

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 January 2020 No.45

目次

研究の最前線 電磁探査法におけるノイズ低減法の開発 ... 1
わかりやすい物理探査
電気探査(その2:二次元探査と三次元探査) 3
現地レポート ベトナム微動観測記(その1) 6
脱線 物探英語 その17 Let It Be 8
本の紹介 地盤と地盤震度 観測から数値解析まで 9
物理探査学会 第141回(2019年度秋季)
学術講演会開催報告 10
第141回学術講演会・見学会 参加レポート 11
お知らせ、編集後記、賛助会員リスト 12



電磁探査法における ノイズ低減法の開発

平成30年度
論文賞

オレゴン州立大学 今村 尚人

1. 海の中で鉱床を探す

第140回(2019年度春季)学術講演会において論文賞を拝受しました。今回の記事ではこの論文の内容を簡単に紹介したいと思います。

近年、日本近海に存在する海底熱水鉱床を資源として利用しようという試みが行われており、その賦存量を物理探査手法により調査することが急務となっています。掘削データなどから海底熱水鉱床は電気伝導度が周辺の構造と比べて高いことが知られているため、電磁探査手法が注目されています。図1はデータ取得に用いた海洋研究開発機構(以下、JAMSTEC)のROVハイパードルフィンと海底電位計の写真です。電流送信はROVに取り付けた電流源と送信電極から行いました(詳細は本論文のFig. 2をご参照ください)。

海底で物理探査をする際には観測装置の機材の運用と様々な課題があります。今回取り扱ったデータは、機器開発の初期段階にあったこともあり、受信機となる海底電位計で取得された電場データのS/N比がかなり悪い状態にありました。特に、初めて1kHzでのデータ取得を行ったこともあって、データ取得は一筋縄ではいかず、潜航が終わるたびにデータを確認し、問題があれば電位計の耐圧容器を開けて機器の修正を試みるなど、大変な苦勞がありました。

このノイズの中からいかにしてシグナルを抽出し、地下構造を推定するかが本論文の主題です。電磁探査手法の一つである地磁気地電流(MT)法ではロバスト処理やリモートリファレンス処理などによりS/N比の向上が行われていますが、本論文で用いた人工電流源電磁探査(CSEM)法では基本的にスタッキング処理が用いられる程度です。そこで本論文では新たに独立成分分析に着目しS/N比の向上と地下構造の推定を目指しました。

2. 独立成分分析とは?

独立成分分析(以下、ICA)とは信号分離手法の一種で、シグナルとノイズの時系列上の信号独立性に着目して両者を分離する手法のことです。本論文ではシグナルは人工電流源を由来とする電場、ノイズは機器や周辺環境など人工電流源以外を由

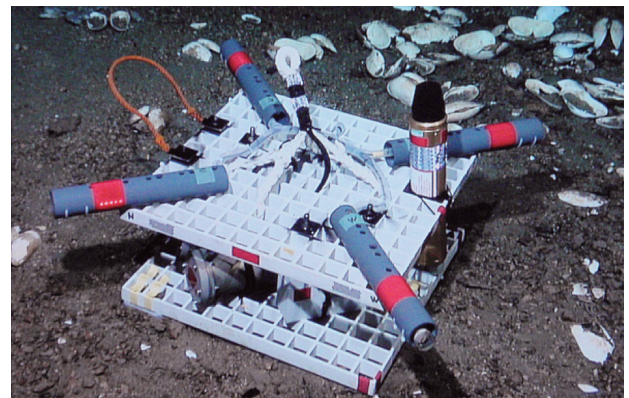
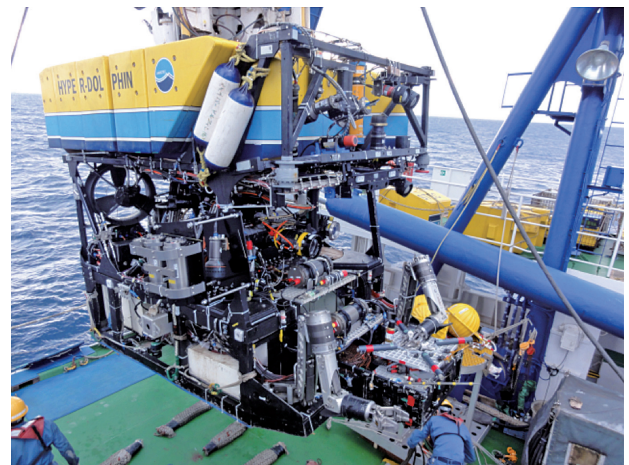


図1 データを取得したROVハイパードルフィンバスケットに乗っているのが海底電位計(上図)と海底に設置された海底電位計(下図)

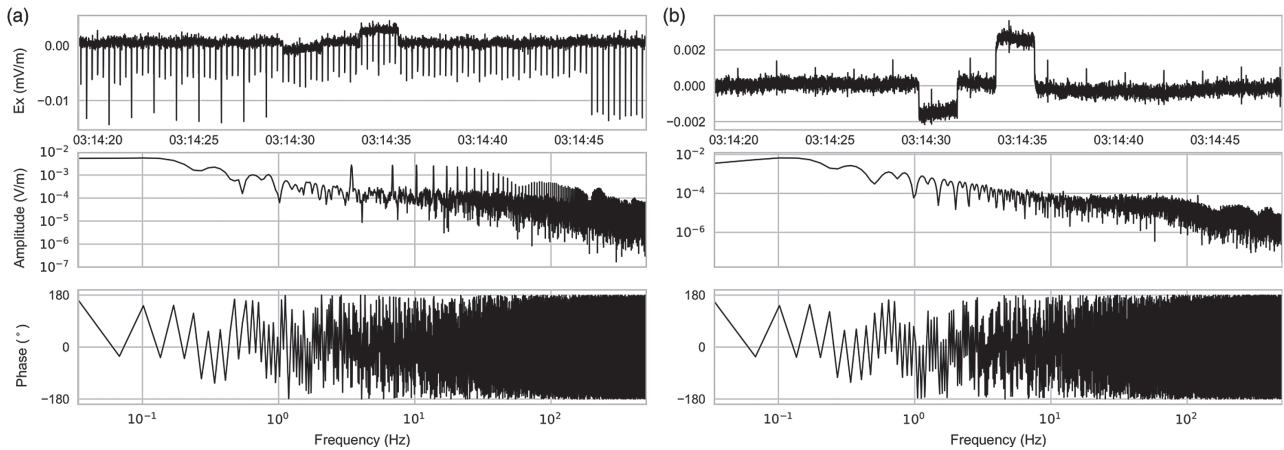


図2 多種物理探査データの統合化ワークフロー

(a) 観測された時系列とその周波数領域データ

(b) 独立成分分析を用いて時系列からノイズ成分を取り除いた時系列とその周波数領域データ (Imamura et al. (2018) から引用・改変)

