

研究ノート マルチビーム音響測深機 SeaBeam 2000でみる海底地形
(2)プレート境界域の精密海底地形と浅発地震の震央分布†

西澤あずさ*

Swath Bathymetry using SeaBeam 2000 around Japan
(2) Seafloor Topography and Epicenter Distribution of Shallow Earthquakes †

Azusa NISHIZAWA*

Abstract

Epicenter distribution of shallow earthquakes was projected on the SeaBeam 2000 bathymetric maps around Japan. Among these maps, the one in the Japan Trench region is suggestive. The north-south variation in seismicity associated to the Pacific plate subduction beneath the landward plate seems to be related to characteristics of the seaward topography of the trench.

1. はじめに

以前より海底地形と浅発地震の震央分布の関連性が指摘されており、日本近傍においては田(1968)が太平洋側における深海平坦面(または海段)の分布との相関を示している。同様に Baer (1984/85)は、日本海溝北緯38-41度の領域において $M \geq 6.0$ 以上の地震の震源域の分布を調べ、陸側斜面下に様々な強度をもつバリアーの存在を示唆した。このバリアーは線状に配列しておりその走向が沈み込むプレートの地磁気異常のリニエーションに直交することから、海洋地殻生成時に起因するものと推定した。彼の提案するように、バリアーの起源が堆積物に埋もれたトランスフォーム断層とするならば、海溝海側の海底地形に反映されている可能性がある。また、日本海東縁部では、海底地震観測により得られた1983年日本海中部地震($M_{JMA}7.7$)および1993年北海道沖南西沖地震($M_{JMA}7.8$)の余震分布は海底地形との明瞭な相関を示す(Nosaka *et al.*, 1987; 水路部北海道南西沖地震震源海域緊急調査班1994; 日野等

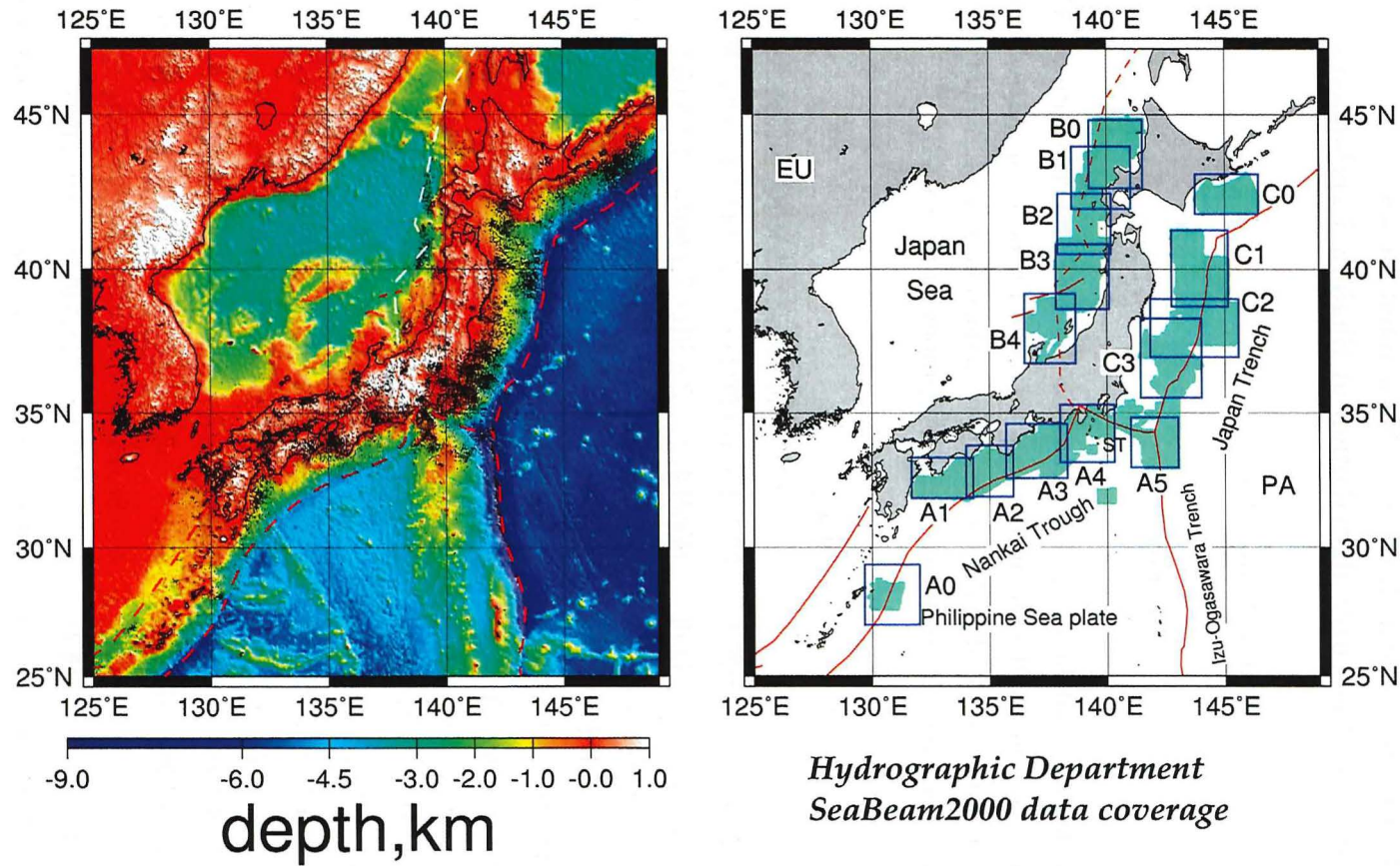
1994)。

このように海底地形と浅発地震の震央分布との関連性を示す例はいくつかあげられるが、最新の精密地形データを用いて系統的にまとめられたものはない。ここでは、水路部における SeaBeam 2000で得られたデータの存在する領域(Fig. 1)に関して10秒間隔のグリッドデータを作成し、得られた海底地形図上に浅発地震の震央分布(気象庁データ)をプロットした図をまとめたので報告する。

2. データ

海底地形については、西澤等(1997)によって作成された10秒間隔のグリッドデータをもとに、水路部の海洋測量によってこれまでに新たに得られたデータを加えてグリッドデータを作成し直した。SeaBeam 2000のデータのない領域については、海域においては浅田及び沖野(1998)による500mメッシュデータを、陸域においては GTOPO 30のデータを追加した。Fig. 1に示したように、日本周辺海域を南西諸島海溝・南海トラフ及び相模トラフ(A0-A5)、日本海東縁部(B0-B4)、千島

† Received 1998 December 18th; Accepted 1999 February 1st.
* 海洋研究室 Ocean Research Laboratory.



Bathymetry & JMA epicenters(1926-1997, $M \geq 4$)

Fig. 1 left : Epicenter distribution with $M \geq 4$ by Japan Meteorological Agency during 1926-1997 Sep. on the bathymetry derived by Smith and Sandwell (1996). Red and white dashed lines are positions of plate boundaries. right : Map showing the data coverage of the SeaBeam 2000 obtained by Hydrographic Department, Japan (HDJ). Shading indicates where the bathymetry was collected. EU : Eurasia, PA : Pacific Ocean, ST : Sagami Trough.

海溝及び日本海溝 (C0-C3) に分割して、それぞれの領域について10秒間隔のグリッドデータを作成した。また、全体像を把握するための30秒間隔のグリッドデータを用いた小縮尺の図も作成した (Figs.2 and 9)。

一方、震源データは気象庁による1926年から1997年9月までの震源の深さ50km以浅のものを使用した。海域の震源位置は、近傍に観測点がないため、陸域から遠ざかるにつれて精度が落ちるので、海底地形との相関を調べるときには注意する必要がある。

3. 結果

30秒間隔のグリッドデータを用いて作成した海底地形図 (陰影図) 上に震央をプロットしたものを Fig. 2 及び Fig. 9 に、10秒間隔のグリッドデータの海底地形図を Figs. 3-7 及び Figs.10-18 に示した。

南西諸島海溝 A0領域における地震活動はその

多くが1995年奄美大島近海地震 ($M_{JMA}6.7$) の余震である。Fig. 3 ではほとんどの地震が水深3,000m以浅で発生しており、余震域の東縁は水深3,000mの等深度線に沿っている。この領域では1995年奄美大島近海地震直後に海底地震観測による余震観測が行われ、より精密な震源分布が得られた (山田等, 1997)。彼らの結果によれば、震央の位置は陸上の観測点のデータのみを用いて決定されたものに比較して系統的に陸側に移動するが、その東端は水深2,000mの等深度線に沿うようになり、この場合も海底地形との相関があるようにみえる。また余震域の南北端も地形の高まりの位置にほぼ一致している。

南海トラフ域におけるフィリピン海プレートの沈み込みによる通常地震活動は、太平洋プレートの沈み込む日本海溝域と比べて非常に低く、浅発地震の震央分布と海底地形との間に相関関係は存在しないようにみえる (Fig. 2, Figs. 4-8)。ただし例外として銭洲海嶺に沿う地震活動は明瞭

