

Green Report

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

2003

November 28th, 2003

地圏資源環境研究部門成果報告

〔特集〕 日本の天然ガス メタンハイドレート

WITH RESULTS OF MAJOR RESEARCH PROJECTS AND ACTIVITY OF
RESEARCH GROUPS OF THE INSTITUTE FOR GEO-RESOURCES AND ENVIRONMENT
DURING 2002-2003

黄河領域地下水循環モデルの構築と地下水資源の将来予測

黄河の源流域、青海省を訪ねて



観光客らに乗馬をすすめる藏族の人たち。菜の花畑の後方に広がるのは、青海省最大の湖、青海湖。

青海省の省都、西寧市から約250km南西方に位置する「温泉」集落に湧出する温泉水。



黄河源流域には永久凍土が分布している。ハンドオーガーを使って永久凍土までの深さを確認。



黄河源流域の湧水の一つ。水は冷たく澄んでいる。



西寧市から約400km離れた瑪多県に分布する湖沼群。青海省の高山地帯に数多く点在する小規模な湖沼の面積は、経年的に縮小する傾向がある。

大規模潜頭性熱水鉱床の探査手法の研究

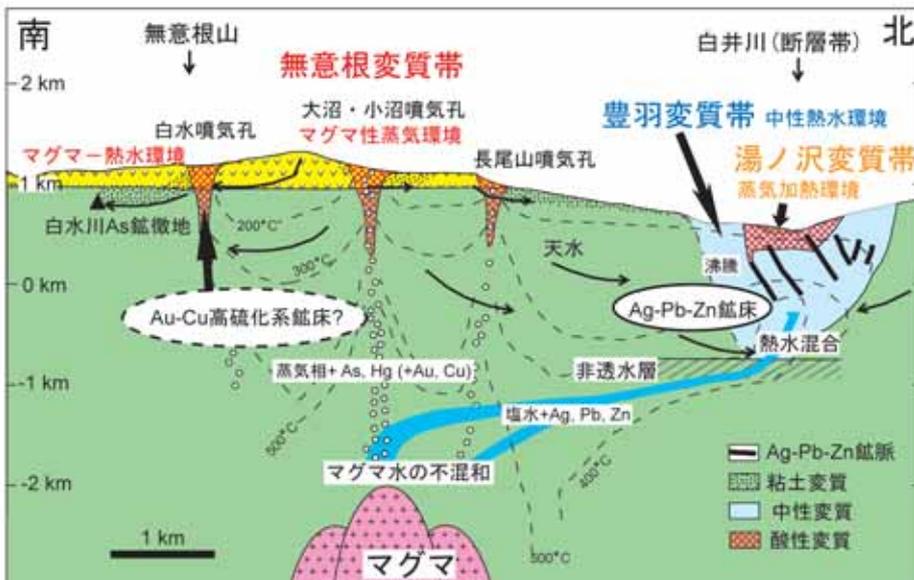
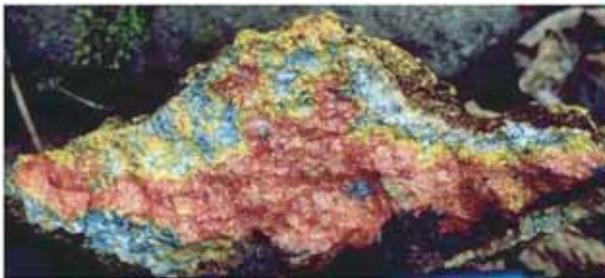
無意根-豊羽マグマ熱水系は鮮新世無意根火山と豊羽鉛・亜鉛・銀鉱脈鉱床により構成される。地表変質帯の解析をもとに構築した熱水モデル(下図)から潜頭性鉱床の探査指針を得るのが目的である。



北海道札幌市の無意根山。山体斜面の岩石の露出は熱水変質を受けた岩石の地すべりによる。

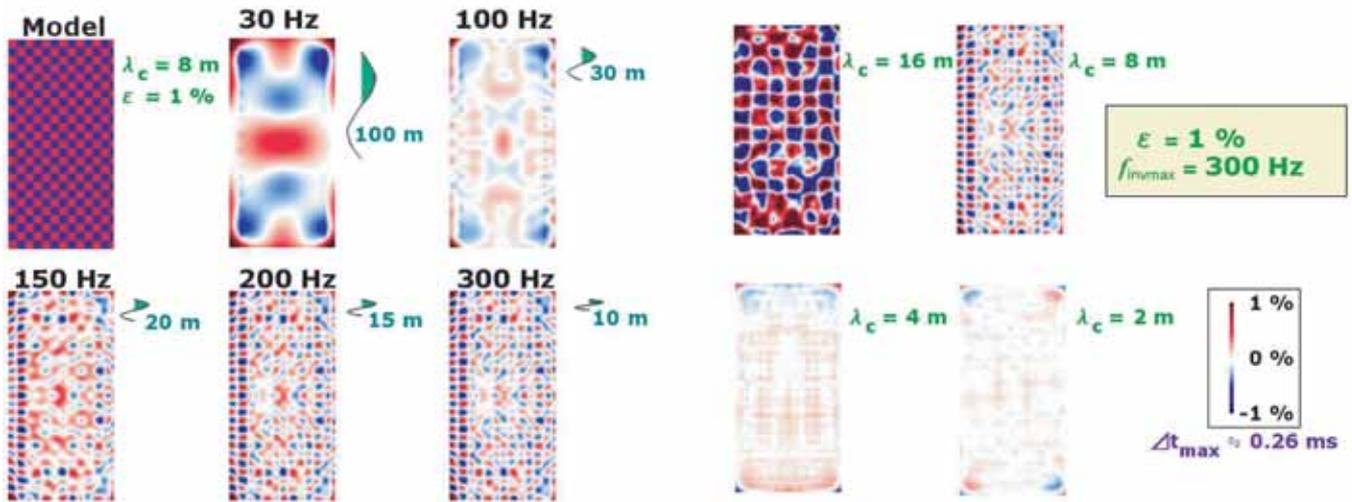
豊羽鉱山の全景。多数の鉛・亜鉛・銀鉱脈が白井川沿いに分布する。

無意根火山周辺のスメクタイト変質帯に胚胎する砒素鉱石。赤色部が鶏冠石、黄色部が石黄。



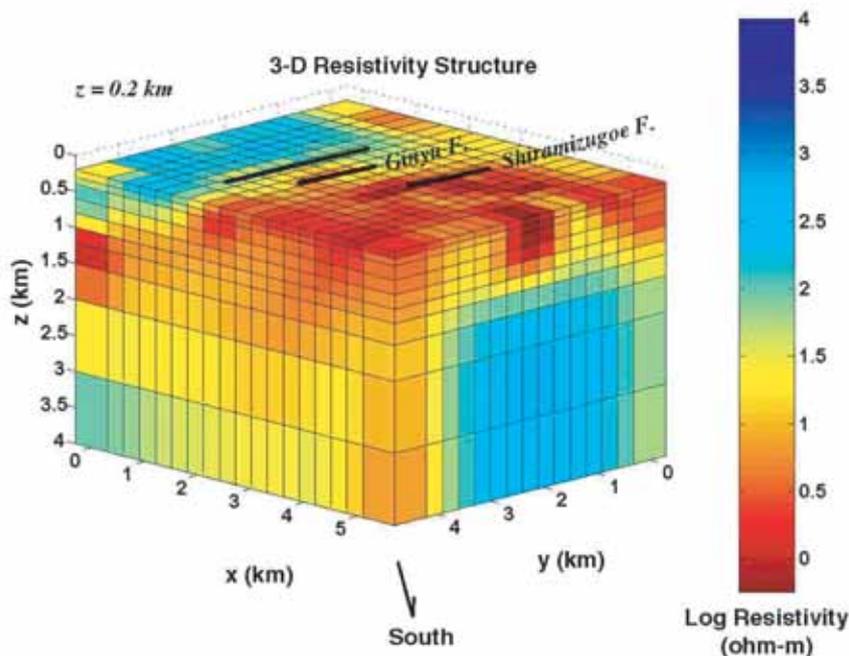
無意根-豊羽熱水系モデル。無意根山下部の貫入したマグマから放出された熱水は、砒素・水銀・金・銅に富む蒸気相と銀・鉛・亜鉛等に富む塩水に分離し、蒸気相は上昇し無意根変質帯を、重金属を含む塩水は北方に流れ、白井川断層帯を上昇し、天水と混合する条件で豊羽鉱床の鉱脈と豊羽変質帯を形成した。この熱水の一部は沸騰し、放出された蒸気が湯ノ沢変質帯に代表される蒸気加熱型の変質帯を上部に形成した。

高精度物理探査のためのデータ処理・解析技術の研究



全波形トモグラフィ解析の数値実験例。左上のパネルは数値実験に用いたチェッカーボード・モデル，その他のパネルは各々の周波数を用いた解析によって得られた速度構造モデル，右に信号の波長を示す。

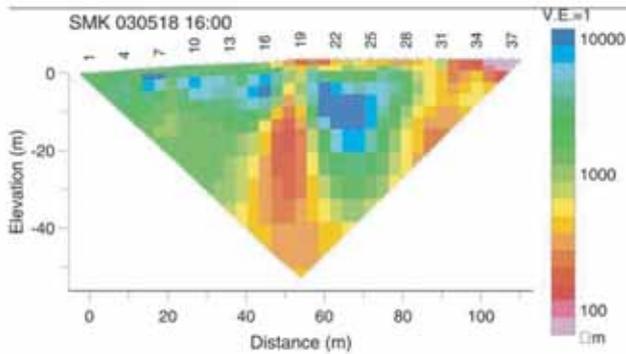
全波形トモグラフィ解析における格子サイズの影響。周波数300Hzの信号を用い，4通りの格子サイズについてインバージョン解析を行った。



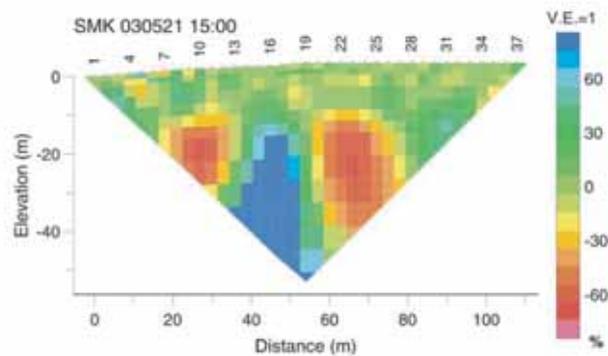
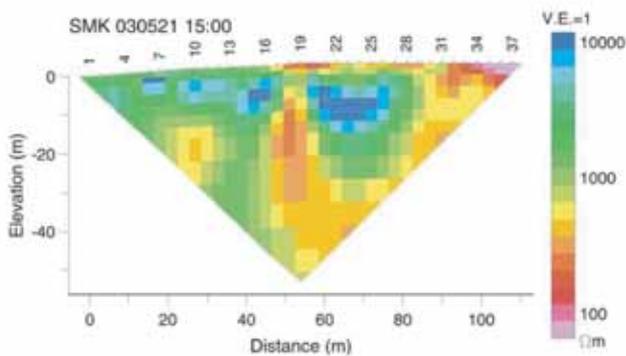
大霧・白水越地熱におけるMT法データの3次元インバージョン結果。深度200mまでをはぎ取った3次元比抵抗モデルを示す(南からの俯瞰)。当該地域の地熱貯留層を規制する銀湯断層と白水越断層に伴って，浅部には粘土変質帯に起因する低比抵抗異常が認められる。

貯留層変動探査法システム統合化のための研究

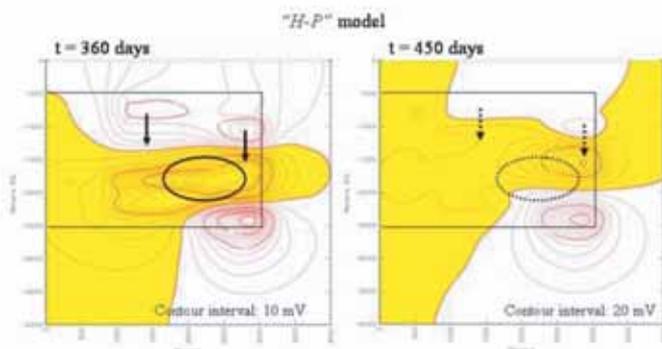
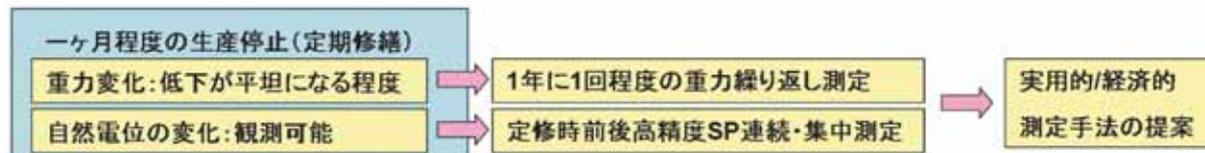
空気圧入試験時の比抵抗モニタリング



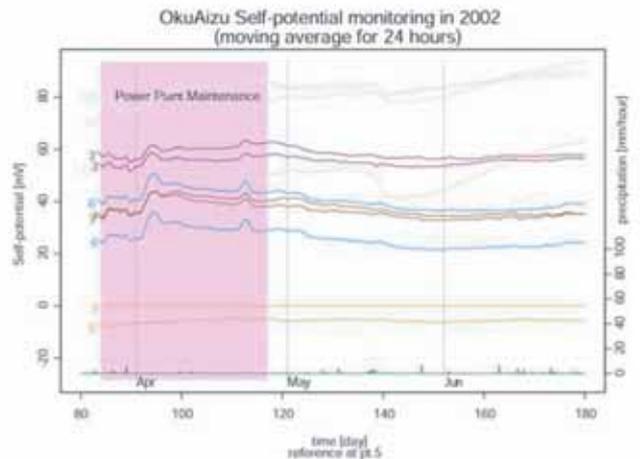
空気を圧入する井戸を中心に長さ108mの測線を設置し、電気探査の繰り返し測定により、空気圧入前と圧入中との比抵抗変化を把握した。空気圧入後は測線中央の比抵抗が上昇し、その周辺の比抵抗が低下した。圧入空気によって地盤中の水分が外側へと移動した様子が、比抵抗変化に反映されている。



定期点検時の自然電位/重力変化のメカニズムの予備的検討 (奥会津地域)



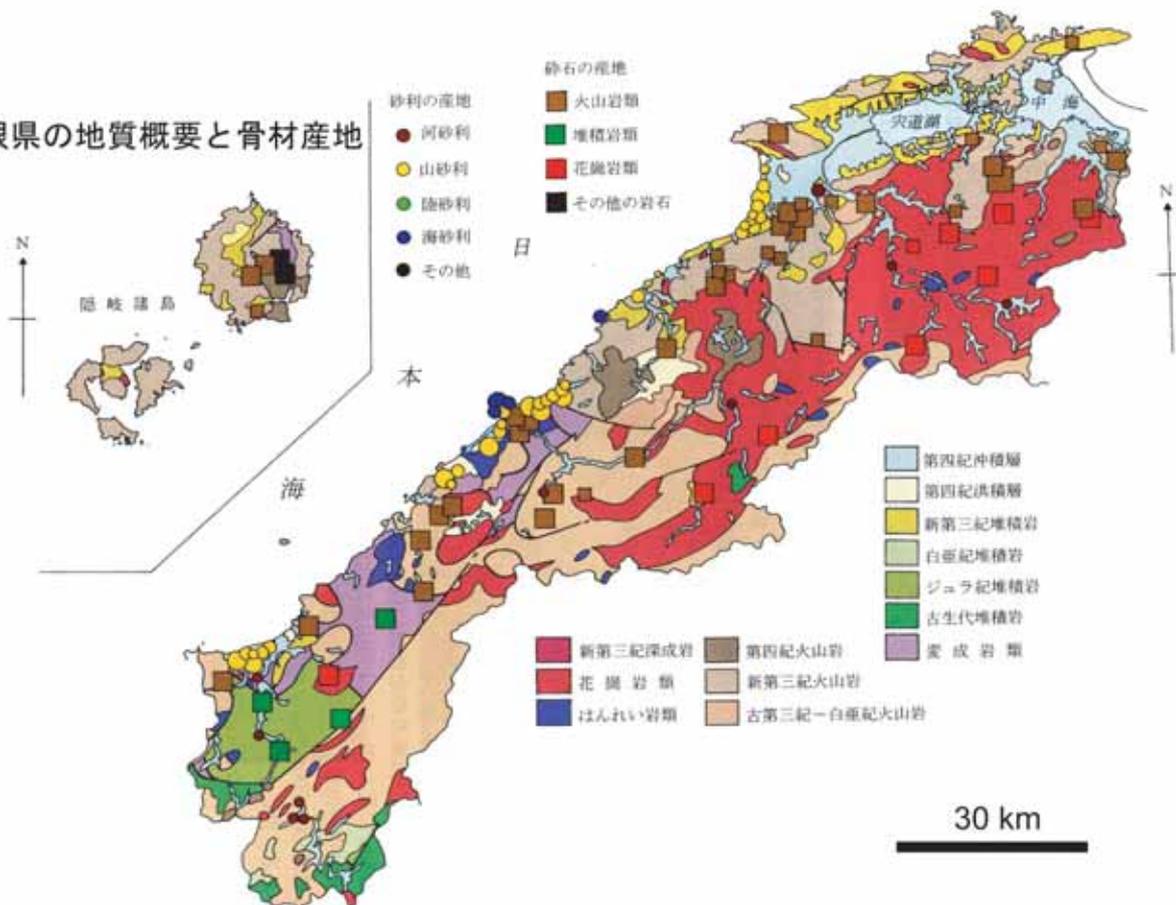
生産の一時停止前（左）と停止後（右）の電位断面。貯留層上部での気液二相ゾーン内の液相下降流は地表に負電位を作るが、この効果は生産一時停止によって短期間のうちに小さくなる。ただし、全体的な蒸気飽和度は大きく変わらないので、重力には変化が現れない。



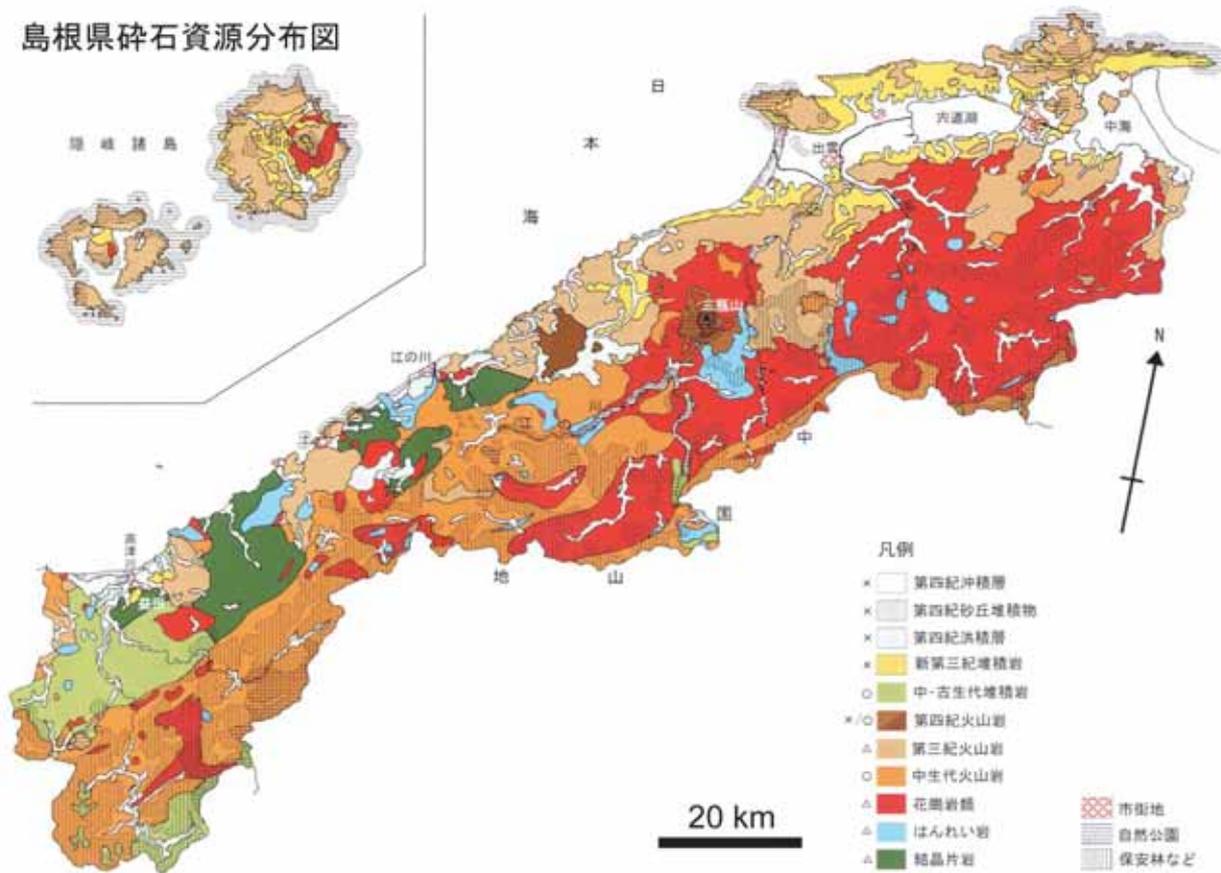
平成14年4月の定期修繕時に観測されたSP変化。生産井停止に伴う電位上昇は左図のメカニズムで説明される。

地圏資源環境に関する知的基盤の研究2

島根県の地質概要と骨材産地

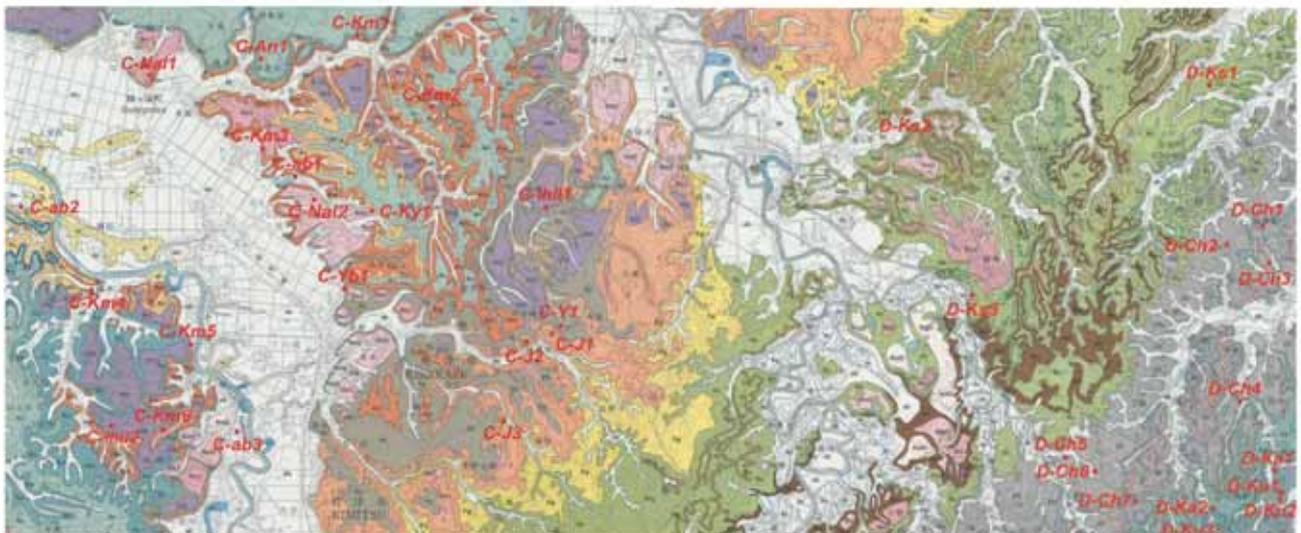
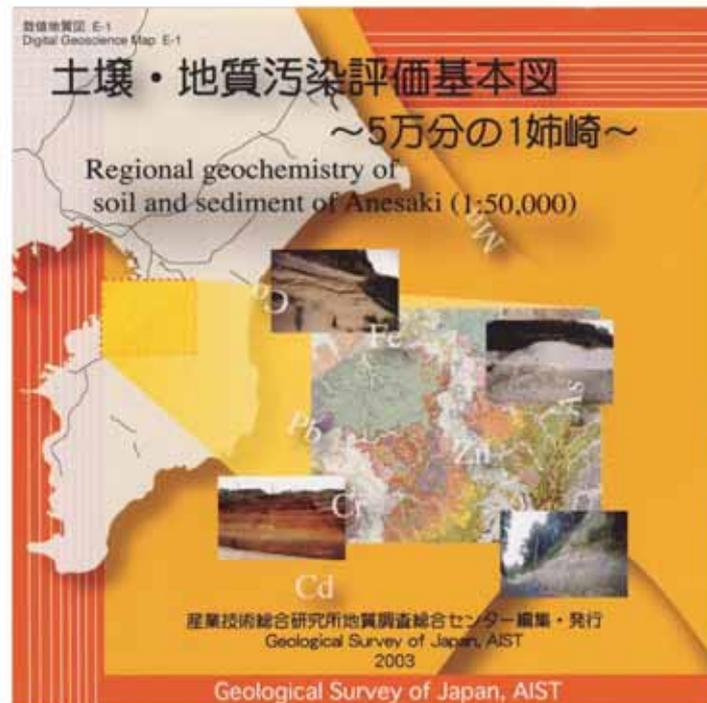


島根県砕石資源分布図



地圏資源環境に関する知的基盤の研究3

土壌・地質汚染評価基本図—5万分の1姉崎



このCD-ROMには旧通商産業省工業技術院地質調査所が作成した5万分の1地質図「姉崎」の画像データと、産業技術総合研究所地質調査総合センターが実施した土壌・堆積物の各種分析データが収められており、土壌や堆積物中の砒素や鉛などの特定有害物質のバックグラウンド濃度や溶出量に関する情報と、地質図として整理された地質データとの関係を理解することを念頭において製作されている。

海外での技術協力

金鉱床探査技術の指導風景(モーリタニア・イスラム共和国鉱物資源開発戦略策定プロジェクト, 2003-2006国際協力機構)



モーリタニア地質調査所の地質技師



リモートセンシング技術の斑岩銅鉱床探査への応用(アルゼンチン共和国先進的地質リモートセンシング協力事業, 2001-2005国際協力機構)

簡易変質鉱物同定装置を用いた野外での鉱物同定作業風景。



トルコ鉱物資源調査開発総局での鉱物資源セミナーの開催(2003年6月)と共同調査(トルコ西部の熱水鉱床とメタロジェニーの研究, 2001-2004地圏資源環境研究部門)



序

昨年の第1回目に引き続き、地圏資源環境研究部門の第2回成果報告会を開かせていただきました。昨年は、つくばセンターでの開催でしたが、なるべく多くの方に私たちの成果を知っていただきたく、今回は東京での開催としました。

ここでは、改めて当部門のミッションを概観し、重点課題の設定（整理）について紹介します。さらに、よい研究成果を産み出すための基本となる部門の体制・運営に関するポリシーと工夫を述べ、研究成果報告の序言といたします。

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環境予測、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。

重点課題の設定

重点研究課題としては、次の三つを設定しました。それぞれの重点課題は、下記のサブテーマを含みます。これらは、昨年度の成果ヒアリングにおいて独立の重点課題としたものです。本年度は、これを整理し、相互の重点の置き方が柔軟にできるようにしました。

I. 天然資源の安定供給の確保

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

II. 地圏の利用及び地圏環境の保全

- ・ 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
- ・ 地圏環境汚染評価手法の開発

III. 地圏資源環境に関する知的基盤

- ・ 地圏資源環境に関する知的基盤情報の整備・提供

また、上記の重点課題には次の昨年度の重点課題を、切り分けて含めています。

- ・東アジアにおける資源開発研究協力・技術協力
- ・その他の重要課題

ミッション遂行のために

地圏資源環境研究部門の研究の2本柱が資源と環境であることは不変です。これまでは、資源によりウェイトを置いていましたが、社会状況の変化に対応するために両者をバランスさせるよう図っています。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ます。

地圏の資源や環境に関する研究は、成果が現れるまでに長い期間が必要であり、全体を見通した長期的・総合的な観点から、毎年着実に研究を積み重ねゴールに近づいていく計画性が要求されます。そのために10年以上の長期展望を示し、その中で何をやっていくべきかを毎年の計画で具体化することにしていきます。

外部予算は、私たちのミッションが理解されていることの証です。9月末現在で、新規7件分を含む総額742.9百万円の外部予算を獲得しています。これは一人当たりの額に直すと、産総研の全研究部門中2位に当たります。

運営費交付金について、各研究グループには、グループの重点研究や萌芽的研究に回せるよう、グループのサイズに応じた自由裁量予算を配分しています。さらに、研究の流動性や緊急性に対応し、優れた研究の後押しをするため、募集による数次の追加予算を配分しています。

ミッションに照らしたとき、最も差し迫った分野であり、最もパフォーマンスを向上させたいグループに、優先的に採用、流動配置をするよう心掛けています。また、ポテンシャルを補うために、可能なかぎり、ユニット内・ユニット間、及び外部との研究協力・人事交流を行っています。

新たな技術・学術領域の構築のために

産総研では、ユニットの群別（研究部門か研究センターか）により研究の方向性を規定しています。研究部門の方向性は、独自の固有性を持った新たな技術・学術領域を構築することにあります。地圏資源環境研究部門の設立母体となったのは、地質調査所及び資源環境技術総合研究所の資源・環境にかかわる研究集団です。前者は主に理学分野（地球科学）、後者は主に工学分野（地圏工学）の研究者からなり、産総研の発足に伴って地圏資源環境研究部門として融合したものです。この融合体は、地圏の資源と環境を理学と工学の両面から一体となって、実用性を意識した応用研究を行う組織という点では、産総研内ではもちろん他になく、国内でも最大規模の傑出した組織です。このような他に見られない総合性は、固有の新たな技術や学術領域としての素地を既に備えていることを意味します。これからは、着実に成果を産出するとともに、組織とその活動を世の中に広報することが

重要だと考えています。

広報活動を促進させるために、広報委員会を設け取り組んでいます。広報の具体的活動は、ホームページの充実（平成15年4月産総研最優秀賞表彰）、公開成果報告会、年度成果報告書（GREEN REPORT）出版、季刊広報誌（GREEN NEWS）発刊、広報パンフレット作成、年報出版、AIST フォーラム参加、などです。なお、今回の東京での成果報告会開催の費用は、ホームページ表彰の報奨によりまかなわれています。

本格研究への取り組みについて

いま産総研では、理事長の発案による‘本格研究’という言葉が飛び交っています。‘本格研究’は「第一種の基礎研究」（知識の発見・解明）、「第二種の基礎研究」（異なる分野の知識の情報と選択・融合・運用による新たな普遍的知見の導出）、「開発」（発明された新しい材料、装置、製品、システム、工程、サービスの実用化）をシナリオに基づいて連続的に行うものです。特にこの中で、産総研は「第二種の基礎研究」で積極的な役割を担さなければならないとされています。難しく聞こえますが、これは国の研究所の研究への望み方と進め方についての一つの整理だと思っています。

私たちの資源環境研究は、地質学等の第一種の基礎研究を土台に、資源、環境に関し実用化につながる本格研究の流れの中で、地球科学・資源工学の第二種基礎研究に軸足を置いています。この本格研究の連続性の中で、すその広がりを持ちながらも、大学、国研（産総研）、特殊法人、企業、は、それぞれのテリトリを中心に研究を展開しています。ここで大事なことは、その成果の受け渡しのために、他機関との情報交換や交流を通じて連携していくことと心得ています。私たちが産み出す成果は、多くの場合、製品化を促すための多様な一次成果物です。その一人当たりの生産数は、他の研究部門に比べ遜色ないトップグループにあります。

研究意欲の高揚のために

所属研究者の研究意識を持たせるとともに、研究者の研究意欲を高揚させることは、ミッションを遂行する上で極めて重要と考えています。

各研究者の年間計画作成に当たっては、計画がグループの計画に即していることを確認しています。また、研究成果発表 DB への登録の際には、グループの計画に基づくユニットの年間計画との対応を明らかにして登録させることにより、目標の達成を意識させることにしています。

個人に関する評価については、次のような方針で臨んでいます。まず、研究者の目安となるよう、論文以外の様々な成果も貢献度に応じて評価することとし、評価のものさしを部門短期評価指針として明示しています。実際の短期評価では、A 評価／客観的に極めて高い貢献を行った者；B, C 評価／A 評価には至らない者とし、連続的な広がりに対応するため、さらに細かくランクを分けています。考課表には今後の方向性を示すコメントを付加

しています。短期評価に連動する業績手当の査定においては、ランクに応じ、満足度とディスカレッジしない程度に努力の余地があることを感じるように傾斜査定しています。一方、昇格にかかわる長期評価については、様々な成果による貢献度の蓄積に応じて部門内の推薦順位を付与しています。貢献度のものさしは、短期評価と矛盾しないよう部門短期評価指針を準用しています。また、昇格見送り者には、次回の申請に備えてガイダンスを実施しています。

私たちは、いま産総研発足から3年目のただ中にいます。来年は第1期終了の4年目に入ります。来年の成果報告会では、第1期の研究がどのような仕上がりになるかを報告できればと思っています。皆様方の厚い御理解と御援助をいただき、最後の仕上げに向かってまい進していく所存です。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15年11月28日

地圏資源環境研究部門長

野田徹郎

目次

題目	著者	頁
グラビア		
黄河領域地下水循環モデルの構築と地下水資源の将来予測	地下水資源環境グループ	1
大規模潜頭性熱水鉱床の探査手法の研究	鉱物資源研究グループ	2
高精度物理探査のためのデータ処理・解析技術の研究	物理探査研究グループ	3
貯留層変動探査法システム統合化のための研究	貯留層ダイナミクス研究グループ	4
地圏資源環境研究に関する知的基盤の研究 1-50 万分の 1 鉱物資源図「九州」	鉱物資源研究グループ	5
地圏資源環境研究に関する知的基盤の研究 2-島根県の骨材資源	鉱物資源研究グループ	6
地圏資源環境研究に関する知的基盤の研究 3-土壌・地質汚染評価基本図	地圏環境評価研究グループ	7
海外での技術協力	鉱物資源研究グループ	8
序	野田 徹郎	9
目次		13
第 1 部：日本の天然ガス・メタンハイドレート		
地圏資源環境研究部門の天然ガス資源研究	奥田 義久	15
石炭系天然ガスの起源と資源ポテンシャル	鈴木祐一郎	17
メタンハイドレートの地質と資源	奥田 義久・棚橋 学	21
メタンハイドレートの探査法	青木 豊(地球科学総合研究所)	25
メタンハイドレート生産手法開発と浸透率の評価	駒井 武	29
メタンハイドレート生産に伴う地盤変形挙動について	青木 一男	33
NH21 研究コンソーシアム生産手法開発分野の研究開発概要	成田 英夫(エネルギー利用研究部門)・海老沼孝郎(エネルギー利用研究部門)・山口 勉	37
メタンハイドレート資源開発環境影響評価に関する研究 ーモニタリング技術について	小林日出雄(石川島播磨重工業)	39
平成 13 年度及び平成 14 年度基礎物理探査の成果 ーメタンハイドレート資源探査ー	清水祥四郎・及川信孝・林雅雄・落合浩志・中水勝(石油公団 石油開発技術センター)	41
熊野海盆北縁部における地震波速度構造	佐伯龍男(石油公団)・林雅雄(石油公団)・森田澄人(産業技術総合研究所)・松島潤(石油公団)	43
第 2 部：重点研究課題		
天然資源の安定供給の研究	山口 勉	45
地圏の利用及び地圏環境の研究	松永 烈	49
地圏資源環境に関する知的基盤の研究	奥田 義久	53
第 3 部：各研究グループの活動紹介		
地熱資源研究グループの紹介	村岡 洋文	57
燃料資源地質グループの紹介	棚橋 学	61
資源有機地球化学グループの紹介	坂田 将	65
鉱物資源グループの活動	渡辺 寧	69
物理探査グループ	内田 利弘	73
開発安全工学グループ	青木 一男	77
地下水資源環境グループの紹介	石井 武政	81
貯留層ダイナミクスグループの紹介	石戸 恒雄	83
地圏資源工学グループの紹介	當舎 利行	87
地圏環境評価グループの紹介	駒井 武	89
地質バリア研究グループの活動	楠瀬勤一郎	91
研究員名簿		93



地圏資源環境研究部門の天然ガス資源研究
 Research on Natural Gas Resources at the Institute
 for Geo-resources and Environments

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

地圏資源環境研究部門では、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、日本周辺海域にも分布し将来性が見込まれる石炭起源天然ガスおよびガスハイドレート等の新たな天然ガスの地下資源探査・資源量評価・開発・安全対策・環境保全に関する研究を実施している。現在は、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重点をおいて研究を実施し、この研究には、主として燃料資源地質 RG、資源有機地化学 RG、地圏資源工学 RG、開発安全工学 RG、地圏環境評価 RG の研究員が携わっている。本研究の予算は、運営費交付金のほかに、主に石油公団からの委託研究費を充当し、本部門では年間総額約 3 億 3 千万円の予算を使用している。

2. 研究の進捗状況

1) 石炭起源ガスに関する研究

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)と共同で三陸沖およびその周辺地域の資源ポテンシャル評価作業を進めている。また、その北方延長上の、北海道第三紀の石炭層の地質調査を実施し、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、ピトリナイト反射率、石炭組織、ロックエバル等の炭質・バイオマーカー分析を行うと同時に、赤平炭田地域の炭層ガスを採取して、ガス組成および同位体分析を行った。昨年までに、バイオマーカー分析からは、石狩炭田の石炭および宗谷地方の豊富原油には、特徴的な陸上高等植物の2次代謝物由来するものが多く含まれ、一方、札幌北方の厚田油田の原油は、海成層起源の可能性が高いことを明らかにした。この結果、北海道では、石炭起源と非石炭起源の両者の原油天然ガス生成が可能と判明し、概ね、苫小牧、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。これに対応する赤平炭

田の炭層ガスのガス組成、同位体分析の結果は、エタン以上の炭化水素を多く含み、熱分解起源由来のガスであることを示している。

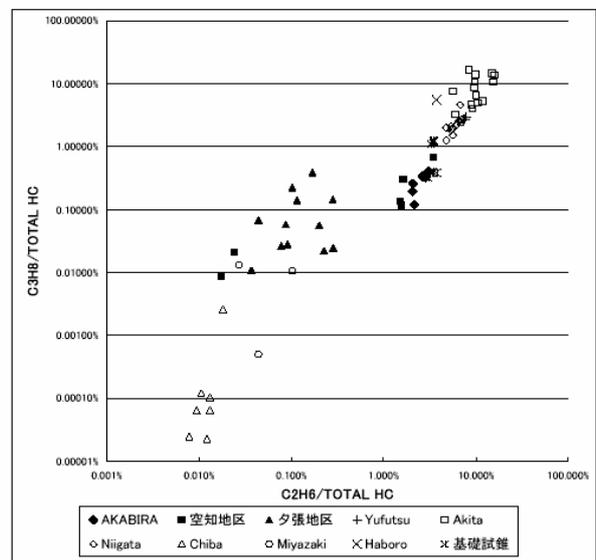


図1 北海道石狩炭田の CBM および我が国の代表的油ガス田におけるガス組成分析結果 (鈴木ほか, 2003)

2) 水溶性天然ガスの研究

水溶性天然ガスの研究として、諏訪湖ガス田試料の分析、南関東周辺水溶性天然ガスなどの天然ガスと付随水の分析、解析と公表、間隙水シミュレータを改良による通常型及び茂原型水溶性天然ガス鉱床のガス濃集モデルの検討を行った。

3) ガスハイドレート資源評価に関わる研究

地圏資源環境研究部門では、ガスハイドレート資源評価法にかかわる研究として、物性実験およびモデリング、南海トラフ等における野外調査、試料分析、データ解析、内外の資料収集を行っており、また、南海トラフでの地化学探査航海を実施し堆積物試料、地質情報を収集し、分析を行っている。

昨年度から今年度にかけて、南海トラフ海域における第2白嶺丸「南海トラフ地化学探査航海」、

「しんかい 2000」、「しんかい 6500」、「KAIYO/KAIKO」調査航海、チリ沖におけるバルパライソクリスチャン大学およびアメリカ海軍研究所によるハイドレート探査航海（Vidal Gormez、ピストンコア採取、深海曳航式音波探査）に参加したに参加し、また、今年度も現在第2白嶺丸「南海トラフ地化学探査航海」を実施している。

また、今までに開発してきた光ファイバ精密分布型地層温度計を、今年度シュルンベルジェ社により制作を行い、今年度末実施予定の基礎試錐において行われる計測を支援する予定である。

4) ガスハイドレート生産技術に関わる研究

地圏資源環境研究部門では、昨年度よりガスハイドレート生産挙動予測技術の研究を開始し、現在、生産挙動予測のための数値シミュレーションの開発研究を分担している、現在行っている主な研究内容は、ハイドレートの分解挙動、分解生産に伴う貯留層の浸透率評価モジュールと、生産に伴う地層の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）である。

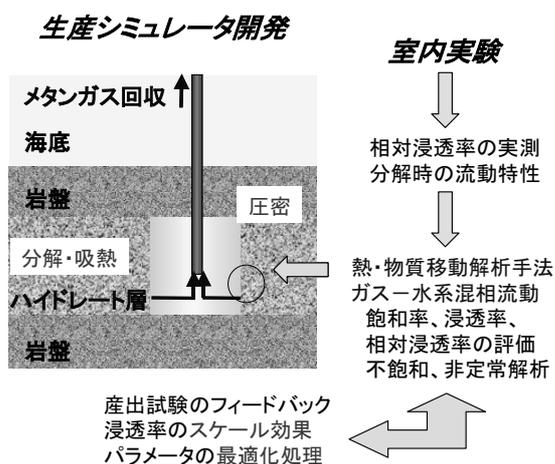


図2 生産シミュレータ開発の基本概念

本研究では、メタンハイドレート生産時における貯留層内の流動挙動の定式化するために、平成15年度は、室内実験により絶対浸透率・相対浸透率を実測し、そのデータに基づき定式化を試み、また、不飽和流動条件における相対浸透率を実測し、定式化を行った。



図3 開発した浸透率評価モジュール（ポリカーボネート製3重管透明容器）

3. 今後の研究計画

- 1) 石炭起源天然ガス、水溶性天然ガスの研究に関しては、地質調査と地化学的研究により資源ポテンシャル評価を進め、資源評価を実施する。
- 2) ガスハイドレートの資源評価研究に関しては、地質学的、地化学的研究により、継続的に資源評価制度を高め、また、生産挙動予測のための数値シミュレーション研究を進展させ、生産挙動予測技術の精度向上を目指す。

主要文献

- Haneda, H., Yamamoto, Y., Komai, T. Aoki, K., Kawamura T. Ooga, T. (2003) Study on CO₂ Hydrate Formation as a Stock-piling in Marine sediments, Green House Gas Control Technologies, p. 1671-1674.
- Maekawa, T. (2003) Gas hydrate formation for mixtures of methane + helium and ethane + helium. Journal of Chemical & Engineering Data, v. 48, No.5, p. 1283-1285.
- 鈴木祐一郎・猪狩俊一郎・前川竜男・金子信行・坂田将(2003) CBMの起源と石炭地質, 第12回エネルギー学会講演 (2-16) 要旨.

