

ヤップ海溝中央部海側斜面域の海底地形

西澤あずさ*¹ 沖野 郷子*¹ 藤岡換太郎*²

ヤップ海溝は島弧-海溝系の地形を示すが、深発地震面が存在せずまたカロリン海嶺が衝突していることから、単純な沈み込み域ではない。ヤップ海溝中央部海側斜面においてマルチビーム音響測深機と潜水調査船「しんかい6500」から観察される微細地形を総合し、調査域の変形を推定した。観測された地形はどちらも海溝軸にほぼ平行からやや斜交した走向のグラベン構造を示すことから、少なくともこの領域ではカロリンプレート沈み込みによる張力を反映していると推定される。

キーワード: ヤップ海溝, 海溝海側斜面, 微細地形, グラベン, 沈み込み

Topography of the Seaward Slope of the Central Yap Trench

Azusa NISHIZAWA*³ Kyoko OKINO*³ Kantaro FUJIOKA*⁴

The Yap Trench composes a unique arc-trench system because there does not exist a deep seismic plane and the Caroline Ridge collides with the trench. We combine the bathymetry obtained by multi-beam sounding and the detailed topography by the submersible "Shinkai 6500" and estimate tectonic stresses on the seaward slope region of the Yap Trench.

Grabens with strikes of N20°E—N50°E were observed from the multi-beam bathymetry and from the submersible. The strike is almost parallel to the trench axis, which suggests tensional field in the central Yap Trench.

Key words: Yap Trench, Seaward slope, Fine topography, Graben, Subduction

*¹ 海上保安庁水路部

*² 海洋科学技術センター深海研究部

*³ Hydrographic Department, Maritime Safety Agency

*⁴ Deep Sea Research Department, Japan Marine Science and Technology Center

1. はじめに

ヤップ海溝はフィリピン海東南端に位置し、島弧—海溝系の地形を呈する（図1及び図2）が、以下に示すようにユニークな特徴を持つ。海溝の長さは約700kmと短く、その走向は北部ではほぼN20°E、南部ではEW方向へと大きく屈曲しており、特に中部では東側からカロリン海嶺が衝突しているように見える。また、ヤップ海溝北部に位置する伊豆・小笠原弧やマリアナ弧では海溝軸

と島弧間の距離が100～150kmであるのとは対照的に、ヤップ弧ではその距離が50km以下と非常に小さい。

ヤップ海溝の東部ではカロリンプレートが年間10.2 cm/yの速さでNW方向に移動していると見積もられている（Circum-Pacific map project, 1981）。ヤップ島周辺域の地震活動度は、カロリン海嶺の高まりがヤップ海溝に衝突している南部と北部を除いて、低く（図2）、深発地震面と活火山が存在しないという意味では、プ

