

南西諸島海溝北部付加体の地形・地質[†]

加藤幸弘*

The Topography and the Geological Structure of the Accretionary Prism in the northern part of Nansei-syoto Trench[†]

Yukihiro KATO*

Abstract

Hydrographic Department of Japan (JHD) has been conducting geological and 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 the Ryukyu Arc and the northern part of the Philippine Sea Basin.

JHD obtained SeaBeam swath bathymetric data, single channel and multi-channel seismic reflection profiles in the northern part of the Nansei-Syoto Trench west of the Amami Plateau from 1987 to 1988.

The northern part of the Nansei-Syoto Trench is characterized by deformed landward slope because of shallow subducted ridges, the Kyusyu-Palau Ridge and the Amami Plateau. Small accretionary prism form a ship-shaped belt about 30km wide and 110km long in slope foot of the segment from the Tokara Channel to N30°. Detail study of geomorphology of the accretionary prism and landward trench slope shows the following conclusions :

- (1) The accretionary prism is composed of fine sediments derived from uplifted zone around Kikai island.
- (2) The accretionary prism has high poor fluid pressure ratio as near toe of the Barbados accretionary prism.

1. はじめに

海溝に多量の堆積物が供給されると、海溝を埋積した堆積物は、プレートの沈み込みに伴い、陸側の斜面の基部に付加し付加体を形成する。付加体の形成は、海溝近傍の付加体が将来大陸地殻の主要な構成物となるという点で、現世の造山過程そのものであり、その形成過程の解明を目指した研究は陸上、海洋双方で精力的に行われている。特に海洋における現世の付加体の研究は、主に大規模な付加体の形成が行われている南海トラフ

(加賀美ほか1986, Okino and Kato, 1995), バルバドス沖 (Masle and Moore, 1988) およびカスカデア沖 (Wetbrook et al. 1994) の3カ所で重点的に行われている。この3カ所の中で、唯一南海トラフの付加体だけが、大陸の河川からではなく、島弧と島弧の衝突域からもたらされた堆積物で構成されている。これら南海トラフ付加体の研究を通して、島弧と島弧の衝突は、島弧の成長を付加体形成という形で進めていることが理解されるようになった。一方、西太平洋には、島弧と島弧の衝突する海域のほかに、古島弧である海嶺、

[†] Received 1996 February 22nd Accepted 1996 March 7th
* 海洋調査課 Ocean Surveys Division

海台が衝突する海域が多数存在する。西太平洋において、海嶺、海台の衝突は、島弧の衝突と同様、島弧に大きな変形を及ぼしていることは、すでに知られている (Tokuyama et al. 1986)。しかし、その衝突は、南海トラフと同様に島弧を成長させる付加体形成に関与しているかどうかはよく分かっていない。

したがって、この小文では、古島弧と島弧の衝突域と付加体が隣接する南西諸島海溝北部において、付加体を含む大陸斜面の形態および付加体の起源について報告し、古島弧の衝突と付加体の形成との関係について議論する。

2. 使用データ

今回解析に使用したデータは、海上保安庁水路部が1987年11月および1988年5～6月に測量船「拓洋」を用いて行った大陸棚調査で測定したものである (Figure 1, 2)。この海域の大陸棚調査では、主測線を東西方向に、5海里間隔でとり、シービームによる海底地形調査、シングルチャンネル音波探査、プロトン磁力計による全磁力測定、海上重力計による重力観測を行っている (加藤, 1989)。また、主測線に交差する北北西—南南東方向の24chのマルチチャンネル音波探査を行っている。

海底地形調査では、測深幅が水深の0.8倍の幅しか持たない古いタイプのシービームを使用している。そのために、すべての海底について測深データが存在するわけではない。したがって、Figure 3に示した海底地形図は、測線上のシービームデータの存在している場所では、極めて精度の良く海底地形を捉えているが測線と測線の間ほとんどデータが存在しないところでは、従来の海底地形図と同様人間が補間した形となっている。

音波探査は、主測線では、音源として1発の352 cbiのエアガンを用いたシングルチャンネル音波探査を、また、交差測線では、466cbiのエアガンを用いた24chのマルチチャンネル音波探査を実施している。収録したデジタルデータの処理は外注 (株式会社川崎地質) にて行った。

3. 調査海域のテクトニックセッティング

南西諸島海溝の北部では、フィリピン海プレートが北西方向に5 cm/yでユーラシアプレートの下に沈み込んでいる (Seno et al. 1993)。沈み込むフィリピン海プレート上には、東から北北西—南南東方向の走向を持つ九州・パラオ海嶺、名瀬海盆、東西方向の走向を持つ奄美海台、北大東海盆そして大東海嶺が分布する (加藤, 1993)。このうち九州・パラオ海嶺と奄美海台はすでに南西諸島海溝に到達しており、琉球弧と衝突している (Tokuyama et al. 1986)。九州・パラオ海嶺と奄美海台の衝突によって、南西諸島海溝の北部は、その軸の位置が全体的に西方に湾入している。これに加えて南西諸島海溝は、海山、海嶺など沈み込む個々の海底地形に対応して形成される小さな湾入地形が存在し、その結果として海溝軸は蛇行している。このように地形変化の激しい南西諸島海溝北部のなかで、奄美海台北部の名瀬海盆が沈み込んでいる場所は、例外的に琉球弧に平行する海溝が認められ、その場所の海溝陸側斜面基部に今回報告する付加体が存在する (徳山1985, Tokuyama et al. 1985)。

4. 南西諸島海溝北部の海底地形

琉球弧北部の大陸斜面は、北東の西南日本弧大陸斜面や、南西の中部以南の琉球弧大陸斜面とは異なり、前弧海盆が欠け、大陸棚から海溝軸まで続く途中に広い平坦面を持たない一連の斜面で構成されている。もちろん琉球弧北部の大陸斜面は、同一の形態を示すのではなく、海嶺、海台の衝突によって変形し、大きく分けて3つの地形区に細区分される。つまり、北東側から(A)九州・パラオ海嶺の衝突域から北緯30°線の間の大陸斜面、(B)北緯30°線からトカラチャンネルと奄美海台北縁を結ぶ線の間の大陸斜面、(C)トカラチャンネルと奄美海台北縁を結ぶ線から沖永良部島と大東海嶺南縁を結ぶ線の間の大陸斜面の3つに区分される。以下にまず(A)と(C)の斜面についてはその地形と変形構造について概観し、大陸斜面下部に付加体が

