

地質調査所の空中磁気探査システムの現況について

中 塚 正*

1. はじめに

地質調査所における空中磁気探査の歴史は古く、1961—63年の試験測定に続いて1964年から本格的な研究が開始された。その後20年にわたって技術の開発と日本周辺大陸棚を中心とする広域的な調査が実施されてきた。

初期の研究では、主として測定技術確立のための研究が行なわれ、陸域探査の基礎固めに続いて、海域探査において重要な航法技術に関する研究が進められた。この時期のデータ処理の方法は、膨大な量のデータの読み取りをはじめとしてすべて手作業によって、航跡標定・磁気図作成と解析のための格子点データ読み取りを行うものであった。これは、当時は未だコンピュータの利用が高価であり、同時にコンピュータ処理に適したデータ収録のハードウェアも充実していなかったためである。

1970年代に入ってから、空中磁気探査の総合的な探査精度の向上と省力化システムの開発をめざして、磁場測定および航法技術の向上、データのデジタル磁気テープ収録、収録データのコンピュータ処理化などの技術開発が、磁気図の解析法・解釈法の研究とともに進められた。また、この間には、デジタル電子技術とコンピュータ利用技術の長足の発展があった。その結果、今日では、現地版磁気図の作成などの現地処理の一部を除き、ほとんどすべてのデータ処理がコンピュータ化され、磁気図の解析・解釈にも大幅にコンピュータが利用されるに至っている。

このような流れの中で、地質調査所で空中磁気探査に使用されたシステムも、逐次改良や更新が行われてきた。近年では1980年以降に全測定装置類が更新されている。とは言え、磁気探査の分野では特に新しい測定手法が開発された訳ではなく、原理的にはひと昔前と何ら変わっていない。新しい装置では、測定の信頼性の向上と若干の高精度・高分解能化が実現しているにすぎない。近年進歩の著しいマイクロプロセッサ技術が、この分野

にも大きく取り入れられているのが特徴的である。

本稿では、地質調査所で現在採用している探査システムについて紹介し、合わせてこの分野での近年の動向についても若干ふれることとする。

2. 磁場測定

空中磁気探査では、航空機を利用することにより、広範囲にわたる磁場の変化を迅速に測定する。この空中での測定値には、磁場の場所的な変化のほか時間的な変化も含まれ、磁気探査にとってはノイズとなる。この経時変化を補正するため、磁場の定点観測を行い、同時刻の空中測定との差をとって場所的な変化を抽出する。この補正済磁力値は、さらに、同時刻の位置測定結果と対応され、磁場の空間分布が得られる(Fig. 1)。

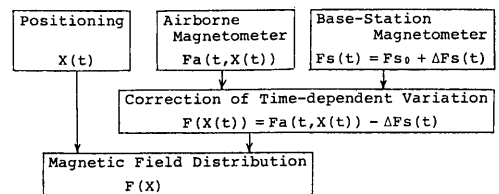


Fig. 1 Principle of Aeromagnetic Survey.

2.1 空中磁力計

地質調査所の空中磁力計は、Varian社製4914型(1964—1972年)・GeoMetrics社製G804型(1972—1982年)・EG&G GeoMetrics社製G813型(1983年—)と変遷してきているが、いずれもプロトン歳差方式の磁力計である。プロトン磁力計の原理については、物理探査用語辞典をはじめ陶山(1968)・小川(1970)などの解説がある。なお、物理探査用語辞典(プロトン磁力計の項)のラーマー周波数 f に関する式にはミスプリントがあり、

$$f = 26.7531 \cdot H / (2\pi) \text{ (kHz)}$$

が正しい。Fig. 2に現用のG813型空中磁力計の性能概要とブロック図を示し、以下に本磁力計の特徴を述べる。

* 地質調査所

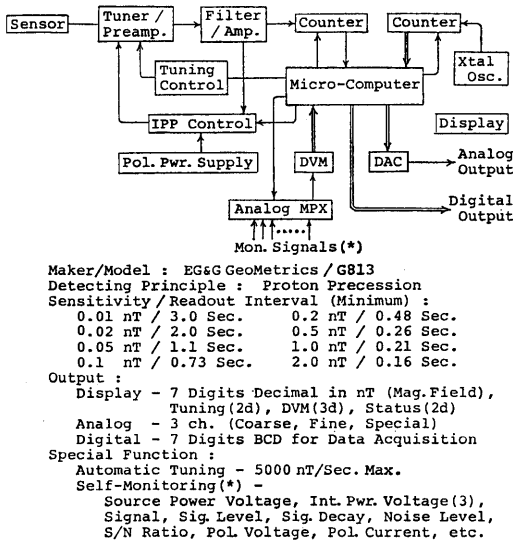


Fig. 2 Configuration and Specification of the Airborne Magnetometer G813(EG&G GeoMetrics, USA).