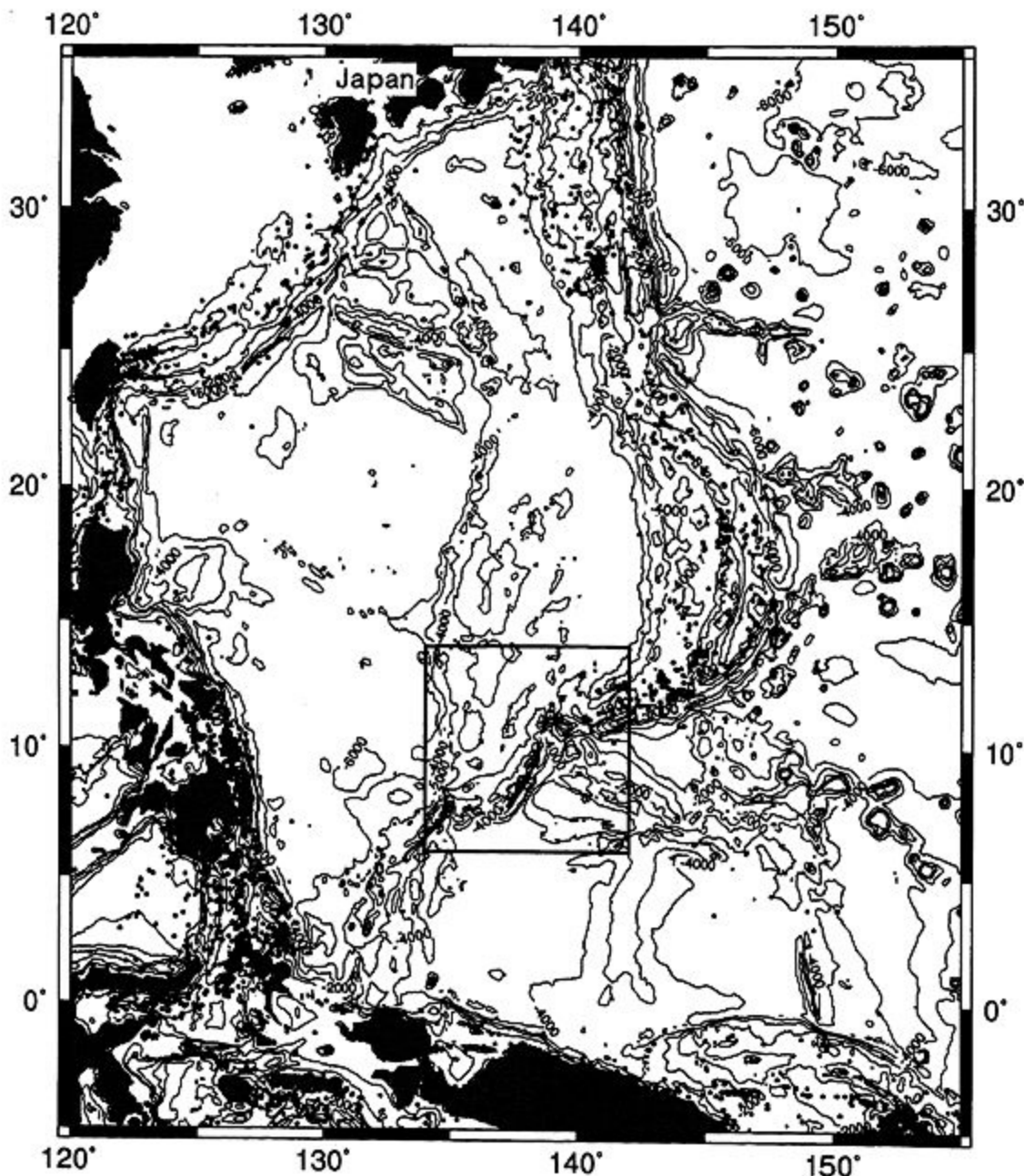


図1 フィリピン海周辺の海底地形図 (ETOPO5)。黒丸は1980～1990年のM $\geq$ 5の地震の震央の位置

Fig. 1 Bathymetric map around the Philippine Sea (ETOPO5). Solid circles are epicenters (M $\geq$ 5, 1980–1990).

