

# 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

研究の最前線	
地表ソースを用いる空中電磁探査法の実用化(2) ……	1
ホント?SFの中の探査 16 ……	3
わかりやすい物理探査	
反射法地震探査(その3) ……	4
70周年記念行事のお知らせ ……	7
富山にこれれ! ……	7
会員機関紹介	
土木研究所 ……	8
平成29年ワンデーセミナー報告 ……	10
キャンパスビジット@千葉大理学部 ……	11
お知らせ・編集後記 ……	12

## Geophysical Exploration News April 2018 No.38



### 地表ソースを用いる空中電磁探査法の実用化 (2) 研究開発は大変だけど面白い

有限会社ネオサイエンス 城森 明

#### 1. はじめに

地表ソースを用いる空中電磁探査法(GREATEM:grounded electrical source airborne transient electromagnetic)の技術的な内容に関しては、物理探査ニュース(城森, 2015, No27)に記しました。今回は、本装置の開発エピソードについてお話しさせていただきます。

装置の開発は2000年ごろから電力中央研究所の依頼で行っていました。この探査の原理は、地上で探査を行うTDEM(Time Domain Electromagnetic)と同様です。地上での探査では、山中を歩き、測点に受信センサを設置して探査します。この探査原理は電磁誘導であることから、受信センサを大地に接触させる必要がありません。よって、受信器をヘリコプターで吊らして、広範囲、迅速、高密度、そして人が立ち入れない場所の探査も可能である。との考えが生まれてきました。最初の実験は、秋田の地熱地帯、秋ノ宮での探査であったかと思います。地表チームが山道を歩いている、その上空を、奇妙な装置をぶら下げたヘリコプターが飛行していた記憶があります。その後、2003年から、この方法は電力中央研究所を中心とした研究グループ(北海道大学、京都大学、九州大学、応用地質(株)、(株)セレス)が、文部科学省の補助金による「総合空中探査システムを用いた大規模災害の防災技術に関する研究(2003~2005年度)」の中で開発が進められました(伊藤他, 2007)。

#### 2. センサの揺れを克服する戦い

この探査で、もっとも神経を使うところはセンサの揺れです。地球磁場の中でセンサが揺れるとそれが磁場変化となってノイズとなります。地上での探査では、風によるセン

サの揺れを防ぐためにセンサを埋設するなど細心の注意を払います。そのような繊細な受信センサをヘリコプターで吊らして測定を行うことを、研究員の方々が要求されましたが、私たちには、うまくいくとは考えられませんでした。しかし、「できれば良いなあ〜」という気持ちは皆様方と変わりません。

センサの揺れを少なくするために、まずは①バードの飛行の安定性を確保、次に②センサの揺れを滑らかにすること、最後に③フィルタによる揺れ補正を考えました。

##### ① バードの飛行の安定性を確保

最初、バード形状はDIGHEMの装置のように棒状のバードに尾翼を付ける形を想像しました。しかし、簡単な模型を作成して風を当てると、頭を左右に振り、なかなか安定しません。良く見ると棒の部分に風が当たると回転モーメントが発生して、バードが回転するのです。それを見ていた息子が、棒ではなくボールにすれば? と言ってきました。そこで、ボールに尾翼を付けると、これが非常に安定します。また、バードは飛行機に近いと思っていましたが、これはロープで曳航する凧に近い。そこで、尾翼を空気抵抗を生じさせるスポイラー(エアブレーキ)と考えました。するとさらに安定感が増しました。

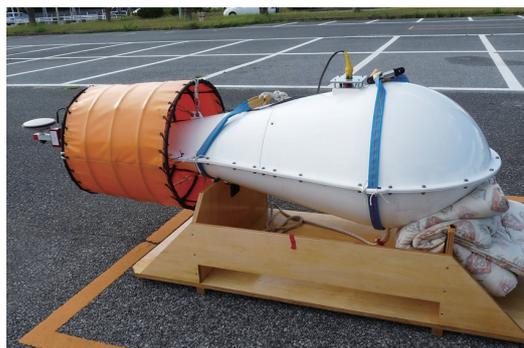


写真1 GREATEMバード(電力中央研究所 所有)

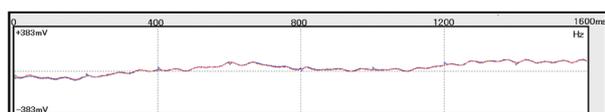
実際の形状は、これを基本形として、社員が設計、そして風洞実験を行い、今のバードが生まれました(写真1)。このバードは、その形状から「ナマズ」と呼ばれ、実際の飛行では、進行方向を即座に向く、皆様に高評価の形状が生まれました。

## ② センサの揺れを滑らかにする

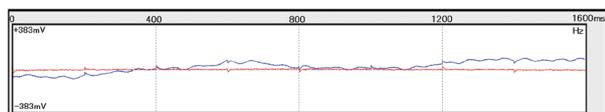
急激な振動が磁場センサに加わらないように、振動を吸収する方法として、当初、ジンバルを採用しました。しかし、飛行実験の結果、この方法はブランコのように揺れを増幅してしまうため、この方法は止め、いまはセンサ台を固定する方式になりました。

## ③ 各種フィルタによる揺れ補正

揺れによるノイズは、強力な地球磁場の中でセンサの姿勢が変化することで生まれます。したがって、センサの姿勢を測定すれば揺れは計算上補正できるはずですが。揺れノイズを除去するために、揺れと方位を捉えるためのセンサ(姿勢計、角速度計、方位計)などをバードに搭載しました。そして、座標変換などを使い、揺れによるノイズを予測して、それを磁場データから差し引くことで除去を試みました。しかし、理論通りには行かず、揺れノイズが残ったままでした。この間にも、かなりの時間が経過しましたが、ある日、両者の波形を見ると、位相のずれが見られます。磁場センサと姿勢計など各センサとの間に周波数応答に違いがあることを忘れていたのです。今となっては、うまくいかなかったのは当然のことです。そこで、磁場信号のない状況で飛行したデータから各センサ間の伝達関数を求めて、補正する手法を採用した結果、揺れは見事に補正ができるようになりました(図1)。今では、これに予測フィルタなどの考えも適宜組み合わせることで、より揺れの補正精度を高めています。



(a)



(b)

図1 揺れによるノイズ磁場の除去

青線：測定波形、(a) 赤線：揺れから予測されたノイズ磁場、  
(b) 赤線：揺れによるノイズ磁場を引き去った後の波形

## 3. 現場調査でのエピソード

この探査は、大地に強い時間変化する磁場(1次磁場)を与える必要があります。このために、数kmの長さの送信ケーブルを地表に敷設して、両端に接地抵抗を低減させるための数100本の電極を接地します。このケーブルから磁場を発生させるのですが、ケーブルや電極には見張りが必要です。最初の調査は阿蘇山でした。送信中はみんなで手分けをして、この送信源を見張ります。阿蘇には牛が多く、牛の群れが移動してきた時は恐怖を覚えます。また、送信源は夜間は放置するため、実験前には修復に追われる日もありました。磐梯山では送信源

