

空中磁気探査における機体磁気補償

中塚 正* 田村 芳雄** 陶山 淳治***

**The Compensation for the Aircraft Magnetism
in the Aeromagnetic Survey**

Tadashi NAKATSUKA, Yoshio TAMURA and Junji SUYAMA

Abstract

The effect of the aircraft magnetic field on a magnetic sensor in the stinger was studied, and the test of its compensation was attempted for the survey aircraft JA-8612 (YS-11). The elimination of permanent and induced magnetic noises (about 50 gammas and 15 gammas peak-to-peak, respectively) by means of both three-axis-coil system and permalloy strips was proposed. After this compensation was made, the directional error of the stinger measurement relative to the bird one is reduced to about 0.5 gamma. As a result of the test, the total magnetic noise is determined by the random noise up to 1 gamma at most. It was, however, suggested in the course of data processing that the directional error might be less stable than what had been expected. This indicates that the absolute (not relative to the bird) and frequent measurement of the directional error is required to examine the stability of the compensated status and to make more accurate compensation.

1. はじめに

空中磁気探査では、航空機の機体磁気等によるノイズ磁場を避けるため、従来、磁力計の検出部（センサー）を非磁性の容器（バード）に収納し、機体から遠ざけてケーブルで曳航するバード方式がとられてきた。一方、センサーを機体から突出したテイル・コーン（またはテイル・ブーム）の先端に固定するスティンガー方式は、近年、実施上の安全性・経済性の面での優位性によって、広く用いられるようになってきた。バード方式では、センサー（バード）を機体から充分遠ざけることによって、機体磁気の影響をのがれられるが、スティンガー方式ではその影響が無視できず、これを何らかの方法で補償することが必要である。

機体磁気補償の方法としては、大別して、ハードウェアによる場合とソフトウェアによる場合とが考えられる。前者は、センサーに対する機体磁気の影響を打消すためにさらに別の人工的な磁場を加える方法であり、付

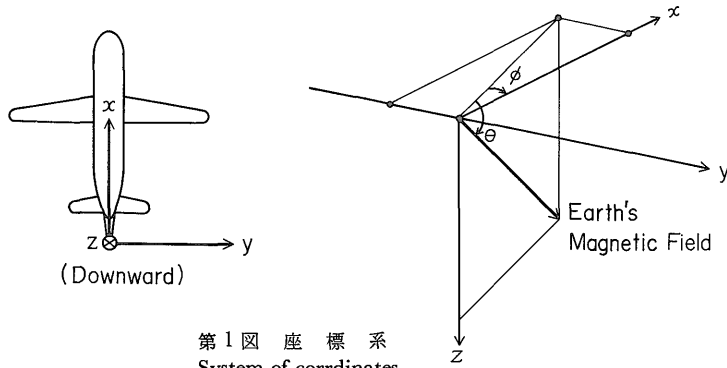
加する人工磁場の精密な調整が必要である。一方、後者は、機体磁気の影響をうけたままのデータを収集してデータ処理の過程で補正を加える方法であり、前者と比較してより簡便である。しかし後者の場合、精度の高い補償を行うには時々刻々の機体の姿勢を知る必要があり、これを検出・記録し処理しなければならない。この機体姿勢の検出・記録のためには、膨大な高度のハードウェアを必要とし、実用に適さない。また、やむを得ず機体の姿勢データなしに機体磁気の影響をソフトウェアによって補正する場合には、精度を若干犠牲にして「一測線上で機体の姿勢は一定」という仮定のもとにデータ処理を行うこととなる。この場合でも、予めハードウェアによる補償をある程度施しておけば、精度の犠牲は少なくともすむ。つまり、高精度の機体磁気補償のためには、実用上ハードウェアによる補償が不可欠である。

筆者らは、昭和47年高感度空中磁力計の導入以来、ハードウェアによる機体磁気補償の方法を確立させる立場から、探査機のスティンガーに対する機体磁気補償の研究を重ねており、より完全な補償を目指している。本報告では、まず機体磁気ノイズの種類とその性格を明らか

* 物理探査部

** 日鉱探開株式会社（元所員）

*** 地殻熱部



第1図 座 標 系
System of coordinates.

