

物理探査 ニュース



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	
月や火星での地震探査：小型地震探査システムの開発	1
研究室紹介	
早稲田大学 理工学術院 創造理工学部 環境資源工学科 物理探査工学研究室の紹介	4
第38回地盤探査研究会(微動アレイ)	6
SEGが地熱ワークショップを開催	7
物理探査学会第145回(2021年度秋季) 学術講演会開催報告	8
「微動探査の国際展開のための標準化に関するシンポジウム」 アンケート結果報告	9
賛助会員リスト	11
お知らせ、編集後記	12

Geophysical Exploration News Winter 2022 No.53



月や火星での地震探査： 小型地震探査システムの開発

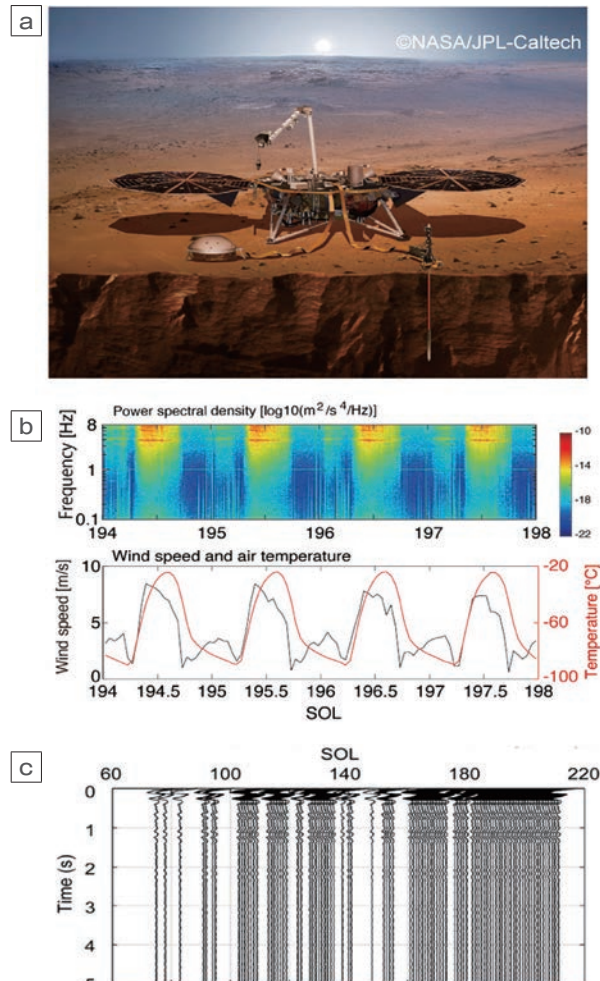
九州大学 辻 健

1. はじめに

地球外の天体で地震探査を実施し、地下構造を調べることは、理学と工学の両方から求められている。例えば工学分野では、浅部地盤の情報は宇宙資源探査や構造物の建設、ローバー駆動部の設計等で必要となる。また月や惑星では、もともと地下内部に関する情報量が少なく、単純な浅層構造が明らかになるだけでも天体の形成史に関する重要な発見となることもある。

現在、月や火星、タイタンなどの地球外の天体で地震計を設置するプロジェクトが進行、または計画されている^{1,2)}。近年、InSightによって火星に地震計が設置され、火星の地震「火震」を発見するなど多くの成果が得られている³⁾。地震計を設置する主な目的は地震活動の調査であるが、地震計に記録されている微動データを解析することで、地震活動だけではなく地下構造の探査も可能となる。これをパッシブ地震探査と呼び、主に微動に含まれる表面波を用いて、S波速度構造を推定することができる。表面波以外にも、微動から反射波を抽出して地下構造をイメージする方法もある(地震波干渉法)。一方で、加振器を使って人工的に振動を発生させ、地下を伝達した波動場を地震計で記録することで地下構造を探査する方法もある。これをアクティブ地震探査と呼び、月面に着陸したアポロでは、既の実施されている。また、今後も宇宙で実施することが検討されている。

本稿では月などの地球外天体での探査を目的として開発された小型のパッシブ・アクティブ探査システムを紹介する。特に近年、我々が開発している地震探査システムと、その結果を紹介する。



巻頭図 a) InSight着陸船。
b) InSightで取得された微動のPower spectral densityと、風速・温度の関係。強風時に、微動も強くなる。
c) InSightのデータに地震波干渉法を適用して反射面を抽出した結果。縦軸は往復走時であり、深度に対応する。横軸は火星の日付である⁴⁾。

2. 調査方法

パッシブ地震探査では、表面波探査が主な探査手法となる。地震計の間を伝わる表面波の伝播速度を周波数ごとに測定することで、分散曲線（位相速度一周波数の関係）を計算し、S波速度を推定できる。月面や火星でも、微動は観測されており^{4,5)}、微動を用いた表面波探査が可能である。

表面波探査を実施するためには、一般的に複数台の地震計を設置する必要がある。また地震計アレイの長さが、可探深度にほぼ相当すると考えて良い。つまり、広い範囲に地震計を展開する方が、地下深部まで探査できることになる。表面波探査の可探深度を議論する際には、地震計が記録できる周波数も重要となる。表面波探査では、観測できる最小周波数に対応する波長の3分の1を、可探深度と考えることができる。つまり、低い周波数まで記録できる広帯域地震計を利用すれば、深部まで探査できることになる。

広い範囲に地震計を設置するには、ローバーに地震計を搭載し、地表に設置していくのが一般的な方式になると考えられる。しかし地球外の天体では、広域に地震計を展開するのは難しい場合が多い。そこでCenterless Circular Array (CCA)法⁶⁾という表面波探査を用いて、半径1m程度の小型アレイでも深部まで探査できるシステムを考えている⁵⁾。月面に着陸したアポロの地震計データを用いて、我々が検討した結果、月面の微動環境でCCAを行った場合、半径1mの円周上に3~5点地震計を設置すれば表層から深度5~10mまでのS波速度の深度プロファイルを得ることができることが分かった。半径1m程度であれば、着陸船の脚に地震計を設置する方式など、着陸船だけを使って地震計を設置することも可能になると考えられる。

また地震波干渉法という手法を利用すれば、微動データから擬似的なアクティブ地震探査データを構成し、反射法地震探査の解析を実施することもできる。地球上では微動から反射法地震探査データを構築した例が報告されているが、この解析では微動源の位置・特徴が解析結果に大きな影響を与える⁷⁾。そのため、地球外天体の微動の特徴を調べることが、微動から反射法地震探査データを構築する上で重要となる。

火星に着陸したInSight(巻頭図a)に搭載されている地震計は1台であり、一般的な表面波探査(SPACなど)を実施することはできない。一方で、InSight地震計では、3成分(鉛直・水平2成分)の振動を記録しており、それらをうまく利用すれば着陸船直下での地盤探査も実施できる。我々は、鉛直成分または水平成分の微動データに、地震波干渉法を適用することで、火星内部の反射構造を推定した(巻頭図c)⁴⁾。また、微動の強度や到来方向は、火星の風に大きな影響を受けていることが明らかとなった(巻頭図b)。

