

# 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

ホント? SFの中の探査 10	1
第135回(平成28年度秋季)学術講演会のご案内 (室蘭工大)	3
第134回(平成28年度春季)学術講演会開催報告	3
現場レポート 深部CSMT法の開発	4
物探よもやま話 物理探査と磁気テープ	8
本の紹介	
地中レーダーを応用した遺跡探査 GPRの原理と利用	9
新執行部からご挨拶	11
お知らせ・編集後記	12

## Geophysical Exploration News July 2016 No.31

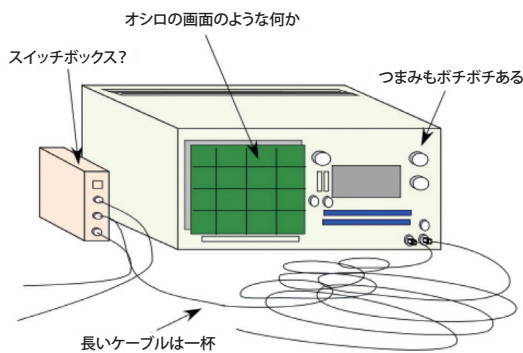
### ホント? SFの中の探査 -10-



「ゴルゴ13の中にこんな物探ネタが!」  
エジプトの遺跡でもゴルゴ13(物探現場編)ー  
海洋研究開発機構 笠谷 貴史

さて、ゴルゴ13です(笑)。好きな人は好きな漫画だと思います。私の場合は、自分で買って読むというよりは、船舶の娯楽室にある単行本(船員さんセレクションで購入)を読むのがもっぱらです。当機構の掘削船「ちきゅう」も出てきたことがあります。時事問題はもちろん、バイオや医療、色々な分野でかなり突っ込んだ内容がありますね。もちろん、専門家から見ると、細かい点は気になりますが、そのあたりは目をつぶりましょう。一般的にはマイナーである物理探査はさすがにないわなあ、と思ったらあるんですね。さい

作中で出てくる電磁探査装置



作中で出てくる地中レーダー

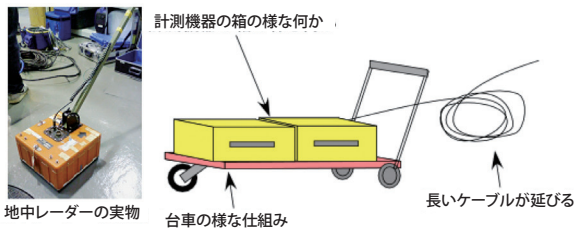


図1 作中に出てきた探査装置を絵にしてみた。地中レーダーの写真は京都大学後藤先生ご提供。

とう・たかを(と、さいとうプロダクション)の守備範囲の広さには驚かされます。と言うことで、ゴルゴ13にある物探ネタをもとに数回の連載にしたいと思います。今のところ、私が発見した物理探査が含まれる物語は2つありますが、まずはエジプトでのネタについて考察してみたいと思います。お題は「スフィンクスの微笑」というもので、容易に想像されると思いますが遺跡探査ネタです。以前書かせていただいた「真夏の方程式」(お忘れの方はバックナンバーNo.22を是非!)でもそうでしたが、フィクションの中にある物理探査を大まじめに掘り下げていきます。

さて、このお話、1998年ごろの作品のようですが、まだ私自身は陸の観測をやっている大学院生の時代で、GPSがやっと普通に観測機器に入ってきたかな、と言う時期です。具体的に言えば、Phoenix社のV-5にGPSが付いたら盛大にノイズが入って大変だったという思い出があります。デスクトップコンピュータはPentiumⅡが主流(平たいCPUでした)の時代。Unix like OSも普及して、研究室内ではSUN OSのWSからFreeBSDやLinux系を搭載したPCに変わっていったところです。

このお話では、古代の地中遺跡の盗掘に関して物理探査が関係してきます。テロ組織(ボスはジョセル)は資金源として財宝を手に入れようと、ある村の古式ゆかしい伝統的盗掘団とその頭目(セシム)、そして村全体が盗掘団とは知らなかったセシムの娘(ルシア)を脅して、新しい遺跡の在処を知ろうとします。ジョセルは、セシムに「なぜお前は、普通の考古学者が探せない地下の遺跡を発見出来るのだ?」と問います。セシムは「10年、20年に1度の豪雨が教えてくれる。雨が地下遺跡に流れ込むと痕が残る。」と答えます。ジョセルも「砂漠に住み着く民ならではの知恵だな。」

と表しますが、もちろんある一帯としか分かりません。ジョセルはセシムを人質にとって、娘であり物探装置を駆使出来る考古学者のルシアに最新機器を使って調べると脅します。さあ、ここからが物理探査の出番です。話の前提としては、このルシア、最新の物理探査機器を操れる考古学者という設定です。

さて、脅されたルシアが出してきた物探機器を紹介していきましょう。ジョセルの部下が、車からどんどん観測機器を降ろしていきます。最初に「これは何だ?」と聞かれたのはダイナマイト。「地下で爆発を起こして、振動計で伝達を確認するのよ。」と言っています。まあ、弾性波探査をするのだと理解しておきます(ダイナマイトは話の最後での重要アイテム)。次に出てくるのは電磁波探査装置。図1の上の図は、作中の図をまねて私がお絵かきソフトで描いてみたものです。ブラウン管オシロの様な画面とつまみがたくさんある様に見えます。うーん、なんかそれっぽいですね。「どう使うんだ?」と聞かれたルシアは「地下10メートルまでの空洞や岩石の成分まで分かるわ。ダイナマイトを使うより、確実な方法だわね。」と言っています。なんとすごい。空洞だけではなくて、岩石の成分まで分かる。うーん、こんな台詞、さらっと言ってみたいです。さらには、弾性波探査より電磁探査は確実だとも言ってます。電気・電磁探査を生業にしている私としては、これもまた言ってみたい台詞ですね。ご同業の皆さん、いかがでしょう?

間髪入れず、電磁波探査装置につづけて、地中レーダーも有効だと繰り出してきます(図1の下図)。これは実際の製品に近い雰囲気を出していますね。さらには、宇宙からの衛星写真の赤外画像も駆使して概査もしているらしい。ルシア、すごいやないか、と思ってしまいました。このくだりの書かれたパートの題名は「知恵と新機材」、セシルの言う古くからの知恵と、ルシアの最新機材による地下遺跡の探索、そのものズバリですね。

さて、これら探査装置をざっと紹介した後、実際に電磁探査装置と地中レーダーを使った探査風景が描かれます。どうも機材を操っているのはテロ集団の手下達。素人がいきなりてきぱきと探査が出来てしまう機材の完成度もすごい。驚きです。

そしてなんとなく夕暮れ、探査結果が出たようです。ルシアは「この下…」と言ってのけます。すごいです。地中遺跡の規模が分かりませんが、初めて会った素人達を使い、またたく間に調査を終わらせてしまったルシアは何者なのでしょう。考古学者にしておくのは惜しいかもしれません。

ところで、この作中では主として電磁探査と地中レーダーを用いたようですが、実際のどういう風に使われたのか、色々想像を巡らせてみようと思います。国内での例を物理探査ハンドブックや物理探査誌からひもとくと、地中レーダー、電気探査、ループループ法、磁気探査が遺跡探査でのメジャーどころでしょうか。ゴルゴ13のこの作品でも地中レーダーは用いられていましたが、物理探査ハンドブックの例では地下の横穴墓や竪穴式住居跡、つまりは空洞を見つけるのに使用した事例が載っています。作中でも

