

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†

*大島章一・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

GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL SURVEY IN THE OKINAWA TROUGH AND THE ADJOINING SEAS OF NANSEI SYOTO†

*Shoichi Oshima, Masao Takanashi, Shigeru Kato, Mario Uchida,
Isamu Okazaki, Shigeru Kasuga, Chitoshi Kawashiri, Yasue Kaneko,
Masahiro Ogawa, Koji Kawai, Hidenori Seta, Yukihiko Kato

Abstract

The hydrographic Department, Maritime Safety Agency initiated a series of systematic depth sounding, seismic reflection profiling, magnetic and gravity measurements in the seas around Nansei Syoto (Ryukyu Islands) in 1973. In 1983 the department placed a newly-built survey vessel "TAKUYO" (2,600ton) in commission. Takuyo is installed a narrow multi-beam echo-sounder (Sea Beam), a 3.5 KHz subbottom profiler and a deep sea camera etc. to cover the Okinawa Trough, Nansei Syoto Trench and the other adjoining seas of Japan. Dense survey tracks were laid out to cover the special areas of interest in the middle Okinawa Trough. The survey results were compiled in the detailed bathymetric, magnetic anomaly and free-air gravity anomaly maps.

Seismic reflection profiles show characteristic small fault groups in the Okinawa Trough which indicate block faulting. Well developed grabens composed of active normal faults exist in the axis of middle and southwest Okinawa Trough. Knolls of igneous rock were identified in the grabens. In the middle Okinawa Trough, knolls in a graben form ENE-WSW trending small ridges. The linear patterns of magnetic anomalies in the graben are attributable to the normal magnetization of the small ridges. The magnetic anomaly map reveals two magnetic anomaly belts fringing the both side of the Okinawa Trough. One of the magnetic anomaly belt extends between Goto Retto and Senkaku Syoto along the southeast margin of the shallow shelf of East China Sea, which indicates igneous basement high damming sediments from the continent. The other magnetic anomaly belt extends between Tokara Gunto and northern vicinity of Yaeyama Retto. The latter is considered to be a magnetic expression of the Ryukyu volcanic belt including the recent volcanic front of the Ryukyu Arc. Magnetic anomalies of the knolls in the graben are adjacent to the magnetic anomalies of the Ryukyu volcanic belt. Dredging attempts in the Okinawa Trough recovered rhyolite, dacite and high alumina basalt. Chemical examination and dating by K-Ar method of these rock samples confirmed Quaternary arc-type volcanic activity in the trough. Limestone was sampled at a site 1,050 m deep on the upper part of Miyako Seamount in the southwestern part of the Okinawa Trough. Foraminifera of the limestone suggest shallow coastal ambient of Late Pliocene (N.21) to Middle Pleistocene (N.22) time at the dredge site. This fact indicates an about few hundred meters subsidence of the seamount.

† Received 18th February 1988

*大陸棚調査室 Continental Shelf Surveys Office

These results summarize the recent tectonic activity of the Okinawa Trough as subsidence of the basement accompanied by arc-type volcanism, faulting and sedimentation, bearing some resemblance to a back-arc depression.

1. はじめに

南西諸島周辺では、Wageman et al.(1970), Nash(1979), Lee et al.(1980)などにより第三紀の広域不整合面が見られる事や、沖縄トラフが伸張性の運動に伴う正断層で形成されている事等が報告されている。Herman et al.(1978)は沖縄トラフは中新世後期～鮮新世初期以後拡大したと述べている。木村他(1985), Kimura(1985), Letouzey and Kimura(1985), 氏家(1985), 氏家(1986)は更新世に沖縄トラフが拡大したと考えており、Kobayashi(1985)は現在拡大の初期にあたと述べている。水路部では昭和48年以來南西諸島周辺の大陸棚調査を実施している(永野他, 1976; 桜井, 永野, 1976; 加藤他, 1982; 植田他, 1984; 植田, 1986; 桂他, 1986)。本報では従来の測量成果をとりまとめて図示し、地形及び地質構造等の特徴について述べる。沖縄トラフは従来背弧海盆と記述されてきたが、調査結果は伊豆小笠原弧の背弧凹地に類似の特徴を示す。

2. 測量

南西諸島方面の大陸棚調査は、測量船「拓洋」(2,600トン)により行われた。調査海域は東海陸棚南東部、沖縄トラフ、及び沖縄南東の大陸斜面、南西諸島海溝及びフィリピン海盆である。測線間隔は東海陸棚で約10海里(18km)、その他では約5海里(9km)であった。調査内容はナローマルチビーム測深機(シービーム)による測深、エアガンを音源とするシングルチャンネル(一部の測線でマルチチャンネル)反射法音波探査、3.5KHz表層探査、地磁気全磁力測定、Bodenseewerk社製KSS/30型重力計による重力測定ならびに採泥、海底写真撮影である。

九州西岸付近と南西諸島付近の幅約140kmの帯状の海域では1982年までに測量船「昭洋」(2,000トン)による音響測深、エアガンを音源とする反射法音波探査、地磁気全磁力測定、重力測定等が行われた。

第1図にそれらの測線の測線を示す。なお図に明らかなように、沖縄トラフでは沖縄島北西の伊平屋海丘群、同海丘群南西及び慶良間海裂付近の三ヵ所で高密度の測量を行った。

3. 測量結果

測量結果を縮尺約150万分の1の海底地形図、地磁気全磁力異常図、重力異常図(フリーエア)にまとめ、別添袋詰図に示した。これらの図の北西端の一部の海域については、米国海軍水路部の航空磁気測量結果も使用した。今回の調査海域を地形及び地磁気異常の特徴をもとに北西側から南東へ、東海陸棚及びその南東縁の五島・尖閣隆起帯、沖縄トラフ、琉球火山列、琉球前弧域(島列～大陸斜面)、琉球海溝及びフィリピン海盆に区分する。さらに小西(1965)にならい五島・尖閣隆起帯～琉球前弧域の海域を北東部、中部、南西部に分ける。北東部は吐噶喇海峡より北東、中部は吐噶喇海峡から慶良間海裂の間、南西部は慶良間海裂より南西とする。ただしここで言う吐噶喇海峡は、諏訪瀬島の南の琉球前弧域の鞍部であり、地形から構造上の境界と考えられているところである。海図では屋久島と吐噶喇群島の口之島の間を吐噶喇海峡としている。

東海陸棚は水深150m以浅の平坦な海底で、その南東縁は五島から尖閣列島に至る基盤の隆起帯である。Emery et al.(1969)では、これをTaiwan-Sinzi Folded Zoneとしているが、ここでは相場・関谷(1979)と同様に五島・尖閣隆起帯と呼ぶこととする。

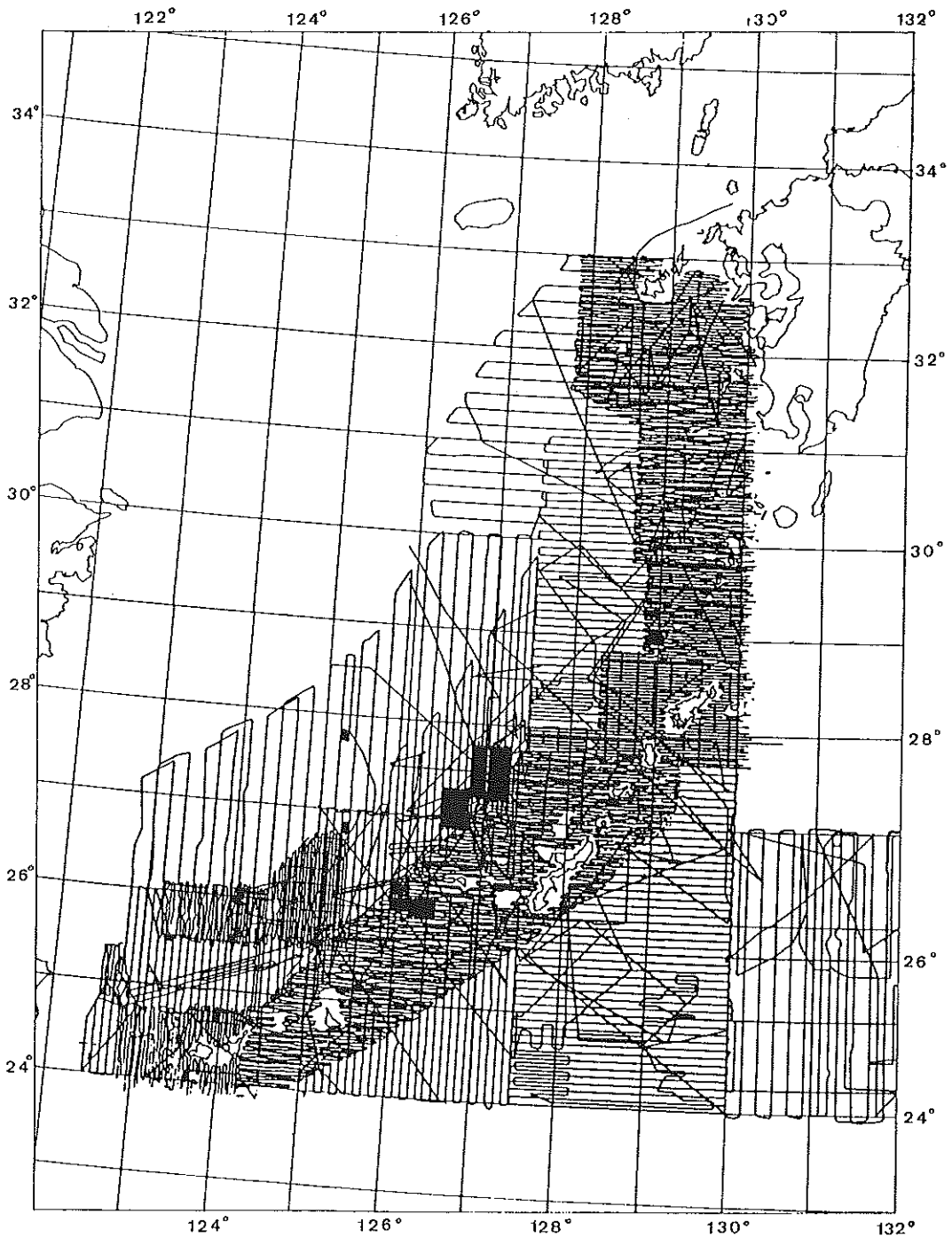


Figure 1. Survey tracks. An average track interval is two nautical miles for the area west of Kyushu and the sea around Nanseishoto Islands (thicker areas), and five to ten nautical miles for the other areas. Dark boxes in the Okinawa Trough show precise survey area where average track interval is 0.5 to 1.3 nautical miles.

沖縄トラフは、九州西方の男女海盆から沖縄島北西方を経て台湾北部付近に至る細長い凹地である。トラフ底の概略の水深は北東部で600—1,000m, 中部で1,000—2,000m, 南西部で2,000—2,200mである。第2図に地形と地質構造の概要を示す。同図には示していないがトラフ底には、北東部, 中部, 南西部全体にわた

