

物理探査 ニュース

2019 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 「山岳部地熱地域に向けた断裂系探査技術の開発」...	1
現場レポート 「ケニアにおける陸上地震探査」	3
わかりやすい物理探査 「わかりやすい物理探査 電気探査(その1)」	6
研究の最前線 「電気探査法による液化化地盤評価」	9
物理探査ニュース10周年を迎えて	11
「奇跡の生還タイ空洞・救出チームの指揮官として」 参加報告	13
物探よもやま話 眼底検査と路面下空洞探査	14
書評 はじめの一步 物理探査学入門	15

Geophysical Exploration News 2019 Highlights



「物理探査ニュース2019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2019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。

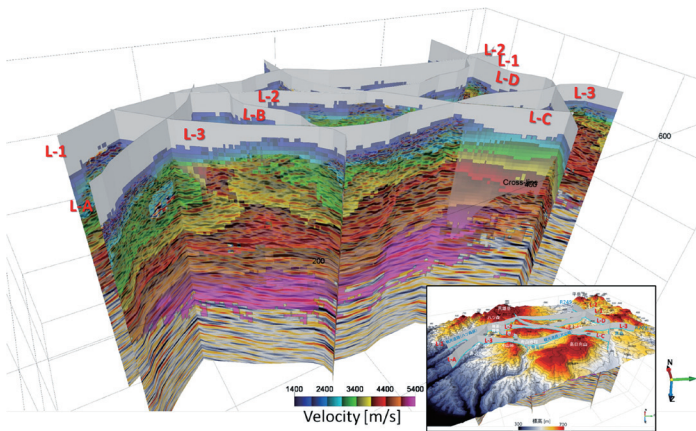
表紙説明

- (A) SEG会長来日レポートより(ニュース43号)
- (B) 日本の物理探査100周年記念式典時の機器展示品
- (C) 物理探査ニュース委員会開催時(JAMTEC横須賀本部にて)
- (D) 2019年度物理探査学会秋季学術講演会・懇親会会場(マリオス)からの眺望(岩手山を望む)

山岳部地熱地域に向けた 断層系探査技術の開発

統合解析ワークフローから多線平行配置による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

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、高傾斜の断層周辺に限られる。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・流動の場となる断層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層系探査技術と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。

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

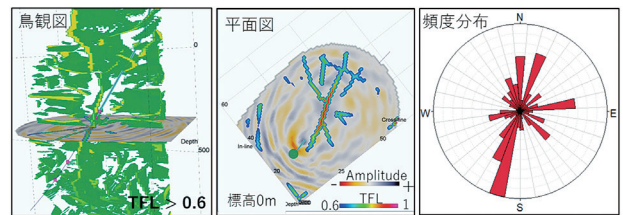


図2 木地山DAS-VSP現場実験の反射法記録に基づく面構造解析の例。
断層指標(TFL)高値領域の鳥瞰図(左)、標高0m付近での平面図(中央)、同標高における面構造走向の頻度分布図(右)。平成30年度JOGMEC地熱統括部事業成果報告会より。

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

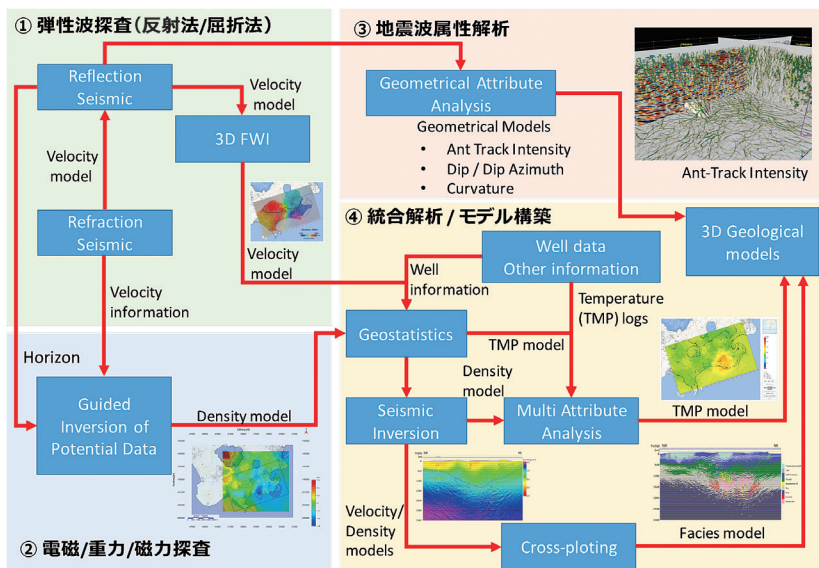


図1 多物理探査データの統合化ワークフロー
青木ほか(2017)の図を一部改変して引用

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、スパースな多線パラレル配置による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調査深度を確保し、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(冒頭図、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。

