

# 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

Geophysical Exploration News October 2021 No.52

## 目次

研究の最前線 ドローンを用いた過渡応答空中電磁探査装置の開発.....1  
 研究会紹介  
 地盤探査研究会 PS検層の実務的Q&A .....3  
 新技術紹介  
 機械学習を活用した地震探査データ解釈の紹介 .....4  
 会員企業紹介 地熱技術開発株式会社.....6  
 会員機関紹介 幌延深地層研究センター .....8  
 研究会参加報告  
 ESG6国際シンポジウム .....10  
 微動探査の国際展開のための標準化に関するシンポジウム.....11  
 お知らせ、編集後記 .....12



## ドローンを用いた過渡応答 空中電磁探査装置の開発



有限会社ネオサイエンス 城森 明

### 1. はじめに

近年、大規模な自然災害が多く、地すべりや斜面崩壊のような急峻な地形での迅速な地下の3次元構造調査が求められてきています。一方、従来の空中電磁探査では機材の重量が重いため有人ヘリコプタを使用する必要があり、飛行許可やコスト面などを含めて簡便に利用することが困難な状況にあります。そこで、我々は3種類のドローンを使用した空中電磁探査装置の開発を行い、検証実験を行いました(城森ほか, 2020)。

装置の開発には、従来の空中電磁探査装置の小型軽量化が重要なポイントでした。ドローン探査では、有人ヘリコプタを用いた探査と比較して、その信号パワーが小さく探査深度も数10m~数100mまでと浅くなります。しかしながら、ドローンは小回りが利き、GPS飛行であるため測定位置の再現性も良く、大地に接近した測定も可能であり、小さな谷地形での測定も可能となります。また、ドローン探査は、自然災害の際に重要となる深度数100mまでの地下の可視化を、迅速に、かつ高密度に行うことが可能な探査です。

### 2. 3種のドローン空中電磁探査

従来の空中電磁探査には、空中送受信タイプ(HELITEM, P-THEM)と地上送信、空中受信タイプ(GREATEM)があります。後者の方法は受信機のみをドローンに搭載すれば良いため、現在の飛躍的な電子技術の発展により可能となりました。また、前者の方法は送受信の両方を1台のドローンに搭載するには重いため、2機のドローンの編隊飛行とデータ処理方法により可能になりました。

以下に開発した3種のドローン空中電磁探査の名称、略称、そして模式図を示します(図1)。

D-GREATEM(Drone-Grounded Electrical source Airborne Transient Electromagnetics), D-TEM [GL](Drone-Transient Electromagnetics [Ground-surface Loop-source]), そしてD-TEM [AL](Drone-Transient Electromagnetics [Aerial Loop-source])です。

D-GREATEMとD-TEM [GL]は、地上送信、空中受信タイプ、D-TEM

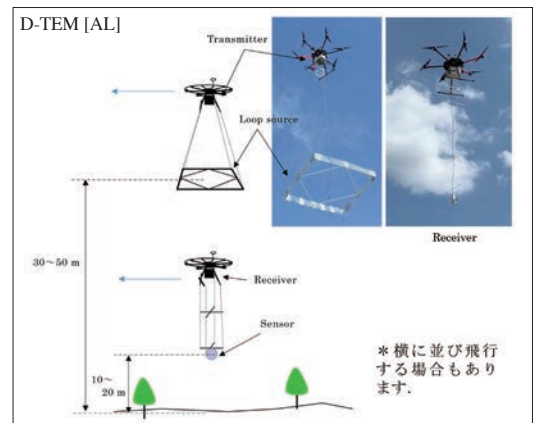
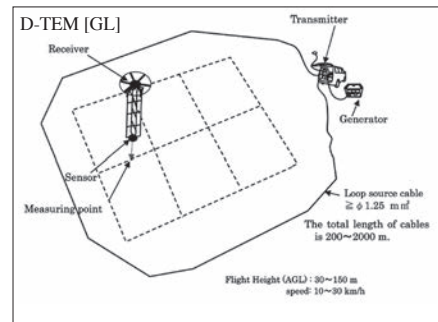
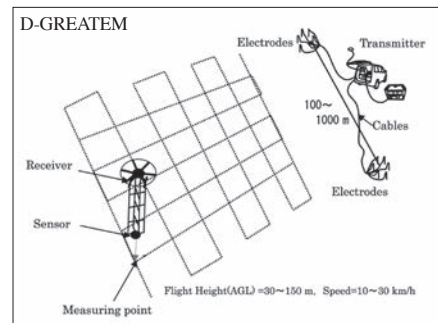


図1 ドローン空中電磁探査  
(城森ほか, 2020より引用, 一部加筆)

[AL]は空中送受信タイプになり、それぞれの使用目的に応じた使い分けが必要であることが分かってきています。

### 3. 検証実験

#### (1) 概要

実験は中央構造線沿いの紀の川河川敷で実施しました(図2)。この地区は、既存の高密度電気探査の測定結果から、表層の5~10mは高比抵抗層、その下には層厚15~30mの低比抵抗層が、さらにその下には、主に中程度の比抵抗が分布することが分かっています(図3(a))。

#### (2) 結果

高密度電気探査は2次元インバージョン、ドローン探査は1次元インバージョンによって解析しました。高密度電気探査とD-GREATEMの比抵抗断面図は良い整合性を示しました(図3(a))。D-TEM [GL]の表層の層厚はD-GREATEMより南側(SSW)で厚くなっていましたが、これは測定年度が異なるために生じた可能性が高く、同年度に行ったD-TEM [GL]とD-TEM [AL]の比抵抗断面図は良い整合性を示しました(図3(b))。

### 4. 結論

- ①D-GREATEMは、送信源と受信点の間に伸びる、例えば送電線のアースなどのような比抵抗異常が存在する時、その影響が影のように引きずるため、送信源の位置に注意しなければなりません。探査深度は比較的深く、数100mまで得られます。
- ②D-TEM [GL]は、送信源がループ状で調査地区を囲むため、D-GREATEM よりも信号強度が強く、安定した測定結果が得られます。