設置作業時に道路を横切る熊を目撃したとの話もありました。

2005年には、有人ヘリでの実験も少し目途が付き、ラジコンヘリにより探査を行うMini-GREATEMの装置開発を行いました(写真2)。その実験は磐梯山のスキー場で行いました。ラジコンヘリといっても、その大きさは車(バン)ほどの大きさがあります。

現地調査では、測定器が途中で動かなくなるトラブルに見舞われました。翌日にはラジコンヘリのパイロットが引き上げるとの予定で、現場は騒然となりました。当日は、我社の社員とヘリ運営会社の方々しか残っておられなかったのですが、私と弟が、その原因についてパイロットの方々の前で兄弟喧嘩となりました。それを見ていた、パイロットの方が、事務所と相談して、明日も飛行してくれるとの機転を利かせて頂いたのです。その後、宿に帰って原因究明です。原因はヘリの振動が予想以上に強く防振構造が十分に働かなかったのではないかと推測しました。そこで防振構造の強化ですが、立派な防振装置など現場で入手できません。そこで近くの店に行き、食器洗いのスポンジを入手して、それを防振にしました。おそらく両面テープが活躍したかと思えます。翌朝、実験した結果、見事に測定できました。発注者様には、いまだから言えます。振動吸収材は食器洗い用のスポンジだと。



写真2 Mini-GREATEM

## 4. 研究開発で学んだこと

このような貴重な研究に携わる機会を得たことは非常に幸運だったと思っています。研究開発で学べたことは、決してGREATEMの技術に留まらず、このテーマを通して、開発の仮定で、いろいろな技術を蓄積できたと思います。

研究開発は失敗の連続です。しかし、諦めず続けている限り失敗で終わらないようです。それでもダメだと諦めようと思うまで追い詰められた時、一休みすると、うまくいかない理由が、ふと頭に浮かぶこともあります。

どんな研究でもそうであるように、私は、この装置も、いまだに開発途上にあり、昨今の急速な電子機器の発展に伴い、空中電磁探査は、まだまだ発展が期待できる探査方法であると考えています。

### <参考文献>

伊藤久敏ほか(2007):電力中央研究所報告, N06011, p.1-21., N06012, p.1-20.



## ドラえもんで物理探査

～財宝さがしと物理探査の関係(その3)～

海洋研究開発機構 笠谷 貴史



てんとう虫コミックス第15巻「珍伽羅峠の宝物」に出てきた「宝さがし機」について物理探査の側面から2回にわたって考えてきましたニュースレター(No.33と35)。このお話は、「宝さがし機」を使ってのび太とドラえもんが珍伽羅峠に宝物を探しに行くお話でした。ドラえもんの「ひみつ道具」の中から物理探査の香りのする「宝さがし機」から派生して、本当に宝さがしをするかどうかについて図1の3つのパターンにわけ、そのうち(1)の大判小判が直接土壤に接している、大判小判=金の含有量が高い物体の集まり、と考えました。前回の記事から間が開いてしまいましたが、今回は残りの2つの例について考えてみましょう。

まず(2)の「大判小判が箱(千両箱)に入って埋まっている」パターンです。(1)と異なり、低比抵抗体である大判小判は千両箱に入っているため直接土壤には接しません。ここで探査すべき物性は千両箱という事になります。千両箱は基本的に「木」で出来ています。主に桐や樺が用いられていたようです。長期保管の腐食を防ぐためにおそらく漆でコーティングされていると思います。Web検索してみると漆の加工をした漆職人さんのサイトがいくつか引かかるので、千両箱は漆塗りの加工がされていたものとして考えましょう。漆について調べると、電気的には絶縁体に近いそうです(例えば、橋本・小泉, 2015)。千両箱の角には黒い金具(帯包と言うそうです)があるのが一般的なイメージですが、この金具が比抵抗構造に対して大きく寄与するとは考えにくいと思われます。よって、電気的には千両箱は電気を流しにくい物体として考えることにします。弾性波からは、周囲の地盤に対して明瞭な速度境界を作るでしょうから、反射体もしくは速度異常体としてとらえられると思われます。

さて、これを物理探査で見つけるにはどうしたらよいでしょうか。千両箱は、25両で一組となる小判を40組収納する様に出来ています。大きさは素材などで様々なようですが、博物館の展示物で、幅40cm、奥行き14.5cm、高さ12.3cmと言う記載を見つけることが出来ました。(太田宿中山道会館; <http://kaikan.ootajuku.net/kikaku/post-162.html>)。時代劇の描写では平たいイメージがありますが、思ったより角柱状の様です。独立行政法人造幣局(以

下、造幣局)のWebサイトの写真を見てもその様に見えます。慶長小判が一枚約18gなので小判だけで18kg、箱を入れると20kg以上。時代劇のイメージのように、これを持って走るのは無理そうです。この千両箱が地面の下に埋まっていますが、(1)の時と同じように、あまり深いところに埋まっているとは考えにくいので、浅いところに数個の千両箱が埋まっているイメージで考えてみます。電気的には高比抵抗体として見えるはずですが、浅所であれば地中レーダーやループループ法が一番手軽かもしれません。地中レーダーは、前号(No.37)の物理探査ニュース掲載の断層調査や、この連載のゴルゴ13の遺跡探査(No.31)で活躍していたアレです。電気探査では、余りにも浅い所に埋まっていると、電極間隔が十分に短くないと見逃す可能性がありそうですし、十分な調査範囲をカバーするにはコストがかなりかかってしまいそうです。これは弾性波探査も同じ事が言えると思います。これらの事から、(1)や(2)の場合は、地中レーダーが有望な方法と言えそうです。

一方で(3)の大きな洞穴などに隠されている場合、もはや宝物の物性では無く、地下にある洞穴をどう見つけるかにかかっています。宝物を入れておこうという洞穴ですからそれなりに大きいものでしょうから、調査範囲も探査深度からも大規模な調査になると思われます。電気的には無限大の抵抗を持つ場所を見つけるので、電気探査・電磁探査のいずれも有効だと思われます。とはいえ、上述のような先見情報が無いと難しいですね。現在の物理探査装置が「宝さがし機」並に、宝物を見つけることが出来るほどの技術になる日は来るのでしょうか。

ちなみに、造幣局の博物館では千両箱の展示があり、その重さを体感できる設備があるようです([https://www.mint.go.jp/enjoy/plant/plantosaka/plant\\_newexhibition\\_2taiken.html](https://www.mint.go.jp/enjoy/plant/plantosaka/plant_newexhibition_2taiken.html))。大阪の造幣局と言えば、春の桜の通り抜けです。この記事が載る頃には桜の季節は終わってしまっていますが、来年のお花見シーズンに大阪観光を兼ねていかがでしょうか?

