

沖縄トラフと小笠原弧の電気伝導度構造

金子康江*・本蔵義守**

ELECTRICAL CONDUCTIVITY STRUCTURE BENEATH THE OKINAWA TROUGH AND THE OGASAWARA ARC

Yasue Kaneko* and Yoshimori Honkura**

Abstract

Since 1984, Hydrographic Department of Japan has been observing geomagnetic variations with ocean bottom magnetometers in the Okinawa Trough, the Kyusyu-Parau Ridge, and the Ogasawara Arc. The ocean bottom magnetometers (OBM) used are three-component flux-gate magnetometers developed by Segawa (1982). Electrical conductivity structures beneath each observation sites were investigated. After the FFT method is applied to the data, transfer functions and induction arrows were obtained.

In the Ogasawara Arc, induction arrows computed for the period of 60 minutes are not pointing to the Izu-Ogasawara Trench but NNW or SSE direction, indicating the possible effect of local topographic features of the area. Whereas anisotropic attenuations of horizontal component of geomagnetic variations are indicating that a layer having high conductivity lies in NNW-WWE or NW-SE direction, along the arc.

In the Okinawa Trough, vertical profiles of the electrical conductivity were estimated from the observed attenuation of horizontal component of geomagnetic variations and transfer functions. It is concluded that a highly conducting layer exists under the Okinawa Trough. The upper and lower surface of this layer are about 45 and 135 km respectively, and estimated conductivity of this layer is about 1S/m under the central part of the trough and is about 0.1 S/m under the northern part of the trough.

1. はじめに

地球内部の電気伝導度の分布を調べることにより、熱的構造や地下水の分布などを推定することができるが、海溝や縁海の電気伝導度構造を調べるには海底における電磁気観測が不可欠である。我が国では、1980年代になって海底磁力計が実用化され (J.Segawa et al., 1982)、日本列島周辺の電気伝導度構造の研究に大きな発展をもたらした。

水路部では、1984年から海底磁力計による海底地磁気変化観測を行っており、今までに、沖縄トラフや大東海嶺から火山列島に到る海域の7地点でデータを得た。これらの観測結果を使って、小笠原弧と沖縄トラフの電気伝導度構造について調べた。

Received 1 December 1986

*大陸棚調査室 Continental Shelf Surveys Office

**東京工業大学応用物理学教室 Department of Applied Physics, Tokyo Institute of Technology

2. 解析方法

地磁気の水平成分の変化を ΔH (北向き), ΔD (東向き), 鉛直成分の変化を ΔZ (下向き) とすると各周波数に対して

$$\Delta Z = A \Delta H + B \Delta D \quad \dots\dots(1)$$

という関係が近似的に成り立つ。ここでA, Bは周波数に関する複素関数で, CA変化関数 (transfer function) とよばれる。その実部をAu, Buとおくと, これらを使って長さが $(Au^2 + Bu^2)^{\frac{1}{2}}$ で, 南から時計まわりにはかった方向が $\arctan(Bu/Au)$ であるようなベクトルを書くことができる。このベクトルを induction arrow とよび, それは電気伝導度の高い媒質の方を指す。海域では海溝の方を指すことが多い。

一方, 海底で得た水平成分の変化 (H_{OBM} , D_{OBM}) は, その直上の海面における変化 (H_s , D_s) を入力として(2)式のように書くことができる。

$$\begin{pmatrix} H_{OBM} \\ D_{OBM} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_H + 1 & h_D \\ d_H & d_D + 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_s \\ D_s \end{pmatrix} \quad \dots\dots(2)$$

$$H-skew = \frac{[h_D - d_H]}{[h_H + d_D + 2]} \quad \dots\dots(3)$$

ここでH-skewは構造の二次元性の度合いを数値的に表わすものであり, 小さいほど二次元性は高い。構造を二次元で近似することができる場合, 座標系を適当に回転させてやると, (2)式の係数行列の非対角成分 h_D , d_H が0に近づき, その時の h_H , d_D はそれぞれ回転後のH, Dの減衰を表わすことになる。もしも地下に高電気伝導度層があると, そこに誘導される電流によって電流と直交する方向の磁場変化の減衰は弱められる。