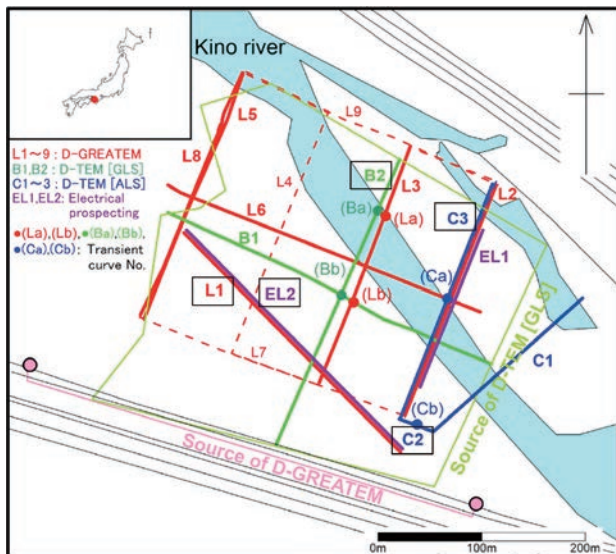


図2 測線位置図

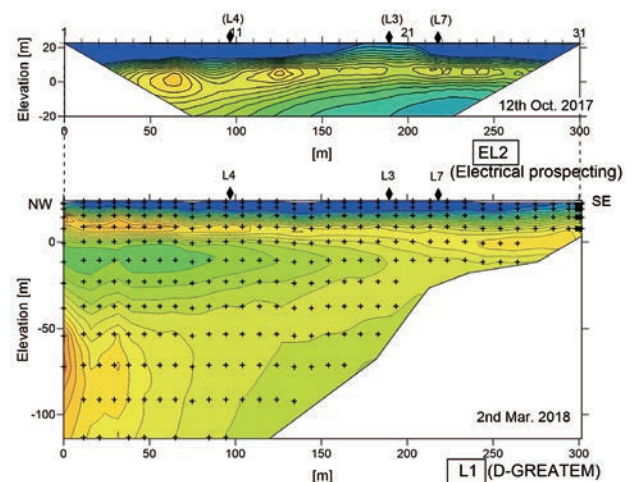
③D-TEM [AL]は、探査深度は50m程度までで、平坦な地形でのみの測定が可能です。ただし、この方法は地上送信源が不要であるため、様々な調査地区に適用しやすく、さらなる技術向上により有望な探査方法に成り得ると考えています。

### 謝辞

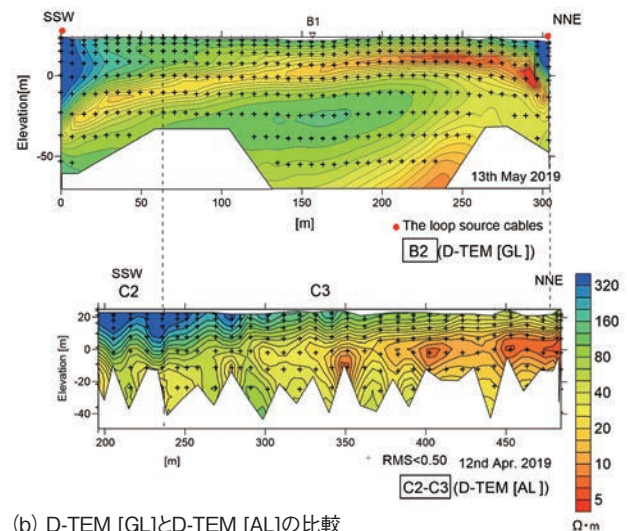
本研究の一部は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「国家レジリエンス(防災・減災)の強化」(管理法人:防災科研)によって実施され、解析ソフトに関しては、株式会社TANSA Geophysicalの佐々木 裕氏に、ご教示頂きました。本研究に、様々な形で携わっていただいた皆様に深く感謝の意を表します。

#### <参考文献>

城森 明・城森信豪・城森敦善・近藤隆資・結城洋一・新清 晃(2020):ドローンをを用いた過渡応答空中電磁探査装置の開発—D-GREATEM, D-TEM [GLS], D-TEM [ALS]—, 物理探査, Vol.73,83-95.



(a) 高密度電気探査とD-GREATEMの比較



(b) D-TEM [GL]とD-TEM [AL]の比較

図3 比抵抗断面図

(城森ほか(2020)で掲載されている断面の一部を抽出、加筆して掲載しました。)

(本誌編集委員より)

本誌では、会員はじめ一般の方にも技術的な内容をご理解頂けるよう、「わかりやすい物理探査」コーナーを設けております。本記事でも用いられている電磁法の技術的な解説については、物理探査ニュースNo.3, p.5~7の「わかりやすい物理探査(電磁法 1)」をご参照ください。

令和3年3月8日、地盤探査研究会主催による令和2年度第1回(第37回)研究会をオンライン開催いたしました。講演者はサンコーコンサルタント株式会社 相澤隆生氏、講演内容は「PS検層の実務的Q&A」と題し、令和2年2月のワンデーセミナーにて紹介があったPS検層の新しい仕様に関して、実務に携わる方々が質疑や議論を行えるようアレンジしていただきました。

本講演はコロナ禍の状況を踏まえてオンラインでの開催となりましたが、非会員の方も受講可能としたこともあり、71名(内半数以上が非会員)と多くの方にご参加いただきました。当日は学会事務局を運営本部とし、筆者はGoogle Meet会議室への入室管理およびCPD発行のための名簿確認を担当しました。開始時間直前には入室申請が立込みましたが、入室名(氏名、所属)の設定について事前に周知していたことが幸いし、比較的スムーズに進められました。参加者に関東圏以外の方も多かったこと、また数名・部署単位でまとまったの受講も多かったことは、オンライン開催の特長であると思います。

講演内容はワンデーセミナーで扱われなかった現場で培われた技術ならではの視点を含んでおり、経験だけでなく理論的な裏付けやデータによる手法評価を合わせて丁寧に説明が行われ、説得力が高い内容でした。業務にあたる各社内においていわば職人的に継承されてきたような、PS検層の細かいノウハウを含む調査の実施手法の情報共有を行う機会になりました。質疑応答では多数の質問を得ました(質疑応答の一部をご紹介します)が、オンラインでは講演者と質問者とのやりとりでそれ以外の参加者が加わりにくく、地盤探査研究会の目指している多者間の情報共有には課題を残しました。

最後に、当研究会のオンライン開催は初めてであり、開催に際して他の研究会や講習会の事前の情報が大変参考になりました。より有意義な開催を目指し、課題と解決策等を整理し、次の開催に向けて取り組んで参ります。

((( ( ( ( ( ( 質疑応答 ) ) ) ) ) ) ) )

**Q.** 起振源のオフセット距離が大きく、地表付近で走時曲線が反り返る場合、皆さんどうされていますか？

**A.** 浅部を対象とした屈折法の併用が仕様になっている例もあります。地表付近の速度構造が重要な場合には、簡易な屈折法を行うと良いです。

**Q.** P波起振時(図1)に、鉄板下の砂利が砕けて鉄板がめり込んだ経験があります。表土の整地不足だったのでしょうか？何か他にも対処法がありますでしょうか？

**A.** 木杭の使用をおすすめします。木杭は一旦抜いて先端のとがった部分を切り取って再度打ち込むと良いです。木

杭は番線で縛って割れないようにすると良いです。

**Q.** S波起振時(図2)に、20mのPS検層に200kgの錘を設置するのはオーバースペックと思いますが、どの程度の深さなら、打撃板にこの重さとかの指標はありますか？

**A.** この標準的なS波起振源は、深さ100m以下を対象として考えています。表層及び地盤の状況によって発生するS波が異なりますので、記録を見ながら起振源の荷重等を調整することが重要となります。板への荷重およびハンマー重量を大きくすることで、深さ200m程度のPS検層が実施された例もあります。200kgという荷重は、水を入れたドラム缶で対応することができますので、水の量で荷重を調整することが可能です。JRTTの「PS検層マニュアル」によると、20m以下の場合に、簡易的に、板への荷重として人が2~3人乗ることが例示されています。