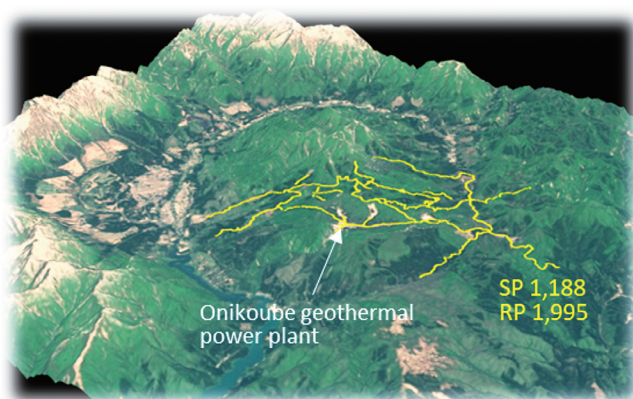


図3 第2回実証試験(鬼首地域)の測線図

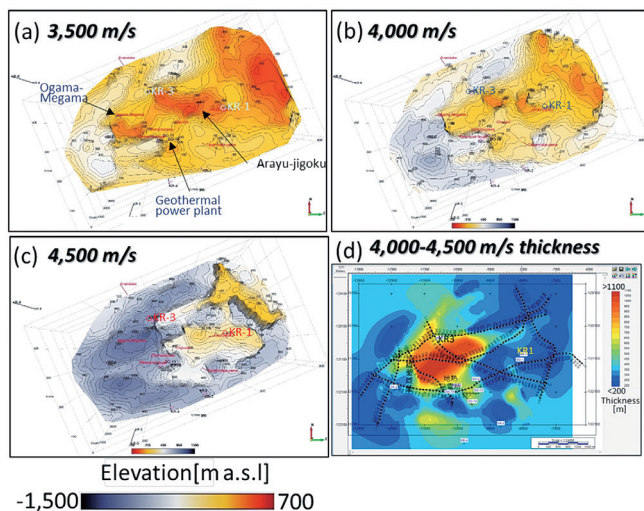


図4 速度トモグラフィ記録の例。
(a)~(c) 等速度面標高図
(d) 4,000~4,500m/s層の層厚図

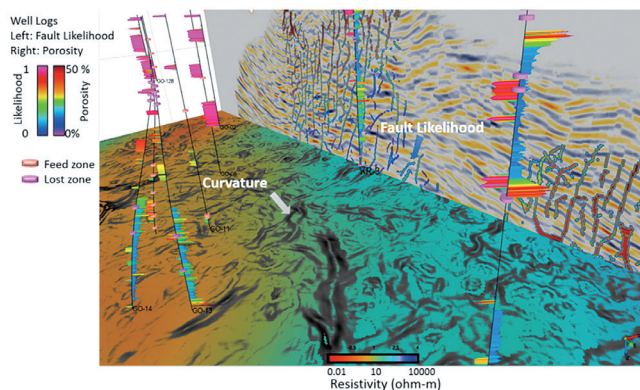


図5 深部3次元反射法記録に基づく断裂系評価アトリビュートと比抵抗(MT法及び検層)の比較図

ケニアにおける陸上地震探査

株式会社地球科学総合研究所 林 努^(*)、加藤 政史

(*) 現在、石油資源開発株式会社に在籍

1. はじめに

2017年に独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)が、海外地質構造調査事業の一環としてNational Oil Corporation of Kenya(NOCK)とアフリカのケニア国において実施した陸上二次元地震探査(以下、本調査)について、紹介します。データ取得作業はBGP社(Bureau of Geophysical Prospecting Inc.)が実施し、株式会社地球科学総合研究所(JGI)はデータ取得における品質管理(QC)を担当しました。

本調査は石油・天然ガス探鉱を目的として実施されました。調査地域は、ケニアのアフリカ大地溝帯内の堆積盆に位置し、中央部に平地、沼地、北東部に火山岩地域、西部は大地溝帯の西縁になります。火山岩地域には、表層付近に玄武岩等の火山岩が広く分布し、これらをもたらした大地溝帯の運動によって、いくつもの比高100m前後の急崖が形成されています(写真1a)。中には、比高数100mに達する急崖も存在します。調査地域中央部の平地や沼地には多くの野生動物が生息し、キリンやシマウマ等を頻繁に見かけました(写真1b)。

本調査は、反射法地震探査をメインとし、浅部にある火山岩の下位の速度構造の精度向上を期待して、屈折法地震探査を併用しました。反射法地震探査は片側6,000mの振り分け展開(Split Spread)とし、発震記録を有線テレメトリシステムにより収録しました。一方、屈折法地震探査は、受振器を測線全体に展開し、独立型レコーダにより発震記録を収録しました。

反射法地震探査と屈折法地震探査ともに、大きな発震エネルギーと低周波数成分を十分に確保するため、震源として爆薬(ダイナマイト)を使用しました。主要な調査仕様を

表1にまとめます。

表1 調査仕様

手 法	反射法および屈折法地震探査
探 鉱 機	有線テレメトリシステム(反射法) 独立型レコーダ(屈折法)
震 源	爆薬(ダイナマイト)
発震点間隔	25m(反射法) 1,000m~5,000m(屈折法)
受 振 器	ジオフォン マーシュフォン(沼地)
受振点間隔	12.5m(反射法) 250m(屈折法)

2. データ取得作業の一日

BGP社の作業班は受振器展開班、発破孔掘削班(写真2a)、爆薬装填班、それに、測量班、LVL班に分かれていて、総勢約200人体制で作業が行われていました。

ベースキャンプの一日は、毎日5:30の朝食に始まり、朝食後すぐツールボックスミーティング(朝礼)が行われます(写真2b)。まだ日の出前です。ツールボックスミーティングが終わると、受振器展開班はベースキャンプから測線へと移動します。

実際のデータ取得(爆薬発震)作業は8:30頃に始まり、

昼食休憩は12時~13時でした。昼食休憩後、データ取得を再開し、17時頃にはデータ取得作業を終了し、ベースキャンプに帰還します。

夕食は18:30頃に取り、シャワーを浴びて22:30頃に就寝するのが主な一日の流れでした。

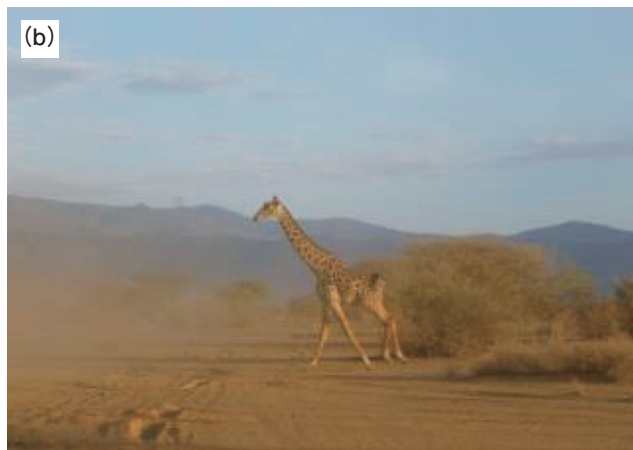


写真1 調査地域の写真

(a) 測線上の急崖の例、(b) 調査地域で見かけたキリン

3. QC作業

JGIからは、社員2人が調査地域の近くに設営されたBGP社のベースキャンプに滞在し、QC業務を担当しました。全体で約3ヶ月の調査期間中に2回の交代を行いました。QC係の2名のうち1名は、観測車で取得データのQCを行い、もう1名のQC係は、測線の踏査(下見)やデータ整理を行いました。以下にそれぞれのQC係の作業内容を紹介します。

【観測車での取得データのQC業務】

データ取得が開始される8:30頃から観測車において、取得データのQCを行いました。特に有線テレメトリスシステムのラインチェック確認、発震記録のノイズのチェックを行いました。ベースキャンプに帰還後、夕食を済ませてから、JOGMECおよびNOCKのメンバーとともにその日に取得したデータを確認し、QC日報をまとめ、メールで送付しました。

【測線の踏査・データ整理のQC業務】

BGP社の測量班と今後取得する測線の踏査に出たり、ベースキャンプに残り、取得した地震探査データ、座標、LVL(Low Velocity Layer)調査等からなる種々のデータの評価を行ったりしました。

踏査では火山岩が地表に現れているところを写真撮影し、ハンディーGPSで位置を確認しました(写真2c)。

踏査に行かない日には、簡易的なデータ処理を行い、地震探査記録と座標データが整合しているかを確認し、地震探査記録の初動解析を行うことにより、受振器ケーブルの

伝送ケーブルへの接続ミスを発見することもありました。

【調査仕様の評価・提案業務】

こうしたQC業務の中で、JGIの最も重要な役割は、記録の品質を確認し(写真2d)、品質に問題があれば、調査仕様の変更を考え、提案することでした。必要に応じて現場の関係者とナイロビならびに東京のスーパーバイザーとの間で交渉し、計画の変更を実施しました。

表層の火山岩だけでなく、乾燥した砂地にも悩まされました。表層が厚いと爆薬の効きが悪く、発震エネルギーが十分に確保出来ないからです。当初の仕様では、やや発震エネルギーが確保できないことが確認されたため、屈折法発震の薬量および深度の変更などいくつかの有効な仕様変更を提案し、実行することができました。

