

南西諸島西方海域の磁氣的構造

大熊 茂雄*・中塚 正*
牧野 雅彦*・森尻 理恵***Determination of basement structure offshore of the western Nansei Islands from aeromagnetic data—By Shigeo OKUMA, Tadashi NAKATSUKA, Masahiko MAKINO and Rie MORIJIRI**

Eight aeromagnetic surveys offshore of the western Nansei Islands, have been conducted by the Geological Survey of Japan (GSJ) since 1982. The purpose is to complete aeromagnetic anomaly maps on a scale of 1:200,000 in order to better understand the geological structure of the area.

An aeromagnetic anomaly map of the survey area was compiled from all eight survey data. Generally, magnetic anomalies trend northeast to southwest along the submarine topography. Five magnetic belts are recognized on the map, namely from the continent side, the magnetic high anomalous belt at the northwest edge of the survey area, the magnetic low anomalous belt over the Tunghai Shelf, the magnetic high anomalous belt at the margin of the Tunghai Shelf, the magnetic low anomalous belt over the west flank of the Okinawa Trough, and the magnetic high anomalous belt over the axis and east flank of the Okinawa Trough, as indicated in Fig. 7. There are also several magnetic lineations oblique to the magnetic belts.

A two-layer model inversion method was applied to magnetic anomalies of the study area. The resultant magnetic basement structure generally correlates with acoustic basement.

1. はじめに

南西諸島は九州南端から台湾北東端との間に弧状に続く島々である。同諸島の西方には中国大陸との間に東シナ海が位置する。東シナ海は地形的に南西諸島西方の沖縄トラフと中国大陸寄りの東海陸棚とに区分される (Fig. 1)。沖縄トラフは幅が約100 km、長さが1,000 kmを越えると細長い窪地であり、水深は南西に向かって深くなり、最深部では2,000 mを超える (Fig. 2)。沖縄トラフは地殻熱流量が高いことなどから、縁海の拡大する初期の姿を示しているとの議論がある (HERMAN et al., 1979)。これに対して、沖縄トラフでは海底が正断層を生じながら急速に沈降しているが、いわゆるドリフティングと呼ばれる海底拡大は起こっていないという考えもある (大島, 1987)。また、近年海洋調査船ゾネ号を用いた日独共同の海洋調査や「しんかい2000」を用いた潜水調査により、海底金属鉱床 (HALBACH et al., 1989) やブラックスモーカー (中村ほか, 1990) が各

々発見され、注目を浴びている。

一方、東海陸棚は朝鮮半島から台湾海峡にわたる広大な大陸棚である。この海域における先駆的な海洋調査が ECAFE (Economic Commission for Asia and the Far East) によってなされ、スパーカーを音源とする音波探査等により堆積層の発達が推定された (EMERY et al., 1969)。この調査をきっかけとして、本海域は炭化水素資源の賦存有望地域と判断され、内外の注目を浴びることになった。以来、関係機関により海洋調査が行われ、地質構造の概要も明らかにされつつある (Fig. 3)。しかし、台湾および中国から発せられた尖閣諸島の領有権問題により、現在、同諸島周辺での石油探査を目的とした本格的な調査は困難となっている。

このような中で、地質調査所は、1982-89年にわたって、炭化水素資源賦存の基礎的データをを得ることを目的として、南西諸島西方海域において空中磁気探査を実施した。調査海域は、南西諸島西方の沖縄トラフ東翼部から東海陸棚の中間線までの範囲である (Fig. 1)。なお、東経123°線に沿って日本と台湾との防空識別圏の境界が存在するため、東経123°線を越えての探査は行っていない。

1991年3月4日原稿受付；1991年7月15日受理

* 地質調査所

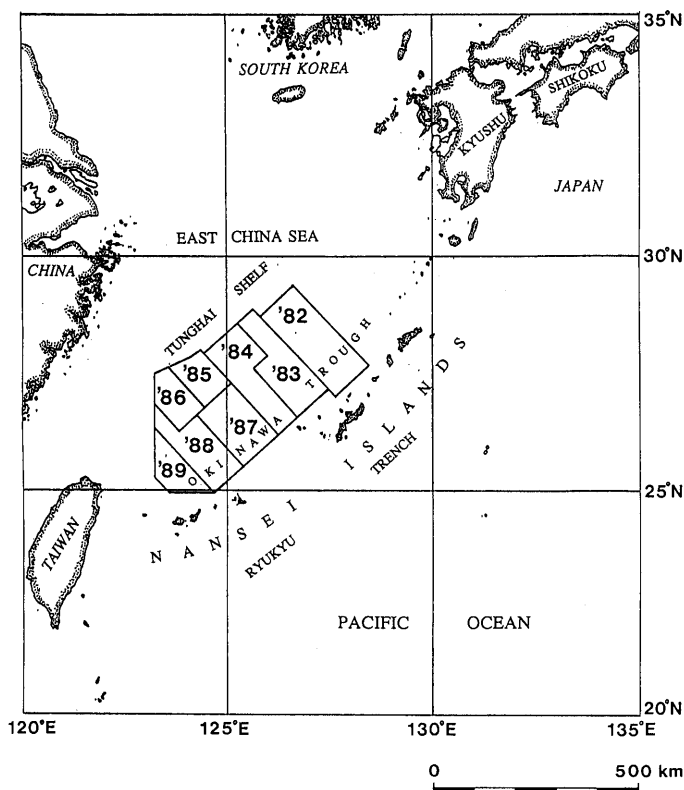


Fig. 1 Location of the aeromagnetic surveys (1982-1989) conducted by GSJ.

い。

本論文では、空中磁気探査の概要と当該地域の磁気異常の特徴、さらに磁気異常の2層モデルインバージョンの解析結果について述べる。

2. 空中磁気探査およびデータ処理

調査は、1982-89年の8年間にわたり延べ日数115日を要し、調査総面積は約130,000 km²、測線の総延長は約30,000 kmとなった (Table 1)。1982-84年の3年間の調査については既に詳細に報告されている (中井ほか, 1985)。調査は地質調査所の空中磁気探査システム (中塚, 1984) を用いて行った。期間中のハードウェアの変更点は、1983年に機上用プロトン磁力計を、1984年に同データ収録装置を各々更新している。空中磁気探査は、高感度プロトン磁力計を搭載したセスナ404型機 (中日本航空㈱所有) によって、飛行高度1,500 ft (約460 m) の上空で行われた。位置標定には、陸域における対地映像によって補正を行ったロランC円航法データを用いた。主測線はNW-SE方向に約5 kmの間隔で、交差測