**Q.** 緩衝材はタイヤの代わりにゴムマット等でもよろしいでしょうか？

**A.** 目的は錘の荷重のみを板に伝えることです。ゴムマットで上手くいかなかった経験があり、板のせん断運動を妨げない緩衝材が好ましいです。

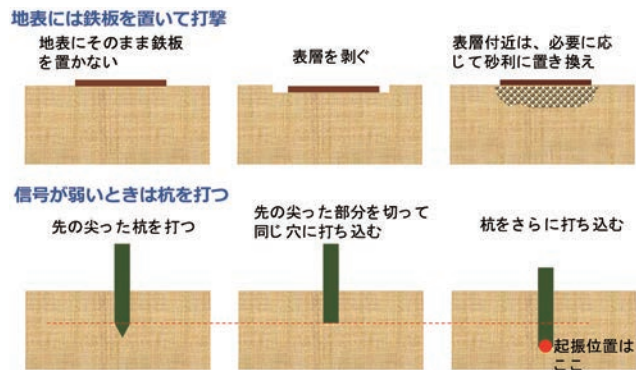


図1 P波起振源の品質改善手順(講演資料から抜粋)

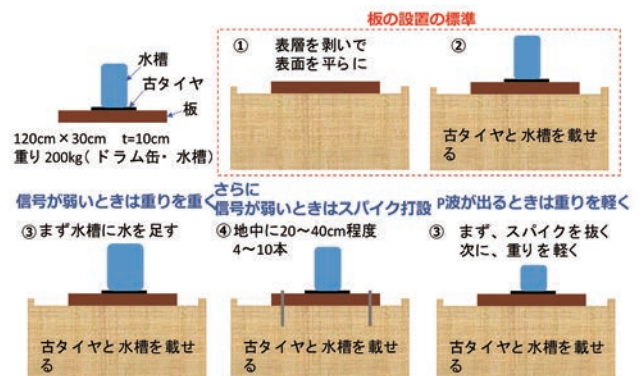


図2 S波起振源の品質改善手順(講演資料から抜粋)

### 1. はじめに

前号の新技術紹介では、弊社で開発しているE&Pサイクルをクラウド上で統合するコグニティブE&P環境「DELFI」に関して取り上げ、クラウドサービスでは、地球物理関連業務において、データ連携の促進、作業の高速化、そして働き方に革新をもたらすような貢献が期待される事をご紹介いたしました。

今回は、クラウドサービスによって実現できる「機械学習を活用した地震探査データ解釈」を取り上げて紹介します。この新しい解釈手法では、一部の解釈データを機械学習させることで、数セクションの解釈を3次元データ全体に広げる事が可能です。このような半自動的な新しい解釈支援ツールを用いることで、解釈にかかる時間を、劇的に短縮する事が期待されます。今回は、主に機械学習を用いた断層解釈に関して、例を交えながら紹介させていただきます。

### 2. 手法の概要

この例で用いております断層解釈手法には、DCNN (Deep Convolutional Neural Network) という機械学習法を使用しています。DCNNでは、1960年から使用されていた画像判別用学習法CNN (Convolutional Neural Network: 畳み込みニューラルネットワーク) よりも、重みフィルタの畳み込みとプーリングを複数回繰り返し、多層にする事で、より複雑な形状の断層を安定して予測できるようになりました。

この手法では、まず断層解釈を行う地震探査データの断面を小さな画像セクションに変換し、DCNNによる画像認識を用いて断層の位置を認識する「prediction model」を構築します。このモデルにより解釈者は地震探査データの中で、断層の可能性を示す地震波属性 (0-1の値をとる) を得ることができます。(図1)

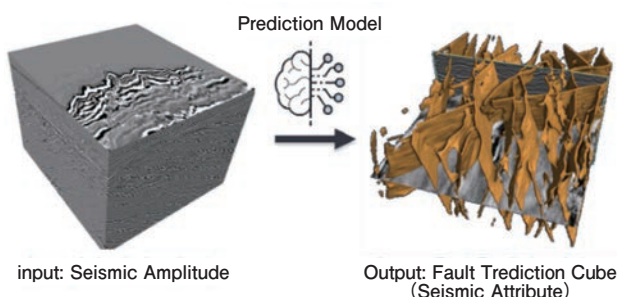
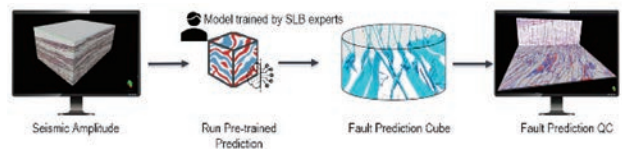


図1 断層予測の地震波属性の概略図

### 3. 断層予測手法

断層予測を行うには、2つの新しい手法を利用します。第一に事前学習済みモデルを使う手法(図2a)、第二に解釈者によって予測モデルを学習させる手法(図2b)です。それぞれの手法につきまして次にご説明します。

#### (a) Pre-trained prediction



#### (b) User-trained prediction

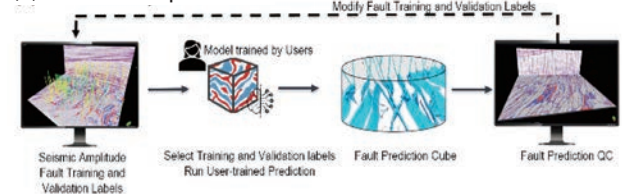


図2 断層予測手法の概要

#### 3.1 Pre-trained Prediction(事前学習済みモデルを使う手法)

世界各国で公開されている地震探査データを使用して、経験豊富な専門家の解釈により訓練されたモデルを利用する機能です。事前学習済みモデルを使用するため、この機能を使って解釈を行う解釈者は設定のパラメータや手動による解釈を必要とせず、初めて見るデータ全体に対して、断層を予測できます(図2a)。もちろん解釈を行うデータの特性(ノイズや処理の有無)、地域特性によって、この手法のみでは期待する結果が十分に得られない場合がありますが、断層分布の傾向や数量などを把握するのに有用です。

#### 3.2 User-trained Prediction(解釈者によって予測モデルを学習させる手法)

地域やデータ特性を予測モデルに反映するために、対象となるデータセットに解釈者が予測モデルの教師あり学習の教師データ(ラベル)としての解釈を与えます。(図2b)従来の解釈は、3次元地震探査データを全体的に解釈しますが、このラベルとしての解釈は選択した数セクション(Inline/Xline)のみに限定して解釈を行います(図3)。ただし、選択された断面内では予測モデルが正しく学習するために完全に過不足なく解釈する必要があります。このラ

ベルは学習だけでなく、予測結果を評価するための交差検証用としても使用されます。従ってこのラベルの品質は、最終的な予測の精度に大きな影響を与えます。断層と思われる変位が視認される場合は一貫してその位置を正確に解釈することが必要です。予測結果が不十分である場合は、解釈を修正してモデルを再学習させます。この手法の場合、予測モデル作成時にそのデータ専用のラベルを与えた上で学習させるので、結果はより最適化され、一般的に、事前学習済みモデルを使用するよりも予測精度の向上が期待されます。

