

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

目次

研究の最前線	
超高分解能三次元地震探査 (UHR3D)	1
物理探査学会	
第143回 (2020年度秋季) 学術講演会報告	3
わかりやすい物理探査	
屈折法 その1:車でドライブ?.....	4
会員企業紹介 有限会社ネオサイエンス.....	6
研究室紹介 兵庫県立大学.....	8
会員の広場 フレッシュマン紹介	10
本の紹介 反射法地震探査データ処理の数理	11
お知らせ、編集後記	12

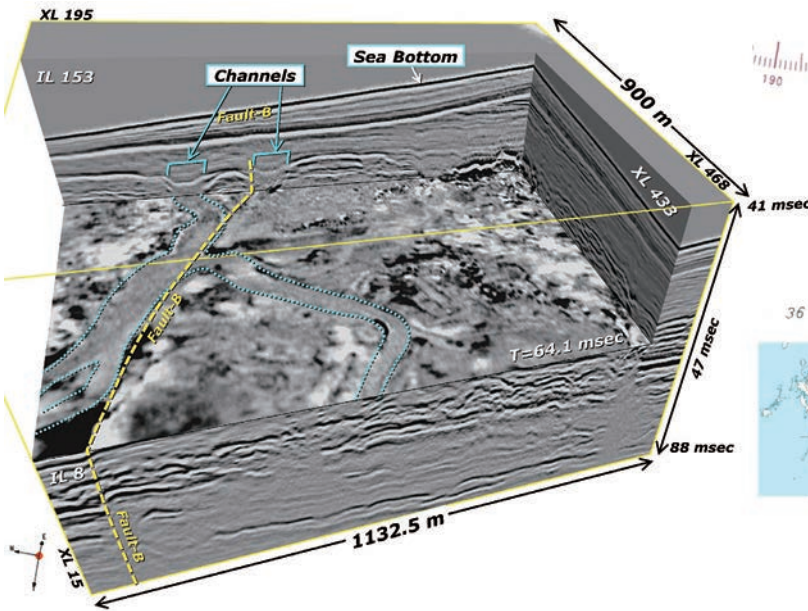
Geophysical Exploration News January 2021 No.49



令和元年度
論文業績賞

超高分解能三次元地震探査(UHR3D) —日奈久断層帯海域部における実施例—

株式会社地球科学総合研究所 猪野 滋



巻頭図 (左)UHR3Dにより明らかになったチャネル構造

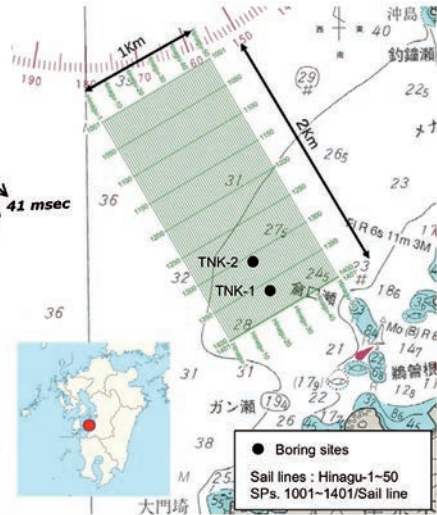


図1 調査エリア位置図

1. はじめに

従来の海底活断層調査では二次元測線を約1~2km間隔の格子状に設定して実施されてきたが、格子状の二次元測線だけでは測線間の断層の空間的なつながりは各測線での断層位置から推測するしかなく、横ずれ断層の変位量の推定も困難である。また、二次元地震探査の断面図では、側方への構造の傾斜が大きい場合、側方からの反射波があたかも測線直下の反射波であるかのごとく現れるので三次元構造の位置や形状を正確には表現できない問題もある。今回紹介する超高分解能三次元地震探査(Ultra-High Resolution 3D seismic survey : UHR3D)の

手法は、この問題を解決するために、従来のブーマーを用いた二次元音波探査を三次元に拡張した手法である。三次元反射法地震探査は、石油・天然ガスを対象とした資源探査の分野で主に使用されているが、UHR3Dは資源探査に比較してより小型の調査船と短いケーブル、より高周波数の震源を用いた、簡便なシステムでかつ高分解能化を目指した手法である。この手法を用いて、2017年2月、熊本八代海において日奈久断層海域延長部を対象とした活断層調査を実施した。

2. 調査方法

図1に示す熊本県津奈木町沖の八代海においてデータ

取得作業を実施した。(株)地球科学総合研究所が開発した独立型ストリーマケーブル(Autonomous Cable System:ACS)を4本曳航し、ブーマーを震源とした三次

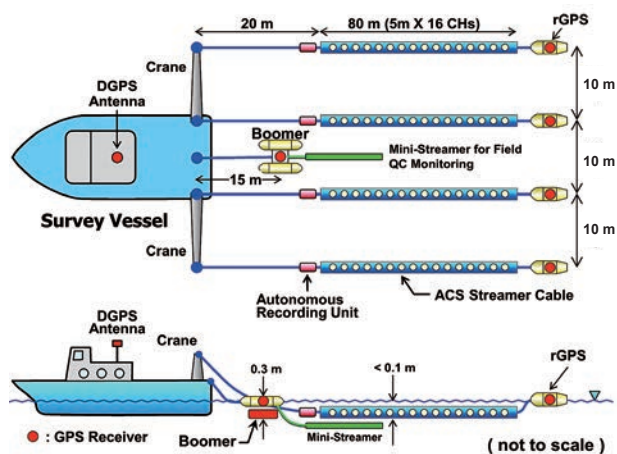


図2 UHR3Dの観測システム

元観測を実施した。使用した観測システム(図2)は、観測船後部両舷にクレーンを設置して4本のACSを10m間隔で曳航した。ACSでは、受振された信号をA/D変換しながら常時連続的にFlash Memoryに記録しており、各ショット記録は測定終了後に発震時刻に基づいて切り出すことになる。ACSは観測船とは単にロープのみで繋がっており、従来のストリーマケーブルのように信号線を船上の観測室に引き込む必要がないのでケーブル投入・揚収のハンドリングは非常に容易である。

3. データ処理

UHR3Dで取得されるデータは、資源探査における三次元地震探査データと比べて水平分解能・垂直分解能ともに格段に高いため、その点に留意してデータ処理を行う必要がある。本処理では、複合型ノイズ抑制処理といった様々な手法を実施したが、特にフットプリント抑制処理の効果が大きかった。フットプリントとは、振幅や時間のばらつきによるインライン方向の縞模様のことであり、潮汐の影響やWater Column Statics(データ取得日・時刻の違いに起因する各種の時間差)、波浪やうねりに起因するケーブルごとの深度の違いなど、様々な要因により生じる。このようなフットプリントは、データ取得を高分解能化するほど顕著に現れるため、UHR3Dのデータ処理においては重要な処理項目である。図3にフットプリント抑制処理適用前後のタイムスライスの例を示すが、フットプリントが効果的に抑制されたことが分かる。