乾燥した砂地ではLVLデータを解析することで、表層の厚さ(帯水層までの深さ)を把握できるので、表層が厚いことが予想される場所で先行してLVLを行うようにBGP社に要求をしました。この際、NOCKが招聘したコンサルタントのモンゴルでの砂漠地帯でのデータ取得経験が活かされました。このように、現場で構築される協力関係は非常に大切だと感じました。

4. 現場での生活

サバンナに設営されたベースキャンプでの生活は、1日3回の食事とシャワー、空き時間は読書か音楽、雑談をして過ごすという、非常にシンプルなものでした。Wi-Fiの通信

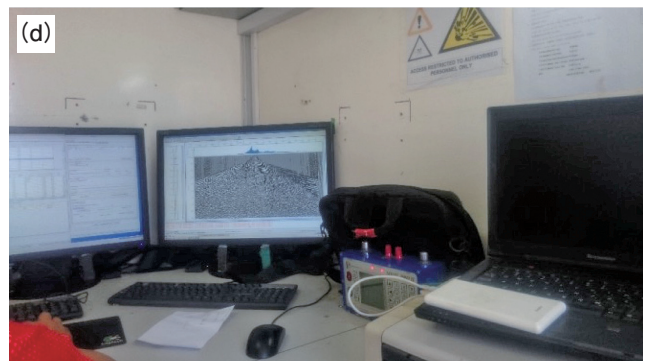


写真2 現場作業の写真、(a)沼地での発破孔掘削の様子。(b)朝礼、まだ日は昇っていない。(c)測線の踏査、火山岩に覆われた台地が広がる。(d)観測車の発震記録モニター、ここで記録品質を確認する。マサイ族の山羊の群や大地溝帯からの自然地震といったノイズは別のモニターで監視する。

速度は決して速くはなく、インターネットによるニュースの閲覧には時間がかかるため、Wi-Fiの使用はメールの送受信等、必要最低限しか出来ませんでした。

ベースキャンプではBGP社の社員や現地人スタッフを含め、調査関係者のほぼ全員(約200人)が生活していました。一部のスタッフはフライキャンプ(ベースキャンプから離れた測線付近に設営される一時的なキャンプ)で生活していました。現地採用のスタッフは、テントハウス1部屋に10人くらいで生活していました。JGIのQC係にはそれぞれ個室のコンテナハウスが提供されました(写真3a)。部屋にはベッドと机、ロッカーがあり、エアコンも備わっていました。

シャワーとトイレはそれぞれ専用のコンテナがあり、水道は山地の豊富な水を引いているため、不自由なく水を使う

ことができました。シャワーと洗面所では温水も出ました。洗濯は専門のスタッフに毎日してもらいました。昼間の日差しは強烈であり、気温が40度近くに達し、洗濯物は短時間に乾くので、朝出した洗濯物が夕方には洗濯して戻ってきました。

食堂は別の大型のテントハウスに設けられ、料理長は中国人で、基本的に中華風の料理でした。朝食は、パン、お粥、ソーセージ、卵、野菜、スープ等から好みのものを取って食べることができました。山羊のミルクが美味しいのですが、あまりに濃厚で少量だけいただきました。

昼食は、観測車に行く場合は、弁当を持参しました。肉と野菜を炒めたものに、米、パン、果物が付いていました。

夕食は中華バイキングで(写真3b)、現地の肉や魚を使っていたのですが、中華料理はどんな食材にも相性が良いと感じました。特に山羊の肉を煮込んで炒めたものが美味しかったことを覚えています。

週に一回、マサイ族のスタッフが山羊のバーベキューを振舞ってくれました(写真3c)。これまたとても美味しくいただきました。

夕食後の時間には、JOGMECおよびNOCKのスタッフ、データ取得コンサルタント、BGP社のスタッフともよく話をしました。たわいもない雑談もありましたが、火山岩地帯の地震探査記録は評価が難しいなど、地震探査の話もよくしました。BGP社のスタッフは、数年から10年に亘って、アメリカの各国でデータ取得業務をしているという話でした。



写真3 現場での生活の写真、(a)ベースキャンプ、奥の左側が私たちの個室があるコンテナ、(b)夕食、(c)バーベキュー。

5. まとめ

調査開始後は発破孔の掘削に時間を要したり、大統領選挙のため、一時作業を中断したりしたため、進捗が遅れが見られましたが、徐々に掘削作業を含めて受振器展開、爆薬装填作業に習熟するにつれ、進捗が改善し、最終的には予定よりも数日早く調査が終了しました。

本調査は、大きなトラブルや事故に見舞われることなく終了しました。この要因として、クライアントによる事前の地元交渉が入念に行われたこと、BGP社のマネジメント機能が適切に働き、HSEQ(衛生・安全・環境)を含めて調査全体の統率がとれていたこと、調査期間が現地の乾季に当たり、毎日好天に恵まれたこと等が挙げられます。

今回のケニアにおける地震探査を通して、作業を円滑に行うには、クライアントとコントラクター間の連携が非常に重要であることを学びました。今回得た知見を今後の地震探査に活かしていきたいと考えます。

最後に、本文の物理探査ニュースへの投稿を承認していただいたJOGMECの関係者の皆様に深く御礼を申し上げます。

わかりやすい物理探査

電気探査(その1:電気探査の基礎)

応用地質株式会社 島 裕雅、櫻井 健

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っけ?」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

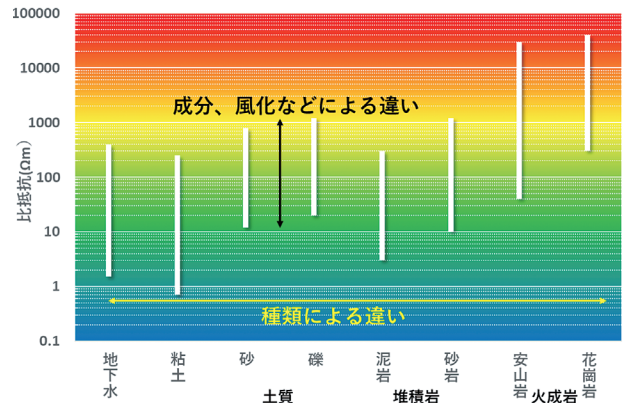


図1 代表的な地質・土質の比抵抗
比抵抗映像法 図5.16より作成

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。

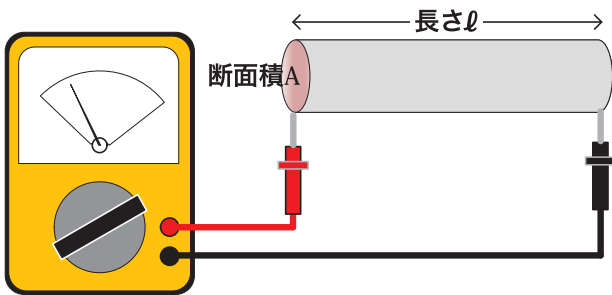


図2 テスターで抵抗を測定する。

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対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。

