

### 3秒グリッドDEMから作成したフィリピン海プレート北縁部の3D画像

泉 紀明：大陸棚調査室  
加藤幸弘：海洋調査課  
西澤あずさ：技術・国際課  
伊藤弘志：海洋研究室  
渡邊奈保子：海洋汚染調査室  
中田 高， 後藤秀昭：広島大学  
植木俊明， 梶 琢：海洋先端技術研究所

### 3 D bathymetric image of the northern margin of the Philippine Sea plate based on 3 second grid DEM

Noriaki IZUMI : Continental Shelf Surveys Office  
Yukihiro KATO : Hydrographic Surveys Division  
Azusa NISHIZAWA : Technology Planning and International Affairs Division  
Koji ITO : Ocean Research Laboratory  
Naoko WATANABE : Marine Pollution Research Laboratory  
Takashi NAKATA and Hideaki GOTO : Hiroshima University  
Toshiaki UEKI and Taku KAJI : Ocean High Technology Institute, Inc.

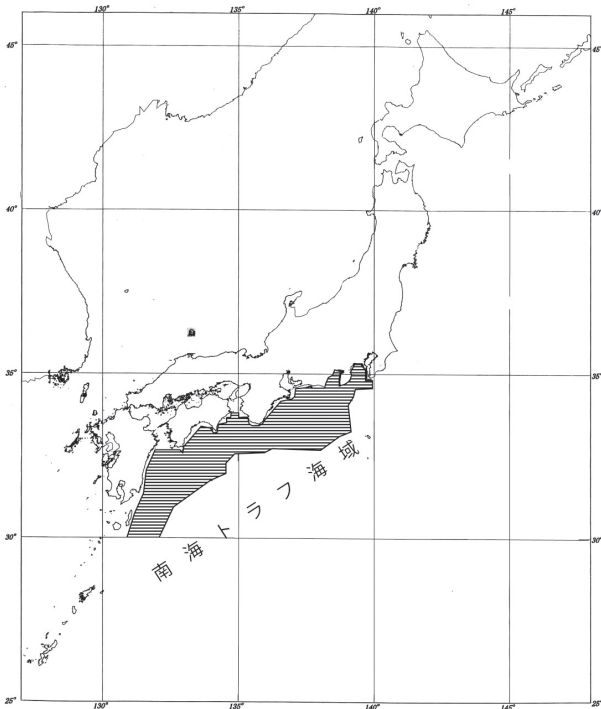
#### Abstract

The northern margin of the Philippine Sea plate is marked by the Nankai Trough. The trough is known as one of the most active seismogenic zone in the world. However, the basic observations for prediction of giant earthquakes such as the detailed distribution of active faults have been lacking mainly due to insufficiency of data of the detailed submarine topography. To make a more precise submarine active fault map along the trough, we have made detailed submarine topographic images based on 3 second (approximately 90 m) DEM processed from the original data obtained by Japan Coast Guard since 1984 using multi-narrow beam echo sounder. Then we have made stereo-pair copies of topographic images for interpretation of active faults, in a similar manner we use in aerial photograph stereo sets for onland active faults. We have also prepared anaglyph images from the stereo-pairs for discussion.

#### 1 はじめに

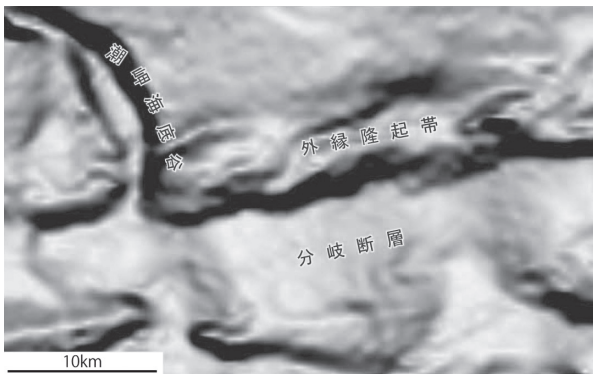
1984年以降に相模トラフから南海トラフにいたる

海域で、海上保安庁所有の測量船に搭載されたマルチナロービーム音響測深機によって詳細な測深データが蓄積されてきた（第1図）。



第1図 調査範囲 (斜線部)

Fig. 1 Coverage of three-dimensional (3 D) seafloor image in this study (hatched area).



