

## 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、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、CO<sub>2</sub> 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状化、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 28 年度においては、以下の 7 項目を中心としている。

- 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、苫小牧実証フィールドの浅海域において海底 MT 法のデータ取得予備実験や米国テキサス州ファーンズワーズ実証フィールドでの実験調査の取りまとめを行い、陸域から海域にかけての地下水分布・性状把握に貢献し、これら地下水に関する情報が CCS 事業の安全性評価に与える影響について検討する。
- さらに地下環境保全分野として、
- 5) 土壌汚染に関連して、油分土壌汚染評価への各種物理探査適用結果の取りまとめを行う。また鉱滓ダム周辺域での汚染調査への物理探査の適用研究を行う。
- 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

ついでに取りまとめ、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(2016. 10. 1 現在)

以下の 11 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)
- 小森省吾 (研究員)
- 吉田 聖 (リサーチアシスタント)
- 中山京子 (テクニカルスタッフ)
- 木村夕子 (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、CO<sub>2</sub> 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 27 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 28 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 28 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・補助事業, 民間企業・産総研他部門との連携)
- ・戦略的イノベーションプログラム「次世代海洋資源調査技術 海洋資源の成因に関する科学的研究」(JAMSTEC 委託研究, 地質情報研究部門等との連携) 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).

檀上 徹・高倉伸一・有光悠紀・藤本将光・石澤友浩・深川良一 (2015) 重要文化財後背斜面における比抵抗法電気探査を用いた地下水帯の把握, 歴史都市防災論文集, **9**, 9-16.

高倉伸一 (2016) 調査地の特性や探査の目的に応じた多チャンネル電気探査装置の開発, 物理探査, **69**, 117-126.

光畑裕司(2016) マルチ周波数電磁探査法による浅層地盤調査および埋設物探査, No-Dig Today, **96**, 8-11.

Seki, K., Kanda, W., Tanbo, T., Ohba, T., Ogawa, Y., Takakura, S., Nogami, K., Ushioda, M., Suzuki, A., Saito, Z., Matsunaga, Y. (2016) Resistivity structure and geochemistry of the Jigokudani Valley hydrothermal system, Mt. Tateyama, Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* **325**, 15-26.

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.

Yokota, T., Jinguuji, M., Yamanaka, Y. and Murata, K. (2015) Seismic subsurface structure surveys of the liquefaction occurred areas - A case study at the Hinode district, Itako, Ibaraki, Japan, Proceedings of 2015 SEG Conference Near-Surface Asia Pacific Conference.

#### 3.2 熱伝導率プロファイリング法の実用化研究

熱伝導率プロファイリング法 (TCP: Thermal Conductivity Profiling) は, 標準貫入試験等の小口径ボーリングロッドを用いて実施できる簡易な地盤熱伝導率の調査法である. 現在, 地中熱交換機的设计に必要な地盤の熱伝導率の計測には, 熱交換機の熱応答を計測するサーマルレスポンステスト (TRT) が主流であるが, コストと時間がかかる. 地中熱の利用拡大のためには, なるべく調査にコストをかけず, また, 調査機会を増やしていくことが重要である. TCP 法は, 土木調査で一般的に使われる標準貫入試験の小口径ボーリング孔を用いて調査ができるため, 地中熱目的のボーリング調査だけでなく, 一般的な土木建設・住宅建築の調査における実施も容易である. しかしながら, TCP 法の適用例は, 多いとは言えず, しかも既に標準手法となっ

ている TRT との比較を行った例も少ない. 本研究では, 平成 27 年度, 福島県より受託した福島県産総研連携再生可能エネルギー等研究開発補助事業の一環として, 福島市・郡山市・いわき市の 3 点において TCP 法および TRT の比較実験を行った. 本実験においては, 標準貫入試験で用いるボーリングロッドおよび U チューブでの TCP 法を行い, 同時に, 同じ U チューブで TRT を行った. さらに, 掘削時に採取したボーリングコアサンプルの熱伝導率を測定した. これらの結果を図 1 に示す. サンプルの熱伝導率の値は, TCP, TRT に比べて若干低いが, TCP および TRT の結果は, ほぼ同じ結果となった. サンプルの結果が低くなった原因としては, 試料採取後の含水率の低下や間隙率の変化が考えられる. TCP 法は, サーマルレスポンス法と比べて, コストの低下や調査機会の増大が見込まれるため, 今後の発展が期待される.

