

# ヤップ海溝の海底地形

富士原敏也\*<sup>1</sup> 田村 千織\*<sup>2</sup> 藤岡換太郎\*<sup>1</sup> 小林 和男\*<sup>1</sup>

日本の約3,000km南方に位置するヤップ海溝はフィリピン海プレートと太平洋プレート、そしてカロリンプレートの境界域に位置する総延長700kmの海溝である。この海溝のテクトニクス、ダイナミクスの解明を目的として、1993年、1995年そして1996年に「よこすか」によるマルチナロービーム海底地形の調査が行われた。これらの調査によりヤップ海溝全域の海底地形がマルチナロービームによって調査され、詳細な海底地形が明らかになった。海溝は8°20'N付近を境界として北部と南部では、海溝軸に沿っての海溝底の水深の変化、海溝軸の走向の変化の様相が大きく異なること、海溝島弧側斜面には2つの地形の傾斜の変曲点がみられ3つの地形区を形成していること、海溝海側斜面には正断層起源と思われる地塁・地溝構造の海底地形、海溝底にほとんど堆積物が認められないことなどの地形的特徴が明らかになった。

キーワード：ヤップ海溝，海底地形，マルチナロービーム，フィリピン海プレート，カロリンプレート

## Detailed Morphology of the Yap Trench

Toshiya FUJIWARA\*<sup>3</sup> Chiori TAMURA\*<sup>4</sup> Kantaro FUJIOKA\*<sup>3</sup>  
Kazuo KOBAYASHI\*<sup>3</sup>

The swath bathymetric surveys of the whole-length of the Yap Trench were conducted aboard the R/V "Yokosuka" during the submersible "Shinkai 6500" dive program in 1993 (Y93-03), 1995 (Y95-06) and 1996 (Y96-12). Full multi narrow beam areal coverage was obtained where the water depth was deeper than 5,000m. The survey area is the Yap Trench (7°00'-12°00'N, 136°30'-139°00'E) which forms the plate boundary between the Philippine Sea Plate, the Pacific Plate, and the Caroline Plate.

The surveys revealed the detailed trench morphology. The morphology along trench axis shows great difference between the northern part and the southern part of the trench. There are large variations in axial depth in the north of 8°20'N. The strike of the trench axis changes at local trench deeps. In contrast, the variations are small in the south of 8°20'N.

Major two inflection points are found in the inner trench slope at depths of 4,000-5,000m and 6,000-7,000m. The inflection points divide the inner slope into three morphological sections. The morphology of the inflection correlates with the morphology of the outer trench slope in

\* 1 海洋科学技術センター

\* 2 東京大学海洋研究所

\* 3 Japan Marine Science and Technology Center

\* 4 Ocean Research Institute, University of Tokyo

the opposite side. The inner trench slope has a gentle slope at a inflection point where the topographic high associated with the Caroline Ridge contacts with the outer trench slope.

The bottom of the trench valley is found to be free from sediment. The horst and graben structure is found in the outer trench slope. These evidences suggest that the trench appears to be still active so the morphology is neither relict of the past (20 Ma) tectonism nor formed by lithospheric flexure.

**Key words :** Yap Trench, Morphology, Multi Narrow Beam, Philippine Sea Plate, Caroline Plate

## 1. はじめに

日本の約 3,000km 南方に位置するヤップ海溝は、フィリピン海プレートと太平洋プレート、そしてカロリンプレートの境界域に位置する総延長 700km の海溝である (図 1)。この海溝はフィリピン海プレート側にヤップ島を含む島弧をもち、島弧—海溝系の形を呈している。海溝の形状はフィリピン海プレート側を凸に大きく湾曲している。カロリンプレート側ではカロリン海嶺がヤップ海溝に接している (図 2)。

Seno et al. (1993) によるグローバルなプレート運動解析では、ヤップ海溝においてフィリピン海プレート—太平洋・カロリンプレート間は、3~6 mm/yr の相対速度で収束しており、太平洋・カロリンプレートがフィリピン海プレートの下に沈み込んでいるとされる。しかしながらヤップ海溝での現在の沈み込みに関しては議論がある。Hawkins and Batiza (1977) や McCabe and Uyeda (1983) は、20 Ma 頃にカロリン海嶺がヤップ海溝に衝突し、そのときにヤップ海溝での沈み込み活動は停止したとしている。この推論はヤップ海溝が他の海溝に比べて以下に示すような特異な特徴をもっていることによる。ヤップ海溝ではプレートの沈み込みにともなう深発地震面がみえなく、またヤップ島は変成岩でできており現在の火山活動がみられない。このように深発地震面と島弧に活火山が存在しないためプレートの沈み込みの存在は明確ではない。ヤップ海溝の特異性の 1 つに海溝軸と島弧までの距離が 50km 以下しかないことがある。これは南に隣接するパラオ海溝とともに、世界で最も海溝と島弧までの距離が近い海溝であろう (図 2)。McCabe and Uyeda (1983) は、カロリン海嶺の衝突がヤップ島弧での火山活動を停止させ、海溝—島弧までの距離を短縮させたと説明している。一方、ヤップ島周辺海域での年代 10 Ma の火山岩の採集 (Crawford et al., 1986)、第四紀火山活動による熱水変成を受けたと思われる岩石の採集 (Fujioka et al., 1986)、ヤップ背弧での

地殻熱流量がやや高いこと、海溝での大きな負の重力異常 (Nagihara et al., 1989)、島弧側地殻内での地震活動 (Sato et al., 1997) などの観測事実は、20 Ma 以後のヤップ海溝での沈み込みが起きていることを示唆する。

この海溝のテクトニクス、ダイナミクスの解明を目的として、海洋科学技術センターでは、1993年 (Y93-03 航海) と 1995年 (Y95-06 航海) そして 1996年 (Y96-12 航海) に「しんかい 6500」の潜航調査航海とあわせて、「よこすか」によるマルチナロービームを用いた海底地形及び重力・地磁気調査を行った (藤岡ほか, 1994; 西澤ほか, 1994; 藤岡ほか, 1996; 富士原ほか, 1996; 富士原・田村, 1996)。本論文では海底地形調査に関して得られた結果を報告する。

## 2. 海底地形調査の概要

海底地形調査は「よこすか」に装備されている古野電気社製マルチナロービーム音響測深機 HS-10 により行った。調査は「しんかい 6500」の潜航調査点間の移動中である夜間及び潜水船整備日を利用して行った。船の測位は GPS (Global Positioning System) により行い、測地系は WGS-84 を使用した。水深の計算には調査航海中の XBT 観測及び「しんかい 6500」により観測された STD (塩分濃度, 温度, 水深) データから, Mackenzie (1960) に基づいた式から求めた海中音速を用いた。

図 3 に全調査測線を示す。「よこすか」によって得られたデータの他に海上保安庁水路部の「拓洋」のシービームデータ (岩淵ほか, 1990)、東京大学海洋研究所の「白鳳丸」KH92-1 航海のシービームデータ (Fujiwara et al., 1996a) もあわせると、北端であるマリアナ海溝との接合部から、南端のパラオ海溝との接合部までのヤップ海溝全域 (7°00'N~12°00'N, 135°00'~139°00'E) が調査された。水深 5,000 m 以深のヤップ海溝の地形に関してはマルチナロービームによって完全にカバーさ