す。独立な変数ならば、無相関であることは真ですが、無相関な変数ならば独立というのは真ではありません。ICA処理では次式のように観測されたデータをシグナルとノイズが線形に混ざり合ったものとしてモデル化します。

$$\mathbf{x}_{m \times 1} = \mathbf{A}_{m \times n} \mathbf{s}_{n \times 1}$$

ここで \mathbf{x} は観測信号、 \mathbf{A} は混合行列、 \mathbf{s} は信号源を表します。一般的に \mathbf{A} と \mathbf{s} は既知ではありませんので、 \mathbf{x} から単純に \mathbf{A} 、 \mathbf{s} を推定することはできません。そこでICAでは信号源 \mathbf{s} が互いに独立であると仮定し、シグナル成分とノイズ成分を推定します。このような信号の独立性に着目して観測信号を分離し、ノイズ成分を取り除いた結果が図2となります。図2(a)の時系列データには人工電流源からのシグナルとノイズが混在しています。パルス状のノイズはある程度時間幅を持ったノイズとなっており、移動平均フィルターなどではノイズ除去をしづらい時系列となっています。このノイズは観測装置に由来するものだとということが明らかになっています。ICA処理を適用しノイズを除去した結果が図2(b)です。この時系列を見ると人工電流源から送信したシグナルがなんとなく見て取れると思います。周波数領域でデータを見た場合でも、ノイズに起因するスペクトルのパルスが除去されているのがわかると思います。

3. 推定された地下構造

本論文のデータ取得が行われた地域は、中部沖縄トラフの伊

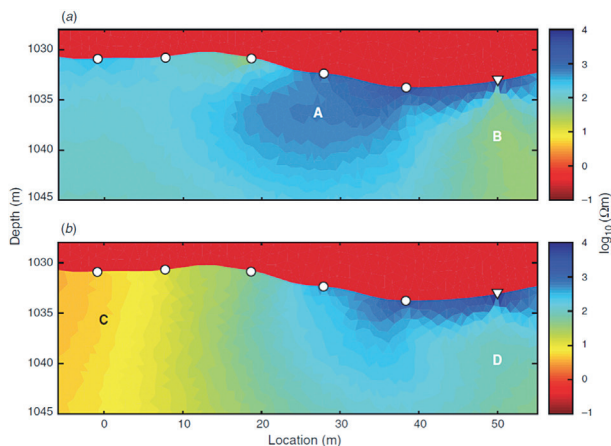


図3 構造解析で得られた比抵抗構造モデル

白丸が電流送信点(左からT1, T2, ..., T5)を表しており、白三角点が観測点R4の位置。(a) ICA処理を適用しないモデル、(b) ICA処理を適用したモデル。

平屋北海丘域です。この海域では、科学掘削をはじめ、様々な物理探査、多くの潜航調査などが行われている海域です。ここで取得されたCSEMデータに対して、ICA処理をかけた場合とかけない場合で、2次元CSEMインバージョンを適用した結果が図3です。図3(a)のICA処理適用前ではT4の電流送信点を中心に高比抵抗構造が広がる構造となっていますが、図3(b)のICA処理適用後ではこのような高比抵抗構造はかなり小さく、むしろT1近傍において低比抵抗構造が存在することが示唆されています。また図3(a)(b)にはR4の直下付近にやや低比抵抗な構造も見られています。観測時のROVによるカメラ画像を見ると、T4とR5の間あたりに熱水噴出、T1近傍において海底熱水噴出孔特有の生物の存在が確認されています。すなわちこのエリアは熱水噴出孔が海底面に露出したエリアと考えられます。これらの特徴は比抵抗モデル(b)とよく一致しており、ICA処理を適用した比抵抗モデル(b)の方がより現実に近いモデルであると考えられます。

4. データ解析・資源探査の今後

今回はCSEM法に対してICA処理を適用しましたが、実はMT法に関しても同様の手法が既に適用されつつあります(佐藤他, 2017)。MT法は一般的にCSEM法よりもさらにS/N比が悪く、さらに信号源の時系列も明らかではありません。このような状況であってもある程度S/N比を向上させることができる本手法は今後電磁探査のデータ前処理方法として主流になる可能性を秘めていると考えられます。

本論文で使用した観測機器も現在では様々な改良が施され、S/N比も大幅に向上しています。一方で、探査深度を上げるためにはノイズに埋もれがちな遠方からの送信波形を正確に抽出することが必要となります。そのために、今回開発したICA処理を用いたノイズ低減法の活用が見込まれると考えています。国内でもCSEM法を用いた天然ガス探査への期待も高まっており、国産の技術を用いた観測の実現にも、本論文の手法が重要になると考えています。

<参考文献>

- Imamura, N. et al (2018): Robust data processing of noisy marine controlled-source electromagnetic data using independent component analysis, *Explor. Geophys.*, 49, p.21-29.
- 佐藤真也・後藤忠徳・笠谷貴史・川田佳史・市原寛 (2017): 周波数領域独立成分分析を用いた電磁探査データのノイズ除去手法の開発, *物理探査学会学術講演会講演論文集*, 136, p.259-262.

1. はじめに

今回は、一次元電気探査に関して説明しました。今回は、現状良く使われている二次元探査と、今後普及するであろう三次元探査を説明します。

電気探査で二次元探査が使われ始めたのは、多芯ケーブルを用いた自動測定装置が実用化された1980年代後半ですが、広く普及するのは有限要素法の解析が小型の計算機でも手軽にできるようになる1990年代後半からです。三次元探査となると、データ数も解析パラメータ数も急激に増大し、解析時間は指数関数的に増大するので、測定システムのより一層の高速化と計算機の計算能力の飛躍的向上を待つ必要がありました。

2. 二次元探査と三次元探査

2.1 前提条件

まず、二次元探査および三次元探査の前提条件を下表にまとめてみました。ほぼ平らな成層構造が続く場合や、ある一方向に走向が卓越した構造も無いわけではありませんが、一般的には地形も地下構造も三次元的に変化します。

	前提条件	より具体的な表現
一次元	水平成層構造	地形・地下構造もまっ平。
二次元	二次元構造	地形も地下構造も解析断面上でのみ変化し、断面に現れた構造は、測線と直交する方向に無限に続く。
三次元	三次元構造	地形も地下構造も三次元的に変化する。

2.2 感度分布

地下のある部分の構造が測定値にどの程度反映されているかを数値で表したものを感度と呼びます。今回は、一次元の感度に関して説明しました。

地表面のある一点で電流を流して、他の一点で電位を測る二極法電極配置の場合の三次元の感度分布を図1(a)に示します。2本の電極を直径とする半球の内側では感度は負の値を取り、その球の外側の電極の近くで大きな正の値を取ります。感度が負ということは、その比抵抗が下がると測定値は上がるという

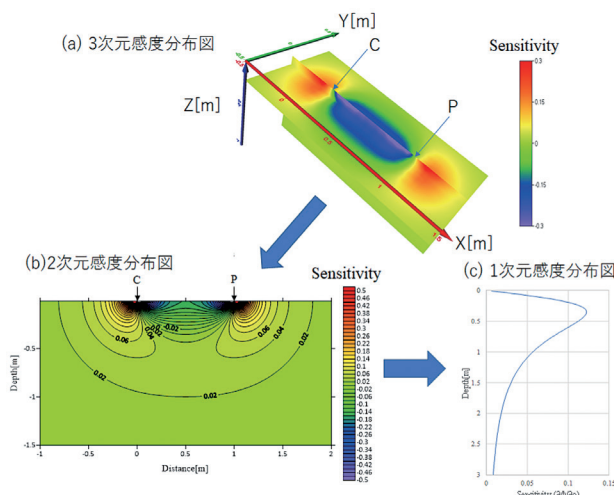


図1 感度分布

ことです。低比抵抗異常は高比抵抗異常のように見えます。また、感度はかなり浅い部分に分布しています。これは深い部分の比抵抗の変化は、測定電位にあまり影響を与えないことを意味します。

