

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 2019 No.44

目次

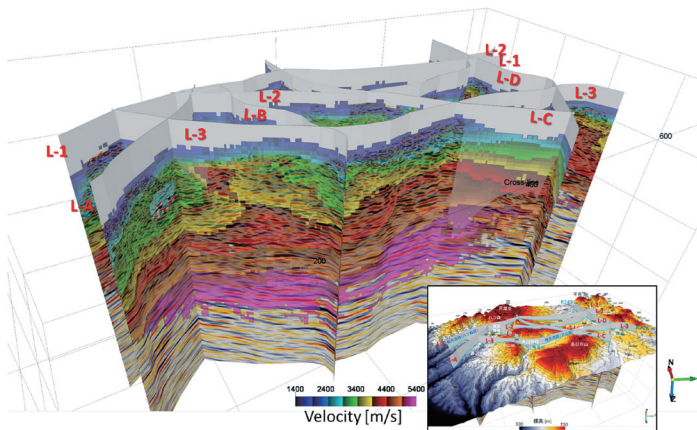
研究の最前線 山岳部地熱地域に向けた断裂系探査技術の開発 1
 わかりやすい物理探査 電気探査(その1:電気探査の基礎) ... 3
 海外在住会員便り ジャカルタ駐在生活(2019年版) 6
 会員の広場 フレッシュマン紹介 8
 2019年度「物理探査セミナー」開催報告 9
 キャンパスビジット 2019
 千葉大学理学部/富山大学都市デザイン学部 10
 書評 はじめの一步 物理探査学入門 11
 令和元年度農業農村工学会大会講演会・企画セッション... 12
 お知らせ、編集後記 12



山岳部地熱地域に向けた 断裂系探査技術の開発

統合解析ワークフローから多線パラレル配置による3次元調査法まで

株式会社地球科学総合研究所 青木 直史



測線沿いの反射法断面と速度分布

2018年度の物理探査学会賞・事例研究賞を頂いた「山川地熱地域における3次元弾性波探査フィールド実証実験」は、同事業における第1回目の実証試験の成果をまとめたものである。ここでは図1に示す統合解析ワークフローに従って、3次元反射法記録に基づく断裂系評価と、弾性波探査に基づく初期モデルをガイドにした各種物性値モデル推定を実施し、統合解析を通して岩相や温度構造の精緻な地質モデルの構築が行われた。

本事業ではその後、宮城県・鬼首地熱地域における第2回実証試験を通し、統合化ワークフローの山岳部地熱地域への適用性を実証した。そして現在は、坑井を利用した弾性波探査手法の開発プロジェクト「坑井近傍探査技術」へと駒を進め、分布型音響センシング(distributed acoustic sensing: DAS)を利用したVSP調査法

1. 研究課題と技術開発のあゆみ

我が国は世界有数の地熱エネルギーの賦存国と言われるが、顕著な地熱活動が見られる地域は山岳部に偏在するうえ、地熱流体の賦存場所は多く場合、高傾斜の断裂周辺に限られる。偏在する地熱貯留層に坑井を遭遇させることは必ずしも容易ではないため、地熱資源の開発は高い不確実性を伴っている。地質リスクを低減し掘削成功率を向上させるために、地熱流体の貯留・流動の場となる断裂系を精度よく把握することが求められている。

(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)が平成25年度から平成29年度までの5か年間で取り組んだ技術開発事業「地熱貯留層探査技術」では、1)弾性波特性を用いた断裂系探査技術と2)弾性波探査・重力探査・電磁探査等の統合解析技術の開発を実施した。(株)地球科学総合研究所(JGI)はその委託先として、石油開発分野で培った物理探査のノウハウ・経験をもって、これらの課題に取り組んだ。

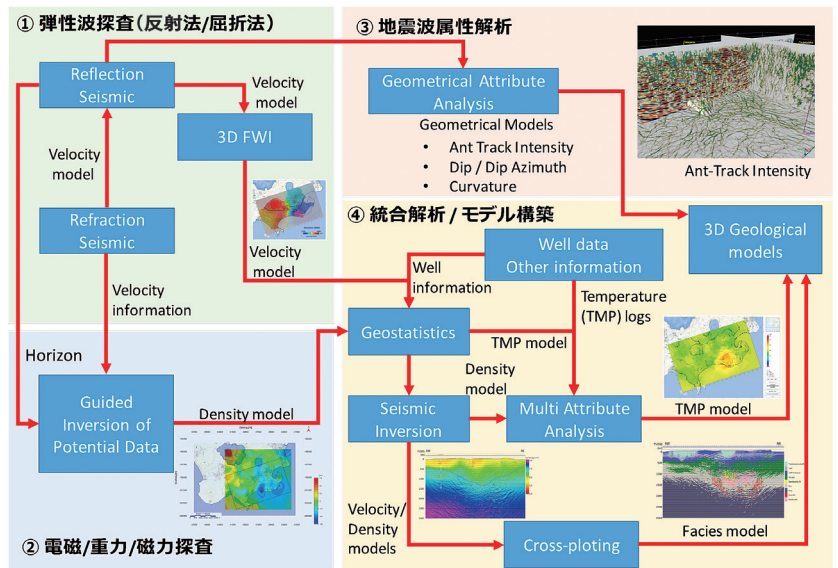


図1 多種物理探査データの統合化ワークフロー
青木ほか(2017)の図を一部改変して引用

(DAS-VSP)を用いて、300℃に及ぶ地熱井にも適用可能な、断裂系評価技術の開発に取り組んでいる(図2)。

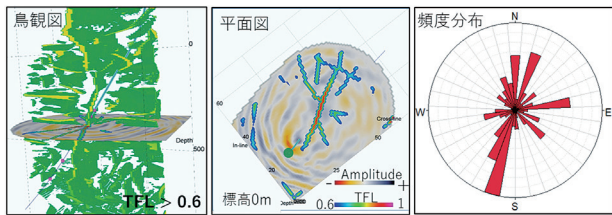


図2 木地山DAS-VSP現場実験の反射法記録に基づく面構造解析の例。
断裂指標(TFL)高値領域の鳥瞰図(左)、標高0m付近での平面図(中央)、同標高における面構造走向の頻度分布図(右)。平成30年度JOGMEC地熱統括部事業成果報告会より。

次節では山岳部地熱地域での3次元弾性波探査の実現に向けて、「地熱貯留層探査技術」が統合化ワークフローとともに提唱する、特別な測線配置法について紹介したい。

2. スパース3D配置

3次元反射法調査の測線配置は一般に、受振測線と発振測線を直交させた規則正しい配置で行われるため、その実現が難しい山岳部地熱地域への適用性はこれまで低いと見なされてきた。

本研究では山岳部での測線配置の問題に対し、スパースな多線平行配置による3次元調査法(スパース3D配置)が検討された。山岳部には林道、登山道、里道などが網目状に張り巡らされている場合がある。スパース3D配置はこのようなアクセス路に対し、受振測線と発振測線の双方を設定する。測線沿いには2次元反射法記録を確保したうえで、ターゲット深度では測線屈曲による反射点のばらつきにより3次元反射法記録を獲得する。本手法では測線間の浅部に反射法記録の得られない領域が生じるが、高エネルギー発振点や追加受振測線を随所に配置しロングオフセット記録の拡充を図ることで3次元屈折トモグラフィ解析の探査深度を確保し、弾性波速度分布から当該領域の地質状況を掌握する。

