

物理探査 ニュース

2016 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

物探よもやま話 重力波とバイブレータ	1
現場レポート 素人の僕にもできた! 知床硫黄山電気気探査	2
研究の最前線 反射波と屈折波の統合解析	5
ホント? SFの中の探査 サンダーバードでの物理探査	7
わかりやすい物理探査 反射法その1 基礎事項	9
現場レポート 集中豪雨を狙った電気探査 1	12
編集後記	15

Geophysical Exploration News 2016 Highlights



A



B



C



D

「物理探査ニュース2016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2016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：2016年の出来事

- (A) 熊本地震によって地表に現れた右横ずれ変異(地元孝輔氏提供)
- (B) 熊本地震による阿蘇大橋付近の斜面崩壊(基礎地盤コンサルタンツ提供)
- (C) 博多駅前陥没事故の様子(古賀智也氏提供)
- (D) 2015物理探査学会国際シンポジウム:絶景の富士山テクニカルツアー(いつかは噴火が?)

「重力波とバイブレータ」

石油資源開発株式会社 高橋 明久
(物理探査ニュース 30号掲載)

「[重力波]アインシュタインの予言を実証」、2016年2月12日の朝刊の見出しに胸が躍った方も多かったのではないのでしょうか。重力波はアインシュタインが一般相対性理論の中でその存在を予言した現象で、ブラックホールや中性子星といった高密度の天体が移動することによって生じる時空のゆがみが波動として宇宙空間に広がっていくというものです。一般相対性理論の正しさを証明するための最後の鍵とも言われていました。

インターネットでたどるとこの世紀の大発見の論文(Abbott et al.2016)が無料で公開されており、ぱらぱら見ていてびっくりしました。図1は約3,000km離れた2つの観測点で同時観測された重力波の観測波形です。これを見てあっと思った方、いますよね。そうです、反射法におけるバイブレータの振源波形とそっくりなんです。それも周波数帯は35Hzから250Hzということでバイブレータが起振できる周波数とほとんど一致しています。ちなみにこの2点での時間差は0.007秒で逆相関とのこと(図1下図)。

反射法におけるバイブレータの原理を図2に示します。この図は物理探査学会編「物理探査ハンドブック増補改訂版」で初お目見えする図です。

図2を見るとバイブレータの振源波形が図1の重力波にとってもよく似ていることが判ると思います。もっとも図2のスweep波形は簡略化した図であり、実際のバイブレータ

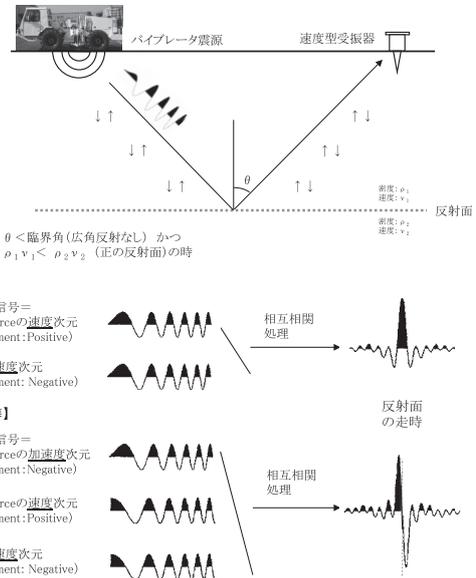


図2 バイブレータ振源の原理(物理探査ハンドブック増補改訂版 2016より)

ではスイープ時間がずっと長い(数10秒)ので振動回数はずっと多いです。図2は重力波の発見よりもずっと前に作られた図ですから偶然の一致とはいえ、いいセンスでしたね。ちなみに観測された重力波の継続時間は図1からみると0.1秒程度です。また、図2には相互相関の結果の説明もありますが、2観測点の重力波の相互相関をとれば、0.007秒の位置に負のピークが立つゼロ位相の波形ということになります。

今回観測された重力波は2つのブラックホールが互いに公転しながら一つに合体するときに生じる質量欠損分(太陽の質量の3倍)のエネルギーが重力波となって宇宙空間に広がったというシミュレーション結果が出ているそうです(図3)。そんな壮大な現象が我々の身近な周波数帯で捉えられるとは、思わず興奮してしまいました。

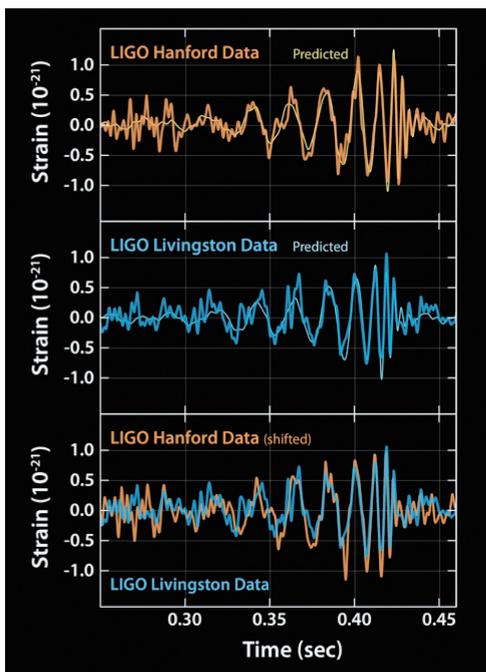


図1 ハンフォードとリビングストンで同時観測された重力波の波形 (Courtesy Caltech/MIT/LIGO Lab)



図3 ブラックホール衝突のシミュレーション (Courtesy The SXS Project)



素人の僕でもできた! ホームセンターで売っている道具で電気探査 — 知床硫黄山溶融硫黄噴火の謎に、さらに迫る! —

山本睦徳¹⁾(解説・注釈: 京都大学 後藤忠徳)
(物理探査ニュース 29号掲載)

はじめに(後藤忠徳)

物理探査は一般市民には馴染みが薄いと思われがちですが、前回ご紹介しましたように²⁾、ドキュメンタリー作家の山本氏は、自作のペットボトル電極を用いて知床硫黄山での自然電位探査に成功しました。今回はその続編、「ハンドメイド電気探査」に関するレポートです。山本氏は当学会員ではありませんが、物理探査のすそ野を広げるとい意味でも興味深い内容でしたので、紹介させていただきます。

ホームセンターですべてそろろう! 電気探査の道具(山本睦徳)

北海道にドロドロに融けた硫黄を大量に噴出する「知床硫黄山」というおもしろい火山がある。1936年に溶融硫黄を噴出した知床硫黄山「1号火口」からは、ときどき温泉が湧き出すことがある。僕は2013年の夏、釘が半日で消えてしまうほどの強酸性の温泉が湧き出して20mほど流れて地面にしみ込んでいるのを見た。湧き出し口から2mくらいは、水流の中の石に硫黄の結晶が成長していて、温泉流が薄黄色に染まっていた。1号火口周辺の地下には、きっと温泉脈があるに違いない。

地下構造を調べたい。そんなとき駅裏の書店で「地底の科学(ベレ出版)」という本を見つけた。なんと自然電位計測の際にお世話になった後藤忠徳先生の著書だった。そこでは電気探査(ウェンナー法)の仕組みが簡単に紹介されていた。ただ、きっと高価な機械を使って測るのだろう。ダメもとで後藤先生に連絡してみたところ、安価な道具でも簡単に電気探査はできるという。さっそく先生の研究室を訪れた。

今回用いる道具は、テスター2台、真鍮の電極4本、車のバッテリー、カー用品のインバーター、ケーブル4本、巻尺といったところだ。京都大学の近くの公園で、これらを組み合わせた手作り装置と、100万円以上もする市販装置の両方を用いた電気探査を後藤先生に実践していただいた。真鍮製電極4本を等間隔に打ちこみ、外側2本に電流を流し、内側の2本で電圧を測る。電極の間隔を変えながら電流と電圧をどんどん測っていく(図1)。

市販の装置と手作り装置の測定結果は概ね一致していた。測定のおとでIPI2WIN³⁾という解析ソフトに測定値を入力して画面上のボタンを押すと、地層の厚みや深さ、比抵抗(地層の電気の流れにくさの指標)が表示された。

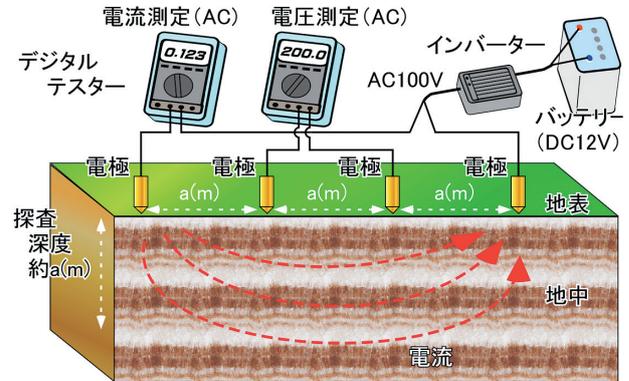


図1 手作り電気探査装置の模式図

これをもとに公園の地下の柱状図を作ることができるというわけだ。

さっそく自分でもやってみた。道具はなんとホームセンターですべてそろろう!今回、テスターは専門の店で良いものを購入したが、これもホームセンターで売っているもので十分だと思う。