図4はUHR3Dのマイグレーション結果の俯瞰図の一例であるが、北側と南側に断層の存在が認められる。

巻頭図は北側の断層に沿って見られるチャンネル構造を示したものであるが、過去の堆積環境が確認できる。正確な断層走向の解明や、過去の堆積環境を示すチャンネル構造のような地質現象の視覚化は、二次元地震探査では困難

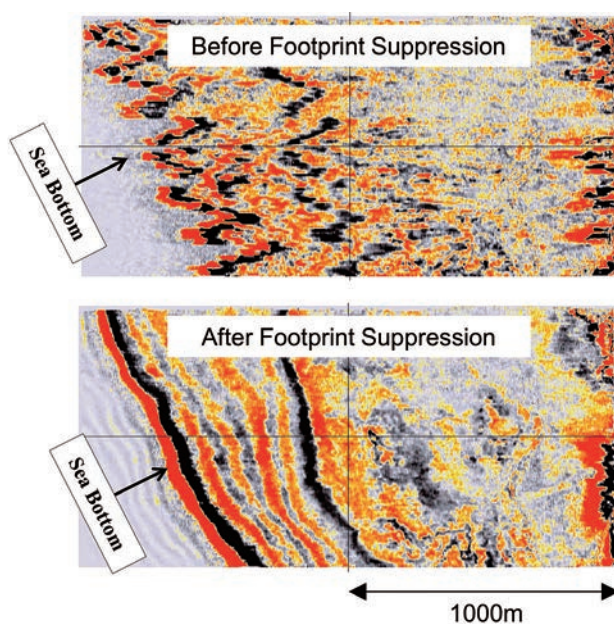


図3 フットプリント抑制処理適用前後のタイムスライスの例

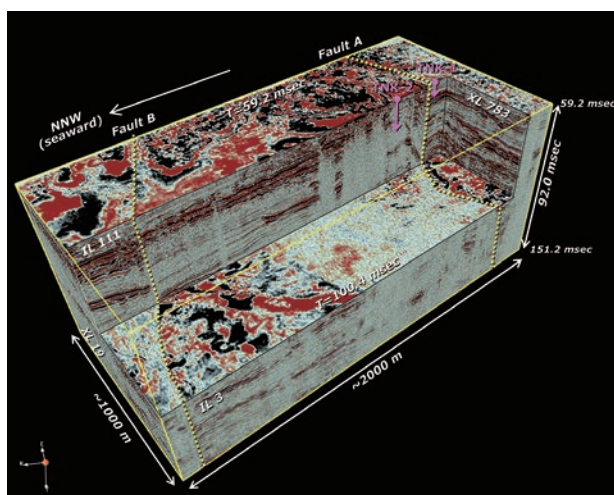


図4 UHR3Dマイグレーション結果の俯瞰図の一例

であり、三次元地震探査により可能となるものである。

4. おわりに

UHR3Dでは高精度な三次元データを取得でき、断層分布や地質構造、地層分布を空間的に把握することが可能となる。UHR3D探査は活断層調査に極めて有益な手法であり、詳細な断層分布や地質構造、構造発達史等の解明に役立つものと期待される。とりわけ、トレンチ調査が極めて困難である海域部での横ずれ断層の調査において、UHR3D探査が非常に有効な手段となるであろう。また、UHR3Dは土木工事等で海域での浅層部の構造調査が必要となる場合にも活用が期待される。

最後に、本データ取得及びデータ処理・解釈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。

物理探査学会

第143回(2020年度秋季)学術講演会報告

学術講演委員会 委員長 光畑 裕司

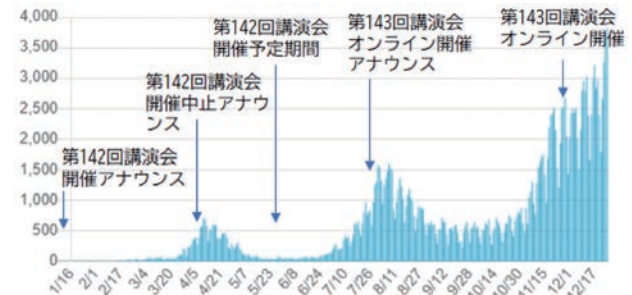
物理探査学会第143回(2020年度秋季)学術講演会が、令和2年11月25日～27日の3日間、オンライン形式で開催されました。令和元年12月からはじめた新型コロナウイルスの感染拡大の影響で、6月1日～3日に開催予定であった第142回(2020年度春季)学術講演会は中止となったため、今回、1年ぶりの開催となってしまいました。第142回の中止を決定した後、秋までにはこの状況も収束するものと安易に考えておりましたが、夏には感染の第2波が発生し、オンライン方式での開催を決定致しました。案の定、11月末には第3波が発生し、収束の見通しが困難な状況となっています。

今回、はじめてのオンライン開催を実現するために、学会でライセンスを購入しているGoogleのグループウェアG Suiteの中の、Google Meetを使用して講演会を運営することに決定し、会議の設定、参加リクエストと承認、カメラ・マイクのオン・オフ、プレゼンファイルの共有、チャットによる質問等の様々な要素を委員会で習得・実践し、マニュアル化しました。またオンラインということで、プレゼン画像の著作権や肖像権の問題、参加登録者以外の会議への参加、参加者数がライセンスの許容限界を超過する危険等、様々な問題に委員会で対応を検討致しました。さらに、オンライン開催といっても、実際のトラブルに迅速に対応するためには、やはり委員会メンバーが直接、相談しながら進めることが必要と感じ、茨城県つくば市の文部科学省研究交流センターの会議室を2スペース借りて、それぞれ第1会場および第2会場として、各5名程度の委員が、座長および進行運営を担当しました。

今回の講演会では、参加者157名、講演数54件(口頭発表のみ)でした。今回はじめてのオンライン開催なので、進行運営の負担を軽減するため、ポスター発表セッションは設けず、また優秀発表賞の選考も実施致しませんでした。さらに各講演時間を通常より5分長くして25分間として、実際のプレゼンに15分間、質疑応答に5分間、発表者の交替・発表環境設定に5分間を割り当て、進行時間に余裕を持たせました。さらに参加者や講演者の事前の接続テストの機会も設けました。これらの対応の甲斐もあり、さらに講演者の協力もあって、致命的なトラブルもなく、無事、講演会を完了することができました。

第142回が中止となったことと、今回はオンライン開催なので、出張・移動の必要がなく参加が容易なこと、また参加登録費用も値下げしたことで、参加者数や講演数のかなりの増加を見込みましたが、結果としては従来と同様な規模となりました。オンライン講演会への参加やプレゼンにまだ慣れていない方もおられると思いますので、それが要

因なのか、今後、会員の皆様のご感想やご意見をお伺いしたいと思います。会員の皆様に、よりご満足いただけるような次回講演会が開催できるよう、今回の経験を活かして行きたいと考えております。



新型コロナウイルス感染症 新規陽性者数(令和2年12月25日時点)
(厚生労働省, 2020年12月26日閲覧に加筆:
<https://www.mhlw.go.jp/stf/covid-19/kokunainohasseijoukyou.html>)