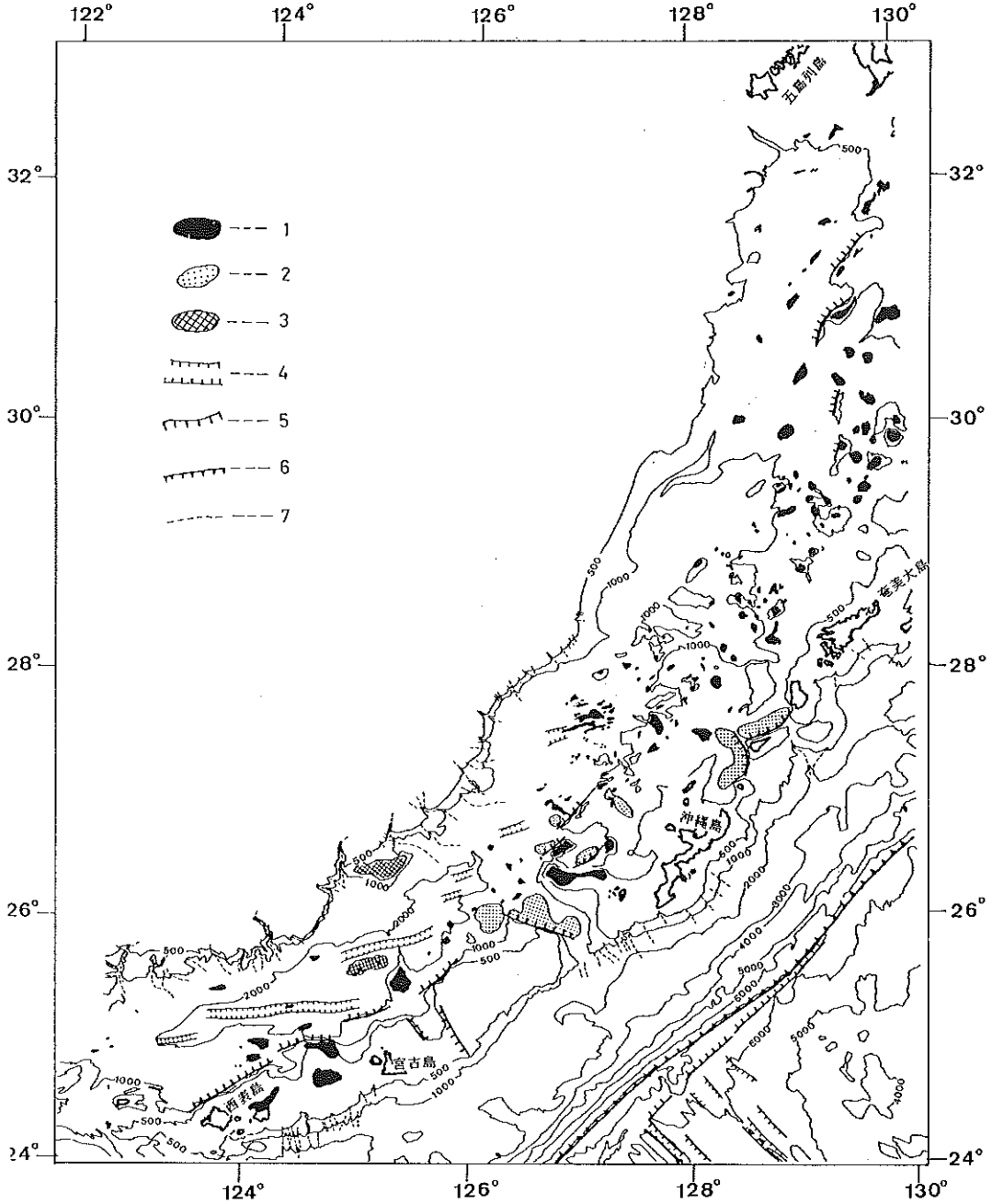


Figure 2. Topography and geological characteristics of Okinawa Trough and its vicinity.

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 1 Igneous seamount and sea knoll, | 2 Small basin |
| 3 Older rocks | 4 Graben subjected to step-faulting |
| 5 Fault | 6 Trench axis |
| 7 Submarine canyon | |

って後山の第4～6図及び第16図北部に見られるような小断層群が分布している。小断層群の個々の断層の海底での変位量は数十メートル以下で、断層群の分布域の中心に向かって落ちの方向を示すような対称な鋸歯状の断層群が見られる。トラフ中部から南西部では、トラフ軸部に海底地溝が見られる。海底地溝の中軸は、おおむね東北東—西南西向きで、個々の海底地溝は地溝の軸を中心とするほぼ対称な階段状断層で形成されている。トラフ中部の沖縄島北西方の海底地溝では火成岩の貫入、噴出により海丘群（伊平屋海丘群）が形成されている。トラフ南西部の海底地溝はよく発達した階段状断層で形成され、その軸部にはわずかに火成岩の貫入が認められる。沖縄トラフの最深水深は南西端から二番目の海底地溝（八重山海底地溝）内の2,310mである。

調査海域では、沖縄トラフの北西縁及び南東縁にそれぞれ1列づつ、合計2列の地磁気異常群が見られる。トラフ北西縁の帯状地磁気異常群は五島・尖閣隆起帯に伴うものである。トラフ南東縁の帯状の地磁気異常群は、吐噶喇群島から久米島付近に至り、それより南西ではやや異常群の幅はせまくなるが石垣島の北まで続いている。この地磁気異常群は琉球火山列の分布を示すものと考えられる。これら2列の帯状地磁気異常群の他に、トラフ内にもいくつかの地磁気異常が分布している。トラフ北東部では男女海盆付近に大振幅のグイポール型地磁気異常、吐噶喇群島の北西ではやや振幅の小さい（ほぼ±200nT）異常群、先島群島（宮古列島及び八重山列島）の北方には最大振幅約200nTの広い正異常域が見られる。沖縄島北西のトラフ内に伊平屋海丘群に伴う正負の帯状地磁気異常が見られる。その帯状地磁気異常は、すべて小海嶺状に発達した伊平屋海丘群の地形によく対応し、正帯磁である事を示している。伊平屋海丘の一部では、潜水調査により熱水活動が見出されている（木村他、1987）。なお、伊平屋海丘群の地磁気異常は、琉球火山列の帯状地磁気異常群に接続している。

沖縄島より南西の琉球前弧域には水深約300～500m以浅の平坦な島棚が良く発達している。琉球前弧域の南東側は大陸斜面であり、そのうち沖縄島及び先島群島の南にはよく発達した深海平坦面（沖縄・宮古深海平坦面）が見られる。沖縄島南東方の海溝軸付近の大洋側の斜面に海溝軸とわずかに斜交する比高500～1,300mの顕著な急崖が見られる。海溝軸及び急崖の向きは北東—南西で、海溝軸の水深はほぼ6,000—7,300mである。海溝より東側のフィリピン海盆では、測量区域の南東隅（慶良間海裂から南東に延長した線より南の海域）に顕著な地溝地壘状の地形が認められる。これら地溝地壘の方向は海溝軸に直角な北西—南東であり、そのため地形図には顕著なりニアメントが互いに直角に描かれ、あたかも大洋中央海嶺で海底拡大により生じた海底の起伏とトランスフォーム断層の関係のように見える。この地溝地壘状の海底の堆積層は薄い。

フリーエア重力異常は東海陸棚で0から+30mgal、ただし東海陸棚南東縁の五島・尖閣隆起帯では+30から+100mgal、沖縄トラフで0から+30mgal（トラフ内の海丘では局部的に+100mgal）、琉球火山列及び琉球前弧域で0から+130mgal、さらに南東の海溝軸で約-120mgalである。

採泥は主に沖縄トラフを対象とし、35地点で行われた。採取サンプルについて薄片の顕微鏡観察、化学分析、年代測定、微化石分析（有孔虫、放射虫）を行った。第3図に採取地点を、第1表に採取されたサンプルを示す。トラフからは花崗岩、流紋岩、デイサイト、高アルミナ玄武岩等、酸性から塩基性に至る多種類の火成岩が得られた。トラフ内の宮古海山（第3図の23番地点、第1表のSite No. 6109D09）の山頂付近水深1,050mから得られた石灰岩はかなり新しい（地質調査所中村光一氏私信）との指摘があり、これの有孔虫分析を行った結果同石灰岩は浅海性の底生有孔虫（*Amphystegina radiata*）を多量に含み、また鮮新世（浮遊性有孔虫帯N. 21）から更新世中期（N. 22）に生存した浮遊性有孔虫（*Globorotalia tosaensis*）を含む。従って宮古海山の山頂は鮮新世後期から更新世中期の間のいずれかの時期まで浅海で、その後数百メートル沈降

したと考えられる。

ところで、この海域では特に沖縄トラフが最も注目されているので、これを北東部、中部、南西部に分け

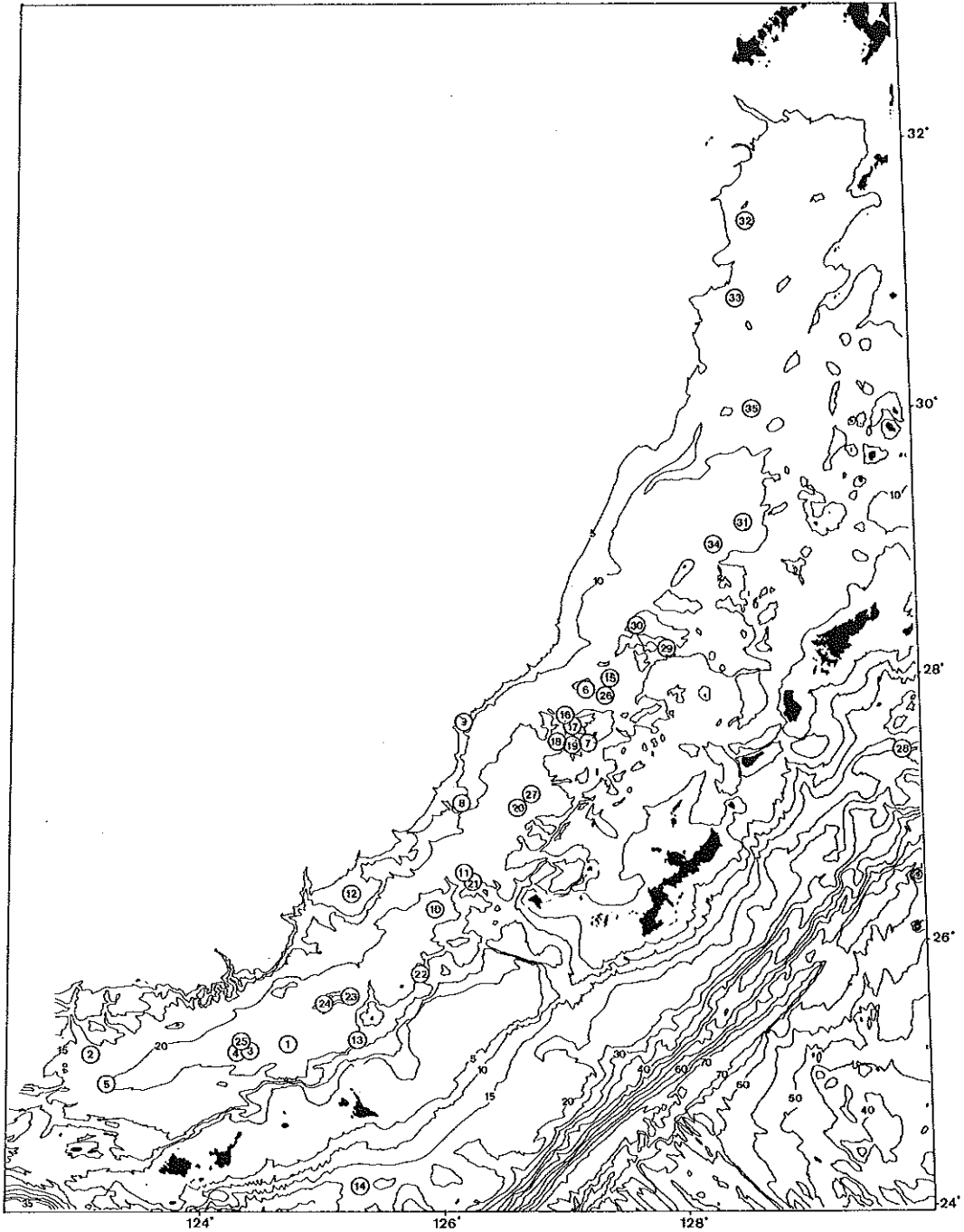


Figure 3. Sampling sites. Recovered samples, latitude, longitude and depth are listed in Table 1. Figures on depth contours are shown in unit of 100 meters. The numbers enclosed with circles are serial numbers of the sampling sites.

てその地形、地質構造及び地球物理的な特徴について述べる。なお、東海陸棚からトラフ底に下りる斜面および琉球火山列又は琉球前弧域の高まりからトラフ底に下りる斜面を、本論ではトラフ斜面と呼ぶこととする。

Table 1. List of recovered bottom samples. Position of each sampling site is shown in figure 3 with serial numbers enclosed with circle. Letter "D" or "C" of each site number denote dredging or core sampling.

