

物理探査 ニュース



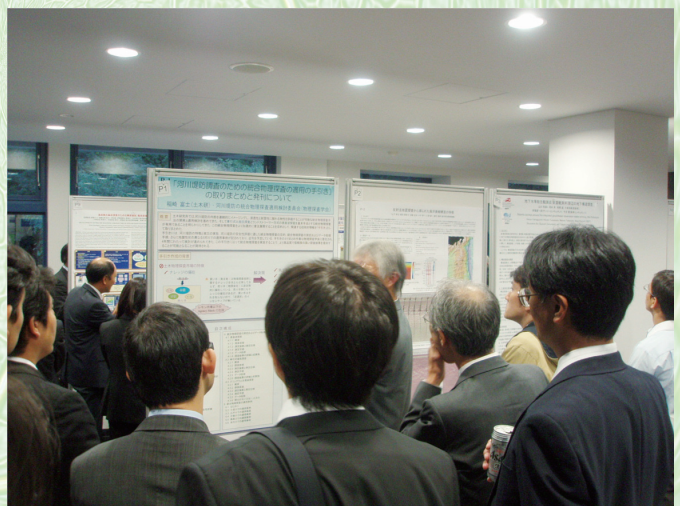
社団法人物理探査学会

The Society of Exploration Geophysicists of Japan

目次

From the other side	1
分かり易い物理探査 (インバージョン解析の基礎 その1)	3
学術講演会開催報告	7
20 th EMIW参加報告	9
温故知新	10
会員企業紹介(産業技術総合研究所)	13
お知らせ	14

Geophysical Exploration News January 2011 No.9



第123回(平成22年度秋季)学術講演会における見学会とポスターセッションの様子(本文7頁参照)

写真左上:イワカガミ平にて佐藤氏(左)と菅原氏(右)から見学会の概要説明。右上:荒砥沢にて、江坂氏から概要説明。左下:荒砥沢地すべり。右下:学術講演会のポスターセッションの様子

『使用済燃料貯蔵事業の地質調査における物理探査の活用』

リサイクル燃料貯蔵株式会社 技術部土木G 稲垣宏和

今号から新しく「From the other side」の記事の掲載をスタートしました。物理探査業務の発注やユーザーなどとしての立場からご意見やご要望を頂くことを目的としています。



リサイクル燃料貯蔵株式会社 技術部土木G
稲垣宏和

リサイクル燃料貯蔵(株)の概要

リサイクル燃料貯蔵(株)は、東京電力(株)と日本原子力発電(株)の原子力発電所から発生する使用済燃料(リサイクル燃料)を貯蔵する会社として、平成17年11月に青森県むつ市に設立されました。原子力発電所の敷地外におけるリサイクル燃料の貯蔵は、日本で初めての事業となります。

事業開始にあたっては、平成19年3月に使用済燃料貯蔵事業許可申請書を経済産業大臣に提出し、国による厳格な安全審査を受け、平成22年5月に事業の許可、平成22年8月に設計及び工事の方法の認可をいただき、現在、リサイクル燃料備蓄センターの工事を進めています。

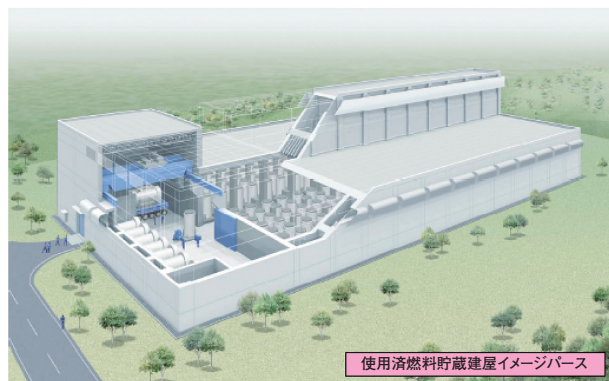


図1 使用済燃料貯蔵建屋

当社における物理探査の活用

事業許可申請にあたっては、施設の耐震安全性を評価するため、敷地周辺及び敷地内において地表地質調査及び物理探査を実施しました。

敷地周辺の陸域においては、地下深部の地質・地質構造や速度構造を把握するため、P波反射法地震探査、S波反射法地震探査、屈折法地震探査及び微動アレイ探査を実施しています。また、敷地周辺の海域においては、スパーカーによるシングルチャンネル方式及びウォーターガン等によるマルチチャンネル方式の海上音波探査を実施しています。

敷地内においては、使用済燃料を貯蔵する建屋(以下、貯蔵建屋)直下の地質・地質構造を把握するために、速度検層及び孔間反射法地震探査を実施しています。

従来、原子力発電所の原子炉建屋等の建設にあたって

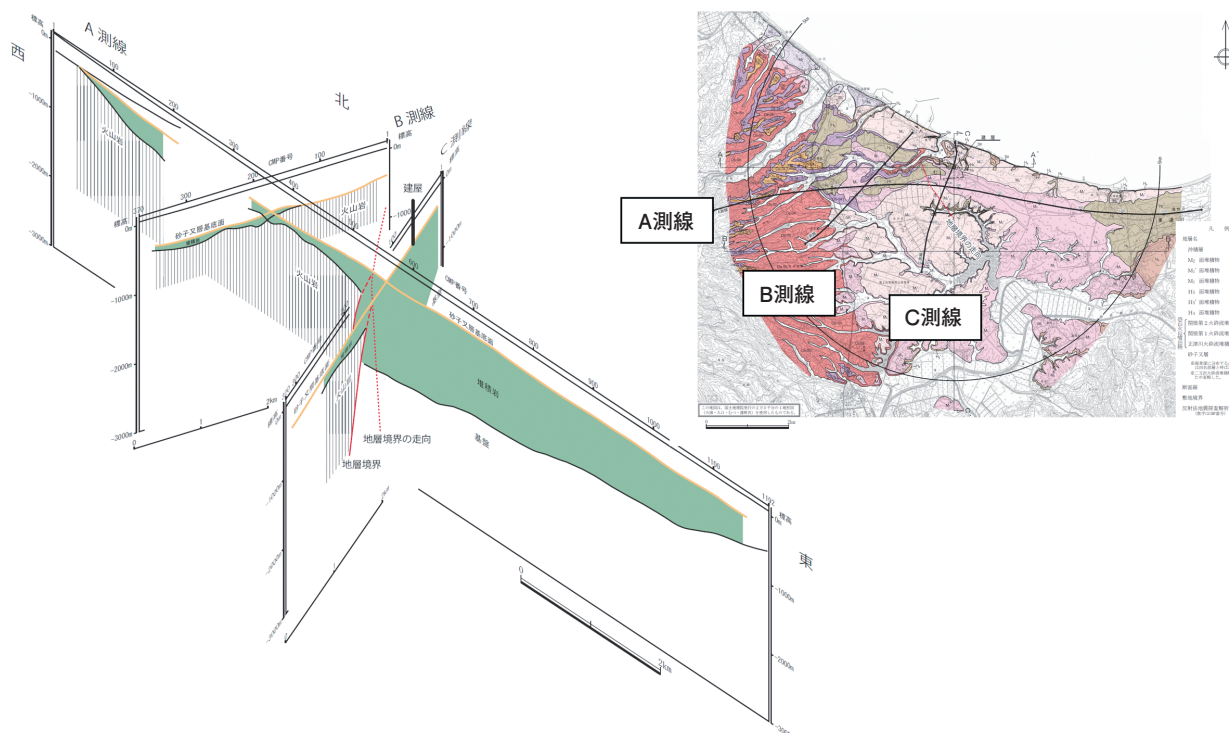


図2 敷地周辺における弾性波探査による地質・地質構造の解釈の一例

は、建屋直下に試掘坑を掘削し、基礎地盤を直接目視で確認していました。一方、当社の貯蔵建屋は、杭基礎構造を採用していることから、建屋直下及び周辺のボーリングによるコア観察、ポアホール観察及び孔間反射法地震探査を用いて、直下の地質・地質構造を評価しています。

その結果、建屋直下の地層が水平成層で不連続な構造及び異方性が認められないこと等を明らかにすることができました。

今後の物理探査への期待

原子力安全委員会が定める「発電用原子炉施設に関する耐

震設計審査指針」が平成18年9月に改訂されて以降、より詳細に地下深部の地質構造や速度構造を評価することが求められており、今後さらに、物理探査が重要な役割を担っていくと考えられます。