地下遺跡なので、一見なるほどと思うのですが、作中では地下遺跡までかなり長いハシゴを使って上り下りをしていますし、遺跡の中でもハシゴをつかって上下の移動をしていることから、地中の遺跡の規模はかなり規模が大きいようです。地中レーダーで得られる探査深度は一般的に数mがせいぜいなので、地下遺跡の埋没した入り口を探り当てるのに用いられたのかもしれませんが。



図2 ループループ法の探査風景(秋田大学坂中先生ご提供)。

次に電磁探査ですが、物理探査ハンドブックではループループ法を用いた小型の探査装置(Geonics社 EM38)を用いた事例が掲載されています。図2はもう少し大きい機材であるEM34を用いた探査風景です。規模の大きい地中遺跡を探索している作中の事例では、EM34を使ってもやや探査深度が足りないかもしれません。ただ、地中の大きな空洞の上面を捉える意味では有効かもしれません。とはいえ、図2の探査風景と図1にある探査装置、ちょっとイメージが違いますか? もう少し大がかりな探査装置の様な気がします。作中の探査風景では読み取れませんが、探査装置の雰囲気と長そうなケーブルがあるところから、大きいループコイルを使ったTEM法の探査装置なのでは、と推測できる気がします。

さて、ここで紙面が尽きてしまいました。本稿を書くために調べていたら、スフィンクスでの探査事例を見つけました。今回は、作中の探査法についてもう少し掘り下げながら、この文献の事例も紹介して遺跡探査について述べてみようと思います。また、地中レーダーと遺跡調査については、本ニュースの「本の紹介」に東北大佐藤先生の著書が紹介されています。併せてご覧ください。ちなみに、物理探査のアイテムとして最初に出てきたダイナマイトですが、テロ組織に遺跡で見つかった宝物を渡さないために、話の最後で遺跡の入り口を爆破させるために使われます。探査装置としてではなく、最後の爆破への布石として使われていたようです。

#### 参考文献

1. さいとうたかを, ゴルゴ13第126巻「スフィンクスの微笑」, リイド社, p.5-122, 1998.
2. 物理探査学会, 物理探査ハンドブッケーケーススタディ編一, 945-1336, 2010.3.

# 学術講演会開催のお知らせと報告

## 第135回 秋季学術講演会開催のお知らせ(室蘭工大)

本年度秋季講演会は平成28年10月26日(水)～28日(金)に、室蘭工大(北海道室蘭市水元町27-1)にて開催いたします。

本ニュースでは、秋季講演会の魅力について、紹介をさせていただきます。

### 地熱セッション、見学会

東日本大震災後、持続可能な自然エネルギーの活用がより一層見直され、地熱エネルギーへの期待が増しております。平成26年4月の「エネルギー基本計画」では、「ベースロード電源」として地熱が選定され、平成27年7月の「長期エネルギー需要見通し」において、総発電電力量に占める地熱発電の割合を平成42年度までに、現在の0.3%から1.0～1.1%へ拡大することが目標として示されました。

物理探査の分野においても、JOGMECの助成金事業、地熱資源ポテンシャル調査、技術開発等を通じた支援が行われ

ております。成果の一端を発表していただく場として、講演会2日目に以下の地熱セッション(仮題調整中)を開催いたします。

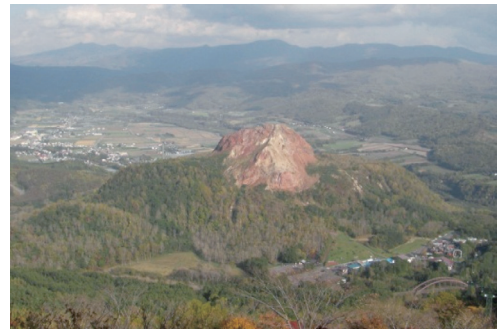
- ・ JOGMEC事業の概要
- ・ 物理探査を用いた調査、技術開発について(空中物理探査・反射法・電磁法)
- ・ 道内における地熱開発の現状。

さらに、3日目午後には、有珠山、昭和新山(洞爺湖)の見学会を計画しており、JOGMEC助成金による地熱調査井(99.8℃、505ℓ/分)の活用によるバイナリー発電を開始した洞爺湖温泉地熱発電所の見学も行う予定であります(調整中。変更の可能性有)。なお、見学会参加費は3千円であり、東室蘭から千歳空港への片道JR料金より安価となりますこと、付け加えさせていただきます。皆様、奮ってご参加、ご発表ください。

(学術講演委員会 山根照真)



室蘭港に架かる白鳥大橋。はるかに羊蹄山を望む



昭和新山遠景

## 第134回 春季学術講演会開催報告

物理探査学会第134回(平成28年度春季)学術講演会が平成28年5月16日(月)～18日(水)にわたり、早稲田大学国際会議場(東京)で開催されました。

1日目は「土木1・土木2・廃棄物、土木3・堤防」、「資源探査1、資源探査2・地熱、資源探査3・CO2」、2日目は午前中に「土木4・防災」および「資源探査4」、午後から総会と特別講演会が開催され、3日目は「土木5・地質」および「資源探査5」が、各セッションを通して発表・討議が行われました。また、総会の最後に新任の山中浩明会長(東京工業大学)並びに齋藤秀樹前会長(応用地質)による新旧会長の挨拶がありました。

特別講演では、千木良雅弘氏(京都大学防災研究所)から「斜面崩壊発生場所に関する最近の研究進展と物理探査に期待するもの」と題して、地滑りのメカニズムや事例、物理探査に期待される役割などについてご講演頂きました。次いで宮本英昭氏(東京大学総合研究博物館)から「日本が目指す火星衛星探査と将来の惑星内部探査」と題して、米国の火星探査や日

本の小惑星探査などの紹介や宇宙の資源利用、日本が目指す火星衛星探査の意義などについて講演頂きました。

交流会は、参加者が120名を超えて賑やかになりました。

今回の学術講演会を開催するにあたり、早稲田大学関係者をはじめ、多くの物理探査学会員の皆様のご尽力ならびにご配慮を賜りました。また、座長をお引き受け頂いた皆様には講演会の進行にご協力頂きました。ここに記して御礼申し上げます。

(学術講演委員会 中山圭子)



特別講演(写真左:千木良氏、写真右:宮本氏)



# 深部CSMT法の開発 — CO<sub>2</sub>貯留層のモニタリングに向けて —

電力中央研究所 鈴木 浩一  
有限会社ネオサイエンス 城森 明

## 1. はじめに

前回(第27号)では、地上に送信源を設置した空中電磁探査(GREATEM: Grounded electrical-source airborne transient electro magnetic)の装置とその適用例を紹介しました。この方法は空中で磁場だけを測定して地下の比抵抗構造を求めることができるため、広域の大局的な地下構造を把握するには極めて有効であると考えられます。

一方、地下深部、例えば深度2500mの地層に貯留したCO<sub>2</sub>を長期間にわたりモニタリングしたい場合には、この空中電磁探査法では探査深度に限界があります。また、地表で測定されるCO<sub>2</sub>の浸透に伴う比抵抗の変化は極めて微弱と予想されるので、より安定した信号を受信する必要があります。このような場合には電場と磁場の両方を測定し、低周波数帯の測定ができるMT法(Magneto telluric)が有利と考えられますが、自然電磁場による信号は不安定な時期もあり、信号強度は極めて微弱です。よって、人工信号源を使用したCSAMT法(Controlled source audio-frequency magneto telluric)の方が安定した信号を測定しやすいと考えられます。

