

房総半島鴨川沖の地磁気調査

富士原敏也*1 島 仲和*2 山本 路子*2
伊勢崎修弘*3 木下 肇*1

房総半島の嶺岡帯に露出するオフィオライト起源の火成岩類と同様な岩類の、鴨川沖での分布と構造を解明する目的で、「よこすか」YK98-02 Leg 1 航海 (1998年1月)において、房総半島鴨川沖 (140°00'E~140°30'E, 34°30'N~35°10'N) の地磁気及び海底地形、重力調査を行った。地磁気調査の結果、嶺岡帯の南方にあたる、140°07'E, 35°01'N 付近の海域に短波長で振幅の大きい正の地磁気異常が観測された。この地磁気異常を3次元プリズムモデルを仮定して解析した。観測地磁気異常は、2つの磁化プリズムを測線の北に位置させることで説明できる。磁化プリズムの上面は海底面とし、厚さ1km、水平方向には1×2kmの大きさとした。磁化強度はそれぞれ1.0, 1.5 A/m、磁化の偏角は-30°、伏角は0°を与えた。磁化プリズムの規模と磁化は、嶺岡帯より南の房総半島上の短波長地磁気異常の研究から得られた磁化構造と類似している。古地磁気学的研究とあわせると得られた磁化構造は、房総半島またはその周辺海域下に底づけされ付加された海洋地殻の断片の埋没を示しているものと思われる。その海洋地殻はやや南下がりに傾斜した形で埋没していると考えられる。房総半島下の磁化構造は少なくとも20kmは東方の海域に延長されるものと考えられる。

キーワード：房総半島沖、地磁気異常、嶺岡帯、オフィオライト、海溝3重点

Geomagnetic Survey of the Off-Kamogawa, Boso Peninsula, Japan

Toshiya FUJIWARA*4 Nobukazu SEAMA*5 Michiko YAMAMOTO*5
Nobuhiro ISEZAKI*6 Hajimu KINOSHITA*4

We conducted geomagnetic, bathymetric and gravity surveys of the off-Kamogawa (140°00'E-140°30'E, 34°30'N-35°10'N) during the YK98-02 Leg 1 cruise aboard the "R/V Yokosuka" in January 1998, to clarify the distribution and the crustal structure of an ophiolitic belt compared with the "Mineoka ophiolite", which outcrops in Kamogawa, Boso Peninsula. As the result of the geomagnetic survey, we found the notable positive geomagnetic anomalies around 35°01'N, 140°07'E, located in the south of the Mineoka ophiolitic belt, which have short wavelengths and large amplitudes. We analyzed this anomalies by using a forward modeling due to three-dimensional magnetic prisms. The observed geomagnetic anomalies are demonstrated by the calculated anomalies due to the two magnetic prisms located in the north of the ship track. The

*1 海洋科学技術センター深海研究部

*2 千葉大学大学院自然科学研究科

*3 千葉大学理学部

*4 Deep Sea Research Department, Japan Marine Science and Technology Center

*5 Graduate School of Science and Technology, Chiba University

*6 Faculty of Science, Chiba University

assumption of the upper surface of the prisms is seafloor, the thickness is 1 km, and the width and length is 1×2 km. The prisms show directions of 30° in declination, 0° in inclination, and have magnetized intensities of 1.0, 1.5 A/m, respectively. The resultant dimension and magnetization of the magnetic prisms are comparable with previous results of magnetic structure beneath the Boso Peninsula in the south of the Mineoka belt. In consideration of paleomagnetic studies, the model structure probably shows presence of fragments of oceanic crust buried in the crust of the Boso Peninsula and the seafloor around the peninsula, which is underplated and subsequently accreted in the subduction region. The result suggests that the fragmentary crusts are tilting southward. The magnetic structure beneath the Boso Peninsula is considered to extend eastward at least 20 km.

Key words : Off Boso Peninsula, Geomagnetic Anomaly, Mineoka Belt, Ophiolite, Triple Junction

