

琉球弧海域の海底地質構造および発達史

木村 政昭¹⁾・Wang Yugang¹⁾・八木 秀憲¹⁾

1. はじめに

本研究は、石油公団(「石油開発公団」から昭和53年改称)が通商産業省の委託を受けて、昭和47年度から平成2年度までに実施した基礎物理探査のうちの音波探査(反射法地震探査), および基礎試錐など試掘井調査結果の使用許可を得て、これらデータの解析・解釈を行ったものである(石油開発公団, 1973a, 1973b, 1974, 1975; 石油公団, 1980a, 1980b, 1991)。

本研究では、総測線長約14,500kmのマルチチャンネル音波探査記録を主に、従来のシングルチャンネル音波探査・3.5kc探査の成果等も参考にした。琉球弧周辺海域(第1図)のほぼ全域、九州西方の男女海盆から与那国島に至る約1,200kmにわたる沖縄トラフから琉球弧前縁部までの帯状の範囲を対象とした。新第三系島尻層群(島尻層群相当層を含む)および第四系の層厚図を作成することにより、琉球弧周辺、特に琉球弧と沖縄トラフについて地質層序と地質構造を明らかにすることを目的とした。また、本地域の中新世後期以降の地質構造発達史についても考察を行った。

2. 従来の研究

現在、琉球弧-沖縄トラフは、大陸縁辺沿いの活動的な島弧-背弧海盆系であると考えられている(Honza, 1976; Letouzey and Kimura, 1986; 加藤ほか, 1989)。例えば、沖縄トラフに関する最近の研究では、屈折法地震探査による地震波速度構造から、その地殻が大陸的であることが示され(岩崎ほか, 1990; Hirata *et al.*, 1991)、活動的な海底地溝(中央グラーベン)が雁行状に形成されている

こと(木村, 1983; Kimura *et al.*, 1986; Kimura *et al.*, 1991)、これら中央地溝内の海山や海嶺に第四紀の火山活動があること(Kimura *et al.*, 1986; Kimura *et al.*, 1991; Ishikawa *et al.*, 1991)、重金属に富む熱水を噴出するブラックスモーカーや熱水鉱床が発見されたこと(Kimura *et al.*, 1988; Halbach *et al.*, 1989)などにより現在も活動的であることが示されている。

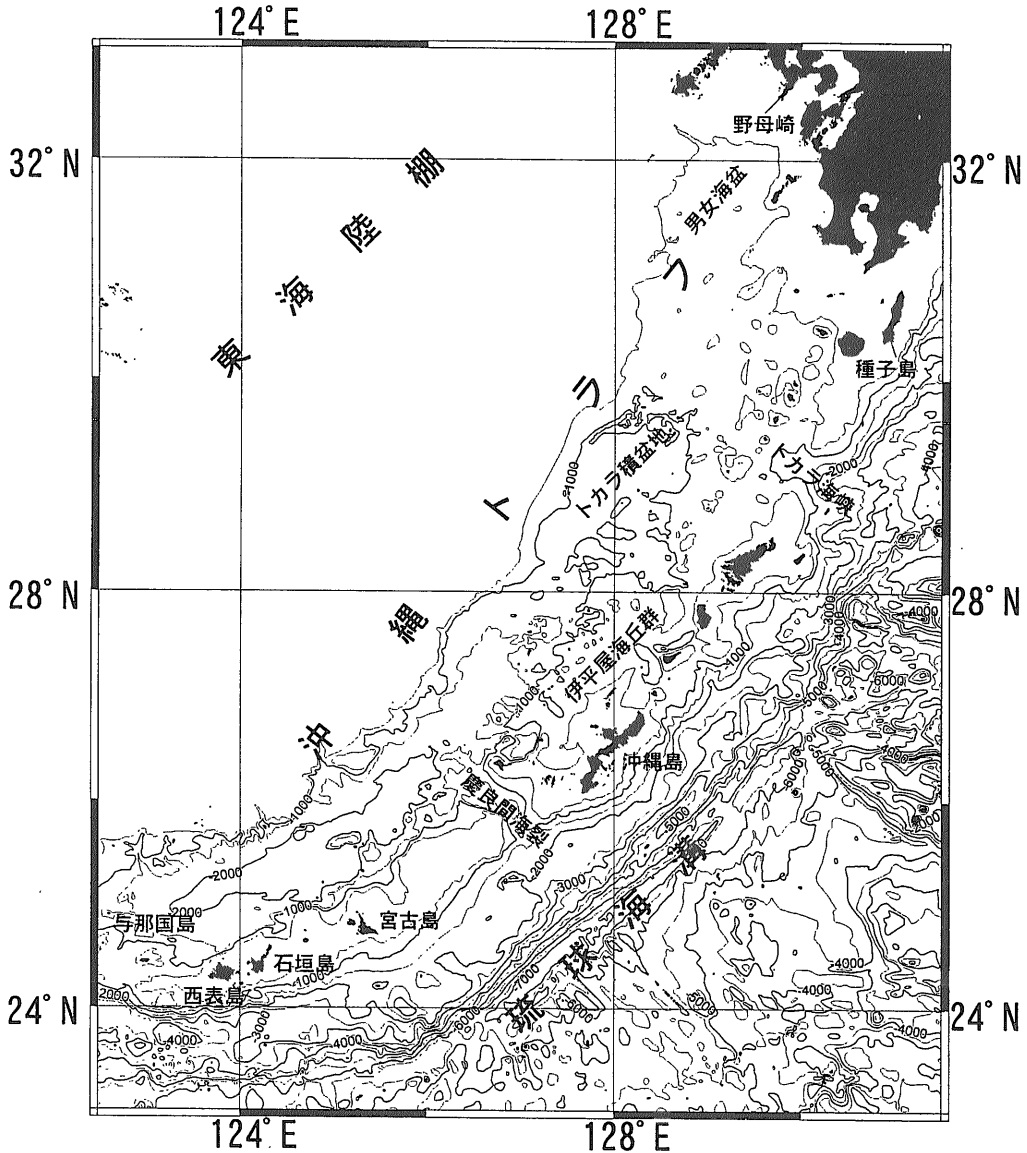
従来から琉球弧については、陸上地質の知見からその帯状構造が提示されてきたが(例えば小西, 1965)、海域に関しては3地点の試掘井データ(古川, 1991; 石油公団, 1980b; 石油公団, 1991)から陸域とほぼ同様な層序が得られており、琉球弧ほぼ全域について陸上および海域に同様の地質層序が分布しているものと考えられている。

沖縄トラフについては、主に音波探査により地質層序や構造などの研究が行われてきた(例えば、相場・関谷; 1979, Nash; 1979)。Lee *et al.* (1980)は、地質層序や構造から沖縄トラフの形成が中新世以降に始まったとしたが、Letouzey and Kimura (1985, 1986)およびSibuet *et al.* (1987)は、沖縄トラフが2段階で形成されたとした。木村(1990)は、音波探査記録の解釈により、沖縄トラフ(狭義の沖縄トラフ)の形成は第四紀初期の2-1.5 Maに行われ、その西側に位置する古沖縄トラフは中新世後期に形成されたとした。最近、Park *et al.* (1998)は、音波探査の結果を用いて、鮮新統島尻層群の隆起侵食後に沖縄トラフ南部域が沈降したことを明らかにし、その拡大速度を約1-2cm/年と見積もった。

笹嶋(1977)は、古地磁気学的研究により、琉球弧南部は琉球弧中部に対して相対的に約40度時計回りに回転したことを示唆した。その後、Miki *et*

1) 琉球大学理学部 物質地球科学科:
〒903-0213 沖縄県西原町千原1

キーワード: 琉球弧, 海底地質構造, 沖縄トラフ, 反射法地震探査



第1図 琉球弧および沖縄トラフ周辺の海底地形図。コンターは500m間隔。

al. (1990) および三木 (1991) は、古地磁気および K-Ar 年代測定の結果から琉球弧南部が 10-4Ma に時計回りに 19 度回転したことを示した。彼女は、沖縄トラフ南部は台湾北部を回転軸として小さな扇形を作るように開き、中部は平行に開いたことを示した。さらに、Miki (1995) は、10-6Ma および 1Ma に沖縄トラフが 2 段階で拡大したモデルを提案した。

また、Sibuet et al. (1995) は、測深、音波探査、屈折法地震探査、重力異常および磁気異常のデー

タを用いて、3 段階の沖縄トラフ拡大モデルおよびトラフ拡大に係る回転パラメーターを示し、その膨大量を見積もった。

このように、大陸縁辺に位置し、かつ現在活動的な背弧海盆である沖縄トラフの研究は、島弧-背弧海盆系の形成過程を解明するために重要であり、様々な手法により研究が行われている。しかしながら、沖縄トラフ内での深海掘削データが存在しないため、以上のような説や考えが直接検証できないことが問題となっている。

第1表 使用した音波探査の概要 (昭和47年度～平成2年度).

