

# 物理探査 ニュース

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

## 目次

研究の最前線 液状化発生域でのS波反射法および表面波  
探査適用事例—茨城県潮来市日の出地区の例— ..... 1

わかりやすい物理探査  
電気探査(その3:精度、分解能、モデル化、信頼度) ..... 3

現地レポート ベトナム微動観測記(その2) ..... 6

物探 よもやま話 温故知新 プタの黎明期 ..... 8

研究室紹介 東京都立大学・探査工学研究室 ..... 9

お知らせ  
2020-2021年度 物理探査学会理事会からご挨拶 ..... 11  
お知らせ、編集後記 ..... 12

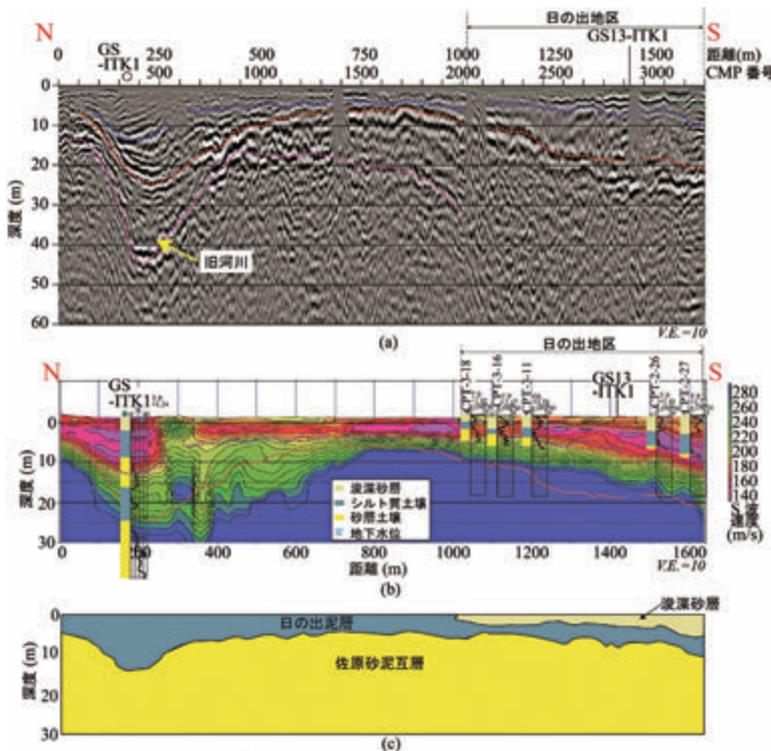
## Geophysical Exploration News July 2020 No.47



### 液状化発生域でのS波反射法 および表面波探査適用事例 —茨城県潮来市日の出地区の例—

平成30年度  
論文賞

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 横田 俊之



巻頭図 調査結果と解釈図  
(a)S波反射法結果。(b)表面波探査結果。(c)地質解釈図。緑色の破線は浚渫砂層と日の出泥層の境界を、青色の破線は日の出泥層と佐原砂泥互層の境界を、赤の破線は佐原砂泥互層内の砂層と粘土層の境界をそれぞれ示す。ピンクの破線は、最終氷期時代に形成された礫層からの反射面と考えられる。

### 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、地震の直接的な被害だけではなく、それに引き続く津波、地盤沈降、液状化などにより、人々の生命や生活に甚大な被害を与え

ました。特に、東京湾岸や利根川下流域においては広い範囲で液状化被害が発生しました。その被害領域は広範囲にわたり、人口や建設物の密集領域であるため、従来から液状化被害の予測のために用いられてきた、ボーリング調査や土壌サンプリングを高密度に実施することが困難でした。そこで我々は、物理探査を適用し、ボーリング調査結果を空間的に補間する研究を行いました。この研究により、少ない本数のボーリングにより地下構造把握や液状化予測が可能となることが期待されます。

その研究の一環として、比較的広範囲に液状化被害を受けた茨城県潮来市において、深度約50mまでの地下構造把握を目的として、S波反射法地震探査および表面波探査を実施しました。その結果、最も被害の大きかった日の出地区およびその周辺の地下構造が明らかになりました。また、得られたS波速度分布を利用して、今後の液状化被害を簡便に調査する手法を提案しました。

### 2. 調査領域の概要

弾性波探査を実施した地域は、茨城県潮来市の日の出地区およびその周辺地区です。日の出地区は、かつて内浪逆浦と呼ばれる潟湖でしたが、1940年代に食糧増産のために干拓され、しばらくは水田として利用されました。1970年代に入ると、干拓地は再度埋め立てられ今度は宅地として利用されるようになりました。二度目の埋め立て時には、浚渫船からパイプにより外浪逆浦など周辺の潟からの浚渫土を流し込む方法(サンドポンプ工法)がとられました。この際に流れ込んだ砂質の浚渫土が、主に液状化を起こしたと考えられます。

日の出地区を中心に、コの字状に三本の探査測線を設定しました(図1)。本稿では、紙面の都合により、日の出地区を南北に通過し、さらに北に延びる南北測線GS13-ITK3のS波反射法地震探査および表面波探査結果のみを紹介しします。



図1 調査測線  
本稿では、GS13-ITK3での結果のみを示す。日の出地区の位置を青の破線で示す。地理院地図を元に情報を書き加えた。

### 3. 調査結果

調査結果を、S波反射法深度断面、表面波探査結果のS波速度分布、地質解釈の三つの図の組として示します(巻頭図)。反射断面中には、測線北端から距離400mの部分に顕著な向斜構造(谷状の構造)が見られます。向斜構造の中心は距離230m付近にあり、最深部の深度は約45mです。この構造は、旧河川が堆積物で埋まったものと考えられ、液状化が発生しやすい構造の一つです。また、距離500~1,000mの間では深度5~15mの間で緩やかに変化する反射面(赤の破線)が、距離1,000mより南部の日の出地区に入ると、次第に深度を増し測線の南端では深度20m以深にまで達します。

表面波探査結果を見ると、測線北端の距離0~270mまでの区間の浅部(深度0~10m)に逆三角形の低速度(S波速度150m/s以下)領域が見られます。この領域は反射断面中に見られた、顕著な向斜構造の領域に相当すると考えられます。日の出地区では、浅部に比較的高速度(S波速度180m/s以上)の層が見られ、その下位には、低速度層が北から南へと徐々に層厚を増すのが確認されます。更にその下位には、高速度層(S波速度250m/s以上)が確認されます。それぞれの層は、浚渫により堆積した砂質土壌、日の出泥層、佐原砂泥互層に相当

