

### 3 秒グリッド DEM から作成した日本海東縁部の 3D 海底地形<sup>†</sup>

泉 紀明<sup>\*1</sup>, 西澤あずさ<sup>\*2</sup>, 堀内大嗣<sup>\*3</sup>, 木戸ゆかり<sup>\*4</sup>,  
中田 高<sup>\*5</sup>, 後藤秀昭<sup>\*5</sup>, 渡辺満久<sup>\*6</sup>, 鈴木康弘<sup>\*7</sup>

3D bathymetric image of the eastern margin of the Sea of Japan based on 3-second grid DEM<sup>†</sup>

Noriaki IZUMI<sup>\*1</sup>, Azusa NISHIZAWA<sup>\*2</sup>, Daishi HORIUCHI<sup>\*3</sup>, Yukari KIDO<sup>\*4</sup>,  
Takashi NAKATA<sup>\*5</sup>, Hideaki GOTO<sup>\*5</sup>, Mitsuhsa WATANABE<sup>\*6</sup>, and Yasuhiro SUZUKI<sup>\*7</sup>

#### Abstract

We have made detailed anaglyph images based on 3 second (about 90 m) DEM processed from the original data obtained by Japan Coast Guard and JAMSTEC, in order to analyze submarine topography for a more precise interpretation of submarine active faults than that mapped by previous workers the eastern margin of the Sea of Japan. Most of the depicted active tectonic features are closely related to the location of symmetric anticlines formed by inversion tectonics along the former normal faults originally created during the period of formation of the Sea of Japan about 30 – 15 million years ago (Okamura, 2010). Interpretation of detailed anaglyph image by tectonic geomorphology method enabled us not only to depict major submarine active faults that coincide well with those revealed by the analysis of seismic reflection records, but also minor fresh tectonic landform with low-relief.

#### 1 はじめに

海上保安庁海洋情報部（以降、海上保安庁）は広島大学などと海底地形に関する共同研究を平成 23（2011）年度から実施してきた。その成果として、海上保安庁と海洋研究開発機構（JAMSTEC）がマルチビーム測深機によって取得した測深データを利用して、海底アナグリフ画像を作成し、海底活断層の読み取りを行ってきた（南海トラフ（泉・他, 2011）、日本海溝（泉・他, 2012）、

相模トラフから房総沖三重会合点周辺（泉・他, 2013））。

日本海東縁海域では、地震と津波が歴史時代にも繰り返した海域である（羽鳥・片山, 1977）。Fig.1 に松浦（2013）によって取りまとめられた日本海東縁域における過去津波の震源域を示す。この海域では、岡村・他（1998）や岡村・倉本（1999）などによる一連の研究によって、地質構造の解析を中心に海底活断層の解明が進んでい

<sup>†</sup> Received October 16, 2013 ; Accepted December 27, 2013

\*1 海洋調査課 Hydrographic Survey Division

\*2 技術・国際課海洋研究室 Ocean Research Laboratory, Technology Planning and International Affairs Division

\*3 海洋調査課海洋防災調査室 Geodesy and Geophysics Office, Hydrographic Survey Division

\*4 海洋研究開発機構 Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

\*5 広島大学 Hiroshima University

\*6 東洋大学 Toyo University

\*7 名古屋大学 Nagoya University



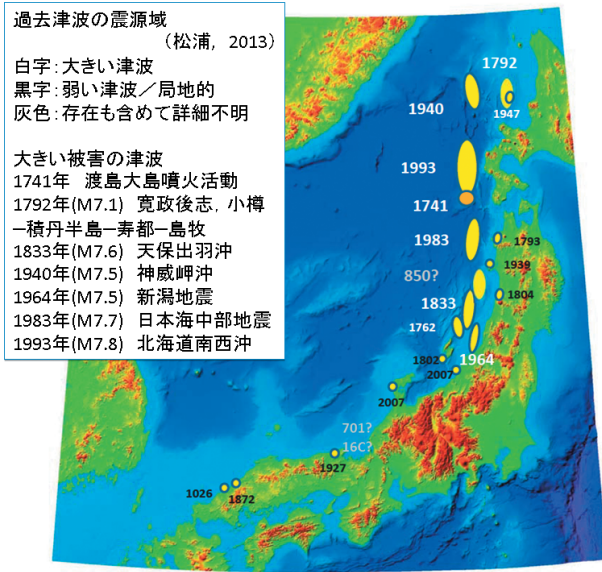


Fig. 1. Location of the earthquakes that caused historical tsunamis along the eastern margin of the Sea of Japan (after Matsu-ura, 2013).

図 1. 日本海東縁部において過去に津波を発生させた地震震源域の分布 (松浦, 2013 を改変).

る。本報告では、詳細な海底アナグリフ画像をもとに、この海域の変動地形学的視点から海底地形を概説する。

海上保安庁と JAMSTEC の統合測深データ、日本周辺の 250 m グリッド地形 (岸本, 1999) 及び日本水路協会の海底地形デジタルデータ (M 7000 シリーズ) から 3 秒 (約 93 m) グリッドデータを作成し使用した。マルチビームによるデータは水深が深くなるにつれ、フットプリントが大きくなり、解像度が低下する。大きなフットプリントで得られたデータを小さなグリッドで描画しても逆にノイズが目立つこととなり、詳細な地形の把握につながらない。今回アナグリフ図を作成するにあたり、様々なグリッドサイズで図を作成し、視覚的に地形を把握しやすいサイズとして 3 秒を選択した。

このデータから DEM 画像処理ソフト Simple DEM Viewer (<http://www.jizoh.jp/>) を利用して海底地形を立体視できるアナグリフ画像を作成し、陸域の地形判読と同じ要領で活断層の認定を行い、従来より詳細な海底活断層図を作成した。しかし、マルチビーム測深機による詳細な水深

Table 1. List of Japan Coast Guard cruises that surveyed the eastern margin of the Sea of Japan.

表 1. 海上保安庁による日本海東縁部での調査一覧。

| 調査年月    | 測量船名 | 調査名           |
|---------|------|---------------|
| 1984. 7 | 拓洋   | 日本海中部地震震源域調査  |
| 1987. 9 | 拓洋   | 富山トラフ         |
| 1993. 5 | 明洋   | 秋田・山形沖 (1)    |
| 1993. 7 | 明洋   | 北海道南西沖地震震源域調査 |
| 1993. 8 | 明洋   | 北海道南西沖        |
| 1994. 5 | 明洋   | 秋田・山形沖        |
| 1995. 4 | 明洋   | 石狩湾沖          |
| 1995. 5 | 明洋   | 奥尻島付近         |
| 1996. 7 | 明洋   | 留萌沖           |
| 1996. 8 | 明洋   | 奥尻島付近         |
| 1998. 8 | 明洋   | 新潟・能登沖        |
| 1998. 9 | 明洋   | 富山湾           |
| 1999. 9 | 明洋   | 新潟沖           |
| 1999. 9 | 明洋   | 奥尻島南方         |

データが少ない 200 m 以浅の海域では海底活断層の認定は困難であった。なお、M 7000 シリーズのデータのみを用いたアナグリフ画像は、後藤 (2013) にまとめられている。

## 2 海上保安庁の調査概要

海上保安庁では日本周辺で海底地形データを取得してきた。調査は目的に応じ一定の測域を設定し、そこを面的にフルカバーする測量をしている。

日本海東縁部では 1993 年から 1999 年にかけて、測量船「明洋」により調査された成果が主となっており、日本海東縁部のほぼ全域がマルチビーム測深機により調査されている (海上保安庁水路部, 2001)。このほか、1983 年に発生した日本海中部地震や 1993 年に発生した北海道南西沖地震の震源域において、地震後に海底の変化を捉えるための調査を緊急に行っており (海上保安庁水路部, 1985; 海上保安庁水路部, 1994)、それらの成果も包含されている。調査が行われた航海及び時期を Table 1 に示す。