線は概ねこれと直交する方向に設定した (Fig. 4)。ただし、尖閣諸島付近では島々に対応した短波長の磁気異常の存在が予想されたため、測線間隔を2.5 km程度に設定している。観測されたデータは、地質調査所のデータ処理システム (中塚, 1989) を用いて処理され、空中磁気図が作成され、その一部は既に印刷・公表されている (中塚ほか, 1984; 大熊ほか, 1985; 大熊ほか, 1989)。また、調査地域全域のデータを用いた広域的なIGRF残差磁気異常 (全磁力異常) 図 (Fig. 5) も編集された (OKUMA et al., 1990)。

ここで、広域的な磁気異常図の編集方法について簡単に触れる。まず探査において、各探査年度の主測線の開始位置は、原則として前年度の最終主測線と重なるよう設定している。これは、日変化観測定点の位置の相違等のために、磁気異常図に含まれる磁気異常の直流成分の差を確認し、隣接する探査区域における磁気異常図の接合をスムーズに行うためである。データ処理は、現在の処理システムの都合上、同時に3現場にわたる探査データまでの処理しか行えない。したがって、編集はまず

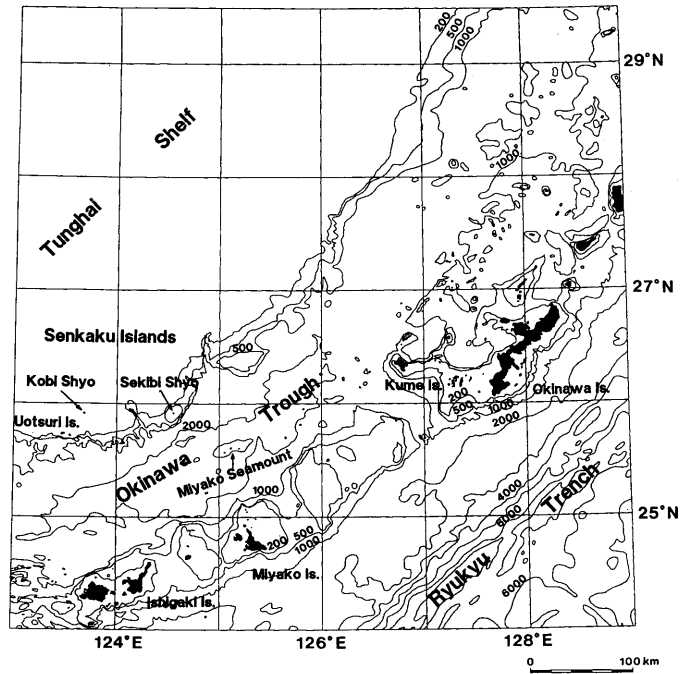


Fig. 2 Bathymetric chart of the study area. Original data were made by the Hydrographic Department, Maritime Safety Agency.
Water depths are in meters.

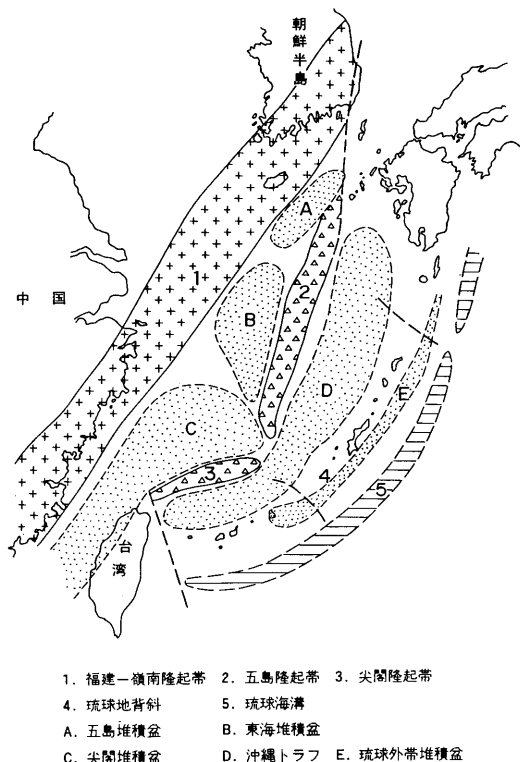


Fig. 3 Outline of the geological structure around the East China Sea (after Japan Natural Gas Association and Japan Offshore Petroleum Development Association (1982)).

Table 1 Outline of the aeromagnetic surveys (1982–1989) over offshore of the western Nansei Islands.

期 間	1982～1989年, 8 カ年, 延115日 (現地作業: 空輸日～空輸日) 内訳 1982 8. 5～ 8. 21: 17日間 1983 6. 30～ 7. 20: 21日間 1984 7. 1～ 7. 13: 13日間 1985 11. 1～11. 12: 12日間 1986 12. 3～12. 15: 13日間 1987 11. 12～11. 26: 15日間 1988 11. 16～11. 29: 14日間 1989 12. 4～12. 13: 10日間 計 115日間
探 査 区 域	Fig. 1参照
使 用 航 空 機	セスナ404型機: JA5264 (1982～1983年), JA5267 (1984～1989年)
作 業 飛 行 時 間	計 207時間 50分
飛 行 高 度	1,500フィート A.S.L. (above sea level)
測 線 延 長	約30,000 km
主測線方向・間隔	NW-SE・5 km
航 法	ロランC円航法, ドップラー航法
航 跡 標 定	ロランC円航法データ及び陸域の対地映像 (ビデオ)
飛 行 基 地	那覇国際空港 (1982～1985年), 宮古空港 (1986～1988年), 石垣空港 (1989年)
日変化観測定点	沖縄県国頭郡今帰仁村諸志 (1982～1985年), 沖縄県宮古郡下地町字与那覇914番地 (1986～1988年) 沖縄県石垣市荒川町2469-15 (1989年)
使 用 機 材	米 GeoMetrics 社製 G804 型プロトン磁力計 (1982年) 米 EG&G GeoMetrics 社製 G813 型プロトン磁力計 (1983～1989年) 米 GeoMetrics 社製 G704 型データ収録装置 (1982～1983年) 丸文機製 821000/831000/832000 型収録装置 (1984～1989年) 丸文機製 M8002 型セシウム磁力計 その他

1982–1989年の8年間にわたるデータを分割し, ①1982–83, ②1983–84, ③1985–87, ④1986–88および⑤1988–89の5個の磁気異常図データファイルを作成した。これらのデータのグリッド間隔は, 200 m×200 mである。次に, 各データの直流成分の基準値を①1982–83のそれに合うよう調整し, 接合を行った。この際, 直流成分の調整量は, 日変化観測定点の相違から推定されるものでは説明できた。またデータの接合は, 各データをランダムデータとみなし, 2次曲面の当てはめによる内挿補間法を用いて行った。このようにして, 最終的にグリッド間隔1 km×1 kmの全磁力異常データを作成した (Fig. 5)。さらに, このデータに周波数領域のフィルター操作 (加藤, 1987) を施し, 極磁力異常データを作成した (Fig. 6)。ただし, 極磁力フィルターの操作において, 地球磁場および磁化ベクトルは方向が一致するものとし, その伏角と偏角は各々38.5°N, 4°Wとした。