します。東日本大震災時には、人工の浚渫砂層で液状化が発生したと考えられます。

### 4. S波速度を用いた液状化判定

得られたS波速度分布を用いて、地震発生時に、ある地点が液状化するかについて簡単に考察する方法を提案しました。その手法の詳細は論文(Yokota et al., 2017)を参考にしていますが、ここでは簡単にその方法を説明して、日の出地区のある地点での適用事例を紹介しします。その基本的な考えは、地震の際の外力(Cyclic Stress Ratio: CSR)が土壌が液状化しないように耐える力(Cyclic Resistance Ratio: CRR)を超えた時に液状化が発生するという考え方です。それより導き出された式に、いくつかの経験式をあてはめ、地下水位の情報および地震のモーメントマグニチュードを与えると、ある地点での液状化判定のグラフを、S波速度を横軸に、地表面最大加速度( $A_{max}$ )を縦軸にとった座標上に書く事ができます。図2に日の出地区のある地点の液状化判定の例を示しします。液状化判定のためのグラフとして、東日本大震災(水色)および1987年の千葉県東方沖地震(ピンク)の二例を示しします。この地点は、東日本大震災時には液状化し、千葉県東方沖地震の際には液状化が発生しなかったことがわかっています。この地点のS波速度を破線で、また参考までに、浚渫砂層のS波速度範囲を灰色の網掛けで示してあります。このグラフを用いた液状化判定法は、判定する地点のS波速度がグラフの左上側にプロットされれば、その地点は液状化し、右下側にプロットされればその地点は液状化しないというものです。図2を見ますと、この地点のS波速度の多くは、東日本大震災のグラフの左上側、千葉県東方沖地震の右下側にプロットされることがわかり、東日本大震災のようなマグニチュードの大きい地震の際には液状化が発生し、千葉県東方沖地震位の地震では液状化が発生しにくいことがわかります。我々は、それぞれの地震の際のこの地点の地表面加速度を知っていますので、答え合わせも可能です。それぞれの地震の際の揺れの範囲の部分を取り出してみると、確かに東日本大震災のグラフの左上、千葉県東方沖地震の右下にその部分が位置し、東日本大震災時には液状化が発生し、千葉県東方沖地震の際には液状化が発生しなかったという事実と合致していることがわかります。

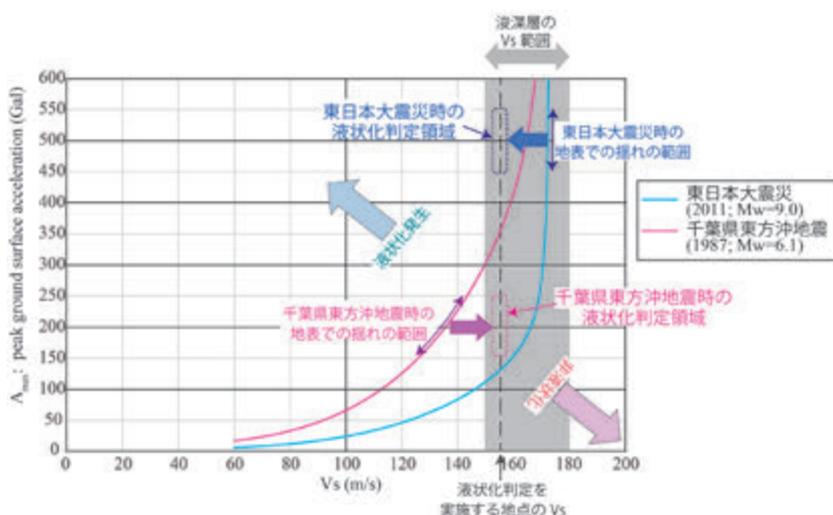


図2 日の出地区のある地点の液状化判定の例

#### <参考文献>

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

## 1. はじめに

これまでの2回の説明で、電気探査の原理から始めて、一次元、二次元、三次元探査まで駆け足で説明してきました。今回は、電気探査で得られた結果はどこまで正確なのか、どこまで信頼して良いのかについて考えてみます。

実は、電気探査の精度、分解能、信頼度等を扱った文献はあまり多くありません。本質的に重要と思われるのに少ないのは、多分この問題が難しいからでしょう。本稿では、この難しい問題をできるだけ簡単に3ページほど書いてみようと思います。

## 2. 精度と分解能

まず、地盤を細かな層やセルに分割して、その層やセルの比抵抗を最小二乗法で求める一般的な逆解析について考えてみます。

### 2.1 精度

電気探査の逆解析は非線形なので一般的な誤差の伝播則は当てはまらないのですが、比抵抗構造の変化が小さいか、線形近似が成り立つ程度に真の構造に近い比抵抗モデルが既に求まっていると仮定し、比抵抗モデルを決定するパラメータを $m$ 、測定データを $d$ 、パラメータが僅かに変化した場合のデータの変化量(偏微分係数)からなる行列を $A$ とすれば、

$$d = A m \quad (1)$$

と表されます。この逆行列 $A^{-1}$ を特異値分解( $A = U \Lambda V^t$ )を用いて解けば、モデルパラメータの推定値 $\hat{m}$ は次式で求まります。

$$\hat{m} = A^{-1} d = V \Lambda^{-1} U^t d \quad (2)$$

また、データの測定誤差の標準偏差 $\sigma_d$ が一樣で互いに相関がなければ、モデルパラメータの推定誤差の標準偏差 $\sigma_m$ は次式で表されます。

$$\sigma_m^2 = \sigma_d^2 V \Lambda^{-2} V^t \quad (3)$$

数式が一気に飛びますが我慢してください。 $\Lambda$ の要素は特異値 $\lambda$ と呼ばれ、行列 $A$ の各々の行ベクトルの独立性を評価するのに便利な量です。(3)式から、モデルパラメータの推定誤差は測定誤差に比例するだけでなく、特異値が小さいと特異値の二乗に逆比例して急速に拡大されることが分かります。