にしたのち、実際に用いた補償方法とその結果について述べ、若干の考察を加えた。

2. 機体磁気ノイズ

航空機の機体由来するノイズ磁場には各種のものが考えられ、列挙すれば次の如くである。

① 永久磁気

機体自体および搭載機器に使われている磁性体のもつ残留磁気によるもので、機体に固定した座標系において一定のベクトル量である。

② 誘導磁気

外部磁場（地球磁場）によって機体の磁性物質に誘導されてできる二次磁場であり外部磁場の強さに比例し、外部磁場に対する相対的な機体の姿勢変化に伴って変動する。

③ 渦電流による磁場

導体を貫く磁束の変化によって導体内に誘起される渦電流による磁場で、主に機体の姿勢変化によって発生する。

④ 機体内電流による磁場

機体の電気系統を流れる電流がループを作っている場合に発生する磁場で、定常的に流れている場合には永久磁気と同一視して扱えるが、変動分は別の磁気ノイズとなる。

⑤ 磁性体の移動による磁場変動

残留磁気や誘導磁気をもったものが機械的に動くことによって発生する磁場変動で、主に機体の姿勢制御系統に由来する。

⑥ その他

残留磁気の粘性項や、誘導磁気のみ異方性・ヒステリシスなどが影響する。

スティンガー方式では、ノイズ磁場によるセンサー付近の磁気傾度を充分小さくするために、センサーはテイル・コーンの先端に収納されるが、これによって同時に

微弱なノイズ磁場の影響からものがれられる。実際の探査では、測線に沿って直線的に飛行し、機体の急激な姿勢変化は避けるようにしているの、問題となるのは、主として永久磁気と誘導磁気である。

今、ノイズ磁場として永久磁気と誘導磁気のみを考え、センサーに相対的な位置 r の磁性物質の磁化分布を $M(r)$ とすると、センサーに対するノイズ磁場 F は、

$$F = \text{grad} \oint \frac{1}{r^3} r \cdot M \, dV \quad (r = |r|) \quad (1)$$

で表される。ここで $\oint dV$ は機体全体の磁性体に対する積分、 grad はセンサーの位置での方向微分である。よって、

$$\begin{aligned} F &= \oint \text{grad} \left(\frac{1}{r^3} r \cdot M \right) dV \\ &= \oint (r \cdot M) \text{grad} \left(\frac{1}{r^3} \right) dV + \oint \frac{1}{r^3} \text{grad} (r \cdot M) dV \\ &= \oint \frac{3}{r^5} r (r \cdot M) dV - \oint \frac{1}{r^3} M dV \end{aligned} \quad (2)$$

機体に固定した直交座標系 x, y, z (各方向の単位ベクトルを i, j, k とする) を第1図のようにとり、この系に対する地球磁場の伏角を θ 、機首方向 (x 軸) の方位角 ($x-y$ 面内で磁北方向から東回りにはかる) を ϕ とすると、地球磁場を N (その絶対値を N) として、

$$M = P + \kappa N \quad (3)$$

$$N = N (i \cos \theta \cos \phi - j \cos \theta \sin \phi + k \sin \theta) \quad (4)$$

ここに、 P は永久磁気による磁化の強さ、 κ は磁化率であり、ともに r の関数である。

$$r = r_x i + r_y j + r_z k \quad (5)$$

$$P = P_x i + P_y j + P_z k \quad (6)$$

$$P_r = \frac{1}{r} r \cdot P = \frac{1}{r} (P_x r_x + P_y r_y + P_z r_z) \quad (7)$$

$$r_N = \frac{1}{N} N \cdot r = r_x \cos \theta \cos \phi - r_y \cos \theta \sin \phi + r_z \sin \theta \quad (8)$$

とおくと, (2)~(8)より,

$$F = \oint \frac{3P_r}{r^4} r dV + \oint \frac{3\kappa N r_N}{r^5} r dV - \oint \frac{1}{r^3} (P + \kappa N) dV \quad (9)$$

ノイズ磁場 F が全磁力測定に及ぼす影響 G は, F が地球磁場 N に比べて充分小さいとき,

$$G = \frac{1}{N} N \cdot F \quad (10)$$

であるから,

$$P_N = \frac{1}{N} N \cdot P = P_x \cos \theta \cos \phi - P_y \cos \theta \sin \phi + P_z \sin \theta \quad (11)$$

とおくと,

$$G = \oint \frac{3P_r r_N}{r^4} dV - \oint \frac{P_N}{r^3} dV + \oint \frac{3\kappa N r_N^2}{r^5} dV - \oint \frac{\kappa N}{r^3} dV \quad (12)$$

となる。ここで, ϕ 依存性に注目すると, (8)・(11)・(12)より

$$G = A_1 \cos \phi + A_2 \sin \phi + B_1 \cos 2\phi + B_2 \sin 2\phi + C \quad (13)$$

$$A_1 = \cos \theta \oint \left(\frac{3P_r r_x}{r^4} - \frac{P_x}{r^3} \right) dV + 6N \sin \theta \cos \theta \oint \frac{\kappa}{r^5} r_x r_z dV \quad (14)$$

$$A_2 = -\cos \theta \oint \left(\frac{3P_r r_y}{r^4} - \frac{P_y}{r^3} \right) dV - 6N \sin \theta \cos \theta \oint \frac{\kappa}{r^5} r_y r_z dV \quad (15)$$

$$B_1 = \frac{3}{2} N \cos^2 \theta \oint \frac{\kappa}{r^5} (r_x^2 - r_y^2) dV \quad (16)$$

$$B_2 = -3N \cos^2 \theta \oint \frac{\kappa}{r^5} r_x r_y dV \quad (17)$$

$$C = \sin \theta \oint \left(\frac{3P_r r_z}{r^4} - \frac{P_z}{r^3} \right) dV + N \left(\frac{3}{2} \cos^2 \theta - 1 \right) \oint \frac{\kappa}{r^5} (r_x^2 + r_y^2 - 2r_z^2) dV \quad (18)$$