### <参考文献>

橋本・小泉:計測自動制御学会論文集, Vol. 51, 64-71, 2015

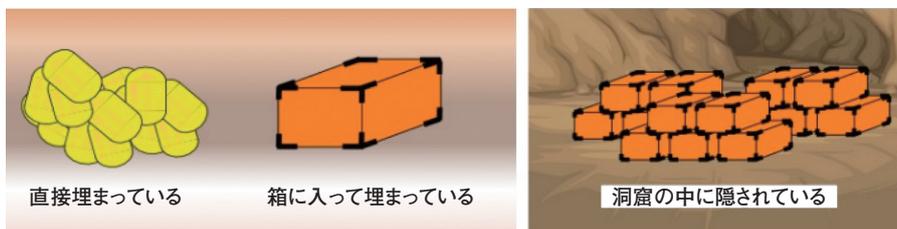


図1 財宝の埋設イメージ図

## 1. はじめに

シリーズその3は、反射法地震探査(以下、反射法)のデータ取得についてです。既に本シリーズその1、その2で反射法の基本原理や断面図の読み方を解説しました。今回は、最初に陸上と海上での反射法の特徴について説明し、データ取得のパラメータをどのようにして決定していくのかを見ていきます。

## 2. 陸上データ取得の方法

陸上データ取得は本シリーズその1の図2に示したように、発振部・受振部・記録部に分かれます。

振源には火薬を用いた爆薬振源とバイブレータに代表される非爆薬振源があります。国内では反射法に使用していたダイナマイト爆薬の製造が中止となり、現在は土木工事等に用いられる「含水爆薬」が用いられています。そして、都市化が進むなかで、バイブレータなどの非爆薬振源を用いることが多くなっています。

代表的な非爆薬振源であるバイブレータには数kmまでの深部反射法に用いられる大型の油圧式バイブレータ(図17a)や500m程度までの浅層反射法に用いられる小型の電磁式バイブレータ(図17b)があります。

バイブレータは図18に示すように周波数を連続的に変化したスイープ信号(図18の $a_i$ )と呼ばれる振動を地面に押し付けられたベースプレートを介して地下に送り込みます。地下で反射して戻ってきたそれぞれの反射面からのスイープ型波形は次々と一つの受振器で記録されて図18の $b_i$ の様な観測波形が得られます。この $a_i$ と $b_i$ の相互相関をとると、 $a_i$ のスイープ波形は圧縮されて反射係数の位置にピークが立つ対称な波形(図18の $c_i$ )が得られ

るのです。相互相関処理後の観測波形はダイナマイトのようなインパルス型振源と同等な波形となり、ほぼ同様な手順で処理を進めることが出来ます。

非爆薬振源の利点として、ある瞬間での振動エネルギーは小さいこと、必要な周波数帯域に制御できること、同時発振する台数を増やしたりスイープ長を長くしたり1発振点でのスイープ回数を増やすことによって地下に伝えるエネルギーを大きくすることができること、などが挙げられます。このような特徴から人家に近い場所での調査には欠かせないものとなっています。

図17(a)の大型バイブレータの重量は約19tonで、発振可能周波数は6-200Hzであり、図17(b)の電磁式バイ

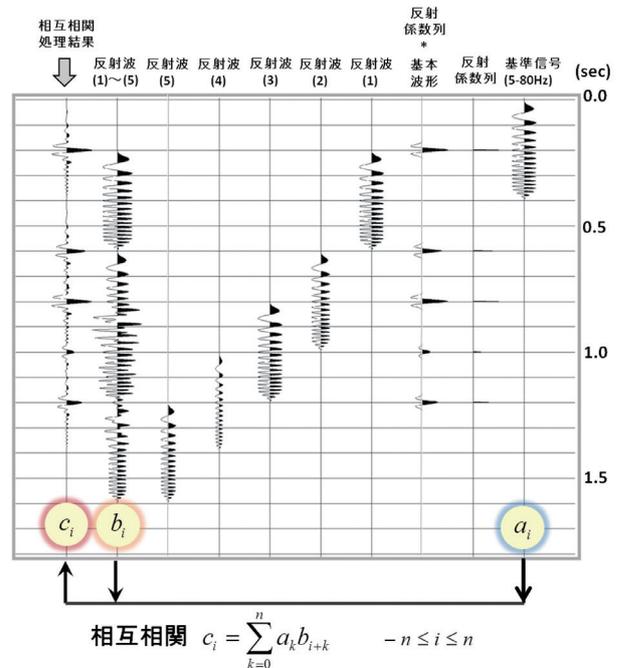


図18 バイブレータを用いた調査の原理  
(物理探査ハンドブックより)



(a)



(b)

図17 バイブレータ  
(a) 油圧式バイブレータ(物理探査ニュース17号)  
(b) 電磁式バイブレータ(物理探査ニュース4号)

ブレータは、重量は約7ton、発振可能周波数は5-500Hzです。電磁式バイブレータはエネルギーは小さいものの、電磁石を用いた細かい制御を行うため、より高い周波数までの発振を行うことが出来ます。

陸上調査における受振器には一般にはジオフォン (geophone)と呼ばれる速度型電磁式地震計が用いられます。ジオフォンは図19に示すように板バネで吊られたコイルが不動点となり、地動と連動して動くケースに磁石が固定されており、地面が上下に動くことによってコイルの相対位置が変化して誘導電位が発生し、振動を電圧に変換して記録することが出来ます。深部反射法の場合には固有周波数が10Hz程度の受振器を用いますが、浅層反射法では固有周波数が28Hzから40Hz程度のものが用いられています。

ジオフォンは通常1受振点につき複数個を直列につないで、受振感度を上げるとともに、測線に沿って等間隔に広げて設置して下方向からの信号を強調するようにします。

記録システムはフィールドでA/D変換したデータを伝送して観測車で集中観測する方式が主流です。図20にはSercel 428XLを用いたフィールドの様子を示します。ジオフォンからのアナログ信号はチャンネルごとのA/D変換

器を介してデジタル信号に変換され、ライン中継器を介して観測車に送られます。記録機自体は今やパソコンそのもので、いったんハードディスクにデータを収録してテープに出力する形式をとっています。また、観測車には現場の振源と同期をとる装置やライン上のノイズを監視するモニターなどが付いています。

### 3. 海上データ取得の方法

海上データ取得も陸上の場合と同様の構成ですが、陸上ではそれぞれの要素が独立しているのに対して、海上では地震探査船1隻の中に発振部・受振部・記録部がオールインワンになっています(図21)。

