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

Geophysical Exploration News　April 2011 No.10

日本の近海の、石油・天然ガス賦存ポテンシャルの高いエリアにおいて海底下数千メートルを対象とした地下構造調査を行っている三次元物理探査船「資源」。その調査手法を簡単に紹介します。（本号の現場レポート記事をご覧下さい）

現場レポート

日本の周りの海域では「資源」が地下構造調査を行っています

（独）石油天然ガス·金属鉱物資源機構
石油開発技術本部技術調査部物理探査船チーム
鬼山武広

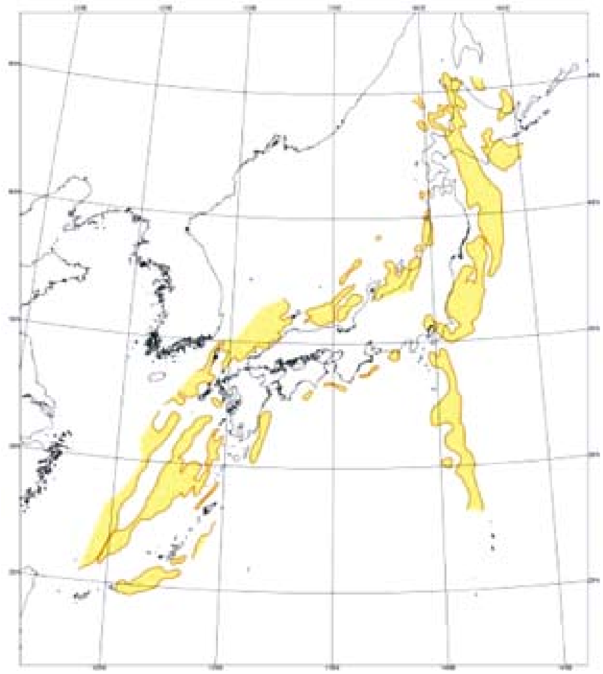

図1　石油·天然ガス賦在ポテンシャルの高いエリア
（堆積量2000m 以上の堆積盆）
注）海洋エネルギー・鉱物資源開発計画
平成21年3月　経済産業省を引用

日本の周辺海域には、石油や天然ガスの賦存が期待される海域が存在しています（**図1**）。このような海域を効率よく調査して、民間企業による油ガス田の発見を促進するため、経済産業省資源エネルギー庁は、日本国として初めて三次元物理探査船を平成20年２月に導入しました。以来、北海道から沖縄までの海域の地下構造のデータを計画的に取得しています。

船の名は「資源」。導入前は世界で地下構造データを取得して顧客に提供する専門会社の所有だった１隻を購入したものです（**写真1**）。

調査方法は、掘削することなくある程度地下構造を明らかにできる反射法地震探査という手法を用いています。簡単に言うと、海中で音波を発生させると海底下に伝わっていく過程で地層同士の境界面で一部のエネルギーが反射して戻ってくるという自然の法則を利用したもので、このようなデータをある程度広い範囲で取得する場合に一般的に使用される方法です（**図2**）。

実際には、「資源」の船尾付近に曳航したエアガン（高圧空気を一瞬で海中に放出する）から一定間隔で音波を発生させ、その波が伝搬する過程で海底面や地層境界面で反射して戻ってくるものを、これまた「資源」の船尾から幅100m間隔で曳航した長さ5,000m以上のストリーマケーブル（超小型の感圧型水中マイクロフォンを直径70mm程度の浮力のあるケーブルに内蔵）10本で受振して、船上にある装置に記録するものです（**図3**）。

写真1　地下構造調査船「資源」

この方法による調査は従来から行われていましたが、以前は曳航するストリーマケーブルが１本だったので精度の上がらないものでした。一般的に、１本のストリーマケーブルを曳航してデータを取得する方法を二次元調査（2 Dimension Survey）、複数のストリーマケーブルを曳航してデータを取得する方法を三次元調査

図2　調査概念図
ストリーマケーブルは横方向100m間隔で10本を曳航

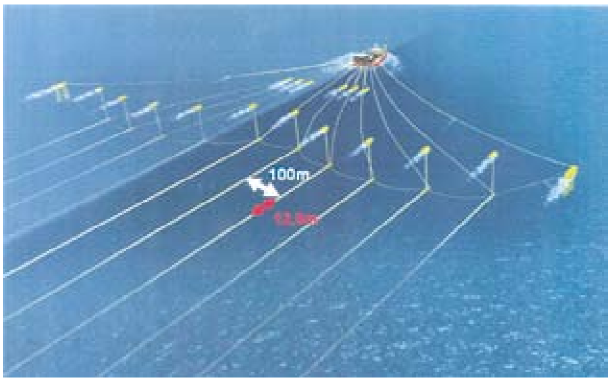

図3 「資源」が調査機材を曳航している様子

（3 Dimension Survey）と呼んでいます。1990年代、三次元物理探査の技術が確立され、かつGPSによる位置測量の精度が飛躍的に向上したことで従来にはなく正確で詳細なデータが短時間で取得できるようになりました。

「資源」の大きさは、長さ86.2m、幅39.6m、喫水8.5m、国際総トン数10,395トンと、けっして大きな船ではありませんが、調査船としては世界最大級の船です。その形を上から見てみると、今まで見たことのない形の船であることがわかります**（写真2）**。これは、三次元の資源探査の専用船として設計されたことによるもので、通常の船では船を動かすエンジンが船体中央部から後部の船底近くにあるのに対して「資源」では、船尾から曳航する調査機材を格納する広い空間を後部に確保する必要があるために、エンジンを船首側に搭載して推進力を電気的に供給するように作られています。

これに加えて居住空間も船の真ん中付近より前方に集めて設計されているため、後部甲板を存分に使った調査機器の収納スペースがレイアウトできるのです。

上から見た船の形が、通常の船と違っておにぎり型をしているのは、たくさんの機材を船尾から曳航できるように工夫した結果なのです。

「資源」には最大65人乗船することができますが、通

写真2　調査機器を曳航している「資源」
曳航しているたくさんのケーブルが見える。絡まないのが不思議ですね。

常は30人前後の船員さん(「資源」の運航を担当)と25人前後の調査員が乗り組んで24時間体制で海底下の地下構造データを取得しています。「資源」は最長106日間無補給で航海できますが、乗船者は35日ごとに交代します。通常の乗船者交代は港に入って清水、燃料、食料などの補給とともに行われますが、調査期間の制限や条件次第では港に入れないこともあるので、その場合はヘリコプターにより交代することもあります(**写真3**)。

写真3　ヘリコプターによる乗船者交代
55人前後の交代を行うので、ヘリコプターの大きさによっては2日掛りで10往復程度のフライトとなることもある。

前述のように「資源」は、幅900m、長さ5,000m以上に渡る海域を占有して調査機材を曳航しています。このため、「資源」とテールブイ(ストリーマケーブルの最後部)の間を他の船舶が横切ると調査機材に損傷を与えるほか、横切った船にも被害が及ぶ場合がありますので、そのようなことがないように、漁業関係のみなさんや他船舶に対し近づかないよう事前に説明を行うとともに、複数の警戒船を使って注意を払っています。

