

# 物理探査 ニュース

 公益社団法人 物理探査学会  
The Society of Exploration Geophysicists of Japan

## 目次

わかりやすい物理探査 GPR その1：地中レーダの原理	1
研究の最前線 P波初動波形を用いた震央距離推定～地下不均質構造の 地域性の考慮による高精度化と早期地震警報での利用～	4
新理事紹介	7
研究室紹介 京都大学地球資源システム分野	8
会員の広場 フレッシュマン紹介	10
第146回学術講演会開催報告	11
お知らせ、編集後記	12

## Geophysical Exploration News Summer 2022 No.55

### 物理探査 手法紹介

## わかりやすい物理探査 GPR その1：地中レーダの原理

東北大学 佐藤 源之

### 1. はじめに

「GPRは日本語で何と言いますか？ GPRは何を使って地中を可視化するのですか？」と聞かれて皆さんは正しく答えられますか。GPR計測を見学に来た方にGPRとGPSの違い、レーダとレーザの違いを何度説明したことでしょうか。本稿では地中レーダ(Ground Penetrating Radar: GPR)について、このような質問に対して皆さんが物理探査学会会員として恥ずかしくなく答えられるようにするための解説をめざします。3回にわたり基礎を説明した後、応用を2回紹介する予定です。本シリーズでGPR技術に興味を持ったら、専門書などで是非知識を深めてください。

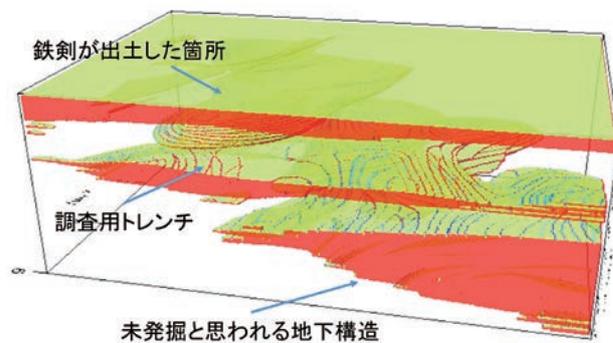


巻頭図1 GPR装置

### 2. GPRとは

レーダ(Radar)はRadio Detection and Rangingを縮めた造語です。電波による検知と距離計測というのが直訳で、GPRと聞いて皆さんが思い浮かべる地中の画像化は含まれません。電波は空中、地中の媒質中を一定の速度で伝搬します。送信アンテナから放射した電波が目標物で反射され受信アンテナに戻れば、その方向に目標物があることを検知(Detection)し、反射波の往復時間から目標物までの距離がわかります。これがRangingです。

GPRの最大の特徴は計測の容易さと、地下可視化の即時性です。巻頭図1のようなGPR装置を手で押しながら普通の歩行速度で走査すれば図1のような地中(疑似)断面図が装置の画面に現れます。埋設物を検知したら、画像を見ながら装置を移動し埋設物の位置を即座に特定できます。



巻頭図2 稲荷山古墳(さきたま古墳群)のGPR3次元表示

GPR装置の送信アンテナから放射された電波は地中を伝搬し、埋設物や地層境界面など、電気的な性質が異なる物体表面で反射されます。GPRはアンテナのほぼ真下にあ

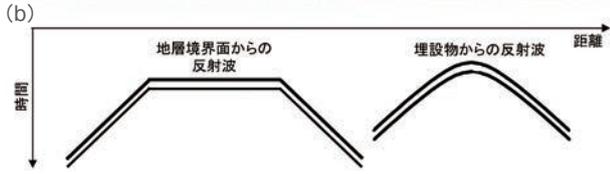
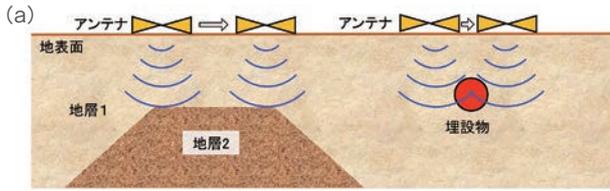


図1 送受信アンテナと反射物体

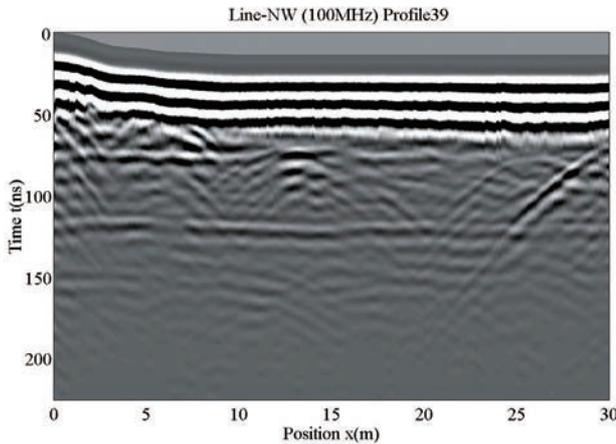


図2 GPRプロフィール

る埋設物までの電波の往復時間を計測します。図1に模式的に示すように送信アンテナからの電波は鋭いビームでは無く地中に広がるのですが、電波は減衰のため遠くに伝搬できず、GPRが受信する電波は、ほぼGPR装置の真下からの反射波であり、GPRを移動(走査)しながらデータを表示すれば垂直断面図ができあがります。

図2はモンゴルの首都ウランバートルを流れるトーラ川の流域で取得したGPRプロフィール(画像)です。GPRは電波の往復時間を測るので縦軸の単位は「秒」であり横軸はアンテナの移動距離です。

120ns付近に水平な反射波が見えます。これは地下水面です。真空中の電波速度は $c = 3 \times 10^8$  [m/s]ですが比誘電率 $\epsilon_r$ (物性値については後述)の媒質中で電波は $v = c / \sqrt{\epsilon_r}$ で伝搬します。非常に乾燥した土壌の比誘電率を $\epsilon_r = 9$ と仮定すると電波速度は $v = 0.1$  [m/ns]となり、100nsで10m伝搬します。反射体までの距離はこの半分地下水面は地下5mにあることがわかります。それ以外の反射波は自然の玉石を検知していると思われる。

図1(a)に示すように広がりをもつ送信電波はGPRが玉石の直上にある場合だけでなく、少し離れた位置でも玉石からの反射波を捉えます。GPRは埋設物の形状を計測しているのではなく、電波の反射時間しか測れないことを思い出してください。位置 $(x_0, y_0)$ に玉石のような点状の埋設