振源は数km以深を探索する場合にはエアガンが主流ですが、浅層の高分解能記録を得る際には電磁誘導を利用するブーマーや電気放電を使用するスパーカーといった振源を使うこともあります。

エアガンは、チャンバーに貯めた圧縮空気を一気に水中へ放出することによって音波を発生させる振源で、小容量の浅層探査から大容量の深部探査まで広く用いられて

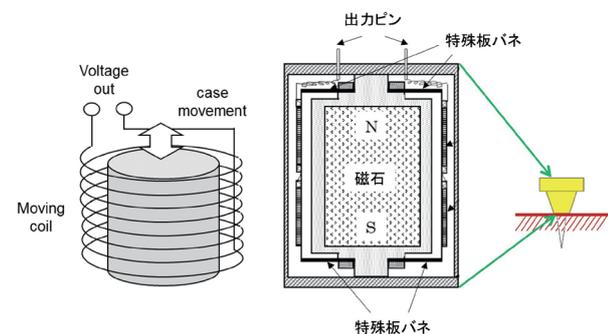


図19 電磁式地震計の原理 (物理探査ハンドブックに加筆)

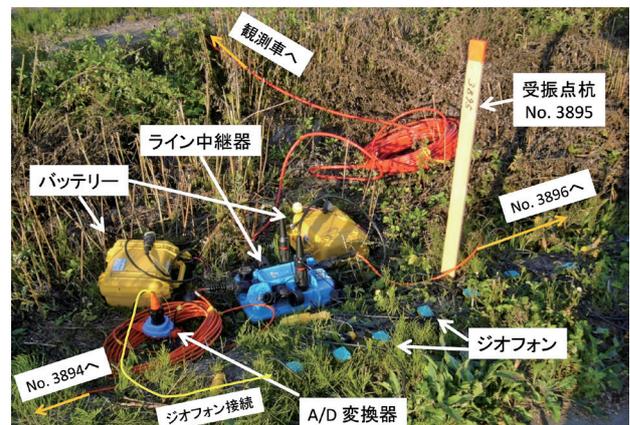


図20 データ記録装置 Sercel 428XLのフィールド風景

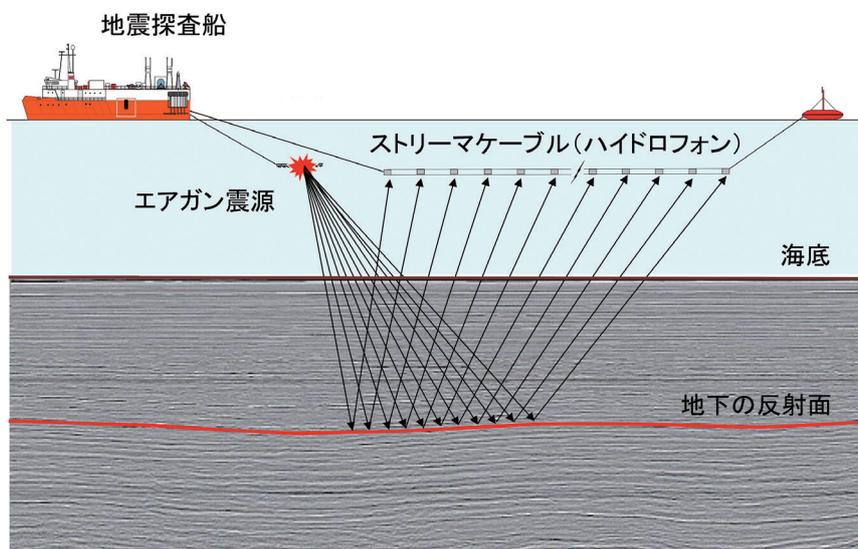


図21 海上反射法地震探査の概念図

います。大容量を用いる調査では、空気容量の異なるエアガンを組み合わせることでチューンド・アレイ (tuned array) を構成することにより、ピーク音圧を高めるとともに、ノイズとなるバブル振動の周期が容量によって異なることを利用して後続波を打ち消してインパルスに近い振源波形を得るように調整しています (図22)。エアガンは海面に浮かぶフロートの下に一定の深さになるように調整されます。

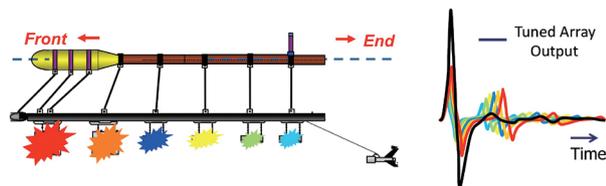


図22 エアガンのチューンド・アレイ

海上での受振器はハイドロフォンと呼ばれる圧電素子で、圧力変化を電圧に変換します。ストリーマケーブルは、このハイドロフォンをチューブの中に入れて、等間隔の複数受振点を1本に繋いだものです。こうすることにより、多チャンネルの受振点を容易に繰り出したり、回収したりすることが出来ます。各受振点は陸上の場合と同様に複数のハイドロフォンからなるアレイになっています。

記録系は基本的に陸上と一緒にです。

#### 4. 調査仕様の設計

反射法には二次元探査と三次元探査がありますが、ここでは二次元探査に関して解説をします。二次元データ取得の調査仕様の設計に必要な最低限のパラメータは以下になります。

- (a) 受振点間隔  $R_d$
- (b) 発振点間隔  $S_d$
- (c) チャンネル数  $N_{ch}$
- (d) 最大オフセット距離  $D_{max}$
- (e) 記録長  $R_L$
- (f) サンプル間隔  $\Delta S_R$

反射法においては一般的にCMP 重合トレースの数が多ければS/N比は向上します。標準重合数は

$$N_{fold} = \frac{N_{ch} \times R_d}{2 \times S_d} \dots\dots\dots (14)$$

で表されます。

また、重合数の増大によるS/N比の向上は、 $\sqrt{N_{fold}}$  に比例します。従って、CMP重合数やバイブレータの1発振点でのスイープ回数を増やすことでS/N比が向上するのですが、例えば4重合データによるS/N比の改善は2倍ですが、これを4倍に増やすには16重合のデータが必要になります。

通常、発振点間隔は受振点間隔と等しいかそれより大きく

とるため、反射点の間隔は受振点間隔の1/2になります (本シリーズその1 図7参照)。すなわち受振点間隔が水平方向の分解能を決定するパラメータとなります。受振点間隔は、陸上深部反射法では25mが一般的ですが陸上浅層反射法では対象深度によって0.5mから10mと大きく変化します。海上反射法では受振点間隔はストリーマケーブルの仕様に制約されます。そのため、海上反射法の受振点間隔は深部探査の場合にも6.25mから12.5m程度となっているケースが多いものの、最近のデジタルケーブルでは自由にアレイフォーミングと受振点間隔を調整できるものもあります。