また、より深い地層の情報を得るためには、送信源を極力遠方に離す必要がありますが、遠方に離すほど信号強度は弱くなります。従来のCSAMT法探査装置(例えば、茂木ほか、1990)では、人工ノイズの影響で送信源を充分遠方に離すことができず、低い周波数はNear fieldの影響を受けるため、使用できる周波数は1Hz付近以上で、探査深度は1000m程度に限られていました(図1)。そこで、本件では、より低い周波数の測定を可能とするため(本報では「深部CSMT法」と呼

ぶ)、GPS時刻同期による高密度スペクトル分解能を実現した深部電磁探査装置Geo-SEMシステムを使用して、深度3000mまでの地下構造を探査した事例を紹介します。

## 2. 開発した測定装置の概要

送信器は国内の実験ではネオサイエンス製(最大25kW、700V)、海外の実験では千葉電子製(最大4.5kW、800V)、受信器と高精度時計はGeo-SEMシステム(Synchronized Electro Magnetic; 城森ほか、2010)を使用しました。本システムの特徴は、送信器と受信器をGPS時刻で同期とり、高密度なスペクトル分解能でデータを取得することができます。磁場センサとしては、1.0~8192Hzはインダクションコイル、0.015625~1.0HzはMI(Magneto-Impedance)素子を使用し、1.0Hzは両センサにより重複して測定できます。電場センサには銅電極を使用します(写真1)。

## 3. 山崎断層地点での適用試験

国外で探査を実施するに先立ち、国内の山崎断層地点において本装置の適用試験を行うことにしました。調査地点は兵庫県の福崎から滝野付近となります。試験を行った結果、送信源からの距離を15kmまで離すことができ、探査深度を2~4kmに向上できました。低周波数の磁場センサとして用いたコンパクトなMIセンサが充分使用できることも明らかとなりました。更に、人工信号源を使用しているため、自然電磁場を測定するMT法と比較して信号が安定しており、より信頼性の高い大深度の測定が可能なが確認できました。

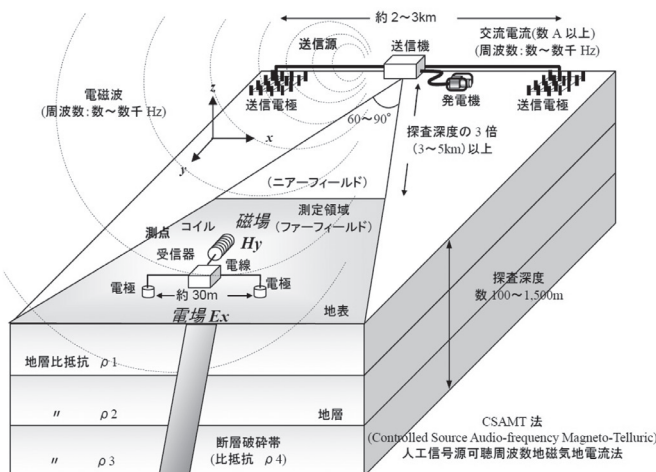


図1 CSAMT法の測定模式図(物理探査学会, 2008)

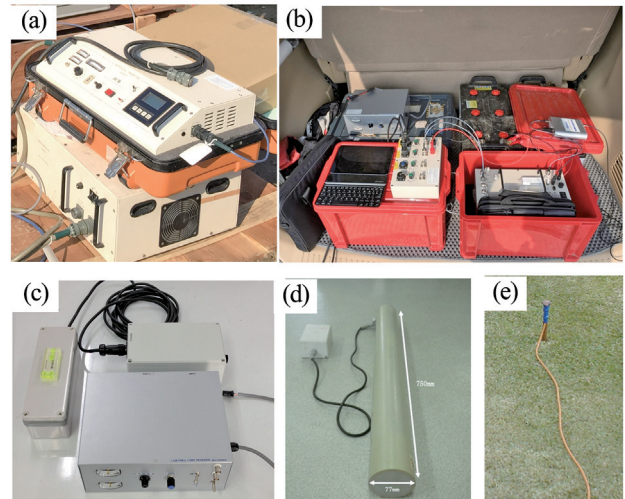


写真1 使用したCSMT法探査装置、(a)送信器、(b)受信器、(c)高周波用磁力計、(d)低周波用磁力計、(e)電極

## 4. 台湾地点の概要および測定方法

台湾電力総合研究所(TPRI)は、台中市西側の沿岸域埋め立て地において、深度2500m級の堆積層を対象にCO<sub>2</sub>地中貯留の注入試験を行おうとしています(図2)。既往の調査により、本地点には中新世以降の堆積軟岩が3000m以上の厚さで分布し、地下水の塩分濃度が高いことが予想されています(Yu et al., 2014)。この地点において大規模なCO<sub>2</sub>注入実験を行う前の初期の比抵抗構造を把握するために、深部CSMT法を行いました(鈴木ほか, 2016)。

本調査地より東北東方向へ約15km離れた位置にある河川沿いに長さ5kmの電線を敷設して、深部CSMT探査のための送信源(current source)としました(図2(b))。この送信源の方向はN20°Wです。送信源の両端部には、それぞれ約50本の電極を設置することにより接地抵抗を約30Ωまで低下させて、最大10Aの電流を送信しました。送信周波数は0.015625~8192Hzの帯域の合計29種類です。

受信側では送信源とほぼ同じN10°W方向に約1.2kmの測線を設置して、測線中央部にTPRIが実施した深度3000mのボーリング孔(TPCS-M1)が位置するよう約200m間隔で合計7点の測定を行いました(図2(c))。電場は送信源と平行となるN20°W方向に設置して、電極間隔は20mとしました。磁場はN70°E方向に設置しました。測定時間は1測点につき2時間です。

なお、埋め立て地周辺には約50基の風力発電機が運転中であり、測定中は絶えず強い風が吹いています。この風

による振動がノイズになることが懸念されるため、2種の磁場センサともに数10cmほど穴を掘り地中に埋めて測定しました。

## 5. データ処理方法および結果

ほとんどの測点では、低周波数0.015625~0.25Hzの見掛け抵抗が周波数の低下と伴に急激に上昇する傾向が確認されました。このような見掛け抵抗曲線を満たす理論解は存在しません。また、パワースペクトルでも信号に相当する電場成分のピークが確認できませんでした(図3(a))。その原因を検討した結果、信号強度が非常に微弱であること、特に電場成分では直流成分に近い低周波数ノイズが混入していることがわかりました。このようなノイズは、従来の探査装置で除去することは極めて困難です。

このノイズを除去するために、①まず、周波数分解能を上げるために測定周波数毎の受信波形データを繋いで、一つの長い時系列データを作成しました。②次に、このデータに測定周波数より低い周波数を除去する時系列フィルタ処理を施しました。③更に、信号の周波数のcos、sin変換を行い、信号を抽出しました。図3(b)に示す通り、これらの処理は効果があることがわかります。特に、②の処理の効果が大きく、低周波数の測定であるにも関わらず、短時間の波形データしか得られない場合には、②の処理が重要となることがわかりました。しかし、全ての低周波数データは改善されなかったため、隣接する測点の周波数毎のE/Hベクトルを加算平均しました。以上の処理を行う前と後の見掛け抵抗と位相差の例を図4に示します。低周波数ノイズによる影響が改善され、見掛け抵抗曲線は滑らかに変動しています。