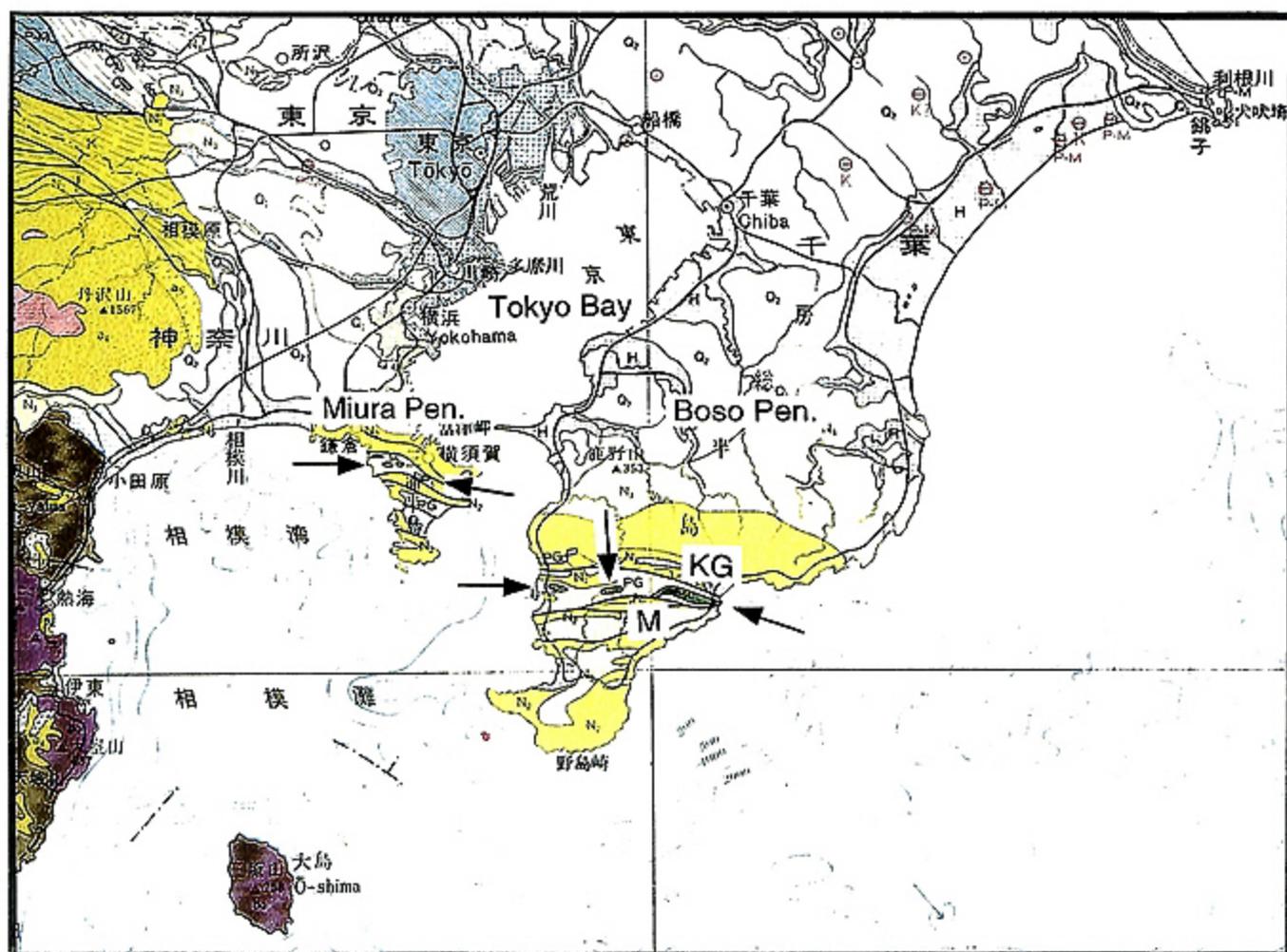


図1 調査域周辺の地質図 (地質調査所, 1982に加筆)。KG = 鴨川。矢印で示された区域はオフィオリティックな岩類の露出を表す。M = 嶺岡帯。

Fig. 1 Geological map of the study area (modified after Geological Survey of Japan, 1982); KG = Kamogawa. Arrows show outcrops of ophiolitic rocks; M = Mineoka Belt.

1. はじめに

房総半島の南部に分布する嶺岡帯中には、玄武岩、蛇紋岩などのオフィオライト起源と思われる火成岩類が露出している。これらの海成火成岩類は鴨川の嶺岡山系沿いに東西に約 10 km, 南北に約 0.5~1 km にわたって帯状に分布している (兼平, 1976)。嶺岡帯の火成岩類と同類な岩類は、房総半島の東京湾側の富山付近、そしてさらに東京湾を越えた三浦半島の衣笠付近にも露出している (図1)。これらの岩類の分布を結んだ線は過去のプレート境界の位置を示す重要な証拠として、テクトニクスの議論がなされている (Tonouchi and Kobayashi, 1983; 小川・藤岡, 1985; 小川・谷口, 1987)。これらの岩類がいつどこで形成され、どのようなメカニズムで現在の位置を占めるようになったかを解明することは、房総半島の南東沖に位置する海溝—海溝—海溝型3重点の形成、発達史と、その周辺での3プレート間の相互作用及びプレート境界でのテクトニクスの解明にとって重要なことと思われる (図2)。

我々は、オフィオライト起源の岩類の分布が、鴨川から東方へはどのように延長されるのかを調べる目的で、地磁気調査を主とした房総半島鴨川沖の調査を行った。房総半島南部における陸上地磁気調査では、嶺岡帯の火成岩帯の分布に対応した地磁気異常をはじめ短波長で振幅の大きい地磁気異常が観測され (図3)、その磁化構造について議論がされている (森尻, 1988; Morijiri et al., 1990; 小倉, 1990; Fujiwara, 1990; Fujiwara et al., 1990)。当海域においても、オフィオライト起源の岩帯に対応した明瞭な地磁気異常によって、その分布と構造が明らかにできるものと期待される。

2. 「よこすか」YK98-02 Leg 1 航海

房総半島鴨川沖の調査は海洋科学技術センターの調査船「よこすか」のYK98-02 Leg 1航海 (1998年1月15日~1月20日) により行った。調査項目は海上曳航プロトン磁力計による全磁力、船上3成分磁力計による地磁気3成分調査、マルチナロービーム音響測深機による海底地形調査、船上重力計による重力調査、そして深海曳航3成分磁力計による地磁気調査 (山本ほか, 準備中) である。図4に調査測線を示す。海況の不良のため航走調査時間は、20時間、約350マイル (650 km) に限られた。また、本研究目的のための地磁気調査としては南北方向の測線が望ましいが、一般船の航路沿いという制約のため測線は東北東—西南西方向にとられている。測線間隔は調査海域の北側3測線が2マイル (3.7 km)、南側4測

線が3マイル (5.6 km) で、鴨川海底谷を中心とした測線がとられた。海底地形調査に関しては10%~80%のマルチナロービームのカバーが達成されている。重力は10秒、全磁力は20秒、地磁気3成分は1/8秒間隔でデータを取得した。139°59'E, 34°47'Nの地点においてXBT観測、140°09'E, 34°47'Nの地点において船上3成分地磁気データの変換係数決定のための航走を行った。測位はGPS (Global Positioning System) により行い、測地系はWGS-84を使用した。

3. 地磁気異常

得られた地磁気全磁力異常を図5に示す。地磁気異常は国際標準磁場 (International Geomagnetic Reference Field (IGRF)) (IAGA WG8, 1995) からの残差により求めた。調査海域全体の傾向として140°10'E, 35°05'Nから140°40'E, 34°50'N付近に西北西—東南東に伸びる負の地磁気異常帯がみられる (図6)。この負の地磁気異常は既存の広域地磁気異常図 (GSJ and CCOP, 1996) と調和的である。この負の地磁気異常に関しては広域的な磁化構造を反映するものと示唆されている (Morijiri et al., 1990; Fujiwara, 1990; Fujiwara et al., 1990)。

