

## 物理探査研究グループの紹介 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  
<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、CO<sub>2</sub> 地中貯留、土壌・地下水汚染、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、メタンハイドレート、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 17 年度は、放射性廃棄物地層処分場の岩盤評価と長期モニタリング、地下水環境・土壌汚染等における浅部地質環境評価、土木構造物メンテナンス、地盤液状化ポテンシャル評価、CO<sub>2</sub> 地中貯留における地層物性評価などを対象とした物理探査技術の開発を行う。また、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)  
神宮司元治  
中島善人  
西澤 修  
光畑裕司  
横田俊之  
齊藤竜彦(JSPS 客員研究員)  
Hyoung Seok Kwon(JSPS 国際客員研究員)  
Soon Jee Seol(契約職員)  
松島 潤(産学官制度、東京大学)

#### 2) 平成 17 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」  
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」  
産総研内部 Grant「加振に対する地盤の電氣的応答を利用した動力学的強度計測手法の開発」  
産総研ハイテクものづくり「地盤災害予防のための土木構造物メンテナンス用核磁気共鳴物理探査装置の開発」  
ほか

#### 3) 研究の概要

##### a) 地層処分場の岩盤評価と長期モニタリング

地層処分場の岩盤評価のため、人工信号源電磁探査(CSEM)測定システムのプロトタイプ製作と性能試験、CSEM 法 3 次元順解析プログラムの改良、不均質構造の影響を考慮した反射法 3 次元散乱重合法の高精度化を行う。また、処分施設の長期安定型センシングのため、熱物性量、スペクトル誘導分極(SIP)及び比抵抗の計測によって、廃棄体周囲の温度・含水率の変化をモニタリングする手法を開発する。

##### b) 土木構造物メンテナンス

土木建造物のメンテナンスのため、トンネル等のコンクリート構造物の中の亀裂・空隙を計測する NMR 計測装置を開発する。今年度は探査深度 5cm を有するプロトタイプを製作する。

##### c) 地盤液状化ポテンシャル評価

地盤液状化ポテンシャルの総合的な評価手法の開発のため、ER-VPT(比抵抗貫入振動試験)による原位置計測を継続するとともに、電磁マッピング、NMR 原位置(ペネトレータ)計測装置のプロトタイプ製作、地盤試料の X 線 CT による液状化可視化モデル実験等を行う。

##### d) 浅部地質環境評価

地下水環境、土壌汚染等における浅部地質環境評価のため、電磁マッピング法のノイズ除去法等のデータ解析法の研究、複数帯域地中レーダ探査のデータ解析法の開発、パーカッション掘削を用いる SWD 法の開発、ダイレクトプッシュ法による原位置物性計測法の開発、多周波数3次元比抵抗探査装置の開発等を行う。

##### e) CO<sub>2</sub> 地中貯留における地層物性評価

地中貯留された CO<sub>2</sub> の挙動を地震波を用いてモニタリングするため、地震波伝播の室内実験および既存地震探査データの解析を行い、注入された CO<sub>2</sub> が岩石の力学・輸送特性に及ぼす影響を明らかにする。

##### f) 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、フィールドデータへの適用を重点に、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、韓国地質資源研究院との地熱資源調査に係る電磁探査法のデータ解析法について共同研究、及び、地震探査データ解析法(全波形トモグラフィ等)に関する研究を行う。

### 3. 平成 17 年度の進捗状況

#### 1) 地層処分場の岩盤評価と長期モニタリング

##### a) 岩盤評価のための物理探査法開発

人工信号源電磁探査法システムの開発において、試作品である 24 ビットと 16 ビット受信器及び高出力送信機を用いて、茨城県茨城町周辺でデータ取得野外実験を実施し、システムの改良必要点を明らかにした(図 1)。また地質構造に対応したデータが取得できることを確認した。さらに 3次元モデリング手法開発に関して、有限要素法によるモデリングプログラムを試作し、計算精度や境界条件などの改良について検討を行っている(図 2)。