(1) 周期測定・周波数直読

プロトン磁力計センサーからのラーマー信号は磁力値に比例した周波数の信号である。したがって、この信号を直接に周波数カウンタに入力することにより磁力値に変換できるが、ラーマー信号は 2 kHz 程度となり、0.1 nT (ナノテスラ) 単位の測定を行うためには 235 秒を要することとなる。これは実用的でないばかりか、ラーマー信号の減衰のため測定自体が不可能となる。

ラーマー信号を精度よく短時間に測定するためには 2 つの方式がある (小川, 1970)。1 つは Phase Lock 方式と呼ばれ、ラーマー信号は Fig. 3 に示すように、VCO

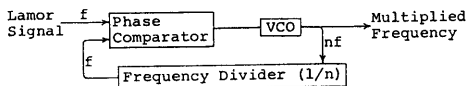


Fig. 3 Phase Locked Loop for Frequency Multiplier.

(Voltage Controlled Oscillator) をもった PLL (Phase Locked Loop) 回路によって周波数で倍されて周波数カウンタに導かれる。G804 型空中磁力計はこの方式のもので、1024 倍の周波数で倍器が用いられている。もう 1 つの方式は Reciprocal (逆数) 方式と呼ばれ、周波数のかわりに周期を測定するものである。周波数測定では計測値がそのまま磁力値を表す(または比例する)が、周期測定の場合は逆数演算が必要となる。4914 型は周期測定値をそのまま記録する型のものであった。両方式の長所短所は、Phase Lock 方式において逆数演算なしに磁力値直読型とできるのに対し、Reciprocal 方式では故

障・動作不安定の要因となりやすい周波数で倍器が必要となる点である。

現用の G813 型空中磁力計では、Reciprocal 方式を採用しつつも、組み込まれたマイクロプロセッサにより逆数演算を行い、磁力値直読型の表示・出力を行っている。また、周期測定の場合には測定精度を高めるために一般に波数 n 個の平均周期が測定されるが、測定に要する時間が磁力値に依存して変動するため、一定時間間隔での測定を最高精度で行えるように n の値をマイクロプロセッサが制御している。

(2) 同期励磁 (IPP)

プロトンの歳差運動は、励磁によってそろえられた位相が時間とともに不揃い状態となり、ラーマー信号も減衰するが、測定間隔が短い場合には歳差運動の位相がまだ比較的そろっている状態で次の励磁電流を流すこととなる。このとき、歳差運動がちょうど Fig. 4 の A の位置にきたときに励磁磁場がかかるように調整してやると、励磁の効率が良くなり、S/N のよいラーマー信号が得られ測定精度の向上に寄与できる。

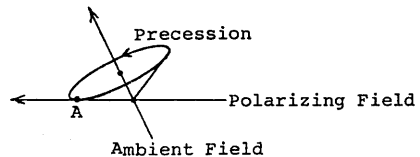


Fig. 4 Proton Precession and In-Phase Polarizing.

このような操作を IPP (In-Phase Polarizing) と呼んでいる。G813 型では、検出したラーマー信号の位相からこの励磁電流を流しはじめるタイミングを決定するように自動制御される。

(3) 自動チューニング

センサーコイルで検出されるラーマー信号は微弱であり、これを選択的に増幅するため増幅器の前に LC 共振回路が置かれる。この LC 共振回路は磁力値によって中心周波数を変更 (チューニング) する必要がある。実際にはセンサーコイル自体が L となり固定であるので、半導体スイッチによりコンデンサ C を切替えることによりチューニングが行われる。このチューニング操作は、従来はオペレータが手動で行っていたが、G813 型では、測定磁力値と次に述べる自己モニタ機能を用いて、自動的にチューニング切換を行うことができる。

(4) 自己モニタリング

G813 型空中磁力計には、Fig. 2 にも示されているようにアナログマルチプレクサとデジタル電圧計が備わっているため、最大 16 チャンネルのアナログ信号がモニ

タでき、これをマイクロプロセッサが制御している。通常モニタされる信号は、4種類の電源電圧のほか、ラーマー信号の波形・減衰率、信号レベル、ノイズレベル、S/N比、励磁電源の電圧・電流、およびセンサー温度の計12チャンネルである。マイクロプロセッサは、これらの信号を常時もしくは必要に応じて検査し、異常が検出されると、その表示を行うとともに、必要ならば回路保護の動作を行う。この自己モニタリングの機能により、測定値の信頼性が容易に確認できるほか、一部の故障や動作不良を原因とする他部への故障の波及拡大を防止する役割をも果している。

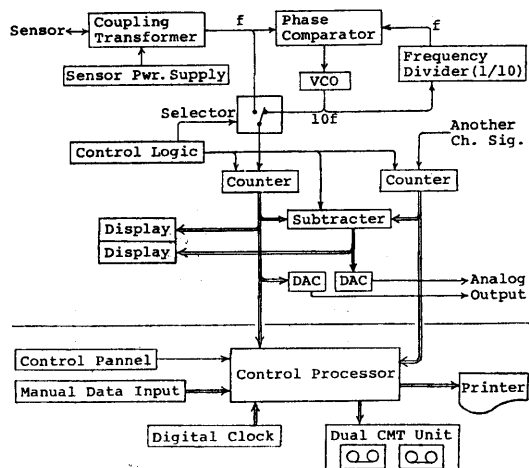
2.2 地上定点磁力計

地質調査所の空中磁気探査に使用された定点観測用磁力計としては、Varian 社製4938型 (1965—1972年)・丸文波製MDA 7101型 (1972—1980年)があり、1981年以後は丸文波製M8002型に更新されている。これらはいずれも光ポンピング型の磁力計で、センサー部は Varian 社または Varian Canada 社製のセシウム (またはルビジウム) センサーが用いられている。

