

物理探査研究グループの紹介 -2010 年度- Exploration Geophysics Research Group, FY2010 Update

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

1. グループの研究目的

本研究グループでは、放射性廃棄物地層処分、土壌・地下水汚染、CO₂ 地中貯留、土木分野等の地圏環境分野における地盤・岩盤の評価やモニタリング、及び、地熱、鉱物資源等の資源分野における地質構造調査に不可欠な物理探査技術の高精度化を目指し、各種探査手法の技術開発と適用研究を行う。

平成 22 年度においては、放射性廃棄物地層処分場選定における地質構造評価、土壌汚染・地下水環境・土木分野等における浅部地質環境評価、CO₂ 地中貯留における物理探査モニタリング、地熱貯留層評価・地中熱利用への物理探査の適用、震源断層評価への物理探査の適用等の研究を進めるとともに、技術シーズ開拓のための基盤的研究を進める。

2. グループの概要

1) グループ員

内田利弘 (リーダー)
上田 匠
神宮司元治
中島善人
光畑裕司
横田俊之
安藤 誠 (産学官制度)

2) 平成 22 年度の主な研究予算

資エネ庁委託費「沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度化開発」
JNES 委託費「震源断層評価に係る地質構造調査の高度化に関する研究」
環境省委託費「地中熱利用ヒートポンプシステム過負荷運転実証試験」
環境省委託費「温泉共生型地熱貯留層管理システム実証研究」
共同研究費「柳津西山地熱地域における 3 次元 MT 法探査に関する研究」
運営費交付金「沿岸域地質・活断層調査」
運営費交付金「工業用地下水資源の再開発・合理化研究」
など

3) 平成 22 年度の研究の概要

a) 地層処分場の地質構造評価

沿岸域の地質構造や塩淡水境界を把握するための物理探査技術として、浅海域を対象とする電磁探査法の機器開発とデータ解析手法の研究、北海道幌延地域における物理探査法適用調査、地層の物性を求めるデータ解釈法の研究等を行う。

b) 土壌汚染評価

油汚染サイトにおいて取得したデータの解析、試料の分析を継続し、得られた比抵抗構造、電磁波反射面分布、ダイレクトプッシュ原位置計測値等を総合的に解釈し、汚染評価のための基礎情報を整理する。

c) 浅部地質環境評価

核磁気共鳴 (NMR) 表面スキャナー装置について、農業や工業製品への適用実験を行う。マルチ送信比抵抗探査装置の改良を行う。発破液状化試験、空気注入地盤改良等の比抵抗モニタリングについて検討を進める。

d) CO₂ 地中貯留のモニタリング技術

物理探査 (電磁探査等) による CO₂ 貯留モニタリング技術について海底電磁探査法等の数値実験による検討を行う。CO₂ のマイクロバブル注入技術およびモニタリング手法について基礎的検討を行う。

e) 地熱資源・地中熱利用における物理探査

地熱発電所の貯留層構造把握や温泉のつながりを評価する研究の一環として、いくつかの地熱地域において 3 次元比抵抗調査を実施する。地中熱利用における最適生産設計と環境影響予測のため、地盤物性パラメタの評価技術、環境負荷のモニタリング手法について検討を行う。

f) 沿岸海域における地質・活断層調査

沿岸域の物理探査データ空白域を補い、海陸にわたる地質・断層構造を把握する探査法について検討する。北海道苫小牧地域の陸域で反射法調査を実施する。

g) 物理探査技術の基盤的研究

物理探査による地下構造の高精度イメージングをめざす技術開発として、海底資源探査に向けた電気・電磁探査データ解析法の基礎研究、震源断層評価のための物理探査適用法の基礎研究、豪州における地殻構造調査のデータ解析を実施する。

3. 平成 22 年度の主な進捗状況

1) 地層処分場の地質構造評価

a) 沿岸域を対象とする物理探査技術開発

放射性廃棄物地層処分において、沿岸域の地質構造と地下水環境（塩分濃度等）を把握するための物理探査手法の整備が必要とされている。そのため、本研究では、浅海域を対象とする電磁探査法の機器開発および2次元・3次元データ解析手法の研究を進めるとともに、北海道幌延町のモデルフィールドにおいて、地震探査・電磁探査等の探査手法の適用研究を行う。

平成 21 年度には、浅海用海底電磁探査法の機器改良と幌延浅海域でのデータ取得試験、陸域での反射法地震探査ならびに電磁探査法（MT 法）補足調査を行った。調査位置を図 1 に示す。

