

物理探査 ニュース



一般社団法人 物理探査学会
The Society of Exploration Geophysicists of Japan

目次

分かり易い物理探査 「磁気探査 2」	1
現場レポート:オーストラリアクーパー盆地の高温岩体地熱地点における物理探査 (1)	5
脱線・物探英語 その6	9
研究室紹介 秋田大学大学院工学資源学研究科 応用地球物理学研究室	11
お知らせ	13
賛助会員リスト	14

Geophysical Exploration News November 2012 No.16



オーストラリアクーパー盆地地熱地帯における物理探査
(左上)実験場周辺に広がるサンドリッジ「数10mの丘」
(左中)1000KW級高温岩体発電所遠景
(左下)CSAMT法測定風景
(右)5000m級HDR発電用注入井(Jolokia#1)

(詳しくは本号の現場レポートをご覧ください。)

磁気探査入門講座



日本物理探査(株)技術顧問
産業技術総合研究所客員研究員

中塚 正

1999年 ヴェスヴィオ火山の山頂火口にて

2. 基礎理論

2.1 クーロンの法則と磁場・ポテンシャル

地下の磁氣的構造がもたらす磁気異常分布を求める際の理論的基礎は、磁気に関するクーロンの法則です。

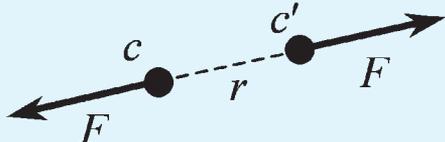


図4 クーロンの法則

距離 r だけ離れた2つの点磁荷 c 、 c' の間には、

$$F = -k(c c' / r^2) \quad (1)$$

なるクーロン力 F が働きます。正の磁荷は磁石のN極、負の磁荷は磁石のS極を表し、(1)式は c と c' が同符号のとき斥力(反発力)が働くことを意味します。ここで、 k はCGS電磁単位系(emu)では1、MKSA有理単位系では真空の透磁率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}(\text{H/m})$ を用いて $1/(4\pi \mu_0)$ と与えられる定数です。比例定数 k が単位系で異なるのは、

(a)emuでは $\mu_0 = 1$ を論理体系の基礎に据えたこと、

(b)MKSA単位系では、点磁荷 m から発した m 本の磁力線がその点から発散して、距離(半径)1の球面上での密度はその表面積 4π で割り算して $m/4\pi$ と考える(有理化)のに対し、emuでは磁荷とクーロン力の関係式(1)を単純化($k=1$)したこと

によります。

ここでは原則として、今日の国際単位系SIの基礎になっているMKSA単位系[$k = 1/(4\pi \mu_0)$]を用います。

磁場とは、テスト的に小さな磁荷 c' をその場所に持ってきたときに、そのテスト磁荷が力を受ける状態を指し、磁場 H があると

$$F = c'H \quad (2)$$

なる力(ベクトル)が作用すると考えられます。そこで、(1)式の c' を、点磁荷 c からの相対位置 r に置かれたテスト磁荷だと考えると、点磁荷 c が、

$$Hc = k(c/r^2)(r/r) = k(cr/r^3) \quad (3)$$

なる磁場 Hc をつくっていることを意味します。この式はさらに、スカラーポテンシャル Uc とベクトル微分演算子 $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y, \partial/\partial z)$ を用いて

$$Hc = -\nabla Uc, \quad Uc = kc/r \quad (4)$$

と書くことができます。その導出は、 $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ から $\partial r/\partial x = x/r$ となり、 $\nabla r = r/r$ であることを理解すれば容易です。このように時間変化のない静磁場については、ベクトル場の代わりに、スカラーポテンシャルを用いて表現できます。

一方、自然界には独立の磁荷は存在せず、必ずN極とS極のペアとして現れ、一般に磁気ダイポールの分布を考察する必要があります。単一の点磁気ダイポールモーメント j (その方向の単位ベクトルを p とする)を考えると、その磁気ポテンシャル Ud は、点磁荷のポテンシャル Uc を p 方向に微分($-p \cdot \nabla$)した形となり、

$$Ud = -(p \cdot \nabla)(kj/r) = (j/4\pi \mu_0)(p \cdot r)/r^3 \quad (5)$$

と与えられます。ここで、磁気ダイポールモーメントのもとでは微視的には環電流であり、その電流の流路が取り囲む面積と電流値の積として磁気モーメントが規定されます。磁気ダイポールモーメント j と磁気モーメント m は本質的に同じもので、 $j = \mu_0 m$ の関係にあります。

2.2 磁性体の磁化・帯磁率と国際単位系SI

磁性体の性質のうち、残留磁化は外から加わっている磁場と関係なく自発的に磁気ダイポールを形成するものですが、誘導磁化は外から磁場が加わったときにその磁場に感応して誘導されます。

透磁率 μ の磁性体が磁場 H の中に置かれたとき、誘導磁化 M が生じ、磁性体内部の磁束密度 B は、

$$B = \mu H = \mu_0(H + M) \quad (6)$$

で与えられますが、誘導磁化の生じ易さの指標として帯磁率 κ (磁化率とも呼ぶ)が用いられ、

$$M = \kappa H, \quad \mu = \mu_0(1 + \kappa) \quad (7)$$

の関係にあります。

しかし、この表記は国際単位系SIに合わせたものであり、従来のMKSA単位では、 $J = \mu_0 M$ を磁化と呼んでいました。今では区別して J を磁気分極と呼びます。

$$B = \mu H = \mu_0 H + J \quad (6a)$$

$$J = \kappa \mu_0 H, \quad \mu = \mu_0(1 + \kappa) \quad (7a)$$

であり、磁気分極 \mathbf{J} の単位は磁束密度 \mathbf{B} と同じ [T (テスラ) = Wb/m²] ですが、磁化 \mathbf{M} には磁場 \mathbf{H} と同じ単位 [A/m] を用います。なお、磁化率 κ は無次元量で本質的には単位系にかかわらず異なるのですが、先に述べた非有理単位系の問題があり、旧来の emu では SI/MKSA 単位系での値の $1/4\pi$ になっています。(前回の) 図2で帯磁率の図表示が“(SI)/ 4π ”で表示されているのは、その名残です。

2.3 3次元形状のソースモデルの磁気異常

では、地下にある形状の磁性体が存在したときに、観測される磁気異常はどのように表現できるでしょうか。

ソースの大きさがとても小さく点とみなせるなら、(5)式の点ダイポールのポテンシャルからすぐに計算できますが、一般にはソースが体積分布するので、これを体積積分 ($\oint dV$) してポテンシャルが求まります。その磁気異常ベクトル \mathbf{H}_a は、誘導磁化ばかりでなく残留磁化も含めた磁化の大きさを \mathbf{M} 、その方向を \mathbf{p} で表わすと、

$$\mathbf{H}_a = -\nabla U_m, \tag{8}$$

$$U_m = -(M/4\pi) \oint [(\mathbf{p} \cdot \nabla)(1/r)] dV \tag{9}$$

となり、少し変形すると

$$\mathbf{H}_a = (1/4\pi) \mathbf{M} \mathbf{f}, \tag{10}$$

$$\mathbf{f} = \oint [\nabla (\mathbf{p} \cdot \nabla)(1/r)] dV \tag{11}$$

と書けます。この(11)式は、よく見れば分かるように無次元の量となっていて、ソースの形を特徴づけるもので **geometric factor** (幾何係数) と呼ばれます。使用する長さの単位に関らず相似関係が成り立てば、等しい磁場強度になることを意味します。

