

物理探査研究グループの紹介 Introduction of the Exploration Geophysics Research Group

研究グループ長：光畑裕司

Leader, Exploration Geophysics Research Group: Yuji Mitsuhashi

Phone: 029-861-2387, e-mail: y.mitsuhashi@aist.go.jp

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

1. グループの研究目的と課題

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・地中熱、メタンハイドレート、鉱物資源等の資源・エネルギー分野、地盤液化、断層、火山等の防災分野における地質・地盤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 26 年度においては、以下の 7 項目を中心に研究を行う。

➤ 地圏の環境分野として、

- 1) 放射性廃棄物地層処分場選定における沿岸域および海域の地質環境評価のため、沿岸域モデルフィールドにおける 3 次元弾性波探査反射法の適用試験の実施や海底電磁探査システム開発の取りまとめを行う。
- 2) 土壌汚染、地下水環境分野等における浅部地質環境評価のため、東日本大震災に対応した東北地方沿岸域における電磁探査法等の適用による地下水塩水化領域の把握調査の取りまとめ、NMR 表面スキャナーの工業製品・農業への適用、物理探査による油分土壌汚染評価等を行う。
- 3) CO₂ 地中貯留における岩石物性評価や実証フィールドでの物理探査法適用による地質構造・地下水環境評価を実施する。

➤ また、地圏の資源・エネルギー分野として、

- 4) 地中熱利用における地下物性のモニタリング法および事前評価手法の研究、地熱地域における温泉帯水層から地熱貯留層の熱水系把握のための実証調査、貯留層探査に向けた基礎的技術開発を行う。
- 5) 海底熱水鉱床やメタンハイドレート等の探査を目指した海底電気・電磁探査法や、陸域における電気探査強制分極法による鉱物資源探査の基礎研究を行う。
- さらに地圏の防災分野への適用として、
- 6) 東日本大震災への対応として、弾性波探査等の物理探査や CPT 技術を用いた液化化調査および CT 画像による液化化判定に関する研究の取りまとめを行う。
- 7) 断層評価のための各種物理探査法の適用結果について、取りまとめを行うとともに、活動的火山の地下構造解明や物理モニタリングに関す

る基礎的研究を行う。

2. グループの体制

2.1. 人員体制

以下の 8 人体制で研究を実施している。

光畑裕司（グループ長）
高倉伸一（上級主任研究員）
中島善人（上級主任研究員）
横田俊之（主任研究員）
神宮司元治（主任研究員）
上田 匠（主任研究員）
中山京子（テクニカルスタッフ）
紙谷 進（派遣職員）

そして部門内では、地下水研究グループ、CO₂ 地中貯留研究グループ、鉱物資源研究グループ、燃料資源地質研究グループ等、産総研内では、再生可能エネルギー研究センター、活断層・火山研究部門、地質情報研究部門、知能システム研究部門等と、さらに、独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構や一般財団法人 宇宙システム開発利用推進機構等と連携して研究を推進している。

2.2. 研究予算

「運営費交付金」

・物理探査の研究

「受託研究」

- ・平成 26 年度地層処分技術調査等事業（海域地質環境調査確証技術開発）（資源エネルギー庁）
- ・平成 26 年度二酸化炭素回収・貯蔵安全性評価技術開発事業（弾性波探査を補完する CO₂ 挙動評価技術の開発）（経済産業省）
- ・平成 25 年度メタンハイドレート開発促進事業（資源エネルギー庁）
- ・平成 26 年度希少金属資源開発推進基盤整備事業（探査基盤技術高度化支援事業）（資源エネルギー庁再委託）
- ・平成 26 年度地熱発電技術に関する委託研究「地熱貯留層評価・管理技術」（JOGMEC 委託研究、民間企業、再エネ研究センターとの連携）
- ・災害調査用地上／空中複合型ロボットシステムの研究開発（NEDO 委託研究、民間企業、産総研他部門との連携）

等々。

3. 最近の主な研究成果

Nakashima, Y. (2013) The use of sodium polytungstate as an X-ray contrast agent to reduce the beam hardening artifact in hydrological laboratory experiments. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, **61**, 347-351.

