

物理探査 ニュース

2020 ハイライト

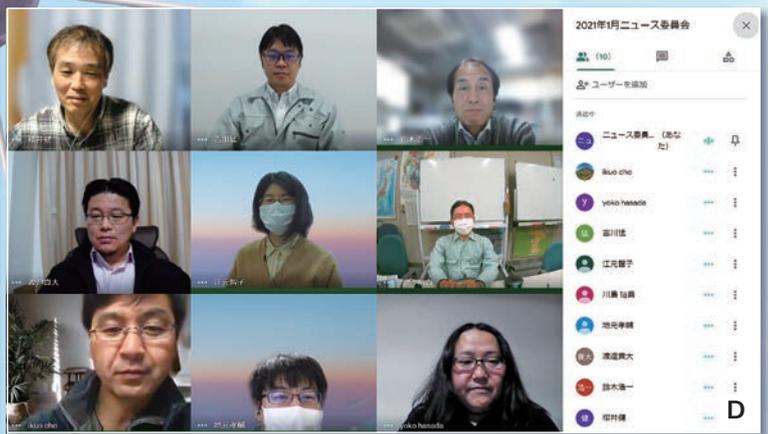
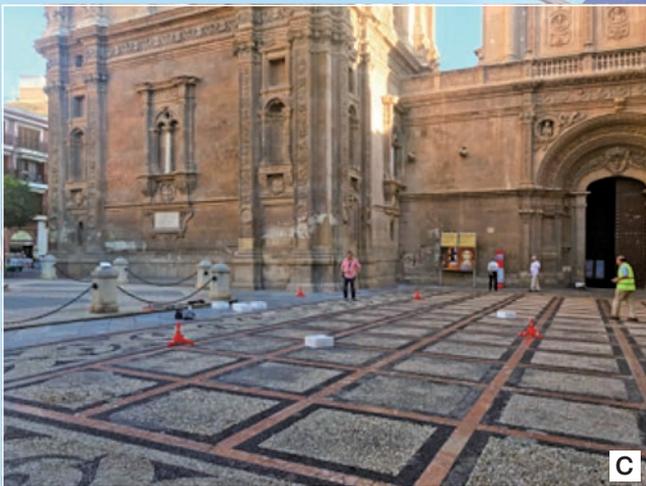
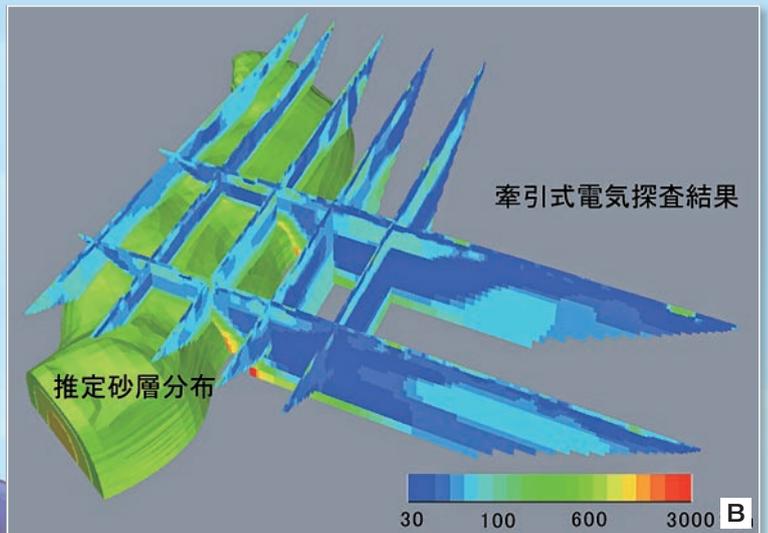


公益社団法人 物理探査学会
The Society of Exploration Geophysicists of Japan

目次

研究の最前線
「電磁探査法におけるノイズ低減法の開発」……………1
海外在住会員便り
「オレゴン州立大学での5年間」……………3
研究の最前線 「液化化発生域でのS波反射法および表面
波探査適用事例」……………5
新技術紹介
「最新型ブロードバンドパイプレーター震源のご紹介」……………7
現場レポート ベトナム微動観測記(その3)……………9
研究の最前線 物理探査「特集 熱水鉱床探査に向けて」の
ご紹介……………11
SEG 2019 Distinguished Instructor Short Course (DISC)
東京にて開催……………12
わかりやすい物理探査
「電気探査(その4:電気探査の最新動向)」……………13

Geophysical Exploration News 2020 Highlights



「物理探査ニュース2020ハイライト」は、物理探査学会が年4回発行する「物理探査ニュース」の2020年分から代表的な記事を抜粋したものです。物理探査ニュースはどなたでも学会ホームページ(<http://www.segj.org/letter/>)からご覧になれます。

表紙説明

- (A) 研究の最前線/データを取得したROVハイパードルフィン(ニュース45号)
- (B) 物理探査手法紹介/Ohm Mapperによる堤防基盤調査例(ニュース47号)
- (C) 研究室紹介/スペイン・ムルシア大聖堂前の広場での微動アレイ探査((ニュース47号)
- (D) ニュース委員会リモート画面のキャプチャ

電磁探査法における ノイズ低減法の開発

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、大変な苦労がありました。

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来とする電場と定義します。信号の独立性とは、変数 x_1 の値の情報が x_2 の値のどのような情報に対しても寄与しないならば、 x_1 と x_2 は独立であると定義されます。ここで注意して頂きたいのが、無相関と独立は数学的に異なる性質であるということです。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

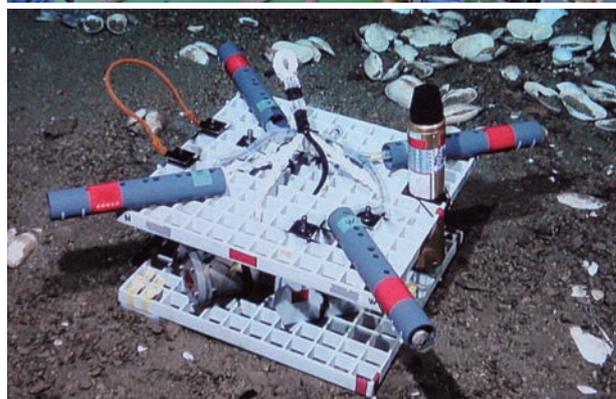


図1 データを取得したROVハイパードルフィンバスケットに乗っているのが海底電位計(上図)と海底に設置された海底電位計(下図)

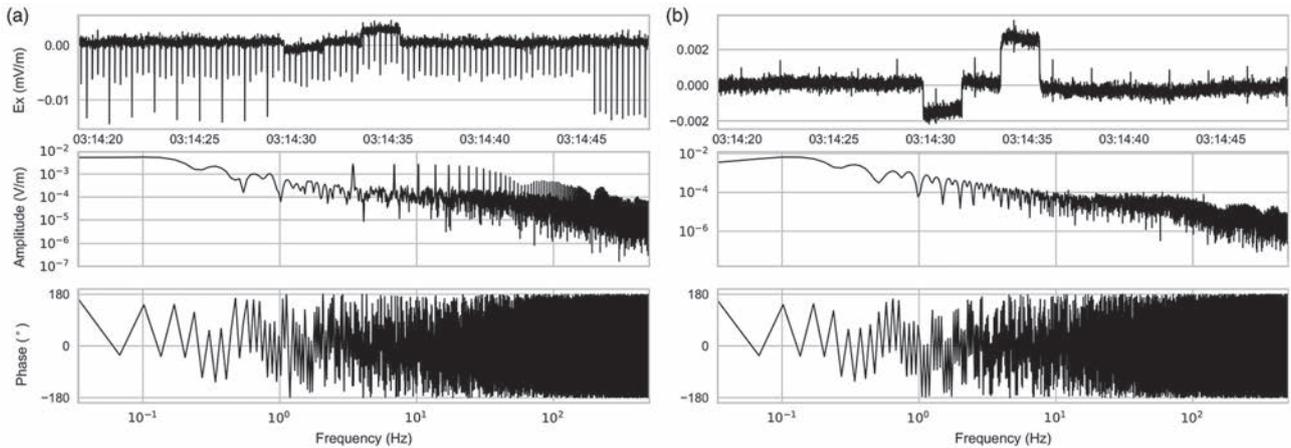


図2 多種物理探査データの統合化ワークフロー

(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)

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かわかると思います。

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

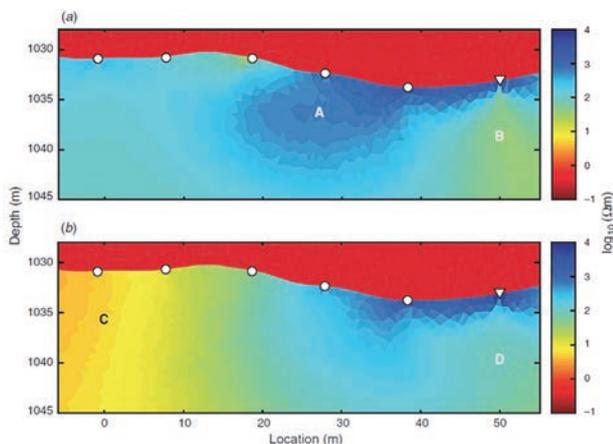


図3 構造解析で得られた比抵抗構造モデル

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。

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.