3. アクティブ地震探査

地球上では加振器として、パイロソライズやエアガンが、

一般的に用いられている。しかし宇宙環境で大型の震源装置を利用するのは困難であるため、我々は小型モーター型の震源装置や、ピエゾ型の震源装置、落下型の震源装置を開発してきた。モーター型とピエゾ型の加振器では、周波数変調させた波を連続的に発振する。繰り返し同じ波形(Chirp)を発振し、それを重ね合わせることで、発振波形のS/Nを向上させる。そのため、小型モーターやピエゾ素子といった小型加振器でも地下深部までの探査が可能になる⁸⁾。

3.1 極小アレイを用いたアクティブ地震探査

アクティブ地震探査で、地下浅部を探査する場合には、加振器と複数の地震計を一つのアレイに装着する方法が考えられる(図2)。例えば、比較的大型のローバーであれば、加振器と地震計から構成される長さ1mほどの線状アレイを設置できる。この場合には、ローバー単独で探査を実施することが可能である。図2に示すアレイでは、1mの極小アームの両端にモーター型加振器を設置し、その間に地震計を8台設置している⁹⁾。加振器は、月面とのカップリングを担保する(加振器が月面で滑らず、振動を月内部に伝える)機構を有している。一方で、地震計は、アームからの振動が地震計に伝わらないように、アームとデカップルする機構を備えている。

この加振器と地震計を装着した1mアレイを用いて、砂浜で野外フィールド試験を行った。2種類のモーター型の加振器で、50~300Hz程度の振動を発振し、表面波解析を適用して得られた分散曲線が図3aである。それぞれのモーターが得意とする周波数幅で安定した分散曲線が得られ、各分散曲線が連続していることも確認できた。この分散曲線に対してインバージョンを適用することで、深度1.5m程度までのS波速度構造を求めることが可能となった(図3b)。

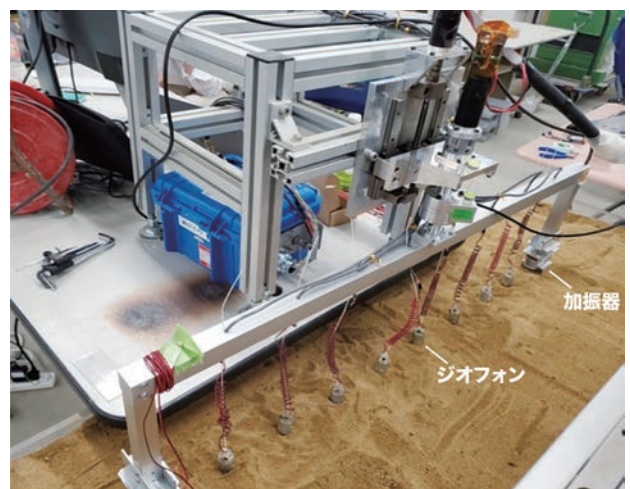


図2 加振器と複数の地震計が設置された極小地震計アレイ、アームの長さは1mである。

3.2 大型アレイを用いたアクティブ地震探査

加振器と地震計を切り離して設置する場合には、加振器と地震計の距離(オフセット)を長くすることが可能となり、

より深くまで探査できる。特に屈折波はオフセットが長くないと記録することができない。さらに反射法地震探査の場合でも、加振器と地震計の距離が長くなれば、深い深度まで地震波速度を推定でき、高い精度の反射断面図を構築できる。

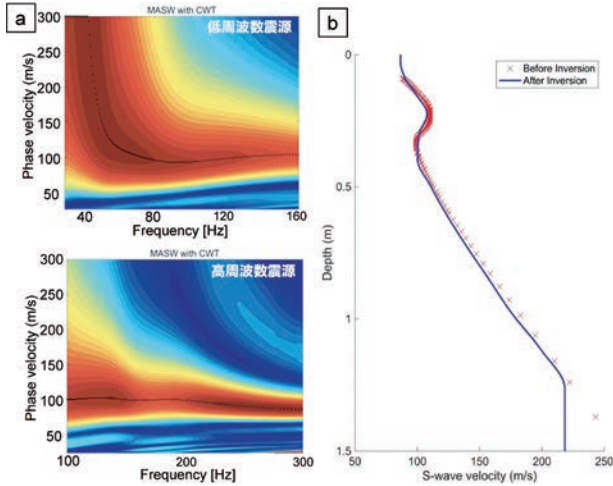


図3 1mの極小アレイを使って表面波探査を実施した結果
a)2種類のモーターを同時に利用して得られた分散曲線。
b)S波速度プロファイル。

この方式では、大きな加振器を用い、長い距離を振動が伝播するのが望ましい。現在、我々が作成している小型震源システム(Portable Active Seismic Source; PASS)は全体で10cm程度のサイズであるが、発振振動(Chirp)を重ねれば数100mも信号が伝播することが分かっている(図4)¹⁰⁾。

地震探査では、地震計を複数設置する必要があり、一般的に大掛かりなシステムになってしまう。しかし、PASSから同じ波形を連続して発振できる場合には、1台の地震計をローバーで移動させながら、PASSからの制御された振動を記録することで、多点の地震計で記録した場合と同等のデータ(Shotギャザー)を得ることができる(図5のローバー)。つまり1台のPASSと1台の地震計であっても、屈折法地震探査や反射法地震探査、さらには表面波地震探査の実施が可能となる。

表面波は、地表を平面的に伝播する。そのため1台のPASSから発振された表面波を空間的に展開された複数台の地震計で記録することにより、三次元的なS波速度構造を推定することができる。既に地上では、同様の震源システムと多点の地震計に対して表面波探査を適用し、空間的なS波速度構造をマッピングした事例がある。

さらに光ファイバーケーブルを地震計として利用する技術Distributed Acoustic Sensing (DAS)や、レーザー型地震計の利用により、地震計の数を増やすことができ、反射法地震探査や屈折法地震探査の実施が容易になると考えられる(図5)。光ファイバーの地球外天体への敷設は、ローバーで実施可能と考えられる。特に、月面では風がないので、光ファイバーケーブルを月面に設置するだけで、

