

TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

磁気センサを用いた電子コンパスに関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2015-05-19 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 宮本, 佳則 メールアドレス: 所属:
URL	https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/1049

①

磁気センサを用いた電子コンパスに関する研究

平成3年度

(1991)

東京水産大学大学院

水産学研究科

海洋生産学専攻

宮本 佳則

題名『磁気センサを用いた電子コンパスに関する研究』

英文名『A Study on an Electronic Compass Using a Magnetic Sensor』

要旨

目次

頁

第1章 緒論

- | | | |
|---------|------------------|---|
| 1. 1 | 研究の背景 | 1 |
| 1. 2 | 自差および傾船差の概説 | 2 |
| 1. 3 | 在来型の磁気コンパスの問題点 | 3 |
| 1. 3. 1 | 自差修正および傾船差修正の問題点 | 3 |
| 1. 3. 2 | 高緯度での問題点 | 4 |
| 1. 4 | 電子コンパスの現状 | 4 |
| 1. 5 | 本論文の目的 | 5 |

第2章 ボアッソン係数による自差および傾船差の理論

- | | | |
|------|---------------|----|
| 2. 1 | 概要 | 6 |
| 2. 2 | 船内磁界とボアッソン係数 | 6 |
| 2. 3 | ボアッソン係数と自差係数 | 9 |
| 2. 4 | ボアッソン係数と傾船差係数 | 9 |
| 2. 5 | 磁気緯度の変化が与える影響 | 12 |

第3章 ボアッソン方程式を用いた自差補正

- | | | |
|------|---------------------|----|
| 3. 1 | 概要 | 13 |
| 3. 2 | 測定される船内磁界 | 13 |
| 3. 3 | ボアッソン係数の計算方法 | 15 |
| 3. 4 | ボアッソン補正による船首磁気方位の計算 | 17 |

第4章	ポアッソン係数を用いたシミュレーション	
4. 1	地磁気に変化しない場合の船内磁界	19
4. 1. 1	目的と方法	19
4. 1. 2	永久磁気成分の影響	20
4. 1. 3	誘導磁気成分の影響	23
4. 1. 4	永久磁気成分と誘導磁気成分の組合による影響	23
4. 2	地磁気に変化した場合	31
4. 3	ポアッソン補正と自差補正の比較	34
第5章	電子コンパスの機器構成	
5. 1	電子コンパスの構成概要	37
5. 2	3軸磁気センサ	37
5. 2. 1	磁気センサ	37
5. 2. 2	駆動および増幅回路	39
5. 3	2軸傾斜計	44
5. 3. 1	傾斜センサ	44
5. 3. 2	駆動および増幅回路	44
5. 4	電子コンパスのシステム	44
第6章	実験の結果と考察	
6. 1	既知磁気によるポアッソン係数の確認	49
6. 2	実船実験	53
6. 2. 1	実験に用いた電子コンパスシステム	53
6. 2. 2	ポアッソン係数の測定結果	53
6. 2. 3	磁気緯度の変化に対する補正	56
6. 2. 4	傾船差補正	56
6. 3	考察	60
第7章	結論	65

謝辞

68

引用文献

69

付録 プログラム

70

謝辞

謝辞

本書の出版にあたり、編集者として多くの御意見を賜り、誠にありがとうございました。また、本書の出版にあたり、多くの御意見を賜り、誠にありがとうございました。

本書の出版にあたり、編集者として多くの御意見を賜り、誠にありがとうございました。

本書の出版にあたり、編集者として多くの御意見を賜り、誠にありがとうございました。

本書の出版にあたり、編集者として多くの御意見を賜り、誠にありがとうございました。

本書の出版にあたり、編集者として多くの御意見を賜り、誠にありがとうございました。

本書の出版にあたり、編集者として多くの御意見を賜り、誠にありがとうございました。

本書の出版にあたり、編集者として多くの御意見を賜り、誠にありがとうございました。

本書の出版にあたり、編集者として多くの御意見を賜り、誠にありがとうございました。

本書の出版にあたり、編集者として多くの御意見を賜り、誠にありがとうございました。

本書の出版にあたり、編集者として多くの御意見を賜り、誠にありがとうございました。

『磁気センサを用いた電子コンパスに関する研究』

宮本 佳則

要旨

在来型のコンパスは磁石の指北力によって船首方位を得ている。本研究では、超小型磁気センサによって船内の3軸磁界を測定し船首方位を得る方式の電子コンパスを試作し、その指北の理論、自差の除去などについて究明した。

船体に固定した3軸磁界センサは、地磁気と船体磁気の合成された船内磁界を測定する。それらの関係は、ポアッソンの船内磁界方程式によって与えられる。自差の原因である船体磁気は、その方程式の各パラメータ、つまり、誘導磁気成分の係数と永久磁気成分の大きさを表現される。あらかじめこれらのパラメータを求めておけば、船内磁界の測定値から正しい船首方位を計算することができる。

電子コンパスを試作するにあたって、まずシミュレーションを行った。つまり、地磁気と船体磁気を変えて、ポアッソンの方程式で船内磁界を発生させた。そして、その船内磁界が測定できたとして、方程式の各パラメータを求める方法について検討した。その結果、船を1回転させるだけで、各パラメータが求められることが確認できた。さらに、ポアッソンの方程式にこれらのパラメータを代入し、船内磁界から地磁気を求め、その水平成分から船首方位が計算できることが確認できた。その際、船が動揺したり、移動して磁気緯度が変わって地磁気の垂直成分が変化しても、正しく船首方位が求められる。

試作した電子コンパスの磁気センサには、温度係数が優れ、低磁界での感度が高い磁気抵抗素子を用いた。磁気センサは、船首尾船方向、左右舷方向および船底方向の船体3軸の船内磁界を測定する。しかし、船首方位は、水平面内で定義されるので、この場合、船体の傾斜を常に測定する必要がある。傾斜計にも、磁

気抵抗素子を用いた。この傾斜計は、極めて小型で、磁石を細い金属柱で支持して短周期の振子構造になっていて、早い応答性と $\pm 30^\circ$ の範囲で十分な精度を有している。

この電子コンパスを実船に装備して、北緯 8度から40度の航海において、実用試験を行った。まず、動揺が大きい状態で船を旋回し、ポアッソンの方程式の各パラメータを測定した。その値を用いて電子コンパスによる船首方位を得て航海中連続記録した。そしてジャイロコンパスの値と比較したが、ほとんど差のない結果が得られた。ときおり在来型の磁気コンパスの指示値とも比較したが、動揺がひどいとき、磁気緯度が大きく変化した場合には、電子コンパスではそれらの影響はほとんど除去されていたが、在来型では大きな誤差が生じていた。

在来型の磁気コンパスでは磁石を用い、その指北力に頼っているのです。地磁気水平成分が弱い高緯度地域では指示が安定しない。また、磁石をジンバルで水平に保つ必要があるので大型化する。さらに、地磁気の水平成分だけを利用しているのです。その鉛直成分によって生じる誤差を十分修正しきれない。この電子コンパスは、磁石やジンバルのような機械的要素を有していないので、地磁気の水平成分が弱い高緯度でも安定した指示が得られ、かつ、地磁気の鉛直成分の変化にも対応でき、在来型磁気コンパスの問題点を解決している。

船など種々の移動体の高性能の方位センサが要求されている。それは、超小型で、方位の電気出力を有し、高精度な電子コンパスでなければならない。今後、新型のジャイロコンパスが開発される可能性もあるが、地球の自転を利用している限り、電源投入後から直ちに北を指すことは困難であろう。そのため、地磁気を利用したコンパスは今後とも多用されよう。

この電子コンパスは、船舶のみならず、水中探査のビークルや海洋観測機器、さらにはバイオテレメトリーにおける魚などの移動方向の観測への応用が考えられる。

第1章 緒論

1. 1 研究の背景

小型船舶や水中探査のビークル、さらには陸上の車両などの進行方向を瞬時に、かつ電子的に提供する小型で高性能なコンパスが望まれている。これは、航法計器および漁業などの計測器の電子化が近年急速に進み、それにともないハイブリット化や機器相互のデジタル信号による情報交換、情報の集中表示化が進んでいる結果である。

また、船舶などでは操船の自動化が望まれており、ジャイロコンパスと磁気コンパスを使用したオートパイロットがあるが、いずれも完全なものではない。

ジャイロコンパスは精度はよいが、起動させてから使用できるまでの時間が数時間かかり、出港が短時間で行われる小型船舶などには不向きである。現在の機械式ジャイロコンパスではこの欠点を解決することは困難である。

従来から用いられている磁気コンパスは電源の必要性が無く手軽に使用できるが、方位を指示させるには磁石を水平に保たなければならないため、液中に浮かしたりジンバルを取り付ける必要があり、小型化には限界がある。また、極地域などの高緯度では地磁気の水平成分が小さくなるので、指北力が弱まり、指示が安定しない。さらに、指示方位を電子的に出力させるためには特別な装置⁽¹⁾が必要である。

最近、磁気コンパスの特徴を活かした電子コンパスが注目され、製品化されているが、小型の2軸磁気センサを磁気コンパスと同じようにジンバルに取り付け水平に保ち、地磁気の水平成分を測定し、その出力から方位を求めているものが主である。

しかし、磁気コンパスも既製の電子コンパスも、地磁気の水平成分だけを利用していているため、自差の修正は平面的に行っている。したがって、船体の傾斜によって生じる傾船差の修正は困難であり、船舶などが移動して磁気緯度が変化した場合に地磁気の鉛直成分が変わることによる自差の変化への対応は困難である。

そこで、1回の測定で、自差だけでなく傾船差も同時に修正でき、磁気緯度の

変化にも対応する電子コンパスの開発が望まれている。この電子コンパスを可能にするのは、既存の構造ではなく、新たなものが必要である。過去において、船体磁界を磁気センサで測定し、全く可動部の無い静止型の電子コンパスの可能性を示唆した研究が見られる。⁽²⁾⁽³⁾また、この静止型電子コンパスは開発されているが、自差等の修正方法は在来の方法を用いている。

1. 2 自差および傾船差の概説

磁気コンパスを船舶などに装備すると、自差および傾船差を生じる。これは、次のような原因による。

船には鉄類として、船体、航法計器などの磁性体がある。このなかには鋼のように永久磁気を帯びるものと、地球磁界を受けて一時的に磁気を帯びるもの、またその中間的な性質で一定時間だけ暫時磁気を帯びるものがある。これらを船体の永久磁気、船体の暫時磁気および船体の誘導磁気と呼ぶ。

磁気コンパスの位置における磁界を考えると、船体磁界すなわち船体永久磁気による永久磁界と船体誘導磁気による誘導磁界と地球磁気との合成と見ることができる。磁気コンパスは、それ自体誤差のないものであって、船の上では船体の磁界、つまり永久磁界と誘導磁界によって、磁気コンパスの磁針がその地球磁界とは違った方向を向く。これが自差である。

傾船差とは、ある船首方位において、船が傾斜したときの自差と水平のときの自差との差をいう。

傾船差は船が右舷に傾く場合に偏東自差であったとすれば、左舷に傾くと偏西自差となり、船の動揺に伴ってコンパスカードが左右に振揺をくりかえす性質のものである⁽⁴⁾。また、船が傾いたまま一旋回すれば、傾船差の値は船首方位の変化に応じて変化する。さらに、傾船差の大きさは船の傾斜角に比例するので船が大きく動揺するときには傾船差も大きくなる。傾船差は船の縦揺れによっても生ずるが、一般には縦揺れ角度は小さいからその量も少ない⁽⁵⁾。

1. 3 在来型の磁気コンパスの問題点

1. 3. 1 自差および傾船差修正の問題点

在来型の磁気コンパスの自差修正は、船体が水平な状態で船を旋回させ遠方物標などをもちいて、自差を測定する。そして、測定した自差を磁気方位に対する誤差曲線（自差曲線）とし、この自差曲線をフーリエ解析し、その係数を修正量として自差修正を行う。

傾船差修正は、

- 1) 船体を傾斜させる方法
- 2) 傾針儀を使用する方法
- 3) 伏角計を使用する方法

があるが、実際には1)の方法は實際上非常に困難であるため、2)と3)が用いられる。しかし、一般に傾船差修正まで行うには、専門的な知識が必要であり、多くの場合”コンパスアジャスター”と呼ばれる専門家を必要とするので、傾船差修正は行われなことが多い。

磁気コンパスは、自差と傾船差の修正は修正を行った地点でしか正しい磁気方位を指示することができない。これは、船が移動して磁気緯度が変わる、つまり伏角が変化することにより地磁気の水平成分と鉛直成分の大きさが変化し、それによって誘導磁界が影響され自差が変化するためである。特に傾船差は、船内磁界の鉛直成分に大きく影響されるので、磁気緯度の変化により大きく変わる。

磁気コンパスでは、磁気緯度の変化による自差および傾船差の修正を、磁気緯度が変わるごとに行うか、2地点の自差の変化量から他の地点の自差を推定して再修正をわなければならない。

以上のように、在来型の磁気コンパスの自差および傾船差修正は、自差、傾船差を測定し修正した地点だけ有効であり、また、その測定に多くの時間と経験を必要とし、容易ではない。

1. 3. 2 高緯度での問題点

船が変針や旋回を行うと磁気コンパスはその方向に旋回誤差を生じる。これが随伴角と呼ばれ、地球磁界の水平磁場の小さい高緯度では大きな値となる。したがって、一般の液体式の磁気コンパスでは高緯度で使用できなくなる事がしばしばある。また、磁気コンパスのコンパスカードは、それ自体に固有周期を有するので、船の動揺によりコンパス外部からの振動に同調して振れ回ることがある。いったんこの状態になった場合、地球磁界の水平成分の小さい高緯度において、この振れが容易におさまらないという問題が生ずる。

この問題にたいして、構造などの改良を行い高緯度用磁気コンパスが開発されているが⁽⁶⁾、現在の液体とコンパスカードを組み合わせ、地磁気の指北力を利用している磁気コンパスでは完全に高緯度に対応することは困難である。

1. 4 電子コンパスの現状

先に述べたように、電子コンパスは最近陸上車両を中心として、多くのメーカーが開発し、製品化を行っている。製品化された電子コンパスはおおむね次のような構成となっている。

a) 地球磁界を測定する磁気センサには、リングコアにコイルを巻いて磁界を検出する2軸のフラックスゲート型が用いられている。そして、このセンサをジンバルに保持させ、水平を保ち、地球磁界の水平成分を測定させる。センサからの出力信号は、マイクロプロセッサなどにより信号処理され、磁気方位を表示させるようにしている。

b) 自差修正は、一部自動化をうたっているものもあるが、多くは在来型の磁気コンパスと同様に自差測定を行い、その自差曲線をフーリエ解析し、その係数で自差を修正するようにしている。この修正は、在来型の磁気コンパスと同じパーマロイや磁石で行うものと、コイルに電流を流して電磁氣的に修正を行うものがほとんどである。

c) 自差修正機能を持たないものは、ほかのセンサ（振動ジャイロやGPS）

と組み合わせて自差の影響を受けないようにしている。

以上のように、既成の電子コンパスは磁気センサを用いて在来型の磁気コンパスの構造を継承している。また、自差修正は在来型の磁気コンパスと同じ方法であるため、先に述べた磁気コンパスと同様に、磁気緯度の変化による自差と傾船差への影響の問題点を解決できない。

1. 5 本研究の目的

これまで述べてきたように、在来型の磁気コンパスは様々な問題点がある。また、既製の電子コンパスも在来型の磁気コンパスのコンパスカードを磁気センサに置き換えただけのものであり、磁気コンパスの問題点をそのまま継承している。

そこで、この研究では全く新しい形の電子コンパスを考案した。この電子コンパスは船体に固定した3軸磁界センサで船内磁界を、2軸傾斜計で船体の動揺角を測定する。各々のセンサからの出力をワンチップマイコンで処理し、船首磁気方位を計算して求めるものである。

この電子コンパスでは、在来型磁気コンパスの自差を平面的に捉えた修正ではなく、自差の原因となるポアッソン方程式の永久磁気成分の大きさと誘導磁気成分の係数を求め、自差だけでなく傾船差も補正し、磁気緯度の変化や、高緯度で地磁気の水平成分が小さい地域でも旋回誤差を生じないポアッソン方程式を用いた補正を確立した。

また、いままで理論的にしか述べられていない、永久磁気成分の大きさと誘導磁気成分の係数が自差に与える影響を、船体に固定した3軸磁界センサで測定される磁界としてグラフで示し、係数等の計算方法を述べる。

さらに、ポアッソン方程式を用いた補正の有効性をパーソナルコンピュータを用いたシミュレーションで確認すると共に、電子コンパスを試作し、実船に装備し、その実用性を検証した。

第2章 ポアッソン係数による自差および傾船差の理論

2. 1 概説

本研究の電子コンパスでは船体に磁気センサを固定するので、在来型の磁気コンパスの自差測定では不可能だった自差および傾船差の原因であるポアッソン方程式の永久磁気成分の大きさと誘導磁気成分の係数が求められる。本研究では、このポアッソン方程式の誘導磁界成分の係数に永久磁気成分も含めてポアッソン係数として取り扱う。また、ポアッソン係数を用いて自差と傾船差を補正する方法をポアッソン補正とする。

ここでは、磁気コンパスの自差および傾船差とポアッソン係数との関係を述べ、在来型の磁気コンパスの自差と傾船差修正が磁気緯度の変化に対応できないことを理論的に説明する。

2. 2 船内磁界とポアッソン係数

船体の永久磁気によって磁気コンパスの位置に生じる船体磁界の強さを3つの成分に分けて

船首尾線方向の成分	P
左右舷方向の成分	Q
甲板面に垂直な方向の成分	R

とする。

船体の誘導磁気は船体が地磁気内にあるために磁化されて磁気コンパスの位置に磁界を生じる。地磁気 F の水平成分の大きさを H とし、鉛直成分を V とし、船首方向を X 軸、右舷方向を y 軸そして甲板面に垂直な下方を z 軸とする。そして、 x, y, z 軸方向の地磁気の成分を x, y, z とすると

$$x = H \cdot \cos \theta_m \quad (2.1)$$

$$y = -H \cdot \sin \theta_m \quad (2.2)$$

$$z = V \quad (2.3)$$

ここで θ_m は船首磁気方位である。

船体の誘導磁気を生ずる軟鉄が+x方向, +y方向, +z方向の地磁気成分X, Y, Vに誘導され, それらに比例した大きさでそれぞれの方向に磁界を作る。この場合の比例係数と軟鉄の配置の関係を図2.1に示す。

そして, 先の永久磁気成分P, Q, Rと誘導磁気成分の係数a~kをポアッソン係数と呼ぶ。

磁気コンパスの位置における船体の磁気成分 X_a, Y_a, Z_a は船体の誘導磁気と永久磁気成分を加えたもので,

$$X_a = a \cdot x + b \cdot y + c \cdot z + P \quad (2.4)$$

$$Y_a = d \cdot x + e \cdot y + f \cdot z + Q \quad (2.5)$$

$$Z_a = g \cdot x + h \cdot y + k \cdot z + R \quad (2.6)$$

と表すことができる。これに地磁気の成分x, y, zを加えた船内磁界の成分 X', Y', Z' は,


$$X' = x + a \cdot x + b \cdot y + c \cdot z + P \quad (2.7)$$

$$Y' = y + d \cdot x + e \cdot y + f \cdot z + Q \quad (2.8)$$

$$Z' = z + g \cdot x + h \cdot y + k \cdot z + R \quad (2.9)$$

となる。

鉄材の配置 磁界の方向		軟鉄材の配置					
		船首尾線方向 (x軸)		左右舷方向 (y軸)		上下方向 (z軸)	
コンパスの位置に作る誘導磁界の方向	船首尾線方向 (x軸)	+ a 	- a 	+ b 	- b 	+ c 	- c
	左右舷方向 (y軸)	+ d 	- d 	+ e 	- e 	+ f 	- f
	上下方向 (z軸)	+ g 	- g 	+ h 	- h 	+ k 	- k

 磁気コンパスの位置

+ (-) は軟鉄の配置にじたがって正方向 (船首、右舷、下方) の地球磁界が加えられた時に生ずる軟鉄による誘導磁界の向きが正 (負) 方向であることをしめす。

図 2. 1 軟鉄の位置と誘導磁界係数との関係

2. 3 ポアッソン係数と自差係数

ポアッソン係数から在来型の磁気コンパスで用いる自差係数を求めるには、自差 δ とし、地磁気の伏角を β 、自差係数を不易差 A_0 、半円差 B_0, C_0 、四分円差 D_0, E_0 とすれば、

$$\tan \delta = \frac{(A_0 + B_0 \sin \theta_m + C_0 \cos \theta_m + D_0 \sin 2\theta_m + E_0 \cos 2\theta_m)}{(1 + B_0 \sin \theta_m - C_0 \cos \theta_m + D_0 \sin 2\theta_m - E_0 \cos 2\theta_m)} \quad (2.10)$$

で求まる。ここで、

$$\lambda = 1 + (a + e) / 2 \quad (2.11)$$

$$A_0 = (d - b) / 2 / \lambda \quad (2.12)$$

$$B_0 = (c \cdot \tan \beta + P/H) / \lambda \quad (2.13)$$

$$C_0 = (f \cdot \tan \beta + Q/H) / \lambda \quad (2.14)$$

$$D_0 = (a - e) / 2 / \lambda \quad (2.15)$$

$$E_0 = (d + b) / 2 / \lambda \quad (2.16)$$

である。 λ は平均指北力係数である。また自差 δ は、

$$\delta = \theta_m - \theta_c \quad (2.17)$$

$$\theta_c = \tan(X' / Y') \quad (2.18)$$

(θ_c : 船首のコンパス方位; コンパス針路)

でも求めることができる。

2. 4 ポアッソン係数と傾船差係数

磁気コンパスは、コンパス自体をジンバルで保持して水平に保つようになっている。そのため、船体が傾斜したときの船内磁界は電子コンパスで測定する磁界と

は異なったものとなる。

ここでは船体がローリングした場合について述べる。ローリング角 θ_r したとき、地球座標、つまり磁気コンパスのコンパスカードにおける各軸の地磁気の大きさ (X_r, Y_r, Z_r) は、

$$X_r = H \cdot \cos(\theta_{cr} + \delta_r) \quad (2.19)$$

$$Y_r = -H \cdot \sin(\theta_{cr} + \delta_r) \cdot \cos \theta_r + V \cdot \sin \theta_r \quad (2.20)$$

$$Z_r = H \cdot \sin(\theta_{cr} + \delta_r) \cdot \sin \theta_r + V \cdot \cos \theta_r \quad (2.21)$$

ただし、 θ_{cr} は傾斜したときの船首コンパス方位、 δ_r は、傾斜したときの自差と傾船差の和、 H は地磁気の水平分力、 V は地磁気の鉛直分力である。

このときの、ポアッソンの式は、

$$X_r' = a \cdot X_r + b \cdot Y_r + c \cdot Z_r + P \quad (2.22)$$

$$Y_r' = d \cdot X_r + e \cdot Y_r + f \cdot Z_r + Q \quad (2.23)$$

$$Z_r' = g \cdot X_r + h \cdot Y_r + k \cdot Z_r + R \quad (2.24)$$

である。コンパスカードは、ジンバルによって水平に支えられているから、 X_r' 、 Y_r' 、 Z_r' の水平方向の成分だけが作用するので、

$$X' = X_r' \quad (2.25)$$

$$Y' = Y_r' \cdot \cos \theta_r + Z_r' \cdot \sin \theta_r \quad (2.26)$$

$$Z' = Y_r' \cdot \sin \theta_r + Z_r' \cdot \cos \theta_r \quad (2.27)$$

となる。よってコンパスカードにおける船内磁界は、

$$X_c = X + a' \cdot X + b' \cdot Y + c' \cdot V + P' \quad (2.28)$$

$$Y_c = Y + d' \cdot X + e' \cdot Y + f' \cdot V + Q' \quad (2.29)$$

$$Z_c = V + g' \cdot X + h' \cdot Y + k' \cdot V + R' \quad (2.30)$$

ただし,

$$\begin{aligned}
 a' &= a \\
 b' &= b \cdot \cos \theta r - c \cdot \sin \theta r \\
 c' &= b \cdot \sin \theta r + c \cdot \cos \theta r \\
 d' &= d \cdot \cos \theta r - g \cdot \sin \theta r \\
 e' &= e - (f + h) \cdot \sin \theta r \cdot \cos \theta r - (e - k) \cdot \sin^2 \theta r \\
 f' &= f + (e - k) \cdot \sin \theta r \cdot \cos \theta r - (f + h) \cdot \sin^2 \theta r \\
 g' &= d \cdot \sin \theta r + g \cdot \cos \theta r \\
 h' &= h + (e - k) \cdot \sin \theta r \cdot \cos \theta r - (f + h) \cdot \sin^2 \theta r \\
 k' &= k + (f + h) \cdot \sin \theta r \cdot \cos \theta r - (e - k) \cdot \sin^2 \theta r \\
 p' &= p \\
 Q' &= Q \cdot \cos \theta r - R \cdot \sin \theta r \\
 R' &= Q \cdot \sin \theta r + R \cdot \cos \theta r
 \end{aligned} \tag{2.31}$$

で示される。船が傾斜したときの平均指北力係数 λr や自差係数はこれから導かれる。船体が傾斜したときの自差係数の変化は C_0 が顕著である。このときの C_0 を $C_0 r$ とし、一般に b, c, d, f, h は小さいので、 θr が小さいときは、

$$\lambda r = \lambda - (f + h)/2 \cdot \sin \theta r \cdot \cos \theta r - (e - k)/2 \cdot \sin^2 \theta r \approx \lambda \tag{2.32}$$

とすれば、

$$\lambda r \cdot C_0 \approx \lambda \cdot C_0 + (e - k - R/V) \cdot \theta r \cdot \tan \beta \tag{2.33}$$

(β : 地磁気の伏角)

となる。そして、 C_0 との差は、

$$C_0 r - C_0 = 1/\lambda \cdot (e - k - R/V) \cdot \theta r \cdot \tan \beta = J \cdot \theta r \tag{2.34}$$

であり、

$$J = 1/\lambda \cdot (e - k - R/V) \cdot \tan \beta \quad (2.35)$$

となり、このJがいわゆる傾船差係数である。

2. 5 磁気緯度の変化が自差係数および傾船差係数に与える影響

磁気緯度は、船舶が移動し緯度が増減すると、地磁気の伏角 β が変わることを意味していて、その結果、地磁気の水平成分の大きさと鉛直成分の大きさの変化することである。

自差係数 B_0 、 C_0 と、傾船差係数Jの(3.13)、(3.14)、(3.35)式に $\tan \beta = Z/H$ を代入すると、

$$B_0 = (c \cdot Z/H + P/H) / \lambda \quad (2.36)$$

$$C_0 = (f \cdot Z/H + Q/H) / \lambda \quad (2.37)$$

$$J = \frac{e \cdot Z}{\lambda \cdot H} - \frac{k \cdot Z + R}{\lambda \cdot H} \quad (2.38)$$

となり、 B_0 、 C_0 、Jは、地磁気の水平成分と鉛直成分の大きさに影響される。

地磁気の水平成分と鉛直成分の大きさは磁気図から知ることはできる。しかし、ポアッソン係数を磁気コンバスの自差および傾船差測定から求めることはできない。

そのため自差係数は、磁気緯度が変われば新たに自差測定し、再度係数を求める必要がある。磁気緯度の異なる2地点で自差測定して、 B_0 、 C_0 の磁気緯度に対する変化量を求める方法はある。しかし傾船差は、ポアッソン係数の e と k の影響のため、先の方法でも変化量を求めることはできず、必ず磁気緯度が増減すると測定し修正しなければならない。

第3章 ポアッソン方程式を用いた自差補正

3.1 概要

第2章で述べたように、在来型の磁気コンパスの自差測定では、自差および傾船差の原因であるポアッソン方程式の永久磁気成分の大きさと誘導磁気成分の係数を求めることは不可能であった。

しかし、この電子コンパスでは、自差の原因となるポアッソン係数を求めることができ、この係数を用いた補正（ポアッソン補正）を行えば、磁気緯度による自差の変化にも対応して、正しい船首磁気方位を指示させることができる。

ここでは、ポアッソン係数の計算方法、さらにポアッソン補正による船首磁気方位の計算の理論を述べる。

3.2 測定される船内磁界

船首磁気方位 θ_m のとき、3軸各方向で測定される地磁気の大きさは、

$$x = H \cdot \cos \theta_m \quad (3.1)$$

$$y = -H \cdot \sin \theta_m \quad (3.2)$$

$$z = V \quad (3.3)$$

次に、船体が θ_r 角傾斜し、 θ_p 角偏航した時、船体座標で測定される各軸の地磁気の大きさ (X_1, Y_1, Z_1) は、

$$X_1 = x \cdot \cos \theta_p' - z \cdot \sin \theta_p' \quad (3.4)$$

$$Y_1 = y \cdot \cos \theta_r + (x \cdot \sin \theta_p' + z \cdot \cos \theta_p') \cdot \sin \theta_r \quad (3.5)$$

$$Z_1 = -y \cdot \sin \theta_r + (x \cdot \sin \theta_p' + z \cdot \cos \theta_p') \cdot \cos \theta_r \quad (3.6)$$