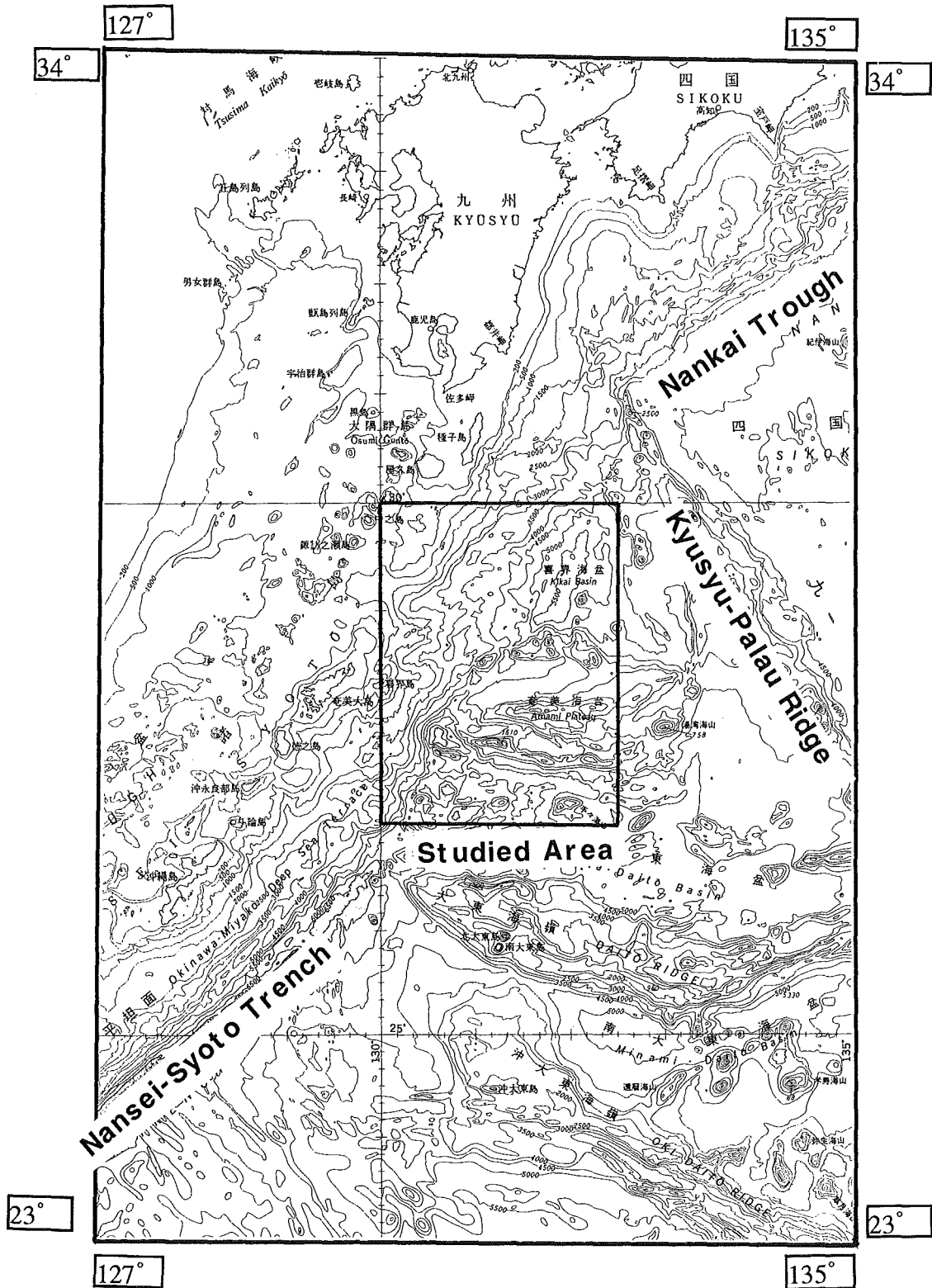


Figure 1. Bathymetric map around studied area. Contour interval : 500m.

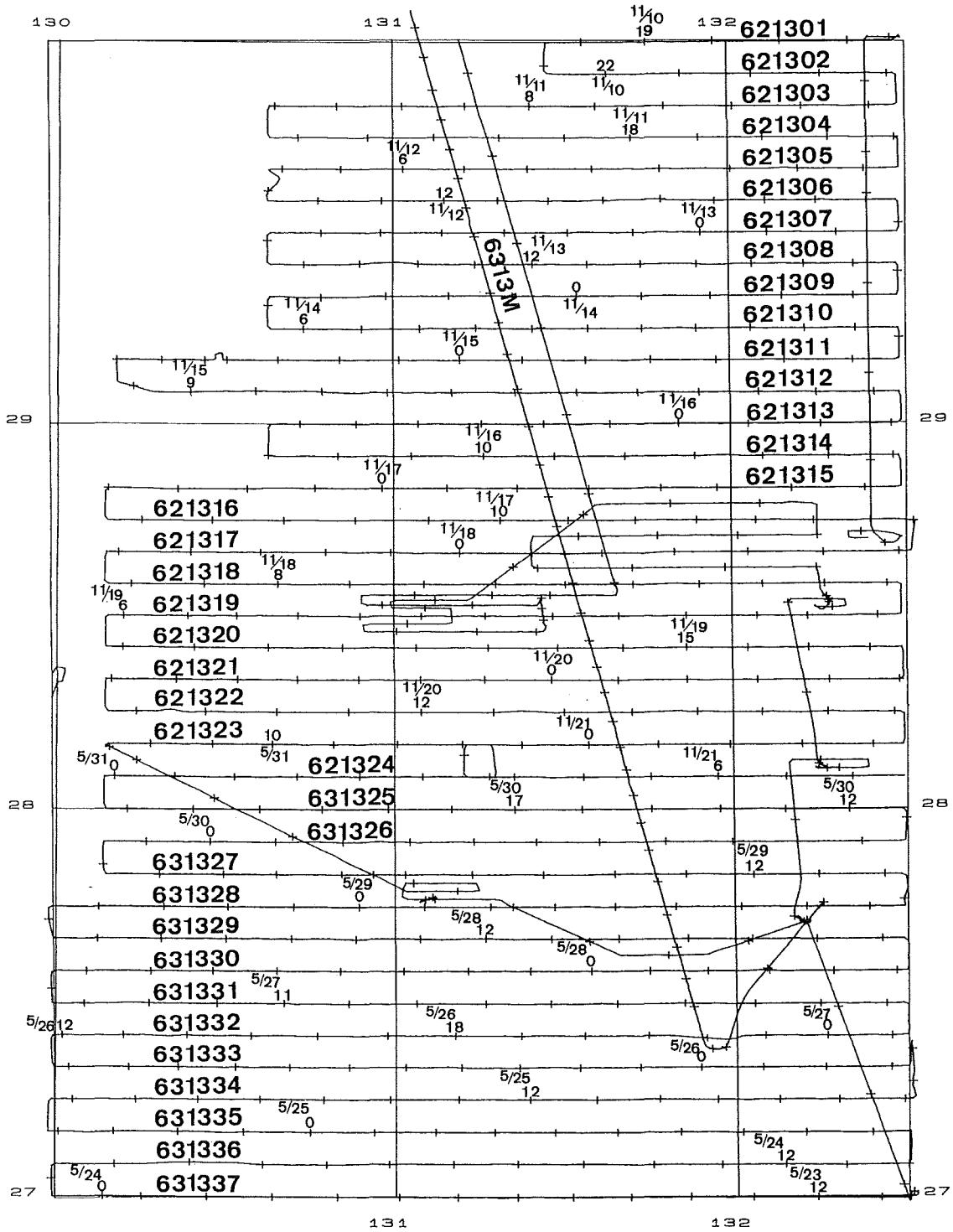


Figure 2. Track lines of survey vessel "TAKUYO"

存在する(B)の斜面については、次章で地形及び地質構造について記載する。

(A) 九州・パラオ海嶺の衝突域から北緯30°線の間の大陸斜面

この大陸斜面は弧の走向方向とほぼ直交する北西方向の尾根と海底谷を特徴とする斜面である。

この斜面基部の南西諸島海溝は、V字型の断面を示し、また軸部の水深の変化も激しい。大陸斜面の尾根は、北北西—南南東方向の走向を持つ九州・パラオ海嶺が、南海トラフ、南西諸島海溝の境界部に北西方向に沈み込むことによって、大陸斜面が東西方向の圧縮を受けて形成された褶曲軸

