

フィリピン海沖ノ鳥島海盆の地球物理学的特徴と形成過程†

春日 茂*, 井上 渉*

GEOPHYSICAL FEATURES OF THE OKI-NO-TORI-SIMA BASIN IN THE PHILIPPINE SEA AND THEIR TECTONIC IMPLICATIONS †

Shigeru KASUGA*, Wataru INOUE*

Abstract

Hydrographic Department of Japan (JHD) has been conducting geophysical surveys by S/V TAKUYO under the Continental Shelf Surveys Project since 1983 in the southern waters of Japan. The surveyed area has covered southeastern part of the East China Sea, northern Philippine Sea and westernmost of North Pacific Basin.

JHD obtained SeaBeam swath bathymetric data, single channel seismic reflection profiles, magnetic and gravity data in the northern part of the Oki-no-tori-shima (Parece Vela or West Mariana) Basin north of 18° N and west of 140° E from 1992 to 1994.

Central part of the Oki-no-tori-shima Basin is characterized by the N-S trending chain of the depressions forming en-echelon alignment. These depressions are diamond-shaped and bordered by the steep escarpments with 1000~1300meters maximum relative height. These fault escarpments extend northeastward and southwestward from the depressions into the surrounding basin floor and they gradually fade out away from the axial area. It is noted that these escarpments have S-shaped curved trend and their geometry seems to be symmetric about the depressions. Minor ridges and troughs trending orthogonal to the S-shaped curved escarpment are recognized. We consider these depressions and escarpments as topographic expression of extinct spreading axes and fracture zones respectively. Western province of the basin floor and basement is extremely rugged and characterized by minor ridges and troughs trending N-S direction.

Although magnetic anomalies of the basin are very weak, magnetic lineations trending parallel to the topographic trend are recognizable in the central and western part of the basin.

Based on updated geomorphological features and magnetic anomalies revealed by our survey, together with previously published data including results of drilling, we propose that the evolution of Oki-no-tori-shima Basin has following four stages.

- (1) rifting of the paleo Kyushu-Palau Ridge and separation of the ridge from Mariana arc,
- (2) seafloor spreading in an E-W direction,
- (3) counter-clockwise rotation of spreading axes accompanying their segmentation and formation of S-shaped fracture zones due to the change of spreading direction
- (4) possibly post spreading deformation and volcanism in the basin

Our proposed spreading model of the Oki-no-tori-shima Basin is similar to that of the Shikoku Basin. Spreading axes of both basins have been segmented and gradually rotated counter-

† Received 1996 February 22nd Accepted 1996 March 27th
* 大陸棚調査室員 Continental Shelf Surveys Office

clockwise in a later phase of the basin evolution after cessation of relatively uniform spreading nearly in an E-W direction. But present morphology of extinct spreading axes and fracture zones in the central province of the two basins show quite different features.

1. はじめに

西太平洋は、沈み込み帯の存在に伴って島弧の背後に広がる背弧海盆が発達している海域として特徴付けられている。西太平洋の中でも特にフィリピン海は、西太平洋の最大規模の面積を有する複数の海盆により構成され、この海域の特性を明らかにすることは、背弧海盆の発達過程を解明する上で極めて重要であると考えられる。フィリピン海は、ほぼ南北に連なる九州・パラオ海嶺により東西に二分され、西側にフィリピン海盆、東側に四国海盆とその南に繋がる沖の鳥島海盆（別名パレスベラ海盆、または西マリアナ海盆）が存在する。

水路部では、1983年より、フィリピン海北部を含む日本南方海域において地形・地質構造・地磁気・重力等の総合的な調査プロジェクトである大陸棚調査を実施してきており、1992年から1994年にかけて沖の鳥島海盆北部の中軸部から西部及び九州・パラオ海嶺にかけての海域の調査を実施した(第1図)。沖の鳥島海盆は、これまで調査データが十分でないため、西太平洋の他の背弧海盆に比べて海盆の詳細については明らかになっていなかった。本論文では、沖の鳥島海盆の特徴とそれらから推定される海盆の発達過程について報告する。

なお、沖の鳥島海盆はこれまでの多くの論文ではパレスベラ海盆と呼ばれており、また、海上保安庁刊行の海図では、西マリアナ海盆と記載されているが、1995年12月の第22回海底地名委員会で沖の鳥島海盆と呼称することに決定されたので、本稿ではこれに従って沖の鳥島海盆という地形名を使うこととする。

2. 調査の概要

本調査においては、緯度3度、経度2.5度の区域を一つの測量海域として、1992年～1994年にか

て調査を行った。調査項目は、海底地形、反射法音波探査、地磁気測定、重力測定、ドレッジ等である。測線は東西方向を主測線として6海里間隔で実施し、海底地形の複雑な場所には補測線を設けた。第2図に航跡図を示す。

調査の概要は以下の通りである。

調査船	「拓洋」(2,600総トン)
測位	GPS, NNSS, ロランCによる複合測位
海底地形	ナローマルチビーム測深機 (SEA BEAM)
海底地質構造	表層探査装置 (3.5KHz サブボト)

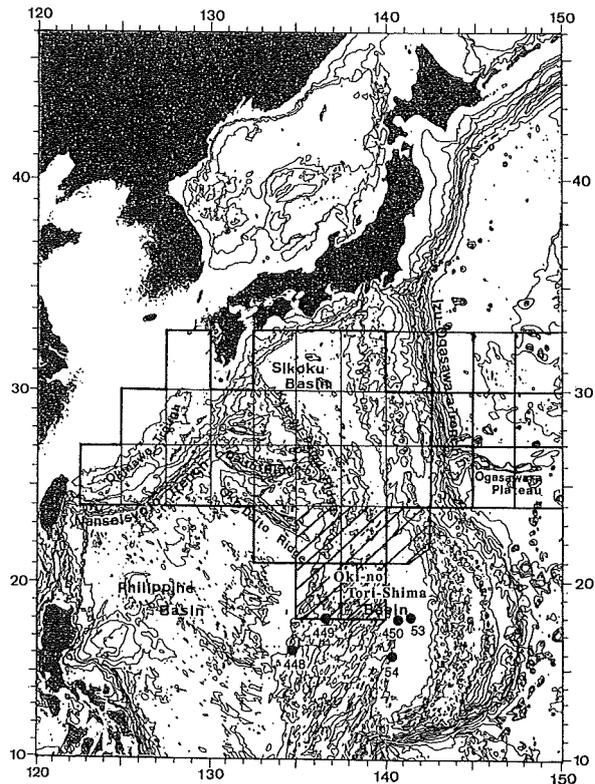


Figure 1 Bathymetry of the Philippine Sea from GEBCO plotting chart (contour interval 1000 m) and location of surveyed areas. Shaded area indicates location of Fig.2, 3, 4, 7, 8, 9 and 10, which has been surveyed from 1992 to 1994 by JHD. Closed circles show the location of DSDP site 53, 54, 448, 449 and 450.

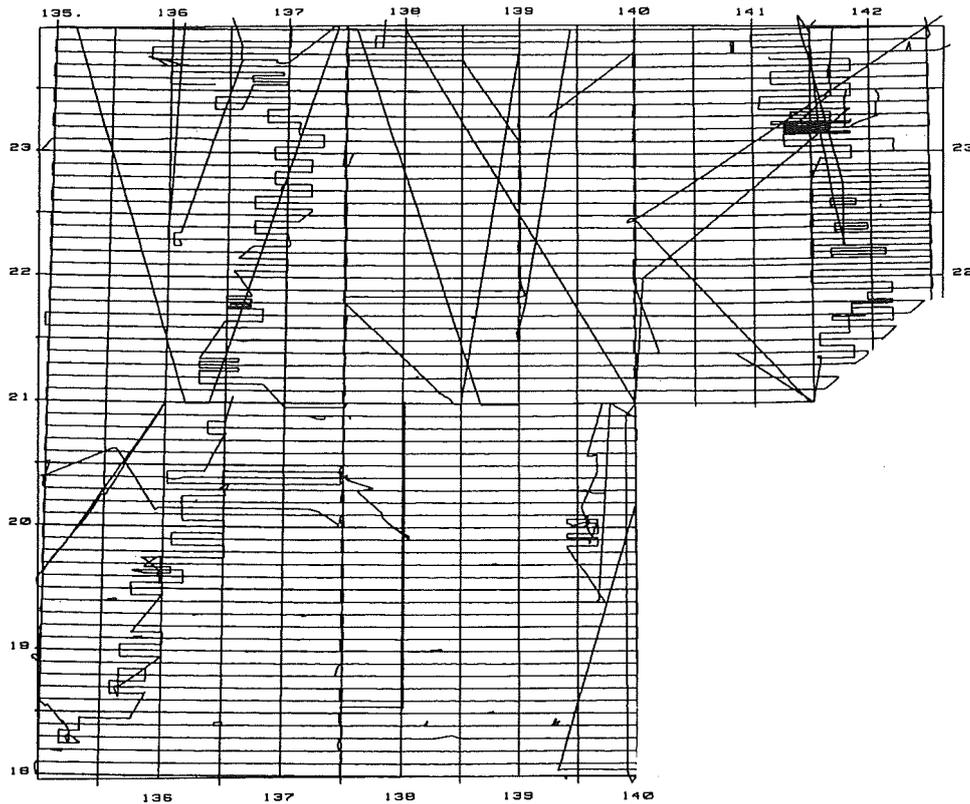


Fig. 2 Tracklines of surveyed area under the Continental Shelf Surveys Project by JHD.

