

物理探査研究グループの紹介 -2007 年度- Exploration Geophysics Research Group, FY2007 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/explogeol/>

1. グループの研究目的

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 19 年度においては、放射性廃棄物地層処分場の岩盤評価・モニタリング、土壌汚染・地下水環境等の浅部地質環境評価、地中貯留された CO₂ の挙動把握、地盤の液化化ポテンシャル評価の 4 項目を中心に研究を行うとともに、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
西澤 修
光畑裕司
横田俊之
松島 潤（産学官制度、東京大学）

2) 平成 19 年度の研究テーマ

原子力特研「地層処分場岩盤特性評価のための高分解能物理探査イメージング技術の研究」
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」
環境省委託費「鉱物油等に起因する複合的な土壌汚染の環境リスク評価手法に関する研究」
産総研ハイテクものづくりPJ「マルチウェーブ高速 3 次元比抵抗トモグラフィ技術の開発」
ほか

3) 研究の概要

a) 地層処分場の岩盤評価・モニタリング

放射性廃棄物地層処分場の岩盤評価のため、人工信号源電磁探査（CSEM）測定システムを用いた 3 次元野外データ取得実験、3 次元解析プログラムの改良を実施する。反射法地震探査データを用い、速度、

減衰率などを組み合わせて亀裂卓越部等を抽出する手法を開発する。NMR 検層による地層中の水みちの原位置計測の可能性を検討する。沿岸域の断層や塩淡水境界把握のための物理探査技術開発として、沿岸域のテストフィールドにおいて、電磁探査法による地質構造調査を実施するとともに、浅海域電磁探査データ取得技術を整備する。

b) 浅部地質環境評価

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のため、マルチ送信比抵抗探査装置の改良と従来機との比較試験、コンクリート等の土木建造物中の微小な空隙の検出を目指した核磁気共鳴（NMR）表面スキャナー装置の開発、油汚染土壌における地中レーダ、電磁探査、ダイレクトプッシュ法等の適用試験と土壌サンプルの電気物性測定、地下構造物からの漏水箇所検知のための 3 次元地中レーダ探査実験、河川堤防の内部構造を高効率に探査するための地中レーダ、電磁探査実験等を行う。

c) CO₂ 地中貯留における地層物性評価

地中貯留された CO₂ の挙動を地震波を用いてモニタリングするため、貯留層内の CO₂ 浸潤による地震波の減衰について、CO₂ 飽和度の違いに起因する不均質の特徴的サイズを地震波で確認する手法を開発する。

d) 地盤液化化ポテンシャル評価

地盤に空気を注入する液化化対策工法に寄与するため、比抵抗測定による地盤飽和度モニタリング手法について適用試験を行う。また、発破液化化実験による地盤密度変化の比抵抗測定による連続モニタリングについて検討する。土壌の水理学的特性を原位置で計測する NMR ペネトレータ・プロトタイプを完成させる。

e) 物理探査技術の基盤的研究

地圏における資源開発及び地質環境評価のため、物理探査による地下構造の高精度イメージングのための技術開発を行う。今年度は、ランダム不均質構造に対する地震波データ解析法の研究、韓国地質資源研究院等との共同研究による済州島の MT 法データの 3 次元解析、及び、豪州における地殻構造調査を実施する。

3. 平成 19 年度の主な進捗状況

1) 地層処分場の岩盤評価・モニタリング

a) 岩盤評価のための物理探査法開発

深度約 2km までの地下比抵抗の 3 次元分布を高精度にイメージングするために、人工信号源を利用した電磁探査法の研究開発を実施している。これまでに開発した GPS 時刻同期 24 ビット測定装置に、送信電流波形のモニタ機能、現場でのデータ処理ソフトウェア、作業効率化のための小型受信装置の追加等の改良を加え、茨城県中部の実証フィールドで測定実験を行った。その結果、周波数領域及び時間領域とも、良好なデータを効率的に取得できることを確認した（図 1、2）。

地震波データ 3 次元解析法について、弾性波に関する速度情報と減衰情報を組み合わせた地層評価法を開発するため、地震探査ボリュームから音響インピーダンスアトリビュートを抽出して速度構造を求める手法を検討した。本手法を 3 次元海上地震探査データに適用して、メタンハイドレート層に起因する高速度領域を高精度に抽出できることを確認した（図 3）。