## 6. Near field補正および解析結果

図1で示したように、測定領域となるファーフィールド(Far field)でのデータが解析に使用できますが、ニアフィールド(Near field)領域に入ったデータは適切な補正計算をすることにより、解析で使用可能なデータとしました。図5にNear field補正前後の見掛け抵抗を示します。なお、5章で示したデータ処理を施しても改善されなかったバラツキの著しい2つの測点は除いています。補正前は0.0625Hz付近で見掛け抵抗が極度に低下するケースが多く、Far fieldからNear fieldに入る前に見掛け抵抗が急激に低下するTransition領域と考えられます。それ以下の周波数はNear field領域の影響を受けており、周波数の低下とともに見掛け抵抗が増加する傾向が見られます。補正後は0.0625 Hz付近より周波数が低くなるに従い、見掛け抵抗は低下する傾向となりました。

上記5測点に対し1次元逆解析と2次元逆解析(佐々木, 1986)を行いました。0.015625Hzと0.03125Hzは収束を悪化させる傾向があったため、0.0625Hz以上のデータを使用しました。この解析結果を測線沿いのボーリング孔(TPCS-M1)での電気検層結果(Yu et al., 2014)と対比したものを図6に示します(鈴木ほか, 2016)。1次

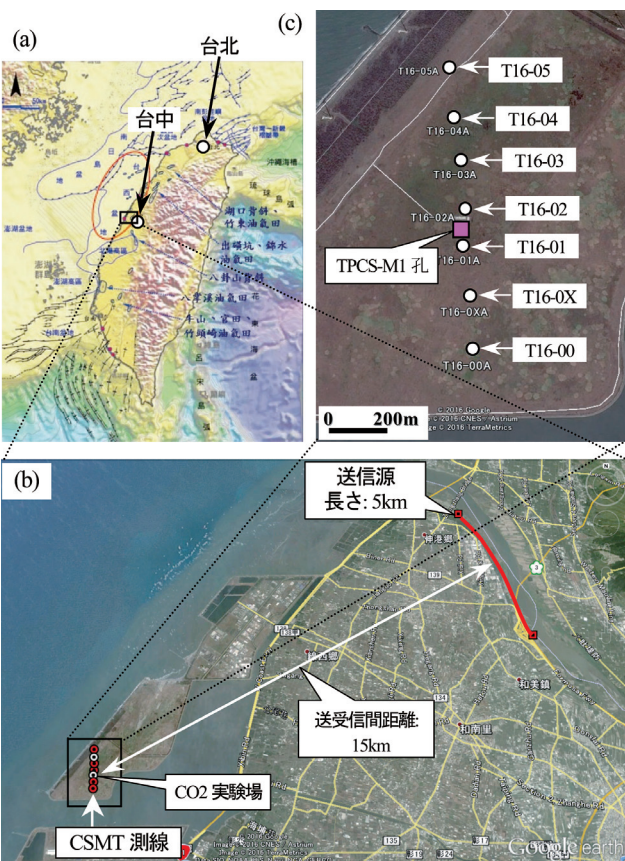


図2 CSMT法測点位置図  
(a) 概要図、(b) 送信源と調査地点、(c) 測点位置

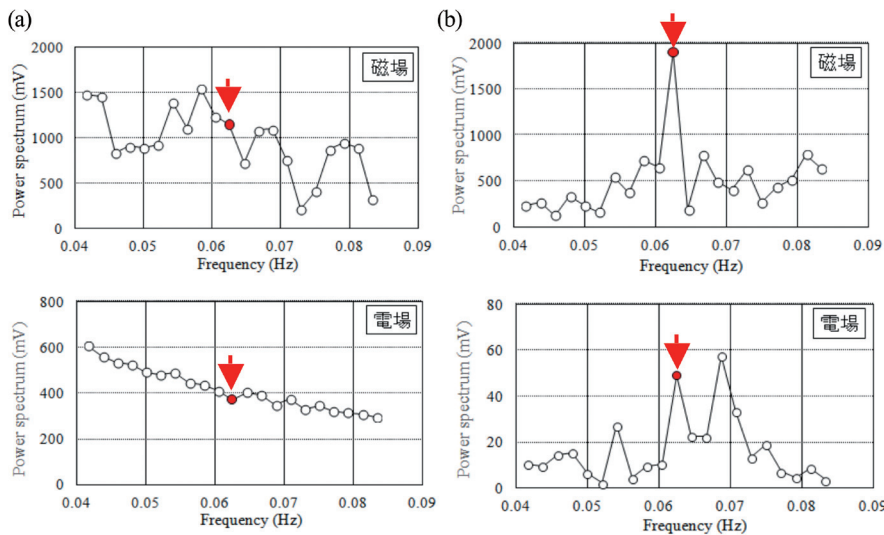


図3 信号のパワースペクトル(矢印は信号の周波数0.0625Hzを示す)  
(a)時系列フィルタ処理前、(b)時系列フィルタ処理後。

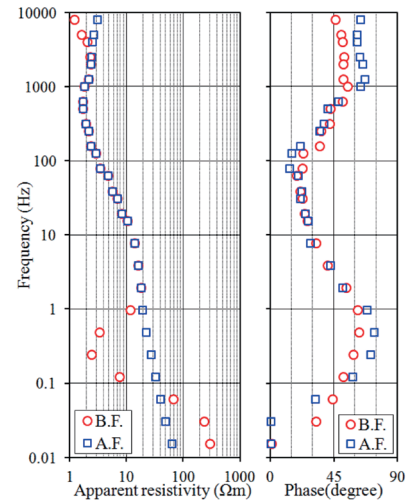


図4 フィルタ処理前後の測定データ例  
B.F.は処理前、A.F.は処理後。

元解析は測点T16-02、2次元解析はTPCS-M1孔の位置での結果となります。これより、深部CSMT法による比抵抗構造は、電気検層による結果と概ね整合しており、本手法の有効性が確認できました。

## 7. 今後の深部CSMT法の展開

本件では調査期間の制約もあり、十分な測定時間を確保することができませんでしたが、より長い時間測定することによりデータ品質の改善を図ることが期待できます。近い将来、大規模CO<sub>2</sub>注入実験時のモニタリング手法として展開していく予定です。

謝辞：山崎断層での調査では、大阪市立大学の山口寛教授に多大なる便宜を図っていただきました。台湾での調査では、台湾電力総合研究所、シノテック社、台湾海洋大学、及びネオサイエンス社の数多くの方々にも多大なるご協力をいただきました。以上の方々には厚く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 物理探査学会 (2008): 新版物理探査適用の手引き
- 茂木 透・楠建一郎・鈴木浩一・川崎逸男・城森 明・東 義則 (1991): 複素位相検波方式CSAMT探査装置の開発, 物理探査, 43, 164-169.
- 城森 明・光畑裕司・西村 進・城森信豪・近藤隆資・高橋哲矢 (2010): GPS時刻同期による高密度スペクトル分解能を実現した深部電磁探査装置の開発, 応用地質, 51, 62-72.
- 佐々木 裕 (1988): 信号源を考慮したCSAMT探査データの解析, 物理探査, 41, 27-34.
- 佐々木 裕 (1986): 2次元構造に対するMT法の分解能, 物理探査, 39, 1-9.
- 鈴木浩一・窪田健二・海江田秀志・焦 中輝・楊 明偉・城森 明 (2016): 深部CSMT法による台湾電力総合研究所・CO<sub>2</sub>地中貯留実験場の地下構造, 第134回物理探査学会学術講演論文集, 126-129
- Yu C.W., Chiao C.H., Hwang L.T., Yang W.H., Yang M.W. (2014): A pilot 3000m drilling for characterizing a candidate deep saline aquifer in western Taiwan, Proceedings of the 12th international conference on greenhouse gas control technologies (GHGT-12), Energy Procedia.