品質の高いデータの取得が期待できる。このDASを用いたシステムであれば、データの転送や時刻同期などが容易となり、宇宙での地震探査の可能性が広がると考えられる。



図4 小型震源装置PASSの写真。白いケースに振動子が内蔵されている。サイズは1辺10cm程度。

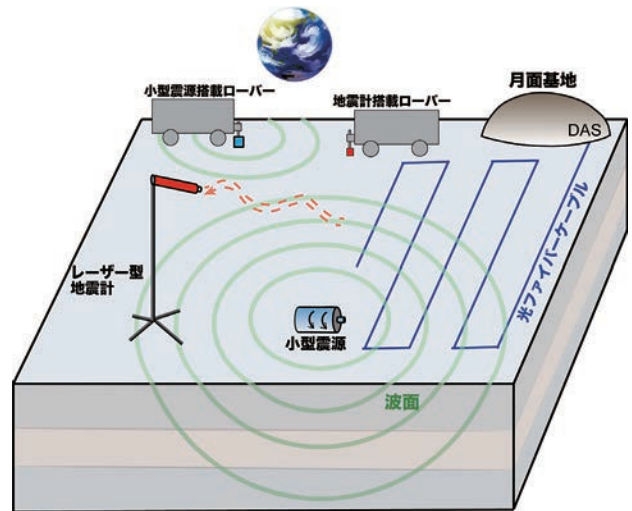


図5 PASS等を用いた宇宙空間での地震探査。

4. 最後に

ここでは近年、話題になることの多い地球外天体での地震探査について簡単に整理した。地震探査は自由度が大きく、環境や対象に応じて適当な探査手法を考え、加振器と地震計のジオメトリをデザインする必要がある。宇宙空間では限られたリソースで探査する必要があり、その探査装置と解析手法に開発要素が残っている。またDASなどの新規技術が宇宙でも利用できるようになれば月面に長大で稠密な地震計アレイが設置され、地球上と同等の探査結果を得ることも現実的になってきていると思われる。

<参考文献>

- 1) Tanimoto, T., et al., J. Geophys. Res., 113(E8), 2008.
- 2) Lognonné, P. et al., Nat. Geosci., 13, 213-220, 2020.
- 3) Giardini D et al., Nature Geoscience, 3, 205-212, 2020.
- 4) Suemoto, Y. et al., Geophys. Res. Lett., 47, 2020.
- 5) 折田まりな 他, SEGJ144回学術講演会, 2021.
- 6) Cho, I., et al., Geophys. J. Int. 165, 236-258, 2006.
- 7) Tsuji, T. et al., Interpretation 4, SQ1-SQ11, 2016.
- 8) Tsuji, T. et al., Scientific Reports, 11, 19120, 2021.
- 9) Tsuji, T. et al., Proc. The 13th SEGJ Int. Symp. 11-14, 2018.
- 10) 辻 健 他, SEGJ第145回学術講演会, 2021.

環境資源工学科と物理探査

早稲田大学の歴史は1882年の東京専門学校創設に始まりますが、大隈重信が総長であられた1907年に理工科の新設及び機械、採鉱、電気、土木、建築、応用化学の6学科を漸次設置することが決定されました。そして、1908年に機械・電気、1909年に採鉱・建築学科の予科が開設されています。採鉱学科は1917年に採鉱冶金学科と改称され、1949年の新制早稲田大学開設時には鉱山学科となりました。その後1961年に資源工学科、1998年に環境資源工学科となり、今日に至ります。

現在は、金属資源の採掘と利用という枠を超え、広く(石油・天然ガス、地熱も含めた地圏)資源の探査、開発、利用(分離・循環)、素材開発、環境計測・保全に取り組んでいます。これらの分野は相互に関連している部分も多く、各研究室が連携して様々な研究課題への取り組みと教育を進めています。最近の主な研究・教育重点分野は (1)地圏資源の探査・開発・利用、(2)各種資源・素材の開発と適切な分離・循環、(3)資源の利用等に伴う地圏・水圏・大気圏の環境計測と保全、の3分野です。

物理探査は、採鉱学科や鉱山学科という名称であったことからわかるように、元来は金属資源が中心であり、そのため伝統的に電気・電磁探査の教育と研究が盛んです。加えて当学科・専攻の特色として、資源地質学、物理探査工学、岩盤掘削工学、石油(地圏流体)工学の4研究室により、地下資源の探鉱から開発生産まで、いわゆる上流部門(石油会社でのE&P部門)が形成されていることも挙げられ、物理探査工学研究室もその中で重要な役割を担っています。

物理探査工学研究室の紹介

環境資源工学科にある11の各研究室には6名前後の学部4年生が配属されます。最近の大学院(修士)進学率は学科全体で平均すると70%前後となっており、学部生と大学院生(修士)を合わせて、10~20名程度の学生が各研究室に所属しています。博士課程の進学者は少なく、各学年で数名程度です。また、当学科・専攻では各研究室に教員は原則、専任講師・准教授・教授のいずれか1名であり、物理探査工学研究室も現在20名の学生と教員1名の他は嘱託研究員と博士課程(社会人)学生が1名ずつ在籍しています。当専攻修士課程修了後は約95%(当研究室においては5年間で100%)が企業や官公庁(多くは理工系・技術職)への就職となっていますので、基本的には「人類社会に貢献する技術者」の養成ということが教育の最重

要目的であると考えています。

そのため、当研究室においても (1)研究(課題)の背景・目的を深く理解し、自分の言葉で説明できる、(2)自ら考えて実験や数値解析を行い、良い結果だけでなく悪い結果についてもよく考察する、そして、(3)それらを、専門が少し異なる聴衆に、限られた時間や分量で、わかりやすく説明する、という基本事項の会得を目指しています。もちろん、物理探査に関係した学問・技術の習得や研究開発も重要ですが、前述のような学生の進路の現状も考え、まずは学生それぞれが希望する進路先で十分な活躍・飛躍をするための基礎体力を養うことを最優先事項としています。

具体的には、例えば既製ソフトウェアで高度な3D解析を行うことよりも、自ら水平多層構造の計算コードをゼロから実装し動かすことを重視しています。また、基本的かつ理論的な思考方法、研究の組み立て方、それらの伝え方、そして基本となる線形代数と微分積分をしっかり身につけることを目指しています。

研究概要

前述のように、当研究室は電気・電磁探査を研究の軸としており、それらに関して現在以下のような研究テーマに取り組んでいます。

- (1) 順解析及び逆解析手法の研究
- (2) 新しい探査システムの研究開発
- (3) 社会課題に対する適用(数値計算)



図1 新しい電気・電磁探査システムの開発のための共同研究
産総研物理探査研究グループ(左)、中央開発(株)(右)との
野外実験・調査

(1)は、研究室独自の電気・電磁探査用順解析プログラムの開発や、正則化勾配法あるいは深層学習等の逆解析手法の開発が中心です。(2)は、主に(国研)産業技術総合研究所(産総研)や民間企業との共同研究で、装置や野外測定を産総研や企業、数値解析関係を当研究室が担当して進めています。(3)は、学生の興味・関心も踏まえ、地熱、CCS、海底熱水鉱床、インフラ・防災、ドローン、IP現象などをキーワードに、主に数値シミュレーションによる研究をおこなっています。