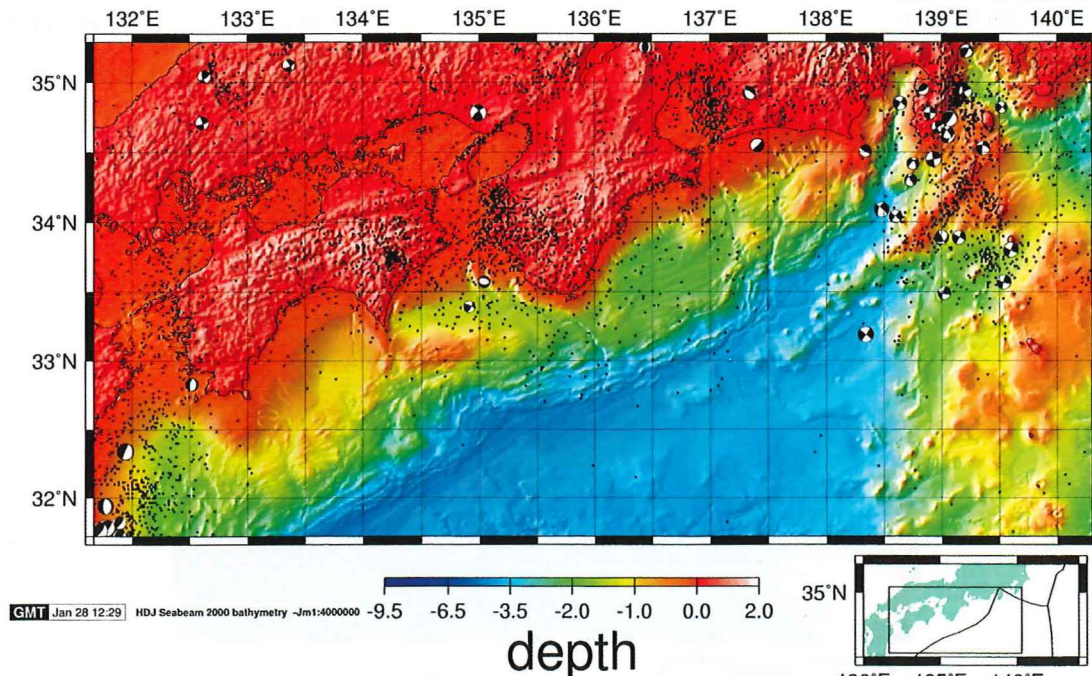


Fig. 2 Epicenter distribution (solid circles) with $M \geq 4$ and depth ≤ 50 km by JMA during 1926-1997 Sep. on the bathymetric map of the Nankai Trough region. Focal mechanisms of the earthquakes shallower than 50 km during 1977-1998 June are by the Harvard centroid-moment tensor (CMT) catalog. The bathymetric data include not only the SeaBeam 2000 data but other multibeam data, for example, obtained by *S/V Takuyo*.

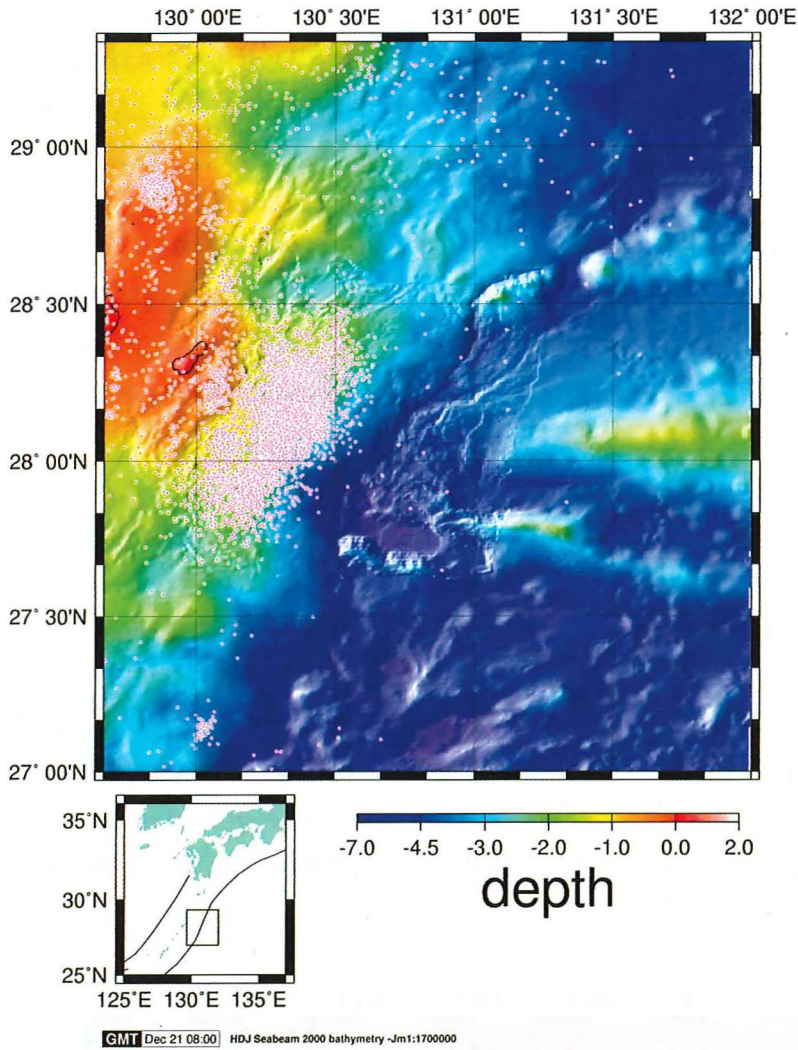


Fig. 3 Epicenter distribution (solid circles) with $M \geq 2$ and depth ≤ 50 km by JMA during 1926–1997 Sep. on the SeaBeam 2000 bathymetry of the region A0 in Fig.1. Shaded relief plot. Illumination angle is from the west-northwest.

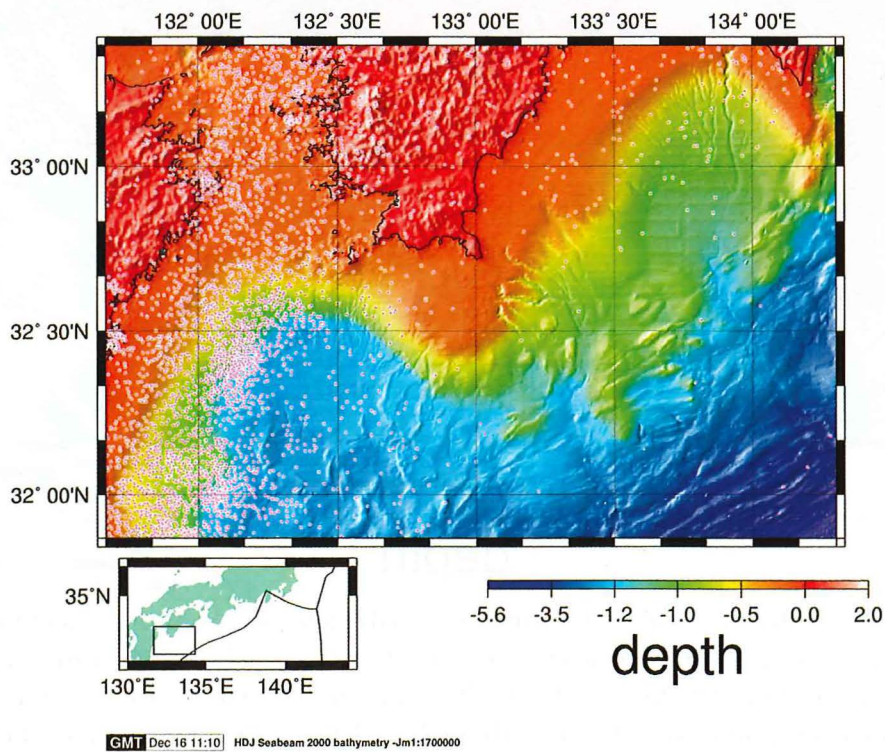


Fig. 4 Same as Fig.3 but for region A1.

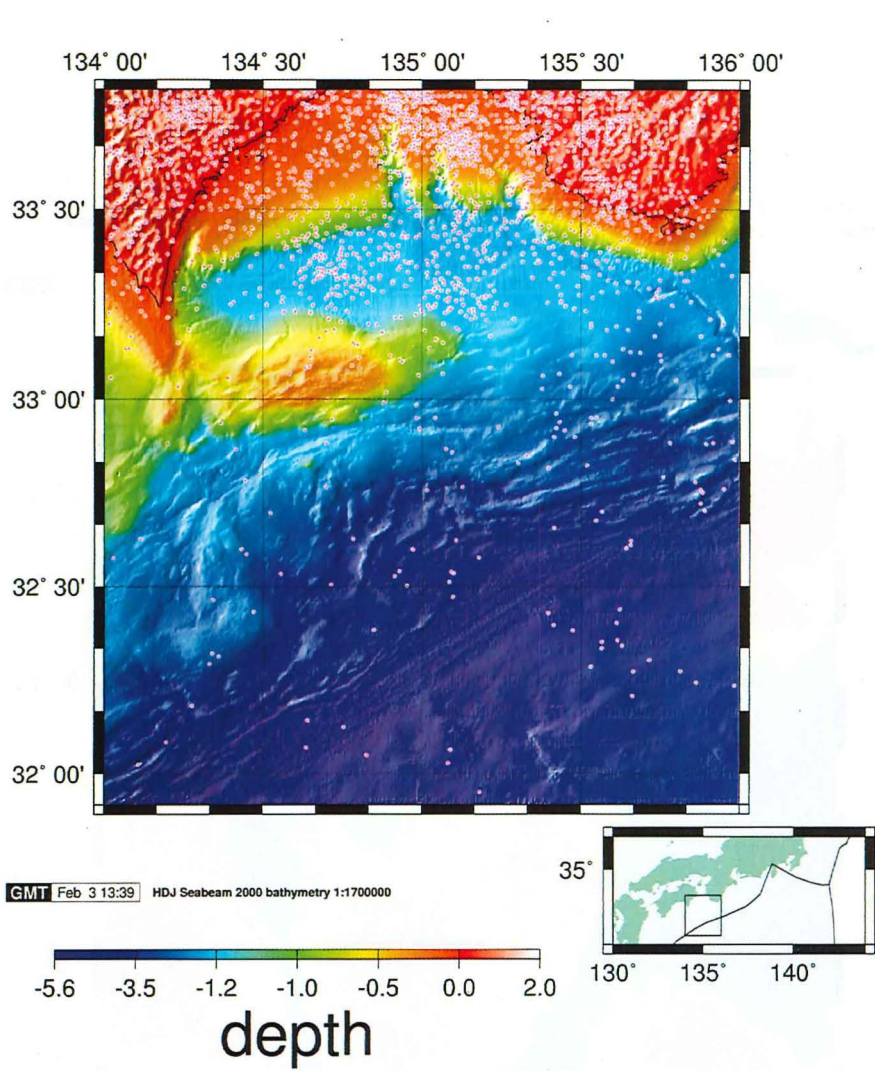


Fig. 5 Same as Fig.3 but for region A2.

