

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

Phone: 029-861-2464, e-mail: yokota-t@aist.go.jp

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

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、地下水等の地圏資源の調査・研究、放射性廃棄物地層処分、CO₂地中貯留等の地圏環境の利用と保全のための調査・研究、さらに加えて地盤液状化、地滑り、断層、火山等の防災分野等、広範囲な適用対象に対して、地圏の調査及び分析技術の開発の一環として、物理探査技術の高精度化を目指し、各種探査法の適用研究を行っている。また、強靱な国土・防災への貢献のためにサステナブルインフラ研究ラボに参画し、インフラ関係の社会課題の領域間融合での解決に積極的に貢献することを心掛けている。2022年度においては、以下の7項目を中心とした研究を実施している。

- 地圏資源の調査・研究として、
- 1) 海底熱水鉱床やメタンハイドレート等の探査を念頭に置いた海域での各種物理探査法や、陸域におけるAMT法、強制分極(IP)法等による鉱物資源探査等に関する研究。
- 2) 地中熱利用における事前評価手法の研究および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解析に関する基礎的技術開発。
- また、地圏環境の利用と保全のための調査・研究として、
- 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の取りまとめ。
- 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。
- 5) 地下水等の浅層地質環境評価のための物理探査・原位置計測技術の開発。
- さらに、地圏の調査及び分析に関する新しい技術開発として、
- 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して、データ取得・解析に関する研究。
- 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に、NMR法や無人機物理探査技術などの新規物理探査技術開発を領域間融合研究として行い、民間企業への技術移転やその後の技術の普及を目指した研究連携活動も積極的に行っている。

2. 各研究項目の内容

2.1. クラスタリング制約を導入した弾性波—ミュオングラフィジョイントインバージョン解析手法の開発

弾性波探査や弾性波トモグラフィで推定される弾性波速度は、密度と弾性定数との複合パラメータであり、それらの物性値は不確実性を有している。これに対して、宇宙線ミュオンによって推定される密度情報を用いて密度と弾性定数とを分離し、不確実性を低減することが提案されている。宇宙線に含まれる素粒子ミュオンは、毎秒手のひらに一個程度の割合で地上に飛来しており、密度が高い物体ほど透過しにくいという性質を持つ。その性質を利用して、火山や遺跡等の巨大構造物内部の密度推定がこれまで行われている。弾性波とミュオンとを統合利用するにあたり、それぞれのデータを利用して逆解析を独立に実施し、最終的な解釈段階で統合するよりも、統合的に逆解析することで、逆解析結果における解釈のしやすさなどの向上が期待できる。

今回は「地下が複数の地質体の組み合わせから構成される」と仮定したFuzzy C-Means (FCM) クラスタリング制約の適用性検証のために、図1(左上、左下)に示す地下モデルを用いた数値計算を試みた。その結果として、適切な地質体の候補を逆解析の事前情報として与えることで、事前情報を与えずに独立に逆解析を行った場合と比較して、密度・弾性波速度の推定結果がより整合的になることがわかった(図1右上)。この要因として、図1(右下)に示す散布図によると、FCM クラスタリング制約の影響で各セルの物性値がいずれかの地質体の物性値に引き寄せられていることが考えられる。実利用においては、地下を構成する地質体の候補の一部は坑井データ等から推定可能と思われるが、アノマリなどの偏在する地質体に関する情報がわからない場合もあると考えられる。地質体の事前情報が事実とは異なる場合や地質体に関する情報を与えない場合などについて検討を行う必要がある。

2.2. 無人地上車両(UGV)を用いた電磁・電気探査調査技術の研究

地下インフラ整備に伴うモニタリング需要の増加や老朽化への対応、台風やゲリラ豪雨の多発に伴う災害対応調査など、都市域における地下の探査需要が高まっている。特に水道ネットワークの老朽化や堤防の健全性調査に対応するには、長距離をカバーできる、より効率的で低コストの調査