光ポンピング磁力計についても、物理探査用語辞典・陶山 (1968)・小川 (1970) などにもその原理の解説がある。プロトン磁力計と同様に磁力値に比例した周波数のラーマー信号が得られるが、プロトン磁力計と比べてラーマー周波数が2桁程度高く、完全な連続波として得られる点特徴であり、より高分解能の測定が行える。また、このため周波数で1倍器を用いなくても3秒以内に0.1 nT 精度の周波数測定が行える。一方、光ポンピング磁力計では、数分～数10分の前熱が必要なほか、ゼーマンスペクトル構造の複雑さに由来するセル温度依存性やセンサー軸と磁場方向との交角依存性などもあり (YABUZAKI and OGAWA, 1974)、絶対精度は1 nT 程度と見られている。しかし、定点磁力計として用いる場合は、絶対精度は必ずしも重要ではなく、センサーが固定され保温の配慮もされているので、十分な相対精度が確保されている。

Fig. 5 に現用の M8002/M8003 型磁力計データ収録装置の性能概要とブロック図を示す。この磁力計の特徴は次の諸点である。

- ① 周波数で1倍器使用時は、0.3秒間隔で0.1 nT, 3秒間隔で0.01 nT の高分解能測定ができる。
- ② 周波数で1倍器が動作不良の場合でも、ラーマー信号を直接に周波数カウンタに入力し、0.3秒間隔で1 nT, 3秒間隔で0.1 nT 単位の測定が行える。
- ③ 空中磁気探査の定点観測用としては不要であるが、グラジオメータ (傾度計) の測定が行える。



Maker/Model : MARUBUN Corp. / M8002, M8003
 Detecting Principle : Optical Pumping
 Sensitivity / Readout Interval :
 0.01 or 0.1 nT / 3.0 Sec.
 0.1 or 1.0 nT / 0.3 Sec.
 Output :
 Display - Total Force (6 Digits)
 Difference (5 Digits with Sign)
 Analog - 2 Ch. (T.F., Diff.), Coarse or Fine
 Data Acquisition :
 Manual Data - 6 Digits BCD
 Digital Clock - 9 Digits (dddhmmss)
 Printer Output - 2-60 Sec. Sampling
 CMT Output - 1-60 Sec. Sampling
 256B / 1 Rec., JIS Format

Fig. 5 Configuration and Specification of the Base-Station Magnetometer M 8002/M 8003 (Marubun, Japan).

- ④ データ収録装置部によるカセット磁気テープおよびプリンタへの記録と磁力計部独自のアナログ出力により、記録の多重化を実現しており、多少の故障が発生しても欠測とならない。
- ⑤ 磁力計部とアナログ記録計のみでも必要な観測が行える。

2.3 機体磁気補償

空中磁力計を航空機に搭載するにあたっては、航空機自体の発生する磁場の影響を除く必要がある。古くは、非磁性の容器に磁力センサーを収容して機体から遠ざけて曳航するバード方式がとられたが、安全性と経済性の両面から、今日ではセンサーを翼端もしくは機尾に設けられた突起部に収納するスティンガー方式が専ら用いられている。スティンガー方式では機体磁気の影響を補償することが不可欠となる。

機体磁気補償の原理と方法については、すでに中塚ほか (1976)・中塚 (1984) が詳しく記しているので、ここではその概要を述べるにとどめる。

機体磁気ノイズの主要なものは永久磁気成分と誘導磁気成分から成り、前者はセンサーから適当な距離に置か



Fig. 6 Cesna 404 Survey Aircraft.

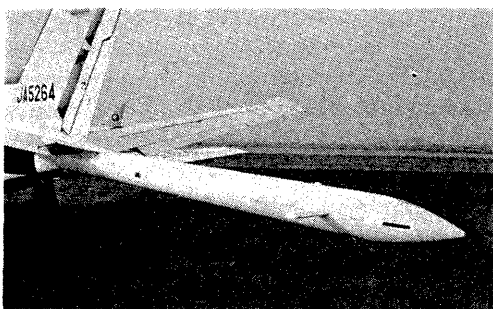


Fig. 7 Tail Stinger of the Survey Aircraft (C-404).

れた三軸コイルに一定の電流を流すことにより、後者はセンサー位置の両翼の適切な位置にパーマロイなどの高透磁率物質を置くことにより、その影響を打消すことができる。Fig. 6, Fig. 7に現役の探査機とそのスティンガー部を示す。磁力センサーは、スティンガーの先端近くの両側にある突起 (Fin=ひれと呼ぶ) の中間に置かれ、機体磁気補償用に、三軸コイルがスティンガーの根本近くに、パーマロイ片がFinの中に取り付けられている。これらの実際の調整にあたっては、定められた目標地点上空を一定高度で多様な機首方位で飛行し、目標地点上空での磁場測定値の機首方位に依存した変化 (方位誤差と呼ぶ) を検出する。この方位誤差が最小となるよう、また機体のローリング動作に同期した磁場測定値の変化が最小となるよう、手順を踏んで調整作業を行う。