また、海には浮遊するゴミが海上だけでなく海中にも漂っています。小さなゴミであればそれほど神経質にならなくてもいいですが、時には長さ数mの流木や漁網の塊などが流れていることもあり、このように大きなものが調査機材に接触すると破損や流失の原因にもなるので、警戒船により回収しています。

図3は「資源」が調査機材を曳航している概念図です。標準的にエアガンは海面下6m、ストリーマケーブルは同8mの深度に安定させて曳航します。このような状態で準備ができたら、決められた位置を移動しながら決め

写真4　高圧空気を一瞬で海中に放出するエアガン
エアガンはフロートに吊るされており、一度に28個のエアガンが発震します。

られた範囲のデータを取得していきます。

調査の方法は、エアガンに高圧空気を溜めて一気に放出すること(発震といいます)により音波を発生させますが、これを25m間隔で行いながら進みます。速度はおおよそ4ノット～5ノットなので、発震間隔は9秒～12秒となり、その間隔に間に合うようにデータを取得することになります。

エアガンは長さ15m程度の6本のフロート(浮き)に吊るされています。これらを一度に発震することにより、大きなエネルギーの音波が得られるのです。

エアガンの容量は1発震点当たり合計で3,090in^3(約50ℓ)、圧力は2,000psi(136気圧)となります。

エアガンで発震した音波は球面状に広がり、海底下の

写真5　揚収中のストリーマケーブル
ケーブルの所々にケーブル深度調整器や緊急浮上装置、音響測定装置などが取り付けられている。

地層に減衰しながら浸透すると共に、海底や地層の境界面で反射する性質があり一部の波が戻ってきます。これをストリーマケーブルに埋め込まれた受振器(水中マイクロフォン)でキャッチし、船上の記録器に転送して録音されることになります。

このようにして記録されたデータは船上においてある程度処理され、陸上の処理班に送られます。最終的に処理されたデータを断面図という形で表し、石油や天然ガスといった化石燃料の存賦の可能性を、既存の様々な地質情報に照らして総合的に解釈することになります。

「資源」はこのような方法で地下構造データを取得しますが、その能率を分かりやすく説明するには、「資源」が１日に走る距離で表すのが適当でしょう。通常何もトラブルがない状態であれば、おおよそ150km/日の進捗が期待されます。これは75km^{2}の面積(札幌市西区の面積にほぼ同じ)になります。

「資源」が調査を開始したのは平成20年2月ですので、３年近く経ちました。この間日本周辺の14海域で調査を実施し、二次元調査では約9,600km、三次元調査では約13,000km^{2}のデータを取得してきました

写真6　ストリーマケーブルの終端についているテールブイ
「資源」の5,000m以上後方にこのようなブイが100m間隔で10個並んでいます。他の船が見たら潜水艦の一部と勘違いするかも?

(いずれも平成22年10月末現在)。「資源」の年間稼働実績は240日以上あり、これからも日本各地でデータ取得を実施します。

どこかの海域でこの船をご覧になりましたら、「資源」が日本のエネルギー確保のために活動していることを思い出していただきたいと思います。

農業分野の
物理探査

電磁探査法の淡水レンズ地下水調査への応用

(独)農業･食品産業技術総合研究機構
農村工学研究所　主任研究員
石田　聡

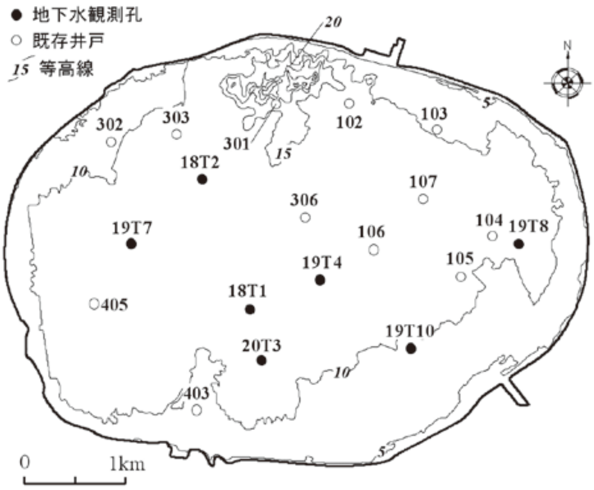

Fig.1　調査地点位置図（沖縄県多良間島）

淡水レンズは島や半島において海水を含む帯水層の上部に、密度差によってレンズ状に浮いている淡水域を指し、カリブ海、太平洋、インド洋などの低平な島嶼や、南西諸島（例：沖縄県大東島や多良間島）などに分布しています。その形状は帯水層の透水性の不均一性によって不規則であることが多いため、淡水域の厚さを把握するには観測孔を面的に設置して塩淡境界を実測する方法がとられます。しかし経済的理由で観測孔の数量は限定的になることが多く、限られた数の観測孔のデータを補完するために物理探査手法が用いられます。ここでは電磁探査法を用いて地下水中の塩淡境界深度を推定した例を紹介します。

Fig.2　電磁探査機器（左）と測定風景
（右：手前が受診受信コイル、奥が送信コイル）

1. 調査方法

調査地である多良間島は沖縄本島那覇市の南西360kmに位置する総面積20km^2、標高十数mの低位段丘が広がる平坦な楕円形の島です。地質は深度60～70mまで透水性の石灰岩が分布し、地下水は淡水レンズの形で存在しています。調査は、塩水域まで達する観測孔７箇所、および深度が浅い地下水取水用の既存井戸１１箇所において電磁探査を行うとともに、深度１m毎の地下水中の電気伝導度測定を行いました。**Fig.1**に調査地点位置図を示します。

電磁探査にはカナダGeonics社製EM34-3を用いました。本機器は送受信にそれぞれ直径１m程のコイルを用いるループ･ループ法またはスリングラム法と呼ばれるもので（齋藤，2010）、既往研究においても地下水の塩淡境界深度測定に多く用いられています。ここでは水平ダイポールモード･コイル間隔10、20、40mにて地盤の見かけ導電率を測定しました。**Fig.2**に電磁探査機器と測定風景を示します。

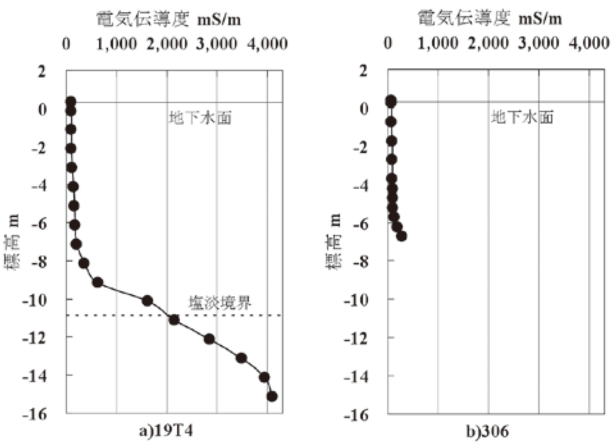

Fig.3　地下水の電気伝導度鉛直分布（左：観測孔、右：井戸）

2. 調査結果

Fig.3に観測孔と井戸における地下水の電気伝導度鉛直分布例を示します。地下水面から一定の標高までは電気伝導度が比較的小さい淡水域が存在し、それ以深では深度が増すにつれて徐々に値が上昇しています。また井戸は塩水を引き込まないた

