

物理探査 ニュース

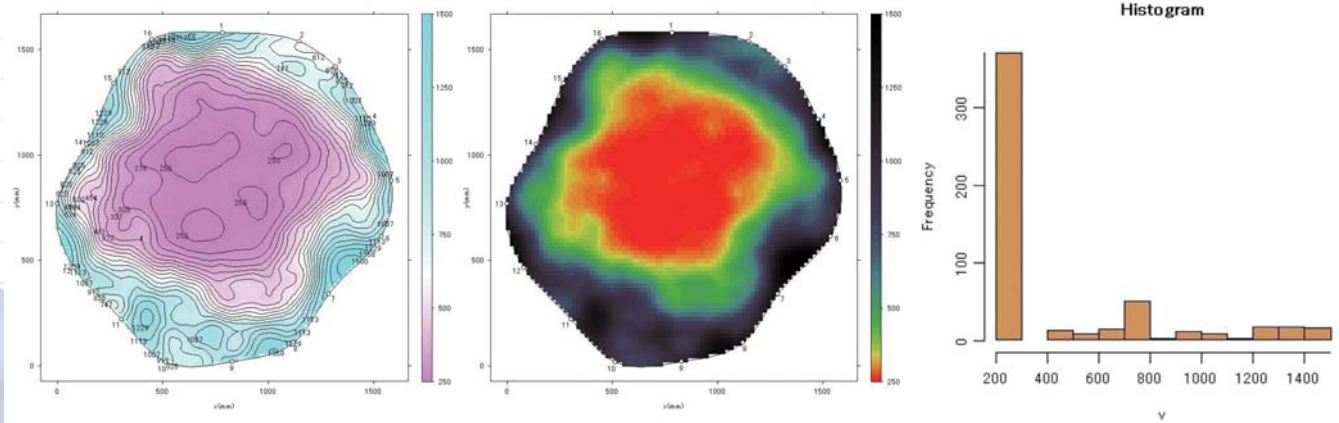
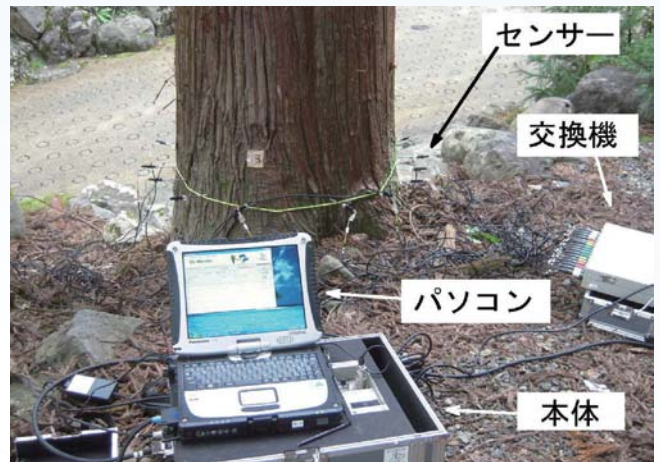


公益社団法人 物理探査学会
Society of Exploration Geophysicists of Japan

目次

ホント? SFの中の探査 4	1
書評「地底の科学」	3
SEG Honorary Lecture報告	4
現場レポート「音響トモグラフィ 地盤探査法」	5
研究室紹介 北海道大学大学院理学研究院附属 地震火山研究観測センター 地下構造研究分野	9
ワンデーセミナー「地熱開発の現状と今後」報告	11
ご存知ですか?学会ホームページの様々な機能(1).....	13
お知らせ・編集後記	15

Geophysical Exploration News April 2014 No.22



【音響トモグラフィ法による樹木内部の空洞腐朽診断】

- 左 上：測定風景
- 右 上：測定装置
- 左 下：解析コンター図
- 中央下：解析断面図
- 右 下：音速分布図

詳しくは本号の現場レポートをご覧ください。(資料提供:JFEシビル株式会社)

小説の中にもこんなに物探ネタが! — 電磁探査編 —



海洋研究開発機構
笠谷 貴史

東野圭吾さんのファンであれば「真夏の方程式」という小説をご存じのことでしょう。主演、福山雅治で映画化されたので、映画から知ったという方も多いかもかもしれません。ファンの方には申し訳ないですが、お恥ずかしながら私は小説の存在を知りませんでした。ある日、映画の制作会社から、私の職場である海洋研究開発機構(JAMSTEC)への取材申し込みがあり、私自身がその一部に対応させていただいた事で、この小説を知りました。制作会社からの依頼は「脚本の中に電磁探査と言う用語があり、脚本と原作を読んで制作会社スタッフにレクチャーをしてもらえる人を紹介して欲しい」というものでした。「日本沈没」などJAMSTECの施設・船をつかったロケや撮影、種々の取材対応というのは毎度の話ではありますが、「原作に物理探査が出てくるん？ ほんまに？」ということで、興味本位、軽いノリで対応を引き受けました。

もちろん、物理探査が出てくると言っても小説ですから、主人公が殺人事件に巻き込まれ、その謎解きをするのが主題です。いわゆる推理物の小説なのですが、熱水

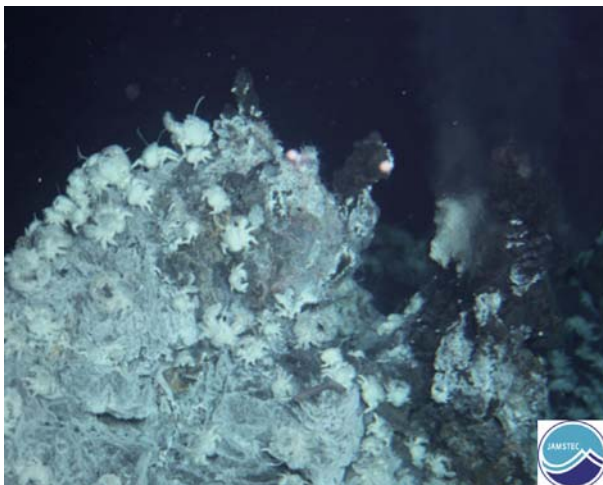


図1 こんな熱水が玻璃ヶ浦の沖合にある？



図2 映画の撮影で使われたJAMSTECの調査船「よこすか」。那覇港で交通艇による乗船の時に撮影しました。

資源に関する物理探査に関する記述がかなりあるので。作者がなぜ熱水鉱床を原作に使おうと考えたのかは謎です(うかがってみたい気がします)。映画では物理探査関係の話はかなり削られているので、ここでは原作である小説をもとに話を進めていきましょう。物理探査が出てくるまでの冒頭部分を簡単にご紹介したいと思います。

小説の冒頭、少年が両親の大阪での仕事の間、新幹線と特急電車を乗り継いで、叔母夫婦のいるらしい玻璃ヶ浦(はりがうら)へ向かう車中、「湯川学」と出会い、同じ駅で降り立つところから始まります。この主人公である湯川学、一風変わった人物として描かれています。そう、変わった人、つまりは学者です。彼の職業は帝都大学(ありがちですね)の物理学科の准教授、物理学科なのですが地下探査法を研究していて、電磁探査法を使った海底下の構造を調べるのが専門らしい、というのが小説から読み取れる人物設定です。この辺りの設定は、大阪生まれで大阪大学工学部出身の作者の背景が影響しているかもしれません。

そんな彼は、このひなびた玻璃ヶ浦に一体何をしに来たのか、それが徐々に明らかになってきます。詳しいニュアンスは小説、映画に譲りますが、玻璃ヶ浦の沖合にある熱水鉱床域での海底鉱物資源開発を巡る地元説明会に地下探査の識者として呼ばれたのが彼、湯川学なのです。その彼を呼んだ組織は海底金属鉱物資源機構(デスメック: DESMEC)という設定です(どこかで聞いたような名前と思うかもしれませんが、あくまでも架空のもので)。彼は推進派でもなく反対派でも無く、科学者(識者)として説明会での説明のために来た設定になっています。