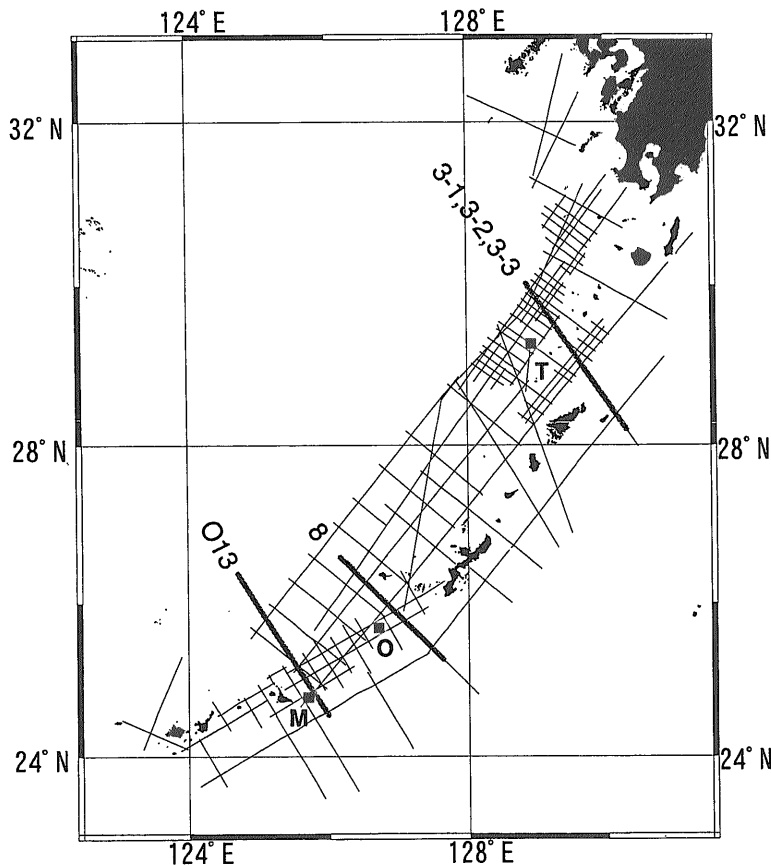
調査年度	平成2年度	昭和55年度	昭和50年度	昭和48年度	昭和47年度	昭和47年度
基礎物理探査名	九州南西-トカラ沖	トカラ列島海域	沖縄西方海域	沖縄	南西諸島	沖縄島-与那国
調査期間	H2年8月9日～ H2年10月10日	S55年9月12日～ S55年11月14日	S50年9月3日～ S50年12月24日	S48年6月4日～ S48年7月12日	S48年2月14日～ S48年4月5日	S47年10月8日～ S47年11月16日
観測船	M/VWESTERN PACIFIC	開洋丸	拓洋丸	拓洋丸	拓洋丸	拓洋丸
測線長 (km)	2502	3000	5000	908	955	1114
エアガン容量 (inch ²)	2250	2090	810	810	810	810
受振点数	240	48	48	48	48	48
受振間隔 (m)	13.33	50	50	50	50	50
ケーブル長 (m)	3200	2400	2400	2400	2400	2400
重合点	60	48	24	24	24	24

3. 使用データと解析

今回新たに行った解析には、石油公団が行った基礎物理探査のマルチチャンネル音波探査(反射法地震探査)の記録を使用した。これらの記録は基本的にマイグレーション処理まで施されたもので

ある。昭和47年度から平成2年度までの6次にわたる各音波探査の調査概要を第1表に、また、総測線長約14,500kmにおよぶ全測線を第2図に示す。

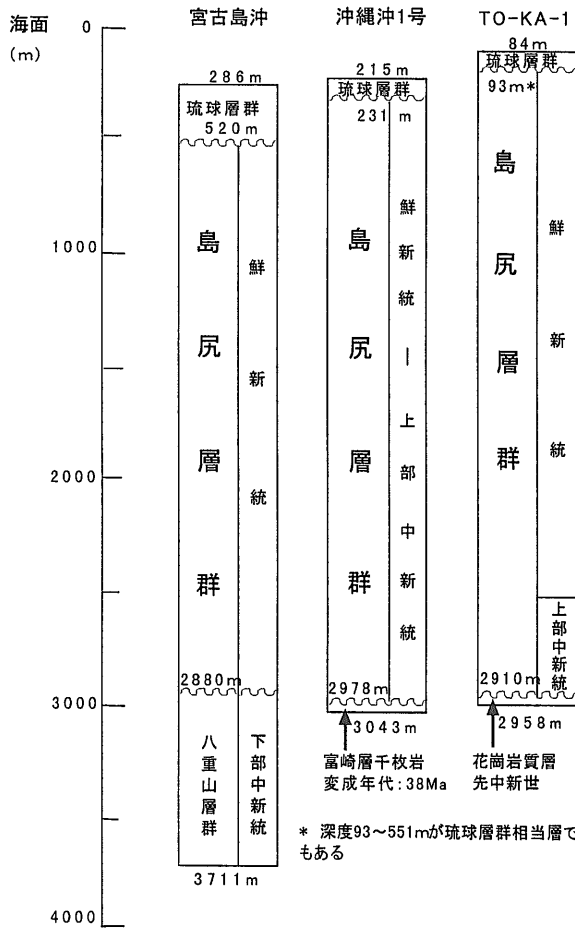
調査海域は、北は九州長崎の野母崎西方沖合から南端の琉球海溝軸付近まで(32° 50' N～23° 27' N)、東は種子島東方沖合から西端の与那国島



第2図
音波探査測線図。
図中の沖縄西方海域 3-1,3-2,3-3測線、沖縄西方海域 8測線および沖縄013測線は、地質断面図(第7図)を作成した測線を示す。
四角は試掘井の位置を示す。
M:宮古島沖,
O:沖縄沖1号,
T:TO-KA-1.

第2表 試掘井の概要.

海域区分	中部沖縄トラフ	琉球地背斜区南部	
試掘井名	基礎試錐「宮古島沖」	沖縄沖1号	TO-KA-1
調査年	昭和55年	昭和53年	昭和51年
実施者	通商産業省	ガルフ-石油	新日本石油開発(株)
位置			
緯度	24° 46' 19.868"	25° 40' 29.09"	29° 16' 22.2"
経度	125° 41' 48.399"	126° 42' 36.58"	128° 55' 29.6"
音波探査測線上の位置	Q90-DSP8477	Q90-DSP3070	Q90-BSP358 T80-15SP500
水深	286m	215m	84m
掘止深度	3,711m	3,043m	2,958m



第3図
試掘井の地質層序。
古川(1991)を元に書
き加えたもの。

北東沖合まで(131° 15' E~123° 26' E)の琉球弧
周辺海域ほぼ全域であり、琉球弧を構成する多くの
島々を取り巻く浅海域から琉球海溝の深海底に
至るまでの広範囲な海底地形が含まれている。し
かし、本調査は石油公団が将来の石油および天然
ガス探鉱のために、主として琉球弧周辺域の堆積
盆地の形態、地質構造の概要を把握するための基
礎調査として実施したものであるので、音波探査測

線(第2図)は沖縄トラフや各島周辺で密であり、琉
球海溝側に少ない。

また、抗井データについては、昭和55年度基礎
試錐「宮古島沖」を主として、昭和51年「TO-KA-
1」、昭和53年「沖縄沖1号」の調査結果を使用し
た。これらの調査概要を第2表、第3図に示す。

本海域は、石油および天然ガス貯蔵の可能性は
もとより、沖縄トラフが大陸縁辺に位置し、かつリフ

ティングの段階にある現在も活動的な背弧海盆であることから、島弧-背弧海盆系の形成過程、特にその形成初期のメカニズムを明らかにするために重要な地域である。

本研究の対象となる音波探査記録について再解析を行った。層序決定の出発点は、「宮古島沖」を主として、「沖縄沖1号」、「TO-KA-1」の試掘井と重なる測線(第2表)とし、これらの記録断面上で島尻層群および第四系の基底面を決定した。次に、それぞれに交差する測線へ、これら基底面を追跡した。この際、記録の濃淡の差、層理の有無、透明層と不透明層等の記録断面上の特徴に十分留意し、試掘井が存在しない地層を直接対比できない地域についても、島尻層群および第四系を音響上の特徴から推定した。そして、すべての交差しあう測線について、地層境界の整合性を確認するとともに、既存の海底地質図(本座, 1977)や堆積層厚図(氏家, 1986; Kimura, 1988)および過去の基礎物理探査調査報告書(例えば、石油公団, 1991)等を参考に全体の妥当性を検討した(第3図)。

また、本研究では、島尻層群より下位の層(例えば八重山層群や古第三系など)は全て音響基盤(以下、「基盤」という)として扱っている。さらに、島尻層群および第四系が堆積していない貫入岩体あるいは海底火山の頂部なども基盤として扱った。