物があり、水平方向 $x$ にアンテナがあると電波の往復時間は速度 $v$ の媒質中で

$$\tau = \frac{2\sqrt{(x-x_0)^2 + y_0^2}}{v} \quad (1)$$

となります。 $x$ に対して伝搬時間をプロットすれば図1(b)の右側に示すように図2の玉石からの反射波と類似した双曲線が描けます。

30mの区間を歩くのに2分もかかりませんが、GPRは地下水面の深度、数個の玉石の位置など豊富な地下情報を引き出してくれます。

地層境界面のように比較的大きな構造は、GPRアンテナの移動に対して、ほぼ同じ形状を示す反射波が現れます。こうした様子を図1の左側に模式的に示します。

GPRプロフィールと地下構造の形状が一致しないことから、GPRは難しいという話を聞きます。確かに電磁波の反射・散乱現象は人間の目で直接見るのとは違いがあります。可視光線は物体に対して波長が極めて短いのでGPRのような見え方をしません。しかし電波の反射・散乱現象が物体の性質や形状と深くかかわっていることからGPRは埋設物の多くの情報を引き出すことができます。

### 3. 地中の電波伝搬

可視光線やレーザー光は電波より高い周波数ですが、基本的には同じ電磁波です。我が国の電波法では3THzより低い周波数の電磁波を「電波」と定義しています。3THzを超える電磁波には光やX線が含まれます。3THz付近の電磁波は赤外線として光に分類されてきましたが、最近「テラヘルツ波」として高い周波数の電波として利用されています。物理的には特定の周波数の上下で電磁波の性質が突然変わることはありません。デバイスの開発により工学的に制御できる電波の周波数が高くなってきたことを意味しています。

スマホはコンクリートで囲まれた部屋の中でも使えることからわかるように、電波は空中も物質中も同様に伝搬できます。しかし媒質の水分率が高いほど、また周波数が高いほど減衰が強くなります。そのためGPRは100MHz-3GHzの周波数の電波を利用します。

地震波探査、超音波探査では弾性波、音波が固体、液体媒質中を伝搬しますが、浅い地層でよく見られる砂・土壌や砂利のような空気を含み固体同士が互いに固着していない媒質では減衰が激増します。電波はこうした媒質中でも伝搬することが大きな利点です。またアンテナで送受信する電波はアンテナが地面に接触していなくても計測可能です。このためセンサを物質に固着させなければならない電気探査法、地震探査法、超音波法に比べてGPRは移動が容易で高速な計測が実現できます。

こうした特性を活かしてGPRは、埋設管検知、遺跡調査、地質調査、舗装体検査、空洞検知などの分野で応用が広がっています。

媒質の電氣的パラメータは導電率、誘電率、透磁率の3つですが、GPRに関係するのは主として誘電率です。表1に代表的な物質の比誘電率を示します。比誘電率  $\epsilon_r$  は誘電率  $\epsilon$  を真空の誘電率  $\epsilon_0$  で規格化した値  $\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0$  です。

表1 物質の比誘電率

物質	比誘電率 $\epsilon_r$
空気	1
水	81
土(乾燥 — 湿潤)	5 – 40
石、コンクリート	9
プラスチック	3

乾燥した砂や土が5程度なのに対して水は81と10倍以上の大きな値をとります。そのため、土や砂の比誘電率はほぼ含水率に比例します。土の含水率は比誘電率にほぼ比例しますが、地層ごとの圧密度の違いは含水率と強く相関があるため、隣接する地層では誘電率は異なりますし、均一の地層でも含水率が異なれば電波は反射します。このため、GPRは地中の可視化に適しています。

## 4. 電波の反射・散乱

電波は電氣的な性質が異なる媒質の表面で反射・散乱します。GPRの対象とする埋設管や貯水槽などの金属製の人工埋設物は導電率が高く反射しやすい物質ですが、GPRの特徴は金属以外の誘電率の違いに敏感なことにあります。自然の土壤中での誘電率はほぼ含水率によって決まります。従ってGPRは物質の水分率の違いを見ていると言っても過言ではありません。

比誘電率  $\epsilon_1$  の地層の下に比誘電率  $\epsilon_2$  の地層がある場合、媒質境界面での電波の反射はフレネルの反射係数を利用して見積もれます。

$$\Gamma = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}} \quad (2)$$

2つの地層の誘電率の比が大きいほど反射が強まります。実際の埋設物からの反射は物体の形状によっても変化しますが、物質の性質に対しては(2)式にほぼ比例すると考えてください。ただし金属の場合は反射係数は  $\Gamma = 1$  となり強い反射を示します。

## 5. 遺跡調査への応用

GPRは即時性があり、数m程度の比較的浅い埋設物に対しては、金属・非金属を問わず検知能力が高いことから遺跡探査への利用ができます。敷石、木片、金属製遺品だけでなく、木製の掘立柱が朽ちた後の直径20cm程度の穴は、GPRで検知しやすい構造であるため1980年代から奈良文化財研究所などが中心となり平城京跡を含め、寺社、官衙の遺跡調査などに世界に先駆けた遺跡調査への利用が我が国の研究者によって行われてきました。巻頭図2には、国宝の鉄剣が出土したことで知られる稻荷山古墳(さきたま古墳群)のGPR計測結果を3次元表示しています。左上に鉄剣が出土した掘り込み、その下に水平に広がる反射面は遺跡調査のために掘られたトレンチの跡、その下に未発掘と思われる構造のあることが推定できます。

重要な遺跡は文化庁により保護される反面、発掘は制限されます。GPRは発掘を行わなくても遺跡内部の構造を精密に可視化できる能力を持っています。また限られたトレンチの位置選定に役立ちます。

## 6. おわりに

GPRとGPSの違いを皆さんに改めて説明する必要はないと思いますが、GPSを含むGNSSの利用はGPRの測位に広く利用され、GPRプロファイルの精度向上に大いに役立っています。

レーダで地下を可視化する技術と聞き、GPRに多大な期待を寄せられていることがありますが、GPRは宝探しの道具ではありません。物理探査技術を適切に利用し、例えば遺跡を保護する技術として利用することがより重要であると考えています。

埋設管検知やコンクリート内部の鉄筋検知は埋設物の位置の確認への利用としてGPRの本領が発揮できる分野です。電波は埋設物の上面でしか反射しないので物体の3次元形状は見えませんが、分解能の限界から埋設物の形状認識にも限界があります。何より、電波の減衰のため、日本国内の湿った土壌では実用的には2m程度が検知の限界です。こうしたレーダの能力、特性を正しく理解することがGPR技術の普及に最も重要な観点であると考えています。

