

第 30 次 (1988–1989) 南極地域観測における海上地磁気測定

野木義史¹・島 伸和²・伊勢崎修弘³・船木 實⁴・神沼克伊⁴

Measurement of Geomagnetic Field at Sea during JARE-30, 1988–1989

Yoshifumi NOGI¹, Nobukazu SEAMA², Nobuhiro ISEZAKI³,
Minoru FUNAKI⁴ and Katsutada KAMINUMA⁴

Abstract: Three components and total intensity of the geomagnetic field were measured by STCM (Shipboard Three Components Magnetometer) and a proton magnetometer at the same time at sea during the 30th Japanese Antarctic Research Expedition. The measurements of total intensity of the geomagnetic field by a proton magnetometer showed a variation of noises in harmony with the variation of ship's velocity. This variation of noises may be caused by instability of the sensor due to large velocity of the ship. The measurements of three components of the geomagnetic field by STCM revealed short wavelength noises which were caused by small yawing of the ship.

Reliable absolute values of three components of the geomagnetic field were obtained by adapting the total intensity of the geomagnetic field measured by a proton magnetometer to the data of three components of the geomagnetic field measured by STCM. In the present state of STCM, it is necessary to measure three components and total intensity of geomagnetic field by STCM and a proton magnetometer simultaneously, in case of obtaining the absolute values of three components of the geomagnetic field. These results suggest that improvement of measurement of the geomagnetic field at sea will be required.

要旨: 第 30 次南極地域観測において、船上地磁気 3 成分磁力計による地磁気 3 成分測定およびプロトン磁力計による地磁気全磁力測定の同時観測を行った。プロトン磁力計の全磁力測定から船速の違いによるノイズの変化が見られた。このノイズの変化は、船速が速くなりセンサーが不安定になることによって引き起こされたと考えられる。船上地磁気 3 成分測定からは、船の船首方位の細かな揺動による短波長のノイズが見られた。

船上地磁気 3 成分測定によって得られた地磁気 3 成分のデータに、プロトン磁力計によって得られた全磁力の結果をうまく適合することによって、地磁気 3 成分のデータの絶対値に関してより信頼度の高いデータが得られた。現段階では、地磁気 3 成分のデータの絶対値に関する問題を扱う場合プロトン磁力計との同時観測が必要である。以上の結果をもとに、今後の海上における地磁気測定の改善が望まれる。

¹ 気象研究所, Meteorological Research Institute, 1, Nagamine 1-chome, Tsukuba 305.

² 東京大学海洋研究所, Ocean Research Institute, University of Tokyo, 15-1, Minamidai 1-chome, Nakano-ku, Tokyo 164.

³ 千葉大学理学部, Faculty of Science, Chiba University, 33, Yayoi 1-chome, Chiba 260.

⁴ 国立極地研究所, National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

1. はじめに

南極海およびその周辺海域の海底のテクトニクスを明らかにするために、第 30 次南極地域観測において海上での地磁気測定を行った。測定内容は、フラックス・ゲート型の船上地磁気 3 成分磁力計 (ISEZAKI, 1986) による地磁気 3 成分測定およびプロトン磁力計による地磁気全磁力測定である。今回の観測は、「しらせ」での初めての試みであるとともに船上地磁気 3 成分磁力計による地磁気 3 成分測定に関しては、南極海およびその周辺海域で行う初めての試みである。南極海やその周辺海域は、ゴンドワナ大陸の分裂やインド洋の形成等を考える上で重要な地域であるにもかかわらず、現在のところ、海上での地球物理に関するデータは非常に乏しい。その原因の一つとして、この海域では自然環境が厳しく船上での観測

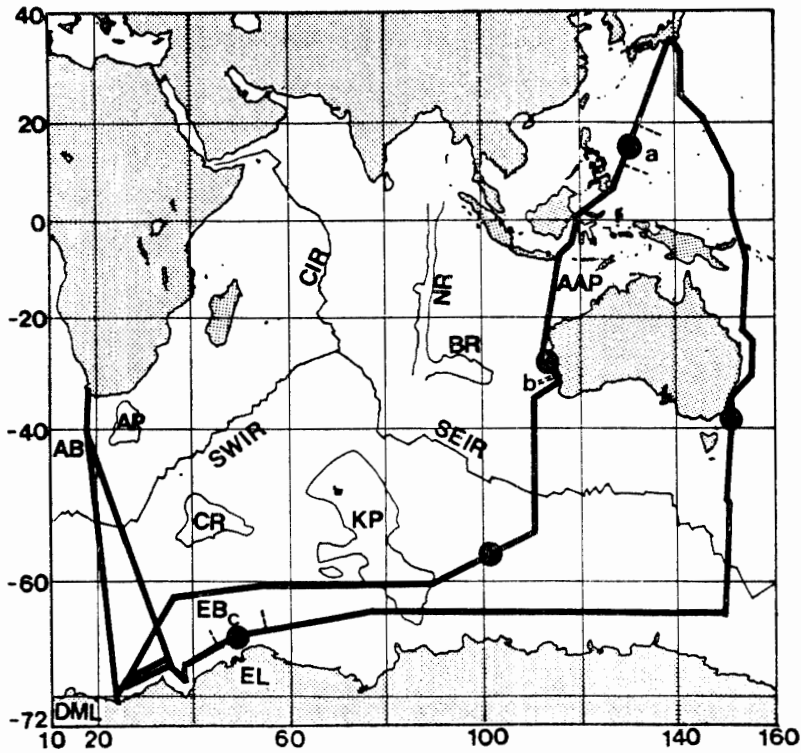


図 1 船上地磁気 3 成分磁力計による地磁気 3 成分測定およびプロトン磁力計による地磁気全磁力測定測線図。太線は、地磁気 3 成分測定測線。黒丸は、8 の字走航を行った地点。測線 a, b, c は、地磁気 3 成分測定と全磁力測定の同時観測測線