オレゴン州立大学での5年間

オレゴン州立大学 今村 尚人

1. はじめに

京都大学工学研究科で博士課程を修了後オレゴン州立大学(Oregon State University :OSU)にてこれまで5年間ポスドクとして勤めました。現在、ビザ更新のため一時帰国中ですが、この記事では海外(アメリカ)でのポスドクがどのような生活だったかについてお話しさせていただきます。

2. オレゴン州立大学とは?

オレゴン州立大学はアメリカ西海岸のコーバリス(Corvallis)という小さな田舎町にある大学です。コーバリスは人口5.5万人でその約半分がOSUの関係者という典型的な大学都市(町?)です。最寄りの大都市までは車で2時間なので、田舎町が受け入れられる人にとっては安全でどかで住み良い町ですが、都会の生活が好きな人にとっては刺激の少ない町に映るようです。研究面に関してはOSUでは地磁気地電流法(MT)法の研究者が非常に多いです。私が一緒に仕事をしていたAdam Schultz教授はアメリカ全土でのMT観測を実施していますし、Gary Egbert教授はModEMという有名なMTの3次元逆解析ソフトの開発者です。このように観測からデータ処理・解析まで一流の研究者が揃っているのがOSUの強みでしょうか。私が所属していたCEOAS(College of Earth, Ocean, and Atmospheric Sciences)という部局は電磁探査以外にも非常に多くの地球科学者がおり、自分の専門分野以外のことでも疑問があれば、彼らにすぐに聞きに行ける関係性があるというのは素晴らしい点だと思いました。

3. オレゴン州立大学での研究生生活(ポスドクの場合)

ポスドクをしていた間は、私もMT法のプロジェクトに携わっていましたが、他にも地磁気誘導電流(GIC)やイエローストーンでの観測、人工電流源電磁探査法(CSEM法)、機械学習のプロジェクトなどに関わっていました。アメリカでのポスドクは基本的に複数のプロジェクトを掛け持ちし、次から次へと押し寄せてくる締め切りの波を乗り切りながら、合間を縫って論文・プロポーザルを執筆し、創造的な解決策を試してみるというスタイルが一般的です。そのため、1つの課題にじっくりと取り組むというよりは1)短時間である程度課題が解決できる方法を実装する能力、2)それで問題解決ができそうかどうかを見極める能力が大切だと感じました。短時間で見極めをした上でできそうなら深掘りをし、ダメそうならスパッと諦めて次に移るというスタイル



図1 オレゴン州クレーターレイクでの筆者

です。効率重視のアメリカっぽさが研究スタイルにも現れているのかもしれませんが。近年、日本では働き方改革が話題になっていますが、私がいたCEOASでは大体夕方5、6時にはオフィスから人がいなくなることが多く、金曜日ともなると4時には帰宅している人も多いです。普段は家族やプライベートを大切にしているアメリカらしい文化ですが、もちろん論文やプロポーザルなどの締め切り直前になると家やオフィスで明け方まで仕事をする方も数多く見られました。

4. 研究以外の生活

先述したようにコーバリスは典型的な田舎町であるため、非常にのどかに暮らすことができます。気候の面では6月半ばから10月頭までは乾季にあたり西海岸特有の澄み切った青空と乾いた空気、穏やかな気候でまさに天国のような時期です。一方で10月後半から6月頭までは雨季にあたるため、ほぼ毎日シトシトとした雨が降り続けます。乾季の素晴らしい気候の分、長い雨季という借金を返しているような感じです。オレゴンでは太平洋からのプレートの沈み込みが作る火山が南北に連なっています。乾季はハイキング、キャンプ、釣りやアウトドアが好きな方にとってはこれ以上ないと思える場所です。車で2時間もすればどこかの火山に行けるのでフィールドが好きな地球物理学者は楽しく過ごせるでしょう。一方で雨季の間は外に出るのが億劫になるので本当にやることはありません。コーバリスはウィラメットバレー(Willamette Valley)と呼ばれる肥沃な谷の中程にあり、最近ではワインの名産地として徐々に有名になりつつあります。雨季はウィラメットバレーの各地にあるワイナリーを訪問したり、ビール醸造所を巡ったりすることが多かったです。このように一年の半分以上が雨季になるので、オレゴンに住む人(通称オレゴニアン)は傘を差す人は

滅多にいません。Nikeやパタゴニアなどのスポーツブランドのレインジャケットを着ているか、雨に濡れることを気にしない人がほとんどです。結局、私もOSUに滞在していた5年間傘を一度も差さずに過ごしていました。

それから、アメリカに滞在していると自分自身の感覚も変化していくようです。先ほど火山には2時間もあれば行ける、と書きました。日本にいた時は片道2時間というのは小旅行ぐらいの感覚でいましたが、アメリカの車社会に慣れると2時間はほんのちょっとしたお出かけと感じるようになってきました。これはオレゴンという田舎町でどこに行くにも車が必須であるせいなのか、アメリカという車社会がそうさせるのかはよくわかっていません。ただ、アメリカにきた当初はポートランドという近くの大きな都市まで車で2時間と聞くとうんざりしていたのですが、ある程度年月が経つと2時間はちょっとした運転だな、という風に自分の中で感覚が変化していたのを感じました。私の場合、5時間の運転となると気合を入れなきゃなという感覚です。AGUが開催されるサンフランシスコまで運転した時はさすがに途中で休憩を入れて11時間程度で到着しました。ちなみにその年以降車でAGUへ行くことはなく、絶対に飛行機を利用するようになりました。さすがに11時間はヘトヘトになります。

5. イエローストーンでの観測

ちなみに私の人生の中で最も運転をしたのは、間違いなくイエローストーン国立公園でMT観測を2ヶ月ほど行った時期です。合計でおよそ2万kmつまり約地球半周分と同じ距離を運転しました。この間におよそ40点のMT観測を行いました。

イエローストーン国立公園でMT観測をする際の最も大きい問題点は、公園内で地面に穴を掘ってはいけないという点です。MT法は基本的に電極を埋める小さな穴4つと磁場観測装置を埋める大きな穴が3つ(水平方向2つ、鉛直方向1つ)必要となります。穴を掘ることができなくなると当然通常のMT観測を行うことはできません。そこで新たに穴を掘らないMT観測システムを開発しました。具体的には、電極は保水できるように泥を含めた頭陀袋に入れて地面に置き、磁場は三脚の要領で三成分を直行させて地表に配置するというシステムです。ちなみに当時このシステムのデータ処理部分は私が作成していました。既存のものとは比べてもそこまでデータに遜色はなく、穴を掘らないという制限の中ではよく機能していたと思います。

イエローストーン国立公園の生活については、キャンピングカーなどの宿泊施設しかないということと、公園内にはまともな電気設備がほとんどないため、数日から5日に一度しか入浴・洗濯ができなかったのが少し辛かったです。不幸にもキャンピングカーのシャワーが故障していたためです。毎日観測をしていたため、さすがに5日もお風呂に入らなかった時は匂いが大変なことになっていたと思います。その点以外は、イエローストーン国立公園の雄大な景色、間