第2図 DEM画像の解像度の比較

上：250 m グリッド 下：3 秒グリッド

Fig. 2 Comparison of resolution of the DEM images.

Upper : Image based on 250 m grid DEM

Lower : Image based on 3 seconds grid DEM

海洋情報部は広島大学、広島工業大学などこれらのデータを活用して、海底地形に関する共同研究を実施し、膨大な測深データから作成した3秒(約90m)グリッドDEM(以下3秒DEM)をもとに、これまでにない詳細な海底地形画像を作成した。これらの画像は、これまでの250mグリッドDEMを用いた画像と比較して地形解像度に圧倒的な差を持つこととなり、トラフ全域にわたる地形を詳細に把握することが可能となった(第2図)。本報告では、新たに作成された南海トラフ沿いの地形画像と地形の特徴について概要を述べる。

## 2 調査概要

海上保安庁では海図などの基とするため海底地形の調査を長年にわたって行ってきた。また、地震予知に関する基礎資料を得るための詳細な海底地形調査や、国連海洋法条約に基づく大陸棚の限界画定及び管理・利用開発に必要な科学的資料の収集を目的とした大陸棚調査を実施してきた(第1表)。それらは調査時期や目的により、調査海域が個別に設定されており、調査の積み重ねにより広大な南海トラフのほぼ全域の海底地形を把握することができた。本研究ではこれらのデータをまとめて処理を行い3秒DEMとして整備し、画像を作成した。

本研究で使用したデータは、1984年以降2006年までの22年間にわたって調査したものである。調査が長期間にわたっているため測量船の機器更新が幾度も行われている。調査した測量船の測位装置及び測深機については第2表の通りである。測位装置は1994年以降GPSとなり、測深機は1991年以降Sea-Beam 2000またはSeaBeam 2112で $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ のビームサイズとなっている。

## 3 詳細DEM画像の作成

海底地形の判読のために、複数の画像処理ソフトを利用して海底画像の立体視用画像(ステレオペア画像やアナグリフ画像)を作成し、これを空中写真と同じように判読し効率的に地形解析を行った。具体的には、3秒グリッドDEMをMacintosh用DEM解析ソフトSimpleDEMViewerを用いてステレオペ

第1表 南海トラフ調査名一覧

Table 1 List of research cruises in the Nankai Trough region

| 調査年月             | 調査船 | 調査名             |
|------------------|-----|-----------------|
| 1984.5~6         | 拓洋  | 相模南海トラフ(房総南東沖)  |
| 1985.7           | 拓洋  | 駿河トラフ           |
| 1985.7           | 拓洋  | 房総沖付近           |
| 1986.9~10        | 拓洋  | 房総沖勝浦海底谷付近      |
| 1986.12          | 拓洋  | 伊豆大島近海          |
| 1987.4<br>1988.5 | 拓洋  | 南海トラフ(御前崎沖)     |
| 1988.5~6         | 天洋  | 遠州灘(天竜海底谷付近)    |
| 1989.7           | 拓洋  | 伊豆大島東方沖         |
| 1989.8           | 天洋  | 南海トラフ(銭洲付近)     |
| 1990.1           | 拓洋  | 南海トラフ(銭洲沖)      |
| 1990.1           | 拓洋  | 相模トラフ北端部        |
| 1990.2           | 天洋  | 房総沖             |
| 1991.3           | 明洋  | 房総東方            |
| 1992.1           | 明洋  | 遠州灘沖(その1)       |
| 1992.3           | 明洋  | 南海トラフ(新島西方)     |
| 1992.8~9         | 明洋  | 南海トラフ(御前崎-室戸岬沖) |
| 1992.11~12       | 明洋  | 伊豆小笠原海北部        |
| 1993.1~2         | 明洋  | 伊予・日向灘沖         |
| 1993.12          | 海洋  | 新島東方            |
| 1994.1           | 明洋  | 遠州灘沖(その2)       |
| 1994.11          | 明洋  | 遠州灘沖(その3)       |
| 1994.11          | 明洋  | 紀伊水道南部          |
| 1995.5           | 明洋  | 南海トラフ(銭洲海嶺付近)   |
| 1995.10~11       | 明洋  | 奄美大島近海地震震源域調査   |
| 1996.1           | 明洋  | 土佐湾沖(南海トラフ)     |
| 1996.5~6         | 明洋  | 駿河湾             |
| 1997.2           | 海洋  | 相模湾             |
| 1998.2           | 明洋  | 駿河湾             |
| 1998.11          | 明洋  | 伊豆半島南東方         |
| 1999.1           | 海洋  | 駿河湾北部           |
| 1999.11          | 海洋  | 駿河湾南方           |
| 2001.11          | 海洋  | 御前崎沖            |
| 2001.10          | 海洋  | 渥美半島沖           |
| 2003.7           | 昭洋  | 紀伊・東海沖          |
| 2004.6           | 明洋  | 渥美半島沖           |
| 2004.6           | 明洋  | 紀伊・四国沖          |
| 2004.12          | 明洋  | 紀伊・四国沖          |
| 2005.7           | 明洋  | 紀伊沖             |
| 2006.4           | 海洋  | 紀伊沖             |
| 2006.7           | 明洋  | 伊豆大島北東沖         |