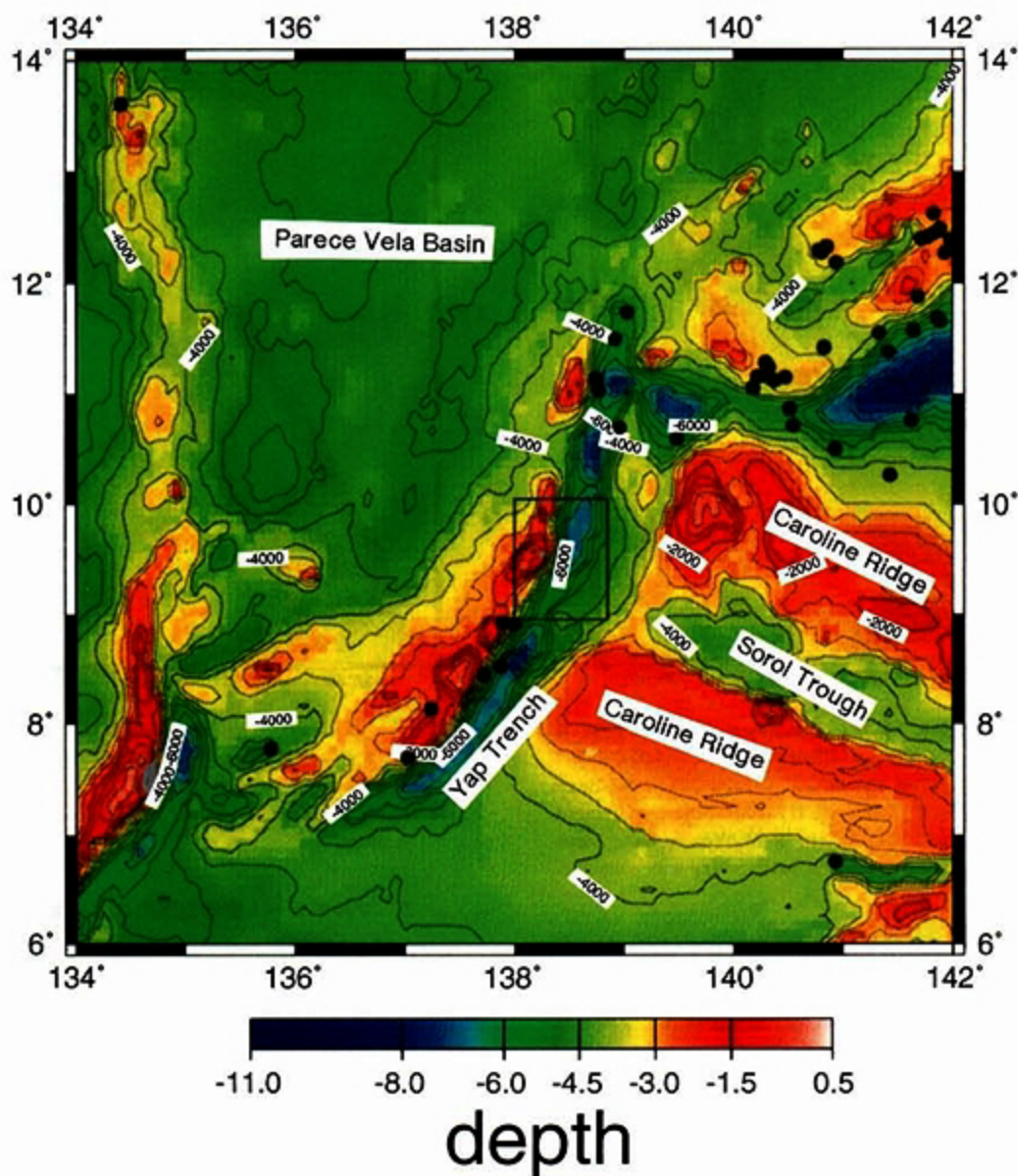


図2 ヤップ海溝付近の海底地形図 (ETOPO5)。黒丸は、1980～1990年の $M \geq 5$ の地震の震央の位置を示す。四角で囲んだ部分を、図6と図7で拡大して表示する。

Fig. 2 Bathymetric map around the Yap Trench (ETOPO5). Solid circles are epicenters ($M \geq 5$, 1980–1990). Blowup of the enclosed area is shown in Figs. 6 and 7.

レークの沈み込みの存在は明確ではない。McCabe and Uyeda (1983) は、低い地震活動、海溝—島弧間の距離が小さいこと及び火山活動のないことはカロリン海嶺の衝突により沈み込みが止ったことが原因であると述べている。しかしながら、Nagihara *et al.* (1989) は、ヤップ海溝北部における重力及び地殻熱流量の海溝を横切る断面が他の沈み込み域の変化と同様であり、また海

底地震観測から得られた海溝陸側斜面下の浅部における活発な地震活動は沈み込みが現在も起こっているためであるととした。

最近では、マルチビーム音響測深機による精密な海底地形や潜水船を用いた微細地形の情報から、“その場”の応力を推定することが可能となってきた。例えば、日本海溝北部の海溝海側斜面でこれまでに行われた「し

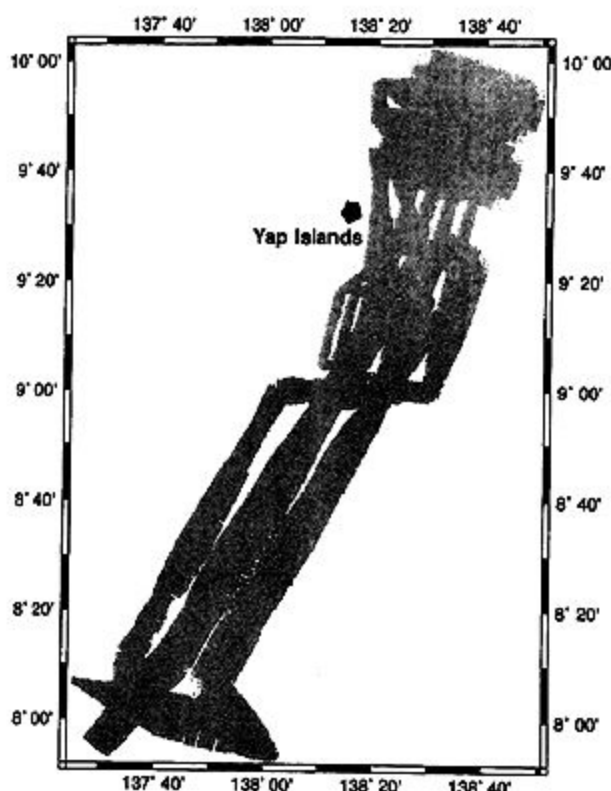


図3 水路部測量船「拓洋」のSeaBeam及びJAMSTEC潜水母船「よこすか」のHS10のマルチビーム調査範囲
Fig. 3 Map showing the data coverage of the SeaBeam on the S/V "Takuyo", Hydrographic Department, Japan and HS10 on the R/V "Yokosuka". Shading indicates where the bathymetry was collected.

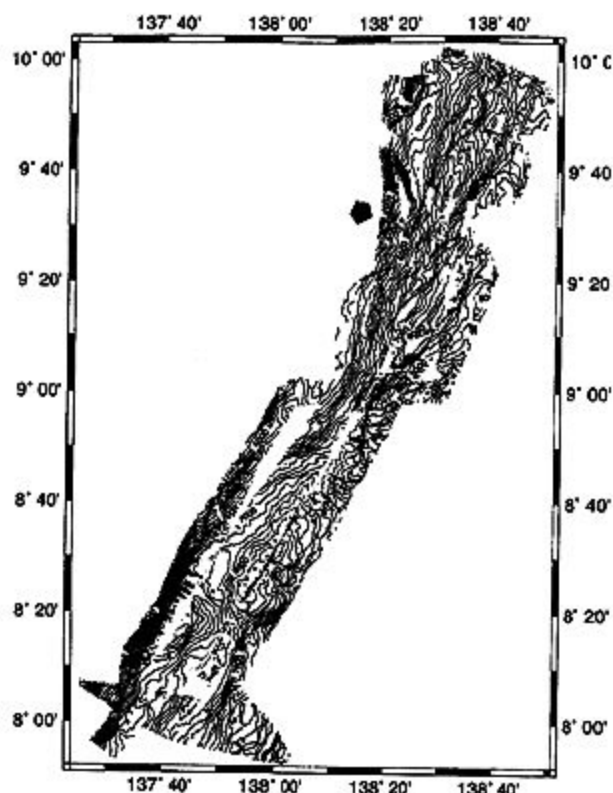


図4 マルチビーム測量による海底地形図。等深線間隔は、200 m
Fig. 4 Multi-beam bathymetric map. Contour interval is 200 m.

