

# 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

横ずれ活断層に対する各種物理探査の適用	1
わかりやすい物理探査	
屈折法 その2: まずは基本から	3
研究室紹介 岩手大学・地下計測学研究室	6
会員企業紹介 モニー物探株式会社	8
会員の広場 フレッシュマン紹介	10
石井吉徳先生の思い出	11
お知らせ、編集後記	12

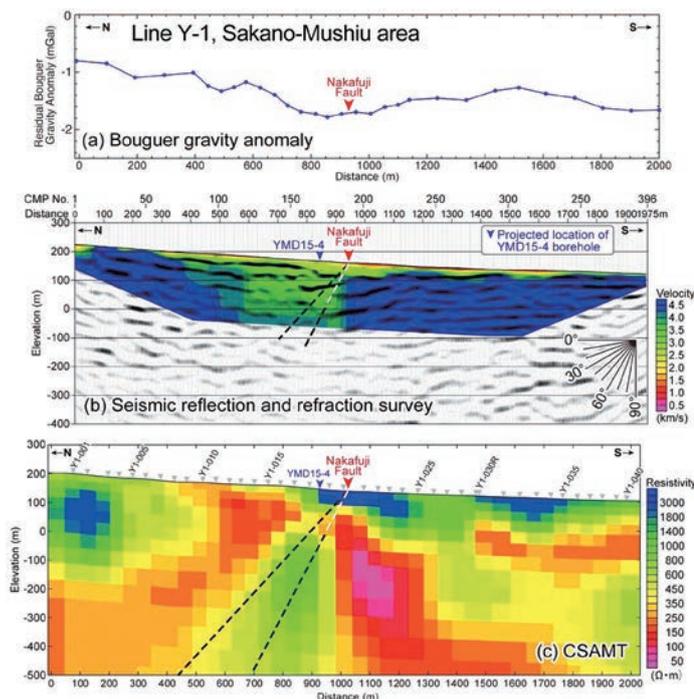
## Geophysical Exploration News April 2021 No.50



### 横ずれ活断層に対する 各種物理探査の適用

令和元年度  
論文奨励賞

岩手大学理工学部システム創成工学科 岡田 真介



巻頭図 山田断層帯・中藤断層(兵庫県豊岡市但東町坂野付近)で実施した各種物理探査の結果

4つの物理探査はほぼ同一測線で実施されている。(a)ブーゲー重力異常、(b)反射法地震探査および屈折法地震探査、(c)CSAMT探査。赤の下向き矢印は地表の活断層位置、青の下向き矢印は、物理探査測線から東に約430m程度離れたボーリングの位置を投影させた。ボーリングの結果から明らかになった活断層の角度は白破線で示し、物理探査から推定される断層の角度は黒破線で示している(岡田ほか, 2018)。

### 1. はじめに

令和元年度物理探査学会・奨励賞を拝受しました。本記事では、奨励賞をいただいた論文の内容(横ずれ断層に対して反射法地震探査、屈折法地震探査、CSAMT探査、重力

探査の各種物理探査を適用した事例)について紹介させていただきます。(CSAMT探査; Controlled Source Audiofrequency Magneto-Telluric method)

1995年の兵庫県南部地震(阪神淡路大震災)以降、活断層が注目を集め、地形・地質調査だけでなく、多くの物理探査が活断層の地下構造把握のために実施されるようになりました。逆断層が主体である東北日本や北海道では、反射法地震探査をはじめとした物理探査が多く実施されているのに対して、横ずれ断層(特に垂直変位量が少ない断層)に対して、物理探査が適用されている事例は少ないのが現状であると思います。筆者もこれまでは、東北日本の内陸活断層(逆断層)を中心として主に反射法地震探査と重力探査から地下構造を明らかにしようと研究を行ってきましたが、横ずれ断層に対しても物理探査は非常に有効であることが、郷村断層帯・山田断層帯において実施した調査で分かってきました。

山田断層帯は、丹後半島の基部を北東-南西方向に約33km連続し、北西側隆起の成分を伴う右横ずれの活断層です。断層の南東側には、日本三景のひとつとして知られる天橋立があり、そこでは瀧湖を境する砂州を股からのぞくと、天に架かる橋に見えたり、天に昇る龍のように見えたりすると言われています(図1)。

### 2. 活断層を対象とした各種物理探査の特性

まずは各種物理探査(反射、屈折、CSAMT、重力)の特性について簡単に述べたいと思います。反射法地震探査は、反射面の連続や不連続として地下の地質構造が得られる点が、他の3つの探査と大きく異なります。活断層をターゲットとした陸域の探査では、交通・生活ノイズも多く、さらに探査測線が道路の制約を大きく受けることから、地下の断層面そのものをイメージできることはまずありません。変位や変形

を受けた地質構造(反射面)によって、活断層を判断することがほとんどです。また、横ずれ断層では、断層を境にして物性変化が少なく、さらに断層面が高角であることが多いため、地下構造のイメージは一般的に難しいとされています。

屈折法地震探査は、探査深度が測線長に対してそれほど深くないため、断層面の角度などを捉えることは難しいですが、トモグラフィ解析を実施することで断層(断層破碎帯)による低速度領域を客観的に捉えることができます。また、探査計画を工夫することで、反射法地震探査と同時に屈折法解析用のデータも取得することが可能です。

CSAMT探査では、測定点を密にしてデータを取得することによって、高解像度で地下の比抵抗構造を推定することができます。しかし、浅部では低比抵抗を示し活断層とよく一致する場合でも深部まで低比抵抗を示さない場合や、断層の片側に顕著な低比抵抗を示す場合、さらに活断層以外による低比抵抗を示すこともあるため、活断層をターゲットとした探査では、活断層の地表位置や他の物理探査の結果とも、よく比較する必要があります。

重力探査は、弾性波や電磁波を用いる探査とは異なる物理的性質を用いており、ブーゲー重力異常には、地下の密度構造に起因する重力異常のみが残っています。そのため、重力異常を用いることで、地下構造(密度構造)の推定に客観性が加わります。しかしながら、重力異常からのみでは唯一の地下構造の解を得られないため、反射法地震探査等の他の物理探査および地表活断層位置や地表地質等と合わせて検討する必要があります。

### 3. 山田断層帯における事例

天橋立より西へ約20kmの地点、山田断層帯の中藤断層を横切る測線で実施された反射法地震探査・屈折法地震探査・CSAMT探査・重力探査の結果(岡田ほか、2018)を例として巻頭図に示します。岡田ほか(2018)で実施された4測線における調査のなかでも、それぞれの探査の特性が最も良く表れている結果です。

