

磁気図編集上の問題点と 高分解能空中物理探査の新しい課題

大熊 茂雄¹⁾・森尻 理恵¹⁾・中塚 正¹⁾・牧野 雅彦¹⁾

1. はじめに

磁気図(磁気異常図)は, 地磁気を地表, 空中, 海上および宇宙などで場所を変え観測した結果を図面にまとめたもので, 特に断らない限り「全磁力」(地磁気の強さ)を示すことが多い。地磁気はその他の地球物理データと同様に客観的な物理量であるため, 隣接する調査区域の観測データの編集が可能であり, より広域な磁気図の編集が様々なレベルで行われている。

磁気編集図は陸域, 海域を問わず作成可能なため, 特に磁性という観点から大規模な地質構造を概観するのに有効であり, 地球科学の研究分野や, 資源探査(炭化水素資源, 金属資源等)分野への利用が行われている。しかしながら, 編集図の利用が進む一方, その編集過程やデータの品質に関して注意が払われない傾向にあり, データの一人歩きの危険性が危惧される。このようなデータは, 本質的には個人の見識に基づいて取り扱われるものだが, データの作り手の側からの喚起も不十分であったかもしれない。そこで, 本論では, まず磁気図の編集に関わる問題点について, 特に注意すべき点について説明する。次に, 複数の空中物理探査を共通のプラットフォーム(航空機)を利用して同時に実施し, 探査データにその他の地球科学データを取り込んで, 火山の山体安定性評価を行う新しい研究計画について紹介する。

2. 磁気図の編集に関わる問題点

2.1 陸の磁気図と海の磁気図

2.1.1 日変化補正と位置標定

従来, 各機関により独自の目的のために磁気探

査が行われ磁気図が作成されてきた。たとえば国内では, 地質調査所により石油・天然ガス資源の基礎調査として大陸棚海域を中心として空中磁気探査が行われ1/20万空中磁気図シリーズが発行されてきた。一方, 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)により地熱資源調査を目的として, 主に陸域でキュリー点探査としての空中磁気探査が行われ, 磁気図の作成が行われるとともに, 地熱資源量評価の基礎データとして利用されてきた。さらに, 地質調査所海洋地質部や海上保安庁水路部, および大学等の各機関により海洋調査の一環として磁気探査が行われ, 磁気図や磁気プロフィール図が作成されてきた。

現在陸域や海域のデータを用いてより広域の磁気図の編集が行われているが, その問題点を認識する必要がある。まず, 陸域での磁気図(空中磁気図)と海域での船舶によって観測されたデータから作成された磁気図とは, 本質的に様々な点で異なっていることに注意する必要がある。陸域の磁気探査では, 特殊な場合を除いて空中磁気探査が行われることが多い。これは航空機を用いて短時間に広範囲を調査できる効率性の点と地表付近の構造物や電流等に起因する人工ノイズを軽減する目的がある。いずれにしても空中磁気探査では, 地磁気(地球磁場)の時間変化成分を補正するために, 日変化補正がなされる(第1図)。日変化補正とは, 地磁気の時間変化成分を探査区域内あるいは近傍に設置した日変化観測定点で観測し, 場所を変えて観測された地磁気データから除去し, 空間変化成分のみのデータに変換することをいう。一方, 船舶を用いた海域での磁気探査では, 地磁気の時間変化を測定する日変化観測定点を調査海域内あるいは近傍に設置することは事実上難しいた

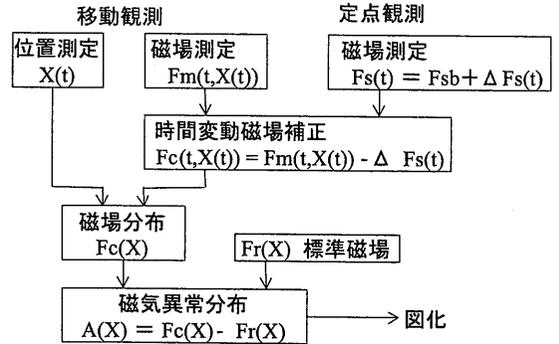
1) 地質調査所 地殻物理部

キーワード: 地磁気, 磁気異常, 磁気図, 空中物理探査, 空中磁気探査

め、日変化補正は通常行われぬ。地磁気の日変化は、静穏日であっても数十nT程度はある(第2図)ので、海の磁気図にはこの程度のノイズは混入しているとみなければならない。また、位置標定、すなわち観測を行った場所を特定することは陸域、海域ともにGPSによる位置標定が実用化する以前は、LORAN-C等の電波航法によって行われてきた。電波航法による公称精度は、200~300m程度といわれているが、地上定点での補正が可能な陸域での調査と異なり、海域での調査ではかなり実用精度が落ちる。このため、特に探査時期が大きく異なる海域での磁気データを編集するためには、平滑化処理が避けられない。