特異値は、パラメータの数だけありますが、その内の最大のものと最小のものとの比を条件数と言います。電気探査は、モデルパラメータを独立に決定するのが非常に困難な問題なので、条件数はすぐに $10^5$ とか $10^6$ になります。すると、推定するのが難しいパラメータの推定誤差は推定しやすいパラメータのそれと比較して、条件数の二乗倍というとてもないことになります。そこで、通常は相対的に小さな特異値を切り捨てて偏微分行列 $A$ の有効ランクを小さくすることで条件数を小さくして、推定誤差の拡大を抑制しています。

### 2.2 解像度

相対的に小さな特異値を切り捨てると、モデルパラメータの推定誤差は小さくなるのですが、困ったことも発生します。特異値を切り捨てて有効ランクを $r$ とした偏微分行列を $A_r$ とします。この $A_r$ に対して(1)式を(2)式に代入すると次式になります。

$$\hat{m} = A_r^{-1} A_r m = R m \quad (4)$$

$A_r$ がフルランクなら $R$ は単位行列 $I$ ですが、そうではないため $R$ は対角要素以外にも値を持ちます。これは、元々のモデル $m$ が推定モデル $\hat{m}$ になる際にどの程度“滲むか”を表しており、解像度行列と呼ばれます。

モデルの推定誤差を抑制しようとして特異値を切り捨てると推定されるモデルの解像度が低下します。特異値をあまり切り捨てなくても良いようにするためには、元々の条件数を小さくする、すなわちデータとモデルの関係ができるだけ独立になるように測定の仕方を工夫する必要があります。

単純化した例ですが、地下構造を探査しようとするれば、できるだけ異なる方向から通電して、異なる箇所でも電位を測定すべきです。同じような方向から通電して同じような地点で電位を測定したのでは、似たような情報になりますからデータとモデルの関係は似たような関係(独立性の低い)関係に成り、条件数が増大してしまいます。図1に示すように、異なる方向からの3つのデータの方が、同じような方向からの10個のデータより優れていることが往々にして起こります。

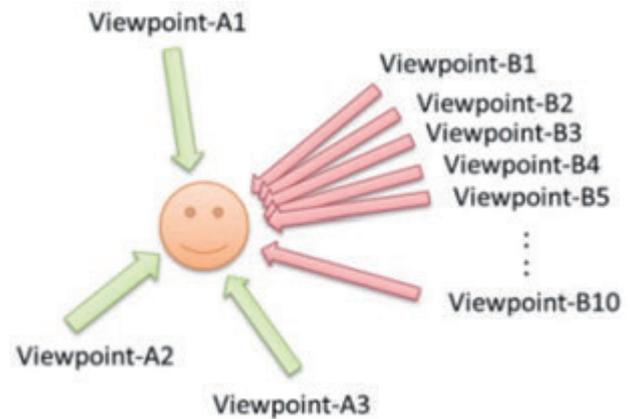


図1 独立なデータと従属なデータのご概念図

### 2.3 分解能と地盤のモデル化

地盤を細かなセルに分割して解析する場合、セルで表される地下構造の滲み具合は解像度で示されましたが、ここでは解像度と分解能の関係を考えてみます。分解能とは、2つの物体がどこまで近づいても2つと認識されるかですから、距離で表されます。感覚的な説明になりますが、セルの大きさとその滲み具合が分かれば、大体の分解能は推定できます。分解能を上げようとしてセルを細かくしても、条件数が増大してしまい、多くの特異値を切り捨てなければならなくなって解像度が悪化してしまいます。セルは小さくなくても、より大きく滲みますからあまり分解能の改善にはならず、計算時間だけが大きくなります。

適切なセルサイズやセル分割の仕方は、電気探査の逆解析に

において大変重要です。セル分割が、実際の地下構造を表現するのに十分なら、セルの数は少なければ少ないほど、モデルの推定誤差は小さくなります。

### キーポイント

- ・ 最小二乗法を用いた逆解析では、測定誤差が大きくなるほど、その影響は解析誤差(モデルパラメータの推定誤差)として増幅されて現れます。
- ・ 解析に用いるモデルが決まれば、解析の分解能を推定することができます。
- ・ 解析誤差の増幅を抑制するには、分解能を低下させる必要があります。
- ・ 誤差の増幅と分解能の低下を抑制するには、電極配置を工夫して独立性の高いデータを測定する必要があります。

## 3. 一次元探査

これまでお話してきたことを、一次元探査を模した数値実験で確かめてみます。地下構造は、実際にありそうな4層構造とします。

### 3.1 4層モデルを用いた解析

2人の技術者が、ウェンナー電極配置を用いて、電極間隔を2mから200mまで、対数軸上で等間隔(10points/decade)になるように電極を広げて測定しました。一人の技術者の測定誤差は1%、もう一人の技術者の測定誤差は5%でした。

この状況を模すために、1%と5%の正規ノイズをランダムに100回発生させ、4層構造から理論的に計算されるデータに加えて各々100個のデータセットを作りました。次に、解析を担当した技術者が、地下は4層構造であると見抜いたとして、各々100個のデータセットに対して4層構造を仮定して自動解析を行い、推定されたモデルの分布を図2に示します。

どの場合でも、測定データと解析されたモデルから計算される理論データとの平均残差は、それぞれ0.5%と2.5%以内に収まっています。これら100通りの構造は等価構造といわれ、どれも同程度の残差となるため、測定データだけではどれが正しいか分からず、解析誤差の範囲を示しているとも言えます。

測定誤差が1%であれば、かなり正確に地下構造を解析できることがわかります。一方、測定誤差が5%もあると、かなり大きな解析誤差が出てしまうことがわかります。

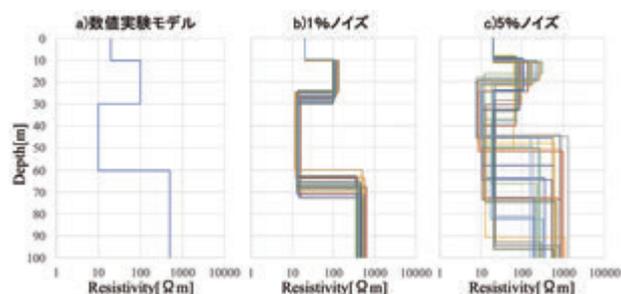


図2 地下が4層構造と分かった場合の、a) 実験モデル、b) 測定誤差1%の場合の解析モデルの分布、c) 測定誤差5%の場合の解析モデルの分布

### 3.2 10層モデルを用いた解析

地下が何層構造か分からない場合は、便宜的に地下を等間隔に分割して、各層の比抵抗値を解析することがあります。地下を等間隔に10層に区分した際の解析結果を図3に示します。