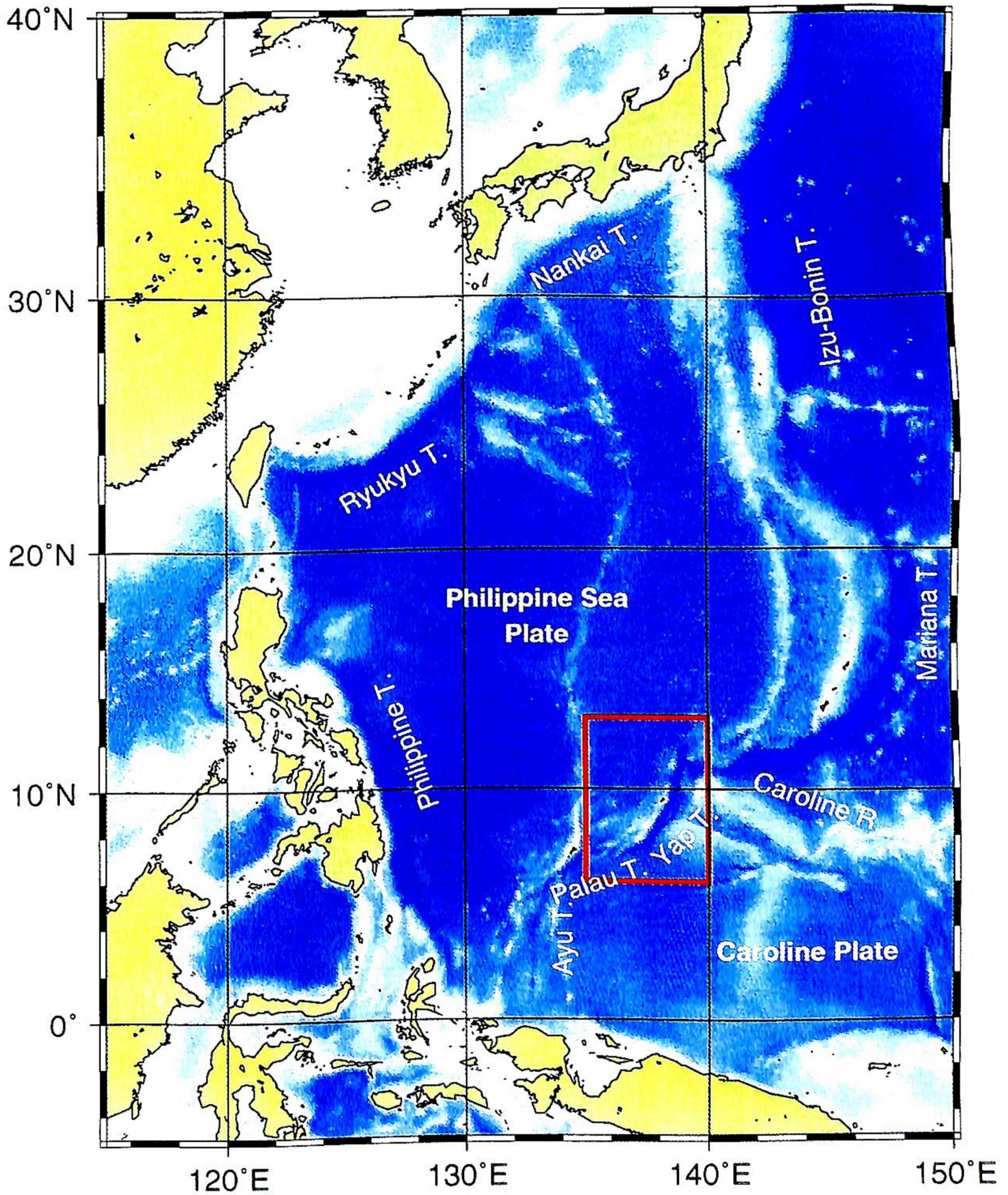


図 1 ヤップ海溝周辺地域の概略図。図中の四角はヤップ海溝の位置を示す  
 Fig. 1 Location map of the Yap Trench. The box shows the location of the Yap Trench.

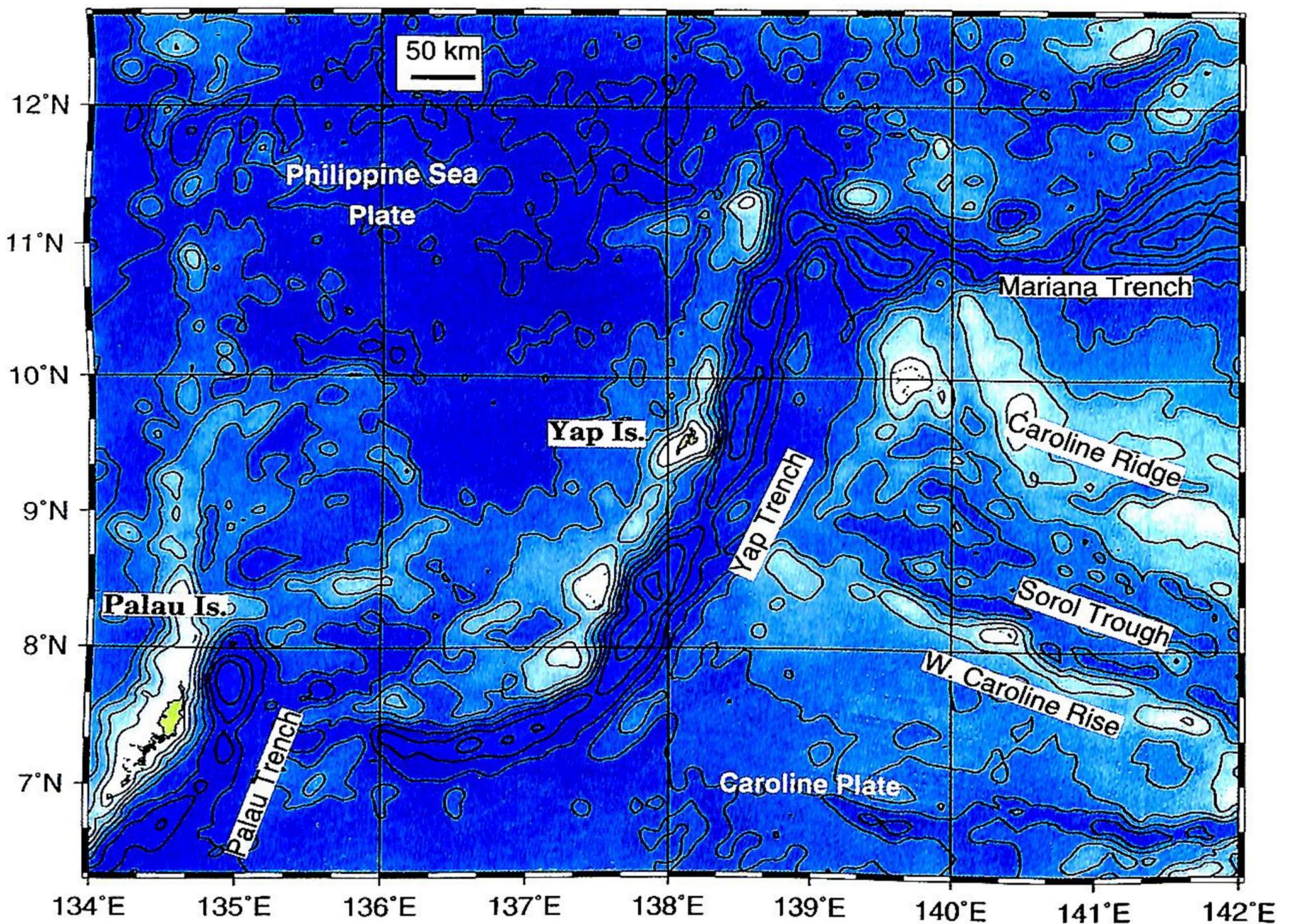


図 2 ヤップ海溝の概略図。等深線間隔は 1,000m。海底地形は Smith and Sandwell (1994) による  
 Fig. 2 Generalized bathymetric map of the Yap Trench. Contour interval is 1,000 meters. The bathymetric data are based on Smith and Sandwell (1994).

れている。

### 3. ヤップ海溝の海底地形

ヤップ海溝全域の海底地形図を図 4 に示す。マリアナ海溝との接合点である 11°10'N の他に、10°30'N、9°40'N、そして 8°20'N 付近に海溝の水深の深まりがみられる。8°20'N 以南には大きな海溝の深まりはみられない。海溝の走向はそれらの海溝の深まりを変曲点として変化している。マリアナ海溝との接合点である 11°10'N から 10°30'N までの走向は N25°E である。10°30'N から 9°40'N までが N10°E、9°40'N から 8°20'N までの走向は N30°E と変化する。8°20'N 以南は走向は短い周期をもって比較的連続的に変化する。N30°E から 7°20'N、136°00'E においては N110°E の走向へとヤップ海溝はこの部分で大きく湾曲している。海溝の深まりのところではまた、水深 6,000m 以上の海溝の幅が広くなる傾向がある (図 5)。

図 6 に海溝軸に沿った海底地形断面図を示す。海溝軸に沿ってヤップ海溝底の水深は 6,200m から 8,900 m まで大きく変化する。前述のように 11°10'N、10°30'N、9°40'N、そして 8°20'N 付近に海溝の水深の深まりがある。10°30'N 付近の海溝の深みにヤップ海溝の最深部がある。10°29.957'N、138°40.987'E の地点が最深部でその水深は 8,946m である (富士原ほか、本書)。10°50'N、10°10'N と 9°00'N 付近の海溝浅部はカロリン海嶺がヤップ海溝に接しているところである。これらの場所では水深 6,000 m 以上の海溝の幅も細くなる傾向にある (図 5)。8°20'N 以南では海溝底の水深は南に行くにつれて、小さな水深の変動をともしないながらも徐々に浅くなっていく (図 6)。

マリアナ海溝とヤップ海溝はほぼ直交に接合している (図 7)。海溝の接合点から北に、西落ちの落差 1,500m 以上の急崖をともし谷地形がのびている (11°30'N、138°50'E ~ 12°00'N、139°00'E)。この谷地形の走向は

