

7 スティンガー式ヘリボーン磁気探査システムの開発

中塚 正¹・大熊 茂雄²

(¹産総研地質調査情報部, ²産総研地球科学情報研究部門)

Development of a helicopter-borne magnetic survey system in use of a nose boom

T. Nakatsuka and S. Okuma

(Geological Survey of Japan, AIST)

1. はじめに

空中磁気探査の特長としては、広域にわたる調査を陸域・水域の別なく迅速に行えること、一般に火成岩の磁性が堆積岩のそれに比べて有意に強いため火成岩の分布状況の把握に適していることが挙げられる。

1970～1980年代には、日本周辺大陸棚の石油・天然ガス資源の賦存評価を目的として、技術の開発と精力的な実地調査が行われ、さらに NEDO によるキュリー点法と称する陸域の広域的な調査も実施され、国土をおおう規模での調査データが取得された。

その後の、空中磁気探査技術では、精密磁場測定・精密位置測定の技術の進展とともに、測線を高密度に配した高分解能探査の開発をすすめてきている。高分解能探査のためには、測線間隔を小さくした探査飛行を行うこととなるが、地下構造の信号を効果的に抽出するには、飛行高度もそれに応じた低空飛行が必要である。そのため日本のように山岳地の多い地形の地域では、固定翼飛行機での調査には制約が大きく、ヘリコプター利用による調査が不可欠となる。また、磁力計センサーの搭載方法として、バード曳航方式と機体固定のスティンガー方式があるが、日本のように住宅地・道路・鉄道が発達した地域では、バード方式は安全面で問題があり、自在な飛行計画の策定もままならない。従って、スティンガー方式でのヘリコプター利用空中磁気探査システムの構築とその利活用が期待された。

日本でのヘリコプター利用による本格的なスティンガー方式高分解能空中磁気探査をはじめて導入したのは、金属鉱業事業団であり(菱田ほか, 1997)、豪州 World Geoscience 社所有のシステムを利用したものである。地質調査所でも 1998 年に、同じシステムを用いて福井平野の調査を実施している(大熊ほか, 1999)。



しかしこのシステムは、通常は国内にハードウェアが存在せず、毎回の輸入・輸出手続きの時間と費用を要するため、機動的な調査(例えば、火山活動に応じた緊急調査など)には不十分な状況であった。また、World Geoscience 社のシステムが搭載されたヘリコプターは、山岳調査用とは言え、とくに急峻な高山での調査は予定しないものであった。

このような背景のもと、国内での調査に適合した自前のシステムを構築し、各種目的での調査に利用可能ならしめることを目標に、スティンガー式ヘリボーン磁気探査システムの開発を行っている。新システムを用いてテストサイトで検証調査を実施し、現在、そのデータの確認と今後の最適な現地調査手順の確立を図っている段階であるが、新システムの概要について報告する。

2. 磁場計測

磁力計センサー部としては、カナダ Scintrex 社製 CS-2 セシウム磁力計(表 1)を、ヘリコプターの中央底部に設置したフレーム(写真 2)から前方にのびるノーズブーム(スティンガー)(写真 1)の先端に収容している。こ

の位置のセンサーでは、機体磁気の影響を補正することが必要となるが、能動的な機体磁気補償の措置はとっておらず、調査飛行の後にソフトウェアで補正計算を行うシステムとなっている。

その補正計算が正しく行えるためには、精密な機体の姿勢 (roll, pitch, yaw) の情報が不可欠であり、そのため

表 1 セシウム磁力計の仕様

メーカー・型番	Scintrex (Canada), CS-2
計測磁力値範囲	15,000~100,000 nT
許容磁気傾度	40,000 nT/m
許容光軸角度	磁場方向に対して 10~85 度
方向性誤差	光軸角 20~70 度の範囲で ± 0.25 nT 以下
出力信号	3.498577 Hz/nT のラーマー周波数連続信号
動作環境	温度 -40~50 度 C, 湿度 ~100% (防滴)
供給電源/消費電力	27~35V DC/20 度 C で約 15W
ウォームアップ時間/電流	-40 度 C で 15 分/約 1.5A
重量	センサーヘッド 1.15 kg, 電子回路部 1.5 kg

表 2 Fluxgate 磁力計の仕様

メーカー・型番	Billingsley Magnetics (USA), TFM100G2
計測磁場範囲	100,000 nT (± 10 V Full scale)
計測感度・直線性	100 μ V/nT, フルスケールの $\pm 0.007\%$
3 軸直交性能	誤差 1 度未満
温度依存ゼロ点シフト	± 0.6 nT/度 C
出力インピーダンス	332 $\Omega \pm 5\%$
動作環境	温度 -55~85 度 C
供給電源/消費電力	15~34V DC/約 25mA
重量	100 g