嶺岡帯の南方にあたる、140°07'E, 35°01'N付近の海域に、広域地磁気異常図にはみられていなかった短波長で振幅の大きい正の地磁気異常が観測された (図5)。この地磁気異常の源はオフィオライト起源の岩類によるものと考え、地磁気全磁力異常および地磁気3成分異常を説明する磁化構造の解析を行った。地磁気3成分異常は、測定値から地磁気3成分値への変換 (Isezaki, 1986) 後、IGRF 1995 残差により求めた。本研究で得られた海底地形 (図7) 及び海上保安庁水路部の海底地形図 (1984) では、この海域は水深130 m~170 mの比較的平坦な地形を呈している。地磁気異常の原因物体に関する拘束条件がないため、解析は磁性物体をもっとも単純に3次元プリズムモデルで仮定し、観測値と計算値を合わすことにより行った。プリズムモデルによる地磁気異常の計算方法はBhattacharyya (1964) による。周辺地球磁場の偏角、伏角はIGRF 1995より-6.6°, 48.1°とした。観測地磁気異常は孤立した2つのピークを持つことから、2つの磁性物体を仮定した。磁性体の東西方向の大きさは、その地磁気異常の波長から2 km以内に制約した。振幅が比較的小さい地磁気異常東向き (Y) 成分を説明するために、浅い磁化伏角を与えた。また地磁気異常各成分のピークの位置を合わすために、西偏した磁化偏角を与えた。解析結果を図8及び表1に示す。観測された地磁

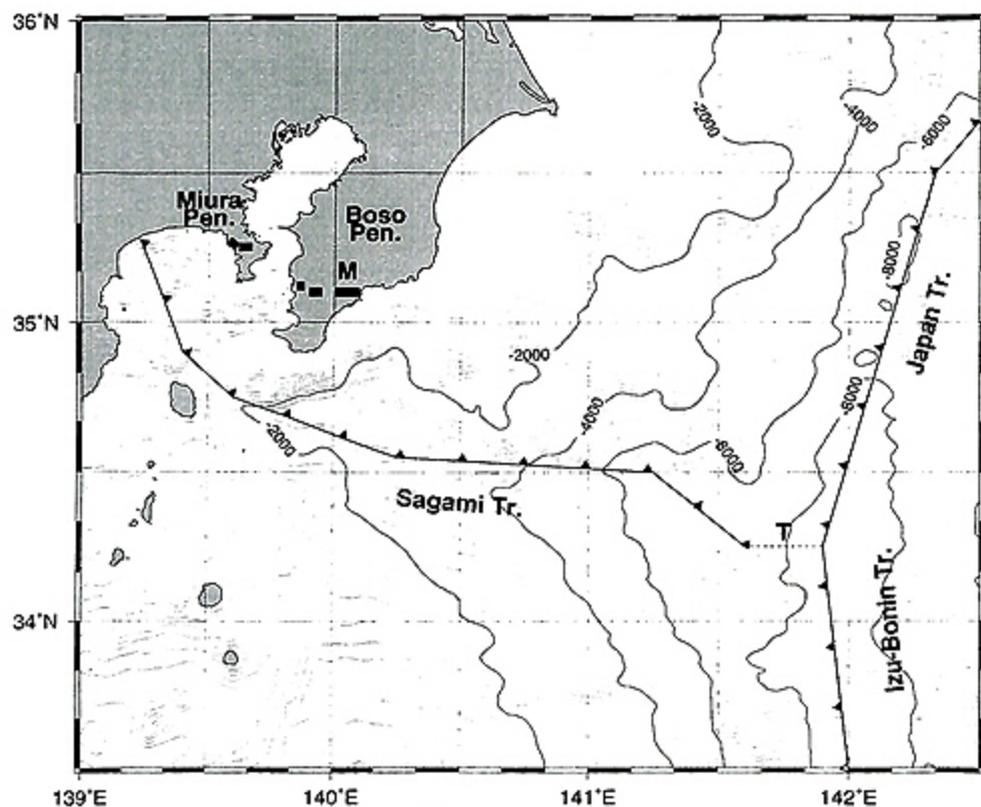


図2 調査域周辺の構造地質図。海底地形概略データは駒澤・岸本 (1995) による。三角付きの実線は海洋プレートの沈み込み帯を示す。T = 海溝3重点。太い実線はオフィオリティックな岩類の露出を示す。

Fig. 2 Regional tectonic map of the study area. Data of bathymetric contour are from Komazawa and Kishimoto (1995). Solid lines with triangles show plate subduction zones; T = Trench triple junction. Thick solid lines show approximate location of outcrops of ophiolitic rocks.