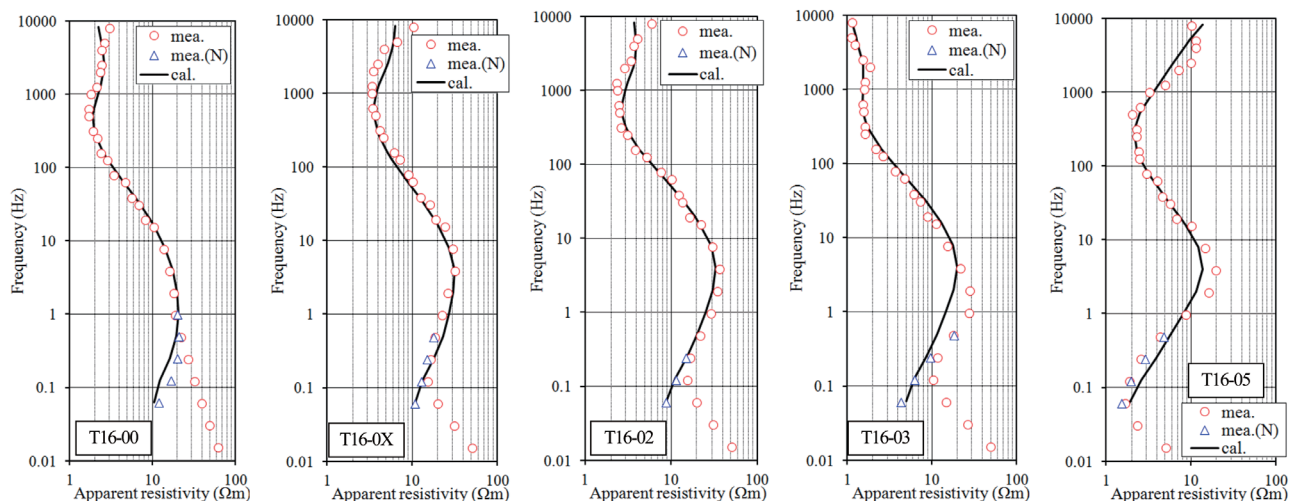


図5 ニアフィールド補正前後の測定データ  
mea.は補正前、mea.(N)は補正後、cal.は2次元解析による計算値を示す。

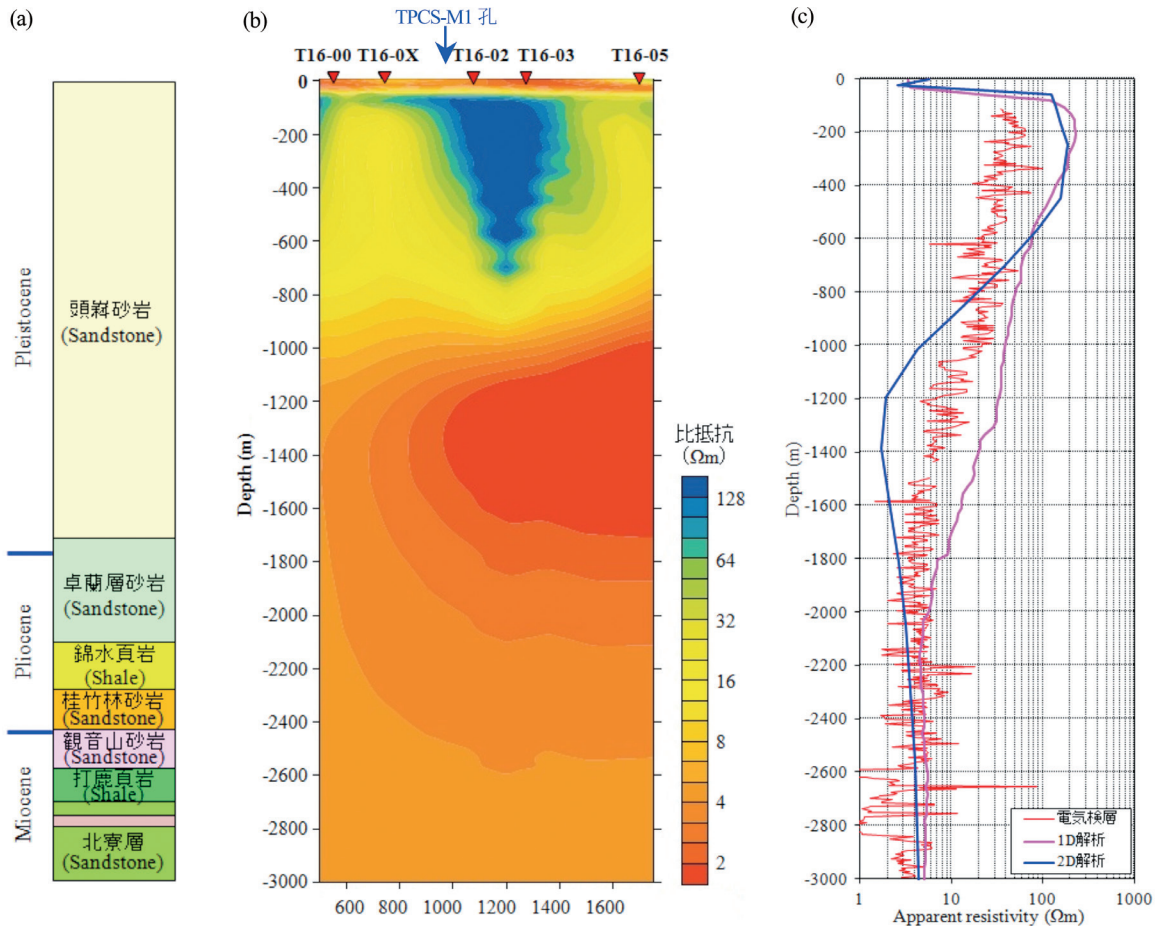


図6 CSMT法と電気検層結果の対比  
 地質柱状図および電気検層データはYu et al. (2014)に基づく  
 (a) 地質柱状図、(b) 2次元解析による比抵抗断面図、(c) 電気検層と1次元および2次元解析

## 物理探査ハンドブック増補改訂版出版のお知らせ

Three book covers for 'Physical Exploration Handbook' (増補改訂版) are shown. Callouts highlight '反射法地震探査' (Reflection Seismology), '微動・振動・表面波探査' (Microseismicity and Surface Waves), and '位置測量' (Positioning). The publisher is the Geophysical Society of Japan (公益社団法人物理探査学会).