ムプロファイラー) 及びエアガン (352cbi 及び1,000cbi) 方式による深海音波探査装置 (シングルチャンネル及び24ch マルチチャンネル)

地磁気

プロトン海上磁力計

重力

海上重力計

ドレッジ

チェーンバック式採泥器

それぞれの調査測線長及び調査点数は以下の通りである。

調査項目	測線長等
海底地形	29,185海里
表層探査	28,296海里
シングル	22,534海里
マルチ	815海里
地磁気	23,640海里
重力	26,031海里
ドレッジ	6点

3. データ処理

測位データについては、GPS, NNSS, ロランC等による複合測位装置により15sec間隔でMT装置に収録を行った。その精度は概ね0.1海里以内であると考えられる (浅田・中西, 1986)。収録したデータは、船上にあるデータ編集機 (HEWLETT PACKARD 社製 HP9000 model 425及び model 715) を用い1分値に編集した後、後述の測深、地磁気、重力データとの結合を行った。

測深データについては、ナローマルチビーム測深機 (SEA BEAM INSTRUMENT 社製 SEA BEAM) により測深を行い、収録はMT装置の他リアルタイムで縮尺1/20万の等深線図化記録及び直下水深記録の収録を行った。シービームは、一度発信した音波を受信してから次の音波を発信するので、測深間隔は一定ではないが、水深5000mで約10sec間隔で収録がおこなえる。また測深の相対精度は平坦面においては、直下水深で±3m程度であると考えられる (浅田・中西, 1986)。MT

に収録したデータは船上のデータ編集機にて測位データとの結合を行った。船上で収録された測深データは、音響測深改正表（英国海軍水路部 NP139の53区域について作成）の改正値を利用して音速度改正を行った後、浅田・中西（1986）によるシービームデータ処理方法にて、海底地形図を作成した。

地磁気データについては、プロトン磁力計（国際電子(株)社製 PMM-100型）を用い、センサー部は船体磁気の影響を考慮し船尾より300m後方に曳航し測定を行った。測定データは、1分間隔でフロッピーディスクに収録し、測位データと結合した後、気象庁父島観測所の地磁気データを用いて日変化補正を施した上で IGRF1990の標準磁場を用いて地磁気全磁力異常図を作成した。

重力データについては、Askania 式重力計（BODENSEEWERK GEOSYSTEM 社製 KSS-30型）により測定をおこなった。測定精度は、航走時において 1 mGal 程度である（柳・平岩，1985）。フロッピーディスクに収録したデータは、測位データと結合した後、基地出入港時に測定した値を用いドリフト補正を行い、測位データに収録されている船首方向及び船速データを用いてエトベス補正を行った後1967年標準重力式（IUGG）を使用して、フリーエア重力異常値の計算を行った。また重力計のキャリブレーションに対応するため、異なるクルーズのデータに関しては、隣接部のデータを比較し補正量を求めた。ブーゲー重力異常については、測深データ及びフリーエア重力異常値からそれぞれ 1 km × 1 km のメッシュデータを作成し、萩原（1980）の方法により、地殻密度 2.67 g/cm³ を用いて角柱モデルによる地形補正を施して算出した。

4. 調査海域の構成

フィリピン海は、ほぼ南北に走る九州・パラオ海嶺により、東西に二分される。西側にはフィリピン海盆（別名西フィリピン海盆）及びその北側に位置する大東海嶺群域より構成され、東側には沖の鳥島海盆およびその北に接続する四国海盆、

さらに、沖の鳥島海盆の東側にはマリアナトラフが存在する。フィリピン海の形成過程については、太平洋プレートの沈み込みに伴って、フィリピン海盆、四国一沖の鳥島海盆、マリアナトラフの順に東側ほどより若い時代に背弧拡大により順次形成されたとの仮説が提案されている（Karig, 1971 a, b）。ただし、フィリピン海盆の成因については、古い大洋底が取り込まれたとの考えも提案されている（Uyeda and Ben-Avraham, 1972）。

沖の鳥島海盆は、西側、東側、南側をそれぞれ九州・パラオ海嶺、西マリアナ海嶺、ヤップ島弧一海溝系により囲まれており、水深が概ね5000メートル前後の海盆である。海盆の中軸部にパレスベラリフトと呼ばれる水深が6000メートルを超える凹地がほぼ南北に連なっていることが報告されている（Mrozowsky and Hayes, 1979）。屈折法音波探査の結果から、海盆の地殻構造は、標準的な海洋性地殻に近い（Murauchi et al., 1968）。沖の鳥島海盆の西半分の海底は著しく起伏に富んでおり、堆積物は全般に薄いものに対し、東側は西マリアナ海嶺起源と考えられる火山性堆積物に厚く覆われて、基盤の起伏を覆い隠している（Karig, 1971 a, b）。これらの特徴から Karig（1971 a, b）は沖の鳥島海盆は古九州・パラオ海嶺から西マリアナ海嶺が分離して海底拡大により形成された背弧海盆であると推定している。

沖の鳥島海盆では深海掘削が実施されており、レグ31のサイト53, 54で海盆の中部に掘削がなされたが、基盤まで到達できなかった。この掘削では海盆の基盤の年代が明確にならなかったこともあり、その後海盆の東部でサイト450、海盆の西部でサイト449が海盆の年代決定を主目的として掘削され、基盤直上の堆積物の年代からサイト449の基盤の年代は24myの直前と見積もられている。この海盆形成初期の年代は、九州・パラオ海嶺の火成活動の停止した年代とよく一致している（Kronke et al., 1981）。

沖の鳥島海盆の地磁気異常は振幅が小さくリエーションの同定が困難であるが、Mrozowsky and Hayes（1979）は、主に海盆西側の地磁気リ

ニエーションの同定により、海盆は中央部をほぼ南北方向に連なって雁行配列する凹地の列の付近を拡大軸として左右対称に30myから17myにかけて拡大したと推定している。しかし、データが十分とは言えず海盆の拡大様式の詳細は未だよくわかっていない。

5. 海底地形・地質構造

シービームによる海底地形測量とシングルチャンネルによる音波探査により、沖の鳥島海盆北部の中央部から九州・パラオ海嶺にかけて海盆の西半分の海底地形、地質構造が明らかになった。第3図に海底地形図を、第4図に海底地形の鳥瞰図を示す。沖の鳥島海盆の西半分の海底は著しく起伏に富んでいる。細長く延びた高まりと窪みより

なるマイナーリッジ・トラフがよく発達し、地形のトレンドが海底に現れている。堆積物は概して薄く、トラフの底にわずかに存在するのみである。このような海盆西半分の特徴は、西マリアナ海嶺からの火山噴出物で厚く覆われて平坦な海底となっている海盆東半分と対照的である。ただし、音波探査記録から海盆東半分の海底の基盤は西半分と同様に起伏に富んでいることがわかっている (Karig, 1971b)。

海盆の西半分は東経138度30分位の線を境にして、それより東側の中央部とその西側の海底では、後述するように海底地形の様相が大きく異なっている。ここでは、調査海域の海底地形・地質構造について、海盆の中央部、その西側で九州・パラオ海嶺に挟まれる海盆西部、九州・パラオ海嶺の

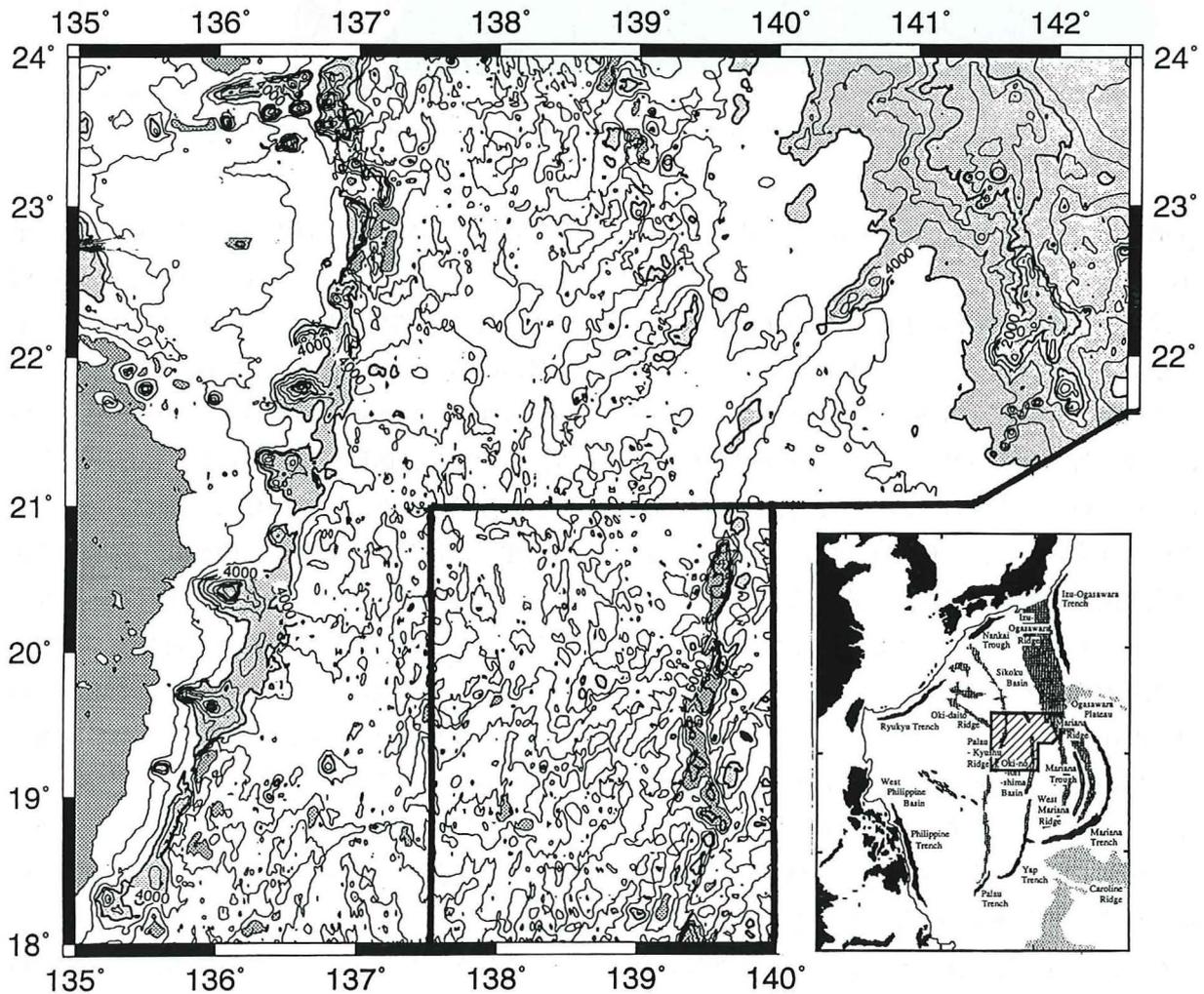


Fig. 3 Bathymetric map of the surveyed area in the northern Oki-no-tori-shima Basin. Contour interval is in 500meters. Lower middle box in this figure shows the area of Fig. 5.