こうして作成した断面図において、SP(ショット・ポイント)100毎に島尻層群および第四系の堆積層厚を計算した。層厚計算では、各地層内の地震波伝播速度と基底面反射時間との積(ただし、記録断面上の時間は往復走時なのでこれを1/2する)により求めた。地震波伝播速度は、記録断面上の stacking velocity の平均値から島尻層群は2,100m/sec、第四系は1,520m/secという値を使用した。この値は基礎試錐「宮古島沖」で確認された島尻層群および第四系の地震波伝播速度に矛盾しないものである。

以上のように計算した層厚値を、測線の載った地形図(1:500,000)にプロットし、島尻層群は1,000m毎(ただし、0~200m層のコンターも引いた)、第四系は200m毎に等層厚線のコンタリングを行った。新第三系島尻層群および第四系の層厚図を、それぞれ第4図、第5図として示す。

また、記録断面上で反射面の不連続(層状パタ

ーンのずれや消失)がある場合、交差測線、平行測線への追跡、地形的傾斜の変換点、深度の大きなずれ等を考慮した上で断層を表示した。そして、本研究の対象となる島尻層群および第四系にみられる断層および褶曲を選び出し、地質構造図(第6図)を作成した。

さらに、琉球弧-沖縄トラフの北部、中部、南部の島弧を横断する方向の比較的長い3本の測線(沖縄西方海域3-1, 3-2, 3-3; 沖縄西方海域8; 沖縄013)について、それぞれ地質断面図(第7図)を作成した。

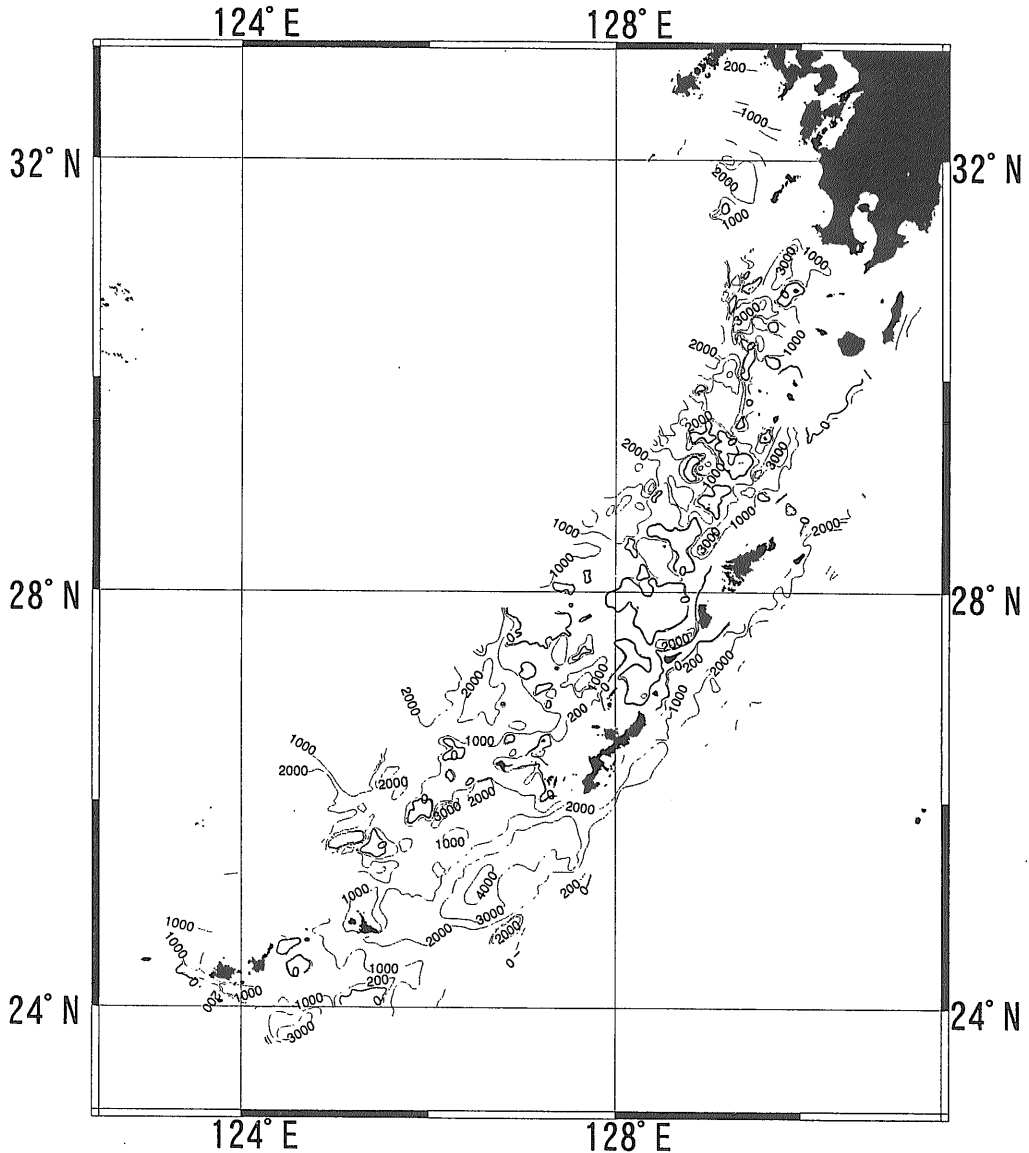
4. 海底地形・地質

琉球弧は九州西方から台湾に伸び、約1,200kmの長さを有する。琉球弧はその周辺海域を含めて北東-南西に延びる帯状の地形区に区分でき、西から順に東海陸棚、沖縄トラフ、琉球弧(火山帯である内帯および狭義の琉球弧である外帯に分かれる)、琉球海溝と区分される(小西, 1965; 相場・関谷, 1979)。本研究では、このうち主に沖縄トラフ、琉球弧を研究対象としている。

沖縄トラフは、九州西方の男女海盆から台湾北部に至る長大な凹地であり、トカラ海峡および慶良間海裂(宮古凹地)の延長部により北部、中部、南部に境される。

沖縄トラフ北部は、九州西方からトカラ海峡までの水深1,000m以浅の海域である。沖縄トラフ中部は、トカラ海峡から慶良間海裂(宮古凹地)までの水深1,000~2,000mの海域で、多数の海丘、海山により起伏に富んだ地形を呈する。伊平屋海丘群では多数の火成岩の貫入、活発な熱水活動がみられる。沖縄トラフ南部は、水深2,000m前後の平坦な地形が優勢だが、海底地溝および海山や海丘もみられる。海底地溝は階段状断層をもち、北東側から順に宮古海底地溝、八重山海底地溝、与那国海底地溝に区分される(ただし、本調査の測線は八重山海底地溝および与那国海底地溝にはない)。海山のうち、小野寺海山(宮古海山)は、比高1,200mにも達する高まりとなっている。沖縄トラフの最深部は宮古島北西で2,270mに達する。

トラフ軸は、沖縄トラフ北部および中部では北東-南西、沖縄トラフ南部では東北東-西南西を呈



第4図 島尻層群の層厚図. コンターは1,000m間隔(ただし, 0~200mのコンターも引いた).

する。また、沖縄トラフ全般に北西側の陸棚斜面には海底谷が発達している。

琉球弧は、沖縄トラフに平行に北東-南西に延び、それに直交する北西-南東方向の凹地であるトカラ海峡および慶良間海裂(宮古凹地)により、沖縄トラフと同様に、北部、中部、南部に分かれる。琉球弧は見かけ上、北部および中部において硫黄島を南限として、内帯(火山帯)および外帯(狭義の琉球弧)とにさらに細分される。南部では見かけ上、内帯が欠如しているが、火山フロントが和

達-ベニオフ帯の100km前後の深さに相当するように硫黄島を通して南方へ台湾付近まで延長しているとも考えられている(木村, 1990)。外帯南部では、200m等深線で石垣島と西表島が、また宮古島と多良間島がつながっており、500m等深線で与那国島を除く全ての先島群島が連続し、かなり広く浅い平坦面が認められる。

琉球海溝は、南海トラフから琉球弧にほぼ沿って台湾東方沖に連続している。琉球海溝北部では、北東から南西へ向かって徐々に水深を深くし、

海盆地形を呈する。琉球海溝南部では、北部よりさらに深度を増し、水深6,000mを超える海溝地形を呈し、最深部は水深7,790mを示す。海溝軸付近は、平均水深6,500m程度の平坦面が認められる。また、南部では、琉球弧と琉球海溝の間に水深2,000～3,000mの深海平坦面が顕著に発達している。

琉球弧の陸海域には、石垣層群や本部層などの中・古生界、宮良層群や嘉陽層などの古第三系、下部中新統八重山層群および上部中新統～鮮新統島尻層群からなる新第三系、第四系琉球層群および火山岩類が分布する。各層序は、木崎(1985)、氏家(1990a, 1990b, 1990c)らにより記載されている。