3. 磁気異常分布の特徴

広域的な極磁力異常図 (Fig. 6) を参照しながら, 当該地域の磁気異常分布の特徴について述べる。

当該地域における磁気異常は, 概してNE–SWの方向に帯状に分布する。それらを, ここでは大陸方面より磁気異常帯 H1, L1, H2, L2 および H3 と呼ぶ (Fig. 7)。

高磁気異常帯 H1 は, 探査地域西端の尖閣諸島魚釣島付近より北方の東海陸棚外縁部～東海陸棚に分布する。H1 は, 波長数10 km, 振幅数100 nT の複数の磁気異常からなり, 全体としては緩やかな高磁気異常域となっている。

低磁気異常帯 L1 は, 東海陸棚 (東海堆積盆および尖閣堆積盆) に分布し, 東西を高磁気異常帯 H1 と高磁気異常帯 H2 とに境されている。L1 は長波長・低振幅の低磁気異常からなり, 顕著な磁気異常は, ほとんど存在

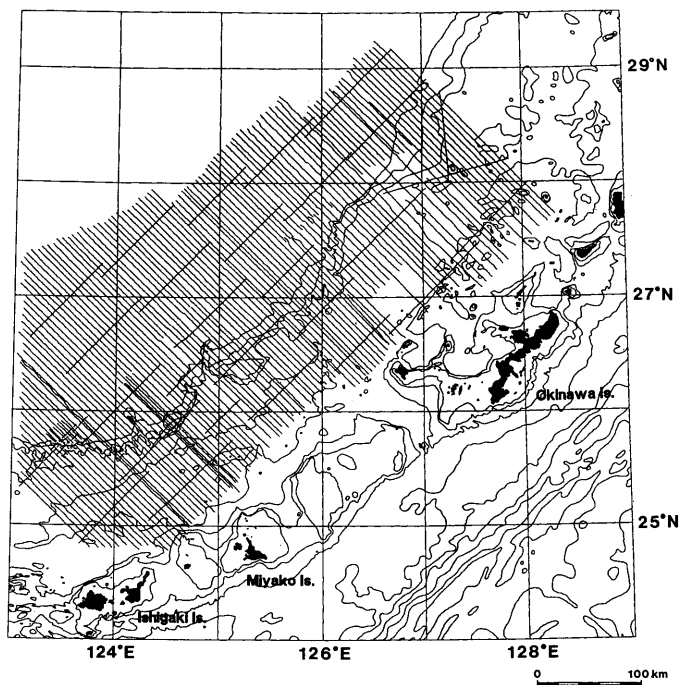


Fig. 4 Flight paths of the aeromagnetic surveys (1982-1989).

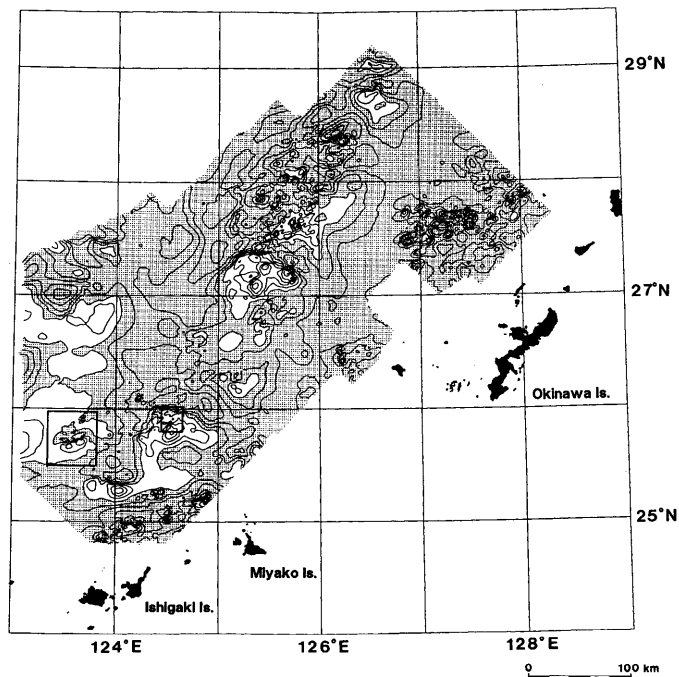


Fig. 5 IGRF residual aeromagnetic anomaly (total force) map of the study area. Contour interval is 50 nT and negative areas are shaded. The small and large boxes indicate the areas of a detailed magnetic anomaly map over and around Sekibi Shyo (Fig. 13) and Uotsuri Island (Fig. 14), respectively.

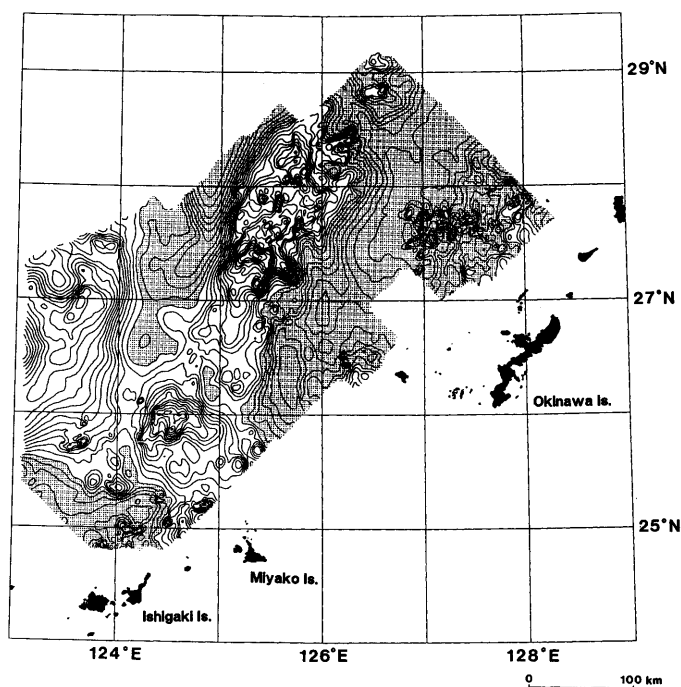


Fig. 6 Reduced-to-the-pole anomalies calculated from IGRF residuals (Fig. 5). Contour interval is 50 nT and negative areas are shaded.