んかい6500」による潜航の結果、堀田ら(1992)は、長さ40kmのグラーベン内に多数の急崖や亀裂群を発見した。彼らは、それらの急崖が海洋地殻が海溝で下向きに折れ曲がるのに伴って発生した海溝軸に直交する張力により形成され、また亀裂は同様の張力下で斜面の重力不安定により生じた表層の現象であると解釈した。一方、ヤップ海溝の南部に位置するパラオ海溝の海側斜面においても、マルチビーム調査により地溝状構造を形成する断層に対応すると考えられるNW-SE方向のリニアメントが得られており、加藤ら(1986)は沈み込むカリフォルニアプレートのベンディング及びヤップとパラオ海溝間の海溝トランスフォーム断層運動の伸張力によって生じたと説明している。

この研究では、ヤップ海溝中央部の海溝海側斜面において、マルチビーム音響測深機のデータと潜水調査船「しんかい6500」から観察される微細地形を総合することにより、調査域の変形を推定する。

2. マルチビーム音響測深機による海底地形

マルチビーム音響測深機を用いた測量は、水路部測量船「拓洋」のSeaBeam(ビーム数15)及び海洋科学技術センター潜水母船「よこすか」のHS10(ビーム数45)によって、ヤップ海溝のほぼ北半分の領域において行われた。図3には上記2つのマルチビーム調査により水深の得られた範囲を、図4にはGMT(Wessel and Smith, 1991)を用いて出力した海底地形図を示す。また、リニアメントを見やすくするために北西方向から光をあてたイメージを図5に示した。北緯9°10'以北では海溝海側斜面に海溝軸にほぼ平行なN20~30°E方向のリニアメントが見られるが、それ以南ではN50°E方向となり、さらに南部ではリニアメントがはっきりしなくなる。北緯9°10'以北ではヤップ海溝の海側にカリフォルニア海嶺を分離する地形の凹地であるソロールトラフが存在しているのに対して、以南ではカリフォルニア海嶺の南部の3,000m以浅の高まりが海溝に衝突していることを反映していると推定される。

海溝海側斜面の地形は上述のように海溝軸に沿う変化

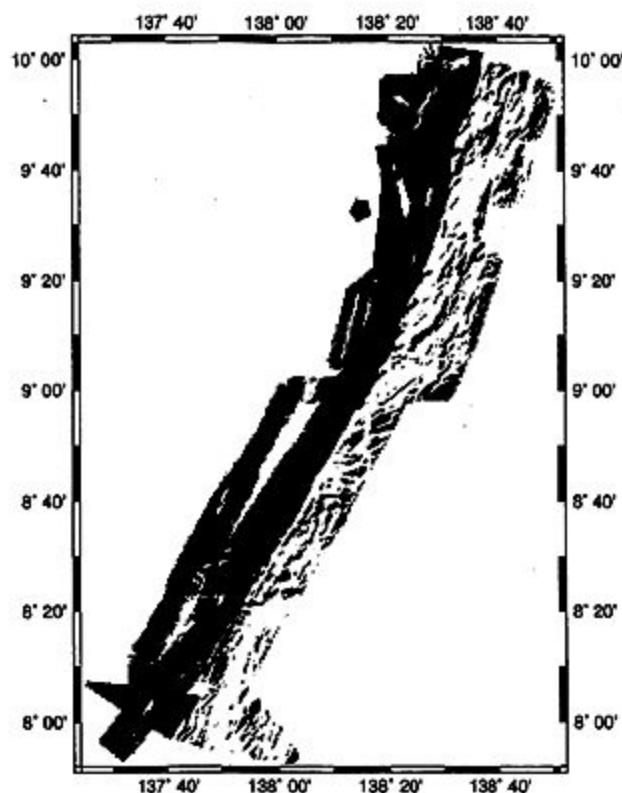


図5 図4と同範囲の海底地形の陰影図。北西方向から光をあてたイメージを示す。

Fig.5 Gray shaded relief plot of the multi-beam bathymetry. Illumination angle is from the northwest.