5. 海底層序・分布

第四系の記録断面上での反射パターンは連続性の良い成層構造を示し、断層や褶曲などによる変形はほとんどみられない。下位層にはオンラップし、また海盆縁辺部や海山の周辺では音響基盤にアバットし、凹地を埋めるように堆積している。木村ほか(1980)や木村(1990)に従い、本層をB層とする。

島尻層群は、記録断面上において比較的連続性が良い反射面からなる成層構造を示すことが多いが、第四系とは異なり多数の断層によって変形している。層内に複数の不整合が認められることがあり、本層の基底面を見極めにくくしている。島尻層群は、基盤の張り出しがみられる海域と陸地に近い浅海域には分布せず、それ以外の海域に分布している。木村ほか(1980)に従い、本層をC層とする。また、音響基盤と一括している層をD層とする。

以上のような記録断面上の特徴をもつ各層の基底面と試掘井の区分された層序とを対比し、島尻層群および第四系の基底面を決定した。基礎試錐「宮古島沖」のほか、「沖繩沖1号」および「TO-KA-1」でも同様な作業を行い、島尻層群および第四系の基底面を決定し、それぞれの測線に交差する測線について基底面の追跡を行った。

基礎試錐「宮古島沖」(第2表)では、深度3,711mまでの掘削により、海底下における八重山

層群、島尻層群および琉球層群の存在が確認されている(第3図)。また、石灰質ナンノ化石、浮遊性および底生有孔虫による年代測定が行われ、これに物理検層データを加味して層序区分が行われている(石油公団, 1980b, 1991; 円谷・佐藤, 1984)。

深度286m～520m間は、中～粗粒の灰白色砂岩で、時に細礫質、石灰質からなる琉球層群である。*Globorotaria truncatulinoides*の産出により、BlowのN-22帯に相当し、その年代は更新世である。

深度520～2,880m間は、泥岩を主とし、シルト岩、砂岩および凝灰岩からなる島尻層群である。年代的には、鮮新世前期～後期にわたる。泥岩は、下部から上部に向かって灰色から淡灰色を示し、シルト岩は褐灰色で石灰質および軟質、砂岩は中粒～粗粒、凝灰岩は淡灰色を示す。海面から2,880mの不整合面を基底面としたが、ここより下位では、砂岩が出現し始めるという岩相の変化に加え、浮遊性および底生有孔虫が激減する。また、地層の傾斜方向が境界面より上位では南東であるのに対し、それより下位では北西となっている。

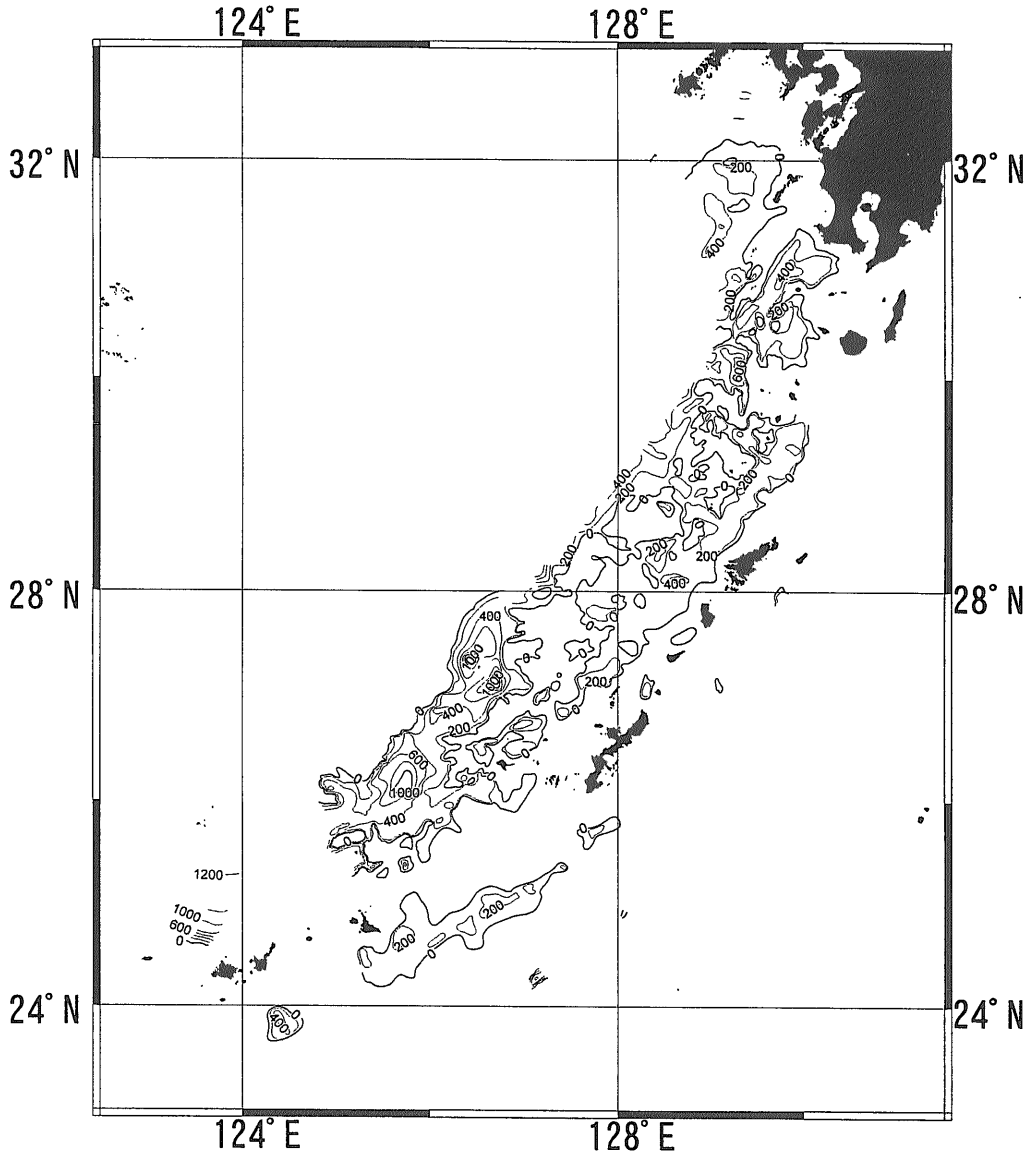
深度2,880～3,711m間は、八重山層群からなる。上部は挟炭層で化石をほとんど含まない。底生有孔虫化石から汽水の影響を受けた内湾性の堆積環境が示唆される。深度3,265m～3,295mの石灰岩の上限より下位の八重山層群下部は、*Praeorbulina* spp., *Globigerinoides sicanus*が認められ、また、*Catapsydrax dissimilis*も産することから、BlowのN-6～N-8帯に相当し、その年代は中新世前期である。

基礎試錐「宮古島沖」のほか、「沖繩沖1号」および「TO-KA-1」の層序区分も第3図に示した。

本調査海域について、島尻層群の堆積物層厚図および第四系層厚図をそれぞれ第4図、第5図に示した。本調査海域(主に沖繩トラフおよび琉球弧)を「4.海底地形・地質」で述べたように北部、中部、南部に分け、以下順に述べていく。

島尻層群(島尻層群相当層を含む)

北部では、西側に測線がなく、東海陸棚斜面および沖繩トラフのトラフ軸以西については不明である。沖繩トラフ北端の男女海盆で基盤の凹地(31° 50' N, 129° 50' E付近)を中心に3,000mを



第5図 第四系の層厚図. コンターは200m間隔.