### 【参考文献】

佐藤 源之編著, 金田明大, 高橋一徳「地中レーダを応用した遺跡探査—GPRの原理と利用—」東北大学出版会 2016年  
 稻荷山古墳に「真のあるじ」? 朝日新聞2016年12月30日。

# P波初動波形を用いた震央距離推定 ～地下不均質構造の地域性の考慮による 高精度化と早期地震警報での利用～

産業技術総合研究所 岡本 京祐

## 1. はじめに

S波による大きな揺れが到達する前に警報を発する、いわゆる緊急地震速報では、単独観測点にP波が到達した時点で即時的に震央位置・距離の推定を行い、その情報を後に続く複数観測点を用いた高度な中枢処理に引き渡して、震源決定や震度予測がなされます。また、鉄道システムでは、大きな揺れが到達するまでの間に即時的な減速・停止が重要なため、沿線や海岸線に配置された単独の地震観測点のみを用いて即時的に警報を発するシステム(早期地震警報)が備わっています。特に高速で走行する新幹線では1秒でも早く判断を行うことが重要です。具体的には、早期地震警報では、単独観測点を用いてP波初動の2秒間から、即時的に震央位置・マグニチュードを推定します。この推定において、特に震央位置は、マグニチュード決定のほか、その後の即時的な被害予測でも参照される情報のため重要です。しかし、単独観測点から求められる震央距離には誤差が多く含まれており、早期地震警報の精度を下げる一因となっています。本研究は単独観測点処理による警報

の即時性という利点は残しつつも、震央距離推定精度の向上、ひいては早期地震警報の信頼性向上を目指しました。受賞対象となった論文Okamoto and Tsuno (2019)、ならびに岡本・津野(2017)に基づいて簡単に研究内容を紹介します。なお、本研究は、筆者が(公財)鉄道総合技術研究所に在籍していた際に主に行ったものです。

## 2. 早期地震警報の仕組み

早期地震警報では、P波初動とその直後の2秒間の包絡線  $y$  に対して、式1を最小二乗法によりフィッティングし、係数  $A$ 、 $B$  を求めます (Odaka et al., 2003)。

$$y = B \exp(-At) \quad (1)$$

ここで、 $t$  はP波到着時からの経過時間です。震央距離が長くなるほど、高周波成分の減衰によりP波の立ち上がりが緩やかとなり、小さな  $B$  値が観測される関係を利用して、震央距離を求めます。近年は、 $B$  値に代わり、より短時間のP波成長挙動から震央距離を推定できる  $C$  値(山本ほか、

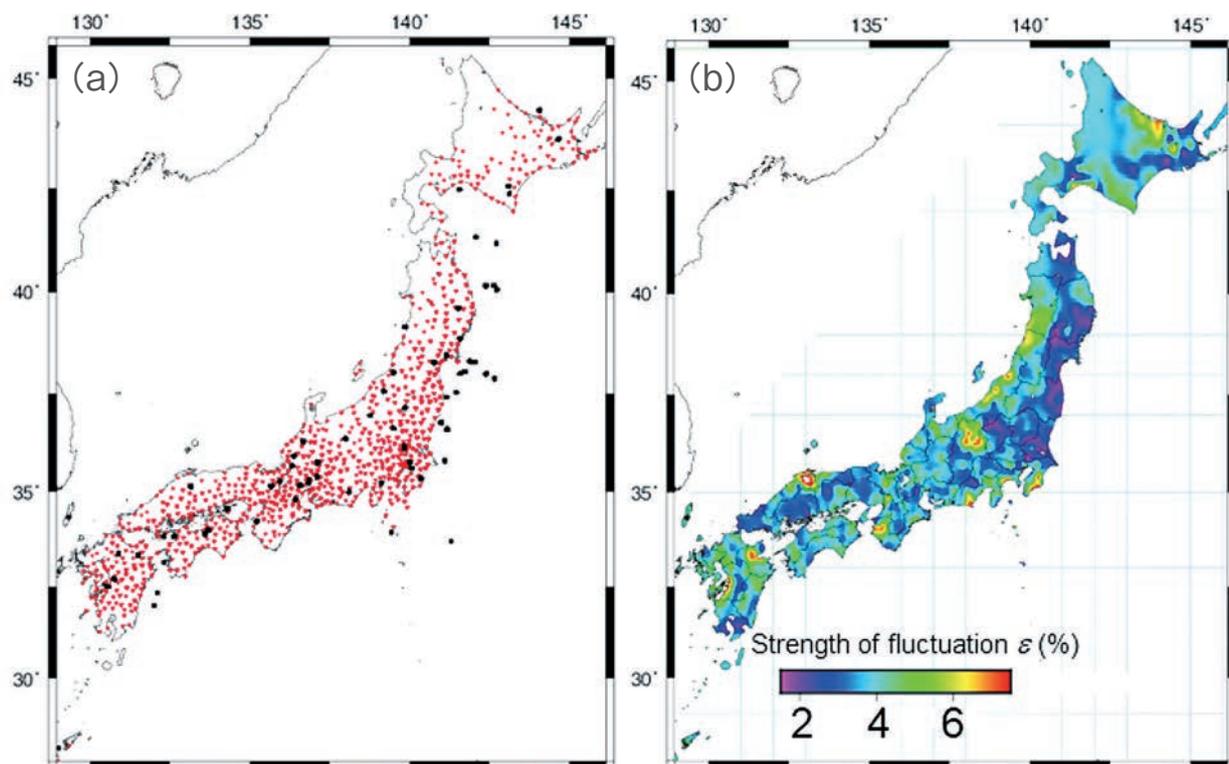


図1 (a) 解析対象の地震(●)と、観測点(▲)の分布。  
(b) 不均質構造のゆらぎ強度  $\varepsilon$  の空間分布。

2012)が提案されています(式2)。

$$y = Ct \quad (2)$$

C値はより純粋にP波の立ち上がりを評価できるため、P波初動2秒間を用いるB値に比べ、同0.5秒間のみを用いた震央距離の推定が可能です。C値と震央距離( $\Delta$ )の関係を示した経験式(式3、以下、C- $\Delta$ 式)に基づいて震央距離を求めます。

$$\log C = \chi \log \Delta + \kappa \Delta + \eta \quad (3)$$

この式中の、係数 $\chi$ は幾何減衰に関する項、 $\kappa$ は伝播に伴う特性を示す係数、 $\eta$ は震央距離に依存しない係数です。

### 3. 震央距離推定精度の向上

従来、全国一律にC- $\Delta$ 式(および、B- $\Delta$ 式)の係数は決められていましたが、地域ごとに係数を最適化することで、震央距離推定精度を向上させることを試みました。