## 3 JAMSTEC の調査概要

JAMSTEC の測深データは、船舶「かいらい」「よこすか」「みらい」に搭載されている音響測深機 SeaBeam 2112、「かいはり」に搭載されてい

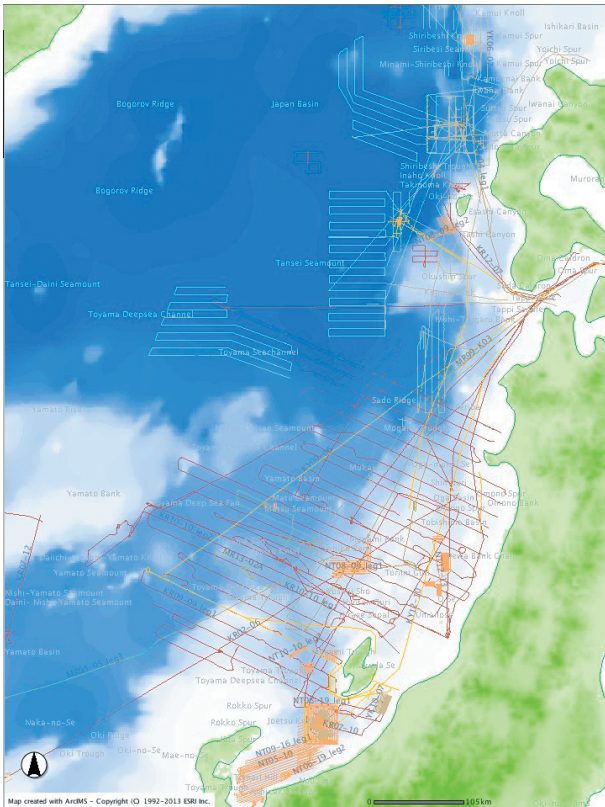


Fig. 2. Track chart of JAMSTEC vessels around the eastern margin of the Sea of Japan. Color keys for the five JAMSTEC research vessels: R/Vs *Kairei* (blue), *Natsushima* (red), *Yokosuka* (green), *Kaiyo* (yellow), and *Mirai* (orange).

図 2. 日本海東縁部周辺域における JAMSTEC 船舶の航跡図。航跡のカラー表示は次の通り：「かいらい」=青, 「なつしま」=赤, 「よこすか」=緑, 「かいよう」=黄, 「みらい」=オレンジ。

る SeaBeam 2100/Classic SeaBeam, 「なつしま」の SeaBat 8160 で取得されている。Fig. 2 に調査海域の解析に用いた船舶の航跡図を、航海リストを Table 2 にまとめた。音響測深機の仕様については、泉・他 (2012) と同様である。

日本海側は、横須賀の海洋研究開発機構本部からの回航距離が長く、調査海域までの回航データは少ないが、日本海東縁部において、まとまった構造探査を行っているため、200 km 程度の測線長、均一の測線間隔、一定速度での航走で欠損値が少ない良好なデータが取得されている。平成 19 年 (2007 年) 新潟県中越沖地震に関する緊急調査、平成 21 (2009) 年以降は、東縁ひずみ集

Table 2. List of JAMSTEC research cruises that surveyed the eastern margin of the Sea of Japan.

表 2. JAMSTEC による日本海東縁部での調査一覧。

| Shipboard name | Period (start) | Period (end) | Cruise ID    |
|----------------|----------------|--------------|--------------|
| Kairei         | 2004/8/6       | 2004/8/19    | KR04-10      |
|                | 2005/7/26      | 2005/7/30    | KR05-09      |
|                | 2009/7/25      | 2009/8/6     | KR09-09      |
|                | 2010/7/29      | 2010/8/15    | KR10-10 Leg1 |
|                | 2010/8/16      | 2010/9/5     | KR10-10 Leg2 |
|                | 2011/8/5       | 2011/8/27    | KR11-08      |
| Kaiyo          | 2009/7/30      | 2009/8/5     | KY09-05      |
|                | 2009/8/5       | 2009/8/19    | KY09-06      |
| Mirai          | 2006/7/31      | 2006/8/19    | MR06-04 Leg1 |
| Yokosuka       | 2001/6/25      | 2001/7/6     | YK01-06 Leg1 |
|                | 2001/7/7       | 2001/7/24    | YK01-06 Leg2 |
|                | 2003/7/14      | 2003/7/30    | YK03-05 Leg2 |
|                | 2005/9/1       | 2005/9/5     | YK05-10      |
|                | 2006/6/21      | 2006/6/24    | YK06-07      |
|                | 2008/5/29      | 2008/6/17    | YK08-07      |
|                | 2010/6/24      | 2010/7/2     | YK10-07      |
| Natsushima     | 2010/7/10      | 2010/7/29    | YK10-08      |
|                | 2005/6/28      | 2005/7/4     | NT05-09      |
|                | 2005/7/6       | 2005/7/14    | NT05-10      |
|                | 2006/9/10      | 2006/9/17    | NT06-19 Leg1 |
|                | 2006/9/17      | 2006/9/22    | NT06-19 Leg2 |
|                | 2007/9/15      | 2007/9/18    | NT07-19      |
|                | 2007/9/28      | 2007/10/6    | NT07-20 Leg1 |
|                | 2007/10/7      | 2007/10/15   | NT07-20 Leg2 |
|                | 2008/4/29      | 2008/5/10    | NT08-09 Leg1 |
|                | 2008/5/11      | 2008/5/23    | NT08-09 Leg2 |
| 2009/9/8       | 2009/9/14      | NT09-16 Leg1 |              |
| 2010/6/12      | 2010/6/21      | NT10-10 Leg2 |              |

中帯における地震探査調査研究が行われており、秋田沖から佐渡沖まで体系的に調査がなされている (例えば小平, 2012; 野・小平, 2013)。地殻構造探査航海が主目的のため、正確な音響ビームの伝搬時間を把握するために、各航海中に投下式塩分水温深度計 (XBT, XCTD) による海中音速計測、音速補正を行い、不良データの除去を行っている。

JAMSTEC データベースサイト (<http://www.jamstec.go.jp/j/database/index.html>) には、航海毎の調査報告、各種データ、補正值等の情報が掲載されている。

#### 4 変動地形学的手法による海底活断層の認定

これまで日本海東縁の海底活断層は、海底地形に加え地質構造の特徴をもとに認定されてきた。この海域は、プレート境界にあたる日本海溝や南海トラフに比較して浅く、特に男鹿半島以南の

1500 m 以浅の海底では、詳細な活断層分布が明らかにされている(活断層研究会, 1991)。岡村・加藤(2002)は、比較的大きな断層崖を伴う主要な海底活断層を認定し、それに沿った歴史地震の震源断層モデルと地震性タービダイトの分布および地震発生間隔について議論している。伊藤・他(2010)も村上沖の反射法地震探査によって、1964年新潟地震の震源断層に関連する海底活断層の位置・形状を詳細に解明し、その繰り返し活動について言及している。竹内・他(2000)は、北海道南西部の歴史地震発生域の潜航調査を行い、地震に伴う活断層による変状を報告している。