さて、そもそも湯川が識者として呼ばれたのには理由があります。それは、彼がデスメックに新方式の電磁探査法を提案したことが関係しているようです。やっとな本題に

なりますが、彼がデスメックに提案した電磁探査法とはどのようなものなのか、小説の文章から推理してみましょう。

デスメックの調査方法について「成実」(環境活動家で、湯川が泊まった旅館の娘でもあり冒頭の少年とは従姉)に聞かれた湯川はこう説明しました。「コイルを使い、海底の電磁場を測定し、分析する。それによって海底下百メートル程度まで、その構造を把握できる。要するに、金属資源がどこにどのように分布しているのかを、掘らずに明確に出来るわけだ」とあります。なるほど、電磁場を測ると言っていますが、計測にはコイルを使うのですね。ふむふむ。さて、読者の皆さん、ここで物理探査ニュースのNo.8(2010年11月刊行です)を書棚やファイルから引っ張り出すか、学会webサイトのニュースのバックナンバーからNo.8をダウンロードして是非ご覧ください。そこには早稲田大学の斎藤先生による講座「分かり易い物理探査 電磁探査法」に電磁探査の説明があります。もし、難しいという方は、本号の書評にある「地底の科学、地面の下はどうなっているのか?(後藤忠徳著)」でも良いですね。ちなみに、同じ号には、東大の飯笹先生による熱水鉱床に関する特集記事もあるので、イメージを膨らませるのに最適です。あわせてご覧いただけたら物理探査ニュースの編集者としてうれしい限りです。

さて、話を戻しましょう。小説の中の電磁探査とは、いったいどのようなものだったのでしょうか。一般的に、電磁探査は電磁誘導がその基礎になります。コイルの中で磁石を動かすと電流が流れるのがよくある理科の実験ですね。これが地面の中で起こっているわけです。図3は電磁法を簡単にしめた概念図です。左側は磁場変動とそれが地面に入射することによって生じる電場の変動を用いるマグネテルリック(MT)法です。小説の台詞では、「コイルを使う」としか言っておらず、電極を表す記述も無いので、受信が電場となるこの手法ではなさそうです。とすると、湯川が提案したのは送信も受信もコイルを使う手法なのでしょう。図3の右側がコイルを使う探査法の一例(ループループ法)を示しています。こちらはMT法とは異なり、誘導電流が作る二次磁場を受信信号とし、コイルで受信します。より小説の記述に近づいてきた気がしませんか。さて、もう少し推理を続けてみましょう。今度は次の台詞「海底下百メートル程度まで、その構造を把握できる」に注目しましょう。ループループ法では、様々な送受信コイルの組み合わせ方や計測方法がありますが、送受信間隔が探査深度に影響するパラメータの一つになります。そうすると小説にあるように探査深度百メートルを深海底でカバーするにはループループ法では難しいかもし

れません。小説にある調査船でのやりとりのシーンだけでは明らかでは無いですが、時間領域法であるTDEM(Time Domain EM)法の方がより探査深度を得やすいかもしれません。TDEM法に関する説明は物理探査ニュースの斎藤先生の記述が詳しいので是非ご覧ください。

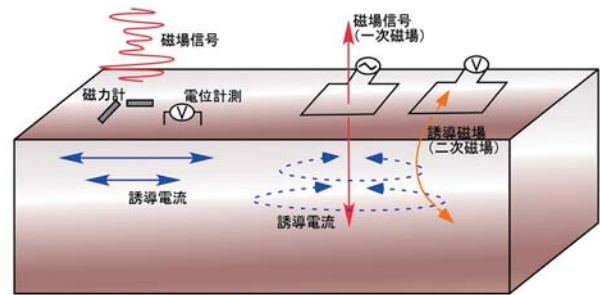


図3 電磁探査法概念図

ここで、制作会社の方にうかがった話を思い出してみました。小説にある資源探査をする組織が「デスメック」という事からお分りの通り、小説を書く際に作者が取材をした先は(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)だったようです。JOGMECでは試験的にOcean Floor Geophysics(OFG)社の電磁探査システムによる探査を実施しています。小説には遠隔操作の水中ロボット(ROV)の記述はありませんが、この探査システムをイメージしているかもしれません。興味をもたれた方はOFG社のwebサイト(<http://oceanfloorgeophysics.com/>)をご覧ください。とはいえ、このシステムでは地下百メートルの構造を得ることはできません。現在の技術では「金属資源がどこにどのように分布しているのかを、掘らずに明確に出来る」とまでは到達できていませんが、それを目指して研究開発が進められています。湯川の技術は、我々のちょっとだけ先の「未来」を見せてくれているのでしょうか。我々も湯川のように言える日をめざして頑張らないといけません。

さて、今回は小説の舞台となっている「玻璃ヶ浜は一体何処だ?」と言うことを大胆な推測も入れて掘り下げてみたいと思います。

参考文献

- 東野圭吾, 真夏の方程式, 文春文庫, 463pp., 2013.
 斎藤章, 分かり易い物理探査, 物理探査ニュースp.5-8, No.8, 2010.
 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, 199pp., 2013.

地底の科学 地面の下はどうなっているのか?

後藤忠徳 著 ベレ出版

石油資源開発株式会社 高橋 明久

今回ご紹介するのは京都大学の後藤忠徳先生が満を持して世に贈る「地底の探査とは関係なく生きていく人々が物理探査の世界を垣間見て、身近に感じる」ための本です。本書のテーマとなっている空想上の地下の世界の図をご覧ください。下の方にいるのは地底人のチティーと友達の地底ネコ。この本の案内人です。

「緊急指令!地底人を探せ!」これがあなたに与えられたミッションです。さて、あなたはどのようにして地底人を探しますか。穴を掘ってみる。確かにそうですね。でも穴を掘るには莫大なお金がかかりますし、そもそも人間が掘った穴の最も深いものでもせいぜい12kmです。地球の半径を覚えていますか。そうですね。約6,400kmでしたよね。そのうちの12kmなんて玉ねぎの薄皮何枚かに過ぎません。そこで登場するのが地球のお医者さん、物理探査技術者です。お医者さんは温度(体温)、圧力(血圧)、音(聴診)、電気(心電図)、X線(レントゲン撮影)を使って間接的に体内の様子を探っていますが、物理探査もまさにこういった物理量を用いて地下の様子をイメージしているのですよね。

話は地下1mの世界を探ることから始まります。地下1mなんてすごく身近なように思えますが、実際に掘ってみると15cmでも大変です、と後藤さん自らが掘った穴の写真が最初の図です。地下1mの探査では埋設管調査・遺跡調査などが紹介されていますが、地下レーダーが人命探査レーダーとして役立っているという話には感心させられました。生き埋めになってしまった人が息をさえていればその規則的な動きをキャッチして人間を探し出せるのだそうです。また、東日本大震災の後に福島県いわき市で地下から聞こえる音から廃鉱のトンネルが崩れているのではという心配が寄せられ、物理探査学会が地下の空洞探査を行って心配がないことを示した例も紹介されています。

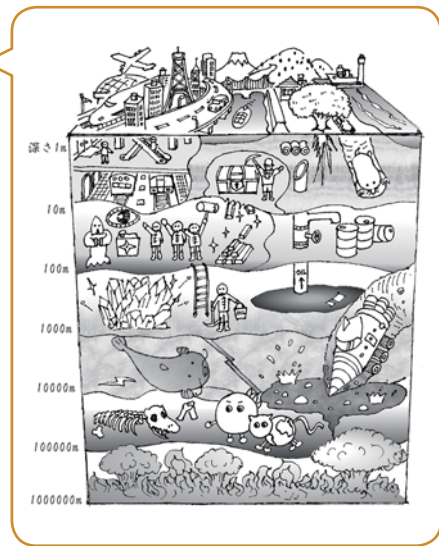
話の深度は一桁ずつ大きくなっていきます。10mの世界では電気探査が紹介されています。ここではまいた水や降った雨が地面に染み込んでいく様子が電気探査によってモニターされています。水が染み込むと土壌は電気を通しやすくなる、すなわち電気抵抗(比抵抗)が小さくなるのです。そして地すべり警報に関して将来的には電気探査によってその主犯である地下水の変化を捉えて早期の警報を出すという夢も語られています。100mの探査では電磁探査や反射法地震探査が紹介されます。最近話題のメタンハイドレートは海底下数100mにある未来の天然ガス資源ですが、反射法地震探査と海底電気

探査を用いてメタンハイドレートの分布範囲やその性状を把握する方法がわかります。更に1000mの世界は、地熱探査・石油探査の世界です。ここではMT法による深部の比抵抗構造探査が説明されます。MT法は太陽からやってくる太陽風(プラズマ粒子)による電離層の変動が地表に及ぼす電磁場変動を観測して地下の比抵抗分布を求める手法です。いよいよ話がでっかくなってきました。