解析には, 地点ごとに磁場に擾乱がみられる期間のデータを40時間分ずつ使用した。まず, 予備的解析としてフーリエ変換法によりCA変換関数を求め, 周期240分から30分に対するinduction arrowを書いた, 次に, 水平成分の変化から減衰と異方性を調べた。この時海底磁力計直上の海面における水平成分の変化(H_s , D_s)として, 小笠原弧の2地点では父島(気象庁地磁気観測所)のデータを, 沖縄トラフの2地点では鹿屋(気象庁地磁気観測所)のデータを使用した。さらに沖縄トラフについてはモデル計算(F.W.Jones et al., 1971, L.J. Pascoe et al., 1972)も行った。

3. 観測地点および Induction arrowの分布

現在(1986年11月末)までにデータの得られた地点および期間をFig.1とTable1に示す。(以下本稿では, 観測点をTable1の地点番号を使って表わす。)使用した海底磁力計は, 瀬川(J.Segawa et al., 1982, 1983)が開発したガウス社製のOBM-S₄とその改良型のOBM-S₅である。これらはジンバル吊り下げ式のフラックスゲート磁力計で, 分解能は0.1nT, データの収録には紫外線消去式PROMが使われている。

Fig.2は各地点における周期60分のinduction arrowを示した図である。沖縄トラフではarrowは海水層の厚い南西諸島海溝の方を指すのに対して, 小笠原弧の④や③が小笠原海溝の方を指さないのは予想と違っていて興味深い。これにはFig.3に見られるように, 西之島トラフなどのローカルな地形がかなり強く影響しているものと思われる。地形だけでなく地下にもarrowと直交するような走向をもつ電気伝導度構造が存在する可能性がないわけではないが, 次節で見るように, 水平成分の減衰からはそのような弧に斜交した走向をもつ地下構造はでてこない。

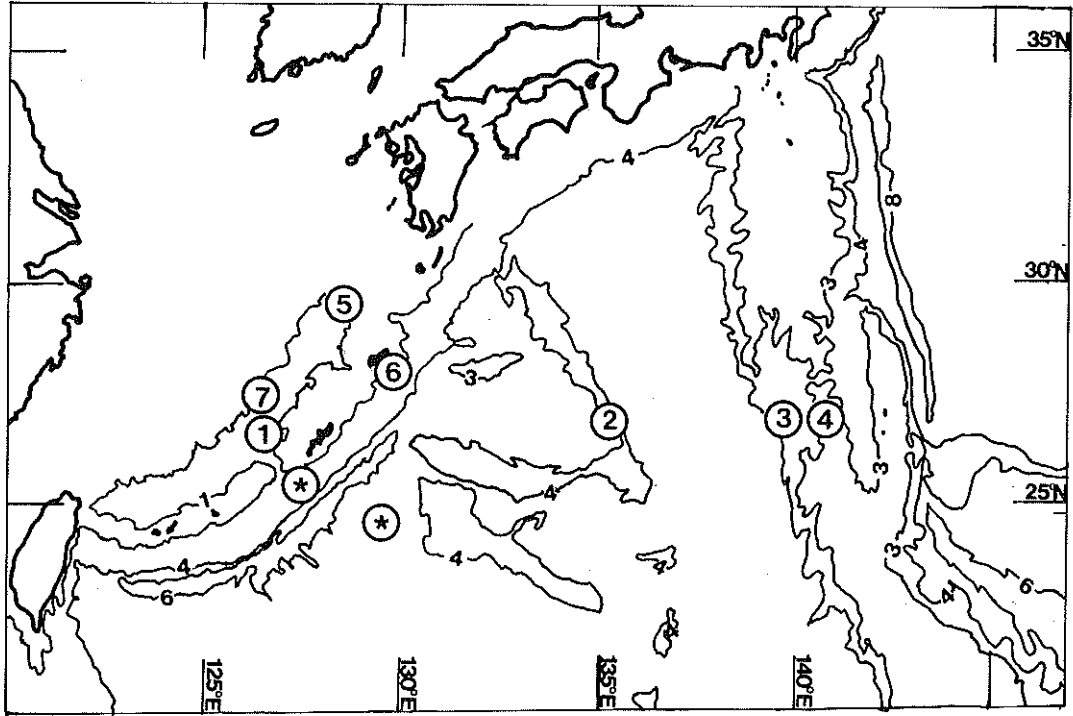


Figure 1. Distribution of observation sites.