最初に、ボルン近似に基づく理論P波の合成を用いて、P波初動の特性を検討しました。検討の結果、地下不均質構造の違いがC値と震央距離の関係性を変化させることを明らかとなりました。そのため、まず、K-NET観測点と複数の地震を用いて(図1a)、日本全国の地下不均質構造の特徴

量を抽出し、不均質構造の地域性を確認しました(図1b)。ここで示された特徴量は、地震波速度構造のゆらぎ強度 $\varepsilon$ です。図1bにおいて、 $\varepsilon$ が小さい地域ほど寒色系で示されています。K-NETで実際に観測されたP波初動0.5秒間の波形を用いて、ボルン近似に基づく理論波形により逆解析することで $\varepsilon$ を求めました。この結果からは、特に東北地方太平洋側では不均質構造のゆらぎ強度が弱く、日本海側では反対にゆらぎ強度が強いなどの特徴が分かります。ゆらぎ強度 $\varepsilon$ ごとにC値と震央距離の関係を表したものが図2です。ゆらぎ強度 $\varepsilon$ が弱い地域から得られるC値ほど、大きな値を示す傾向を明らかとしました。

C- $\Delta$ 式(式3)の各係数のうち、幾何減衰には地域ごとの差がないと想定されるため、 $\chi$ は不変と考えます。また、C値推定に用いるP波初動0.5秒間は一次散乱波が卓越するため、震源近傍と観測点近傍といった限られた範囲の不均質構造の影響を強く受けます。一方で、多重散乱波の影響は少ないので、伝播経路上の不均質構造の影響は比較して限定的です。そのため、震央距離には依存しない係数 $\eta$ を変化させることにより、C値の地域性を説明することを考えました\*注1。その結果が図2に点線で示した各曲線です。それぞれの曲線が異なった係数 $\eta$ で特徴づけられており、ゆらぎ強度 $\varepsilon$ に応じた地域ごとのC- $\Delta$ 式を示しています。

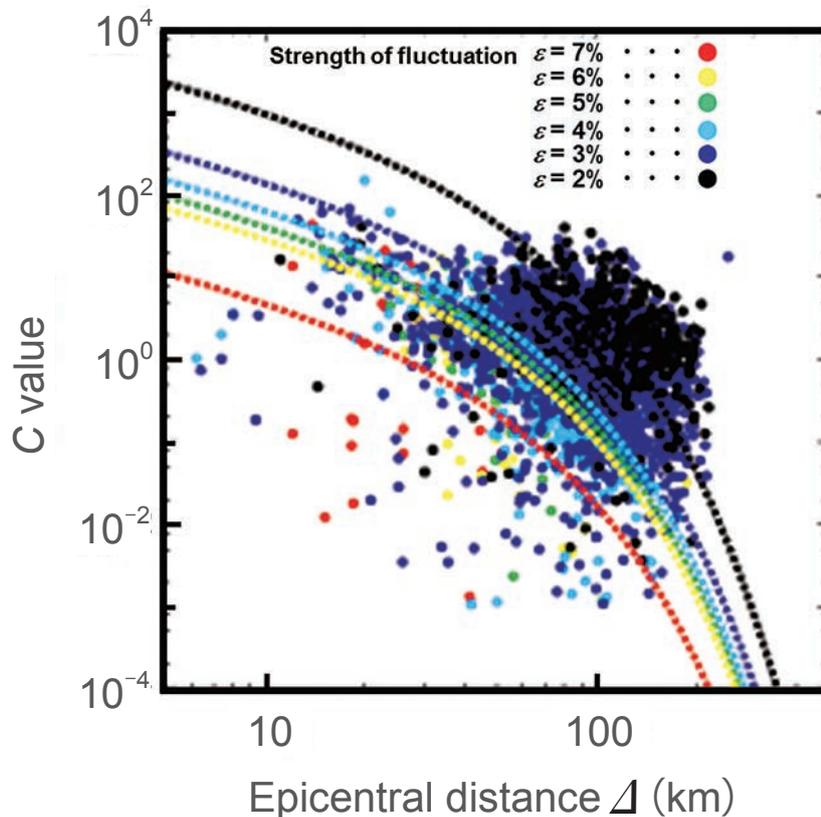


図2 ゆらぎ強度 $\varepsilon$ により区分されたC値と震央距離( $\Delta$ )の関係。点線は各 $\varepsilon$ に対して最適化されたC- $\Delta$ 式。

地域ごとに最適化されたC- $\Delta$ 式を用いて震央距離を推定しました(図3)。これにより、従来の全国一律の係数を用いる場合には、実際の震央距離に対して23%程度あった誤差を、17%程度にまで低下させることができました。単独観測点による警報の即時性という利点は残しつつも、震央距離推定精度の向上が可能なことを示しました。

#### 4. 今後の展望

不均質構造の地域性を考慮することで、早期地震警報における震央距離推定精度が向上することを明らかにしました。解析に用いる地震の違い(例えば深度の違い)により推定される不均質構造のゆらぎ強度  $\epsilon$  が変化することや、地震波伝播経路の影響を完全には無視することはできないこと、地域分けを観測点位置に基づいて行うのか、震源位置に基づいて行うか(早期地震警報内では震源位置は未知であるが)など、実際の運用に際しては複数の課題が残

されています。それらを解決することでより実利用が近づくと考えます。

\*注1 余談ですが、多重散乱が支配的なP波コーダ後半部分は伝播経路上の不均質構造の影響を大きく受けるため、より長時間のP波コーダを使うような解析では、この仮定はできないと思われるかもしれません。

#### <参考文献>

- Odaka, T., K. Ashiya, S. Tsukada, S. Sato, K. Ohtake, and D. Nozaka. 2003. A new method of quickly estimating epicentral distance and magnitude from a single seismic record. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93, 526-32.
- Okamoto, K., and Tsuno, S. 2019. Accuracy improvement in the estimation of epicentral distance inferred from initial P-waves by considering local heterogeneity. *Exploration Geophysics*, 50, 159-171.
- 岡本京祐・津野靖士, 2017. P波伝播の地域性を考慮した早期地震警報の高精度化手法, 鉄道総研報告, 31, 11-16.
- 山本俊六・野田俊太・是永将宏, 2012. P波初動部の立ち上がり特性に着目した震央距離推定手法, 鉄道総研報告, 26, 5-10.