山に持って上がるには重すぎ

北海道への出発の日。50ccのスクーターに荷物を積み込んだ。道具一式入れた大きなバッグを足元に置く(図2)。



図2 スクーターに荷物を積み込んでみたところ

しんどそうになるエンジン音と共に北を目指して走る。バイクがかわいそう。合計700kmほど走行して(途中フェリーに乗って)、なんとか知床に到着。

標高200mの知床硫黄山登山口から600mの1号火口まで、道具を一度に運ぶのは無理。背骨が折れるかと思うくらい重い。そこで3回に分けて運んだ。一番やっか

いなのはバッテリーだった。ある程度密封されているとはいえ、倒すと液漏れしてしまう⁴⁾。ショルダーバッグに入れて傾かないよう注意して登山道を進んだ。途中岩登りする場所があり、バッテリーを岩にぶつけないよう、また落とさないよう注意してよじ登った。

熔融硫黄を噴いた1号火口周辺には、直径が数メートルもある大きな岩がごろごろしている。30mの巻尺をまっすぐぴんと張って中央の15m目盛を中心に電気探査用の電極を配置していく。できるだけ岩の少ないところを巻尺が通るように張るのだが、どうしてもいくつかは岩の上を通過してしまう。電極を打ちこむとき動かせる岩は転がしてよけて打ち込んだ。岩が動かない場合は、巻尺から外れて電極を打つ。他の3本の電極もできるだけ一直線に並びように少しずつずらして打ちこんだ(図3)。



図3 現地での計測風景

いよいよ電気探査の本番開始!「よい!テイ!⁵⁾」と、山中ひとりで勇ましく叫びながら、インバーターのスイッチを入れた。電流用テスターと電圧用テスターの数値が上がり、それを用紙に記録する。0.4, 0.6, 1.0, 1.4・・・12mと電極間隔を広げつつ計測していく⁶⁾。間隔が広くなってくると電極を持って移動するのが大変だ。岩を登ったり降りたり、登ったり降りたり。ケーブルが絡み合って大変だ。ひととおり終わったらもうヘトヘト。

またもやヒグマ現れる!

ある日、野外でデータを記入していたとき、ふと後ろを見たらわずか10mほどのところに黒い巨大な熊がいた。いつのまに!ものすごい目で僕をにらんでいた。「にらむなよお・・・」熊の出没には慣れてはいたが、その熊は鬼のように怖い顔をしていたので、ついひるんでしまった。今にも襲ってきそうだ。「伝家の宝刀」熊スプレーは、うかつにもリュックサックの底にしまいこんでいて、すぐには取りだせない。絶体絶命!・・・と思ったら、次の瞬間、熊は一目散に逃げだした。いっしょに猫サイズの小熊が2匹いて、何度も振り返りこちらを見ていた。小熊がいたので僕を威嚇していたのだろう(図4)。

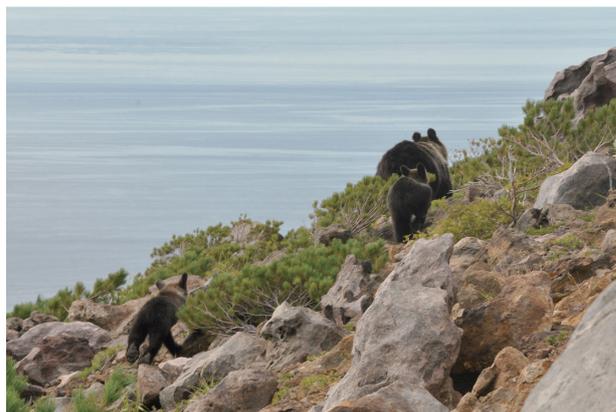


図4 現場に現れたヒグマの親子

テスターのヒューズが切れた!

噴気帯や温泉湧きだし口周辺では電極と大地の接触抵抗が低く、電流が流れやすい。僕のテスターの計測限界は400mAで、計測不能(レンジオーバー)になることがあった。たまたま温泉の中に朽ちた木片があったので、抵抗素子の代わりとして、インバーターの出力部と地面に挿している電極の間に木片を挟んでみたところ、送信される電流値が下がって計測できるようになった。うまくやった! へへへ!

しかし噴気帯を計測していたときはすっかり油断していて、木片を挟んでいなかった。するとなぜかテスターの数値がゼロのまま、電流送信中も表示値が上がらなくなった。こともあろうに、電流用テスターが故障したのだ。インバーターからの電流が流れ過ぎて、テスターのヒューズが切れてしまった。

調査地は知床の奥地である。テスターのメーカーにヒューズを注文して切手で代金を郵送し、キャンプ場あてに送ってもらうようお願いした。しかしいくら待っても届かない。再度電話したら、送るのを忘れていたという。もう!

データから見えてきた地下帯水層

測定データをエクセル上で整理し、これをIPI2WINに入力して地下構造解析(インバージョン)を行う。画面のインバージョンボタンを押すと、グラフが目まぐるしく動いて、地下構造の推定値が一瞬で出てくる。それをもとに柱状図を描く。比抵抗が比較的低い地層は青色、高い地層は赤色に塗り、火口周辺の地質断面図(推定)と柱状図とを重ねてみた。なんとなく地下水脈があるように見えるのだが、なんだかいびつな形でよくわからない。そこで後藤先生の研究室にかけこんだ。

先生にデータを見ていただいたところ、測定データの中には受信電圧が低すぎるものがあった。地下に十分な電流が流れていなかったのだ。例の木片を挟んで測ったものに多かった。それらの低品質なデータを省いて

IPI2WINでインバージョンをかけると、よりわかりやすいものになった。温泉の水脈が見えてきた!(図5)。

1号火口の近くには、温泉が湧き出すことで知られる知床の名所カムイワッカ川がある。温泉の湧き出し口の位置を線でつないで延長して地下温泉水の水位を推定すると、ちょうど1号火口の直下にあたりそうだ。今回の電気探査の結果はそれとほぼピッタリ合うものだった。

1936年の噴火では10万立方メートルもの溶融硫黄が1号火口から噴出したという⁷⁾。それ以上の大きさの硫黄を生成する空間が地下のどこかにあるはずで、それがこの温泉の水脈=帯水層ではないか?と僕は考えている。帯水層は1号火口の上部斜面側にも続いているはずで、そこで硫黄が作られ蓄積していくのではないか? 今後、電気探査や自然電位探査の結果を総合して、その範囲を突き止めていく予定だ。

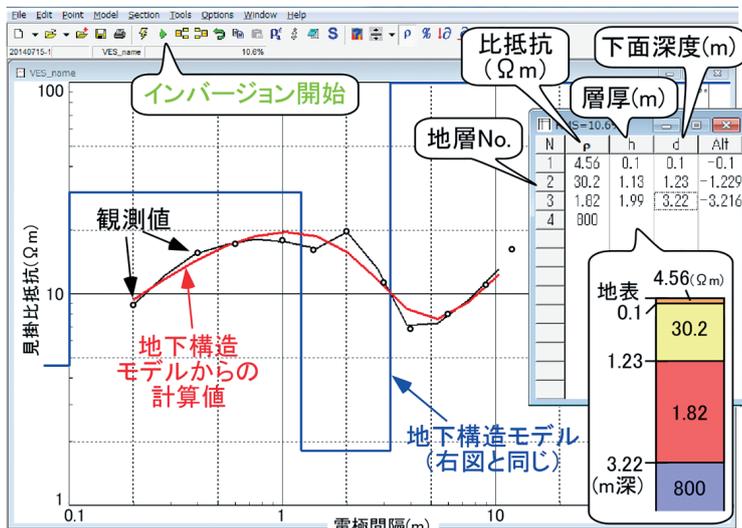


図5 電気探査の結果の例(IPI2WINの画面に加筆)

素人の僕でもできる電気探査のおかげで、大量の溶融硫黄噴火のしくみ解明、その糸口に立てた。ちょっとした工夫と努力で、今まで謎だったことに挑めることは素晴らしい。

注釈(後藤忠徳)

- 1) ドキュメンタリー作家、<http://www.earthscience.jp/profile.html> (地球おどろき大自然)
- 2) 山本睦徳(2015): 素人の僕でもできた!ペットボトル電極で自然電位探査—知床硫黄山溶融硫黄噴火の謎に迫る!—, 物理探査ニュース, 27, 5-6.
- 3) モスクワ大学が配布している電気探査1次元(水平成層構造)順解析・逆解析(インバージョン)ソフト。インバージョン時には層数、層厚、比抵抗を自動決定可能。(http://geophys.geol.msu.ru/ipi2win.htm)
- 4) オートバイ用の小型シールドバッテリーなら液漏れの心配は減りますが、今回は容量が大きく安価な自動車用バッテリーを選ばれたようです。
- 5) 元々は「撃て!」「放て!」の略。軍隊の掛け声でしたが、海洋観測や陸上測量などでの合図や掛け声として現在も使われています。
- 6) 電気探査の解説としては「地下を診る技術—驚異の物理探査—(物理探査学会編著)」が分かりやすいです。(電子書籍、Amazon.co.jpにて発売中)
- 7) Watanabe, T. (1940): Eruptions of molten sulphur from the Siretoko-iosan Volcano, Hokkaido, Japan. Japanese Journal of Geology and Geography, 7, 3-4.