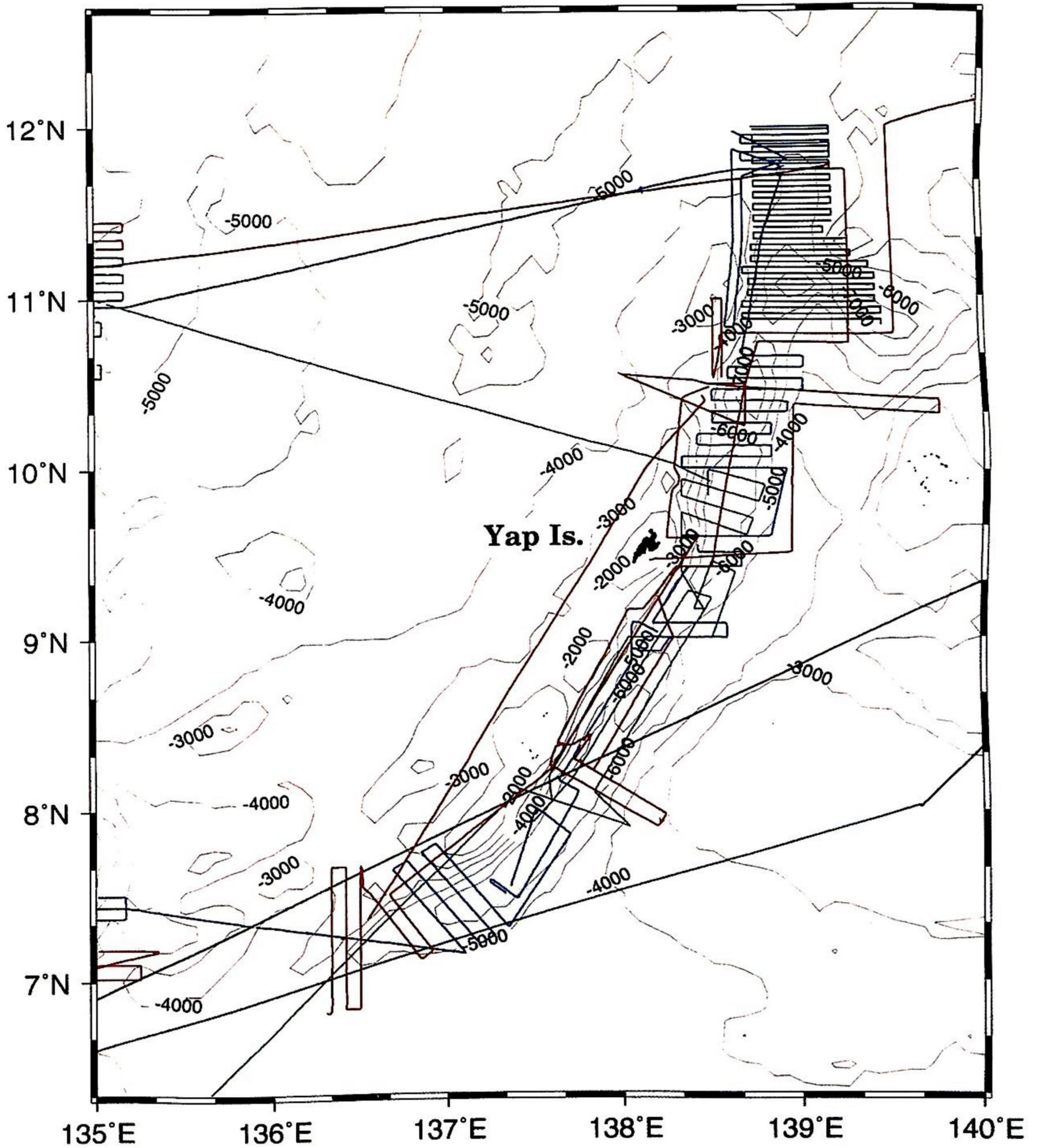


図 3 ヤップ海溝における海底地形調査の全航跡図。赤い実線は96年、青い実線は95年、緑の実線は93年の「よこすか」の調査測線を示す

Fig. 3 Survey ship tracks in the Yap Trench. The solid red, blue and green lines show the survey tracks of the R/V "Yokosuka" in 1996, 1995 and 1993, respectively.

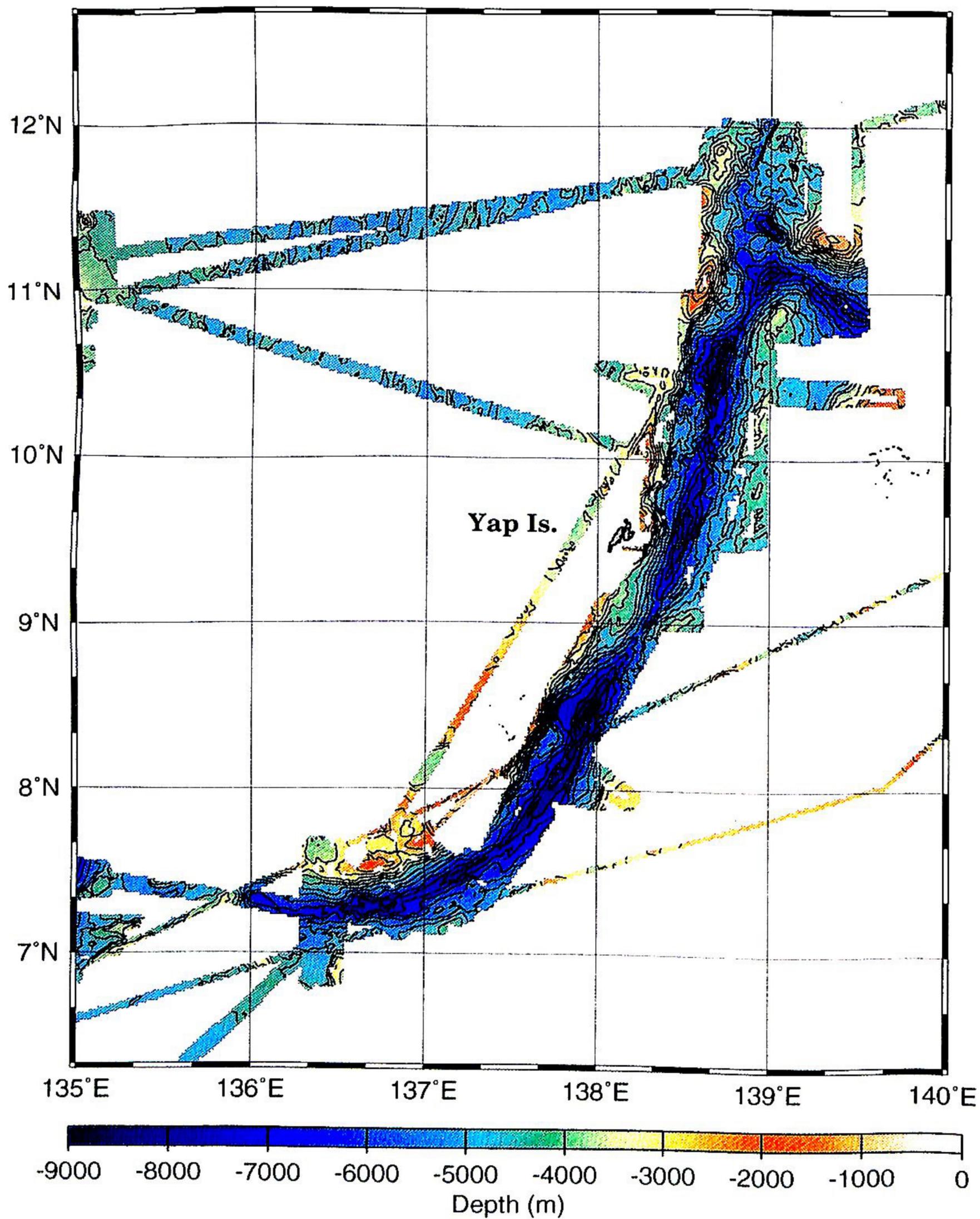


図4 ヤップ海溝全域の海底地形図。等深線間隔は250m。暗い色ほど深い水深を示す  
 Fig. 4 Bathymetric map of the whole-length of the Yap Trench. The contour interval is 250m. Dark colors indicate deeper water depth.