海底電磁探査法については、平成 19 年度から開発中の浅海用測定装置の改良と水槽実験を行って正常な動作を確認した後、幌延町の浅海底での適用試験を実施した（図 2）。その結果、実海域でも正常に測定が行えることを確認したが、波浪に起因する装置の揺動ノイズが大きく、測定データの品質は不完全であった。平成 22 年度には、さらに改良を加えるとともに、測定仕様を見直して、データ品質の向上を図った。陸域 MT 法測定データ（測線 A）と海域の 4 測点のデータを合わせて海陸接合の 2 次元構造解析を行った結果を図 3 に示す。

陸域の反射法地震探査は、深さ 2000m 程度までの深部を対象とする P 波反射法と、深さ 100m 程度までの極浅層の構造を求める S 波反射法（ランドストリーマー使用）を実施した。測線は、沿岸部の浜里地区で掘削中の調査井付近を起点とし、東に、S 波は約 5km、P 波は約 8.5km の測線長で設定した。P 波反射法の解析結果を図 4 に示す。

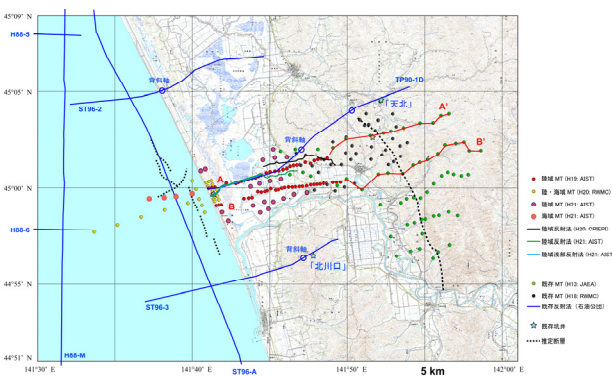


図 1：北海道幌延町の沿岸域モデルフィールドにおける平成 21 年度までの物理探査調査位置図。平成 22 年度には、海域における電磁探査調査を実施する。

b) 物理探査データ解析法の研究

物理探査や物理検層データから、地層の地質環境特性（間隙率、塩分濃度、力学的物性等）を定量的に推定する手法を開発する。岩石を大小二種類の球状粒子（砂・粘土粒子）で表現する二粒子モデル理論を適用し、弾性波速度と電気伝導度を解釈する手

法の開発を進めた。幌延地域において実施された陸域電磁探査（MT 法）解析結果に上記解釈法を適用し、第四紀地層（更別層）の間隙水電気伝導度分布を推定した（図 5）。



図 2：開発中の海底電磁探査装置の外観

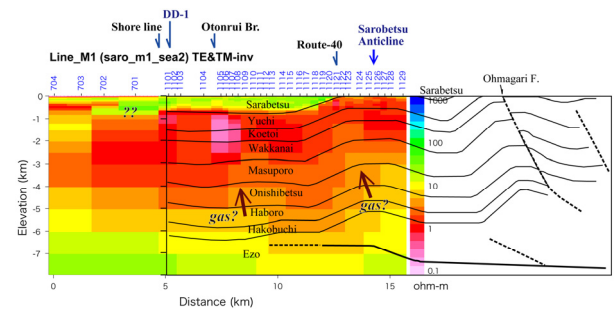


図 3：陸域の MT 法測線 A（平成 19 年度）と海域 4 測点のデータを用いた比抵抗構造 2 次元モデル（カラー表示）。既存反射法データ（石油公団）による地層境界解釈（黒線）を重ねて表示。海域のデータを加えることにより海岸線近傍のモデルの信頼性が向上し、海底浅部の比抵抗構造も求めることができた。ただし、海域データの品質は十分でないため、深部の比抵抗値の信頼性は低く、今後平成 22 年度のデータを加えた解析を行う。

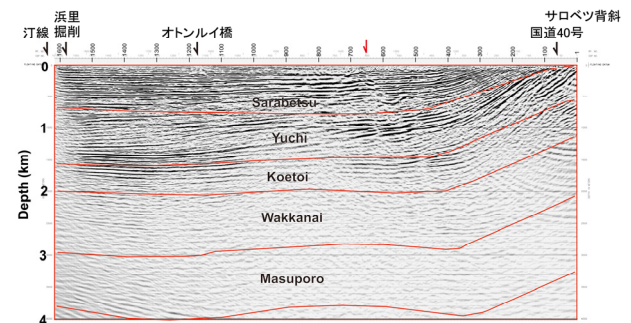


図 4：陸域 P 波反射法（平成 21 年度）のマイグレーション深度断面図（白黒表示）に石油公団の既存反射法断面の地層境界解釈結果（赤線）を重ねて表示。各地層内の詳細な層構造を追跡することができる。既存反射法断面の解釈は H21 反射法結果と少し異なる箇所があり、今後さらに解釈を進める必要がある。