この異常磁場 \mathbf{H}_a の特定方向の成分は、 \mathbf{H}_a とその方向の単位ベクトルとの内積で与えられますが、この異常磁場が大局的な地球磁場に重畳したときに全磁力測定に現れる変化すなわち全磁力異常 A は、 \mathbf{H}_a の大きさが地球磁場に比して十分小さいとき、その地球磁場方向の成分で与えられ、地球磁場方向の単位ベクトルを \mathbf{e} とすると、幾何係数 $F = \mathbf{e} \cdot \mathbf{f}$ を用いて、

$$A = \mathbf{e} \cdot \mathbf{H}_a = (1/4\pi) M F, \tag{12}$$

$$F = \oint [(\mathbf{e} \cdot \nabla)(\mathbf{p} \cdot \nabla)(1/r)] dV \tag{13}$$

と表されます。なお、ここでは磁気探査が大きく発展した時代から主たる計測法になった全磁力探査を念頭において、式を掲げていますが、磁場の特定の方向成分の理論式は、その方向の単位ベクトルを \mathbf{e} に与えれば済みます。例えば、鉛直 (z 方向) 成分であれば、

$$H_z = \mathbf{z} \cdot \mathbf{H}_a = (1/4\pi) M F_z, \tag{12a}$$

$$F_z = \oint [(\partial/\partial z)(\mathbf{p} \cdot \nabla)(1/r)] dV \tag{13a}$$

となります。

ソース磁化

$$\mathbf{M} = M \mathbf{p} \quad (\mathbf{p}: \text{磁化方向})$$

ポテンシャル

$$U_m = -\oint (M/4\pi) [(\mathbf{p} \cdot \nabla)(1/r)] dV$$

磁気異常(ベクトル)

$$\mathbf{H}_a = -\text{grad } U_m = -\nabla U_m$$

全磁力異常

$$A = -(\mathbf{e} \cdot \nabla) U_m \quad (\mathbf{e}: \text{地磁気方向})$$

特定方向(z)成分

$$H_z = -\frac{\partial U_m}{\partial z}$$

図5 磁気ポテンシャルと磁気異常の関係式

地球電磁気学の分野では、歴史的に emu 単位系が用いられてきたこともあって、慣用的に磁場強度 \mathbf{H} をそれに相当する磁束密度 $\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}$ で表現し、emu の単位で $10^3 \Gamma$ (ガウス) = 1γ (ガンマ) が多用されてきました。国際単位系 SI への移行にあたっては、たまたま 1γ がちょうど $10^{-9} \text{T} = 1 \text{nT}$ に等しいので、単に 1γ を 1nT に読み替えるだけで移行が行われました。

上の(10)、(12)式で与えられる磁気異常は磁場の値であり、磁化強度 \mathbf{M} の単位が [A/m] なら、磁気異常 \mathbf{H}_a 、 A の単位も [A/m] です。慣用に従って nT 単位の値を得るには μ_0 を掛算 ($\mathbf{H}_a' = \mu_0 \mathbf{H}_a$, $A' = \mu_0 A$) する必要がありますが、その結果はより簡単な次の式になります。

$$\mathbf{H}_a' = 100 M \mathbf{f} \quad [\text{nT}], \tag{10b}$$

$$A' = 100 M F \quad [\text{nT}] \tag{12b}$$

スペースの都合で、具体的なモデルの幾何係数の計算式を掲げることはしませんが、単純な形状の場合の式の形としては、3次元(体積を持つ)形状の場合に自然対数 \ln ・逆三角関数 \arctan が現れるものの、それ以外ではパラメータ値の有理関数(多項式分数表現)になります。必要に応じて「物理探査ハンドブック」第9章 磁気探査(分冊4)を参照して下さい。

磁気異常の特徴は、ソースの磁化方向と標準地球磁場方向に依存して大きく変わるので、独立した磁気異常ソースの典型例として、点磁気ダイポール(一様帯磁球と等価)による磁気異常分布を重力異常と対比して 図6 に示します。(a) は日本のような中緯度域での全磁力異常パターン、(b) は中緯度域での鉛直成分異常、(c) は北極・南極の近くでの異常パターンを示すもので、いずれも地球磁場と同じ方向に磁化されたモデルを想定していますが、(b) は極地(地磁気伏角 90度)で磁化方向が斜め方向の場合と同じになります。また、このソースと同じ位置・形状の密度異常があったときに期待される重力異常が(d)になります。

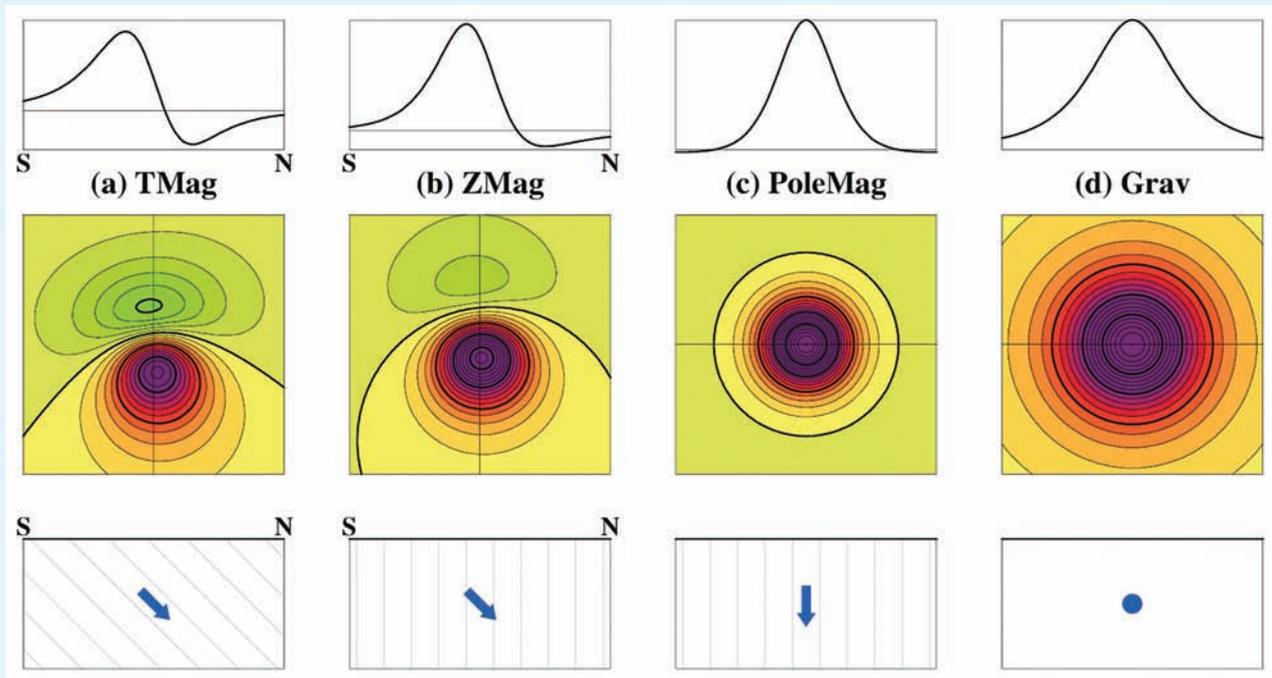


図6 孤立ソースの磁気異常

中緯度域(伏角45度、偏角7度)における(a)全磁力異常、(b)鉛直成分異常と(c)極域(伏角90度)における(極磁力)異常、および(d)同じ位置関係の重力異常。(いずれも点ダイポール/点質量ソースで計算)

