

大西洋中央海嶺 (23.5°-28° N) の 地球物理マッピング

藤本 博巳*1 島 伸和*2 田中 朋子*3 モーリス・タイビー*4
林 間*4 松本 剛*5 富士原敏也*6
古田 俊夫*7 藤岡換太郎*5

MODE'94 の最初の 2 つの航海において、ケイン・トランスフォーム断層北側の大西洋中央海嶺軸 (23.5°N-28°N) およびその周辺の地球物理マッピングが行われた。得られた地形、および重力異常・地磁気異常の分布は、低速で拡大している中央海嶺の特徴である顕著な非トランスフォームの不連続構造と、それによって区切られた海嶺セグメントの活動の時間変動を示している。24°30'-24°50'N の範囲の中央海嶺は拡大方向と斜向しており、海洋地殻の生成活動も低い。海嶺軸の周辺の調査から、各セグメントが海嶺軸に沿って北側に移動してきたことが分かる。海嶺軸に沿った地形は南下がりの傾斜を示しているため、従来の理論では重力の効果によりセグメントが南側に移動することが期待されるが、この海域では別の要因がセグメントの活動を規定しているようである。地磁気異常の詳しい解析によれば、18Ma 頃に大西洋中央海嶺の拡大方向が変わったのを契機として、拡大方向に直交するセグメントがケイン断層帯から北側に向かって成長している。

キーワード：大西洋中央海嶺、重力異常、地磁気異常、海嶺セグメント、セグメントの移動

-
- * 1 東京大学海洋研究所
 - * 2 ウッズホール海洋研究所 (現在：千葉大学理学部)
 - * 3 千葉大学理学部
 - * 4 ウッズホール海洋研究所
 - * 5 海洋科学技術センター深海研究部
 - * 6 東京大学海洋研究所 (現在：海洋科学技術センター深海研究部)
 - * 7 川崎地質株式会社
 - * 8 Ocean Research Institute, University of Tokyo
 - * 9 Woods Hole Oceanographic Institution (Present: Faculty of Sciences, Chiba University)
 - * 10 Faculty of Sciences, Chiba University
 - * 11 Woods Hole Oceanographic Institution
 - * 12 Deep Sea Research Department, Japan Marine Science and Technology Center
 - * 13 Ocean Research Institute, University of Tokyo (Present: Deep Sea Research Department, Japan Marine Science and Technology Center)
 - * 14 Kawasaki Geological Engineering Co., Ltd.

Geophysical Mapping of the Mid-Atlantic Ridge 23.5°–28°N

Hiromi FUJIMOTO*⁸ Nobukazu SEAMA*⁷ Tomoko TANAKA*¹⁰
Maurice TIVEY*¹¹ Jian LIN*¹¹ Takeshi MATSUMOTO*¹²
Toshiya FUJIWARA*¹³ Toshio FURUTA*¹⁴ Kantaro FUJIOKA*¹²

Geophysical mapping was carried out over the Mid-Atlantic Ridge between latitudes 23°30'N and 28°N during the first two cruises of MODE'94. Multibeam bathymetry, gravity anomalies, and geomagnetic anomalies show well-developed discontinuity structures of the slow-spreading mid-ocean ridge. Crustal accretion is focused on the central part of the ridge segments, which are separated by the non-transform discontinuities. The ridge axis between 24°30'–24°50'N is oblique to the spreading direction and is associated with relatively inactive crustal accretion. The off-axis data indicate northward migration of the ridge. A long-wavelength southward deepening of the axial topography is likely to drive the segments southward due to the gravity force. Observed results require another driving force for segment migration. Detailed analyses of morphology and geomagnetic anomalies in the study area indicate that the segment immediately north of the Kane Transform Fault, the strike of which is perpendicular to the fault, has extended northward since the change of the spreading direction of the Mid-Atlantic Ridge around 18 Ma.