しかし、敷地周辺での物理探査においては、既存の施設や道路等の制約で実施場所が限定されることが少なくありません。

このような制約を軽減する新しい物理探査手法やデータの補間方法の技術開発が進み、合理的に耐震安全性の評価が実施できることを期待しております。

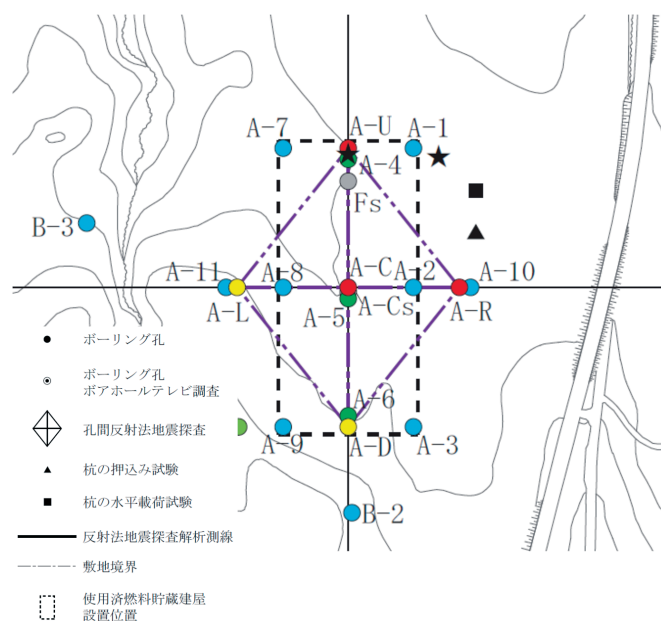


図3 孔間反射法地震探査位置図

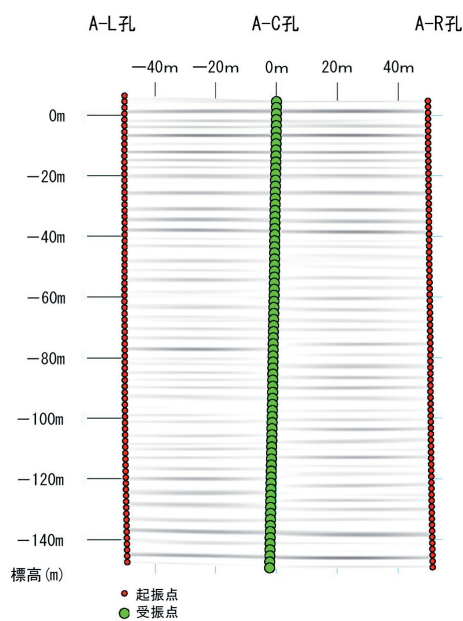


図4 孔間反射法地震探査結果

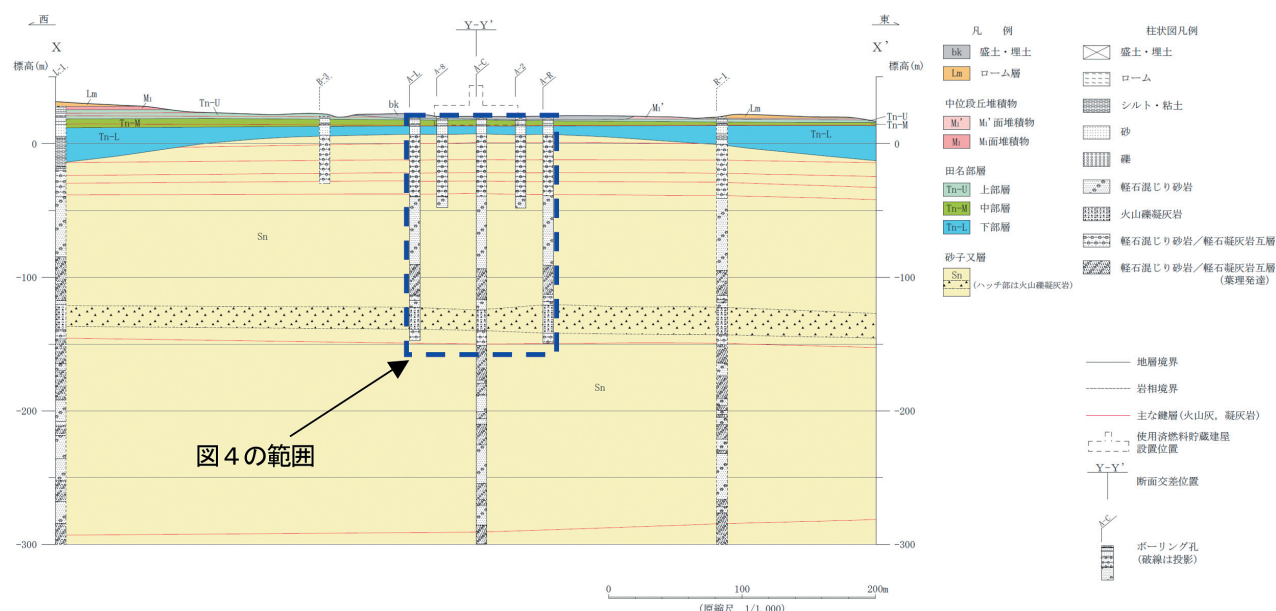


図4の範囲

図5 地質断面図(ボーリング調査及び孔間反射法地震探査結果による)

分かり易い物理探査 (インバージョン解析の基礎 その1)

物理探査ニュースでは、よく利用されている物理探査の手法について、会員はじめ一般の方にもご理解頂けるよう、分かり易く解説を行うコーナーを設けております。

今回からは、逆解析法について、この分野の第一人者である東京工業大学の斎藤正徳名誉教授に解説をお願いしました。4回の講座を予定し、はじめに逆解析の基礎について述べていただいた後に、弾性波探査を例にした解析手法の紹介をしていただく予定です。

インバージョン解析の基礎



東京工業大学名誉教授、物理探査学会名誉会員
斎藤 正徳

1965年 東京大学大学院博士課程終了(理学博士)、1983年 神戸大学理学部教授、1986年 東京工業大学理学部教授、1997年 横浜市立大学理学部教授、2003年~2009年 応用地質株式会社顧問
1996年度物理探査学会長、2008年物理探査学会名誉会員

物理探査にかかわる技術をおおまかに分類すれば、「観測(測定)」、「逆解析」、「解釈」とすることができるだろう。屈折波の観測、走時曲線から地下速度構造の推定、推定された地下構造から顧客のニーズに合った解釈、たとえば岩質の分類、などを与えるのがこの流れの一例である。ここではこの分類の二番目にあたる逆解析をとりあげる。

逆解析はこれまで試行錯誤的な方法で行われることが多かった。最近では数学的な技術を用いて逆解析を行うことが普通になり、これを特にインバージョン解析と呼ぶことが多い。今回から何回かにわけてインバージョンに用いられている手法を例題をまじえてわかりやすく解説するつもりである。しかし問題自体が複雑なので数式ばかり多くなって、うまくいかどうかはわからない。わかりやすくする手段のひとつとして、本稿では行列は用いずにベクトルだけを用いてはなしを進めることにする。

1. 線型最小二乗法

インバージョンで最も基礎となる手法は最小二乗法である。後でも述べるように、最小二乗法を用いないインバージョンもないわけではないが、ここでははじめに線型の最小二乗法について解説する。

1.1 月別平均気温の解析

物理探査とは直接関係しないが、月別平均気温の解析を例題に取り上げる。後でわかるように、これはフーリエ解析になっている。

Fig.1.1は東京における月別平均気温を示したものである(理科年表による)。横軸が月、黒丸が観測値である。平均気温は1年を周期として変化しているはずであるから、 j 月の平均気温 T_j は1年=12ヶ月を周期とする三角関数

$$c_{j,1} = \cos\left(\frac{2\pi j}{12}\right) \quad s_{j,1} = \sin\left(\frac{2\pi j}{12}\right) \quad (1.1)$$

を用いてつぎのように表すことができるであろう。

$$T_j = x_0 + x_1 c_{j,1} + x_2 s_{j,1} + r_j \quad (1.2)$$

$j = 1, 2, \dots, 12$

(1.2)式の x_0 は定数項、 x_1 、 x_2 は \cos 、 \sin の係数で、これらはいまのところ未知数である。また、 r_j は前3項では表すことができない残差項であり、これも未知数である。この式のように、観測値とそれを近似する式との間の関係式を観測方程式と呼ぶ。

(1.2)式では T_j は与えられているが、 x_0 、 x_1 、 x_2 、および r_j は未定である。式は12本しかないのに未知数が15個もあるのでこの式は解けるはずがない。仮に残差 r_j がすべて0であると仮定すれば、今度は3個の未知数に対して式が12本もあるので、やはり解くことができない。

そこで各式の残差ができるだけ小さくなるようにという意味で、残差の二乗和

$$S(x_0, x_1, x_2) = \sum_{j=1}^{12} r_j^2 \quad (1.3)$$

が最小になるという条件で未知数を求めようというのが最小二乗法である。観測方程式(1.2)が未知パラメーター x_0 、

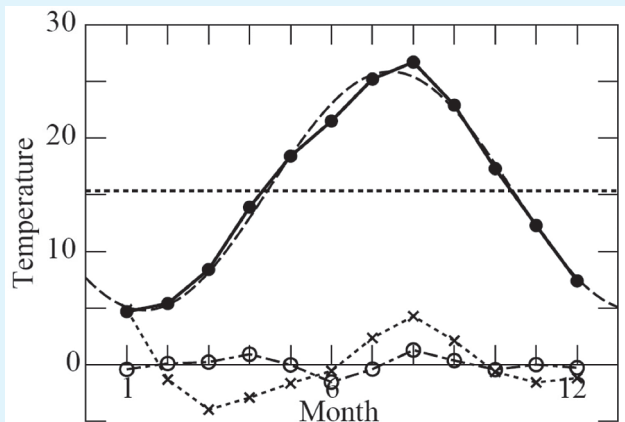


Fig.1.1 東京における月別平均気温
横軸は月、縦軸は温度(°C)。黒丸は観測値。点線は平均値、破線は一年周期の解、白丸は一年周期と観測値との差。×印は多項式近似の場合の残差を表す。

\mathbf{x}_1 、 \mathbf{x}_2 の一次式であるから、正確に言えば線型最小二乗法である。

後で見ると、線型か線型でないかは問題を解くにあたっては大きな違いが出てくる。残差の二乗和が最小という条件を用いるとすぐ後に示すように3個の未知数 \mathbf{x}_0 、 \mathbf{x}_1 、 \mathbf{x}_2 を決めることができ、これらを用いて(1.2)式から各月の残差 r_j が計算できることになる。

残差の二乗和 S は上式にも書いてあるとおり \mathbf{x}_0 、 \mathbf{x}_1 、 \mathbf{x}_2 の関数である。解析学で習ったように、多変数関数の極値(極大値、極小値)は各変数で微分して0と置いたところにある。二乗和 S は \mathbf{x}_0 などを大きくすればいくらでも大きくすることができるから、 S に極値があるとすればそれは極小値である。

そこでまず S を \mathbf{x}_0 で微分して0と置いてみる。 S を微分するためには(1.2)式から r_j を解いて(1.3)式に代入してから微分すればよい。結果は

$$\frac{\partial S}{\partial \mathbf{x}_0} = -2 \sum_{j=1}^{12} [T_j - \mathbf{x}_0 - \mathbf{x}_1 c_{j,1} - \mathbf{x}_2 s_{j,1}] = 0 \quad (1.4)$$

になる。 $c_{j,1}$ や $s_{j,1}$ は周期関数を1周期にわたって等間隔にサンプルしたものであるから

$$\sum_{j=1}^{12} c_{j,1} = \sum_{j=1}^{12} s_{j,1} = 0 \quad (1.5)$$

の関係が成り立っている。この関係を用いれば(1.4)式からただちに

$$\mathbf{x}_0 = \frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} T_j \quad (1.6)$$

が得られる。これは T_j の算術平均にほかならない。すなわち、平均値は最小二乗法という基礎をもっていることがわかる。**Fig.1.1**の点線はこの平均値を示している。

