maekawa T. (2001) *Geochem. J.* 35, 59-66.
- 5) 海水および堆積物間隙水中的メタンハイドレートの相平衡条件の統計熱力学的推定 (2000) 前川竜男 : 地球化学 34, 191-197.
- 6) Hydrogen and oxygen isotope fractionation in water during gas hydrate formation : Maekawa T. and Imai N. (2000) *Annals of the New York Academy of Sciences* 912, 452-459.

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

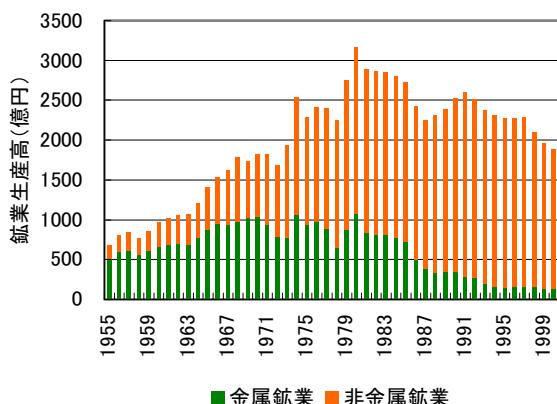
グループ員：須藤定久・小村良二・平野英雄・佐藤興平・渡辺寧・村尾智（以下併任者：太田英順・清水徹・高倉伸一・池原研・木下泰正・青木正博・内藤耕・小笠原正継・富樫幸雄）

### 1. 研究分野の特徴

国民生活に不可欠な各種の鉱物資源の安定供給の確保はナショナル・セキュリティーに関わる重要な課題です。鉱物資源の開発は、例えば国内においては鉱業法を始め、採石法、砂利採取法、河川法、農地法など多くの法律によって、保障あるいは規制されています。

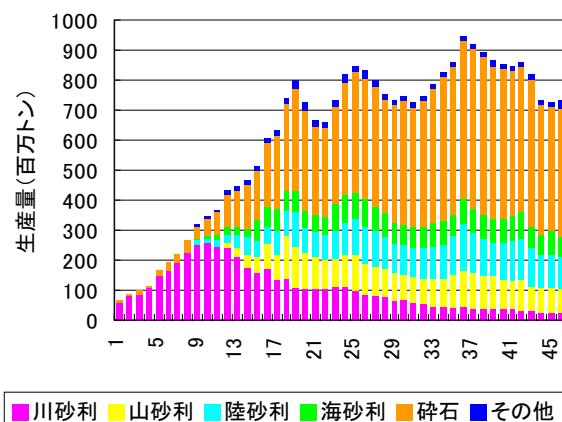
このため、鉱物資源に関する研究も、各法を所管・執行する関連部署、経済産業省・資源エネルギー庁を始め、国土交通省・農水省・各県・金属鉱業事業団などとの密接な連携の基に行われるものが多いのが当グループの大きな特徴となっています。

近年、各種鉱物資源の使用量が増加し、自給率の低下が一層進行しています。特に金属鉱物資源や非金属鉱物の一部はその殆どを輸入に頼るようになっています。このような状況の中で、輸入資源については「世界をリードする鉱物資源の評価・探査技術を開発・保持し、鉱物供給を促進し、資源の安定確保をはかること」が重要課題となっています。



第1図 鉱業生産高の推移：金属は海外依存だが、自給率の高い非金属は安定した推移を示す。

一方、国内で供給・消費される骨材や石灰石などは、年間10億トンにも及んでいます。これらの資源については、国民の自然環境保全意識の向上とともに、環境に優しい開発法、廃棄物の有効利用法、開発リスクの評価法などの開発に大きな期待がかけられるようになっています（村尾のページ参照）。



第2図：骨材の生産推移（不況の影響で需要が落ち込んでいるものの、依然7億トンを超えている）

### 2. グループの目標

当グループは、金属・非金属・骨材分野の専門家をもって組織し、金属資源等の海外に依存する鉱物資源、非金属資源や骨材資源のように主に国内で自給される鉱物資源、それぞれの安定供給のために必要な学術的研究・鉱物資源開発のための技術開発、流通安定化のための情報の収集・解析などを実施し、行政と連携して各種の鉱物資源の安定供給の確保に貢献することを目指しています。

### 3. グループの運営方針

本研究グループの担当領域は、金属鉱物資源・非金属鉱物資源・骨材資源と多岐にわたっている。このため、各分野に1~2の研究テーマを設定し担当者を配置、緊急性・重要性が高く、かつ対応可能な課題から順次取り組んでいます。マンパワーの不足部分については、9名の併任者の協力を得て補充していますが、広い分野を確実にカバーするにはマンパワーの不足は否めません。

研究成果は、学術報文や資源図として公表すると同時に、各分野で行政や産業界で重要と思われる成果や情報を、例えば「地質ニュース」や「業界誌」などを通じわかりやすく社会に還元することにも努めています。また、国内外から要望される国や県の関連事業や国際的な技術指導などにも可能な限り貢献すべく努力しています。

### 4. 現在の研究テーマ

#### 1) 活動的熱水系における深部鉱化作用の解明

実在の鉱化熱水系の時空発展と立体構造を明らかにして潜頭鉱床のポテンシャル評価を行う技術開発の一環として、北海道南部無意根ー豊羽熱水系の総合的な解明を進めています。（詳細は重点課題のページ、渡辺・青木・村尾のページを参照下さい）

#### 2) 金属鉱化作用と探査手法の研究

国内外の酸性貫入岩に伴う金・銅・鉛・亜鉛・希少金属などの鉱床の資料を収集・分析し、鉱化作用のモデル化を進めています。国内・極東アジア・中米・アフリカなどの鉱床を比較し各地におけるより有効な探査・開発に最も有効な鉱床の特徴の解析を進めています。

（詳細は佐藤・渡辺のページを参照下さい）

#### 3) 非金属鉱化作用と探査手法の研究

国内で採掘・利用される非金属鉱物資源の成因的研究を進め、成因的分類法を確立し、各タイプごとに探査法・評価法・利用法・採掘法などを総括し、それらの改善法を提言しています。（詳細は平野・須藤のページを参照下さい）

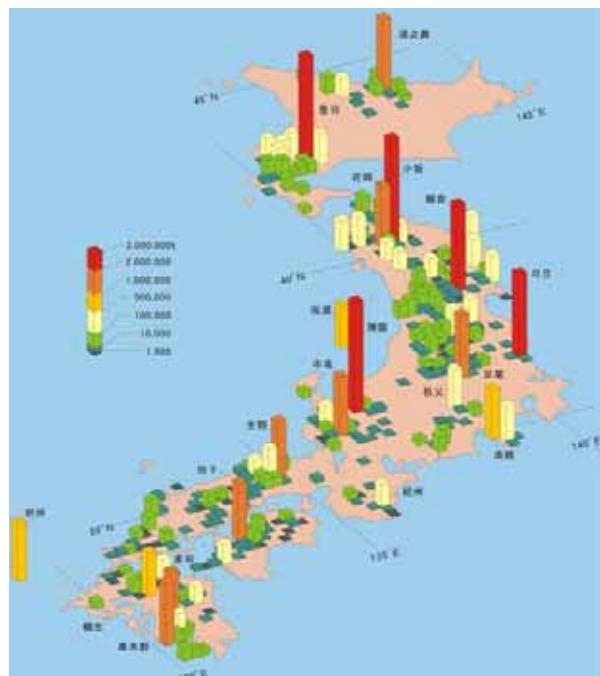
### 4) 鉱物資源図及びデータベースの研究

国内の金属・非金属鉱床を表示した50万分の1鉱物資源図を刊行中です。「北海道」から「中部近畿」までがすでに刊行され、現在「中国四国」・「九州」が完成間近となっています。今後「南西諸島・沖縄」を作成予定。さらにデータ・ベースの構築を進め、より詳細な情報の提供を目指しています。

（詳細は重点課題のページ、須藤のページを参照下さい）

### 5) 骨材資源調査

経済産業省窓口室と連携し、地方における骨材確保の努力を支援していくために、各地方における河川砂利・陸砂利・山砂利・碎石・風化花崗岩等の砂利代替資源など各種骨材資源の賦存状況に関する総合的資料の作成を進めています（詳細は重点課題のページ、小村・須藤のページを参照下さい）



（参考図）日本列島における重金属(Au, Ag, Cu, Pb, Zn)の産出量分布図



## 鉱物資源・骨材資源の研究を中心に Focusing on researches of mineral and aggregate resources

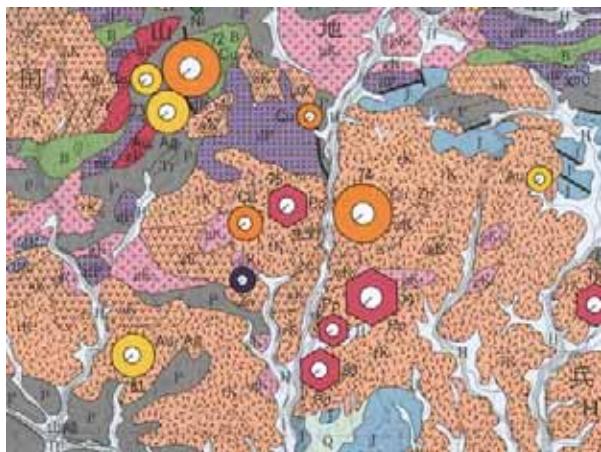
鉱物資源研究グループ： 須藤定久

Mineral Resources Research Group: Sadahisa Sudo  
Phone: 0298-61-3647, e-mail: sudo-gsj@aist.go.jp

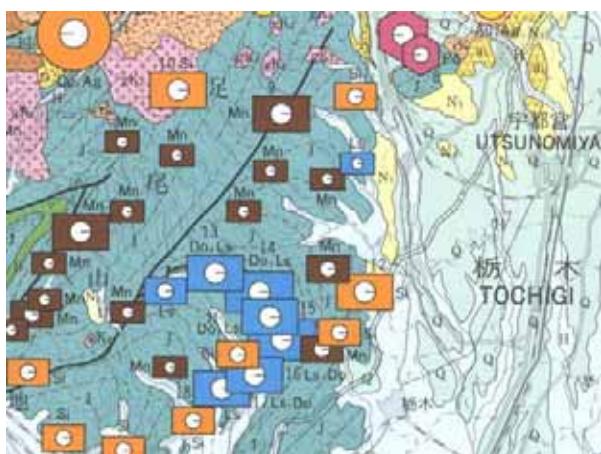
鉱物資源研究グループの統括の他に、1.鉱物資源図、データ・ベースの作成、2.非金属鉱物資源の研究、3.骨材（砂利・碎石・石材）の研究、4.その他の活動などの研究活動を行っています。以下、それぞれの研究の概要・進捗状況について紹介します。

### 1. 鉱物資源図、データ・ベースの作成

a. 1996年に刊行が始まった50万分の1鉱物資源図シリーズの作成を進めています(第1, 2図)。



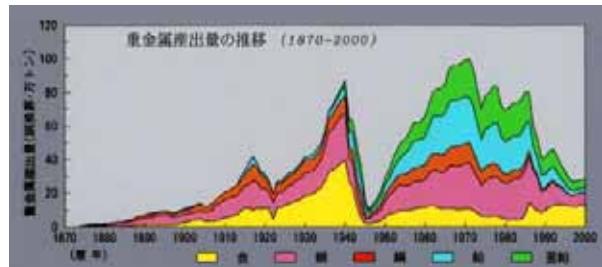
第1図：50万分の1鉱物資源図「中部近畿」の一部



第2図：50万分の1鉱物資源図「関東甲信越」の一部

現在は「中国四国」と「九州」が完成間近です。図面発行後はより詳しい情報をデータ・ベースとして発信していくべく準備中です。

b. データ・ベース作成の基礎資料として明治以降の重金属(金・銀・銅・鉛・亜鉛)産出量の総括も行っています。参考にその推移を第3図に示します。



第3図：明治以降の日本の重金属産出量

### 2. 非金属鉱物資源の研究

a. 国内窯業原料データ・ベースの構築に参加しています → 詳細は産総研HPでご覧下さい。

b. 主要鉱種について総括的な研究を進めています。最近とりまとめた鉱種は「長石」です→地質ニュースNo.559他をご覧下さい。

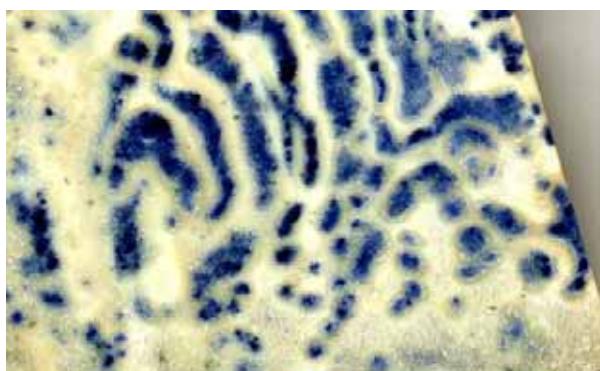
### 3. 骨材（砂利・碎石・石材）の研究

a. 碎石については過去10年間の研究成果を資料集「日本の碎石資源」(CD-ROM付)として出版、販売中(第4, 5図) → 取扱いは(社)日本碎石協会(Tel:03-3456-1371)。

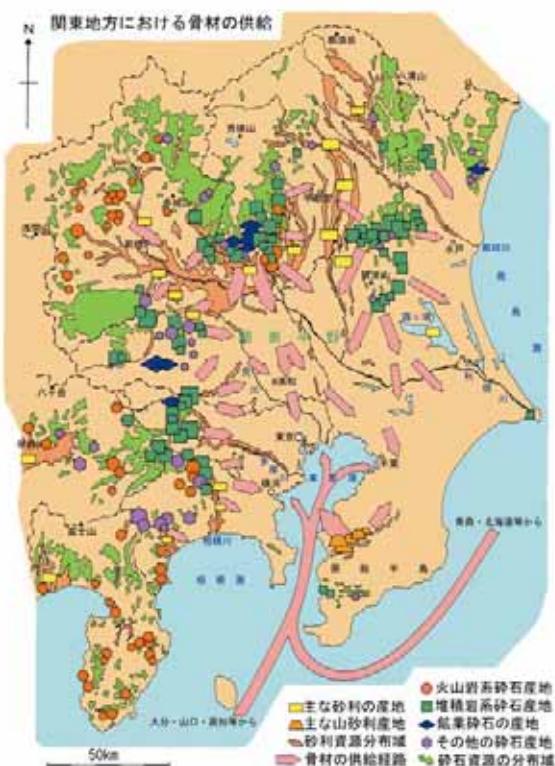
b. 砂利資源については現在砂利産地データ・ベースの構築を目指して作業中です。乞うご期待！



第4図：資料集「日本の碎石資源」



第7図：ろう石・勝光山産虎石（縦が4cm）



第5図：関東地方の骨材产地と供給経路

詳細は地質ニュース No.574 をご覧下さい。石材屋さんにも注目されています→月刊「石材」9月号をご覧下さい。

b. 上記方法を利用して、世界の砂を集めた「有田コレクション」の画像データを作成しました（第8図）。



第8図：玄界灘の海砂（縦が2cm）

有田コレクション「世界の砂・日本の砂」は東京都新島村博物館の「砂展」（第9図）で展示中！



第9図：新島村博物館での展示



第6図：コンクリート（縦が5cm）



## 風化花崗岩の資源評価の試み 一細骨材としての真砂の諸特性一

An attempt of resource evaluation of altered granite  
-Their properties as fine-grained aggregate-

鉱物資源研究グループ： 小村 良二  
Mineral Resource Research Group: Ryoji Komura

### 1. まえがき

西日本地域の土木・建築現場で使用される細骨材は、従来から瀬戸内海の海砂に大きく依存してきた。しかし、近年、瀬戸内海の環境保全意識の高まりなどにより、海砂の採取は原則禁止の方向に進みつつある。このため、西日本地域では海砂の代替え細骨材の開発が急務となっている。

筆者は平成12年度から海砂の代替え細骨材としての可否を探るため、広島・山口両県下に分布する後期白亜紀の広島花崗岩類（以下、適宜「風化花崗岩」と記述）の野外調査と性状試験などを行い、風化花崗岩の細骨材としての特性を検討している。

本稿では、風化花崗岩露岩から採取した真砂試料の粒度組成と露岩周辺の地形・地質状況との相関について記述し、細骨材としての真砂の利用に言及する。

### 2. 野外調査

今までに実施した野外調査地は、風化花崗岩の分布する広島県南部の山地・山麓緩斜面・丘陵地及び島嶼である。野外調査は、これらの調査地において広島花崗岩類の風化状態や賦存状況などを把握した。同花崗岩類の露岩の風化状態は様々な岩相の外観の特徴が観察されるが、それらの特徴はおおよそ5段階のステージに該当することが明らかになった。第1表に示す「黒雲母花崗岩の風化区分」はそれら5段階のステージを区別したものであり、同花崗岩類の露岩の風化状態は、本表のいずれかの風化区分に該当する。なお、次項に記述する粒度試験などに供した真砂試料は、第1表に示した風化区分のうちの「強～弱」風化花崗岩から採取している。このほか、野外調査では資源評価の一環として風化花崗岩の露岩の見かけ上の規模や、露岩周辺の地形及び土地利用状況などの賦存状況の把握にも努めた。

### 3. 風化花崗岩の粒度分布と地形・地質状況

風化花崗岩の露岩から採取した真砂試料は室内でおおむね60℃以下で乾燥し、ふるい分け粒度試験・比重・吸水率試験などに供した。紙面の関係上、以下にふるい分け粒度試験結果に限定して

記述し、粒度分布と地形・地質状況との相関に言及する。

#### A) ふるい分け粒度試験（第1～4図）

第1図は、広島市安佐南区～（佐伯郡）佐伯地区内で採取した真砂試料の粒度分布図である。同図に見られるように、本地区内の真砂試料の粒度はNo. 29を除けば標準砂と比較してやや粗粒であり、同試料の粒度組成は本地区的地形・地質状況などを反映しているかも知れない。本地区的地形状況は山頂高度が650～300mのやや急峻な山地からなるが、鋸歯状の露岩地形やバットランド地形などはあまり見られない。これらの山地は黒雲母花崗岩から構成されるが、真砂試料を採取した山地の同花崗岩の風化状態は全体的に随所で真砂化が進行しているもののコアーストーンが残存しており、真砂化の程度は高くない。

第2図は、広島市の西南西方、（佐伯郡）大野町～廿日市市地区内で採取した真砂試料の粒度分布図である。前述した広島市安佐南区～（佐伯郡）佐伯地区内の真砂試料と同様で、本地区的真砂試料の粒度も標準砂と比較してやや粗粒であり、この粒度組成は本地区的地形・地質状況などを反映しているかも知れない。本地区的地形状況は、地区の北～北西域が山頂高度700m以下の山地からなり、それに連なる南～南東域が300～200m以下の山麓緩斜面及び丘陵地である。これらの山地及び山麓緩斜面、丘陵地は黒雲母花崗岩から構成されており、真砂試料は主として山麓緩斜面から採取した。山麓緩斜面の黒雲母花崗岩の風化状態は、随所で真砂化が進行しているものの花崗岩組織を残存する部位も見られ、真砂化の程度は高くない。

第3図は、広島県南東部の福山市芦田地区内で採取した真砂試料の粒度分布図である。同図に見られるように、本地区的真砂試料の粒度は標準砂の粒度分布範囲とほぼ一致する試料と、やや粗粒の試料が混在する。この粒度組成は、本地区的地形・地質状況などを反映していると思われる。本地区的地形状況は、山頂高度500m以下の山地・山麓緩斜面・丘陵地からなる。丘陵地は主として黒雲母花崗岩から構成されており、真砂試料は丘陵地から採取した。丘陵地の黒雲母花崗岩の

風化状態は、コアーストーンの残存しない真砂化が強く進行した露岩や、風化状態に差違が生じて真砂化の程度が高くない露岩などが見られる。

第4図は、広島県呉～三原市沖の芸予諸島のうち、上蒲刈島及び下蒲刈島内で採取した風化花崗岩試料の粒度分布図である。採取した同試料の粒度は標準砂と比較して粗粒であり、この粒度組成は島嶼の地形・地質状況などを反映していると思われる。2島の地形状況は、山頂高度460m以下の山地からなる。これらの山地は黒雲母花崗岩などから構成されており、風化花崗岩試料は主として海岸線に沿って採取した。海岸沿い及びその近辺の黒雲母花崗岩の風化状態は、局部的に真砂化が進行しているものの全体的に真砂化の程度は低く、第1表に示した風化区分のうちの「中～弱」風化花崗岩や「岩盤」に該当する。

#### 4. 細骨材としての真砂の利用と真砂の数値化

標準砂の粒度分布範囲に一致する真砂は、細骨材として使用する場合に粒度調製や洗浄などの製砂処理が容易である。上述したように、風化花崗岩の粒度分布は地形・地質状況と相関があると思われたが、特に、標準砂の粒度分布範囲にほぼ一致する真砂試料は、「強」風化花崗岩で真砂化の程度が高いことが明らかになった。したがって今後、風化花崗岩の真砂化の程度を数値スケール化する必要がある。その数値スケールを使用することによって、野外調査時に露頭の真砂の細骨材としての適否を簡便に推し量ることが可能になると考えられる。

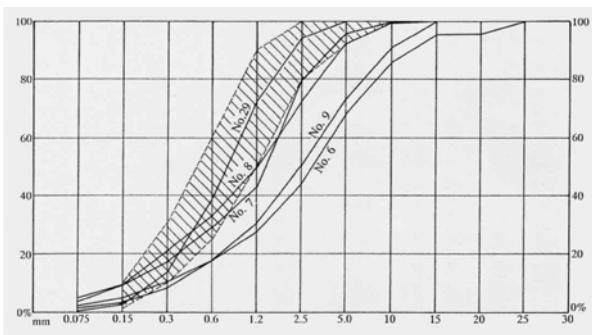
#### 参考文献

- 小村良二（2000）広島県安芸郡下の未開発細骨材資源—広島花崗岩の利用—。平成12年度骨材資源調査報告書、通産省生活産業局・工業技術院地質調査所、19-25
- 小村良二（2001）広島県南西部及び南東部地域の真砂資源—細骨材としての資源評価の試み—。平成13年度骨材資源調査報告書、（独）産業技術総合研究所地圈資源環境研究部門、30-44

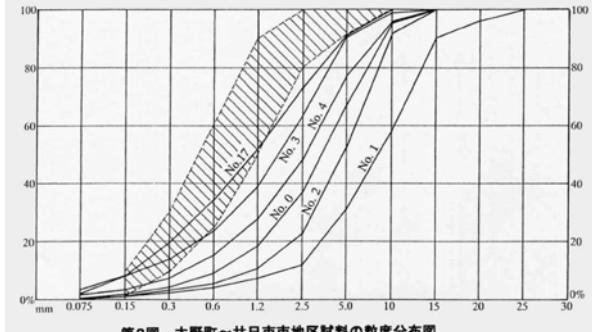
| 風化区分※   | 岩相の特徴                         |
|---------|-------------------------------|
| 強・風化花崗岩 | 露岩はほぼ一様に著しく風化し、真砂化している        |
| 中・風化花崗岩 | 真砂化がやや進行しているが、局部的に花崗岩組織が残っている |
| 弱・風化花崗岩 | 軟質部が局部的に真砂化しているが、花崗岩組織が残っている  |
| 岩盤(中)   | 酸化鉄や黒雲母の縞や帶が生じ、往々ハンマーの強打で割れる  |
| 岩盤(強)   | 露岩は堅硬な花崗岩の岩盤で、風化はほとんど進行していない  |

(※風化区分は、露岩の外観の特徴を5段階に区分したものである)

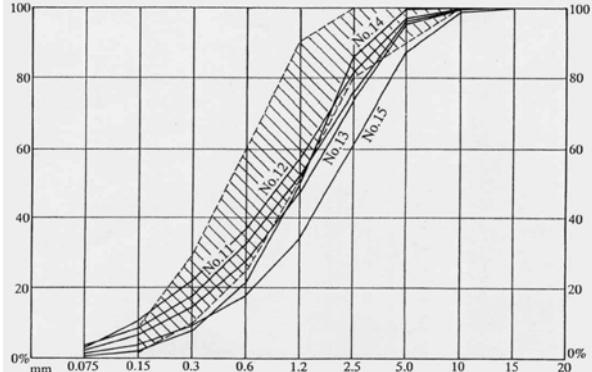
第1表 黒雲母花崗岩の風化区分



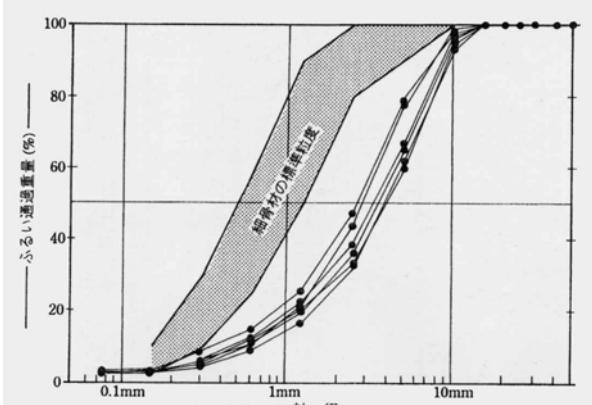
第1図 広島市安佐南区～佐伯地区試料の粒度分布図  
斜線を付した領域が標準砂の粒度である。



第2図 大野町～廿日市市地区試料の粒度分布図  
斜線を付した領域が標準砂の粒度である。



第3図 福山市芦田地区試料の粒度分布図  
斜線を付した領域が標準砂の粒度である。



第4図 上蒲刈島及び下蒲刈島試料の粒度分布図



## 東アジアのメタロジェニー Metallogeny of East Asia

鉱物資源研究グループ： 佐藤興平

Mineral Resources Research Group: SATO Kohei

Phone: 0298-61-3903, e-mail: sato.gsj@aist.go.jp

### 東アジアの鉱物資源

今から2億年余り前に、いくつもの大陸塊が寄り集まって巨大な大陸ユーラシアへと成長していく。その東縁に位置した東アジアは、1.5-0.5億年前ほど前の長い間、古太平洋の海洋プレートの沈み込みを受けて激しい火成活動の場となり、これに伴って様々な鉱床が出来た。東アジアの鉱物資源の大半は、この時代の珪長質マグマ活動（花崗岩や流紋岩）に伴う熱水鉱床として存在する。なかでも還元型花崗岩に伴うSnは東アジアを特徴づける鉱種であり、酸化型花崗岩が卓越しSnを欠く北米大陸西岸との間に著しいコントラストを見せる。太平洋の東西両岸の間のこのようなコントラストは何故生じたのだろうか？ 実は東アジアの中でも、酸化型花崗岩を主とし、Snを全く産しない異端的な地域もある。中国東北部や朝鮮半島がそれだ。火成活動と鉱化作用の時空分布特性をテクトニクスの視点からとらえ、鉱物資源分布を支配する根本原因を探ってみようというのがこの研究の趣旨である。

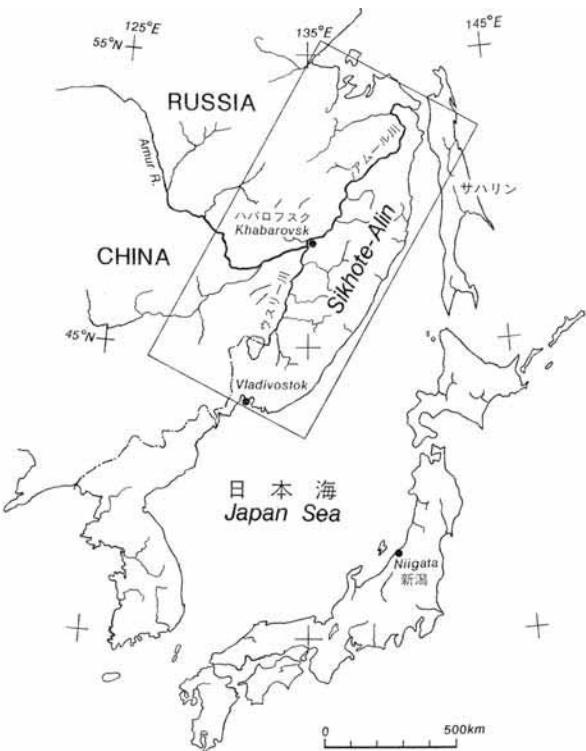


図1 調査地域（四角の枠内）。

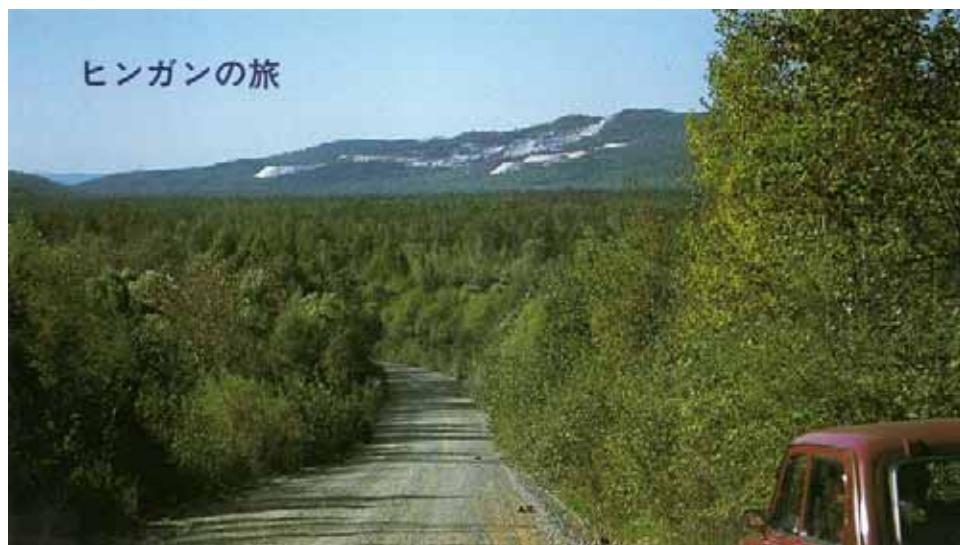


図2 ハバロフスク西方のヒンガン山地。白いズリは古生代のブルーサイト鉱床。

表 1 花崗岩系列を規定する変動様式(佐藤, 2000).

| 型            | 活動場の変遷                  | 花崗岩の型           | 鉱床                  | 実例                                                                                                                        |
|--------------|-------------------------|-----------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 移動型<br>(焼畑型) | 付加帯または堆積盆<br>↓<br>火成活動帶 | 還元型<br>(チタン鉄鉱系) | Sn, W, F,<br>Be, Cu | Yana-Kolyma 地域(ジュラ紀ー白亜紀; Sn)<br>ヒンガン地域(白亜紀; Sn, W, Cu)<br>シホテアリン中央部(白亜紀; W, Sn)<br>西南日本山陽帯(白亜紀)と<br>西南日本外帯(中新世; W, Sn, F) |
| 固定型<br>(連作型) | 火成活動帶<br>↓<br>火成活動帶     | 酸化型<br>(磁鐵鉱系)   | Au, Mo,<br>W, Cu    | 沿海州ハンカ地塊(白亜紀; Au)<br>朝鮮半島(白亜紀; W, Mo)<br>西南日本山陰帯(古第三紀; Mo)<br>中国沿岸部(白亜紀; Mo, Au)<br>北米シェラネバダ(白亜紀; W, Mo)                  |

註)Wは両系列に伴うが、資源としては還元型に伴うものが主。Cuはポーフィリー-Cu鉱床を含めると酸化型が圧倒的に多い。

### 環日本海の花崗岩と鉱床の時空分布

日本海周辺地域は、花崗岩と鉱化作用の地域変化がまとまって見られるという点で、ナゾ解きに都合がよい。今から1500万年ほど前に、日本列島は大陸から離れて島弧となった。もともと隣り合っていた地域とくにロシア極東のシホテアリン山地は、地質学的には日本列島の兄弟分と言える。ユーラシア大陸東縁部で共通の生い立ちをもつこの地域の知識は、日本列島の地質や鉱物資源の理解に不可欠であるが、東西冷戦の中で垣間見ることさえできない情報空白域となっていた。その地域が1990年代に入ってようやく国外に門戸を開き始めたのである。この機会をとらえて私は、ロシア科学アカデミーの研究所と共同研究を始め、現地を訪れている。調査地域は図1の枠の範囲で、広大なユーラシア大陸のごく一部に過ぎないが、それでも日本列島全体と同程度の広さだ。社会基盤が未発達なこの地域の調査は、時として探検に近い(図2, 3)。



図 3 シホテアリン山地の調査寸景。道路の無い地域ではゴムボートが有効。

### 花崗岩系列と地殻形成史

日本列島のメタロジエニーの理解は、1970-80年代に花崗岩質マグマの酸化還元状態に着目した花崗岩系列の提唱によって著しく進歩し、その成果をまとめた地質調査所の編集図も出版されている。この成果を基礎に、ロシア極東を中心とする環日本海全域の花崗岩と鉱床の時空分布を総括して、大陸地殻形成史の視点から、東アジアのメタロジエニーの総合理解へと結実させるのが最終目標である。表1に現在の見方を示した。火成活動場の歴史的変遷が鍵を握っているという主張である。詳しくは末尾の参考文献を参照されたい。東アジアのとくにロシア極東は、広大な付加体分布域が次の段階で花崗岩活動の場に転化することによって、堆積物が関与して還元的なマグマやSn鉱床が出来やすい環境を準備していたという点で、焼畑型の典型例と考えられる。北米西岸は“連作障害”のため酸化型しかできず、Snの濃集は起こりようがなかったのであろう。

### 参考文献

- 石原ほか (1992) 日本鉱床生成図, 200万分の1 地質編集図, 15-2, 3, 地質調査所.
- 佐藤ほか (1992) 日本花崗岩図, 日本地質アトラス第2版, 地質調査所.
- 佐藤ほか (1993a) 『地質ニュース』, no. 468, 16-26.
- 佐藤ほか (1993b) 『地質ニュース』, no. 470, 18-28.
- Sato and Kase (1996) The Island Arc, vol. 5, 216-228.
- 佐藤 (2000) 月刊地球, 号外, no. 30, 162-170.
- Sato et al. (2002) Resource Geol., vol. 52, 1-14.



## 工業原料鉱物の研究を中心として Research activity on industrial mineral resources

鉱物資源研究グループ： 平野英雄

Mineral Resource Research Group: Hideo Hirano  
Phone: 0298-61-3983, e-mail: hirano-gsj@aist.go.jp

### 1. まえがき

産総研発足以降の私の個人研究は、工業原料資源、特にタルクを中心に進めた。また、2001年にJICA派遣専門家としてベトナムを訪問し、工業原料鉱物の調査・評価技術の指導を行った、その際入手した試・資料の一部をとりまとめた。

### 2. 滑石

日本のタルク鉱床の産状、鉱物組成、化学成分、成因、生産量についてその概要をまとめた(図1,2、表1,2)。いわゆるタルク鉱床は、次のように3グループに分類される：(1) ほぼ純粋のタルクからなる鉱床(変成岩に伴われる)、(2) タルクと炭酸塩鉱物の混合(酸性岩からの熱水変質作用に関連)、(3) その他(緑泥石と角閃石、蛇紋石)。これらは、鉱物組成の違いから、それぞれの用途が異なることを示した。

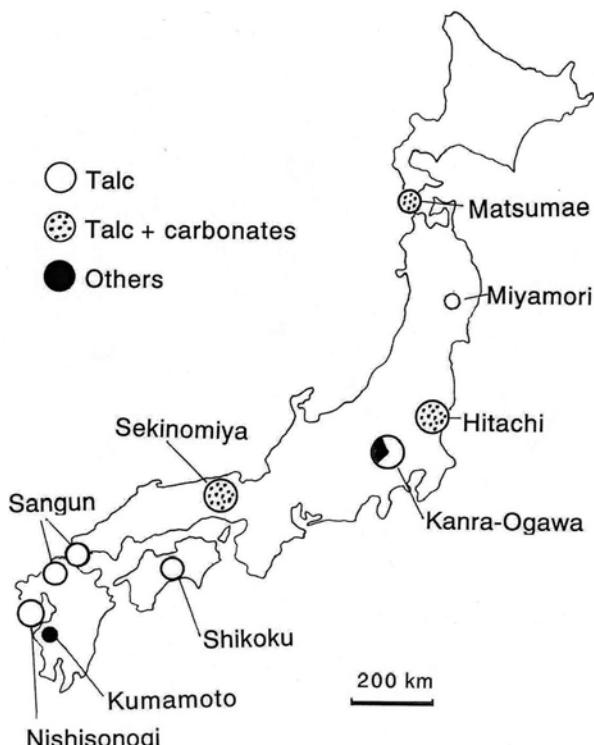


図1. 日本の主な滑石鉱床の分布図

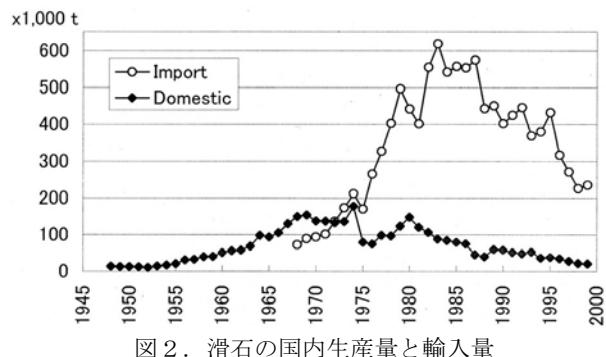


図2. 滑石の国内生産量と輸入量

表1. 日本の滑石鉱床の分類

| Type | Major mineral    | Original rock                  | Note                                                                                          |
|------|------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| A    | talc             | serpentinite (ultramafic rock) | occurring in low-grade metamorphic rock of green schist facies or epidote-amphibolite facies  |
| B    | talc, carbonates | serpentinite (ultramafic rock) | occurring in low-grade metamorphic rock and in sedimentary rock of the Paleozoic-Mesozoic age |
| C    | chlorite         | mafic rock                     | chlorite-rich part of green schist                                                            |

表2. 日本のおもな滑石鉱床

| Area        | Name of deposit or mine              | Ore type | Major (and minor) mineral                         | Size of each ore body etc.         |
|-------------|--------------------------------------|----------|---------------------------------------------------|------------------------------------|
| Matsumae    | Matsumae, Iwabe, Yugan, Inakurazawa  | B        | talc, chlorite, magnesite, (dolomite, antigorite) | 1,000-50,000 tons                  |
| Miyamori    | Iwanezawa, Kunimine                  | A?       | talc, tremolite                                   | metaorphosed by Cretaceous granite |
| Hitachi     | Asahinata, Hase, Sato                | B        | talc, magnesite, (dolomite, chlorite)             | 1,000-50,000 tons                  |
| Kanra-Ogawa | Nihon talc, Kanra, Yawata, Matsunada | A        | talc, chlorite, (antigorite, calcite, tremolite)  | 50-1,000 tons                      |
|             | Sugiura, Mayama                      | C        | chlorite, actinolite, (epidote, albite, pyroxene) | >100,000 tons                      |
| Sekinomiya  | Seicho, Asakura                      | B        | talc, (magnesite, quartz, chlorite)               | >50,000 tons                       |
| Sangun      | Kagawa, Abe, Sue                     | A        | talc                                              | 50-500 tons                        |
| Shikoku     | Shirataki, Besshi, Funaki, Arakawa   | A        | talc, chlorite (dolomite)                         | 50-1,000 tons                      |
| Nishisonogi | Nishinihon, Konoura                  | A        | talc, chlorite, (dolomite)                        | 50-500 tons                        |
| Kumamoto    | Sanno-Akamatsu                       | C        | antigorite, (chlorite)                            | >50,000 tons                       |

### 3. ベトナムの工業原料鉱物：

ベトナム北部のタンマイ鉱床について、産状、規模、構成鉱物、用途について調べ、構成鉱物から5つの変質分帶に区分することを提案し、鉱床の主体をなすパイロフィライト帶の形成温度を260-290度と見積もった(図3,4,5. 表3)。また、タンマイ Pyrophyllite 鉱床の全岩 K-Ar 年代(157Ma)を報告し、西南日本-朝鮮半島南端(70-80 Ma)、中国南東部(100 Ma)、ベトナム北部へと、Pyrophyllite 鉱床の生成年代が古くなることを示

した（図6）。

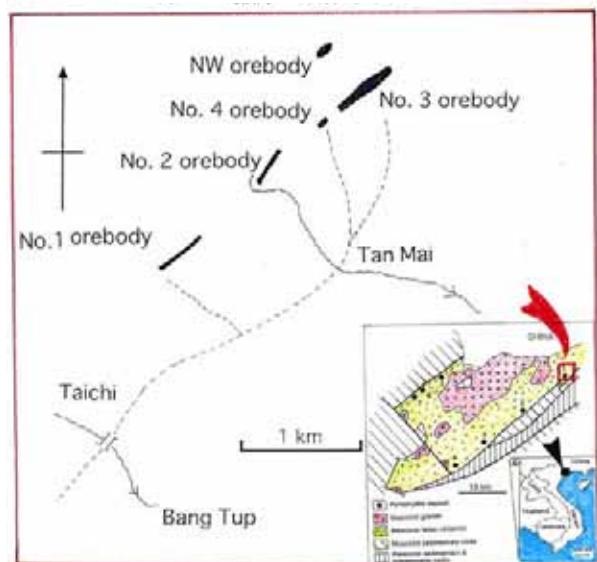


図3. ベトナム北部タンマイ鉱床の鉱体分布図

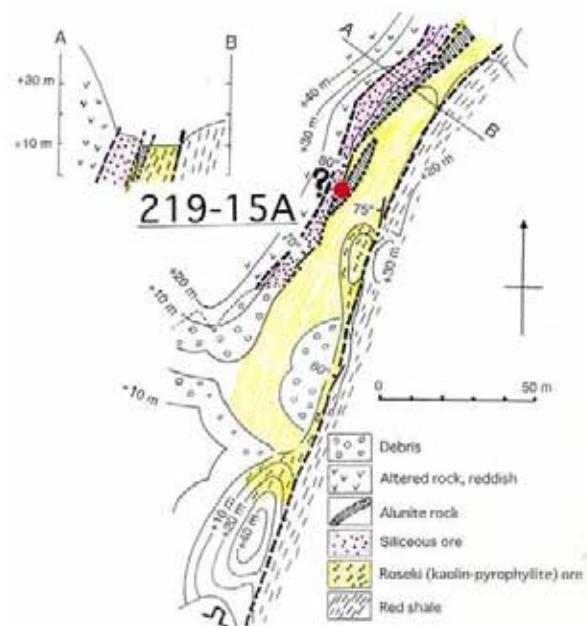


図4. タンマイ鉱床 no.2 鉱体の鉱床図

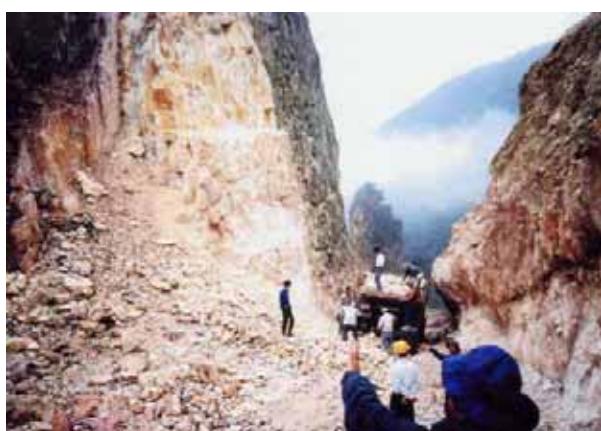


図5. タンマイ鉱床 no.2 鉱体の露頭写真

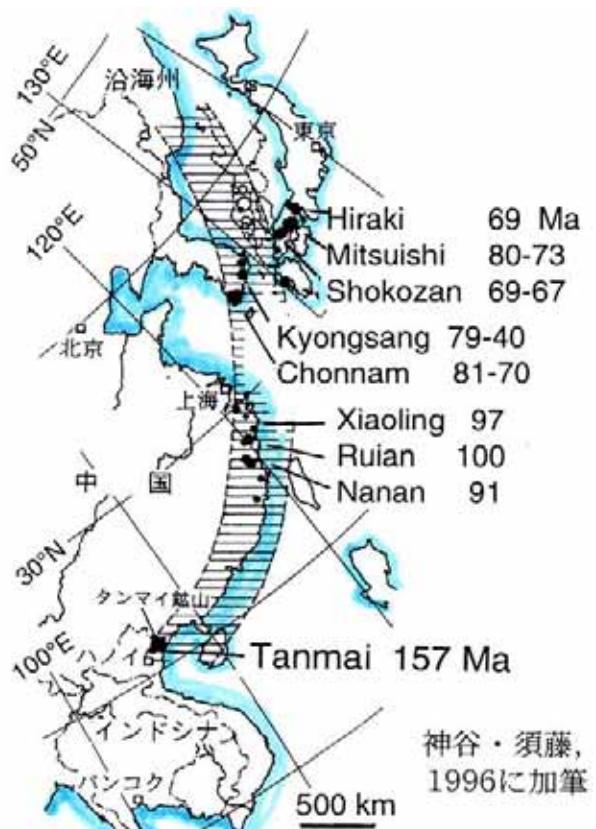


図6. 東アジアのロウ石鉱床の生成年代

表3. タンマイ鉱床の変質帯区分

| Alteration zone   | Characteristic mineral                       | Texture, occurrence                                    |
|-------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Kaolin zone       | kaolin (kaolinite and/or dickite) and quartz | fine-grained                                           |
| Pyrophyllite zone | pyrophyllite and quartz or kaolin            | medium-grained                                         |
| Siliceous zone    | quartz and pyrophyllite                      | mineral assembl. similar to those of pyrophyllite zone |
| Diaspore zone     | diaspore and pyrophyllite or kaolin          | medium-, coarse- grained, vein                         |
| Alunite zone      | alunite, pyrophyllite and diaspore or quartz | medium-grained                                         |

#### 4. その他の活動

日本地質文献データベース: GeoLis の項目選定委員として、第7事業所図書室（旧地調資料室）にて、毎週1-2回のペースで、鉱物、岩石、鉱物資源分野の新着文献の選定作業を行っている。地質調査研究報告の編集委員として、同報告の迅速な発行と内容の充実に努めた（2002年7月まで）

#### 参考文献 :

- 1) Hirano et al., (2001) Pyrophyllite mineralization of the Tanmai deposit, Quang Ninh Province, northern Vietnam. - A result of a reconnaissance survey - Bull. Geol. Surv. Japan, v. 52 (11/12), p. 581-598.
- 2) Hirano, H. and Togashi, Y. (2001) Talc deposit in Japan. Mineralia Slovaca, IGCP 443, Geol. Surv. Slovaca, v. 33, no. 6, p. 595-598.
- 3) 平野・青木（2002）ベトナム北部タンマイ Pyrophyllite 鉱床の生成時期について、日本地質学会（新潟大学）P-223.