Key words: Mid-Atlantic Ridge, Gravity anomalies, Geomagnetic anomalies, Ridge segments, Segment migration

1. はじめに

海洋科学技術センターの潜水調査船「しんかい 6500」とその母船「よこすか」を用いた大西洋中央海嶺の調査が1994年度に2航海にわたって行われた(MODE'94: Mid-Ocean ridge Deep-sea Experiments '94)。この航海は国際的な研究協力により中央海嶺活動の解明を目指すインターリッジ計画の一環として、海洋科学技術センターとウッズホール海洋研究所の共同調査として実行された。潜航調査海域はケイントランスフォーム断層と大西洋中央海嶺の西側接合部付近(WMARK 海域)およびTAG 熱水マウンド付近であり、潜航の合間をぬって地形・重力・地磁気調査が行われた(藤本ほか, 1995)。

この海上地球物理観測の目的は3つある。1つは「しんかい 6500」による海底の重力測定・地磁気測定と合わせて解析し、潜航調査付近の微細な構造とテクニクスを明らかにすることである。第2は、重力異常のマッピングである。23°50'N 付近に位置するケイン断層帯と30°N 付近のアトランティス断層帯に挟まれた海域の南

側では、地形調査は中央海嶺の拡大軸沿いに行われているが、重力測定については空白域となっており、海上の広域観測では特に重力測定が重要視された。「よこすか」の本航海における観測により、22°N 付近から40°N 付近まで、大西洋中央海嶺に沿った2,000kmにも及ぶ地球物理マッピングが完成することになる。第3は調査海域の過去700–1,000万年間の海嶺活動の変動を明らかにすることである。地形調査についても、この調査海域では大西洋中央海嶺の海嶺軸とトランスフォーム断層に沿った部分のみの観測しかされていなかった。

ここでは、このうちの第2と第3の点について、得られた成果を示し、その地球物理的な考察を述べたい。第1の点については現在解析が進められており、いくつかの論文がまとめられる予定である。なお計測システム等については、藤本ほか(1995)および押田・古田(1995)を参照されたい。

2. 海底地形

得られた海底地形データに、ケイントランスフォーム断層付近で過去に得られたデータ (Pockalny et al., 1988) を合わせて得られた海底地形図を図1に示す。23°-28°N の範囲の海嶺軸およびトランスフォーム沿いの地形と、23°30'-26°20'N の範囲で過去700-1,000 万年の間に生成された海底地形の精密なマッピングが行われた。大西洋中央海嶺は低速の拡大系であるので、海嶺軸付近は中軸谷と呼ばれる窪みとなっている。海嶺軸に沿って地形の起伏があり、活動的な部分は小さな高まりとなっている。そのような高まりの両端の中軸谷は地形的な窪みとなっており、そこで拡大軸の小さなオフセットがみられる。このオフセットは海嶺活動の区切りであり、そこで区切られた部分を海嶺セグメントと呼んでいる。調査海域には9つ程度のセグメントが認められる (Sempere et al., 1990, 1993)。24°30'-24°50'N の海嶺軸は、海洋底の拡大方向と45度程度斜向しており、中軸谷の水深もやや深くなっている。

海嶺セグメントの境界は海嶺軸の落ち込みとなっているので、海嶺軸から離れる方向に水深が極大となる谷地形をたどると、過去に海嶺セグメントの境界が明らかになる。この作業により、各セグメントの境界はこの約900 万年の間、ゆっくりと北方へ移動していることが分かる。

この図で、24°N (西側) から23.5°N (東側) にかけてほぼ100°E の方向に走っているケイン断層帯は、中軸谷よりさらに大規模な地形の窪みであり、海嶺の拡大軸はここではほぼ140km オフセットされている。中央海嶺軸と断層帯の接合部は特に水深が深く、東西の接合部ともに最深部は6,000m を超えている。

3. 重力異常

地形図と同じように、ケイントランスフォーム断層付近で過去に得られたデータ (Pockalny et al., 1988) を合わせて得られた重力のフリーエア異常図を図2に示す。海嶺の不連続構造が明瞭に認められる。その不連続の部分に顕著な正の重力異常があることも分かる。

フリーエア異常を基にして、マントルブーゲー異常を求めた (図3)。これは地殻の厚さと密度を一定と仮定して地殻構造の影響を補正したブーゲー異常である (Prince and Forsyth, 1988)。一様な地殻の厚さ6km を仮定し、海水、地殻およびマントルの密度をそれぞれ1,030kgm⁻³、2,700kgm⁻³、および3,300kgm⁻³ とし、フーリエ変換を用いた Parker (1972) の手法により計算

