

物理探査研究グループの紹介 -2008 年度- Exploration Geophysics Research Group, FY2008 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

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 20 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、および、CO₂ 地中貯留・断層評価等の沿岸域における物理探査適用法の検討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
光畑裕司
横田俊之
西澤 修
安藤 誠（産学官制度）
松島 潤（産学官制度）

2) 平成 20 年度の研究テーマ

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」
運営費交付金「沿岸域地質・活断層調査」
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」
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) 法について、2.5 次元・3 次元データ解析法の改良を継続し、昨年度までに取得した実証試験データへ適用する。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、浅海域を対象とする電磁探査法のデータ解析手法の

研究を行う。昨年度、北海道幌延地域で取得した電磁探査データ等の解析を継続し、地質構造、塩淡水境界分布、地質特性等を解釈する。

b) 土壌汚染評価

油汚染サイトにおいて比抵抗法等の補足調査を実施し、昨年度取得したデータと合わせた解析を行い、得られた比抵抗構造、電磁波反射面分布と地盤構造及び油汚染との相関を検討する。油汚染サイトで取得した土壌サンプルの物性や内部構造の計測を行い、油汚染と電磁気物性の関係について調べ、汚染評価のための基礎情報を取得する。

c) 浅部地質環境評価

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、以下の研究開発を行う。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改良を継続し、成果をとりまとめる。マルチ送信比抵抗探査装置について、これまでに開発したプロトタイプ装置の実証実験を行う。地盤液状化評価のため、地盤空気注入やマイクロバブル砂層注入におけるモニタリング技術について検討する。河川堤防における物性計測実験を行い、これまでの物理探査結果と合わせ、堤体の構造や地下水流動のモデル化を行う。

d) 海域における物理探査適用

沿岸域の物理探査データ空白域の補間、CO₂ 地中貯留等における地質構造把握やモニタリング、海底熱水鉱床開発に向けた探査技術開発等、海域における物理探査について基礎的な検討を行う。

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、豪州 Monash 大学等との共同研究による同国ビクトリア州における地殻構造調査を実施する。

3. 平成 20 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の、人工信号源を利用した電磁探査法の研究開発を実施した。開発した GPS

時刻同期の信号送信・受信システム（図 1）を用いての筑波山西方の平野部で、面的なデータ取得実験を実施した。この地域では、南北に流れる小貝川周辺を境界として、筑波山周辺から伸びる花崗岩質基盤が深度 400m 付近から急傾斜に西側で深くなっていることが反射法地震探査で確認されている。図 2 に南側の送信源からの信号を使った 0.5Hz の見掛け比抵抗分布を示す。小貝川周辺を境に、東側で基盤が浅いため高比抵抗を、西側では堆積層が厚くなるために低比抵抗を示している。

また、測定データの 3 次元解析のため、磁気ベクトルポテンシャル A と電気スカラーポテンシャル ϕ を用いた差分法による 3 次元モデリング計算コードを開発した。 A と ϕ はそれぞれ、直方体計算要素の辺と節に配置したスタガード要素である。図 3 に計算例を示す。