一般的に、地震に伴う震源断層の活動は地表面に痕跡を残し、また変位を累積させる。これら地形の特徴を分析することで地下の断層の存在を明らかにするのが変動地形学的手法である。陸上においては航空写真や地表の調査を行うことで活断層の痕跡を認定し、トレンチなどの地質学的手法を併用することで認定の有用性を高めてきた。

本報告では、分解能の高い画像を立体視して地形判読を行い、陸域と同様な変動地形学的手法を基準で海底活断層を認定した。画像を拡大してマッピングを行うことで、これまで認定された活断層の分布と比較して、その位置・形状や連続性をより詳細に検討することができた。

## 5 海底地形の概要

研究対象とした日本海東縁の海域は、牡鹿半島以北では東経ほぼ139度以東、それ以南では東経138度以東の南北に細長い海域である。北部には3500 mより深い平坦な日本海盆の最深部が一部含まれるが、概ね2000 m以浅の海底が広がる。

日本海東縁の海底地形を説明するために、詳細な測深データが得られた海域を中心に、北から積丹半島沖海域、奥尻島周辺、西津軽沖、飛鳥周辺、佐渡島周辺の海域に区分した(Fig. 3)。

### (1) 積丹半島沖海域

この海域で最も特徴的な地形は、後志舟状海盆

と奥尻海嶺との間の直線的な急崖である(Fig. 4)。奥尻海嶺は留萌沖から西津軽沖に達する長さ約450 kmの隆起帯(岡村・倉本, 1999)であり、急崖はこの隆起帯の東縁の北部にあたる。岡村・他(1998)は、反射断面からこの崖の基部に西傾斜の逆断層を認め、奥尻海嶺は東翼が急傾斜する背斜構造を持つことを明らかにしている。急崖の比高は1000 mを超えるところもあり、海嶺が高い部分では斜面に広い範囲で階段状の地すべりが認められる。また、海盆の北部では急崖の基部に、急崖とほぼ並行する比高200 m前後の東傾斜の崖が認められる。これらの崖は、背後の大きな崖を形成した西傾斜の逆断層が、前面の盆地底に新たに出現し活動したいわゆる thrust front migration(池田・米倉, 1979)により形成された可能性がある。南部の盆地底にはこのような新しい崖は認められないが、岡村(2010)は反射法地震探査断面から非対称背斜構造を作る西傾斜の逆断層の存在を指摘している。

ほぼ南北に200 kmにわたって連なる後志舟状海盆は、日本海盆とほぼ同じ深さ3500 mを超える平坦な海底面を持つが、後志海山から南南西に伸びる屈曲した高まりによって南北に二分され、南部は堆積物によって埋められ若干浅くなっている。その高まりも南東縁が急で北西に傾くような地形を呈しており、比高約500 mの急崖の基部に西傾斜の逆断層の存在が推定される。これと同じような崖地形は、石狩海盆と神威海嶺との境界にも認められる。南北性の丸みをおびた凸型斜面の比高は300 m前後で、ほぼ同じ高さで50 km以上にわたって連なる。これより小規模ではあるが、岩内堆の東縁や積丹半島西岸沖のカムチャッカ根から神威海脚に至る高まりの西縁の崖にも基部に高まりを形成する逆断層の存在が推定される。

一方、岩内堆の西側斜面や茂津田海脚の西側の斜面は、激しい侵食を受け、平滑な海底斜面は残っておらず、変動崖の特徴を持っていない。

後志海山は、円錐形を成す海底火山で、その原型をとどめているが、北後志海丘や二又海丘など



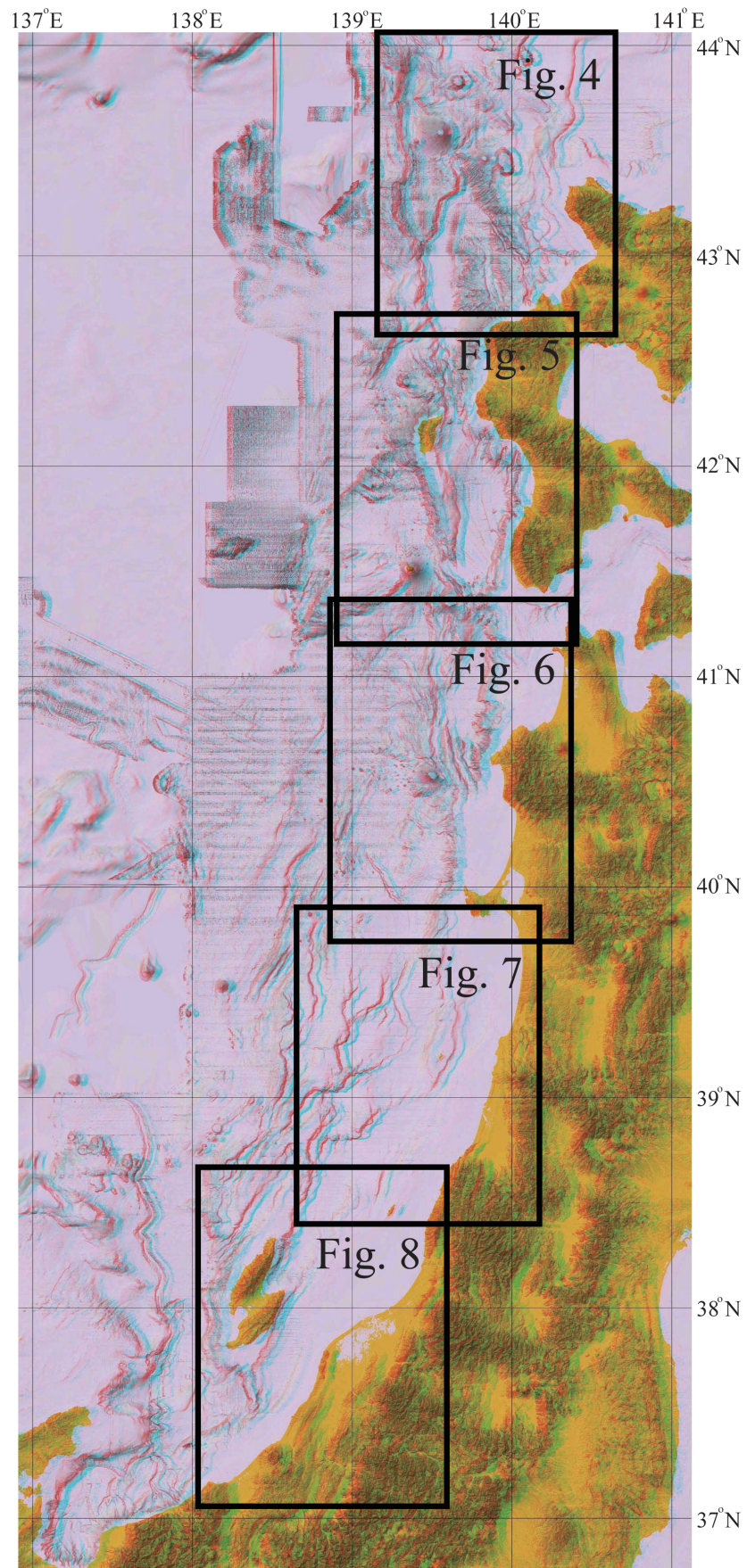


Fig. 3. Index map of the study area.

図 3. インデックス図.