反射法地震探査データの解析について、散乱重合法の高精度化のため、散乱重合による速度構造解析および重合処理を行い、従来の CMP 重合法による結果と比較した(図 3)。散乱重合により、地下構造に整合した速度推定が行え、地震解析断面も精緻さを向上させることができている。

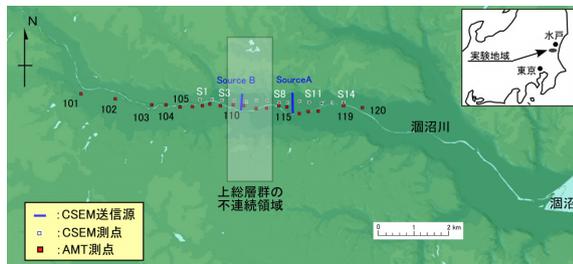


図 1：東茨城台地での野外データ取得実験における人工信号源電磁探査(CSEM)法と AMT 法の測点配置および信号源として設置した接地電線 Source A と B の配置。矩形で取り囲んだ領域は、坑井により上総層群の不連続が推定されている範囲を示す。

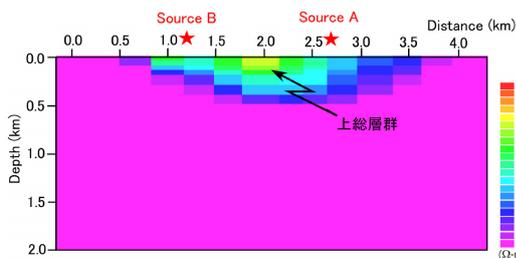


図 2：CSEM 法データの 2.5 次元解析により推定された比抵抗構造モデル。

##### b) 処分施設の長期モニタリング

地層処分場の中長期的な監視技術として光ファイバーを用いた手法は、その耐久性や広域監視性で有用と考えられる。本研究では、光ファイバーとケーブルヒータを用いるハイブリッド熱物性量センサを適用するが、実際の設置においては、ボーリング孔を利用する必要がある。その場合、孔内における熱源とセンサの位置関係や充填物質およびケーシングが問題になると考えられる。そこで、数値シミュレーションによる検討および屋外実験を行い、ボーリング孔内計測における課題について検討を行った。

数値シミュレーションにより、ボーリング孔の各位置に

おける対数温度勾配は、岩盤の熱伝導率が水平方向に一定の場合、最終的に一定値となることが判明した(図 4)。岩盤の熱伝導率は、この対数温度勾配から求めることができるため、ボーリング孔の熱容量や熱伝導率、ケーシング等の影響は受けない。次に、60m のボーリング孔を用い、充填材を水として熱伝導率検層を行った(図 5)。地層の違いによる熱伝導率の差が明瞭に現れている。なお、ここで得られた熱伝導率の値は、地中熱利用のために行われた熱応答試験の結果と整合する。

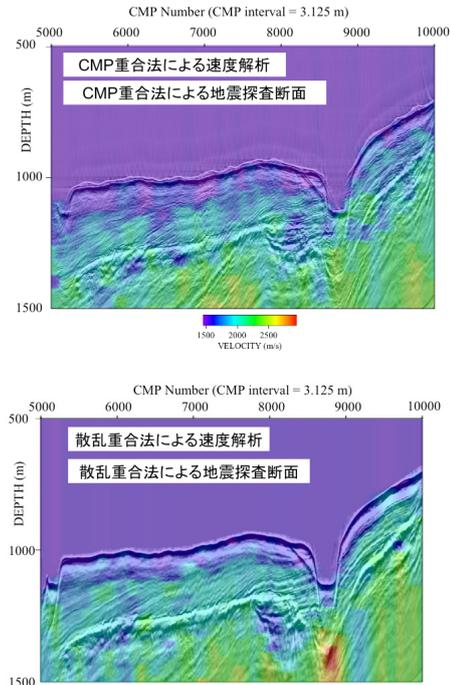


図 3：南海沖海上地震探査データに対し、CMP 重合(上)および散乱重合(下)による速度構造推定および十五処理を行ったモデル。カラーコンターは速度を、陰影は重合地震断面を表す。