超す厚さの島尻層群が認められる。トカラ海峡までの海域では、沖縄トラフのトラフ軸付近の最大層厚約4,000mから東方の琉球弧に向かって、層厚が薄くなる。そして、北東-南西方向の基盤隆起部が存在し、外帯までの比較的平坦な部分に再び3,000mを超す厚さの堆積層をもつ海域が認められる。

中部は、沖縄本島北西域にある伊平屋海丘群周辺の第四系の堆積のない基盤隆起部を境として、さらに北域(トカラ海域)と南域(沖縄本島西方海域)とに細分される。トカラ海域では、沖縄トラフの

トカラ堆積盆地および奄美大島西方の奄美堆積盆地に層厚3,000mを超す堆積層がある。伊平屋海丘群周辺では、基盤が露出している海域もあるが、層厚1,000m以内の薄い堆積層が広く分布している。この海域には第四系がほとんど堆積していないことから、島尻層群堆積後の隆起・火山活動が示唆される。これは、Kimura *et al.* (1986)などの第四紀の噴火活動があるという指摘に矛盾しない。沖縄西方海域では、トカラ堆積盆地や奄美堆積盆地と同様に、トラフ内に3,000mを超す島尻層群が

堆積している。

南部では、琉球弧前縁部にある宮古島東方の深海平坦面下で島尻層群が厚く堆積しているのが特徴的である。層厚は、今回の調査海域で最大の4,000mを超える。この海域は、島尻層群堆積後の隆起運動があまり激しくなかったか、あるいは全くなかったものと考えられる。また、琉球弧前縁部については、石垣島南方にも3,000mを越す厚い堆積が認められる。しかし、琉球海溝方向への島尻層群の東限は明らかではない。沖縄トラフ内では、海山および海丘などの基盤隆起部を除き、2,000m前後の層厚をもつ。東海陸棚と沖縄トラフ間の斜面は、基本的には断層崖で、部分的に島尻層群の露出が認められる。

島尻層群は、沖縄トラフ中部のトカラ堆積盆地および宮古島東方沖の琉球弧前縁部の2ヶ所で4,000m超の最大層厚をみせ、琉球弧内帯の基盤隆起部で堆積がない海域を除いて、本海域全域に分布する。後述する第四系が凹地を埋めるように堆積する傾向であるのに対し、島尻層群の層厚は、主に堆積後の隆起・浸食の程度に関係して変化するものと考えられる。

第四系

沖縄トラフ北部では、西側に測線がないため、東海陸棚斜面および沖縄トラフのトラフ軸以西について、島尻層群と同様に第四系の分布は不明である。沖縄トラフ北端の男女海盆では、北から南に向かって、かつトラフ軸中央に向かい第四系が厚くなる傾向が認められる。沖縄トラフのトラフ軸の方向は、トカラ海峡を境に北部では、北北東-南南西を示す。第四系は、その方向に沿って帯状に分布している。すなわち、トラフ軸付近で厚く、琉球弧内帯と沖縄トラフ間の斜面で薄く、内帯と外帯間の比較的平坦な海域でまた厚くなっており、その最大層厚は500mを超える。また、外帯で第四系の堆積層は極めて薄い。

中部のトカラ海域では、北東-南西方向であるトラフ軸付近のトカラ堆積盆地でトラフ軸を中心に第四系が厚く堆積しているように見える。トカラ堆積盆地と基盤隆起地域を隔てた東側に位置する奄美堆積盆地でも、第四系は比較的厚い。さらに、東側の琉球弧外帯にはそれを欠くか、あるいは非常に

薄い。本海域での最大層厚は、沖縄トラフでの凹地を埋めるようにして堆積しており、約500mである。沖縄本島西方海域では、トラフ北西側の東海陸棚斜面には第四系は記録上堆積していないように見える。また、琉球弧外帯にも堆積していないように見える。一方、沖縄トラフの中軸部付近を中心として、最大で1,000mを超える堆積層が2ヶ所認められる。

琉球弧を中部と南部に隔てる慶良間海裂(宮古凹地)は、最大1,200mの比高をもつが(松本ほか, 1996),ここに第四系は堆積していない。

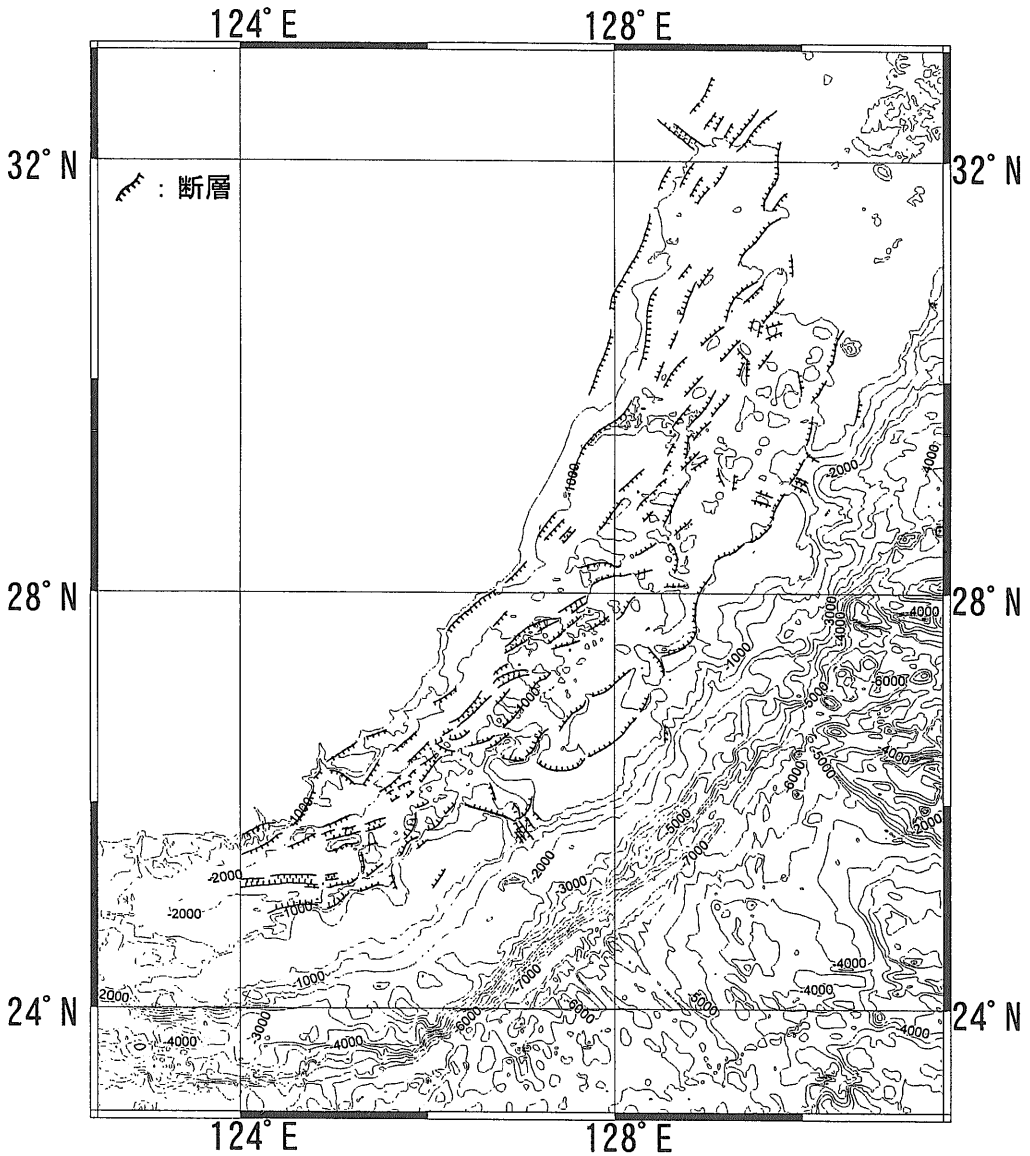
南部では、中部と同様、東海陸棚斜面および琉球弧外帯には第四系が堆積していないように見える。沖縄トラフ内は、中部と比べ比較的平坦であり、測線が存在しない海域があるものの、その深所に向かって第四系が厚くなるのが推定される。最大層厚は、トラフ軸付近で1,000mを超える。トラフ内でも、小野寺海山(宮古海山)のような隆起部分には堆積していない。トラフ軸の方向は、この小野寺海山(宮古海山)付近を境にして、東北東-西南西に変化するよう見える。この他、琉球弧前縁部にも最大約400mに達する第四系が存在する。

概して、第四系は最大層厚1,000m超の沖縄トラフの凹地、堆積のない琉球弧内帯の新时期(後期更新世以降に活動)火山群、内帯と外帯に挟まれるように存在する狭い堆積盆地、堆積のない琉球弧外帯といった北東-南西方向の帯状分布が認められる。これは、海底地形の凹凸を反映しているものと考えられる。

6. 地質構造

本調査海域の北部、中部、南部について、それぞれ地質断面図を作成した。北部は、沖縄西方海域(昭和50年度調査)3-1、3-2および3-3測線をつなぎ、中部、南部は、それぞれ沖縄西方海域8測線および沖縄(昭和48年度調査)013測線について断面図の作成を行い(第2図)、第7図として示す。また、島尻層群および第四系に見られる主要な断層等を地質構造図として第6図に示した。