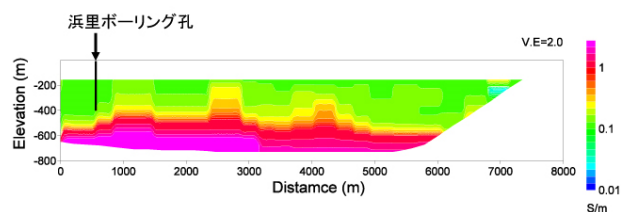


図 5：MT 法の比抵抗解析結果をもとに解釈して得られた更別層の間隙水の電気伝導度分布

2) 土壌汚染評価

地表からの物理探査や原位置計測によって、電気物性等の分布から油汚染土壌を評価する手法について検討するため、油分汚染モデルフィールドにおいて、これまで3次元電気探査、電磁マッピング法、地中レーダ等による調査を実施した。また、ダイレクトプッシュ型貫入プローブを用いた深さ数mまでの原位置計測、土壌・地下水サンプリング等を実施した。取得したサンプルについては、電気物性、X線CT、NMR等の計測を行った。それらの結果を総合して、油汚染に対する効果的な物理探査調査手法の検討を進めている。

a) 3次元電気探査と原位置計測

油分汚染サイトにおいて実施したダイレクトプッシュ型貫入プローブ計測の実施箇所と3次元電気探査(比抵抗探査)の結果を図6に示す。また、そのうち、4地点について、ダイレクトプッシュ型原位置計測による地盤の電気伝導度と揮発性成分(FFD)の測定結果を図7に示す。FFDによって油汚染の存在が確認された地点および深度と、3次元電気探査で得られた低比抵抗異常が良い相関を示すことが確認された。次に、4つの孔井でサンプリングした地下水の分析結果を表1に示す。汚染が検出された孔井(A-5, 12, 17)の間隙水は、油汚染が検出されなかった孔井(A-14)に比べると、3倍から5倍の電気伝導度を示すことがわかる。間隙水が高い電気伝導度を示す原因としては、微生物による油分(有機物)の分解等が考えられる。間隙水の電気伝導度が高い箇所は3次元電気探査による低比抵抗異常と良い相関を示す。

b) 核磁気共鳴法による土壌汚染の評価

核磁気共鳴(NMR)法では、水分子と油分子の粘性の違いに起因するプロトン緩和時間の差異を利用することで、油で汚染されたコアの部位を非破壊で検出できるポテンシャルがある。そこで、油で汚染されたサイトから採取した土壌コアサンプルに対してNMR法計測を実施した。調査サイトは粗～中粒砂の砂質地盤で構成されており、計測に用いたコアは深度0～4mの区間のサンプルである。なお、地下水位は深度約1mである。

永久磁石を搭載した低磁場核磁気共鳴装置(図8)にコアを装填し、プロトン緩和波形を2.7MHzの共

鳴周波数で計測した。指数関数的に減衰する横緩和波形の初期振幅を横軸に、横緩和時間を縦軸にプロットしたものが図9である。油汚染の無い部位(間隙流体が低粘性の水分子)のデータのトレンド(図中の水色のゾーン)と、油汚染のある部位(間隙流体が高粘性の油分子)のデータ点群とを、1つのデータ点を除いて識別することに成功した。このように、NMR法は、封印されたコアの汚染部位に関する情報を非接触非破壊で簡便に示してくれるので、ガスクロなどのコア開封後の時間のかかる様々な分析の前段階として大変有益な手法である。

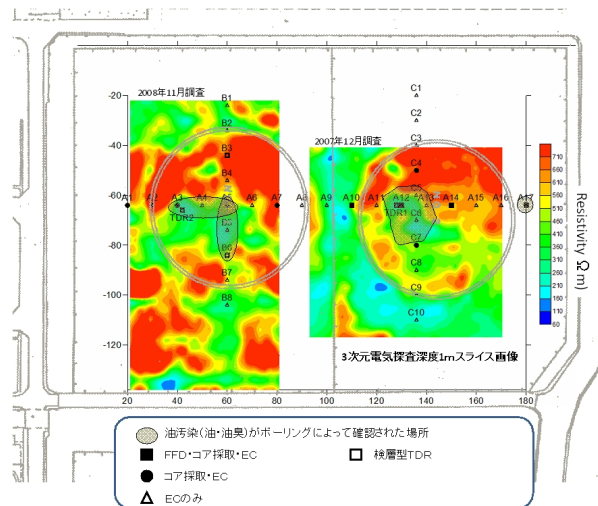


図6: 油汚染サイトにおけるダイレクトプッシュ型貫入プローブ計測および土壌サンプリング実施箇所、および、3次元電気探査の解析結果(深度平面図)