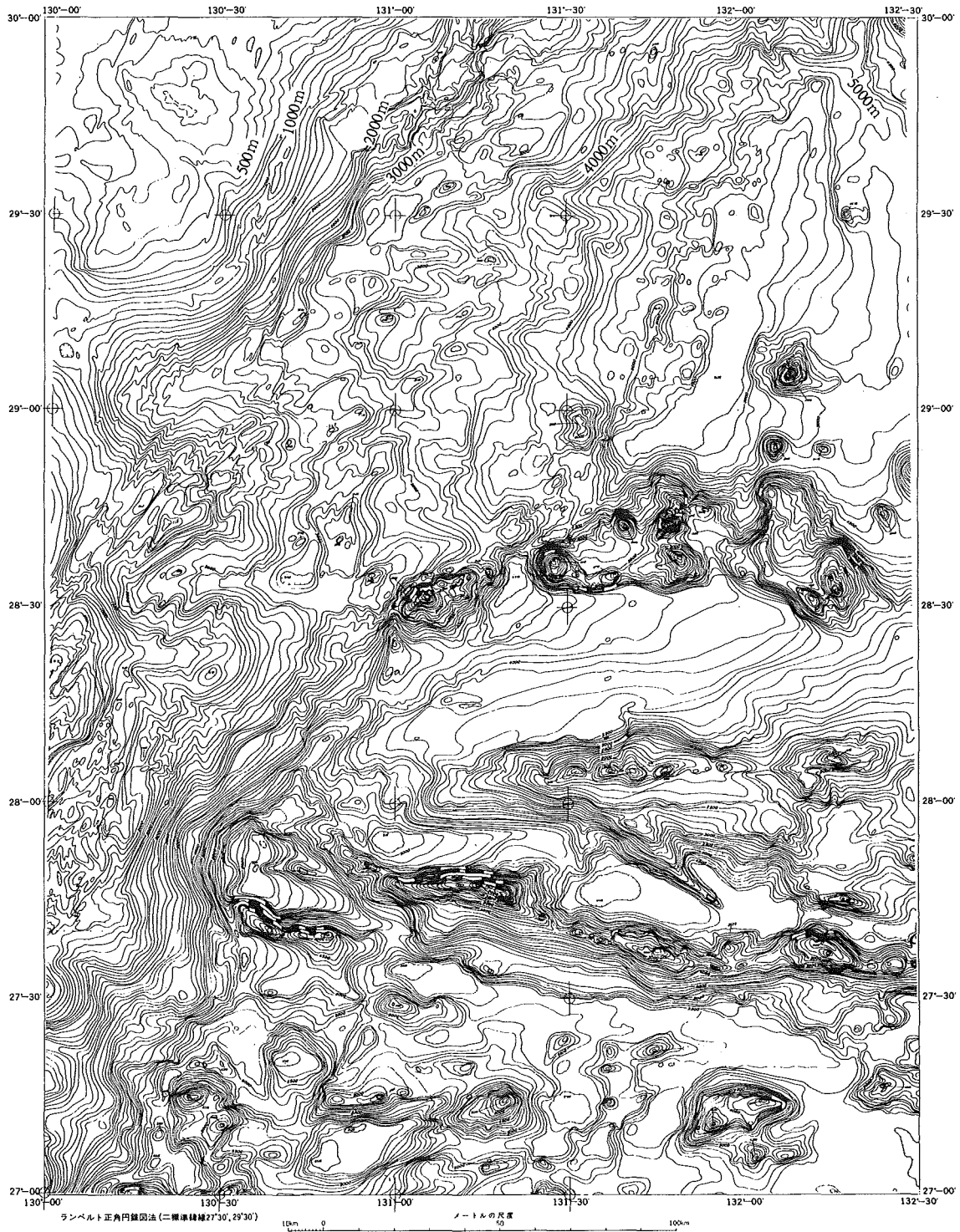


Figure 3. Bathymetric map of north part of the Nansei-syoto Trench. Contour interval : 100m.

である（長岡ほか，1991）。

(C) トカラチャンネルと奄美海台北縁を結ぶ線から沖永良部島と大東海嶺南縁を結ぶ線の間の大
陸斜面

この大陸斜面は、水深の異なる海脚状あるいは海丘状の地形的な高まりとそれらの南西側に位置する傾斜の急な海溝陸側斜面で構成されている。この地形的な高まりの内最も高度の高いのが、喜界島を頂部とする奄美大島からの海脚である。地形的な高まりの北東側と南西側には、島弧の走向に直交する海底谷が認められ、その中のいくつかは海溝軸まで到達している。また地形的な高まりの下には、沈み込んだ海山の存在を示すダイポール型の地磁気異常が認められる。このことから、地形的な高まりは、現在の奄美海台と同様の厚い地殻を持ち、かつ海山で構成される古島弧が沈み込む際、上盤側の大陸斜面を圧縮変形させて形成された地形と推定される。

この範囲の南西諸島海溝は、蛇行しかつ軸部の水深の変化も激しくなっている。またその地形断面はV字型を示す。

5. 北緯30°線からトカラチャンネルと奄美海台北縁を結ぶ線の間の大陸斜面の海底地形及び地質構造

(1) 海底地形

この大陸斜面の地形を記載するにあたって、地形的な特徴に基づいて以下の3つの地形区に便宜上区分した。

(A) 島棚から水深3500mまでの大陸斜面

(B) 水深3500mから水深4900mまでの大陸斜面

(C) 水深4900mから南西諸島海溝軸までの大陸斜面

(A) 島棚から水深3500mまでの大陸斜面

南西諸島南西部の島列の周辺には、水深500mまでの間に広い島棚が発達している。この大陸棚は、琉球弧の形成史を考える上で重要となっていることから、特に島棚と命名されている（氏家1990）。調査海域にはおいても、水深500mの島棚である種子・屋久海脚が種子島、屋久島から連続

する。この島棚面は、北緯29°15′に位置するトカラチャンネルで南西側の奄美大島周辺の大陸棚とは切り離されている。島棚面上には、北西—南東方向の谷状のリニアメントが認められる。島棚面は、このリニアメントを挟んで、両側で水深が異なっており、北東側が南西側に比べ、およそ200m高くなっている。

島棚面から水深3500mまでの大陸斜面は、上に凸状の形状を示す斜面となっている。この斜面の平均の傾斜は約4.8°であり、これは大陸棚から海溝軸に至る大陸斜面でもっとも大きくなっている。斜面は、明確な海底谷が認められず、テラス以外は、比較的平滑な斜面となっている。テラスは、水深1100m、1200m、1900m、2000m、2200m、2900mに分布するが、側方の連続性はあまり良くない。これらのテラスで最も大きいものは、調査海域北部に位置する1900mのテラスであり、その大きさは幅11km長さ40kmである。

(B) 水深3500mから水深4900mまでの大陸斜面

島棚斜面基部の水深3500m付近には、斜面の走向と平行な低地帯（くぼ地）が存在し、その中に地形的にはっきりした2つのトラフが分布している。このうち南西側のもの大きさは、幅15km長さ100kmであり、北東側のものは幅6km長さ33kmである。両者の間には鞍部が存在し、そこで、南西のトラフの軸は、北東のトラフ軸より、2ないし3km南東側に張り出している。このトラフを含む島棚斜面基部の低地帯は、南西側へは、トカラチャンネルを形成する種子・屋久海脚と奄美大島との鞍部に連続するが、北東側へは北緯30°付近の西北西—東南東方向の尾根によって分布がとぎれている。なおトカラチャンネルから下刻する海底谷は、北緯29°15′付近に位置する低地帯中の鞍部に遮られ、トラフではなく、斜面直交する方向へと連続している。

トラフから水深4900mに至る斜面には、東北東—西南西方向および北東—南西方向の小海嶺が分布する。これらの小海嶺は、比高が200から500m、長さが8から20km、幅が3から10kmとなっている。トラフの南東側では、トラフの軸方向とは斜交し、