Fig. 1. Observation lines of three components and total intensity of the geomagnetic field by STCM (Shipboard Three Components Magnetometer) and a proton magnetometer. Solid lines are observation lines of three components of the geomagnetic field measured by STCM. Solid circles show positions of "8-shaped turn". Lines a, b and c are the simultaneous observation lines of three components and total intensity of the geomagnetic field by STCM and a proton magnetometer. Abbreviations: CIR, Central Indian Ridge; SEIR, Southeast Indian Ridge; SWIR, Southwest Indian Ridge; AP, Argo Abyssal Plain; NR, Ninetyeast Ridge; BR, Broken Ridge; KP, Kerguelen Plateau; CR, Conrad Rise; AP, Agulhas Plateau; AB, Agulhas Basin; EB, Enderby Basin; EL, Enderby Land; DML, Dronning Maud Land.

が容易ではないことがあげられる。特にプロトン磁力計による全磁力測定のように、船尾よりセンサーを曳航して測定を行う観測は、厳しい海況や氷山による妨害等で測定が行いにくい。その点船上地磁気3成分磁力計による地磁気3成分測定は、センサーを曳航して測定を行う必要がなく、センサーを船上に設置するだけで測定が可能であり、さらに地磁気3成分を測定できるので、厳しい自然環境においても非常に容易にかつ多くの情報を得ることができる (ISEZAKI, 1986; SEAMA *et al.*, 1990; NOGI *et al.*, 1990)。以上のことから船上地磁気3成分磁力計による地磁気3成分測定は、南極海やその周辺海域では特に有効な観測手段であることがわかる。しかし、船上地磁気3成分磁力計によって得られた地磁気3成分のデータはそれぞれの成分の相対的な変化に関しては問題ないが、それぞれの成分の絶対値の測定という面で現在も問題が残されている。その点、プロトン磁力計による全磁力測定は精度よく絶対値を測定することができる。したがって、船上地磁気3成分磁力計による地磁気3成分測定とプロトン磁力計による地磁気全磁力測定の同時観測を行い、互いの長所を生かすことによってよりよいデータが得られると考えられる。

本論文では、第30次南極地域観測で行ったプロトン磁力計による地磁気全磁力測定とフラックス・ゲート型の船上地磁気3成分磁力計による地磁気3成分測定の同時観測について報告する。今回の観測では、様々なトラブルのためプロトン磁力計による全磁力測定は、約4日間しかできなかった。測定期間が短いので、全磁力測定の精度を比較するため1988年9月に行われた「しらせ」の内地巡航中に得られたプロトン磁力計による全磁力測定のデータも使用した。図1に船上地磁気3成分磁力計による地磁気3成分測定の測線およびプロトン磁力計による地磁気全磁力測定との同時観測を行った測線を示す。同時観測を行った測線を、図中の a, b, c で示す。

2. 測定の概要

2.1. 船上地磁気3成分磁力計による地磁気3成分測定

船上地磁気3成分磁力計の原理は、ISEZAKI (1986) による。今回の観測には、テラテクニカ社製の船上地磁気3成分磁力計を使用した。以下に船上地磁気3成分磁力計による地磁気3成分測定の概要を示し、また図2に地磁気3成分測定のシステムの概略図を示す。フラックス・ゲート型の地磁気3成分センサーをブリッジの上の甲板に設置し、センサー・ケーブルを第1観測室に引き込みコントローラーにつなぎシグナルをサンプリングする。コントローラー内部では、地磁気のシグナルをアンプに通しAD変換を行う。そして、1秒サンプリングでデータを取り込み、コントローラー内のバッファにため込む。このとき同時に船よりジャイロおよびヴァーティカル・ジャイロの情報を1秒サンプリングで取り込みAD変換し、地磁気のシグナル同様にバッファ内に取り込む。また、1分間に1度NNSSの位置のデータを取り込みバッファ内にため込む。コントローラー内部のバッファは、最大10分

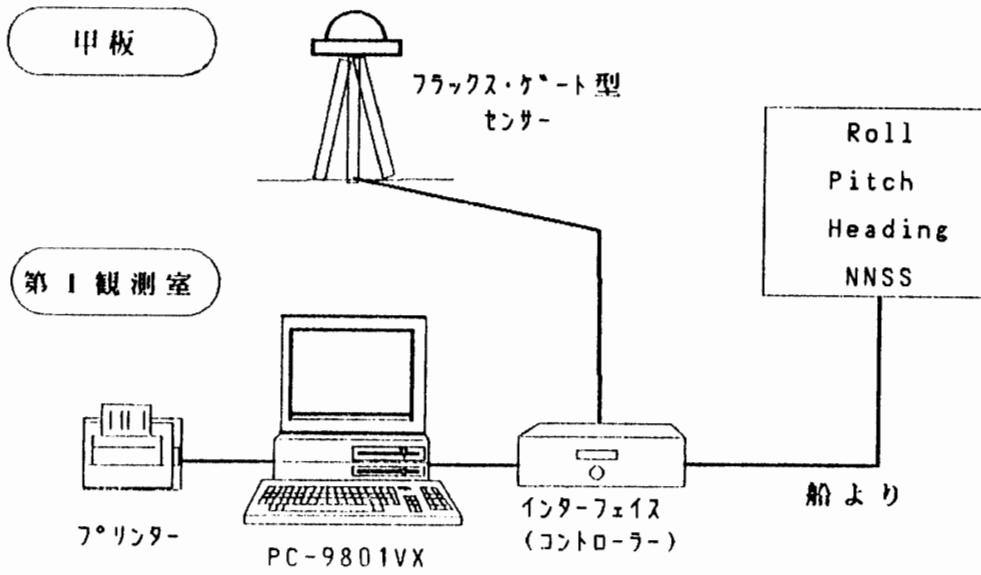


図 2 船上地磁気 3 成分磁力計による地磁気 3 成分測定システム概略図
 Fig. 2. System of measurement of three components of the geomagnetic field by STCM.