法が求められている。

無人地上車両 (UGV) は、空中を飛ぶ UAV 技術と同様に、近年急速に発達してきた技術であるが、この UGV に地下を探索できるセンサ類を搭載あるいは牽引することで、低コストで広域の調査が可能になる。物理探査研究グループでは、UGV に市販のマルチコイル電磁探査装置や産総研が開発した高周波交流電気探査装置を牽引させ (図 2)、高効率で低コストの探査が可能になる調査法や技術開発を行っており、特に水道ネットワークの老朽化や堤防の健全性調査等に応用する研究を行っている。UGV 牽引型高周波交流電気探査装置は、非破壊で深度10mレベルの土质地質調査にも適用できる可能性を持ち、都市域の土质地質調査法として今後の応用が期待できる。

2.3. コンクリート壁原位置計測のための核磁気共鳴表面スキャナー開発

コンクリート中の水分を現場で計測することへの社会的ニーズがある。たとえば、フレッシュコンクリートの硬化速度 (水分子が消費される反応速度) は外気温に敏感なので、寒冷地で打設したコンクリート中の水分の時間変化を現場で非破壊モニタリングすれば施工管理に貢献できる。あるいは、老朽化したコンクリート建造物中にできた空洞に水がたまると、鉄筋がさびたり凍結膨張で亀裂進展が起こしたりするリスクがあるので、原位置でコンクリート壁の表面をスキャンして空洞を検出することが望ましい。それらの用途に使える、原位置・非破壊・非侵襲計測ツールとして、図 3 に示す、プロトン磁気共鳴表面スキャナーを開発した。センサーユニットは片側開放型といわれる特殊なデ