石炭系天然ガスの起源と資源ポテンシャル Oil and Gas Potentials related with Coals in Japan

資源有機地化学研究グループ：鈴木祐一郎

Fuel Resource Geochemistry Research Group: Yuichiro Suzuki

Phone: 0298-61-3919, e-mail: yu-suzuki@aist.go.jp

1. はじめに

石炭系天然ガスとは聞き慣れない名前であろう。ここで石炭系天然ガスとしているものには、石炭を根源岩として発生し、集積した天然ガス（石油）鉱床と石炭中に胚胎している、つまり石炭を貯留岩としている天然ガス鉱床の2種類が存在する。前者は、従来型の石油天然ガス鉱床であるが、その根源物質が広く一般に認められている海成層中のプランクトンと異なり、陸上高等植物由来の石炭である点で特徴的であり、近年このタイプの根源岩が石油天然ガス探査で重要視されている。

後者の代表的な天然ガス鉱床が、コールベッドメタン（略してCBM）である。米国で90年代に開発が始まっており、今後の注目すべきガス鉱床である。鉱床成因のメカニズムが、従来型の天然ガス鉱床と若干異なっている。資源小国である我が国で、以前は石炭は唯一の自給可能な燃料資源であった。人件費等のコスト面から石炭資源開発からは撤退を余儀なくされたが、未だ地下深部には多くの石炭資源が保存されており、CBM開発の可能性も大きい。

2. 我が国の石炭起源の石油天然ガス鉱床

我が国の北海道の中央部や東部には古第三紀に堆積した石炭が広く分布する。これらの石炭の熟成度は、かなりの部分が石油生成帯に相当する瀝青炭の段階に達している。また、北海道中央部には南部に勇払油ガス田、中部に厚田・茨戸などの諸油田、北部の天北地域に勇知・稚内・豊富などの諸油ガス田が存在する。勇払油ガス田を除いてはいずれも規模が小さく、貯留層も浅所に存在する。これらの油ガス田については、Waseda et al. (1998)が原油の性状や炭素同位体、バイオマーカー解析により北海道産原油が2種類に区分でき、一方の原油群は陸源有機物起源と考えられると述べている。

我々は、北海道に産する石炭の溶媒抽出分中のバイオマーカーについて研究を行ってきた。これらの石炭には、陸源植物特有の特徴的なバイオマーカーであるジテルペン化合物が多量に含まれていることが明らかになっている（図2）。ジテルペン化合物は、植物の2次代謝中に含まれ、イソプ

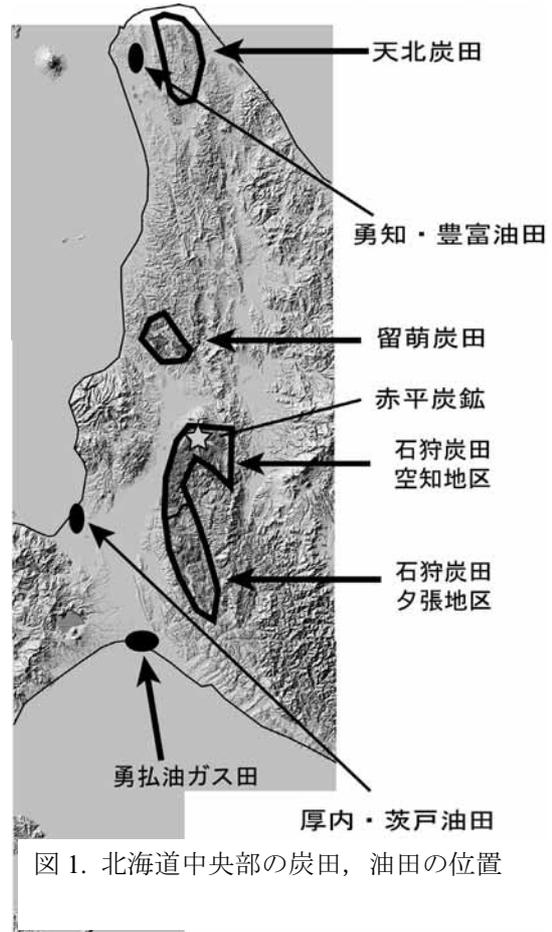


図1. 北海道中央部の炭田、油田の位置

レン(C5)単位が4単位結合して形成されるものである。生化学の分野での研究から生合成経路(biosynthetic pathway)が解明されており、陸上高等植物特有のバイオマーカーと考えられている。

石炭等の陸源有機物が、石油の根源岩であれば、これらの特徴的な化合物であるジテルペン化合物が原油中の飽和炭化水素留分に多く含まれる可能性が大きい。地質調査所で過去に採取し保管してあった北海道産の原油中のバイオマーカーを分析し、ジテルペン化合物について検討した結果が図3である。

天北地域の2油田の原油中には、ジテルペンが多く含まれている。一方、石狩地区の厚田油田の原油には含まれていない。どちらも、バクテリア起源のホパン（トリテルペン）は、多く含まれて

いる。豊富な原油は、n-アルカンのデータから、バイオデグラデーションが進んで、アルカンが

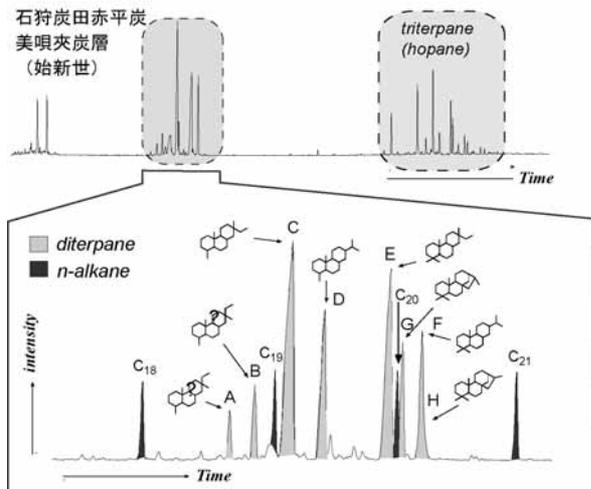


図2. 赤平炭鈳の石炭(美唄層)中に含まれるジテルペン化合物. (m/z191 イオンクロマトグラム)

ほとんど含まれていないが、そのような原油でもジテルペンは残っており、指標として有効であることが解る。

同じ北海道内でも茨戸油田原油はジテルペンをほとんど含んでおらず、この原油の根源岩が、天北地域とは根源岩が異なり、陸上の影響の少ない海域のプランクトンであることが推測される。

表1は、分析した結果から各地域の原油がジテルペンを含むかどうかについて示したものである。天北地域の原油が大量のジテルペンを含むのに対し、他地域では含んでいない。天北地域の原油は高パラフィン分で、常温では固化する原油もあるが、類似の高パラフィン原油である中国大慶油田は含んでいない。大慶油田は天北と同じく非海成層起源とされるが、根源有機物が淡水棲藻類とされており、このためジテルペンが含まれていない

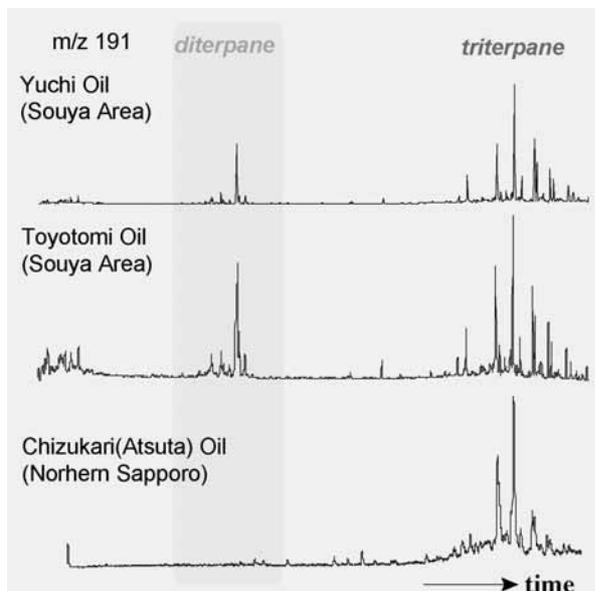


図3 勇知, 豊富, 厚田各原油中のジテルペン化合物

と考えられる。ジテルペンの存在は、陸源有機物起源原油の指標として有効である。

3. 石炭の石油ガス根源岩ポテンシャル

ガスの場合、根源岩を正確に把握するのは困難である。図4で示されるようにダイアジェネシス、カタジェネシスで起きる熱分解ガスの発生では、直接根源有機物からクラッキングにより発生するものと、原油を経て油の熱分解で発生するものがある。残念ながら両者の間で明確なガス組成の違いや同位体の違いはみられない。たとえ微量な油的程度の油でも、発生するガス量は大きくガス圧も高くなるため移動しやすくなるであろう。石炭中に微量な油状物質が多い方がガス根源岩としてのポテンシャルも高いことが想定される。つまり、石油発生ポテンシャルがガス発生ポテンシャルと結びつくと考えてもよいであろう。

現在、有機物の石油発生ポテンシャルは、地中での有機物の熱的变化を表す熟成度指標と起源と

北海道		新潟	
天北地域		南阿賀	×
勇知	◎	秋田	
稚内	◎	八橋	×
豊富	◎	北サハリン	
石狩地域		オハ	×
茨戸	△	ストウ	△
知津狩(厚田)	×	中国	
		大慶	×

表1. 油田別ジテルペンの存在度。

◎: 多い △: わずかに含む ×: 確認できない

なった有機物の生成環境や地中浅所での化学的な環境、生分解反応の違いを反映した有機物タイプにより評価している。熟成度指標は、図4のような変化を示す指標で、地層の深部埋没に伴う温度

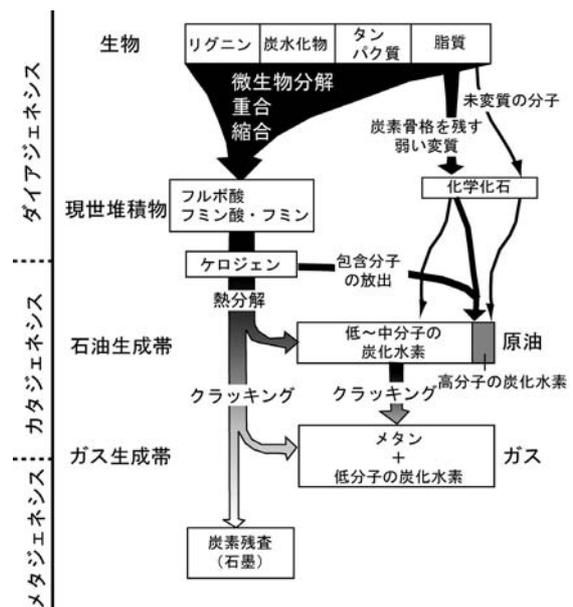


図4 地中での有機物変化についての概念図。(Tissot & Welte, 1978 より)

の上昇に依存している。つまり、より深く埋没した有機物が高い熟成度を示す。現在、ビトリナイト反射率を始めいくつかの指標が存在する。基本的には埋没深度と関係する。

有機物タイプ区分は、Tissot et al.(1974)により、van Krevelen の各石炭組織の化学組成を示す図を元に、根源有機物（この場合ケロジェン）の H/C 原子比と O/C 原子比を軸とした図で評価する方法が示された。図上で、淡水藻類由来のタイプ 1、海棲プランクトン起源のタイプ 2、陸上植物由来（つまり石炭）のタイプ 3 に区分された。この中で石油発生ポテンシャルの高いのは、タイプ 1、タイプ 2 である。いずれも相対的に水素含有量が高い。

日本や中国の石炭を van Krevelen 図上にプロットしたものが図 5 である。中国の石炭では、撫順炭田 (Fushun Coal-field) は、古第三紀始新世に堆積した炭田である。阜新炭田(Fuxin Coal-field)は、中国東北部遼寧省の西部にある白亜紀前期に形成された炭田である。オルドス炭田は、中国の陝西省から内蒙古自治区にかけて広がるオルドス高原地域に分布するジュラ紀の炭田である。

一般に石炭は、タイプ 3 有機物の領域にプロットされることが知られている(van Krevelen, 1961)。白亜紀の阜新炭は、図 5 上でタイプ 3 有機物の領域にプロットされている。オルドスの石炭は、タイプ 3 有機物よりもさらに水素分に乏しい領域に分布している。この原因は、水素に乏しい石炭マセラルであるイナートナイトを多く含むためである。

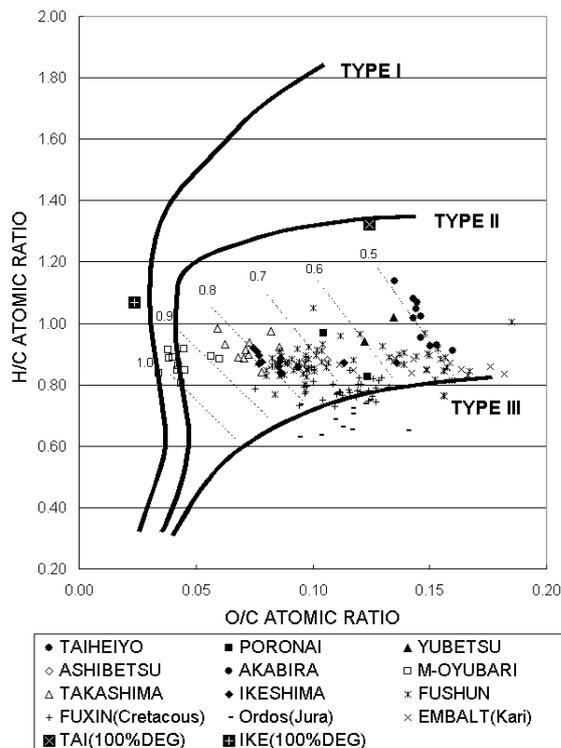


図 5 Van Krevelen 図における日本炭ほかの根源岩ポテンシャル

る。

図 5 に示された日本の石炭は、タイプ II 有機物とタイプ 3 有機物の中間に分布している。一部の石炭試料では、タイプ 2 有機物に近い位置にプロットされる。つまり分析した日本の石炭は、タイプ 3 有機物に、タイプ 2 有機物であるエグジナイトグループの有機物が混合して構成されていると考えられる。このことは、石炭の構成要素である石炭組織（マセラル）組成に反映していることが期待される。日本の石炭には、デグラディナイトと称される特徴的な石炭組織が含まれる。撫順炭田の石炭にも含まれることが確認されている。

鈴木・藤井（1995）で示されたように、純粋なデグラディナイトの化学組成を推定すると明らかにタイプ 2 の性質を示している（図 5 参照）。石炭顕微鏡下での特徴でも、微少な黒い部分（エグジナイト）を多量に含んでいる。これらが油的として石油発生に寄与し、多量のガス生成が起きることは十分予測される。

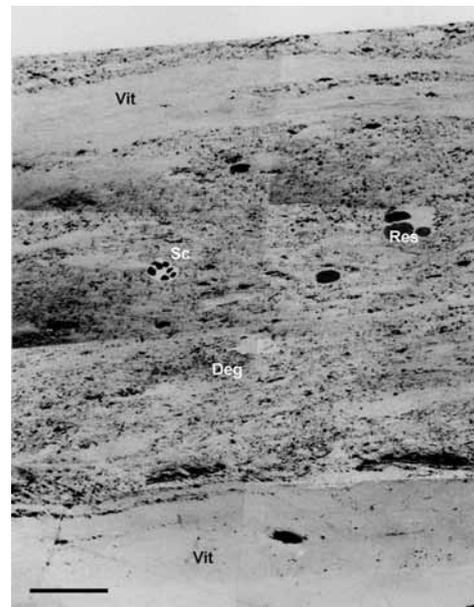


図 6 デグラディナイトを含む部分の石炭顕微鏡写真（反射光）。スケールバーは 100 μm
Vit:ビトリナイト Deg:デグラディナイト Sc:スクレロチナイト Res:レジナイト

4. コールベッドメタン(CBM)の可能性

コールベッドメタン（以下CBM）は、石炭へのメタンガスの吸着作用を利用して、炭層中のガスを回収する。メタンハイドレートと異なり、すでに生産がおこなわれている現実の天然ガス資源である。

CBM の回収の原理は図 7 に示している。石炭に吸着可能最大ガス量は、ラングミュア吸着等温線で規定される。曲線は吸着試験から求める。地下深部の初期ガス圧状態で、吸着している量が初期ガス包蔵量で、これが減圧するに従い矢印のように変化し、最終状態へ変化する。包蔵量の差が放出されるガス量である。一般に、炭層を満たし

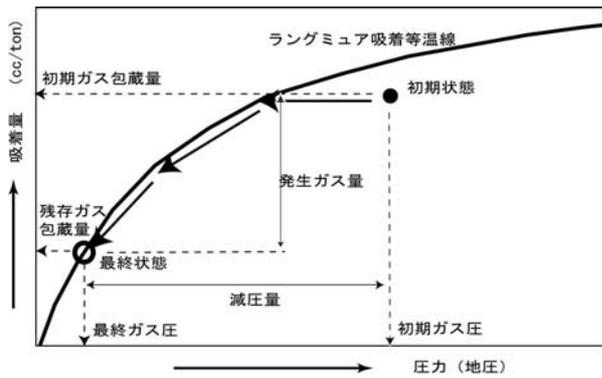
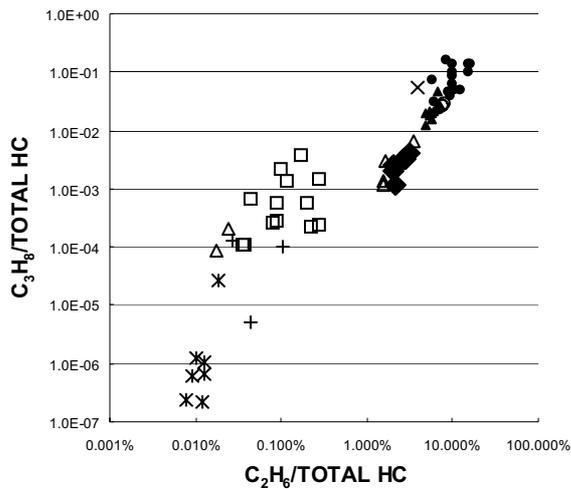


図7 CBM 生産の仕組み

ている地下水をボーリング坑などを用い揚水することにより減圧して、回収している。

CBM の場合、ガスの起源は問わないが深部から連続的にガスが供給される方が、高いガス包蔵量を維持できるため有利であるとされる。現在、もっともおおくの CBM 生産がおこなわれている米国サンファン堆積盆では生産性の高い地域では、深部からのガスの寄与が指摘されており、そのような場所をスイートスポットと称している。

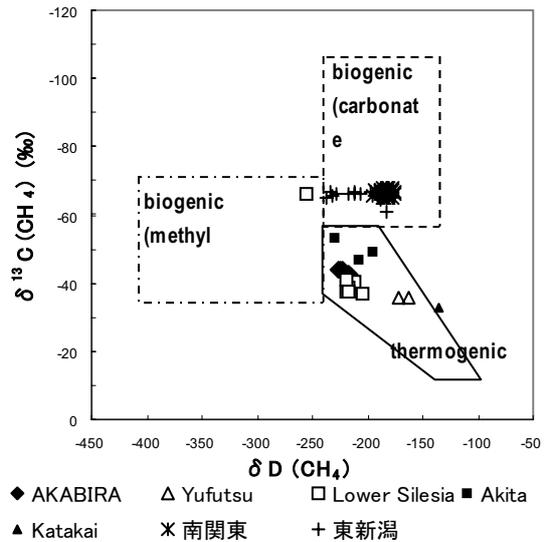
炭田ガスは、一般に炭化水素中のメタン濃度が 99%以上である場合が多いが、地下深部から連続



◆ AKABIRA △ 空知地区 □ 夕張地区 ○ Yufutsu ● Akita
▲ Niigata ✕ Chiba + Miyazaki ✕ Haboro

図8 炭田ガスの炭化水素組成的に供給される場合、深部での熱分解起源の C2(エタン)以上の炭化水素が比較的多く含まれる。サンファン堆積盆場合、C₂+が多く含まれる地域がある。石狩炭田空知、夕張地区の炭鉱ガスの炭化水素組成分析の結果は図8に示したようになる。一部の炭鉱を除いては、エタンが1%以下であるが、赤平炭鉱の2~3%程度のエタンを含んでいる。赤平炭鉱の坑道から流出するCBMの¹³C同位体比、D/H同位対比を測定した結果を図9に示した。赤平CBMの起源が熱分解起源であることを示している。この赤平CBMの結果は、サンファン堆積盆と類似しており、サンファン堆積盆中のスイート

スポット地域が見つかる可能性を示唆している。米国におけるCBMによる天然ガス生産量は表



◆ AKABIRA △ Yufutsu □ Lower Silesia ■ Akita
▲ Katakai ✕ 南関東 + 東新潟

図9 赤平炭鉱CBMの炭素、水素同位体分析結果

2のように急激に増加しており、コロラド、ニューメキシコ両州にまたがるサンファン堆積盆の生産量は約1,000BCFに達している。日本の国内天然ガス生産量が約89BCF(2002年)であることを考えれば、CBMの生産量の大きさが理解できるであろう。

Area	Coalbed Methane Production (Billion Cubic Feet)				
	1997	1998	1999	2000	2001
U.S.	1,090	1,194	1,252	1,379	1,562
Alabama	111	123	108	109	111
Colorado	312	401	432	451	490
New Mexico	597	571	582	550	517
Utah				74	83
Wyoming				133	278
Eastern States (PA, VA, WV)				58	69
Western States (KS, MT, OK)				4	14
Other States	70	99	130		

表2 米国のCBM生産量(EIA統計より)

5. まとめ

我が国は、石炭に関しては大きな資源量を持つ国であり、石炭起源の石油天然ガス鉱床の形成条件でも炭質面で有利である。また、CBMに関しても赤平地区など今後調査、研究する価値のあるフィールドが存在する。生産、輸送面での問題が解決すれば、重要な国内ガスソースとなる可能性を秘めているといえる。

最後にこれまで研究においてご協力いただいた石炭、石油開発各社に対し厚く御礼申し上げます(注：紙面の関係上、参考文献は省略します。鈴木・藤井(2001,石技協誌)を参考下さい)。

メタンハイドレートの地質と資源 Geology and resources of methane gas hydrate

地圏資源環境副研究部門長： 奥田義久
燃料資源地質研究グループ長： 棚橋 学

Deputy Director, Institute for Geo-Resources and Environment: Yoshihisa Okuda
Phone: 029-861-3856, e-mail: okuda.gsj@aist.go.jp
Leader, Fuel Resource Geology Research Group: Manabu Tanahashi
Phone: 029-861-3938, e-mail: tanahashi-m@aist.go.jp

1. はじめに

深海堆積物中および極域の永久凍土層の下に、メタンと水からなる氷に似たメタンハイドレート（以下 MH と略す）が広く分布していることがわかってきた（松本ほか，1994）。純粋な MH は標準状態で体積の約 160 倍のメタンを含む。地球上には膨大な量のメタンが地層中の MH 濃集層中に貯蔵されていると考えられている。現在標準的な MH の推定量は標準状態のメタンの量に換算して $2 \times 10^{16} \text{ m}^3$ であり、炭素換算で世界の在来型化石燃料（石油、天然ガス、石炭）全体の 2 倍にもなるといわれる（Kvenvolden, 1993）。現在の世界の在来型天然ガス資源の埋蔵量は $1.6 \times 10^{14} \text{ m}^3$ 程度と考えられている。

海洋では、太平洋、大西洋、インド洋の大陸縁辺域と地中海、北極海、オホーツク海、黒海、カスピ海等の縁海で、陸域ではシベリア、アラスカ、カナダ等の永久凍土地域等に MH が分布していると推定されている（図 1）。

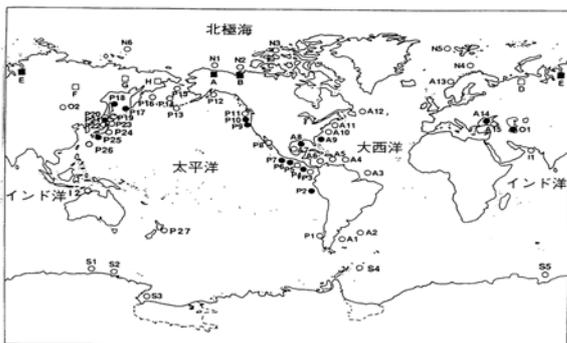


図 1 世界のハイドレート分布図

我が国の周辺海域では南海トラフ海域を中心として分布すると推定されている。メタン量で 10^{14} m^3 程度と見積もられ、そのうち 1/100 から 1/10 が採取可能な資源量として想定され、我が国の現在の天然ガス消費量（ $7.7 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ）の 100 年分程度の MH が資源として存在しているという推定がなされている（佐藤ほか，1996）。

2. メタンハイドレートの特徴

天然に存在するメタンを主としたガスハイドレートをメタンハイドレート(MH)とよぶ。エタン、プロパン等の炭化水素ガス、二酸化炭素、硫化水素のガスハイドレートも天然に存在している。MH の結晶構造の模式図を図 2 に、また相平衡図を図 3 に示す。MH とメタン+水との境界は、異種ガスの存在、イオンの存在などによってシフトする。

ハイドレートは低温高压で安定であり、海域では数℃の温度の海底から深度増加に伴って地温が上昇するため、海底下数百 m の安定領域下限深度より深部では存在できない。

MH は全化石燃料の 2 倍にもなる膨大な量が存在すると推定されているが、実際に存在が確認された例は非常に少ない。その推定は限られた坑井による確認を根拠にして、大胆に外挿して行われたものである。特に海域においては反射法地震探査記録上の BSR (Bottom Simulating Reflector) の分布に基づいて、MH 量を推定していることが多い。BSR は位相が反転している特徴から MH 安定領域の下底面に沿って広がっているフリーガス層の上面からと推定される強い反射面である。

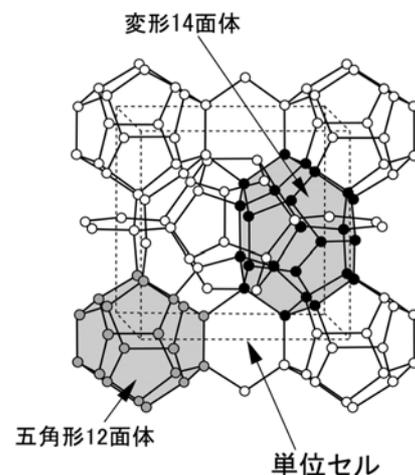


図 2 メタンハイドレートの構造モデル
McMullan and Jeffrey(1965)による。水分子が作る 14 面体、12 面体の中にメタン分子が入る。

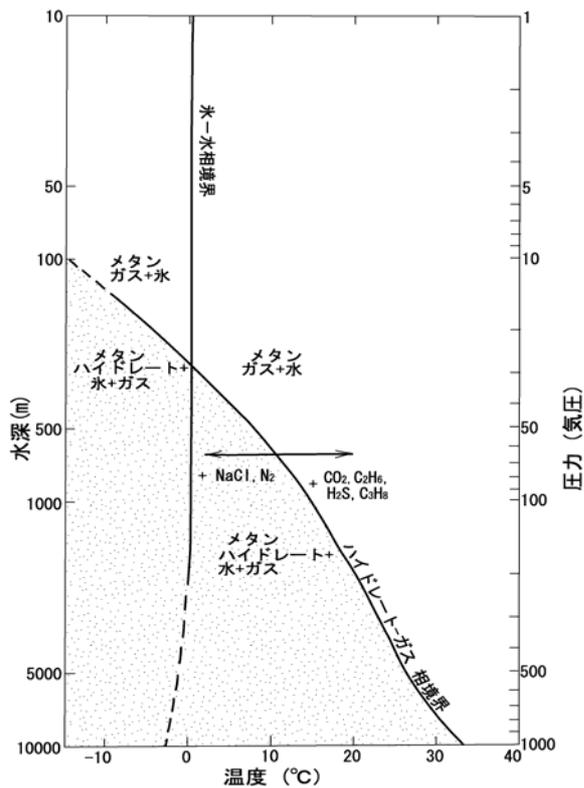


図3 メタンハイドレートの安定領域

BSRの分布がMHの存在に対応しているとしても、BSRはMH層の下限を示しているだけなので、MHの濃集部がどの程度の濃集率でどのような形状で存在するかがわかなければ量の推定はできない。特に海域ではMHの安定領域は海水中から海底下の相平衡になる温度圧力条件の深度までであるが、海底下からある深度までにはMHが無くBSRの上側にMHが濃集している傾向がある。その濃集部の探査は難しい。

3. 海底下の環境とメタンの生成

MHは極地の永久凍土層の分布域と海域の大陸縁辺域に存在する。深海では海底の水温がほぼ一定の2-4℃程度なので、水深400m程度で深の海の下層にはMHが存在する温度圧力条件が存在している。深い海でも大洋の中心部においてはMHの報告や推定がほとんど無い。その主な原因はメタンの生成に不可欠と考えられる有機物が陸地から供給される量が少なくなるためと考えられる。経験上MHの生成には有機物量がTOC(全有機炭素量)で1%以上必要と推定されている。

海域のMHの大部分は微生物起源メタンであるといわれている。微生物起源のメタンの特徴は構成する炭化水素の99%以上がメタンであり、炭素同位体比が低いことである。例外的なMHは、有機物の熱的熟成によって生成された油ガス田に伴うもので、メキシコ湾、カスピ海等のMHの多くは、メタン以外の炭化水素を数%以上含み、メタンの炭素同位体比も高く、深部の油ガス田の貯留

層から断層などを通じて上方へ移動したガスが、ハイドレートの安定領域に入ってハイドレート化したものと考えられる。

基礎試錐「南海トラフ」では海底下浅部では微生物起源のメタンのみが認められたので、MHに入っているメタンも微生物起源と考えられているが、高濃度のMHを作ったとするとその周囲の地層中には有機物量が少なく、ある程度深部からのメタンないし有機物の供給が必要だったと考えられる。

微生物起源のメタンが地下のどこで、どのような環境で、どのように、どの程度生産されているかという問題は現在深部地下生物圏研究の中心的な課題となっている。

メタンを生成する微生物はメタン菌とよばれ、アーケア(古細菌, 始原菌)という真核生物および真正細菌とは別のユニークな生物群の代表的な微生物である。メタン菌には水田や嫌気的な湖沼に住むものなど多くの種類があるがすべてアーケアであり、酸素が存在すると生育できない絶対嫌気性を示す。

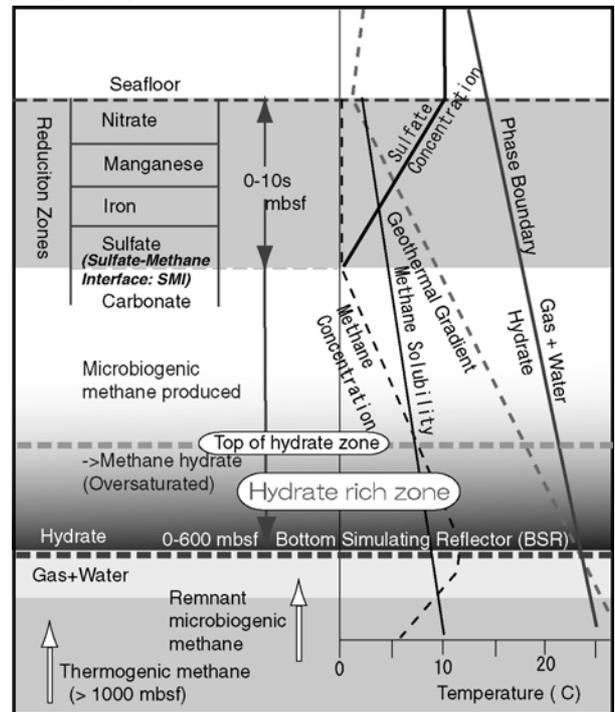


図4 海底下の環境の概念図

MHが存在している海底下の環境を図4に模式的に示して説明する。

溶存酸素を含む底層水に接している海底下浅部の堆積物中では間隙水中の溶存酸素、酸素を含む硝酸や硫酸のイオンや鉄、マンガンなどの酸化鉱物中に存在している酸素が、有機物を餌として分解する底生生物や酸素を用いる微生物によって消費されていく。深度が増して溶存酸素が無くなると鉄還元細菌、硝酸還元細菌などが有機物を餌にしながら鉱物やイオンの酸素を奪っていく。

ある深度以下ではもっぱら硫酸還元細菌が海水起源の硫酸イオンを使って有機物を消費して生育

している。有機物の量が十分でない場合には硫酸還元細菌は硫酸イオンをゆっくり使って海底下数百 m の深部でも生育している。有機物量が多い場合には硫酸還元細菌は海底下浅層部で海水起源の硫酸イオンを消費してしまい、それより深層では生育できなくなる。

一方、メタン菌は硫酸還元菌と同じく酢酸、水素を消費するが、硫酸還元菌より代謝効率が低いために通常は硫酸還元菌と同じ場所では生育できず、硫酸還元菌が住めなくなったより深部で生育する。つまり、間隙水中の硫酸イオンが消費し尽くされ、有機物が十分に残っている深層部がメタン菌の生育に好適な場であるといえる。

間隙水中の海水起源の硫酸イオンが消費し尽くされて、それより下で硫酸還元菌が住めずメタン生成が活発になる深度は、硫酸イオン-メタン境界 (Sulfate - Methane Interface) とよばれる。

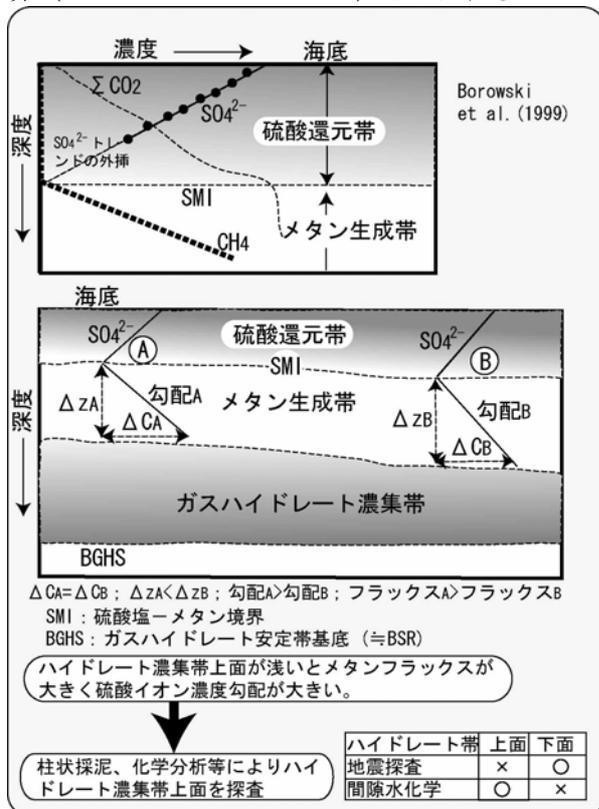


図5 硫酸イオンメタン境界 SMI を利用したメタンフラックス推定によるハイドレートポテンシャル推定手法の概念図 (Borowski et al., 1999)

SMI 深度は供給される有機物が十分であれば海底下数十 m 程度であるが、大洋の中央部では数百 m の基盤に達するまで間隙水中に硫酸イオンが残っていて硫酸還元菌が住んでいるのが普通である。SMI では硫酸還元菌とメタン菌がコンソーシアムを形成してメタンを消費していることが最近明らかにされた。この場合のメタン菌はメタンの生成でなく消費 (酸化) を行っている。酸素が無い嫌気環境でのメタンの酸化なので嫌氣的メタン酸化とよばれている。SMI では特に微生物活動が活発らしく SMI での微生物活動が活発だと硫酸イオン

が消費されて SMI が浅くなっていくと考えられる。最もそのためには消費すべきメタンが存在する必要がある。そのため、下方からのメタンフラックスが大きければ SMI は上昇し、小さければ深くなると考えられる。

間隙水中の硫酸イオン濃度は普通深度に伴って直線的に減少することがわかっており、海底下数 m の範囲の硫酸イオン濃度を測定して、硫酸イオン濃度勾配を求めれば SMI の深度を推定することができる。SMI 深度が下方からのメタンフラックスの大きさを反映している。そしてメタンフラックスの大きさは MH 濃集層の上面の深度を反映している可能性がある。このような考察から、海底下浅層の堆積物を多くの地点で採取して、SMI の深度分布からメタンフラックスの分布を求めることによる、MH の地球化学的な探査法が提案されている (図 5; Borowski, 1999)。

4. 地化学調査

当グループでは、南海トラフにおいて海底堆積物の間隙水中の硫酸イオン分析による SMI 深度分布調査を行い、メタンハイドレート資源ポテンシャルを推定する研究を提案し、東大、北大、広大、高知大の協力を得て地化学探査の研究を実施することになった。2002 年 12 月～2003 年 1 月にかけて、東部南海トラフで第 2 白嶺丸 (図 6) を用いて行われた石油公団の「大水深海域基礎地質調査」に参加し、予察的な調査と分析を実施した。



図6 第2白嶺丸

約 3 週間の第 2 白嶺丸航海 (Leg3-1) 中に 31 箇所ピストンコア (PC 図 7) あるいはグラビティコア (LC) による採泥を試み、30 箇所 1 m から 8 m 長の堆積物コアを採取した (図 8)。最上部 1 m については 10cm あるいは 20cm 間隔で、1m 以深については 50cm 間隔で堆積物より間隙水を搾り取った。得られた間隙水試料は全部で 347 個である。



図7 ピストンコアの採取の様子

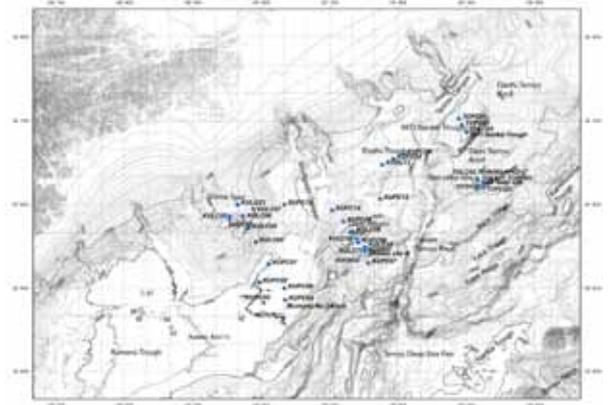


図8 地化学探査航海における試料採取地点

採取した水試料約 150 個について船上でイオンメーターにより硫酸濃度と塩素濃度の測定を行った。

水試料の他に、FPG（ビデオ付きパワーグラブ）で炭酸塩クラスト、炭酸塩チムニーが採取された。第2渥美海丘より得られた厚さ 60cm のクラストは化学合成生物群集の発達と炭酸塩による海底の固結の進行状況を示し、高さ 50cm+, 直径 40cm のチムニーの存在は、メタンのバブルが海底付近まで達して、メタンとともに泥、粘土も吹き出していた可能性を示している。

東海沖南海トラフ前弧海盆地では硫酸濃度の深度変化に地域により大きな違いがあり、前弧海盆に高メタンフラックス域が存在していることが示唆された。

本航海で得られた間隙水化学分析によって、本海域の地質構造単位ごとのメタンフラックスの特徴が明らかになる可能性が示され、今後の本海域のメタンハイドレート資源ポテンシャルを検討する上で重要な情報が得られた。フラックスが大きいと考えられる海丘部において大規模な化学合成生物群集域、炭酸塩クラスト、チムニーが採取され、その活動の様相の一端が明らかとなった。

5. おわりに

さらに海域調査を続けて地化学探査法の確立を目指していく予定である。

MH は大陸縁辺域の大陸斜面を中心に分布し、日本周辺にのみ存在しているものではなく、各地でその存在が確認あるいは推定がなされている。我が国の MH 開発研究の技術開発によって、世界の MH が燃料資源として開発利用できるようになれば、特に開発途上国等の経済的な発展に対して大きな国際貢献となるであろう。

謝辞 本報告の一部は石油公団よりの受託研究「メタンハイドレート資源量評価 地化学探査手法の適用検討評価」の成果である。同公団、大水深調査航海で協力いただいた金属鉱業事業団、深海資源開発（株）ならびに共同研究関係者のみなさまに、深く感謝します。

参考文献

- Borowski, W.R., Paull, C.K. and Ussler III, W. (1999) Global and local variations of interstitial sulfate gradients in deep-water, continental margin sediments: Sensitivity to underlying methane and gas hydrates. *Mar. Geol.*, v. 159, p. 131-154.
- 井尻暁, 角皆潤, 蒲生俊敬, 芦寿一郎, 木下正高, 中村光一(2002) 熊野海盆泥火山における熱分解起源炭化水素ガスの供給. J077-P003. 地球惑星科学関連学会 2002 年合同大会.
- Kvenvolden, K.A. (1993) Gas hydrates - Geological perspective and global change, *Rev. Geophys.*, v. 31, p. 173-187.
- 松本 良, 奥田義久, 青木 豊(1994) メタンハイドレート 21 世紀の巨大天然ガス資源. 日経サイエンス社, 東京, 253p.
- 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, p. 959-971,
- Sloan, E.D.Jr.(1997) *Clathrate Hydrates of Natural Gases*, 2nd ed., 705pp. Marcel Dekker, New York.
- 棚橋 学(2002)メタンハイドレート資源の開発, *物理探査*, 55 巻, p. 403-412.

メタンハイドレートの探査法 Geophysical exploration for natural methane hydrate

(株)地球科学総合研究所： 青木 豊
JGI Inc.: Yutaka Aoki
Phone: 03-5978-8021, e-mail: yaoki@jgi.co.jp

1. メタンハイドレートの探査

メタンハイドレートがどこに、どのような形でどのくらいあるのかを明らかにすることがメタンハイドレート中のメタンとメタンハイドレート層下のメタンガスを資源化する際の重要な課題となる。最終的には坑井掘削によりサンプルの採取と検層により直接検証することが必要であるが、相対的に相当のコストを要する掘削以前にこれらの疑問に答えを与えてくれる方法が物理探査である。事前探査は反射法地震探査が主である他、サイドスキャンソナー、サブボトムプロファイラーなど音波を利用した手法が多い。掘削後には物理検層のほか VSP も有効である。

メタンハイドレートあるいは一般的にガスハイドレートとされる物質の存在が、深海底に天然に存在することが確認されたのは 1960 年代後半である。ラモント地質観測所のグループがブレイクリッジにおいて実施したエアガン調査により、海底面にほぼ平行な強振幅の反射面が発見され、後にテキサス大学の Shipley によりハイドレートの安定領域の下限であることが明らかにされた。BSR と名づけられたこの反射面の物理的背景が明確になったことはメタンハイドレート研究にとっては画期的なイベントであった。以後 BSR はメタンハイドレート存在域を示す指標とされ、メタンハイドレートの形でトラップされているメタン量の計算などに常に使われるようになった。ラモント地質観測所がホライズン Y (BSR) を発見した頃のエアガン調査は単一のエアガンを用い、小容量で記録も固定ゲインのアナログ方式であったが、以後デジタル化、大容量化、マルチチャンネル化が進み、さらに 3 次元化、高分解能化が進んだ現在でもメタンハイドレートの探査にとって有力な武器は反射法地震探査となっている。

図 1 はメタンハイドレートが一部で海底に露出し、ODP の Leg 204 で掘削が行われたカスカディアマージンのハイドレトリッジのサイスミックプロファイルである。位相の反転を伴う明瞭な BSR と BSR が不鮮明化したところにガスチムニーが存在し、ガスチムニーの上部海底面にはピナクル構造があることが分かる。サイドスキャンイメージではピナクルを中心として海底面に反射率の高い部分が広がっている。これらは炭酸塩岩の生

成により強振幅の反射が起きていると考えられている。またサイスミックプロファイラー記録ではハイドレトリッジからガスの気泡が海中に放出される様子が観測されており、局所的に高いメタンフラックスがあり、海底面にメタンハイドレートが露出しているものと考えられている。高いメタンフラックスと急激なメタンハイドレートの生成の結果、排出された高塩分濃度の間隙水は希釈されることなく孔隙中にとどまっているのがハイドレトリッジの特徴である。

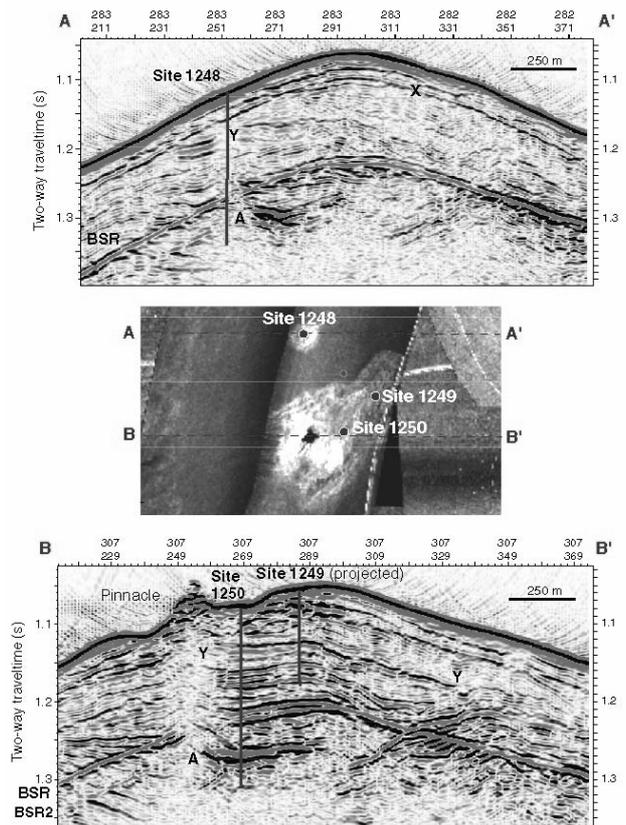


図 1. カスカディアマージンハイドレトリッジの BSR とサイドスキャンイメージ⁵⁾

南海トラフにおいても反射地震記録はメタンハイドレートの特質を良く表している。図 2 は水深と共に変化する BSR である。相図から推定されるように海底から BSR までの深度は水深と共に増加

する。南海トラフ地域においては水深の深い部分では BSR 深度は海底から 500m にもなるが、水深 1000m 付近では二百数十メートルである。

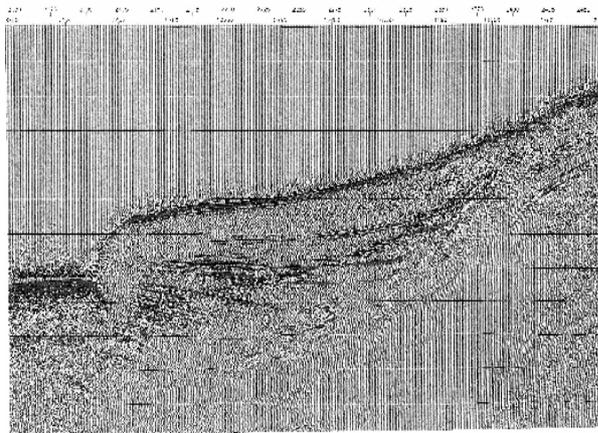


図 2. 水深と共に浅くなる BSR (南海トラフ)

水深が浅くなると BSR はさらに浅くなり、水深約 550m でほぼ海底と一致し、これより浅い水深ではもはやメタンハイドレートの安定領域は存在しない。南海トラフにおいて実施された観測に深海曳航装置“DTAGS”を用いた反射法地震探査がある。震源、受振機とも深海を曳航するもので周波数は 600Hz までのチャープ方式であった。この方式で得られた記録は図 3 で、海面付近でエアガンを使用した記録と比較し、一段と高分解能記録になっていることが分かる。残念ながら周波数帯域（オクターブ幅）が狭く、さらに透過度が BSR 付近までぎりぎりの状態であるが、深海曳航方式の長所を物語っており、今後の改良型の活躍が期待される。

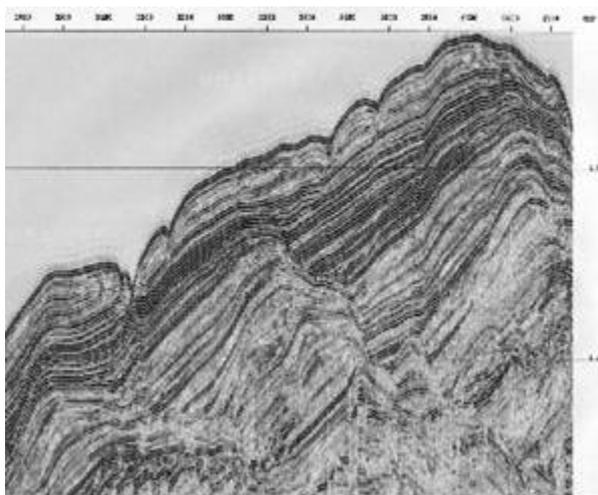


図 3. DTAGS による高分解能記録 (南海トラフ)¹⁾

2. メタンハイドレートの物理検層

サンプルの直接入手がコア回収率に依存し限界があるのに対し、検層では基本的に坑井のすべての範囲にわたって物理データが得られることが特

徴である。カスカディアマージン、ブレイクリッジ、マリック、基礎試錐南海トラフのメタンハイドレート研究坑井を通じメタンハイドレート胚帯層の（相対的）高比抵抗、高地震波速度の特徴より比抵抗検層、音波検層がメタンハイドレート飽和率の計算に、また産状については FMI が有効であることがわかった。これらの検層はいずれも掘削後のワイヤラインではなく掘削時に行われるようになって来ている（LWD）。LWD は検層時間の節約になるだけでなく、孔壁安定性の制限をうけないなど長所が多いが、一方で FMI に相当する RAB (Resistivity At the Bit) は一層の分解能の向上が望まれる。

