

大西洋中央海嶺 ケントランスフォーム断層 西側接合域 (WMARK) における 海底地磁気 3 成分観測

富士原敏也*¹ 藤本 博巳*¹ モーリス・タイビー*²

大西洋中央海嶺とケントランスフォーム断層の西側接合地域の潜航調査において、深海 3 成分磁力計を「しんかい6500」に取付け海底地磁気観測を行った。全 15 潜航の内、14 潜航において地磁気データを得た。その結果、海嶺軸に近く枕状溶岩が露出する観測測線、海嶺斜面上の玄武岩が露出する測線上では強い地磁気異常が観測された。これに比べると、トランスフォーム断層帯内のドレライト、ガブロなどの深部岩石、カンラン岩などのマントル岩石が採集された測線上で観測された地磁気異常は非常に小さいことがわかった。この結果は海上で観測される地磁気異常の起源に深部岩石が寄与するかという議論に関しての重要な情報を与えている。少なくとも調査しえた 10m.y. までの若い海洋地殻においては海洋地磁気異常の源の大部分は最上部の玄武岩溶岩層によることを示唆している。

キーワード: 大西洋中央海嶺, ケントランスフォーム断層,

深海 3 成分磁力計, 地磁気 3 成分異常,

海洋地殻岩石の磁気的性質

On-bottom Observation of Geomagnetic Vector Field on the Western Intersection of the Mid-Atlantic Ridge and the Kane Transform Fault (WMARK)

Toshiya FUJIWARA*³ Hiromi FUJIMOTO*³ Maurice TIVEY*⁴

We carried out on-bottom observation of geomagnetic vector field on the western intersection of the Mid-Atlantic Ridge and the Kane Transform Fault (called the WMARK area) near 23°50'N, 46°20'W. The observation was done with a deep-sea three component magnetometer mounted to the research submersible "Shinkai 6500". We obtained magnetic data on 14 survey dives out of 15 dives. Prominent geomagnetic anomalies were identified in the pillow lava section near the ridge axis, and in the basalt layer in the ridge flank. In contrast, the variations of anomalies in the deeper intrusive

* 1 東京大学海洋研究所

* 2 ウッズホール海洋研究所

* 3 Ocean Research Institute, University of Tokyo

* 4 Woods Hole Oceanographic Institution

dolerite, gabbro, and mantle rocks in the transform fault zone are small. The results provide constraints on the source of the marine geomagnetic anomaly. The results suggest that a majority of the source of the sea-surface geomagnetic anomaly patterns lies with the extrusive section of the upper most part of oceanic crust at least for 10 m. y. old crust.

Key words : Mid-Atlantic Ridge, Kane Transform Fault, Deep-sea three-component magnetometer, Geomagnetic vector anomaly, Magnetic property of crustal rocks

1. はじめに

地磁気異常の源である海洋地殻の近くで地磁気観測をすることにより、我々は海洋地殻の磁気的性質、それに記された過去の地球磁場に関する高い空間（時間）分解能の情報を得ることができる。海底近くの地磁気観測は深海曳航体や有人潜水船を使うことにより行われる。有人潜水調査船による地磁気観測では地質・岩石観察と地磁気データとを直接対応つけた観測をすることができる有利さがある。

我々は1994年6月から7月にかけて行われた「しんかい6500」の潜航調査において海底地磁気観測を行った。調査地域は大西洋中央海嶺の海嶺軸とケーン・トランスフォーム断層との西側の接合地域(WMARK(=Western Mid-Atlantic Ridge Kane))地域とよばれる：23°50'N, 46°20'W 付近)である。トランスフォーム断層帯内から海嶺斜面にわたる調査域は、地殻最上部の溶岩層から深部地殻岩石、マントル岩までの断面露頭を観察することができ、海洋地殻岩石の磁気的性質を調べる研究にとって