表 3 磁力計測力カウンターの仕様

メーカー・型番	Guide Technology (USA), GT200
形状・寸法	PC/AT フルサイズ ISA ボード
Time Base	10 MHz Crystal OSC
温度安定性	温度範囲 0-50 度で ± 5 ppm
短時間安定性	1 秒平均で 5×10^{-10} rms 未満
エージング	2 ppm/年
計測(入力)周波数範囲	DC~100 MHz
入力信号電圧範囲	± 5 V
入力インピーダンス	1k Ω 30 pF または 50 Ω 選択
設定可能ゲート時間	250 μ 秒~3200 秒
計測可能有効桁数	ゲート時間 1m 秒で 7 桁
供給電源	+5V 0.9A, +12V 0.2A, -5V 0.05A, -12V 0.02A

表 4 データ収録装置内 A/D 変換器の仕様

メーカー・型番	Advantech (USA, 本社台湾), PCL-812PG
形状・寸法	PC/AT ハーフサイズ PCI ボード
アナログ入力	シングルエンド 16 ch
入力電圧レンジ	± 10 V $\sim \pm 0.3125$ V 倍系列
分解能・精度	12bit, 0.01% ± 1 LSB
アナログ(DA 変換)出力	12bit 2ch ± 5 / ± 10 V range
デジタル入出力	16 TTL input, 16 TTL output
その他	Programmable Timer / Counter (2 MHz Time base)

にブームの中段に 3 軸 Fluxgate 磁力計 (Billingsley Magnetics TFM100G2, 表 2) を置き、そのデータを利用して補正計算を行う。3 軸磁力計の測定では、地磁気 3 成分が事前にわかっている訳ではないので、絶対値ではなくその変化分が機体の姿勢変化に対応することとなる。さらにこの測定には機体磁気の影響も含まれるので、機体磁気の補正計算パラメータの決定には、磁気異常の静穏な空域で機体を揺動させて行うテスト飛行等のデータを用い、機体の揺れにコヒーレントな磁気異常変化パターンが最小となるように最小自乗計算が行われる (中塚, 1998)。

上記のセシウム磁力計は、磁力値に応じた周波数の信号を出力するのみであるため、そのデジタル計測には、別途、計測ハードウェアが必要となり、データ収録部にユニバーサルカウンタボード (Guide Technology GT200, 表 3) が装着してある。また、3 軸 Fluxgate 磁力計は、アナログ電圧を出力するので、同様に A/D 変換器ボード (Advantech PCL-812PG, 表 4) を用いて、データ収録を行う。



写真 1 磁気探査用ヘリコプター SA315B

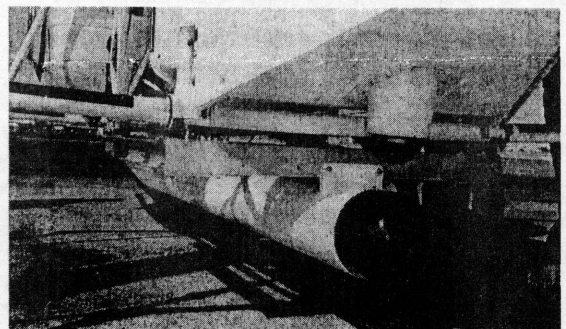


写真 2 磁気探査用スティンガー取付部

3. 位置計測

時々刻々のヘリコプターの位置情報は、機上の GPS 受信機 (Novatel PowerPak-4E) と地上に設置する同等の GPS 受信機との両受信データを用いたディファレンシャル処理により、精密決定される。従来は、気圧高度計お

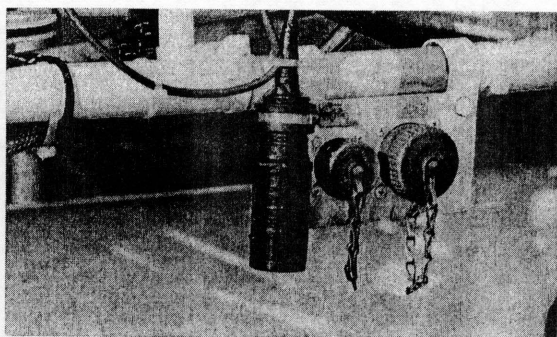


写真3 対地ビデオカメラ CCD

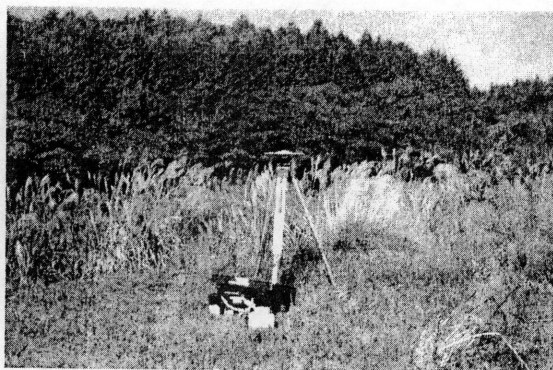


写真5 定点観測用 GPS

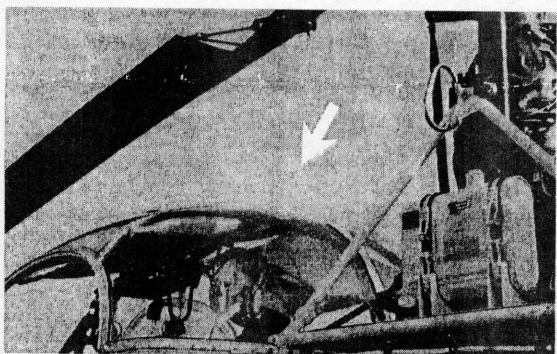


写真4 GPS アンテナ

よび電波高度計（またはレーザー高度計）等による高度データを取得するのが通例であったが、GPS データの精度・信頼性が向上した今日では、高度決定にも GPS を用いるのを標準としており、各種高度計データは参考データとして取得する。同様に、ビデオカメラによる対地映像撮影も今では補助データである。（写真3～5）