文部科学省研究交流センター外観



第2会場における事務局の様子



オンライン開催でのカメラ・マイク(左)および大型モニタ(奥)等の使用ツール

1. はじめに

今回から4回の連載で、屈折法地震探査をわかりやすく説明していきます。屈折法探査は古くから利用されてきた探査手法の一つで、特に我が国の土木・建設分野においては、昭和30年代の高度成長期以降、非常に多く実施されてきました。私がこの業界に入ったころには(40年も前ですが)、土木地質調査の分野で物理探査と言えば、屈折法地震探査のことを指していたと言っても過言ではありません。そんな屈折法探査ですが、最近では他の物理探査手法も多用されるようになって、若い物探屋さんの中には屈折法探査の経験がない人もいます。そこでこのような連載が企画されたのではないかと思います。

屈折法地震探査の解説は、だいたい屈折波とは何かといったところから始まり、スネルの法則だとかホイヘンスの原理を説明して、走時曲線の理論に移っていく流れになるのですが、それは次回からにします。今回は、屈折法も地震探査も出てきません。

2. 一般道or高速道路優先?

地震探査とか屈折法とかは忘れて、車でドライブすることを考えてみましょう。図1に示すように、一般道と高速道路が平行に走っている場所を想定しています。目的地は20km先です。白い車は、一般道を時速40km/hの一定速度で20km走ります。途中の信号待ちなどは考えないことにします。一方、赤い車は、まず出発点から5km離れた高速道路のインターチェンジまで一般道を時速40km/hで走行します。次に高速道路を時速100km/hで20km先の目的地最寄りのインターチェンジまで走ります。最後に、5km離れた目的地まで、一般道を時速40km/hで走ります。こちらも、信号待ちや料金所での時間のロスなどは考えないことにします。

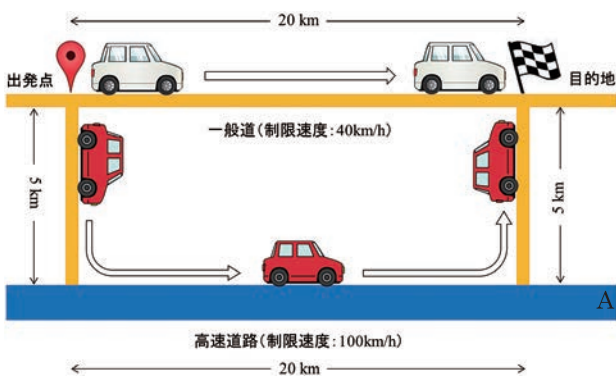


図1 同じ目的地まで一般道と高速道路を使うとどちらが早く着くか?
白い車：一般道 赤い車：高速道路利用

高速料金も考えないことにしましょう。走行距離は、白い車が20km、赤い車が30kmとなりますが、同時に出発した場合、目的地にはどちらが早く到着するでしょうか。最短距離を走った白い車でしょうか、少し遠回りしても速く走れる高速道路を通った赤い車でしょうか。それぞれの所要時間を計算してみましょう。白い車は、20kmを40km/hで走ったので、所要時間は $20 \div 40 = 0.5$ 時間(30分)です。赤い車は、5kmを40km/hで走り、その後20kmを100km/hで走り、再び5kmを40km/hで走りますので、所要時間は $(5 \div 40) + (20 \div 100) + (5 \div 40) = 0.45$ 時間(27分)です。赤い車のほうが3分早く目的地に着くことがわかりました。

3. 目的地までの距離が変わると?

では、どのような場合でも、遠回りして高速道路を走ったほうが早く到着するでしょうか。そうでないことは、直感的にわかりますね。上の例題では、目的地までの距離を20kmとしましたが、もっと短い場合や長い場合はどうでしょうか。

距離を10km、15km、20km、25kmと4通り想定して計算してみましょう。非現実的ですが、高速道路にはいたるところにインターチェンジがあって、どこからでも高速道路を降りて、一般道を5km走れば目的地に到着できると仮定します。計算結果をグラフにしたのが図2です。4通りの距離に対する所要時間のグラフは直線になり、白い車と赤い車ではその傾きが異なっていることがわかります。白い車のほうは、10km走るのに15分かかっていると読み取れます。つまり時速40km/hで走ったことが、このグラフの傾きから読み取れます。赤い車のほうは、傾きが小さくて図からは読み取りにくいですが、10km走るのに6分かかっていますので、時速100km/hであることがわかります。つまり、複数の異なる距離で所要時間を測定することができれば、

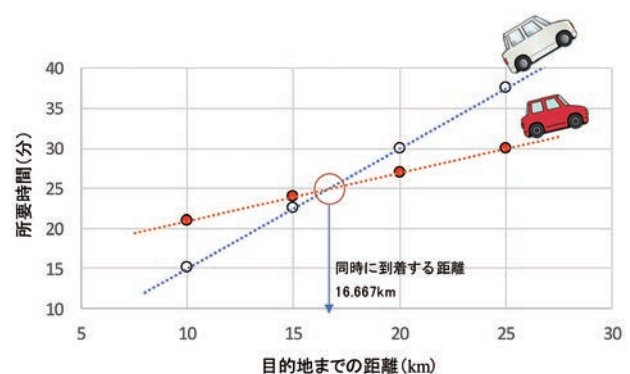


図2 目的地までの距離を色々変えた場合の所要時間

距離と所要時間のグラフの傾きから、走行速度を割り出すことができるのです(距離を所要時間で割った値を速度としているのですから当然ですが)。ここで、赤い車は一般道と高速道路のどちらも走行しているのに、このグラフの傾きは、高速道路の走行速度だけを示しているところが特徴です。

このグラフからわかるもう一つのことは、白い車と赤い車が同時に目的地に着くのは、2つの直線の交点、つまり所要時間が一致する距離(この例では図中に○で示したように16.667km)の場合であるということです。目的地がこの距離より近ければ、一般道を行ったほうが早いし、これより遠ければ、高速を利用したほうが早いということがわかりました。

4. 一般道と高速道路の間の距離を色々変えらると?