中島善人(2014) X線CT画像のビームハードニング偽像を抑制できるタングステン系造影剤の提案. 日本地球惑星科学連合 2014 年大会.

Mitsuhata, Y., Ando, D., Imasato, T. and Takagi, K. (2014) Characterization of organic-contaminated ground by a combination of electromagnetic mapping and direct-push in situ measurements, *Near Surface Geophysics*, **12**, 613-621.

高倉伸一(2014a): 地熱探査における AMT 法の有効性の検証-鹿児島県大霧地熱地での実証実験を例にして-, 日本地熱学会誌, **36**, 21-32.

高倉伸一(2014b): 電磁探査から推定される広域的な地熱系の構造, 物理探査, **67**, 195-203.

高倉伸一・佐々木裕・高橋武春・松隈勇太(2014): 黄鉄鉱粒子と磁鉄鉱粒子を含む人工試料の複素比抵抗測定, 物理探査, **67**, (印刷中).

Ueda, T., Mitsuhata, Y., Uchida, T., Marui, A. and Ohsawa K. (2014) A new marine magnetotelluric measurement system in a shallow-water environment for hydrogeological study, *Journal of Applied Geophysics*, **100**, 23-31.

Ueda, T., Mitsuhata, Y., Jinguiji, M. and Baba H. (2014) Sub-seafloor resistivity sensing using a vertical electrode configuration, *EARTH PLANETS AND SPAC*, **66**, pp.8.

横田俊之(2014): 利根川下流域液状化エリアにおける弾性波探査による地盤構造調査と液状化, 巨大地震による複合地質災害に関する調査・研究報告 (印刷準備中).

4. 主な研究項目の内容

4.1. 土壤汚染現場における物理探査・原位置計測手法の適用実験

港湾埋立地の工場跡地で以前取得した電磁マッピング及び原位置計測結果の再評価を実施した. 電磁マッピングデータは, 南北約 70m, 東西約 170m の検証サイトで, 総 2943 測点で計測されたものである (図 1). 結果として, 表層の低比抵抗を示す粘土質土壌, 両側のやや比抵抗の高い砂質土壌の分布が推定された. また, 原位置計測手法としては, 土壌中の揮発性有機物化合物 (VOC) を検出可能なメンブレン・インターフェース・プローブ (MIP) を用いたダイレクトプッシュ型貫入プローブ計測が適用されており, サイト内 18 地点で深度 5m~7m に至る VOC の汚染状況が把握されている.

調査結果の最終的な解釈として, 表層の粘土質層が汚染物質の浸透のバリアの役割をしており, 油分は地下水位周辺の浅部に滞留し, 有機溶剤系の汚染物質はさらに深部に浸透, より下部の海底泥の上側にある砂層で滞留していることが推定された (図 2).



図 1 米国 Geopex 社製 GEM-2 電磁探査装置による電磁マッピング調査の様子.

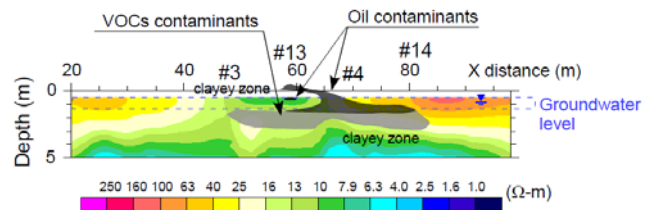


図 2 地下比抵抗分布と油分・VOC 汚染の関係.

