

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：横田俊之

Leader, Exploration Geophysics Research Group:

Toshiyuki Yokota

e-mail: yokota-t@aist.go.jp

http://unit.aist.go.jp/georesenv/explogeol/

1. グループの研究目的と課題

本研究グループでは、地熱・地中熱、鉱物資源、メタンハイドレート等の地下資源分野、放射性廃棄物地層処分、CO₂地中貯留等の地下環境利用分野、そして土壌汚染等の地下環境保全分野、さらに加えて地盤液化、地滑り、断層、火山等の防災分野やインフラ維持管理の土木分野等、広範囲な適用対象に対して、地質・地盤構造調査や岩盤評価、モニタリングに不可欠な物理探査技術の高精度化を目指し、各種探査法の技術開発と適用研究を行っている。平成29年度においては、以下の7項目を中心に実施している。

- 地下資源評価として、
 - 1) 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、陸域における強制分極法による鉱物資源探査、坑井利用探査技術等の基礎研究、現場調査を行う。
 - 2) 地中熱利用における事前評価手法の研究、地熱地域における広域熱水系把握調査および空中電磁探査のデータ処理・解析に関する基礎的技術開発を行う。
- また、地下環境の利用分野として、
 - 3) 地層処分場選定における地質環境評価のため、沿岸域モデルフィールドにおける2次元および3次元弾性波探査反射法適用試験や海底電磁探査の取りまとめを行う。
 - 4) 二酸化炭素地中貯留プロジェクトでは、CO₂モニタリングを前提とした重力探査に関する基礎的研究を行う。
- さらに地下環境保全分野として、
 - 5) 土壌汚染に関連して、油分および鉱滓土壌汚染評価への各種物理探査適用結果の取りまとめ、および汚染現場での各種物理探査法適用実験を行う。
- 加えて、防災・土木分野への展開も視野に入れた基礎研究・技術開発としては、
 - 6) 断層評価のための各種物理探査法の適用結果についての取りまとめ、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。
 - 7) インフラ維持管理目的や災害ロボット技術等との連携のための新規物理探査技術開発や民間企業への技術移転を目指した研究連携活動を行う。

2. グループの体制

2.1. 人員体制 (2017.10.1現在)

以下の9人体制で研究を実施している。

横田 俊之 (研究グループ長)

高倉 伸一 (上級主任研究員)

中島 善人 (上級主任研究員)

神宮司 元治 (主任研究員)

小森 省吾 (研究員)

上田 匠 (客員研究員)

中山 京子 (テクニカルスタッフ)

木村 タ子 (テクニカルスタッフ)

紙谷 進 (派遣職員)

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

研究予算としては、産総研運営費交付金に加えて以下のような公的外部予算プロジェクトに従事している。

- ・平成29年度国内石油天然ガスに係る地質調査・メタンハイドレートの研究開発等事業 (資源エネルギー庁)
 - ・平成29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)
 - ・安全なCCS実施のためのCO₂貯留技術の研究開発事業 (経済産業省再委託)
- 等々。

また、民間企業とも積極的に共同研究を実施し、ニーズの把握と成果の橋渡しの促進に努めている。

3. 最近の主な研究内容と成果

3.1. 公表論文等

中島善人 (2017) 画像セグメンテーション用アルゴリズム GrowCut の解説：液状化画像を例題にして。地学雑誌, (印刷中)。

横田俊之・神宮司元治・山中義彰・村田和則 (2017) 平成23年 (2011年) 東北地方太平洋沖地震による液状化発生領域での表面波探査 ―千葉県香取市利根川北岸地区の例―, 物理探査, **70**, 25-34.

Komori, S., Masaki, Y., Tanikawa, W., Torimoto, J., Ohta, Y., Makio, M., Maeda, L., Ishibashi, J., Nozaki, T., Tada, O., and Kumagai, H. (2017)

Depth Profiles of Resistivity and Spectral IP for Active Modern Submarine Hydrothermal Deposits: A Case Study from the Iheya North Knoll and the Iheya Minor Ridge in Okinawa Trough, Japan. *Earth, Planets and Space*, **69**, <https://doi.org/10.1186/s40623-017-0691-6>.