ここに, (14)・(15)・(18)の各右辺第1項は永久磁気の効果を表し, その他は誘導磁気の効果である。しかし, 実際の機体では, 磁性体はセンサーの位置を含み z 軸に垂直な面 ($r_z = 0$) 近くに分布し, かつ磁化率分布は機首方向 (x 軸) に関し左右対称 [$\kappa(r_x, -r_y, r_z) = \kappa(r_x, r_y, r_z)$] に近いと考えられる。このとき(14)~(18)は,

$$A_1 \approx \cos \theta \oint \left(\frac{3P_r r_x}{r^4} - \frac{P_x}{r^3} \right) dV \quad (19)$$

$$A_2 \approx -\cos \theta \oint \left(\frac{3P_r r_y}{r^4} - \frac{P_y}{r^3} \right) dV \quad (20)$$

$$B_1 \approx \frac{3}{2} N \cos^2 \theta \oint \frac{\kappa}{r^5} (r_x^2 - r_y^2) dV \quad (21)$$

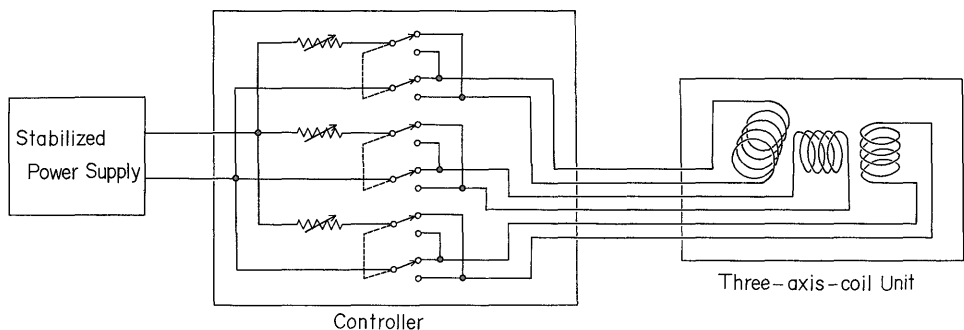
$$B_2 \approx 0 \quad (22)$$

$$C \approx -\sin \theta \oint \frac{P_z}{r^3} dV + N \left(\frac{3}{2} \cos^2 \theta - 1 \right) \oint \frac{\kappa}{r^5} dV \quad (23)$$

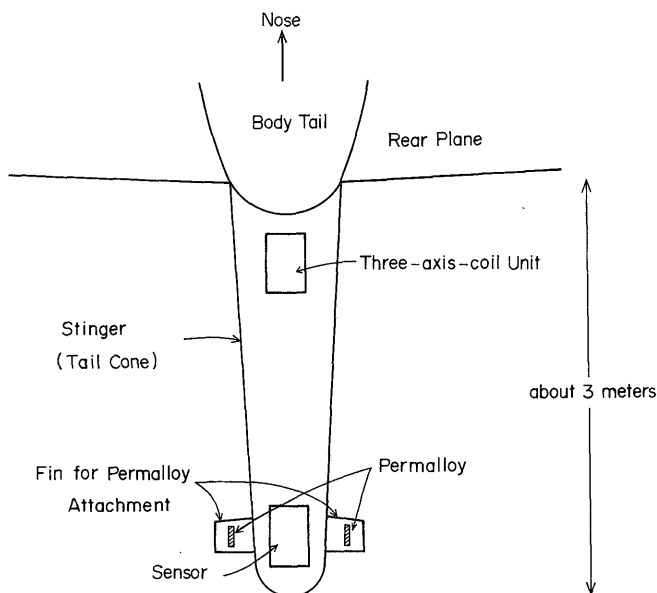
となる。すなわち, (13)において, $B_2 \sin 2\phi$ の項は小さく, $A_1 \cos \phi + A_2 \sin \phi$ の項は主として永久磁気によるもの, $B_1 \cos 2\phi$ の項は誘導磁気によるもので, C の項には双方の影響が含まれる。なお, 以下においては, 機体が水平 (z 軸が鉛直, θ は定数となる) の状態で, ノイズ磁場が全磁力測定に及ぼす影響 G を, ϕ の関数 $G(\phi)$ として扱い, これを「方位誤差」と呼ぶ。

3. 機体磁気補償

筆者らは, 昭和47年以来, 各地域での空中磁気探査に付随して, 探査機のスティンガーに対する機体磁気補償の研究を重ねてきた。当初の目標としては, バード方式と同程度の精度のデータが得られるようにすることが要請されたため, バード・スティンガー間の比較測定に重点を置き, 両測定値の一致をめざした。また, 探査飛行時は, 測線に沿って直線的に飛行し, 機体はほぼ水平を保っているので, 第1近似として地球磁場の機体系に対する伏角は一定とみなし, 前述の「方位誤差」をなくすようつとめた。



第2図 三軸コイルコンペンセータの構成
Schematic diagram of three-axis-coil system.