No.	Site No.	Position		Depth (m)	Samples
		Lat.	Long.		
1.	5903D01	25°13.0	124°39.0	2200	Mud
2.	5903D02	25°11.7	123°04.8	1380	Mud
3.	5903D03	25°15.9	124°23.9	2050	Rhyolite,Dacite,Mud
4.	5903D04	25°15.3	124°22.1	2280	Mud
5.	5903D05	24°56.6	123°14.6	1760	Mud
6.	5904D01	27°59.1	127°11.8	640	Rhyolite,Pumice
7.	5904D02	27°31.3	126°55.9	1030	Basalt,Rhyolite,Mud
8.	5904D03	27°03.3	126°08.1	550	Basalt,Sandstone,Limestone
9.	5904D04	27°38.2	126°09.8	630	Mud
10.	6007D01	26°32.1	126°13.6	1380	Pumice,Mud
11.	6007D02	26°17.4	125°55.0	2040	Manganese oxides
12.	6007D03	26°25.0	125°16.8	213	Limestone
13.	6007D06	25°14.7	125°15.3	1510	Manganese oxides,Pumice
14.	6007D07	24°11.4	125°16.0	1620	Pebble gravel,sand
15.	6109D01	28°02.2	127°25.4	750	Tuff,Sand
16.	6109D02	27°43.3	127°01.2	910	Pumice,Rhyolite
17.	6109D03	27°37.5	127°06.4	760	Pumice
18.	6109D04	27°33.1	126°59.5	1080	Lappili tuff,Basalt
19.	6109D05	27°31.4	127°05.9	1210	Pumice
20.	6109D06	27°01.8	126°37.1	1360	Basalt
21.	6109D07	26°32.0	126°12.8	1110	Manganese oxides,Mud
22.	6109D08	25°48.6	125°48.6	1130	Dacite
23.	6109D09	25°36.9	125°11.5	1050	Limestone
24.	6109D10	25°34.1	125°02.5	900	Mud
25.	5903C01	25°16.2	124°24.1	2280	Mud
26.	5904C01	27°52.2	127°20.5	1300	Mud
27.	5904C02	27°08.1	126°43.5	1820	Mud
28.	6110D03	27°26.4	129°53.2	1960	Gravel
29.	6110D04	28°15.1	127°55.3	1080	Dacite,Pumice
30.	6110D05	28°25.0	127°39.0	760	Pumice,Diorite,Granite,Mudstone
31.	6110D06	29°10.4	128°35.4	950	Dacite,Mud,Pumice
32.	6109D11	30°25.4	128°39.7	808	Mud
33.	6109D12	30°50.0	128°33.2	766	Basalt,Mud
34.	6110C01	29°00.1	128°19.9	1060	Mud
35.	6109C01	29°59.9	128°40.4	958	Mud

3-1 沖縄トラフ北東部（九州西岸沖—吐噶喇海峡付近）

（地 形）

東海陸棚側トラフ斜面の傾斜は10/1,000程度できわめてゆるやかである。トラフ北端部のトラフ底は男女海盆と呼ばれている。男女海盆へは、周辺の陸棚から五島陸棚谷群、五島海底谷、男女海底谷群、長崎海底谷、天草海底谷など多数の海底谷が開口している。男女海盆は断層角盆地であり(永野他, 1976)、海盆底の水深は約800mである。男女海盆の南では水深600~1,000mのかなり平坦なトラフ底が北北東—南南西向きに細長く分布する。沖縄トラフ北東部では平坦なトラフ底の各所に海丘が分布し、あるものは地形としてはほとんど無視される程度であるが、音波探査では基盤の隆起部として堆積層内に大きな土台を有し、あるものは数百メートルの比高を有する。それらには往々にして強い地磁気異常が伴っている。沖縄トラフの東縁には甌島列島、宇治地塊など、北北東—南南西の走向を示す島及び海丘等に西落ちの断層崖が見られる(永野他, 1976)。

（地質構造）

男女海盆及びその南のトラフ軸部には、きわめて興味深い小断層群が見られる。第4図には海底下の地層の隆起部の頂が陥没している例(図の矢印)を示す。断面の位置は袋詰の地形図にA—A'で示す。この例では最上位層には断層による変位は認められない。第5図には断層による変形が表層にも認められる例(図の矢印)を示す。断面の位置を地形図にB—B'で示す。この例では断層による変位はわずかに最上位層に達している。同様の特徴を示す例を第6図に、断面の位置を地形図にC—C'で示す。第5図及び第6図の例では地層が最も隆起した位置を中心に対称である事、中心に向かって各々の小断層が落ちの方向を示すにもかかわらず中心に向かって各層理は全体として登り勾配を示すこと、各小断層の変位は下位の層ほど大きいことなどが特徴である。このような特徴を持つ小断層群で海底面まで変位が見られる例も見られる。各小断層の変位は海底面で数十メートル以下であるが、下位の層では百メートルを越えるものもある。これらのことから、トラフ底及び一部のトラフ斜面に小断層群を生じる運動があり、一部では表層にその変位が認められないものの、ほとんどの小断層群では現在も断層運動が継続しているものと考えられる。

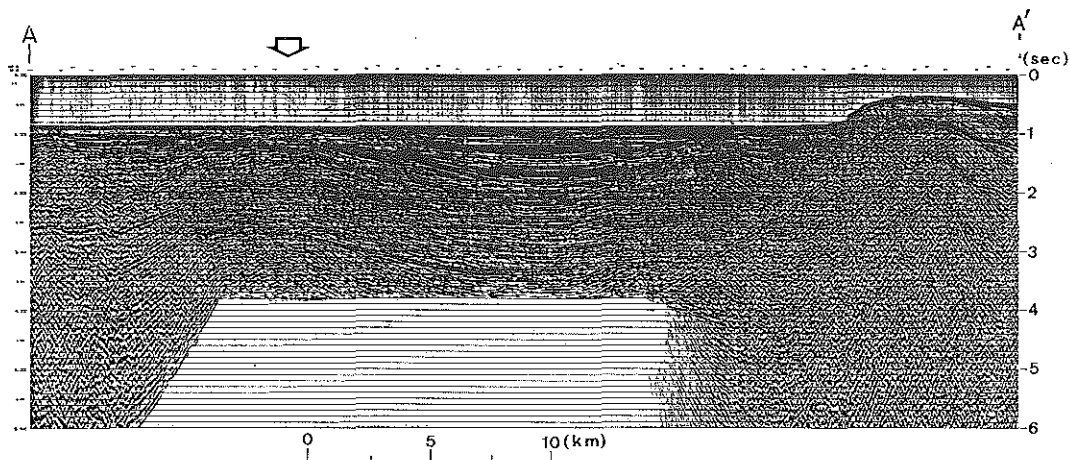


Figure 4. Depth section of a multi-channel seismic reflection profile in the northeast Okinawa Trough showing a group of subsurface small faults. The track of the section is shown in the topographic map with letters A and A'.

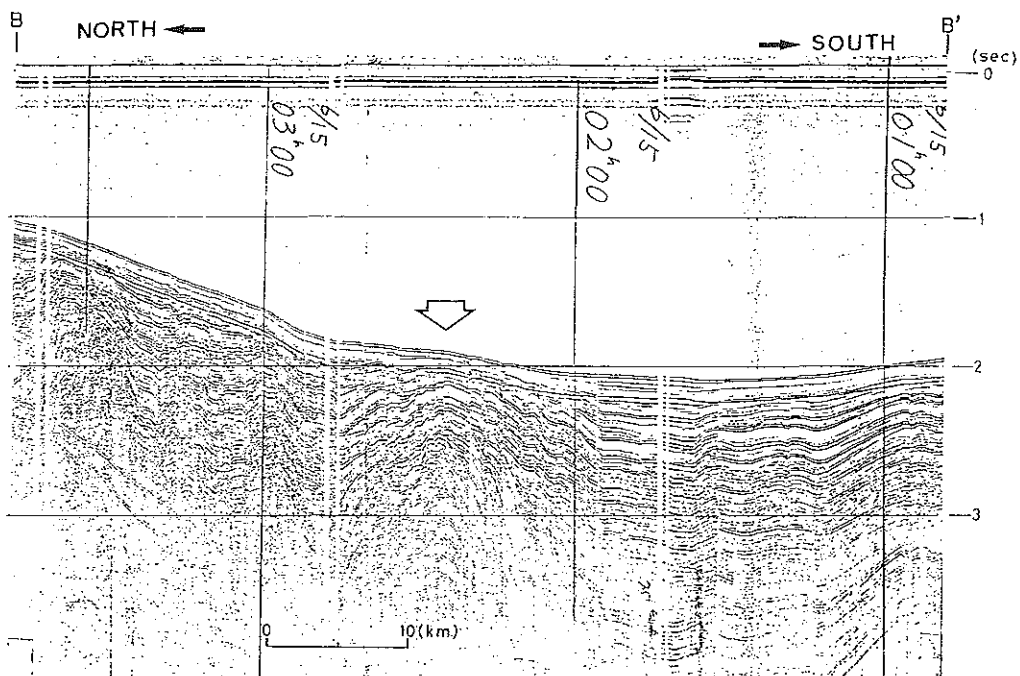
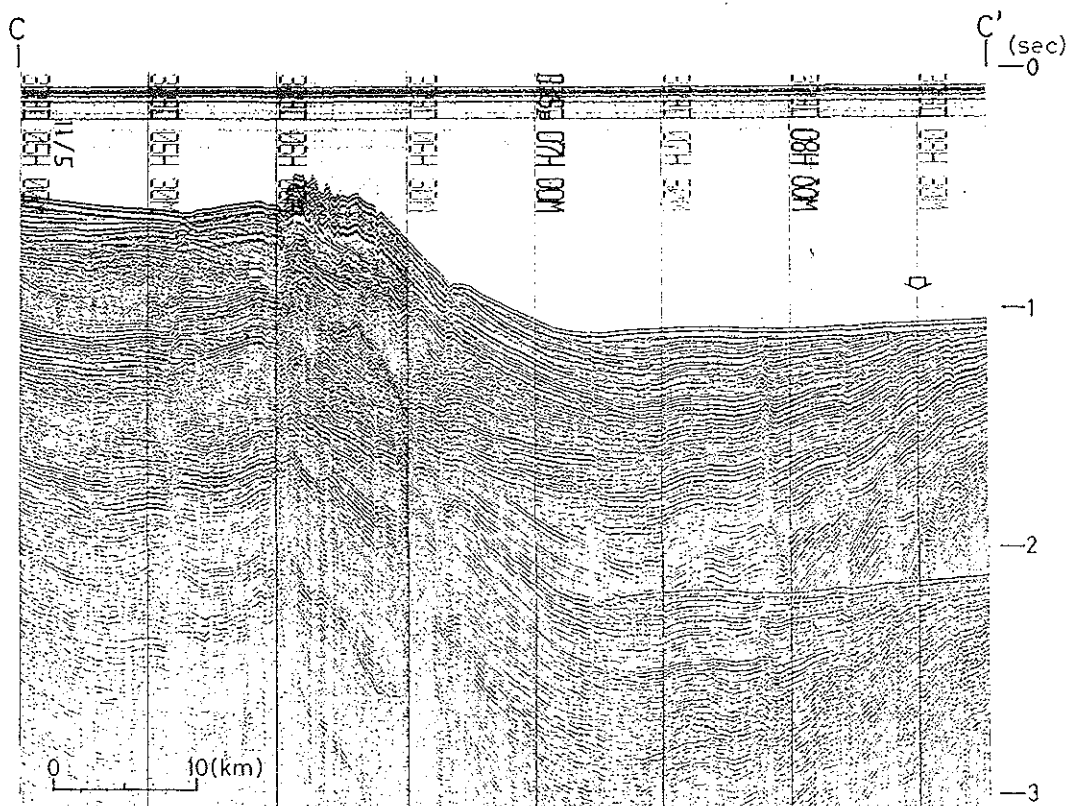


Figure 5. Section of a single-channel seismic reflection profile in the northeast Okinawa Trough showing a group of small faults occurred in an anticlinal structure. The track of the section is shown in the topographic map with letters B and B'.



次に第7図に沖縄トラフ北東部のトラフ軸を横切るマルチチャンネル反射法音波探査の記録の一部を示す。この記録で上位より地層をAN, BN, CN層に区分する。最上位AN層ではほぼ水平な音響層理が明瞭に見られる。AN層の下位に傾斜不整合をはさんでかなり音響層理の明瞭なBN層が分布する。この記録の最下位はわずかに層理の認められるCN層である。CN層はトラフ軸を中心に大規模なブロック化を伴って陥没したような様子を示す。第8図にこの記録の解釈図を示す。記録の特徴から沖縄トラフ北東部におけるトラフ形成過程を推測すると、CN層がドーム状に隆起し削はくを受けた後沈降に転じ、CN層はブロック化しつつ沈降を続けその間BN層を堆積、その後さらに沈降しつつAN層を堆積したと考えられる。石和田 / (1981)、木村 (1983)、円谷・佐藤 (1985)、永野他 (1976)、桂他 (1986) に記載された音波探査断面と対比すれば、恐らくAN層は琉球層群相当層、BN層は島尻層群相当層、CN層は島尻層群ないしそれ以前に相当する層と推察される。

(地磁気全磁力異常)

五島・尖閣隆起帯に沿う $+500 \sim -300$ nTの正負の地磁気異常群が顕著である。曲線照合法等による地磁気異常解析の結果、五島・尖閣隆起帯の磁気基盤は、磁化率ほぼ 4×10^{-3} emu、その上面の深さは海面下2.5~10 km程度である。沖縄トラフでは一部で地磁気異常が見られるが、おおむね地磁気分布は平坦である。男女海盆北縁を中心とするダイポール型異常は最大値 $+764$ nT、最小値 -467 nTで、解析結果によれば磁気基盤の磁化率は 8.0×10^{-3} emu程度である。その南45kmのダイポール型地磁気異常は最大値 $+339$ nT、最小値 -573 nTであり、解析結果によるとその磁気基盤の磁化率は 4.6×10^{-3} emuである。トラフ内にはさらに諏訪瀬島

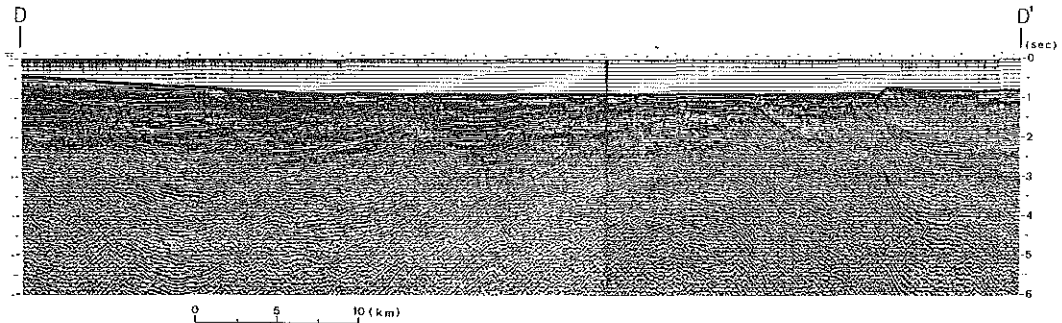


Figure 7. Section of a multi-channel seismic reflection profile in the northeast Okinawa Trough. The track of the section is shown in the topographic map with letters D and D'.