間のデータをため込むことができる。コントローラ内部にため込まれたデータは、1分に1度パーソナル・コンピューターに送られ、パーソナル・コンピューターで処理され15秒平均値としてフロッピー・ディスクに記録され、同時にプリンターに出力される。

船上地磁気 3 成分磁力計による地磁気 3 成分測定では、センサーを船上に設置しているため、船体磁場の影響を取り除くための係数を決定するために、8の字を描くように船を回転させる8の字走航を行わなければならない。今回の観測では、8の字走航を5地点で行った。

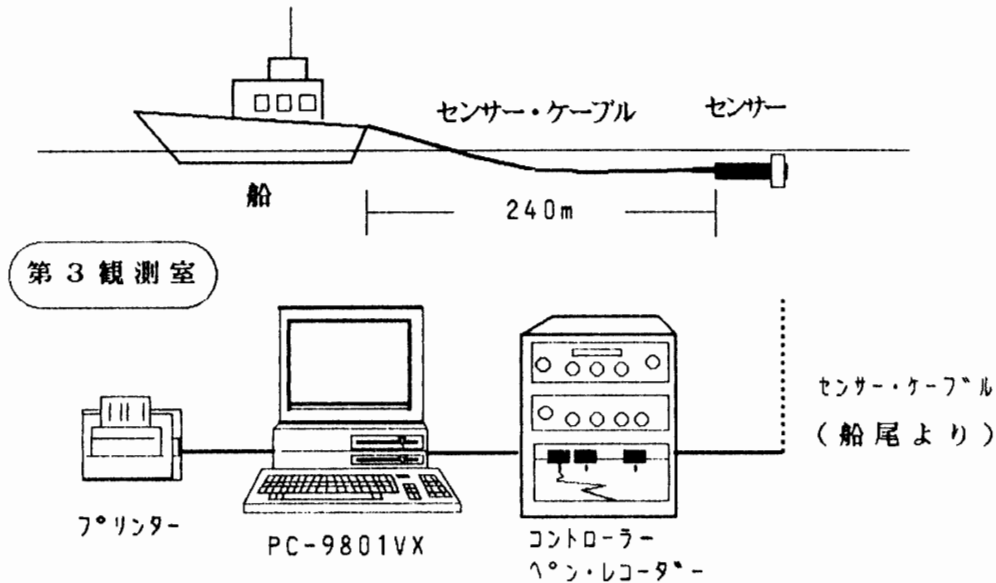


図 3 プロトン磁力計による地磁気全磁力測定システム概略図
 Fig. 3. System of measurement of total intensity of the geomagnetic field by a proton magnetometer.

8の字走航を行った5地点を図1の黒丸で示す。

すべてのデータ解析は、ISEZAKI (1986) をもとに行った。

2.2. プロトン磁力計による地磁気全磁力測定

プロトン磁力計は、ジオメトリック社の G811 型を使用した。以下にプロトン磁力計による地磁気全磁力測定の概要をのべる。図3に地磁気全磁力測定システムの概略図を示す。プロトン磁力計のセンサーを「しらせ」船尾より 240 m 離して曳航し、センサー・ケーブルを第3観測室に引き込みコントローラーにつなぎシグナルをサンプリングする。サンプリング・インターバルを 15 秒として船上地磁気3成分磁力計と合わせる。15 秒ごとのデータをパーソナル・コンピューターに転送し時刻とともに全磁力値をフロッピー・ディスクに記録し、同時にプリンターにも出力する。また、サンプリングしたデータは、ペン・レコーダーにアナログ記録としても記録される。このデータだけでは位置その他の必要な情報がないので、後にデータの時刻をもとに船上地磁気3成分のデータに組み入れる。

3. プロトン磁力計による地磁気全磁力測定結果

ここでは、プロトン磁力計による地磁気全磁力の測定結果の一部を示す。測定結果は、今回の観測の前に行われた「しらせ」内地巡航中の 1989 年 9 月 2 日 15 時 17 分から 16

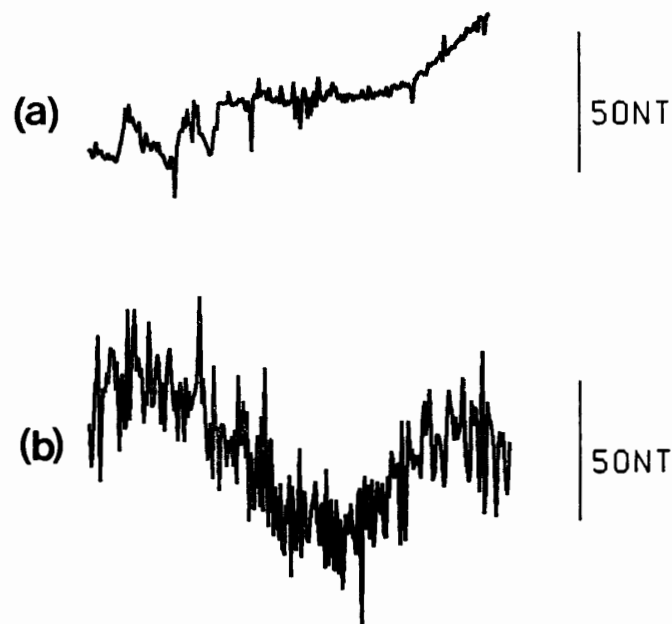


図4 プロトン磁力計によって得られた全磁力のデータ。(a)「しらせ」内地巡航中の1988年9月2日15時17分から1時間の記録。(b)今回の観測の測線aでの1988年11月17日0時28分から1時間の記録

Fig. 4. Records of total intensity of the geomagnetic field measured by a proton magnetometer.