厳密には検層の範疇には入らないが、VSP もまた坑井内の受振機もしくは震源を用いる点で検層と共通要素をもつ。VSP の重要性は地震記録断面と坑井データの対比を直接可能ならしめることにある。もちろん各種の速度解析の結果により反射面深度は推定され得るが、VSP なくしてはある反射波が深度何メートルからのものか直接検証することは出来ない。図 4 は基礎試錐南海トラフの VSP 原記録であり 1215 メートル付近から BSR の反射が、また見かけ上ダブル BSR となっていることがわかる。VSP データより求めた合成地震記録を用いて地層対比を行うのが通例であるが、時に各種の処理プロセスの影響を受けない原記録まで立ち戻った対比も必要となる場合もある。

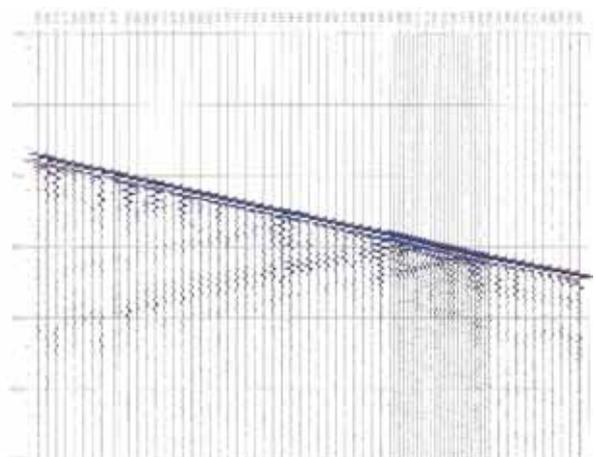


図 4. 基礎試錐南海トラフ VSP 記録

3. メタンハイドレートからの生産 (SABD 法) モニター

将来のメタンハイドレートからのメタンガスの生産手法については現在シュミレーション等により研究が行われているところであるが、カナダのオイルサンドに対して実施されている SAGD (Steam Assisted Gravity Drainage)法はメタンハイドレートガスの生産にとって非常に参考になる。オイルサンドはビチューメンとよばれる超重質油を含んだ砂で、それ自体では流動性を全く持たない。地表付近にありオープンカットで生産が可能であるものを除き、オイルサンドからビチューメ

ンを生産するためには地層の温度をあげて粘性を低くする必要がある。このため電気による加熱やスチームの圧入により生産する試みが長らく続けられてきた。これらの中で SAGD 法は採算性の点で有力な手法と考えられ、実際多くのプロジェクトで用いられている。SAGD 法では上下に数メートル離れた水平坑井をペアでオイルサンド中に掘削し、上の井戸にスチームを圧入する。溶けたビチューメンは重力により下方に移動し、下の坑井から生産されるわけである (図 5)。メタンハイドレートはオイルサンドと多くの共通点を有している。すなわち共に原位置では固体であり、分解のためには熱の供給が必要となる。また一旦分解した後では炭化水素は重力の影響を受ける。もちろんメタンの場合は浮力となる。したがってメタンハイドレートの場合にもし実用化されるとすれば SABD (Steam Assisted Buoyancy Drainage)法とも呼ぶべきかもしれない。オイルサンドの場合 SAGD 法の成否を決めるファクターの一つに如何に 3 次元的にオイルサンド層を把握するかがある。オイルサンド層は基本的に砂層であるがその砂層の分布は一様ではない。フラクチャーの発達も方向性がある。SAGD 坑井を最適化しつつ掘削するためには砂層の分布を的確に把握する必要がある。資源化の対象となるメタンハイドレートも砂層中に胚胎するものと考えられ、高分解能 3 次元調査等が必須となるであろう。また生産時のメタンハイドレート層の挙動を 4 次元的にモニターすることも重要になってくると思われる。

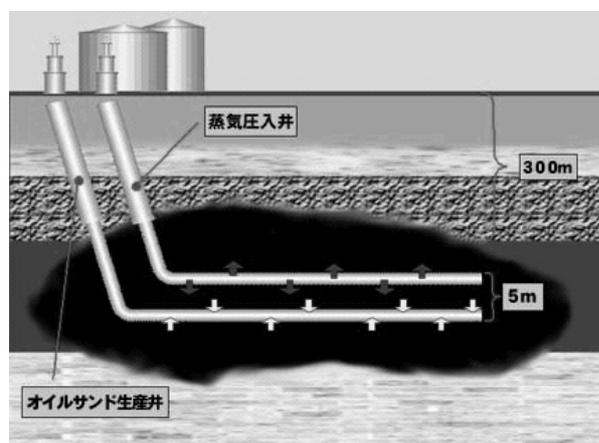


図 5. SAGD 法概念図 (JAPEx)

4. メタンハイドレート引き金仮説と物理探査

現在の大気総量 5.3 ペタ (5.3 x 10¹⁵) トン中には約 1.7ppm のメタンが含まれその総量は大略 50 億トンである。年間約 5 億トンのメタンが大気中に放出されほぼ同量が酸化されて消滅しているが、年々増加の傾向にあるとされている。IPCC2001 年の報告書によれば現在の主な発生源は湿地、反芻動物、シロアリなどであり、メタンハイドレートの分解に伴うメタンの放出量はわずかと推定され

ている。一方南極やグリーンランドの氷床コア分析により過去数十万年間の気候変動 (温度) とメタンおよび二酸化炭素濃度の変化が詳しく求められるようになった。さらに最近では ODP 等で採取されたコア中の炭素同位体の測定により、温暖期のプランクトンや底棲有孔虫の遺骸は非常に軽い炭素同位体比を示すことが明らかになった。現世のメタンハイドレートのほとんどは -60~-90 パーミルの軽い炭素同位対比を示しており、熱分解ガスとの区別の指標となっている。Kennett 等は温暖期でメタン濃度が高い時期の底棲有孔虫などが軽い炭素同位対比を示すことから、温暖期にはメタンハイドレートが分解し大量のメタンガスが海洋さらには大気中に放出され、一層温暖化を加速したと考えた。これを "Clathrate Gun Hypothesis (ハイドレートガン仮説)" という。メタンハイドレートの分解が温暖化のトリガーになったという意味がこめられている。ここでは本仮説の詳細には立ち入らないが、仮説ではメタンハイドレートの放出は現在観測される拡散や湧出ではなくカタストロフィックな急激なものであったとしている。ちなみに現在海底より海水中に移動するメタンガスは海洋においてほとんどが溶解、酸化を受け大気中に放出するまでには至っていないとの考えが大勢である。ともあれ地質学的には海底斜面の崩壊の証拠は世界の各地で報告されており、有名なものでは北海ノルウェー沖の Storegga 海底地滑りやブレークリッジにおける陥没地形がある。いずれもメタンハイドレートの賦存域でメタンハイドレート下にフリーガスが蓄積し、異常高圧になると共に海水準低下や地震のトリガーが働き海底斜面が崩壊、大量のメタンが海洋ひいては大気中に放出されたとされている。

第四紀後期の気候変動とメタンハイドレートの急激な分解とメタン放出とが相関していたとすれば、必ず海底地形にその痕跡が残っているはずである。これらの検証には物理探査による斜面崩壊地点の詳細な分析と海底地質分析の併用により、正確な発年代決定が必要になる。すなわち反射法地震探査による BSR の分布や崩壊地形の特定その他、音波を使用したサイドスキャンソナーによる海底面の地滑りや崩壊地形の調査が重要となる。SBP による泥火山やガスの湧出の観測、ピストンコアラーによるサンプル取得も重要になる。南海トラフにおいても BSR の発達する地域において斜面崩壊の証拠がサイドスキャンソナーや反射法地震探査によって発見されているが、崩壊に伴いどれだけのメタンガスが放出されたかについては明らかではない。南海トラフにおけるメタンハイドレートメタンの量は略 6 兆立米、すなわち約 43 億トンである。仮に南海トラフのメタンハイドレートが斜面崩壊によって分解し大気中に放出されることがあれば現在の大气中のメタン濃度はほぼ倍増する。南海トラフは特別ではなく、大量のメタンハイドレートが賦存する地域は世界各

所にある。ハイドレートガン仮説は少なくとも量的には真実足りえるのである。これまでの大気・海洋炭素循環モデルではメタンハイドレートの役割はほとんど考慮されてこなかったが多くの研究者が今ハイドレートに注目しつつある。

5. 今後の課題、インテグレーションの重要性

冒頭に掲げたメタンハイドレートがどこに、どのような形でどのくらいあるのかを明らかにするという課題に対し、物理探査的手法は相当の手がかりを与えてくれるが定量的な問題に対しては現在まだ限界があるといわざるを得ない。一つはサイスミック的な手方が本質的に持つ波長以下の分解能の限界であり、他方はメタンハイドレート飽和率を論ずる例のようにパラメータの多さからくる不確定さの限界である。これらは坑井データやサンプルから得られる情報によりキャリブレーションを行うことが可能であって、単なる物理探査的手法のみならず各種データをインテグレートし総合的に分析することが重要であることを示している。このことがひいてはまた物理探査データの有効利用につながることになり、坑井データの蓄積が期待される。

参考文献

- 1) Asakawa, E., Ward, P. and Shimizu, S. (2003) High resolution deep tow seismic survey to investigate methane hydrate bearing sediments, Nankai trough, offshore Japan. Proceedings of OMARC.
 - 2) IPCC, 2001, Climate change 2001: The scientific basis.
 - 3) Kennett, J. P., Cannariato, K. G., Hendy, I. L., and Behl, R. J. (2002) Carbon isotopic evidence for methane hydrate instability during Quaternary interstadials, *Science*, v. 288, p. 128-133.
 - 4) Kennett, J. P., Cannariato, K. G., Hendy, I. L., and Behl, R. J. (2002) Methane hydrates in Quaternary Climate Change, The clathrate gun hypothesis, American Geophysical Union, Washington, DC.
 - 5) Leg 204 Shipboard Scientific Party, 2002, Leg 204 preliminary report ; Drilling gas hydrates on Hydrate ridge, Cascadia continental margin.
 - 6) 清水祥四郎, 田中智之, 2002, 南海トラフにおけるBSRとメタンハイドレート, 物理探査, 55, 425-433.
 - 7) Takahashi, H., Yonezawa, T., Takedomi, Y. (2001) Exploration for natural hydrate in Nankai-Trough wells offshore Japan, Offshore Technology Conference. Paper No. OTC13040.
-

メタンハイドレート生産手法開発と浸透率の評価 Mining Technology and Permeability Evaluation in MH21 Project

地圏環境評価研究グループ長： 駒井 武
Geo-analysis Research Group: Takeshi Komai
Phone: 029-861-8795, e-mail: koma@ni.aist.go.jp

1. はじめに

海底下の堆積層に存在するメタンハイドレート（以下、MH）を安全かつ効率的に生産するためのMH21プロジェクトが開始されている。メタンハイドレート層からの天然ガス生産レートは、メタンハイドレートを含む堆積層及び周辺の地層の特性と分解条件に支配されることがこれまでのシミュレーションの結果から予測されている。このため、生産手法の開発にあたっては、ハイドレートを含む堆積層の性状についての十分な理解が不可欠となる。また、メタンハイドレートの分解による回収では、熱の移動およびガスや水の移動を伴う。その結果、堆積層の骨格構造自体の変化とそれに伴う各種特性の変化が十分予測される。このように、メタンハイドレート層からの天然ガス生産は、堆積層自体の変化を伴うものであり、生産性を予測するためのシミュレータ開発においては、より正確な現象のモデリングと刻々変化する生産対象の堆積層の特性値を反映していく必要がある。さらに、すでに提案されている生産手法（減圧法、熱刺激法、インヒビター圧入法）に加えて、斬新なアイデアによる生産方式を提案し、より効率的な生産手法の開発に取り組んでいく必要がある。

これらの観点から、MH21プロジェクトの生産手法開発分野においては、1)堆積層の態様解明、2)分解動特性の解明、3)生産シミュレータの開発、および4)分解・採取手法の開発の研究項目を実施している。

ここでは、上記の研究開発のうち、生産手法開発に必要な生産シミュレータの開発および生産に最も大きな影響を与える浸透率の評価に関する解析的、実験的研究について述べる。

2. MH21 プロジェクトの生産手法開発

2.1 MH 基礎特性のモデリング

砂質堆積層の孔隙にメタンハイドレートを含む地層（以下、MH堆積層）の持つ基礎物性、物理的な構造、力学的性質などの諸特性を解析・評価する。また、ハイドレートを含む堆積層の性状を明らかにし、生産シミュレータのパラメータを取得するための取り組みを行っている。さらに、MH堆積層分解時の孔隙スケールから堆積層全体にわた

る挙動をモデリングするために、模擬MH堆積物などを使用した分解時の物質・熱移動現象の解析・評価を実施している。そのため、堆積物に拘束圧が負荷された状態において、圧力勾配、温度勾配条件下で、堆積物中メタンハイドレートの分解速度を測定・解析する技術、イメージング計測による流れを観測する技術、分解に伴う機械的特性変化を把握するための遠心力载荷試験評価、MH堆積層の浸透率特性および圧密現象のモデル化等の研究開発を重点的に行っている。

2.2 生産シミュレータの開発

MH堆積層の有する特性と分解時の諸現象のモデリングに基づいて、生産挙動を予測するために、既存のプロトタイプシミュレータの改良・強化を図るとともに、生産性を評価する上で重要な分解速度、圧密挙動及び浸透率を数値的に記述する計算モジュールの開発、並びにサブモジュールを統合して評価する取り組みを実施している。サブモジュールとしては、1)分解速度評価モジュール、2)圧密挙動評価モジュール、および3)浸透率評価モジュールの開発を行っている。

具体的には、以下のような実験的、解析的な検討を進めている。

分解速度評価モジュールでは、ハイドレート中に含まれるメタン以外の微量ガス成分の存在を考慮した分解開始条件サブモジュールを作成した。また、定積条件下におけるハイドレートの分解曲線と三相共存線との関係について実験的に検討した。また、ハイドレート層を含む地層の広がり影響を把握するため、垂直二次元の圧密挙動評価モジュールの構築を行った。本評価モジュールの入力用パラメータ取得のため、砂を用いた模擬MH堆積物試料の室内試験を実施し、変形係数等の特性を測定・評価した。さらに、浸透率評価モジュールでは、メタンハイドレート堆積層におけるメタンガスと水の流動現象を再現する数値解析手法として、飽和流動条件における熱・物質移動を伴う浸透流解析手法を開発するとともに、流動特性シミュレータ装置を用いて、浸透流解析に必要な絶対浸透率、相対浸透率、ハイドレート飽和率、孔隙率等の各種パラメータを測定・評価した。

浦), 110 μm (7号), 70 μm (8号) である。

3. 浸透率の評価

3.1 浸透率評価モジュールの開発

現在考案されている MH 貯留層からのガスの回収法には減圧法, 熱刺激法, インヒビター圧入法等が挙げられるが, これらの回収法はいずれも原位置で MH をガスと水とに分解させてガスを生産する方法であり, 貯留層においては以下のような複雑な物理現象を伴うことが想定される。

- (1) MH の分解に伴う固体部分の消失に起因して, 貯留層の孔隙率や浸透率が非定常的に変化する。
- (2) 分解により生成したガスおよび水は, 岩石と MH により形成された媒質における見かけ孔隙内を流動する。
- (3) MH の分解に伴う吸熱反応, 流体の流動に伴うエンタルピーの移動, 熱伝導等により貯留層の温度が変化する。

MH 貯留層からのガスの生産性を評価するためには, 上記の物理現象を加味した生産シミュレータを開発し, パラメータスタディを実施することが必要不可欠である。そのためには, まず個々の現象を室内実験より明らかにすることが重要である。本研究では, MH 貯留層を模擬した多孔質体内での MH の生成・分解, および浸透率の変化に関する実験を行い, その結果を評価・解析する。

3.2 MH の生成・分解特性の観察

本研究では海底堆積層の性状に類似している砂および珪砂を用いて, MH の生成・分解特性に関する基礎的な検討を行った。その手始めとして, 粒度の異なる 3 種類の砂を用いて作成したサンドパックを用い, 多孔質体における MH の生成・分解挙動に関する物理現象の把握を試みた。

実験方法

本実験では, ステンレス製管型容器(内径 50mm, 長さ 200mm, 耐圧 15MPa) 内に砂, 水およびメタンガスを充填し, 孔隙内に MH を生成・成長させたものを模擬 MH 貯留層 (以下, サンドパック) とした。

MH の生成はバッチ系にて行い, 不動水状態 (砂粒子に水が付着して移動性のない状態) のサンドパックに高压のメタンガスを導入し, 不動水に対してメタンガスを反応させ, MH を生成させる。なお, ガス圧入終了時点での装置圧力, すなわち生成のための初期圧力を 5, 7.5, 10, 12.5MPa の 4 段階にわたって変化させ, 生成に及ぼす圧力の影響を検討するとともに, サンドパック MH 飽和率を変化させることとした。

MH がある程度成長した後に, 室温の温水を一定流量で圧入して MH を分解させ, それに伴うサンドパックの温度分布の変化を観察した。

実験には, 豊浦標準砂, 7号珪砂および8号珪砂 (以上北日本珪砂 (株) 大石田鉱山産) の 3 種類の砂を用いた。その平均粒径はそれぞれ 200 μm (豊

実験結果と考察

(1) 多孔質体における MH の生成挙動

図 1 は, 一連の実験の MH 生成点をプロットしたものである。比較のために Sloan¹⁾によるプログラムを用いて計算した平衡曲線も示す。生成点については若干のばらつきがあるものの, 砂の粒度に依存せず, 平衡曲線より 3~5°程度の過冷却により生成が開始されるという結果が得られた。

一方, その成長挙動には砂の粒度に起因した著しい違いが認められた。図 2 は初期圧力を 10.0MPa とし, 異なる砂を用いた場合の温度・圧力挙動を示したものである。

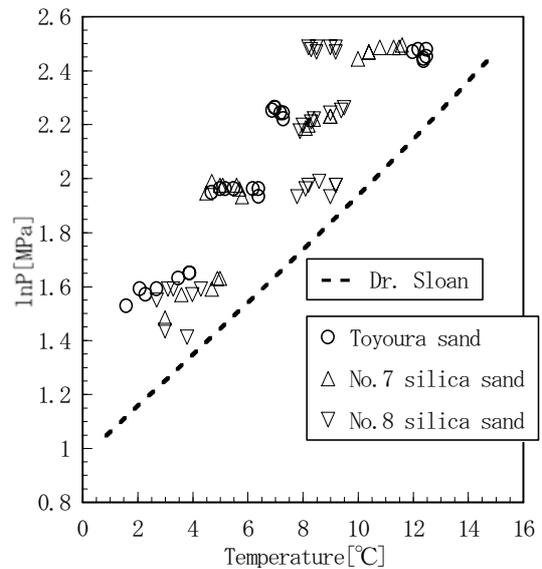


図 1 MH 生成開始の温度と圧力の関係

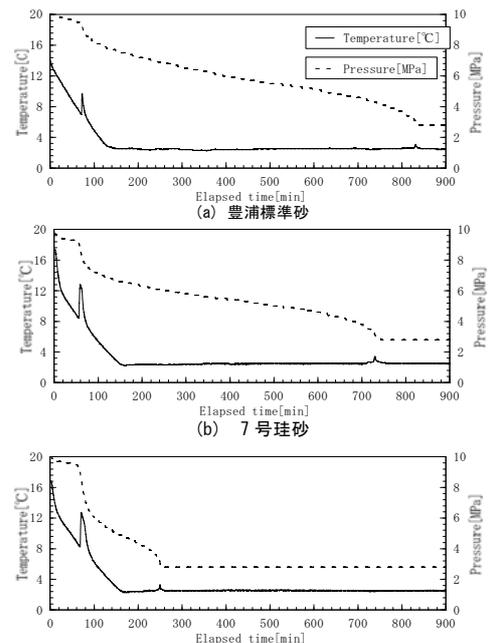


図 2 MH 生成時の温度・圧力挙動

図 2 によれば、どの条件についても冷却開始から約 80min 経過し、サンドパックの温度が 7°C に達した段階で、MH の生成に伴う温度上昇と著しい圧力低下が観察された。その後、MH の成長により圧力は徐々に低下していき、最終的にサンドパックの温度に対応した MH の平衡圧力に収束する。しかし砂の粒度が細かいほど、成長に伴う圧力の低下が著しく、平衡圧力に達する（成長が終了する）のに要した時間はそれぞれ 840min（豊浦）、730min（7号）、260min（8号）という違いが認められた。

(2) 温水圧入による MH の分解挙動

図 3 に温水圧入時の温度分布の変化を示す。温水の圧入開始より徐々にサンドパックの温度は上昇し始め、約 80min 経過した時点で、背圧弁により制御される実験圧力 10.0MPa に対応した MH の平衡温度 13.7°C に到達する。平衡温度に達した時点でしばらくの間一定温度に保持されているが、このことは MH の分解反応が起こっており、吸熱によりそれ以上の温度上昇がないことを示唆している。その後は、上流側より平衡温度から逸脱し圧入温水の温度まで上昇していく。平衡温度からの逸脱は MH の分解の終了を示すものであり、その位置を境にしてサンドパックを分解域と既分解域の 2 つに区分することができる。砂の粒度による違いとしては、粒度が粗いほど、サンドパックの下流部分の温度上昇が早い段階から開始され、結果として分解が早期に終了する。

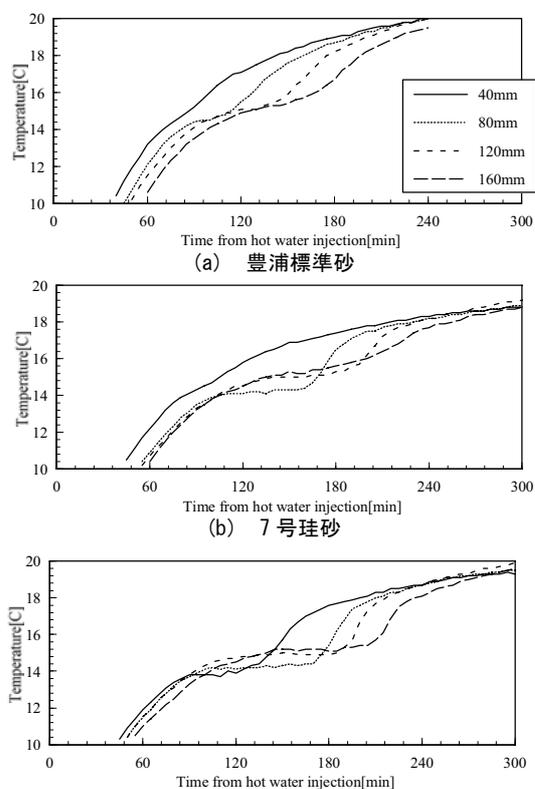


図 3 MH 分解時の温度分布の経時変化

3.3 浸透率評価のための基礎的検討

浸透率評価モジュールの基本的要素であるハイドレート飽和率と有効浸透率の関係について実験的および解析的な検討を行った。

実験方法

実験では、3.2と同様なステンレス製円筒状容器内に砂、水および高压ガスを充填し、孔隙内にハイドレートを生成・成長させたものを MH 貯留層とした。ある程度ハイドレートの成長が進行した後に、一方の端より約 0.1m の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有効浸透率を算出した。また、その測定結果から、ハイドレートの存在状態（MH 飽和率）と気-液混相状態における相対浸透率を推定した。

実験結果と考察

(1) 絶対浸透率の測定と評価

サンドパックの MH 飽和率は、ガスの占める孔隙容積とハイドレート成長時の装置圧力の変化から、およそその値を算出した。図 4 に示すように、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、MH 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。とりわけ低飽和率域において減少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。

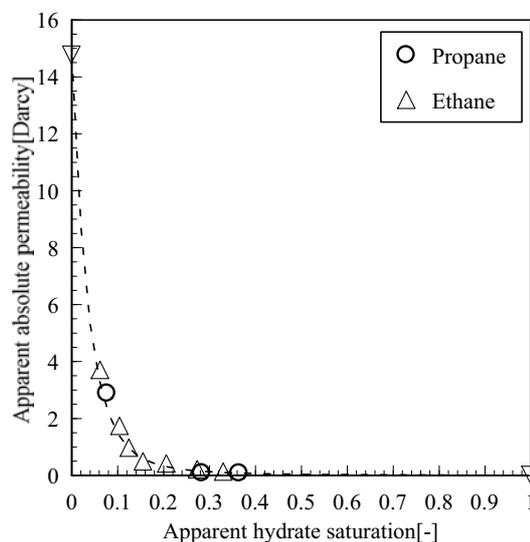


図 4 ハイドレート飽和率と有効浸透率の関係

さらに実験データを基に、MH 飽和率の関数として有効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²⁾を参照し、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。

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

$$N = 285.63S_H^6 + 885.41S_H^5 - 1048.9S_H^4 + 563.76S_H^3 - 92.81S_H^2 - 46.911S_H + 27.023$$

(2) MH 分解に伴う浸透率の変化

図 5 に温水圧入時のサンドパックの差圧，見かけの有効浸透率の経時変化を示す．温水の圧入の開始とともに，サンドパックの温度は徐々に上昇していくが，温度が 13.5°に達した時点から，著しい差圧の低下が観察された．このことはハイドレートの分解が開始されたことを示唆しており，13.5°という温度は実験圧力（10MPa）に対応したメタンハイドレートの平衡温度に相当する．

また有効浸透率の変化は差圧の変化と相関があり，分解の進行に伴い，分解前の 0.7Darcy から徐々に上昇していく挙動を示した．さらに分解が終了した時点では約 12Darcy であり，孔隙内にトラップされたガスの存在に起因して，元のサンドパックの 19Darcy（絶対浸透率）よりも若干低いものの，ほぼ初期状態を回復している．

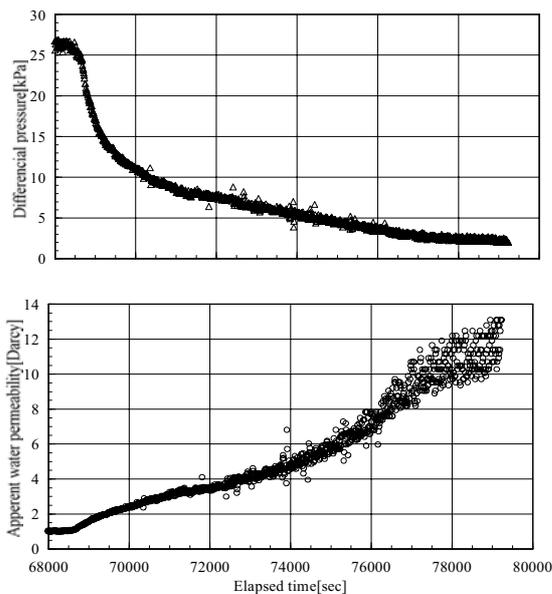


図 5 MH分解時の差圧と浸透率の変化

4. 今後の方針

MH 飽和率の関数として有効浸透率の定式化を進めるとともに，分解時の相対浸透率の変化について検討を行う．これにより，浸透率評価モジュールを作成し，生産シミュレータに反映する．

参考文献

- 1) Sloan, E.D. (1998) *Clathrate Hydrates of Natural Gases. Second Edition, Revised and Expanded.*
- 2) Masuda, Y., et al, A field-scale simulation study on gas productivity of formations containing gas hydrates. *4th International Conference on Gas*

メタンハイドレート生産に伴う地盤変形挙動について Ground deformation due to development of methane hydrate

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: 029-861-8203, e-mail: aoki-kazuo@aist.go.jp

1. はじめに

2002年、カナダ北部マッケンジーデルタの地下約1,200mの坑井において、天然メタンハイドレート(MH)をメタンガスへ分解させ、地上で燃焼させることに成功した。これによって、資源としてのMHが現実味を帯びるものとなった。MHは、わが国周辺にも多量に賦存することが予想されており、生産技術の開発等を目的とした国家プロジェクトも2001年度より始まっている。しかし、自然は一度破壊されると、元の状態まで戻すことは非常に困難であるため、MH開発に当たっては環境への影響をできるだけ少なくしなければならない。特に、地盤は不可逆的な性質が大きいため、MH生産時における地盤変形挙動に係る研究等が不可欠である。

ところで、メタンガスに関連した地盤変形として最初に思い出されるのは、水溶性天然ガス採取に伴う地盤沈下である。新潟ガス田や千葉県を中心に広がる南関東ガス田などがその舞台であった。新潟ガス田では年間50cmを超える沈下量が記録された時期(1959年)もあり、地表構造物などは種々の影響を蒙った。メタンを主成分とするガスを溶解した地下水の過剰な汲み上げがその原因であり、地表構造物の亀裂・損壊、井戸の枯渇・抜け上がりなどが主な影響である。標高が低い地域、いわゆる海拔ゼロメートル地帯では豪雨時における水害発生の恐れや排水不良などの問題もあった。また、これら地盤沈下は、典型七公害の1つであるが、騒音など他の公害とは異なり、現象が認識されるまでには長い時間を要し、しかも、発生原因である地下水汲み上げを中止しても影響が残ることが多く、問題はいつそう深刻であった。しかし、地下水汲み上げ規制や汲み上げた地下水を地下へ還元するなど、官民一体となった対策が取られたため、現在では、地盤沈下の問題は沈静化している。水溶性天然ガス田では、地下水の過剰な汲み上げ→地下水位低下→地盤沈下の発生→構造物などへの影響という一連のものであるが、地下水位低下が地盤沈下の原因であるということは、有効応力則によって説明することができる。飽和した地盤では、有効応力=全応力-間隙水圧(中立応力)の関係(有効応力則)が成り立ち、地下水採取に伴う地下水位(間隙水圧)の低下は、全応力に変

化がないとすると、結果として有効応力の増加となり、地盤沈下の原因となる。MHを含む海底地盤もとうぜん有効応力則に従って挙動すると考えられ、水溶性天然ガス田の場合と同じように地盤沈下等を生じる可能性がある。これからも、MH生産時における地盤変形挙動に係る研究の必要性等が理解できる。

2. MH生産時における地盤変形等の発生原因

MHの開発手法として、熱刺激法、減圧法、インヒビター注入法等が考えられている。これらの外的要因、具体的には、MH層への熱水注入、MH層の圧力低下、MHの分解、MH分解に伴って生じる水等が地盤変形の発生原因となる。従って、地盤変形予測のための解析プログラムも、これらの要因をすべて考慮できるものでなければならない。

3. 地盤変形の予測手法

地盤変形の予測手法は、2つに大別することができる。その1つは模型実験である。模型実験は、実物と模型との間の相似性や重力に相当する力の模型への与え方に工夫を要するなどの難しい面もあるが、模型の変形や破壊現象を連続して観察できるなど、長所も多い。従って、これまで各種の模型実験が行われている。MH生産に伴う地盤変形を調べるため、現在、実施あるいは実施が検討されているものとして、遠心模型実験や外力負荷模型実験などがある。

○外力負荷模型実験：模型の境界にジャッキや空気圧などによって外力を負荷し、実物に相当する応力を模型内に発生させる実験である。

○遠心模型実験：模型をアーム先端に取り付けて回転させ、回転によって生じた遠心力により重力と同じ効果を模型に与える遠心場の実験である。近年では軟弱地盤を対象とした実験に多く用いられた。

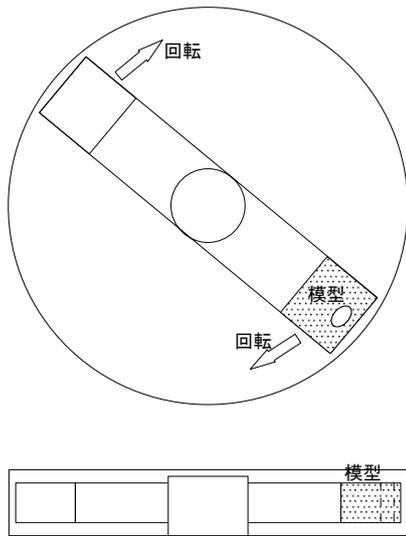


図1 遠心模型実験原理(上：平面図，下：立面図)

表1 重力模型および遠心模型の相似則

物理量	重力模型	遠心模型
長さ	$1/n$	$1/n$
面積	$1/n^2$	$1/n^2$
体積	$1/n^3$	$1/n^3$
単位体積重量	1	n
自重	$1/n^3$	$1/n^2$
応力	$1/n$	1
ひずみ	$1/n$	1
変位(全体変形)	$1/n^2$	$1/n$
時間(拡散)	$1/n^2$	$1/n^2$

*実物の諸量が1

模型実験によって地盤変形を定量的に検討するには、縮尺を始めとした各種物理量の実物と模型との関係、相似則を満足させることが必要である。表1に、縮尺 $1/n$ 模型に対する通常重力模型および遠心模型の相似則を示す。これから、遠心模型実験では、縮尺 $1/n$ で単位体積重量 n の模型に n 倍の遠心力を与えると模型に生じる応力とひずみは実物と同じ、変位は実物の $1/n$ 、時間は $1/n^2$ になることが分かる。特に、時間は実際の $1/n^2$ であるため、圧密現象などのように、現象が収束するまでに長い時間を要する場合には、短時間で実験が終了することになる。例えば、縮尺 $1/100$ の模型に $100G$ の遠心力を作用させると、 10000 日の現象が1日で終了することになり、実験時間の短縮となる。一方、模型に生じる変位は実際の $1/n$ と小さくなるため、高い精度の計測方法が必要である。

地盤変形予測手法の他の1つは、解析的なもの、数値解析である。コンピュータの発達に伴って著しく進展し、精度の高い予測も可能となっている。近年はこれが主流で、地盤変形を対象としたものでは有限要素法が一般的である。現在では、応力解析、浸透流解析、圧密解析等の汎用的な有限要素解析プログラムも市販されている。しかし、解

析に当たっては注意すべき点も多い。それらは、
 (1) 地盤の構成モデルとその材料定数の決定法
 (2) 対象地盤の境界条件と初期状態の把握
 (3) 解析結果の評価
 などである。

4. 有限要素法による地盤変動解析

MH生産時には、MHを含む地盤は気液固3相状態であること、MHの生成・分解に伴う相変化、圧力・温度変化等の現象等を伴う等、その系は非常に複雑である。従って、MH生産時における地盤変形を高精度で予測するためには、地盤の骨格・水・気体そして熱を連成した解析が必要である。しかし、今回は、減圧法を対象とした解析であるため、次の仮定に基づき解析を実施した。

- (1) 地盤は固液2相状態、空隙は水で完全飽和されている。
- (2) 地下水の流れ(浸透流解析)と応力解析とを連成する。

解析には、多次元圧密問題の定式化でよく知られている Biot の2相混合体理論を適用した。これは釣合い式、有効応力則、連続式と Darcy 則、線形弾性体の構成関係からなる偏微分方程式で構成されている。

1) MHを含む地盤等の力学特性

図2は、MHを含む試料(MH分解前)とMH分解後の試料を用いた三軸圧縮試験結果*である。これによると、MH分解後の試料は、最大強度がMH分解前のその約 $1/8 \sim 1/20$ 、また、弾性係数(直線部分)は、MH分解前のその約 $1/4 \sim 1/8$ へ減少することが分かる。しかし、原位置から採取されたMHを含む試料が少ないこともあり、詳細なデータが揃っていない。特に、応力-ひずみ関係等の力学特性に係るデータは極めて不十分であり、さらに多くのデータ蓄積が必要である。

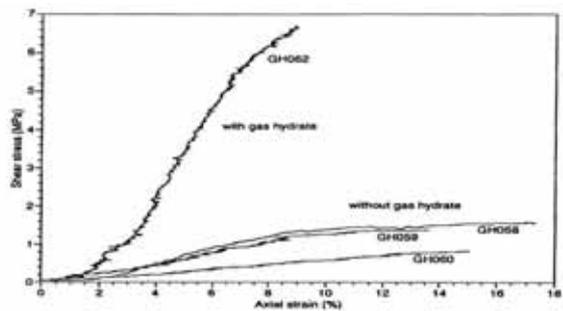


図2 MHを含む試料等の三軸圧縮試験結果

2) 要素分割図および入力データ

図3は解析に用いた要素分割図である。2次元の軸対称解析を行い、図は坑井坑井の右半分である。表2は解析に用いたMH層等の基本的な物性値である。

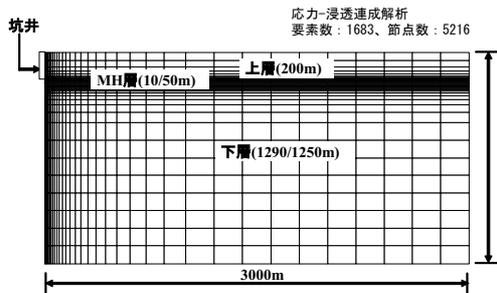


図3 要素分割図

表2 解析に用いたMH層等の物性値

	単位 体積重量 (kN/m ³)	弾性 係数 (MPa)	ポア ソン 比	浸透率 (mD)
上層	17	2500	0.3	0.01
MH層	13	1100	0.3	10
下層	20	5200	0.3	0.01

3) 解析結果および考察

解析では、表2に示す入力データを基本としてMH層の浸透率等の違いによる地盤変形への影響を検討した

図4は、坑井での圧力低下後80,000日経過した時の間隙水圧分布である。圧力低下の影響を受けている範囲は、坑井からたかだか700m程度であることが分かる。この圧力低下が、地盤変形を生じる原因となる。

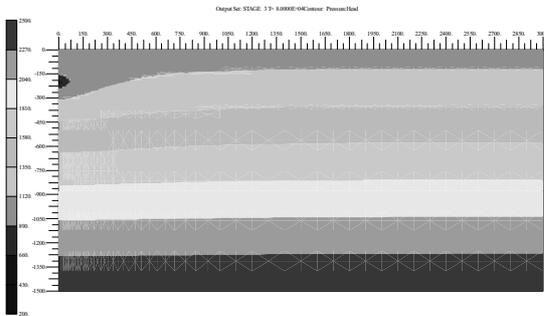


図4 間隙水圧分布

図5、坑井の位置でのMH層上部における垂直方向の変位量（沈下量）の経時変化で、MH層の透水性を変化させた場合の結果である。MH層の透水性が増すことによって、MH層の沈下量が増加すること、また、沈下安定までの時間が長くなること等が分かる。

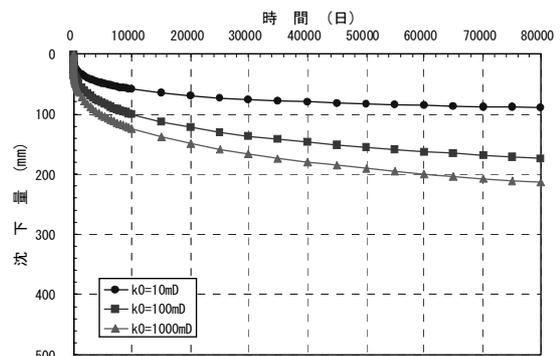


図5 MH層上部における垂直方向変位量の経時変化

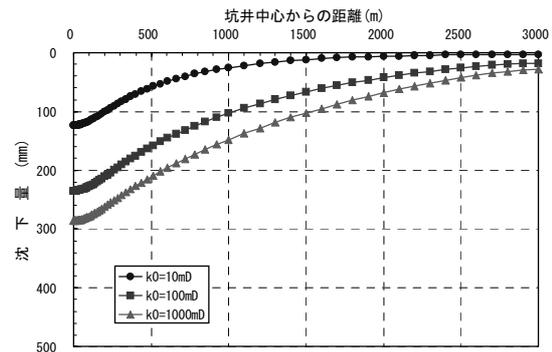


図6 MH層中央部沈下量

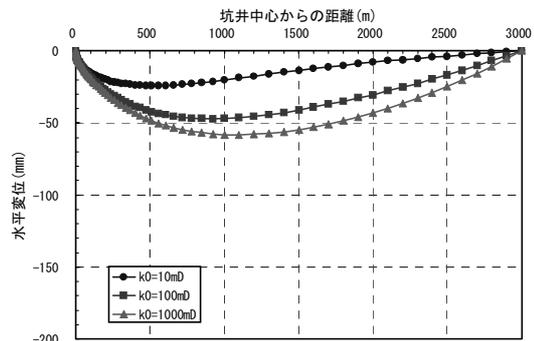


図7 MH層中央部水平移動量

図6および図7は、図5と同じ解析の場合で、それぞれMH層中央部各地点の沈下量、水平移動量の分布を示したものである。これらの図は、MH層の透水性が増すと、各地点の沈下量と併せ、沈下範囲や水平移動量が増加すること、また、最大水平移動量の位置が坑井より遠ざかること等を示している。この他、弾性係数、ポアソン比、MH飽和率、MH層傾斜の影響等について検討した。傾斜したMH層の場合、坑井壁面には水平な場合に比して大きなせん断応力等が発生するため、MH層での破壊等に注意する必要があることが明らかになった。

蛇足ではあるが、以上の解析結果は、MH層等の物性が表1の場合についてのものであり、物性が異なると沈下量等も当然変化することを付記しておく。

4) 今後の研究展開

図4～図7の解析結果は、減圧法を対象としたものである。現在は、熱刺激法を対象とした解析が可能ないようにプログラムを改良している。具体的には、熱・浸透流・応力を連成し、しかも、不飽和の地盤を取り扱うことができるもので、解析結果の一部を紹介する。図8～図10は、モデル上部に一定の荷重と温度（50°C）を作用させた場合の各地点における温度、飽和度、変形の経時変化であり、概ね妥当な結果が得られているようである。今後、室内実験のシミュレーション等によってプログラムの検証を行う予定である。

6. おわりに

MH生産時における地盤変形について、研究の必要性、地盤変形の予測手法、MH生産（減圧法）を対象とした有限要素解析結果等を紹介した。

資源小国のわが国にとってMHは極めて貴重であり、有効に利用することが望まれる。しかし、開発に当たっては環境への影響を最小限に抑えることが不可欠である。かつて、わが国では水溶性天然ガス開発等において多大の被害を蒙った経験がある。MH生産では、これらの貴重な経験を活かし、開発を進めなければならない。また、MHの特性等に関しては未だ解明されていない部分もあり、いっそう研究の進展が望まれる。

最後に、本研究はメタンハイドレート資源開発プロジェクト・生産手法開発の一環として実施したものである。

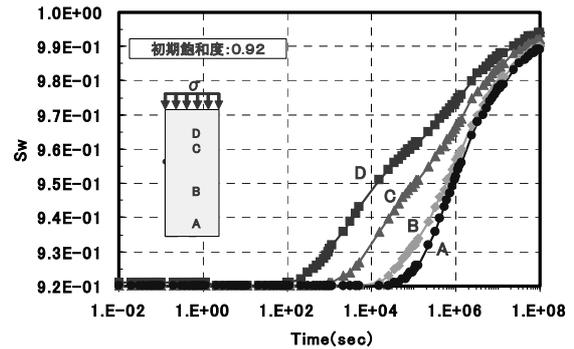


図9 各地点における飽和率の経時変化

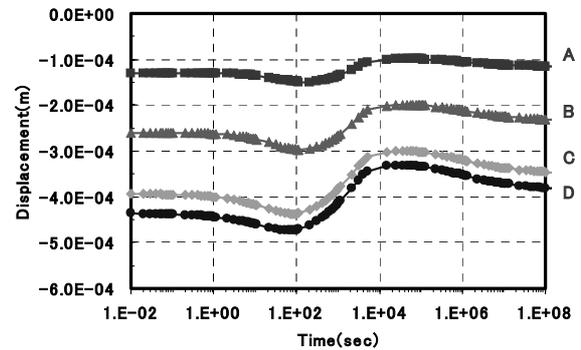


図10 各地点における変形の経時変化

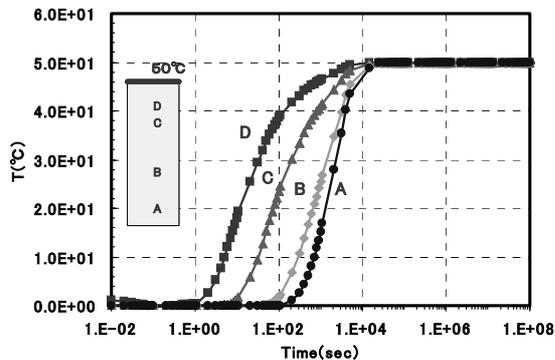


図8 各地点における温度の経時変化

* M.D.Max(ed), *Natural Gas Hydrate in Oceanic Permafrost Environments*, 322, Kluwer Academic Publishers (2000)

MH21 研究コンソーシアム生産手法開発分野の研究開発概要

Overview of R&D in Production Method and Modeling Group/MH21 Research Consortium

エネルギー利用研究部門：成田 英夫
 エネルギー利用研究部門：海老沼孝郎
 地圏資源環境研究部門：山口 勉

Institute for Energy Utilization: Hideo Narita
 Phone: 011-857-8440, E-mail: h.narita@aist.go.jp

Institute for Energy Utilization: Takao Ebinuma
 Phone: 011-857-8950, E-mail: t.ebinuma@aist.go.jp

Institute for Geo-Resources and Environment: Tsutomu Yamaguchi
 Phone: 029-861-8237, E-mail: t.yamaguchi@aist.go.jp

1. まえがき

経済産業省は平成 12 年に「メタンハイドレート開発検討委員会」を設け、平成 13 年 7 月に「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」を発表した。同開発計画の目標は、日本周辺海域におけるメタンハイドレートの商業的産出のための技術を整備することであり、この推進のために 2002 年 3 月に「メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム（通称 MH21 研究コンソーシアム）」が設立された。産総研は、同コンソーシアムのメンバーとして本計画の生産手法開発分野の研究開発について責任を持って実施することとなった。