ただし、 θ_p と θ_r は振り型傾斜計で測定された船内座標系（船体固定座標）で

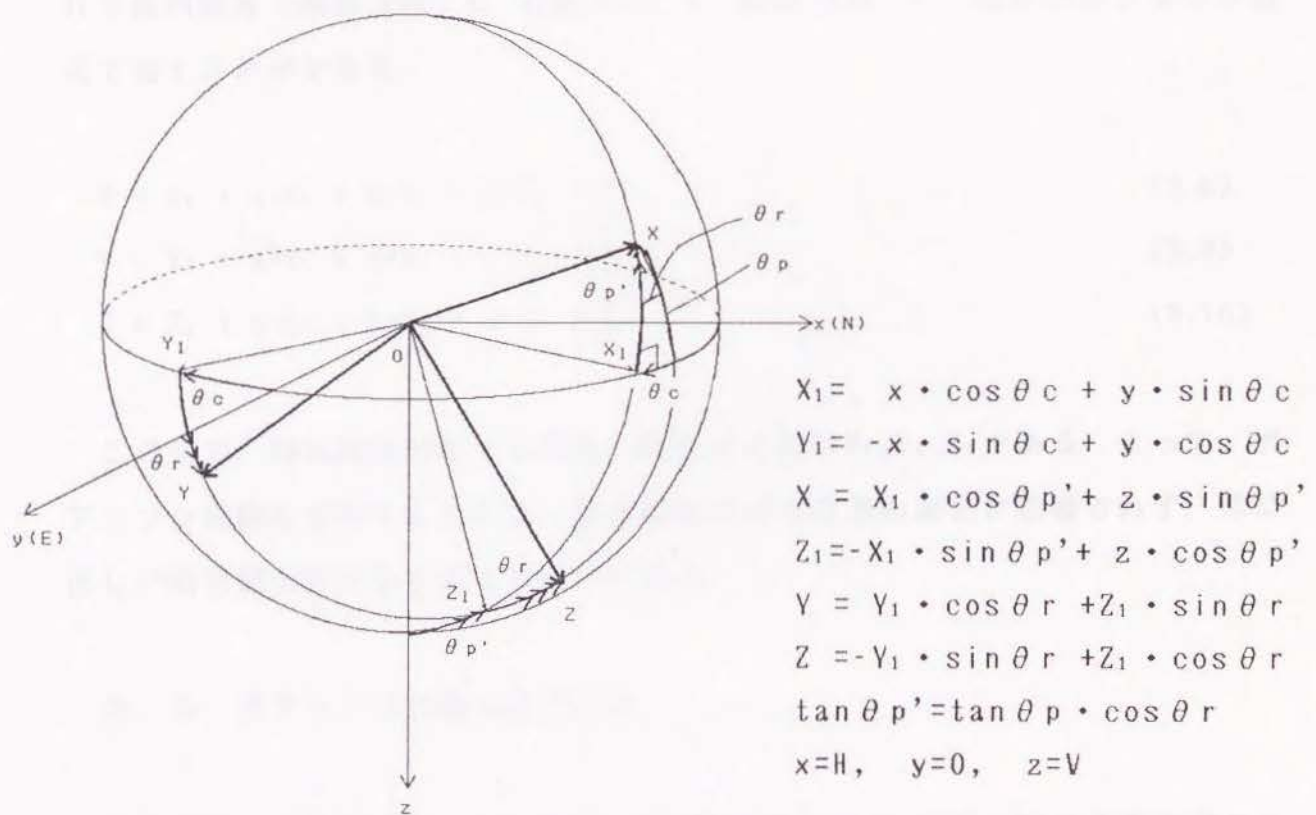


図3. 1 コース θ_c ,ピッチ θ_p ,ロール θ_r の時の船体座標3軸の磁界

の値である。したがって、地球座標系での値 $\theta p'$ へは次式で変換できる。

$$\tan \theta p' = \tan \theta p \cdot \cos \theta r \quad (3.7)$$

船内磁界は、(3.4), (3.5), (3.6) 式に示す地磁気に加え、それらに比例する大ききで各軸方向に生じる誘導磁気成分と永久磁気成分からなる。よって、測定される船内磁界（船首方向：X，右舷方向：Y，船底方向：Z）は次のポアッソンの式で表すことができる。

$$X = X_1 + a \cdot X_1 + b \cdot Y_1 + c \cdot Z_1 + P \quad (3.8)$$

$$Y = Y_1 + d \cdot X_1 + e \cdot Y_1 + f \cdot Z_1 + Q \quad (3.9)$$

$$Z = Z_1 + g \cdot X_1 + h \cdot Y_1 + k \cdot Z_1 + R \quad (3.10)$$

この式で、磁気緯度が変わった場合、変化するのは X_1, Y_1, Z_1 である。よって、ポアッソン係数を求めさえすれば、磁気緯度による自差の変化に影響されず、常に正しい船首磁気方位を求めることができる。

3. 3 ポアッソン係数の計算方法

ここでは、磁気4方位（N, E, S, W）の測定値だけからポアッソン係数を求める方法を示す。

自差を補正する地点における地磁気のHとVは既知として、まずX軸に関する各係数を求める。いま、船体が水平（ $\theta p=0^\circ, \theta r=0^\circ$ ）であると仮定すれば、測定される船内磁界は、X軸に注目すれば、上述の式より、次のように表すことができる。

$$X = ((1 + a) \cdot \cos \theta m - b \cdot \sin \theta m) \cdot H + c \cdot V + P \quad (3.11)$$

この式で $\theta m=0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ のXの値を求めると、

$$X_a = (1 + a) \cdot H + c \cdot V + P \quad (3.12)$$

$$X_{90} = -b \cdot H + c \cdot V + P \quad (3.13)$$

$$X_{180} = -(1 + a) \cdot H + c \cdot V + P \quad (3.14)$$

$$X_{270} = b \cdot H + c \cdot V + P \quad (3.15)$$

であるから、係数a, bは、

$$a = \frac{X_a - X_{180}}{2 \cdot H} - 1 \quad (3.16)$$

$$b = - \frac{X_{90} - X_{270}}{2 \cdot H} \quad (3.17)$$

で求まる。

次に $\theta = \theta_r$, $\theta_p = 0^\circ$, $\theta_m = 0^\circ$ のとき(3.11)式は、

$$X_r = H \cdot ((1 + a) - b \cdot V \cdot \sin \theta_r + c \cdot V \cdot \cos \theta_r) + P \quad (3.18)$$

となる。したがって、(3.11)式から(3.18)式を引くと

$$X_r - X_a = b \cdot V \cdot \sin \theta_r + c \cdot V \cdot (\cos \theta_r - 1) \quad (3.19)$$

よって、

$$c = \frac{X_a - X_r - b \cdot V \cdot \sin \theta_r}{V \cdot (\cos \theta_r - 1)} \quad (3.20)$$

となり、係数cが求まる。最後に(3.11)式より、

$$P = X_a - (1 + a) \cdot H - c \cdot V \quad (3.21)$$

と永久磁気成分Pを求めることができる。

同様に、Y軸、Z軸についても求めることができるので、すべてのポアッソン係数を求めることができる。

3. 4 ポアッソン補正による船首磁気方位の計算

測定した船内磁界X, Y, Zから、ポアッソン補正し船首磁気方位 θ_m を求めるには、まず、次の式から地磁気の船内成分の大きさ X_1, Y_1, Z_1 を求める。

$$\begin{vmatrix} a+1 & b & c \\ d & e+1 & f \\ g & h & k+1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} X-P \\ Y-Q \\ Z-R \end{vmatrix} \quad (3.22)$$

つぎに、地球座標での大きさを求めると、

$$y = Y_1 \cdot \cos \theta_r - Z_1 \cdot \sin \theta_r \quad (3.23)$$

$$z = Y_1 \cdot \sin \theta_r + Z_1 \cdot \cos \theta_r \quad (3.24)$$

$$x = z \cdot \cos \theta_{p'} + X_1 \cdot \sin \theta_{p'} \quad (3.25)$$

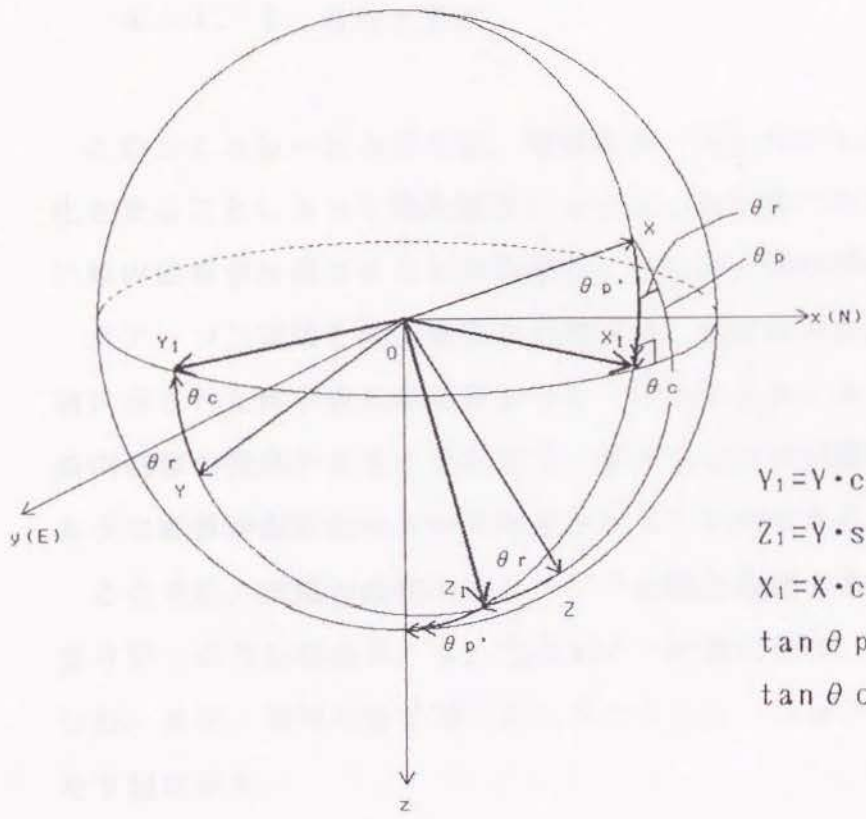
$$\text{ただし } \tan \theta_{p'} = \tan \theta_p \cdot \cos \theta_r$$

となる。このx,yから θ_m は、

$$\theta_m = \text{Tan}^{-1}(-y/x) \quad (3.26)$$

$$(\theta_m = \theta_m + \pi, x < 0)$$

となる。



$$\begin{aligned}
 Y_1 &= Y \cdot \cos \theta_r - Z \cdot \sin \theta_r \\
 Z_1 &= Y \cdot \sin \theta_r + Z \cdot \cos \theta_r \\
 X_1 &= X \cdot \cos \theta_{p'} - Z_1 \cdot \sin \theta_{p'} \\
 \tan \theta_{p'} &= \tan \theta_p \cdot \cos \theta_r \\
 \tan \theta_c &= Y_1 / X_1
 \end{aligned}$$

図 3 . 2 船体座標 3 軸の磁界，ロール θ_r ，ピッチ θ_p の時のコース θ_c

第4章 ポアッソン係数を用いたシミュレーション

4. 1 地磁気に変化しない場合の船内磁界

4. 1. 1 目的と方法

このシミュレーションでは、地磁気が一定条件のもとで、ポアッソン係数を変化させることによって船内磁界にどのような影響を与え、磁気センサでどのように船内磁界が計測できるかを数値的にはなく具体的にグラフで示した。

ポアッソン係数と船内磁界との関係は、先に述べた理論で明かであるが、視覚的に示された例が過去には無かった。これにより、より容易にポアッソン係数と船内磁界の関係があきらかとなり、電子コンパスの磁気センサの各軸方向でどのような磁界が測定されるかの推定を行うことができる。

ここでは、実際の船舶のポアッソン係数は複雑であり、個々の係数の影響があまりはっきりしなもので、3)に示すような組に分け、その組の中の係数は同じにした。また、符号も全て同じとしてシミュレーションを行った。各係数の設定値を下記に示す。

1) 地磁気

$$\text{水平成分 } H = 30 \mu\text{T}$$

$$\text{伏角 } \beta = 30^\circ\text{N}$$

$$\text{鉛直成分 } Z = H \cdot \tan\beta = 17.3 \mu\text{T}$$

2) 船体の永久磁気成分

$$\text{船首尾線方向成分 } P = 1.5 \mu\text{T}$$

$$\text{左右舷方向成分 } Q = 1.5 \mu\text{T}$$

$$\text{甲板面に直角な成分 } R = 1.5 \mu\text{T}$$

3) 船体の誘導磁気成分の係数

軟鉄成分による誘導磁界成分の係数 $a, b, c, d, e, f, g, h, k$ を、船首尾船方向に軟鉄が配置されていることにより生じる誘導磁界の係数 (a, d, g) 、左右舷方向に軟鉄が配置されていることにより生じる誘導磁界の係数 (b, e, h) 、上下方向に軟鉄が配置されていることにより生じる誘導磁界の係数 (c, f, k) の組にわけた。

各組の数値は、

$$(a, d, g) = 0.100$$

$$(b, e, h) = 0.100$$

$$(c, f, k) = 0.100$$

とした。

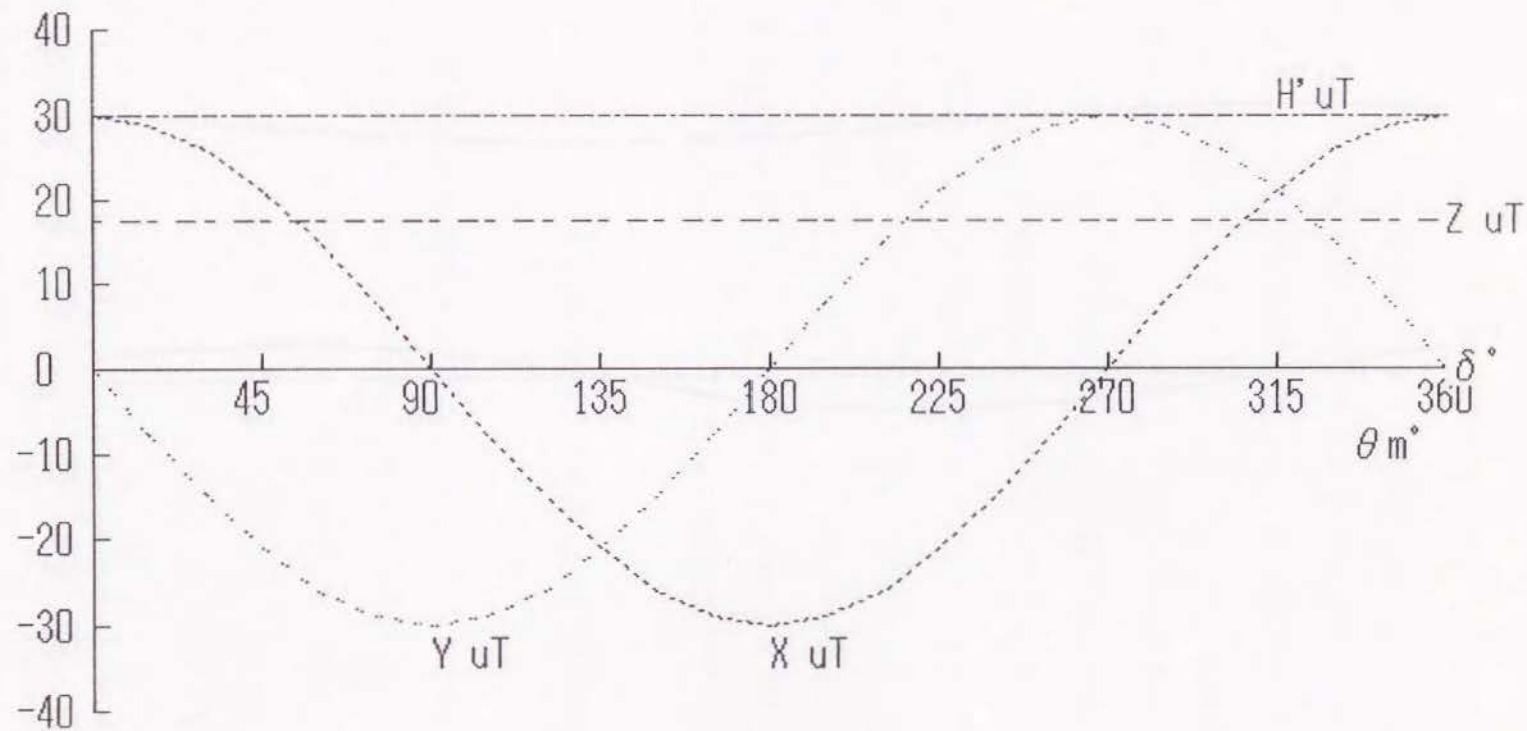
このシミュレーションでは、上記に示す設定にしたため、平均指北力係数 λ は、通常1.0以下であるが、後述するシミュレーションでは1.0以上となっている。

そして、シミュレーションを行うに当たって、最初にプログラムの確認のため、全てのパラメータをゼロして行った。

図4.1が、全パラメータがゼロのシミュレーション結果である。船首をマグネットノースから右回りに360度回転したとき、船首尾線方向X軸で測定される磁界がコサインカーブ（船首方向が正）、左右舷方向Y軸で測定される磁界がサインカーブ（右舷方向が正）を描き、船内磁界水平成分 H' に変化がない、つまり自差 δ がない状態である。また鉛直方向Z軸の成分（下方が正）にも変化を見られない。また、在来型の磁気コンパスの自差係数も全てゼロとなっている。これより、プログラムが、正常に働いていることが確認できた。

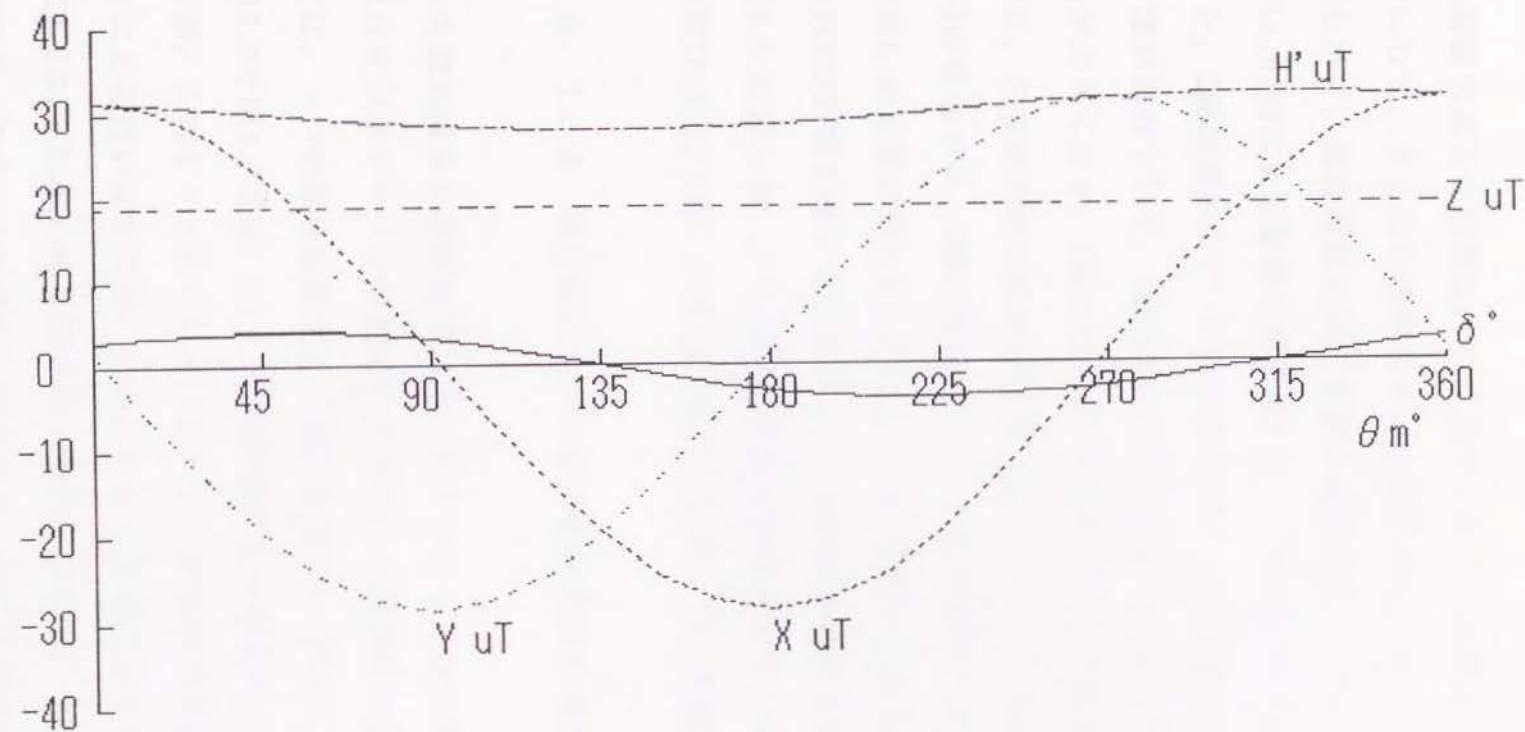
4. 1. 2 永久磁気成分の影響

図4.2に永久磁気成分だけの場合の船内磁気とそのときの自差曲線を示す。X軸とY軸、Z軸は永久磁気成分の影響で、成分の大きさだけズレを生じている。そのため H' は一定でなくなり、 δ が $\pm 4^\circ$ 程度現れている。



$H = 30.0\text{uT}$ $U = 17.3\text{uT}$ $\beta = 30.0^\circ$
 $a = 0.000$ $b = 0.000$ $c = 0.000$ $P = 0.0\text{uT}$
 $d = 0.000$ $e = 0.000$ $f = 0.000$ $Q = 0.0\text{uT}$
 $g = 0.000$ $h = 0.000$ $k = 0.000$ $R = 0.0\text{uT}$ $\lambda = 1.00$
 $A = 0.00^\circ$ $B = 0.00^\circ$ $C = 0.00^\circ$ $D = 0.00^\circ$ $E = 0.00^\circ$

図4. 1 全てのポアソン係数の影響が無いときの船内磁界と自差曲線



$H = 30.0 \mu\text{T}$ $U = 17.3 \mu\text{T}$ $\beta = 30.0^\circ$
 $a = 0.000$ $b = 0.000$ $c = 0.000$ $P = 1.5 \mu\text{T}$
 $d = 0.000$ $e = 0.000$ $f = 0.000$ $Q = 1.5 \mu\text{T}$
 $g = 0.000$ $h = 0.000$ $k = 0.000$ $R = 1.5 \mu\text{T}$ $\lambda = 1.00$
 $A = 0.00^\circ$ $B = 2.86^\circ$ $C = 2.86^\circ$ $D = 0.00^\circ$ $E = 0.00^\circ$

図 4. 2 船内磁界に永久磁気成分の与える影響

4. 1. 3 誘導磁気成分の影響

誘導磁気成分の影響は、先に述べたように軟鉄が同方向に配置されている係数を組にして、まとめた係数はすべて同じ値としてシミュレーションを行った。

はじめに、船首尾船方向に軟鉄が配置されていることにより生じる誘導磁界の係数(a,d,g)による影響を図4.3に示す。理論どおり δ には四分円差が現れている。

また、Z軸の成分が 0° で最大値で 180° で最小値になり、Z軸の誘導磁気係数gの影響が現れていて、X軸は船首磁気方位 θ_m に対しての位相のズレは現れないが、振幅が大きくなり、Y軸には係数dの影響でズレが生じる。

次に、左右舷方向に軟鉄が配置されていることにより生じる誘導磁界の係数(b,e,h)の場合では、Z軸の成分が 270° で最大値 90° で最小値になり、Z軸の誘導磁気係数hの影響が図4.4に示すようにの影響が現れる。先の図4.3とは逆に、X軸が係数bの影響を受けて位相がズレ、Y軸は振幅が大きくなる。

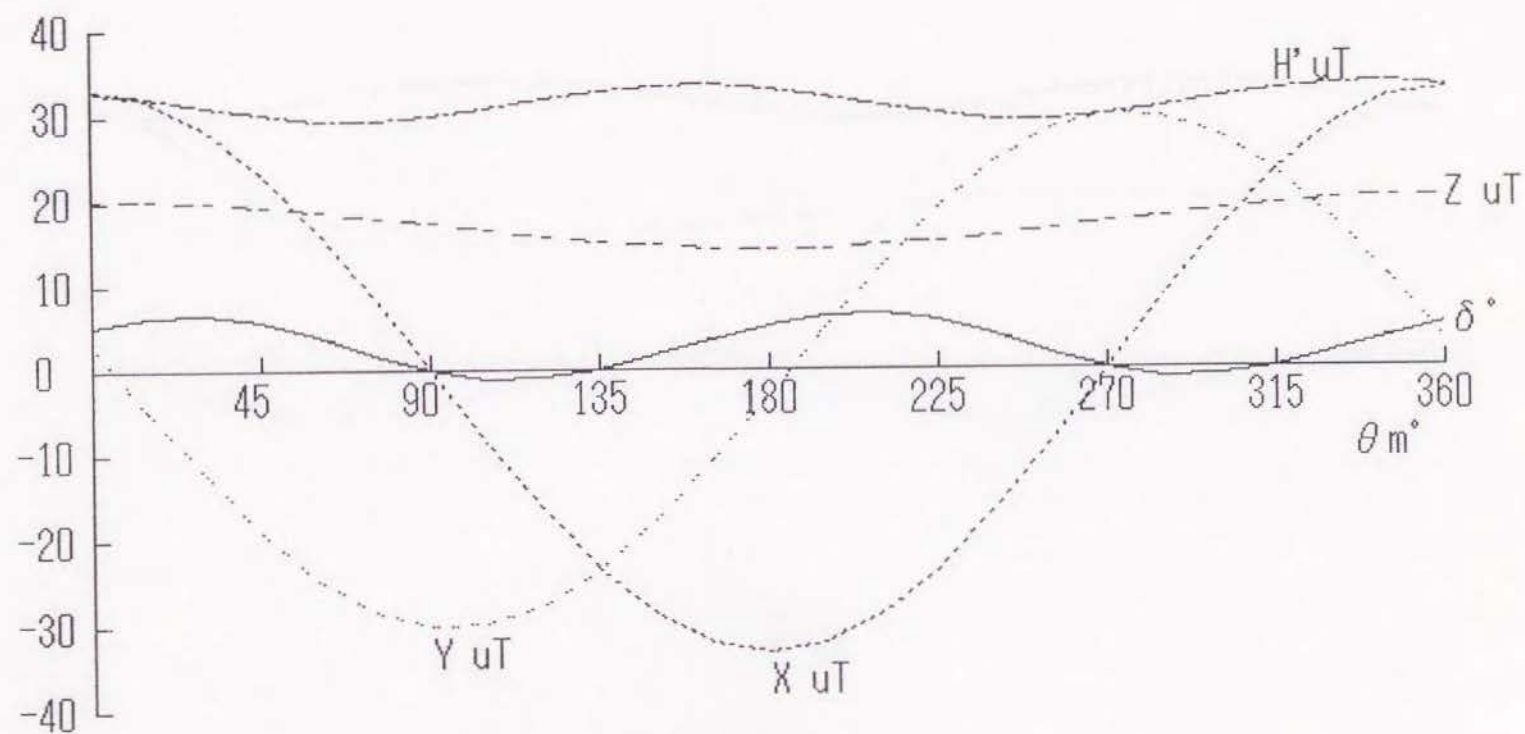
図4.5に示した、上下方向に軟鉄が配置されていることにより生じる誘導磁界の係数(c,f,k)では、永久磁気成分の影響と同じ影響を船内磁界に与えている。

4. 1. 4 永久磁気成分と誘導磁気成分の組合せによる影響

永久磁気成分と誘導磁気成分の組合せには、様々なパターンがある。それぞれの組合せでポアソン係数と自差係数との理論式に示された特徴が現れるが、ここでは、一つの組の影響がない場合を図4.6、図4.7、図4.8、図4.9に示す。