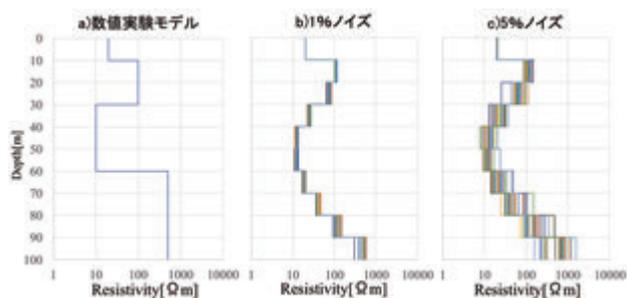


図3 地下を10層構造と仮定した場合の、a) 実験モデル、b) 測定誤差1%の場合の解析モデルの分布、c) 測定誤差5%の場合の解析モデルの分布

解析された地下構造は、解析を安定化させるために僅かに加えた平滑化条件(特異値の切り捨てに相当)の影響を受けて、正しい構造とはかなり異なる滑らかな構造となっています。言い換えれば、分解能が低下しています。なお、測定データと解析されたモデルから計算されるデータとの差は、それぞれ0.5%と2.5%以内でよく一致しており、等価構造の範囲内と言えます。

### キーポイント

- ・ 一次元探査で精度の高い結果を得るためには、測定誤差を1%程度にする必要があります。
- ・ 一次元探査の解析では、層数の選択が重要です。不用意に層数を多くすると、平滑化条件の影響を受けて滑らかな構造になってしまいます。

## 4. 二次元探査

### 4.1 4層構造の解析

一次元探査の数値実験で用いた4層構造を、図4(a)に示すように、二次元に拡張して考えます。長さ200mの測線上に10m間隔で電極を設置したと仮定し、二極法電極配置で測定可能な210データを解析に用います。一次元探査の時と同様に、計算した理論値に1%までのランダムノイズを加えたデータセットを25通り作成し、二次元解析を行いました。

25通りのデータから得られた解析結果の平均値を図4(b)に示します。なお、解析では水平方向は等間隔に20分割、深度方向には徐々に厚くなるように20分割し、250mまでを解析範囲としました。初期モデルは、見掛け比抵抗を参考に設定しました。測定データと解析結果から計算されるデータとの残差の平均は1.03%であり、等価構造の範囲に収まっています。

地表付近から低比抵抗-やや高比抵抗-低比抵抗-高比抵抗の4層構造のようですが、3層目の低比抵抗は測線中央部のみ現れています。また、それらの層境界は実際よりかなり深めに解析されています。

25通りの解析結果のばらつきを図4(c)に示します。この図から解析のばらつきは、深度70m付近から急激に大きくなり30%を超えることがわかります。

### 4.2 既知情報の利用

地盤を細かなセルに分けて解析すると、解析誤差は大きくなり、解析誤差を抑制しようとすると、実際とはかなり異なる滑らかな構造になってしまいます。

この問題を解決するためには、測定データだけでなく、既に分かっている大まかな地下構造も

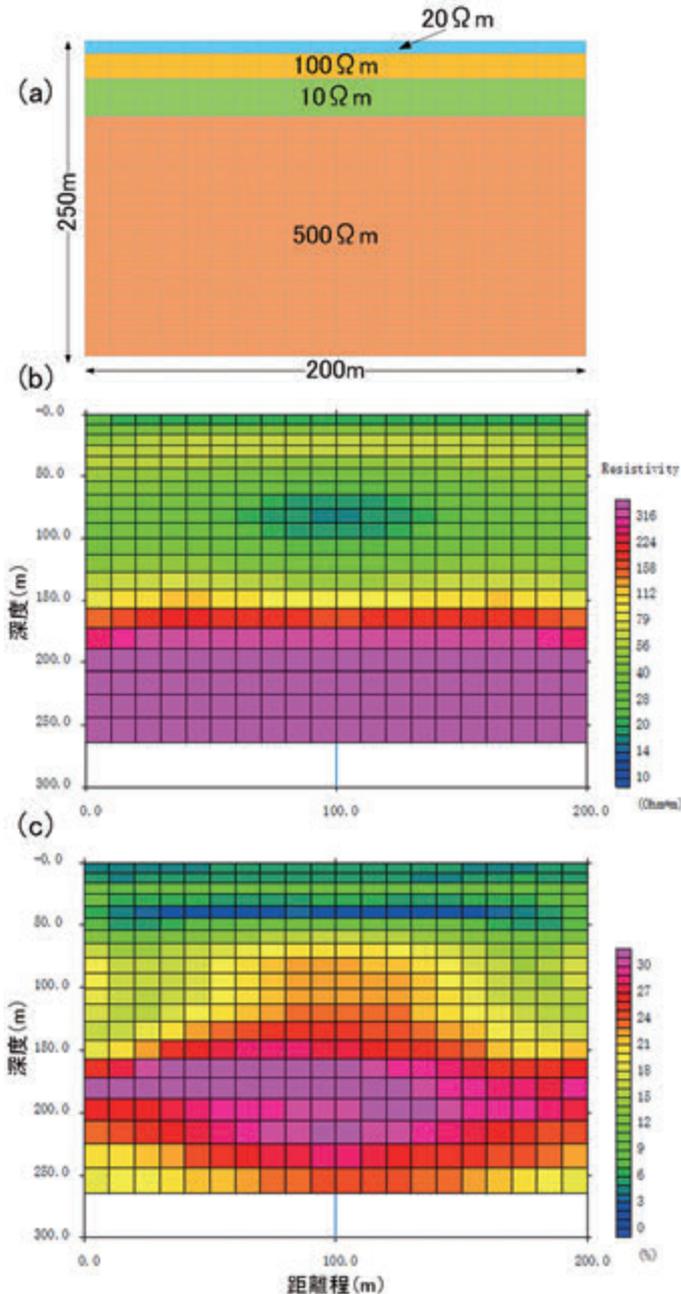


図4 (a)4層構造モデル、(b)推定された比抵抗値の平均値分布、(c)推定された比抵抗値のばらつき分布

デル(既知情報)に測定データの情報を追加して、地下構造モデルを改良しようとする考え方が有効です。

式の詳細は省略しますが、既知モデルに測定データの持つ情報を加えて解析することで、既知モデルの誤差の分散を小さくできることが分かっています。この場合、測定データと理論値との残差を最小化する最小二乗推定ではなく、モデルの誤差の分散を最小化する推定法といえます。