さてここまでの話では、一般道から高速道路のインターチェンジまでの距離を5kmとしましたが、この距離が変わるとどうなるでしょうか。距離を3km~7kmまで1km刻みに変えて計算した結果が図3です。白い車は、この距離が変わっても所要時間に影響を受けませんので、図2と同じグラフです。赤い車のグラフは、当然ながら距離が長くなると所要時間が増えることがわかりますが、5本の直線は一定間隔で平行であることもわかります。つまり直線の傾きは一定ですから、どのケースでも赤い車の高速道路での走行速度は100km/hであることがわかります。またグラフの間隔は一定ですから、グラフの時間軸の切片の値は、一般道から高速道路までの距離に比例することがわかります。図中に○で示したのは、それぞれのケースで、白い車と

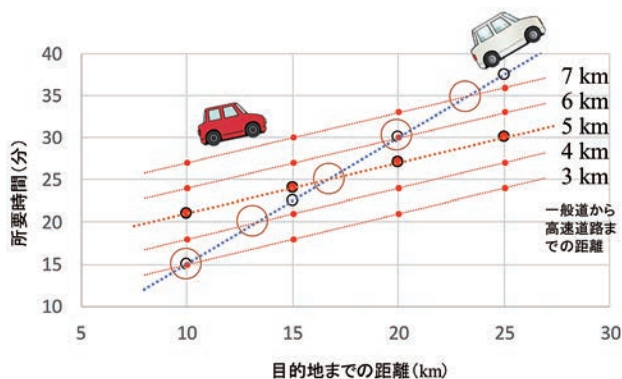


図3 一般道と高速道路の間の距離を色々変えた場合の所要時間

赤い車が同時に到着する距離です。一般道から高速道路までの距離が長くなるほど、同時に到着する距離は長くなるということがわかります。

以上の話を数式で表現してみましょう。

出発点から目的地に向かう距離を x (km)、一般道の走行速度を V_1 (km/h)、高速道路の走行速度を V_2 (km/h)、一般

道と高速道路(インターチェンジ)の間の距離を D (km) とします。

白い車の所要時間 T_1 (h) は、

$$T_1 = \frac{x}{V_1} \quad (1)$$

と表されます。これは原点を通る直線の式で、傾きは $1/V_1$ です。つまり、直線の傾きの逆数が走行速度を表していることがわかります。赤い車の所要時間 T_2 (h) は、一般道と高速道路の間を往復する時間を入れて、

$$T_2 = \frac{x}{V_2} + \frac{2D}{V_1} \quad (2)$$

となります。これは、所要時間軸の切片が $2D/V_1$ の直線の式で、傾きは $1/V_2$ であることがわかります。赤い車のグラフの傾きが高速道路での走行速度だけを示すことが、この直線の式からわかりましたね。

では、2台の車が同時に到着する距離を求めてみましょう。同時に到着するときの、つまり T_1 と T_2 が一致するときの距離を x_0 (km) とすれば、(1)、(2)式から、

$$\frac{x_0}{V_1} = \frac{x_0}{V_2} + \frac{2D}{V_1} \quad (3)$$

となり、これを x_0 について解けば、

$$x_0 = 2D \left(\frac{V_2}{V_2 - V_1} \right) \quad (4)$$

が得られます。つまり、それぞれの車の走行速度と、一般道から高速道路までの距離を与えれば、2台が同時に到着する目的地の距離がわかるということです。逆に、同時に到着する距離がわかれば、一般道から高速道路までの距離を次式によって求めることができます。

$$D = \frac{x_0}{2} \left(\frac{V_2 - V_1}{V_2} \right) \quad (5)$$

どうでしょうか、少しはあなたのドライブの参考になったでしょうか。いやいや、屈折法地震探査について知りたかったのに、いったい何を read されているのだろうと思われた方もいらっしゃるかと思います。しかし、実はこれが屈折法探査の解析そのものなのです。それは次回以降に説明していきたいと思っています。今回は、「まずは基本から」ということで、スネルの法則から始まる、オーソドックスな解説をしたいと思っています。

はじめに

当社は、1999年4月設立以来、様々な方法で地下を可視化することに努めており、少人数でありながら機器、解析ソフトの開発・作成、そして調査に至るまで自らの手で行ってきました。我々は、地盤の調査は、その地域の地質状況に最適な方法を以って行うべきだと考えており、調査に必要な機器を製作し、ソフトを開発しています(図1)。このような形で業務を遂行する中で、多くの大学関係、研究所の方々のご指導を得て、より確実な地下可視化方法の研究、および、調査に従事する機会をもつことができました。その結果、技術の進歩を得ることができたと確信しております。

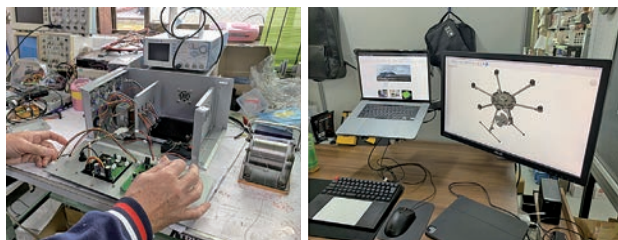


図1 開発

機器開発

2003年～2005年の3年間は、文部科学省の「総合空中探査システムを用いた大規模災害の防災技術に関する研究」によって、会社設立時から、電力中央研究所さまの下、研究を行ってきた空中電磁探査装置の研究を飛躍的に進めることができました。2006年には、先生および研究所の方々との国際シンポジウムを開き開発した機器の展示を行いました。これは、ヘリコプターを用いて地下1,000m付近までを可視化する方法です(図2)。この研究の中で、阿蘇、磐梯山の地下の可視化を行いました¹⁾。



図2 地上送信源型の空中電磁探査装置

現在、この技術の原理はドローン空中電磁探査²⁾(図3)として、トンネル調査、斜面崩壊、そして火山防災などの地下の比抵抗構造を上空から可視化する方法となっています。

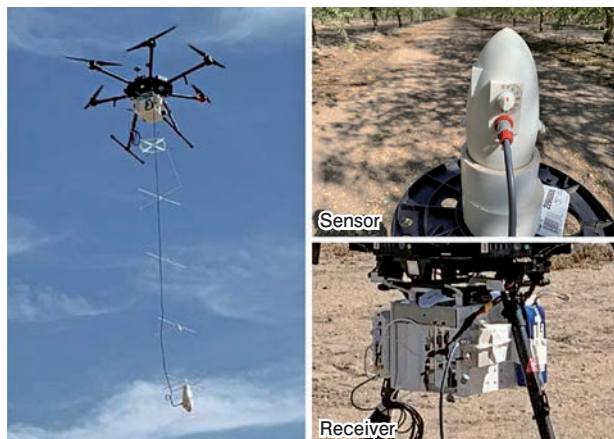


図3 ドローン空中電磁探査

地上での調査手法に関しては、2005年から産業技術総合研究所さんの下、電磁探査機器の開発、そして、データ処理の研究を実施しました。このような研究の中でGeo-SEM³⁾(図4)と云う、地上電磁探査装置を開発しました。この装置はGPSを用いて、数十～十数km離れた送信機と受信機を完全同期させることを可能にしました。これによって、電磁波の非常に微弱な地下の応答を μ 秒精度で測定することが可能となり、人工信源を用いて地下数kmまでの探査を可能とし、現在は、地熱開発の調査に使用されています。



図4 深部CSMT探査装置(Geo-SEM)

2007年から2009年は、大阪府立産業技術総合研究所の一面に事務所のスペースを頂き、「一防災(火山・活断層・地すべり)のための地下可視化装置および観測システムの開発」と云う研究課題を設けて自社で研究開発を継続しました。このような状況の中で生まれた電気・電磁探査の機器は、すでに各地の現地調査にも採用されております。