図2 イエローストーン国立公園での観測風景(上図)。往復24km歩いた直後の写真(下図)。この後の帰りの車内でグリズリーをわずか5mの距離で目撃しました。

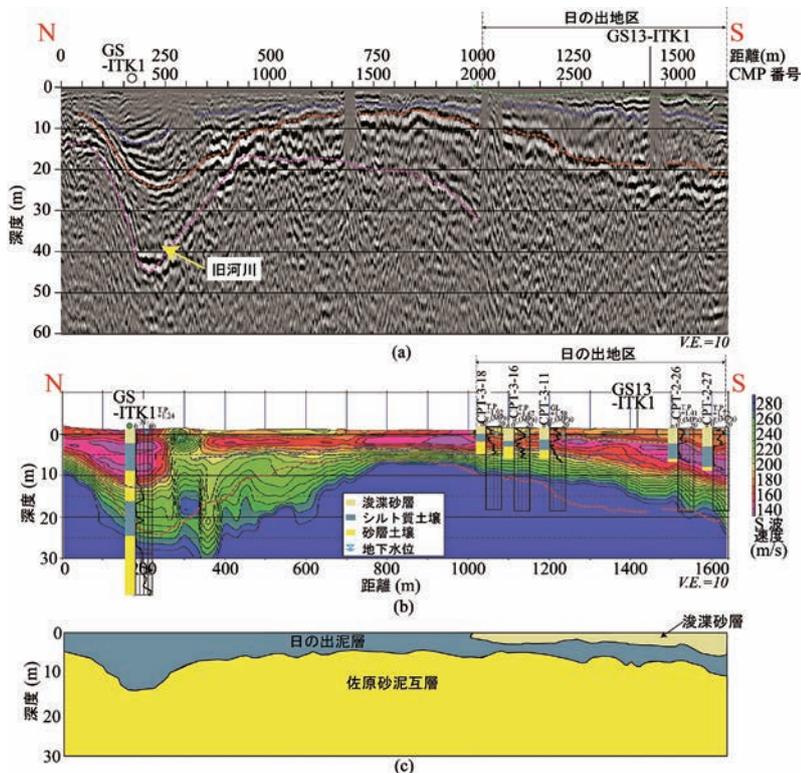
欠泉、エルク・バッファローやグリズリーなどの野生動物を見ることができ、非常に素晴らしい経験ができました。実際の観測については、道路の分布に限りがあるため、かなりの距離を毎日歩く必要があったのが苦労した点でした。私はチームメンバーの中では最も痩せ形でしたので荷物も一番多く持っていたわけではありませんでしたが、一番辛い時は25kgの荷物を持って往復24km歩く必要がありました。この時ばかりは本当に辛かったです。最終的には私ともう一人の二人でチームを組み、私がリーダーとして観測をリードするくらいにはなれたのでMT観測にはずいぶん自信ができました。これまではPCの前に座ってデータ解析をすることが多かったですが、この経験のおかげで観測をイメージしながらデータ処理することの重要性が理解できました。今後もデータ観測は積極的に行っていきたいと思います。

6. まとめ

上記のように海外でポスドクをすることで、日本でポスドクをするのとは少し変わった経験ができたかなと思います。コーバリスの生活自体は少し人を選ぶかもしれませんが、しかしながら自然豊かな土地であるため地球科学者にとっては受け入れやすい場所だと思います。もしも留学されるか迷っているという方がいらしたら留学されることをぜひお勧めします。

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

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 横田 俊之



巻頭図 調査結果と解釈図

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

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、地震の直接的な被害だけではなく、それに引き続く津波、地盤沈降、液状化などにより、人々の生命や生活に甚大な被害を与えました。特に、東京湾岸や利根川下流域においては広い範囲で液状化被害が発生しました。その被害領域は広範囲にわたり、人口や建設物の密集領域であるため、従来から液状化被害の予測のために用いられてきた、ボーリング調査や土壌サンプリングを高密度に実施することが困難でした。そこで我々は、物理探査を適用し、ボーリング調査結果を空間的に補間する研究を行いました。この研究により、少ない本数のボーリングにより地下構造把握や液状化予測が可能となることが期待されます。

その研究の一環として、比較的広範囲に液状化被害を受けた茨城県潮来市において、深度約50mまでの地下構造把握を目的として、S波反射法地震探査および表面波探査を実施しました。その結果、最も被害の大きかった日の出地区およびその周辺の地下構造が明らかになりました。ま

た、得られたS波速度分布を利用して、今後の液状化被害を簡便に調査する手法を提案しました。

2. 調査領域の概要

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

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

3. 調査結果

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

表面波探査結果を見ると、測線北端の距離0~270mまでの区間の浅部(深度0~10m)に逆三角形の低速度(S波速度150m/s以下)領域が見られます。この領域は反射断面中に見られた、顕著な向斜構造の領域に相当すると考



図1 調査測線

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

えられます。日の出地区では、浅部に比較的高速度(S波速度180m/s以上)の層が見られ、その下位には、低速度層が北から南へと徐々に層厚を増すのが確認されます。更にその下位には、高速度層(S波速度250m/s以上)が確認されます。それぞれの層は、浚渫により堆積した砂質土壌、日の出泥層、佐原砂泥互層に相当します。東日本大震災時には、人工の浚渫砂層で液状化が発生したと考えられます。

4. S波速度を用いた液状化判定

得られたS波速度分布を用いて、地震発生時に、ある地点が液状化するかについて簡単に考察する方法を提案しました。その手法の詳細は論文(Yokota et al., 2017)を参考にさせていただきたいと思いますが、ここでは簡単にその方法を説明して、日の出地区のある地点での適用事例を紹介します。その基本的な考えは、地震の際の外力(Cyclic Stress Ratio: CSR)が土壌が液状化しないように耐える力(Cyclic Resistance Ratio: CRR)を超え

た時に液状化が発生するという考え方です。それより導き出された式に、いくつかの経験式をあてはめ、地下水位の情報および地震のモーメントマグニチュードを与えると、ある地点での液状化判定のグラフを、S波速度を横軸に、地表面最大加速度(A_{max})を縦軸にとった座標上に書く事ができます。図2に日の出地区のある地点の液状化判定の例を示します。液状化判定のためのグラフとして、東日本大震災(水色)および1987年の千葉県東方沖地震(ピンク)の二例を示します。この地点は、東日本大震災時には液状化し、千葉県東方沖地震の際

には液状化が発生しなかったことがわかっています。この地点のS波速度を破線で、また参考までに、浚渫砂層のS波速度範囲を灰色の網掛けで示してあります。このグラフを用いた液状化判定法は、判定する地点のS波速度がグラフの左上側にプロットされれば、その地点は液状化し、右下側にプロットされればその地点は液状化しないというものです。図2を見てみますと、この地点のS波速度の多くは、東日本大震災のグラフの左上側、千葉県東方沖地震の右下側にプロットされることがわかり、東日本大震災のようなマグニチュードの大きい地震の際には液状化が発生し、千葉県東方沖地震位の地震では液状化が発生しにくいことがわかります。我々は、それぞれの地震の際のこの地点の地表面加速度を知っていますので、答え合わせも可能です。それぞれの地震の際の揺れの範囲の部分を取り出してみると、確かに東日本大震災のグラフの左上、千葉県東方沖地震の右下にその部分が位置し、東日本大震災時には液状化が発生し、千葉県東方沖地震の際には液状化が発生しなかったという事実と合致していることがわかります。