書籍案内

『河川堤防の統合物理探査』 —安全性評価への適用の手引き—



編著:独立行政法人 土木研究所
 公益社団法人 物理探査学会
 体裁:B5版, 120頁, 総カラー印刷
 発売:2013年3月30日
 価格:2,800円(税別)
 出版:愛智出版

◎内容と特色

河川堤防の特徴と被災の実態を紹介し、地盤性状の異なる河川事例も紹介しながら、河川堤防の安全性評価に適した統合物理探査の目的・測定・データ処理を数多くのカラーの図版・写真も使って解説した。新しく研究・開発されてきた統合物理探査の手法を適用することによって、河川堤防の要改良区間を効率的かつ経済的に抽出することが可能となった。山と河川が極めて多い我が国においては、河川堤防決壊による被災を防ぐために全国の河川堤防を常に点検・整備することは国家的課題である。本書に記された知識と技術が関係方面において活用され、河川堤防の質的整備が一層推進されるよう期待される。

◎販売対象者

国・自治体において河川堤防の建設・保守・管理に携わる土木部門の専門家、河川堤防の保守・管理に携わる土木事業者・コンサルタントの技術者、大学工学部の土木工学・社会基盤工学・環境工学の研究者



反射法と屈折法の統合解析:高密度走時トモグラフィの不確実性評価

海洋研究開発機構 白石 和也
(物理探査ニュース 30号掲載)



反射法と屈折法を統合解析する意義

「統合解析」という言葉は、物理探査や地球科学に関わる技術者や科学者が掲げるキーワードの一つである。その目的とすれば、異なるデータを組み合わせることによって、新たな情報を得ることや情報の精度を高めるということであろう。このことは、単独の方法がある程度成熟したが故に、引き出せる情報の量や精度の限界を迎えているということなのかもしれない。

本稿では、筆者の(株)地球科学総合研究所での、陸上および浅海域における広域地殻構造探査の経験を踏まえつつ、反射法データと屈折法データの統合解析について述べる。走時トモグラフィをする際、屈折法だけではなく反射法のデータも用いて、高密度な走時データから統計的な手法で速度モデルを推定する。トモグラフィ解析の不確実性を評価する一方、反射法の解析や解釈へフィードバックされることもある。図1がここで述べる反射法と屈折法の統合解析フローを示したものである。

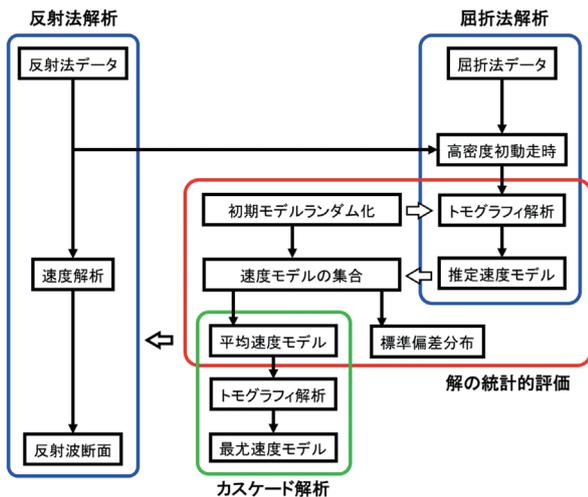


図1 反射法と屈折法の統合解析フロー

どちらも地震波探査で得られる、よく似たデータであるので、統合解析と呼ぶからには、まず、条件の違いを記しておく。反射法では、発振点と受振点の展開がともに高密度である。一方、屈折法では、受振点は同程度に高密度であるが、発振点の間隔が大きい。また、利用する震源のエネルギーが異なり、有効なデータ観測距離が異なる。反射法は探査対象深度と同等から最大2倍程度の水平距離までの観測を想定す

る。一方、屈折法はほぼ全域に伝達するエネルギーを、対象深度の5倍程度以上の全域固定展開による観測を想定する。そのため、反射法は、高品質な距離範囲は相対的に小さいが、データの密度が高い。屈折法では全域にわたり初動走時の読み取りが可能な高品質であるが、データ密度は低い。走時データの有効オフセット距離が長ければ長いほど、一般的にはより深い構造の速度を反映する。

この違いを補完することが、ここでの統合解析の意義の一つである。両者の走時データを利用することで、有効オフセット距離は異なるものの、走時データの密度が飛躍的に上がる。高密度な初動走時データを用いるということは、地中の波線の分布密度も同様に増大しているということである。空間的な制約条件が増すことで、解析精度の向上、空間分解能の向上が期待される。

高密度走時データを用いたトモグラフィ解析

広域地殻構造調査の場合、統合解析のための反射法と屈折法の同時データ取得は、実は容易ではない。例えば、深度10km程度を対象として、測線長50kmの調査をしようとする、限られた調査期間で効率よく取得するためには、事前の緻密な計画と入念な準備、現場での高い統率と機動性が不可欠である。

データ処理と解析の点では、膨大な初動走時の読み取りが必要なので、解析者の負担や計算コストが増大することは、正直に記しておく必要がある。しかし、情報の精度を高めると、情報に統計的で客観的な根拠を付加することの意義が理解されれば、必要な投資だと考えられる。

さて、トモグラフィ解析は、モデル更新ごとに波線分布が変わるため、本質的に非線形逆問題であり、初期モデルへの依存性が高い。しかし、反射法速度解析と比べると、任意性は小さいと考えられる。白石ほか(2010)では、屈折法データと反射法データの統合利用により、高品質で高密度な走時情報を用いることとし、トモグラフィ解析の統計的な評価を行った。モンテカルロ型不確実性解析により、ランダムに生成した初期モデルを用いて実施した数百組のトモグラフィ解析結果から、平均速度モデルと標準偏差分布が得られた(図2)。さらに、統計的評価を行うために必要なモデル数を判定する方法も併せて提案された。そして、観測走時と計算走時の比較だけではなく、トモグラフィ解析結果を評価するための手段として確立させた。その後、地震防災分野を中心に、ひずみ集中帯プロジェクト(<http://www.hizumi.bosai.go.jp>)や日本海地震津波調査プロジェクト(http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/Japan_Sea/)の地殻構造調査において、改良が加えられながら標準的な解析手法として利用されている。

ここで、図1にある「カスケード解析」について簡単に触れたい。統計的解析で、標準偏差が構造変化に対応しているということは、その周辺では、モデルごとに差があるということの意味し、数百という結果を平均すると、速度モデルの方は、境界や形状が「ボケて」しまうのである。そこで、平均速度モデルを入力として、少ない反復回数でよいので再度トモグラフィ

解析を実施する。すると、標準偏差の高い場所ほど速度は更新され、境界の形状が復旧される。無数に存在する局所的最適解を平均化することで得た統計的最適解から、カスケード解析によって、大局解に近い速度モデルを推定できることを期待している(図3)。

走時トモグラフィの統計評価と統合解析

上記の統計的評価から得られる量の意味は、大雑把なことを言えば、平均速度モデルは観測データと解析手法から推定する最尤な推定モデル、標準偏差分布はその推定値の不確実性を空間的に表現した量である。標準偏差が小さいほど解は安定して推定されており、標準偏差が大きいほど初期モデルへの依存度が高く不安定であることを、統計的に裏づけている。

この標準偏差にばらつきが生じる理由は、観測データと解析手法に依存するほか、じつは地下構造にも依存している。白石ほか(2010)において、屈折法と反射法の統合利用による高密度データを用いることで、標準偏差分布が構造変化に良く対応するのが指摘されたというのも重要である。構造変化があるところほど、初期モデルごとの推定誤差を生じるのは至極当然なことと思えるが、高密度なデータであるからこそ構造との対応付けが可能である。このように、標準偏差分布は推定モデルの評価である以上に、新たな構造解釈のための材料にもなる点は強調しておきたい。

さて、統合解析という観点では、反射法の解析へのフィードバックについても触れておかなければならない。測線に沿った連続的な速度情報が得られることは、大局的な地下構造を理解するのみならず、反射法の解析にも役立つのはいうまでもない。また、重合速度に変換して、主観の全くない初期的な重合断面を得られる。そして、データのみから推定されたこの客観的な速度情報は、反射法速度解析の初期モデルやガイドベースとして利用できる。速度値を大きく読み外すのを避けたり、速度解析結果を検証するのに用いることができる。さらに重要なことは、反射法の解析だけでは検出が困難な地質構造について、トモグラフィ解析結果が存在することで、地質解釈の根拠が与えられる場合がある。たとえば、大局的な速度構造は変化するにもかかわらず、なんらかの理由で音響インピーダンスのコントラストが小さい境界や、逆断層による速度逆転層など、統合的な解析によって地質構造の理解ができた例もある。

反射法と屈折法の統合解析の行方

トモグラフィ解析の統計的評価から得られるのは、先述のように、最尤な推定モデルと推定値の不確実性分布であり、真の速度構造からのズレを表現しているのではない。この点は、情報の提供者にも利用者にも注意が必要である。今後、真の地下構造を基準とする、本当の意味で「解の信頼度」と呼べる量を提供できるかどうかは、技術者の課題である。真の地下構造とデータから推定されるモデルの差を最小化することは、従来からの統合解析研究の方向性である。

統合解析を考える際、複数データから一つの解を推定するのではなく、幾つかの方法で同じ物理量を推定した場合、情報が食い違うこともありうる。例えば、反射法速度と屈折法速度の違いは何か、という問いに対して、解析する波の違いや異方性などとして説明が加えられるが、さらに量的情報による説明が望まれる。実はこの点には、統合解析以前の、単独データの解析手法に考慮できる条件や工夫の余地があるように思う。一方、より高度な統合解析手法があれば、全てを合理的に説明できる地下構造モデルが得られるのかもしれない。

反射法と屈折法の統合解析の究極形は、長大展開データのフルウェーブインバージョンにあるように思うが、研究課題はまだまだ多そうである。フルウェーブインバージョンは、走時トモグラフィに比べ、さらに非線形性が強く初期モデル依存性が高いと言われる。上記のカスケード解析と同様に、走時トモグラフィの統計的評価から得られる最尤の推定速度モデルは、初期モデルとして最適な候補である。また、フルウェーブインバージョンでも、計算コストの課題を越えられれば、いずれは統計的解析が実現するかもしれない。

さらに、統合解析の理想形は、あらゆる物理探査データを入力として地下モデルを推定する、いわゆるジョイントインバージョンであろう。合理的で統一的な解を得たいという気持ちは同じつもりであるが、この話題は、別の著者に譲りたい。

参考文献

白石ほか(2010): 屈折初動走時トモグラフィ解析における初期モデルランダム化による解の信頼性評価, 物理探査, 63, 345-356.