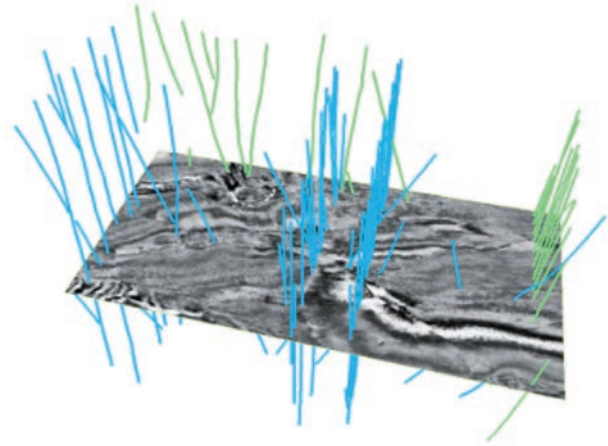


図3 機械学習のラベルとしての断層。数か所の断面を選択し、教師データ(青)と検証データ(緑)に分けている。

#### 4. 実データでの実施事例

今回の適用例ではオーストラリア西部の海上地震探査データを使用しました。(図4)事前学習済みモデルを使用した予測結果を図4(a)に示します。黄色の線は予測された断層の位置を示します。この例からは主要な構造の傾向(北西―南東トレンド)が期待通りに得られましたが、深部では断層の十分な連続性が得られず、予測精度の低下が見られました。この主な理由は、データの地域特性を考慮できないことや、深くなるにしたがって地震探査データの品質が低下する影響と考えます。

次に、解釈者によって学習させたモデルを使用した予測結果を図4(b)に示します。この例では主要な断層について、学習用に4セクションと検証用に2セクション(全断面データの1%未満)にラベル付けを行いました。結果、事前学習済みモデルに比べて予測結果は連続性と正確性の点で大幅に向上しました。加えて、SN比が低い深部でもおおむね解釈者にとって違和感のない解釈が得られました。さらに従来の地震波属性解析と比較しても、比較的データのノイズに影響されることなく、予測結果は断層の形状を展開するのに適することが分かりました(大規模な断層構造等)。機械学習による解釈の精度をさらに向上させるには、

学習ラベルとして与えた数か所の解釈の修正のみで可能となります。

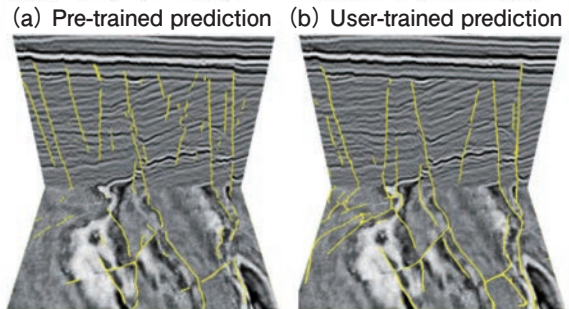


図4 適用例。事前学習済みモデルを使用した予測(a)と、解釈者によってモデルを学習させる手法を使用した予測(b)  
(データ提供:Geoscience Australia)

#### 5. 今後に向けて

これまで紹介した機能のさらなる開発は引き続き行われています。今後は、今回ご紹介した手法自体や管理手法の改善を行うとともに、断層だけではなく、層準解釈における機械学習機能も近日中に提供開始予定です。その他にも、岩塩ドーム等の複雑な構造に対しての解釈作業に対しても、様々な機械学習によるアプローチを組み合わせた手法を現在開発中です。このように、クラウドのような需要に合わせて急速に拡大あるいは縮小できるような柔軟な計算環境を利用した自動化技術を組み合わせることで、現在は数か月～年単位のプロジェクト期間が、数日～数か月の期間に短縮されることを目指しています。

#### 6. まとめ

地震探査データの解釈は、地下構造の理解とモデリングにおいて必須なプロセスですが、最終的な結果を得るまでには数ヶ月の期間を要する長期間の作業が必要です。クラウドベースの新しいAIによる地震探査データ解釈支援ツールは、解釈者の専門知識に基づく予測モデルを利用して、手動の繰り返し作業を最小化し、最小限の労力で地下構造の予測をサポートします。これにより解釈者はより専門的な地質的・地球物理的な考察に集中し、従来よりも、詳細な構造解釈、ポテンシャル評価、リスク評価に時間を割くことが可能となることが期待されます。このように新技術と解釈者の経験とを統合することは、多大な時間と労力を必要とする従来の解釈作業を劇的に変える革新の第一歩かもしれません。

#### <参考>

<https://www.youtube.com/watch?v=jd8-Dj6BXJO>



【会社概要】

地熱技術開発株式会社は、サンシャイン計画(旧通商産業省)における地熱研究開発の参画、先端技術導入における技術コンサルタント事業の育成・普及を目的として、旧通商産業省のご指導のもと、我が国の地熱開発関連の民間企業の共同出資により、1975年11月に設立されました(株主は2021年時点で31社)。その後サンシャイン計画は終了しましたが、蓄積した技術・ノウハウの活用、海外の先端技術の導入・育成を推進し、これら技術をベースとしたコンサルタント事業と地熱関連の技術開発(国の委託事業)を柱として事業展開を行っております。

弊社における、物理探査分野での調査・研究開発として、1979年に我が国初の商用MT法探査装置(海外)を導入し、石油・地熱調査を開始しました。1984~1987年には、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「高精度地磁気地電流法探査技術の開発」において、我が国初の本格的MT探査機器開発を行いました。それ以降今日まで、地熱をはじめとした各分野においてMT法をはじめとする電磁探査による調査業務を行っております。

MT/AMT 法調査

MT/AMT法は地球の磁場の変化によって地中に生じる地電流を用いて地下の比抵抗構造を調べる探査法です。地磁気の変化は太陽活動や遠方の雷などにより生じるとされており、MT法では深度10,000m以上、AMT法では深度1,000m程度の探査が可能です。

近年は国内において地熱開発が盛んにおこなわれておりますが、MT法調査はほぼすべての調査地域で実施されております。

弊社が現在用いているMT/AMT法探査装置は、ドイツのMetronix社製のADU08eシステムで、同社の国内代理店も行っております(図1)。

MT法調査では、データ品質向上のために電磁的な人工ノイズが小さい場所にリモートリファレンス点を設置しますが、弊社では山形県大蔵村にこれを設置し、高い品質の測定を行っております(図2)。

地熱分野におけるMT/AMT法の解析について、以前は2次元解析が一般的でしたが、弊社では2013年に3次元解析システムを導入しサービスを開始しました。これ以降、地熱分野では3次元解析が標準的に実施されるようになってきております。地熱分野では、一般的に地下3,000m程

度までを探査深度としますが、深度が深くなるに従い地下構造は3次元性が強くなるとされています。3次元解析の導入で、より実構造を反映した比抵抗構造解析が可能になったと考えられます(図3)。