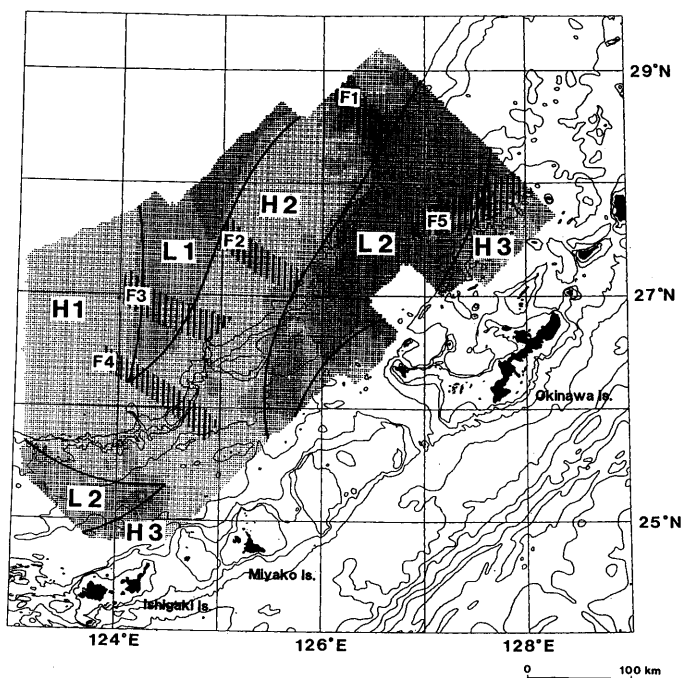


Fig. 7 Framework of aeromagnetic anomalies with the gray-scale sketch of the reduced-to-the-pole anomalies (Fig. 6). H1-H3 and L1-L2 denote magnetic high and low anomalous belts, respectively. F1-F5 show magnetic lineations.

しない。

高磁気異常帯 H2 は、東海陸棚外縁部（五島隆起帯）に沿って分布し、さらに尖閣諸島赤尾嶼付近から沖縄トラフへ伸張し、トラフ中軸部付近で高磁気異常帯 H3 と一体となる。また、尖閣諸島赤尾嶼西方の陸棚外縁部で、高磁気異常帯 H1 とも接続し、低磁気異常帯 L1 の南縁を境する。H2 は、波長数 km~10 km 程度、振幅数 100 nT の多数の磁気異常からなる。

低磁気異常帯 L2 は、沖縄トラフ西翼—中軸部に分布し、L1 と同様に長波長・低振幅の低磁気異常からなる。ただし、宮古島北西の宮古海山周辺では、高磁気異常帯 H3 が存在し不連続となる。

高磁気異常帯 H3 は、沖縄トラフ中軸—東翼部に分布するが、探査地域端部に相当するため、連続性が判然としないところもある。H3 は、トラフ中軸—東翼部に存在する貫入岩体や海丘に対応する短波長・高振幅の磁気異常からなる。

Fig. 6 を詳細に検討すると、NE-SW 方向の大局的な磁気異常帯と斜交する方向に、磁気リニエーションが認められる。これらは、より微細な地質構造を表しているものと考えられる。例えば、いくつかの NW-SE 方向のリニエーションが高磁気異常帯 H2 を横断している

(F1, F2, F3 および F4)。

リニエーション F1 は、当該地域の最北端の東海陸棚外縁部に NW-SE 方向に分布する低磁気異常からなる。リニエーション F2 は、久米島北西方の東海陸棚外縁部に分布する NW-SE 方向の顕著な高磁気異常からなる。F2 の NW 方向の延長は、低磁気異常帯 L1 の顕著な屈曲部に相当する（大熊・中塚, 1987）。

リニエーション F3 は、東海陸棚の低磁気異常帯 L1 のなかにあつて、高磁気異常帯 H1 から H2 へ伸びる高磁気異常である。同様に、磁気リニエーション F4 は東海陸棚から外縁部の尖閣諸島赤尾嶼方面へ伸びる高磁気異常である。

高磁気異常帯 H3 内の沖縄島北西方海域では、E-W 方向に、波長数 km・振幅数 100 nT の多数の磁気異常からなるリニエーション F5 が存在する。これらの磁気異常は、当該海域に位置する伊平屋海丘が正帯磁していると仮定すると、よく説明できる（大島ほか, 1988）。また、付近で発見された海底金属鉱床（HALBACH et al., 1989）やブラックスモーカー（中村ほか, 1990）などからも磁気異常とトラフ内の活発な火成活動との関連が示唆される。

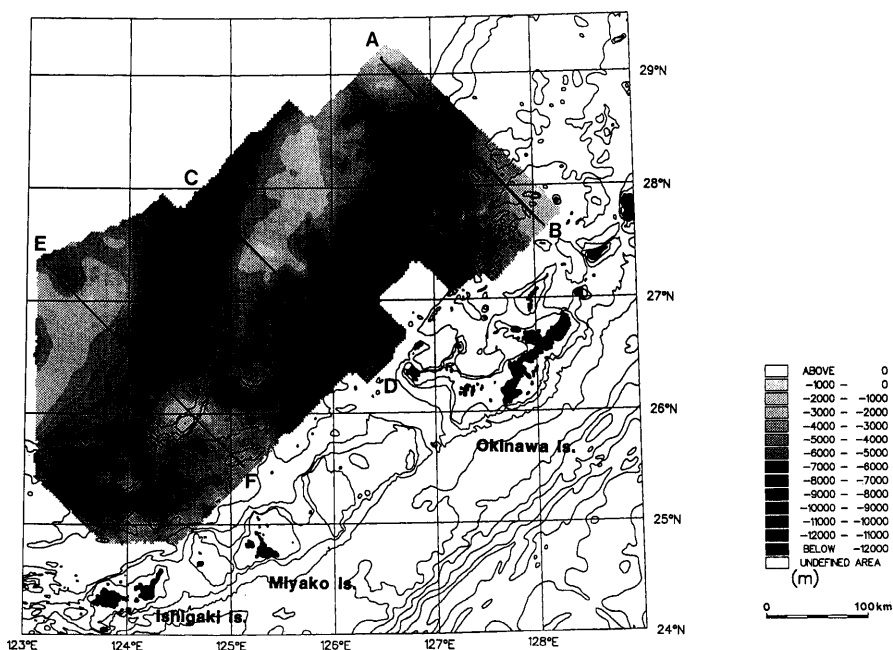


Fig. 8 Magnetic basement structure of the study area, estimated by the method of three-dimensional inversion of a two-layer model (Okuma et al. (1989)). The assumed magnetization intensity contrast is 2.0 A/m. Gray-scale classification is in every 1,000 m.