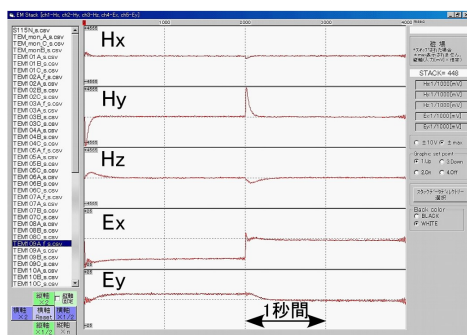


図 1：GDP32 II 時系列データの PC 上での処理状況。スタッキング処理と折り返し重ね処理によりノイズが消え、Hy, Hz 磁場成分にインパルス応答が、Ex 電場成分にステップ応答が現れてくる。

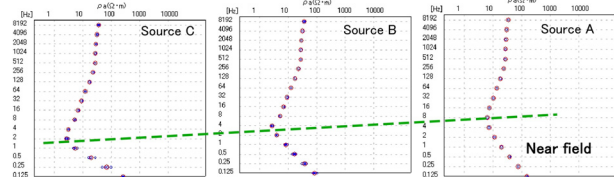


図 2：三つの送信源からの信号に対して測点 S120 で取得された周波数領域データによる CSAMT 見掛け比抵抗曲線。緑色破線以下の周波数ではニアフィールドとなり、大地の比抵抗構造を反映していない。測点から送信源 A, B, C までの距離はそれぞれ、約 700m, 3km, 5.2km である。

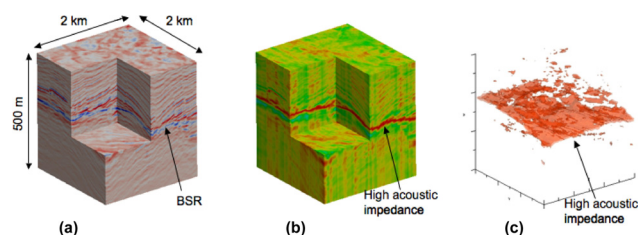


図 3：3 次元海上地震探査データに対する音響インピーダンスアトリビュート解析の例。(a) 3 次元地震探査ボリューム、(b) 相対的音響インピーダンスボリューム（寒色系 0～暖色系 1）、(c) 相対的音響インピーダンス値が 0.95 以上の領域。

2) 浅部地質環境評価

a) NMR 計測による土木構造物メンテナンス

老朽化した土木建造物のメンテナンスのため、トンネル・ダムなどのコンクリート構造物中の水を含む亀裂などの欠陥を非破壊で原位置計測できるプロトン NMR（核磁気共鳴）計測装置プロトタイプを開発を継続した。今年度の開発目標は、探査深度（センサーであるコイルから感度領域までの距離）を昨年度の約 1cm から向上させることである。コイルユニットの磁石（導体）とコイルの電磁氣的相互作用（渦電流など）が予想外に強く、コイルから十分な出力の電磁波が発振できず、探査深度が向上しなかった。今年度、電波送信ユニットの改良、渦電流低減用スリットの採用、プロトン励起パルスプログラムの改良、より高い耐電圧値をもつコンデンサーの採用による S/N 改善などにより、探査深度約 5cm を実現できた（図 4、図 5）。