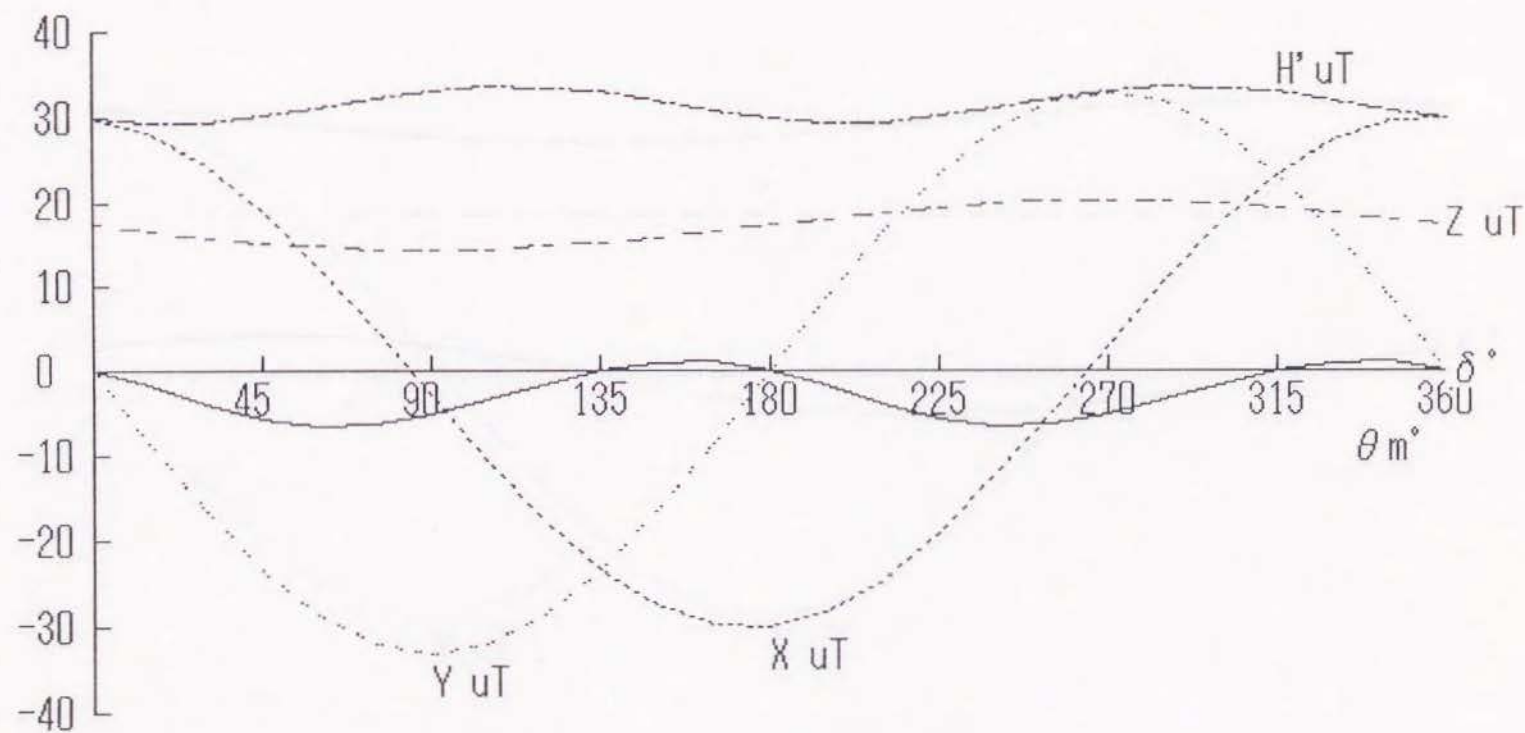
図4.6と図4.7では、(P,Q,R)の影響がない場合と、(c,f,k)の影響がない場合であるが、このシミュレーションのように、地磁気に変化しない場合には、係数の大きさによる違いはあるが、自差に与える影響は同じである。

図4.8は、(b,e,h)の影響がない場合、図4.9は、(a,d,g)の影響がないときの結果である。この二つの図を比較すると、自差係数の絶対値は同じであるが、係数AとDの符号が入れ替わり、 δ の曲線は全く異なったカーブを描いていて、それぞれの係数の影響が無い場合の船内磁界は大きく異なることが示されている。



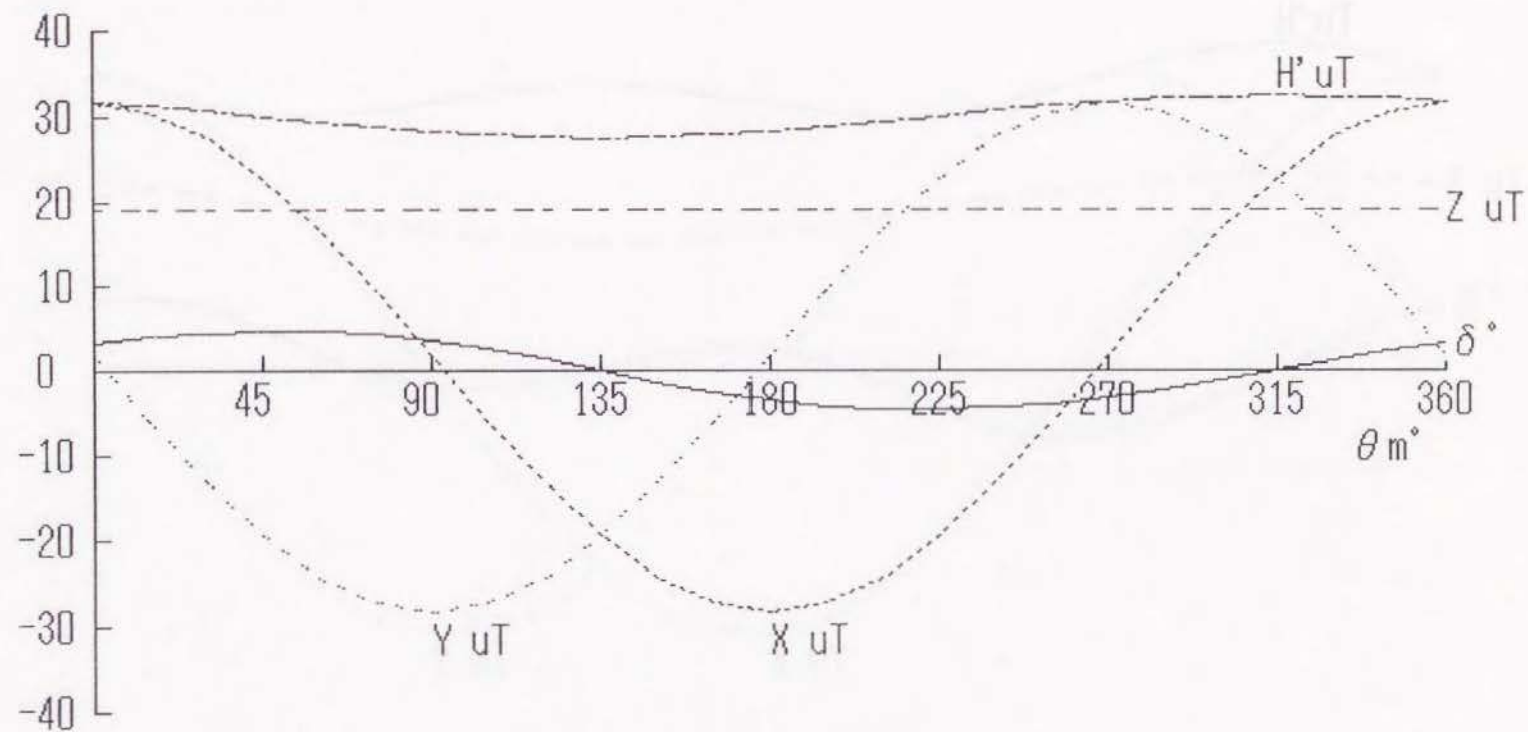
$H = 30.0 \mu\text{T}$ $U = 17.3 \mu\text{T}$ $\beta = 30.0^\circ$
 $a = 0.100$ $b = 0.000$ $c = 0.000$ $P = 0.0 \mu\text{T}$
 $d = 0.100$ $e = 0.000$ $f = 0.000$ $Q = 0.0 \mu\text{T}$
 $g = 0.100$ $h = 0.000$ $k = 0.000$ $R = 0.0 \mu\text{T}$ $\lambda = 1.05$
 $A = 2.73^\circ$ $B = 0.00^\circ$ $C = 0.00^\circ$ $D = 2.73^\circ$ $E = 2.73^\circ$

図 4 . 3 船首方向の軟鉄による誘導磁界の影響



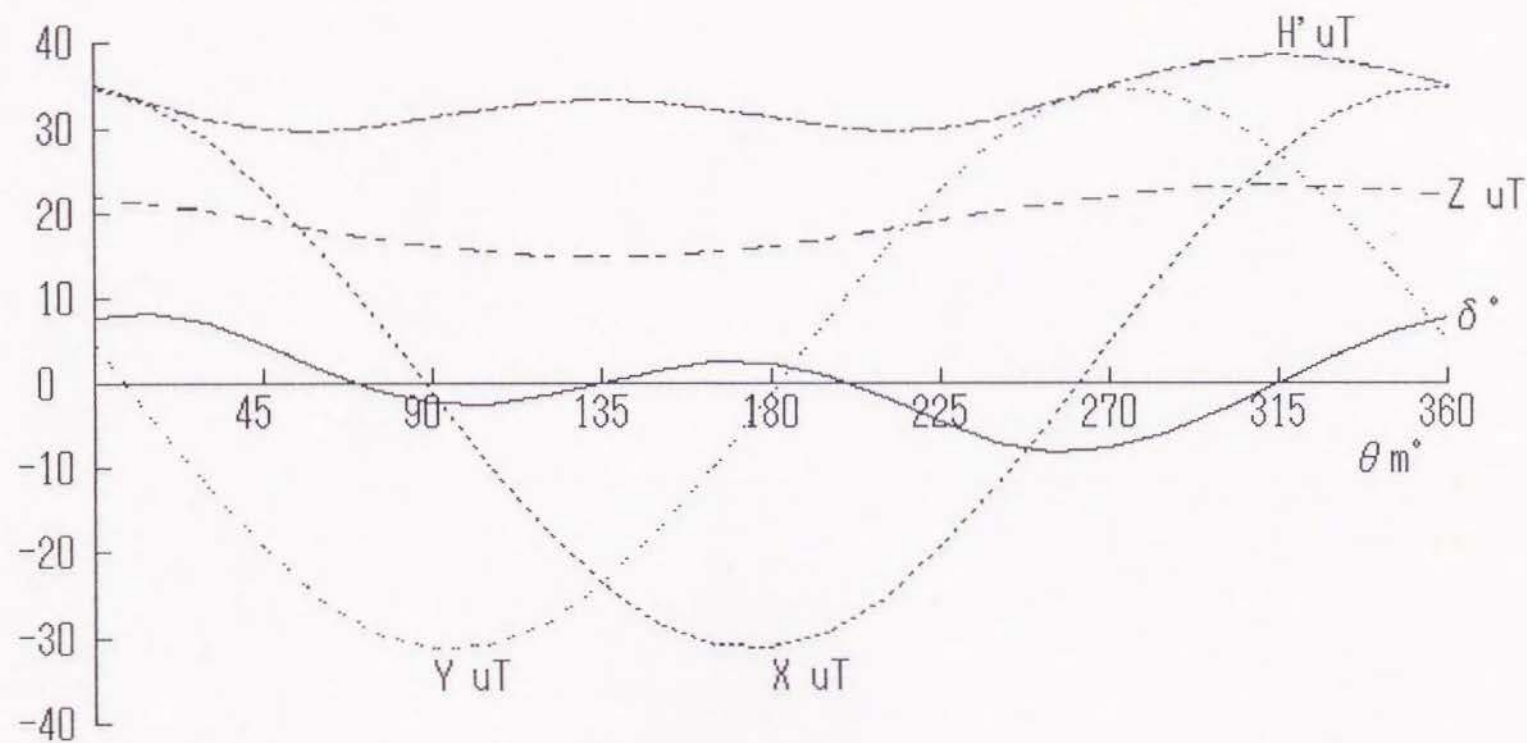
$H = 30.0\text{uT}$ $U = 17.3\text{uT}$ $\beta = 30.0^\circ$
 $a = 0.000$ $b = 0.100$ $c = 0.000$ $P = 0.0\text{uT}$
 $d = 0.000$ $e = 0.100$ $f = 0.000$ $Q = 0.0\text{uT}$
 $g = 0.000$ $h = 0.100$ $k = 0.000$ $R = 0.0\text{uT}$ $\lambda = 1.05$
 $A = -2.73^\circ$ $B = 0.00^\circ$ $C = 0.00^\circ$ $D = -2.73^\circ$ $E = 2.73^\circ$

図4.4 左右舷方向の軟鉄による誘導磁界の影響



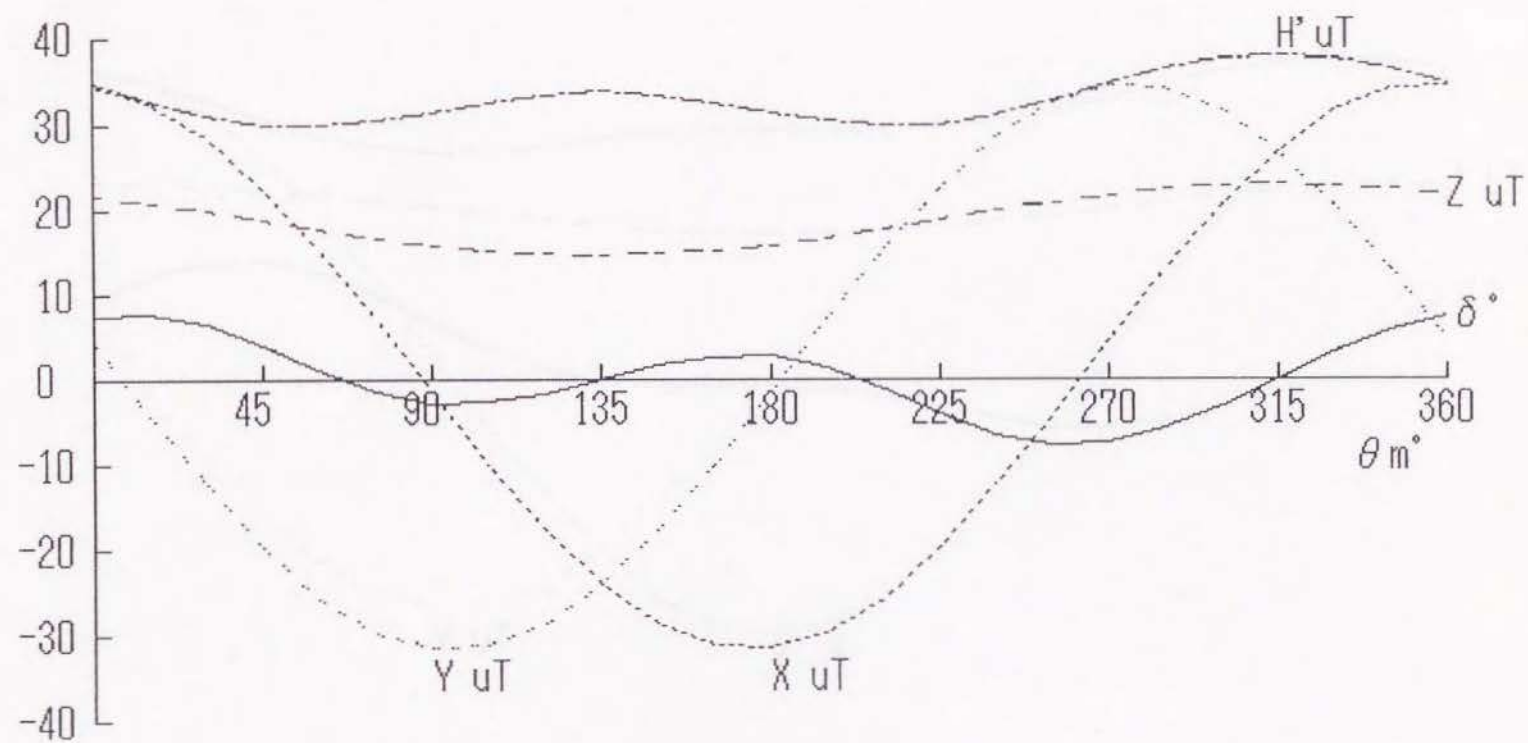
$H = 30.0\text{uT}$ $U = 17.3\text{uT}$ $\beta = 30.0^\circ$
 $a = 0.000$ $b = 0.000$ $c = 0.100$ $P = 0.0\text{uT}$
 $d = 0.000$ $e = 0.000$ $f = 0.100$ $Q = 0.0\text{uT}$
 $g = 0.000$ $h = 0.000$ $k = 0.100$ $R = 0.0\text{uT}$ $\lambda = 1.00$
 $A = 0.00^\circ$ $B = 3.31^\circ$ $C = 3.31^\circ$ $D = 0.00^\circ$ $E = 0.00^\circ$

図4.5 上下方向の軟鉄による誘導磁界の影響



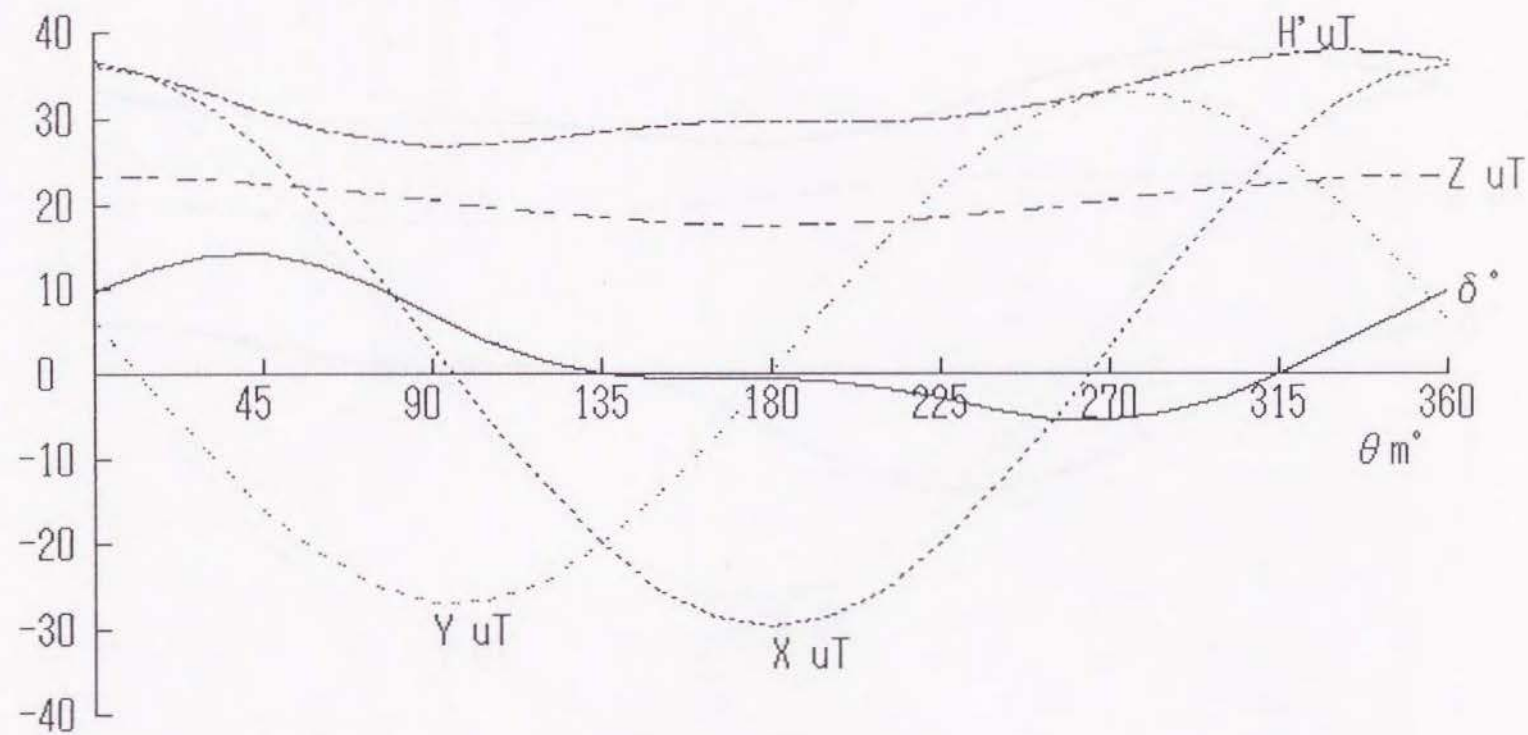
$H = 30.0 \mu\text{T}$ $U = 17.3 \mu\text{T}$ $\beta = 30.0^\circ$
 $a = 0.100$ $b = 0.100$ $c = 0.100$ $P = 0.0 \mu\text{T}$
 $d = 0.100$ $e = 0.100$ $f = 0.100$ $Q = 0.0 \mu\text{T}$
 $g = 0.100$ $h = 0.100$ $k = 0.100$ $R = 0.0 \mu\text{T}$ $\lambda = 1.10$
 $A = 0.00^\circ$ $B = 3.01^\circ$ $C = 3.01^\circ$ $D = 0.00^\circ$ $E = 5.21^\circ$

図 4. 6 永久磁気成分が無い場合の船内磁界



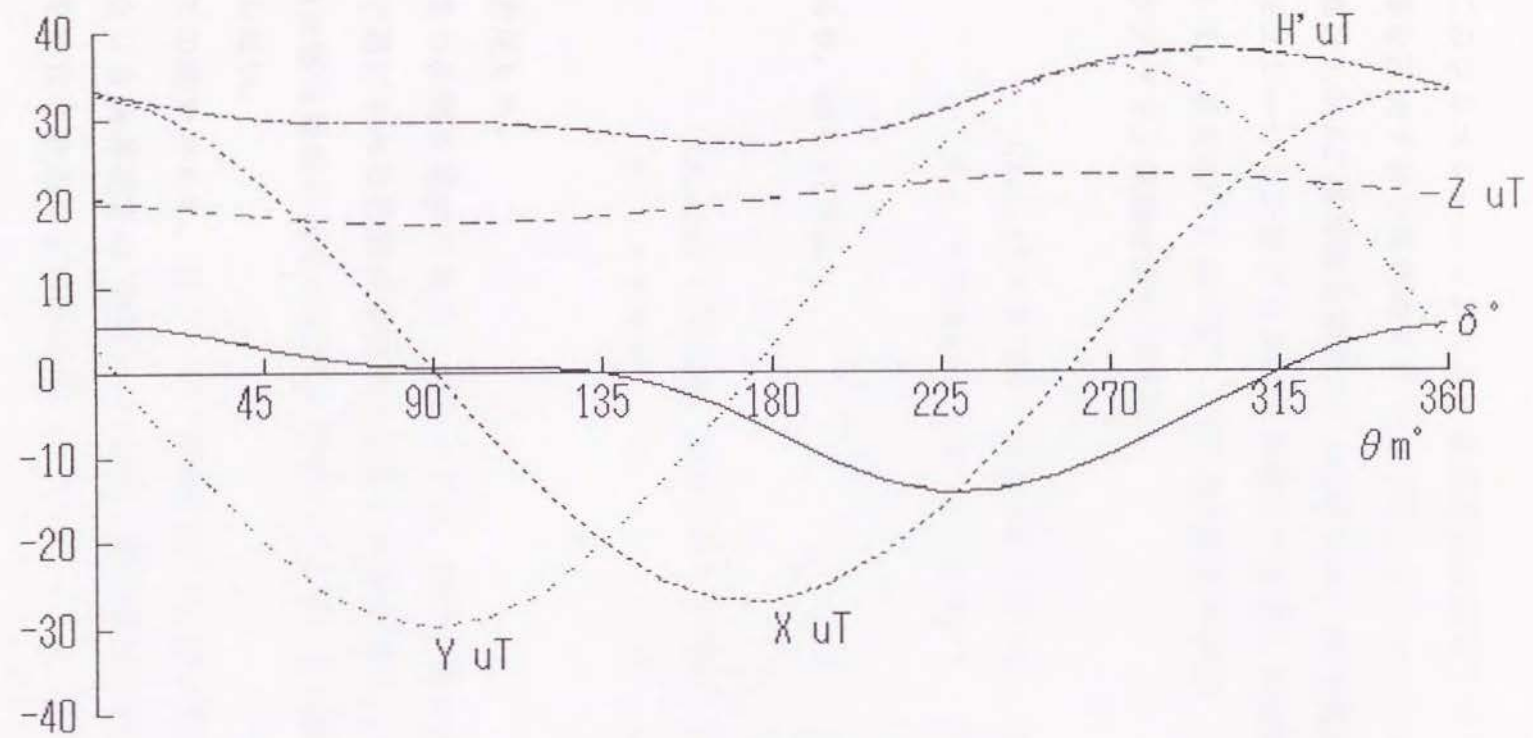
$H = 30.0 \mu\text{T}$ $U = 17.3 \mu\text{T}$ $\beta = 30.0^\circ$
 $a = 0.100$ $b = 0.100$ $c = 0.000$ $P = 1.5 \mu\text{T}$
 $d = 0.100$ $e = 0.100$ $f = 0.000$ $Q = 1.5 \mu\text{T}$
 $g = 0.100$ $h = 0.100$ $k = 0.000$ $R = 1.5 \mu\text{T}$ $\lambda = 1.10$
 $A = 0.00^\circ$ $B = 2.60^\circ$ $C = 2.60^\circ$ $D = 0.00^\circ$ $E = 5.21^\circ$

図4.7 上下方向の軟鉄による誘導磁界が無い場合の船内磁界



$H = 30.0\mu\text{T}$ $U = 17.3\mu\text{T}$ $\beta = 30.0^\circ$
 $a = 0.100$ $b = 0.000$ $c = 0.100$ $P = 1.5\mu\text{T}$
 $d = 0.100$ $e = 0.000$ $f = 0.100$ $Q = 1.5\mu\text{T}$
 $g = 0.100$ $h = 0.000$ $k = 0.100$ $R = 1.5\mu\text{T}$ $\lambda = 1.05$
 $A = 2.73^\circ$ $B = 5.88^\circ$ $C = 5.88^\circ$ $D = 2.73^\circ$ $E = 2.73^\circ$

図4.8 左右舷方向の軟鉄による誘導磁界が無い場合の船内磁界



$H = 30.0 \mu\text{T}$ $U = 17.3 \mu\text{T}$ $\beta = 30.0^\circ$
 $a = 0.000$ $b = 0.100$ $c = 0.100$ $P = 1.5 \mu\text{T}$
 $d = 0.000$ $e = 0.100$ $f = 0.100$ $Q = 1.5 \mu\text{T}$
 $g = 0.000$ $h = 0.100$ $k = 0.100$ $R = 1.5 \mu\text{T}$ $\lambda = 1.05$
 $A = -2.73^\circ$ $B = 5.88^\circ$ $C = 5.88^\circ$ $D = -2.73^\circ$ $E = 2.73^\circ$

図4.9 船首方向の軟鉄による誘導磁界が無い場合の船内磁界

4. 2 磁気緯度が変化した場合

このシミュレーションでは、磁気緯度が変化することで船内磁界にどのような影響を及ぼすかを具体的にグラフで示した。そしてポアッソン係数の内、永久磁気成分 P, Q, R と誘導磁気係数 c, f, k に注目し、磁気緯度、つまり伏角 β を変化させシミュレーションを行った。 β を除いて設定した地磁気は、4. 1と同様である。そして、 β を 30° N から 0° 、 30° S と変化させた。このシミュレーションに用いたポアッソン係数は図4.10では、

$$\begin{aligned} (a, d, g) &= 0.100 & (b, e, h) &= 0.100 & (c, f, k) &= 0.100 \\ P &= 0.0 \mu\text{T} & Q &= 0.0 \mu\text{T} & R &= 0.0 \mu\text{T} \end{aligned}$$

であり、図4.11では、

$$\begin{aligned} (a, d, g) &= 0.100 & (b, e, h) &= 0.100 & (c, f, k) &= 0.000 \\ P &= 1.5 \mu\text{T} & Q &= 1.5 \mu\text{T} & R &= 1.5 \mu\text{T} \end{aligned}$$

と設定した。

2つの図を比較すると、図4.10では、磁気緯度の変化により3軸(X, Y, Z 軸)全てで測定される磁界が変化し、自差に影響が現れている。しかし、図4.11では、 Z 軸は磁気緯度の変化の影響を受けているが、 X, Y 軸には影響が現れず、自差も変化しない。

この結果からも、ポアッソン係数の上下方向に軟鉄が配置されていることにより生じる誘導磁界の係数(c, f, k)が、船内磁界を磁気緯度の変化に影響され、自差を変化させることがわかる。

