電子磁気コンパスの傾船差補正について

宮本 佳則*・濱田 悦之**・白井 靖幸***

斎藤 清隆**・中村 善彦**

Compensation of Compass Heeling Error of an Electronic Magnetic Compass

Yoshinori MIYAMOTO, Etsuyuki HAMADA,
Yasuyuki SHIRAI, Kiyotaka SAITO and
Yoshihiko NAKAMURA

Abstract

Heeling error is defined as the change of deviation occurring when the vessel heels. When the vessel changes the latitude the heeling error also changes. The electronic magnetic compass was designed to compensate for heeling error using the Poisson's coefficients.

This paper shows experimental results of this electronic magnetic compass set up on board training vessel UMITAKA MARU of Tokyo University of Fisheries during her 49th voyage.

The compass system consists of three axis magnetic sensor and two axis clinometer. The magnetic sensor was fixed on the compass deck and the clinometer was set up near the ship's center of gravity.

Compensation of deviation was satisfactory and the residual deviation was less than 1° . When the ship changed magnetic latitude by about 20° , residual deviation was less than 3° .

In the experiment, the ship was manually steered and ship's maximum rolling angle and pitching angle were about 15° and 5° respectively. Under this condition, after compensating the heeling error, this compass shows 5° difference with the gyro compass. Although this compass does not damp, software damping makes the heading value of this compass equal to the gyro compass.

1. 緒 言

船舶などに装備した磁気コンパスには自差が生じるので、十分修正して使用しなければならない。従来型の磁気コンパスでは、船体が傾斜することによって生じる傾船差の修正は容易ではなく、特に磁気緯度が変化した場合、新たに修正しなければならない。電子磁気コンパスでは、誘導磁気成分の係数と永久磁気成分の大きさを求め補正しているので、磁気緯度にかかわらず傾船差の無い正しい船首磁気方位を得ることができる。

今回、東京水産大学研究練習船海鷹丸（総トン数1828.66 t）に電子磁気コンパスを装備し、平成2年11月13日から平成3年3月22日までの第49次遠洋航海において、磁気緯度の影響と傾船差に対する補正の実験を行ったので、その結果について報告する。

2. 電子磁気コンパスの機器構成

海鷹丸に装備した電子磁気コンパスの機器および実験の構成を図1に示す。船体3軸方向の磁界センサには、

* 学生会員 東京水産大学漁業計測学研究室（〒108 東京都港区港南4-5-7）

** 正会員 東京水産大学漁業計測学研究室（〒108 東京都港区港南4-5-7）

*** 正会員 千葉工業大学（〒257 千葉県習志野市津田沼2-17-1）

図1 機器構成

MR 素子（富士通：FSD-20055 AY-001）を用いた。MR 素子は磁気抵抗素子の一種で、現在多用されている InSb ホール素子を用いた磁気センサに比べ⁽¹⁾、温度特性が1桁以上優れている。また、 $50\mu\text{T}$ 以下の低磁束密度での磁界感度は、20倍以上も高いという特徴がある。逆に MR 素子は強磁界では直線性が失われるという欠点はあるが、船内磁界の範囲内では十分に直線性を有している。磁気センサは、1辺3mmの立方体のアルミブロックの3面に MR 素子を接着し、さらに30mm角の亚克力ボックスに収納した。この磁気センサは、船体に固定されているので、船首方位を求めるには船体の傾斜の情報が必要である。

船体傾斜計には、MR 素子を用いた差動型加速度計（富士通：FSD-210R8A1-001）を用いた。この加速度計

図2 電子磁気コンパスの磁界センサ設置場所

は、2個のMR素子の間に、磁石を細い金属柱で支持する振子構造（周期0.025 sec）になっているので、 $\pm 30^\circ$ の範囲で十分な精度と応答性を有する傾斜計としても利用できる。この傾斜計を2個用いて、船体のローリングとピッチングを測定した。