は頂部が削られた台地状の高まりを形成する。

(2) 奥尻島周辺

奥尻島には数段の海成段丘が発達し、第四紀後期を通して南東方向に傾動隆起したことが知られている(太田, 1994)。岡村・加藤(2002)は奥尻島の南の奥尻海脚を横切る反射断面から、奥尻島をのせる奥尻海嶺は上記の変動と整合的な西側が急傾斜する非対称的な背斜構造であり、日本海東縁で最も規模の大きいものの一つとした。Fig. 5の詳細な海底地形からも、この様子をうかがうことができる。

奥尻島の西の急崖は深さ 3500 m の日本海盆に直接接し、大規模な斜面崩壊や階段状の地すべりを伴っている。このような顕著な急崖の多くは直線的でガリーによる開析が進んでおり、日本海

大期に形成された正断層崖が残存し、その基部に新たな逆断層による変位が加えられていると考えられる。したがって、このような大規模な急崖は、形態的には変動崖の特徴に乏しいが、奥尻島南方では崖の基部にそって比高 200 m 以下の直線的な崖が断続的に連なり、小島堆の北に位置する北北西-南南東方向の小背斜状の高まりの西縁の崖に繋がる。1993年北海道南西沖地震の震源断層は、余震分布から北部では奥尻海嶺東縁基部の西傾斜の逆断層、南部では西縁基部の西傾斜の逆断層が震源断層として推定されているが、南部ではそれに対応する海底活断層は特定できない(岡村, 2010)。

奥尻海脚の東縁は丸みをおびたスムーズな凸状斜面であり撓曲崖の形状を示すが、反射法地震探査断面には変位構造は認められないとされている

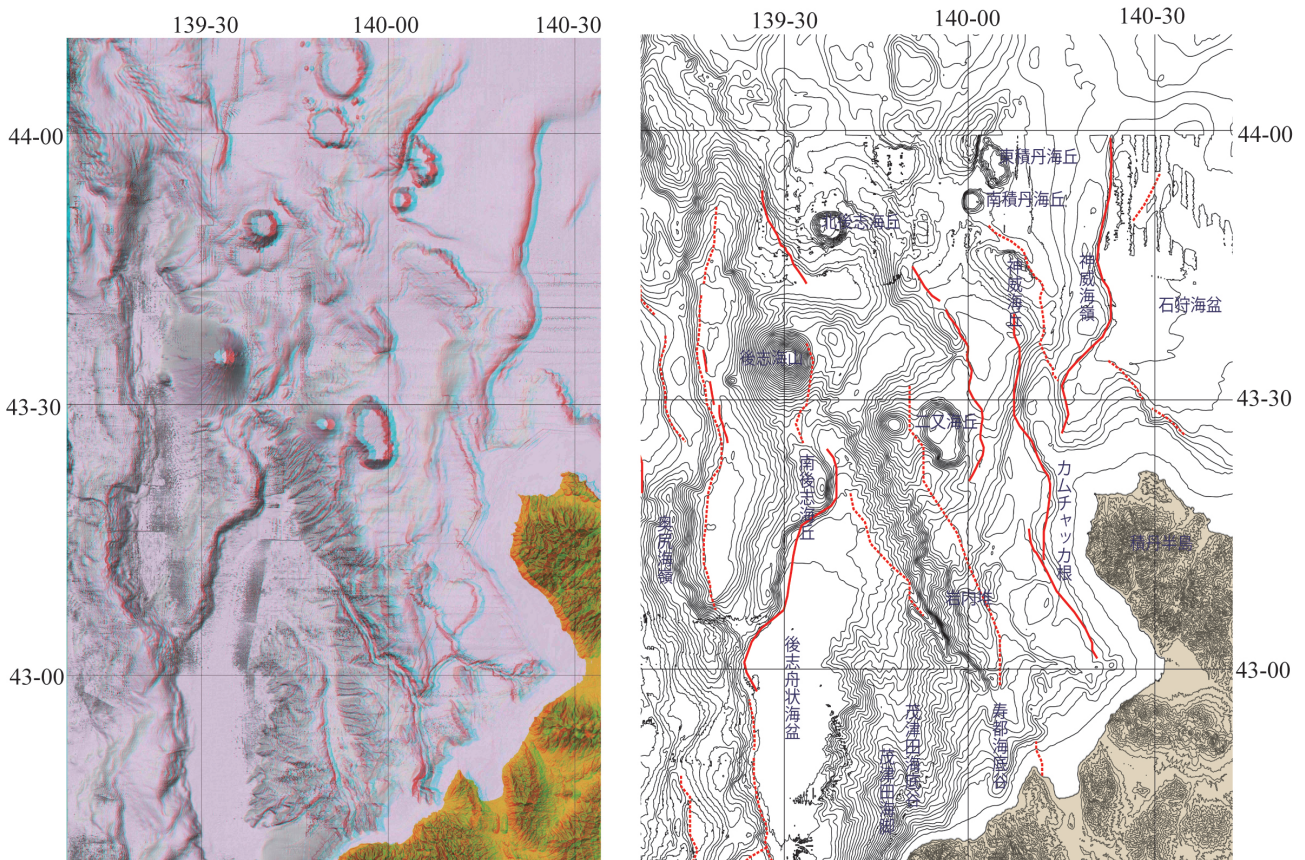


Fig. 4. Anaglyph image and the map showing active faults (solid red line : active fault, dashed red line : presumed active fault) superimposed on bathymetry (contours in 100 m) of the seafloor off Shakotan Peninsula.

図 4. 積丹半島沖の海底地形のアナグリフ図と活断層分布図(コンター間隔 100 m)(赤実線:活断層, 赤破線:推定活断層)。



(岡村・加藤, 2002). 奥尻島の約 20 km 南東沖の海底には, 北東-南西方向の南東上がりの丸みを帯びた比高 50 m 程度の崖が発達し, 奥尻島との間に凹地を形成しているが, 東傾斜の逆断層の活動によって形成されたものと考えられている (岡村・加藤, 2002).

奥尻海盆の東縁はガリーによる浸食が進む急な陸棚が連なるが, 南東部では崖の基部には海盆底を東上がりに変位させたと思われる比高 300 m 程度の崖が北北東-南南西方向に延びている. また, その北西延長部でも不鮮明ながら盆地底に東上がりの撓みが認められることから, 奥尻海盆の東縁部には東傾斜の逆断層の存在が推定され, その運動が渡島半島の南西岸に沿って分布する海岸段丘の発達をもたらしたと考えることができる.

松前海台北東端に位置する大島は, 海底火山の頂部が海上に現れたものであるが, その北斜面は

海底面下で大規模な山体崩壊をし, 多数の流れ山が存在している. このほか, 奥尻海嶺周辺には小島堆など小規模な海底火山が分布している.

### (3) 西津軽沖

本海域は, 幅 30 km にも及ぶ広い陸棚と比高約 1000 m の陸棚外縁斜面, 深さ約 2000 m の西津軽海盆とその西に発達する数条の南北性の背斜状の高まりの列, 久六島を載せる海底火山, 海底を刻み込む最上深海長谷が特徴的である (Fig. 6).