した。24°30'-24°55'N の範囲で拡大軸が海洋底の拡大方向と斜向している部分を除けば、各セグメントの中央部では、負のマントルブーゲー異常が求まっている。牛の目のように見えるこの負のブーゲー異常は、拡大速度の遅い中央海嶺に見られる特徴であり、この調査海域のすぐ北側でも観測されている (Lin et al., 1990)。この負のブーゲー異常は、セグメントの中央部では地殻が相対的に厚いことを示しており、地殻を生成するマグマ活動がより活発であることを示唆している。3つの比較的長いセグメントはより強いマントルブーゲー異常を示しており、長いセグメントはより活発なマグマ活動をしているようである (Lin et al., 1990)。海嶺軸が拡大方向と斜向している24°30'-24°50'N の範囲では、海洋地殻の生成活動も相対的に低い。Sempere et al. (1990, 1993) は、海底地形からこの海域の中央海嶺のセグメント構造を求めているが、マントルブーゲー異常から明らかになったセグメント構造は、地形から求めたセグメント構造とよく合っている。海嶺軸の周りのブーゲー異常の分布も、各セグメントが海嶺軸に沿って北側に移動してきたことを示している。

4. 地磁気異常

調査海域のうち、海嶺斜面の調査も行われた23°30'-26°20'N の範囲において、地磁気全磁気異常と海底地形のデータを約1.7km メッシュでグリッド化し、海底面を磁化層の上面とし、磁化層の厚さを一定(1km)、磁化方向を双極子磁場の方向(伏角43.5°)と仮定して、3次元のフーリエ変換を使ったインバージョン法 (Parker and Huestis, 1974) により磁化強度分布を求めた。さらにこの磁化強度分布をもとにして、2次元ブロックモデルにより地磁気異常のモデルと比較して地殻年代を求めた (田中ほか, 1995)。

海嶺軸が拡大方向に斜向している部分(24°30'-24°50'N)を除けば、拡大軸に平行な2次元磁化構造が認められる。斜向している部分では、中軸谷に添った強い磁化構造の走行が約50°Eであるが、その中に約15°Eの走行をもつ3つの短いセグメントがあり、複雑な磁化構造を示している。このような地磁気異常の詳しい解析結果は、18Ma 頃に大西洋中央海嶺の拡大方向が変わったのを契機として、拡大方向に直交するセグメントがケイン断層帯から北側に向かって成長していることを示唆している (Seama et al., submitted)。