Table 1. Observations with the Ocean Bottom Magnetometer by Hydrographic Department of Japan.

No.	位置	水深	観測期間	間隔	OBM-
1	26° 31.1N, 126° 32.1E	1851 m	'84 10/14—'84 11/14	1分	S 4
2	27° 00.1N, 135° 19.6E	3560 m	'84 12/05—'85 01/22	2分	S 4
3	26° 57.1N, 139° 43.0E	3842 m	'85 05/22—'85 06/04	1分	S 4
4	26° 50.0N, 140° 50.1E	2417 m	'85 11/24—'86 01/23	2分	S 4
5	29° 32.0N, 128° 30.3E	1040 m	'86 04/21—'86 06/08	2分	S 4
6	27° 56.1N, 129° 44.3E	1521 m	'86 10/16—'86 10/29	1分	S 5
7	27° 30.3N, 126° 32.0E	1500 m	'86 10/27—'86 11/12	1分	S 4

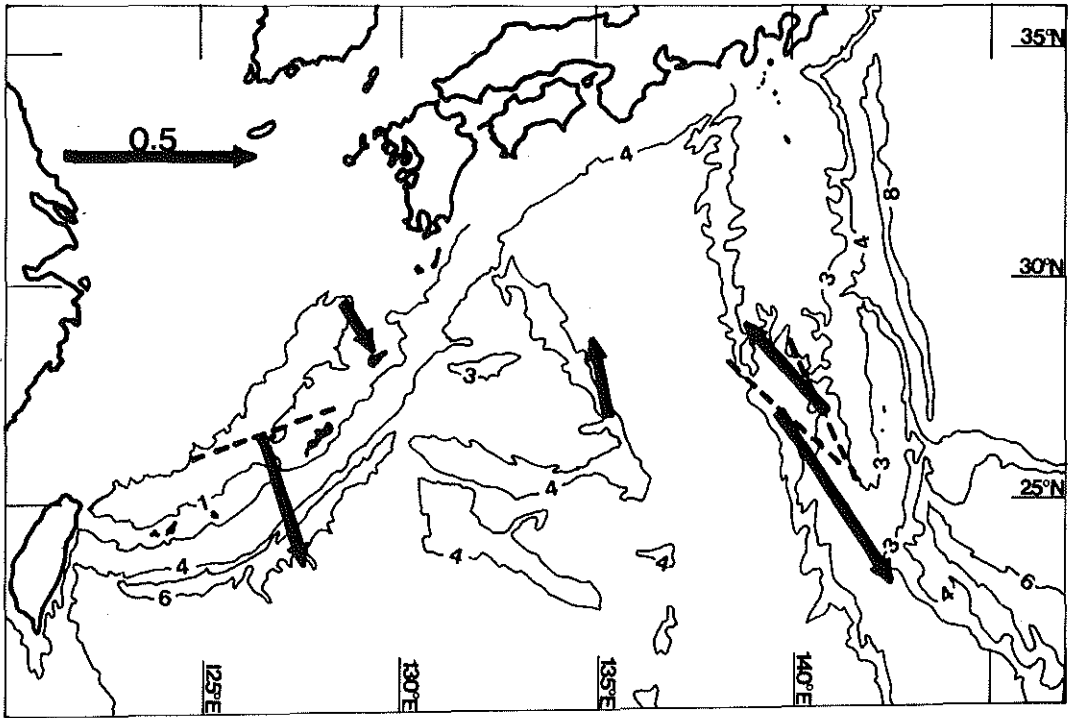


Figure 2. Induction arrows for a period of 60 min. The broken lines indicate directions of possible two-dimensional structures derived from the analysis.