最大オフセット距離は、NMO補正による水平重合効果を上げるため、探査深度以上にすることが望ましいです。

記録長は、調査地域の概略的な速度構造に基づいて、対象となる深度からの反射波が十分に補足出来る時間を設定します。この場合に最深部の反射波から発する回折波パターンも適切に記録することを考慮する必要があります。

サンプリング間隔は垂直方向の分解能を規定します。サンプリング定理によれば、デジタル化によって表現できる最大周波数(ナイキスト周波数)は  $1/(2 \times \Delta S_R)$  と表現されます。例えば2msサンプリングであればナイキスト周波数は250Hzであり、深部反射法には十分ですが、浅層反射法の場合にはより高い分解能を求めて0.5ms、1msといったサンプリング間隔を用いることもあります。

最後にアレイ設置について触れておきます。陸上受振器の説明で複数の受振器を測線に沿って等間隔に広げて設置することや、海上探査においても各受振点は複数のハイドロフォンから構成されていることを述べました。例えば受振点間隔25mであれば、ジオフォングループを受振点杭から±12.5mの範囲に広げて設置するのが一般的です。これは受振点杭のまわり±12.5mの範囲の平均的なレスポンスを取得しており、トータルとして測線全体をくまなくカバーしていると考えることが出来ます。

また、バイブレータの場合にはエネルギーを増大させるため1発振点で複数回のスイープを繰り返すことが多いのですが、その場合にも1回ごとに前進してアレイ設置にすることが行われています(ムーブアップという)。バイプロサイズの場合にはムーブアップすることで地面へのダメージを少なくすることもでき、一挙両得です。

また、詳しくは物理探査ハンドブックに譲りますが、スタックアレイという考え方があり、発振点間隔と受振点間隔を等しくし、発振と受振のアレイ長を等しくし、発振点中心を受振点中心の1/2の位置に置くことで真下から来る信号のみを選択的に受振することが出来ます。

こうした一連のデータ取得パラメータの設定は最終断面図に大きな影響を与えますので、ユーザーの皆さんも大枠を理解しておかれると良いと思います。そして調査会社の保有する機器によってパラメータがある程度制約を受けることもご理解いただければと思います。

## 物理探査学会行事案内

### 物理探査学会70周年記念行事

#### ■ 創立70周年記念式典

1. 会期 平成30年5月28日(月) 13:30~17:30
2. 会場 早稲田大学国際会議場 井深記念ホール
3. プログラム 13:30~14:20 記念式典  
14:30~17:30 記念講演

#### 講演1

「兵庫県南部地震から熊本地震まで:活断層・内陸地震研究の進展と課題」  
東北大学 災害科学国際研究所教授  
遠田晋次 氏

#### 講演2

「パリ協定時代の地球温暖化対策」  
電力中央研究所 社会経済研究所  
主任研究員 上野貴弘 氏

#### 講演3

「しなやかな物理探査～物理探査学会創立70周年記念に寄せて」  
川崎地質株式会社  
戦略技術本部 鈴木敬一 氏

#### ■ 創立70周年記念祝賀会

1. 会期 平成30年5月28日(月) 18:00~20:00
2. 会場 リーガロイヤルホテル東京 ロイヤルホールII
3. 参加費 一般事前：10,800円(税込)  
一般当日：11,880円(税込)  
学 生：3,240円(税込)

### 第138回(平成30年度春季)学術講演会

1. 会 期 平成30年5月27日(日)~5月29日(火)
2. 会 場 早稲田大学国際会議場
3. 参加費 一般事前：7,560円(税込) 一般当日：8,640円(税込)  
学生事前：3,780円(税込) 学生当日：4,320円(税込)

### まいどはや、富山にこられ!

第139回(平成30年度秋季)学術講演会は富山での開催となります。奮ってご参加下さい。  
まいどはや、富山にこられ!(こんにちは、富山におこし下さい。)

#### 第139回(平成30年度秋季)学術講演会

1. 会 期 平成30年10月22日(月)~10月24日(水)
2. 会 場 富山国際会議場
3. プログラム 一般講演・特別講演・見学会など

立山連峰 雄山



問い合わせ先  
〒101-0031 東京都千代田区東神田1-5-6MK第5ビル2F  
電話：03-6804-7500 FAX：03-5829-8050 E-mail：office@segj.org  
<http://www.segj.org/>

## 国立研究開発法人 土木研究所 つくば中央研究所

土木研究所(以下、土研(どけん))は、土木技術に関する研究開発、技術指導、成果の普及を担う国立の研究所です。つくば中央研究所(茨城県つくば市)と寒地土木研究所(北海道札幌市)に主要施設が存在しています。

つくば中央研究所は、市の中心地より北方の芝畑の広がる中、国土技術政策総合研究所と同じ敷地内にあります。ここには、橋梁や道路等の構造物が専門の研究グループの他に、地盤に関する研究グループ(地質・地盤研究グループ)があります。このグループには、地質、土質・振動、施工技術の3チームに加えて、特命担当として物理探査を専門とする研究班があります(特命担当(物理探査))。土研には寒地土研を含めて、他チームにも物理探査学会に所属する研究者がおりますが、この紙面では物理探査技術の担当班の紹介を行います。

土木分野の大学の研究室やゼネコンにおいて物理探査の研究開発を行っているところはほとんどなく、土木関連の研究所に限らず物理探査の専門研究班が存在するというのは珍しいのではないかと思います。この研究班はランドストリーマーを世に送り出すなど、長く物理探査技術に貢献してきました。現在は複数の者が所属して活動しております(図1)。

写真は、昨年度より出展を始めた地球惑星科学連合大会のものです。つくばの物探班と寒地土研の防災地質チームで共同出展を行いました。現在、応用地質株式会社から交流研究員を1名受け入れており、非常勤職員が2名在籍しております。物理探査研究業務の実働で5名の体制です。大抵の浅部探査は他からの応援が得られなくても実施可能な規模と言えます。

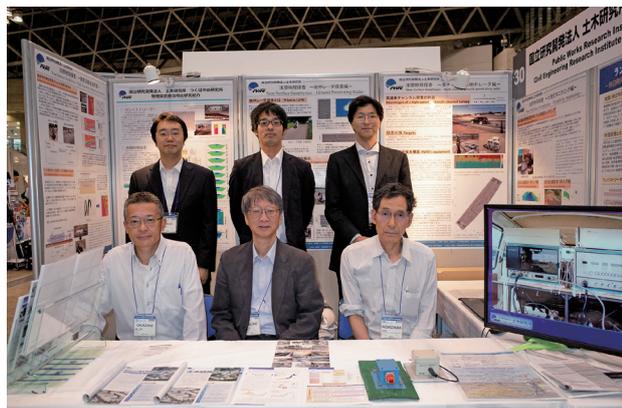


図1 地球惑星科学連合大会におけるブース展示の様子。寒地土研の防災地質チームとの共同出展です。

当研究班が大事にしている事項は、全ての過程に主体的に関わる姿勢を貫くということです。浅部探査に有効な多種類の探査を自ら設計し実施します。物理探査の枠内にとどまらない調査も行います。業務発注者、現場管理者、探査実務者のすべてをひとつの班が行っていることとなります。問題を抱える現場に対し、実務者が自身のアイデアによる探査仕様で探査解析を行い、納得が得られるまで必要に応じて追加調査も行うという状況は、ありそうでなかなか存在し得ないのではないのでしょうか。これらが複合でなく統合物理探査を生み出す要因となったのではないかと思います。