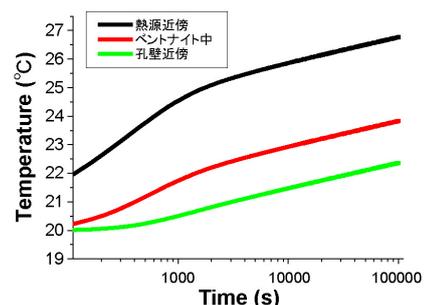


図 4：ボーリング孔内部の温度上昇のシミュレーション結果。時間軸は対数。

##### 2) 土木構造物メンテナンス

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欠陥(亀裂・空洞)を非破壊で原位置計測できる NMR(核磁気共鳴)計測装置を開発中である(図 6)。NMR は、水分子から直接シグナルを得るので、コンクリート中の水で満たされた亀裂の幅や空洞のサイズを定量的に検出できるという特長がある。現在の進捗状況は、探査深度 1.5cm のプロトタイプ(図

7)を完成させて屋外での試運転を開始したところである。また、磁石と高周波回路の高度化による探査深度 5cm を達成すべく、現在、磁気回路とコイルを設計中である。

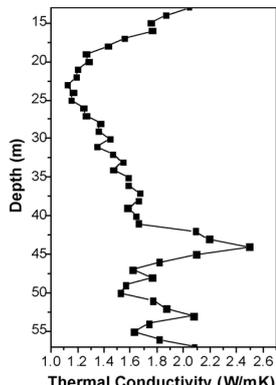


図 5: 深度 60m のボーリング孔内で行った加熱実験によって得られた深度別の熱伝導率。

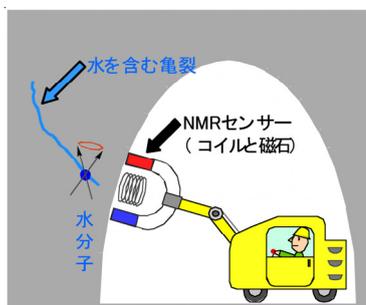


図 6: トンネル壁の NMR スキャン作業風景の概念図。永久磁石で壁の中の水分子中の水素原子核を歳差運動させ、その歳差運動をコイルで検出する。

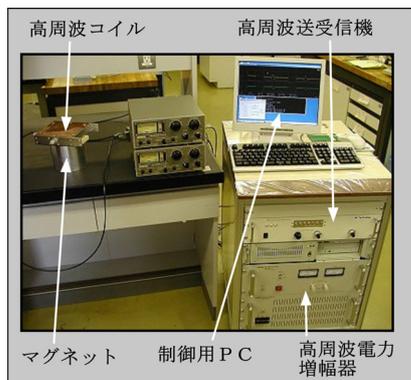


図 7: 昨年度完成した NMR スキャナ(探査深度 1.5cm のプロトタイプ)。今年度は、マグネットを大型にし、高周波出力を増加させて、壁から 5cm 奥にあるプロトンを検出できるようにする。

### 3) 地盤液状化ポテンシャル評価

土木構造物の液状化対策において、地盤の動力学的な液状化強度の予測は極めて重要である。本研究では、振動機構を有する貫入プローブを地盤に貫入させ、加振加速度に対する地盤の間隙水圧および比抵抗の応答から動力学的な強度を評価する計測手法の開発を行っている。図 8 は、開発した貫入プローブを用いた原位置実験で計測された地盤の加振加速度と比

抵抗変化を示した図である。液状化を起こす地層(砂層)と起こさない地層(シルト層)で加速度と比抵抗の応答に大きな違いが出ている。砂層の比抵抗が大きく変化するのは液状化によって密度の増加するためである。このように、加振に対するレスポンスによって、液状化現象を発生する地層を確認することが可能である。今後は、定量的な液状化強度の評価を行うため、室内実験や屋外実験および理論的検討を行っていく。