新しい堆積物で覆われた浅い陸棚は, マルチビーム測深機による測深作業がほとんど行われていないために, 詳細な DEM を取得できず, 広域的に微細な地形を見ることは困難である. 歴史時代に大地震が発生した西津軽の沿岸沖では, 不鮮明ながら, 陸域から数 km 沖に比高 50 m 程度の崖が海岸にほぼ平行するように認められるが, 地震

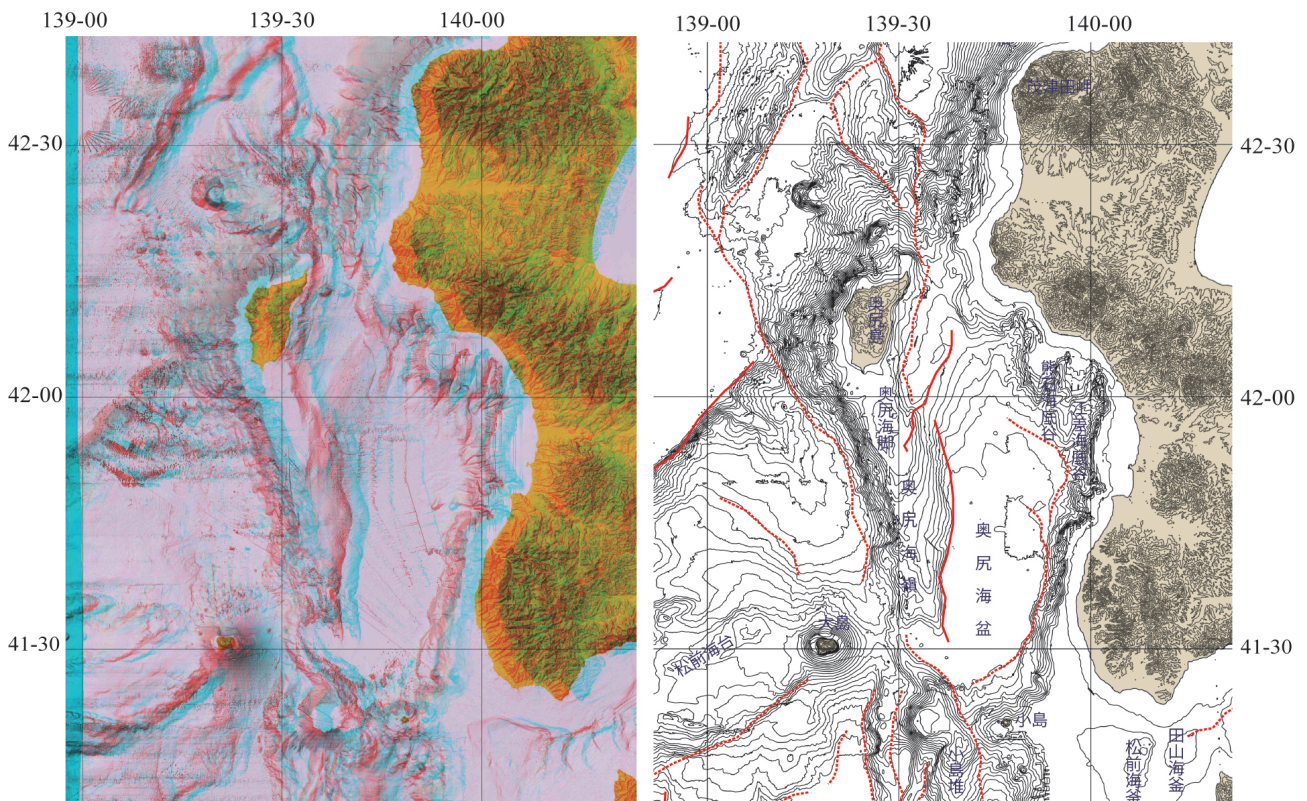


Fig. 5. Anaglyph image and the map showing active faults (solid red line : active fault, dashed red line : presumed active fault) superimposed on bathymetry (contours in 100 m) of the seafloor around Okushiri Island.

図 5. 奥尻島周辺の海底地形のアナグリフ図と活断層分布図 (コンター間隔 100 m) (赤実線 : 活断層, 赤破線 : 推定活断層).



の際に、沿岸では顕著な離水ベンチが形成されており、この崖が地震性隆起をもたらした活断層の可能性はある。

陸棚外縁の急崖は、西津軽海盆の北西部と男鹿半島沖を除いてはガリーによる開析が顕著に進み、変動地形を認めることは困難である。これに対して西津軽海盆の西縁を区切る背斜状の高まりなどの南北性の構造の東縁は撓曲崖をなしており、地下に断層が存在する可能性が高い。

久六島を載せる海底火山の頂部は海食によって平坦化されているが、西半部は円錐形の一部を残している。その西にはかつての山体崩壊を示す、高さ100–200 m、長さ幅1 kmを超えるような孤立丘が存在している。火山体には崩壊の跡が認められないので、久六島は古い火山が大崩壊した後に噴出した新しい火山体であると考えられる。

男鹿半島沖では、北西に流下する最上深海長谷が緩やかな背斜状の高まりを横切って、幅1.5 km、深さ300 mに達する流路を形成している。この高まりの北西縁は相対的に急な斜面となっており、非対称背斜構造を示すことから、北西縁の地下に東傾斜の断層の存在を推定できる。

さらに、この海域は1983年日本海中部地震(M7.7)の震源域にあたる。震源断層と海底活断層の関係は岡村(2010)などによって論じられているように、深さ3000 mを超える日本海盆を横切って、佐渡海嶺の北西縁から松前海台に至る東傾斜の活断層が震源となった可能性が極めて高い。この活断層は、南部と北部では明瞭な断層変位地形を示すが、その中央部で不明瞭である。このことは、この地震が南北二つの活動区間を伴っていた(弘前大学理学部, 1984) こととよく一致