4. 磁気異常の2層モデルインバージョンと地質構造

磁気異常から、地質構造を推定するために磁気異常の2層モデルインバージョン(大熊ほか, 1989)を行った。この際、磁氣的構造は大局的に現在の地球磁場方向に磁化しているものと仮定する。この解析法は磁氣的構造の概要を表すのに適した方法であるが、小規模な貫入岩体に対応するような短波長・高振幅の磁気異常の解析には適していない。このような場合、プリズムモデル等の孤立モデルを用いた解析法が適している。しかし、当該地域のように巨大堆積盆の存在が推定される地域では、層構造を仮定した解析手法がより有効であると判断されるため、本解析法を採用した。解析の結果得られる磁気基盤面は、大局的には堆積層の下面を表すものと考えられ、堆積層の層厚の推定に有効である。また、火山岩貯留層の場合を除き、この面以深には石油・天然ガスの賦存が期待されない。

解析において、全磁力異常図 (Fig. 5) には、南西上がり・北東下がり・大局的傾向が存在するので、これを除去したものを解析対象とした。解析は、この残差全磁力異常から周波数領域のフィルター操作 (加藤, 1987)

によって得られた擬重力および極磁力各異常データを用いて行った。ここで、フィルター操作において用いたパラメータは、観測面高度: 海拔1,500 ft (約460 m)、データ数: 171×281 ((NW-SE) $\times$ (NE-SW)), 格子間隔: $2 \text{ km} \times 2 \text{ km}$, 地球磁場および磁化ベクトルの伏角: 38.5°N および同偏角: 4°W である。

次に、極磁力異常のパワースペクトルの傾きから磁気基盤の基準面深度を計算したところ、海面下3.9 kmの値が得られた。

磁化コントラストを 2.0 A/m と仮定したときの、磁気基盤図を示す (Fig. 8)。また、同図上の A-B, C-D, および E-F の3プロファイルについて、各断面図を示す (Fig. 9, 10, 11)。さらに、海底面から磁気基盤面までを堆積層としたときの、等層厚線図を示す (Fig. 12)。磁気基盤面の起伏は、当該地域の大局的な地質構造と良く対応している。磁気基盤面は、東海陸棚外縁部の五島隆起帯に沿って浅くなり、磁気リニエーション F2 付近で海底面近傍に位置するものと解析される (Fig. 10)。五島隆起帯の北方延長の一部である五島列島は、中新世中期の五島層群とこれを貫く福江流紋岩類および五島花崗岩類、さらに更新世後期の玄武岩類からなる (松井ほか, 1985)。また男女群島は同じ中新世中

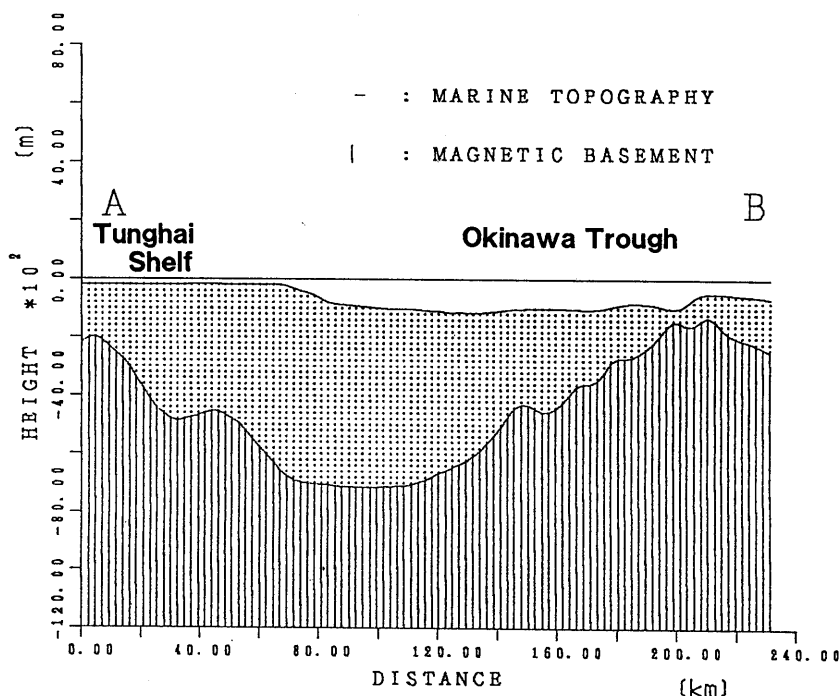


Fig. 9 Vertical cross-section of the profile A-B located on the magnetic basement map (Fig. 8).

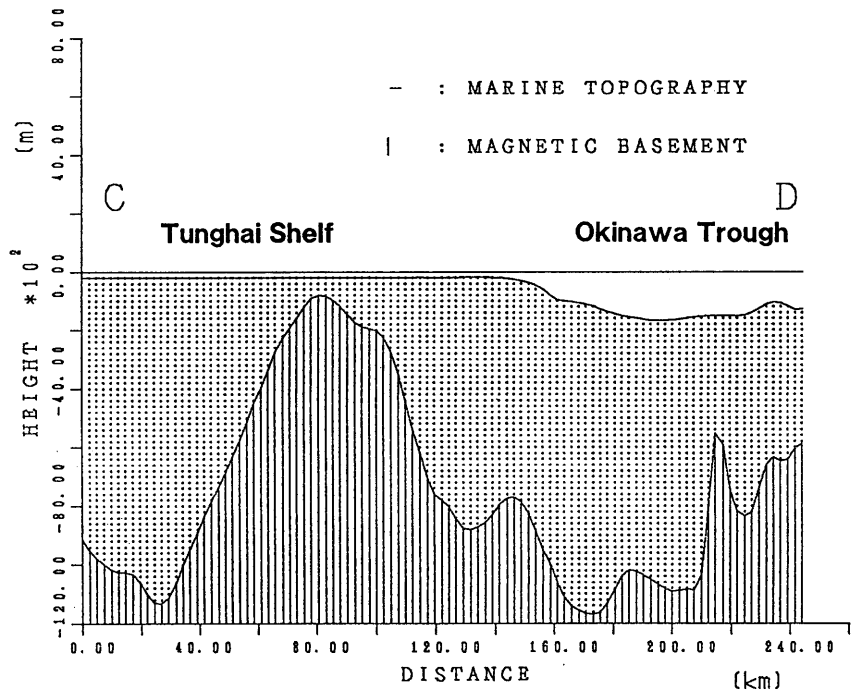


Fig. 10 Vertical cross-section of the profile C-D located on the magnetic basement map (Fig. 8).