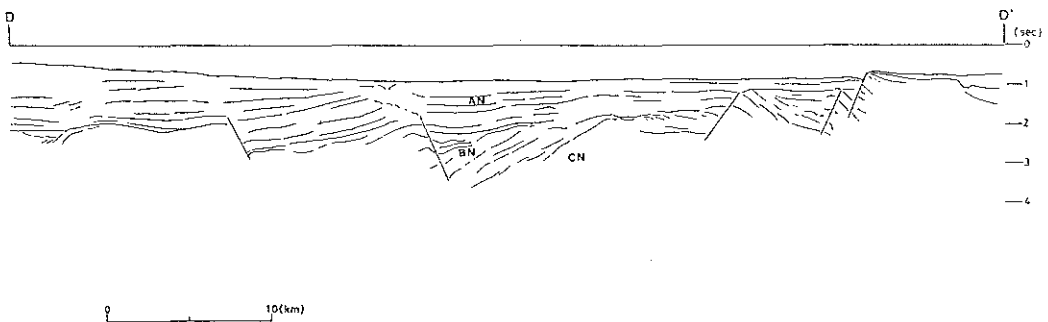


Figure 8. Line drawing of the seismic reflection profile in the northeast Okinawa Trough along the track D-D'.

北西にも磁化率 $1.4\sim 5.6\times 10^{-3}\text{emu}$ のいくつかの磁気基盤隆起部が見られる。これらの磁性体表面の深さは海面下2~6 km程度で、トラフ北東部ではトラフ軸付近に中性~塩基性の貫入岩(直径数km~10km程度)がいくつか分布しているものと見られる。トラフ東縁の甌島列島, 宇治群島などにも最大値+400nT, 最小値-300nT程度の地磁気異常が伴っている。より南東の吐噶喇群島沿いには、帯状の地磁気異常群が見られ、磁気解析結果によれば $1\sim 3\times 10^{-3}\text{emu}$ 程度の磁化率の火成岩が帯状の範囲に分布している事を示しているものと思われる。

(重カプリーエア異常)

沖縄トラフは凹地ではあるが全体に0~+50mgalの正の異常を示す。トラフ北端部の五島列島と長崎海脚に挟まれた海域は水深200~700mで地形は平坦ながら重力異常は短波長の複雑な分布を示す。地磁気異常も複雑な分布を示す事から、複雑な形状の中性~塩基性岩の基盤が海底下浅部に分布しているものと考えられる。その南の男女海盆では0~-20mgalの負異常が分布する。男女海盆より南のトラフ底では0~+50mgal(平均約+20mgal)の正異常域となっている。トラフ西側の五島・尖閣隆起帯では+30~+50mgal, 東側の甌島列島, 宇治群島, 草垣群島などでは+20~+90mgalの正異常である。したがって沖縄トラフは周辺より概略20mgalないしそれ以上異常値が低い。単純ブーゲー補正(水深100mにつき約7 mgal)を考えると、沖縄トラフ北東部は概略80mgal程度正のブーゲー異常域である。

3-2 沖縄トラフ中部(吐噶喇海峡~慶良間海裂)

(地形)

水深150m以浅の東海陸棚からトラフ底に下りるトラフ斜面は奄美大島西方で30/1,000, 沖縄西方で80/1,000で南西に向かってだいに急傾斜になる。沖縄島北西方の東海陸棚側のトラフ斜面には流路の短い谷が多数分布している。トラフ底の水深は一部の海丘を除き概略1,000~2,000mである。トラフ軸はほぼ北東-南西向きであり、トラフ軸付近及びその南東側のトラフ底には、いくつかの海丘が散在している。沖縄島北西方には平行ないくつかの小海嶺に発達した伊平屋海丘群が存在し、同海丘群では熱水活動が観測されている(木村他, 1987)。伊平屋海丘群から慶良間海裂付近までのトラフ底に4列の海底地溝が見られる。これらは、海底地溝としては谷壁の階段状断層はさほど顕著ではない。海底地溝の中心軸は東北東-西南西向きで、地溝内に火成岩の貫入が見られることもある。これらのうち最も北の地溝では火成岩の貫入量が多く、伊平屋海丘群を形成したものである。トラフ南東側は琉球火山列の高まりが吐噶喇群島から久米島付近まで続いている。

伊平屋海丘群付近, 伊平屋海丘群南西及び慶良間海裂付近の3海域ではきわめて精密な測量を実施した。その海域を海底地形図に点線で囲んで示し、測線を第9図に示す。これらの測線の間隔は約1 km(一部で2.5 km)である。精密測量による海底地形図を第10, 11, 12図に、地磁気全磁力異常図を第13, 14, 15図に示す。これらの図で、伊平屋海丘群の地磁気異常が、地形ときわめてよく対応し、各海丘が正帯磁である事がわかる。また、慶良間海裂は琉球前弧域を中斷する顕著な地形であるが、その西方のトラフ内には地形及び地磁気異常に慶良間海裂の延長を示唆するような特徴は見出せない。

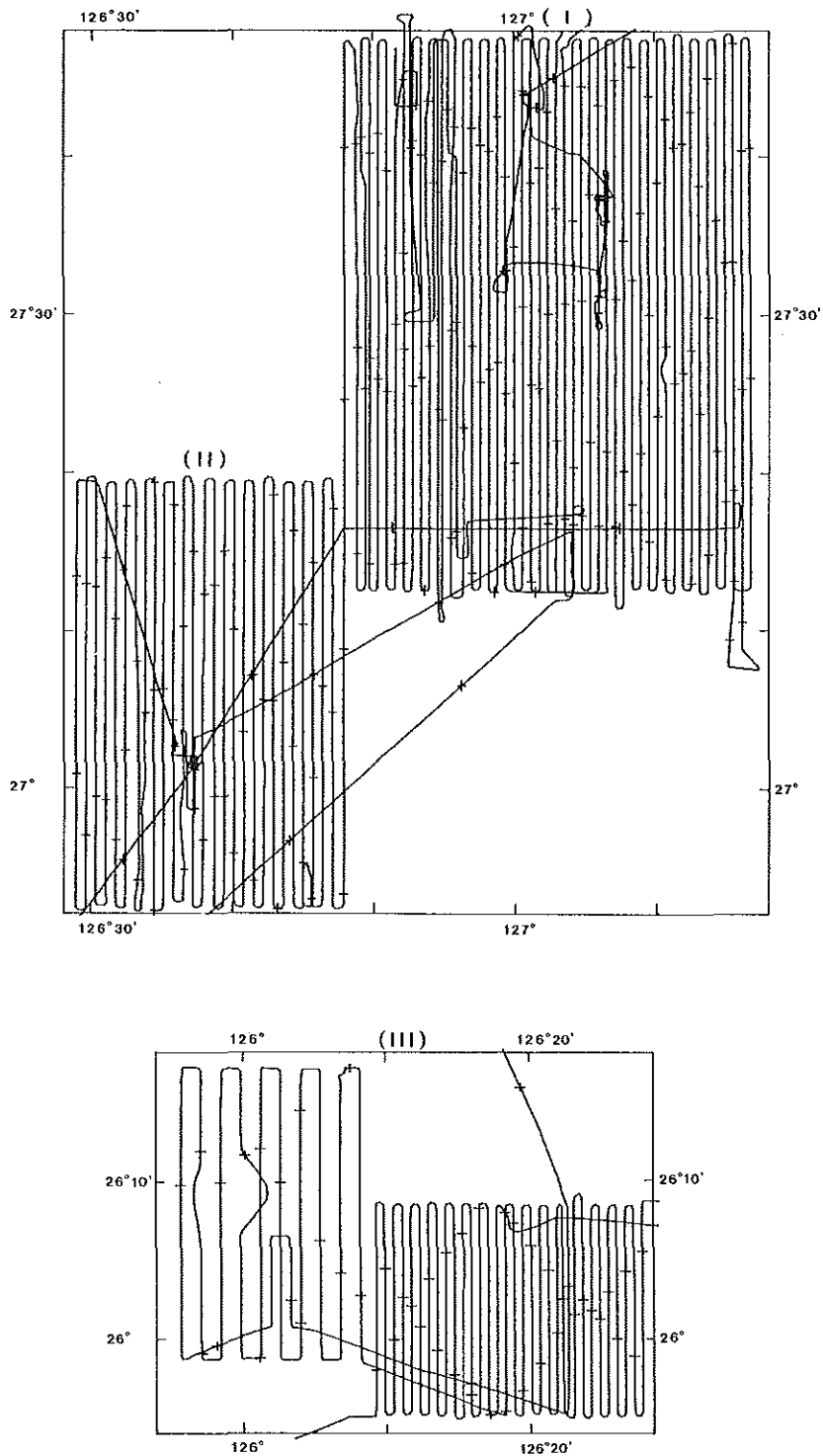


Figure 9. Tracks of the precise survey in the Okinawa Trough. The area (I) and (II) cover the volcanic knolls in the axis of the middle Okinawa Trough. The area (III) covers Kerama gap and its west around the southern border of the middle Okinawa Trough.

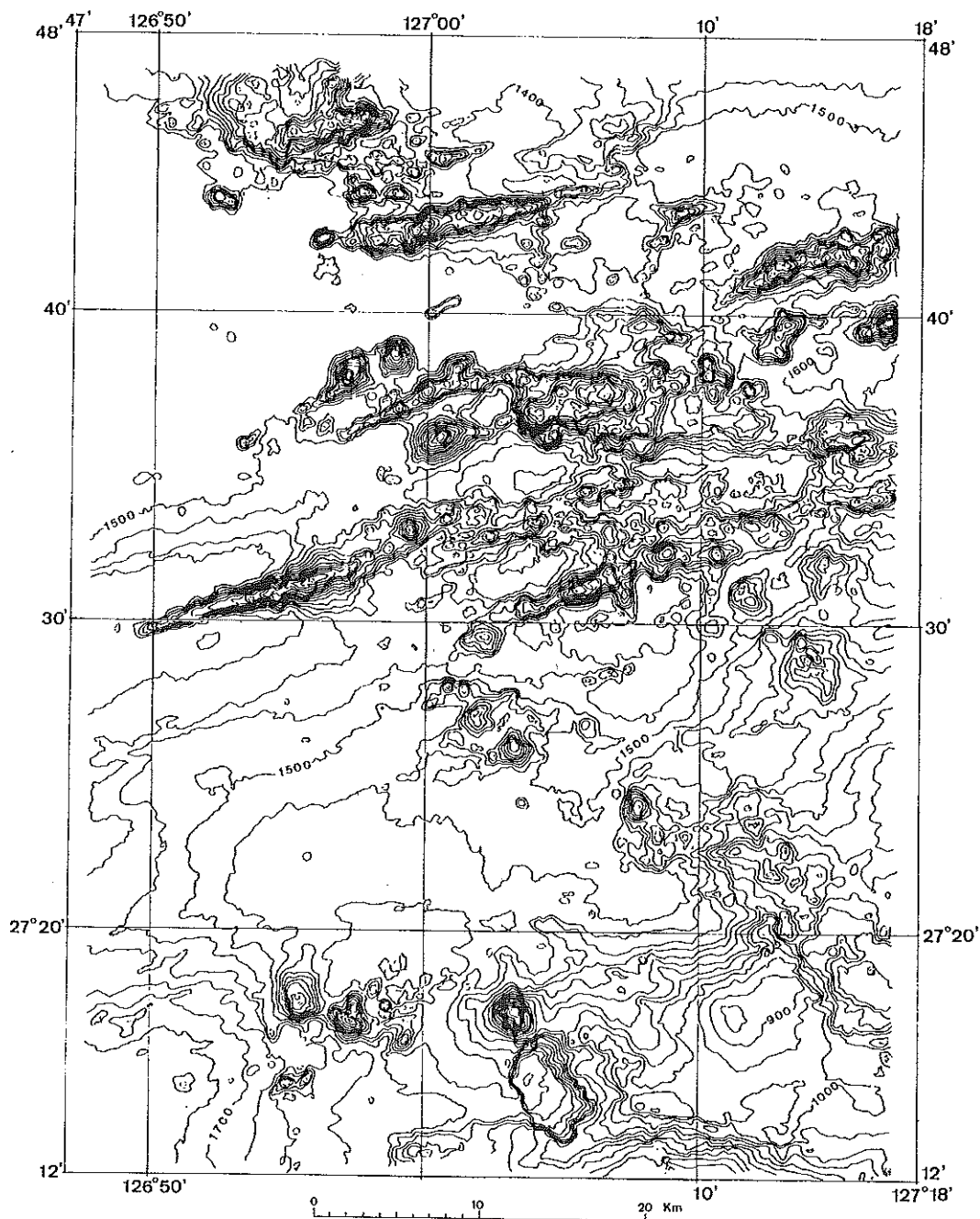


Figure 10. Topographic map of the precise survey area (I) by Sea Beam in the axis of the middle Okinawa Trough.