2.4 ラプラス方程式と調和関数

磁気探査によって磁気異常分布が得られたとき、その様子を平面図(磁気図)の形で表現するだけでも地下の磁気的なソースを推定するのに利用できますが、その中から注目したい成分や特徴量を抽出するために、2次元のフィルタ処理がしばしば行われます。また、磁気異常がスカラーポテンシャルから導かれるという特徴を利用した数学的処理によって、ソースの特徴をよりわかり易く表現するために別の物理量を導くような処理が可能になります。

そういった処理の基礎になるのが、ポテンシャル場の理論です。磁気的地下構造が複雑であっても、そのつくる場 \mathbf{H}_a は、(9)式の体積積分やその重ね合わせによるポテンシャル U を用いて、 $\mathbf{H}_a = -\nabla U$ で表現されます。この式はベクトルを意味しており、そのdivergence(発散)の微分操作($\nabla \cdot$)を行うと、ラプラス演算子 $\Delta \equiv \nabla^2 \equiv \nabla \cdot \nabla$ を用いて、

$$\text{div } \mathbf{H}_a = \nabla \cdot \mathbf{H}_a = -(\nabla \cdot \nabla) U = \Delta U \quad (14)$$

と表わせます。

ここで、 ΔU について考えると、ソースが点磁荷($U = U_c$)の場合も点磁気ダイポール($U = U_d$)の場合も、(4)、(5)式を代入して計算すればわかるように、 $r=0$ のソース位置を除いて $\Delta U = 0$ が成り立っています。このことを「 U がラプラス方程式を満たす」と言います。ラプラス方程式を満たす物理量はその性質がよく調べられていて、その成果が適用できるからです。

ソースが点でなく体積分布する場合には、その体積積分は

ベクトル \mathbf{r} の始点(根もと)に関する積分なのに対して、 ∇ に代表される空間微分は \mathbf{r} の終点(先端)に関する微分であることを考慮すると、ソースが存在しないすべての領域について $\Delta U = 0$ が成り立ちます。(これは、Maxwell方程式の $\text{div } \mathbf{B} = 0$ と同じ意味になります。)

また、 \mathbf{H}_a は $-\nabla U$ で与えられているため、そのrotation(回転)の微分操作($\nabla \times$)は恒等的に $\mathbf{0}$ ($\text{rot grad} \equiv \mathbf{0}$) であり、結局、 $\text{div } \mathbf{H}_a = 0$, $\text{rot } \mathbf{H}_a = \mathbf{0}$ となるため、

$$\Delta \mathbf{H}_a = \text{grad div } \mathbf{H}_a - \text{rot rot } \mathbf{H}_a = \mathbf{0}, \quad (15)$$

つまり \mathbf{H}_a の各方向成分もラプラス方程式を満たしています。

では全磁力測定の磁場強度はどうでしょうか? 磁場3成分を H_x, H_y, H_z とすると、点磁荷モデルで計算してみると全磁力 $F = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}$ のラプラシアン ΔF は0値をとることはなく、全磁力値そのものがラプラス方程式を満たさないことは明らかです。しかし、前節に示したように、大局的に一定ベクトルとみなせる優勢な地球磁場の上に、相対的に弱い異常磁場が重畳しているとみなし得る場合には、近似的に全磁力異常は磁気異常ベクトル \mathbf{H}_a の地球磁場方向成分 $\mathbf{e} \cdot \mathbf{H}_a$ に等しくなり、ラプラス方程式を満たします。この近似は、5万nT前後の地磁気のなかに振幅2000nT程度以下の磁気異常が存在する条件では、非常に精度の高い近似であり、多くの解析理論がこの近似を基に組み立てられています。これは、重力異常の解析理論でその鉛直成分だけを考慮してスカラーで議論するのと本質的に同じものです。

以上のように、磁気異常ベクトルのある方向成分はラプラス方程式を満たし、調和関数理論が適用できます。例えば、その空間分布の一般形は、デカルト座標系では $\exp(\alpha x + \beta y + \gamma z)$ [$\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2 = 0$]の一次結合で表わされます。今、 z 軸を鉛直下方にとり、 $z > 0$ にのみソースが存在する場合を考えると、空中 $z \leq 0$ において、 x, y 方向の波数 m, n を用いて (i を虚数単位 $\sqrt{-1}$ とする)

$$f(x, y, z) = \int \int c(m, n) \exp(imx + iny + z\sqrt{m^2 + n^2}) \times dmdn \quad (16)$$

と記述できます。

2.5 周波数領域と2次元フィルタ操作

2次元分布 $f(x, y)$ に対するフィルタ操作は、重み関数 $w(x, y)$ を用いてコンボリューション積分

$$q(x, y) = \int \int w(\xi, \eta) f(x - \xi, y - \eta) d\xi d\eta \quad (17)$$

で表わされます。ここで、 f の2重フーリエ変換を

$$F(m, n) = \frac{1}{2\pi} \int \int f(x, y) \exp(-imx - iny) dx dy \quad (18)$$

と定義すると、その逆変換は

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int \int F(m, n) \exp(imx + iny) dmdn \quad (19)$$

であり、 q, w の2重フーリエ変換を Q, W とすると、

$$Q(m, n) = W(m, n) F(m, n) \quad (20)$$

が導かれます。つまり、コンボリューションは周波数領域 (裏領域) でのかけ算で表現され、 W がその周波数特性を示します。従って、周波数特性がより明確なフィルタの操作には、この裏領域での処理が行われます。

ここで、(16) 式で $z = 0$ の場合を考えると、この式はフーリエ逆変換の式と見ることができ、 $c(m, n)$ は $f(x, y, 0)$ のフーリエ変換相当の

$$c(m, n) = \frac{1}{4\pi^2} \int \int f(x, y, 0) \exp(-imx - iny) dx dy \quad (21)$$

であることがわかります。

(16) 式は、空間座標についての微分積分に対して単純な形をしており、例えば、 z での2階偏微分 (鉛直2次微分) f_{zz} は、右辺の積分の内側に $(m^2 + n^2)$ をかけること

$$f_{zz}(x, y, 0) = \int \int (m^2 + n^2) c(m, n) \exp(imx + iny) \times dmdn \quad (22)$$

で求められます。また、(16) 式の z を $z-h$ に置き直したものは、 h だけ高い位置での磁気異常分布 (上方接続) を意味し、

右辺積分の内側に $\exp(-h\sqrt{m^2 + n^2})$ をかける

$$f(x, y, -h) = \int \int \exp(-h\sqrt{m^2 + n^2}) c(m, n) \times \exp(imx + iny) dmdn \quad (23)$$

ことによって計算できることがわかります。

このようなフーリエ分析による解析は、フーリエ係数を効率よく計算するFFTの技術が開発されて、とくに発展しましたが、磁場計測が一定高度の平面で行われていることが必要です。固定翼航空機を用いた広域空中磁気探査データの解析には、とくに威力を発揮したようですが、近年多くなった高分解能探査では、山岳地域の地形に沿った飛行を行うために、平面での計測の条件が満たせません。その場合には元のラプラス方程式に立ち返って解析法を再構築することになります。

ここでは導出法は省略しますが、例えば上方接続の計算は、曲面 $\zeta = \zeta(\xi, \eta)$ 上での $f(\xi, \eta)$ の分布から、

$$u(x, y, z, \xi, \eta) = \frac{-(z - \zeta)}{2\pi[(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + (z - \zeta)^2]^{3/2}} \quad (24)$$

$$f_{\text{up}}(x, y, z) = \int \int u(x, y, z, \xi, \eta) f(\xi, \eta) d\xi d\eta \quad (25)$$