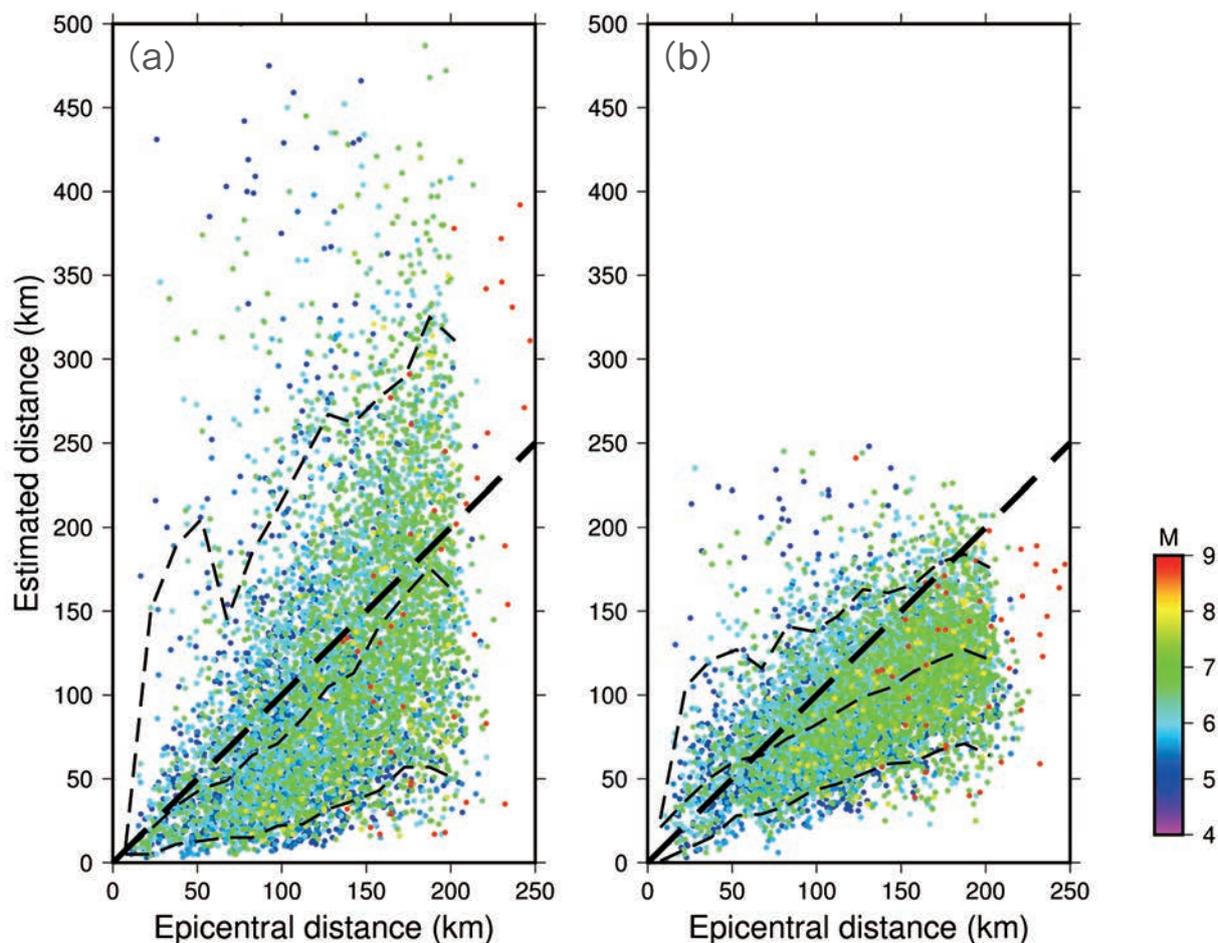


図3 実際の震央距離(横軸)と推定された震央距離(縦軸)の関係。  
 (a)不均質構造の地域性を考慮しなかった結果と(b)考慮した結果。  
 破線は下から、10%、50%、90%のパーセンタイルを示す。  
 点の色は地震のマグニチュードに対応する。

2022年度総会において新たな役員の体制が発足しました。理事4名と監事1名が新任の役員に就任いたしました。

1948年に物理探査技術協会として発足した物理探査学会は2023年には創立75周年を迎えます。この間、物理探査技術の発展と普及を図るために様々な活動をして参りました。学術講演会やセミナーなど会員相互の交流や技術の向上、あるいは技術の普及のための標準化・基準化の検討、それに関わる受託業務などにより広く社会に貢献することを念頭に活動してきました。今後もその方向性は変わることなく、継続して参ります。

創立75周年の記念行事を2023年10月に予定しております。「持続可能な社会と物理探査」というテーマで、シンポジウムやアウトリーチから構成されるプログラムを検討しているところです。

COVID-19の影響により、これまで対面で行っていた講演会やセミナーもオンライン方式で行うようになってきました。オンライン方式の場合、対面式より情報量が少ないといったデメリットがあります。しかし、いろいろな意味での手軽さがあります。そのため首都圏以外の方の参加割合が増加傾向にあり、オンライン方式にもメリットがあることがわかります。COVID-19終息後も、オンライン方式を取り入れた学術講演会やセミナーは継続するものと考えます。

会員の皆様におかれましては、引き続きご理解とご支援をお願い申し上げます。

(会長 鈴木 敬一)