ア画像およびアナグリフ(余色立体視画像)を作成した。その際に光源を2つの対称点(たとえば北西と南東)に置いた2つの画像を作成した後に、画像処理ソフトAdobe Photoshopで重ね合わせた。これによって、斜面の両側に影を付した立体視用画像を作成することができ、詳細な地形の把握が可能となった。また、Windows用DEM解析ソフトGlobal Mapper<sup>®</sup>を用いて地形断面図や3D画像を作成し、地形判読の資料として活用した。

#### 4 成果

第2図は、潮岬海底谷が外縁隆起帯(茂木, 1977)を横切る付近の海底画像である。250m DEM画像と3秒DEM画像の地形分解能に圧倒的な差があることがわかる。同じ海域を拡大した第3図では逆断層の上盤側に形成された背斜状の高まりが浸食され、硬軟の地層が背斜構造を反映する地形を形成していることが読み取れる(中田・後藤, 2010)。潮岬海底谷が背斜構造を深く浸食する場所でも、谷底を横切って小規模なケスタ状の地形が発達している。これらの画像から、谷底一般に堆積作用が卓越すると考えられてきた深さ2000mを超える深海底でも、南海トラフに沿った広い範囲で浸食地形が発達し、未固結堆積物に覆われた傾斜が1度にも満たない緩やかな斜面でも大小の地すべり地形が認められ(梶・他, 2010)、面的な浸食作用が卓越している