のコンボリューション積分形式で求めることができます。

2次元フィルタは、目的にあわせて種々のものが考えられ、めざす周波数特性に合わせて設定することも可能ですが、物理的な意味が明確なフィルタが好まれるようです。以前からよく使われているものとして、鉛直2次微分・上方接続・極磁力変換があげられます。

鉛直2次微分については、重力異常の場合にはその0値の線が、水平方向に密度コントラストのある所つまり異常岩体の形状を示すことを利用する目的がありました。全磁力異常の場合にはあてはまらず、ほぼ短波長成分を抽出する意味に用いられます。

上方接続は、鉛直2次微分とは対照的に長波長成分を抽出する目的で、ソース深度が深くなった場合の異常パターンへの変換として用いられます。また、近年の山岳地域の地形に沿った調査において、実飛行高度が滑らかな曲面を構成しない場合に、細かな高度の凹凸の影響を除去する目的で (24)、(25) 式に基づいたフィルタ処理が用いられます。

また、ソースの浅深によって周波数特性が異なる点を利用した解析としては、計算されたフーリエ係数に対して、特徴的な境界の位置を定めて2分割し、そのそれぞれから深部構造と浅部構造それぞれの磁気異常を分離して求めることがしばしば行われます。

極磁力変換は、中低緯度域での全磁力異常等が単一ソースでも双極型 (図6a) のパターンを示し、データの解釈の上でソースとの対応づけが容易でないため、それを単極型 (図6c) に変換する操作です。変換には地磁気と磁化の方向を与える必要があり、磁化方向に妥当な範囲の仮定を持ち込んで解析を進めることとなります。

(つづく)

編集者注：物理探査ニュースNo.15の表紙図を図3とみなして、本号では図番号を図4からとしております。



オーストラリアクーパー盆地の高温岩体地熱地点における物理探査(1)

—電磁探査・AE観測編—

鈴木 浩一・海江田 秀志・青柳 恭平(電力中央研究所)、城森 明(ネオサイエンス)

オーストラリアでは、地球温暖化問題に対処し電源の多様化を図るため、太陽、風力、地熱などの再生可能な自然エネルギーの利用拡大を図っており、その方策の一つとして現地法人のGeodynamics社は、地熱を利用する新しい発電方式である高温岩体発電(Hot Dry Rock:以下、HDR)の開発を目指しています。最も有望な地点として南オーストラリア州のクーパー盆地(Cooper Basin)を選定し、2002年より同地点でのHDR開発プロジェクトに着手しています。筆者等の所属する電力中央研究所は、Geodynamics社、オーストラリア国立科学産業研究機構CSIROとの間で2002年度より共同研究を実施しました。本調査はその一環として、HDR実験場周辺の深度5kmまでの地下構造を把握する目的で、2003年3月にCSAMT法とTDEM法を併用した電磁探査とAE観測網の設置、2010年7月に2回目のTDEM法の測定を行いました。

本報では、Cooper Basinの概要、2002年度に行った電磁探査法の測定状況、AE観測網の設置状況、そして得られた知見について紹介します。

1時間半の距離(約100km)にあります。



写真1 深度5000m級の掘削リグ (Habenero#1)



図-1 Cooper basinとHDR調査地点

Cooper basinは、オーストラリア沿岸部にある大都市より1000km以上離れた内陸の大鑽井盆地の砂漠地帯に位置します(図1)。実験場はこのCooper basinの中に位置し、南オーストラリア州南岸部にある都市Adelaideから、飛行機(Santos社専用機)により約1時間半で同社石油精製基地の町であるMoombaまで行き、さらに車で

Cooper Basinは古生代二畳紀～中生代三畳紀にかけて形成された堆積盆地で、天然ガスの鉱区でもあり数千本の井戸が掘削されています。地震探査反射法や重力探査なども行われており、花崗岩が周辺より盛り上がっている区域(深度3500～4000m)が相対的に高温部になっていると推定されています。

本地点にHDR発電用の注入井として最初に掘削された孔井Habenero#1(写真1)の深度は4421m、孔底部の温度は約250℃です。Habeneroとは非常に辛いホットチリペッパーとして知られており、高温岩体(Hot Dry Rock)のhotをかけて命名したとのこと。地表面には直径10cm程度の礫があたり一面に転がっており、無味乾燥とした大地が果てしなく広がっています(写真2)。近くの河川近傍は草木が生い茂っておりオアシス的な光景が見られます(写真3)。周辺には南北方向に伸びる高さ数10mほどの砂で構成される丘陵がほぼ平行に走る地形(Sand ridge)が広がっています(表紙写真左上)。



写真2 地表面(無数の礫で覆われている)



写真3 宿泊地近傍の河川(Cooper creek)

Habanero#1井を中心とした調査を行うため、ここからNW方向に約6kmの地点に電線をNE-SW方向に長さ4km敷設し、CSAMT法およびTDEM法共通の送信源としました。その両端部に長さ1mの電極をそれぞれ50本ほど設置し塩水を散布しました。しかし、地表面はかなり乾燥しているため、接地抵抗は30Ω程度までしか下げられませんでした。送信用電源として現地で調達した発電機(400V, 3相)は、車輪付きなので容易に車で牽引できます。測点は、孔井Habanero#1を中心にNS方向(B測線)およびNW-SE方向(A測線)の計10点(A1~A4、B1~B5、C1)を配置しました(図2)。

CSAMT法では2.5Hz~5120Hz間の12周波数を送信し(電流値で2A~10A)、電場1成分および磁場1成分の測定を行いました。磁力計は長さ約1mの円筒形のインダクションコイルを使用しました(表紙写真左下)。

TDEM法では64秒周期の交替直流(送信・休止時間とも16秒、25A)を送信し、各測点では磁場応答波形を

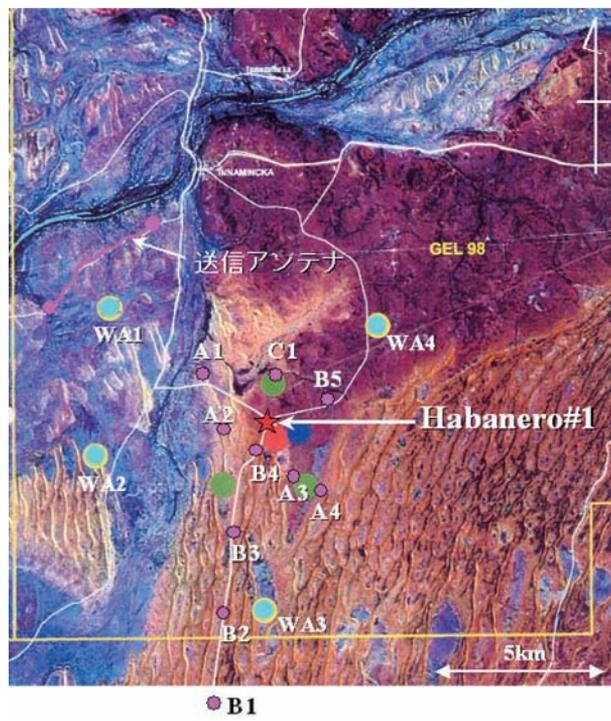


図2 測点配置図

100個以上測定しました。使用したフラックスゲート磁力計は、観測点ごとにバイアス成分となる地球磁場をゼロに調整し、直交3成分の磁場信号を計測する仕様となっています。1測点あたりの観測時間は約90分間を要しますが、調査は3月(現地では夏季)のため、日中の気温は連日50℃を超えました。そのため、地表面に置いただけでは直射日光により温度に起因するドリフト現象が顕著に現れ、計測途中でレンジオーバーとなってしまいました。そのため、地面を掘り磁力計を埋めて、直射日光を避けて計測を行いました(写真4)。