- 第一分冊**
- 第1章 反射法地震探査
  - 第2章 屈折法地震探査
  - 第3章 微小地震・AE
  - 第4章 微動・振動・表面波探査
  - 第5章 電気探査
  - 第6章 電磁探査
- 第二分冊**
- 第7章 地中レーダ
  - 第8章 重力探査
  - 第9章 磁気探査
  - 第10章 リモートセンシング
  - 第11章 熱・温度探査
  - 第12章 放射能探査
- 第三分冊**
- 第13章 物理検層
  - 第14章 VSP
  - 第15章 ジオトモグラフィ
  - 第16章 シミュレーション
  - 第17章 モデル実験
  - 第18章 位置測量

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

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

**販売価格(税込)**  
 冊子版¥32,400 電子版¥21,600

別途送料がかかります  
 事務局へお問い合わせください

# 「物理探査と磁気テープ」

伊藤忠テクノソリューションズ株式会社(CTC) 高市 和義

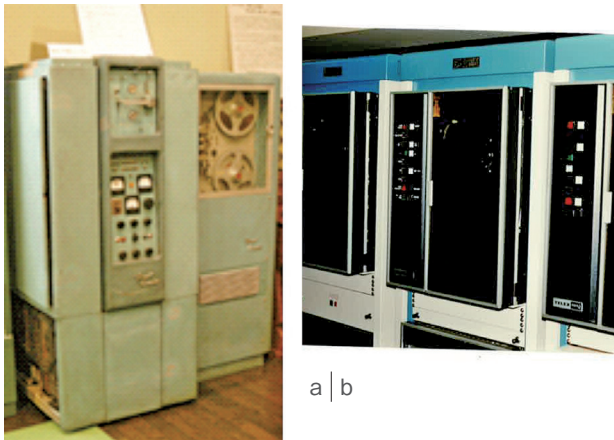


図1 (a) BENDIX G-15 Computerの磁気テープユニット(1958年導入)  
(東京理科大学HPより)  
(b) PHENIX VPUの磁気テープユニット(1983年導入)

## 1. はじめに

近年「ビッグデータ」と言う言葉をよく聞くようになりました。これは、磁気ディスク装置の大容量化・低価格化およびコンピュータネットワークの普及により、大量データをネットワークを介して容易に収集し、蓄え利用することが可能になったことによります。一方、大量に集められたデータを効率よくバックアップすることが非常に大変になっており、表1のように低コスト・低消費電力の特性を持つ磁気テープが見直されてきています。

この磁気テープは反射法地震探査データを効率よく蓄える為に古くから利用されており、現在も重要なデータ記録媒体となっています。CTCでは会社発足当時から磁気テープを利用してまいりました。本報告ではその磁気テープ利用の歴史と最新の状況を紹介させていただきます。

## 2. 磁気テープ利用の歴史

コンピュータ用磁気テープは、1950年代から利用が開始されました。これにより当時紙テープやカードに記録されていた情報は磁気テープによる保存へと徐々に移行し

ました。物理探査での磁気テープ利用は、大量のデータを扱う反射法地震探査での利用が主ですが、反射法地震探査の歴史は磁気テープより古く1910年代にさかのぼります。その当時は、測定したデータを効率よく保存する方法はなく、波形を紙やフィルム等に記録するしかなかったようです。磁気テープの利用開始により、大量のデータを効率よく蓄えて処理をすることが可能となり、今では当たり前のように実施されている重合処理(CMP stacking)やデジタル地震探査機利用の下地が出来たと思われま

す。なお1958年はCTCの前身である東京電子計算サービス(株)が設立されており、米国から輸入し、計算サービスを開始した「BENDIX G-15 Computer」の補助記録装置として磁気テープ装置が使われていました(図1)。

1960年代はデジタル探査機が開発され反射法地震探査での磁気テープ利用が当たり前となり、地震探査は、2次元から3次元へと向かい多チャンネル化が進むこととなりました。

1970年代初めは、探査機にオープンリールを使う磁気テープ装置が接続され1回の海上調査で百本ほどの磁気テープにデータが記録され陸上のデータ処理センターで解析処理が行われていました。

CTCでも1983年に米国から反射法地震探査データ処理システム「PHENIX VPUシステム」を輸入し、データ処理サービスを開始していましたが、その当時から補助記録装置として磁気テープがフル活用されていました。

1980年から2000年にかけてチャンネル数の増加に伴い、磁気テープもIBM3480、3490、3490Eと変遷し、21世紀になってからは、IBM3592シリーズが開発され1TBを越す容量のテープ装置となり、現在は10TBのIBM3592(Gen5)TS1150が力を発揮しています。横軸に年、縦軸に最大容量(右軸)、転送速度(左軸)を示した図2から21世紀に入り最大容量および転送速度は急激に増大していることが分かります。

ところで1972年頃には、主に小規模コンピュータシステムの記録装置として使われた低コストのQIC(Quarter Inch Cartridge)やヘリカルスキャン方式テープが市場に出きました。ヘリカルスキャン方式テープは、映像録画テープの記録方式を応用したもので、テープ磁性面に傾斜した多数の記録トラックを形成することを特徴としますが、高密度化の限界や映像録画テープが光方式に置き換わったこともあり、現在では後継が開発されなくなりました。

代わって、DLT(Digital Linear Tape)やLTO(Linear

表1 各種媒体の優劣

	コスト	記憶容量	消費電力	ランダムアクセス
磁気テープ	◎	○	◎	×
光ディスク	○	△	◎	○
メモリディスク	△	△	△	◎
ハードディスク	△	○	×	○

◎:非常に優れている、○:優れている、△:劣っている、×:非常に劣っている



Tape-Open)が台頭してきており、1990年代には、国内で取得された反射法地震探査データを格納した5万本の1/2インチオープンリール(150MB容量)を3百本程度のDLT(20GB容量)に移し替える作業を実施したこともありました。現在はDLTの開発は終了し、新たに2.5TB容量のLTO-6が実用化され、2016年には6TB容量のLTO-7が、将来は48TB容量のLTO-10の開発が計画されています。

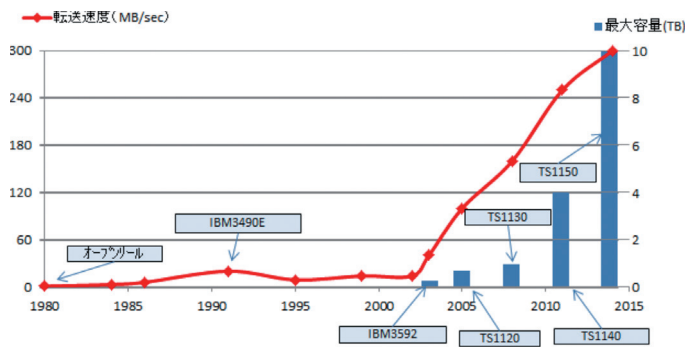


図2 オープンリールおよびIBMテープファミリの最大容量と転送速度の推移

### 3. 磁気テープ利用の状況

現在、IBM3592およびLTOが主に利用されることとなっていますが、海上での反射法地震探査では信頼性を考慮し、IBM3592(Gen2)TS1120(700GB容量)が主に利用されています。

海上での反射法地震探査での磁気テープ使用量を経済産業省の物理探査船「資源」とPGSが公表しているデータから試算してみると、1回の調査で平均300本程度の磁気テープが使用され、過去5カ年で国内20回程度、世界では1,000回程度の調査が行われております。これらから単純試算すると国内では約1万本、世界では70万本程度のテープが利用されていることとなります。