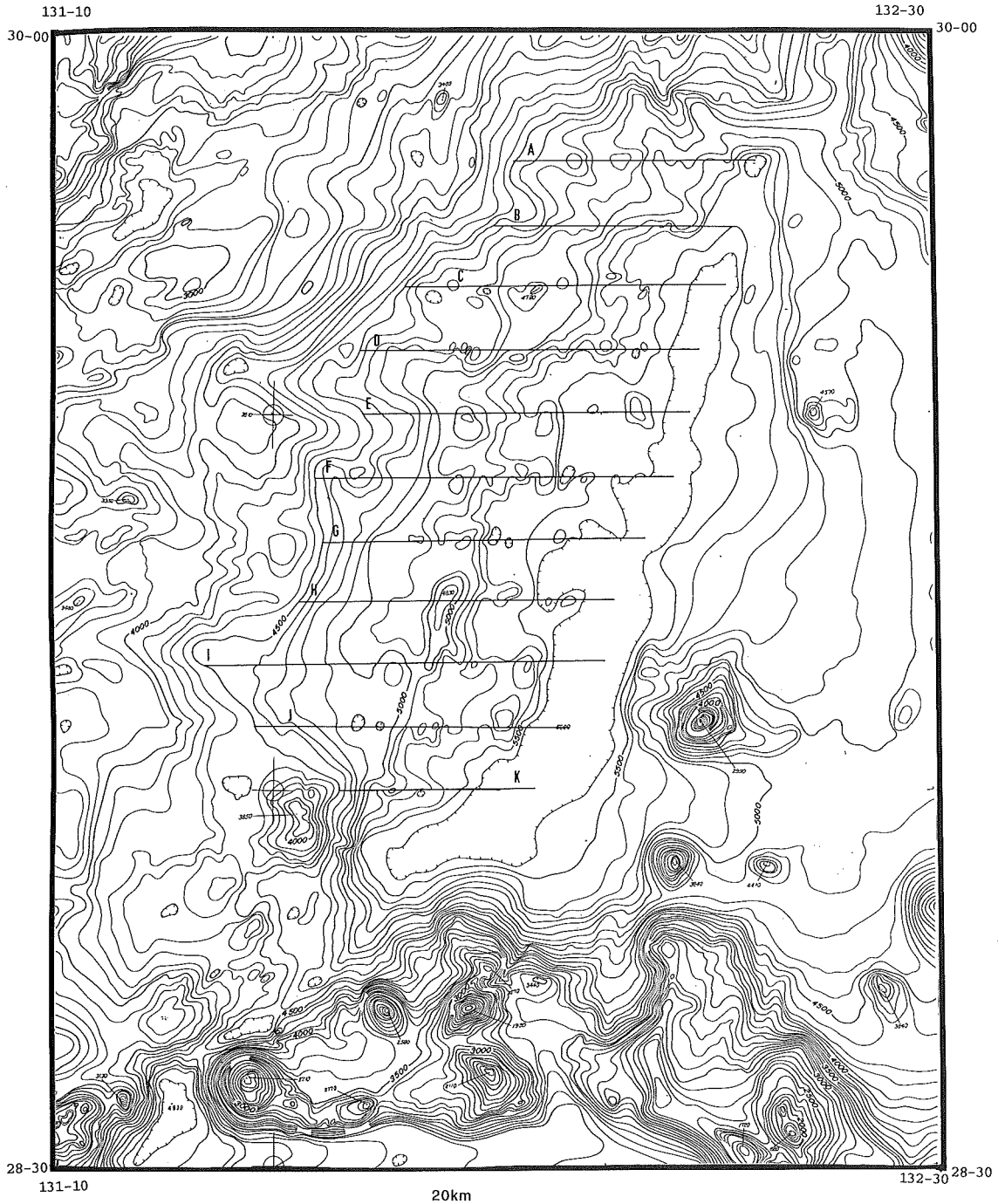


Figure 4. Bathymetry of accretionary prism and location of bathymetric profiles shown in Figure 5. Contour interval : 100m.

雁行状に配列する北東—南西方向および東北東—西南西方向の小海嶺が分布する。一方、北緯29°15′以南では、北東—南西方向の小海嶺のみが分布する。この海嶺は喜界島周辺で認められる北東—南西方向のホルスト・グラベン構造の北東延長部に相当する。また、トラフから水深4900mまでの大陸斜面上の海底谷は、海嶺特に東北東—西

南西方向の小海嶺の間を下刻している。但し、これらの海底谷のうち北側の2つの谷頭はトラフで切り取られ、トラフより上位には連続しない。

(C) 水深4900mから南西諸島海溝軸までの大陸斜面 (Figure 4, 5)

付加体で構成される水深4900mから南西諸島海溝底までの大陸斜面には、海溝軸の方向とほぼ平

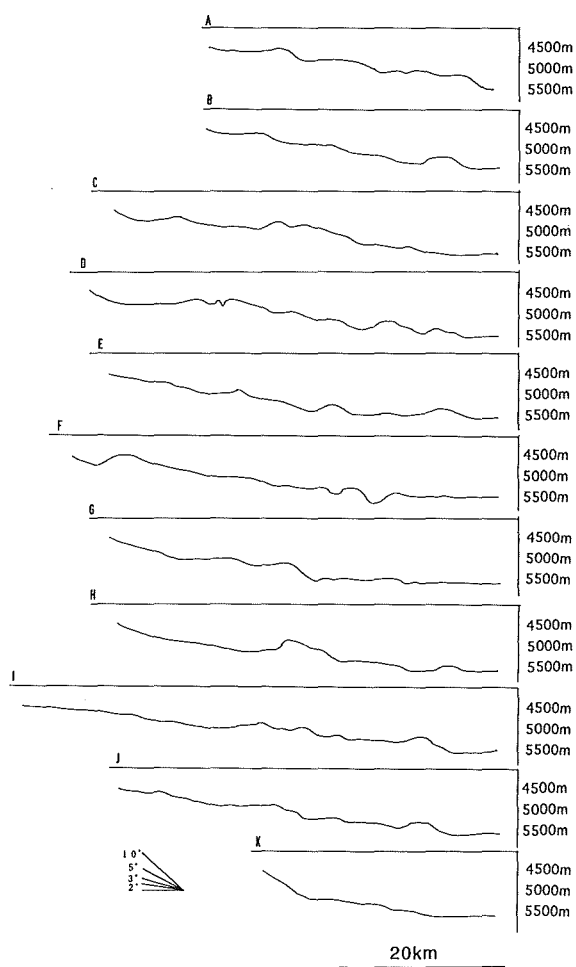


Figure 5. Bathymetric profiles of accretionary prism.

行な北北東—南南西方向の走向を持つ小海嶺が分布する。これらの小海嶺の分布は、北緯 $29^{\circ}30'$ で最も幅が広く(30km)、両側に向かって幅が狭くなる舟型をした海域に限定される。分布する水深は、4900mから、海溝底の5600mまでの間となっており、その間の斜面の平均傾斜は約 2° である(Figure 5)。1つ1つの海嶺の大きさは、比高が200から600m、長さが3から18km、幅が3から6kmであり、また、その斜面は、南東側斜面の方が、北西側斜面に比べ急となっている。小海嶺は、不連続ながら3つの列をなして分布している。西側の列は、水深5000mより浅い頂部を持つ小海嶺をつないだ列であり、小海嶺のうち最大の比高を持つ物が含まれる。中間の列は、西側の列の東で、頂部の水深が5300mの小海嶺をつないだ列である。東側の列は、水深5600mの等深線に沿って分布する

海嶺から構成されている。各列の小海嶺の大きさを比較してみると、地形断面線H (Figure 5)以南では、東と西の海嶺列が大きく、それらに比べて中間列は相対的に小さな海嶺で構成されている。地形断面線G以北では、西側の列と中間の列は、海嶺列として認識可能だが、東側の列は個々の海嶺の大きさが小さくなると同時に、海嶺が連続して分布しなくなる。南北方向の海嶺の大きさの比較をしてみると、付加体の分布域の幅は、地形断面線Eで最も広がっているにも関わらず、南の方が、特に地形断面線H、IおよびJで海嶺のサイズが、最も大きくなり、その起伏も大きくなっている。

付加体からなる大陸斜面の東に位置する南西諸島海溝は、他の海域の南西諸島海溝とは異なり、海溝底は堆積物で埋積され、平坦で、かつ幅が広がっている。最も幅の広いところは北緯 29° で、その幅は20kmとなっている。海溝底は、北と南に向かうにつれて向かうにつれて幅が狭くなって、付加体が分布しなくなる場所で、いずれも地形断面がV字型を示す幅の狭い海溝へと変化する。

(2) 地質構造

琉球弧の大陸斜面を構成する地層は、音波探査記録上、散乱した音響的岩相を示す場所が多く、地質構造を記述する上で重要な音響的反射面は少ない。したがって、大陸斜面の層序については、各層の岩相、分布を記述するに止め、他の海域、陸上の地質の層序の比較については、この小文では行わない。また構造についても、現在の大陸斜面形成に関与しているトラフ、付加体、海溝底にかけての構造を主に検討することとする。

(A) 音響層序区分

琉球弧の大陸斜面を構成する地層は、上位からTi I層、Tc I層(この2層は分布するところが異なり、両者の層位関係は不明である)、Od I層、Ni X層および付加体 Tc II、海溝充填堆積物 Rt I層に区分することができる(Figure 6, 7, 8, 9)。