図1 Metronix社製MT法探査装置



図2 リモート観測点

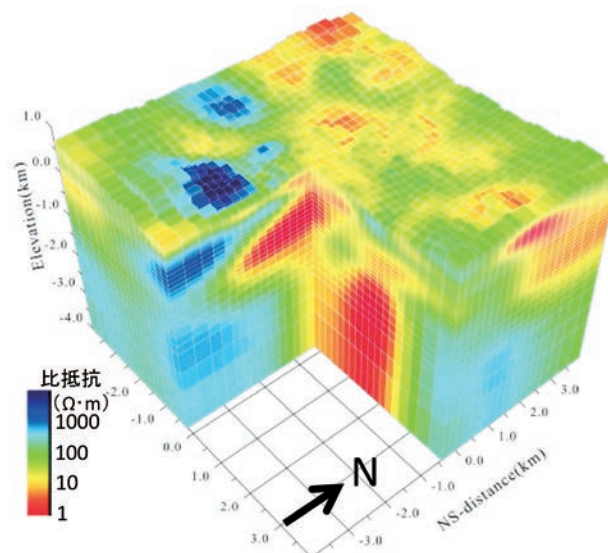


図3 MT法3次元解析結果例(長谷他, 2016)

## 浅海域電磁法探査装置

海域のMT調査について、水深1,000m程度以深の深海底のMT調査は行われて来ていましたが、海岸線に沿った水深数十m~300m程度の陸域との接続域での調査手法が無く、同領域が調査の空白域となっていました。

そこで、海洋研究開発機構、原子力環境整備促進・資金管理センター、産業技術総合研究所の研究プログラムにおいて、海底電磁法調査や浅海域における海底電磁探査装



図4 浅海域電磁探査装置



図5 浅海域での電磁探査の様子

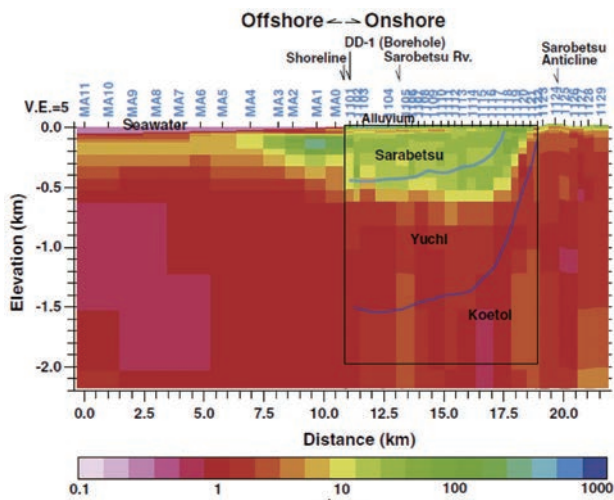


図6 海岸線を挟んだ浅海域から陸域にかけての比抵抗構造解析結果(Ueda et al., 2014)

置の開発を行ってきました。

浅海域では波の影響でセンサーを含む装置が揺れてしまい、ノイズが発生します。このため、揺れの影響を小さくする必要があり、高さを抑えた装置を開発し、調査をしてまいりました(図4~6)。現在では、湖における測定にも対応しております。

## TEM法

地表に電線で作ったループを置いて電流を流し、電流を急に遮断した際に2次的な誘導磁場が発生しますが、この誘導磁場の過渡現象を測定・解析する事で地下の比抵抗を調査する方法がTEM法です。

弊社ではロシア科学アカデミーで開発されたTEM-FAST48を用いて地下数m~100m程度の比抵抗構造の調査を行っています(図7)。同調査では主に地下水や温泉などを対象としております。



図7 TEM法調査装置「TEM-FAST48」

## おわりに

弊社は、物理探査分野においては、地熱はじめとした各分野を対象とした陸域での電磁探査の他、浅海域における電磁探査に係る研究開発、調査を行ってきました。また、これら地表・海底面における調査手法に加えて地熱や金属鉱床を対象とした坑内電磁探査法の開発、地熱向けの高温用坑内微小地震計の設置・観測にも携わってきました。一方、地熱などを対象とした新しい探査手法として微小地震観測におけるS波スプリッティング調査など、新しい調査手法の導入にも携わっています。

これからも、地熱・温泉や、地下水流動を始め、石油・金属資源分野などを対象とした調査研究を行い、より高い技術の提供を顧客に提供できるよう、努めてまいります。

### <参考>

Ueda et al. (2014) Journal of Applied Geophysics, 100, 23-31.  
長谷 他 (2016) 物理探査学会秋季講演会要旨集

## 幌延深地層研究センター

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構幌延深地層研究センター 尾崎 裕介

幌延深地層研究センターは、新第三紀の堆積岩を対象として高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する研究開発を行っております(図1)。場所は、北緯45度線が通過する北海道天塩郡幌延町にあり、付近には牧草地が一面に広がる中にあります。幌延深地層研究センターでは、現在、深度380mまで地下施設を掘削し、地上や坑道の中から地下深部の地質環境に関する研究や地下坑道や処分システムの設計・建設に関する技術開発等を行っております。余談ではありますが、「日本最北のトンネル」と思って、調べてみましたが、さらに北に位置する日本最北端の離島、礼文島にもトンネルはあるそうです。

まず初めに、地下の坑道に関して紹介いたします(図2)。坑内へは、工事用のエレベーターで地下に向かいます。最大で100m/minのスピードですので、深度350mの坑道までは5分程度の時間がかかります。地下の環境は、場所や季節にもよりますが概ね20℃程度で、湿度もそれほど高くなく比較的快適に作業できる環境です。物理探査的な環境としては、岩盤が泥岩で地下水が海水ということで、数 $\Omega$ 程度の比抵抗で2km/s程度のP波速度の環境になります。坑道内には図2の写真のように様々な観測装置が取り付けられており、例えば、水圧や水質等のモニタリングが行われていたり、工事用の資機材が置かれていたり、通常のトンネルとは異なる雰囲気があります。坑道は大部分が吹付コンクリートで覆われていますが、一部コンクリートをくり抜いた「幌延の窓」と呼んでいるところでは岩盤を直接観察できます。



図1 幌延深地層研究センター



図2 坑道内の写真の様子

上左 エレベーター  
上右 幌延の窓  
下 坑道内に設置した観測装置や資機材

次に幌延深地層研究センターで実施している物理探査について紹介いたします。地下坑道の中では主に坑道壁面周辺の数メートルの範囲を対象とした調査が多く実施されています。この調査は、掘削損傷領域あるいは掘削影響領域と呼ばれる領域を対象とした探査になります。幌延の岩盤の例では坑道を掘削した時には、坑道壁面から1m程度の深さまで亀裂が発生したり、坑道壁面から地下水が排水されることによる不飽和領域が発生したりすることで、地質環境を乱してしまいます。特に掘削損傷領域では、岩盤の透水性が変化し元の岩盤に比べて高くなる可能性等が危惧されており、坑道を埋め戻した後の地下水位等の地質環境の回復過程等に影響することが予測されます。そこで、掘削損傷領域や影響領域の広がりやその経時変化を物理探査で高精度に把握することを目的として比抵抗トモグラフィや弾性波トモグラフィを継続的に実施しています(図3)。