また、会社設立当初から、大学関係を中心にプロトン磁力計の製作販売を行ってまいりました(図5)。



図5 プロトン磁力計

2018年からは、産総研福島再生可能エネルギー研究所さまからのご依頼により高温高压下(20MPa、120℃)で使用できるボアホールカメラ(図6)の開発を行い、現在は更なる性能向上を目指して開発を進めております。これらの耐圧ケースの作成には、金属加工に優れた大阪、堺の職人の方々の技術が活かされています。



図6 地熱井用120℃ボアホールカメラ(浅沼ほか、地熱学会学術講演会2019年秋季より引用)

2015年ごろからはドローンと称される大型のマルチコプターの使用が可能となり、以前、自分達では操縦が困難であった有人ヘリコプタや特殊なラジコンヘリでの探査をドローンで実施できるようになりました。そこで、まず、ドローンに搭載可能とするために測定機器の軽量化を行いました。そして、ドローン空中電磁探査の開発を進め、物理探査学会学術講演会2018年春季の講演会で発表を行い(城森ほか(2018))、実際の現場への適応を進めました。現在では上空から地下を可視化する方法として、各種企業、大学、研究機関の方々のご協力の下に調査を提供させて頂いております。また、ドローンを用いた空中磁気探査についても2015年から開発を進めています。

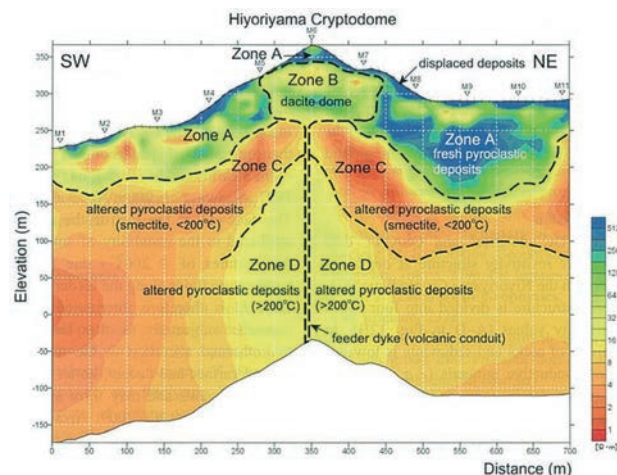


図7 CSAMTと高密度電気探査のジョイント解析(日和山(登別)の2次元比抵抗断面図)⁴⁾

Zone A: 火砕堆積物、Zone B: デイサイト貫入岩体(熔岩ドーム)、Zone C: 粘土鉱物に富む熱水変質帯、Zone D: ドームの供給岩脈(火道)に沿って形成された高温域と考えられる。

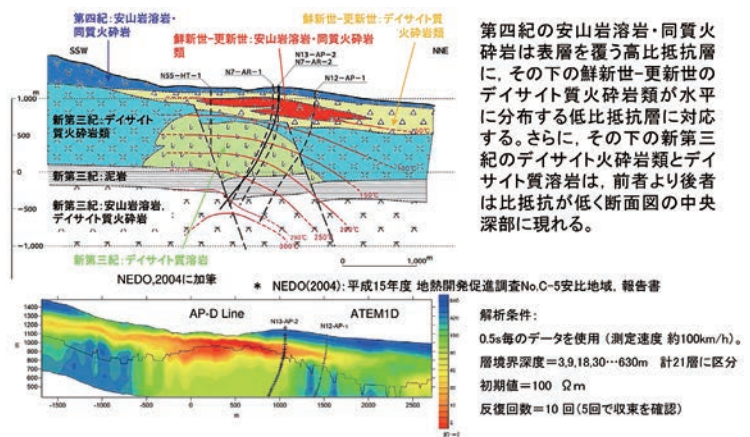


図8 空中電磁探査と既存地質断面(NEDO, 2004)の比較(城森ほか、物理探査学術講演会2017年春季より引用)

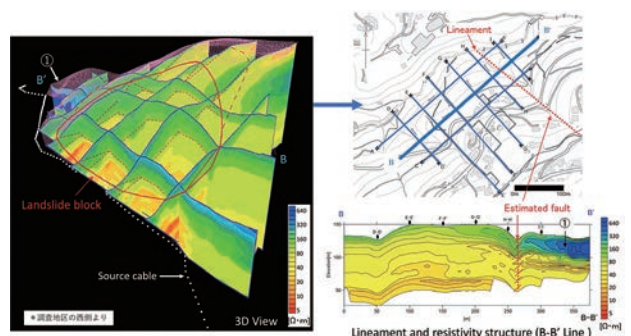


図9 ドローン空中電磁探査による地すべり調査

表層に分布する中比抵抗(緑色)は、開口亀裂や緩み領域に相当すると考えられる。北東端の深度30mより浅い部分に分布する高比抵抗①は地質の違いを意味し、その境界に断層が推定される。この位置にはリニアメントも存在する。

(城森ほか、物理探査学術講演会2020年秋季より引用)

解析ソフトウェアの開発と調査

機器開発とともに、データサンプリング、データ処理、そして解析用、特に、電気探査、電磁気探査関係のソフトウェアを中心に、より精度の高い調査を目指して開発を進めています(図7、図8、図9)。

おわりに

我々は様々な開発に携われる機会を頂いている中で、技術の基礎はリンクしており、過去の技術は将来への技術へとフィードバックされていると感じております。地下をより精度良く可視化すること、その技術の探求には終わりがなく、それらの技術の向上が期待されています。当社は地下を可視化するための技術を、より一層高めることに、これからも努めてまいります。

<引用文献>

- 1) Mogi, T. et al.(2009), Exploration Geophysics., 40, 1-7.
- 2) 城森 明ほか(2020), 物理探査, 73, 83-95.
- 3) 城森 明ほか(2010), 応用地質, 51, 62-72.
- 4) Goto, Y. and Johmori, A.(2013), Bull. Volcanol. Soc. Japan, 58, 365-376.

探査から解釈、マクロからミクロ

兵庫県立大学大学院生命理学研究科地球科学講座* 後藤 忠徳

*注 同大学生命理学研究科は2021年4月に理学研究科に改組

「兵庫県立大学ってどこにあったっけ?」と思われる方は多いと思います。兵庫県立大学は、3つの大学(神戸商科大学、姫路工業大学、県立看護大学)が統合して2004年に誕生しました。現在は9つのキャンパスと16の研究拠点から構成されており、学生総数は6,500名を超えています。地球系の研究室も少なくない、兵庫県の各地で教育・研究活動を行っています(図1)。ここでは、理学部(生命理学研究科)の「地球科学講座」が行っている物理探査学の研究の様子について、簡単にご紹介致します。



図1 兵庫県立大学の研究拠点(赤)と地球系研究室(写真) 画像は各部署・機関のホームページより。大型放射光施設(SPring-8)は同大学の施設ではないが、関連は非常に深い。