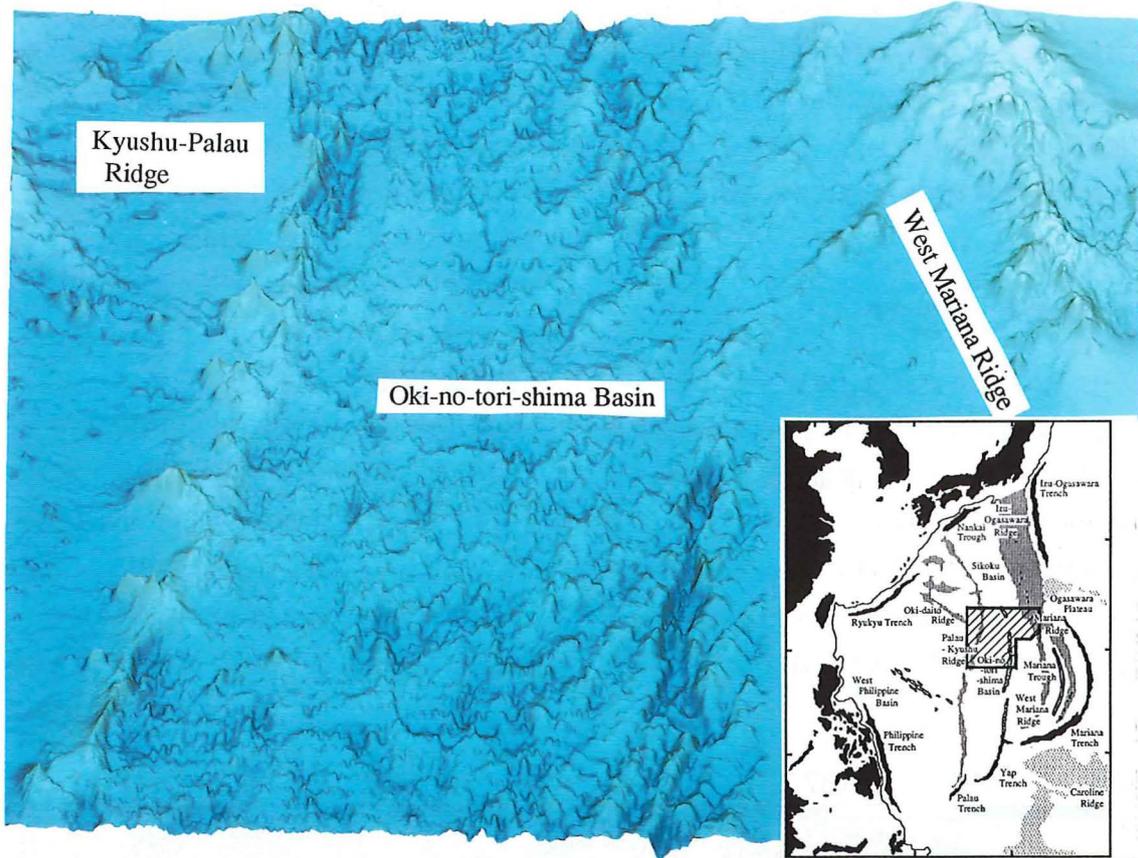


Fig. 4 Bird's eye view of the bathymetry of the surveyed area.

3地域に分けて、それぞれの特徴を記述する。

(1) 海盆中央部

沖の鳥島海盆中央部には、ほぼ南北に雁行状に連なる凹地が存在することが知られている。これらの凹地の存在は Mrozowsky and Hayes (1979) により報告されており、パレスベラリフトと名付けられている。これらの凹地の中で、北緯18度付近に存在するものは、IPOD (深海掘削計画) の掘削点事前調査の際に地形等が調べられ、ダイヤモンド形の形状を呈することが明らかになり、この凹地を IPOD トラフと呼んでいる (Kroenke et al., 1981)。

今回の調査が実施された北緯18度以北の海盆北部の海底において、北緯21度から18度にかけて五つの顕著な凹地 (第5図のD1~D5) が確認され、従来よりも凹地の詳細な形状と分布が明らかとなった。音波探査記録から、これらの凹地の底は堆積物にほとんど覆われておらず、V字状の断面を見せている (第6図)。北緯20度30分付近の最

北部の凹地 (第5図のD1) をはじめ、凹地の中に、マグマの貫入を示唆する高まりが存在する (同H1~H3)。凹地の幅は東西方向に約20kmで、V字状の凹地の両壁は、北東-南西方向に延びる比高最大1000~1300mの南東落ちの急崖となっている。この急崖は断層崖と考えられ、凹地を起点として周辺域に向かって崖の比高を減じながら、海盆西側では凹地から西方へ約100kmあたりまで確認できる (同F1~F5)。急崖の走向は凹地近傍におけるN20Eから海盆の西側に向かってS字状に緩やかに弧を描いてN60E程度まで変化していることが注目される。凹地の東側については調査海域からはずれるので不明であるが、調査海域に含まれる凹地から東に50km程度までの海域では、北西落ちの急崖がS字状に緩やかに弧を描いているのが認められ (同F6~F9)、さらに東に向かって崖が延びているように見える。また、凹地の東西両側の海底で、弧を描く崖に沿って弧の外側 (凸の側) の方にマイナートラフが延びている。

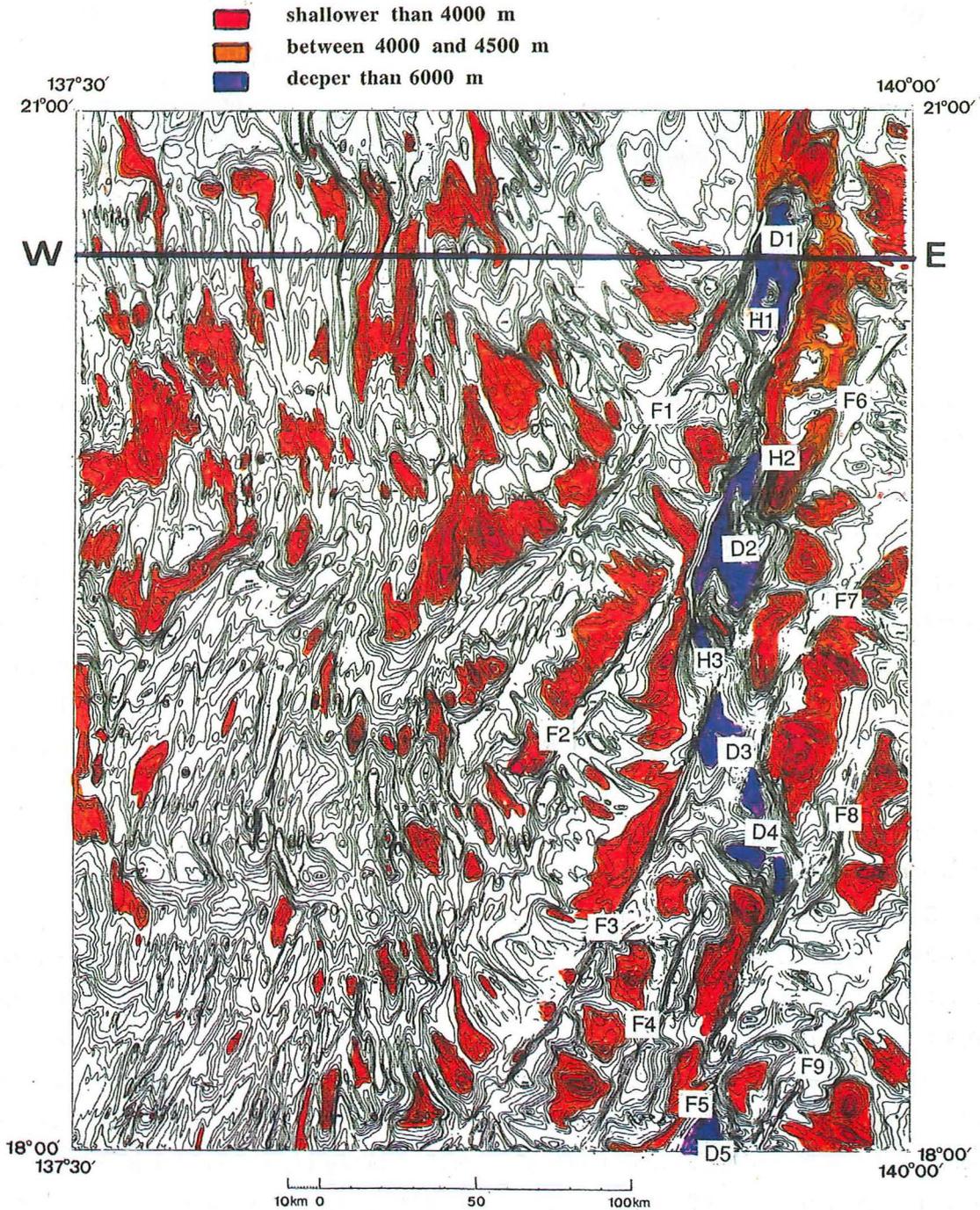


Fig. 5 Bathymetric map of the central portion of the Oki-no-tori-shima Basin. Contour interval is 100meters. Thick line indicates the location of the seismic profile shown in Fig. 6. F1~F9 : S-shaped faults, D1~D5 : axial depressions, H1~H3 : highs in the axial depressions