そして、10000m。サブタイトルは「せまりくる巨大災害」です。このあたりから手法としては同じ物理探査なのですが、火山噴火や自然地震といった現象を扱ういわゆる地球物理学という学問の領域に入っていきます。火山噴火といえば気になるのは富士山。ここではMT法探査を用いたマグマ溜りの位置が推定されています。そして、素粒子ミュオンを利用した火山の透視も紹介されています。100000mそして最後の1000000mの世界は自然地震を用いた深部構造探査の世界です。こうして1mから1000kmまでの地下が解明される様子が語られました。後藤さんの興味はこの地球の深部に留まらず、最後には宇宙に出ていきます。

どうですか。読んでみたくなりませんか。後藤さんのユーモアたっぷりな語り口も(ちょっとオヤジなギャグも)そうですが、弟の後藤忠秀さんによるイラストも難しそうな物理探査を優しく細解してくれます。

本文の中に「私たちが病院でレントゲン写真を見てもどこに病気の元が写っているのかよくわかりませんが、お医者さんならわかります。物理探査も全く同じ。物理探査の専門家たちは地球のお医者さんなのです」というフレーズがあります。我々、物理探査技術者にとっては何とも誇らしい言葉ではありませんか。今、この書評を読んでくれている学生・生徒の皆さん、是非この本を読んで地球のお医者さんになる道を考えてみてください。



SEG 2014 Honorary Lecture開催(京都/東京) 報告

物理探査学会 国際委員会



参加の面々(東京開催)

米国物理探査学会(SEG)は教育プログラムの一環として世界各地で講習会を開催しています。Honorary Lecture Program(HL)は世界を6地域に分けて、それぞれ著名な講師が講義を行うもので、SEGの会員/非会員を問わず誰もが参加できるセミナーです。日本が属するSouth & East Asia地域では2014年のHLセミナー講師にSunRise PetroSolutions Tech社の社長Xuri Huang博士が選ばれていました。

この度、SEG京都大学スチューデントチャプターおよび物理探査学会の協力の下、3月17日(月)に京都(京都大学桂キャンパス人融ホール)、3月18日(火)に東京(国際石油開発帝石株式会社)にてHLセミナーが開催されました。京都では学生を中心に20名程度、東京では石油会社を中心に35名を超える参加者が集まりました。近年のHLセミナーでは最も多い参加者数であったと思います。

今回のHLセミナー、講義タイトルが「Bridging the chasm between geophysics and reservoir engineering」とあり、これは、とりわけ石油会社からの参加者にとっては、極めて興味を惹くタイトルです。東京ではリザーバーエンジニアの参加も4名ありました。他学会のホームページ等にも開催案内を掲載していたら物理探査以外の分野からの参加がもっとあったかも知れません。

貯留層モデルを構築しようとする時には、地震探査データと貯留層データの両方に整合するモデルである必要があります。データ統合の1つのアプローチは、両者の相関を基に地震探査データをガイドとして貯留層データを三次元空間に分布させるものです(data-based close-the-loop)。しかし、構築された貯留層モデルは、そのままでは地震探査記録を再現するとは限りません。今回の講義で時間を割いて強調されたもう1つのア

プローチがmodel-based close-the-loop、つまり上記モデルに対して地震波モデリングを適用し、計算された地震波形と実際の地震探査記録の誤差を最小化するようにモデルを更新するというものです。モデル更新と誤差評



Xuri Huang博士

価の反復によって信頼性の高いモデルの構築が実現できるとして、その効果が3件の事例で紹介されました。

アイデアは理解できます。しかし、実際となると大変な苦労と試行錯誤があったに違いありません。地震波モデリングの方法は？誤差の収束効率？4Dへの適用上の問題は？

等々、興味は尽きず、講義後の議論は大変盛り上がりました。1時間の講義は短過ぎたようです。Xuriさんもまたレベルの高い議論ができた大変喜んでいました。盛り上がった議論は懇親会まで続き、旧知の如くすっかり打ち解けた様子のXuriさんでした。



(文責：国際委員 柏原功治)



参加の面々(京都開催)



音響トモグラフィ地盤探査法 (1)

— 原理・手法編 —

JFEシビル株式会社 榎原 淳一

1. はじめに

「音響トモグラフィ」という名称は海洋調査の分野の方が通りは良いようですが、今回ご紹介させて頂くのは、陸上(たまに海上もありますが)の地盤探査手法です。この手法は、一般的な弾性波探査よりも発振周波数が10倍以上高いため精度(空間分解能)が高いこと、発振周波数と出力振幅を正確に制御できること、弾性波速度だけでなく振幅減衰率を結果として得られることが特長です(榎原・ヤマモト、2009)。学術的には「高周波数の弾性波を用いた坑井間トモグラフィ法」と呼ぶ方が正しいのですが、24年前に技術開発を始めた頃、社内で「Acoustic Tomography」と呼んでいたことから、通称として「音響トモグラフィ地盤探査法」と呼んでいます。今回、本誌をお借りして技術のご紹介をさせて頂くにあたり、(1)原理・手法編、(2)実施事例編、(3)現場のこぼれ話編の3つに分けてお話をしたいと思います。

2. 音響トモグラフィ地盤探査法とは

音響トモグラフィ地盤探査法は図1に示すように2本のボーリング孔の一方に発振器、他方に受振器を設置して、地盤を伝播した高周波数の弾性波の到達時間と受振音圧から地盤断面の速度分布と減衰率分布を出力する方法です。発明者は米国マイアミ大学のヤマモト教授で、海底に敷設された機雷探査など軍事利用されていた技術がベースとなっています。1991年に川崎製鉄(現JFE

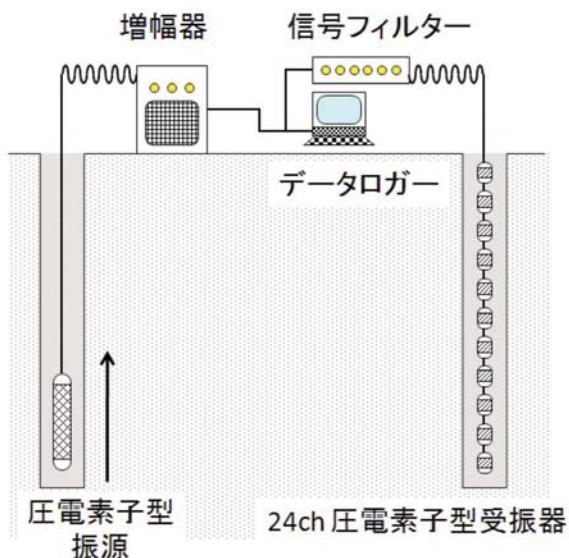


図1 音響トモグラフィ地盤探査法の概念図

スチール)の千葉製鉄所において坑井間距離136mと116m、発振周波数1kHzの弾性波トモグラフィ計測に成功したことが技術開発の始まりでした(図2)。図中、土質柱状図の砂質土(黄色)と粘性土(水色)で示される境界と解析結果の速度(1600m/s~1450m/s)の分布が良く一致していることが分かります。筆者も入社2年目の新米技術者としてこの実験に参加しましたが、その後23年に渡り、本技術ひとすじという会社人生を送るとは、当時は思いもしませんでした。本章では本手法の特徴について計測方法と解析方法に分けてご説明します。

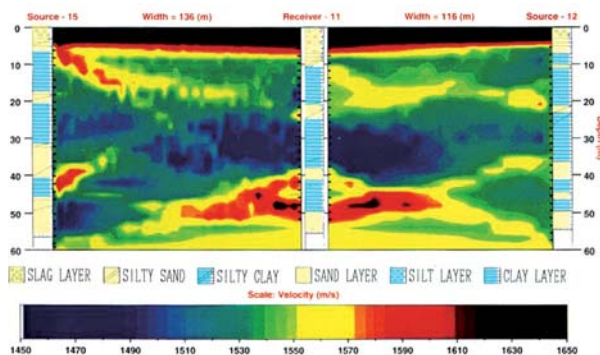


図2 川崎製鉄 千葉製鉄所における弾性波トモグラフィ計測結果。(速度分布図)

2.1 計測方法(圧電素子型振源と疑似ランダム波)