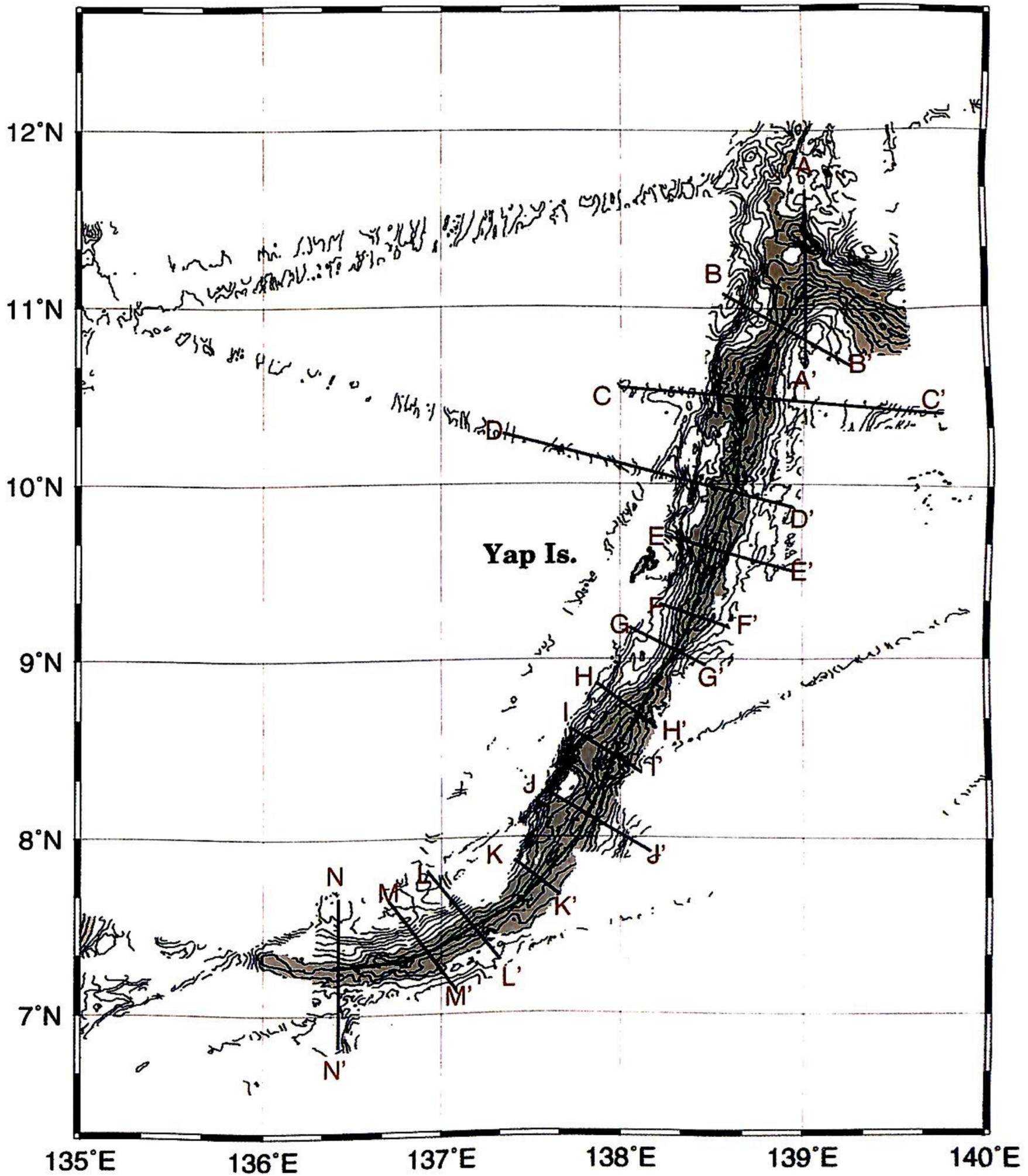


図 5 ヤップ海溝全域の海底地形図。等深線間隔は 500m。水深 6,000m より深い海域に影をつけている。図中の緑と青の実線と記号は図 6, 11, 12 に示す海底地形断面図の測線を示す

Fig. 5 Bathymetric map of the whole-length of the Yap Trench. The contour interval is 500m. The area deeper than 6,000m is shaded. The green and blue lines and alphabets show the tracks of cross sections shown in figures 6, 11, and 12.

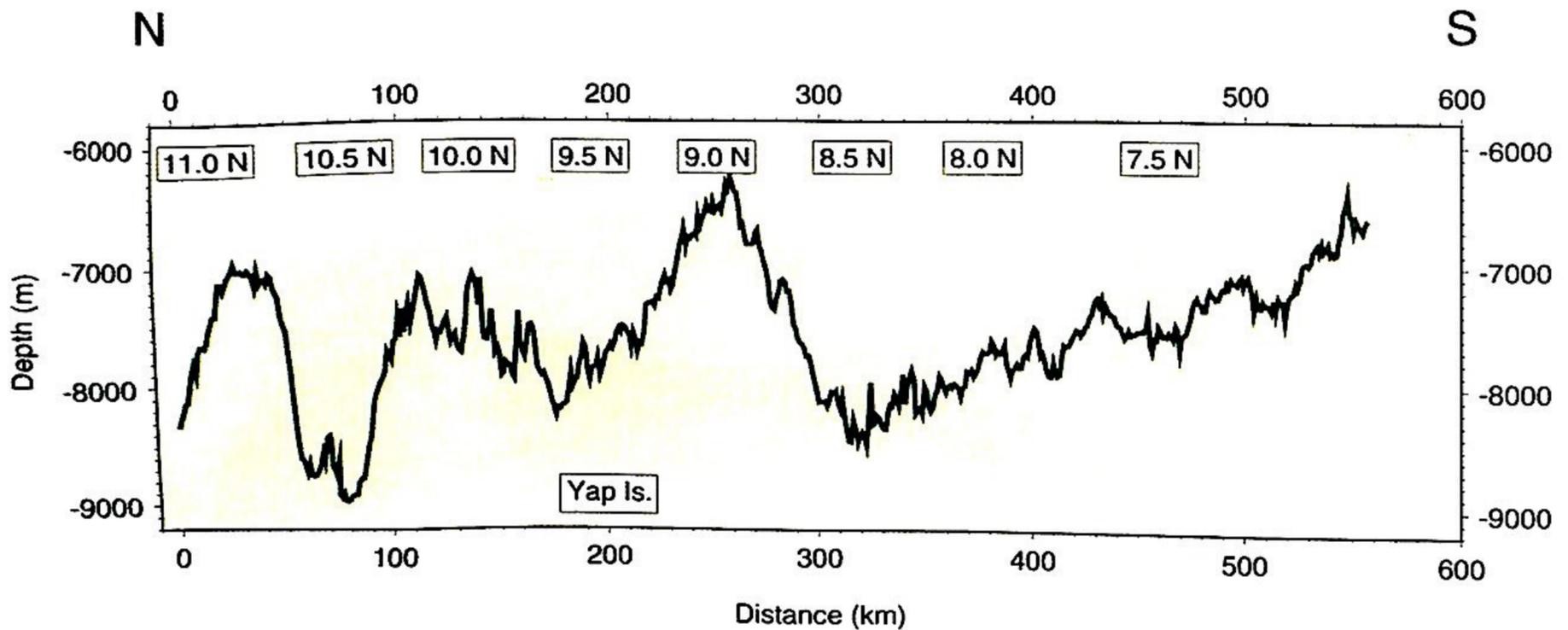


図6 マリアナ海溝との接合部 (11°07'N) から7°16'Nまでの海溝軸に沿った海底地形断面図。断面図の測線は図5に示されている

Fig. 6 Bathymetric cross section along trench axis to 7°16'N from the junction with the Mariana Trench of 11°07'N. The track of cross section is shown in Fig. 5.

N20°E でヤップ海溝北部の走向にほぼ一致している。

10°50'N 及び 10°10'N 付近のカロリン海嶺と接している場所の対面の島弧側斜面では、水深 6,000m のところに傾斜のゆるい斜面がみられる。この斜面が海溝軸側に張りだしているため海溝の幅が狭まっている (図7)。ヤップ海溝中部の 9°00'N 付近の海溝斜面においても同様に、カロリン海嶺と接している場所の対面の島弧側斜面には水深 4,000~5,000m のところに傾斜のゆるい斜面がみられる (図8)。

8°20'N を境にした海溝北部と南部は地形的な特徴を異にする。しかしながら地形を細かくみると、8°20'N 以南にも小さな規模では海溝軸に沿った起伏があり、海溝の深まりを起点に海溝の走向を変えていると解釈することもできる (図6, 9)。

水深 6,000m 以上の海溝深部は 136°E 付近で N20°E の走向をもつ地形の高まりによって途切れる (図10)。136°E 以西からは、観測測線が十分でないため確かではないが、海溝地形はみられない。またヤップ海溝とパラオ海溝をつなぐ海溝トランスフォーム断層の存在 (加藤ほか, 1986) も明確に確認できない。

海溝軸に直交した海底地形断面図を図11と12に示す。海溝底には堆積物の堆積を示唆する地形平坦面はみられない。

海溝海側 (カロリンプレート側) の海溝軸から 20 km までの平均傾斜は 10°前後である (A~I 断面)。8°20'N 以南では平均傾斜は海溝北部に比べて小さくな

り 7°前後である (J~N)。これらの傾斜角は一般的な海溝に比べてかなり高角度である。海溝軸から 10 km までに傾斜角度 15°を越す急斜面をともなう場所もある (B, C, E, G, I, J)。海溝海側斜面には正断層起源と思われる地塁・地溝 (ホルスト・グラーベン) 構造の海底地形がみられる (C, D, E, F, H, L, N)。

海溝島弧側の斜面には水深 4,000~5,000m と 6,000~7,000m のところに 2 つの地形の傾斜の変曲点があり、これによって海溝斜面は 3 つの斜面で構成されている。この地形の変曲点はヤップ海溝全域にわたって普遍的にみられるが、その形態については場所によって多少の違いがみられる。斜面上に数百 m の小さな落差のみ (C, F, H, K, L, M)、傾斜角のゆるい斜面を 4,000~5,000m の変曲点にともなう (G, N)、6,000~7,000m の変曲点にともなう (B, D, E, I, J) という 3 つの形態がみられる。形態についてはカロリン海嶺の接近と相関があり、海側斜面で地形の高まりが海溝に接しているところで、ゆるい傾斜面をともなう傾向がある (B, D, E, G)。