第2表 測深機一覧

注: 及川・他, (2010) に加筆・修正

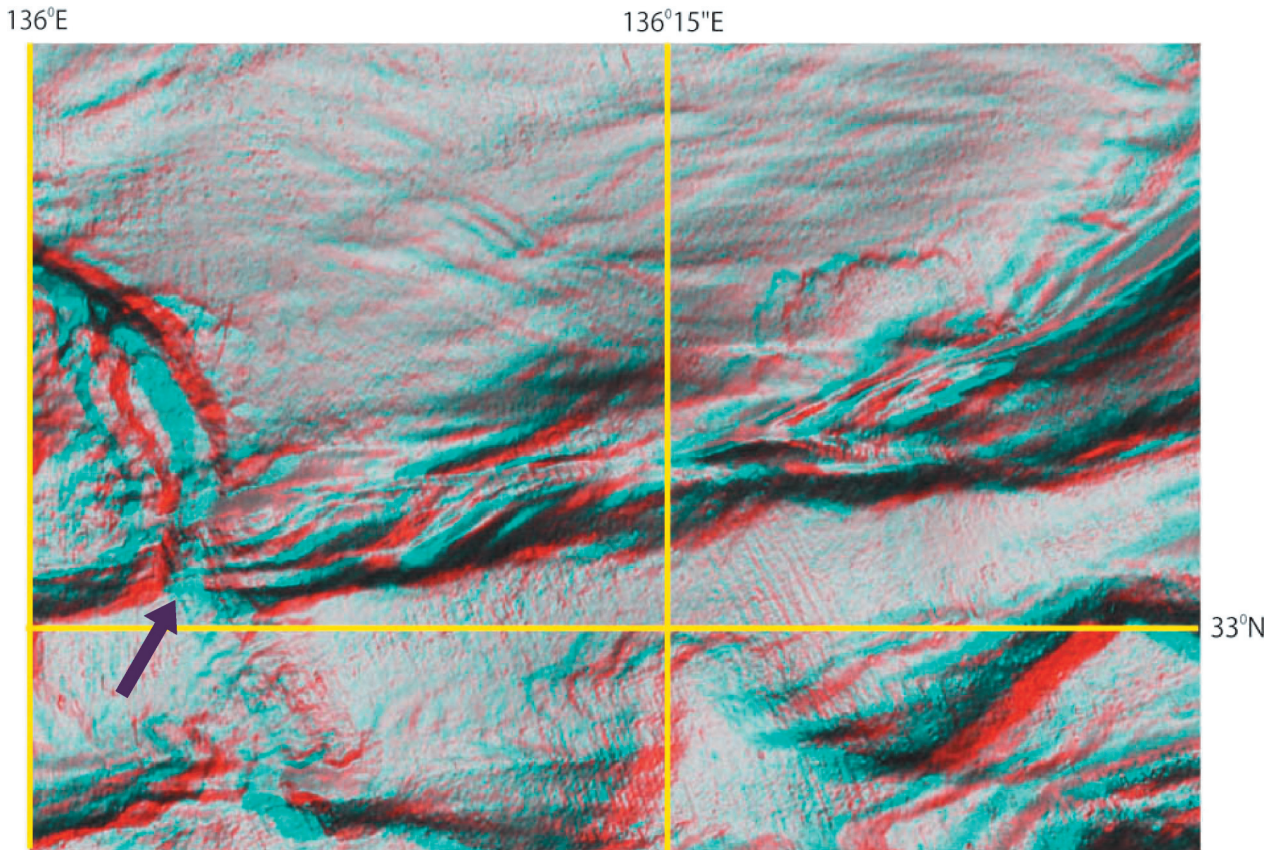
Table 2 Specifications of echo sounders

※ After Oikawa et al. (2010)

GPS(w. SA): GPS with selective availability

GPS(w/o SA): GPS without selective availability

| Vessel | Period               | Navigation      | Multibeam system | Swath width | Beam size      |
|--------|----------------------|-----------------|------------------|-------------|----------------|
| Takuyo | 1983 to Oct 1993     | NNSS or LORAN C | SeaBeam          | ±20°        | 2.67° × 2.67°  |
| Shoyo  | after May 2000       | GPS(w/o SA)     | SeaBeam2112      | ±75°        | 2° × 2°        |
| Meiyo  | Oct 1990 to Jan 1992 | NNSS or LORAN C | SeaBeam2000      | ±46°        | 2° × 2°        |
|        | Feb 1992 to 1994     | NNSS or LORAN C | SeaBeam2000      | ±60°        | 2° × 2°        |
|        | 1994 to May 2000     | GPS(w. SA)      | SeaBeam2000      | ±60°        | 2° × 2°        |
|        | May 2000 to Apr 2008 | GPS(w/o SA)     | SeaBeam2000      | ±60°        | 2° × 2°        |
| Kaiyo  | 1994 to May 2000     | GPS(w. SA)      | SeaBeam2000      | ±60°        | 2° × 2°        |
|        | May 2000 to Dec 2007 | GPS(w/o SA)     | SeaBeam2000      | ±60°        | 2° × 2°        |
| Tenyo  | Feb 1987 to 1994     | NNSS or LORAN C | Hydrochart II    | ±52°        | 3.5°~6.3° × 5° |



第3図 浸食地形と地すべり地形の典型例（アナグリフ画像）  
矢印はケスタ地形の見られる場所を示す。

Fig. 3 Typical seafloor erosion and submarine landslide (anaglyph image).  
Arrow shows the location of cuesta.