第1回実証試験では山川3Dデータを用いたデシメーションテストを通してスパース3D配置による深部3次元記録取得の可能性が示された。続く鬼首地熱地域では図3に示す配置によりデータ収録が行われ、反射法と屈折法の双方の解析から既往地質情報と整合する成果(巻頭、図4、図5)が得られたことで、本調査法の山岳部地熱地域への適用性が実証された。

3. まとめ

「地熱貯留層探査技術」における統合解析ワークフローとスパース3D配置の開発について紹介した。より詳しく知りたい方は本学会電子ライブラリの関連講演の要旨にアクセスいただくか、「地熱貯留層探査のための弾性波探査ガイドブック」をウェブで検索いただき、JOGMECの地熱貯留層探査技術紹介ページに掲載されている、当技術開発で得られた成果をまとめたガイドブックをダウンロードいただきたい。

現在取り組む「坑井近傍探査技術」では、DAS-VSPとスパース3D配置の組み合わせによる坑井近傍弾性波探査法(DAS-VSP+SSP法。SSPはsurface seismic profilingの略)に注目し、断裂系探査の更なる高精度化を目指している。当社は本

研究を通し、我が国の地熱発電の普及拡大の一助となるべく精進する所存である。

最後に、本稿掲載にご許可頂いたJOGMECと、本技術開発の遂行にご協力いただいた数多くの方々に、ここに記して感謝の意を表す。

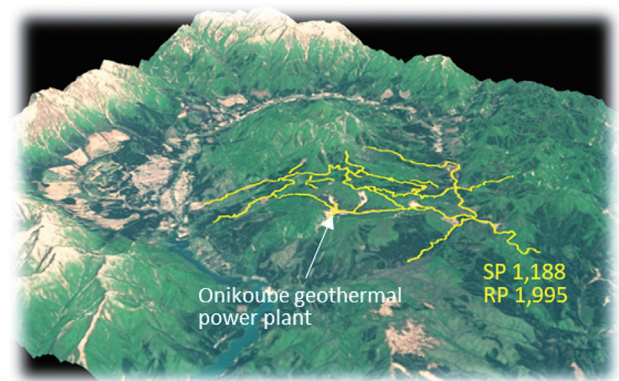


図3 第2回実証試験(鬼首地域)の測線図

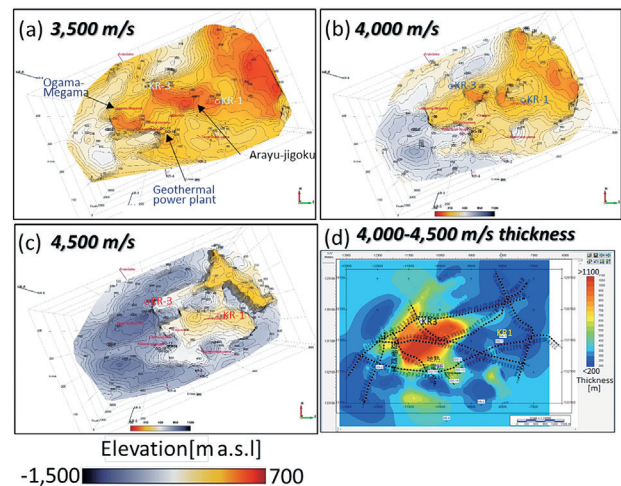


図4 速度トモグラフィ記録の例。
(a)~(c) 等速度面標高図
(d) 4,000~4,500m/s層の層厚図

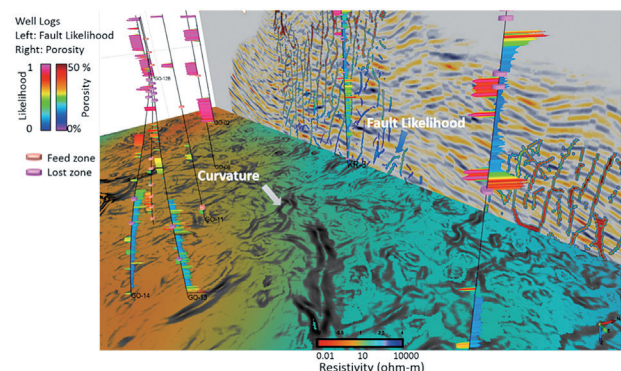


図5 深部3次元反射法記録に基づく断裂系評価アトリビュートと比抵抗(MT法及び検層)の比較図

1. はじめに

このシリーズでは、電気探査の基礎から最新の動向までを、できるだけ分かりやすく説明してみたいと思います。細かなところや厳密な方法は専門書に譲って、電気探査の大まかな特徴や大体のやり方を説明します。直感的に分かりやすいように単純化や比喩をしてみようと思いますので、厳密性はご容赦ください。

これまで電気探査になじみのなかった人が、何となく電気探査の特徴や限界を分かったような気になって頂けたら成功です。電気探査を良く知っている人には、今まで疑問に思っていたことが一つでも「そうだったのか」と思って頂ければと思います。

このシリーズの構成は、こんな感じで考えていますが、成り行きで変更になるかもしれません。

第1回：電気探査の基礎

第2回：二次元探査と三次元探査

第3回：精度、分解能、信頼度

第4回：最新動向(四次元探査やBIMへの適用)

各章の終わりには、これだけは覚えておいて欲しいことを「**キーポイント**」としてまとめます。

2. 電気探査で何が分かるか?

電気探査というのを思い浮かべるでしょうか? 地学を少し習ったことがある人なら、「地下水問題なら電気探査だけ?」といった感じでしょうか? 鉱床探査が専門の人なら、「鉱床探査ならIP探査だ!」でしょうか? でも電気探査は、もう少しいろいろなことに役立ちます。

2.1 地盤の電気的性質

物体の電気的性質というと、主なものは導電率 σ 、誘電率 ϵ それと透磁率 μ ですが、本シリーズでは誘導現象は扱いませんから ϵ と μ は忘れてもらって結構です。

導電率 σ は、物質固有の電気の流し易さを表す量です。その逆数が、電気の流しにくさを表す比抵抗 ρ です。直流電流の場合の電気的性質は、多くの場合には比抵抗 ρ だけで説明できますが、時折、分極現象を起こす場合があります。分極は、物質内部での電荷の移動で起こる場合もありますが、異なる2種類の物質の境界面で起こる場合もあります。分極現象を説明するモデルは幾つかありますが、その中で最も重要な物性値は充電率 m でしょう。

図1に代表的な地質・土質の比抵抗の分布図を示します。地盤や岩盤の比抵抗は、それを構成する土質や岩石の種類により異なりますが、同じ土質や岩石でもその成分の違いや風化の程度によって比抵抗は変化します。また、土質や岩石は、乾燥すると比抵抗が高くなり、水を含むと下がります。これはどんな種類の土質や岩石にも言えます。もともと比抵抗の高い岩石が水を含んでも、もともと比抵抗の低い岩石が乾燥した場合より、その比抵抗は高いかもしれません。ですから、比抵抗だけで土質や岩石の種類を特定することは、よほど単純な地下構造でない限り困難です。