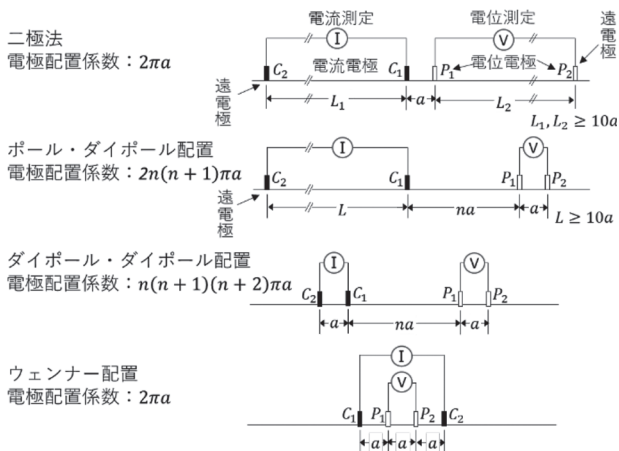


図3 代表的な電極配置の例

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。

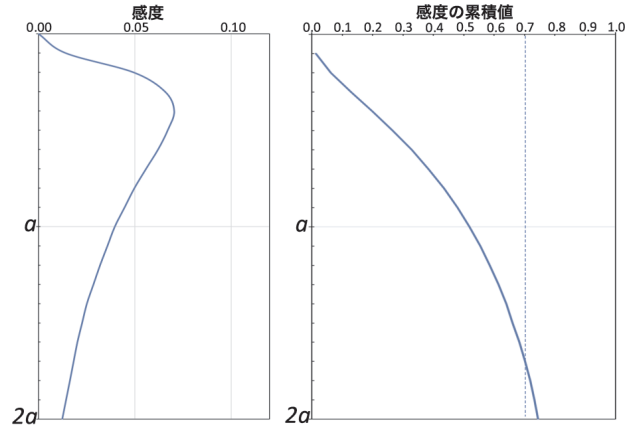


図4 電極間隔と感度分布・感度の累積値の関係

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.



電気探査による液状化地盤評価

— 都市部の住宅地における液状化調査への挑戦 —

産業技術総合研究所 神宮司 元治

1. はじめに

ご存じのとおり、日本は高度成長期から急速に経済が発展し、多くの人々が都市に仕事を求めて集まり、都市化が大きく進みました。また、人々が都市に集まると共に、都市周辺の住宅地が急激に広がっていきました。便利な都市周辺の土地が不足し始めると、やがて、これまで人が住んでいなかった湖沼地、田畑や海を埋め立て、さらに住宅地を広げていきました。地震災害の一つである液状化は、最近起きようになったわけではなく、過去にも地震が発生すれば起こっていた現象です。しかしながら、これまで人が住んでいなかった土地に、水道やガス管などのライフラインを敷設し、都市化・住宅地化を急速に進めていったことが、近年の液状化被害の拡大につながったと考えられます。近年の大きな地震においても、2011年の東日本大震災、2016年の熊本地震、2018年の北海道胆振東部地震で、大きな液状化被害が発生しており、特に住宅地の被害が顕著になっています。その一方で、都市部の住宅地は舗装道路や住宅が立ち並び、ボーリング調査などの一般的な液状化調査を行うことが困難であることが多く、なかなか液状化調査ができません。物理探査技術は、掘削なしに地下の地盤構造や状態の調査ができる技術であり、今後、最新の探査技術を用いることで液状化地盤の評価を地表から行うことができる可能性があります。

2. 電気探査を用いた液状化地盤評価

電気探査は昔からある物理探査法であり、地表面から電流を流して、地表の電位を計測することで、地盤の比抵抗を計測す

る技術です。近年の電気探査では、地下の比抵抗の2次元比抵抗断面や3次元構造モデルを求めることが可能です。液状化は、一般的に粘土や粒径の小さいシルトでは起こりにくく、粒径のそろった砂質土で起こりやすいとされています。電気探査による比抵抗探査は、このような粘土・シルトや砂層の区別に優れており、特に液状化により地表への影響を受けやすい浅い深度の地盤構造を求めることが可能です。

一般的に行われている液状化評価では、地盤のN値と言われる地盤の固さと、細粒分含有率を用いる方法が一般的です。砂の粒径を調べるためには、地中の土のサンプルをとる必要がありますが、そのためにはボーリングによる調査などが必要です。実は、液状化の評価には、それとは別の簡易な液状化評価法があります。これは、液状化が起こる砂地盤の液状化層の層厚と非液状化層の層厚を使った方法で、小規模構造物設計指針(日本建築学会、2008)に記載されています。ただし、土木的な手法で液状化層や非液状化層の層厚を求めるためには、どちらにせよ、ボーリングや貫入試験などの手法が用いられるため、直接N値や砂の細粒分含有率を用いた主流的な方法が用いられることが多く、これまで、あまり用いられてきませんでした。

3. 茨城県潮来市日の出地区における液状化地盤評価

産業技術総合研究所では、東日本大震災の後に、茨城県潮来市日の出地区において、コーン貫入試験による液状化評価143点と、上記の液状化・非液状化層の層厚を電気探査によって求め液状化評価を行う簡易手法についての比較検討を行いました(Jinguuji, M. and Toprak, S., 2016)。