さて、土研で目立つのは大型S波バイブレータでしょうか(図2a)。このところオブジェとしての存在に磨きがかかり屋外に鎮座している姿に違和感がなくなってきました。まだまだ稼働できますので、お声がけください。

古い機材も大事に使用しております。弾性波の多くはDAS-1(OYO Geospace社製)で観測しています(図2b)。弾性波探査では非接触表面波探査技術の開発を行っています(図3)。空気中への漏洩表面波を観測する手法で、現在、実用装置の開発を進めている段階です。



図2 (a) 大型S波バイブレータ(Mertz社製、総重量：26,700kg)、(b) 表面波探査、(c) 研究所内でのオームマップ探査、(d) 舗装走行実験場におけるマルチチャンネル地中レーダ探査、(e) 研究所敷地内での探査試験の様子。表面波探査の際に歩行振動を有効に利用しています。(f) シンポジウム「物理探査を維持管理や防災にどう活かすのか」の質疑応答

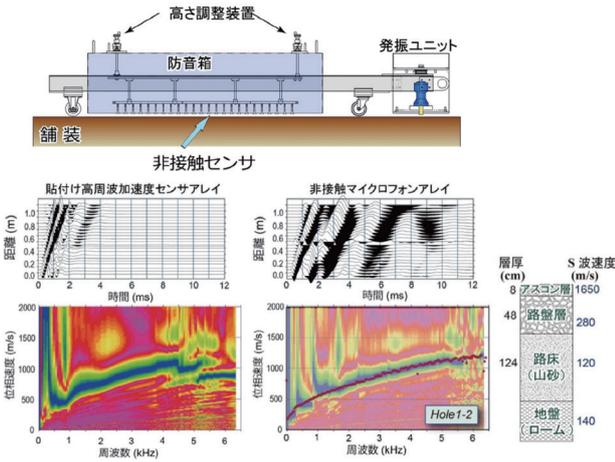


図3 非接触表面波探査装置と記録例  
 (<http://www.pwri.go.jp/team/geosearch/kouwa.html>)

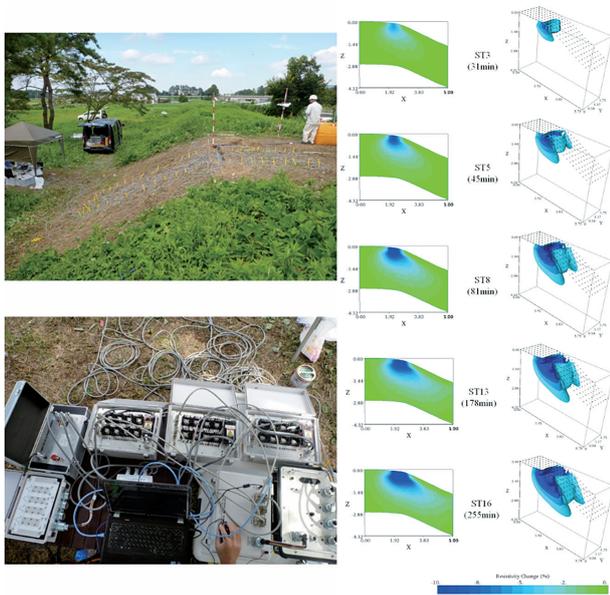


図4 (左上) 試験堤防における探査の様子。(左下) 高速電気探査装置。(右) 注水による比抵抗変化の様子  
 ([https://www.pwri.go.jp/team/geosearch/kouwa\\_tech\\_kosokudenkitansa.html](https://www.pwri.go.jp/team/geosearch/kouwa_tech_kosokudenkitansa.html))

電気探査には高速電気探査装置(地圏探査技術研究所製)(図4)とオームマップー(GEOMETRICS社製)(図2c)を主に用いています。保有するマルチチャンネル地中レーダ(RPS社製)(図2d)は、高速度で高解像度記録の

取得が期待されているコード送信方式が特徴です。

当研究班の特長は、浅部探査に徹していることや、幅広い機材を運用している等もありますが、広大な敷地にある様々な実験場所を活用した研究は際立っているかも知れません。模擬堤防(図4)ではいつでも試験が可能で、多種類の舗装構造区間から構成される舗装走行実験場(図2d)もあります。敷地内でキロ単位の直線区間も確保できません(図2e)。日本の浅層反射法の端緒となる貴重な記録を提供したフィールドもあります(田中ほか, 1981; 横倉・加野, 1983)。また、難解な問題を有する土構造物の現場調査の機会も、探査技術向上の原動力になります。実験場の存在と現場の機会が、企業・大学・他の研究機関にない特有の探査力や研究力を備える源泉になっていると思います。

今年(2018年)1月には、浅部物理探査の将来の方向性を議論するため、土研内で3次元地盤モデルに関するシンポジウムを開催しました(図2f)。物理探査断面を含む様々な地盤情報と地表情報との統合表示、および、その活用を進めています(図5)。雪模様のなか、大勢の来場者を迎えて開催することができ、この場を借りて御礼申し上げます。つくばのシンポジウム=雪という奇妙な記憶で思い出して頂ければ幸いです。

野外探査で不在なことが少なくありませんが、つくば北方にお越しの際は、ぜひ、土研や当研究班に気軽にお立ち寄りください。ただし、話し出したら止まらないヒトがおりますので、2時間程の滞在を覚悟してください。

地球惑星科学連合大会(幕張メッセ)にご参加予定の方は、今年も展示ブースを出展予定ですのでどうぞお立ち寄りください。商品展示のないブースではありがちで、お土産は自慢話となります。

(文責：尾西恭亮)

<参考文献>

田中信一・加野直巳・渡辺史郎・駒井二郎(1981): 浅層反射法の実験—土木研究所構内での例—, 物理探査学会第64回学術講演予稿集, 68-69.  
 横倉隆伸・加野直巳(1983): 反射法地震探査のための簡単な静補正法, 物理探査, 36(4), 32-42.