より分解し、水及びメタンガスが生成される。このとき次のような現象を予測しながら生産手法の開発にあたらなければならない。

2. MH21 研究コンソーシアム

MH21 研究コンソーシアムは、図 1 に示す様に石油公団、(独)産業技術総合研究所及び(財)エンジニアリング振興協会がそれぞれ「資源量評価」、「生産手法開発」、「環境影響評価」の各分野の研究開発を担当している。プロジェクトリーダーは、東京大学田中彰一名誉教授である。本プロジェクトは 16 年計画であり、第一フェーズ（平成 13 年度～平成 18 年度）において、これまでカナダ・マリックでの産出試験、我が国周辺海域のメタンハイドレート層の 3 次元探査などが実施されたほか、平成 16 年 1 月から資源量評価及び MH 堆積層の態様解明等に向けた基礎試験が予定されている。

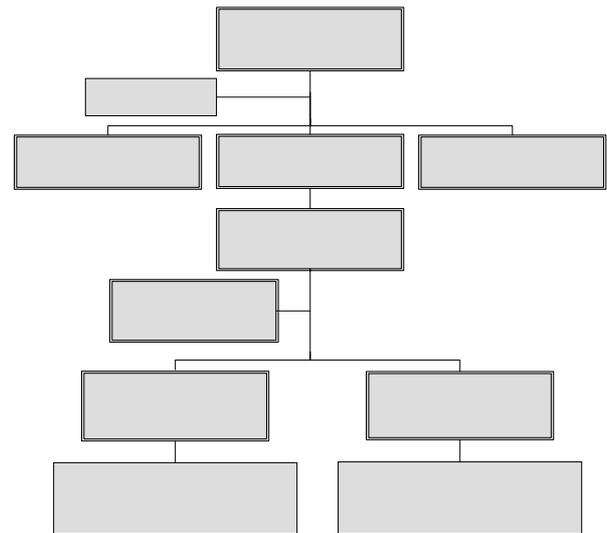


図 1 MH21 研究コンソーシアム実施体制

3. 生産手法開発における問題意識と研究内容

生産手法開発グループの研究開発は、メタンハイドレートを孔隙に含む砂質堆積層（以下、MH 層）のメタンハイドレート分解・採取手法を開発し、高い生産性と経済性を有した天然ガスの生産技術を確認することを目標としている。当面の第一フェーズにおける研究目標は、第二フェーズに予定されている我が国周辺海域での海洋産出試験での生産手法を確認することにある。MH 層のメタンハイドレートは減圧、熱刺激等の生産手段に

- ① 分解したメタンガスは圧力勾配にしたがって流動する。流れが多いほど生産性は高まることから、浸透率特性が重要な要素となる。また、水とガスの二相流であるため、相対浸透率を考慮する必要がある。
- ② 孔隙内のハイドレートは固体であり、流れに対して抵抗要素として働くため、浸透率は飽和率の関数となる。すなわち、分解に伴い浸透率自体も変化する。
- ③ ガスの流れは、水の流れを伴い孔隙内から水を逸損させる可能性がある。このため、孔隙内のガスの残留は、回収率に影響する懸念がある。
- ④ 浸透率が極めて低い MH 層に対して熱刺激法を適用した場合、圧力の上昇によって地層が破壊される可能性がある。フラクチャリングのよ

うな場合は生産性を向上させる方向に働くが、地層全体の破壊に至る様なことが想定されれば、そのような地層モデルに対して慎重に生産手法を選定する必要がある。

- ⑤ 分解は吸熱反応であることから周辺層から熱を奪い周囲温度を低下させ、分解速度を低下させる。MH 層直下のガス層を急激に減圧するような場合は、氷が生成し、自己保存効果の発現によって、分解速度は急激に低下する。
- ⑥ 分解は、MH 層の骨格構造を形成していた固体のハイドレート消失させるため、堆積層強度が低下することが考えられる。また、ガスや水の移動による堆積層の圧密現象や圧密による浸透率低下も想定される。さらに、MH 層は未固結と推定されるため、生産手法によっては水のみならず砂が随伴する可能性がある。

このように、メタンハイドレート層からの天然ガス生産は、堆積層自体の変化を伴うものである。つまり、場のパラメータが刻々と変化する気液二相流、時には気液固三相流を扱う技術領域である。これを確実に実施するためには、メタンハイドレート堆積層の基礎物性、機械的特性などの解析を通じ、その態様を明らかにする必要がある。また、メタンハイドレート堆積層の分解動特性のモデル化を進め、フィールドスケールに対応可能なシミュレータを開発する必要がある。生産手法としては、減圧法、熱刺激法、分解剤注入法等の他、メタンハイドレートの特性を踏まえた新しい概念による採取法について開発する必要がある。

以上のような認識のもと、生産手法開発グループでは、①堆積層態様の解明、②堆積層分解挙動の解明、③生産シミュレータの開発及び④分解・採取手法の開発の4研究項目を設定し、グループ内に物性動特性解析と生産シミュレータ開発の二つのサブグループを設置し、産業界及び大学と連携しながら研究を進めている。さらに、重要な研究課題（当面は、力学特性、浸透率特性、分解特性及びシミュレータ統合化）については、横断的な技術グループを組織してサブグループ間の意思疎通と問題意識の共有化を図っている。図2に生産手法開発グループの研究フローを示した。

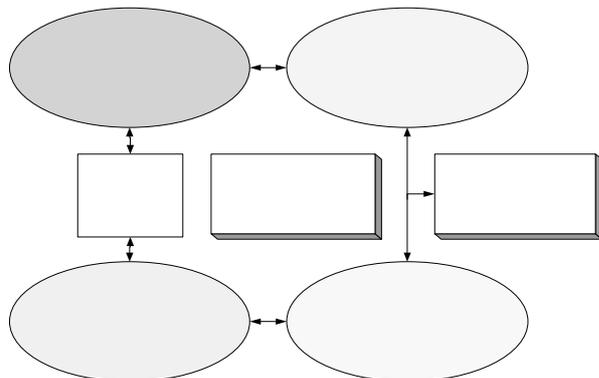


図2 生産手法開発の研究フロー

4. 最近の研究成果

これまでの研究成果のうち、主なものを以下に箇条書きで示した。

- Mallik を再現する MH 堆積物試料の作製技術を確立。（孔隙率 30-35%、飽和率 40-60%）
- MH 堆積物の力学特性を解析し、孔隙中の MH が MH 堆積層強度に大きく関わることを解明。
- MH 堆積物の熱伝導率等の分解に関与する基礎物性を取得し、モデル化を実施。
- ガス組成によってハイドレート結晶型が変化し、ガス密度に大きく影響すること、孔隙径により相平衡条件がシフトすることを解明。
- 孔隙内の態様と分解過程を解析するための可視化技術（X 線 CT 等）を確立したほか、同手法によって孔隙率の直接計測技術を確立。
- 堆積層環境条件下でのコア試験によって、坑井加熱法、減圧法等の分解速度とガス・水生産速度と生産手法、生産条件の関係を取得。
- 浸透率の実測と飽和率依存性の解析を行い、実験式の導出及びモデル化を実施。
- 圧密特性について要因分析を行い、坑井近傍を含む長期にわたる圧密現象について評価。
- 各種生産手法の生産レートを評価し、浸透率、熱伝導率等が支配因子であることを解明。
- 水平坑井での熱刺激法の適用性、炭酸ガス圧入法等の各種新手法の評価を実施。
- その他、コンソーシアム全体の研究開発に資する計測基盤技術等を実施。

5. 今後の展開

平成 16 年の基礎試錐では数 10 メートル以上に及ぶ天然コアが回収される予定である。そのコア試験によって生産手法開発の進展が期待されるが、研究の更なる加速化のためには、コア試験結果を種々の視点から解釈する必要があり、産総研の研究ポテンシャルを結集して、MH 資源を現状の Resource から Reserve へと導くこととしたい。

メタンハイドレート資源開発環境影響評価に関する研究－モニタリング技術について Research on Environmental Evaluation for “Methane Hydrate 21”-Monitoring System

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム 環境影響評価 WG モニタリング技術 SG：小林日出雄
(石川島播磨重工業㈱ 技術開発本部技術企画部 部長)
“Methane Hydrate 21”, Environmental Evaluation WG, Monitoring System SG：Hideo Kobayashi
Phone: 03-3454-7152, e-mail: hideo_kobayashi@ihimu.ihico.jp

1. まえがき

経済産業省主導によるメタンガスハイドレート資源開発研究が平成 14 年度に発足し、エンジニアリング振興協会は環境影響評価分野を担当している。この分野について、更に 4 つに区分し研究を進めているが、モニタリング技術 SG は、メタンの濃度測定と検出、及び地層の微小かつ緩やかな変形を捕捉することを目的としたモニタリング技術の研究を進めている。メタンの濃度検出についての主な手法は、①半導体センサーによるもの、②赤外線検出器によるもの、③メタン酸化細菌を介した方式、④吸光特性利用がある。また、ガス漏洩検知として⑤超音波を利用したメタン気泡の検知がある。地層変形検知については⑥サーボ型加速度計及び傾斜計を用いた方式を開発している。これらの検知方式を用いて⑦総合モニタリングシステムを開発する。

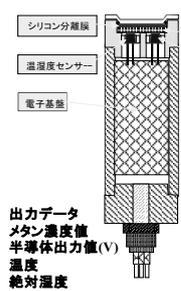
以下に研究の現状を報告する。

2. メタン濃度検出センサーの研究

海水中で溶存メタン濃度を検出するセンサーとして、直接的に濃度を検出するセンサー（直接法）と微生物の増殖特性から間接的に濃度を検出するセンサー（間接法）の研究を実施した。また、吸光特性を利用した大気中メタン濃度検出法について調査した。さらに超音波を利用したメタン気泡検知について基礎研究を行った。

(1) 半導体センサーによる方式

既に世界で使用されている METS センサー（独 CAPSUM 社製）の性能を実験で確認評価した。



CAPSUM Technologie GmbH	
項目	仕様
材質	チタン製
重量	1 k g
水深	0～ 2000
水温	2～20℃
測定レンジ	10～ nmo#000
分解能	±2% of Full Scale (±80nmol)
応答性	1～ 500n 状況により変化

図 1 既往メタンセンサー（METS センサー）

このセンサーは分離膜を介して水中の溶存メタンガスを気化分離させ、分離したメタンガスを半導体検出器で測定するものである。実験の結果、検出器出力が溶存酸素濃度に依存する、溶存メタン濃度変化時の応答時間は 10 分から 70 分程度である、再現性については濃度値で最大 7 倍程度の差異を生じるなど、課題が明確になった。本年度は、これらの点の改良に取り組んでいる。

(2) 赤外線検出器による方式

METS センサーの現在の検出限界が 10nmol/L である。深海中のバックグラウンドメタン濃度レベル（数 nmol/L）を計測するために、METS センサーと構成の異なる集水型システムの検討を始めた。ポンプで集水した海水をメタン選択分離膜を通し、メタンを気化分離させ、赤外線検出器によりメタン濃度を測定するシステムである。現在、このシステムの 1 要素である分離膜の評価試験を終えた段階であり、今年度は、構成要素機器の性能確認を行った上でシステム評価を行う。

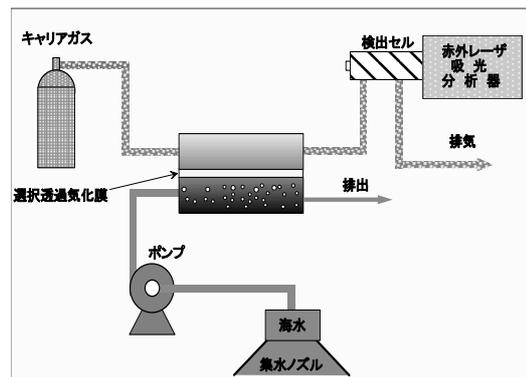


図 2 集水型モニタリングシステム概要

(3) メタン酸化細菌を介した方式

メタン酸化細菌をバイオセンサーで検知してその量からメタン濃度を間接的に検知する手法である。未開発の先端技術であり、平成 14 年度は基礎的研究を行い、今後の開発のための基礎データを取得した。まず、既存の検出法（全菌数・生菌数測定、FISH 法、PCR-DEEG 法）に焦点を絞って検討

を行い、メタン酸化細菌のみを検出する手法と条件を確立し、実験の評価系を構築した。この手法を用いて深層水より新たなメタン酸化細菌の存在を確認した。また、深層水中のメタン酸化細菌群集は、メタン濃度に応じて優占化する細菌が異なること、その増殖速度は予想外に遅いことなどが分かった。

今年、深層水から分離したメタン酸化細菌の同定とメタン酸化活性の強い菌株の選抜を行う。また、選抜群のメタン消費速度の測定、バイオセンサーの感度、応答性等、メタンセンサーとしての基本特性を評価し、バイオセンサーの開発に展開する。

(4) 吸光特性利用による方式

メタンハイドレート商業生産時には大気中の環境変化の監視が必要となる可能性も考えられ、広域検知法についても検討を進めている。

大気中のメタン濃度をリアルタイムで広域測定する方法として、吸光特性を利用した監視法の調査を行った。この結果、海上での利用を考えるとDIAL(Differential Absorption Lidar)が有効であることが分かった。

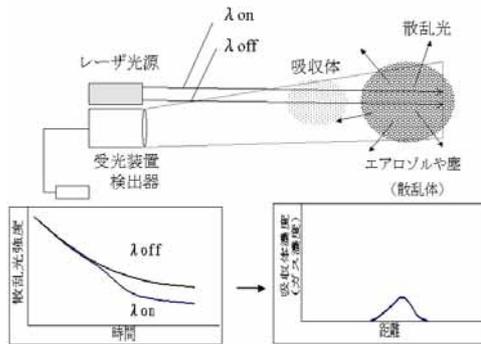


図3 DIAL(差分吸収ライダー)システム概要図

(5) 超音波利用によるガス漏洩検知

海中では音波を利用したセンサー技術が進んでいるが、この技術をガス漏洩検知に応用するための基礎研究も実施した。具体的には海底から漏洩するメタンガスの気泡を超音波で検知する技術である。水槽試験により160m先の水中気泡群を超音波を用いて検知できることを確認した。

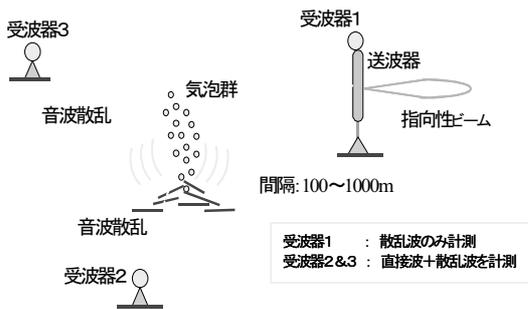


図4 気泡探知イメージ図

2. 地層変形モニタリングシステムの研究

地層変形モニタリングシステムは、海底での多点間の観測による相対的な変位検出ではなく、単一点での3成分の変位を直接検出可能なシステムである。微小な海底面の変動を検出する本システムの構成要素の内、基本となるのは傾斜計と変位検出用のサーボ型加速度計である。平成14年度は、センサーやデータ収録装置の調達を行い試験装置を製作し、選定した加速度計、傾斜計などの性能評価基礎試験を行った。試験の結果、双方のセンサーともに非常に微小な短周期運動は当然のことながら、最も問題となる長周期運動についても周期1回分程度のクリープ的運動も検出可能であることが明らかになった。

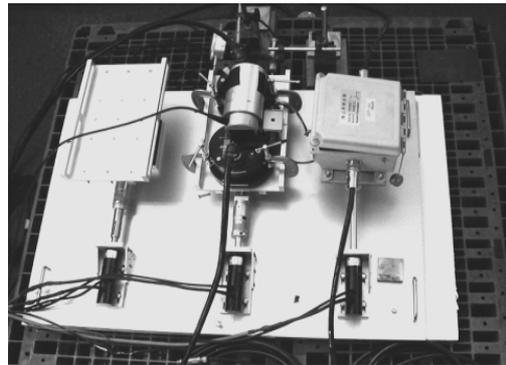


図5 センサー類性能評価試験装置
(左:上下変位,中央:水平変位,右:傾斜)

また、地層変形の挙動は陸上でも詳細が把握されていないため、四国の地すべり現場で長時間の高速サンプリングによる計測を実施して、その挙動を明らかにした。地すべり運動の周期特性は極長周期成分は少なく、周期1~20秒の動きを検出できれば、全変位の95%は把握できることが明らかとなった。

今年、海底設置用の初期モデルの設計・製作を行い、室内にて性能試験を行う。

3. 総合モニタリングシステム

現在は開発要素の多いメタンガス濃度検出センサーと地層変形モニタリングの開発を先行して進めているが、環境影響評価において必要な機能を統合装備した総合モニタリングシステムの概念検討に着手した。

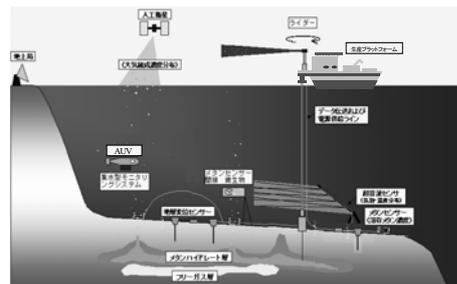


図6 総合モニタリング イメージ図

平成 13 年度及び平成 14 年度基礎物理探査の成果
 -メタンハイドレート資源探査-

Results of METI Geophysical explorations in FY2003 and 2004
 -Methane Hydrate Exploration-

清水祥四郎・及川信孝・林雅雄・落合浩志・中水勝（石油公団 石油開発技術センター）
 Japan National Oil Corporation, Technology Research Center: Shoshiro Shimizu,
 Nobutaka Oikawa, Masao Hayashi, Koji Ochiai and Masaru Nakamizu

Abstract: The methane hydrate research project had started 2001 FY and will continue to 2006 FY as the Phase-1. The objective of this project is to investigate the possibility of the methane hydrate offshore Japan as energy resources. In 2002 FY, 2D precise multi-channel seismic survey (MCSS) was carried out to find out candidates of 3D MCSS area, and 3D MCSS was also carried out in 2003FY, at Nankai Trough. The interpretation of 3D seismic data was carried out from Dec. 2004 to Jul. 2005, and its result will be showed.

1. 緒言

2001 年度より始まった「メタンハイドレート資源開発研究プロジェクト」では、高精度基礎物理探査として 2003 年度に 2 次元地震探査, 2004 年度には 3 次元地震探査を実施した.対象となった海域は Fig. 1 に示す「東海沖～熊野灘」で, 2 次元調査では約 2,800km のデータを取得し, 3 次元調査では, 「東海沖」, 「第二渥美海丘」及び「熊野海盆」の 3 海域で実施した. その後, 取得したデータの解釈結果により, 当該海域での BSR の詳細な分布状況の把握が出来た.

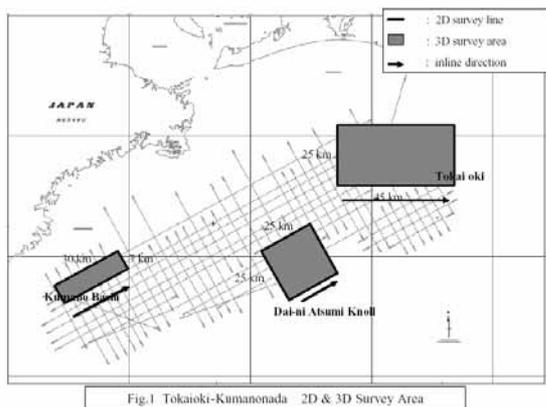


Fig. 1 Location map of survey area. Solid lines show seismic lines of 2003, and rectangles 3D seismic areas of 2004, respectively. Arrows mean inline direction of 3D survey.

2. データ取得

SR そのものは, 高々海底下数百 m の深度に存在しているため, BSR の詳細な解析には, より高分解能なデータを取得する必要がある. そのため, 今回のデータ取得で最も重要なパ

ラメータとして, 記録系の High-cut Filter を限りなく高くし (Nyquist 周波数に近づける), 且つ受振器と震源の深度は波浪の影響によるノイズを考慮しつつ, 出来る限り浅く設定した. その結果, 非常に分解能の高い記録を取得した.

3. データ処理

データ処理は, Table 1 に記載されている基本仕様により原則的に船上処理で対応した. その理由としては, 特に 3D 処理の場合, 以下の利点が挙げられる.

- ① 取得データの品質管理により効率的な作業進捗が可能となる
- ② データ処理の QC 業務が常時可能
- ③ 適宜, 取得されたデータを処理し, 品質管理の向上が可能
- ④ データ処理期間の大幅な短縮が可能

船上処理では, 特に速度解析結果の QC を重要視した. また, 処理の最後のステップであるマイグレーション処理は, 船上処理システムのハードウェアの観点から, 処理センターで実施した.

4. データ解釈

平成 13 年度の高精度 2 次元地震探査の場合, まず, 当該海域でのより詳細な BSR の分布状況の把握に努めた. その解析結果を Fig. 2 に示す. この図で分かるとおり, 非常に広範囲に BSR が分布していることが判明した. この結果, 調査海域では 3 タイプの BSR が確認できた.
 Clear BSR : 非常に明瞭な BSR
 Possible BSR : 明瞭ではないが周囲の BSR との関連より BSR と想定される
 Masked BSR : 地層の層理面と同じ傾きを持つ BSR

で、層理面との区別が困難な BSR

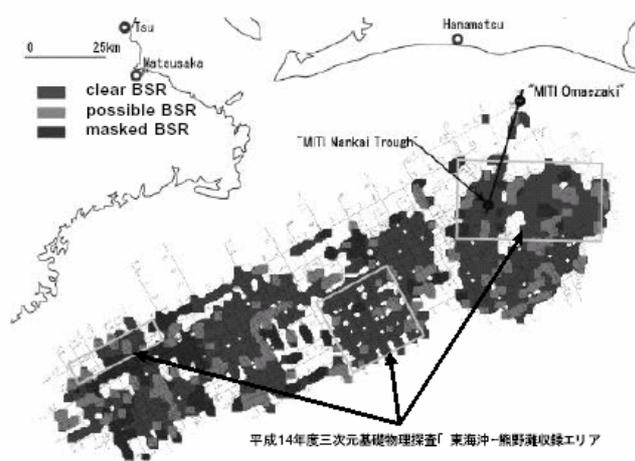


Fig. 2 Occurrence of BSR distribution using precise 2D seismic data acquired at 2003FY

2次元地震探査の一部成果（清水，他 2002）は発表されており，今回は主として平成 14 年度に実施した 3 次元地震探査の成果について言及する．3 次元地震探査の海域は平成 13 年度の 2 次元地震探査の解析結果より決定された．主な，決定要因は，以下の通りである．

- ① BSR が集中的に分布する
- ② 様々なタイプの BSR（馬場他 1999）が確認できる
- ③ 様々なデータの蓄積がある
- ④ 砂層の発達が推定される

尚，④については坑井データと地震探査データとの対比を基準とした Seismic Facies 解析手法によって推定した（2002 年度基礎調査報告書）．

3 次元地震探査記録の解釈は，平成 14 年 11 月から開始され，平成 15 年 7 月末をもって終了した．実施した解釈エリアは，約 2,000 平方 km にも及び，BSR 分布以外に，BSR 相当深度に発達する層序の構造解析も並行して実施した．

2 次元地震探査の解釈作業の際，様々な BSR（Clear, Possible, Masked）と解釈したものが，3 次元地震探査記録の解釈作業では，Possible は BSR の存否が明確となり，Masked は，周囲の地質構造から地層の層理面と BSR の区別が可能となった．さらに，BSR の振幅値の変化等が面的に把握することができ，メタンハイドレートと振幅値の関係，及びハイドレートの賦存状況を関連付ける情報を入手した．

5. 結言

平成 13 年度と 14 年度の地震探査データの解釈結果から，平成 15 年度に予定されている基礎試錐の候補地点の選定作業を実施した．今後は，掘削の際得られる坑井の検層データと地震探査データ

との比較を行い，南海トラフ海域におけるメタンハイドレートの資源量を推定する予定である．尚，これまでの解釈結果を発表する機会を与えて頂いた石油公団地質調査部，及び解釈作業の支援をして頂いた帝国石油の清水俊秀社員に謝意を表すものである．

参考文献

- 馬場 敬・内田 隆（1999）平成 11 年度石油技術協会春季講演会シンポジウム・個人講演要旨集，81，石油技協誌．
- 清水祥四郎・田中智之（2002）南海トラフにおける BSR とメタンハイドレートの分布，物理探査，vol.55, p. 425-433.
- 平成 13 年度基礎調査基礎物理探査「東海沖～熊野灘」海域 解釈作業報告書 石油公団．

熊野海盆北縁部における地震波速度構造

The velocity structure in the northern margin of the Kumano Basin

佐伯龍男(石油公団)・林雅雄(石油公団)・森田澄人(産業技術総合研究所)・松島潤(石油公団)
Japan National Oil Corporation: Tatsuo Saeki,
Japan National Oil Corporation: Masao Hayashi,
Institute for Geo-Resources and Environment, AIST: Sumito Morita
Japan National Oil Corporation: Jun Matsushima

近年、極域の永久凍土層の下や水深約500m以上の海底下の堆積物に賦存するメタンハイドレート(メタンと水が低温高圧下で結びついた氷状の固体物質)がエネルギー資源として注目されている。日本周辺海域においても、1999年の南海トラフにおける掘削結果からメタンハイドレートの存在が実証された。これにより、将来的な開発を目標とした資源調査が開始され、現在日本近海(特に南海トラフ)における資源量評価が進められている。

メタンハイドレートの分布を推定する指標としては、通常BSR(bottom simulating reflector)が用いられる。メタンハイドレート賦存域におけるBSRは、メタンハイドレート含有層(高速度層)と下位のフリーガスのトラップ層(低速度層)の境界における音響インピーダンスの変化によって生じる地震波反射面と考えられている。反射法地震探査断面上では、(1)海底面とほぼ平行する、(2)地層境界とは斜交する、といった特徴があり、検知が比較的容易とされている。

南海トラフ海域の東海沖-熊野灘においてBSRの分布マップが作成され、広域的なメタンハイドレートの分布域が明らかになりつつある(清水・田中2002)。調査範囲内にはBSRの存在が検知できないエリアもあり、その一つに、熊野海盆の平坦海底面北縁におけるBSR空白域が挙げられる。

ただし、熊野海盆における上記BSR空白域は、解釈手法上の以下の不確実性に起因している可能性もある。BSR空白域と解釈されたエリアでは、深部の地層境界は比較的平坦であり、海底面ともほぼ平行している。したがって、BSRが存在している場合でも、実際の地層境界との判別がつかず、震探断面上のホライズン解釈に基づくスクリーニ

ングだけでは検討が不十分といった問題点がある。他方、世界的には、メタンハイドレートの賦存推定の信頼性を高めるために、震探の各種アトリビュートを用いる試みがなされており、その一つとして、地震探査データを用いた速度解析が有効なことが指摘されている(稲盛・羽藤2002他)。

そこで、BSR空白域を含めた熊野海盆北縁部のメタンハイドレート賦存ポテンシャルの検討を目的として、2D地震探査記録(2001年基礎物理探査「東海沖-熊野灘」)の測線を選定し、速度構造解析を試み、下記の解析結果が得られた。

- (1) BSR直上の速度構造は周囲と比較して高くなっており、また、高速度となる深度は、反射波のプランキングが生じている範囲とほぼ一致する。
- (2) 一方、BSR空白域では、(1)のBSR存在域と比較して対照的に低速度構造を呈すか、高速度層が薄くなっている。

ただし、高速度層が存在するエリアは、海底面下では構造的高まりとなる部分が多く、周囲と比較して同一深度に古い地層が分布するため、それらの岩相の違いが速度に与える影響も加味して考える必要がある。したがって、上記の高速度層が、そのままメタンハイドレートの濃集域を示すと断定するのは尚早である。

しかし、高速度層およびBSRの分布域が整合的である点と、それらと海底面下の構造との関連性を示唆するような結果が得られた点は、今後、メタンハイドレートの集積メカニズムと考える上で重要である。

また、低速度となるエリアの周辺には、泥火山や

天然資源の安定供給の確保 Ensuring A Stable Supply of Mineral and Energy Resources

総括研究員： 山口 勉
 Principal Research Scientist: Tsutomu Yamaguchi
 Phone: 029-861-8237, e-mail: t-yamaguchi@aist.go.jp

1. はじめに

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実施することをミッションとして掲げている。これらの研究開発は成果が現れるまでに長期間が必要であるため、図 1 に示したロードマップをもとに長期的・総合的な観点から段階的・計画的に研究を進めている。例えば、図 1 で示した地熱の例からも分かるように、当部門では貯留層変動探査、高温岩体開発、地中熱利用技術、高効率・低コスト掘削技術の開発等、多岐にわたる研究開発を実施している。第 1 期中期計画が開始された平成 13 年度から 14 年度までは、これら多岐にわたる研究開発項目の中から、天然資源の安定

供給確保のための重点課題として、

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

の三つの項目を取り上げ、それぞれ独立した重点課題として実施してきた。平成 15 年度からは、これら三つの重点課題を「天然資源の安定供給の確保」として大きく括り、それぞれのテーマはサブテーマとすることとした。これにより、地圏資源環境研究部門がさまざまなエネルギー資源や鉱物資源に関して包括的な研究を実施しているという実態がより明確になった。

本報ではこれら三つのサブテーマを中心として当部門の資源分野に関する研究の概要を紹介する。

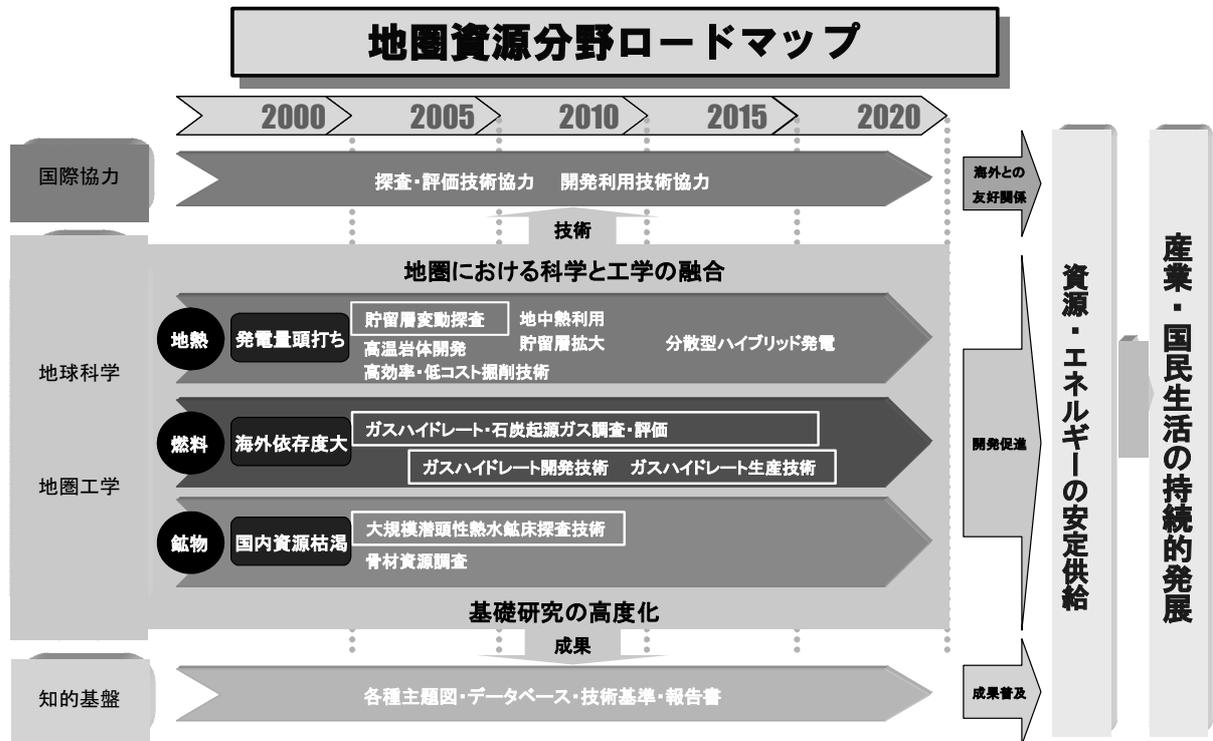


図 1 地圏資源環境研究部門における資源関連研究のロードマップ

2. 貯留層評価管理技術の開発

図2では地熱貯留層管理技術の開発の年度展開を示した。本サブテーマは第1期中期計画開始当初の平成13年度には、NEDOとのカップリング研究として中期計画を策定した。しかしながら、その後、NEDOの研究開発が平成13年度末で中断し、当部門への委託も平成14年度末に終了したことを踏まえ、平成14年度に計画の見直しを行なった。その結果、平成14年度にこれまでに当部門が実施してきた先導的、基盤的、補完的な研究を一旦とりまとめ、同時に民間デベロッパー等との「システム統合化」のための共同研究により、積極的な成果の普及を図ることとした。

平成15年度の研究計画は以下の通りである。

- ・システム統合化3年計画2年目として、大霧地域の定期点検時に自然電位、重力等の多項目モニタリングを実施するとともに、大霧・奥会津地域で、予備的な統合ヒストリーマッチングを行なう。
- ・要素技術について共同研究、基盤研究を継続するとともに、これまでの成果を総括報告書として出版する。
- ・開発したポストプロセッサ等ソフトウェアについては、実用化可能性の評価を進め、ユーザー会を組織して普及を図る。

この研究計画に対して現在の主な進捗状況や成果は以下の通りである。

- ・大霧地熱発電所の生産井の一時停止時に、多項目のモニタリングを実施。重力測定ではハイブリッド観測により0.005mGalの精度を実現し、優勢な生産井のフィードポイントが位置する気液二相領域の変動を面的に把握
- ・大霧・奥会津の両地域について、統合ヒストリーマッチングを進め、費用対効果に優れた貯留層モニタリングのあり方について見通しを得た
- ・成果普及では、国際誌等への公表に加え、統括報告書の出版
- ・日鉄鹿兒島地熱（大霧地域）、奥会津地熱・東北電力（柳津西山地域）、九州電力（八丁原地域）、三菱マテリアル（澄川地域）、地熱エンジニアリング（SPモニタリング）、東京電力（八丈島）、秋田地熱（上の岱での圧力モニタリング、微小地震観測）との共同研究、研究協力
- ・ポストプロセッサ・ユーザー会の設立については準備中

システム統合化で提案したように、重力、自然電位、比抵抗、地震波、磁場などの現場データを用いて、地熱貯留層を総合的に管理する手法の研究開発は世界的にも類似のものがなく、本研究開発は国際的にも高い評価を得ている。これらの研究活動が評価されて2003年10月に開催されたGeothermal Resources Councilでは、本研究開発を担当しているグループのリーダーが、Special Achievement Awardを受賞した。

	H13	H14	H15	H16	H17	H18～
地熱貯留層管理技術の開発 当初中期計画	NEDOとの連携のもとで先導的、基盤的、また補完的研究					
地熱貯留層管理技術の開発 H14年見直しによる中期計画		産総研成果のとりまとめ	共同研究による成果の普及			
貯留層変動探査法システム統合化 のための共同研究 大霧地域			成果の普及			
		白水越噴気テスト時のSP、AE、重力などのモニタリング観測。大霧での4極法電気探査、AMT法探査	定期点検時の重力、SP、AE、傾斜計観測。統合ヒストリーマッチングの予備シミュレーション	統合ヒストリーマッチングによる貯留層モデルの高精度化		
奥会津地域		定期点検時を含む約半年の重力、SP連続観測	既存データを用いた検討	定期点検時の重力、SPモニタリングと統合ヒストリーマッチング		
					共同研究による新探査法の普及	
貯留層変動探査法システム統合化 のための解析技術の研究		ポストプロセッサ・ユーザー会の立ち上げ・マニュアル整備・運営				
		SP、磁場等ポストプロセッサの断裂型貯留層への拡張。地震波ppプロトタイプの開発。室内実験による関連パラメータの整備。	仮想モデルを用いた統合ヒストリーマッチングの検討と、各ポストプロセッサの評価	統合ヒストリーマッチングにおける各ポストプロセッサのパラメータ設定法	各ポストプロセッサのパラメータ設定法などのマニュアル化による成果の普及	

図2 地熱貯留層管理技術の年度展開

3. 石炭起源ガス・ガスハイドレート資源評価技術の開発

図3では石炭起源ガス・ガスハイドレート資源

評価技術の開発の年度展開を示した。本サブテーマは第1期中期計画開始当初の平成13年度には、メタンハイドレートの資源評価技術に関する研究

が主な内容であった。その後、メタンハイドレート生産手法開発の研究開発が本格化したことに伴い、平成14年度からはメタンハイドレート生産手法開発も重点課題の中に取り込むこととした。

わが国においてメタンハイドレートを開発のために、資源エネルギー庁が国家プロジェクトを実施しているがこの開発計画では、平成13年度から17年度までをフェーズIとしており、このうち、カナダにおける陸上産出試験、南海トラフにおける賦存状況調査、日本近海での試錐調査は石油公団が主体となって研究を進めており、当部門の主として理学的なバックグラウンドを持つ研究者が資源量評価の観点から、これらの項目に関して研究協力を実施している。一方、生産技術の開発に関しては産総研ではエネルギー利用研究部門、環境管理研究部門と当部門が研究を進めており、当部門では主として工学的なバックグラウンドを持つ研究者が、数値シミュレータの開発という観点から研究を実施している。

平成15年度の研究計画は以下の通りである。

- MH 資源評価技術の研究として、物性実験およびモデリング、南海トラフ等における野外調査、試料分析、データ解析、地化学探査航海を実施するとともに、同海域の表層及び深部（基礎試錐）堆積物中のBMを測定し、メタンの生成・

消費微生物の活動記録の検出を試みる

- MH 生産手法開発では、MH 堆積層の変形係数等の温度依存性や、メタンガスと水が同時に存在する混相流条件における相対浸透率を室内実験により求め、数値シミュレーションによって実験を再現する

この研究計画に対して現在の主な進捗状況や成果は以下の通りである。

- 資源評価技術では、南海トラフ堆積物中のメタン生成菌BMの特徴を明らかにするとともに、含ハイドレート堆積物中のメタン生成活動を予察的に評価した。
- 生産手法開発では、砂層内の水およびメタンガスの浸透率に及ぼすメタンハイドレート飽和率や孔隙率の定量的な関係や、氷結試料を用いた一軸載荷試験により、融解に伴う試料の変形・破壊挙動の局所性を明らかにした。

メタンハイドレートの開発を国家プロジェクトとして実施しているのは国際的にも我が国のみであり、その中でもメタンハイドレート鉱床の成因・形成機構の解明、資源ポテンシャル評価技術や、生産技術の確立に至るまでの研究開発を一貫して実施できるのは、理学・工学が有機的に組織された本研究部門のみである。

	H13	H14	H15	H16	H17	H18～
メタンハイドレート生産手法開発 数値シミュレータの開発		(実験室規模)	エネ庁Phase1中間評価 (フィールド規模)			エネ庁Phase1最終評価
統合化 地圏資源工学研究グループ			要素モジュール間の調整・統合化			
FS		プリ/ポスト・プロセッサの整備 感度分析	実験室実験(50cm規模)の数値シミュレータによる再現	要素モジュール間の調整 スケールアップ手法の検討	要素モジュール間の調整 スケールアップ手法の検討	フィールド実験(1km規模)の数値シミュレータによる再現
圧密挙動評価モジュール 開発安全工学研究グループ		メタンハイドレート堆積層の特性(気固液3相と熱)を考慮した			圧密挙動評価モジュールの開発	
FS		試験機的设计・製作	模擬MH試料による物性の取得	分解したガスの影響の定式化	フィールド実験によるモジュールの検証・改良	海洋産出試験に向け、モジュールの改良・高速化
浸透率評価モジュール 地圏環境評価研究グループ		数値シミュレータの開発/メタハイ貯留層の			浸透率評価モジュールの開発	
FS		絶対浸透率の定式化	MH飽和率を考慮した相対浸透率の定式化	MH分解時の浸透率の定式化	スケールアップ手法の検討	海洋産出試験に向け、モジュールの改良・高速化
メタンハイドレート資源量評価				産総研中期		
天然ガス資源のポテンシャル評価技術の研究 燃料資源地質研究グループ			新しいデータ、手法を用いた天然ガスポテンシャル評価			
地化学探査手法FS		地化学調査航海を実施。他3航海で予察的MH探査手法検討、地層温度計を設計	基礎試錐計画立案への参画 基礎試錐でのコア採取の協力	南海トラフのコア解析により資源量精緻化への貢献	地化学調査手法の改良検討	地化学調査手法の確立、資源ポテンシャル評価
GH資源評価技術の地化学的研究 資源有機地質研究グループ		天然GH相平衡条件の予測技術の確立、南海トラフ			海底堆積物中メタン生成・消費微生物活動の評価	
		炭化水素GH相平衡条件の実験・理論的検討、南海トラフ堆積物の採取収集	2成分系GH相平衡条件の実験・理論的検討、南海トラフ堆積物のBM分析	南海トラフ海底堆積物のBM分析・解析	南海トラフ海底堆積物のBM分析・解析	南海トラフ基礎試錐堆積物のBM組成解析
						南海トラフ堆積物中のメタン生成・消費微生物活動評価

図3 石炭起源ガス・ガスハイドレート資源評価技術の開発の年度展開

4. 大規模潜頭性熱水鉱床の探査手法の開発

中期計画で掲げた大規模潜頭性熱水鉱床で、「大規模」は鉱石量2000万トン以上、金属量100万トン以上の鉱床、「潜頭性」は鉱床が地表に露出していない、地下に埋没しているものを指すこととし

た。また、熱水鉱床は一般的には、広く熱水により形成される鉱床であるが、ここでは特にマグマの貫入に伴い形成された熱水系に伴う鉱床とした。

本サブテーマでは、大規模潜頭性鉱床を図4に示すように、地表からの深度により火山岩(0-1km)、

貫入岩(2-3km), 深成岩(5-7km)の3つのレベルに分け, それぞれのレベルでのマグマ-熱水系の研究を基に, 鉱床探査のための指針を得ることを中期目標として研究を進めている。

火山岩レベルでは, 北海道の無意根-豊羽熱水系, 貫入岩レベルでは, チリのエルサルバドル, モロッコのティグサ鉱床を研究の対象としてきたが, 平成15年度からは神岡鉱床, アルゼンチンのピクニータ鉱床の研究を開始した。深成岩レベルでは, トルコのテペオバ鉱床について, またロシア極東部の錫・タングステン鉱床の研究を進めている。

平成15年度の研究計画は以下の通りである。

- 火山岩レベル(0-1km)では, 無意根-豊羽地域の野外調査・試料採取を行い, 岩石化学組成の変遷を検討する。地表変質帯の鉱物組み合わせの検討に基づき, 変質帯の相互の関係を考察し, とりまとめる。
- トルコ北西部のテペオバにおいて, 熱水鉱床の

基礎データを収集する。

この研究計画に対して現在の主な進捗状況や成果は以下の通りである。

- 無意根-豊羽熱水系には, ①酸化的火山ガス, □還元的中性熱水, □熱水系上部の蒸気凝縮水により形成された3種類の熱水変質帯があり, 無意根火山近傍に発達する酸性変質帯□の下部に金や銅の濃集が期待されるとの結論を得た。
- トルコ西部のテペオバ鉱床の研究では, 地質調査と岩石・鉱物鑑定, 岩石化学組成および年代測定を行い, 地質図を作成した。

本研究では, トルコ, アルゼンチン, ロシアからの共同研究依頼に基づき, 共同研究協定を結び, 調査を実施している。また, 本研究を実施しているグループのリーダーは2004年, Society of Economic Geologistsの年間レクチャーにアジア地区で初めて選出される等, 国際的にも高く評価されている。

	H13	H14	H15	H16	H17	H18~
大規模潜頭性熱水鉱床の探査手法の開発	大規模潜頭性熱水鉱床の探査戦略の提示					
火山岩レベル(0-1km)	無意根-豊羽					
	地質・変質年代の測定によるマグマ-熱水活動の時空分布の解明	地下物理構造の解明と流体包有物の検討に伴う熱水の性質の検討	熱水変質帯の産状・変質鉱物組み合わせの解析に基づく熱水変質環境の解明	マグマの性質及びマグマ溜りでの挙動の解明		
貫入岩レベル(2-3km)	チリ エルサルバドル 斑岩銅鉱床の変質帯の産状と熱水の起源の解明	モロッコ ティグサ 多金属鉱床の調査・年代測定	多金属鉱床の鉱化作用・年代のとりまとめ	神岡 既存データ解析 形成モデルのとりまとめ		
		アルゼンチン ピクニータ 共同研究契約締結	鉱床調査・試料分析	形成モデルのとりまとめ		
深成岩レベル(5-7km)	トルコ テペオバ					
	共同研究契約締結	予備調査	鉱床調査・試料分析	鉱床試料の分析, 鉱床形成モデルのまとめ		
	ロシア極東					
	共同研究契約締結	花崗岩類と鉱床形成年代の総括	ボズネセナ鉱床の地質と年代のとりまとめ	地殻構造と花崗岩, 鉱床の総括		
日本の鉱物資源総括の研究					菱刈・豊羽・神岡・黒鉱等 鉱床探査指針のアップデート 非金属鉱床・工業用原料の資源量評価 鉱物資源GISデータベースの供給	
海外鉱物資源ポテンシャル評価技術の研究					モーリタニア・アルゼンチン等 メテロジェニーを基とした鉱物資源ポテンシャル評価	

図4 大規模潜頭性熱水鉱床の探査手法の開発の年度展開

5. おわりに

本報では資源関連の重点課題として, 三つのサブテーマの概要のみを紹介したが, その他にも当部門では, 多くの資源関連の研究を実施し, 成果をあげている。例えば, 地熱関連では高温岩体や地中熱に関する研究があり, 鉱山保安に関する研究は当部門でのみ実施しうる研究課題である。また, ここで紹介した金属鉱床のみではなく, 非金

属鉱床に関する研究, あるいはメタンハイドレートのような非在来型天然ガスのみではなく, 在来型, 石炭起源天然ガスに関する研究も実施している。これらの研究については, 本レポートの第3部の研究グループの紹介を参照されたい。