このように測定される電位は、地盤の広い範囲の比抵抗分布を複雑に反映しており、どこか一点とか、一方向の比抵抗の変化を反映しているわけではありません。ですから、複雑な比抵抗構造を探査しようとするれば、いろいろな電極間隔のデータをいろいろな方向で測定する必要があります。

三次元の感度を、Y方向に足し合わせたのが、図1(b)に示す二次元感度分布です。2本の電極間の距離を直径とする半円の外側と内側で感度が逆転している様子が分かります。この二次元感度分布を、X方向に足し合わせると前回説明した一次元感度分布になります。

キーポイント

- ・測定データは地下のかなり広い範囲の影響を複雑に受けており、データの指向性は良くない。
- ・深くなるほど感度は低下するので、詳細な構造を解析するのは困難になる。

3. 二次元探査の実施方法

3.1 測定方法

二次元探査の解析断面は、想定される地下構造の走行方向や地形のトレンドとできるだけ直交する必要があります。この条件を満たし、かつ知りたい地下構造が分かる方向に測線を設定します(図2)。

測定では、測線上に一定間隔で電極を設置し、それを多芯ケーブルで接続し、電探機の自動切り替え装置で、電流通電電極と電位測定電極を順次切り替えながら測定するのが一般的です。

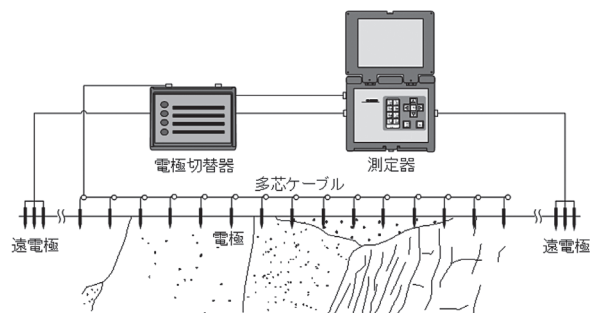


図2 二次元探査の測定模式図

3.2 解析方法

3.2.1 見掛比抵抗断面

測定された電位データは、前回説明した方法で見掛比抵抗に変換します。次に、この見掛比抵抗を決められた表示点にプロットして見掛比抵抗疑似断面図を作成します。図3に2極法とダイポールダイポール法の見掛比抵抗表示点の規則を示します。図3aに示すように、原則として電極配置の中央部に、電極間隔aにそれぞれの電極配置の係数を掛けた深度を表示点とします。

均質100Ωmの地盤に10Ωmの低比抵抗異常体がある場合に、2つの電極配置で測定した見掛比抵抗から作成した疑似断面を

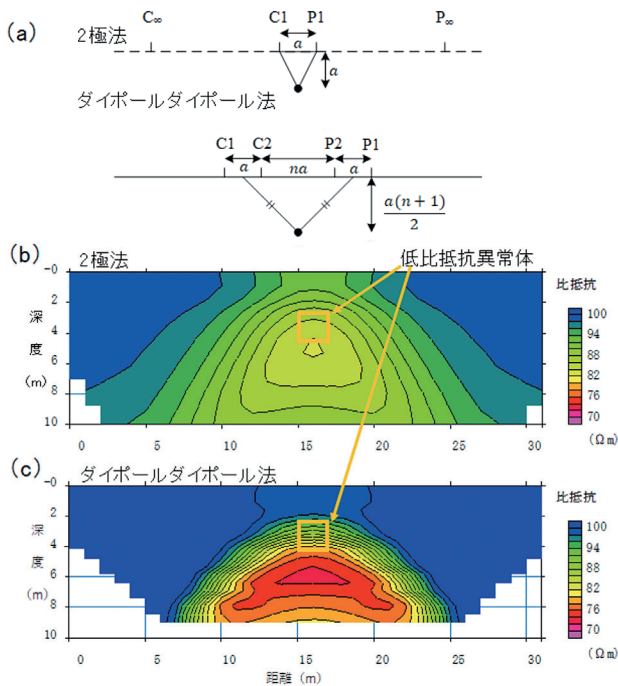


図3 見掛比抵抗のプロット方法と見掛比抵抗断面

(b)と(c)に示します。どちらも地下になんらかの低比抵抗なものがあることがわかりますが、形も値も電極配置により異なります。

3.2.2 逆解析

より正しい比抵抗構造を求めるには、以下に示す最小二乗法を基づく逐次修正を用いる逆解析が一般的です。この流れを図4化したのが図4です。

逆解析の手順を以下に箇条書きで示します。

- ①初期モデルを設定します。
- ②順計算を行い、モデルから計算された電位と実際に測定された電位の差(残差)を計算します。順計算には地形を柔軟に取り入れることができる有限要素法を用いるのが一般的です。
- ③最小二乗法を適用し、残差二乗和が小さくなるようにモデルを修正します。
- ④修正されたモデルで順計算を行い、再度残差を計算します。
- ⑤残差二乗和が基準値より小さくなるか、繰り返し回数が上限を超えるまで繰り返し、その時点のモデルを解析結果とします。

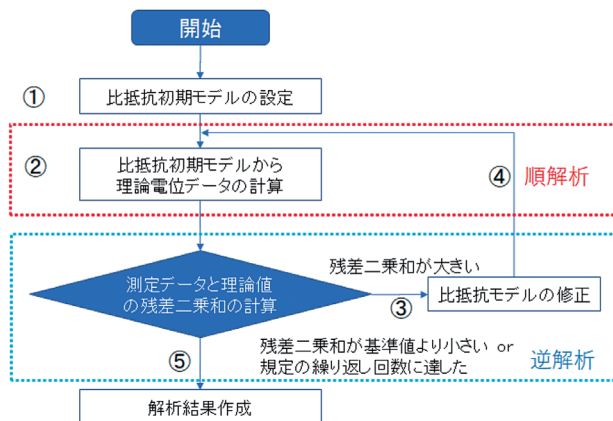


図4 逆解析フローチャート

図5に、25年前の阪神・淡路大震災で地表に現れた、淡路島北部の野島断層で実施した電気探査の結果を例として示します。

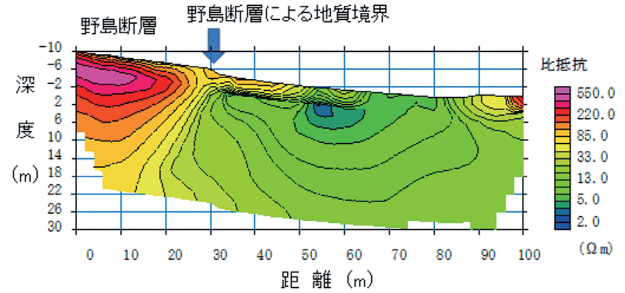


図5 淡路島北部の野島断層での電気探査結果

3.2.3 解釈上の注意点

電気探査では、データの持つ指向性が不十分なので、地下構造を一義的に決めるのは困難です。加えて、データにはノイズが含まれるので、残差が0になることはありません。そのため、残差がある範囲内におさまるモデルが幾つも存在するかもしれません。これを等価モデルと呼びます。いろいろな等価モデルの中には、実際には存在しない地下構造(偽造)を含むものもあります。

偽造の発生を抑制し、モデルの逐次修正プロセスを安定化させるために、いろいろな平滑化条件の導入や逆解析の解像度を敢えて落とすことが行われています。両者は数学的にはほぼ同じです。