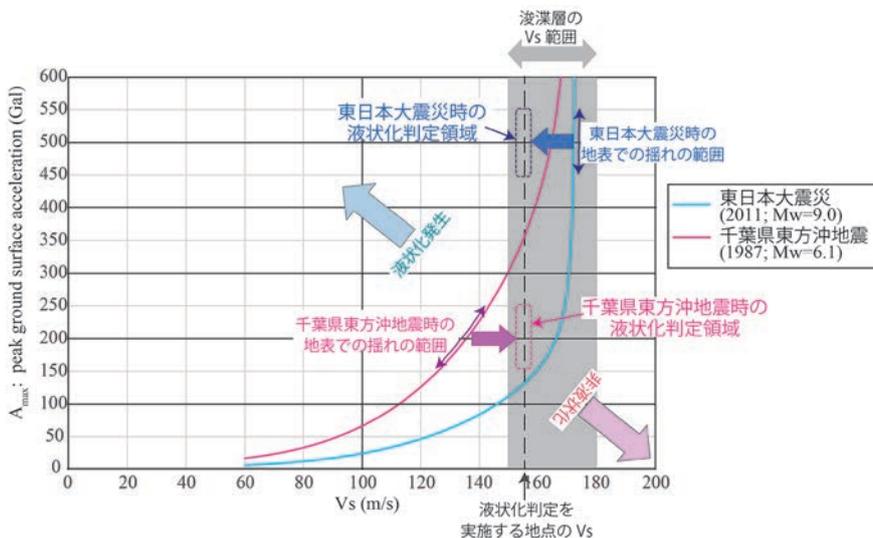


図2 日の出地区のある地点の液状化判定の例

<参考文献>

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

新技術 紹介

最新型ブロードバンドバイブレーター 震源のご紹介

株式会社地球科学総合研究所 計測部 村上 文俊



写真1 INOVA社UNIVIB2の外観

皆さんこんにちは。ここでは私ども、株式会社地球科学総合研究所(以降JGIと略記する)が2020年に導入しました最新型のブロードバンドバイブレーター震源についてご紹介したいと思います。

バイブレーター震源とは、1950年初頭に米国CONOCO社によって開発された、陸上地震探査用の弾性波振動発生装置のことで、当初は水平方向に並べて配置した偏心重り2個を、それぞれ逆方向に高速回転することで水平方向の振動をキャンセルし、鉛直方向の振動のみを発生する機械式の装置として開発されたものが始まりとなります。1950年代の後半には、現在のバイブレーター震源と同じように、サーボバルブと油圧アクチュエーターにより振動を発生させる機構となり、1960年代にはこれに振動制御装置が追加されることで、地震探査用弾性波震源としての実用性が飛躍的に高まりました。いわゆる油圧サーボによる振動制御法の確立により、バイブレーター震源の有効性が広く認知され、1970年代以降、現在に至るまで、ほとんどの調査に適用されるようになっていきます。

国内では、石油資源開発株式会社(以降JAPEXと略記する)が1974年に米国IVI社製Y-900バイブレーター震源を導入したのが始まりとなります。1983年にJAPEXの子会社としてJGIが設立され、物理探査部門の一部を引き継いだ後、更新機としてIVI社製Y-2400を導入、2002年にはIVI社製HEMIを導入し現在に至ります。またその間の2003年には、道幅の狭い道路で発振作業ができる小中型のIVI社製EnviroVIBやS波バイブレーター震源など

も導入されています。JGIでは現在、大型P波バイブレーター震源であるHEMIを5台、小中型P波バイブレーター震源であるEnviroVIBを4台、S波バイブレーター震源を1台保有し、探査対象に見合った震源を提供しています。

さて、ここからは最新型のブロードバンドバイブレーター震源についてお話ししたいと思います。これまでの陸上地震探査では一般に6Hz~100Hz程度のリニアアップスイープが採用されていますが、最近では地下深部構造調査や中・浅部高分解能地下構造調査、FWI(Full Waveform Inversion)による速度モデルの高精度化によるイメージング向上などの需要に応えるため、より低い周波数から高い周波数まで精度良く発振する技術が求められるようになっていきます。JGIでは、バイブレーター震源を1Hzから400Hzまでの広い周波数帯域で発振するための波形生成・発振制御技術の開発や低周波地震計の導入、FWI技術開発等を進め、広帯域地震探査(Broadband Seismic)の統合的な技術パッケージを構築してまいりました。更に2020年には最新型ブロードバンドバイブレーター震源(米国INOVA社UNIVIB2、以降UV2と略記する)を2台導入し、2021年には更に2台を追加導入する予定です。

バイブレーター震源の諸元比較表を表1に示します。

表1 バイブレーター震源の諸元比較表

型式	HEMI	EnviroVIB	UNIVIB2
全長	8.51m	6.1m	7.95m
全幅	2.46m	1.83m	2.31m
全高	3.23m	2.59m	3.01m
車両重量	18.740tons	約8.1tons	16.75tons
最小回転半径	7.38m	4.29m	5.34m
原動機排気量	8,800cc	4,500cc	4,480cc
マスストローク	3in	2.75in	4.0in
マス質量	5,000lbs	1,750lbs	4,029lbs
ベースプレート質量	4,100lbs	855lbs	2,012lbs
ホールダウンウェイト	41,000lbs	15,000lbs	34,000lbs
周波数範囲	6-200Hz	10-250Hz	1-400Hz

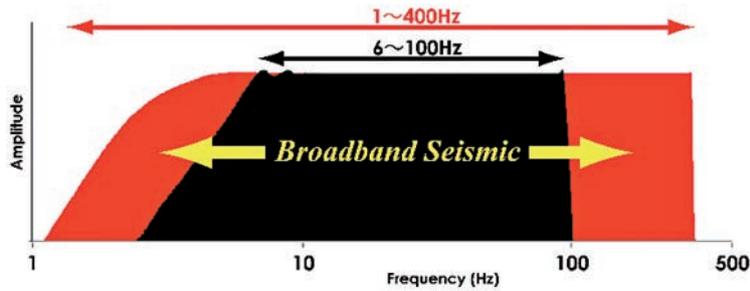


図1 UV2による発振周波数の広帯域化

UV2は、地震探査用途としては、2.5Hz~400Hzまでの振動を実効的に利用することができます(図1)。この震源は振動を生成するリアクションマスの質量が比較的大きく、また、振動のストロークが従来の機種より長いため、極低周波数において大型バイブレーター震源と遜色のない起振力を得ることができます。また、これまで陸上地震探査ではあまり利用されてこなかった200Hz~400Hzの高周波数帯域の発振を精度良く行うことができることから、浅層高分解能地震探査等への適用が期待されます。

なお、2Hzよりも低い周波数帯域では大きな力は出ませんが、橋梁などの大きな構造物の共振周波数計測などの用途に利用することができます。

油圧アクチュエーターが生成する広い周波数帯域の振動を地中に伝播するためのカップリング機構を写真2に示します。UV2は、従来機に比べ剛性の高いベースプレート(接地板)を採用し、複数のエアバッグを介して地面に押さえつける構造をとるため、発振中に油圧アクチュエーターのガタつきやグラつきが生じ難く、ベースプレートがまるで地面に吸い付いているかのように安定しています。

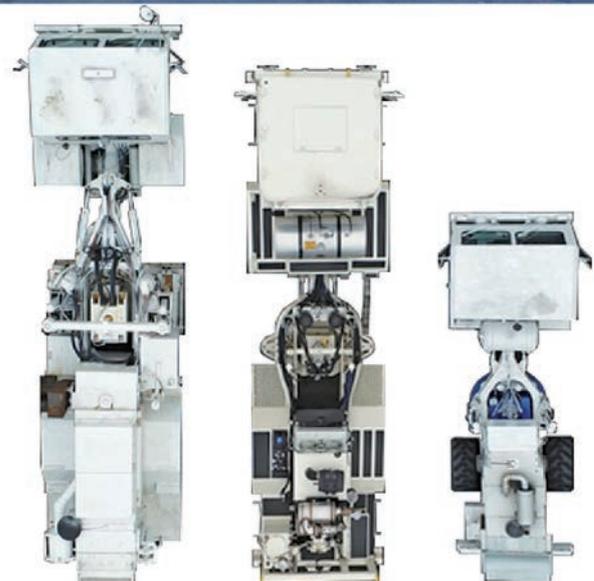


写真2 地面とのカップリング機構

そのため、ベースプレートのたわみ等に起因する無用なノイズを抑え、精度の高いグランドフォース振動を効率良く地面に伝播することができます。この特性は、地震探査記録の品質向上に少なからず寄与するものと考えられます。