地圏の利用及び地圏環境の保全 Utilization and Environmental Protection of Geosphere

副研究部門長 松永 烈

Deputy Director: Isao Matsunaga

Phone: 029-861-8201, e-mail: matsunaga-isao@aist.go.jp

1. はじめに

地圏の利用や環境に関わる事項は、地球表面の大気圏や水圏における事象に比べると直接目に触れることがないが、鉱物やエネルギー資源とともに我々人間の生活に密接に関わっている。このため、地圏の利用と環境保全に関する研究は、資源の安定供給に関する研究や鉱物資源図の作成などの知的基盤に関する研究とともに、地圏資源環境研究部門における重点研究課題と位置づけられ、広範な研究を実施している。ここでは、これら研究課題の概要と最近の主な研究成果を紹介する。

2. 地圏資源環境研究部門における地圏利用及び地圏環境の保全に関する研究

図 1 は地圏環境における将来の研究課題をまとめたものであるが、土壌・地下水の汚染・評価、地圏利用、核廃棄物を主とする廃棄物処理と、地質環境図などの知的基盤研究と広範な課題が対象となる。これらほとんどは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・研究をミッションとする当部門が中心になって取り組む課題である。これら課題の

全てを当部門でカバーできるわけではないので、地質海洋分野あるいは環境・エネルギー分野の研究ユニットや外部と必要に応じて連携することも重要である。

地圏の利用や環境に関連する研究として当部門で平成 15 年度に実施中の課題を図 2 にまとめた。ここには知的基盤研究関連の課題は含まれていないが、関連する課題数は 26 に達し、7つの研究グループ、27名の研究者（他に外部及び非常勤として 20名）が関係し、総研究予算は 5 億円を超えている。図 2 ではそれぞれの研究課題を原子力（核廃棄物）、土壌・地下水汚染、CO₂ 地中固定及びその他の課題に分類し、研究予算項目毎に示してある。この図より分かるように、土壌・地下水汚染関連の研究は、産総研交付金を中心に進められているのに対し、原子力や CO₂ 地中固定関連の課題は外部の研究開発費によって進められている。

これら研究課題を、昨年度まで行ってきたように①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と、②地圏環境汚染評価手法の開発の 2 つの重点研究課題に分けて、その概要を説明する。

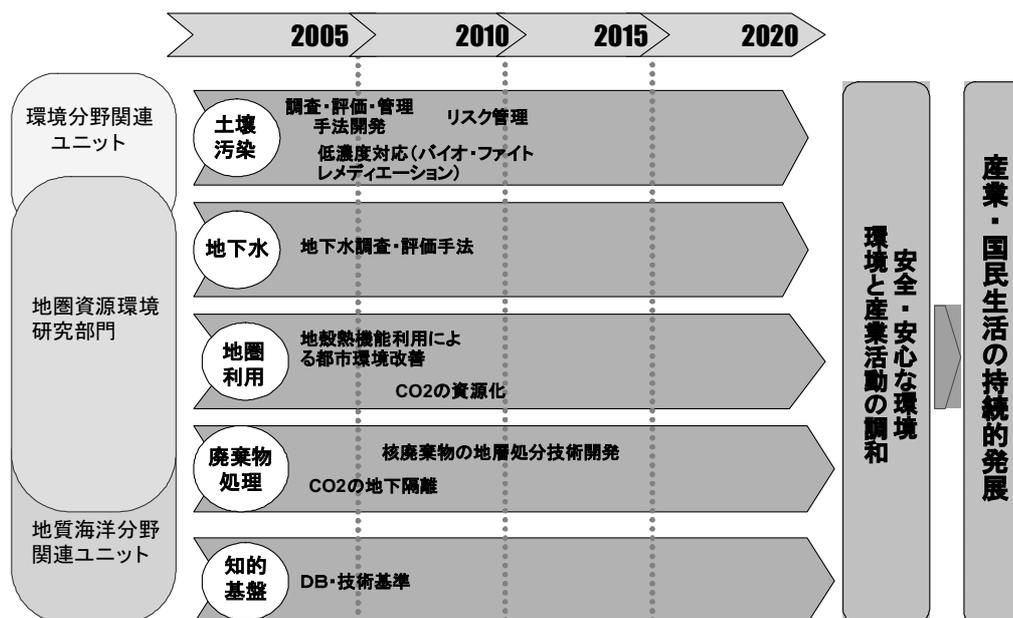


図 1 地圏環境分野におけるロードマップ

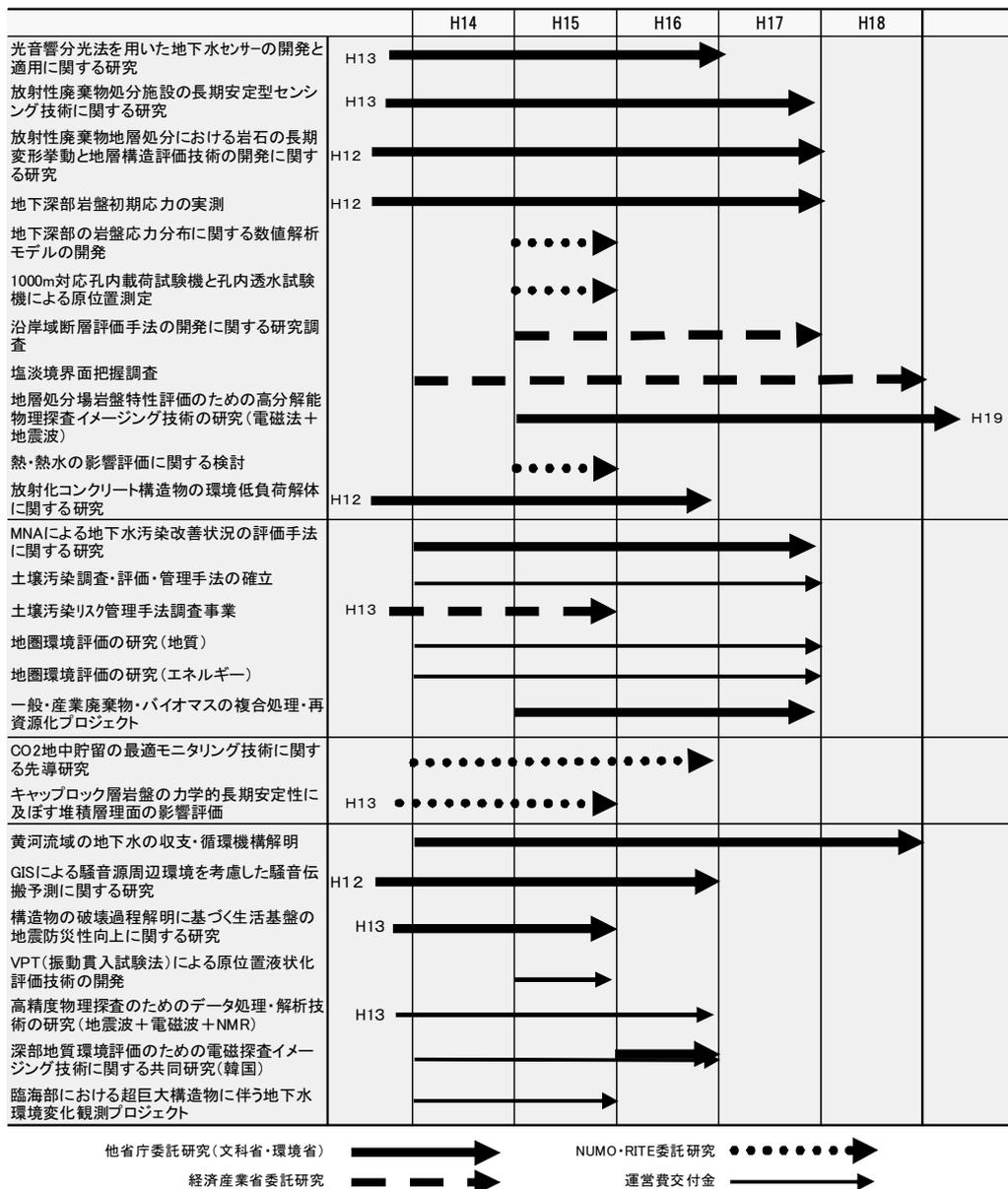


図2 地圏資源環境研究部門における地圏環境関連の研究課題

3. 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

1) 研究開発の背景と目標

産業技術総合研究所の中期計画では、鉱工業の科学技術の社会ニーズへ対応するための研究目標の1つに、「エネルギー・資源の安定供給確保地下利用施設開発や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、地下計測・監視、岩盤評価技術を開発する」が取り上げられている。この目標に対して、当部門では①地圏環境監視用センサーや技術の開発、②岩盤評価技術の開発、③物理探査データ解析法の高度化の3つのサブテーマを設定し、それぞれ個別テーマの年度展開を図っている。

2) 今年度の研究計画と進捗状況

上述した最初のサブテーマ「地圏環境監視用センサーや技術の開発」では、熱物性量、重金属、

地下水の各センサーやインピーダンス測定システムの開発を行っており、本年度は屋外での熱物性量センサーの埋設測定実験、地下水センサー試作品の改良と現場への適応実験などを行う計画である。この内、熱物性量センサーについては、光ファイバ及び発熱源一体型の屋外計測用のセンサーを製作中で、金属製ロッドを用いた屋外計測実験を実施の予定である。また、塩淡水境界面把握に使用する地下水センサーについては光音響法を用いた水分量(精度2%)測定と、温度(精度0.01°)測定センサーを完成し(図3)、現場で従来型センサーとの比較測定を実施している。また、塩分濃度センサーについても既に作製を終え、今後精度検定を予定している。

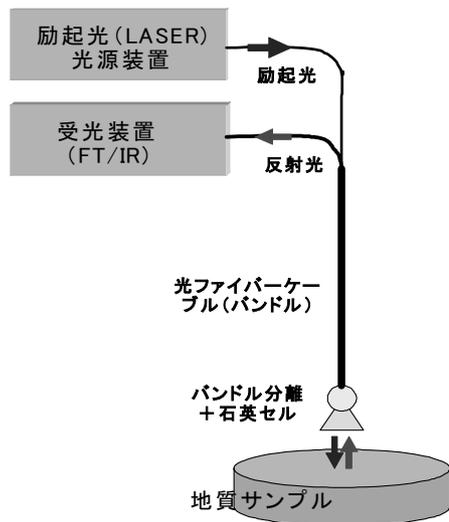


図3 地下水（水分量）センサーの概念

2 つ目のサブテーマ「岩盤評価技術の開発」では、高レベル核廃棄物処分場近傍の評価技術の開発を目指し、特に我が国で調査の行われていなかった地質学的に静穏な地域での深部岩盤の地殻応力測定を実施するとともに、塩淡境界面把握評価についての調査・研究を進めている。

深部岩盤の地殻応力測定に関しては、岡山の花

崗岩採石場において、昨年度に引き続いて深さ 600m から 750m までの増掘を行い、その間の岩盤調査と応力測定を完了しており、地質学的な静穏域においても地下の応力状態は偏圧的な状態にあることが明らかになっている。

一方、塩淡境界面の把握評価に関しては、昨年度千葉県蓮沼海岸で実施した現地実験の解析を行うとともに、東海村において比較的浅い地下水の流れを把握するための観測井戸約 20 点を整備した。図 4 は、蓮沼海岸における比抵抗測定や地下水調査から明らかになった海水、天水とその下の化石塩水との関係を示したもので、表面近くの塩水進入域の下部に陸域から海に向かって流れ込む天水によって希釈された化石塩水のゾーンの存在が想定できる。今後さらに、深部調査井(深さ 200m)を掘削する計画である。また、東海村では、塩水の浸入域と、深度 50m 付近の新第三紀の基盤、さらに深部(約 200m)の白亜紀の不透水基盤の分布、それらに介在する難透水性粘土層の分布把握を目的に、原研敷地内で約 10 測点、その周辺域(2km 四方)で約 15 測点の電磁探査調査を実施する計画である。

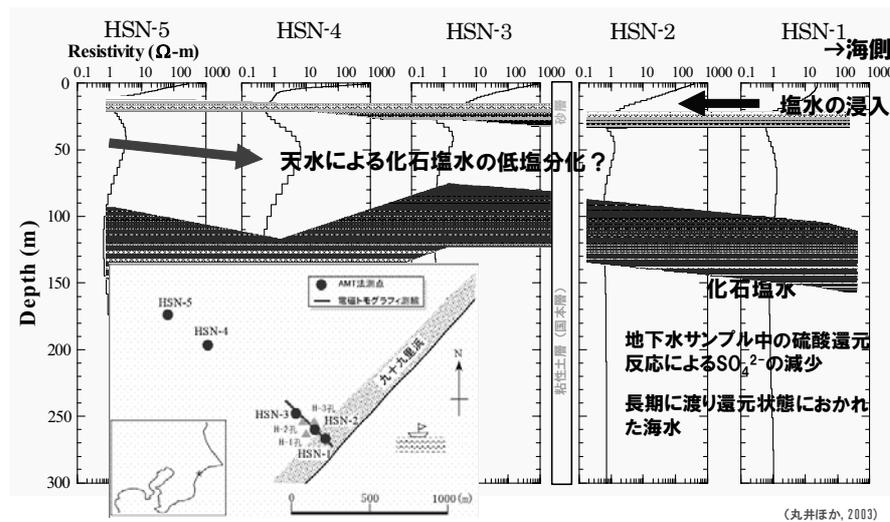


図4 蓮沼海岸における塩淡境界面の調査解析結果

3 つ目のサブテーマ「物理探査データ解析法の高度化」では、地震探査と電磁波探査の 2 つの探査法を中心に、測定・解析技術の研究開発、物性解釈手法の研究、実用技術の成果普及を目標に広範な研究を進めている。これまでは放射性廃棄物地層処分場の岩盤特性評価に用いる電磁探査システムと地震探査データ重合前 3 次元マイグレーション解析法の開発を開始した。前者では既存の CSAMT 法や LOTEM 法装置の性能の比較、さらに簡単な数値モデリングを行って新しい電磁法測定システムの受信部分と送信部分に必要な仕様を検討した。年度中に測定装置とプログラムのプロトタイプを設計し、製作を開始する。後者について

は重合前 3 次元マイグレーション解析法における速度構造の推定法について検討を開始した。この内、地震探査解析に関しては、岩盤特性評価のため重合前 3 次元マイグレーション解析法の改良、全波形トモグラフィの実測データへの適応性の検討、SWD 法の開発のためパーカッションドリリング音源の検討やランダム不均質構造の影響除去法の検討を進めている。一方の電磁探査法に関しては、放射性廃棄物地層処分場評価のため地下 1~2km までを対象にして、CSAMT 法と LOTEM 法を組み合わせた新しい電磁法測定システムの開発、CSEM 法における 2.5 次元解析法の開発と 3 次元モデリング法のアルゴリズム検討、MT 法 3 次元

モデリングへの地形の組み込み等広範な研究開発を行っている。

3. 地圏環境汚染評価手法の開発

1) 研究開発の背景と目標

本年2月の土壤汚染対策法の施行に伴い、大都市圏を中心に土壤汚染対策への早急な対応が望まれている。特に我が国におけるリスク評価・管理手法の開発への取り組みは遅れており、この数年の内に基本的な対応が必要と考えられている。このため、本研究課題は産業技術総合研究所の中期研究には入っていないが、当部門の重点課題として研究開発に取り組み、土壤・地下水汚染の修復に向けてバイオテクノロジーを利用した技術開発を行うとともに、リスク評価・管理手法の研究開発に取り組んでいる。図5には土壤汚染への対応に関する一連の流れと、リスク評価・管理の役割を概念的に示した。

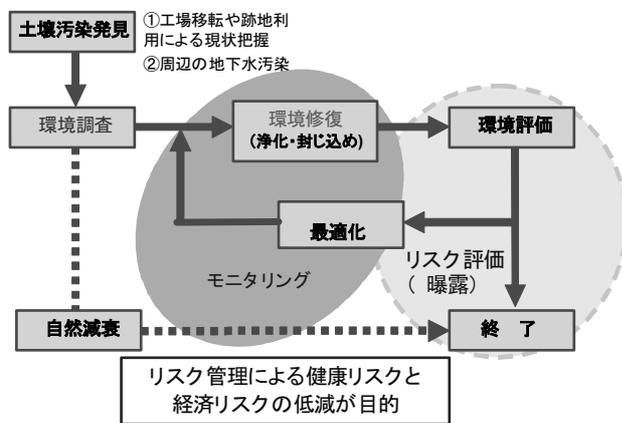


図5 土壤汚染対策の流れとリスク管理の役割

本年度は①有機化合物の地下水汚染へのMNA適用性実証を目指し、MNA評価・予測モデルの構築、有機塩素化合物に対する微生物の分解特性の解明と、②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構築し、実際の汚染サイトに適用することを目標として研究開発を進めている。

2) 研究の進捗状況

実際の塩素系有機化合物地下水汚染地を対象に地下水及び土壤のサンプリング調査を実施し、採取した試料の分析や室内での培養試験をもとにして、科学的自然減衰(MNA)の主要な評価項目である地下水中の微生物活性の検討を行っている(図6)。その結果、汚染物質や地質・水文的条件などによる大きな差異を認めた。その要因として溶存酸素や微量金属、栄養塩、分解生成物などの影響を明らかにした。これからもサンプリング調査を継続するとともに汚染予測解析を行い、MNA評価のための指標成分の特定と必要条件の検討を行う予定である。

一方、土壤汚染の曝露・リスク評価のサイトア

セスメントに必要な評価システムと解析モデルを提案し、それに必要な数式やパラメータ類を整備している。また、サイトアセスメントを実施する上で不可欠な汚染評価のデータを入手し、解析作業を進めている。

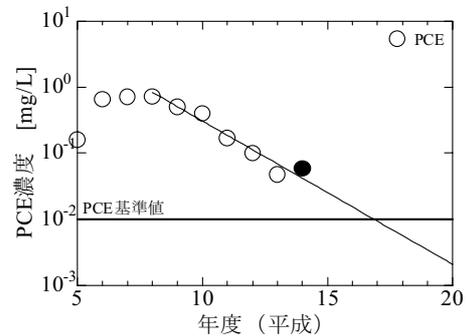


図6 あるサイトでのPCE濃度経時変化

リスク評価モデルは、曝露評価のスクリーニングを目的とする包括モデルから、リスクベース評価を行うサイトモデル、さらには対策の改善効果を判断する詳細モデルへと順次複雑なものになるが、複雑なモデルではより詳細なパラメータ設定が必要になる。産総研内の分野重点研究課題である「土壤汚染調査・評価・管理手法の開発」の一環として、既に当部門では図7に示すような包括モデルの作成を終わり、一般への公開を目指した準備を行っている。現在さらに、サイトモデルや詳細モデルの開発を進めているが、上述したように実用性の高いモデルを完成するためには汚染現場に関する地質・地下水・土壤・微生物活性等のデータだけでなく、汚染物質の有害性や暴露ファクターに関するより詳細な情報が重要となる。このため、産総研内に限らず、外部との積極的な研究協力が重要だと考えている。

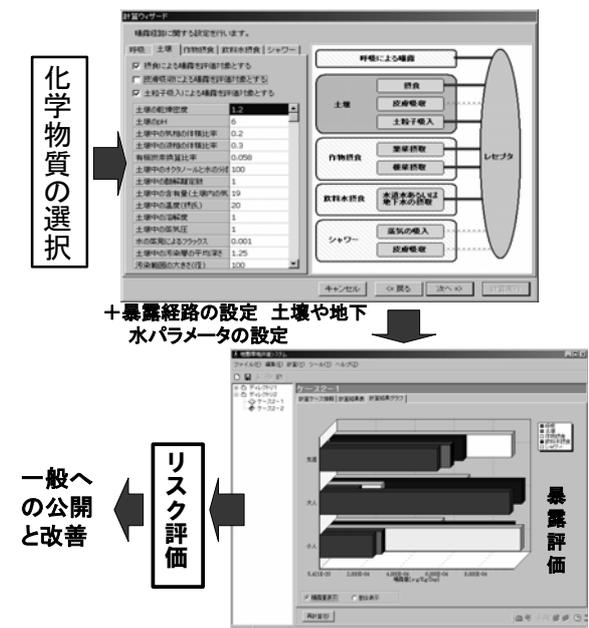


図7 当部門で作成したリスク包括モデル

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

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

具体的には、①未利用地熱資源評価に必要な地熱資源評価システム的设计、および数値地熱資源量分布図の作成、②1/200万鉍物資源図、燃料資源図、1/50万鉍物資源図、水文環境図、大都市圏の土壌・地質汚染評価基本図等の地圏資源環境に関する各種地球科学図を作成し、また、それに関連する各種地球科学情報をデジタル化して提供しており、このほか、アジアの金資源開発・利用のリスク要因のリスクアセスメントの高度化のために、環境汚染問題の評価を進めている。

2. 研究資源について

1) 参加研究人員 および グループ

参加人員: 20名(延べ38名)

参加研究グループ: 地熱資源RG, 燃料資源地質RG, 資源有機地化学RG, 鉍物資源RG, 地下水資源環境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

①地熱資源

地熱資源に関しては、主として地熱資源の資源量評価に関する研究を実施している。平成13年度には、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。また、平成14年度は、温度・貯留構造の解析・表示法を検討し、誌上発表し、また、地熱ボーリングコアの画像データベ

ース暫定版を公開した。

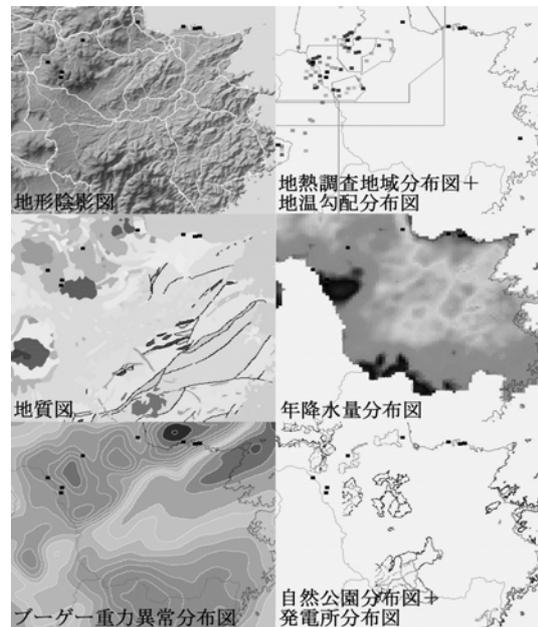


図1 資源評価のための各種地理～地球科学情報の編集図の例(20万分の1地勢図「大分」の範囲)
(図 茂野 博)

平成15年度には、未利用地熱資源の開発評価のために、主として非火山地域における熱異常のモデリング手法の検討を行っている。

②鉍物資源

鉍物資源図に関しては、2003年9月に50万分の1鉍物資源図「九州」(第2図)を出版し、また、50万分の1鉍物資源図「四国・中国」を年度内に出版する予定である。

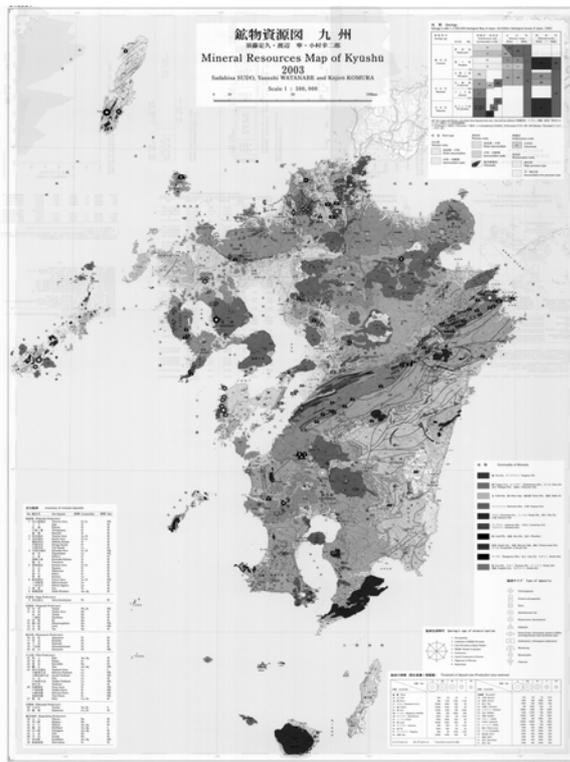


図2 50万分の1 鉱物資源図「九州」
(須藤, 渡辺, 小村, 2003)

鉱物資源図「九州」の編纂課程における資源分布解析の結果、九州では、北九州花崗岩関連鉱床区、九州外帯花崗岩関連鉱床区、北九州浅熱水金鉱床区、南九州浅熱水鉱床区の4つの金鉱床区が存在し、前2者は白亜紀および中新世の花崗岩質岩石を伴い、後2者は鮮新世から更新世の火山岩類を伴っていることが明らかとなった。さらに、新第三紀後期以降圧縮応力を受けている北九州花崗岩関連鉱床区では、金鉱化作用の中心は、地域の中心部に収束していく発達過程を示すが、一方、伸張応力を受けている南九州浅熱水鉱床区では、金鉱化作用の中心が東側に移動することが明らかとなった。

ところで、近年骨材資源に関して、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增大してきているが、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、海砂利採取が禁止された広島県、岡山県などの瀬戸内地域では、国立公園等の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分布に乏しいことが知られており、近年、これを補うために、中国地方の風化花崗岩の野外調査と性状解明に努めて骨材資源としての適正把握を試みてきている。昨年度は、島根県や山口県南東部を中心に調査解析を実施した。

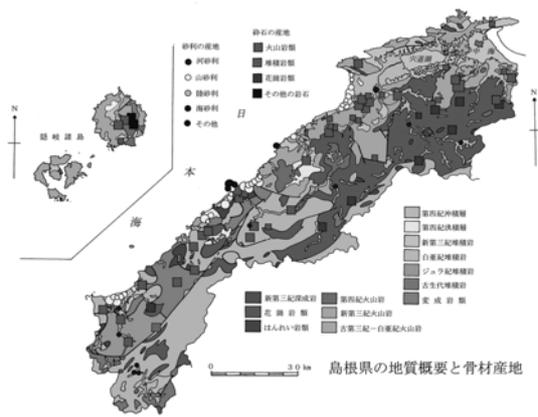


図3 島根県の碎石資源図 (須藤, 2003)

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、新たに砂利産地についての各種の情報整理を開始した。

③燃料資源

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している。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ている。

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している。

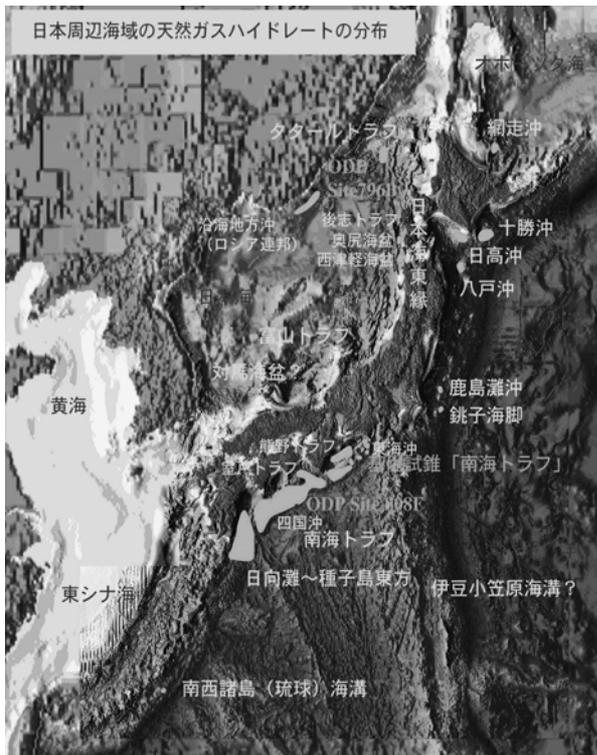


図4 メタンハイドレート分布マッピング作業図
図 佐藤 幹夫

④水資源環境

水文環境図に関しては、「仙台平野」を年度内に CD-ROM 出版の予定である。この他、「濃尾平野」「関東平野」等の編纂を進めている。なお、従来「八ヶ岳水文環境図」を先行させる予定であったが、諸般の事情により出版順を変更した。



図5 水文環境図「仙台平野」の一部
図 内田 洋

⑤土壌・地質汚染評価図

1/5万土壌・地質汚染評価基本図に関しては、昨年度末に、この出版シリーズで初めてとなる「姉崎」を CD-ROM として出版した。本年度は、この成果普及に努めるとともに、来年度に出版する予定である「仙台地域」の現地調査・分析及び、編纂作業を進めている。

土壌・地質汚染評価基本図の特徴としては、①土壌汚染対策法を視野に入れた表層地球化学図であること、②従来の地球化学図は 10km×10km に 1 試料分析であったが、「姉崎」では 23km×18.5km の面積に対し約 70 箇所 200 試料の化学分析を行っていること、③蛍光 X 線分析法による含有量分析

と公定法による溶出試験による特定有害重金属分析を行っていることなどがあげられる。

なお、本シリーズは、全国カバーを目的とするのではなく、各自治体で今後作成が予想される土壌汚染評価図の標準となる手法の確立を目標としている。

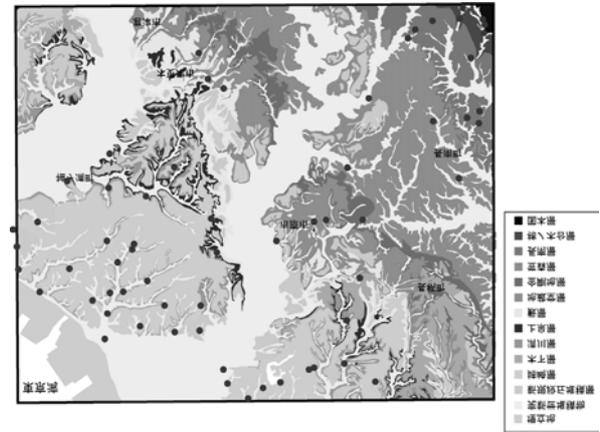


図6 土壌・地質汚染評価基本図「姉崎」の一部
(丸茂 克美 他, 2003)

⑥金資源開発に伴う環境影響およびリスク評価研究

平成 12～14 年度に環境省予算で平成 12～14 年度に実施した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の成果を引き継ぎ、本年度も継続して、アジアの金資源開発に伴う環境影響およびリスク評価に関する研究を知的基盤研究として実施している。具体的内容は、フィリピン、カンボジア、ラオス、タイ、ベトナム、ミャンマー、中国、モンゴルなど東アジアおよび東南アジア各国を対象として、金抽出の小規模精錬により排出される水銀汚染対策などのゴールドラッシュ地域の環境管理を促進し、公的機関の環境計画能力と採掘関係者の環境対処能力を向上させる方法論を検討することである。

今年度は、産総研主催で昨年度に開催したアジアの金資源の開発・利用における環境汚染事例研究にかかわる国際会議の成果を、英国出版社の英文単行本として出版し、また、世界銀行の中小鉱業対策プロジェクトへの対応準備を行った。

また、カンボジアのスモールスケールマイニング管理用図面を作成すると同時に、南米に関し、国連 ECLAC およびブラジル鉱物資源研究所と金ポテンシャルマップを共同で作成した。これらの図面は、まとめて産総研と国連 ECLA の共同で、CD-ROM 出版した。



図7 カンボジアおよび南米の管理用金ポテンシャルマップ (CD-ROM版) (Murao S., Avila, E.C. and Villa Boas R.C., Waza, T., 2003)

⑦データベースの更新

資源環境図の作成、資源量評価及び、環境評価の基礎となる国内及び東南アジア等の地熱資源、ハイドロートを含む燃料資源、地下水資源環境、鉱物資源にかかわるGISに準拠したデータベースの更新を経常的に行っている。

また、中期計画には含まれていないが、本年四月に西事業所に完成した産総研コアライブラリーに収納する産総研所有の燃料及び鉱物資源に関連する大深度試錐コアデータ資料の整備を行っており、年度内に完成の予定である。

4. 今後の研究計画

鉱物資源図については、50万分の1鉱物資源図「中国四国」を年度内に出版すると同時に、「南西諸島」を編纂中である、燃料資源図については三陸沖燃料資源図等を来年に出版する。地質汚染評価図の作成では、調査研究をとりまとめ、「仙台」図幅地域の評価図の編集を進める。水文環境図の作成においては、「仙台平野水文環境図」の出版の他□図面の編纂を継続する予定である。

各種データベースについて、燃料資源に関しては、基礎調査、ガスハイドロート関連情報の収集、DB化を進めると同時に、天然ガス地化学DB作成作業、油田ガス田情報のDB化を進める。また、「水文地質データベース」、「東アジア地下水データベース」及び「東・東南アジア地熱データベース」などの拡充を行い、開示可能なデータに関してはウェブ公開する。

5. まとめ

地質図類として50万分の1鉱物資源図「九州」、および土壤・地質汚染評価基本図「姉崎」を出版し、骨材資源の情報整備を行った。また、50万分の1鉱物資源図「四国・中国」、20万分の1水文環境図「仙台平野」等を年度内に編纂・出版する予

定である。また、平成15年度は、CCOPや世界銀行などの国際機関のプロジェクトに重点的に対応して、例えば、ゴールドラッシュ地域における環境管理、環境計画及びリスクコミュニケーションに関する方法論を確立し、管理図面をまとめて、産総研と国連ECLAと共同でCD-ROM出版した。さらに、各種資源地質データベースおよび水文地質データベースの拡充を不断に継続している。

6. 主要な研究成果の発表状況

(1) 地球科学図類

丸茂 克美, 竹内 美緒, 江橋 俊臣, 楡井 久(2003) 5万分の1土壤・地質汚染評価基本図 {姉崎} CD-ROM版, 産総研地質調査総合センター。

須藤 定久, 渡辺 寧, 小村 幸二郎(2003) 50万分の1鉱物資源図「九州」, 産総研地質調査総合センター。

Murao, S., E.C. Avila, R.C. Villas Boas, and Waza T.(2003)

Gold Potential Map for Environmental Management of Cambodia and Latin America (CD-ROM Version) (AIST02-C00024) AIST/ECLA.

(2) 単行本

Murao, S., Maglamambayan, V., and Bugnoson,, E. eds.(2003), Risk Communication Between Mineral Property Developers and Local Communities. AIST, Tsukuba, 104p.

(3) 論文(国際)

Murao S. et al.(2002), Trace Element concentration of Leaf and ash from waste pond at Fonkou Mine, China Int. Jour. of PIXE 12, 53-60.

(4) その他

鉱物資源研究グループ(2003)平成14年度骨材資源調査報告書。産総研地圏資源環境研究部門, 54p.

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（平成 15 年 9 月 30 日まで）
 Leader, Geothermal Resources Research Group: Shiro Tamanyu
 Phone: 029-861-3737, e-mail: s.tamanyu@aist.go.jp
 地熱資源研究グループ長： 村岡洋文（平成 15 年 10 月 1 日より）
 Leader, Geothermal Resources Research Group: Hirofumi Muraoka
 Phone: 029-861-2403, e-mail: hiro-muraoka@aist.go.jp

1. グループの研究目的

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

2. グループの研究資源

1) グループ員

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

2) 予算

- ・運営費交付金「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」

3. 平成 14 年度までの進捗の状況

1) 未利用地熱資源の実態を解明するため、基盤岩貯留層について抗井間対比等により逸水ゾーンを把握するとともに、断裂の空間分布のフラクタル性を検討した。カルデラ地熱系の研究では、熱構造モデル作成のために抽出すべきパラメータを検討した。平野部熱水系では流体化学データの電子化整理などを進めた。

2) 未利用地熱資源の資源量評価のための数値地熱資源量分布図の作成を目指した研究では、広域レベルの温度・貯留構造の解析・表示法を検討し、その成果を誌上で 3 編発表した。また、地熱資源図 CD-ROM (図 1) 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した (図 2)。

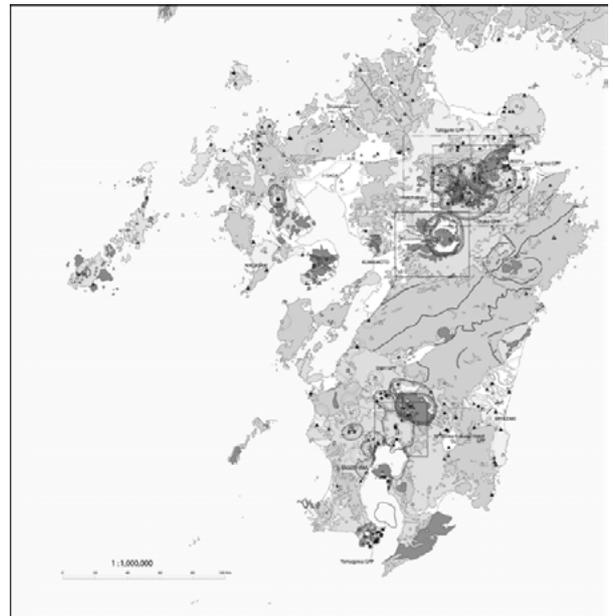


図 1 東北・九州地熱資源図(CD-ROM 版表紙)のうち、九州地域の事例。

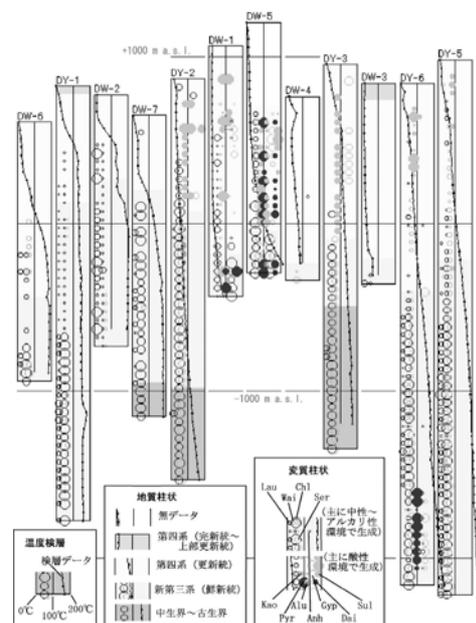


図 2 地熱資源評価を目標とした九州豊肥地域の地熱調査井温度・地質・変質データの重合表示。

3) アジアの地熱資源の研究では、東・東南アジア沿岸・沿海地球科学計画調整委員会 (CCOP) のアジア地熱資源データベースの研究 (平成 13-15 年度) を中心に、アジア地熱シンポジウムの開催等、各種の地熱国際研究協力を行ってきた。アジア地熱資源データベースの研究では、本グループがリードし、平成 14 年度までに、ほとんどの参加国から基本的なデータが提出された。

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では (図 3)、仙台平野・濃尾平野の地下水同位体調査、単層に関する地層分布の検討、濃尾平野の二次元広域地下水流動モデル計算を行った。

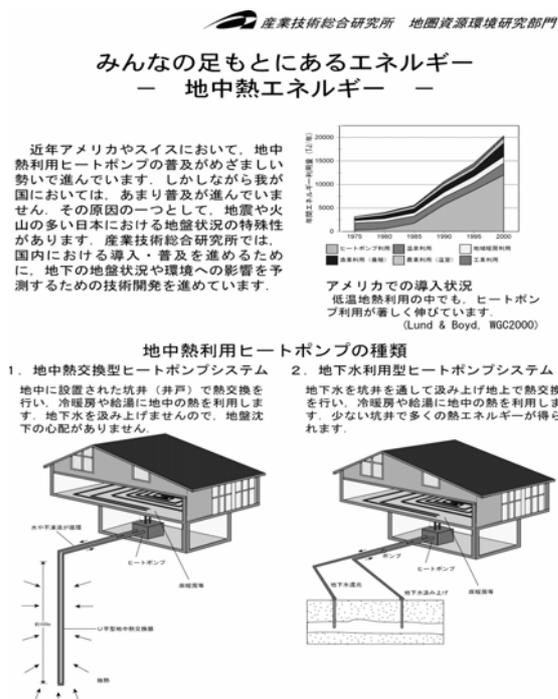


図 3 地中熱利用の必要性と利用形態の例。

4. 平成 15 年度の研究計画

本研究グループは、未利用地熱資源の開発を目指して、未利用地熱資源の実態解明と資源量評価に関するシーズ研究を行う。ここでは特に先第三系基盤岩・貫入岩に賦存する地熱系、カルデラに伴う地熱系、平野部に賦存する地熱系を対象に、それぞれの開発にとって鍵となる透水性断裂系、カルデラに関わる熱・水理構造、地中熱利用の最適化のための地下水水理に焦点を合わせた研究を行う。また、アジアの地熱資源の研究では、CCOP の多国間研究協力として、アジア地熱資源データベースを作成し、アジアを中心に、各種の国際研究協力を行う。

今年度は研究テーマを 1) 未利用地熱資源の実態解明の研究、2) 未利用地熱資源の資源量評価の研究、3) アジアの地熱資源の研究、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の 4 本柱とする。3) は東・東南アジア沿岸・沿海地球科学計画調整委員会 (CCOP) の多国間プロジェ

クト等の国際研究協力であり、4) は NEDO 若手グラントによる地中熱利用に関する 3 ヶ年研究プロジェクトである。

1)a では透水性断裂を、坑井検層・噴気データ等を基に把握する。また、断裂の構成要素と透水性との相関性について数値指標を与える。さらに貫入岩体とその周辺に発達する断裂系の発達様式を把握するために、古地熱地域の岩石について流体包有物マイクロサーモメトリーと岩石学的分析を行う。1)b では大型カルデラ地熱系の熱構造モデルを作成し、総合的なポテンシャル評価の様式等についてまとめる。また、複数の小型カルデラについて地質構造、火山・熱水活動史を調査検討するとともに、小型カルデラ地熱系モデル作成のための地質と年代に関する基礎データを蓄積する。1)c では各地平野部熱水系の流体特性を多変量解析法により明らかにする。2)a では日本の各種地熱資源賦存量の体系的な把握を目的として、GIS と各種既存データを利用した地熱開発有望地域レベルの解析・表示法等の検討を行う。その一表現形式として、東北地方を対象に温泉放熱量分布図の試作版を作成する。2)b では地熱コア画像データベース構築を継続する。3) a では CCOP のアジア地熱資源データベースプロジェクトの最終年度に当たるため、リード国として、参加 10 ヶ国からのデータ収集を完結させ、日本を雛型としてデータ表示法を検討するとともに、最終的にアジアのデータベースを完成させる。3)b では各種二国間の地熱研究協力を行う。4) では濃尾平野と仙台平野をモデルフィールドとして、地中熱利用の最適化のための地下水水理予測手法に関する研究をとりまとめる。

5. 平成 15 年度の進捗状況

1)a 基盤内貯留層の透水性断裂に関する研究では、すでにコア試料の観察で確認した先第三系基盤岩中の透水性断裂を、NEDO の坑井検層・噴気データに関する調査報告書を参照して、断裂と検層記録の対応関係を検討している。また、いままでの研究成果である豊肥地域の標高-5km までの広域的な流体流動のシミュレーション結果を、国際学会で発表するとともに国際誌に学会発表した。一方、菱刈コア試料に見られる鉍脈の幅と位置の観察と記載は 9 月末を目途に行っている。その後、統計処理を行い、鉍脈 (断裂) の空間分布の特徴を把握し (~11 月)、古地熱系を例に当時の透水性を検討する予定である (~3 月)。

1)a 貫入岩体とその周辺に発達する断裂系に関する研究では、秋田県湯沢雄勝地域の流体包有物の研究成果をとりまとめ、現在地熱学会誌に投稿中である。なお、上記の研究は地熱系の熱履歴を解析するための手段として流体包有物を用いているが、「その手法を堆積盆の熱履歴に活かすためにはどうすべきか」という観点から地学団体研究会新潟総会シンポジウム (8 月) にて講演するよう依頼があり、「流体包有物による熱履歴解析 -

地熱系から堆積盆へ」というタイトルで講演した。また、花崗岩に発達する微小割れ目の形態についてデータセットを整備した。

1)b 大型カルデラ地熱系の熱構造モデルに関する研究では、カルデラ地熱系に関する論文の収集・解析中である。本研究では、日本のカルデラ地熱系を、国際的事例と比較する予定である。

1)b 小型カルデラ地熱系モデルに関する研究では、下北地域において5月と7月に各1週間の現地調査を実施した。本地域では既存資料で佐井村野平付近と川内町畑付近の2ヶ所に湖成堆積物が報告されており、小型カルデラの可能性があるため調査対象とした。本年度は既存データの少ない畑付近を中心に調査を行った。その結果、本地域の湖成堆積物は既存の地質図に示されたよりやや広く円形に近い分布域を持つことが明らかとなった。また、噴出物の可能性のある凝灰岩を見出し、この凝灰岩と湖成堆積物の境界も確認した。

1)c 平野部熱水系の解明の研究では、北海道苫小牧市-白老町周辺の大規模な「深層熱水」型資源の賦存状況・特性について、流体地球化学データを中心に総合的な検討を行い、とりまとめて報告書を作成している。この結果を基礎に、日本各地の「深層熱水」型資源の賦存状況・特性について、比較検討結果をとりまとめて行く予定である。

2)a GISを利用した評価法の検討では、地熱開発有望地域レベルのケーススタディーとして、地熱流体化学データおよび坑井検層・柱状データについて検討を行い、効率性・経済性の高い統合的なデータ管理・処理・表示手法を報告書原稿として取りまとめた。地熱資源の調査・評価に関するデータの整備・提供は、国の知的基盤の一環として重要である。本研究ではケーススタディーとして試行的に、地熱資源の探査・開発・保全に関する多種多様なデータ（地下3次元データを含む）の電子数値化整備とともに、効率性・経済性の高い統合的なデータの管理・処理・表示手法の開発を実施している。

2)a 温泉放熱量分布図作成の研究では、温泉放熱量分布図試作に向けて、仕様の検討と実際のデータ量の調査を行っている。予定よりやや遅れている。温泉放熱量分布図は、温泉開発が進んでいる日本独自の手法といえる。温泉は今後一層開発が進むと予想されるが、本研究は賦存実態解明や資源・環境評価が十分でない中・低温地熱資源についての基礎的資料の提供となる。

2)b 地熱保管コア画像データベース構築では、昨年度撮影したコア画像の整理を進めている。コア画像のデータベースができあがれば、保管コアを整理・縮分することが可能となる。また、昨年度までに取得した画像データを整理中であるが、予定より遅れている。