反射法地震探査の結果は、測線南端(図右側)から反射面を追跡すると、ほぼ水平な反射面群が距離1200m付近から北(図左側)へ緩く傾斜するように変化し、活断層の深部延長付近で反射面群の連続が途切れています。また、測線北端から反射面群を追跡すると、距離800m程度の地表付近にも一部不連続はありますが、距離950mの地表から距離700mの標高-100m付近へ延びる直線上で反射面が不連続になっています。地表の活断層位置も考慮すると図中黒破線の位置に断層が推定されます。しかしながら、さらに細かく見ると反射面の小さな不連続は、測線中でいくつか見られます。

屈折法地震探査の結果(巻頭図bのカラー表示)では、地表活断層位置の近傍である距離600~950mで標高-50mの深部まで連続する低速度領域が確認できます。低速度領域は、断層近傍以外でも浅部(地表面から深さ50m程度)には分布しますが、深部まで連続していません。

CSAMT探査の結果では、3つの顕著な低比抵抗帯が確認できます。距離750mの標高100mから距離300mの標高-300mに向かう北傾斜の低比抵抗帯、距離1,000mの標高50mから距離1,250mの標高-400mに向かう南

傾斜の低比抵抗帯、さらに距離1,500mの標高0m付近から測線南端部にかけて水平方向に連続する低比抵抗帯です。このうち、地表の活断層位置および他の物理探査の結果も考慮すると、北傾斜の低比抵抗帯が活断層の上盤側に断層面と平行に分布し、その南側の中比抵抗帯との境界付近に活断層が位置すると解釈できます。

ブーゲー重力異常は、地表の活断層位置近傍で周囲の重力値より-0.6mGal程度の低重力異常を示しています。また、その低重力異常の南側の重力変化の勾配が、北側の重力変化の勾配よりも緩いことは、断層面(破碎を受けた低密度帯)が北に傾斜していることを示唆しています。

これらの結果から、山田断層帯中藤断層の地下構造は、各種物理探査の結果と地表活断層の位置を合わせて考えると、北に50~60°程度の傾斜を持つ活断層であることが示唆されました。

各種物理探査による適用性を簡潔にまとめると、反射法地震探査では、反射面の連続・不連続で地下構造を把握することができ、地表の活断層位置と合わせて断層面の角度を限定できました。屈折法地震探査では、深部まで連続する低速度領域が活断層(破碎帯)の存在を示唆しており、他の探査で断層が疑われる構造に対しても、断層位置を限定することができました。また、CSAMT探査、重力探査は、断層上盤側に深部まで連続する低比抵抗帯によって断層の角度を深部まで限定することができました。重力探査からは低重力異常が活断層(破碎帯)のおおよその位置を示しており、重力変化の勾配が断層面の傾斜方向を示唆していました。

詳細な説明を省略した部分もありますが、反射法地震探査、屈折法地震探査、CSAMT探査、重力探査のそれぞれの探査だけでは解釈が難しい場合でも、探査の特性を活かして相互に比較する(補う)ことで、活断層の地下構造が特定できた非常に良い事例であると思います。天橋立の股のぞきは、地下構造に対しても異なる観点(探査手法)から対象を見ることの重要性を示唆してくれていたのでしょう。



図1 股のぞきにより天橋立を望む筆者。  
股のぞきにより砂州が、天に架かる橋のように見えたり、天に昇る龍に見えたりすると言われています。

<引用文献>  
岡田真介ほか(2018): 横ずれ断層における各種物理探査の適用可能性の検討(その1: 浅層反射法地震探査・屈折法地震探査・CSAMT探査・重力探査)―郷村断層および山田断層帯における事例―, 物理探査, 71, pp.103-125.

## 1. はじめに

わずか4回の連載なのに、初回はいきなり授業をサボってドライブに行っちゃいました。すみませんでした。今回からはちゃんとやらないといけませんね。

前回は変な終わり方をしましたが、その種明かしは後回しにして、今回は、屈折法探査の基本から説明していきましょう。

## 2. 屈折波ってどんな波

屈折法探査の基本は、屈折の原理です。高校の物理で、光の屈折の原理として習ったことかと思えます。弾性波も同じです。光の場合は屈折率という言葉が出てきたと思いますが、それは光(=電磁波)が媒質中を伝わる速度に関係する値ですので、弾性波の場合は弾性波速度で説明できます。では、**図1**を使って、弾性波の屈折について説明しましょう。

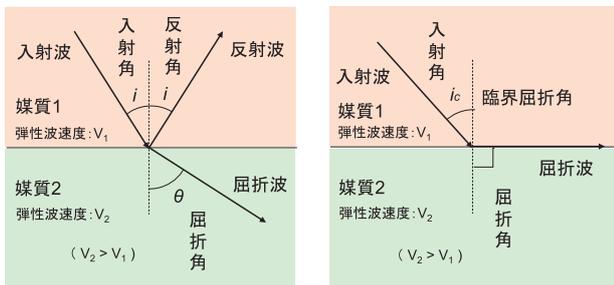


図1 屈折波の説明図

**図1(左)**のように、弾性波速度の異なる2つの媒質があって、直線状の境界で接しているとします。この境界に、入射波と書いた矢印のように弾性波が入射すると考えます。この矢印付きの直線は、波線(この場合は入射波線)と呼ばれます。媒質境界の法線と入射波線のなす角度を入射角と呼びます。境界では、波の一部は反射します。反射角は入射角と同じになります。波の一部は、媒質2にも伝わります。このように速度の異なる媒質中に波が伝わるとき、屈折という現象が起こります。入射波と同じ方向でなく、境界で折れ曲がって別の方向に進んでいくのです。その方向を示すのが屈折波線で、境界の法線と屈折波線のなす角度を屈折角と呼びます。いま、媒質1の速度  $V_1$  よりも媒質2の速度  $V_2$  のほうが大きい(つい大きいと書いてしまいましたが、速度の場合は高いと言うのが正しいですね。  $V_2$  のほうが高い)とすると、図に示したように、屈折角  $\theta$  は、入射角  $i$  よりも大きくなります。入射角と屈折角の関係は、弾性波速度  $V_1$  と  $V_2$  を使って、次の式で表されます。

$$\frac{\sin i}{\sin \theta} = \frac{V_1}{V_2} \quad (1)$$

これが有名なスネルの法則です。

さて、**図1**に戻ります。  $V_1 < V_2$  の場合、  $i < \theta$  となると述べましたが、  $i$  が徐々に大きくなっていくと、**図1の右図**に示すように、  $\theta$  が  $90^\circ$  に達してしまうところが出てきます。この時の入射角  $i_c$  は臨界屈折角と呼ばれます。屈折角は  $90^\circ$  ですので、屈折波は境界線に沿って真横に伝わっていくこととなります。(1)式で、入射角を  $i_c$  とすると  $\theta$  が  $90^\circ$  になるので、臨界屈折角は次の式で表されます。

$$\sin i_c = \frac{V_1}{V_2} \quad (2)$$

屈折法探査で使うのは、この境界沿いに(正確には媒質2の上面を)伝わってくる屈折波なのです。

ここからは、実際の地下探査に話を置き換えていきます。**図2**に示すように、弾性波を起こす起振点と、弾性波を観測する受振点は、ともに地表にあるとします。この図は、起振点と受振点を通る鉛直断面を示しています。図の横方向が水平距離、下方向が地下の深さです。ここでは、地下を2つの層で表しています。地表も層境界も水平なので、このようなモデルは水平2層構造と呼ばれます。地表に近い層を第1速度層、深いほうを第2速度層と呼びます。第1速度層の弾性波速度を  $V_1$ 、第2速度層の速度を  $V_2$  とし、  $V_1 < V_2$  と仮定します。すると、図に示すような屈折波が存在し、図中の  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$  という経路を伝わってきてくれるおかげで、地下の様子を知ることができるのです。