2.1.2 交点コントロール

航空機や船舶等の移動体を用いた磁気探査は、測線で行われることが多く、通常は想定される主な地質構造と直交する方向に主測線が、構造と平行な方向に交差測線が設定される。主測線と交差測線との交点では理想的には、磁気データは一致するはずだが、様々な理由で差を生じる。GPSによる高精度な位置標定が実用化する以前は、位置誤差が主要な原因と考えられていた。この差を数

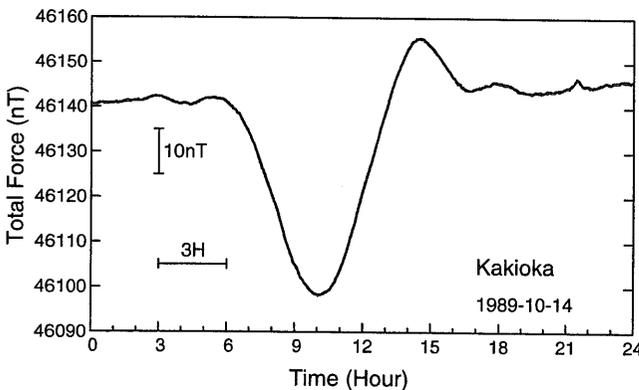


第1図 磁気異常のデータ処理(牧野, 1999). 図中の時間磁場補正が日変化補正に相当する。

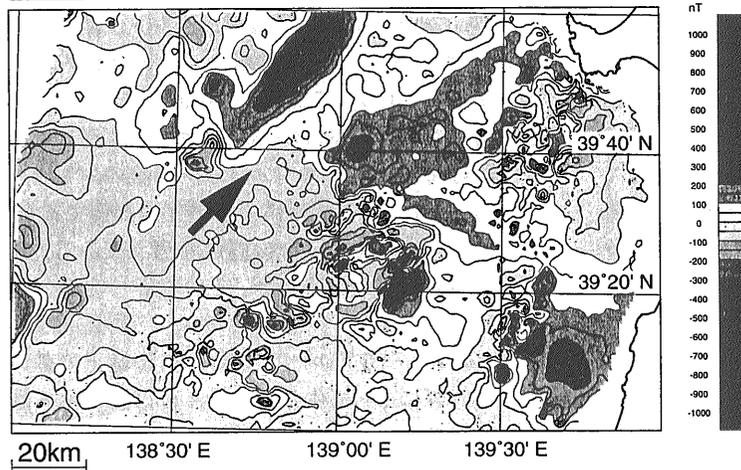
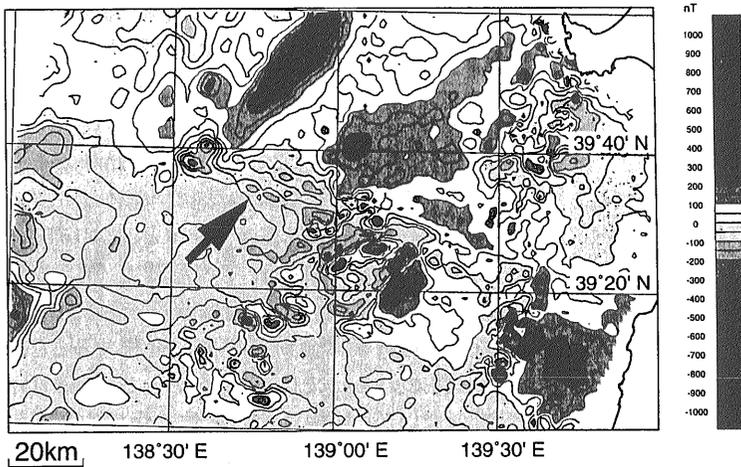
学的処理により最小にしようとするものが「交点コントロール」と呼ばれる手続きである(中塚, 1989)。交点コントロールを行わないと測線の交点付近で磁気傾度が大きくなり、偽の磁気異常を生じてしまうことが多い。空中磁気探査では陸域、海域を問わず、通常交点コントロールが行われるが、海洋調査による磁気探査では最近まで行われてこなかった。精度の高い磁気図を作成するためには、交点コントロールの実施は避けられず、このような試みも行われ始めた(森尻・山崎, 1994; 図3, 4)。

