

# 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

Geophysical Exploration News Autumn 2025 No.68

## 目次

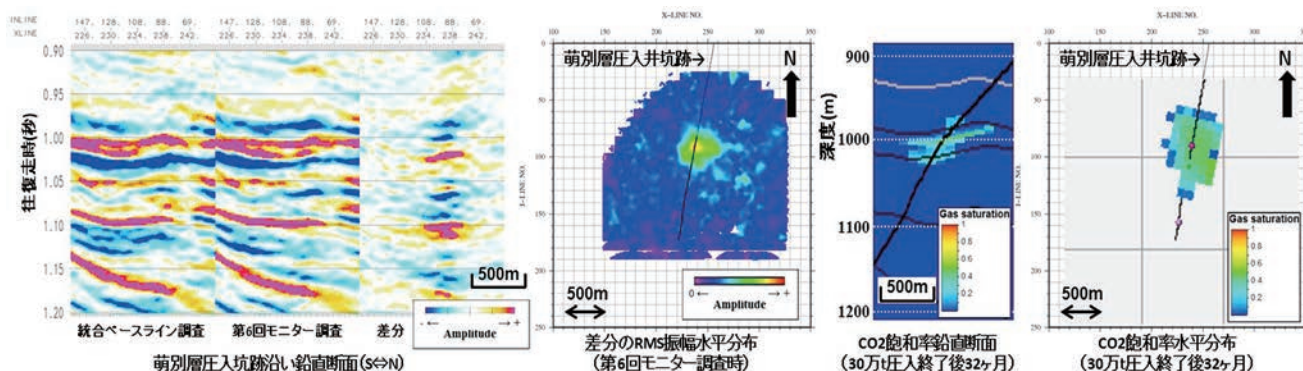
### 解説

CCS(二酸化炭素地中貯留)に関わるモニタリングと物理探査	1
物探よもやま話	
オーディオと物理探査(その5)	3
わかりやすい物理探査	
ドローン物理探査(1) 概要	5
会員の広場	
つくばサイエンス高校の探究活動への協力	8
会員の広場 フレッシュマン紹介	10
会員企業紹介 株式会社ジオシス	11
お知らせ・編集後記	12

## 解説

## CCS(二酸化炭素地中貯留)に関わるモニタリングと物理探査

石油資源開発株式会社 河村 知徳



**巻頭図** 苫小牧における繰り返し弾性波探査によるCO<sub>2</sub>の検出例(日本CCS調査(株)Webページ\*1より)  
左側2枚は第6回目の繰り返し探査とベースライン(圧入前)探査との差分(垂直断面と水平断面)。色の変わった部分に二酸化炭素が貯留されている。右側2枚は貯留層シミュレーション結果を示しており、弾性波探査で得られた二酸化炭素の貯留分布と調和的である。



学会員の皆さま、お久しぶりで。以前、「ジャカルタ駐在生活(2019年版)」を投稿した河村です。2022年以降はご縁があり、日本CCS調査(株)に出向し、苫小牧で行われているCCS実証実験に参加しています。現在は、二酸化炭素(以下、CO<sub>2</sub>)圧入後のモニタリング(監視)を担当しています。

CCSは“Carbon dioxide Capture and Storage”の略で、日本語では「二酸化炭素地中貯留」を指します。大気中に放出されてしまうCO<sub>2</sub>を分離・回収して地中に貯留し、最終的には鉱物化(固定化)によって、排出したCO<sub>2</sub>を実質的に「なかったこと」にする手法です。本来であれば、技術革新によってCO<sub>2</sub>排出をゼロにできるのが理想ですが、現実には容易ではありません。そこで、現時点での技術を活かしてCO<sub>2</sub>排出量の削減に直接的に貢献しつつ、その取り組みを事業として成立させることを目指しています。政府が支援する現在の計画([https://www.jogmec.go.jp/ccs/advancedsupport\\_002.html](https://www.jogmec.go.jp/ccs/advancedsupport_002.html))

によれば、プロジェクトは数10年にわたる見込みです。

CCS事業では、技術的な側面に加え、規制当局や事業を実行する地域の皆さまなど、ステークホルダーとの関係構築が極めて重要です。そのため、プロジェクトの進行に合わせて、地中に圧入したCO<sub>2</sub>が地表付近に漏れ出していないか(漏出)、あるいは想定外の地層へ移動していないか(漏洩)を監視することも、モニタリングの役割となります。

CCSモニタリングと物理探査について、紹介する機会を与えていただいたのですが、どのような切り口で書くべきか思案していたところ、ニュース委員の皆さまからいくつか質問をいただきました。そこで、本稿ではそのご質問にお答えする形で話を進めていきます。はじめにお断りしておきますが、回答にあたっては可能な限り独自色を抑えるよう努めました。ただ、それだけでは読み物として面白みに欠けるため、技術者としての個人的見解も一部含まれています。組織としての公式見解ではありませんので、その点をご理解のうえお読みいただけますと幸いです。

### Q1 CCSにおいて物理探査を行う目的は何でしょうか。

大きく2つあります。1つ目は、地中貯留に適した場所を見つ

けることです(図1)。対象となるのは、深度およそ1,000～3,000mに位置する地層で、砂岩のように隙間が多く浸透性の高い「貯留層」と、その上を覆いCO<sub>2</sub>を通さない「遮蔽層」がセットになったエリアです。遮蔽層は、泥岩のような細粒の堆積物が固結した地層で、地中に圧入したCO<sub>2</sub>が上方へ移動するのを防ぐ、いわば蓋の役割を果たします。できるだけ多くのCO<sub>2</sub>を貯留するため、望ましい貯留層は、孔隙が大きく浸透性が高いことに加え、層厚や平面的な広がりが大きく、可能な限り均質であることです。

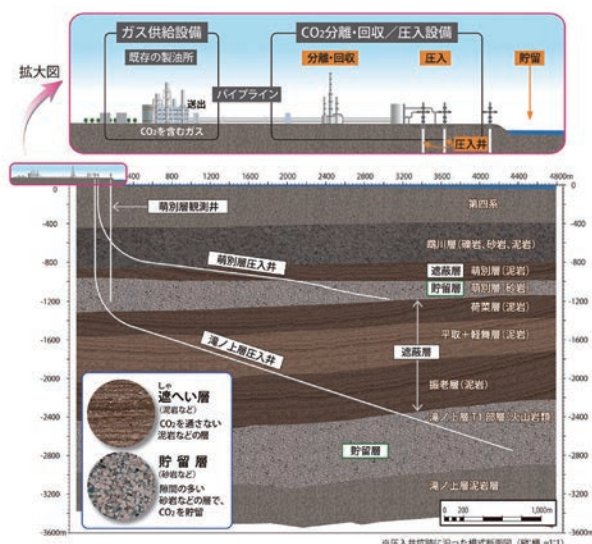


図1 CCSの全体図(日本CCS調査Webページより)

2つ目は、地中へ圧入したCO<sub>2</sub>の挙動とその経時変化を監視することです。圧入されたCO<sub>2</sub>は貯留層の分布に沿って広がりますが、その広がり方は貯留層の性質(隙間の多さや浸透しやすさ、均質かどうか)に大きく左右されます。坑井近傍については、圧入井の坑底付近に設置したセンサーで温度や圧力を測定し、シミュレーションと比較することで、ある程度の広がりを把握できます。さらに、圧入井内に地震計、最近では光ファイバー(DAS: Distributed Acoustic Sensing)を設置していれば、VSP (Vertical Seismic Profiling)などによっても広がりを捉えられます。とはいえ、いずれの方法も圧入井から離れるほど精度が低下します。

圧入井以外の坑井(観測井)を用いる方法で坑井間の広がりを監視することも可能ですが、追加の坑井掘削には多大な費用がかかります。そこで、比較的低コストで、水平方向を含む3次元のCO<sub>2</sub>の地中での分布、挙動を把握できる物理探査が注目されています。