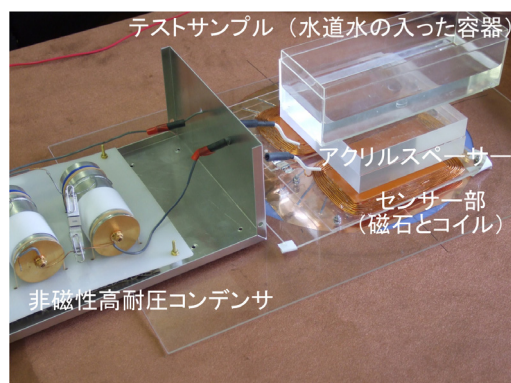


図 4：テストサンプル（水道水）の計測実験配置。スペーサーの厚さは約 5cm。

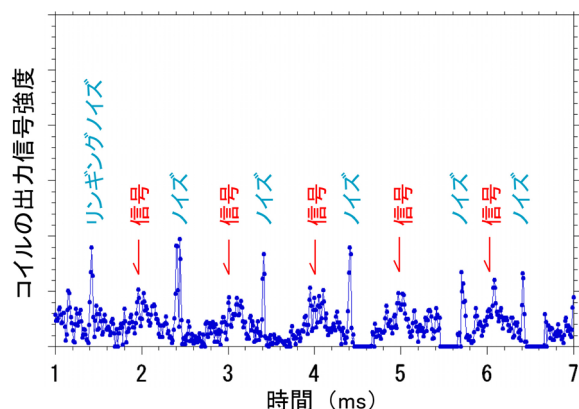


図 5：図 4 のテストサンプルから得た NMR 信号の生波形。1ms 間隔で 5 個の信号が並んでいる。スタッキング 32 回、計測所要時間 320 秒。

b) マルチ送信比抵抗探査システムの開発

大規模な 3 次元比抵抗探査の実用化やリアルタイム

比抵抗モニタリングを目指した電気探査装置の開発を実施している。単一周波数の電流を用いて送信電極と受信電極を順次切り替えながら測定する従来の方式とは異なり、送信電極を切り替えることなく複数の異なる周波数の電流をそれと同数の電極から同時に送信し、複数の受信電極で同期検波により送信信号の周波数を分離しながら受信する方式を採用することによって、飛躍的に高速なデータ取得を行うことができる。今年度は、本体の測定精度向上とともに、本装置で適用可能な256チャンネルのスカナーおよびコントロールソフトウェアの開発を行った。当該スカナーは、従来の単一周波数送信用スカナーと異なり、同時に32極の電極を選択する必要がある。また、独自のブロック構造切り替えを行うため個別のリレー切り替えをCPUで制御するインテリジェント型となっている。(図6)。



図6：マルチ送信比抵抗探査システムの本体とスカナーの試作装置。

c) 油分汚染土壌の調査手法開発

油分による汚染領域を物理探査手法で把握するための基礎的な研究を実施している。物理探査により、非破壊で汚染範囲を把握できれば、調査自体による汚染物質の拡散の恐れを無くすることができる。港湾埋立地の油槽所跡地をモデルサイトとし(図7)、電磁マッピング調査・比抵抗法調査(図8)および地中レーダ法(図9)による地表からの間接的な調査を実施した。さらに、ダイレクトプッシュ型貫入装置にメンブレン・インターフェース・プローブ(MIP)を装着し、直接、地盤にプローブを貫入させながら揮発性有機化合物(VOC)を検出する膜界面サンプリング分析法を適用した。同時にプローブに付属する地盤導電率計測用チップにより地盤の導電率も計測した。また、土壌コアサンプルを採取し電気的物性値の計測も行った(図10)。それらのデータを解釈し、ドラム缶リサイクル工場跡地での、油や洗浄用の有機溶剤の漏洩、地下への浸透と表層粘土質層の分布、砂質土層への貯留などの関係を考察した。

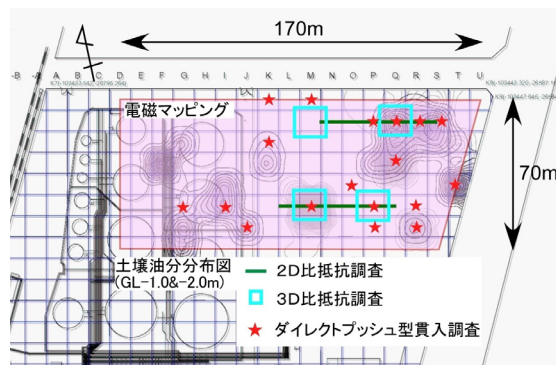


図7：油槽所跡地の適用実験サイト。70m×170mの汚染サイト内で、2次元・3次元の比抵抗(電気探査)法調査、電磁マッピング調査および貫入プローブ(MIP・導電率)調査を実施した。