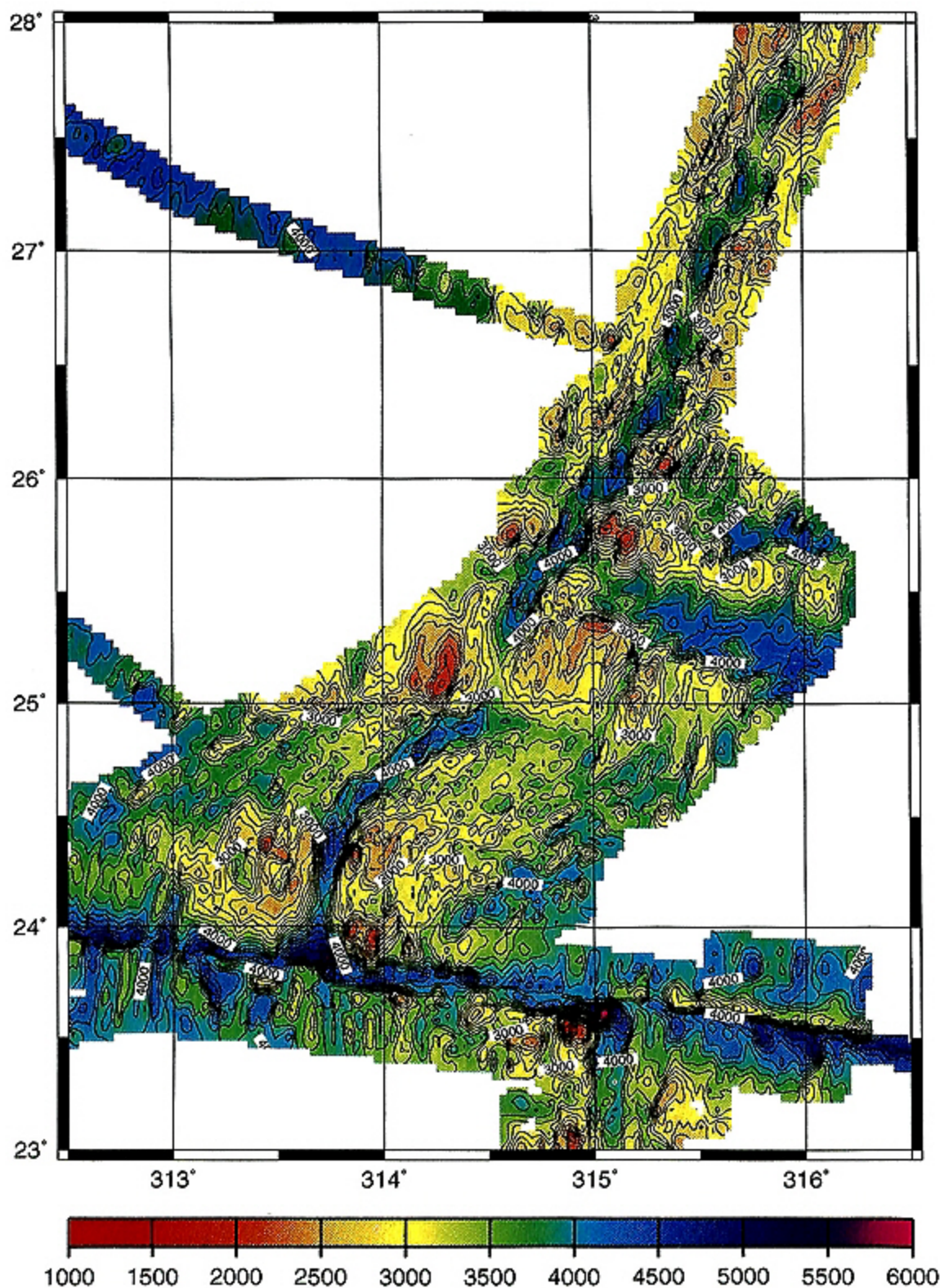


図1 マルチナロービーム観測による、ケイン・トランスフォーム断層の北側の大西洋中央海嶺の海底地形図。等深線の間隔は500m。ケイン・トランスフォーム断層付近では、1984年のコンラッド号の観測データ (Pockalny et al., 1988) も使用している

Fig.1 Multi-beam bathymetric map over the Mid-Atlantic Ridge north of the Kane Fracture Zone contoured at 500m interval. Sea Beam data obtained on the R/V Conrad in 1984 (Pockalny et al., 1988) were used in the mapping around the Kane transform.