CCSに関わる物理探査の活躍の場面に関する詳細については、二酸化炭素地中貯留研究組合が作成した事例集<sup>\*2</sup>の基本計画部分を参考にいただければと思います。

**Q2 モニタリングで反射法がメインになると思いますが、それ以外に適用できる手法、もしくは将来的な技術的展望を教えてください。**

CO<sub>2</sub>の圧入により、地下の物性(速度、密度、比抵抗など)が変化します。そのため、反射法(弾性波)や重力探査、電気・電磁探査など、複数の物理探査手法を活用できます。日本のCCS事業は主に海域で実施される見通しですが、陸上であれば衛星(InSAR)により地表の変位を捉えることも可能です(図2)。現状、CCSのモニタリングでCO<sub>2</sub>の挙動を見るには、反射法弾性波探査がメ

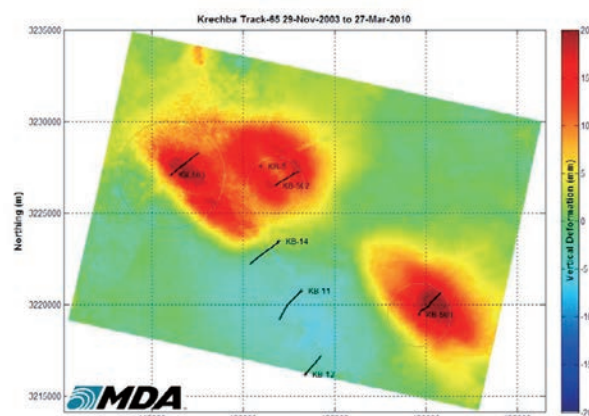


図2 CCSに伴う地表変位(Mathieson et al.,2011<sup>\*3</sup>)

インです。しかしながら、数10年にわたるプロジェクトであることを踏まえ、適用する技術や期間を含め、常に見直しされることが前提となっています。技術の進展とともに適用するモニタリング技術やその組み合わせを更新していくことになるでしょう。

こうしたモニタリング技術の全体像については、日本CCS調査(株)がまとめた資料が公開されています<sup>\*4</sup>ので、そちらも参照いただければと思います<sup>\*4</sup>。

また、IEAGHGのサイトにもモニタリングセレクションツールがあります<sup>\*5</sup>。ボタンをポチポチやるだけでモニタリング手法の組み合わせが出てきます。

**Q3 どの程度CO<sub>2</sub>が貯留されると差分でわかるようになるのか、技術的知見はありますか?**

この点は、圧入前に行う事前シミュレーションである程度判断できると考えています。ただし、その前提として、事前にどれだけ地下の物性情報を得られているかが鍵になります。適地調査の結果から把握できる貯留層内の物性の不均質の程度、さらに坑井掘削によってコアや検層結果が得られているかどうかは、極めて重要です。

実際の現場データを用いた差分解析については、データの密度やノイズレベルの高低など、確認すべきパラメータが他にもあり、場所ごとの違いが生じるのは当然だと考えています。苫小牧の例では、複数回実施した弾性波探査により、約30万トンの圧入による差分を検出しています(巻頭図)が、ほかの地域でも同様かどうかは正直わかりません。現状は振幅による差分の有無の評価が中心ですが、今後はその差分の実体、例えば飽和率の差なのか、だとすれば何パーセントなのか、といった点の考察が進むと見込んでいます。

**Q4 CCSに係る物理探査では、今後どのような技術開発が必要でしょうか?**

結論として、現在の物理探査に求められていることと同じだと考えています。つまり、コストを抑えつつ精度を維持し、確かな結果を出すにはどうすべきかを、継続的に検討する必要があります。現状では、これらの要件を単独で満たす物理探査手法はないため、複数の手法を組み合わせるノウハウが必要でしょう。

また、経時的に取得したデータの差分を確実に捉えるために、「同じデータ」を取り続け、かつ処理し続ける工夫です。最初のデータ(ベースライン)取得時と圧入中、圧入終了後(数10年後)とでは、データ取得や解析の技術レベルは当然変化します。こうした違いの影響を打ち消しながら、真の差分を検出しようとする取り組みはある意味地味ですが、CCSモニタリングを支える基盤技術です。



一方で、CCSモニタリングは漏洩や漏出などの早期発見とその対応が求められます。これらに迅速に対応するためには、現場作業や解析作業の「スピード」も重要です。モニタリングでは連続観測のデータが多く、扱うデータ量は膨大になります。その中から有用な情報をいち早く抽出し、粗々でもよいので評価に足る結果を出力していく技術開発も必要でしょう。

#### Q5 CO<sub>2</sub>圧入後にどれくらいの期間モニタリングを行う予定ですか？

現在、モニタリングが完了したCCSプロジェクトは存在せず、世界的にも監視期間を何年とするかの統一基準はありません。米国や欧州の規制やガイドラインでは、監視期間は概ね20～50年とされています。ただし、現場ごとのリスク評価やシミュレーション、観測結果を組み合わせ、「モニタリングは不要」と合理的に示せば終了できると規定されています。

その背景には、圧入したCO<sub>2</sub>が地中に固定されるまでの時間スケールがあります。CO<sub>2</sub>は当初は構造トラップに捉えられ、その後に溶解を経て、最終的に鉱物固定へ至りますが(図3)、この過程には1,000年以上かかると想定されています。したがって、圧入中や圧入後数年といった短期の監視結果だけでは、安全性を完全に保証できず、10年20年の監視を義務としています。

冒頭で、CO<sub>2</sub>排出ゼロの実現には時間がかかるため、それまでの間をCCSで乗り切るという趣旨を書きました。しかしながら、実際には圧入期間も含めると、数10年に及ぶプロジェクトになります。鉱物化まで含めると、ちょっとした地質スケールの時間になります。モニタリング終了時期の判断は、現状は純粋

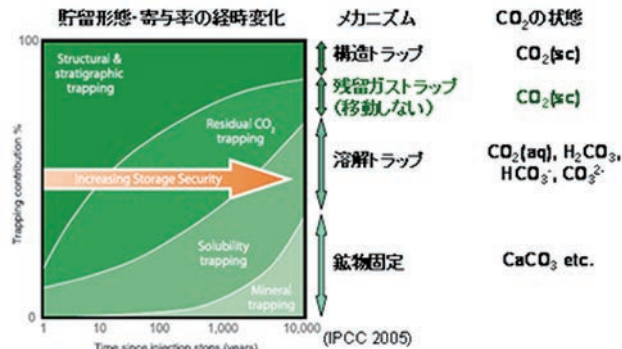


図3 二酸化炭素の鉱物化のプロセス(RITE Webページ<sup>\*6</sup>より)

な技術的観点だけでは決まらず、規制当局や地元などのステークホルダーとの関係にも左右されることになるでしょう。

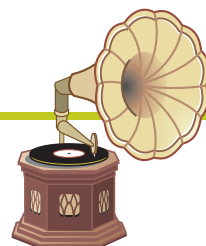
#### <参考文献・関連URL>

- \*1 苫小牧におけるCCUS大規模実証試験成果報告書(日本CCS調査(株)Webページ) <https://www.japanccs.com/library/ccus-report/>
- \*2 <https://www.co2choryu-kumiai.or.jp/co2/>
- \*3 Mathieson et al.(2011): In Salah CO<sub>2</sub> Storage JIP: CO<sub>2</sub> sequestration monitoring and verification technologies applied at Krechba, Algeria, Energy Procedia, v.4, pp: 3596-3603.
- \*4 [https://www.japanccs.com/wp/wp-content/uploads/2025/04/CCS\\_monitoring\\_brochure\\_20250416FA.pdf](https://www.japanccs.com/wp/wp-content/uploads/2025/04/CCS_monitoring_brochure_20250416FA.pdf)
- \*5 <https://ieaghg.org/monitoring-selection-tool/>
- \*6 <https://www.rite.or.jp/co2storage/safety/>