本調査海域の断層系は、おもに琉球弧や沖縄トラフの軸方向に沿った北東-南西系を主としているが、松本(1976)ほかがかねてから指摘している



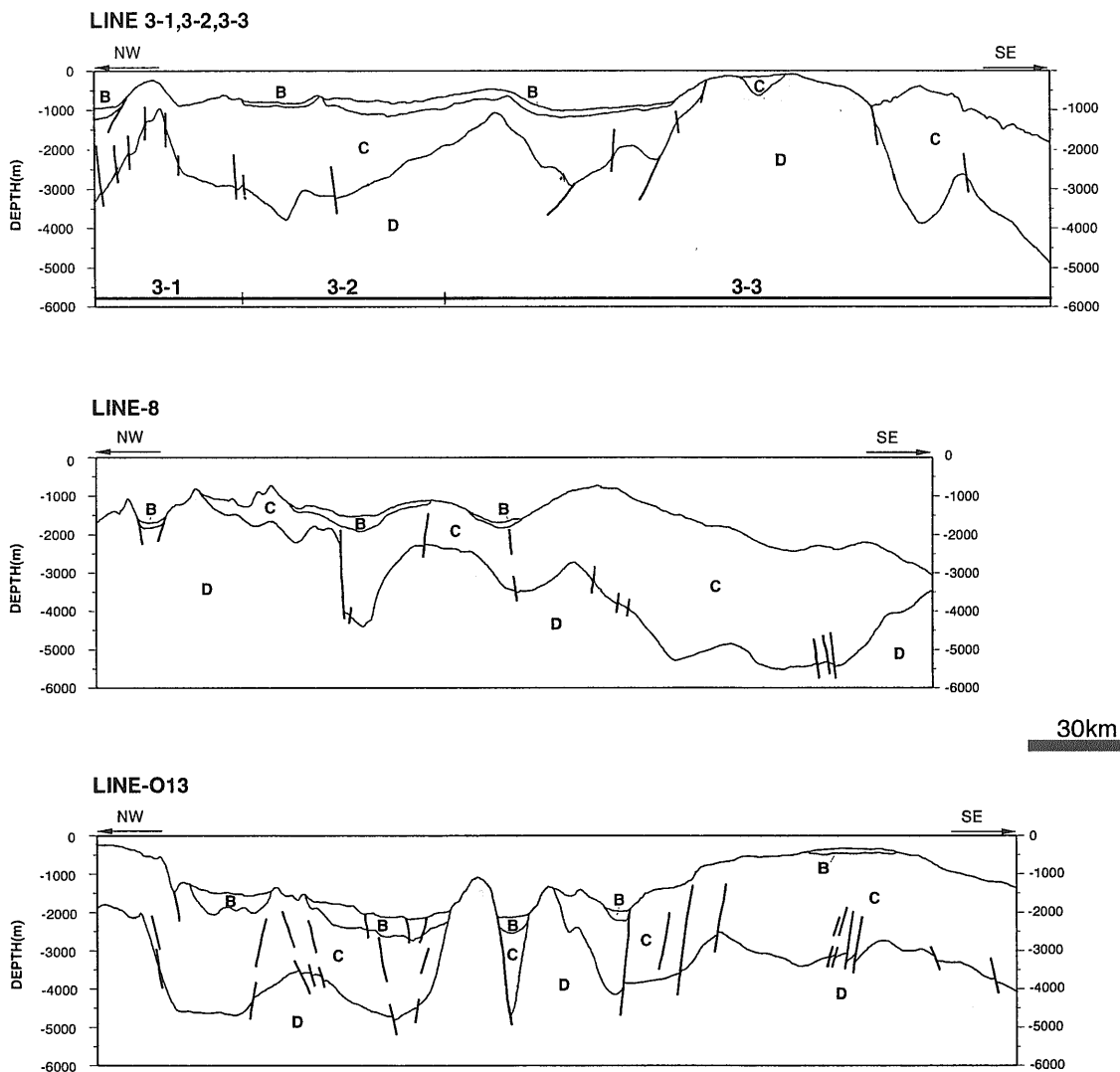
第6図 地質構造図.

ような島弧に直交する方向である北西-南東系の断層も、少数だがいくつか認められる。北西-南東系の断層については、北東-南西方向の測線が相対的に少なく、それぞれの測線間の距離が長いので発見・追跡が難しく、確認できない断層が多数ある可能性はある。

記録断面上から正断層と判断される断層が見られること、本海域が現在張力場であると考えられている(例えば、Nash, 1979)ことから、そのほとんどが正断層であると思われる。また、記録断面上か

ら横ずれ断層を見つけ出すことはできなかった。

第6図に示されるように、沖縄トラフ中軸部に地溝(グラーベン)が雁行状に発達する。これを中央地溝とする。竹下ほか(1990)は一般に、リフティングの初期には少なくともマントルプリュームの上昇、リソスフェアの対流・加熱薄化が起こると述べている。中軸部の中央地溝(中央リフト)は、プルームの上昇によって地殻が押し上げられて生じた可能性がある。海底地溝内の褶曲は、トラフ南部には認められず、トラフ中・北部にだけ認められるが、トラフ



第7図 地質断面図. これら測線の位置は第2図に示す. B: 第四系, C: 島尻層群, D: 基盤.

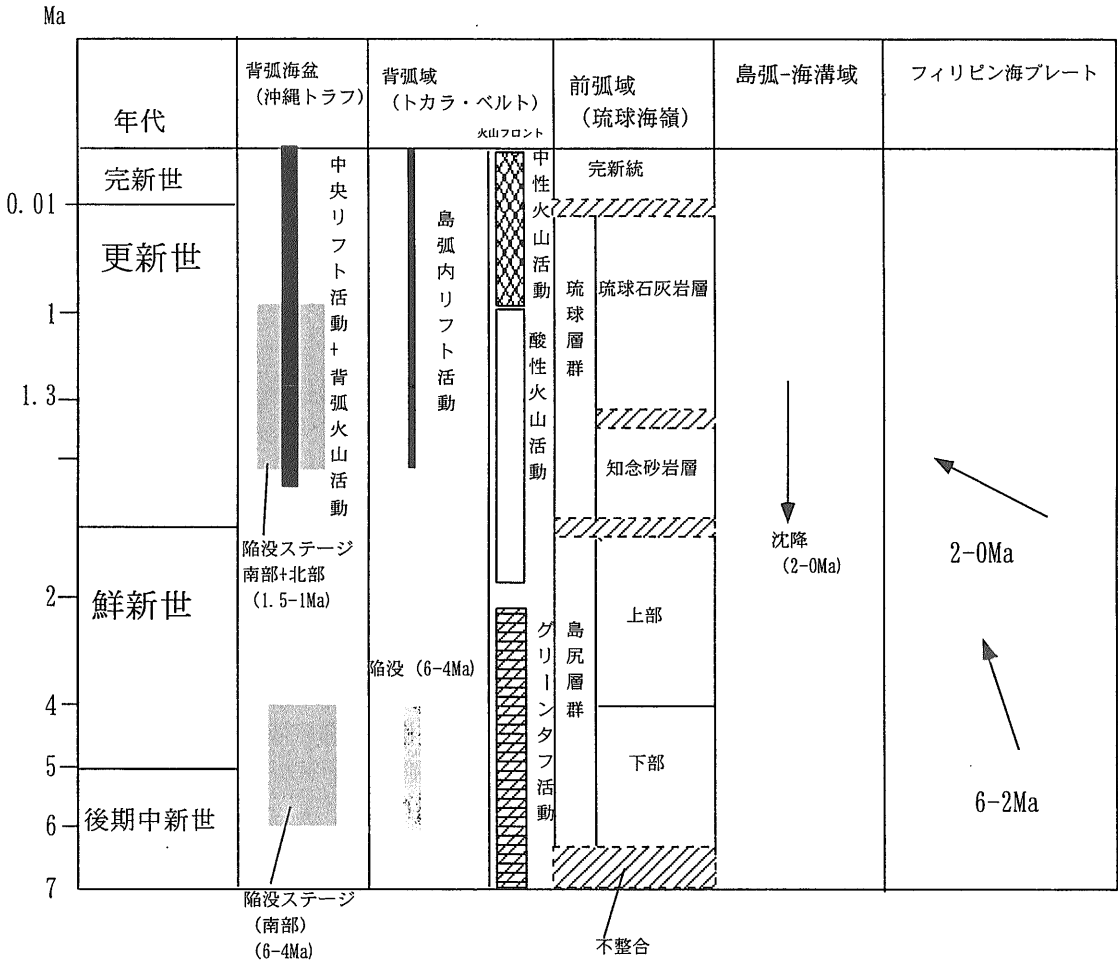
中・北部が、比較的新しいリフトでリフティングの初期段階なのに対し、トラフ南部がリフティングの最終過程で受動的引っ張り、あるいは隆起による重力崩壊により沈降しているとも考えられる。あるいは、逆にリフティングによる受動的な地殻薄化によって、より密度の大きいマントルが上昇し、アイススタシーによる地表の沈降および堆積盆地の形成という現象が、トラフ南部では既に起こっているとも考えられる(山路・竹下, 1989)。いずれにしろ、トラフ南部のリフティングがトラフ中・北部よりも早い時期に起こったことは確実だと考えられる。

以下、本調査海域の断層系(第6図)について、北側から順に見ていく。

北部では、沖縄トラフ内に北東-南西系の断層が顕著である。これら断層の多くは、島尻層群だけでなく第四系にも達しており、現在も活動している可能性が高い。北端の男女海盆では、断層系の方向が北北東-南南西に変化しているようである。

中部でも、沖縄トラフ内に北東-南西方向の数列に並ぶ断層が顕著である。この断層は、堆積盆地の両側斜面に認められ、堆積盆地の形態を左右する要因となっている。また、東側では島尻層群までの地層に変位をもたらしていると考えられるが、西側に向かうと上位の第四系まで達するものが多くなるようである。北側のトカラ堆積盆地では、第6図に示すほかに、多数の落差の小さい断層が認め

第3表 地質発達史.