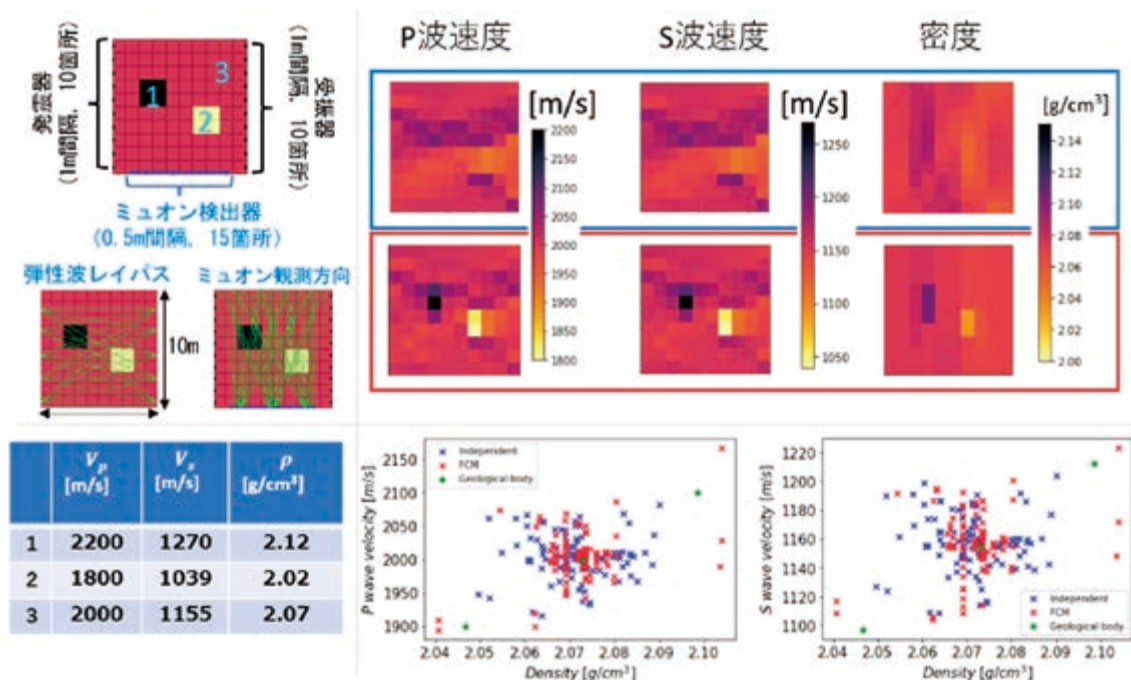


図 1 クラスタリング制約を用いた、ミュオグラフィ弾性波ジョイントインバージョン解析。左上図：弾性波およびミュオグラフィ解析の地下モデル・観測ジオメトリ。左下表：モデルの物性値。右上図：逆解析結果 (上段青枠：FCM 制約なし, 下段赤枠：FCM 制約あり)。右下図：P 波速度・密度の散布図 (左), S 波速度・密度の散布図 (右) (独立に逆解析した場合の結果 (青), FCM を使用した場合の結果 (赤), FCM の際に用いた地質体の物性値 (緑))



図 2 UGV 牽引型高周波交流電気探査装置：UGV (無人地上車両) により PVA (ポリビニルアルコール) ローラー電極および受信器を牽引し地下を非破壊で探査する。



図3 開発した磁気共鳴表面スキャナーの屋外試運転風景。

ザインの磁気回路と平面型の高周波コイルからなり（重量約4kg）、コンクリート壁に押し当てた場合、表面から2～14mmの深部区間にある水を検出できる。

既に室内実験での計測誤差の確認、屋外での環境ノイズ状況の確認などの基本的な性能確認は終了し、現在は屋外での計測に向けて準備中である。

3. グループの体制

3.1. 人員体制（2022.10.1現在）

以下の13人体制で研究を実施している。

- 横田俊之（グループ長）
- 中島善人（上級主任研究員）
- 神宮司元治（主任研究員）
- 浅田美穂（主任研究員）
- 小森省吾（主任研究員）
- 梅澤良介（研究員）
- 児玉匡史（研究員）
- 高倉伸一（招聘研究員）
- 上田匠（客員研究員）
- 松島潤（客員研究員）
- 井手健斗（リサーチアシスタント）
- 山口和雄（テクニカルスタッフ）
- 木村夕子（テクニカルスタッフ）

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、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構等と連携して研究を推進している。

3.2. 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。

- ・令和4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（メタンハイドレートの研究開発）（資源エネルギー庁）
- ・令和4年度鉱物資源開発の推進のための探査等事業（資源開発可能性調査）（資源エネルギー庁）
- ・安全なCCS実施のためのCO₂貯留技術の研究開発に係る再委託（二酸化炭素地中貯留技術研究組合）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。

4. 最近の主な研究成果

Asada, M., Satoh, M., Tanahashi, M., Yokota, T., and Goto, S. (2022) Visualization of shallow subsea-floor fluid migration in a shallow gas hydrate field using high-resolution acoustic mapping and ground-truthing and their implications on the formation process: a case study of the Sakata Knoll on the eastern margin of the Sea of Japan, *Marine Geophysical Research*, **43**, 34.

<https://doi.org/10.1007/s11001-022-09495-9>

Yoshihara, N., Matsumoto, S., Umezawa, R., Machida, I. (2022) Catchment-scale impacts of shallow landslides on stream water chemistry, *Science of The Total Environment*, **825**, 153970.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153970>

Umezawa, R., Jinguuji, M., and Yokota, T. (2022) Characterization of a river embankment using a non-destructive direct current electrical survey, *Near Surface Geophysics*, **20**, 238-252.

<https://doi.org/10.1002/nsg.12202>

Jinguuji, M., and Yokota, T. (2022) Investigating soil conditions around buried water pipelines using very-low-frequency band alternating current electrical resistivity survey, *Near Surface Geophysics*, **20**, 192-207.