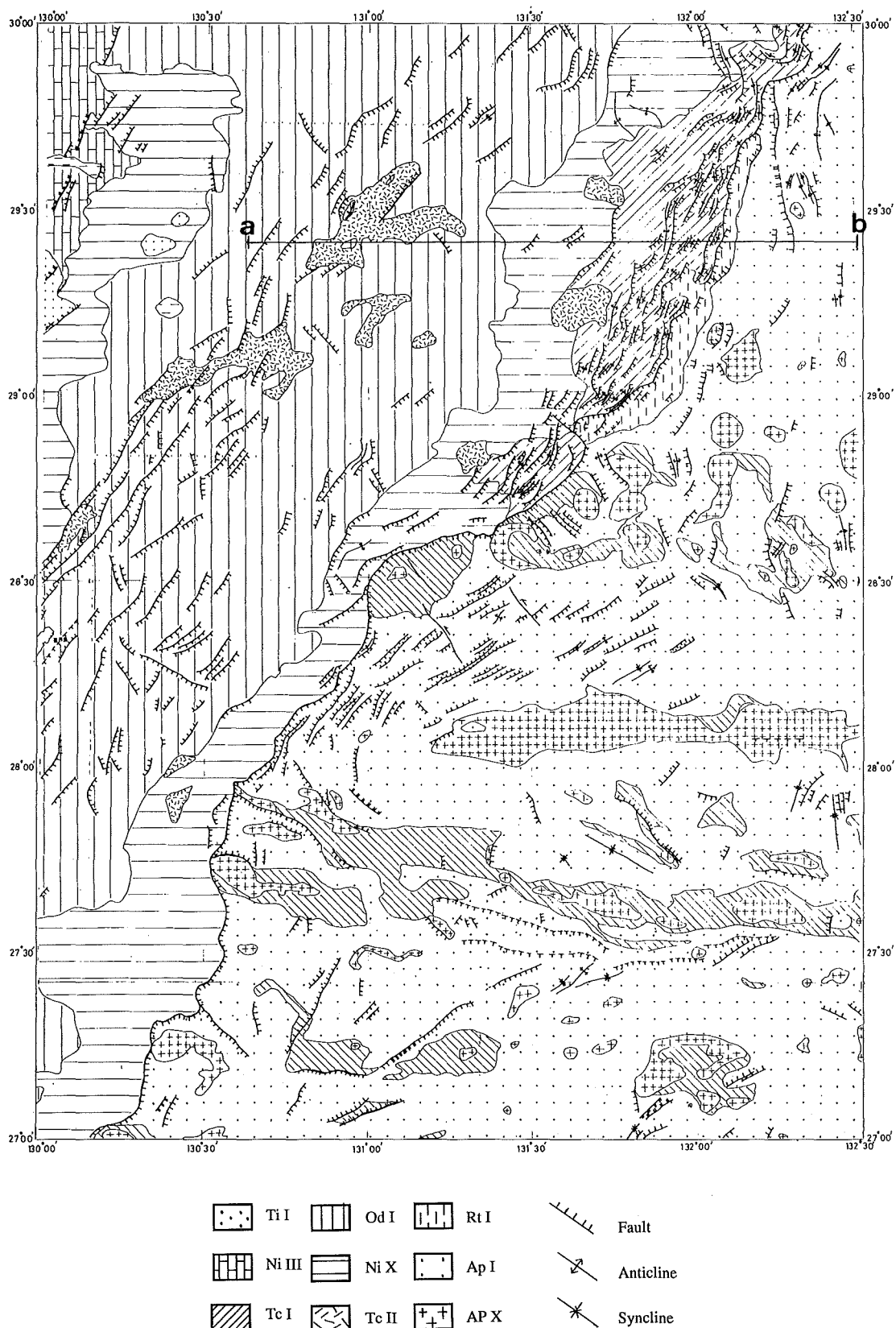


Figure 6. Geological map of north part of the Nansei-syoto Trench.

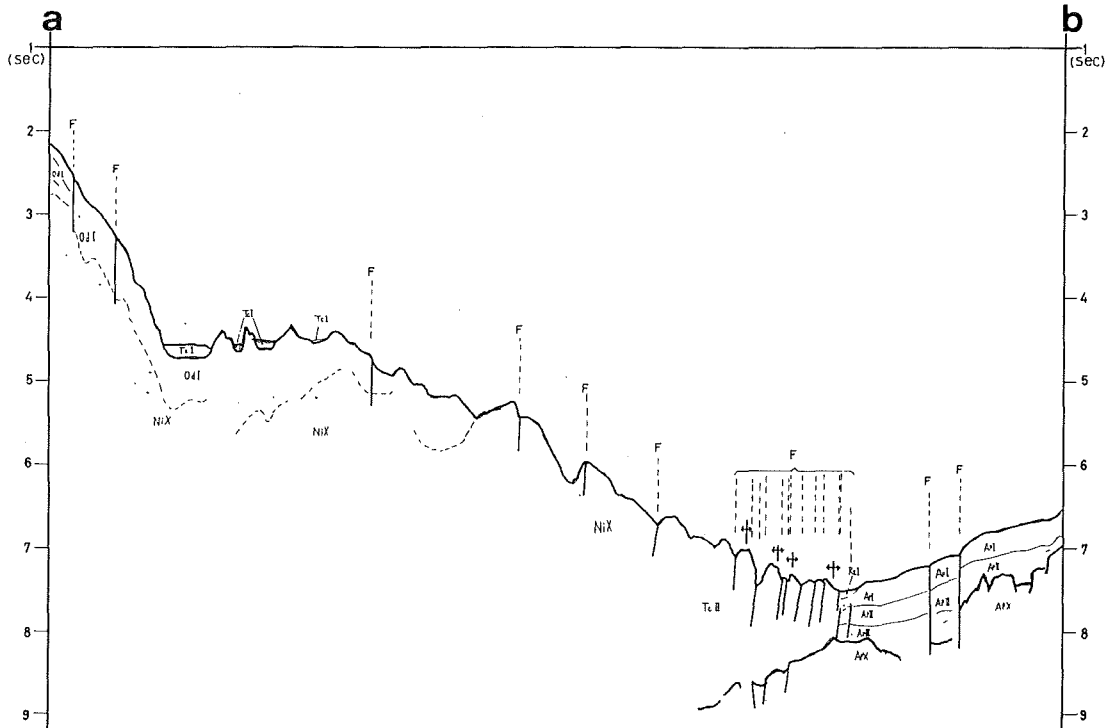


Figure 7. Line drawing of a single channel seismic reflection profile in the Nansei-syoto Trench. The track of section is shown in the Figure 6.

Ti I 層は細かい層理を持つ音響的岩相を示し、層厚は、0.2秒（往復秒以下同様）である。島棚上および島棚西方の海盆に分布する。

Tc I 層は、喜界島北方の大陸斜面上に発達している海底谷及び島棚斜面基部のトラフを埋積する地層である。音響的岩相は、弱いが連続性のよい反射面を示す。トラフでは反射面が北西側に傾動している。また層厚は最大で0.2秒である。

Od I 層は大陸斜面を構成する地層であり、散乱状の記録を示し所々に反射面が認められる地層である。下位の Ni X 層との境界は、所々に反射面を持つ散乱状の記録の下面とした。本層は、ほぼ海底面に沿った形で褶曲している。層厚は最大で1.8秒に達する。

Ni X 層は散乱状の記録を示さない音響的に透明な地層である。大陸斜面基部では Tc II に漸移し音響的岩相で両者を区分するのは難しい。

Tc II は喜界海山より北側の大陸斜面基部に分布する付加体で、音波探査記録では双曲線

の記録を呈する。Tc II は構造的な地質体なので層厚は、記載しない。

Rt I 層は奄美海台より北側の海溝底に分布する。本層は、連続した反射面を持ち、下位の Ap I 層に対しアバットしている。層厚は南では厚く（0.6秒）北に向かうにつれて薄く（0.2秒）なっている。また、全体として楔型の断面を呈する。本層の堆積面は、測線621312以北では平坦であるが、分布の南限である測線621313と621314では、西に向かうにつれて水深が浅くなる海底扇状地を形成している。