第1表 磁気編集図の種類(地質調査所に関するもので代表的なもの)。

接 合 図	集 成 図
日本の磁気図 (1/200 万) (牧野ほか, 1992)	日本周辺海域空中磁気図 (1/400 万) (堀川ほか, 1982)
日本及び隣接地域地磁気異常図 (1/500 万) (牧野ほか, 1992)	Magnetic Anomaly Map of East Asia 1:4,000,000 (GSJ and CCOP, 1994)
	Magnetic Anomaly Map of East Asia 1:4,000,000 CD-ROM Version (GSJ and CCOP, 1996)



第2図 静穏日の地磁気日変化(大熊, 1999). 柿岡地磁気観測所での1989年10月14日の観測値。横軸:時間, 縦軸:全磁力値。



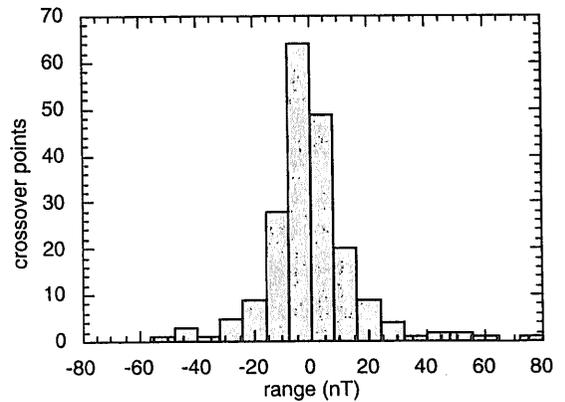
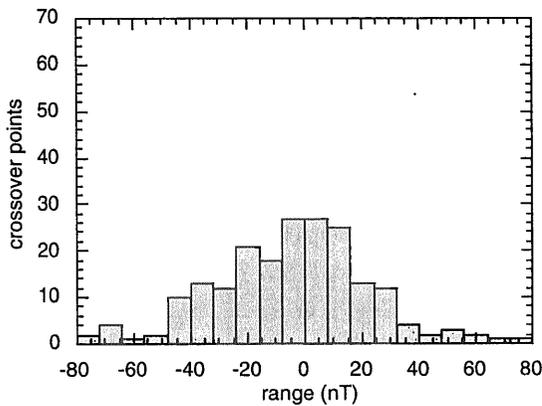
第3図

秋田沖海域における交点コントロール前後の比較。

(上)：交点コントロール処理前のデータを用いて作成した全磁力異常図。

(下)：交点コントロール処理後のデータを用いて作成した全磁力異常図。

コンター間隔は50nT. 図中の矢印付近に交点コントロールによる改善が認められる。



第4図 秋田沖海域(第3図)における交点磁力値差のヒストグラム(森尻, 1999). (a)：交点コントロール処理前. (b)：交点コントロール処理後. 横軸：残差(nT), 縦軸：個数. 交点コントロール処理により, 交点における残差が減少しているのが分かる。

2.2 集成図と接合図

様々な磁気データから、広域磁気図を編集しようとする場合、普段はあまり区別しないが、その方法には二通りあることを注意したい(第1表)。それらは「集成図(Composite Map)」と「接合図(Merged Map)」である。

集成図とは、隣り合った磁気データを図面上つながるように接合するものであり、あくまでも見かけ上連続しているだけで、本質的にはつながっていない。集成図は、大局的な地質構造の推定等の定性的な利用には使えるが、異常岩体の規模・深度等をデータの解析により定量的に評価する際には注意を要する。特に空中磁気データと海上での磁気データとが編集されている場合、観測面高度が異なることに注意を払う必要がある。つまり、これらのデータを使った各種解析結果には、高度差に相当する不確実性が含まれていることを理解しなければならないし、場合によっては境界付近で誤った結果が得られていることを覚悟しなければならない。集成図は、後述の接合図が何らかの理由により作成できない場合に編集されることが多い。