## オーディオと物理探査(その5)

公益財団法人深田地質研究所 鈴木 敬一



### 1. 前回まで

前回(物理探査ニュース62号)はモノラルレコードのピックアップ(カートリッジ)について解説した。今回はステレオレコードの場合について解説する。

### 2. ステレオレコードの溝

そもそもステレオ左右2成分の信号を、1本の溝にどのように刻んでいるのだろうか。レコードの溝はよほど拡大しないと見ることはできない。筆者の所有するレコードの中に、大振幅で溝が刻まれているレコードがあったので、100円ショップで売っているスマホに取り付けるマクロレンズを装着したところ、それなりに見ることができた。これが図1である。この曲は20世紀に流行った、いわゆる現代音楽と呼ばれるクラシック音楽で、シュトックハウゼン作曲「シリウス」の冒頭部分である。この部分は電子楽器を用いて、低周波かつ大振幅の音が刻まれている。可聴帯域ではないので、音としては聴こえないが、スピーカーのコーンがふうふうと揺

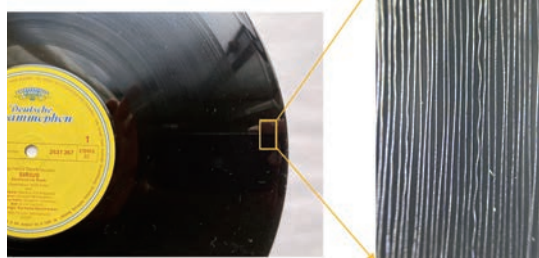


図1 ステレオレコードの溝

れ、部屋が振動することで、再生されていることがわかるという代物である。冬のカートリッジが硬いときに再生すると、カートリッジごと吹っ飛ばされるといわれるほどオーディオマニアには有名である。この溝をよく見ると白っぽく見える溝の左右の形が違うことがわかる。これがステレオレコードの秘密である。

### 3. ステレオレコードの溝

図1を模式的に示したのが図2である。溝の一番深いところを中心に、左右で溝の形状が異なっている。断面で見ると、水平に対して

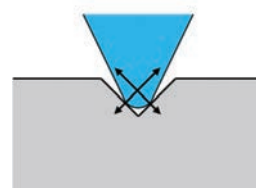
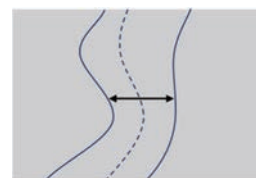


図2 ステレオレコードの溝と針の振動方向

45度に傾いた面に、左右それぞれの信号が刻まれている。針先の角度は鋭角であるが、先が丸められていて、溝とは左右それぞれの点で接している。これにより、45度傾いた直交2成分の振動として針先で溝の振幅を拾うことができる。しかし、1本の針先で振動を拾っているため、これをそのまま電圧に変換しても、モノラル信号と変わらない。しかし、直交している2成分を分離することができれば、ステレオ信号として取り出すことができる。次にその原理をみてみよう。

## 4. ステレオ用カートリッジ

モノラル用カートリッジは、地震計の水平1成分と同じ動作原理であることは前回述べたとおりである。図3は、ステレオカートリッジの動作原理を示した図である。2成分のピックアップを直交させ、さらに45度傾けることにより、2成分を分離させて取り出しているのである。これは知ってしまえば大したことないように思えるが、最初に考えついた人はとても頭が柔らかかったに違いない。図3は磁石を動かす動磁石型(Moving Magnet; MM型)であるが、モノラルカートリッジで示した動コイル型(MC型)も可能である。MM型は電線が本体側と接続しておらず、針先だけが簡単に外せるため交換が容易である。MC型は針先を交換するにはメーカーに回収してもらわなければならない。MM型の変形として、磁石ではなく鉄芯が動くMI型(Moving Iron)などもある。MM型には様々なバリエーションがあり、メーカーによって様々な呼び名があるが、大きくはMC型とMM型に区分される。前者は出力が大きく、そのままアンプのレコード入力端子に入力できるが、MC型は出力が小さいため昇圧トランスやヘッドアンプが必要となる。MM型は骨太、MC型は繊細といわれ、前者はポピュラー音楽、後者はクラシック音楽に適しているといわれる。

話がだいぶ逸れてしまったが、ステレオカートリッジの原理は、直交した2成分の地震計を45度傾け、さらに垂直に立てたと思えばわかりやすい。3成分の地震計の2成分をこのような形にすれば、スペースファクターが良くなるような気がするがいかだろうか。

この方法の欠点は、単一の針先で振動を拾っているため、他方のチャンネルの振動が混入することである。しかし、SN比で30dB程度であり、よく聴かないとわからないくらいで、実用的にはほとんど問題にはならない。

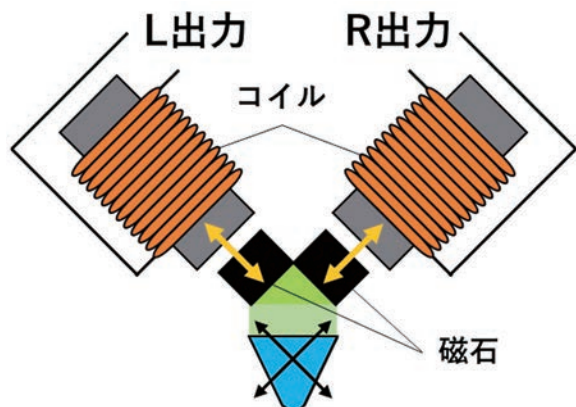


図3 ステレオレコード用カートリッジの動作原理

## 5. レコードプレーヤーの概要

針先に近いことばかり書いてきたが、少しアナログレコードプレーヤー全体について見てみたい。使用するときには上から見る

ことが多いため、断面としてはあまり気にされていないように思える。図4はアナログプレーヤーの断面を模式的に示したものである。ベースとなる筐体の上に、レコードを載せるターンテーブルがある。この上のレコードの溝を針先がトレースすることで刻まれた信号を拾うのであるが、ターンテーブルの回転は常に一定なので、溝の動きは角速度一定ということになる。このことにより、レコードの外周付近と内周付近では線速度が異なり、レコードの外周と内周では音質が違ってもいわれている。さらにカートリッジを支えるトーンアームが1点で支持されているため、レコードの内周と外周では針先と溝の進行方向が微妙に異なる。それをできるだけ一定になるよう、トーンアームの先はオフセット角と呼ばれる角度をもって屈曲している。

レコードをトレースするためには、針先に圧力をかける必要があり、これを針圧という。針先の形による接触面積の違いや、針先を支えるばね(ダンパー)の特性により適正な針圧がある。これを調整するためにトーンアームの反対側にはウェイトが置かれ、これを前後することで適正な針圧(実際には重量)を設定する。図5は針圧を測定するための針圧計である。ノートPCのキーと比較するとおわかりのように、非常に小さな天秤のようなものである。夏場と冬場ではダンパーの特性が変わるため、季節によってちょうど良い音の針圧を探すのもアナログオーディオの楽しみでもある。このあたりの現物合わせは、何となく物理探査の現場合わせにも通じるように感じる。



図4 レコードプレーヤーの断面



図5 針圧計

## 6. おわりに

ここまでは蓄音機やレコードプレーヤーなどアナログオーディオと物理探査の関わりについて解説してきた。次回からはデジタルオーディオについて考えてみたい。



## 1. はじめに

近年、いわゆるドローン技術が急速に発展しています。「ドローン」という言葉が何を指すかについては、議論がありますが、一般的には「ドローン」=「複数の電動回転翼を持ついわゆるマルチコプター」を想像する人が多いかもしれません。これは狭義のドローンと考えることができますが、本連載では広義のドローン、すなわち「陸域・空中・水域において、無人で移動する物体・装置」と考えたいと思います。