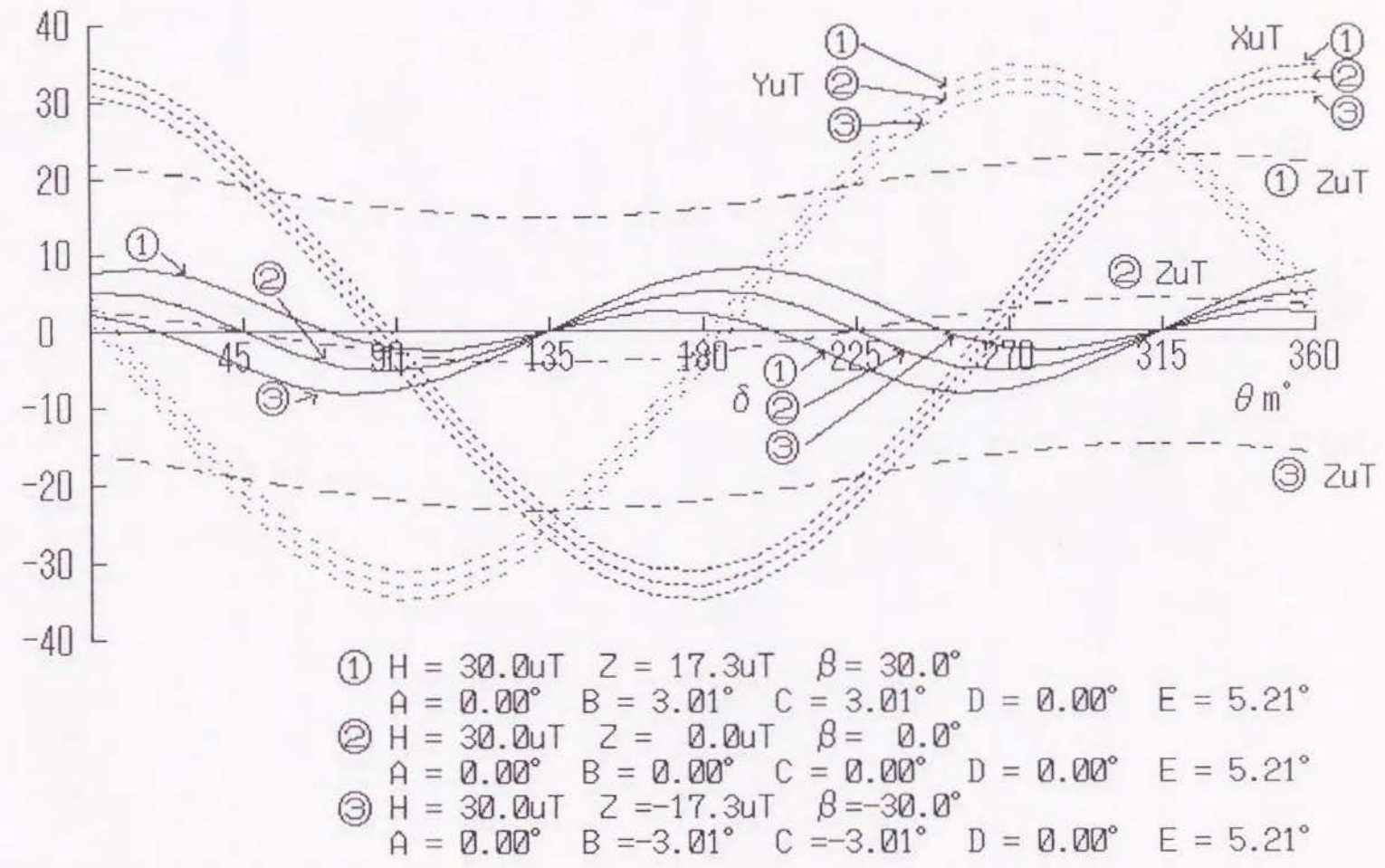


図4. 10 永久磁気成分が無い場合の磁気緯度の変化の影響

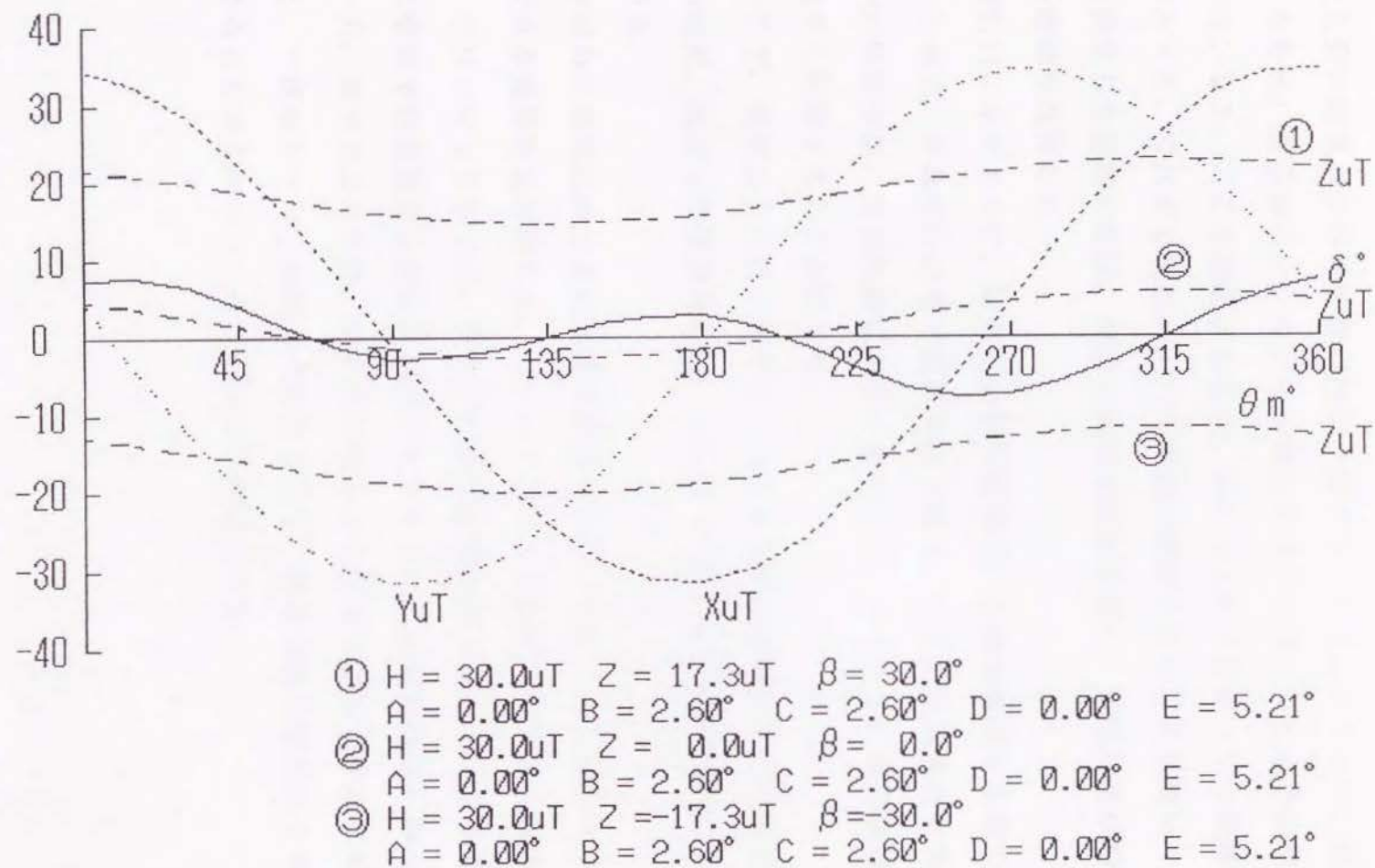


図4. 1.1 上下方向の軟鉄による誘導磁界が無い場合の磁気緯度の影響

4. 3 ボアッソン補正と自差補正の比較

在来型の磁気コンパスの自差修正と電子コンパスのボアッソン補正について比較するため、東京からシンガポール経由でフリーマントルまでの航海をシミュレーションした。ここで想定した船は、図4.11に示すボアッソン係数を持っているものとする。これまで実船のボアッソン係数が測定されたことが無い。そのため、ここで設定した係数の値は、東京での自差曲線を基に、磁気緯度の影響が大きく現れる数値を採用した。

図4.11に示すように、東京での自差曲線は、実際の船舶にも見られるものである。しかし、それぞれの港で磁気緯度が違う、つまり磁気緯度が異なると、このボアッソン係数では、自差曲線は大きく変化する。このように磁気緯度の変化は自差に大きく影響することがわかる。

そこで、磁気コンパスと電子コンパスを東京で自差修正及び補正したとする。その結果、東京での残存自差は、図4.12に示すように両者とも 1° 以内に収まっている。

東京の自差修正のままの在来型磁気コンパスには、シンガポールまで移動すると大きな残存自差が現われ、フリーマントルではさらに大きくなる。シンガポール、フリーマントルでは、東京との磁気緯度の差によって生じる自差に加え、さらに東京で自差修正した分が加算された形で大きな残存自差となっている。

一方、電子コンパスは、いずれの地点でも残存自差はほとんど変わらない。よって、一度ボアッソン係数を求めておけば、磁気緯度の変化による自差に十分対応することがこのシミュレーションで確認できた。

Deviation(°)

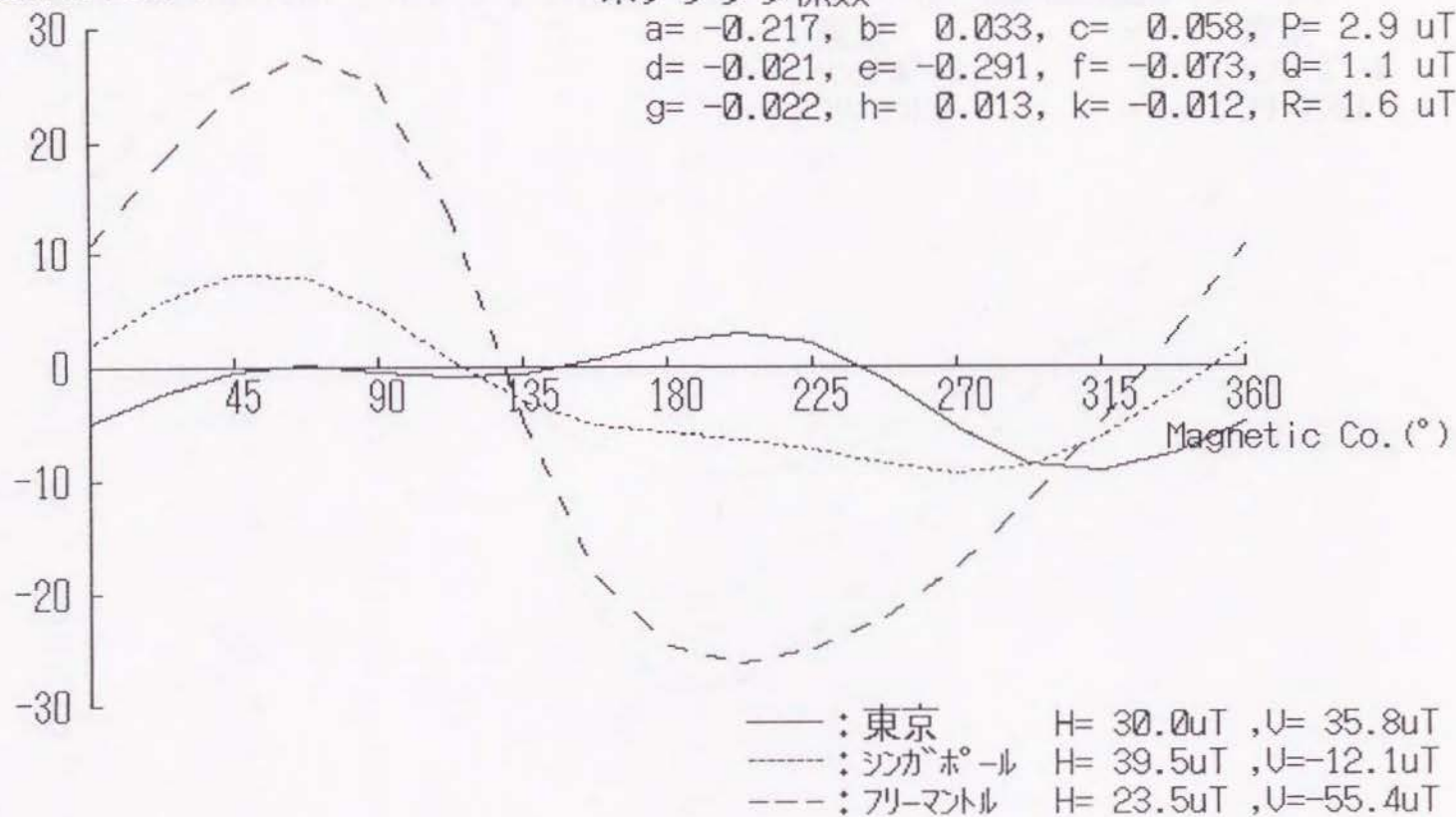
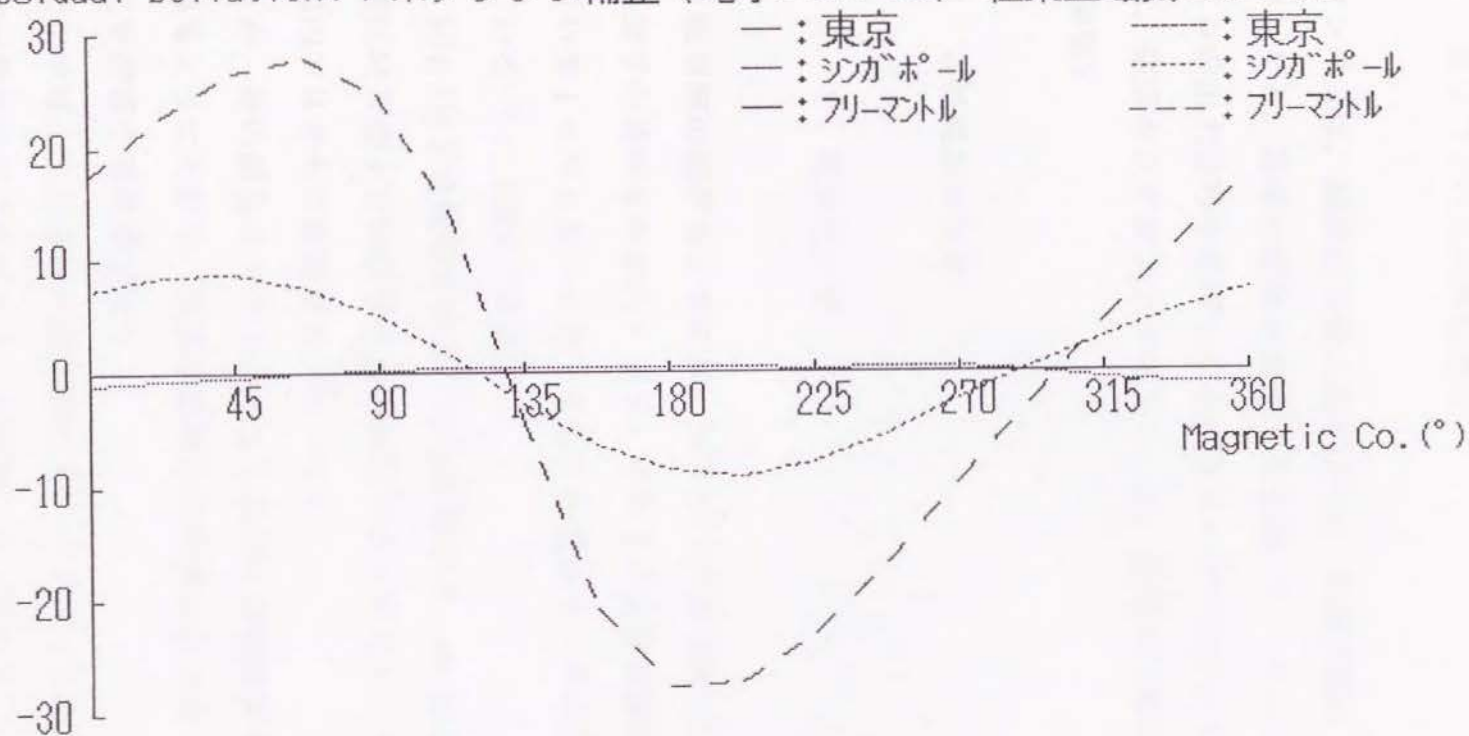


図4.12 磁気緯度による自差の変化

Residual Deviation(°) ポアッソン補正 (電子コンパス) 在来型磁気コンパス



(ポアッソン係数測定, 自差修正場所: 東京)

図4. 13 ポアッソン補正と自差修正の磁気緯度の変化による比較

第5章 試作した電子コンパスの機器構成

5.1 電子コンパスの構成概要

電子コンパスは、船体の3軸（船首方向X，右舷方向Y，船底方向Z）に固定した磁気センサと、船体の傾斜を測定する2軸（ローリング，ピッチング）の傾斜計，それらの出力信号を処理し表示するパーソナルコンピュータで構成される。

そして，磁気センサはコンパスデッキに，傾斜計は船体の重心付近に設置する。（図5.1参照）

5.2 3軸磁気センサ

5.2.1 磁気センサ

船体3軸方向の磁界センサには，MR素子（富士通：FSD-20055AY-001）を用いた。この素子の特性をを表5.1示す。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，温度特性が1桁以上優れている⁽⁷⁾。（表5.2参照）

また，50 μ 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。

そのため，他の磁気センサのように1方向に2個の素子を用いて，2倍の出力電圧を得るようにしたり，温度の影響を打ち消し合うようにして温度差に対する出力変化を相殺する必要がない。

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（図5.2）。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。

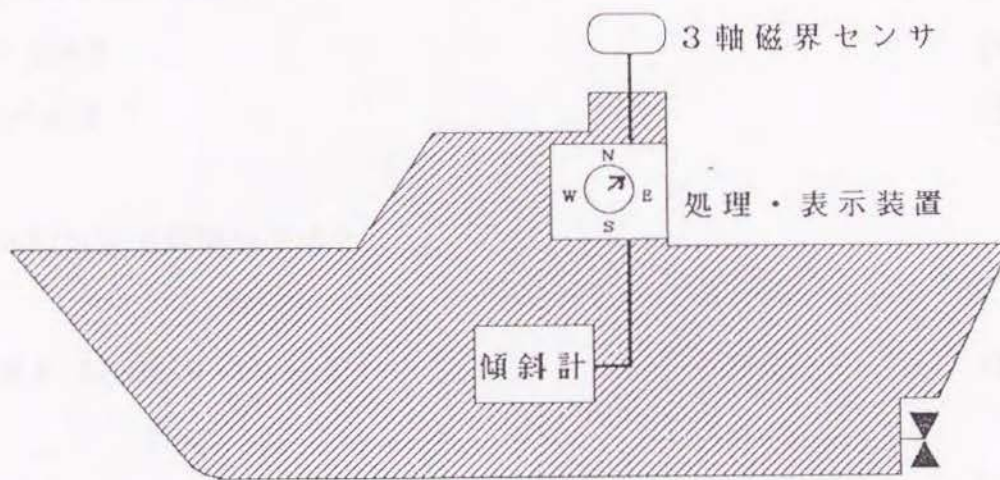


図5.1 電子コンパスの機器構成概念図

5. 2. 2 駆動および増幅回路

増幅回路を下記のような計算に基づき設計した。

磁気方位を求めるためには、

$$Y = \sin \theta, X = \cos \theta \quad (5.1)$$

$$Y/X = \tan \theta \quad (5.2)$$

$$Y = X \cdot \tan \theta \quad (5.3)$$

これを $\Delta Y / \Delta \theta$ で偏微分すると

$$\Delta Y / \Delta \theta = X / \cos^2 \theta = 1 / \cos \theta \quad (5.4)$$

$\theta = 0$ のとき $\Delta Y = \Delta \theta$ であり

$\Delta \theta = 1^\circ$ のとき $\Delta Y = \pi / 180 > 1/57 > 1/64$ となる。よって A D C は (6+1) ビットでよい。

磁気赤道から南北磁気緯度60度までの移動を考える。水平成分は余裕を見て $10 \mu\text{T}$ から $60 \mu\text{T}$ 、鉛直成分は $0 \mu\text{T}$ から $60 \mu\text{T}$ の変化をする。

よって、方位を計算するのに最悪の状態は、 $H = 10 \mu\text{T}$ のときである。

MR素子の積感度 $2.5 \times 10^{-2} \text{mV/mA}/\mu\text{T}/\Omega$ であるから、定電流駆動 5mA 、地磁気の水平成分の大きさ $10 \mu\text{T}$ 、入力抵抗 800Ω とすれば、 $10 \mu\text{T}$ で 0.1mV の出力が得られる。12ビットのフルレンジ $\pm 5.0\text{V}$ の A D C では、7ビットを $\pm 5.0 \times 128 / 4096 = \pm 0.156\text{V}$ フルレンジで用いればよい。 $10 \mu\text{T}$ では最低増幅度約 64dB 、この増幅度で、 $60 \mu\text{T}$ では増幅後の出力電圧が 0.936V となるが A D C の十分許容範囲にある。

MR素子の場合ヒステリシスが $2500 \mu\text{T}$ で 0.5mV ある。しかし、 $30 \mu\text{T}$ では 0.006mV となり、方位計算の誤差にはならない。

上記から製作したMR素子の駆動と増幅回路を図5.3に示す。MR素子は定電流ダイオードで 5mA 定電流駆動される。そして、ゼロ磁界での出力をゼロにするオフセット調整回路を経て、OPアンプで増幅される。素子出力からのノイズを

表 5 . 1 M R 素子の特性

入力抵抗	800Ω
磁界感度	0.25(mV/mA)/(μT)
直線性	1.0%以下
ヒステリシス	0.5%以下
不平衡電圧	1mV以下(5mA駆動)
不平衡電圧温度変化	0.5mV以下(5mA駆動) -30~80℃

表 5. 2 MR素子と半導体磁気センサの温度特性比較

素子	磁界感度の温度係数
MR素子	-0.09 % / °C
InSb素子	-1.0 % / °C
GaAs素子	-0.06 % / °C

注) すべて定電流駆動の場合

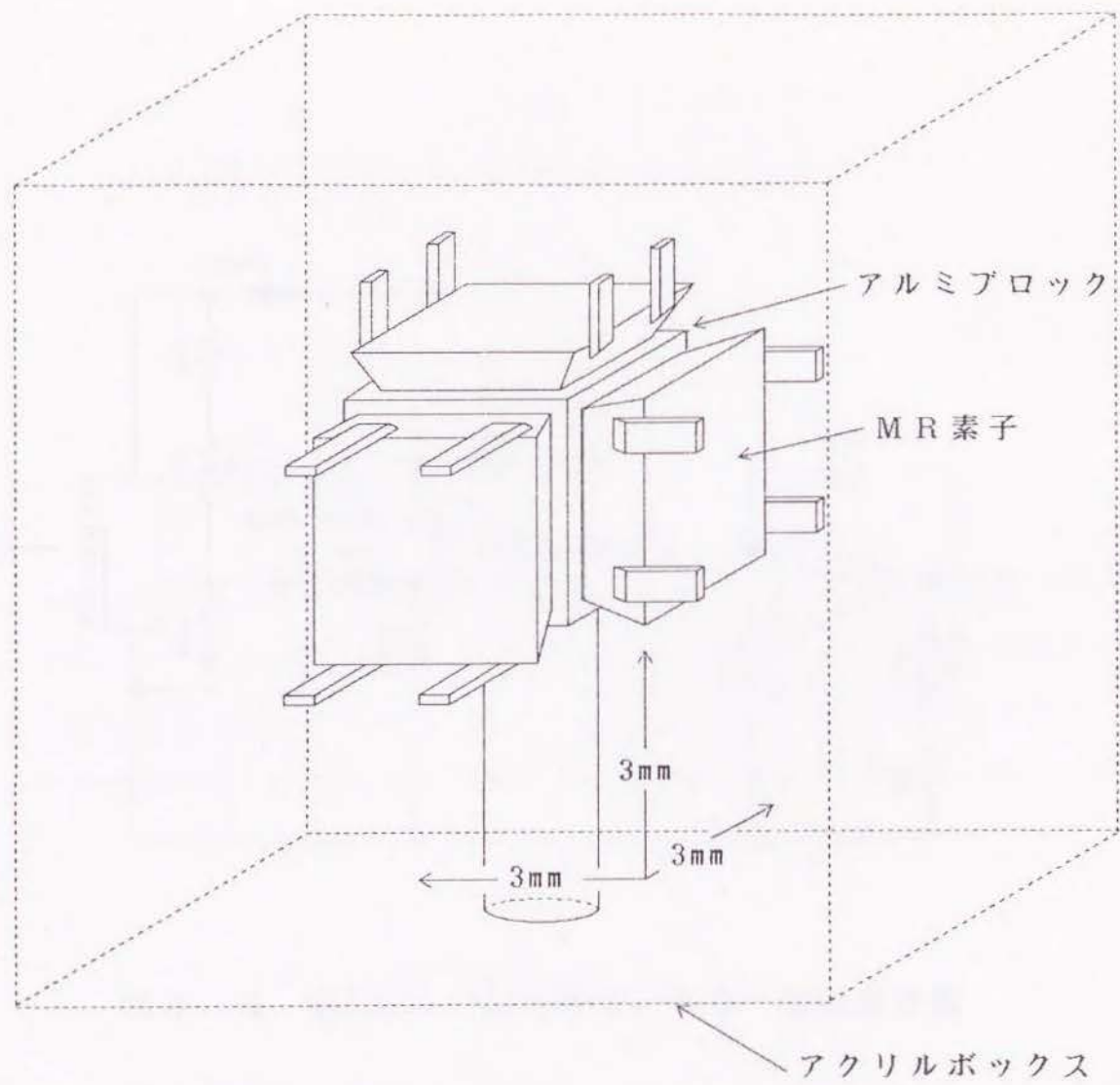


図5.2 3軸磁気センサの構造

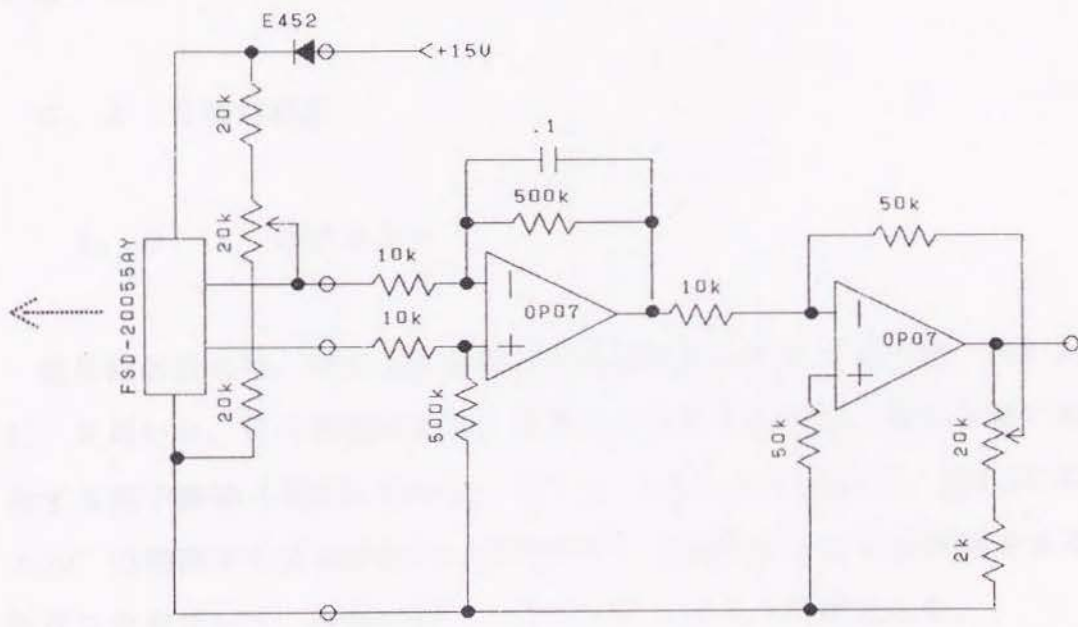


图 5. 3 磁気センサ (MR 素子) 駆動・増幅回路図

抑えるために、1段目のOPアンプでは作動増幅をおこない、カットオフ周波数 $f_0=30\text{Hz}$ のローパスフィルタでノイズを低減させている。また、ここの素子ごとに出力電圧が多少異なるので可変増幅とし、各軸の出力電圧が一定磁界で同じとなるように調整した。出力レベルは、磁束密度 $30\mu\text{T}$ に対して 0.3V とした。

この出力を12ビット $\pm 5\text{V}$ 入力のA/Dコンバータを介してデジタル変換し、ワンチップCPUでシリアルデータ(RS232C)に変換しパーソナルコンピュータに転送する。

5.3 2軸傾斜計

5.3.1 傾斜センサ

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 0.025sec , 図5.4)になっているので、図5.5に示すように、 $\pm 30^\circ$ 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。