接合図とは、異なった観測面高度のデータを数学的処理により一定高度面上の値に引き直し、またIGRF(国際標準地球磁場)等の共通の広域異常成分を引き去ったものである。このため接合図のデータの解析により区域全域の地下構造を定量的に評価できる。しかしながら、通常は隣接する区域間においても測線間隔、磁力計の分解能、位置標定手法等の探査仕様が異なるため、データを同一高度に引き直しても、分解能が異なってしまうことが多い。理想的には、同一の仕様による再観測が望ましいが、現実的には経済的に無理なことが多く、接合図を編集する場合が多い。

2.3 地磁気データベース構築に関わる問題

接合図の作成で問題となるのは、隣接する図面(調査域)間で所定の手続きをしても広域傾向面が一致しないことが多いことであり、通常これらの成分は除かれてデータが接合される。広域傾向面を確定することは、単にデータを接合させるためばかりでなく、より深部や広域の地下構造や物性の変化に対応する磁気異常を特定しそれを理解するこ

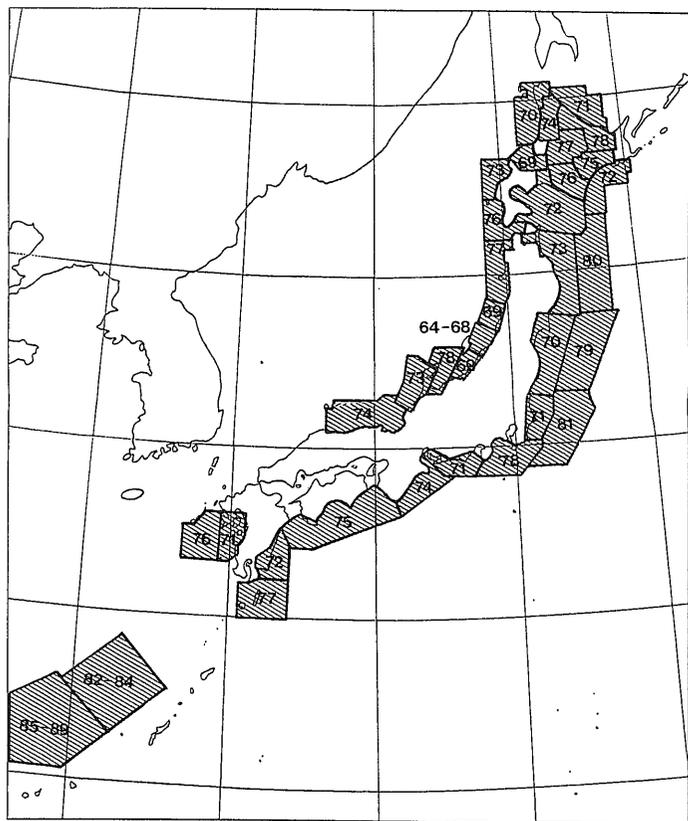
とにつながるものである。

火山活動や地殻変動に伴って磁気異常分布が変化することがあり得るが、そのような特別な例を除けば、磁気異常分布は重力異常とともに安定な物理量である。一旦その分布が求まれば、時を隔てて同様の測定を行ったとしても同様の結果が得られる。従って、磁気異常は地球物理基本データの重要な柱の一つであり、基本データとしてのデータベース構築も重要であろう。その意味で、国土を覆う規模での磁気異常の接合図は重要である。

もちろん磁気異常値が経年的に変化することが全くあり得ないわけではなく、今のところあまり知られていないが、緩慢な地殻変動や物性的な変化が磁気異常の経年変化から解明される可能性もある。さらに地震・火山噴火などの予知・予測に関連しても、変動現象を生ずる場の一つの特性を把握する手段になりうるであろう。磁気異常がそのような検討にも耐えるものであるためには、従来はとかく相対的な変化パターンのみが議論の対象とされたのに対し、その絶対値の基準化が必要である。