一方、日本IBM社によるとIBM3592の通算生産量は、国内は10万本以上、世界は1000万本以上とのことですので海洋反射法地震探査でのIBM3592磁気テープ利用割合は、およそ1割を占めていることとなります。今後もデータ量は増えることはあっても減ることはないと思われ、年々蓄積されるテープ本数は増加することになります。物理探査はデータ容量の増大と共に進歩していると言えます。

## 本の紹介

### 地中レーダーを応用した遺跡探査 GPRの原理と利用

佐藤源之、金田明大、高橋一徳 著 東北大学出版会

土木研究所 尾西 恭亮(前 秋田大学)

遂に、地中レーダーの待望の新刊が発行されました。しかも、調査方法がわかりにくい遺跡探査について詳しく記されています。そして、筆頭著者は、日本の地中レーダー研究の第一人者である佐藤源之教授ですから、内容も確実でおすすめできる良著です。

本書の主な対象者は探査に精通していない方に設定されています。物理探査関連の専門書であるにも関わらず、数式をたったの3つほどしか使用していないのです。しかし、一般教養書や子供向けなどでは決してなく、本気で地中レーダーを使ってみようとする挑戦する人向けの内容となっています。物理探査技術が使用される機会を得て広く社会に役立つ技術となるためには、利用者に技術の性格と効用を理解いただく必要があります。技術の健全な普及のために、この少ない購買者層に対し、最大の情熱を傾けて著されているのが本書です。

しかし、実のところ、本書はたとえ地中レーダー技術に精通した者であっても、遺跡探査に関わる際にはぜひとも目を通しておきたい本なのです。また、遺跡探査でなく

ても地中レーダーを利用してみたいと考える方にも有用な内容を含んでいます。興味さえあれば、初心者から専門家まで興味深く読み込める内容があります。

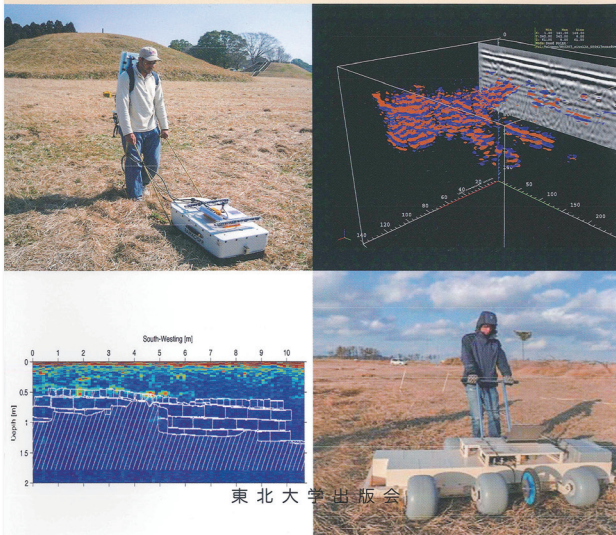
本書の特徴に、第4章の膨大な遺跡探査および解析事例があります。多数の探査解析経験こそが技術水準を高めてきた原動力であり、本書が述べる調査方法の技術水準を保証するものでもあります。そして、多数の探査事例は何よりも地中レーダーを用いて遺跡探査を行った際に、改善方法を議論する際のより所となるのです。探査チームの中で目に見える共通の目標や基準があると、失敗を乗り越える力を得られて頑張れるのです。

物理探査は通常の測定や分析と異なり、客観的な数値で示される記録結果ではありません。そのため、技術の力を効果的に引き出すためには、探査対象と物理探査技術の両方に少なくない知識と経験を必要とします。技術の利用者にはある程度の努力が求められます。物理探査技術を広く上手に活用していけば、人類社会に有益であると信じる方が多くても、水が流れる様には普及はしてい

## 地中レーダーを応用した遺跡探査

GPRの原理と利用

佐藤 源之  
金田 明大 編著  
高橋 一徳



かないことでしょう。普及にはいろいろな方法や段階がありますが、探査技術に興味を持ち、発掘して実機を扱い実測したあとの、探査技術を実用域に高めるための努力というものがあるのがひとつの鍵であり、本書がこれまでにない解決手段を与えてくれるものと期待されます。

さて、遺跡というのは、すべて唯一無二のものであって、しかもかつての人間の手による当時の人の思いが形となっているものです。遺跡探査というのはある種恐れ多い対象で、経験が乏しい者にとってはとにかく気をつけるべき点がわかりにくいところが問題です。この点、第1章の遺跡探査の置かれている状況の解説は、地中レーダーの専門家のみならず、様々な物理探査技術で遺跡調査をする際に大変有用な情報となるでしょう。そして、本書が示す地中レーダーによる遺跡探査の効用「発掘による遺跡の破壊防止」「遺跡の分布範囲の予測」「発掘できない遺跡を精密に可視化」について深い理解が得られます。

さらに、第2章では地中レーダーの基礎理論を、極力数式を使用せずに要点が理解可能なように工夫して書かれています。それでも、おそらく考古学が専門の方には理解に努力を要するところは少なからずあるとは思いますが、しかし、入門だけでなく将来の活用時まで視野に入れた説明内容は長年普及活動をされてきた著者独自の経験とセンスから成るものだと思います。電磁波伝搬理論の深い理解までは必要のない地中レーダー利用者にとって最適な構成になっているはずで、また、探査技術を利用者に説明する能力が強く求められる昨今、地中レー

ダーの専門家こそ精読し自己研鑽の手がかりとして活用したい章でもあります。探査目標を定める、アンテナを地表面に置く、アンテナ位置を正確に制御する、1回であきらめないなどの、他の専門書にはない独特の注意点にあふれているのも特徴です。

そして、第3章の新技术は、遺跡探査に限定されない地中レーダーに関わる最近の技術について書かれています。地中レーダーに関する書籍が少ない中、遺跡とは直接関係はないものの地中レーダーを利用する道路管理者などにも有益な情報がまとめられています。どの章も特徴にあふれており、読み返す度に新たな興味がわく、読み応えのある著作です。

地中レーダーにはいろいろな用途がありますが、使用者の人命に関わる地雷探査の開発研究だけは別格の重さがあります。佐藤教授が日本を代表して時代や社会の要請で地雷探査研究に貢献してきたことは、地中レーダー技術の発展、社会への貢献、そして普及に対する並々ならぬ熱意を感じます。東日本大震災の遺留品捜査を毎年継続して主導されているのも、技術先導者としての強い義務感の現れなのだと思います。

佐藤教授は、世界的にも日本を代表する地中レーダー専門家として認知されていますが、国内においては、研究だけでなく普及活動に努められている姿が印象的です。近年は秋田大学にも毎年実地講習に来て頂いており、大変丁寧な解説で人気の集中講義となっています。佐藤教授にとり、地中レーダーの普及活動はライフワークなのだと思います。本書もその一環なのでであると推察いたします。

物理探査装置は誰にでも使用できるように簡単になってきました。本書にも地中レーダー装置を小学生が使用している写真が掲載されています。誰でも記録が取れるようになったことが、新たな問題を生じていることは、浅層を対象とする物理探査の専門家の共通の認識です。データの取得方法や解析方法に問題がある品質の悪い記録が納品される状況を放っておくと、悪貨は良貨を駆逐するがごとく、良質な記録が市場から閉め出されかねず、あるいは物理探査は役に立たないと判断され、遂には物理探査が使われなくなり、遺跡研究や地域住民の方々が不利益を被ることになります。