(a) Records from 1517 to 1617 UTC, September 2, 1988.

(b) Records from 0028 to 0128 UTC, November 17, 1988.

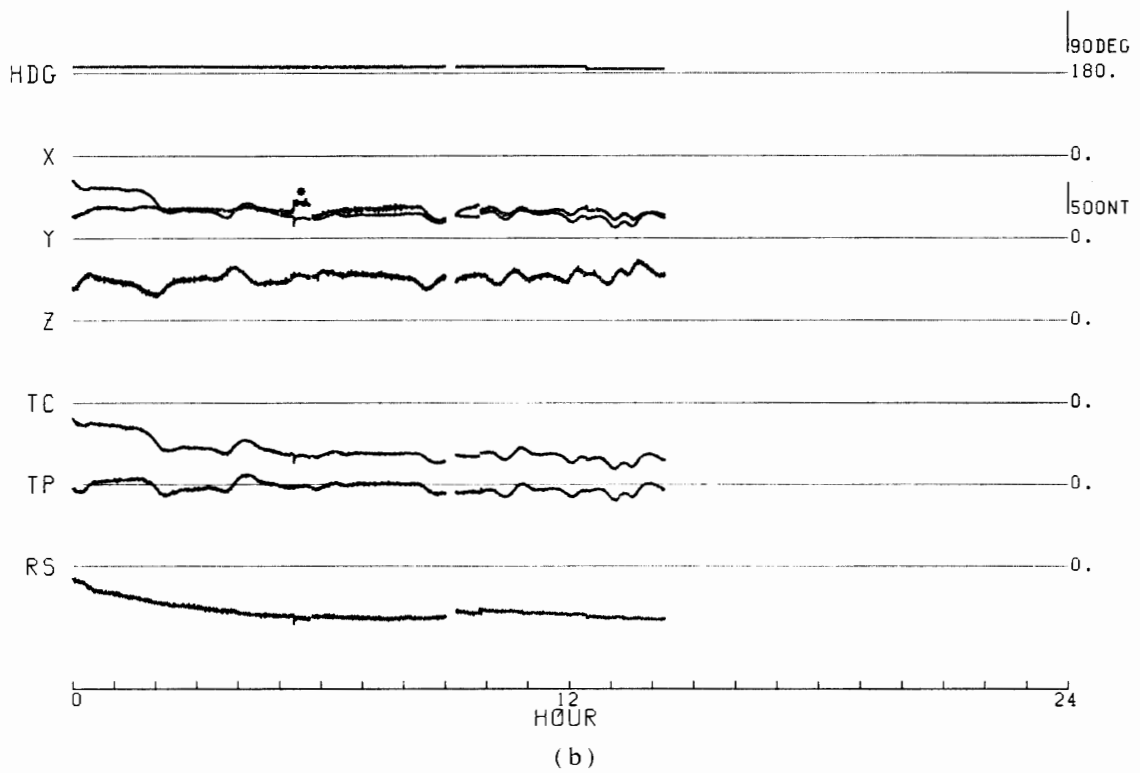
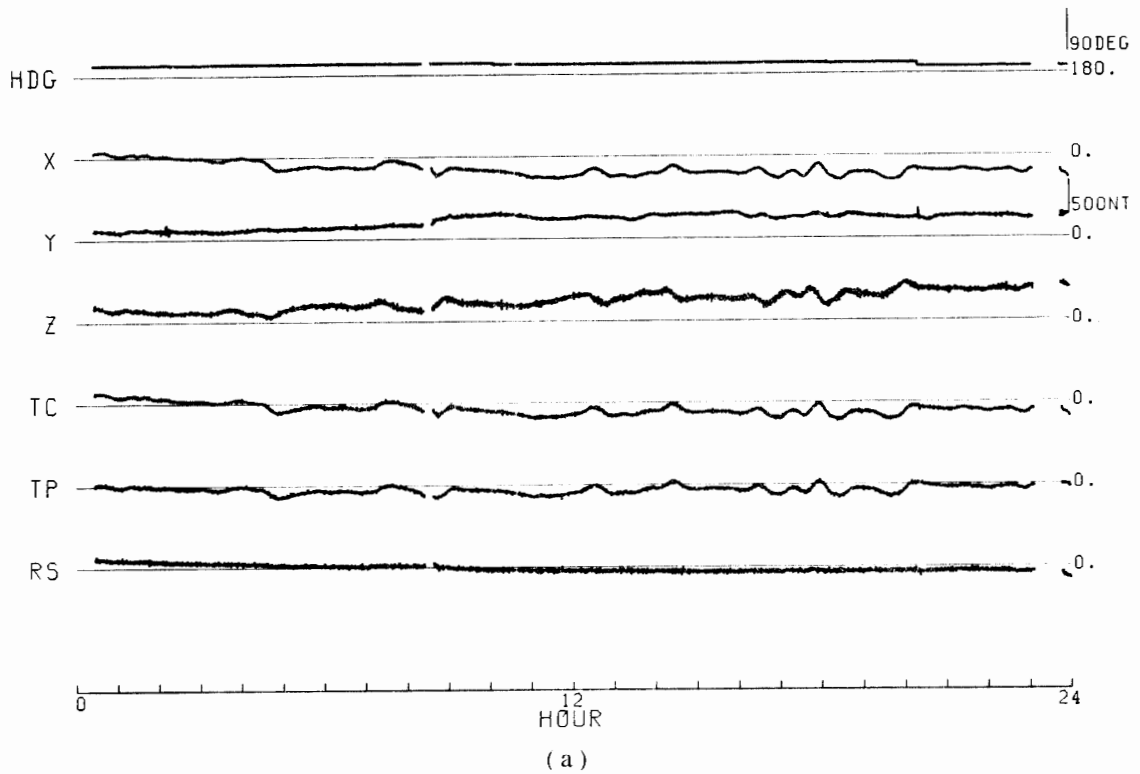
時 17 分までの 1 時間の記録を図 4(a) に、今回の観測で得られた結果の中から測線 a の 1988 年 11 月 17 日 0 時 28 分から 1 時 28 分までの 1 時間の記録を図 4(b) に示す。