#### 4. 考 察

マリアナ海溝とヤップ海溝の接合点から北にのびる谷地形について Nishiyama et al. (1986) は「白鳳丸」KH86-1 航海で得られた反射法地震探査の結果から、ここではマリアナ弧がヤップ弧の下に沈み込んでいるとした。これに対して岩淵ほか (1990) は、沈み込みの圧縮場ではなくヤップ側の地殻が落ちている正断層の場

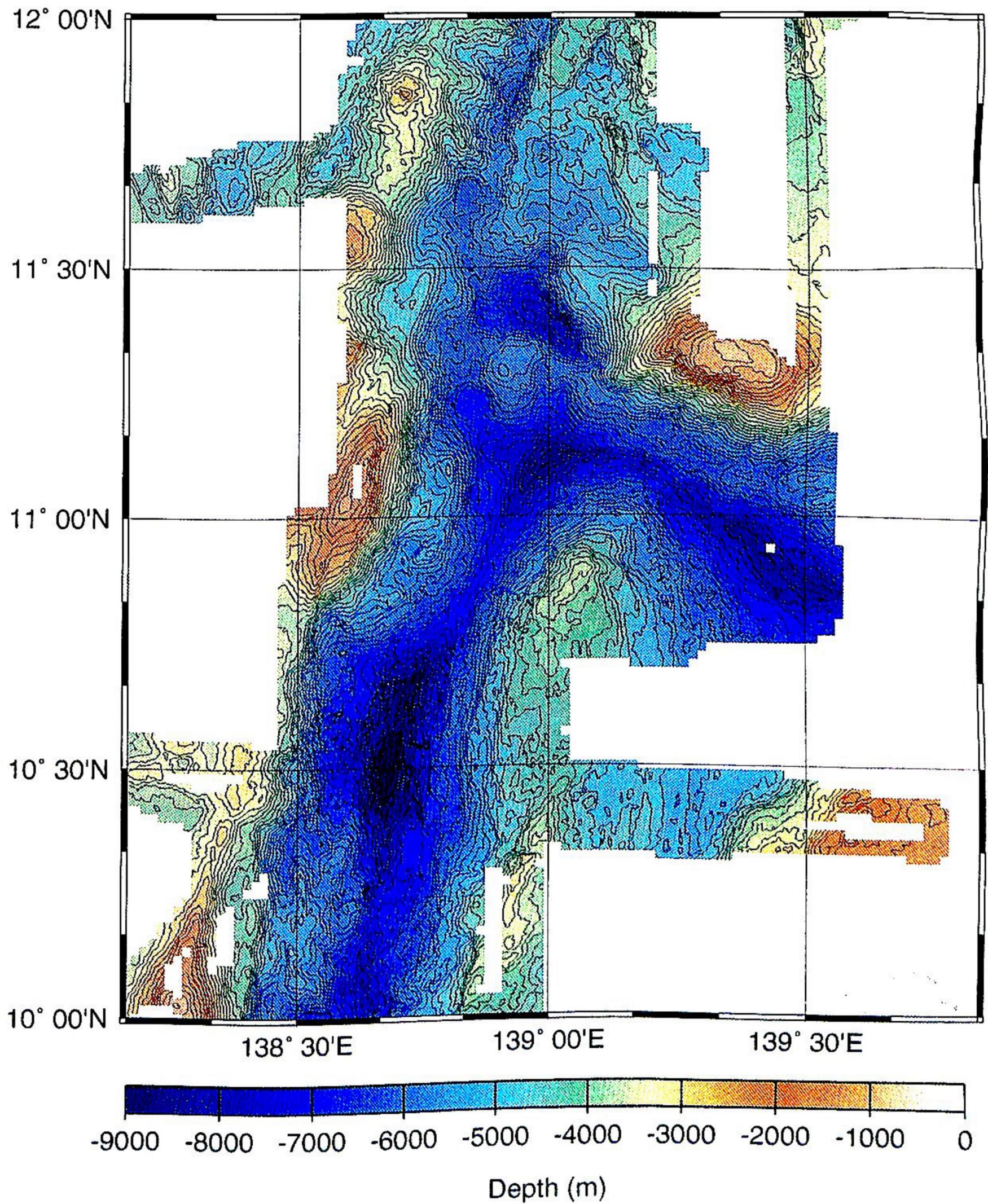


図 7 ヤップ海溝北部の海底地形図。等深線間隔は200m。暗い色ほど深い水深を示す  
 Fig. 7 Bathymetric map of the northern Yap Trench. The contour interval is 200m. Dark colors indicate deeper water depth.

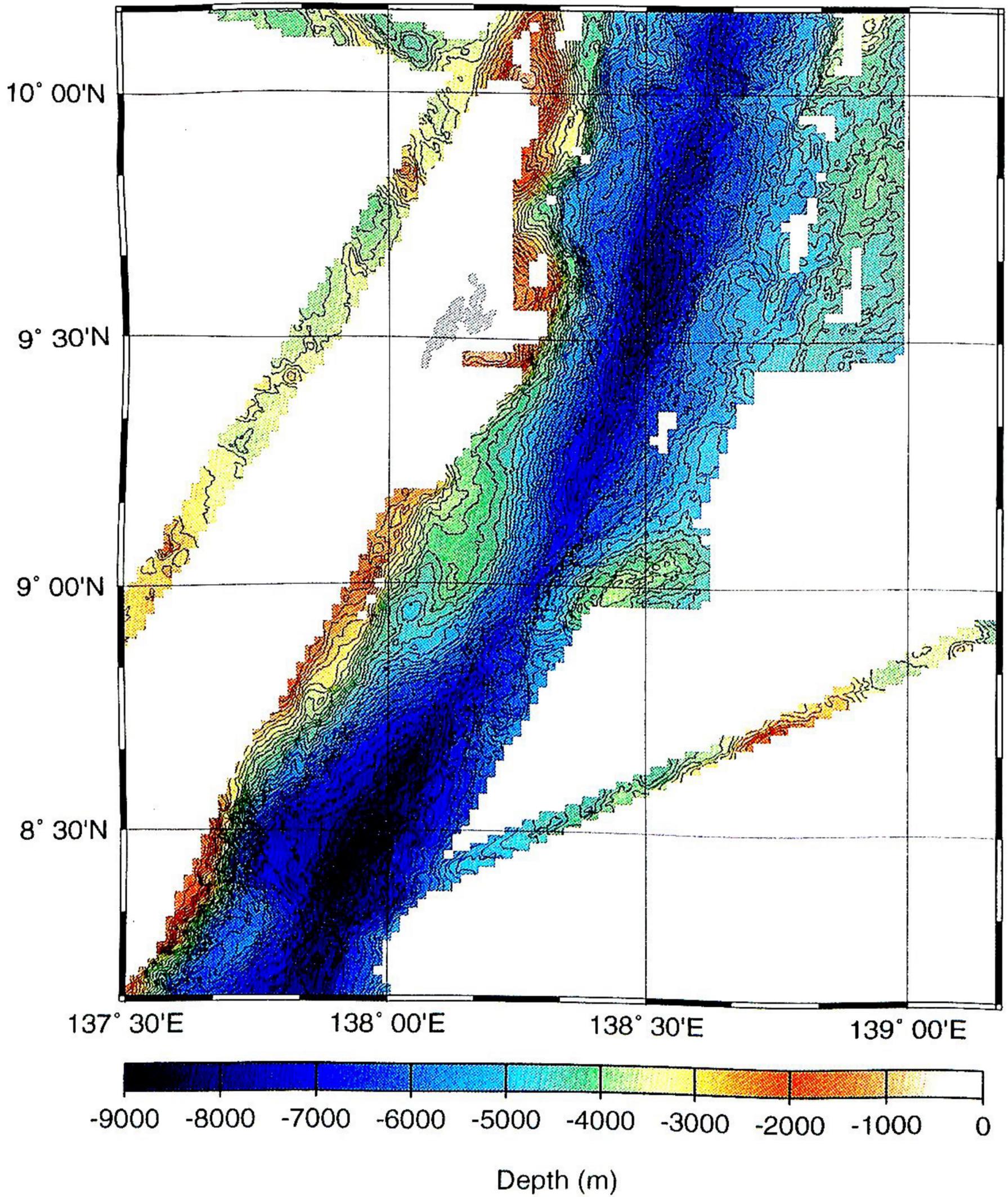


図 8 ヤップ海溝中部の海底地形図。等深線間隔は 200m。暗い色ほど深い水深を示す  
 Fig. 8 Bathymetric map of the central Yap Trench. The contour interval is 200 m. Dark colors indicate deeper water depth.