物理探査においてもドローンを用いた探査の研究開発は盛んであり、一部はすでに実用化段階にあります。これらの状況については、これまでに会誌「物理探査」への解説論文(上田ほか、2021)、あるいは物理探査ハンドブックなどがありますので、より詳しい内容を知りたい方はぜひご確認ください。今回、物理探査ニュースにおいて、よりわかりやすくドローンを用いた物理探査について紹介する機会をいただきましたので、全4回の連載として各種ドローン物理探査について説明したいと考えています。

ドローン物理探査の連載全体は大熊茂雄(産業技術総合研究所)および上田匠(早稲田大学)で取りまとめさせていただきますが、初回は概要とデータ解析(深層学習との連携例)について上田より紹介します。続いて、第2回ではドローン磁気探査について(担当：大熊)、第3回は地上電気磁気探査(神宮司元治・産業技術総合研究所)および空中電磁探査(城森 明・ネオサイエンス)を取り上げます。そして、最終回となる第4回では、水中でのドローン利用(笠谷貴史・海洋研究開発機構)と全体のまとめ(大熊)という分担で連載を予定しています(敬称略)。

## 2. ドローン(特にUAV)の概要

無人(自律)または有人遠隔操縦により移動する航空機、地上車両、水中ロボットなどの無人移動体は、農業、防災、土木、地球科学といった理工学分野から、物流、広告に至るまで、社会の広範な分野で注目され、利用が拡大しています。

本連載では、これらの無人移動体のうち、主に小型かつ無人(遠隔操作あるいは自律飛行)の航空機、地上車両および水中ロボットを用いた物理探査に着目します。本稿の前半では、第2回、第3回の一部でも取り上げ、今日のドローン技術の中心の一つとなっている小型無人航空機(UAV: Uncrewed aerial vehicle)についてその概略を示します。本稿では、これら自律あるいは遠隔操縦の無人航空機を「UAV」として扱います。なお、本稿における以下の無人航空機に関する記載内容は主として上田ほか(2021)に基づいていますので、詳細はそちらを参照されたく思います。

UAVの開発は、第一次世界大戦中における軍事的な需要に起源がありますが、近年の急速な発展と普及は、コンピュータ(ハードウェアとソフトウェア)、撮影・計測・通信、そしてGNSS等の位置情報技術の急速な高性能化と低価格化に大きく依存しています。

特に、電動モーターによる多回転翼機である「マルチコプ

ター」は、従来の有人型航空機や固定翼型、あるいはエンジン型の回転翼機と比べ、小型・軽量・安価であり、比較的扱いが容易なことから、光学カメラによる空撮を中心としたホビー用途で急速に普及してきました。また同時に、ホビー用より大型で高価な産業用マルチコプターも農業(農薬散布)や地表計測(測量)などの分野で急速に利用が拡大しています。

さらにGNSSや通信技術の進歩と合わせ、数千機にのぼるマルチコプターを同時かつ密に飛行させLEDを点灯させて夜空に展開させる飛行ショーは各種イベントでも盛んに用いられています。

そのようなマルチコプターを含むUAVですが、明確かつ国際的に合意された統一規格や分類は存在しません。技術進歩が著しく、多岐にわたる技術要素が複合的に用いられるため、多様な機体を統一基準で分類することが困難なことも大きな理由です。

学術論文などで示された既存の分類例で主要な項目とされるのは、(1) 機体重量(大きさ)、(2) 飛行距離(時間)、(3) 飛行方法(固定翼/回転翼/ティルトローターなど)、(4) 離発着方法(VTOL: 垂直離着陸/HTOL: 水平離着陸)です。物理探査においては、探査機器の搭載能力を示す最大積載量(Payload)が極めて重要な要素ですが、これはUAVの分類項目としては含まれないことが多い点に注意が必要です。理由として、一般的なUAVは特定の搭載物を前提に設計されているか、物体の搭載が考慮されていないためと考えられます。分類例としては、重量ベースの分類や、重量と航続距離を組み合わせたものがあります(上田ほか、2021)。

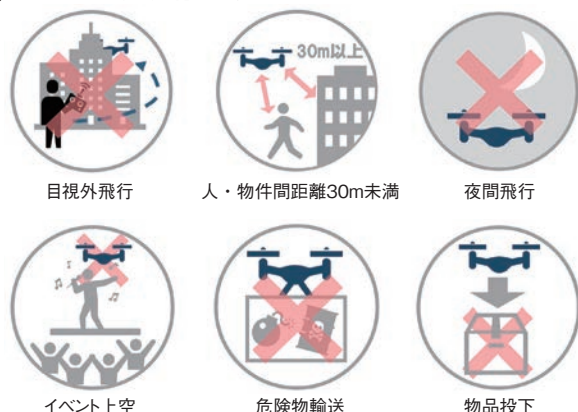
UAVの利用・運用においては、法規制が重要です。特に2022年以降にいくつかの大きな変更があり、ここでは2025年10月現在の概略を記しますが、法規制は随時更新されていくため、UAV利用者は常に最新情報を各自で確認する必要があります。詳しくは国土交通省の「無人航空機(ドローン・ラジコン機等)の飛行ルール」のウェブサイトや「ドローン情報基盤システム2.0(DIPS 2.0)」といった1次情報を正しく参考してください。

- 1) 機体登録の義務化：重量100g以上の全機体は、国土交通省の当該システム(DIPS)への登録と登録記号の表示が必須です。
- 2) 国家資格制度：操縦者の技能証明として「一等」および「二等」の国家資格(有効期間3年)が導入されました。これにより、一等資格保持者などは「レベル4飛行」(有人地帯での目視外飛行)が可能になりました。
- 3) 民間資格の扱い：従来の民間資格による飛行許可申請の簡略化措置は、2025年12月4日をもって廃止される予定です。以降、申請簡略化には実質的に国家資格が必要となります。
- 4) 飛行の許可・承認：上記の制度下でも以下の飛行は原則禁止であり、国土交通大臣の許可・承認が必要です。

### (a) 飛行禁止空域



### (b) 承認が必要な飛行方法



### (c) その他の関連法規

航空法に加え、「小型無人機等飛行禁止法」(重要施設周辺の飛行禁止)、「電波法」(技適マーク)、プライバシー権に関する法令なども遵守しなければなりません。

このように、UAVは有人航空機に比べれば運用コストは低いものの、遵守すべき法規も多く、慎重な利用が求められています。

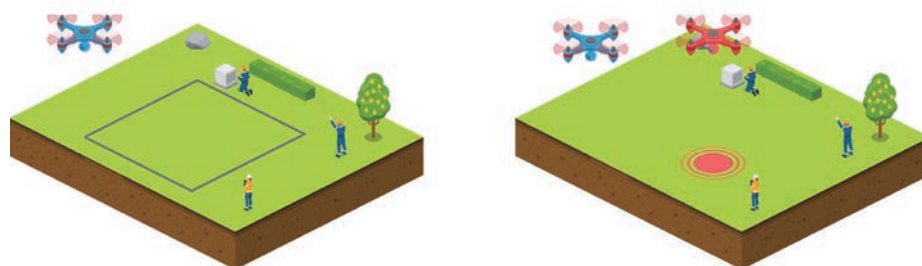


図1 ドローン電磁探査における地上送信型(左)と空中送信型(右)のイメージ

探査や電気探査は、そもそも基本的には送信や受信センサー部が対象(大地など)に接している必要があり、直接的に送受信器をドローンで曳航して測定するのではなく、ドローンは輸送や設置作業の補助等での利用が中心になると思われます。ただし、電気探査においてはその最大の特徴(場合によってはデメリット)となる「電極を打設や接地して測定」という手法から、「非接触・非打設」での測定を可能にした方法が開発されており、それらと地上用ドローンを組み合わせた新たな手法も誕生しています。この技術については第3回にて詳しく紹介する予定です。