\mathbf{x}_0 が求められたので、あらためて

$$y_j = T_j - \mathbf{x}_0$$

と置くと(1.2)式は

$$y_j = \mathbf{x}_1 c_{j,1} + \mathbf{x}_2 s_{j,1} + r_j \quad (1.7)$$

となる。この式の r_j の残差の二乗和を \mathbf{x}_1 、 \mathbf{x}_2 で偏微分して0と置くと

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_1 \sum_{j=1}^{12} c_{j,1} c_{j,1} + \mathbf{x}_2 \sum_{j=1}^{12} c_{j,1} s_{j,1} &= \sum_{j=1}^{12} c_{j,1} y_j \\ \mathbf{x}_1 \sum_{j=1}^{12} s_{j,1} c_{j,1} + \mathbf{x}_2 \sum_{j=1}^{12} s_{j,1} s_{j,1} &= \sum_{j=1}^{12} s_{j,1} y_j \end{aligned} \quad (1.8)$$

が得られる。 y_j は既知数であるから、これは \mathbf{x}_1 、 \mathbf{x}_2 を未知数とする連立一次方程式にほかならない。このように残差の二乗和を未知数に関して偏微分して0と置いた式を正規方程式と呼ぶ。上式は二元連立一次方程式であるから簡単に解くことができるが、この式の場合にも倍角の公式などを用いれば

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^{12} c_{j,1} c_{j,1} &= \sum_{j=1}^{12} s_{j,1} s_{j,1} = 6 \\ \sum_{j=1}^{12} c_{j,1} s_{j,1} &= 0 \end{aligned} \quad (1.9)$$

の関係が成り立つので

$$\mathbf{x}_1 = \frac{1}{6} \sum_{j=1}^{12} c_{j,1} y_j \quad \mathbf{x}_2 = \frac{1}{6} \sum_{j=1}^{12} s_{j,1} y_j \quad (1.10)$$

が得られる。これらの係数を用いて(1.2)式の右辺の3項を計算したものを**Fig.1.1**に破線で示してある。この曲線はほとんど観測値の黒丸に一致している。両者の差、すなわち残差 r_j は白丸で示してあるが、これらは $\pm 1.5^\circ\text{C}$ 以内に収まっている。

$\pm 1.5^\circ\text{C}$ の残差が大きすぎて不満なら、(1.7)式にさらに半年周期、1/3年周期などの項を付け加えればよい。(1.1)式を一般化して

$$c_{j,k} = \cos\left(\frac{2\pi jk}{12}\right) \quad s_{j,k} = \sin\left(\frac{2\pi jk}{12}\right) \quad (1.11)$$

とすれば、観測方程式(1.7)式は

$$y_j = \sum_{k=1}^6 (\mathbf{x}_{2k-1} c_{j,k} + \mathbf{x}_{2k} s_{j,k}) + r_j \quad (1.12)$$

になる。この式の残差 r_j の二乗和を \mathbf{x}_k に関して微分して0と置いた正規方程式から

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_{2k-1} &= \frac{1}{6} \sum_{j=1}^{12} c_{j,k} y_j & \mathbf{x}_{2k} &= \frac{1}{6} \sum_{j=1}^{12} s_{j,k} y_j \\ & & k &= 1, 2, \dots, 5 \end{aligned} \quad (1.13)$$

$$\mathbf{x}_{11} = \frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} c_{j,6} y_j$$

が得られる。この解を求めるに当たっては(1.9)式のような直交関係を用いている。 $s_{j,6}$ はすべての j に対して0であるから \mathbf{x}_{12} はじつは必要ない。

ここまでくると、フーリエ級数を知っている読者は(1.13)式で与えられた係数が y_j のフーリエ係数であることに気がついたと思う。

\mathbf{x}_0 から \mathbf{x}_{11} までの12個の係数は T_j をフーリエ級数で展開したときの係数にほかならない。いいかえれば、フーリエ級数による表現は与えられたデータを残差の二乗和が極小になるように三角関数で表したものである。 $k=6$ までの項をすべて含めれば残差は完全に0になるが、途中で止めても(1.13)式の係数は残差の二乗和を最小にする係数になっている。この性質は(1.5)、(1.9)式のような直交関係が成り立っているときにのみ成立するものである。

Fig.1.1のデータを近似するのに三角関数を用いたのは、これが月平均気温であるから一年周期で変化するに違いないという、ある意味で物理的な根拠からである。もし三角関数を用いないでこのデータを近似しようと考えたときにまず思い浮かべるのは多項式であろう。

たとえば、このデータを2次式で近似することにすれば、観測方程式(1.2)式のかわりに

$$T_j = \mathbf{x}_0 + \mathbf{x}_1 j + \mathbf{x}_2 j^2 + r_j \quad (1.14)$$

になる。この残差 r_j の二乗和を最小にするための正規方程式を煩雑をおそれずに書き下せば

$$\begin{aligned}
x_0 \sum 1 + x_1 \sum j + x_2 \sum j^2 &= \sum T_j \\
x_0 \sum j + x_1 \sum j^2 + x_2 \sum j^3 &= \sum jT_j \\
x_0 \sum j^2 + x_1 \sum j^3 + x_2 \sum j^4 &= \sum j^2T_j
\end{aligned}
\tag{1.15}$$

となる。ただし、和の下限と上限は省略している。この式は形の上では(1.4)式と(1.8)式を加えた3元の連立方程式と同じであるが、大切な点で異なっている。すなわち(1.8)式などでは直交関係(1.5)、(1.9)式などによって \mathbf{x}_k の係数がほとんど0になっているのに対して、上式では明らかにすべての係数は0ではない。このことは、まず正規方程式を解く手間が必要になるという問題が生じる。しかし現在では未知数が数十、数百の連立方程式を解くのは大した問題ではない。問題なのは(1.15)式を解くときに桁落ちが生じて正確な解が求められないことである。正規方程式は形の上では簡単であるが、解を求めるには適していない。

参考のために、多項式近似(1.14)式に基づいた最小二乗解の残差をFig.1.1に×印で示しておいた。これは正規方程式(1.15)から求められた \mathbf{x}_0 、 \mathbf{x}_1 、 \mathbf{x}_2 を用いて計算されたものである。この正規方程式の場合には桁落ちの影響はほとんどなく、正しい結果が得られている。しかし、残差は三角関数を用いた近似の約3倍になっている。このことは観測データを表現するモデルとしてなにを選ぶか、すなわち三角関数を選ぶか二次式を選ぶかによって、残差が大きく異なることを示している。

1.2 ベクトルを用いた表現

前節であげた例題(1.7)式をベクトルを用いて書きかえることにする。いま12次元の列ベクトルを

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_{12} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{a}_1 = \begin{bmatrix} c_{1,1} \\ c_{2,1} \\ \vdots \\ c_{12,1} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{r} = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_{12} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{a}_2 = \begin{bmatrix} s_{1,1} \\ s_{2,1} \\ \vdots \\ s_{12,1} \end{bmatrix}
\tag{1.16}$$

によって定義することにすれば(1.7)式はまとめて

$$\mathbf{y} = x_1 \mathbf{a}_1 + x_2 \mathbf{a}_2 + \mathbf{r}
\tag{1.17}$$

と書き表すことができる。ベクトルの内積が成分ごとの積和であることを用いれば、残差の二乗和は

$$\begin{aligned}
S(x_1, x_2) &= \mathbf{r} \cdot \mathbf{r} = \|\mathbf{r}\|^2 \\
&= (\mathbf{y} - x_1 \mathbf{a}_1 - x_2 \mathbf{a}_2) \cdot (\mathbf{y} - x_1 \mathbf{a}_1 - x_2 \mathbf{a}_2)
\end{aligned}
\tag{1.18}$$

で表される。“ \cdot ”は内積、 $\|\cdot\|$ はベクトルのノルム、すなわち長さを表している。 $S(x_1, x_2)$ を x_1 、 x_2 で微分して0と置けば、正規方程式

$$\begin{aligned}
(\mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{a}_1)x_1 + (\mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{a}_2)x_2 &= \mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{y} \\
(\mathbf{a}_2 \cdot \mathbf{a}_1)x_1 + (\mathbf{a}_2 \cdot \mathbf{a}_2)x_2 &= \mathbf{a}_2 \cdot \mathbf{y}
\end{aligned}
\tag{1.19}$$

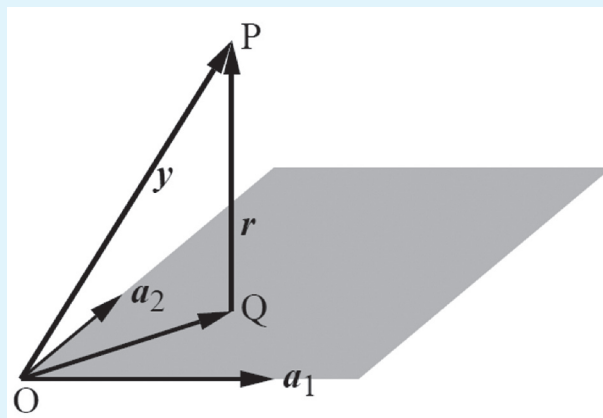


Fig.1.2 最小二乗法の幾何学的意味

OPは観測値 \mathbf{y} 、OQはその近似値 $x_1 \mathbf{a}_1 + x_2 \mathbf{a}_2$ を表している。後者は \mathbf{a}_1 と \mathbf{a}_2 の張る平面上にあるが、前者はこの平面の外にある。残差ベクトルはQPである。Qを \mathbf{a}_1 、 \mathbf{a}_2 平面上で動かしたとき、 $\|\mathbf{r}\|$ が最小になるのはPQがこの平面に直交するときである。

が得られる。内積の定義にしたがって $(\mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{a}_2)$ などを展開すれば、この式が(1.8)式と同じであることは容易にわかる。

上の連立方程式の係数行列の行列式の値はつねに

$$(\mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{a}_1)(\mathbf{a}_2 \cdot \mathbf{a}_2) - (\mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{a}_2)^2 \geq 0
\tag{1.20}$$