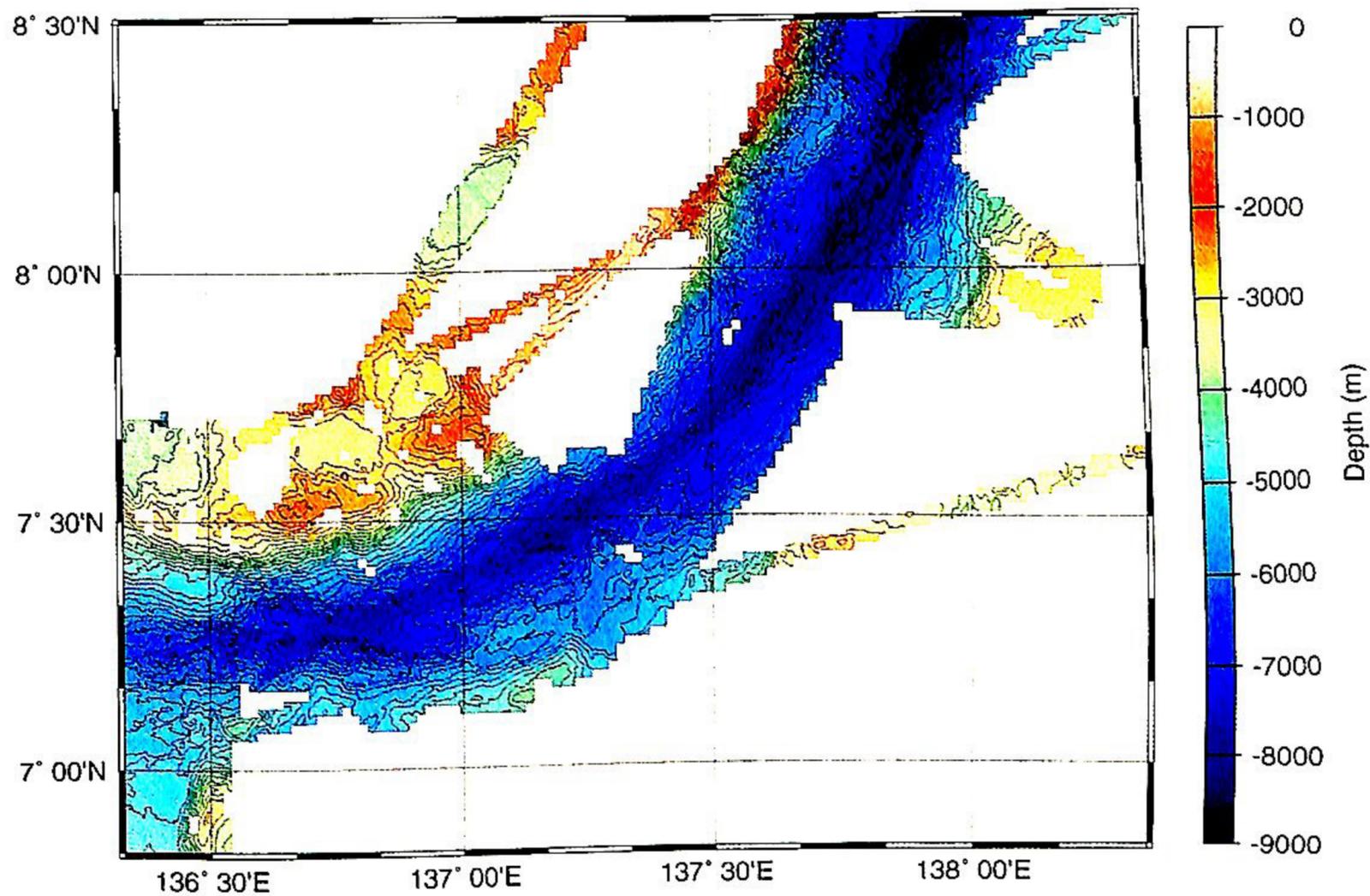


図 9 ヤップ海溝南部の海底地形図。等深線間隔は 200m。暗い色ほど深い水深を示す  
 Fig. 9 Bathymetric map of the southern Yap Trench. The contour interval is 200m. Dark colors indicate deeper water depth.

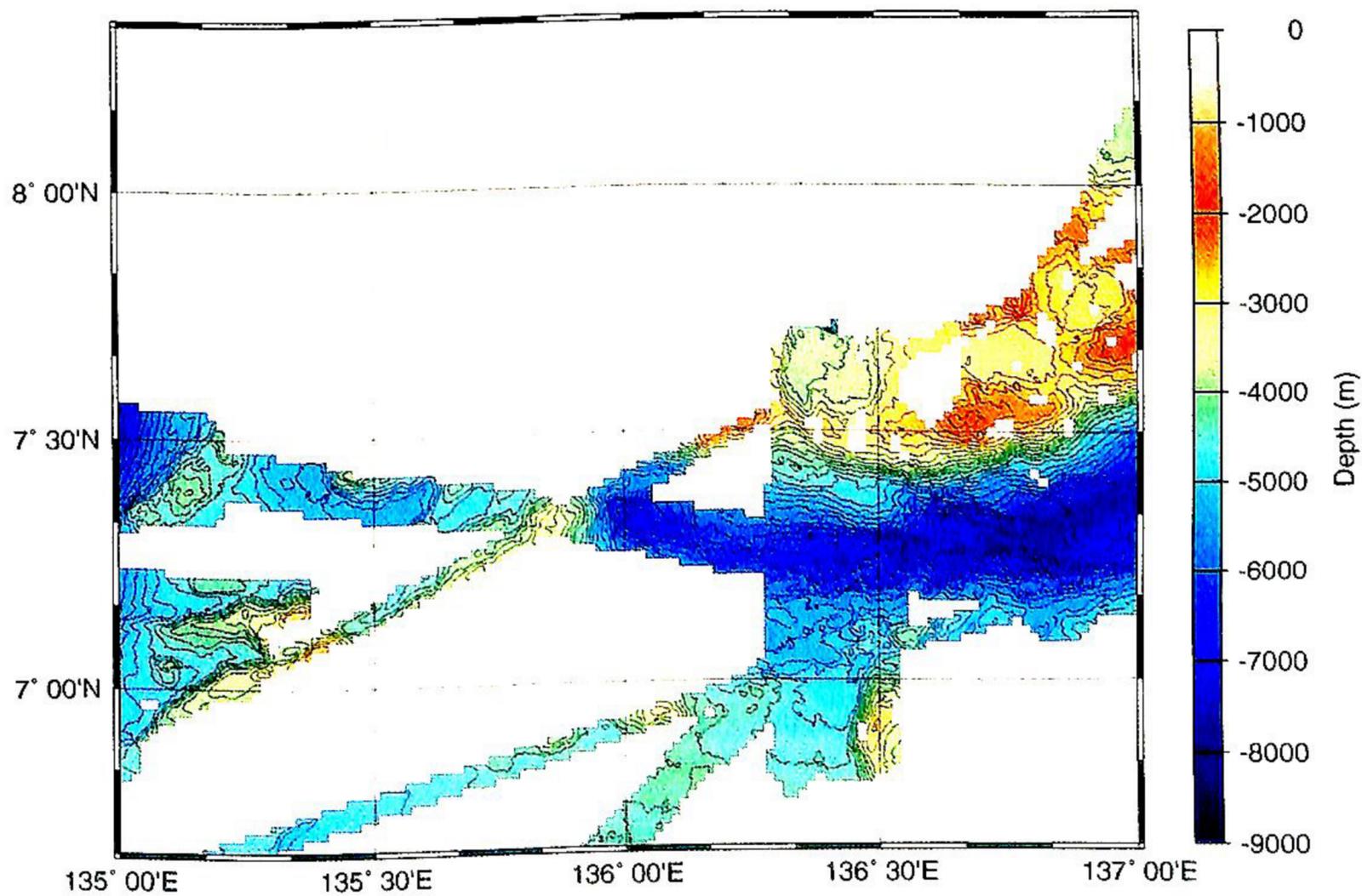


図 10 ヤップ海溝南端部の海底地形図。等深線間隔は 250m。暗い色ほど深い水深を示す  
 Fig. 10 Bathymetric map of the southern end of Yap Trench. The contour interval is 250m. Dark colors indicate deeper water depth.