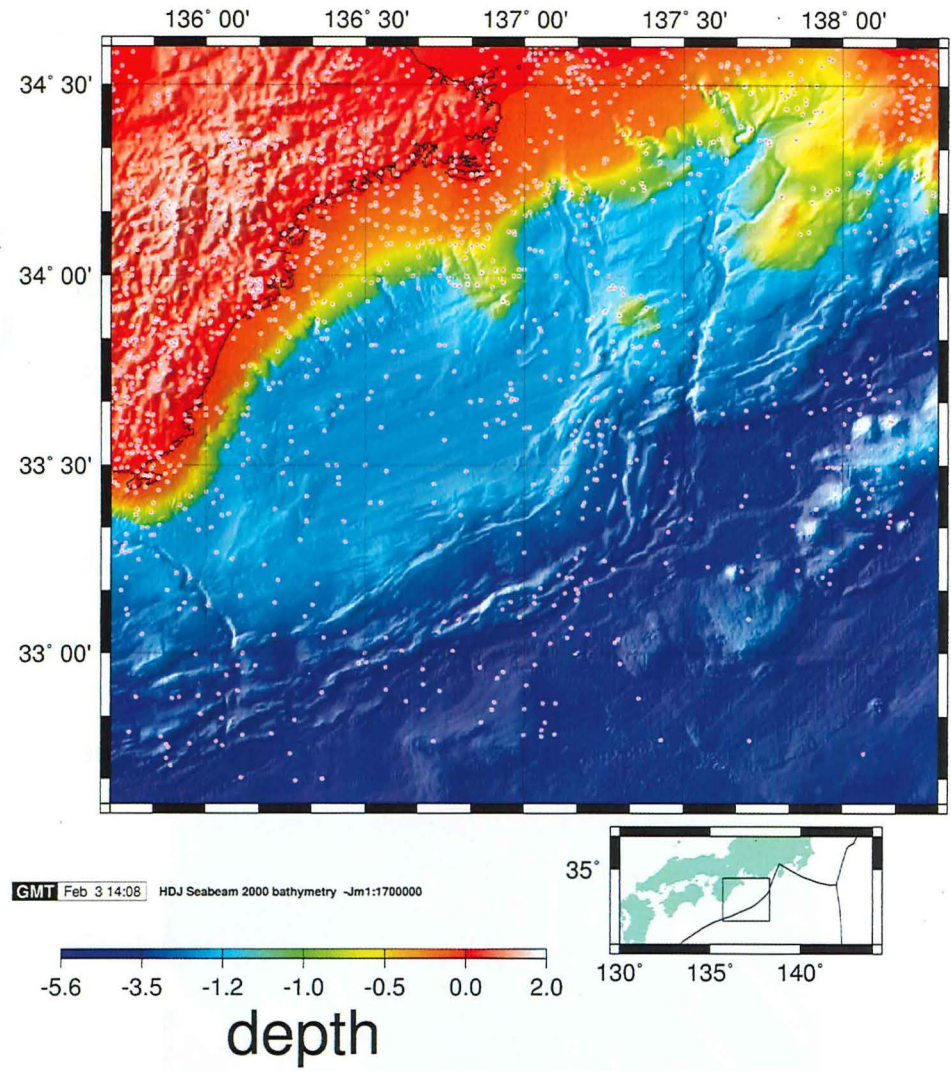


Fig. 6 Same as Fig.3 but for region A3.

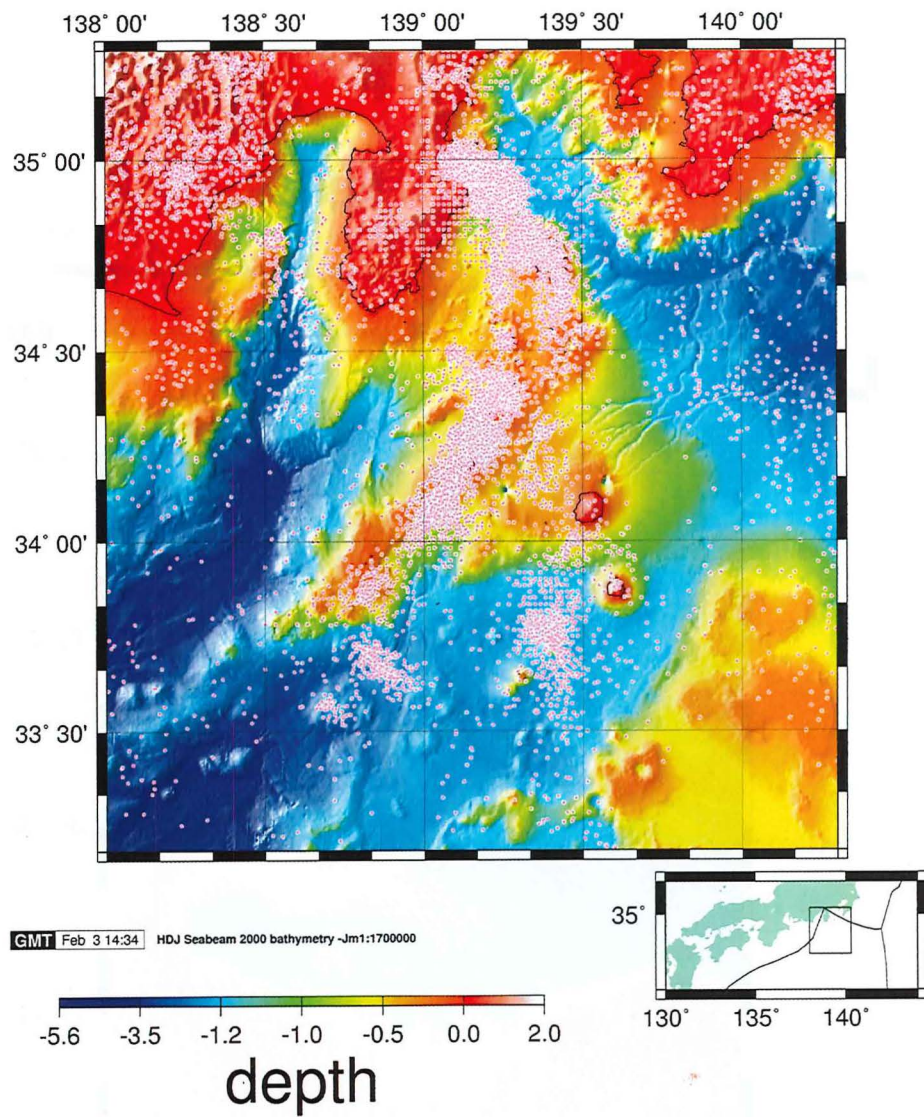


Fig. 7 Same as Fig.3 but for region A4.

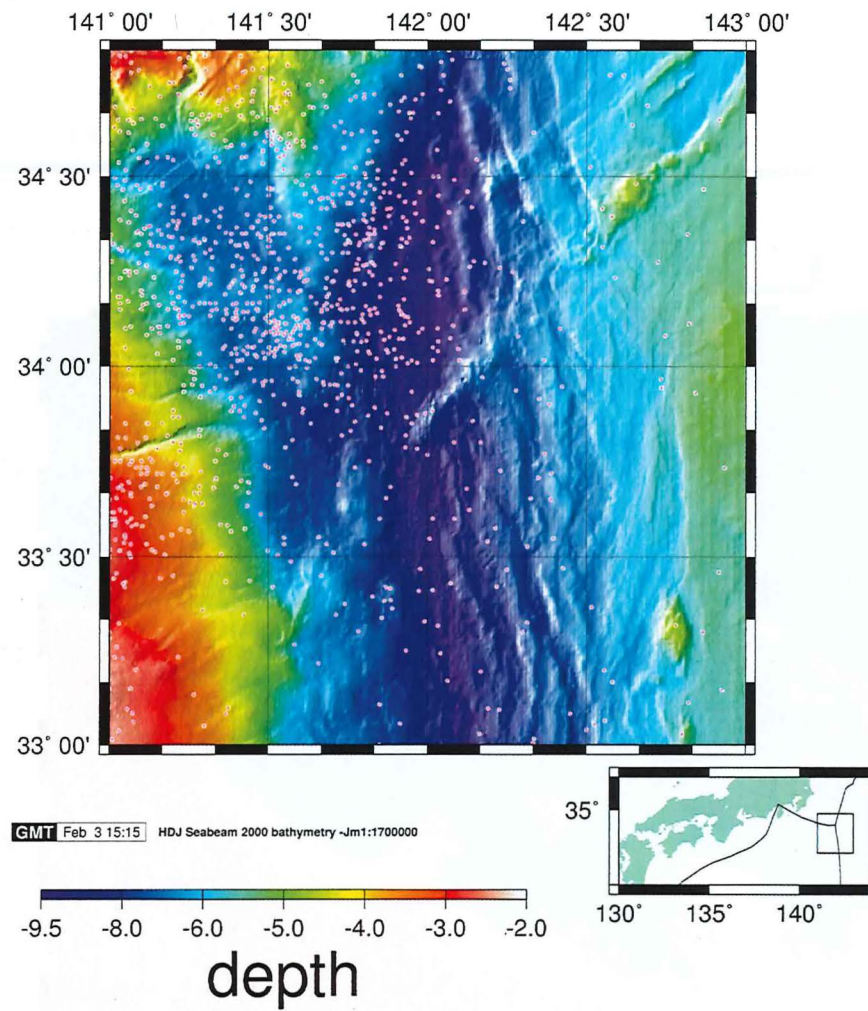


Fig. 8 Same as Fig.3 but for region A5.

である (Fig. 7).

日本海東縁部における顕著な地震活動は、北緯40度から41度25分の範囲の1983年日本海中部地震および北緯41度45分から43度15分の領域における1993年北海道南西沖地震の余震である (Fig. 9). 日本海中部地震の余震域の西端は水深3,000mの等深度線とほぼ一致する (Figs.12 and 13). 一方北海道沖南西地震の余震分布の形状は2,000-3,000mの等深度線の形状に類似しているように見える (Figs.11 and 12). 2つの地震の余震域の間には北緯41度30分付近に地震活動の空白域が存在し、渡島大島近傍の地形の高まりがそこに位置している.