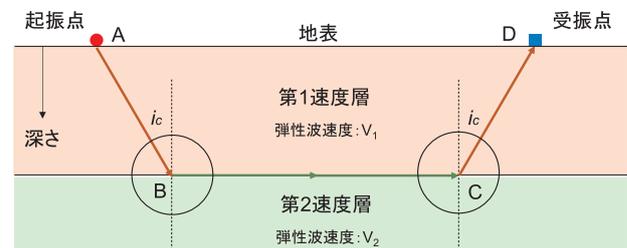


図2 屈折法探査で使う屈折波の経路

さて、どのようにして地下の様子を知れるのかというのは後回しにしておいて、**図2**の中で、一つ不思議な現象に気が付きませんでしたか。AからBへ臨界屈折角で入射した波が、屈折波として層境界に沿って進んでいくのはわかりましたね。それが、Cという点から上の層に戻って、しかも臨界屈折角と同じ角度の波線で地表の受振点に到達するという絵が描かれているわけですが、これはどう説明でき

るのでしょうか。Cという点は、Dという受振点の位置を知らなければ決められないわけですが、屈折波はどうやって「ここがCだ」とわかって地上に向かって上がっていくのでしょうか。この絵を最初に見た時、私はそんなことを考えたものでした。

この現象を説明するには、波面という概念と、波面の広がり方を説明するホイヘンスの原理を知る必要があります。水面に物を落とすと、水の表面に同心円状に波紋が広がっていきますが、波面(wave-front)というのはこれと同じようなもので、弾性波(wave)が伝わっていく最先端(front)の形状を示すものです。均質媒質中であれば、弾性波の波面は起振点を中心とする円になります(3次元で考えれば球ですが、ここでは2次元で話を進めます)。ホイヘンスの原理というのは、この波面の描き方を説明するもので、**図3**に示すように、「ある瞬間の波面上のすべての点が新たな波源となって要素波を発生し、次の瞬間の全体の波面は、それらの要素波面の包絡線によって表される」というものです。

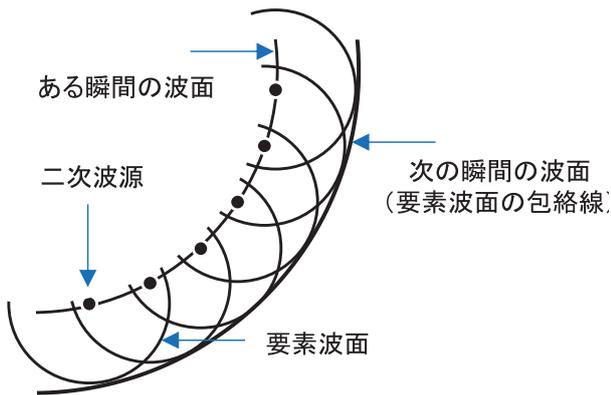


図3 ホイヘンスの原理の説明図

では、ホイヘンスの原理を使って、屈折波の波面を描いてみましょう。**図4**に示すように、起振点から臨界屈折角で点Bに入射した屈折波が、速度境界上の点Pに到達した場合を考えます。簡単のため、 $V_1$ と $V_2$ の速度比を1:2と仮定しておきます。点Pを2次波源と考えて、要素波を描いてみましょう。まず第1層に向かって、一定時間で半径  $r=1$  の要素波が発生するとします。この円弧上まで波が進むということです。第2層については、速度が第1層の2倍ですから、 $r=2$  の要素波となり点Rまで到達します。これだけではわかりづらいので、いま考えた半分の時間だけ第2層を伝わり、その到達点Qから残りの半分の時間で第1層に向かって伝わる要素波を考えると、破線で示した円弧が描けます。これらの円弧は、すべて同一時間後の要素波面を表していますので、それらの包絡線が全体の次の波面ということになります。そこで、点Rと第1層に描いた2つの円弧の包絡線を描くと、図中に示すような直線になります。屈折波面は直線となり、波面と層境界のなす角度は臨界屈折

角となるのです。波線は波面に直交する方向を示しますので、屈折波線は層境界のいたるところから、臨界屈折角で地表を目指して上がっていくのです。これで疑問は解決しました。

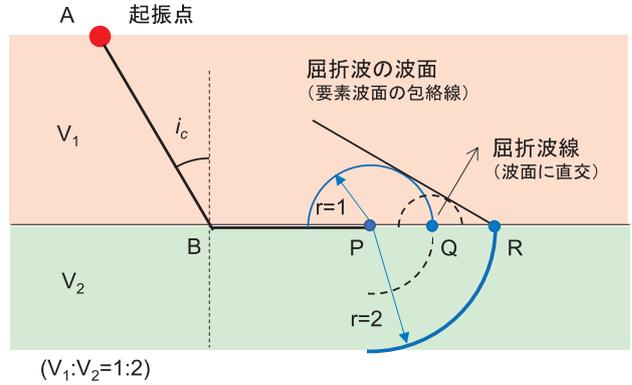


図4 屈折波面の求め方

起振点から一定時間ごとの波面をすべて描くと、**図5**のような波面図(等走時面図)が描けます。注目してほしいのは、地表のある距離を境に、直接波が先に到達する領域と屈折波が先に到達する領域に分かれることです。覚えておいてください。

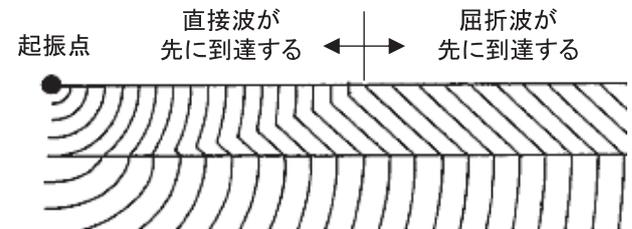


図5 屈折波面(等走時面)の計算例

### 3.地下構造と走時曲線

さて、いよいよ屈折法探査でどのように地下構造を解明するのか説明していきます。まずは簡単のため、水平2層構造を考えます。**図6**に示すように、この場合の地下構造とは、第1層の速度  $V_1$ 、第2層の速度  $V_2$ 、そして第1層の厚さ(層厚)  $h$  で表されます。