このようにして補償される機体磁気ノイズの大きさは、個々の機体によって様々であるが、筆者らの経験では、方位誤差の値で永久磁気成分が10-50nT、誘導磁気成分が10数nTであり、上記の調整により方位誤差1nT程度以内に補償される。なお、このような補償を行わないと、飛行方位に応じた方位誤差に相当する磁場測定値のオフセットを生じるばかりでなく、機体の揺動に対応した磁力値の変化が記録され、測定精度の低下を招くことになる。

2.4 磁場測定に関する近年の動向

前にも述べたように、磁気探査の分野では測定方式に関してはプロトン磁力計の実用化以後、顕著な発展は見られないが、特徴的な動きは計測の分野にも大幅にマイクロプロセッサが組み込まれてきている点であろう。しかし、測定方式に関する開発の試みも地道に進められており、将来の普及も予想される。ここでは、そのうち2点についてふれることにする。

(1) オーバハウザ効果磁力計

オーバハウザ効果磁力計はプロトン磁力計の一変種と見ることができ、強磁場の印加による励磁なしでプロトンの歳差信号を取り出すものである。通常のプロトン歳差方式の磁力計では、励磁電流の印加により、プロトンの磁気モーメントを増加させると同時に、磁気モーメントを外部磁場に直交させ、歳差運動の位相をそろえるという動作を行っている。オーバハウザ効果磁力計では、プロトンを含む液体に常磁性不純物を加え、その不純物の不対電子の共鳴周波数 (60MHz程度) の交流磁場をかける。このとき、不対電子はプロトンとの間で相互作用を起こし、結果的にプロトンの巨視的な磁気モーメントを増加させる (この現象はオーバハウザ効果と呼ばれる)。したがって、何らかの方法でその磁気モーメントを外部磁場に直交させ歳差運動の位相をそろえてやれば、ラーマー信号が検出できることになる。例えば、ラーマー周波数に等しい交流磁場を加えると共鳴を起こさせることができるので、光ポンピング型の場合と同様な自己発振器を作ることができる。

オーバハウザ効果の応用は特に新しいものではなく、1965年にはSud Aviation社により実用化されていた (陶山, 1968; THOMAS, 1965) が、近年、GEM Systems社のHRVOICらはオーバハウザ効果を引き出すのに特に優れた不純物 (特許) を開発し、それを使用して超低消費電力で高感度の磁力計を製作している (HRVOIC and MYZYK, 1983; HRVOIC, 1984)。

オーバハウザ効果磁力計では、磁力値検出は通常のプロトン歳差磁力計と本質的には同じであるが、励磁が不要で連続的なラーマー信号が得られる。このため、低消費電力化はもとより、信号の減衰がないのでより高精度の測定が行える。

(2) グラジオメータ (磁気傾度計)

磁気探査では傾度計 (グラジオメータ) 方式の測定がしばしば利用される。傾度計とは言っても磁気傾度を直接検出するのではなく、2点間の磁場強度の差を測定するものであり、通常の磁気探査でも定点観測を行って移動観測との差をとるという意味からは、類似の手法であ

る。傾度計の場合は、その2点間の距離が短く、相対的位置関係を固定した状態で移動観測を行う。

グラジオメータの特徴は、定点での経時変化磁場測定を必要としないこととセンサーに近い位置(浅所)の構造により敏感であることである。後者の特徴は土木分野の磁気傾度計にその典型が見られるが、地質構造探査においても有用な場合がある。定点観測による経時変化磁場補正は、定点と移動観測点との間で経時変化に差がないことを前提にしているが、局所的な地磁気擾乱が卓越する磁気的高緯度地方や外洋での船上磁気探査ではこの前提が成立せず、グラジオメータの利用が有効となる。

グラジオメータではどの方向の傾度を検出するかによって、Vertical・Longitudinal・Transverseの3種類が考えられる。船上磁気探査では Longitudinal Gradiometer がよく利用され、その測定値を積分することにより通常の磁力値分布に引き直す処理が行われる。この場合は通常の1センサー測定と本質的相違がないことになるが、Vertical Gradiometer と Transverse Gradiometer では、1センサー測定からは直接得られない情報を取得することになる。

カナダ地質調査所(GSC)では、カナダが磁気的高緯度地方に位置することもあって、古くから航空機用グラジオメータの開発を進め、Vertical Gradiometer を実用化してきた。その成果は鉛直微分磁気図として刊行されているが、GSC で開発された技術は民間へ技術移転され(HOOD *et al.*, 1982), Kenting 社で商業ベースの探査システムが開発されている(IRVINE and CEPPELLA, 1984)。このシステムは2本のスティンガー(うち下側は離着陸時には引込められる)に光ポンピング型の磁力センサーを収納しており、約2mの距離で傾度を測定する(BARLOW, 1983)。

一方、EG&G GeoMetrics 社では、プロトン磁力計のセンサーを航空機の両翼端に置き、2台(またはティルススティンガーを含めて3台)のプロトン磁力計を同期して動作させることにより Transverse Gradiometer (または Horizontal Vector Gradiometer) を構成するシステムを開発している(BREINER, 1982)。このシステムの特徴は、通常の1センサーの機能に追加して横方向の傾度をも測定する点にある。通常の空中磁気探査は磁力値の面的な分布を捉えるために平行な測線群上での測定を行うが、横方向の傾度が同時に測定されると、測線本数を倍加したのと同等とまでは言わぬまでも、より精度の高い磁気図が描ける。