ドローン物理探査の手法として、電磁探査もドローンとの融合が進められています。その進展具合は、磁気探査には及ばないものの、国内外で研究開発が行われています。電磁探査では、自然信号を用いるMT法は測定装置のサイズ・重量、測定時間や精度の関係でドローンとの親和性が低いため、主に人工信号を用いる手法がドローンとの連携に採用されています。そして基本的にはヘリコプターを利用する空中電磁探査と同様の測定配置であり、ヘリコプターの代わりにUAV(マルチコプター)を用いているという形になります。そのため、ヘリコプター利用の空中磁気探査が基本的には受信器のみ曳航するのに対して、ドローン空中電磁探査では送信器も曳航するタイプと送信器は地上に設置して受信器のみ曳航するタイプが存在しています。

## 3. UAV物理探査とデータ解析

次にUAVによる物理探査の概要を記します。各手法の詳細事例は今後の連載をお待ちください。まず、UAVを用いた物理探査は主に磁気探査がその研究開発の先駆けとなっています。これは磁気探査がいわゆる受動的な探査、即ち人工的な信号源を必要とせず、比較的小型軽量の受信器(磁力計)のみでデータ取得を実施でき、受信器のみをUAVで曳航できればよいことが大きな理由です。併せて、磁気探査は固定翼機やヘリコプターを用いた空中探査(空中磁気探査)が非常に発展していたことも好条件でした。磁気探査については、次回詳細に取り上げる予定です。受動的な手法(人工信号源が不要)かつ空中探査が発展している手法として重力探査を想起される読者も多いと思います。しかしながら、重力計はそもそも重量が大きく、小型のUAV(マルチコプター)では曳航が難しいこともあり、現状磁気探査のような研究開発が進んでいません。一方で、今後重力計の小型軽量化や量子重力計のような新技術、そして可能積載量大きいUAVの普及が進めば、ドローンでの重力探査の開発が進むと考えられます。

その他では、ドローンとGPRを組み合わせた手法もテストフィールドでの実験に関する情報はあつたものの、電波法等の規制もあり研究開発はあまり盛んではないようです。また、弾性波

ドローン空中電磁探査は、ヘリコプターを用いる手法と比較して、探査自体が小規模に行える、狭い範囲を対象に詳細な探査を実施できる、という利点があります。また、ヘリコプターの運用、さらに機体へ送受信器等を装着する際の手続きや作業コストも削減できるというメリットがあります。

一方で、搭載・曳航できる送受信器の重量・大きさはドローンの方がヘリコプターより制約が大きいため、それが主に探査深度の限界という形での課題となっています。今後は探査装置の小型軽量化、ドローン(マルチコプター)の大型化などによる改善が期待されています。ドローン電磁探査についても第3回で詳しく紹介予定です。

本節の最後にこれらドローン物理探査、特に電磁探査のデータ解析について簡単に紹介します。

これまで述べてきたように、ドローン物理探査はドローン(無人機)というプラットフォームを活用することにより、これまで実現できなかった物理探査を実現する有力な手法です。一方でデータ取得対象(測定する物理量)は基本的に従来の各種探査法、特にヘリコプターを用いる手法と同じです。したがって、データ解析手法についてもドローン専用、あるいは独自の方法が存在するわけではありません。つまり、前述のようにドローン物理探査は移動しながらの測定、特にヘリコプターによる測定をドローンで置き換えたものと考えれば、データ解析は従来の



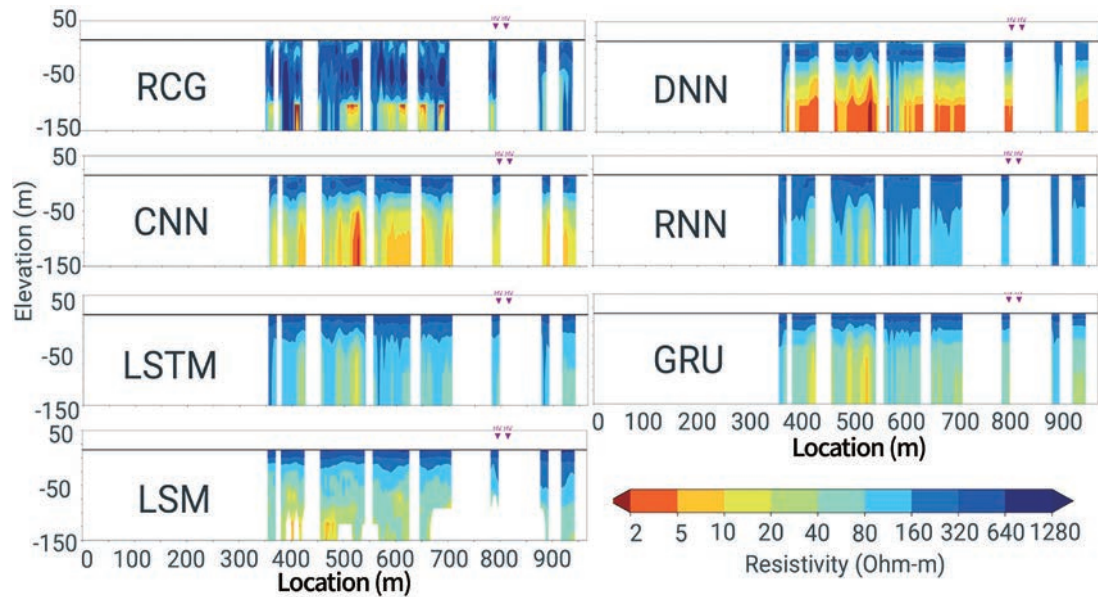


図2 テストフィールドにおける2機飛行型ドローン電磁探査のデータ解析例(比抵抗断面図)  
一般的な非線形最小二乗法(LSM)や正則化共役勾配法(RCG)に加え、各種深層学習ネットワークモデルによる逆解析を比較した例(白抜け部は未解析測点)(中村ほか、2025)

空中探査での手法を流用可能です。そのため、ドローン探査独特の解析手法というよりは、ドローン探査独自の位置情報・姿勢・高度等の補正を行うデータ処理がそれぞれの測定手法で検討・開発されています。

一方で、今後ドローン探査(空中探査)で適用が期待される解析手法としては、機械学習、いわゆる深層学習(Deep Learning)を用いた解析があります。Deep Learningは様々な形でデータ処理・解析への適用が行われていますが、一例としていわゆる古典的な従来型の水平多層構造における非線形最小二乗法と同様の目的、すなわち逆解析手法としての適用も試みられています(中村ほか、2025)。Deep Learningを逆解析手法として用いる場合、その有効性は「解析速度」に顕著に現れます。ドローンのように移動しながら連続的にデータを取得する手法は、その大きな利点として多量のデータを効率よく取得できることにあります。一方で、その大量のデータを効率よく解析することは計算コスト(主に時間)の観点から容易ではなく、取得したデータの一部のみを用いることもあります。その点において、いわゆる教師データ(訓練データ)を用いる比較的単純なDeep Learningにおいても、教師データの生成と学習の時間を考慮しても、実データの解析部分は極めて短時間に実行可能です。これにより、移動しながら測定したデータに対してほぼリアルタイムでの逆解析・可視化も視野に入ってきます。またDeep Learningは訓練データの生成やいくつかの計算パラメータの設定以外は解析作業を自動化しやすく、ドローンにより無人で取得されたデータに対して、Deep Learningによる解析を半無人で行う、といったハードウェア(測定)・ソフトウェア(解析)の両面で次世代の無人探査の実現に大きく寄与できる可能性があります。

#### 4. まとめと今後の連載

連載第1回として、無人機(ドローン)の概要や特にUAVを用いた手法の概要、そして解析手法の一例として深層学習について紹介しました。第2回以降は空中・陸上・海中それぞれでのドローン物理探査について、ドローン磁気探査、ドローン電磁探査、陸上ドローン電磁探査、各種水中ドローンなど、具体的にコンセプトや適用事例を詳しくご紹介します。

物理探査学会では、「ドローン物理探査研究会」が活動を行っており、関連技術や研究事例の報告会や講演会、またパネルディスカッションなどを開催し、技術交流・情報共有を図っています。ご興味のある方は次回の開催案内をお待ちいただければと存じます。

#### 謝辞

本記事の作成にあたっては、早稲田大学物理探査工学研究室修士2年長瀬恵里子さんに情報収集および図面作成などで協力いただきました。

#### <参考文献>

- 上田 匠・光畑 裕司・大熊 茂雄(2021): 小型無人航空機(UAV)による物理探査手法について. 物理探査, 74, 93-114.  
中村 元紀・西野 玉城・上田 匠・森藤 遥平・窪田 健二・城森 明(2025): ドローン時間領域空中電磁探査における深層学習逆解析の適用可能性、公益社団法人物理探査学会152回(2025年春季)学術講演会講演論文集.