一方、位置計測には航跡標定データ取得とともに、ヘリコプターを予定測線へ誘導する航法装置としての役割がある。このための装置として、GPS のリアルタイムデータを用いた航跡表示誘導装置（AGNAV PNAV2100）を用いている。この装置は、MS-DOS 環境で動作する PC であり、モノクロ CRT ディスプレイ上への航跡等のリアルタイム表示、パイロット用に予定測線からのズレや測線の残距離等を表示するインジケータを備えている。しかし、この装置は GPS データのみを基礎にしているため、正確な対地高度を表示する機能をもたせることは現状では難しい。従って、測線飛行の予定対地高度への誘導には、電波高度計等の利用が効果的である。

4. データ収録

前記の各種データは、工業用 Windows PC に必要なインターフェイスボード（前述のユニバーサルカウンタおよび A/D 変換器ほか）を収容したデータ収録表示装置（

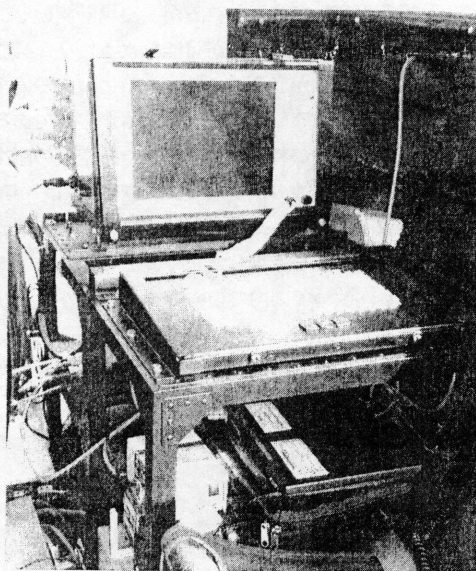


写真6 データ収録表示装置

写真6) でデータ収録・監視される。その基本ソフトウェアは、カナダ Developing Technology 社による AIRLOGS II であるが、National Instruments 社製のアプリケーション開発ツールである LabVIEW を用いて構築されたものである。このシステムで収録されるデータは、セシウム磁力計による全磁力値（最大 20 samples/秒）、GPS のリアルタイム測位データ（時刻データを含む）と最大 8 チャンネルのアナログ信号（電圧入力）の A/D 変換データである。アナログ 8 チャンネルのうち 3 チャンネルは、3 軸 Fluxgate 磁力計の信号に割り当てられており、残りの 5 チャンネルを気圧高度計・電波高度計・その他に割り当てることができる。それら収録データは、ファイル容量を節約するためバイナリ形式で保存されるが、ファイルの不慮の破損の備えとして、複数のメディア上に保存される。そのファイルからは、付属のユーティリティを用いて ASCII テキストファイルに変換するす

ることができ、Geosoft社のソフトウェア Oasis montaj でハンドリングできるようになっている。各調査飛行の後には、その処理を行って、測定内容の確認とデータ処理を実施する。

なお、ディファレンシャル処理を行うための GPS 受信データは、上記データ収録表示装置とは別の PC で、毎秒ごとの値を記録している。

5. ヘリコプターへの装備

前記の各種装置の大部分は、機体のキャビン内にラック等を用意して設置されるが、磁場計測のセンサーのためには、機体磁気補償が可能なようにノーズブーム（スティンガー）が必要であり、これに対する安全設計とその航空局による耐空検査への合格が必要である。一般的でない用途での特殊な装備をした航空機の耐空検査においては、安全性の慎重な検討に基づく対応が不可欠であり、我々の装備も、一旦ノーズブームの製造元であるカナダでの承認を取得した上で、その書類とともに装備を輸入し、改めて国内での検査を受ける方法をとった。

装備したヘリコプターの機種は、Aerospatiale SA315B（通称 Lama）である。この機体は、高高度飛行性能と山岳地での登攀性能に優れた機種の一つであり、富士山頂を含む国内のあらゆる地域での調査が可能なものである。

文 献

- 菱田 元・吉岡 謙 [1997] 北薩・串木野地域における高分解能空中磁気探査・放射能探査結果について。物理探査学会第 97 回学術講演会論文集, 301-305.
- 中塚 正 [1998] 3.4 空中磁気探査。物理探査ハンドブック (第 9 章 磁気探査), 499-503, 物理探査学会.
- 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。物理探査学会第 100 回学術講演会論文集, 285-289.