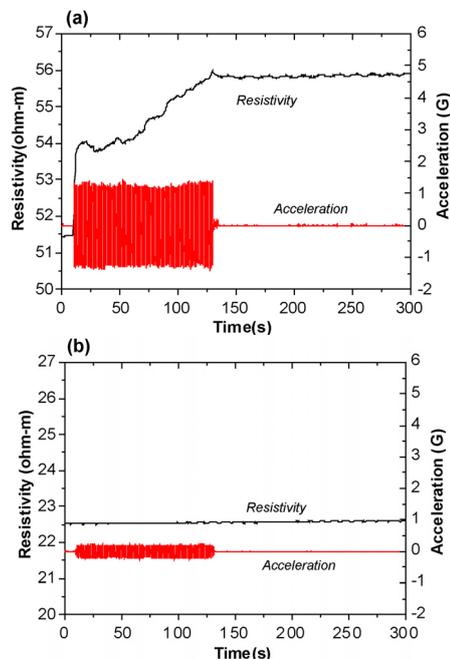


図 8: VPT 試験における地盤の加振加速度と比抵抗変化:(a) 液状化砂層、および、(b) 液状化しないシルト層における計測例。

### 4) 浅部地質環境評価

トンネル工事における止水グラウティング工法、堤防や地下ダム建設でのグラウティング工法あるいはコンクリートダム工法やアースダム工法、廃棄物処理場における遮水シート敷設など、地下水の止水や汚水の遮水は土木工事や土壌環境保全にとって重要な技術である。これら工法の機能管理について物理探査の利用を検討するために、ループ・ループ電磁探査法と地中レーダ(GPR)を取り上げ、人工地盤における基礎的な適用実験を行っている(図 9、10、11)。



図 9: 人工地盤漏水実験サイト(奥村組技術研究所)。深さ 2.3m のピットの中央に孔の開いたモルタル壁を設け、ピット全体に川砂を埋めた。ピットの右側を飽和状態にして、モルタル壁を通しての水の移動を調べる。

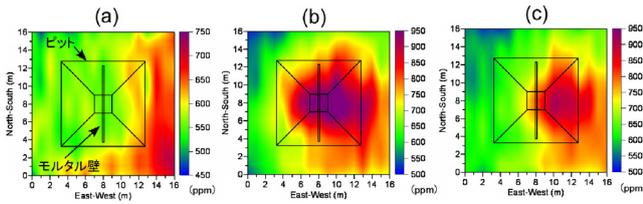


図 10: ループ・ループ電磁探査法によって測定された鉛直二次磁場の離相成分(周波数: 29kHz)。(a) ビット全体が不飽和状態、(b) ビット全体が飽和状態、および(c) ビット右側は飽和状態で、左側の水位が地表面下 1.7m の状態。二次磁場と一次磁場の比を ppm で示す。

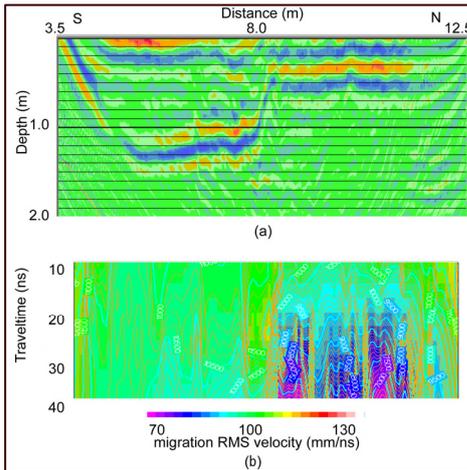


図 11: ビット右側の水位は地表面下 0.68m、左側は地表面下 1.4m の状態におけるワイドアングル GPR データ処理結果。(a)電磁波反射断面、および、(b)平均的電磁波速度。反射断面には、水位面からの電磁波の反射が見られる。左右の地層での水分率の違いが速度変化として捉えられている。

5) CO<sub>2</sub> 地中貯留における地層物性評価

異方性の強い頁岩の空隙に CO<sub>2</sub> が含まれるとき、CO<sub>2</sub> の状態変化に伴う弾性波速度異方性の変化を調べている。図 12 は S 波の伝播方向による群速度で、振動方向の異なる二つの S 波 (qS 波と SH 波) を示す。圧力が低下して CO<sub>2</sub> が液体 (赤線) から気体 (緑線) になると、群速度に見られる異方性が顕著に変化する。特定方向では qS 波の速度低下が大きい。結果はキャップロック層への CO<sub>2</sub> 漏洩を地震波から検出する技術に利用できる。