COVID-19とNew Normal

2020年以降、新型コロナウイルス感染症(以下COVID-19)の感染拡大を受け、早稲田大学もオンライン対応を進めてきました。宴会や会食が感染リスクの一つとされる中、新宿と池袋という巨大な繁華街の中間に位置する当研究室においても、学生・スタッフの健康と安全を最優先とし、オンラインに対応した研究体制を構築・運用しています。当研究室は数値計算中心の研究を実施していることや、COVID-19以前からSlack(<https://slack.com/>)を研究室の中心ツールとして利用していたこともあり、オンライン研究への転換は比較的順調でした。



図2 COVID-19影響下における研究室の様子

左：2020年秋

右：2021年初夏

学生とスタッフ・教員が同じ空間で過ごす当研究室の雰囲気は「スタートアップ企業のオフィス風」とよく言われています。

学生は適応力も高く、また、この危機を好機と捉え、大学等による登校規制の範囲内で、登校・オンラインを日々選択できるような体制に移行しました。この仕組みがうまく機能し、COVID-19以前と同等あるいはそれ以上の教育・研究成果が得られていると感じています。具体的にはSlackに加えて最近注目されているNotion(<http://notion.so/>)を研究・教育の中心ツールとして導入し、学生の研究進捗把握や指導、そして学生同士での情報交換や、物理探査に関する研究の情報集約と共有の拠点として活用して

います。また、対面やカメラONの強要や同調圧力は、若い世代(特に最近のZ世代など)にはいわゆるWeb会議疲れどころか、そもそも受け入れられない傾向が強いため、around(<http://around.co/>)あるいはSlack huddleなどの音声チャットを利用することで、より良いハイブリッド教育研究体制の構築と運用を目指しています。

もちろん対面が必須の現場実験・調査などは極力対面実施を目指しますが、オンラインで可能なことはオンラインで、という方針が学生の研究活動や研究室の活性化にも良い効果をもたらしていると感じます。卒業生から「私の会社では『オンラインで対処可能な業務でも上司・先輩が社外にいれば新人も入社して対面で指導を請う気持ちが大事』という理由で緊急事態宣言下でも出社を指示された」というような話を聞いた学生たちは、自分達の進路先の条件について改めて考えているようです。大学や研究室としても昭和・平成の感覚を更新できないと、時代に取り残され、優秀な学生を確保できなくなるという危機感を持ち、日々“New Normal”な教育と研究活動に取り組んでいます。

おわりに

早稲田大学物理探査工学研究室について学科の概要から研究室の基本方針、そしてCOVID-19を踏まえた新しい教育研究体制について紹介しました。当研究室は、伝統ある早稲田大学の物理探査工学の教育と研究を受け継ぎ、今後も電気・電磁探査法を中心とした数値解析技術を軸に、地下資源探査、CCSそして防災・インフラなども含めた次世代電気・電磁探査システムの開発に取り組んでいきます。そしてそれらの研究を通じて、優れた技術者・研究者の育成を目指していきたいと考えています。物理探査に関係する企業、研究所等の皆様のますますのご指導・ご支援を、今後ともどうぞよろしくお願いいたします。



図3 2021-2022年度の研究室メンバー(一部欠席)

オンライン会議ツール around による研究室ゼミより「真摯に勉強し、謙虚に、探究(物理探査)を続けよう!」をLab. Statementとしています。背景は研究室から眺めた新宿の夜景です。

第38回地盤探査研究会(微動アレイ)

国立研究開発法人土木研究所 尾西 恭亮

第38回地盤探査研究会を令和3年8月25日にオンラインで実施いたしました。テーマは微動アレイです。会員外も参加可能なオープンな形式で実施しました。ただし、オンライン開催のため事前登録をお願いしておりました。

オンライン開催の利点は地方からの参加が容易なことです。急な決定による開催にも関わらず、全国から58名の方にご参加頂きました。オンライン開催の欠点は質疑応答がスムーズに行われないことですが、チャットの発言を質疑応答に活かしながら活発な意見交換を行うことができました。講演者をお願いして、時間を延長して質疑対応を頂きました。ただし、丁々発止のやりとりとまでは行きませんので、小規模な研究会としては、会場での開催が待たれるところです。

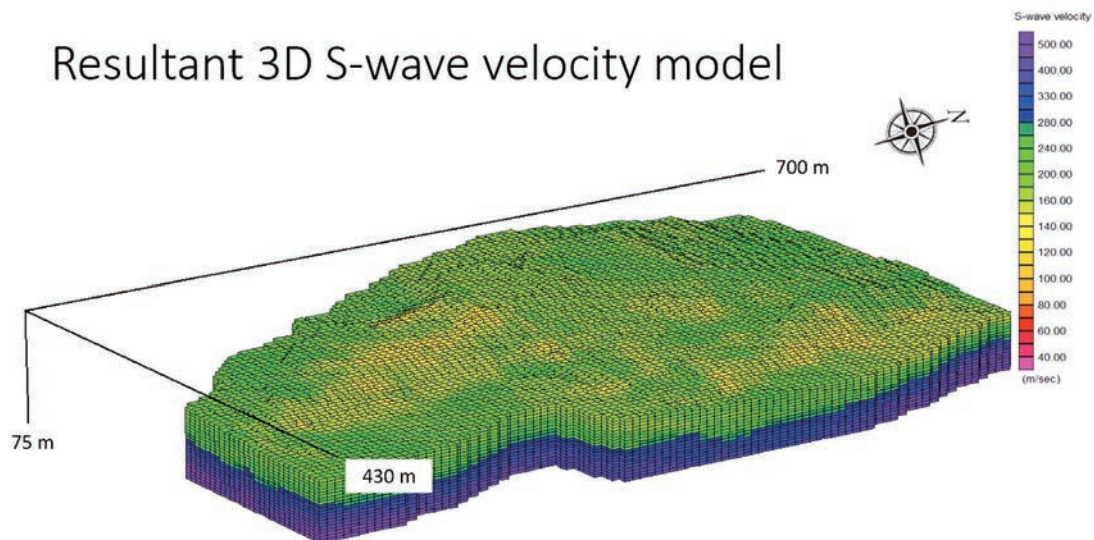
微動アレイのテーマ設定は、翌月の地震防災研究会開催の微動探査のISOに関するシンポジウムに先行し、微動アレイに関する状況整理の共有化を企図したためです。研究会冒頭に電力中央研究所の佐藤氏より地震防災研究会主催の微動探査の国際展開のための標準化に関するシンポジウムの紹介を行って頂きました。続いて、応用地質(株)の林宏一氏に、「微動アレイ探査の海外・国内適用事例の紹介」と題して最近の利用展開事例を紹介いただき、同じく応用地質(株)の小西千里氏に、「微動アレイ探査の国際標準化の状況について」と題してISOに関する情報を整理いただきました。他には、講演者の準備時間

を利用して、運営側から微動アレイの取り掛かりに関する説明を行いました。これには、入室確認の分散やオンライン参加に不慣れな方に対してシステムの動作確認をスムーズに行うねらいがありました。