会長 鈴木 敬一  
川崎地質



副会長 光畑 裕司  
産業技術総合研究所



副会長 松島 潤  
東京大学



常務理事 岸本 宗丸  
日鉄鉱コンサルタント



理事 山根 照真  
地球科学総合研究所  
総務・財政委員長



理事 羽佐田 葉子  
大和探査技術  
会員・広報委員長



理事 山本 英和  
岩手大学  
会誌編集委員長



理事 倉橋 稔幸  
寒地土木研究所  
学術講演委員長



理事 小田 義也  
東京都立大学  
企画開発委員長



理事 志賀 信彦  
三井金属資源開発  
事業委員長



理事 小澤 岳史  
地球科学総合研究所  
国際委員長



理事 吉川 猛  
基礎地盤コンサルタンツ  
ニュース委員長



理事 後藤 忠徳  
兵庫県立大学  
サーバーWG



理事 石垣 孝一  
日本地下探査  
総務・財政委員会担当



理事 横田 俊之  
産業技術総合研究所  
会誌編集委員会担当



理事 佐伯 龍男  
石油天然ガス・金属鉱  
物資源機構  
学術講演委員会担当



理事 小西 千里  
応用地質  
国際委員会担当



理事 森 充広  
農研機構農村工学研究部門  
企画開発委員会担当



理事 渡辺 俊樹  
名古屋大学  
企画開発委員会担当



理事 松浦 紳二  
INPEX  
事業委員会担当



監事 大貫 良太  
MMPGエーマック



監事 三木 茂  
基礎地盤コンサルタンツ



事務局長 大西 正純

地球資源システム分野 石塚 師也・林 為人

### 1. はじめに

京都大学・地球資源システム分野は、京都大学桂キャンパスにある大学院工学研究科 都市社会工学専攻の研究室です。また、学部では、地球工学科 資源工学コースにおいて、教育・研究を行っています。地球工学科は資源工学コースに加えて、土木工学コース、環境工学コースの3コースで構成されており、本学科の学生は2年生まで一般教養科目および共通の専門科目を受け、3年生時にコース配属がされます。毎年約35名の3年生が資源工学コースに配属され、4年生時に各研究室に配属され、卒論研究を行います。学部の一般教養や専門科目の多くは、京都大学吉田キャンパスで行われるため、研究室配属を機に吉田キャンパス周辺から桂キャンパス周辺へ生活拠点を移す学生も多いです。

地球資源システム分野は、2016年4月に林為人の教授着任以来、「林研」として活動しています。2022年6月時点での研究室メンバーは、林為人教授・石塚師也助教授の2名の教員と、博士課程4名、修士課程9名、学部4回生5名の計20名で構成されています(図1)。

地球資源システム分野では、地殻の物理的な特性や地殻変動などの理解を通じて、石油・天然ガスや地熱などの資源・エネルギー開発、地震現象の理解、地球環境保全など、多様な課題について研究を進めています。そのような環境で、研究室ゼミや英語書籍の勉強会、日々のディスカッションを通じて、それぞれの研究をブラッシュアップしています。

### 2. 研究紹介

#### 2.1 地震断層掘削や石油坑井における3次元原位置応力状態の解明

南海トラフなどの海底にあるプレート境界や陸上の活断



図1 研究室メンバーの集合写真(2022年6月撮影)  
前列中央が林為人、その向かって右隣が石塚師也

層の活動によって、大地震が繰り返し発生しています。地震発生のサイクルにおいては、応力が次の地震発生までに震源断層とその周辺に蓄積し、地震時に急激に解放するとされていますが、応力と地震の定量的な関係は未だに明らかにされていません。加えて、石油・天然ガスなどの地下エネルギー資源を開発する坑井においては、坑内安定性の確保や水圧破砕で造成するフラクチャー方向制御のために、深部地層中の応力状態に関する情報を知ることが不可欠です。そのため、本研究室では、地球深部探査船「ちきゅう」などによる海底の海溝型地震・陸上の活断層型地震の断層掘削や石油開発の坑井から取得されたコア試料の計測や各種検層データの解析等を行っています。

#### 2.2 掘削コアの物性評価や地質学的観察

地下構造の推定や地下資源探査を効率的に行うためには、岩石の各種物性を明らかにすることが必要です。そこで当研究室では、様々な条件の下で岩石の比抵抗、熱物性、弾性波速度の測定を行い、岩石の物性評価を行っています(図2a)。加えて、デジタルロックと呼ばれる手法を用



図2 (a) 実験室での熱物性測定風景、  
(b) 熊本地域における原位置計測の様子

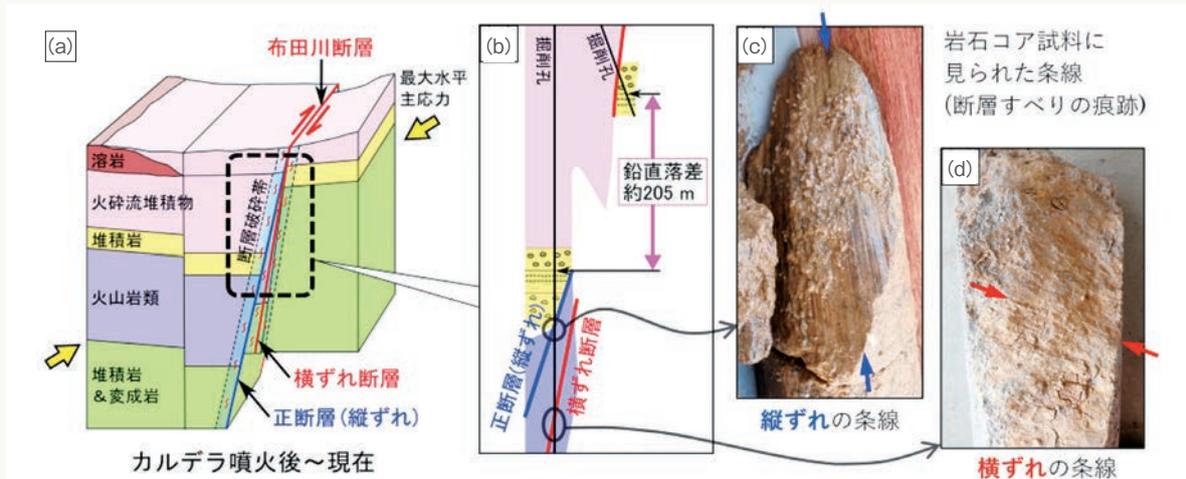


図3 布田川断層を貫通した坑井における破碎帯の地質学的観察と物性評価の解析によって明らかとなった布田川断層の運動履歴と鉛直落差 (Shibutani et al., 2022; Geochemistry, Geophysics, Geosystemsを基に作成)。

- (a) 地質構造モデル：断層破碎帯内に縦ずれと横ずれの断層面が存在、  
 (b) 断層の鉛直落差を説明する地質断面図、  
 (c)と(d)はそれぞれ縦ずれと横ずれの断層滑りの痕跡を示すコア写真