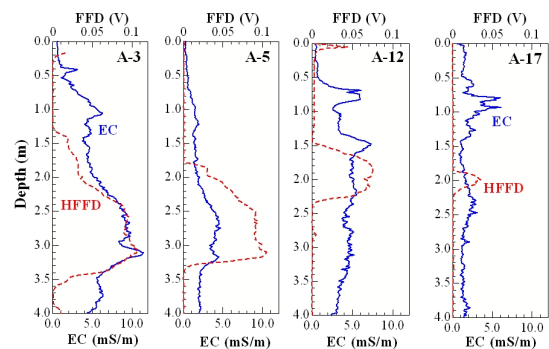


図7: ダイレクトプッシュ計測による地盤の電気伝導度とFFD結果

表1: 地下水サンプルの電気伝導度と各種分析結果

孔井番号	地下水位 GL(m)	深度(m)	EC (mS/m)	pH	ORP (mV)	油臭	油膜	色・沈殿物	水質分析
A-5	-0.97	2-3	37.3	7.4	-143	油臭かなり強い/粘土っぽい臭い	あり	白濁、沈殿物有り	実施
A-12	-0.7	0.5-1	34.2	6.5	149	なし	なし	無色透明	実施
		1-1.5	18.14	5.9	211	わずかなり	あり	やや赤色・沈殿物あり	実施
		1.5-2	15.5	6.7	90	油臭わずか/少し粘土っぽい臭い	あり	やや赤色・沈殿物あり	
A-14	-0.9	0.5-1	3.57	7.9	-22	なし	なし	やや白濁	
		1-1.5	6.91	7.5	123	なし	なし	無色透明	
		1.5-2	6.37	7.2	103	なし	なし	無色透明	
A-17	-0.85	1.5-2	10.69	7	-184	油臭強い	あり	白濁、沈殿物有り	実施
		2.5-3	9.43	7.5	-148	なし	なし	白濁、沈殿物有り	実施

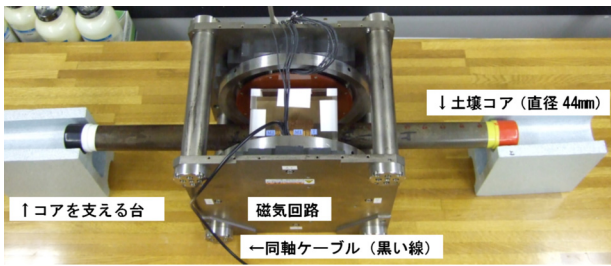


図 8 : 核磁気共鳴分析装置(土壌コアを計測中)

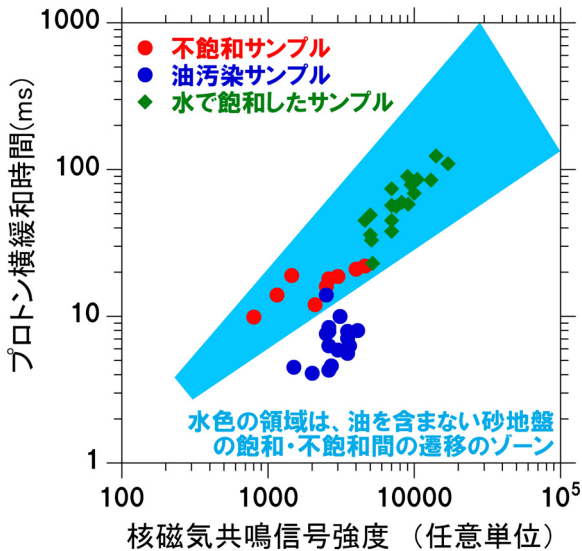


図 9 : 核磁気共鳴データによる汚染部位と清浄部位の識別

3) 物理探査技術の基盤的研究

a) 汎用な水平多層構造数値計算手法の開発

近年注目が高まっている海底下構造の探査について、海底下浅部の比抵抗探査を目的とした海底電気探査法の適用と、そのデータ解析手法について研究を進めている。本研究では、浅海から深海において、水平、垂直、傾斜など様々な電極配置による測定に対応する汎用性を備えた解析計算プログラムの作成、精度検証を行った。また、海底における鉛直型電気探査の実測試験を行い、測定データを再現する応答を数値計算により確認した(図 10, 図 11)。

b) 豪州における電磁探査法適用研究

豪州ビクトリア州政府の進める鉱物資源調査研究 Gold Undercover イニシアティブに協力し、豪州モナッシュ大学、産総研、韓国 KIGAM の共同研究として、2007 年および 2008 年に同州中部 (Bendigo 市周辺) において MT 法調査を実施した。