写真4 フラックスゲート磁力計(地中に埋める)

現地は蠅が非常に多く、車外に出た瞬間数10匹以上の蠅が顔中に群がるため、観測時は顔専用の網を被るか(表紙写真左下)、蚊帳を張るなどして作業をせざるをえませんでした(写真5)。



写真5 TDEM法受信状況(蚊帳の中で作業)

図3にTDEM法により測定した電流遮断後の磁場過渡応答を示します(伊藤・鈴木、2005)。送信源より最も近い測点A1(送信源より4km)では問題なく過渡応答が計測されています。最も離れた測点B1(送信源より13km)での1次磁場強度は、測点A1の1/7程度となり、高周波数のノイズが混入していますが、解析可能な過渡応答が測定できました。図4にCSAMT法による見掛け比抵抗と位相差を示します。測点B1でも高周波ノイズは含まれているものの解析は可能なデータが測定できました。図5はB測線でのCSAMT法およびTDEM法測定データによる1次元のジョイント逆解析結果です。

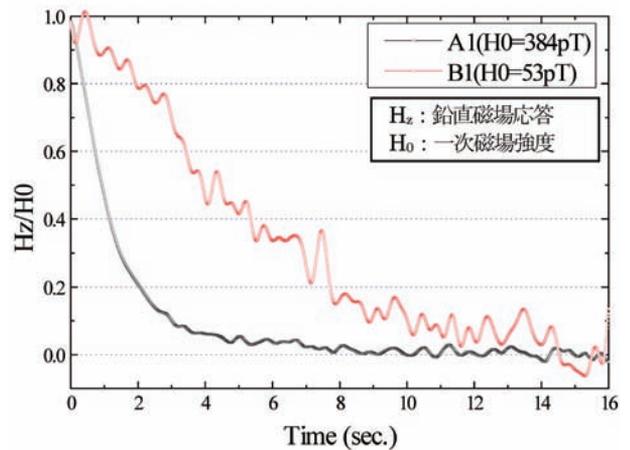


図3 TDEM法により観測した磁場応答波形

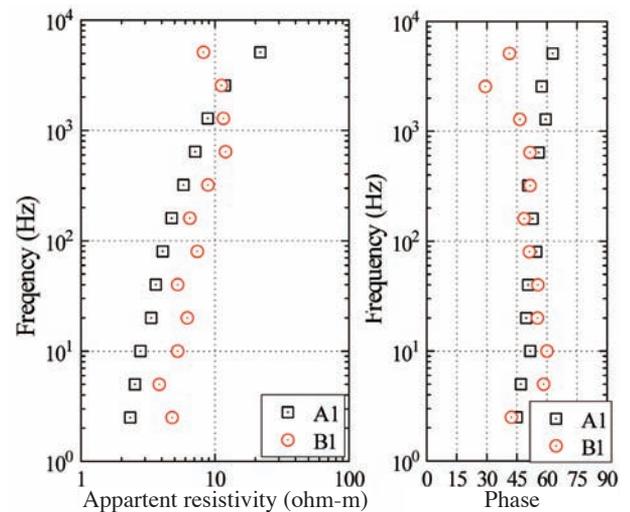


図4 CSAMT法により得られた見掛け比抵抗分布

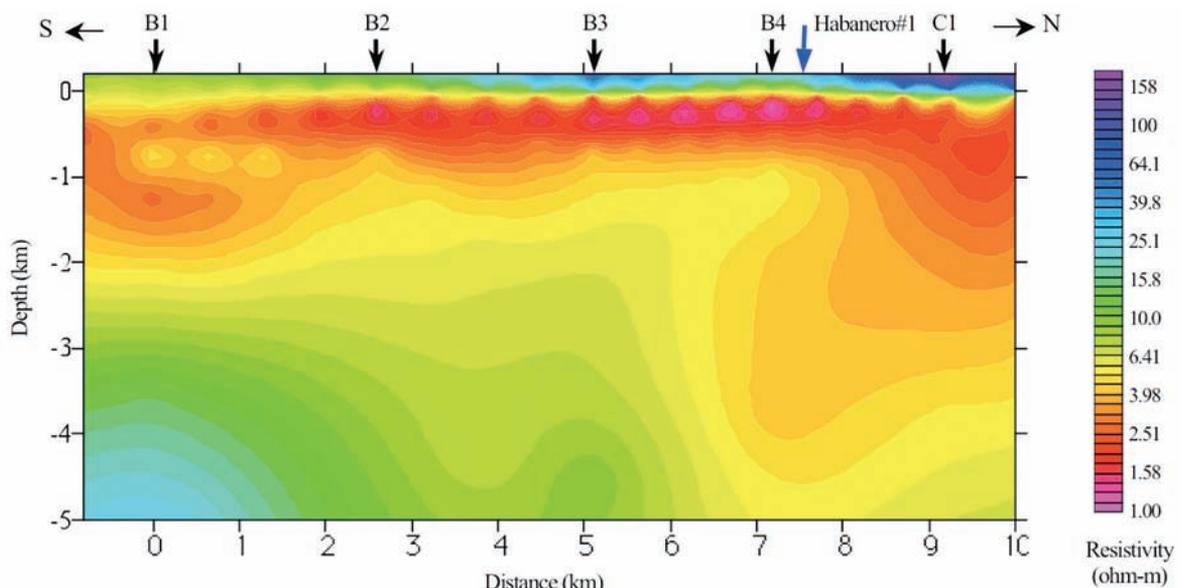


図5 CSAMT法およびTDEM法によるジョイント解析結果

浅層部を除き全般的に比抵抗は1.0~30Ωmと極めて低い値を示します。地表面より深度数10mまでの10~100Ωmの高比抵抗層は、地下水面上部の不飽和層をとらえたかと推測されます。

その下部数100mまでの1.0~2.0Ωmの低比抵抗層は、第三紀の湖成層(Lake Eyre Basin sand)およびシルト岩(Winton Formation)をとらえたものと推定されます。中生代および古生代の堆積岩および花崗岩が分布する深度1~5kmの比抵抗は、4.0~30Ωmの範囲を示しています。本地域の地下水塩分は海水と同程度の化石海水で飽和されていると推測されます。1.0~2.0Ωmの比抵抗層は第三紀の堆積岩、2.0~10Ωmの比抵抗層は白亜紀から二畳紀の堆積岩、その下部の10~30Ωmの比抵抗層は花崗岩に対応するものと考えられます。

本結果は、今後のHDR循環実験時に注入水の進展方向を比抵抗探査でモニタリングする機会があれば、循環水注入前の初期値として有用になるものと考えられます。今回、CSAMT法およびTDEM法により送信源より13kmも離れた地点において解析可能なデータが得られたことは、日本国内ではほとんど例がなく、非常に貴重な経験になりました。



写真6 AEセンサー設置作業状況

一方、AE観測では、注水によって岩盤を破壊して造成される貯留層の広がり进行评估するため、Habanero#1から約5km離れた4地点(図2のWA1~4)に深さ100mの坑井を掘削し、その坑底に3成分のAEセンサーを設置しました(写真6)。