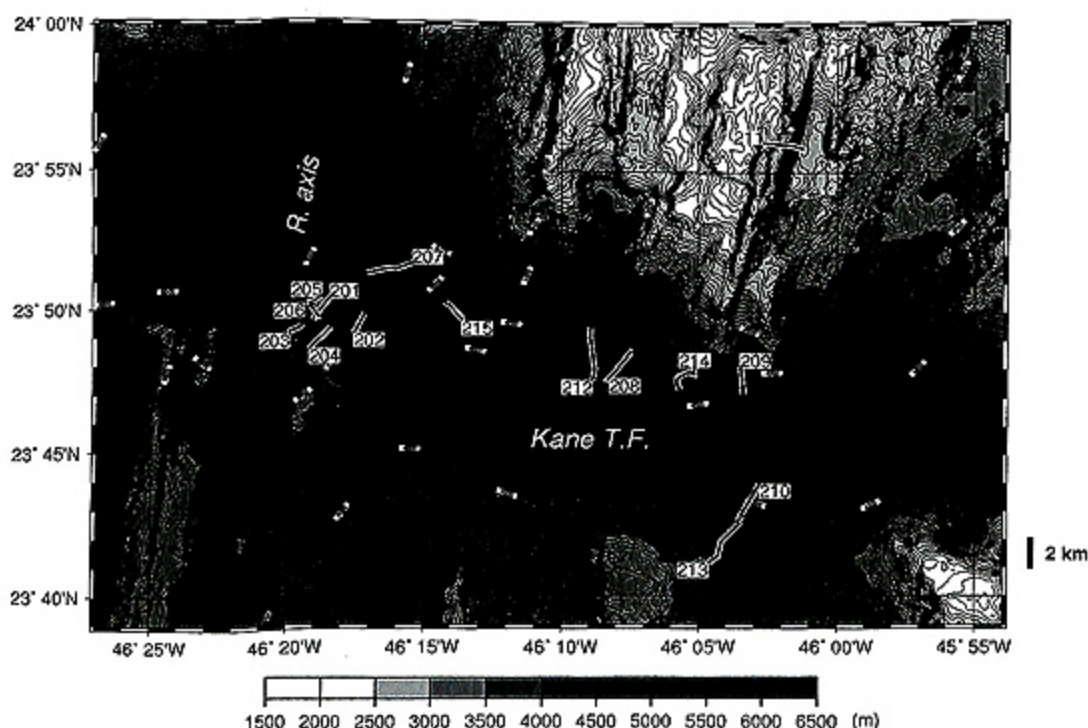


図1 観測域の海底地形と潜水調査船「しんかい6500」調査測線図。等高線間隔は50m。水深は濃い灰色(6,000m)から白色(1,500m)まで変化している。図中の太線は潜航番号を付記した各潜航測線

Fig. 1 Map of the study area and the submersible "Shinkai 6500" dive tracks. Contour interval is 50m. Depth ranges from 6,000m (dark gray) to 1,500m (white). Bold lines show dive tracks. Dive number is attached to each track.

は最適な場所である。

2. 海底地磁気観測

1994年6月から7月にかけて「しんかい6500」によるWMARKの調査が行われた。この調査において我々は岩石採集、重力測定、地質調査とともに海底地磁気観測を行なった。全15潜航の内、14潜航において地磁気データが得られた。観測測線は海嶺軸部の現在活動的な地域(201, 205, 206)、海嶺軸とトランスフォーム断層の接合域(201, 202)、接合域の連節海盆(207, 215)、トランスフォーム断層帯内の小丘(208, 212)、内角高地中の海嶺斜面(211)、トランスフォーム断層南側の崖(203, 204, 213)、そして北側の崖(209, 214)に分布している。各測線の長さは約2kmである(図1)。潜水船は海底地形に沿うように航行した。

磁力計システムを収めた2つの耐圧容器および圧力・温度センサーは「しんかい6500」のマニピュレータを取り付けている基部にフレームを組んで固定された(写真1)。今回の観測に用いられた磁力計システムは東京大学海洋研究所において新たに開発されたものである。これは従来までの深海磁力計では計測できなかった地磁気3成分(水平北向き分力、水平東向き分力、鉛直分力)を計測し質の高い観測をすることを目標に開発された。この磁力計システムは3軸フラックスゲート磁力計、磁気コンパス、鉛直ジャイロスコープ、温度・圧力計の計測部、システム制御部、データ記録部、電源により構成さ

れている(図2)。磁力計、磁気コンパス、鉛直ジャイロスコープ、制御・記録装置、および電源は水深6,500mまで使用できる3つの耐圧容器に収められている。磁気コンパス、鉛直ジャイロスコープにより磁力計システムの姿勢(方位、縦揺れ、横揺れ)を計測し装置がどのような方向を向いても後処理によって地磁気3成分を算出できる。この磁力計は潜水船に取付けての観測、曳航観測の他、船上観測にも対応できるように汎用性をもたせた設計がされている。また外部電源が利用可能な場合、AC100V電源を使うこともできる(佐柳ほか, 1995)。今回の観測でも電力は「しんかい6500」のAC電源から供給を受け、磁力計システムの電池は使用しなかった。