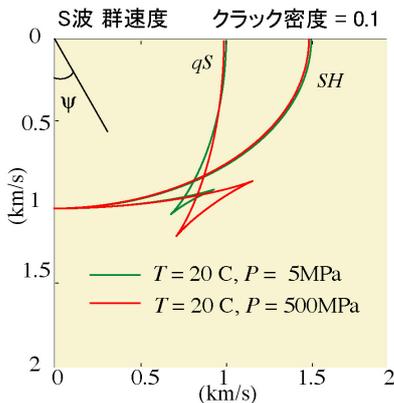


図 12: CO<sub>2</sub> を含む頁岩の S 波の伝播方向による群速度。

6) 物理探査技術の基盤的研究

a) 韓国における電磁探査法の共同研究

韓国地質資源研究院 (KIGAM) との共同研究として、韓国南東部のポハン地域における低エンタルピー地熱開発および済州島における火山・地熱地質構造調査のため、MT 法・AMT 法の適用研究、海水を考慮した 2 次元、3 次元解析法の研究を実施している。

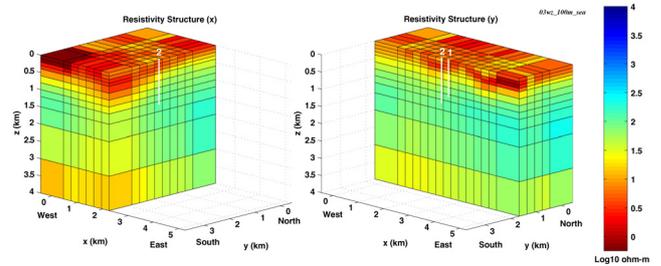


図 13: ポハン地域における MT 法データの 3 次元解析結果。モデルの日本海 (東海) に相当するセルに海水の比抵抗値を割り当てている。

b) ランダム不均質構造を考慮した地震波探査の研究

従来の地震波到達時刻から波線計算によって地下構造を求めるトモグラフィ手法では、大まかな地下構造 (長波長構造) のみが求められていた。しかし、実際にはより細かい構造 (短波長不均質構造) が存在する。これは分解能以下であるから、ランダムな不均質構造と考えることができる。ここでは、地下構造を長波長構造に短波長のランダムな構造が重なったものと考え、ランダム不均質構造によって散乱される波による波形のゆらぎを考慮した地震波の解析方法を研究している (図 14)。結果は、反射法やトモグラフィによる地下構造決定の信頼性と精度向上に生かすことができる。

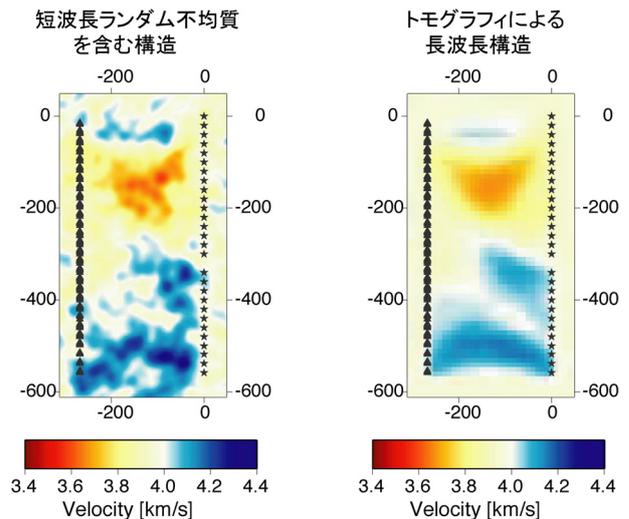


図 14: 地震トモグラフィの数値実験結果。短波長ランダム不均質を含む構造 (左) は通常の波線トモグラフィ (●発振点、☆受信点: 坑井間トモグラフィ) では、右の図のようなイメージしか得られない。