(B) 地質構造

島棚の西側斜面には、北東—南西方向の西落ちの正断層が分布する、これは、当該海域の南西方の奄美大島から中之島西方海域に典型的に認められる沖縄トラフを形成したリフト地形の一環であるハーフグラベンを構成する正断層の北東延長に相当する。

島棚からトラフにかけての大陸斜面には、水深の異なるテラスが認められる。これらのテラスの

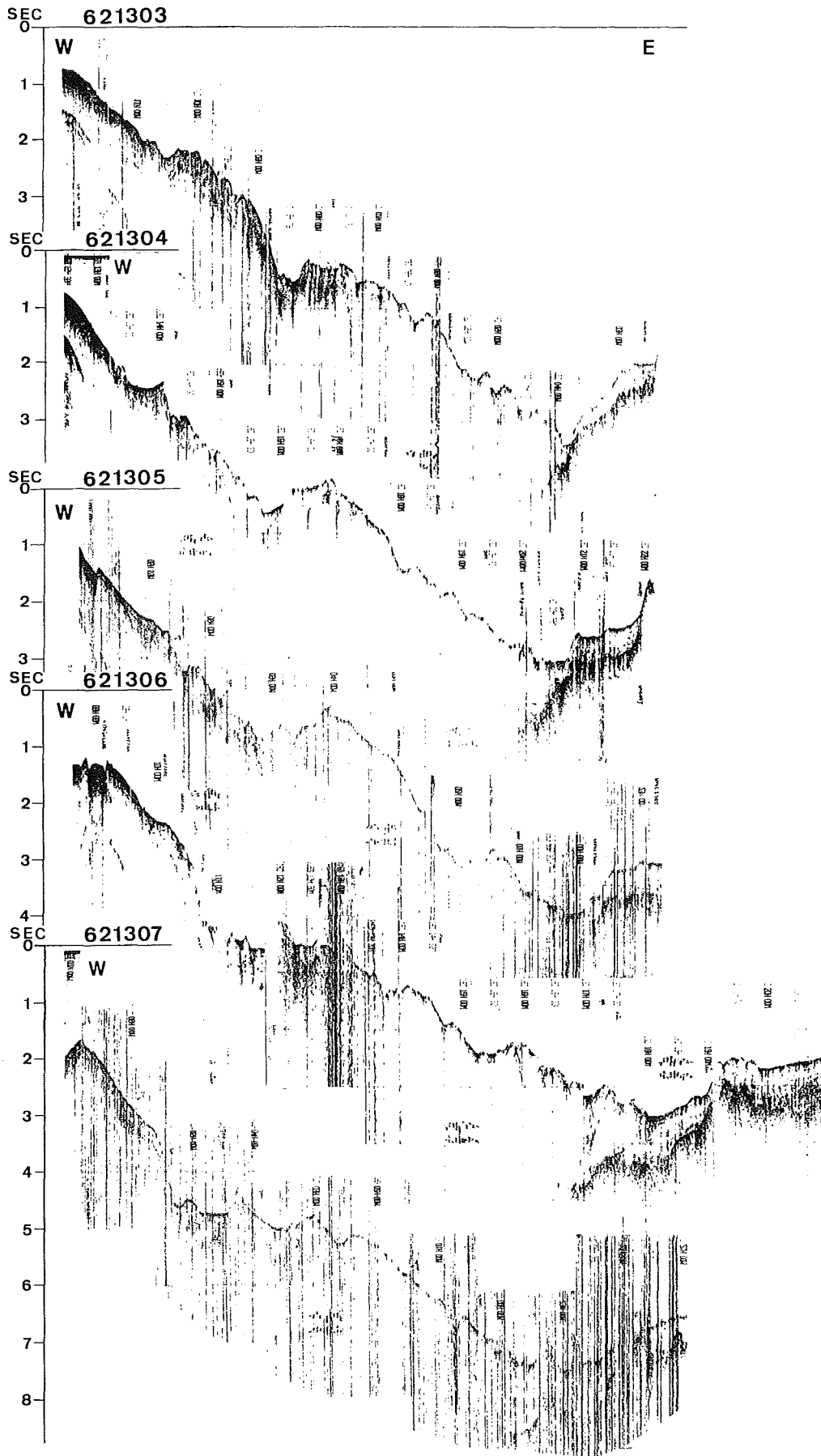


Figure 8. Sections of a single channel seismic reflection profile in the Nansei-syoto Trench. The track of section is shown in the Figure 2.

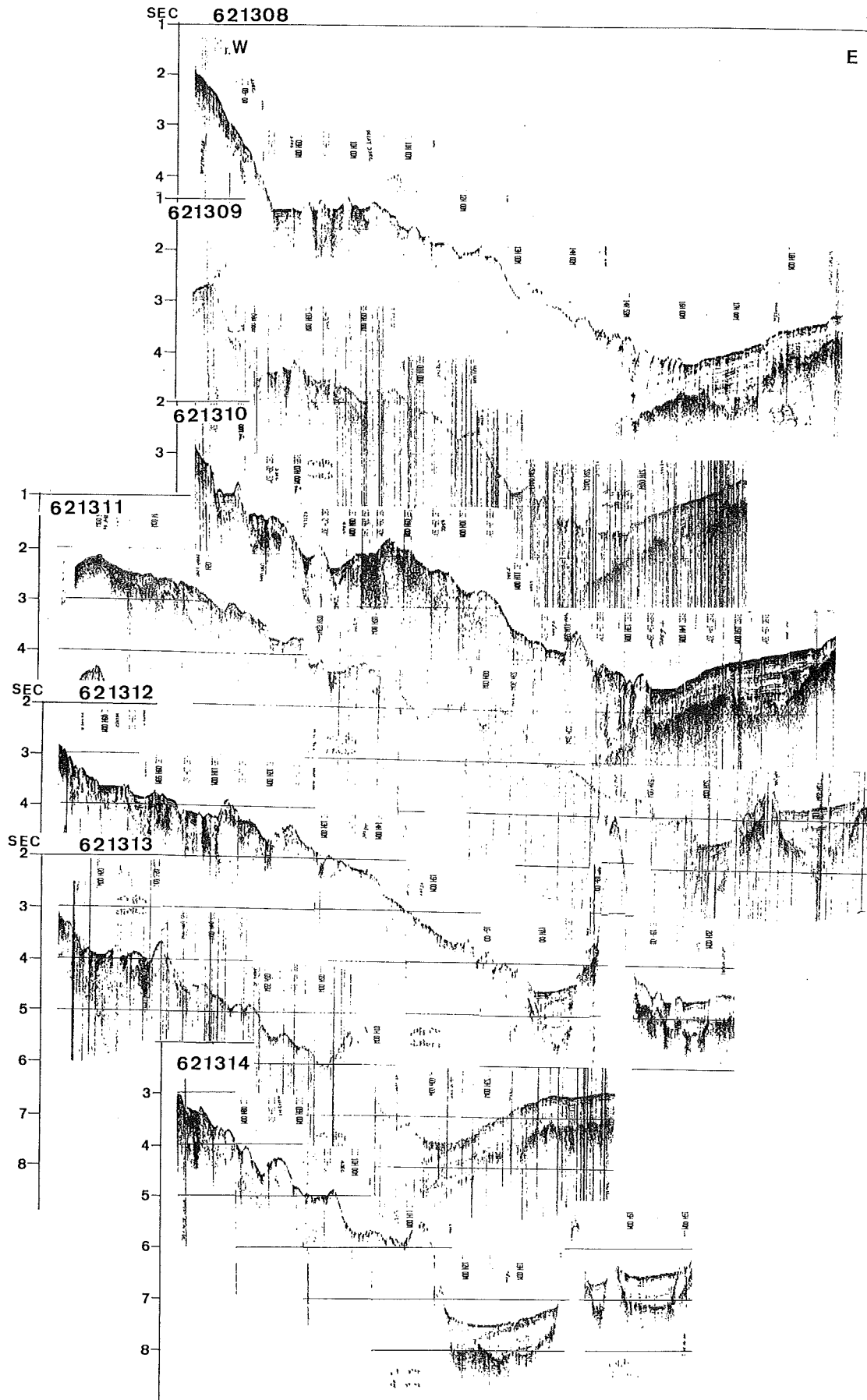


Figure 9. Sections of a single channel seismic reflection profile in the Nansei-syoto Trench. The track of section is shown in the Figure 2.