一般的な弾性波探査は爆薬や打撃、機械振動などを用いて波動を地盤内部に伝播させますが、本手法は圧電素子型振源(写真-1)を用います。圧電素子とはセラミックスなどの圧電効果(電圧をかけると形状が変形する、または形状を変形させると電圧が発生する)を持つ材料で、周波数応答と出力波の再現性が非常に良いことが特長です。圧電素子型振源は海洋の魚群探知機やソナーに用いられていますが、圧電素子そのものはインクジェットプリンターのインクの吹出し口、車のキャブレタ、ストーブやコンロの発火装置など身近なところにも多く用いられています。

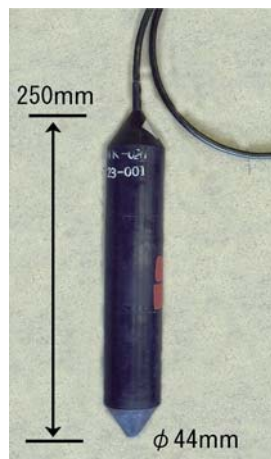


写真-1 圧電素子型振源

圧電素子型振源は周波数と出力を正確に制御できるという長所がありますが、一方で出力エネルギーが小さいという欠点があります。また、周波数の高い波は分解能

が高い半面、減衰が激しく伝播距離が短いため、圧電素子型振源を用いた高周波数の地盤探査はこれまであまり行われてきませんでした。本手法はこの欠点を克服するために連続波の一種である疑似ランダム波を発振波として用いています。この圧電素子型振源と疑似ランダム波を組み合わせて用いることで、従来手法よりも精度が高く、かつ、実用に足る範囲を探索できる手法を開発することができました。

疑似ランダム波はパルス圧縮と呼ばれる信号増幅手法の一つで、単一周波数の正弦波をベースとして位相変換により作成した連続波です。①発振波と受振波の相関関数がこの周波数に依存した波長をもつパルス波になること、②相関関数を行うことで信号を増幅するとともにノイズを除去できること、という特長があります。図3に発振波(a)、受振波(b)、相関関数計算後の波形(c)を示します。相関関数のピーク値となる時間(0.36ms)が到達時間、ピーク値の大きさが到達波の持つ受振エネルギーを表しています。実施例として、図4に埋立地(沖積粘性土と砂の互層)で計測した受振波(相関関数計算後)の波形図を示します。発振孔と受振孔の孔間距離は110mありましたが、従来手法では伝播させることが困難であった高周波数の波(1kHz)が伝播していることがわかります。

2.2 解析方法(速度と減衰率の利用)

本手法のもう一つの特徴は地盤断面の弾性波速度分布だけでなく振幅減衰率分布も計算できるということです。速度は、従来手法と同様に、波の伝播距離と初動波の到達時間から計算します。一方、減衰率は前述の受振音圧と発振音圧の差から式(1)と式(2)を用いて求めます。ここで、発振音圧 A_0 、受振音圧 A 、計測距離 d 、発振周波数 f 、減衰定数 α 、地盤中の音速 V 、減衰率 Q^{-1} とします(D.H.Johnston and N.Toksoz, 1981)。

$$A = \frac{1}{d} A_0 e^{-\alpha d} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{\pi f}{V} Q^{-1} \quad (2)$$

式(1)、式(2)から分かるように、減衰率の計算を行う上で発振音圧と発振周波数を制御することは不可欠です。従来の弾性波探査ではこの2つを制御することが難しかったため、減衰率の計測はあまり行われていませんでした。本手法では圧電素子型振源と圧電素子型受振器を水で満たした孔内に設置し、水圧を介して地盤に波動を伝播させることで周波数と出力を正確に制御した計測を行うことができます。

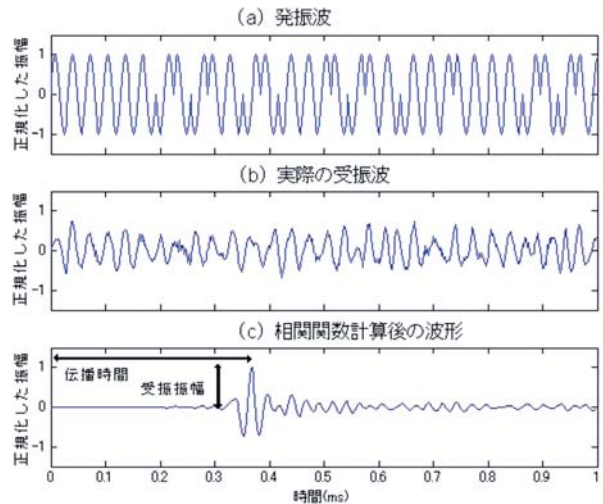


図3 疑似ランダム波の例

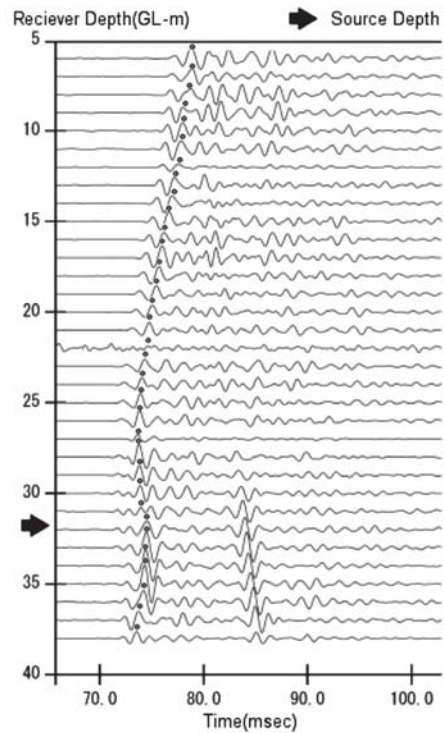


図4 埋立地における受振波形の例

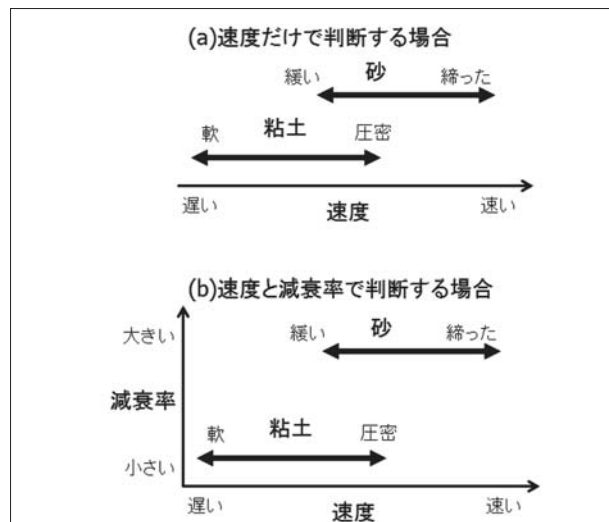


図5 速度と減衰率から分かること



この減衰率の計測により、従来の速度だけの調査では見えなかったものが見えるようになりました。例を図5に示します。速度情報(a)だけでは固い粘性土とゆるい砂の違いは判断できませんが、減衰率の情報(b)を加味すると、砂は粘性土よりも減衰率が大きいため砂と粘性土を区別することができます。また、図6は飽和砂の中に設置した木片を探查した例です。減衰率分布図からは木片の位置と大きさが把握できますが、速度分布図では全く見えません。これは、砂中を伝播する波は木片部分で散乱、反射しエネルギーを失うため、その部分の減衰率が大きくなりますが、一方、木片を迂回して伝播する波の経路と直進する波の経路の差がほとんどないため(0.3%以下)、速度には差が表れないことが理由です。

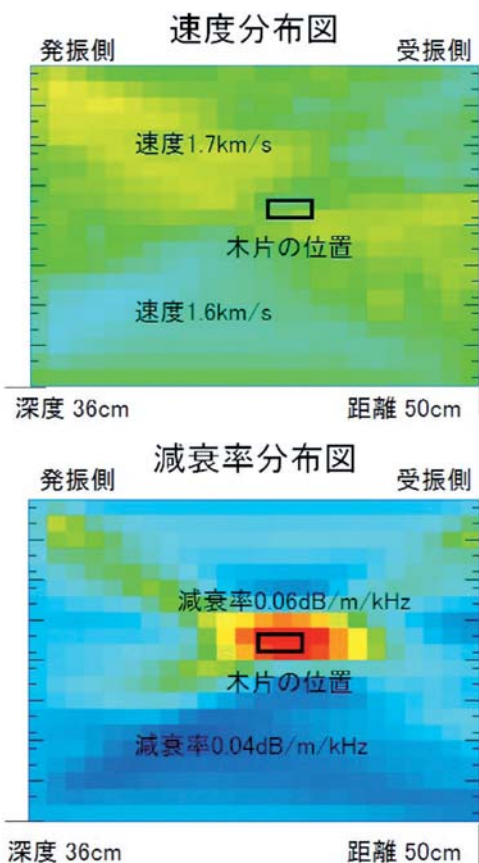


図6 飽和砂内部に設置した木片の探查例

3. 様々な応用

ここまで、音響トモグラフィ地盤探査法について述べてきましたが、本章では「周波数と振幅を正確に制御できる」という特長を生かした、他の分野への応用についてご紹介したいと思います。