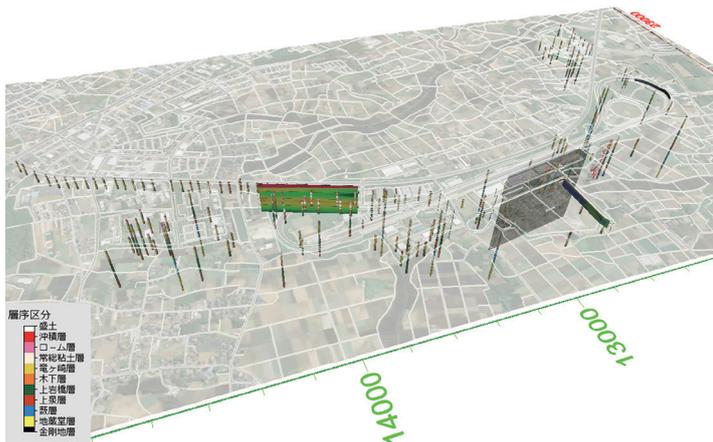


図5 3次元地盤情報の統合表示例  
 国土地理院の地理院地図(全国最新写真(シームレス)画像および基盤地図情報を利用して作成)

## 平成29年度ワンデーセミナー報告

事業委員会 鈴木 敬一

毎年恒例の物理探査学会によるワンデーセミナーが以下の内容で行われた。

### テーマ：「AI技術と物理探査」

日時：平成 30年 2月 13日(火) 10:00～17:00

会場：日中友好会館 地下1階大ホール

内容：

#### 1. 「深層学習の基礎とその最前線」:

白山 晋(東京大学)

要旨：はじめに画像処理に注目し、脳の視覚情報処理機構の模倣という観点から深層学習の原理を出来る限りわかりやすく説明し、次に最前線における「教師付きデータの作成」に着目し、人間の役割ともいくつかの事例が紹介された。

#### 2. 「ディープラーニングによる地中レーダ画像の物体識別」:

園田 潤(仙台高等専門学校)

要旨：(1) ディープラーニングに必要な学習用レーダ画像のFDTDシミュレーションによる生成、(2) CNN/VGGを用いた複雑さの異なる多様な媒質での物体識別特性、(3) 実際の実験画像の物体識別、(4) 地中レーダ画像からの物体検出問題などの紹介であった。

#### 3. 「AI、CIM画像処理技術などを活用した建設現場地質情報ICT管理システムの構築」:

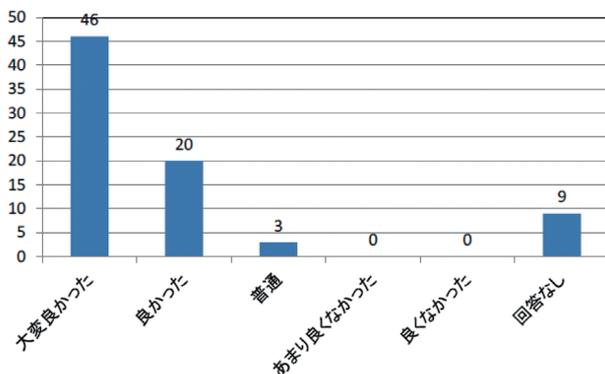
講師：宇津木 慎司(株式会社 安藤・間)

要旨：建設現場管理の省力化、高度化を目的としたi-Constructionへの取り組みとして、ICT技術を活用して施工現場における地質状況を自動判定し、遠隔地にいる専門家がクラウドを介して一元管理するシステムを構築した内容が紹介された。

#### 4. 「富士通におけるディープラーニング技術の活用事例と開発の実際」:

講師：吉田 裕之(富士通株式会社)

要旨：第3次AIブームを牽引するディープラーニング技術について、路面下空洞探査他の活用事例を多数紹介し、また、AIシステム開発の実際と開発支援機能についての紹介であった。



タイムリーなテーマであったため、参加者予定数60名を大幅に超えて、最終的に106名の参加申し込みがあった(来場参加者は103名)。

土木寄りの内容に偏っていたが、事業委員会で実施したアンケート調査の結果を見ても、大変に有意義なセミナーであったことがわかる。

### アンケート調査による参加者の感想

主な参加者のコメントとしては、

- ・適用事例を多く見ることができ参考になった
  - ・今後の業務を行う上で良いヒントとなった
  - ・何に利用するかが明確となり、良いきっかけが得られた
  - ・実務的で役立つ内容あった
- など好意的な意見が多かった。

筆者としては宇津木氏の講演が印象に残った。特に、地質の判定にスペクトルカメラを用いるというのがとても良いと思った。人間が肉眼で見ているのだから、通常のデジカメで十分ではないかと思うところであるが、スペクトルで見ることにより、岩石などの特徴抽出の精度が向上するのである。

AIに入力するデータは良いものを人間が選ぶ必要があるのではないかという会場からの質問があった。これに富士通の吉田氏は「良いデータか悪いデータかはAIに教えればよいので、そのうちAIがデータの品質管理も行うようになるだろう」とお答えになった。これは大変ショッキングなことで、我々人間の技術者はこれから何をすれば良いのだろうと、深く考えさせられた。

ワンデーセミナー終了後も、業務の都合で参加できなかった会員の方から、参加者の話をきいて自分も参加したかったという主旨の連絡を頂いた。事業委員としては本当に良かったと感じる。

最後に年度末近くのお忙しい中、講師を引き受けてくださった4名の方に深く御礼を申し上げます。



ほぼ満席状態のセミナー会場の様子

# キャンパスビジット報告

— キャンパスビジット@千葉大学理学部 —

川崎地質株式会社 草茅 太郎

本報告では、2018年1月11日に千葉大学西千葉キャンパスにて行われたキャンパスビジットについてお伝えします。キャンパスビジットでは、物理探査学会から4名の講師が講演されました。今回は、地球科学研究セミナー「地球物理・資源開発に係わる物理探査法」と題して、午後1時～4時に行われ、14名の学生がいっしょにいました。学部3年から博士1年まで幅広く聴きにいられていました。

冒頭、キャンパスビジットの紹介を千葉大学理学部地球科学科の服部克己教授にいただき、その後各講師が講演を行い、学生の皆さんからの質問を受け付けました。

今回のキャンパスビジットは午後に行われたのですが、眠くなる時間帯にも関わらず、学生の皆さんは真剣な眼差しで講演を聴かれています。昔の自分がウトウトしながら講義を受けていたことを振り返ると、頭が下がる思いでした。

地球科学総合研究所の田中智之氏の講演「キャンパスビジットの主旨について」では、物探学会はいわゆる学術研究発表会だけでなく、キャンパスビジットを含め、セミナーや本の出版など色々な事業を行っているということが紹介されました。

電力中央研究所の鈴木浩一氏の講演「物理探査全般」では、地表付近のごく浅い領域からマントルという深いところまで、どんな手法で何を調べているのかということが紹介されました。講演中は、「ノーベル賞を受賞したLIGOとVIRGOの重力波の信号が、パイロロサイズ車の出すスイープ信号と似てませんか!（注：物理探査ニュースNo.30表紙頁を参照して紹介）」というネタを盛り込んだり、途中でクイズを出されたり、聴衆を飽きさせない工夫を凝らされていました。