西端には、北東—南西方向東落ちの正断層が分布する。特に調査海域北部の水深2000mのテラスを埋積する地層は、表層まで褶曲し、向斜構造をとっており (Figure 8, 測線621304) テラスを形成した断層が現在も活動的であることを示している。また、島棚斜面基部のトラフも、東側に傾斜の正断層によって形成されている。トラフを埋積する堆積物は、西側に傾動しており (測線621310, 621304), これらの断層も、テラスを形成する断層と同様活動的である。

トラフから水深4900mまでの斜面上には、顕著な断層、褶曲構造は音波探査記録上認められない。

水深4900mから海溝底までの大陸斜面基部には、北東—南西方向の断層および背斜軸が密集している。この分布域は、海底地形の章で述べた小海嶺が分布する海域に相当する。個々の構造と地形との対応を見ると、背斜軸は海嶺の尾根に、また断層は海嶺南東側の斜面基部に位置している。海嶺は、南東側が急で北西側が緩い非対称な斜面で構成されており、南東側の基部の断層がスラストであることを示している。

6. 考察

付加体の構成物

付加体は、海溝に多量に供給された堆積物が、プレートの沈み込みに伴い、陸側のプレートに付加することによって形成される。南海トラフには富士川からもたらされた堆積物によって砂質の付加体が形成され (Taira and Niituma, 1986) また、バルバドスでは、アマゾン川からの堆積物で泥質の付加体が形成されている (Masclé and Moore, 1988)。いずれも付加体の形成には、海溝に堆積物が供給されることが条件となっている。今回検討した付加体の前面の南西諸島海溝にも海溝充填堆積物が堆積している。しかしこの堆積物の起源は、直接サンプリングがなされていないこともあって、その検討は十分行われていない。

南西諸島海溝は、南海トラフに地理的に隣接するが、両者の間には、九州・パラオ海嶺が沈み込んで地形的なバリアーを形成している。そのため

南海トラフ軸に沿ってもたらされた堆積物も、現在九州・パラオ海嶺を越えられず、海嶺に沿って南南東方向に向きを変え、四国海盆上に堆積している。また、南西諸島海溝北部の海溝充填堆積物の分布を見るとほぼ付加体が存在する北緯29°45′~28°20′に限られその北にはほとんど存在しない。以上のことから南海トラフから堆積物がもたらされたとは考えにくい。また、南から南西諸島海溝沿いに堆積物が供給されたことも、北緯28°20′以南の海溝に堆積物がほとんど分布しないことから考えられない。

付加体が分布する大陸斜面には、斜面に直交する方向にいくつかの海底谷が存在する (Figure 10)。これらの海底谷のうち北から2つは、谷頭が島棚基部に存在するトラフに位置し、それより上位には至っていない。トカラチャンネルを谷頭とするトカラ海底谷は、地形図上でかろうじて海溝軸までの流路が確認できるが、その谷地形は明確ではなく、特に谷頭の場所では、幅の広いお盆状の地形となっており、はっきりした谷地形は存在しない。一方、一番南に位置するトンビ海底谷はこの海域でも最も谷地形がはっきりしている。そして谷頭の1つは喜界島まで到達しており、もう1つは喜界島北東方の隆起部まで達している。また、トンビ海底谷の終わり、海溝底に注ぐところには海底扇状地が形成され、堆積物の厚さも最も厚くなっている。その地点から海溝充填堆積物の厚さは、北に向かうにつれて徐々に薄くなっている。以上のことから、現在の海溝充填堆積物の起源は、年間1~2 mm/yの速度で隆起する (Konishi et al. 1970) 喜界島を含む隆起部であると考えられる。したがって付加体についても、トンビ海底谷から供給された堆積物で構成されている可能性が高い。このことは、付加体の大きさが北部に比べて南部で大きくなっていることを、よく説明する。

付加体の形状

付加体の全体の形状は、上面を海底面、下面をデコルマとするウェッジとして近似することができる。このウェッジの形状は、ある条件のもとで

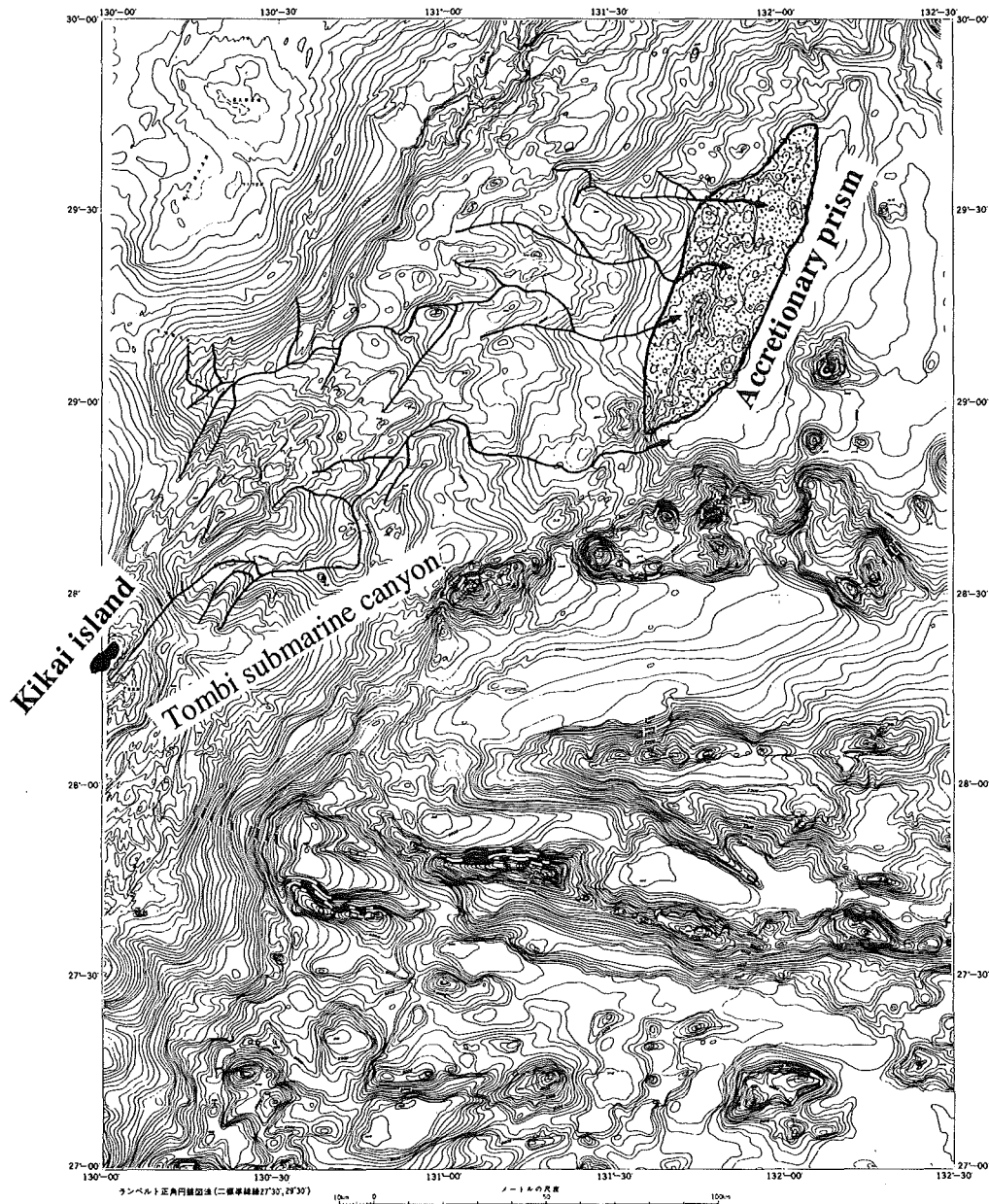


Figure 10. Submarine channel pattern and an area of distribution of recent accretionary prism.