3.1 天井クレーン走行桁の亀裂診断技術

我が国の製鉄所の多くは操業開始から40年～50年を越えているものが多く、設備の老朽化に伴う安全性の低下が危惧されています。特に鋼構造物など重量物を運搬する天井クレーンの走行桁は重要な設備であるにも関わらず、①稼働率が高く操業を止めることが難しい(従来の磁粉探傷や超音波探傷は走行桁の上を歩く必要があり、クレーンを止めなければならない)、②点検すべき設備の数が膨大である(1つの製鉄所には4000基以上の走行桁がある)、という理由から点検作業にはずいぶん苦勞をしていました。弊社はJFEスチールの設備保全を担当しているため、「操業を止めずに、すばやく簡単に診断を行う技術」の開発を求められていました。そこで、広範囲を短時間で調査する鋼材の亀裂診断技術「クラックルック™」を開発しました。

計測原理は「フランジ面内に適切な周波数の縦波と横波を伝播させ、フランジ側面に励起されたガイド波の受振音圧を計測する」というものです(図7)。鋼材に亀裂があるとガイド波の伝播に影響を与え受振音圧が低下することを利用し(図8)、亀裂の長さを把握することができます。また、疑似ランダム波はクレーンの走行ノイズの影響をあま

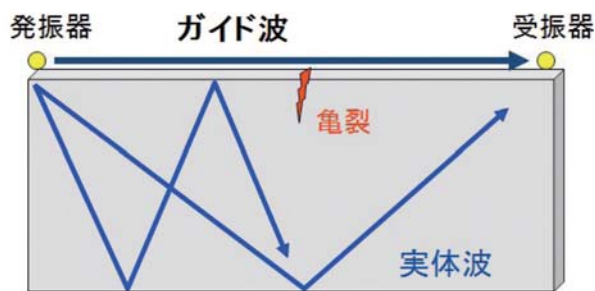


図7 走行桁の亀裂診断技術の原理

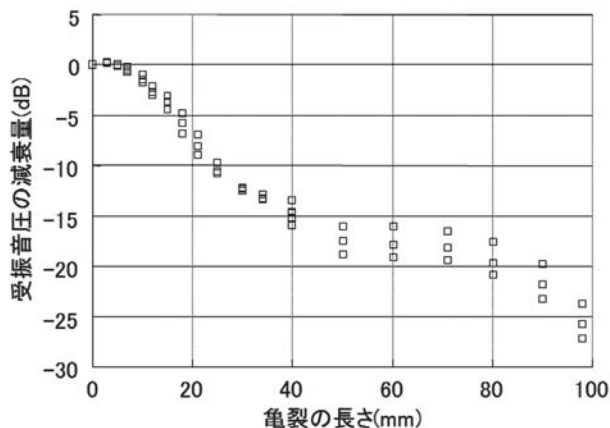


図8 亀裂長と受振音圧の減衰量の関係

り受けないため、操業を止める必要がありません。図9に計測方法を示します。先端にセンサーを付けた棒を床面から伸ばし、診断する桁の両端に設置します。そして、ガイド波を伝播させてその受振音圧を計測します。操業に関わらず診断ができること、走行桁に上るための足場が不要であることから、多くの工場で使われるヒット商品になりました。

3.2 樹木内部の空洞腐朽診断技術

保存樹木や街路樹の内部診断は従来、ドリルの貫入抵抗を用いる手法や打音による手法が用いられていましたが、熟練作業が必要である、面的な調査ができないなどという課題がありました。JFEグループ内に樹木診断を行っている会社があったことがきっかけで、樹木内部を人間のCTスキャンと同じように非破壊で輪切りにする技術「ドクターウッズ™」を開発しました。計測状況を写真-2に示します。樹木周囲に設置したセンサーを用いて発振と受振を繰返し、速度断面図を作成します。空洞や普及部があれば低速

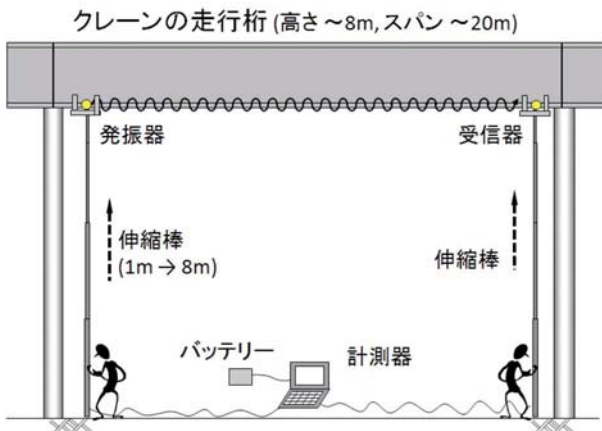


図9 クラックルックの計測方法



写真-2 ドクターウッズの計測状況

度部として出力されることを利用して診断を行います。非破壊診断にはなじみが薄い造園技術者が使用することを想定して、センサーの設置後、計測から解析、診断書出力(図10)までを全自動で行えるように工夫してあります。現在、日本では最も優秀な樹木診断技術の一つとして評価されるようになり、テレビの科学番組でも紹介されました。

今回は地盤調査に関する実施例をご紹介します(続く)。

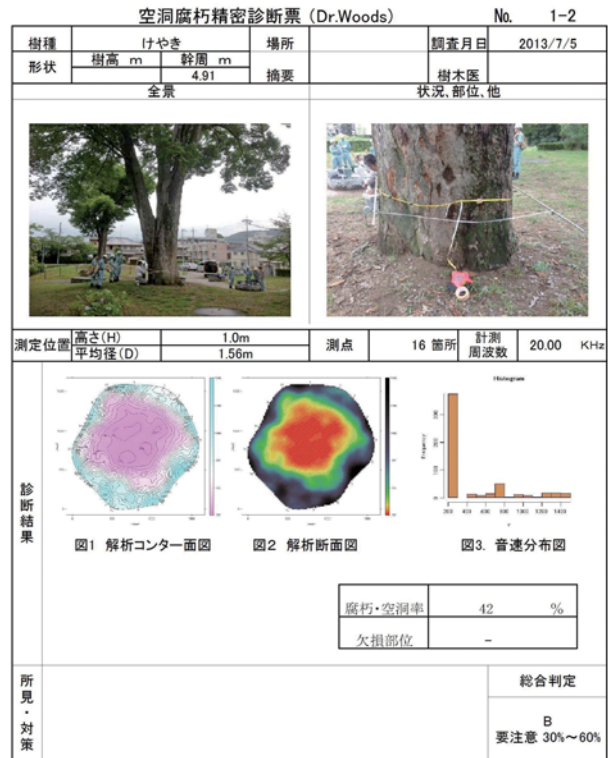


図10 ドクターウッズの診断書の例



写真-3 発明者のヤマモト教授(右端)と筆者(左端) 1998年3月。米国ニューオーリンズ沖での実験



「地震や火山活動の舞台を探る」

1. 研究室概要

北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センターは、科学技術・学術審議会の建議に基づく地震予知、火山噴火予知研究計画(平成26年度からは“災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画”)を推進する機関として、それまで道内各地にあった観測施設を統合して1998年に設立されました。また、大学院理学自然史科学専攻地震学火山学講座として大学院教育を受け持つとともに、全学教育科目・地球惑星科学や理学部地球惑星科学の教育を担当しています。現在は、地震観測、海底地震、火山活動、地下構造の4研究分野と共通(客員)分野および地震火山地域防災情報室、観測技術班から構成されています。主要施設は、北海道大学札幌キャンパスの理学研究院4号館にあり、有珠火山観測所をはじめ、北海道内に約50箇所の地震、火山、地殻変動、地磁気地電位等の観測施設を設置し、そこで得られる観測データを基にした研究や関係諸機関とのデータの流通を行っています。