しかし、地盤の堆積や変動は昔も今も同様に続いているので、深くなるほど地下構造がスムーズに変化し、構造単位が大きくなるようなことはありません。露頭を観察すれば、断層や不整合面はかなりシャープに変化していることがわかります。

従って、モデルの平滑化は地盤の実態に合わないモデルにつながりますので、二次元仮定を満たす測線配置、ノイズの少ないデータ、そして他の地盤情報を加味した適切な初期モデルの設定に重点を置き、平滑化は必要最小限に抑えるべきです。

キーポイント

- 見掛比抵抗疑似断面は、データの品質を概観し、地下構造の概略を把握するのに有効です。
- 見掛比抵抗疑似断面は、実際の地下構造と異なるだけでなく、電極配置が変われば変化するので、解釈には専門知識が必要です。
- 一般的な逆解析には、平滑化拘束付最小二乗法を用いているので、初期モデルや平滑化の重みが変わると解析結果も変わります。
- 地下構造が不連続面によって急激に変わる場合は、平滑化条件の選定には注意が必要です。
- 二次元構造の仮定が成り立つことは、そう多くありません。適用条件を満たしているか、注意して解釈する必要があります。

4. 三次元探査

4.1 実用性

20m四方の地盤を地下10mまで、地盤をそれぞれ1m毎に分割して、一次元、二次元、三次元解析した場合のデータ数、パラメータ数、および解析時間の比較を次の表に示します。解析には、PCベースの解析ソフトとして世界的に普及しているAarhus Geoscience社のもを、その計算にはインテル® Core™ i9-9980 XE CPU @3.0GHz 18core, Memory64GBを使いました。

実際の地盤は、地形も地下構造も三次元なので、三次元解析をするのが良いことは誰でも推測できます。しかし、三次元解析に必要ないろいろな方向からのデータを測定しようとすると、

対象地盤：縦横20m四方、深さ10mの地盤

解析モデル

一次元解析：層厚1mの10層構造

二次元解析：幅1m、奥行き∞、深さ方向1mの角柱状ブロック構造

三次元解析：幅1m、奥行き1m、深さ方向1mの立柱状ブロック構造

	解析ソフトウェア	パラメータ数(ブロック数)	データ数	解析時間(秒)	相対比
一次元	Res1d	10	10	0.5	1
二次元	Res2d	200	155	10	20
三次元	Res3d	4,000	6,510	490	980
三次元	Res3d	4,000	43,952	600	1,200

データ数は一気に増大します。また、地下を三次元に分割すると、モデルパラメータ数は指数関数的に増大し、解析時間はさらに指数関数的に増大します。

しかし、最近は三次元的な測定を効率良くこなすノード型測定機が実用化され、計算機の能力も向上していますので、三次元探査が現実的なものとなってきています。

4.2 測定方法

ノード型測定システムは、二方向の電位データを連続して測定する多数の測定ノードとそれと同期して正確に電流を通電する通電ノードからなります。それらを接続するケーブルは不要で、全ての通電が終了後に、通電と同期した電位データをPCにダウンロードして解析に用います(図6)。

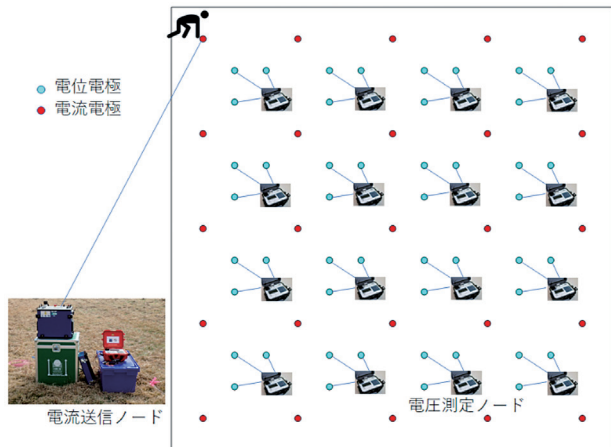


図6 ノード型測定システム(Fullwaver)を用いた三次元探査の測定模式図

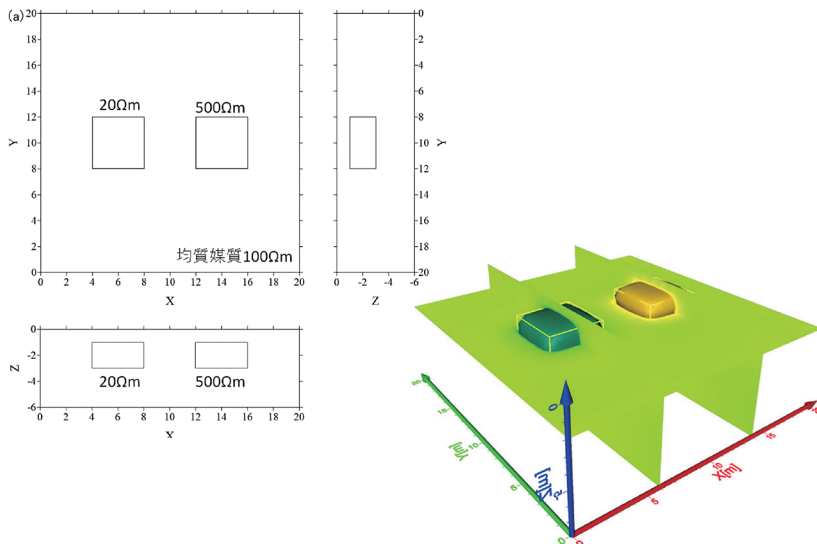


図7 三次元モデルとその解析結果

4.3 解析方法

解析の流れは、基本的に二次元探査と同じですが、順計算には三次元の有限要素法を用います。

地下に、図7(a)に示すような低比抵抗と高比抵抗の正方形の異常体がある場合の数値実験例を示します。三次元解析を適用することで、図7(b)に示すように異常体の形状はかなり正確に解析されます。

次に、この三次元データセットから、異常体の直上(Y=10m)、異常体から1m、2m離れた(Y=13m、14m)測線上のデータだけを抜き出して二次元モデルで二次元解析した例と三次元解析の結果を比較したものを図8に示します。まず異常体直上(Y=10m)では、三次元解析ではほぼ正しい形状ですが、二次元解析では上面深度は正しいですが、厚みが薄く解析されています。Y=13mでは、三次元解析では何も見えませんが、二次元解析では何も無いはずのところどこかに何か構造があるかのように解析されています。特に、低比抵抗構造の横では顕著です。Y=14mでも、低比抵抗の異常はまだ残っています。

キーポイント

- 三次元探査は、二次元探査に比べ、測定にも解析にも多くの時間が必要です。
- しかし、測定システムや計算機の高速度により、徐々に実用化に近づいています。
- 二次元探査を三次元構造に適用すると、測線の側方の影響を無理に測線内の構造で表現しようとするため、形状が正しく求められず、偽造が発生することがあります。

5. 考察

二次元構造の仮定が成り立つ地盤はそう多くはないため、地下構造を簡単に把握できる二次元探査を適用すると、前述したような問題が生じます。

一方、三次元探査は、現時点ではまだ手軽に行えるとは言えません。しかし、三次元探査の実用化に向けた測定システムや解析環境の進歩は続くので、三次元探査が手軽に行える日が近づいてきています。