第3図 スティンガーにおける磁力計センサーと機体磁気補償用の三軸コイルおよびパーマロイの配置
Configuration of three-axis-coil unit and permalloy strips for compensation of the aircraft magnetic field around a stinger sensor.

3.1 補償の方法

機体磁気補償のためには、三軸コイルコンペンセータとパーマロイ片を用いた。三軸コイルコンペンセータ(以下単に「コンペンセータ」と呼ぶ)は第2図に示す構成になっており、スティンガーに対して、機体に固定した座標系で一定の磁場(ベクトル)を加えることができる。各コイルの軸は互いに直交し、その方向によって L (Longitudinal)・ T (Transverse)・ V (Vertical) の各称が付されている。各コイルがつくる磁場は、センサーの位置でそれぞれ x ・ y ・ z 方向となり、方位誤差に対する効果としては、原理的にそれぞれ $(\cos \phi$ の項)・ $(\sin \phi$ の項)・(定数項)に対応する(実際には若干の Crosstalk もある)。よって、各コイルの電流調整により(13)の $A_1 \cos \phi + A_2 \sin \phi + C$ の部分の補償が可能である。 $B_1 \cos 2\phi + B_2 \sin 2\phi$ の部分の補償にはパーマロイ片を用いた。これは、センサーの位置から見て水平でかつ互いに垂直な方向にある2つの磁性物質の誘導による影響が、水平成分に関して互いに打消しあうことを利用するものである。実際の機体では、磁性物質はスティンガーに対して主として機首方向に分布し左右対称に近いため、パーマロイの配置は第3図のようになる。なお、パーマロイを左右両側に置くのは、センサー付近の磁気傾度を小さくするためである。また、パーマロイの方位誤差に対する

効果は、(13)の $B_1 \cos 2\phi + B_2 \sin 2\phi$ の項だけでなく、その他の項にも影響するため、パーマロイの取付・移動の後にはコンペンセータの再調整が必要である。

3.2 調整原理

コンペンセータおよびパーマロイの調整には、各時点での方位誤差を知る必要があり、これを決定するには機体磁気の影響をうけていない基準磁力値データが必要である。地上調整の場合は、機体から充分離れた位置で地磁気日変化等の経時変化をモニタし、機体のない状態で予め測定した磁力値に経時変化分の補正を行って基準磁力値とした。しかし、地表付近は磁気傾度が高く、十分な精度が得られず、飛行調整を余儀なくされた。飛行調整の場合は、同時測定のパードによる磁力値を基準とした。調整の原理は次のようである。

① 東西南北4方位の方位誤差を $G_E \cdot G_W \cdot G_S \cdot G_N$ とすると、(13)より次の関係が得られる。

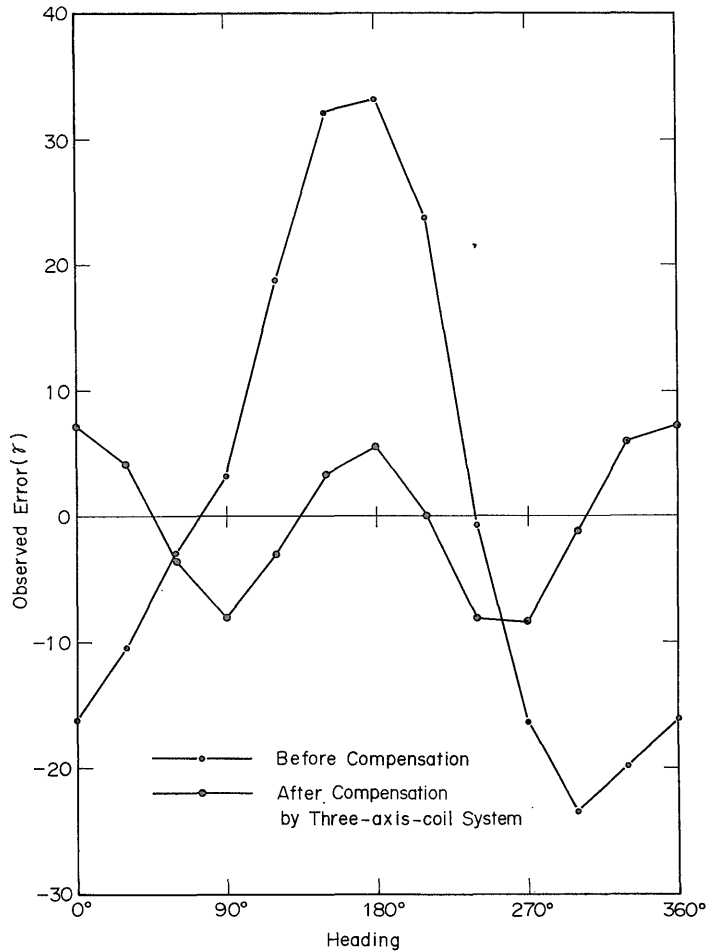
$$G_N = G(\phi = 0^\circ) = A_1 + B_1 + C \quad (24)$$