地下構造研究分野には、現在、教授1名、非常勤研究員1名、非常勤職員1名、大学院生3名、学部4年生2名が所属し、主として、地球電磁気学的手法による、地震発生地域や火山地域の地下構造、地震・火山活動に伴う電磁気現象、空中電磁法の研究を、他の研究機関とも共同して進めています。最近は、地熱地域や温泉地域の地下構造の研究、河川堤防の高透水域の検出等の実用的な課題も取り組んでいます。以下、当分野で行っている研究の主な成果を紹介します。

2. 地震発生地域や火山地域の地下構造

北海道内で大きな内陸地震が発生する弟子屈・屈斜路地域、日高山脈、石狩地域、道北地域などの地下構造の特徴を研究している例を紹介します。図1に、北海道東部弟子屈・屈斜路地域の3次元比抵抗構造の例を示します。この地域では1938年に屈斜路カルデラ縁を震源とする屈斜路地震(M6.0)が起こり、多くの地変と共に地震断層が現れました。また、1960年代前後にもM>5の地震が9回も発生しています。このような大きな地震の発生の原因は、カルデラ構造や火山活動と関連して地下構造が不均質になり、応力を受けた時に構造境界に歪が集中して、大きな地震が発生すると考えられています。地下深部からの流体の供給も大きな要素です。このような地殻構造特徴は、他の内陸大地震発生地域でも見られます。

北海道には、たくさんの火山があり、近年に噴火をした

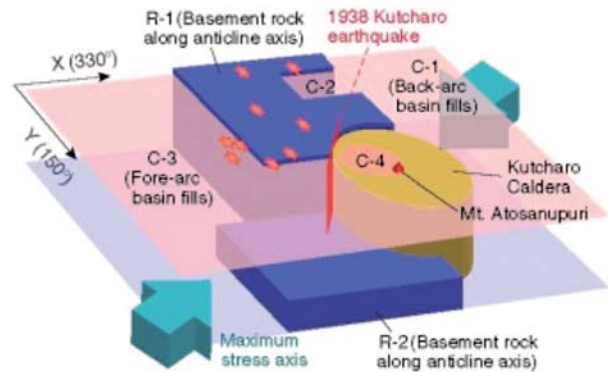


図1 マグネテリク法による3次元比抵抗構造。複雑な構造や火山周辺の温度構造が大きな地震の原因と考えられています。(Ichihara et al. 2013)

活発な火山として、北海道駒ヶ岳、有珠山、樽前山、十勝岳、雌阿寒岳などがあります。これらの火山は、普段でも噴気が見られ、地下では微小地震が頻発する活動を続けています。このような火山の地下構造を調べることも課題です。樽前山の例を紹介します。樽前山では1909年の噴火で、山頂火口原の中に溶岩ドームが出現しました。また、現在でも500℃位の噴気の活動が見られます。その地下はどうなっているのかを調べた結果が図2です。この3次元比抵抗構造によると、ドーム直下には地下深部から流体を導く柱状の低比抵抗構造があり、そこを通る深部からの流体と地表付近にたまる天水とが混合して噴気活動を支えている

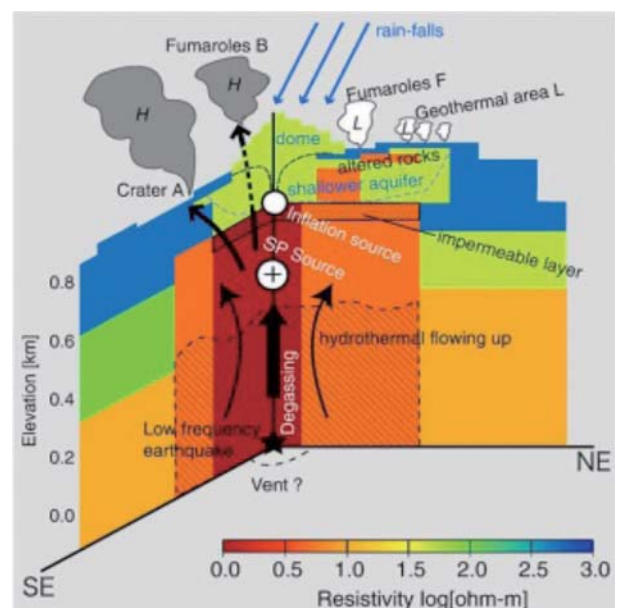


図2 マグネテリク法による樽前山火口原の比抵抗構造。ドーム直下に柱状の低比抵抗構造があり、そこでは流体の上昇、低周波地震などが起きている (Yamaya et al. 2009)。

ると考えられています。

3. 地震や火山活動に伴う電磁気現象

地震発生や火山噴火に伴って、電磁気現象が観測されることがあります。火山ではマグマが上昇してきて、地下の温度が上がると磁化している岩石が消磁され、地表で観測される磁気の強さは減少します。温度が下がると磁気の強さは増加します。これは火山の噴火活動推移を知るためには重要なデータであり、我々も火山研究分野と共同で、駒ヶ岳、有珠山で連続的に観測しています。

地震発生に伴い地電流の変化や上空の電離圏電子密度の変化などの現象が知られています。また、地震の前にも、地電流の変化や電波の伝播異常が観測されています。我々も地震が頻発する日高地域や根室、弟子屈地域で地電流の観測やVHF帯電波伝播異常の観測を継続しています。VHF帯電波伝播異常観測は我々が2003年以来重点的に取り組んでいる課題で、道内12か所の観測点に図3に示すようなアンテナ群を置き観測を続けています(Moriya et al., 2010)。大きな地震の前には異常が起こることがありますが、ノイズとの分別も難しく、どのくらいの確率で地震発生と結びつくのかを明らかにして、地震予測実用化の足掛かりとなるような研究を続けています。



図3 VHF帯電波伝播異常観測には、FM放送波を受信するアンテナ、ラジオを利用している。

4. 空中電磁探査

電子回路技術やコンピュータ技術の発展に伴い地下構造探査技術も高度化してきました。いまや3次元空間に住む我々にとって究極の目標である、地下構造の3次元モデルも作成できるようになってきました。しかし、3次元モデルを作るには隙間なく大量のデータを集める必要があります。海上では、船により稠密な3次元データが集められています。起伏や障害物の多い陸地ではどうすればいいのでしょうか。その答えが空中探査です。これにより3次元モデルに必要なデータが効率的に取得できます。我々は3次元モデル時代の到来を見通して、空中探査の研究を行ってき

ました。空中探査は、精度が限られ、可探深度も浅いという問題点もあります。そこで、我々は地表にソースを置き、空中で地下の電磁応答を取得する探査法を電力中央研究所と共同で開発しました(図4, Mogi et al. 2009)。これによって、ノイズ除去が容易になり、探査深度がより深くなるだけでなく、ヘリコプターも安全な飛行高度にて探査できるようになりました。火山や急傾斜地では立ち入り困難な所も多く、海岸地域のような陸からも海からも探査が難しい場所において、空中探査の威力が発揮できます。現在までに、火山(阿蘇山、磐梯山)、海陸境界地域(九十九里浜)、海岸の活断層(野島断層)などで基礎的観測研究を行っています。最近では3次元モデリングの研究も進め、海の影響や地形の影響も調べられるようになってきました(AbdAllah et al, 2014)。また、土被りの厚い長大トンネルの調査や火山の防災調査等に実用的にも使われています。今後も空中探査は、地下構造の3次元モデルを作成するためのツールとして発展することが期待されます。

(文責：北海道大学 茂木 透)



図4 地表ソース型空中電磁法の探査の様子。ヘリコプターから40mのケーブルでセンサーを吊り、その中間にデータ収録装置も吊っています。

参考文献

- AbdAllah, S., T. Mogi, H. Ito, A. Jomori, Y. Yuuki, E.Fomenko, K. Kiho, H. Kaieda, K. Suzuki, K. Tsukuda (2014), Explor. Geophys., 45, p. 49-61.
 Ichihara, H., T. Mogi and Y. Yamaya (2013), Tectonophysics, 603, p.114-122.
 Mogi T., K. Kusunoki, H. Kaieda, H. Ito, A. Jomori, N. Jomori and Y. Yuuki, (2009), Explor. Geophys., 40, p.1-7.
 Moriya, T., T. Mogi and M. Takada (2010), Geophys. J. Int. 180, p.858-872.
 Yamaya, Y., T. Mogi, T. Hashimoto and H. Ichihara (2009), J. Volcanol. Geotherm. Res., 187, p.193-202.