Nakashima, Y. and Komatsubara, J. (2016) Seismically induced soft-sediment deformation structures revealed by X-ray computed tomography of boring cores. *Tectonophysics*, **683**, 138-147.

Ikeda, S., Nakano, T., Tsuchiyama, A., Uesugi, K., Nakashima, Y., Nakamura, K., Yoshida, H. and Suzuki, Y. (2017) Three-dimensional study by synchrotron radiation computed tomography of melt distribution in samples doped to enhance contrast. *Mineralogical Magazine*, <https://doi.org/10.1180/minmag.2016.080.163>

Jinguuji, M. and Toprak, S. (2017) A case study of liquefaction risk analysis based on the thickness and depth of the liquefaction layer using CPT and electric resistivity data in the Hinode area, Itako City, Ibaraki Prefecture, Japan, *Exploration Geophysics*, **48**, 28-36.

Hata, M., Takakura, S., Matsushima, N., Hashimoto, and Utsugi, M. (2016) Crustal magma pathway beneath Aso caldera inferred from three-dimensional electrical resistivity structure. *Geophys. Res. Lett.*, **43**, 10,720-10,727.

Yokota, T., Jinguuji, M., Yamanaka, Y., and Murata, K. (2017) S-wave reflection and surface wave surveys at the liquefaction affected areas - A case study of the Hinode area, Itako, Ibaraki, Japan -, *Exploration Geophysics*, **48**, 1-15.

3.2 マルチフラクタルスペクトル解析による液状化構造の定量化

コアやトレンチで観察できる、液状化・流動化に起因する乱れた地層の構造は、過去の地震の痕跡である。その乱れの程度は、震央距離や地盤の剛性などに関係する。したがって、地層の乱れは、丁寧に読み解けばそのサイトの正確な液状化リスク評価に貢献できる重要な情報をもっている。しかし、そのような地層の乱れを定量化する手法の開発はこれまで不十分であった。そこで本研究では、不均一で乱れたパターンの定量化に有効とされるマルチフラクタル解析を、コアに記録された液状化・流動化した地層のパターンに適用して、その有効性を吟味した。

液状化した地層の例を図1に示す。図1は、ボーリングコアのX線CT画像である。このコアは、2011年の東日本大震災直後に、地表で液状化による噴砂が実際に確認されたサイトで取得されたものである。元来は水平に堆積していたであろう葉理が、地震に伴う液状化現象によって激しく攪拌されて乱れている様子が確認できる。この画像の濃淡

を磁鉄鉱などの含鉄鉱物（鉄はX線吸収が強いので、CT画像上では強調される）の空間分布とみなして、2次元マルチフラクタル解析を行った。結果を図2に示す。一般に、マルチフラクタルスペクトル $f(\alpha)$ は、上に凸な放物線に似た形状を示すが、その放物線の開き具合（ f を α の二次式で近似したときの α^2 の係数）は含鉄鉱物の不均一な空間分布に敏感である。図1の他にも、乱れの程度の異なるさまざまなCT画像を解析した結果、放物線的なスペクトルの開き具合が、液状化による地層の乱れの強弱と相関があることが分かった。したがって、マルチフラクタル解析は、地盤液状化リスク評価のための定量化ツールとして利用できる可能性がある」と結論できる。