<https://doi.org/10.1002/nsg.12191>

Aizawa, K., Utsugi, M., Kitamura, K., Koyama, T., Uyeshima, M., Matsushima, N., Takakura, S., Inagaki, H., Saito H., and Fujimitsu Y. (2022) Magmatic fluid pathways in the upper crust: insights from dense magnetotelluric observations around the Kuju Volcanoes, Japan, *Geophysical Journal International*, **228**, 755-772.

<https://doi.org/10.1093/gji/ggab368>

Mitsuhata, Y., Ueda, T., Kamimura, A., Kato, S., Takeuchi, A., Aduma C., and Yokota, T. (2022) Development of a drone-borne electromagnetic survey system for searching for buried vehicles and soil resistivity mapping, *Near Surface Geo-*

physics, **20**, 16-29.

<https://doi.org/10.1002/nsg.12189>

Nakashima, Y., and Shiba, N. (2021) Nondestructive measurement of intramuscular fat content of fresh beef meat by a hand-held magnetic resonance sensor. *International Journal of Food Properties*, **24**, 1722-1736.

<https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1999261>

Nakashima, Y. (2021) Use of Triple-Exposure X-ray Computed Tomography for Nondestructive Identification of Heavy Elements in Soil Samples. *Soil and Sediment Contamination*, **30**, 978-997.

<https://doi.org/10.1080/15320383.2021.1900068>

Kodama, M., and Matsushima, J. (2021), Utilization-focused evaluation of relationship among spatial, temporal, and density resolutions of muography, *Journal of Applied Geophysics*, **192**, 104404.

<https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2021.104404>

Umezawa, R., Katsura M., and Nakashima, S. (2021), Effect of Water Saturation on the Electrical Conductivity of Microporous Silica Glass, *Transport in Porous Media*, **138**, 225-243.

<https://doi.org/10.1007/s11242-021-01601-6>

Horikawa, T., Katsura, M., Yokota, T. and Nakashima, S. (2021) Effects of pore water distributions on P-wave velocity–water saturation relations in partially saturated sandstones, *Geophysical Journal International*, **226**, 1558-1573.

<https://doi.org/10.1093/gji/ggab143>

Asada, M., Moore, G. F., Kawamura, K., and Noguch, T. (2021) Mud volcano possibly linked to seismogenic faults in the Kumano Basin, Nankai Trough, Japan, *Marine Geophysical Research*, **42**, 4.

<https://doi.org/10.1007/s11001-020-09425-7>

Seki, K., Kanda, W., Mannen, K., Takakura, S., Koyama, T., Noguchi, R., Yukutake, Y., Ishikawa, M., Fukai, M., Harada, M., and Abe, Y. (2021) Imaging the Source Region of the 2015 Phreatic Eruption at Owakudani, Hakone Volcano, Japan, Using High-Density Audio-Frequency Magnetotellurics, *Geophysical Research Letters*, **48**, e2020GL091568.

<https://doi.org/10.1029/2020GL091568>

Aizawa, K., Takakura S., et al. (2021) Electrical conductive fluid-rich zones and their influence on the earthquake initiation, growth, and arrest processes: observations from the 2016 Kumamoto earthquake sequence, *Kyushu Island, Japan, Earth Planets and Space*, **73**: 12.

Nakashima, Y. (2020) Development of a hand-held magnetic resonance sensor for the nondestructive quantification of fat and lean meat of fresh tuna. *Journal of Food Measurement and Characterization*, **14**, 2947-2955.

Nakashima, Y. and Nakano, T. (2020) Nondestructive quantification of heavy elements through the analysis of beam hardening artifacts using double-exposure X-ray computed tomography: A Theoretical Consideration. *Chemistry Africa*, **3**, 363-370.

Matsunaga, Y., Kanda, W., Takakura, S., Koyama, T., Saito, Z., Seki, K., Suzuki, A., Kishita, T., Kinoshita, Y., and Ogawa, Y. (2020) Magmatic hydrothermal system inferred from the resistivity structure of Kusatsu-Shirane Volcano. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **390**, 106742.

<https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2019.106742>