ワンデーセミナー「地熱開発の現状と今後 ～物理探査に何が求められているか?～」開催報告

物理探査学会では物理探査に関わるタイムリーな話題を選び、ほぼ一日かけて講演をしていただくワンデーセミナーを年1回開催しています。今年度は平成26年2月17日(月)に独立行政法人産業技術総合研究所臨海副都心センター別館会議室をお借りして開催いたしました。

今年は「地熱開発の現状と今後」をテーマとして、4名の講師の方々に講演をして頂きました。

ワンデーセミナーのテーマを選ぶのは、事業委員会としては毎年の悩みのひとつなのですが、今年は比較的速やかに決まりました。

3.11東日本大震災を契機に我が国のエネルギー事情は大きく様変わりしました。化石燃料や原子力だけでなく再生可能エネルギーが注目されています。そのなかでも地熱発電は、物理探査分野の最も関わりの深い発電技術です。

ワンデーセミナーには例年40名程度の申込がありますが、今回は最終的に65名の申込があり、会場も盛況となりました。それだけこのテーマが注目されているのだと思います。

以下に講演の概要を紹介いたします。

【第一部】: 基調講演

演題:「地熱の技術開発はどこまで進んでいたか～失われた10年の前後～」



講師: 當舎利行((独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構)

基調講演として、最初に當舎氏から、我が国の地熱開発の歴史から現状までを大変わかりやすく解説していただきました。我が国の地熱資源ポテンシャルは世界第3位の量ですが、その利用状況はまだまだ限られたものとなっています。1997年に「新エネルギー」の範疇から外された地熱エネルギーは、その後2003年3月に政策的な意義が見いだせないという理由により国のプロジェクトが終了しました。これらのプロジェクトの目標と到達点を改めて俯瞰しました。2013年には地熱開発の新たな動きがあり、それについての解説と、今後の方向性について示されました。2003年から2012年の10年間は地熱技術開発が停滞し、人材が育っていないという負の遺産もある様で

す。しかし、2013年には環境省による自然公園内での開発規制の緩和もあり、地熱発電が今後推進される見通しができました。物理探査には、①衛星利用の広域探査技術、②弾性波と電気・電磁の統合解析、③三次元解析、④坑井近傍の探査技術、⑤耐熱性を有する新たな計測・解析技術などが必要であることが指摘されました。

【第二部】: ケーススタディー

演題:「電磁探査法から解釈される地熱系の構造」



講師: 高倉伸一((独)産業技術総合研究所)

休憩を挟み、午後最初の講演は、電磁探査を地熱開発のために応用した事例の報告です。電磁探査の原理だけでなく、比抵抗構造を解釈するための物性値と比抵抗の関係など基礎的な事柄から様々なケーススタディーの紹介がありました。特に物性値と比抵抗の関係に注目した解釈は、大変説得力があり、今後の物理探査の方向性のひとつとして重要な指摘であると思います。今後の物理探査が取り組むべき課題として、①ケーススタディーを増やすとともに基礎実験によるデータの蓄積、②広範囲の深部比抵抗探査、③既存データの整理とデータベースの構築、④産学官の連携、などを挙げられました。

演題:「秋田県湯沢市 木地山・下の岱地域における地熱開発にかかる物理探査とその解釈について」



講師: 佐藤龍也(地熱技術開発(株))

ケーススタディーのふたつ目は、秋田県湯沢市の木地山・下の岱をいう具体的なフィールドについて掘り下げて、説明されました。当該地域は国定公園第1種から第3種特別地域となっています。はじめにこのような場所で地熱

開発を行うための条件などが説明されました。物理探査として電磁探査(MT法)、重力探査、自然電位探査が紹介されました。電磁探査と重力探査、自然電位とを組み合わせることで総合的に解釈した結果、有望な地熱貯留層が賦存する可能性が示されました。他にも微小地震観測を行い、S波のスプリットングに着目した解析による断裂系推定の試みが進められているとの話題もあり大変興味深いものでした。今後、坑井を掘削し、検証が行われるとのことでした。

演題:「オーストラリアクーパー盆地の高温岩体地熱地点における物理探査」



講師:海江田秀志((一財)電力中央研究所)

最後の講演は海外の事例についての報告でした。オーストラリアには現在活動している火山がないので、高温岩体発電の開発が行われています。この高温岩体発電は、人工的に地熱貯留層を形成するため、資源量が膨大なことや開発リスクを低減できる可能性があることが魅力のことです。始めに米国での高温岩体発電の成功例が示され、ヨーロッパや国内の事例も紹介されました。オース

トラリアでは地下5kmまで掘削すれば、発電に十分な温度が得られ、これに人工的に亀裂を造って、水を注入することで熱水を得ることができます。実際に掘削してみると、深さ約4kmで想定外の被圧した熱水の噴出や掘削した坑井が使えなくなるトラブルに遭遇するなど、写真を交えて臨場感あふれる話も聞くことができました。人工亀裂を造るときに発生する振動(AE)の観測も行われ、このデータを使って亀裂のイメージングも試みられました。その結果、地熱貯留層はほぼ水平に約3kmにわたって形成されたと推定されました。この結果を基に生産井が掘削され、水の循環が確認されました。ここでも物理探査技術が大いに役立っていることが示されました。



最後に、会場の手配や当日の対応などで協力いただいた元物理探査学会会長の内田弘様に感謝の意を表して筆を置きます。

(文責:事業委員 鈴木敬一 柴田耕一)

新 刊 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

ご存知ですか? 学会ホームページの様々な機能

その1: 会員データベースへの登録

IT化特別委員会

1. IT化の取り組み

当学会では2000年以降会員減少期に入り、学会の最大収入源であります会費収入減が学会財政に大きな影響をもたらしつつあります。さらには会員を取り巻く労働環境あるいは社会環境の変化に伴い、これまで学会運営の基盤を担ってきた会員によるボランティア活動に過度に期待できなくなりつつある状況になってきています。一方で、インターネットを利用して学会が所有する学術資産を流通させることは、避けて通れない状況となっております。

学会運営業務全般にわたりIT化を促進させることの意義は、会員の利便性を向上させるばかりでなく、学会の広報力強化、学術情報・技術情報の円滑な流通化、学会運営業務全般にわたるコスト削減化等の多面的な意味・目的を有しています。IT化特別委員会では、学術情報の流通性向上に対応しつつ将来を見据えた学会運営の見直しを行い、学会ホームページ(HP)を基軸としたIT化を推進することを目的として設置された特別委員会です。具体的には以下のミッションを達成すべく活動しています。

(1) 学会運営基盤の強化

- ・WEBを機軸とした学会業務の一元的な管理・運用システムを導入し、会員サービスを維持・向上しつつ学会運営コスト・作業量を削減する仕組みの構築

(2) 会員サービスの向上

- ・会員情報の電子登録・検索
- ・会誌・講演会論文集の電子投稿
- ・学会が有する学術資産の電子閲覧
- ・各種イベントのオンライン申込み
- ・オンライン決済

(3) アウトリーチ活動

- ・学会の社会貢献性を広く一般の方々にアピール
- ・社会との双方向型コミュニケーションの実現

上記事項のすべてを達成した段階ではありませんが、本記事では現状利用可能なサービスをご紹介します。なお、当学会は平成25年5月1日に公益社団法人化されましたので、単なる内向きの情報交換の場の創出という発想を超えて、わが国の学術文化ならびに社会の発展に貢献・寄与することのミッションを根底に抱えています。従いまして、サービスの対象は会員ばかりでなく一般社会向けも意識しつつ、良いバランスを考えて行く必要があります(図1)。

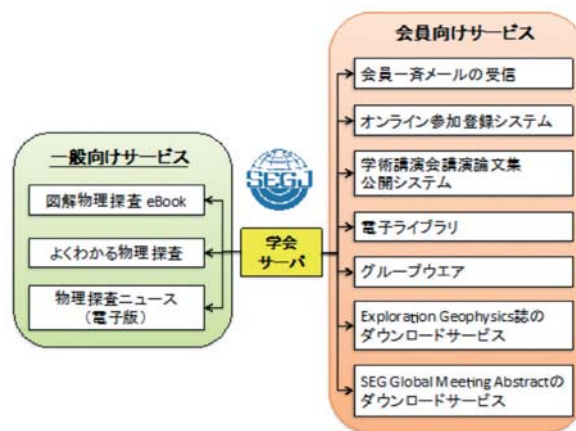


図1 学会サーバが提供するサービス一覧

2. 会員データベースへの登録はお済みですか?