3)a アジア地熱資源データベースの研究では、アジア地熱データベースの雛形とすべく、日本国内で収集したデータについて、GISソフトウェア上での表示法を検討した(図4)。その成果は、10月

のクアラルンプールでのCCOP総会と並行開催の第5回ワークショップにおいて発表し、参加国からの賛同を得た。平成15年度後半には、この表示法を参加国全体に適用し、アジア地熱資源データベースを完成させる予定である。

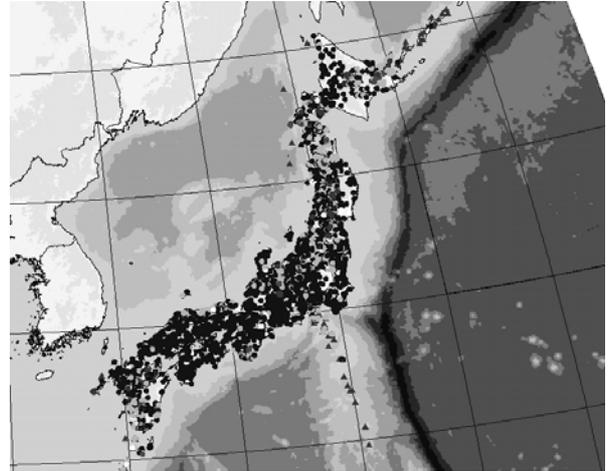


図4 アジア地熱資源データベースの日本地域における表示法検討の一例。

3)b 各種二国間地熱研究協力では、平成9-13年度まで実施されたインドネシアとのODAプロジェクトのフォローアップ調査を行った。インドネシアは同プロジェクトの成果を受けて、現在、マタロコ地域に2坑の1000m深地熱井を掘削中であり(図5)、本プロジェクトの成果が確実に実際の開発に結びついていることを確認した。



図5 ODAプロジェクト後、フローレス島マタロコ地域にインドネシアが独自で掘削中のMT-3号井(2003年9月3日撮影)。



図6 韓国 KIGAM が浦項（ポハン）市に掘削中の2坑の1000m深パイロット地熱井。手前と向こう側に2つのリグが見える（2003年9月25日撮影）。

また、韓国が浦項（ポハン）市の地域暖房開発の目的で進めている地熱掘削プロジェクト（図6）のシンポジウムにおいて、研究協力としての提言の発表を行った（ただし、韓国 KIGAM との研究協力は物理探査研究グループが中心となっている）。

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では、今年度が最終年度であり、本研究を通して得られた調査や数値シミュレーションの進め方のノウハウを、民間事業者に対して提供するサービスとしてプロジェクトの最終段階において取りまとめる。現時点においては、地下水流動に関する現地調査、帯水層分布の検討、シミュレーションによる採熱影響の評価、2孔井モデルによる抽熱特性の検討を終了している。以下に提供予定のサービスの概略について記述する。

4)a 適地選定手法では、地質・地下水の調査において必要とされる調査項目、調査方法、数値モデル化の実施方法、グリッド・パラメータの与え方、環境影響の検討手法、地下システムの検討手法、その際の注意点についてマニュアルとして取りまとめて、民間事業者が自ら新規にデータを取得、あるいは各自で所有するデータを用いることにより適地の選定を行えるようにする。

4)b モデルフィールドにおける地下情報では、必要な地下情報を本マニュアルに示した方法により取りまとめた例として、モデルフィールドにおけるグリッドデータを提供する。対象地域の地下を水平方向1km²、深度方向に数十mのグリッドに分割し、それぞれに対してこれまでの調査から得られた熱物性、数値モデル化により得られた地下水流速等のデータを示し、当該地域における適地の選定に資する。

6. 期待される成果

- ・先第三系基盤岩・貫入岩に賦存する地熱系、カルデラに伴う地熱系、平野部に賦存する地熱系を対象に、それぞれの開発にとって鍵となる透水性断裂系、カルデラに関わる熱・水理構造等をモデル化する。
- ・GISと各種既存データを利用した地熱開発有望地域レベルの解析・表示法を検討する。その一表現形式として、東北地方を対象に温泉放熱料分布図の試作版を作成する。
- ・エネルギー需要の急増するアジアに、地熱資源利用のための基礎データを提供するとともに、多国間および二国間の研究協力体制を構築する。
- ・濃尾平野と仙台平野をモデルフィールドとして、地中熱利用の最適化のための地下水水理予測手法に関する研究をとりまとめる。
- ・学術的成果としては、論文投稿10編、誌上发表10編、口頭発表20編を目標とする。

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。

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。

析を行い，根源岩形成時の古地理図作成等基礎情報を整備する。物理探査，坑井データから本地域の資源地質，堆積史，熱史，構造発達史を検討し，燃料資源図のデータをまとめる（図1，図2）。

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
松林 修	物理探査，地球熱学
佐藤 幹夫	海洋地質（現企画本部）
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

(併任者)

徳橋 秀一	堆積地質（地質標本館）
-------	-------------

(研究分担者)

池原 研	海洋地質，堆積地質
渡辺 真人	微化石層序学，新生代地質
雷 興林	物理探査
横田 俊之	反射法地震探査法

2) 予算

燃料資源地質RG H15予算 (10/24)

運営費交付金

1号業務「燃料資源地質の研究」	10,090千円
2号業務「燃料資源地質の研究」	700千円
受託研究（石油公団）	
「地化学探査の適用検討・評価」	38,020千円
寄付金(ILP)ハイドレートMP	1,155千円
合計	49,965千円

3. 研究の進捗状況

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

三陸沖堆積盆の天然ガスポテンシャル評価のため，北海道，東北地方等の地質調査と炭質物の分

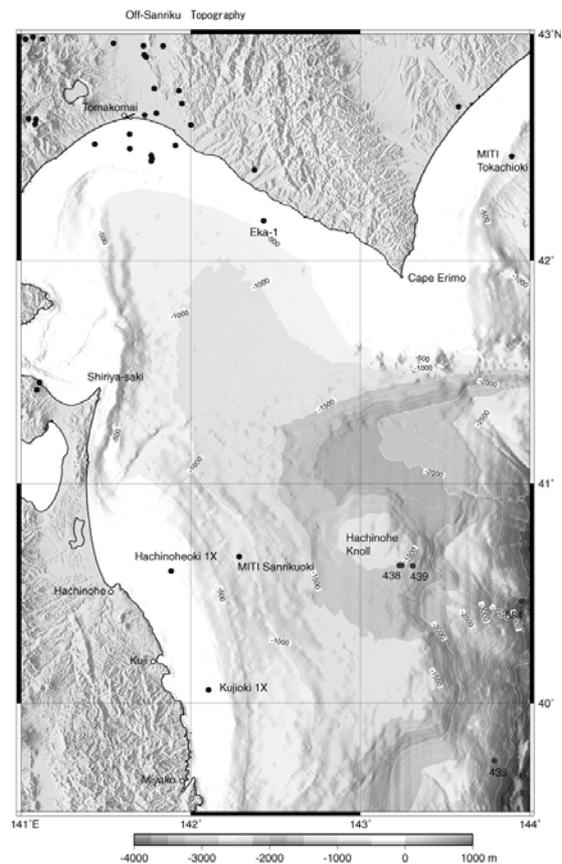


図1 三陸沖地形図および既存坑井位置

- 釧路炭田地域において野外露頭の地質調査，石炭等試料の採取を行い，地質データを収集した。
- 三陸沖堆積における広域熱史のモデルを検討。
- 基礎試錐「三陸沖」，久慈炭田，石狩炭田の石炭地質に関して AAPG International で発表した。

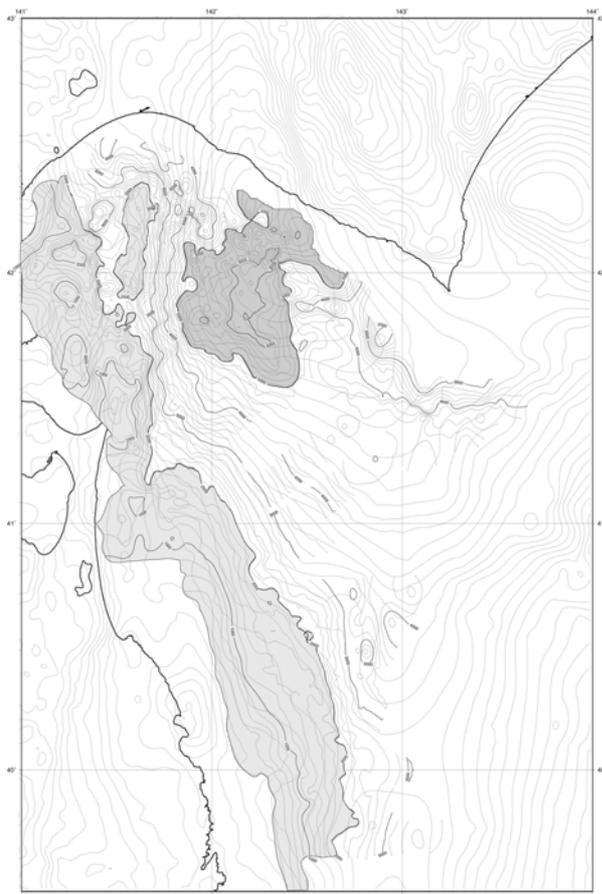


図2 三陸沖ブーゲー異常と漸新世O不整合の深度分布

○ジャパンエネルギー石油開発(株)と共同研究を継続している。その成果である論文、大澤、中西、棚橋、小田(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」が、第47回石油技術協会賞論文賞を受賞した。

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

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

○石油公団よりの受託研究により、昨年度実施した「第2白嶺丸」による東海沖～熊野灘の地化学調査の分析解析を、東大理、東大海洋研、北大理、広大生物資源、高知大海洋コアセンター、アメリカ海軍研究所との共同研究により進めた。今年度11-12月には東海大学「望星丸」による調査航海に参加予定。また、地化学探査手法の評価、来年度の実施計画を検討中。

○同受託研究により、昨年度FSを実施し検討した光ファイバ精密分布型地層温度計を、今年度

シュルンベルジェ社が制作、年度末実施予定の基礎試錐において行われる計測を支援する。



図3 チリ沖 Vidal Gormaz 航海で実施されたアメリカ海軍研究所(NRL)の深海曳航式地震探査装置DTAGSの投入風景

○昨年度末から年度初めにチリ沖で行われたバルパライソクリスチャン大学およびアメリカ海軍研究所によるハイドレート探査航海(Vidal Gormez, ピストンコア採取, 深海曳航式音波探査)に参加した(図3)。

○11月中旬に中国で行われるメタンハイドレートに関する国際ワークショップに招待され、南海トラフの熱流量に関して発表する(図4)。

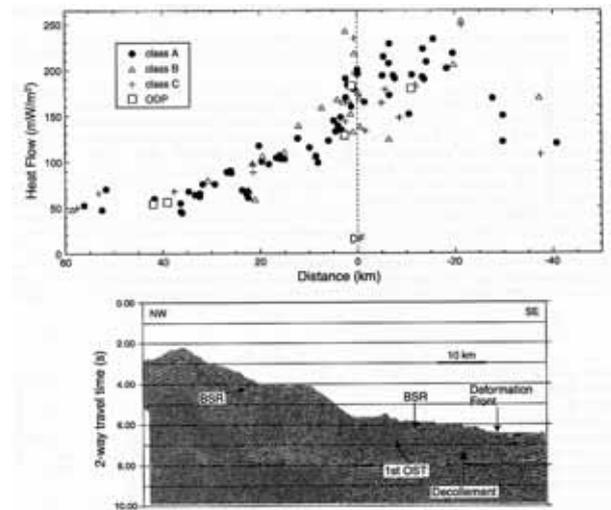


図4 四国室戸岬沖の南海トラフを横切るマルチチャンネル地震探査断面(下図; 倉本ほか2000による)に沿って得られた海底表層の熱流量プロファイル(Yamano et al., 2003). 黒丸, 三角, 十字の印は, この順に個々の点での測定精度が低いことを表す. 変形フロント(DF)から陸側に向かって熱流量値が次第に低くなることから, 堆積物が若いほど温度場が地中間隙水の流動に強く影響されており付加体下方からのメタンの上昇も盛んであることを示すと解釈されている。

○昨年度に引き続き、熊野海盆、四国沖の「しんかい 6500」調査、「かいこう」ROV調査、地形調査に参加した。地震探査データ解析と合わせて、熊野堆積盆の総合的な地質解析を進めている。

○南海トラフの二重 BSR の全波形インバージョン法による速度構造推定法の論文を発表(図5)。

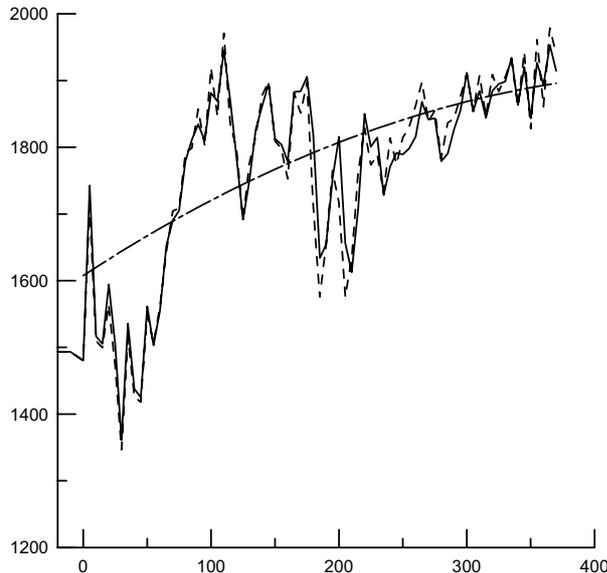


図5 東部南海トラフにおいて2000年に取得されたマルチチャンネル地震探査データを用いて、DBSR (= 二重海底擬似反射面) が観測される地点についてフルウェーブ・インバージョン法により詳細な速度構造を求めた解析結果 (Song et al., 2003). 下の BSR は過去のガスハイドレート安定条件に対応し、まだ分解せずに残存するハイドレートを示す可能性がある。このような地下の物理的過程を、地質的条件を考慮しつつモデル化する研究を行っている。

○一昨年度末に行われたカナダマリックの産出試験掘削時の試料分析結果を投稿した。国際シンポジウムで報告予定。

○メタンハイドレート開発研究コンソーシアム(MH21)の海洋調査サブワーキンググループ活動を実施。8月に海洋調査ワークショップを石油公団で開催した。

○メタンハイドレート関連情報交換のためのメーリングリスト(参加者151名)を運営している。本年度これまでに85件の文献を紹介した。
○日本エネルギー学会ハイドレート研究会「新生産手法調査委員会」等で活動している。

3) 在来型天然ガス資源等の鉱床成因、形成機構の地質学的研究

東北地方、新潟、房総、日本海等の含油ガス田堆積盆地域の地質調査により堆積学的データを収

集し、統計学的解析、日韓層序対比等を実施する。構造発達史と根源岩、貯留岩の形成との関係を検討する。

○石油・天然ガス探鉱の大水深化により脚光を浴びているタービダイト貯留岩の研究を行っている。現世モデルの研究では深海底セディメントウェーブと呼ばれるタービダイトによる堆積構造の成因と貯留岩能力についての研究、貯留岩の供給源となる陸上の気候変動が貯留岩の性状や胚胎層準に与える影響についての研究を行っており、成果の一部を論文および国際学会で発表した。

○地層モデルの研究では、タービダイト貯留岩の層厚から貯留岩の体積や分布を推計する統計学的手法をレビューし、ノルウェー・トルコとのタービダイト堆積盆の共同調査、秋田油田の貯留岩についての堆積学的研究等を行った。

4) 天然ガス資源のポテンシャル評価技術の研究

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

○「陸成堆積盆」テーマと絡めて、H16年度産総研委託費要求を行ったが不採択であった。

○ハイドレート資源評価は担当者の異動に伴い遅れている。

5) 燃料資源図の作成

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

○石炭起源ガスに関するジャパンエネルギー石油開発との共同研究の成果を中心として三陸沖燃料資源図を編集中。年度内に出版予定。

○水溶性ガス田図は担当者の異動に伴い遅れている。

○ガスハイドレート分布ポテンシャル図は、諸情報を取り込んだ作業図を作成した。

6) 燃料資源情報の収集

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

○ILPメタンハイドレートアトラスプロジェクト2年目であり、さらにデータ編集を進めるとと

もに、国際ワークショップを計画中。

○燃料情報収集は基礎調査データの電子化を中心として進めている。

7) 燃料資源地質の基礎的研究

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

○最近の海洋高分解能物理探査に関するレビュー論文を投稿した。

○ODP Leg159の試料を用いた帯磁率異方性の変化の研究をIUGGで発表した。

○フィッション・トラック熱年代法を利用した根源岩の熟成度評価法について論文を執筆中。

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、引き続き重点研究課題として実施する。さらに在来型天然ガス資源等の鉱床成因・形成機構の地質学的研究、燃料資源地質の基礎研究を実施する。

1) ハイドレート研究に関しては、資源エネルギー庁が策定した「メタンハイドレート開発計画」に基づき、石油公団が平成13年度より実施している資源量評価研究の一部として地化学調査等を分担し、地化学探査資試料の分析解析を進め地化学探査手法の適用可能性を評価・確立する。

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編集・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。

最近の主な公表論文

1) 石原与四郎, 徳橋秀一(2002)時系列解析結果からみた新潟堆積盆鮮新統川口層中の半深海成および浅海成タービダイトサクセッションの堆積

システム. 地質学雑誌, v. 108, 3, p. 164-175.

2) Kubo, Y. and Nakajima T. (2002) Laboratory experiments and numerical simulation of sediment wave formation by turbidity currents. *Marine Geol.*, v. 192, p. 105-121. IF1.986.

3) Morita, S. et al. (2002) Distribution of BSR and Possible Fluid Migration in the Western Nankai Trough. *Proceedings of The Fourth International Conference on Gas Hydrates*. p.150-153.

4) 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ー化への応用の可能性—. *石油技術協会誌*, 67 巻, 第3号, p. 308-320.

5) 中嶋 健・檀原 徹・岩野英樹・山下 透(2003)秋田市羽川の天徳寺層桂根相のフィッション・トラック年代. *地質学雑誌*, v. 109, p. 252-255.

6) 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.

7) Sato, M. (2002) Distribution and resources of marine natural gas hydrates around Japan. *Proceedings of The Fourth International Conference on Gas Hydrates*, p.175-178.

8) Song, H., Matsubayashi, O., and Kuramoto, S. (2003) Velocity structure of double BSRs in the eastern Nankai Trough accretionary prism: results from full waveform inversion. *物理探査*, v. 56, p. 349-356.

9) 棚橋 学(2002)メタンハイドレート資源の開発 *物理探査*, 55 巻 5 号.

10) 徳橋秀一編著(2002)タービダイトの話 (地質ニュース復刻版). 実業公報社, 251p.

11) Yamano, M., Kinoshita, M., Goto, S., and Matsubayashi, O. (2003) Extremely high heat flow anomaly in the middle part of the Nankai Trough. *Phys. Chem. of the Earth*, 28, 487-497.

資源有機地化学研究グループの紹介

Introduction of the Fuel Resource Geochemistry Research Group

資源有機地化学研究グループ長： 坂田 将

Leader, Fuel Resource Geochemistry Research Group: Susumu Sakata

Phone: 0298-61-3898, e-mail: su-sakata@aist.go.jp

1. グループの研究目的

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

2. グループの研究資源

1) グループ員

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

2) 予算

運営費交付金

資源有機地化学の研究 (エネルギー)

資源有機地化学の研究 (地質)

受託研究 (石油公団)

「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)」

3) 主な研究設備

- ・ガスハイドレート合成実験装置
- ・ガスクロマトグラフ
- ・ガスクロマトグラフ質量分析計
- ・ガスクロマトグラフ燃焼同位体質量分析計
- ・元素分析装置
- ・イオンクロマトグラフ
- ・高速液体クロマトグラフ

- ・ビトリナイト反射率測定装置 (石炭顕微鏡)

3. グループの特色

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

4. 15年度前期までの研究進捗状況

1) ガスハイドレート資源評価技術の地化学的研究

室内実験による GH 相平衡条件とガス分別の測定を進めるとともに、多孔質孔隙中の相平衡条件の測定・解析を行う。相平衡条件、同位体分別に関する既存研究成果の公表を進める。南海トラフ海域の表層及び深部 (基礎試錐) 堆積物中のバイオマーカーを測定し、メタンの生成・消費微生物の活動記録の検出を試みる。

- ・メタン・プロパンを含む混合ガスの相平衡条件を測定した。その結果、メタン・プロパン混合ガスハイドレートの共晶点のガス組成が、平衡温度によって変化することを実験的に観察した。
- ・ヘリウムを含む炭化水素ガス (メタン・エタン) の相平衡条件の測定を行った結果、ヘリウムはそれらの混合ガスハイドレートの安定性には寄与しないことを確認した (図1)。
- ・任意の炭化水素組成の混合ガスおよび塩溶液と共存するメタンハイドレート相平衡条件を予想する統計熱力学的モデルを構築し、これまでに提案された複数の熱力学パラメータを用いて得られた相平衡条件の予測結果を比較した (図2)。
- ・メタン生成アーケア起源のバイオマーカー分析によるメタン生成アーケア活動度の復元：平成11年度に実施された南海トラフでの基礎試錐調査で採取されたコア試料を用いてバイオマーカー分析を行った。また、コア試料

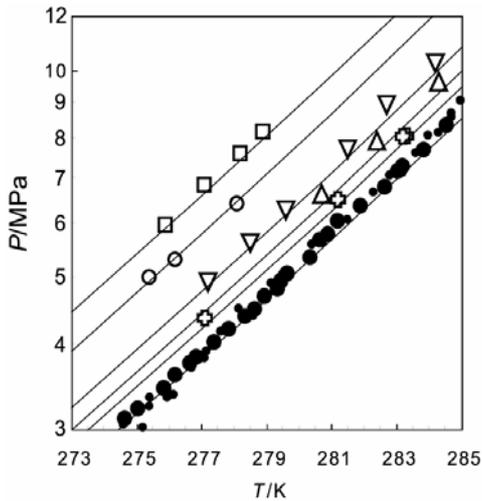


図 1. メタン-ヘリウム混合ガスのハイドレート相平衡条件. メタン濃度が減少するとハイドレート相平衡条件は低温・高圧側へシフトする.

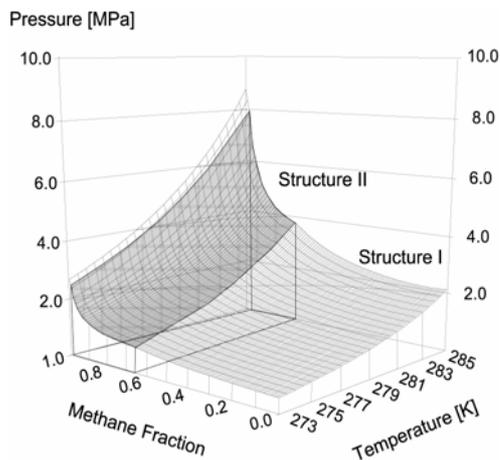


図 2. メタン-エタン混合ガスのハイドレート相平衡条件の統計熱力学的推定値. ガス組成によって、結晶構造が変化することを考慮している.

の全有機炭素量及び窒素量を元素分析計で測定した. 分析の結果, コア試料からメタン生成アーキアに特徴的なバイオマーカーである 2,6,10,15,19-ペンタメチルアイコサン (PMI) を検出し, メタン生成アーキアの過去の活動について考察した. さらに, 堆積物中の間隙水の移動がバイオマーカー組成に影響を与える可能性について検討した. 間隙水抽出前のコア試料と間隙水抽出後のコア試料の間で炭化水素成分に相違が見られず, 間隙水の移動によるバイオマーカー組成の変化の可能性は低いことが判明した.

- 間隙水の地化学データからメタンの消費 (嫌氣的メタン酸化) の進行が示唆されている海

底浅層堆積物試料について, 炭化水素バイオマーカーを分析し, 同プロセスの分子記録の検出を試みた. 東海沖の試料からは PMI (ペンタメチルアイコサン), Cr (クロセタン), 及びその不飽和物が高い濃度で検出された (図 3). 両成分の炭素同位体比は-100 パーミル以下であり, メタン消費アーキア起源と推定された. 四国沖の試料からは PMI のみが低濃度で検出され, 炭素同位体比 (-27 パーミル) が高いことから, メタン生成アーキア起源と推定された. 東海沖試料に比べて四国沖試料は間隙水のメタン濃度が低いため, 嫌氣的メタン酸化を示すバイオマーカーの記録が検出されなかったと考えられる. 今回の結果から Cr の有無が南海トラフ堆積物のアーキア活動の特徴 (メタン消費かメタン生成か) を反映する指標となることが推定された.

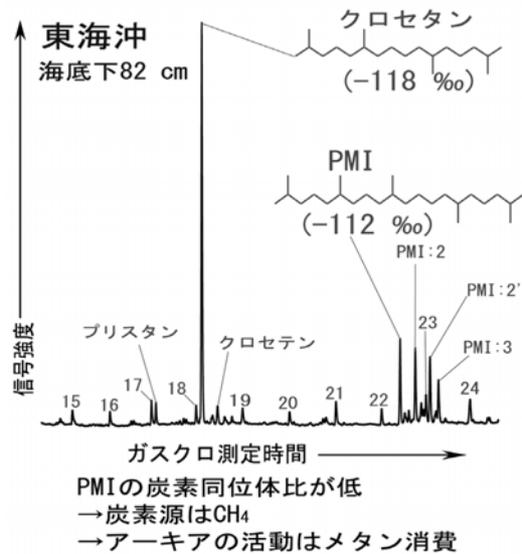


図 3. 東海沖堆積物中の炭化水素バイオマーカー

2) 石炭起源ガス資源評価技術の地化学的研究

石狩炭田, 釧路炭田等の野外調査と採取試料の炭質分析, 及び既存地質・炭質データの収集, 評価をもとに, 堆積盆内の炭層と炭質の空間的分布をより高い精度で把握する. 石炭中のバイオマーカーを分析し, 炭質との関係を調べることにより, ガス生成ポテンシャル評価に有効なバイオマーカー指標を探索する. ガス生成ポテンシャルの支配因子 (堆積環境等) について考察する. 炭田ガスの化学組成, 同位体比を分析し, ガスの起源, 生成機構について考察する. 石炭のメタン吸着率測定のための予備実験を試みる.

- 天然ガス組成, ^{13}C , D/H 同位体分析により炭

資源有機地化学研究グループの紹介

Introduction of the Fuel Resource Geochemistry Research Group

資源有機地化学研究グループ長：坂田 将

Leader, Fuel Resource Geochemistry Research Group: Susumu Sakata

Phone: 0298-61-3898, e-mail: su-sakata@aist.go.jp

1. グループの研究目的

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

2. グループの研究資源

1) グループ員

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

2) 予算

運営費交付金

資源有機地化学の研究 (エネルギー)

資源有機地化学の研究 (地質)

受託研究 (石油公団)

「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)」

3) 主な研究設備

- ・ガスハイドレート合成実験装置
- ・ガスクロマトグラフ
- ・ガスクロマトグラフ質量分析計
- ・ガスクロマトグラフ燃焼同位体質量分析計
- ・元素分析装置
- ・イオンクロマトグラフ
- ・高速液体クロマトグラフ

- ・ビトリナイト反射率測定装置 (石炭顕微鏡)

3. グループの特色

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

4. 15年度前期までの研究進捗状況

1) ガスハイドレート資源評価技術の地化学的研究

室内実験による GH 相平衡条件とガス分別の測定を進めるとともに、多孔質孔隙中の相平衡条件の測定・解析を行う。相平衡条件、同位体分別に関する既存研究成果の公表を進める。南海トラフ海域の表層及び深部 (基礎試錐) 堆積物中のバイオマーカーを測定し、メタンの生成・消費微生物の活動記録の検出を試みる。

- ・メタン・プロパンを含む混合ガスの相平衡条件を測定した。その結果、メタン・プロパン混合ガスハイドレートの共晶点のガス組成が、平衡温度によって変化することを実験的に観察した。
- ・ヘリウムを含む炭化水素ガス (メタン・エタン) の相平衡条件の測定を行った結果、ヘリウムはそれらの混合ガスハイドレートの安定性には寄与しないことを確認した (図1)。
- ・任意の炭化水素組成の混合ガスおよび塩溶液と共存するメタンハイドレート相平衡条件を予想する統計熱力学的モデルを構築し、これまでに提案された複数の熱力学パラメータを用いて得られた相平衡条件の予測結果を比較した (図2)。
- ・メタン生成アーケア起源のバイオマーカー分析によるメタン生成アーケア活動度の復元：平成11年度に実施された南海トラフでの基礎試錐調査で採取されたコア試料を用いてバイオマーカー分析を行った。また、コア試料

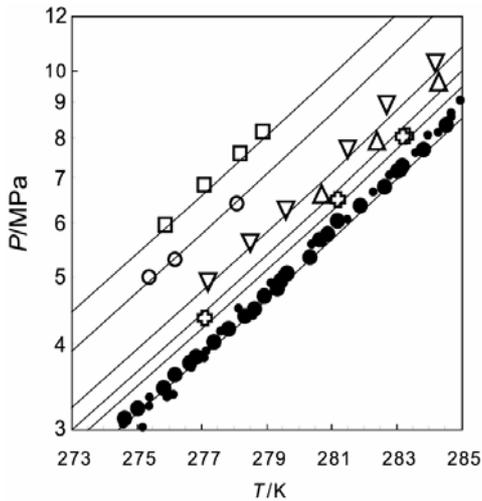


図 1. メタン-ヘリウム混合ガスのハイドレート相平衡条件. メタン濃度が減少するとハイドレート相平衡条件は低温・高圧側へシフトする.

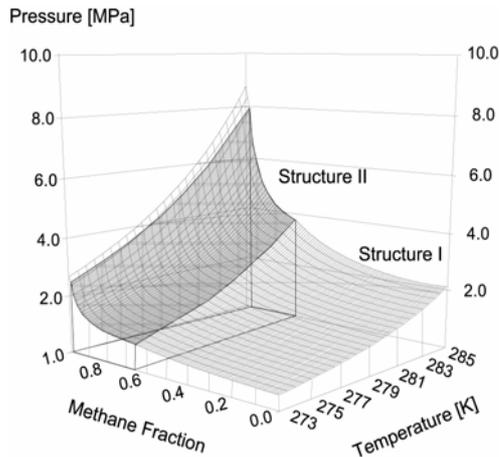


図 2. メタン-エタン混合ガスのハイドレート相平衡条件の統計熱力学的推定値. ガス組成によって、結晶構造が変化することを考慮している.

の全有機炭素量及び窒素量を元素分析計で測定した. 分析の結果, コア試料からメタン生成アーキアに特徴的なバイオマーカーである 2,6,10,15,19-ペンタメチルアイコサン (PMI) を検出し, メタン生成アーキアの過去の活動について考察した. さらに, 堆積物中の間隙水の移動がバイオマーカー組成に影響を与える可能性について検討した. 間隙水抽出前のコア試料と間隙水抽出後のコア試料の間で炭化水素成分に相違が見られず, 間隙水の移動によるバイオマーカー組成の変化の可能性は低いことが判明した.

- 間隙水の地化学データからメタンの消費 (嫌氣的メタン酸化) の進行が示唆されている海

底浅層堆積物試料について, 炭化水素バイオマーカーを分析し, 同プロセスの分子記録の検出を試みた. 東海沖の試料からは PMI (ペンタメチルアイコサン), Cr (クロセタン), 及びその不飽和物が高い濃度で検出された (図 3). 両成分の炭素同位体比は-100 パーミル以下であり, メタン消費アーキア起源と推定された. 四国沖の試料からは PMI のみが低濃度で検出され, 炭素同位体比 (-27 パーミル) が高いことから, メタン生成アーキア起源と推定された. 東海沖試料に比べて四国沖試料は間隙水のメタン濃度が低いため, 嫌氣的メタン酸化を示すバイオマーカーの記録が検出されなかったと考えられる. 今回の結果から Cr の有無が南海トラフ堆積物のアーキア活動の特徴 (メタン消費かメタン生成か) を反映する指標となることが推定された.

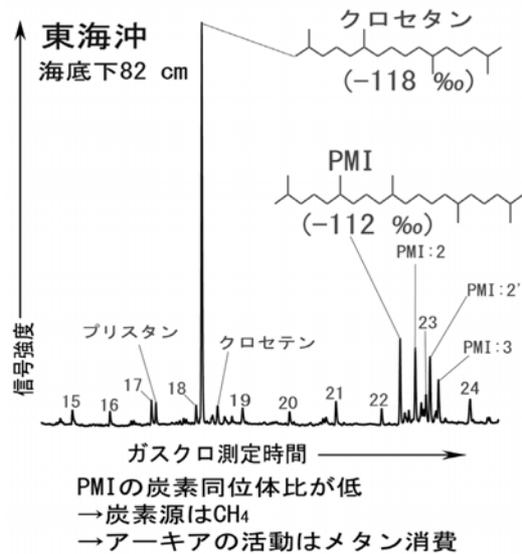


図 3. 東海沖堆積物中の炭化水素バイオマーカー

2) 石炭起源ガス資源評価技術の地化学的研究

石狩炭田, 釧路炭田等の野外調査と採取試料の炭質分析, 及び既存地質・炭質データの収集, 評価をもとに, 堆積盆内の炭層と炭質の空間的分布をより高い精度で把握する. 石炭中のバイオマーカーを分析し, 炭質との関係を調べることにより, ガス生成ポテンシャル評価に有効なバイオマーカー指標を探索する. ガス生成ポテンシャルの支配因子 (堆積環境等) について考察する. 炭田ガスの化学組成, 同位体比を分析し, ガスの起源, 生成機構について考察する. 石炭のメタン吸着率測定のための予備実験を試みる.

- 天然ガス組成, ¹³C, D/H 同位体分析により炭

鉱物資源研究グループの活動 Activity of the Mineral Resource Research Group

鉱物資源研究グループ長： 渡辺 寧

Leader, Mineral Resource Research Group: Yasushi Watanabe

Phone: 029-861-3811, e-mail: y-watanabe@aist.go.jp

1. グループの研究目的

国民生活に不可欠な鉱物資源の安定供給の確保はナショナル・セキュリティに関わる重要課題である。当グループは、金属・非金属・骨材分野の専門家をもって組織し、金属資源のように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。

金属資源についてはマグマ熱水系における深部鉱化作用の解明と探査手法の研究を進め、国内外での資源確保のための探査・開発を促進させる。非金属資源についても鉱化作用と探査手法の研究を進め、貴重な国内資源の合理的開発と資源の有効利用に貢献する。また全国の骨材資源の概要を示し、地方における資源確保の努力を、国・県とともに支援していく。資源の開発にあたっての各種リスク削減の研究を実施し、環境保全に配慮した方法を開発し普及に努める。鉱物資源図とデータベースの研究を進め知的基盤の整備に貢献し、国際的な研究協力にも積極的に貢献する。

本研究グループの担当領域は、金属・非金属鉱物資源、骨材資源、資源データベースおよび資源開発時におけるリスク削減と多岐にわたっている。このため、各分野に1つずつの研究テーマを設定し担当者を配置している。緊急性・重要性が高く、対応可能な問題から順次取り組んでいく。研究結果は、学術論文や資源図、AIST報告書として公表している。また、各分野で行政や産業界で重要と思われる成果や情報を、「地質ニュース」や「地質展」などを通じ、わかりやすく社会に還元することにも努めるとともに、政府、資源探査機関、国際援助機関、都道府県から要望される技術指導を積極的に行い、技術の普及に努めている。

2. グループの研究資源

1) グループ員

渡辺 寧 (リーダー)

小村良二

佐藤興平

須藤定久

村尾 智

村上浩康

内藤 耕(併任)

大田英順(併任)

小笠原正継(地球科学情報部門 協力)

中川 充(地球科学情報部門 協力)

神谷雅晴(特別研究員)

寺岡易司(特別研究員)

藤橋葉子(テクニカルスタッフ)

FAN LUN (テクニカルスタッフ)

2) 研究課題

運営費交付金「活動的熱水系における深部鉱化作用の研究」(エネルギー)(平成 13-16 年度)

運営費交付金「金属鉱化作用と探査手法の研究」(エネルギー)(平成 13-16 年度)

運営費交付金「非金属鉱化作用と探査手法の研究」(エネルギー)(平成 13-16 年度)

運営費交付金「鉱物資源図及びデータベース、鉱物資源政策の研究」(地質)(平成 13-16 年度)

運営費交付金「資源開発におけるリスク削減の研究」(地質)(平成 15-16 年度)

運営費交付金「骨材資源調査」(地質)

運営費交付金「鉱物資源に関するコンサルティング」(地質)(平成 15-16 年度)

環境省地球環境研究総合推進費「ゴールドラッシュ地域における環境管理、環境計画及びリスクコミュニケーションに関する学際的研究」(平成 12-14 年度)

3. 平成 14-15 年度の研究計画及び進捗状況

1) 活動的熱水系における深部鉱化作用の研究

(研究担当者：渡辺 寧、大田英順)

本研究は北海道南部無意根-豊羽熱水系において、地表付近の熱水変質帯の地球化学的解析、年代学的検討、物理探査による地下構造の把握、多金属鉱脈を沈殿した熱水の性質の検討をもとに、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が目標である(文献 1)。

今年度は無意根-豊羽地域における地表変質帯の鉱物組み合わせおよび硫黄同位体組成の検討に基づき、変質帯の相互の関係を考察した。その結

果、火山の噴気孔に分布する熱水変質帯には火山性蒸気により形成されたものと、火山性蒸気が地下で天水と混合して形成された酸性熱水によるものが存在するとの結論を得た。また豊羽鉱床南東部に流れた鉱化熱水は、流体包有物の検討により、約10%の塩濃度を持つ流体と低塩濃度の比較的低温の流体の混合物であることが確認された。これにより無意根地域に分布する変質帯は、火山-熱水または火山-蒸気環境で形成された無意根変質帯、中性の熱水により形成された豊羽変質帯、地下での熱水の沸騰による蒸気加熱環境で形成された湯ノ沢変質帯に区分された(図1)。

これらの結果および昨年度の物理探査の成果(文献2)を統合して次のモデルを構築した:無意根火山下部約2-3kmに貫入したマグマから分別した熱水は、水銀・砒素(および恐らく金・銅)に富む気相と銀・鉛・亜鉛に富む高塩濃度熱水に分別した。気相は上昇し地表近くに酸性変質帯を形成し、熱水は比重が大きいために側方に流れ、現在の豊羽鉱山周辺に分布する断層帯に到達したところで裂隙中を上昇し、天水と混合することにより重金属を沈殿した。裂隙中の熱水の一部は沸騰し、その蒸気相は地表付近で酸化されることにより、湯ノ沢地域に見られる蒸気加熱型変質をもたらした。

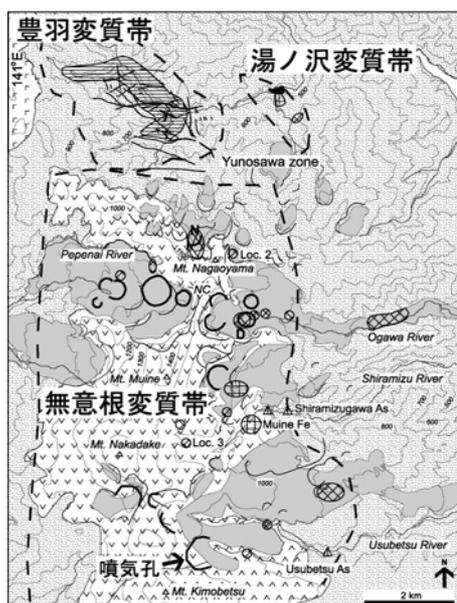


図1 無意根-豊羽地域の熱水変質帯の分布。

2) 金属鉱化作用と探査手法の研究

(研究担当者: 渡辺 寧, 佐藤 興平, 村上 浩康, 太田 英順, 中川 充)

本研究は、国内外の金属鉱床の研究を通して、貫入岩レベル、深成岩レベルでの種々のマグマに伴う鉱化作用の実態を明らかにし、それぞれの場に適した鉱床探査指針の獲得を目標とする。本年度は昨年度に続き、ロシア極東地域、トルコ北西部において熱水鉱床の基礎データを収集し、メタロジェニーに関する研究を行った。

トルコでは、トルコ鉱物資源調査開発総局の地

質技師とともに同国北西部の熱水鉱床の調査を実施した(写真1)。昨年度の分析結果の解析により、トルコ西部の新生代の鉱床は、カルクアルカリ質の島弧マグマに関与して形成され、斑岩銅鉱床は、約50Maと23-22Maの2期に、高硫化系鉱床は約35Maに、低硫化系鉱床は20Maに形成されたことが明らかになった。

ロシア極東部では、錫-タンゲステン鉱床の形成年代と花崗岩類の年代との対比を行い、スカン型鉱床が白亜紀前期に、鉱脈型・角礫型が白亜紀中期に、鉱脈型が白亜紀後期に形成されたことが明らかになった。これらの成果は第5回 Hutton Symposium や Resource Geology 誌に公表した(文献3, 4)。



写真1 調査を行ったトルコ鉱物資源調査開発総局の地質技師。

3) 非金属鉱化作用と探査手法の研究

(研究担当者: 須藤定久, 小村良二)

国内で採掘・利用される非金属鉱物資源(パイロフィライト)の成因的研究を進め、成因的分類法を確立し、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することを目指す。現在、我が国を代表する蠟石鉱床である勝光山地区について形成環境の復元を試みている。今後他地域の鉱床との比較を進める予定である。

4) 鉱物資源図及びデータベース、鉱物資源政策の研究

(研究担当者: 須藤定久, 渡辺 寧, 小村 良二, 村尾 智, 村上 浩康, 内藤 耕, 中川 充, 小笠原 正継, 神谷雅晴, 寺岡易司)

鉱物資源情報の収集・解析: 国内外の情報を収集・解析し、国内については、旧地質調査所が蓄積したデータと合わせ、鉱物資源図(50万分の1および200万分の1)として発行するとともに、鉱物資源データベースの構築を目標とする。今年度は50万分の1鉱物資源図「中国・四国」「九州」の出版作業および「南西諸島沖縄」の編集を行っている。九州では、北九州花崗岩関連鉱床区、九州外帯花崗岩関連鉱床区、北九州浅熱水性金鉱床区、南九州浅熱水性金鉱床区の4つの金鉱床区が存在し、前2者は白亜紀および中新世の花崗質岩に、後2者は鮮新世から更新世の火山岩類に伴われる。鮮新世から更新世にかけて北九州浅熱水性金鉱床

区では金鉱化作用は地域中心部に収束していくのに対し、南九州浅熱水性金鉱床区では主に東側に拡大することが50万分の1鉱物資源図編集の過程で明らかになった(2図)。

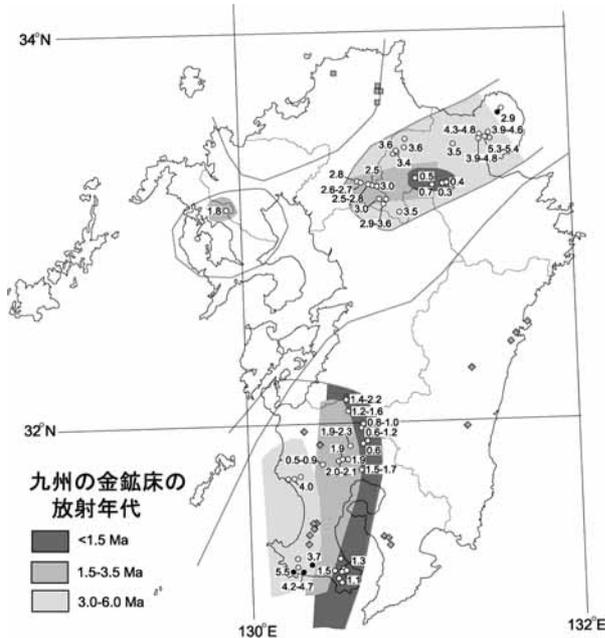


図2 九州の鮮新世-更新世の金鉱床の年代。

5) 資源開発におけるリスク削減の研究
(研究担当者：村尾 智, FUN LUN)

資源開発におけるリスクについて、開発実施側と地域住民側の双方の視点から事例研究を行う。またスモールスケールマイニングおよび会社組織の立地に関係した紛争事例のデータベースを整備すると共に、関係者のリスク認知やリスクコミュニケーションの応用に関する研究を行うことを目標とする。

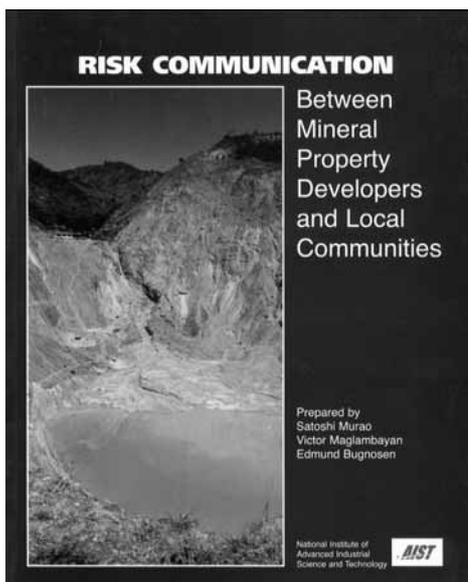


図3 Mining Journal Book Ltdから出版したリスクコミュニケーションに関する円卓会議の成果

本年度は、昨年度の議論のまとめを英文の単行本として出版した(文献4; 図3)。また、フィリピンをフィールドとして行った2回の現地調査結果を解析し、その一部を学会誌に投稿するところである。水銀汚染の深刻な地帯における住民のリスク認知が明らかになり、問題解決のために期待される点が明らかになってきた。

6) 骨材資源調査
(研究担当者：須藤定久, 小村良二)

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高砂に60%以上も依存してきた。しかし、高砂の大量採取県であった広島・岡山の2県が高砂採取の全面禁止措置を執り、現在採取中の香川・愛媛の2県も認可時の総量規制で採取量が年々漸減している。このため、西日本地域では細骨材の供給不足の事態が懸念され、高砂の代替材の開発が急務となっている。本研究では、経済産業省窯業室と連携し、地方における骨材確保の努力を支援する。

平成14年度は山口県および島根県の骨材資源のデータを取りまとめ、真砂資源を細骨材資源として利用する際の評価法を公表した(文献6)。当グループが提案する風化花崗岩の真砂洗砂資源としての評価法を使用して資源評価を行い、高砂の代替資源として開発しようという動きが広島・愛媛・山口などのかなりの企業で進められている。

平成15年度は岡山県南部地域に分布する風化花崗岩(広島花崗岩類)の賦存状況や岩質などを把握するため、一部地域の野外調査を行った。その結果、当該野外調査地区の大部分の花崗岩露岩は堅硬な岩盤からなることが多く、風化花崗岩の分布状況は限られていることが判明した。現在、熊本・長崎・鹿児島・静岡などの県の骨材資源のとりまとめを目指している。

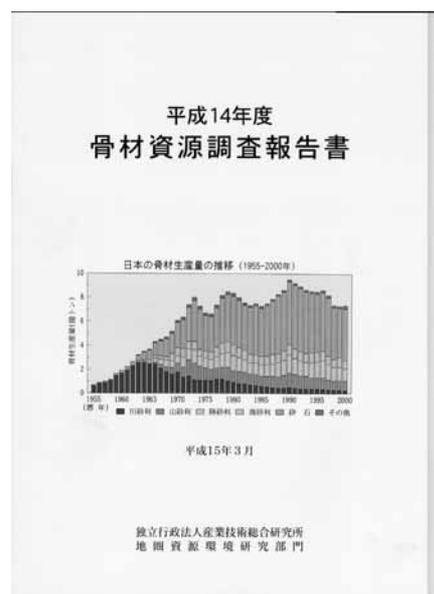


図4 平成14年度骨材資源調査報告書。

7) 鉱物資源に関するコンサルティング

(渡辺 寧, 小村良二, 佐藤興平, 須藤定久, 村尾智, 村上浩康, 太田英順, 内藤 耕, 中川 充)

経済産業省, 資源エネルギー庁, 国際協力事業団, 金属鉱業事業団等の実施する鉱物資源に関するプロジェクトに参加し, 技術支援, 技術移転活動を行うことを目標とする。

資源エネルギー庁鉱物資源課に対しては, 燃料電池に使用される白金族元素のポテンシャル評価の重要性を説き, プロジェクト設立に貢献した。国際協力事業団の依頼によりアルゼンチン地質調査所からの研修生に対して産総研で技術研修を行うとともに, 「アルゼンチン共和国先進的地質リモートセンシング協力事業」に短期専門家を派遣し, 技術指導を行った(写真2)。同じく国際協力事業団の依頼により, 「モーリタニア・イスラム共和国資源探査・開発戦略プラン」に11-12月に参加・協力する予定である。その他, 日本砕石協会の要請に応じセミナー講演を行い, また資源エネルギー庁の主催する砕石法担当者研修を行った。



写真2 アルゼンチン共和国先進的地質リモートセンシング協力事業での野外技術指導風景。

8) ゴールドラッシュ地域における環境管理, 環境計画及びリスクコミュニケーションに関する学際的研究

(研究担当者: 村尾 智, 奥田義久, FAN LUN, 西山文隆, 辻 正道, 世良耕一郎, 輪座利彦, 吉川肇子)

ゴールドラッシュに伴う問題を扱うためには, 汚染の実情を把握し, その拡散の予測と防止をすること, 新たな採掘ラッシュや汚染を予想して環境管理と計画を立てる事, 地域の住民と共同することが必要であり, 次の4つのサブテーマを実行した。1)水銀の地球化学的挙動に関する基礎研究, 2)金鉱化帯の識別とマッピング, 3)地質学に基づく水銀放出量算定, 4)水銀汚染の実態調査とリスクコミュニケーション試行。

水銀の地球化学的挙動に関する基礎研究では, フィリピンのゴールドラッシュ地域で汚染試料の産状を観察, 採取, 分析した。水銀汚染の原初状態は煤や灰などのアーチファクトであることが明らかになった。金鉱化帯の識別とマッピングでは,

カンボジアの環境評価マップの作成を行った。ブラジル, ボリビア, チリ, エクアドル, コロンビア, パラグアイ, ペルーの7カ国について, 環境管理計画の基礎となる金のポテンシャルマップを作成し, CD-ROMとして出版した。地質学に基づく水銀放出量算定では, フィリピンの汚染現場から採取した河川底質や周辺の土壌は, 自然の水銀濃度と比べて100-1000倍の水銀を含むことが判明した。水銀汚染が水銀排出源から遠く離れた地域でも見られることから, 水銀を含む土壌が雨水とともに下流へ運ばれ, 再分布したものと推定した。水銀汚染の実態調査とリスクコミュニケーション試行では, 地域住民のリスク認知を知るためのアンケート調査をフィリピン, イトゴン市で行った。リスク認知の高いものは, テロや核兵器, 原子力発電所のように大規模なものと, 地滑りや水銀という身近に存在するものであることが判明した。スモールスケールマイニングによる水銀汚染対策としては, 政府や開発会社による介入が相対的には有効と判断されていた。

「Round Table Meeting on Good Practice and Effective Methods on Risk Communication Between Mineral Property Developers and Local Communities」と題する円卓会議を2003年1月14-15日につくばで開催した。国連, 世界銀行, 政府, 大学, 企業, 先住民共同体代表など多彩な顔ぶれによる議論が行われた(写真3)。



写真3 つくばで開催した鉱物資源開発に伴うリスクコミュニケーションに関する円卓会議。

参考文献

- 1) 渡辺 寧(2003)AIST Today, v. 3, No. 10, p. 39.
- 2) Takakura, S. and Matsushima, N. (2003) Resource Geology, v. 53, No. 3 (in press).
- 3) 佐藤ほか(2003)ロシア極東ヒンガンーシオテアリン地域の Sn-W 鉱床: 地質と年代. 資源地質学会第53回年会講演会.
- 4) Sato, K. (2003) Resource Geology, v. 53, No. 3 (in press).
- 5) Murao, S., et al. (2003) Risk Communication in Mining. Mining Journal Books, London.
- 6) 地圏資源環境研究部門(2003)平成14年度骨材資源調査報告書. 産総研.