ことが明らかになった。

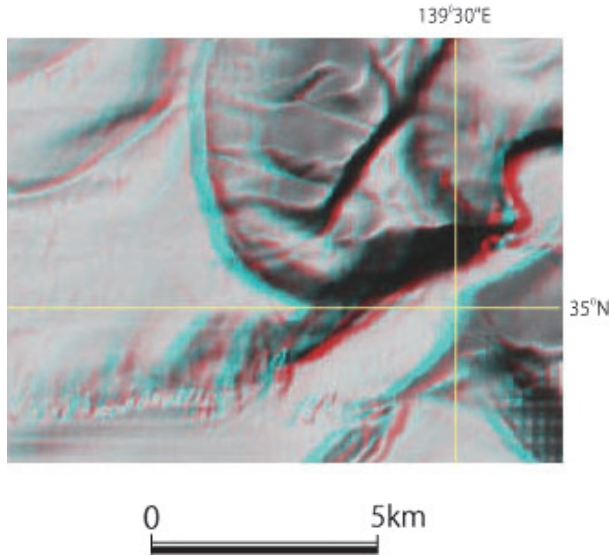
南海トラフは、豊富な歴史記録から巨大地震の繰り返し発生の過程が世界で最も明らかにされているプレート境界として知られている。地震動や津波の記録などから、過去の地震の破壊領域がトラフに沿っていくつか設定されている（石橋・佐竹，1998など）。地震調査研究推進本部地震調査委員会（2001）は次の地震の領域として、南海トラフを領域X：足摺岬沖～潮岬沖，領域Y：潮岬沖～浜名湖沖，領域Z：浜名湖沖～駿河湾の3つの領域に分け，それぞれが南海地震，東南海地震，想定東海地震に対応するとしている。しかし，このような領域区分は活断層の分布に関する重要な情報が欠落したまま行われている。

南海トラフ沿いに発生した巨大地震の多くは，津波を伴っており，海底下の震源断層のずれが海底に達し海底面が食い違ったことを示している。このよ

うな地震が，限られた断層の活動によって繰り返し発生した結果，海底面に活断層が発達していることが知られているが，巨大地震と活断層との関連は必ずしも明確になっていない。

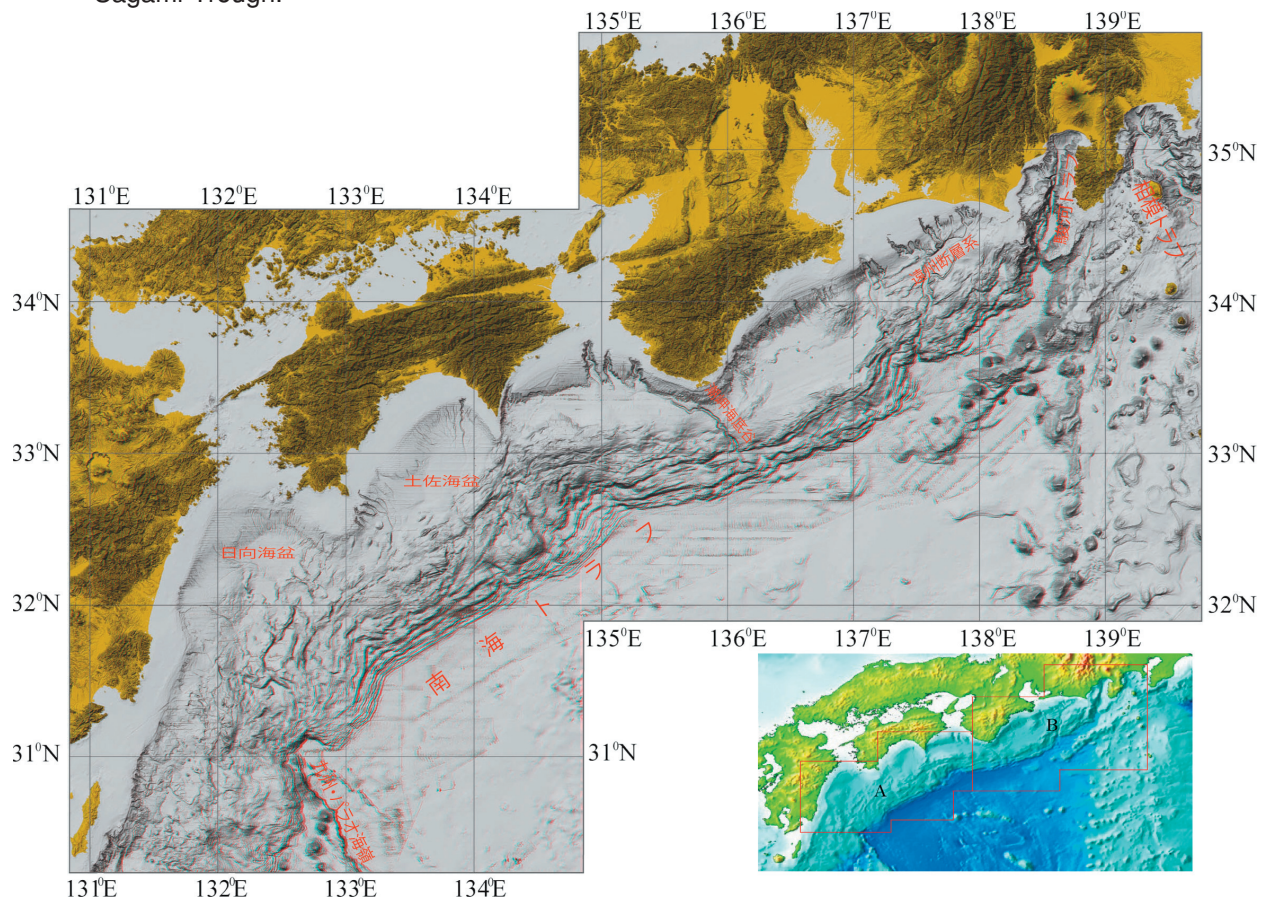
海底活断層の認定についても，詳細DEM画像は極めて有効である。第4図は東京海底谷が相模トラフに合流する地点周辺の地形を示すものである。ここでは，東京海底谷が形成した海底扇状地が活断層によって変位し明瞭な断層崖が発達している（渡辺・他，2010）。注意深く観察すると，断層崖の基部にそって，比高数十mの低断層崖を認めることが可能である。このような地形は，陸域で認められる逆断層と全く同じものであり，この海底活断層が繰り返し活動してきたと考えられ，1923年大正関東大地震の震源であることを強く示唆する。