4本のボーリング孔が掘削されている測線上で実施した二次元探査の例を紹介します。ボーリング調査から、調査地はほぼ成層構造なのですが、その層厚はとこにより変化することが測線から離れた別のボーリング孔から分かっていました。そこで、ボーリング孔で実施した電気検層の結果を水平方向に延長した水平成層構造を既知モデルとして、そこに二極法電極配置データを加えて解析しました。

図5では、解析結果の上に2本の電気検層結果を重ねて示し

ます。中央付近では深度60mから120m付近に分布する高比抵抗層が測線の両側ではかなり厚くなっていることがわかります。また、深度200mから220m付近の薄い高比抵抗層はあまり変化せずに続いていることがわかります。なお、この測線と直交する測線の解析結果では、この薄層の厚みが変化している様子が捉えられました。

#### キーポイント

- ・地盤を細かなセルに分割して解析する二次元探査では、平滑化条件の影響で層境界が深めに解析されます。
- ・深度が深くなるほど、解析結果のばらつきが大きくなります。
- ・深部を二次元解析するには、探査データ以外の既知情報を利用するか、本稿では説明しませんが、地中にも電極を配置してデータの独立性を高めるトモグラフィ的な測定を行う必要があります。

## 5. 信頼度

物理探査の信頼度とは、何でしょうか？ 得られた比抵抗分布の精度でしょうか？ 得られた比抵抗イメージの分解能でしょうか？ そうではなくて、物理探査によって明らかにしようとした探査目的が達成されたか否かではないでしょうか？

そのためには、まず良い探査計画で独立性の高いデータが取得できるように計画することが重要です。

次に、良い測定で誤差の少ないデータを測定することが必要です。測定誤差には、電極位置の測量誤差も含まれます。また、実際には長さも太さもある電極棒を点電極とみなすと、浅部探査では数%の測定誤差に相当するという報告もあります。

解析段階では、良いモデルを選ぶ必要があります。二次元探査では、層数の選択が重要です。三次元探査では、セルサイズの決定が重要です。また、良い既知情報を得て解析することが有効です。

言われてみれば当たり前かもしれませんが、探査目的が達成できるように良い計画、良い測定、良い解析を行う必要があります。また、探査で得られる測定データだけに頼るのではなく、既知情報も利用して解析することが探査の信頼度を向上させることにつながると考えられます。

#### <参考文献>

A. Tarantola, 1987, Inverse Problem Theory.

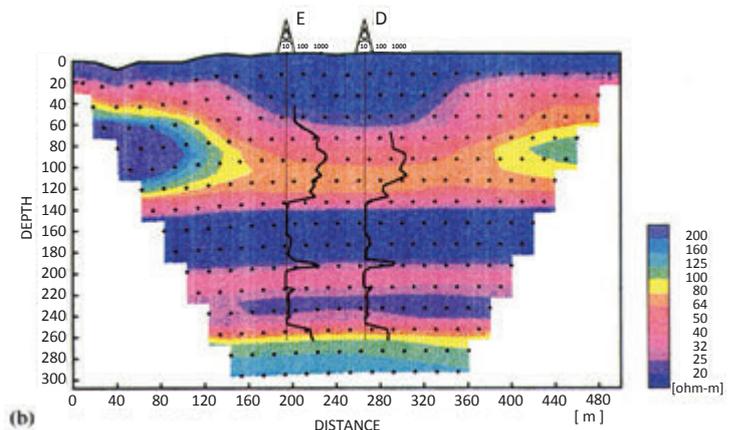


図5 水平成層構造を既知情報として解析した例

## ベトナムでの微動観測

(その1)で報告したように、高知大の久保慎人氏の紹介で、微動アレイ探査は素人のベトナム人 Duong 氏の計画「ベトナムの古都フエで140地点の微動アレイを実施して浅部地盤(～深さ30m)を評価するプロジェクト」につきあうことになりました。ハノイでの微動観測演習は報告の通り、まずまずの滑り出しでした。しかしフエの本番では、限られた機材で、彼らだけで何とかしなければなりません。今回はその対応について報告します。

## 観測機材

素人の観測で一番こわいのは設定ミスやボタンの押し忘れ、コネクタの緩み等のヒューマンエラーではないでしょうか。逆に言えばワンタッチの機材なら素人でもできるように思われます。前回、顔合わせを兼ねた微動観測演習では、Duong氏はGuralp製 CMG-6Tを使っていました。これはふつう地震観測に用いられる機材です。センサー、ロガー、バッテリー、GPSアンテナ等の各部品が大きくて重いのです。彼らは観測点ごとにこれらを野外で結線していました。観測後は再びばらばらにして箱に納めます。このやり方で長期間観測するのは何より疲れるし、特に雨季はミスや不具合が懸念されます。

実際、前回の演習後、Duong氏はこの機材を一カ月に渡って繰り返しテストしたのですが、その都度トラブルに見舞われていたようです。あとで基盤の不具合と分かりました。しかし驚いたことに彼はそれを修理しようとしませんでした。試行錯誤的に「不具合を起こしにくい手順」を発見したとのこと。研究費が少ない中での執念には頭が下がりましたが、大量観測では間違いなく失敗するでしょう。



写真1 ジオフォン

だからといって、私が常用する微動計を貸し出すわけにもいきません。手元で遊んでいる小型データロガーと4.5Hzジオフォン(写真1)を利用できないかと考えました。日本では微動アレイにジオフォンを用いることは少ないのですが、AVS10, 20, 30(深さ10, 20, 30mまでの平均S波速度)の取得程度ならば耐えられるはずです。前回の演習で利用周波数帯域は5-25Hz程度と分かっていたからです。