図 4(b) は、図 4(a) より全体的にノイズが大きいことがわかる。今回の観測では約 40 nT、内地巡航中では約 20 nT である。このノイズの原因は、「しらせ」の船長が約 130 m であるのに対してセンサーのケーブル長が 240 m で船長の 2 倍弱しかないので、センサーが船体磁場の影響を受けていることによる。また、明らかに図 4(a), (b) では、ノイズの大きさの違いが見られる。今回の観測で得られたデータは、船速約 15 ノットで得られたものであり、内地巡航中のデータは、船速約 12 ノットで得られたものである。この種のノイズは、場所と時間にはよらないと考えるので、このノイズ・レベルの違いは船速の違いによって引き起こされたと考えられる。すなわち、船速が速くなることによってノイズが大きくなるということである。今回の観測で使用したセンサーは、センサー内部にプリ・アンプを組み込んでいるので S/N 比がよく、センサー・ケーブルが船上でノイズを拾うことは考えにくい。したがって、この原因としては、今回の測定環境ではセンサーを安定に曳航するには船速が速すぎたために、センサーが海面付近まで浮上して波にたたかれ、センサー部分の揺動が激しくなり、センサーが不安定な状態になったことが考えられる。この主な要因としては、センサーの揺動によって、船体とセンサーの相対位置が変化するためセンサーの受ける船体磁場の影響が変化し、センサーの位置での磁場強度が変化したことが考えられる。

4. 地磁気 3 成分測定と地磁気全磁力測定と比較

船上地磁気 3 成分磁力計による地磁気 3 成分測定の全測線の結果は、NOGI *et al.* (1990) に報告されている。ここでは、船上地磁気 3 成分磁力計による地磁気 3 成分測定とプロトン磁力計による地磁気全磁力測定の同時観測の結果を示す。図 5(a), (b), (c) に測線 a, c で得られた地磁気 3 成分測定の記録と全磁力測定の記録を示す。測線 b は、測定時間が短いのでここでは省略する。図 5(a), (b), (c) で、 X (北成分)、 Y (東成分)、 Z (鉛直成分) は、地磁気 3 成分測定によって得られた 3 成分の磁気異常、 TC は地磁気 3 成分測定から求められた全磁力異常、 TP はプロトン磁力計の測定結果から得られた全磁力異常を示す。また、 HDG は船首方位、 RS は残差 ($TC-TP$) を示す。磁気異常は国際標準磁場 (IGRF85) (IAGA Division I Working Group 1, 1987) を差し引いたものである。図 5 でデータの欠落部分は、船の急激な変針によってデータが不安定になった部分で、この部分のデータは除いた。

図 5(a), (b), (c) とともに全体的に X , Y , Z 成分に短波長のノイズがのっている。ノイズは、図 5(c) の測線 c の方が、大きい。この短波長のノイズは、測線 c (図 5(c)) の方が全体的に船が細かい変針をしていることから、船首方位の細かな振れによって引き起こされたと考えられる。また、図 5(b) の 5 時 15 分頃 (図中の*の部分) に見られる Y 成分の矩形波のようなノイズは、船の変針によるものではなく原因不明である。おそらく船上の作業でクレー



ンか何かが動いたことによって船体の磁場の状態が変わったためだろうと考えられる。これらのノイズを除けば、*TP* と *TC* で非常によくプロファイルが一致していることがわかる。これは、船上地磁気3成分測定が正常に動作していることを示している。