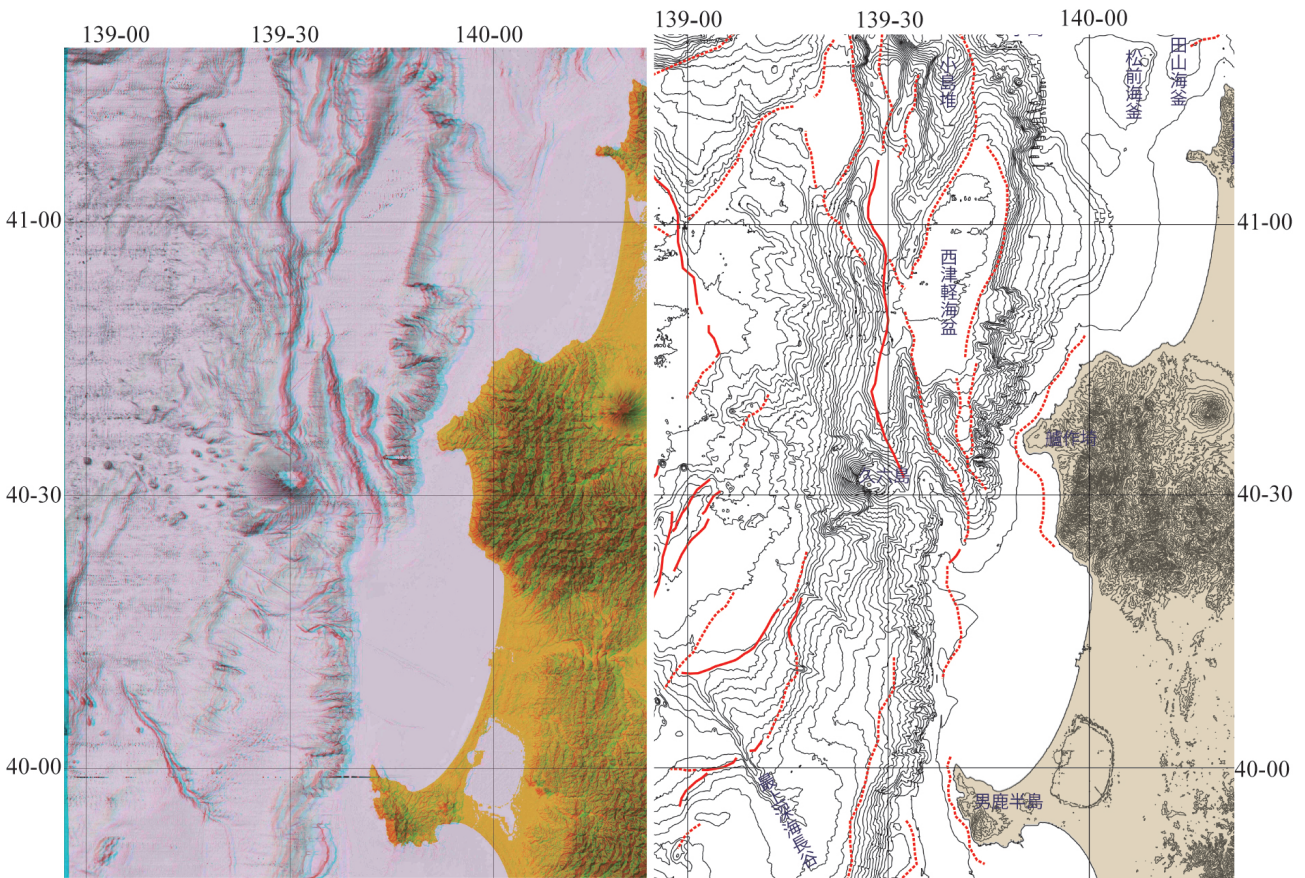


Fig. 6. Anaglyph image and the map showing active faults (solid red line : active fault, dashed red line : presumed active fault) superimposed on bathymetry (contours in 100 m) of the seafloor off Nishi-Tsugaru coast.

図6. 西津軽沖の海底地形のアナグリフ図と活断層分布図(コンター間隔100m)(赤実線:活断層,赤破線:推定活断層)。



する。

#### (4) 飛島周辺

男鹿半島以南の水深 1500 m 以浅の海底では、海底地形や反射断面記録の分析から比較的大きな断層崖を伴う主要な海底活断層が明らかにされている (活断層研究会, 1991; 岡村・加藤, 2002)。

日本海東縁北部は、活断層密度は比較的低く、海盆や海丘の境界を限る北北西-南南東走向の規模の大きな断層崖の基部に活断層が認定されるのに対して、松前海台の南西縁から男鹿半島北端部を結ぶ線以南では、最上舟状海盆や最上堆に代表される凹地と高まりの境界に活断層が認定される。陸側低下の逆向き断層崖を伴う東下がりの縦ずれ変位を伴うものが多く、隆起側は相対的に緩

やかな西下がりの斜面が形成されている。これらの多くが非対称な背斜構造と逆断層の組み合わせによって形成された地形 (岡村・倉本, 1999) である。断層崖は比高が数百メートル以下のものが多く、断層崖の延長部には新期の活動を示唆する明瞭な低断層崖が発達しており、活断層を認定することが可能であり (Fig. 7)。活断層の多くは北に向かって分岐している。

飛島は、対称的な背斜構造を持つ飛島堆に位置する島 (岡村・加藤, 2002) で、飛島海盆の西縁には比高 200 m 以上の変動崖が 50 km 以上にわたって南北に連なる。第四紀後期の隆起の累積を示す更新世海成段丘と完新世離水地形が発達 (宮内・山下, 1992) し、変動崖を形成した活断層に起因する地震性地殻変動の累積であると理解され

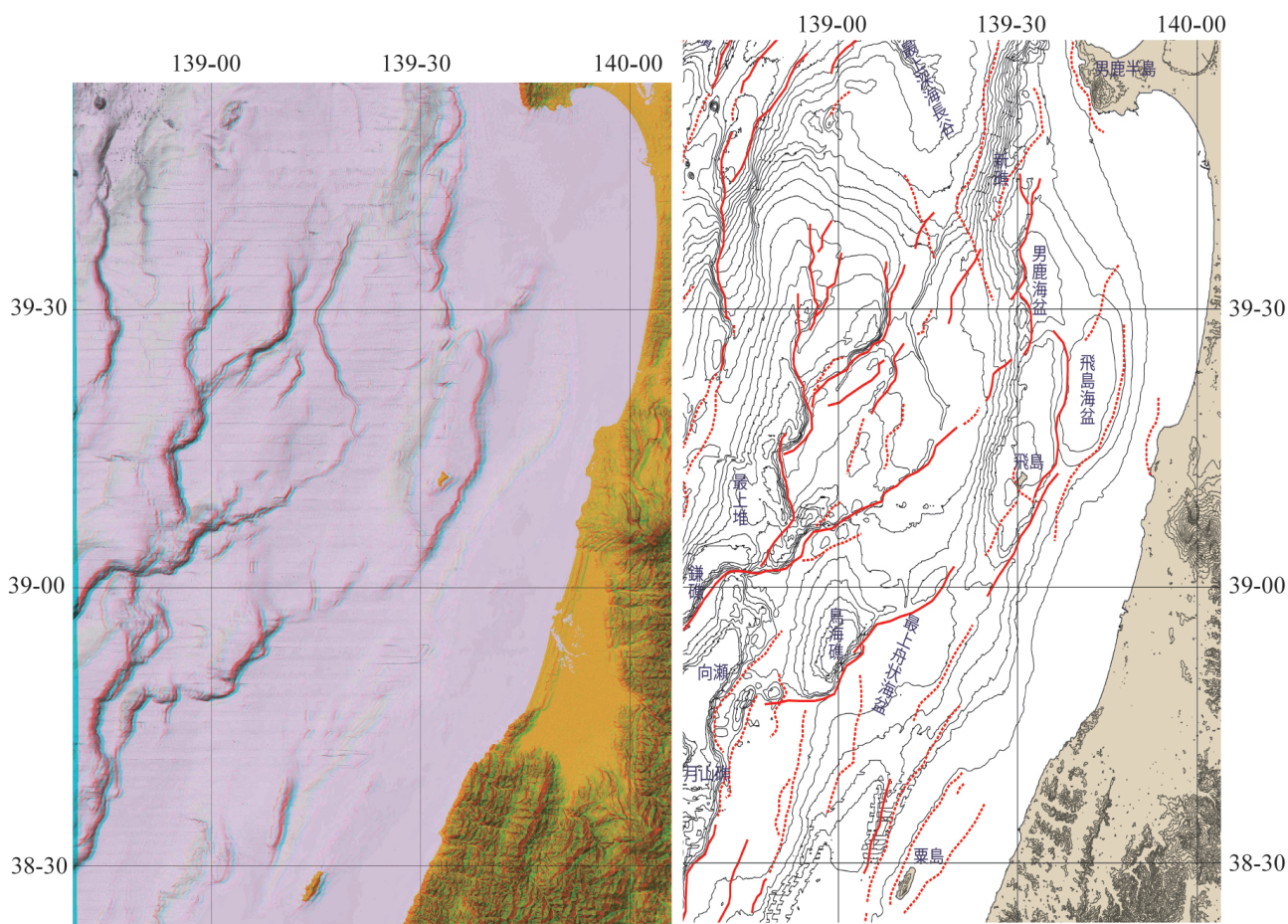


Fig. 7. Anaglyph image and the map showing active faults (solid red line : active fault, dashed red line : presumed active fault) superimposed on bathymetry (contours in 100 m) of the seafloor around Tobi-ShimaIs land.