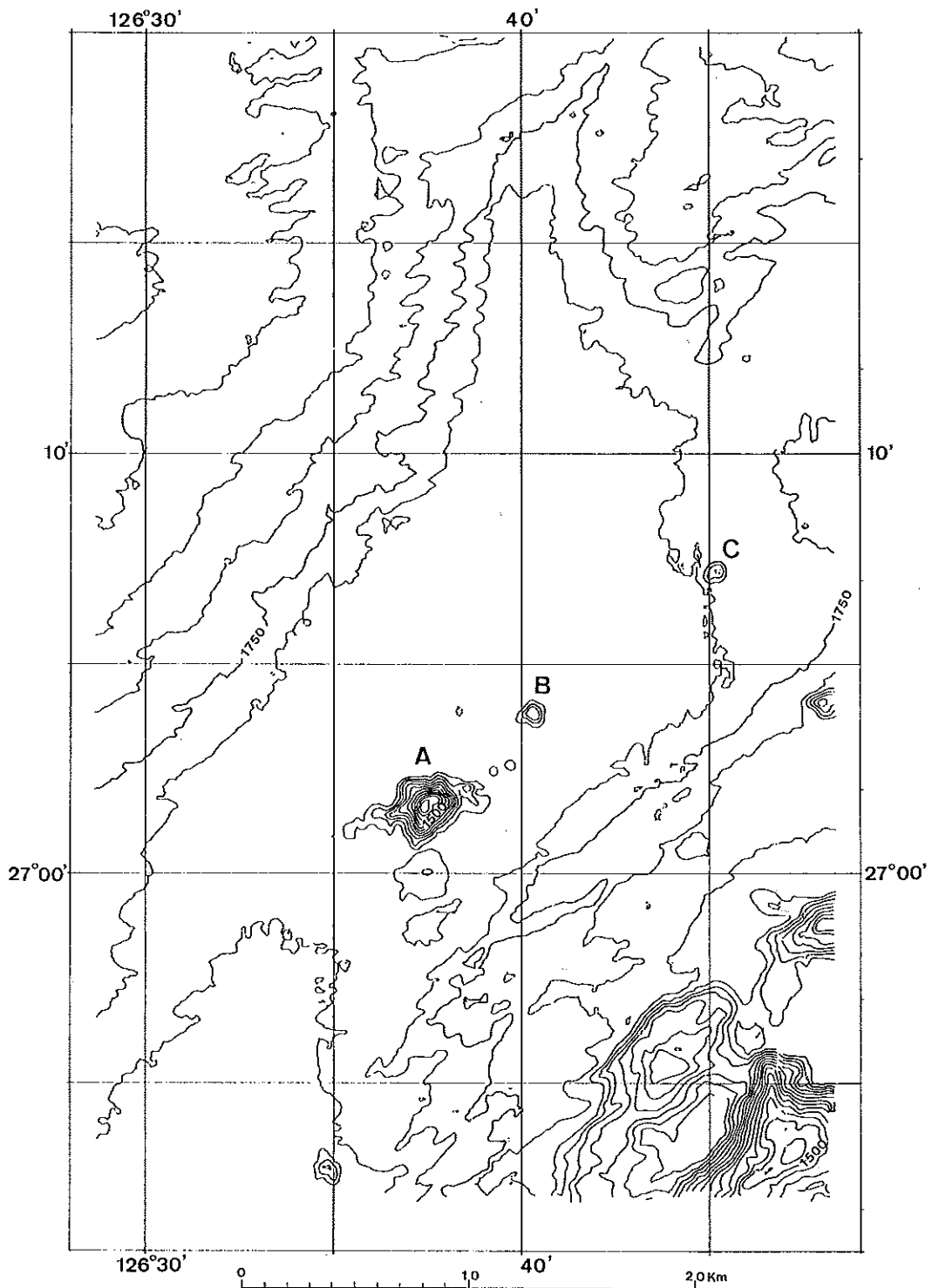


Figure 11. Topographic map of the precise survey area (II) by Sea Beam in the axis of the middle Okinawa Trough.

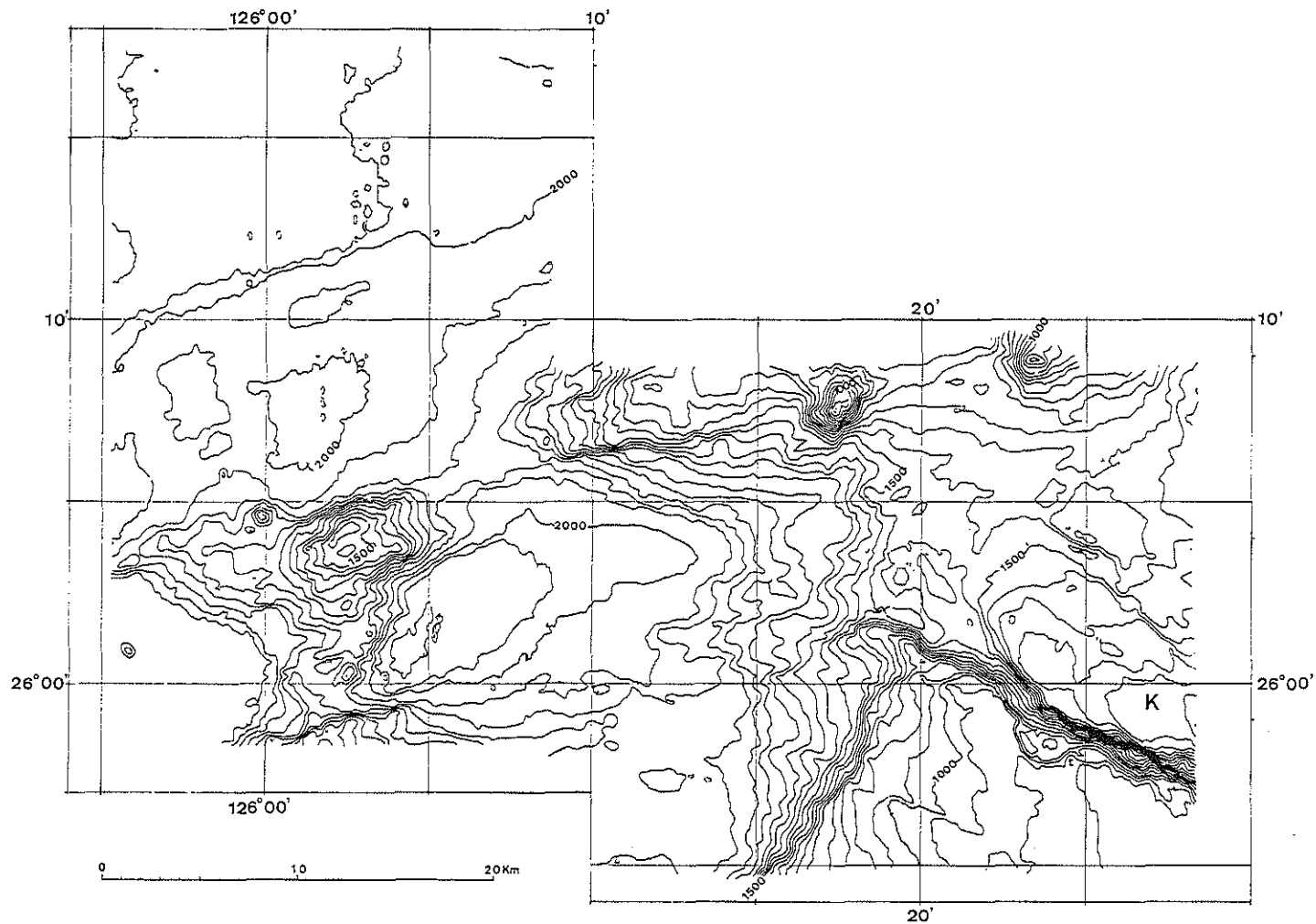


Figure 12. Topographic map of the precise survey area (III) by Sea Beam along Kerama gap (K) and its west around the southern border of the middle Okinawa Trough.

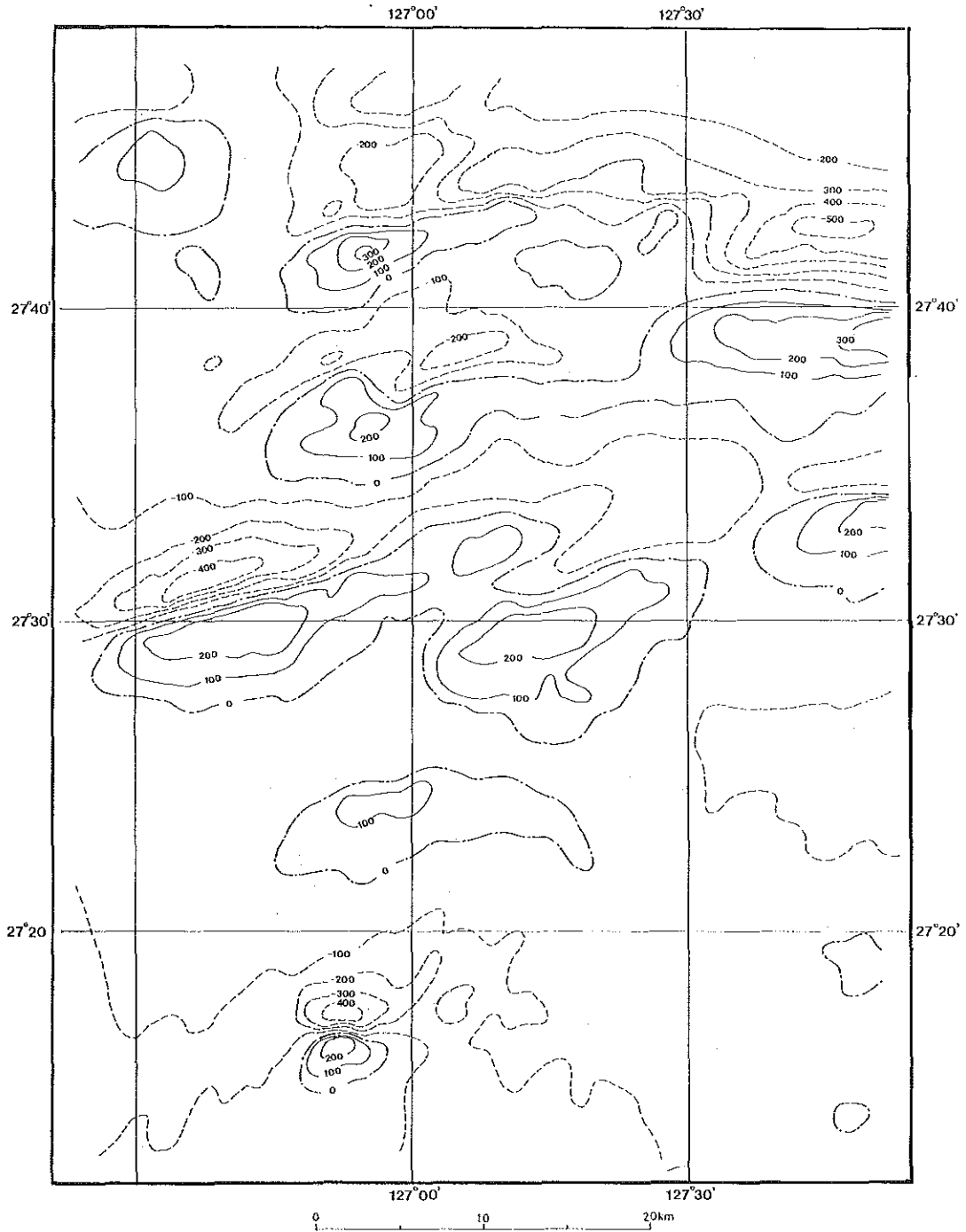


Figure 13. Magnetic total intensity anomaly map of the precise survey area (I) in the axis of the middle Okinawa Trough. Contour interval is 100nT.