兵庫県立大学地球科学講座では、地下でおきる短期・長期の地球変動現象の理解を目指して、地球物理学・岩石学・結晶学等の多様な手法による研究を実施しています。地球環境の変動は、私達を含む地球の生命に大きな影響を与えます。地震・火山噴火等の「諸現象」を地殻規模で可視化する、あるいは地層・岩石・鉱物といった様々な時空間スケールの「痕跡」を調査することで、地球表層や地球内部の変動過程を解明することができます。このうち前者、すなわち地下の可視化のためには、大きく分けて3つのStepがあります(図2)。当研究室では電気・電磁探査を軸として、これらの全段階に関する研究を行っています。Step1は野外でのデータ取得・解析です。その高度化のために、陸上や海底での電磁探査装置の新規開発を行っており、さらに新たな探査法の模索や情報科学を駆使したデータ解析法の研究、GUIツールの開発等を行っています。Step2の地下構造推定では、数値シミュレーションが欠かせません。物理探査データから3次元的な地下物性分布を求めるために、仮想的な地下構造上での観測データを予測するフォワード計算技術や、観測データを地下物性分布へ焼き付けるインバージョン技術の研究を行っています。特に、地表での複雑な地質分布や地形分布、地下物性の不連続境界等

をアルゴリズムに取り込むことで、より現実的な地下構造解析を試みています。Step3では、Step2で得られた地下構造から地質構造や地下水分布等を推定します。この「解釈技術」は、地下の科学的理解と社会利用において欠かせません。当研究室では、地表や海底から岩石を採取して、室内で物性・物質の測定を行うことで、地下比抵抗・地震波速度構造を地下水含有量や岩盤の透水性等に変換する技術を研究しています。以下では、具体的な調査・研究事例を紹介します。

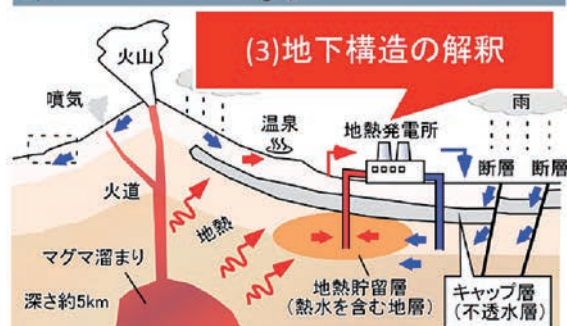
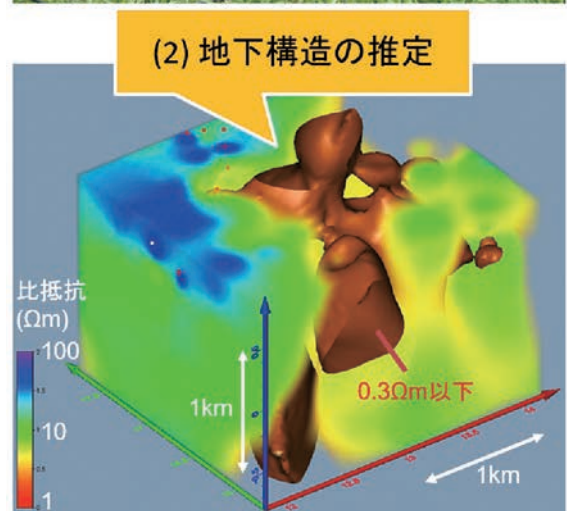


図2 上：九州の地熱地域での野外調査の様子。 中：得られた地下比抵抗構造。 下：地下の概念図(ペレ出版「地底の科学」より)



図3 左：深海調査研究船「かいれい」、2020年12月、南海トラフ巨大地震発生域において、同船を用いた人工電流源海底電磁探査を実施。
 中：2020年8月、学術研究船「白鳳丸」を用いて、東北沖に設置したOBEMを回収。
 右：同航海で得られた堆積物コアを船上で分析。

(以上の撮影：後藤忠徳、「かいれい」 写真提供：海洋研究開発機構。)

活断層調査：活断層は、地震を引き起こす原因と考えられています。活断層周辺に発達する断層破碎帯は、周囲の母岩よりも地下水を含みやすいため、低い比抵抗を示す（電気を流しやすい）ことが知られています。当研究室では、調査船を用いた海底活断層調査を実施しています。海底電位差磁力計（OBEM）を海底に設置することで、自然の電磁場信号を用いた地下探査（MT探査）が可能となります（図3）。これによって地殻～マントル深度での海底下比抵抗分布を得られるため、地殻中の活断層分布や、プレートの沈み込みと水の移動に関する定量的な情報を得ることができます。陸域の活断層でも調査を行っています。熊本県布田川断層での電磁探査データに対して、地表の小スケール不均質体の影響を取り除きつつ地下構造解析を行い、さらに得られた比抵抗構造と近傍の掘削コアを対比しました。その結果、岩盤強度の低い地質体の中にだけ、断層沿いの低比抵抗帯が見られることが明らかになりました。これは、低比抵抗帯の規模と岩盤破砕度・強度の関係性を示唆するものです。これに加えて、断層近傍の物性・物質の測定や、比抵抗構造を単純化した断層モデルを用いた数値シミュレーション（地殻変動や地震発生の様子を再現）等の研究を進めており、防災・減災に資する知見を積み重ねています。

地下資源探査：火山の周辺には、高温の地熱地域が分布しています。この地熱は、地熱発電や暖房・農業・温泉等に利用されていて、再生可能エネルギーの一つとして注目されるだけでなく、エネルギーの地産地消や地域活性化の原動力としても期待されています。地熱の利用においては、地下深部のマグマによって温められた地下水（熱水）がどこにどれくらいあって、どのように循環しているかを解明せねばなりません。特に熱水循環においては、断層が大きな役割を担っていることが知られていますが、従来の地下探査法では断層の詳しい位置や循環パターンを明らかにすることは困難でした。そこで当研究室では、高周波帯域の電磁探査（AMT探査）を超高密度で実施する技術を開発・確立し、実際に地熱地域で適用を進めています（図2）。複数の地熱地域において、地下比抵抗構造を3次元的に可視化したところ、雨水起源の地下水と熱水が同一の活断層を

利用して循環している様子が分かってきました。陸域のみでなく、沖縄沖の海底熱水地域でも電気・電磁探査を実施しています。こちらでは、熱水が海水で急冷されて生じる「金属鉱床」がターゲットです。海底での探査に加えて、岩石の物性・成分分析や熱水対流シミュレーション等を行い、さらに地震探査や海底掘削データと比較しました。その結果、海底下の熱水対流の様子や、熱水金属鉱床の成長過程が明らかとなりました（京都大学・海洋研究開発機構等との共同研究）。

以上は当研究室での調査事例の一部です。その他にも、海底下の油ガス調査、陸域での地下環境調査や地すべり域での探査、人工ノイズの多い都市域での探査、そして露頭スケールや古墳内部、さらには人体内部のような小領域の探査を行っています。他方、日本列島スケールの地殻・マントル構造の解明や、月・火星で実施可能な探査技術の開発も行っています。これらの物理探査に加えて、マルチスケールの地下情報の融合、岩盤の変形破壊や地下水流動のシミュレーション等を通じて、地下の諸変動現象に定量的に迫ろうとしています。こういった多彩な研究活動に研究室の学生達は積極的に参加しています。大学間合同ゼミや学会等で研究成果を報告するだけでなく、多くの学生が陸上・洋上の野外調査に参加しています（図2、3は、いずれも兵庫県立大学の学生です）。当研究室のモットーは「よく学び、よく動き、よく食す」であり、今日もどこかで、広い地球をターゲットに駆け回っています（図4）。