め、井戸底が塩水域より上部に設定されています。このため井戸においては塩淡境界深度の実測値は得られていません。

EM34-3による電磁探査によって地下水中の塩淡境界を求める場合、不飽和帯を第１層、淡水域を第２層、塩水域を第３層とする３層構造と仮定し、各層の導電率、第２層と第３層の境界（塩淡境界深度）を可変要素とした逆解析が行われる場合が多く、ここでは非線形最小二乗法による一次元逆解析ソフト、アメリカInterpex Limited社製IX1D（v3.42）を用い、調査地点の塩淡境界深度を求めました。求めた観測孔７地点の塩淡境界深度と、それぞれの地点の電気伝導度鉛直分布を比較したところ、両者の相関が最も高かった電気伝導度は1,840mS/mでした。**Fig.4**に電磁探査結果より求めた推定塩淡境界標高と、実測による1,840mS/m標高との関係を示します。両間には正の相関が見られ、相関係数はR^2=0.92と高い値を示しました。このことは、本調査地において電磁探査によって塩淡境界深度（ここでは1,840mS/m深度）を推定することが可能であると示しています。

また、それぞれのコイル間隔による見かけ導電率と塩淡境界深度との関係を**Fig.5**に示します。いずれのコイル間隔でも見かけ導電率と塩淡境界深度との間には相関が見られ、コイル間隔10m、20m、40mに対する相関係数はそれぞれR^2=0.38、0.92、0.91でした。EM34-3における探査深度はコイル間隔が大きくなるほど深くなりますので、コイル間隔が10mの場合の相関係数が小さい理由は、コイル間隔10mでは深度14～24mの塩淡境界を検知することができないためと考えられます。これに対してコイル間隔20m、40mの場合の相関は比較的高く、一つのコイル間隔による測定によって、塩淡境界深度を推定できる可能性を示しています。この方法は、塩淡境界深度以外の要素（各層の導電率、不飽和帯の厚さ等）がほぼ等しく、見かけ導電率に影響しないと考えられる現場で有効です。

ここでは**Fig.5**に示すコイル間隔40mにおける近似式を用い、塩淡境界深度が未知の既存井戸11地点において塩淡境界深度を推定しました。その結果と実測７地点の結果より求めた淡水域（ここでは電気伝導度1,840mS/m以下の領域）の厚さ分布と形状を**Fig.6**に示します。淡水域は島の中央部で10m以上の厚さを持ち、縁辺部ほど薄くなります。

このように観測孔での実測と電磁探査法を併用することによって、より詳細に塩淡境界深度分布を明らかにすることができます。電磁探査に要する調査時間は１地点あたり20分程度と短く、短時間に多くの地点の調査が必要な場合、本手法は特に有効であると考えられます。

参考文献

斎藤　章（2010）：分かり易い物理探査 電磁法4），物理探査ニュース，2010No.8，5-8.

石田　聡ら（2011）：沖縄県多良間島における淡水レンズ賦存量の推定，農業農村工学会論文集，印刷中

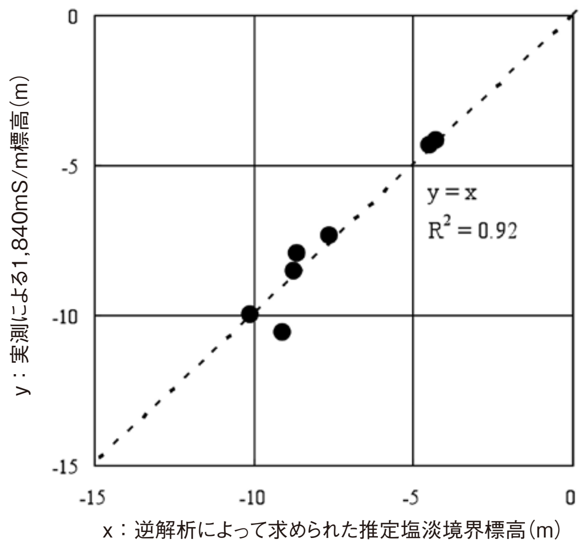

Fig.4　電磁探査結果と電気伝導度実測値の比較

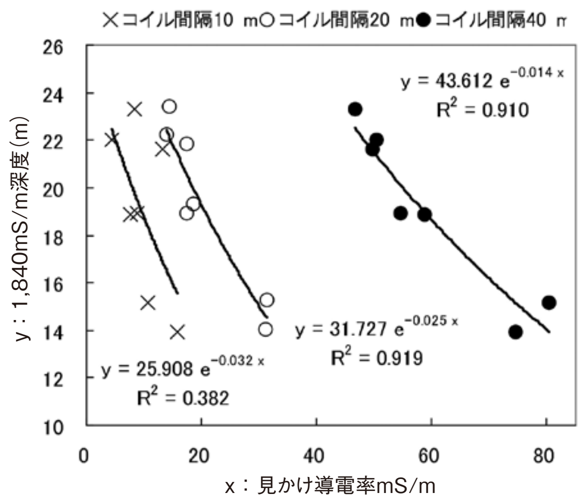

Fig.5　電磁探査による地盤の見かけ導電率と塩淡境界深度

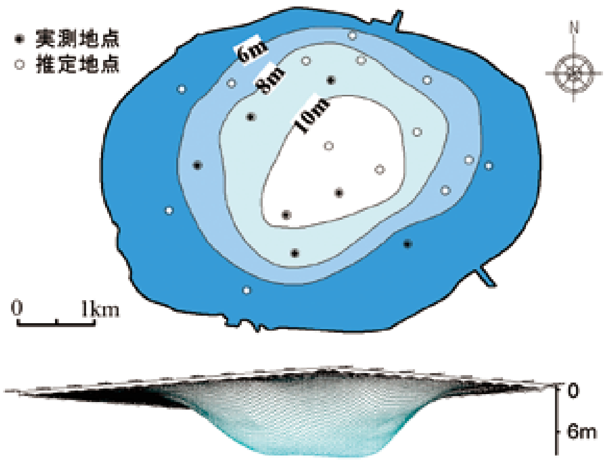

Fig.6　淡水域の等層厚線図（上）と淡水レンズ形状（下）

物理探査
手法紹介

分かり易い物理探査
（インバージョン解析の基礎 その2）

このコーナーでは、よく利用されている物理探査の手法について、その分野の第一人者による解説をお願いしており、今回は東京工業大学斉藤名誉教授によるインバージョン解析の分かり易い解説の第2回目です。

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

1.6 重みつき最小二乗法

前号のように一般的な問題を考えた場合には、残差の各成分が同じ量ではないこともある。たとえば、ある成分は走時の残差であり、またある成分は重力異常の残差であるかもしれない。また、同じ次元の残差ではあっても、誤差の大きな観測値に基づく残差と、誤差の小さな観測値に基づく残差を対等に扱って残差の二乗和を最小にすることは合理的ではない。