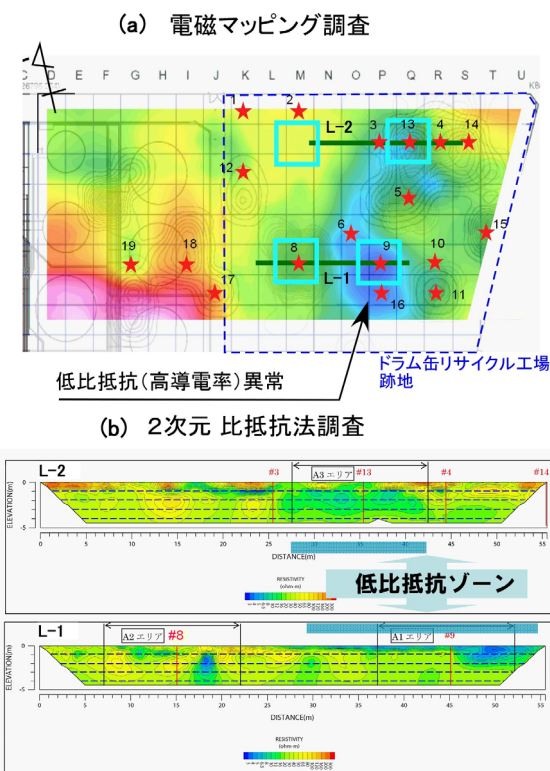


図8：(a)電磁マッピング調査のデータ(14.6kHzの離相成分)と油分異常分布図との比較。(b)2次元比抵抗法調査によって推定された比抵抗断面図。青色が低比抵抗、赤色が高比抵抗に対応する。

3) 物理探査技術の基盤的研究

a) ランダム不均質構造における地震波伝播

地下には小規模ランダム不均質構造が存在し、ここから発生する散乱波は、地質的不連続面からの反射波を乱し、探査精度を下げる要因となる。小規模ランダム不均質構造とそこから生じる散乱波との関係を研究し、その結果を地震波データ処理に生かせば、探査精度向上に役立てることができる。この研究は、室内モデル実験によって小規模不均質構造から発生する弾性波を調べ、有効な地震波データ処理手法を開発するためのものである(図11、12)。

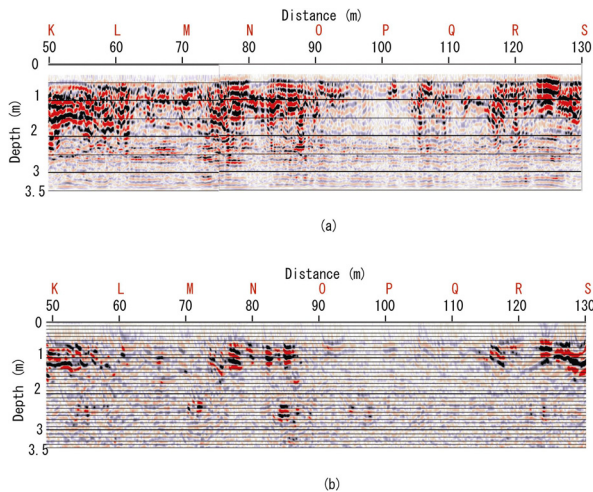


図9：測線2（比抵抗2次元探査測線L-2とほぼ同じ測線）におけるGPR探査深度断面。(a)送・受信アンテナ間隔を一定（90cm）に保ったGPRプロファイル探査結果、(b)送・受信アンテナ間隔を8通り（30cm～240cm）変えて、8つのデータの足し合わせを行ったワイドアングルGPR処理結果。両者とも、距離90～110m（0～Q間）で電磁波弱反射ゾーンが捉えられている。このゾーンは、電磁波マッピングや比抵抗探査の低比抵抗帯に相当し、地表付近の低比抵抗な地層により電磁波が減衰したものと考えられる。ワイドアングル探査結果は、プロファイル結果に比較して高品質なデータが得られており、より深い場所からの電磁波反射をイメージングすることができている。これは、CDP重合によるスタッキングの効果と多重反射除去による品質向上が寄与しているものと考えられる。