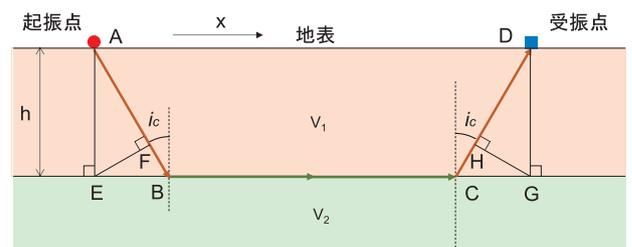


図6 屈折波の走時計算の説明図

起振点Aから受振点Dまでの屈折波の所要時間(走時と呼びます)を計算してみましょう。経路はA→B→C→Dで、それぞれの区間ではその速度層の速度で伝播しますから、第2層からの屈折波の走時 $T_2$ は、

$$T_2 = \frac{\overline{AB}}{V_1} + \frac{\overline{BC}}{V_2} + \frac{\overline{CD}}{V_1} \quad (3)$$

です。ここで、**図6**のように、ちょっと補助線を入れて考えます。起振点Aから層境界に降ろした垂線の足をE、さらにEから入射波線に降ろした垂線の足をFとします。受振側の屈折波線にも同様の補助線を入れG、Hとします。そして式(3)を書き換え、

$$T_2 = \frac{\overline{AF}}{V_1} + \frac{\overline{FB}}{V_1} + \frac{\overline{BC}}{V_2} + \frac{\overline{CH}}{V_1} + \frac{\overline{HD}}{V_1} \quad (4)$$

としておきます。ここで、第1層の層厚は $h$ なので、

$$\overline{AF} = h \cos i_c, \quad \overline{HD} = h \cos i_c \quad (5)$$

となります。次に、 $\overline{FB}$ 間を $V_1$ で伝わる時間と $\overline{EB}$ 間を $V_2$ で伝わる時間の関係を調べてみます。 $\angle FEB$ は臨界屈折角 $i_c$ なので、

$$\overline{FB} = \overline{EB} \sin i_c \quad (6)$$

と表され、式(2)を使えば

$$\frac{\overline{FB}}{V_1} = \frac{\overline{EB}}{V_2} \quad (7)$$

となります。これは、 $\overline{FB}$ 間を $V_1$ で伝わる時間と $\overline{EB}$ 間を $V_2$ で伝わる時間が等しいことを意味しています。同様に、 $\overline{CH}$ 間を $V_1$ で伝わる時間と $\overline{CG}$ 間を $V_2$ で伝わる時間が等しく、

$$\frac{\overline{CH}}{V_1} = \frac{\overline{CG}}{V_2} \quad (8)$$

となります。これらの式を使って式(4)を書き換えると、

$$\begin{aligned} T_2 &= \frac{h \cos i_c}{V_1} + \frac{\overline{EB}}{V_2} + \frac{\overline{BC}}{V_2} + \frac{\overline{CG}}{V_2} + \frac{h \cos i_c}{V_1} \\ &= \frac{2h \cos i_c}{V_1} + \frac{x}{V_2} \end{aligned} \quad (9)$$

となります。ここで、 $\overline{EG}$ 間の距離は起振点から受振点までの距離 $x$ に置き換えています。この式は、傾きが $1/V_2$ で、切片が $2h \cos i_c / V_1$ の直線の式ですね。第1層を伝わる直接波の走時は、次式で表せます。

$$T_1 = \frac{x}{V_1} \quad (10)$$

これらの直線をグラフにしてみましょう。

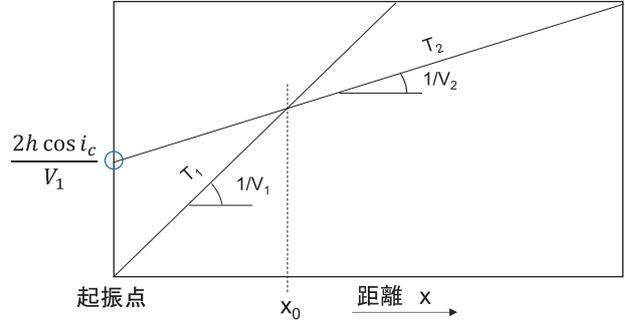


図7 水平2層構造の走時曲線

**図7**は走時曲線と呼ばれるグラフで、横軸が距離、縦軸が時間です。このグラフから、それぞれの直線の傾きの逆数として各層の速度がわかります。速度がわかれば臨界屈折角が計算できます。すると、 $T_2$ の切片の時間を $t$ とすれば、第1層の厚さ $h$ は、

$$h = \frac{V_1}{2 \cos i_c} t \quad (11)$$

と求めることができるわけです。走時曲線から地下構造が解明できました。

ここで、**図5**の波面図を思い出してください。直接波が先に到達する領域と屈折波が先に到達する領域がありました。その境界が**図7**の距離 $x_0$ の地点で、この点の起振点からの距離は折れ点距離と呼ばれます。折れ点距離は、 $T_1 = T_2$ となる距離ですから、式(9)と(10)で $x = x_0$ として、

$$\frac{x_0}{V_1} = \frac{2h \cos i_c}{V_1} + \frac{x_0}{V_2} \quad (12)$$

これを $x_0$ について解けば、

$$x_0 = 2h \sqrt{\frac{V_2 + V_1}{V_2 - V_1}} \quad (13)$$

となつて、折れ点距離は、 $V_1$ 、 $V_2$ 、 $h$ から求めることができます。逆に、第1層の厚さ $h$ は、次式で求めることができます。

$$h = \frac{x_0}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}} \quad (14)$$

後半はちょっと複雑になりましたが、前回の高速道路の問題と同じように考えれば良いのです。

### 1. はじめに

地下計測学研究室は、岩手大学理工学部システム創成工学科社会基盤・環境コースに所属するミニ研究室です。地震・火山防災を目的とした教育研究を行なっています。ただし、最近は岩手山の火山活動はほぼ静穏化しており、火山防災に関する研究はほとんどしておらず、地震防災が主流です。

岩手大学の理工学部の教育単位は学科ではなくコースです。社会基盤・環境コースとはいわゆる旧土木と旧資源開発の学科が合併したコースでしたが、何度かの学部改組を繰り返した結果、カリキュラムは土木教育主体となり、研究室も土木分野が6割以上を占めている状況になっています。学生も地元岩手県や周辺県の出身者が多数であり地元の公務員を志望するケースが多く、大学院に進学して技術者を目指すものが少ないのが現状です。2020年度の研究室のメンバーは、教員1名、修士1名、4年生4名の計6名です。