それまでは、必要に応じて使い分けると共に、二次元探査の場合は適用条件や測線計画を慎重に検討する必要があります。

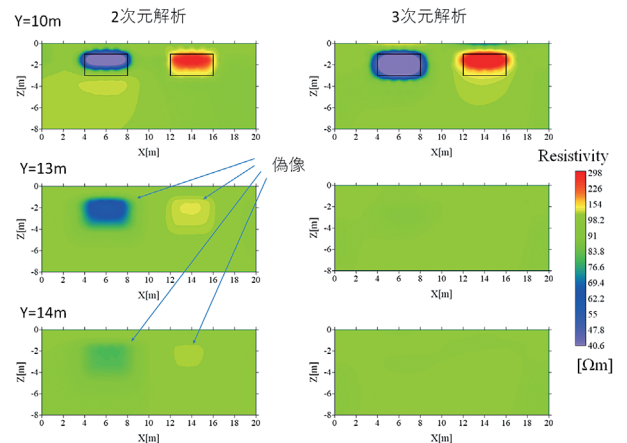


図8 二次元解析の偽像例



ベトナム微動観測記(その1)

産業技術総合研究所 長 郁夫

ベトナムからのメール

数年前、ベトナムから1通のメールが届きました。公開中の微動解析プログラムで地盤を評価したい。AVS30(深さ30mまでの平均S波速度)は分かるか、どんな機材が要るかと質問が並びます。いかにも微動探査には詳しくない様子です。しかも最後に「国にプロジェクトを申請予定、一緒にやれると嬉しい」。この唐突さには言葉もありませんでしたが、東濃地震科学研究所(現高知大学)の久保慎人氏からの紹介と書いてありました。

久保氏に尋ねると、彼はJICAプロジェクトで来日した元研修生とのことでした。地殻変動/地震活動で名古屋大学で学位をとり、帰国して地震ハザードを評価するらしいです。彼の学位と地震ハザードは直結していませんが、こういう不一致は良くあることです。詳しくもない「表層地盤」に苦労しているのかなと妙に親近感が湧きました。しかし、そもそもベトナムに地震活動はあるのでしょうか。

なぜ微動?

メールの主はNguyen Anh Duongという好青年でした。ベトナムアカデミー(Vietnam Academy of Science and Technology, VAST)の地球物理関連研究室のチーフリーダー(当時)です。同氏によればベトナム国フエ県フエ市は有名な古都ですが、近くに活断層があり、ダムに関連する誘発地震があるらしいです。曰く、水力発電の安全な運行と文化遺産保護のために浅部地盤を評価しておきたい、自然地震は活発でないためそれを使った地盤の探査は難しい、そこで微動の利用を思いついた、ただし微動アレイは完璧な素人(!)とのことでした。

ベトナムへ

顔合わせを兼ねて久保氏とともにハノイでのカンファレンスVIET-GEOPHYS-2017に参加しました。フィールドトリップは「天空の秘境」と呼ばれるラオカイ〜サパでしたが「それに参加する代わりに微動観測はどう?」と提案しました。

実は、普段使っている微動計(3成分型加速度計)2台を持参していたのです。せっかく現地に行くのだからと出立直前に思いつき大急ぎで手続きを済ませました。微動計を機内に持ち込むためにケースをカットして台車を購入しました。彼らのことは良く知りませんが、どうせ観測を通じたお付き合いですから、記録がすべてを物語ってくれるはずですよ。言うなれば、初顔合わせは「観測合コン」で盛り上がるとういう提案です。久保氏、Duong氏ともに大賛成してくれました。

保氏、Duong氏ともに大賛成してくれました。

VASTでの微動観測

1日目、VAST敷地内で彼らと微動の同時観測(ハドルテスト)をしました。これはある意味、洗礼のようなものでした。まず、彼ら主力のサーボ型速度計はなかなかGPSが受けませんでした。1時間、2時間と過ぎ、ようやくGPSをキャッチしたかと思うと、今度は、記録したはずのデータが記録されていなかったりするので。そして、とにかく記録にこぎ着けたと思えば、後で確認すると、GPSで同期されていなかったりしました。しかし彼らには焦燥感もなく、その晩は楽しく乾杯しました。私の場合は持参した微動計で良い記録が取れていたの、とにかく前向きになれました。彼らの観測機材の問題については、今後の付き合いの中で何かしら打開策が見つかるだろうと軽く考えたのでした。



写真1 VASTの正門付近。夕方、懇親会へ向かう道。このバイクの群れの中を歩いて行く。

こういう楽観的な気分になれたのは、その場の雰囲気も影響していたかもしれません。近年の急激な経済成長でハノイは人で溢れ、とても活気があります。写真1(上)はVASTの正門を出るところですが、門の外は歩道なのにバイクでいっぱい。写真1(下)の右手には、バイクの進行方向が完全に直交しているグループがあるのが分かるでしょうか。私はこの無秩序、いや、熱気というか底しれぬエントロピーに圧倒さ

れ、何とかなる、或いは失敗も大いに結構という気持ちになっていたのだと思います。

ハノイ郊外での微動観測

2日目。ハノイ郊外の3地点(HD1, HL7, HL8)で微動アレイ観測を実施しました。初ベトナム、初ハノイでいきなり初郊外、初アレイです。始まる前はとてもワクワクしました。しかし現実には、最初の観測現場(HL8)に到着早々、頭を抱えることになりました。そこには狭い農道が1本しかなかったのです(写真2)。これでは微動探査の標準的な三角形アレイが組めません。しばらく悩みましたが、素人の彼らに相談しても仕方ありません。割り切って、長さ5mから30mの直線アレイで乗り切ろうと腹をくくりました。その代わりなるべく長時間のデータを取ろうと提案し、1時間半ほど観測しました。

微動観測の魅力(?)の一つは待ち時間がとても暇なことです。牛をつれた人やバイク、豚が通過するのを横目で眺めつつ、のんびり過ごしました。誰かが自生の「スターフルーツ」(写真3)を見つけたので率先して齧って見ると、まだ熟しておらず、あまりの酸っぱさに思わず顔をしかめました。みんな大笑いでした。どうやらからかわれたらしく、その後もこの手の冗談にしばしば付き合わされました。

昼食は近くのレストランでカエルや鶏脚(モモではない)を食べました。彼らはビールも飲みました。効率は悪いけれど、こういうスローライフもけっこうな贅沢です。こうして3地点を回った頃に日が暮れました。天気も良く爽快に日焼けした一日でした。

解析結果と今後に向けて

次の日、Duong氏に微動アレイ探査概論を講義し、持参した微動計で得られたデータと解析結果を見せました(図1)。3地点ともきれいな分散曲線が得られています。嬉しいことに、結局全部うまくいったのでした。芝浦工業大学の紺野克之教授に従って波長40mに対応するレーリー波位相速度(C40)をAVS30と解釈すると、3地点のAVS30は200~400m/sとなるようでした。彼らには、「今回の成果は5-10Hzの周波数帯域を利用できる観測機材で5-10mのアレイを組めばAVS30を同定できることが分かったことです。ただしAVS10や20も欲しいなら1~3mの小さなアレイで25Hz程度までは見る必要があるでしょう。」とアドバイスしました。

このように、このプロジェクト、つかみはバッチリでした。しかし後日判明したことには、Duong氏は大胆にもフエの140地点でアレイ観測を実施すると計画して申請を通してしまっていたのです。さすがに、素人の彼らがやるにはちょっと多過ぎでしょう。スローライフどころではありません。今後は (i)フエでも同様にうまくいくことを検証するだけでなく、(ii)観測効率を上げなければなりません。限られた機材で、彼らだけで、ミ