林氏におかれては米国から直接参加頂き、オンライン開催の恩恵を最大限に受けられました。ただし、時差の関係で開催時刻を午後早めに設定することとなり、参加が難しくなってしまった方もいらっしゃったかもしれません。事例紹介では、海外では多数の独立型地震計を平面展開して広域の3次元S波速度構造を取得する適用展開が進んでいる状況に、驚かれた方も多かったと思います。

コロナ感染者数が増大し、首都圏全域が緊急事態宣言下となった期間の開催となり、運営側も事務局に集まらずに個別の場所からアクセスして開催する運営方法に変更しました。このとき、学会が契約しているgoogle meetでは入室許可等の作業を分散して行えないことが課題でしたが、直前の8月16日からco-host(主催者権の付与)機能の利用が可能となり、スムーズな分散運営が行えたことを付記します。

地盤探査研究会は通常開催でも学会会員全員が参加できます。情報交換が望ましいホットピックスのアイデアがありましたらぜひともお寄せください。学術講演会では扱い難い、基礎的な技術、コツ、知識、課題等の交換を自由に行っております。



3次元探査例(応用地質(株)林宏一氏提供)

SEGが地熱ワークショップを開催

内田 利弘

米国物理探査学会(SEG)は2021年10月12日~14日に地熱ワークショップ「Geophysics in Geothermal Energy - Today and Tomorrow」を開催しました。担当はSEGのAsia-Pacific支部(事務局マレーシア)です。カーボンニュートラル達成に向けて世界各地で地熱開発が活発に進められていることを反映し、その中心の1つであるインドネシアでのワークショップ開催が企画されたものと思います。当初はジャカルタでの開催が想定されていましたが、最終的にオンラインのみでの開催となりました。筆者は2021年初めにSEGの国際担当関係者から打診を受け、実行委員会に加わることになりました。

開催時間は各日とも日本時間で15時から20時過ぎまでの5時間余りでした。講演は、基調講演4件(プルタミナ地熱エネルギー(写真1)、スターエネルギー、インドネシア地熱学会、CGGの各代表)と一般講演31件(依頼した講演と投稿による講演が約半分ずつ)であり、初日の冒頭にSEG理事による挨拶(ビデオ)が行われました。参加者は16ヶ国、40機関からの69名であり、比較的小さなワークショップでしたが、時間帯が深夜や早朝になる米国や欧州からの参加もありました。

講演31件を探査手法別に見ると、電磁探査13件、重力探査6件、弾性波探査5件、微小地震3件、リモートセンシング1件、地温1件、その他4件です(2件は重複)。一般講演発表者の居住国はインドネシアが11件で最も多く、米国4件、ニュージーランド4件、英国3件、フランス3件、日本2件、オーストラリア・マレーシア・タイ・インドが各1件でした。

発表者は事前に15分以内のプレゼンテーション・ビデオを作成し事務局に提出しました。各セッションは4~6件の講演で構成され、1件あたりの配分時間は20分でした。録画ビデオ上映後の質疑応答に加え、セッションの最後に30分のQ&Aディスカッション時間が設けられました。そのため、多くの質問が出されて情報交換は活発になり、発表内容の理解が深まりました(写真2)。

筆者が興味をもった発表には、地熱地域の比抵抗構造と粘土鉱物及び貯留層構造の関係の詳細検討、米国ガイザース地熱地域周辺の広域MT法探査、インドネシアにおける重力探査とMT法のジョイント3次元構造解析、インドネシアにおける微小地震観測と3次元速度構造解析によるVp/Vs比分布をもとにした蒸気卓越ゾーン変化の解釈、重力モニタリングと熱水シミュレーションによる地熱貯留層の変動解析、陸域弾性波探査用の小型独立自律型地震計

(Node)の開発、極浅層温度プロファイル(1m深)の連続観測と地熱貯留層の温度構造推定法の研究などがありました。日本からの発表は、藤澤萌人氏(地球科学総合研究所)による地熱地域におけるDAS-VSP探査結果と、筆者によるMT法3次元解析に関する考察の2件でした。藤澤氏の発表には沢山の質問が寄せられ大変好評でした。

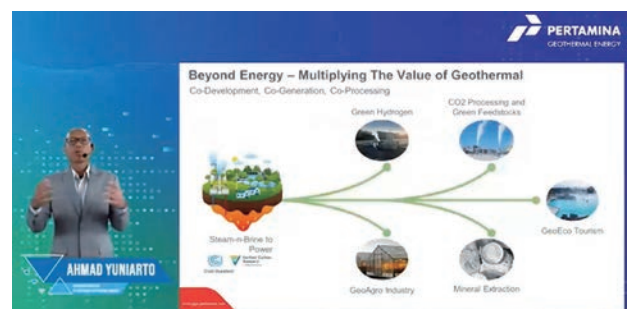


写真1 プルタミナ地熱エネルギー社Ahmad Yuniarto社長の基調講演(SEG提供)。

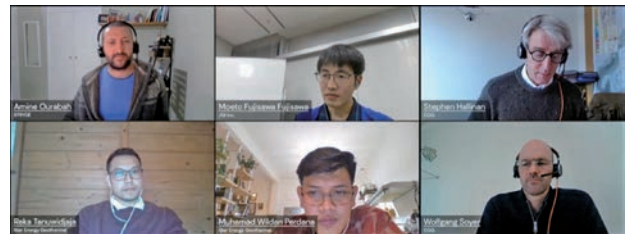


写真2 Q&Aディスカッションの様子。上段中央は藤澤氏、上段右は実行委員会共同委員長のStephen Hallinan氏(CGGA、イタリア)(SEG提供)。

ワークショップの準備では、Covid-19パンデミックの動向予測やスポンサー企業の募集などの不確定要素が多く、開催方針がなかなか決まりませんでした。そのため、SEGサイトに掲載された情報は限られ、講演募集や参加者募集は実行委員会メンバーの個人的なネットワークに強く依存する結果になったと思います。運営における筆者の貢献は僅かでしたが、新型コロナ下での国際ワークショップの開催の難しさを感じました。それでも、幸い最終的に相応数の講演と参加者を得ることができ、会議での発表やディスカッションは大変充実したものになったと思います。なお、ワークショップの情報はSEGサイト(<https://seg.org/Events/Geophysics-in-Geothermal-Energy-Today-and-Tomorrow>)に掲載されています。

物理探査学会第145回(2021年度秋季) 学術講演会開催報告

応用地質(株) 鈴木 晴彦

第145回学術講演会は11月24日～26日の3日間、初めての試みとなるハイブリッド形式でサンポートホール高松(香川県高松市)にて開催されました。ハイブリッド形式とは来場での参加とオンラインでの参加が可能なもので、来場参加者は従来通りに、オンライン参加者はGoogle Meetを使用して聴講し、チャット機能を用い質問するという形式です。新型コロナウイルス感染症対策として、マスク・消毒・検温・換気の徹底、座席間隔の確保、飛沫対策の亚克力板を介しての発言などの対策の上、開催致しました。