磁気傾度の測定においては、2センサー間の距離をあまり大きくとることができないため、個々のセンサーで

より高分解能・高精度の測定を要求されることとなる。このためには、光ポンピング型のような連続波信号の得られるシステムが望ましいが、光ポンピング型はセンサーのオリエンテーションによる測定誤差が問題になる。この点では前出のオーバハウザ効果磁力計の利用が効果的で、すでにバード方式によるテストも進められている。なお、グラジオメータの場合の機体磁気補償は、2個のセンサーに対して補償することは言うに及ばず、本質的にセンサーに近い位置のノイズ源の補償である点からも高精度を要求されることとなろう。

3. 位置測定とデータ収録

空中磁気探査においては、航空機の位置を正確に測定することは磁場測定と同様に重要であり、各種の位置測定手法の組み合わせにより位置標定が行われる。位置標定に関しては陶山(1970)の解説があるので、ここではその後の動きを含めて簡単にふれる。

3.1 位置測定装置

航空機の時々刻々の位置を決定するためには、種々の方法が考えられ、それぞれに長所短所があるが、地質調査所では、次の3種の装置を用いて経済的かつ精度のよい位置標定を行うための技術開発を行ってきた。

① 対地映像撮影装置

陸域において航空機直下の地形を撮影し、地形図と対比して位置を決定するもので、精度は高いが、位置標定作業は人手に頼る部分が多く自動化しにくい。古くは、パルスカメラ(自動捲上げ連写カメラ)またはストリークカメラ(スリットカメラ)により、写真フィルムに記録されたが、今日では、中日本航空協の開発によるテレビカメラとビデオレコーダを使用した対地 VTR システムを使用している。この対地 VTR システム(Fig. 8)では、鉛直ジャイロからの信号により、画面内に直下点を示す十字マークが示される。

② ドップラーレーダ

ドップラーレーダは、電波のドップラー効果を利用して航空機の対地速度を知る装置であるが、速度を積分すれば位置情報が得られる。ドップラーレーダーからは希望進路方向とその直交方向への速度に比例した信号と向き(Sense)を示す信号とが得られ、これらを Up-Down Counter に入力すると、カウンタは積分器として働き、その表示値として相対位置が得られる。この装置をドップラーカウンタと呼んでおり、データ収録装置に内蔵している。ドップラーレーダは地上施設を必要としない利点もあるが、誤差累積型であるので、他の位置測定法と組み合わせて使用する必要がある



Fig. 8 Vertical Video-Image Recording System.

る。

③ 電波航法装置

ここにいう電波航法は、地上の援助施設から発射される電波を受信することにより位置を測定するもので、使用する電波の種類、送受信方式、サービスエリアの広さおよび位置決定精度を異にする種々の航法がある（浅田，1970）。そのうち地質調査所では、双曲線航法のロランCとデッカを使用し、近年ではロランC電波による円航法（ ρ - ρ 航法）のシステムを使用している。これらによる位置標定は、陸上・海上の別なく使用できるが、精度は対地映像標定より劣り、気象条件等の変化に伴う誤差も含むため、陸域のみの探査では使用されない場合が多い。

以上3種の位置測定装置は、それぞれが原理・特徴に対照的な性格を持っており、それぞれの特長を活かした形で組み合わせた位置標定が効果的である。実際に、陸域探査では①と②の組み合わせを用い、海域探査では③を用いて①による誤差補正を行い②を補助データとしている。

なお、近年、新しい航法装置として INS（慣性航法装置）が注目されているが、高精度のものは非常に高価なため、今のところ空中磁気探査には用いられていない。INS では加速度を検出してこれを2回積分することによ

り位置情報が得られるが、これも誤差累積型であるので、他の絶対位置標定手法と組み合わせて使用するのが適切であろう。

3.2 高度計

航空機の高度計には、対地高度を測定する電波高度計と平均海水面からの高度を与える気圧高度計とがある。航空機の飛行高度の測定は、3次元空間内の位置を決定するという意味では重要である。特に山岳地域の探査で高度を変化させつつ測定を行う場合は、データ処理において標準磁場を除去する際に必須のデータとなる。一方、海域探査のように海拔高度一定の飛行の場合には、航空機の高度変化は一般に十分小さく補正を必要としないが、通常、参考データとして気圧高度を記録する。

3.3 データ収録装置

1960年代の空中磁気探査では測定結果はもっぱらアナログ計録計に記録されたが、空中磁気探査のデータ量は膨大になり、その処理は単純作業の繰り返しとなることから、1970年代にはデータのデジタル磁気テープへの収録とコンピュータ利用による自動処理化がすすめられた。地質調査所の当初のデータ収録装置はインクリメンタル型の7トラック磁気テープ装置に記録するものであったが、1984年にカセット磁気テープによるデータ収録装置に更新された。

この新しいデータ収録装置（丸文佛製）は、制御部、カセット磁気テープ装置（CMT）部、パラレルデータインターフェース（PDI）部および気圧高度変換部から成

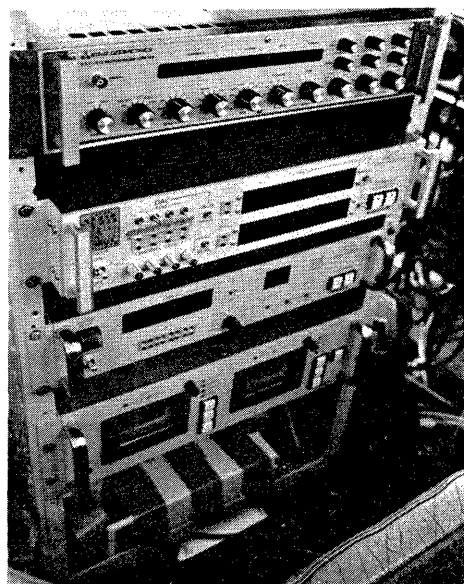


Fig. 9 Airborne Magnetometer and Data Acquisition System on Board.