スがないように、期限に間に合う工程を練る必要があります。せちがらい現実が押し寄せて来ます。

というわけで、次回はフエでのパイロット観測について報告したいと思います。



写真2 観測風景。手前から大久保氏、Duong氏



写真3 スターフルーツ。輪切りにすると切り口が星型なのでこう呼ばれるらしい。

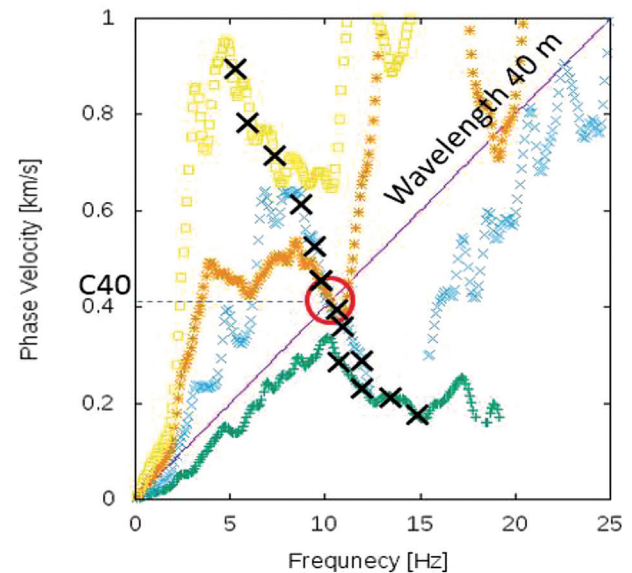


図1 分散曲線の解析結果(HL7)

Let It Be

Terra Australis Geophysical Pty Ltd 須藤 公也



ハムレットのモデルになったHelsingorのKronborg城(デンマーク)で

“To be or not to be: that is the question.”言うまでもなく沙翁のハムレットに出てくる有名な一句である。坪内逍遙の名訳は「あるべきか、あらざるべきか。ここが思案のしどころだ。」となる。五七七五の調子で、これだと市川海老蔵みたいな役者が、コブシを利かせて「あるべきかア、あらざるべきかア。ここが思案のオ、(ハッ!)しどっころオだ〜っ!!」と、大見得を切りそうだ。ハムレットは舞台や映画で何回か見たことがあるが、ここのところは意外に小声で、ボソッと語られている。独白だからそうなのだろう。

この **be** というのが曲者で、なかなか上手に使えない。現在形の **am, are, is** だったら英語の習い始めから覚えさせられるが、原形の **be** が出てくるのは助動詞を学ぶ2年生あたりだったと思う。この基本動詞をよく知っているのをいいことにそれを濫用すると、文章のリズムが単調になって、この人は文型のストックに乏しいという印象を与える。

Be 動詞をおさらいすると、大まかに言って以下の4つの用法がある。1. 「ある、いる(存在する)」という自動詞。2. 形容詞や動詞を補語として「である」という本動詞になる。3. 現在分詞を伴って進行形を作る。4. 過去分詞を伴って受動態を作る。

1. の典型的な用法は “**There is...**” や “**Here is...**” という言い方で、“**There are four kinds of seismic method.**” のように使う。似たような言葉には **present** (形容詞) や **exist** (動詞) がある。**present** は名詞のときは「現在」という意味があるように「現にそこにある」ようなときに使う。“**If an adverse condition is present, ...**” という “**If there is an adverse condition**” というよりより英語的に聞こえる。**Exist** はもう少し重くて「現にそこになくても世界のどこかに存在している」というような意味を持つ。よくいうのは **God exists.** といった類いの文だ。物理探査の場面なら、“**An analytical relationship exists between seismic velocities and Poisson’s ratio.**” この文など、公式やその導き方が思い出せないときの逃げ口上には使える。

2. は最もよく使われる用法だろうが、日本語の「XXは〇〇である」の文を “**A is B**” の形に訳さなくてもいい場合がある。たとえば、「地震波は地中を伝播する振動である」(手引き19ページ)英語版では “**A seismic wave is a body wave**

that is a vibration propagating in the ground” と “**A is B**” の形が主文と修飾句とに2回使われている。ここで訳者が “**a body wave**” と親切な説明を加えているのはうれしい。**Be** を使わないとするなら “**A vibration propagating in the ground forms a seismic wave**” と言っても意味にそれほどの違いはない。ただ、この文が現れた場面は屈折法の冒頭で地震波を定義しているのだから、“**A seismic wave is...**” とするのが適切であろう。

3. の進行形を作るのは口語ではとても便利だ。動詞につける「三単現のs」は慣れないとよく忘れるのだが進行形にするに気にしなくてもよくなる。**Be** 動詞の **am, are, is** なら英語の習い始めから叩き込まれているから間違えない。同じように不規則動詞の過去形で悩むこともない。オーストラリアに暮らし始めたころは愛用していた。「そう思ってた」は “**I thought so.**” と言っても “**I was thinking that.**” と言っても意味に変わらない。ただ、論文などの書き言葉ではあんまり使わないようである。

4. 論文ではいろんなところで受動態が使われる。受動態ならなんとなく客観的に見えるようだ。最近では、しかし、責任の所在を明らかにすべきだという観点から能動態で書けという学会も少なくない。その時の主語を一人称にするか、三人称にするかも考えなくてはならない。“**An electric survey was carried out in this area.**” “**We carried out an electric survey in this area.**” “**The authors carried out an electric survey in this area.**” どれを選ぶかは嗜好の問題だろう。私は古い世代に属しているから、2番目の一人称の言い方にはやや抵抗がある。でも趨勢はこちらに向かっているようである。ほかの人の仕事なら、“**Japan Geological Survey carried out an electric survey in this area in 2017 (Yamada, et al., 2018).**” と書かなくてはならないのは言うまでもない。

Be 動詞の用法のもう一つに「その状態である」という意味に使うことがある。“**as is**” という「いまのままで」「その通りのそのまま」ということだ。例: “**The instrument can be used as is.**” 正確には “**as it is**” なのだろうが **it** が脱落したのか初めからなかったのかこの使い方はよく見られる。この用法については後日検討する機会があるだろう。

ハムレットの終幕、彼の死の直前の辞世の独白で、「もうどうでもいいや。放っとけ」というところで沙翁は “**Let be**” と言わせている。これが冒頭の “**To be or not to be.**” という “**the question**” に呼応した答えであると考えるのは解釈しすぎだろうか。日本で源氏物語の現代語訳が出ているように、シェークスピアには現代英語版も出ていて、このくだりを “**Let it be**” として “**it**” が補われている。“**Let it be**” はビートルズで有名だが、日常でもけっこうよく使われる表現で口語でも使われる。だから大した意味もなく「放っとくのがいいよ」と歌っているのかもしれない。でも、ポール・マッカートニーほどの人だから、ハムレットの最期を知っていて、意識して引用していたのではなかったか。はからずもあれがビートルズの最期になってしまった。

盛川 仁・山中浩明 著 地盤と地盤震動 観測から数値解析まで

(朝倉書店 ISBN978-4-254-26172-1)