従って、海盆中央部では凹地を境にして東西共に類似した構造を有しており、凹地（第5図のD1~D5）を中心として180度回転させたような対称形をなしている。

さらに、海盆中央部では弧を描く急崖に直交するように、凹地近傍における北東-南西方向から

西に離れるにつれて次第に南北に方向を変えて細長く延びるマイナーリッジ・トラフが配列している。これらは急崖に断ち切られて、長さは30km足らずの短いものになっている。

(2) 海盆西部

海盆の西半分の海底は、極めて起伏に富んだ海

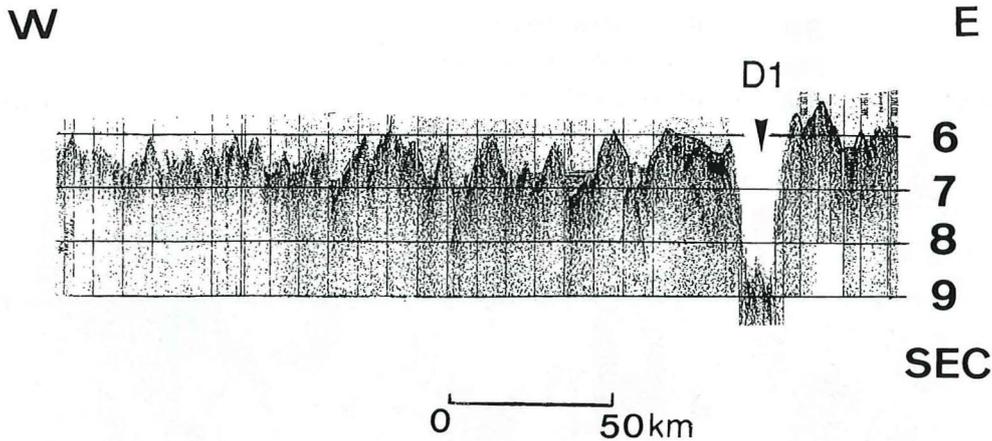


Fig. 6 E-W seismic profile across the central portion of the northern Oki-no-tori-shima Basin. Arrow indicates axial depression D1 shown in Fig. 5.

底地形及び基盤よりなっているが、前述したように、東経138度30分付近のラインを境にして、沖の鳥島海盆西半分の海底地形のトレンドは中央部と異なっている。このラインの西側では比高1000m程度の南北方向に細長く延びるマイナーリッジ・トラフがよく発達している。地形の構造的な方向性は主として南北であり、一部に北北東もしくは北北西に傾いた方向に延びるマイナーリッジ・トラフが分布している。マイナーリッジのほとんどは、長さ50km程度かそれ以下の短いものである。中央部の凹地を起点として周囲に延びるS字型の急崖はこのラインまで来るとほぼ消滅して、これより西側には認められない。

(3) 九州・パラオ海嶺

九州・パラオ海嶺はフィリピン海を二分する長さ3000kmの長大な海嶺である。北緯23度付近に屈曲点があり、これより北部では北北西の走向で四国海盆の西縁をなし、南部では北北東の走向で沖の鳥島海盆の西縁をなしている。また、屈曲点以北では海嶺の土台となる高まりに直交するように複数のピークが並ぶ形状を示しているのに対して、屈曲点以南では土台となる高まりが不明瞭になり孤立した海山列となっている。

調査海域は上述の屈曲点より南の九州・パラオ海嶺をカバーしており、沖の鳥島の他に幾つかの大きな海山を含んでいる。海山は、50~100km間隔で分布している。音波探査記録断面で見ると、九

州・パラオ海嶺は東側は急崖で沖の鳥島海盆との境界をなし、西側は緩やかな斜面でフィリピン海盆に遷移する非対象な断面を示している。海山は海嶺の尾根に相当する断面のピークより西側に位置しており、西側緩斜面の中腹に存在する。このような海嶺の非対称な断面は屈曲点より北部の九州・パラオ海嶺でも共通した特徴である。

6. 地磁気異常

沖の鳥島海盆の地磁気異常は全般的に振幅が小さく、概ね100~150nT以下の振幅である。第7図に地磁気異常図を示す。測線間隔6海里の調査にもかかわらず、地磁気異常のリニエーションはあまり明瞭ではない。しかし、第8図のように地磁気異常の傾きの方向について西傾斜と東傾斜に色分けした陰影図表現でみると海盆の中央部と西部では異なった方向のリニエーションが認められる。

海盆の中央部では、北西-南東方向のリニエーションが認められる。このリニエーションの方向は、海底地形のトレンドの方向と一致しており、地形のトレンドと同じように地磁気のリニエーションもS字型に緩くカーブする急崖によりオフセットされている。一方、海盆の西側では、南北方向に延びるリニエーションが認められる。これらのリニエーションは、四国海盆の西部に見られるほぼ南北方向のリニエーションの南への延長に

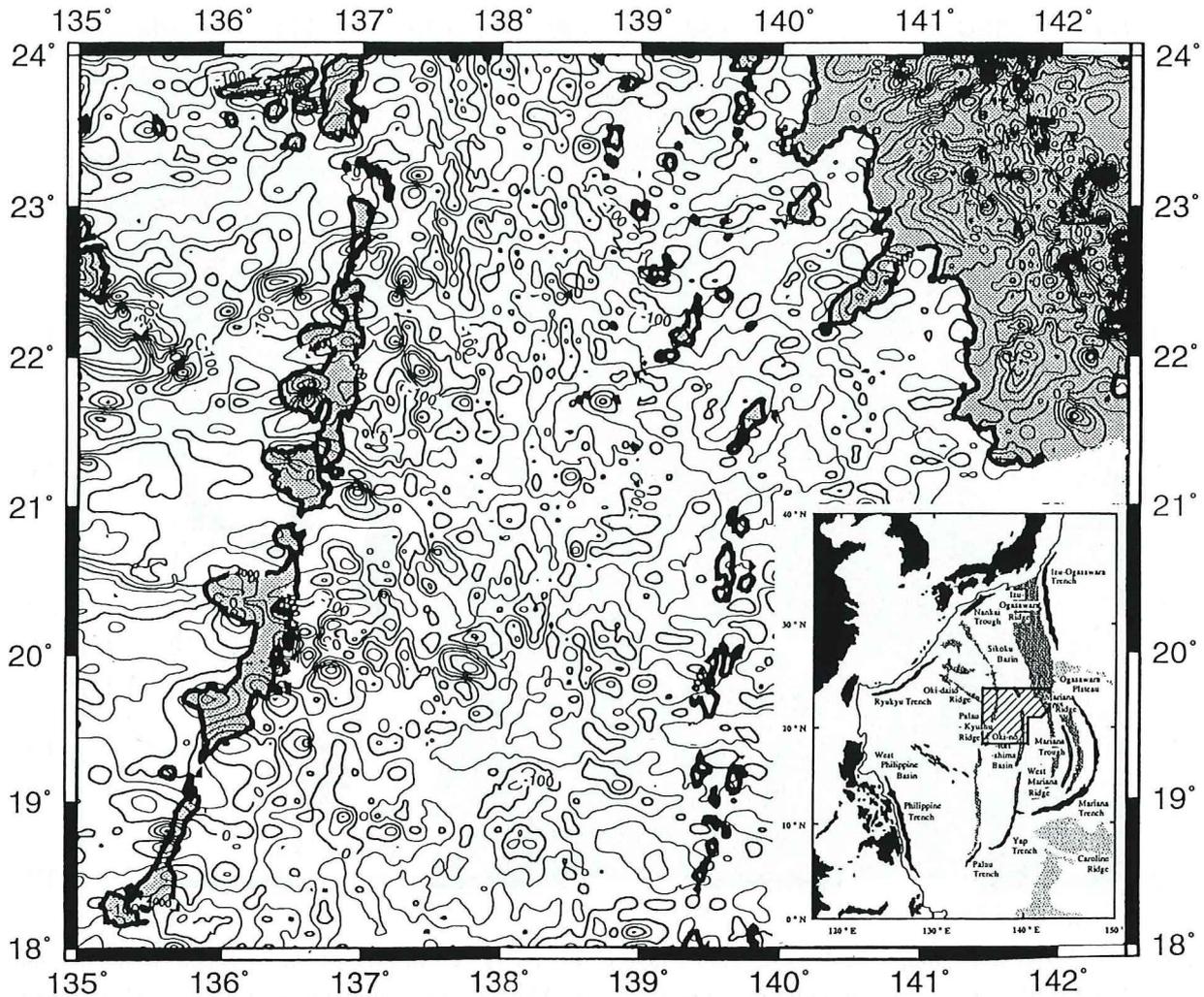


Fig.7 Magnetic anomaly map of the surveyed area in the northern Oki-no-tori-shima Basin. Contour interval is 50nT. Thick lines are bathymetric contours of 4000m and 6000m. Shaded areas are shallower than 4000m.