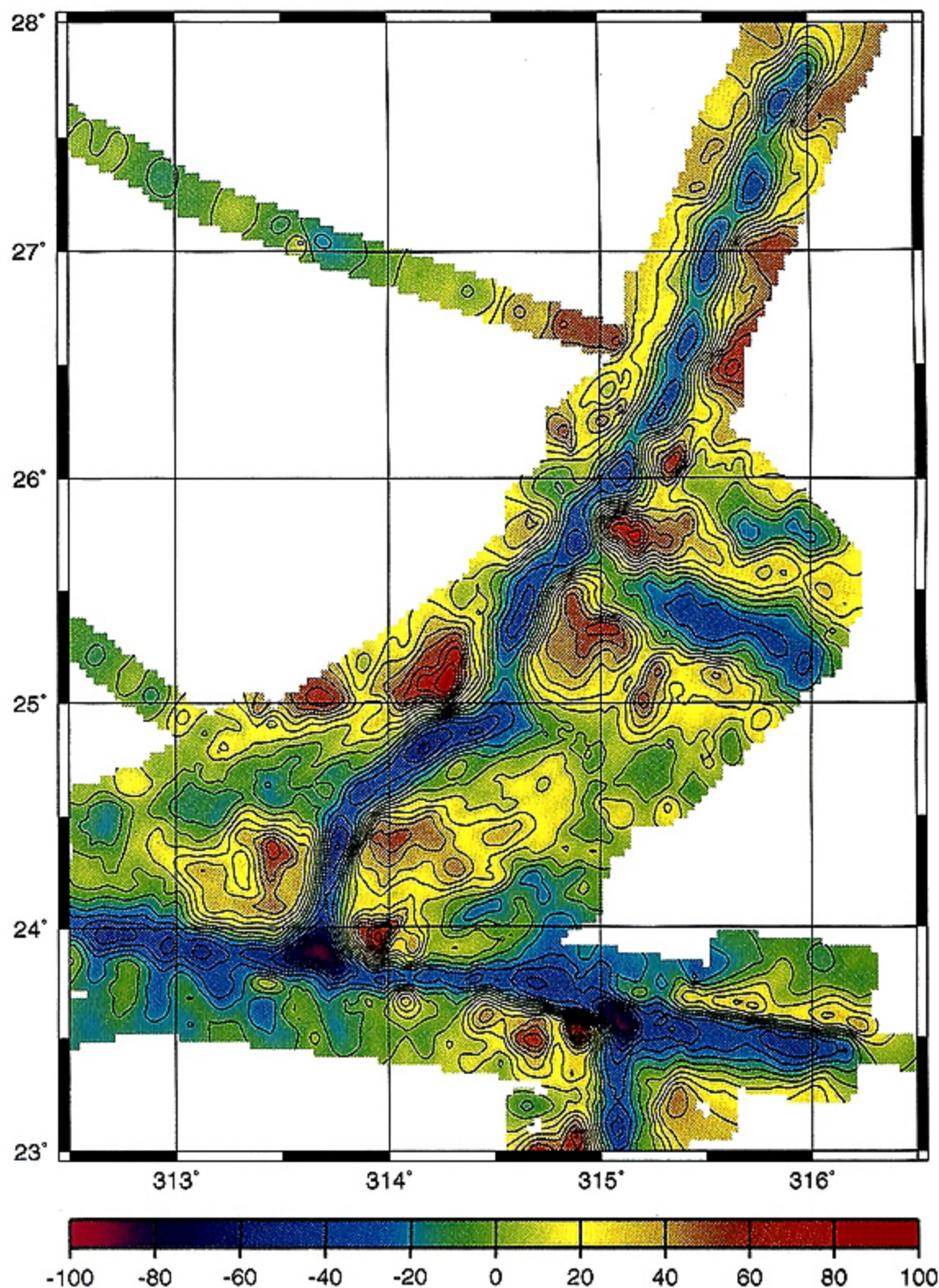


図 2 観測海域のフリーエア重力異常図。コンター間隔は 10mgal。ケイン・トランスフォーム断層付近では、1984 年のコンラッド号の観測データ (Pockalny et al., 1988) も使用している

Fig. 2 A map of free-air gravity anomalies contoured at 10mgal interval. Gravity data obtained on the R/V Conrad in 1984 (Pockalny et al., 1988) were used in the mapping around the Kane transform.