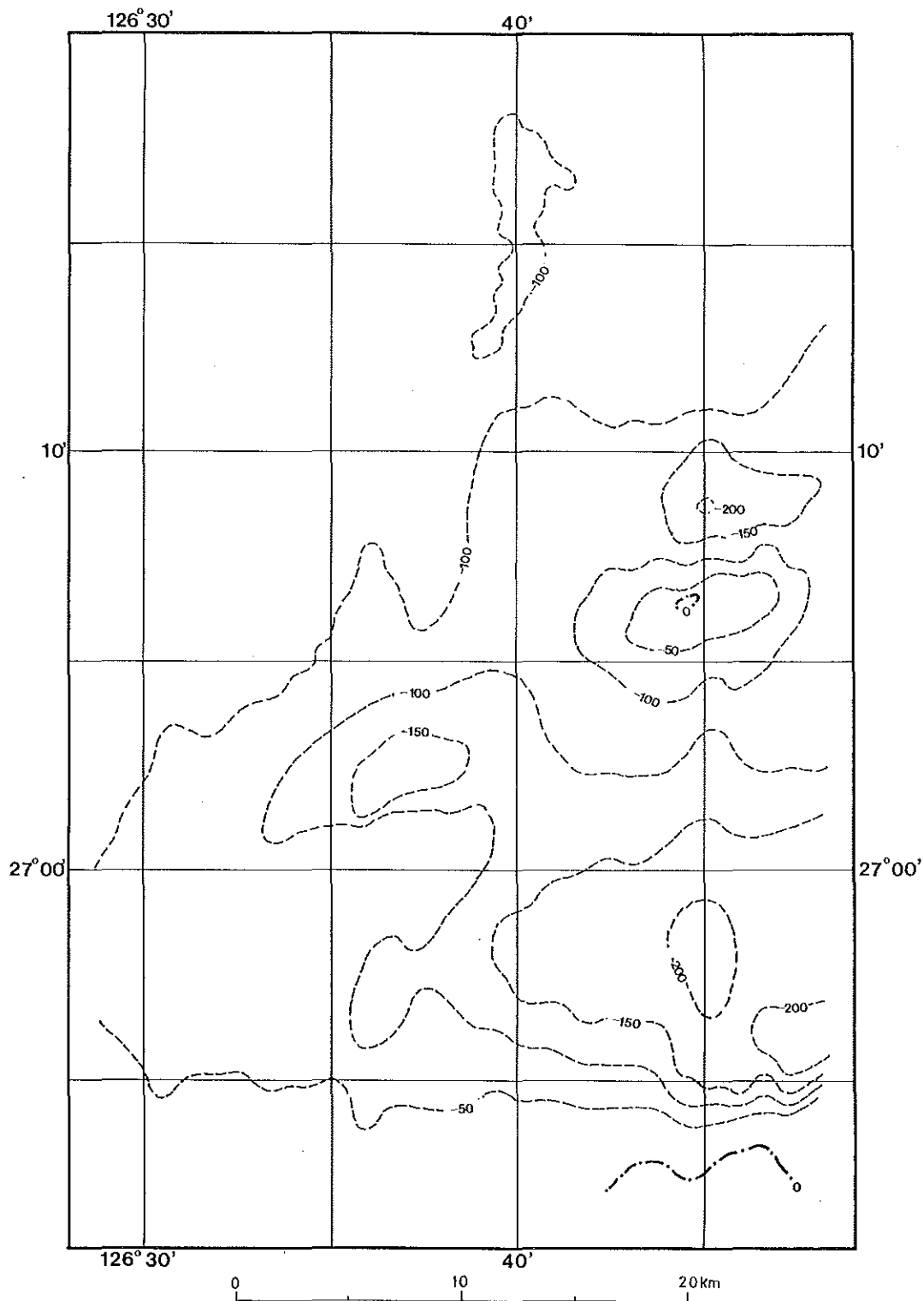


Figure 14. Magnetic total intensity anomaly map of the precise survey area (II) in the axis of the middle Okinawa Trough.

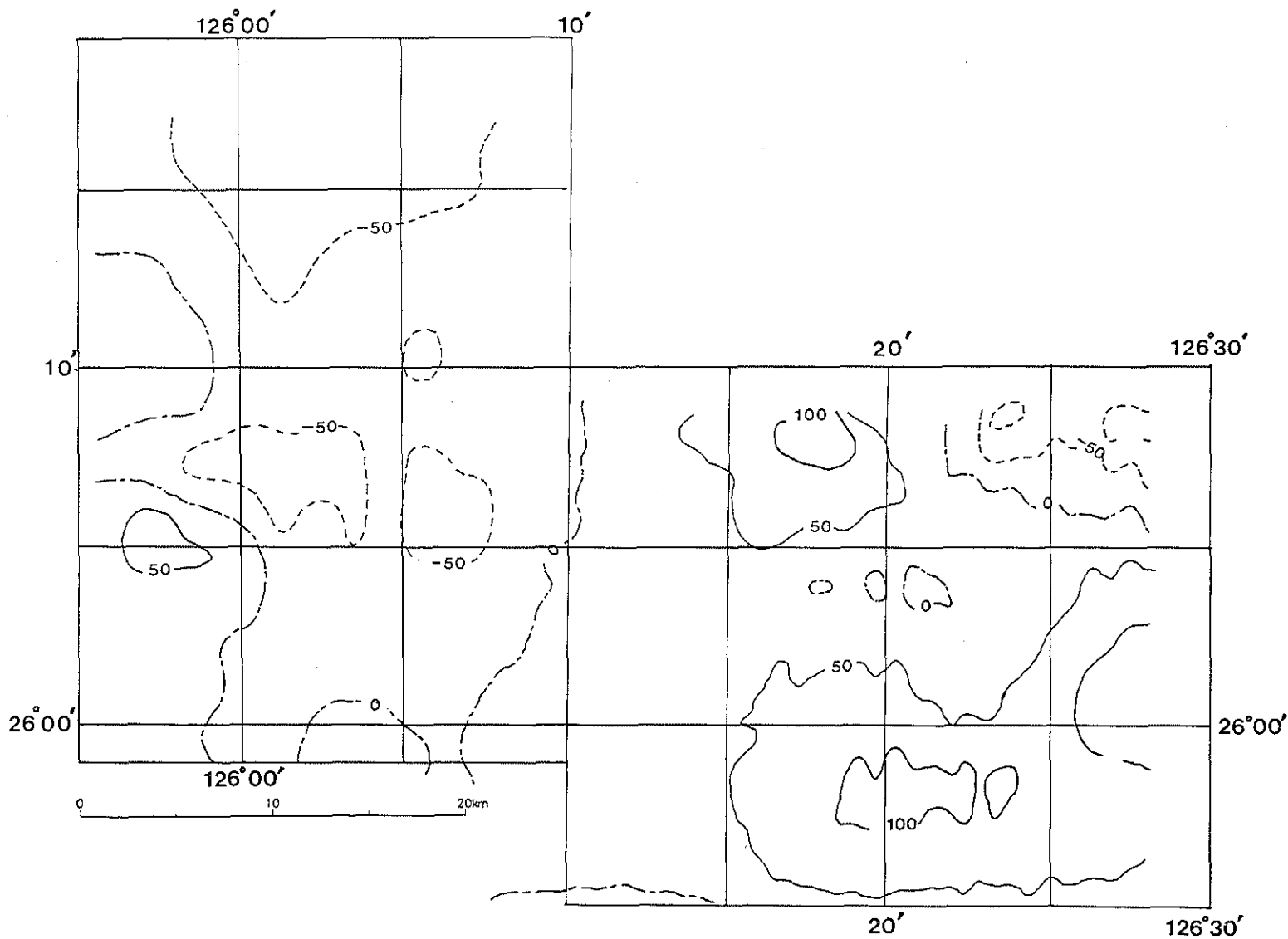


Figure 15. Magnetic total intensity anomaly map of the precise survey area (III) along Kerama gap around the southern border of the middle Okinawa Trough.

(地質構造)

沖縄トラフ中部のシングルチャンネル音波探査記録の例を第16図に、その解釈図を第17図に、測線の位置を地形図にE—E'で示す。この記録は伊平屋海丘群を横切る南北向きの測線である。伊平屋海丘群は音響基盤の隆起部として記録されており、その北縁には海丘群側に落ちの方向を示す階段状の断層が見られる。伊平屋海丘群全体が東北東—西南西向きの長い凹部の中に分布すること、及び音波探査で海丘群付近に多数の小断層が見られる事から、トラフ底が断層により陥没し弱線となった部分に火成岩が貫入したものと考えられる。再び第16図に戻ると、伊平屋海丘群より北のトラフ底からトラフ斜面に、鋸歯状の小断層群が見られる。個々の小断層はトラフ斜面の基部に向かって落ちの方向を示しているように見え、変位は30m程度以下で表層付近から約200m下位の層まで及んでいる。水深500m以浅のトラフ斜面上部にも同様の小断層群は見られるが、そこでは最上位に断層による変位をほとんど受けていない堆積層(厚さ150m以下)が見られる。すなわち、トラフ斜面上部では、最近まで小断層群を生じる運動があり、現在その運動は不活発と考えられる。

(地磁気全磁力異常)

五島・尖閣隆起帯と琉球火山列にそれぞれ帯状の地磁気異常群が見られる。沖縄トラフはこれら2列の異常群にはさまれた地磁気異常分布のきわめて平坦な負の異常域で、概略0—100nTの値を示す。ただし奄美大島北西及び沖縄島北西のトラフ内に、海丘又は海丘群に伴う地磁気異常が見られる。沖縄島北西の伊平屋海丘群の地磁気異常は、各海丘が正に帯磁している事によるダイポール型の地磁気異常である。なお伊平屋海丘群の地磁気異常は琉球火山列の地磁気異常の帯に接し、琉球火山列の地磁気異常の帯が一部分太くなったような分布を示す。磁気解析の結果によれば、五島・尖閣隆起帯の磁気基盤の磁化率はその大半が $1 \sim 3 \times 10^{-3}$ emu、一部が $6 \sim 10 \times 10^{-4}$ で中性～塩基性岩がほとんどで一部酸性岩による異常が混在している事を示す。トラフ内の伊平屋海丘群の磁化率は $3 \sim 6 \times 10^{-3}$ 、吐噶喇火山列ないし琉球火山列の磁化率は $1 \sim 3 \times 10^{-3}$ emu(一部で $6 \sim 7 \times 10^{-3}$ emu)である。

(重力フリーエア異常)

五島・尖閣隆起帯に+30～+70mgal、琉球火山列に+20～+120mgalの正異常が見られる。沖縄トラフはこれらの顕著な正異常帯に挟まれた0～+30mgalの弱い正異常域である。沖縄トラフ中部の水深は1,000～2,000mで、単純ブーゲー補正で考えるならば周辺部より60～130mgal程度高い値を示すはずであり、従って百数十mgal程度正のブーゲー異常となっている。

3-3 沖縄トラフ南西部(慶良間海裂以西)

(地 形)

トラフ南西部のトラフ軸は東北東—西南西の方向性を示し、それ以北の北東—南西の方向性とは異なる。東海陸棚からトラフ底に下りるトラフ斜面は200/1,000と急傾斜である。またトラフ斜面には多数の良く発達した海底谷が見られる。トラフ底は水深2,000m前後の平坦な海底と、そこから対称な階段状断層でさらに深まる海底地溝、海山及びいくつかの海丘よりなる。海底地溝は東のものから西へ宮古海底地溝、八重山海底地溝、与那国海底地溝と称する。今回の調査による沖縄トラフの最深水深は八重山海底地溝内の2,310mである。今後さらに最深水深の確認は行うが、恐らくこの2,310mを大幅に超える水深は存在しないであろう。トラフ底は台湾に近づくにつれて徐々に浅くなりながらきわめて起伏に富む地形となる。慶良間海裂より北東では琉球火山列が幅50km程の海丘帯とも呼ぶべき(加藤他, 1982)浅所を形成しているが、慶良間海裂より