千島海溝釧路沖には陸側海溝斜面下に海溝軸に沿う明瞭な線状構造が存在するが、地震活動との関係はないように見える (Fig.15). 日本海溝域 (Figs.16-18) については次の章で詳細に議論する.

4. 日本海溝域における浅発地震活動と海底地形

日本海溝は海側太平洋プレートと陸側プレートの境界にあたり、ここではしばしばプレートの沈み込みに起因した巨大地震の発生により大きな被害が引き起こされる。地震の起こり方は海溝軸に沿って一様ではなく、海溝北部の三陸沖ではマグニチュード8クラスの地震が起こるが、南部の福島県沖～茨城県沖に至るとM8級の歴史地震は知られておらず、M7級が群発的に発生する。Fig. 9からもみてとれるように震央分布のパターンは、ほぼ北緯38.5度で変化しているように見える。この変化をさらに見やすくするために、Fig.19には北緯35.5度から40.3度の範囲の海溝軸近傍の海底地形図に気象庁のM \geq 2.0かつ深さ50km以浅の震源データをプロットしたものを3次元的に示した。この図から、北緯38.5度以北では海溝軸海側にも地震活動が見られるが、以南では地震活動度は低いことがわかる。同様に、海溝陸側では北緯38.5度以北では海溝軸近傍から海岸線までの領域で地震が起こっているが、以南では海溝軸より陸側約

100kmまでは地震活動が低い。これは海底地震観測からも確かめられており、三陸沖では陸側斜面水深6-4kmに、すなわち海溝軸から陸側50km以内に地震活動の低い領域がある (例えば、Kasahara *et al.*, 1982, Hirata *et al.*, 1983, Nishizawa *et al.*, 1992) が、福島沖では水深2km以深で、海溝軸から陸側100kmの領域において低い (例えば、Urabe, 1987, Nishizawa *et al.*, 1992). また、Fukao and Kanjo (1980) は日本海溝陸側斜面下に低周波地震の活動域があることを指摘したが、その幅は北部の約80kmに対して南部ではおよそ30-80kmとなっている。

さて、プレート境界の地震の発生はプレート境界のまさつ状態と密接に関係し、プレート境界面の形状はこのまさつ状態を決める主要な要素であると考えられる。ここでプレートが沈み込む直前に、その下盤側プレート境界面の形状を観測することができる場所が海溝軸海側であることから、上述した地震活動の海溝南北における変化が海溝海側の微細な海底地形の地域性と関連しているかどうかを調べることは興味深い。

まず海溝海側斜面域であるが、Kobayashi *et al.* (1998) によれば、ホルスト・グラーベン構造を形成している多数の正断層の走向は北緯40度以北では海溝軸に平行で地磁気異常縞模様と斜交しているが、北緯40度以南では正断層の走向がジグザグになっていることを指摘している。この傾向をより直観的に見られるように Fig.20には三陸沖と宮城県沖の海溝海側の海底地形を3次元的に表示した。さらにいくつかの東西断面をとったものを Fig.21に示す。北緯38.5度付近において海底地形の特徴が急激に変化しているわけではないが、北部では断層崖段差が大きく最大値は500mを越えるのに対し、南部では300m以下であり系統的に変化している。また、Fig.19においてホルスト・グラーベンの存在範囲は北部では海溝軸から海側へ80km以上追跡できるが、南部では海溝軸から約70kmの範囲までしか検出できない。

海溝周辺隆起帯では、北緯38度以南では多くの山体状の凹凸が見られる (Fig.20)。これらの比高

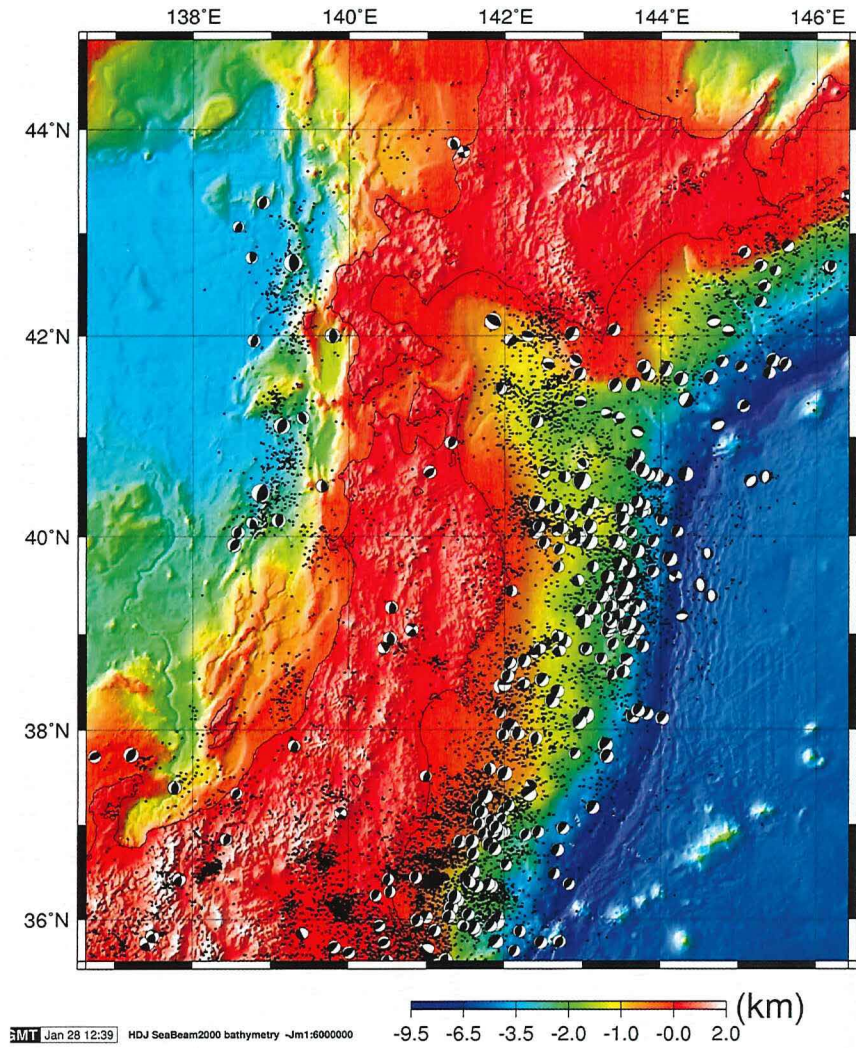


Fig.9 Epicenter distribution (solid circles) with $M \geq 4$ and depth ≤ 50 km by JMA during 1926-1997 Sep. on the bathymetric map around Tohoku region. Focal mechanisms of the earthquakes shallower than 50km during 1977-1998 June are by the Harvard centroid-moment tensor (CMT) catalog.

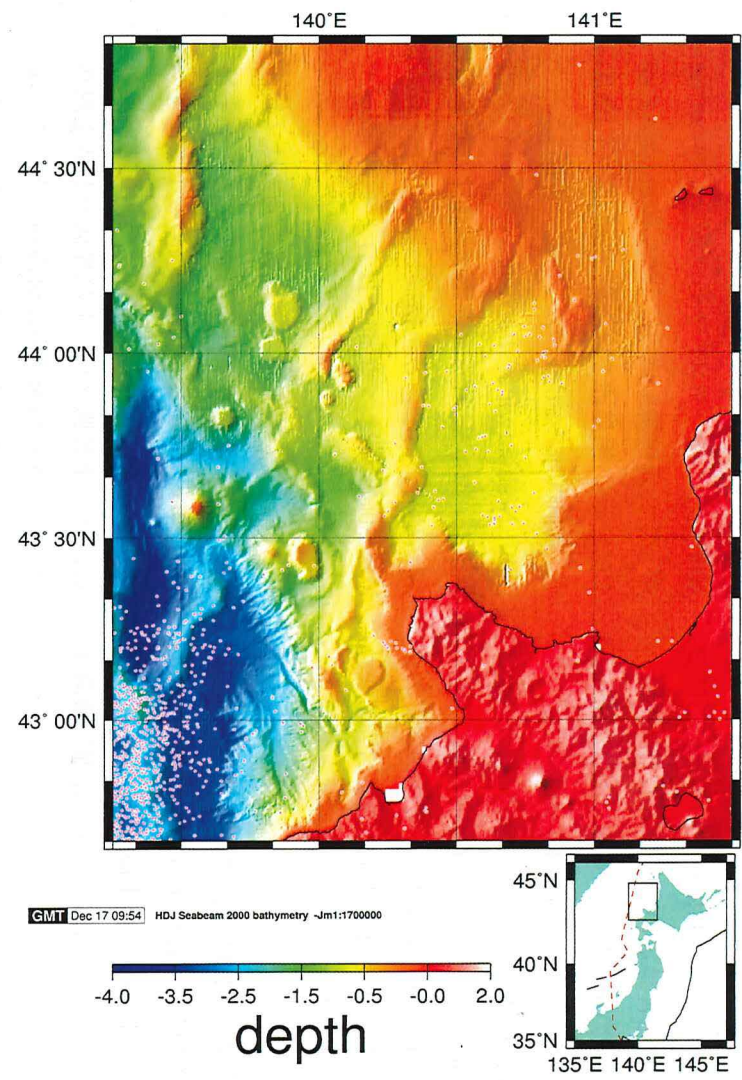


Fig.10 Epicenter distribution (solid circles) with $M \geq 2$ and depth ≤ 50 km by JMA during 1926-1997 Sep. on the SeaBeam 2000 bathymetry of the region B0 in Fig.1. Shaded relief plot. Illumination angle is from the west-northwest.