いて岩石物性を推定する手法の開発を行っています。また、岩石コア試料を採取した坑井における原位置でのデータの取得を行っています(図2b)。

最近の研究例として、2016年熊本地震本震を引き起こした布田川断層を貫通した坑井における破碎帯の地質学的観察と物性評価によって、現在見られている横ずれの断層変位成分と異なり、正断層成分を示す鉛直落差が約200mにも及んでいることを捉えました。また、その原因として、最後の阿蘇火山カルデラ噴火(約9万年前)に布田川断層の運動様式が、正断層型から横ずれ断層型卓越へ変化したことを明らかにしました(図3)。この成果は、2022年1月に京都大学からプレスリリースを行いました。

### 2.3 干渉SAR解析を用いた地表変動量の推定と地下のモニタリング

干渉SAR解析は、合成開口レーダ(SAR)で別時刻に取得された2回の観測の位相差から地表変動を推定する手法です。人工衛星に搭載されたSARのデータを用いるこ



図4 ドローンの飛行実験の様子

とで、広域にわたる地表変動を時系列的に推定することができます。そして、地表変動は、地下の応力状態や地下水位の変化に伴い、引き起こされ、さらには地表変動の空間分布は地下構造や物性の不均質性を反映していると考えられます。そのため、干渉SAR解析で得られた地表変動を用いて、地表変動と関連する地下構造や地下の状態変化の解明を目指しています。また、ドローンを用いて、SARデータを取得する手法の開発を行っています(図4)。

### 2.4 深部地熱資源評価のための温度・物性分布推定

地下深部に存在している超臨界地熱資源の開発が可能となれば、従来よりも多くのエネルギーを得ることが可能となります。この超臨界地熱資源のポテンシャル評価や掘削地点の選定には、深部の温度や物性等の分布を把握することが望ましいですが、原位置のデータが限られている点等が課題となっています。本研究室では、地熱地域で取得された検層データや物理探査データ、地質学的知見を基に、機械学習や岩石物理モデル等を用いて、不確実性を考慮した深部の温度や物性分布の推定手法の開発を行っています。また、開発した手法は有望地域に適用し、手法の評価を行っています。

## 3. おわりに

京都大学地球資源システム分野では、これからも学術論文や学術講演会での研究成果の発表を通じて、物理探査分野を含む地球工学・地球科学の発展に貢献をたく思っています。

研究室Webサイト：

<https://earth.kumst.kyoto-u.ac.jp>

**Q. 仕事で印象に残っている出来事や思い出に残っているシーンを教えてください。**

入社初年度の秋にとある山間地域に重力探査に行った時のことが思い出深いです。一部の測点は険しい山の上にあったのですが、体力の無かった自分は登山途中で力尽きてしまい、下山を余儀なくされました。そこで自身の不甲斐なさを痛感すると同時に、上司から伺っていたこの仕事の大変さ、やり甲斐といったものが少し分かったような気がしました。その後、このままではいけないと思いジム通いを始め、現在も引き続き体力づくりに励んでいます。

**Q. 最近ハマっていることについて教えてください。**

社会人になってからサウナにはまりました。きっかけはサウナ好きの友人に誘われた事で、当初は何が楽しくてあんなに暑いところで悶え苦しまなければいけないのだと思っていましたが、実際行ってみると案外気持ちよく、何事もやってみるものだなと思いました。サウナの醍醐味はサウナ本体と水風呂・外気浴の三位一体の妙にあると思っており、その日の自分に合った時間配分を考えるのが楽しいです。2022年2月現在、再びコロナが大流行しているため最近はお断りしていますが、サウナ熱が冷めぬうちに収束することを願うばかりです。



住鉱資源開発株式会社  
やまだ わたる  
山田 航さん

- ①徳島県 ②重力探査/MT法探査
- ③シーシャ、サウナ ④激辛料理愛

**Q. 学生時代はどのようなことをしていましたか？**

サークルで無人島に1週間自給自足生活をしたり、樹海でキャンプをしたり、比較的アウトドア系の活動をしていました。そのおかげでダイビングの資格を取得し、年に数回は国内や海外のダイビングスポットに一人旅する機会が多かったです。

大学院の研究は海底地震計を用いて駿河湾の自然地震調査を行っていました。データを取るために小型実習船に乗船し、設置・回収を行っていました。また同時に陸上地震計の観測点を設けて陸と海で駿河湾の地震状況を観測していました。

一番印象に残っているのは、伊豆半島に陸上地震計を約20点設置するので、朝から晩まで伊豆半島を車で走りまわった経験です。

**Q. 仕事で印象に残っている出来事や思い出に残っているシーンを教えてください。**

大薬量の含水爆薬による発振作業が、心にも響きました。近年ではなかなか数が少なくなってきている発破による探査ですが、大変貴重な経験をさせてもらえたと思います。携帯の電波もほとんど届かないような深夜の山奥、曇り空で月の光も無いような暗闇で、話し声も少なく絶対に失敗できないという緊張感だけが張り詰めていました。予定時刻が迫りカウントダウンが進み、直前は数秒の沈黙の後、現場を指揮するオペレータの「今!!」の声。ほぼ同時に、足に伝わる震動、重い爆発音、また震動、最後は発破孔から吹き上げられた土や水がまさに土砂降りの様相で木々に当たる音が続きました。取得した記録波形を見る度に、当時のことがありありと思い出されます。



株式会社日本地下探査  
さいたに たいよう  
皆谷 太洋さん

- ①神奈川県 ②速度検層
- ③スノーボード/ダイビング
- ④通勤時間

**Q. 学生時代はどのようなことをしていましたか？**

研究は、学部大学院ともに御嶽山を対象にしています。修士では山頂域にてMT法観測を行い、予察的に比抵抗構造の推定を行いました。火口周辺の立入規制外で観測点の移動のために器材を1人で運んでいるときに何度もすれ違う人と仲良くなったり、山頂で登山客のカメラマンになったりしていました。このときにした4泊5日風呂なし山小屋泊は二度としたくない思い出です…。ただ標高3000m付近の満天の星空は忘れられません。

学業以外では、山などを地図とコンパスを持って走り回るオリエンテーリングという競技をしていました。競技成績はあまり芳しくありませんが、学生連盟の幹事としても活動していました(今も委員として抜け出せずにいます)。学生時代はどれも貴重な経験になりました。

**Q. 仕事で印象に残っている出来事や思い出に残っているシーンを教えてください。**

入社後に様々な予定がコロナの影響で変更になる中、昨秋ようやく行けた地質巡検が印象に残っています。大学2,3年の講義で地質図を書くための巡検を行った経験はありましたが、今回の巡検の対象である火山岩の性状の分類はまだまだ不慣れで理解に時間がかかり、地質学を専門にする同期社員に付いてまわりました。観測などのフィールドワークは好きなのですが、他の同行者全員が地質系社員のフィールドワークは大変なものがありました。