を満たしている(シュワルツの不等式)。等号になるのは \mathbf{a}_1 と \mathbf{a}_2 が平行のとき、すなわち \mathbf{a}_1 と \mathbf{a}_2 が比例するときのみである。このとき以外は(1.19)式はかならず解をもつ。 \mathbf{a}_1 と \mathbf{a}_2 が比例するときには観測方程式を(1.17)式のように未知数を \mathbf{x}_1 と \mathbf{x}_2 にわけて書くことに意味がないから、観測方程式(1.17)に対する最小二乗法解はかならず存在するとしてよい。この性質は二元の正規方程式だけではなく、三元の正規方程式(1.15)、さらに一般の正規方程式に対しても成り立つ。

1.3 最小二乗法の幾何学的意味

(1.17)式はつぎのように解釈することができる。すなわち、与えられたベクトル \mathbf{y} を二つのベクトル \mathbf{a}_1 、 \mathbf{a}_2 の線型結合で表したときの残差が \mathbf{r} である。残差の二乗和は残差ベクトル \mathbf{r} の長さの二乗であるから、二乗和を最小にすることはベクトル \mathbf{r} の長さを最小にすることにほかならない。

\mathbf{x}_1 や \mathbf{x}_2 がどんな値をとっても、 $x_1 \mathbf{a}_1 + x_2 \mathbf{a}_2$ は二つのベクトル \mathbf{a}_1 、 \mathbf{a}_2 で定義される平面上にある。したがって \mathbf{y} と \mathbf{r} はFig.1.2のような関係になっている。 \mathbf{r} の長さが最小になるためには \mathbf{r} がこの平面に直交すればよい。そのためには \mathbf{r} が \mathbf{a}_1 、 \mathbf{a}_2 の両方に直交すればよい。この条件は

$$(\mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{a}_1)(\mathbf{a}_2 \cdot \mathbf{a}_2) - (\mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{a}_2)^2 \geq 0
\tag{1.21}$$

である。

(1.17)式から \mathbf{r} を計算して上式に代入すればこれが正規方程式(1.19)式に等しくなることがわかる。

\mathbf{a}_1 と \mathbf{a}_2 が直交しているとき、すなわち

$$\mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{a}_2 = 0
\tag{1.22}$$

が成り立つときには(1.19)式からただちに

$$x_1 = \frac{\mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{y}}{\|\mathbf{a}_1\|^2}, \quad x_2 = \frac{\mathbf{a}_2 \cdot \mathbf{y}}{\|\mathbf{a}_2\|^2}
\tag{1.23}$$

が求められる。ここに $\|\mathbf{a}_1\|$ などはベクトル \mathbf{a}_1 などの長さである。(1.23)式が解(1.10)式と同じであることは容易にわかる。

1.4 グラム・シュミット法

\mathbf{a}_1 と \mathbf{a}_2 が直交していないときにはどうするか。このときには \mathbf{a}_1 、 \mathbf{a}_2 の線型結合によって互いに直交する二つのベクトル \mathbf{q}_1 、 \mathbf{q}_2 を作り、これらの線型結合によって \mathbf{y} を表せばよい。 \mathbf{q}_1 、 \mathbf{q}_2 の線型結合はやはり \mathbf{a}_1 と \mathbf{a}_2 の張る平面上にあるから、こうしても問題が変わったことにはならない。

そこで

$$\mathbf{a}_1 = \mathbf{q}_1 \quad \mathbf{a}_2 = \alpha_1 \mathbf{q}_1 + \mathbf{q}_2 \quad (1.24)$$

と置いてみる。 \mathbf{a}_2 の第一項は \mathbf{a}_2 の中の \mathbf{q}_1 成分を表している。 \mathbf{q}_2 はその残りである。したがって \mathbf{q}_2 は \mathbf{q}_1 に直交しなければならない。 \mathbf{q}_1 は第一式からわかっているから、 α_1 がわかれば第二式から \mathbf{q}_2 がわかることになる。ところで \mathbf{q}_1 と \mathbf{q}_2 は直交しなければならないから、 \mathbf{a}_2 と \mathbf{q}_1 の内積を作れば

$$\mathbf{q}_1 \cdot \mathbf{a}_2 = \alpha_1 \mathbf{q}_1 \cdot \mathbf{q}_1 \quad \alpha_1 = \frac{\mathbf{q}_1 \cdot \mathbf{a}_2}{\|\mathbf{q}_1\|^2} \quad (1.25)$$

が成り立たなければならない。これで α_1 が求められたから \mathbf{q}_2 がわかったことになる。そこで(1.24)式を(1.17)式に代入して整理すれば

$$\mathbf{y} = (x_1 + \alpha_1 x_2) \mathbf{q}_1 + x_2 \mathbf{q}_2 + \mathbf{r} \quad (1.26)$$

になる。残差の二乗和が最小になるためには \mathbf{r} が \mathbf{q}_1 、 \mathbf{q}_2 に直交しなければならない。上式と \mathbf{q}_1 、 \mathbf{q}_2 との内積を作れば

$$\begin{aligned} \mathbf{q}_1 \cdot \mathbf{y} &= (x_1 + \alpha_1 x_2) \|\mathbf{q}_1\|^2 \\ \mathbf{q}_2 \cdot \mathbf{y} &= x_2 \|\mathbf{q}_2\|^2 \end{aligned} \quad (1.27)$$

が得られる。第二式から x_2 を求めて第一式に代入すれば x_1 が求められる。

この方法は未知数が増えても簡単に拡張することができる。観測方程式(1.17)に $x_3 \mathbf{a}_3$ が加わったときには

$$\mathbf{a}_3 = \beta_1 \mathbf{q}_1 + \beta_2 \mathbf{q}_2 + \mathbf{q}_3 \quad (1.28)$$

と置く。 \mathbf{q}_1 と \mathbf{q}_2 はすでに求められている。 \mathbf{q}_3 は \mathbf{q}_1 、 \mathbf{q}_2 に直交するという条件から

$$\mathbf{q}_1 \cdot \mathbf{a}_3 = \beta_1 \|\mathbf{q}_1\|^2 \quad \mathbf{q}_2 \cdot \mathbf{a}_3 = \beta_2 \|\mathbf{q}_2\|^2 \quad (1.29)$$

が成り立たなければならない。これらの式から β_1 、 β_2 がわかるから \mathbf{q}_3 が求められる。すでに求められている \mathbf{a}_1 、 \mathbf{a}_2 といま求められた \mathbf{a}_3 を(1.17)式に代入し、残差ベクトルが \mathbf{q}_1 、 \mathbf{q}_2 、 \mathbf{q}_3 に直交するという条件を書くと

$$\begin{aligned} \mathbf{q}_1 \cdot \mathbf{y} &= (x_1 + \alpha_1 x_2 + \beta_1 x_3) \|\mathbf{q}_1\|^2 \\ \mathbf{q}_2 \cdot \mathbf{y} &= (x_2 + \beta_2 x_3) \|\mathbf{q}_2\|^2 \\ \mathbf{q}_3 \cdot \mathbf{y} &= x_3 \|\mathbf{q}_3\|^2 \end{aligned} \quad (1.30)$$

が得られる。第三式から x_3 を解きこれを第二式に代入すれば x_2 が得られ、最後に第一式から x_1 が得られる。

この方法はベクトルを直交化するグラム・シュミット法に基づいている。この方法ではベクトルの内積だけの計算で解が

得られ、正規方程式(1.15)を解くときのように連立方程式を解く必要がない。これらの特徴は未知数 \mathbf{x}_k の数が増えるにつれて威力を発揮する。しかし最も重要な点は、正規方程式を解くよりもこの方法では桁落ちによる精度低下がないことである。

ただし、上で述べたグラム・シュミットの計算方法は、じつは桁落ちの影響が大きく、未知数の数が多いときには実用的ではない。実用的には計算の順序を少し変更した修正グラム・シュミット法が広く用いられている。また、直交化を別の方向から行ったものにハウスホルダー法がある。線型の最小二乗法ではこれらの方法を用いるのが主流である。これらの方法についての詳細と数値例、長所、短所については参考文献を参照されたい。

1.5 線型最小二乗法の一般形式

前項で述べたことを一般化して整理するとつぎのようになる。 n 個の観測値を m 個のパラメーターを用いて表そうとすると($n > m$ とする)、観測方程式は

$$\mathbf{y} = x_1 \mathbf{a}_1 + x_2 \mathbf{a}_2 + \cdots + x_m \mathbf{a}_m + \mathbf{r} \quad (1.31)$$

の形に表すことができる。 \mathbf{y} は観測値を縦に並べた n 元のベクトル、 \mathbf{x}_k は未知パラメーター、 \mathbf{a}_k は観測値を説明するためのモデルから決まる n 元のベクトル、 \mathbf{r} はモデルでは説明しきれない n 元の残差ベクトルである。最小二乗法は残差ベクトル \mathbf{r} の長さが最小になるという条件から m 個のパラメーター \mathbf{x}_k を決めようという方法である。この条件から正規方程式

$$\begin{aligned} x_1 (\mathbf{a}_k \cdot \mathbf{a}_1) + x_2 (\mathbf{a}_k \cdot \mathbf{a}_2) + \cdots \\ \cdots + x_m (\mathbf{a}_k \cdot \mathbf{a}_m) &= \mathbf{a}_k \cdot \mathbf{y} \\ k &= 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (1.32)$$

が導かれるが、この方程式は残差ベクトルがすべての \mathbf{a}_k に直交するという条件

$$\mathbf{a}_k \cdot \mathbf{r} = 0 \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (1.33)$$

に等しいことも前に示した。正規方程式(1.32)はこの場合 \mathbf{x}_k に関する m 元の連立一次方程式になり、解くのに問題はない。しかし正規方程式を解いて求めた解は精度が悪く、最近では上式に基づいたグラム・シュミット法やハウスホルダー法を用いて解を求めるのが主流である。

参考文献

斎藤正徳(1983): 最小二乗法の計算法、物理探鉱、36巻、2号、72-86。

埋草

最小二乗法をなんと読むか。答えは「サイショウニジョウホウ」(学術用語集、数学編)。普通には「ジジョウホウ」と読んでいたのではないだろうか。てもとの昭和31年刊の統計学の教科書を見ると「最小自乗法」とある。これは当然「ジジョウホウ」と読む。「自乗」は「二乗」のことだが、当用漢字の都合で「自乗」が使えなくなって「二乗」となり、しかし読み方だけは慣用の「ジジョウ」が残っているのではないだろうか。