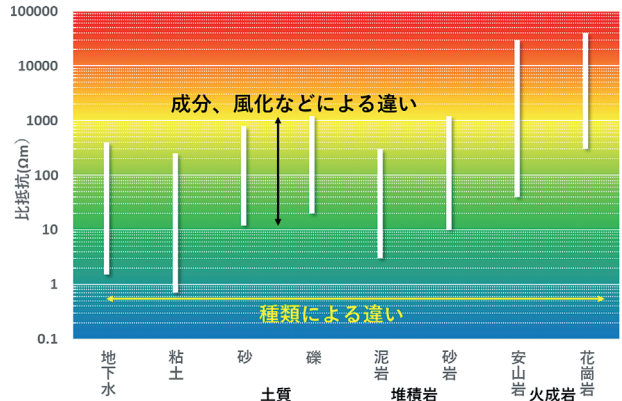


図1 代表的な地質・土質の比抵抗
比抵抗映像法 図5.16より作成

2.2 地下水

地盤や岩盤の比抵抗は、大抵の場合、地下水の有無、すなわち地下水面の上か下かで大きく異なります。地下水面の勾配が緩やかで様に広く分布している場合は、比抵抗が低下する場所を見つけることで地下水面を探査できます。

地下水の比抵抗は、それに含まれる塩分濃度や油分によっても変化します。ですから同じ地質や岩石の中で地下水面下の比抵抗の変化を調べると、地下水の塩分濃度の変化を調べることができます。海岸付近での塩水くさびの調査が代表的な例です。また、地下水の汚染調査に使われることもあります。

2.3 地盤構造

比抵抗は、土質や岩石の種類、岩石の風化の程度により変化します。また、断層や地滑り面のように元々あった岩石が岩盤の変動で何度も破碎され、場合によっては粘土のようになっているところは、周囲の岩盤より比抵抗が低くなっています。ですから電気探査は、①地下の概略構造、②地滑り、③断層といったものを調べるのにも良く使われます。

2.4 金属鉱床

金属鉱床の探査では、鉱床を胚胎するような大局的な地下構造や、鉱床を生成した特徴的な地下構造(貫入、断裂、旧河道)を見つけるのに電気探査が使われます。鉱床を生成するような地下構造では、分極(IP)現象を示す場合があることが知られています。地下構造から鉱床のありかを間接的に推定するのではなく、IP現象から鉱床を直接的に見つけるので、鉱床探査では決め手となる探査法と言えます。

キーポイント

- 同じ土質や岩石でも、その成分の変化や風化・乾燥の程度でも比抵抗は大きく変化するので、比抵抗だけから土質や岩石を特定するのは難しい。
- 電気探査は、比抵抗変化の原因を正しく理解することで、地下水探査以外にも多くの目的に利用できます。

3. どうやって測るか? 何を測るか?

中学校の理科で、電気抵抗を習いましたよね。電気抵抗は、その物体の電気の流れにくさです。電気抵抗 R は、物体に加えた電圧 V と流れた電流 I からオームの法則を用いて表されます。

$$R = V/I \dots\dots\dots(1)$$

比較的小さな物体の電気抵抗は、ホームセンターで売っているテスターで簡単に測れます。テスターには2本の電極棒が付いていて、その間に僅かな電圧を加えて流れた電流から電気抵抗 R を測定します。この電気抵抗 R は、物体の長さ l が長くなるほど大きくなり、断面積 A が大きくなるほど小さくなります。正確には長さ l に比例し、断面積 A に反比例します。ですから、抵抗は物体の形状に依存する量で、物体の性質を表す物体固有の量ではありません。

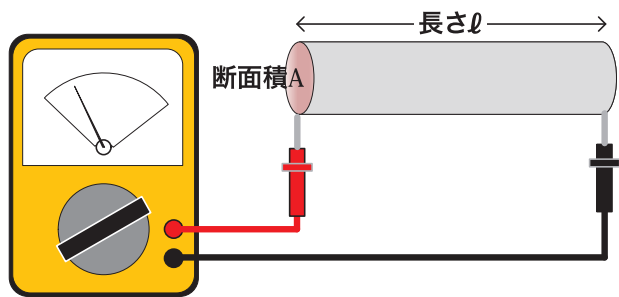


図2 テスターで抵抗を測定する。

では、地盤の比抵抗はどうやって測るのでしょうか? もし、地表面にテスターの電極を2本突き刺して測ったとします。電極と地盤の間の接触面に大きな電気抵抗があります。これを“接地抵抗”と言います。一方、地盤は電極棒の大きさに比べて無限の広がりを持っています。先ほど述べたように物体の抵抗は断面積に反比例するので、地盤の抵抗はほとんど0です。ですから、地盤の抵抗をテスターで測ると、ほぼ接地抵抗だけを測っていることになり、地盤の比抵抗を測ることができません。どうすればよいのでしょうか?

均質な半無限地盤の表面に電極を設置して電流 I を流したとします。そこから距離 r 離れたところの電流密度 i は、電流 I を半径 r の球の表面積の半分で割ったものですから、

$$i = I/2\pi r^2 \dots\dots\dots(2)$$

その時に、距離 r の地点の単位体積 (例えば1立方メートル) の両端に発生している電圧 ΔV と地盤の比抵抗 ρ とその単位体積を半径方向に通過している電流密度 i の関係は、

$$i = \Delta V/\rho \text{ あるいは } \rho = \Delta V/i \dots\dots\dots(3)$$

です。これは、(1)式を微小な領域に適用したものです。(3)を(2)に代入して ΔV に関して解くと、

$$\Delta V = \rho I/2\pi r^2 \dots\dots\dots(4)$$

電流通電点から距離 r 離れた地点での電位 V は、電位が無限遠点で0であるので、無限遠点から距離 r まで ΔV を積分することで、

$$V = \int \Delta V dr = \rho I/2\pi r \dots\dots\dots(5)$$

となり、これを比抵抗 ρ について解くと、

$$\rho = 2\pi r V/I \dots\dots\dots(6)$$

ですから、地盤に電流を通電し、距離 r 離れた点の電位 V を測定すれば、地盤が均質な場合の比抵抗 ρ は、(6)式で求められます。ここで注意しなければならないのは、 V は電流通電点から距離 r 離れた点の電位で、電流を通電した際に電流電極にかけた電圧ではありません。距離0の地点の電位は、無限大に発散しますから、電流を流す電極と電位を測る電極は、距離 r だけ離す必要があります。実際には電極の大きさがあるので発散はしませんが、地盤の比抵抗とは無関係な値です。

実際には、電流を流すにも電位を測るにもそれぞれ正負一對の電極が必要ですので、地盤の比抵抗を測るには電極が4本必要です。そして電流電極間に流れている電流 I と電位電極間の電位 V を測定します。

キーポイント

- ・比抵抗と抵抗は違います。本質的な量は比抵抗です。
- ・地盤の比抵抗を測るには、電極は4本必要です。

4. 探査深度

地盤が均質な場合の比抵抗の測り方が分かりましたので、次に、地盤に何か異常物が埋まっている場合はどうか考えてみましょう。

地中の異常物が電気を流しやすいと電流はその異常物内を流れようとしますし、異常物が電気を流しにくいと電流はそこを避けて流れます。そうすると異常物の内部や周囲の電界も、異常物が無い場合に比べて変化します。

仮に、地盤を霧がかかった空間と想定し、地表から地下にある異常物を懐中電灯で照らすことを考えます。懐中電灯の光は異常物に当たって反射しますが、光は異常物まで行く途中も反射して地上に戻る途中も霧の中で減衰しますから、反射光は大変弱いものになってしまいます。一方、懐中電灯を持っている人の周囲では、霧が懐中電灯の光を反射したり散乱したりしますから、霧全体が光って遠くの異常物の反射光を見ることができません。反射光を確認するには、懐中電灯からの直接光やその周囲の反射や散乱光が弱まるまで、懐中電灯から離れる必要があります。