川崎地質の鈴木敬一氏の講演「インフラ維持管理のための物理探査」では、毎年どこかで起こっている道路陥没のことから話し始め、陥没の要因になる路面下空洞を、地中レーダを使って見つけようとしていることが紹介されていました。ただ、あまりに大量のデータを取ると、とても人間が処理しきれなくなるため、「AIによる処理を検討しているが、『とりあえずAI』という考えでは失敗するぞ」、ということも、顔認証と地中

レーダの画像判定の事例を交えて紹介されていました。集合写真の例では鈴木敬一氏の顔は認識されず、背景の木々の一部が認識されている様子は実に示唆に富むものでした。

10分間休憩の後、海洋研究開発機構の佐藤壮氏の講演「JAMSTECにおける地震探査について」では、海底下の地震探査をどのように行っているのか、実際の様子の動画を交えて紹介されていました。ある調査船では、全体で数十名乗り込むのに、研究員は数名(!)しかいないことには驚きました。調査船は、それだけ多くのスタッフに支えられて機能している、ということだと思いました。海底探査のためには、エアガンで発振し、ストリーマケーブルで受振します。夜中でも発振するために、そこそこ船内に響いてうるさい、ということを知ると同時に、「静かだと壊れていないか不安になって、起きて調べに行ってしまう」という仕事人の性も聞くことができ、つい頷いてしまいました。

学生の皆さんからは、多くの質問をいただきましたが、特に佐藤氏への質問が多く、「海底地震計の間隔は?」「地震探査っておいくらなの?」「エアガンで魚は死んだりしませんか?」など、興味を持ってお話を聞いていただけたことが窺えます。ちなみに、エアガンの圧縮空気噴出の直撃を受けなければ、恐らく魚は死なないそうです(笑)。

今回のキャンパスビジットでは、受け入れていただいた千葉大学の服部教授には、多大なご協力をいただいたことに、1人の物探学会員として、この場を借りて深く御礼申し上げます。また、講師陣の皆様には、お忙しい中ご準備ご足労いただき、改めて感謝の意を表します。次回のキャンパスビジットでは、学生から技術以外の質問もしてもらえよう、「仕事で難しいと感じたこと」などでも良いことを伝えて質疑応答できれば、より親しみを持ってもらえるかもしれない、と感じました。

講演後、服部教授と各講師のお話では、今後も機会を見て開催することをお願いしました。それに対し服部教授からは、授業の1コマを使うとより多くの学生が参加するでしょう、というコメントをいただきました。これは進めていくべき!と感じました。



写真1 講演中の田中氏(左上)、鈴木浩一氏(右上)、鈴木敬一氏(左下)、佐藤氏(右下)



写真2 参加者の様子(学生からの質問に答える佐藤氏)



## お知らせ

### 日本地球惑星科学連合(JpGU)2018年大会

JpGU2018年大会において3つのセッションについて共催しています。

#### 空中からの地球計測とモニタリング(セッションID:S-TT49)

開催日：5月21日(月)

[http://www.jpгу.org/meeting\\_2018/SessionList\\_jp/detail/S-TT49.html](http://www.jpгу.org/meeting_2018/SessionList_jp/detail/S-TT49.html)

#### 浅部物理探査が目指す新しい展開(セッションID:H-TT19)

開催日：5月24日(木)

[http://www.jpгу.org/meeting\\_2018/SessionList\\_jp/detail/H-TT19.html](http://www.jpгу.org/meeting_2018/SessionList_jp/detail/H-TT19.html)

#### 地震波伝搬:理論と応用(セッションID:S-SS10)

開催日：5月23日(水)、5月24日(木)

[http://www.jpгу.org/meeting\\_2018/SessionList\\_jp/detail/S-SS10.html](http://www.jpгу.org/meeting_2018/SessionList_jp/detail/S-SS10.html)

JpGu公式サイト:

[http://www.jpгу.org/meeting\\_2018/](http://www.jpгу.org/meeting_2018/)

### 平成30年度物理探査セミナー

1. 日 程：平成30(2018)年7月3日(火)～5日(木)
2. 会 場：全水道会館 4階 大会議室(東京都文京区本郷)
3. 受講料：一般会員:6,480円/日、一般非会員:9,720円/日  
学 生:3,240円/日

申し込み等、詳細は下記セミナーサイトをご覧ください。  
<http://www.segј.org/committee/jigyo/H30seminar.html>

### 第13回SEGJ国際シンポジウム

The 13th SEGJ International Symposium

1. 会 期：2018年11月12日(月)～14日(水)

2. 会 場：国立オリンピック記念青少年総合センター

(〒151-0052 東京都渋谷区代々木神園町3-1)

展示(野外デモも可能です)・広告の受け付けも行っています。  
詳しくは下記シンポジウムサイトをご覧ください。

<http://www.segј.org/is/13th>

### 平成30年度第1回地盤探査研究会のお知らせ

※第138回(平成30年度春季)学術講演会の無料公開セッションとして開催いたします。

日 時：平成30年5月29日(火)  
15:40～17:10(90分)

会 場：早稲田大学国際会議場(早稲田キャンパス)  
3階第2会議室

講演内容：PS検層研究委員会委員による成果報告および質疑応答

・PS検層に関するレビュー

・現地試験結果に基づくP波S波記録改善の方法  
・ほか

### 編集後記

新年度を迎え、皆さまの会社にも新入社員が新たに加わったところもあるかと思えます。私は今年で社会人となってから20年となり、時間経過の速さに驚愕するばかりです。

私が新入社員だった20年前と比べると、CPUの高速化とともに様々なことができるようになり、効率よく解析できるようになりました。一方、現場でのデータ取得は機材の進化はあるものの、解析ほど向上していないように感じます。入社した頃、「解析で何とかなることもあるが、可能な限りよいデータを取得してることが最も重要」と言われたことがあります。確かに時間をかければ良いデータは取れますが、費用対効果の落としどころは20年

経験した今でも悩ましいところ。こういう難しい判断部分は、最近新たな展開を見せているAIの得意そうな分野なので、今後はある程度は自動化されていくのかも思ったりしています。

来年の今頃は、平成から新元号への変更が予定され、時代の大きな節目を迎えます。一方、本学会は今年で創立70周年、本誌はあと2号で創刊から10周年とこちらも節目を迎えます。物理探査ニュースでは、これからも変わらず物理探査に関するホットなトピックを取り上げてまいりますので、ご愛読の程をお願い申し上げます。

(ニュース委員：川島 裕貴)

### 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38号 2018年(平成30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@segј.org

ホームページ：http://www.segј.org