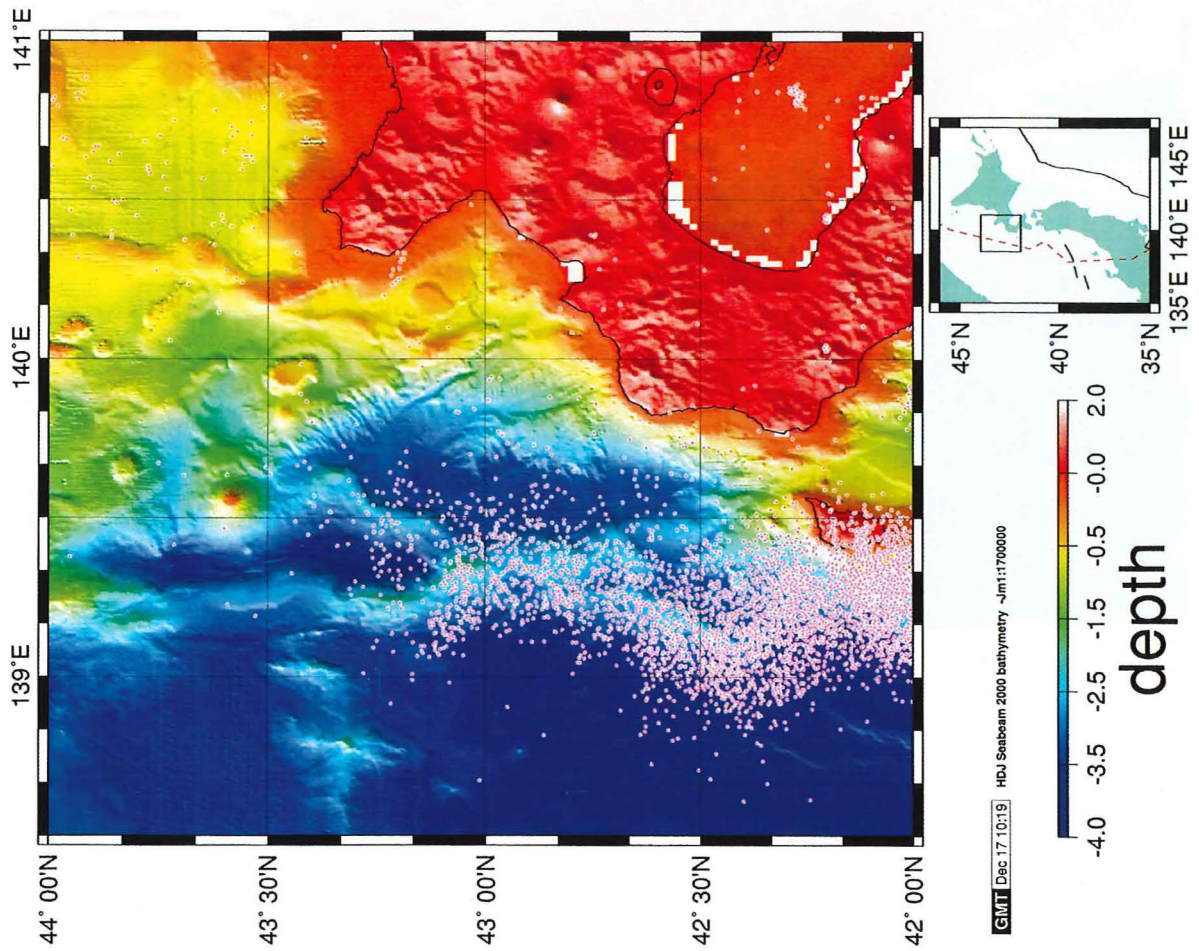


Fig.11 Same as Fig.10 but for region B1.

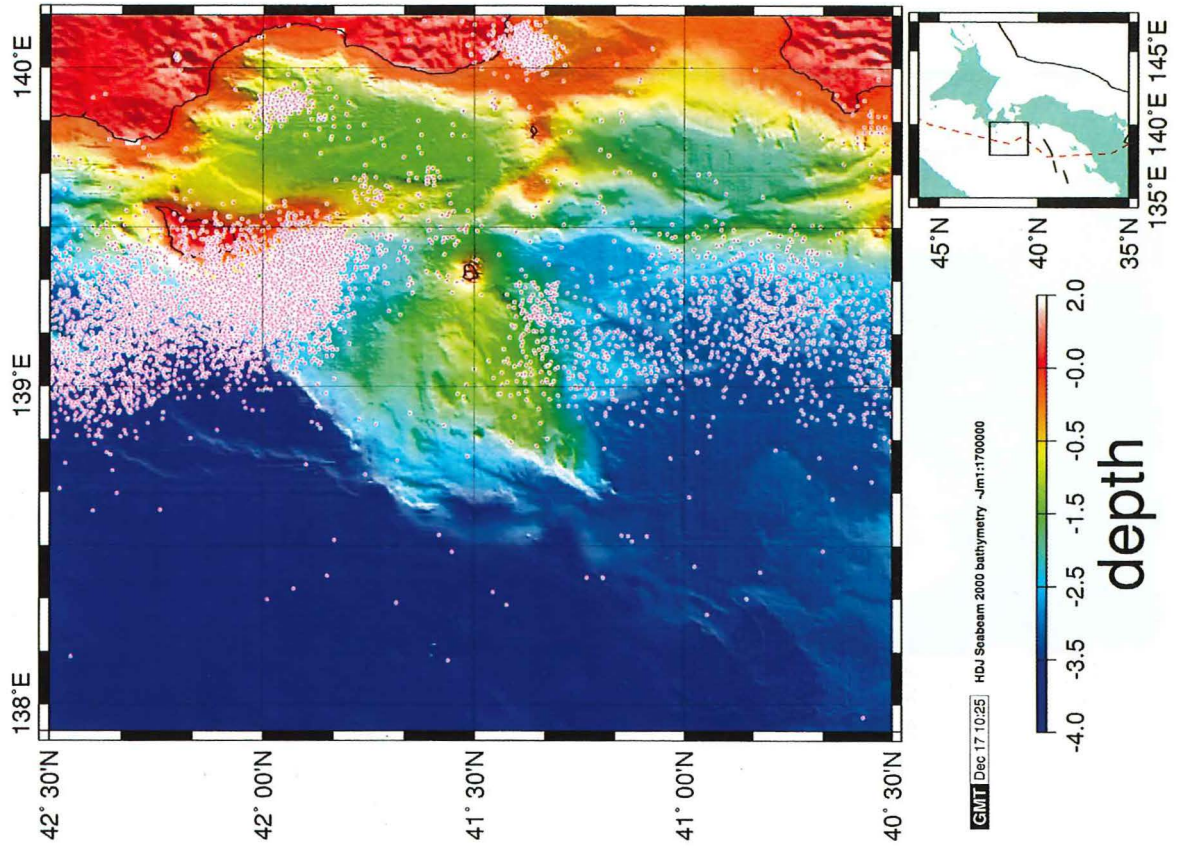


Fig.12 Same as Fig.10 but for region B2.

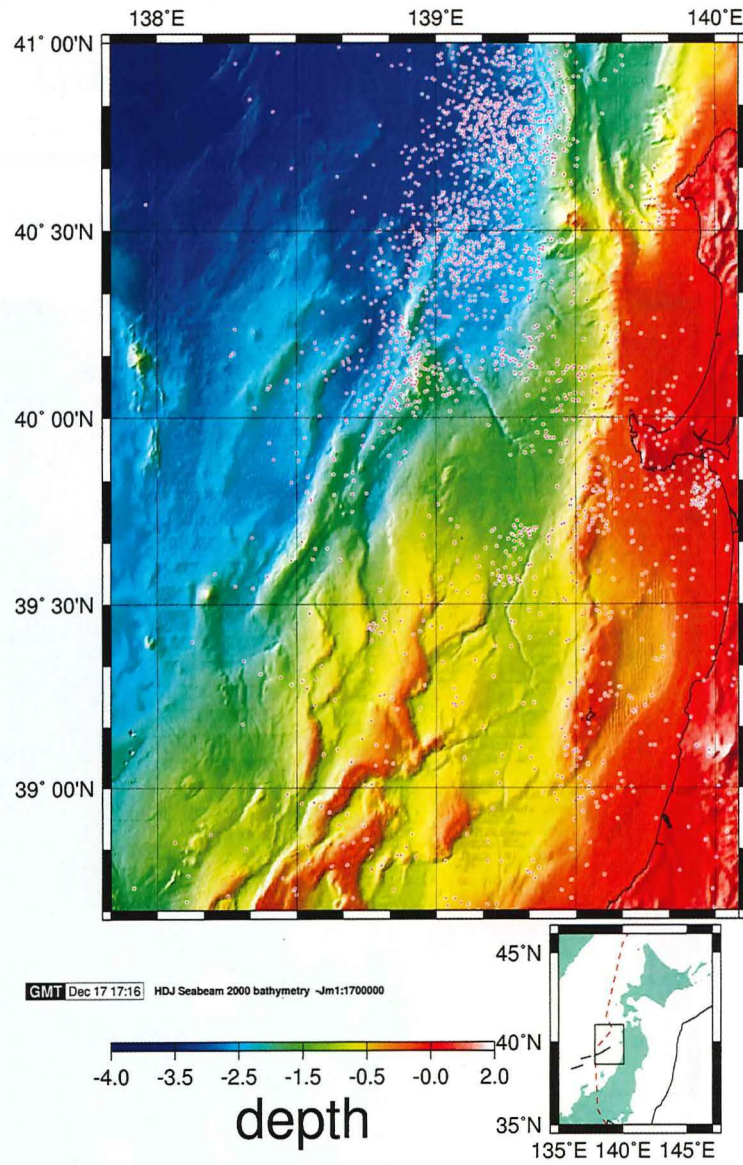


Fig.13 Same as Fig.10 but for region B3.