公益財団法人鉄道総合技術研究所 津野 靖士

土木系・建築系の地盤震動研究を代表する東京工業大学の盛川仁先生と山中浩明先生が本書を執筆されており、本書では、タイトルにありますように、地盤と地盤震動に関する観測から数値解析までが網羅的に記述されています。私は、本書を手に取り一読した後、地盤震動の実務や研究に携わる者として、現在の学生を羨ましく思いました。私が学生であった20年ほど前にも、地震や地震動、地盤震動などに関する良書は多くありましたが、地盤震動を軸として地震動の観測から数値計算までを系統的に学べる専門書はなかったように思います。そのため、当時はいくつかの専門書や講義ノートから強震動分野における地盤震動に関する記述を部分的に抜き取ることで、地盤震動に関する基礎的な理論やその物理的背景を学びました。

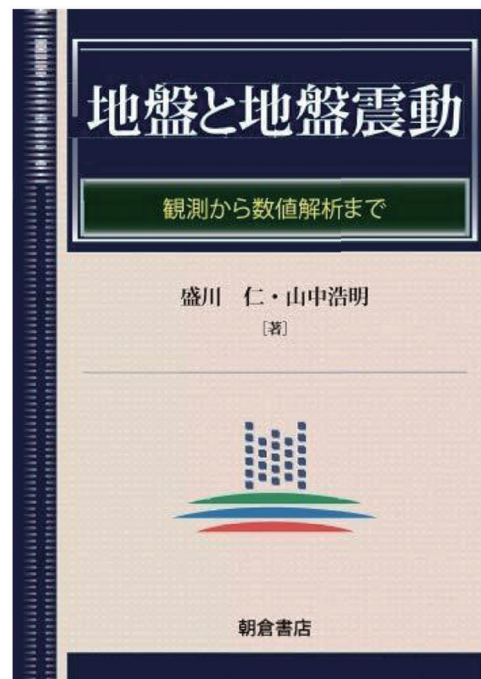
本書の特色は、地盤震動を理解する上で必要となる理論について数式を利用して一から丁寧に展開していることにあります。したがって、本書を一読することにより、地盤を伝播する波動の理論と物理的背景をよく理解できることが本書の大きな魅力です。本書は、以下の目次から構成されています。

1. 地盤と地震動
2. 弾性体中を伝播する波動
3. 地盤震動の観測
4. 地盤震動記録の解析
5. 地盤構造の探査
6. 地下構造モデルの逆解析
7. 差分法による地震動のシミュレーション

上記の目次からわかりますように、本書を順序立てて読み進めることにより、波動伝播理論(2章)、地盤震動観測と地震計(3章)、観測データの分析手法(4章)、地盤構造探査と逆解析手法(5・6章)、地震動シミュレーション(7章)までを系統的に学ぶことができ、本書は、強震動分野における地盤震動の理論と物理的背景を適切に理解することができる構成となっております。特に、3章と6章は、地震計の設計ならびに地下構造推定手法の開発を行った著者らならではの内容となっております、精読されることを強くお勧めします。

地盤震動研究で利用されている物理探査としては、屈折法や反射法の地震探査、また微動を利用したアレー解析や水平動/上下動スペクトル比(H/V比)などの微動探査があり、本書ではそれらに関する基礎理論が丁寧に記述されています。また、微動探査では表面波の位相速度に逆解析手法を適用して地下構造モデルを推定しますが、その逆解析手法について実例に基づいた具体的な説明がなされているため、本書により、微動探査から地下構造モデルの推定までを理解できる内容となっております。地盤震動研究に携わる物理探査技術者にとっては、それら項目を読むことにより、微動探査や地下構造モデルの推定に関する理論を習得することができ、今後の業務や研究への強力な手助けになることでしょう。

本書は、強震動分野における地盤震動に関する観測から数値解析までの一連の理論が丁寧な式展開により導かれており、工学系の学生・技術者・研究者のみならず、理学系の方々にも、是非一読していただきたい内容となっております。



物理探査学会第141回(2019年度秋季) 学術講演会開催報告

学術講演委員会

物理探査学会第141回(2019年度秋季)学術講演会は年号が令和になってから初の講演会となり、10月29日～31日の3日間、アイーナ岩手県民情報交流センター(岩手県盛岡市)で開催されました。講演数55件(うち海外招待講演1件、特別講演2件)、ポスターセッション9件、機器展示は4社の申し込みがありました。今回の参加者は講演会123名(うち学生11名)、交流会は82名(うち学生10名)、見学会は21名(うち学生7名)でした。

ポスターセッションの優秀発表者は審査の結果、杉野 由樹 氏(早大・院・理工研、産総研)が受賞されました。

○海外招致講演

1日目に、韓国の物理探査学会KSEGとの国際交流の取り組みの一環で、Chonbuk(全北)国立大学のDr. Ju-Won Oh氏を本講演会に招待し、講演をしていただくことになりました。

FWI(全波形インバージョン)に関する発表で、貴重なお話を拝聴させていただきました。

○特別講演

2日目には、大野 眞男氏(岩手大学教育学部教授)、齋藤 徳美氏(岩手大学名誉教授)のお二方より、ご講演を頂きました。大野 氏からは「岩手大学と宮沢賢治」と題して、宮沢賢治の盛岡高校農林学校(現:岩手大学農学部)時代の経歴や、詩の文章中にみられる岩手の方言などについてお聞きすることが出来ました。齋藤 氏からは「東日本大震災から8年半、岩手復興の現状と課題」と題して、人が地域に根付くような本当の意味での復興に向けての数々のお話を聞くことが出来ました。

○見学会

3日目の講演会終了後の午後から移動し、松尾八幡平地熱発電所に向かいました。中々見ることの出来ない地熱発電所内を興味深く見学させていただきました。その後、見学会の締めとして八幡平市の「わしの尾」酒造に行きました。酒蔵内を回り、日本酒の製造方法などを説明していただきました。一通り見学した後、試飲も行われ、地元のお酒を堪能しました。

今回の学術講演会では岩手大学関係者、発表者、座長をお引き受け頂いた方など、多くの方々のご尽力によって、盛会のうちに無事に終わることができました。ここに記して厚くお礼を申し上げます。



Ju-Won Oh氏



大野 眞男氏



齋藤 徳美氏



ポスターセッション風景



ポスターセッション優秀発表賞：杉野 由樹氏



交流会の風景

第141回学術講演会・見学会 参加レポート

令和元年10月29～31日に盛岡市にて第141回物理探査学会学術講演会・見学会が開催されました。参加された学生の方からレポートを寄稿いただきましたので、ご紹介いたします。

岩手大学大学院2年 萬谷 良平



今回は、物理探査学会の見学会にて松尾八幡平地地熱発電所を見学した。当日の天候は曇天だったため気温も低く、かなり肌寒い見学会ではあったが、普段は見ることのできない地熱発電所の内部を見学したことは非常に良い経験になった。また、説明を聞きながら発電所内を

見学したことで発電のシステムについての知識も身に付けることができた。

我が国はエネルギーの自給率が他国に比べて低く、そのほとんどを輸入に頼っているという現状がある。また、東日本大震災の影響で国民の原子力発電に対する不安も大きくなっており、加えて環境問題に対する策を講じなければならぬ状況の中、クリーンで安全な自然エネルギーの開発が今後大きな役割を担うと考えられる。今回見学した地熱発電は地熱が噴き出す岩盤の亀裂の位置を把握しなければならないため、地下構造探査が必要不可欠であるがこれには広い面積の調査が必要となるため、比較的少ない労力で広域にわたって地下の情報を得ることができる物理探査は効率的かつ有効な地下構造探査の手段といえる。