地下研究所特有の物理探査の事例としては、深度350mで実施している実際の処分システムの性能を実規模スケールで確認する人工バリア性能確認試験があります。人工バリア性能確認試験では、図4のように坑道床面にピットを掘削し、ピット内に廃棄物の処分容器(オーバーパック)を模擬した模擬オーバーパックとその周りに粘土鉱物を多く含むベントナイトとケイ砂からなる緩衝材を定置、さらに



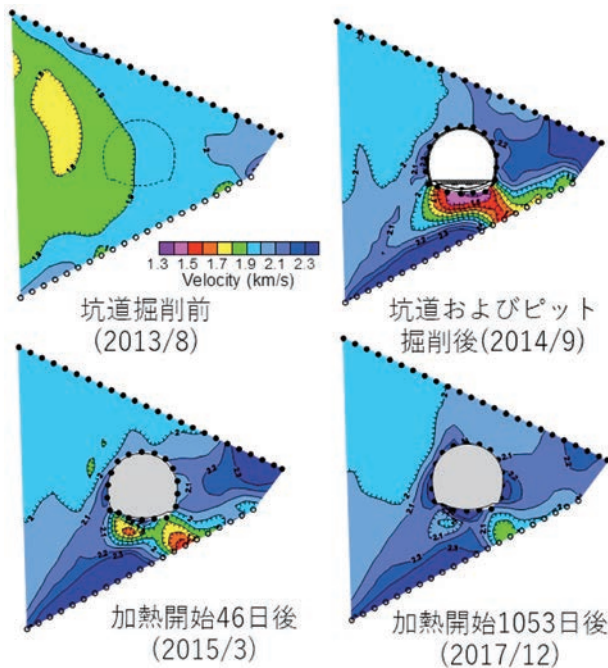


図3 人工バリア性能確認試験を実施している坑道の掘削損傷領域を対象とした弾性波トモグラフィの繰り返し調査事例 (Aoyagi et al., 2018)

その上部の坑道の一部を埋め戻して、実規模の人工バリアシステムを構築しています。埋め戻した坑道の外周部と緩衝材の外周部には注水管が、模擬オーバーパック内部には廃棄体からの発熱を模擬するための電気ヒーターが設置されており、地下水の注水量やヒーターの温度条件を変化させ、その際の、熱・水理・力学・化学的な挙動を内部のセンサーで計測しています。加熱・注水は2015年より開始し、2021年からは廃棄体からの発熱量が低下した状態を模擬してヒーターを停止した条件での試験を開始しています。比抵抗トモグラフィ測定は緩衝材外周部に事前に設置した電極ケーブルを用いて、月1~2回程度の頻度で実施しています。そこから得られる比抵抗分布から、緩衝材中の飽和度分布の変化を推定しています。

坑道内だけでなく地上でも物理探査を実施しております。地上では、昨年度、地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化を目的として幌延深地層研究センター周辺の約3km四方の領域を対象にMT法および反射法地震探査を実施しました。幌延地域の地下深部には化石海水が存在しています。化石海水とは、海の中で地層が堆積する時にとり込まれた海水が地層の埋没経過過程で変化しながら地下に留まっている地下水で、その存在は地下水の流動が非常に緩慢である証拠となります。この化石海水の分布を、地下の低比抵抗領域から反射法地震探査により推定される地質構造と照らし合わせながら推定しました。図5は、調査結果の一部で、反射法探査で取得された断面図にMT法で取得された比抵抗値を重ねたものになっております。地上からのボーリング調査における地

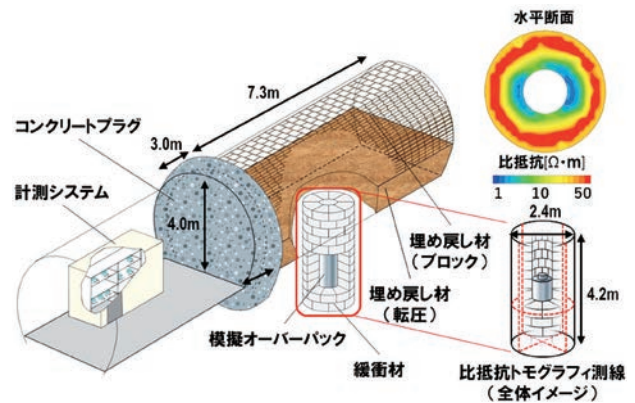


図4 人工バリア性能確認試験の概要(左)と緩衝材を対象とした比抵抗トモグラフィ結果例(右)

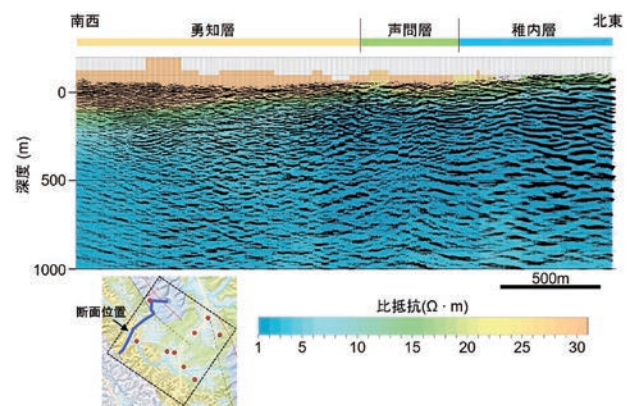


図5 MT法と反射法地震探査の実施例(幌延深地層研究センター, 2021)

下水の水質分析と電気検層から、幌延深地層研究センター周辺では、地下水の比抵抗が $2.4\Omega\cdot\text{m}$ 以下の場合には化石海水である可能性が高いことから、MT法で推定される比抵抗が $2.4\sim 5.9\Omega\cdot\text{m}$ の低い領域は化石海水である可能性があるとして解釈しております。

最後に、施設見学に関して案内をさせていただきます。幌延深地層研究センターでは、事前に予約していただくと、地下坑道を見学できます(詳細はwebサイト“<https://www.jaea.go.jp/O4/horonobe/visits/index.html>”をご覧ください)。また、センター内にはPR施設のゆめ地創館や、地層処分実規模試験施設が併設されており、地下研究や地層処分に関わる展示を行っております。晴れた日にはゆめ地創館の展望台からは利尻岳を眺めることができ、センターから歩いて5分ほどの距離にはトナカイ牧場もあり、地下のことや自然のことが大好きな皆様には満足していただけたと思います。Covid-19の状況次第ではございますが、皆様のお越しをお待ちしております。

<参考文献>

Aoyagi et al., 2018, Proceedings of 13th SEGJ International Symposium.  
 幌延深地層研究センター, 2021, 幌延深地層研究計画 令和2年度調査研究成果報告, 88p.