ただ、この場合はジオフォンとデータロガーを結ぶケーブルがむき出しになってしまい、ヒューマンエラーの誘発が懸念されます。そこで「トラブル防止のための決まり」をつくりました。微動観測中はバイク用小型バッテリーを使って一日中記録を取り続け、移動時も含めてデータロガーに触らないこと。一度結線したターミナルは強化ナイロン袋をかぶせて防水し、二度といじらないこと。すべてのケーブル、ターミナルにラベルを貼って組み合わせを変更せず、不具合の際、原因を特定しやすくすること等です。

## アレイ設計

次に全観測点で通用するアレイのサイズと形状を決める必要がありました。観測点ごとに仕様がばらばらだと後の処理や解釈がたいへんだし、そもそも、彼らの現場判断でアレイ設計を変えるようなスキルを養う時間もなかったからです。

データロガーの制約から、アレイを構成するジオフォンは6個です。また前回の演習によれば、AVS10～30を得るには数mから10m程度のサイズのアレイが必要とされました。そこで、3個のジオフォンをそれぞれ用いて辺長3mと辺長10mの三角アレイを作ることになりました(図1a)。設置が煩雑になるのを避けるため、これらの2つの三角形の相対的な位置にはこだわらないことにしました。

ただし、少しだけ欲が出て、「せっかくだから、たまに6個

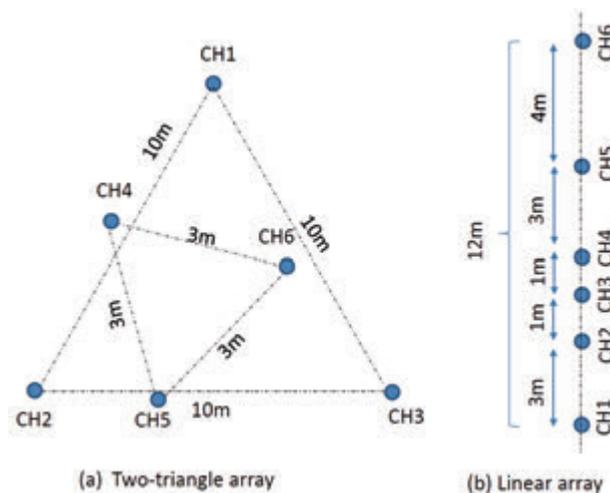


図1 微動アレイ

のジオフォンで長さ12mの直線アレイも組んで三角アレイと比較して見てはどう？」と提案しました(写真1b)。前回の演習では敷地上の制約から直線アレイを実施したのですが、これが予想以上にうまくいったからです。それ以降、私は直線アレイに凝ってしまい、帰国後もノイズや波動場の偏りの補正を考えたりして実験を続けました。フエの本番でも一部をその実証に使うってプロジェクトに手法開発の色を添えようと思ったのです。

## 再びベトナムへ

こうして前回の訪越から5ヶ月後の2018年3月、再び大久保氏と共にDuong氏を訪ねました。貸与するかもしれないデータロガーとジオフォンに加え、もちろん今回も愛用の微動計(3成分加速度計)2台を持参しました。3人でフエに向かい、現地でスタッフと合流して7地点のパイロット観測を3日で完了しました。これらの地点では屈折法探査も実施されているので、微動の結果を検証できます。

各地点で、写真1a、bのジオフォンアレイを組みました。また持参の微動計でも検証用に2点アレイを実施しました(写真2)。毎日データと処理結果をチェックして問題を洗い出しました。観測の間中、思いつく限りの諸注意を述べまし



写真2 観測風景(直線アレイ)



写真3 観測後の食事風景。手前がDuong氏。

た。「ナンテウルサイ日本人ダ」と思われたに違いありません。しかし、運転免許の合宿みたいなものですから仕方ありません。彼らはまだ「仮免」ですが「合宿」後は「本免」保持者として、彼らだけで140地点のアレイ観測を成功させなければならないのです。

ハノイでの演習に続き、このパイロット観測でも良い感じの結果が得られました。微動アレイは既存探査と総合的でしたし、ジオフォンと持参の微動計が同等の結果を出せることも確認できました。みんなハッピーで「合宿」を終了しました(写真3)。

なお、全地点で、彼らの速度計(CMG-6T)でもアレイを組んでいたのですが、それらはやはり頻繁にトラブルを起こし、あまり使えるデータになりませんでした。迷うことなくジオフォンを貸与することにしました。

あとは、雨季(5~10月)に入る前にフエでの観測を終了できれば、プロジェクトの期限に間に合いそうです。安堵して最終日はフエ観光を満喫しました。フエはそれなりの観光地ですので、カフェ(写真4)もディスコもありますし、若者で賑わう通りもあります。もちろんプロジェクトの目的である王宮等の遺跡は特に念入りに歩き回りました(写真5)。ベトナム全体そうですが、フエは特に、新旧が交錯するおすすめ観光スポットです。

訪越2回目はこのように過ぎました。次回はフエでの本番の結果を報告したいと思います。



写真4 フエのカフェバーにて



写真5 王宮にて。  
右側から1, 2, 3番目の順に筆者、Duong氏、大久保氏



2019年6月の物理探査学会での日本の物理探査(探査)100周年記念講演において、早稲田大学名誉教授の斎藤章先生が、学会誌「物理探査」に掲載された藤田義象先生の「物理探査の思い出」を紹介されました。物理探査学会からの2ページ原稿依頼に対して「そんなんじやあ短くて読者にも面白くもなくナンセン

ス」と言って6ページの原稿を書かれたという話に興味をもって当時の学会誌の記事をいくつかを読んでみました。

まずはその藤田先生の記事ですが、おっしゃるだけのことはあって大変面白いです。裏話の類が実に面白く書かれており、笑い転げてしまいました。思い出を2ページで書けなんてけしからんと怒って自分の研究歴からすると1週間分が1文字だとか、物理探査が物探になったのでやがてはブタと言われる様になるかもしれぬとか、ユーモアたっぷりでいいなあと思います。一方で、大正の終わりから昭和初期にかけての世間に向けての物理探査認知に関する奮闘ぶりも読みごたえがあります。いずれにしても、頑固一徹な側面は、古き良き時代の気骨あるオヤジを想像しました。藤田先生は京都大学物理探査学講座の初代教授です。