$$G_E = G(\phi = 90^\circ) = A_2 - B_1 + C \quad (25)$$

$$G_S = G(\phi = 180^\circ) = -A_1 + B_1 + C \quad (26)$$

$$G_W = G(\phi = 270^\circ) = -A_2 - B_1 + C \quad (27)$$

② コンペンセータの L ・ T ・ V 各コイルのつくる磁場は、方位誤差に対してそれぞれ(13)の $(\cos \phi$ の項)・ $(\sin \phi$ の項)・(定数項)、すなわち $A_1 \cdot A_2 \cdot C$ に影響す



第4図 三軸コイルコンペンセータによる永久磁気成分の補償
Compensation of the permanent magnetic component by three-axis-coil system.

る。よって(24~27)を考慮すると、 $G_E = G_S$ となるようにLコイル電流を、 $G_E = G_W$ となるようにTコイル電流を、 $G_N + G_E + G_S + G_W = 0$ となるようにVコイル電流を調整することにより、 $A_1 \cos \phi + A_2 \sin \phi + C = 0$ となる。

③ この調整の結果、方位誤差は

$$G(\phi) = B_1 \cos 2\phi + B_2 \sin 2\phi \quad (28)$$

となり、この部分はパーマロイの位置調整(場合によっては大きさの変更を含む)に委ねるが、②による調整結果の確認と $B_1 \cdot B_2$ の検出のために、12方位(30°ごと)程度の方角誤差を測定する。 B_2 が B_1 と同等以上の大きさをもつ場合は、パーマロイの水平面内でのセンサーを中心とした回転移動による位置調整が必要となるが、前述のように $B_2 \approx 0$ であれば、センサーからの距離のみ

の調整でよく、 $B_1 > 0$ のときパーマロイをセンサーに近づけ、 $B_1 < 0$ のときセンサーから遠ざける。さらに、パーマロイの調整後にはコンペンセータの再調整を行う。

3.3 永久磁気成分の補償

機体磁気補償の第1段階として着手したのは、コンペンセータにより方位誤差の $A_1 \cos \phi + A_2 \sin \phi + C$ の項を消去することである。これは、主として永久磁気によるものであり、誘導磁気による効果も若干含まれている。

最初の実験では、前述の調整原理と異なる機体の Maneuvering (Rolling・Pitching・Yawing) による調整法を試みた。この方法は、ノイズ磁場として永久磁気のみを考え、そのベクトルの地球磁場方向への射影が機体

の Maneuvering によって変化することを利用するものであり、独立な3方向への射影の変化をなくすことによって補償が行われる。この方法が有効であれば、スティンガー式磁力計単独で補償ができ、簡便かつ経済的である。しかし実際には、誘導磁気の影響が複雑に影響し、渦電流の効果も問題となるので、本実験の目的には適用できないことがわかった。そのため、以後のコンペンセータ調整は前述の調整原理に基づくことにした。

結果は第4図に示す通りで、無補償の時は方位誤差が $p-p$ (peak-to-peak) で約50ガンマに達し、コンペンセータによる補償を加えてもおおよそ15ガンマ $p-p$ の誘導磁気成分による方位誤差が残る。このことは、スティンガーに対しては永久磁気補償だけでなく誘導磁気補償も不可欠であることを示しており、また、機体の Maneuvering による調整法の不合理性を追証したものと見えるだろう。

コンペンセータによる補償の前後における方位誤差の変化分は、おおよそ $26.2 \cos \phi - 9.9 \sin \phi - 2.3$ (ガンマ) で近似される。一方、三軸コイルに流した電流は、 $L \cdot T \cdot V$ 各コイルについてそれぞれおおよそ 7.5 mA, -5.6 mA, 0.0 mA である。このとき、コイルの大きさ・巻数・センサーからの距離を与えて、(9)~(13)によって三軸コイルによる影響を計算すると、おおよそ $26.9 \cos \phi -$

$10.1 \sin \phi$ となる。両者のちがいは、方位誤差自体の測定誤差に加えて、コイルの等価的な大きさの見積りの誤差、三軸コイルの設置方向の不正確さによると考えられ、これらの点を考慮に入れると、両者はかなり良い一致を示している。