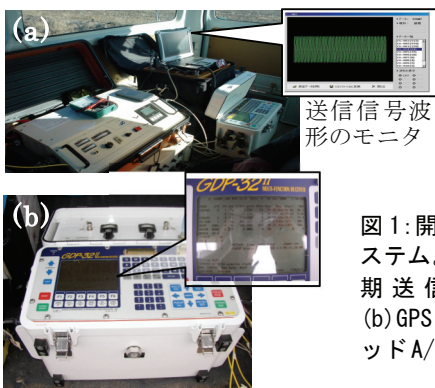


図 1: 開発した送受信システム。(a) GPS 時刻同期送信システム、(b) GPS 時刻同期 24 ビット A/D 受信システム。

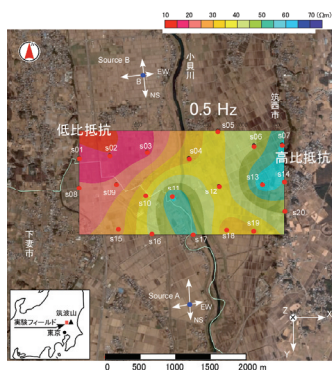


図 2: 送信源 A から送信した周波数 0.5Hz の信号を 20 測点（赤丸）で受信して、計算した見掛け比抵抗平面図

b) 沿岸域における物理探査適用研究

沿岸域の地質構造と地下水環境（塩分濃度等）を評価する物理探査手法の開発が必要とされている。特に、浅海域に適用できる電気・電磁探査手法は開発が急がれる。そのようなニーズに応える基礎研究として、2007 年度に、北海道幌延地域の沿岸域をモデルフィールドとし、物理探査の適用研究を実施した。まず、陸域において MT 法、TEM 法による地質調査を実施した（図 4）。また、既存坑井調査データを用い、物理探査や検層データから水理学的物性を導出する手法について検討した。さらに、次年度以降の現地調査に向けて、浅海用の海底電磁探査装置を製作した。MT 法によって得られた比抵抗モデル（図 5）は、浅部に高比抵抗の第四紀堆積物が分布し、その下位には、新第三紀から第四紀の堆積岩に相当

する厚い低比抵抗層が分布することがわかった。低比抵抗層には高濃度の化石塩水が含まれているものと解釈される。

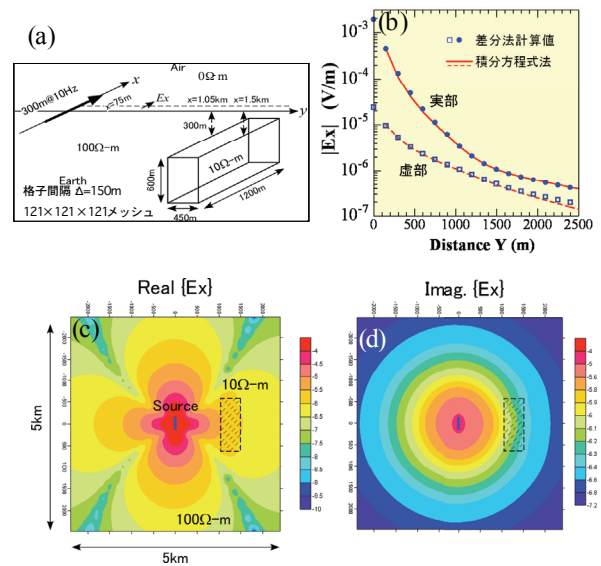


図 3: スタガード差分法による人工信号源電磁探査法 3 次元モデリングの例。(a) 想定したモデル、(b) y 軸上の電場 E_x の計算結果と積分方程式法による数値解との比較。10Hz 送信の場合の E_x の計算結果：(c) 実部と (d) 虚部の地表での分布図。

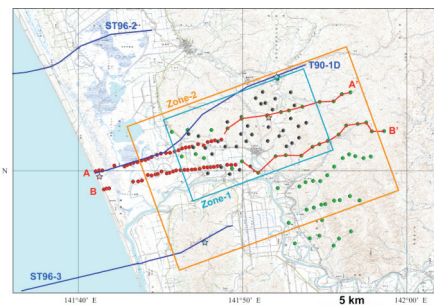


図 4: 幌延沿岸域における MT 法調査測点。赤線は 2 次元解析を行った測線。

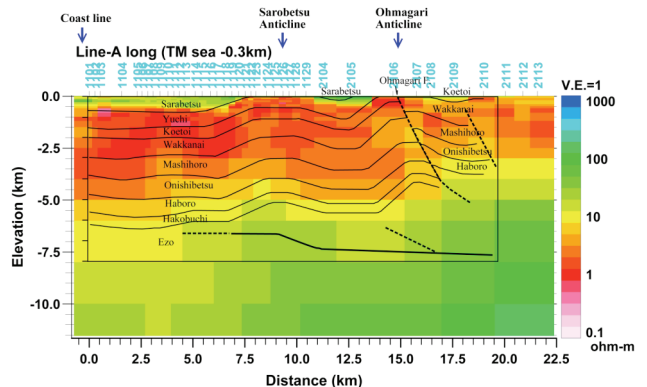


図 5: 測線 A の 2 次元比抵抗モデル。反射法解釈断面を重ねて表示。

2) 土壌汚染評価

電気的物性の分布から油分汚染土壌を評価する手法について検討するため、電磁探査法および地中レーダ法による地表からの 3 次元探査、貫入式比抵抗計測・サンプリング装置を用いた地層比抵抗の原