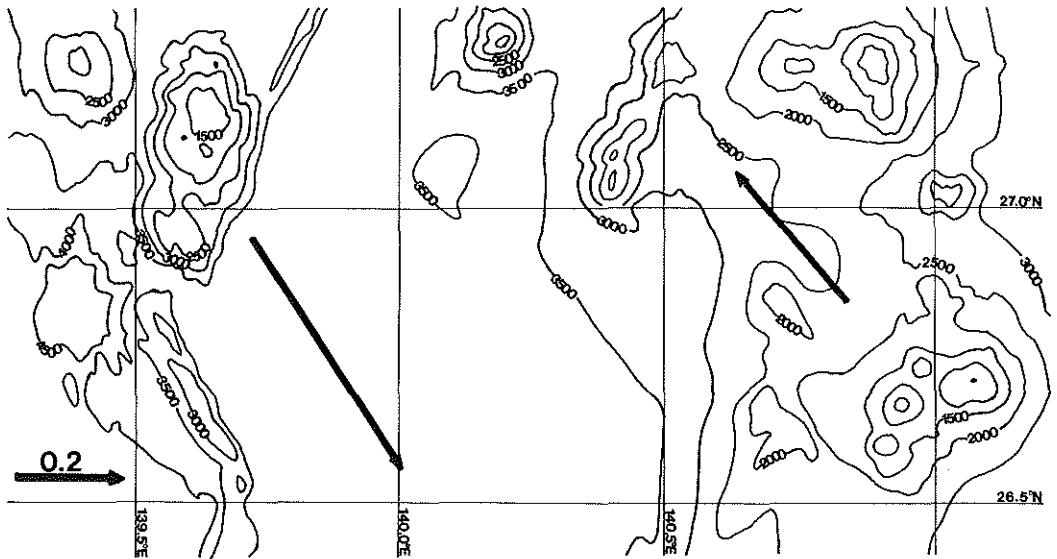


Figure 3. Sea bottom topography near the sites, No. 3 and No. 4. Induction arrows are drawn for a period of 60 min.

4. 小笠原弧の電気伝導度構造

七島硫黄島海嶺上の④と西之島トラフの西端の③の周期240分～30分の水平成分の変化について調べたところ、それぞれ海嶺とほぼ平行なN25°W, N45°W方向に異方性を示した (Fig. 2), Fig. 4に示すように、海嶺と平行な方向の変化に比べて、それと直交する方向の変化は減衰が弱められている。このことから、地下には小笠原弧とほぼ一致した走向をもつ良導層があると考えられる。七島硫黄島海嶺は現世の火山フロントであるし、西之島トラフでも高温の貫入岩があるよう (山崎, 1986) なので、この良導層は部分熔融によるものと考えてよいだろう。伊豆小笠原弧においては本蔵 (本蔵, 1982) が、三宅島や八丈島での離島効果から地下の電気伝導度構造を推定しているが、それによると深さ50kmから下は0.1S/mという高電気伝導度になっている。今回の解析で示唆された北北西-南南東方向の良導層がどの程度北までのびているものかはわからないが、三宅島や八丈島の下の良導層と一連の、火山フロントに沿った長大な部分熔融層の存在を示しているようだ。

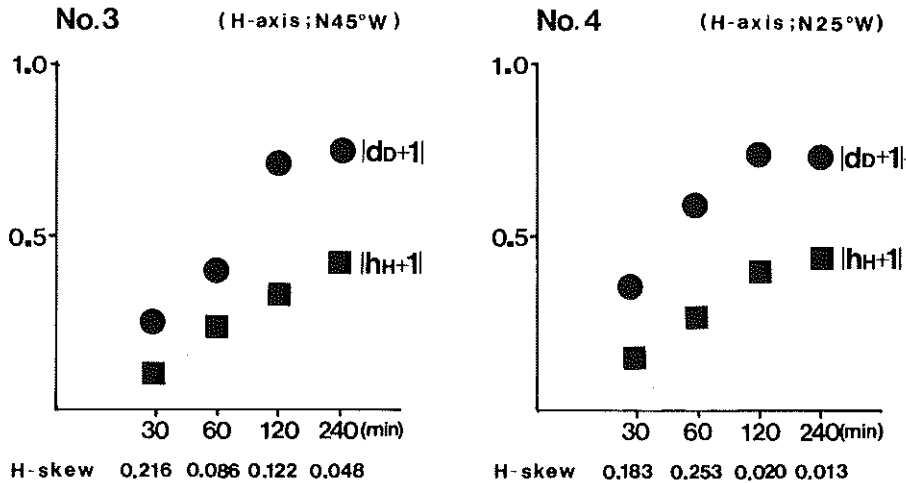


Figure 4. Observed attenuations of horizontal component of geomagnetic variations at the sites, No. 3 and No. 4.