地磁気、方位・姿勢角データは毎1秒、圧力・温度データは約3.5秒の間隔で潜水開始から浮上終了までの間、計測、記録された。方位角は「しんかい6500」のジャイロコンパスによっても毎2秒の間隔で計測され、解析にはこちらの方角データを使用した(図3)。船体磁気の影響の補正は潜水船の下降時における旋回中の計測データを用い(図3中、Sampling number 1,200-6,000のデータ)、船上3成分磁力計の船体磁気補正に広く用いられている方法(Isezaki, 1986; 島, 1992)によって行なった。地磁気異常は国際標準磁場(International Geomagnetic Reference Field (IGRF) 1990)との残差により算出した。

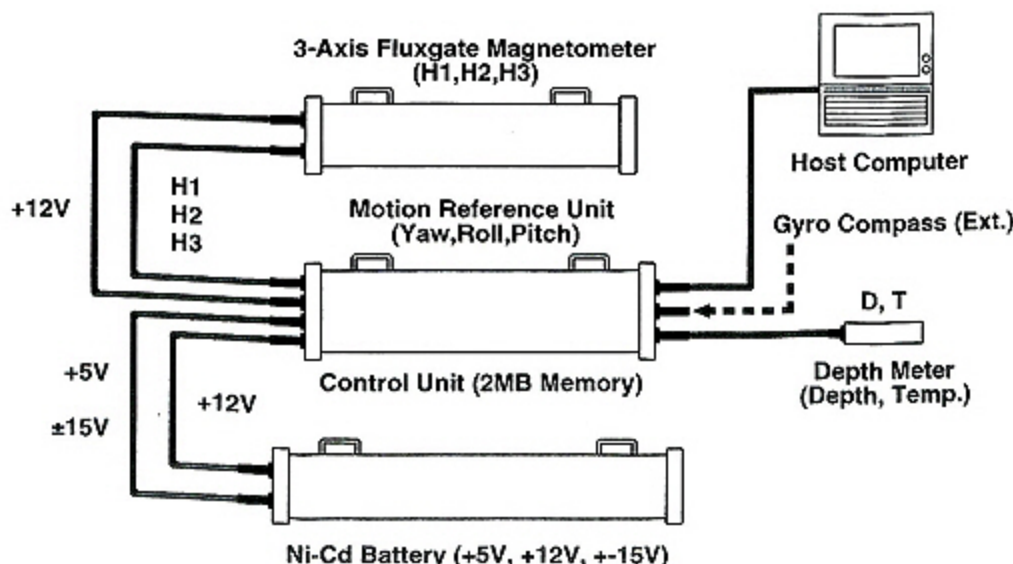


図2 深海3成分磁力計システム構成図

Fig. 2 System configuration of the deep-sea three component magnetometer.

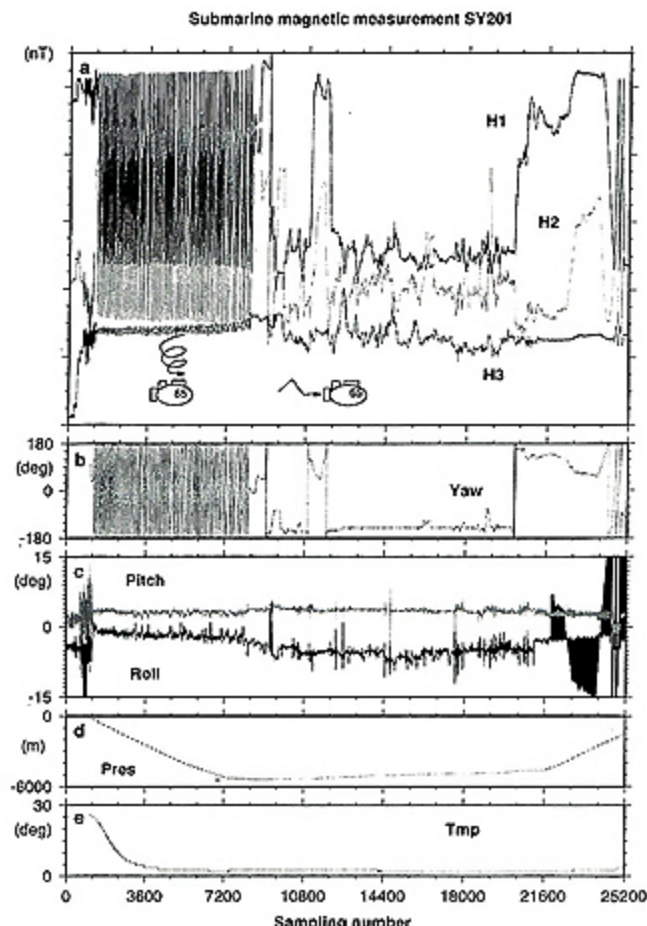


図3 観測データ生記録。横軸単位は計測開始からの積算秒。a: 磁場 (単位: nT)。H1, H2, H3 はそれぞれセンサー 1, 2, 3 の記録。図を見やすくするためセンサー 1 には +75,000nT, センサー 2 には +65,000nT の値を加えている。b: 方位角 (単位: 度)。c: 横揺れ, 縦揺れ角 (単位: 度)。Pitch, Roll はそれぞれ縦揺れ, 横揺れ角の記録。図を見やすくするため縦揺れ角には +2.5°, 横揺れ角には -2.5° の値を加えている。d: 水深 (単位: m)。圧力値 10,000psi = 6,804.5m として水深を計算している。e: 温度 (単位: 摂氏)。