があるため、ヤップ海溝の変形も場所によって異なる可能性がある。今回はヤップ海溝海側斜面への最初の潜航であるので、できるだけ単純な領域から調査を始めることが望ましい。ヤップ海溝において沈み込みが起こっているとした場合、これまでの日本海溝やマリアナ海溝海側斜面への潜航の経験に基づき、最もその影響が観察されやすいと考えられるヤップ海溝北部のグラーベン域を潜航の対象とすることとした。すなわち、カロリン海嶺の衝突の影響が少なく、リニアメントが明瞭なヤップ海溝中部以北に、マルチビーム測深では観測できない小さなスケールで急崖や亀裂群が存在するかどうかを調査することにした。ヤップ海溝北部の海底地形図と陰影図の拡大図を、それぞれ図6と7に示す。潜航点としてこの領域内で最も顕著なグラーベンの1つである図中矢印で示す地点を選んだ。このグラーベンの走向は、北緯9°10'以北のN20°~30°EからN50°Eへと変化した部分に対応する。

3. 潜水船により得られた微細地形

潜水船による観察は、北緯9°9'の海側斜面のグラーベン底水深6,133mの地点からN135°Eの方向に水深5,575mまで、走向距離2,300mの範囲で行った。観察事項を表1に、航跡断面図を図8に示す。

潜水船の着底地点は泥質で平坦であり、生痕は見られるが、亀裂等はない。露頭が近づくと礫の分布密度が大きくなる。露頭はすべてマンガンコーティングされたpillow basaltであった。傾斜がやや急なところではbasalt brecciaが露出しており、緩斜面では岩はマンガンで厚くおおわれて丸みを帯びている傾向があるようである。このようなタイプのマンガンは琉球海溝の第118潜航で初めて報告されている(藤岡ほか, 1994)。

また、水深6,020m~5,630mの急傾斜域では、ほぼN45°E方向の走向を持つ幅15m、深さ4~5m程度の凹地を2回観測した。さらに、この急傾斜面途中では、高さ2~3m程度の急崖と幅10m程度の堆積物におおわれた平坦面の繰り返しが見られた。泥質の平坦面上には生痕が見られるのみで、日本海溝やマリアナ海溝海側斜面に見られるような小断層や小さな亀裂は観察されなかった。

4. 議論及びまとめ

ヤップ海溝中央部では海溝軸の走向はほぼN20°Eである。日本海溝北部の北緯39°30'付近の海側斜面では、マルチビームデータから4方向のリニアメントが得られ、それぞれ海溝軸に平行、磁気異常に直交する方向、ホルストグラーベンの方向等として観測されている(Kobayashi *et al.*, 1991)。ヤップ海溝の海側の領域では、地磁気の縞模様やプレート生成時の弱線の方法も不明である。しかしながら、マルチビームと潜水調査船から観察されるデータはどちらも海溝軸にほぼ平行からやや斜交した走向のグラーベン構造を示すことから、少なくともこの領域では、微細地形はカロリンプレート沈み込みによる張力を反映していると考えられる。

東京大学海洋研究所の白鳳丸航海KH84-1及びKH86-1により、ヤップ海溝においていくつかのマルチチャンネル反射探査が行われている。Tokuyama *et al.* (1985)は、ヤップ海溝との境界をなすカロリン海嶺の西側が正断層群で切断されており、海溝底から海側斜面水深5,200mまで急崖をなすことを示した。また、ヤップ島南約20kmの海溝を横断する測線では、海溝海側斜面上にいくつかの正断層の存在を示しており(Nishiyama *et al.* 1986)、これらの結果は今回の調査で