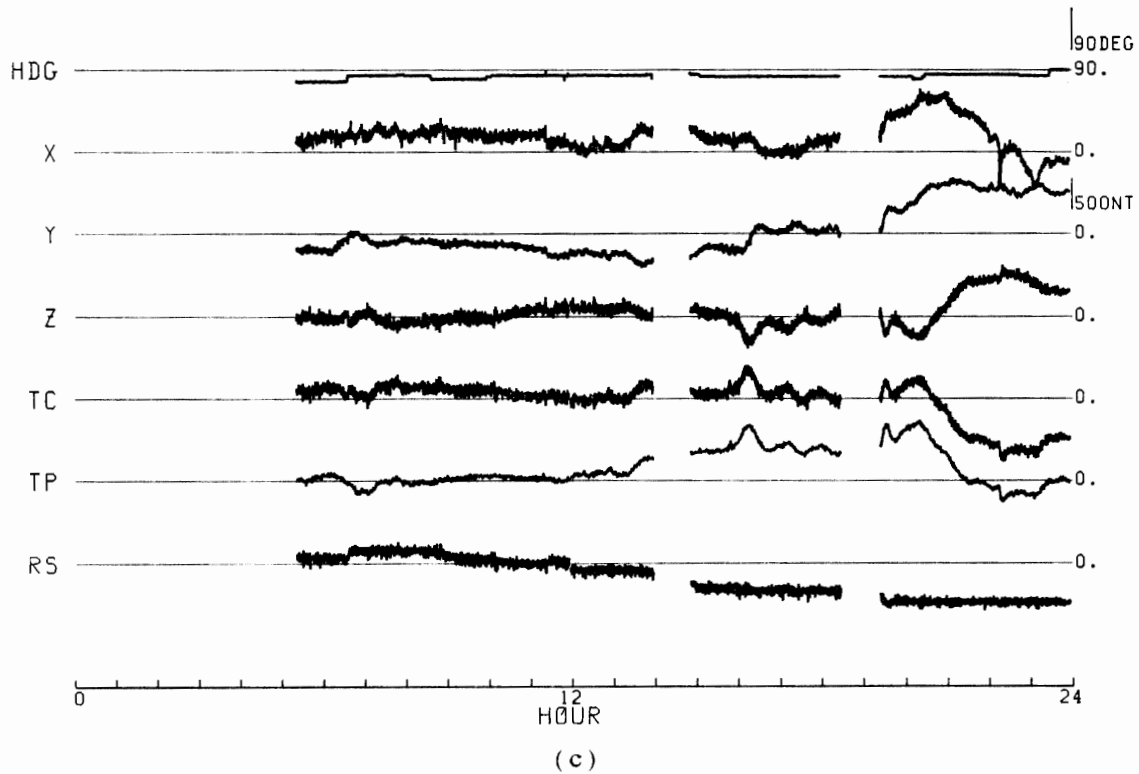


図 5 船上地磁気 3 成分磁力計による地磁気 3 成分測定とプロトン磁力計による全磁力測定の同時観測記録. 図中 X, Y, Z はそれぞれ地磁気 3 成分測定によって得られた北成分, 東成分, 鉛直成分の磁気異常, TC は地磁気 3 成分測定から求められた全磁力異常, TP はプロトン磁力計によって得られた全磁力異常, RS は, TP と TC の残差を示す. HDG は, 船の船首の方位を示す. 横軸は, 時間を示す. (a) 測線 a の 1988 年 11 月 17 日の記録 (19.62°N, 131.92°E ~ 14.19°N, 129.59°E), (b) 測線 a の 1988 年 11 月 18 日の記録 (14.19°N, 129.59°E ~ 10.55°N, 128.52°E), (c) 測線 c の 1989 年 3 月 5 日の記録 (66.15°S, 44.31°E ~ 64.97°S, 55.48°E) をそれぞれ示す.