### 2. 研究室の1年

4月ー7月	英語論文の輪講ゼミ、雑誌会
7月ー10月	野外測定
10月ー12月	データ解析、考察
2月	卒論発表会

研究室のゼミは不定期ではありますが、こまめに実施しています。ミニ研究室の利点です。4年生は、初めて見る英語論文を苦労しながら訳し、理解します。パワーポイントも初めて使う学生もいますが、なんとかゼミで発表しているようです。そもそも通常の英語能力がおぼつかない学生中にもいますので、ゼミでは4月5月の最初は中学生の英語の授業のように1文ずつ音読して和訳しての繰り返しです。

### 3. 主な研究活動

以下にここ数年の研究事例を示します。

- ・ 微動に含まれる表面波位相速度推定に関する研究
- ・ 微動アレイ探査による地盤増幅率の評価
- ・ アンケート震度調査による詳細震度分布
- ・ Hi-netで観測された常時微動記録を用いた地震波干渉法解析による地下構造の推定
- ・ 構造物の維持管理を目的とした常時微動の利用

東日本大震災直後は、被災地での詳細震度の把握、微動探査、表面波探査による表層地盤のS波速度の推定などを積極的に行なってきました。その後、東北地方沿岸部では復興も進んだため、今では造成直後の地盤探査なども行なっています。また構造物での常時微動利用に関する調査を試みたり、常時微動の地震波干渉法解析も、深部の長周期帯域、浅部の短周期帯域とも試みています。



東日本大震災で全壊した住宅の宅地における表面波探査 (岩手県奥州市)。



大震災直後(2013年)における岩手県陸前高田市における微動アレイ観測。



復興工事後の造成地における岩手県陸前高田市における微動アレイ観測(2019年)。



四十四田ダム、御所ダムにおける微動測定。氷点下でもホッカイロ片手に震えながら測定準備。

## 4. 地域貢献のための活動

岩手大学のような地方大学では地元と結びつきが強いのです。我々の研究室では、東日本大震災前から地域貢献活動を活発におこなっています。一般市民や高校生対象だけではなく、地元の中中学生を対象に毎年大学で防災意識啓発に関する授業なども実施しています。卒業研究の一環として、子供達の防災意識啓発を目的とした地震防災かるたも作成しました。

また岩手大学では自治会の防災担当者などを想定した防災リーダー育成プログラムと呼ばれる社会人向けのプログ



中学生を対象とした地震防災意識啓発授業。



卒業研究の一環として作成した地震防災かるた



地震防災かるたを使用した防災イベント。



防災リーダー育成プログラム(市民向け防災教室)の実施。  
地盤探査実験。

ラムも数ヶ月にわたって実施しています。かれこれ10年以上継続しています。そこでも地震時の共振の様子を模擬した実験や住宅の地盤強度を把握するための表面波探査実験を実施し、一般の方々にも興味を持っていただいております。

## 5. おわりに

最後に、2020年度の研究室のメンバーを紹介します。今年度の4年生は進学する学生はゼロで、全員が岩手県庁や近隣の県庁に就職します。この物理探査ニュースの完成版を見ることはないのかもしれませんが。写真は、Zoomを使用したオンライン研究室ゼミの画面です。感染者が全く見つかっていなかった岩手県にある岩手大学ですが、緊急事態宣言のため2020年度4月から5月の間は学生の登校を控え、研究指導はオンラインが推奨されていました。当時は教員も学生も初めて使用するツールであったため、新4年生は使い方がわからず、自宅ではなく大学に登校して異なる部屋でZoomでアクセスし合うという間抜けなこともやっていました。ただ、6月以降、幸運なことに岩手大学では研究室の出入りは制限されず、マスク以外は例年と同じような研究教育活動を行うことができました。またWeb会議の利点として、例年でしたら移動時間や旅費の工面の問題でなかなか困難である遠方の他大学の研究室と研究交流会が、いとも簡単にできるようになりました。今後は、従来型の研究室活動も変わっていくのかもしれませんが。



2020年度の研究室のメンバー。  
Zoomを使用したオンラインの研究室ゼミの様子。

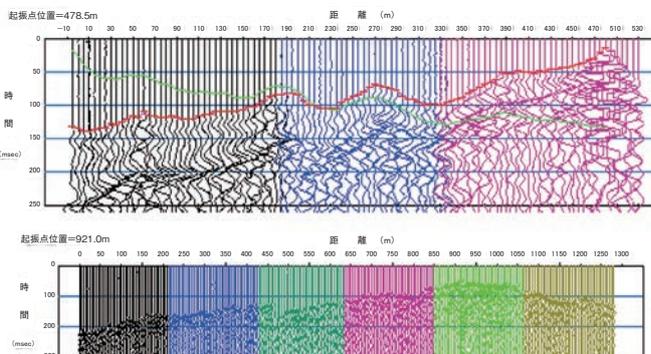


対面ゼミの様子。Zoomの利用で、他大学の先生にも卒業研究内容を聞いていただくことができました。



## モニ一物探株式会社

モニ一物探株式会社 坂西 啓一郎



マルチチャンネル波形記録例(上:土発破、下:発破孔)

### 【会社概要】

弊社は1979年(昭和54年)、弾性波探査を主とする土木物探専門会社として創業し、その後検層、電気探査、表面波探査と物理探査全般に業務を広げ、2017年には建設コンサルタント業の登録を行いました。

今年で創業43年目、現在アルバイトを含む従業員は約20名で、北海道から沖縄まで日本全国で様々な調査を請け負っております。冒頭の地図は昨令和2年度に調査を実施した県を彩色したもので(色分けは実施回数に基づいています)、その内訳は

- ・弾性波探査：22都道府県延べ約35km
- ・電気探査：1道9県延べ約10km
- ・表面波探査：1都7県延べ約15km
- ・物理検層：1都8県延べ約4km

となっており、他にも地温探査や地震計設置、メンテナンス等様々な業務を手掛けています。残念ながら昨年はコロナの影響もあって全県制覇とはなりませんでした。だいたいどの県も最低2年に1度は調査に訪れており、文字通り日本全国津々浦々にて安全最優先で日々物理探査に明け暮れております。

それでは以下に弊社の主要業務をご紹介します。

### 【弾性波探査】

創業当時から現在まで、常に変わらぬ弊社の「顔」ともいえる業務で、近年も新幹線やリニア新幹線、全国津々浦々のトンネル、バイパスなど様々な調査を行っています。

現在応用地質社製McSEIS、ジオファイブ社製GEOSEISと48成分探査機を3台、24成分機を3台所有しており、長大測線の探査では測定器を複数用いて100ch以上のマルチチャンネル測定を行うなどデータ品質の向上と作業の効率化に努めています。