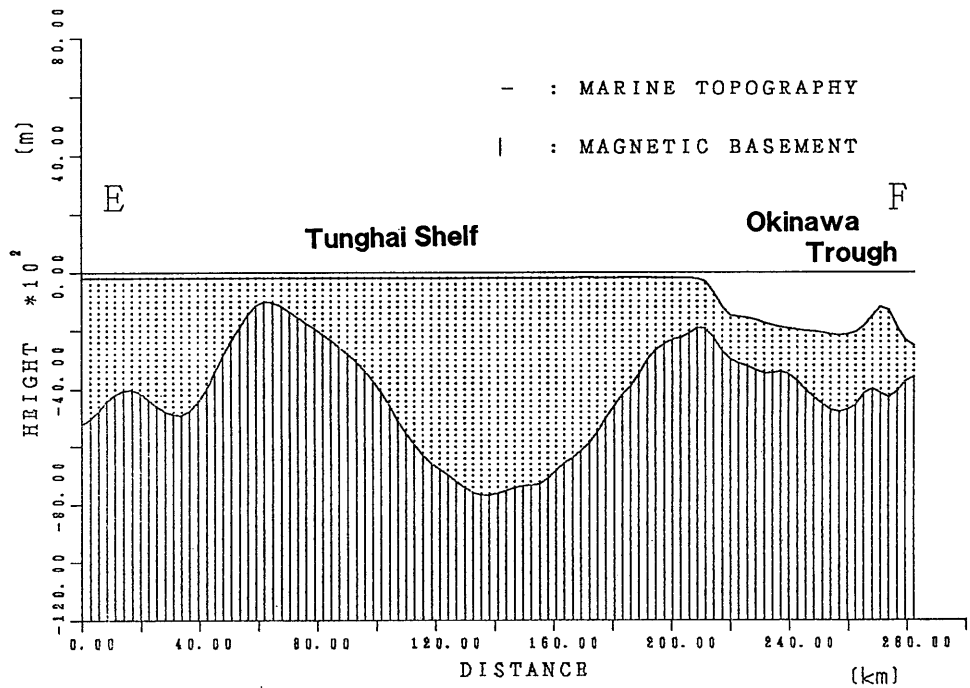


Fig. 11 Vertical cross-section of the profile E-F located on the magnetic basement map (Fig. 8).

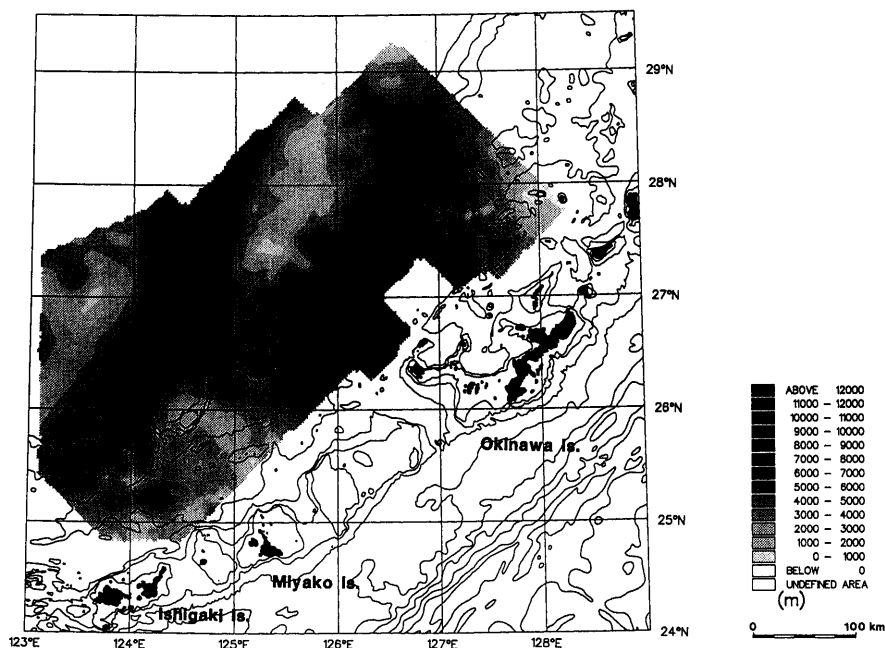


Fig. 12 Isopach map of sediments of the study area calculated from the depths of the magnetic basement (Fig. 8) and the bathymetry (Fig. 2).

Gray-scale classification is in every 1,000 m.

期の男女熔結凝灰岩からなることが知られている。空中磁気異常図（堀川ほか，1978a；堀川ほか，1978b）を参照すると，五島列島付近では第四紀の玄武岩類と並んで福江流紋岩類や五島花崗岩類に伴って磁気異常が分布する。このことと，五島隆起帯に沿う磁気異常が本探査地域まで連続すること（大島ほか，1988）から，これらの岩石が当該地域の海底下に存在するものと考えられる。

尖閣諸島赤尾嶼付近でも磁気基盤面は海底面近傍に位置する（Fig. 11）。赤尾嶼の周囲には顕著な磁気異常が存在し，磁気基盤の隆起部として解析されるが，赤尾嶼の直上では10 nT程度の低振幅の磁気異常が存在するのみである（Fig. 13）。これは，赤尾嶼が安山岩質の集塊岩，凝灰質砂岩および凝灰岩の互層からなり（東海大学，1969），これらの岩石が比較的磁性が弱いためであると思われる。しかし，これらの岩石は火山岩質であり，また周囲に顕著な磁気異常が存在することから赤尾嶼付近ではかつて火山活動が盛んであり，同島はそれらの火山岩の噴出源の縁辺部に形成された岩体の未侵食部分と考えられる。

尖閣諸島魚釣島周辺では，磁気異常分布（Fig. 14）に対応して局所的な磁気基盤面の隆起部が存在するが，

その規模は久米島北西方の東海陸棚外縁部（五島隆起帯）で見られるものと比較して圧倒的に小さい。これは，五島隆起帯と尖閣隆起帯の相違を明瞭に表しているものと言えよう。すなわち五島隆起帯は，尖閣隆起帯と比較して，より広範なかつ激しい火成活動によって形成されたものと考えられる。

探査地域西端の尖閣諸島魚釣島北方の東海陸棚で，磁気基盤面は海底面近傍に位置する（Fig. 11）。これらは，尖閣堆積盆中の基盤の隆起域に相当すると考えられる。最近公表されつつある中国側の資料によれば，尖閣堆積盆はNE-SW方向の2列の基盤の隆起域により3分される（GUANGDING, 1988）。その東方の隆起域の一部が磁気基盤面の隆起域に相当するものと思われる。