図4 地球科学講座メンバー（2020年8月撮影）
 後列左から2番目が著者（教授・後藤忠徳）。
 研究室の詳細は <https://www.sci.u-hyogo.ac.jp/life/earth/> を参照。



物理探査学会の若手会員を紹介するコーナーです。今回は調査や研究の最前線で活躍されるお二人にインタビューさせていただきました。本コーナーへの掲載希望は随時募集しております。ニュース委員会までお気軽にお問合せください。

(segi-news@segi.org) 担当:小林雅実

Q. 普段どんなお仕事をされていますか?

活断層・火山研究部門の地震災害予測研究グループに所属しており、主に堆積盆地の速度構造を推定する研究を行っています。防災の観点からどのような情報を発信すれば世間の関心や役に立てるかを日々議論しながら研究を行っています。大学の頃は公開されているデータを使って研究を行っていたので、あまり探査を行った経験がありませんでしたが、業務では現地に行って調査観測を行うことが多く、改めてデータの大切さと公開データのありがたさを感じています。現地調査では先輩職員の動きの早さに驚きました。大学の頃の先生の動きも早かったので、徐々にスピードアップしていくのでしょうか。今後の探査で鍛えていきたいと思えます。

Q. 最近ハマっていることについて教えてください。

コロナウィルスによる自粛で、昔ハマっていたラーメン作りに再度ハマりました。以前は福岡に住んでいたため、豚骨スープを頑張って作っていましたが、つくばでは豚骨ラーメンをあまり見かけないため、煮干しや鶏がらなどを使っています。豚骨と違ってキッチンが汚れないのがありがたいです。福岡では見かけなかったまぜそばにもハマっています。福岡は豚骨ラーメン以外のバリエーションが少なかったなと感じました。



国立研究開発法人 産業技術総合研究所
にみや ひろ
二宮 啓さん

- ①鹿児島 ②表面探査 ③寿司 ④入眠の速さ

Q. 学生時代はどのようなことをされていましたか?

学生時代は工学地震学の研究室で主に常時微動探査を学んでいました。データ取得で各地に地震計を設置して回りましたが、中でもインドネシアのバンドンで行った調査は忘れられません。同国内では避暑地として有名な土地で、思いのほか過ごしやすい気候に少し拍子抜けした記憶があります。調査では街の中心部だけでなく農村部にも行きましたが、どこへ行っても文化は「刺激的」で、クセになること請け合いです。一日5回の礼拝、紙が無く手で水洗いするトイレ、見通せないほどのバイクの群れ(家族4人乗りも)、……。食べ物も美味しいのですが、辛いものが多すぎて消化器官をやられ、帰国後に入院したのは良い思い出です。

Q. 仕事で印象に残っている出来事を教えてください。

大葉量の含水爆薬による発振作業が、心にも響きました。近年ではなかなか数が少なくなっている発破による探査ですが、大変貴重な経験をさせてもらえたと思います。携帯の電波もほとんど届かないような深夜の山奥、曇り空で月の光も無いような暗闇で、話し声も少なく絶対に失敗できないという緊張感だけが張り詰めています。予定時刻が迫りカウントダウンが進み、直前は数秒の沈黙の後、現場を指揮するオペレータの「今!!」の声。ほぼ同時に、足に伝わる震動、重い爆発音、また震動、最後は発破孔から吹き上げられた土や水がまさに土砂降りの様相で木々に当たる音が続きました。取得した記録波形を見る度に、当時のことがありありと思い出されます。



株式会社 地球科学総合研究所
いしげ ひろかず
石毛 宏和さん

- ①千葉県 ②反射法地震探査/微動探査
③FC/バレーソナの行く末
④自転車知識

反射法地震探査データ処理の数理

名古屋大学 渡辺 俊樹

本学会名誉会員の芦田讓先生が、京都大学大学院工学研究科で在職時に使用されていた修士課程の講義テキストを元にした本書を上梓されました。タイトルにあるように、先生のご専門の反射法地震探査データ処理の数理、特にデジタル・データ処理について、基礎から当時の最新理論まで詳しく解説されています。

本書は以下の各章から構成されています。

1. 速度解析
2. フィルタ操作
3. スペクトル解析
4. デコンボリューションフィルタ
5. ウェーブレット変換
6. 速度フィルタ、F-Kフィルタ
7. 合成音響インピーダンスログ
8. マイグレーション処理
9. 地震モデリング
10. ジオトモグラフィ

また、追加資料として、会誌「物理探査」掲載のものを含め論文や資料5編が転載されています。

本書の特色は講義テキストであったことに尽きます。まず、反射法地震探査のデータ処理を学ぶにあたり必要な事項が揃っています。また、数式の導出が丁寧になされているので、初学者でも式を追って理解することができ、プログラミングも行うことができます。各章末には理論の基本的な参考文献が豊富に掲載されており、独習を進められます。

本書はデータ取得やハードウェアなどの内容を含まず、基礎的な数理に焦点が当てられています。ここ20~30年ほどの新しい解析技術は含まれませんが、基礎の数理は現在でも変わっておらず、本書の内容は教科書としての価値をまったく失っていません。改めて本書を見ると、デジタル・データ処理の理論と技術が発展した時代の熱がまだ感じられる気がします。また、後半に収録された論文や資料には、現在脚光を浴びているPSDMやAIにも通じるといえる論文もあり、先生の先駆的な業績がうかがえるものとなっています。

反射法地震探査のデジタル・データ処理については、Yilmazの大著があるもののごく少数で、特に日本語での類書がほとんどありません。本書は反射法地震探査のデジタル・データ処理の教科書、学習書として適切で、本手法を理解しようとする学部生、大学院生、研究者、技術者にお勧めします。なお、「本書は市販せず興味を持っていただいた

方にお申し込みにより、特別価格にて頒布させていただきます。」とのことでした。

(芦田先生連絡先：ashida.eefa@cans.zaq.ne.jp)

私の手元にS62の日付のある手書きの講義テキストがあります。芦田先生が京大に着任された昭和62年当時、私は大学院修士課程の学生で、本書の元となる講義の最初の受講者の一人でした。この「物理探査特論」の講義は月曜日、先生によると毎週末に休日返上、自転車操業でテキストを執筆されたそうで、講義ではコピーしたての分厚いホチキス留めのテキストが配布されたことを覚えています。本書の各章が1コマ1回分の講義の内容でしたので、猛スピードの講義に必死に食らい付き、反射法データ解析の真髄に触れられて楽しい講義だったことが思い出されます。できたての版にはミスや誤りもあり訂正の書き込みが随所にあります。我々学生も初版の校正に貢献できたと思っています。

テキストはその後、先生の御令室によりワープロで入力し直されて長く使われました。手書き版で修正したミスのいくつかはワープロ版で復活し、本書にも引き継がれたようですが、昔の思い出を見つけたような懐かしさを覚えません。なお、手書き版テキストには本書にはない11章「S波震源による探査」があり、物性解釈にも言及されています。