第6回ESG(Effects of Surface Geology on Seismic Motion: 表層地盤が地震動に及ぼす影響)国際シンポジウムが2021年8月30日から3日間の会期にわたって開催されました。もともとは2021年3月の京都開催を予定していましたが、COVID-19の影響により半年ほど延期され完全オンライン形式で開催されました。直前まで現地とのハイブリッド開催を模索していましたが、それも200名近くの参加者の安全を第一に考え、惜しまれつつ完全オンラインで実施することとなりました。

第6回目となる今回は、"Progress of ESG research during the last three decades: How accurately can we predict site amplification?"のテーマのもと、8つのトピックによるセッションと、2つのスペシャルセッション(SS)が設けられました。SSのひとつは、"Blind prediction related to the 2016 Kumamoto earthquake"です。

2016年熊本地震に関するブラインド予測実験は、会議の2年ほど前から準備され、3つのステップに分けて行われました。ステップ2と3では、熊本平野内の"ある地震観測点"における熊本地震の余震や前震・本震波形(参加者には伏せられている)を予測させる実験で、そのためにステップ1では物理探査データ(アレイ微動、表面波探査)などをもとに、速度構造を推定するという実験が行われました。ステップ1への参加を表明したチームは40にのぼりましたが、最終的に結果を提出したチームは28でした。それでも過去のブラインド予測実験に比べても多く、しかもその多くの参加者が似通ったレイリー波位相速度分散曲線を推定していました。

ESG6運営委員会で用意した参考モデル(微動アレイ探査とPS検層により作成)により計算される分散曲線とはいくつかの明瞭なギャップが確認され、この点は、続く速度構造のモデル推定に影響したものと思われます。議論では、高次モードの扱いによって違いが生じたのではないかなどの意見が交わされました。過去に行われた実験同様、今回の実験もまた微動探査の可能性および有用性について理解を深めるための良い機会となりました。

このように今回のブラインド予測実験は成功とあって差し支えないのですが、その裏には、現場での苦労話が多々あるものです。微動観測では、限られた日数とサイトの制約によるノイズの多さからか、データ品質が十分でないことが多々あり、結局何度も熊本に通うことになったり、機材を貸してもらったりと、多くの方を巻き込んで最終的に高品質のデータを取得することができたのです。参加者からも品質が良かったとの声が聞かれ、今回の実験だけにとどまら

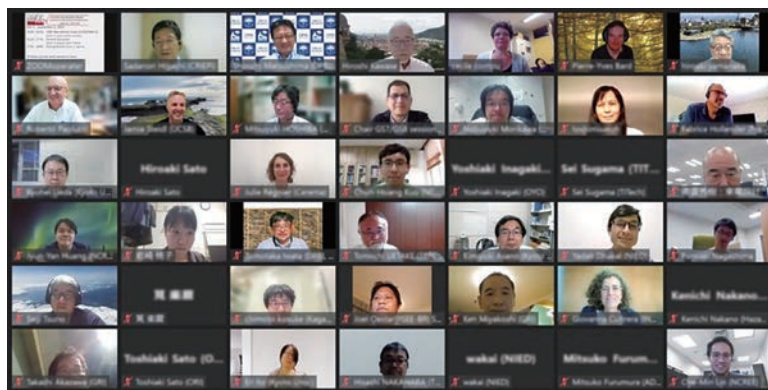
ず、このデータが公開されることで、微動に関する解析の高度化への研究にも生かされるものと期待されます。

もうひとつのSSは、"Achievements from two decades of observation by K-NET/KiK-net"とこちらも興味深いものです。K-NET/KiK-netといえば、阪神・淡路大震災後に日本全国に構築された約1700点を超える強震観測ネットワークです。このセッションの中で、海外の参加者が、K-NET/KiK-netは本当にユニークなツールであると評価しました。「ユニーク」とは英語では「唯一無二の」という意味ですが、私には日本で慣用されている「面白い」の意味に聞こえてなりませんでした。

なぜこれほどまでに世界中で使われるようになったか、という議論では、まずは、少なくとも英語版のサイトがあってアクセスがしやすいことが挙げられました。それに加え、全ての観測点でボーリングログ(速度および地質構造)情報が存在するのも要因ではないかとの意見がありました。たしかにK-NETでは基本的に20mの深さまでの土質、P波、S波速度、密度の情報が公開されており、KiK-netではほとんどの観測点で100m以上、なかには3,000mまでのボーリングログが備わっているなど、こんな地震観測網は世界を見渡しても本当にユニークです。この点を指摘されるということは、すなわち、地震動の研究においては、地震波形と地盤の情報がセットになっていることがいかに重要であるかということでしょう。

K-NET/KiK-netが構築されてほぼ25年が経過し、それらのデータを活用した膨大な数の研究成果が現在では国内外から生まれています。果たして次の四半世紀には一体どうなっているのか楽しみでもあり、またその先をどのようにしたいか、すでに見据えていなければいけない時なのかもしれません。

ESG6開催期間中に開かれたJWG-ESG委員会では今回の国際会議の開催について話し合わせ、ESG7は2026年前後にフランスで開催予定となりました。



フォトセッションの一部。著者は5行目3列

## 「微動探査の国際展開のための標準化に関するシンポジウム」の参加報告

九州大学 重藤 迪子

令和3年9月22日(水) 13:30~17:20にオンラインで開催された、物理探査学会・地震防災研究会主催の「微動探査の国際展開のための標準化に関するシンポジウム」に参加しましたので、その概要を報告いたします。

微動探査は、日本が世界に先駆けて実施し、適用事例を蓄積してきた探査技術であり、現在日本発で微動アレイ探査の国際標準化に向けた取り組みが進められております。本シンポジウムでは、国際標準化に向けた活動報告、標準化規格についての意見集約の場として開催され、微動探査の適用事例・国際標準化の最新動向・実務適用にあたっての情報共有に関する講演が9件とパネルディスカッションが開かれました。シンポジウムには研究者・技術者・学生など60名を超える方が参加され、国際標準化への関心と期待の高さを感じました。