相当すると考えられる。

九州・パラオ海嶺の東縁の急崖に沿って、正負の地磁気異常が一對となったダイポール異常が幾つか認められる。これらの異常は、海山等の地形的高まりと対応しているものも認められるが、一部は対応していない。このような九州・パラオ海嶺東縁の急崖に沿って分布するダイポール異常は、23度付近の海嶺の屈曲点より北部においても存在することが指摘されている(春日ほか, 1992; Okino et al., 1994)。

7. 重力異常

沖の鳥島海盆におけるフリーエア異常は、海山や中軸部の凹地を除いては、概ね 0 mGal に近い

値を示している(第9図)。中軸部の凹地では、最大-70mGalに達する大きな負の異常が存在する。一方九州・パラオ海嶺の海山は、50~120mGalに及ぶ正の異常を伴っている。

第10図は、ブーゲー異常図を示す。ブーゲー異常の値は、シービームより得られた海底地形データから1kmのメッシュデータを作成し、地殻の密度を2.67 g/cm³と仮定してフリーエア異常に地形補正を施して算出した。九州・パラオ海嶺は周辺のフィリピン海盆、沖ノ鳥島海盆に比べて相対的に低ブーゲー異常域になっており、中軸部の凹地はほとんど平坦に近いブーゲー異常域である。これは、九州・パラオ海嶺はアイソスタシーで補償されているのに対し、中軸部の凹地は補償されて

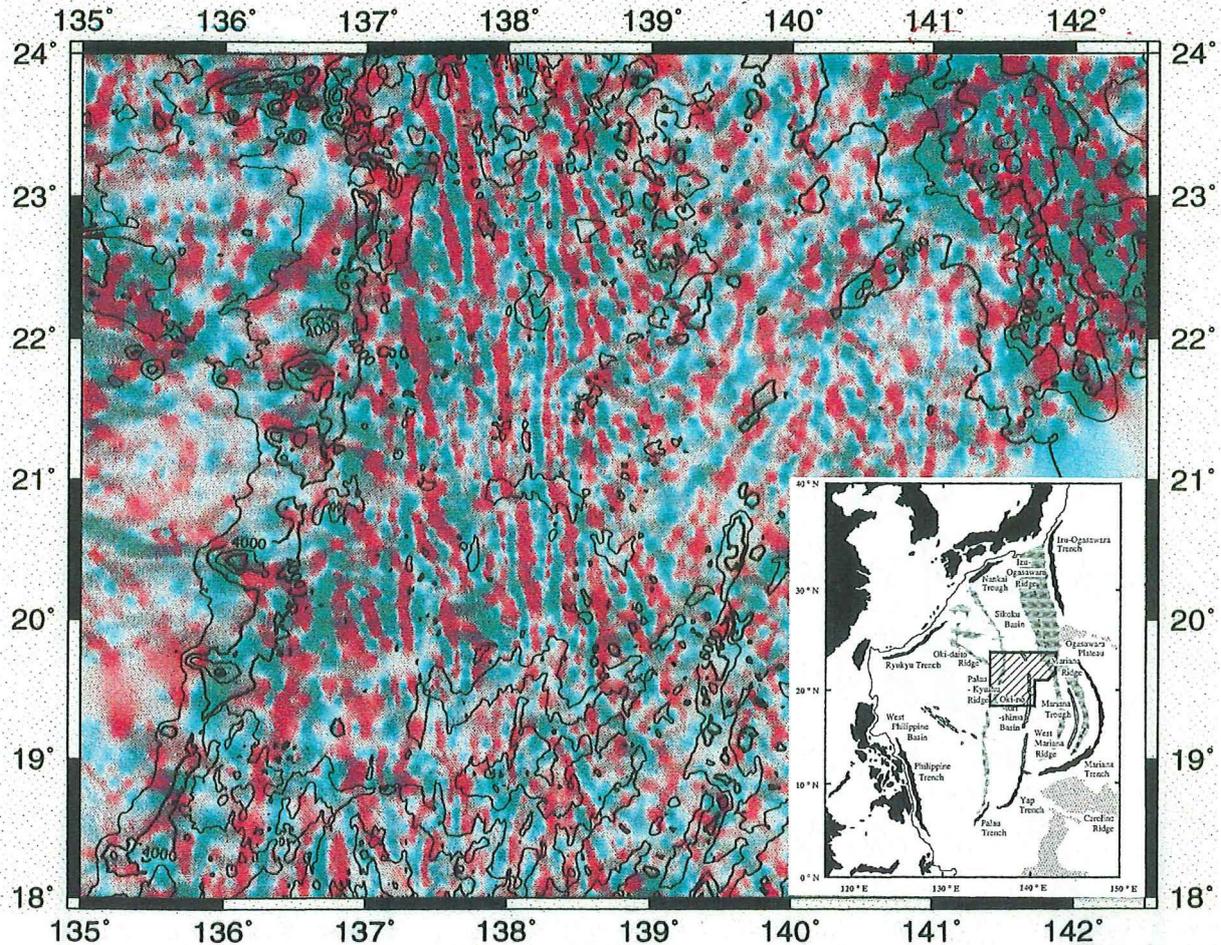


Fig. 8 Colored relief map of magnetic anomalies in the northern Oki-no-tori-shima Basin. Red : dipping down to the east, Blue : dipping down to the west. Although magnetic anomalies of the Oki-no-tori-shima Basin are generally of low amplitude (less than 150nT) and lineations are not well recognized on the magnetic contour map (Fig. 7), we can identify from this figure N-S trending lineations on the western part and NW-SE trending lineations that gradually change directions counter-clockwise toward the axis in the central part of the basin.

いない可能性があることを示唆している。

8. 沖の鳥島海盆の形成過程

深海掘削データの結果や地形・地磁気等の解析によりなされた海盆の形成過程に関するこれまでの研究成果に、今回新たに得られた調査データを加えて検討した結果、海盆の形成過程は以下のように四つの段階に分けることが可能と考えられる。なお、5の(1), (2)で記述した沖ノ鳥島海盆中央部から西側海域にかけての海底地形の特徴を第11図に示した。

(1) リフティング

沖の鳥島海盆形成以前は九州・パラオ海嶺と西

マリアナ海嶺は一体となって島弧（古九州・パラオ海嶺）を形成しており（Karig, 1971 a, b），31 Ma ころに島弧の中央部でリフティングが開始して南北に伝搬していったと推定されている（Mrozowski and Hayes, 1979）。リフティングが進行して九州・パラオ海嶺と西マリアナ海嶺が分離すると、九州・パラオ海嶺は古島弧となって沈水して火成活動は停止したと考えられている。これは九州・パラオ海嶺における DSDP のサイト 448 の掘削結果により支持されている。

今回の調査で確認された九州・パラオ海嶺の東縁の急崖は、古九州・パラオ海嶺が西マリアナ海嶺と分離するリフティングに伴って形成された割

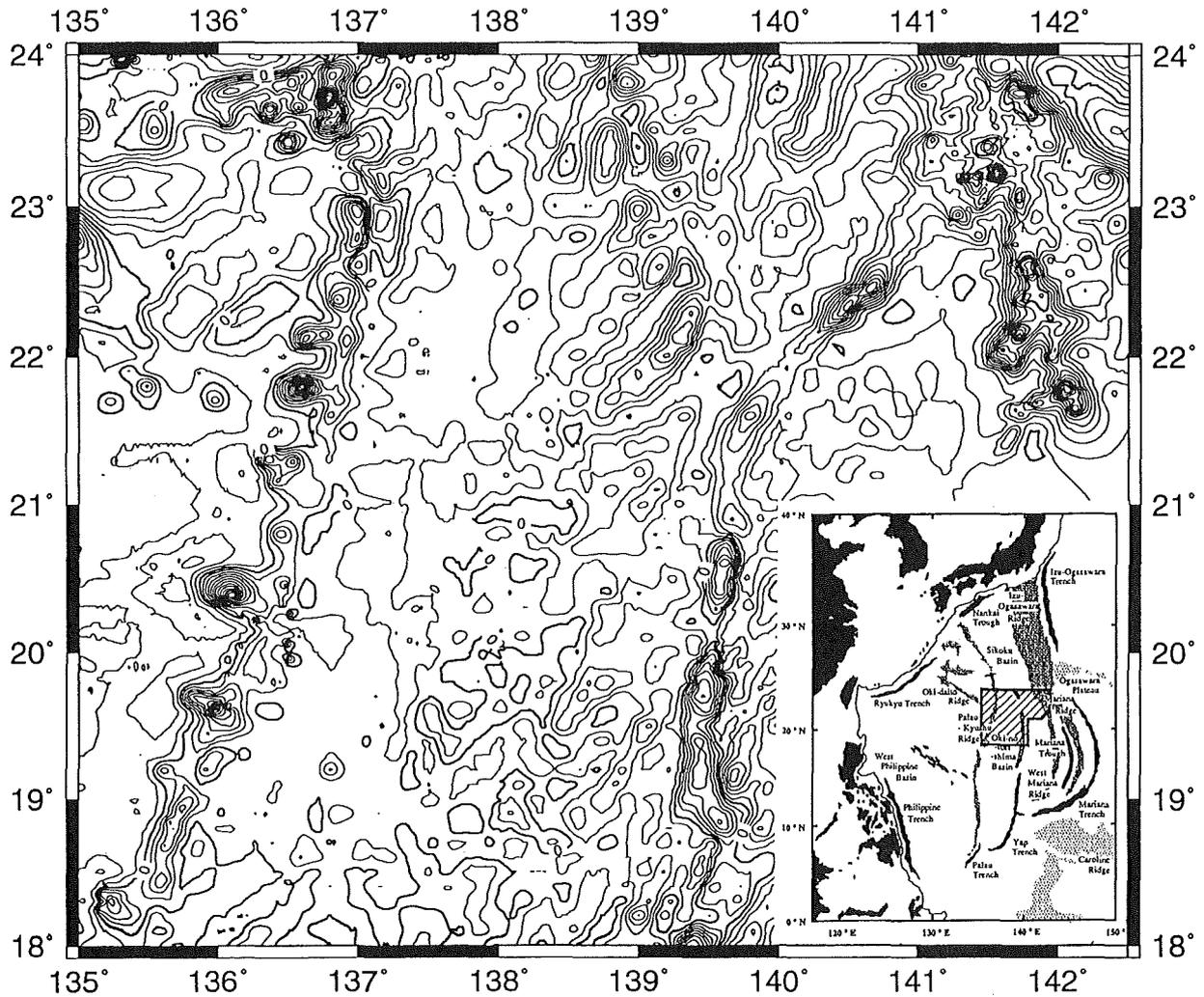


Fig. 9 Free-air gravity anomaly map of the northern Oki-no-tori-shima Basin. Contour interval is 10mGal. note prominent negative anomalies in the axial depressions.