られる。試掘井「TO-KA-1」は、トカラ堆積盆地内の地塁に位置するが、第7図に示すように島尻層群が2,000m以上も堆積しており、かつ上部に琉球石灰岩が認められていることから、この周辺の地塁・地溝の形成は、琉球石灰岩形成後の新しい運動によるものだと考えられる。

南部で断層系の存在が確認できるのは、測線がある小野寺海山(宮古海山)以東である。沖繩トラフ内では、沈降帯の発達が顕著となっている。北西-南東方向の記録断面上では、陸棚斜面、基盤隆起部(海山など)あるいは沖繩トラフ東側斜面などを両端にして沈降し、堆積物、特に第四系が厚く堆積していることがわかる。沈降軸部は北東-南西方向に伸び、その方向に雁行するが、小野寺海山(宮古海山)は、東北東-西南西方向を向いてい

る。断層の多くは、島尻層群より下位の層を切っているが、第四系の水平層の基底までで止まっているとみられる。また、沖繩トラフから琉球弧へ至る斜面上に、地形の形態を決定するような北東-南西方向の断層が認められる。これらは、斜面の傾斜方向と同じ北西落ちとなっている。

以上のほか、トカラ海峡、慶良間海裂(宮古凹地)付近および琉球弧南部の島弧前縁部に北西-南東系の断層が認められる。

7. 考察 - 発達史 (とくに沖繩トラフについて) -

本調査海域について、前述した地質分布および地質構造に基づき、おもに中新世後期以降の発達史の考察を試みる(第3表)。

中新世前期に南部は浅海性環境にあり、八重山層群が堆積した(氏家, 1990c)。八重山層群上には島尻層群が累重するが、その境界は微化石年代や音波探査の反射面および試掘井データからも明らかな不整合である。したがって、中期中新世の間に琉球弧南部が陸化し、浸食作用を受けた後、中新世後期になって沈降がはじまり、島尻層群が堆積しはじめたと考えられる。

中新世末期あるいは鮮新世中期以降、更新世初期にかけては、大規模な沈降あるいは海水準の上昇(島尻海進)が起き、島尻層群が厚く堆積した(河名, 1989)。沖縄トラフでは、北部から南部にかけて島尻層群から第四系まで断層が及んでいることから、中新世末期以降にトラフの原型となる凹地の形成が起こったのは明らかである。

南部では、宮古島東方沖の琉球弧前縁部に堆積盆地の中心が認められる。この海域は、第四系の堆積量は少ないにもかかわらず、島尻層群の堆積量が多いのが特徴であるが、沖縄トラフの沈降が島尻層群堆積末期以降、すなわち鮮新世末期から更新世初期に起こったとすると、東海陸棚からの堆積物がこの海域に多量に堆積できたとしても不自然ではない。これは、沖縄トラフ(新沖縄トラフ)が2-1.5Ma頃形成されたとする説(木村, 1990)や、沖縄トラフの沈降が島尻層群の隆起浸食後に起きたとする考え(Park et al., 1998)に矛盾しない。

一方、島尻層群の堆積の発達は、沖縄トラフ中部のトカラ堆積盆地にも認められる。前述のように、沖縄トラフが鮮新世末期以降に沈降したとすると、この海域の島尻層群はどういった理由で堆積したのだろうか。

トカラ堆積盆地東側の琉球弧内帯では、島尻層群および第四系の堆積がほとんど認められない。また、記録断面上この海域には基盤の露出が多くみられる。このため、トカラ堆積盆地では、東海陸棚からの堆積物が隆起した内帯によってせき止められるようにして、島尻層群が大量に堆積したものと推定される。

松本(1983)は、琉球弧内帯の久米島以北に認められる中新世グリーンタフ～鮮新世・更新世前期火山岩類の火山活動について述べている。それによれば、琉球弧内帯では、島尻層群堆積期間に火山活動が起きたとされている。沖縄トラフ中部にお

けるトカラ堆積盆地の形態は、宮古島東方沖の琉球弧前縁堆積盆地に比べて、小規模な亜堆積盆地の散在を特徴としている。したがって、琉球弧内帯の基盤の高まりや小規模な亜堆積盆地の形成は、中新世～更新世前期の火山活動に関連したものである可能性がある。

また、奄美堆積盆地では、断層は島尻層群を切っただけで第四系にまで及んではない。したがって、鮮新世後期頃までに構造運動はほぼ終了したと考えられる。

鮮新世末期から更新世初期にかけ沖縄トラフが沈降するとともに、琉球弧は隆起し(島尻変動)、相対的な海水準の低下で浅海性環境になった。沖縄トラフにより東海陸棚からの堆積物の供給がなくなった琉球弧外帯では、その後(更新世中期以降)、サンゴ礁が生育できる環境となり、これによって琉球石灰岩をはじめとする琉球層群が堆積するようになった(河名, 1989; 氏家, 1990d)。

沖縄トラフでは、東海陸棚から大陸起源の堆積物の供給を受け、第四系が厚く堆積する場となった。特に、伊平屋海丘群以南の沖縄トラフでは、第四系の堆積が顕著である。このことは、「6. 地質構造」で述べたように、沖縄トラフ南部のリフティングがトラフ中・北部よりも早い時期に始まり、既に沈降帯になっているという考えに符合する。そして、現在、トラフ中・北部のリフティングは初期段階にあると考えられる。

以上に述べたような沖縄トラフを中心とした中新世後期以降の構造運動、特に鮮新世末期あるいは更新世初期に始まったと考えられる沖縄トラフの沈降は、ルソン弧の台湾との衝突に起因する可能性もある(Letouzey and Kimura; 1985, 1986)。しかし、現時点では、音波探査記録は比較的豊富にあるものの、海底下の地質に関する直接的な証拠に乏しい。そのため、今後は深海掘削などの直接データに基づく検証が必要だと考えられる。

8. まとめ

琉球弧周辺の音波探査および試掘井調査記録の解析・解釈を行い、この海域の音響層序と地質構造を明らかにした。

島尻層群は沖縄トラフ中部のトカラ堆積盆地およ

び宮古島東方沖の琉球弧前縁部で4,000mを超える最大層厚をもつ。一方、伊平屋海丘群で、1,000m以下の薄い堆積がみられ、海山や海丘ではほとんど堆積がみられない。

第四系は琉球弧および沖繩トラフの伸長に沿った北東-南西方向の帯状分布が認められた。第四系は、凹地を埋めるように厚く堆積する傾向があり、沖繩トラフで厚く、琉球弧の内帯および外帯の基盤隆起部で薄い。伊平屋海丘群以南の沖繩トラフで、1,000m超の最大層厚をもつ海域が2ヶ所みられた。

沖繩トラフの断層系は、おおむね北東-南西方向の正断層であった。沖繩トラフ中・北部では海底地溝(中央グラaben)内に背斜があり、トラフ南部ではトラフ軸付近に沈降帯の発達が顕著にみられた。

以上の結果から、沖繩トラフは、宮古島東方沖の堆積盆地に島尻層群が厚く堆積した後、すなわち鮮新世末期か更新世初期に沈降が開始したと考えられる。また、トカラ堆積盆地では、東海陸棚からの堆積物が琉球弧内帯の基盤の高まりによりせき止められるようにして、島尻層群が厚く堆積したと推定できる。琉球弧内帯の基盤隆起は、この海域にみられる火山活動に関連している可能性がある。

沖繩トラフ南部では、トラフ中・北部より早い時期にリフティングが起こったと考えられる。トラフ中・北部の背斜は、リフティングの初期段階でのマントルの上昇によるドーミングと考えられ、トラフ南部の沈降帯の発達は、リフティングの最終段階にあたるものと考えられる。