Fig. 3 Observed raw data of the dive 201. Horizontal axis indicates elapsed seconds from start of measurement. a: Magnetic field measured by sensor 1, 2, and 3 (unit: nT). Offset -75,000nT for the sensor 1, -65,000nT for the sensor 2 respectively to obtain real value. b: Yaw angle (unit: degree) c: Roll and pitch angle (unit: degree). Offset -2.5° for the pitch angle and +2.5° for the roll angle respectively to obtain real value. d: Water depth (unit: m). The depth is calculated from observed pressure data with the assumption of 10,000psi = 6804.5m. e: Temperature (unit: Celsius).

3. 観測結果

得られた地磁気プロファイルを図4～図6そして図7に示す。図中aのF, X, Y, Zのプロファイルはそれぞれ全磁力, 水平北向き分力, 水平東向き分力, 鉛直分力である。図中bは潜水船の方位角を示している。潜水船の変針に伴って地磁気観測プロファイルにはスパイク状あるいは階段状の変動ノイズがみられることがある。その大きさは~2,000nT程度である。

図4は測線201, 図5は測線211, そして図6は測線208において得られた記録である。これらの3例はこの研究

地域の磁場の特徴をよく代表している。測線201では振幅10,000nTを超える大きな磁場変化が観測されている(図4)。おなじ特徴を持つ測線は他に205, 206, 207がある(図7)。測線211では, 前述の測線よりやや小さい振幅の磁場変化が観測されている(図5)。これらに比べ対照的にその他の測線では208の地磁気プロファイルに代表されるように磁場変化は非常に小さい(図6, 7)。

4. 考 察

海洋の地磁気異常をもたらし海洋地殻の磁化層については議論がある。あるモデルでは、最上部の玄武岩溶岩噴出層（約500～1,000mの厚さ）のみを地磁気異常の起源とする一方、他のモデルでは、海洋地殻の残りの部分である深部岩石のダイクやガブロも地磁気異常に大きく寄与している。「しんかい6500」により観測された地磁気データは地質学的観測と顕著な相関をみせており、高い磁化をもつ最上部の玄武岩溶岩層と相対的に弱い磁化の深部岩石というモデルに一致している。

測線201は現在火成活動がおこなわれている海嶺軸上からトランスフォーム断層の南側の崖に至る測線である（図1）。非常に大きな振幅の磁場変化が観測されている地域では新鮮な枕状溶岩が採集されている（図4中0-3,000seconds）。測線の後半トランスフォーム断層の南側の崖で深部地殻岩のドレライトが採集された地域に至ると、磁場変化の振幅は小さくなっている（図4中3,000-4,200seconds）。