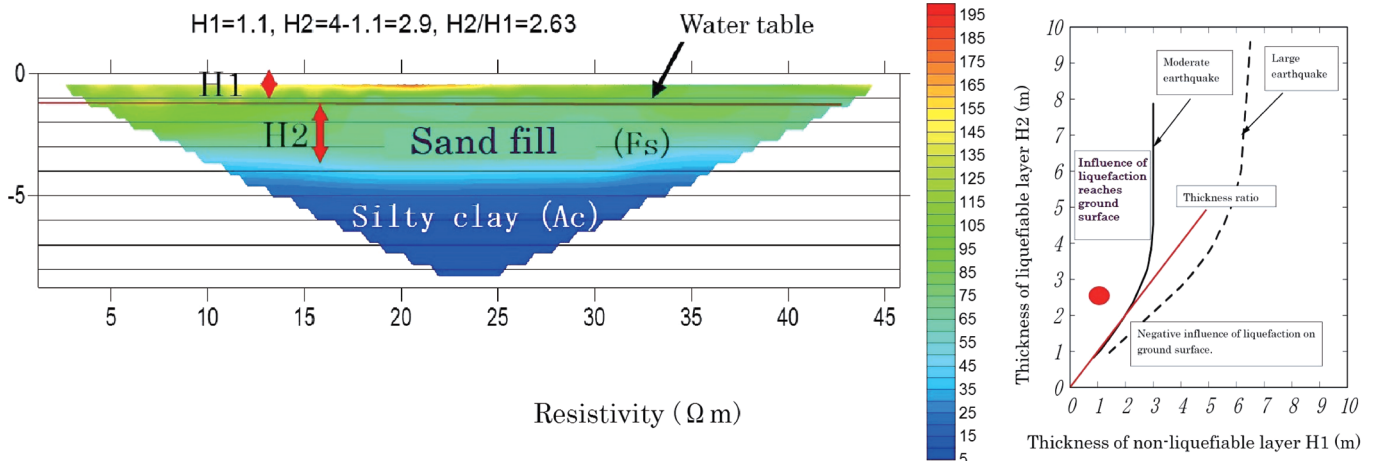


図1 電気探査を用いて液状化調査を行った例(Jinguuji, M. and Toprak, S., 2016からの引用)。

コーン貫入試験は、油圧ジャッキによって先端に貫入抵抗・周面摩擦、間隙水圧のセンサーが配置された貫入プローブを地中に圧入していき、地盤の深度方向の各種測定値を計測することで、ボーリングと同様にN値(換算)や細粒分含有率の深度分布を求めることができます。本調査では、このコーン貫入試験と電気探査を用いた方法の比較検討を行いました(写真1、写真2)。コーン貫入試験では、液状化層の深度や層厚、地下水位を簡易に求めることができます。潮来での調査では、143点のコーン貫入試験の他に、6点の電気探査を用いた液状化調査を行いました。図1は、電気探査を用いた液状化調査を行った例です。図1の右図中の赤の点は液状化層と非液状化層の層圧比H2/H1を示しており、この数が、1を大幅に上回っていることから、この地点では、液状化による地表への影響が大きいと判断されます。潮来での調査では、電気探査による液状化評価の結果とコーン貫入試験の結果は良く一致し(図2)、実際の被害との比較でも整合性が見られました(図3)。電気探査は、近年、舗装された道路の上からでも、電極を打設せずに調査ができる技術が開発されてきており、今後、都市部の住宅地においても、歩道や車道を用いて、容易に調査ができるようになることが期待されます。



写真1 コーン貫入試験による液状化調査



写真2 電気探査による液状化調査

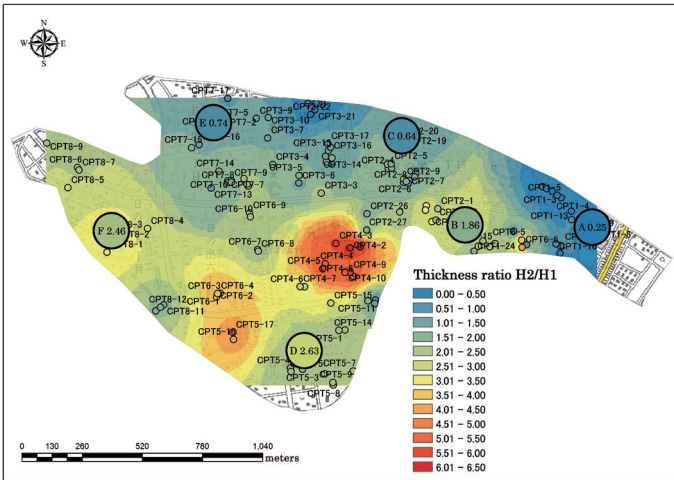


図2 コーン貫入試験と電気探査によるH2/H1 分布図

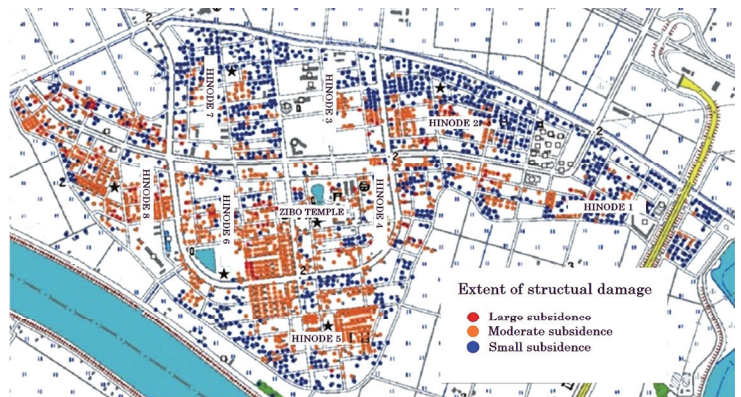


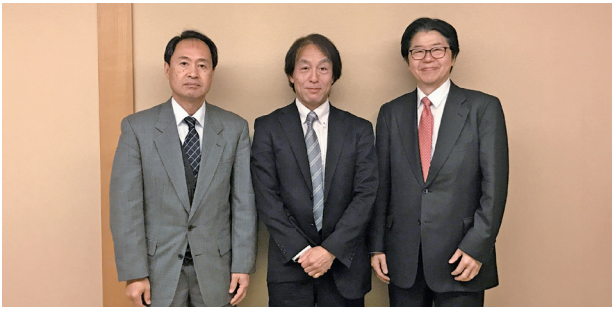
図3 日の出地区における建物被害図

<参考文献>

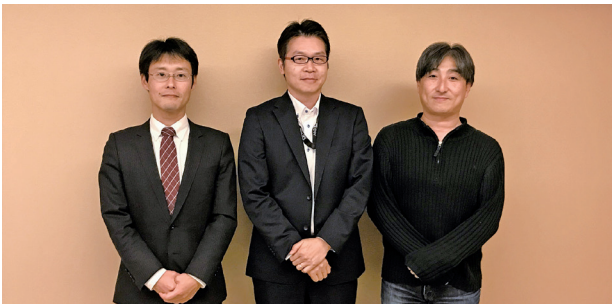
日本建築学会, 2008, 小規模建築物基礎設計指針, 88-92.

物理探査ニュース 創刊10周年を迎えて

物理探査ニュースは、今回の41号でちょうど10周年を迎えることになりました。これまで創刊に貢献して下さいました歴代委員長、印刷業者、そして就任10年となる委員からの熱き想いをとりまとめました。



歴代委員長(海江田氏、鈴木氏、高橋氏)



就任10年委員(井上氏、吉川氏、笠谷氏)

ニュースのさらなる発展を

海江田 秀志(初代委員長)

物理探査ニュースは学会の公益事業の一つとして、以下を主な目的として発刊作業を開始しました。①物理探査の概要と学会の活動を会員および一般の人々に判りやすく伝える。②物理探査業務の発注者や学生などに理解を得て業務や会員の拡大を図る。③会誌が電子化され会員への配布がなくなった時に、会員とのコミュニケーション媒体となる。

学会として初めての試みだったので、委員の皆さんや事務局と印刷の紙質、ページ数、発刊の頻度、掲載内容などの検討から始めました。委員には女性をはじめ年齢も業種もバラエティに富んだ方に参加頂き、各委員は少なくとも年に1回は記事を提案し、自ら記者になって執筆あるいは原稿を集めるということで進めました。カラー印刷なので現場の写真や図のほか人の紹介も重視し、著者や担当者の写真も多く載せるようにしました。創刊号は学会創立60周年記念シンポジウムの特集で、多くの物理探査関係者が登場されています。また、アンケート調査で会員からの意見や要望も伺い記事の参考にしました。

委員会は午後3時から行い、その後の懇親会でも真面目な話からくだけた話まで議論は尽きませんでした。そば湯割りの焼酎を飲みながらの議論が新たな記事の提案に繋がったケースも多かったように思います。ご協力頂いた委員の皆さんには楽しく委員会が運営でき感謝しています。