5.3.2 駆動および増幅回路

図5.6に傾斜計の駆動および増幅回路を示す。この加速度センサの出力をそのまま増幅したのでは、船体の振動などで過敏になりすぎるため、カットオフ周波数 $f_0=5\text{Hz}$ のローパスフィルタでダンピングをかけ、振動などの加速度に反応しないようにし、なおかつ傾斜計としての性能を確保した。さらに、この出力を8ビット、モノポーラA/D変換(GPY-12)に必要な出力で、動揺角 $\pm 30^\circ$ で十分な直線性を得られるように増幅した。この結果、1ビットの分解能は、 0.4° である。

5.4 電子コンパスのシステム

この電子コンパスでは、磁気センサをコンパスデッキに、傾斜計を船体の重心

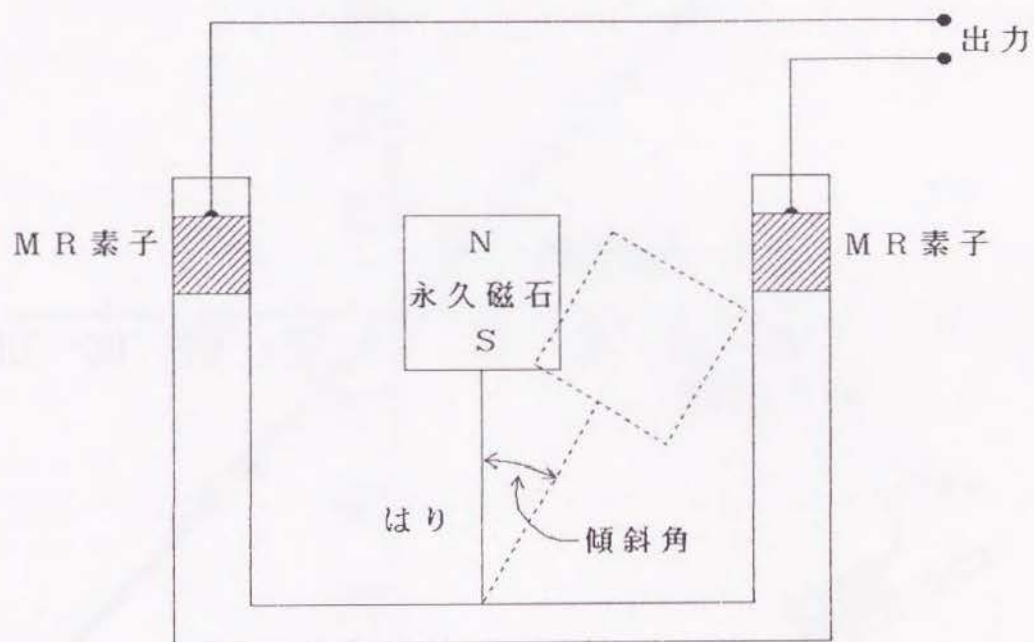


図 5 . 4 傾斜計の構造

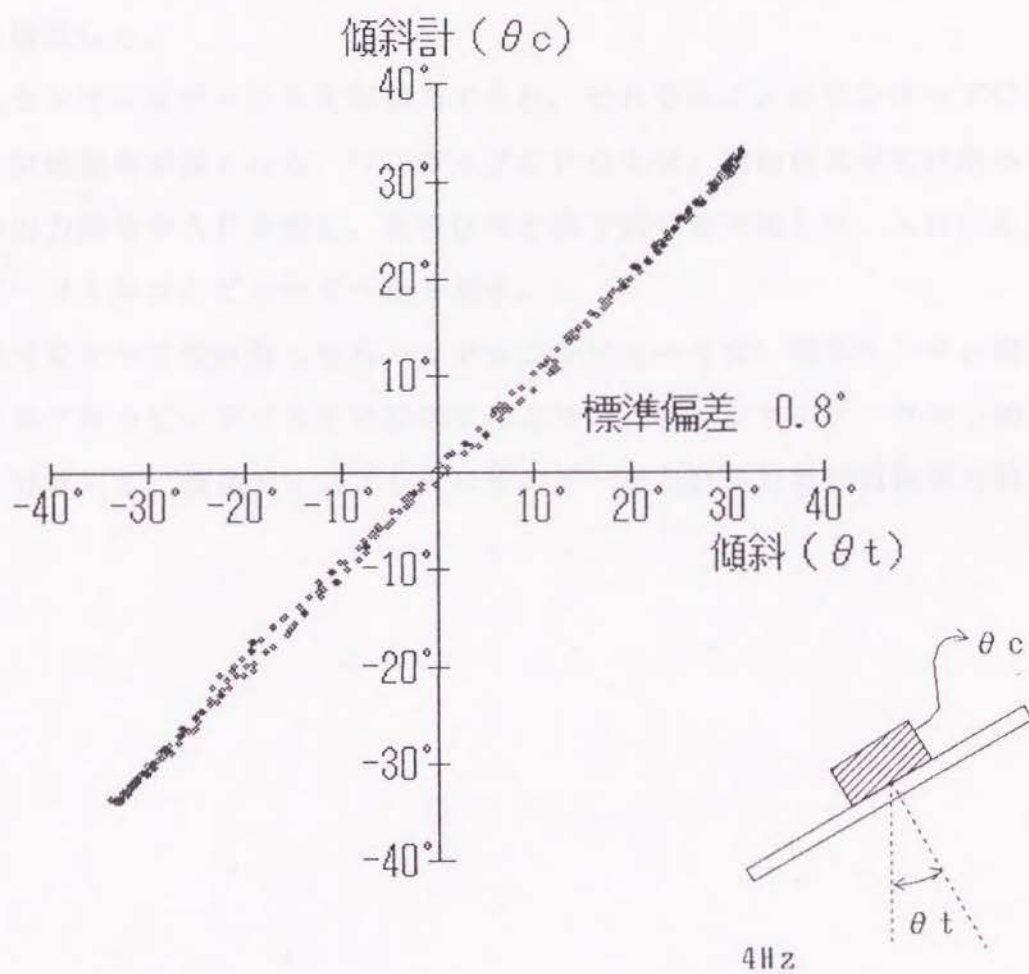


図 5 . 5 2 軸 船 体 傾 斜 計 の 精 度

付近に設置する。そのため、各センサからの出力信号を処理し表示するパーソナルコンピュータまでに距離がある。よって、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-286LE）へ取り込むシステムとした。パーソナルコンピュータには、3チャンネルのRS232C切り替え器を増設した。

各センサにはチャンネルが割当てられ、それぞれごとにワンチップCPUへADC開始信号が送られる。ワンチップCPUでは、開始信号を受け取って、センサの出力信号をAD変換し、返答信号と修了信号を付加して、ADCしたデータをパーソナルコンピュータへ送り返す。

信号をすべて受け取ったパーソナルコンピュータは、磁気センサと傾斜計のデータをフロッピーディスクに記録すると共に、各センサのデータから船首磁気方位を計算して、液晶ディスプレイにそのデータと計算した船首磁気方位を表示する。

第6章 実験の結果と考察

6.1 既知磁石によるポアッソン係数の確認

第2章に述べたポアッソン係数の計算方法を確認するため、磁気能率のわかっている永久磁石を用いて、永久磁気成分だけの自差を生じさせ、これを電子コンパスで測定し、ポアッソン係数を求めた。

まず、清水式磁気能率測定器を用いて永久磁石（長さ0.2m、直径0.02m）の磁気能率を測定した。測定場所の地磁気水平成分の大きさHは、0.305[0e]（磁束密度30.5uT）であった。その結果、この磁石の磁気能率は $M=1.39 \cdot 10^{-4} \text{Wb} \cdot \text{m}$ と測定された。

無磁性の舟形回転台上で、電子コンパスからある距離はなした位置にこの永久磁石を固定した。そして自差測定し、さきに述べた計算方法でポアッソン係数を求めた。

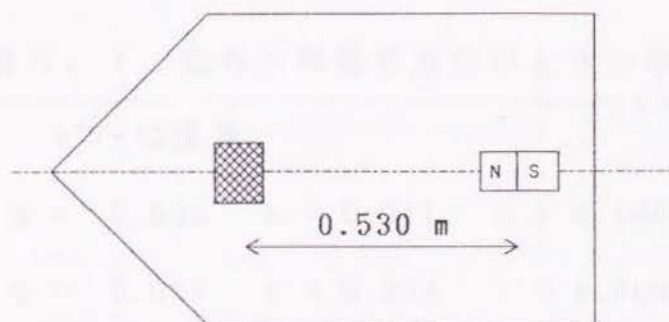
電子コンパスと磁石の配置は種々変えたが、その結果の一例として、図6.1に示すように電子コンパスと同一の高さで0.530m離れた船尾側で、船首方向に磁石のN極を向けて固定した方法の結果を示す。地磁気の状態は先と同じである。ポアッソン係数は、表6.1に示すように求まった。この場合、船首方向の永久磁気成分Pは、14.2uTとなり、右舷方向のQは0uTとなった。下方成分Qや、誘導磁気に関するポアッソン係数a~kの値がわずかに存在するが、測定誤差の範囲内で無視してよい値である。なお、この表には参考のために在来の自差係数の値も示す。

この場合、ポアッソン係数Pから、この実験に用いた永久磁石の磁気能率を逆算できる。永久磁石の軸方向で、その中心からの距離r離れた点での磁界の強さ H_p は、

$$H_p = \frac{1}{4\pi \cdot 10^{-2}} \cdot \frac{2M}{r^3} \quad (6.1)$$

で与えられる。よって $H_p=14.3\text{uT}$ 、 $r=0.530\text{m}$ で計算すると、Mは $1.34 \cdot 10^{-4} \text{Wb} \cdot \text{m}$ と

なった。この永久磁石の磁気能率は、前述したように $M=1.39 \cdot 10^{-4} \text{Wb} \cdot \text{m}$ であるから、ほぼ正しく求まることが確認できた。



電子コンパスの測定値から
求めた磁気能率

$$M=1.34 \cdot 10^{-4} \text{ Wb} \cdot \text{m}$$



：永久磁石（磁気能率 $M=1.39 \cdot 10^{-4} \text{ Wb} \cdot \text{m}$ ）



：電子コンパス

図 6 . 1 既知磁石によるポアッソン係数の確認

表6. 1 磁石N極船首方向のときのポアソン係数及び自差係数

ポアソン係数				
a = -0.002	b = 0.011	c = 0.000	P = 14.3 uT	
d = 0.007	e = 0.002	f = 0.008	Q = 0.0 uT	
g = -0.007	h = 0.022	k = 0.004	R = -1.8 uT	
自差係数				
A = -0.1°	B = 27.0°	C = 0.9°	D = -0.1°	E = 0.5°

注) H = 30.5uT(0.305 0e), 磁石中心からの距離 r = 0.530 m

6. 2 実船実験

試作した電子コンパスを実船に装備して、ポアッソン係数の測定と、ポアッソン補正の磁気緯度と傾船差への有効性を確認する実験を行った。装備した船は、東京水産大学研究練習船海鷹丸（総トン数 1828.66トン）である。実験は、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（北緯8度～40度）において行った。

6. 2. 1 実験に用いた電子コンパスシステム

海鷹丸に装備した電子コンパスの実験機器の構成を図6.2に示す。

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6.3に示す。

船の現在位置と船首真方位を得る為に、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、電子コンパス瞬時指示値を液晶ディスプレイに表示した。

6. 2. 2 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6.2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。

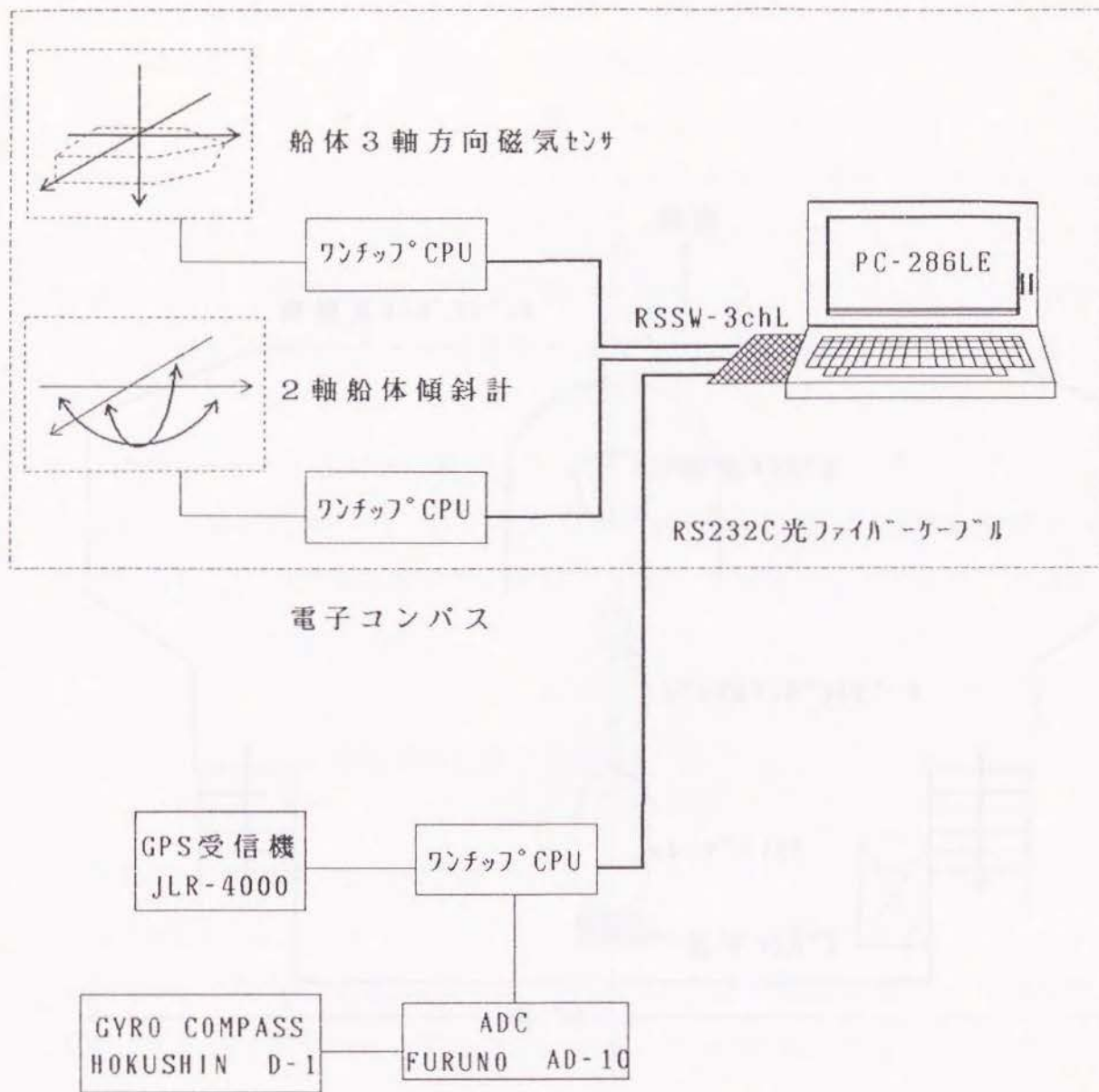


図6.2 実船実験での機器構成

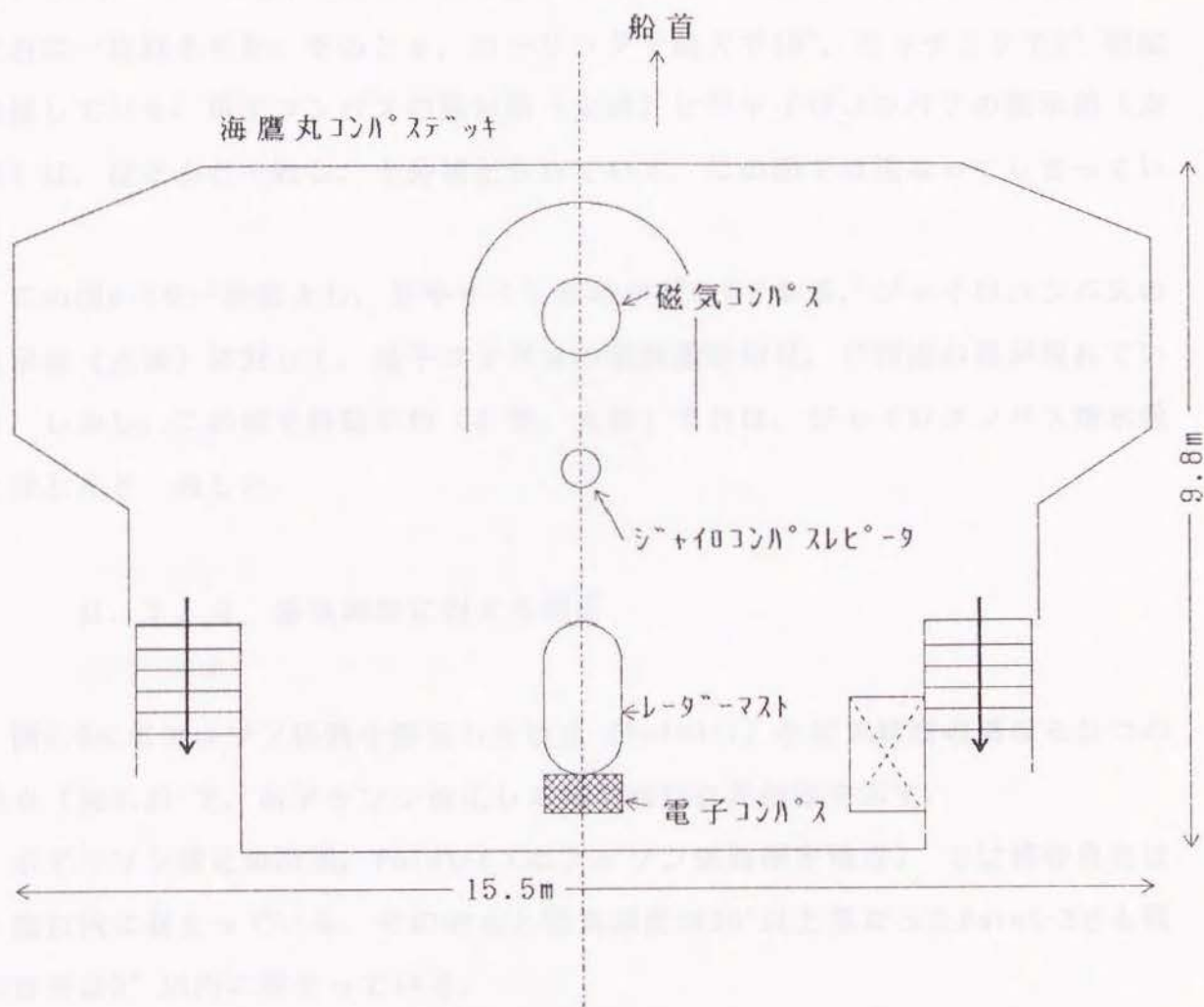


図6.3 電子コンパスの磁界センサ設置場所

一般に在来型の磁気コンパスの自差はフーリエ係数で表される。そこで、このポアッソン係数からフーリエ係数に換算した値も同表に示す。フーリエ係数では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。

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6.4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旋回させた。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、十分補正されていて、この図では重なってしまっている。

この図6.4を一部拡大し、見やすくしたのが図6.5である。ジャイロコンパスの指示値（点線）に対して、電子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。

6. 2. 3 磁気緯度に対する補正

図6.6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6.3）で、ポアッソン補正した後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6.7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、電子コンパスに比べほぼ2倍の誤差となっている。

6. 2. 5 傾船差に対する補正

電子コンパス指示値（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6.8に示す。自差補正に用いたポアッソン係数は、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

表 6 . 2 海鷹丸のホアッソソ係数と自差係数

ホアッソソ係数			
a=-0.075	b=-0.056	c=-0.200	P=-13.4 μ T
d= 0.044	e=-0.355	f=-0.084	Q= -1.3 μ T
g= 0.177	h=-0.037	k=-0.584	R= 19.9 μ T
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=29.7 μ T Dip=34.0°N Var.=18.0°W			

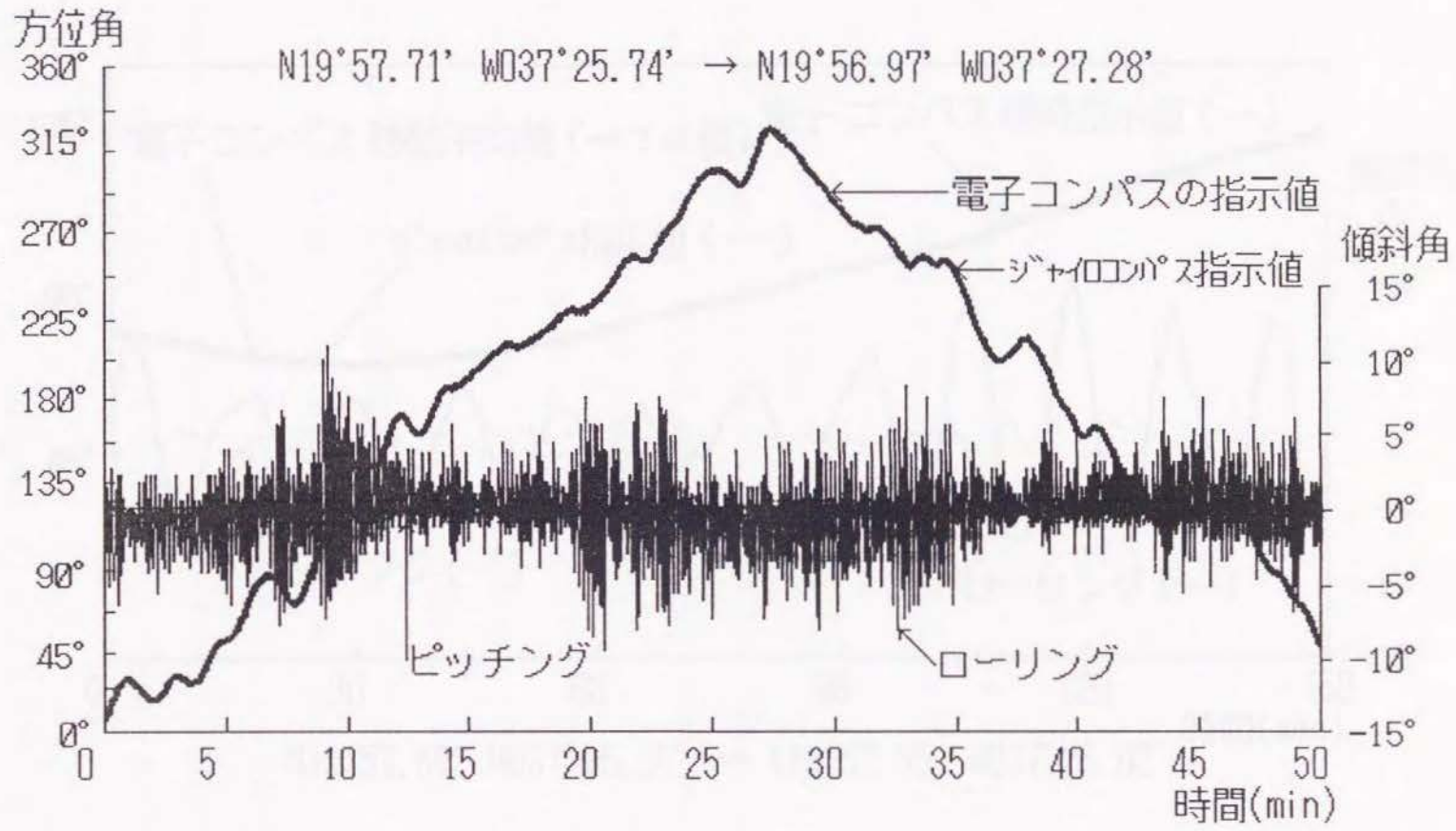


図6.4 方位角係数測定地点での自差補正結果

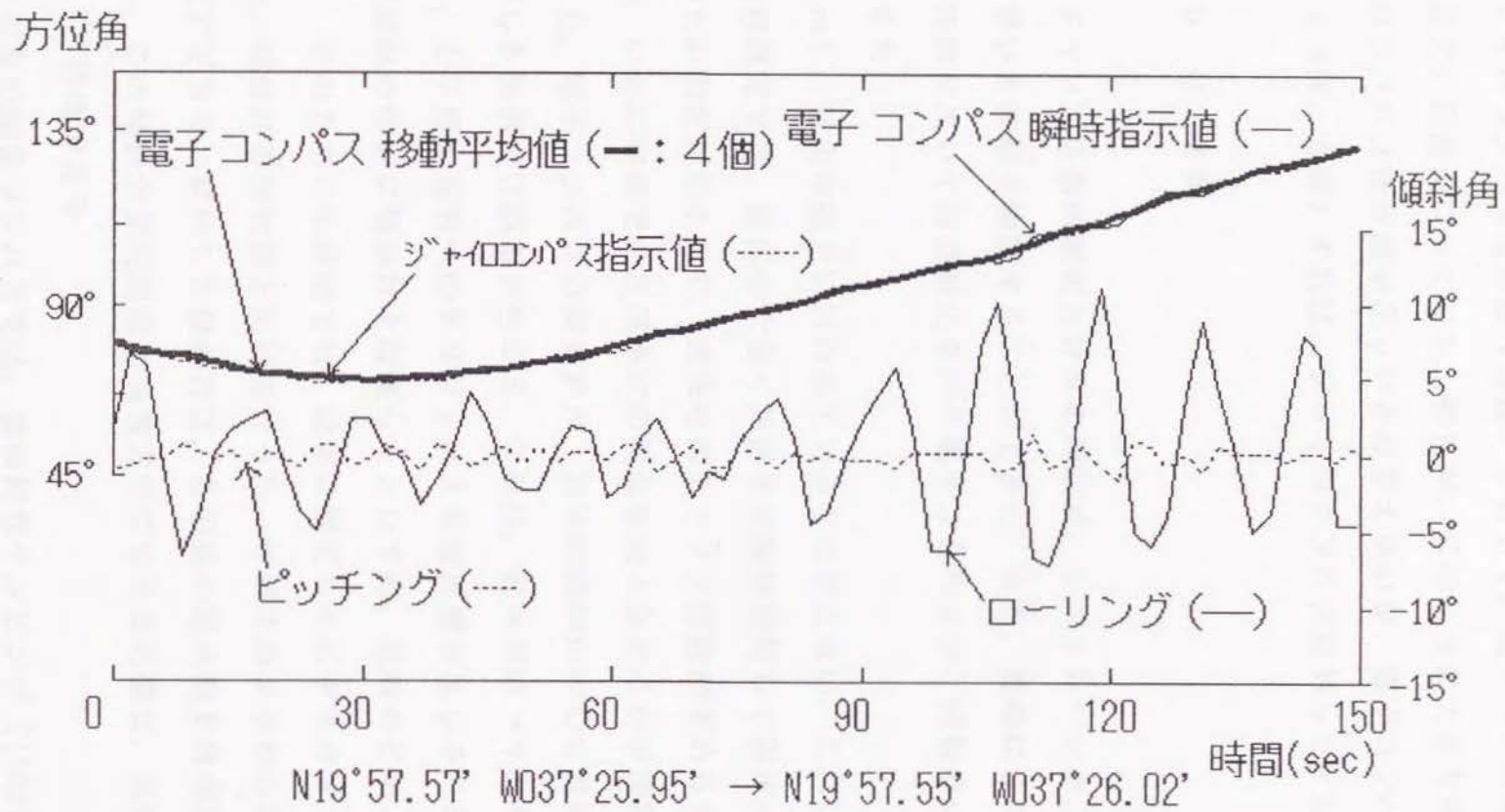


図6.5 方位角係数測定値点での自差補正結果 (図6.4の部分)

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、電子コンパスの瞬時指示値（実線）は、最大 5° 程度異なっていた。船体が、このように大きな動揺している場合、ジャイロコンパス指示値が正しいとは言えないが、電子コンパス瞬時指示値を移動平均（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。

6. 3 考察

ポアッソン係数の測定と計算の理論が、シミュレーションだけでなく、既知磁石を用いた実験で確認することができた。また、実船による実験の結果、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。

また、電子コンパスの傾斜計が、船体の傾斜の中心に設置されていないことで、測定した傾斜角に誤差が生じる。これは、船体がローリングとピッチングだけでなく、上下動や左右へのドリフトによる加速度が生じることによる。この誤差は、仮に傾斜の中心に傾斜計を設置したとしても、現有のどのような傾斜計でも生じる。そのためこの研究では、船体に固定したビデオカメラを用いて水平線を撮影し、傾斜計の測定値と比較を行った。ビデオカメラから読み取とれる最小傾斜角は 2° であり、試作した傾斜計は、この最小読み取り角度以内の精度を有する。また、この傾斜角測定誤差が船首方位に与える影響は、表6.2に示した傾船差係数から 1° 程度である。