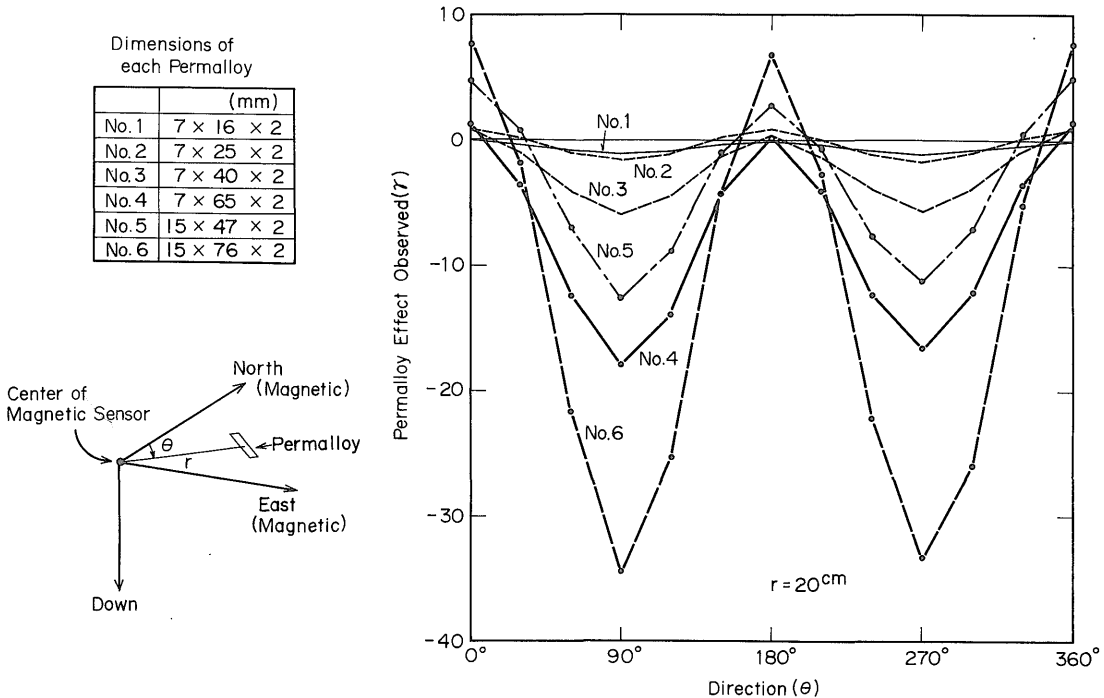
3.4 誘導磁気成分の補償

誘導磁気成分補償用のパーマロイの調整は Trial and Error (試行錯誤) によったが、これを能率的に行うため、パーマロイの形・大きさ・センサーからの距離による影響について、事前に地上で検定を行った。

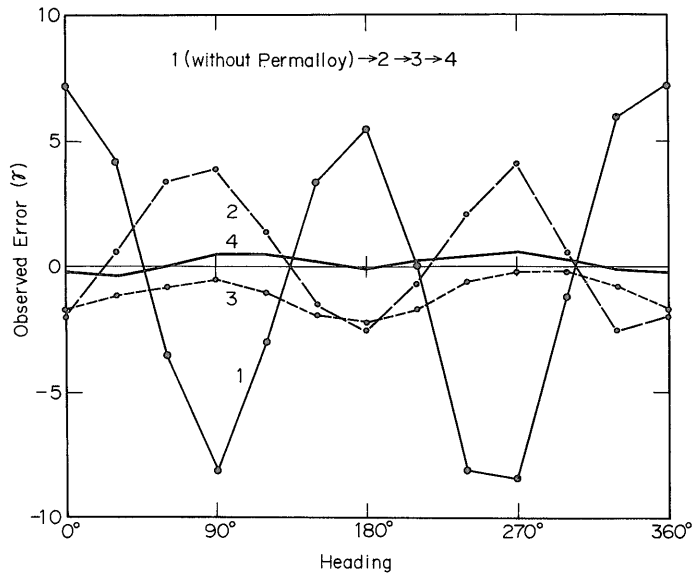
前章では、 x を磁化率として、誘導磁気による磁化の強さを κN で表わしたが、これは磁化率が1に比べて充分小さいときのみ成立し、磁化率が高いときは消磁力を考慮する必要がある。そのとき、誘導磁化をそのまま κN で表わすものとし、磁化率を x 、消磁係数を α とすれば、

$$\kappa = x / (1 + \alpha x) \tag{29}$$

としなければならない。すなわち、パーマロイの磁化率 κ は数1000程度の大きな値となるが、消磁力の効果により κ の値は $1/\alpha$ 程度となる。一方、消磁係数 α は、形状および磁場の方向に依存し、その値を解析的に求めることは難しい。われわれの目的は、消磁係数を求めることではなく、補償に使用するパーマロイの誘導磁気効果を



第5図 パーマロイの形・大きさによる誘導磁気効果
Induction effect due to the various sizes of permalloy strips.



第6図 パーマロイによる誘導磁気成分の補償
Compensation of the induced magnetic component by permalloy strips.