そこで単に残差の二乗和を最小にするのではなく、残差の各成分に重みをつけて

$$\sum_{j=1}^{n} w_j r_j^2 = \min. \qquad w_j > 0 \tag{1.34}$$

とすることが考えられる。重み w_j としては、たとえば観測値 y_j の誤差の標準偏差が σ_j であるとき

$$w_j = \frac{1}{\sigma_j^2} \tag{1.35}$$

がよく用いられる。こうすれば(1.34)式左辺の各項は無次元量になり、また誤差の大きな観測値に対しては重みが小さくなって、上で述べた欠点は避けられる。(1.34)式に対する正規方程式は複雑になるが、変数変換を行えば観測方程式を(1.31)式のような標準形に直すことができる。

そのためにまずベクトル $\boldsymbol{a}_k$ の j 成分を a_{jk} と表すことにする。すなわち

$$\boldsymbol{a}_k = \begin{bmatrix} a_{1k} \\ a_{2k} \\ \vdots \\ a_{nk} \end{bmatrix} \tag{1.36}$$

とすれば(1.34)式の左辺は

$$\sqrt{w_j}\, r_j = \sqrt{w_j}(y_j - x_1 a_{j1} - x_2 a_{j2} - \cdots - x_m a_{jm})$$

であるから

$$r'_j = \sqrt{w_j}\, r_j \qquad y'_j = \sqrt{w_j}\, y_j$$
$$a'_{jk} = \sqrt{w_j}\, a_{jk} \tag{1.37}$$

とすれば、ダッシュのついた量に対して観測方程式(1.31)が成り立つことになる。この観測方程式に対して残差 r'_j の二乗和が最小という条件が(1.34)式にほかならない。

はからずもここで行列要素 a_{jk} が現れてしまった。行列表現を用いると数式を簡潔に表すことができるが、逆に内容がわかりにくくなるので、以下でも行列は用いずにベクトル表現に固執することにする。

1.7 安定化最小二乗法

グラム・シュミット法では(1.30)式などを見ればわかるように、x_k を求めるときに $\|\boldsymbol{q}_k\|^2$ による割り算が含まれている。$\|\boldsymbol{q}_k\|^2$ が0になればこの割り算ができなくなり、答えがないことになる。0でないにせよ $\|\boldsymbol{q}_k\|^2$ が0に近いときには、割り算によって x_k の絶対値が大きくなって、解が「暴れる」という現象が生じる。これは $\boldsymbol{a}_k$ が互いに線型独立でない、すなわちある $\boldsymbol{a}_l$ がほかのいくつかの $\boldsymbol{a}_k$ の一次式で表されてしまう、あるいはそれに近くなったときに起きるものである。残念なことに、物理探査におけるインバージョンではよく起きる現象である。ここでは簡単な対症療法を示す。

x_k が暴れるなら、暴れないように x_k の大きさを制限すればよい。最小二乗法の枠内で x_k の大きさを制限するのは難しいので、残差の二乗和と x_k の二乗和の和を最小にすることにする。すなわち正の定数 λ を選んで

$$\sum_{j=1}^{n} r_j^2 + \lambda \sum_{k=1}^{m} x_k^2 = \min. \tag{1.38}$$

を条件にする。こうすれば x_j が極端に大きくなることがある程度防ぐことができるだろう。ここで r_j は、必要があれば(1.37)式などによってスケーリングされた r'_j を表すものとする。(1.38)式の第一項はこれまでと同様な残差の二乗和、第二項が解の二乗和である。λ は第一項と第二項との相対的な重みを表している。$\lambda = 0$ のときがこれまでの普通の最小二乗法である。λ は解析者が適宜与えるパラメーターで、その選択法には色々な問題がある。

(1.38) 式左辺の極小点を求めるために左辺をx_kで偏微分して 0 と置くと

$$x_1(\boldsymbol{a}_k\cdot\boldsymbol{a}_1)+x_2(\boldsymbol{a}_k\cdot\boldsymbol{a}_2)+\cdots \\ \cdots+\lambda x_k=\boldsymbol{a}_k\cdot\boldsymbol{y} \tag{1.39}$$

が得られる。これが (1.38) 式に対応する正規方程式である。この式は (1.32) 式などとは形が異なっているが、つぎのようにすれば同じ形に直すことができる。

n 次元のベクトル $\boldsymbol{y}$ 、$\boldsymbol{a}_k$をつぎのように$n+m$ 次元のベクトルに拡張する。

$$\boldsymbol{y}'=\begin{bmatrix}\boldsymbol{y}\\0\\\vdots\\\vdots\\0\end{bmatrix}\qquad \boldsymbol{a}'_k=\begin{bmatrix}\boldsymbol{a}_k\\0\\\vdots\\\sqrt{\lambda}\\0\\\vdots\end{bmatrix} \tag{1.40}$$

$\boldsymbol{y}'$は $\boldsymbol{y}$ の下にm個の 0 を加えたもの、$\boldsymbol{a}'_k$は同じく$\boldsymbol{a}_k$の下にm個の 0 を加えるが、k 番目の 0 を$\sqrt{\lambda}$で置きかえたものである。こうすると、さきの正規方程式 (1.39) は

$$x_1(\boldsymbol{a}'_k\cdot\boldsymbol{a}'_1)+x_2(\boldsymbol{a}'_k\cdot\boldsymbol{a}'_2) \\ +\cdots+x_m(\boldsymbol{a}'_k\cdot\boldsymbol{a}'_m)=\boldsymbol{a}'_k\cdot\boldsymbol{y}'$$

となり、これは (1.32) 式と同じ形である。いいかえれば、上式は観測方程式

$$\boldsymbol{y}'=\sum_{k=1}^{m}x_k\boldsymbol{a}'_k+\boldsymbol{r}'$$

の$n+m$ 次元の残差ベクトル $\boldsymbol{r}'$ の長さを極小にする最小二乗法の正規方程式になっていることがわかる。正規方程式を解かないという方針にしたがえば、$\boldsymbol{a}'_k$、$\boldsymbol{y}'$を用いてグラム・シュミット法やハウスホールダー法を用いて解を求めればよい。

現実問題としてはλをどのように選ぶかという問題がある。r_jは成分ごとに次元の異なる量であるかもしれない。そのときには (1.35) 式のような重みをつけてy_jを無次元化すればこの問題は避けられる。つぎの問題はx_kも k によって次元が変わる量かもしれないということである。たとえば、あるx_kは P 波速度であり、べつのx_kは密度であるというような場合である。このときにx_kの二乗和を作っても意味がない。少なくともすべてのx_kが同じ次元をもつ量でなければ二乗和を作っても意味がない。

そこで残差に重みをつけたときと同様に、x_kを無次元化することにする。すなわち、未知数x_kのかわりに

$$x'_k=\frac{x_k}{\overline{x}_k} \tag{1.41}$$

を未知数にすることにする。ここで$\overline{x}_k$はx_kと同じ次元をもつスケーリングのための定数である。x_kの場合には (1.35) 式のσ_jのように自然なスケールファクターがないから、その選択は難しい。ひとつの考え方としては、x_kのありそうな解を$\overline{x}_k$として用いることである。