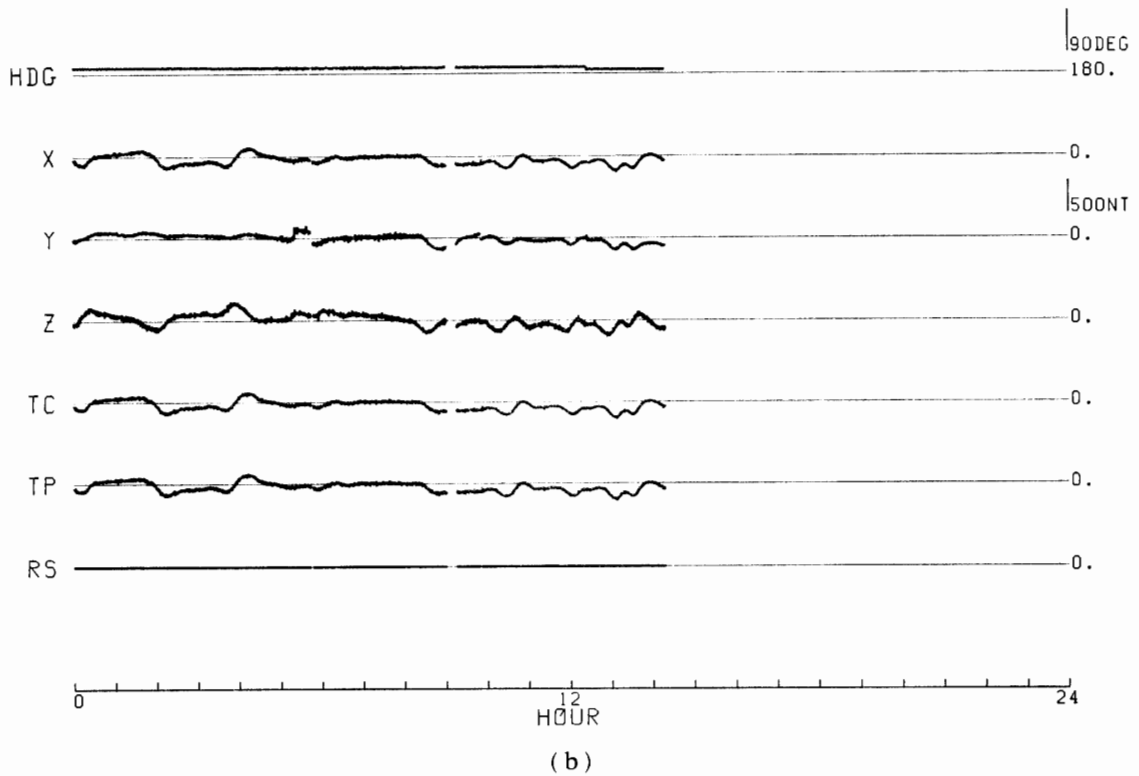
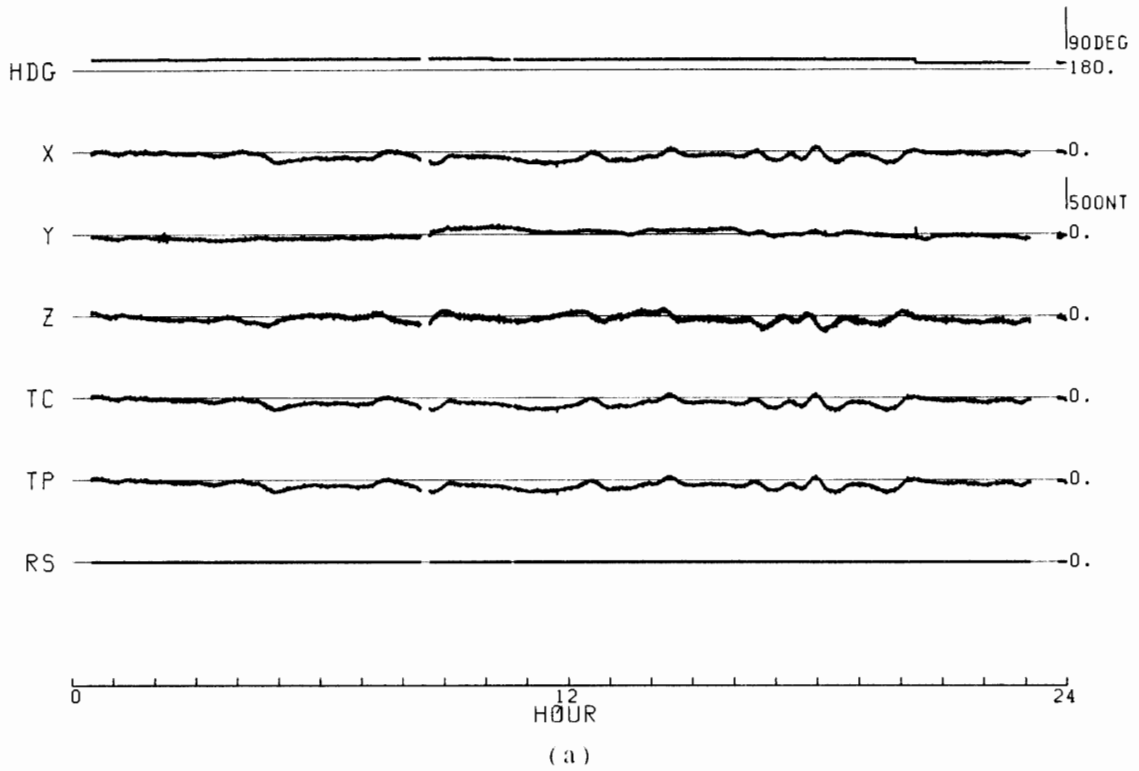
Fig. 5. Magnetic anomaly profiles of three components and total intensity of the geomagnetic field simultaneously measured by STCM and a proton magnetometer. X, Y, Z, TC and TP are northward component, eastward component, down ward component, total intensity calculated from three components and total intensity measured by a proton magnetometer, respectively. RS and HDG are residual of TC by subtracting TP and ship's heading.

(a) Profiles of observation line a on November 17, 1988 (from 19.62°N, 131.92°E to 14.19°N, 129.59°E).

(b) Profiles of observation line a on November 18, 1988 (from 14.19°N, 129.59°E to 10.55°N, 128.52°E).

(c) Profiles of observation line c on March 5, 1989 (from 66.15°N, 44.31°E to 64.97°N, 55.48°E).

TP と TC の残差 (RS) は, 地磁気 3 成分の磁気異常に長周期のトレンドがのっていることなどで, 絶対値で最大約 500 nT の差が見られる. そこで, プロトン磁力計によって得られた絶対値が国際標準磁場 (IGRF85) の方向の異常であると考えて, 国際標準磁場の方向の成分はプロトン磁力計によって得られたデータを使用し, 国際標準磁場の方向に直交する成分に関しては地磁気 3 成分のデータを適用し地磁気 3 成分の値を再計算した. この際,



地磁気3成分のデータを適用する国際標準磁場に直交する成分に関しては長周期のトレンドを取り去った。その結果得られたプロファイルが、図6(a), (b), (c)である。図6(a), (b), (c)は図5(a), (b), (c)にそれぞれ対応する。図6のように TP と TC の残差 (RS) がほとんどな

