

物理探査 ニュース



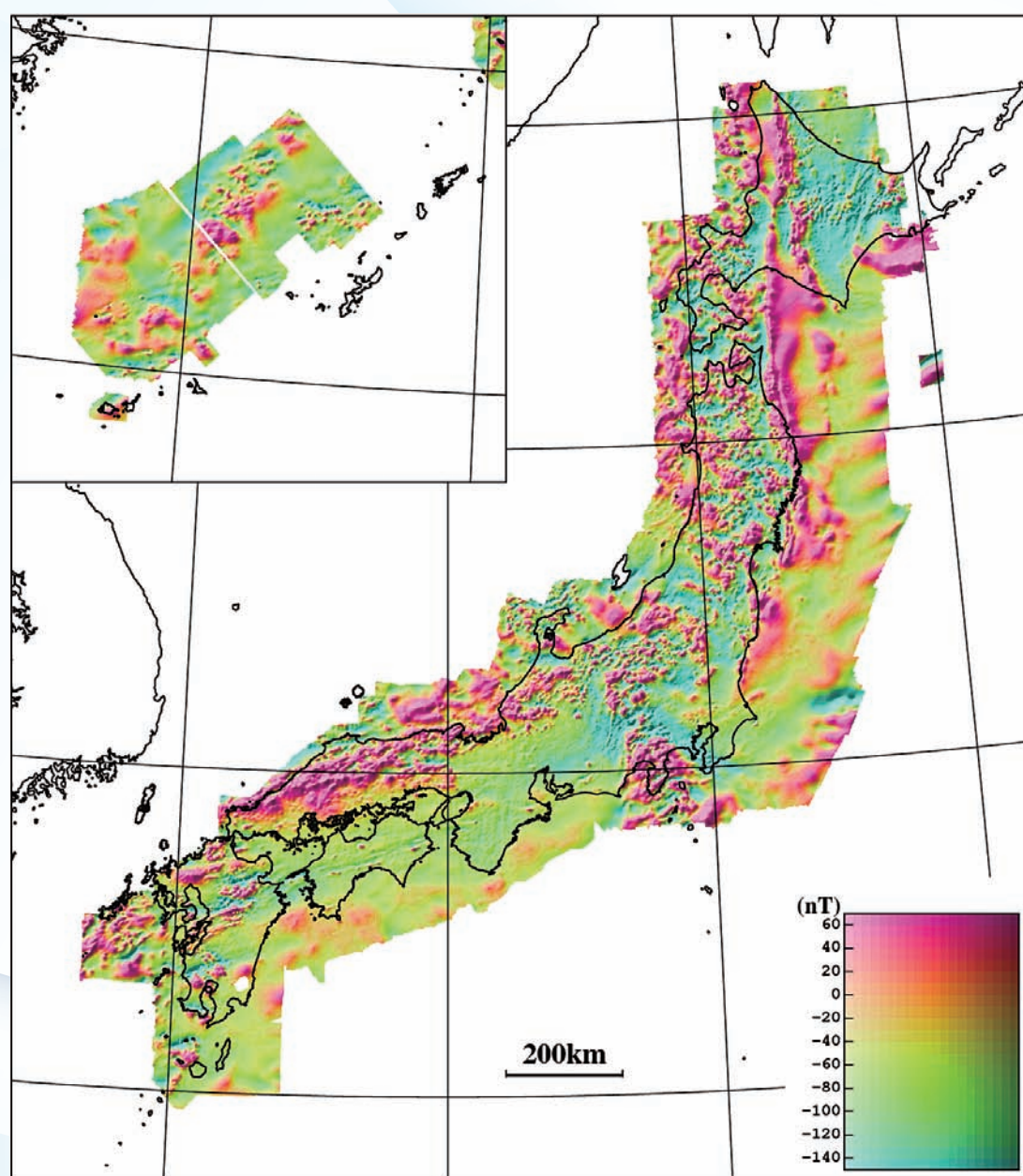
一般社団法人物理探査学会

The Society of Exploration Geophysicists of Japan

目次

分かり易い物理探査 「磁気探査 1」	1
IT化のススメ!?(第2話)	4
研究室紹介 「東海大学海洋学部海洋資源学科」	7
第126回学術講演会開催報告	9
よもやま話 脱線・物探英語 その5	11
SEG Honorary Lectureの報告	12
新役員紹介	13
お知らせ	14

Geophysical Exploration News July 2012 No.15



日本列島の空中磁気異常(カラー一段彩陰影図)

(地質調査所 [1968-92年調査] と新エネルギー総合開発機構 [1981-83年調査] の取得データによる)