ともかく$\overline{x}_k$を選択してスケーリングしたとき、(1.31) 式がx'_kに対して成り立つためには$\boldsymbol{a}_k$のかわりに

$$\boldsymbol{a}'_k=\overline{x}_k\boldsymbol{a}_k \tag{1.42}$$

を用いればよい。このようなスケーリングを用いればx'_kの二乗和は無次元量になり、また $\boldsymbol{y}$ も (1.37) 式によってスケーリングしておいたとすればr'_jの二乗和も無次元量になって、残差の二乗和とパラメーターの二乗和を加えたものが最小になるという要請が意味をもつことになる。

解 x_kが暴れる原因は (1.30) 式などの$\|\boldsymbol{q}_k\|^2$が 0 に近くなるためで、このことは正規方程式 (1.32) の係数行列の対角成分$(\boldsymbol{a}_k\cdot\boldsymbol{a}_k)=\|\boldsymbol{a}_k\|^2$が 0 に近くなることに対応している。そこで安定化最小二乗法の正規方程式 (1.39) を見直してみるとm元の連立方程式 (1.32) の係数行列の対角成分$\|\boldsymbol{a}_k\|^2$を

$$\|\boldsymbol{a}_k\|^2+\lambda$$

で置きかえたものに相当していることがわかる。したがって解を安定化させるためには正規方程式の対角項に定数λを加えて解けばいいことになる。

しかし上にも述べたように、対角項$\|\boldsymbol{a}_k\|^2$は k によって異なる次元をもつ量であるかもしれない。そこに同じ量を加えても意味がない。そこでλに相当する無次元のパラメーターμを用いて、正規方程式の対角成分を

$$\|\boldsymbol{a}_k\|^2\Longrightarrow\|\boldsymbol{a}_k\|^2(1+\mu) \tag{1.43}$$

の置きかえをする。このような置きかえをすれば正規方程式を解いてもそこそこ正しい解を得ることができる。μとしては 1/100 程度の値がよく用いられている。

2. 非線型最小二乗法

これまで用いてきた観測方程式 (1.31) は未知パラメーターx_kの一次式であった。しかし物理探査に現れる問題ではこのようなことはごくまれであって、観測値は未知パラメーターの複雑な関数になっている。観測走時を地下の P 波速度の関数として表すことを考えればこのことは明らかだろう。

このような非線型の場合の観測方程式を一般的に書き表そうとすればつぎのようになるだろう。

$$y_j=f_j(\boldsymbol{x})+r_j \qquad j=1,2,\cdots,n \tag{2.1}$$

ここで$f_j(\boldsymbol{x})$は観測値 y_j を説明するために採用されたモデル関数である。引数 $\boldsymbol{x}$ はモデルの中の未知パラメーター$x_1, x_2, \cdots, x_m$ をひとまとめにしてベクトルの形に書いてある。

簡単な例を一つあげる。オフセットが X の観測点における反射波の走時を T とすれば

$$T=\sqrt{T_0^2+\frac{X^2}{V^2}}$$

が成り立つ。T_0は垂直往復走時(ノーマルタイム)、V は二乗平均速度である。いま、オフセットがX_jにおける観測走時をT_jとしたときの観測方程式は

$$T_j=\sqrt{T_0^2+\frac{X_j^2}{V^2}}+r_j \tag{2.2}$$

となる。ここで未知パラメーターは

$$x_1 = T_0 \qquad x_2 = V$$

である。上の観測方程式は未知パラメーターに関して非線型である。この例では(2.1)式の f_j は観測点によらず同じ形をしており

$$f_j(\boldsymbol{x}) = \sqrt{x_1^2 + \frac{X_j^2}{x_2^2}}$$

である。しかし問題によってはjによって f_j の関数形が異なることもある。ただし、この例では観測量を T_j^2、未知パラメーターを $x_1 = T_0^2$、$x_2 = V^{-2}$ とすれば問題は線型になるが、ここではそのことは問題にしない。

$f_j(\boldsymbol{x})$ が $\boldsymbol{x}$ に関して非線型であるときに、観測方程式(2.1)の残差 r_j の重みつき二乗和

$$S(\boldsymbol{x}) = \sum_{j=1}^{n} w_j \left[y_j - f_j(\boldsymbol{x})\right]^2 \tag{2.3}$$

を最小にするという条件で未知パラメーター $\boldsymbol{x}$ を求めるのが非線型最小二乗法である。線型の場合と同様に考えれば、二乗和が最小になるためには $\boldsymbol{x}$ が

$$\frac{\partial S(\boldsymbol{x})}{\partial x_k} = 0 \qquad k = 1, 2, \cdots, m \tag{2.4}$$

を満たさなければならない。これは x_k に関する m 元の連立非線型方程式である。しかしこれでは十分ではない。非線型の場合には、極値は極大もあれば極小もある。また、極小点も1個とは限らない。したがって厳密にいえば、極小値を求めただけでは最小値を求めたことにはならない。しかし多くの適用例では一つの極小値を求めただけで満足することが多い。

非線型の場合には、線型の場合と違って、一般的な解法は存在しない。

2.1 ニュートン法

多変数の問題を考える前に、1変数の非線型方程式を解くことを考える。y が与えられたとき

$$y = f(x)$$

を x について解きたい。根 x の近似値 x_0 がわかっていたとき、本当の解を $x_0 + \Delta x$ とすると、$f(x_0 + \Delta x)$ をテーラー展開して1次までとると

$$y = f(x_0 + \Delta x) \doteq f(x_0) + f'(x_0)\Delta x$$

が成り立たなければならないから Δx の近似値として

$$\Delta x = \frac{y - f(x_0)}{f'(x_0)}$$

が得られる。$x_1 = x_0 + \Delta x$ として同じ手順をくりかえせば最終的には解が求められるであろう。これがニュートン法である。厳密にいえば、初期値 x_0 の値によってつねに解が求められるわけではないが、初期値が適正であれば収束は非常に速い。

一例として

$$y = 2 \qquad f(x) = x^2$$

とする。この方程式の根は $x = \sqrt{2}$ である。いま $x_0 = 1.4$ とすれば

$$\Delta x = \frac{2 - 1.4^2}{2 \times 1.4} = \frac{0.04}{2.8} = 0.0142857$$

であるから、つぎの近似値は

$$x_1 = 1.41428$$

となり、この値は小数点以下4桁まで正しい。

この方法を連立方程式(2.4)式に適用する。$\boldsymbol{x}_0$ がこの方程式の近似根であるとき、$\boldsymbol{x} = \boldsymbol{x}_0 + \Delta\boldsymbol{x}$ における(2.4)式の左辺をテーラー展開して1次までとれば

$$\left.\frac{\partial S}{\partial x_k}\right|_{\boldsymbol{x}=\boldsymbol{x}_0} + \sum_{l=1}^{m} \left.\frac{\partial^2 S}{\partial x_k \partial x_l}\right|_{\boldsymbol{x}=\boldsymbol{x}_0} \Delta x_l = 0 \qquad k = 1, 2, \cdots, m \tag{2.5}$$