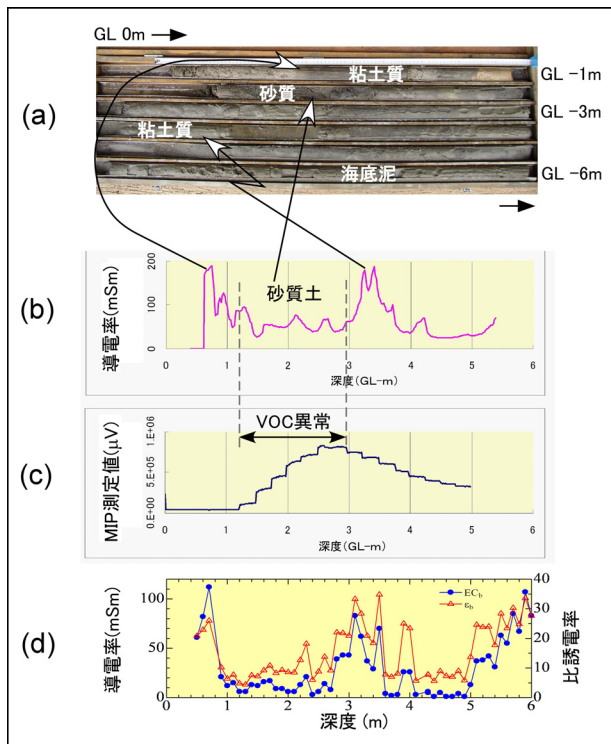


図10：貫入試験地点#13における(a)土壌コアサンプルと貫入プローブ調査による、(b)地盤導電率、(c)MIP測定値深度プロファイルの対比、(d)WET Sensorにより計測したコアサンプルの導電率と比誘電率の深度分布。

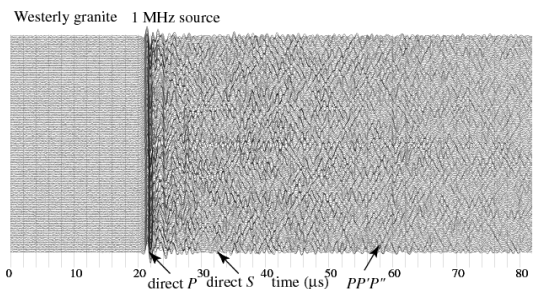


図11：短波長ランダム不均質を含むウェスターリー花崗岩中を伝播した波形。反射波 PP' P'' が明瞭ではない。

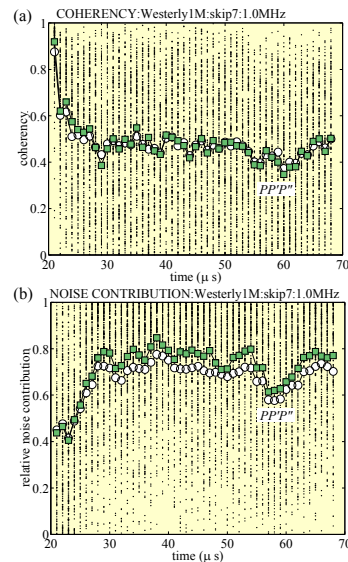


図12：コヒーレンシー (a)と相対ノイズ寄与率 (b)の経過時間に対する分布。反射波 PP' P'' 到達時にコヒーレンシーは大きくならないが、相対ノイズ寄与率には明瞭な変化が見られる。

b) 電磁探査データ解析

電気・電磁探査の定量解析に必要な不可欠な偏微分方程式の数値計算において、大規模線形連立方程式の求解は、計算コストの大部分を占める。本研究では、より簡便に種々の求解法(クリロフ部分空間反復法)を利用するための計算ライブラリを作成し、電気・電磁探査の2・3次元数値解法に組み込み、有効性を検証している(図13)。

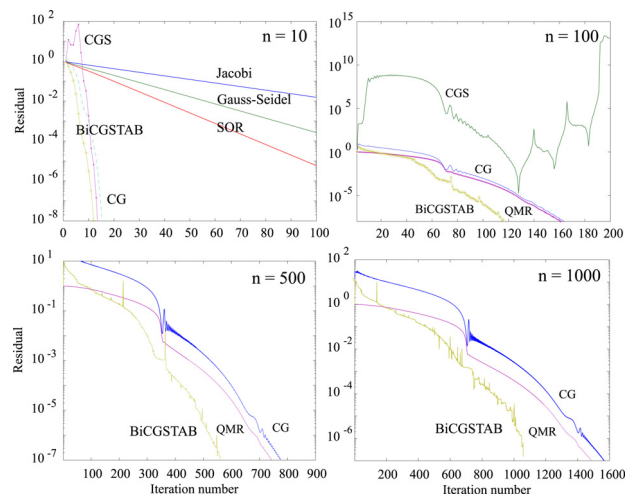


図13：種々の連立方程式反復求解法における収束状況の様子