今回の参加者は3日間で来場参加は85名、オンライン参加は71名で、合計156名(内、委員・事務局14名、学生28名)でした。口頭発表者は来場いただき、ポスター発表者はどちらからでも発表できる形式としました。口頭講演数41件(内、特別セッション4件)、ポスターセッション15件、特別講演2件でした。

残念ながら飲食を伴う交流会は中止としましたが、1日目の講演後には第2回学生交流会がZoomを用いて開催されました。ハイブリッド形式で、学生幹事を中心に学生参加者18名がゼミの紹介等で交流を深め、次回学生交流会に向けてイベントを企画していました。



会場の様子

○特別セッション

本セッションは「3次元地盤モデル作成のための微動探査」と題して、4件の発表が行われました。インフラ施設の液状化ハザードマップ整備を目的として公開された「3次元地盤構造モデル作成ガイドライン(案)」(国土交通省国土技術政策総合研究所)において、S波速度構造評価法として微動探査と表面波探査が示されたことを期に、微動探査の適用について企画されました。1件目は、上記ガイドラインの説明、液状化判定のための物理探査の利点、標準歩掛の作成について、2～4件目では日本各地で実施した事例について発表して頂きました。

○特別講演

特別講演は長谷川修一氏(香川大学 特任教授)、香川政明氏(さぬき麵業株式会社 社長)により、ご講演を頂き

ました。長谷川氏は様々な応用地質学的課題において、物理探査がどのように活用されてきたかについての事例を紹介頂き、まとめとして「常に対象物をイメージして手法を選択する」、「物理探査結果は地質学の議論によって妥当な結論に近づく」、「結果の解釈には地形地質形成史の理解が不可欠」など、物理探査に携わる者にとって非常に大切なメッセージを頂きました。

次いで、香川氏からは「寝ても覚めても、うどん」と題した通り、うどんに対する深い愛情と熱い想いがこもった講演でうどんのおいしい作り方で伝授していただきました。また、赤い具材をトッピングした純白のうどんを新年の幸せを祈りながら食す、「年越しそば」ならぬ「年明けうどん」を新しい文化として提唱されていました。



長谷川 修一 氏



香川 政明 氏



見学会の様子(石棺を取り囲んで)

○見学会

3日目の午後より、高松市内にある石清尾山(いわせおやま)古墳群の見学へ渡辺会長をはじめ総勢10名(内、学生2名)で参加しました。この古墳群には、積石塚という石を積んで造られた全国でも珍しい古墳があり、石清尾山の見晴らしの良い尾根上に点在し、当日は天候に恵まれ高松市内や瀬戸内海が一望できました。参加された皆様は、高松市文化財課の方のご解説に熱心に耳を傾けていました。最近の3次元ライダー測量調査で古墳の本来の形状、造り方の特徴が明らかになったそうです。今後は、内部の調査方法や保存が課題とお話されていました。物理探査学会としてご協力することがあるかもしれません。

「微動探査の国際展開のための標準化に関するシンポジウム」アンケート結果報告

電力中央研究所 佐藤 浩章/応用地質株式会社 小西 千里/防災科学技術研究所 先名 重樹

1. はじめに

物理探査学会・地震防災研究会では、令和3年9月22日(水)にオンラインにて「微動探査の国際展開のための標準化に関するシンポジウム」を開催しました(物理探査ニュースNo.52掲載)。我が国発の物理探査技術として、海外でも用いられるようになった微動探査ですが、現在は、国際標準化に向けた取り組みも行われています。今回のシンポジウムは、国際標準化に向けた活動の報告、標準化・規格化についての意見集約の場として開催され、開催後にはアンケートを行いました。参加された70名のうち、受注(調査実施)者、発注者、研究者など異なる立場の31名の方からの貴重なご意見をいただきましたのでご紹介いたします。回答いただいた方には、この場を借りてお礼申し上げます。

2. 質問と回答結果(自由意見は頁数の都合上割愛)

Q1 あなたの立場を聞かせてください



Q2 あなたは微動探査に関してどのくらい理解していると思いますか



Q3 これまでに国内で微動探査を用いた業務・研究を何件くらい実施(発注)しましたか



Q4 これまでに海外で微動探査を用いた業務・研究を何件くらい実施(発注)しましたか



Q5 平均すると1年間で微動探査を用いた業務・研究を何件くらい実施(発注)していますか



Q6 将来、微動探査を業務・研究に適用したいですか



Q7 微動探査の結果についての認識をお聞かせください



Q8 上記Q7で、信頼していない、どちらかという信頼していないと回答された方にお聞きします。どういった点が信頼できないと感じていますか(有効回答数7)

主なご意見(原文まま)

基本モードのみのインバージョンでは表層高速度層、中間高速度層の検出不可能。高次モードを含めたマルチモード解析とそれに適したデータ取得が重要。
 ばらつきの原因がわからない
 精度、モデルの一貫性が(ばらつきを許容しても必ずしもあきらかとはいえ)ないこと
 「信頼していない」というよりも精度や分解能に限度があり適用範囲を理解して使う必要があると思う。
 地下速度構造を求めるための逆解析が統一的ではない。高次モードの問題も解決できていない。(表面波探査もおなじ)
 不確定部分が多い事を発注者に理解してもらう必要がある。
 微動探査以外の地盤情報などの程度加味されているかで、速度構造推定は大きく影響されているように思うため。位相速度分散曲線を推定する段階においても、そこから速度構造推定をする段階においても、推定された値を確からしい値に絞り込むためには、微動から得られる情報だけではまだ難しいと考えます。
 高次モードの分離または考慮した解析

Q9 解析プログラムが公開されるとよいと思いますか



Q10 微動探査を実施する上で、表面波や微動の本質的な特徴を理解する必要はあると思いますか



Q11 現在、微動探査を学ぶ機会として物理探査セミナーがありますが、より詳しい技術講習会があれば参加したいですか



Q12 今後、国内においてどのような目的で微動探査が適用されるとと思いますか(有効回答数18)