在来型の磁気コンパスでは、機械的なダンピング（IS0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。

表 6 . 3 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	10.0°W
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

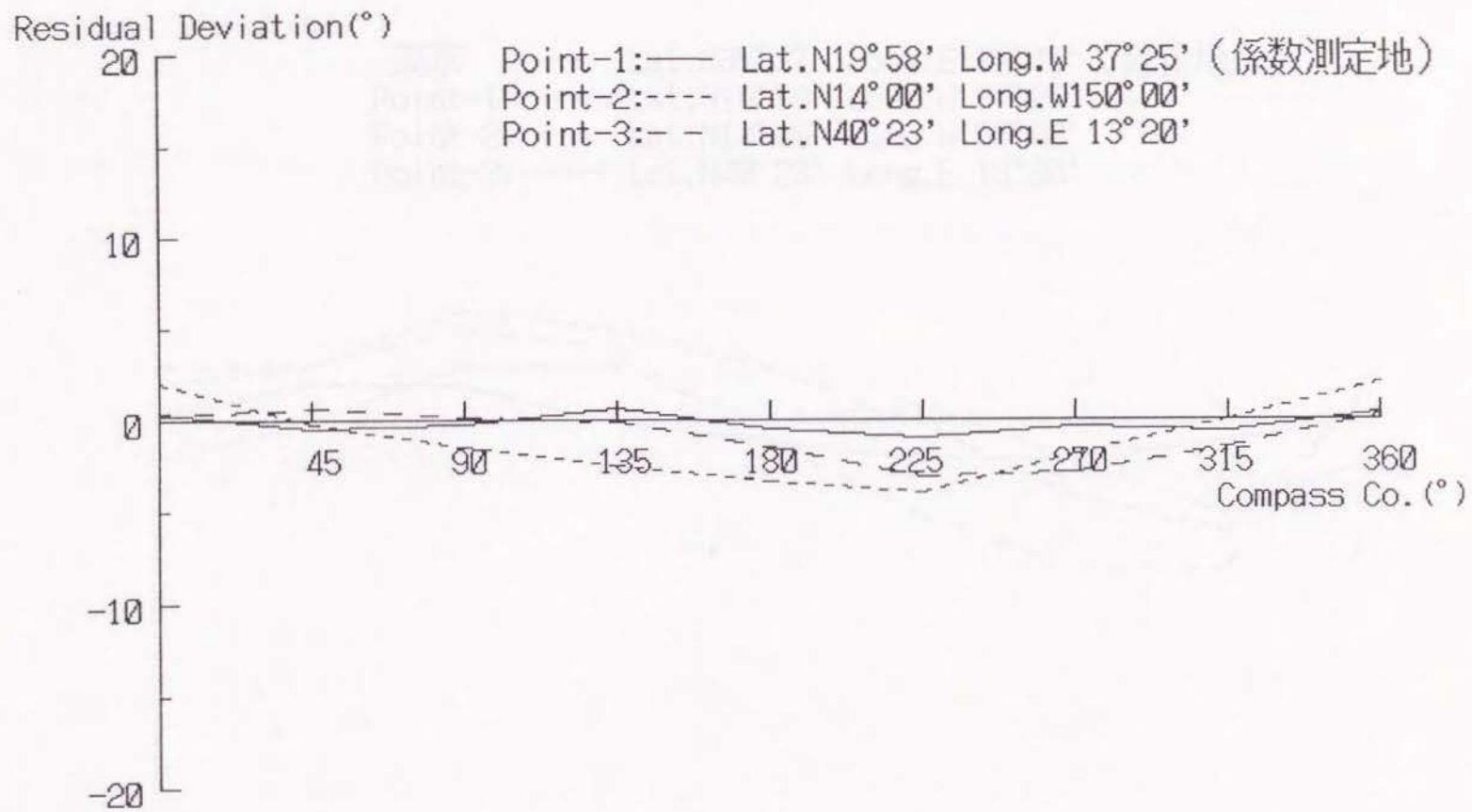


図 6 . 6 ホアツン補正後の残存自差曲線

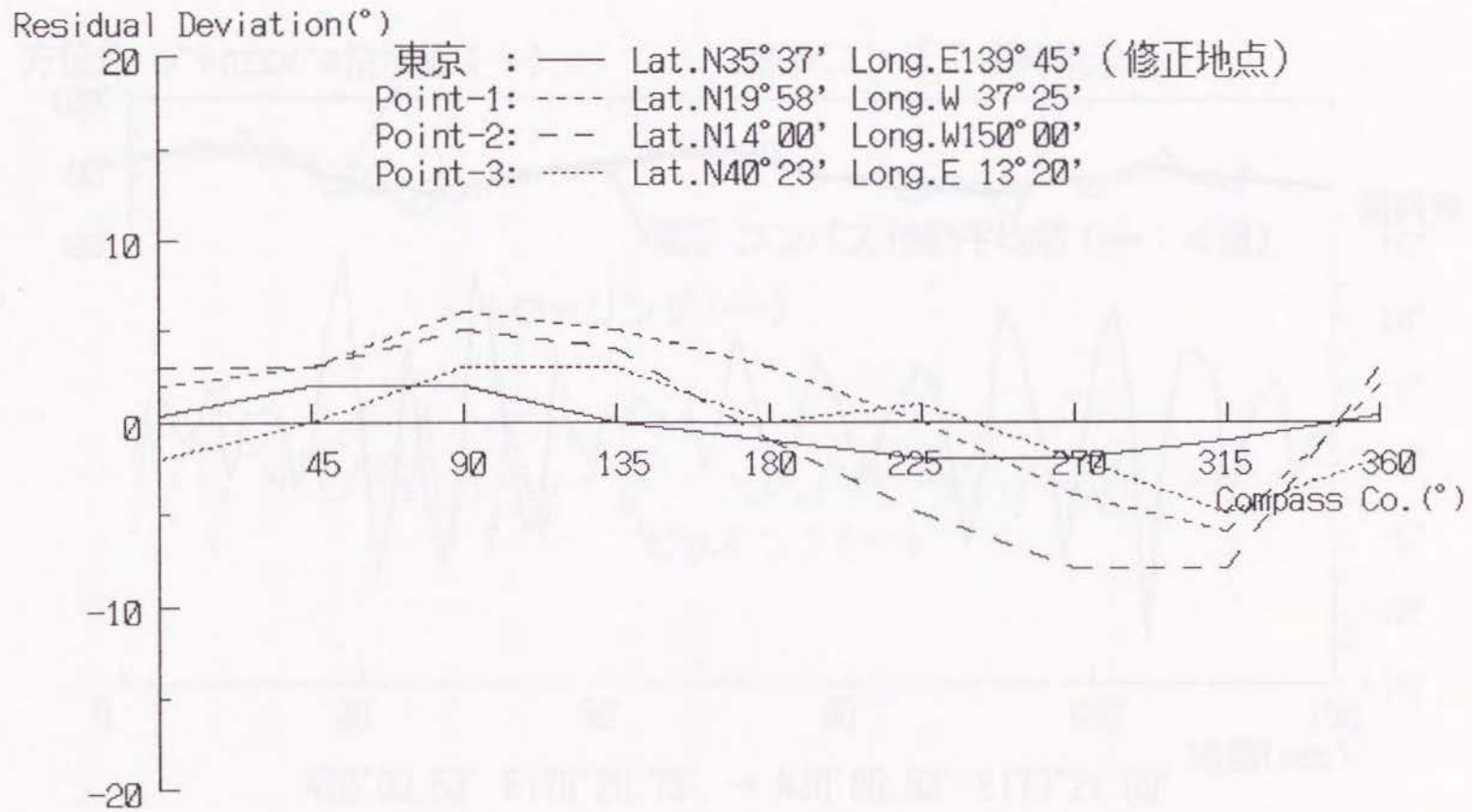
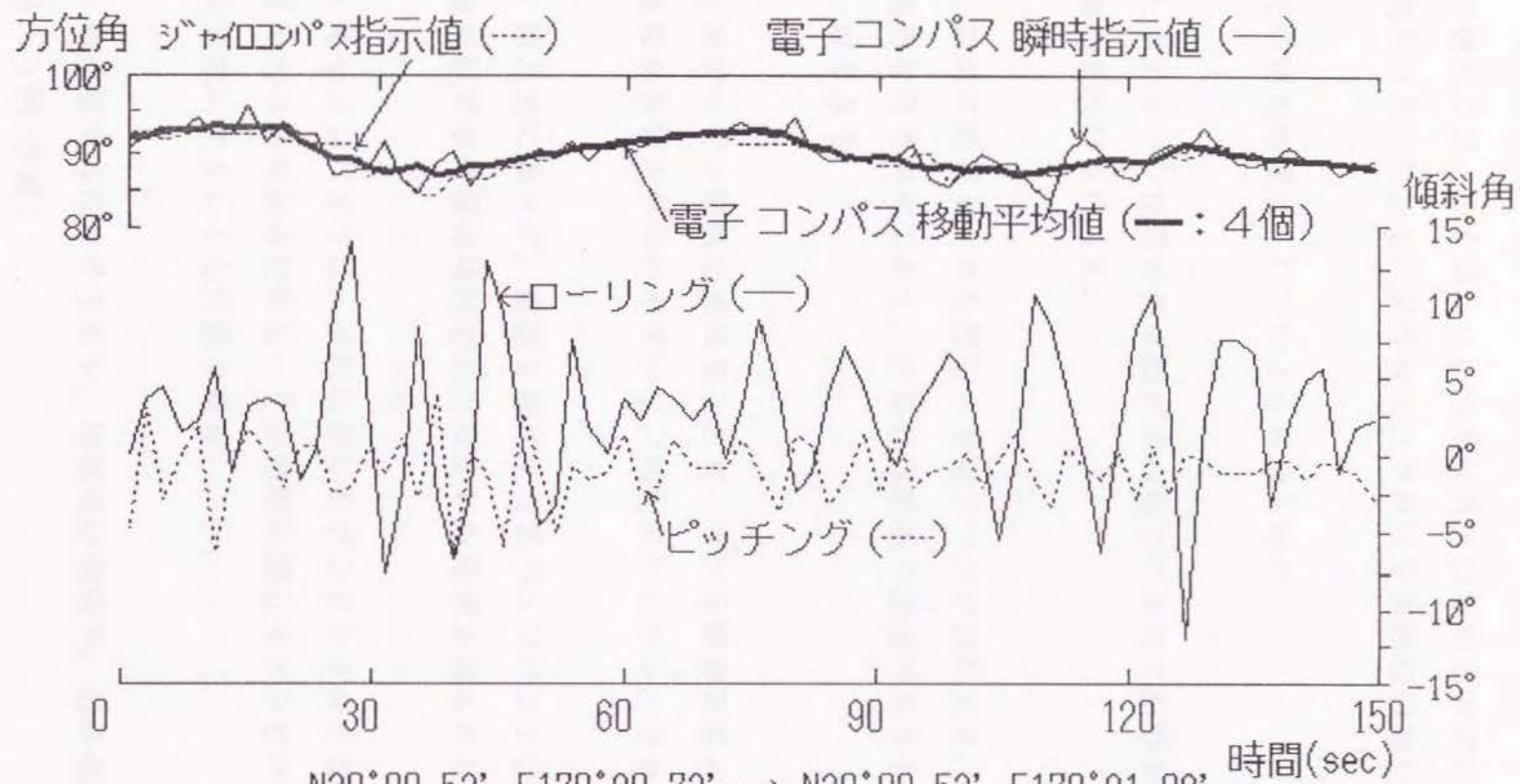


図6.7 海鷹丸に装備された磁気コンパスの磁気緯度に対する残存自差の変化



N30°00.53' E170°20.73' → N30°00.53' E170°21.09'
 ホアツン係数測定点: Lat. N19°58.00' Long. W37°25.00'

図6.8 航行中の電子コンパス実験結果一例

第7章 結論

本研究では、全く新しい方法で船首方位を得る方式のコンパスを考案し、それを試作した。そして、試作したコンパスを実船に装備して、その実用性を確認した。

その研究成果は、以下のように示される。

1) ポアッソン係数の各係数が船内磁界に及ぼす影響が具体的にグラフで示され、理論の裏付けを行った。

2) 船体に磁気センサを固定する電子コンパスにより、在来型の磁気コンパスの平面的な自差測定でなく、自差と傾船差の原因であるポアッソン係数を測定することができる。

3) ポアッソン係数を求めることで、3次元的な自差の補正が行え、磁気緯度の変化にも影響されないポアッソン補正をシミュレーションと実船実験で確立した。

4) 指北力に頼らず、磁気を測定する電子コンパスでは、高緯度のような地磁気の水平磁界が微弱な地域でも、安定した指示を得ることができる。

5) 電子コンパスでは、天候に適したダンピングを行な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。

6) 船首磁気方位だけでなく、地磁気の情報や、船体の傾斜状態を瞬時に表示できる。（図7参照）

7) 他の航法計器などへの方位信号が容易に出力でき、レピータの増設が可能である。そのため、コンパスカードから物標方位などを読み取るのではなく、目標を

スコープなどで目視するだけで、その目標方位を表示させることが可能である。

8) ジンバルを必要としないので、超小型化が可能である。

以上のことをふまえ、理想の電子コンパスの仕様を下記に示す。

電子コンパス仕様草案

演算方式	: マイクロプロセッサによるデジタル方式
指示精度	: $\pm 1^\circ$
方位分解能	: 0.2°
旋回追従誤差	: $180^\circ/\text{min}$ 旋回で偏角 $\pm 2^\circ$ 以下
自差修正方式	: 自動自差補正 (ホアツシ自差係数を用いた方式)
出力方式	: RS232Cに準拠, ハイリ-BCD等
動揺自由度	: $\pm 45^\circ$ (ローリング, ピッチング共)
耐震性	: IS0613 磁気コンパス, ヒナカ及び方位測定具-クラスB に準拠
使用温度	: $-20^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$
付加機能	: 船体傾斜表示, 現在位置地磁気強度表示 天候調整 (時定数調整)

最後に、船など種々の移動体の高性能の方位センサが要求されている。それは、超小型で、方位の電気出力を有し、高精度な電子コンパスでなければならない。今後、新型のジャイロコンパスが開発される可能性もあるが、地球の自転を利用している限り、電源投入後から直ちに北を指すことは困難であろう。そのため、地磁気を利用したコンパスは今後とも多用されよう。

この電子コンパスは、船舶のみならず、水中探査のビークルや海洋観測機器、さらにはバイオテレメトリーにおける魚などの移動方向の観測への応用が考えられる。

Date 1990-11-18
 Time 03:24:30
 Lat. N 30-00.12
 Lon. E160-35.48.
 H 0.28 uT
 U 0.26 uT
 Var. 0.00 °

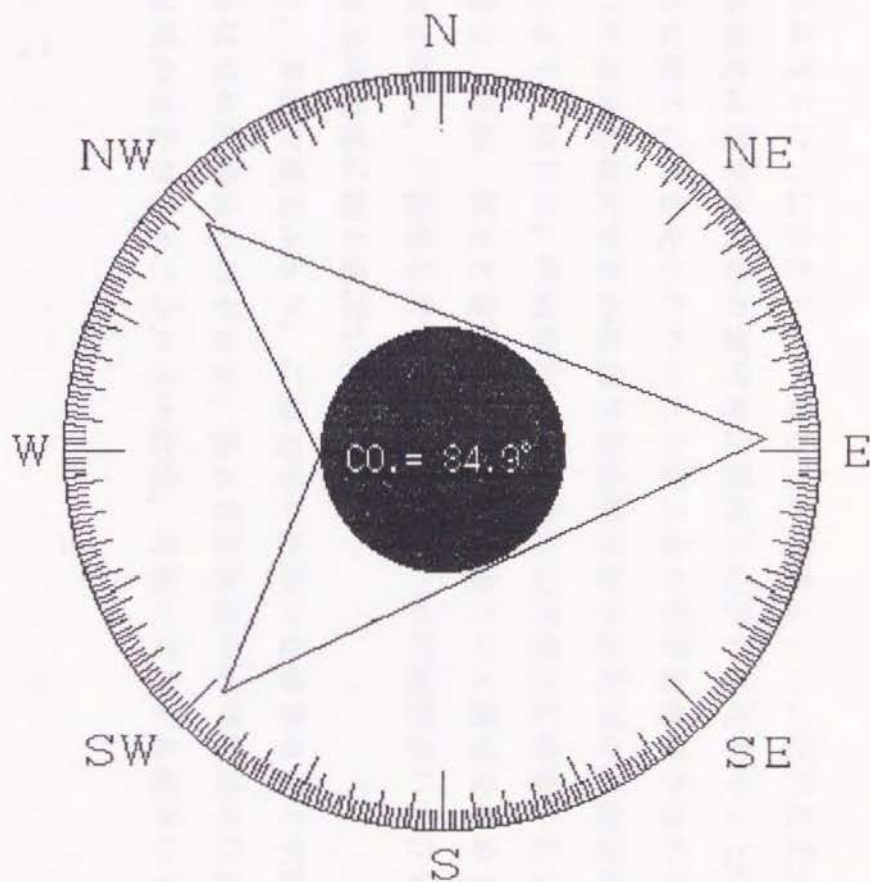
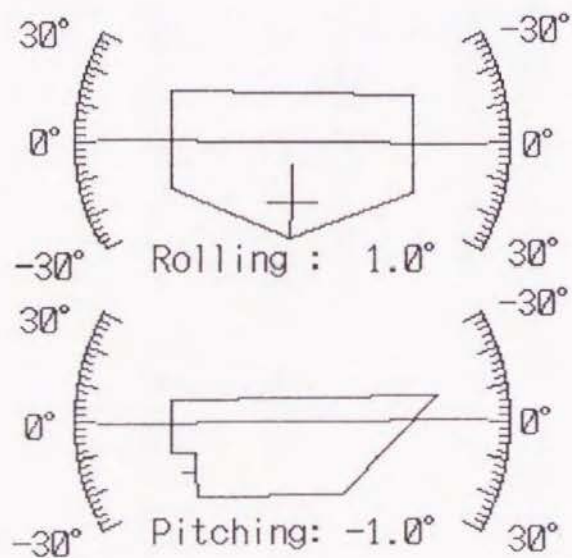


図7 電子コンパス表示画面一例

謝辞

この研究を行うにあたり、一貫してご指導していただいた東京水産大学海洋生産学科漁船計器学研究室の濱田悦之教授に心からお礼を申し上げます。また、いろいろな面でご助言をいただいた千葉工業大学精密機械学科の白井靖之助教授、ならびに東京水産大学海洋生産学科漁船計器学研究室の斎藤清隆助手に感謝の意を表します。同じく、同研究室のみなさんのご協力に感謝いたします。

筆者は、学部、修士と電子コンパスを開発すべく研究を進めてきた。この一連の研究に関し、ご指導を受け、その後も数々のご助言をいただいた東京水産大学鈴木裕名誉教授に深く感謝いたします。

また、実船実験にあたり、ご協力をいただいた東京水産大学研究練習船井上清船長をはじめ乗組員のみなさま、第38期専攻科の学生諸君に感謝いたします。

本研究の成果が電子コンパスの改良、発展に寄与すれば幸いである。

引用文献

- (1) 鈴木裕 ほか：デジタル指示磁気コンパスの試作と性能に関する研究，
日本航海学会論文集，60号，p. 29-36，昭和54年
- (2) 白井靖幸ほか：3軸磁界測定器による船内磁界の測定，
日本航海学会論文集，74号，p. 139-146，昭和61年
- (3) 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号，p. 55-61，平成元年
- (4) 白井靖幸ほか：磁気コンパスボウルの動揺に伴うカードの動きについて，
日本航海学会論文集，70号，p. 65-69，昭和59年
- (5) 鈴木裕 ほか：磁気コンパスと自差修正，成山堂書店，昭和58年
- (6) 鈴木裕 ：船舶用磁気コンパスの性能改善に関する研究，
東京水産大学特別研究報告，第6巻，第3号，p. 2，1962年
- (7) 清水信吉ほか：磁気センサとその応用，
FUJITSU. 40, 4, p. 235-241, 07, 1989年
- (8) 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号，p. 1-5，平成2年
- (9) 宮本佳則ほか：電子磁気コンパスの傾船差補正について，
日本航海学会論文集，86号，p. 121-127，平成4年

付録

本論文のパーソナルコンピュータを用いたシミュレーションと、電子コンパスの各センサのワンチップCPU、処理/表示に用いたパーソナルコンピュータのためのプログラムを付録として記載する。

最初に、第4章のポアソン係数を用いたシミュレーションで用いたプログラムの内、[4.1 地磁気に変化しない場合]の船内磁界に使用したプログラム”SHIP-MAG”を示す。このプログラムは、N88BASICで書かれていて、2140行以降が、シミュレーションに用いたポアソン係数の設定値である。

2番目に、実船実験で用いた電子コンパスのシステムで、各センサからの信号処理、フロッピーディスクへの記録、液晶ディスプレイへの各センサの測定値表示を行ったパーソナルコンピュータのプログラム”ELECTRIC MAGNETIC COMPASS”を示す。これは、Quick BASICの文法で記述されている。

3番目には、磁気センサのワンチップCPUに用いたプログラム”MAGNETIC SENSORS”，4番目には傾斜計”CLINOMETER”の、5番目にはGPSとジャイロコンパスの取り込み用のプログラム”GYRO-GPS”のリストを示す。これら3つのプログラムは、Z80CPUの機械語で記述されている。

```

1000 '
1010 ' SHIP-MAG",A'
1020 ' " 船内磁界カーブ "
1030 '
1040 ' BY Y.MIYAMOTO
1050 '
1060 '
1070 GOSUB #INIT
1080 GOSUB #PARA
1090 GOSUB #AXIS
1100 GOSUB #DELTA
1110 END
1120 '
1130 #INIT '初期設定
1140 PI=3.14159 :RAD=PI/180
1150 WIDTH 80,25:CONSOLE ,,0:SCREEN 3,,0,1:CLS 3:WIDTH LPRINT 80
1160 SX0=48:SY0=160:XMAX=360:XSCALE=560/XMAX:MMA=40:YSCALE=140/MMA
1170 DMAX=40*RAD:DSCALE=140/DMAX
1180 DIM X(360),Y(360),Z(360),H(360),D(360),CD(360)
1190 RETURN
1200 '
1210 #PARA 'パラメーター
1220 EH=30 :BETA=30*RAD :EZ=EH*TAN(BETA)
1230 READ A,B,C,P
1240 READ D,E,F,Q
1250 READ G,H,K,R
1260 RAMDA=1+(A+E)/2
1270 AO=(D-B)/2/RAMDA:BO=(C*TAN(BETA)+P/EH)/RAMDA
1280 CO=(F*TAN(BETA)+Q/EH)/RAMDA:DO=(A-E)/2/RAMDA:EO=(D+B)/2/RAMDA
1290 LOCATE 16,20
1300 PRINT USING"H =##.#uT Z =##.#uT β=##.#°";EH,EZ;BETA/RAD
1310 LOCATE 16,21
1320 PRINT USING"a =##.### b =##.### c =##.### P =##.#uT";A;B;C;P
1330 LOCATE 16,22
1340 PRINT USING"d =##.### e =##.### f =##.### Q =##.#uT";D;E;F;Q
1350 LOCATE 16,23
1360 PRINT USING"g =##.### h =##.### k =##.### R =##.#uT";G;H;K;R;
1370 PRINT USING" λ =##.###";RAMDA
1380 LOCATE 16,24
1390 PRINT USING"A =##.##° B =##.##° C =##.##° ";AO/RAD;BO/RAD;CO/RAD;
1400 PRINT USING"D =##.##° E =##.##°";DO/RAD;EO/RAD;:LOCATE 0,0
1410 RETURN
1420 '
1430 #DELTA
1440 FOR I=0 TO 360 STEP 15
1450 CM=I*RAD
1460 X(I)= EH*COS(CM)+A*EH*COS(CM)-B*EH*SIN(CM)+C*EZ+P
1470 Y(I)=-EH*SIN(CM)+D*EH*COS(CM)-E*EH*SIN(CM)+F*EZ+Q
1480 Z(I)= EZ +G*EH*COS(CM)-H*EH*SIN(CM)+K*EZ+R
1490 H(I)=SQR(X(I)*X(I)+Y(I)*Y(I))
1500 TAND= AO+BO*SIN(CM)+CO*COS(CM)+DO*SIN(2*CM)+EO*COS(2*CM)

```

```

1510 TAND=TAND/(1+B0*COS(CM)-C0*SIN(CM)+D0*COS(2*CM)-E0*SIN(2*CM))
1520 D(1)=ATN(TAND)
1530 CC=ATN(X(1)/Y(1))
1540 IF Y(1)<0 THEN CC=CC+PI/2
1550 IF Y(1)>0 THEN CC=CC+PI/2*3
1560 IF CC>=PI*2 THEN CC=CC-PI*2
1570 IF CM<PI/2 AND CC>PI/2*3 THEN CC=CC-PI*2
1580 CD(1)=CM-CC
1590 X=SX0+I*XSCALE
1600 Y=SY0- X(1)*YSCALE:IF I THEN LINE(XX,YX)-(X,Y),1,,&H3333 ELSE PSET(X,Y)
1610 YX=Y
1620 Y=SY0- Y(1)*YSCALE:IF I THEN LINE(XX,YY)-(X,Y),2,,&H0A0A ELSE PSET(X,Y)
1630 YY=Y
1640 Y=SY0- Z(1)*YSCALE:IF I THEN LINE(XX,YZ)-(X,Y),3,,&HFO0F ELSE PSET(X,Y)
1650 YZ=Y
1660 Y=SY0- H(1)*YSCALE:IF I THEN LINE(XX,YH)-(X,Y),4,,&HF99F ELSE PSET(X,Y)
1670 YH=Y
1680 Y=SY0- D(1)*DSCALE:IF I THEN LINE(XX,YD)-(X,Y),5 ELSE PSET(X,Y)
1690 YD=Y
1700 Y=SY0-CD(1)*DSCALE:PSET(X,Y),6
1710 YC=Y:XX=X
1720 NEXT I
1730 X=SX0+180*XSCALE:Y=SY0-X(180)*YSCALE+ 4
1740 PUT(X ,Y ),KANJI(ASC("X")),,1,0
1750 PUT(X+16,Y ),KANJI(ASC("u")),,1,0:PUT(X+24,Y ),KANJI(ASC("T")),,1,0
1760 X=SX0+ 90*XSCALE:Y=SY0-Y( 90)*YSCALE+ 4
1770 PUT(X ,Y ),KANJI(ASC("Y")),,2,0
1780 PUT(X+16,Y ),KANJI(ASC("u")),,2,0:PUT(X+24,Y ),KANJI(ASC("T")),,2,0
1790 X=XX:Y=YZ-8
1800 PUT(X ,Y ),KANJI(ASC("Z")),,3,0
1810 PUT(X+16,Y ),KANJI(ASC("u")),,3,0:PUT(X+24,Y ),KANJI(ASC("T")),,3,0
1820 X=SX0+315*XSCALE:Y=SY0-H(315)*YSCALE-16:IF Y<0 THEN Y=0
1830 PUT(X ,Y ),KANJI(ASC("H")),,4,0:PUT(X+ 8,Y ),KANJI(ASC("")),,4,0
1840 PUT(X+16,Y ),KANJI(ASC("u")),,4,0:PUT(X+24,Y ),KANJI(ASC("T")),,4,0
1850 X=XX:Y=YD-8
1860 PUT(X ,Y ),KANJI(VAL("&H"+JIS$(" 8"))),PSET,5,0
1870 PUT(X+16,Y ),KANJI(ASC("")),,5,0
1880 RETURN
1890 '
1900 #AXIS ' 画面作成
1910 FOR M=-MMAX TO MMAX STEP 10
1920 IF ABS(M)<.01 THEN M=0
1930 Y=SY0-M*YSCALE:IF M=-MMAX THEN PSET(SX0+6,Y)
1940 LINE-(SX0,Y)
1950 X=SX0-4*8
1960 D$=RIGHT$(STR$(M),3):LEND=LEN(D$)
1970 FOR I=1 TO LEND:PUT(X,Y-8),KANJI(ASC(MID$(D$,I,1))):X=X+8: NEXT I
1980 LINE(SX0+6,Y)-(SX0,Y)
1990 NEXT M
2000 PSET(SX0,SY0):Y=SY0
2010 FOR T=45 TO XMAX STEP 45