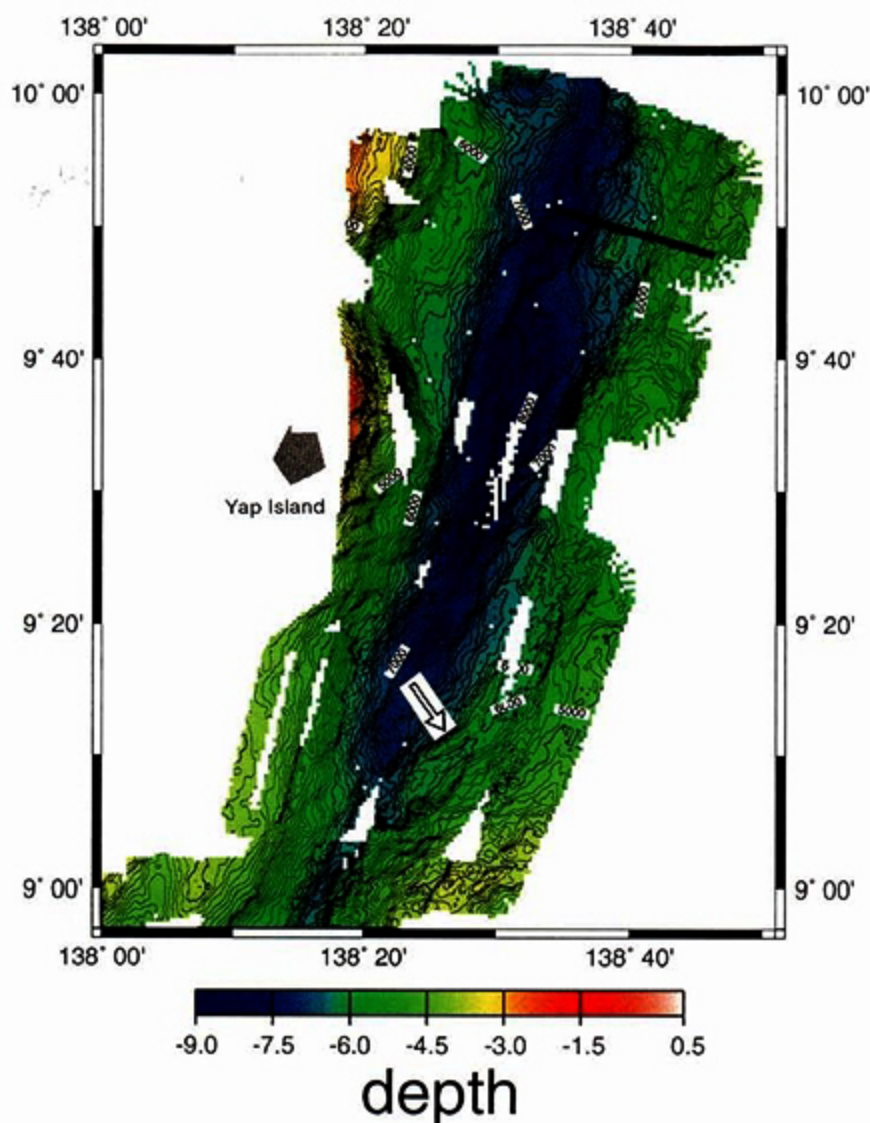


図 6 ヤップ海溝中央部の海底地形図。等深線間隔は、100 m、矢印は潜水位置
 Fig. 6 Multi-beam bathymetric map. Contours are at 100 m interval. Diving site is indicated by an arrow.

推定された張力場に調和的である。

最近のマルチビーム音響測深機等による測深技術の進歩により海底地形の凹凸の統計的評価が可能となってきた（例えば、Fox and Hayes, 1985）。多くの場合地形の凹凸のパワースペクトルは累乗則にあてはまるが、ヤップ海溝の海側斜面におけるマルチビームの観測データについてはどうか調べてみた。図 9（左）に、ヤップ海溝中央部海側斜面で得られたスワスの各ビームデータを示す。測線の位置は、図 6 と図 7 において実線で示してあるように、海溝軸に平行なリニアメントが存

在する領域である。右図には、中心ビームのパワースペクトル密度関数を示す。スペクトルの傾斜は波長 2 km から 300 m の範囲でおよそ -3.3 となる。Fox and Hayes (1985) よればこれらの統計パラメータはその地域のテクトニクスを反映しており、例えば、この値から沈み込み活動の有無について議論することが可能になるかもしれない。典型的な沈み込み域の 1 つである伊豆・小笠原海溝海側斜面において同様にパワースペクトルの傾斜を求めたところ、その傾斜はヤップ海溝より大きく -4 程度となった。ヤップ海溝での傾斜は、むしろ沈み込み活