実は電気探査も同じで、地下深部の異常物が引き起こす電界の小さな変化を捉えるには、電流電極から離れた地点で電位を観測する必要があります。すなわち、より深い所の異常を捉えようとするれば、電位電極は電流電極からより遠くに離す必要があります。ただし、地下の異常物からの反射光は、異常物が深くなればなるほど弱くなりますから、より強い懐中電灯の光で照らす必要があります。電気探査の場合は、(5)式から分かる様に、測定される電圧 V は電流 I に比例しますから、電流 I を大きくする必要があります。一方、電流を流すために電流電極間に電圧をかけますが、その電圧が3,000Vでも100Vでも、関係はありません。

キーポイント

- ・探査深度は、電流電極と電位電極の距離で決まります。深くまで探査するには、電位電極を電流電極から離す必要があります。
- ・信号の大きさは、地盤に流した電流の大きさに比例し、掛けた電圧には無関係です。

5. 一次元探査

電気探査も、最近は二次元探査が主流になり、三次元探査や地盤の経時変化を調べる四次元探査も行われていますが、それらの説明は次回以降に譲るとして、まず一次元探査について説明します。

一次元探査は、垂直探査とも呼ばれ、ほぼ成層構造をなす地盤の各層の比抵抗と境界深度を探査する方法です。二次元探査に比べて、必要資材が非常に少なく簡便に調査できるため、地下水の調査ではいまだに利用されています。

5.1 電極配置と見掛け比抵抗

電流・電位電極を地表面にどのように配置するかで、いろいろな電極配置があります。二極法は、通電と電位測定に使う電極のうちの負の電極をそれぞれ十分に遠くに配置して、あたかも一点で通電してした際の電位を一点で測定したとみなす配置です。ポール・ダイポール配置では、負の電流電極のみ遠方に配置し、電位電極の間隔は電流電極と電位電極の間隔に比べて短く、ダイポール(双極子)で測定しているとみなします。ダイポール・ダイポール配置では、電流電極もダイポールで測定しているとみなします。ダイポールで測定するということは、その部分で空間的な微分処理をしているようなものなので、見掛け上の分解能が上がります。そのほか、4本の電極を等間隔に配置するウェンナー配置も良く使われます。

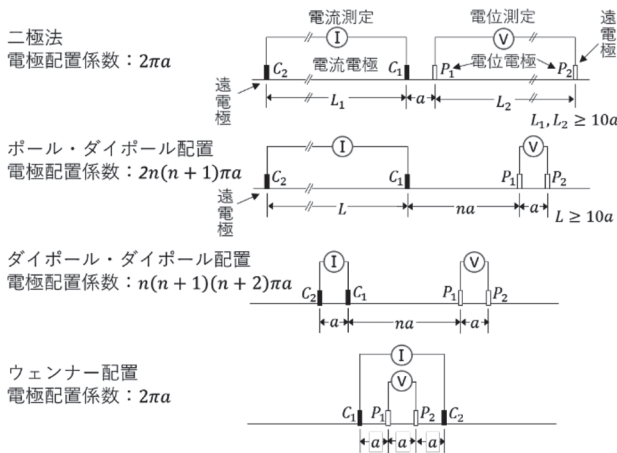


図3 代表的な電極配置の例

実際の地盤は不均質なのですが、それを均質と見なして、地盤の平均的な比抵抗を求めたのが見掛け比抵抗 ρ_a です。二極法での見掛け比抵抗の計算式は(6)式そのものです。その他の電極配置で求まる見掛け比抵抗も、(6)式を組み合わせることで計算することができます。

5.2 感度分布と探査深度

地表から測定する場合、どんな電極配置でも浅い部分の比抵抗の測定データに与える影響は大きくなります。逆に深い部分の比抵抗が大きく変わったとしても、測定データはあまり変化しません。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。感度 S は、ある部分の微小な比抵抗変化 $\Delta\rho$ とその時の見掛け比抵抗の変化 $\Delta\rho_a$ の比で表されます。

$$S = \frac{\Delta\rho_a}{\Delta\rho} \dots\dots\dots (7)$$

図4に二極法電極配置(電極間隔 a)での感度の計算結果を示します。二極法の場合、最大の感度を与える深度は、電極間隔 a 対してかなり浅い $0.4a$ になります。また感度の累積値が70%になるところは $1.6\sim 7a$ 程度になります。この両者の中間をとって電極間隔に等しい深度 a を見掛け探査深度としています。

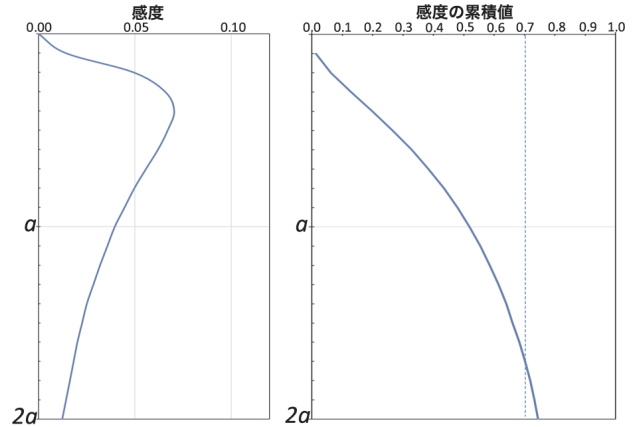


図4 電極間隔と感度分布・感度の累積値の関係

5.3 解析方法

地下が成層構造の場合に、地表面で通電した際の任意の場所の電位は、ちょっと複雑な計算式になるのですが、リニアフィルターという技術を使って簡単に解くことができます。リニアフィルターでは、フィルターの長さが長くなればなるほど、比抵抗コントラストが大きな成層構造でも正確に計算することができます。リニアフィルター法で順計算ができますので、あとは標準的な逐次修正法を用いた逆解析で、各層の比抵抗と層の境界深度を求めることができます。逆解析の詳細に関しては、2回目以降で説明します。

キーポイント

- 電極配置には、いろいろな種類があります。原理的には、二極法配置データから全ての種類の電極配置データを合成できます。
- 見掛け比抵抗は、電極周囲の影響を含んだ比抵抗で、何処か一点の比抵抗ではありません。二極法では、感度計算をもとに見掛け深度 a (電極間隔と同じ) が、定義されています。
- 地下が成層構造と見なせる場合は、一次元探査が最も手軽で、最も正確です。

<参考文献>

島裕雅・梶間和彦・神谷英樹(1995): 一建設・防災・環境のための新しい電気探査負一比抵抗映像法、古今書院。
 O'Neill, D.J. and Merrick N.P. 1984, A digital linear filter for resistivity sounding with a generalized electrode array, Geophysical Prospecting 32, 105-123.

AIR MAIL

海外在住
会員便り

「ジャカルタ駐在生活(2019年版)」

石油資源開発株式会社 河村 知徳

2017年6月からカンゲアンエナジーインドネシア(Kangean Energy Indonesia, 以下KEI)社に出向中の河村です。常夏の島でありながら長袖でないと過ごせないほどの冷え冷えとしたオフィス(天井近くにある温度計で23度とは!)で毎日奮闘中です。

1. カンゲアンエナジーインドネシアとは?