図 7. 飛島周辺の海底地形のアナグリフ図と活断層分布図 (コンター間隔 100 m) (赤実線: 活断層, 赤破線: 推定活断層)。



る。

これに対して、粟島は最上舟状海盆の東方の陸棚に形成された背斜状の高まりに位置しており、周辺には顕著な変動崖は認められない。粟島付近を震源とする1964年新潟地震(M7.5)の際には、粟島の東に位置する西傾斜の逆断層(岡村・他, 1994)が活動したと考えられており、粟島に発達する更新世後期の海岸段丘(太田・他, 1988)と同様な地震性地殻変動が起こったことが知られている。このような地震の繰り返しによって、陸棚にも変位地形が形成されていると思われるが、浅海であるために解像度の高い測深データがなく、変動地形学的検討は困難である。

庄内沖ではかつて平坦な海底面を流れていたと考えられる最上川の延長部に最上深海長谷が存在

する。南東縁に高まりを持つ鳥海礁や鎌礁などの北東延長部において、最上深海長谷は下流側が相対的に隆起する幾つかの低断層崖(比高50m以下)と背後の隆起部を横切る先行性の流路を形成して北流している。このことは、これら活断層が極めて活動的で、最近の地質時代に大地震を繰り返し発生してきたことを裏付けている。このような低平な海底面を横切る連続的な断層崖は、歴史地震津波の震源域や波源域のモデルの再検討及び、将来の地震津波発生場所と規模の推定にとって重要なデータとなる。

#### (5) 佐渡島周辺

本海域には、村上沖の幅広い陸棚、佐渡島を載せる佐渡海嶺、大佐渡と小佐渡の間の低地の北東

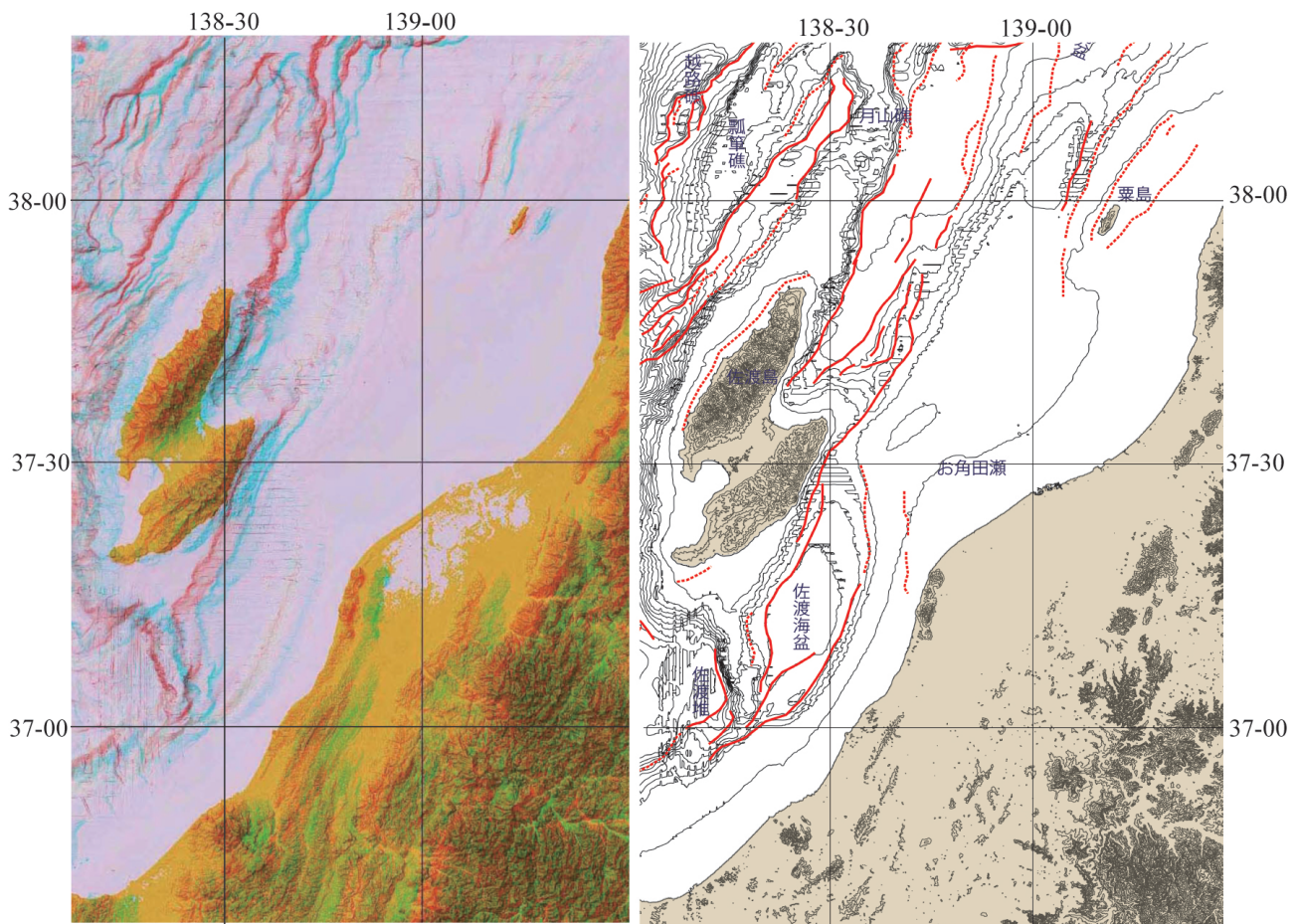


Fig. 8. Anaglyph image and the map showing active faults (solid red line : active fault, dashed red line : presumed active fault) superimposed on bathymetry (contours in 100 m) of the seafloor around Sado Island.

図8. 佐渡島周辺の海底地形のアナグリフ図と活断層分布図(コンター間隔100m)(赤実線:活断層, 赤破線:推定活断層)。

に連なる最上舟状海盆，および佐渡島と本州との間に発達する佐渡海盆が存在する (Fig. 8)。

粟島より南では，陸棚の幅は 60 km 以上に広がる。伊藤・他 (2010) は新潟-村上沖の 1964 年新潟地震の震源域を含む海域において反射法地震探査を行い，沖積層を変位させる海底下の活断層の分布を明らかにした。主な断層は，粟島の南に連なり，長さ 20 km 以上にわたって北北東-南南西に延び，海底面まで変位を及ぼすとするが，アナグリフ画像からは読み取れない。一方，新潟沖のお角田瀬の南東縁に沿って高さ 10 m 程度の東傾斜の低崖が北東-南西方向に長さ約 40 km にわたって陸棚を変位させており，この基部に西傾斜の逆断層の存在が推定される。

佐渡海嶺の非対称的な背斜構造と逆断層を伴う構造 (岡村・倉本, 1999; 岡村, 2010 など) は顕著であり，本海域では瓢箪礁の南東部にこのような構造が複数認められる。最上舟状海盆の南端部では，その東西両縁の比高 500 m 程度の急崖に沿ってそれぞれ東傾斜と西傾斜の逆断層の存在が推定される。佐渡海盆との連結部にあたる最上舟状海盆の南東部では，このような断層は小佐渡の北東に位置する海脚部を挟んで分岐しており，南東の崖は佐渡海盆の東縁の崖に連なるように見える。

佐渡海盆は，深さ 500 m 強の平坦面が広がる閉そく凹地である。東西両縁に活断層が存在し，東京電力 (1996) の反射法地震探査断面にも地層の変形構造が明瞭に認められる。渡辺・他 (2010) では，海底地形と反射法地震探査断面をもとに海底活断層を判読し，この海盆の両縁と南部中央で，ほぼ同じような結論を得ている。盆地西縁の変動崖が直線的な断面系を持つのに対して，東縁は緩やかな凸型斜面を呈している。南部中央で北東に延びる比高 150 m 程度の背斜状の高まりは，北西翼が南東翼と比較して地形・地層の傾きが急な非対称背斜構造をしており，これは北西翼の基部の地下に南東傾斜の逆断層の存在を示唆する。