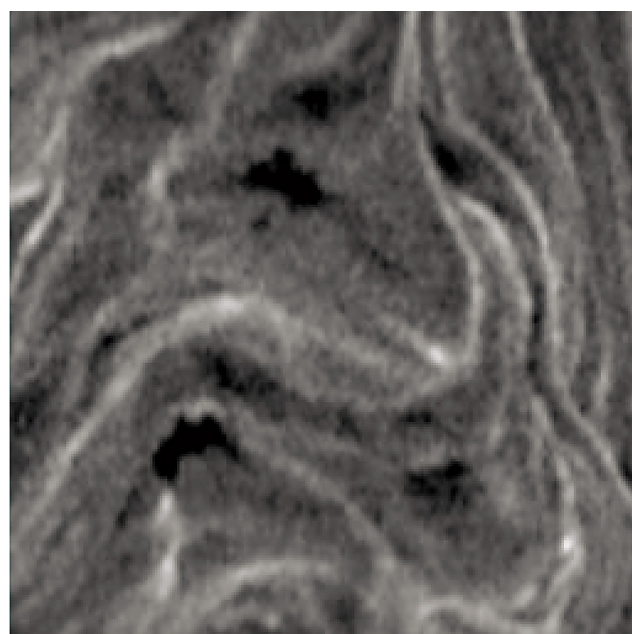


図1 地震液状化で流動化したボーリングコアの2次元CT画像。灰色の画素は砂質、暗い画素はシルト質。特に明るい画素には、磁鉄鉱など鉄を含む鉱物が濃集している。元画像サイズは5.9 cm×5.9 cm。

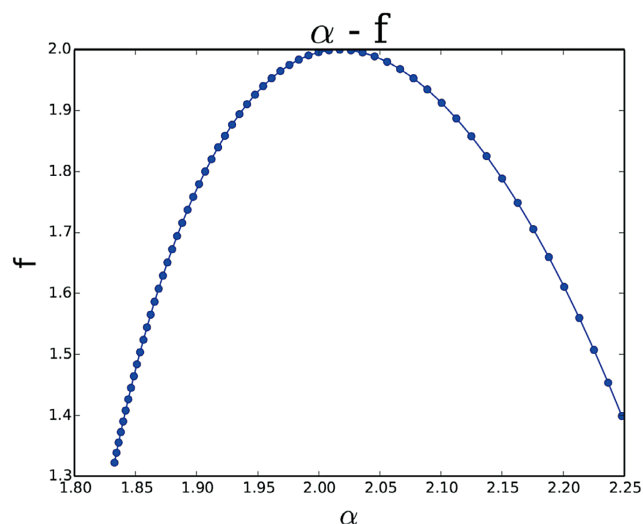


図2 図1の画像のマルチフラクタル解析結果のマルチフラクタルスペクトル $f(\alpha)$ 。 α は、リップシッツ・ヘルダー指数。

3.3 地下水流動調査および埋立廃棄物調査を目的とした可搬型多チャンネル比抵抗・IP 探査装置の導入

大規模な河川などが無く、ダムのような大規模な貯水施設を持たない離島地域等において、地下水は生活用水・農業用水として利用可能な貴重な水資源であり、地下水流動および貯留域の広がりや貯留されている地下水の水質の把握は、安心・安全な住民生活の維持に直結する。また、廃棄物の埋立処分場においては、埋設された廃棄物が安定して埋設時の状態を維持しているかを把握することは非常に重要な課題である。そのような安全性の評価においては、地下水流動の把握が一つの重要な鍵となる。このような目的の調査を実施する際に、強制分極法（IP 法）を利用した探査は一つの有効な手法であると考えられる。そのため当グループでは、上記のようなサイトにおいて、それぞれの調査目的に適合するように効率良く IP 法探査を実施し、地下比抵抗構造・充電率構造を把握することを目的として、可搬型多チャンネル比抵抗・時間領域 IP 探査装置の導入及び計測システム整備を進めている（図 3）。本装置は比較的高い電流出力を有し、最大で 2.5 A までの電流を地下に流すことが可能である。また、カーバッテリーのような小型電源を利用可能であり可搬性に優れる他、48チャンネルの測定システム（スキャナ）を予め設定したシーケンスを用いて自動的に制御可能であり、高効率・高密度にデータを取得することが可能である。時間領域の IP 信号も高い時間分解能で取得可能であり、高精度に充電率を計測することが可能である。今後、本システムを地下水流動調査・埋立廃棄物調査などに適用していく予定である。