物理探査ニュースをおもしろく

高橋 明久(二代目委員長)

物理探査ニュース10周年おめでとうございます。H24.6からH30.6までニュース委員長を務めさせていただきました。海江田前委員長から引き継いだのは紙面もさることながら、何と言っても委員会後の懇親会の盛り上がりです。とにかく楽しい委員会を目指しました。また、せっかく参加したのだから、必ず1回は発言ということにして、記事のアイデア等を出し合いました。定番となっている「SFの中の探査」などは、そんな話し合いの中から生まれた企画ですが、これにも人知れぬ(当時の委員だけは知っている)生みの苦しみがありました。物探屋ゴルゴ13などは最初から話題になったのですが、これを記事にすると、例えば絵が使えない。やがて自分のオリジナルでイラスト化すればOKというのがわかり、ドラえもんからサンダーバード、宇宙戦艦ヤマトに至るまで著者自身のイラストによって構成されました。いろんな方に物理探査ニュースは面白いとほめてもらうと調子に乗ってどんどん記事で遊びました。これも一緒に楽しんで下さった委員の皆さんのおかげです。ありがとうございました。

物理探査ニュース “Hop Step Jump!”

鈴木 浩一(三代目委員長)

“Hop Step Jump”と言えば何を連想しますか? 年配者は陸上競技の「三段跳」、若い世代は日本女性ボーカルグループLittle Glee Monsterのヒット曲でしょうか。ここでは歴代委員長の連携プレー「三段跳」で使わせてもらいます。Hop Stepの二段を順調に飛んで繋いでいただきましたので、三代目の私は精魂こめて最後のJumpをしたいと思います。

高橋委員長時代の6年間、私も委員として活動してきましたが、私が主著の記事が10件ほどありました。毎回記事が思うように集まるわけではないので、緊急時は委員自ら記事を書く風潮が育っているように感じています。それは委員会後の懇親会が鍵を握っていると思います。委員会には遅れても懇親会には必ず出席していました。そして、リラックスできる空気の中で意見交換をした方が、交流が深まるだけでなく、脳がデフォルトモードネットワーク状態になりますので、記事の良いアイデアがひらめくのでしょうか(正月のNHKで再放送した”人体—神秘の巨大ネットワーク5 脳 ひらめきと記憶の正体—”で解説していました)。前委員長からのこの良き流れをぜひとも引き継いで、委員会活動を盛り上げていきたいと思っています。



その他のニュース委員(左上より羽佐田氏、立花氏、渡邊氏、地元氏、川島氏、小林氏、長氏、櫻井氏、江元氏、林氏)

気が付けば10年

吉川 猛 副委員長(基礎地盤コンサルタント)

早いもので、物理探査ニュースは創刊から10年が経ちました。当初は、記事集めに四苦八苦し、かなりの綱渡りをしてきた記憶があります。いつしかシリーズ物が複数定着し、最近では、自主的に記事を寄稿していただけるようになり、編集作業がずいぶん楽になりました(笑)。ニュースの内容については、当初は厳しい意見がありましたが、最近は「あれが面白い」、「これが楽しみ」と、好意的な意見を伺う機会が多くなりました。創刊当初から編集に携わった者として、この状況を素直に喜びたいと思います。物理探査ニュースは、読者の皆様にとって「わかりやすく」「おもしろく」をモットーに続けてきました。これは今後も変わることはないと思います。読者の皆様におかれましては、今後もご意見・ご支援をいただければと思います。そして、たまに記事を投稿していただくと幸いです。

物探やわらか記事

笠谷 貴史 委員(JAMSTEC)

「10周年にあたって一言」との依頼があつてハッとしました。もう10年経ったのかと。海江田委員長のもと、始まった当初は出すことで精一杯でしたが、号を重ねるごとにペースがつかめ、内容も充実してきたように思います。当初から「やわらかい記事」をとの考えはありましたが、これがなかなか難しい。高橋委員長になって始まった「SFの中の探査」は、その一つの解かと思えます。私は、ニュースNo. 22に書いた「真夏の方程式」ネタを皮切りに、「ゴルゴ13」「ドラえもん」と書き続け、改めて数えると「SFのなかの探査」全16記事中8記事を執筆していました。執筆には意外と下調べが必要だったり、絵を自作したりと結構時間はかかりますが、論文とは違う楽しみをもって書くことができます。私は、会誌の編集委員でもありますが、会誌へは投稿者から原稿が「投稿」されて来るのに対し、ニュースは自分たちで記事を作る、執筆依頼をするなどして、紙面に落とし込む作業が求められます。大変ではありますが、楽しさも感じます。物理探査ニュースは、物探学会唯一の紙媒体としての重要な役割を担っています。より充実させなければならぬと思います。興味のある方、一緒に楽しい紙面を作りませんか？

意見交換がメイン

井上 敬資 委員(農研機構)

はじめは、竹内さんのサポートでということですが、委員会に参加させて頂いていたかと思うのですが、気が付いたら10年が経っていました。学生のころに所属していた学会ではなかったため、記事を集めたり原稿を依頼したり出来る心配だったのですが、17時以降からの意見交換会をメインの担当とさせて頂き、徐々に多くの方と知り合うことができるようになりました。ニュース記事には多くのシリーズがあり、現在、シリーズ別に読めるように整理しておりますが、10年の足跡は物凄いものになっていました。今まで記事を投稿していただいた方や、入れ替わりで活動していただいた委員の皆さんのおかげだと思います。今後、多くの方に記事を投稿していただくだけでなく、委員としてもご参加いただけたらと思います。

レイアウト編集担当 (ホワイト企画 掛塚)

物理探査ニュース創刊10周年、おめでとうございます。このような場に寄稿させていただき、大変光栄に思います。物理探査の世界に携わる方々の地道な研究の世界にふれる機会をいただき、ありがとうございます。無知な私にとって、とても好奇心をくすぐられるものでした。専門的なことはわかるはずもなく、ただ、色々な画像を見させていただくだけでも、大変な分野だと、回を追うごとに新鮮でした。中でも世界各地のいろいろなところで、いろいろな苦勞をされているコーナーは素人の私にとってとても興味深いものでした。専門的な用語、数式の表記など、校正にお手数をおかけし、申し訳なく思っております。これからもご指導・ご鞭撻をよろしくお願い致します。最後に、物理探査ニュースが発展できますよう、微力ながら参加させていただければ幸いです。

印刷製本担当 (小宮山印刷工業 木村)

この度は、物理探査ニュース創刊10周年誠にありがとうございます。創刊より印刷を担当させていただき、学会担当委員の皆様には、感謝申しあげます。小宮山印刷工業にて色々な学会誌等発行して来ておりますが、近年予算の関係で、冊子印刷作成をやめる学会が、徐々に増えてきているのが現状です。その中で、幅広い方々に読んでいただき、継続して発行を続けるのは容易ではない中、委員の方々の努力は大変なものと感じます。今後とも、物理探査ニュースが継続して発行していけるよう、小宮山印刷工業一同努力していきますので、今後とも宜しくお願い申しあげます。