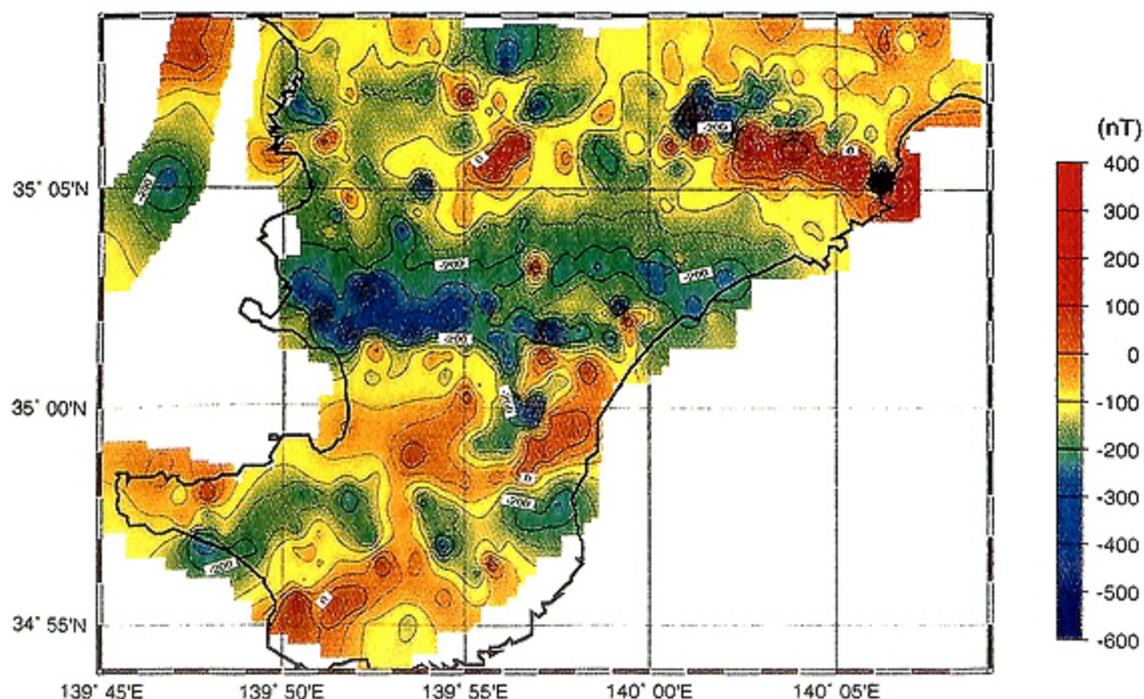


図3 房総半島南部の地磁気全磁力異常図。地上での地磁気異常を1500 ft (460 m)に上方接続したもの。等磁力線間隔は20 nT。

Fig. 3 Geomagnetic total force anomaly map of the southern part of Boso Peninsula. Filtering of upward continuation from ground to 1,500 ft (460 m) is operated. Contour interval is 20 nT.

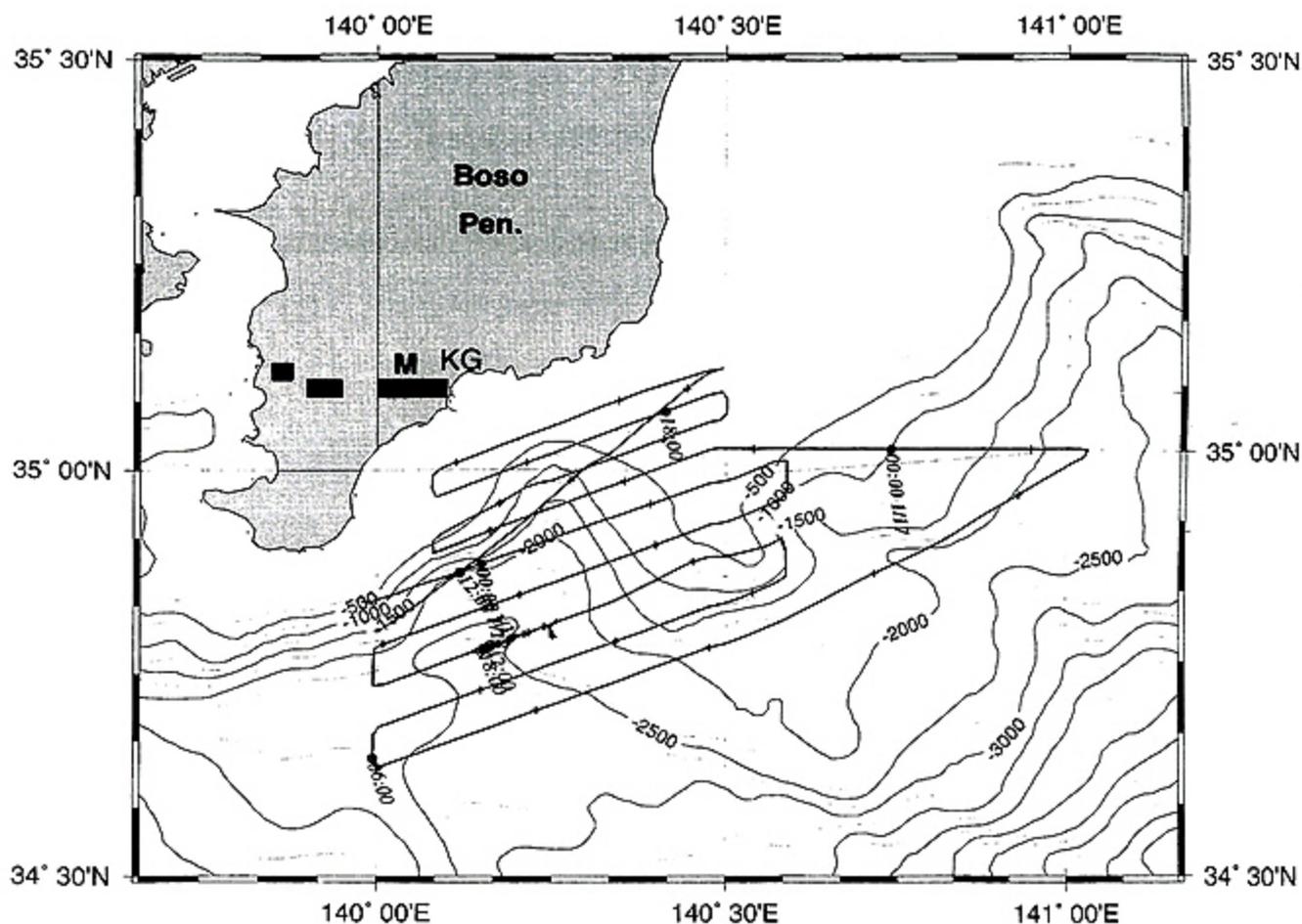


図4 「よこすか」YK98-02 Leg 1 航海の調査測線図。
Fig. 4 Survey ship tracks during the R/V "Yokosuka" cruise YK98-02 Leg 1.

気異常は、2つの磁化プリズムを測線の北に位置させることで説明できる。磁化プリズムの上面は海底面とし、厚さ1 km、水平方向には1×2 kmの大きさとした。磁化強度はそれぞれ1.0, 1.5 A/m、磁化の偏角 -30° 、伏角は 0° を与えると、計算磁気異常は観測された地磁気異常をよく説明する(図9)。の地点において船上3成分地磁気データの変換係数決定のための航走を行った。測位はGPS(Global Positioning System)により行い、測地系はWGS-84を使用した。

4. 考 察

得られた磁化構造を房総半島上の短波長の地磁気異常により求めた磁化構造と対比する。本研究で得られた磁化構造は、その磁性体の大きさ、磁化強度、磁化伏角に関して、火成岩の露出のない嶺岡帯以南の地域で求められた磁化構造と類似している。同地域では、厚さ0.5 km、東西方向に2 km、南北方向には0.5~3 kmの大きさの磁化プリズムが、0.5~4 kmの深度に埋没している構造が求めら