ここで、磁気図の接合の問題を考えてみる。隣接する調査区域のデータが、その境界で完全には連続しないのがごく一般的である。二調査区域間では、通常、一定のレベル差が日変化補正の基準の取り方等によって生じたと考えれば解決する場合も多いが、大局的な傾向が一致しない例も現れる。そのような例の多くは、両者の探査時期に何年もの隔たりがあることが多いようであるが、傾向面の再評価を考慮する必要がある。また、10程度以上の調査区域のデータをまとめて接合を考える際には、各々の隣接調査区域の間の不一致を解消できるようにレベル合わせ(直流分の加減)を逐次行うことがしばしば行われる。しかし、この操作をある接合範囲の全域で行うために、一周して元に戻ろうとすると、最後の調整が出来ないという事態に至る。最後の誤差があまり大きくないときは、その誤差を一周の間に分散させて、見かけ上問題なく接合が行えるが、果たしてそれが正しい接合であるか否かの疑問は解消されない。

そのような不一致が生ずる原因としては、(1) 個別の調査域のデータの上で長波長成分の信頼性に欠ける場合のある点も見逃せないが、(2) 多くの調査域の探査がその調査年代を異にし、その間に超



第5図 地質調査所による空中磁気探査実施区域図(中塚, 1990). 図中の数字は, 探査年度(西暦)を示す.

長波長成分の地磁気傾向面の変動(すなわち, 主として地球中心核(コア)内での電磁流体现象に起因すると考えられるコアフィールドの永年変化)のあることが要因となる. 通常, この地磁気傾向面としては, IGRF(国際標準地球磁場)を用いてデータ処理が行われるので, そのIGRFが地磁気傾向面の永年変化を正しく表現していれば, (2)の要因は生じないはずである. しかし, IGRFはグローバルなスケールでの磁場分布を予測を含めて数学的表現で記述するもので, 個々の地域では実態と必ずしもよい一致を示すとは限らない場合がある. IGRFの確定版であるDGRF(Definitive IGRF: 確定国際標準地球磁場)を用いれば予測値という不確定要素は除かれるが, DGRFは概ね5年ごとにその5年前までの値が決定される状況にあり, 最大10年程度の遅れを覚悟せねばならず, 一般の探査データ処理には活用されない. 但し, 予測値的なIGRFもDGRFもともに球関数による数学モデルで記述されるため, DGRFが確定された段階で

DGRF傾向面に準拠したデータへ変換することは, 容易である.

現在我々は, 地質調査所で実施された空中磁気探査データの統一フォーマットによるアーカイブファイルを作成しており, ここでは磁気異常値データとしてはDGRF残差を基本とするようにしている. 現在は, DGRF 1995が未確定なため, 1989年までに行われた調査のデータが, 処理完了済みとなっている.

接合図作成の問題に戻ると, DGRFに準拠した処理を行うことは世界標準との関係を明らかにする意味をもつにすぎず, グローバルに決められる標準場の経年変化が注目する地域(日本)での実態からずれていると, 問題点の解決にはならないことが理解されたと思う. 従って, 問題の本質的な解決は, 長波長磁気異常~地磁気傾向面の経年的な変動を正確に把握することであるが, これを過去に遡って行うことは不可能に近い. さらに, 前記の(1)で指摘したデータ自体の品質が劣る場合の対応は, 長波長磁気異常を再現できる程度

の良好なデータの再取得が望まれる.

これらのことを考慮に入れると, 接合図作成に当たっては, 接合する調査域をまたいで共通の仕様で磁気異常を観測することが必要である. その際の観測密度は, 細かいに越したことはないが, 課題となる長波長磁気異常~地磁気傾向面を的確に把握できる程度でよいであろう. 広域空中磁気探査に関しては, 日本列島を覆う規模での磁気異常図作成の蓄積があり, 第5図には地質調査所による広域探査の調査区画を示してある. また, この区画図で空白となっている陸域については, NEDOによるキュリー点法と称する磁気探査のデータがあり, 海域についても, 地質調査所および海上保安庁水路部による海上探査データが存在する. すでに, それらのデータを活用して小縮尺の磁気異常図も出版されているが, 上に述べてきたような長波長磁気異常~地磁気傾向面についての十分な検討を経っていないので, このデータをそのまま最終的な地球物理基本データとして取り扱うことには問題