UV2は写真3に示す通り、HEMI(大型)とEnviroVIB(小中型)の中間の大きさですが、最小回転半径は大型より2 mほど短く、車幅も小中型と同程度であることから、比較的小回りの利く震源と言えます。排気量は大型の半分、小中型と同程度で、騒音レベルも比較的強く抑えられています。一方、起振力は小中型の200%以上、大型の約83%と大きく、効率性と環境性の両立が図られています。

JGIでは2021年度より「UV2」4台体制によって、新たな広帯域地震探査を通じた地下構造の可視化に貢献していく所存です。



HEMI

UV2

EnviroVIB

写真3 バイブレーター震源の大きさの比較



ベトナム微動観測記(その3)

産業技術総合研究所 長 郁夫

ベトナムでの微動観測

その1、2の報告の通り、高知大の久保慎人氏の紹介で、微動探査には素人のベトナム人Duong氏の計画につきあうことになりました。彼は素人なのに(だから?)「ベトナムの古都フエで140点の微動アレイを実施して浅部地盤を評価する」という大プロジェクトを立ててしまったのです。

ベトナムは日本のように南北に細長い国で、北部、南部にそれぞれ2大都市ハノイ、ホーチミンがあります。フエはちょうどその中間に位置する、ベトナム最後の王朝がおかれた都市です。フォン川を挟んで北半分が旧市街(古都)、南半分が新市街(生活圏)となっています(図1)。旧市街には世界遺産にも登録される王宮があり、国内外から多くの観光客が訪れます。一方、新市街は夜は歩行者天国のナイトスポットもあり華やかです(図2)。



図1 フエの新旧市街



図2 王宮付近(上)とナイトスポット付近(下)

Duong氏によると、フエ市周辺では北方のダムに関連する誘発地震が見られ、活断層もあります。冒頭のプロジェクトは観光地の安全確保と文化遺産保護の目的で開始されました。私たちはこれまでに2度の訪越でそれぞれ微動観測演習(ハノイ)、パイロット的微動観測(フエ)を実施しました。そして2度目の訪越の際に6台のジオフォンと小型データロガーを彼らに貸与して、雨季(5~10月)前にフエの全観測を終えるよう念を押して帰国しました。

フエでの本観測と解析結果

しかし、国の中心的な研究機関(VAST)でチーフリーダー(当時)を務めるDuong氏にとって微動観測のためにまとまった時間を取るのにはなかなか難しいようでした。尋ねると「ベトナムでは全ての予定は未定」と笑います。そのうち4月、5月が過ぎ、雨季に突入してしまいました。7月末、体調不良も重なってそんなことをすっかり忘れていた頃、Duong氏から連絡がありました。「今、フエで微動観測中。地震観測が忙しくてフエが後回しになった。それにしても今年は雨が多い。」そして8月後半に「微動観測完了」の吉報が入りました。

結局、Duong氏の研究チームは、2018年の6月から8月にかけて雨天を避けつつ間欠的に微動観測を実施したようです。実質的にのべ19日の観測だったようです。フエ市内およびその周辺を含む約11km×13kmの領域内の89地点で辺長3mおよび10mの三角アレイ、37地点で長さ12mの直線アレイを実施しました。センサーは4.5Hzジオフォンです。各地点で30分間観測しました。

これらのアレイ形状や観測時間等の仕様はこちらが提案したガイドラインを完全に踏襲したようでした。微動アレイでは彼らも「完全素人」を自認していますので、こちらもヒューマンエラーを防ぐべく、徹底的に簡略化した仕様を提案したのでした。彼らは観測手順やケーブル結線部の扱い等の細部まで完全にフォローしてくれて、その結果(と信じた)、彼らだけで、限られた機材で、彼らの職場のあるハノイから500kmも離れたフエで、126地点ものアレイ観測を完了したのです。感無量でした。

ただし、失敗もありました。日本から貸与したジオフォン以外にもDuong氏は地元の研究機関と機材をバーターして別途ジオフォンを手に入れ、それを使って全観測点で直線アレイも実施してくれていたのです。これは、私が技術開発的な色気で「たまに直線アレイも組んだらどうか」と提案したのに対し、忖度して全観測点で応えてくれた結果でした。なのに、このデータが全滅でした。ジオフォンのコネクタの緩みが問題だったようです。実際、このバーター・ジオ

フォンは私もノーチェック。そこに絵に書いたようなヒューマンエラー。心底悔やまれました。

ともかく、適切に得られたデータからレーリー波位相速度を同定し、各地点の結果から波長13m、25m、40mに対応する位相速度を読み取りました。それぞれ深さ10m、20m、30mまでの平均S波速度(AVS10、AVS20、AVS30)と解釈してマッピングすると、北半分は軟弱、南半分は硬質な地盤という明瞭な差が現れました(図3)。既存の地質分布(図4)とも調和的です。フエ王宮がある旧市街に特に軟弱な地盤が分布すること、新市街も北東部は軟弱なので注意が必要なことが定量的に示されたのです。この結果は、フエ市の安全のため、今後有効に活用されることでしょう。

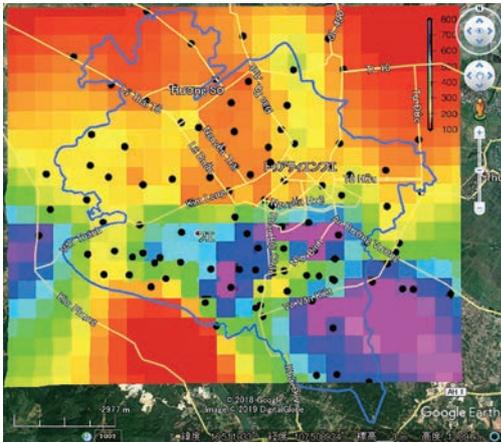


図3 AVS30の分布(データ追加前の暫定版)



図4 フエの地質図

微動アレイの追加とH/Vスペクトル

その年の暮れ、再びDuong氏から連絡が入りました。年が明けたら追加観測すること。図3ではフエ市の境界付近が外挿となっていますので、「フエ市の境界線の外側でもアレイをやる」らしいです。これには納得しましたが、「単点観測(H/Vスペクトル)もやる」とも言います。確かにそれには多くの効果が期待できますが、「まずはこの結果で満足してはどう?」と言うと、「計画申請書には500地点でH/Vスペクトルをやると書いてしまった」とのこと。なん

ど!初めて聞きました。納得せざるを得ませんが、そんなにやれるでしょうか。バーター・ジオフォンのイタイ記憶が蘇ります。同年はプロジェクトの最終年度でしたので失敗は許されません。

心配になって私もフエに同行して機材検証と現場確認をしました。詳細は省略しますが、結局、アレイデータは165地点分に達し、Duong氏が必要としたフエ市境界付近のマッピングが完成しました。また、H/Vスペクトルのピーク周波数も地質分布やAVSと調和的でした。

この成果は、ベトナムではまだ数少ない「微動アレイに基づく」地盤のモデル化例であり、これほど大規模な例としては初でした。観測後につけてくれた地元フエ大学Nam(元)教授(地質学者。現在、フエ省科学技術局局長)も「これまでフエには物性値データがなかった。0が1になったのだ!」と感嘆してくれました(図5)。ですから、「あとは論文化だね」と現在は副所長になって更に多忙を極めるDuong氏の背中を押しているところです。



図5 議論するNam(元)教授(左)とDuong氏(右)。観測後、フエのレストランにて

おわりに

これまで、その1、2でも明記しませんでした。私は、Duong氏への技術支援を「素人でもできる微動アレイ・ガイドライン」作りの出発点にしようという密かな目標を持っていました。誇大妄想的ですが「素人でもOK」は「完全自動化」と表裏一体ですから、完全な客観化であって果ては「微動利用の科学」に辿り着くように感じられたからです。実際、終わってみるとちょっとは掴みが得られたようなそうでないような。ともかく面白いライフワークを得たような楽しい気分になりました。

一方、素人ガイドラインよりも技術者育成が大事という視点も必要です(排反ではないと思います)。そのためには指導側と参加側に共通する具体的な目標とコミュニケーション環境、そして向上心や忍耐力(メンタル)が不可欠です。これを肌で感じる事ができたことはたいへん貴重な経験でした。この場をお借りして共同研究者の大久保慎人氏とDuong氏及びそのスタッフに感謝申し上げます。