主なご意見(原文まま)
 地震防災・地震基盤上モデリングではすでに広く適用されているが、浅部地盤探査では今後の展開に期待。ただし基本モードだけのインバージョンでは適用不可ポーリングの代替としての調査。洋上風力への海底微動探査。
 ポーリング調査の補間としての基盤調査
 建築や土木分野における適用。
 既存の社会資本整備施設の維持管理において、非破壊かつ省コストで経年変化を定量的に把握するための微動探査の活用。
 深い数10m下の構造物の位置や空洞の調査/埋め土境界の探査
 個人的によく相談されるのは支持層の不陸を見たいという事なので今後も増えていくと思います(笠松様の話題提供であったように1mの誤差を見たいとか大してN値も出ていない中間支持層を見たいみたいな事が出来ると思込んでいる所からの要望も多いですが)。当方、建築分野ですが、こと建築においては時刻歴応答用の地盤構造推定の目的としては意外とPS検層をやった方が安価なケースが多いので(Vs400m/sまであればいいのがほとんどなので)、まだ微動探査が取って変わるような気配は感じられません。
 浅部地下構造(耐震基盤)の3D化表現/深部地下構造(断層等)の把握/防災地質
 大半は耐震設計などに利用されるための基礎データの一つとしての需要があると思います。
 そこまで精度や分解能を必要としないがある程度の広範囲をカバーする地盤調査や基盤構造調査
 地すべり、陥没
 地盤情報のざっくりとした把握、建築物への応用など
 現在適用されているものの数が増えていくイメージです。
 活断層調査(三次元微動探査)/火山の調査/浮体式洋上風力発電への適用
 起伏の激しい基盤層把握、不法投棄廃棄物の平面範囲、谷埋め盛土
 深い埋設物の位置探査
 防災科研がやっているように地震時の表層地盤の挙動解析に多用されるようになって考えています。
 耐震設計に資するS波速度構造モデル構築に関して、地震探査と統合解析を実施

Q13 今後、海外においてどのような目的で微動探査が適用されると思いますか(有効回答数15)

主なご意見 (原文まま)	
地震工学基盤3D探査/3D浅部地盤構造モデリング	よくわかりません。
国内での利用法と同じ。埋め立て地の支持層調査など、ボーリング調査の補間として	
地盤工学分野における適用。	
12の回答と同じく既存施設の経年変化の把握、新たな資源会探査での活用	
都市の大規模S波地盤構造	
面的なサイト増幅特性評価	
海外における需要についてはよく分かっておりませんが、反射法等と違って簡便に計測できるということで地盤調査に色々と活用されていくのではないかと考えます。	
平野に位置する都市部、あるいは都市化に伴う地盤調査	
広域基盤調査	
各地の地盤情報抽出など	
海外においては、イメージわかりません。すみません。	
洋上風力発電事業への適用 / 地震防災への適用	
臨海部等の地盤調査	
日本同様に地震時の表層地盤の挙動解析に用いて欲しいと考えています。	

Q14 微動探査の国内標準(JISやJGS基準)があればよいと思いますか



Q15 表面波探査もISO規格があればよいと思いますか



Q16 他にISOで取り上げるべき物理探査技術があれば記載してください(有効回答数6)

主なご意見 (原文まま)	
PS 検層などボアホールを利用した物理探査。	
全く疎いので何が取り上げられているのか分かっていませんが、何かと比較されるPS検層は当然取っているのでしょうか?	
MT探査	
今は思い浮かばない。	
検層技術	
高密度電気探査、磁気探査	

Q17 今後、物理探査技術のISO化に、日本は積極的に関わった方がよいと思いますか



Q18 今回のシンポジウムは業務・研究を遂行する上で参考になりましたか



3. アンケートを受けて

本シンポジウムの企画・進行を行った地震防災研究会・代表幹事の佐藤浩章を進行役として、登壇した「地盤調査のための物理探査法標準化検討委員会」委員長の小西千里に加え、微動探査の国際標準化ISO/TC182(WG9)コンビーナの先名重樹にて、フィードバックのための座談会を開催しました。

佐藤：実際に調査を実施される受注者の方が8割近くのアンケート結果となりました。

小西：とても率直な意見を頂いたと思います。参考になりました。皆さんが日頃悩んでいる部分が割と共通しているということが僕もわかりました。

佐藤：回答者のうち、微動探査をよく理解しているという方は3割くらいでした。標準化によって、手法を理解する必要性というのは、変わってくるのでしょうか。

先名：ISO化は、より利用しやすくなることを目的としていますが、手法の理解が必要ないということではありません。Q2の「少し知っている」という層までが対象といえると思います。

佐藤：興味深いのは、結果の信頼性についての認識ですが、8割の方は信頼しているということでした。逆を言えば、2割の方は信頼していない。これは、そのほかの物理探査技術と比べて、どのように思われますか。

小西：そう変わらない認識とと思っています。盲目的に信頼して利用するよりも、少しは懐疑的に見た方が結果的に、より良い結果につながる面もあるのではという気がしています。

佐藤：ISO化にあたっては、信頼性に関するこの辺りの議論はありましたでしょうか。

先名：海外の参加国からも、不確かさや高次モードの問題については、記載の必要性の指摘があり、現時点のドラフトにも反映もされています。

佐藤：表面波や微動の本質を理解することの必要性や学ぶ機会としてのセミナーへの出席について、ほとんどの人が積極的でした。

小西：実務者の方も、現場で悩んでいる問題の理論的背景を自分で理解し、問題解決したい人が多いのではないかと思います。

先名：ISO化されることが、理論的背景を理解する必要性を再認識する契機になった部分もあるのかもしれませんが。

佐藤：微動探査の活用としては、本研究会の活動の範疇である地震応答解析のための地盤モデルや基盤構造探査などの地震防災的な適用以外に、土木・建築やインフラの調査などへの期待が示されました。海外での適用でも同様の目的が多かったですが、国際標準化のスコープも同様の活用先を見据えているのでしょうか。

先名：ISOの海外メンバーからも土木・建築分野で活用したいというニーズはあるようでした。

佐藤：今後の標準化の必要性について、微動探査の国内標準については9割以上、また表面波探査のISOについて8割以上の方が肯定的です。今後の見通しはどのように考えられていますか。

小西：ISO化に肯定的な人が多いのは、反対する理由があまりないからかもしれません。しかし、積極的にISO化を進めるにあたっては、人材や活動資金の確保の問題もあります。組織的に、また計画的に進めないと徒労に終わる事もありますので、注意しないとはいけません。物理探査技術を

“職人技”のようなものとしてニッチなところを目指すのであれば、別にISOは必要ないとも言えますが、物理探査を専門として勉強する学生も減ってきている中、将来的な物理探査の普及を考えれば、標準化によって他分野の人が実施しやすくすることは、避けて通れないようにも思います。

先名：今回のISO化は、日本が主導的な立場で、かつ海外の協力も得て実施することができました。こういう枠組みでの国際的な活動のチャンスは少ないですので、できれば、今回の経験をうまく活かして、今後も続けていってほしいと思います。

佐藤：今後ISO化に取り上げるべき物理探査技術として、いろいろご提案をいただきました。また日本が積極的に関わることを望む声も9割以上でした。その一方で、アンケートの自由意見には、学会の取り組みとしては、学術の発展を優先すべきということで、疑問を呈するご意見もありました。

小西：技術の普及と技術の底上げの両輪が、学会の意義だと考えています。なお、現在のISO化の体制は、地盤工学会が主導的で、物理探査学会はサポートする形ですので、学会として標準化が優先されているわけではないと思います。

先名：今回、物理探査学会としても、ISO化への協力は初めての経験だったと思います。当時の山中会長へのご相談から始まり、学会からの実務者(小西氏)と有識者(鉄道総研・津野氏)の派遣など多大なサポートをいただきました。物理探査技術のISO化は、やはり物理探査学会の貢献無しには成り立たないと思っています。

佐藤：お二人には、この度いただいたアンケートへの誌上フィードバックをいただきありがとうございます。地震防災研究会としても、今回アンケートにていただいた、特に技術的な要請については積極的に取り上げ、微動探査技術を会員の皆様とより良いものにしていきたいと思っております。会員の皆様からの最新技術の話題提供やご参加をお待ちしております。

小西・先名：今後ともよろしく申し上げます。

<参考文献>

重藤迪子(2021):「微動探査の国際展開のための標準化に関するシンポジウム」の参加報告, 物理探査ニュースNo.52, 11.