「奇跡の生還タイ洞窟・救出チームの指揮官として—救出劇の全貌—」参加報告

応用地質株式会社 櫻井 健

今年の夏、ちょうどFIFAワールドカップロシア大会で世界が盛り上がっていたころ、タイのチェンライの洞窟に、サッカーチームの少年・コーチの計13名が閉じ込められたことをみなさん覚えているでしょうか? 11/26大阪国際交流センターで、この救出劇のシンポジウムが開催されましたので参加してきました。

実は今年の8月、ちょうどこの救出劇があった直後に京都大学大津研の実験でタイを訪問しました。大津先生が実際の指揮を執ったカセサート大学スティサック准教授と懇意であることから話が盛り上がり、また近畿建設協会などの協力もあり、本当に短い期間で先生を日本に招いてシンポジウムを開催することになりました(写真1)。

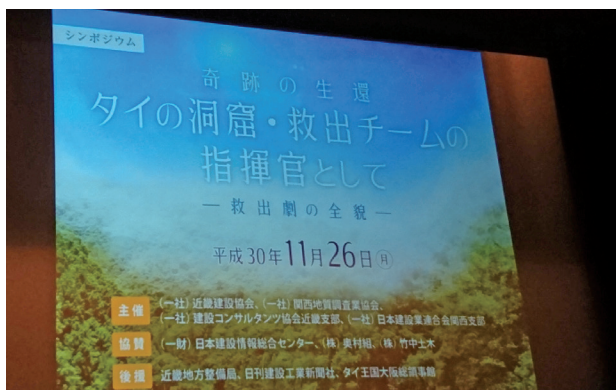


写真1 講演会の様子

講演の冒頭、救出劇のダイジェスト動画(<https://www.youtube.com/watch?v=w3ln-N9dFjo>)が流れ、その後スティサック先生の講演が始まりました。救出劇というと、みなさんダイバーによる救出を思い浮かべますが、実はダイバーによる救出が難航・長期化することも考慮し、秘密裏に様々なミッションが動いていました。

- ①潜水士による救出(Navy Seal)
- ②ポンプによる洞窟内の水位低下
- ③地上及びコントロールボーリングによる救出・物資補給(チリ鉱山を覚えていますか?)や洞窟内水位低下、空気孔の作成など
- ④地質学・物理探査などの調査

その調査のイメージを写真2に示します。洞窟に対して様々な角度からアプローチしているのがわかるでしょうか?

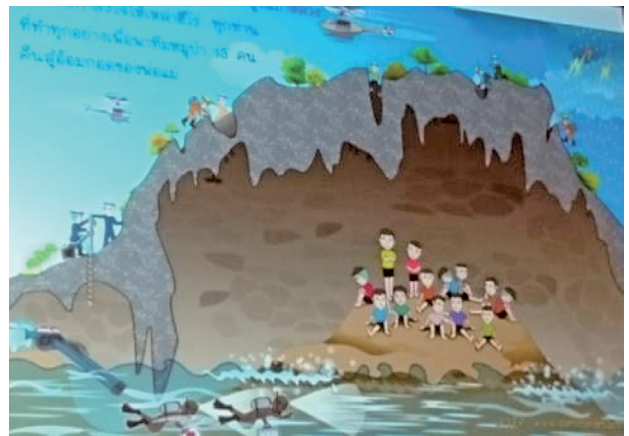


写真2 調査のイメージ

物理探査も行われていて、電気・電磁探査と微動アレイが紹介されました。石灰岩の分布と地下水の状況らしき断面が出てきました(写真3)。ほとんど説明はありませんでしたが、暖色系がおそらく石灰岩、寒色系が地下水(洞窟)を示していると思われます。

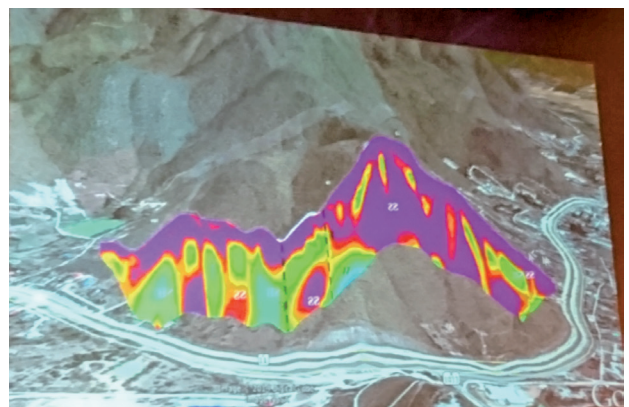


写真3 比抵抗断面

今回、非常に多くの国からボランティアが参加していましたが、その指揮・コミュニケーションをとるのに、LINEやFacebookなどのソーシャルメディアが非常に役に立ったことも紹介していました。

最後に、本当に数多くのボランティアの協力があってからこそ、この救出劇が成功したことを先生は強調して、講演は終了となりました。

眼底検査と路面下空洞探査

川崎地質(株) 鈴木 敬一

はじめに

物理探査は、医療分野では超音波診断やレントゲン、CTなどに例えられる。超音波診断は、反射法地震探査、レントゲンはミュウオグラフィ、CTはジオトモグラフィであろうか。これらの検査・診断技術に対して造影剤検査、すなわちトレーサ試験も適用されることがある。レントゲンの場合に使われる造影剤としては、硫酸バリウムがすぐに思い起こされる。医療の検査・診断技術は主に臓器に対するものがすぐに思い浮かぶが、それ以外にどのようなものがあるだろうか。

私事で恐縮であるが、最近目が良く見えないので眼科に行ってみた。筆者本人は、老眼が進行した、くらのつもりでいたが、検査してみて左目に異常が見つかった。まず視力検査の結果、左の視力が極端に低下していた。それだけでなく、左目だけで見ると中央付近がほとんど見えない。そこで、眼底検査を実施した。眼底検査は、OCT(光干渉断層計)検査と呼ばれる赤外線を利用した反射法探査である。

眼底検査と空洞探査

図1に眼球の断面の模式図を示す。角膜と水晶体を通して網膜に入射した光は、網膜に焦点が合って、像を結ぶ。網膜の中心付近には凹みがあり、これを黄斑という。眼底検査はこの黄斑の周辺を調べる検査である。網膜の裏側には脈絡膜という別の膜組織が眼球のほぼ全体を取り囲んでいる。

眼底検査の結果を写真1および写真2に示す。前者は正常な右目、後者は異常な左目の光干渉断層計による断層映像である。左目の映像では、上部中央付近に反射波のほとんど見られない半月状の領域がある。それに対し、正常な右目ではそのような領域は認められない。図2は正常な黄斑付近、図3は写真2に示したような異常な状態の黄斑付近の模式図である。網膜は網膜本