2次元解析の信頼性を向上させるため、スタティックシフトを未知数とできるように既存解析プログラムを改良した。MT 法測点と同じ場所で TEM 法測定が実施されスタティックシフトが推定されているが、今回のインバージョンによるスタティックシフト推定値は、多くの測点でそれらと整合性の高いことが認められた。

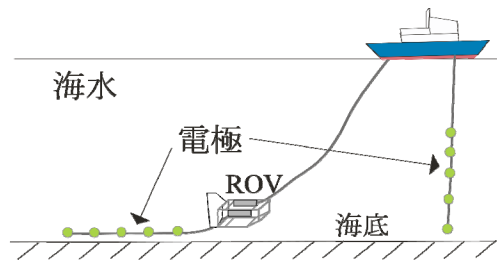


図 10 : 海底電気探査概念図(探査船からの電極ケーブル直接曳航や ROV を用いた電極展開)

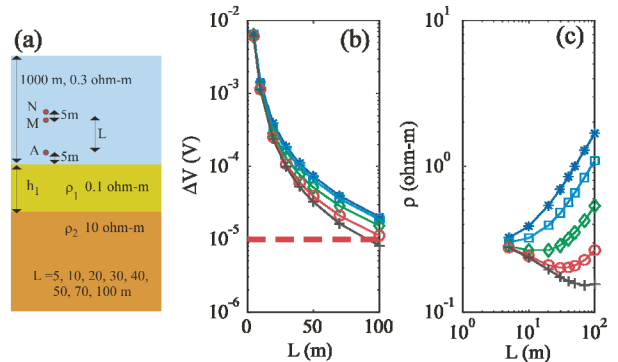


図 11 : 鉛直 3 極配置を用いた (a) 3 層構造モデルにおいて、低比抵抗 (0.1 ohm-m) の第一層層厚を 1m から 100m まで変化させた場合の (b) 電位応答と (c) 見掛比抵抗。

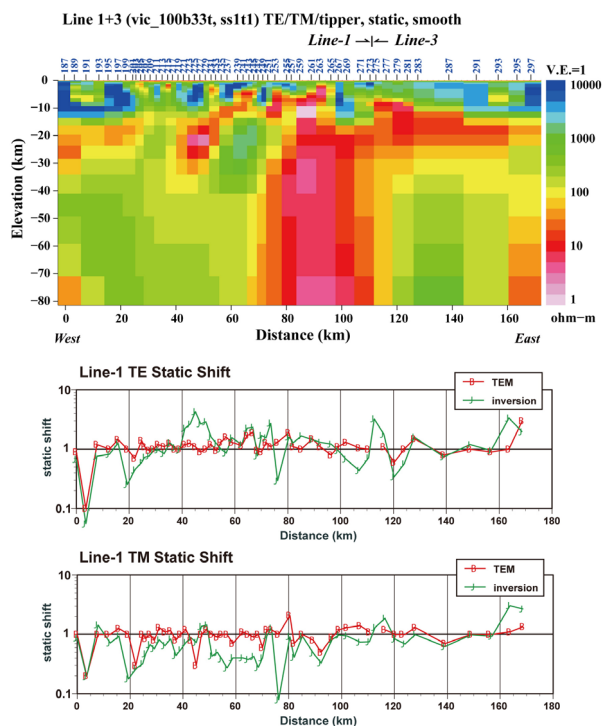


図 12 : (上図) 豪州ビクトリア州中部で測定された MT 法データについて、TE・TM モードの見掛比抵抗・位相とティーパーを用いて解析を行った 2 次元比抵抗モデル。地下の比抵抗構造に加え、スタティックシフトも未知数とした。(下図) 2 次元解析によって推定したスタティックシフト (TE・TM モード) (緑線) と、MT 法と同じ測点で行った TEM 法データによって推定したスタティックシフト (赤線) の比較。