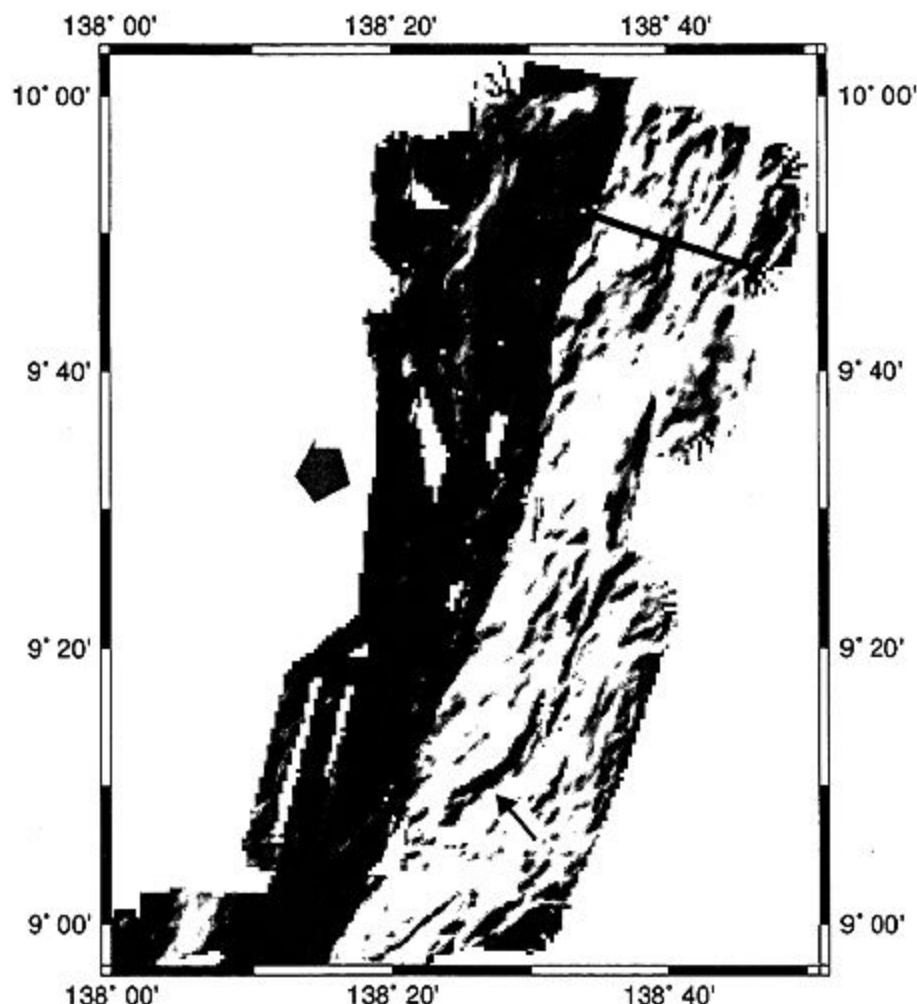


図 7 図 6 と同範囲の海底地形の陰影図。北西方向から光をあてたイメージを示す。
Fig. 7 Gray shaded relief plot of the multi-beam bathymetry. Illumination angle is from the northwest. Diving site is indicated by an arrow.

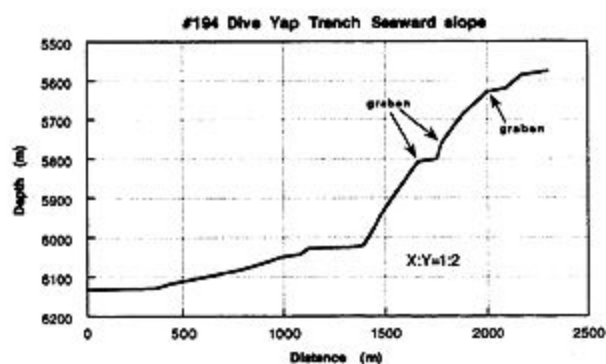


図 8 潜水調査船「しんかい 6500」の航跡断面図
Fig. 8 Submersible track of Dive 194.

動のない、ほぼ平坦な太平洋海盆底での値に近い傾向にある。しかしながら、安定なスペクトルの推定は非常に

難しく、今後、適当なスペクトルの推定法の構築とともに、他の多くの沈み込み帯においても同様な測定をすることによってデータを蓄積しつつさらに検討する必要がある。また、潜水調査船の航跡についてもスペクトル解析を行い乗乗則がどの程度のスケールまで成り立つかどうかを調べることは興味深い。

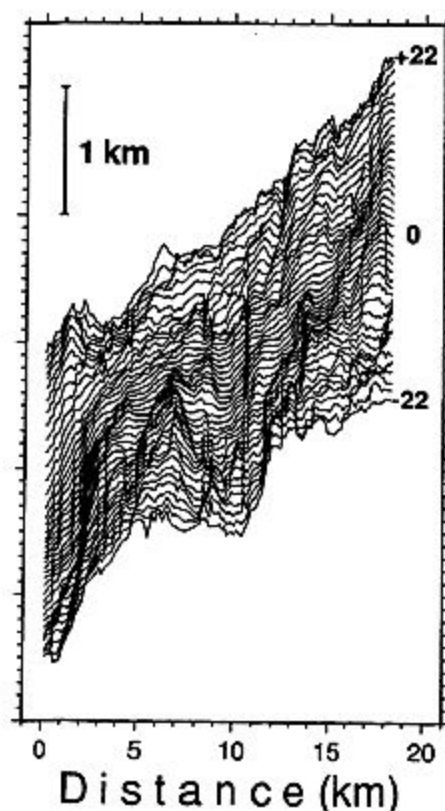
カロリン海嶺の地殻の速度構造は不明であるが、Bracy and Andrews (1974) は地形及び地球物理データに基づいて、海嶺の西部は島弧起源であると推定している。採取した岩石の化学組成や年代は現在測定中であり、その結果はカロリン海嶺やソロールトラフの起源を探るための重要な手がかりとなるであろう。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、海洋科学技術センターの

表 1 第194潜航の観察事項
Table 1 Observation during Dive 194

時 刻	深 度	観 察 事 項
09:00	6,133 m	潜航開始
11:23		着底
11:23~12:20	~6,069 m	定点付近。底質：泥。平坦。柱状採泥を2本行う。生痕は見られるが、亀裂等はない。水深約 6,125 m 以浅より泥中に隙が見られるようになる。露頭が近づくと隙の分布密度が大きくなる。
12:20	6,069 m~	Pillow lava の露頭。岩石はマンガンコーティングされており全体として丸みがかっている。岩石のサンプリングを試みたがどれも露頭に固着しており分離できない。
13:55~13:57	5,812 m	露頭を登りきったところで幅 15 m、落差約 5 m の凹地（水深の差：5,807 m~5,812 m）があり、凹地底は平坦で泥質である。凹地の走向は海溝軸にほぼ平行。
14:05~14:07	5,769 m	落差約 3 m の凹地（水深の差 5,766 m~5,769 m）があり、凹地底は平坦で泥質である。凹地の走向は海溝軸にほぼ平行。凹地底で柱状採泥を2本行う。凹地底から露頭へ上る直前に岩石を採取した。
14:17~14:26	5,767~5,688 m	Pillow breccia の露頭。傾斜角はおそらく 30°程度。
14:26~14:30	5,685 m	傾斜角約 30°の急傾斜面途中において、高さ 2~3 m 程度の急崖と幅 10 m 程度の堆積物に覆われた平坦面の繰り返しが数回見られた。
14:36~14:43	5,627~5,621 m	傾斜面を登りきった直後の水深 5,627 m (14 h 36 m) と 5,621 m (14 h 43 m) に落差約 3 m の凹地が観測された。
15:12	5,575 m	離底