## 資源探査におけるリスク削減の研究 Research on risk mitigation in mineral development programs

鉱物資源研究グループ： 村尾 智

Mineral Resource Research Group: Satoshi Murao  
Phone: 0298-61-2402, e-mail: s.murao@aist.go.jp

### 1 まえがき

資源探査技術は進歩が著しく、金を始めとする金属鉱床の探査は民間主導となりつつある。しかしながら、資源開発現場での環境管理や地域共同体との関係構築、コンティンジェントライアビリティに基く過去の汚染への対処方法等についてはノウハウが十分ではない。このような課題は民間では研究が困難であり、産総研をはじめとする公的機関の取り組むべきテーマであると考えられる。

### 2 グループ員としての活動

資源探査におけるリスクには、地域住民や先住民との摩擦など社会的なものと、自然環境の破壊あるいは過去の事業者による環境汚染など自然科学的なものに分けられるが、筆者は特にノウハウのない社会的リスクについて予算を措置し、研究に取り組んでいる。鉱物資源の研究としてはレアメタルの地質学も研究の対象としているが、今年度は外部資金を獲得できたため、社会学的研究に力を注いでいる。

### 3 ゴールドラッシュ地域における研究

筆者は競争的資金である環境省の地球環境研究総合推進費により、金鉱のスモールスケールマイニングに起因する水銀汚染について情報を収集するとともに汚染の実態調査を実施している（たとえば Mining Environmental Management, 2001 March ; 村尾 2002 参照）。

金鉱のスモールスケールマイニングでは鉱夫とその家族が無機水銀に暴露されており、かつ周辺に水銀を拡散すると言う構図になっている。このような水銀汚染については、採掘地点から周辺へ向けて水銀が拡散する様式の解明に力が注がれてきたが、鉱夫とその家族がどのように水銀を取り込むかも明らかにする必要がある。

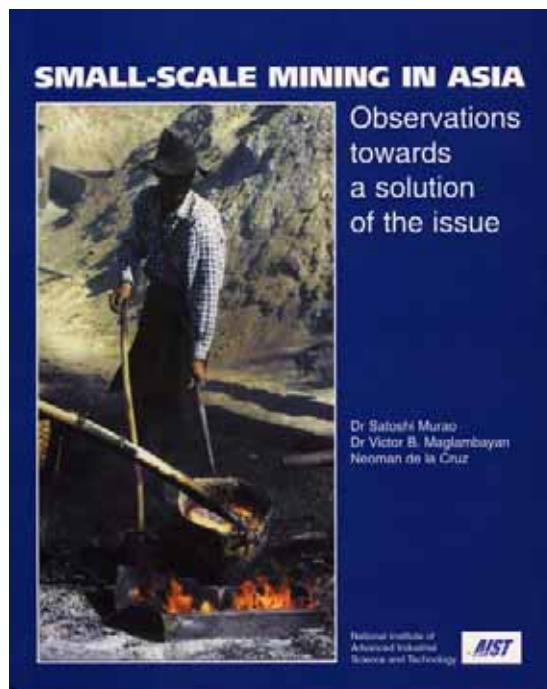
しかしながら、スモールスケールマイニングを行う集団に入り込んで聞き込み、調査を行うことは容易ではない。研究試料も簡単な方法で採取し、迅速に分析しなければならない。そこで筆者は岩手医科大学と共同で総水銀を簡便に測定できる方法を検討し、PIXE 法を採用することとした（たとえば Sera et al., 2002）。

鉱石を処理している鉱夫とその家族の毛髪の総

水銀については、同意を得た上で、毛髪の分析を行ったところ、婦女子で含有量が高いことが判明した(Murao et al., 2002a)。これは金鉱の処理を屋内で女性が行うためと考えられる。この結果はフィリピン鉱山地球科学局を通じて本人に通知し、レトルトの使用など、水銀蒸気の吸入を避ける方法を指導している(Murao et al., 2002b)。

健康面での調査に加えて、金属回収の技術や効率について助言することも重要である。そこで筆者は鉱石や岩石の分析値を現地の公的機関に提供している。例えば金鉱の採掘を行っているある先住民共同体で尾鉱に金が残留していることを明らかにした(Murao et al., in print)。

以上に加えて、得られた各種情報は整理して編集し、ロンドンより出版した（第1図）。



第1図 Mining Journal Books Ltd. より出版したプロジェクト報告書. ISBN: 0 9537336 3 7.

なお、本プロジェクトについては、内容が暴露的で内政干渉にあたるとの批判があるが、鉱夫らへの指導は現地の行政官が自らの判断で行ってお

り、また、報告書類も現地の公的研究機関から許可を得た上で公開しているので、筆者としては問題ないと考えている。

#### 4 リスクコミュニケーションの応用

リスクコミュニケーションとは「個人とグループそして組織の中で情報や意見を交換する相互作用的過程」を指す (National Research Council, 1989)。

心理学的には完成されたこの手法は資源開発における応用例が皆無であるが、地域共同体と鉱山会社あるいは政府の対話をファシリテイトするツールとして期待されるものである。

そこで、筆者は経済産業研究所委託「資源開発に必要なリスクコミュニケーションに関する調査研究」として、早稲田大学および慶應義塾大学の心理学専門家と共に、鉱産地帯住民の意識調査を行っている。具体的には産金地帯であり、鉱業が文化の一部となっているフィリピンのイトゴン市域を対象に、フィリピン鉱山地球科学局 CAR 支所およびフィリピン大学の協力を得て、ベースライン調査を実施中である。また、12月以降に2回に分けて地元民へのインタビューを実施予定である。なお、本研究ではフィリピン鉱山地球科学局 CAR 支所長の参加と助言を仰ぐなど、内政干渉にならぬよう細心の注意が払われている。

#### 5 国際会議の開催

鉱業と地域共同体に関する研究をより良く進展させ、資源開発におけるリスクコミュニケーションの可能性を探るため、2003年1月中旬、つくば市において円卓会議「Round Table Meeting on Good Practice and Effective Methods on Risk Communication between Mineral Property Developers and Local Communities」を開催する。参加者は30人程度と小規模であるが、リスクコミュニケーションの応用について検討する世界初の会議である。また、会議中には心理学者のファシリテイトするロールプレイも予定されており、新しいコンセプトの詰まった会議である。

#### 6 海外機関との連携

一連の行政改革により、通商産業省は経済産業省に改組され、鉱業課は鉱物資源課となった。筆者は新たな資源政策の展開にあたって国際的連携が必要と考えている。そこで、国際機関等との情報交換、連携のための枠組み作りを模索中である。2002年度は国連ラテンアメリカ・カリブ経済委員会と共同研究の覚書を部門長承認の下で交わし（村尾 2001）、ラテンアメリカの産金地帯に関するマッピングを実施中である。また、世界銀行とイギリス国際開発庁が主導する CASM (Community and Small Scale Mining) イニシアティブに参加している。同イニシアティブはスマールスケールマイニングの問題に国際的連携でもって取り組もう

とするもので、地圏資源環境部門はこれに対して主に in kind の貢献をするスポンサーとして認定され、意見交換、情報交換を行っている（<http://www.casmsite.org/about-organization.html> 参照）。今年度はさらに資源政策について高い評価を受けているダンディ大学エネルギー石油鉱物資源政策センターとの交流を開始した。

なお、発展途上国でみられる水銀汚染は金鉱のスマールスケールマイニングに起因する場合が多いが、筆者は水銀汚染の研究に一定の実績をあげている国連工業開発機関やニュージーランド地質・核科学研究所、米国地質調査所等と今後の取り組みについて協議中である。海外の水銀汚染を産総研の研究として取り扱うことについては当部門長および国際部門長の承諾を得ている。

#### 文献

- Mining Environmental Management (2001) Small scale mining in the Philippines - problems and remedies, 18-22, Mining Journal Books, London.
- Mining Journal Books Ltd. (2002) Small-scale mining in Asia, observations towards a solution of the issue. Murao, S. (editor-in-chief), London, 62pp.
- 村尾 智 (2001) 国連ラテンアメリカ・カリブ経済委員会 地質ニュース 565, 49-51.
- 村尾 智 (2002) ゴールドラッシュ地域における環境管理、環境計画およびリスクコミュニケーションに関する学際的研究。 地球環境研究総合推進費平成13年度研究成果 - 成果概要集 - 249-252、環境省。
- Murao, S., Daisa, E., Sera, K., Maglambayan, V. B. and Futatsugawa, S. (2002a) PIXE measurement of human hairs from a small-scale mining site of the Philippines. Nucl. Instr. Meth. B189, 168-173.
- Murao, S., Sera, K., Maglambayan, V. B., Daisa, B., Futatsugawa, S., Yamazaki, M., Yukawa, M., Takeda, S. and Imaseki, H. (2002b) Environmental monitoring and education using PIXE: a trial for small-scale mining of gold. 招待講演 Bio-PIXE Symposium, Mexico City.
- Murao, S., Futatsugawa, S., Sera, K., and Maglambayan, V. B. (in print) Trace element analysis of tailings from an indigenous mining community, Benguet, Philippines. International Journal of PIXE.
- National Research Council (1989) リスクコミュニケーション 前進への提言 林 裕造・関沢 純監訳 化学工業日報社 375pp.
- Sera, K., Futatsugawa, S. and Murao, S. (2002) Quantitative analysis of untreated hair samples for monitoring human exposure to heavy metals. Nucl. Instr. Meth. B189, 174-179.



## 鉱物資源探査手法の研究 Research on exploration methods of mineral resources

鉱物資源研究グループ： 渡辺 寧

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

### 1. まえがき

2001年4月以降、①チリ国エルサルバドル斑岩銅鉱床、②モロッコ王国鉛一亜鉛鉱床、③西南北海道無意根一豊羽熱水系の研究を行い、④その他鉱物資源に係わる技術移転等のコンサルティング業務を行った。

### 2. チリ国エルサルバドル斑岩銅鉱床の研究

チリ国エルサルバドル斑岩銅鉱床上部(図1)の変質帯の研究により、従来区分されていなかったセリサイト変質帯にも平面、垂直面それぞれに熱水変質鉱物の累帯が認められること(図2)、hypogene変質をもたらした热水はマグマ起源であることを明らかにした(文献1)。このことから斑岩銅鉱化作用をもたらすマグマの位置を上部変質帯の検討から予測することが可能であることが判明した。



図1 チリエルサルバドル地域

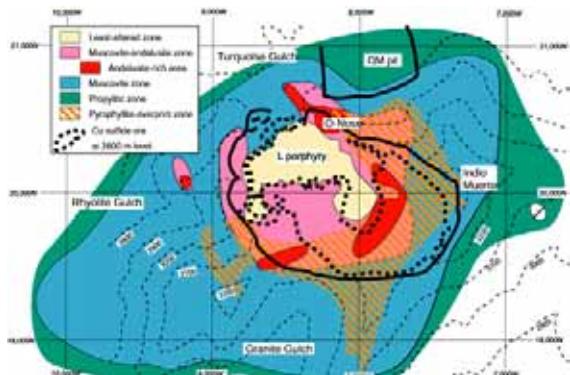


図2 エルサルバドル鉱床上部の変質帯分帶

### 3. モロッコ王国鉛一亜鉛鉱床の研究

モロッコ王国ハジャール塊状硫化物鉱床(図3)、ティグサ鉱脈鉱床、ベディアン他のミシッシッピー・バレー型鉱床の年代・鉱化作用に関する研究を行った。ハジャール鉱床は堆積物が卓越する場での海底火山活動に伴って形成され、鉱床形成後、マグマの貫入、広域変成作用を蒙ったことを明らかにした。ティグサ鉱床は二疊紀の花崗岩の貫入に伴い形成された多金属鉱床であり、花崗岩の貫入と断層の重複する地域が鉱化ポテンシャルを持つことが判明した。ベディアン他の鉱床はアトラス山脈の上昇による堆積盆地の形成が鉱床形成に係わっていることが明らかになった(文献2, 3)。



図3 ハジャール鉱床の塊状硫化鉱

### 4. 西南北海道無意根一豊羽熱水系の研究

西南北海道の地質・金属鉱物資源情報のコンパイルおよび無意根地域の地質調査に基づき無意根一豊羽熱水系(図4, 5)が、この地域の広域応力場



図4 無意根山遠景

が最も圧縮的になった時に、水平面内での差応力の大きい横ずれ断層の発達するテクトニックセッティングにおいて形成したことを明らかにした(文献4)。さらに鉱化作用は無意根火山での約3Maの火山岩の形成後に火山体に貫入したマグマに関連していることを地表変質帶の産状および明礬石のAr-Ar年代により明らかにした(文献5)。この結果は、この地域の金属鉱物資源ポテンシャルは鮮新世のマグマ-熱水系が最も高いことを示している。

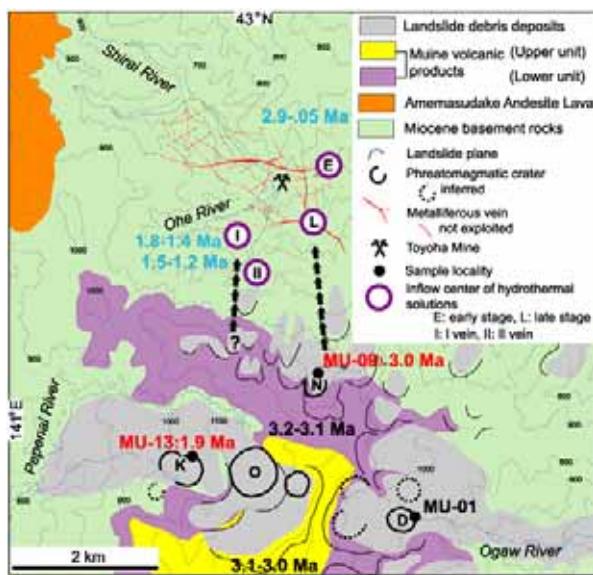


図5 無意根-豊羽熱水系平面図。

## 5. その他の活動

筆者は資源地質学会の評議委員、選挙管理委員等を通じて、資源地質学界の推進に努めたほか、文部科学省の教科書検定を行った。世界鉱山省会議ではパネリストを務め、産業技術総合研究所地質調査研究センターの鉱物資源分野における役割についての講演を行った。

さらにJICAモロッコ王国鉱物資源探査技術向上プロジェクトの短期専門家として2000年～2001年にかけて5回にわたりモロッコを訪問し、



図6 モロッコでの試錐コア鑑定技術指導風景。

鉱物資源探査に関する技術指導を行い(図6)、指導のための副読本を2冊作成した。また鉱物資源探

査技術及びモロッコの鉱物資源データを資源図、書籍(文献3、図7)、CDに編集し出版した。

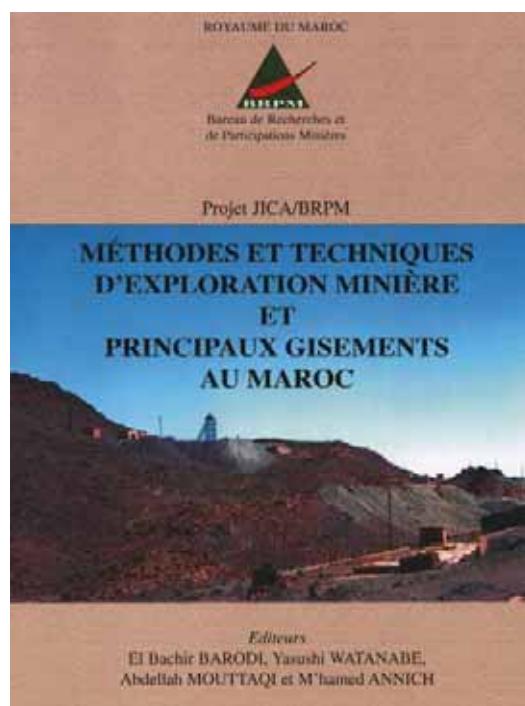


図7 JICAモロッコ王国鉱物資源探査技術向上プロジェクトの最終成果出版物。

2001年11月に地圈資源環境研究部門とトルコ鉱物資源調査開発総局との間で結ばれた「西部トルコ地域におけるメタロジエニーの研究」のMOUに基づき、2002年6-7月に現地地質調査を行い、斑岩銅鉱床、浅熱水性鉱床に関するセミナーを開催した。2002年9月にはJICAの依頼で、モーリタニア・イスラム共和国「鉱物資源開発戦略策定調査」プロジェクト形成調査団に参加し、技術面でのアドバイスを行った(図8)。



図8 モーリタニア・イスラム共和国地質調査所にて

## 参考文献

- Watanabe, Y. (2001) Economic Geology, v. 96, No. 8, p. 1775-1797.
- Watanabe, Y. (2002) Economic Geology, v. 97, No. 1, p. 145-157.
- El Bachir Barodi, Yasushi Watanabe, Abdellah Mouttaqi et M'hamed Annich (2002) Méthodes et Techniques d'Exploration Minière et Principaux Gisements. BRPM, 325p.
- Watanabe, Y. (2002) Resource Geology, v. 52 No. 3, p. 191-210.
- 渡辺 寧(2002)無意根酸性変質帶の明礬石の $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 年代と豊羽鉱化作用. 資源地質学会51年年会

## アジア地熱研究グループの紹介 Introduction of the Asia Geothermal Research Group

アジア地熱研究グループ長： 村岡洋文  
 Leader, Asia Geothermal 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

地球環境維持の達成には、エネルギー需要の急進するアジア諸国において（図1），クリーンエネルギーインフラ構造を確立することが急務である。アジア諸国には、クリーンな地熱エネルギー（図2）が豊富に存在し、かつメジャーなエネルギー資源として広範な開発ニーズが存在する。当グループではアジア諸国との多国間・二国間共同研究を通じて平成16年中に「アジア地熱資源データベース」を作成することを目標とし、平成14年度にはCCOP多国間共同研究「アジア地熱資源データベース」を続行するとともに、新規二国間共同研究のスタートを目指す。

### 2. グループの研究資源

#### 1) グループ員

|              |                    |
|--------------|--------------------|
| 村岡 洋文 (リーダー) |                    |
| 山田 営三        | **バンコク CCOP 駐在     |
| 大久保泰邦        |                    |
| 佐脇 貴幸        |                    |
| 内田 利弘        | **当部門他グループより分担     |
| 浦井 稔         | **地球科学情報研究部門より分担   |
| 高島 勲         | **秋田大学より併任         |
| 高橋 正明        | **深部地質環境研究センターより分担 |
| 駒澤 正夫        | **地球科学情報研究部門より分担   |
| 安川 香澄        | **当部門他グループより分担     |
| 筮田 政克        | **当部門（統括研究員）より分担   |

#### 2) 予算

運営費交付金「アジア地熱資源データベース」  
 (知的基盤／CCOP)  
 電源特会「貯留層変動探査法開発の解析・評価」  
 の一部

### 3. 平成13年度までの進捗の状況

- 遠隔離島小規模地熱の探査に関する研究協力：本プロジェクトの最終年度であり、インドネシア遠隔離島での坑井の噴気試験では、毎時15トンの蒸気が確認され、本研究で構築した地熱探査システムの有効性が検証された（図3および図4）。また、インドネシアにお

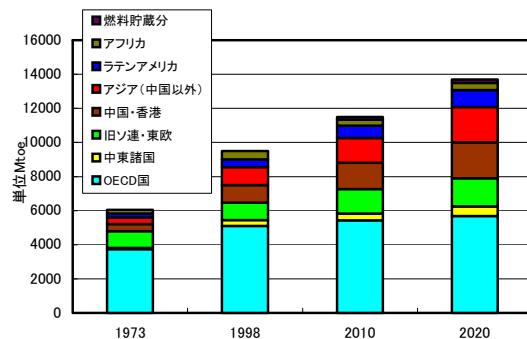


図1 国際エネルギー機関による世界の第一次エネルギー供給実績（1998年まで）と予測（単位Mtoeは原油トン換算のエネルギー量）<sup>1)</sup>。

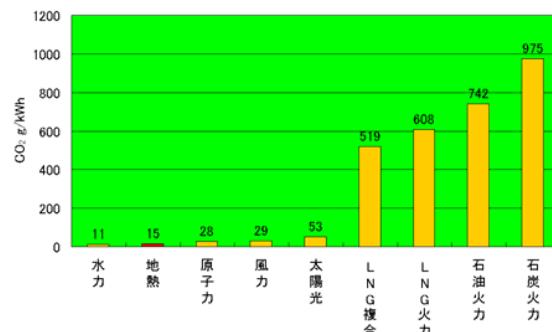


図2 各種発電の燃料・設備・運用過程のCO<sub>2</sub>排出量<sup>2)</sup>。



図3 2001年1月20日マタロコ NEDO 井の噴気試験の模様。

- いて最終公開セミナーを開催するとともに（図 5），本研究の成果 31 編の論文を地質調査研究報告の英文特集号として編集した（図 6）<sup>3)</sup>。
- 2) アジア地熱資源データベース：CCOP 加盟国によるナショナルコンピイラ会議を開催し，地熱資源データベースの最終目標を確認するとともに，各国のデータベースの現状および利用可能なデータの調査を行い，統一フォーマットを決めた。

#### 4. 平成 14 年度の研究計画

- 1) 新規二国間共同研究：現在各種公募スキームに応募中であり，後継の二国間共同研究プロジェクトの立ち上げを目指す。
- 2) アジア地熱資源データベース：平成 13-15 年度の課題であり，本グループがリードし，アジアの CCOP 参加国 10ヶ国と協力して，アジアの地熱資源データベースを確立する。14 年度には，確立された収集データ項目・データフォーマットにもとづき，各国がデータ収集作業を行い，大部分のデータの収集を完了するとともに，最適なデータベースシステムの設計を行う。また，我が国の地熱資源データ収集・基礎的な地熱資源データ解析を行う。
- 3) アジアにおける地熱技術開発の情報交換の場として，第 5 回アジア地熱シンポジウムを開催する。

#### 5. 期待される成果

クリーンな地熱エネルギーのアジアにおける普及促進を図るため，論文発表はもとより，啓蒙普及活動にも努力を傾注し，アジアの地熱開発に関する人材・情報ネットワークの構築を目指す。

#### 参考文献

- 1) IEA (2000) World Energy Outlook 2000 Edition, International Energy Agency.
- 2) 本藤祐樹 (2000) ライフサイクルの CO<sub>2</sub> 排出量を電源別に求める—最新データを用いて算定，再評価－. 電中研ニュース，338 号，4 p.
- 3) Geological Survey of Japan (2002) Special Publication: Indonesia-Japan Geothermal Exploration Project in Flores Island, 439p.



図 5 2002 年 2 月 20 日のバンドンにおける最終公開セミナー集合写真。



図 6 インドネシアプロジェクトの最終成果。



図 4 2001 年 1 月 20 日マタロコ NEDO 井の噴気試験の模様。



## アジア地熱研究を中心として Focusing on Asian geothermal researches

アジア地熱研究グループ： 村岡洋文

Asia Geothermal Research Group: Hirofumi Muraoka  
Phone: 0298-61-2403, e-mail: hiro-muraoka@aist.go.jp

### 1. まえがき

産総研発足以降、私の個人研究活動は、①研究グループ長としての活動、②インドネシアとの研究協力、③バヌアツの地熱資源プレ可能性調査、④その他の活動等に分けられる。

### 2. 研究グループ長としての活動

グループ研究計画作成、個人評価、外部評価資料作成、グループホームページ作成(図1)、等々、組織改変に伴う多くの事務的仕事を実行するとともに、グループの新規プロジェクト確保のため、公募案件に6件以上の応募を試みた。しかし、これについては全て却下され、現時点ではその目標は実現されていない。



図1 グループのホームページ。



図2 2001年1月20日マタロコにおけるNEDO井の噴気試験の模様。

### 3. インドネシアとの研究協力

筆者はインドネシアとの研究協力事業『遠隔離島小規模地熱の探査に関する研究協力』(1997-2001年度)の産総研チームリーダーの立場から、同プロジェクトの成果のまとめと普及に、最大の努力を傾注してきた。同プロジェクトではすでに2001年1月20日に、NEDO井の噴気試験に



図3 最終公開セミナーの集合写真

成功している(図2)。

2002年2月20日には、これらの成果を普及するために、関係諸機関とともにバンドン市において、最終公開セミナーを開催し(図3)、これに合わせて、同セミナーの439頁の英文予稿集<sup>1)</sup>を出版するとともに(図4)、最終的には参加2ヶ国6機

関の全成果を地質調査研究報告53巻2/3号に、31論文、348頁



図4 最終公開セミナーのプロシードィングス。

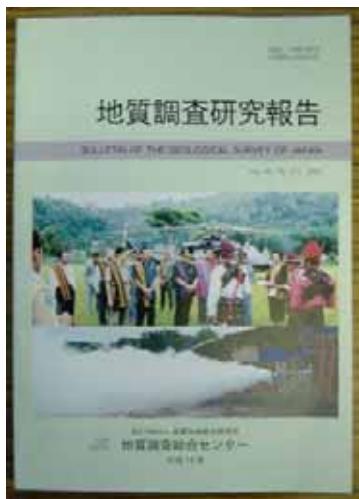


図 5 インドネシアプロジェクトの最終成果。

ドネシア・日本の緊密な連携作業が実現され、同プロジェクトは成功裡に終了させることができた。

#### 4. バヌアツの地熱資源プレ可説性調査

2001年秋頃、国連 ESCAP より、バヌアツ共和国の地熱資源プレ可説性調査の要請があり、NEDO の堀越孝昌氏、産総研深部地質環境センターの高橋正明氏、および筆者の 3 名が、ごく短期間ながら 2002 年 3 月に同国のエファテ島とトンゴア島とを調査した。その成果を英文 51 頁の ESCAP 宛て報告書にまとめ、その成果の一部を地質ニュース 578 号に印刷中である<sup>4)</sup>。エファテ島では温泉の分布が同島を東西に分割するテウマリフト帯に規制されている(図 6)。また、トンゴア島では、地熱地

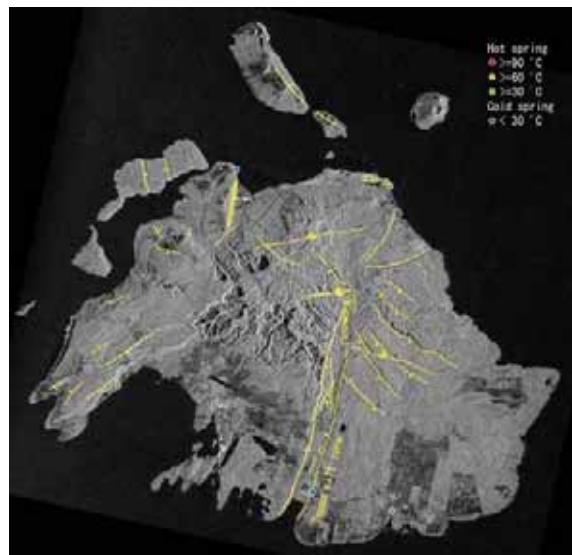


図 6 エファテ島の JERS-1 SAR 画像 (画像取得は浦井 稔氏の協力による, Copyright, METI/NASA)。

の英文特集号<sup>2)</sup>としてまとめた(図 5)。これには、筆者自身も、主著論文を 4 編、共著論文を 7 編公表した。また、そのこぼれ話は地質ニュース 577 号および 578 号に、アジア地熱研究特集号<sup>3), 4)</sup>として印刷中であり、その要約は AIST Today, Vol. 2, No. 10 にも印刷中である。これら成果のまとめの過程に至るまで、イン

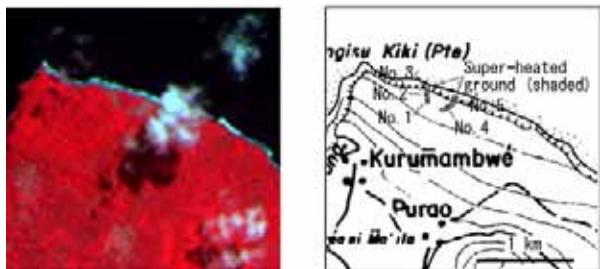


図 7 トンゴア島北部の地熱地帯は ASTER 画像 (画像取得は浦井 稔氏の協力による, Copyright, METI/NASA) 上でも、高温のため植生欠落域として抽出される。

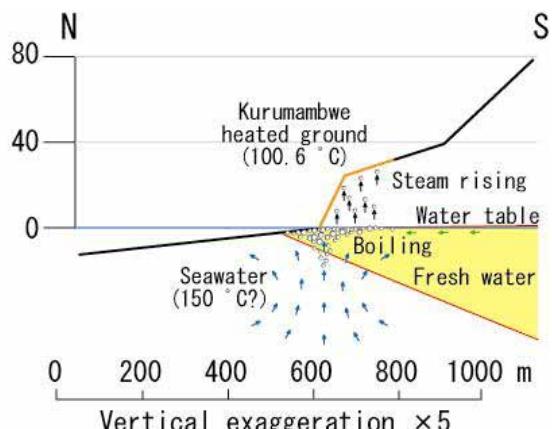


図 8 トンゴア島北部の地熱地域の模式断面。

域がその北海岸の海岸段丘上にあり(図 7)、その地表面温度が海水の沸点温度である 100.6°C を示すことから、図 8 のように、海岸段丘の海水準付近の地下水位で、海水が沸騰し、その蒸気が地表付近を熱していることが推定される。

#### 5. その他の活動

筆者は日本地熱学会の評議員、選挙管理委員長、経理委員長等を通じて、地熱学界の推進に努めているほか、NEDO、NEF、地熱技術開発株式会社、西日本技術開発株式会社等、外部機関の委員を通じて、地熱開発の促進普及に努めている。2002 年 2 月 22 日には、第 4 回アジア地熱シンポジウムにおいて、2002 年 4 月 5 日には、第 3 回地熱研究会において、それぞれアジア地熱クリーン開発メカニズムに関する講演を行った。また、部門内においても、広報委員、地熱将来展望ワーキンググループ等を通じて、広報活動に努めている。

#### 参考文献

- 1) Geological Survey of Japan (2002) Special Publication: Indonesia-Japan Geothermal Exploration Project in Flores Island, 439p.
- 2) Geological Survey of Japan (2002) Bull. Geol. Surv. Japan, 53, 61-408.
- 3) 地質調査総合センター (2002) 地質ニュース, 577 号, 69p.
- 4) 地質調査総合センター (2002) 地質ニュース, 578 号 (印刷中)。



## 世界の環境と開発のバランスを考える Balance on global environment and development

アジア地熱研究グループ： 大久保泰邦  
 Asia Geothermal Research Group: Yasukuni Okubo  
 Phone: 0298-61-3846, e-mail: yasu-okubo@aist.go.jp

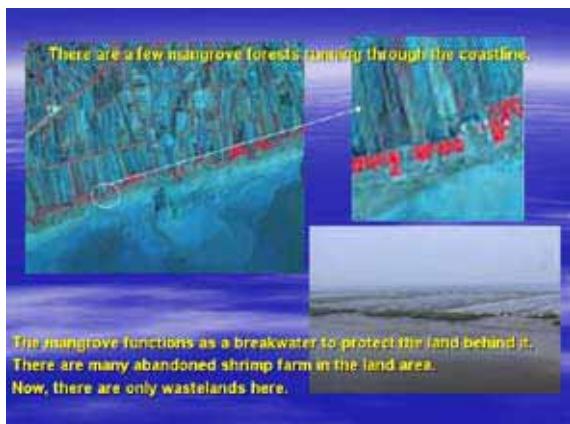
### 1. まえがき

世界の環境と開発のバランスをテーマに、地球科学データ取得・編集・解析を行い、地球環境の変動、持続的開発についての研究を行っている。

### 2. アジア海岸地域の海岸侵食

約2万年前の最終氷期から現在までに、温暖化に伴って海面が100メートル以上上昇した。近年の温暖化によってさらに海面が上昇することが危惧されている。しかし、海岸環境に関しては海面上昇だけでなく、人工構造物の建設や生態系の破壊などの人間の自然への関与も大きい。

デルタは河口に形成された海岸地形であり、マングローブ林は熱帯の海岸の主要な生態系の一つである。デルタ・生態系の成長過程を解き明かすことによって、海岸環境の変動を解き明かし、変動の原因、海水準変動の応答時間などを求め、アジア海岸地域の持続的発展の方法を探る。



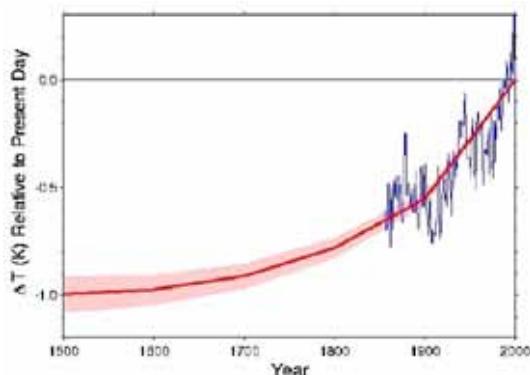
人工衛星画像によって映し出されたタイ湾頭のマングローブ林と廃棄されたエビ養殖場。

### 3. ポーリング孔温度からの温暖化予測

ポーリングの温度測定から過去の温度を推定することができる。地表付近の地下温度は地下深部からの伝わる熱と、大気が持つ熱が地下に浸透する効果によって変動する。ポーリングの温度測定を注意深く行うことによって、過去の温度を推定することができる。



韓国において温度測定を行っている様子。このような測定が全世界で行われており、1度程度の温度上昇があつたと推定されている。



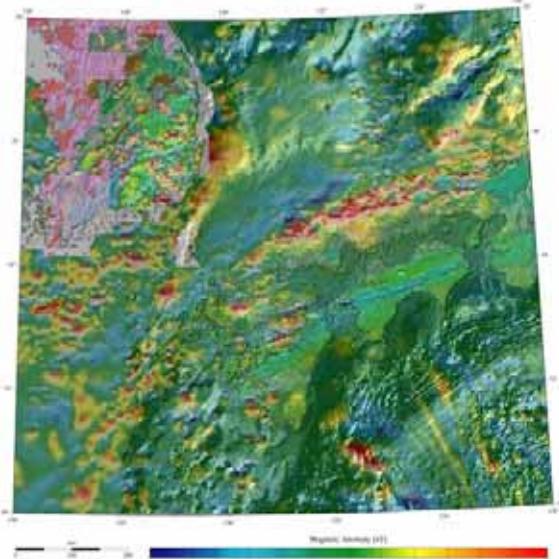
過去500年間の温度変化。赤い線はポーリングの温度測定から推定されたもの。青線は世界の平均気温変化。

### 4. 国際機関 CCOP を通した技術協力

国連の傘下にある国際機関CCOPにおいて地熱データベースなどの数値地球科学データの編集を行い、開発途上国への成果の普及を図っている。

## 5. 日韓技術協力による地球物理データの編集

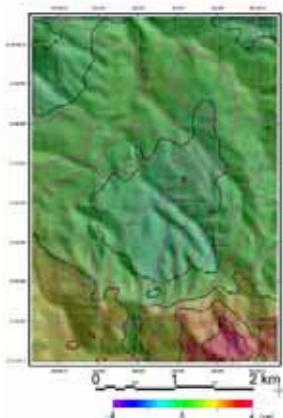
韓国の協力を得て、地球内部構造の基礎データとなる地球科学データを編集し、データベースを作成している。2001年と2002年に編集図であるアトラスとそのCD-ROM版を出版した。



地磁気異常と海底地形の陰影図・地質図の重ね合わせ。海洋プレート上に記録された磁気縞模様が南海トラフで沈み込む様子が描き出されている。

## 6. インターフェロメトリーによる地盤変動抽出

インターフェロメトリーは、人工衛星取得のレーダーデータから広域的かつ高精度に地盤変動を抽出する技術である。従来の水準測量に代わる技術として、地熱発電所周辺の地盤変動抽出を図り、実用化のための研究を行っている。

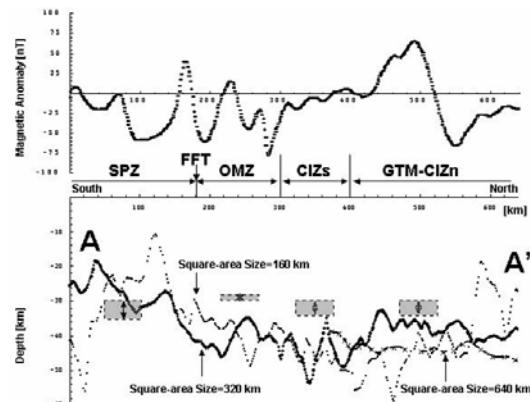


柳津西山地熱発電所（福島県）のインターフェロメトリーによる変動（黒線を付した色コンタ）と水準測量による地盤変動（赤いコンタ）。

## 7. 地中海周辺国のキュリ一点解析

ポルトガル・モロッコ・イタリアの地中海周辺国において、地磁気データを解析して、他手法では抽出困難な地下数10kmの温度構造の推定を行

っている。



ポルトガルの磁気層底面深度南北断面。

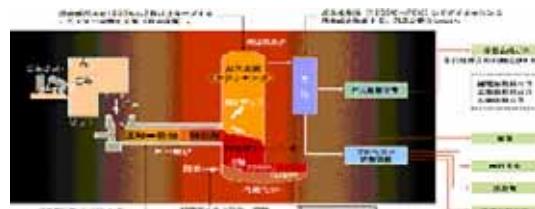
## 8. その他の活動

(社)物理探査学会国際委員会において、物理探査分野における国際交流に務めている。



2002年5月に著名な石油探査の研究者を招いて開催されたセミナー

またNPOアジア環境技術推進機構において、研究成果やエネルギー収支、ゴミ処理などのデータをまとめ、持続的発展の可能性を探っている。



ガス化改質方式のゴミ処理システムの例。

## 参考文献

- 1) Remote-sensing survey for coastal environmental change in Asia, SEG International Exhibition and 72<sup>nd</sup> Conference (2002)
- 2) Borehole data and climate reconstruction in Korea. International Paleoclimate Reconstruction Workshop (2002発表予定).
- 3) Geoscientific Maps of Southern Part of Korea, Western Part of Japan and Their Adjoining Seas, Atlas, 8pp., 2001.
- 4) Geoscientific Maps of Southern Part of Korea, Western Part of Japan and Their Adjoining Seas, CD-ROM, 2002.
- 5) Application of SAR interferometry to a geothermal field, 16<sup>th</sup> Australian SEG and Exhibition (2003発表予定).
- 6) Magnetic spectral analysis in Portugal and its adjacent seas, Physics and Chemistry of the Earth (印刷中)



## アジア・日本の地熱資源の研究 Asian and Japanese geothermal researches

アジア地熱研究グループ： 佐脇貴幸

Asia Geothermal Research Group: Takayuki Sawaki  
Phone: 0298-61-3707, e-mail: t-sawaki@aist.go.jp

### 1. まえがき

産総研発足以降の主な研究活動としては、①アジア地熱データベース作成、②インドネシアとの共同、③貯留層変動探査法開発、④流体包有物の研究、⑤その他の活動がある。

### 2. アジア地熱データベース

2001年4月（バンコク）及び2002年2月（マニラ；図1）のコンパイラー会議等に出席し、データベース構築に必要な、日本の地熱資源に関する情報を紹介した<sup>1), 2)</sup>。また、参加国間で統一的なフォーマットを作成するための雛形を作成した。今後は、これに沿った形でのデータ収集が行われる予定である。



図1 第2回地熱データベースコンパイラー会議  
(2002年2月、マニラ)

### 3. インドネシアとの共同研究

インドネシア・マタロコ地熱系に掘削されたMT-1, 2井のカッティングス試料（石英・方解石）中の流体包有物の温度測定（図2）、化学（ガス）分析を行った。その結果から、同地熱系の地下温度条件の推定、流体の地化学的特徴の解明を行なった。また、これらの成果はインドネシア・バンズドン市において開催された公開セミナー（2002年2月）にて発表すると共に、「地質調査所報告」<sup>3)</sup>に発表した。これらのデータは、マタロコ地熱系

の発達過程の解明及び地熱系モデルの精密化に対し、多大な寄与をしている。

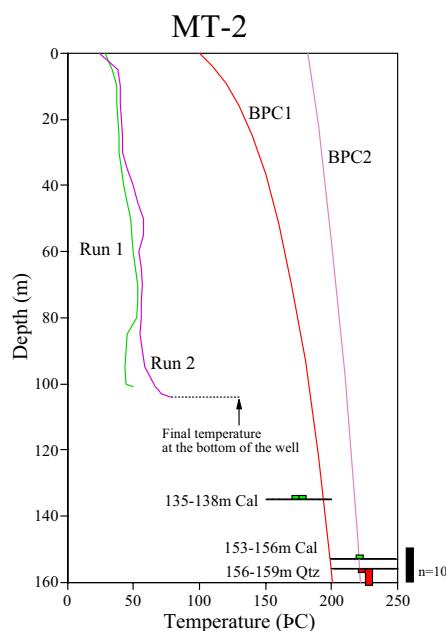


図2 マタロコ地熱系の流体包有物均質化温度-深度図 (MT-2 井)

### 4. 貯留層変動探査法開発

新エネルギー・産業技術総合開発機構による「モーデリング支援技術」の成果をふまえ、同研究開発で対象としている地区を含む、秋田県湯沢雄勝地域の坑井から得られた流体包有物の分析を行った。この結果、上記地域の地熱活動の変遷、地熱流体の地化学的特徴等の詳細なデータを取得することができ、その研究成果を学会にて公表した<sup>4), 5)</sup>。

### 5. 流体包有物を用いた地殻流体の研究（深部地熱資源探査技術を含む）

三重県及び鹿児島県にて花崗岩・変成岩試料を採取した。それらの試料は、これまでに採取している他の試料と併せて分析している最中である。また、葛根田地熱系で採取されたWD-1井のコア試

料中のコランダム・Znスピネル・Znアクチノ閃石に関する論文の執筆<sup>6), 7)</sup>を執筆した。これら以外にも、金鉱床や地熱系の流体包有物に関する研究を進め、学会発表<sup>8), 9), 10), 11)</sup>を通して、成果を公表している。

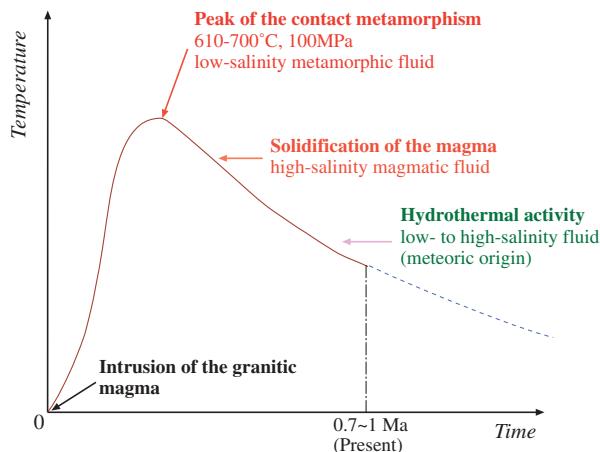


図3 葛根田花崗岩直上部の最高変成度部の温度履歴

## 6. その他の活動

産業技術総合研究所にて行われている地熱研究を広く一般に公開するため、地質情報展（金沢、新潟）等のイベントにポスター や各種資料を展示し<sup>12), 13)</sup>、立ち会い説明を行った（図4）。また、日本地熱学会に併せて夜間小集会「流体包有物研究会」を主催するとともに、流体包有物に関する研究情報をとりまとめたニュースレターを発行して会員に配布した。



図4 新潟地質情報展での展示・説明の様子

## 参考文献

- 1) Muraoka, H., Okubo, Y. and Sawaki, T. (2001) Country Report from Japan. Proceedings of the 1st Compilers' Meeting of DCGM Phase IV: Groundwater and Geothermal Databases, CCOP, Bangkok, 125-127.
- 2) Sawaki, T. and Okubo, Y. (2002) The Status Report on the Progress of the Geothermal Database in Japan. Proceedings Of The Second Workshop of DCGM Phase IV: Geothermal Database (CD-ROM), 25-37.
- 3) Sawaki, T. and Muraoka, H. (2002) Fluid inclusion study on the wells MT-1 and MT-2 in the Mataloko geothermal system, Indonesia. Bull. Geol. Surv. Japan, 53, 337-341
- 4) 前田俊一・藤野敏雄・常川耕治・佐脇貴幸・田口幸洋・林正雄・堀越孝昌（2001）流体包有物均質化温度から推定される山葵沢・秋ノ宮地域の熱史. 日本地熱学会平成13年度大会講演要旨集, B38.
- 5) 佐脇貴幸・笛田政克（2001）湯沢雄勝地域の流体包有物の研究. 日本地熱学会平成13年度大会講演要旨集, B47.
- 6) Sawaki, T., Sasaki, M., Fujimoto, K. and Takeno, N. (2001) Zinc-bearing actinolite from the Kakkonda geothermal system, Iwate Prefecture, northeastern Japan. Bull. Geol. Surv. Japan, 52, 315-320.
- 7) Sawaki, T., Sasaki, M., Fujimoto, K., Takeno, N., Tsukamoto, H., Sanada, K. and Maeda, S. (2001) Corundum and zincian spinel from the Kakkonda geothermal system, Iwate Prefecture, northeastern Japan. J. Mineral. Petrol. Sci., 96, 137-147.
- 8) Binu Lal, S. S., Sawaki, T., Wada, H. and Santosh, M. (2001) Fluid inclusion studies from the Wyanad Gold Field, S. India: Evidence for nature, composition, density and P-T conditions of ore fluids. Abstracts of "International Symposium and Field Workshop on the Assembly and Breakup of Rodinia and Gondwana, and Growth of Asia".
- 9) 村松容一・大関仁志・佐脇貴幸（2001）松川地熱地域のひん岩貫入岩周辺における酸性热水活動. 日本岩石鉱物鉱床学会平成13年度学術講演会講演要旨集, P17.
- 10) Takeno, N., Muraoka, H., Sawaki, T. and Sasaki, M. (2001) Thermodynamic framework of the contact metamorphism around the Kakkonda granite in a active geothermal field, northeast Japan. Proceedings of the "10th International Symposium on Water-Rock Interaction", 765-768.
- 11) Ueno, H., Sawaki, T., Kitazono, S. and Arimura, I. (2001) Fluid inclusion studies on the epithermal gold deposits in Kagoshima, Japan. Proceedings of the "Joint 6th Biennial SGA-SEG Meeting, Mineral Deposits at the Beginning of the 21st Century", 823-826.
- 12) 佐脇貴幸・大谷具幸・水垣桂子（2001）大地の恵み 地熱資源を求めて. 地質ニュース, No. 560, 43-45.
- 13) 佐脇貴幸・高橋正明・水垣桂子（2002）地球のあたたかい贈り物 - 地熱資源と温泉-. 地質ニュース, No. 570, 31-35.