磁界センサはコンパスデッキに、傾斜計は船体の重心近くに設置した。磁気センサの装備位置を図2に示す。

各々のセンサの出力信号は、センサに影響の無い距離に置かれたワンチップCPUによりAD変換し、RS232Cで光ファイバケーブルを経てパーソナルコンピュータ（EPSON：PC-286 LE）へ取り込んだ。

また、船の現在位置と船首真方位を得るために、GPS受信機（JRC：JLR-4000）からの船位置と船速ベクトル等の情報と、ジャイロコンパス（HOKUSHIN：D-1）方位のAD変換信号もRS232Cでパーソナルコンピュータへ取り込んだ。

パーソナルコンピュータでは、各RS232C信号を受け、全てのデータ値をフロッピーディスクに記録すると同時に、電子磁気コンパス瞬時指示値を液晶ディスプレイに表示した。

3. ポアッソン方程式による自差補正

電子磁気コンパスの自差補正を行うには、ポアッソン係数を求める必要がある⁽¹⁾⁽²⁾。ここでは、ポアッソン方程式の誘導磁気成分の係数 $a, b, c, d, e, f, g, h, k$ に永久磁気成分の大きさ P, Q, R を含めてポアッソン係数と言うことにする。

今、傾斜の無い状態で、船首磁気方位が四方向（N, E, S, W）での船体座標（船首方向、右舷方向、船底方向）の船内磁界の大きさと、ある角度ヒール（又はトリム）している状態で、任意の船首磁気方位の船内磁界の大きさがわかればポアッソン係数は求めることができる。

ポアッソン方程式による自差補正は、船体座標3軸の磁界の大きさから求めたポアッソン係数を用いて地磁気の船内成分を計算し、その成分の地球座標上での水平ベクトル方向を求め、船首磁気方位を得る。

4. 実験結果

4.1 ポアッソン係数の測定結果

実験船のポアッソン係数を表1に示す。ポアッソン係数の k （上下方向に軟鉄が配置されていることによる船底方向に作られる誘導磁界成分の係数）が絶対値的に最も大きく、次に係数 e （左右舷方向に軟鉄が配置されていることにより作られる右舷方向の誘導磁界の係数）が大きい。このように、磁界センサの設置位置の磁界、つまりレーダマストが船首側にある特徴がよく現れている。同様に、永久磁気成分の大きさ P （船首方向）と、 R （船底方向）の絶対値が大きいことも設置位置の特徴をよく現している。

また、このポアッソン係数から、いわゆる自差係数を求めることができるが、その結果も同表に示す。自差係数では B と D の絶対値が大きく求まっていて、装備した位置の特徴をよく示している。

表1 海鷹丸のポアッソン係数と自差係数

ポアッソン係数				
a = -0.075	b = -0.056	c = -0.200	P = -13.4μT	
d = 0.044	e = -0.355	f = -0.084	Q = -1.3μT	
g = 0.177	h = -0.037	k = -0.584	R = 19.9μT	
自差係数				
A = 3.7°	B = -41.5°	C = -6.9°	D = 10.2°	E = -0.5°
傾船差係数				
J = -0.58				
測定地点：N19°58' W37°25'				
地磁気条件：H = 29.7μT		Dip = 34.0°N	Var. = 18.0°W	

次に、ポアッソン係数を測定した地点で、それを用いて自差補正した結果を図3に示す。データは、2秒ごとにサンプリングされ、船はバウスラスタを用いて左右に一巡回させた。そのとき、ローリングで最大で 10° 、ピッチングで 2° 程度動揺していた。電子磁気コンパスの指示値（太線）とジャイロコンパスの指示値（点線）は、ほとんど一致し、十分補正されている、この図では重なってしまっている。

図3 ポアッソン係数測定地点での自差補正結果

この図3を一部拡大し、見やすくしたのが図4である。ジャイロコンパスの指示値（点線）に対して、電子磁気コンパスの瞬時指示値は、 1° 程度の差が現れている。しかし、この値を移動平均（4個、太線）すれば、ジャイロコンパス指示値とほとんど一致した。