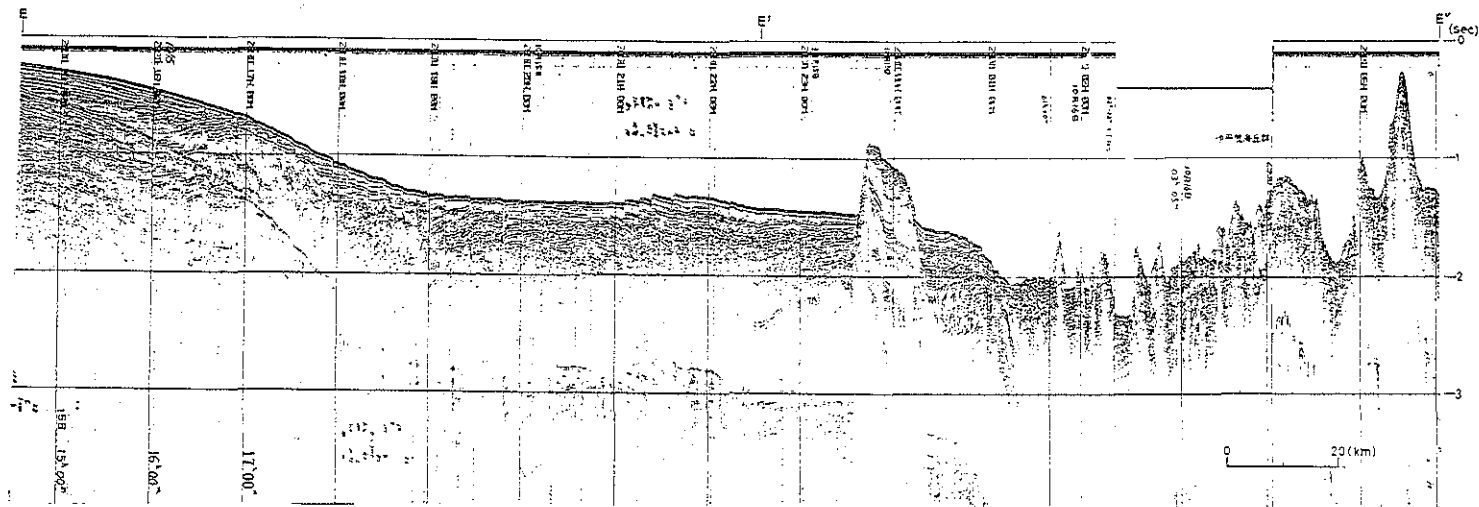


Figure 16. Section of a single-channel seismic reflection profile in the middle Okinawa Trough. Track of the section is shown in the topographic map with letters E, E' and E''.

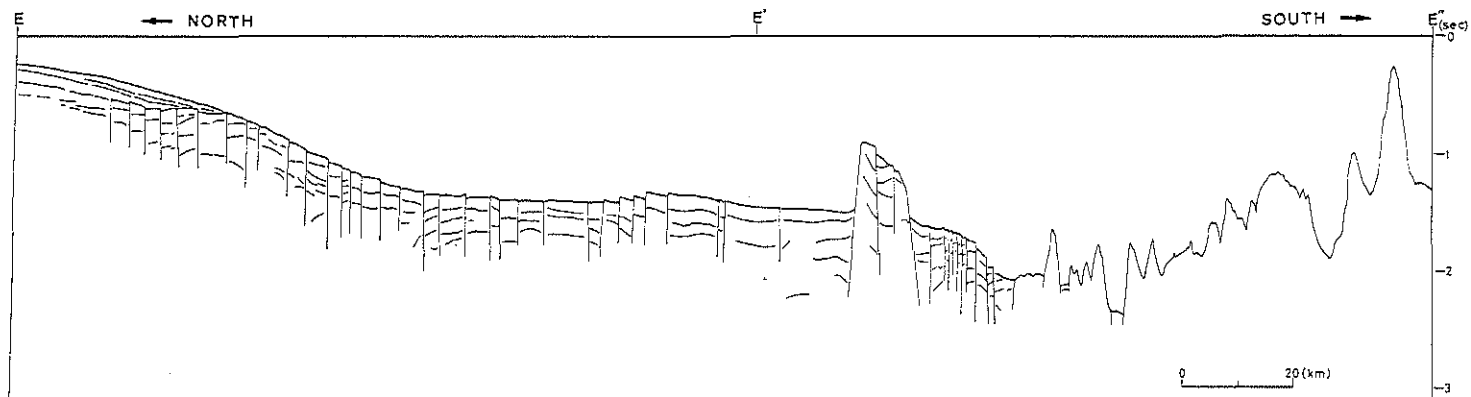


Figure 17. Line drawing of the single-channel seismic reflection profile in the middle Okinawa Trough along the track E-E''.

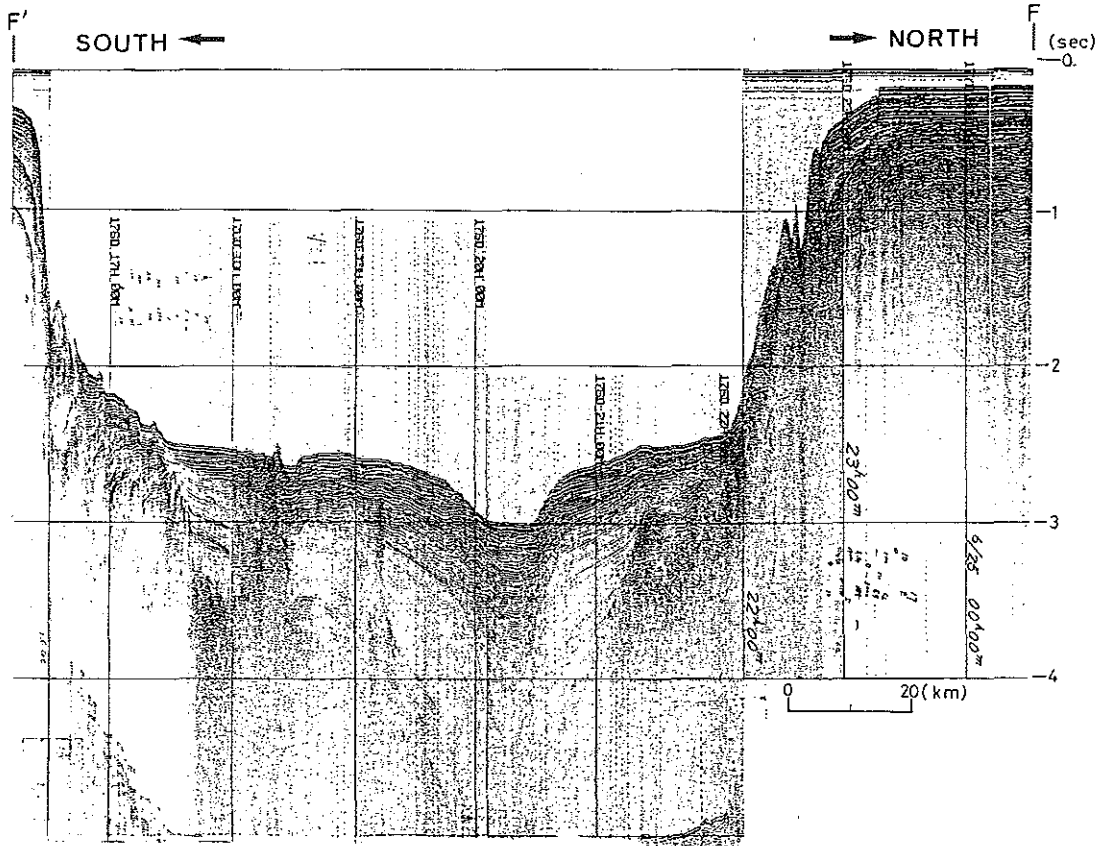


Figure 18. Section of a single-channel seismic reflection profile in the southwest Okinawa Trough. Track of the section is shown in the topographic map with letters F and F'.

南西では小海丘が点列状に並ぶ程度となる。従って沖縄トラフは宮古、八重山両列島の島棚に接し、両者は急斜面で境される。

(地質構造)

階段状断層の発達のもっとも顕著な八重山海底地溝を横断するシングルチャンネル反射法音波探査の記録を第18図に示す。測線の位置は海底地形図にF—F'で示す。ここではトラフ斜面は東海陸棚側でも琉球前弧域側でもきわめて急で、トラフ底の急速な沈降にかかわる断層崖である可能性が高い。トラフ中央の凹地は八重山海底地溝で、谷壁は対称な階段状断層である。トラフ底最上位層は音響層理が明瞭な層で、層厚は地溝の中心程厚い。これをA層とする。A層の下位は、不鮮明ながら連続性の良い層理面を持つ音響透明層B層である。B層の下位に音響基盤C層が分布するが、C層はトラフ軸部では追跡できない。桂他(1986)によればA層は1.8~2.1km/s層(第四系から上部鮮新統)、B層は2.8~3.6km/s(鮮新統)、C層は4.6km/sより速い層(中新統ないしそれ以前の地層及び火成岩)である。ただし後述するように、沖縄トラフ南西部はかなり急速に沈降した可能性があり、B層も琉球層群に相当する可能性もある。なおA、B層中には火成岩の貫入を示唆するような音響反射面がいくつか記録されている。実際八重山海底地溝の中央には比高約170mの小海丘があり、流紋岩及びデイサイトが採集された(第1表)。また、これにガイボール型の地磁気異常が伴っている事も確認できたので、トラフ南西部においても海底地溝中に火山活動があった事が確かめられた事になる。なお、A層にもう一度戻ると、A層は海底地溝内で断層による変位は受けているが中断することなく

地溝を横切って追跡できる。従ってA層堆積中は地殻が裂け広がったとは考えられない。B層についても、明瞭に層理が認められる部分については同様のことが言える（大島，1987）。

（地磁気全磁力異常）

沖縄トラフ南西部では、宮古列島及び八重山列島北方のトラフ底に広く地磁気正異常が分布し、それらが北側の尖閣諸島の異常域及び南の琉球火山列の異常域とつながって、帯状の配列は不明瞭になる。すなわち、五島・尖閣隆起帯の地磁気異常群は五島からほぼ南西にまっすぐ赤尾嶼付近まで続き、その南西端がトラフ中軸部までにじみ出したような分布を示す。魚釣島付近にも $+200\sim+300\text{mT}$ に達するやや分布範囲の狭い地磁気異常群が見られ、五島・尖閣隆起帯の西端部と見なせる。魚釣島付近の地磁気異常群より西には大規模な全く様子の違う異常が見られる。これは台湾北部周辺に続く異常であろう。トラフ中軸部の八重山海底地溝に見られる小規模ながら明瞭なダイポール磁場は八重山海底地溝中の海丘に伴うものである。琉球火山列の地磁気異常群は石垣島北方よりも東にのみ分布する。西表島北方から西へは琉球火山列の地磁気異常は見られない。なお与那国島周辺の海底はきわめて起伏に富むが、地磁気異常分布はきわめて平坦である。磁気解析の結果によれば、五島・尖閣隆起帯に $1\sim 4\times 10^{-3}\text{emu}$ 、トラフ内に $0.6\sim 3\times 10^{-3}\text{emu}$ 、琉球火山列に $1\sim 5\times 10^{-3}$ （一部で $2\sim 5\times 10^{-2}$ ） emu の磁化率の火成岩が分布している。宮古海山の磁化率は $6.2\times 10^{-4}\text{emu}$ である。

（重力フリーエア異常）

沖縄トラフ南西部付近の重力フリーエア異常分布は五島・尖閣隆起帯で $+30\sim+100\text{mgal}$ 、トラフ内で $0\sim+30\text{mgal}$ 、宮古列島と八重山列島の島棚で $+30\sim+130\text{mgal}$ で、等値線は一見地形とよく対応するように見える。ただし単純ブーゲー補正を加えると、トラフ内では水深が2,000m程度なので、およそ $+150\text{mgal}$ 程度の正異常域であると言える。瀬川（1976）によれば、慶良間海裂付近を北西—南東に横切る断面で考えた場合、地殻構造のみで重力異常を説明すると、トラフ下では高密度（ 3.3g/cc ）のマントルが深さ18km付近まで盛り上がっているモデルが観測結果に合う。沖縄トラフ南西端では、台湾北部に近づくに従ってトラフ軸部は浅くなるが、重力フリーエア異常の値は小さくなり、測量区域西端の水深1,500mでは $0\sim-10\text{mgal}$ で、それ以西では台湾北部の負異常域に続いているものとみられる。すなわち、ブーゲー異常とトラフ底の水深が比例する事を示しており、トラフ下の高密度物質の高まりと、トラフ底の急速な沈降の間に相関関係がある事を示唆している。