物理探査「特集 熱水鉱床探査に向けて」 のご紹介

(国研)海洋研究開発機構 笠谷 貴史

会誌「物理探査」の2019年度の特集は「熱水鉱床探査に向けて」と題して論文の募集をいたしました。今回から年が変わった最初に「特集」を掲載することになりました。J-STAGEでご覧いただけましたでしょうか? 今回の「特集 熱水鉱床探査に向けて」では、論文、論説、技術報告、ケーススタディ、解説の8編が掲載となりました。種別も多様ですが、内容も幅広いものになっています。会誌「物理探査」では、2011年の64巻4号において特集号「海底熱水鉱床探査の未来」が企画されました。その特集号と今回の特集とを比較すると非常に大きな違いがあることにお気づきでしょうか。技術的な進展はもちろんですが、最も重要なキーワードとして「環境影響評価」と「民間企業」があげられると思います。

海洋における「環境影響評価」は近年極めて重要性を増したキーワードです。人間の活動による環境変化が、海洋の環境にも大きく影響を及ぼしていることは周知の事実です。海洋プラスチックの問題はその典型的な事例でしょう。陸上の資源開発では当たり前のことですが、深海底での開発においても、海底環境の改変を伴う資源開発が、周囲の環境にどのような影響を及ぼすかを適切に評価し、開発と環境保全の最適化をはかることが極めて重要な課題となっています。今回の特集では、環境影響評価に関する論説(山本ほか)と、民間企業による現場観測の現状についての技術報告(後藤ほか)で分かり易くまとめていただいています(写真1)。

取得された生物・環境に関するデータが、海底の「どこ」の「どのような地形、海底環境」に分布していたかを紐付けることは非常に重要です。海域では「海水」の存在により、最も基礎的な情報となる「高い解像度の地形情報」がほとんどないため、地形データの収集が最も重要になります。これには自律型無人探査機(AUV)の活用が重要になります。拙著で恐縮ですが、AUVを用いた測深と自然電位探査を同時に行う事で、地形把握と地下構造に伴う自然電位の異常検出を効率的に実施した事例を紹介しました。採掘作業の事前・事後の高解像度の地形データが環境保全の管理にも有用であることはもちろんですが、海底からの熱水の供給が生物や鉱物資源の形成に大きく関わっている熱水鉱床域では、物理探査による地下の可視化も環境影響評価と結びつけて考えることができるかもしれません。

海底熱水鉱床探査に関する物理探査技術の進展には、民間企業が大きく関わっており、民間企業で

組織される「次世代海洋資源調査技術研究組合(J-MARES)」と「海洋調査協会(JAMSA)」が、研究機関・大学の研究者と研究・開発を行ってきました。結果として、2018年度までに、民間企業が主導する実践的な調査航海が実施されるに至りました(写真2)。今回の特集に掲載された8編の内、4編の論文・技術報告が民間主導で実施された航海取得データによる報告となっています。

一連の研究開発で得られたノウハウは「海底熱水鉱床調査技術プロトコル」として、日本語版と英語版が作成されました。英語版に関して1年前からアプライしていたUNESCO/IOCの“Ocean Best Practice”に掲載が認められたとの連絡が先月あったばかりです。これらの技術が、熱水鉱床探査はもとより、他の探査活動にも広く利用・応用されて行くことを願ってやみません。

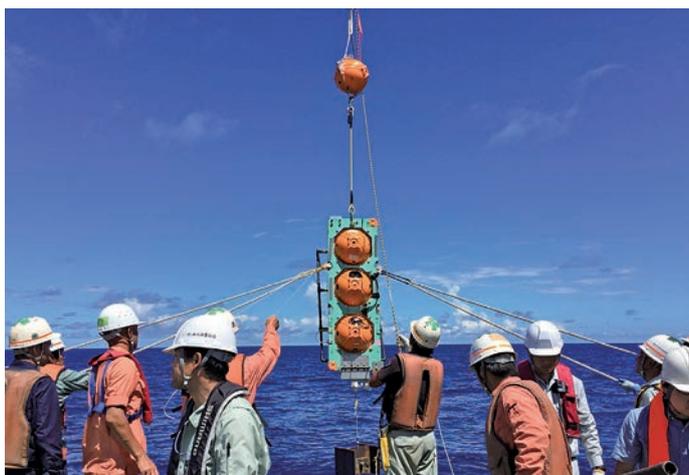


写真1 環境モニタリングで使用されている江戸っ子HSG型の民間船舶での投入作業の様子(環境総合テクノス 後藤氏提供)。



写真2 海洋調査協会が民間船舶を利用して実施した電気探査曳舟体の作業の様子(日本海洋事業 岩本氏提供)。

SEG 2019 Distinguished Instructor Short Course(DISC) 東京にて開催

～ Physics and Mechanics of Rocks: A Practical Approach ～

国際委員会

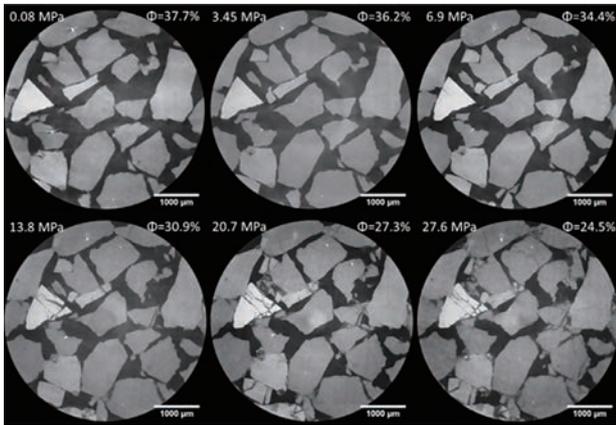


図1 拘束圧下の岩石のマイクロCT画像 (Schindler, 2018)

物理探査分野の著名な講師が世界を廻って講義を行うSEG Distinguished Instructor Short Course (DISC)も今回で22回目となります。2019年の講師は、コロラド鉱山大学教授にして現SEG副会長、ロックフィジックスの権威として知られるManika Prasadさん。台風19号の接近する10月11日(金)、石油資源開発株式会社の会議室を借りてManikaさんのDISCは開催されました。

ロックフィジックスは物理探査データから岩石の性質を知るためのツール、つまりは物理探査と地質の架け橋として知られますが、その講義と言えば難しい数式に頭を抱えるイメージを持たれる方も多いと思います。しかしManikaさんの講義はほとんど数式を使わず、もっぱら岩石の構造や孔隙の種類を紹介し、それらが物理探査データ、今回の場合とりわけ弾性波速度データにどのように影響するかを解説するものでした。それは、物理探査データから岩石を論じるのとは逆に、岩石の立場から物理探査に触れるような感覚でしょうか。例えば、弾性波速度と有効応力の関係を説明するスライド(図1)では、岩石に圧力がかかるほど粒子の接触数

が増加して硬くなる(弾性波速度が上昇)こと、けれどもさらに圧力がかかると粒子が破碎して弾性波速度の上昇が制限されることなどが解説されました。視覚に訴えるこの説明は非常に解りやすく、今回の29名の聴衆を巻き込んでの議論が展開されました。講義の冒頭にあったManikaさんの言葉「The role of rock physics is to get rid of data」は名言だと思います。岩石を理解しなくてはデータを厳選することはできません。岩石を理解してこそ物理探査データを解釈するための底力が養われるのだと語られたように思います。

Manikaさんは親しいご友人・ご学友の間で「Mud Queen」の愛称で呼ばれるそうです。盛岡での2019年度秋季学術講演会特別講演で岩手大学大野眞男教授が紹介された「石っこ賢さん」と宮沢賢治の逸話も併せ、物理探査に携わる者として「石」に対する興味を掻き立てられる講義となりました。

講義終了後、Manikaさんには一日の講義ですっかり「乾燥」した咽喉をビールで「流体置換」していただきました。ご主人のGunterさんにも駆けつけていただき、終始笑顔の絶えない素敵なお人でした。

(文責：石油資源開発株式会社 柏原 功治)