位置計測と間隙水サンプリングなどの計測法を油汚染されたモデルフィールドに適用し、地表調査結果と原位置計測データの比較、及び、既存の採取土壌サンプル調査による油分分析データとの比較検討を行い、油分汚染に起因する物性異常の抽出を試みた。

現地調査においては、70m×80mのエリアにおいて、電極間隔2mピッチの27測線を使った3次元高密度電気探査を実施した。探査深度は約10mである。その結果、タンク跡地内部を含む各点の表層付近(1m~3m)で明瞭な低比抵抗異常を確認した(図6、図7)。また、タンク跡地内部において、ボーリング調査や貫入試験調査を行ったところ、低比抵抗異常を示す地点で油の存在を確認した。

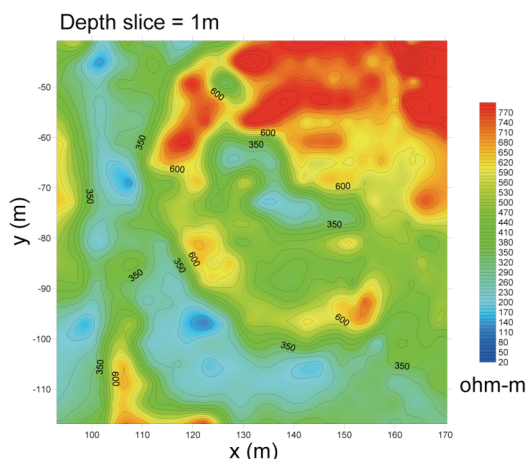


図6: 3次元比抵抗構造の深度スライス(深度1m)

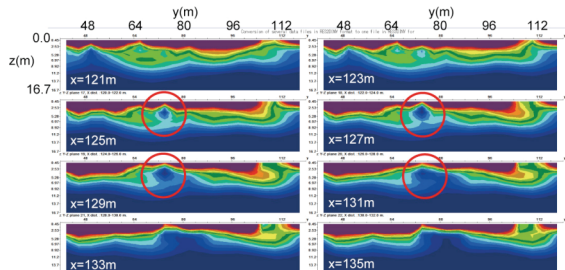


図7: タンク中央部分のyz断面図。赤丸は低比抵抗異常。

3) 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

コンクリートなどの水を含む土木構造物の品質管理を現場で迅速に非破壊で行える計測技術が求められている。そのニーズに応えるため、水の定量計測に定評のあるプロトン核磁気共鳴の原理を応用した物理探査装置(核磁気共鳴表面スキャナー)のプロトタイプを開発した。この装置は、計測対象物中の水分子の水素原子の核スピンの緩和過程を計測することで水の量や分子運動特性を推定するものである。土木建造物のような巨大な物体の表面を非破壊でスキャンできるようセンサー部分に片側開放型という特殊な構造を採用した。通常の核磁気共鳴装置と比べて静磁場と高周波磁場は著しく弱く不均一になり、緩和波形のS/N比が悪くなる