れている(図10)。磁化強度は1.0~2.0 A/m、磁化伏角に関しては $0\sim 20^\circ$ が与えられている(小倉, 1990; Fujiwara, 1990; Fujiwara et al., 1990)。同地域には地表地質に火成岩の露出がないものの地磁気異常の原因は嶺岡帯に露出する火成岩と同類の岩類によるものと考えられる。与えられた磁化強度は、嶺岡帯に露出する火成岩類の自然残留磁化強度と調和的である。その自然残留磁化強度は枕状玄武岩で0.3~8.8 A/m、玄武岩質岩脈で0.2~4.1 A/m、蛇紋岩などの超塩基性岩で0.8~1.4 A/mという値が報告されている(Tonouchi and Kobayashi, 1983)。嶺岡帯火成岩帯の平均の磁化強度として、1.2~2.0 A/mを考えて矛盾はないものと思われる(森尻, 1988; 小倉, 1990; Fujiwara, 1990; Fujiwara et al., 1990)。磁化の伏角に関しても古地磁気学的研究と地磁気異常の解析結果は調和的である。嶺岡帯の軸の南側に産する岩石は概して伏角が浅い(Tonouchi and Kobayashi, 1983)。

本研究で得られた磁化構造は、房総半島またはその周辺海域下に底づけされ付加された海洋地殻の断片の埋没

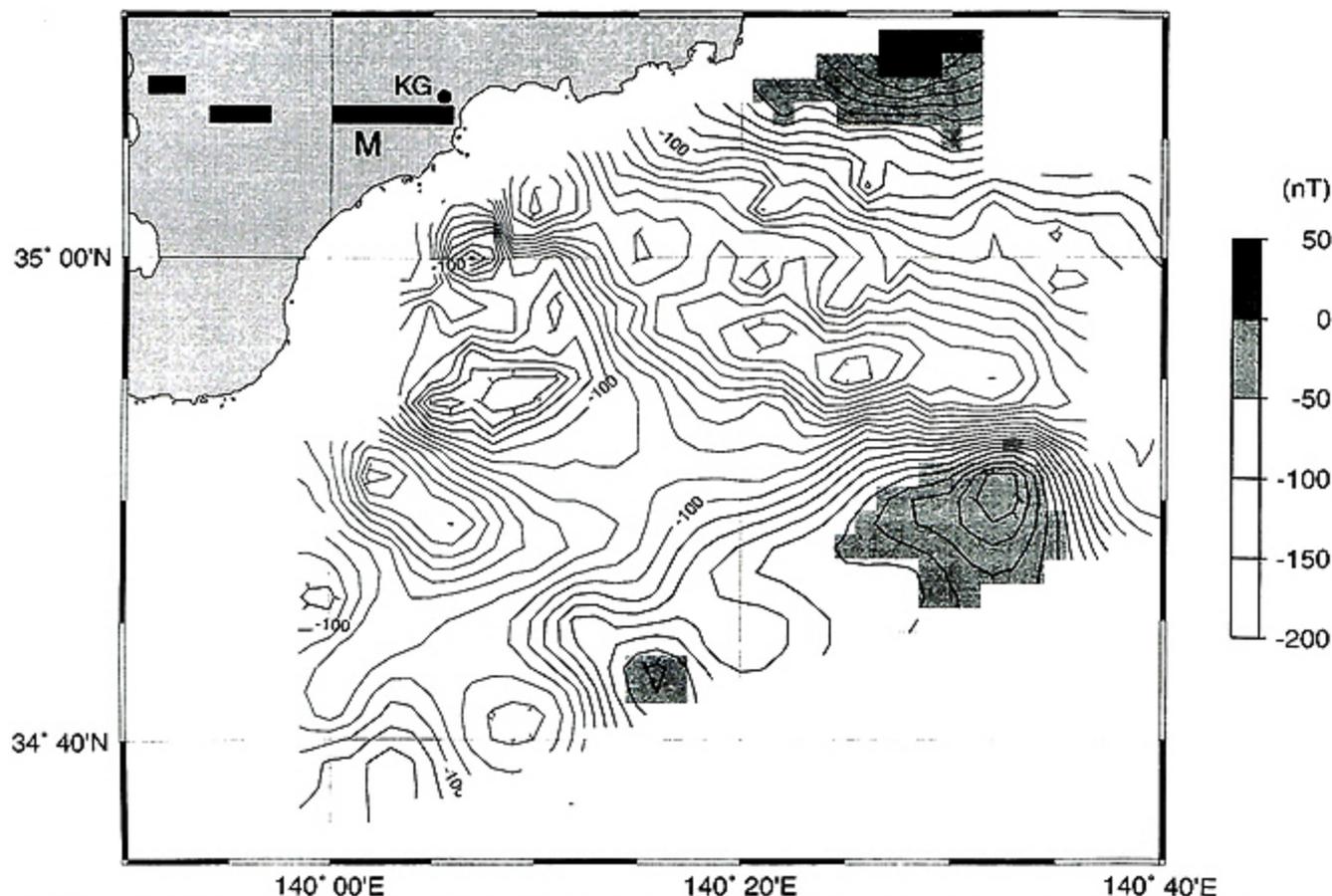


図6 調査海域の地磁気全磁力異常図。等磁力線間隔は10 nT。平均の地磁気異常の値-107 nT以上の正異常に影がつけられている。地磁気データは約2kmにグリッド化されている。データのグリッド化はSmith and Wessel (1990)による。

Fig. 6 Geomagnetic total force anomaly map. Contour interval is 10 nT. Normal anomaly, higher than the average value of -107 nT in this survey area, is shaded. The geomagnetic data are gridded into about 2 km interval by using the method of Smith and Wessel (1990).