懇親会にて(左：Manikaさん、右：筆者)



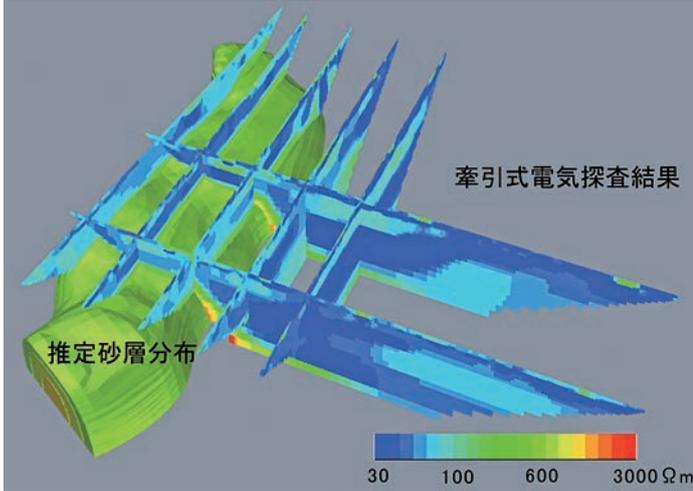
SEGに提出する集合写真(前列左から5人目がManikaさん、その左隣はGunterさん)

物理探査 手法紹介

わかりやすい物理探査

電気探査(その4:電気探査の最新動向)

応用地質株式会社 島 裕雅、櫻井 健



巻頭図 Ohm Mapperによる堤防基盤調査例
高比抵抗部を砂層分布域として推定

1. はじめに

前回までに、電気探査の原理から始めて、一次元、二次元、三次元探査、そして、それらの精度や分解能についてお話ししてきました。

最終回となる今回は、電気探査の最新動向、特に実用性を高めるための測定システムの進歩と適用分野を広げる四次元探査に関して説明します。

2. 測定システム

電気探査は、二次元探査が主流になり、徐々に三次元探査に移行していますが、その際に問題となるのは大量のデータを如何に効率よく測定し、解析するかです。特に測定は、現場での電極やケーブルの設置という人力作業が関係しますし、通電周期は探査深度や地盤の分極現象といった探査原理に関係しますから、単に計算機が高速になれば解決するというわけではなく、物理探査の専門家が解決する必要があります。

2.1 通常の電気探査

通常というのは、最大探査深度がだいたい5mから100mまで(せいぜい200m)を想定しています。探査対象となるのは、地下水や地下開発に伴う地下の構造探査、あるいは地滑りなどの災害調査等です。

この場合、多数の電極を1mから10m程度の等間隔に設置し、全ての電極をケーブルでつないで、集中制御で測定します。その2で示した二次元探査の測定模式図を参照してください。

2.2 ごく浅い電気探査

ごく浅い探査というのは、最大探査深度が2mとか5mとかいった場合で、堤防の漏水とかか土壌汚染あるいは遺跡調査等を

想定しています。電極を0.2m間隔に設置する場合、100m進むのに、電極を500回打設する必要があり、とても大変な作業になります。

そこで、電極を直接打設するのではなく、**図1**に示すようなキャパシティブカップリングを利用して、ケーブルや金属板を電極代わりに牽引しながら測定するキャパシタ電極システムが実用化されています。キャパシタが飽和する前に極性が切り替わるように、10kHz程度の交流電圧を印加すると、地盤に交流電流が流れます。通電周波数が10kHz程度で、探査深度が5mと浅い場合は、高周波数成分が地下深部で減衰する表皮効果は考慮しなくても大丈夫です。

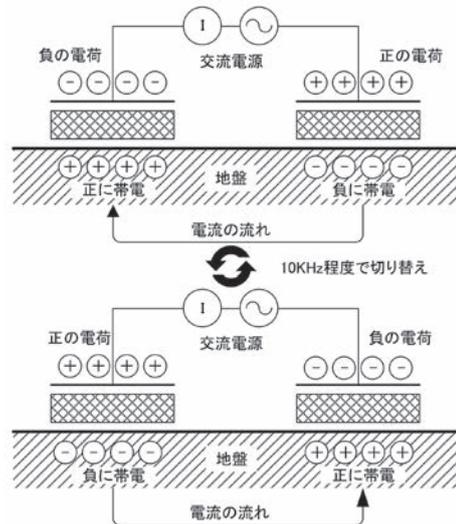


図1 キャパシタ電極の測定原理模式図

図2には、5深度分の電極を一度に牽引できるシステムを示します。歩行速度程度で牽引できるので、効率的に測定できます。

堤防の漏水構造を調査するために、堤内に複数の測線を配置して電気探査を実施しました。測定ではGeometrics社製Ohm Mapperシステムを用いました。二次元探査結果を組み合わせで作成したフェンスダイアグラムを**巻頭図**に示します。漏水の原



図2 キャパシタ電極を用いた測定システム

因となる堤防基盤面に潜在する旧河道に堆積した砂層の分布が、高比抵抗体の分布として捉えられています。

2.3 かなり深い電気探査

最大探査深度が200mを越すような場合は、電極を25mとか50m毎に設置する必要があります。これらの電極を集中制御するために重たい多芯ケーブルを山岳地に展開するのは大変な作業です。加えて、落雷や小動物にかじられたりする被害が発生します。

この問題を解決するためには、測定点毎に独立したノード型測定システムを使用するのが有効です。このシステムは、その2

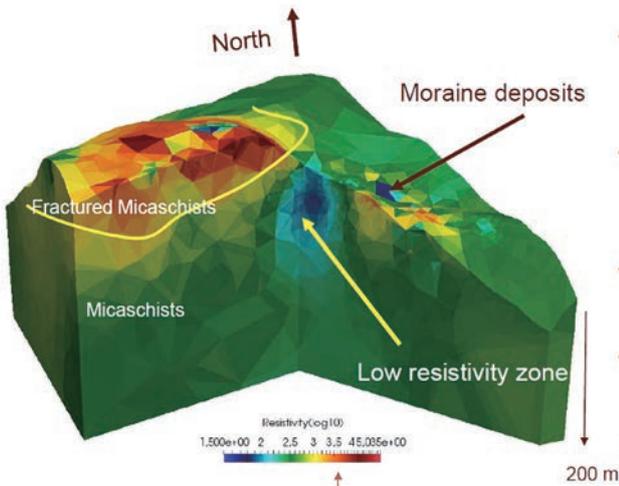


図4 独立ノード型電気探査装置による三次元地滑り調査例 (フランスアルプス、IRIS Instruments社提供)

で新しい三次元探査測定システムとして紹介しました。当然、本システムはケーブルの設置が大変な大規模な三次元探査にも適しています。

フランスアルプスの大規模な地滑り機構の解明のために実施した三次元探査例を図4に示します。この調査では、大規模な地滑り土塊だけでなく断層に起因する湧水機構も解明されました。

以上で紹介した浅部探査から深部探査までの、それぞれの測定上の課題と解決策をまとめると表1の様になります。

表1 探査深度毎の測定上の課題と解決策

探査区分	探査速度	探査対象/利用分野	課題
浅い探査	0.5m~5m	堤防漏水、土壌汚染、遺跡	電極を小さな間隔で正確に設置するのが大変
通常の探査	2m~100m	地下水、地下構造、地滑り	三次元探査の測定は時間がかかる
深い探査	20m~500m	トンネル地山、鉱物資源	長いケーブルを設置するのが大変。特に山の中。



探査区分	解決策	利点
浅い探査	多連のキャパシティブカップリング電極を牽引	<ul style="list-style-type: none"> 測定が迅速 (歩く速度) 電極の相対位置が固定 (正解)
通常の探査	多くの電極をケーブルでつないで自動集中制御	<ul style="list-style-type: none"> ケーブルをセットしてしまえば迅速な自動測定
深い探査	ケーブルレスで同期した独立型測定システム	<ul style="list-style-type: none"> 受信はケーブルレス自動測定 カップリングが小さく分極現象の測定に向く

キーポイント

- ・ 測定の効率化は、現場作業や探査原理に関係するので、物理探査の専門家が解決する必要があります。
- ・ 測定の効率化のためには、探査深度毎に改良された測定システムを使い分けると便利です。