第123回(平成22年度秋季)学術講演会 開催報告

物理探査学会第123回(平成22年度秋季)学術講演会は、平成22年9月29日から10月1日の3日間にわたって東北大学百周年記念会館川内萩ホールで開催されました。内容は、口頭64件とポスター16件の計80件の一般講演、2件の特別講演、会誌に関する説明会、交流会、7社の企業展示、研究室見学、地震震源域見学会などです。全体の参加者は138名、交流会は66名と盛況な講演会でした。

1日目は、口頭6セッションで30件、ポスターセッションコアタイムで16件の一般講演がありました。ポスター会場では飲み物等をサービスし、参加者同士の討論を深めるのに役立ちました。

2日目は、口頭4セッションで22件の一般講演、東北大学研究室の見学、特別講演2件、会誌改革の説明会、交流会が行われました。

研究室見学は、昼休み時に20数名が参加し、講演会場から徒歩5分ほどのところにある東北アジア研究センターの物探関係の施設を、同センター長の佐藤源之氏にご案内いただきました。地中レーダーアンテナの作製現場や砂地盤の実モデル装置などを見学しました。特別講演は、マルチメディア教育研究棟6階の大ホールに会場を移して行われました。1件目は源栄正人氏(東北大学大学院工学研究科)の「地域地震防災対策の高度化に向けて～地盤構造と地震防災との関わり～」と題する講演です。源栄氏は、高い確率で発生が予測されている宮城県沖地震への対策として、「過去に学び、現状を知り、次に備える」、「弱点の把握と解消」、「リダンダンシー(冗長性)の確保」の大切さを強調されました。2件目は、平川新氏(東北大学東北アジア研究センター)の「伊達政宗と仙台」と題する講演です。平川氏は、当時の一般的な城のこと、仙台城が現在の青葉山付近の山城になった由来、信長・秀吉・家康・謙信らと政宗の関係、城下町の道の屈曲など、織豊から徳川初期における政宗の政略や心情をお話されました。引き続いて行われた説明会では、「新英文誌発行と学会誌群の改革について」と題して、内田利弘会長から概要報告があり、その後、山中浩明会誌編集委員長から具体的な内容の説明がなされました。これに関するアンケートが会場で配付され、後日、同じ内容のアンケートが学会WEBサイトにも掲載されました。説明会の後、最近新規開店したキッチンテラスクルールに会場を移して交流会が開かれました。内田会長の挨拶に始まり、東北大学の佐藤氏から同大での講演会開催は20数年振りとのことのお話、斎藤徳美氏の乾杯の音頭と続き、新旧の親睦を深め情報交換の場となりました。

3日目は、午前中に口頭2セッションで12件の一般講演と、午後は2008年岩手宮城内陸地震の震源域の見学会が行われました。見学会参加者は一般21名、学生14名の計35名でした。

公益法人化への改革の一環として、会員以外の講演も受付することを今回の講演会から会告に明記しました。何人かの非会員の方から講演申込みがあり、入会をおすすめしたところ快諾を得ました。

学術講演会の開催にあたり、関係各位および学会員の皆様から多大なご協力をいただきました。とりわけ、東北大学

の佐藤氏には、会場予約、準備、特別講演、交流会、見学会など全般にわたりひとかたならぬお世話にあずかりました。ここに記してお礼申し上げます。

(文責：学術講演委員 山口和雄)

見学会 開催報告

第123回学術講演会では、一般発表終了後の10月1日午後、見学会を開催しました。参加人数は一般21名、学生14名の計35名でした。

見学先は2008年岩手宮城内陸地震の震源域です。地震は、2008年6月14日、岩手県内陸南部の深さ8kmで発生し、マグニチュードは7.2、最大震度は6強でした。余震は北北東-南南西方向に延びる長さ約45km、幅約15kmの範囲に広がり、本震はそのほぼ中央で発生しました。

見学会参加者は、講演会場前で中型バス2台に分乗し、12時30分過ぎに出発しました。築館ICまでは東北自動車道を通り、その先の一般道は栗原市危機管理課の菅原進氏に先導していただき、15時に最初の目的地であるイワカガミ平に到着しました。ここは栗駒山への登山道入口に相当し、標高は1,113mあり、東方および南方に震源域を俯瞰できます。菅原氏からは地震、被害状況、復旧状況について、地球科学総合研究所の高橋明久氏からは反射法結果に基づく震源域付近の地下構造について、それぞれ概要説明がありました。イワカガミ平までの道路は、見学会直前の9月に通行規制が一部解除され一般車両も通れるようになったそうです。実際、山間部の途中道路のそこかしこで道路整備や斜面の復旧工事現場が見られます。その場で配付された林野庁東北森林管理局制作の「山地災害の記録」は30ページの冊子で本地震による被害地の状況が詳細に記されています。

見学会の主たる目的地である荒砥沢には16時頃に到着しました。荒砥沢地すべりは、本地震で発生し、幅約900m、斜面長約1,300m、面積約98ha、滑落崖の最大落差は約150mという、日本で発生が確認された中で最大規模の地すべりです。

林野庁東北森林管理局の江坂文寿氏から地すべりの概要説明がありました。見学位置は地滑りの北端付近、地すべりにより陥没だけではなく隆起も起きた、崩落は現在も続いている、崩落物による川の堰き止めを解消するために水抜き工事を実施している、モニターとしてレーダー観測を予定、などです。防災対策を優先するのは当然ですが、自然現象としての地すべりを保存したいという意見もあるそうです。見学の時間帯は16時前後の約30分間で、西に傾きつつある太陽が崩落地に深い陰影を投げかけていました。筆者は、今回の見学場所から数100m南で道路が消失しオーバーハングした崖の先端に、地震発生の5ヶ月後に調査の一環で行っております。帰りのバス内から、崖に至るその道路の途中が幅20mほど陥没し無くなっているのが見え、崩落が継続していることが実感出来ました。

当学会には活断層調査や防災分野で活躍し、あるいはその方面の研究に進もうとする若手研究者や学生が在籍しており、自然災害に対する会員の関心も高いことを踏まえ、仙台での講演会開催に合わせて荒砥沢地すべり地帯を見学地として選択しました。見学の目的は、地震の被害状況や規模などを実際の現場で確認することです。特に若手研究者には、現場見学によって防災技術の研究開発の重要性などを再認識してもらい、この分野の研究や技術開発を積極的に推進するきっかけとなることを期待します。

東北大学の佐藤源之氏には見学会全般でご協力いただきました。菅原氏と江坂氏には現地でご案内していただきました。(独)産業技術総合研究所からは保護帽を借用しました。ここに記して感謝致します。

(文責：学術講演委員 山口和雄)

見学会参加学生レポート

2008年岩手・宮城内陸地震被災地域を見学して

東北大学環境科学研究科 佐藤源之研究室
博士課程後期2年 松本正芳

この度の物理探査学会の見学会では、2008年岩手・宮城内陸地震で発生した荒砥沢ダム上流部の地滑り地帯の規模とその被害状況を見学しました。崖の最大落差が実に148mという大規模なもので、発生から2年経過したにもかかわらず現場には地震の爪痕がまだ生々しく残っていました。



このような大規模な自然災害の発生自体を未然に防ぐことは困難ですが、物理探査手法を用いて災害を最小限にとどめる減災技術を開発し普及させていくことが重要だと思います。

私は大学院でレーダを用いた環境計測を専攻しています。レーダを用いた物理探査が減災技術に貢献できる例として、航空機や人工衛星に搭載したレーダから得られる電波散乱情報を基に被災情報を把握することが挙げられます。レーダ画像は数10kmのオーダーの範囲で取得するので、広範囲に渡る被災エリアを迅速に網羅することができます。またレーダは全天候型センサですので、災害時の天候や時間に左右されないという特徴があります。さらに電磁波の散乱現象を三つの散乱メカニズムに分解する三成分分解という手法を用いると、地滑りによって裸地になった部分を検知することも可能です。

また今回のような地滑り地域の場合、再び斜面が大規模な崩壊を起こす可能性があるため、2次災害を防ぐ上では地滑り後の斜面が今後どのように変化していくかをモニタリングしていく必要があります。レーダは、異なる時間に測定したレーダ波形の位相変化をみることで斜面の変位を検知することができるので、このような地滑りのモニタリングにも有効であると思います。

今回の見学会は、自分の研究分野であるレーダが防災もしくは減災のための技術に貢献できることを考えさせられる大

変よい機会となりました。

内陸地震震源域を見学しての感想

東京大学大学院 工学系研究科 技術経営戦略学専攻
松島研究室所属 博士課程2年 鈴木博之

今回、2008年岩手・宮城内陸地震震源域を見学するという貴重な機会を与えていただいた。そのことについての感想、及び自分の研究をどのように災害時に活かすことができるかについての考えを以下に述べる。



まず見学して驚かされたのは何よりその規模の大きさである。特に印象深いのは地震により道路ごと地すべりを起こしていた部分である。遠くから見るとどの程度の規模かわかりにくい部分もあるが、実際に道路が地すべりを起こしているのを見ると、その災害の規模がいかに大きいものであるかがはっきりとわかる。衛星写真からの景観が大きく変化していることも、その災害の大きさを物語っていた。

今回このような地域を見学することができたことは大変貴重な経験だった。実際に見ることでより多くの事柄を深く理解できたと思う。

では今回の地域、あるいは今後岩手・宮城のみでなく他の地域でも同様の災害が起こった際に、私の専門としている研究はどのような役に立つだろうか。

私の研究はハイドレート層の探査であるが、その手段として主に音波検層波形データの解析を行っている。異なる地層を音波、あるいは地震波が通過する際の速度の変化や減衰の変化、比抵抗の違いなどから地層に何が含まれているかを判断している。ハイドレート層固有の特性をデータ解析により明らかにすることを研究している。この研究はハイドレート以外のものに関して有効だろう。今回の地域でもむき出しになっている部分で地層の境界がはっきりわかる部分があった。固いのもろい成分で構成されている層などは、災害後慎重に対処しなければ思わぬ事故の原因にもなりうるのではないだろうか。そのような、危険度の高い地層などを私の研究している波の解析を利用することで特定することができれば、このような災害時に被害を増やさないための一助になるのではないだろうかと考えている。