5. 沖縄トラフの電気伝導度構造

沖縄トラフにおいては、北部(⑤)では異方性はほとんど見られないが、中部(①)ではトラフ中軸とほぼ平行なN70°E~N75°Eの方向にかなりの異方性が認められる (Fig. 2)。

そこで、中部ではトラフ中軸方向に構造は一様であると仮定して、①を通りトラフ中軸に直交する断面についてモデル計算を行った。まず、Fig. 5-aのように、海と堆積層以外は同様である構造について、CA変換関数と減衰を計算した。結果はFig. 5-bの通りかなりずれており、このモデルでは観測値を説明することはできない。観測された減衰の程度を見ると、トラフ中軸に沿う方向の変化に比べ、それと直交する方向の変化の減衰は弱い。この減衰の程度の差から、地下にはトラフ中軸に沿う方向に良導層があることが予想されるので、それをとり入れていくつかモデル計算を行った。その結果、Fig. 6-aに示した深さ約45kmから135kmの部分に1S/mというかなりの良導層をもつモデルA2を得た。これから計算されるCA変換関数と減衰は、Fig. 6-bの通り観測値とかなり良くあっている。

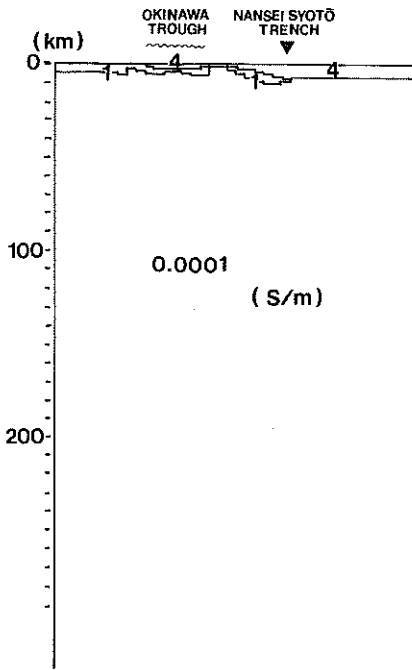


Figure 5-a. Model A1. Electrical conductivity structure.

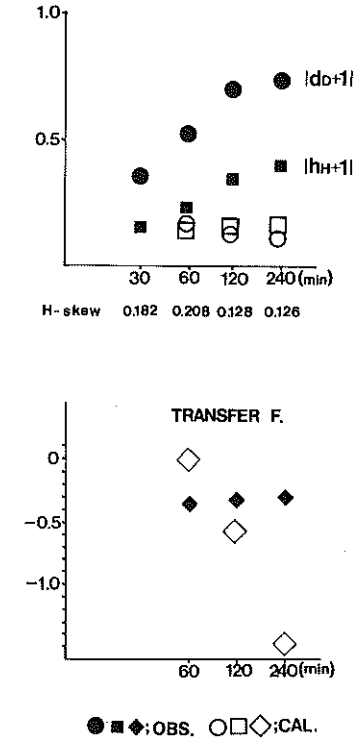


Figure 5-b. Calculated attenuations of horizontal component of geomagnetic variations and transfer functions for model A1, with the observed values.

一方、北部ではほとんど異方性が見られなかったので、一次元の構造を仮定してフィッティングを行った。こちらでも、地下に良導層を考えないで計算すると観測値よりも減衰が激しくなりすぎてしまう。トラフ中部で得られたモデルを参考に調べたところ、Fig. 7-aのようにトラフ中部の良導層とだいたい同じ深さのところにも0.1S/m程度の良導層をおくと良いことがわかった（モデルB2）。フィッティングの程度はFig. 7-bに示した。