れ目の痕跡と考えられる。この急崖に沿って分布する地磁気のダイポール異常は、リフティングに伴うマグマの貫入の痕跡と推測され、九州・パラオ海嶺北部でも同様な特徴が指摘されている（春日ほか, 1992 ; Okino et al, 1994）。

なお、九州・パラオ海嶺の海山は、海嶺の西側の緩斜面に位置しており、海嶺の東縁は急崖で沖の鳥島海盆と境界をなしている。このことは、まだ証拠は十分でないが、これらの海山が当時の火山フロントとすれば、古九州・パラオ海嶺のリフティングが火山フロントより海溝側の前弧域に始まったことを示唆している。

(2) 東西方向の海底拡大 (第12図上)

海盆西側の地磁気異常のリネーションの同定により、沖の鳥島海盆は30Maに拡大を開始し、17

ないし18Maまで東西方向に拡大を継続したと推定されている (Mrozowski and Hayes, 1979)。

沖の鳥島海盆西部海域の海底地形図は、東経138度30分付近より西側海域では南北方向に延びたマイナーリッジ・トラフが大半を占める起伏に富んだ地形を示しており、これは東西方向に海底が拡大した痕跡と考えられる。地磁気異常の分布も地形の走向と同様に海盆の中央部より西側では南北方向に延びるリネーションの存在を示しており、これも東西方向に海底が拡大したことの証拠と考えられる。これらの地磁気異常のリネーションの同定は、別の論文で報告する予定である。

(3) 北東-南西方向の海底拡大 — 拡大方向の反時計回りの変化 (第12図下) — 海盆の中央部は、北西-南東方向に延びたマイ

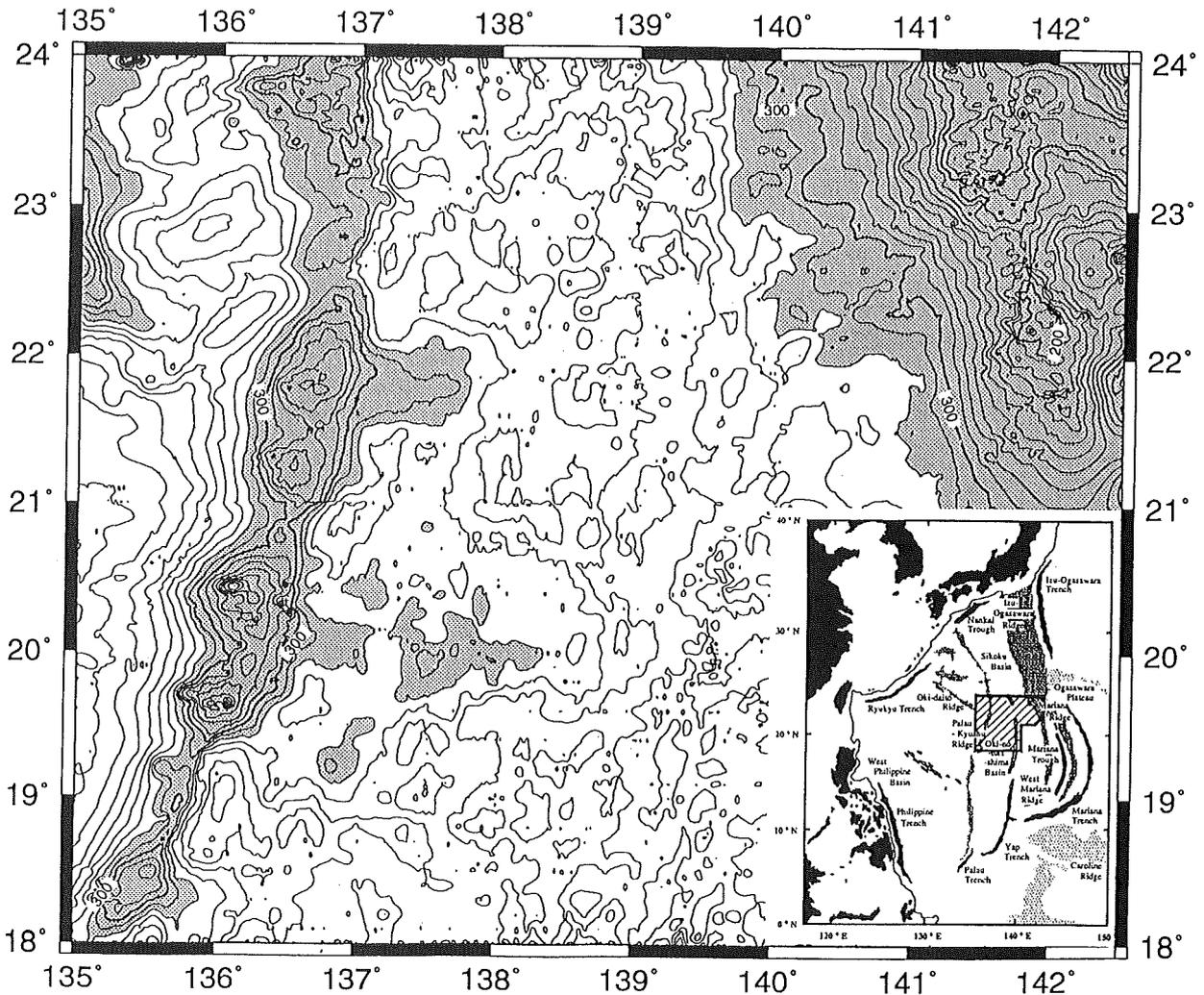


Fig.10 Bouguer gravity anomaly map of the northern Oki-no-tori-shima Basin. Contour interval is 10mGal. Shaded areas are lower than 320mGal. Assumed density is 2.67 g/cm³

ナーリッジ・トラフが卓越している。これらのマイナーリッジ・トラフはS字型に緩く弧を描いて海盆周辺部に向かって比高を減じながら延びる急崖によって切られている。マイナーリッジ・トラフの方向は、海盆中央を南北方向に雁行状に配列する凹地の近傍では北西-南東方向であるが、リフトから遠ざかるにつれて次第に南北方向に向きを変えて急崖に直交するように分布している。また、地磁気異常のリニエーションも地形の走向と一致しており、海盆の西部海域で卓越する南北方向のリニエーションが中央部では北西-南東方向に変化している。凹地の東側の海底ではこれと同様な特徴を持ち、凹地を中心として180度回転させた対称形をなしている。これらの特徴から、中央の凹地は古拡大軸の痕跡を示す中軸のリフト地形

と考えられる。また、S字型の急崖は海底拡大に伴うトランスフォーム断層起源の断層帯であることを示唆するとともに、東西方向に海底が拡大した後に、拡大方向が次第に北東-南西方向に変わっていったことを示唆している。南北方向に延びていた拡大軸が反時計回りに徐々に回転した結果拡大軸がセグメント化され、S字型の断層帯とこれに直交するマイナーリッジ・トラフ及び地磁気リニエーションが形成されたものと考えられる。

(4) 拡大終了後のオフリッジ火成活動と構造運動
沖の鳥島海盆東部海域における深海掘削(サイト450, 53)により、堆積層の中にシルの貫入が確認され、拡大終了後にオフリッジの火成活動があったことが指摘されている(Kroenke and