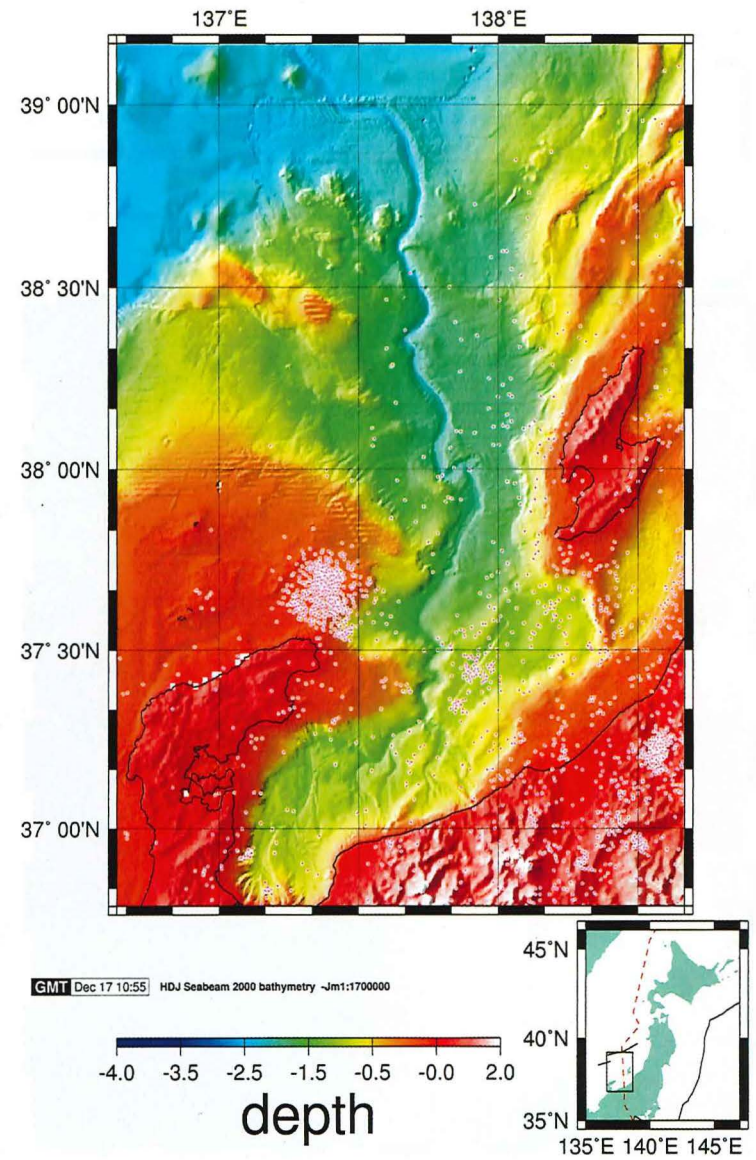


Fig.14 Same as Fig.10 but for region B4.

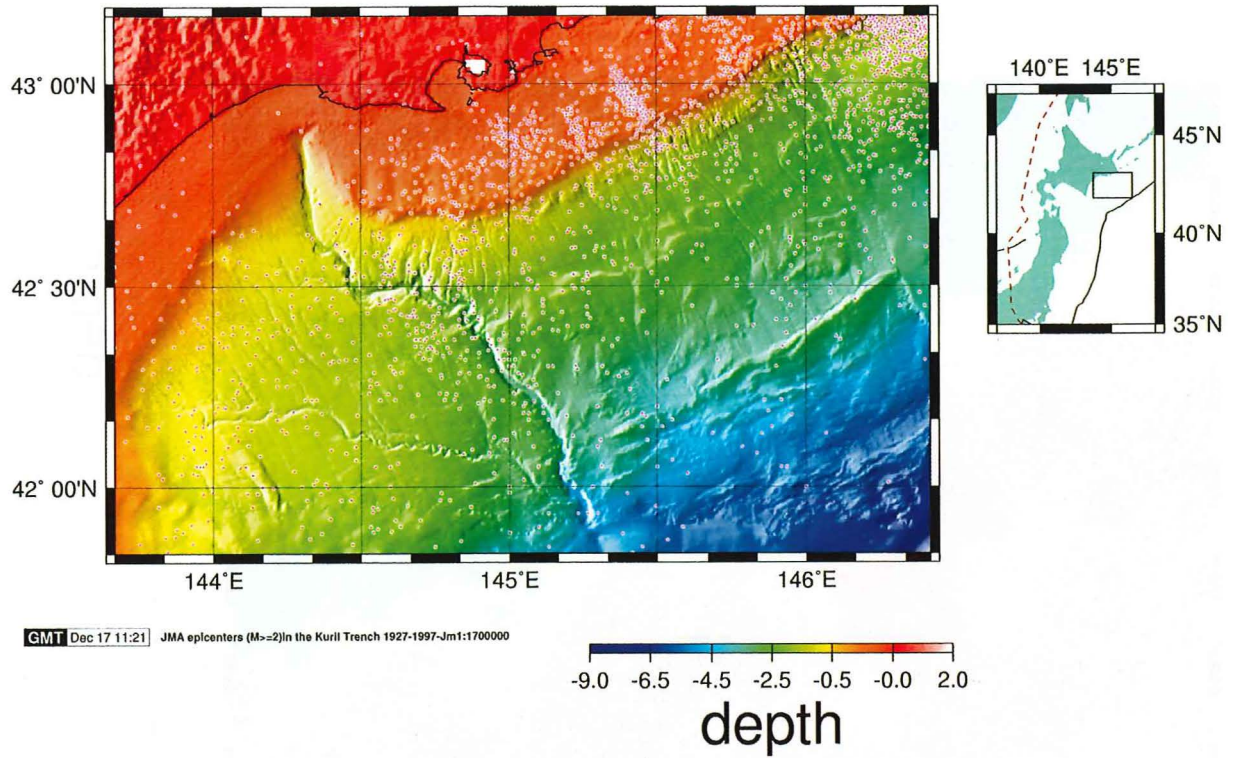


Fig.15 Epicenter distribution (solid circles) with $M \geq 2$ and depth ≤ 50 km by JMA during 1926-1997 Sep. on SeaBeam 2000 bathymetry of the region C0 in Fig.1. Shaded relief plot. Illumination angle is from the west-northwest.

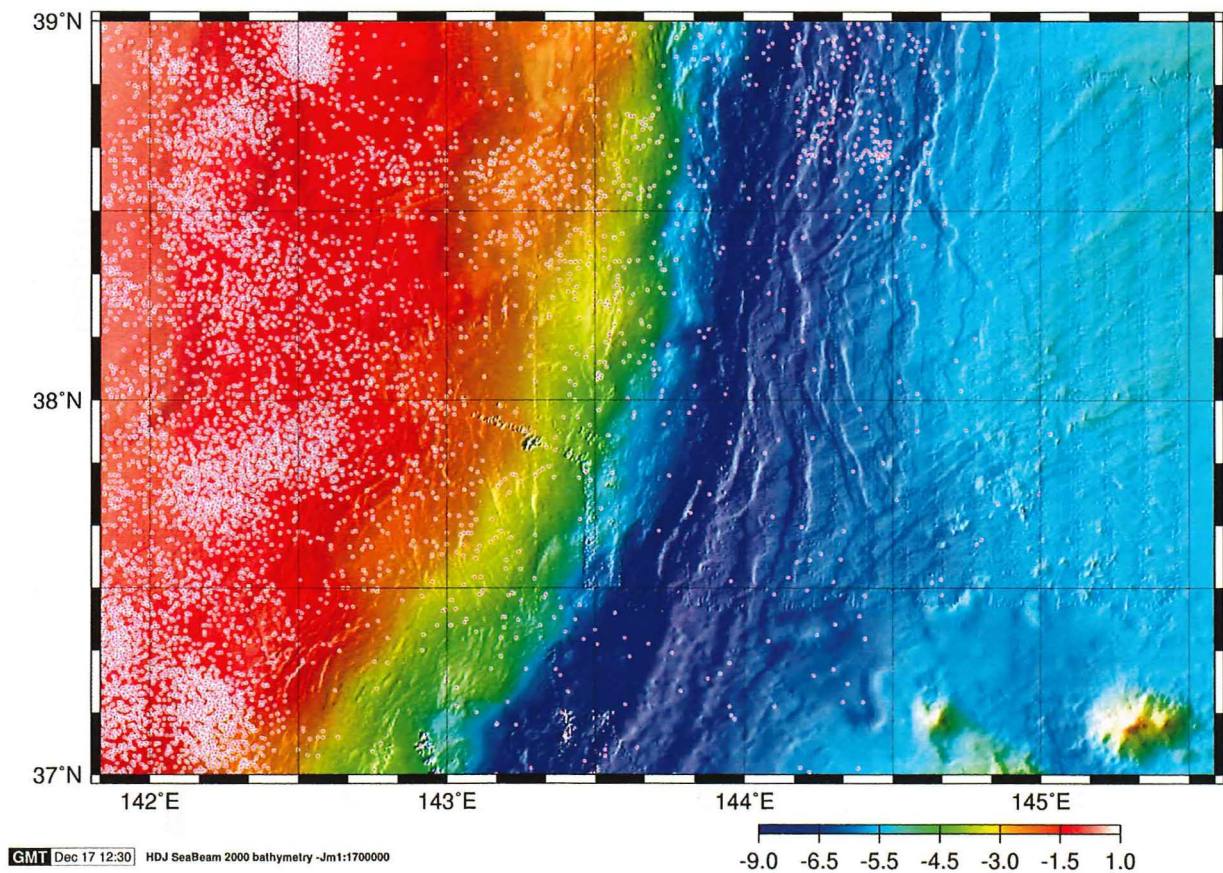


Fig.17 Same as Fig.15 but for region C2.