```

```

2020 X= SX0+T*XSCALE
2030 LINE-(X,SY0)
2040 XX=X-2.5*8
2050 D$=STR$(T):LEND=LEN(D$)
2060 FOR I=1 TO LEND:PUT(XX,Y+4),KANJI(ASC(MID$(D$,I,1))):XX=XX+8: NEXT I
2070 LINE(X,Y-6)-(X,Y)
2080 NEXT T
2090 XX= SX0+XMAX*XSCALE-5*8:YY=Y+24
2100 PUT(XX,YY),KANJI(VAL("&H"+JIS$("θ"))):XX=XX+16
2110 D$="m°":LEND=LEN(D$)
2120 FOR I=1 TO LEND:PUT(XX,YY),KANJI(ASC(MID$(D$,I,1))):XX=XX+8: NEXT I
2130 RETURN
2140 'パラメータDATA
2150 '
2160 DATA 0 ,0 ,0 ,0
2170 DATA 0 ,0 ,0 ,0
2180 DATA 0 ,0 ,0 ,0
2190 '
2200 'DATA 0 ,0 ,0 ,1.5
2210 'DATA 0 ,0 ,0 ,1.5
2220 'DATA 0 ,0 ,0 ,1.5
2230 '
2240 'DATA 0.1 ,0 ,0 ,0
2250 'DATA 0.1 ,0 ,0 ,0
2260 'DATA 0.1 ,0 ,0 ,0
2270 '
2280 'DATA 0 ,0.1 ,0 ,0
2290 'DATA 0 ,0.1 ,0 ,0
2300 'DATA 0 ,0.1 ,0 ,0
2310 '
2320 'DATA 0 ,0 ,0.1 ,0
2330 'DATA 0 ,0 ,0.1 ,0
2340 'DATA 0 ,0 ,0.1 ,0
2350 '
2360 'DATA 0.1 ,0.1 ,0 ,0
2370 'DATA 0.1 ,0.1 ,0 ,0
2380 'DATA 0.1 ,0.1 ,0 ,0
2390 '
2400 'DATA 0.1 ,0 ,0.1 ,0
2410 'DATA 0.1 ,0 ,0.1 ,0
2420 'DATA 0.1 ,0 ,0.1 ,0
2430 '
2440 'DATA 0.1 ,0 ,0 ,1.5
2450 'DATA 0.1 ,0 ,0 ,1.5
2460 'DATA 0.1 ,0 ,0 ,1.5
2470 '
2480 'DATA 0 ,0.1 ,0.1 ,0
2490 'DATA 0 ,0.1 ,0.1 ,0
2500 'DATA 0 ,0.1 ,0.1 ,0
2510 '
2520 'DATA 0 ,0.1 ,0 ,1.5

```


2530	'DATA	0	,0.1	,0	,1.5
2540	'DATA	0	,0.1	,0	,1.5
2550	'				
2560	'DATA	0	,0	,0.1	,1.5
2570	'DATA	0	,0	,0.1	,1.5
2580	'DATA	0	,0	,0.1	,1.5
2590	'				
2600	'DATA	0.1	,0.1	,0.1	,0
2610	'DATA	0.1	,0.1	,0.1	,0
2620	'DATA	0.1	,0.1	,0.1	,0
2630	'				
2640	'DATA	0.1	,0.1	,0	,1.5
2650	'DATA	0.1	,0.1	,0	,1.5
2660	'DATA	0.1	,0.1	,0	,1.5
2670	'				
2680	'DATA	0.1	,0	,0.1	,1.5
2690	'DATA	0.1	,0	,0.1	,1.5
2700	'DATA	0.1	,0	,0.1	,1.5
2710	'				
2720	'DATA	0	,0.1	,0.1	,1.5
2730	'DATA	0	,0.1	,0.1	,1.5
2740	'DATA	0	,0.1	,0.1	,1.5
2750	'				
2760	'DATA	0.1	,0.1	,0.1	,1.5
2770	'DATA	0.1	,0.1	,0.1	,1.5
2780	'DATA	0.1	,0.1	,0.1	,1.5
2790	'				


```

OUT &H7D0, 1
OPEN "COM1:4800,N,8,1,ASC" FOR RANDOM AS #1
  PRINT #1, "S"
  INPUT #1, ROLL$, PITCH$
CLOSE #1

```

```

OUT &H7D0, 2
OPEN "COM1:1200,N,8,1,ASC" FOR RANDOM AS #1
  PRINT #1, "Y"
  INPUT #1, GYCO$
  PRINT #1, "P"
  INPUT #1, SECN$, GYGP$, LATT$, LNGT$, GPCO$, KNOT$, PDOP$, STAT$
CLOSE #1

```

```

VX! = ((VAL("&H" + LEFT$(X$, 3))) - 2048) / 4096 * 10
VY! = ((VAL("&H" + LEFT$(Y$, 3))) - 2048) / 4096 * 10
VZ! = ((VAL("&H" + LEFT$(Z$, 3))) - 2048) / 4096 * 10

```

```

ROLL% = (((VAL("&H" + ROLL$)) / 256 * 50) - 25) / 4.5 * 10
PITC% = (((VAL("&H" + PITCH$)) / 256 * 50) - 25) / 4.5 * 10
PIT! = PITC% * RAD!: ROL! = ROLL% * RAD!
PIT! = ATN(TAN(PIT!)) * COS(ROL!)

```

```

SS! = (1+PA!) * (1 + PE!) * (1 + PK!)+PD! * PH! * PC! + PG! * PB! * PF!
SS! = SS!-(PG!* (1 + PE!)*PC!+(1 + PA!)* PH! * PF! + PD! * PB! * (1 + PK!))
SX! = (VX!-PP!)*(1+PE!) * (1+PK!)+(VY!-PQ!) * PH!* PC!+(VZ!-PR!) * PB! * PF!
SX! = SX!-((VZ!-PR!)*(1+PE!)*PC!+(VX!-PP!)*PH!*PF!+(VY!-PQ!)*PB!*(1 + PK!))
SY! = (1+PA!)*(VY!-PQ!)*(1+PK!)+PD!*(VZ!-PR!)*PC! + PG! * (VX! - PP!) * PF!
SY! = SY!-(PG!* (VY!-PQ!)*PC!+(1+PA!)*(VZ!-PR!)*PF!+PD!*(VX!-PP!)*(1 + PK!))
SZ! = (1+PA!)*(1+PE!)*(VZ!-PR!)+PD!*PH!* (VX!-PP!) + PG! * PB! * (VY! - PQ!)
SZ! = SZ!-(PG!* (1+PE!)*(VX!-PP!)+(1+PA!)*PH!* (VY!-PQ!)+PD!*PB!*(VZ! - PR!))
X1! = SX! / SS!: Y1! = SY! / SS!: Z1! = SZ! / SS!

```

```

YY! = Y1! * COS(ROL!) - Z1! * SIN(ROL!)
ZZ! = Y1! * SIN(ROL!) + Z1! * COS(ROL!)
XX! = ZZ! * SIN(PIT!) + X1! * COS(PIT!)
ZZ! = ZZ! * COS(PIT!) - X1! * SIN(PIT!)

```

```

IF XX! THEN CO! = ATN(-YY! / XX!)
IF XX! = 0 THEN
  IF YY! > 0 THEN CO! = PI! / 2 ELSE CO! = -PI!
END IF
IF XX! < 0 AND YY! > 0 THEN CO! = CO! + PI!
IF XX! < 0 AND YY! < 0 THEN CO! = CO! - PI!
IF XX! < 0 AND YY! = 0 THEN CO! = PI!
IF CO! < 0 THEN CO! = CO! + PI! + PI!
MCO! = CO! / RAD!: IF MCO! > 359.95 THEN MCO! = 0

```

```

GCO! = VAL(MID$(GYCO$, 1, 3)) + VAL(MID$(GYCO$, 4, 1)) / 6

```

```

LTMS$ = MID$(LATT$, 1, 1)
IF LTMS$="0" THEN LTMS$="N" ELSE IF LTMS$ = "1" THEN LTMS$ = "S" ELSE LTMS$ = "?"
LTMS$ = LTMS$ + MID$(LATT$, 2, 2) + "-"
LTMS$ = LTMS$ + MID$(LATT$, 4, 2) + "."
LTMS$ = LTMS$ + RIGHT$(LATT$, 2)

```

```

LGMS$ = MID$(LNGT$, 1, 1)
IF LGMS$="0" THEN LGMS$="E" ELSE IF LGMS$ = "1" THEN LGMS$ = "W" ELSE LGMS$ = "?"
LGMS$ = LGMS$ + MID$(LNGT$, 2, 3) + "-"
LGMS$ = LGMS$ + MID$(LNGT$, 5, 2) + "."
LGMS$ = LGMS$ + RIGHT$(LNGT$, 2)

```

```

PRINT T$; USING "###.###"; VX!; VY!; VZ!;
PRINT USING "####.#"; ROLL%; PITCH%; MCO!; GCO!;
PRINT " "; LTMS$; " "; LGMS$; " "; STAT$

```

```

WRITE #2, DAY$, T$, X$, Y$, Z$, ROLL$, PITCH$, GYCO$, SECN$, GYGP$, LATT$, LNGT$, GPCO$,
KNOT$, PDOP$, STAT$

```

```

N = LOC(2)

```

```

Y = CSRLIN

```

```

VIEW PRINT

```

```

LOCATE 22, 20: IF DRIVES$ = "A:" THEN PRINT "A:"; USING "####"; N

```

```

LOCATE 22, 60: IF DRIVES$ = "B:" THEN PRINT "B:"; USING "####"; N

```

```

IF N > 9766 THEN

```

```

    IF DRIVES$ = "A:" THEN DRIVES$ = "B:"

```

```

    IF DRIVES$ = "B:" THEN DRIVES$ = "A:"

```

```

END IF

```

```

VIEW PRINT VIEWHI TO VIEWLO

```

```

LOCATE Y

```

```

END IF

```

```

I$ = INKEY$

```

```

I = ASC(RIGHT$("00" + I$, 1))

```

```

SELECT CASE I

```

```

CASE &H3B: INTERVAL = FK(1)

```

```

CASE &H3C: INTERVAL = FK(2)

```

```

CASE &H3D: INTERVAL = FK(3)

```

```

CASE &H3E: INTERVAL = FK(4)

```

```

CASE &H3F: INTERVAL = FK(5)

```

```

CASE &H44: EXIT DO

```

```

END SELECT

```

```

Y = CSRLIN

```

```

VIEW PRINT

```

```

LOCATE 24, 1

```

```

FOR FK = 1 TO 10

```

```

    IF FK(FK) = INTERVAL THEN COLOR 31 ELSE COLOR 15

```

```

    IF FK(FK) > 0 THEN PRINT " "; USING "##"; FK(FK); : PRINT " ";

```

```

    IF FK(FK) = 0 THEN PRINT " "; ELSE IF FK(FK) < 0 THEN PRINT " Finsh ";

```

```

    COLOR 0

```

```

    IF FK = 5 THEN PRINT " "; ELSE IF FK < 10 THEN PRINT " ";

```

NEXT FK
 COLOR 7
 VIEW PRINT VIEWHI TO VIEWLO
 LOCATE Y

LOOP
 END

LINE	VIEWHI	VIEWLO	VIEW	VIEW
01	0000	0000	0000	0000
02	0000	0000	0000	0000
03	0000	0000	0000	0000
04	0000	0000	0000	0000
05	0000	0000	0000	0000
06	0000	0000	0000	0000
07	0000	0000	0000	0000
08	0000	0000	0000	0000
09	0000	0000	0000	0000
10	0000	0000	0000	0000
11	0000	0000	0000	0000
12	0000	0000	0000	0000
13	0000	0000	0000	0000
14	0000	0000	0000	0000
15	0000	0000	0000	0000
16	0000	0000	0000	0000
17	0000	0000	0000	0000
18	0000	0000	0000	0000
19	0000	0000	0000	0000
20	0000	0000	0000	0000
21	0000	0000	0000	0000
22	0000	0000	0000	0000
23	0000	0000	0000	0000
24	0000	0000	0000	0000
25	0000	0000	0000	0000
26	0000	0000	0000	0000
27	0000	0000	0000	0000
28	0000	0000	0000	0000
29	0000	0000	0000	0000
30	0000	0000	0000	0000
31	0000	0000	0000	0000
32	0000	0000	0000	0000
33	0000	0000	0000	0000
34	0000	0000	0000	0000
35	0000	0000	0000	0000
36	0000	0000	0000	0000
37	0000	0000	0000	0000
38	0000	0000	0000	0000
39	0000	0000	0000	0000
40	0000	0000	0000	0000
41	0000	0000	0000	0000
42	0000	0000	0000	0000
43	0000	0000	0000	0000
44	0000	0000	0000	0000
45	0000	0000	0000	0000
46	0000	0000	0000	0000
47	0000	0000	0000	0000
48	0000	0000	0000	0000
49	0000	0000	0000	0000
50	0000	0000	0000	0000
51	0000	0000	0000	0000
52	0000	0000	0000	0000
53	0000	0000	0000	0000
54	0000	0000	0000	0000
55	0000	0000	0000	0000
56	0000	0000	0000	0000
57	0000	0000	0000	0000
58	0000	0000	0000	0000
59	0000	0000	0000	0000
60	0000	0000	0000	0000
61	0000	0000	0000	0000
62	0000	0000	0000	0000
63	0000	0000	0000	0000
64	0000	0000	0000	0000
65	0000	0000	0000	0000
66	0000	0000	0000	0000
67	0000	0000	0000	0000
68	0000	0000	0000	0000
69	0000	0000	0000	0000
70	0000	0000	0000	0000
71	0000	0000	0000	0000
72	0000	0000	0000	0000
73	0000	0000	0000	0000
74	0000	0000	0000	0000
75	0000	0000	0000	0000
76	0000	0000	0000	0000
77	0000	0000	0000	0000
78	0000	0000	0000	0000
79	0000	0000	0000	0000
80	0000	0000	0000	0000
81	0000	0000	0000	0000
82	0000	0000	0000	0000
83	0000	0000	0000	0000
84	0000	0000	0000	0000
85	0000	0000	0000	0000
86	0000	0000	0000	0000
87	0000	0000	0000	0000
88	0000	0000	0000	0000
89	0000	0000	0000	0000
90	0000	0000	0000	0000
91	0000	0000	0000	0000
92	0000	0000	0000	0000
93	0000	0000	0000	0000
94	0000	0000	0000	0000
95	0000	0000	0000	0000
96	0000	0000	0000	0000
97	0000	0000	0000	0000
98	0000	0000	0000	0000
99	0000	0000	0000	0000
100	0000	0000	0000	0000

```

1
2
3
4
5
6
7 0000 ROM EQU 0000H
8 8000 RAM EQU 8000H
9 A000 STACK EQU RAM+2000H
10
11 0000 MAGNET EQU ROM ;RAM
12 9500 BUFFER EQU RAM+1500H
13
14 0017 CTR EQU 17H
15 001A SIOBD EQU 1AH
16 001B SIOBC EQU 1BH
17
18 00FE ADCST EQU OFEH
19 00FF ADCCH EQU OFFH
20 00FE ADCHI EQU OFEH
21 00FF ADCLO EQU OFFH
22
23 ;;;;;;;;;;;;;;;;; LIBRARY ;;;;;;;;;;;;;;;;;
24
25 0000 STACKPNT MACRO ;スタックポインタ設定
26 0000 LD SP,STACK
27 0000 ENDM
28
29 0000 INTRS232 MACRO ;RS232C初期設定
30 0000 PUSH AF
31 0000 PUSH HL
32 0000 PUSH DE
33 0000 LD A,30H ;4800,9600,19200bps
34 0000 OUT (CTR),A
35 0000 LD A,18H
36 0000 OUT (SIOBC),A
37 0000 LD A,01H
38 0000 OUT (SIOBC),A
39 0000 LD A,00H
40 0000 OUT (SIOBC),A
41 0000 LD A,04H
42 0000 OUT (SIOBC),A
43 0000 LD A,44H ;2400, 1920bps (GPY 120)
44 0000 OUT (SIOBC),A
45 0000 LD A,03H
46 0000 OUT (SIOBC),A
47 0000 LD A,0C1H
48 0000 OUT (SIOBC),A
49 0000 LD A,05H
50 0000 OUT (SIOBC),A
51 0000 LD A,0EAH

```

52 0000		OUT	(S10BC),A	
53 0000		POP	DE	
54 0000		POP	HL	
55 0000		POP	AF	
56 0000		ENDM		
57				
58 0000	INTDATA	MACRO		;引数1,引数2 ;初期値設
59 0000		PUSH	DE	;引数1の値を引数2で示
60 0000		PUSH	HL	;すアドレスに転送する
61 0000		LD	DE,&1	
62 0000		LD	HL,&2	
63 0000		LD	(HL),E	
64 0000		INC	HL	
65 0000		LD	(HL),D	
66 0000		POP	HL	
67 0000		POP	DE	
68 0000		ENDM		
69				
70 0000	INPRS232	MACRO		;RS232C入力
71 0000		IN	A,(S10BC)	;RS232Cから 1バイトをAL
72 0000		BIT	0,A	;レジスタに入力する
73 0000		JR	Z,\$-4	
74 0000		IN	A,(S10BD)	
75 0000		ENDM		
76				
77 0000	ASCTOBIN	MACRO		;ASCIIイリ変換
78 0000		CP	'9'+1	;レジスタのASCIIコードをハ
79 0000		JR	C,\$+4	;イリ(4bit)に変換する
80 0000		SUB	7	;変換された結果はレジ
81 0000		AND	0FH	;スタ- に与えられる
82 0000		ENDM		
83				
84 0000	INPRSAS1	MACRO		;RS232C(ASCIIバイト)入力
85 0000		INPRS232		
86 0000		ASCTOBIN		
87 0000		ENDM		
88				
89 0000	INPRSAS2	MACRO		;引数 RS232C(ASC2
90 0000		PUSH	DE	;RS232CからHEXのASC変
91 0000		PUSH	HL	;換されたデータをcrまで
92 0000		PUSH	AF	;入力し,ハイリ-に変換
93 0000		LD	HL,0	;して引数(レジスタ,ア
94 0000		INPRS232		;ドレス)に得る. 入力は
95 0000		CP	0DH	;最後の2バイトが有効で
96 0000		JR	Z,\$+12H	;ある
97 0000		ASCTOBIN		
98 0000		ADD	HL,HL	
99 0000		ADD	HL,HL	
100 0000		ADD	HL,HL	
101 0000		ADD	HL,HL	
102 0000		OR	L	

103 0000		LD	L, A	
104 0000		JR	\$-1AH	
105 0000		POP	AF	
106 0000		EX	DE, HL	
107 0000		POP	HL	
108 0000		LD	&1, DE	
109 0000		POP	DE	
110 0000		ENDM		
111				
112 0000	RS232RST	MACRO		;RS232C入力リセット
113 0000		PUSH	AF	
114 0000		IN	A, (S10BC)	
115 0000		SRL	A	
116 0000		JR	NC, \$+6	
117 0000		IN	A, (S10BD)	
118 0000		JR	\$-8	
119 0000		POP	AF	
120 0000		ENDM		
121				
122 0000	OUTRS232	MACRO		;RS232C出力
123 0000		PUSH	AF	;レジスタの内容をRS232C
124 0000		IN	A, (S10BC)	;にそのまま出力する
125 0000		BIT	2, A	
126 0000		JR	Z, \$-4	
127 0000		POP	AF	
128 0000		OUT	(S10BD), A	
129 0000		ENDM		
130				
131 0000	BINTOASC	MACRO		;ASC(4ビット)変換
132 0000		OR	OFOH	;レジスタの下位 4ビットを
133 0000		DAA		;ASCコードに変換する。
134 0000		ADD	A, 0A0H	;結果はレジスタに得られ
135 0000		ADC	A, 40H	;る
136 0000		ENDM		
137				
138 0000	OUTRSAS1	MACRO		;引数 RS232C(1バイト)
139 0000		PUSH	AF	;引数(レジスタ, アドレス)の
140 0000		LD	A, &1	;内容をASCコードに変換
141 0000		PUSH	AF	;してRS232Cに2文字出
142 0000		RRCA		;力する
143 0000		RRCA		
144 0000		RRCA		
145 0000		RRCA		
146 0000		BINTOASC		
147 0000		OUTRS232		
148 0000		POP	AF	
149 0000		PUSH	AF	
150 0000		BINTOASC		
151 0000		OUTRS232		
152 0000		POP	AF	
153 0000		POP	AF	


```

154 0000                                ENDM
155
156 0000    OUTRSAS2  MACRO                ;引数      RS232C(2バイト)
157 0000                                PUSH      HL                ;引数(レジスタ,アドレス)
158 0000                                PUSH      AF                ;の内容を ASCコードに変
159 0000                                LD        HL,&1             ;換してRS232Cに 4文字
160 0000                                OUTRSAS1  H                ;出力する
161 0000                                OUTRSAS1  L
162 0000                                POP       AF
163 0000                                POP       HL
164 0000                                ENDM
165
166 0000    OUTRSBUF  MACRO                ;引数1,引数2;ハードウェアRS232C
167 0000                                PUSH      HL
168 0000                                PUSH      BC
169 0000                                LD        HL,&1
170 0000                                LD        B,&2
171 0000                                OUTRSAS1  (HL)
172 0000                                INC       HL
173 0000                                DJNZ     $-2EH
174 0000                                POP       BC
175 0000                                POP       HL
176 0000                                ENDM
177
178
179          ;;;;;;;;;; MAIN ;;;;;;;;;;
180
181 0000                                ORG      MAGNET
182
183 0000                                STACKPNT ;スタック・インタ設定
184 0003                                INTR232  ;SIOB(RS-232C)設定
185
186 0031 DB1B    LOOP:    IN      A,(SIOBC) ;RS232C入力チェック
187 0033 CB3F                                SRL      A
188 0035 D23100                                JP       NC,LOOP
189
190 0038          inpch:    INPRS232          ;RS232C入力
191 0040 FE53                                CP       'S'
192 0042 C2ED01                                JP       NZ,error
193
194 0045 0E00                                LD       C,0                ;レジスタに0セット
195 0047 3E03    adcloop: LD       A,3                ;3ch セット-サンプルホールドクリア
196 0049 D3FF                                OUT      (ADCCH),A          ;3chはクォントショート
197 004B 3E00                                LD       A,0
198 004D D3FE                                OUT      (ADCST),A          ;変換スタート
199 004F DBFF          slp1:    IN      A,(ADCLO)        ;ステータスチェック
200 0051 CB47                                BIT      0,A                ;変換開始?
201 0053 28FA                                JR       Z,slp1
202 0055 DBFF          slp2:    IN      A,(ADCLO)        ;ステータスチェック
203 0057 CB47                                BIT      0,A                ;変換終了?
204 0059 20FA                                JR       NZ,slp2

```

205			
206	005B	79	LD A,C ;ch set
207	005C	D3FF	OUT (ADCCH),A
208	005E	3E00	LD A,0
209	0060	D3FE	OUT (ADCST),A ;変換スタート
210	0062	DBFF	sloop1: IN A,(ADCLO) ;ステータスチェック
211	0064	CB47	BIT 0,A ;変換開始?
212	0066	28FA	JR Z,sloop1
213	0068	DBFF	sloop2: IN A,(ADCLO) ;ステータスチェック
214	006A	CB47	BIT 0,A ;変換終了?
215	006C	20FA	JR NZ,sloop2
216			
217	006E	79	LD A,C
218	006F	FE00	CP 0
219	0071	C28200	JP NZ,dout1
220	0074	DBFE	IN A,(ADCH1)
221	0076	320095	LD (ADCDAT0),A
222	0079	DBFF	IN A,(ADCLO)
223	007B	320195	LD (ADCDAT1),A
224	007E	0C	INC C
225	007F	C34700	JP adcloop
226			
227	0082	79	dout1: LD A,C
228	0083	FE01	CP 1
229	0085	C29600	JP NZ,dout2
230	0088	DBFE	IN A,(ADCH1)
231	008A	320295	LD (ADCDAT2),A
232	008D	DBFF	IN A,(ADCLO)
233	008F	320395	LD (ADCDAT3),A
234	0092	0C	INC C
235	0093	C34700	JP adcloop
236			
237	0096	DBFE	dout2: IN A,(ADCH1)
238	0098	320495	LD (ADCDAT4),A
239	009B	DBFF	IN A,(ADCLO)
240	009D	320595	LD (ADCDAT5),A
241			
242	00A0		RS232RST ;RS232C入力リセット
243	00AC		OUTRSAS1 (ADCDAT0) ;1バイトデータ出力
243	00B5		BINTOASC
243	00BC		OUTRS232
243	00C8		BINTOASC
243	00CF		OUTRS232
244	00DB		OUTRSAS1 (ADCDAT1) ;1バイトデータ出力
244	00E4		BINTOASC
244	00EB		OUTRS232
244	00F7		BINTOASC
244	00FE		OUTRS232
245	010A	3E2C	LD A,2CH ;", "
246	010C		OUTRS232
247	0116		OUTRSAS1 (ADCDAT2) ;1バイトデータ出力

247 011F		BINTOASC	
247 0126		OUTRS232	
247 0132		BINTOASC	
247 0139		OUTRS232	
248 0145		OUTRSAS1 (ADC DAT3)	;1バイト出力
248 014E		BINTOASC	
248 0155		OUTRS232	
248 0161		BINTOASC	
248 0168		OUTRS232	
249 0174 3E2C		LD A,2CH	;”,”
250 0176		OUTRS232	
251 0180		OUTRSAS1 (ADC DAT4)	;1バイト出力
251 0189		BINTOASC	
251 0190		OUTRS232	
251 019C		BINTOASC	
251 01A3		OUTRS232	
252 01AF		OUTRSAS1 (ADC DAT5)	;1バイト出力
252 01B8		BINTOASC	
252 01BF		OUTRS232	
252 01CB		BINTOASC	
252 01D2		OUTRS232	
253 01DE 3E0D		LD A,0DH	;キャリッジリターン
254 01E0		OUTRS232	
255 01EA C33100		JP LOOP	
256			
257 01ED	error:	RS232RST	
258 01F9 C33100		JP LOOP	
259			
260 9500		ORG BUFFER	
261 9500	ADC DAT0:	DS 1	
262 9501	ADC DAT1:	DS 1	
263 9502	ADC DAT2:	DS 1	
264 9503	ADC DAT3:	DS 1	
265 9504	ADC DAT4:	DS 1	
266 9505	ADC DAT5:	DS 1	
267			
268 0000		END MAGNET	

```

1
2 .....
3 ; CLINOMETER by E.H. & J.H. ;
4 ; Aug. 08. 1990 ;
5 ; Areng. by Y.M. Oct.03,1990 ;
6 .....
7 0000 ROM EQU 0000H
8 8000 RAM EQU 8000H
9 A000 STACK EQU RAM+2000H
10
11 0000 CLINOMTER EQU ROM ;RAM
12 9500 BUFFER EQU RAM+1500H
13
14 0017 CTR EQU 17H
15 001A SIOBD EQU 1AH
16 001B SIOBC EQU 1BH
17
18 0040 ADCADDR EQU 40H
19
20 ;;;;;;;;;; LIBRARY ;;;;;;;;;;
21
22 0000 STACKPNT MACRO ;スタックポインタ設定
23 0000 LD SP,STACK
24 0000 ENDM
25
26 0000 INTR232 MACRO ;RS232C初期設定
27 0000 PUSH AF
28 0000 PUSH HL
29 0000 PUSH DE
30 0000 LD A,30H ;4800,9600,19200bps
31 0000 OUT (CTR),A
32 0000 LD A,18H
33 0000 OUT (SIOBC),A
34 0000 LD A,01H
35 0000 OUT (SIOBC),A
36 0000 LD A,00H
37 0000 OUT (SIOBC),A
38 0000 LD A,04H
39 0000 OUT (SIOBC),A
40 0000 LD A,44H ;2400, 1920bps (GPY 120)
41 0000 OUT (SIOBC),A
42 0000 LD A,03H
43 0000 OUT (SIOBC),A
44 0000 LD A,0C1H
45 0000 OUT (SIOBC),A
46 0000 LD A,05H
47 0000 OUT (SIOBC),A
48 0000 LD A,0EAH
49 0000 OUT (SIOBC),A
50 0000 POP DE
51 0000 POP HL