KEI社はJAPEX(石油資源開発)が株主として参入している、東ジャワのカンゲアン(Kangean PSC)鉱区を対象とした石油・天然ガスの探鉱・生産会社です。KEIが生産、操業するカンゲアン鉱区は、カンゲアン島とその周辺海域を含んでいます。カンゲアン島といっても、ピンと来ないと思いますので、まずは地図帳を開いてみてください。インドネシア、ジャカルタのあるジャワ島の北東にへばりつくようにある、マドゥラ島の東方、そして、リゾートで有名なバリ島・ロンボク島の北を探して見てください。海老というか痩せたミジンコみたいな形をした変わった島が見えませんか?これがカンゲアン島です。この周辺で天然ガスを生産し、インドネシア第2の大都市である、東ジャワのスラバヤへパイプラインを通じて送っています。カンゲアン鉱区といいつつ、生産施設などがある拠点はカンゲアン島にはありません。パゲルンガン(Pagerungan)島というカンゲアン島の東方に位置するさらに小さな島(これは相当小さいのですが、滑走路と生産施設などでわかると思います)とカンゲアン島の南西の洋上にそれぞれ油ガス田があり、生産した天然ガスや原油をパイプラインや船を利用して販売しています。

会社の沿革・概要などについては適宜Website(<http://www.kangean-energy.com/>)をご覧くださいと思います。



図1 パゲルンガン島の全景(KEI社Webページより)
滑走路とその周辺の建物を含んだエリアがKEI社の生産施設です。

2. 物理探査技術者としての仕事

筆者は現在、KEI社にてGeophysics Managerとして、鉱区内の探鉱・開発作業に携わっております。東京にいたときと違う1つ目は、部下の数が増えた(5人+インターンシップ数人)こと、重要書類にサインする責任が増したことや、自分では直接計算機をいじらなくなったことという日常的な事項。2つ目は、開発掘削前の事前調査や、掘削中に遭遇する浅い部分での暴

噴の危険を事前に推定するなど、総じてこれまで携わってきた地震探査に関する作業だけでなく、すべての物理探査的手法を用いた評価作業に責任者として関わるが多くなりました。作業の失敗・成功につながるギリギリの判断を求められることもあり、そのたびに冷や汗をかいております。

3. パゲルンガン島への出張

KEIのメインオフィスはジャカルタにあり、特段の用事がない限り、現場に行くことはなかなかありません。しかしタイミングの良いことに、パゲルンガン島に出張にいけるという好都合な話が舞い込んで来ました。せっかくのチャンスだったので、インドネシア人の部下を差し置いて現場に行くことにしました。



図2 ヘリコプター前にていきり立つ筆者(バリの空港にて)
このあと出発直前になってスコールに当たられ、せっかく滑走路まで出たのに出戻ると、1時間ほど出発が遅れました。

パゲルンガン油ガス田は1994年から生産を開始した、同鉱区内でのかつての主力天然ガスフィールドです。生産されたガスは現在もパイプラインを通してスラバヤ方面に運ばれております。生産施設を擁するKEI社は島内に電気と水を供給している他、医療巡回サービスならびにモスクの補修など多岐に渡り島民をサポートしております。現地の従業員も8割は島民だそうです。離れ小島の主要産業なので、我々の事業の重要性を再認識させられます。

パゲルンガン島には、バリ島からヘリコプターを利用してアクセスしました(現在はスラバヤから小型飛行機に変わりました)。インドネシアに駐在しているといっても、バリに来るのは公私通して初めてですし、ヘリに乗るのも生まれて初めてです。バリの空港はリゾートの国際空港らしく非常に立派で、観光地然としておりますが、実際にヘリに乗り込むときには、ゲートの外に用意されたマイクロバスに乗り込み、ターミナルビルとは滑走路を挟んで反対側の倉庫のようなところまで連れて行かれます。そこはいわゆるヘリの駐機庫ですが、ターミナルビルとの落差に驚きます。乗る前から驚くことばかりでしたが、そうした不安はヘリに乗って飛び立ってしまえばたちどころに吹き飛んでしまい、眼下に南洋の島々を見下ろしながらの1時間ほどの快適なフライトでした。到着したパゲルンガン島は空気がきれいなのか、バリと比べて日差しも強く、白い砂浜と相まって南国感あふれるところでした。しかしながら、ここは現場なので生産施設のあ

る島内で行動する時には常に上下のツナギにヘルメット姿です。これがたいへん暑い!このサウナスーツのような装備のまま数日、島内ならびに島周辺をドライブ(地元の有力者と面会)&クルージング(海上の障害物を確認)して現場の状況を確認してきました。なかなか行けないバゲルガン島を訪問したことで、ここで生産活動を続けていく重要性を感じることができました。やはり、現場に行くことは大切です。



図3 島訪問の記念としてマングローブの苗木を植樹
にこやかにしておりますが、ツナギの中では大汗をかいております。

4. あらゆることがダイナミックに変わる国

2012年に初めてインドネシアを訪れた時から、たった5年しか経過していませんが、2017年に再訪した時には大きな違いがありました。スマホ(スマートフォン)の存在です。有線の固定電話ネットワークが広がるより先に携帯電話の時代に移行してしまったことが一因でしょう。そして彼らはスマホが大好き!命の次に大切なものと位置づけられているようです。観光地に限らず、あちらこちらで自撮りしている人のなんと多いことか!スマホは彼らのためにあったのではないかと思えるくらいです。そんな新しい物好きなインドネシアの国民性を象徴するようないくつかのトピックスについて紹介させていただきます。

●スマホアプリでタクシーやバイクタクシーを呼ぶ

市内では未だに公共交通機関が発達しておらず、車やバイクでの通勤・通学がメインのため、日々、渋滞が激しくなっております。公共交通機関を使っている人でも、電車やバス停から先は歩かずにタクシー(車かバイク)を使います。これらをすべてアプリで呼んでいます。昔と比べて、乗る方は現場で値段交渉しなくて良く、タクシーの方も呼び込みの手間が省けるなど、双方にとってメリットがあるシステムの様です(乗ったことがないのでわかりませんが)。

●奇数・偶数のナンバー規制

ジャカルタ名物である渋滞。南北の目抜き通りをはじめとして、これまで様々な渋滞解消策(3 in 1:1台の車に3人以上乗っていないといけないシステム)が取られてきましたが、2018年のアジア大会直前から、とうとう日付に合わせたナンバー規制が始まりました。当初は「大会期間中」だけという触れ込みでしたが、2018年末までに延長され、そして、現在は恒常的な規制になっています。規制対象エリアも順次拡大中です。

出張者の方はお気をつけください。



図4 アジア大会時の会場周辺の道路の様子
スタンドはガラガラだったらしいですが(スポーツには興味なし?)、周辺にはたくさんの露店も出て、さながら緑日(祭)の様でした(祭りは大好き!)