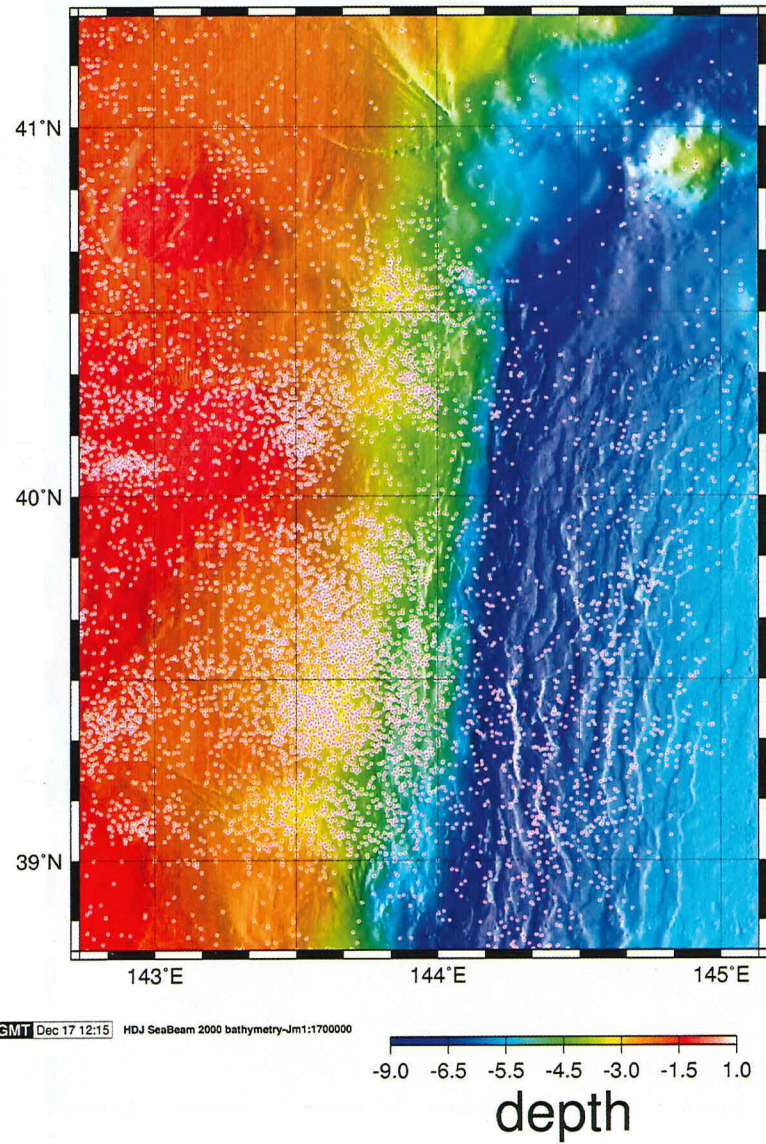


Fig.16 Same as Fig.15 but for region C1.

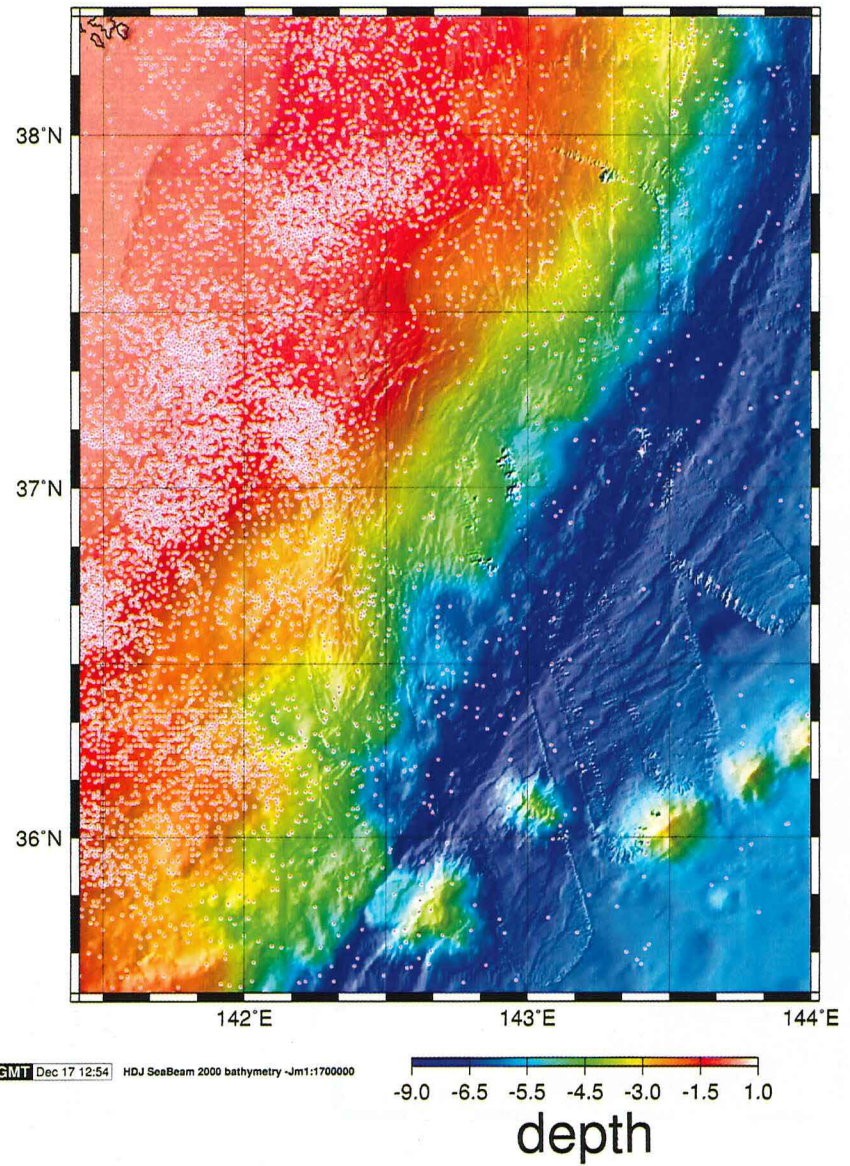


Fig.18 Same as Fig.15 but for region C3.

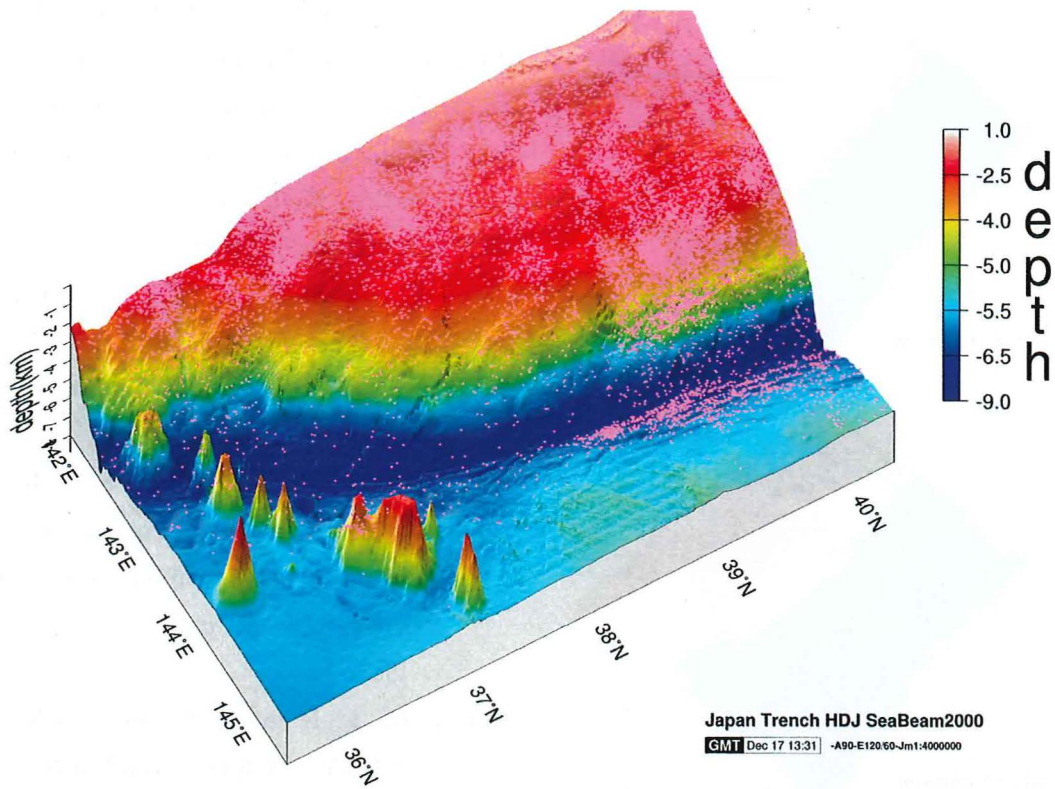


Fig.19 3-Dimensional view of the Japan Trench. Epicenters (solid circles) with $M \geq 2$ and depth ≤ 50 km by JMA during 1926-1997 Sep. are projected on the bathymetry.

は200-400 mで規模は5 km以内である。北部においては、データは充分ではないが、南部で見られるような山体状の微地形は存在しないようにみえる。

上述の特徴を表にまとめた。日本海溝域における地震活動および海溝海側の海底地形のいずれにも南北間における差異が見られる。ここで地震活動の特徴と海底地形の特徴を定性的に関連づけることを試みる。北部では海溝軸を越えて太平洋側の地震活動が活発である。これは南部に比べてホルスト・グラーベン構造を生ずる地震活動が存在することに対応しているであろう。

南部では地震の規模が小さい。南部の方がホルスト・グラーベン構造の走向がジグザグであるということは、地震断層の海溝軸に平行な方向の長さを短くするセンスに働くことから、大きな地震を起こしにくくしているかもしれない。また、南部の小規模山体の存在は破壊の進行を妨げるバリアーとなりやはり大きな断層を形成しにくくして

いる可能性がある。

5. 将来の課題

上述したことは定性的であり、今後シミュレーションを行うなど定量的な議論をする必要がある。岩石実験で確かめられている断層面の凹凸と地震すべりの関係では、断層面上の凹凸がすべり量のオーダーであるのに対し、今回調べた海底面の凹凸と地震のすべり量のオーダーは10-100倍程度も異なる。またプレート境界に起こる断層面としては片側、すなわち下盤側の凹凸しか見ていない。さらには断層を構成する物質の性質や温度・圧力条件等も考慮する必要がある。将来に多くの検討課題を残すが、地震活動に関連するような海底地形の変化が見られたことは大変興味深く、海底地形の凹凸は断層モデルを推定するときの重要なパラメタの1つになると考えられる。

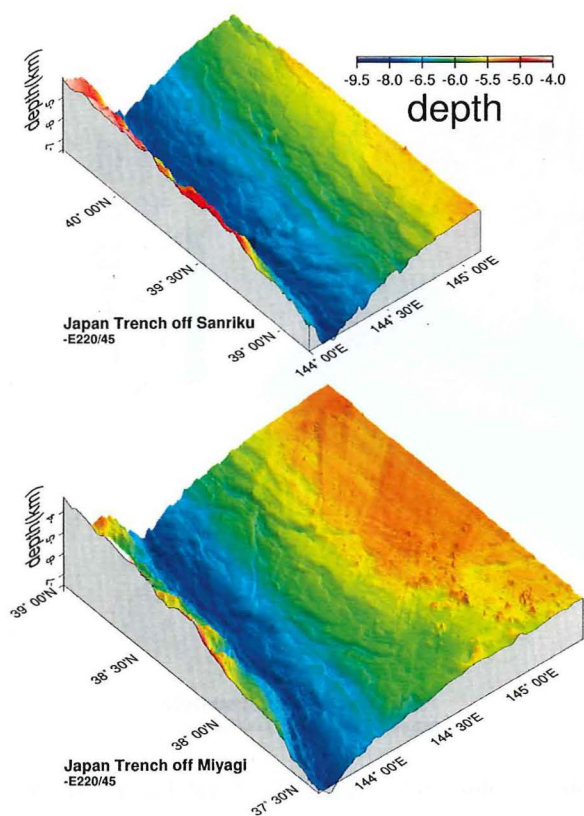


Fig.20 3-Dimensional view of the seaward slope of the Japan Trench. Off Sanriku (upper) and off Fukushima (lower).