南海トラフに沿って発達する活断層は，これまでの研究によって大略が明らかにされている通り，ト



第4図 東京海底谷と相模トラフ合流点周辺の明瞭な断層崖の例  
 Fig. 4 An example of a clear fault scarp at the junction area of the Tokyo Canyon and the Sagami Trough.

ラフに平行な前縁断層や分岐断層などの北傾斜の逆断層の発達が顕著である（徳山・他，2001；木村・木下，2009など）。これらの研究では，海底地形に加え反射断面から読み取ることのできる地質構造の特徴を活断層の認定根拠としており，地形解析のみから認定された活断層より確実性が高い。しかしながら，活断層線は分解能の低い海底地形によっているため，直線のかつ断片的に描かれており，連続性に対する信頼性は低いと言える。中田・後藤（2010）は，本報告で示す地形分解能の高い画像を用いて，相模トラフ～駿河トラフ～南海トラフのほぼ全域の活断層の連続性や独立性について検討が可能を示した。第5図に全体のインデックスを，第6図A～Bに各海域のそれぞれを拡大したアナグリフ図



第5図 相模トラフ～駿河トラフ～南海トラフ周辺の海底地形（アナグリフ画像）  
 右下図は詳細アナグリフ図（第6図A～B）の範囲を示す。  
 画像はいずれも立体感が5倍程度誇張されている。  
 Fig. 5 Multibeam bathymetry of the Sagami Trough-the Suruga Trough-the Nankai Trough (anaglyph image).  
 The lower right map shows the index for the detail anaglyph images in Figs. 6 (A)~(B). Vertical exaggeration of the depth is about five.