測線208はトランスフォーム断層帯の中の小丘を登る測線である（図1）。磁場変化の振幅が非常に小さいこと

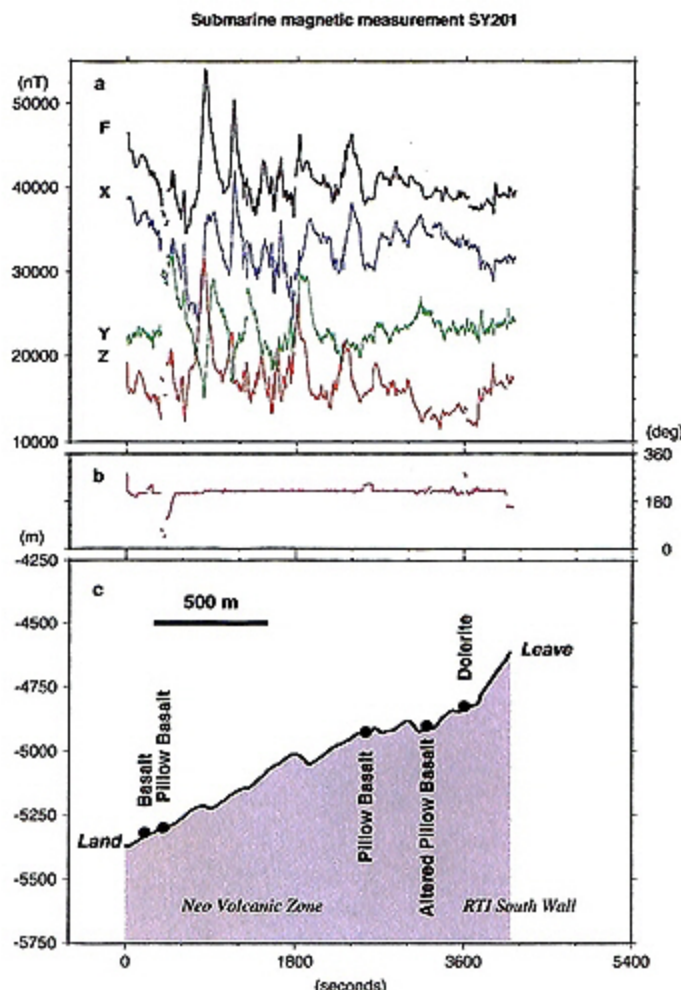


図4 測線201における地磁気観測プロフィール、横軸単位は着底時から岩石採集や重力測定時をのぞいた観測時間(秒)。a: 地磁気異常プロフィール (単位: nT)。F, X, Y, Z はそれぞれ計算全磁気異常、北向き、東向き、鉛直下向きの成分を表わす。b: 船首方位プロフィール (単位: 度)。c: 測線201における水深プロフィール (単位: m)。採集された岩石の記載を採集点に付記した

Fig. 4 a: Geomagnetic field profiles of the dive 201 (unit: nT). Horizontal axis indicates elapsed seconds from landing. Notations F, X, Y, and Z show calculated total intensity, northward, eastward, and vertical downward components. b: Depth profile of the dive 201 (unit: m). Description of rocks is labeled on sampling sites.

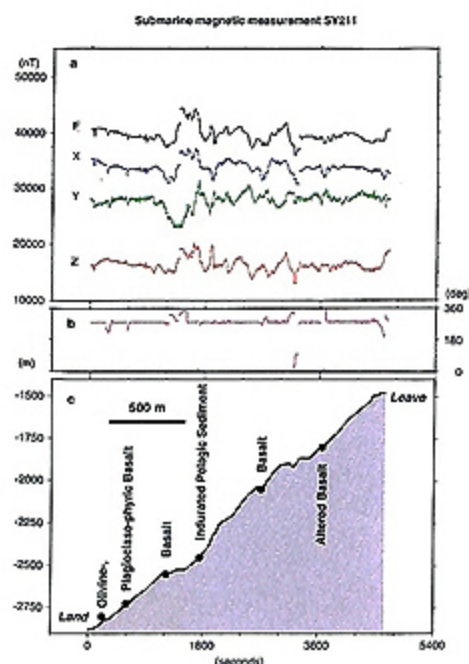


図5 測線211における地磁気観測プロフィール、横軸単位は着底時から岩石採集や重力測定時をのぞいた観測時間(秒)。a:地磁気異常プロフィール(単位:nT)。b:船首方位プロフィール(単位:度)。c:水深プロフィール(単位:m)。表記の意味は図4と同様
Fig. 5 Geomagnetic field and depth profiles of the dive 211. Horizontal axis indicates elapsed seconds from landing. Notations are the same meanings as them in the Fig. 4.

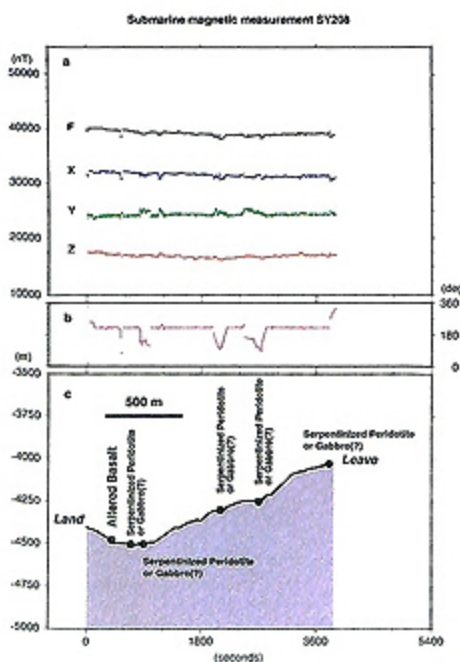


図6 測線208における地磁気観測プロフィール、横軸単位は着底時から岩石採集や重力測定時をのぞいた観測時間(秒)。a:地磁気異常プロフィール(単位:nT)。b:船首方位プロフィール(単位:度)。c:水深プロフィール(単位:m)。表記の意味は図5と同様
Fig. 6 Geomagnetic field and depth profiles of the dive 208. Horizontal axis indicates elapsed seconds from landing. Notations are the same meanings as them in the Fig. 5.