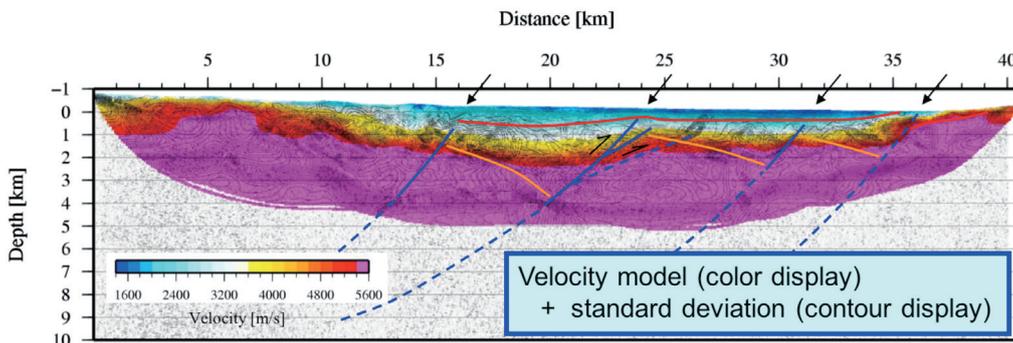


図2 統合解析の例(白石ほか, 2010, Fig.5とFig.7より編集のうえ引用)

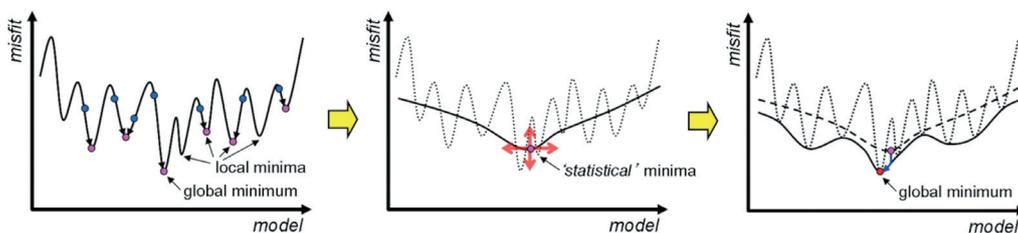


図3 トモグラフィ解析の最適解に関する概念図

テレビ番組「サンダーバード」での物理探査

京都大学大学院工学研究科 後藤 忠徳
(物理探査ニュース 29号掲載)

現在45歳以上のおじさん達が子供だった頃、夢中になった“外国製SFテレビ番組”をご存知でしょうか？ 舞台は21世紀。大事故や大災害の現場に取り残された人達を間一髪で救出する、国際救助隊の活躍を描いたSFドラマ「サンダーバード」です。近年CGを駆使したリメイク版が放送されていますが、ここでは1964年放送(日本初放映は1966年)のオリジナル版に注目しましょう。人形劇なのですが、特筆すべきはリアリティー溢れる映像表現。当時の子供達は迫力の救助シーンや未来の科学テクノロジーにすっかり魅了されました。私もその一人です。

この名作サンダーバードでは、陸・海・空と様々な場面が描かれますが、その中には地下での救助シーンも認められます。そこで今回は、サンダーバード全32話の中から、代表作の1つである第2話「ジェット“モグラ”号の活躍(原題:PIT OF PERIL)」に注目し、そこに描かれた地下探査技術を紹介しましょう。

このお話では、巨大な穴底深くに転落してしまったアメリカ陸軍のロボット型移動基地を助けるために、地底探査機「ジェットモグラ」が登場します。本話は放送開始からまだ2回目。国際救助隊はアメリカ陸軍よりも優れたテクノロジーを駆使して救助活動をしているのだ、という宣伝回でもありました。ちなみに「ジェットモグラ」は日本だけの呼称。劇中では単に「モグラ (Mole)」と呼ばれているので、ここでもモグラと呼ぶことにしましょう。

地底探査車モグラは、輸送機(サンダーバード2号)で災害現場へと運び込まれたのちに、キャタピラで自走。その後、所定の位置で車両部とドリル部を切り離し、ドリル部のみが地中を掘り進みます。このクールなマシン

は日本のSF界に大きな影響を与えており、似たような地底探査車が日本のテレビ番組にも続々と登場するようになります(図1)。ただ、和製マシンの多くはドリル部と車両部が一体のまま地中を掘り進みますが…それでは車両部が穴の入り口にひっかかるので、地底探査などできません。元祖であるサンダーバードの緻密さが光ります。

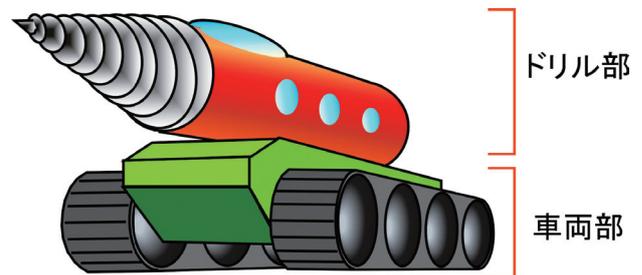


図1 SFでよくみる地底探査車の概念図

ところで、現実に存在する地下掘削装置の姿形は、モグラのそれとは随分異なります。例えば地下鉄などのトンネル建設では「シールドマシン」と呼ばれる掘削装置が活躍しています。これは二枚貝の仲間のフナクイムシをモデルにしています。フナクイムシは船の木材を食べて穴を開けつつ、穴の内壁に薄い石灰質の膜を貼り付けていきます。シールドマシンの場合は、図2のような多数の歯(タングステン製の Cutter-bit)がマシン先端に装着されています。図1のようなドリルとはずいぶん形が違いますが、シールドマシンはこの円盤状のプレートを回転させながら地盤を掘り進みます。ある程度掘り進んだら、トンネル壁面へセグメント(鉄筋コンクリート製のブロック)を

* 物理探査ニュース *

サイトTOPページ右側に”物理探査ニュース”
ボタンがあるので、クリックを!!
あんなニュースや、こんなニュースなど
過去のレターが全て閲覧できます

物理探査学会 |



サイトへGO!

www.segj.org



はめ込んで、トンネルを形作りつつ、前へ前へと掘り進んでいきます。



図2 シールドマシンの先端部(上半分のみ)。このプレートを回転させて地盤を掘り進む。地下鉄博物館にて筆者撮影。

劇中のテクノロジーのうち、実現できたものもあります。例えばこの第2話では、掘削中のモグラは地中でなにか硬い障害物に突き当たってしまいましたが、これを遠回りして避け、さらに地下深く掘り進みます。地中の様子は肉眼ではみることができません。どうやって障害物を回避したのでしょうか？ 謎のヒントは現実世界にあり。トンネル掘削時の障害物探査法はすでに実現しています。例えばこれから掘削しようとする地盤に向かって振動(地震波)を送り、波の跳ね返りの様子を測定すると、未知の地層や断層の存在を掘削前に知ることが可能です。またシールドマシン先端のプレート部に地中レーダー(電波を地中に送り、その反射から地中の様子をを探る装置)を装着して、トンネルの先端(切羽と言います)の先を探査する試みもなされています。これらは切羽前方探査の一部であり、トンネルの安全な施工に役立っています。

またモグラはドリル先端に装備されたサーモグラフィ(温度の違いを映像化する装置)を用いて、地下の要救助者の探索を行うことができますが、これと同様の装置も実用化されています。その名も「人命探査レーダー」。これは地中レーダーの応用版です。まず人命探査レーダーのアンテナを動かさずに置いたままにして、しばらく待ちます(図3)。もしもアンテナの地下数mに生きている人がいて、肺や心臓が規則的に動いていれば、地中レーダーには規則的に強まったり弱まったりする影が映しだされます。この「不安定な電波の反射」を検出・強調して、その影の持ち主(要救助者)がいる方向と深さを探知します。まるでSF映画のアイテムのようですが、日本やドイツの企業が開発・販売を行っており、レスキュー隊などの必須アイテムのひとつになっています。前述の切羽前方探査用の地中レーダーと組み合わせると、劇中のシーンを科学的に再現できそうです。ちなみにサーモグラフィでは、地下数mに埋もれている人を見つけること

は難しいと思われます。体温程度の温度異常は厚い地盤に阻まれて、検出は困難でしょう。

モグラのジェットエンジンも重要な役割を果たします。モグラはドリル部後方からジェットを噴射しながら地中を掘り進みます(だから和名はジェットモグラ)、このジェットは前に進むためというよりも、安全に掘り進むために必要だと思われます。というのも、実際のシールドマシンでも(ジェット噴射ではなく)泥や泥水が重要な役割を果たしているからです。マシン先端部へは、圧力をかけた泥や泥水を注入しながら掘削を進めるのですが、こうしないと(トンネル内は空洞なので)掘削前面の地盤が手前に崩れやすく、また掘削部から大量の地下水が溢れだしてきます。掘削面に圧力をかけ続けることは、安定した地盤掘削に必要不可欠なのです。もう一つ(筆者の全くの想像ですが)、ジェット噴射のおかげで「お掃除」もできているようです。掘削の最中には土や岩のかけらが続々と出てくるはずですが、モグラはジェット噴射でこれらの掘りカスを地表へと吹き飛ばしたり、トンネル壁に押し付けているようです。でなければ、トンネル内が掘った土などでいっぱいになってしまいますね。