会員向けサービスを利用するためには、会員データベース(会員DB)に会員情報を登録いただく必要があります。会員DBは2005年の11月より運用しておりまして(ちなみにそれ以前は当時の会員委員会委員の方々が事務局に足を運び入力していたとのことです)、入会システムを通してオンラインで入会されました会員の情報はそのまま会員DBに移動されますが、システム運用以前に入会いただいた会員の方は、以下の手順に従ってご自身で会員DB登録していただく必要があります。

- (1) 学会のHP(<http://www.segj.org>)にアクセスいただけます(図2)



図2 学会HPのトップページ

- (2) 「会員ページ」をクリックしますと、会員専用サイト入り口のページに移動します(図3)
- (3) 図3において「オンライン会員データベースについて」をクリックしますと会員DBへの登録を行うトップページにたどりつきます(図4)

ここから、会員DBへの登録作業を実施していただきますが、セキュリティを最優先しているため、若干煩雑に感

じられるかもしれませんが、手引き通りに実施していただきます(この手引きは当時の会員委員会の方々で作成された、とてもわかりやすいものです)。手引きを閲覧しながら操作するのはおそらくここだけで、使用者に優しい設計になっていると思います(この種のシステムで、手引きを見ながらでないと操作できないものはそもそも設計思想に問題あると考えるそうです)。また、パスワードを忘れてしまった場合も、この手引き通りに実行すれば対応することができますが、現在、パスワードを忘れてしまった場合の対応を容易にするための作業を進めています。

会員情報を登録いただく際に、項目によっては、その情報を「公開」するか「非公開」にするか選択することができます。「公開」を選択しますと、他の会員が検索・閲覧することができます(一般には公開されません)。なお、登録には各種個人情報を入力していただきますが、送信する段階で暗号化することにより個人情報を保護しています。さらに、当学会のサイトになりすまして個人情報を盗難されること(いわゆるフィッシング詐欺)を防止するため、サーバ証明書を取得しています。この証明書は、暗号化通信しようとするサーバが物理探査学会であることを証明するものです。図2の「サーバ証明書」をクリックする

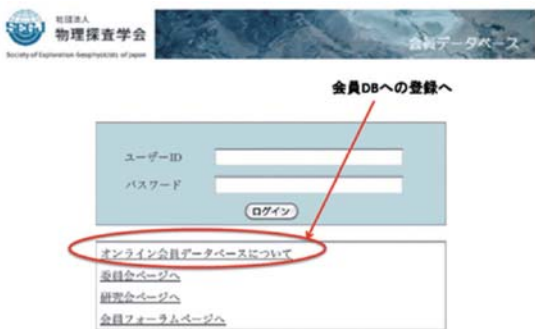


図3 会員専用サイト入り口のページ

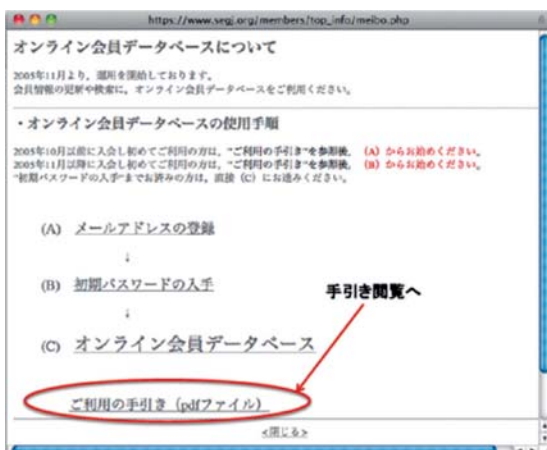


図4 会員DBへの登録を行うトップページ

と図5の証明書が閲覧できます。なお、会員DBのサーバ自体は、ネットワークとは完全に切り離した状態で学会サーバと接続しているため、ネットワーク経由での不正なアクセスを防止しています。

さて、無事登録が完了しますと、それ以降はIDとパスワードを入力することにより、会員DBにログインできます。登録により様々な会員サービスを受用できますが、まず、事務局からの会員一斉送信メールを受信することができます。学会HPのトップページのWhat's Newに掲載される各種セミナー・講演会などの連絡事項をリアルタイムに受信できます。これまでは、定期的に学会HPに訪問するか、2ヶ月に一度送られてくる会誌に掲載している情報を閲覧されていたかと思いますが、リアルタイムで送られてくる情報は大変利便性が高いです。ただ、利便性が高い反面、メールの洪水に四苦八苦されている方々には、学会HPに掲載される全ての情報をメール受信したくない場合もあります。この問題を解決するために、学会HPに掲載される情報を分類し、それぞれの分類毎にメール送信希望の有無をチェックボックスで設定できるように機能変更しています。

3. おわりに

現在、会員DBに登録いただいている会員の割合は全体の7割程度に留まっております。前述しました通り、サービスの提供という側面以外に健全な学会財政の維持という重要な側面も有しており、学会運営の効率化・管理一元化を達成する必要があります。そのためには英知を結集して取り組むべきものです。IT化の趣旨をご理解いただき、まずは会員登録からお願いできましたら幸いです。次回以降は各種サービスにつきまして、触れていきたいと思っております。

(文責：東京大学大学院工学系研究科 松島 潤、石油資源開発(株) 山根照真、京都大学工学研究科 後藤忠徳)



図5 ベリサイン社によるサーバ証明書



講演会・セミナー開催のお知らせ

第130回(平成26年度春季)学術講演会のお知らせ

公益社団法人 物理探査学会では、第130回学術講演会を下記により開催します。各位のご参加をお願いいたします。

1. 会期

平成26年5月28日(水)～5月30日(金)

2. 会場

早稲田大学国際会議場

3. 交流会

平成26年5月29日(木)

早稲田大学 大熊会館一階 楠亭(なんてい)

4. 参加事前登録

平成26年5月16日(金)まで

5. 講演会参加費

一般：5,000円(事前登録)、6,000円(会場登録)

学生：2,000円(事前登録)、3,000円(会場登録)

(学会財政健全化に向けた方針の一環として、参加費が従来より高くなりました)

6. 交流会参加費

一般：5,000円(事前登録)、6,000円(会場登録)

学生：2,000円(事前登録)、3,000円(会場登録)

平成26年度物理探査セミナー

1. 会期：平成26年7月15日(火)～7月17日(木)

2. 会場：東京大学山上会館

3. 内容：未定

セミナーの内容と申込方法は近日中に学会誌およびホームページにてご案内いたします。

会誌「物理探査」への投稿募集中

既に表彰委員会からお知らせしたとおり、物理探査学会賞に新たに事例研究賞が創設されました。

会誌に掲載された「技術報告」と「ケーススタディ」が対象となりますので、奮ってご投稿下さい。

(会誌編集委員会)

編集後記

物理探査ニュース第22号いかがだったでしょうか？

本号では、「ホント？ SFの中の探査」コーナーにて東野圭吾著「真夏の方程式」を、書評コーナーで京都大学・後藤先生著の「地底の科学」と2冊の書籍をご紹介しました。振動や電気など目では見えない物理現象で地中を可視化することは、物理探査を実施している我々からすると当たり前の事ですが、世間一般の人からすると「物理」という言葉が付くだけで拒否感をもつ人がいるように、難しいと感じるのかもかもしれません。実は、私も学生の頃はその一人でしたが、社会人になり実際に業務を担当した際に、「測定に関してやっていることは意外と単純」という事実が判ってから、今日まで物理探査に携わり続けています。今回ご紹介した書

籍が多くの人に読まれ、世間の物理探査に対する認識が拡がり、物理探査に興味を持つ人が一人でも増えることを期待しています。また、物理探査が登場する小説・書籍がございましたら、物理探査ニュースにてご紹介したいと考えておりますので、ぜひお知らせください。

物理探査ニュースの発行も6年目となり、ニュース委員会メンバーは、さらにわかりやすく親しみやすい内容、かつ物理探査学会の一般向け広報ツールとするべく様々な知恵を絞っております。これからもご愛読の程よろしくお願いたします。

(ニュース委員会委員：川島 裕貴)

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22号 2014年(平成26年)4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