赤尾嶼東方の沖縄トラフ西翼部，さらには宮古海山付近や近傍海山周辺で磁気基盤面は海底面近傍に位置する。沖縄トラフにみられる磁気基盤面の隆起域は，その多くが海山や海丘といった海底地形の凸部か，あるいはトラフ中軸部のグラベン中の貫入岩体に対応する。なお，磁気リニエーションF5付近でも磁気基盤面は浅くなる傾向にあり，無限底のプリズムモデル用いた解析法では，その上面は海底面付近にあるものと解析されている（大熊ほか，1984）。

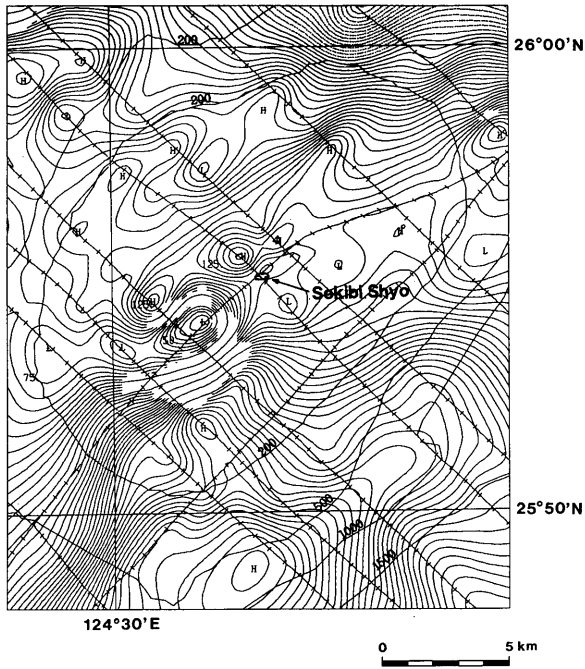


Fig. 13 IGRF residual aeromagnetic anomalies (total force) over and around Sekibi Shyo. Contour interval is 5 nT. Dotted lines show negative magnetic anomalies. H and L indicate relative high and low magnetic anomalies, respectively. Sparse contours with number indicate the bathymetry in metric units.

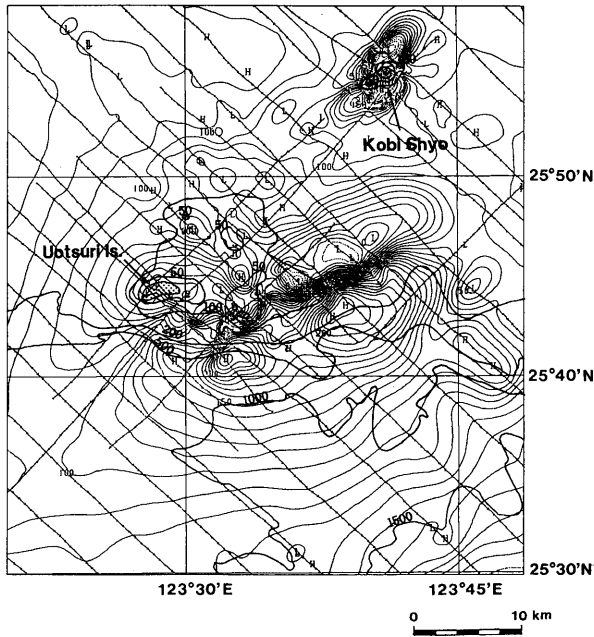


Fig. 14 IGRF residual aeromagnetic anomalies (total force) over and around Uotsuri Island. Contour interval is 5 nT. Dotted lines show negative magnetic anomalies. H and L indicate relative high and low magnetic anomalies, respectively. Thick contours with number indicate the bathymetry in metric units.

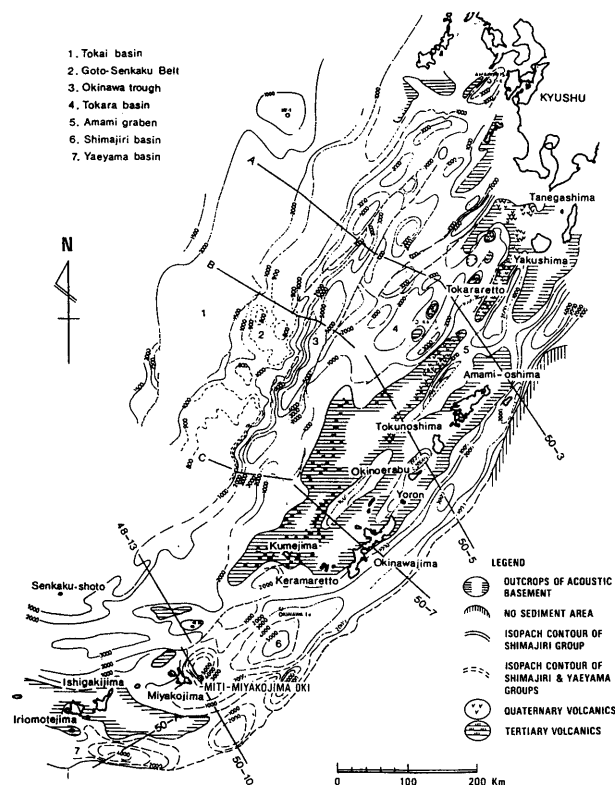


Fig. 15 Isopach map of the Neogene sediments around the Nansei Islands derived from seismic reflection data. (after Tsuburaya and Sato (1980)).

一方、磁気基盤深度は、探査地域北東部の沖縄トラフ西翼で7 km 程度となる (Fig. 9)。また、近傍の東海陸棚外縁部の磁気リニエーション F1 付近でも磁気基盤面は深くなる。これらの結果は、当該地域で行われた地震探査結果 (相場・関谷, 1979; 円谷・佐藤, 1980) とよく対応している (Fig. 15)。ただし、磁気基盤面の方がより深く解析されるのは、磁気基盤と音響基盤とが必ずしも一致しないことや、仮定した磁化の強さがこの付近での実際と異なっているためかもしれない。これらの結果と、同地域から沖縄トラフ西翼にかけて分布する扇状地状の海底地形の緩傾斜部の存在から、この付近にかけての大陸方面からの堆積物の供給路、すなわち埋積谷の存在が示唆される。

低磁気異常帯 L1 に相当する地域においても、磁気基盤面の沈降部がみられる。同地域には、東海堆積盆および尖閣堆積盆が想定されている (Fig. 3)。磁気基盤深度は、北端部で最深となり、10 km 程度の値を示す。この付近は従来の地質構造区分によれば、東海堆積盆南端に相当する。この沈降部は、磁気リニエーション F2 の