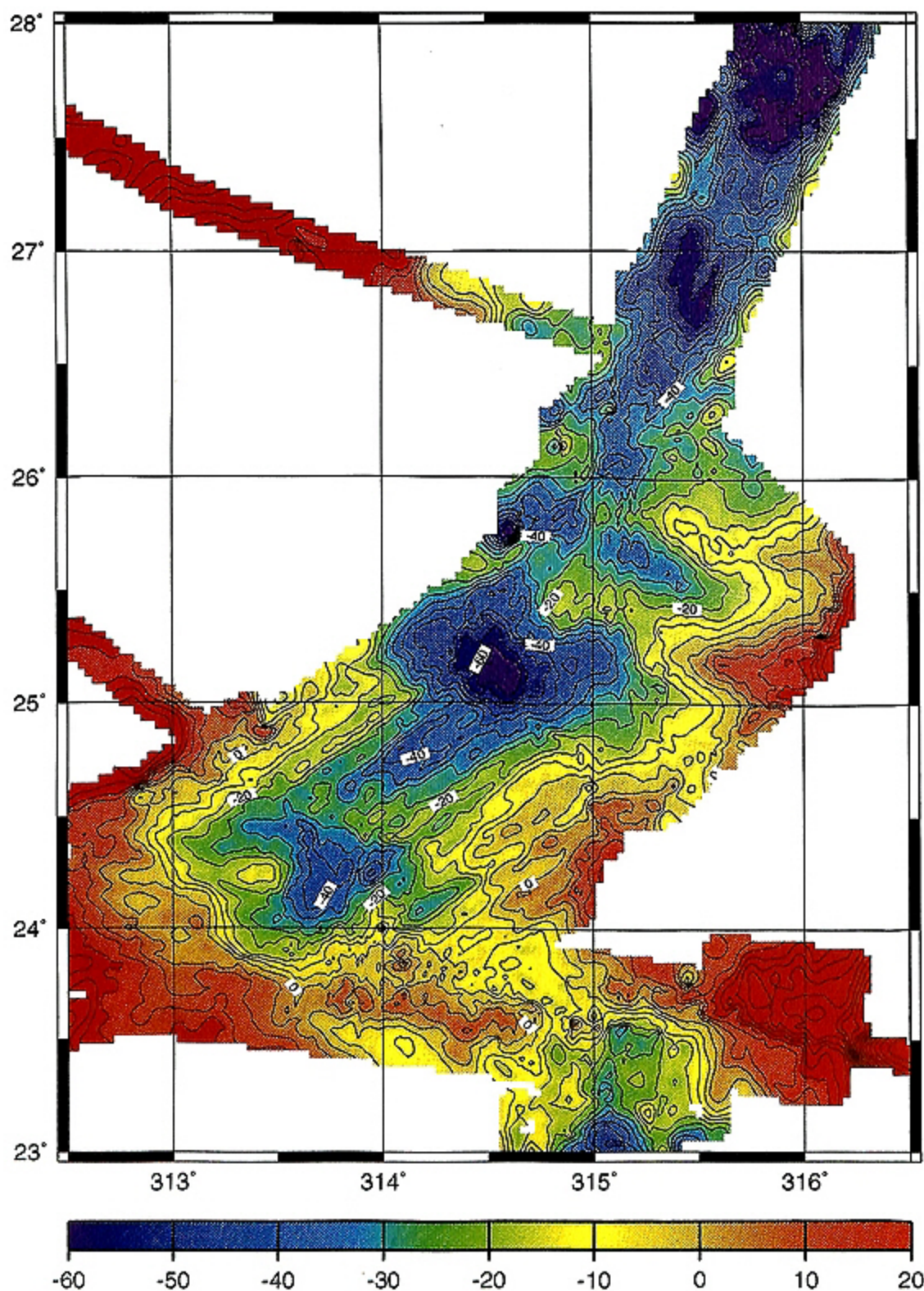


図3 マントルブーゲー異常図。地殻は厚さ 6 km, 密度 $2,700\text{kgm}^{-3}$ とし, 海水とマントルの密度を 1,030 および $3,300\text{kgm}^{-3}$ と仮定した

Fig. 3 A map of mantle Bouguer anomalies obtained assuming a crust of constant thickness of 6 km and a uniform density of $2,700\text{kgm}^{-3}$. Seawater and mantle densities are assumed to be 1,030 and $3,300\text{kgm}^{-3}$, respectively.

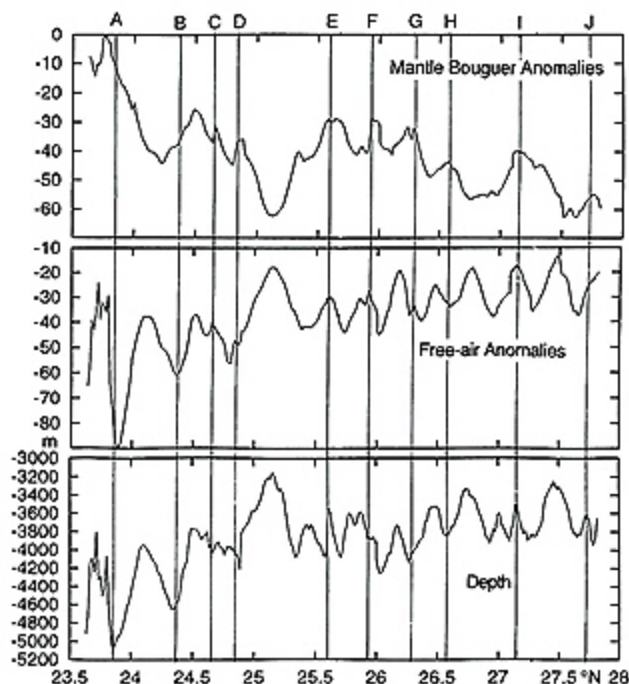


図4 横軸を緯度によって示した、水深、フリーエア異常、およびマンタルブーゲー異常の海嶺軸に沿ったプロファイル

Fig. 4 Profiles of along-axis variations of seafloor depth, free-air anomalies, and mantle Bouguer anomalies (MBA) plotted as a function of latitude.