が得られる。これは m 個の未知数 Δx_l に関する連立一次方程式であるから、定数項や係数

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial x_k} &= -2\sum_{j=1}^{n} w_j \left[y_j - f_j(\boldsymbol{x})\right] \frac{\partial f_j}{\partial x_k} \\ \frac{\partial^2 S}{\partial x_k \partial x_l} &= 2\sum_{j=1}^{n} w_j \left\{ \frac{\partial f_j}{\partial x_k}\frac{\partial f_j}{\partial x_l} - \left[y_j - f_j(\boldsymbol{x})\right] \frac{\partial^2 f_j}{\partial x_k \partial x_l} \right\} \end{aligned} \tag{2.6}$$

が計算できれば Δx_l を解くことに問題はない。これが解ければ $\boldsymbol{x}_1 = \boldsymbol{x}_0 + \Delta\boldsymbol{x}$ を新たな近似値として同じ手続きを繰り返せばよい。問題は $f_j(\boldsymbol{x})$ の一階微分や二階微分を計算することが非常に困難であるという点である。ついでながら、$\partial^2 S/\partial x_k \partial x_l$ を要素とする行列はヘシアンと呼ばれる。

2.2 最急降下法

最小値を求めるのであれば、なにも極小値をさがす必要はなく、$S(\boldsymbol{x})$ が小さくなるところをさがせばよい。1変数関数のときと同様に、$\partial S/\partial x_k$ は $S(\boldsymbol{x})$ の x_k 方向の増加の割合であるから、x_k 方向に対して減少する割合

$$g_k = -\frac{1}{2}\frac{\partial S}{\partial x_k} \qquad k = 1, 2, \cdots, m \tag{2.7}$$

は、$S(\boldsymbol{x})$ が最も減少する方向の方向余弦に比例している。係数1/2は便宜上のものである((2.6)式参照)。そこで g_k を成分とする m 次元のベクトルを $\boldsymbol{g}$ とするとき、$\boldsymbol{x}$ から $\boldsymbol{g}$ 方向に最小値をさがしていく。すなわち、α を少しずつ増やしながら $S(\boldsymbol{x} + \alpha\boldsymbol{g})$ を計算して極小点を求め、その点であらためて最急降下方向ベクトル $\boldsymbol{g}$ を決めなおしてその方向で極小値を求めるという方法が考えられる。この方法では最も急勾配の方向に最小値を求めるのであるから収束がいかにも速そうに思えるが、実際にはそう速くはない。次節に例をあげる。

3. 逐次線型化最小二乗法

非線型最小二乗法問題をそのままの形で解くのは非常に難しいので、問題そのものを線型化してしまおう。

ある近似解 $\boldsymbol{x}$ が知られているとき、つぎの解を $\boldsymbol{x}+\Delta\boldsymbol{x}$ とするとき、(2.1)式の右辺をテーラー展開の１次までとれば

$$y_j = f_j(\boldsymbol{x}) + \sum_{k=1}^{m} \frac{\partial f_j}{\partial x_k} \Delta x_k + \bar{r}_j \tag{3.1}$$

と書くことができる。ここで残差 $\bar{r}_j$ は(2.1)式の残差 r_j にテーラー展開の打切り誤差を加えたものである。この観測方程式は

$$\bar{y}_j = y_j - f_j(\boldsymbol{x}) \tag{3.2}$$

と置くと、線型の観測方程式(1.31)と同じ形

$$\bar{\boldsymbol{y}} = \sum_{k=1}^{m} \bar{\boldsymbol{a}}_k \Delta x_k + \bar{\boldsymbol{r}} \tag{3.3}$$

に書くことができる．ただしベクトル $\bar{\boldsymbol{a}}_k$ は $n \times m$ のヤコビアン行列 $\partial f_j / \partial x_k$ の列を表し

$$\bar{\boldsymbol{a}}_k = \begin{bmatrix} \partial f_1/\partial x_k \\ \partial f_2/\partial x_k \\ \vdots \\ \partial f_n/\partial x_k \end{bmatrix} \tag{3.4}$$

で定義される。 $\bar{\boldsymbol{y}}$ や $\bar{\boldsymbol{a}}_k$ などは $\boldsymbol{x}$ の関数である。

$\bar{r}_j$ は r_j とは異なるものである．したがって $\bar{r}_j$ を小さくすることが、ただちに r_j を小さくすることにはつながらない。しかしほかに選択肢がないから $\bar{r}_j$ の二乗和

$$\bar{S}(\boldsymbol{x}+\Delta\boldsymbol{x}) = \sum_{j=1}^{n} w_j \bar{r}_j^2 \tag{3.5}$$

が最小になるように $\Delta\boldsymbol{x}$ を決めることにする。これは観測方程式(3.3)に対する線型の最小二乗法にほかならない。 $\Delta\boldsymbol{x}$ が求められたら $\boldsymbol{x}+\Delta\boldsymbol{x}$ をあらためて $\boldsymbol{x}$ と置き、同じ手順を繰り返せば、最終的には $S(\boldsymbol{x})$ の極小点が求められるであろう。これが逐次線型化最小二乗法である。一回の反復ごとに $\bar{\boldsymbol{y}}$ や $\bar{\boldsymbol{a}}_k$ が変化するので、このままの方法で収束するかどうかは自明ではない。すなわち $\bar{S}(\boldsymbol{x}+\Delta\boldsymbol{x})$ が小さくなっても $S(\boldsymbol{x}+\Delta\boldsymbol{x})$ が小さくなる保証はないからである。

なお、以下では重み w_j が１になるように $\bar{r}_j$ などがスケーリングされているものとする。

3.1 最急降下法

$S(\boldsymbol{x})$ の最急降下の方向は(2.7)式で与えられている。これは(2.6)式からわかるように，モデル関数 $f_j(\boldsymbol{x})$ とその微分、すなわちヤコビアン $\partial f_j/\partial x_k$ が計算できればわかる。

そこで(2.7)式で決まる方向、 $\Delta\boldsymbol{x} = \alpha\boldsymbol{g}$ に(3.5)式の $\bar{S}(\boldsymbol{x}+\Delta\boldsymbol{x})$ ($S(\boldsymbol{x}+\Delta\boldsymbol{x})$ ではない)の極小値をさがすことにする。この極小値は

$$\frac{\partial \bar{S}(\boldsymbol{x}+\alpha\boldsymbol{g})}{\partial \alpha} = 0$$

から求めることができ、α は

$$\alpha = \frac{\|\boldsymbol{g}\|^2}{\|\sum_k g_k \bar{\boldsymbol{a}}_k\|^2} \tag{3.6}$$

である。

この方法は g_k さえ計算できればつぎの近似解 $\boldsymbol{x}+\alpha\boldsymbol{g}$ が求められるから、データや未知パラメーターが多い場合にでも適用することができる。しかし収束はそう速くはない。

一例として反射波の走時(2.2)式をとりあげる。 T_0＝１、 V＝１にスケーリングした上で、 X_i を0.1から0.1刻みに12個の走時を計算しこれを観測値として用いた。したがって観測誤差は含まれていない。未知数は $x_1 = T_0$ と $x_2 = V$ であるが、初期値として x_1＝0.6、 x_2＝0.5として反復を繰りかえしたときの残差の二乗和 $S(\boldsymbol{x})$ をFig. 3.1の黒丸で示してある。反復によって誤差は順調に減少してはいるが、10回の反復でも正解には達していない。