さらに、AEセンサーからの信号をHabanero#1に隣接した計測小屋に集約して観測するため、信号ケーブルを計測小屋まで接続しました。砂漠なので平面的にはほぼ直線的にケーブルを接続していくのですが、地形的には起伏に富んでおり、道なき道を合計20kmも展開するのは想像以上に大変でした。この作業には、トラックの荷台に乗ってケーブルを下ろす人、トラックの後ろを歩きながらケーブルを接続していく人、そして運転手、それぞれの息を合わせる事が重要です。しかし、運転手は現地で雇ったヤングガイ、砂丘を乗り越える際に調子に乗ってジャンプしたりして、荷台から振り落とされそうになった筆者と本気で喧嘩もしました(写真7)。



写真7 AE信号ケーブル敷設作業状況

そんな苦勞の甲斐あって、計測小屋では水圧破碎に伴うAEの波形がきれいに捉えられ、AEの震源分布から、深さ4500m付近にほぼ水平な貯留層が約3500mの広がりをもって形成されたことが推定されました(海江田・青柳、2005)。その後、この評価結果を受けて、貯留層に向けて生産井が掘削され、勢いよく噴出する蒸気も確認できました。1000KW級の発電プラントも完成したようです(表紙写真左中)。現在のところ、まだ予定どおりに発電するという段階には至っていませんが、新たな再生可能エネルギー抽出の可能性を五感で受け止めた貴重な体験となりました。

次号では、Habanero地点より西へ約10km離れた新規地熱開発地点(表紙写真右)で行った電磁探査について紹介します(続く)。

理由と結論



Terra Australis Geophysica Pty Ltd
須藤公也

学校に出がけの子供にお母さんが叫ぶ。「今日は午後から雨が降るかもしれないし、お母さんは迎えに行けないから、傘を持って行ったらいいよ」。これを、どう訳すだろう。

”As it may rain this afternoon and as I cannot come to meet you, take your umbrella !”

これだと、理由を並べているうちに子供は家を飛び出して行ってしまって、傘はおきざりになってしまう。

”Take your umbrella. It may rain this afternoon and I cannot come to meet you.”

と言うと、子供はまず傘に手を伸ばす。あとは聞いても聞かなくてもいい。日本語だって、「傘を持って行きなさい。午後から雨が降るかもしれないし、お母さんは迎えにいけないから。」と言った方が効果的かと思うが、なぜか日本語では理由を先に言う言い方が好まれる。もっとひどくなると、その理由にまた理由がいくつもつく。「今日は午後から雨が降るかもしれないし、お母さんは午後は美容院に行って、それから山田さんが階段から落ちて寝ているというからお見舞いに伺って、帰りに表通りのマーケットで晩のおかずの買い物してくるので、迎えに行けないから、傘を持って行ったらいいよ」。こうなると、寿限無寿限無で、結論

が出るころには手遅れになってしまう。

落語なら笑ってすごせるが、次の例では笑えない：「現在での地下構造解析技術はアレイ直下一定範囲内における地下構造を水平多層構造(一次元)と仮定して解析するので、落差の大きい断層を横断するアレイ設置や、横方向変化が激しい地質構成の場合、アレイ直下の速度構造は水平多層構造として近似しきれないため、探査精度が著しく低下することがある。」(「手引き・新版」113ページ)。物探の論文でも「手引き」でもこの手の言い方が頻出するし、日本語ではそれがまったく不自然でない。

この文では「現在での地下構造解析技術はアレイ直下一定範囲内における地下構造を水平多層構造と仮定して解析する」というところまででひとつの事実を述べている。ところが、すぐあとに「…ので」と来て、述べられた事実が理由となって、次の文を引き出す。何の理由になっているのかというと、原文最後の「探査精度が著しく低下することがある」ことの理由だ、その間に書いてあることで、その条件やそこから生じる難点を述べ、それらがまた理由を補足するさらなる理由として機能している。早い話が、結論を引き出すために理由を先に述べ、その理由にはさらに理由があって、それが先にきているのである。

長い文はそれだけでも翻訳に苦勞するのだが、前のほうから訳してみよう。

訳例・As the present geophysical analysis technique assumes a horizontal multi-layer (1-dimensional) structure within a certain range directly under the array in its analysis, when there is a fault with a large throw across the array or a structure with an intensive lateral geological variation, the velocity structure directly under the array cannot be sufficiently approximated by a horizontal multi-layer structure, and the accuracy of the result is severely reduced.

こうして頭から訳した文では、読みながら「だからどうなのだ、それでどうした」と苛立ってしまう。

こういう文を訳すときは、まず論点を整理し、英語的発想に並べなおすのがいい。上の例なら、「現在での地下構造解析技術では探査精度が著しく低下することがある。どんな場合か」というと、落差の大きい断層を横断するアレイ設置や、横方向変化が激しい地質構成の場合だ。なぜなら、アレイ直下の速度構造は水平多層構造として近似しきれないためだ。というのは、現

在での地下構造解析技術はアレイ直下一定範囲内における地下構造を水平多層構造(一次元)と仮定して解析するからだ。」としてみる。

ここで、「どんな場合か」というのは「どんな時か」ということと言ってもよく、訳すときには関係副詞のwhenやwhereで後ろからかける典型的な使い方である。これも付け足しだから英語では後ろに置く。

改訂案1・ The accuracy of the geophysical analysis is severely reduced, when there is a fault with a large throw across the array or a structure with an intensive lateral geological variation, as the present geophysical analysis technique assumes a horizontal multi-layer (1-dimensional) structure within a certain range immediately under the array in its analysis, where the velocity structure directly under the array cannot be sufficiently approximated by a horizontal multi-layer structure.

文の構造を反転しただけでかなり通りがよくなる。しかし、それでも文が長くて息が続かない。

さて、原文をもう一度見ると冒頭では「…解析技術は…して解析する」という主述関係、「アレイ直下…水平多層構造」の繰り返しがあつた。改訂案1では、その通り訳してあるが、こうした繰り返しは本当に言う必要があるか、代名詞で置き換えられないか、を検討しておきたい。そこで、

改訂案2・ The accuracy of the geophysical analysis is severely reduced where there is a fault with a

large throw across the array or a structure with an intensive lateral geological variation. This is because the present technique assumes a (1-dimensional) horizontal multi-layer velocity model within a certain range directly under the array, and the geological condition violates this assumption.

私はこのような結論を先に出す書き方を勧めるが、それでは論理の筋道が見えないというなら、事実を述べた部分を独立にして先に出してもいい。

改訂案3・ The present geophysical analysis assumes a (1-dimensional) horizontal multi-layer velocity model within a certain range directly under the array. Where the geological condition violates this assumption, the accuracy of the analysis is severely reduced. This may occur where there is a fault with a large throw across the array or a structure with an intensive lateral geological variation.

この第2文では、Whereに導かれる従属節を主節の前に出した。これはこの節のassumptionがすぐ前の文のassumeからあまり遠く離れないようにとの配慮である。

初回に断わったとおり、こういういじくり回しをまねて学校の宿題の手伝いをしてはいけません。「全部ちゃんと訳していないじゃないか」と減点されます。そう言われても「でも、これはこういう意味です」としか反論できない。



60年の歴史が1枚のDVDに!