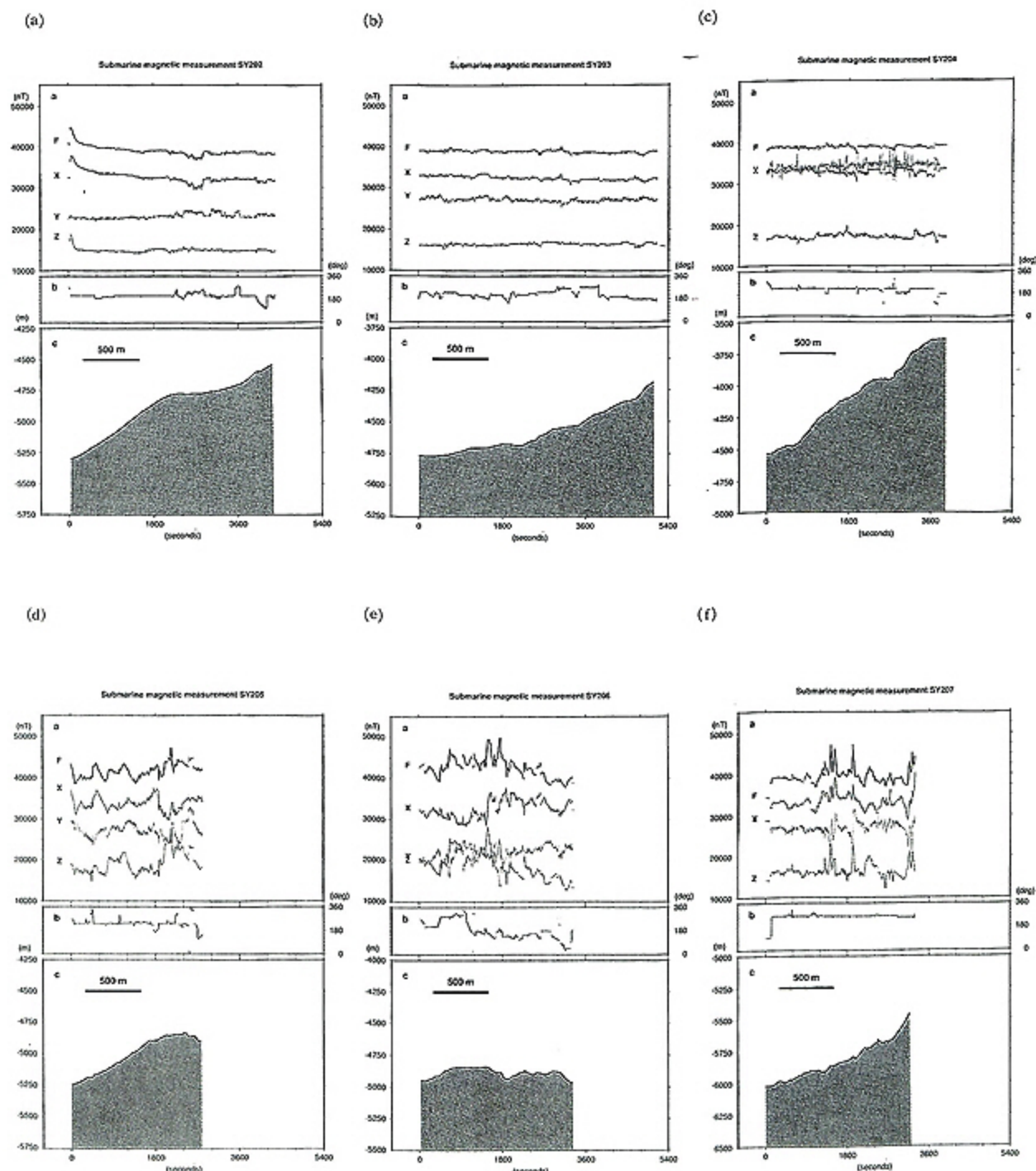
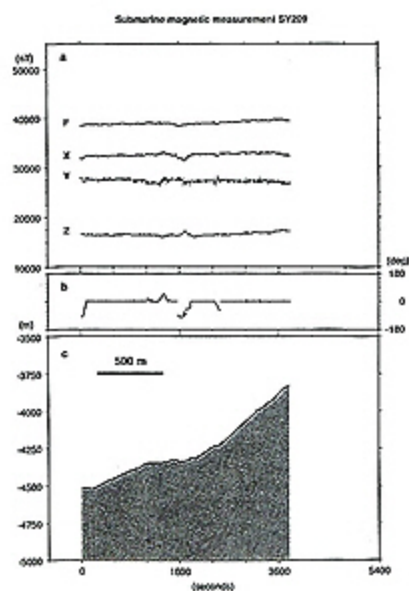