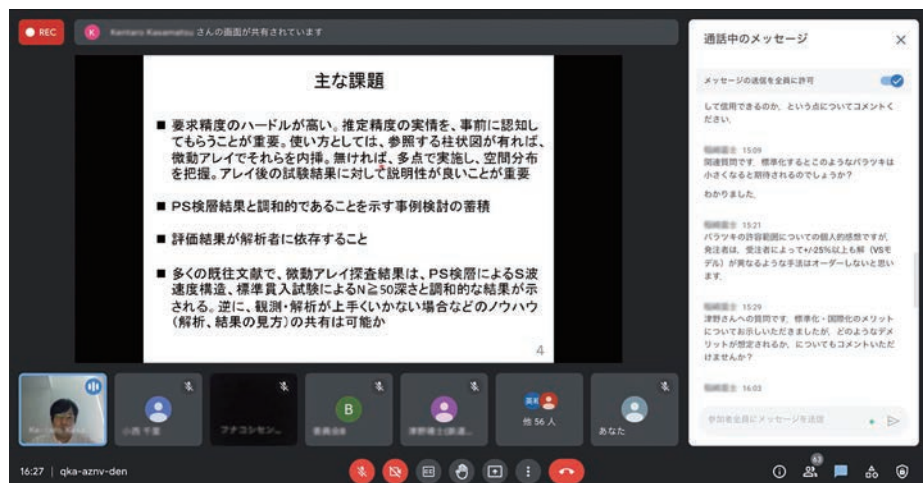
司会進行およびパネルディスカッションのコーディネータを電力中央研究所の佐藤浩章氏が務められ、冒頭に東京工業大学の山中浩明先生より、微動観測から微動探査へと実用化技術が開発されてきた歴史と、微動探査技術が日本発で国際標準化され、標準的手法確立において、技術者が創意工夫すべき方向が明確化されることを期待する、との話がありました。次に、応用地質株式会社の鈴木晴彦氏より「表面波を用いた物理探査の土木建築調査における適用事例」、岩手大学の山本英和先生から「微動アレイ探査の解析について検討すべきいくつかの課題について」、香川大学の地元孝輔先生から「微動アレイ探査による速度構造モデル化のブラインド予測事例と強震観測点における実例」の講演がありました。高次モードのモデル化への影響、速度構造を推定する際に境界面を正確に推定することは難しく、他情報としてボーリングデータや地質等を把握する必要があるなど、解析で検討すべき課題について共有がありました。

その後休憩を挟んで、「微動探査に関する国際標準化の最新動向」として、鉄道総合技術研究所の津野靖士氏より「(その1)経緯・現状・観測関連」、応用地質株式会社の小西千里氏から「(その2)手法・報告書関連および今後の展開」の講演がありました。国際規格の作成・国際標準化は、「マニュアル」を作成するもの

ではなく、最低限の品質を確保するために実施および提出すべき事項をまとめた“仕様書”を決めることであると説明がありました。また、標準化に向けた今後のスケジュールと国際規格案についての意見募集依頼があり、意見は集約してパブリックコメントへ反映させる予定だと伺いました。

次に、パネルディスカッションに先立ち、実務適用時の情報共有として、鹿島建設株式会社の笠松健太郎氏より、「建設現場における微動アレイ探査ニーズ」、株式会社ダイヤコンサルタントの神薗めぐみ氏より「微動アレイ探査のプランニング」、サンコーコンサルタント株式会社の村田和則氏より「岩盤における微動探査の事例」について講演がありました。その後、活発な意見交換が口頭・チャットを通して行われ、規格を縛ることで研究の発展を阻害しないか?どこまで推定構造のばらつきを許容できるか?探査方法の推定限界など、について意見交換がされ、最後に、シンポジウムに一般参加されていた名古屋大学の渡辺俊樹学会長からの言葉、北海道大学の高井伸雄先生から総括と閉会の挨拶がありました。

私にとって、国際展開への最新動向を知る大変興味深い機会となったとともに、経験豊富な実務・研究経験を有する方々の、計画立案から計測～解析時の課題や共通の悩みについて情報共有いただけたのも貴重な機会でした。微動アレイ探査だけでなく、表面波探査も今後国際標準化に向けた動きがあり、また、国際標準化後も将来的な見直し・更新が可能と伺いました。今後も本シンポジウムの様な意見交換の場があり、更なる技術の発展が進めばと思います。物理探査学会・地震防災研究会の皆様にはこの場を借りてお礼申し上げます。



オンラインで開催されたシンポジウムの様子



## お知らせ

### 第145回(2021年度秋季)学術講演会

現地とオンラインによるハイブリッド開催

開催日：令和3年11月24日(水)～11月26日(金)

開催場所：サンポートホール高松

特別講演

- (1)長谷川 修一 氏(香川大学 特任教授)  
「応用地質研究者としての物理探査活用術」
- (2)香川 政明 氏(さぬき麺業株式会社 社長)  
「寝ても覚めても、うどん」

特別講演はどなたでも無料で参加できます。

詳しくはこちら

<http://www.segj.org/event/lecture/2021/07/145.html>

### 学生会員の会費免除について

現在、新型コロナウイルス感染症の流行により、多くの方々が日常生活に様々な影響を受けていることはご承知のとおりです。令和2年度には学生会員の年会費を申請により免除する措置を講じてきましたが、コロナ禍が続いていることを鑑み、令和3年度についても同様な措置を講じることにいたしました。学生会員の皆様には下記のように所定の手続きをしていただくことにより、今年度の年会費を免除いたします。

詳しくはこちら

<http://www.segj.org/news/2021/07/post-112.html>

### 物理探査学会 Facebook 絶賛更新中!

物理探査学会では、Facebookページを公開し、随時更新しております。物理探査に関連するニュースやトピックスを定期的にご紹介しております。Facebookのアカウントをお持ちでない方も、ご覧いただけます。物探学会Facebookへ、ぜひご訪問ください!

アドレスはこちら

<https://www.facebook.com/segjfb/site/>

### 編集後記

前回、編集後記を担当した時は、新元号がどうなるのか予想していたことを思い出した。新しい元号が「令和」になり、私の予想は当然の如く外れたが、ここまで世の中が大きく変わる時代になるとは誰が予想できたであろうか。新型コロナウイルス感染症COVID-19の流行により、全世界的に人々の移動制限や行動制限が設けられる未曾有の状況に直面している。

そんなコロナ禍においてみなさまはいかがお過ごしでしょうか。テレワークに始まり、通販、Uberなどのフードデリバリー、テレ飲みなど人々の生活様式は大きく変わったように感じる。家の中にいても日常生活がほぼ完結できるようになり、ニューノーマルな時代の訪れを喜び歓迎した。通勤がなくなり、社会全体で書類や印鑑の電子化が進み、ウェブ会議は新鮮で便利なものを感じていた。なにより個人の時間が増えたことが大きい。しかし、どんなものにも一長一短があるように、喜ばしいニューノーマルな生活の課題も徐々に浮き彫りになってきている。運動量や交流が減り内向的になり、意欲や機会の損失が起きやすい環境である。自己管理といってしまうとそれまでだが、新しいことに自己責任で挑戦する、自己評価によるモチベーション管理など全部自分で賄おうとするとハードルが高い。

このような環境で苦悶していると眩しくて仕方がないのがMLB大谷翔平選手の活躍だ。2021年は二刀流に対しての否定的な意見を覆した伝説的なシーズンになった。コロナ禍で否定的になりがちな人々の心に希望を与えてくれた。あまりにも凄すぎて本当に同じ人類なのかも疑わしい。米メディアでも宇宙人と形容されていたが、何一つ勝てる気がないので納得だ。その大谷選手がオフの時にゲーム(クラッシュロワイヤル)でチームメイトと遊んでいるというネット記事を見かけた。オフの時も注目されるスター選手になったことを日本人として誇らしく思いつつ、ゲームなら勝てるのではないかという希望が沸いた。なにか1つは勝ちたいという小さな自尊心を胸に、オンライン上での対戦を夢見ている。

さあ今日もクラロワを始めよう。

(ニュース委員 立花 冬威)



### 物理探査ニュース 第52号 2021年(令和3年)10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](mailto: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。