賛助会員リスト

三菱マテリアルテクノ(株)	日本海上工事(株)	(株)ドリリング計測	スリーエス・オーシャンネットワーク(有)
応用地質(株)	JX石油開発(株)	西日本技術開発(株)	(株)ジオフィール
鹿島建設(株)技術研究所	日本物理探査(株)	(株)地球科学総合研究所	(株)尾花組
川崎地質(株)	復建調査設計(株)	(一財)地域地盤環境研究所	洞海マリンシステムズ(株)
関東天然瓦斯開発(株)	三井金属鉱業(株)	第一実業(株)	海洋電子(株)
基礎地盤コンサルタンツ(株)	三井石油開発(株)	シュルンベルジェ(株)	協和設計(株)
極東貿易(株)	(株)阪神コンサルタンツ	(株)日さく	(株)ジオプロープ
(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構	ドリコ(株)	モニー物探(株)	白山工業(株)
興亜開発(株)	ニタコンサルタント(株)	(株)大林組 技術研究所	(一社)省力型3次元地中可視化協会
国土防災技術(株)	三井金属資源開発(株)	北光ジオリサーチ(株)	日本信号(株)
サンコーコンサルタント(株)	(株)興和	中央復建コンサルタンツ(株)	(株)地盤探査
住鉱資源開発(株)	ジオテクノス(株)	九州日商興業(株)	サン地質(株)
住友金属鉱山(株)	サミットエネルギー開発(株)	(株)ジオテック	日本工営(株)
石油資源開発(株)	(株)物理計測コンサルタント	JX金属(株)	(株)地図総合コンサルタント
伊藤忠テクノソリューションズ(株)	(株)日本地下探査	(有)アスクシステム	越前屋試験工業(株)
総合地質調査(株)	中日本航空(株)	(一社)全国地質調査業協会連合会	(株)昌新
(株)ダイヤコンサルタント	(株)エイト日本技術開発	(株)日本メジャーサーヴェイ	(株)トムロ・テクノプロ
中央開発(株)	地熱技術開発(株)	東邦地水(株)	(株)フグロジャパン
地質計測(株)	大和探査技術(株)	(株)長内水源工業	深田サルベージ建設(株)
(株)INPEX	(株)ジオシス	応用地震計測(株)	(株)フジタ技術センター
電源開発(株)	中部電力(株)	(株)四国総合研究所	(株)日水コン
(一財)電力中央研究所	北海道電力(株)	(株)ハギボー	日本マグマ発電(株)
DOWAメタルマイン(株)	九州電力(株)	(公財)地震予知総合研究振興会	(株)オーシャン・ジオフロンティア
JX金属探開(株)	関西電力(株)	太平洋セメント(株)	出光興産(株)
日鉄鉱業(株)	(株)建設基礎コンサルタント	(株)ジオファイブ	
日鉄鉱業コンサルタント(株)	(一財)宇宙システム開発利用推進機構	(株)テラ	

2022年1月18日現在



お知らせ

お知らせ

第146回(2022年度春季)学術講演会

現地とオンラインによるハイブリッド開催

開催日：2022年6月7日(火)～6月9日(木)

開催場所：早稲田大学 国際会議場

6月7日(火)：一般講演、学生交流会

6月8日(水)：一般講演、総会、特別講演、交流会

6月7日(火)：一般講演、

講演申し込み締め切り：2022年3月7日(月)

講演論文集原稿、講演要旨締切

物理探査学会会員の方：2022年4月11日(月)

物理探査学会非会員の方：2022年3月7日(月)

詳しくはこちら

<http://www.segj.org/event/lecture/2021/12/146.html>

特集号「海底下浅層の探査技術と開発」 一般論文募集のお知らせ

本特集では、物理探査の現状、内外の事例の紹介、広い分野からの要望・提言を目的に、海底下浅層における物理探査法の今後の研究・開発・利用について議論を深めたいと考えています。論説・論文・ケーススタディ・ラビッドレター・技術報告・解説のいずれの種別の原稿投稿も歓迎します。

投稿方法

一般論文投稿に準じます。投稿の際には「海底下浅層の探査技術と開発」特集号への投稿であることを伝えてください。

スケジュール

原稿締切：2022年5月末日

最終原稿締切：2022年7月中頃

オンライン掲載：2022年9月



事務局職員に勤続表彰

事務局の五十嵐ひろみさんが本年度勤続満10年になり、勤続表彰を受賞しました。

渡辺会長のご提案で、令和3年11月1日に事務局にて表彰式が執り行われました。

まず、会長から表彰状の文面を披露いただき、オンライン参加された理事の皆様が見守る中、鈴木副会長から表彰状と記念品が授与されました。受賞後、本人から会員の皆様やその他の多くの関係者の皆様への感謝が述べられました。



編集後記

ニュース委員会がWeb開催になって早くもまる2年が経つでしょうか。北大ではコロナ感染の波の緩和期に学生と小規模ながら飲み会をしています。誘うとほぼ全員付き合ってくれますが、人数が少ない時は全額私がおどり、多い時は全会費の半額は私持ちとなります。その席でたまに出る話題が地球温暖化問題を含むSDG'sです。彼らは以下を問いかけてきます。『化石燃料を大量消費することで膨大なエネルギーを得た人類は、便利な生活を手に入れた反面、地球環境破壊を加速させている。将来、化石燃料の使用が制限されたら、物理探査はどうなるのか』。『地球の征服者として我が物顔の人類への警告として、生物界がCOVID-19という試練を与えたのではないか』。『人類は一度絶滅の危機を経験しないと分からないのではないか』等など。私に問われても答えに困るのですが、最近の学生はけっこう真摯に受け止めているようです。物理探査という学問だけでなく、技術者倫理的な指導もしなければならぬので、大学の先生もけっこう大変ですが、学生とこのような議論ができるのは案外楽しいものです。委員会活動が一日も早く対面で行える日が来ることを願っています。

(ニュース委員 鈴木)

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53号 2022年(令和4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