は、付加体を構成する物質が付加されたり、取り除かれたりしても内部変形によって、常に一定の形状 (critical taper) に保たれると考えられている (Davis et al., 1983, Dahlen, 1984). ウェッジの形態は、付加体中の内部摩擦係数と間隙水圧比およびデコルマ面の内部摩擦係数と間隙水圧比によって決定される。デコルマ面の内部摩擦係数は実験によって求められおり、また、付加体中およびデコルマ面の間隙水圧比には大きな差がないことから、ウェッジ内部の内部摩擦係数を台湾の衝上褶曲帯で見積もられる値を採用すれば、ウェッ

ジの斜面の傾斜とデコルマ面の傾斜角度からウェッジ内の間隙水圧比を見積もることが可能となる。このようにして見積もられたウェッジ内の間隙水圧比は、バルバドスで実測されたものとよく一致している。南西諸島海溝北部の付加体ウェッジでは、斜面の傾斜は 2° となっており、また、デコルマの傾斜は島村ほか (1990) によると $2, 5^\circ$ となっており、これを Davis et al. (1984) の図 (Figure 11) に当てはめるとこの付加体の間隙水圧比は、0.97に極めて近い高い値を示す。これは、ウェッジの角度が $8 \sim 10^\circ$ である (Moore et

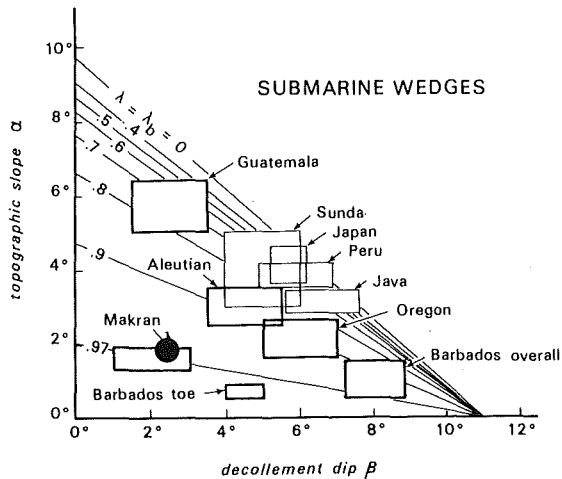


Figure 11. Surface topographic slope α versus decollement dip β for various values of $\lambda = \lambda b$ (fluid pressure ratio) after Davis et al. 1983. Black circle symbol indicate geometry of Nansei-syoto accretionary prism.

al. 1990) 南海トラフの付加体の値0.9 (芦・平, 1989) に比べ高くなっている。これと同じような値はバルバドスの near toe に認められる (Davis et al. 1983)。

付加体構成物の起源が主に泥岩で構成される喜界島を含む隆起部と見積もられることから、南西諸島海溝北部の付加体も、南海トラフ同様に衝突による隆起が、付加体形成の原因であると推定される。ただし南西諸島海溝北部の付加体は、南海トラフ付加体とは異なり、バルバドスと同様の泥質堆積物で構成され、間隙水圧比の高い付加体と推定される。

7. まとめ

南西諸島海溝北部のトカラチャンネルから北緯30度線までの大陸斜面について地形的、地質学的な検討を行い以下の結論を得た。

- (1) 大陸斜面基部には、最大幅30km、延長110kmの付加体が分布する。この付加体の斜面の平均傾斜は約2°と極めて緩傾斜の斜面を形成している。
- (2) 付加体の構成物の起源は、海底谷の分布および海溝充填堆積物の分布から、喜界島を含む隆起部と推定される。

- (3) 付加体のウェッジの角度は約4, 5°であり、この付加体は、構成物の起源と併せて考えるとバルバドスと同様な間隙水圧比の高い泥質の付加体と推定される。

最後に、本論文を作成するにあたり、データ収集に関してご尽力いただいた測量船「拓洋」の乗組員の方および海底地形図、海底地質構造図の作成にご協力、ご尽力いただいた大陸棚室室員の方々に感謝いたします。

参考文献

- 芦寿一郎・平朝彦：クーロンウェッジモデルから見た南海トラフ付加体の構造，月刊地球，11, p.744-749, (1989)
- Davis, D., Suppe, J. and Dahlen, F. A.: Mechanics of Fold-and-Thrust Belts and Accretionary Wedges, *JGR*, 88, B2, p. 1153-1172. (1983)
- Dahlen, F. A.: Noncohesive Critical Coulomb Wedges: An Exact Solution, *JGR*, 89, B12, p.10, 125-10, 133. (1984)
- 加藤幸弘・高梨正雄・金子康江・河合晃司：奄美海台西部の大陸棚調査速報，水路部技報，7, p.39-48, (1989)
- 加藤幸弘：奄美海台の地質構造と地形，水路部研究報告，29, p.51-64, (1993)
- 加賀美英雄・塩野清治・平朝彦：南海トラフにおけるプレートの沈み込みと付加体の形成，日本列島の形成，p.139-148, (1986)
- Konishi, K., Schlanger, S. O. and Omura, A.: Neotectonic ratio in the central Ryukyu Islands derived from 230 Th coral age, *Marine Geology*, 9, p.225-240. (1970)
- Masclé, A. and Moore, J. C.: Proc. ODP, *Init. Repts.*, 110, College Station, TX (Ocean Drilling Program), (1988)
- Moore, G. F., Shipley, T. H., Stoffa, P. L., Karig, D. E., Taira, A., Kuramoto, S., Tokuyama, H., and Suyehiro, K.: Structure of the Nankai Trough accretionary

- zone from multi channel seismic reflection data, *JGR*, **95**, p.8753-8765. (1990)
- 長岡信治・前杢英明・沖野郷子：九州・パラオ海嶺の沈み込みと九州南東部の第四紀地殻変動, 月刊地球, 号外 **3**, p.167-173. (1991)
- Okino, K. and Kato, Y. : Geomorphological study on a clastic accretionary prism : The Nankai Trough, *The Island Arc*, **4**, p.182-198, (1995)
- Seno, T., Stein, S. and Gripp, A. E. : A Model for the Motion of the Philippine Sea Plate Consistent With NUVEL-1 and Geological Data, *J. G. R.*, **98**, **B10**, p.17, 941-17, 948. (1993)
- 島村英紀・小平秀一・岩崎貴哉：琉球弧での日独共同海底地震観測, 月刊地球, 号外 **3**, p. 121-131. (1991)
- Taira, A. and Niituma, N. : Turbidite sedimentation in the Nankai Trough as interpreted from magnetic fabric, grain size, and detrital modal analyses, In Kagami H., Karig D. E., Coulbourn w. T. et al. *Initial Reports of DSDP 87*, p.611-631, US Government Printing Office, Washington. (1986)
- 徳山英一：奄美海台と琉球弧の衝突, 月刊地球, **7-12**, p.700-708, (1985)
- Tokuyama, H., Kagami, H. and Nasu, N. : Marine geology and subcrustal structure of Shikoku Basin and the Daito Ridges region in the northern Philippine Sea, *Bull. Ocean Res. Inst. Univ. Tokyo*, **22**. (1986)
- Tokuyama, H., Kong, Y. S., Kagami, H. and Nasu, N. : Collision of the Amami Plateau with the Ryukyu Island Arc, *Formation of Active Margins*, p.853-873, (1985)
- 氏家宏：南琉球弧“500 m 島棚”の第四紀地史上の意義, 第四紀研究, **18**, P.209-219, (1990)
- Wetbrook, G. K., Carson, B. Musgrave, R. J., et al. : Proc. ODP, *Init. Repts.*, **146**, College Station, TX (Ocean Drilling Program), (1994)