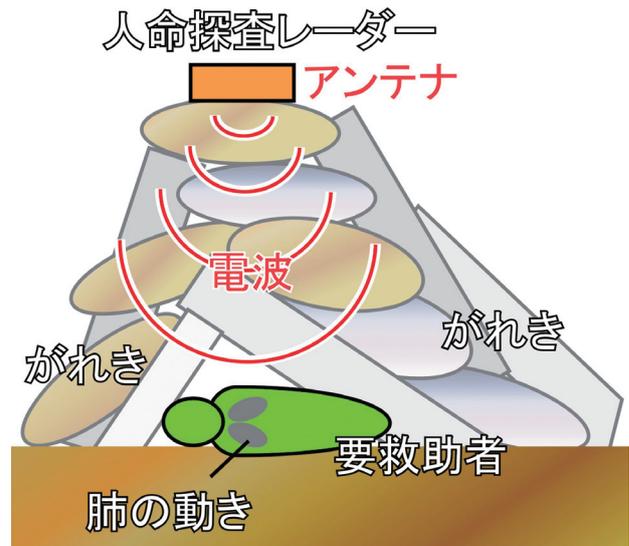


図3 人命探査レーダーの概念図(ベレ出版「地底の科学」より)。

総じて考えれば、モグラと現実の違いは、先端の形状だけかもしれません。図1のようなドリルをやめて、図2のようなカッタービットにすればよい? 実は2004年に公開された劇場版サンダーバード(実写版)には、まさにこの「改良型モグラ」が登場しています。これだったら実現可能かも? ならば、ぜひとも乗ってみたいですね。

参考文献:

後藤忠徳, 地底の科学 地面の下はどうなっているのか, ベレ出版, 199 pp., 2013.

物理探査 手法紹介

わかりやすい物理探査

反射法地震探査(その1:基礎事項)

石油資源開発株式会社 高橋 明久
(物理探査ニュース 32号掲載)

0. シリーズを始めるにあたって

今回からシリーズで反射法地震探査に関する基本をお話したいと思います。構成としては、

- 第1回 反射法地震探査の基礎事項
- 第2回 反射法地震探査の適用例と分解能
- 第3回 反射法地震探査のデータ取得
- 第4回 反射法地震探査のデータ処理
- 第5回 反射法地震探査のデータ解釈

を考えております。

物理探査全般に言えることですが、技術を正確に伝えるには微積分やベクトル・行列といった物理数学が不可欠です。ではありますが、このシリーズでは厳密な数式表現は『物理探査ハンドブック』や他の教科書を参照いただくこととして、出来るだけ感覚的に反射法地震探査が把握できるように考えました。それでも平方根や三角関数程度は不可避でしたのでご容赦ください。そして、厳密さを欠く部分もあることを予めご了承ください。

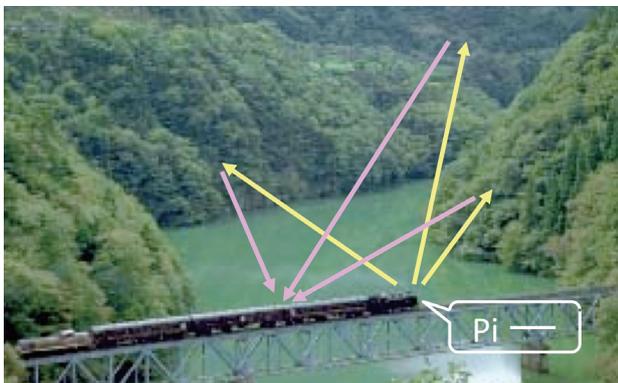


図1 反射法の原理

1. 反射法の基本原理

反射法の基本原理はやまびこと一緒です。図1をご覧ください。渓谷を列車が走っています。ピーッと警笛を鳴らしますと(黄色線)、渓谷の壁面や遠く of 山肌から音が反射して帰ってきて客車にいるあなたにはいくつものやまびこが聞こえます(桃色線)。ただ、それらのやまびこがそれぞれどこから返ってきたのかは俄かには知ることができません。反射法地震探査はこれと同じことを地下に対して実施し、なおかつ反射がどの地点で起こっているのかを同定する技術です。

反射法地震探査では人工的に発生させた弾性波を地下に送り込んで、その反射波を地震計(受振器)で観測し、そのデータを解析します(図2)。

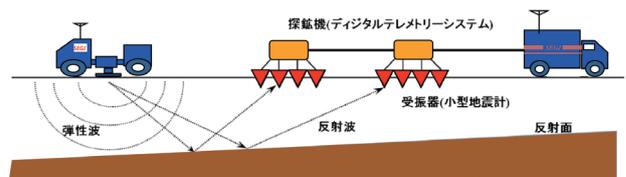


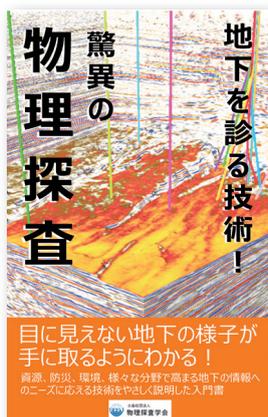
図2 反射法地震探査データ取得基本概念図(増補改訂版 物理探査ハンドブックより)

2. 反射法地震探査断面図の見方

それでは反射法地震探査の断面図を見てみましょう。図3をご覧ください。反射法地震探査断面図(以下、反射法断面図)の大きな特徴は、反射波そのものを加工して表示しているという点です。従って、正しく処理された断面図は人間の解釈が入る余地が少ないものになっています。

関連書籍紹介

PCでも読める!
地下を診る技術!
「驚異の物理探査」



地下を診る技術! 「驚異の物理探査」 [Kindle版]

◎内容と特色

物理探査学会では創立60周年を機に、一般の方に物理探査を知っていただくと考え、上記の啓蒙書を2014年度に発刊いたしました。

当初はKindle版だけでしたが、Windows、Macintoshにおいてもアプリをインストールすれば読めるようになりました。Googleなどの検索サイトで、「Kindle for PC」または「Mac」と打ち込んでいただければダウンロード可能です。電子書籍の購入は、「驚異の物理探査 Amazon」と入力すれば購入ページにたどり着くことができます。

物理探査がどのように社会に役立っているのかという視点を重視して、物理探査技術を紹介しています。一般の方だけでなく、物理探査学会会員の皆様や、社内研修などの教材としてもお使い頂けるものと思います。お求めやすい価格(250円)になっていきますので、是非お買い求めくださるようお願いいたします。また、興味のある方にご紹介頂けると幸いです(事業委員会)

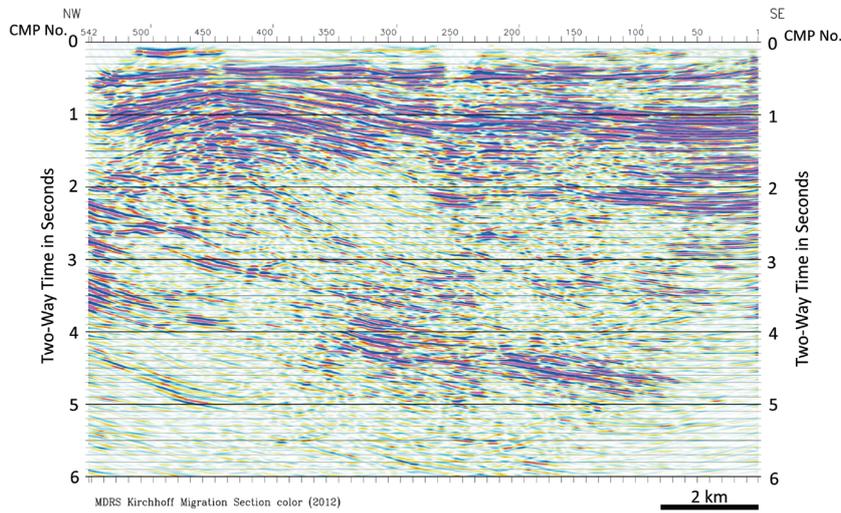


図3 北海道苫小牧における反射法地震探査断面図の例(山口ほか(2014)¹⁾に軸・スケールを加筆)

縦軸は垂直往復走時(Two Way Travel Time:TWT)であり、これは地表から鉛直方向に波が伝播して地下で反射して地表に帰ってくるまでの時間を示しています。横軸はCMP番号(後述)であり、この反射法断面図では80ポイント分の長さが2kmに対応します。

図3は、北海道苫小牧市で1986年に実施された調査を山口ほか(2014)¹⁾が再処理した結果です。この測線は静川背斜(図面左)をほぼ北西-南東に切るもので、測線長は約13.5kmです。測線中央の4秒から5秒にかけては南東方向に傾斜する強い反射群がみられます。

さて、地下を伝わる波にはP波(縦波)とS波(横波)があります。近年は物性値(例えばポアソン比)の把握や、構造の詳細把握のためにS波探査やPS反射波探査が行われることもあります。ここではP波探査に絞って解説することとします。