また、同じ学会誌には、地磁気逆転で有名な松山基範先生の「思い出」も掲載されています。松山先生の地磁気逆転の論文は1929年に発表されていますが、1953年に書かれたこの「思い出」には、地磁気逆転は一切触れられておらず、主に重力探査の創成期のことが書かれています。実際、松山先生は、地磁気逆転の画期的な論文を発表されましたが、それは先生の数多い研究テーマの一つでしかなく、主には重力探査に力を注いでおられたようです。1929年の論文も当初はそれほど注目されず、Alan Coxが2Ma前後の地磁気逆転期を「松山逆磁極期」と名付けたのは、松山先生が亡くなった後の1964年のことでした。今や国際的にその名を認められた中期更新世「チバニアン」の露頭「千葉セクション」では、この「松山逆磁極期」から「ブルン正磁極期」への変換境界を見ることができます。松山先生のことは学生の時から知っていましたが、今回お名前を発見するまで物理探査学会と深くかかわった先生だと

は思っていませんでした。「耳順のピアノ弾き」としましては、松山先生が「能楽師」だったというのも興味深いです。

少し話はそれますが、同じ重力ということで30年ほど前にManik Talwani先生にHoustonでお会いした話をしたいと思います。Talwani先生は重力解析のTalwaniの方法(1959年の論文)があまりにも有名で、もうずいぶん昔の方だと思っていましたから、フルオープン真っ赤なスポーツカーでホテルまで迎えに来てくれたのにはびっくりしました。その時はまだ50代で、Houston Advanced Research Centerで月表面のリモセンデータを研究していました。聞けばTalwaniの方法は先生の博士論文の成果であり、伺った頃にはもう重力のことはあまりやっていない様子でした。「いつも言われるんだよなあ」と愚痴でもありませんけど、つぶやいておられました。松山先生もひよつとしたら同じような感想をお持ちなのかも知れません。

さて、話を学会誌に戻しますと、地震探査に関しては、青山秀一郎先生が今に通ずる興味深いお話を書いています。曰く、「日本鉱業会で鉱業術語集を作るときに原語の通りの地震探査なんて名前にしたら、実際に仕事に行ったときにその辺の人が怖がって調査ができないという懸念から弾性波探査としたが、それは禍の元であった」とのことです。実は今でも地元説明する時には、地震探査という言葉を使わずに弾性波探査や地質構造調査として、震源も振源として説明することがあります。青山先生の禍の元というのは、何の調査なのかさっぱり理解してもらえないということだったと思いますが、先人たちも我々と同じように考え悩み、議論していたのだということがよくわかりました。

でも、良かったですねえ、物探がブタにならなくて。これも先人に感謝?でしょうか。

なお、本稿を書きかけとなった2019年6月の「日本の物理探査(探査)100周年記念講演会」の講演報告は、近日、学会誌「物理探査」に掲載される予定です。物探の諸先輩方により物探創成期からの興味深いお話が紹介されていますので、こちらも是非併せてご覧ください。



物理探査第2巻口絵集合写真



ピアニストとしての著者

### 概要

探査工学研究室は、都市環境学部・都市基盤環境学科(旧工学部土木工学科)に所属する研究室です。地震・火山防災分野を中心に、主に地震波を使った物理探査手法の開発とその適用を行っています。

研究室は、2009年に現体制がスタートし、気がつけば10年が経過しました。卒業生は約50名になりますが、そのうち約半数が東京都をはじめとする公務員、残り半分が建設業をはじめとする民間企業に就職し、それぞれの分野で活躍しています。

2020年度の構成員は、准教授1名、特任研究員1名、博士後期課程1名、博士前期課程7名、学部4名、事務員1名の計15名です。毎年4名の学部4年生が研究室に配属され、そのうち2~4名が大学院に進学する、というのが最近の傾向です。大学院では、留学生を含め、学外からの受け入れも行ってありますが、まだそれほど多くはありません。学生は一人ひとりが研究テーマを持ち、意欲的に研究に取り組んでいます。



研究室の様子(密...)

### 研究室の一年

研究室では、授業期間中、週1回のゼミを行い、研究の進捗報告と白熱した議論を行っています。今年度は新型コロナウイルスの影響で大学が閉鎖されているため、当面はオンラインでのゼミとなっています。

通常のゼミに加えて夏と冬にはゼミ合宿を実施しています。ゼミ合宿は土質研究室(吉嶺充俊先生)と合同で実施しているため、いつもと違う着眼点の質疑応答が交わされ、よい刺激になっています。また、夏のゼミ合宿は少し遠方まで足を伸ばして、研究発表を行うとともに、大学院生のアレンジで現場見学や施設見学、レクリエーションなども行っています。



土質研と合同で行っているゼミ合宿の集合写真(上)と  
その後に参加した陶芸教室(下)

### 研究内容

最近の主な研究テーマは以下のとおりです。東京都が設置した大学として、八丈島や神津島など東京都の火山島を対象とした火山災害研究に特に力を入れています。

- ・火山島における自然地震観測と地下構造探査
- ・深層学習を活用したデータ処理
- ・地震波による主要活断層の減衰特性評価
- ・常時微動を用いた地盤探査
- ・地域密着型の地震被害想定

- ・干渉SAR解析による地表変動の推定
- ・コンクリート構造物の内部構造探査
- ・比抵抗トモグラフィの時系列解析

## 他機関との交流

研究室では国内の大学・研究機関だけでなく、海外の



八丈島での臨時地震観測。写真だと景色もよく快適に見えますが、夏の設置作業はハードでした

大学と連携した研究も進めています。現在は米国・ライト州立大学やスペイン・アルメリア大学と共同で地下構造探査や地震防災に関する研究を実施しています。大学の留学制度を活用した学生派遣も実施しています。



インディアナ州での反射法地震探査(ライト州立大学)。小規模ながら大学の1研究室が単独で反射法を実施するということに驚かされました。現場周辺はAmishの集落が多くありましたが、皆フレンドリーでした



スペイン・ムルシア大聖堂前の広場での微動アレイ探査(アルメリア大学)。歴史的建築物での調査は貴重な経験でした



2020年度研究室メンバー(オンラインゼミにて) 残念ながら今年は新歓もできず..