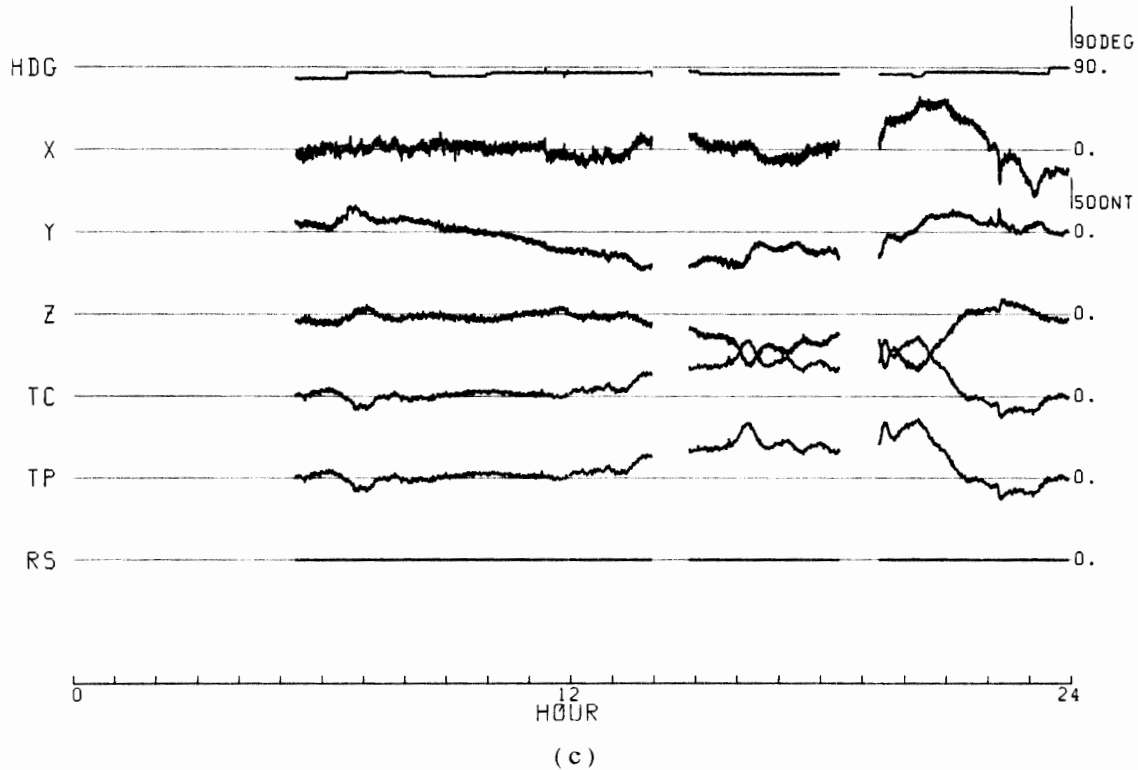


図 6 プロトン磁力計の全磁力のデータを地磁気 3 成分のデータに適用した記録。
(a), (b), (c) のそれぞれの図は, 図 5 (a), (b), (c) に対応する

Fig. 6. Profiles of magnetic anomalies that adapted total intensity of the geomagnetic field measured by a proton magnetometer to three components of the geomagnetic field measured by STCM. (a), (b), (c) correspond to (a), (b), (c) in Fig. 5.

くなるようにすることによって, 地磁気 3 成分のデータの絶対値がある程度信頼できるものとなってくる. 今回の観測では, プロトン磁力計によって得られた全磁力値はノイズ・レベルが大きいので, 絶対値としても若干の問題は残るが, 船上地磁気 3 成分測定とプロトン磁力計による全磁力測定の同時観測を行うことによって, より信頼度の高いデータが得られることは明らかである.

5. おわりに

船上地磁気 3 成分磁力計によって得られた地磁気 3 成分のデータをもとに 3 成分の磁気異常の相対的な変化から, 地磁気異常縞模様の走向や 2 次元構造物の走向等多くの情報を得ることができる (ISEZAKI, 1986; SEAMA *et al.*, 1990; NOGI *et al.*, 1990). 船上地磁気 3 成分磁力計による地磁気 3 成分測定の精度を上げるためには, それぞれの成分の絶対値や船首方位の不安定さによるノイズという問題がある. 絶対値の問題に関しては, プロトン磁力計によって得られた全磁力のデータを適合することによって, ある程度まで解決できるようである. したがって, 現段階では, 地磁気 3 成分のデータから絶対値の議論を行う場合, プロ

トン磁力計による全磁力測定との同時観測を行うことが不可欠である。また、船首方位の不安定さによるノイズの問題は、できるだけ船首の方向の変化を少なくすることが要求される。

プロトン磁力計による全磁力測定に関しては、「しらせ」で行う場合船速を 15 ノットと仮定して、センサーをおもり等で海面下にさげてセンサーをできるだけ安定させることや、船体のノイズを避けるために今回行った 240 m よりも長く曳航距離をとることが望まれる。以上の結果を考慮して、今後の海上における地磁気測定の改善が望まれる。

謝 辞

今回の観測を行うにあたって、第 30 次観測隊の江尻全機隊長をはじめ観測隊員の方々および砕氷艦「しらせ」の乗組員の方々には、観測の直接のご支援等多くのご協力をいただいた。ここに厚くお礼申し上げる。

文 献

- IAGA DIVISION I WORKING GROUP 1 (Barraclough, D. R., Chairman) (1987): International geomagnetic reference field revision 1987. *J. Geomagn. Geoelectr.*, **39**, 773-779.
- ISEZAKI, N. (1986): A new shipboard three-component magnetometer. *Geophysics*, **51**, 1992-1998.
- NOGI, Y., SEAMA, N. and ISEZAKI, N. (1990): Preliminary report of three components of geomagnetic field measured on board icebreaker SHIRASE during JARE-30, 1988-1989. *Proc. NIPR Symp. Antarct. Geosci.*, **4**, 191-200.
- SEAMA, N., SAYANAGI, K., NOGI, Y. and ISEZAKI, N. (1990): Vector anomalies of the geomagnetic field measured by STCM. to be published in *Prelim. Rep. Hakuho Maru Cruise KH-88-3 (Geophysics)*.

(1990 年 8 月 17 日受付; 1990 年 9 月 13 日改訂稿受理)