物理探査 1948-2008 DVD版

物理探査学会誌「物理探査」を1948年度(vol.1)から2007年度(vol.60)までDVD1枚に収録

定価 12,600円(税込み)

お申し込みは、学会事務局 03-6804-7500まで



「地球をこわさずに調べる」

秋田大学大学院工学資源学研究科 応用地球物理学研究室

研究室の構成

私達の応用地球物理学研究室は通称、物探(物理探査)研究室と呼ばれています。キャッチフレーズは「地球をこわさずに調べる」です。これは実際にものを手にとって調べる地質学との対比をよくいいあらわしています。

当研究室は工学資源学部の中の地球資源学科・応用地球科学コースの一部として教育研究を行っています。当研究室の所属する工学資源学部は、1910年創設の「秋田鉱山専門学校」が戦後、秋田大学に統合されて現在に至っています。しばらくの間秋田大学は、「鉱山学部」がある大学として知られていましたが、2002年の改組と2010年の部局化を経て現在の名前に変わりました。

現在の物探研究室のスタッフは教授・西谷忠師、准教授・筒井智樹、助教・坂中伸也の3人で、電磁気学系と地震学系の分野をカバーしています。

2012年度の研究室所属の学生は、4年生5人、大学院前期課程(修士)5人、大学院後期課程(博士)1人(留学生)の計11人です。研究テーマもさまざまで、P波やS波を用いた地震探査、電気探査、電磁探査、磁気探査、古地磁気学などに取り組んでいます。

教育内容

研究室の教育方針は、物理探査系のコンサルタントなどに就職しても現場でできばきと動ける人材を送り出すことです。そのために学生たち自身が実際に野外のフィールドに出て、自分自身のデータを集めることを基本としています。自分の研究に関するフィールド調査の計画、作業人員や機材・道具の準備、さらに必要ならば観測場所の土地交渉も可能である限り自ら行うというのが物探研究室の「おきて」となっています。さらに学生たちはそれぞれの研究課題の必要に応じて計算プログラムコード作成や電気・電子回路工作なども行います。

また研究室所属の4年生の学生には、3年生を対象とする実習「応用地球物理学実験I」の中で探査手順や探査機材の説明をしてもらっています。実習授業のうちの3回は、秋田大学の手形キャンパスから北北東に2kmほどのところにある手形山に行き、それぞれ電気探査、地震探査、磁気探査を行います。



手形山での電気探査実習

電気探査実習では、ウェンナー法による垂直探査、水平探査を行っています。学生たちは垂直探査について基本に沿って標準曲線を用いた解析をします。

地震探査実習ではかけやを震源とした屈折法探査を行います。野外実習後に学生自身が初動を読み取り、はざとり法などを用いて地震波速度構造を解析します。磁気探査はオーバーハウザープロトン磁力計を用いて、探査測線上もしくは設定された格子点上でデータを取ります。連続参照点のデータを用いて地磁気変化の補正をした後、コンターを書いて地下構造を推定します。

このような実習で実際に下級生に教えることを通して、研究室の学生たちはさまざまな物理探査に対する理解を深めています。



手形山での磁気探査実習

最近の卒論・修論のテーマ

- ・ 地下構造解明のための三次元電気探査法の検討
- ・ 高入カインピーダンス探鉱器に現れる高周波ノイズの特性とその対策の研究
- ・ 地下に分布した貫入岩の磁気探査による推定
- ・ 磁気探査による地下構造モデルの解析法と黒鉱地域への適用
- ・ 秋田県秋田市手形山公園における3次元地震反射構造
- ・ 秋田県北東部花岡鉱山での黒鉱鉱床上の電磁探査

研究内容

近年では一つのフィールドに対する多項目探査を実施するスタイルが多くなっています。今年の主要なフィールドは秋田市に隣接する由利本荘市内の地すべり地と、小京都で知られる仙北市角館の白岩地区です。由利本荘市の地すべり地では古地磁気調査、VLF-MT探査、VLF-EM探査、電気探査、地震探査を実施し、地すべりブロックの運動履歴の推定や運動ブロック区分、地下水高分布、さらには地すべりブロックの弾性的性質分布などの解明に取り組んでいます。



由利本荘市地すべり地でのS波探査

仙北市角館の白岩地区では窯業遺跡の探査に取り組んでいます。白岩地区は秋田でもっとも古く、18世紀に窯業が始まり、美しい釉薬の焼き物が生産されていました。しかし、その後1896年の陸羽地震(M7.2)によって被災し窯業が廃れてしまいました。この白岩地区で最初期の18世紀の窯などの場所を特定することを目的に4年前から磁気探査、電気探査、VLF-MT探査を実施していました。現在4箇所の窯跡の探査を完了し、最近で

は開発によって破壊された窯跡の調査にひきつづき取り組んでいます。

また、浅部構造ばかりでなく、地殻構造や火山内部構造などのもっとスケールの大きな構造の解明にも取り組んでいます。秋田県内陸部では1896年陸羽地震(M7.2)、1914年仙北地震(M7.1)と2回の大地震の余震活動がありましたが、2011年の太平洋沖地震以降は局地的な有感地震が絶え間なく発生しています。当研究室ではMT法電磁気探査を用いた調査を面的に行い、秋田県内でも地殻内部に存在する低比抵抗体の周囲に地震発生が集中する傾向を明らかにしました。



桜島火山での観測

さらに活火山における構造研究にも取り組んでいます。1994年以降火山体構造探査が行われてきましたが、本研究室のメンバーがこの計画実施の一翼を担い、活火山の内部構造に対する研究を進めています。近年は活火山の構造の時間変化にも取り組み、毎年12月には在籍学生とともに観測に出かけています。

(文：坂中伸也・筒井智樹)



講演会・セミナー開催のお知らせ

ワンデーセミナー「海洋資源探査」開催のお知らせ (技術士継続教育(CPD)対応セミナー)

「ワンデーセミナー」を下記の要領にて開催致します。近年、世界的なエネルギー資源、鉱物資源確保の動きに合わせ、日本近海においても将来を見据えた様々な資源に関する探査・開発の動きが出てきています。海洋での鉱物資源などの探査については、これまで調査活動により数多くの知見が得られ、その分布状況の概要はわかってきました。これからは、将来の開発・生産方法の検討も合わせ、引き続きそれらの資源量把握のための取り組みが進められる予定です。今回のセミナーでは、これら海洋に分布する資源として、熱水鉱床、メタンハイドレート、石油・天然ガス、レアアースを取り挙げ、これまでの探査成果とともに、今後の探査・開発などに関し紹介致します。会員各位はもとより、広く物理探査法の基礎的内容、および最新知識に関心をお持ちの方のご参加をお待ちしております。また、ご参加される方には、継続教育(CPD)時間の認定証を発行します。

記

- 開催日：平成25(2013)年2月1日(金)
10:00～17:20(6.0 CPD時間予定)
- 会場：(独)海洋研究開発機構 東京事務所
- セミナー内容
テーマ：「海洋資源探査」
～これまでの、そしてこれからの海洋資源の探査～
講義および講師：
(1) 10:00～11:30(1時間30分) 講師：木川栄一
(独)海洋研究開発機構 海底資源研究プロジェクト
演題：「海底資源の探査:特に熱水鉱床についての新しい試み」

- 12:30～14:00(1時間30分) 講師：稲盛隆穂
(株)地球科学総合研究所
演題：「メタンハイドレート」
 - 14:10～15:40(1時間30分) 講師：大澤 理
(シュルンベルジェ株式会社)
演題：「石油ガス資源」
 - 15:50～17:20(1時間30分) 講師：加藤泰浩
(東京大学 エネルギー資源フロンティアセンター)
演題：「日本の排他的経済水域のレアアース泥鉱床の開発と資源戦略」
- (注：諸事情により、講師・表題・スケジュール等について若干変更の可能性があります)

4. 対象

物理探査法の理論や実務、関連知識を習得しようとする方は勿論ですが、物理探査法のご自分の分野への応用を考えておられる方、広く物理探査の世界に興味のある方、新入社員教育の一環としてご利用になりたい方、さらに物理探査技術の現状をお知りになりたい方々をも対象といたします。なお、本学会員でなくてもご参加になれます。

6. 受講料

【一般】：会員 8,000円、非会員 10,000円
【学生】：3,000円

7. 募集定員：60名(先着順)

8. 申込方法

下記の記載事項を参加申込専用アドレスへメールでお申込みください。もしくは、申込書に必要事項をご記入の上、FAX、または郵送にてお申し込み頂いても受け付けます。
〒101-0031 東京都千代田区東神田1-5-6 MK第5ビル
2F (社)物理探査学会
Tel：03-6804-7500 Fax：03-5829-8050

書籍案内

増補、全面改定版!好評発売中!