また、弊社では事務職員を除く全従業員が火薬類保安責任者の資格を有しています。これは弾性波探査の起振源として今も昔も火薬による発破が用いられるからで、「従業員全員が発破士」という全国でも珍しい会社です。発破というと一般には危険なイメージがあるかもしれませんが、弊社では熟練技術者の指導の下、過去43年無事故で業務を行っています。

なお、現在(株)数理研究所と共同で発火器を開発、製造・販売も行っております、興味のある方はお問い合わせください。



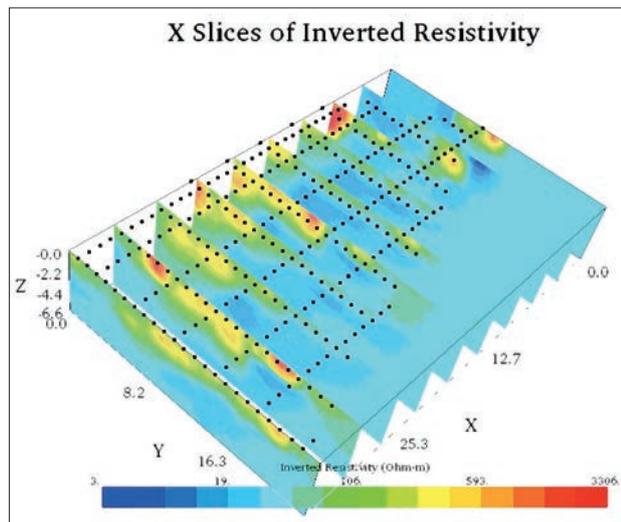
防水防塵仕様の弊社開発発火器MONY-MDL-BL01A

### 【電気探査】

弾性波探査と並ぶ土木物探の2枚看板です。弊社では深部探査用のSYSCAL-R2を2台、浅部探査用のMcOHM 1台を所有、数10cm間隔のモニタリングから400m以上の大深度探査まで様々な調査を実施しています。近年では応用地質社製ElecImagerに加え米国・AGI社の解析ソフトEarthImager3Dを導入、都市部での埋設・空洞調査等に適用を拡げています。

また、国立研究開発法人土木研究所による東日本大震

災後の堤防統合物理探査に参加した経験を基に、民間業務における電気探査と表面波探査との統合物理探査の適用拡大にも力を入れており、軟弱地盤における工学的基盤と地下水分布の把握といった調査で成果を上げています。

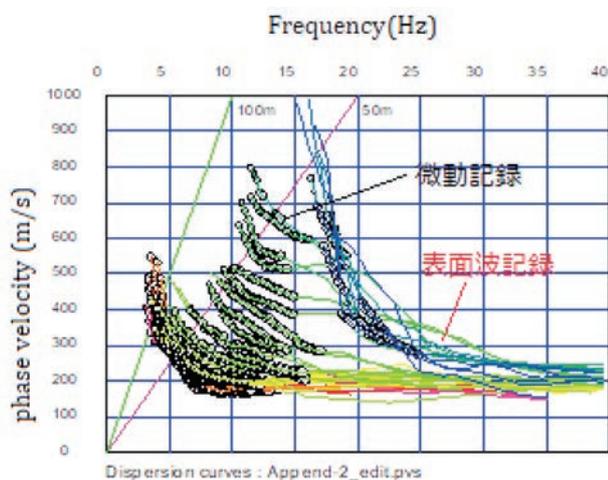


埋設物調査における三次元電気探査解析結果例

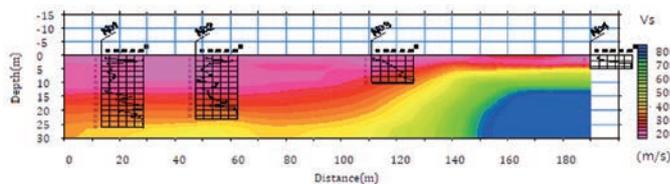
### 【表面波探査】

近年特に調査件数が増えているのが表面波探査です。弊社では2003年に応用地質社製高精度表面波探査器 McSEIS-SXWの販売第1号機を導入、すでに20年近く表面波探査に携わって来ました。その後も2012年に24bitMcSEIS-SW、2016年にはGEOSEIS-48を導入し、昨年末の都内トンネル工事での陥没発生現場や平成28年の熊本地震の際にも調査に参加しました。また、新潟、長崎他全国の空港滑走路においても多数の調査実績を積んでいます。

また、最近では10m以浅の表面波探査と深度30m程度までの微動探査を併用した高精度表面波探査にも積極的に取り組んでいます。



高精度表面波探査事例(分散曲線図)

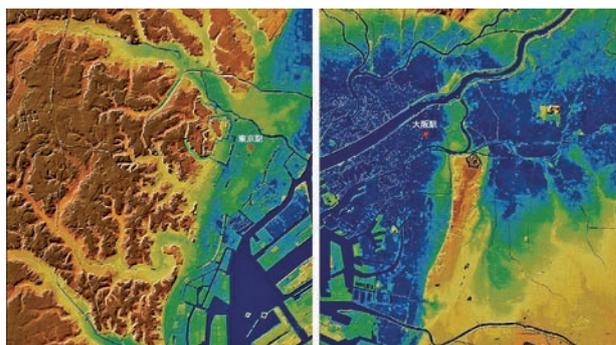


高精度表面波探査事例(解析断面図)

### 【物理検層】

創業間もなく弾性波探査の次に弊社が導入した業務が物理検層です。現在、サスペンションPS検層機器2式をはじめ電気、温度、密度、キャリパーなど各種検層機器を保有しており、海上ボーリングや急傾斜地での調査など、難易度の高い現場においても多くの実績を積んでいます。また、2019年に物探学会内に立ち上げられたPS検層委員会には弊社社員も委員として参画させて頂きました。

### 【職業としての物理探査技術者】



上の写真は左が東京、右が大阪の3D地形図です(大阪高低差学会HPより)。東京は深い谷がフラクタル状に分布を示し、大阪は平坦な地形に上町台地が半島のように突き出ており、いずれも大都市としては世界に類を見ない地形を有しています。

そして日本付近には地球を構成する十数枚のプレートのうち4枚が集結しており、様々な時代の付加体が集積して形成された世界有数の複雑かつ活発な地質を有しています。そんな日本は世界有数の自然災害大国でもあり、1900年以降に世界で起きた大規模災害のうち台風・洪水などの自然災害で9%、M6以上の地震に至っては約20%が日本で起きています。

加えて日本は世界でも有数のインフラを持つインフラ資産大国でもあります。物理探査業とはそうした日本の豊かな自然ならびにインフラに直接働きかけることのできる稀有な職業であり、弊社はこうした豊かな環境で働けることに喜びを感じつつ、常に技術の研鑽と知識の更新に努め、これからも末永く国土の発展、環境保全、そして社会の発展のために寄与していきたいと考えています。