# つくばサイエンス高校の 探究活動への協力

応用地質株式会社 小西 千里

## 1. はじめに

2024年に秋葉原で開催した弊社の展示会に茨城県立つくばサイエンス高校の先生と生徒さんが来場された事をきっかけに、同校の探究活動への協力が始まりました。

つくばサイエンス高校の科学技術科には、「ロボット」「情報」「建築」「化学生物」の4つの領域があり、様々な課題に対する探究活動が行われています(関連URL①)。その中で、地盤に興味をもつ情報領域に所属する生徒のグループに対し、単点微動によるH/Vスペクトル(水平動-上下動スペクトルの比)を紹介しました。そして、計測器(McSEIS-AT 3C)を貸し出し、自分たちで微動の計測を行って、地盤構造によってH/Vスペクトルが異なることを実感してもらうことにしました。まずは高校の敷地内で計測し、その後、自転車で行ける範囲でH/Vスペクトルに違いが出そうな場所で計測をしてもらいました。

## 2. 特別講演と表面波探査のデモ

2025年には、京都大学防災研究所の林 宏一教授の協力を得て、2年次および3年次の生徒を対象に「筑波稲敷台地の防災・未災-振動で見る地下構造-」と題して地盤に関わる防災や地盤の調査方法に関する特別講演を行っていただきました。林教授のギターを使った地盤の固有周期の説明は非常にわかりやすく、生徒にも好評でした。講演の内容は、現地に取材に来られたNEWSつくばのWebサイトでも紹介されました(関連URL②)。講演後のアンケートによると、講演会に参加された半数の生徒が防災について関心があると返答されていました。茨城県では震度



講演中の林教授



表面波探査デモ実施中(カケヤ起振体験中)

4クラスの地震も珍しくないのに、地震は身近なものと思いますが、どのような場所で被害が起こりやすいのか、といった問題を考えるにはよい機会になったと思います。

講演会後には、同校のグラウンドで表面波探査のデモ測定を行い、希望者にはカケヤによる起振やデータ収録を体験してもらいました。なぜこのような簡単な方法で地盤の構造がわかるのか、といった質問がありました。

## 3. 単点微動計測の結果例

計測された微動データは、生徒たち自身でデータを見られるよう、林教授が管理されているWebサイト(関連URL③)に登録しました。図1がつくばサイエンス高校敷地内で計測されたデータです。同校敷地内で得られたH/Vスペクトル

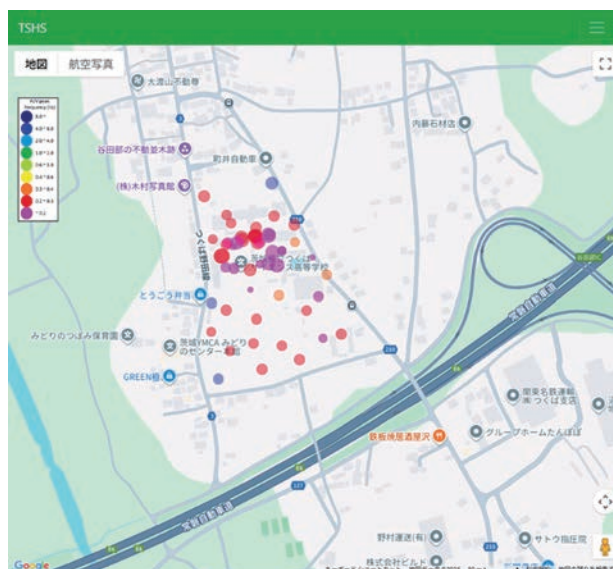


図1 つくばサイエンス高校内の計測地点  
(SeisImager.comでの表示例)



にはあまり変化がなく、これだけではあまり面白い結果とはいえないのですが、逆に同じようなH/Vスペクトルになることは地盤構造に変化がないことを確認できたともいえます。

高校の敷地内とは異なるH/Vスペクトルが得られそうな場所として、高校から1kmほど北にある谷田部ホール付近で計測をしてもらいました。図2に2地点の代表的なH/Vスペクトルを示しました。2地点とも深度約800mにある地震基盤に起因するピーク(約0.3Hz)は同じですが、工学的基盤に起因するピーク(数Hz)には違いが見られます。図2(左)の背景の色が表す国土地理院の地形分類から、つくばサイエンス高校は台地上、谷田部ホールは低地上にあることがわかり、地表付近の軟らかい地層(ローム層や沖積層)の厚さが異なるためにH/Vスペクトルに差が生じていることが推定できます。このような地盤構造の違いが、地震による揺れの大きさの違いや液状化の発生有無に関連することを生徒たちに説明しました。

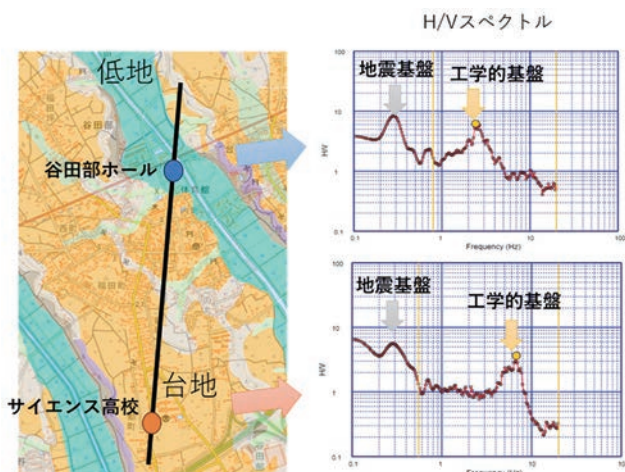


図2 台地と低地の2地点のH/Vスペクトル例

#### 4. おわりに

防災に対する地盤調査は、残念ながら一般市民の方にはあまり馴染みのない分野ではないかと思います。一般の方からは、何のために地盤を調査するのか?ということをよく聞かれますが、市内全域に対する地震の揺れやすさマップを作成することも調査目的のひとつといえます。その際、微動計を地表に置いて10分程度計測するだけで地盤の「揺れやすさ」(厳密性の議論はここでは省略して)が判定できることがわかれば、市民の方にも馴染みやすいものになる気がします。防災科研のJ-SHISでは既に広域の表層地盤増幅率マップなども整備されていますが、宅地ごとの違いがわかるような詳細なマップはまだ存在しません。そのため、実際にその場で計測してみることが何よりの情報です。今回の企画も高校生が自分たち自身で防災マップのようなものを作成することの面白さと重要性を感じてもら

えれば良いと思って始めました。今後、より多くの方に興味をもって微動の計測をしてもらうことにより、市民防災にも役立つ超詳細な防災マップが、あっという間にできてしまうのではないかと期待しています。

#### 謝辞

京都大学の林 宏一教授には、特別講演を実施していただくとともに、データ管理のためのWebサイトも利用させていただきました。岩手大学の山本英和准教授と応用地質の及川兼史朗さんには、生徒への説明資料をご提供いただきました。茨城県立つくばサイエンス高校の石塚校長先生をはじめとした先生方、特に担当の三浦先生(当時)、小島先生、福田先生には貴重な機会をいただきました。ここに記して感謝いたします。