沖縄トラフは熱水の湧出なども確認されており、地下の高温が予想されている。トラフ付近の地殻熱流量の分布（Fig. 8）を見ると、中部から南部にかけてはかなり大きな値が得られており、北部でも中南部よりは、小さいが平均的な値に比べれば大きな値が得られている。今回得られた良導層の電気伝導度も、中部で高く北部では1桁低いというように、地下の熱の分布と対応しているようだ。これらのことから、モデルA2、B2の良導層は部分熔融状態にあり、電気伝導度の違いは熔融度の違いを反映しているものと思われるが、北部では中部で見られるような強い異方性を示さないことや電気伝導度が1桁低いことから、トラフに沿ってのびている良導層はその熔融度を弱めながら、トラフ北部まで及んでいるらしいことが推察される。

6. おわりに

海底磁力計データをもとに、小笠原弧と沖縄トラフの電気伝導度構造について述べた。

小笠原弧においては、ほぼ弧に沿う方向に部分熔融によると思われる良導層がのびているらしいことが推察された。

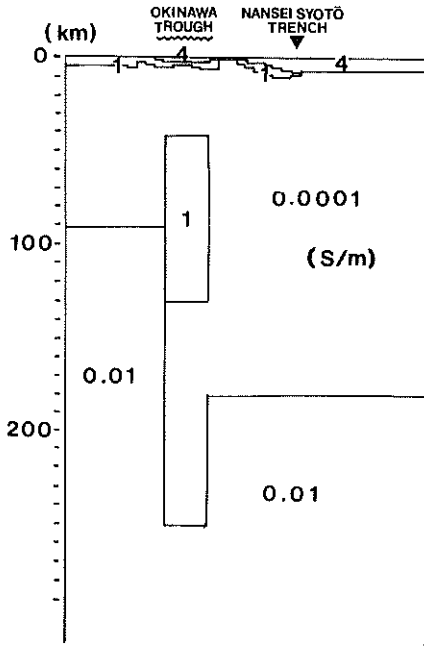


Figure 6-a. Model A2. Electrical conductivity structure.

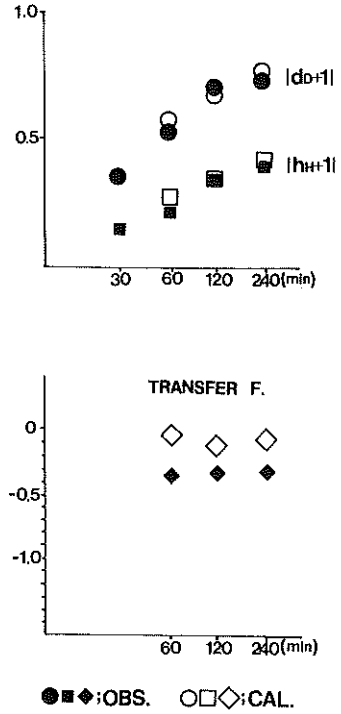


Figure 6-b. Calculated attenuations of horizontal component of geomagnetic variations and transfer functions for model A2, with the observed values.

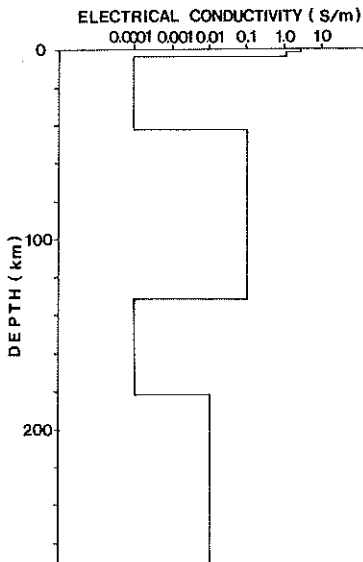


Figure 7-a. Model B2. Electrical conductivity structure.

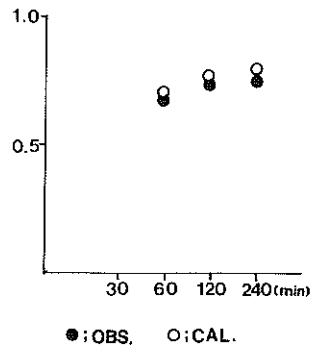


Figure 7-b. Calculated attenuations of horizontal component of geomagnetic variations, with the observed values.