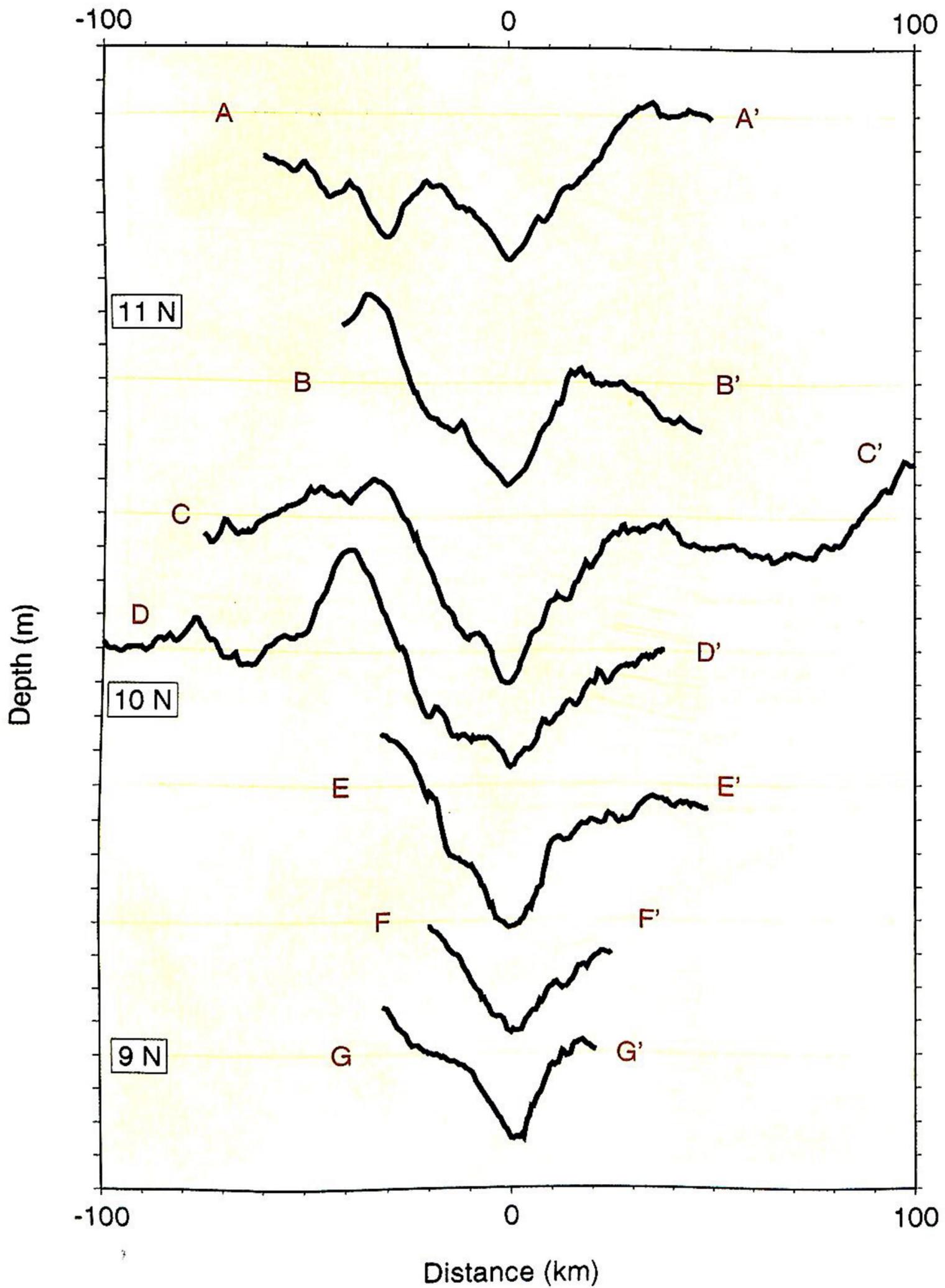


図 11 ヤップ海溝北部の海溝軸に直交した海底地形断面図。断面図の測線は図5に示されている。横軸の原点は海溝軸を示す。原点より右側が海溝海側（太平洋・カロリンプレート側）を示す。縦軸の1目盛は1,000m。点線は各測線における水深4,000mを示す

Fig. 11 Bathymetric cross sections across trench axis in the northern part of the Yap Trench. The tracks of cross sections are shown in Fig. 5. The origin of the horizontal axis indicates the trench axis. The trench inner slopes (Pacific/Caroline Plate side) are shown in the right-hand side. Tickmark interval in the vertical axis is 1,000m. Dotted lines indicate water depth 4,000m in each track.

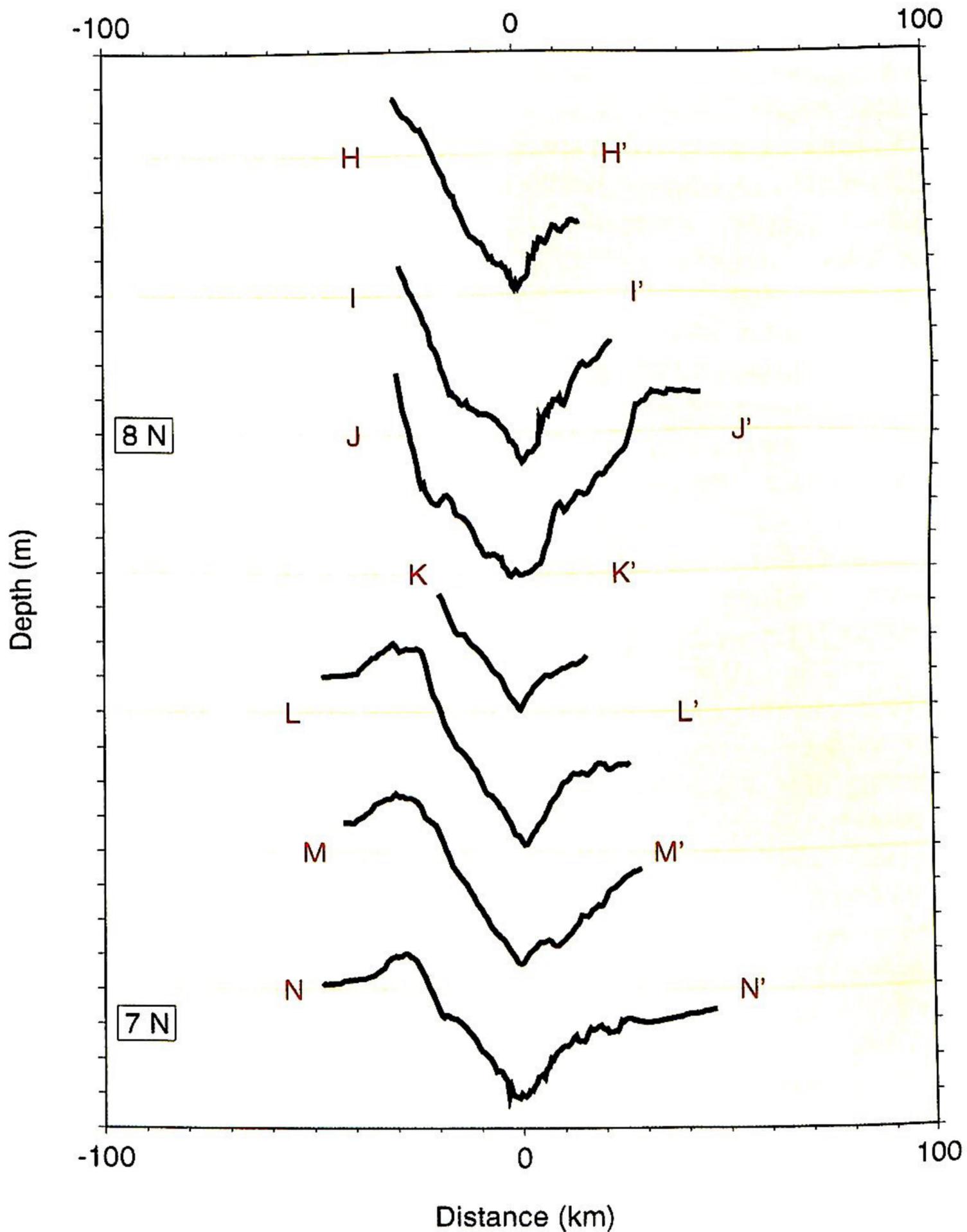


図 12 ヤップ海溝南部の海溝軸に直交した海底地形断面図。断面図の測線は図 5 に示されている。横軸の原点は海溝軸を示す。原点より右側が海溝海側（カロリンプレート側）を示す。縦軸の 1 目盛は 1,000m。点線は各測線における水深 4,000m を示す

Fig. 12 Bathymetric cross sections across trench axis in the southern part of the Yap Trench. The tracks of cross sections are shown in Fig. 5. The origin of the horizontal axis indicates the trench axis. The trench inner slopes (Caroline Plate side) are shown in the right-hand side. Tickmark interval in the vertical axis is 1,000m. Dotted lines indicate water depth 4,000m in each track.

であるとした。重力異常の観測からは、ここでは沈み込み帯でみられるような大きな負の重力異常はみられず、この谷地形は沈み込みの圧縮場ではなく正断層の場であると示唆される(富士原・田村, 1996)。

海溝海側斜面の高角度の傾斜についてはプレートの曲がりによって形成されたものではなくカロリン海嶺が接しているためであると思われる。Tokuyama et al. (1985) が「白鳳丸」KH84-1 航海で得られた反射法地震探査の記録から、トランスフォーム的とした海溝軸近くの急傾斜面も、カロリン海嶺がヤップ海溝に会合した際に正断層運動により崩壊したことによるものと思われる。

海溝島弧側斜面に2つの傾斜の不連続点がみられることについては、「白鳳丸」KH84-1, KH86-1 航海で得られた反射法音波探査の記録から指摘されていた。藤岡ほか(1989)はこの地形変曲点によって海溝島弧側斜面は3つの地形区に分けられると指摘した。彼らはこの地形区について、フィリピン海プレートが衝上し、ヤップ島弧側斜面でフィリピン海プレートの地殻の断面がみられるのだと説明した。藤岡ほか(1996)は「しんかい6500」の潜航調査で採集された岩石れきに蛇紋岩やカンラン岩など上部マントルを構成する岩石が多いことから6,000m付近の地形変曲点はモホ面であるとしている。ヤップ海溝では海溝底にほとんど堆積物が認められないため、斜面の傾斜の変化は付加帯の形成によるものとは考えにくく、藤岡ほか(1989)が示唆するように地殻断面が露出しているのかもしれない。カロリン海嶺の接近と斜面の傾斜の形態との相関については、カロリン海嶺の衝突によって断層が大きくずれたのか、あるいはカロリン海嶺が付加された可能性も示唆される。