4.2. CO₂ 地中貯留 (CCS) における岩石物性評価

X 線 computed tomography (CT) は, 試料を非破壊でイメージングできるので, 室内実験のモニタリングツールとして地球科学で汎用されている. たとえば CO₂ 地中貯留に関する室内実験では, コア試料の相対浸透率曲線の流体置換率や残留 CO₂ 飽和度の高精度計測を目的として, 多孔質なコア試料内部の複雑なダルシー流れを X 線 CT を用いて可視化している. その際, 高濃度のヨウ素造影剤を水にドープするのが一般的であるが, ヨウ素を使うとビームハードニング偽像 (多色性 X 線が原因で, 均一試料にもかかわらず試料表面から内部に行くほど画像が暗くなる現象) が強くなり, 定量的な CT 画像解析が困難になる恐れがある. 様々な造影剤を想定した CT 画像計算機シミュレーション研究は, ヨウ素より K 吸収端のエネルギーが大きい造影剤が, ビームハードニングを抑制するという意味で優秀であることを示唆している. そこで本研究では, タングステンを含む造影剤 (ポリタングステン酸ナトリウム, Na₆H₂W₁₂O₄₀) を実験的に試してみた. 内径 56mm のプラスチック円筒容器に粒径約 200 ミクロンの豊浦標準砂を空隙率 39vol.% で充填し, その空隙をヨウ素系 (KI 9.16 wt%) とタングステン系 (Na₆H₂W₁₂O₄₀ 8.80 wt.%) の 2 種類の造影剤を含む水溶液で満たし, 医療用 CT で 2 次元スライスを撮影した (加速電圧 130kV, スライス厚 10mm, ビームハードニング補正処理なし). 結果は, 期待通り, タングステン系造影剤の方がビームハードニングをより抑制していることが確認できた. ポリタングステン酸ナトリウムは, ヨウ素同様に重元素が陰イオンである (粘土鉱物表面に吸着されない) 上に, 重元素化合物には珍しく比較的化学的に安定で人

体に無害であり、鉍物分離用重液としてすでに商品化されているので、ヨウ素よりビームハードニング偽像を抑制できる造影剤として今後期待できる。

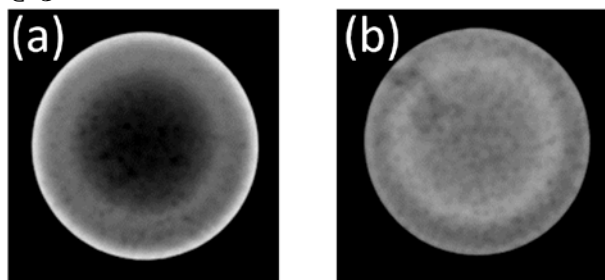


図3 内径56mmの容器に充填した砂質堆積物の間隙に、(a)KI 9.16 wt.%, (b) Na₆H₂W₁₂O₄₀ 8.80 wt. %の水溶液をそれぞれ注入したCT画像。(b)では、ビームハードニング偽像が抑制されている。

4.3. 原位置地盤プロファイラシステムの開発

浅層地盤の間隙率・飽和度・地下水流速の把握は、地盤利用や地下水・地盤の汚染予測などの環境評価にとって重要である。地盤の有効熱伝導率は、これらの間隙率や飽和度、地下水流速と密接な関係があり、これらの関係を調べることで、有効熱伝導率からの推定が可能になること考えられる。また、地盤の熱伝導率は、地中熱開発にとっても重要な採熱量の予測にも必要であり、地中熱のポテンシャルマップに必要である。本研究では、これまで開発を進めてきた熱伝導率プロファイラ (Thermal conductivity profiler : TCP) を応用することで、これらの地盤パラメータや地下水流速の推定が可能かの検証を行う。本研究では、熱伝導率と間隙率・飽和度の関係については、バルク混合体の考えに基づいた三相成分混合モデルを提案している。ここで、ボーリングサンプルから得られた間隙率・飽和度を上記の三相成分混合モデルによってあてはめた熱伝導率とTCPで実測された結果の比較を以下に示すが、調和的な結果が得られた。