を示す。これらの図から読み取れる主要断層の中には、上述の領域区分を超えて連続するものも少なからず認められ、今後、これらの活断層と歴史時代の巨大地震との関連を具体的に検討する必要がある。

このほか、鈴木（2010）が指摘するように、御前崎から室戸岬にかけての陸棚外縁には撓曲斜面が認められる。この長大な撓曲斜面の形成には大規模な伏在逆断層の存在が推定され、陸域に近いこともあって注目される。

## 5 今後に向けて

地震調査研究推進本部地震調査委員会（2009）は、「新たな地震調査研究の推進について」のなかで、東海・東南海・南海地震が今後30年程度の間高い確率で発生すると予測し、地震発生予測及び地震動・津波予測の高精度化をうたっているが、海底活断層に対する具体的な調査研究についてはあまり言及されていない。海底活断層の認定に3秒DEM画像を利用したとしても、その解像度は空中写真には大きく及ばず、判読精度に制約があることは明らかである。迫りくる南海トラフの巨大地震に対して、活断層の分布と活動性をさらに詳細かつ具体的に明らかにすることが発生予測の高精度化と災害軽減にとって最優先の課題である。信頼にたる海底活断層分布図の作成のためには、1秒グリッド程度のDEMを整備する必要があり、稠密な測深調査を実施することが急務である。

## 謝 辞

本研究は、海上保安庁所属測量船が長年にわたって実施した測深データを活用したもので、観測にあられた乗組員や職員の方々に感謝します。また、共同研究の実施にあたっては加藤茂海洋情報部長にお世話になりました。

フリーウェアであるSimpleDEMViewerの開発者の片柳由明氏には、本研究にあたり、ソフトの修正にご協力いただいた。記して深く感謝申し上げます。データ解析には、平成19-22年度科学研究費補助金（基盤研究(B)（一般））「海底活断層から発生する大地震の予測精度向上のための変動地形学的研究」

（研究代表者：中田 高）の一部を使用した。

## 参 考 文 献

- 石橋克彦・佐竹健治（1998），古地震研究によるプレート境界巨大地震の長期予測の問題点—日本付近のプレート沈み込み帯を中心として，*地震*, 50, 1-21
- 及川光弘・渡邊奈保子・橋本崇史・吉田剛・千葉未子（2010），深海域のマルチビーム音響測深データの不確かさと管理，*海洋情報部研究報告*, 46, 39-46
- 梶 琢・中田 高・渡辺満久・鈴木康弘・後藤秀昭・徳山英一・隈元 崇・佐竹健治・加藤幸弘・西沢あずさ・泉 紀明・伊藤弘志・渡邊奈保子・植木俊明（2010），詳細海底地形図に基づく南海トラフ域の海底地すべり分布とその特徴—特に南海トラフから天竜海底谷にかけて—，*月刊地球*, 号外61, 49-55
- 木村 学・木下正高（2009），*付加体と巨大地震発生帯*，東京大学出版会
- 鈴木康弘（2010），東海～四国沖の陸棚外縁活撓曲の再発見，*科学*, 80, 779-781
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2001），「南海トラフの地震の長期評価について」，[http://www.jishin.go.jp/main/chousa/01sep\\_nankai/nankai.pdf](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/01sep_nankai/nankai.pdf)
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2009），「新たな地震調査研究の推進について」，<http://www.jishin.go.jp/main/suicon/honbu09b/suishin090421.pdf>
- 東海沖活断層研究会（1999），*東海沖の海底活断層*，東京大学出版会
- 徳山英一・本座栄一・木村政昭・倉本真一・芦 寿一郎・岡村行信・荒戸裕之・伊藤康人・除垣・日野亮太・野原壮・阿部寛信・坂井眞一・向山建二郎（2001），日本周辺海域中新世最末期以降の構造発達史，*海洋調査技術*, 13 (1), 27-53
- 茂木昭夫（1977），*日本近海海底地形誌*，東京大学出版会

中田 高・渡辺満久・鈴木康弘・後藤秀昭・徳山英一・隈元 崇・加藤幸弘・西沢あずさ・泉紀明・伊藤弘志・渡邊奈保子・植木俊明 (2009), 遠州灘・熊野灘の活断層, 日本地震学会講演予稿集, 142

中田 高・後藤秀昭 (2010), 南海トラフの海底活断層を詳細地形データから探る, *科学*, 80, 852-857

渡辺満久・中田 高・後藤秀昭・鈴木康弘・隈元 崇・徳山英一・佐竹健治・加藤幸弘・西沢あずさ・泉 紀明・伊藤弘志・植木俊明・梶塚 (2010), 詳細DEM画像から探る相模トラフ～紀伊半島沖の海底活断層, 日本地震学会講演予稿集, 18