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

物理探査研究グループ長： 内田利弘

Leader, Exploration Geophysics Research Group: Toshihiro Uchida
Phone: 029-861-3840, e-mail: uchida-toshihiro@aist.go.jp

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。地熱資源探査、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、土木・環境分野における地質環境評価などに関連する物理探査技術の研究開発を通じて、地震波データ及び電気・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、熱物性計測技術等の開発を行う。

2. グループの概要

1) グループ員

内田利弘（リーダー）
神宮司元治
中島善人
西澤 修
松島 潤（石油公団出向中）
光畑裕司
横田俊之

2) 平成 15 年度の研究テーマ

運営費交付金「高精度物理探査のためのデータ処理・解析技術の研究」
運営費交付金・日本学術振興会日韓科学協力事業「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「地層処分場岩盤特性評価のための高分解能物理探査イメージング技術の研究」
原子力特研「放射性廃棄物処分施設の長期安定型センシング技術に関する研究」
文科省委託費「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」
RITE 委託費「キャップロックの長期安定性を評価するための岩盤の動的力学特性に関する実験的研究」
ほか

3) 研究の概要

a) 地震探査データ解析

3次元散乱重合法における速度構造推定法の改良と微小地震探査データへの適用、全波形トモグラフィ解析手法の実測データへの適用、SWD 探査法の音響特性に関する基礎実験、不均質構造に起因する散乱波の除去法の検討を行う。また、CO₂ 地中貯留におけるキャップロック層の長期安定性評価に関わる実験的研究として、差応力状態にある頁岩において CO₂ の状態変化が力学物性変化に及ぼす影響を明らかにする。

b) 電磁探査データ解析

人工信号源電磁法 2.5次元インバージョン解析法の改良、MT法 3次元モデリングにおける地形の考慮、MT法 3次元インバージョン解析の精度向上を行う。また、人工信号源を用いる電磁探査法について、CSAMT法と LOTEM法を組み合わせた新しい測定・解析システムの開発に着手する。

c) NMR 物理探査法

拡散データを用いた NMR 物理探査による浸透率推定法の天然地質試料への適用と評価、可搬型 NMR 測定装置の開発等を行う。

d) 熱物性・液状化計測等

光ファイバを用いた熱物性量センサおよび高周波インピーダンスセンサの屋外実験、大型土槽における比抵抗を用いた相対密度分布計測法の検討、原位置における地盤液状化ポテンシャル評価手法の開発を行う。

3. 平成 15 年度の進捗状況

探査手法毎に研究の主な概要を以下に紹介する。

1) 地震探査データ解析

a) 地震波全波形トモグラフィ

単一周波数成分を用いた周波数領域波形インバージョンで使用する周波数（波長）と再構成される構造スケールとの関係を、チェッカーボードレゾリューションを用いて視覚化した。チェッカーボードレゾリューションとは、背景モデルに対して格子状の微小な摂動を与え、インバージョンの感度を視覚的に表現する手法である。格子のサイズ λ_c と微小な摂動の量 ϵ が変数となる。格子サイズは地下の異常体のサイズを模していると考え

とができる。

まず、チェッカーボードの格子サイズを 8m、摂動量を 1%と固定し、インバージョンに使用する周波数(波長)を変化させることによって、使用した周波数と再構成された構造スケールとの関係を確認した(図1)。波長がチェッカーボードの格子の4倍程度に長い場合には、チェッカーボードの格子とは無関係な模様再構成されることがわかる。波長が格子の2倍程度より短くなると、チェッカーボードのパターンを比較的正確に再構成することができるようになる。

次に、周波数を 300Hz(波長 10 m 相当)、摂動量を 1%と固定して、チェッカーボードの格子サイズを変化させた(図2)。この場合は、波長が格子の2倍程度となると再構成の信頼性が落ち始め、波長が格子の5倍となると急激に格子模様再構成されなくなった。

以上の結果より、周波数領域波形インバージョンを用いた場合には、使用する波長の半分程度の異常体を識別する能力があることがわかる。これは、通常の走時トモグラフィに比較して優れている。その原因は、後続波形を有効に利用しているためであると結論することができる。

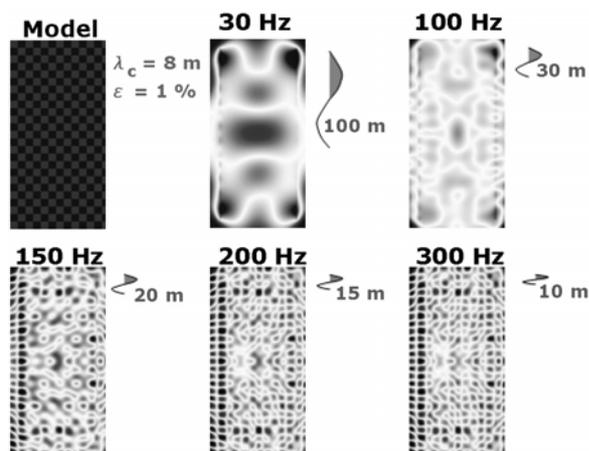


図1 全波形トモグラフィ解析の数値実験例。左上のパネルは数値実験に用いたチェッカーボード・モデル、その他のパネルは各々の周波数を用いた解析によって得られた速度構造モデル、右に信号の波長を示す。

b) 不均質構造と弾性波速度異方性

CO2 地下貯留サイトの物理的モニタリング法として弾性波探査が有効と考えられているが、野外観測の結果を解釈するためには、岩石の割れ目に含まれる流体が弾性波に及ぼす影響を明らかにしなければならない。貯留層のキャップロックとしての頁岩は強い弾性波速度異方性を示すものが多く、割れ目中の流体の状態変化と地震波速度異方性変化との関係解明はモニタリング技術開発に役立つ。岩石自身が強い異方性を持つ場合に、割れ目の量と弾性波速度異方性の変化を実験で調べ、モデル計算と比較したものが図3である。左側が実験結果で封圧によって割れ目が閉鎖してゆくと

きの異方性変化が示されている。右側はモデル計算の結果を示しており、クラック量と弾性波速度との関係が示されている。実験で見られた異方性の特徴はモデル計算でも再現されている。弾性波速度異方性の計測により、地下の割れ目の変化や流体の状態変化を詳しく検出することができる。

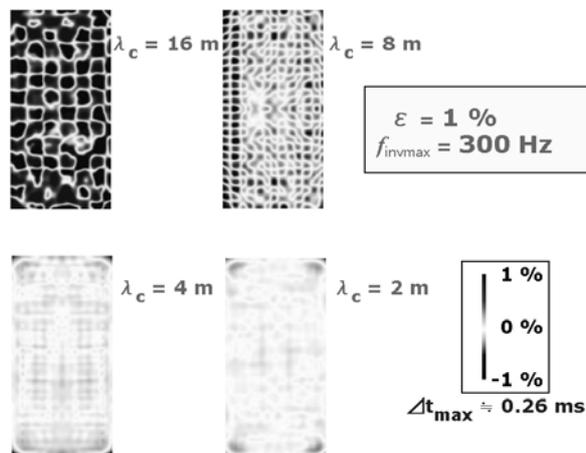


図2 全波形トモグラフィ解析における格子サイズの影響。周波数 300Hz の信号を用い、4通りの格子サイズについてインバージョン解析を行った。

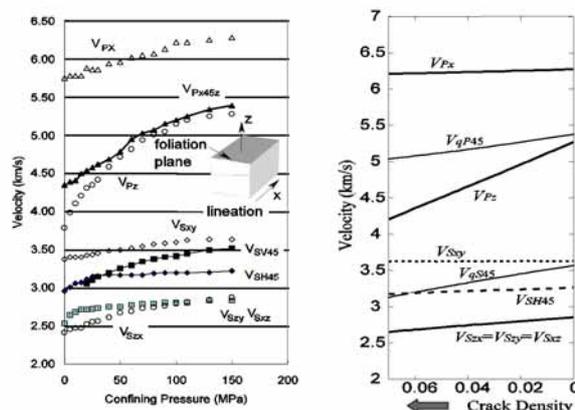


図3 強い異方性を有する岩石の弾性波速度と封圧の関係、(左) 実験結果、(右) モデル計算結果。封圧の上昇によって岩石中のクラックが閉鎖するので、弾性波速度が大きくなる(左図)。計算結果(右図)では左方向をクラック密度の増加方向とし、封圧の増加によるクラック閉鎖の方向と一致させている。モデル計算の結果は実験で見られた速度変化の傾向と一致する。

2) 電磁探査データ解析

a) 地形を考慮した MT 法 3 次元モデリング

自然電磁場信号を利用する Magnetotelluric (MT) 法は地熱資源探査のみならず、火山・地震に関連した地殻構造調査、放射性廃棄物の地層処分に関連する広域地質構造調査等に利用されており、深さ数 10m から数 10km までの広い範囲を探査できる唯一の電磁探査手法である。MT 法のデータ解析

については、直方体要素を用いたスタガード差分法を用いたモデリング手法の開発を契機に、現在、3次元インバージョンが実用化されつつある。しかし、日本国内のような急峻な地形が存在する場合には、地形の影響を考慮したデータ解析が欠かせない。そのため今年度は、地形が滑らかに表現できるように、有限要素法(FEM)における変形ベクトル要素適用に関する理論的な研究を行った。そして、その結果に基づき、既に作成した FEM 3次元モデリング法プログラムについて変形ベクトル要素を基礎としたものに改良し、地形を組み込むことが可能な FEM 3次元モデリング法プログラムのプロトタイプを作成する予定である。

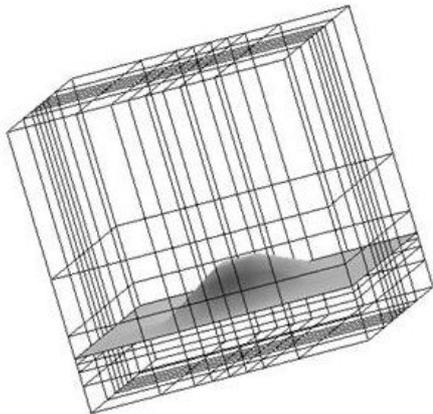


図4 変形ベクトル要素による地形表現の概念図。地形(青色部分)を6面体要素の面で近似する。

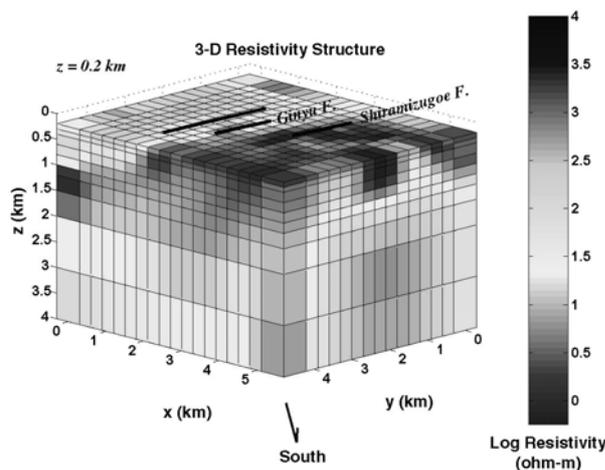


図5 大霧・白水越地熱における MT 法データの 3次元インバージョン結果。深度 200m までをばき取った3次元比抵抗モデルを示す(南からの俯瞰)。当該地域の地熱貯留層を規制する銀湯断層と白水越断層に伴って、浅部には粘土変質帯に起因する低比抵抗異常が認められる。

な解析が行えるように改良を加え、日本および海外の地熱地域において取得された MT 法データに適用した。比抵抗モデルの最適な平滑化やスタティックシフト最小化の判定にはベイズ型情報量基準を用いている。いくつかの調査データに適用した結果、実用に十分供することのできるインバージョンを行えることを確認した。

大霧・白水越地熱地域で取得された約 160 測点の MT 法データの解析例を図5に示す。大量のデータに対するインバージョンであったが、安定な解析が行え、地質や検層データ等と比較しても妥当な比抵抗モデルが得られた。

3) NMR 物理探査法

NMR 物理探査による透水係数推定手法の地質試料への応用、粘土の NMR 物性の計算機シミュレーション、自主開発 NMR 物理探査装置のコイルユニットの改良を行った。そのうち、透水係数推定手法に関して以下に詳述する。ランダムウォークを計測対象にした NMR 物理探査による透水係数推定手法に関する特許を、平成 14 年に出願した。この手法が天然の地質試料にどの程度の精度で応用できるかを調べるために、多孔質天然地質試料に応用した(図6、図7)。図6のCT解析画像を用いてランダムウォークする間隙水の計算機シミュレーションを行い(図7)、屈曲度、比表面積および空隙率を推定し、それを特許出願中の理論式に代入して、透水係数を $2.5 \times 10^{-10} \text{ m}^2$ と推定した。これは、実測値 $4.2 \times 10^{-10} \text{ m}^2$ と 40%しか変わらない数値である。今回は CT データを用いたが、ランダムウォークデータは NMR 物理探査でも計測可能な量であり、したがって、今回のシミュレーションは本手法の天然地質試料への適用が有効であることを示唆している。

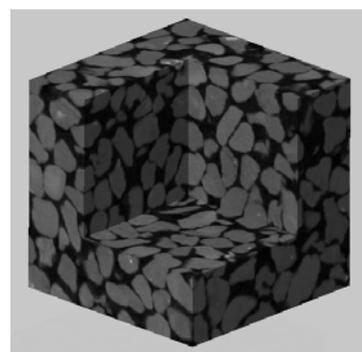


図6 鹿児島産の砂層堆積物(粒径約1mm)の3次元 X線 CT 画像。画像全体のサイズは、 256^3 画素 = 7.3^3 mm^3 。空隙部分は X線の吸収がほとんどないので、画素の輝度は暗くなっている。

b) MT 法 3次元インバージョンの適用

フォワード計算に差分法を用いる MT 法 3次元インバージョンについて、大きなノイズや未知のスタティックシフトを含む実測データについても安定

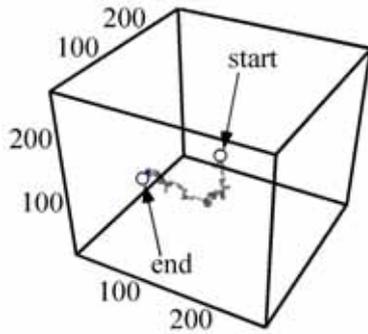


図7 5000ステップにわたるランダムウォークの3次元軌跡の例。図6の空隙が水で満たされていると仮定して、水分子のランダムウォークシミュレーションを行った。始点と終点の位置を矢印で表示している。

4) 熱物性・液状化計測等

a) 原位置熱物性量分布計測法

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および熱拡散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り、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（図8）。

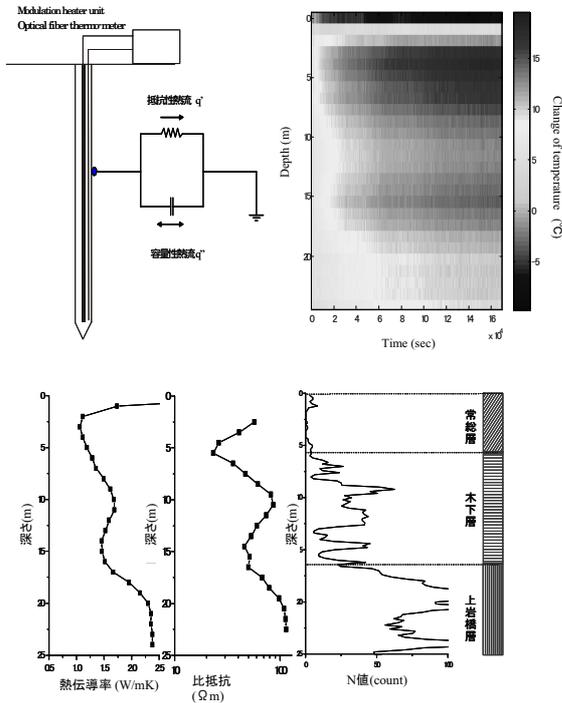


図8 原位置熱物性計測の計測例。本計測では、貫入プローブを地中に打ち込み、定常周期熱流をプローブに加え、その温度応答を光ファイバー温度センサで計測する。下の図は産総研敷地内で計測を行った地盤の熱伝導率、比抵抗、N値の計測結果である。それぞれの結果は調和的で地層の種類に応じて物性量の対比がよく現れている。

b) 比抵抗振動貫入試験による液状化ポテンシャルの評価

砂層の液状化ポテンシャル評価は、液状化発生の予測および被害評価を行う上で重要である。本研究では、簡易な振動貫入プローブを用い、砂層を加振した際の比抵抗および間隙水圧の挙動から砂層の液状化ポテンシャルを評価する計測手法の開発を行っている（図9）。

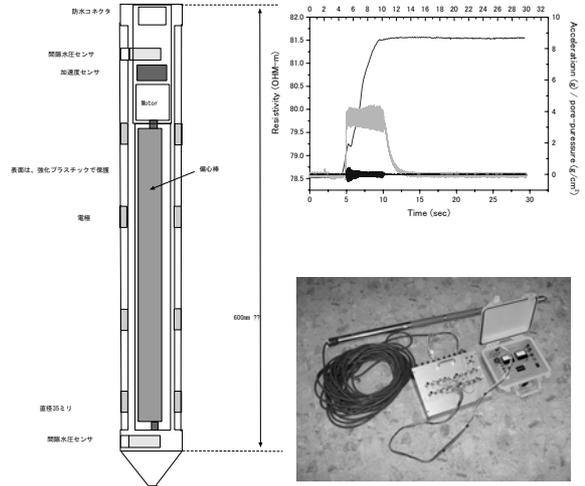


図9 比抵抗振動貫入プローブの模式図と計測システムの写真。右上の図は、室内実験で得られた加速度-間隙水圧-比抵抗の変化を示す。加振とともに間隙水圧および比抵抗が上昇し、プローブ周囲の砂層が液状化状態に至っているのが分かる。これらの挙動から砂層の液状化ポテンシャルの評価を行う。

4. 期待される成果

物理探査データ解析法の高度化として、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う。また、地層処分場の岩盤評価・モニタリングや人工地中構造物周辺の地盤評価において重要な比抵抗、熱物性等のパラメタ分布の計測、液状化ポテンシャルの評価手法の開発を行う。さらに、これらの探査技術の産業界、学界への普及のほか、海外との技術交流・普及を進める。

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

開発安全工学研究グループ
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: 029-861-8203, e-mail: aoki-kazuo@aist.go.jp

1. グループの研究目的

開発安全工学研究グループでは、資源・エネルギーの安定的供給確保に資するため、地圏における開発、保安・安全及び環境に係る研究を行う。開発に係る研究では、掘削技術の高度化等が目的であり、振動等を用いた新しい高効率掘削システムの開発実用化の実用化を目指した研究等を実施している。また、保安・安全に係る研究では、鉱山における災害リスク評価等の研究を通じ鉱山における保安確保への寄与が目的である。さらに、これまでのポテンシャルを活かし、メタンハイドレート生産手法開発、屋外騒音伝搬予測等、新分野の研究にも着手している。

2. グループの研究資源

1) グループ員

青木一男，今泉博之，大野哲二，唐沢広和，鈴木 忠，高橋保盛，田中敦子，羽田博憲，榎井 明（特別研究員）

*爆発安全Cからの併任：2名

*大学からの併任：1名

*非常勤職員：3名

2) 予算

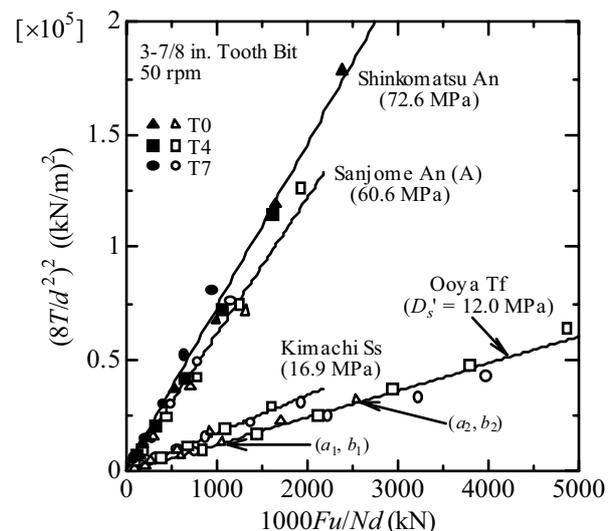
経産省「メタンハイドレート生産手法開発」
 環境省「GISによる騒音源周辺環境を考慮した騒音伝搬予測に関する研究」
 経産省「鉱山保安技術対策調査」
 運営費交付金「開発安全工学の研究」等

3. 主な研究テーマ

1) 掘削技術の高効率化等に係る研究（唐沢，大野）

ローラコーンビットを用いて坑井を掘削する際、

リアルタイムで坑底の岩石強度とビットの刃先摩耗状態を簡便に評価する方法の開発を行っている。研究成果の一例として、岩石強度を評価する方法を図1に示す。図中、T0は新品、T4は刃先が4/8摩耗、T7は刃先が7/8摩耗のツースビットを表す。記号 F はビット荷重、 u は掘削速度、 N はビット回転数、 d はビット直径、 T はトルクである。図から、各岩石の近似直線の傾きに及ぼす刃先摩耗状態の影響は小さいことがわかる。これらの結果を基に、直線の傾きを表す”岩石の掘削強度 D_s' (MPa)”を導いた。このように、坑井掘削時に得られる1組のデータ (F , u , N , d) により、容易に岩石強度を評価できるパラメータを見出すことができた。詳細については省略するが、刃先摩耗状態を評価できる簡便なパラメータも見出した。


 図1 1000Fu/Ndと(8T/d²)²との関係

掘削時の摩耗検知・予測技術の研究では、硬岩掘削時におけるPDC全断面ビットの摩耗面積の変

化を連続的に計測した。摩耗面積の計測にはピクセラ社製のデジタルカメラを用い、刃先毎に面積を測定した。予備実験により、面積計測の誤差は3%以下であることが判明している。また、摩耗計測の間隔は、沢入花崗岩 (UCS:約 220MPa) を 1.4m 掘削する毎に行った。計測結果の一例を図2に示す。図より、掘削距離が 30m となった時点で刃先摩耗が急速に進展することがわかった。これは、刃先温度が PDC 刃先の強度を低下させる温度以上に達したためと考えられる。今後、上記温度変化についてシミュレーションによる検討を行う予定であり、また、その基礎データの取得のため直線切削実験装置を準備中である。

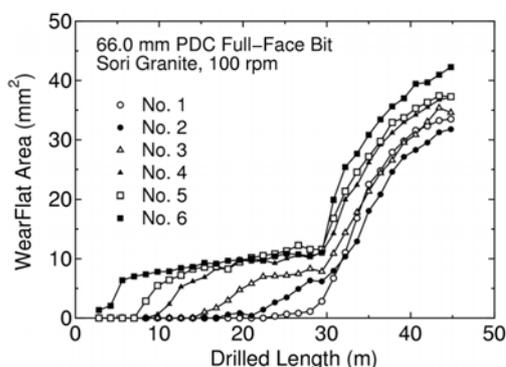


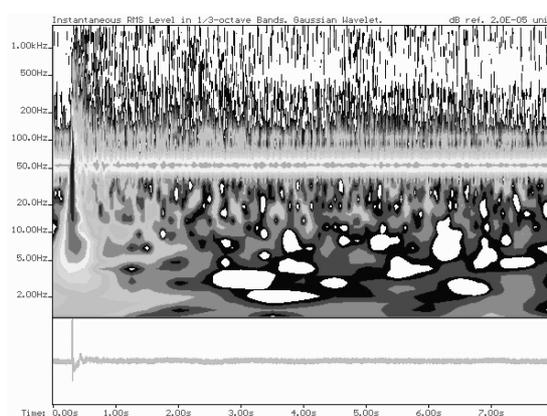
図2 計測された摩耗面積

2) 屋外騒音伝搬等に係る研究 (今泉, 高橋)

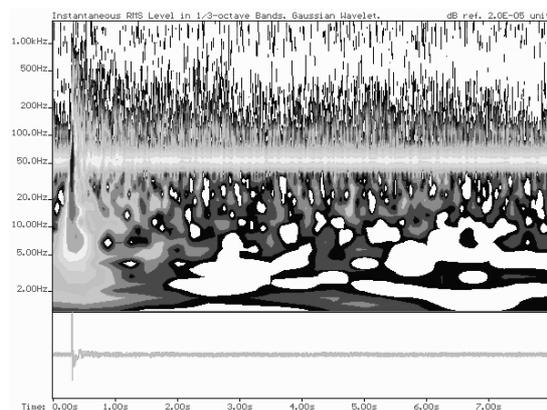
屋外における騒音伝搬現象の中で最も複雑と考えられる都市域に着目し、地理情報システム (GIS) を活用した音情報管理手法及び伝搬予測手法の開発を実施している。具体的には、モデル地区内の道路交通騒音計測、環境騒音の長時間観測、交通流計測による騒音源属性データの収集等である。これらのデータは、GIS ソフトウェア上に開発した音環境管理プログラムを介して入力・管理し、各種数値地図や以下に示す各種データと比較解析を行う。このプログラム下で動作する気象データ管理モジュールは気象庁や自治体独自で観測している気象データを GIS 上に取込み、その分布図等を作成可能であり、騒音伝搬予測モジュールは必要なパラメータを属性データから読み込み建物影響を考慮して騒音レベル分布図等を生成する。さらに、伝搬予測精度の向上のために気象要因の個別影響を検討し、特に日の出前後に激しく変動する地表面近傍の気象状態から理論的に算出した音

速勾配と数値解法から得た減衰値が実測値と良く一致することを明らかにした。今後は、モデル地区内で実測した各種データと比較検討し、音環境管理プログラムの精度検証を行う。

また、屋外における騒音計測の精度向上を図るため、風 (気流) に起因する雑音成分 (風雑音) を効率的に除去するための据え置き型ウィンドスクリーンを開発し、内部騒音計周辺の風速及びその変動が著しく低下することを確認した。これは、数 Hz の低周波域の雑音成分が低下し (図3)、気流中の乱れに依存した成分を低減した結果であるとする。現在、ウィンドスクリーンの小型化と雑音除去性能向上の検討を進めている。



(a) 三脚上の波形



(b) ウィンドスクリーン内の波形

図3 据え置き型ウィンドスクリーンの風雑音除去効果

3) 鉱山における災害リスク評価指標等に係る研究 (田中, 鈴木他)

産業活動の危機管理の観点から、鉱山や地下空間、さらにはニューヨーク WTC のような、大規模な閉鎖空間における人間の危機対応行動の把握と

リスク抑制効果の評価等に係る研究に取り組んでいる。

炭鉱における保安計測システムのリスク低減効果に関する研究では、鉱山保安規則の変遷と技術的進歩やマネジメントが災害発生の抑制にどのように影響したかを明らかにした。また、メタンガス濃度の異常値検知のエラー確率の変遷を明らかにした。以上の結果から管理工学の観点から見た石炭鉱山の生産活動におけるリスク抑制効果の調査手法のあり方と有効性、さらに今後の応用拡大の道筋を示した。

日本国内の甲種炭鉱は1山になったが、日本の石炭鉱山がこれまでに達成した高いレベルの保安技術は、現在進められている海外技術移転においても、極めて有用な知見として活用されている。本研究の検討の成果を発展させることで、過不足のないリスク抑制効果の達成という観点から、技術移転の到達目標の具体的な設定と達成度の評価に役立たせることが可能であろう。また、保安計測技術の移転のみならず、安全な生産の達成に関する標準的な指標の確立に関する国際貢献も可能と考えられる。

表1 鉱山保安規則の変遷

システム名	改正時期	説明	1980			1990			2000年		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
可燃性ガス濃度	1959.2.10	主要分洞排気可燃性ガス含有率1.5%以下									
	1957.7.10	検定義務付け義務付									
精密可燃性ガス検定器	1956.1.10	検定器の検定制度									
	1964.10.1	入坑前3時間計測									
ガス自動警報器	1971.4.10	設置義務付									
	1971.4.10	深部1.0%以上で排気工物設備箇所への警報器設置									
	1971.4.10	深部1.5%以上の箇所への排気工物設備の禁止									
	1971.4.10	カミスタ式(手携式)・接触燃焼式・差込棒式									
集中監視システム	1976.12.15	主要分洞排気装置の可燃性ガスの継続的測定									
	1985.10.15	集中監視の定義									
ガス突出警報区域	1959.2.10	プログラム異常									
	1972.8.24	可燃性ガスの検出・ガス爆発防止の検定業務									
	1976.12.15	ガス突出警報区域の設定と掘進法等の規制									
	1983.4.1	ガス抜きボーリングのガス測定強化									
	1983.4.1	警戒区域の掘進作業に保安員配置									
	1983.4.1	警戒区域の掘進作業の掘進機停止									
発火源対策	1976.12.15	静電気のおそれがない場合、ガス抜きに塩ビ等									
	1976.12.15	自然発火の兆候知ほうを保安規定に定めさせる									
	1983.4.1	静電気による可燃性ガスの爆発防止対策追加									
	1986.11.1	掘進機停止箇所の設置停止									

★：各時点の集中監視に使用

ニューヨーク WTC 等の閉鎖空間における人間の危機対応行動の把握・分析等に係る研究では、危機対応の成功と失敗に関連する要因の抽出を行い、種々の検討を加えた(図4参照)。

9.11のWTCでは、事件発生後の限られた時間の中で、避難できる人は全て避難し、助けられる人は全て助けられたと言われているが、行動事例の

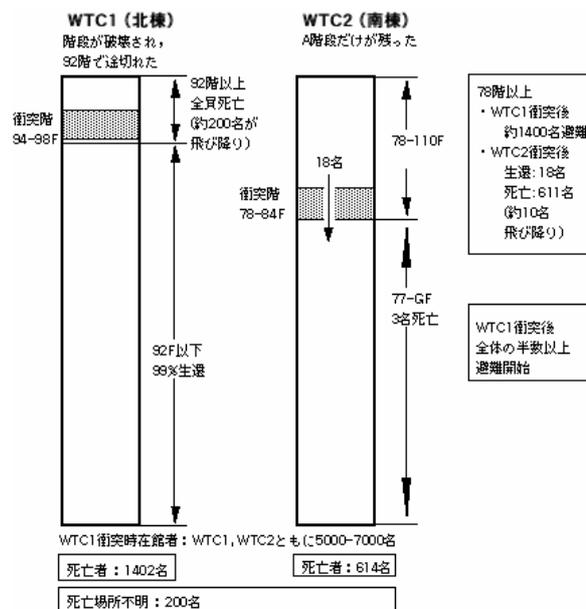


図4 NY/WTCにおける被災状況

分析結果から、日常の訓練がなされ、直接的な情報を入手でき、かつ危機意識の喚起に成功した場合にのみ、早期避難がなされたことが明らかになった。平常時の火災安全プログラム制度はよく機能し、定期的な避難訓練が避難の決断と促進全般に効を奏した。

しかし、避難失敗要因を調べると妨害要因としてシステムマネジメント上の問題がいくつか露呈した。エレベータの安全装置の設計に欠陥があり、階層間で停止した場合は、技術者がエレベータシャフトの中に入って安全装置を解除して乗客を救助する必要があった。その結果、WTC事件のような圧倒的な緊急時に200基ものエレベータには手が回らず、200-400名もの犠牲者が生じた。

さらに、南棟では飛行機の衝突した78階のエレベータホールで急行エレベータを待っていた200名が、飛行機の直撃を受けて死亡した。人々の自発的な避難行動を促進させる情報が足りなかったことは明らかである。もし各階のエレベータホールに外部の光景もしくはTVニュースを映し出すモニターが備わっていたら、なおも残っていた人々の避難の決断を促したことであろう。

いくつかの避難の失敗事例が示すように、カタストロフィ的な状況において全員の救助が可能であるのか否か?その不可能が明白であるなら、自力の脱出を少なくとも妨害しないシステムとマネ

ジメントであるのか否か？この種の危機管理に対する判断は、鉱山を含めた一般産業の安全のマネジメントにとってクリティカルである。

技術者がリスクアセスメントで想定するハザードの範囲に、故意の犯罪を含めたカタストロフィは入りにくいですが、従来は想定外にしていた極端な事象もハザードとしてリスクアセスメントの考慮に入れることで、圧倒的な破局においても人間が自力でフリーになれるシステムを構築する必要があると考えられる。各種の安全設計や防災計画、危機管理計画の策定や見直しにおいて、システム自体の脆弱性を把握し、組織的対応によってどの程度の抑制効果がもたらされるのか、効果はないのか。シナリオを共有し、合理的な危機管理が求められていると考えられる。

4)メタンハイドレート生産手法等に係る研究(青木, 羽田, 梶井他)

メタンハイドレート (MH) の安定生産に資するため、MH生産時における地盤変形予測、炭酸ガス等の異種ガスをういた新採取手法等に係る研究を実施している。

MH生産時の地盤変形予測では、有限要素法を用いた圧密挙動評価モジュールを開発し、地盤の変形解析から海底地盤の安定性等を検討している。また、開発したモジュールへ入力するMH層の物性データ取得のための室内実験を併せて実施している。図5は減圧法の場合の間隙水圧分布である。軸対称解析であるため、坑井の右半分を示している。坑井位置で減圧した場合の解析結果であるが、減圧の影響は坑井よりあまり遠方まで及んでいないことが分かる。この間隙水圧低下がMH層の沈下等を生じる原因となる。

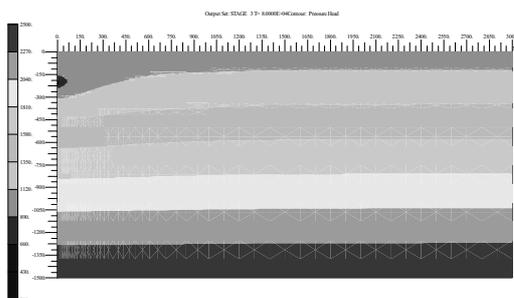


図5 間隙水圧分布

図6はMH供試体等の力学特性を調べるために新しく導入した試験装置の概要である。また、図7は、模擬MH供試体用いた三軸圧縮試験結果の一例である。今後、これらの装置を活用し、精度の高い圧密挙動評価モジュールを完成したいと考えている。

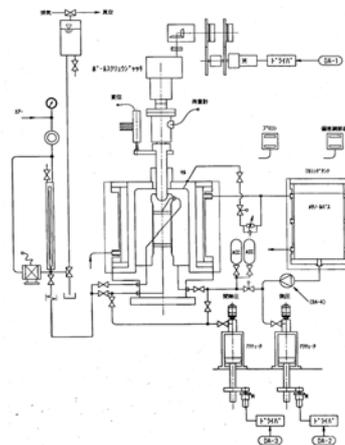


図6 力学特性試験装置

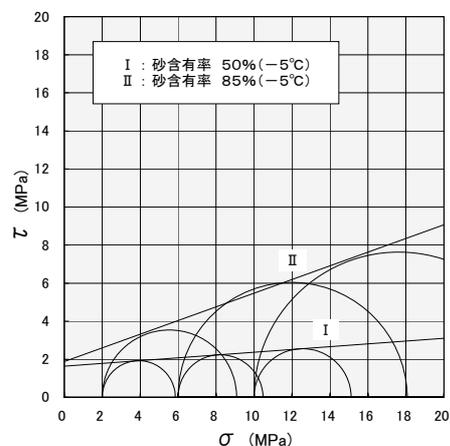


図7 模擬MH供試体の三軸圧縮試験結果

4. おわりに

わが国における炭鉱を始めとした鉱山は激減した。しかし、保安・安全に係る研究は、資源の安定供給を考える上でも不可欠である。また、地盤等は一度破壊すると元へは戻りにくい、すなわち、不可逆的な性質を有している。従って、当グループの研究は、地味ではあるが重要と考えられ、いっそう研究進展を図りたい。関係各位のご指導・ご支援をお願いしたい。

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

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

1. グループの研究目的

地下水は、地域のあるいは地球規模の水循環・水収支の過程において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。当グループは、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
丸井 敦尚 (平成 15 年 10 月異動)
他に、ユニット内外と所外からの研究併任者・研究分担者、および非常勤職員を含む。

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「黄河領域地下水循環モデルの構築と地下水資源の将来予測」(継続)
- 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の研究「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 14 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たほか、揚水による地下水頭変化にともない塩淡境界がどのように変動するかを試験した。また、地下水センサーの改良版ができ上がり、現場への応用をめざしたキャリブレーションを重ねている。
- 2) 「東・東南アジア地域の地下水データベースの構築」: CCOP 総会において地下水データベースの現状を報告し、また最終目標を確認した。成果品としてウェブ用サーバーの設置、報告書の出版 (CD-ROM) などを予定している。
- 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・融雪地帯の現地水文調査を実施した。
- 4) 「地下温度場と地下水流動に関する研究」: 濃尾平野や秋田平野などにおいて地下水観測井を利用して地下 300m 程度までの地下の温度分布を測定し、温度構造を把握した。
- 5) 「水文環境図の作成」: 「仙台平野水文環境図」を編集しており、CD-ROM による出版を本年度行う (図 1 参照)。

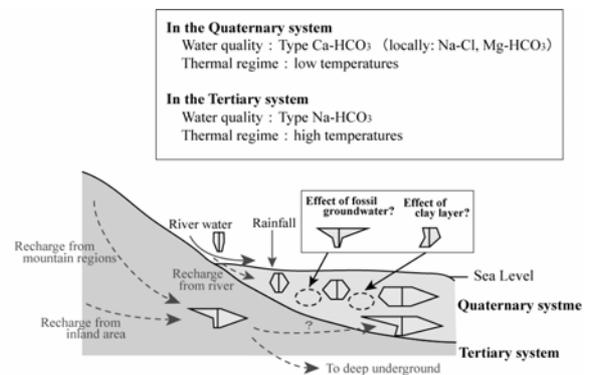


図 1 仙台平野の地下水流動および地下水質の模式図。

4. 平成 15 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」は平成 14 年度をもって終了となり、事後評価を受けるのはこびである。「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」では、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。また、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) 「黄河領域地下水循環モデルの構築と地下水資源の将来予測」：中国黄河流域を対象に、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行い、地下水位観測装置設置に着手する（写真 1，2）。
- 3) 「東・東南アジア地域の地下水データベースの構築」：平成 15 年度が最終年度であるので、CCOP プロジェクトとして最終成果品を提出する。
- 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。また、佐賀平野の既往資料の収集を開始する。
- 7) 「水文環境図の作成」：濃尾平野、秋田平野、関東平野の水文環境図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。
- 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する。ただし、個人情報保護の観点から外部への公開はしない。
- 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する。



写真 1 黄河源流域における湧水の一つ（青海省にて）。標高約 4600m 付近。黄河はここ青海省に源を發して、甘肅、寧夏、内モンゴ、山西、陝西、河南、山東の各省・自治区を流れて渤海に注いでいる。



写真 2 黄河流域の中国地下水観測井約 100 箇所を設置するデータロガー付水位計。

貯留層ダイナミクス研究グループの紹介 Introduction of the Reservoir Dynamics Research Group

貯留層ダイナミクス研究グループ長： 石戸恒雄

Leader, Reservoir Dynamics Research Group: Tsuneo Ishido

Phone: 0298-61-3829, e-mail: ishido-t@aist.go.jp

1. グループの研究目的

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

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

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”を作成することが必要になる。このため、“システム統合化”では、予測のベースとなる貯留層モデル構築に関して、複数のモニタリング項目を組み合わせ実施し、ヒストリーマッチングによるモデル構築の精度を飛躍的に向上させることを目指している。また、定期点検時の集中観測など貯留層変動把握にとって費用対効果に優れた手法を実用化したいと考えている。

当研究グループは平成 14 年度まで「貯留層変動探査研究グループ」という名称のもとに、NEDO の「貯留層変動探査法開発」に係わる基盤的・先導的・補完的研究を実施してきたが、同プロジェクトの終了を受けて、研究内容の見直しを行った。地熱貯留層評価管理技術については、以上述べたように“システム統合化”ならびに基盤研究を継続するが、新たに、地圏環境の諸問題解決への寄与を目的として、CO₂ 地中貯留に係わる先導研究などを実施し、これまでに培ってきた貯留層シミュレーション技術、地球物理モニタリング技術などの展開を図りたいと考えている。また、火山地域などにおいて、大学や海外研究機関との連携の下、地球物理学的観測などの基礎研究を継続する。