また、私の研究では速度だけを用いるのではなく、減衰も使用して総合的に判断することで、ハイドレートの資源量を測定できるのではないかと考えている。実際にハイドレートの資源量を算出することができるのなら、同様に地震時に危険度の高い層がどの程度周囲に存在するかを計算することもできるのではないだろうか。地震のあと、さらに地すべりを起こす危険性のある層がどの程度存在するかを知ることができれば、その後被害が及ぶ可能性のある地域を予測することも今よりも容易に可能になり、災害による被害を減らすことができるのではないだろうか。

私の研究は音波などの解析を主としているため、地震などの被害をそのまま減らすことは残念ながら難しいかもしれない。しかし、その後の被害を最小限に食い止めるための一助となることはできるのではないかと考えている。

EVENT

20th EMIW参加報告

京都大学工学研究科 修士1年 今村尚人

EMIW(Electromagnetic Induction Workshop)の第20回ワークショップが、2010年9月18日から24日の1週間、エジプトのギザで開催されました。本ワークショップでは電磁気探査に関する専門家が世界中から集まり、参加者数は240名程度(うち日本人の参加者は15名程度)でした(写真1)。配布されたプログラムによると口頭発表が34件、ポスター発表が236件でした。

セッションにおける発表の特徴として、一日ごとに特定のテーマに沿った口頭発表とポスター発表が行われ、その日の最後に発表全体に関するディスカッションが全員参加型で行われていました。ディスカッションは国内の学会の場合、あまり盛り上がらないこともありますが、本ワークショップでは議論が活発に行われており、その議論に参加した人には大変有意義であったろうと感じました。発表テーマについては、“Modeling and Inversion”、“Near-Surface and resource engineering”、“Tectonic studies”のセッションの発表数がそれぞれ50~70ほどあり、同じ電磁気探査の分野の中でも、セッションに取り上げられた分野に対する注目度の高さが窺えました。

今回のワークショップが私にとっては初めての国際学会であり、英語でのポスター発表も初めてだったため、周囲の英語を聞き取れない場面や、自分の言いたいことを英語でうまく表現できなかった場面があり、日本に帰ってからより一層、英語を勉強しようと思いを固めることとなりました(写真2)。また、これまで論文の中で名前を拝見したことのある先生方が実際に自分の目の前にいることに驚き、しかもそのなかの何名かとは会話をすることができたので、発表以外の部分でも非常に感銘を受けました。感銘を受けたといえ、エクスカーションの際に訪れたピラミッドにも大変感動しました(写真3)。自分の目の前に四千年前の建造物が存在していることに感動しましたが、研究者が集まると話はそれに留まらず、この周辺を探索するにはMT法がいいか、それともエアボーン探査がいいだろうかなど、研究者ならではの話題に花が咲いていました。このようにエクスカーションや発表を通じて、電磁気探査に関する様々なテーマに触れることができたのももちろんのこと、欧米やアジア圏、さらにはアフリカ圏など様々な国籍の友人を作ることができ(もちろん日本人の研究者とも多数お会いすることができました)、非常に有意義な議論や経験をすることができました。

私にとって今回が初めて参加した国際学会でしたが、様々な国籍の友人を作り、議論をすることができただけでなく、今後の自身の研究の進め方や、同じ電磁気探査のなかでも他の分野について考える機会を頂き、非常に意義のあるワークショップになりました。



写真1 集合写真

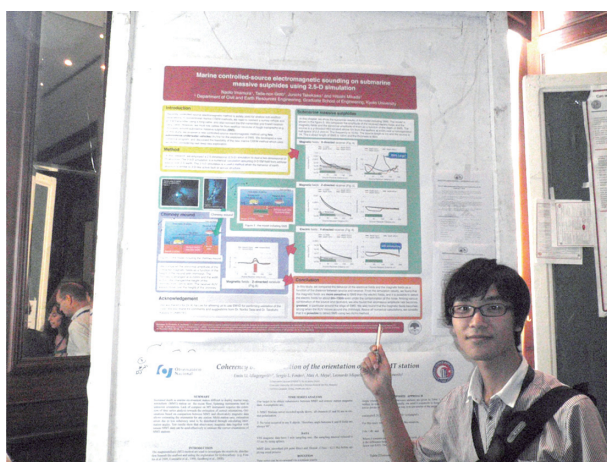


写真2 ポスター発表の様子



写真3 エクスカーションでの一枚



渡邊 健氏 略歴

1944年:東京大学地球物理学科卒、日本物理探査常務、大和探査技術社長、会長を歴任
 物理探査学会関係:1969年:学会賞論文賞受賞、1970-1996年:理事、1971-1996年:土木物探査研究会代表幹事、1975年-1977年:副会長、1996年:名誉会員

A. 周囲の状況

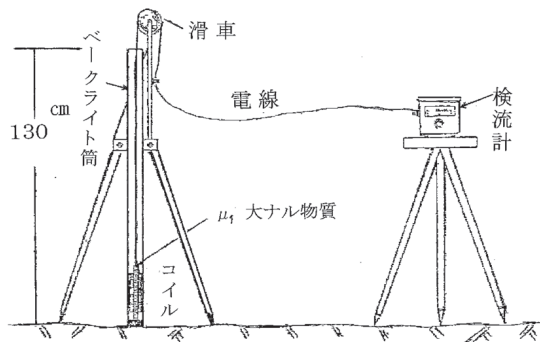
昭和2~30年代の小生は、日本物理探査株式会社勤務しており、主要な業務は弾性波探査法による建設地盤の調査であったが、爆弾の埋没地点の調査も依頼があれば、状況に応じた調査を計画して調査を行っていた。

住民の方々は戦時の名残で、諦めており、不発弾の傍で生活したり、自分達で注意深く掘り出したりしていた時代である。しかし、運輸省(現在の国土交通省の中の港湾関係)からのご依頼では、探査対象は感应機雷で空から航空機で投下されたもので、終戦時には大陸から本土への船舶による資材・人員の移動が大変妨げられたということであった。なお、米軍の機雷位置データは一応図示されているが、その位置は概略で、探査には殆んど参考にならなかった。

B. 渡辺の過去の磁気探査の経歴

小生は大学時代に東京大学の地球物理学科を卒業したが、後に南極観測を開始された永田武先生の御指導を受け、その間に磁気探査機一種を試作した経験がある。それは高帯磁率の棒に細い電線を巻いてコイルを作成しておき、これを目的地の地上1.3mくらいに、コイルの軸方向を鉛直にして、1m自然落下させる。その際コイル内に発生した起電圧の時間的積分値を、やや長周期の直流電流計に現れる最大振幅で計測するというものである。この方法で地表面の決められた範囲内でコイルの落下地点を或る間隔で設定して、それらの地点に順に移動してコイルを上下させて測定すれば、埋没鉄類があればその埋没位置が推定出来ることになる。コイルの上下の際はベークライト管の中を上下するようにし、電線類は補強した。この概要は第1図に示す。

この製作に当たっては、永田先生から、大体の感じで作成してはいけない。きちんと実際に使用する材料等のデータを使用してどのくらいの測定値が得られるかを計算をしなければいけない、と指示されました。また、センサーの外装やベークライト管のようにセンサーを囲む部分の材料には金属を使用してはいけない。内部に発生した起電圧が打ち消すように作用するからである、と指導された。

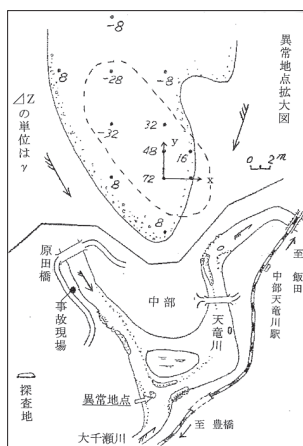


第1図 この器械の詳細については、次の文献に記されているので、ここでは概略を示した。

永田 武・渡邊 健著「磁気探査用鉛直傾度計の施策結果」学術研究会議、地下資源開発研究特別委員会編「地質探査と物理探査」下巻 1951

試作が完成した段階で、大学構内で埋設水道管を探査実験し、良好な結果が得られた。

翌年秋頃、台風で国鉄の飯田線が不通となり、その代替としてバスを臨時に運行したところ、そのうちの1台が洪水状態の天竜川に転落し、乗客とも行方不明となった。急いで探査に来て欲しい、との依頼が会社にあった。会社としても出来ることはしてみようと、永田先生から上記の探査機を借り出して、探査に参加した。洪水は既に鎮まっていたので、砂礫の堆積した洲で数mメッシュで探査を実施し、異常があれば間隔を小さくして詳しく探査した。調査結果としては、異常点が数点以上集まった個所をマークして報告した(第2図)。



第2図 「天竜川磁気探査の磁気異常地点拡大図」

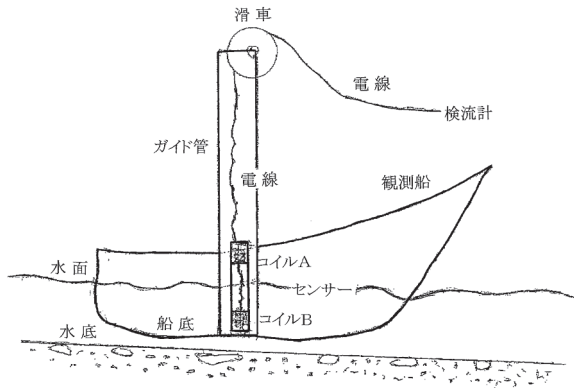
この図のような磁気異常が多数収録されたが、その中のどれがバスであるかは特定できなかった。渡邊 健「新型磁気鉛直傾度計とその使用実例」(天竜川埋没自動車の探査) 物理探査第4巻第5号

C. その後に行った磁気探査の実績と改良

上述の天竜川の探査で実用化できることが分かり、陸上の埋没爆弾探査の依頼も時々あるので、会社でもこの測定装置一式を常備した。そして埋没爆弾の探査を実施するたびに改良が加えられていった。

すなわち、川や水路などの水面より下に埋没する場合には、船底部に設置する。この場合には検出コイルと同じ感度のコイル2個を、50cm間隔で離して使用し、1個を逆向きに結線すれば、船の動揺による雑音は消去され、埋没鉄による磁気