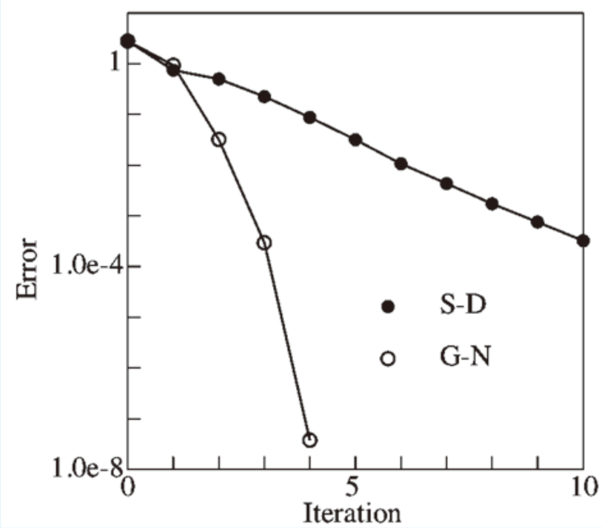

Fig.3.1　最急降下法(S-D)、ガウス・ニュートン法(G-N)による解の収束。縦軸は残差の二乗和。

（以下次号に続く。）

よもやま話

脱線・物探英語 その1

Money is everything.

Terra Australis Geophysica Pty Ltd
須藤公也

編集部から「英語について何かを」「脱線してもかまいません」という依頼を受けたのはかなり前のこと。そういえば、日本の物探論文の翻訳や校正の手伝いをして何年もなるし、折りしも「物理探査の手引き」の新版の翻訳と校正があった。そこからいくつか例を引きながら、私なりに見つけた日本人流の英語の癖や,それを英語でどう校正したかを説明したい。しばらく不定期連載という形で書いていくが、皆さんに面白いと思っていただければ幸いである。(別に、ためになることを書こうなんてつもりはない。)

学会の会員はほとんど全員大学を出てきているだろうから、中学校から大学まで何年も英語を学んできているはずだ。さらに、英語の論文を読む人はもとより、書く人だって少なくないことは承知している。事実、学会会員の英語を見ると、意味の通らない英語や間違って訳した英語というのはめったにない。文法的に三単現のsを忘れたり、時制が合わないなんていうのには時々お目にかかるが、私はここではそれを問題にしない。学校で勉強した和文英訳や英作文と翻訳との違い、意味が通るだけの文と読みやすい文、気持ちのいい文との違い、そういうことを取り上げたいと思う。(読者諸賢はここで読んだことを使って子供の英語の宿題の手伝いをしてはいけませんよ。必ず減点されます。)

なお、日本人の英語の癖を直した体系的な手引書には原子力学会刊「英文論文を書く」(吉田正男著)というすばらしい本があるので、興味のある方はそちらを参照していただきたい。著者は吉田茂宰相のご子息ということで、外交官の家庭で海外各地で暮らし言語感覚を育むことの利を知らしめられる。私の及ぶところではない。

英語の話を書くはずなのだが、日本人の英語の話だから、いきおい話が日本語の考え方や日本の英語教育に移ってしまうのをあらかじめお断りしておく。

と、ことわったところで、第一回は、"Money is everything"をとりあげる。実は英語の書き方でなくて日本語の書き方なのだが。皆さんこれをどう訳すだろう。「金が全部だ」でも、通じることは通じる。「金こそすべて」とも言える。これではまだ和文英訳の域を出ていない。「金がすべての世の中」と訳すと、一歩進んだ気がする。ちょっと日本語のわかる翻訳家なら「地獄の沙汰も金次第」とでも訳してくれないだろうか。これこそが翻訳。

ところで、"To him, money is everything"なら何と訳す?「彼にとっては金がすべてだ」、これで和文英訳なら満点。でも、「彼は金の亡者だ」という訳はどうだろう。このほうが、書き手の意図をよく伝えているのではないだろうか。「彼は金色夜叉だ」と訳したいところだが、採点者が金色夜叉を知らなければ点にならない。映画の字幕では、きっと「あいつぁ金に汚ねえ奴だ」となるだろう。ここで注意してほしいのは、原文のTo himという副詞句が訳文では主語になっているということ。翻訳では、文の要素をそのままに訳さなくてもいいのである。

では、"To the industry, money is everything."はどう言うか?上の成功例を公式だと思って「業界は金の亡者だ」と訳したら、何かおかしい。これが、金融業界や政治家(これも政治業界?)なら、それでいいかもしれないが、公式どおりにはいかないのだ。物探業界の話だったら、せめて「業界では、経済性が重視される」くらいには訳してほしい。訳し過ぎだと言われるのは覚悟の上で。

英訳の話をするはずが和訳の話ばかりになったが、ここで私が言いたいのは、ひとつの英文でもこれだけたくさんの言い方が日本語で可能だということである。これをもって、「日本語のほうが表現力が豊かだ」というのでなく、われわれが日本語のいろんな表現をよく知っているだけにすぎない。同様にひとつの日本語の文を表す英文はただひとつではない。われわれがいろんな言い回しを知らないだけなのだ。

「彼は金の亡者だ」をどう訳そうか。文型を重んじてそのまま訳すなら"He is a miser."これで満点。「金の亡者」は名詞だが、形容詞的に訳すと"He is stingy."で結構。「亡(=盲)?」にこだわるなら、「彼は金に目がくらんでいる」"He is blinded by money."。それでも、"To him, money is everything"といったほうが簡潔で、生き生きとした表現のように見える。「金色夜叉」みたいに"He is a Silas Marner."と訳してもいいだろうが、相手がGeorge Eliotを読んだことがなかったりしたら意味が伝わらない。

初回として、英文和訳・和文英訳と翻訳の違いを説明した。物探から離れてしまったので、宿題をひとつ。「物理探査は、探査対象と付近の地質などの諸条件を考慮して、手法を選択する」を英訳せよ。ヒント:この文で「物理探査」は主語だろうか。

次回は、この文を考察してみたい。

若手直撃インタビュー!!