2020年度総会において学会の新たな役員体制が発足しました。役員のおよ半数が新任のフレッシュな体制で今後2年間学会運営に努めて参ります。会員の皆様にはご支援ご鞭撻のほどよろしくお願ひいたします。

本学会は1948年の創立以来、研究発表、知識や技術の交換、会員相互および内外の関連学会との連携協力などを進め、物理探査学の進歩普及を図り、わが国のみならず国際的にも学術の発展に寄与することを目的としてたゆまぬ活動を行ってきました。一方で長期的な課題も抱えており、将来に向けた検討を進めています。今後も引き続きこれらの取り組みを続けて参ります。

今回の新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の流行により、本学会の活動も大きな制約を受けており、先行きが不透明な状況での新しい役員体制の出発となりました。感染症の影響が長期に及ぶことも想定される中、まずは、学会の公益事業と会員サービスを維持・継続する方法を試行し確立することが急務です。さらに、今後の社会の変化に積極的に対応して学会活動の一層の充実を図り、2023年の創立75周年に向けて着実に準備を進めて参ります。

学会は引き続き公益事業と会員サービスの充実に努めて参りますが、この難局を乗り切るには、会員お一人お一人の力が必要です。会員の皆様の積極的なご参加とご協力をぜひお願ひいたします。

(会長 渡辺 俊樹)



会長 渡辺 俊樹  
名古屋大学



副会長 鈴木 敬一  
川崎地質  
企画開発委員長



副会長 山本 英和  
岩手大学  
表彰委員長



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 石垣 孝一  
日本地下探査  
総務財政委員会担当



理事 後藤 忠徳  
兵庫県立大学大学院  
会員広報委員長



理事 羽佐田 葉子  
大和探査技術  
会員広報委員会担当



理事 松島 潤  
東京大学大学院  
会誌編集委員長



理事 佐伯 龍男  
石油天然ガス・金属鉱  
物資源機構  
会誌編集委員会担当



理事 光畑 裕司  
産業技術総合研究所  
学術講演委員長



理事 倉橋 稔幸  
寒地土木研究所  
学術講演委員会担当



理事 大熊 茂雄  
産業技術総合研究所  
企画開発委員会担当



理事 佐子 周作  
国際石油開発帝石  
企画開発委員会担当



理事 志賀 信彦  
三井金属資源開発  
事業委員長



理事 黒田 清一郎  
農業・食品産業技術総  
合研究機構  
事業委員会担当



理事 岡田 聡  
応用地質  
事業委員会担当



理事 小田 義也  
東京都立大学  
国際委員長



理事 小澤 岳史  
地球科学総合研究所  
国際委員会担当



理事 吉川 猛  
基礎地盤コンサルタント  
ニュース委員長



監事 莊司 泰敬  
応用地質



監事 大貫 良太  
MMPGエーマック



事務局長 大橋 武一郎  
物理探査学会

## 広告掲載のお知らせ

物理探査ニュースでは賛助会員の皆様の広告を募集します。製品や技術をフルカラーで宣伝することが可能です。広告掲載についてご興味をお持ちの方は学会事務局までお問い合わせください。

### 広告掲載条件

- ①掲載スペース：0.5ページもしくは1ページ
- ②掲載料：0.5ページ16,500円(税込み)、1ページ33,000円(税込み)
- ③掲載時期：毎年7月号を予定
- ④募集時期：通年



## お知らせ

### 第60回(令和元年度)物理探査学会表彰

#### I. 論文業績賞

- ①論文賞：清水智明・小田義也
- ②事例研究賞：猪野 滋・須田 茂幸・菊地 秀邦・大川 史郎  
・阿部 信太郎
- ③奨励賞：岡田 真介・楳原 京子・今井 幹浩

#### II. 優秀発表賞

- ①最優秀発表賞
  - \*第140回春季学術講演会：村田 泰章
  - \*第141回秋季学術講演会：末本 雄太
- ②優秀発表賞
  - \*第140回春季学術講演会  
口頭発表：二宮 啓／佐藤 真也／重藤 迪子  
ポスター発表：宮田 匡人
  - \*第141回秋季学術講演会  
口頭発表：二宮 啓／地元 孝輔  
ポスター発表：杉野 由樹

#### III. 学会業績賞

- ①学術業績賞：なし
- ②運営功績賞：千葉 昭彦

#### IV. 永年貢献表彰

- ①永年在籍会員表彰
  - \*在籍30年以上：井上 誠、大川 史郎、佐々木 裕、野口 徹、松岡 俊文
  - \*50年在籍賛助会員：なし
  - \*30年在籍賛助会員：中央復建コンサルタンツ株式会社、北光ジオリサーチ株式会社
- ②名誉会員表彰：松岡 俊文

### 第143回(2020年秋季)学術講演会

会期：2020年11月25日(水)～27日(金)(予定)  
会場：オンライン開催

オンラインでの開催方法や講演申込・講演会参加申込の詳細については決まり次第、学会ウェブサイトおよびメールニュースにてご案内いたします。

### EAGE 3rd Asia Pacific Meeting on Near Surface Geoscience & Engineering

Chiang Mai, Thailand, 2-4 November 2020

### 編集後記

年度明けに始まった長い緊急事態宣言が解除されたものの、いつもの生活とはほど遠く、そろりそろりと活動が始まりだした今日この頃。物理探査ニュース委員会はオンラインで開催され、ほぼ予定通りお届けします。多少の記事の変更はあったものの本号の読みごたえはいかがだったでしょうか。こういうときはかえって記事の執筆活動ははかどるのかもしれませんが。研究活動においても、stayhome、移動の自粛によって現場に行くチャンスは減ってしまいましたが、こんな機会をきっかけに過去のデータをいまいちど丁寧に見返すことで、新しい発見が生まれるかもしれません。在宅でも案外に研究がはかどっているのはいいのですが、春季学術講演会は中止となり、EAGE Asia Pacific Meetingも延期になってしまい、成果を発表する場がなくなってしまっているのが目下の悩みです。秋季学術講演会はオンライン開催が決定されたようでホッとしています。開催地の美味しいものをいただきながら会員どうしの親睦を深めるというわけにはいかないのはちょっとばかり寂しいものです。

(ニュース委員会委員 地元 孝輔)

### 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製したい方は、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頂ければ自由にご利用頂けます。

### 物理探査ニュース 第47号 2020年(令和2年)7月発行

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