●ビニール袋の有料化

渋滞も大変ですが、ジャカルタに来て真っ先に閉口したのが道路脇に散らかっているプラスチック系のゴミです。これらのゴミは排水溝を詰まらせ、降雨時の洪水の原因になります。日本のように堤防の決壊が原因でないのが特徴です。実はバゲルガン島に出張した時にも海岸にビニール袋やゴミが漂着しているのを見かけました。文明の汚れがこんなところにまで及んでいるのだなとややげんなりしました。インドネシア人に言わせると、日本の街はゴミが少なくすばらしいと(比較の問題ですが)。

こうしたプラスチックゴミは昨今問題になっておりますが、インドネシアのスーパー・コンビニでは今年の年明けから一転してビニール袋が有料(1枚2円程)になりました。フットワークが軽いですね。エコバック持参で買い物を薦められるように変化したり、使うにしても最小限の袋にすべく、あれもこれも一緒に、ぎゅうぎゅうに詰めてくれるようになりました(洗剤と肉を隣同士にされたりします)。あまりに詰め込まれすぎて、家に着くまでに破れてしまうこともあるので、ぎりぎりのラインを狙って買い物をしよう気をつけています。

5. まだまだ発展するインドネシア

日本と比較するとインドネシアは若者の人口が多く、国としての勢いを感じるのには疑いようがありません(成長率も日本より高いです)。前述したスマホの急激な普及や次々と更新される規制の数々はその証左ともいえるでしょう。人々の考え方も基本的にはポジティブで、昨今の日本人のような慎重な考え方をする人が少ないというのも特徴です。高度経済成長期の日本にスマホが持ち込まれた状況といった方がびたりとはまるかもしれません。こうした中、記憶に新しい2018年にジャカルタで行われたアジア大会の成功!?をステップに、大統領が2032年のオリンピック招致推進を明言するなど、インドネシアはこれからますます発展すると期待されております。

その一方で南国特有の緩い国民性もあります。これらすべてが融合したインドネシアの将来の行き着くところはどのような未来なのでしょう?是非一度、来訪されて事実を確認されてみてはいかがでしょうか。

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



大和探査技術株式会社 ● 近藤 健太郎 さん

①宮崎県、②弾性波探査/レーダー探査/磁気探査、③温泉、④コーヒーの消費量

Q. 学生時代はどのようなことをされていましたか?

大学時代は日向灘で起きるプレート境界型の地震の研究をしていました。船に乗って海底地震計を設置、回収する調査に参加していて、今思えばこれが物理探査に初めて触れる機会だったと思います。船の中で同じ研究室の人たちと過ごした数週間はとても内容の濃い、すごく楽しかった思い出です。また取得したデータを自分の研究で使用し研究結果としてまとめるのは非常に大変でしたが、こういった作業が今の仕事につながっていると感じます。

Q. 仕事で印象に残っている出来事を教えてください。

新島、式根島、神津島に仕事で行った際には、休みの日にスキューバダイビングを体験したり、くさやを食べたり、温泉に入ったり、登山をしたりと現地でしか体験できない経験をすることができ非常に思い出に残っています。特に式根島の温泉は夜に入りに行ったのですが、無料の温泉で、海に面しており温泉も海水交じりでしょっぱく、すごく印象的な温泉でした。ただ海水交じりだったため宿でもう一度お風呂にはいりなおしましたがまた機会があれば行ってみたいです。

伊藤忠石油開発株式会社 ● 戸谷 真亜久 さん

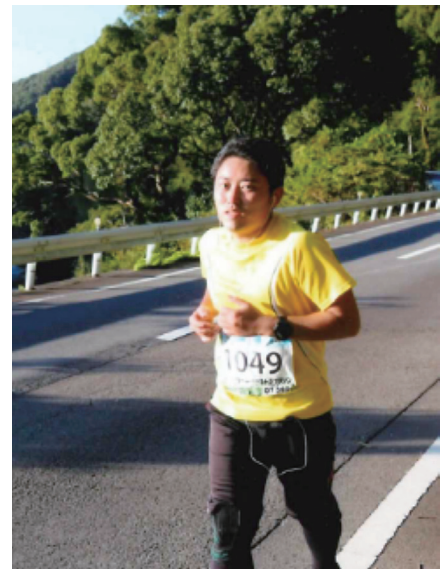
①愛知県、②弾性波探査、③マラソン/旅行/カメラ、④割とどこでも生きていけること

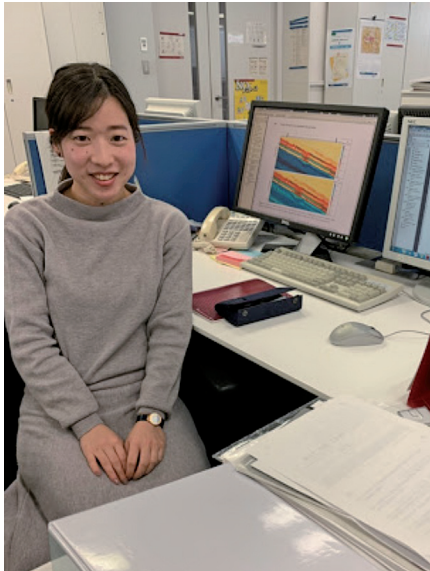
Q. 学生時代はどのようなことをされていましたか?

研究では反射法地震探査や地震波干渉法をテーマに弾性波に関して鍛え、私生活では柔道部に所属して体力や精神力といった男性力?を鍛えていました。現在の石油開発業務では弾性波探査を扱うことがほとんどで、また、出張でイギリスのような先進国に行くこともあれば中東やビザ取得に1か月以上かかる辺境な国に行ったりと体力や精神力が必要なことも多くあるので、学生時代の経験が仕事に活かしていると感じています。

Q. 最近ハマっていることについて教えてください。

今は走ることにハマっています。私は10km以上走ったことが無かったのですが、昨年、先輩に四万十ウルトラマラソンという100km走る大会に無理やりエントリーさせられました。一応モチベーションを高めようと割と高性能なGPS腕時計を購入したところ、取得される詳細データが案外面白く、練習とデータ分析の繰り返しにハマってしまいました。最終的に自分のペースを累積走行距離と傾斜の関数で表現して予測タイムをはじき出し、無事ほぼ予測通りの13時間50分で100kmを走りきることができました。ただし、レース中の痛みと辛さは予測を遥かに超え、気力と根性で何とか走り切った感じでした。ゴールした瞬間は自然に涙がこぼれ、あの感動は人生で一番の衝撃になったのは間違いありません。体へのダメージは小さくないですが、皆様も是非ウルトラマラソン挑戦してみてください。





石油資源開発株式会社 ● 奥田 真央 さん

①愛知県、②弾性波探査/電磁探査、③ファイナンシャルプランナーの資格、④逆立ち

Q. 学生時代はどのようなことをされていましたか？

大学時代に器械体操部に所属しており、大学4年間は、週5日、1日4時間、身体を動かしていました。今はほとんど見る影もありませんが、特に筋トレが好きで、練習後はプロテインを飲み、身体づくりをしていました。大学4年生で地下探査の研究室に所属してから、MT法の計測でフィールドに行く機会が多くなりましたが、部活動で培った気力と体力のおかげで嫌になることなく乗り切ることができました。今はもうそれくらいストイックに運動をすることはありませんが、当時を見習って、これからの社会人生活も精進していきたいと思います。

Q. 最近ハマっていることについて教えてください。

最近のマイブームは、出掛けた先で、その周辺にある本屋さん立ち寄りことです。関東に住み始めてまだ2年ですが、駅ごとに大きなお店があり、店によって雰囲気や、推している本が違っているのでどのお店でも新鮮な気持ちで

本をみることができます。昔から読書はあまり得意ではないのですが、最近では気になった本を手に取り、気に入れば購入するようになりました。しかし、やはり読むペースが間に合わず、少しずつ読んでいない本が溜まっているような気がします。少しでもいいので毎日読む習慣を身に付けたいです。