が残る。このような全国規模の接合を検討するには、全国規模での調査域をまたいだ観測を短期間で一挙に行うことが有効と考えられる。そのような調査で得られる成果は、既存の磁気図のわずかな修正であり、見かけ上は目立たないが、基本データが確立できていることによる今後のデータ活用への波及効果が期待される点をよりどころに、周到な検討をふまえた全国規模磁気異常の接合図作成が進むことを願っている。

3. 高分解能空中物理探査の新しい課題

3.1 高分解能空中磁気探査

現在、空中磁気探査をはじめとして、空中物理探査の高分解能化がGPSによる位置標定技術の高精度化に支援されて精力的に行われている。空中物理探査の目的は、資源探査から伏在断層・火山の内部構造調査・地滑り等の地質災害に関わるもの、さらにはダムや構造物建設のための基礎調査等の土木建築に関わるものまで様々である。

地質調査所では、1990年代初頭から空中磁気探査の高分解能化に関わる研究を実施してきており、当初の探査技術・データ処理技術の開発に関する研究を経て、火山地域および伏在断層地域での調査を実施している。地質ニュースにおいても、浅間火山地域で行ったヘリコプターを用いたバード方式の空中磁気探査や兵庫県南部地震後に実施した京阪神地域での空中磁気探査について概要を報告している(大熊ほか, 1997)。

これに引き続いて、1997年からは工業技術院特別研究「活断層による地震発生ポテンシャル評価の研究」の一環として、都市縁辺部の伏在断層の調査を目的とした高分解能空中磁気探査を実施した(大熊ほか, 1998; 1999)。

1997年には、濃尾平野西縁部において当該地域に伏在が推定される養老断層の構造を推定する目的で空中磁気探査を実施した。この調査では、セスナ機を探査機として使用せざるを得なかったため、飛行高度の調節がヘリコプターに比べ容易でなく、濃尾平野西縁部に位置する養老山地上空を安全に飛行するため、比較的高々度を維持せざるを得なかった。このため、養老山地東麓に伏在する養老断層付近でもっとも対地高度が高くなり、飛

行機を用いたこの種の調査の限界を痛感させられた。探査の結果、養老山地および鈴鹿山地北部に一部露出する美濃帯中の緑色岩(変質した苦鉄質火山岩)類に対応して磁気異常が分布し、特に養老山地北部では既知の分布範囲より広範囲に分布すること明らかとなった(口絵3)。また、伏在する緑色岩類は養老断層推定位置付近においてその東端部が存在し、断層との関連が示唆されている。一方、磁気探査と併せて行った高密度重力探査(東西三測線)により、反射法地震探査の反射断面を初期値とした構造解析により、反射法では不確かだったより深部の構造と養老断層付近のくさび形を示す基盤構造について新知見が得られている。

1998年には、九頭竜川以北の福井平野で当該地域の伏在活断層を調査する目的でスティンガー方式のヘリボンによる高分解能空中磁気探査を実施した。当該手法は、本邦において既に技術導入され金属鉱床探査を目的として実施されているが、伏在断層調査を主目的として実施するのは初めてである。

調査の結果、芦原温泉南方の平野北西部を中心として複数の磁気異常からなる高磁気異常域の存在が明らかになるとともに、福井平野中央部以東に推定されている伏在断層に対応して磁気異常分布の特徴が認められた(表紙参照)。すなわち、福井地震断層は高磁気異常域の東縁部によく一致する。また、福井東側地震断層は顕著なダイポール型磁気異常の西端に位置すると同時に弱い高極磁力異常がNNW-SSEの断層方向に延びており、磁気異常の特徴として識別できる。