しかしながら、現場の方に聞くと、「掘ってみなければわからない」というのが率直な意見であった。やはり、現場の人にとっては実際に地下の情報を目で見て地下構造を把握するのが最も信頼性の高い情報であるようだ。現場の方の素直な意見を聞いたことで物理探査が一般の方にも受け入れられるような探査法として今後さらに発展してほしいという思いが強くなった。今回の見学会を通して、物理探査の重要性、さらには今後、物理探査の一端を担う自分自身が社会にどのように貢献できるのかを再確認する良い機会となった。



松尾八幡平地地熱発電所 見学風景

東京大学大学院 修士1年 児玉 匡史



太陽光、水力、地熱、風力などの自然エネルギー発電のメリットの一つとして環境への負荷の小ささがあげられます。これらの自然エネルギーを地産地消することがこれからの時代のエネルギー利用のあり方ではないかと考えられます。日本は環太平洋造山帯に属し地熱発電の

ポテンシャルも高い国であると考えられますが、日本の発電量に対する地熱発電の割合はおよそ0.2%と低いです。ここには景観や水質問題、ステークホルダー間における利害関係などが絡んでいると思われます。

このような問題に対して物理探査の担う役割は物理探査によって得られた知見を提供し、新しい解決策を見出すためのきっかけを作るのではないかと考えられます。ステークホルダー間でなかなか話が進まない理由の一つとして知識不足による不安があると思われます。特に地熱発電の場合は地下ということもあり、実際にどのようなメカニズムが存在するのかを理解することは難しいはずですが、しかし物理探査により電気伝導性、磁性、密度、粘性などの性質を推定することにより、地下の構造をより正しく理解することができるようになりつつあり、ここで得られた成果を地域住民、事業者あるいは政府といったステークホルダーの人々に正確に認知してもらうことができれば、それぞれがリスクを認めた上で話し合うきっかけが作れるはずですが、今後より地熱を含めた自然エネルギー活用を浸透させる上で物理探査はより正確に、そしてより多様に地下の情報を推定できるようになり、人々からの信頼性をより向上させていく必要があると思います。



わしの尾酒造 見学風景

編集後記

物理探査ニュース第45号の記事の編集を進めているうちに、阪神淡路大震災から25年という報道が数多くありました。そんなこともあり、わかりやすい物理探査の中で、電気探査の例として淡路島野島断層の結果を紹介させていただきました。私はこの震災の年に今の会社に入社したのですが、このデータは私が入社後すぐに淡路島に行って測定してきたものになります。入社後初めての現場作業だったので、もっといろいろなことを覚えているかと思いましたが、25年もたつとだいぶ記憶もあやふやになっていますね。当時はまだカメラはアナログが主流だったので写真は簡単に発掘できませんでしたが、測定データはデジタルにしていたおかげで、今回結果を紹介できました。

話は変わりますが、25年前はあまりメジャーではなかった微動の利用が、ここまで進むとは皆さん考えていたでしょうか？（※ちなみに私は学生の時地震学を専攻していたので、コーダ波を利用していました。）地震災害の防災・減災という意味で、ここ25年間でもっともこの分野で発展・貢献した技術ですね。

はたして、次の25年ではどんな探査技術が活躍しているのでしょうか？ ひょっとしたら、今は見向きもしていないゴミのようなデータを使った技術がかもしれませんね。

(応用地質株式会社 櫻井 健)



お知らせ

お知らせ

日本地球惑星科学連合 JpGU-AGU Joint Meeting 2020

- 1.会期：2020年5月24日(日)～28日(木)
- 2.会場：幕張メッセ
- 3.講演申込締切：2020年2月18日(火) 17:00
- 4.共催セッション：

空中からの地球計測とモニタリング
浅部物理探査が目指す新しい展開
地震波伝播:理論と応用

第142回(2020年春季)学術講演会

- 1.会期：2020年6月1日(月)～3日(水)
- 2.場所：早稲田大学国際会議場
- 3.講演申込締切：2020年3月18日(水)
- 4.論文集原稿：講演要旨締切:2020年4月20日(月)
- 5.参加登録：事前登録締切:2020年5月18日(月)
- 6.参加費(税込)：事前登録一般 7,700円 学生 無料
会場登録一般 8,800円 学生 無料

EAGE 3rd ASIA Pacific Meeting on Near Surface Geoscience and Engineering

- 1.会期：2020年4月20～22日
- 2.場所：Chiang Mai, Thailand

賛助会員リスト

三菱マテリアルテクノ(株)	日本海上工事(株)	西日本技術開発(株)	スリーエス・オーシャンネットワーク(有)
応用地質(株)	JX石油開発(株)	(株)地球科学総合研究所	(有)地圏探査技術研究所
鹿島建設(株)技術研究所	日本物理探査(株)	(一財)地域地盤環境研究所	(株)ジオフィール
川崎地質(株)	復建調査設計(株)	第一実業(株)	(株)尾花組
関東天然瓦斯開発(株)	三井金属鉱業(株)	シュルンベルジェ(株)	洞海マリンシステムズ(株)
基礎地盤コンサルタンツ(株)	三井石油開発(株)	(株)日さく 東日本支社	海洋電子(株)
極東貿易(株)	(株)阪神コンサルタンツ	(株)NTTデータCCS	協和設計(株)
(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構	ドリコ(株)	モニー物探(株)	(株)ジオプローブ
興亜開発(株)	ニタコンサルタント(株)	(株)大林組技術研究所	白山工業(株)
国土防災技術(株)	三井金属資源開発(株)	北光ジオリサーチ(株)	曙ブレーキ工業(株)
サンコーコンサルタント(株)	(株)興和	中央復建コンサルタンツ(株)	(一社)省力型3次元地中可視化協会
住鉱資源開発(株)	ジオテクノス(株)	九州日商興業(株)	日本信号(株)
住友金属鉱山(株)	ペトロサミット石油開発(株)	(株)ジオテック	(株)地盤探査
石油資源開発(株)	(株)物理計測コンサルタント	JX金属(株)	サン地質(株)
伊藤忠テクノソリューションズ(株)	(株)日本地下探査	(有)アスクシステム	日本工営(株)
総合地質調査(株)	中日本航空(株)	(一社)全国地質調査業協会連合会	(株)地圏総合コンサルタント
(株)ダイヤコンサルタント	(株)エイト日本技術開発	(株)日本メジャーサーヴェイ	越前屋試錐工業(株)
(株)竹中工務店技術研究所	地熱技術開発(株)	東邦地水(株)	(株)昌新
中央開発(株)	大和探査技術(株)	(株)長内水源工業	(株)トムロ・テクノプロ
地質計測(株)	(株)ジオシス	応用地震計測(株)	(株)フグロジャパン
国際石油開発帝石(株)	中部電力(株)	(株)四国総合研究所	深田サルベージ建設(株)
電源開発(株)	北海道電力(株)	北陸電力(株)	(株)フジタ
(一財)電力中央研究所 我孫子研究所	九州電力(株)	(株)萩原ポーリング	(株)日水コン
DOWAメタルマイン(株)	関西電力(株)	(公財)地震予知総合研究振興会	日本マグマ発電(株)
JX金属探査(株)	(株)建設基礎コンサルタント	太平洋セメント(株)	
日鉄鉱業(株)	(一財)宇宙システム開発利用推進機構	(株)ジオファイブ	
日鉄鉱山コンサルタント(株)	(株)ドリリング計測	(株)テラ	

物理探査ニュース 第45号 2020年(令和2年)1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。