(本号の「分かり易い物理探査」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

1. 概 論

1.1 はじめに

日本で最初に実施された物理探査は磁気探査でした。

物理探査学会は、1948年に創立されましたが、その設立直後に発行された「物理探査」第1巻第1号には『編集委員会』がまとめた日本の物理探査の回顧と展望が掲載されており、その冒頭に1919年京都帝国大学の山田賀一がターレン・ティベルグ磁力計で磁鉄鉱床探査を行ったことが記されています。

方位磁石が北を指すことは昔から知られ、実際に航海に利用されていましたが、偏角(偏差)の存在も認識され、それが場所によって異なることも知られるようになると、伏角やその強度の分布も調べられるようになります。またそれが永久不変ではなく永年変化することが知られると、その10年毎とかの定期的な調査も19世紀末頃から始まりました。そのような調査は「磁気測量」と呼ばれ、地磁気の大局的な分布状況・変動状況の把握に主眼が置かれていました。

そうした磁場測定をより正確により精密に進めるようになると、局所的な磁場分布の変動すなわち磁気異常が、鉱床などに対応した地下構造に関連することがわかり、それを鉱床探査に役立てようとするのは当然のなりゆきであったでしょう。

その流れの中で、我が国でも資源探査の観点での磁気測定が大正年間に行われたわけで、それが日本の磁気探査のはじまりとされます。

この時代の磁気探査は、鉄鉱床探査以外にはあまり用いら

れませんでした。磁力計の感度が今日ほど高くなかったためですが、地上磁気探査では、地表付近にある鉄製の人工物や磁性をもった岩塊による局所ノイズの影響が大きく、地下構造を反映した微弱な磁気異常を正確に捉えることが難しかったのでしょう。小さな磁性物体がつくる磁場は距離の3乗で減衰するので、対象とする構造が十分大きければそれに見合った高度で測定を行うと、ノイズの影響から逃れることができます。例えば、深度100mのターゲット構造と、地表の小さなノイズソースとが、両方とも1m高度の測定位置で100nTの異常磁場を生じているとします。このとき、測定高度を10mにしたとすれば、ターゲット構造の磁場は77nTまで減衰するだけなのに対して、ノイズソースの磁場は0.1nTに減衰します。これなら、ターゲット構造の磁場を識別する測定を容易に行えるでしょう。

航空機や船舶を用いた空中磁気探査・海上磁気探査の利点は、広い範囲の迅速な調査や徒歩では到達困難な所の調査ができる点だけではなく、この局所的ノイズを抑えてより深部のより大きな構造を捉えられる点にもあります。なお、不発爆弾探査に象徴される土木分野の磁気探査では、対象物のサイズがノイズ場と比べて十分大きいわけではなく、逆により対象物に近づいて測定を行う形でノイズに埋もれない計測を工夫しています。

1.2 磁場測定的环境

地球の磁場は、地球の中心に巨大な磁石を置いたもので近似されることはよく知られています。その磁場の源は、実際には地球コア(中心核)での電磁流体現象による電流系が担っており、地磁気の逆転を引き起こしつつもこの電流系の維持機構がたまたまうまく働いている賜物です。地球はその意味でも貴重な存在なのです。

そのような地球磁場の大局的な分布は、世界の地磁気観測所と人工衛星ほかの観測データから作られた国際標準磁場IGRF(図1)で示され、限られた範囲の磁気探査データはこのような大局的な磁場からのズレの空間分布を「磁気異常」と呼んで、解析の対象にします。物理探査の分野の中では、(狭義の)リモートセンシングを除くと、重力探査・自然電位法とともに静的な場を測定対象とする手法です。

地球磁場は、空間的变化に加えて、日変化・磁気嵐などの擾乱により時間的にも変化します。磁場の空間的变化のみを抽出したい磁気探査では、空中・海上・地上いずれの探査の場合においても、日変化補正と称して定点観測による時間変動を除去するのが一般的です。地磁気日変化や磁気嵐は、上空100km以上の電離圏・磁気圏に流れる電流が起源となっており、概ね1000km以上の波長の変動現象であるため、定点観測と移動観測との間で時間変動が共通すると考えることができるわけです。

しかし、磁場の時間変動はそればかりではなく、人間活動に起因する磁場変動が問題になります。鉄でできた車両などは、存在するだけでも局所ノイズの源ですが、それが移動すると局所的な磁場変動を生じるため、探査の磁場測定を汚染することになります。地上探査の場合は車両の接近などは視