という技術的困難がある。そこで、高周波パルスを工夫することによってこの問題の解決を試みた。

装置の適用実験として、寒冷地におけるコンクリート壁の凍結状態の非破壊検査への応用を念頭において、凍結した含水モルタル試料が融解する過程をモニタリングした。モルタル試料(有効空隙率17 vol.%)を水に浸したあと-20℃の冷凍庫で凍結させ、センサー上に室温で放置し、空隙の氷が水に変化する様子をPAPS-CPMGというパルス系列で時間をおいて融解に伴う横緩和波形を5回計測した(図8)。1つの波形データの取得に要した時間は4分であった。緩和波形は、センサーの感度領域(コイルから1cm弱離れた空間)にある液体状の水分子のシグナルのみであり、その緩和波形の振幅は液体の水の量に比例する。図1のように、多少のノイズはあるが、氷の融解に伴って水由来の信号強度が時間とともに増加する様子をはっきり確認できた。ちなみに、完全に融解した状態(84分後)の波形の振幅から推定した体積含水率(14 vol.%)は、有効空隙率とほぼ一致した。このように、開発したプロトタイプは、室内実験レベルではあるが、土木現場での品質管理に使えるポテンシャルがあることがわかる。

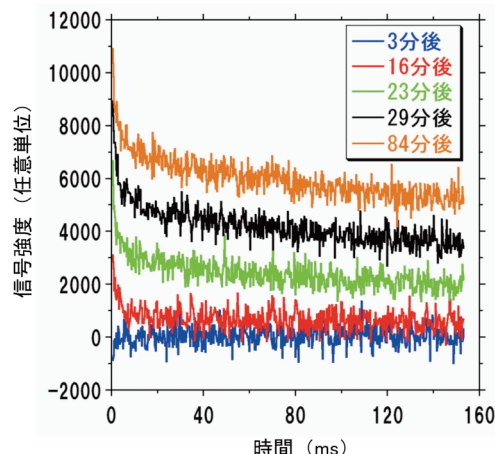


図8: 融解中の凍結モルタル試料の緩和波形。枠内の時刻は凍結試料を室温にさらしてから経過時間

b) マルチ送信比抵抗探査システムの開発

複数の電極から同時に電流を送信することにより、従来の比抵抗探査装置と比較して十倍以上の速度で計測が可能なマルチ送信比抵抗探査装置(図9)を試作し、同期検波回路および送信出力装置の最適化および内部ノイズ対策を行った。その結果、屋外で従来の探査機で取得されるのと同程度の品質のデータを非常に高速度で取得できることを実証した。その後、第2号機の開発を進め、1号機のシステムと比べて内部の同期検波の数や送信出力、電流コントロールのインピーダンス制御手法、ブロック構造型の専用スキャナーなど大幅な改良を加えた(図10)。その結果、毎分1200点を超える極めて高速なスキャンが可能な実用的システムとして完成した。また、本測定装置の電極切り替え生成ファイルから逆解析までを簡単に扱えるように、一連の総合管理ソフトウェア群も完成させた。

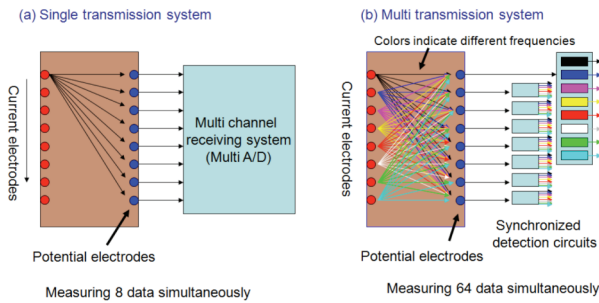


図 9：マルチ送信比抵抗探索装置のダイアグラム。複数の電極から周波数の異なる電流を同時送信する。受信電極では、送信された混合信号を同期検波回路群で個別に分離するため、電流電極の切り替えなしに多数のデータを短時間で取得することが可能である。



図 10：マルチ送信比抵抗探索装置の試作 2 号機。同時送信 8ch、受信 8ch で 64 個のデータを約 3 秒で取得でき、毎分 1200 点のデータを取得可能である。

c) 河川堤防の健全性評価

河川堤防の健全性評価に物理探査を用いる方法について研究を行った。埼玉県比企郡吉見町の河川堤防において地中レーダによる調査を実施した。当該地域は、過去に二度の台風（昭和 56 年，平成 13 年）で被害を受けており、その際にいくつかの変状が見られた。また、平成 19 年 9 月の台風における増水に伴い、堤防裏のり尻の変状、堤防裏のり尻小段舗装面に生じたクラック、文覚川河床部からの湧水という、3 つの変状が観察された。これらの被害の原因を解明し、その対策を設計するために、被害域周辺において地中レーダによる調査を行い、地下水分布や地下水流動の把握に努めた（図 11、図 12）。