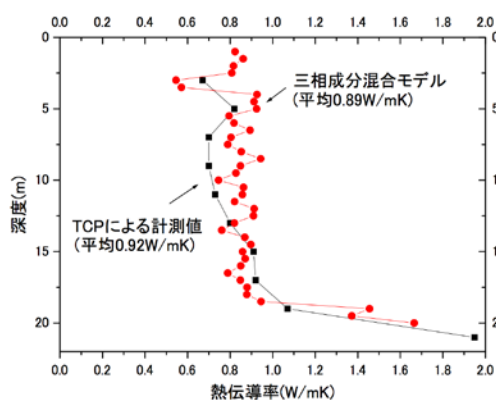


図4 栃木県芳賀台で計測したTCPによる熱伝導率分布とボーリングサンプルで得られた間隙率・飽和度の結果を三相成分混合モデルに当てはめた結果との比較。

4.4. 地熱資源探査のための物理探査法の研究

北海道豊羽地熱地域では、2010年から地熱開発が進められている。熱源はその南西に位置する無意根山の周辺にあると考えられているが、豊羽地域での地熱開発が約8km東方に位置する定山溪温泉に影響を与えるのではという懸念が生じている。そこで、その可能性を探るため、定山溪温泉周辺でMT法調査を実施した。そして、産総研が1999年～2000年に無意根山～豊羽地域周辺で取得したMT法データと合わせ、広域の深部比抵抗構造を求め、地質的解釈を加えた(図5)。無意根山直下の地熱貯留層に対応する低比抵抗層と定山溪温泉直下の温泉帯水層に対応する低比抵抗層とは、先第三系基盤岩である薄別層に対応する高比抵抗体でさえぎられている。このことから、無意根火山～豊羽地域の地熱系と札幌岳～定山溪温泉の地熱系とは独立しており、互いに干渉する可能性は小さいと判断できる。

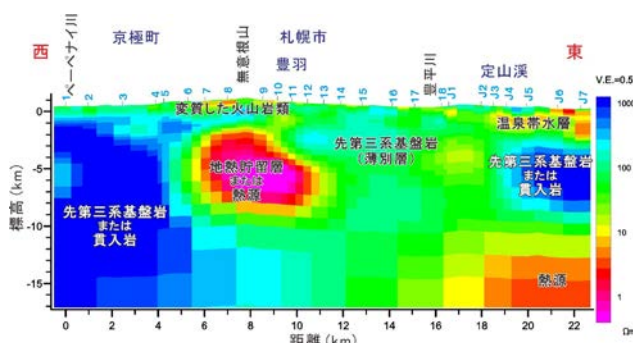


図5 無意根～豊羽～定山溪地熱地域の2次元比抵抗断面とその地質的解釈(高倉, 2014b)。

4.5. 東日本大震災に関連した地盤液状化リスク調査・研究

東日本大震災時に広範囲で液状化被害が発生した利根川下流域において、各種の液状化調査を実施した。調査手法は、三成分コーン貫入試験等の原位置貫入試験および表面波探査や電気探査等の物理探査法である。

表面波探査結果より、茨城県潮来市の日の出地区およびその周辺の地下構造が明らかになった。日の出地区は、比較的高速度な表層、その下位の低速度層および最下位の高速度層で特徴付けられることがわかった。比較的高速度な表層は砂質の浚渫土、低速度層は日の出泥層、高速度層は、佐原砂泥互層の砂質部分と解釈することができる。この地区の土地利用履歴および他の調査結果から考えると、最浅部層の砂質浚渫土の分布を捉えることができたことは大きな意味を持つという事ができる。表面波探査結果のS波分布は地盤強度と密接な関係を持つため、液状化予測に資する。

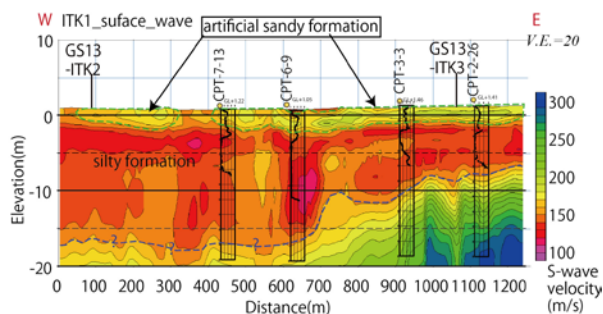


図6 茨城県潮来市日の出地区で実施した表面波探査による地盤中のS波の速度分布(横田, 2014)。地表下約3mまでの比較的高速度な層が液状化したと考えられる砂質浚渫土である。