文 献

- 相場博一・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, vol.44, p.329-340.
- 古川雅英(1991): 琉球弧と沖繩トラフの発達史 -とくに沖繩トラフの形成年代について-。地学雑誌, vol.100, p.552-564.
- Halbach P., Nakamura K., Wahsner M., Lange J., Sakai H., Kaselitz L., Hansen R.D., Yamano M., Post J., Prause B., Seifert R., Michaelis W., Teichmann F., Kinoshita M., Marten M., Ishibashi J., Czerwinski S. and Blum N. (1989): Probable modern analogue of Kuruko-type massive sulphide deposits in the Okinawa Trough back-arc basin. *Nature*, vol.338, p.496-499.
- Hirata N., Kinoshita H., Katao H., Baba H., Kaiho Y., Koresawa S., Ono Y. and Hayashi K. (1991): Report on DELP 1988 cruises in the Okinawa Trough, Part3, Crustal structure of the southern Okinawa Trough. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, vol. 66, p. 37-70.
- Honza E. ed. (1976): Ryukyu Island (Nansei-syoto) Arc, GH75-1 and GH75-5 Cruises. *Geol. survey of Japan, Cruise Rept.*, no.6, pp.81.
- 本座栄一(1977): 琉球島弧周辺広域海底地質図(1:1,000,000), 地質調査所.
- Ishikawa M., Sato H., Furukawa M., Kimura M., Kato Y., Tsugaru R. and Shimamura K. (1991): Report on DELP 1988 cruises in the Okinawa Trough, Part2, Petrology of volcanic rocks. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, vol.66, p.151-177.
- 岩崎貴哉・島村英紀・金澤敏彦・平田直・末広潔・卜部卓(1990): 琉球島弧1984年日独共同海底地震観測の成果。月刊地球, vol.12, p.254-261.
- 加藤幸弘・大島章一・高梨政雄・加藤茂・岡崎勇・春日茂・林田政和・金子康江・瀬田英憲(1989): 南西諸島周辺の地形・地球物理学的特徴。月刊地球, vol.11, p.597-603.
- 河名俊男(1989): 琉球列島の第四紀地殻変動。月刊地球, vol.11, p.618-630.
- 木村政昭・本座栄一・植田修・下柳田和人・玉城勉(1980): 沖繩舟盆中・北部および周辺の地質層序・構造。琉球列島の地質学研究, vol.5, p.133-166.
- 木村政昭(1983): 沖繩トラフの陥没構造形成に関する考察。地質学論集, vol.22, p.141-157.
- Kimura M., Kaneoka I., Kato Y., Yamamoto S., Kushiro I., Tokuyama H., Kinoshita H., Isezaki N., Masaki H., Oshida A., Uyeda S. and Hilde T.W.C. (1986): Report on DELP 1984 cruises in the Middle Okinawa Trough, Part, Topography and geology of the Central Gravens and their vicinity. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, vol.61, p.269-310.
- Kimura M. (1988): Submarine geology of the Nansei Islands. *Modern Geology*, vol.12, p.435-447.
- Kimura M., Uyeda S., Kato Y., Tanaka T., Yamano M., Gamo T., Sakai H., Kato S., Izawa E. and Oomori T. (1988): Active hydrothermal mounds in the Okinawa Trough Back-arc Basin, Japan. *Tectonophysics*, vol.145, p.319-324.
- Kimura M., Furukawa M., Izawa E., Ishikawa M., Kuramoto S., Sakai H. and Uyeda S. (1991): Report on DELP (1988), cruises in the Okinawa Trough, Part 7, Geologic investigation of the central rift in the middle to southern Okinawa Trough. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, vol.66, p.179-209.
- 木村政昭(1990): 沖繩トラフの発生と形成。地質学論集, vol.22, p.77-88.
- 木崎甲子郎(1985): 琉球列島の地質構造概観。琉球弧の地質誌・木崎甲子郎編, 278pp. 沖繩タイムス社。沖繩, p.11-18.
- 小西健二(1965): 琉球列島(南西諸島)の構造区分。地質学雑誌, vol.71, p.437-457.
- Lee C.S., Shor G.G., Bibee L.D., Lu R.S. and Hilde T.W.C. (1980): Okinawa Trough, Origin of a back-arc basin. *Marine Geology*, vol.35, p.219-241.
- Letouzey J. and Kimura M. (1985): Okinawa Trough Genesis, Structure and Evolution of Backarc basin development in a continent. *Marine and Petroleum Geol.*, vol.2, p.111-130.
- Letouzey J. and Kimura M. (1986): The Okinawa Trough, genesis of back-arc basin developing along a continental margin., *Tectonophysics*, vol.125, p.209-230.
- 松本剛・木村政昭・仲村明子・青木美澄(1996): 琉球弧のトカラギャップおよびケラマギャップにおける精密地形形態。地学雑誌, vol.105, p.286-296.
- 松本達郎(1976): 南西諸島と南西日本の地質学的関係。琉球列島の

- 地質学研究, vol.1, p.1-8.
- 松本征夫 (1983) : 琉球列島における新生代火山活動. 地質学論集, vol.22, p.81-91.
- 三木雅子 (1991) : 古地磁気からみた沖縄トラフの形成モデル. 上田誠也教授退官記念論文集 - 活動的縁辺域 -, 月刊地球, 号外, vol.3, p.212-216.
- Miki M. (1995) : Two-phase opening model for the Okinawa Trough, inferred from paleomagnetic study of the Ryukyu arc. *Jour. Geophys. Res.*, vol.100, p.8169-8184.
- Miki M., Matsuda T. and Otofujii Y. (1990) : Opening mode of the Okinawa Trough, paleomagnetic evidence from the South Ryukyu Arc. *Tectonophysics*, vol.175, p.335-347.
- Nash D. F. (1979) : The geological development of the North Okinawa Trough area from Neogene times to recent. *Jour. Japan. Assoc. Petrol. Tech.*, vol.44, p.341-351.
- Park J.O., Tokuyama H., Shinohara M., Suyehiro K. and Taira A. (1998) : Seismic record of tectonic evolution and backarc rifting in the southern Ryukyu Island Arc system. *Tectonophysics*, vol.294, p.21-42.
- 笹嶋貞雄 (1977) : 琉球弧西南日本における始新統の古地磁気 - とくに西フィリピン海盆と関連して -. *海洋科学*, vol.9-9, p.19-26.
- 石油開発公団 (1973a) : 昭和47年度大陸棚石油・天然ガス基礎調査基礎物理探査「沖縄〜与那国島」調査報告書. pp.18.
- 石油開発公団 (1973b) : 昭和47年度大陸棚石油・天然ガス基礎調査基礎物理探査「南西諸島」調査報告書. pp.19.
- 石油開発公団 (1974) : 昭和48年度大陸棚石油・天然ガス基礎調査基礎物理探査「沖縄」調査報告書. pp.17.
- 石油開発公団 (1975) : 昭和50年度大陸棚石油・天然ガス基礎調査基礎物理探査「沖縄西方海域」調査報告書. pp.27.
- 石油公団 (1980a) : 昭和55年度国内石油・天然ガス基礎調査基礎物理探査「トカラ列島海域」調査報告書. pp.50.
- 石油公団 (1980b) : 昭和55年度国内石油・天然ガス基礎調査基礎物理探査「宮古島沖」調査報告書. pp.67.
- 石油公団 (1991) : 平成2年度国内石油・天然ガス基礎調査海上基礎物理探査「九州南西〜トカラ沖」調査報告書. pp.46.
- Sibuet J.C., Letouzey J., Barbier F., Charvet J., Foucher J.P., Hilde T.W.C., Kimura M., Ling-Yun C., Marsset B., Muller C. and Stephan J.F. (1987) : Back arc extension in the Okinawa Trough. *Jour. Geophys. Res.*, vol.93, B13, p.14041-14063.
- Sibuet J.C., Hsu S.K. and Shyu C.S. (1995) : Structural and kinematic evolutions of the Okinawa Trough Backarc basin. In : Yaylor B. (Ed), *Backarc Basins : Tectonics and Magmatism*, Plenum Press, New York, p.343-379.
- 竹下 徹・山野 誠・阿部信太郎 (1990) : リフティング引き裂かれる大陸・島弧. *科学*, vol.60, p.654-660.
- 円谷博明・佐藤時幸 (1984) : 基礎誌「宮古島沖」. *石油技術協会誌*, vol.50, p.25-33.
- 氏家 宏 (1986) : 琉球弧の海底. 新星図書出版, 那覇, pp.120.
- 氏家 宏 (1990a) : 島尻層群の地質学. 沖縄の自然史-地形と地質第6章-, 氏家 宏編, pp.271, ひるぎ社, 那覇. p.119-127.
- 氏家 宏 (1990b) : 大陸の一部であった琉球弧その1. 中琉球弧の基盤. 沖縄の自然史-地形と地質第9章-, 氏家 宏編, pp.271, ひるぎ社, 那覇. p.173-189.
- 氏家 宏 (1990c) : 南琉球弧の第三紀基盤岩. 沖縄の自然史-地形と地質第10章-, 氏家 宏編, pp.271, ひるぎ社, 那覇. p.195-200.
- 氏家 宏 (1990d) : まとめ一琉球弧の地史. 沖縄の自然史-地形と地質第13章, 氏家 宏編, pp.271, ひるぎ社, 那覇. p.251-255.
- 山路 敦・竹下 徹 (1989) : 島弧リフティングによるリソスフェアのレオロジー. *科学*, vol.59, p.802-811.

KIMURA Masaaki, WANG Yugang and YAGI Hidenori (1999) : Submarine geo-structure and tectonics in the Ryukyu Arc.

< 受付 : 1999年9月2日 >