**Q. 普段どんなお仕事をされていますか？**

産総研ではCO2地中貯留(CCS)研究グループに所属しており、重力・自然電位法をCCSや地熱地域に適用、貯留や発電に伴う貯留層変動をモニタリングする研究を行っています。学生時代は室内実験中心でフィールド経験皆無でしたが、入所4年目にしてようやく現地調査に慣れてきた気がします。CCSでは海沿い、地熱では山が調査地域になりますが、特に東北の山は夏暑く、秋寒い(冬は豪雪で入れない)といった環境で、重力計や電極を抱えて歩き回るのは骨が折れます。そんな中、先輩研究員がバーナーで沸かしたお湯を貰って食べるカップ麺の美味しさに目覚め、近頃はキャンプに興味津々です。



産業技術総合研究所  
ほりかわ たくや  
堀川 卓哉さん

- ①大阪市 ②重力探査/自然電位探査
- ③バードウォッチング/キャンプ/コーヒー
- ④趣味の数(浅く広いタイプ?)

**Q. 最近ハマっていることについて教えてください。**

地熱の現場はもちろんですが、産総研があるつくば市も結構自然が豊かなので近所の公園にも色んな鳥が来ます。鳥の見分けが付くようになれば日常生活、そして山奥の調査での楽しみが増えるのではと思い、双眼鏡と野鳥図鑑を買ってバードウォッチングを始めました。そこらの池にいるカモだけでも色んな種類があり、落ち着いて観察してみると興味深いことがたくさん見つかります。そして何よりも可愛くて癒されます。登山やキャンプ等、他のアウトドアとの相性も良いので皆さんおすすめですよ。

**Q. 学生時代はどのようなことをされていましたか？**

大学の研究室では、地震波トモグラフィの手法を用いて月の内部構造を推定する研究をしていました。月にはアポロによる月面調査の際に置かれた地震計があり、そのデータをもらって解析をしていました。月は地球と異なりプレートテクトニクスはありませんが、トモグラフィ解析によって内部に地震波速度の不均質構造が見えてきました。とてもロマンのある、魅力的な研究だったと思います。学業以外では、中学から大学までバレーボール部に所属していました。大学4年時には、旧帝国大学で行う七大会という大会で3連覇を達成し、今もなお母校の連覇が続いています。



応用地質株式会社  
にいべ まり  
新部 真理さん

- ①埼玉県
- ②電気探査/地震波トモグラフィ
- ③ウクレレ ④埼玉西武ライオンズ愛

**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。**

空中探査でヘリコプターに搭乗したことです。仕事で携わらなければめったに乗ることのできないヘリコプターですが、2週間の現場の中で何度か乗らせていただきました。ベテランの方から、「飛行機に比べて揺れが大きいから、酔う人は厳しいかもしれない」と脅され、緊張して臨みましたが、いざ乗ってみるととても快適で、空中遊覧のようで気持ちよかったです。雨上がりに搭乗した際には、偶然虹の中を通るという神秘的な出来事がありました(当然くぐり抜けることはできないのですが)。パイロットの方も初めてだったようで、とても貴重な経験ができました。

**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。**

反射法弾性波探査のデータ取得業務で長期出張したことです。調査自体の規模が大きく、約2か月間現場でデータ取得に携わりました。仕事は朝早くから始まるので、毎朝4時に起きて外がまだ暗いうちから仕事したことが印象に残っています。早朝の仕事は気温も低く、寒い中での作業でしたが朝焼けがきれいで朝焼けを見ながら仕事に取り組んでいました。仕事をしていて大変なこともありましたが、現場で一緒に働く方々との交流や現地のおいしいものを堪能でき、とても充実していました。調査が終わって帰る日はホッとすると同時に少し寂しい気持ちになったのを覚えています。



株式会社ジオシス  
まんや りょうへい  
萬谷 良平さん

- ①岩手県 ②微動アレイ探査
- ③お酒を飲むこと
- ④格闘ゲーム

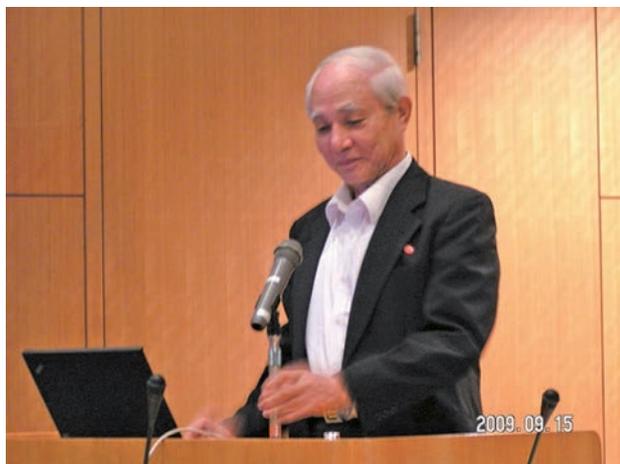
**Q. 最近ハマっていることについて教えてください。**

晴れた日にベランダで日向ぼっこをしながらお酒をのむことです。お酒を飲むことはもともと好きでしたが、外出自粛が求められている中、外出すること自体が少なくなりましたので休日は昼間からお酒を嗜んでいます。普段はハイボールを飲むことが多いですが最近では梅酒にはまっています。晴れた日は余計にお酒がおいしく感じるので自分にとってはとてもいいリフレッシュ法です。ただし、雨の日は日向ぼっこができないので雨の日でもリフレッシュできる方法を現在模索中です。

①出身 ②よく使う物理探査手法 ③物理探査以外で最近興味があること ④誰にも負けない! と思うこと

# 石井吉徳先生の思い出

東京大学大学院新領域創成科学研究科 松島 潤



NPO法人もったいない学会イベントでご講演される石井吉徳先生  
(2009年9月山上会館)

去る2020年11月6日、当学会元会長・名誉会員の石井吉徳先生(東京大学名誉教授・国立環境研究所元所長)が逝去されました。かねてよりのご療養の甲斐なくご永眠されましたこと、誠に痛恨の極みでございます。生前、石井先生から学んだことを紹介しながら、先生の思い出を記したいと思います。

私がまだ工学部精密機械工学科4年生で大学院の進学先に悩んでいた頃、工学部の中でもスケール感と社会貢献性を感じて資源開発工学専攻に興味を持ちました。中でも情報工学的手法を駆使して地球を探索・観測する物理探査研究室に関心を持ちました。当時は希望研究室毎に入試問題が異なっていましたので、当時の研究室の大学院生であられました松永恒雄さん(現在・国立環境研究所)に入試準備に関する情報を教えていただき、物理探査やリモートセンシングに関する勉強を始めました。その中でも石井先生がご執筆された「地殻の物理工学」(東京大学出版会)と「リモートセンシング読本」(オーム社)の2冊については、ほぼ全ての内容を記憶するほど何回も読み返して入試に臨みました(当時はアキレス腱を断裂しており布団の中でこの暗唱作業をしていました)。技術エッセンスがスマートに纏められたこの2冊は学生から技術者・研究者にいたるすべての層に現在でも最もお勧めしたい書物です。若い頃に良書を暗唱するくらいに身体に浸透させておくことの意義を今でも感じています。