謝 辞

海底地形データは水路部海洋調査課の方々および測量船の乗組員の方々による調査結果の蓄積により得られたものです。ここに記して謝意を表します。なお地形図の作成には GMT graphic package (Wessel and Smith, 1991) を使用しました。

参 考 文 献

- 浅田昭・沖野郷子：日本周辺海域の500mメッシュ海底地形データの作成，海洋調査技術学会講演要旨集，15-16 (1998)。
- Baer, M. : Asperities and barriers along the Japan Trench of Tohoku from the distribution of earthquake source areas, *PAGEOPH*, **122**, 863-877 (1984/85)。
- 田望：海底地形と浅発地震の震央分布，北大地球

物理学研究報告，**20**，111-124 (1968)。

- Fukao, Y and Kanjo, K. : A zone of low-frequency earthquakes beneath the inner wall of the Japan Trench, *Tectonophysics*, **67**, 153-162 (1980)。
- 日野亮太・金澤敏彦・末広潔・佐藤利典・島村英紀：海底地震計群列による北海道南西沖地震の余震分布，月刊地球，**7**，35-42 (1994)。
- Hirata, N., Yamada, T., Shimamura, H., Inatani, H and Suyehiro, K. : Spatial distribution of microearthquakes beneath the Japan Trench from ocean bottom seismographic observations, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, **73**, 653-670 (1983)。
- Kasahara, J., Nagumo, S., Koresawa, S. and Nishi, Y. : A linear trend of hypocenter distribution in the outer slope region of the Japan Trench revealed by OBS array-preliminary result, 地震研究所彙報，**57**，83-104 (1982)。
- Kobayashi, K., Nakanishi, M., Tamaki, K., and Ogawa, Y. : Outer slope faulting associated with the western Kuril and Japan trenches, *Geophys. J. Int.*, **134**, 356-372 (1998)。
- Nishizawa, A., Kanazawa, T., Iwasaki, T. and Shimamura, H. : Spatial distribution of earthquakes associated with the Pacific plate subduction off northeastern Japan revealed by ocean bottom and land observation, *Phys. Earth Planet. Int.*, **75**, 165-175 (1992)。
- 西澤あずさ・中川正則・沖野郷子・泉紀明：マルチビーム音響測深機 SeaBeam2000でみる海底地形(1)沈み込み帯の海底地形の統計パラメータを推定する試み，水路部研究報告，**33**，61-83 (1997)。
- Nosaka, M., K. Suyehiro and T. Urabe : After-shock distribution of the 1983 Japan Sea

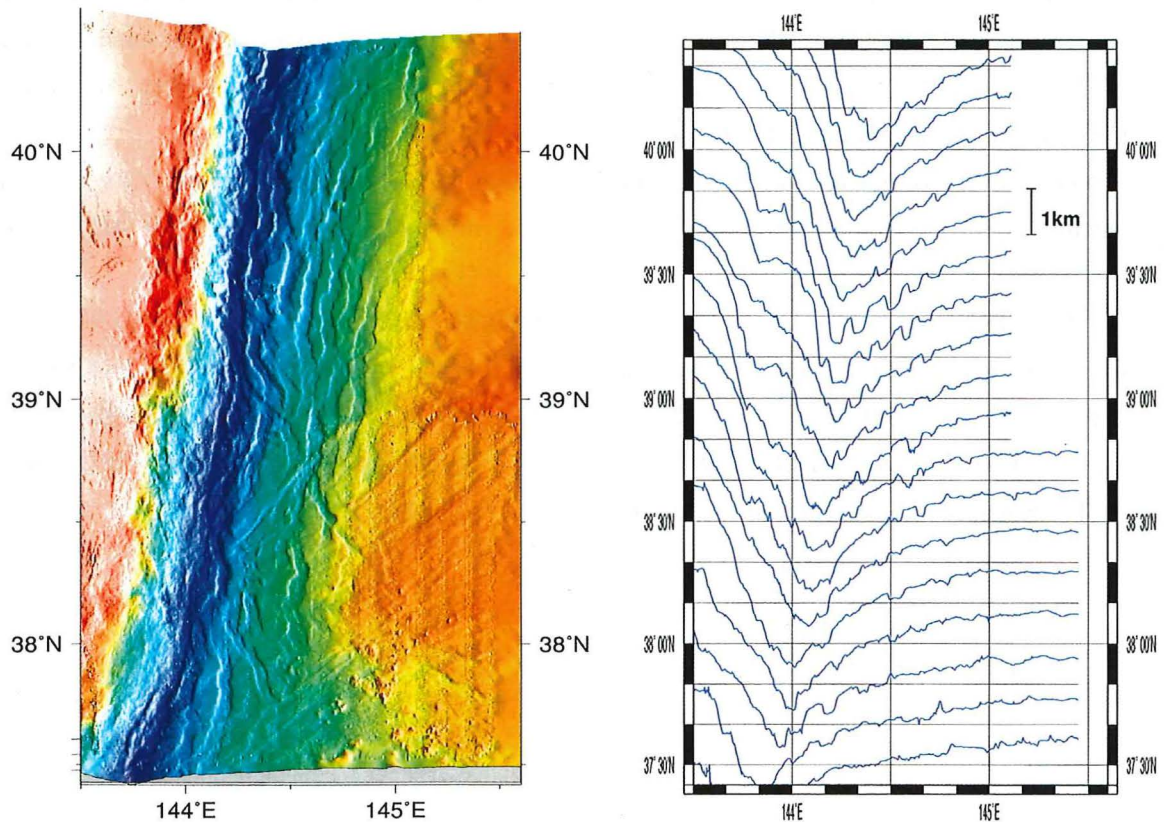


Fig.21 Enlarged shaded bathymetry (left) and east-west water depth profiles across the seaward slope of the Japan Trench (right).

表. 日本海溝域における浅発地震活動と海底地形

	地震活動の特徴	海底地形の特徴	
		海溝海側斜面	海溝周縁隆起帯
北緯 38.5 度 以 北	<ul style="list-style-type: none"> ・ M8 級の地震が起こる. ・ 微小地震活動は海溝陸側斜面水深 4 km 以浅の領域で活発. : 低活動域 陸側斜面下水深 6-4km (e.g. Kasahara et al., 1992; Hirata et al., 1983; Nishizawa et al., 1992) ・ 海溝軸海側にも活発な地震活動. ・ 陸側斜面下水深 6-4km に低周波地震活動域がある. 幅: 約 80km (Fukao and Kanjo, 1980) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 北緯 40 度以北では, 正断層 (ホルスト・グラベン) の走向は海溝軸に平行で地磁気異常縞模様と斜交している. (e.g. Kobayashi et al, 1998) ・ 断層崖段差: 最大値 > 500m ・ horst & graben の存在範囲 海溝軸から 80 km 以上. 	<ul style="list-style-type: none"> ・ データは少ないが, 山体状の微地形は存在しないように見える.
北緯 38.5 度 以 南	<ul style="list-style-type: none"> ・ M8 級の歴史地震はなく, M7 級が群発的に発生する. ・ 微小地震活動は海溝陸側斜面水深 2 km 以浅の領域で活発. (e.g. Urabe 1987; Nishizawa et al., 1992) ・ 海溝軸海側の地震活動は低い. ・ 陸側斜面下の低周波地震活動は低い. 活動域幅: 約 30-80km? (Fukao and Kanjo, 1980) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 北緯 40 度以南では, 正断層 (ホルスト・グラベン) の走向がジグザグである. (Kobayashi et al, 1998) ・ 断層崖段差: 300m 以下 ・ horst & graben の存在範囲 海溝軸から約 70 km 以内. 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 多くの小さな山体状の凹凸 (比高 200-400m, 規模 5km 以内) が存在する.

- Earthquake revealed by ocean-bottom and land-based station, *J. Phys. Earth*, **35**, 209-224 (1987).
- Smith, W. H. F. and Sandwell, D. T. : Bathymetric prediction from dense satellite altimetry and sparse shipboard bathymetry, *J. Geophys. Res.*, **99**, 21803-21184 (1996).
- 水路部北海道南西沖地震震源海域緊急調査班：北海道南西沖地震震源海域の緊急調査結果，水路部研究報告，**30**，395-412 (1994).
- Urabe, T. : Seismological regionality of the middle Japan Trench (Fukushima-oki) revealed by ocean bottom seismography, Ph. D. thesis, University of Tokyo (1987).
- Wessel, P. and Smith, W. : Free software helps map and display data, *EOS*, **441**, 445-446 (1991).
- 山田知朗・日野亮太・西澤あずさ・塩原肇・佐藤利典・後藤和彦・笠原順三・金澤敏彦・島村英紀；海底地震観測による1995年奄美大島近海地震の余震分布，*地学雑誌*，**106**，514-524 (1997).