3.2 高分解能空中物理探査による火山の山体安定性評価

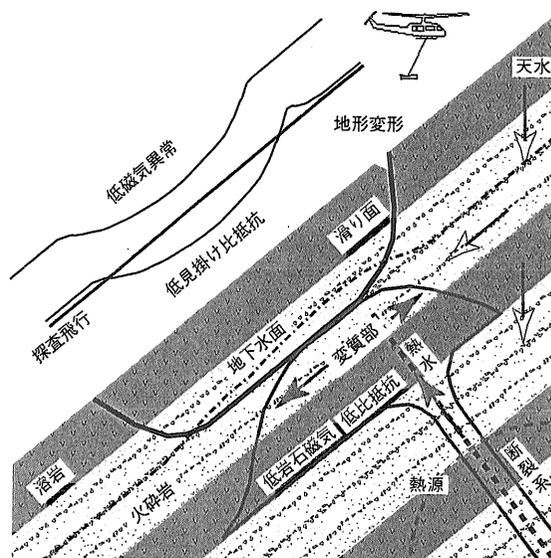
航空機を用いた物理探査、すなわち空中物理探査は、高分解能化が進められると同時に、経済的な観点から各種探査を同時に行う空中物理探査の複合化が進められている。たとえば、空中磁気探査と放射能探査、空中磁気探査と空中電磁探査等が既に実用化されて、資源探査や環境調査に利用されている。これは海洋調査船による各種調査の共通プラットフォーム化と類似のものだが、小さな機体に搭載するためには探査機器の小型化が求められ、最近の急速な電子技術の発展、なかでもコン

コンピュータの小型化・高速化により可能となった。北米における空中物理探査の最新事情については、大熊ほか(1999)を参照されたい。

米国地質調査所(USGS)では、米国西海岸で火山災害の可能性が現在最も大きいと考えられるレイニア火山において高分解能空中物理探査(磁気探査・空中電磁探査)を実施し、空中磁気データと見掛け比抵抗データから山体の変質域の推定を行った(口絵4)。レイニア火山は、その急峻な地形のため火山噴火や地震が引き金となり、山体が崩壊し、その被害が遠方に及ぶ岩屑流やこれに引き続く土石流の危険性が高いと考えられている。このため、山体の安定性評価を行うことが火山災害軽減のために重要となっており、当該の調査が実施された。

我が国は米国西海岸と同様にプレートの収束域に位置し火山活動が盛んだが、米国と異なり国土が狭小であるため火山と共生せざるを得ず、火山災害の評価・軽減はより重要な問題である。このような観点から、地質調査所も2000年度から工業技術院特別研究により富士火山をはじめとする日本の火山においてUSGSと同様の調査を予定している。山体の安定性を評価するには、山体の変質部を把握することが重要であり、これに敏感な見掛け比抵抗と磁気異常を観測し、主に浅部の変質部を見掛け比抵抗データから、より深部のかつ広域の変質部を磁気異常データの定量解析から推定する(第6図)。空中電磁探査においては、複数の探査深度の見掛け比抵抗マッピングに加え二層構造解析も実用化されており、空中磁気探査においても3次元の磁化強度マッピングが考案され(Pilkington, 1997)、実用化が検討されつつある。

富士山のような急峻な火山の調査では航空機による飛行技術や大規模な山体をカバーするに十分な予算の確保等の様々な課題を解決する必要がある。また、岩石物性(比抵抗, 磁性, 破壊強度等)の岩種の相違による変化に加え、風化・変質等による変化も試料を採取し、実験室で測定し、データを蓄積する必要がある。一方、我が国では地質、火山地形図等の各種データの蓄積が進みつつあり、このようなデータを総合的に利用することにより、より確度の高い山体安定性評価が可能となると考えられる(第7図)。



第6図 高分解能空中物理探査による火山の山体安定性評価の概念図。山体は風化侵食に加え、地下水や火山性流体(熱水や火山性ガス)の移動に伴い変質し、比抵抗, 磁性ともに減少する。これらをヘリコプター等の航空機を使用して空中において見掛け比抵抗, 磁気異常データとして観測し、データ解析を行うことにより地下の変質域を明らかにする。

パラメータ	安定性小	安定性大	
地質(G)	火砕岩	0	溶岩 2
地形(T)	$T_x \geq a$	4	$T_x < a$ 8
磁気異常(M)	$M \leq b$	16	$M > b$ 32
見掛け比抵抗(R)	$R \leq c$	64	$R > c$ 128

T_x : 傾斜の変化率 a, b, c: しきいち値

山体安定性

←小

84, 86, 88, 90, 100, 102, 104, 106, 148, 150, 152, 154, 164, 166, 168, 170

大→

第7図 各種データ利用した山体安定性評価の概念図。見掛け比抵抗・磁気異常に加えその他のデータを取り込むことにより、より確度の高い安定性評価が可能となる。数字が低い部分ほど山体安定性が低いことになる。