## 物理探査研究グループの紹介 Introduction of the 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: 0298-61-3840, e-mail: [uchida-toshihiro@aist.go.jp](mailto:uchida-toshihiro@aist.go.jp)

### 1. グループの研究目的

地熱・石油・金属等の資源探査、廃棄物処分場や人工構造物周辺の岩盤・地盤評価などでは、物理探査法を用いた物性の空間分布及び時間変化の高精度な把握が不可欠である。当研究グループでは、これらの分野における物理探査技術の高精度化を目指した測定・解析技術の研究開発、及び、関連する物性解釈手法の研究を行い、それらの成果普及に努める。地熱貯留層変動探査、メタンハイドレート探査、金属鉱床探査、放射性廃棄物地層処分場評価等に関連する物理探査技術の研究開発を通じて、平成16年度までに地震波・電磁気探査データの高精度解析手法の開発、NMRを用いた物理探査法の開発、岩盤の長期変形挙動の解明を目指す。

### 2. グループの研究資源

#### 1) グループ員

内田利弘（リーダー）

中島善人

西澤 修

松島 潤（石油公団出向中）

光畠裕司

横田俊之

山口 勉（当部門他グループより分担）

相馬宣和（当部門他グループより分担）

歌川 学（エネルギー利用研究部門より分担）

#### 2) 予算

運営費交付金・国際協力推進グラント「深部地質環境評価のための電磁探査イメージング技術に関する共同研究（韓国）」

原子力特研「放射性廃棄物地層処分における岩石の長期変形挙動解明と地層構造評価技術の開発に関する研究」

MMAJ 委託費「高精度物理探査技術の開発に係る時間領域電磁探査法データの処理及び2次元解析法適用研究」

RITE 委託費「キャップロック層岩盤の力学的長期安定性に及ぼす堆積層理面の影響評価」

特会委託費「貯留層変動探査法の研究開発」の一部

ほか

### 3. 平成14年度の研究内容と進捗状況

探査手法毎に研究の主な概要を以下に紹介する。

#### 1) 地震探査データ解析

a) 散乱重合法を3次元化し、並列計算機のハードウェア機構を考慮した高速化アルゴリズムを開発した。また、東海沖の日仏 KAIKO 海上3次元マルチチャンネル地震探査データに適用する（図1）。

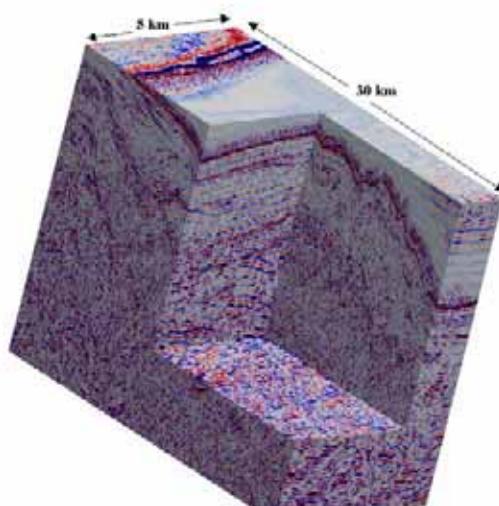


図1: 日仏 KAIKO 計画により東海沖地震発生帯において取得された3次元反射法地震探査データに対して、並列計算機（Hitachi SR8000）を用いて3次元重合前時間マイグレーション処理した結果。全体ボリューム（in-line 5 km \* cross-line 45 km \* depth 10 sec）のうちの一部を表示。

b) 地震波トモグラフィについて、周波数領域波形インバージョン解析を行う際に使用する周波数についての検討を行い、適切な周波数ステップの選択法を開発し、計算速度と解析の安定を両立させることができた（図2）。また、測定データから震源波形を推定するインバージョン手法を開発する。

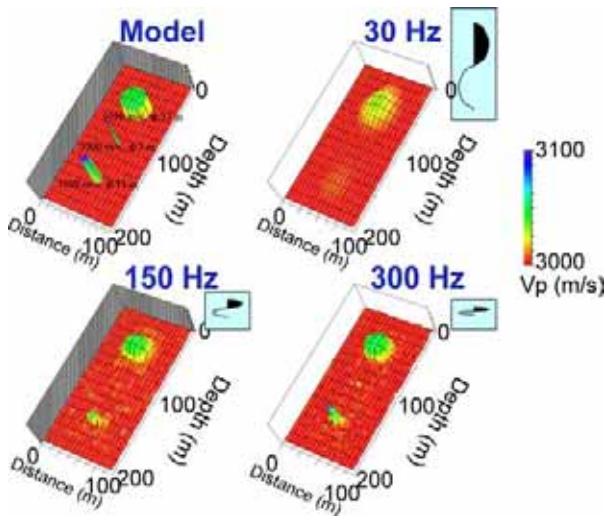


図2：坑井間地震トモグラフィの数値実験によって解析された速度構造モデル。左上は元の速度モデル、他の図の3つの周波数値は解析に用いた周波数の上限値を表す。

c) ランダム不均質構造に対応した実用的地震波解析手法開発のため、不均質構造を有する岩石試料を用いた波動伝播モデル実験を行い S 波波形のゆらぎを調べ、ランダムゆらぎが分極に及ぼす影響を定量的に解析する（図3）。また、散乱波を含むアレイ観測地震波データに時系列解析アルゴリズムを適用して反射波を抽出する手法を開発する。

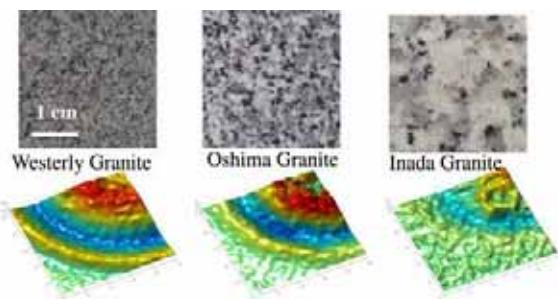


図3：ランダム不均質媒質中を伝播する波動場の観測例。

## 2) 電磁探査データ解析

浅部探査に適合するように人工信号源電磁法 2.5 次元インバージョン解析法を改良する。また、 $T-\Omega$  直方体辺要素による MT 法データの 3 次元モデリング手法の開発と地形の組み込みの検討を行う（図4）。さらに、差分法による MT 法 3 次元インバージョン解析法について、最適な拘束機能を追加して安定化し、地熱地域等の大規模データに適用する。塩淡境界把握に対する人工信号源電磁法の適用性について検討するため現地実験を行う。

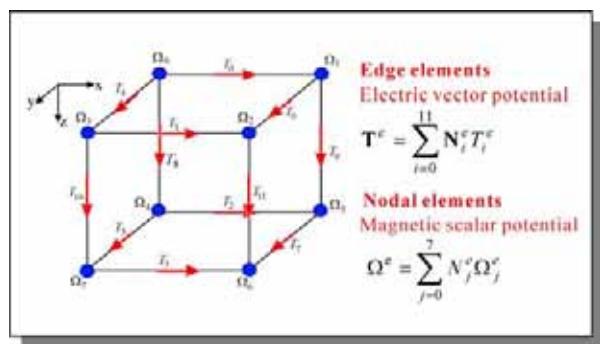


図4：電気ベクトルポテンシャル  $T$  を要素の辺に（辺要素）と磁気スカラーポテンシャル  $\Omega$  を要素の節点（節点要素）に配置し、有限要素法により 3 次元モデルングを実施。複雑地形を含めた 3 次元モデルング実現の可能性を示唆。

## 3) NMR 物理探査法

NMR による透水性等評価の基礎研究として、シンクロトロン X 線 CT で得た画像データに基づくシミュレーション解析結果との比較により、NMR による新しい透水係数推定方法の信頼性を評価する。可搬型 NMR 測定装置のコイルユニットを製作する（図5）。粘土中の物質拡散データを取りまとめ、水の拡散を統一的に解釈できる多孔質媒体モデルを構築した。

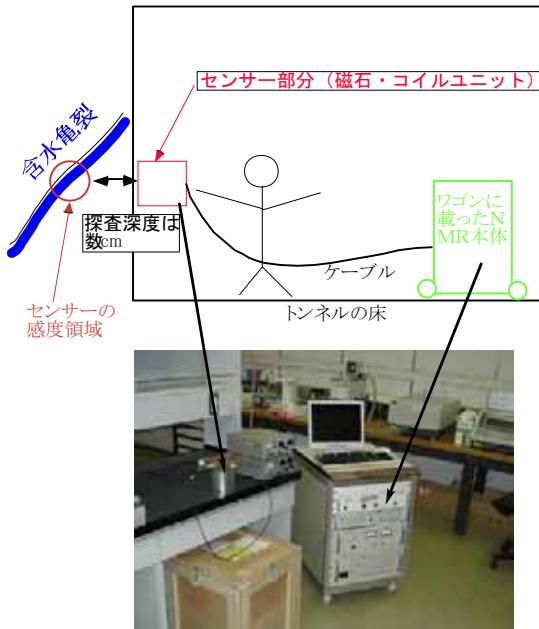


図5：開発中の野外用ポータブル NMR スキャナー装置。トンネルや坑道の壁面の潜在亀裂の検出や水分含有量のリアルタイムスキャンを目指す。

## 4. 期待される成果

地震探査 3 次元重合前時間マイグレーションの実用化、地震トモグラフィ全波形解析法の高精度化、不均質構造による地震波形擾乱の解明、電磁気探査データの 2.5 次元、3 次元解析法の開発、NMR の岩盤透水性評価への適用法の確立等を行い、産業界、学界等への普及・協力を図る。



## 電磁探査法の技術開発と適用 Electromagnetic exploration methods: data interpretation and application

物理探査研究グループ： 内田利弘

Exploration Geophysics Research Group: Toshihiro Uchida

Phone: 0298-61-3840, e-mail: [uchida-toshihiro@aist.go.jp](mailto:uchida-toshihiro@aist.go.jp)

<http://staff.aist.go.jp/uchida-toshihiro/>

### 1. まえがき

筆者は物理探査法のうち電気・電磁探査法の技術開発に従事している。現在の研究活動は、1) 物理探査研究グループ長としての活動、2) MT法3次元解析法の改良と国内外の地熱地域等におけるMT法データの解析、3) 岩盤・地層評価に向けた人工信号源電磁法(CSEM法)の技術開発、及び、4) その他の活動に分けられる。

### 2. 研究グループ長としての活動

グループ員の研究の進捗をサポートするため、グループの研究計画の作成、新規研究テーマの提案、定期的グループセミナーの開催、グループ紹介資料の作成などを行っている。グループ員の研究は、物理探査法を種々の分野に適用するための新しい計測・解析技術の開発に重点が置かれている。そのため、独自の基礎研究テーマのほか、地熱資源探査、岩盤・地下水環境評価等、他のグループが主管する研究テーマへも協力しつつ、研究開発を進めている。

### 3. MT法3次元解析法

MT法は地熱・石油等の資源探査、深部地殻構造の研究、活断層の調査などに用いられている。筆者はこれまで、Sasaki (2001)の開発したMT法3次元インバージョン解析プログラムをもとに、実測データに適用する際にインバージョンの安定化を図る改良を加え、地熱地域や深部地殻構造調査における探査データの解析を行って、その適用性を検討してきた。

3次元解析プログラムのフォワード計算には差分法を用い、インバージョン部は平滑化拘束つきの線形化最小二乗法を用いている。地形の起伏をモデルに加えることはできないが、地下を多数の直方体ブロックの集まりとして表現し、任意の3次元比抵抗構造を扱うことができる。均質大地を初期モデルとして最小二乗法による反復修正を繰り返し、最終的に測定データと理論計算値との差(残差)が十分小さくなるような比抵抗モデルを求める。

MT法の見掛け比抵抗の測定値には、表層の小さな

異常体に起因するバイアス(スタティックシフト)が含まれていて、一般に測定データからシフト量を見積ることは難しい。本解析法ではスタティックシフトも未知数として扱い、シフト量は小さいという制約を加えることによって、比抵抗構造と同時にスタティックシフトも求めるようしている。また、インバージョンを安定化させるために、比抵抗構造はスムーズであるという制約も与えている。

インバージョンでは、データ残差の最小化、スタティックシフトの最小化、比抵抗分布のラフネス(粗さ)の最小化を同時にすることになるが、ベイズ理論に基づく情報量基準ABICを用いることによって、それら3者間のバランスを最適化している。いくつかの測定データに適用し、安定に収束することを確認した。

次に、インドネシアの地熱地域において取得したMT法データに3次元解析を適用した例を紹介する(Uchida et al., 2002)。MT法調査はインドネシアとの共同研究の下、フローレス島バジャワ地熱地域で実施した。測点配置を図1に示す。

3次元解析によって得られたマタロコ地区の比抵抗構造のうち、測線Eの断面図と3深度の平面図を図2に示す。測定誤差の最小値を1%として各データに重みを与えており、最終的な正規残差は約7、スタティックシフト量の平均値は自然対数領域で約0.46となった。得られた比抵抗構造の特徴として、調査地全域で地下浅部に低比抵抗層があり、その下には高比抵抗層が分布する。調査地中央で低比抵抗層は顕著な低比抵抗を示し、測線E近傍に掘削された浅部調査井で確認された粘土鉱物分布とよく整合する。

3次元解析により、任意の深度や断面における比抵抗分布の特徴を正確に把握することができ、客観的な解釈を行うことが可能になる。現在、国内の地熱地域(葛根田、大霧地域)、インドネシアの地熱地域、および、北海道北部における深部地殻構造調査などのデータの解析を行っている。

### 4. 岩盤・地層評価のためのCSEM法の研究

地下水環境や放射性廃棄物地層処分等の分野に

における岩盤・地層評価に貢献できる電磁探査法の開発を目指し、人工信号源を用いる電磁探査法(CSEM法)の研究開発に着手した。

2002年度から、沿岸部の塩水・淡水界面を電磁探査法で把握するための研究を開始し、また、地層処分等の分野への適用を目指した新しいCSEM法探査システムの開発のため、2003年度からの研究予算を獲得する準備を行っている。

## 5. その他の活動

国際協力関係として、韓国地質資源研究院(KIGAM)との電磁探査法解析技術の共同研究を行っている。また、フィリピン石油開発公社(PNOC-EDC)と地熱地域のMT法データ解析について協力を検討中である。

物理探査学会国際シンポジウム委員長等を通して物理探査関連の学界への貢献や国際協力をを行っている。また、NEDO、金属鉱業事業団等の委員を通して、物理探査技術の促進普及に努めている。

## 参考文献

- Sasaki, Y. (2001): Three-dimensional inversion of static-shifted magnetotelluric data, *Proc. 5th SEG International Symposium*, 185-190.  
 Uchida, T., Lee, T. J., Honda, M., Ashari, and Andan, A. (2002): 2-D and 3-D interpretation of magnetotelluric

data in the Bajawa geothermal field, central Flores, Indonesia, *Bulletin, Geological Survey of Japan*, 53, 265-283.

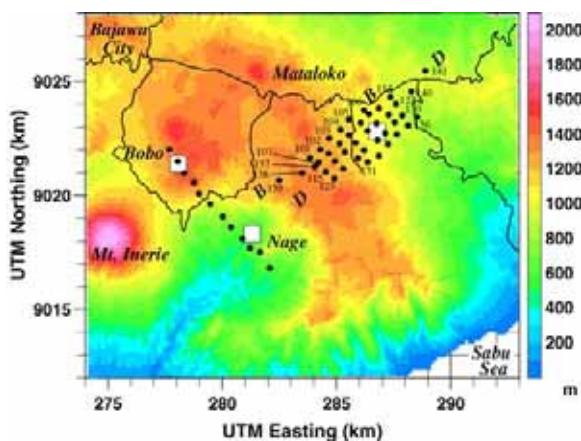


図1 インドネシア国フローレス島バジャワ地域におけるMT法調査測点分布。黒丸がMT法測点、白四角は主な地熱微候地、背景は地形を示す。マタロコ地区のデータを3次元解析の対象とした。

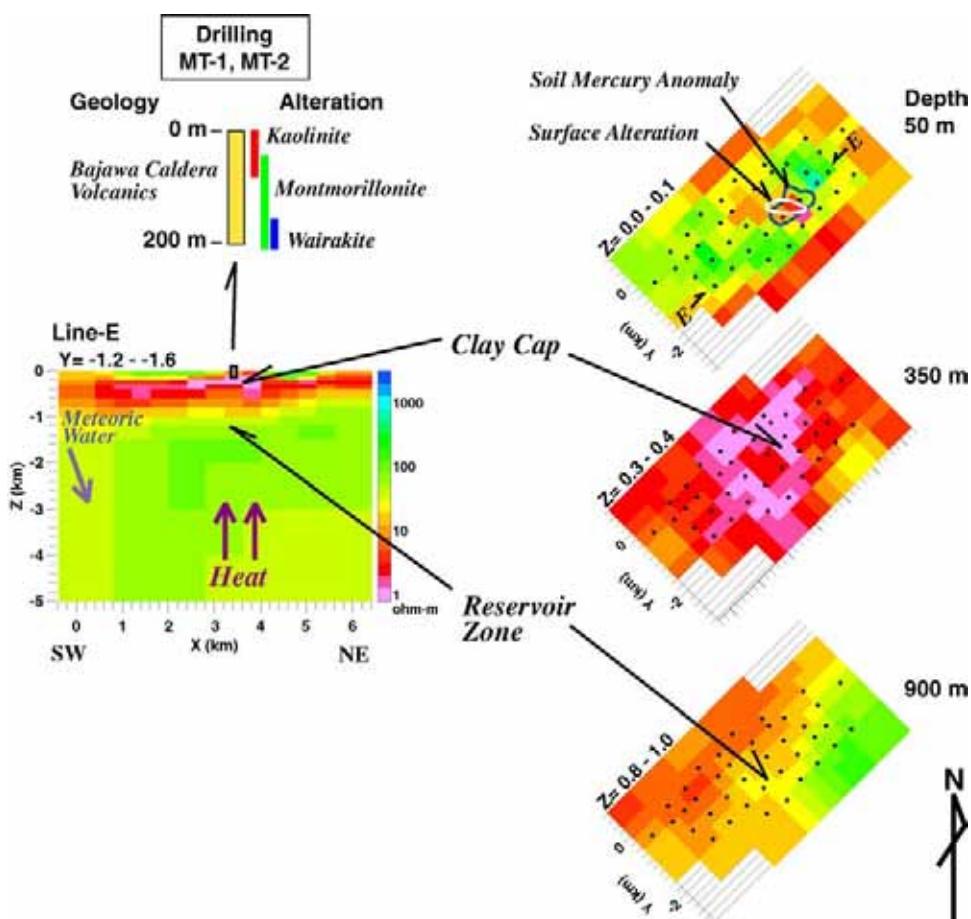


図2 MT法の3次元インバージョン解析によって求めたマタロコ地区の比抵抗構造モデルと調査坑井データとの比較。左は測線Eの比抵抗断面、右は3つの深度(50, 350, 900m)における比抵抗平面図。黒丸はMT法の測点、右上図には地表変質帯と土壤水銀濃度分布を表す。



## プロトンNMR物理探査の研究 Geophysical exploration using proton 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  
 URL: <http://staff.aist.go.jp/nakashima.yoshito/myhome.htm>

### 1. はじめに

プロトンNMR（核磁気共鳴）とは、磁場に置かれた水素原子の原子核（プロトン）のスピン運動をMHzオーダーの電磁波を用いて計測する分光学である。病院にあるMRI装置と同じ原理であり、人体中の水や脂肪を非破壊計測するのと同じ要領で、地層中の石油やコンクリート中の亀裂中にたまつた地下水を計測できる。私の研究の柱は2つあり、一つは野外でのNMR物理探査である（地熱地帯でのNMR検層と、土木用NMRスキャナー装置の開発）。もう一つは、取得したNMRデータを正しく解釈するための、岩石などの多孔質媒体中にあら間隙水のNMR物性の室内計測実験である。以下にこの2つの研究の概要を紹介する。なお、発表論文・特許など詳細な情報は、上記のホームページで公開している。

### 2. 野外でのNMR物理探査の実施

#### 2-1 地熱地帯におけるNMR検層

地熱貯留層の空隙率・浸透率の深度分布を計測することは、地熱発電の生産性を把握する上で重要である。NMR検層は、それらの量の深度分布を空間分解能15cm、検層速度数cm/secでリアルタイムスキャンできる可能性がある。NMR検層の地熱開発への応用可能性を実証するために、秋田県澄川地熱発電所の構内において試験井戸を掘削



図1 澄川でのNMR検層風景。

し、Schlumberger社製のNMRゾンデを用いて検層を行った（図1）。

検層結果と、コアデータの対比を図2に示す。地熱地帯にNMR検層を応用する場合に直面する最大の技術的問題は、火山岩の高い磁化率が引き起こすプロトン緩和時間の低下である。図2は、石油貯留層（砂岩）で使っているデータ処理方法で空隙率と浸透率を計算したものであるが、コアデータと比較的良好な一致をみている。現在データをさらに解析中であるが、石油地帯で使用しているデータ処理法がそのまま使えそうな可能性はある。しかし、使えない場合に備えて、従来の方法とはまったく異なる手法による浸透率推定方法を開発し、国内特許を出願した。また、今回の井戸の掘削中に61mで全量逸水する大きな亀裂に遭遇したが、NMR検層も空隙率と浸透率のスペイクとして、その亀裂を検出することができ、NMRシグナル強度から亀裂開口幅を1-2cmと推定することができた。このことは、NMR検層が亀裂型地熱貯留層の検出に使えることを示唆するものである。

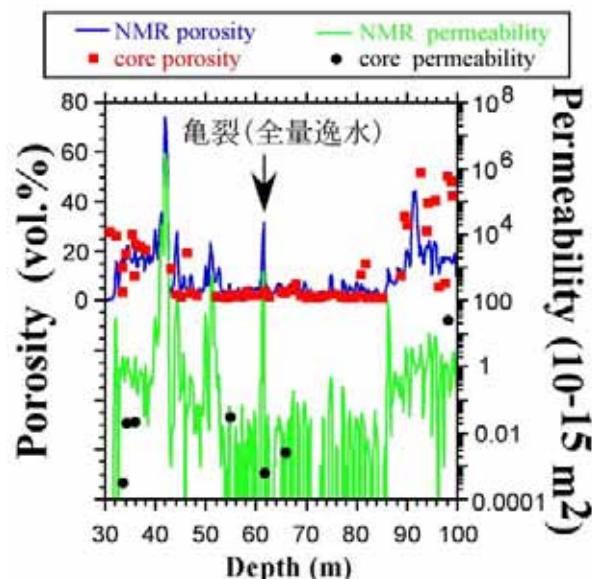


図2 NMR検層結果とコアデータとの対比。

## 2-2 土木用NMRスキャナー装置の開発

土木では、トンネルやダムのメンテナンスの観点から、構造物の内部にある浸水した亀裂・空洞を非破壊スキャンしたいという需要がある。そこで、私は土木用NMRスキャナーの製作を行っている(図3)。現在プロトタイプを製作中であるが、この装置によって、コンクリート内部に隠れている、地下水がたまっている亀裂や空洞などを検出して土木産業界に貢献したい。

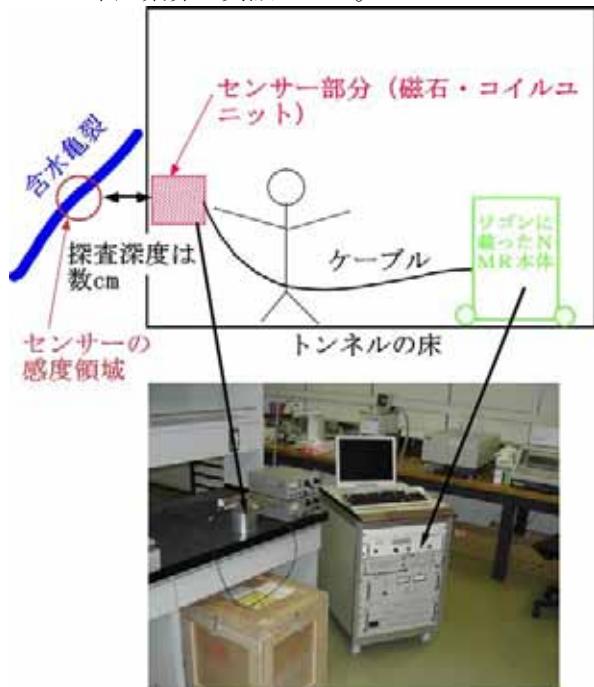


図3 現在製作中のポータブルNMRスキャナー(プロトタイプ)とその使用時の概念図。

## 3. NMR物性の室内計測実験

### 3-1 多孔質岩石中の間隙水のNMR物性計測

NMR物理探査で得られる生データは、プロト

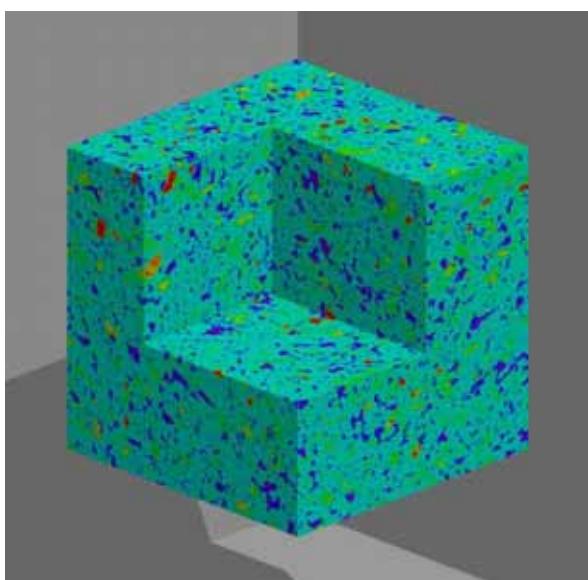


図4 多孔質砂岩のシンクロトロンX線CT画像。濃紺の部分が空隙、水色は石英、赤・黄色は含鉄鉱物。3次元画像サイズは $450^3$ 画素( $2.7^3\text{ mm}^3$ )。

ンの緩和時間または水の自己拡散係数である。それを空隙率や浸透率に正しく換算するには、多孔質媒体中の間隙水のNMR物性を計測し、適切な物理モデルを立てる必要がある。そこで、まず多孔質岩石の3次元空隙構造を得るために、放射光施設SPring-8のシンクロトロンX線CTで砂岩の3次元高分解能イメージングを行った(図4)。この画像から間隙水の自己拡散係数や浸透率などを予測し、それとNMR室内実験との対比を行って適切なモデル構築を行う予定である。

## 3-2 粘土中の間隙水のNMR物性計測

野外で計測対象になる含水多孔質媒体は岩石とは限らず、粘土の場合もある。そこで、水を加えた粘土試料について、プロトン緩和時間や水の自己拡散係数の温度、粘土重量分率依存性を数種類のスマクタイト粘土についてNMR計測した。その結果、たとえば自己拡散係数に関しては、図5に示したように、粘土分率に関する単純な関数(指數関数)に従うこと、拡散の活性化エネルギーは粘土分率に依存しないことなどがわかった。

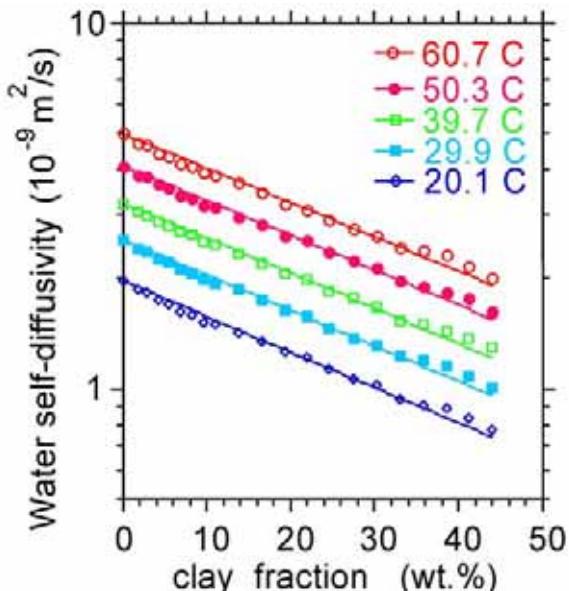


図5 ヘクトライト粘土中の水分子の自己拡散係数の温度と粘土重量分率への依存性。

## 4. おわりに

NMR物理探査は、水などの流体をダイレクトに計測できるという優れた特性にもかかわらず、S/Nが悪かったので今までほとんど顧みられなかった探査技術である。しかし近年、エレクトロニクスとマグネット技術の発展によって、従来ではとうてい無理なNMR計測が実現可能になってきている。すなわち、今が開花期にあたる技術である。この機を逃さず、基礎から応用まで(つまり、NMR物性の計測から機器開発・産業界との連携まで含めて)幅広いNMR物理探査技術の向上につとめたい。



## ランダム不均質媒質における地震波伝播の研究 Seismic waves in random heterogeneous media

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

### 1. まえがき

地球内部の不均質構造は単純な幾何学的形状で表現することはできない。地下の不均質構造はさまざまな波長成分を含んでいる。地下を層構造と考えることは、人為的に与えた特定の波長成分で地下の不均質を近似するだけで、実際の構造を忠実に再現しているわけではない。いっぽう、トモグラフィーや反射法で求められるのは、一般に地震波の波長に比べ十分に長い波長の不均質構造である。つまり、我々が知る地下の不均質は長波長構造だけで、短波長の不均質はランダムとみなされ、それが地震波に及ぼす影響は誤差の中に含まれてしまっている。しかし、実際には短波長不均質構造も地震波に影響を与え、構造決定に影響する。したがって、短波長不ランダム不均質中の弾性波の挙動についても詳しい研究が必要である。

ランダム不均質媒質中の地震波伝播の研究は1980年代からコンピュータを利用して行われてきた。しかし、三次元の複雑な構造に対してはコンピュータ技術が飛躍的に進歩した今日でも依然として困難である。三次元ランダム不均質媒質における弾性波の伝播は小規模のモデルを用いた室内実験によっても研究することができる。室内実験によって野外観測をモデル化することができ、大規模な観測を行う前に観測点配置の問題点等を調べ、解析技術の評価などを行うことができる。実験的研究は、地震波探査における本質的問題解決のための効率的手法となるだけでなく、物理探査技術の開発経費節約にも貢献する。

### 2. 地球内部の不均質

図1は地下構造を弾性波速度の深さに対する変化で示したものである。構造はAのような層構造でもなく、Bのように連続で単調な変化を示す区間に分けられるものでもない。実際はC,Dのように短波長のランダムな変動を含んでいる。短波長のランダム変動はDのように、一般には場所ごとに異なる特徴(スペクトル)を持つ。地下構造の区分では、ある区間の平均的弾性波速度の値だけでなく、ランダムな短波長変動が持つ特徴の相違(強度や卓越波長の違い)も重要な要素となる。

短波長のランダム変動の原因是、岩石中の割れ

目や岩相の細かい変化などである。一般には水平方向のランダム変動は鉛直方向のランダム変動とは異なる特徴を持つ。深さ方向の短波長ランダム変動は坑井検層によって確かめることができる。

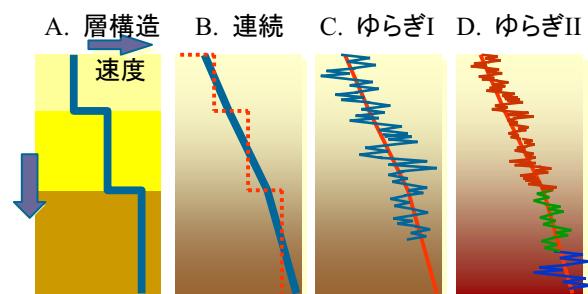


図1. 速度構造モデル. A. 層構造, B. 連続変化構造, C. 同じスペクトルの短波長変動モデル, D. 異なるスペクトルの短波長変動モデル.

### 3. 実験の方法

ランダム不均質媒質のモデルとして天然の花崗岩を用い、波動の計測にはレーザードップラー振動計を用いる。岩石のランダム媒質としての特徴は、岩石中の各鉱物の空間分布と、各鉱物に対応する弾性波速度から求めることができる。図2は岩石表面イメージから求めたふたつの花崗岩試料のランダム不均質の特徴を示している。

弾性波速度の空間的変動のスペクトルによってランダム不均質の特徴を表すことができる。スペクトルからは自己相関関数を求めることができ、不均質を特徴づける相関距離  $a$  が求まる。弾性波の波数  $k$  を用いて規格化したパラメータ  $ka$  を用いて実験結果を解釈すれば、結果はスケールに依存せず地球規模の現象にまで適用できる。

図3は実験の様子である。レーザードップラー振動計で弾性波の計測を行っている。レーザードップラー振動計はレーザー光のドップラーシフトから固体表面の振動速度を得るので、非接触型の地震計となる。レーザービームの照射域は小さく、50ミクロンという狭い範囲での波動場を詳しく観察できる<sup>1),2)</sup>。P波だけでなくS波の測定も可能なので<sup>3)</sup>、従来の圧電素子による実験に比べ、簡便

かつ高精度のデータを得ることができる。

#### 4. これまでの成果

モデル実験によってランダム不均質媒質を伝播する弾性波動場の変動を定量的に解析することができた。波形の変動を表すパラメータは、走時のばらつき、波形相関の変化、波動エネルギーの時間分配などである。媒質が強いランダム不均質を持つと、弾性波が媒質中で散乱を繰り返すため、観測される波の本体が通過した後も波形のエネルギーが継続して観測され、波形の尾(コーダ波)が現れる。

ランダム不均質のサイズが弾性波の波長に近づいたとき地震波走時のばらつきが大きくなることがわかった<sup>4)</sup>。走時のばらつきについては2次元の数値実験や理論との比較も行われた<sup>5)</sup>。また、弾性波の波形相関の大きさやそのばらつき、コーダ波部分の波形エネルギーの大きさなどは、パラメータ  $ka$  と密接に関係する。これら間の定量的関係を調べた<sup>6)</sup>。これまでの成果の簡単なまとめは西澤ほか(2001)<sup>7)</sup>に掲載されている。

現在ランダム不均質媒質の S 波の波形変化を研究している。震源で一方向に分極した S 波は伝播途中に波形がゆがめられ、分極方向が不明瞭になる。この現象は、振動の偏向によって S 波を同定する際の精度と関係し、S 波を用いた探査では重要な問題である。実験の結果、ランダム不均質のサイズが地震波の波長に近づくと、S 波分極に関する情報が失われることが明らかになった。

#### 5. 今後の展開

地下の構造探査では、短波長ランダム不均質による地震波の乱れは考慮されていない。しかし、伝播途中に波形が乱され、その度合いが大きいと、反射波や屈折波の同定が困難になる。地震波の乱れは、伝播途中のランダム不均質からの散乱や回折に起因する。モデルと観測との間の波形の不一致や走時の不一致は、ランダム不均質による波動場の乱れが関係している。したがって、地震波を用いたインバージョン問題では、観測値とモデル計算との間の不一致にランダム不均質構造からの影響が考慮されなければならない。ランダム不均質媒質中の地震波伝播の問題は、地震波を用いた物理探査や地球物理学的研究のすべてに関わる重要な課題である。

#### 参考文献

- 1) 西澤 修・雷 輿林・佐藤隆司, 不均質媒質での地震波伝播モデル実験 --- レーザードップラー速度計を用いた波動計測 --- 地質調査所月報, 47, 211-224, 1996.
- 2) Nishizawa, O., Sato, T., Lei, X., and Kuwahara, Y. Laboratory studies of seismic wave propagation in inhomogeneous media using a laser Doppler vibrometer Bull. Seism. Soc. Am., 87, 809-823, 1997.
- 3) Nishizawa, O., Sato, T., and Lei, X. Detection of shear wave in ultrasonic range by using a Doppler vibrometer, Rev. Sci. Inst., 69, 2572-2573, 1998.
- 4) Sivaji, C., Nishizawa, O., and Fukushima, Y. Relationship between fluctuation of arrival time and energy of seismic waves and scale length of heterogeneity: An inference from experimental study, Bull. Seism. Soc. Am., 91, 292-303, 2001.
- 5) Spetzler, J., Sivaji, C., Nishizawa, O. and Fukushima, Y., A test of ray theory and scattering theory based on a laboratory experiment using ultrasonic waves and numerical simulations by finite-difference method, Geophys. J. Int., 148, 165-178, 2002.
- 6) Sivaji, C., Nishizawa, O., Kitagawa, G., and Fukushima, Y. A physical-model study of the statistics of seismic waveform fluctuations in random heterogeneous media, Geophys. J. Int., 148, 575-595,
- 7) 西澤 修・雷 輿林・チャダラム シバジ, 不均質媒質での地震波伝播モデル実験 地震, 54, 171-183, 2001.