Yap Trench (HS10, #6) seaward slope
topography

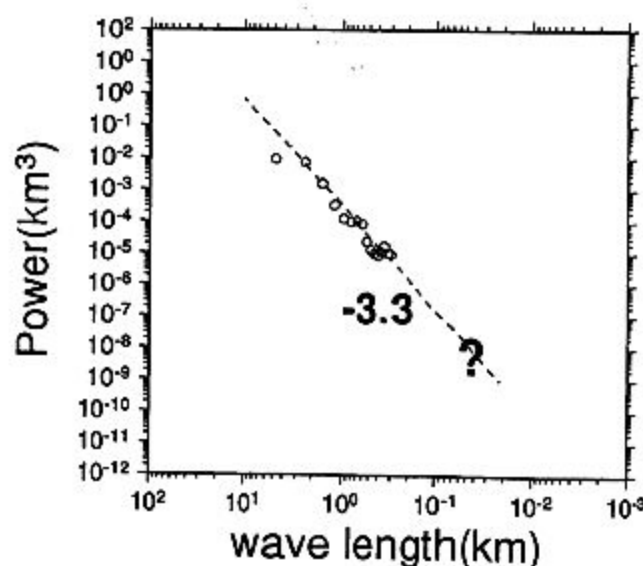


図 9 (左) ヤップ海溝中央部海側斜面で得られたスワスの各ビームデータ。中心ビーム（太線）。測線の位置は、図 6 と図 7 において実線で示してある。(右) 中心ビームのパワースペクトル密度関数
Fig. 9 (Left) Depth of each beam recorded by HS10 multi narrow beam system along the profile shown by a solid line in Figs. 6 and 7. (Right) Power spectrum density estimated from the center beam data.

「しんかい6500」の運航チーム及び「よこすか」の船長をはじめ乗組員の方々には大変お世話になりました。また、海上保安庁水路部測量船「拓洋」のWESTPAC航海で得られたSeaBeamデータを使わせていただきました。記して感謝いたします。

参考文献

- Bracy, D. R. and J. E. Andrews (1974) : Western Caroline Ridge: Relic island arc? *Mar. Geophys. Res.*, 2, 111-125.
- Circum-Pacific map project (1981) : Plate tectonic map of the Circum Pacific region. A.A.P.G., Oklahoma.
- Fox, C. G. and D. E. Hayes (1985) : Quantitative method for analyzing the roughness of the seafloor. *Rev. Geophys.*, 23 (1), 1-48.
- 堀田 宏・小林和男・小川勇二郎 (1992) : 日本海溝北部海側斜面の地殻構造「しんかい6500」第65, 66, 67潜航報告. しんかいシンポジウム報告書, 8, 1-15.
- 加藤 茂・加藤 剛・浅田 昭 (1986) : バラオ海溝北部の詳細な海底地形. 水路部技報, 4, 8-16.
- Kobayashi, K. (editor) (1991) : Preliminary Report of the Hakuho-Mar Cruise KH90-1. Ocean Research Institute, University of Tokyo, Tokyo, 174 pp.
- McCabe, R. and S. Uyeda (1983) : "Hypothetical model for the bending of Mariana Arc." p 281-293. In : The tectonic and geologic evolution of southeast Asian seas and islands. Edited by D.E. Hayes, AGU, Washington D.C..
- Nagihara, S., M. Kinoshita, H. Fujimoto, H. Katao, H. Kinoshita and Y. Tomoda (1989) : Geophysical observations around the northern Yap Trench: seismicity, gravity and heat flow. *Tectonophysics*, 163, 93-104.
- Nishiyama, E., H. Tokuyama, H. Tamai, H. Katao, S. Kuramoto and K. Suyehiro (1986) : "Seismic reflection survey." p 18-29. In : Geological and geophysical investigation of Mariana, Palau and Yap Arc Trench systems, Preliminary Report of the Hakuho-Mar Cruise KH86-1. Edited by Y. Tomoda, Ocean Research Institute, University of Tokyo, Tokyo.
- Tokuyama, H., T. Asanuma, E. Nishiyama, H. Hatori, S. Ueno and N. Tomita (1985) : "Multichannel seismic reflection survey." p 282-291. In : Geological and geophysical investigation of seafloor east of Ogasawara (Bonin) Islands, northern Mariana Trough, southern Mariana, Yap, Palau Trench and Arcs, Preliminary Report of the Hakuho-Mar Cruise KH84-1. Edited by K. Kobayashi, Ocean Research Institute, University of Tokyo, Tokyo.
- Wessel, P. and W. H. Smith (1991) : Free software helps map and display data. *EOS Trans. AGU*, 72, 441, 445-446.

(原稿受理: 1994年6月30日)