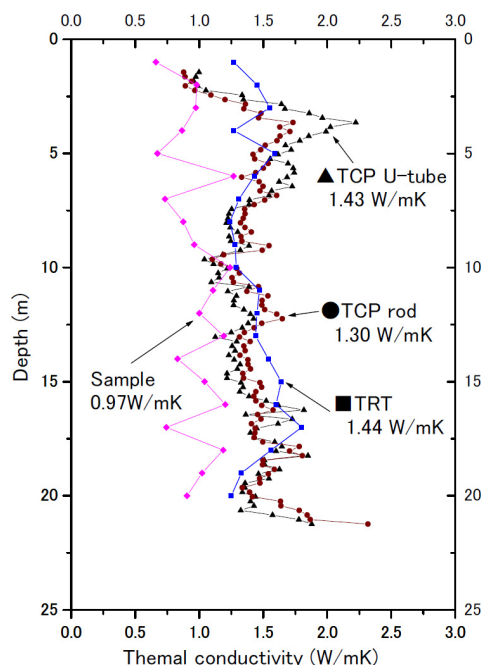


図 1 産総研再生可能エネルギー研究所における比較検証試験の例.

#### 3.3 比抵抗モニタリングによる斜面内部の水分量変化の可視化

産総研と国立研究開発法人防災科学技術研究所は, 斜面内の土壌水分量の空間的変化を可視化する技術の確立を目指した共同研究を実施している. その一環として, 電気探査による比抵抗モニタリングの有効性を検討するため, 大型降雨実験装置を用いて降雨量や降雨強度を制御した人工降雨を盛土に降らせる実験を実施し, その間の盛土斜面内の比抵抗変化を連続的に観測した. 図 2 は実験に用いた盛土と電気探査を実施した測線を示す. 測線上には 37 本の電極が 50cm 間隔に設置されている. 今回の実験では, 高速な電気探査計測が可能な装置を用いて, 1 分あるいは 2 分間隔で比抵抗モニタリングを実施し, 盛土斜面内の比抵抗断面を求めた. 時間雨量 120 mm/h の降雨を 60 分間継続させた場合の, 降

雨開始直前の比抵抗構造に対する降雨開始後 20 分, 40 分, 60 分 (降雨終了時), 80 分 (降雨終了後 20 分) の比抵抗変化率を図 3 に示す. これを見ると, 比抵抗の下がる領域が降雨開始から徐々に深部に広がっていく傾向がわかる. 本研究によって, 比抵抗モニタリングは短時間降雨によって起こる斜面内の土壌水分変化をリアルタイムで観察する方法として有効であることが実証された.

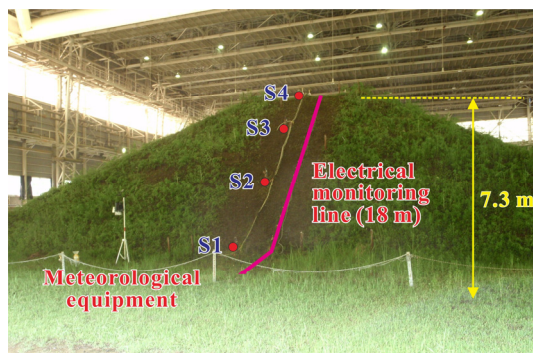


図 2 大型降雨実験装置内の盛土と電気探査測線.

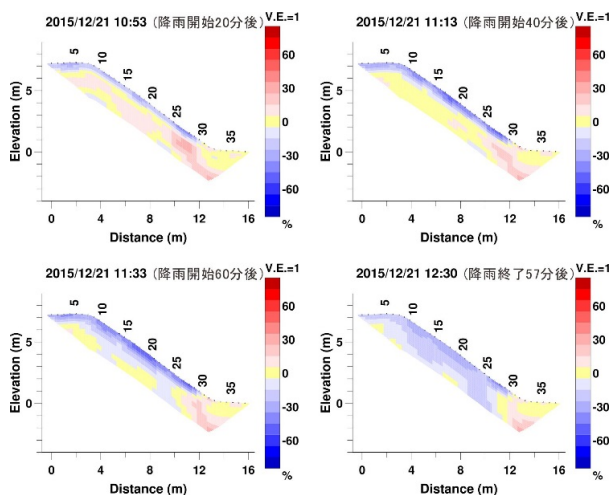


図 3 時間雨量 120 mm/h の降雨を 60 分間継続させた場合の, 降雨開始直前の比抵抗構造に対する降雨開始後 20 分, 40 分, 60 分, 80 分の比抵抗変化率. た場合の, 降雨開始直前の比抵抗構造に対する降雨開始後 20 分, 40 分, 60 分, 80 分の比抵抗変化率.