5. 今後の物理探査研究の展開

物理探査技術は、地圏の資源開発、地下空間・機能利用、地下環境保全あるいは防災に関する多くの分野で適用されるものであることから、研究対象を直接に担当する他の研究グループあるいは他部門と連携して、国のプロジェクトに参画して行く体制が重要である。基本的には、グループ独自の研究テ

ーマにおいて測定システム・解析ソフトウェア開発や岩石物性試験・物性解釈などの基盤的かつ先端的な研究を中心に行い、グループ間あるいは部門間共同研究テーマにおいて、対象とする地質ターゲットに対して探査・解析手法の適用研究を実施するものとする。

来年度から産総研では、第4期計画が開始される。最近の資源・エネルギー問題への関心の高まり、地球規模の温暖化への対応、さらにそれに起因すると思われる地盤・地質災害の顕在化、東日本大震災以来、国としての対応が推進されている国土強靱化等、今後の物理探査の活躍の場は多く、期待も大きい。

具体的には、資源に関して、鉱物資源への物理探査手法や岩石物理の基礎研究、メタンハイドレート探査への海洋電磁探査法の適用、地熱・温泉貯留層構造評価のための広域地熱系探査、地層処分や二酸化炭素の地中貯留に関連した沿岸域での地下構造調査や地下施設周辺での水理構造・地下環境評価、土砂災害等の災害現場での物理探査技術の適用等の研究開発を推進・展開する計画である。

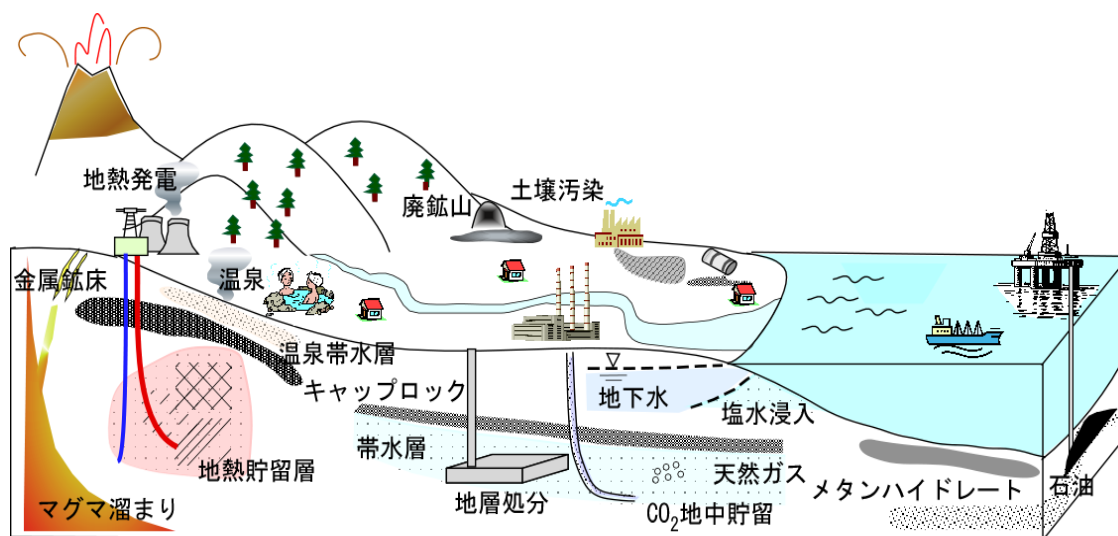


図7 物理探査の適用が期待される地圏の資源評価、環境利用、環境保全の各種地質対象。