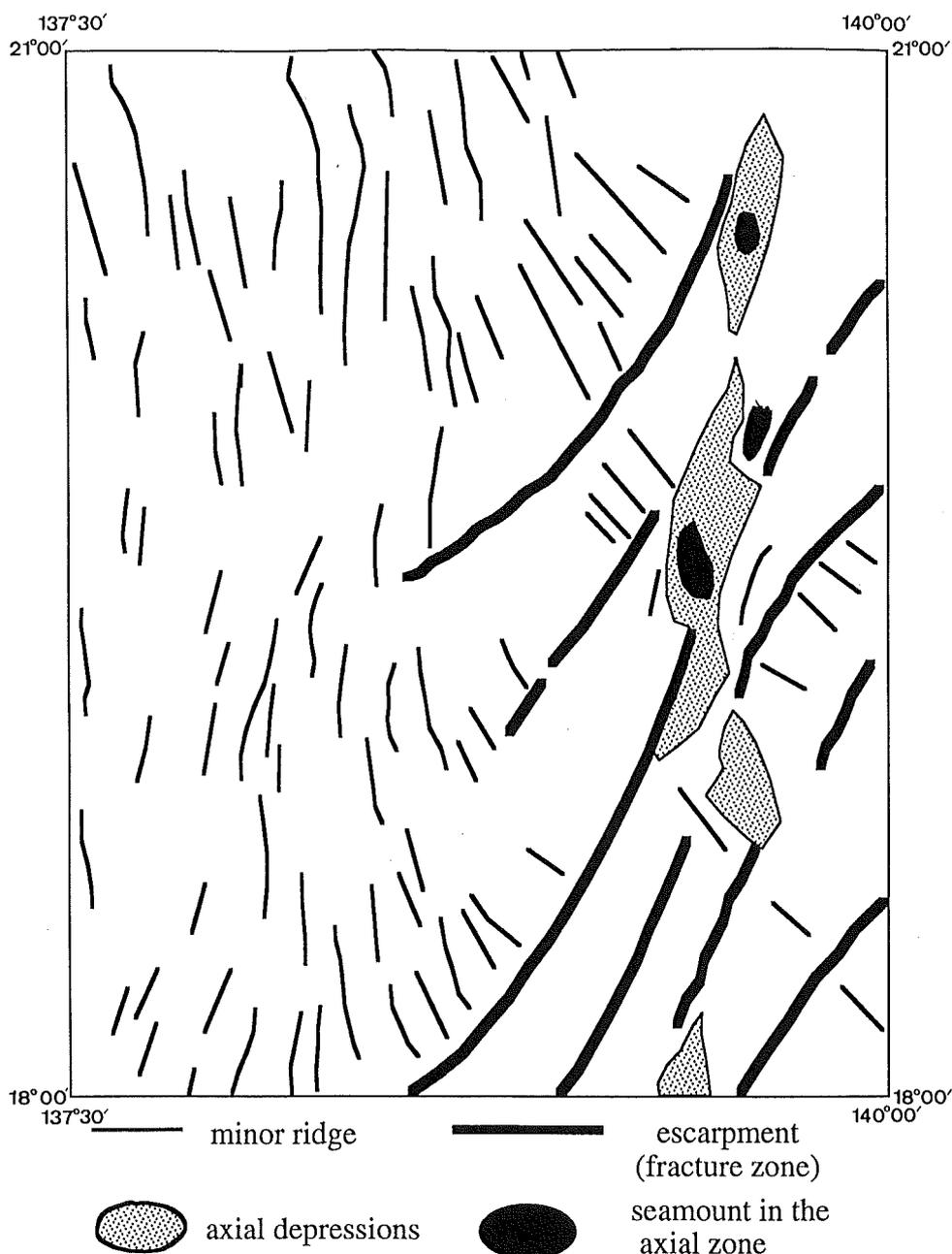


Fig.11 Major topographic elements of the central area of the northern Oki-no-tori-shima Basin (The same area as Fig. 5).

Scott, 1978 ; Fischer and Heezen et al., 1971).
 このような拡大終了後のオフリッジ火成活動の痕跡は、四国海盆においても深海掘削 (サイト432, 433, 434) により確認されている (Klein and Kobayashi, 1980).

中軸部のリフトの成因について、Mrozowski and Hayes (1979) は、それらは海底拡大軸の痕跡もしくは拡大終了後に形成された可能性の両方が考えられると指摘している。リフトの海底に堆

積物がほとんど見られないことは、薄く堆積物に覆われている周辺域のマイナートラフに比べて、新しい時代に形成されたことを示している。一般的に背弧海盆の拡大軸は、背弧海盆における構造的な弱線であると考えられることから、拡大終了後に周辺域のプレート運動により張力が働き、古拡大軸の割れ目がさらに発達して非常に顕著な凹地が形成され、一部の割れ目にはマグマの貫入が生じた可能性も考えられる。

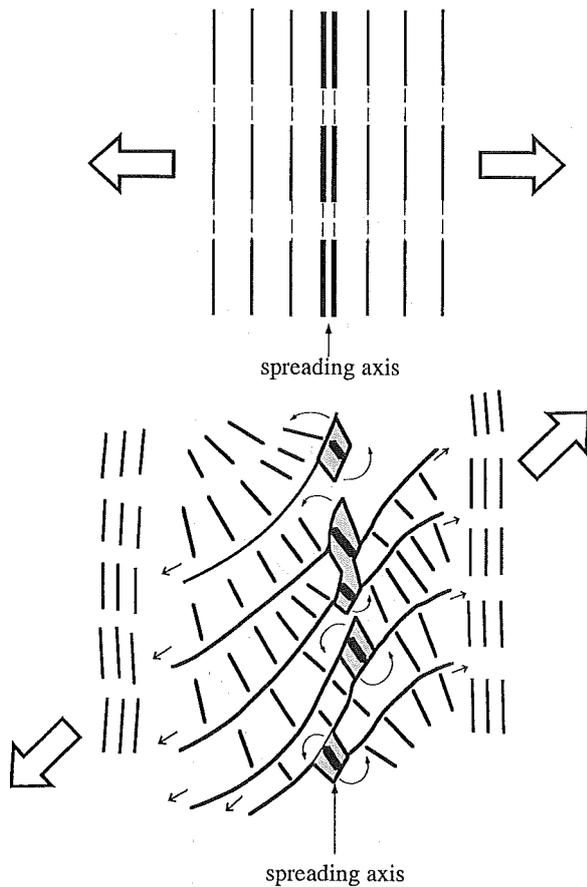


Fig.12 A proposed model of the seafloor spreading of the Oki-no-tori-shima Basin. Upper : Earlier stage of seafloor spreading. E-W-spreading from N-S trending spreading axis. Lower : Later stage of seafloor spreading. Spreading directions changed gradually and continuously from E-W to NE-SW directions accompanying segmentation and counter-clockwise rotation of the spreading axes.

9. 議論

今回沖の鳥島海盆北部の中軸部から西半分の海域で新たに得られた高密度の海底地形・地磁気等のデータにより、これまでの報告されている海盆の形成モデルと比較して、海底拡大後期の海盆中央部の形成過程に関して、従来と異なる見解が得られた。Karig (1975)は、海盆の南北及び北東-南西方向の海底地形のトレンドに基づいて、海底が東西及び北西-南東方向に拡大したと推定している。Mrozowski and Hayes (1979)は、主に海盆西側の地磁気リニエーションの同定結果から東西方向の海底拡大モデルを提案しているが、彼らが

沖の鳥島海盆の地形のトレンドと地磁気リニエーションの分布を表した図 (Mrozowski and Hayes, 1979の Fig. 4))では、海盆中央部において北東-南西方向に延びる地形のトレンドと地磁気リニエーションが描かれており、これらに直交する北西-南東方向の拡大過程を示唆している。また、西太平洋の様々な背弧海盆の拡大様式を考察した Honza (1994)は、沖の鳥島海盆の中央部は海盆の北方を拡大のオイラー極として拡大軸に斜交する東北東-西南西方向に拡大したモデルを提示している。筆者らの提案するモデルは、これまでの拡大モデルとは異なって、8の(3)で述べたような海盆の地形のトレンド及び地磁気異常のリニエーションの分布から2段階の海底拡大過程を想定している。すなわち、拡大過程の前半はほぼ一様に東西方向に拡大して海盆の周辺域が形成された後、後半は東西から徐々に北東-南西に拡大方向が変化したのに伴って、南北方向の拡大軸が反時計回りに回転すると共に拡大軸のセグメント化が進み、S字型の断裂帯を形成しながら海盆中央部が拡大・形成されたと考えている。海盆の中央部よりさらに東側は調査海域に含まれていないのでデータがなく、海盆全体が東西対称に拡大したかどうかは不明であるが、海盆中央部の海底地形は中軸部のリフトと思われる凹地を中心として180度回転の対称な形状であることから、すくなくとも海盆中央部は中軸部のリフトの両側に対称に拡大して形成されたと考えられる。

今回新たに提案された沖の鳥島海盆の中央部の拡大様式は、北方に接続する四国海盆の拡大様式と共通点がある。すなわち、地磁気異常リニエーションの分布から四国海盆中央部でも、紀南海山列のラインを拡大軸として、S字型の断裂帯の存在から拡大軸の南北から北東-南西方向への半時計回りの回転が提案されている (Okino et al., 1994; Kobayashi et al., 1995)。四国海盆北端部の南海トラフにおいて、海盆中軸部に南北方向に伸びる基盤の段差が確認され、Chamot-Rooke et al. (1987)はこれを南北方向の海底拡大に伴う断裂帯の痕跡と解釈している。その形成年代は磁気

異常 (Chamot-Rooke et al., 1987) と微化石年代 (Taira et al., 1992) から15Ma 頃と推定されている。ただし, Okino et al. (1994) は, これらの基盤の段差について磁気異常の不連続を伴わないことから, フィリピン海プレートの沈み込みによる四国海盆の基盤の変形をその成因と考えており, 断裂帯の有無についてはさらに検討する必要がある。四国海盆中部から南部にかけては, 中軸部に沖の鳥島海盆にみられるようなS字型の断裂帯の存在を示唆するような顕著な崖などの地形的特徴は認められないようである。また, 拡大の中軸が四国海盆では紀南海山列を構成する海山を伴っているのに対し, 沖の鳥島海盆では, 中軸がリフトを示唆する顕著な凹地になっている点が異なる。四国海盆と沖の鳥島海盆は共に古九州・パラオ海嶺が太平洋プレートの沈み込みに伴ってほぼ同じ時代に伊豆・小笠原/マリアナ島弧に分裂して海底拡大により形成されたにもかかわらず, このような中軸部の地形の特徴の相違が生じた原因については, 四国海盆北端部の断裂帯の存在の確認を含めて未解決の問題である。

ただし, 上述のような海盆中央部の形成モデルには検討すべき点が幾つか残っている。第1に断裂帯の痕跡と解釈したS字型の崖の比高が挙げられる。中央部の凹地を古拡大軸の痕跡を示すリフトとすると, 凹地の配置からしてS字型の断裂帯の痕跡と推定される崖がオフセットしている両側の海底の年代差は小さいと思われる。しかし, この崖は中軸付近は1000mに及ぶ比高を持っている。これは断裂帯にしては比高が大き過ぎるようであり, 周辺に向かって比高が急激に減少しているが, この減少の割合も一般的な断層に比して大き過ぎるようである。これらの断層は, 海底拡大終了後に再活動して比高が増した可能性があると思われる。また, 第2に断裂帯に伴う断層の落ちのセンスが挙げられる。この海域では, 断裂帯両側の海底の年代を比較してより新しい(相対的に拡大軸に近い)と推定される海底の方が深くなっている。これは, 一般的な断裂帯にみられる変位とは逆のセンスになっており, 拡大軸で生産され