4. おわりに

本論では、磁気図の編集に関わる問題点と空中物理探査による火山の山体安定性評価に関する新しい研究計画について説明してきた。磁気図は、重力図とならんで代表的な地球物理図であるが、磁性というかなり特徴的な物理量を反映したものであるため、重力図と比較するとデータの解釈に注意を要する場合があるが、逆に感度の高いデータとして利用可能である。このような特徴あるデータを、一般利用者が理解しやすい形で提供し、またデータを取り扱う上での問題点を喚起するのが我々データの作り手の責務だと考えている。

火山では地上からの各種調査が困難であるため、空中物理探査の特徴を生かした調査を行い、火山の山体安定性評価を実現したいと考えている。

小論に関して、ご質問・ご意見がございましたら、地質調査所地殻物理部の大熊 (okuma@gsj.go.jp) までご連絡ください。また、関連のホームページを以下に公開しておりますので、ご関心のある方はご覧ください。

<http://www.gsj.go.jp/~okuma/amag.html>.

文 献

- Finn, C., Deszcz-Pan, M. and Rystorm V. (1998): Hunting for Volcanic Weakness at Mt. Rainier with Aerogeophysical Data, EOS, Trans. AGU, 79, F978.
 GSJ and CCOP (1994): Magnetic Anomaly Map of East Asia 1: 4,000,000, Geol. Surv. Japan.
 GSJ and CCOP (1996): Magnetic Anomaly Map of East Asia 1:

4,000,000 CD-ROM Version, Digital Geoscience Map 2 (P-1), Geol. Surv. Japan.

- 堀川義夫・津 宏治・中井順二・小野吉彦 (1982): 400万の1日本周辺海域空中磁気図, 日本地質アトラス, 46-49, 地質調査所.
 牧野雅彦 (1999): 3.1 探査装置, 3. データ取得・処理技術, 手法編第9章 磁気探査, 物理探査ハンドブック, p.489-493.
 牧野雅彦・伊勢崎修弘・山崎俊嗣・石原丈実・大久保泰邦・中塚正 (1992): 日本及び隣接地域地磁気異常図. 1: 5,000,000, 日本地質アトラス (第2版), 地質調査所.
 牧野雅彦・大久保泰邦・中塚 正 (1992): 日本の磁気図. 1: 2,000,000 地質編集図, No.23, 地質調査所.
 森尻理恵 (1999): 日本海東縁部 (新潟沖-青森沖海域) の磁気的構造, 地調月報, 50, p.535-558.
 森尻理恵・山崎俊嗣 (1994): 交点コントロール手法を用いた日本海中部東縁部の海上地磁気異常図の作成, 海洋調査技術, 6, p.1-10.
 中塚 正 (1989): 空中磁気探査のシステム化について (II)-データ処理ソフトウェアシステム, 地調月報, 40, p.99-111.
 中塚 正 (1990): 地質調査所における空中磁気探査の歴史と将来, 地質ニュース, 428, p.14-19.
 Pilkington, M. (1997): 3-D magnetic imaging using conjugate gradients, Geophysics, 62, p.1132-1142.
 大熊茂雄・牧野雅彦・森尻理恵・中塚 正 (1997): 空中磁気探査の最前線-高分解能空中磁気探査, 地質ニュース, 512, p.40-50.
 大熊茂雄・牧野雅彦・中塚 正 (1999): 福井平野における高分解能空中磁気探査, 地質調査所速報, no.EQ/99/3 (平成10年度活断層・古地震研究調査概要報告書), p.141-153.
 大熊茂雄・村田泰章・牧野雅彦・中塚 正・広島俊雄・駒澤正夫・森尻理恵 (1998): 養老断層地域における高分解能重・磁力探査, 地質調査所速報, no.EQ/98/1 (平成9年度活断層・古地震研究調査概要報告書), p.43-53.
 大熊茂雄 (1999): 2.1 地磁気と岩石物性, 2. 基礎事項, 手法編第9章 磁気探査, 物理探査ハンドブック, p.477-480.
 大熊茂雄・中塚 正・牧野雅彦・高倉伸一 (1999): 空中物理探査最新事情-北米編, 物理探査, 52, p.446-452.

OKUMA Shigeo, MORIJRI Rie, NAKATSUKA Tadashi, MAKINO Masahiko (1999): Problems for the compilation of regional magnetic anomaly maps and airborne geophysics as a new challenge to environmental problems.

< 受付: 1999年11月15日 >