知ることであるので、実測によるのが早道である。

事前の地上検定には6種類の大きさのパーマロイを準備し、磁力計は地上用のもの(光ポンピング型・セシウム)を使用した。その結果の一部を第5図に示す。永久磁気成分補償後の方位誤差が15ガンマ程度であることから、この誘導磁気成分の補償のためにはNo. 4のパーマロイ(第5図参照)を使用することにした。

コンペンセータは制御部が機内にあるので飛行中に調整できるが、パーマロイは機体の外側に取付けるため、位置の修正等は着陸時に行う。また、パーマロイの取付・位置修正は方位誤差の定数項等にも影響を与えるため、パーマロイ調整後にはコンペンセータの再調整が必要である。かくして、誘導磁気成分の補償の手順は、「離陸→コンペンセータ調整→方位誤差測定(12方位飛行)→着陸→パーマロイ調整」の繰返しとなる。この過程を示したのが第6図である。曲線1はパーマロイ取付前、曲線2はパーマロイ取付後最初の方位誤差測定結果である。曲線2では曲線1と比べて振幅のかなりの減少が見られ、パーマロイの選定が妥当であったことを示している。また曲線1-2間での位相の反転は、曲線2の状態が過補償であり、パーマロイをセンサーから遠ざける必要のあることを示している。パーマロイを若干移動させた結果が曲線3で、まだ少し過補償である。さらにパーマロイをセンサーからわずかに遠ざけた結果、曲線4に示すように、方位誤差が±0.5ガンマ程度にまでおさまった。

しかし、第6図に示したのは各方位での磁力値誤差の平均レベルであり、実際の測定値はその値を中心に最大1ガンマ程度変動する。この原因としては、永久磁気・誘導磁気以外の機体磁気ノイズのほか、バードの機体に相対的な揺動が考えられ、以上に述べた機体磁気補償法の限界を示すものであるが、この精度は位置決定精度と比較して、一般の空中磁気探査の要求を充分満たすと思われる。

4. 問題点と若干の考察

前章では、機体が水平に保たれることを仮定して、地球磁場の機体系に対する伏角 θ を一定とみなしたが、より正確には θ の変化を考慮しなければならない。前章に示した方法により、機体が水平なとき方位角 ϕ に関係なく方位誤差が0となったとすると、 $A_1 = A_2 = B_1 = B_2 = 0$ であり、前述のように A_1, A_2, B_1, B_2, C が(19)~(23)で表されるとすると、

$$\oint \left(\frac{3P_x r_x}{r^4} - \frac{P_x}{r^3} \right) dV = 0 \quad (30)$$

$$\oint \left(\frac{3P_y r_y}{r^4} - \frac{P_y}{r^3} \right) dV = 0 \quad (31)$$

$$\oint \frac{\kappa}{r^5} (r_x^2 - r_y^2) dV = 0 \quad (32)$$

$$\sin \theta \oint \frac{P_x}{r^3} dV = N \left(\frac{3}{2} \cos^2 \theta - 1 \right) \oint \frac{\kappa}{r^3} dV \quad (33)$$

となる。(22), (30)~(32)は θ にかかわらず、近似的に A_1

$= A_2 = B_1 = B_2 = 0$ となることを示しており、 θ の変動の効果は主として C の部分のみに現れる。しかるに、C の部分による方位誤差は各方位に対して等価であり、磁気探査において重要なのは、磁力値そのものよりもむしろ磁力値の位置的な変化である。従って、方位誤差の値を 0 にすることに固執せず、機体の姿勢変化による方位誤差の変化を最小にする立場からは、機体が水平のときの θ を θ_0 として、 $[\partial C/\partial \theta (\theta = \theta_0)] = 0$ すなわち、

$$\cos \theta_0 \oint \frac{P_z}{r^3} dV + \frac{3}{2} N \sin 2\theta_0 \oint \frac{K}{r^3} dV = 0 \quad (34)$$

となるように、コンペンセータ (V コイル電流) の再調整を行うことによって、機体の揺れの効果を小さくすることが期待できる。しかし、このような調整が有意であるためには、永久磁気・誘導磁気による方位誤差の補償が充分なされている必要がある。機体磁気補償の現段階は、後に述べるような別の問題点が残されており、このような調整はまだ行っていない。なお、永久磁気と誘導磁気を個々に分離して補償する立場からは、(18) の右辺第 2 項に対応する誘導磁気の影響をなくすために、センサーに対して鉛直方向にもパーマロイを配置する方法が考えられるが、スティンガーの構造上の制約から、実施していない。また、仮に水平・鉛直両方向にパーマロイを取付けたとしても、永久磁気と誘導磁気とを分離して検出することはできないので、調整の段階で非常に困難をきたすことが予想され、実用的でない。