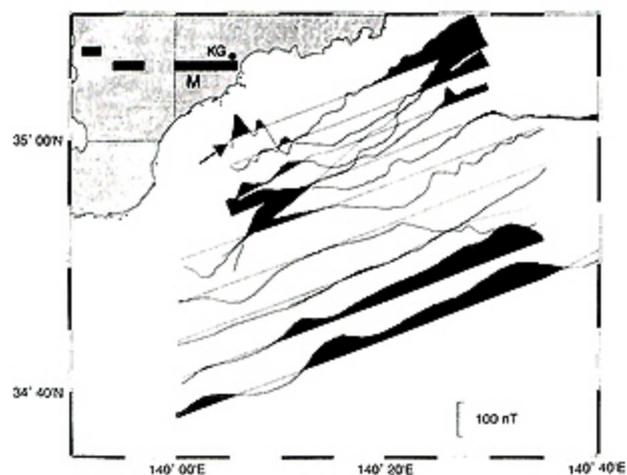


図5 航跡に沿った地磁気全磁力異常のプロファイル。平均の地磁気異常の値-107 nT以上の正異常に影がつけられている。矢印は140°07'E, 35°01'N付近の地磁気異常を示す。

Fig. 5 Geomagnetic total force anomaly profiles along the ship tracks. Normal anomaly, higher than the average value of -107 nT in this survey area, is shaded. The arrow indicates the geomagnetic anomaly around 35°01'N, 140°07'E.

を示しているものと考えられる。Tonouchi and Kobayashi (1983) は地層の傾斜補正をした後、古地磁化伏角を 34° と求めた。地磁気異常から求められた浅い磁化伏角は、自然残留磁化を持った地殻がやや南下がりに傾斜した形で埋没しているためと考えるとうまく説明できる。本研究の結果により、房総半島嶺岡帯以南の磁化構造は少なくとも20 kmは東方の海域に延長されるものと考えてよい。しかしながら嶺岡帯の火成岩露出地域の東側の位置には顕著な地磁気異常は観測されなかった。今後の課題として陸上地質、地磁気異常の連続性を調べるためにはより房総半島に近づいた観測が必要である。また本研究における測線間隔では粗いため、より高密度の測線をとることが必要である。磁性岩体の規模を考慮すると水深1,000 mを超えると海上からの地磁気調査では地磁気異常の検知が困難となる。この構造が海溝3重点までどう連続していくのかを明らかにするためには、深海地磁気調査を行うことが必要である。

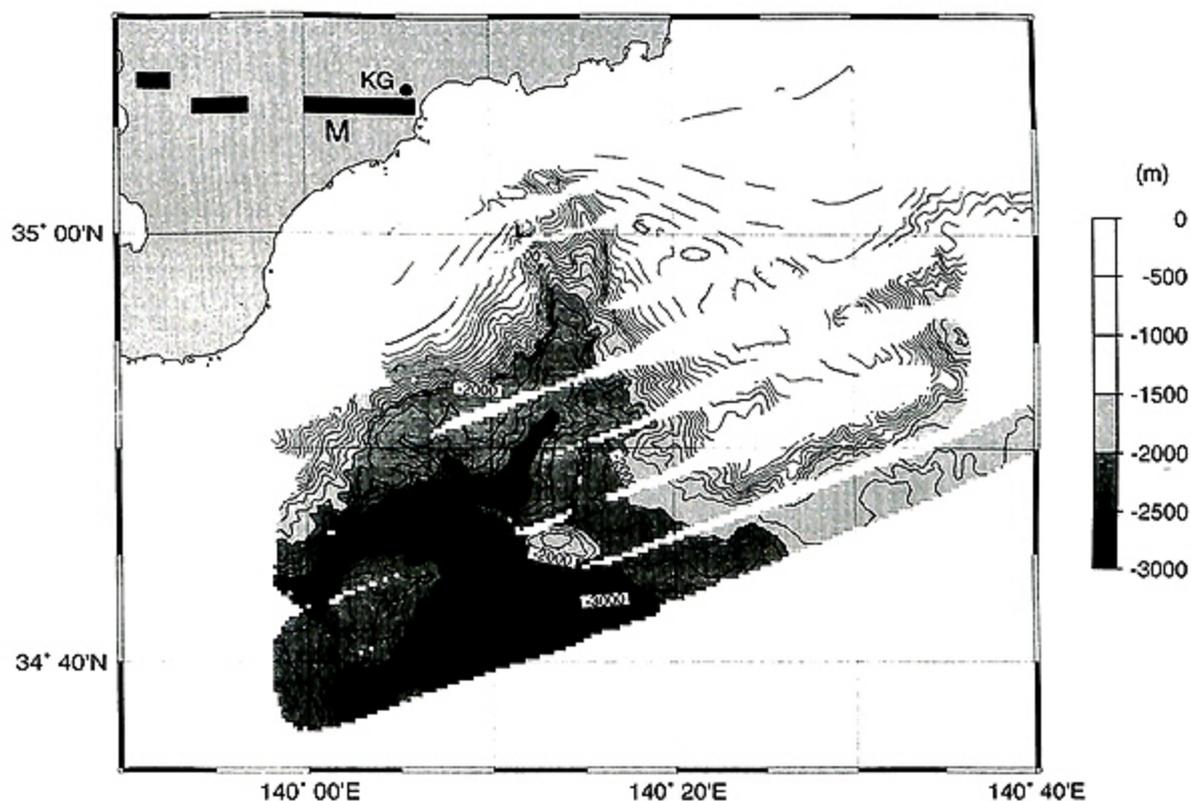


図7 調査海域の海底地形図。等深線間隔は 100 m。
 Fig. 7 Bathymetric contour map. Contour interval is 100 m.