は下の両コイルの出力差で検出される(第3図)。



第3図

又、この状態で船を移動させれば、爆弾等の位置が検出されるので、その位置で船を止めて精査すれば、早く爆弾が検出される。

更に、これまで上下に移動させていたものを船から外して、ほぼ水平にして移動させれば、連続した測定が出来る筈であると気が付いてその様に改良された。これが現在、両コイル型磁力計、フラックスメーター型磁力計といわれているものである。

D. 運輸省と計画した探査計画

運輸省の考えでは、探査場所は関門海峡の関門航路部分で航路改良予定部分である。探査対象物は米軍の感应機雷であるが、爆弾等の危険物も探査して欲しい、というものであった。

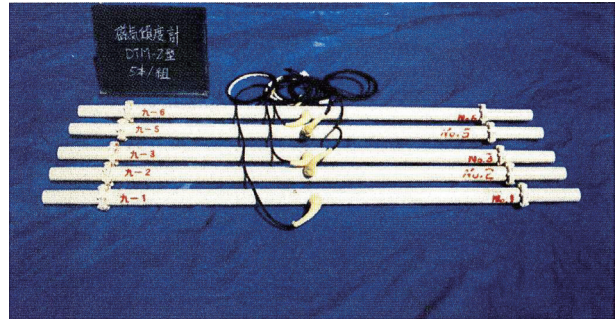
感应機雷とは、接触して爆発するものではなく、海底に置かれた機雷の近くを船が通過して、船の発する磁気・音響・水圧の何れかによって爆発するものである。形状は円筒でドラム缶よりやや小さい。敷設は航空機から投下され、海底面とどまると考えられる。終戦後は全面的に航路の掃海作業が行われた結果、航路周辺までは、航行は安全であった。

ここでの航路浚渫の専用の浚渫船を当時建造中で、夏頃に竣工して浚渫を開始したい。なお、この船は自分で航行しながら浚渫土砂を船倉に収め、別の場所に行って土砂を廃棄する作業を行うものである。

探査船の計画としては、現在の水深は約20mある。ここで探査する深さは、5m必要である。

当方は前記の両コイル型磁力計が完成して実用化していたので、テストを行うため両コイルの間隔1mのセンサー1個を関門海峡近くの自衛隊に持参し、運輸省の所長に同行して、感应機雷実物で感度調査を行った。その結果、センサーを船から垂らした状態で機雷を沈設した場所を通った結果、相当な振幅の磁気異常が検知された。詳細な測定は後で行ったが、取り敢えず探査可能であるとして、次のような実際の探査計画を作成した。

探査可能深度を大きくするため、両コイル型センサーのコイル間隔は2mとした(従来は1m)(第4図)。このセンサーを横



第4図 コイル間隔は2mの新造センサー

方向に2m間隔で12個並べて木材に固定して観測木柵を作成し、これを海上の観測船から吊下げ、観測船と観測木柵を1隻の曳船で曳航することにした。観測木柵は、横方向3箇所、上下各2か所で曳航し、曳航時には木柵の下部は海底に接するようにする。

E. テスト後の改良

テスト時の状況は惨憺たるものであった。最初は速度が小さいので静かであったが、速度が次第に上がると木柵が上下左右に振れ始めた。この為すぐ停止したので被害は無かったが、其の1歩手前であった。

直ぐに 改良するための協議を始め、外部の造船所にも教えを請うた。その結果、最初の計画は手製で作成する範囲を超えており危険である。横幅がセンサー12個2m間隔で22mというのは、制御不可能であるから、これをやめて、半分のセンサー6個全幅10mに縮小すべきであると決まった(第5図)。木柵の前後の傾斜は約45度にして後側に倒す様に補助材を付ける(第6図・第7図・第8図)。これはやや安全側に行過ぎたものであるが、操作に慣れたらば、徐々に解除しても良いということであった。



第5図 観測船状況

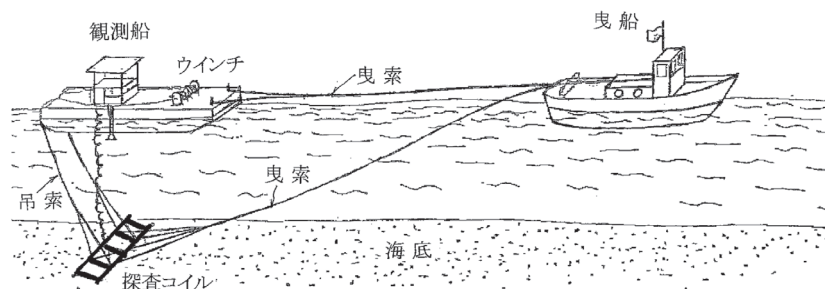
観測船は台船型の船の上面に測量台取付け、測量員はこの上で六分儀で位置観測を行った。磁気測定用木柵を観測船からウインチを介して吊り下げ、随時上下できるようにした。また木柵の深さと水深とを同時に観測するため、音響測深機も取り付けて観測中連続測定した。



第6図 観測台船における磁気測定状況(多ベンレコーダー使用)



第7図 探査航行状況、前は曳き船、後は観測船



第8図 探査曳航状況の模式図

磁気探査木枠は改定より0.5m位上を通るように人力でウインチを操作している。

この状態では水の抵抗が増して曳船の力が2倍必要となった。また1組当たりの探査幅が半分になったので、2組を使用することになって、すべての費用は2倍以上になってしまった。発注者にも然るべくお願いをした。

F. 改良実施後の成果

改良した結果、日数と費用は掛ったが、事故もなく、8月頃には予定した区域の磁気探査を終了した。磁気探査の後の潜水夫による危険物の引き揚げ作業は運輸省から別件で潜水会社に発注されたので詳細な資料は無いが、かなりの機雷と爆弾が発見されたと聞いている。目的は達成された。

また、探査木枠の傾斜度は次第に水平方向に向かって改良され、これに伴って航行速度も向上して現在に至っている。

この後、同年中に瀬戸内海航路南水道の同様の機雷探査が発注された。その頃には、機雷や爆弾の残存する海域では、海員の安全のためには、この磁気探査を行わねばならないという状況が広く理解されていた。

G. 危険物の見落とし・非探査区域の事故

磁気探査の作業は増加して受注が増えたが、他方では、作業中の残存小爆弾の作業中の爆発等の事故は時々発生した。調査してみると、磁気探査で異常が発見され、潜水夫による引き揚げが行われたが、それでもまだ残っていて、工事の際に爆発した物であった。磁気探査の異常点では既に鉄類が引き上げられたが、鉄類が複数あったためであった。この為、潜水士には磁

気異常点の探索に当たっては、鉄類が無くなるまで鉄類を全部撤去する必要がある。この為、現在では、かなりの地域で潜水夫の鉄類撤去の後、確認磁気探査と称して水平探査を再度発注されることが多くなっている。

このほか、機雷の調査箇所でもなく何もやってない所に浚渫船の掘削装置を置いたところ、爆発するという大事故が発生したことがあった。運輸省港湾局では直ぐに日本全国の港湾工事に停止命令を出し、機雷・爆弾が有る可能性のある地域では磁気探査を実施して危険物がない事が確認されなければ工事の再開を許可しない、というものであった。これによって当社は、港湾局計画課の配下となり、磁気探査の順序を決められて休日も返上して次々に現場を実施することになった。調査費は順調に支払われた。こうして1カ月くらいした頃から次第に平常の状態に戻って行った。

また、この頃から、探査を行う業者も多くなった。磁気探査以外の方法は探査できないが、磁気測定装置は業者によって各種のものが使用された。概していえば、後発の業者は、高価な外国製の磁気測定装置を採用したが、海中の波その他で雑震動が発生するので高感度の測定装置が威力を発揮できないことが多い。

現在は危険物探査として資格試験が行われている。

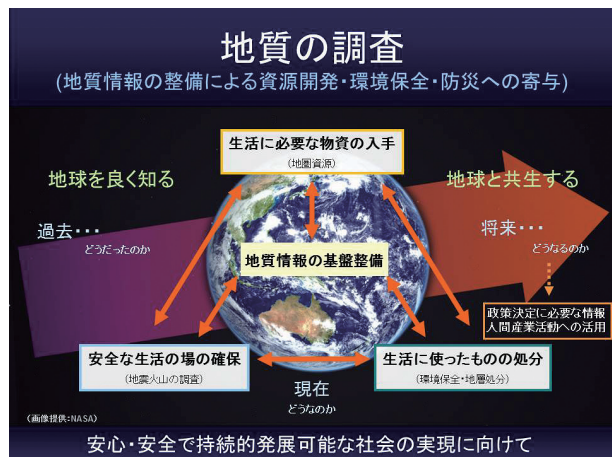
以上のように色々とは話は有るが、長くなるので、この辺で割愛する。

産業技術総合研究所(以下、産総研)は日本の産業を支える環境・エネルギー、ライフサイエンス、情報通信・エレクトロニクス、ナノテクノロジー・材料・製造、標準・計測、地質という6分野の研究を行う我が国最大級の公的研究機関です。総職員数は約3,000名で、その内2,000名以上の研究者がいます。地質分野の職員数は産総研の約1割を占めています。「地質の調査」に関連する研究部門・連携研究体・研究関連部署全体を一括して、地質調査総合センター(Geological Survey of Japan)と総称します。その前身は明治15年(1882年)創立の地質調査所で、産総研の中で最も古い研究機関です。今年で創業129年になります。そして、平成22年度から第3期中期計画(平成22年4月～平成27年3月の5年計画)が始まりました。