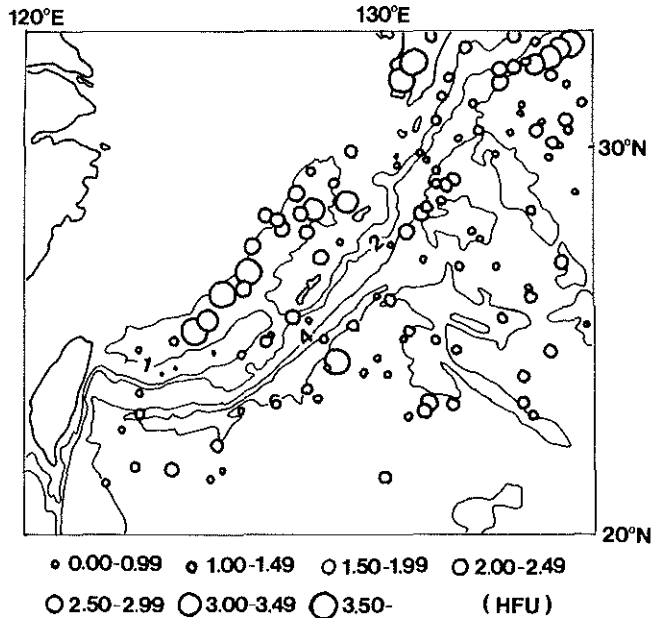


Figure 8. Observed heat-flow values in the Okinawa Trough and the adjacent area. (T. Watanabe et al., 1977)

沖縄トラフにおいては、中部と北部で地下構造モデルを得た。その結果、トラフ中軸に沿って深さ約45kmから135kmの部分に部分溶融によると思われる良導層がのびており、その層はトラフ北部まで及んでいるらしいことがわかった。⑥および⑦で得たデータは現在解析中であり、さらに86年12月から87年1月にかけてFig. 1に*で示した2地点で海底地磁気変化観測を行う予定である。これら4地点のデータは、東京工業大学が同じ期間（'86.10～'87.1）に沖縄本島上で地磁気3成分の連続観測を行っているの、それらと合わせて解析する予定である。これらのデータを①、⑤に加えて南西諸島を横切る2つのarrayができれば、本稿で示したモデルも修正され、より信頼度の高い地下構造が推定できることと思う。

謝 辞

データの取得に御尽力くださいました測量船「拓洋」の船長以下乗組員の方々と大陸棚調査室の皆様に、心から御礼申し上げます。

また、本稿をまとめるにあたって、大島章一大陸棚調査室長から多くの貴重な助言をいただきました。深く感謝いたします。

参 考 文 献

- J.Segawa, T.Yukutake, Y.Hamano, T.Kasuga, and H.Utada : Sea Floor Measurement of Geomagnetic Field Using Newly Developed Ocean Bottom Magnetometers, *J.Geomag. Geoelectr.*, 34, 571~585, (1982)
- J.Segawa, Y.Hamano, T.Yukutake, and H.Utada : A New Model of Ocean Bottom Magnetometer, *J.*

Geomag. Geoelectr., 35, 407~421, (1983)

F.W.Jones and L.J.Pascoe : A General Computer Program to Determine the Perturbation of Alternating Electric Currents in a Two-Dimensional Model of a Region of Uniform Conductivity with an Embedded Inhomogeneity, Geophys. J.R. astr. Soc., 24, 3~30, (1971)

L.J.Pascoe and F.W.Jones : Boundary Conditions and Calculation of Surface Values for the General Two-Dimensional Electromagnetic Induction Problem, Geophys. J.R. astr. Soc., 27, 179~193, (1972)

山崎俊嗣 : マリアナ・トラフ北部, 西之島トラフ及びスミス凹地の海底地殻熱流量, 海底熱水活動に伴う重金屬資源の評価手法に関する研究, 昭和60年度研究報告書, 地質調査所, 114~122, (1986)

本蔵義守 : 海洋底の深部電気伝導度構造, 月刊地球, 4, 5, 311~318, (1982)

T.Watanabe, M.G.Langseth, and R.N.Anderson : Heat Flow in Back-Arc Basins of the Western Pacific, Island Arcs, Deep Sea Trenches, and Back-Arc Basins, American Geophysical Union, 137~161, (1977)