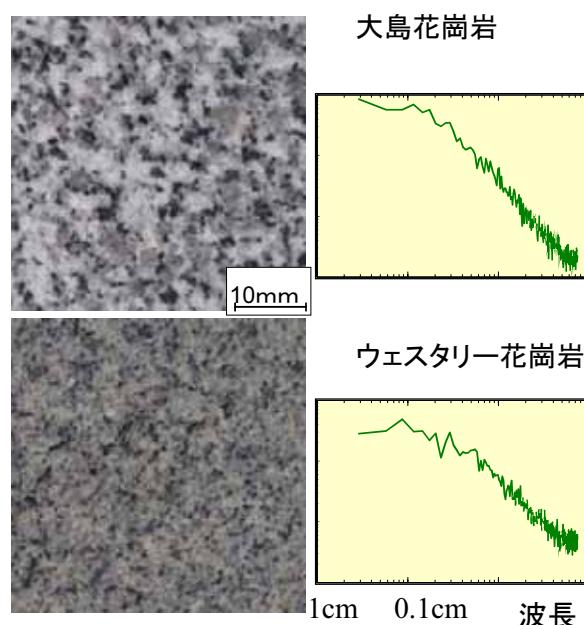


図 2. 花崗岩のランダム不均質構造  
花崗岩の表面イメージ(左)とともに岩石内部の弾性波速度の空間分布を推定してランダム不均質構造のスペクトル(右)を求める。



図 3. レーザードップラー振動計による弾性波動場計測実験。試料面に取り付けた圧電素子から弾性波を放出し、反対側の面で透過弾性波を観測する。



## 電磁探査法データの2.5次元・3次元解析手法の開発 Developments of 2.5-D and 3-D analysis of electromagnetic exploration data

物理探査研究グループ：光畠裕司  
Exploration Geophysics Research Group: Yuji Mitsuhasha  
Phone: 0298-61-2387, e-mail: y.mitsuhasha@aist.go.jp

### 1. まえがき

物理探査技術は、医療技術で用いられるX線や超音波画像の様に、我々の目の届かない地下を様々な物理現象を利用して画像化する技術である。その中で電磁探査法は、時間変動する電磁場を大地に入射し、地下に誘導される誘導電流によって生じる電磁場を地表あるいは坑井内で観測し、そのデータをもとに地下の物性（特に比抵抗）分布を推定する手法である。電磁探査法はこれまで、石油・鉱物資源あるいは地熱貯留層などの資源探査に、最近ではダム・トンネルの建設、活断層・地滑りなどの防災、地下水汚染などの環境問題に適用されている。さらに、地震発生に関連する地下構造を描き出すために電磁探査法が適用されている<sup>1)</sup>。

複雑な地下構造を高精度に推定するためには、より高度なデータ解析法の開発が要求される。解析法は主に、地下構造から出力データを計算するモデリング法と、観測データから地下構造を推定するインバージョン法の二つから成る（図1）。本報告では、最近中心に実施した電磁探査法データの2.5次元インバージョン法および3次元モデリング法の開発について概説する。

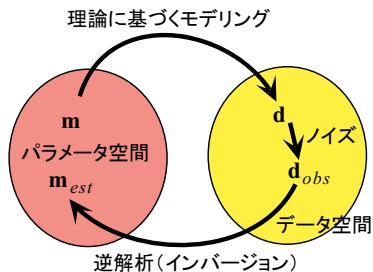


図1 物理探査データの解析概念図。  
推定すべき地下物性分布はパラメータ  $\mathbf{m}$  で、 $\mathbf{d}$  は  $\mathbf{m}$  から生じるデータを表す。観測データ  $\mathbf{d}_{obs}$  から  $\mathbf{m}_{est}$  を推定する。

### 2. CSEMデータの2.5次元インバージョン

地下数キロメートルを対象にした地熱探査や深部構造探査には従来、自然の電磁場変動を利用したMagnetotelluric(MT)法が利用されてきたが、自然信号強度が小さい場合や、電車あるいは風など

のノイズが大きい場合に良質なデータの取得は困難である。そのような場合、接地電線やループを送信源とした人工信号源電磁探査(Controlled-source electromagnetics, CSEM)法がしばしば適用されてきた。しかし、そのデータ解析は、大地に入射する電磁場を平面波と仮定したり、地下比抵抗構造を深度方向にのみ変化するとした1次元構造の仮定の下で実施してきた。本研究では、送信源は3次元、比抵抗は走向方向には変化しない2次元構造と仮定した2.5次元のインバージョン法を開発した（図2）。

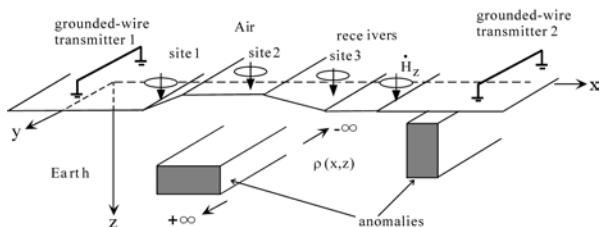


図2 2.5次元インバージョンにおける送信源と受信器の配置。比抵抗  $\rho$  は  $x-z$  面上で変化する。

電磁場の2.5次元モデリングには、地形が表現できるようアイソパラメトリック有限要素法をマックスウェル方程式に適用して実施した。そしてインバージョンでは、観測データと予測データの残差の二乗和と、推定パラメータの安定化を考慮した平滑化拘束条件を組み合わせた目的関数  $U$  :

$$U = \|\mathbf{W}_d(\mathbf{d}_{obs} - \mathbf{f}(\mathbf{m}))\|^2 + \lambda \|\mathbf{D}\mathbf{m}\|^2, \quad (1)$$

を採用した。ここで、 $\mathbf{W}_d$  はデータ重み行列、 $\mathbf{f}(\mathbf{m})$  は  $\mathbf{m}$  を入力としたときのモデリングによる出力データ、 $\mathbf{D}$  は  $\mathbf{m}$  の空間差分を計算する作用素、 $\lambda$  は平滑化拘束の重みを調節する正則化パラメータである。 $U$  は逐次線形化最小二乗法により最小化し、 $\lambda$  は情報量規準 ABIC により決定した<sup>2)</sup>。

数値実験によるインバージョン実施例を図3に示す。図3(a)のモデルに対して、30Hzから0.03Hzの4周波数の電磁場をモデリングし、数値解に3%の正規分布ノイズを加えて観測データとした。インバージョンの結果、26回の反復でパラメータは収束し、図3(b)のモデルが推定され、真のモデル

を非常に良く再現できることが示された。

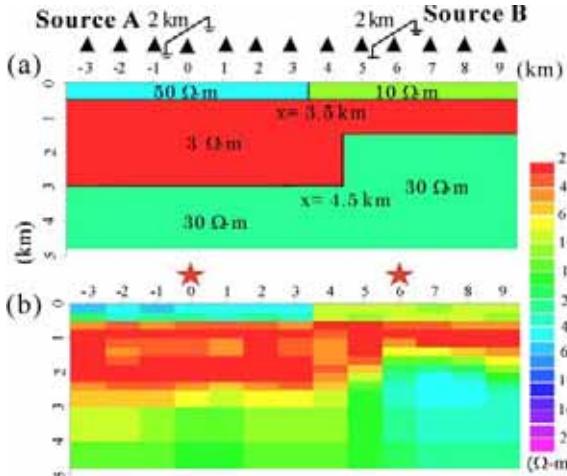


図3 数値実験に用いた比抵抗モデル(a)とインバージョン結果(b)。観測データは二つの接地電線ソースそれぞれから生じる地表測点(▲)での鉛直磁場を用いた。

次に、平成7年に秋田県由利原地域において石油公団により取得された時間領域CSEM法データに対して、2.5次元インバージョンを適用した(図4)<sup>3)</sup>。深度1kmまでは地表地質情報やMT法調査結果と非常に調和した結果が得られた。

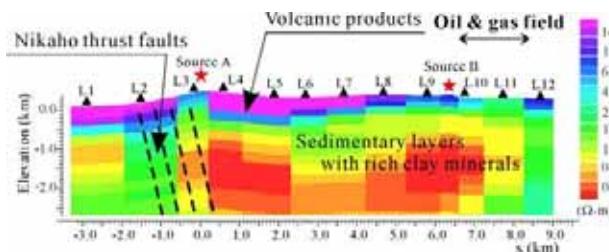


図4 由利原地域におけるCSEMデータの2.5次元インバージョン結果(反復10回)。

### 3. 辺要素有限要素法によるMT法データの3次元モデリング

現在、電磁探査法データの3次元モデリング手法としては、スタガード格子を用いた差分法が主として利用されているが、地形の急峻な地域を対象とした場合、複雑構造の取り扱いが容易な有限要素法の方が優れていると考えられる。ここでは、最近開発した有限要素法によるMT法データの3次元モデリング法について概説する<sup>4)</sup>。通常、電場  $\mathbf{E}$ についての支配方程式は

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} + i\omega\mu\sigma\mathbf{E} = 0, \quad (2)$$

であり、全空間(大地中と大気中)に適用される。ここで  $i$  は虚数単位、 $\omega$  は角周波数、 $\mu$  は透磁率、 $\sigma$  は電気伝導度( $\rho$ の逆数)を示す。(2)式を用いた場

$$\nabla \times \left( \frac{1}{\sigma} \nabla \times \mathbf{T} \right) + i\omega\mu(\mathbf{T} - \nabla\Omega) = -i\omega\mu\mathbf{H}_0, \quad (3)$$

$$\nabla^2\Omega = T_{z0}, \quad (4)$$

合、大気中では  $\sigma=0$  のため解は一意には求まらなくなってしまう。そのような事態を避けるため、本研究では電気ベクトルポテンシャル  $\mathbf{T}$  と磁気ス

カラーポテンシャル  $\Omega$  を用いて、(2)式の代わりに、 $\mathbf{T}$  を支配方程式とする。ここで  $\mathbf{H}_0$  は大地が存在しない場合の磁場、 $T_{z0}$  は地表面における  $\mathbf{T}$  の鉛直下向き成分である。(3)式は大地中でのみ定義され、前述の問題は発生しない。 $\mathbf{T}$  と  $\Omega$  は、それぞれ辺要素と節点要素を用いて離散化し(図5)、ガラーキン法により行列方程式を導出した。

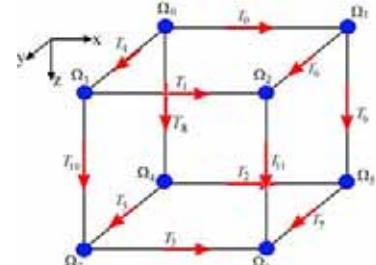


図5 辺要素( $\mathbf{T}$ )と節点要素( $\Omega$ )を組み合わせた直方体要素。

図6に示す3次元モデルに対して、本手法で計算した結果を公表されている積分方程式法の結果と比較して図7に示す。両者は非常に良く一致している。

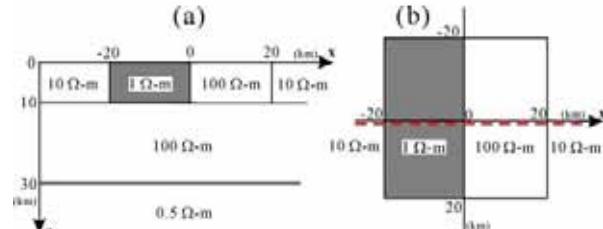


図6 3次元モデルの(a)断面図と(b)平面図。

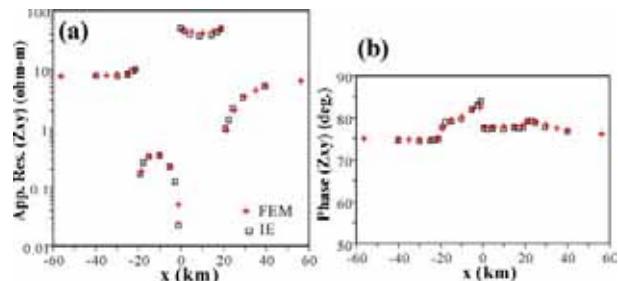


図7 モデリング結果(+)と積分方程式解(□)の比較。図6の赤破線に沿った(a)見掛け比抵抗と(b)位相のプロファイル。

### 4. 今後の課題

2.5次元インバージョン法はさらに現場データに適用し実用化を図る。また3次元モデリング法は地形の組み込みを考慮する予定である。

### 参考文献

- 1) Mitsuhasha, Y. et al.(2001) *Geophys. Res. Lett.*, 28, 4371-4374.
- 2) Mitsuhasha, Y. and Uchida, T. (2002) *Three-dimensional electromagnetics*, Elsevier, 153-172.
- 3) Mitsuhasha, Y. et al.(2002) 2.5-D inversion of frequency-domain electromagnetic data generated by a grounded-wire source, *Geophysics* (in press).
- 4) Mitsuhasha, Y. and Uchida, T.(2002) Three-dimensional magnetotelluric modeling using the T-Ω finite element method, submitted to *Geophysics*.



## 弾性波を用いた物理探査およびその応用 Seismic exploration and its applications

物理探査研究グループ： 横田俊之  
Exploration Geophysics Research Group: Toshiyuki Yokota  
Phone: 0298-61-2464, e-mail: yokota-t@aist.go.jp

### 1. はじめに

産総研発足以来の著者の活動は主として、研究と学会など外部への貢献であった。

### 2. 研究活動

筆者の主たる研究は、弾性波を用いた物理探査技術の開発およびその適用である。技術的な観点から筆者の研究を分類すると、(1)坑井間弾性波トモグラフィ（走時・波形）、(2)重合前深度マイグレーション、(3)繰り返し弾性波探査を用いた貯留層内変動のモニタリング、(4)掘削音を用いた弾性波探査(SWD = seismic while drilling)に分類することが出来る。適用分野には特段の制約があるわけではないが、今まで筆者が興味を持って技術の適用を行ってきたフィールドは、(1)地熱開発フィールド、(2)石油・ガス等の炭化水素エネルギー資源開発のフィールド、(3)メタンハイドレート資源開発の分野であった。今後はトンネルなどの土木分野への技術適用の機会が増加することが予想される。

研究活動のうち、周波数領域・波形インバージョンに関する研究および貯留層内変動モニタリングに関する研究の概要を説明する。

#### 2.1 周波数領域・波形インバージョン

フルウェーブ・トモグラフィ、波形インバージョンに関する研究が近年盛んに行われるようになってきた。これらの手法は、全波形情報を入力とするため、P波伝播速度のみならず、さまざまな物性値を求めることができる。また、初動のみならず散乱波をデータとして使用しているため、分解能が高い。その一方、解析の非線形性が強くインバージョンが不安定であるという本質的な問題を抱えている。そこで、解析に使用する周波数ス

テップの適切な選択法を開発し、計算速度と解析の安定を両立させることができた。図1に周波数ステップ選択法に関する数値実験例を示す。図中に示されるように最大位相誤差と分解能で決定される空間周波数を連続させるように周波数を選べば、安定して解析を進めることができる。最終的には使用した波長より少し小さい程度の異常を検出することが出来る。

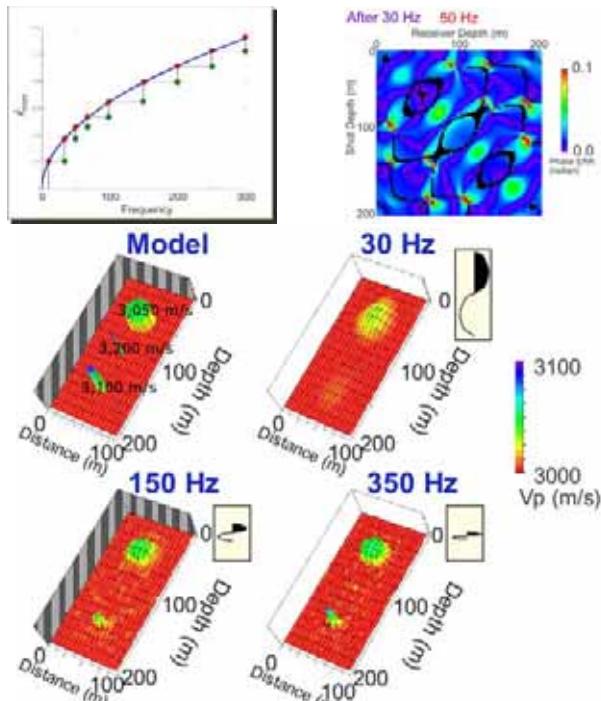


図1:周波数領域波形インバージョンを坑井間弾性波トモグラフィに適用した例。左上に示したステップに従い、低い周波数成分から徐々に収束させていく手法を使えば、高速かつ安定に解析を進めることができる。次の反復時に使用する周波数および解析の収束基準として右上に示した最大位相誤差が重要となる。下の図はインバージョン中で使用した周波数の上限値とその時のインバージョン結果を示す。周波数をあげるに従いだんだんと小さな異常が再構成されていく様子が良くわかる。

## 2.2 貯留層内変動モニタリング

石油や地熱の貯留層の変動を石油開発の分野では、生産および貯留層の管理などを目的として、繰り返し反射法地震探査を用いた貯留層モニタリングが行われることが多い。

### 2.2.1 地熱地域

秋田県秋の宮地熱地域での地熱貯留層モニタリングについて紹介する。同地域で実施された長期噴出試験前後に反射法弾性波探査データを取得した。そのデータを解析することにより、噴出試験で生じた貯留層内物性変化を抽出することを試みた。この研究にあたっては、簡易的な三次元調査の有効性の検証も行った。このことは、今後山岳地や都市部など、弾性波実験が困難な地域におけるデータ取得件数を増やすことにつながると考えられる。それらの結果を図2に示す。

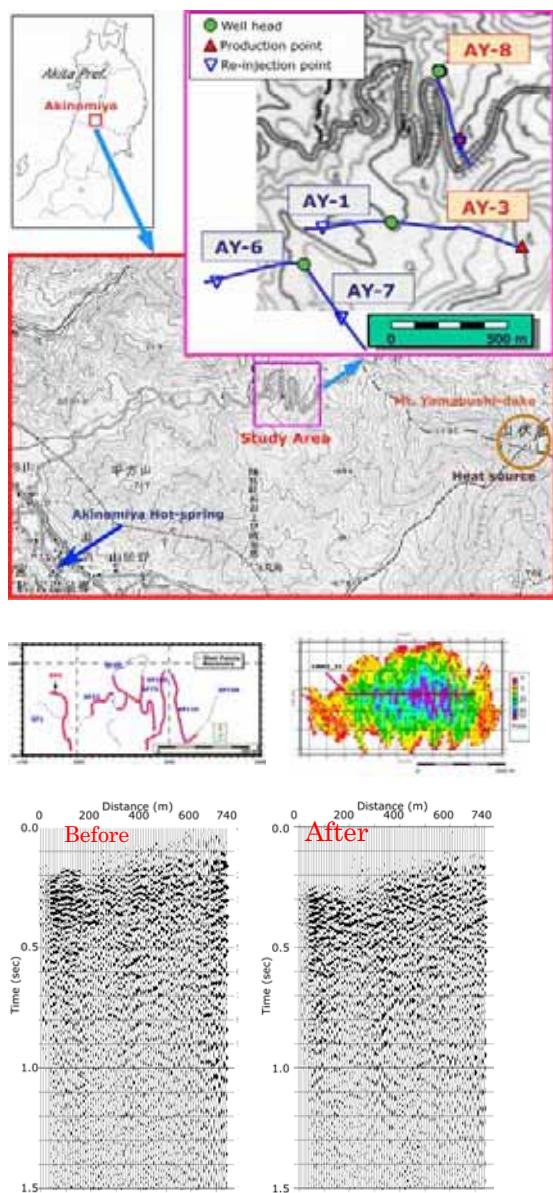


図2:上の図は実験を行った地域およびその周辺の井戸の分布を示す。真中の図は、観測配置および重号数を示す。不十分な受振器配置であったにもかかわらず、全般にわたって30重号以上となった。結果を表す下の図の類似性は地下構造を示し、相違は噴出試験により引き起こされた変動に相当する。

### 2.2.2 石油二次回収

走時トモグラフィを用いた、炭酸ガス圧入時の貯留層内流体挙動のモニタリングについての研究を行った。図3に示すように貯留層以外では速度が変化しないとの仮定を導入した解析により、通常の解析法による結果に比較して格段に高品質な解析結果を取得することが出来た。

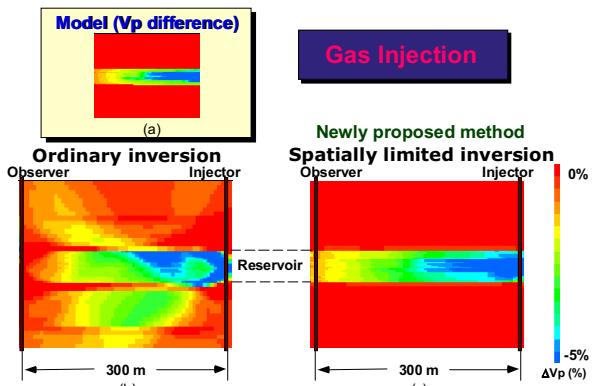


図3:上の図は、中東の実在する油田の炭酸塩岩貯留層に炭酸ガスを圧入した場合に生じる速度差を模した数値モデル。作成にあたっては、地質・貯留層工学・物理探査の専門家からなるマルチディシプリンアリーチームを形成して研究を行った。通常の速度トモグラフィ解析を行うと、左下図のように不正確な解析結果が得られる。その場合に、ガス圧入により生じる速度変化は貯留層内のみに限定されることを解析に導入することにより、右下の結果を得ることが出来る。右下と左上の図の類似性からもわかるとおり、高品質な結果が得られている。

## 3. その他活動

筆者は、物理探査学会の国際委員、国際シンポジウム委員を兼務しており、両方の委員会でWEB担当し積極的に学会の国際化および情報発信を行った。それ以外にも、同学会の広報委員会、用語辞典作成臨時委員会、豪州物理探査学会との共同出版物に関する臨時委員会など様々な委員会活動を通して、同学会の中心的役割を担っている。

## 4. おわりに

産総研発足以來の著者の活動を研究を主として紹介した。今後は研究の多角化（適用範囲の増大）を意識した上で、適用研究を中心に行っていきたい。情報発信に関しても、今以上に積極的に行っていきたい。

## 開発安全工学研究グループの紹介 Introduction of Research Group for Geo-Resource Development and Safety

開発安全工学研究グループ長： 青木一男

Leader, Research Group for Geo-Resource Development and Safety: Kazuo Aoki  
Phone: 0298-61-8203, e-mail: aoki-kazuo@aist.go.jp

### 1. グループの研究目的

資源・エネルギーの安定的供給確保に資するため、資源開発、保安・安全に係る研究は不可欠であり、当グループはそのための研究を行う。

開発に係る研究では、掘削技術の高度化、爆薬の高度利用技術の確立等が目的であり、振動等を用いた新しい高効率掘削システムの構築、コンクリート切断用成形爆薬の実用化等を図る。

保安・安全に係る研究では、災害事例データベースの構築、災害リスク評価、鉱山保安の研究等を通じて炭鉱における保安確保へ寄与する。

さらに、これまでのポテンシャルを活かし、新しい研究分野にも展開を図る。その一つがメタンハイドレート資源開発生産手法に係るプロジェクトへの参画である。

### 2. グループの特色等

従来から NSS 「地熱開発プロジェクト」における掘削技術の研究開発、鉱山爆薬を含む坑内用品の検定、炭鉱現場に対する技術指導等を実施しており、資源開発に係るノウハウの蓄積が多い。また、爆発ドーム等の特殊な施設を有しているため大学からの研修生、民間との共同研究、技術指導等の依頼も多い。さらに、原子力安全・保安院鉱山保安課等への鉱山保安に係る情報提供等、行政との関係が密接であることも特色の一つである

#### 1) グループ員（専門）

青木 一男（地盤工学、鉱山保安）  
大野 哲二（掘削工学）  
緒方 雄二（破壊工学、安全工学）  
唐沢 広和（掘削工学）  
鈴木 忠（鉱山保安）  
田中 敦子（安全工学、リスク解析）  
羽田 博憲（鉱山保安、ガス資源）  
和田 有司（破壊工学、安全工学）  
小林 秀男 \*\*技術情報研究部門より併任  
丁 佑鎮 \*\*JSPS フェロー  
榎井 明 \*\*産総研特別研究員  
蒋 宇静 \*\*長崎大学より併任

その他、他部門からの研究分担、研究協力  
大学や民間からの研修生等

### 2) 予算

電源特会「深部地熱資源採取技術の解析評価」  
原子力「放射化コンクリート構造物の環境低負荷解体」  
石油公団委託「メタンハイドレート資源開発生産手法」  
原子力安全・保安院「鉱山保安技術対策調査」  
運営費交付金「災害事例データベース」等

### 3. 平成13年度までの進捗の状況

1) 高効率掘削技術等：これまでの研究成果を基にして実規模PDC刃先ビットを設計・製作した。また、このビットを用いた室内実験により荷重と摩耗度、荷重と掘削率等との関係を定量化した。現在、これらの成果を発展させた「坑底駆動新型パーカッションドリルシステム」を提案し、共同研究等を実施している。

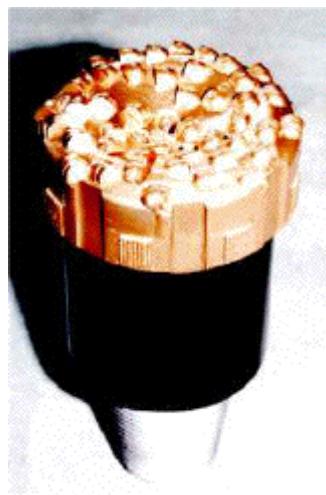


図1 当グループで開発したPDCビット  
\*PDCとは多結晶人造ダイヤモンド(polycrystalline diamond compact)の略である。

2) 爆薬の高度利用技術等：ライナーカッター材の材質とライナー角との関係を見出し、コンクリート切断に最適な成形爆薬を開発し実用化のためのデータを得た。また、機能性ANFO爆薬の金属粉と安全性との関係を実験的に導出し、鉱山導入のための判断材料を監督官庁へ提供した。



図2 ANFO爆発時の高速度写真

- 3) 災害事例データベース：経済省所管の産業災害（高圧ガス、火薬類関連の災害事例等）、その他の産業における爆発災害等の事例を収集し、既に公開しているデータベースへ追加・拡充した。また、入力データキーワードの階層化を行い、検索の機能を強化した。
- 4) 鉱山保安研究等：鉱山等における目視による作業のイベントツリーを構築し、リスク評価に最適な指標を見出した。また、メタン計測系の現場調査を実施し、ガス濃度、経年変化、設置場所等と測定精度との関係を定量化した。さらに、JICA鉱山保安研修（集団、個別）を受け入れ、講義・実験を実施した。

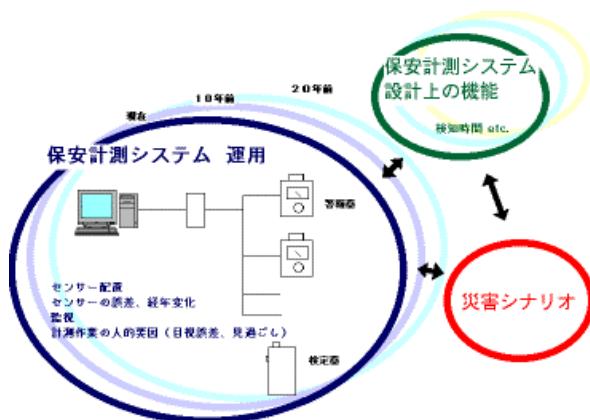


図3 保安計測システムのリスク低減効果の評価

#### 4. 平成14年度以降の研究

平成14年度以降も平成13年度と同様の研究を継続する予定である。ここでは、平成14年度から本格的に研究を開始した「メタンハイドレート資源開発生産手法」に係る研究を紹介する。

**メタンハイドレート資源開発生産手法**：経済産業省が平成13年7月に発表した「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」に基づくもので、計画は3フェーズ、16年間に及ぶ。実行計画は「資源量評価」、「生産手法開発」そして「環境影響評価」の3分野から構成されており、石油公團、産総研、エン振が各分野の担当である。当グループ

は「生産手法開発」に参画しており、研究の目的は、メタンハイドレート（MH）開発に伴うMH層の変形挙動を解明し、解析・評価モジュールを構築することである。具体的には、図4に示すようなMH層の変形を引き起こす種々のメカニズムを実験的に明らかにし、コンピュータによる解析システムを完成することである。

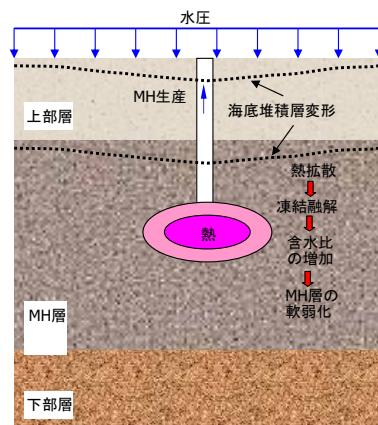


図4 MH生産に伴う地盤の変形

#### 5. 終わりに

鉱山開発に伴う保安・安全に係る研究は、地味ではあるが必要・不可欠なものである。また、新しく開始したメタンハイドレートに係る研究は、我が国としても重要な研究の一つである。グループとしても、これまで以上にこれらの研究に一丸となり取り組みたいと考えている。関係各位の更なるご指導等をお願いしたい。



図5 カナダ現場実験におけるメタンガスの燃焼  
(石油公團HPより)



## 旧産炭地における地下水の挙動について Behavior of groundwater in abandoned coalfield

開発安全工学研究グループ： 青木一男  
Research Group for Geo-Resource Development and Safety: Kazuo Aoki  
Phone: 0298-61-8203, e-mail: aoki-kazuo@aist.go.jp

### 1. 始めに

私の研究活動は、  
 ①研究グループ長としての活動  
 ②鉱山保安に係る研究  
 ③メタンハイドレートに係る研究  
 ④その他の活動等  
 に分けることができる。ここでは、鉱山保安に係る研究の一つを紹介する。

### 2. 研究の必要性

現在、我が国における炭鉱はわずか一つを残すのみとなったが、かつては無秩序とも思える石炭採掘により多大の被害を蒙った。「鉱害」という用語が生まれたことからも被害の甚大さが想像できる。一方、その被害対策等においては貴重な経験をし、蓄積されているデータ等も多い。従って、これらデータは、海外への移転等を含め、後世へ正しく引き継ぐ必要があり、我々の責務であると考えている。

### 3. 石炭採掘による種々の影響

図1は石炭採掘に起因した種々の影響を模式的に示したものである。

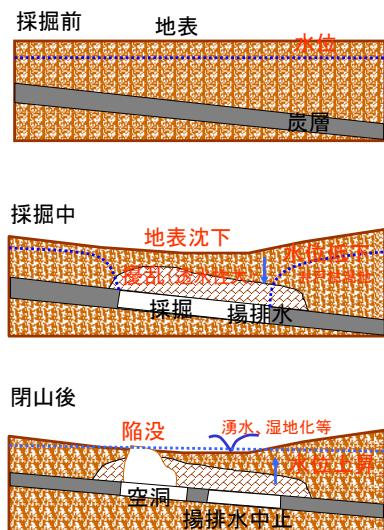


図1 石炭採掘による種々の影響<sup>1)</sup>

これらの影響の中では地表沈下が最も知られているが、ここでは地下水に係るものと紹介する。

#### 1) 石炭採掘と地下水

石炭採掘と地下水の関係は次のようにある。  
 ①採掘前：地下水の水位変化は少ない  
 ②採掘中：坑内排水のため水位低下  
 ③閉山後：坑内排水停止のため水位上昇  
 水位上昇の過程で地表への湧水、地表の潤化等を生じる場合がある。

#### 2) 石炭採掘による地盤透水性の変化

石炭採掘によって地盤は擾乱を受け、透水性も採掘前のそれに比して変化する。擾乱を受けた地盤の透水性を把握するためJFT湧水試験等を実施した。図2にその結果を示す。

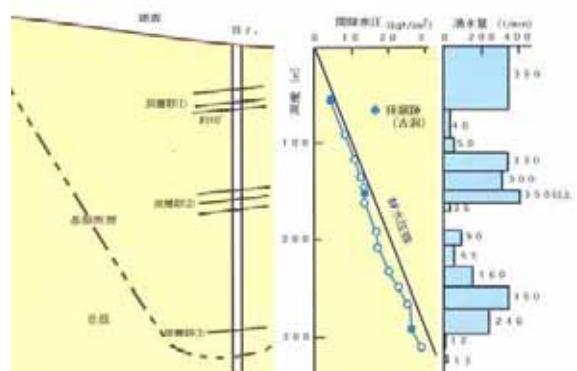


図2 JFT 漫水試験結果

図から採掘跡（古洞）やその上部で湧水量が増加していることが分かる。これは石炭採掘によって地盤が擾乱を受けたことが原因である。擾乱部分の透水性は  $10^{-2} \sim 10^{-4}$  cm/s 程度で、地山部分のそれの約 100~1000 倍である。この傾向は他地域の調査結果と同じである。このような地盤の透水性の変化（増加）も地表沈下等と同様に石炭採掘の影響の一つである。

#### 3) 漫水のメカニズム

これまでの研究で解明された旧産炭地における漫水のメカニズムを図3に示す。坑道、断層、地盤の擾乱部分等、すなわち、透水性が高い部分を経由しての漫水が殆どであり、水位（水頭）は地表の標高より高いことが必要である。

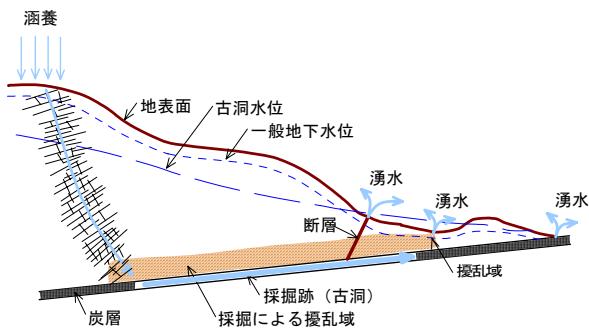


図3 旧産炭地における湧水のメカニズム

#### 4) 炭鉱閉鎖後の水位変化

坑内排水停止に伴う湧水現象は、炭鉱閉山後に生じる現象であるため、水位等の調査が行われることは少なかった。そのため、調査坑井を掘削し水位計測等の原位置試験を実施した。

図4に坑内排水停止後の水位変化を示す。

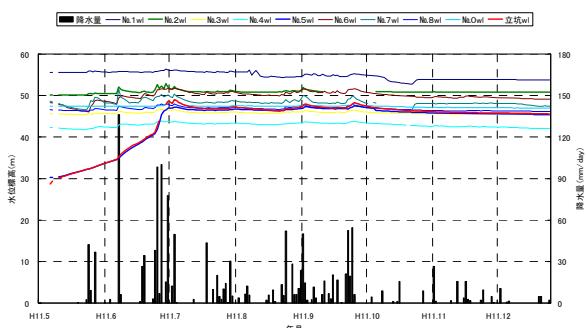


図4 坑内排水停止後の水位変化

炭鉱稼動中の坑内排水は立坑位置で実施されており、排水停止後の水位変化も立坑でのそれが最も大きい。No. 5（立坑から約 130m）の水位も立坑と殆ど同じ挙動である。しかし、これ以外の坑井、例えば、No. 1（立坑から約 100m）、No. 4（立坑から約 180m）での水位は変化が少なく、坑内排水停止の影響はあまり大きくなない。換言すると、この地域は採掘の影響が限定されていることができる。

#### 5) 水位上昇に伴う地表への湧水危険性の評価

坑内排水停止に伴い水位が上昇する過程で地表へ湧水する危険性があることは前述の通りである。地表への湧水危険性を評価するため、GIS（地理情報システム）を用いて検討した。GISは標高等を始めとして種々のデータを用い総合的に解析する手法であるが、ここでは標高、断層、最大水位等を用いて湧水の危険性を評価した。すなわち、地下水が湧水するためには、少なくとも最大水位が地表の標高より高いこと、また、断層、坑口等を経由しての湧水が殆どであること等が、その理由である。

図5がGISにより得られた結果である。赤丸（A、

Bの2つ）が最も湧水の危険性が高い箇所である。

ところで、この地域では実際に地表へ湧水を生じることはなかったが、赤丸Bに近接した箇所で豪雨時に地面が湿潤化する傾向であったことが観測されており、赤丸の位置は必ずしも間違った結果ではないことが分かる。従って、地表への湧水の危険性を評価する材料として、今回の標高、断層、そして最大水位の情報に加え、炭層深度、採掘範囲、坑道（坑口）等の情報を加えて評価することによって、より高い精度で湧水の危険箇所を絞り込めことが可能になると考える。

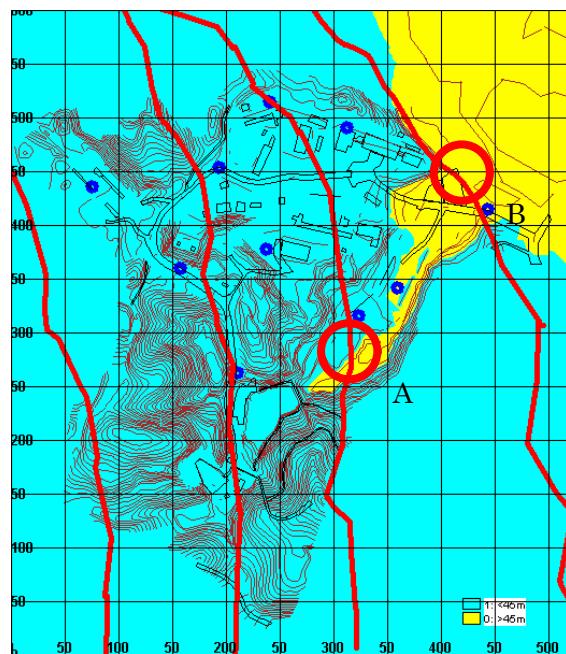


図5 GISにより得られた湧水危険箇所（赤丸）

（細赤線：地表等高線、太赤線：断層、青丸：水位観測用坑井、青色部分：標高が最大水位 46m より高い地域、黄色部分：標高が最大水位 46m より低い地域、格子幅：50m）

#### 4. 終わりに

鉱山保安研究の一つとして「旧産炭地における地下水の流動について」紹介した。容量の制限から割愛した部分も多いが、詳細は参考文献<sup>2)</sup>等を参照してほしい。

鉱山保安に係る研究は地味であり、しかも、鉱山の減少等により予算面でも厳しいものがある。しかし、鉱山保安に係る研究は、資源・エネルギーの有効利用の点からも不可欠であり、研究は我々の責務であると考えている。微力ではあるがグループ一丸となって対処する所存ですので、関係各位のご協力を頼む。

#### 参考文献

- 1) 地盤工学ハンドブック (1999), 1391-1396
- 2) 第21回西日本岩盤工学シンポジウム論文集 (2000), 39-44



## PDC ビットの開発について Development of Polycrystalline Diamond Compact Bits

開発安全工学研究グループ： 大野哲二  
 Research Group for Geo-Resource Development and Safety: Tetsuji Ohno  
 Phone: 0298-61-8244, e-mail: t-ohno@aist.go.jp

### 1. まえがき

地熱井の掘削においては、耐熱性、耐久性に優れ、かつ経済的な掘削用ビットが求められている。人工多結晶ダイヤモンド (PDC) を用いたビットはこの条件を全て満たす可能性をもち、その開発が期待されている。

### 2. PDC ビットの耐久性および経済性の向上について

PDC(Polycrystalline Diamond Compact) ビットは、主に石油井において軟質岩の掘削に用いられている。筆者らは、このビットを地熱井における硬質岩の掘削に応用すべく開発・改良を進めてきた。その結果、室内における耐久試験により、直径 66.0mm の全断面ビットにおいては沢入花崗岩を約 66m まで、直径 142.88mm の全断面ビット(図 1)においては同じく沢入花崗岩を約 40m まで掘削できるようになった。また、ビットの長寿命化に並行して、よりいっそうの掘削コスト削減のために、ビットコスト(製作費)の低減も図った。すなわち、従来の円筒形状と異なる PDC 刃先を用いることで、ビット寿命を減少させることなく、Simple Cost(ビット制作費／総掘削長) を 30%以上低減できる見込みが得られた(表 1)。



図 1 直径 142.88mmPDC 全断面ビット

表 1 直径 142.88mmPDC 全断面ビット一覧

| Bit No. | Bit Dia. (mm) | Cutters (mm x No.) | Drilled Length (m) | Simple Cost (\$/ft) | Type of Cutter                    |
|---------|---------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------------|
| 1       | 142.88        | 6.6x75             | 10                 | 333                 | Current, Traditional              |
| 2       | 142.88        | 8.2x67             | 17                 | 227                 | Current, Polished                 |
| 3       | 142.88        | 8.2x91             | 25                 | 182                 | Current, Polished                 |
| 4       | 142.88        | 8.2x98             | 40                 | 83                  | New, Polished, New shape          |
| 5       | 142.88        | 8.2x91             | 30                 | 118                 | New, Polished, New shape, Trimmed |

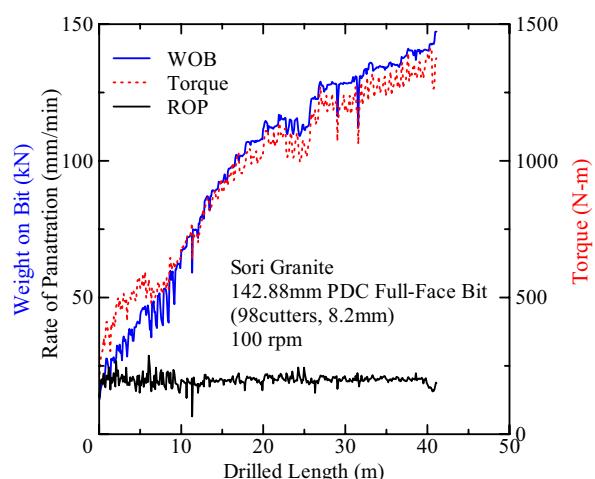


図 2 表 1 Bit No. 4 による掘削試験結果  
 3. PDC 刃先の円筒形の可能性について

さらなる掘削コスト削減のための試みとして、PDC 刃先とビット台金の再利用について検討を行うこととした。両者の再利用については石油井などの軟質岩の掘削では行われており、掘削コストの削減に寄与している。しかし、これが硬質岩の掘削においても有効であるかどうかは確認されていない。

そこで、PDC 刃先とビット台金の再利用と掘削コストとの関係を把握するため、直径 66.0mm の全断面 PDC ビット（図 4、刃先径 8.2mm×18 個）を用いて沢入花崗岩に対する耐久試験を実施した。



図 4 直径 66.0mm PDC 全断面ビット

実験では、掘進率を一定(30mm/min)にして沢入花崗岩を掘削した。PDC 刃先およびビット台金の摩耗が大きくなると、再利用が困難となる。そこで、PDC 刃先の摩耗がビット台金に達する直前で掘削終了とした。掘削実験終了後は、ビットをビットメーカーに戻し、円形の PDC 刃先のうち、まだ磨耗していない部分が岩石と接触するように回転させ、再度の掘削実験が可能なようにした。このビットの再加工（再生）は 2 回行った。

その結果、新品ビットにおいては掘削長 28m、一回再生後のビットにおいては掘削長 28m、二回再生後のビットにおいては掘削長 34m の、総計 90m を掘削することができた（図 5）。これまでに行った同型のビットによる掘削耐久試験の結果のうち最も性能のよかったものは、一回の掘削で総掘削長 66m の成績を残しているが（図 6）、その結果を上回ることができた。また経済性の面からみても Simple Cost で 24% の減となっている。

従って、硬質岩の掘削においてもビットの再生を行うことはビット寿命、経済性の両面から有効であると考えられる。

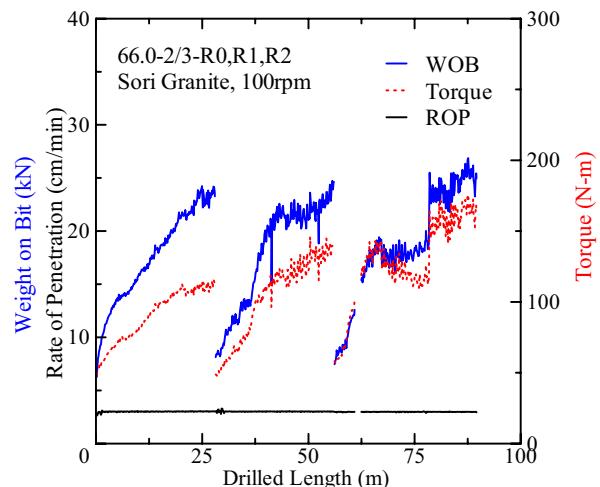


図 5 二回の再生を行ったビットによる掘削試験結果

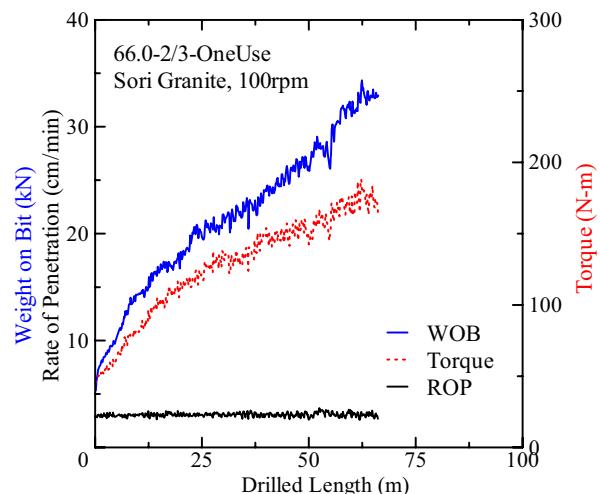


図 6 従来のビットによる掘削試験結果

#### 参考文献

- 1) World Geothermal Congress 2000 (2000), pp. 2387-2392
- 2) Geothermics 31 (2002), pp. 245-262
- 3) 資源素材学会春季大会 (2002) 資源編, pp. 179-180



## 環境低負荷発破解体技術の開発について Development of the controlled blasting

開発安全工学研究グループ： 緒方雄二  
Geo-resource development and Safety Research Group: Yuji Ogata  
Phone: 0298-61-8249, e-mail: yuji-ogata@aist.go.jp

### 1. まえがき

爆薬のエネルギーを利用して岩盤および構造物を破壊する発破作業は、鉱山および土木分野では重要な作業であり、掘削機械が発達した今日でも最も効率的で経済的な破壊工法の一つである。しかし、発破工法では爆薬の爆轟反応で発生する衝撃波および爆轟膨張ガスの影響で、発破振動・騒音・飛石等の問題があり、一般的には十分の認知されていないのが現状である。また、発破では爆薬が反応し瞬時に破壊現象が完結することから、破壊現象及び制御技術が十分には確立していない。このため本研究に関する高速現象の可視化技術と環境低負荷解体技術であるコンクリート切断用成型爆薬の開発について述べる。

### 2. 破壊現象の観察

発破による動的な破壊現象を解明するためには、高速度カメラを用いて観察する方法がある。一般に高速度カメラとは、1秒間に100コマ以上撮影可能なカメラを言う。高速度カメラには、画像を直接フィルムに焼き付ける方式とイメージコンバータ方式等で画像を電子信号として增幅し記録撮影する方法がある。フィルムに画像を焼き付ける方式では、ロータリープリズム方式とロータリーミラー方式があり、前者では撮影用のフィルムが巻き取り式で、10,000FPS（コマ/秒）程度まで撮影可能であり、後者ではフィルムを固定しミラーを回転することで画像をフィルムに焼き付け、 $2 \times 10^6$ FPS程度まで撮影可能と言われている。このため、前者は多くに枚数の写真撮影が可能であるが、後者は数十枚の撮影枚数になる。イメージコンバ



図1 水中衝撃波の可視化実験

ーター方式では、さらに高速度の撮影が可能で、 $2 \times 10^7$ FPS以上の速度で撮影可能であるが、撮影コマ数は数十枚程度である。この他に、電子機器類の進歩により高速度ビデオも発達している。この他に透明媒体中を伝播する応力波や空気中を伝播する衝撃波を観察する方法として、シャドウグラフ、シュレーレン法等がある。雷管の爆発で駆動されて水中を伝播する衝撃波の観察結果を図1に示す。

### 3. コンクリート切断成形爆薬の開発

コンクリート材料を切断しブロック状に回収するするために必要なコンクリート切断用の成形爆薬を開発するための、成形爆薬から駆動されるプラズマジェットおよびライナーカッターの生成メカニズムを高速度カメラによる観察実験から明らかにした。また、成形爆薬に用いられるライナー材の材質（PMMA材、アルミ、鉄および銅）とライナー角度（60、90、120度）の影響について検討した。