現在業界で活躍されている若手の方々に
簡単な質問に答えていただきました

吉川　猛
（よしかわ　たけし）
基礎地盤コンサルタンツ株式会社　2002年4月入社

どのような仕事をされていますか？　主に、土木地質調査にかかわる物理探査の計画、測定、解析業務に携わっています。手法としては弾性波探査や電気探査に関わることが多いです。仕事柄、地方への出張が多いのですが、47都道府県制覇まであと少しとなりました。

物理探査（学会）との出会いor関わりは？　学生の頃、淡路島で行われた反射法地震探査の現場作業の手伝いに出かけたのが最初のきっかけです。そして、卒論のテーマが屈折法弾性波探査による地質構造解析でした。会社に入ってからも物理探査業務に従事し、今では、物理探査学会のニュース委員の仕事もさせていただいています。

今、一番ほしいものは？　パソコン。
「今」というより「常に」欲しがっています。病気だと思います。つい最近、ノートパソコンを購入して、実用上、十分事足りているはずなのですが、新しいモノを見るたびに欲が湧いてきます。パソコンメーカーのサイトで、商品のカスタマイズをしている時間が一番幸せです。

田中 宏明
（たなか　ひろあき）
三菱商事石油開発株式会社　2007年4月入社

どのような仕事をされていますか？　石油開発会社にて、物理探査技術者として業務に携わっております。一言で説明いたしますと、地震探査記録の解釈作業を主とする仕事です。まだまだ経験不足で至らない点が多いですが、この業界における一流の物理探査技術者を目指して精進していきたいと思います。

物理探査（学会）との出会いor関わりは？　学生の頃、淡路島で行われた反射大学・大学院時代に物理探査関連の研究室に所属していました。その頃、教授に勧められて物理探査学会に入会し、これまでお世話になっております。

今、一番ほしいものは？　とにかく時間です。時間があれば、その間により多くの様々な知識を得ることができますし、新しい事に目を向ける余裕もできます。なお二番目に欲しいものはオイルマンらしく自動車です。純粋にドライブが好きなので。

鈴木 憲一
（すずき　けんいち）
国際石油開発帝石株式会社（INPEX）2007年4月入社

どのような仕事をされていますか？　オセアニアユニットに配属し、主にオーストラリアの探鉱プロジェクトに携わっています。当社保有鉱区の探鉱については、主にオペレーターが実施した評価内容の検証作業、また、新規の探鉱については油ガスが胚胎する構造を探すために震探解釈作業を実施しています。勉強すべきことが多すぎて毎日あたふたしていますが、一日でも早く一人前と呼ばれる技術者になりたいと思っています。

物理探査（学会）との出会いor関わりは？　現在、当学会の会員委員を担当しています。学生時代は土木工学を専攻し、主に常時微動探査を行っていました。社会人になって物探学会に出席したときに、当学会で委員を務める学生時代の恩師と遭遇し、気付いたら入会届が提出されていました(笑)。

最近はまっていることは？　Twitterです。長いこと古い機種の携帯電話を使用していましたが、スマートフォンの購入を機に色々とつぶやくことにしました。有名人のつぶやきから、地震速報や電車の遅延情報まで、幅広くFollowしております。

物理探査ニュースでは、「若手直撃インタビュー」の記事を募集しています。自分を紹介して気軽に知名度を上げてみませんか？特に年齢等の制限はありません。自分をアピールしたい方、業界に知り合いの少ない方、どなたでも結構です。ご投稿お待ちしています！（投稿方法、お問い合わせは学会事務局まで）

お知らせ

講演会・セミナー開催のお知らせ

第125回(平成23年度秋季)学術講演会

1. 会期：平成23年9月13日(火)～9月15日(木)

2. 会場：秋田カレッジプラザ

平成23年度「物理探査セミナー」開催のお知らせと参加者募集

1. 開催日：平成23年6月28日(火)～30日(木)

2. 会場：会場(予定)：(財)深田地質研究所研修ホール

3. 参加申し込み締切：平成23年6月13日(月)

4. ウェッブサイト：

http://www.segj.org/committee/jigyo/index.html

5. 講義および講師：

第一日目、位置測量：金田智久(㈱地球科学総合研究所)、

リモートセンシング：岡田欣也(㈱地球科学総合研究所)、

物理検層(土木編)：赤津正敏(中央開発㈱)、

物理検層(石油編)：日下浩二(シュルンベルジェ㈱)、

第二日目：重力探査・磁気探査：森尻理恵(産業技術総合研究所)、

反射法地震探査：阿部進(㈱地球科学総合研究所)、

屈折法地震探査・弾性波トモグラフィ：斎藤秀樹(応用地質㈱)、

第三日目：微動探査：凌甦群（ジオアナリシス研究所)、

地中レーダ：佐藤源之(東北大学)、

電磁探査：城森明(ネオサイエンス)、

電気探査・比抵抗トモグラフィ：井上誠(地球情報・技術研究所)

本セミナー参加者全員に物理探査学会のCPD時間認定証を交付致します。

6. 受講料：

一般：会員8,000円／日、非会員10,000円／日、

学生：3,000円／日

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：平成23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. 講演申込み締切：平成23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. ウェッブサイト：http://www.segj.org/3dem5/

6. 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んで、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)を開催している。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る。

第10回SEGJ国際シンポジウム開催案内

1. 会期：平成23年11月20日～23日

2. 会場：京都大学百周年時計台記念館

3. 要旨投稿：平成23年4月11日～5月31日(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奈良文化財研究所へのテクニカルツアーを行う。

第15回国際シンポジウムRecent Advances in Exploration Geophysics(RAEG2011)開催案内

1. 会期：平成23年11月24日～25日

2. 会場：京都大学楽友会館

3. 要旨投稿：平成23年5月4日～9月30日(予定)

4. ウェブサイト：

http://tansa.kumst.kyoto-u.ac.jp/raeg/raeg2011/index.html

5. テーマなど：

第15回を数える、京都大学、名古屋大学、関西大学の物理探査関係研究室主催、㈶地球システム総合研究所および(NPO)環境エネルギー農林業ネットワーク共催、㈳物理探査学会後援の国際シンポジウム。最新の物理探査に関係する研究成果発表が行われる。若手研究者の発表を歓迎し、成果はプロシーディング論文集として出版される。講演の詳細については、京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻・武川順一、都市社会工学専攻・辻健までお願いします。

賛助会員リスト

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

(2011年4月:会員番号順)

編集後記

物理探査ニュースも3年目に入り、発刊号数も10号となりました。このニュースは皆様にとって一服の清涼剤となっておりますでしょうか?

今号の表紙にもあります「資源」は同時に移動しながら調査する物理探査としてはかなり大規模な調査システムだと思います。三次元記録は非常に見応えのあるものなのですが、今回は残念ではありますが、諸事情によりこの船で取得されたデータから作成された三次元記録を物理探査ニュースでご紹介する事ができませんでした。ご興味のある方は同様の物理探査船で取得された記録が学術書、学会誌などで掲載されておりますので、そちらを御覧下さい。

また今号より「脱線･物探英語」が始まりました。私達が英文、和文を考えるときにとても重要な「言葉の表現方法(言い回し)」についてお話しされています。こちらでは読者の皆様へ宿題が出ておりますので、宜しければ匿名でかまいませんので、皆様のご回答を頂ければと思います。

百人百様と申します。ご回答も沢山頂けましたら色々な解答があり興味深い事と思いますので、よろしくお願い致します。

最後になりましたが、東北地方太平洋沖地震の災害におきまして罹災された皆様、御家族の方には、心よりお見舞い申し上げます。

この号がでる4月においても、被災されてご苦労されている方がたくさんいらっしゃると思います。御辛い事も多々あるとは思いますが、何卒御身体にお気を付けてください。皆様のご健康とご安全をお祈り申し上げます。

（ニュース委員会委員：田澤　教）

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、配信をご希望なさらない方は、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。新しくスタートしました「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

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

物理探査ニュース　第10号　2011年(平成23年)4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：03-6804-7500　FAX：03-5829-8050
E-mail：office@segj.org
ホームページ：http://www.segj.org