```

52 0000		POP	AF	
53 0000		ENDM		
54				
55 0000	INTDATA	MACRO		;引数1,引数2 ;初期値設
56 0000		PUSH	DE	;引数1の値を引数2で示
57 0000		PUSH	HL	;すアドレスに転送する
58 0000		LD	DE,&1	
59 0000		LD	HL,&2	
60 0000		LD	(HL),E	
61 0000		INC	HL	
62 0000		LD	(HL),D	
63 0000		POP	HL	
64 0000		POP	DE	
65 0000		ENDM		
66				
67 0000	INPRS232	MACRO		;RS232C入力
68 0000		IN	A,(S10BC)	;RS232Cから1バイトをAL
69 0000		BIT	0,A	;レジスタ-に入力する
70 0000		JR	Z,\$-4	
71 0000		IN	A,(S10BD)	
72 0000		ENDM		
73				
74 0000	ASCTO BIN	MACRO		;ASCIIイリ変換
75 0000		CP	'9'+1	;レジスタ-のASCIIコードをハ
76 0000		JR	C,\$+4	;イリ(4bit)に変換する
77 0000		SUB	7	;変換された結果はALレジ
78 0000		AND	OFH	;スタ- に与えられる
79 0000		ENDM		
80				
81 0000	INPRSAS1	MACRO		;RS232C(ASCIIバイト)入力
82 0000		INPRS232		
83 0000		ASCTO BIN		
84 0000		ENDM		
85				
86 0000	INPRSAS2	MACRO		;引数 RS232C(ASC2
87 0000		PUSH	DE	;RS232CからHEXのASC変
88 0000		PUSH	HL	;換されたデータをcrまで
89 0000		PUSH	AF	;入力し,ハイリ-に変換
90 0000		LD	HL,0	;して引数(レジスタ,ア
91 0000		INPRS232		;ドレス)に得る. 入力は
92 0000		CP	ODH	;最後の2バイトが有効で
93 0000		JR	Z,\$+12H	;ある
94 0000		ASCTO BIN		
95 0000		ADD	HL,HL	
96 0000		ADD	HL,HL	
97 0000		ADD	HL,HL	
98 0000		ADD	HL,HL	
99 0000		OR	L	
100 0000		LD	L,A	
101 0000		JR	\$(1AH	
102 0000		POP	AF	

103 0000		EX	DE,HL	
104 0000		POP	HL	
105 0000		LD	&1,DE	
106 0000		POP	DE	
107 0000		ENDM		
108				
109 0000	RS232RST	MACRO		;RS232C入力リセット
110 0000		PUSH	AF	
111 0000		IN	A,(S10BC)	
112 0000		SRL	A	
113 0000		JR	NC,\$+6	
114 0000		IN	A,(S10BD)	
115 0000		JR	\$-8	
116 0000		POP	AF	
117 0000		ENDM		
118				
119 0000	OUTRS232	MACRO		;RS232C出力
120 0000		PUSH	AF	;レジスタの内容をRS232C
121 0000		IN	A,(S10BC)	;にそのまま出力する
122 0000		BIT	2,A	
123 0000		JR	Z,\$-4	
124 0000		POP	AF	
125 0000		OUT	(S10BD),A	
126 0000		ENDM		
127				
128 0000	BINTOASC	MACRO		;ASC(4ビット)変換
129 0000		OR	OFOH	;レジスタの下位 4ビットを
130 0000		DAA		;ASCコードに変換する.
131 0000		ADD	A,0A0H	;結果はレジスタに得られ
132 0000		ADC	A,40H	;る
133 0000		ENDM		
134				
135 0000	OUTRSAS1	MACRO		;引数 RS232C(1バイト)
136 0000		PUSH	AF	;引数(レジスタ,アドレス)の
137 0000		LD	A,&1	;内容をASCコードに変換
138 0000		PUSH	AF	;してRS232Cに2文字出
139 0000		RRCA		;力する
140 0000		RRCA		
141 0000		RRCA		
142 0000		RRCA		
143 0000		BINTOASC		
144 0000		OUTRS232		
145 0000		POP	AF	
146 0000		PUSH	AF	
147 0000		BINTOASC		
148 0000		OUTRS232		
149 0000		POP	AF	
150 0000		POP	AF	
151 0000		ENDM		
152				
153 0000	OUTRSAS2	MACRO		;引数 RS232C(2バイト)

154 0000		PUSH	HL	;引数(ハレジスタ,アドレス)
155 0000		PUSH	AF	;の内容を ASCII-トに変
156 0000		LD	HL,&1	;換してRS232Cに 4文字
157 0000		OUTRSAS1	H	;出力する
158 0000		OUTRSAS1	L	
159 0000		POP	AF	
160 0000		POP	HL	
161 0000		ENDM		
162				
163 0000	OUTRSBUF	MACRO		;引数1,引数2;ハレジスタRS232C
164 0000		PUSH	HL	
165 0000		PUSH	BC	
166 0000		LD	HL,&1	
167 0000		LD	B,&2	
168 0000		OUTRSAS1	(HL)	
169 0000		INC	HL	
170 0000		DJNZ	\$\$-2EH	
171 0000		POP	BC	
172 0000		POP	HL	
173 0000		ENDM		
174				
175				
176		;;;;;;;;; MAIN ;;;;;;;;;;		
177				
178 0000		ORG	CLINOMTER	
179				
180 0000		STACKPNT		;スタックポインタ設定
181 0003		INTRS232		;SIOB(RS-232C)設定
182				
183 0031 DB1B	LOOP:	IN	A,(SIOBC)	;RS232C入力チェック
184 0033 CB3F		SRL	A	
185 0035 D23100		JP	NC,LOOP	
186				
187 0038		INPRS232		;RS232C入力
188 0040 FE53		CP	'S'	
189 0042 C2EB00		JP	NZ,error	
190				
191 0045 0E40		LD	C,ADCADDR	;ADCstart
192 0047 3E00		LD	A,00H	
193 0049 ED79		OUT	(C),A	
194 004B 061D		LD	B,29	
195 004D E5	wait1:	PUSH	HL	
196 004E E1		POP	HL	
197 004F 10FC		DJNZ	wait1	
198 0051 ED78		IN	A,(C)	
199 0053 320095		LD	(ADCDATO),A	
200				
201 0056 0C		INC	C	
202 0057 3E00		LD	A,00H	
203 0059 ED79		OUT	(C),A	
204 005B 061D		LD	B,29	

```

205 005D E5      wait2:  PUSH    HL
206 005E E1      POP      HL
207 005F 10FC    DJNZ    wait2
208 0061 ED78    IN      A,(C)
209 0063 320195  LD      (ADCDAT1),A
210
211 0066          RS232RST ;RS232C入力セット
212 0072          OUTRSAS1 (ADCDATO) ;10バイトデータ出力
212 007B          BINTOASC
212 0082          OUTRS232
212 008E          BINTOASC
212 0095          OUTRS232
213 00A1 3E2C    LD      A,2CH ;","
214 00A3          OUTRS232
215 00AD          OUTRSAS1 (ADCDAT1)
215 00B6          BINTOASC
215 00BD          OUTRS232
215 00C9          BINTOASC
215 00D0          OUTRS232
216 00DC 3E0D    LD      A,0DH ;キャリッジリターン
217 00DE          OUTRS232
218 00E8 C33100  JP      LOOP
219
220 00EB          error:  RS232RST
221 00F7 C33100  JP      LOOP
222
223 9500          ORG     BUFFER
224 9500          ADCDATO: DS     1
225 9501          ADCDAT1: DS     1
226
227 0000          END     CLINOMTER

```



```

1
2      ;          GYRO-GPS          by E.H. & Y.M. ;
3      ;          Oct. 14. 1990   ;
4      ;          ;
5
6 0000      ROM      EQU      0000H
7 8000      RAM      EQU      8000H
8 A000      STACK   EQU      RAM+2000H
9
10 8000     GYROGPS  EQU      RAM      ;ROM
11 9500     BUFFER  EQU      RAM+1500H
12
13 001C     PIOAD   EQU      1CH
14 001D     PIOAC   EQU      1DH
15
16 0017     CTR     EQU      17H
17 0018     SIOAD   EQU      18H
18 0019     SIOAC   EQU      19H
19 001A     SIOBD   EQU      1AH
20 001B     SIOBC   EQU      1BH
21
22      ;;;;;;;;;; LIBRARY ;;;;;;;;;;
23
24 0000     STACKPNT MACRO          ;スタックポインタ設定
25 0000             LD      SP,STACK
26 0000             ENDM
27
28 0000     INTPIOAI MACRO          ;PIOA初期設定
29 0000             PUSH   AF      ;ポート3 (ビット入力)
30 0000             LD      A,OCFH
31 0000             OUT    (PIOAC),A
32 0000             LD      A,OFFH ;すべて入力
33 0000             OUT    (PIOAC),A
34 0000             LD      A,07H  ;割り込み禁止
35 0000             OUT    (PIOAC),A
36 0000             LD      A,OFFH ;マスクしない
37 0000             OUT    (PIOAC),A
38 0000             POP    AF
39 0000             ENDM
40
41 0000     INTRS23A MACRO          ;RS232C-A 初期設定
42 0000             PUSH   AF
43 0000             PUSH   HL
44 0000             PUSH   DE
45 0000             LD      A,30H  ;4800,9600,19200bps
46 0000             OUT    (CTR),A
47 0000             LD      A,18H
48 0000             OUT    (SIOAC),A
49 0000             LD      A,01H
50 0000             OUT    (SIOAC),A
51 0000             LD      A,00H

```

52 0000		OUT	(S10AC),A	
53 0000		LD	A,04H	
54 0000		OUT	(S10AC),A	
55 0000		LD	A,4CH	;1200,2400,4800,9600bps
56 0000		OUT	(S10AC),A	;stop 2bit
57 0000		LD	A,03H	
58 0000		OUT	(S10AC),A	
59 0000		LD	A,0C1H	
60 0000		OUT	(S10AC),A	
61 0000		LD	A,05H	
62 0000		OUT	(S10AC),A	
63 0000		LD	A,0EAH	
64 0000		OUT	(S10AC),A	
65 0000		POP	DE	
66 0000		POP	HL	
67 0000		POP	AF	
68 0000		ENDM		
69				
70 0000	INTRS23B	MACRO		;RS232C-B 初期設定
71 0000		PUSH	AF	
72 0000		PUSH	HL	
73 0000		PUSH	DE	
74 0000		LD	A,30H	;4800,9600,19200bps
75 0000		OUT	(CTR),A	
76 0000		LD	A,18H	
77 0000		OUT	(S10BC),A	
78 0000		LD	A,01H	
79 0000		OUT	(S10BC),A	
80 0000		LD	A,00H	
81 0000		OUT	(S10BC),A	
82 0000		LD	A,04H	
83 0000		OUT	(S10BC),A	
84 0000		LD	A,44H	;2400, 1920bps (GPY 120
85 0000		OUT	(S10BC),A	
86 0000		LD	A,03H	
87 0000		OUT	(S10BC),A	
88 0000		LD	A,0C1H	
89 0000		OUT	(S10BC),A	
90 0000		LD	A,05H	
91 0000		OUT	(S10BC),A	
92 0000		LD	A,0EAH	
93 0000		OUT	(S10BC),A	
94 0000		POP	DE	
95 0000		POP	HL	
96 0000		POP	AF	
97 0000		ENDM		
98				
99				
100 0000	INTDATA	MACRO		;引数1,引数2 ;初期値設
101 0000		PUSH	DE	;引数1の値を引数2で示
102 0000		PUSH	HL	;すアドレスに転送する

103 0000		LD	DE,&1	
104 0000		LD	HL,&2	
105 0000		LD	(HL),E	
106 0000		INC	HL	
107 0000		LD	(HL),D	
108 0000		POP	HL	
109 0000		POP	DE	
110 0000		ENDM		
111				
112 0000	INPRS23A	MACRO		;RS232C-A 入力
113 0000		IN	A,(S10AC)	;RS232C-A から 1バイトをA
114 0000		BIT	0,A	;シフト-に入力する
115 0000		JR	Z,\$-4	
116 0000		IN	A,(S10AD)	
117 0000		ENDM		
118				
119 0000	INPRS23B	MACRO		;RS232C-B 入力
120 0000		IN	A,(S10BC)	;RS232C-B から 1バイトをA
121 0000		BIT	0,A	;シフト-に入力する
122 0000		JR	Z,\$-4	
123 0000		IN	A,(S10BD)	
124 0000		ENDM		
125				
126 0000	ASCTO BIN	MACRO		;ASCIIイリ変換
127 0000		CP	'9'+1	;レジスタのASCIIコードをハ
128 0000		JR	C,\$+4	;イリ(4bit)に変換する
129 0000		SUB	7	;変換された結果はレジ
130 0000		AND	0FH	;スタ- に与えられる
131 0000		ENDM		
132				
133 0000	INPRSA1A	MACRO		;RS232C-A(ASCIIバイト)入力
134 0000		INPRS23A		
135 0000		ASCTO BIN		
136 0000		ENDM		
137				
138 0000	INPRSA1B	MACRO		;RS232C-B(ASCIIバイト)入力
139 0000		INPRS23B		
140 0000		ASCTO BIN		
141 0000		ENDM		
142				
143 0000	INPRSA2A	MACRO		;引数 RS232C-A(AS
144 0000		PUSH	DE	;RS232C-A からHEXのASC
145 0000		PUSH	HL	;換されたデータをcrまで
146 0000		PUSH	AF	;入力し,ハイリに変換
147 0000		LD	HL,0	;して引数(ハレジスタ,ア
148 0000		INPRS23A		;ドレス)に得る. 入力は
149 0000		CP	0DH	;最後の 2バイトが有効で
150 0000		JR	Z,\$+12H	;ある
151 0000		ASCTO BIN		
152 0000		ADD	HL,HL	
153 0000		ADD	HL,HL	

154 0000		ADD	HL,HL	
155 0000		ADD	HL,HL	
156 0000		OR	L	
157 0000		LD	L,A	
158 0000		JR	\$-1AH	
159 0000		POP	AF	
160 0000		EX	DE,HL	
161 0000		POP	HL	
162 0000		LD	&1,DE	
163 0000		POP	DE	
164 0000		ENDM		
165				
166 0000	INPRSA2B	MACRO		;引数 RS232C-B(AS
167 0000		PUSH	DE	;RS232C-B からHEXのASC
168 0000		PUSH	HL	;換されたデータをcrまで
169 0000		PUSH	AF	;入力し、ハイリ-に変換
170 0000		LD	HL,0	;して引数(ヘルジスタ,ア
171 0000		INPRS23B		;ドレス)に得る. 入力は
172 0000		CP	ODH	;最後の 2バイトが有効で
173 0000		JR	Z,\$+12H	;ある
174 0000		ASCTO BIN		
175 0000		ADD	HL,HL	
176 0000		ADD	HL,HL	
177 0000		ADD	HL,HL	
178 0000		ADD	HL,HL	
179 0000		OR	L	
180 0000		LD	L,A	
181 0000		JR	\$-1AH	
182 0000		POP	AF	
183 0000		EX	DE,HL	
184 0000		POP	HL	
185 0000		LD	&1,DE	
186 0000		POP	DE	
187 0000		ENDM		
188				
189 0000	RS23RSTA	MACRO		;RS232C-A 入力リセット
190 0000		PUSH	AF	
191 0000		IN	A,(S10AC)	
192 0000		SRL	A	
193 0000		JR	NC,\$+6	
194 0000		IN	A,(S10AD)	
195 0000		JR	\$-8	
196 0000		POP	AF	
197 0000		ENDM		
198				
199				
200 0000	RS23RSTB	MACRO		;RS232C-B 入力リセット
201 0000		PUSH	AF	
202 0000		IN	A,(S10BC)	
203 0000		SRL	A	
204 0000		JR	NC,\$+6	

205 0000		IN	A,(S10BD)	
206 0000		JR	\$-8	
207 0000		POP	AF	
208 0000		ENDM		
209				
210 0000	OUTRS23A	MACRO		;RS232C-A 出力
211 0000		PUSH	AF	;レジスタの内容をRS232C-A
212 0000		IN	A,(S10AC)	;にそのまま出力する
213 0000		BIT	2,A	
214 0000		JR	Z,\$-4	
215 0000		POP	AF	
216 0000		OUT	(S10AD),A	
217 0000		ENDM		
218				
219 0000	OUTRS23B	MACRO		;RS232C-B 出力
220 0000		PUSH	AF	;レジスタの内容をRS232C-B
221 0000		IN	A,(S10BC)	;にそのまま出力する
222 0000		BIT	2,A	
223 0000		JR	Z,\$-4	
224 0000		POP	AF	
225 0000		OUT	(S10BD),A	
226 0000		ENDM		
227				
228				
229 0000	BINTOASC	MACRO		;ASC(4ビット)変換
230 0000		OR	OFOH	;レジスタの下位 4ビットを
231 0000		DAA		;ASC コードに変換する。
232 0000		ADD	A,0A0H	;結果はレジスタに得られ
233 0000		ADC	A,40H	;る
234 0000		ENDM		
235				
236 0000	OUTRSA1A	MACRO		;引数 RS232C-A(1H)
237 0000		PUSH	AF	;引数(レジスタ, アドレス)の
238 0000		LD	A,&1	;内容を ASCコードに変換
239 0000		PUSH	AF	;してRS232C-A に 2文字
240 0000		RRCA		;力する
241 0000		RRCA		
242 0000		RRCA		
243 0000		RRCA		
244 0000		BINTOASC		
245 0000		OUTRS23A		
246 0000		POP	AF	
247 0000		PUSH	AF	
248 0000		BINTOASC		
249 0000		OUTRS23A		
250 0000		POP	AF	
251 0000		POP	AF	
252 0000		ENDM		
253				
254 0000	OUTRSA1B	MACRO		;引数 RS232C-B(1H)
255 0000		PUSH	AF	;引数(レジスタ, アドレス)の

256 0000		LD	A,&1	;内容を ASCII に変換
257 0000		PUSH	AF	;してRS232C-B に 2文字
258 0000		RRCA		;力する
259 0000		RRCA		
260 0000		RRCA		
261 0000		RRCA		
262 0000		BINTOASC		
263 0000		OUTRS23B		
264 0000		POP	AF	
265 0000		PUSH	AF	
266 0000		BINTOASC		
267 0000		OUTRS23B		
268 0000		POP	AF	
269 0000		POP	AF	
270 0000		ENDM		
271				
272 0000	OUTRSA2A	MACRO		;引数 RS232C-A(2)
273 0000		PUSH	HL	;引数(ヘッレジスタ,アドレス)
274 0000		PUSH	AF	;の内容を ASCII に変
275 0000		LD	HL,&1	;換してRS232C-A に 4文
276 0000		OUTRSA1A	H	;出力する
277 0000		OUTRSA1A	L	
278 0000		POP	AF	
279 0000		POP	HL	
280 0000		ENDM		
281				
282 0000	OUTRSA2B	MACRO		;引数 RS232C-B(2)
283 0000		PUSH	HL	;引数(ヘッレジスタ,アドレス)
284 0000		PUSH	AF	;の内容を ASCII に変
285 0000		LD	HL,&1	;換してRS232C-B に 4文
286 0000		OUTRSA1B	H	;出力する
287 0000		OUTRSA1B	L	
288 0000		POP	AF	
289 0000		POP	HL	
290 0000		ENDM		
291				
292 0000	OUTRSBUA	MACRO		;引数1,引数2;ハーフRS232C
293 0000		PUSH	HL	
294 0000		PUSH	BC	
295 0000		LD	HL,&1	
296 0000		LD	B,&2	
297 0000		OUTRSA1A	(HL)	
298 0000		INC	HL	
299 0000		DJNZ	\$-2EH	
300 0000		POP	BC	
301 0000		POP	HL	
302 0000		ENDM		
303				
304 0000	OUTRSBUB	MACRO		;引数1,引数2;ハーフRS232C
305 0000		PUSH	HL	
306 0000		PUSH	BC	

```

307 0000      LD      HL,&1
308 0000      LD      B,&2
309 0000      OUTRSA1B (HL)
310 0000      INC     HL
311 0000      DJNZ   $-2EH
312 0000      POP    BC
313 0000      POP    HL
314 0000      ENDM
315
316
317           ;;;;;;;;;; MAIN ;;;;;;;;;;
318
319 8000      ORG     GYROGPS
320
321 8000      STACKPNT      ;スタックポインタ設定
322 8003      INTPI0A1     ;PI0A初期設定 (GYRO入力)
323 8015      INTRS23A    ;SIOA(RS-232C-A)設定(GP
324 8043      INTRS23B    ;SIOB(RS-232C-B)設定(テ
325
326
327 8071 DB1B      LOOP:   IN      A,(SIOBC)
328 8073 CB3F      SRL     A
329 8075 D2AF82    JP      NC,gpsinput
330 8078           INPRS23B      ;RS232C-B入力
331 8080 FE59      CP      'Y'
332 8082 CA9980    JP      Z,gyro
333 8085 FE50      CP      'P'
334 8087 CAC681    JP      Z,gpsout
335 808A           RS23RSTB
336 8096 C3AF82    JP      gpsinput
337
338 8099 1650      gyro:   LD      D,050H
339 809B 0EFF      gyro1:  LD      C,OFFH
340 809D 210100    gyro2:  LD      HL,1      ;10 P01A ジェネ信号
341 80A0 0D        DEC     C
342 80A1 CA3F81    JP      Z,gyrout
343 80A4 0606      bit:   LD      B,6      ; 7 取り込みループ
344 80A6 DB1C      wait1: IN      A,(PI0AD) ;11
345 80A8 17        RLA                    ; 4
346 80A9 30FB      JR      NC,wait1     ; 7/12
347 80AB DB1C      wait2: IN      A,(PI0AD) ;11
348 80AD 05        DEC     B            ; 4
349 80AE 28ED      JR      Z,gyro2      ; 7/12
350 80B0 17        RLA                    ; 4
351 80B1 38F8      JR      C,wait2      ; 7/12
352 80B3 17        RLA                    ; 4
353 80B4 ED6A      ADC     HL,HL         ;15
354 80B6 30EC      JR      NC,bit        ;12/ 7
355 80B8 7D        LD      A,L
356 80B9 EEFF      XOR    OFFH
357 80BB 6F        LD      L,A

```

358 80BC 7C		LD	A,H	
359 80BD EEF		XOR	OFFH	
360 80BF 67		LD	H,A	
361 80C0 220095		LD	(GYRDATA),HL	
362 80C3		RS23RSTB		
363 80CF		OUTRSA2B	(GYRDATA)	
363 80D4		OUTRSA1B	H	;出力する
363 80DB		BINTOASC		
363 80E2		OUTRS23B		
363 80EE		BINTOASC		
363 80F5		OUTRS23B		
363 8101		OUTRSA1B	L	
363 8108		BINTOASC		
363 810F		OUTRS23B		
363 811B		BINTOASC		
363 8122		OUTRS23B		
364 8130 3E0D		LD	A,ODH	;"CR"
365 8132		OUTRS23B		
366 813C C37180		JP	LOOP	
367				
368 813F 15	gyROUT:	DEC	D	
369 8140 C29B80		JP	NZ,gyrol	
370 8143		RS23RSTB		
371 814F 2640		LD	H,40H	
372 8151 2E00		LD	L,0	
373 8153 220095		LD	(GYRDATA),HL	
374 8156		OUTRSA2B	(GYRDATA)	
374 815B		OUTRSA1B	H	;出力する
374 8162		BINTOASC		
374 8169		OUTRS23B		
374 8175		BINTOASC		
374 817C		OUTRS23B		
374 8188		OUTRSA1B	L	
374 818F		BINTOASC		
374 8196		OUTRS23B		
374 81A2		BINTOASC		
374 81A9		OUTRS23B		
375 81B7 3E0D		LD	A,ODH	;"CR"
376 81B9		OUTRS23B		
377 81C3 C37180		JP	LOOP	
378				
379 81C6 219A95	gpsout:	LD	HL,TRSDATA	
380 81C9 7E		LD	A,(HL)	;sec
381 81CA		OUTRS23B		
382 81D4 3E2C		LD	A,2CH	;"",
383 81D6		OUTRS23B		
384 81E0 23		INC	HL	
385 81E1 23		INC	HL	
386				
387 81E2 7E		LD	A,(HL)	;GPS OR NNSS
388 81E3		OUTRS23B		

389 81ED 3E2C		LD	A,2CH	;" "
390 81EF		OUTRS23B		
391 81F9 23		INC	HL	
392 81FA 23		INC	HL	
393				
394 81FB 0607		LD	B,7	
395 81FD 7E	latout:	LD	A,(HL)	;latitude out
396 81FE		OUTRS23B		
397 8208 23		INC	HL	
398 8209 23		INC	HL	
399 820A 10F1		DJNZ	latout	
400 820C 3E2C		LD	A,2CH	
401 820E		OUTRS23B		
402				
403 8218 0608		LD	B,8	;longitude out
404 821A 7E	lonout:	LD	A,(HL)	
405 821B		OUTRS23B		
406 8225 23		INC	HL	
407 8226 23		INC	HL	
408 8227 10F1		DJNZ	lonout	
409 8229 3E2C		LD	A,2CH	
410 822B		OUTRS23B		
411				
412 8235 0604		LD	B,4	;direction out
413 8237 7E	dirout:	LD	A,(HL)	
414 8238		OUTRS23B		
415 8242 23		INC	HL	
416 8243 23		INC	HL	
417 8244 10F1		DJNZ	dirout	
418 8246 3E2C		LD	A,2CH	
419 8248		OUTRS23B		
420				
421 8252 0603		LD	B,3	;speed out
422 8254 7E	spdout:	LD	A,(HL)	
423 8255		OUTRS23B		
424 825F 23		INC	HL	
425 8260 23		INC	HL	
426 8261 10F1		DJNZ	spdout	
427 8263 3E2C		LD	A,2CH	
428 8265		OUTRS23B		
429				
430 826F 0602		LD	B,2	;PDOP out
431 8271 7E	dopout:	LD	A,(HL)	
432 8272		OUTRS23B		
433 827C 23		INC	HL	
434 827D 23		INC	HL	
435 827E 10F1		DJNZ	dopout	
436 8280 3E2C		LD	A,2CH	
437 8282		OUTRS23B		
438				
439 828C 7E		LD	A,(HL)	;staytas out

```

440 828D          OUTRS23B
441 8297 3E0D    LD      A,0DH      ;"CR"
442 8299          OUTRS23B
443 82A3          RS23RSTA
444              ;      RS23RSTB
445
446 82AF DB19    gpsinput: IN      A,(S10AC)
447 82B1 CB3F    SRL      A
448 82B3 D27180  JP      NC,LOOP
449
450 82B6 0696    LD      B,150
451 82B8          INPRS23A          ;RS232C-A入力
452 82C0 FED0    CP      0D0H      ;'P'+80H
453 82C2 C23483  JP      NZ,rsaclear
454 82C5 210295  LD      HL,GPSDATA
455 82C8 77      input:  LD      (HL),A
456 82C9          INPRS23A          ;RS232C-A入力
457 82D1 23      INC     HL
458 82D2 23      INC     HL
459 82D3 10F3    DJNZ   input
460 82D5          INPRS23A
461 82DD FEDA    CP      0DAH      ;'Z'+80H
462 82DF C23483  JP      NZ,rsaclear
463 82E2 77      LD      (HL),A
464
465 82E3 119A95  LD      DE,TRSDATA
466
467 82E6 212696  LD      HL,GPSDATA+292 ;sec
468 82E9 7E      LD      A,(HL)
469 82EA C640    ADD     A,40H
470 82EC 77      LD      (HL),A
471 82ED EDA0    LDI
472 82EF 13      INC     DE
473
474 82F0 21E495  LD      HL,GPSDATA+226 ;gps or NNSS
475 82F3 7E      LD      A,(HL)
476 82F4 D680    SUB     80H
477 82F6 77      LD      (HL),A
478 82F7 EDA0    LDI
479 82F9 23      INC     HL
480 82FA 13      INC     DE
481 82FB 010F0F  LD      BC,0F0FH
482 82FE 7E      disppos: LD      A,(HL)      ;disply postion
483 82FF C630    ADD     A,30H
484 8301 77      LD      (HL),A
485 8302 EDA0    LDI
486 8304 23      INC     HL
487 8305 13      INC     DE
488 8306 10F6    DJNZ   disppos
489
490 8308 216495  LD      HL,GPSDATA+98 ;course and speed

```

491 830B 010707		LD	BC,707H
492 830E 7E	cousped:	LD	A,(HL)
493 830F C630		ADD	A,30H
494 8311 77		LD	(HL),A
495 8312 EDA0		LDI	
496 8314 23		INC	HL
497 8315 13		INC	DE
498 8316 10F6		DJNZ	cousped
499			
500 8318 214095		LD	HL,GPSDATA+62 ;PDOP
501 831B 010202		LD	BC,202H
502 831E 7E	pdop:	LD	A,(HL)
503 831F C630		ADD	A,30H
504 8321 77		LD	(HL),A
505 8322 EDA0		LDI	
506 8324 23		INC	HL
507 8325 13		INC	DE
508 8326 10F6		DJNZ	pdop
509			
510 8328 21DE95		LD	HL,GPSDATA+220 ;staytas
511 832B 7E		LD	A,(HL)
512 832C C630		ADD	A,30H
513 832E 77		LD	(HL),A
514 832F EDA0		LDI	;
515			
516 8331 C37180		JP	LOOP
517			
518 8334	rsaclear:	RS23RSTA	
519 8340 C37180		JP	LOOP
520			
521 8343	rsbclear:	RS23RSTB	
522 834F C37180		JP	LOOP
523			
524 9500		ORG	BUFFER
525 9500	GYRDATA:	DS	2
526 9502	GPSDATA:	DS	152
527 959A	TRSDATA:	DS	27
528			
529 8000		END	GYROGPS