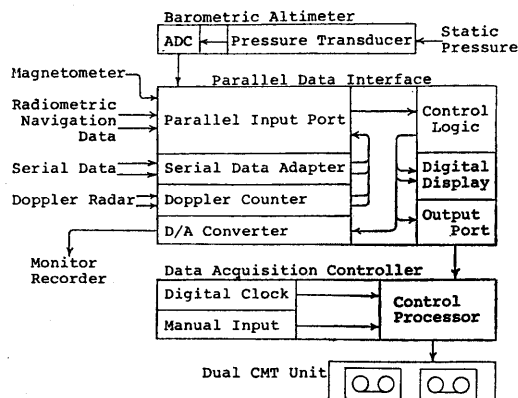


Fig. 10 Configuration of the On-board Data Acquisition System.

る (Fig. 9, Fig. 10)。各々の機能は下記の通りである。

(1) 制御部

デジタル時計、日付設定用のマニュアルデータ入力、状態表示器およびデータ収録制御スイッチを有するマイクロコンピュータであるサンプル間隔とデータ収録フォーマットを指示する内蔵スイッチの状態に応じて、PDI部・CMT部を制御し、日付・時刻とPDIからのデータをCMTに収録する。

(2) CMT部

2連のカセット磁気テープ装置から成る。テープ終端検出時に収録ユニットの自動切換が行われ、長時間連続のデータ収録が行える。1秒毎サンプルの通常のデータ収録の場合で、カセット磁気テープ（長さ300フィート）の片面で3時間余のデータが収納できる。

(3) 気圧高度変換部

機体の静圧孔から導かれた気圧を電圧信号に変換し、さらにAD変換器によって高度のデジタル表示値に変換する。このデジタル信号はPDIへの入力となる。

(4) PDI部

シリアル入力アダプターと前述のドップラーカウンタを含み、合計8チャンネルのデータについて、制御部へのデータの受渡しを行うとともに、任意の2チャンネルのデータの数値表示と任意の4チャンネルのアナログ化モニタ出力を行う。

PDIは種々の測定器からのデータの形式を規格化することにより、データ収録を簡素化し、測定器の変更時の対応を容易にしておき、同時に、探査飛行時の観測日誌の記載と収録データのモニタに便利な各種機能を備えている。PDIのブロック図をFig. 11に示す。

ドップラーレーダからの速度信号はドップラーカウン

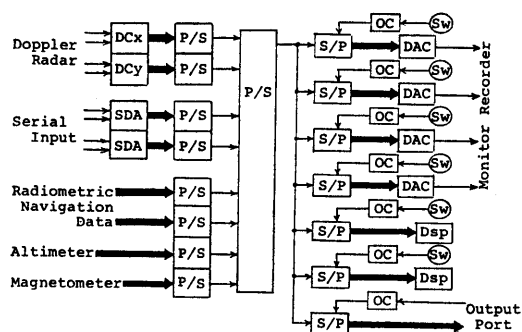


Fig. 11 Configuration of the Parallel Data Interface.

タ (DCx・DCy) を通り、シリアル入力データもアダプター (SDA) によって、他の4チャンネルの並列入力と同様に30ビットの並列データに規格化される。この30ビットは Fig. 12のように7桁BCD + 2本の信号線で構成され、符号の有無・符号の情報を含み、8桁のデータとして扱われる。全8チャンネル×8桁=64桁のデータは、並直変換回路 (P/S) を通っていったん直列化された後、直並変換回路 (S/P) で再び並列化されるが、この並列化データを取り出すタイミングを制御すること (OC) により、任意のチャンネルのデータを選択でき、必要ならばその値をホールドすることもできる。そしてこのデータは、DA変換器 (DAC)・数値表示器 (Dsp) またはデータ収録制御部へ送出される。

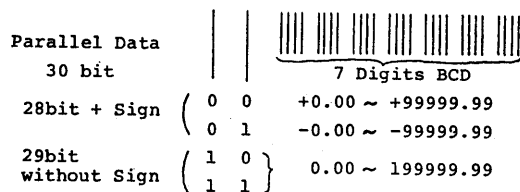


Fig. 12 Standardized Parallel Data Pattern.