5. 海嶺セグメントの移動

海嶺軸に沿った地形、フリーエア異常、およびマンタルブーゲー異常のプロファイルを図4に示す。海嶺軸に沿った地形は南下がりの傾斜を示しているため、従来の理論では重力の効果により海嶺セグメントは南側に移動することが期待される。しかし上記のようにこの海域では各セグメントは北に向かって移動しており、別の要因がセグメントの活動を規定しているようである。地磁気異常の解析が示唆しているように、大西洋中央海嶺の拡大方向が変わったのを契機として、拡大方向に直交するセグメントがケイン断裂帯から北側に向かって成長していると解釈すると、地形や重力異常の特徴も説明できる (Fujimoto et al., in press)。

6. おわりに

「よこすか/しんかい6500」によるMODE'94の大西洋中央海嶺の潜航調査の合間をぬって、海嶺軸およびその周辺の海上地球物理観測がケイン断裂帯の北側で行われた。この海域は、海洋地殻生成活動の基礎データである重力データの空白域であるということから、観測結果が注目されていた。観測の結果、大西洋中央海嶺の拡大方向の変化にともなう海嶺セグメントの再編成の過程が

この海域の海底に記録されていることが示唆されており、非常に興味深い場所であることが判明した。これらの詳しい解析結果は欧米の専門誌に投稿され印刷中である。

本調査航海の実現は、海洋科学技術センターの深海研究部長であった堀田宏氏とウッズホール海洋研究所の海洋地質地球物理部長であったMike Purdy氏の計画立案と推進によるところが大きい。本調査の大きな成功は、初めての航海に際して最大限の準備をし完全に計画通りに運航させた、井田正比古司令をはじめとする運航チームと、湯川修船長をはじめとする「よこすか」乗組員の尽力のたまものである。初めての大西洋航海であり、初めての中央海嶺調査航海でもあり、また初めての通年の外航ということで、関係各位にはたいへんな世話になった。記して感謝の意を表わしたい。

引用文献

- 藤本博巳, 島 伸和, 丸山仁裕, 藤岡換太郎, ウィルフ レッド・ブライアン, 松本 剛, 富士原敏也, 古田 俊夫, 林 間 (1995): 大西洋中央海嶺 (北緯24度~北緯28度) の重力異常, JAMSTEC 深海研究, 11, 21-26.
- Fujimoto, H., N. Seama, J. Lin, T. Matsumoto, T. Tanaka and K. Fujioka (1996): Gravity anomalies of the Mid-Atlantic Ridge north of the Kane Fracture Zone. *Geophys. Res. Lett.*, in press.
- Lin, J., G. M. Purdy, H. Schouten, J.-C. Sempere and C. Zervas (1990): Evidence from gravity data for focused magmatic accretion along the Mid-Atlantic Ridge. *Nature*, 344, 627-632.
- 押田 淳・古田俊夫 (1995): 「よこすか」船上地球物理観測データ収録システム, JAMSTEC 深海研究, 11, 421-435.
- Parker, R. L. (1972): The rapid calculation of potential anomalies. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 31, 447-455.
- Pockalny, R. A., R. S. Detrick and P. J. Fox (1988): Morphology and tectonics of the Kane Transform from Sea Beam bathymetry data. *J. Geophys. Res.*, 93, 3179-3193.
- Prince, R. A. and D. W. Forsyth (1988): Horizontal extent of anomalously thin crust near Vema fracture zone from three-dimensional analysis of gravity anomalies. *J. Geophys. Res.*, 93B, 8051-

- Seama, N., M.A. Tivey, T. Tanaka, T. Fujiwara, H. Fujimoto and K. Fujioka : Tectonic evolution of the Mid-Atlantic Ridge between 23°50'N and 26°20'N inferred from geomagnetic anomaly field and seafloor morphology. submitted to *Geophys. Res. Lett.*
- Sempere, J.-C., G. M. Purdy and H. Schouten (1990) : Segmentation of the Mid-Atlantic Ridge between 24°N and 30°40'N. *Nature*, 344, 427-431.
- Sempere, J.-C., J. Lin, H. S. Brown, H. Schouten and G. M. Purdy (1993) : Segmentation and morpho-tectonic variations along a slow-spreading center : The Mid-Atlantic Ridge (24°N-30°40'N). *Mar. Geophys. Res.*, 15, 153-200.
- 田中朋子・島 伸和・M. Tivey・富士原敏也・藤本博巳・藤岡換太郎 (1995) : 大西洋中央海嶺の地磁気異常. 第12回しんかいシンポジウム予稿集, 39-40.

(原稿受理 : 1996 年 7 月 12 日)