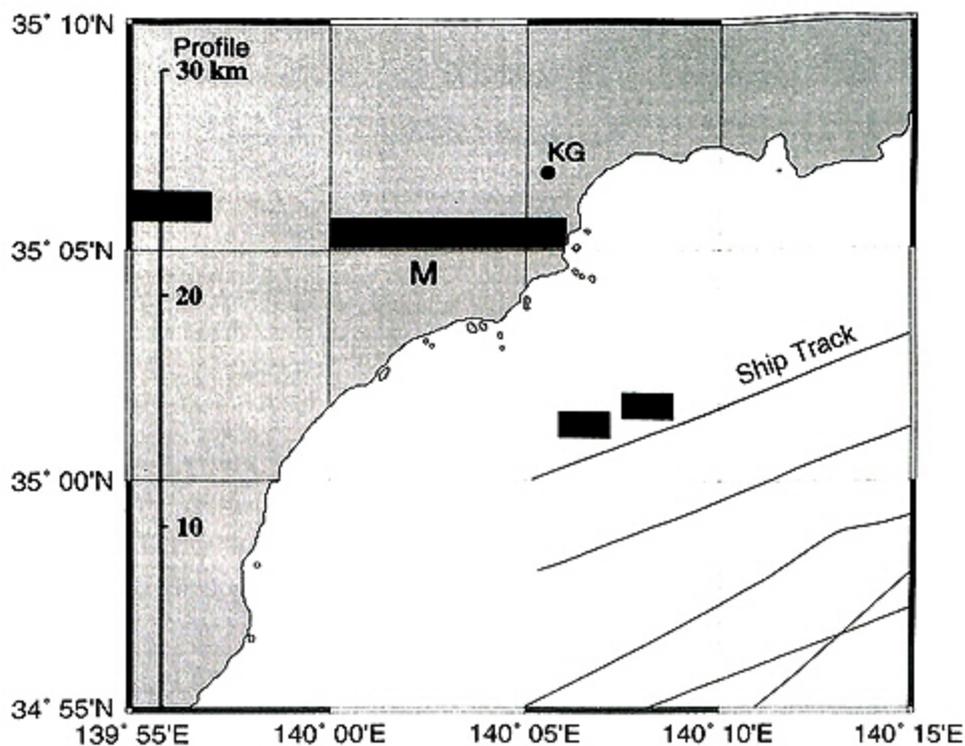


図8 得られた磁化構造。磁化物体は水平方向には 1×2 km の大きさで測線の北に位置する。139° 56' E の実線は図10に示す地磁気異常解析のプロファイルを示す。
 Fig. 8 Resultant magnetic structure. Magnetized prisms extend 1×2 km and locate in the north of the ship track. The solid line along 139° 56' E shows the profile of geomagnetic analysis shown in Figure 10.

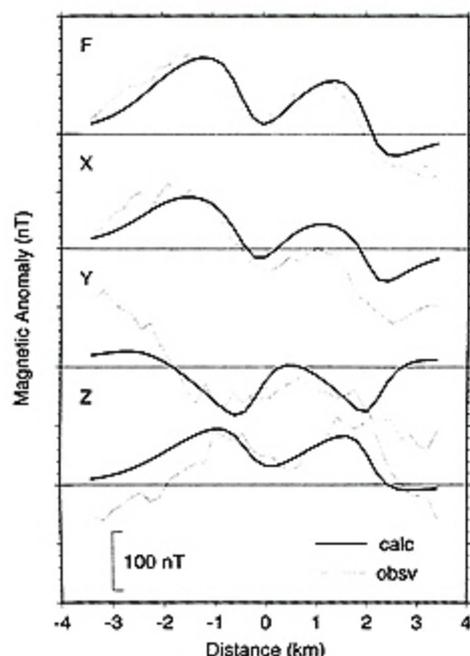


図9 磁化構造から計算される地磁気異常と観測値の比較。黒線が計算値、灰色の線が観測値。F = 全磁力、X = 北向き成分、Y = 東向き成分、Z = 鉛直下向き成分。

Fig. 9 Comparison between observed and calculated geomagnetic anomalies. Black lines show the calculated anomaly, and grey lines show the observed anomalies. F = total force, X = northward component, Y = eastward component, Z = downward component.

	A	B
磁化偏角 (度)	-30	-30
磁化伏角 (度)	0	0
磁化強度 (A/m)	1.5	1.0
磁化物体の 上面深度 (m)	160	140
磁化物体の 厚さ (km)	1.0	1.0

表1 得られた磁化構造の磁化物体 A, B に与えたパラメータ。
Table 1 Parameter table of the magnetic prisms A and B.

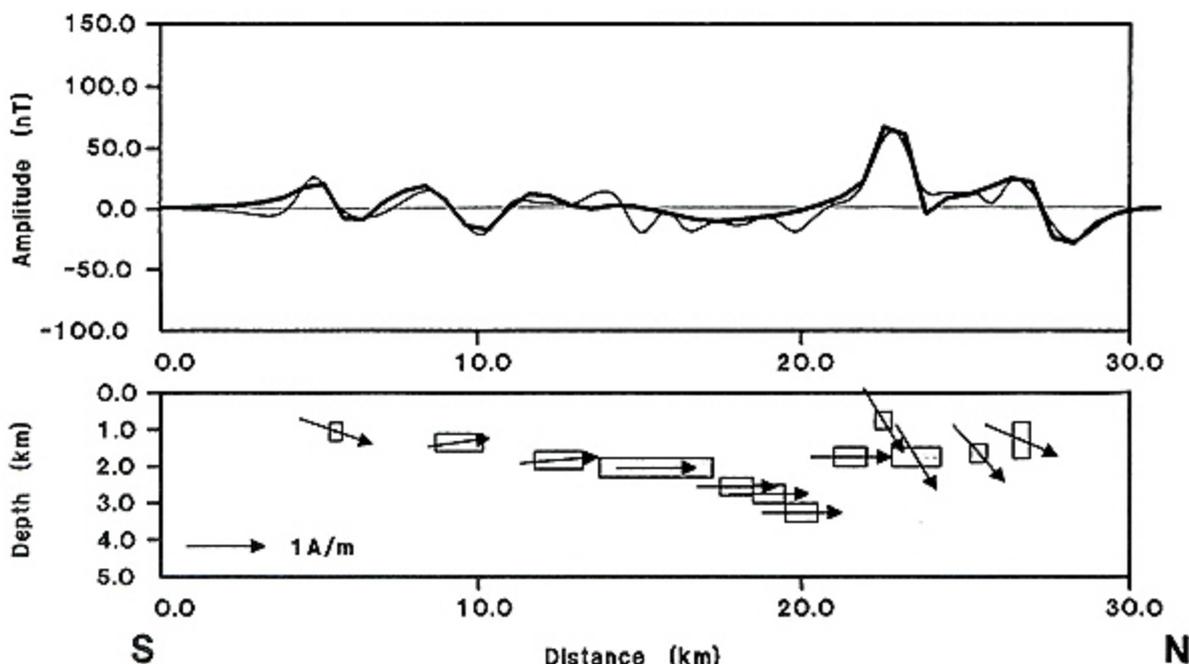


図10 房総半島南部の短波長地磁気全磁力異常の解析結果。解析プロファイルの位置は図8に示す。上：観測地磁気異常（細線）と計算磁気異常（太線）との比較。下：灰色の四角は磁化プリズムモデルの位置と大きさを表す。矢印の長さは磁化強度、向きは磁化伏角を表す (Fujiwara et al., 1990)。