3. 四次元探査

電気探査は、地盤の飽和度変化や間隙内流体の比抵抗変化に敏感であり、こうした変化が予想される状況で比抵抗の時間変化を捉えて、飽和度や間隙内流体の変化を可視化することができます。こうした探査は、三次元探査に時間を加えた四次元探査と呼ばれており、迅速で正確な自動測定システムの普及に伴い、実用化されつつあります。飽和度の変化は、地下水の変動を反映するため、地滑り機構の解明や地滑り対策工の検証、そして堤防の漏水調査に利用され始めています。間隙内流体の変化は、地盤に注入したトレーサの追跡や薬液注入範囲の可視化に利用され始めています。

3.1 比抵抗トモグラフィによる薬液注入範囲評価

地下の比抵抗を精度良く探査しようとするれば、その3で説明し

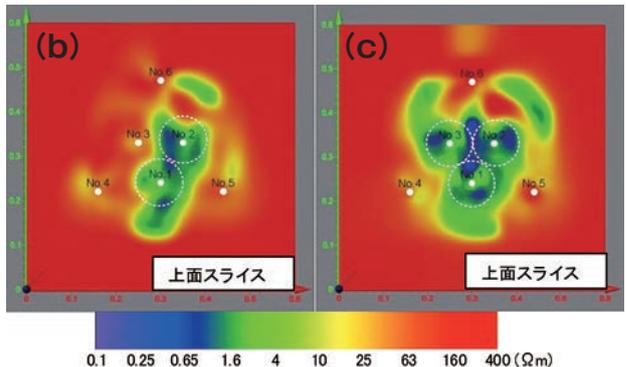
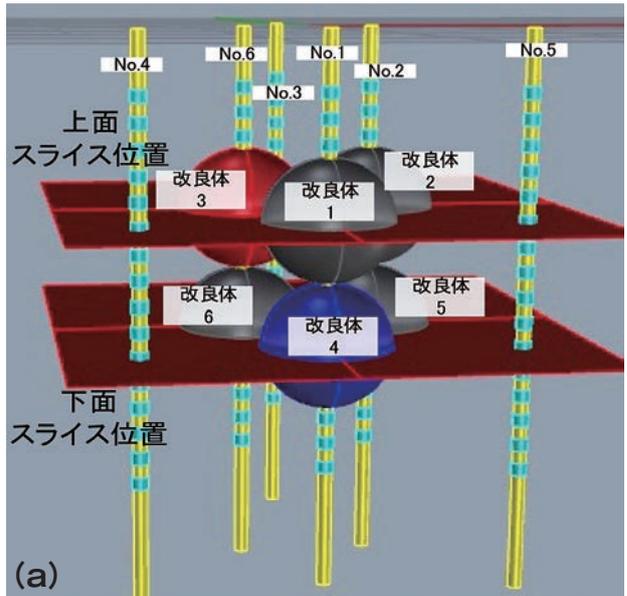


図5 比抵抗トモグラフィによる改良体可視化模型実験

- 模型地盤内の電極配置と改良体計画分布
- 改良体1、2、5、6を生成した後の比抵抗分布 (上面スライス)
- 全て改良体を生成した後の比抵抗分布 (上面スライス)

た通り、できるだけ異なる方向から通電して、異なる場所で電位を測定する必要があります。そのために、電極を地表だけでなく、探査対象をできるだけ取り囲むようにボーリング孔やトンネルを利用して配置して測定を行う方が有利で、比抵抗トモグラフィと呼ばれています。

なお、時間変化が発生している箇所が小さかったり、時間変化が小さかったりする場合にも比抵抗変化を精度よく解析するためには、測定誤差をできるだけ小さくするだけでなく、測定条件や解析条件を同じにして、データの変化が比抵抗の変化だけと見做せるようにする必要があります。

薬液注入範囲が比抵抗トモグラフィによりどのように可視化されるかを評価するために実施した模型実験を示します。図5aに示すように、砂で満たした水槽の中に6本のボーリング孔を想定して、それぞれに孔中電極を配置し、No.1孔、No.2孔、No.3孔の各々上下2カ所、計6カ所から薬液を注入しました。改良体1、2、5、6の形成のために薬液を注入した後で比抵抗トモグラフィを実施し、上面スライス位置での比抵抗分布を図5bに示します。比抵抗が低いところを寒色で示しています。低比抵抗域は改良体1と2に相当し、改良体3はまだできていないため、低比抵抗にはなっていません。

改良体3と4の形成のために薬液を注入した後に再度比抵抗トモグラフィを実施した結果を図5cに示します。新たに比抵抗が低下したところが改良体3に相当しています。

キーポイント

- ・ 比抵抗の時間変化を捉えることで、飽和度や間隙内流体の変化や動きを可視化することができます。
- ・ 時間変化を捉えるためには、測定や解析条件を同じにして、比抵抗の変化だけを抽出する必要があります。

4. 今後の展望

比抵抗は、前述したように地下水等の間隙流体の有無や変化には敏感です。また、その1で述べたように、比抵抗は、地滑りや断層調査等に有用な情報を提供します。しかし、地盤の比抵抗は、様々な要因で変化しますので、比抵抗だけから土質や岩盤を特定することは困難です。

ところで、地盤の構造と構成要素の属性を地盤モデルとして表現することができれば、地盤を掘削して建設するトンネルのような地下構造物だけでなく、地盤の上に建設される構造物の安全性や性能(強度、変形特性、液状化の可能性、耐震性能等)を地盤と一体のものとして評価することが可能になります。

図6に地中レーダ探査と電気探査結果を組み合わせた地盤モデルの例を示しました。調査した場所は、つくば博の跡地に建設された、応用地質株式会社につくばオフィスの敷地内です。電気探査の結果では、浅部に低比抵抗部が推定されていますが、ここはつくば博当時のパビリオンの地下1階部分に良く一致するため、埋め戻し土と解釈されます。

この土地を利用する際には、浅部の埋設管などの支障物や埋め戻し土の土量などの情報が必要ですので、地中レーダ探査と電気探査という分解能の異なるデータを組み合わせた地盤モデルを作成しています。

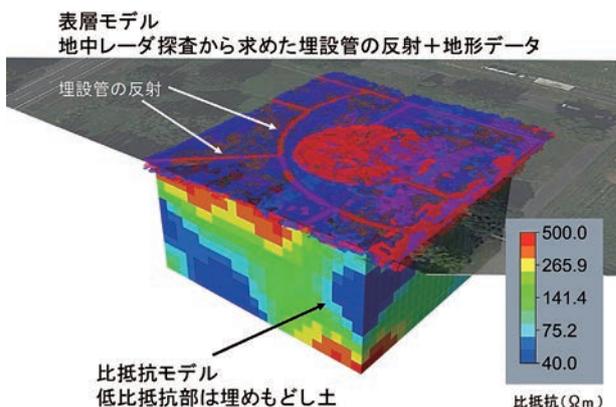


図6 地盤モデルの例

地盤モデルは、一般的には、露頭や地形観察にボーリング調査結果を加えて作られています。しかし、ボーリングは線の情報であり、これを三次元に拡張して地盤モデルを作成するには、ボーリング孔の間を空間的に補間する必要があります。一方、物理探査は、三次元的な物性分布の情報を提供しますが、得られる物性値は、空間的に平滑化されたある範囲の平均値です。

こうした空間的な広がりも精度も分解能も異なる情報を単に比較するのではなく、両方の情報を一緒に解析して、より確からしい地盤モデルを推定する方が合理的であり、そうした試みが進められています。

例えば、地表踏査やボーリング調査の情報に電気探査の情報を加えて三次元地盤モデルを作り、地盤の強度的な情報が必要であれば地震探査の情報も加えてその有用性を高めることが考えられています。また、建設工事の掘削情報や切羽情報、さらには維持・管理段階の情報も加えて地盤モデルの信頼度を継続的に向上させ、構造物の効果的な設計、施工、維持管理に役立てる試みが始まっています。その中で、地下を三次元的に捉えることのできる物理探査の役割はますます重要になると思われます。

物理探査ニュース 2020 ハイライト 2021年(令和3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。