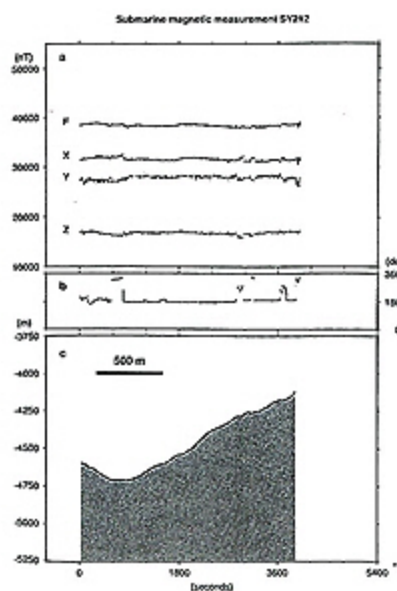
図7 他の観測測線における観測プロフィール、横軸単位は着底時から岩石採集や重力測定時をのぞいた観測時間(秒)。a: 地磁気異常プロフィール(単位: nT)。b: 船首方位プロフィール(単位: 度)。c: 水深プロフィール(単位: m)。表記の意味は図6と同様。(a) 測線202, (b) 測線203, (c) 測線204, (d) 測線205, (e) 測線206, (f) 測線207, (g) 測線209, (h) 測線212, (i) 測線213, (j) 測線214, (k) 測線215

Fig. 7 Geomagnetic field and depth profiles of the other dive tracks. Horizontal axis indicates elapsed seconds from landing. The notations are the same meanings as them in the Fig. 6. (a) Dive 202, (b) Dive 203, (c) Dive 204, (d) Dive 205, (e) Dive 206, (f) Dive 207, (g) Dive 209, (h) Dive 212, (i) Dive 213, (j) Dive 214, (k) Dive 215.

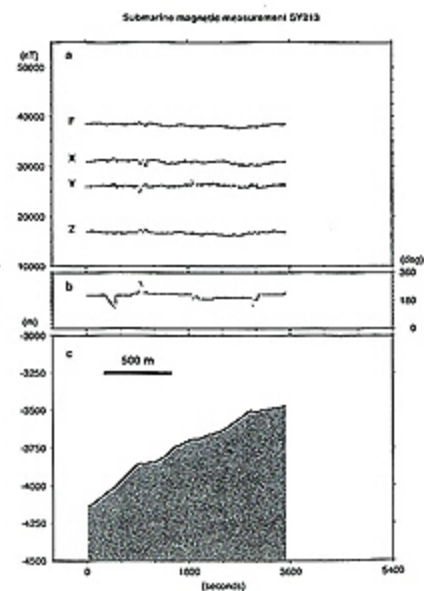
(g)



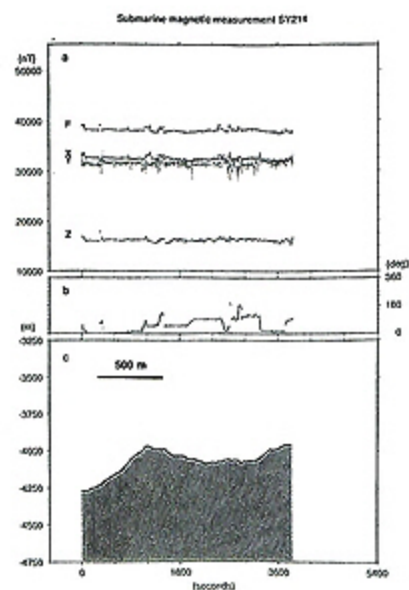
(h)



(i)



(j)



(k)

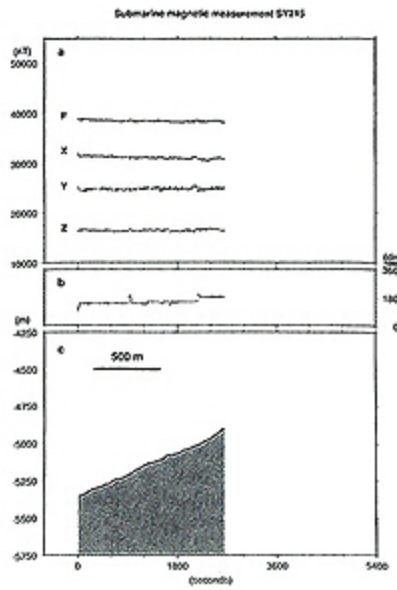


図7 (続き)
Fig. 7 (continued)