この流れをくい止めるには、基準整備や資格整備を図る方法と地道な技術の普及活動があると思います。前者は物理探査学会等に期待するとして、後者の意図するところが本書の貢献となります。本書は、地道な普及活動を長年行って来た著者の集大成ともいえる一編であると言えます。

大量な良質の記録例は、地中レーダーの使用者や発注者にとって強力な道標となることでしょう。"1回であきらめない"との素朴なメッセージに著者達の多くの普及活動の苦勞を垣間見ました。本書を通じ、地中レーダーを上手に活用する利用者が益々増えることを期待してやみません。



# 2016-2017年度 物理探査学会理事会からご挨拶

70周年を見据えて、前向きに活動していきたいと考えております。会員の皆様のご意見・ご要望をお待ちしておりますので事務局もしくはお近くの役員にご連絡ください。



会長 山中浩明  
東京工業大学



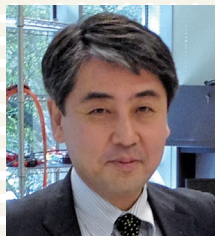
副会長 大熊茂雄  
産業技術総合研究所  
表彰委員長



副会長 鈴木浩一  
電力中央研究所  
企画開発委員長



常務理事 千葉昭彦  
住鉱資源開発



監事 相澤隆生  
サンコーコンサルタント



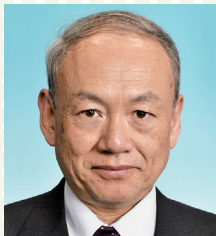
監事 西田大介  
西田公認会計士事務所



事務局長 大橋武一郎  
物理探査学会



理事 斉藤秀樹  
応用地質  
事業委員会担当(前会長)



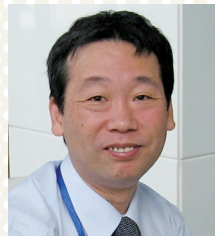
理事 大西正純  
ジオシス  
総務・財政委員長



理事 大澤 理  
国際石油開発帝石  
総務・財政委員会担当



理事 光畑裕司  
産業技術総合研究所  
会員・広報委員長



理事 三木 茂  
基礎地盤コンサルタンツ  
会員・広報委員会担当



理事 松島 潤  
東京大学  
会誌編集委員長



理事 山本英和  
岩手大学  
会誌編集委員会担当



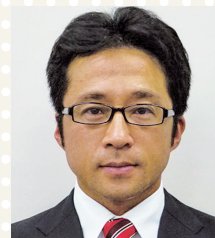
理事 荒井英一  
石油天然ガス・金属鉱物資源機構  
会誌編集委員会担当



理事 香村一夫  
早稲田大学  
学術講演委員長



理事 岸本宗丸  
日鉄鉱コンサルタント  
学術講演委員会担当



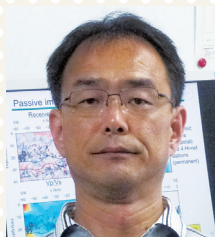
理事 黒田清一郎  
農業・食品産業技術総合研究機構  
企画開発委員会担当



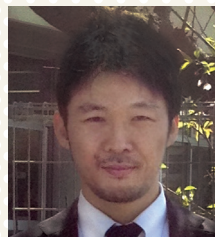
理事 田中智之  
地球科学総合研究所  
事業委員長



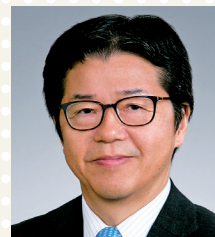
理事 鈴木敬一  
川崎地質  
事業委員会担当



理事 渡辺俊樹  
名古屋大学  
国際委員長



理事 小田義也  
首都大学東京  
国際委員会担当



理事 高橋明久  
石油資源開発  
ニュース委員長



## お知らせ

### 物理探査学会表彰の報告

平成28年度通常総会および懇親会にて以下の方々が表彰されましたのでここに報告いたします。

#### 第56回(平成27年度)物理探査学会賞(敬称略)

- 【論文賞】 楠本成寿、高見雅三、山口 覚  
 【事例研究賞】 相澤隆生、伊東俊一郎、青野泰大、赤澤正彦  
 【奨励賞】 小暮哲也、笠松健太郎

#### 第132回(平成27年度春季)学術講演会 受賞者

- 【優秀発表賞】 楠田 溪、辻 健、池田達紀  
 【ポスター発表賞】 黒川雅裕

#### 第133回(平成27年度秋季)学術講演会 受賞者

- 【優秀発表賞】 木佐寛貴、楠田 溪

#### 第134回(平成28年度春季)学術講演会 受賞者

- 【最優秀発表賞】 丸山純也  
 【優秀発表賞】 佐藤真也、新部貴夫  
 【ポスター発表賞】 黒川雅裕

#### 永年在籍会員表彰

飯沼 清、笠原順三、廉澤 宏、楠 健一郎、高屋 正、  
 寺島正浩、内藤邦夫、早川 清、正木和明、松枝富士雄

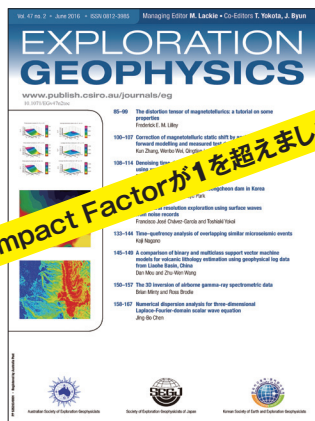
### 第135回(平成28年度秋季)学術講演会のお知らせ

1. 会期 平成28年10月26日(水)～28日(金)
  2. 会場 室蘭工業大学(北海道室蘭市水元町27-1)
  3. 講演申込締切 平成28年8月16日(火)
  4. 参加事前登録  
平成28年8月1日(月)～平成28年10月11日(火)
  5. 参加費 一般:事前登録7,560円、会場登録8,640円  
学生:事前登録3,780円、会場登録4,320円
- 詳しくは物理探査学会HPにて  
<http://www.segj.org/event/lecture/2016/>

### 学会事務局長交代のお知らせ

平成28年7月1日で、学会の事務局長が渡辺文雄会員から、大橋武一郎会員に交代になりました。渡辺文雄さんは、平成24年7月の就任以来、4年の長きに渡って学会を支えて下さいました。任期中に行われた「公益社団法人」化にも大きく貢献されました。渡辺さん、大変お世話になりました。大橋さん、よろしく願いいたします。

### EG誌(英文)への投稿を募集中



URL: <http://www.segj.org/report/EG/index.html>  
 投稿は上記URLより学会事務局へご連絡ください

### 編集後記

今年の4月に九州から関東に戻ってまいりましたが、九州を離れた直後に熊本地震が起きてしまい、何かモヤモヤとした気持ちが続いています。(私のバックボーンは自然地震学です。なお、高橋委員長が大学の先輩だということが判明!)

防災・減災、インフラの復興などで、物理探査が貢献できることは少なからずありますので、もっと色々な分野で物理探査をプロモートしようと考えています。

さて、唯一の印刷媒体となる「物理探査ニュース」をもっと充実させていくのが我々の使命です。私は、ゴロゴロのような「ゆるい」ネタが大好きなのですが、バランスの良いニュースの編集に協力していければと思っています。

ニュース委員会委員：櫻井 健

### 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31号 2016年(平成28年)7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@sejg.org](mailto:office@sejg.org)

ホームページ : <http://www.sejg.org>