たプレートの冷却—沈降モデルと合わない。これらの問題については, 今後さらに検討する必要がある。

沖の鳥島海盆北部では, 海盆西側にられるほぼ南北方向の地形及び地磁気のトレンドは, 北北東—南南西方向に伸びる九州・パラオ海嶺南部と斜交している。これは, 沖の鳥島海盆の東西方向の拡大が海盆中部から始まり, その後南北に拡大が伝搬したとする Mrozowski and Hayes (1979) の拡大モデルに調和的である。一方, 四国海盆では, 拡大が北部から始まり, 南へ伝搬していったと推定されている (Kobayashi and Nakada, 1978)。従って, 両海盆の接続域は海底拡大の開始時期が最も遅れたことになり, 四国海盆/沖の鳥島海盆の海盆の幅が接続域で最も狭くなり, 九州・パラオ海嶺が屈曲している一因であろう。

また, 沖の鳥島海盆両側で対をなしている九州・パラオ海嶺南部と西マリアナ海嶺の配置に着目すると, 九州・パラオ海嶺の屈曲点(北緯23度付近)と西マリアナ海嶺北端にあたる伊豆・小笠原弧とマリアナ弧との境界点(北緯24.5度付近)の位置が緯度にして約1.5度ずれている。これは両海盆とも拡大前期は東西方向に近い拡大であったが, 拡大後期は北東—南西方向の拡大が生じたためであろう。このずれの距離は, 沖の鳥島海盆のS字型断裂帯の形状から予想される南北方向の相対的なずれの大きさと調和的である。

海底拡大方向の変化に伴って, 拡大軸であるリッジの回転と方向変化が起こるとするモデルは, 最初に Menard and Atwater (1968) によって提案された。その後, 東太平洋海膨等の拡大様式の研究から, 海底の拡大方向の変化は, リッジの回転によって発生するのではなく, リッジの伝搬により生じたことを示す事例が明らかにされてきた (Wilson et al., 1984; Hey et al., 1988)。しかし, 今回の調査結果と考察から, 沖の鳥島海盆等の背弧海盆では拡大方向の変化に伴って, リッジ(拡大軸)の回転, セグメント化が生じていることが明らかとなった。これは, 拡大速度や拡大方向変化が遅い場合は, 拡大方向の変化に対

応すべく拡大軸が徐々に回転して連続的に変化していくことができるのに対し、拡大速度や拡大方向変化が早い場合は、異なる方向の拡大軸の誕生・伝搬が生じることを示唆している。

10. まとめ

沖の鳥島海盆北部の中軸部から九州・パラオ海嶺に至るまでの海盆西半分の海底におけるシービームによる海底地形、シングルチャンネルの音波探査記録、地磁気・重力の測定結果により、以下のような海盆の特性が明らかになった。

- (1) 海盆中央の中軸部に最大水深6700 mに及ぶ5個の凹地が全体として南北方向に雁行配列していることが確認された。凹地に底には堆積物がほとんどなくV字状の断面を有し、マグマの貫入を示唆する高まりが見られる。
- (2) 中軸の凹地から周辺の海底に向かって北北東—南南西方向から北東—南西方向に向きを徐々に変えてS字状に延びる急崖が約20~30km間隔で5列発見された。この崖は中軸部の西側では南東落ち、東側では北西落ちとなっている。崖の比高は凹地近傍で最大1300 mもあり、中軸から遠ざかるにつれて比高が小さくなり、中軸部の西方約100kmで消滅する。崖の分布と形状は中軸部の凹地を中心に180度回転した対称形をなしている。
- (3) 海盆中央部では、S字状に緩やかに弧を描く崖に直交するように走向が変化する地形のトレンドがあり、中軸部の西方100kmより西側の海底では南北方向のトレンドが顕著である。
- (4) 地磁気のリニエーションの分布は、海盆の中央部とその西側の海底で上述の地形のトレンドとそれぞれほぼ一致している。
- (5) 九州・パラオ海嶺東縁と沖の鳥島海盆西縁の境界には、古九州・パラオ海嶺のリフティングの痕跡と考えられる直線的な断層崖が形成されている。

これらの調査結果から、中軸部の凹地は古拡大軸の痕跡を示すリフト地形であり、S字状の崖は断層帯と考えられる。沖の鳥島海盆は、(1)古九州・

パラオ海嶺のリフティング、(2)拡大過程前期における比較的一様な東西方向の海底拡大、(3)後期における拡大方向の連続的な変化による反時計回りの拡大軸の回転とセグメント化に伴う複数のS字状の断層帯の形成と、(4)拡大終了後のオフ・リッジ火成活動と構造運動、という段階を経て現在の姿が形成されたと推定される。このような拡大様式は、沖の鳥島海盆の北方に接続する四国海盆の拡大様式と共通しているが、中軸部の形状は大きく異なっている。

謝 辞

大陸棚調査データの収集に尽力された測量船「拓洋」の船長以下乗組員の皆様と大陸棚調査室の関係の方々に感謝いたします。大陸棚研究委員会において、委員長の奈須紀幸博士をはじめ、委員の石和田靖章博士、友田好文博士、小林和男博士、佐藤任弘博士からは、貴重なご意見・ご助言を賜りました。桂忠彦博士と加藤幸弘、沖野郷子、小原泰彦の諸氏には有益な議論をしていただきました。査読者からは、貴重なコメントをいただきました。また、霜鳥史郎氏には、地磁気異常図の作成にご協力いただきました。以上の皆様に感謝いたします。なお、図の作成には、GMT system ver 2.1 (Wessel and Smith, 1991) を使用した。

参 考 文 献

- 浅田昭・中西昭：シービームデータによる海底地形図の作成，水路部研究報告，**21**，p.89-108 (1986)
- Chamot-Rooke N, V. Renard and X. Le Pichon: Magnetic anomalies in the Shikoku Basin; a new interpretation, *Earth and Planetary Science Letters*, **83**, p.214-228 (1987)
- 萩原幸男：地球重力論，共立全書，共立出版 p.123 (1978)
- Hey, R. N., H. W. Menard, T. M. Atwater and D. W. Caress: Changes in direction of seafloor spreading revisited, *J. Geophys.*

- Res*, **93**, p.2803-2811 (1988)
- Honza, E : Spreading mode of backarc basins in the western Pacific, *Tectonophysics* **251**, p.139-152 (1995)
- Fischer, A. G., Heezen, B. C., et al. : *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, Vol. VI (U. S. Government Printing Office, Washington, D. C. (1971)
- Karig, D. E. : Origin and development of marginal basins in the western Pacific, *J. Geophys. Res.*, **76**, p.2542-2561 (1971a)
- Karig, D. E. : Structural history of the Mariana island arc system, *Geol. Soc. Am. Bull.*, **82**, p.323-344 (1971b)
- Karig, D. E. : Basin genesis in the Philippine Sea, in D. E. Karig, J. C. Ingle et al., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, Vol. XXXI (U. S. Government Printing Office, Washington, D. C., p. 857-879 (1975)
- 春日茂・加藤幸弘・木村信介・沖野郷子 : 本州南方海域の島弧海溝系及び背弧海盆の特徴, 水路部研究報告, **28**, p.19-53 (1992)
- Klein, G. V. and K. Kobayashi : Geological summary of the North Philippine Sea, Based on DSDP Leg 58 Results, *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, Vol. VXIII, p.951-961 (U. S. Government Printing Office, Washington, D. C. (1980)
- Kobayashi, K., S. Kasuga and K. Okino : Shikoku Basin and its margins, Backarc Basins ; *Tectonics and Magmatism*, edited by Brian Taylor, Plenum Press, New York, p.381-405 (1995)
- Kobayashi, K. and Nakada, M. : Magnetic anomalies and tectonic evolution of the Shikoku inter-arc basin, *J. Phys. Earth* **26**, p.391-402.
- Kroenke, L. et al. : Site 448 ; Palau-Kyushu Ridge, *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, Vol. LIX (U. S. Government Printing Office, Washington, D. C., p.111-319 (1981)
- Kroenke, L. et al. : Site 450 ; East side of the Parece Vela Basin, *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, Vol. LIX (U. S. Government Printing Office, Washington, D. C., p.355-403 (1981)
- Menard, H. W. and T. M. Atwater : Changes in direction of sea floor spreading, *Nature*, **219**, p.463-467 (1968)
- Mrozowski, C. and D. Hayes : The evolution of the Parece Vela Basin, eastern Philippine Sea, *Earth and planetary Science Letters*, **46**, p.49-67 (1979)
- Murauchi, S. et al. : Crustal structure of the Philippine Sea, *J. Geophys. Res.*, **73**, p. 3143-3171 (1968)
- Okino, K., Y. Shimakawa and S. Nagaoka : Evolution of the Shikoku Basin, *J. Geomag. Geoelectr.*, **46**, p.463-479 (1994)
- Taira A. et al. : Sediment deformation and hydrogeology of the Nankai Trough accretionary prism : Synthesis of ship-board results of ODP Leg 131, *Earth and Planetary Science Letters*, **88**, p. 431-450 (1992)
- 柳武・平岩恒廣 : 海底重力測定, 海洋科学技術センター試験研究報告, P101-106 (1985)
- Uyeda, S. and A. Ben-Avraham : Origin and Development of the Philippine Sea, *Nature Physical Science*, **240**, p.176-178, (1972)
- Wessel, P. and W. H. F. Smith : Free software helps map and display data, *EOS*, **441**, p. 445-446 (1991)
- Wilson, D. S., R. N. Hey and C. Nishimura : Propagation as a mechanism of reorientation of the Juan de Fuca Ridge, *J. Geophys. Res.*, **89**, p.9215-9225 (1984)