と深部地殻岩であるガブロ、蛇紋岩化されたマントル岩であるペリドタイトが採集されていることに対応している(図6)。

測線211は海嶺斜面上の急崖を登る測線である(図1)。磁場変化の振幅が測線201のそれよりも小さいのは、採集されている玄武岩が変成を受けていることと相関しているものと思われる(図5c)。測線211を細かくみると0-1,200seconds, 1,200-3,200seconds, 3,200-4,500secondsで磁場変化の振幅が変化している。これは玄武岩の変成度の違いを反映しているものと思われる。

我々が調査した地域の年代は海上の地磁気異常観測によれば、0Maから約10Maと同定される。したがって少なくとも我々が調査した年代10m.y.までの深部岩石は、強い磁性をもたないと結論することができる。

5. ま と め

大西洋中央海嶺ケントランスフォーム断層西側接合地域において、「しんかい6500」と深海3成分磁力計による海底の地磁気観測を行なった。最上部玄武岩溶岩層では大きな地磁気異常が、これに対して深部地殻岩石、マントル岩の層では非常に小さい地磁気異常が観測された。この現在までの解析の結果得られる地磁気データの顕著な特徴からひとつの結論を得ることができる。海洋地磁気異常の源の大部分は、少なくとも10m.y.の年代の地殻岩石においては最上部の玄武岩溶岩層によることを示唆している。

謝 辞

井田正比古司令をはじめとする潜水調査船「しんかい6500」運航チーム、および湯川修船長をはじめとする支援船「よこすか」乗組員の潜航調査航海における協力と航海データの提供に感謝する。海底地磁気計測および潜航地点の基礎調査となる海上地球物理調査は小林和男・松本剛・Bill Bryan・Peter Kelemen・木下肇・竹内章・石塚英男・古田俊夫の各氏の協力により行われた。

引用文献

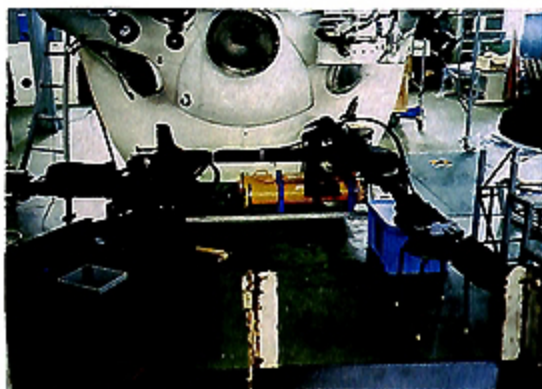
- IAGA Division V Working Group 8 (1991): International geomagnetic reference field, 1991 revision. J. Geomag. Geoelectr., 43, 1007-1012.
- Isezaki, N. (1986): A new shipboard three component magnetometer. Geophys., 51, 1992-1998.
- 佐柳敬造・藤本博巳・玉木賢策・富士原敏也・村上英幸・渡島克久 (1995): 汎用深海三成分磁力計システムの開発. 海洋調査技術, 6, 21-32.
- 島 伸和 (1992): 海上における地磁気3成分異常の研究. 海洋調査技術, 4, 41-49.

(原稿受理: 1995年6月16日)

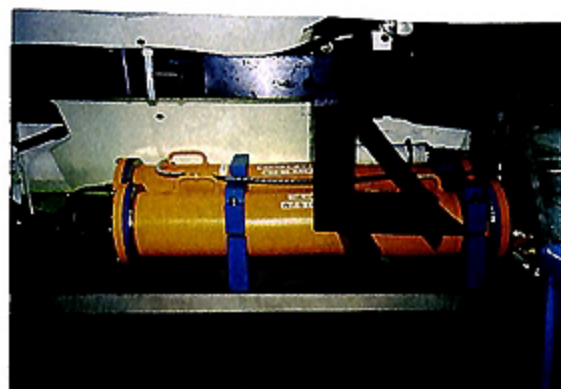
(注) 写真は次ページ以降に掲載



(a)



(b)



(c)

写真1 「しんかい6500」に装備された深海3成分磁力計。a: 「しんかい6500」全体図。b: 2本の黄色の耐圧容器に収められた磁力計システムおよび圧力センサーは「しんかい6500」のマニピュレータを取り付けている基部にフレームを組んで固定された。c: 前側の耐圧容器は磁力計部、後側の耐圧容器は姿勢計測部

Photo 1 Deep-sea three component magnetometer mounted to the submersible "Shinkai 6500". (a) General view of the research submersible "Shinkai 6500". (b) The magnetometer system in two yellow colored pressure cases was mounted to the frame of the manipulator base. (c) Zoom of the figure (b). The front case is the magnetometer unit, the back one is the motion reference and control unit. The depth meter was attached to the back case.