Seminar

2019年度「物理探査セミナー」開催報告

事業委員会

本学会では、物理探査法の理論や実務、関連知識を学んでいただくために、毎年夏季に物理探査セミナーを開催しています。本セミナーは、新入社員および初級～中級の実務者を主な対象とし、広く物理探査の世界に興味のある方や物理探査技術の現状をお知りになりたい方々にも多数参加いただいております。今回も第一線で活躍されている技術者や大学の先生を講師に招き、昨年リニューアル工事を終えた東京大学の山上会館大会議室にて、令和元年(2019)年7月2日(火)～4日(木)の3日間の日程でセミナーを開催致しました。計9名の講師により、物理探査ハンドブック増補改訂版を主たる教材として、資源探査および土木地質調査に用いる物理探査手法について講義が行われ、1日単位で選択して受講できるのが特徴です。

参加者は、各種企業、学生および研究機関から、7月2日:40名、7月3日:43名、7月4日:43名の方が参加されました(参加者数は、60名)。講義内容は以下の通りです。

7月2日(火)

- 地中レーダ : 佐藤 源之(東北大学)
- リモートセンシング : 大沼 巧((株)地球科学総合研究所)
- 位置測量 : 奥田 裕康(石油資源開発(株))

7月3日(水)

- 反射法地震探査: 阿部 進((株)地球科学総合研究所)
- 屈折法地震探査: 山内 政也(応用地質(株))
- 微動探査 : 佐藤 浩章((一財)電力中央研究所)

7月4日(木)

- 電気探査: 神宮司 元治((国研)産業技術総合研究所)
- 電磁探査: 後藤 忠徳(兵庫県立大学)
- 重力探査・磁気探査: 楠本 成寿(富山大学)

最近では、新入社員研修の一環として本セミナーを利用していただく例も多く、近年の土木・建設に関する物理探査への注目度アップを反映してか、土木・建設系の企業や研究機関に所属の参加者が多数を占めていました。

また、今回は賛助会員企業・団体へのサービスの一環として、賛助会員からの一般参加申込者に対しては会員と同額の費用で参加可能とし、参加者の40%が同取り扱いの適用でした。

受講者へのアンケートでは、最新の探査・解析事例やトピックの内容を加え、丁寧な講義に努めてくださる各講師の方々のお陰で、会場施設や費用面も合わせ、全体的に高い評価を頂きました。

今後も、アンケート結果、講師や委員の意見などをもとに、より多くの方々に御参加いただき、更に充実したセミナー内容となるように、努めて参ります。

(文責:事業委員会 田中智之)



受講会場の様子

— キャンパスビジット@千葉大学理学部 —

株式会社日本地下探査 山田 信人

物理探査学会では、学生の皆さんに広く物理探査に触れていただくため、キャンパスビジットと称して、物理探査に関係する大学にお邪魔し、物理探査の講義を実施しています。本報告では、2019年1月25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。

今回のキャンパスビジットでは、千葉大学理学部地球科学科の服部克巳教授のお計らいで授業を1コマいただき、物理探査学会から2名の講師が講演されました。また、報告者である私(山田)も同席させていただき、学生時代から数えても初参加となるキャンパスビジット講演を聴かせていただきました。

キャンパスビジットは、8時50分より開始の1時間目をお借りして実施されました。朝一番の授業であるにもかかわらず(?)、非常に沢山の学生の皆さんに参加いただき、しかも皆さん真剣に講義を聴かれていました。なぜか頭があがらない思いをするとともに、開催者の一員としてとても嬉しく思いました。

講義は、地球科学総合研究所の田中智之氏による物理探査学会の紹介に続き、同氏の講義「三次元物理探査船による物理探査」、川崎地質鈴木敬一氏の「インフラ維持管理のための物理探査」の順番で実施されました。

田中氏の講演では、三次元物理探査船を用いた地震探査について紹介されました。筆者の目線でもっとも特徴的だったのは、田中氏の講義がとにかく実務に沿った、このような機会が無いとなかなかお目にかかれないものであったことです。内容は、基本的な断面の紹介はもちろんのこと、さらには乗船者の人数、航海日数、サバイバルトレーニング、船内設備、果ては船内の食事にまでおよびました。筆者は海上の探査に参加したことが無いもので、学生の目線で楽しく拝聴しました。

当キャンパスビジットでは、講義終了後に学生の皆さんのレポートを通して講義の感想を拝見したのですが、田中氏の講演については、今まで見る機会の無かった船上の生活を知ることができたことに対するポジティブな感想が多数寄せられました。特にこれから業界に就職しようとする学生の皆さんにとって、どのような形で技術者が実務に関わるのかを知る、良い機会であったのだと思います。

続く鈴木氏の講義は主に土木インフラに対する物理探査の適用について紹介されました。筆者自身になじみ深い分野であることもあり、技術者の目線で興味深く拝見しました。講義の内容は、インフラ管理における物理探査の重要性はもちろ

んのこと、業界では古くより用いられている地中レーダ探査に対する最新技術であるAIの適用、さらにAIによる画像判定(顔判定)の例、ミュウ粒子を用いた探査にまで及びました。ディーブローニングについての詳しい説明やミュウ粒子を用いた探査の歴史から、写真の顔判定で心霊写真(?)を発見した例といったところまで、骨の太い内容とユーモラスな内容が混在した、濃い内容でありながら聞きやすく工夫された講義であり、一受講者として楽しく拝見しました。

先述のとおり、講義終了後に学生の皆さんに提出いただいたレポートを拝見したのですが、いただいた講義の感想の中で、「これまで授業を受けてきた物理探査が実際にどのように世の中の役に立っているのかがわかってよかった」というものがあつたことに、キャンパスビジットを開催する意義の深さを改めて認識しました。また、講義の内容について質問を多く頂いており、学生の皆さんが興味をもって講義を聴いてくださったことがわかりました。(学生の皆さんからいただき質問にはもちろん、講演者のお二人が丁寧に回答されました。)

両講演とも、講演者のお二人の、物理探査業界に対する、また、学生の皆さんに物理探査業界について知って欲しいという熱意が伝わってくる、非常に中身の濃い講義であったと思います。大変貴重な経験をさせていただき、感謝しております。

最後になりましたが、千葉大学の服部教授には、キャンパスビジットを受け入れていただいたこと、貴重な授業時間をご提供いただいたことに、この場をお借りして深く御礼申し上げます。



千葉大学理学部に

— キャンパスビジット@富山大学都市デザイン学部 —

川崎地質株式会社 鈴木 敬一

2019年7月18日の午後、富山大学都市デザイン学部地球システム科学科においてキャンパスビジットを実施しました。テーマは「地面を探る、地球を探る、物理探査の世界～物理探査のお仕事～」です。今回は(株)地球科学総合研究所

の東中基倫さんと私の2名で行いました。講義のタイトルは東中さんが「地震探査手法による地下構造の調査」、私は「インフラ維持管理のための物理探査」でした。参加者は全部で54名(うち教員5名、1年生40名、3年生以上9名)でした。

それぞれの講義を1コマ90分ずつの時間を頂き、講義を75分、質疑応答を15分という配分でした。東中さんの講義では反射法地震探査について、測定から解析、陸上と海上まで幅広く紹介していただきました。対象とする分野も資源だけでなく、学術調査や防災(活断層など)まで、探査の結果だけでなくどのように使われているかというところまで解説されました。私の講義では、地中レーダとAI、宇宙線ミュオン粒子などについて紹介しました。