「新版 物理探査適用の手引き」 —物理探査マニュアル2008—

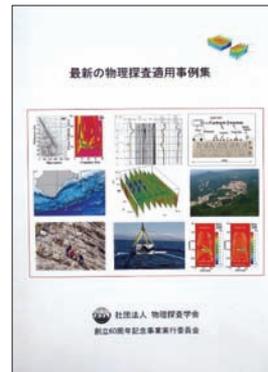


定価/7,350円(税込み)
総ページ数539頁(A4版)

土木地質調査で用いられる物理探査・物理検層32種目を網羅。土木物理探査の全てのノウハウがこの1冊に集約された。お申し込みは、学会事務局 03-6804-7500まで

好評
発売中!

「最新の物理探査適用事例集」



定価/5,320円(税込み)
総ページ数418頁(A4版)
平成20年10月21日発行

資源エネルギー、環境、地層処分、防災、維持管理、遺跡・文化財、農業および地球科学の8分野について、最新の物理探査適用事例を集めました。お申し込みは、学会事務局 03-6804-7500まで

賛助会員リスト

アジア航測(株)	三菱商事石油開発(株)	(株)ジオテック
三菱マテリアルテクノ(株)	ニタコンサルタント(株)	大日本コンサルタント(株)
応用地質(株)	三井金属資源開発(株)	JX日鉱日石金属(株)
鹿島建設(株)技術研究所	(株)興和	(有)アスクシステム
川崎地質(株)	ジオテクノス(株)	(社)全国地質調査業協会連合会
関東天然瓦斯開発(株)	ペトロサミット石油開発(株)	(株)日本メジャーサーヴェイ
基礎地盤コンサルタンツ(株)	(株)物理計測コンサルタント	東邦地水(株)
極東貿易(株)	(株)日本地下探査	(株)長内水源工業
(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構	中日本航空(株)	応用地震計測(株)
興亜開発(株)	(株)エイト日本技術開発	(株)四国総合研究所
国土防災技術(株)	地熱技術開発(株)	北陸電力(株)
サンコーコンサルタント(株)	大和探査技術(株)	(株)萩原ボーリング
住鉱資源開発(株)	(株)ジオシス	(財)地震予知総合研究振興会
住友金属鉱山(株)	中部電力(株)	太平洋セメント(株)
石油資源開発(株)	北海道電力(株)	(株)ジオファイブ
伊藤忠テクノソリューションズ(株)	(株)ジオ・コンサルタント	(株)テラ
総合地質調査(株)	九州電力(株)	(株)環境総合テクノス
(株)ダイヤコンサルタント	関西電力(株)	(有)地圏探査技術研究所
(株)竹中工務店技術研究所	中国電力(株)	(株)ジオフィール
中央開発(株)	(株)建設基礎コンサルタント	法面プロテクト(株)
地質計測(株)	(財)宇宙システム開発利用推進機構	(株)尾花組
国際石油開発帝石(株)	エスケイエンジニアリング(株)	洞海マリンシステムズ(株)
電源開発(株)	(株)ドリリング計測	海洋電子(株)
(一財)電力中央研究所	西日本技術開発(株)	協和設計(株)
DOWAメタルマイン(株)	(株)地球科学総合研究所	京都大学工学研社会基盤工学地質工学
JX日鉱日石探開(株)	(財)地域地盤環境研究所	国交省近畿地方整備局近畿技術事務所
日鉄鉱業(株)	第一実業(株)	(株)ジオプローブ
日鉄鉱コンサルタント(株)	シュルンベルジェ(株)	白山工業(株)
日本海上工事(株)	大阪ガス(株)	曙ブレーキ工業(株)
JX日鉱日石開発(株)	(株)日さく 東日本支社	日本地下可視化技術協会
日本物理探査(株)	(株)NTTデータCCS	日本信号(株)
復建調査設計(株)	モニー物探(株)	(株)地盤探査
三井金属鉱業(株)	(株)大林組技術研究所	サン地質(株)
三井石油開発(株)	北光ジオリサーチ(株)	日本工営(株)
(株)阪神コンサルタンツ	中央復建コンサルタンツ(株)	
ドリコ(株)	九州日商興業(株)	(2012年10月:会員番号順)

編集後記

ちねつ発電の歴史を辿りますと、1919年、時の海軍中将山内万寿治氏が石油、石炭の枯渇に備え代替熱源として地熱利用を進めるべく国内を踏査し、大分県で掘削に成功したことが始まりのようです。1925年には最初の地熱発電に成功したそうですから、歴史と実績のあるエネルギーと言えます。

ねぶた祭りで有名な青森県は、弘前市岩木山麓で地熱開発に向けた調査研究を開始したそうです。この他にも、福島県でも地熱開発の話が進んでいると聞きます。福島第一原発事故以降、再生可能エネルギーの必要性が見直されたことがきっかけだと思います。再生可能エネルギーと言

うと、風力や太陽光の方を良く耳にしますが、資源量やエネルギーとしての安定性で着目すれば、地熱発電こそ有用性の高いエネルギー源と言えるのではないのでしょうか。

つまり、何が言いたいかと言うと、「地熱は注目度が高いので、本号で特集してみました!みなさん、読んでください!」ということです。内容は、開発調査現場の臨場感溢れる現場レポートとなっています。今後3号にわたっての連載です。ぜひ、お楽しみいただきたいと思います。なお、文意を理解して下さった方は、ニュース委員会までご一報くださると、私個人が喜びます。

(ニュース委員会委員：吉川 猛)

ニュースの配布について.....

本ニュースの内容は物理探査学会のWeb siteでもご覧になれます。また、広く一般の方にも見て頂けるよう配布をご希望の方は下記学会事務局までご連絡下さい。無料でお届けいたします。

なお、配信をご希望なされない方は、ご面倒でも学会事務局へご連絡頂きたくお願いいたします。

ニュース原稿の投稿等について.....

本ニュースには会員のほか一般の方からも投稿や表紙の写真を受け付けます。「若手直撃インタビュー」の記事では自称若手の方のコメントを募集しています。「新技術紹介」「研究の最前線」「会員企業紹介」及び「会員の広場」についても記事を募集しています。記事の投稿または、物理探査学会および物理探査の技術に関するお問い合わせは、学会事務局に所属機関、住所、氏名など連絡先を記入の上、E-mailもしくは文書で連絡下さい。

著作権について.....

本ニュースの著作権は、原則として一般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。

アンケート調査について.....

ニュース発行の参考にさせて頂くために、下記Web siteにてアンケート調査を実施することにしました。この調査結果は毎年2回程度の頻度でニュース委員会が集計して、適宜物理探査ニュースで紹介します。ご協力をお願いいたします。

http://www.segj.org/committee/news/ques/news_ques.html