実験ではライナーカッターの材質およびライナー角度の相違による成形爆薬から駆動されるプラズマジェットおよびライナーカッターの生成メカニズムを解明するために、高速度カメラ（Cordin124:撮影駒数26駒、撮影速度10,000～2,500,000駒/秒、撮影フィルム35mm）、クセノンフラッシュ（4kV以上）を用いて観察した。実験では、成形爆薬が起爆し、ライナー材が溶融し金属ジェットとライナーカッターが生成される状態を観察するために $5 \times 10^6$ FPS（駒間 $2\mu s$ ）の撮影速度で観察した。起爆方法は、精密起爆器と精密雷管による精密起爆システムを適用した。精密起爆方法は、雷管の起爆時間を $1\mu s$ 以上の起爆精度で制御でき、成形爆薬に用いられている高性能爆薬およびエマルジョン爆薬の爆轟状態を解明できる。本実験で使用した成形爆薬は、V型に成形した金属ライナーとPMMA板で構成される容器に爆薬を充填した成形爆薬である。PMMA容器内部に充填する爆薬としては、高性能爆薬であるペントライトと産業爆薬であるエマルジョン爆薬を用いた。実験では、爆薬の爆轟状態を計測するために、抵抗線法による爆速の連続計測を実施した。抵抗線法による計測では、従来のイオン探針法等が計測点間の平均爆速を計測する方法であるが、連続的に爆薬の爆轟状



図2 高速度カメラによる観察結果

態の変化を計測できる。また、成形爆薬のライナーカッターの材質としては、PMMA材、アルミ剤、銅板および亜鉛メッキ鋼板を用いた。ライナー角度としては、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $120^\circ$ としてライナー角度による影響を検討した。高速度カメラを用いた成形爆薬から駆動されたライナーカッターの観察結果を図2に示す。

#### 4. 実験結果

高速度カメラによる観測結果から爆轟速度とライナーカッターが生成される速度が同等であることが確認できた。また、ライナー材が爆轟伝播により変形を開始し、対象物に衝突するまでの過程が観察でき、モンロー効果による金属ジェットの発生を確認した。抵抗線法によるペントライトおよびエマルション爆薬の爆轟状態の観察結果から時間に経過に伴いほぼ一定の割合で抵抗線の電圧が低下し、ペントライトで約爆速は7,000m/sec程度、エマルション爆薬で3,500m/sec程度の爆轟速度で爆轟していることを確認した。また、ライナー材の材質の相違については、材質に関係せずに、ペントライト爆薬およびエマルション爆薬は定常爆轟状態になっていることを確認した。しかし、エマルション爆薬については、非理想状態を呈する爆薬であり、鉄管等の密閉が十分である場合は、5,000m/sec以上の爆轟状態を示すことから、十分な爆轟状態には達していないと思われる。抵抗線法による計測結果を図3に示す。

ライナー材の角度の相違による実験結果では、 $60^\circ$ では切断深度のバラツキが大きく安定して切断効果を得られなかった。ライナー材の角度が $120^\circ$ では、他の角度と比較して最大切断量は低く、十分な切断効果が期待できないことが判明した。高速度カメラによる観察結果から爆薬から駆動されたライナーカッターの接触面積が広く、十分な切断効果が得られないためと思われる。これに比べてライナーカッター材の角度が $90^\circ$ の場合は、安定した切断効果が期待でき、ライナー材の角度は $90^\circ$ が最適であることが判明した。また、ライナー材の相違による実験結果では、アルミ・銅・亜鉛メッキ鋼板の金属材料を用いた成形爆薬では切断効果が期待できるが、PMMA材を用いた成形爆薬では十分な切断効果が期待できないことが明らかになった。これは、成形爆薬で駆動されるライナーカッターの特性とモルタル材との衝撃破壊特性に関係する。PMMA材の場合は、爆薬の高温・高圧で瞬時に脆性破壊され十分に切断可能なライ

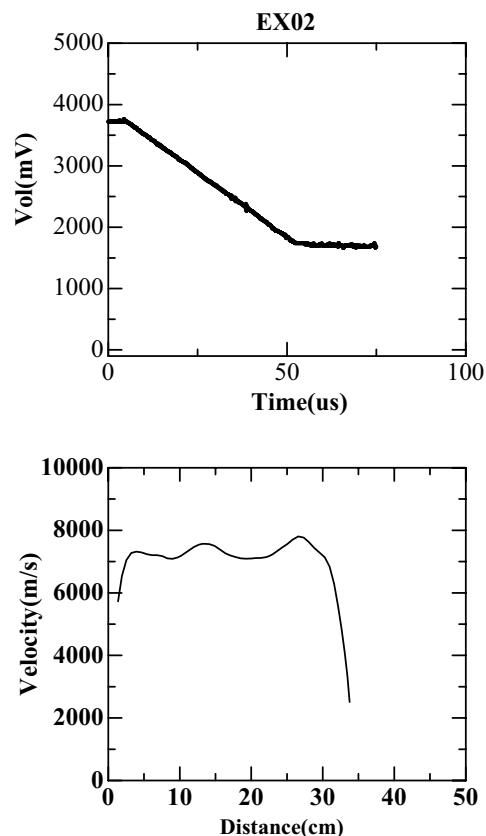


図3 抵抗線法による計測結果と爆速の解析結果

ナーカッターを生成できないためと思われる。また、金属材料の場合は、アルミおよび銅ではライナーカッターになる前に一部が金属プラズマ粒子になると推定できる。ペントライトおよびエマルション爆薬による相違では、爆轟速度は2倍以上あるペントライト爆薬を用いた成形爆薬がエマルション爆薬を用いた成形爆薬より切断効果が大きさことを示した。

#### 5.今後の検討

今後は、コンクリート供試体内に存在する鉄筋の影響について検討する予定です。また、数値シミュレーション手法の適用についても検討する。

#### 参考文献

- 1)「成形爆薬を用いた構造用鋼材の切断に関する研究」、加藤政利、中村雄治、松尾彰、緒方雄二、勝山邦久、橋爪清、火薬学会秋季大会、熊本、2001.11
- 2)「ホブキンソン効果による岩石の動的引張強度の評価」、丁佑鎮、緒方雄二、井本武夫、久保田士郎、島田英樹、松井紀久男、火薬学会秋季大会、熊本、2001.11
- 3)「爆薬の水中爆轟により発生した水中衝撃波と岩石の動的挙動の関係」、丁佑鎮、久保田士郎、井本武夫、緒方雄二、瀬戸政宏、青木一男、島田英樹、松井紀久男、資源・素材学会春季大会、東京、2002.3
- 4)「ボーリングコアを用いた発破損傷領域の検討」、緒方雄二、丁佑鎮、青木一男、宮村南嶽生、火薬学会春季大会、2002.5
- 5)「Rock fragmentation under the dynamic loading of underwater shock」、趙祥鎬、緒方雄二、金子勝比古、Fragblast7、2002.8



## 坑井掘削の高度化および高能率化を目指して Researches on improving drilling operation and efficiency

開発安全工学研究グループ： 唐澤廣和  
Research Group for Geo-Resource Development and Safety: Hirokazu Karasawa  
Phone: 0298-61-8815, e-mail: karasawa.h@aist.go.jp

### 1. はじめに

研究所入所以来、地熱井などの坑井掘削の高度化および高能率化に関する研究に従事してきている。本パンフレットでは、①坑井掘削の高度化、②坑井掘削の高能率化、③その他の活動等を紹介する。

### 2. 坑井掘削の高度化に関する研究

石油、天然ガス、地熱井などの坑井掘削は、ロータリ（回転）掘削と呼ばれる方式によって行われている。この方式は、長年にわたる技術改良と経験の蓄積によって今日に至っている。しかし、地下の状態は複雑かつ千差万別のため、坑井掘削技術は経験工学的な側面を多分に持っているのが現状である。

このような掘削技術をより高度化させるためには、多方面に及ぶ研究開発が必要と考えられる。その中で、坑井内の状況（特に坑底の状況）を把握する技術は、掘削技術の高度化に結びつく重要な開発課題の1つである。そこで、筆者らは坑井掘削に普及しているローラコーンビットを対象にした上記技術開発、すなわち坑井掘削中に坑底の岩石強度およびビットの刃先摩耗状態を推定する技術の開発を行った。

図1に、上記技術開発を行うための室内実験に用いた刃先摩耗状態の異なる直径 4in. (101.6mm) のインサートスリーコーンビットの写真を示す。図左側より、新品(T0)、刃先 2/8 摩耗(T2)、刃先 4/8 摩耗(T4) ビットである。実験では強度の異なる各種岩石を掘削して、ビット荷重、トルク、掘進率を計測した。

掘削実験から得られたデータを基に、 $F/d$  と  $u/N$ 、 $8T_e/d^2$  と  $u/N$  の関係を求め、ビット荷重およびトルクの第1次作用線の係数を算出した。ここで、 $F$  はビット荷重(kN)、 $d$  はビット直径(m)、 $u$  は掘



図1 掘削実験に用いたビット

進率(m/min)、 $N$  はビット回転数(rpm)、 $T$  はトルク(kN-m)である。ビット荷重およびトルクの第1次作用線から、岩石強度および刃先摩耗状態を推定できる手法を検討した。

図2は、来待砂岩(一軸圧縮強度: 44.4MPa)と新小松安山岩(182MPa)を T0, T2, T4 ビットで掘削したときの  $F_e u / Nd$  と  $(8T_e / d^2)^2$  の関係である。ここで、 $F_e$  と  $T_e$  はそれぞれ有効荷重(kN)と有効トルク(kN-m)である。図から明らかなように、両者の関係は刃先摩耗状態の影響の小さい、岩石強度を表わすパラメータである。 $(F_e u / Nd) / (8T_e / d^2)^2$  は応力の次元(kN/m<sup>2</sup>)を持っており、この単位を MPa に変換したパラメータを岩石の掘削強度( $D_s$ )と名づけた。すなわち、 $D_s = 64NT_e^2 / 1000F_e u d^3$  である。

図3に、刃先高さの減少割合( $TW$ )と無次元有効

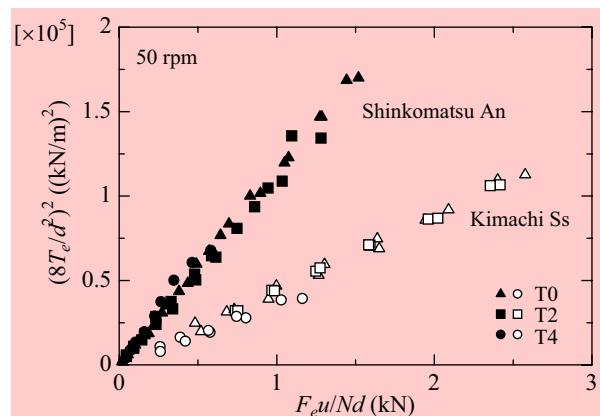


図2  $F_e u / Nd$  と  $(8T_e / d^2)^2$  の関係

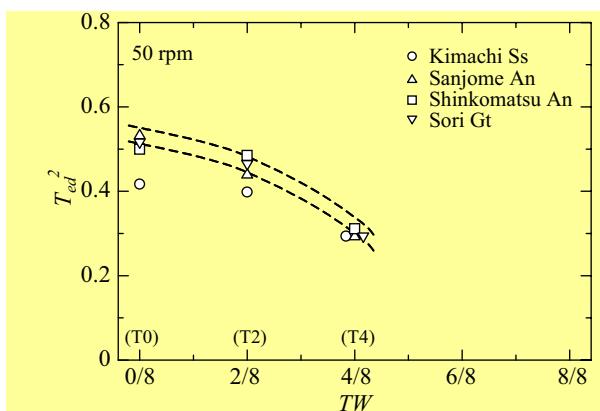


図3  $TW$  と  $T_e^2$  の関係

トルク ( $T_{ed} = 8T_e/F_e d$ ) の二乗との関係を示す。図から、来待砂岩のような軟岩を T0 や T2 ビットで掘削する場合を除いて、両者の関係は岩石強度の影響の小さい、刃先摩耗状態を表わすパラメータであることがわかる。

以上のように、本研究により岩石強度と刃先摩耗状態を推定する技術を提案することができた。詳細については参考文献<sup>1-4)</sup>を参照されたい。

### 3. 坑井掘削の高能率化に関する研究

現状の坑井掘削において課題となって問題点の1つは、ロータリ掘削法により硬質岩を掘削したときの低掘進率である。このため、硬質岩掘削時の能率を向上させるための研究開発が、世界各国で鋭意行われてきている。

その中で、泥水駆動の坑底パーカッションドリル（以下、マッドハンマと呼ぶ）の研究開発が特筆される。その理由として、パーカッション（打撃）掘削は硬質岩の掘削能率を大幅に向上させることができ、掘削コストの削減に貢献することができ、また、研磨性の著しい岩石粉を含むため部品の摩耗が急速に進むことから、半世紀以上にわたる研究開発にもかかわらず、実用化に至っていない。

信頼性・耐久性に優れた坑底駆動パーカッションドリルを開発するため、筆者らは民間企業2社との共同研究を2001年から行ってきている。図4は、本共同研究にて考案されたパーカッションドリルの概念図<sup>5-6)</sup>である。図に示すように、本ドリルは坑底より順に、①ビット、④打撃ピストン（ハンマ）、⑥バルブ、⑦高压アキュムレータ、⑧低压アキュムレータ、⑨均圧室、⑩低压部通路、⑪高压部通路、⑫液圧発生装置（油圧ポンプ）、⑮ダウンホールモータ（液圧発生装置の駆動装置）などから構成されている。

本ドリルはピストン（ハンマ）の作動を潤滑性の高い清浄な液体（油）で行うため、従来のマッドハンマで問題となっている掘削泥水による各種部品の摩耗や通路の閉塞などを最小限に抑えることができる。地表で用いる油圧パーカッションドリルは鉱山・土木分野で普及していることから、同様のシステムを採用した新型パーカッションドリルは、従来のマッドハンマに比べて高い信頼性や耐久性が得られると考えられる。

新型パーカッションドリルに関しては現在、概念・基本設計の段階で、実用化のための研究開発を今後実施していく予定である。現在、実用化研究に着手するため、概念・基本設計を進めるとともに、プロジェクト化するための努力を行っているところである。

### 4. その他の活動等

筆者は日本地熱学会の行事委員、NEDOなどの外部機関の委員などを務めてきた。現在、我が国において学術ボーリングの実施が鋭意検討されて

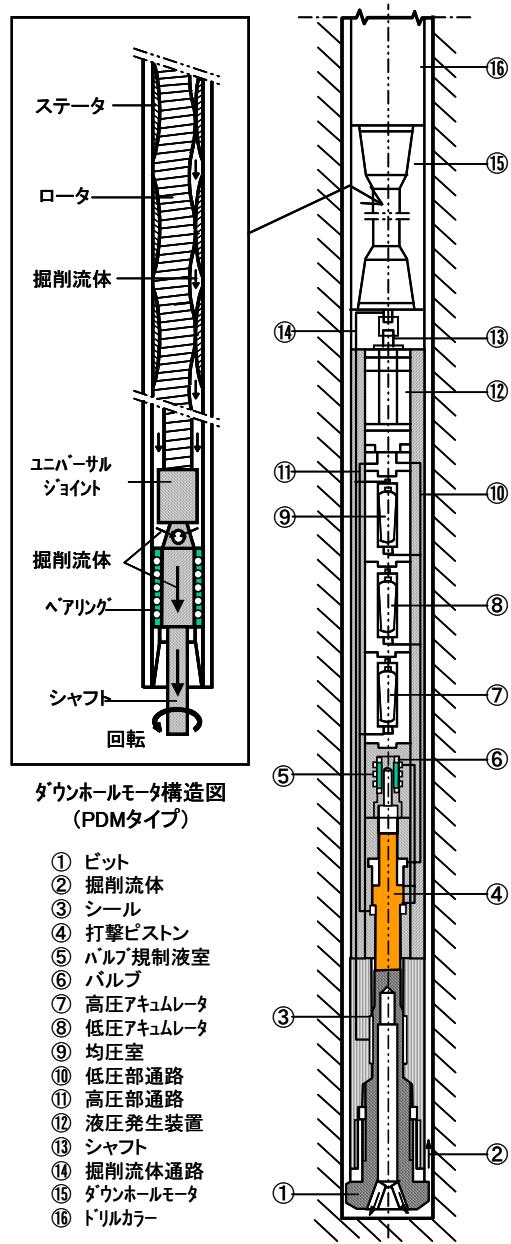


図4 新しい坑底駆動型パーカッションドリル

いる。今後とも、掘削技術の進展のための研究開発に取り組んでいきたいと考えている。

### 参考文献

- 1) ツースビットによる岩石強度と刃先摩耗の推定方法、資源と素材、Vol. 112, p. 623-630, 1996.
- 2) 岩石強度と刃先摩耗の推定方法のインサートビットへの適用性、資源と素材、Vol. 112, p. 688-694, 1996.
- 3) Methods to Estimate the Rock Strength and Tooth Wear While Drilling With Roller-Bits—Part 1: Milled-Tooth Bits, J. of Energy Resources Tech., Vol. 124, p. 125-132, 2002.
- 4) Methods to Estimate the Rock Strength and Tooth Wear While Drilling With Roller-Bits—Part 2: Insert Bits, J. of Energy Resources Tech., Vol. 124, p. 133-140, 2002.
- 5) 坑底駆動型パーカッションドリル、特願2001-382274, 2001.
- 6) Proposal for new type of downhole percussion drills for hard rock drilling, GRC TRANSACTIONS, Vol. 26, p. 197-200, 2002.



## 鉱山保安研究 Research on mining safety

開発安全工学研究グループ： 鈴木 忠  
 Research Group for Geo-Resource Development and Safety, Tadashi Suzuki  
 0298-61-8742, e-mail: suzuki-tadashi@aist.go.jp

### 1. まえがき

産総研発足以降、私の個人研究活動は鉱山保安研究に関連し、①坑内通信技術の研究②坑内粉じん測定技術の研究、③トンネルガス安全対策技術他の活動等に分けられる。

### 2. 坑内通信技術の研究

国内において石炭鉱山の坑内移動通信技術の実用化に際し、誘導無線技術、VHF無線技術、UHF無線技術等を年次開発にともない実用化されてきた。これらの通信技術は主に地上で使用することを目的としており、炭鉱坑内で防爆構造へ技術改良して使用するには過大なコストがかかり、余りにも高価なものにならざるを得ないのが現状である。よってどの通信技術も国際的に通用する技術に至っていない。

現在一般的な移動通信技術の普及はめざましいものがあり、これらの通信機器の小形軽量でかつ低価なものも現れている。この技術を炭鉱坑内へ流用する事ができれば究極の炭鉱坑内通信技術を開発できることになる。NTTと共に、坑内通信技術の開発研究への足掛かりを得る事が出来た。この通信技術の開発試験に太平洋炭鉱の斜坑坑道にて通信試験を実施した。

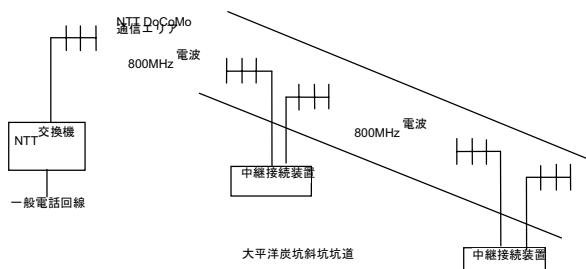


図1 太平洋炭鉱斜坑坑道通信試験の通信機器の配置状況の試験概要を示す

炭鉱坑内の新たな通信技術としてNTT DoCoMoの携帯電話技術を利用して、理想とする坑内通信システムを構築できる。この特徴を従来の通信技術と比較し列記する。

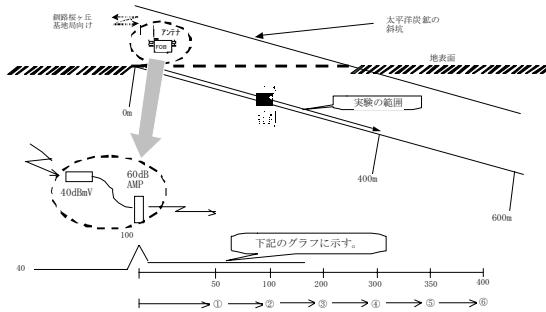


図2 通信試験の試験坑道

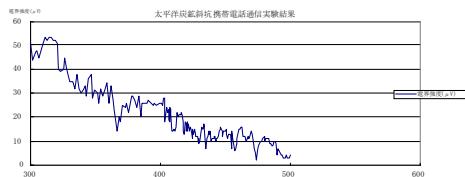


図3 通信試験結果で試験坑道の電波伝搬特性

- 1) 一方向性の通信会話でなく双方向の通話ができることから、円滑かつ迅速な通話
- 2) 誘導線の必要なく、坑道空間の電波伝搬特性を利用できる。
- 3) ノイズの影響を受けない、明瞭度の高い高品質な通話が可能になり、データ通信もできる。
- 4) 市販の携帯電話を炭鉱用品に開発できることは経済性に優れ、海外への技術移転をも目標にできる。

### 3. 坑内粉じん測定技術の研究

相対型粉じん計は質量表示に換算することが難しい。相対濃度計を粒度別に質量表示できるような較正方法があれば都合がよい。粉じん発生源を坑道気流中に安定的な方法で発生させることで質量較正方法は粉じん発生源から均一な発生量を秤量することで可能となる。

相対式粉じん計較正システムの精度は粉じん試験用試料を均一にかつ発生試料量を精度よく計れるかで決まる。図4は粉じん発生装置の外観図で寸法等を図中に示している。図5は相対式粉じん計の較正システムの概要を示している。較正システムの精度は坑道気流中に排出される粉じん試料の秤量精度で決まる。秤量を正確に秤量するとともに均一に噴出することも重要であり、このために粉じん試料容器内部は適正な攪拌と吹き出しになるように調整している。図2の試験坑道のサイズは内径490mm長さ4mで、坑道両端部の一方に送風ファンの設置思考道へ送風している。実験は図5の相対式粉じん計の較正システムの試験坑道を使用し粉じん発生装置に粉じん試料を入れて試験を行った。試験結果の一例を図6に示す。

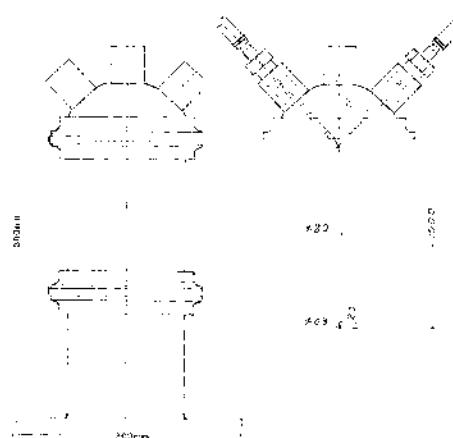


図4 粉じん発生装置容器の外観図と容器内部図

図6は横軸の時間は発生装置の粉じん噴霧時間。縦軸は粉じん計測値である。図6の噴霧特性は矩形の形が理想的であり、ほぼ満足通りとなっている。この較正システムの精度は秤量精度できまり、よりシステムの精度向上が実用性を高めることになり、このためには発生容器の軽量化を図ることが必要である。今後の開発方向を示し研究を進め

ます。

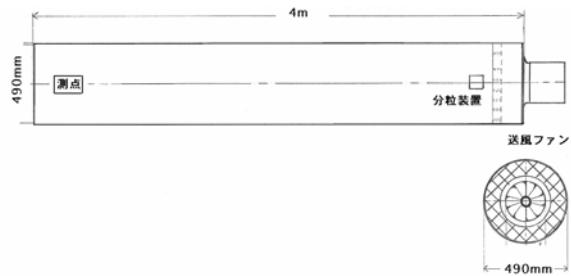


図5 相対式粉じん計の較正システムの概要

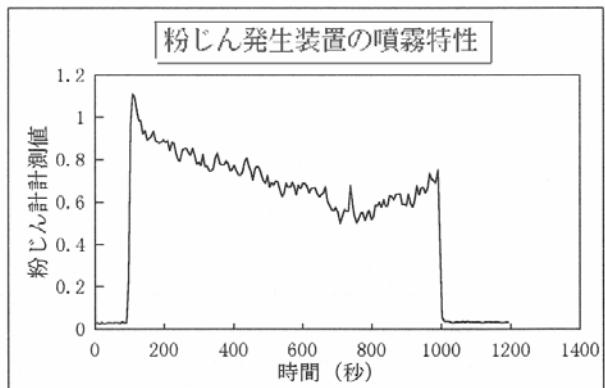


図6 粉じん発生装置の噴霧特性図

### 4. ガス安全対策技術の研究

北須磨トンネルのメタンガス安全対策技術の指導を実施する中で、鉱山の技術が活用されトンネル内の作業者の安全を確保することの認識を新たにした。ガスの安全性を究めるには高度な技術を開発する必要性から坑内総合安全管理システムを研究することが重要である。ガスの問題は開発途上国において災害が多発している中からも安全システムの開発が要望されている。現在、中華人民共和国で坑内総合安全管理システムの開発研究を実施するため、現場実験を準備している。

坑内総合安全管理システムは石炭鉱山の坑道内を光LANのネットワーク化し、このネットワークを使用してガス監視技術、坑内通信技術、映像監視技術等を総合的に開発することになる。



## 鉱山を中心としたヒューマンファクターズとリスクマネジメント Human factors and risk management in mining and other industries

開発安全工学研究グループ：田中 敦子  
Geo-Safety Research Group: Atsuko Tanaka  
Phone: 0298-61-8269, e-mail: a.tanaka@aist.go.jp

### 1. まえがき

石炭層に包蔵されるメタンガスの挙動に起因するガス突出のような炭鉱の自然条件に起因する災害が1980年代前半まで国内で頻発し、その対策は焦眉の課題であった。採炭および保安計測技術の向上、鉱山保安規則の整備、さらに保安マネジメントの向上に関する継続的な努力が功を奏し、ついに重大災害の発生が抑制されるようになった。その結果、ヒューマンエラーに関係する鉱山災害の抑止の重要性が高まった。石炭鉱山と非石炭鉱山が災害の原因において肩を並べ、作業環境と人間、装置との関係によって生じる人間工学的な問題の把握の必要性が増大した。

筆者は、国内の坑内火災において火災に至ったイベントの連鎖の中で70%が人的要因に関わることなどを明らかにするなど、鉱山災害を中心とした災害の分析とヒューマンファクターズの研究に取り組んできたが、独法化以後は、鉱山の保安計測システムのリスク抑制効果の評価や、一般的災害における人間行動の把握のように、人間の危機

対応とエラーに関連するリスクの評価とマネジメントの問題を中心的な課題として研究を進めている。

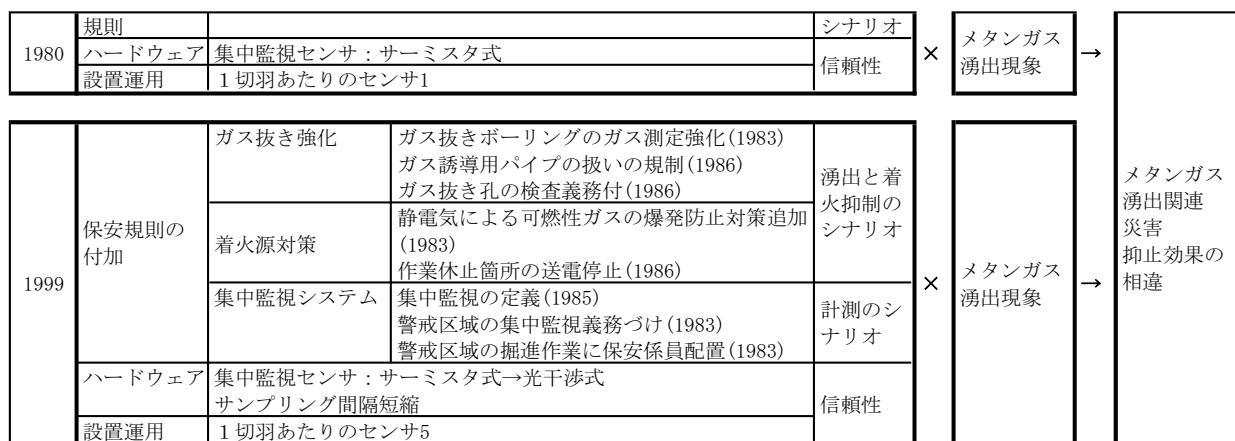
### 2. 鉱山用保安機器のリスク低減効果の評価

日本が達成した高水準の石炭鉱山保安技術は、極めて有用な技術として盛んに海外移転が進められている。鉱山保安技術の相手国への移転の達成度により、どの程度災害度数率が左右されうるのか？そのような技術水準とリスク抑制効果が明らかになる指標があれば、技術移転の目標を定めやすい。そのような指標になりうる評価手法を探るために、2002.3まで委託研究として日本の石炭鉱山が達成したリスク抑制効果の評価手法に関する研

表2 集中監視サブシステムのエラー頻度

|    |                      | 頻度/年    |
|----|----------------------|---------|
| N1 | センサー故障頻度<br>(どれかダウン) | 6.0E-01 |
| N2 | センサー指示ドリフト           |         |
| N3 | 局地的な電源遮断の発生頻度        | 0.045   |
| N4 | 局地的な信号遮断の発生頻度        | 0.045   |

表1 メタンガス災害のリスク抑止に関する技術的要素



究を実施した。

筆者は本研究の全体的実施計画を定め（表1）、ヒューマンファクターズの分析を担当するとともに、全体的なリスク低減効果を評価し、過去と現代の保安計測の信頼性の相違を明らかにした（表2）<sup>1)</sup>。本研究の手法を拡張すると、過剰な安全が達成されていないかどうかの点も評価できるので、経済的な効果も期待される。

### 3. 避難の意志決定

坑内火災における避難の研究に端を発して、閉鎖系空間における避難の人間挙動と危機管理の研究にも取り組んでいる。その一環として、2001年9月11日のニューヨーク・ワールドトレードセンター（以下NY/WTCと略す）テロ事件の避難行動事例の収集し、分析を行っている。

2002年2、3月の文科省緊急調査に参加し、現地の消防当局や在ニューヨーク日本企業に対する聞き取り調査を実施した。また日本火災学会の避難行動専門委員会において、避難行動事例の収集、避難の意志決定の整理と分析に中心的な役割を果たした<sup>2)</sup>。さらにWTCテロ事件の避難における避難決定の判断を速めた要因、鈍らせた要因に関し



図1 New York World Trade Center 跡地



図2 WTC避難行動情報リンク集

て危機管理の面から分析を進めている。

### 4. その他の活動

筆者は日本火災学会理事として、刊行委員会や情報公開規程委員会等の委員会活動を通じて、ホームページ公開を含めた情報公開に貢献し、災害と安全の研究の推進と成果の普及に努めている。また、避難行動専門委員として、リスク管理の観点からの避難行動の考察を通じて、当該分野の研究の推進に貢献している。なお、当該学会のNY/WTC事件における避難行動事例の収集および分析の臨時委員会（国土技術政策総合研究所委託）では主査として調査の推進に力を尽くし、成果の普及に務めた。

筆者は'90年代に大深度地下空間利用の安全性評価に関連して、暗所における避難の被験者実験を通じた研究を実施した経緯があり、日本照明員会（JCIE）に依頼されて、国際照明員会（CIE）TC

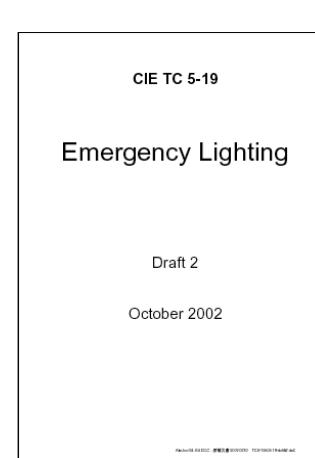


図3 CIE TC 5-19 Draft

国内担当委員を務めている。

また、産業界における安全意識の普及と涵養を目的とする依頼に応じて執筆ならびに講演を行い、研究成果を幅広く普及する活動を行っている。

さらに、所属部門では広報委員の活動を通じて、スムースな情報の交流に尽くしている。

### 参考文献

- 1) 災害要因分析調査、（財）石炭エネルギーセンターH13  
成果報告書、pp. 587-604、2002.3など
- 2) NY/WTC災害における避難の概要、日本火災学会H14研究発  
表会概要集、pp.v-vi、2002.5など
- 3) CIE TC 5-19 非常用照明に関する国際規格の動向、火災、  
Vol. 50, No. 6, pp. 40-44, 2000.12



## メタンに関する研究を中心として Focusing on methane researches

開発安全工学研究グループ：羽田博憲  
 Geo-Resource Development Research Group: Hironori Haneda  
 Phone: 0298-61-8813, e-mail: h.haneda@aist.go.jp

### 1. まえがき

産総研発足以降、私の個人研究活動は、①メタンハイドレート生産開発に関する研究、②従来の石炭鉱山保安技術の海外移転協力、③その他の活動等に分けられる。

### 2. ハイドレートに関する研究活動

筆者は図1に示すエネルギーのゼロエミッションシステム構想を提案している。エネルギー資源には在来型資源として石炭、石油、非在来型資源として天然ガス、メタンハイドレート、バイオマス等がある。これらエネルギー資源は環境負荷の差はあるが、消費により二酸化炭素を放出する。二酸化炭素は地球温暖化ガスの元凶と言われその対策が急がれている。この構想は将来的に二酸化炭素を炭素資源と位置付け、メタンに変換することによりエネルギーのサイクル化をするものである。但し、現在ではエネルギーコストが問題で実現には困難性がある。従って、現状では二酸化炭素を海底下、炭層、帯水層等に貯留しておくことを提案している。

平成13年度よりメタンハイドレート生産開発プロジェクトが開始された。筆者は上記構想に基づいて図2に示す開発システムを提案している。このシステムはメタンハイドレート層上部の軟弱堆積層に二酸化炭素を注入しハイドレート化することにより人工天盤、また、メタンの採掘後にも二酸化炭素を注入し人工支柱を構築し、メタンハイドレート開発による地滑り、崩落等を防止するシステムである。また、二酸化炭素とメタンの置換に関する検討も視野にある。このシステムが実現すれば環境問題とエネルギー問題が同時に解決されるゼロエミッションシステムが確立される。

研究の成果の1例を図3、4に示す。図3には二酸化炭素ハイドレートの成長時のサーモグラフを示す。これからフロントの移動が観察され、その速度が解明される。図4には二酸化炭素とメタンのハイドレートを減圧法で分解させたときの放出されるガス組成の変化を示している。この図から、二酸化炭素ハイドレートはメタンハイドレートより安定であることを示している。

今後は現位置条件での実験を行い、より詳細な

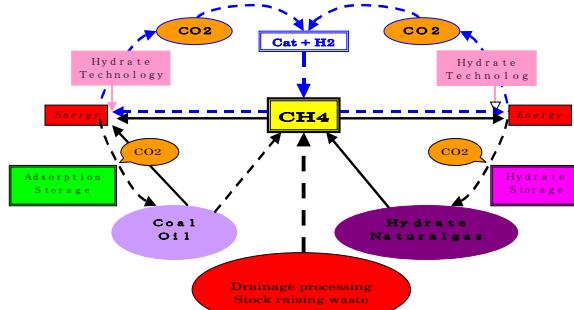


図1 ゼロエミッションシステム構想

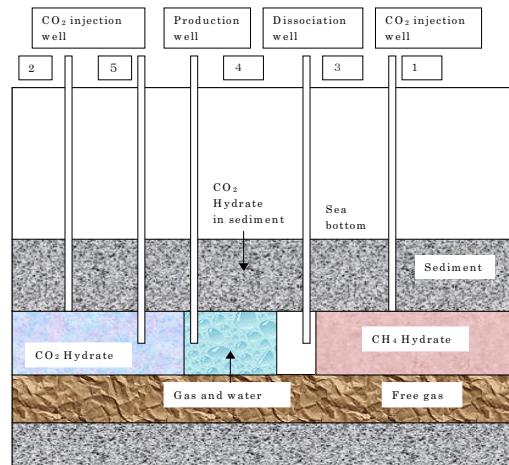


図2 二酸化炭素ハイドレートを利用したメタンハイドレート開発システム

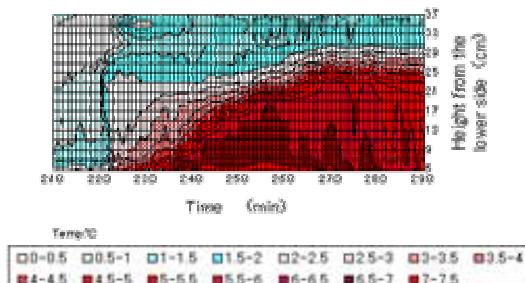


図3 ハイドレート成長時のサーモグラフ

検討を行う予定である。

これらの成果は論文 2 編、国際プロシーディング 2 編、口頭発表 3 件を公表した。

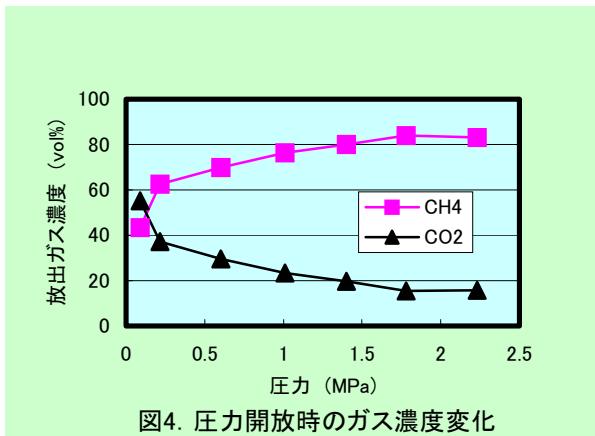


図4. 圧力開放時のガス濃度変化

### 3. ベトナムへの技術移転

平成 13 年度より 5 カ年計画で JICA ベトナム炭鉱ガス安全管理センタープロジェクトが行われている。筆者は JICA 短期専門家として、従来培った鉱山保安技術、機器防爆の技術移転を行っている。現地はベトナム、ハノイの東約 150 km のウォンビという炭鉱町にセンターを設置している(図 5)。石炭坑内で炭じんまたはガスが存在し、かつ点火源があれば図 6 に示すような爆発を起こす。炭鉱事故の悲惨さは日本が十分に経験した。坑内で使用される電気機器は点火源を有し無い様に防爆構造にする必要がある。また、坑内設置後も定期的点検をする必要がある。図 7 は現地のモデル炭鉱であるマオケ炭鉱の坑内でカウンターパートに防爆性能点検の指導をしている様子である。

平成 13、14 年と各年各 1 か月の現地指導を行うとともに、日本の国内研修も行っている。今後も JICA の要請の基、最終年度まで技術移転の協力をを行う計画である。

### 4. その他の活動

その他の活動として鉱山保安に関して新規開発防爆機器について、製造メーカーおよび検定機関への技術指導、また、海外検制度の調査等を行っている。

JICA 石炭保安研修を行うとともに、二酸化炭素の炭層固定に関する研究会、JICA ベトナムプロジェクトの国内支援委員会に参加している。



図5 JICA ベトナム炭鉱ガス安全管理センター



図6 ウォンビセンターでの炭じん爆発



図7 マオケ炭鉱坑内での電気機器防爆性能点検



## 災害事例データベースとその活用 Hazard and accident database and its application

開発安全工学研究グループ： 和田有司  
Geo-resource Development and Safety Research Group: Yuji Wada  
Phone: 0298-61-8837, E-mail: yuji.wada@aist.go.jp

### 1. はじめに

ここ数年、情報公開の流れの中で様々な政府機関が所管の分野における事故情報データベースの公開を行ってきている。産総研ではこうした流れに先がけ、1996年11月より経済産業省(旧通商産業省)の協力のもとで独自に事故事例を収集し、「災害事例データベース」を公開してきた。しかし、最近はこうした事故情報データベースを単に公開するだけでなく、ユーザーにとってより利用価値の高いデータベースを構築し、公開することが求められており、様々な機関が高度化された事故情報データベース構築のためのプロジェクトを実施している。産総研の「災害事例データベース」はそのためのデータリソースとして各方面から情報提供を要請され、また、筆者自身データベースの担当者としての経験から多くの事故情報データ

ベースの構築に携わってきた。

本年度はこうした事故情報データベースの一つで、産総研がとりまとめを行ってきた「リレーションナル化学災害データベース」を公開することができた。ここでは、「災害事例データベース」、「リレーションナル化学災害データベース」を中心に筆者が携わってきた事故情報データベースの現状について報告する。

### 2. 災害事例データベース

[http://www.aist.go.jp/RIODB/cgi-pub019/  
DB019\\_top\\_jpn.cgi](http://www.aist.go.jp/RIODB/cgi-pub019/DB019_top_jpn.cgi)

「災害事例データベース」は、愛媛大学の勝山邦久教授が工業技術院資源環境技術総合研究所に在籍しておられた間に通商産業省環境立地局保安課が発行していた「保安月報」に掲載された通商



**Welcome to our**  
**Hazard and Accident Database**

- [in English](#)
- [新着情報](#)
- [災害事例データベースの概要](#)
- [データ検索](#)  
1949年05月23日から2000年01月18日までのデータを検索できます。[ヘルプ](#)

1. 発生年月日

|      |   |    |   |    |   |    |
|------|---|----|---|----|---|----|
| 1949 | 年 | 05 | 月 | 23 | 日 | から |
| 2000 | 年 | 01 | 月 | 18 | 日 | まで |

2. 都道府県

全都道府県  
 指定： [都道府県参照](#)

3. 起因物質： [起因物質参照](#)

4. キーワード  
  
 AND  OR

5. 表示件数制限  (1ページあたり)

[検索](#) | [取り消し](#)

### 災害事例データベース

図1 災害事例データベースのトップページ

産業省所管の火薬類および高圧ガス関連の事故情報を蓄積してきたデータベースが基となっている。1996年度に工業技術院計算情報センター(RIPS、現産総研先端情報計算センター(TACC))が研究情報公開データベース(RIODB)を公開した際に、安全分野の1つとして採択され、Web上で公開されたこととなった(図1)。

筆者は公開の少し前からこの仕事を勝山教授から引き継ぎ、「保安月報」の情報以外にインターネット上で収集した報道情報を基に化学産業災害の情報を追加してより広範な災害事例データベースを構築してきた。

現在のデータ件数は3,880件で、1949年5月23日から2000年1月18日までのデータが、発生年月日、都道府県名、起因物質、その他のキーワードで検索可能である。現在、2000年以降のデータ約200件の追加と収録データの見直し作業を行っており、近々リニューアルする予定である。

### 3. リレーションナル化学災害データベース

<http://primer4.a08.aist.go.jp>

「リレーションナル化学災害データベース」は、横浜国立大学の小川輝繁教授を中心とした「物質安全研究会」で開発を進めている化学プロセスの危険性評価のためのエキスパートシステムの一部として、産総研と科学技術振興事業団の研究情報データベース化事業の3年間の共同プロジェクトとして1999年より開発が行われ、2002年10月に公開された(図2)。

単なる事故情報データベースと異なる点は、事故を起こした物質、工程、事故の現象、原因を専門家の協力によって分類して、キーワード化し、そのキーワードによって検索を可能とした点である。これによって、例えば、「乾燥工程における事故で静電気が原因となっている事例」といった事故事例の抽出が可能となり、類似の事故の防止に役立つことが期待される。また、これらの情報はWebブラウザ上で様々な統計処理が可能であり、都道府県別の発生件数を地図上にグラフ表示した

りする機能も実装している。さらに、事故を起こした物質の熱危険性データや事故の起きた化学プロセスのフロー図などの付帯情報、事故の状況を時系列で図示した事故進展フロー図にリンクし、利用者が事故の状況を把握するために必要な情報を提供している。熱危険性データには示差走査熱量測定(DSC)の測定チャートも含まれ、利用者がWebブラウザ上で解析を行うことができる。

収録データは、産総研の「災害事例データベース」、物質安全研究会で収集した消防関連の事故情報など4,162件、登録物質4,439件、付帯情報43件、事故進展フロー72件、DSCデータ71件などとなっている。

### 4. 失敗知識データベース

文部科学省がH-IIロケットの打ち上げ失敗、原子力関連の相次ぐ事故を受けて発足させた「失敗知識活用研究会」の提言により、科学技術振興事業団が受託し、「失敗学」で有名な工学院大学の畠村洋一郎教授が統括責任者となって進められている分野横断的に事故のシナリオを知識化することを目的としたデータベースである。現在、機械、材料、化学物質・プラント、建設の4分野でプロジェクトが進行しており、筆者はプロジェクト発足前に海外調査団の一員として海外の事故情報データベースの調査を行うとともに、現在は化学物質・プラント分野の委員として参加している。

### 5. その他

経済産業省資源エネルギー庁が(財)日本ガス機器検査協会に委託して公開している「都市ガス事故データベース」(<http://tgdb.anken.jia-page.or.jp>)の開発委員会(1998-2000年度)に参加した。