### 3.4 X線CTによる液状化コアの非破壊観察法の高度化研究

産総研では, 平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災を受けて, 平成 23 年度第三次補正予算「巨大地震・津波災害に伴う複合地質リスク評価」プロジェクトを実施した. その中で当研究グループは地質情報研究部門平野地質研究グループと連携して地盤液状化リスク調査・評価研究を担当した. その成果のひとつとして, X線CTを用いた液状化コアの非破壊観察法の高度化を紹介する.

ボーリングコアを調べて過去の液状化の痕跡(砂脈など)を探することは, 液状化リスク評価作業にとって重要である. しかし, 従来のようにコアの半裁

面を 2 次元的に観察するだけでは, 砂脈のような局在化する地質構造を見落とす場合があり, 結果としてそのサイトの液状化リスクの過小評価につながるおそれがある. そこで, 我々は医療用 X 線 CT 装置でコアをフル 3 次元非破壊スキャンして, コアに埋め込まれているすべての砂脈を抽出する研究を行った(Nakashima and Komatsubara, 2016; 中島, 2017).

東日本大震災時に地表で噴砂が確認された利根川下流域で採取したボーリングコア(直径約 6cm)の CT 撮影結果を図 4 に示す. 板状の薄い砂脈がほぼ垂直に下位の砂層から上位のシルト層に貫入している様子が明瞭に確認できる. 砂脈はコアの端に位置しているので, コアの半裁面の取り方によってはこの砂脈を外してカットしてしまうリスクを容易に想像でき, したがって CT によるフル 3 次元スキャンの有効性を例証できた.

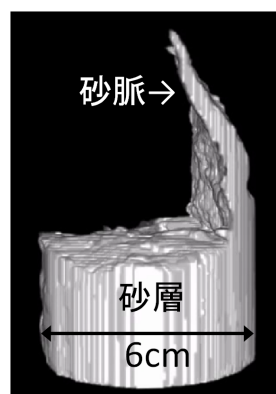


図 4 液状化したボーリングコアの 3 次元 CT 画像. 砂層からシルトに砂脈が貫入している様子が確認できる. ただし, 砂脈の 3 次元形状がわかりやすいように, シルト部分の画素は透明に処理してある.

### 3.5 液状化発生地域における表面波探査の実施

平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震時に大規模な液状化被害にあった利根川下流部にある, 千葉県香取市北部の利根川北岸部の香北地区(北佐原地区)で, 表面波探査を実施し, S 波速度分布を求めた. その結果, 実験フィールドは, 約 10m 以深の高速度を示す砂質基盤層, 深度約 3~10m に存在する低速度を示すシルト質層および比較的高速度の表層砂層に三つに区分された.

全測線の深度 2.5m の  $V_s$  値を抜き出し, 水平方向に平滑化した. 図 5 中, 平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震の際に当該地域の砂質地盤が液状化を起こすかどうかの領域の境界を示す速度範囲 165~170m/s をピンクの網掛けで示した. 表層が砂層の領域で, ピンクの網掛けより  $V_s$  が大きい領域では液状化が発生しない. また, 表層が砂質と解釈された領域を測線開始位置から近いものより順に砂質区間 1, 2, 3 とした. また, 砂質領域以外の表層はグレーで網掛けし, 液状化の考察からは除外した. この結果より, 当該領域での液状化発生は砂質領域 3 の一部(図中の矢印部)のみに限定される