3. 反射波の伝播経路

先ほどのやまびこの例では警笛は速度一定の空気の中を伝わっていきますから、音波は直線的に進みます。地下が図4に示すような単純な水平2層構造であれば、やまびこと同じで入射角と反射角は等しく、伝播経路は単純な直線で表されます。水平2層構造における反射波の走時Tは次式のように表されます(図4)。

$$T = \sqrt{T_0^2 + \frac{X^2}{V^2}}, \quad T_0 = 2 \frac{H}{V} \quad (1)$$

ここでVは第1層目の地震波速度(m/s)、 T_0 は垂直入射したときの往復走時(垂直往復走時)(sec)です。Xは発振点Sと受振点Rの水平距離(m)でオフセット距離と呼ばれます。

上記のように単純にいけばよいのですが、実際には地下

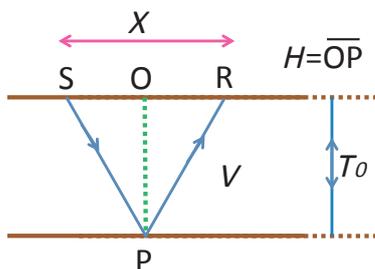


図4 水平2層構造における反射波経路

では速度が空気(0°C)の330m/sに近い値からマンツルの8,000m/s以上まで大きく変化しているために、地下を伝わる地震波はスネルの法則に従って反射・屈折していきます。

水平多層構造における地震波伝播の様子を図5に示します。図で発振点をS、受振点をRで表します。発振点S1と受振点R1が一致する場合(オフセット距離ゼロ)には地震波は地下の鉛直方向に直線が進み同じ点に戻ってきます。発振点S2と受振点R2の位置が異なる場合には波は図のように曲がって伝播します。例えば図5の境界面Cで屈折した時の入射角 θ_{in} と射出角 θ_{tr} の関係は、スネルの法則によって

$$\frac{\sin \theta_{in}}{V_3} = \frac{\sin \theta_{tr}}{V_4} \quad (2)$$

と表されます。ここで V_3 、 V_4 はそれぞれ境界面Cの上と下の速度(m/s)です。

また、反射は各層で起こりますが、入射角と反射角は常に等しくなります(例えば、境界面Cでは $\theta_{in} = \theta_r$)。

水平多層構造の場合のオフセット距離Xと走時Tの関係は、

$$T = \sqrt{T_0^2 + \frac{X^2}{V_{RMS}^2}} \quad (3)$$

と表されます。ここで V_{RMS} は、RMS速度(2乗平均速度)と呼ばれる量で、次式のように定義されます。

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2 \cdot \Delta t_i}{T_0}}, \quad \Delta t_i = 2 \cdot \frac{d_i}{V_i} \quad (4)$$

ここで V_i 、 d_i は水平多層構造の各層の速度と厚さです。RMS速度は、反射法の技術者が良く口にする言葉なので覚えておいてください。

また、式(3)は、

$$T_0 = \sqrt{T^2 - \frac{X^2}{V_{RMS}^2}} \quad (5)$$

と書き換えることが出来ませんが、式(5)を用いるとオフセット走時をゼロオフセット走時に置き換えることが出来ます。すなわち、図5でS2→P→R2と伝播する反射の走時Tを、同じ構造の中をS1→P→R1の経路で伝わった走時 T_0 に置き換えることが出来ます。この操作はNormal Move-Out(NMO)補正と呼ばれ、5節で述べる共通反射点重合法で重要な役割を果たすこととなります。

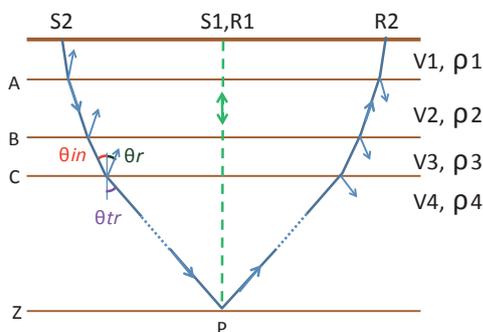


図5 水平多層構造における反射波経路

4. 反射波の振幅

図5の境界面Cに振幅1の地震波が垂直入射したとき(S1, R1のケース)の反射波振幅と透過波振幅は、それぞれ

$$A_r = \frac{\rho_4 \cdot V_4 - \rho_3 \cdot V_3}{\rho_4 \cdot V_4 + \rho_3 \cdot V_3} \quad (6)$$

$$A_t = 1 - A_r = \frac{2\rho_3 \cdot V_3}{\rho_4 \cdot V_4 + \rho_3 \cdot V_3} \quad (7)$$

と表されます。ここで ρ_3, ρ_4 は境界面Cの上と下の密度です。密度 ρ と速度 V の積を音響インピーダンス z と呼びます。

図5からわかるように、各層での反射によって屈折伝播する地震波のエネルギーは徐々に減衰します。反射法断面図では浅い部分に比べて深部の反射は見えにくくなるのが一般的ですが、その原因の一つがこの伝播に伴うエネルギー欠損です。

5. 共通反射点重合法の原理

図6に示すように発振点から受振点に伝わる波には反射波以外に表面波や屈折波あるいは多重反射波といった種々の波が混在しています。その中から一次反射波のみを取り出して表示する必要があります。

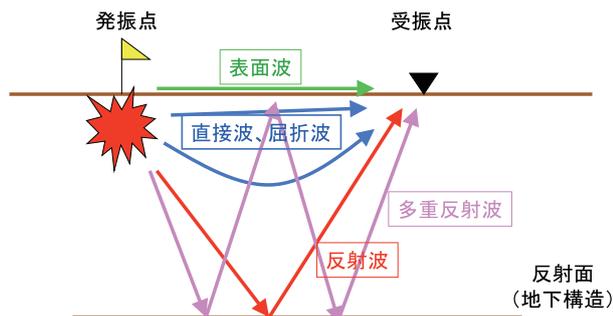


図6 観測される様々な波動

共通反射点重合法(Common Depth Point(CDP)重合法)は、この一次反射波を強調する処理手法です。近年では共通中点重合法(Common Mid-Point(CMP)重合法)と呼ばれることが多くなりましたが、歴史的にはCDP重合法という言葉の方が古く、いまだに使われることも多いので併記しておきます。以下ではCMP重合法の方を用います。

ここでCMPデータとは地下の反射点が一一致するようなオフセットの異なるデータの集まりをいいます。フィールドでは、図7に示すように震源を尺取虫のように進めて複数

の受振器でデータを取得し、受振器をオーバーラップさせながら測線沿いに調査を進行します(図7a)。反射点の位置は水平多層構造を仮定すれば、発振点と受振点の中心になります(図7b)。この中心が一一致するデータを集めると図7cのようなCMPデータが得られます。

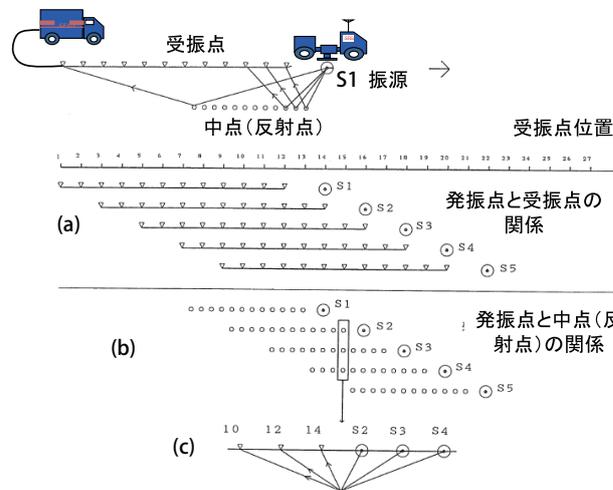


図7 CMP重合データ取得のレイアウト(増補改訂版 物理探査ハンドブックに加筆)

式(5)を利用してこれらの複数のオフセットのデータをゼロオフセットデータに直すと一次反射波の走時は同じ時間に揃うこととなります。この様子を図8に示しました。

図8ではオフセット距離が0mから1,100mまでの12本のCMPデータがあります(図8a)。CMPデータを構成するトレースの数を重合数と言います。この場合は12重合ということになります。垂直往復走時0.5秒と0.9秒に一次反射波1,2(緑・青)があり、1.0秒には反射面1からの多重反射波(赤)があります。一次反射波のRMS速度を用いてNMO補正を行うと(図8b)、一次反射波は等時間に揃うのに対して、多重反射波は時間がずれていることがわかると思います。このトレース群を水平方向に足し合わせると、時間が揃っている一次反射波が強調され、多重反射波は相対的に抑制されます(図8c)。

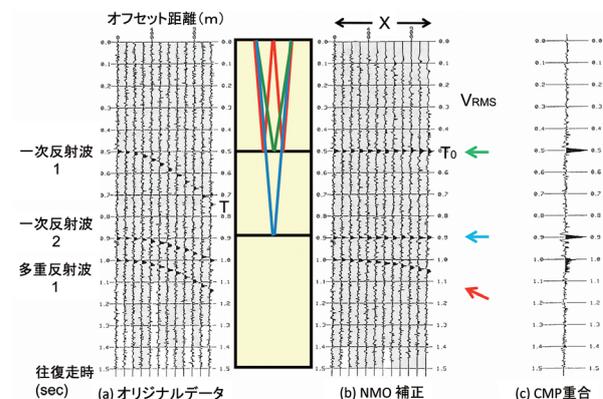


図8 CMP重合による一次反射波の強調(増補改訂版 物理探査ハンドブックに加筆)