さて、無事大学院に入学しましてから少し経った頃、石井先生のお部屋に呼ばれまして、修士研究テーマ設定についての面談をしていただきました。当時は複数の坑井を利用したトモグラフィ技術が盛んに研究を行われていた時代でしたが、坑井間弾性波探査データの反射波を使う研究(後に坑井間反射法弾性波探査と呼称されます)を進めてはどうかのご指導でした。「これからは坑井間弾性波探査データの反射波に注目!」と力強く発せられたことを今でも鮮明に覚えています。結局、私は坑井間反射法弾性波探査に関する修士研究を行い、工学博士号もその内容で取得しました。坑井間弾性波探査データにおいて反射波は極めて微弱な信号であるため、これを解析対象とすることはかなり困難を伴うものでした。そのような状況で、石井先生が常に力説されておりました、「如何にS/N比を上げてデータの質を向上させるかが本質!」とのご指導がこの困難なテーマを乗り越えるキー・フレーズとなりました。S/N比との勝負を忘れた解析手法は、数学的にエレガントな手法であっても実際には役に立たないことが多いと思います。後に石井先生がエネルギー・環境分野へご活動の場を展開されたときに、「地球は有限、資源は質が全て」のフレーズへと昇華されていきました。つまり、エントロピーとの勝負を忘れたエネルギー資源論は、聞こえは良くても実際に役に立つことはありません。「質」の重要性は、私が学者・研究者として最も大切にしている概念です。

石井先生は、私が修士1年生を終えると同時にご退職されますが、最後のご在職の1年間に先生が行われていた全ての講義に私は出席していました。当時、研究室は本郷キャンパスにありましたが、石井先生が前期教養学部生向けに駒場キャンパスで開講していた講義にも追っかけていきました。思えば、学部時代ではまともに授業に出ていなかった学生が、何故このように真面目に石井先生の講義を追っかけ、食い入るように授業を聞くようになったのか。歯切れ良くスマートに物事の本質を語りかけるスタイルに強い共鳴と感動を抱いたのだと思います。かなり後になって判明したことです。石井先生は相手にものを伝える際には、多大な努力を払っていることです。言葉の選び方、抑揚、語順、タイミングなど細部に至るまで緻密に設計され



ていると思います。それでも石井先生は、「人にものを伝えることは難しい」と何度もおっしゃっていたことが印象的です。

石井先生は2006年にNPO法人もったいない学会を設立されますが、この会の設立と運営にお手伝いさせていただく機会を得ました。石井先生が一般市民の中に入り、様々な年代・背景を持つ方々と共にこれからの日本のあり方に関する議論を交わすという、先生の新たな一面を見ることとなります。そのような一般市民をも巻き込んだ会は毎年着実に会員数を増やし、また数多くのマスコミでも取りあげられ注目されました。この吸引力は、上述しました私の学生時代の追っかけ状態と繋がるものがあります。実際、石井先生のファンは老若男女問わず多くいらっしゃいましたし、このような方々と交流を持てたことは私にとりましても宝です。

2018年11月30日、東京大学山上会館にて石井先

生はもったいない学会のイベントでご講演をされていますが、その年の暮れに入院されました。一度お見舞いに伺いましたときには、先生のベッドの上に、福島原発事故に伴う農業への放射能影響に関する英語の書籍がおかれていました。ご自身の体調も大変な中、そのような書籍を読まれていることに胸が詰まりました。持参しました葡萄も「美味しい、美味しい」と召し上がって下さいました。

2020年11月12日、鎌倉雪ノ下教会にて行われた葬儀にコロナ禍の中参列させていただくことができました。牧師様や4人のお孫さんのお見送りの言葉を聞きながら、石井先生から学んだいろいろなことが思い出され、改めまして大きな感謝の気持ちが湧きあがり、またそのことを心の中で先生にお伝えすることができました。

石井吉徳先生が残して下さいましたご遺徳を偲び、謹んで哀悼の意を表します。



## お知らせ

### 第144回(2021年度春季)学術講演会(オンライン開催)のお知らせ

1. 会期：2021年6月 9日(水) 一般講演(口頭)  
6月10日(木) 一般講演(口頭)  
6月11日(金) 一般講演(口頭)、総会、特別講演

2. 会場：  
オンライン開催となりますので、各自でインターネット環境をご用意ください。

#### 3. 参加事前登録

締切 2021年5月13日(木)  
オンライン開催のため、当日会場登録がありません。ご注意ください。

その他、詳しくは下記URLを参照ください。  
<http://www.segj.org/event/lecture/2021/01/144.htm>

### JpGU 2021大会のお知らせ

1. 会期：2021年5月30日(日)～6月6日(日)  
(オンライン開催)
2. 事前登録締切：2021年5月19日(水)
3. 物理探査学会セッション  
H-TT17 [J] 浅部物理探査が目指す新しい展開  
S-SS10 [J] 活断層と古地震  
S-EM12 [E] Electric, magnetic, and electromagnetic survey technologies and the scientific achievements  
S-TT34 [J] 空中からの地球計測とモニタリング

### 編集後記

会議やイベントがオンラインで行われる機会が多くなってから1年が過ぎ、この状況に慣れてきた方も多いのではないでしょうか。物理探査学会でも、第143回、第144回の学術講演会がオンライン形式となり、今年10月の第14回国際シンポジウムもオンラインで開催されます。オンライン開催では現地に行く必要がないため、国際的なイベントへのハードルが下がったように思います。実際に海外へ行き来することのハードルは圧倒的に上がってしまいましたが、新型コロナウィルスの影響で、世界は小さくなったのか、大きくなったのか。それぞれの感じ方によると思いますが、どちらとも言えそうです。どんな自然災害や紛争も、ここまで世界中が同時に影響を受けることはなかなかありません。各国や地域のかじ取りで微妙に違うシナリオをたどってはいますが、対処するべき問題は共通しているので世界の動向も気になります。また、同じような苦勞をしている世界の人々とリアルタイムでつながれる機会も増えました。旅費も移動時間も不要なオンラインの機会に海外のイベントに参加するも良いですね。ただ、場合によっては時差ボケや睡眠不足にご注意を。

(ニュース委員 羽佐田)

### 物理探査ニュース 第50号 2021年(令和3年)4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>

### 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。