認できるので、必要なら計測を中断するなどの対応ができます。また、空中探査のように距離減衰が期待できる場合は、定点観測の場所をうまく選択するだけでよいことになります。それよりも問題なのは電車の漏洩電流です。電気鉄道の多くは直流電流が供給されており、変電所から架線・電車・レールと流れる電流系を作っているばかりでなく、レールから地面へ流れ出て変電所に帰還する漏洩電流もあります。数kmから最大数10kmのスケールのこの漏洩電流は、電車の運行に伴って不規則な変動電流をつくり、流路もよく把握できないため、その影響を定点観測などから補正するのは困難です。大都市域での精密な調査では、この影響の評価を抜きにはできません。なお、新幹線など交流給電の電車や、商用電源の送電線なども、商用周波数の変動磁場を作っている筈ですが、磁力計の側で一定の計測時間で平均化される点と、往復の電流流路が近接して打ち消す成分が大きい点などから、ごく近傍を除いて大きな問題にならないことが多いようです。但し、計測のアナログ系で信号が飽和する状態では手に負えなくなります。

こうしたノイズへの対策・対応は、物理探査の各手法ともに共通するものでしょうが、探査から意味のある結果を得るために欠かせない重要な視点になります。

1.3 岩石の磁性

磁気異常は、人工的な構造物等の影響を除けば、地下の岩石の分布状況すなわち地質構造によってつくられています。岩石の磁性は、それに含まれる強磁性鉱物の種類と量によって異なり、磁性鉱物の形状や磁区構造にも関係します。岩石の磁性には、永久磁石の性質をもつ残留磁化と、印加磁場に反応して生じる誘導磁化(帯磁率で示される)とがありますが、その両方とも一般的に、堆積岩よりも火成岩が、火成岩の中では珪長質岩よりも苦鉄質岩が高い傾向にあります(図2)。

ここで注目されることは、図2の横軸は対数軸になっ

ていて、磁性の強さは千倍・一万倍の変化を示すことです。重力探査の基礎になる岩石の密度がせいぜい2倍しか変化しないのと対照的です。このことは、磁性の強い岩石を対象とした調査が極めて効果的に行える半面、磁性の弱い岩石の調査は困難であることを意味します。

一方、岩石の磁性はその環境・状態変化によって変化します。一般に強い磁性を持つ火山岩地帯の中で、熱水変質等によって磁性鉱物の酸化・溶脱が進んだところでは、磁性が著しく低下する状況が見られます。地下10km位を越えた深部や火山活動で高温になった所では、磁性鉱物のキュリー温度を越えて強磁性を失い、周りとのコントラストを生じます。また、火山活動が収束して冷却すると徐々に再帯磁がおこります。このように、磁気異常は様々な地質現象と結びついて

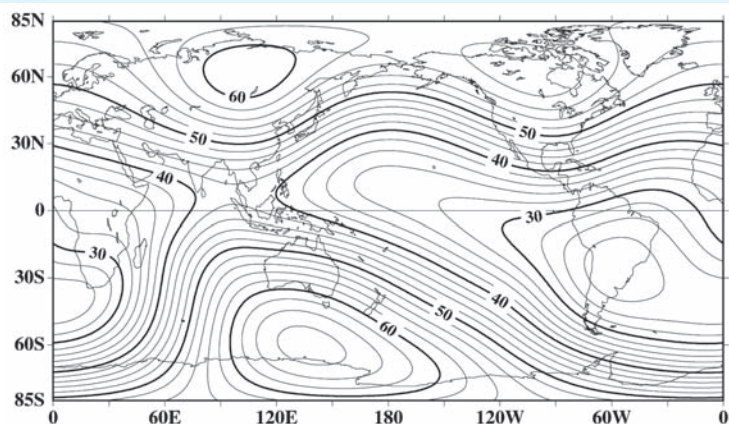


図1 世界の地磁気全磁力の分布

(国際標準地球磁場IGRF-11の2012.0年の値、コンター間隔：2000nT、図中の数値は1000nT単位)

帯磁率 (SI) / 4π		10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
火成岩	超苦鉄質						
	蛇紋岩						
	苦鉄質						
	玄武岩						
	はんれい岩						
	安山岩						
変成岩	閃緑岩						
	花崗岩						
	片麻岩						
堆積岩	片岩						
	砂岩						
	頁岩						
鉱石	石灰岩						
	磁鉄鉱						
	磁硫鉄鉱						
	黄鉄鉱						
	方鉛鉱						

図2 岩石・鉱物の帯磁率

成り立っており、そのデータから種々の地下構造・変動現象を解析できる可能性を秘めています。

1.4 計測装置(磁力計)