今年度より消防庁の委託を受けて危険物保安技術協会の危険物等事故防止技術センターから「危険物等事故関連技術情報」(<http://www.khk-syoubou.or.jp>)として提供されているデータベース構築のための調査検討作業部会(2001年度)に参加した。



図2 リレーションナル化学災害データベースのトップページ

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

地下水資源環境研究グループ長： 石井武政  
Leader, Water Environment Research Group: Takemasa ISHII  
Phone: 0298-61-3827, 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った特性を有している。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ていくことは、エネルギー・環境などの様々な課題に対処する上で欠かせないであろう。当グループでは、流域規模の水循環・水収支の評価、地下深部や沿岸堆積岩地域における地下水挙動の観測・測定手法開発、地下水汚染の実態調査と原因究明、及び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する。

### 2. グループの研究資源

#### 1) グループメンバー

石井 武政（リーダー）

内田 洋平

田口 雄作

竹内 美緒（平成14年9月末まで）

丸井 敏尚

他に、ユニット内、ユニット外、所外からの研究併任者、研究分担者を含む。

#### 2) 主な予算

原子力特研「高レベル放射性廃棄物地層処分のための地質環境の特性の広域基盤情報の整備」（継続）

原子力特研「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」（継続）

文科省 RR2002 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」（新規）

ODA 予算及び運営費交付金国際協力グラント「東・東南アジア地域の地下水データベースの構築」（継続）

運営費交付金新萌芽的研究「臨海部における超巨大構造物建設に伴う地下水環境変化観測プロジェクト」（新規）

運営費交付金「地下水汚染に関する研究」（継続）

運営費交付金「地下温度場と地下水流動に関する研究」（継続）

運営費交付金「水文環境図の作成」（継続）

### 3. 平成13年度までの進捗の状況

- 1) 「高レベル放射性廃棄物地層処分のための地質環境の特性の広域基盤情報の整備」及び「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」：千葉県蓮沼海岸での地下水観測を継続し、水頭分布を計算したほか、海底湧出地点を確認した。また、地下水センサーの試作品ができ上がり、キャリブレーションを開始した。

光音響法による水分量測定の原理

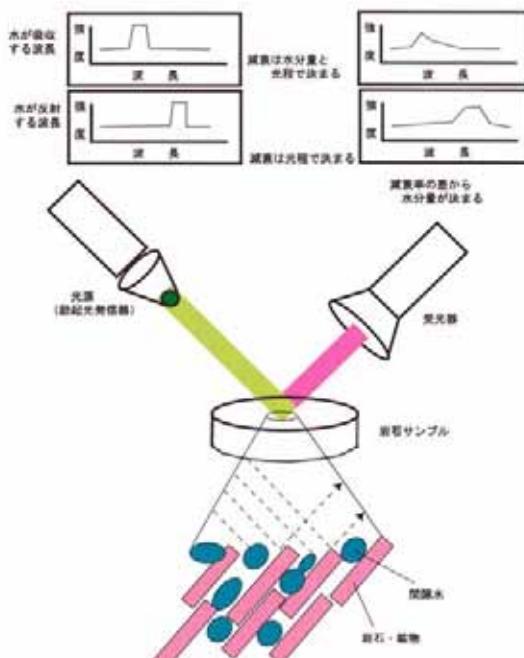


図1 光音響分光法地下水センサーの原理

- 2) 「東・東南アジア地域の地下水データベースの構築」：CCOP 加盟国によるコンパイラー会議を開催し、地下水データベースの最終目標を確認するとともに、各国のデータベースの現状及び利用可能なデータの調査を行い、統一フォーマットを決めた。また、サンプルデ

- ータの入力作業を各国コンパイラーと共同で実施した。
- 3) 「地下水汚染に関する研究」：融雪剤による地下水汚染の研究として山形県ほかで積雪・融雪地帯の現地調査を実施した。
  - 4) 「地下温度場と地下水流動に関する研究」：濃尾平野などにおいて地下水観測井を利用して地下300m程度までの地下の温度分布を測定し、温度構造を把握した。
  - 5) 「水文環境図の作成」：「八ヶ岳水文環境図」を編集しているが、原図の完成に至っていない。



図2 山形市を流れる須川上流での河川流量調査の風景

#### 4. 平成14年度の研究計画

- 1) 「高レベル放射性廃棄物地層処分のための地質環境の特性の広域基盤情報の整備」及び「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」：蓮沼海岸ほかで地下水観測を継続するとともに、堆積岩・花崗岩試料を用いて地下水センサーの実験と改良を行う。本センサーは光音響分光法を用いた新しい手法であり、センサーのキャリブレーションならびに関連する地層間隙水の水質・同位体分析を行うこととする。
- 2) 「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」：中国黃河流域を対象に、中国地質調査局、流域の省・自治区の地質調査院と共同して地下水の分布や水質などを明らかにするための現地調査を開始する。また、その事前段階として折衝・打合せを重ねる。
- 3) 「東・東南アジア地域の地下水データベースの構築」：CCOPプロジェクトとして、参加各国から水井戸に関する有用なデータを可能な限り多く収集し、英語化をはかったのちデータベースに入力する。また、参加各国及び国際地質協力室と連携し、東・東南アジア地下水資源の基礎情報の収集と中国での野外調査を実施する。
- 4) 「臨海部における超巨大構造物建設に伴う地下水環境変化観測プロジェクト」：地下水観測井・探査測線の位置選定を行い、一部の物理探査を実施する。
- 5) 「地下水汚染に関する研究」：山形県や新潟県などで融雪期の地下水調査を行い、地下水のあり方（地下水面図、水質等）に関するデータを取得し、その他の時期のデータと比較する。
- 6) 「地下温度場と地下水流動に関する研究」：濃尾平野、秋田平野、仙台平野を対象に、政府機関、県や市、地元大学の協力を得て地下水観測井を利用して地下温度構造を調べるとともに、水試料を採取して水質・同位体の分析を行う。
- 7) 「水文環境図の作成」：「八ヶ岳水文環境図」の完成をめざす。また、「仙台平野水文環境図」のとりまとめのための作業を行う。

#### 5. 期待される成果

- 1) 地下水センサーの開発において水分量測定のためのセンサーセル及びセンサーケーブルを改良する。東・東南アジア地域の地下水に関するデータならびに各国の電子地図データを収集し、データベース用に加工する。
- 2) 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将来予測に寄与する。
- 3) 地下水データベースの内容を拡充し、部分公開を行う。
- 4) 建造物の建設に伴って生ずる地下水環境の変化の詳細を観測井や各種探査を併用して確認する。
- 5) 積雪・融雪地帯の地下水汚染について、融雪期とその他の時期との水質などの違いを明らかにする。
- 6) 各地の地下水調査により集積されるデータは水文環境図への記載などに援用できる。



RR2002における「黄河流域の地下水の収支・循環・利用に関するモデリングと将来予測に関する研究」  
*Modeling and future prediction of balance, circulation, and utilization of groundwater in the Yellow River basin under the RR2002 Plan*

地下水資源環境研究グループ： 石井武政  
Water Environment Research Group: Takemasa ISHII  
Phone: 0298-61-3827, e-mail: take-ishii@aist.go.jp

### 1. まえがき

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

文部科学省は上記の計5分野であらかじめ課題を設定して実施する委託事業を「新世紀重点研究創生プラン～リサーチ・レボリューション・2002(RR2002)～」と名づけた。この通称 RR2002 のうちの環境分野で設定された「⑥水資源予測モデルの開発」に応募し、地圈資源環境研究部門を中心とする提案課題「黄河流域の地下水の収支・循環・利用に関するモデリングと将来予測に関する研究」が、「⑥水資源予測モデルの開発」を具体化した全体課題名「アジアモンスーン地域における人工・自然改変に伴う水資源変化予測モデルの開発」中のサブテーマとして採択された。

「アジアモンスーン地域における人工・自然改変に伴う水資源変化予測モデルの開発」は予算総額2億5千万円(平成14年度)にのぼり、参画する機関(大学、国研、独立行政法人など)は20近くになる。ここでは産総研が担当する「黄河流域の地下水の収支・循環・利用に関するモデリングと将来予測に関する研究」を簡単に紹介する。

### 2. 黄河の特徴

黄河は主流の長さ約5,500km、流域面積約75万km<sup>2</sup>に達し、中国西部の青海省の標高4,500mほどの山岳地帯を源流域として東方に流れ、甘肅、寧夏回族、内蒙古、山西、陝西、河南、河北、山東の各省・自治区を流下して渤海に注いでいる。流量の平均は580億トン/年で、1トン当たり35kg

もの泥砂を含んでいる。この泥砂の1/4は河道に堆積し、河南省以下では比高4-6mの天井川になり、過去2000年間で1500回の氾濫洪水を発生させたといわれる。

黄河の流域とその周辺には多数の人々が住み、中流の寧夏回族自治区の銀川平野、内蒙古自治区の河套灌区では大量に農業用水として黄河表流水が利用される一方で黄土高原を中心に砂漠化が進み、また下流の河北平原一帯では農工業の発展と人口の稠密化のため地下水利用が盛んとなり、地下水位の著しい低下が発生している。1990年代には黄河の表流水が涸れてしまう断流状態が200日以上起きた年もあり、中国政府は黄河の水補給を目的に長江(揚子江)の表流水を導水する「南水北調」工事にとりかかっている。すなわち、歴史上も現在も中国における第1級の重要河川である黄河を取り巻く水環境は大きくかつ急速に変化しつつあるといえる。

### 3. 研究の概要

ある流域の水収支や水循環を考えるとき、大気中の水や河川水などは比較的意識しやすいが、地上からは容易に見ることのできない、しかも流れが遅い地下水については、ややもすると視点からはずれてしまいがちになる。しかし、地下水は水収支・水循環の重要な構成要素であるから、これを抜きにした水収支・循環のモデルはありえない。地圈資源環境研究部門が主として取り組むのは黄河流域のこの地下水についてである。

研究は5年計画で、黄河流域地下水循環モデルを開発し、地下水の過去の姿の復元および将来予測を行うことを目標としている。モデルの開発にはできるだけ質・量ともに優れたデータのあることが必要で、中国側のこれまでの数多くの研究資料やデータ集を収集解析するとともに、新たに観測ポイントを設けて地下水位などに関する実測値を得ることとしている。

地下水の収支や循環といつても、地下水はむろん表流水や大気中の水との交流があるので、収集

すべきデータは多種多様となる。実測値としては黄河中一下流域の観測井における地下水位経年変化、上流域の氷河・凍土地帯からの湧出量の季節変化を把握する計画である。観測井の数は100本をめざし、氷河・凍土の観測流域は2箇所の設定を目標んでいる。これらのほかに、水利用の観点から流域全体にわたる植生密度変化や山岳地の氷河面積の消長を衛星画像の解析から明らかにすることも行う。

#### 4. あとがき

研究は開始したばかりであり、まだ具体的なと

ころを記す段階に至っていない。むしろ、本年度は中国側関係部署（中国地質調査局や省・自治区の地質調査院など）への説明に費やした時間が大きい。また、2国間の取組みであるので研究協力の覚書を結ぶ必要もあり、これについては国際地質協力室に大きく依存している。中国国内での調査になればまた多くの人々の協力を得なければならない。今後とも関係各位・各方面のご支援をお願いする次第です。

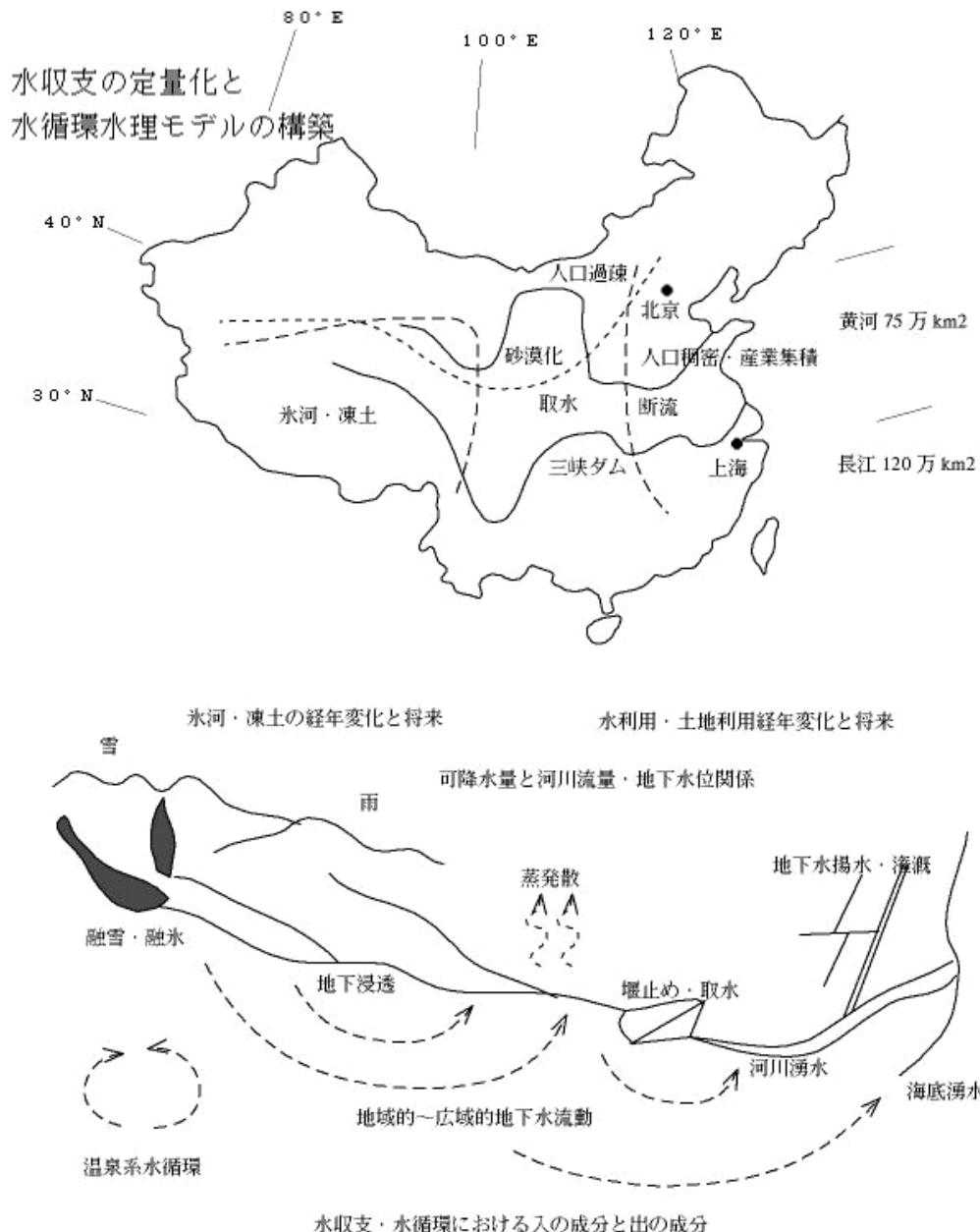


図1 研究の概念を示すポンチ絵



## 地下水流动と地下温度構造に関する研究を中心として Focusing on groundwater flow systems and their subsurface thermal regime researches

地下水資源環境研究グループ：内田洋平  
Water Environment Research Group: Youhei Uchida  
Phone: 0298-61-3683, e-mail: [uchida-y@aist.go.jp](mailto:uchida-y@aist.go.jp)

### 1. まえがき

産総研発足以降、私の個人研究活動は、①広域地下水流动解析、②中国黄河流域における水文調査、③地中熱直接利用に関する研究、④その他の活動等に分けられる。

### 2. 広域地下水流动解析

産総研発足以前から、筆者は広域における地下水流动に関する研究に従事してきた。特に、地下水流动とその熱輸送効果による地下温度構造に注目し、地下の温度分布から流域における地下水流动系の推定を試みている。図1の(a)～(d)に広域地下水流动系と地下温度構造の関係を示す。

また、最近では過去100年ほどの人為的な気温上昇の影響が地温勾配の逆転という形で地下の温

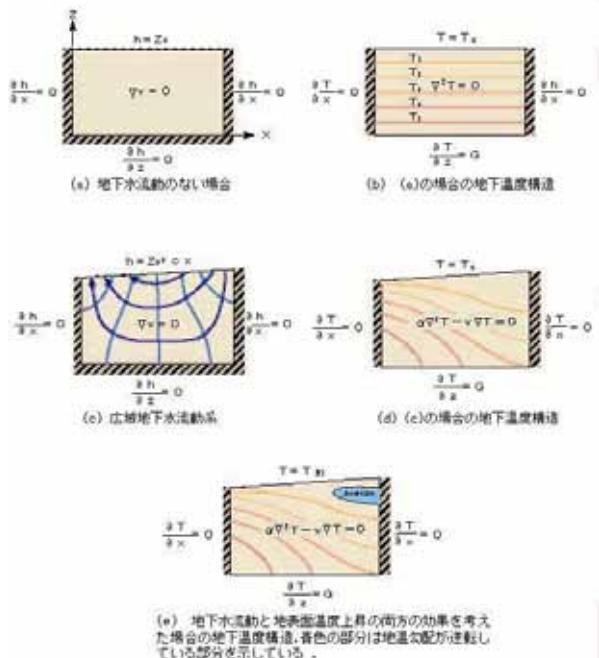


図1 広域地下水流动系と地下温度構造の関係

度構造に現れることが世界各地で報告されている。図2は、1880年から1970年まで直線的に地表面温度が上昇する気候モデルから計算した地下200mの温度プロファイルである。×印はカナダのカブカシンで得られた1970年における観測値を示している(Jessop, 1990)。

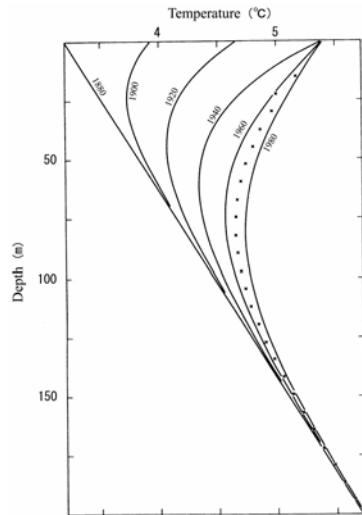


図2 直線的に地表面温度が上昇する気候モデルから計算した地下200mの温度プロファイル (Jessop, 1990)

地でも観測されている。しかし、同じ地域内でも地温勾配の逆転が観測される場所とされない場所のあることが問題となっていた。筆者はこの地温勾配逆転の問題に関して、世界で初めて地下水流动の効果を組み入れ、その分布形態を説明した(図1e)。

以上の広域地下水流动系と地下温度構造に関する研究を通して、筆者とそのグループが測定した日本各地の温度プロファイルを現在コンパイル中である(図3)。浅層の温度データをコンパイルすることにより、複数の地域の比較・検討が可能となり、地下の温度分布や温度分布に影響を与えている要因の地域的な違いを考察することができる。現時点では13地域の温度データをコンパイルし、その結果を論文として発表した(内田ほか, 2001)。

最近では、関東平野や仙台平野において地下温度分布のみならず、一般水質や酸素・水素安定同位体比を同時に用いた地下水調査におけるマルチ

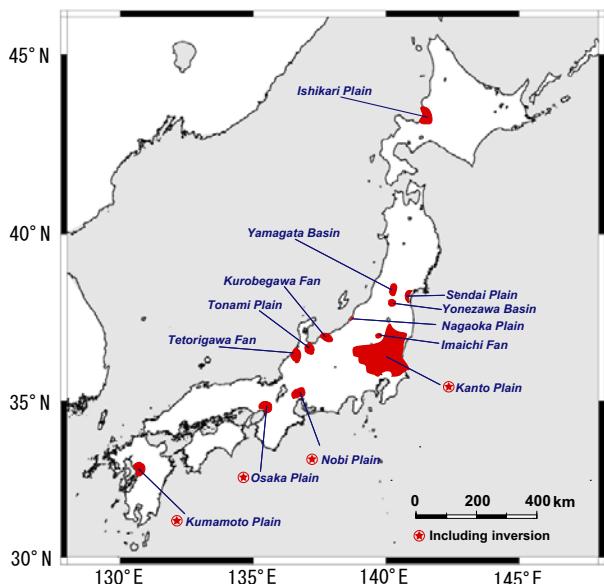


図3 地下温度データをコンパイルした地域

トレーサー法の確立を目指している（内田ほか, 2002）。

### 3. 中国黄河流域における水文調査

平成14年度の文部科学省「人・自然・地球共生プロジェクト」における研究開発課題「水資源予測モデルの開発」で、当研究グループの提案した「黄河領域の水文・水資源シミュレーションモデルの構築」が採択された。本プロジェクトは平成19年度までの5年間のプロジェクトであり、黄河領域の地下水収支の定量化、地下水循環モデルの構築を通じて、黄河領域全体の水文環境変化を明らかにするとともに10年後、20年後の将来予測を行うものである。筆者は、本プロジェクトに関して地下水の収支・流動に関するモニタリングおよび水質・同位体分析を担当しており、国内で実施している「マルチトレーサー手法」を海外で試みている。

### 4. 地中熱直接利用に関する研究

平成13年度の産業技術研究助成事業（新エネルギー・産業技術総合開発機構、NEDO）に地圈資源環境研究部門から提案した「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」が採択された。本プロジェクトは地中熱の経済的・効率的な利用を可能にするために、モデルフィールド内の任意の地点における地下水水理を予測する手法を開発することを目的としている。具体的方法としては、モデルフィールドにおいて、地下水の水位、水質、温度及び地質構造に関する調査を行い、調査結果をもとにした広域地下水流动・熱輸送解析を行って、地下の三次元温度分布・水理構造モデルを作成する。また、数値シミュレーションにより地中熱の利用に伴う地下環境への負荷

を評価して、モデルフィールドにおける地中熱利用施設の最適配置を求める手法をあわせて開発する。筆者は本プロジェクトにおいて、今まで水文分野で培った浅層地下温度構造に関する基礎研究を応用し、地下温度・地下水・地質調査に基づいて、三次元地下温度構造・水理構造の解析手法を構築し、モデルフィールドにおける地中熱利用施設の最適配置を求める手法を開発することを目指している。

### 5. その他の活動

筆者は韓国地下資源調査所（KIGAM）の協力を得て、韓国における地下温度プロファイルの測定・解析を平成13年度から行っている。それらの結果は学会において発表した（内田ほか, 2001）。また、CCOP Phase IVプロジェクトにおいて、CCOP 参加各国および国際地質協力室と連携し、東・東南アジア地下水資源の基礎情報の収集および一部地域での野外調査を実施し、統一された様式のもとでの地下水に関するデータベースの構築に取り組んでいる。その他、2002年3月1日には新エネルギー財団主催の地熱開発利用講演会において、浅層地下温度場に関する講演を行った。

### 参考文献

- Jessop, A. M., (1990) Thermal Geophysics. Elsevier, Amsterdam.
- 内田洋平・大久保泰邦（2001）温度プロファイルから推定した気候変動、2001年度 地球物理・物理探査研究報告会。
- 内田洋平・林 武司・宮越昭暢（2002）地下水調査における“マルチトレーサー”的試み、地質ニュース、571号、p. 28-32.
- 内田洋平・佐倉保夫・谷口真人（2001）日本の浅層地下温度場—新しい地下温度場の捉え方、日本地熱学会誌、23, p. 167-180.

## 水文地質の研究 Research on hydrogeology

地下水資源環境研究グループ： 田口雄作  
Water Environment Research Group: Yusaku Taguchi  
Phone: 0298-61-3683, e-mail: yusak.taguchi@aist.go.jp

### 1. 凍結防止剤による地下水汚染解明に関する研究

降雪地帯においては、路面の凍結を防ぐため、大量の塩化カルシウムやその他の凍結防止剤が散布されている。それらの薬剤は可溶性のため、水に溶けて地下に浸透し、地下水に混入する。道路を管理する国や地方自治体の現場では、凍結防止剤は無害だとして使用しているが、地下水を汚染していることは明らかであり、水質分析の結果、凍結防止剤として使用されている塩化カルシウムが高濃度で検出されると言うことは、自動車起源の有機化学物質（例えば、油など）による地下水汚染も、同時に起こっている可能性も危惧されるわけである。

本研究の目的は、従来まで明らかにされていなか

った凍結防止剤による地下水汚染の実態を、現場観測および機器による現場継続観測を通じて把握し、その汚染機構を解明することである（下図）。

本研究は新潟県塩沢町において、扇状地および河岸段丘地域を対象地域に設定し、地形的な差異によって汚染の違いが生じるか否かの検討も含めて、今年度から本格的に調査研究を開始する予定である。

### 2. 5万分の1地質図幅「熊谷」の水文地質の研究

5年計画で実施している5万分の1地質図幅「熊谷」において、水文地質を担当している。本年度は荒川扇状地の不圧地下水のあり方を検討し



小型トラックによる凍結防止剤散布風景（路面の中央に消雪パイプが見える）

た。豊水期と渇水期では地下水位の変化が大きく、扇端部においては渇水期には涸渇する井戸が多い。この事実は、深谷断層の存在と密接に関係しているように思われ、その解明に取り組んでいる。

### 3. 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

黃河流域を対象として、黃河領域の地下水収支の定量化、地下水循環モデルの構築を通じて、黃河領域全体の水文環境変化を明らかにするとともに、10年後、20年後の将来予測を行うための黃河流域情報統合モデル構築を目的とする。

黃河領域は著しい人口増、西部地域の大開発などに伴い、上流域での非効率灌漑、下流域での水不足・断流・土砂の堆積・地下水位低下など深刻な事態に直面し、水資源の実態把握および適正利用が臨まれている。モデルを構築するために、既存データの収集・機器による現地観測・水質・同位体分析現地調査を、中国地質調査局、黃河領域各省国土資源庁、学術機関などと連携して実施する。

本年度は、来年度以降の現地調査を円滑に行うための打ち合せを、中国地質調査局、水文地質環境地質研究所、山東省・河南省・青海省・甘肃省・寧夏回族自治区の各国土資源庁と実施した。

本研究によって、黃河領域の将来20年後の地球温暖化、社会経済的発展、制度的選択等に関する複数のシナリオに基づく水資源予測が行われ、対策戦略が示されることが期待される。

### 4. 東・東南アジア地域の地下水データベースの構築

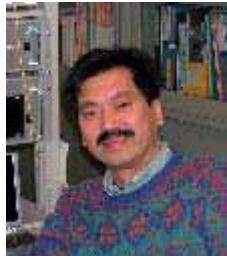
CCOP（東・東南アジア地球科学計画調整委員会：本部タイ王国バンコク市）のプロジェクトDCGMフェーズIVとして、CCOP加盟国（カンボジア・中国・インドネシア・韓国・マレーシア・パプアニューギニア・フィリピン・シンガポール・タイ・ベトナムおよび日本）及び国際地質協力室と連携し、東・東南アジア地下水資源の基礎情報を収集し、当該地域の地下水データベースを構築することを目的とする。そのためには、CCOP各国から水井戸に関するデータをできるだけ多く集め、統一フォ

ーマットへの記載とデータベースへの入力を行う。

昨年11月北京で開催したワークショップの結果に基づき、来年2月に韓国大田において、各国のナショナルコンパイラーを招いたワークショップ開催を予定するほか、データベースコンテンツの部分公開を試みる。

## 地下水の研究

### Study on Groundwater Hydrology



地下水資源環境研究グループ：丸井 敦尚

Water Environment Research Group: Atsunao Marui

Phone: 0298-61-3684, e-mail: a.marui@aist.go.jp

#### 1. まえがき

水は地球を構成する重要な要素であり、環境や資源を語る上で地下水を無視することはできない。地下水の特性・流動・循環を研究し、地球への理解をより高めたい。

#### 2. 塩淡境界と地下水の流れ

地下水は山から平野を通過し海へと流れる。近年の水文学では、地下水の水質がその経路を反映するため、この海へ流れ込む地下水の研究が盛んに行われている。既存の井戸や研究用のボーリングなどから新しい課題に精力的に取り組んでいます。



図1 村松大神宮の古井戸

#### 3. 海底に湧き出す地下水

海底に湧き出す地下水を探るため、ダイビング調査や無人のロボット潜水艦による調査を実施しています。研究の一環としてダイバーが海底堆積物中の調査をするための小型観測機器（写真）などを開発し、北海道や東日本の太平洋岸で精力的な調査を行っています。この結果、日本の各地で海底に湧き出す地下水を新たに発見しています。



図2 ダイビング調査機器

#### 4. 光で探る地下水の流れ



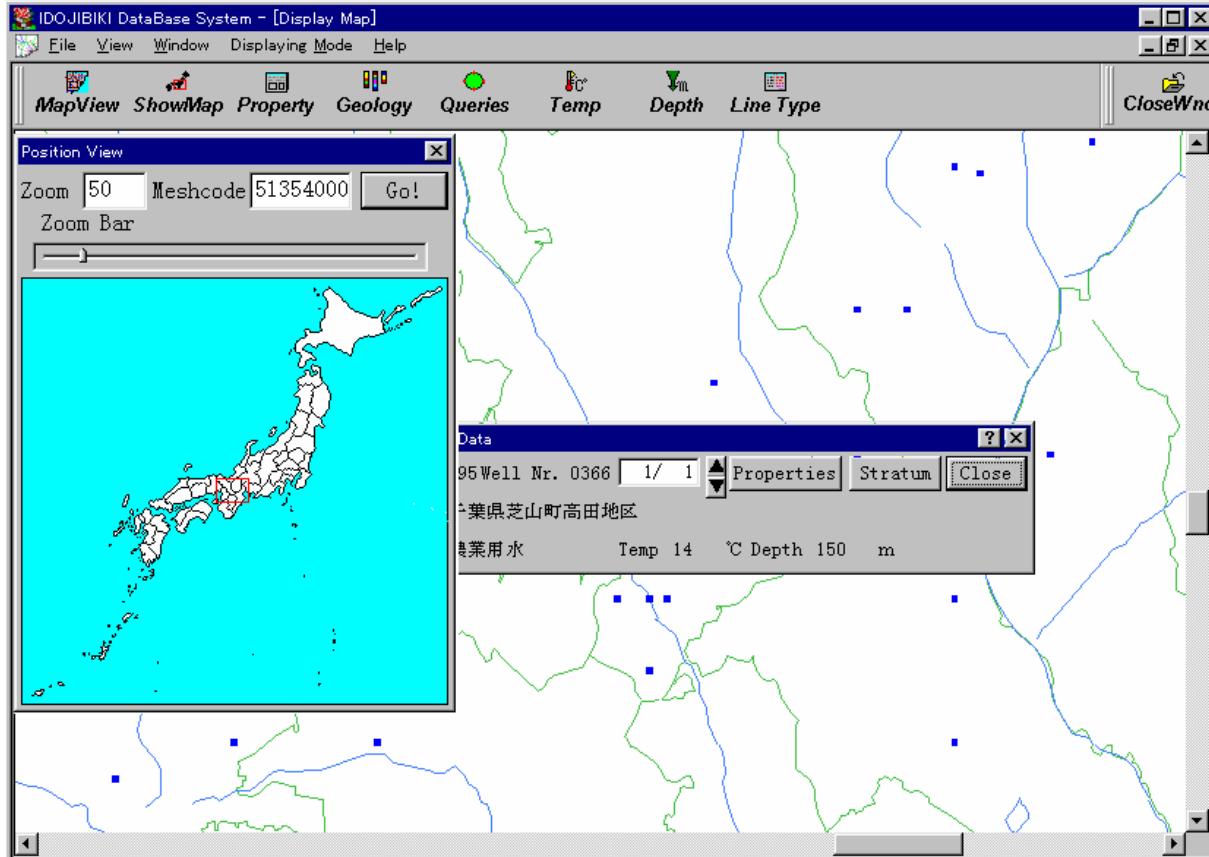
図3 光音響分光法を用いた  
地下水センサー

地下水を継続的に観測するためには長期間水没しても精度の変わらないセンシングシステムが必要です。従来のセンサーは金属製のものが多く、

劣化が避けられませんでした。現在開発中のセンサーは光ケーブルと石英ガラスを使ったものであり、センサーの寿命が格段に長くなりました。長期間の環境計測を可能にする画期的な方法として現在実用化を進めています。

## 5. データベースで地下水情報を提供する

これまで地質調査所時代から行ってきた調査・研究の資料や個人的な研究の成果はデータベースとしてまとめられています。全国の地下水や水理地質情報はもちろん、最近では東南アジアの地下水情報もデータベース化されつつあります。それらの情報は、「日本の地下水 (<http://groundwater.jp/>)」に掲載されています。



## 地圏環境立地研究グループの紹介

### Introduction of the Research Group of Geo-Technology and Environmental Assessment

Leader, Research Group of Geo-Technology and Environmental Assessment: Sunao Kunimatsu  
 Phone: 0298-61-8289, e-mail: s.kunimatsu@aist.go.jp

#### 1. グループの研究目的

地下空間の利用や大規模な新エネルギー・都市産業施設など、従来にない新産業施設の開発にあたっては、それらの産業施設が地圏環境に与える影響を予測し、環境影響を最小限とする環境調和型の開発を行うことが重要である。以上の観点から、各種施設の立地条件整備および環境影響評価に関して、国内の地下深部岩盤での初期応力状態とその分布の推定、長期安定型地盤物性量センサー、立地地盤地震時安定性評価手法、騒音・地盤振動評価手法等の開発および塩淡境界面把握調査等を16年度を目指す。

#### 2. グループの研究資源

##### 1) グループ員

|                                     |                      |
|-------------------------------------|----------------------|
| 国松 直 (リーダー)                         |                      |
| 楠瀬 勤一郎,                             | 高橋 保盛,               |
| 長 秋雄,                               | 今泉 博之,               |
| 神宮司元治,                              |                      |
| Selcuk Toprak **visiting researcher |                      |
| 松林 修                                | **当部門他グループより分担       |
| 内田 利弘                               | **当部門他グループより分担       |
| 光畠 裕司                               | **当部門他グループより分担       |
| 丸井 敦尚                               | **当部門他グループより分担       |
| 中山 紀夫                               | **環境管理部門より分担         |
| 二宮 芳樹                               | **地球科学情報研究部門より<br>分担 |
| 奥山 康子                               | **地球科学情報研究部門より<br>分担 |

##### 2) 予算

運営費交付金「岡山万成応力測定孔コアを用いたコア応力測定に関する研究」(H14)  
 文科省：原子力特研「地下深部岩盤初期応力の実測」(H13-H17)  
 文科省：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」(H13-H17)  
 文科省：科振費総合研究「構造物の破壊過程解明に基づく生活基盤の地震防災性向上に関する研究」の一部  
 環境省：公害特研「GISによる騒音源周辺環境を考慮した騒音伝搬予測に関する研究」(H12-H16)

経済省：「塩淡境界面把握調査」(H14-H19)

#### 3. 平成13年度までの進捗の状況

##### 1) 地下深部岩盤初期応力の実測

岡山県内の花崗岩石場において、深さ350mの調査孔を掘削し、岩盤調査と水圧破碎法およびコア法による応力測定を行った。

##### 2) 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

地下熱物性量センサーの試作を行い、供給熱流と応答温度との位相および周波数特性を調べ、地盤・岩盤の水および熱的パラメータの関係についてのモデル化を検討した。また、超高周波インピーダンス計測の試作機を製作し、地盤・岩盤のインピーダンス特性を計測した。また、重金属イオンの水溶液および重金属電極を用いて、還元電位と電流応答の測定を行うとともにセンサーを試作した。



図1 試作した岩石インピーダンス計測装置

##### 3) 構造物の破壊過程解明に基づく生活基盤の地震防災性向上に関する研究

地震時砂地盤液状化対策のための大型土槽実験における初期砂試料相対密度分布計測を目的として、高速電極スキャニングが可能なリアルタイム比抵抗計測装置を開発し、他研究機関との合同実験（防災科研所有大型土槽使用）において深度方向相対密度計測を実施した。



図2 防災科研所有大型土槽を使用した合同実験の様子（2001年9月実施）

#### 4) GISによる騒音源周辺環境を考慮した騒音伝搬予測に関する研究

音環境管理手法に関する基礎検討を継続し、定点騒音観測データの取得や騒音伝搬に関連する各種データを蓄積した。GISツールとリンク可能な伝搬予測法の構築を進め、伝搬環境要因の中で気象変動要因を中心にその特性解明に着手した。また、建物群による騒音減衰に関する模型実験を実施し、現場計測を計画している。

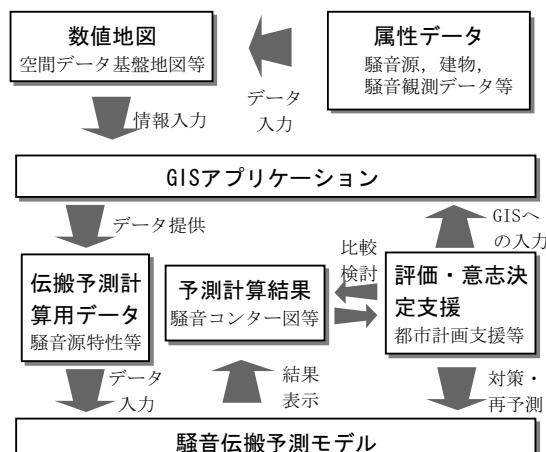


図3 GISによる音環境管理および騒音予測手法の概要

#### 4. 平成14年度の研究計画（括弧内は研究担当者） 1) 地下深部岩盤初期応力の実測（長、楠瀬、国松）

昨年度に花崗岩岩盤において深度360mまで掘削した調査ボーリング孔を深度600mまで増掘し、コアの採取と観察・5項目の検層（温度・キャリパー・密度・速度・電気）・ボアホールレビューによる孔壁亀裂観察・5深度での水圧破碎法による岩盤初期応力測定を実施する。

#### 2) 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（神宮司、中山、国松）

交流熱流と温度応答の位相差について詳細に調べ、センサー周囲の含水率の計測を行う。また、超高周波の比抵抗探査装置を製作し、岩盤・人工バリア中に含まれる水の誘電率の周波数及び温度依存性を利用した含水率・温度分布イメージング法について検討を行う。

#### 3) 構造物の破壊過程解明に基づく生活基盤の地震防災性向上に関する研究（神宮司、S. Toprak、国松）

大型土槽内で適用するための三次元比抵抗トモグラフィー装置および手法のプロトタイプを開発する。その装置を用いて小型土槽を用いた実験を実施し、問題点を抽出する。

#### 4) GISによる騒音源周辺環境を考慮した騒音伝搬予測に関する研究（今泉、高橋、国松）

都市域の複雑な音環境に対して、建物群や気象要因等の個別要因の特性解明を行うとともに、伝搬環境要因の影響を考慮可能なGISベース騒音伝搬予測手法の構築を進め、併せて属性データの蓄積や空間情報の収集をモデル地区内で推進して音環境管理手法の基礎検討を行う。

#### 5) 塩淡界面把握調査（楠瀬、内田、光畑、丸井、奥山、松林、二宮）

孔井を用いた連続観測・物理探査により、塩淡界面形状把握を行い、流速・圧力と形状の関係を明らかにするとともに、地球化学的手法による深部地下水性状の推定、深部からの上昇流の流束量の推定を行う。

#### 6) 岡山万成応力測定孔コアを用いたコア応力測定に関する研究（長）

岡山万成応力測定孔の深度500～600mのコアを用いて、3種の岩盤初期応力測定法（ASR法・DSCA法・AE/DR法）の比較・検証試験を実施する。なお、このテーマは高温岩体RGと共同して実施する。

### 5. 期待される成果

各委託研究の研究計画に示された進捗で研究を実行することで、それぞれのテーマについて成果が得られ、論文発表はもとより、次年度以降のさらなる予算獲得に繋がることが期待できる。

### 参考文献

- 1) 長秋雄、日本の地殻応力深度分布モデル、日本地震学会2001年秋季大会、(2001年10月)
- 2) 神宮司元治・国松直、大型土槽における比抵抗を用いた相対密度分布計測、土木学会技術推進機構、第3回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム(2002年2月)
- 3) 高橋保盛・今泉博之・神宮司元治・国松直、二種類の屋外型ウインドスクリーンによる風雑音低減効果の比較、(社)日本騒音制御工学会春季研究発表会(2002年4月)
- 4) 楠瀬勤一郎、地質環境長期予測における時間枠(2)、地球惑星科学関連学会2002年合同大会(2002年5月)
- 5) 神宮司元治・国松直・中山紀夫、放射性廃棄物地層処分施設の長期モニタリング技術、物理探査学会、第106回学術講演会(2002年5月)



## 環境振動、施設立地に係わる研究活動の紹介 Research topics of environmental vibration, floating offshore wind farms and Sakhalin to Japan gas pipeline

地圏環境立地研究グループ： 国松 直  
Research Group of Geo-Technology and Environmental Assessment: Sunao Kunimatsu  
Phone: 0298-61-8289, e-mail: s.kunimatsu@aist.go.jp

### 1. まえがき

現在当研究グループでは、平成14年度は5つの委託研究を実施している。

①文科省：原子力特研「地下深部岩盤初期応力の実測」(H13-H17), ②文科省：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」(H13-H17), ③文科省：科振費総合研究「構造物の破壊過程解明に基づく生活基盤の地震防災性向上に関する研究」の一部, ④環境省：公害特研「GISによる騒音源周辺環境を考慮した騒音伝搬予測に関する研究」(H12-H16) ⑤経済省：「塩淡境界面把握調査」(H14-H19)

このうち、上記①～④に関連して研究を行っている。

また、研究成果の普及、広報活動を委員会活動等を通して行っている。

### 2. 研究グループ長としての活動

グループ研究計画作成、個人評価、外部評価資料作成、グループホームページ作成(図1)、等々、組織改変に伴う多くの事務的仕事を実行するとともに、グループの新規プロジェクト確保のための活動を行っている。

### 3. 委託研究以外の主な活動

#### (1)道路交通振動

(社)日本騒音制御工学会道路交通振動予測式作成委員会において、現在環境アセスメントに使用されている統計的に処理された予測方法(土木研究所式)に代わり得る物理的モデルにより構築された予測方法の提案を平成13年度行い、学会推奨の手続きを行っている。基本的にはエネルギーベースの考え方を導入した「道路交通振動予測計算方法」を提案している。

本予測方法では第一段階として、道路構造を平面道路、地盤を半無限弾性地盤と仮定しているが、発生源における振動特性や伝搬過程における減衰特性などの検討が必要である。今後道路交通振動の予測の精度を高めるためには、表層地盤の地層構造や減衰特性などの把握が不可欠である。

本予測方法を用いて、ローム地盤、砂れき地盤、沖積地盤を対象に実測データとの比較を行って検



図1 グループのホームページ.

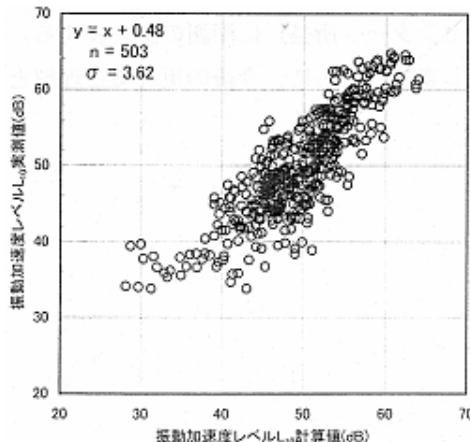


図2 提案する予測計算方法による計算値と実測値との比較(全地盤).