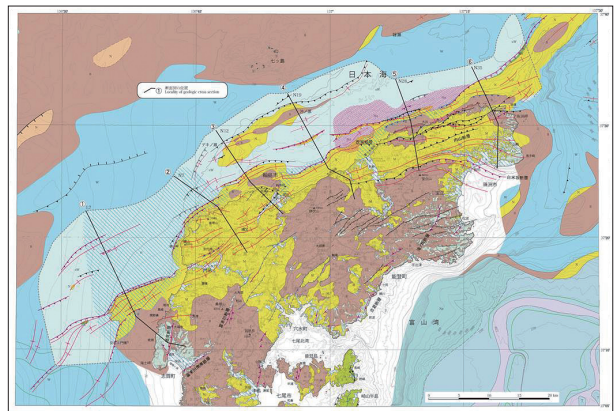
産総研つくば研究センター

「地球を良く知り、地球と共生する」をモットーに、地殻変動の活発な我が国において、安心・安全な社会構築のための基盤情報である地質情報の整備を行います。それを基礎にして、自然災害の軽減、地球環境の保全、資源・エネルギーの開発などの問題解決のための技術開発を行います。第3期中期計画では「国土及び周辺域の地質基盤情報の整備と利用拡大」、「地圏の環境と資源に係る評価技術の開発」、「地質災害の将来予測と評価技術の開発」、「地質情報の提供、普及」、「国際研究協力の強化、推進」の5つの大項目で研究を実施しています。



産総研第3期中期計画地質分野の概念図

地質調査総合センターでは、地質、地形、地球物理、物理探査、地球化学などを専門とする研究者がおり、3つの研究ユニットとして地質情報研究部門、地圏資源環境研究部門、活断層・地震研究センターがあります。また、深部地質環境研究コア、地質調査情報センター、地質標本館などが含まれます。地球物理や物理探査を専門とする研究者たちは、その得意とする研究対象や手法に応じて各研究ユニットに所属していますが、大きな研究プロジェクトではチームを作って協力しています。たとえば、能登半島地震や新潟県中越沖地震を契機に開始された沿岸域の活断層・地質調査研究プロジェクトでは、海陸を接合する物理探査や地質調査などを実施しています。これらの調査研究成果は数値地質図としてDVD出版されています。



海陸シームレス地質情報集「能登半島北部沿岸域」

産総研の物理探査の歴史は長いですが、その中で育まれてきた技術を伝承しながら時代の変化に応じた要請に応えるために新しい技術を導入・開発してきました。流れゆく川の水のように、研究組織や研究者は同じではありませんが、「地下構造の見える化(可視化)」を目標に切磋琢磨してきました。

今後とも、社会から要請される様々な課題解決に向けて、国土の地質調査に関する業務を着実に果たしていくことと意思します。

最後に、産総研物理探査関係の職場に関するトピック紹介で筆を終えます。毎年5月頃に、物理探査関係者の親睦会である南風会主催による地球物理・物理探査関係報告会が二日間にわたって開催されます。南風会は旧地質調査所物理探査部を中心とした交流会でしたが、産総研の地球物理・物理探査関係者のコミュニケーションを図るために活動を継続しています。この報告会では、通常の研究報告はもちろん、普段の学会・研究会では話せないような興味深い内容の発表があります。今年は、若手からベテランまでの研究者が、口頭28件、ポスター7件を発表しました。かなり厳しい質疑応答も時々あります。物理探査という技術の川の流れが、こうした活動によっても伝統的に受け継がれていきます。

(文責：独立行政法人 産業技術総合研究所 地質情報研究部門 牧野雅彦)



講演会・セミナー開催のお知らせ

第124回(平成23年度春季)学術講演会のお知らせ

1. 会期：平成23年5月10日(火)～5月12日(木)
2. 会場：早稲田大学国際会議場
3. 一般講演(口頭およびポスター)の申し込みは平成23年3月7日(月)までに、学会ホームページ(<http://www.segj.org/>)から行って下さい。なお、会員でない方の発表も受け付けますが、申し込み方法や締切日などが会員と異なりますので、学会ホームページでご確認下さい。
4. 講演会参加費
一般：4,000円(事前登録)、5,000円(会場登録)、学生：2,000円(事前登録)、3,000円(会場登録)
5. 講演会参加事前登録
締切 平成23年4月25日(月)
6. 交流会参加事前登録
締切 平成23年4月25日(月)
一般：4,000円(事前登録)、5,000円(会場登録)、学生：2,000円(事前登録)、3,000円(会場登録)
7. 展示・広告掲載企業募集
展示企業を募集いたします。展示を希望される場合、下記にお問い合わせ下さい。
8. 問い合わせ先
〒101-031 東京都千代田区東神田1-5-6 MK 第5ビル 2F
社団法人 物理探査学会 学術講演委員会
電話・FAX：03-6804-7500
E-mail：office@segj.org/
ホームページ：http://www.segj.org/

9. 技術士の継続教育(CPD)時間認証について

本学術講演会参加者には会員・非会員に拘わらず、毎日の参加時間に応じて物理探査学会の参加認定証を交付致します。さらに、口頭およびポスター発表者には、1編当たり8時間のCPD時間を認定し、別途認定証を交付致します。

第10回 SEGJ国際シンポジウム論文募集

1. 会期：2011年11月20日～23日
2. 場所：京都大学百周年時計台記念館
3. 要旨締切り：2011年3月末(予定)
4. ウェブサイト：<http://www.segj.org/is/10th/>
5. テーマなど：Imaging and Interpretation

本シンポジウムでは、可視化できない地下の構造やプロセスをより深く理解しモデリングするため「地下のイメージングと解釈技術」をメインテーマとして掲げる。物理探査手法の理論的開発、室内実験、データ処理スキーム開発、モデリングとインバージョン理論や地下の解釈技術、最先端の応用、そして事例紹介を通じ天然資源開発、環境問題、土木分野や浅層部の地盤調査、自然災害の軽減、地球の包括的な地殻活動プロセスの把握、多岐の地球科学分野にまたがる応用を対象とする。期間中に一般公開講演会と京都近郊へのテクニカルツアーを行う。

第5回 3次元電磁探査国際シンポジウム(3DEM-5)論文募集

1. 会期：2011年10月7日(金)～9日(日)
2. 会場：北海道大学学術交流会館(札幌市)
3. 論文集原稿締切：2011年5月31日
4. 運営：3DEM-5国内組織委員会
共催：Gerald W. Hohmann Memorial Trust
産業技術総合研究所・地圏資源環境研究部門
北海道大学・地震火山研究観測センター

協賛：物理探査学会

後援：地球電磁気・地球惑星圏学会(検討中)

5. テーマなど：

米国ユタ大学の物理探査講座の教授であったGerald W. Hohmann氏(1992年に51歳で逝去)を記念する基金Gerald W. Hohmann Memorial Trustは、3次元電磁探査法研究の先駆者であったHohmann教授の業績と貢献に因り、1995年から4年毎に3次元電磁探査法に関する国際シンポジウム(International Symposium on Three-Dimensional Electromagnetics)を開催しています。本シンポジウムでは、3次元電磁探査の計測・解析技術や適用事例について世界の最新の成果が発表され、情報交換や討論が行われます。

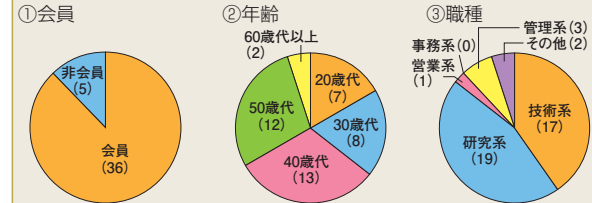
6. 連絡先：<http://www.segj.org/3dem5/>
3dem5@segj.org

物理探査ニュースに関するアンケート調査結果

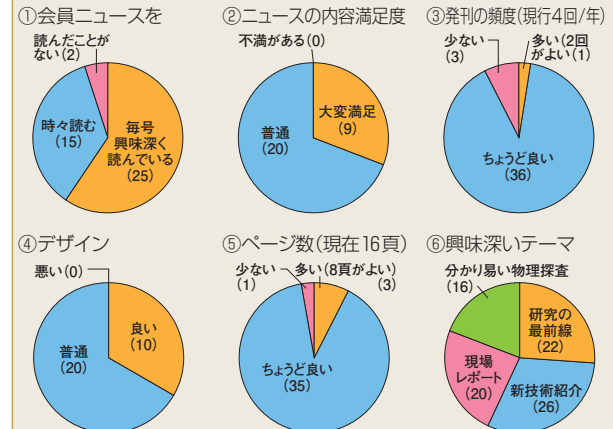
ニュース委員会では、学術講演会委員会の協力を得て、第122回物理探査学会学術講演会(平成22年5月31日～6月2日)と第123回物理探査学会学術講演会(平成22年9月29日～10月1日)において「物理探査ニュース」についてのアンケート調査を実施しました。回収されたアンケート用紙は11枚と31枚で計42枚でした。

調査結果をまとめると、以下のようになり、現在のニュースに大きな問題はないようですが、会誌の記事との仕分けや、今後取り上げて欲しい記事などを参考に編集に取り組みたいと思います。回答を頂いた方に厚くお礼申し上げます。

1. 回答者



2. ニュースについて



- ⑦ 興味深い記事：MEMS/MEMS型加速度センサー、東南アジアの陸上反射法、屈折法の歴史的事例など
- ⑧ 今後取り上げて欲しい記事：計測機器の紹介、物理探査の成果を利用する専門でないユーザーからの物理探査業務への期待、若手や女性技術者に視点を当てた記事など
- ⑨ 意見：アウトリーチにも役立てて欲しい。速報性を重視して回数を増やす。一つの記事の量が多い。ニュースのネタは大丈夫か。会誌と棲み分けが重要。など

(文責：ニュース委員会 海江田秀志)

編集後記

「物理探査ニュース」が発刊されて3年目に入りました。ニュース委員会のメンバーは、20代から60代までの委員で構成されています。各年代の委員から、様々な意見やアイデアを出しあって議論したり、アンケート調査などを通して皆様のご意見や要望をお聞きして、少しでも皆様に「物理探査」を理解して頂くとともに興味をもっていただくことを目的にして、毎号少しずつ改善しています。

「分かり易い物理探査」は今回から4回の連載

で東京工業大学名誉教授の斎藤正徳先生に、物理探査で利用されている逆解析法について解説していただきます。先生の論文は、各種の物理探査の分野で引用されており、ご研究の一部を分かり易く説明していただきます。

本誌の内容をさらに充実させていくために、皆様のご意見などをお待ちいたしております。

(ニュース委員会委員：竹内睦雄)

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.segi.org/committee/news/ques/news_ques.html

物理探査ニュース 第9号 2011年(平成23年)1月発行

編集・発行 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/FAX : 03-6804-7500

E-mail : office@segi.org

ホームページ : <http://www.segi.org>