参考文献

1) 山口ほか(2014): 海陸シームレス地質図S-4「勇払周辺の反射法地震探査データ再解析」産総研地質調査総合センター



集中豪雨を狙った電気探査による地下水モニタリング(その1) — 急斜面地点での落雷そして野生動物との奮戦記

電力中央研究所 鈴木 浩一
(物理探査ニュース 28号掲載を改訂)

1. はじめに

将来大規模な地すべりを起こす可能性のある滑動斜面においては、台風に伴う集中豪雨時に地下に浸透した水が引き金となり斜面全体の滑り量が大きくなることが知られています。1日～数日間で計500mmを超える降雨量が観測されることも最近は増えています。地すべりを予測するためには、斜面全体の地下水挙動を把握する必要があります。ここで、ボーリング孔内に地下水位計や間隙水圧計などを設置して降雨の浸透挙動を調査することはできますが、斜面全体の浸透挙動を把握することは困難です。よって、ボーリング孔内の各種センサーによるデータと斜面全体の地下水に係る情報を取得できる電気探査法を組み合わせるのが有効と考えられます。

電気探査法により地下水の挙動を正確に把握するためには、降雨前から測定を開始し降雨終了後の数10日後まで連続して測定する必要があります。前もって探査装置と測線を設置して降雨の到来を待ち、任意の期間繰り返し測定できれば、降雨の浸透に伴う地盤の含水率の変動を比抵抗でモニタリングすることが可能となります。しかし、山岳部の急斜面において数100mにわたる測線沿いに多数の電極や多芯ケーブルを設置するのは相当な労力を要します。仮に台風に合わせて遠方の現地に行き手際よく測線を設置できたとしても、予想に反して雨が殆ど降らないこともあります。

従って、測定装置と測線は現地に常に設置して遠隔操作により制御して、いつ台風が来ても測定できるシステムを構築することが望ましいことになります。また、豪雨時は“雷”すなわち過渡的な異常高電圧(雷サージ電圧)によ

り異常大電流(雷サージ電流)が発生します。この雷サージによる電圧は $2 \times 10^6 \sim 1 \times 10^8 \text{V}$ 、電流は $1 \times 10^3 \sim 2 \times 10^5 \text{A}$ 、時には $5 \times 10^5 \text{A}$ にも達すると言われております。よって、万が一雷が測線近傍の大木や地面に落下すると、測定装置が壊れる危険性があります。雷はいつどこに落下するか予測することは極めて困難なので、測定装置を保護する対策が必要不可欠となります。

本報では、集中豪雨時の浸透水のモニタリングを目的に長期観測を前提として構築した電気探査システムと斜面地点での適用事例を紹介します。

2. 測定方法

斜面地点に測線長120m、電極間隔2.5m、測点数49点を設置しました(図1)。平均斜度は34度もあり、測線の設置には多大な時間と労力を要しました(写真1)。1回あたりの測定データ数は、ウェナー配置で375通り、エルトラン配置で375通りの計750通りで、測定時間は約50分を要しました。測定頻度は、1日1回を基本としましたが、数100mm以上の降雨が予想される期間は1日8回(3時間毎)としました。スタッキング数は4回とし、ほとんどが標準誤差1%以下の再現性の良いデータが得られました。この測定のために新規に製作した電気探査装置(千葉電子製)を使用しました(図2)。

降雨期間は雨水の浸透により比抵抗構造は刻々と変化している状況では、基本的にデータの取り直しはできません。よって、①装置一式を長期間安全に設置できる建屋および商用電源の確保、②落雷からの装置の保護、③野生動物などによるケーブル切断の回避、④各電極の接地抵抗の低減、⑤測定作業の効率化、など様々な問題に対処する必要があります。

(1) 建屋および電源の確保

本地点には測定装置を安全に設置でき、商用電源が確保できる建屋が測線近傍にあるため、装置本体は建屋内に設置し、測線部からは延長ケーブルを絶壁を這わせて(写真1b)、建屋の壁にある穴から通して装置本体と接続しました。

(2) 落雷対策

落雷対策用の素子として、セラミックアレスタ(写真2e; UZ-350B、サンコーシヤ製)を使用しました。この仕様は、インパルス状の高電圧が印荷された場合、放電開始電圧600V、電流耐量5kA(0.4μs)です。これを測定装置の入力コネクタ(2芯および10芯)の各信号経路に取

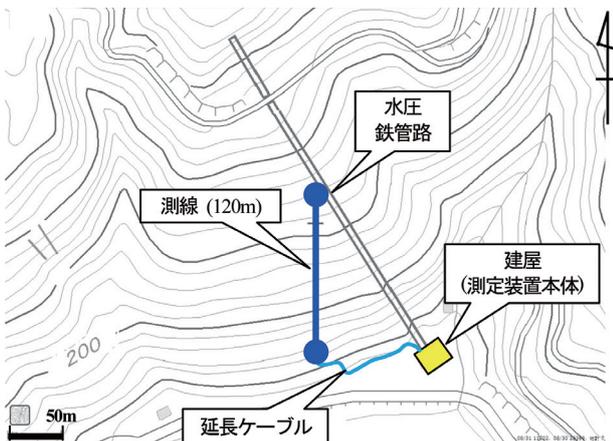


図1 測線位置図



写真1 (a) 測線上流部(下流方向を臨む)、(b) 測線末端部の絶壁、(c) 斜面測線部

り付けてあるヒューズ(定格電流1A、ジュール積分値 $1.5A^2 \cdot s$)に直列に接続することにより、ヒューズだけでは遮断困難な雷サージのようなマイクロ秒単位の高電圧パルスを遮断できます。なお、落雷による停電により長時間電源が遮断されると、測定装置を制御するPCがダウンしてしまうため、バッテリー(DC12V、40Ah)を3台並列に接続したバックアップ電源を設置しました。

(3) 接地抵抗の低減

斜面には乾燥した腐食土が覆い接地抵抗が極めて高いことが予想されます。また、地表面には巨礫が数多く露出しており、所定の位置に電極を打ち込むことが困難な場所もあります。そのため、一か所の測点には測線と直交方向に3本の電極を互いに50cmほど離し、打ち込み可能な位置に設置しました。その結果、接地抵抗は1本の電極だけでは10k Ω を超える箇所が数多くありましたが、全測点とも1~5k Ω に低減することができました。電極には長期間の測定でも腐食しにくいステンレス製棒状電極(ϕ 10mm、長さ50cm)を使いました。

(4) ケーブル切断の保護

測点ごとに別途長さ1mほどの杭を打ち込み、ケーブルを地表面から浮かせるように配線しました(図3)。これで兎や鼠などの野生動物からケーブルを保護することが期待できます。

(5) 測定作業の効率化

現地に設置した測定装置を制御するPCを遠隔で操作するため、ゲートウェイサーバを介したインターネット経由で

操作できるように設定しました。これにより、現地の制御用PCを研究所のPCから操作することが可能となります。本装置は、各測に1個の電極切替器(写真2c)を配置し、電流専用ケーブル(2芯)と電位の受信と電極切替器の制御専用ケーブル(10芯)を平行して敷設すればよく、ケーブルの数量を大幅に低減することができます(図2)。すなわち、2種のケーブルは測線沿いに並べた隣接する電極切替器の間と測定装置本体とを連結すればよく、合計の長さは測線部と測線末端から装置本体までの延長部を合わせた数量ですみます。さらに、同じ多芯ケーブルで送信および受信を兼ねた測定で問題となっていた電流のリークによる電位信号へのノイズの混入も防止できます。なお、電極切替器は修理可能としたため、内部の基盤をシリコンなどで被覆はしておらず完全な防水仕様ではありません。そこで、電極切替器にビニール袋を2重に被せ、前述した杭の先端部に取り付けて雨水の浸入を防止しました。

3. 遠隔操作による長期測定の問題点

測定は2012年度から2013年度まで試みる予定でしたが、その間様々なトラブルが発生しました。野生動物および落石によるケーブルの切断、電極切替器の故障、そして落雷(2013/9/3)により測定装置本体が深刻な破損を受けたため、それ以降の測定は断念せざるを得ない状況となりました。万全の体制を組んで臨んだはずでしたが、結局測定できたのは計60日間ほどでした。