証している。その結果を図2に示す。

#### (2)高压ガス設備等耐震設計指針

高压ガス設備等に係る耐震対策については、「高压ガス設備等耐震設計基準(昭和56年10月通商産業省告示515号)」に基づき塔槽類およびその支持構造物並びに基礎について耐震設計を行い、地震時における当該設備の安全レベルを担保している。そのための指針として、高压ガス保安協会から「高压ガス設備等耐震設計指針」(昭和58年6月)が発刊されている。本指針に対して、兵庫県南部地震(平成7年1月)以後、当協会に「高压

ガス設備等耐震対策検討委員会」が設置され、報告書の提言のもとに告示の改正（通商産業省告示143号（平成9年3月））が行われ、2段階地震動による設計へ変更となった。これに伴い、平成9年11月に「レベル1耐震性能評価」、平成12年7月に「レベル2耐震性能評価 評価例」が発刊された。現在は「高圧ガス設備耐震対策に係る基礎専門委員会（平成14年度経済産業省委託、石油精製業保安対策に関する調査、石油精製業総合保安対策調査、石油精製プラント地震対策調査研究）」として、①液状化対策工、②基礎に関するレベル2耐震性能評価のための設計資料および設計事例集、③簡易耐震性能確認用資料集などについて検討を行っている。

### (3) 浮遊式洋上風力発電

（社）日本海洋開発産業協会、浮遊式洋上風力発電委員会が主体となり、「平成13年度海洋資源・エネルギーを複合的に活用する沖合洋上風力発電等システムの開発調査研究報告書—風力発電を核とする大規模浮遊式洋上エネルギー供給システムの実現性に関する調査研究—」が平成14年3月にまとめられた。平成9年7月気候変動枠組条約第3回締結国会議（COP3、京都議定書採択）、平成13年11月COP7（運用則採択）、平成14年10月COP8と、着実に温暖化ガスの削減のためのルールが義務づけられてきている。温暖化ガス削減のために、先進国ではクリーンエネルギーの導入を積極的に進めている。我が国においても総合エネルギー調査会総合部会/需給部会の報告書「今後のエネルギー政策について（平成13年7月）」では、省エネルギーの促進や太陽光発電、風力発電などの自然エネルギーの利用促進、電力等の燃料転換等などを強力に推進すべきとされている。特に、

- \* 2010年以降に予想される炭酸ガス排出に対する厳しい抑制に対応
- \* 我が国独自の次世代型大規模洋上風力発電基地の実現、並びに
- \* 海洋自然エネルギーの総合利用技術の実用化による我が国の産業活性化

地上の風力発電については、コストの低減化が進んでいることもあり、2010年までにこれまでの計画であった30万kwからその10倍の300万kwを目標とすることとなっている。

しかしながら、我が国の地形は凹凸が多く、人口稠密のため、景観問題、騒音問題、風教の乱流問題等があり、地理的、社会的、環境的に好ましい適地を得るのに多くの困難が伴う。さらに、我が国の海岸線の総延長は、34,000kmの長さを有しております、漁業や商船等による稠密な利用が進んでおり、また、浅海部分が狭く急に深くなっている地形のため、適地を多く求めるることは、容易ではない。しかし、深度200mまでの海域を考えれば、面積的に十分で、風況も安定している。また沖合10~20kmを考えれば、景観問題も解決し、数千万kwの発電が可能と考えられる。

このような考えのもとに、図3に示すような海洋自然エネルギー総合利用システム基本構想のもとに、実現性に向けて発電コストの試算も試みている。

### (4) サハリンパイプライン PSDC 検討評価

サハリン大陸棚における石油・天然ガスの開発が具体化し、サハリンIでは天然ガスをパイプラインで輸送する「サハリンパイプライン計画」が検討されている。そのため、（財）エネルギー総合工学研究所において、サハリンパイプライン PSDC 検討評価委員会が設置され、Project Specific Design Code (PSDC) の作成を進め、平成14年2月に報告書をまとめている。この計画では、日本において初めての国際パイプラインであることに対する対応や今後の幹線パイプラインの整備の問題などを投げかけている。

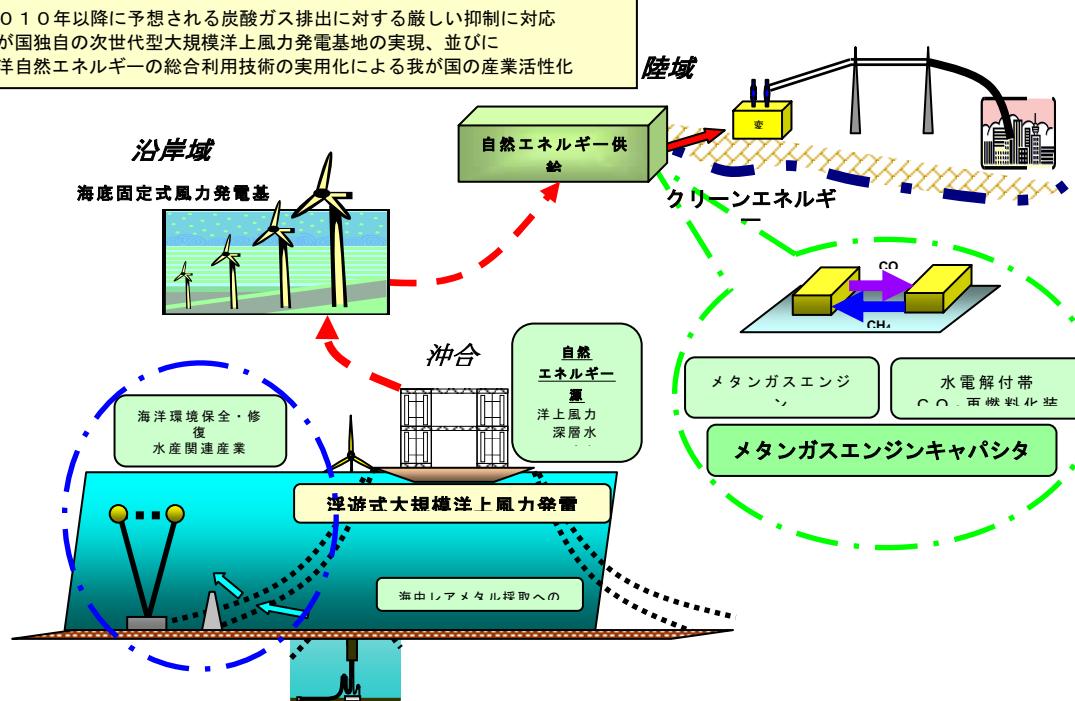


図3 沿岸域から沖合に展開する海洋自然エネルギー総合利用システム基本構想



## 屋外における騒音伝搬に係る研究 Research on sound propagation outdoors

Geo-Technology and Environmental Assessment Research Group: Hiroyuki Imaizumi  
Phone: 0298-61-8287, e-mail: [hiroyuki.imaizumi@aist.go.jp](mailto:hiroyuki.imaizumi@aist.go.jp)

## 1. 屋外騒音伝搬に与える諸要因

地球温暖化など、グローバルな環境問題に注目が集まって久しいが、典型七公害に代表されるような我々の生活に密着した環境問題が解決されたわけではない。近年、特に都市域を中心とし騒音源の多様化や伝搬経路の複雑化、さらには周辺環境に対する意識の高まり等によって騒音問題は深刻化している。騒音に代表される環境は、我々が常に接し、特に身近な問題であるため、その対応には危急を要する。

屋外における騒音伝搬には様々な要素が影響を及ぼす。図1は、騒音が発生・伝搬し、受音者まで到達する過程で考慮すべき要素を整理したものである<sup>1)</sup>。受音者である「人」に対する物理的及び心理的評価を行う場合には、受音点における騒音特性を正確に把握する必要があり、伝搬環境要因の個々の影響を詳細に検討することが不可欠である。

本稿は、上記の観点で実施している屋外騒音伝搬に係る研究内容を紹介する。

## 2. GIS を用いた都市域の音環境管理及び騒音伝搬予測手法<sup>2), 3)</sup>

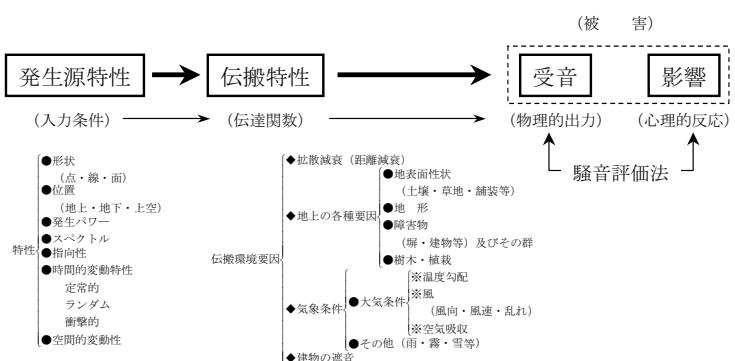


図1 屋外騒音伝搬に影響する諸要因

Geographic Information System (GIS) は、各種の空間データ（数値地図）と非空間データ（属性データ）を統合し、情報を蓄積・管理、加工、検索及び解析することによって問題を解決するための意志決定支援システムとして有効である。GIS を用いた都市域における音環境管理及び伝搬予測手法の研究は、地方自治体等で得られた過去の定点騒音計測データを一括して GIS 上で入力・管理することで、地域の騒音場の変遷を把握するだけでなく、関連する数値地図や各種属性データと相互解析することによって、より詳細な状況分析を過去に遡って可能とする。また、多種多様な騒音源や複雑な伝搬経路等に対応可能な騒音伝搬予測手法と組み合わせることで、将来の都市計画等に騒音場の変化やその低減対策の観点から積極的にアプローチする可能性を目指している。

音環境管理及び騒音伝搬予測に必要な各種数値地図及び属性データに関して、現在までに以下の問題点が抽出された。

- 1) 過去の地図データの大部分は紙地図や航空写真等であり、デジタル化する作業にかなりの時間と労力を要する

2) 都市域における主要な騒音源である道路交通騒音特性を決める諸要因（車線数、舗装タイプ等の道路構造、交通量、大型車混入率、走行速度等）の正確な計測手段

3) 形状、配置及び階層数という主に平面的情報を含む建物データへの立体的情報（建物高さ）の付加（伝搬予測計算には影響（心理的反応）

障害物高さが必要)

- 4) 気象データの取り扱い（伝搬予測計算モデルへのデータ入力の観点からその内容及び構造等について検討が必要）
- 5) 騒音の平面分布だけでなく、鉛直分布を求める建物（居住地）の高層化を考慮

各種数値地図及び属性データを整備する一方で、各種伝搬環境要因を考慮可能な予測計算手法の開発を進め、標準的な音環境管理手法の構築を実施している。

### 3. 地中発破に伴う衝撃音の伝搬減衰特性とその影響評価<sup>4), 5)</sup>

地盤液状化対策工法の一種である地中発破を用いた衝撃締め固め工法は、他の工法に比べて安価で広範囲を施工可能である。その反面、発破に伴う衝撃音や振動の発生が周辺環境に及ぼす影響を把握する必要がある。ここでは、幾つかのフィールド実験を通じて得られた発破音の性状等を示す。

図2は、起爆点から百数十m離れた計測点で得られた発破音及び発破振動の時間音圧波形及びGaussianウェーブレットによる1/3オクターブバンド周波数分析した結果である。発破音の主要な周波数成分は、10Hz以下の超低周波音であり、発破振動の分析結果と比較すると、起爆に伴う地盤の上下動によるものと考えられる。既往の低周波音影響評価手法を適用すると、百数十m離れた計測点においても建具のがたつき発生が示唆された。また、Parabolic Equation (PE) 法<sup>6)</sup>による気象影響を考慮した伝搬予測計算によると、長距離伝搬後も減衰量は少なく、音源近傍での低減対策が重要であることを示した。さらに、発破音に含まれる超低周波音成分についても風上、風下伝搬条件下でその減衰量に差異が生じることがわかった（図3）。

#### 参考文献

- 1) 橋、騒音制御, Vol. 14, pp. 2-8 (1990)
- 2) 今泉ほか、日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, pp. 9-12 (2000)
- 3) 今泉ほか、日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, pp. 89-92 (2001)
- 4) 今泉ほか、騒音制御, Vol. 26, pp. 341-350, 2002
- 5) H. Imaizumi et al., Proceedings Low Frequency 2002, pp. 251-260, 2002
- 6) M. West et al., Applied Acoustics, Vol. 37, pp. 31-49 (1992)

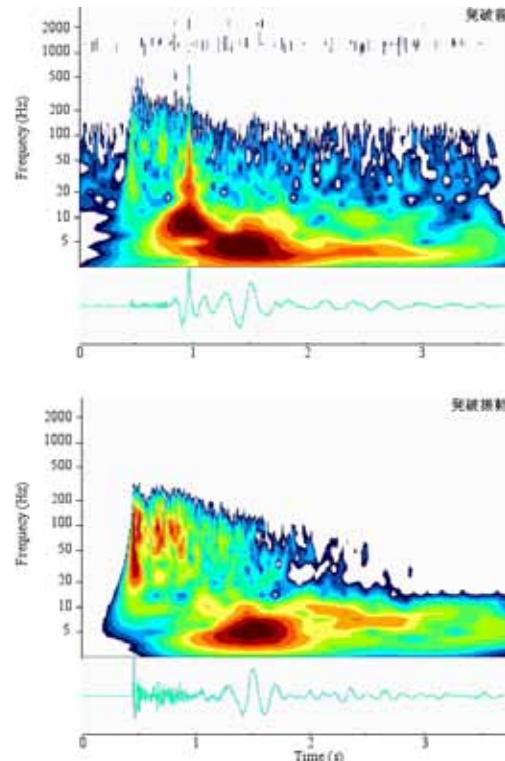


図2 発破音及び発破振動のウェーブレット分析結果

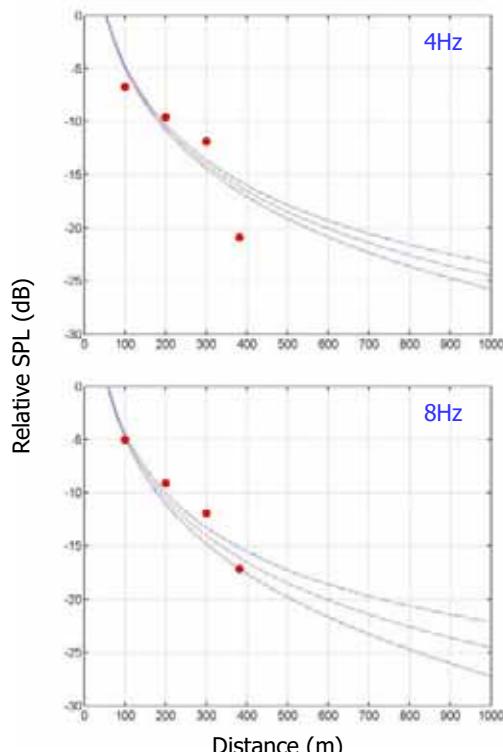


図3 PE法による発破音の長距離伝搬減衰例



## 放射性廃棄物処分概念の最近動向 Focusing on Nuclear Waste Program

地圈環境立地グループ： 楠瀬勤一郎

Research Group of Geo-Technology and Environmental Accesss: Kinichiro Kusunose  
Phone: 0298-61-3882, e-mail: k.kusunose@aist.go.jp

### 1. まえがき

産総研発足以降約1年間、私は①放射性廃棄物処分②ロシア応用物理研究所との研究協力(Lebedev et al.<sup>1)</sup>)③CO<sub>2</sub>地中貯留プロジェクトへの参加などの活動を中心としてきた。本稿では、最近の高レベル放射性処分事業の流れや現在議論されている問題点を記述する。

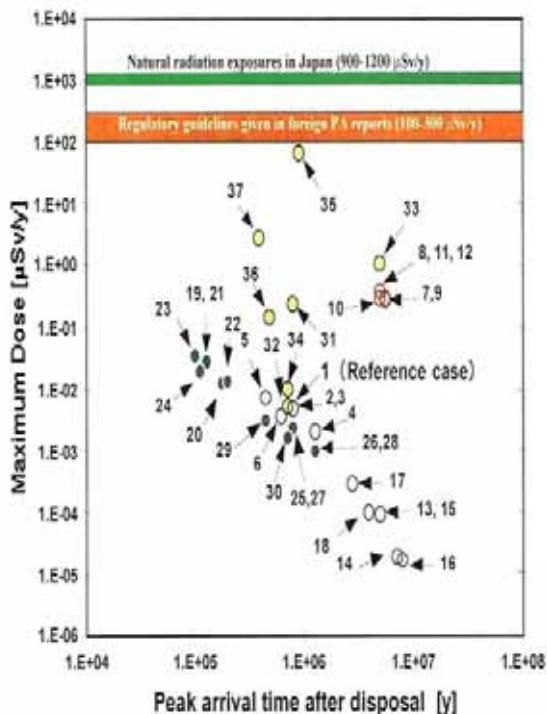
### 2. 放射性廃棄物処分に係る最近の流れ

2000年に高レベル放射性廃棄物処分の事業主体として、原子力発電環境整備機構が設立され、日本の放射性廃棄物の事業・研究が新しい局面に入った。欧米では、地質条件などを元に国土全域から処分場候補地を絞り込むという選定過程を採用しているが、日本では、処分場候補地の公募を行い、地元から応募してきた場所が処分場として適性があるかどうか判断することになった。このような選定過程では、応募してきた場所の個別な地質条件を生かして、十分な隔離能力を持つ処分場建設ができるかどうかを判断することが求められる。

応募された場所から候補地を絞り込む際に、理想的な条件を示し、なるべく早い段階で候補地を絞り込むという考え方もあった。しかし、地質条件のいくつかがあまりよくなくても、その地が持つ他の地質特性を生かすことで、十分な性能を持つ処分場設計ができる可能性がある。そこで、どのような可能性を検討する余地を残すため、原子力発電環境整備機構の公募では、候補地として最低限必要な条件を示すことになった。したがって、日本の場合は、概要調査地区以降の調査で、欧米以上に常に処分場概念・性能評価とリンクしながら、調査項目・調査精度を見直すことが重要になると思われる。その意味では、現在議論されている、セーフティーケースの概念が重要で、その定着が求められるところだが、まだ、この概念が広く市民権を得ているとはいえない。

処分場の評価期間と放射能の規制値は、候補地でどのような調査をどのような精度で行う必要があるのかということに強く結びついている。「わが

国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第二次とりまとめ」(以下、二次レポートと呼ぶ)では、日本の地質環境が安定であることを示す目安として、将来10万年の予測を行っている。処分場の性能評価を考える上では、10万年という数字にあまり大きな意味は無いにもかかわらず、昨今の議論でも、10万年という数字が一人歩きしている傾向がある。原子力安全委員会の「高レベル放射性廃棄物処分に係る安全規制の基本的考え方」では、処分場から生物圏へ漏出する放射能の最大レベルで処分場の核種隔離性能を評価するという考え方が示されている。二次レポートでは、日本に存在しそうな地質条件を与えた場合、生物圏へ漏出する放射能が最大値



をとる時期が数十年以降になるという机上計算の結果が示されている。国際的な考え方の流れのひとつとして、10万年を越える長期間での性能評

価を行なうべきであるという考え方があり、DOEはNRCの要請とは別に、処分後100万年までの処分場性能評価を行っている。一方、処分場から核種の漏洩がまったく無いとしても放射能レベルは低下し、処分場内の放射能は、処分後数万年経過するところほぼ定常値に達し、廃棄物の元となつた核燃料を作るのに必要とされたウラン鉱石の総和に等しくなることから、これを評価期間の目安と考えるべきだという主張もなされている。

予測期間が長期になるにつれ、地質条件も人工バリアの性能劣化も予測幅が大きくなる。このため、評価期間を長期に設定すると、将来の地質・人工物の条件が過度に悪くなる予想にもとづいて処分場の性能評価を行うことは、処分場の設計・施工に過重な制約を加えることになり、操業時の安全性がむしろ犯される可能性が出てくるなど現実的でなくなる。安全評価に対して、将来の隆起・侵食量や地震活動などについて、大方の専門家が尤もらしいと考える予測を取り込んだ最尤予測シナリオを考え、性能評価に対してはこれを用いるという提案がなされている。Yucca Mountain Preliminary Site Suitability Evaluation (DOE, 2001)では、Nominal Scenarioに対して総合的な性評価を行い、地殻活動が処分場に及ぼす影響は、Disruptive Process and Eventsとしてその影響を切り分けて評価を行っている。いずれにしても、発現確率が無視できない現象についてはその影響も含めて処分場評価は規制基準値との比較によって行うことになる。日本の低レベル放射性廃棄物処分に使われている規制基準値は、国際的に放射

性廃棄物に対して合意されつつある基準値に比べ1/10以下と、大変厳しい値となっている。低レベル放射性廃棄物の処分場の許認可時には、管理期間終了後はまったく制約のない土地として解放されるという想定があった。高レベル放射性廃棄物処分などの場合には、処分場閉鎖後も鉱区設定をかけることが禁止されるなど、土地利用について何らかの法的制約がかけられる可能性がある。地層処分の場合の規制基準値については、処分場閉鎖以降も国による制度的管理が行われているという解釈ができるならば、現行の低レベル放射性廃棄物の基準値と矛盾無くIAEAが推奨するレベルでの基準値を採用することが可能という議論がある。

一方、より悲観的なシナリオに対する配慮は、国民のコンセンサスを得るという点からも必要であり、悲観的なシナリオに対しては、基準値として介入レベルを当てはめてはどうかという提案もなされている。悲観的なシナリオについては、その発現について確率の概念を持ち込むことで、原子力発電所での事故と同等の概念としてとらえられるという議論もあるが、まだ熟した考え方にはなっていないように思われる。

将来予測・地下構造の予測には、不確実性を排除することは不可能であり、様々な確率予測などが提案されているが、エキスパートジャッジメントに依存する部分が大きい。アメリカ・ユッカマウンテンプロジェクトでは、複数のエキスパートによるジャッジメントの結果を統計的に処理し、幅を持たせた予測を示し、エキスパート内の合意形成を図ることが試みられている。これは、民主主義的な決着の一環のように見えるが、規制側のエキスパートが常にきわめて悲観的な予測をするという実態があり、評判は必ずしも芳しいものではない。バランスの取れた予測が行われるためには、実施・規制とは距離を置いたエキスパートによる第三者的立場からの判断が重要になるとされている。このような第三者の存在について、日本においては現在必ずしも強く意識されているようには思えないが、そのような存在を育て・存続させる努力が必要と考えている。

## 参考文献

- 1) A. V. Lebedev, V. V. Bredikhin, I. A. Soustova, A. M. Sutin, K. Kusunose Reonnant acoustic spectroscopy of micro-fracture in the Westerly granite sample, JGR 2002, received.

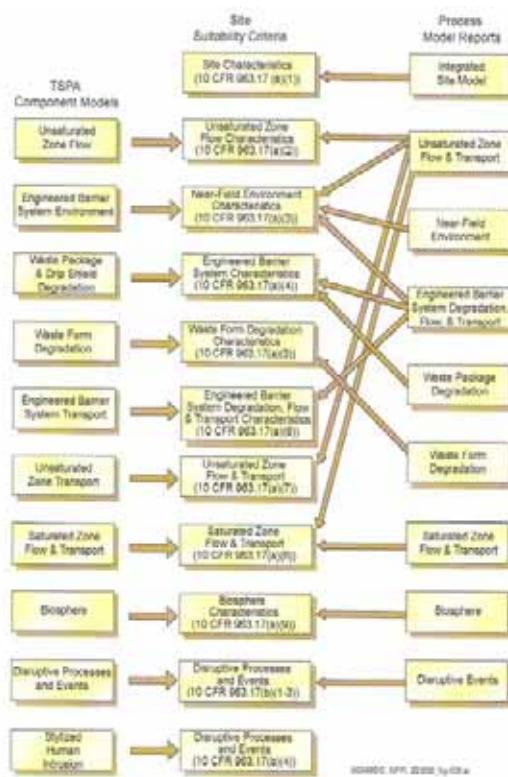


Figure 3-14. Relationship among Total System Performance Assessment Component Models, Proposed 10 CFR 963.1T Criteria, and Process Model Reports.



## 液状化、岩盤・地盤特性の計測・モニタリング The measurement and monitoring of geo-properties of rock and soil

地圏環境立地研究グループ： 神宮司 元治  
 Research Group of Geo-Technology and Environmental Assessment: Motoharu Jinguuji  
 Phone: 0298-61-8293, e-mail: m.jinguuji@aist.go.jp

### 1. まえがき

地圏特性の計測およびモニタリング技術は、環境調和型の地圏利用を行う上で極めて重要な技術である。本研究においては、「科振費総合研究:構造物の破壊過程に基づく生活基盤の地震防災性向上に関する研究」および「原子力特圈:放射性廃棄物の長期安定型センシング技術に関する研究」の二つのプロジェクトを中心とし、地圏特性評価のためのモニタリングシステムの技術開発に関する研究を行っている。

### 2. 液状化現象のモニタリングシステムの開発とその応用

本研究では、大型土槽実験における初期相対密度分布の評価および液状化現象に伴う砂層収縮による間隙率の変化を、比抵抗を用いて計測を行う研究を行っている<sup>1)</sup>。研究は、図1に示すような大型土槽や小型実験容器を用いて、高速で比抵抗の計測が可能な計測器を開発して行っている。液状化が発生した場合の典型的な比抵抗変化(相対密度に変換)を図2に示す<sup>2)</sup>。下部から比抵抗値の大幅な増加、つまり急激な砂層の収縮が発生し、浅部に向かって進展していく様子が分かる。



図1 大型土槽および液状化状態可視化装置

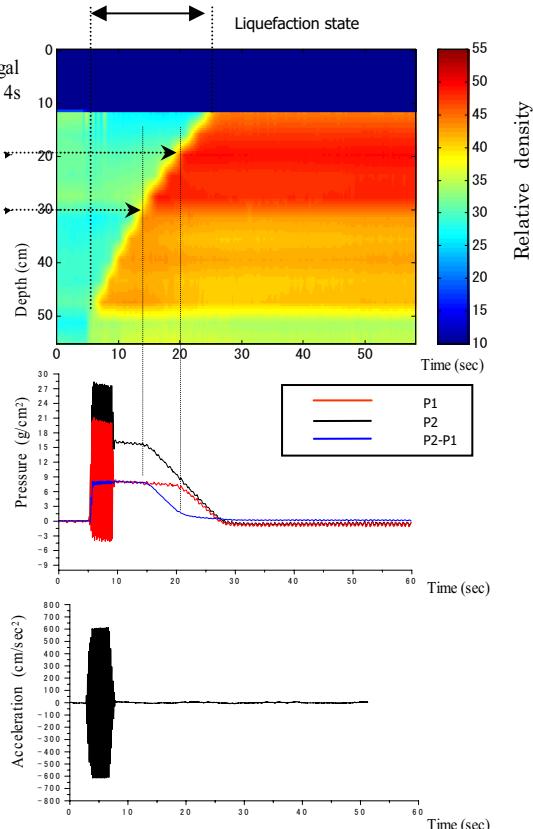


図2 液状化状態における相対密度変化(比抵抗値から変換)と間隙水圧の変化の相互関係

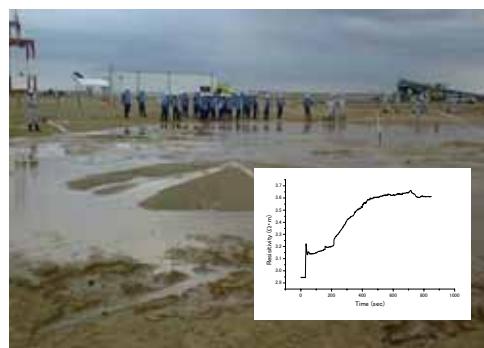


図3 発破液状化試験の様子と比抵抗変化

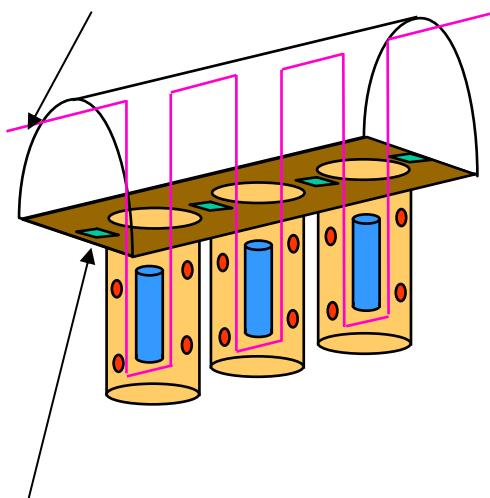
また、図3に示すように、原位置地盤において、発破によ

り液状化を人工的に発生させて液状化状態を観測する研究についても行っている。

### 3. 放射性廃棄物処分施設のモニタリングシステムの開発

放射性廃棄物処分施設は、本来制度的管理に依らないことを原則としているが、処分場の信頼性の向上および社会的な要求により、Retrievability（再取りだし可能性）およびモニタリングに関する議論が活発に行われるようになってきた。本研究では、放射性廃棄物処分施設のモニタリング技術の開発として、1)光ファイバーセンサーによるモニタリング手法および、2)高周波インピーダンス探査法によるモニタリングの2種のモニタリング手法について重点的に研究を行っている。上記の二つのセンサーは、廃棄体の周囲に図4の用に配置される。

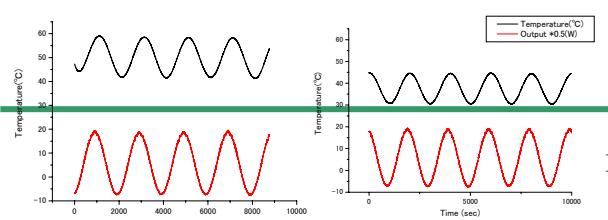
(1) 熱物性量センサー



(2) 高周波交流インピーダンス探査法

図4 各種センサーの配置

光ファイバーセンサーを用いたセンシングでは、光ファイバー温度センサーおよびケーブルヒーターを用いて、センサー周囲の熱物性値を計測することが可能と考えられる。図5では、集中熱容量法による、低周期の交流応答に対するセンサーの温度応答を示した例であるが、熱流と温度応答に明瞭な位相差の違いが、含水率の違いによって生じている。また、図6は、本研究で開発している高周波インピーダンス探査システムの試作機であるが、無誘導抵抗の結果から分かるように、1MHz程度の周波数まで、現在、計測が可能な状況である。



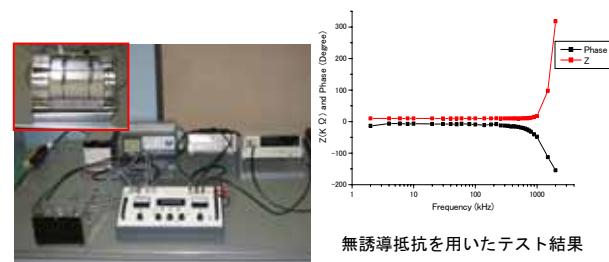
含水率 0% T=2000 sec  
含水率 27% T=2000 sec



含水率 0%: 位相遅れ 230秒 Tan(δ)=1.13

含水率 27%: 位相遅れ 126秒 Tan(δ)=2.39

図5 含水率を変えた場合のセンサーの熱応答



無誘導抵抗を用いたテスト結果

図6 岩石インピーダンス計測装置

### 4. 地中熱利用のための地盤の原位置熱物性計測法に関する研究

地中熱利用施設の設計および環境影響評価を行うためには、対象地区の熱伝導率等の熱物性量値の計測が重要である。これらの熱物性値は含水率などの地質環境に大きな影響を受けるため、原位置での計測が必要であるが、本研究では、貫入試験装置を用いた計測手法についての検討を行っている<sup>3)</sup>。

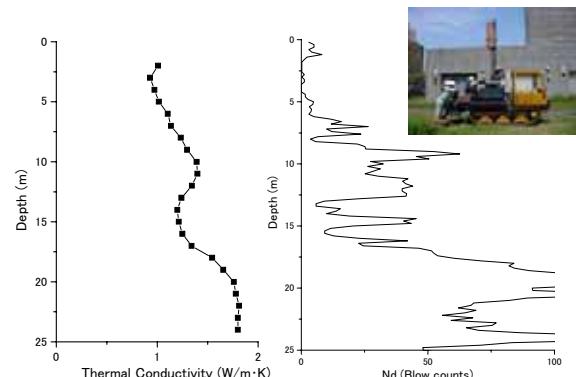


図7 貫入試験装置を用いた熱伝導率の計測

#### 参考文献

1. 神宮司元治・国松 直・泉 博允・望月智也 (2001) : 比抵抗を用いた液状化時の相対密度遷移過程の可視化およびその考察, 土木学会論文集, N0.680, III-5, pp.201-209.
2. 神宮司 元治・国松 直・鴨居 正雄(2002):人工的に作製された砂試料の比抵抗による相対密度測定手法についての考察,地盤工学シンポジウム論文集,印刷中
3. 神宮司元治・竹原孝・山口 勉・国松 直:貫入試験装置を用いた原位置地盤熱伝導率探査法、日本地熱学会誌、第24巻、第4号, pp. 349-356, (2002).



## ウィンドスクリーン：屋外騒音計測 Windscreen: Sound measurement outdoors

地圏環境立地研究グループ： 高橋保盛  
Geo-Technology and Environmental Assessment gr.: Yasumori Takahashi  
Phone: 0298-61-8291, e-mail: takahashi-yasumori@aist.go.jp

### 1. まえがき

ウィンドスクリーンとは、騒音計測に使用する騒音計のマイクロホン部に被せる風除けである。直径 9cm 程度の球形で多孔性のスポンジが多く使用される。もちろん、音に対しては透過性であり、風が直接マイクロホンに当たらぬようにしている。その程度だから、数 m/s 程度の風が吹けば、計測に影響がないことはない。

屋外で測定する音には近年、環境騒音 (Community noise) などと呼ばれるものがあるが、その計測、評価、予測、管理などの音響分野も当グループの研究テーマである。いわゆる従来の点的評価から面的評価、管理も必要とされてきている。

我々環境騒音、騒音伝搬に関するグループは地圏資源環境研究部門に所属することになった。産総研で音に関するグループは、他部門では、低周波音の人体影響等人間の感覚知覚を研究する研究者、マイクロホン等計測機器の高精度校正管理方法を扱うグループ、発電用風車等の設置に伴う騒音アセスメント手法等に取組む研究者などがある。

### 2. 風雑音

Morgan and Raspert (1992) は、はだか及びウィンドスクリーンを装着したマイクロホンに対して、風雑音とその瞬間風速の同時測定を屋外で行なった。その結果から、屋外マイクロフォン位置での圧力変動に支配的な原因が、風の流れの中にある本質的な turbulence である、と結論した。彼らは、Hosier and Donavan (1979) や Strasberg (1988) が低擾乱定常流下で得た結果、風雑音に支配的な原因が後流 wake である、のは限られた場合であり、し

たがってウィンドスクリーンの設計では wake よりも turbulence に関する考察が重要だと述べている。

我々は二種類の騒音計収容型ウィンドスクリーンを使用して、屋外の広い場所で風速と風雑音の同時計測を行なった。これら二種のウィンドスクリーンを使用した騒音計は、同等の風雑音低減性能を示した。この結果が示すのは、二種類ともに、turbulence 依存の風雑音をすべて除去したのかも知れないという可能性である。そして低減できなかつた部分は周辺で発生した音なのかも知れない。

風のために騒音計の計測信号に重畠する雑音の発生メカニズムを大雑把に 3 つに分類すると：

1. 風の中に本質的に存在する擾乱。渦が変化しながら風速で通過する。
  2. 風とマイクロホン、風とウィンドスクリーンの相互作用で発生する音もしくは圧力変動。
- そして、
3. 計測点の周囲、比較的広い範囲で風により発生する音。ただし、これは音であり、音速で到来するが、ウィンドスクリーンで除去する対象ではない。

写真 1 は、試作した二種類のウィンドスクリーンである。30mm 厚のウレタンフォームで囲んだ円筒型のものと、内部にウレタンフォームの円筒を収容し、外側を二重に布で囲んだ角型のものである。

図 1 は通常の 9cm 径のウィンドスクリーンのみで計測した結果である。風速の上昇とともに低周波数域での音圧レベルの上昇が見られる。数分間の平均風速で 0.5m/s 以下でのラインから、こここの場所でのこの時のバックグラウンドの音圧レベルが推定できる。50Hz 帯には計測に使用したガソリン発電機からの音が現れている。

図2は円筒型(m)および角型(k),二種類の試作ウィンドスクリーンを用いて計測したものをそれぞれ図1との相対値で表したものである。両者の結果は非常に類似した結果となった。実際には



写真1: 試作した騒音計収容型ウィンドスクリーン

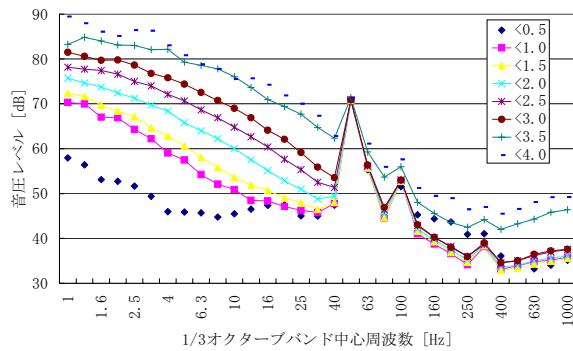


図1: 9cm径ウィンドスクリーンのみ装着した場合の三脚上における風雑音の1/3オクターブバンド周波数分析結果

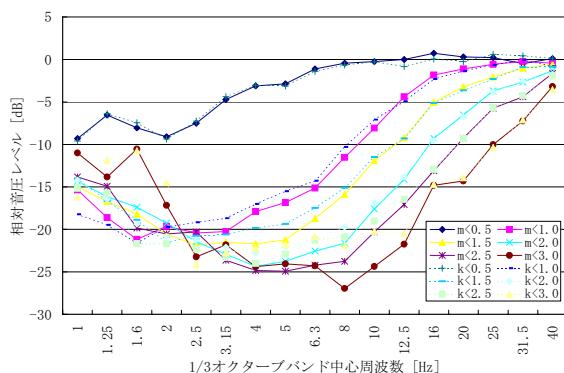


図2: 角型および円筒型、二種類のウィンドスクリーンによる風雑音低減量(対9cm径ウィンドスクリーン)

円筒型ウィンドスクリーンの方については、幾つか材質(通風性)を変えて計測したが、いずれも同時に計測した角型ウィンドスクリーンでの結果とよく一致した結果となった。

低減量は、バックグラウンドとの兼ね合いがあるが、一般に1Hzに近い低い周波数の成分は低減が困難であり、図2でも低減量は小さい。高風速時の増加量に伴った低減量が見られない。

### 3.まとめ

風速を計測し、同時に計測した騒音計出力信号と比較する場合、音圧時間波形  $p(t)$  と風速時間波形  $u(t)$  の間には、経験的に言って相関性が乏しい。また、一般に風速が高いときには風の乱れが小さく、層流的な形に近づくと言われている。一方、風の強い時には、騒音計測での風雑音が増加し、数分程度の計測結果での対応では、平均風速とその時の音圧との間には明らかに対応が見つかる。有意義な関係を求めるには適当な時間幅での処理が必要である。

騒音測定では、何を測定するかが重要であり、いつでもエネルギーを測定すればいいという訳ではないが、風の中であっても、無風時の状態に近い測定が出来るようにするためには、ウィンドスクリーンが便利である。可搬性、取り扱いやすさが重要と思われる所以、より小型のもので風雑音低減効果がどうなるのかを検討したい。

### 参考文献

- 1) Scott Morgan and Richard Raspert, Investigation of the mechanisms of low-frequency wind noise generation outdoors, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 92, No. 2, Pt. 1, Aug 1992.
- 2) 高橋保盛, 今泉博之, 神宮司元治, 国松直, 二種類の屋外型ウィンドスクリーンによる風雑音低減効果の比較, 日本騒音制御工学会春季発表会講演論文集(2002年4月).