反射法地震探査
データ処理の数理京都大学名誉教授
芦田 讓

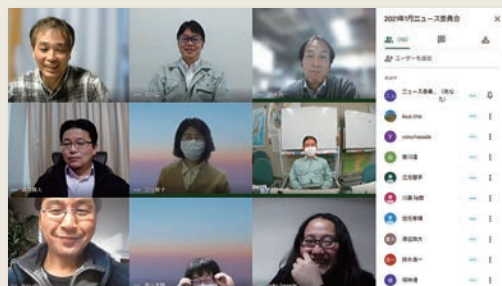
編集後記

新型コロナウイルスの第三波が到来し、本号を制作している現在、全国で感染が拡大し続けています。様々なイベントが中止になり、この一年で私たちの働き方やライフスタイルは大きく変わりました。実際に大変な思いをされている方も多いのではないのでしょうか。

個人的に悲しいのは、友人の結婚式が延期になってしまったことです。新郎新婦の幸せを願うことはもちろん、普段会えない昔の仲間が集まることができる貴重な機会を毎回楽しみにしていたのですが、この状況では仕方がないですね…。不安な気持ちになりがちな日々ですが、テレビのニュースではとある方が、「今を耐えるだけでなく、ポストコロナに向けて何か楽しいことを企てる、その充電期間になるといい」とコメントされていました。この状態が早く収束することを願いつつ、新たな環境に順応できる自分でありたいと思います。

我々ニュース委員会も、完全リモート体制で委員会の開催や本誌の編集作業を行っています。会議を円滑に進めるためにいくつかのツールの導入を試みながら、新しい時代に対応できるよう奮闘しているところです。社外との交流も少なくなりがちなのこの時期、物理探査ニュースが少しでも会員の皆様をつなぐ存在であることを願っています。

(2021年1月 ニュース委員 小林)



写真はニュース委員会の様子



お知らせ

第144回(2021年度春季)学術講演会(オンライン開催)のお知らせ

1. 会期：2021年6月 9日(水) 一般講演(口頭)
6月10日(木) 一般講演(口頭)
6月11日(金) 一般講演(口頭)、総会、特別講演

2. 会場：

オンライン開催となりますので、各自でインターネット環境をご用意ください。

3. 一般講演(口頭)募集要項

3-1. 物理探査学会会員の講演申込

- (1)講演申込 締切 2021年3月8日(月)
(2)講演論文集原稿 締切 2021年4月12日(月)
(3)講演要旨 締切 2021年4月12日(月)

3-2. 物理探査学会会員でない方の講演申込

- (1)講演申込・講演論文集原稿・講演要旨
締切 2021年3月8日(月)

(事前に内容を審査させていただきます、審査結果は3月12日(金)までに通知いたします。)

その他、詳しくは下記URLを参照ください。

<http://www.segi.org/event/lecture/2021/01/144.htm>

JpGU2021 開催情報

今春のJpGUにて昨年に引き続き物理探査学会が関わるセッションが開催されます。

セッションタイトル

- ・浅部物理探査が目指す新しい展開
 - ・空中からの地球計測とモニタリング
 - ・地震波伝播:理論と応用
 - ・Electric, magnetic, and electromagnetic survey technologies and the scientific achievements
- 詳細情報はこちらをご確認ください。
http://www.jpгу.org/meeting_j2021/

賛助会員リスト

三菱マテリアルテクノ株式会社

応用地質株式会社

鹿島建設株式会社

川崎地質株式会社

関東天然瓦斯開発株式会社

基礎地盤コンサルタンツ株式会社

極東貿易株式会社

(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構

興亜開発株式会社

国土防災技術株式会社

サンコーコンサルタント株式会社

住鉱資源開発株式会社

住友金属鉱山株式会社

石油資源開発株式会社

伊藤忠テクノソリューションズ株式会社

総合地質調査株式会社

株式会社ダイヤコンサルタント

中央開発株式会社

地質計測株式会社

国際石油開発帝石株式会社

電源開発株式会社

(一財)電力中央研究所

DOWAメタルマイン株式会社

JX金属探採株式会社

日鉄鉱業株式会社

日鉄鉱山コンサルタント株式会社

日本海上工事株式会社

JX石油開発株式会社

日本物理探査株式会社

復建調査設計株式会社

三井金属鉱業株式会社

三井石油開発株式会社

株式会社阪神コンサルタンツ

ドリコ株式会社

ニタコンサルタント株式会社

三井金属資源開発株式会社

株式会社興和

ジオテクノス株式会社

サミットエネルギー開発株式会社

株式会社物理計測コンサルタント

株式会社日本地下探査

中日本航空株式会社

株式会社エイト日本技術開発

地熱技術開発株式会社

大和探査技術株式会社

株式会社ジオシス

中部電力株式会社

北海道電力株式会社

九州電力株式会社

関西電力株式会社

株式会社建設基礎コンサルタント

(一財)宇宙システム開発利用推進機構

株式会社ドリリング計測

西日本技術開発株式会社

株式会社地球科学総合研究所

(一財)地域地盤環境研究所

第一実業株式会社

シュルンベルジェ株式会社

株式会社日さく

株式会社NTTデータCCS

モノー物探株式会社

株式会社大林組 技術研究所

北光ジオリサーチ株式会社

中央復建コンサルタンツ株式会社

九州日商興業株式会社

株式会社ジオテック

JX金属株式会社

有限会社アスクシステム

(一社)全国地質調査業協会連合会

株式会社日本メジャーサーヴェイ

東邦地水株式会社

株式会社長内水源工業

応用地震計測株式会社

株式会社四国総合研究所

北陸電力株式会社

株式会社ハギ・ポー

(公財)地震予知総合研究振興会

太平洋セメント株式会社

株式会社ジオファイブ

株式会社テラ

スリーエス・オーシャンネットワーク(有)

有限会社地圏探査技術研究所

株式会社ジオフィール

株式会社尾花組

洞海マリンシステムズ株式会社

海洋電子株式会社

協和設計株式会社

株式会社ジオプローブ

白山工業株式会社

曙ブレーキ工業株式会社

(一社)省力型3次元地中可視化協会

日本信号株式会社

株式会社地盤探査

サン地質株式会社

日本工営株式会社

株式会社地圏総合コンサルタント

越前屋試錐工業株式会社

株式会社昌新

株式会社トムロ・テクノプロ

株式会社フログジャパン

深田サルベージ建設株式会社

株式会社フジタ

株式会社日水コン

日本マグマ発電株式会社

株式会社オーシャン・ジオフロンティア

2021年1月6日現在

物理探査ニュース 第49号 2021年(令和3年)1月発行

編集・発行 公益社団法人物理探査学会

〒101-0031 東京都千代田区東神田1-5-6 東神田MK第5ビル2F

TEL: 03-6804-7500 FAX: 03-5829-8050

E-mail: office@segi.org

ホームページ: <http://www.segi.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。