ことが推測された。この結果は、液状化に伴う噴砂発生領域とよく一致し、 $V_s$ の値を用いた液状化発生の検討は十分に現実的であるといえる。

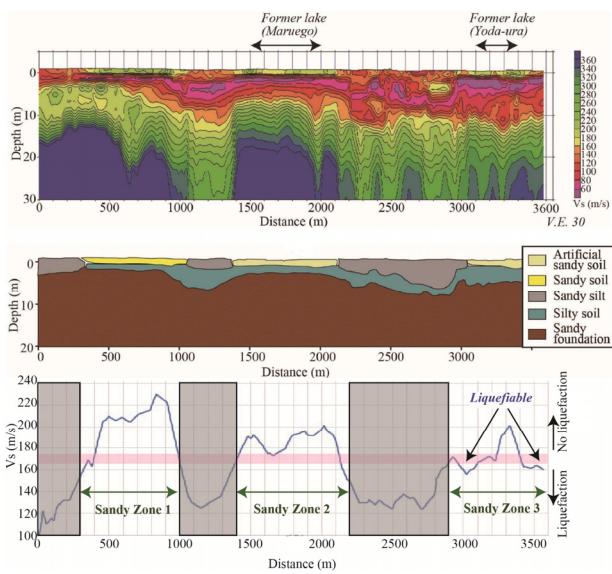


図5 千葉県香取市における表面波探査結果およびその解釈。

### 3.6 災害ロボットプロジェクトへの参画

近年の度重なる各地での地震・火山・土砂災害では、航空撮影や地形測量等に加え、迅速かつ確実な地下・地中の情報取得に対する期待や要請が高まっている。当グループでは、無人機の研究を専門とする知能システム研究部門フィールドロボティクス研究グループ（情報・人間工学領域）と連携し、既存電磁探査法を無人空中機（以下 UAV: Unmanned Aerial Vehicle）に搭載するための技術開発に取り組んでいる。具体的には NEDO プロジェクト（2014～2015 年度）及び NEDO 補助事業（2016 年度）において、火山災害と土砂災害における無人機を利用した総合的な対応手法の構築を目指す中で、立ち入り困難地域での埋設物の発見や土壌状況の把握のために電磁探査の適用を図っている。探査目標は、地下数mまでの埋設物の検出や比抵抗構造の推定であり、UAV への安定搭載と自動データ取得の確立を目指す。 (1) 安定した吊下げ、(2) 自動飛行と位置情報の取得、(3) 迅速なデータ解析の研究開発を進めている。(1)については2点吊りと尾翼の装着により安定飛行を実現し解析可能な品質のデータを取得が可能となった。また(2)のために新たに GPS と高度計を併せた小型装置を作製し、位置情報を取得可能とし、(3)については電磁応答データと位置情報を同時に表示するソフトウェアを開発した。機器及びソフトウェア開発に加えて、2014 年度には桜島火山（鹿児島県）、2015 年度には赤谷地滑り地域（奈良県）で、それぞれ火山災害、土砂災害を想定した現場試験に臨み、得られた成果や問題点を踏まえ、

より低空での自動飛行やリアルタイムでの統合データ表示を目指した研究開発を実施中である。



図6 災害ロボットプロジェクトにおける各種技術開発項目。

### 3.7 海底掘削試料の即時 IP 特性計測技術の開発

次世代の海底熱水鉱床探査技術として、海底 IP 探査への期待が高まっている。IP とは誘導分極 (Induced Polarization) の略称で、硫化鉱物を含んだ岩石に印加された電圧の変動により、硫化鉱物界面に電荷の蓄積・開放が生じる現象である。IP 探査では、上記の現象を電圧・電流の位相差や充電率として計測する。当グループでは、未だ開発途上の技術である海底 IP 探査に先駆け、海底下の掘削岩石試料を用いた IP 特性の船上即時計測に関する技術開発を行っている。IP 特性の船上測定装置として、小型・軽量で携帯性に優れた高性能電気化学測定器を導入し、さらに、試料の形状や固結の状態に応じ、使用するサンプルホルダーやプローブを簡易に切り替えられる計測システムを開発した (図7)。本システムにより、海底掘削試料で想定される  $0.1\sim 1 \Omega \text{ m}$  の低比抵抗試料の IP 特性を広周波数帯域 ( $0.01\text{Hz}\sim 100\text{kHz}$ ) で計測することが可能となった。今後実施が予定されている海底熱水鉱床掘削調査で本システムを適用し、海底下鉱床の IP 特性の把握と解明を目指す予定である。

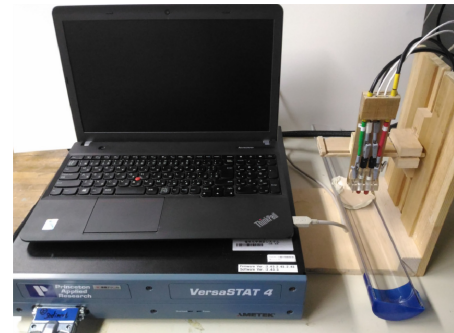


図7 船上即時 IP 特性計測システム。電気化学測定器は PC により制御され、右側の計測部に掘削試料をセットして IP 特性計測を行う。