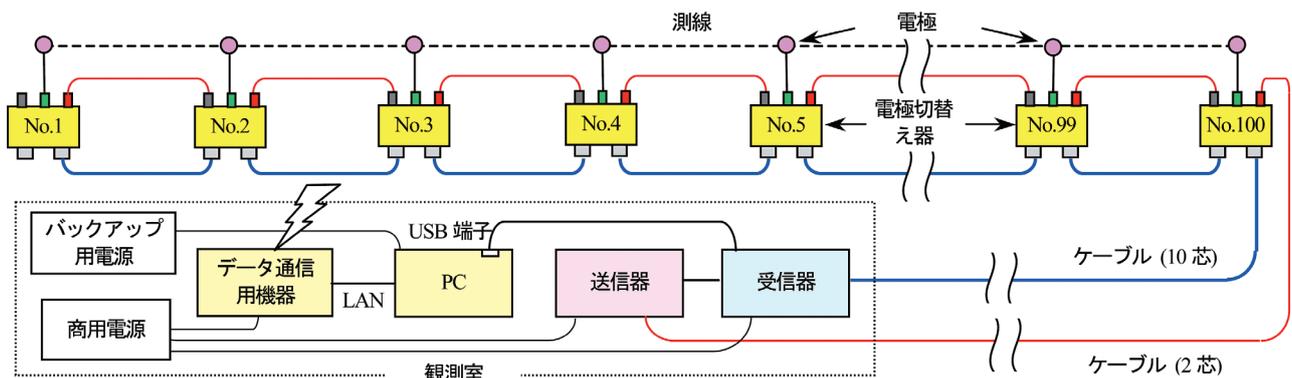


図2 電気探査システムの概要

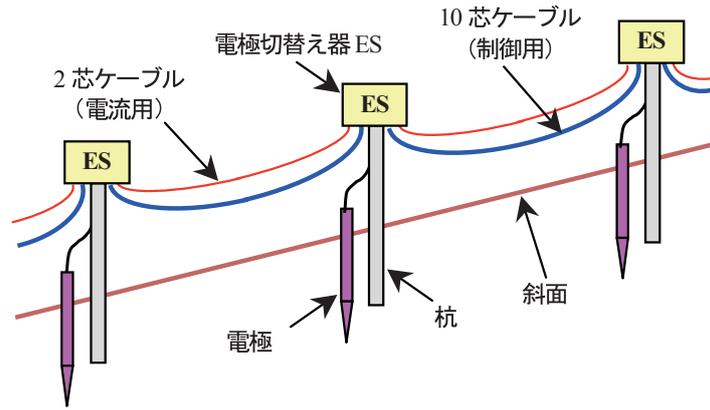


図3 測線設置の概念図、(a)水平面図、(b)断面図

急傾斜で資材の運搬が厳しいなどの諸事情でケーブル保護管は使用しなかったため、当初はケーブルの10数か所が頻りに切断しました。太い10芯ケーブルですら小動物が噛んだとみられる歯型があり、完全に切られていました。2013年度は地表から50cm~1mの空中にケーブルを全て配線させたため、それ以降は野生動物による被害は防止できました。一方、台風時の強風で電極切替器を取り付けた杭が転倒し、地表面の水溜りに水没したため、雨水が中の基盤に侵入して誤動作したと推測されます。よって、降雨量の多い重要な時期の測定データには異常値が多い残念な結果となりました。

測定装置一式を撤収して修理を試みたところ、落雷対策用のセラミックアレスタ(写真2d、2e)とヒューズの12セットが全て黒焦げとなり破損していました。定格の5kA、0.4 μ sを大幅に超える大電流が発生したことになります。電極切替器の一部もコネクタに焦げ跡がありま

した(写真2f)。よって、測線に近い樹木などに雷が落ち、極めて強力な高電圧パルスが電極から電極切替器、ケーブルを通して印荷され、保護回路では遮断しきれない大電流パルスが装置内の基盤にも流れ込んだと推測されます。そのため、A/D変換器ほかの重要な電子回路が故障し、正常な動作に回復しませんでした。

雷や大雨・強風に強くない探査システムであったことは事実であり、「雷など自然現象に対する認識があまりに甘かった」と言われてしまうと返す言葉がないのですが、落雷から測定装置を保護するためには、更なる工夫が必要と考えられます。今後もモニタリングで長期間電気探査を実施するためには、落雷対策が最重要課題であることになりました。

例えば、保護回路を2重、3重に組み込む等の対策をすれば、測定装置を保護できる確実性は向上するものと期待しています。

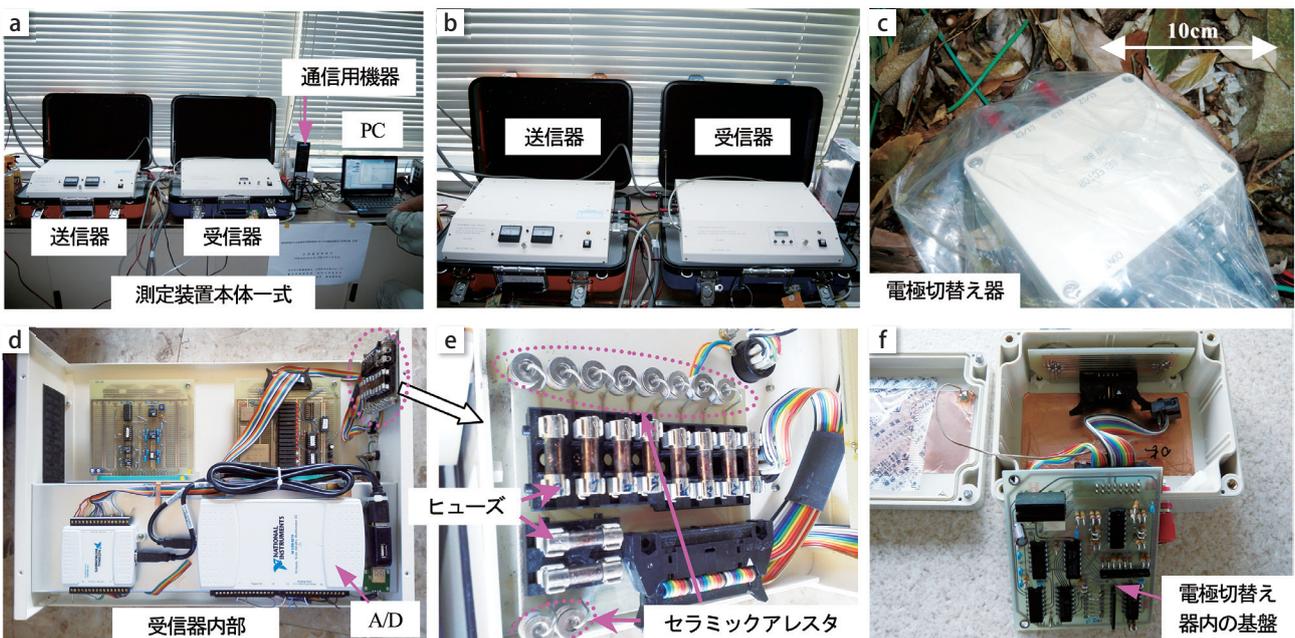


写真2 使用した電気探査装置

物理探査学会と物理探査ニュース2016ハイライト

皆様こんにちは。物理探査学会ニュース編集委員会でございます。

たくさんお話したいことがあるのですが、まずは私たちの自己紹介をさせて下さい。物理探査学会は、物理探査の理論や技術を発展させ、人材を育て、様々な場面で物理探査を活用してもらうことで社会に貢献しようという学会です。もちろん物理探査の情報を世間に発信することも活動のひとつです。広報誌「物理探査ニュース」を企画・編集しているのが私たちニュース編集委員会です。委員は様々なフィールドで物理探査に関わっています。

通常版の物理探査ニュースは学会員を中心に配布していますが、この「ハイライト」は学会員以外の方を対象にしたものです。今年の物理探査ニュースの中からセレクトした「皆様におすすめしたい!」記事で出来ています。初めての試みで、手探りしながらの制作になりましたが、

- ・物理探査になじみのない人がとっつきやすい記事を入れて物理探査に関心を持ってもらいたい。
- ・読み応えのある記事も入れ、物理探査でどんなことが調べられるのか知ってもらいたい。

この二つの思いを軸として記事を選びました。この熱い思いは伝わったでしょうか?

さて今号の表紙には、世間で今年注目されたニュースの写真も入れました。今年は春の熊本地震、秋の東北・北海道の豪雨といった大災害がありました。被災した地域は未だ復興の途中です。また、博多駅前の陥没事故も印象に残るものでした。これらの出来事の後には「地震の被害が大きい地域はどんな地盤特性か」、「川の堤防は大雨でどんな影響を受けていたか」、「陥没の原因になる軟弱な地盤はどんな分布だったか」といった話題が出ていました。どれも直接見るのが難しい地下の話です。そして、そんな地面に関わるニュースを見ると、「どんな手法が活用できる(できた)のだろう?」と考えてしまう人がこの学会には集まっています。

皆様の中で物理探査を使ってみたいけれど手がかりがない、あるいは物理探査を学んでみたいが取っ掛かりがない、といった方がおられましたら、下記の物理探査学会事務局までお気軽にご相談ください。学会員が頑張っ頭をひねります。そのときは、この物理探査ニュースの感想も一言下さると(もちろん、ニュースに関するコメントだけでも歓迎です!)、ニュース委員がとても喜びます。では、今後ともよろしくお願いいたします。(ニュース委員会:江元智子)

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 2016 ハイライト 2017年(平成29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>

物理探査ハンドブック増補改訂版出版のお知らせ



1998年以来18年の長きにわたってご好評をいただいております物理探査ハンドブックですが、この度物理探査技術の発展がめざましい分野については手を加え、改訂版を出版しました。章立ては以下に示すとおり現行版と同様ですが、反射法地震探査やリモートセンシング、位置測量、あるいはこれまでなかった表面波探査を新たに追加するなど、手法によっては大幅な改定がなされています。第Ⅱ編のケーススタディを割愛し、各章中に入れることといたしました。

冊子版にはCDはついておりません。電子版からCopy & Pastelはできません。

販売価格(税込)

冊子版¥32,400 電子版¥21,600

第一分冊

- 第1章 反射法地震探査
- 第2章 屈折法地震探査
- 第3章 微小地震・AE
- 第4章 微動・振動・表面波探査
- 第5章 電気探査
- 第6章 電磁探査

第二分冊

- 第7章 地中レーダ
- 第8章 重力探査
- 第9章 磁気探査
- 第10章 リモートセンシング
- 第11章 熱・温度探査
- 第12章 放射能探査

第三分冊

- 第13章 物理検層
- 第14章 VSP
- 第15章 ジオトモグラフィ
- 第16章 シミュレーション
- 第17章 モデル実験
- 第18章 位置測量

別途送料がかかります
事務局へお問い合わせください