ヤップ海溝の現在における沈み込み活動の議論に関しては、海溝海側の正断層起源と思われる海底地形、深い水深、海溝底にほとんど堆積物が認められないことなどの特徴はこの海溝が現在でも活動的であることを定性的には支持する。プレート沈み込みによって海洋地殻は下に引きずりこまれるため深い水深が維持され、堆積物は地球深部へと消費されていると考えられるためである。しかしながら海溝における負の重力異常の値は、他の活動的な海溝のそれに比べるとその値が多少小さい(Fujiwara et al., 1996b)。これはプレート沈み込みによって海洋地殻が下に引きずりこまれる力がないか、あるいは他の活動的な海溝に比べて小さいことを示唆しているのかもしれない。

## 5. ま と め

1993年、1995年そして1996年に、フィリピン海プレートと太平洋プレート、そしてカロリンプレートの境界域に位置するヤップ海溝において、「よこすか」によるマルチナロービーム海底地形の調査が行われた。これらの調査と既存の調査結果とを合わせると、ヤップ海溝全域の海底地形がマルチナロービームによって調査され、詳細な海底地形が明らかになった。

(1) ヤップ海溝は8°20'Nを境界として北部と南部で地形的特徴が異なる。北部は海溝軸に沿っての海溝底の水深の変化が大きく、海溝の走向は海溝の深みを変曲点として変化している。ヤップ海溝南部はこれに対して海溝軸に沿っての海溝底の水深の変化は小さく、またその変動の周期も短い。海溝軸の走向は比較的連続的に変化する。

(2) マリアナ海溝とヤップ海溝との接合点では、両海溝の他に急崖をともなう谷地形が会合している。その谷地形は正断層起源であると考察される。パラオ海溝とヤップ海溝との接合点では、海溝深部は地形の高まりによって途切れ、海溝地形は認められなくなる。海溝どうしで接合しない。

(3) 海溝島弧側の斜面には水深4,000~5,000mと6,000~7,000mのところに2つの地形の傾斜の変曲点があり、これによって海溝斜面は3つの斜面で構成されている。その形態については、斜面上に数百mの小さな落差のみ、傾斜角のゆるい斜面を4,000~5,000mの変曲点にともなう、6,000~7,000mの変曲点にともなう、という3つの形態がみられる。カロリン海嶺の接近とその形態は相関があり、海側斜面で地形の高まりが海溝に接しているところで、ゆるい傾斜面をともなう傾向がある。

(4) 海溝海側斜面の傾斜角は一般的な海溝に比べてかなり高角度であるが、これはカロリン海嶺がヤップ海溝に接しているためであると考察される。海溝海側の正断層起源と思われる海底地形、深い水深、海溝底にほとんど堆積物が認められないことなどの地形的特徴はこの海溝が現在でも活動的であることを定性的には支持する。

## 謝 辞

井田正比古司令、橋本菊夫航法管制長をはじめとする潜水調査船「しんかい6500」運航チーム、及び湯川修(Y95-06)、斎藤房夫(Y96-12)船長をはじめとする観測船「よこすか」乗組員の調査航海における協力と航海データの提供に感謝する。海上保安庁水路部の岩淵洋、

西澤あずさ両博士には水路部の「拓洋」, 1993年の「よこすか」(Y93-03) によって調査された海底地形データを提供していただいた。Y95-06 及び Y96-12 航海乗船研究者(北里洋・大森琴絵・加藤和浩・有吉正幸・小寺透・和田秀樹・石井輝秋・小原泰彦・坂本泉・能木裕一・長浜統彦・平清・菊間敏雄) には研究に関する援助と有益な助言をしていただいた。

#### 引用文献

- Crawford, A. J., L. Beccaluva, G. Serri, and J. Dostal (1986) : Petrology, geochemistry and tectonic implications of volcanics dredged from the intersection of the Yap and Mariana trenches. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 80, 265-280.
- Fujioka, K., T. Furuta, G. Kimura, K. Kodama, K. Koga, S. Kuramoto, H. Matsugi, T. Seno, A. Takeuchi, M. Watanabe, and S. Yamamoto (1986) : Sediments and rocks in and around the Palau and Yap trenches. In : Y. Tomoda (ed.), *Preliminary Rep. of Hakuho-Maru Cruise KH86-1*. Ocean Res. Inst., Univ. Tokyo, 38-148.
- 藤岡換太郎・木村 学・竹内 章 (1989) : ヤップ島の形成史とフィリピン海プレート南端部のテクトニクス—試論—。地学雑誌, 98-3, 66-74.
- 藤岡換太郎・藤本博巳・西澤あずさ・佐藤利典・小泉聡子・大鋸朋生・仲村明子・堀井喜弘 (1994) : サザンクロス潜航調査報告—フィリピン海プレート南部, ヤップ, パラオ海溝及びアユトラフの横断潜航—。JAMSTEC 深海研究, 10, 203-230.
- 藤岡換太郎・小林和男・富士原敏也・北里 洋・岩淵洋・田村千織・大森琴絵・加藤和浩・有吉正幸・小寺透 (1996) : フィリピン海プレート南端部のテクトニクス—SOUTHERNCROSS'95 航海成果—。JAMSTEC 深海研究, 12, 275-290.
- Fujiwara, T., K. Fujioka, K. Kobayashi, K. Tamaki, H. Fujimoto, C. Tamura, J. Segawa, Y. Iwabuchi, and A. Nishizawa (1996a) : Geophysical Mapping of the Southeastern Boundary of the Philippine Sea Plate. *Prog. and Abst. International Symp. on Gravity, Geoid, and Marine Geodesy 1996*, 210.
- Fujiwara, T., K. Fujioka, K. Kobayashi, K. Tamaki, H. Fujimoto, C. Tamura, J. Segawa, Y. Iwabuchi, and A. Nishizawa (1996b) : Geophysical Mapping of the Southeastern Boundary of the Philippine Sea

- Plate. *EOS Trans., Am. Geophys. Union*, 77-46, 704.
- 富士原敏也・田村千織・藤岡換太郎・小林和男 (1996) : ヤップ・パラオ島弧海溝系の海底地形調査。JAMSTEC 深海研究, 12, 251-259.
- 富士原敏也・田村千織 (1996) : ヤップ・パラオ島弧海溝系の重力・地磁気調査。JAMSTEC 深海研究, 12, 307-314.
- 富士原敏也・橋本菊夫・小原泰彦・田村千織・藤岡換太郎・小林和男 (1997) : ヤップ海溝最深部の発見。JAMSTEC 深海研究, 13, 195-202.
- Hawkins, J. and R. Batiza (1977) : Metamorphic rocks of the Yap arc-trench system. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 37, 216-229.
- 岩淵 洋・吉岡真一・浅田 昭 (1990) : ヤップ海溝北端部の海底地形。水路部研究報告, 26, 87-98.
- 加藤 茂・加藤 剛・浅田 昭 (1986) : パラオ海溝北部の詳細な海底地形。水路部技報, 4, 8-16
- Mackenzie, K. V. (1960) : *The Journal of the Acoustical Society of America*. 32(1), 100-104.
- McCabe, R. and S. Uyeda (1983) : Hypothetical model for the bending of the Mariana Arc. In: D. E. Hayes (ed.), *The tectonic and geologic evolution of southeast Asian seas and islands*, Pt. 2. *Am. Geophys. Union, Washington, D. C.*, 281-293.
- 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. *Tectonophys.*, 163, 93-104.
- Nishiyama, E., H. Tokuyama, H. Tamai, H. Katao, S. Kuramoto, and K. Syehiro (1986) : Seismic reflection survey. In: Y. Tomoda (ed.), *Preliminary Rep. of Hakuho-Maru Cruise KH86-1*. Ocean Res. Inst., Univ. Tokyo, 18-29.
- 西澤あずさ・沖野郷子・藤岡換太郎 (1994) : ヤップ海溝中央部海側斜面域の海底地形。JAMSTEC 深海研究, 10, 251-259.
- Sato, T., J. Kasahara, H. Katao, N. Tomiyama, K. Mochizuki, and S. Koresawa (1997) : Seismic observations at the Yap Islands and the northern Yap Trench. *Tectonophys.*, 271, 285-294.
- Seno, T., S. Stein, and A. E. Gripp (1993) : A model for the motion of the Philippine Sea plate consistent

with NUVEL-1 and geological data. *J. Geophys. Res.*, **98**, 17941-17948.

Smith, W.H.F. and D. T. Sandwell (1994) : Bathymetric prediction from dense altimetry and sparse shipboard bathymetry. *J. Geophys. Res.*, **99**, 21803-21824.

Tokuyama, H., T. Asanuma, E. Nishiyama, H. Hatori,

H. Chiba, S. Ueno, and N. Tomita (1985) : Multichannel seismic reflection survey. In: K. Kobayashi (ed.), *Preliminary Rep. of Hakuho-Maru Cruise KH84-1*. Ocean Res. Inst., Univ. Tokyo, 282-291.

(原稿受理 : 1997年7月14日)