株式会社地球科学総合研究所  
にししま けいへい  
西嶋 就平さん

- ①静岡県 ②地震探査/電磁探査
- ③ラジオ/登山/オリエンテーリング/博物館めぐり ④ラジオ聴取時間数

## 第146回(2022年度春季)学術講演会 開催報告

学術講演委員会

第146回(2022年度春季)学術講演会は6月7日~9日の3日間にわたり、早稲田大学国際会議場(東京)とオンラインのハイブリッド形式にて開催されました。ハイブリッド形式での開催は第145回学術講演会に続き2回目の開催となりました。今回の参加者は3日間で、来場参加は113名(オンラインとの併用含む、うち委員16名)、オンライン参加のみは53名(うち、委員1名)と多くの方々にご参加いただきました。また、一般講演は32件(口頭24件、ポスター8件)ありました。

1日目の講演の後には学生交流会が開催され、学生参加者10名(会場参加6名、オンライン参加4名)が、今後の学生同士の交流方法について話し合っていました。2日目には特別講演が行われました。また、3年ぶりに総会および表彰式が対面形式で開催されました。



早稲田大学国際会議場



開会のあいさつ



講演会の様子

### ○ポスターセッション

本講演会のポスターセッションのオンライン発表は、はじめてSpatialChatを利用した発表形式で実施されました。SpatialChatを利用した形式では、聴講者は発表者が事前にアップロードしたポスターを見ながら、SpatialChatで発



ポスターセッションの様子

左：コアタイム(会場)、右：フリータイム(ポスター展示会場)

表を聞き、質問する形式で行われました。また、会場に展示したポスターにも多くの参加者が集まりました。

### ○特別講演

特別講演は中澤努氏(産業技術総合研究所)、高市和義氏(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)のお二方より、ご講演をいただきました。

中澤氏には「地質層序研究をベースにした首都圏の3次元地質地盤情報の整備」と題して、3次元化することで分かった首都圏の地質構造や、その中で微動探査が果たした役割についてご講演いただきました。次いで、高市氏からは「物理探査技術者の為の最新DX」と題して、今後のデジタル化していく社会への物理探査技術者のかかわり方についてご講演いただきました。今後は、物理探査技術者もITネットワーク技術に関して、積極的に関わっていく必要性を感じました。



特別講演の様子



中澤 務氏



高市 和義氏



表彰式の様子(写真は研究事例賞の受賞者)

### ○おわりに

座長をはじめ、多くの物理探査学会員の方々のご尽力により、無事に終わることができました。ここに記して厚く御礼を申し上げます。今後より多くの方々にご参加いただける講演会となるよう、ご意見をいただければ幸甚でございます。

(文責：JX金属探開 喜多村 陽)



## お知らせ

### 第62回(令和3年度)物理探査学会賞

令和4年度通常総会にて学会表彰の受賞者が決定しました。おめでとうございます。

#### 論文業績賞

- ・受賞者：山本英和・齊藤 剛
- ・対象論文：詳細震度分布と簡易微動アレイ探査による平均S波速度との関係—岩手県大船度市における2003年宮城県沖の地震によるアンケート震度調査に基づいて—, 物理探査, 73, 149-167

#### 事例研究賞

- ・受賞者：佐竹 海・井出健斗・万沢かりん・上田匠・神宮司元治・横田俊之・小森省吾
- ・対象論文：無人地上車両(UGV)を用いたマルチコイル型電磁探査システムの開発, 物理探査, 74, 151-161
- ・受賞者：結城洋一・齋藤全史郎・城森 明
- ・対象論文：ドローン空中電磁探査法による濃尾平野西濃地域の地質構造調査, 物理探査, 74, 142-150

#### 奨励賞

- ・受賞者：多良賢二

- ・対象論文：深海曳航型ハイドロフォンケーブルを用いた高分解能音波探査による海底熱水鉱床探査, 物理探査, 73, 14-22

#### 永年在籍会員表彰

- ① 在籍30年以上、満70歳以上  
杉山長志、横井浩一、高智英二郎、茂木 透、金子力、須藤公也、岡嶋眞一、香村一夫、稲垣正晴、稲谷栄己
- ② 50年在籍賛助会員  
株式会社阪神コンサルタンツ、ドリコ株式会社
- ③ 30年在籍賛助会員  
株式会社ジオテック

#### 名誉会員表彰

中野 修、渡辺文雄

(敬称略)

#### 事務局長交代

物理探査学会事務局長が6月末をもって交代しました。これまでの大橋事務局長が退任され、新に大西正純事務局長が就任されました。

大橋様、これまでの事務局運営ありがとうございました。  
大西様、これからの事務局運営よろしくお祈いします。

### 編集後記

先日、「四十肩」と診断されました。「腕が上がらない」と噂では聞いていましたが、本当に上がりません。ちょっと驚きました。痛みの種類としては神経痛に近く、不用意に腕を上げると激痛が走り身もだえます。こんなに痛いものだとは露ほども思いませんでした。医者によると、日ごろから肩回りをぐりぐり動かしておくことと予防になるみたいです。こり固まらないように、日々の運動が大事ということですね。

さて、本号から「わかりやすい物理探査」の新たなシリーズが始まりました。基礎編として3回、応用編として2回、計5回の連載になります。私自身、業務で扱ったことがないため、概念的な知識はあるものの詳細は理解できていません。これを機会に勉強したいと思います。同時に、読者の皆さんの理解も深まれば幸いです。

「次はこれが知りたい」などご希望があれば事務局までお知らせください。

(ニューズ委員 吉川 猛)

### 物理探査ニュース 第55号 2022年(令和4年)夏号

編集・発行 公益社団法人物理探査学会  
〒101-0031 東京都千代田区東神田1-5-6 東神田MK第5ビル2F  
TEL: 03-6804-7500 FAX: 03-5829-8050  
E-mail: office@segj.org  
ホームページ: <http://www.segj.org>

### 著作権について .....

本ニュースの著作権は、原則として公益社団法人物理探査学会にあります。本ニュースに掲載された記事を複写したい方は、学会事務局にお問い合わせ下さい。なお、記事の著者が転載する場合は、事前に学会事務局に通知いただければ自由にご利用いただけます。