2. グループの研究資源

1) グループ員

石戸恒雄（リーダー）・菊地恒夫・杉原光彦・

西 祐司・高倉伸一・中尾信典・安川香澄

*当部門他グループより分担：

當舎利行・内田利弘・楠瀬勤一郎

*地球科学情報研究部門より分担：松島喜雄

*深部地質環境センターより分担：竹野直人

2) 予算

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「貯留層変動探査法システム統合化のための共同研究，解析技術の研究」（平成 15-16 年度）

3. 平成 14 年度までの成果概要

「貯留層変動探査法開発の解析・評価」のうち、断裂水理探査法については、圧力遷移試験データの逆解析法について、SA（焼き鈍し）法の実用化研究として 3 次元逆解析法プログラムを開発し、実フィールドデータへ適用するための基本性能を確認した。また、NEDO がハードウェアを開発したサイナソイダル（正弦波）テストに関して、数値シミュレーションによりテスト実施上の指針を得た。透水率検層法のうち NMR（核磁気共鳴）検層については、地熱貯留層のキャラクタリゼーションに有効であることを示すとともに、特許出願 1 件など実用化に向け前進した。

探査ネットワークの開発では、重力探査法において可搬型絶対重力計の目標精度 0.005mGal を達成した。電気・電磁気探査法では、高温下での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。また AMT 法（可聴領域地磁気地電流法）装置を導入し予備的評価を行うとともに（図 1）、3 次元電気探査法—自動電気探査装置の最大 12A への高出力化などを達成し実用的システムを構築した（登録特許 2 件）。地震波探査法では、散乱重合法の新たな解析法を開発するとともに、実データ解析結果並びに室内実験に基づく検討結果を国際誌等に公表・投稿した。モデリング支援技術では、電子スピン共鳴（ESR）を利用した変質年代測定法について、これまでにない高い精度の ESR 年代値を得る

ことに成功した。高圧下岩石融解装置を用いた熱源深度決定のための実験では、有珠火山 2000 年噴出物から噴火直前のマグマの温度 (900-950 °C)、存在深度 (4-5 km) の推定に成功した。

システム統合化については、奥会津地域を対象に奥会津地熱・東北電力と、また大霧地域を対象に日鉄鹿児島地熱との共同研究をスタートさせた。奥会津地域では、基準点評価を高精度に行った重力観測、電極分極を抑えた SP (自然電位) 観測に成功した。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 (微小地震)・傾斜計の集中観測を実施し、貯留層変動探査法の新規地域への適用性を評価するための基礎データを得た。貯留層シミュレータと地球物理学的ポストプロセッサをベースとした解析技術については、最近の岩石物性測定の結果を取り入れて SP, 比抵抗, 磁場等のポストプロセッサについて断裂型貯留層に対応した機能拡張を行った (図 2)。

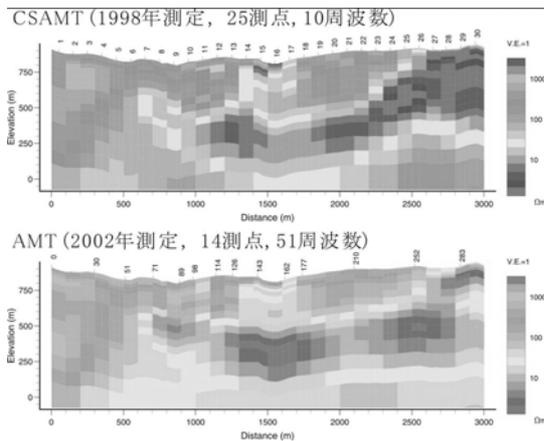


図 1 大霧地熱地域の生産ゾーンを横切る B 測線 (3km) の CSAMT 法(上)と AMT 法(下)の 2次元解析結果。測定年, 測点数は異なるが, ほぼ同じ結果が得られ, 自然信号を用いる AMT 法の有効性が実証された。

NEDO「二酸化炭素削減等地球環境産業技術研究開発事業」に係わる「最適モニタリング設計技術に関する先導研究」では、電源開発 (株) との共同提案として、CO₂ の地中貯留技術について、最も費用対効果が期待できるモニタリング技術の開発を目的として、研究を開始した。

効果的なモニタリング手法に関するポストプロセッサの設計では、石油の 2 次回収現場で用いられている弾性波トモグラフィを模擬するため、クロスホールトモグラフィに対応するポストプロセッサを開発した。液単相の流体が気液二相に変化した帯水層に対してクロスホールトモグラフィを行った場合の初動走時の遅れの計算では、二

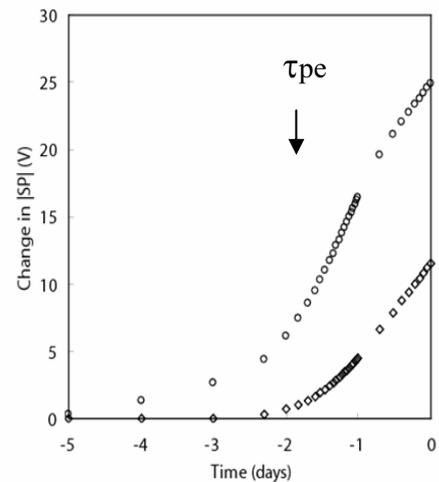


図 2 圧力干渉試験時の SP モニタリングの意義：断裂型貯留層の取り扱いを可能にした SP ポストプロセッサにより、ダブルポロシティの特性 (マトリックスの圧力緩和時間 τ_{pe} など) が圧力干渉よりも “SP 干渉” により明瞭に現れる可能性を見いだした。(横軸は時間の対数)

相領域を通過するトモグラムに遅れが現れる結果となっており、基本的な性能を確認した。物理探査手法の現場実験による性能の評価では、自然電位、重力などのポストプロセッサを用いた検討を踏まえ、流体流動シミュレーションに拘束条件を提供できる手法、とくに費用対効果が高いと予想される地上での観測や浅い坑井を用いた観測手法について野外測定での問題点抽出を進めた。

4. 平成 15 年度の研究計画と進捗

貯留層変動探査法システム統合化について 3 年計画の 2 年目の研究を実施する。大霧地域については、共同研究相手先の全面的協力により、大霧地熱発電所としては始めて、多くの生産井の一時停止が 4 月の定期修繕時に行われた。この期間を挟んで SP, 重力, AE, 傾斜計の多項目モニタリングを実施した (図 4-6)。SP 連続観測、重力繰り返し測定では、高精度の測定に成功し、貯留層変動に起因する短期的な変化を捉えた。特に重力測定では、絶対重力計と相対重力計によるハイブリッド観測により 0.005mGal の精度を実現し (図 3)、優勢な生産井のフィードポイントが位置する気液二相領域の変動を面的に捉えることができた (図 4)。日鹿地熱の観測井圧力モニタリング結果と合わせ、貯留層モデル精緻化を図る上で極めて重要なデータを取得できた。

奥会津地域については、重力, SP 変動データに基づき、簡易モデルを用いた貯留層シミュレーションを実施し、統合ヒストリーマッチングの意義を検討した。その結果、奥会津地域のような蒸気卓越型貯留層を対象に、効率的に貯留層モデル精緻化の拘束条件を得るには、重力測定については

繰り返し測定によって長期的な変化を捉えること、また SP 測定については連続測定によって定期点検（生産井一時停止）時の短期的変化を捉えることが有効であることを示した（図7）。平成14年度までの「貯留層変動探査法開発」において改良・開発の行われた測定技術を用いることで、費用対効果に優れた貯留層モニタリング技術を提案できるとの見通しを得た。以上、システム統合化の成果はGRCなどで公表した。

貯留層変動探査法に係わる要素技術については、昨年度までの成果を中心に「解析・評価 統括報告書」としてまとめ出版した。貯留層ヒストリーマッチング技術に関連して、各種ポストプロセッサ等、NEDOより公開済みのソフトウェアの普及を目的に、ユーザー会を設立した。また、新規ポストプロセッサの基礎概念を総括報告書の中にまとめるとともに、例題計算によりその評価を進めた。個別技術についての共同研究としては、ハイブリッド重力計測（九州電力）、SPモニタリング（三菱マテリアル、地熱エンジニアリング）、圧力遷移試験・微小地震モニタリング（秋田地熱）等について現場調査や既存データを含めた解析を進めた。また、八丈島地熱発電所周辺でSPモニタリング、AMT法調査を実施した。基盤研究としては、高温下でのゼータ電位や電気伝導度について測定を行い、IUGGでの発表2件や国際誌への投稿を行った。また、これまでに火山地域での地球物理学的観測によって取得したデータについてポストプロセッサを用いた解析などを実施し、国際誌への投稿を準備中である。

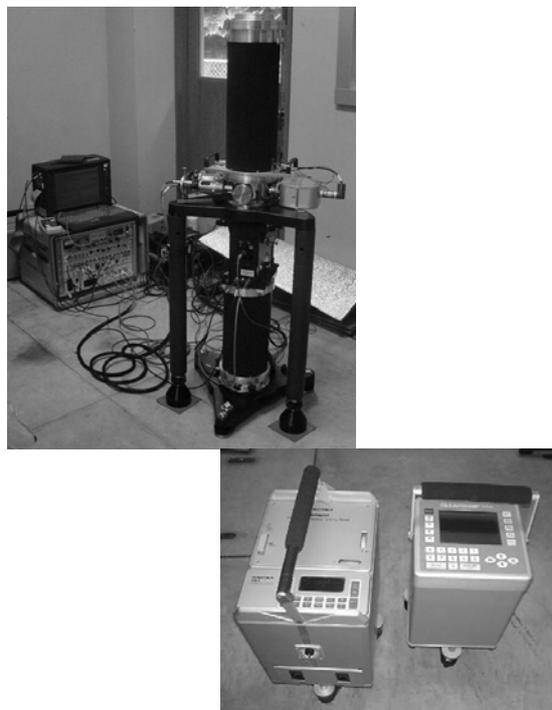


図3 ハイブリッド重力モニタリングでは、絶対重力計（上写真）を基準として相対重力計（下写真）による重力変動観測値を評価する。これまでに比べ、格段に高精度のデータが得られた。

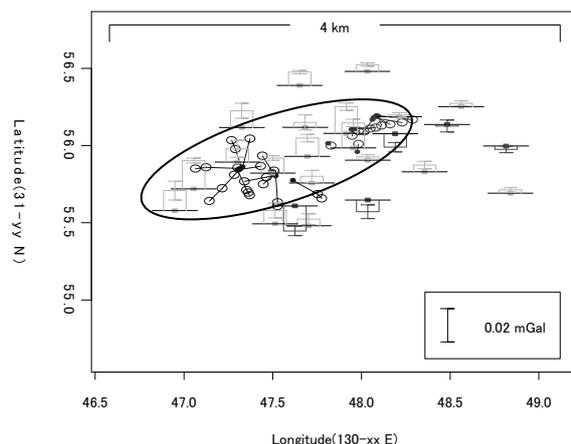


図4 大霧地域において生産一時停止に伴って捉えられた重力変動（楕円で示した範囲で重力増加）。ハイブリッド重力計測によって0.005mGalの精度を実現し、このような小さな変動の検出が可能となった。

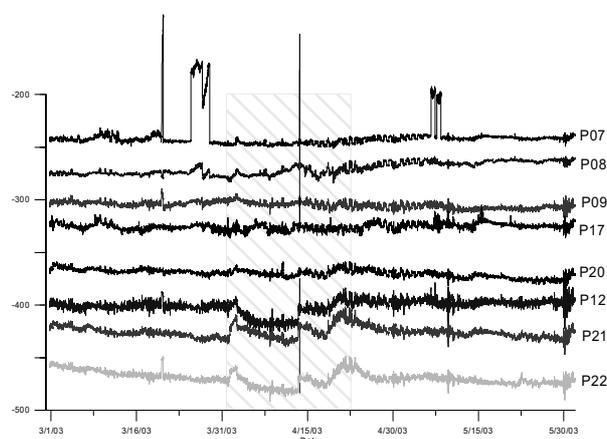


図5 大霧地域において生産一時停止に伴って捉えられた自然電位変動。還元エリアで比較的大きな変動が検出された。

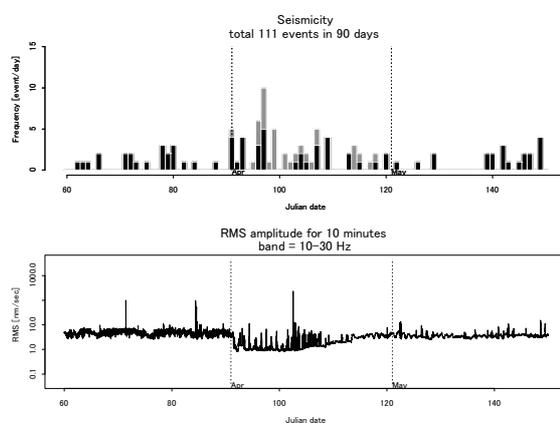


図6 大霧地域における定期修繕時のサイスミシティ（上図）と地動ノイズ（下図）の変化。生産一時停止に伴って地動ノイズの減少が認められた。原因については、地上のタービン停止等の影響も検討する必要がある。

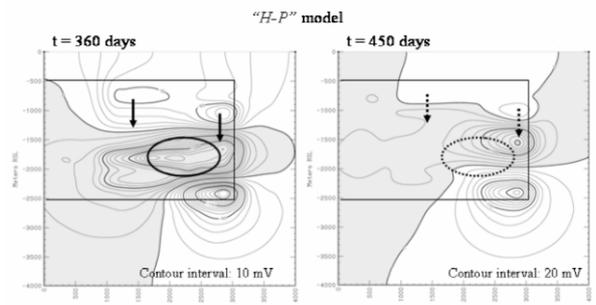
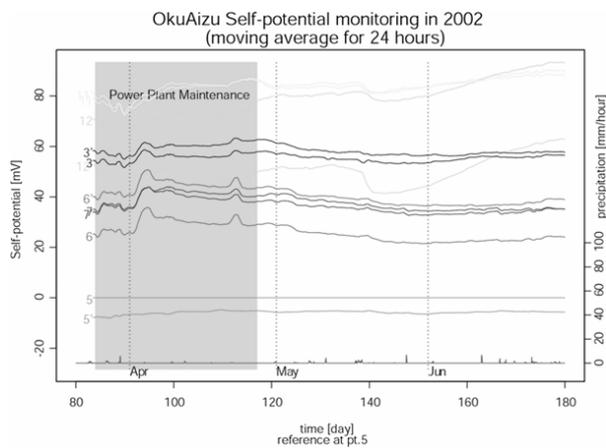


図7 奥会津地域において平成14年4月の定期修繕時に観測された自然電位変動(左図)。右図は、SPポストプロセッサによる計算結果で、生産の一時停止前(左)と停止後(右)の電位断面。貯留層上部、気液二相ゾーン内の液相下降流は地表に負電位を作るが、この効果は生産一時停止によって短期間のうちに小さくなるため、観測されたような変動をもたらす。SP変化のパターンは貯留層パラメータによって変わるので、定修時のSP観測はヒストリーマッチングにとって有用な拘束条件を提供するものと考えられる。

CO₂ 地中貯留の最適モニタリング技術に関する先導研究では、各種ポストプロセッサを用いた予測計算、および小規模な現場観測を実施し、重力、比抵抗、SP、地震波速度、傾斜計等、各手法の適用性を検討する。今年度は、澄川地域での空気圧入実験や長岡試験場でのCO₂注入開始にあわせた傾斜計、SP、比抵抗、重力等の観測や、地震波ポストプロセッサ等を用いた定量的検討を進める。

澄川地域での空気圧入基礎実験では、空気圧入に伴う坑井周囲地表のSP変化(図8)、2次元断面上の比抵抗変化(図9)、ならびに地表傾斜変化を捉えるのに成功し、「貯留層変動探査法開発」で改良・開発の行われたモニタリング技術が、当該分野へも適用できることを確認した。長岡試験場では、傾斜計、GPS、SPのモニタリングに着手し、観測を継続中である。

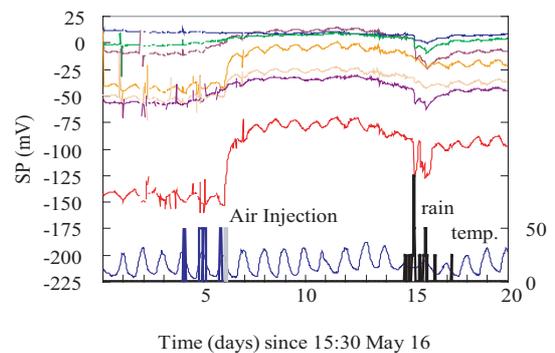


図8 空気圧入に伴う自然電位変化。GSK-1井への注入では、坑口近傍の電極の電位が緩やかに上昇、GSK-2井への注入では、坑口近傍を中心に50mVを超える電位上昇があった。これらの電位上昇は、地下の状態が還元環境から酸化環境へ移行したことによる酸化還元電位起源の変化と考えられる。

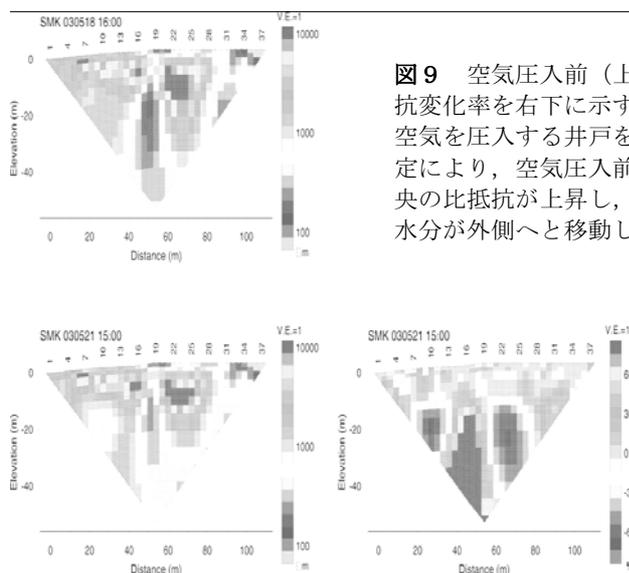


図9 空気圧入前(上)と圧入中(下)の比抵抗構造。空気圧入前に対する比抵抗変化率を右下に示す。

空気を圧入する井戸を中心に長さ108mの測線を設置し、電気探査の繰り返し測定により、空気圧入前と圧入中との比抵抗変化を把握した。空気圧入後は測線中央の比抵抗が上昇し、その周辺の比抵抗が低下した。圧入空気によって地盤中の水分が外側へと移動した様子が、比抵抗変化に反映されている。

地圏資源工学研究グループの紹介

Introduction of Research Group for Geoenergy and Environment

地圏資源工学GL： 當舎利行

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

1. グループの研究目的

当研究グループでは、高温岩体発電技術開発を通して岩石の変形挙動や地下応力の測定技術、水理的構造の解明技術など工学的に地圏を開発するために必要な技術の開発に取り組んできた。開発された技術は、地熱貯留層モデル作成や貯留層管理、水圧破碎などに活用されている。これらの地熱開発に不可欠な技術の開発を進めていくとともに、新しい資源であるメタンハイドレートの力学的特性を元にした生産挙動予測などメタンハイドレートを経済的に生産するための研究開発、環境問題を解決するためのCO₂地中貯留を目的とした地下情報抽出システムの開発や、放射性廃棄物地層処分における岩石の長期変形挙動と地層構造評価技術の確立など地圏開発のための技術開発を広く進めている。

2. グループの特色等

20年近くにわたり、NEDOと協力関係の元で我が国の高温岩体技術開発を促進してきたことから、貯留層造成や生産循環などで先導的な役割を担ってきた。このためこの分野での技術ポテンシャルは高く、研究開発にて得られてデータをとりまとめて技術の集大成をさせる事業や技術開発海外での高温岩体技術開発への協力も行っている。また、岩石力学など工学部学科系出身者のみならず地質学など理学系学科出身者もあり、幅広い視点から地圏開発のための技術開発を進めていくスタッフがそろっている。

1) グループ員(専門)

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

2) 予算

文部科学省試験研究費「高レベル放射性廃棄物地層処分のための地質環境の特性広域基盤情報の整備」
石油公団委託費「メタンハイドレート資源開發生産手法」
NEDO 研究委託費「最適モニタリング設計技術に関する先導研究」
NEDO 調査委託費「高温岩体技術検証調査」

産総研運営費交付金「地圏資源工学の研究」等

3. 平成14年度までの進捗の状況

1) 岩石コアによる地下情報推定技術

地下2000mを超える深度から採取された岩石コアに対して一回の圧縮実験により地圧測定が可能なDSC A法による地圧計測の適用を試みた。3次元解析の結果、各深度における主応力方向の傾向は読みとれるものの、岩石コアの岩種が各深度で異なることにより各深度の結果が異なるものとなった。計測結果を総合的に検討すると、水平面内では南北方向の地圧が小さく、深くなるにつれて正断層型から東西方向の地圧が大きい横ずれ型へ遷移するような応力場が推定さ

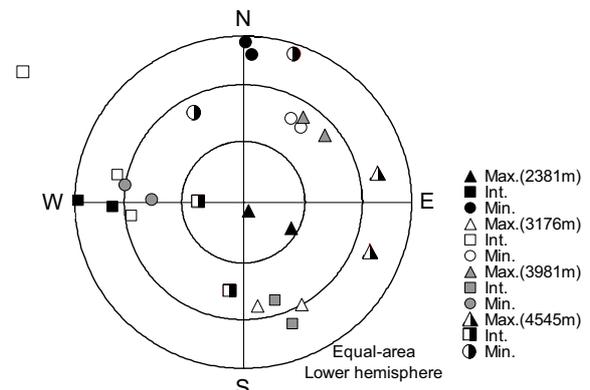


図1. DSCA法により推定された主軸方向

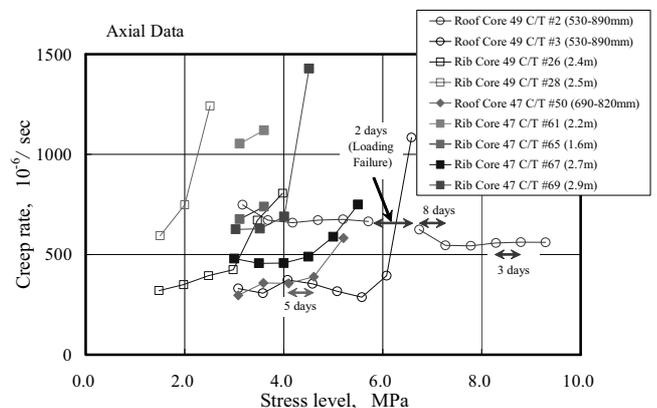


図2. 異なる応力下でのクリープ実験結果

れる。主応力比は、最大主応力値が中間主応力値や最小主応力値よりも突出して大きい結果となった。石炭コアによる多段階クリープ実験を実施するにあたり、圧縮強度がコアにより異なり、また、石炭コアが含水状態であることから温度・湿度の影響を受けるため、コアの現状を維持した状況下での測定システムを構築した。このシステムを用いて、恒温・恒湿度環境下における多段階クリープ試験を実施した。

2) 人工貯留層造成・計測技術

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、室内水圧破碎実験により人工き裂の開口変位を計測した。花崗岩に対して人工造成き裂内における流体の流動抵抗評価を継続して行うとともに、人工き裂開口変位結果および供試体表面変位より得られる解析結果とき裂内流動で用いられる3乗則との比較・検討を行った。

多成分 AE(微小地震)の初動自動検出法を波形エネルギー比解析、AIC、時間一周波数領域での3次元粒子運動解析、ウェーブレット変換の位相指標解析などの複数の手法の組み合わせによって開発した。本技術は少数の坑井内観測点における多成分観測時に利用できることから、受信波形が一般に複雑なうねりS波も対象とする水圧破碎時のモニタリングへの初動自動検出の適用が可能となった。フランス・ソルツでの水圧破碎実験において十分な精度で12,435イベントの位置標定に成功し、造成貯留層の状態を議論するのに十分な数量の震源位置標定を、リアルタイムの現場解析にて実現することができた。この技術は、CO₂貯留等における安全監視などで微小地震を利用する際にも有効と考えられる。

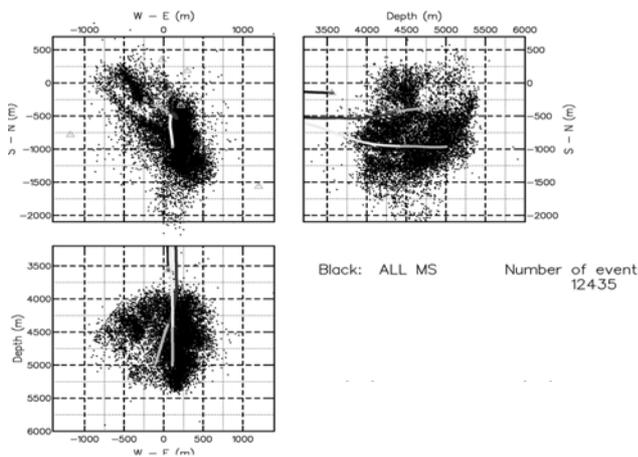


図3. ソルツ2003年水圧破碎の際の微小地震現場解析の最終結果。(水平面および南方、東方から見た深度断面。図中の黒点が、自動初動検出を用いて位置標定された微小地震震源を表す。)

3) 人工貯留層挙動予測技術

肘折高温岩体実験での浅部及び深部貯留層の同時注水時のシミュレーションを実施した。各貯留層からの生産流量を分け、地上で計測された生産流量に

対する浅部貯留層からの生産流量の比(生産寄与率)を求めた。HDR-2aにおける生産寄与率は試験初期では、75%と浅部貯留層からの寄与率が高く、浅部貯留層と深部貯留層への注入流量の変更を行った2002年4月以降では、浅部貯留層からの寄与率は低下している。これは、深部貯留層からの生産が増加し、浅部貯留層からの生産が減少したことを示している。なお、HDR-3では流量変更に伴い、浅部貯留層からの生産が若干低下しているが、生産寄与率は全期間を通して、70~80%の範囲で安定しており浅部貯留層からの生産が優勢であったと推定される。

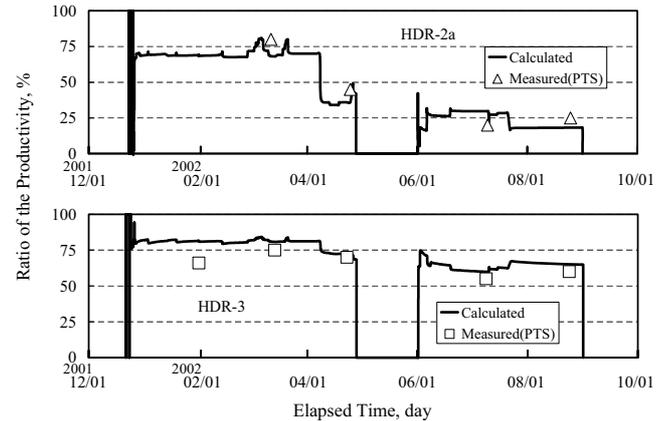


図4. 計算された生産寄与率

同時期に実施したトレーサー応答曲線の解析を行った。前述の流入比の変更に伴い、流入比を減少させた側でトレーサー出現容積が増加すること、中断を挟むと出現容積が増大すること、浅部貯留層では、トレーサーの出現が早まり流路の選択が進行していることが確認できた。また、肘折実験場の坑内スケール防止法としてインヒビターの現地注入試験と室内実験を行い、注入井近傍でインヒビターが硬石膏の溶解を抑制し、結果的に生産性側でのスケール沈積量が減少するメカニズムを提案した。さらに、地上配管スケールについて分析し、主に炭酸カルシウムが付着する坑井(HDR-2)は付着量や坑内スケールが多く、シリカが付着する坑井(HDR-3)は付着量が少ないことを示した。

4. 平成15年以降の研究

当研究グループは、高温岩体発電技術などNEDOとのカップル研究により研究開発を進めてきた。NEDOの地熱技術の研究開発が政策的理由により中断したため、これまで地熱研究により養った基礎技術や研究実績を生かし、地圏資源を工学的に使用する際に必要とされる技術について研究開発を進めていく予定でいる。この技術開発における応用分野は放射性廃棄物処分、CO₂地中貯留、メタンハイドレート生産と多岐にわたっており、今後とも他のグループとの連携を十分にとって研究開発を進めていく。

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

地圏環境評価研究グループ長： 駒井 武
Leader, Geo-analysis Research Group: Takeshi Komai
Phone: 029-861-8795, e-mail: koma@ni.aist.go.jp

1. グループの研究目的

近年、土壌・地下水汚染問題が顕在化し、特に市街地や産業用地においては深刻な状況となっている。平成15年2月には、土壌汚染対策法が施行され、事業所や工場などにおける地圏環境リスク管理が本格的に開始されようとしている。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、土壌・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、土壌・地下水汚染の環境評価と環境修復を主なターゲットにして昨年10月に発足した。その検討に際しては、地質学、地球化学、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、土壌、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・修復）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。ヒ素、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研究開発を実施している。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、地圏環境への沈着などの環境挙動と浄化方式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、地圏環境における暴露・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評価・解析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評価・解析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昨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した。メタンハイドレートを含む地層の浸透率特性を明らかにするとともに、産出挙動を予測するための生産シミュレータの開発を行う。こ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
坂本靖英 *特別研究員
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
沖田伸介 *産学官技術研修
ほか大学院生3名

2) 研究課題

運営費交付金「地圏環境評価の研究(地質)」
運営費交付金「地圏環境評価の研究(エネルギー)」
運営費交付金「土壌汚染調査・評価・管理(リスク管理手法)」(分野別融合化研究)
委託費「メタンハイドレート資源開發生産手法開発」(資源エネルギー庁)
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)
委託費「一般・産業廃棄物・バイオマスの複合処理・再資源化プロジェクト」(文部科学省)
委託費「土壌汚染リスク管理手法調査事業」

(経済産業省請負事業)

3. 平成 15 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・土壌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。地下水流動モニタリングに使用する高感度トレーサーのひとつとして蛍光物質が挙げられるが、これら蛍光物質に及ぼす地圏環境因子の影響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、蛍光物質のひとつであるウラニン(フルオレセインナトリウム)に関して、蛍光強度に及ぼす流体中の溶存イオン(Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Al³⁺, Fe³⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, CO₃²⁻)および流体 pH の影響を明らかにした。また、地熱等による熱分解についても反応速度論的に評価を行っている。さらに、ジルコンや石英、カオリンなど粘度鉱物への吸着試験を行い、土壌吸着による影響を検討する。

地圏環境における有害金属類の評価及び有害金属類と微生物の相互作用を解明し、微生物を用いた金属類汚染の浄化法を開発することを目的として、1) 海底堆積物中のヒ素の形態別分析やその他の化学成分分析による濃集メカニズムの解明、2) 微生物による金属類の濃縮に関する研究を行う。得られたデータの一部について、国内での学会発表を行った。

2) 土壌汚染調査・評価・管理(リスク管理手法)

ユニット間融合化研究(分野別重点課題)として、土壌汚染の調査、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、土壌汚染のリスク管理手法の開発を担当している。この中で、土壌中含有量と汚染土壌からの溶出量を基にした土壌汚染の暴露・リスク評価手法を開発するとともに、具体的な調査地点を対象とするサイトモデルを設定し、浄化・修復のリスク低減効果を定量的に評価できる手法を確立する。本年度は、サイト毎の特性を考慮した評価モデルを開発し、具体的な土壌汚染サイトに適用する。(図1参照)

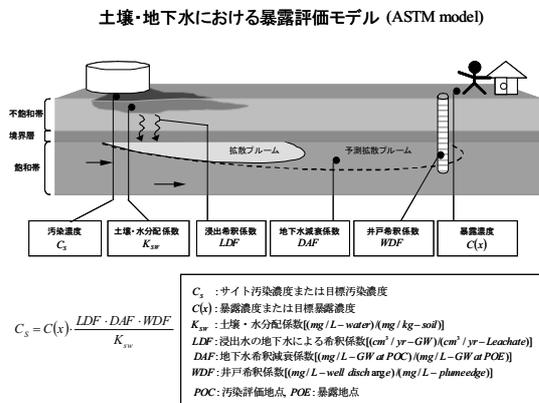


図1 土壌汚染リスク評価手法の概要

2) 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。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活性と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2参照)

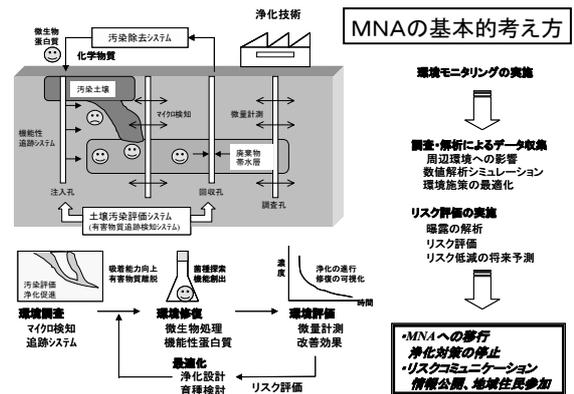


図2 科学的自然減衰の基本的考え方

4) 一般・産業廃棄物・バイオマスの複合処理・再資源化プロジェクト(研究協力)

廃棄物・バイオマス処理の過程で生じる有害物質を含む水の安全性評価指標の一部として、これが微生物生態系に与える影響を評価するとともに、処理水を微生物の利用により浄化する手法を開発する。廃棄物からの溶出が確認されたホウ素について、これまで環境中の微生物に与える影響評価は行われてこなかったため、この検討を行った。

5) メタンハイドレート生産手法開発

ガスハイドレートを含む堆積層におけるメタンガスおよび水の浸透率特性を把握するための実験的検討を行い、生産性評価のための解析手法の開発に反映させる。また、各種実験装置および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モデル構築および定式化を行う。

4. 今後の方針

当グループは、グループ員の緊密な連携を図りながら、地圏環境評価に関する学術的成果を論文等で公表するとともに、積極的な対外活動を実施する。また、得られた成果をもとに、本分野のみでなく他の分野に関しても萌芽的研究から実用化研究まで幅広く本格研究を実施する。特に、汚染調査手法や微生物浄化手法、地圏環境評価システムなどの具体的な研究成果物を一般に普及させ、土壌・地下水汚染や廃棄物処分場などの問題解決に寄与することを目指す。

地質バリアグループの活動 Activity of the Mineral Resource Research Group

地質バリア研究グループ長： 楠瀬 勤一郎

Leader, Geo-Barrier Research Group: Kinichiro Kusunose

1. はじめに

地質バリアグループは、本年 10 月に新設された研究グループで、楠瀬勤一郎・丸井敦尚・長秋雄のほか、テクニカルスタッフとして林武司・宮越昭暢が研究に携わっている。このグループは、放射性廃棄物や二酸化炭素など、環境に有害な物質を地中に処分を考える上で重要な、地下の地質・岩盤の性質を明らかにするために必要な、水文学・岩盤力学の研究を行なうとともに、将来必要とされるであろう多岐にわたる地下の開発・利用に係る技術に関する調査・研究を行うことを目的としている。以下に、現在グループで進行中の代表的なプロジェクトの内容を簡単に紹介する。

2. 地下深部岩盤初期応力の実測

地球科学静穏域において深部岩盤初期応力測定を主目的とした深さ 1000m 級の調査ボーリングを実施している。本研究は原子力委員会の評価に基づき、文部科学省原子力試験研究費により実施されている。

わが国での岩盤初期応力測定は、工学分野と地下発電所やトンネルで行われてきた。一方、地震学分野では、水圧破碎法による地殻応力測定

が関東東海地域・群発地震発生域・活断層近傍と震学分野で行われてきた。工学分野では応力解放法による岩盤初期応力状態の測定が主に山岳地域の地下発電所やトンネルで行われてきた。地震学分野では、水圧破碎法による地殻応力測定が関東東海地域・群発地震発生域・活断層近傍といった地球科学的活動域において行われてきた。

本研究の目的は、(1) これまでに応力測定が行われてこなかった地球科学的静穏域での応力値を測定すること、(2) その測定結果と既存データとの比較から、応力の大小を地球科学的な地域性の観点から検討することである。

調査ボーリング孔の掘削地点には、測量による地殻変動量が小さくかつ地震活動も低調で、地球科学的な静穏域と考えられる岡山市周辺を選定した。平成 15 年度までに深さ 750m までの調査ボーリング孔を掘削し、岩盤調査と水圧破碎法による応力測定を実施した。平成 16 年度には調査ボーリング孔深さ 900m ないし 1000m まで増掘し同様な調査・測定を行う予定になっている。

調査ボーリング孔の地質柱状図、亀裂密度の深さ分布、応力値の深さ分布を図 1 に示す。

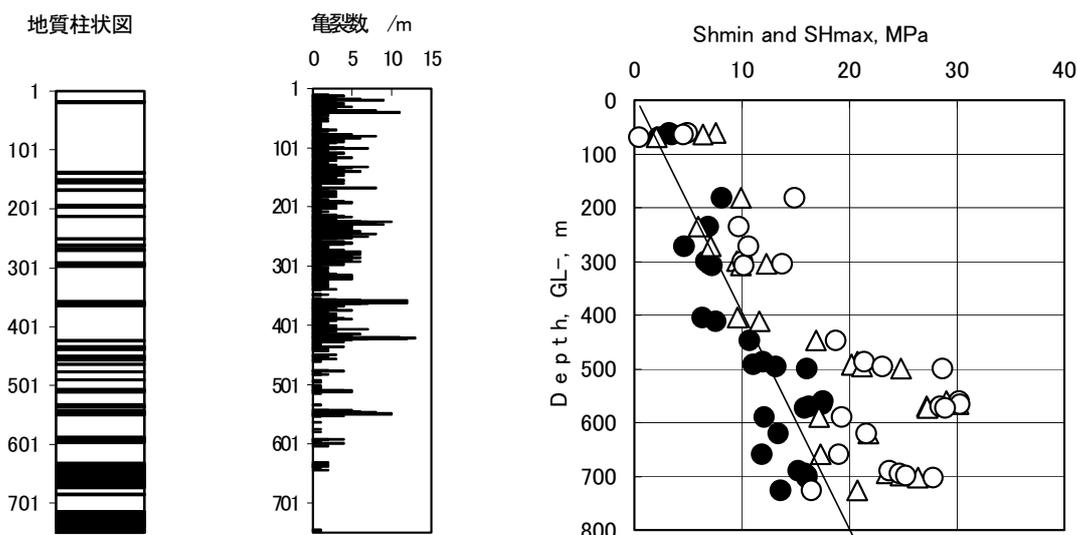


図 1 地質柱状図では、花崗岩部を白で、それに進入するアプライト部を黒で示す。応力分布図では、水平最小応力を●で、2種の算出式で求めた水平最大応力を△と○で、上載荷重を実線で示している。

3. 塩淡水境界面形状把握調査

地下水バリアグループでは、環境問題に密接に関係した、地下水の流動に関わる4つの研究プロジェクトを進めている。このうち、資源エネルギー庁受託研究「塩淡水境界面形状把握調査」では、海岸部における塩淡水境界に沿った地下水の上昇流動を明らかにすることを目的として、地下水観測井を用いた地下水流動の観測や物理探査手法を用いた3次元的地質の把握、地下水・地質のサンプル分析による塩淡水境界面形状と地下水流動の解析などから海岸部における総合的水文学研究を実施

している。平成14年度には千葉県蓮沼海浜公園(200m×100mのフィールド)において予備的な研究を実施し、研究手法を確立した。平成15年度からは茨城県東海村にフィールドを移し、1km×2kmの範囲で地下水流動観測を実施している(図2)。当該研究フィールドでは深度200m(白亜紀層)までを対象とした各種堆積層の中での地下水流動を観測すると共に、平成17年度に完成する大強度陽子加速器リング(図3)の建設工事に伴う塩淡水境界面形状の変化や地下水流動環境の変化を観測することが大きな目的である。

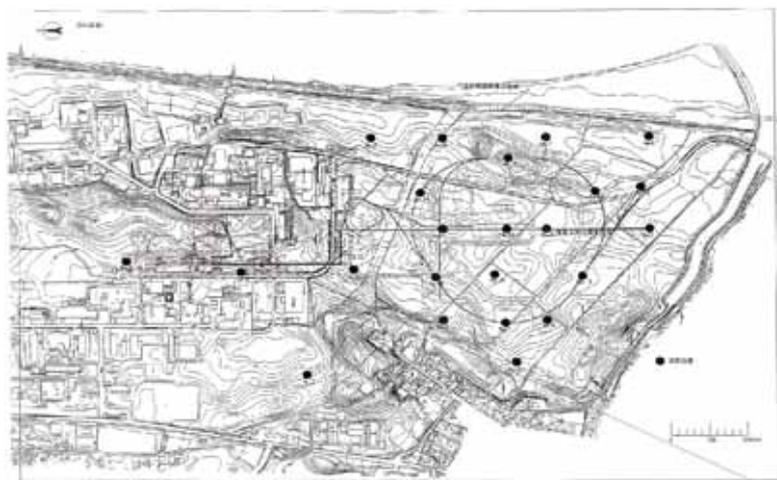


図2 観測施設平面図(黒丸は他の研究で設けた観測井)



図3 大強度陽子加速器リング建設完成予想図

研究員名簿

役職	氏名	事業所	地下水資源環境研究グループ		
研究部門長	野田 徹郎	つくば中央第7事業所	研究グループ長	石井 武政	つくば中央第7事業所
副研究部門長	奥田 義久	つくば中央第7事業所		内田 洋平	つくば中央第7事業所
副研究部門長	松永 烈	つくば中央第7・西事業所		出口 雄作	つくば中央第7事業所
総括研究員	山口 勉	つくば西事業所		(松岡 憲和)	筑波大学
総括研究員	(青木 正博)	つくば中央第7事業所	貯留層ダイナミクス研究グループ		
	(国松 直)	つくば中央第7事業所	研究グループ長	石戸 恒雄	つくば中央第7事業所
	(大久保 泰邦)	つくば中央第7事業所		菊地 恒夫	つくば中央第7事業所
事務マネージャー	山崎 浩	つくば中央第7事業所		杉原 光彦	つくば中央第7事業所
	林 美由紀	つくば中央第7事業所		高倉 伸一	つくば中央第7事業所
顧問	長谷 紘和	つくば中央第7事業所		中尾 信典	つくば中央第7事業所
地熱資源研究グループ				西 祐司	つくば中央第7事業所
研究グループ長	村岡 洋文	つくば中央第7事業所		安川 香澄	つくば中央第7事業所
	玉生 志郎	つくば中央第7事業所		(小池 克明)	熊本大学
	阪口 圭一	つくば中央第7事業所	地圏資源工学研究グループ		
	佐々木宗建	つくば中央第7事業所	研究グループ長	當舍 利行	つくば西事業所
	佐脇 貴幸	つくば中央第7事業所		及川 寧己	つくば西事業所
	茂野 博	つくば中央第7事業所		相馬 宣和	つくば西事業所
	水垣 桂子	つくば中央第7事業所		竹原 孝	つくば西事業所
	(大谷 具幸)	岐阜大学		天満 則夫	つくば西事業所
燃料資源地質研究グループ				柳澤 教雄	つくば西事業所
研究グループ長	棚橋 学	つくば中央第7事業所	地圏環境評価研究グループ		
	小田 浩	つくば中央第7事業所	研究グループ長	駒井 武	つくば西事業所
	中嶋 健	つくば中央第7事業所		杉田 創	つくば西事業所
	松林 修	つくば中央第7事業所		竹内 美緒	つくば西事業所
	森田 澄人	つくば中央第7事業所		坂本 靖英(特)	つくば西事業所
	(徳橋 秀一)	つくば中央第7事業所		川辺 能成(特)	つくば西事業所
資源有機地化学研究グループ				(難波 謙二)	東京大学
研究グループ長	坂田 将	つくば中央第7事業所	地質バリア研究グループ		
	猪狩 俊一郎	つくば中央第7事業所	研究グループ長	楠瀬 勤一郎	つくば中央第7事業所
	金子 信行	つくば中央第7事業所		長 秋雄	つくば中央第7事業所
	鈴木 祐一郎	つくば中央第7事業所		丸井 敦尚	つくば中央第7事業所
	前川 竜男	つくば中央第7事業所			
	吉岡 秀佳(特)	つくば中央第7事業所			
鉱物資源研究グループ					
研究グループ長	渡辺 寧	つくば中央第7事業所			
	小村 良二	大手前サイト			
	佐藤 興平	つくば中央第7事業所			
	須藤 定久	つくば中央第7事業所			
	村尾 智	つくば中央第7事業所			
	(太田 英順)	北海道北区サイト			
	(内藤 耕)	筑波中央第1事業所			
物理探査研究グループ					
研究グループ長	内田 利弘	つくば中央第7事業所			
	神宮司 元治	つくば中央第7事業所			
	中島 善人	つくば中央第7事業所			
	西澤 修	つくば中央第7事業所			
	光畑 裕司	つくば中央第7事業所			
	横田 俊之	つくば中央第7事業所			
	(六川 修一)	東京大学			
	(松岡 俊文)	京都大学			
	(芦田 譲)	京都大学			
	(佐々木 裕)	九州大学			
安全工学研究グループ					
研究グループ長	青木 一男	つくば西事業所			
	今泉 博之	つくば西事業所			
	大野 哲二	つくば西事業所			
	唐沢 広和	つくば西事業所			
	鈴木 忠	つくば西事業所			
	高橋 保盛	つくば西事業所			
	田中 敦子	つくば西事業所			
	榊井 明(特)	つくば西事業所			
	(緒方 雄二)	つくば西事業所			
	(和田 有司)	つくば西事業所			
	(将 宇静)	長崎大学			

(特)：特別研究員，()：併任者。2003年10月1日時点。

平成 15 年 11 月 28 日発行

編集：独立行政法人産業技術総合研究所

地圏資源環境研究部門

発行責任者：野田徹郎

Green Report

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

2003

November 28th, 2003

ABSTRACTS OF THE SYMPOSIUM

"Natural gas and methane hydrate in Japan"

WITH RESULTS OF MAJOR RESEARCH PROJECTS AND ACTIVITY OF
RESEARCH GROUPS OF THE INSTITUTE FOR GEO-RESOURCES AND ENVIRONMENT
DURING 2002-2003