4. まとめと考察

沖縄トラフでは北東部から南西部まで、わずかに正の重力フリーエア異常が見られ、その値はトラフ全体にわたってほとんど差が無い。しかし水深は北東部から南西部に向かって深くなり、南西部のトラフ底で2,000mを越える。トラフ斜面は北東部ではきわめてゆるやかで、南西に向かって徐々に傾斜を増し、南西部では200/1,000の急斜面となる。宮古海山の水深1,050mから採取された石灰岩の浅海性底生有孔虫と鮮新世（N. 21）～更新世中期（N. 22）の浮遊性有孔虫から、宮古海山が鮮新世後期から更新世中期の間のいずれかの時期まで浅海であった可能性が強く、それ以後数百メートル沈降したものと考えられる。またトラフ底には広く小断層群の分布が見られるほか、中部から南西部には顕著な階段状断層により形成された地溝が見られる。これらの事から、トラフ底は現在も沈降しており、沈降速度は南西部ほど速いと考えられる。

沖縄トラフは確かに南西諸島の背後の舟状海盆であるが、南西諸島は非火山性であって火山弧は地磁気異常群が帯状に分布する琉球火山列である。トラフ内の海丘の地磁気異常は琉球火山列の地磁気異常群に近接

しており、伊平屋海丘群の地磁気異常は琉球火山列の異常群に連続して分布している。また、トラフから採取された火成岩は酸性岩から塩基性岩まで含み、トラフ下での火成活動の多様性を示している。さらに沖縄トラフの海溝からの距離、及びトラフ下の深発地震面の深さは(木村他, 1983)、他の島弧海溝系では島弧が存在するところに当たる。これらの事から、現在沖縄トラフで進行しつつある地殻変動はかなり島弧的な性格を有するものと言える。

沖縄トラフの性格を考えるうえで、トラフの地質・地球物理学的特性をさらに調査する事が必要であるとともに、中国大陸から南西諸島までの広域的なテクトニクスにも目を向ける必要がある。Li(1984), Watson et al.(1987), Ma and Wu(1987)などによれば、中国東部から東シナ海にかけては、地殻内の張力による堆積盆がいくつか形成されている。そのうち、沖縄トラフに最も近い堆積盆は東海盆地(石和田, 1981)である。

(注:東海盆地はLi(1984)及びWatson et al.(1987)ではEast China Sea Basinと呼ばれている)東海盆地は沖縄トラフとほぼ平行に北東—南西に細長く分布しており、両者は五島・尖閣隆起帯により分けられている。沖縄トラフの形成史あるいは沖縄トラフのテクトニクスを理解するうえで、隣接する五島・尖閣隆起帯及び東海盆地の地質・地球物理学的特性を解明することも、当面非常に重要な課題であると考えられる。

本座(1977)は琉球島弧の島弧変動を考察するとともに、島弧変動の場合は島弧のみならず、前線の海溝から内側の縁海まで含まれる事を強調している。本間他(1987)は沖縄トラフで潜水調査船「しんかい2000」により採取された岩石の主要元素および微量元素組成、水素・酸素・ストロンチウム・ネオジムの同位体比の測定を行い、それら岩石が島弧の火山岩と共通している点が多い事を報告している。

沖縄トラフ下の地殻深部及び上部マントルについては、反射法音波探査によりマグマチャンバーらしき反射が得られ、屈折法音波探査で減衰の激しい6.8km/sec層が存在し、自然地震の観測では火山性微動に似た振動を含む活発な微小地震活動が観測されている(Nagumo et al. 1986)。また沖縄トラフ中部の高熱流量(Yamano et al. 1986)、電気伝導度異常から、トラフ軸に沿って深さ45~135kmあたりに部分溶融によると思われる良導層が分布しているらしい事(金子, 本蔵, 1987)が報告されている。

これらの諸事実から、沖縄トラフでは琉球火山列に近接した位置で島弧的火成活動とそれに伴うリフティングなどの地殻変動が進行しているものと言える。Karig and Moore(1975), 玉木他(1981), 湯浅, 村上(1985)は小笠原弧の火山フロントのすぐ内側(大陸側)に隣接する凹地を背弧凹地(Back-arc Depression)と呼んでおり、藤岡(1983)は東北日本弧の黒鉱鉱床形成の場と伊豆・小笠原弧の背弧凹地の類似性(凹地を埋める厚い堆積とそれを貫くカルクアルカリ岩系の石英安山岩・流紋岩)を指摘している。日本海や四国海盆などの背弧海盆は海洋地殻を持ち、火山列から明確に区分できる程離れている。しかし沖縄トラフは琉球火山列に近接し、大陸地殻を有する(Nagumo et al. 1986)。今後島弧、背弧海盆、背弧凹地等の用語の定義を明確にしつつ、沖縄トラフの地質、地球物理学的データの解析を進めていく必要がある。

おわりに

本調査に尽力された測量船「拓洋」船長以下乗組員の方々、元大陸棚調査室員諸氏に感謝する。貴重な御意見を下さった奈須紀幸東京大学名誉教授、石和田靖章資源観測解析センター顧問、友田好文東京大学名誉教授、小林和男東京大学教授に心より感謝申し上げる。宮古島から採取した石灰岩の有孔虫分析については地質調査所中村光一氏の助言に負う所が大き。同氏にはまた種々御意見を頂いた。記して感謝の意を表明する。本研究対象海域の北西端の一部海域で使用した地磁気データは、米国海軍水路部(Dr. G. R. Lorentzen, Director, Geomagnetism Division, U.S.NOO)の御好意により提供されたものであり、心より感謝する。

参 考 文 献

- 相場倅一・関谷英一：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,p.97~108, (1979)
- Emery, K.O., Y.Hayashi, T.W.C.Hilde, K.Kobayashi, J.H.Koo, C.Y.Meng, H.Niino, J.H. Osterhagen, L. M.Reynolds, J.M.Wageman, C.S.Wang and S.J.Yang : Geological Structure and Some Water Characteristics of the East China Sea and the Yellow Sea, Technical Bulletin ECAFE,2,p.3~43,(1969)
- 藤岡換太郎：黒鉱鉱床はどこで形成されたか，鉱山地質特別号，11, p.55~68, (1983)
- Herman, B.M.,R.N.Anderson and M.Truchan : Extensional Tectonics in the Okinawa Trough, Mem. Amer. Assoc. Pet. Geol. Bull., 29, p.199-208, (1978)
- 本間弘次，日下部実，加々美寛雄，飯泉滋，酒井均，児玉幸雄，木村政昭：「しんかい2000」による沖縄トラフの岩石の主化学・微量元素組成，D/H， $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ， $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ， $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比，海洋科学技術センター試験研究報告，第3回「しんかい2000」研究シンポジウム，p.197~211, (1987)
- 本座栄一：琉球島弧の島弧変動と南北両域にみられる変動の違い，海洋科学，9, p.607~611, (1977)
- 石和田靖章：東シナ海の広域不整合について，月刊海洋科学，13, 3, p.175~179, (1981)
- 金子康江・本蔵義守：沖縄トラフと小笠原弧の電気伝導度構造，水路部研究報告，22,p.135~143, (1987)
- Karig,D.E. and G.F.Moore : Tectonic complexities in the Bonin Arc system, Tectonophys., 27, p.97~118, (1975)
- 加藤茂・桂忠彦・平野賢治：沖縄本島周辺の海底地質，水路部研究報告,17,p.31~70, (1982)
- 桂忠彦・大島章一・萩野卓司・池田清・永野真男・内田摩利夫・林田政和・小山薫・春日茂：沖縄トラフ南西部海域の地質・地球物理学的諸性質，水路部研究報告,21,p.21~47, (1986)
- 木村政昭：沖縄トラフの陥没構造形成に関する考察，地質学論集,22,p.141~157, (1983)
- 木村政昭・麻植誠二郎・笠原順三：琉球列島及び周辺地域における地震活動，月刊地球，5,12, p.753~758, (1983)
- 木村政昭・伊勢崎修弘・古川雅英・石原丈実：沖縄トラフ中部の地磁気異常，地学雑誌，94, 3, p.156~169, (1985)
- Kimura,M. : Back-arc Rifting in the Okinawa Trough, Marine and Petroleum Geology, 2, p.222~240, (1985)
- Kimura,M. , I.Kaneoka,Y.Kato, S.Yamamoto, I.Kushiro, H.Tokuyama, H.Kinoshita, N.Isezaki, H.Masaki, A.Oshida, S.Uyeda and T.W.C.Hilde : Report on DELP 1984 Cruise in the Middle Okinawa Trough, Part V : Topography and Geology of the Central Grabens and Their Vicinity, Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. of Tokyo, 61, p.269~310, (1986)
- 木村政昭，加藤祐三，田中武男，仲二郎，蒲生俊敬，山野誠，安藤雅孝，上田誠也，酒井均，大森保，井沢英二，兼永勝，小野朋典，押田淳：沖縄トラフ中央地溝の研究，海洋科学技術センター試験研究報告，第3回「しんかい2000」研究シンポジウム，p.165~196, (1987)
- Kobayashi,K. : Sea of Japan and Okinawa Trough, The Ocean Basins and Margins, Vol. 7A, Ed. by A.E.M.Nairn, F.G.Stehli and S.Uyeda, Plenum, (1985)
- 小西健二：琉球列島（南西諸島）の構造区分，地質学雑誌，71, p.437~457, (1965)

- Lee,C.S., G.G.Shor Jr., L.D.Bibee, R.S.Lu and T.W.C.Hilde : Okinawa Trough : Origin of a Back-Arc Basin, *Marine Geology*,35, p.219~241, (1980)
- Letouzey,J. and M.Kimura : Okinawa Trough Genesis : Structure and Evolution of a Backarc Basin Developed in a Continent, *Marine and Petroleum Geology*, 2, p.111~130, (1985)
- Li,D. : Geologic Evolution of Petroliferous Basins on Continental Shelf of China, *Am. Assos. Petro. Geolog. Bull.*, 68, 8, p.993~1003, (1984)
- Ma,X. and Wu D. : Cenozoic Extensional tectonics in China, *Tectonophysics*, 133, p.243~255, (1987)
- 円谷博明・佐藤時幸 : 基礎試錐「宮古島沖」, *石油技術協会誌*, 50, 1, p.25~33, (1985)
- 永野真男・桜井操・桂忠彦・中村啓美・北原祥二・小野寺健英 : 九州西岸沖の海底地質, *水路部研究報告*, 11, p.1~38, (1976)
- Nagumo,S., H.Kinoshita, J.Kasahara, T.Ouchi, H.Tokuyama, T.Asanuma, S.Koresawa and H.Akiyoshi : Report on DELP 1984 Cruises in the Middle Okinawa Trough Part II : Seismic Structural Studies, *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. of Tokyo*, 61, p.167~202, (1986)
- Nash,D.F.: The Geological Development of the North Okinawa Trough Area from Neogene Times to Recent,*石油技術協会誌*, 44, 5, p.109~119, (1979)
- 大島章一 : 沖縄トラフの海底は拡大していない, *科学*, 57, 2, p.105~109, (1987)
- 桜井操・永野真男 : 九州西方の海底地形・地質構造, *地学雑誌*, 85, 6, p.329~341, (1976)
- 瀬川雨朗 : フィリピン海とその周辺島弧の重力・地殻・マントル, *月刊海洋科学*, 8, p.206~212, (1976)
- 玉木賢策, 井上英二, 湯浅真人, 棚橋学, 本座栄一 : 小笠原弧の第四紀背弧拡大活動の可能性について, *月刊地球*, 3, p.421~431, (1981)
- 植田義夫・中川久穂・登崎隆志 : 南西諸島周辺海域の地磁気異常, *水路部研究報告*, 19, p.75~100, (1984)
- 植田義夫 : 南西諸島周辺海域の地磁気異常と構造論, *火山*, 31, 3, p.177~192, (1986)
- 氏家宏 : 琉球弧形成に関する新知見・新見解, *月刊地球*, 7, 12, p.720~728, (1985)
- 氏家宏 : 琉球弧の海底, *新星図書出版*, (1986)
- Wageman J.M., T.W.C.Hilde and K.O.Emery : Structural Framework of East China Sea and Yellow Sea, *Amer. Assoc. Petro. Geolog. Bull.*, 54, 9, p.1611~1643, (1970)
- Watson,M.P., A.B.Hayward, D.N.Parkinson and Zhang Zh.M.: Plate Tectonics History, Basin Development and Petroleum Source Rock Deposition Onshore China, *Marine and Petroleum Geology*, 4, p.205~225, (1987)
- Yamano,M., S.Uyeda, Y.Furukawa and G.A.Dehghani : Heat Flow Measurements in the Northern and Middle Ryukyu Arc Area on R/V SONNE in 1984, *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. of Tokyo*, 61, p.311~327, (1986)
- 湯浅真人, 村上文敏 : 小笠原弧の地形・地質と孀婦岩構造線, *地学雑誌*, 94—2, p.115~134, (1985)