4.2 磁気緯度に対する補正

図5にポアッソン係数を測定した地点（Point-1）と磁気緯度の異なる2つの地点（表2）で、先のポアッソ

図4 ポアッソン係数測定地点での自差補正結果（図3の部分拡大）

図5 ポアッソン補正後の残存自差曲線

表2 各地点の地磁気条件

Point. No.	Lat.	Long.	H	Dip	Var.
1	N19°58'	W 37°25'	29.7 μ T	34.0°N	18.0°W
2	N14°00'	W150°00'	29.7 μ T	30.0°N	10.0W
3	N40°23'	E 13°20'	25.3 μ T	56.0°N	0.0°
東京	N35°37'	E139°45'	30.0 μ T	58.0°N	6.0°W

ン係数を用いて自差補正した後（以後ポアッソン補正と呼ぶ）の残存自差曲線を示す。

ポアッソン補正の結果、Point-1（ポアッソン係数測定地点）では残存自差は1度以内に収まっている。その地点と磁気緯度が20°以上異なったPoint-3でも残存自差は3°以内に収まっている。

比較のために、同じ磁気緯度の変化に対する在来型の磁気コンパスの残存自差曲線を図6に示す。磁気緯度が20°以上異なっている地点では、6°以上の自差が生じ、電子磁気コンパスに比べほぼ2倍の誤差となっている。

4.3 傾船差に対する補正

電子磁気コンパス指示値（補正して真方位へ変換）と、ジャイロコンパス指示値を比較した結果を図7に示す。自差補正に用いたポアッソン自差係数は、先の磁気緯度補正で用いたものと同様である。データは2秒ごとのサンプリング、実験船は手動操船でローリングが最大15°、ピッチングが最大5°程度の動揺下での結果を示す。

ジャイロコンパス指示値（点線）に対して、電子磁気コンパスの瞬時指示値（実線）は、最大5°程度異なっていた。これは、まだ補正が十分でないことを示しているが、その値を移動平均（4個、太線）すれば、ジャイロコンパスに対して2°以内の差に収まっている。

図6 在来型磁気コンパスの磁気緯度に対する残存自差の変化

図7 航行中の電子磁気コンパス実験結果の一例

5. 考 察

この実験の結果、ポアッソン係数を用いて自差補正を行う電子磁気コンパスが、傾船差に対応できることが確認できた。

しかし、補正が完全に行われているとは言えない。これは、実船でのポアッソン係数測定では、船体を大きく傾斜させ数秒保持して測定することが困難であり、そのため測定誤差を生じ、完全なポアッソン係数が求められていないことによる。今後、いかに実船での自差測定の精度を向上させるかが課題である。

在来型の磁気コンパスでは、機械的なダンピング (ISO クラス B で静止時間60秒) によって動揺の影響を抑えているが、電子磁気コンパスではソフト的なダンピング、つまり、移動平均することにより安定した指示を得ることができ、実用上十分な精度を得ることができる。したがって、例えば、天候に適したダンピングを行うこ

とが可能であり、傾斜計の出力信号から判断し、その動揺に適したダンピングを自動的に決定（自動天候調整）することも可能である。

謝 辞

この実験にあたり、ご協力いただいた東京水産大学練習船海鷹丸の井上船長をはじめ、乗組員と学生諸君に厚く感謝する。

参 考 文 献

- (1) 宮本佳則ほか：ホール素子を用いた3軸固定型電子コンパスの試作，日本航海学会論文集，80，p. 55～61，昭和63年
- (2) 宮本佳則ほか：3軸固定型電子コンパスの磁気緯度に対する自差補正，日本航海学会論文集，83，p. 1～5，平成2年

質 疑 応 答

鈴木 裕(東京水産大学)：(1) 従来の傾船差係数Jも計算し提示してもらったら更にわかりやすいものとなると思います。

(2) 小型の船などの場合，一方から風が吹き，多少傾いたところを中心に動揺するときは，傾斜計の出力を利用することによって正しく傾船差補正が可能であることを言及されると更に良くなると思います。

宮本佳則：貴重なご意見ありがとうございます。今後の研究の参考にさせていただきます。

なお，(1)に関しては，論文中の表1に記載した。