#### 【関連URL】

- ①茨城県立つくばサイエンス高校  
<https://www.tsukuba-science-h.ibk.ed.jp/>
- ②NEWSつくば  
<https://newstasukuba.jp/56731/03/06/>
- ③微動データ閲覧サイト  
<https://seisimager.com/>

### 物理探査学会創立75周年記念出版 物理探査ハンドブック第3版

販売価格 冊子版：39,000円(税別)  
電子版：23,000円(税別)  
各編の電子版：3,000円(税別)/編

第3版は内容に大幅な変更を加えています。現在、一般的に利用されている「トモグラフィ」や「シミュレーション」は各手法の中に整理しました。また、近年の新しい手法である統合物理探査、ロックフィジックス、ドローン物理探査、ミュール粒子、地表NMR、DASなどを新しい章として追加し、最新の物理探査技術としてひとつの編にまとめました。また、電子版につきましては新たに各編での販売も開始しました。第1編から第15編の興味がある分野のみでの購入も可能となりました。



#### 冊子版は4分冊(箱入り)です

別途消費税10%が加算されます。別途送料ならびに振込手数料がかかります。  
電子版は閲覧用のパスワードで保護されています。  
電子版のプリント及び内容のCopy & Pasteはできません。  
冊子版は200部限定につき上限に達した時点で申込を締め切ります。

購入に関する詳細はこちらをご確認ください。[https://segi.or.jp/publication/guidance\\_new.html](https://segi.or.jp/publication/guidance_new.html)

共通の質問： ①出身地 ②よく使う物理探査手法 ③物理探査以外で最近興味があること ④座右の銘や大切にしている言葉

梶原 勘吉【かじはら かんきち】 (独)エネルギー・金属鉱物資源機構

Q. 学生時代はどのようなことをされていたか(大学での研究や学生生活など)。

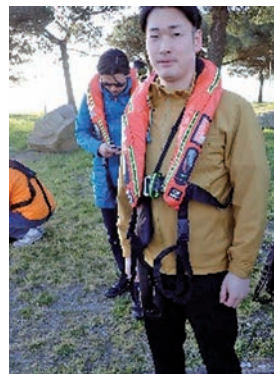
熊本大学の学部時代は、反射法地震探査データを用いて奄美大島・喜界島周辺の構造発達史の研究をしていました。青い海、白い砂浜が広がるフィールドが恋しいです。部活では陸上競技部で十種競技をしていました。十個やれば十倍楽しいはずと思い気楽に始めましたが、「十種競技」という種目も含まれるので十一倍楽しかったです。仕事で大変なことがあっても、十種競技より楽なので何でも乗り越えられます。

東京海洋大学の修士時代は東京湾のガス層の研究と産総研RAをしていました。海上調査の経験が今の仕事に活かしています。

Q. 普段どんなお仕事をされていますか？

JOGMECでは洋上風力事業部に所属し、国のセントラル方式に基づいた海底地盤調査を実施しています。ボーリング調査や物理探査の計画に始まり、調査の施工管理から発電事業者へのデータ提供まで、一連の業務を行っています。ちょうどセントラル方式が始まった年度に入構し、私もセントラル調査も3年目になります。洋上風力発電は黎明期であり、日々課題に直面しますが、チームで知恵を出し合いながら1つずつ解決していくのはとても楽しいです。

これからどんどん発展していく分野なので、皆さんご注目ください!!



①佐賀県  
②反射法地震探査  
③美味しいご飯  
④「膳」は急げ



①千葉県  
②弾性波探査  
③映画  
④なぜは成る

三石 隼也【みついし しゅんや】 大日本ダイヤコンサルタント(株)

Q. 普段どんなお仕事をされていますか？

日本全国現場があるところへ赴き、ミニバイブレータを運転して反射法地震探査を行ったり、受振器を並べてカケヤを振るい表面波探査や弾性波探査を行ったりしています。また、地中レーダ探査や検層、電気探査など様々な探査手法の業務にも携わっています。

最近使用することがある独立型の受振器はケーブルレスで展開しやすい反面、設置中はデータQCが行えないため、無事記録できていることを祈りながら測定しています。

Q. 仕事で印象に残っている出来事や思い出に残っているシーンを教えてください。

半年ほどの長期出張で地下数十mの試掘坑内にて行った弾性波探査が印象に残っています。工事用エレベーターに乗り、岩盤が露出している試掘坑内に入って弾性波測定のための作業を行う毎日でした。測定レイアウトの都合上、地表の重機作業が坑内での発振位置よりも受振測線に近くなることがあり、ノイズが入りやすく、測定に苦労しました。

現場は雪国で冬季が中心だったため、これまでの人生で縁のなかった積雪と寒さに見舞われたことも忘れられません。また、キツネやクマが出てくることもあり、非常に自然を感じた現場でした。

上村 建人【かみむら けんと】 石油資源開発(株)

Q. 学生時代はどのようなことをされていたか(大学での研究や学生生活など)。

卒論では初動走時トモグラフィ、修論ではFWI(Full Waveform Inversion)について、プログラミング言語Juliaを用いた解析プログラムの実装および数値シミュレーションを行いました。修士では産総研のRAとしても経験を積ませていただき、様々な知見をいただきました。研究室としては電気・電磁探査が専門のため、それらの実験にも参加させていただきました。

研究以外では、趣味の将棋を指すために、大学の近くにあった将棋カフェに通っていました。将棋以外にもたくさんのボードゲームを教えてもらい、多くの知り合いができました。とても良い息抜きになるので、今後も時々行きたいと思っています。

Q. 最近はまっていることについて教えてください。

ここ1年くらい、日帰りあるいは1泊程度の小旅行(?)にはまっています。以前は遠くへ外出することが少なく、休日を含めて徒歩1時間圏内に生活圈を完結させていました。しかし昨年、友人の誘いで外出してからは、休日時間ができたときに時々鉄道で出かけるようになり、最近は休日の旅先を常に考えています。

直近では1泊2日で熱海温泉に行きました。都心から行きやすいオススメの旅行先があれば是非教えてください!!



①群馬県  
②坑井間弾性波探査  
③日本酒  
④清正見知



ジオシスは1980年(昭和55年)に三恵エンジニアリングとして設立されました。設立当初は物理探査用計測機器の開発と輸入販売および保守・運用を行う会社でした。

1997年(平成9年)にリモートセンシング解析を専門とするジオコンを合併し、社名をジオシスに変更しました。

東京都文京区大塚の茗荷谷駅近くに本社が、埼玉県比企郡嵐山町の花見台工業団地に嵐山分室があります。

業務内容は主に四分野に分かれています。

1. 探査システムおよびソフトウェアの販売
2. 地下構造調査及び支援業務
3. 物理探査に係るハードおよびソフトウェアの研究開発、技術サポート
4. GIS技術を含む地理情報、地質コンサルタント

業務内容について簡単にご説明致します。

### ● 探査システムおよびソフトウェアの販売

主に弾性波探査・地震観測用探査システムを販売しております。海外メーカーが開発した優れた探査システムをご紹介するだけでなく、弊社でも探査システムを所有し、調査請負業務を実施しております。特に独立型データ収録装置を1,000台以上保有し、都市部から山間部における広域から超高分解能調査に対応するマルチスケールの探査サービスを提供しております。また、多チャンネルシステムを用いた広域自然地震観測やアレイ観測を提供しております。地震探査用の振源としては、大型バイブレータから極浅層探査用の可搬型バイブレータまで、調査目的に応じた振源装置を提供しているほか、弊社でも保有している振源装置は請負調査に使用しております。

もちろん、Ocean Bottom Nodesやハイドロフォンシステムといった海域での探査システムについても提供しており、これらを用いた浅海域での海底地震観測等でご好評を頂いております。その他にも、反射法地震探査のデータ処理ソフトウェア、データ解析ソフトウェア等をご提供しており、データ取得から解析まで一貫したシステムを提供可能です。



可搬型バイブレータ振源(ELVIS)