Fig. 10 N-S cross sections of the prism-shaped models with the geomagnetic anomalies. The location of the profile is shown in Figure 8. Upper part indicates short wavelength component of the observed anomaly (plain) and the calculated anomaly profile (bold). Lower part indicates a model structure. Rectangles indicate the position and size of magnetic prisms. The length of arrows shows the relative magnetization intensity and the direction of arrows indicates the inclination. (Fujiwara et al., 1990)

5. まとめ

房総半島の嶺岡帯に露出するオフィオライト起源の火成岩類と同様な岩類の、鴨川沖での分布と構造を解明する目的で、房総半島鴨川沖(140°00'E~140°30'E, 34°30'N~35°10'N)の地磁気及び海底地形、重力調査を行った。房総半島鴨川沖の調査は海洋科学技術センターの調査船「よこすか」のYK98-02 Leg 1 航海(1998年1月15日~1月20日)により行われた。

地磁気調査の結果、房総半島に露出する嶺岡帯の南方にあたる140°07'E, 35°01'N付近の海域に、広域地磁気異常図にはみられていなかった短波長で振幅の大きい正の地磁気異常が観測された。この地磁気異常(全磁力, 3成分)を3次元プリズムモデルを仮定して解析した。観測された地磁気異常は、2つの磁化プリズムを測線の北に位置させることで説明できる。磁化プリズムの上面は海底面とし、厚さ1 km, 水平方向には1×2 kmの大きさとした。磁化強度はそれぞれ1.0, 1.5 A/m, 磁化の偏角は-30°, 伏角は0°が求められた。

得られた磁化構造は、房総半島またはその周辺海域下に底づけされ付加された海洋地殻の断片の埋没を示しているものと思われる。浅い磁化伏角から古地磁気学研究と考えあわせると、その海洋地殻はやや南下がりに傾斜した形で埋没していると考えられる。

得られた磁化構造の規模と磁化は、嶺岡帯から南の房総半島の短波長地磁気異常の研究から得られた構造と類似している。房総半島下の磁化構造は少なくとも20 kmは東方の海域に延長されるものと考えてよい。

謝 辞

田中等船長をはじめとする調査船「よこすか」乗組員、片山健、山内徳保氏の観測データ取得における協力に感謝する。海洋科学技術センター深海研究部の満澤巨彦博士には調査航海の実施に関してご尽力いただいた。図はGMTソフトウェア(Smith and Wessel, 1991)によって作成した。

引用文献

Bhattacharyya, B. K. (1964): Magnetic anomalies due to prism-shaped bodies with arbitrary polarization. *Geophys.*, 29, 517-531.

Fujiwara, T. (1990): A study of crustal structure in the southern part of Boso Peninsula inferred from magnetic anomalies and its tectonic implications. Ms Thesis,

Chiba Univ., 34pp.

Fujiwara, T., S. Ogura, R. Morijiri, and H. Kinoshita (1990): The crustal structure of the southern part of Boso Peninsula based on magnetic anomaly study. *Rock Magnetism and Paleogeophysics*, 17, 100-105.

Geological Survey of Japan (GSJ) and Coordinating Committee for Coastal and Offshore Geoscience Programmes in East and Southeast Asia (CCOP) (1996): Magnetic anomaly map of east Asia 1:4,000,000 CD-ROM Version.

IAGA Division V, WG 8 (1995): International Geomagnetic Reference Field, 1995 Revision. *J. Geomag. Geoelectr.*, 47, 1257-1261.

Isezaki, N. (1986): A new shipboard three component magnetometer. *Geophys.*, 51, 1992-1998.

海上保安庁水路部 (1984): 1/5万海底地形図, 鴨川湾, No. 6366-8.

兼平慶一郎 (1976): 房総半島南部嶺岡帯における蛇紋岩と玄武岩の産状. *地質学論集*, 13, 43-50.

駒澤正夫・岸本清行 (1995): 日本列島周辺域の地形データ(1kmメッシュ). *日本地震学会ニュースレター*, Vol. 7, No. 4, 3-4.

地質調査所 (1982): 日本地質アトラス, 119pp.

森尻理恵 (1988): 房総半島南部嶺岡帯の全磁力異常と地殻構造. 千葉大学理学部研究科修士論文, 59pp.

Morijiri, R., T. Fujiwara, S. Ogura, H. Kinoshita, and T. Nagao (1990): Crustal structure and magnetic anomaly in southern part of Boso Peninsula, Chiba, Japan (abstract). *EOS Trans. AGU*, 71, 942.

小川勇二郎・藤岡換太郎 (1985): 伊豆弧北東側のプレート境界の変遷—嶺岡帯から相模トラフまで—. *月刊地球*, 7, 709-719.

小川勇二郎・谷口英嗣 (1987): 前弧域のオフィオリティック・メランジュと嶺岡帯の形成. *九大理研報(地質)*, 15, 1-23.

小倉純雄 (1990): プリズムモデルシミュレーションによる房総半島南部の地磁気異常の解析. 千葉大学理学部地学科卒業論文, 15pp.

Smith, W. H. F. and P. Wessel (1990): Gridding with continuous curvature splines in tension. *Geophys.*, 55, 293-305.

Tonouchi, S. and K. Kobayashi (1983): Paleomagnetic and geotectonic investigation of ophiolite suites and surrounding rocks in south central Honshu, Japan.

Hashimoto, M. and S. Uyeda eds.: Accretion tectonics in the circum-Pacific regions, Terra Sci. Publ. Tokyo, 261-288.

Wessel, P. and W. H. F. Smith (1991): Free software helps

map and display data. EOS Trans. AGU, 72, 441, 445-446.

(原稿受理：1998年6月8日)