なお、DACの出力は多ペン記録計（佛横河電機製3063型）でモニタ記録されるが、一般にDA変換はデータ値の下位寄り2～3桁に対して行われるので、複雑な変化があると、特に多ペン記録の場合に記録が見づらくなる。これを防ぐため本装置のDACは10%のオーバーレンジ機能を有し、Fig. 13に例示するような記録が行える。佛横河電機製の記録計は標準で120目盛構成になっており、この用途に好都合である。

4. 収録データ再生検査

機上のデータ収録装置は、かなりの動揺と振動のもと

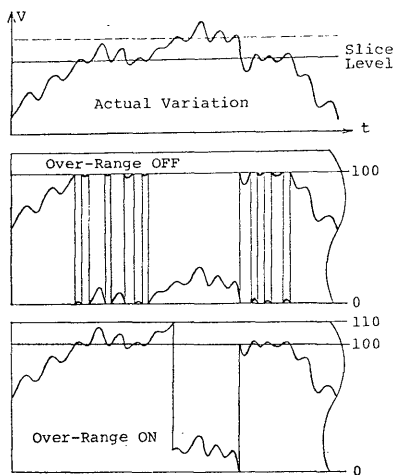


Fig. 13 Example of Over-Range Output of D/A Converter.

に置かれ、温度・湿度等の点でも悪条件下にあるため、故障・誤動作の可能性が高い。したがって、収録データの内容を最低限 1 フライトごとにチェックすることが重要である。地質調査所では 1974 年から、磁気テープ記録の内容検査を行うための現地データチェックシステムを開発し、使用してきた。このシステムについては中塚（1984）の詳しい解説があるが、データ収録装置の更新に伴って現地データチェックシステムも一部改造が加えられた。改造の内容は、データ収録媒体が 7 トラック磁気テープからカセット磁気テープに替ったことに伴うものが主体であり、本質的な変更は行われていない。

現在の現地データチェックシステムは、（株）日立製作所製のマイクロコンピュータ H68/SD10 を中心に、各種の入出力装置が接続されたものとなっており、その構成は Fig. 14 に示す通りである。Fig. 14 の鎖線より上の部分が現地で使用されるシステム（Fig. 15）である。

このシステムのソフトウェア開発ツールとしては、テキストエディタ・アセンブラのほか EMS と呼ばれるデバッグ用ファームウェアが標準装備されているが、カセット磁気テープを入出力ファイルとして有効利用するため、KCI と名づけた制御プログラムを開発して使用している。

収録データの再生検査のソフトウェアとしては、7 トラック磁気テープ用に開発したコマンド行インタプリタ形式のプログラム（AMDP）をカセット磁気テープ用に修正して用いている。このプログラム（AMCDP）においては、26 種類のコマンドが用意されており、オペレータが一般的には複数のコマンドから成るコマンド行を

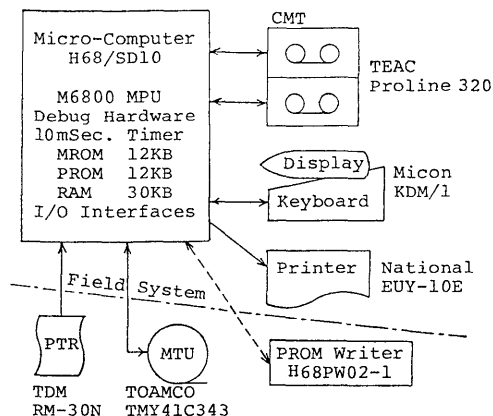


Fig. 14 Configuration of the Reproduced Data Inspection System.

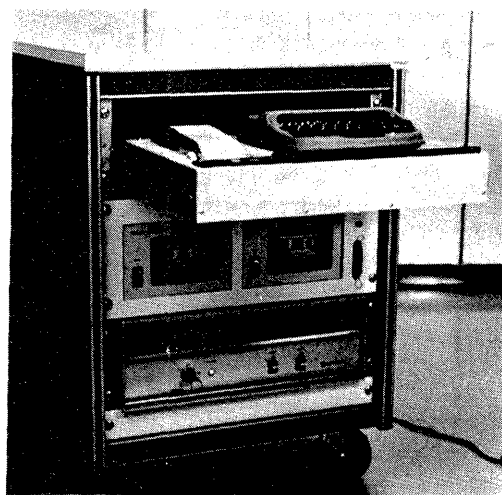


Fig. 15 Reproduced Data Inspection System on Site.

入力すると、プログラムがこれを解釈して逐次実行し、実行結果メッセージを出力する。また必要があれば、オペレータは中断要求によりコマンド行の実行を停止させ、新たなコマンド行を入力できる。このように、オペレータのコマンド行入力および中断要求とコマンド実行結果メッセージとの会話により、収録データの再生検査が行われる。

現在、これらのソフトウェアはすべてアセンブラ言語で記述されているが、本装置において高級言語がサポートされていないためである。ここ 2～3 年のマイクロコンピュータの普及・発展には目を見張らせるものがあり、今日では周辺装置も充実してきており、FORTRAN 等の高級言語の使用できる現地データチェックシステムを構成することも難しくないとと思われる。

次の段階では、航法データから経緯度もしくは適当な座標系での位置を計算する (PMO)。電波航法による位置標定には、航法数値表 (テーブル) を使用する方法もあるが、現在は、送信局位置からの距離計算に基づく位置標定を使用している。電波航法データは、気象条件などによる系統的な誤差を含むので、陸域飛行時の対地映像標定との比較を行い、その誤差を補正している。