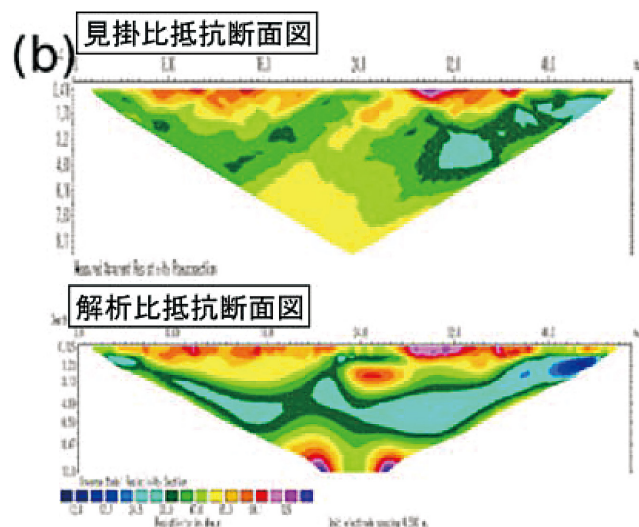


図 3 多チャンネル比抵抗・IP 探査装置. (a) 48チャンネルスキャナ（上）は制御ユニット（下）と接続して使用する. (b) 本装置により産総研第 7 事業所グラウンドで取得された探査結果例. 見掛け比抵抗分布（上）及び解析比抵抗断面図（下）.

握は、安心・安全な住民生活の維持に直結する。また、廃棄物の埋立処分場においては、埋設された廃棄物が安定して埋設時の状態を維持しているかを把握することは非常に重要な課題である。そのような安全性の評価においては、地下水流動の把握が一つの重要な鍵となる。このような目的の調査を実施する際に、強制分極法（IP 法）を利用した探査は一つの有効な手法であると考えられる。そのため当グループでは、上記のようなサイトにおいて、それぞれの調査目的に適合するように効率良く IP 法探査を実施し、地下比抵抗構造・充電率構造を把握することを目的として、可搬型多チャンネル比抵抗・時間領域 IP 探査装置の導入及び計測システム整備を進めている（図 3）。本装置は比較的高い電流出力を有し、最大で 2.5 A までの電流を地下に流すことが可能である。また、カーバッテリーのような小型電源を利用可能であり可搬性に優れる他、48チャンネルの測定システム（スキャナ）を予め設定したシーケンスを用いて自動的に制御可能であり、高効率・高密度にデータを取得することが可能である。時間領域の IP 信号も高い時間分解能で取得可能であり、高精度に充電率を計測することが可能である。今後、本システムを地下水流動調査・埋立廃棄物調査などに適用していく予定である。

3.4 高周波交流電気探査装置を用いた液状化地盤調査事例

高周波交流電気探査技術は、地表面に打設する通常のステンレス棒電極から舗装路面を傷つせずに調査が可能なローラー電極まで様々な種類の電極使用することができ、ほぼ全ての地表面条件下で、簡易に電気探査の計測が可能である。これまで、主として水道管の腐食性土壌評価に着目し、アスファルト舗装が施された路面上から地下の比抵抗構造を調査が可能な高周波交流探査装置の開発を行ってき

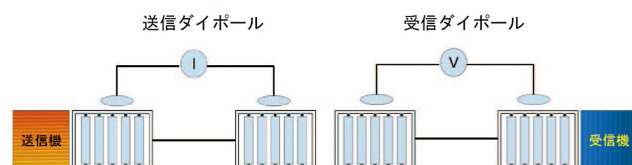


図 4 高周波交流電気探査装置と PVA ロール電極. (上) 装置の写真. (下) PVA ロール電極を用いた電気探査の概念を表す平面図.

た。本年度は、当該装置の液状化地盤に対する適用性を確認するため、液状化が発生した地盤において実際に野外での比抵抗探査実験を実施した。なお、通常の直流電気探査装置を用いた液状化地盤の評価については、これまで茨城県潮来市日の出地区の液状化被災地における実験で検証済みである。

今回、液状化評価のための比抵抗探査実験を行った場所は、2016年の熊本地震の際に実際に液状化被害が発生した、熊本市内の小学校の校庭である。比抵抗探査実験には、産総研が開発した高周波交流電気探査装置とPVA（ポリビニルアルコール）ローラー電極を用いた（図4）。実験地の地表面は砂であったが、PVAローラー スポンジの保水性には問題なく、一度の給水の必要もなく、約2時間で2次元比抵抗探査実験を行うことができた。比抵抗実験は、電極間隔2mのダイポール・ダイポール電極配置を用いて、32mの測線で行った。