## 地下深部岩盤初期応力の実測 Research on deep underground stress state

地圏環境立地研究グループ：長 秋雄  
Research Group of Geo-Technology and Environmental Assessment: Akio CHO  
Phone: 0298-61-3942, e-mail: akio.cho@aist.go.jp

### 1. はじめに

私は現在、文部科学省原子力試験研究委託費による「地下深部岩盤初期応力の実測」（平成 13 年度～平成 17 年度）を担当している。

旧工業技術院地質調査所においては、地震地質部地震物性研究室に所属し、高温高圧岩石試験に従事するとともに、1995 年兵庫県南部地震以降は、猪名川群発地震観測井（平成 7 年度）や活断層モニタリング施設花折断層花折観測井・大原観測井（平成 9 年度）の設置とこれら観測井での水圧破碎法による地殻応力測定に従事した。

平成 13 年 4 月の独立行政法人産業技術総合研究所への移行の際には、文部科学省原子力試験研究委託費「地下深部岩盤初期応力の実測」（平成 13 年度～平成 17 年度）の担当者として、地圏資源環境研究部門地圏環境立地研究グループに所属することになった。

### 2. わが国での高レベル放射性廃棄物地層処分

わが国の発電量の 3 分の 1 が原子力発電によって行われている。原子力発電からなる高レベル放射性廃棄物の処分方法については長く検討が行われてきた。平成 11 年 11 月には、核燃料サイクル開発機構は「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第 2 次取りまとめ－」（2000 年レポート）を発表し、わが国の地質環境においても地層処分が技術的に可能であることを示した。平成 12 年 5 月には「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」が成立し、地下 300m 以深の地層中に処分することが國の方針となった。平成 12 年 10 月には処分実施主体となる原子力発電環境整備機構が発足し、平成 40 年代後半の最終処分の開始にむけて具体的な歩みが始まっている。

### 3. 「地下深部岩盤初期応力の実測」

地下での岩盤初期応力に関する情報は、地下空間の安全な設計と施工において必要不可欠である。地下空間の掘削においては、応力状態はその値が小さく・等方的であることが望ましく、岩盤自体の強度が大きいことが望ましい。

2000 年レポートで用いられている地下発電所・山岳トンネル・鉱山での応力解放法による測定結



写真 1 岡山応力測定孔の掘削櫓



写真 2 応力測定孔の深度 232m～236m コア

果では、地下での応力状態は、「水平最小応力 < 被り圧 < 水平最大応力」の関係にある。

一方、地震予知研究で行われてきた水圧破碎法による測定結果では、応力状態は、「被り圧 < 水平最小応力 < 水平最大応力」の関係にあり、応力解放法での結果と合致しない。この原因の解明が必要である。群発地震発生域であった栃木県足尾や兵庫県猪名川では、70～80MPa という大きな水平最大応力が測定されている。（図 1 参照）

「地下深部岩盤初期応力の実測」では、これま

で測定例が少ない地質学的安定域において深度1000m級の応力測定孔を掘削し、コアの採取・検層・水圧破碎法による応力測定を実施する。平成13年度は深度320mまでの、平成14年度は深度600mまでのコア掘削・岩盤検層・水圧破碎法による応力測定を実施した。

#### 4. 平成13年度の調査結果

測地測量による地殻変動量が小さく、地震活動も低調な岡山市周辺を調査地域に選定し、市内の花崗岩採石場において応力測定孔を掘削した。写真1は、岡山応力測定孔の掘削樁である。

深度320mまでのコアの75%は弱～中変質しており（写真2参照）、岩盤等級はCH～CMが主体であった。（平成14年度の増掘結果では、変質の度合いは小さくなり、深度430m～600m区間はほぼ無変質で岩盤等級はB～Aが主体となった。）

図2は、深度320mまでの密度検層結果であり、無変質部を赤で、弱変質部を橙で、中変質部を緑で、アPLIT併入部を灰色で示している。

水圧破碎法による応力測定試験を、図2に青線で示す6深度で11試験実施した。図3に得られた水平最小応力と水平最大応力の深さ分布を示す。水平最小応力は4～9MPa、水平最大応力は7～13MPaであり、深さとともに増大する傾向が見られた。本孔の深度180m～310mの応力状態は、図1に示す国内他地域と比較すると、応力値が小さい。深部でも低い応力状態であるかどうか、今後の1000mまでの調査結果が待たれる。

また、本孔の応力状態は、東北東に1.5km離れた

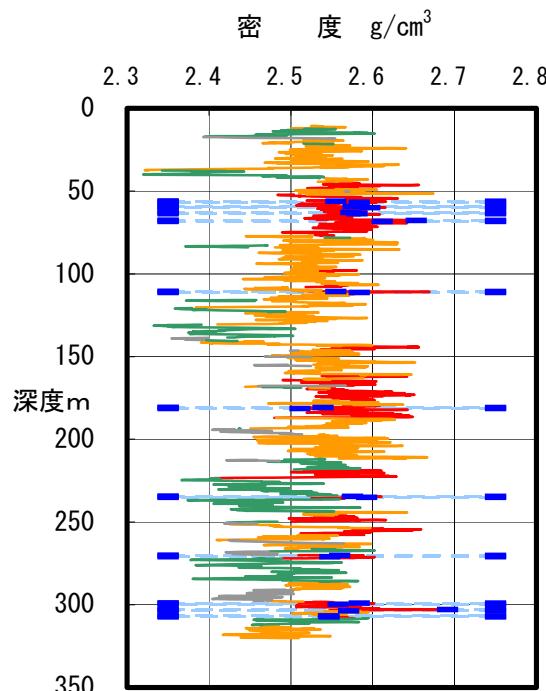


図2 岡山応力測定孔の密度検層結果  
水圧破碎法による応力測定深度を青線で示す。

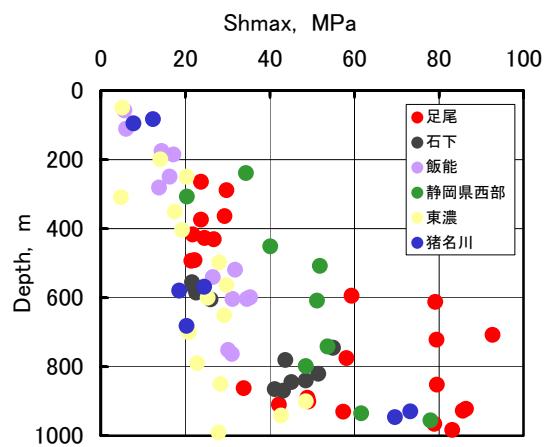


図1 硬岩6地点の水圧破碎法による水平最大応力の深さ分布

地点での深度300mまでの応力状態（田中、1991, 1992）とも異なっている。本孔の応力状態は概ね単調な深さ分布を示すが、田中の測定孔では深度200m付近で応力値の不連続な増大がある。このように近接する応力測定孔での応力状態の相違の原因解明は、数km四方と想定されている高レベル放射性廃棄物処分サイト内での応力場の不均一性を評価する上で重要である。

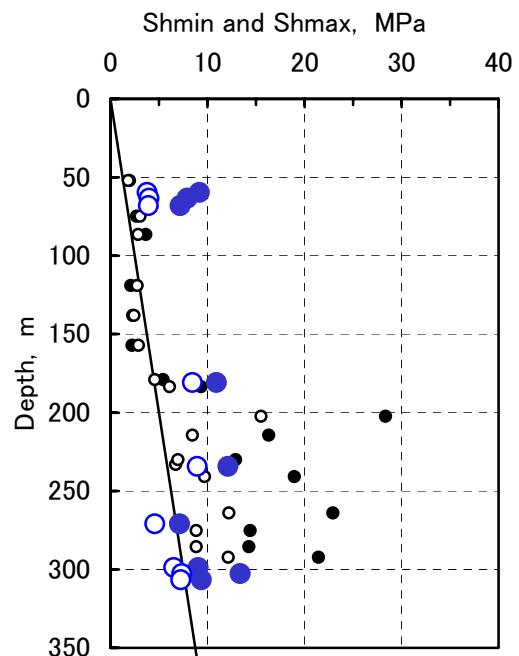


図3 岡山応力測定孔で深度320mまでの応力測定結果（青丸） 黒丸は、本孔より東北東に1.5km離れた地点での応力測定結果（田中1991, 1992）

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

地圏環境評価グループ長： 駒井 武  
Leader, Geo-analysis Research Group: Takeshi Komai  
Phone: 0298-61-8795, e-mail: koma@ni.aist.go.jp

### 1. グループの研究目的

近年、土壤・地下水汚染問題が顕在化し、特に市街地や産業用地においては深刻な状況となっている。平成15年1月には、土壤汚染対策法が施行される予定であり、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、形態などに関する科学的な解明を基礎にして、人への健康影響や生態系への環境影響を定量的に評価することが重要である。また、土壤・地下水汚染のサイト評価およびリスク管理を実施するため、地圏環境の調査・評価・管理に関する方法論の確立と実汚染サイトへの適用が不可欠である。

当研究グループは、土壤・地下水汚染の環境評価を主なターゲットにして本年10月に新たに発足した。その検討に際しては、応用地質、地化学、環境工学、微生物工学、リスク科学などの研究分野の融合が不可欠であり、様々な観点からの科学的、工学的なアプローチを目指している。具体的には、土壤、地下水および地質構造を含む地圏環境における汚染物質の調査・分析、将来予測およびリスク評価を中心に、実験、解析およびサイト調査（汚染調査、浄化実験など）を実施している。対象となる汚染物質として、重金属、有機塩素系化合物およびダイオキシン類（PCBを含む）を対象としている。カドミウム、鉛、水銀などの重金属類では、存在形態の地化学的な解明、人為起源と自然起源の比較検討、効率的な浄化手法の開発などを実施している。トリクロロエチレンなどの有機塩素系化合物では、トレーサ物質を用いた環境挙動の解析、微生物を用いた浄化手法の検討、分解による自然減衰の評価などを実施している。ダイオキシン類では、大気経由の沈着機構の解明、土壤中の存在分布および浄化手法の検討を行っている。さらに、これら全ての汚染物質を対象として、地圏環境における曝露・リスク評価システムの開発に関する研究開発も実施している。この分野の研究を効率的に進めるため、環境省（国立環境研究所）、都道府県などの自治体、コンサルタント会社、浄化企業などと共同研究を行っている。

当研究グループでは、これまでの地圏環境における解析・評価技術の研究を発展させて、地質汚染の将来予測に関するシミュレーション、地層中における水とガスの混相流体の解析、多孔質体における流動性・反応性連成解析手法の開発、二酸化炭素の地層処分の解析・評価などの検討を行っている。一方、近年新しいエネルギー資源としてメタンハイドレートが注目されている。当研究グループでは本年度よりメタンハイドレートを経済的に生産するための手法についての研究開発に本格的に着手する。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数値シミュレータの開発を行う。これらの研究開発に関連して、海外との国際共同研究として、米国ロスアラモス国立研究所、韓国釜慶国立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）  
杉田 創  
竹内美緒  
丸茂克美 \*海洋資源環境研究部門（協力）  
川辺能成 \*特別研究員（協力）  
坂本靖英 \*特別研究員（協力）  
清水美知代\*テクニカルスタッフ  
小川桂子 \*テクニカルスタッフ  
木野貴子 \*テクニカルスタッフ

#### 2) 研究課題

運営費交付金「地圏環境評価の研究（地質）」  
運営費交付金「地圏環境評価の研究（エネギー）」  
運営費交付金「土壤汚染調査・評価・管理（リスク管理手法）」（マッチングファンド）  
運営費交付金「有害化学物質の発生・曝露機構及び環境負荷低減に関する研究開発」（ミレニアム）  
委託費「土壤汚染リスク管理手法調査事業」  
委託費「メタンハイドレート資源開発生産手法開発」（石油公団）  
委託費「科学的自然減衰(MNA)による地下水汚染改善状況の評価手法に関する研究」（環境省）  
委託研究「複合微生物活用型土壤・地下水高度汚染浄化技術の開発」（経済産業省）

### 3. 平成 14 年度の研究計画及び進捗状況

#### 1) 地圏環境評価の研究（地質、エネルギー）

地下水・土壤汚染の評価を行うためには、地下水の流動挙動を正確に把握することが重要である。地下水流动モニタリングに使用する高感度トレーサのひとつとして蛍光物質（フルオレセイン、ナフタレンスルフォン酸、アミノナフタレンスルフォン酸など）が挙げられるが、流体中の溶存成分による検出感度への影響や土壤への吸着特性については十分に把握されていないのが現状である。そこで、検出感度（蛍光強度）に及ぼす流体の pH や溶存成分 (Na, K, Mg, Ca, Fe, Al, Cl, SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>) の影響について実験的に検討した。また、粘土鉱物等を用いた吸着試験等を行い、蛍光トレーサの土壤への吸着特性についても検討している。今後、トレーサ特性のパラメータを組み込んだシミュレータによる地圏流体流动解析法を開発する予定である。

地圏環境における有害金属類と微生物の相互作用を解明することを目的として、1) 海底堆積物中の有機-無機態砒素の変換に関わる微生物と砒素の形態別分析、2) 堆積物中の微生物に対する砒素の影響評価に関する研究を行っている。微生物の変換作用については、現在試料採取が終了し、分析・解析を行っている段階である。微生物への影響評価については、取得したデータの整理が終了し、2002年11月第12回環境地質学シンポジウムで報告する予定である。

#### 2) 土壤汚染調査・評価・管理（リスク管理手法）

本年度より、分野横断的研究（マッチングアンド）として、土壤汚染の調査、リスク評価、対策技術を含むリスク管理に至る一連のプロセスに関する検討を行っている。当研究グループでは、土壤汚染のリスク管理手法開発を担当している。この中で、土壤中含量と汚染土壤からの溶出量を基にした土壤汚染の曝露・リスク評価手法を開発するとともに、具体的な調査地点を対象とするサイトモデルを設定し、浄化・修復のリスク低減効果を定量的に評価できる手法を確立する。本年度は、包括的なリスク評価モデルの開発について検討し、具体的な土壤汚染サイトに適用する。（図1参照）

図1 土壤汚染リスク評価手法の概要

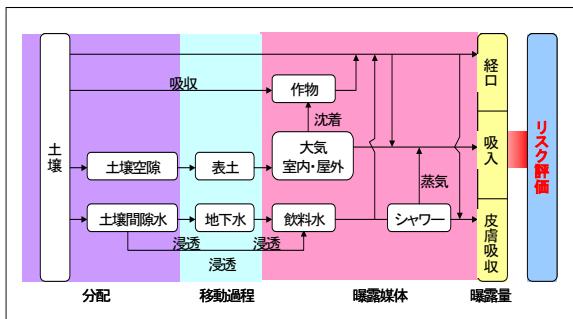


図1 土壤汚染リスク評価手法の概要

#### 3) 地下水汚染の科学的自然減衰(MNA)の研究

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

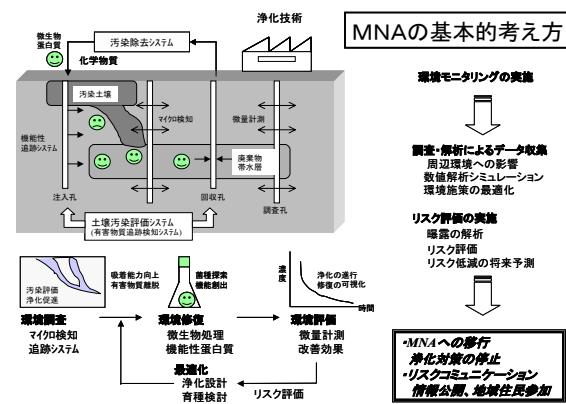


図2 科学的自然減衰の基本的考え方

#### 4) 複合微生物活用型土壤・地下水汚染浄化技術の開発

複合微生物を活用して土壤と地下水を現場および原位置で同時並行に浄化する高効率かつ低コストの技術を開発する。土壤汚染対策法の施行を控えて土壤・地下水汚染の対策に苦慮する中小・中堅企業のサイトの浄化に貢献する有効性と安全性を備えたシステムとして完成させる。

#### 5) メタンハイドレート資源開発生産手法開発

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

#### 4. 今後の方針

当グループは、グループ員の緊密な連携を図りながら、地圏環境評価に関する学術的成果を論文等で公表するとともに、積極的な対外活動を実施する。また、得られた成果をもとに、本分野のみでなく他の分野に関する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、汚染調査手法やリスク評価モデルなどの研究成果を一般に普及させ、土壤・地下水汚染や廃棄物処分場などの問題解決に寄与することを目指す。



## 地圏環境リスク評価システムの開発 Development of risk assessment system for subsurface environment

地圏環境評価グループ長： 駒井 武  
Leader, Geo-analysis Research Group: Takeshi Komai  
Phone: 0298-61-8795, e-mail: koma@ni.aist.go.jp

### 1. はじめに

地圏環境評価グループでは、土壤・地下水を含む地圏環境における化学物質の挙動を把握するための評価・解析手法を開発し、土壤・地下水を対象とした曝露・リスク評価に反映させることを目的とした研究開発を行っている。その具体的な目標は、1) 地圏環境リスク評価システムの構築、2) 地圏環境リスク管理技術指針の提案である。研究成果は、化学物質管理や汚染調査・評価・浄化対策を実施するために活用される。

### 2. 地圏環境評価システムの開発

本研究では、土壤・地下水汚染を定量的に評価するための調査・解析手法を開発し、地下水・土壤環境を対象とした曝露・リスク評価に反映させる。また、実環境を対象とした地下水・土壤系モデルを開発し、それに使用する環境パラメータや曝露ファクター等を整備する。

図1は、地圏環境リスク評価システムの研究開発の概要を示したものである。この中では、地下水・土壤汚染の環境影響評価や浄化対策の改善効果の定量化を可能にする汚染評価手法および評価システムの開発を行うほか、曝露・リスクの評価を基にしたリスク管理技術に関する検討を実施している。地圏環境における化学物質の挙動を予測するため、新たに開発した反応と流動の要素モデルを含む3次元解析モデルを採用している。

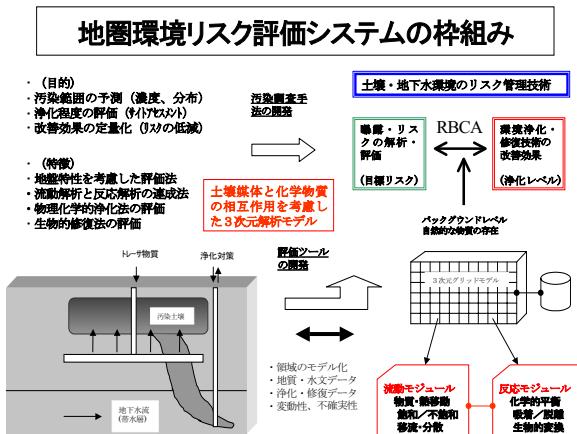


図1 地圏環境リスク評価システムの概要

### 3. 曝露・リスク評価の方法論と解析ツール

土壤・地下水環境における化学物質の曝露とリスクの評価では、図2に示すような方法論に基づいた検討が行うことが重要である。まず、曝露シナリオの設定では化学物質の特性や環境媒体（土壤、地下水、陸水）の特性、さらには人や集団の特性の評価が行われるが、これらを実行するため曝露に関する様々なデータやファクターを整備する必要がある。当研究グループでは、実汚染サイトの調査に基づいて、汚染物質の環境挙動やパラメータ、人の曝露に関するデータを取得している。また、このような定量的なリスク評価ツールとして、包括モデル、サイトモデルおよび詳細モデルの開発を行っている。

### 土壤・地下水環境の曝露・リスク評価

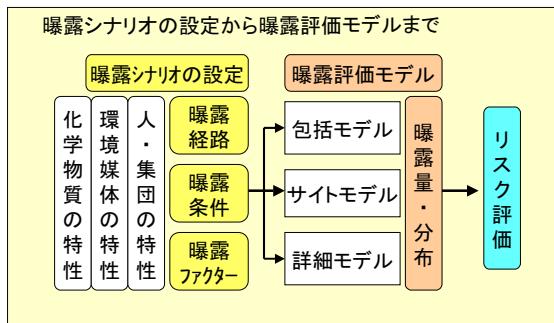


図2 曝露・リスク評価のシナリオ

図3は、地圏環境リスク評価システムの階層構造を示したものである。包括モデル(Tier1)では、一般的な環境条件と曝露の条件を設定して、スクリーニングレベルの評価を実施する。その結果、明らかに目標リスクを超過すると判断された場合には、汚染サイトの特性や現実的な曝露シナリオを用いて、サイトモデル(Tier2)による評価が行われる。さらに、リスクレベルが高いと評価された場合では、詳細モデル(Tier3)を用いた定量的な解析やリスク低減効果の評価が行われる。これらの評価結果は、事業所のサイトアセスメントや効率的な浄化対策を実施する上で有効に活用される。

## 地図環境リスク評価システムの構造

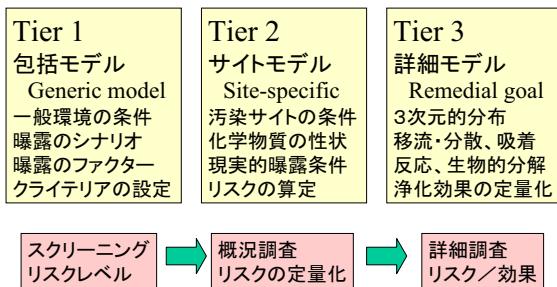


図3 リスク評価システムの階層構造

図4および図5は、それぞれの階層構造における評価方法を示したものである。包括モデルでは、代表的な曝露経路と曝露ファクターなどにより、一般環境を想定した曝露とリスクレベルの評価を実施する。図4の曝露シナリオでは、ダイオキシン類の主な曝露経路と寄与率が示されている。サイトモデル（図5）では、より現実的な曝露シナリオを設定して、汚染サイトに特有なパラメータを考慮した解析を実施する。本年度中に、各モデルに必要なデータ類の整備を行うとともに、階層構造のTier1およびTier2のプロトタイプを完成させる計画である。

### Tier 1 : 包括モデル・モジュール

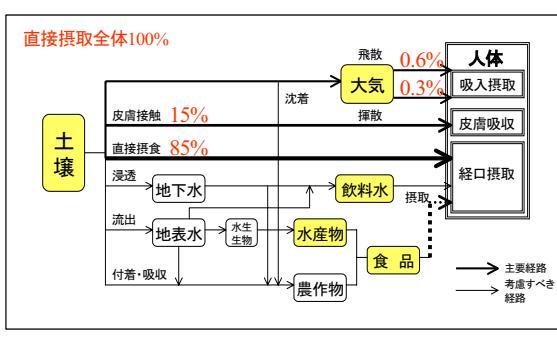


図4 階層構造1の評価・解析方法

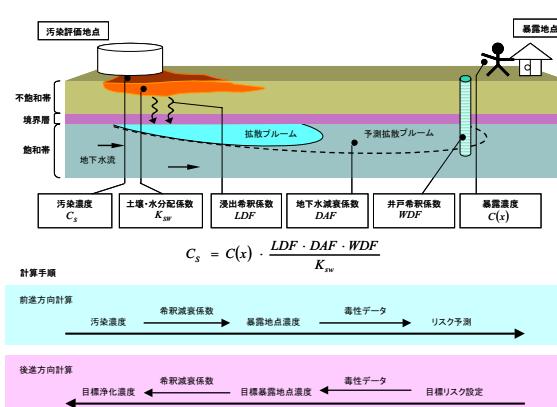


図5 階層構造2の評価・解析方法

## 4. 土壤・地下水汚染のリスク管理

曝露評価モデルは、いずれも科学的な知識、知見や調査・観測データを集約し、一般的またはサイト特有の環境条件において化学物質の曝露やリスクを評価することを目標としている。そのため、仮想環境、実環境を問わず、リスク管理を行なう際の技術指針や数値目標を定める上で有効な手段となり得る。特に、土壤や地下水のように目に触れない環境における現象を理解し、時間的、空間的な拡がりや将来的なリスクの予測を行うためには数値モデルに頼るほかに手段はない。また、浄化対策や長期モニタリングには多額のコストを要するため、事前に数値モデルを用いて十分な検討を行うことは環境経済的な観点からも重要である。

具体的な活用事例としては、以下のようなものがあげられる。包括的モデルでは、曝露・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の設定のための支援ツールとしての活用が重要である。最近、土壤環境の基準として含有量基準が検討されているが、わが国特有の土壤特性や曝露ファクターを考慮したモデル開発が必要である。サイトモデルでは、サイト特有のリスクレベルと浄化目標の評価、浄化対策やモニタリングなどの技術指針の設定に活用できる。さらに、詳細型モデルでは、溶出、分解、減衰といった環境中挙動の予測・評価、浄化対策のリスク低減効果の定量評価、リスク管理への適用が期待される。

## 5. まとめ

有害化学物質による土壤・地下水汚染の事例が増加し、これらの健康影響や環境影響を客観的に評価することが求められている。地図環境の評価では、曝露とリスクに基づく科学的な評価を実施することが重要である。ここでは、土壤・地下水を起点とした化学物質の曝露評価の基本的な考え方を整理するとともに、化学物質のカテゴリーに応じた曝露シナリオの設定について述べた。また、様々なタイプの曝露評価手法や数値モデルを紹介し、それらを実際の曝露評価に適用した場合の問題点について論じた。さらに、化学物質のリスク評価を行う上で不可欠な曝露に関するデータ類や評価モデルを整備し、合理的なリスク管理を推進することの重要性を指摘した。

来年早々の土壤汚染対策法の施行に伴い、土壤・地下水汚染に対するリスク管理の重要性は益々大きくなってくる。本研究の中で開発した地図環境リスク評価システムは、広く一般に公開する予定であり、現実的な地図環境問題を科学的に評価するためのツールとして活用される。

## 参考文献

- 駒井 武：土壤・地下水からの化学物質の曝露、  
化学工学、47(2), 127-132, (2002)



## 蛍光トレーサーの特性調査および地熱開発に関する研究 Investigations on characteristics of fluorescent tracer and on geothermal energy development

地圈環境評価グループ： 杉田 創

Geo-analysis Research Group: Hajime Sugita

Phone: 0298-61-8735, e-mail: hajime-sugita@aist.go.jp

### 1. まえがき

産総研発足以降、私の個人研究活動は、①蛍光トレーサーの特性調査、②水-岩石相互作用に関する研究、③山形県肘折の高温岩体フィールドテスト参加、④シリカスケール防止技術の開発、⑤シリカの平衡濃度・重合速度に関する研究、⑥地下水・土壤汚染関連の研究等に分けられる。

### 2. 蛍光トレーサーの特性調査

地圈環境下における地下水あるいは地熱水の流体流動挙動を把握するために各種トレーサーを用いたモニタリングが行なわれるが、本研究では高感度トレーサーとして蛍光物質に注目し、蛍光トレーサーとしての実際への適応性・応用性について検討を行なっている。現在は、フルオレセイン（ウラニン）、ナフタレンスルfonyl酸、アミノナフタレンスルfonyl酸などについて、流体 pH (図 1-a) や溶存成分による検出感度（蛍光強度）への影響 (図 1-b) および熱分解速度 (図 1-c) 等について実験的に検討を行なっている。

### 3. 水-岩石相互作用に関する研究

地下深部での水-岩石相互作用に関する知見を得るために、流通型オートクレーブを用いて水-岩石反応実験（図 2）を行っている。固相（石英や花崗閃緑岩など）から液相（蒸留水や河川水など）への諸成分の溶解挙動に及ぼす諸因子（反応温度や流量、粒径や充填量など）の影響について検討している（図 3 および図 4）。

### 4. 山形県肘折の高温岩体フィールドテスト参加

2002 年 9 月まで山形県大蔵村肘折地区において高温岩体発電システムのフィールドテストが行なわれた。筆者は 1999 年から本プロジェクトに参加し、トレーサーテストの支援およびテストフィールド周辺の河川・温泉水の成分分析を行なった。

### 5. シリカスケール防止技術の開発

地熱水を利用する上で最も深刻な問題のひとつとして地熱水から生成するシリカスケールが挙げられる。シリカスケールは、地上設備の配管の閉

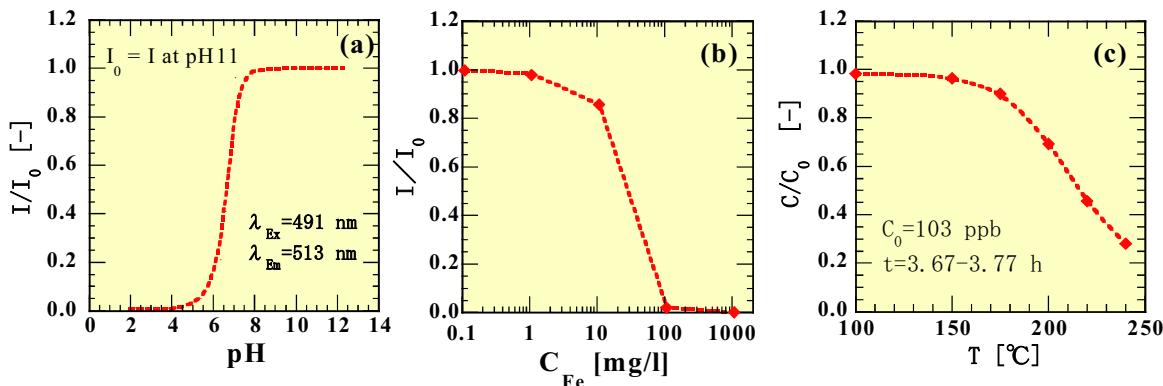
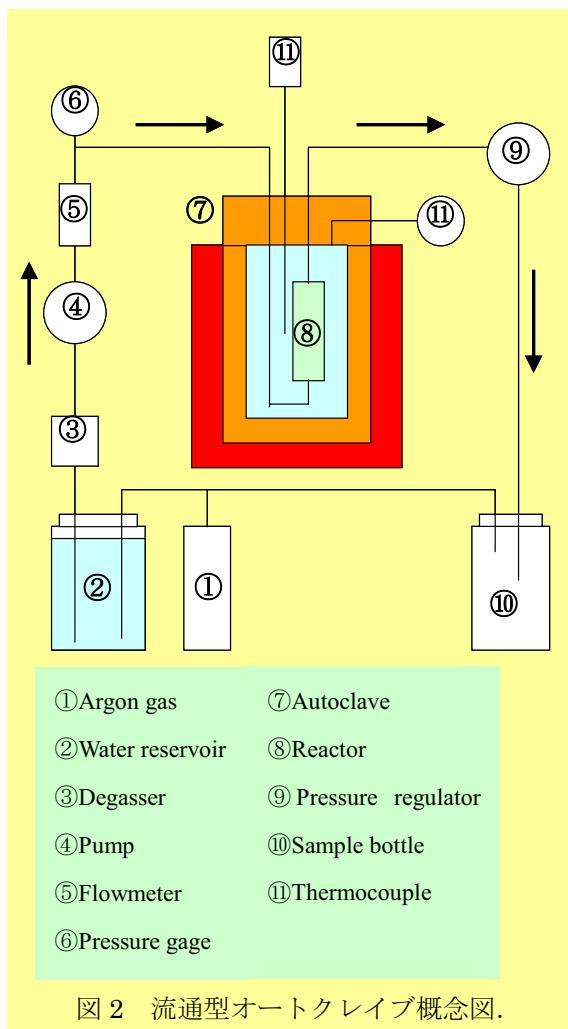


図 1 フルオレセイン（ウラニン）に及ぼす諸因子の影響

(a) 蛍光強度に及ぼす(a)pH および(b) 鉄イオンの影響. (c)熱分解と温度の関係.

$\lambda_{Ex}$ :励起波長 [nm],  $\lambda_{Em}$ :放出波長 [nm],  $C_0$ :フルオレセインナトリウムの初期濃度 [ppb],

$C_{Fe}$ :鉄イオン濃度 [mg/l],  $I/I_0$ :相対蛍光強度,  $C/C_0$ :相対濃度,  $t$ :反応時間 [h]



塞や熱交換機性能の低下、透水層の目詰まりによる還元率の低下などを引き起こす。筆者は高比表面積を持つシリカゲルや地熱水から造成したアモルファスシリカを種晶として地熱水に添加し、地熱水中に溶存している過飽和ケイ酸を析出除去するシリカゲルシード添加法を提案している。さらに、シリカゲルシードと流動層型反応装置とを組み合わせたシリカ除去装置の提案も行なった。また、シリカ除去性能に関わる諸因子の影響についても検討を行なっている（図5）。

#### 6. シリカの平衡濃度・重合速度に関する研究

地熱水は産出地域によって温度のみならず、その化学組成もまた大きく異なる。そこで、シリカの平衡濃度や重合速度に及ぼす、pH や溶存成分の影響について、実験的および平衡論・速度論的に検討を行なっている。

#### 7. 地下水・土壤汚染関連の研究

近年、日本だけでなく世界的に自然環境圈・生活環境圈における汚染問題が深刻化してきている。そこで、2002年10月に発足した本研究グループにおいて地下水および土壤汚染問題を解決すべく、研究に取り組んでいく予定である。

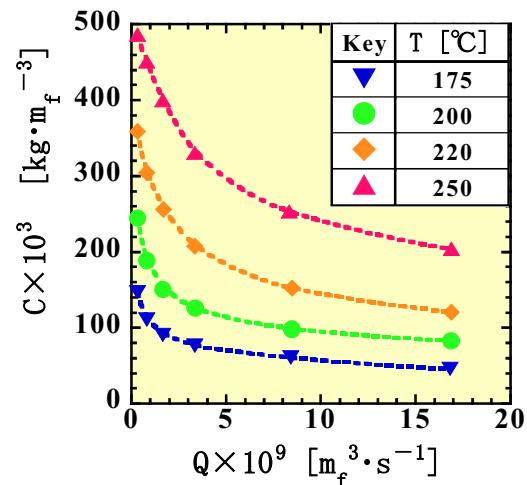


図 3 石英の溶解量に及ぼす温度と流量の影響.

$C$  : SiO<sub>2</sub>濃度 [kg m $^{-3}$ ],  $Q$  : 流量 [m $^3 \cdot s^{-1}$ ],

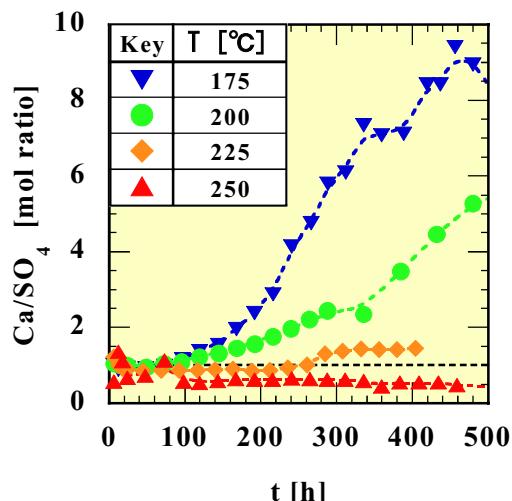


図 4 脊折花崗閃緑岩からの流出水中の Ca/SO<sub>4</sub> モル比の経時変化.

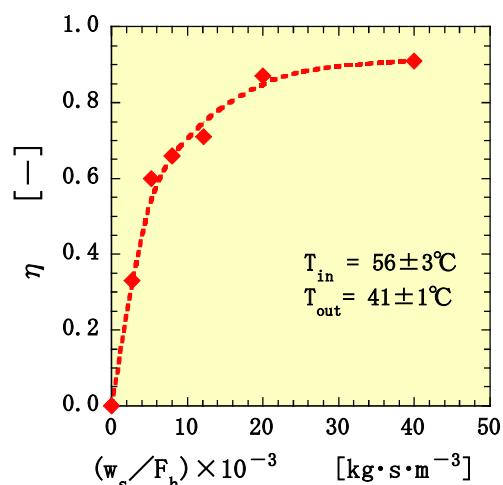


図 5 流動層型反応装置によるシリカ除去.

$w_s/F_h$  : 充填量/流量比,  $\eta$  : シリカ除去率

$T_{in}$  : 流入水温度[°C],  $T_{out}$  : 流出水温度[°C]



## 地圏環境と微生物との相互作用の解明及び地質汚染浄化への応用

Interaction of microbes, geo-environment and geo-pollution

地圏環境評価グループ： 竹内美緒

Geo-analysis Research Group: Mio TAKEUCHI

Phone: 0298-61-2478, e-mail: takeuchi-mio@aist.go.jp

### 1. まえがき

産総研発足と共に若手任期付き研究員として入所し、本年度は2年目にあたる。入所当初より、様々な地圏環境における微生物の挙動及び環境との相互作用の解明を試み、またそれらの基礎的知見を基に、現在深刻な社会問題となっている地質汚染の浄化手法の開発にも取り組んでいる。

### 2. 研究課題

- 主な研究課題は以下の2つである。
- ・天然地下水を利用した揮発性有機塩素化合物による地質汚染の浄化
- ・地圏環境における有害金属類と微生物の相互作用の解明

### 3. 研究内容と進捗状況

- ・「天然地下水を利用した揮発性有機塩素化合物による地質汚染の浄化」

我が国には豊富な天然メタンガス資源が存在する。その一つである南関東ガス田の中心地では、上ガスと呼ばれるように地表においてもガスが放出され、浅層の地下水にも過飽和のメタンが含まれている。そこにはメタンを好気的に資化するメタン資化細菌が時には $10^6$ MPN/ml もの高密度で存在していた。浅層の地下水であることから窒素、リン等の栄養塩も適度に存在し、酸素も供給されやすいうことからメタン資化細菌にとって適した環境のようであった。一方地質汚染物質の一つである揮発性有機塩素化合物(VOCs)は、メタン資化細菌のメタン酸化酵素の共代謝により分解されることからしばしばメタン資化細菌を用いたバイオレメディエーションが行われる。ガス田地域浅層地下水中のメタン資化細菌の潜在的VOCs分解能力は他地域地下水中のそれと比べ非常に高く(図1)、この地下水を利用したバイオレメディエーション、天然地下水利用法は、天然資源の有効利用、天然資源を利用する安全な汚染浄化手法、低コストといった利点を持つ汚染浄化手法になると考えられ

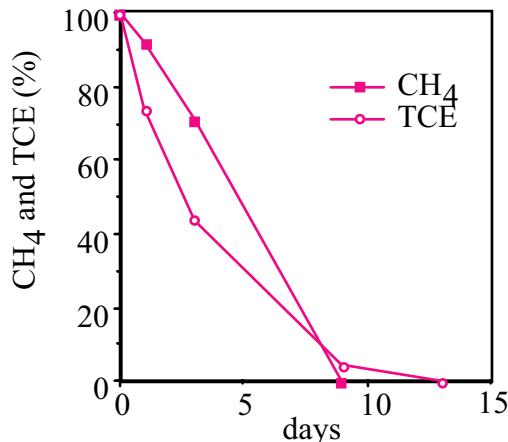


図1 ガス田地域の天然地下水に硝酸塩、リン酸塩、メタンを添加し、好気環境で培養した際のトリクロロエチレン(TCE)の減少した。

2001年には関連する基礎知見が「Geomicrobiology Journal」に掲載された<sup>1)</sup>他、現場実証試験で有効性が示された結果について、第11回環境地質学シンポジウムで発表を行った<sup>2)</sup>。また財団法人茨城県科学技術振興財団より国際学会等参加助成を受け、アムステルダムで開催された Ninth International Symposium on Microbial Ecology においても報告した。天然地下水利用法に関する現場実証試験の結果については現在国際誌に投稿中である。

現在、地質汚染浄化最大の課題は、シルト等難透水層中に浸入した汚染の浄化である。このような箇所から少しづつ地下水に溶解する場合もあり、これは現在浄化期間を10数年にまで長期化させる原因ともなっている。その解決には、物理的処理が不可欠であることから、2001年には中小企業支援型研究助成を受け、超高压水による洗浄工法を開発した田中環境開発株式会社との共同研究を実施し、超高压水洗浄工法と天然地下水利用法を

融合させ、短期間で難透水層汚染の浄化が可能な手法の開発に取り組んだ。

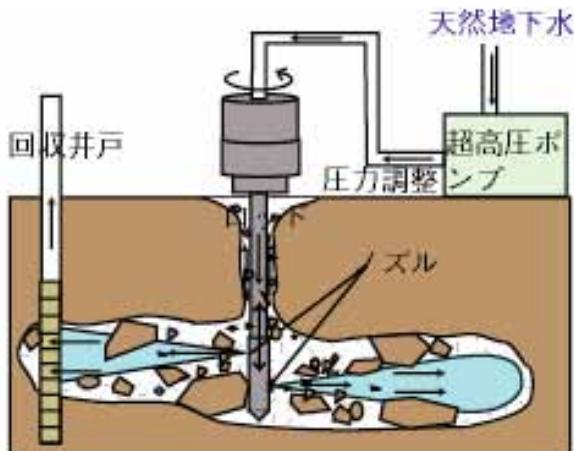


図2 超高压水と微生物を用いた難透水層汚染浄化法の模式図

2001年は基礎実験として超高压噴射が微生物に与える影響を解明し、実施条件を確定した。また効率を最大にするため、天然地下水利用法の改良を行った。それらの結果については2002年、日本地質学会第108年学術大会及び第12回環境地質学シンポジウムで報告した他<sup>3)</sup>、新規特許を出願し、現在結果を取りまとめて国際誌に投稿中である。現在は本融合法の現場実証試験を行っており、来年度には成果が報告できる予定である。

・ 「地圈環境における有害金属類と微生物の相互作用の解明」

砒素は世界的に重要性の高い地質汚染物質であり、火山性堆積物や海成堆積物に多く含まれる。また一般に海洋生物は砒素を有機化し、体内に濃縮している他、一部の海産藻類では砒素により増殖が刺激されることが知られている。そこで海底堆積物における砒素と微生物の相互作用を解明することで、汚染浄化のヒントも得られることを期待し、これに取り組んでいる。その課題の一つは海底堆積物中の砒素の有機化-無機化に関与する微生物と砒素の存在形態の解明であり、これについては現在試料を採取し、分析中である。もう一つの課題はこれまで知られていなかった海底堆積物中の微生物に対する砒素の影響評価である。これはマッチングファンドにも含まれる課題である。これについては海産藻類だけでなく海洋細菌、また比較のため用いた淡水域の細菌についても砒素が増殖促進作用を持つことが示唆され、2002年1月第12回環境地質学シンポジウムで報告する<sup>4)</sup>。

#### 4. その他の活動

2001年10月には、産業技術総合研究所ワークショップ「海洋メタンガスの地球環境変動へのインパクト」において、「ハイドレートメタンの生成・

分解に関する有機地球化学的・微生物学的アプローチ」として同部門坂田氏と共に好気的メタン酸化についての発表を行った。また2002年の11月の同ハイドレートワークショップにおいても「陸上・海底堆積物中の好気的メタン酸化について」として発表を行う。2001年9月にはNPO法人壳買対象地地質汚染調査浄化研究会が開催する第12回地質汚染イブニングセミナーにおいて「有害重金属による地質汚染と微生物」のタイトルで講演を行った他、2002年7月には同NPO法人が認証する「地質汚染診断士（地質や地下構造を熟知し地質汚染に対して高度な知識と技術を修得した技術者）」の資格を得た。2002年分野別連絡会のもとに発足した「地球と生命に関するFS WG」に参加し、第2回情報交換会にて話題提供を行った他、情報収集として、デンマークで開催された Fifth International Symposium on Subsurface Microbiologyに参加する等の活動も行った。

#### 参考文献

- 1) Takeuchi, M., Nanba, K., Iwamoto, H., Nirei, H., Kusuda, T., Kazaoka, O and Furuya, K. (2001) Distribution of methanotrophs in trichloroethylene-contaminated aquifers in a natural gas field. Geomicrobiology Journal 18: 387-399.
- 2) 竹内美緒難波謙二、岩本広志、榆井久、楠田隆、風岡修、古谷研 (2001) 天然地下水を用いたTCE汚染現場のバイオレメディエーションにおける地質中の微生物分布の変動、第1回環境地質学シンポジウム講演論文集、日本地質学会、67-70.
- 3) 竹内美緒、難波謙二、田中武、岩本広志、榆井久 (2002) 超高压水と微生物を用いた難透水層汚染の浄化法に関する基礎研究、第12回環境地質学シンポジウム講演論文集、日本地質学会。
- 4) 竹内美緒、難波謙二、石井浩介、丸茂克美、榆井久、根建心具、前田広人 (2002) 堆積物中の微生物の砒素耐性、第12回環境地質学シンポジウム講演論文集、日本地質学会。

# 執筆者名索引

| 執筆者名  | よみがな       | 頁   |
|-------|------------|-----|
| ア行    |            |     |
| 青木 一男 | あおきかずお     | 141 |
| 青木 一男 | あおきかずお     | 143 |
| 青木 正博 | あおきまさひろ    | 7   |
| 青木 正博 | あおきまさひろ    | 9   |
| 青木 正博 | あおきまさひろ    | 27  |
| 猪狩俊一郎 | いがりしんいちろう  | 99  |
| 石井 武政 | いしいたけまさ    | 159 |
| 石井 武政 | いしいたけまさ    | 161 |
| 石戸 恒雄 | いしどつねお     | 31  |
| 石戸 恒雄 | いしどつねお     | 33  |
| 今泉 博之 | いまいづみひろゆき  | 173 |
| 内田 利弘 | うちだとしひろ    | 129 |
| 内田 利弘 | うちだとしひろ    | 131 |
| 内田 洋平 | うちだようへい    | 163 |
| 及川 寧己 | おいかわやすき    | 49  |
| 大久保泰邦 | おおくぼやすくに   | 125 |
| 大谷 具幸 | おおたにともゆき   | 65  |
| 大野 哲二 | おおのてつじ     | 145 |
| 緒方 雄二 | おがたゆうじ     | 147 |
| 奥田 義久 | おくだよしひさ    | 5   |
| 奥田 義久 | おくだよしひさ    | 11  |
| 奥田 義久 | おくだよしひさ    | 23  |
| 小田 浩  | おだひろし      | 81  |
| 力行    |            |     |
| 金子 信行 | かねこのぶゆき    | 101 |
| 唐澤 廣和 | からさわひろかず   | 149 |
| 楠瀬勤一郎 | くすのせきんいちろう | 175 |
| 国松 直  | くにまつすなお    | 169 |
| 国松 直  | くにまつすなお    | 171 |
| 駒井 武  | こまいたけし     | 183 |
| 駒井 武  | こまいたけし     | 185 |
| 小松原純子 | こまつばらじゅんこ  | 93  |
| 小村 良二 | こむらりょうじ    | 111 |
| サ行    |            |     |
| 坂口 圭一 | さかぐちけいいち   | 67  |
| 坂田 将  | さかたすすむ     | 95  |
| 坂田 将  | さかたすすむ     | 97  |
| 坂本 靖英 | さかもとやすひで   | 59  |
| 佐々木宗建 | ささきむねたけ    | 69  |
| 佐藤 興平 | さとうこうへい    | 113 |
| 佐藤 幹夫 | さとうみきお     | 83  |
| 佐脇 貴幸 | さわきたかゆき    | 127 |
| 茂野 博  | しげのひろし     | 71  |
| 神宮司元治 | じんぐうじもとはる  | 177 |
| 杉田 創  | すぎたはじめ     | 187 |
| 杉原 光彦 | すぎはらみつひこ   | 35  |
| 鈴木 忠  | すずきただし     | 151 |
| 鈴木祐一郎 | すずきゆういちろう  | 103 |
| 須藤 定久 | すどうさだひさ    | 107 |

|           |           |     |
|-----------|-----------|-----|
| 須藤 定久     | すどう さだひさ  | 109 |
| 相馬 宣和     | そうまのぶかず   | 51  |
| <b>タ行</b> |           |     |
| 高倉 伸一     | たかくらしんいち  | 37  |
| 高橋 保盛     | たかはしやすもり  | 179 |
| 田口 雄作     | たぐちゅうさく   | 165 |
| 竹内 美緒     | たけうちみお    | 189 |
| 竹原 孝      | たけはらたかし   | 53  |
| 田中 敦子     | たなかあつこ    | 153 |
| 棚橋 学      | たなはしまなぶ   | 77  |
| 棚橋 学      | たなはしまなぶ   | 79  |
| 谷口 政碩     | たにぐちまさひろ  | 73  |
| 玉生 志郎     | たまにゅうしろう  | 61  |
| 玉生 志郎     | たまにゅうしろう  | 63  |
| 長 秋雄      | ちょうあきお    | 181 |
| 天満 則夫     | てんまのりお    | 55  |
| 當舎 利行     | とうしゃとしゆき  | 39  |
| 徳橋 秀一     | とくはししゅういち | 85  |
| <b>ナ行</b> |           |     |
| 中尾 信典     | なかおしんすけ   | 41  |
| 中嶋 健      | なかじまたけし   | 87  |
| 中島 善人     | なかじまよしと   | 133 |
| 西澤 修      | にしさわおさむ   | 135 |
| 西 祐司      | にしゅうじ     | 43  |
| 野田 徹郎     | のだてつろう    | i   |
| 野田 徹郎     | のだてつろう    | 21  |
| <b>ハ行</b> |           |     |
| 羽田 博憲     | はねだひろのり   | 155 |
| 平野 英雄     | ひらのひでお    | 115 |
| <b>マ行</b> |           |     |
| 前川 竜男     | まえかわたつお   | 105 |
| 松永 烈      | まつながいさお   | 13  |
| 松永 烈      | まつながいさお   | 15  |
| 松永 烈      | まつながいさお   | 25  |
| 松林 修      | まつばやしおさむ  | 89  |
| 丸井 敦尚     | まるいあつなお   | 167 |
| 水垣 桂子     | みづがきけいこ   | 75  |
| 光畠 裕司     | みつはたゆうじ   | 137 |
| 村岡 洋文     | むらおかひろふみ  | 121 |
| 村岡 洋文     | むらおかひろふみ  | 123 |
| 村尾 智      | むらおさとし    | 117 |
| 森田 澄人     | もりたすみと    | 91  |
| <b>ヤ行</b> |           |     |
| 安川 香澄     | やすかわかすみ   | 45  |
| 柳澤 教雄     | やなぎさわのりお  | 57  |
| 山口 勉      | やまぐちつとむ   | 1   |
| 山口 勉      | やまぐちつとむ   | 17  |
| 山口 勉      | やまぐちつとむ   | 29  |
| 山口 勉      | やまぐちつとむ   | 47  |
| 横田 俊之     | よこたとしゆき   | 139 |
| 渡辺 寧      | わたなべやすし   | 119 |
| 和田 有司     | わだゆうじ     | 157 |

---

平成14年12月6日発行  
編集： 独立行政法人産業技術総合研究所  
地図資源環境研究部門  
発行責任者： 野田徹郎

---



# **GREEN Report 2002**

Program Review of the Institute for  
Geo-Resources and Environment

— Present Overview and Future Prospects  
in the Second Year after Launch —



December 6th, 2002

Tsukuba, Japan

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

Institute for Geo-Resources and Environment (GREEN)