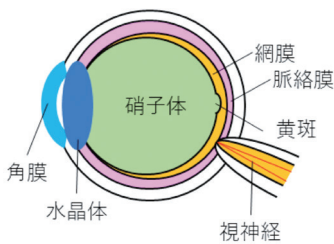


図1 眼球断面の模式図

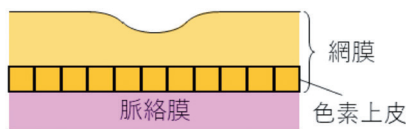


図2 正常な黄斑断面

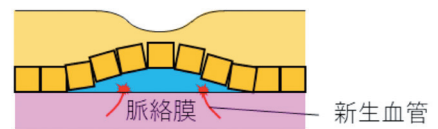


図3 異常な黄斑断面

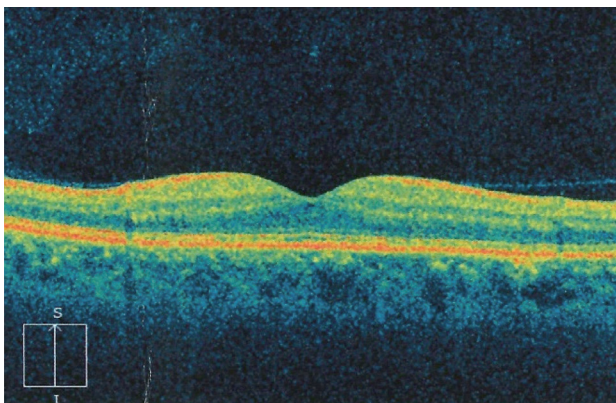


写真1 正常な右目の断層映像

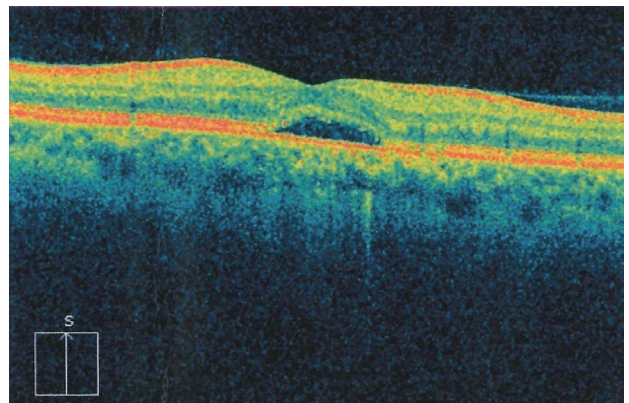


写真2 空洞のある左目の断層映像

体の下に色素上皮という組織があり、ここで色を感じるらしい。この直下にある脈絡膜という膜との間に水が溜まって、空洞ができている状態が図3であり、断層映像では写真2に相応する。この組織がきれいに並んでいないので、視力が低く、よく見えないのである。

写真1をよく見てみると、色素上皮と脈絡膜の反射面がきれいに2層に分かれている。一方、写真2では脈絡膜の上面はきれいに見えているものの、色素上皮に相当するところは細胞がずれているので、きれいな反射面にはなっていないことがわかる。

この空洞部分には、新生血管という毛細血管が入り込み、そこから血液ないし滲出液が漏れだして、空洞内部を満たしているようである。路面下空洞探査では、地中レーダ、すなわち電波による反射法により、地下の反射面を得て、空洞の有無を判定するが、考え方は全く同じである。

この検査を、2週間ほどの期間を置いて2度行い、2回とも空洞ありという判定であったため、精密検査をすることになった。このあたりも路面下空洞探査に似ている。

この空洞は成長するかしないかによって病名が異なるようである。空洞が成長する場合には「滲出型加齢黄斑変性」、しない場合は「中心性漿液性脈絡網膜症」というらしい。どうにも覚えにくい病名である。前者の場合は悪性で治療を必要とするが、後者は比較的良性で自然に治る場合も多いとのことである。従って、経過観察すなわちモニタリングが重要である。

詳細調査では写真1、写真2に示す二次元映像ではなく、三次元映像を撮影した。これにより空洞部分の広がりを見ることが出来る。路面下空洞探査では、車線規制を行って、メッシュ状の測線を配置して空洞の広がりを見るのと同じである。実際に、三次元光干渉断層計では、計測中に視野に赤い線が縦横にスキャンしているのが見える。

赤外線の映像は直ちに可視画像化され、水平なスライスも見ることが出来るだけでなく、様々なフィルタリング(主に波長)により、空洞だけでなく脈絡膜内の血管も可視画像化することが出来る。路面下空洞探査でも詳細調査では、ある深度でスライスし、空洞の範囲を推定することが行われる。考え方は全く同じである。

次に、新生血管がどこにあり、どこから漏れているかを調べる必要があった。どこから漏れているかによって次の治療が異なるためである。路面下空洞探査でいえば「対策工の検討」に相当することになる。

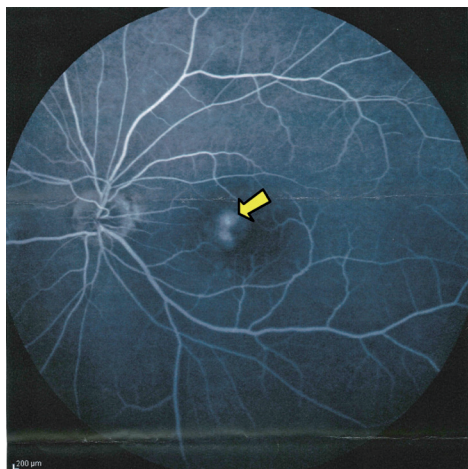


写真3 蛍光眼底造影検査結果

新生血管の位置や滲出液の漏れた場所を検査するには、赤外線では分解能が足りない。しかし、波長を短くすれば網膜直下に光が届かない。そこで造影を使ったトレーサ試験

を行う。これは「蛍光眼底造影検査」という。腕から造影材を点滴で血液中に入れ、点滴を行いながら1分ごとにデータを取得する。一度の三次元スキャンが15秒、45秒休憩して、再度計測を繰り返す。

その結果が写真3である。中央の矢印で示したところに造影剤が滲み出しているのがはっきりと見て取れる。この滲み出しの位置が重要であり、場所によってはレーザーで焼いて滲出を止めるか、あるいは薬物によって止めるかという対策工が決まる。薬物といっても目薬などという生易しいものではなく、眼球に注射して直接薬物を黄斑に注入するので少し怖い(神経が無く、脇から刺すので痛くないし、見えないとのこと)。筆者の場合、レーザーでは治療できない部位であるため、薬物を勧められている。しかし、現時点では進行性が認められないので、月一回のモニタリングを続けているところである。

結論

黄斑付近の検査・診断技術は、路面下空洞探査にとってもよく似ている。

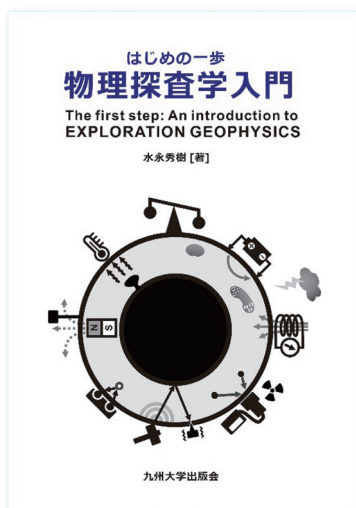
書

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

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。

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。

物理探査ニュース 2019 ハイライト 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。