その結果を図5に示す。測線全域にわたって、深度約2mから4mまでシルト粘土層が存在することがわかる。簡易液状化評価の対象となる、地表から深度6mまで範囲では、液状化層と想定される砂層は、地表から深度約2mまでに存在する砂質の盛土層のみであると考えられる。また、本地点の地下水位は、過去に行われたボーリング調査結果から、地表面下1mと推定される。前述のように、比抵抗断面図より液状化評価の際に考慮すべき砂質層は、地表より深度約2mまでと推定される。液状化評価の際には、不飽和地盤では液状化は発生しないと考えるため、今回の実験場所では、液状化層の層厚は砂層の層厚から水位を引いた約1mと推定される。これから予測される液状化層の層厚（H2）と非液状化層の層厚（H1）の層厚比は1となり、図6に示すように、液状化の影響が地表面に達するぎりぎりの値と推定される。

このように、高周波交流電気探査を用いて、砂層とシルト・粘土層を明瞭に区別することが可能であり、高周波交流電気探査装置が、液状化・非液状化層の層厚比による簡易液状化評価実施のための電気探査装置として適用可能であることが分かった。

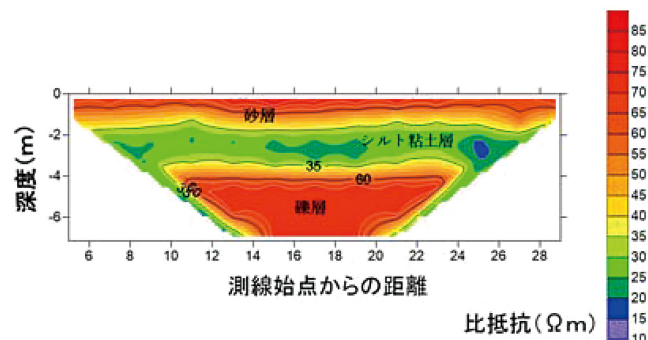


図5 熊本市の液状化被害地で、高周波交流電気探査装置およびPVAローラー電極を用いて取得された比抵抗断面。過去に実施されたボーリング調査結果を参考にすると、地表から深度約2mまでが砂質層、深度約2mから4mまでがシルト・粘土層、深度約4m以深が礫層と判断できる。

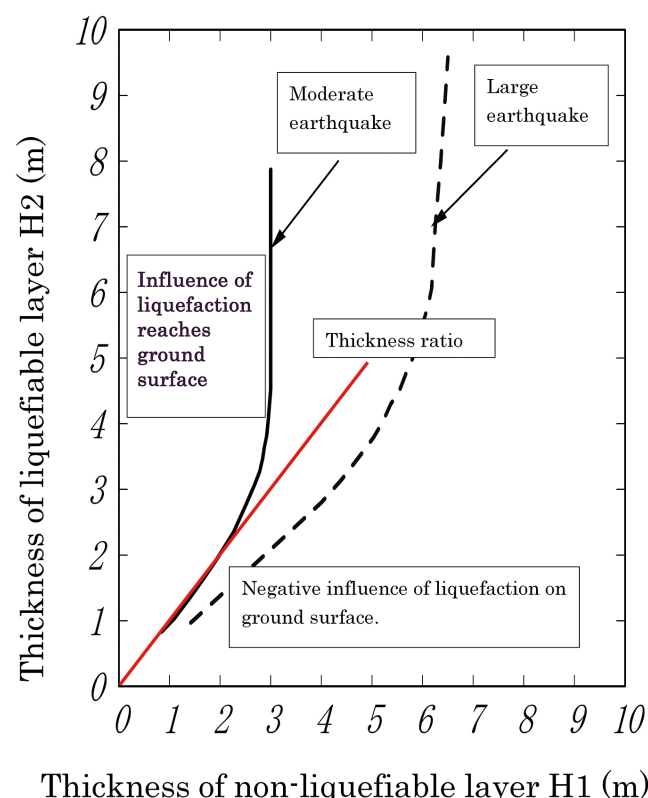


図6 液状化層厚比による簡易液状化判定結果。電気探査結果および地下水位の情報より、非液状化層の層厚（H1）および液状化層の層厚（H2）がともに1mと考えられる（図中に赤丸でプロット）。本地点は、液状化の影響が地表面に現れるぎりぎりの場所と推定される。