5.3 交点コントロール

以上の処理の後、主測線と交差測線との交点において両磁力値の比較を行う (交点数値計算)。理想的には両者は一致するが、現実には、位置測定誤差・機体磁気ノイズ残留分および地上定点と探査区域の間の経時変化磁場の相違などのため、差を生ずる。以前は、位置測定精度が相対的に劣っていたため、Magnetic Control と称して交点で磁力値が一致するように航跡の移動が行われたが、特に遠隔海域探査では経時変化磁場の相違に起因すると見られる例も多く、現在は、各種資料から差を生じた原因を推定し、磁力値・位置のいずれか (またはその双方) を修正する方法をとっている。この交点コントロールを終えたデータ (PM) が磁気図図化の基本となる。

5.4 残差計算と格子点データ作成

交点コントロールを終えると、直ちに磁気図を描くこともできるが、傾向面の除去のため、標準的に IGRF 残差を計算する。IGRF は球関数の級数展開で与えられるが、各点でその計算を行うことは効率的でなく、探査区域ごとに 2 次曲面近似を行って、近似式による残差計算を行う。近似式の係数は探査区域等のデータ入力時に計算され (FR)、各データファイルのヘッダーに記録されている。この近似による誤差は全般的に 0.1 nT 未満である。

次に、コンピュータによる図化のためには、十分細かい格子点上のデータが必要であり、2 次元的な補間計算を行う (RS)。補間の方法には各種のものが考えられるが、測線上では原データを忠実に保存し、不自然でなく滑らかなコンター図の得られるものが望ましい。現在は、測線の配置状況に応じて補間法を変更している。あらゆる面で満足のいく補間法の開発は今後の課題である。

格子点データファイル (RS) から磁力値コンターが、交点コントロール済測線データファイル (PM) から航跡図と緯経度線が図化され、極値データが付加されて磁気図が完成される。

6. おわりに

以上、地質調査所の空中磁気探査システムの紹介を中

心に、最近の動向を述べてきた。磁気探査の分野では、プロトン磁力計の発明以後は、それに匹敵するほどの新技術は生まれていないが、解析技術を含め、高分解能・高信頼性と探査能力の向上への追求は着実に進められてきた。特に近年の動向は、他の分野にも等しく見られるように、あらゆる制御の部分にマイクロプロセッサ技術が取り入れられ、現場でのデータの品質管理が進んだことが特徴的であろう。こうした技術の蓄積を基礎に、さらに探査技術の発展・向上が実現することを期待したい。

文 献

- 浅田正陽 (1970): 海上地震探鉱における ポジショニング, 物理探鉱, vol. 23, p. 45-53.
- BARLOW, R.B. (1983): Commercial Aeromagnetic Gradiometer System, in T.E. BOLTON, complil., *Current Research in the Geological Researches in Canada, May 1982—April 1983*, Can. Geosci. Council, Geol. Surv. Canada Paper 83-5, p. 20.
- BREINER, S. (1982): Horizontal Magnetic Gradeint Methods for Airbone and Marine Geophysical Exploration, 1981 Annual Meeting Abstracts, *Geophysics*, vol. 47, p. 441-442.
- 物理探鉱技術協会 (1979): 物理探査用語辞典 (光ボンビング磁力計, p. 296; プロトン磁力計, p. 322), 物理探鉱技術協会.
- HOOD, P., D. DODS, L.J. KORNIK, D. OLSON, P. SAWATZKY, and D. TESKEY (1982): Aeromagnetic Gradiometer Program of the Geological Survey of Canada: A Progress Report, 1983 Annual Meeting Abstracts, *Geophysics*, vol. 49, p. 618.
- HRVOIC, I., and J. MYZYK (1983): High Sensitivity Portable/Base Station Magnetometer Based on Overhauser Effect, in E.G. PYE and R.B. BARLOW, ed., *Exploration Technology Development Program of the Board of Industrial Leadership and Development*, Ontario Geol. Surv. Misc. Paper 115, p. 39-43.
- HRVOIC, I. (1984): 地磁気測定のためのオーバーハウザー効果プロトン磁力計 (笹井洋一, 訳・解説), 月刊地球, vol. 6, p. 424-428.
- IRVINE, J.L., and O.J. CEPPELLA (1984): The Kenting Airborne Gradiometer System, 1983 Annual Meeting Abstracts, *Geophysics*, vol. 49, p. 618.
- 中塚 正・田村芳雄・陶山淳治 (1976): 空中磁気探査における機体磁気補償, 地調月報, vol. 27, p. 773-781.

- 中塚 正 (1984): 空中磁気探査のシステム化について (I)——ハードウェアシステム——, 地調月報, vol. 35, p. 341-364.
- 小川克郎 (1970): 空中磁気探査の装置, 物理探鉱, vol. 23, p. 291-300.
- 陶山淳治 (1968): 空中磁気探査, 最近における物理探鉱の進歩, 物理探鉱技術協会, p. 127-140.
- 陶山淳治 (1970): 空中磁気図の作成について, 物理探鉱, vol. 23, p. 170-178.
- THOMAS, J. (1965): Le Magnétomètre Aéroporté MP 121 Sud-Aviation, *Geophys. Prosp.*, vol. 13, p. 22-36.
- YABUZAKI, T., and T. OGAWA (1974): Frequency Shifts of Self-oscillating Magnetometer with Cesium Vapor, *J. Appl. Phys.*, vol. 45, p. 1342-1355.