延長部で屈曲した後、さらに SW 方向に伸張し、局所的な隆起部をはさんで尖閣諸島黄尾嶼東方の東海陸棚外縁部 (尖閣隆起帯) ままで続く。この付近は従来の地質構造区分によれば、尖閣堆積盆に相当する。磁気リニエーション F3 および F4 に相当する東海陸棚内の局所的な隆起部は、大陸から沖縄トラフ方面への堆積物の移動を妨げる dams 的な役割を果たしていた可能性がある。

5. まとめ

地質調査所が、1982-89年の間に南西諸島西方海域で行った空中磁気探査とその成果について述べた。探査データから、当該地域のより詳細な磁気異常分布が明らかになった。また、尖閣諸島上空の詳細な磁気異常データが観測できたため、解析をさらに行うことにより、同諸島の地質の解明に貢献できるものと思われる。さらに、2層構造を仮定した磁気異常の解析により、当該地域の磁氣的構造の概要を把握できた。この結果、従来データが不足していた尖閣堆積盆地域の地質構造について、より詳しい情報を与えることができた。これらのデータ

の、今後の石油探鉱活動への貢献が期待される。

謝 辞

空中磁気探査を行うにあたって、中日本航空㈱、運輸省、地元沖縄県および沖縄開発庁等の各方面の方々に大変お世話になった。当該地域の水深の表示にあたっては、海上保安庁水路部の水深データ（提供番号：87-再-1）を使わせて頂いた。米国地質調査所の Carol Finn 博士には、英文を見て頂いた。ここに記して、謝意を表する。

文 献

- EMERY, K. O., HAYASHI, Y., HILDE, T. W. C., KOBAYASHI, K., KOO, J. H., MENG, C. Y., NIINO, H., OSTERHAGEN, J. H., REYNOLDS, L. M., WAGEMAN, J. M., WANG, C. S., and YANG, S. J. (1969): Geological structure and some water characteristics of the East China Sea and Yellow Sea. *United Nations, ECAFE, CCOP Tech. Bull.*, 2, 3-43.
- GUANGDING, L. (1988): Geophysical and geological exploration and hydrocarbon prospects of the East China Sea. *China Earth Science*, 1-1, 43-58.
- HALBACH, P., NAKAMURA, K., WAHSNER, M., LANGE J., SAKAI, H., KÄSELITS, L., HANSEN, R. D., YAMANO, M., POST, J., PRAUSE, B., SEIFERT R., MICHAELIS, W., TEICHMANN, F., KINOSHITA, M., MÄRTEN, A., ISHIBASHI, J., CZERWINSKI, S., and BLUME, N. (1989): Probable modern analogue of Kuroko-type massive sulphide deposits in the Okinawa Trough back-arc basin. *Nature*, 338-6215, 496-499.
- HERMAN, B. M., ANDERSON, R. N., and TRAUCHAN, M., (1979): Extensional tectonics in the Okinawa Trough. *Am. Assoc. Pet. Geol., Memoir.*, 29, 199-208.
- 堀川義夫・中塚 正・丹治耕吉・中井順二 (1978a): 五島列島一野母崎海域空中磁気図, 20万分の1空中磁気図シリーズ XXIII-1. 地質調査所.
- (1978b): 男女群島一飢島海域空中磁気図, 20万分の1空中磁気図シリーズ XXIII-2. 地質調査所.
- 相場惇一・関谷英一 (1979): 南西諸島周辺海域の堆積盆地の分布と性格. 石油技術協会誌, 44-5, 329-340.
- 加藤彦彦 (1987): 2次元フィルターの理論と重力・磁力分布の解析. ラテイス社, 262p.
- 松井和典・河田清雄 (1985): 1/20万地質図「福江及び富江」, 地質調査所.
- 中井順二・中塚 正・津 宏治・大熊茂雄・小野吉彦 (1985): 空中磁気探査による沖縄周辺海域の海底地下構造に関する研究. 昭和60年度版通商産業省工業技術院特別研究報告集, 日本産業技術振興会, 256-265.
- 中村光一・丸茂克美・青木正博 (1990): 沖縄トラフ伊是名海穴海底熱水性鉱床地帯におけるブラック・スモーカーと二酸化炭素に富む流体湧出変質帯 (ボックマーク) の発見. 第6回「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 海洋科学技術センター, 33-50.
- 中塚 正 (1984): 地質調査所の空中磁気探査システムの現状について. 物理探鉱, 37-5, 268-278.
- (1989): 空中磁気探査のシステム化について (II) —データ処理ソフトウェアシステム—. 地調月報, 40-2, 99-111.
- ・大熊茂雄・中井順二 (1984): 沖縄島北西方海域空中磁気図 (1, 2), 20万分の1空中磁気図シリーズ XXXII, 地質調査所.
- 大熊茂雄・牧野雅彦・中塚 正 (1989): 擬重力および極磁力を用いた磁気異常の2層モデルインバージョン—伊豆大島磁気異常データを例として—. 物理探査, 42-2, 82-96.
- ・中塚 正 (1987): 沖縄島西方海域における空中磁気異常の特徴について. 地質月報, 38-3, 131-138.
- ・—————・牧野雅彦・中井順二 (1989): 宮古島北方海域空中磁気図 (1, 2), 20万分の1空中磁気図シリーズ XXXIV. 地質調査所.
- OKUMA S., NAKATSUKA T., MAKINO M., and MORIJIRI R. (1990): Aeromagnetic constraints on the basement structure of the Okinawa Trough and East China Sea Basin. *60th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts*, 594-597.
- 大熊茂雄・中塚 正・中井順二 (1985): 沖縄島西方海域空中磁気図 (1, 2), 20万分の1空中磁気図シリーズ XX-XIII. 地質調査所.
- ・—————・津 宏治 (1984): 沖縄西北海域空中磁気探査について. 物理探査学会昭和59年春季講演会講演予稿集, p. 111-112.
- 大島章一 (1987): 沖縄トラフの海底は拡大していない. 科学, vol. 57, no. 2, p. 105-109.
- ・高梨政雄・加藤 茂・内田摩利夫・岡崎 勇・春日 茂・川尻智敏・金子康江・小川正泰・河合晃司・瀬田英憲・加藤幸弘 (1988): 沖縄トラフ及び南西諸島周辺海域の地質・地球物理学的調査結果. 水路部研究報告, no. 24, p. 19-43.
- 天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会 (1982): 日本の石油・天然ガス資源, 340p.
- 東海大学 (1969): 尖閣諸島周辺海底地質調査報告書. 188 p.
- 円谷博明・佐藤時幸 (1980): 基礎誌「宮古島沖」. 石油技術協会誌, vol. 50, no. 1, p. 25-33.