機体磁気のうち誘導磁気は、方位誤差に対する寄与が小さく、かつ搭載機器の変更等がない限り一定と考えられるが、永久磁気は、長時間にわたる経時変化を考慮する必要がある、方位誤差に対する寄与も大きいので、実際の探査に際しては、各探査地域ごとにコンペンセータ調整を行っている。その結果、各探査地域での最初のテスト飛行において、スティンガー・バードの同時測定による両測定値の差が ± 1 ガンマ程度以下であることが確認されている。一方、一部の地域の探査データの処理過程で、探査飛行時に数ガンマの方位誤差が存在していたことが示唆された。これは主測線と交叉測線との交点において双方の磁力値 (日変化等補正後) に系統的な差があることによるもので、さらにそれが飛行ごとに変化していると見られる事例もある。この現象は、機体の位置決定誤差の問題¹⁾ や日変化磁場の地域性の問題²⁾ と複雑にからみ合っており、単純に方位誤差の問題に帰せられるものではないが、一つの問題点を提起したものといえよう。

探査地域全体にわたって交点磁力値の系統差が存在することは、機体磁気補償の不完全さを物語るものであ

り、バードによる測定値を絶対視した調整方法に問題があると考えられる (現在、バードは約 150 フィートのケーブルで曳航されており、必ずしも機体磁気の影響を完全に免れているとは断言できない)。このことはまた、バード方式で行われた探査で交点磁力値の系統差が見られた事例によっても裏づけられており、さらに、地上の機体周辺での機体磁気測定の結果も、測定条件の劣悪さから精度的に疑問が大きく特に言及しなかったが、機体磁気の影響がバードの位置まで及んでいることを支持しているように思われる。バード測定を基準とした調整方法は、機体磁気補償の当初の目標から派生しており、その限りにおいて有効であったが、より正確な機体磁気補償のためには、絶対的な方位誤差測定に基づく調整方法が考えられねばならない。

一方、交点磁力値の系統差が飛行ごとに変化する問題は、機体磁気の時時的変動を想起させる。これは、主として時間的制約から飛行ごとの方位誤差確認がなされていないために、未解決のままになっており、方位誤差測定の高頻度を高めることが望まれる。しかし、この事例は機体の位置決定に使用したロラン C の受信条件が比較的悪かった地域での結果であることを考えるならば、位置決定の系統誤差が反映し、気象条件等の変化による飛行ごとの変化として現れた可能性も充分あるといわねばなるまい。いずれにしても、その原因を明らかにするためにも、方位誤差測定の高頻度を高め機体磁気補償の安定性を検討することが必要であろう。

5. ま と め

以上に述べた空中磁気探査機のスティンガーに対する機体磁気補償の研究の結果は、次のようにまとめられる。なお、本研究の対象となった探査機は、YS-11 型 JA-8612 機である。

- (1) スティンガー・バード比較測定の結果、無補償状態で約 50 ガンマ $k-p$ の方位誤差があり、永久磁気成分をとり除いても 15 ガンマ $k-p$ 程度の誘導磁気成分の方位誤差があることがわかった。
- (2) 永久磁気成分補償用に三軸コイルコンペンセータを、誘導磁気成分補償用にパーマロイ片を用いて調整を行った結果、バードによる測定に相対的な平均レベルで

1) 飛行方向・気象条件その他によって、電波測量による位置決定に系統的な誤差を生じると、これをもとに決めた主測線・交叉測線の交点では、必然的に両磁力値の系統的な差を生ずる。
 2) 空中磁気探査では、一般に磁場の日変化等の経時変化は探査地域内では不変と考慮して、これを定点観測でモニタし、空中での測定値に経時変化分の補正を行っている。しかしこの経時変化は、探査地域内全域で完全に同じである保証はなく、変形形態の異なる部分では、飛行時間帯のちがいに对应して、交点磁力値の差を生ずる。

の方位誤差は、 ± 0.5 ガンマ程度におさえられた。

(3) 永久磁気・誘導磁気以外の機体磁気の影響は、通常高々1ガンマでほとんど問題にならない。また、磁場の伏角変化に対応した方位誤差変化を最小にするようなコンペンセータの再調整により、機体のゆれに対して安定な機体磁気補償が期待できる。

(4) バードによる測定値自体も機体磁気の影響をうけている可能性があり、より高精度の機体磁気補償を行うためには絶対的な方位誤差測定が必要である。

(5) 機体磁気の補償状態の安定性を検討するため、方位誤差測定の頻度を高めることが望まれる。

・地殻熱部馬場健三課長をはじめ、物理探査部の斉藤友三郎・堀川義夫・渡辺史郎・津宏治各技官および石油開発公団の小川克郎氏(もと物理探査部)から御援助と御協力を戴いた。ここに、心から謝意を表す。

また野外実験に際しては、鹿屋の海上自衛隊第1航空群および八戸の海上自衛隊第2航空群から多大の御援助を戴き、市川元二機長をはじめとする日本航空機輸送株式会社の方々、日本飛行機株式会社の大石英俊・丸下八宏両氏からも御協力を戴いた。末筆ながら、ここに記して感謝の意を表す次第である。

(受付：1976年2月13日；受理：1976年7月1日)

謝 辞

本研究を行うにあたっては、物理探査部中井順二課長