磁気探査の計測装置は、当然ながら磁力計です。しかし、磁気異常の分布を得るためには磁力計とともに位置測定が必要です。今日ではGPSの進歩・普及により、地中・水中を除くあらゆる局面でGPSが利用できるようになり、隔世の感がありますが、旧来の空中・海上探査では、正確な位置を求めるために磁場測定を上回る大きな労力が払われてきました。ここでは、紙面の都合もあるので、昔の測位法にはふれません。しかし計測にあたっては、誤差やノイズがつきものであり、GPSといえども誤差やその要因に心を配ることが、正確な探査結果を得る上で大切である点を強調しておきたいと思います。

磁力計としては、計測原理で見ても多様なものが、歴史的に用いられてきました(表1)が、今日の地磁気測定では、方向成分測定ではフラックスゲート磁力計、全磁力測定ではプロトン磁力計・光ポンピング磁力計の利用が一般的です。プロトン磁力計・光ポンピング磁力計では、測定量が原理的に信号周波数で与えられるため、有効数字6桁以上の高分解能計測が容易に実現できる点に特長があります。また、どうしたわけかその特徴が、成分測定ではない全磁力測定の磁力計に備わっています。周波数計測の基本は基準発信器の精度で決まりますが、温度制御をしない水晶発振器でも6桁の精度を普通にもっており、恒温槽制御なら9桁の精度が出せるようです。

一方、その他の磁力計(いずれも原理的に成分測定)では、本質的に電圧を測定せざるを得ない(機械式・光学式を除く)ため、実用的な計測分解能は4桁程度となり、より細かな変動はDCオフセットを用いて変化分を測定することになります。ここで問題となるのは、移動測定では方向成分センサーの方位を固定することが実用上難しく、3成分磁場と姿勢計の測定から各方向成分を計算せざるを得ないことです。従って、精度はほぼ姿勢計の精度で制約される状況となります。

1.5 磁気探査結果と地下構造

そのような磁場測定からどんなデータが得られるのでしょうか。それを端的に示すものとして、日本列島の広域空中磁気探査結果をコンパイルしたものが表紙の図です。対地高度が平均1500mの滑らかな曲面で測定したときに期待される全磁力異常の分布に変換する操作を行った結果です。凡例では、200nTの範囲しかカラー一段彩が示されていませんが、実際のデータの変域は-900~+1200nTに及びます。

すでに日本列島の地体構造をご存知の方々には、興味深い諸点が浮かび上がっているのではないのでしょうか。個別の火山の様子は図が小さくてよく見えませんが、フィリピン海

表1 磁力計の原理による区分(*は全磁力計)

原 理	磁力計の種別(例)
磁 針(磁力の直接利用) 〃 (磁力以外との平衡)	伏角計、偏角計 トーション平衡磁力計 シュミット磁力計
電磁誘導(コイル回転) 〃 (コイル移動)	アースインダクタ磁力計 両コイル磁気傾度計
ホール効果	ホール素子
磁気抵抗効果	磁気抵抗素子
ファラデー効果	光磁気素子
磁芯飽和特性	フラックスゲート磁力計
核磁気共鳴	プロトン磁力計*
電子スピン共鳴	光ポンピング磁力計*
磁束量子効果	SQUID 磁力計

プレートの衝突もぐり込み・三陸沖で太平洋プレートの地磁気縞模様が日本海溝を越えて染み込んでいる様子・山陰帯と山陽帯のコントラスト・各構造線に沿った異常パターン・グリーンタフ地域の優勢な変動パターンなどいっぱい目につくことでしょう。北海道(道東・道南)の顕著な磁気異常トレンドは調査以前には予期されておらず、注目されたものでした。このような地下構造のマッピングには、それなりの体系的な調査データの集積が不可欠で、調査エリアが数km以上になると主に空中探査・海上探査の出番となります。

ここでは超広域の磁気図をお見せしたので、磁気探査は広域調査のみを得意とする分野と思われたかもしれませんが、必ずしもそうではありません。確かに磁気データの収集が進んでおらず、測位機器が発達していなかった時代には、空中磁気探査が広域を迅速に調査する手法として用いられ、その成果の一端が表紙の図であつたわけですが、GPSの開発・普及とともに、向上した測位精度に合わせて高分解能探査技術が進んでいます。

高分解能探査では、測定(測線・測点)の密度を高めますが、それに応じて調査対象ソースに近づいて測定する必要があります。海底の調査で水深が深い場合は、潜水艇や水中ロボットなどの利用が必要になり、空中探査では固定翼機にかえてヘリコプターを用いて地形に沿った調査飛行が行われます。近年私が関与した実地探査では、活動的火山の地下構造と活動状況の調査をターゲットにしたものが主体でした。火山では、過去の噴火史に対応した火山岩相の分布状況の情報とともに、火山活動の盛衰に伴う熱消磁・冷却帯磁の状況の解析も進むようになっていきます。

(つづく)