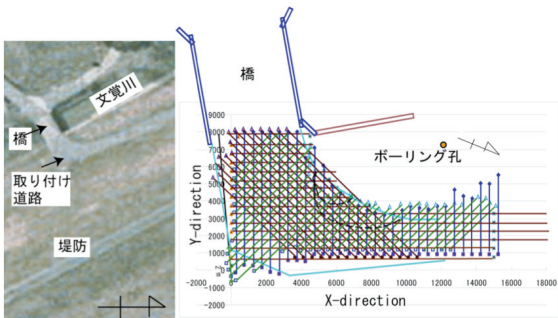


図 11：荒川堤防における 3 次元地中レーダ探査測線。測線方向は X、Y 方向に加え、 $\pm 45^\circ$ 方向の合計 4 方向にとった。図中に示した破線が、舗装路面に生じたクラックの位置。

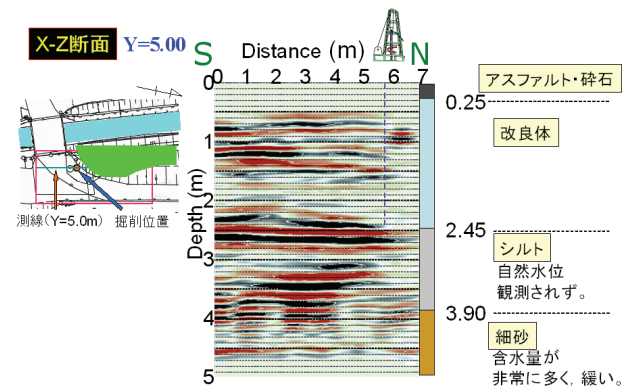


図 12：舗装路面上に生じたクラックを横切る測線 (Y=5.0m) における X-Z 断面。舗装路面上のクラック位置を断面内に破線で示す。また、コア観察による記載を併記した。

4) 海域における物理探査適用

a) 海洋・沿岸域における直流電気探査法数値計算法の整備

近年、沿岸域における活断層調査、放射性廃棄物地層処分、二酸化炭素地中貯留、および、海洋での熱水鉱床、メタンハイドレート、石油ガスの探査等、沿岸から海洋における地下構造調査や資源探査への社会的要請が高まっている。

海域に電気・電磁探査法のデータ解析技術は測定装置の開発に比べて遅れており、特に 2 次元以上の構造解析については依然として研究段階にあるのが現状である。そこで本研究では沿岸・海洋における上記のような様々な探査対象に適用可能な電気探査法の数値解析手法の検討を行い、新たにいくつかの数値計算プログラムを開発・整理した。具体的には、海水層を考慮した任意電極位置で計算可能な汎用的電気探査 1 次元解析、有限要素法による海水・海底地形を考慮する 2.5 及び 3 次元電気探査法モデリングについて、基礎理論の整理と基本的な精度検証並びに試験計算を進めている（図 13）。

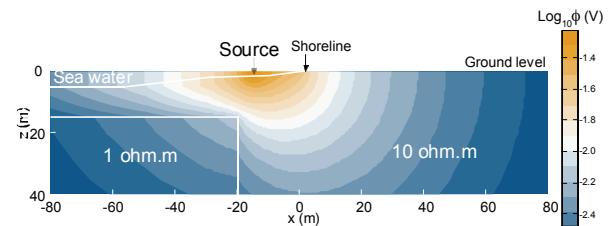


図 13：沿岸浅海域モデルにおける電気探査応答断面図。最大水深 10m の極浅海沿岸域において海岸線から 15m 地点（水深 1.5m）の海底に電極をおいた場合の電位応答計算図。海底下には低比抵抗の異常構造を想定した（2.5 次元有限要素法プログラムにより計算）。