1年生の学生さんからはレポートを頂き、内容について十分に理解してもらえたようで、担当の楠本さんからは「先のご講演のおかげで線形代数の重要性をおぼろげに分かってもらえたようで、授業態度が変わりました」といった有難いコメントも頂きました。講師・事業委員会とも今後の励みになりました。

最後に地球システム科学科長をはじめ、大学関係者の皆様には大変お世話になりました。ここに記して謝意を表します。



富山大学都市デザイン学部にて

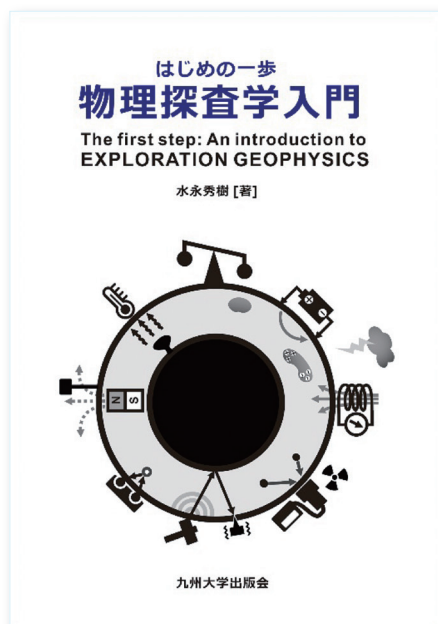
書

評

はじめの一步 物理探査学入門

九州大学出版会 水永 秀樹 著 2019年2月 (ISBN:978-4-7985-0253-3)

九州大学名誉教授 牛島 恵輔



「はじめの一步 物理探査学入門」のカバーデザイン

本書は物理探査の概要からはじまる9章から構成されている。初心者は第1章の物理探査学の概要で基礎事項および種々の応用分野について解説されているので物理探査の概念が理解できる。第2章以降は各種物理探査法の基礎理論、計測法、ケーススタディについて解説されている。

第2章の弾性波探査法では、反射法、屈折法、表面波探査法について解説し、遺跡探査の実例を示している。第3章の電気探査では、比抵抗法、自然電位法、流電電位法、流体流動電位法、強制分極法、複素比抵抗法について解説

し、地熱貯留層の流電電位法、遺跡の比抵抗法、地下水の比抵抗法、流体流動電位法による地下流体のモニタリングの実例を示している。第4章の電磁探査では、まず地震や火山による電磁現象について解説し、自然電磁場を利用したMT法、人工電磁場を利用するCSMT法、時間領域の電磁法であるTEM法(TDEM法)、近年注目されている海洋電磁法や流体流動電位法の計測法についても解説している。特にMT法およびTEM法については、基礎理論式を導出し、不発弾、地熱貯留層、地下水、金鉱床、遺跡の電磁探査を例示している。

第5章の重力探査では、重力探査の物理学、地球物理学、地質学について解説し、地下空洞、石油資源、鉱物資源、地熱の重力探査を例示している。第6章の磁気探査では、磁気探査の物理学、地球物理学、地質学について解説し、磁気探査の計測工学について述べ、地下構造、不発弾、遺跡の磁気探査を例示している。第7章の地中レーダ探査では、電磁法の基礎事項、アンテナによる計測工学、データ処理について解説し、埋設管、地下空洞、遺跡、不発弾、凍土の地中レーダ探査を例示している。第8章の放射能探査では、基礎理論、計測工学、地質学について述べ、ケーススタディとしてウラン鉱床、断層、地下水、温泉、海洋環境の放射能探査を例示している。第9章の地温探査では、物理学、地球物理学、地質学、数学の基礎事項、計測工学について述べ、ケーススタディとして地熱貯留層、温泉、地すべり、漏水、金属鉱床の地温探査を例示している。

上記のように本書は物理探査の基礎からフィールド調査への応用、さらに物理探査の将来を展望しており、物理探査の専門家はもとより地質学、地球物理学の教科書として適している名著である。

令和元年度農業農村工学会大会講演会・企画セッション 「物理探査技術の最新動向と農業農村工学分野への展開」参加報告

農研機構 黒田 清一郎

農業農村工学会大会講演会が9/4～6に東京農工大府中キャンパスで開催され、昨年に引き続き物理探査に関する標記の企画セッションが行われました。本大会は11会場で講演会が行われ、17件の企画セッションがありました。農研機構の黒田がオーガナイザーおよび座長を務め、100分で4件の講演と活発な質疑が行われました。

物理探査学会からは、産総研の光畑裕司氏に「ドローン吊り下げ型電磁探査システムによる比抵抗マッピング」、北海道大学の鈴木浩一教授に「統合物理探査による斜面部での降雨浸透モニタリング」の演題でご講演いただきました。どちらのご講演も農業農村工学会の会員にとってタイムリーかつ興味深い内容で、セッション後にも大きな反響がありました。

農業農村工学会からの講演は2件で、「タイ国農業セクターにおける物理探査技術の利活用」を発表された茨城大の吉田貢士准教授は昨年度のセッションで重要な問題提起をされたことから今回の講演となり、「物理探査におけるスパースモデリングの可能性」と題して発表された岡山大の珠玖隆行准教授は、物理探査学会でのセミナーで講師をされた際の内容をさらに発展させた講演となりました。昨年度に比べ会場も大きくなり、

参加者も増え、継続の意義を感じさせる今年度のセッションとなりました。そのことから少なくとも来年度まで、同様の企画の継続を検討する声も上がりました。

本年度の企業展示はかなり充実しており、物理探査に関する企業展示もみられました。本大会では企業中心のセッションも企画され、展示企業にも大きなメリットがあると感じます。来年度の大会会場は鹿児島市内の予定です。



セッション風景 (会場後部に物探関連書籍を展示しました)



お知らせ

日本地熱学会令和元年学術講演会(熊本大会)

会 期：2019年11月19日～23日
会 場：くまもと県民交流館パレア
問合せ先：<http://grsj.gr.jp/gyouji/outline20190926.pdf>

令和元年度ワンデーセミナーのお知らせ

テーマ：「PS検層技術の最新動向(仮題)」
会 期：令和元年2月7日(金)
会 場：(一財)全水道会館 4F大会議室
開催要領および参加申し込み案内は、近日学会ホームページに掲載予定

EAGE 3rd Asia Pacific Meeting on Near Surface Geoscience & Engineering, Chiang Mai, Thailand, 20-22 April 2020

Call for abstract open, close 31 December 2019

EAGE Near Surface Geoscience Conference & Exhibition Belgrade, Serbia, 30 August - 3 September 2020

Call for abstract open, close 15 April 2020

編集後記

2019年秋、ラグビーW杯での日本代表の大躍進が話題となっています。“One for all, All for one.”や“One Team”という言葉で象徴される素晴らしいスポーツ。感動しながらテレビ観戦していると、我々の普段の生活でも応用すべきことが多いことに気付かされます。

今回の物理探査ニュースの記事の中でもいろいろな会社・大学・研究所の皆さまやさまざまな物理探査技術が紹介されていますが、目的は一つ! スクラムを組んで地下の解明に向けてトライしましょう。

さて、来年2020年夏には東京オリンピックの開催も控えています。気候変動問題が取りざたされている昨今、高気温・高湿度や台風への対応が大きな課題となりそうです。低炭素化社会へ向けたチャレンジにも注目していきたいと思えます。

ちなみに、私はサッカー党です。

(ニュース委員会委員・渡邊貴大)

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44号 2019年(令和1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
ホームページ：http://www.segj.org