モニタリング技術研究のためのエアガン発振



油圧インパクトによるSSRT調査



地熱資源量調査における重力探査

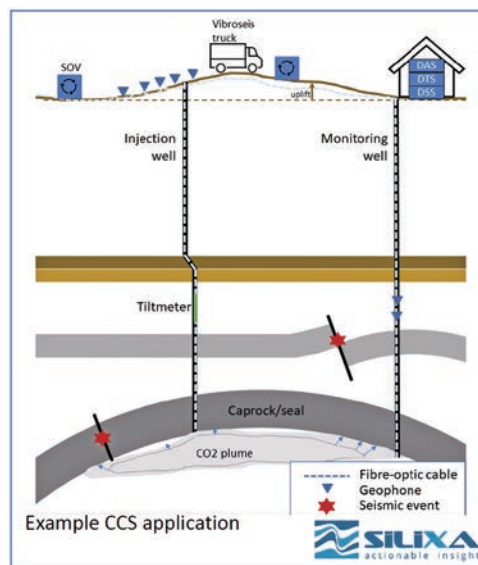
### ● 地下構造調査及び支援業務

土木、資源エネルギー、防災、環境、研究機関による学術調査の分野において、反射法地震探査、エアガン発振業務、自然地震観測、坑井内弾性波探査、微動アレイ探査、トンネル前方調査(SSRT)、重力探査といった様々な地下構造調査及び支援業務を請け負っております。近年では、最新型の相対重力計を導入し、地熱資源埋蔵量調査における重力探査を実施しております。また、多チャンネルシステムを用いたCCS/CCUSに関するモニタリング業務等を実施しております。

### ● 最新技術の提供や研究開発

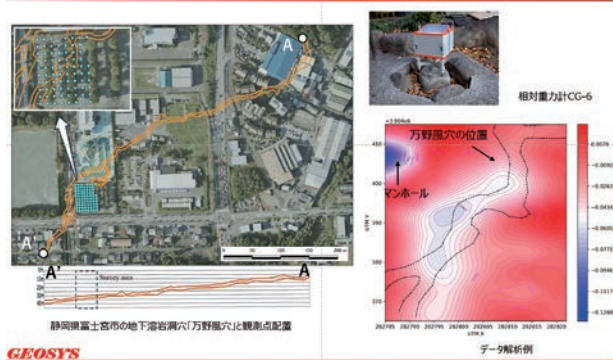
当社では新技術の開発および運用支援、研究開発にも注力しており、光ファイバーを用いた観測技術をご提供すべく、英国SILIXA社の代理店として光ファイバーおよびインテロゲータの販売、運用支援から調査請負に係るコンサルティングサービスを提供しております。光ファイバーを用いた観測技術は、CCS/CCUSフィールドにおける4Dモニタリング、地熱資源埋蔵量調査におけるVSP探査等に積極的に用いられており、近年では既存インフラのモニタリングや既設ファイバーを利用した広域地震観測などで注目されています。

研究開発としては、大学等の研究機関と共同で多チャンネル探査システムを用いた新しい微動アレイ探査技術の開発、高精度重力計を用いたマイクログラビティ調査技術の開発等にも取り組んでおり、学会等で報告しています。



CCSにおけるモニタリング例(SILIXA社HPより)

## マイクログラビティ探査例



当社は「物理探査の専門技術者集団」をモットーに、販売・開発から調査請負・コンサルティングまで物理探査に関わるあらゆる業務を行っています。当社の規模は小さいながらも今まで培ってきた海外メーカーとの強力なコネクションと知識、身軽な機動力と柔軟性を武器に持続可能な未来に向かって社会に貢献できる企業を目指しております。

「こんな探査機器が欲しい、こんな調査をやりたい。」がございましたら、いつでもお気軽にジオシスまでお問い合わせ下さい。

マイクログラビティ調査技術開発  
(株式会社地球科学総合研究所との共同研究)

お知らせ

お知らせ

## 【論文募集】

## 2026年度特集号「電気・電磁探査の新たな潮流と展望」のご案内と投稿のお願い

物理探査学会編集委員会では、2026年度の特集号として「電気・電磁探査の新たな潮流と展望」を企画しております。つきましては、会員の皆様から広く原稿を募集いたします。

電気・電磁探査法は、地球深部の構造探査から社会インフラの維持管理といった極浅部調査まで、極めて広範な深度および水平方向のスケールで社会と科学の発展に貢献してきました。その進歩は、高精度な電磁場計測を可能にする測定システムの開発、観測データから地下構造を解明する高度な数値解析技術、そして多様な現場で実践・適用される多くのケーススタディという3本の柱によって支えられています。近年では、無人機(ドローン)やGNSSなどの新技術がデータ取得の可能性を飛躍させ、空中計測やモニタリング等の大規模データや深層学習など機械学習の融合が解析技術に新たな流れをもたらすなど、探査ワークフロー全体が大きな変革期を迎えています。

本特集号は、こうした電気・電磁探査の「今」を多角的に捉え、次代に向けた「未来」を展望することを目的とします。つきましては、電気・電磁探査の理論から実践までを網羅する幅広いテーマの原稿を募集します。詳細については、学会ホームページをご覧ください。みなさまからのご投稿をお待ちしております。

ホームページ:

<https://segj.or.jp/news/2025/11/2026.html>

【編集担当: 上田 匠(早稲田大学)、光畑 裕司(九州大学)、笠谷 貴史(JAMSTEC)】

## 第16回国際シンポジウムの投稿受付について

第16回国際シンポジウムの投稿を2026年2月27日より受付開始いたします。詳しくは国際シンポジウムのホームページをご確認ください。

会期: 2026年9月27日(日)~9月30日(水)

会場: 札幌コンベンションセンター(北海道札幌市)

ホームページ:

<https://sites.google.com/segj.org/is-16th>

## 学会からのお知らせ

物理探査学会では、「令和7年度論文業績賞及び学会業績賞候補者の推薦」および「令和8年度・9年度役員候補者の公募」を行っています。詳細は学会ホームページをご確認ください。

## 編集後記

2025年7月よりニュース委員になりました川崎地質(株)の杉本と申します。2回目の委員会後に早速、この編集後記を執筆する機会をいただきました。

初めて出席した委員会の印象は、「産官学それぞれにバックグラウンドに様々な方が出席されているにも関わらず、堅苦しくなく良い雰囲気だなあ」と感じました。2回目の委員会の終わりには、ある委員の方から「異分野の事業主からの調査依頼に対して実施した物理探査」に関する話題提供がありました。その委員ご本人は、その事業主が期待する結果を得られなかったとのことで、「失敗だった」と言われていました(結果として失敗となった要因の一つには、その事業主からの情報提供不足があると私は思います)。他の委員の方々も、失敗と言われるのはさておき、その探査と結果に関して興味深く議論されていました。2回目の委員会でも友好的で建設的な議論ができる委員会だなあと感じました。

また、このお話を伺っていて、近年は、別分野の知見や別調査を通して、探査結果を確認されることが増えていると実感いたしました。ポピュラーな確認の例として、探査後の掘削調査はそれに当たると思います。他にも私の経験で言わせてもらえば、探査結果が深海底であってもROV越しに目視観察を実施し、色々とご指摘等をいただいたことがあります。物理探査の世界は、結果を確認される世界でもあると、改めて、「(当たり前ですが)データをよく眺めて、よく考えないといけない」と襟を正す思いもしました。

この風通しが良い当委員会を通して、微力ながら物理探査学会に貢献できたらと思います。皆様、今後ともよろしく願いいたします。

(ニュース委員 杉本 慎吾)

## 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写したい方は、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いただければ自由にご利用いただけます。

物理探査ニュース 2025年秋号(通巻第68号) 2025年(令和7年)11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1-4-13 芙蓉東神田ビル4F

TEL: 03-5990-8990 FAX: 03-5990-8991

E-mail: [office@segj.or.jp](mailto:office@segj.or.jp)ホームページ: <https://www.seg-j.or.jp/>