佐渡海盆の東縁の崖でも反射断面に地層の撓み

が認められ，変動崖として認定され地下に逆断層が存在すると推定される。この変動崖は盆地西部で少なくとも 30 km，佐渡海盆全体では 50 km 以上の長さとなる。2008 年中越沖地震は，佐渡海盆東縁の逆断層と盆地南部中央の逆断層が活動したものである。

これに対して，原子力安全・保安院 (2009) は，盆地南部中央の断層が東縁断層に接近する場所より北では反射断面には地層の撓みは認められず，崖は堆積構造 (プログラデーション) によって形成されたとしている。岡村 (2013) の活断層図には佐渡海盆南東部においても，活断層は認定されていない。

## 6 おわりに

これまで，日本海東縁海域に分布する活断層や活構造は，主として音波探査データの解析をもとに検討され，研究成果が蓄積されてきた。海底活断層の研究において，反射法地震探査データの活用は不可欠であり，地形の解析のみに依存しないことが重要である (岡村, 2008)。

Fig. 9 は Fig. 10 のアナグリフ画像を元に変動地形学的手法によって認定した日本海東縁部の海底活断層分布である。筆者らは，あえて反射法地震探査資料などを参照しないで形態的特徴から海底活断層を認定したが，規模の大きいものはすでに指摘されたもの (岡村・加藤, 2002) とほぼ一致している。詳細 DEM 画像を用いた地形判読では，反射法地震探査断面のない場所や，変位量が小さい断層変位地形，断層末端の分岐形状なども細かく把握できる一方，陸棚などの浅海域ではデータ蓄積が十分ではないために，詳細な画像が得られないことや堆積速度が断層変位速度を上回る場所では断層変位地形が埋没し，変動地形学的手法が適用できないという難点がある。浸食作用や堆積作用が緩慢な深海底においては 3 次元的に広範囲で活断層を認定する変動地形学的手法が陸域以上に有効であることを示した。

## 謝 辞

本報告は、海上保安庁海洋情報部測量船及び海洋研究開発機構調査船により、多くの研究者・乗組員の方々の手による長年の成果を活用したものである。またJAMSTECでは、1年間のデータ未公開期間を設けているが、今回データを提供くださった野徹雄首席研究員に御礼申し上げます。

本報告は、平成23-26年度科学研究費補助金(基盤研究(A)研究代表者:中田 高)の成果の一部である。

## 文 献

原子力安全・保安院(2009)大陸斜面について

[http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML\\_Article/3-jisin19-1,0.pdf](http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/3-jisin19-1,0.pdf)

後藤秀昭(2013)等深線データから作成した日本列島周辺の海底地形アナグリフ-解説と地図-, 広島大学大学院文学研究科論集特輯号, 73, 1-74.

弘前大学理学部(1984)日本海中部地震による久六島の変動および強震計記録による震源過程, 地震予知連絡会会報, 31, 34-39.

羽鳥徳太郎・片山通子(1977)日本海沿岸における歴史津波の挙動とその波源域, 地震研彙報, 52, 49-70.

池田安隆・米倉伸之(1979)San Fernando地震の断層モデル-断層面の折れまがりとその地学的意味-, 地震, II, 32, 477-488.

伊藤弘志・泉紀明・成田学・登崎隆志・加藤正治・細萱泉(2010)平成16年「新潟-村上沖」沿岸海域海底活断層調査報告, 海洋情報部研究報告, 46, 25-31.

泉紀明・加藤幸弘・西澤あずさ・伊藤弘志・渡邊奈保子・中田高・後藤秀昭・植木敏明・梶琢(2011)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, 海洋情報部研究報告, 47, 83-89.

泉紀明・堀内大嗣・西澤あずさ・木戸ゆかり・中田高・後藤秀昭・渡邊満久・鈴木康弘(2012)150mDEMから作成した日本海溝付

近の3D海底地形, 海洋情報部研究報告, 48, 148-157.

泉紀明・堀内大嗣・西澤あずさ・木戸ゆかり・中田高・後藤秀昭・渡邊満久・鈴木康弘(2013)150mグリッドDEMから作成した相模トラフから三重会合点周辺の3D海底地形, 海洋情報部研究報告, 50, 126-142.

海上保安庁水路部(1985)拓洋による日本海中部地震震源域調査, 地震予知連絡会会報, 33, 42-44.

海上保安庁水路部(1994)北海道南西沖地震の海底地形・地質構造・地磁気・重力について, 地震予知連絡会会報, 51, 99-106.

海上保安庁水路部(2001)日本海東縁部の海底地形と活構造, 地震予知連絡会会報, 66, 100-104.

活断層研究会(1991)「日本の活断層」, 東京大学出版会, 440p.

岸本清行(1999)海陸を合わせた日本周辺のメッシュ地形データの作成, 地質調査所研究資料集(CD-ROM), 地質調査所, 353, 1CD-ROM

小平秀一(2013)マルチチャンネル等による海域地殻構造調査, ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究プロジェクト総括成果報告書, 防災科学技術研究所, 65-71.

松浦律子(2013)第199回地震予知連資料, <http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/activity/199/image199/028.pdf>.

宮内崇裕・山下佐祐美(1992)飛島の海岸段丘, 地学雑誌, 101, 71-78.

野徹雄・小平秀一(2013)日本海東縁地震発生帯と地下構造の関係, 地震予知連絡会会報, 90, 522-524.

岡村行信・佐藤幹夫・宮崎純一(1994)新潟沖大陸棚の活構造-特に新潟地震との関係について-, 地震, 第2輯, 46(4)413-423.

岡村行信・倉本真一・佐藤幹夫(1998)日本海東縁海域の活構造およびその地震との関係, 地質調査所月報, 49, 1-18.

岡村行信・倉本真一(1999)日本海東縁~北海道

西方海域のネオテクトニクス，地質ニュース，541，32-39.

岡村行信・加藤幸弘（2002）第4章 海域の変動地形と活断層，大竹ほか編集，日本海東縁の活断層とテクトニクス，47-69，東京大学出版会.

岡村行信（2008）海域における活断層調査－現状と課題－，活断層研究，28，31-39.

岡村行信（2010）日本海東縁の地質構造と震源断層との関係，地質学雑誌，116，582-591.

岡村行信（2013）日本海の地形・地質から分かる活断層，地震予知連絡会会報，90，530-536.

太田陽子（1994）海成段丘からみた奥尻島の第四紀地殻変動の傾向と1993年地震の例外性，月刊地球号外，7，70-73.

太田陽子・柏木修一・桜井一賀・池田潤（1988）新潟県粟島の海成段丘からみた地震隆起の累積に関する検討，地学雑誌，101，25-38.

竹内章・岡村行信・加藤幸弘・池原研・張勁・佐竹健治・長尾哲史・平野真人・渡辺真人（2000）日本海東縁，奥尻海嶺および周辺の大震災と海底変動，JAMSTEC 深海研究，16，29-46.

東京電力（1996）「柏崎刈羽原子力発電所原子炉設置変更許可申請書（6号及び7号炉完本）本文および添付書類」，東京電力，6-6-7，p 488.

渡辺満久・中田高・鈴木康弘（2010）佐渡海盆東縁断層と2007年中越沖地震，活断層研究，33，27-37.

## 要 旨

海上保安庁と海洋研究開発機構（JAMSTEC）のマルチビーム測深データをもとに，日本海東縁海域の3秒グリッドDEMを作成した。このDEMからアナグリフ画像を作成し，海底活断層の判読を行った。



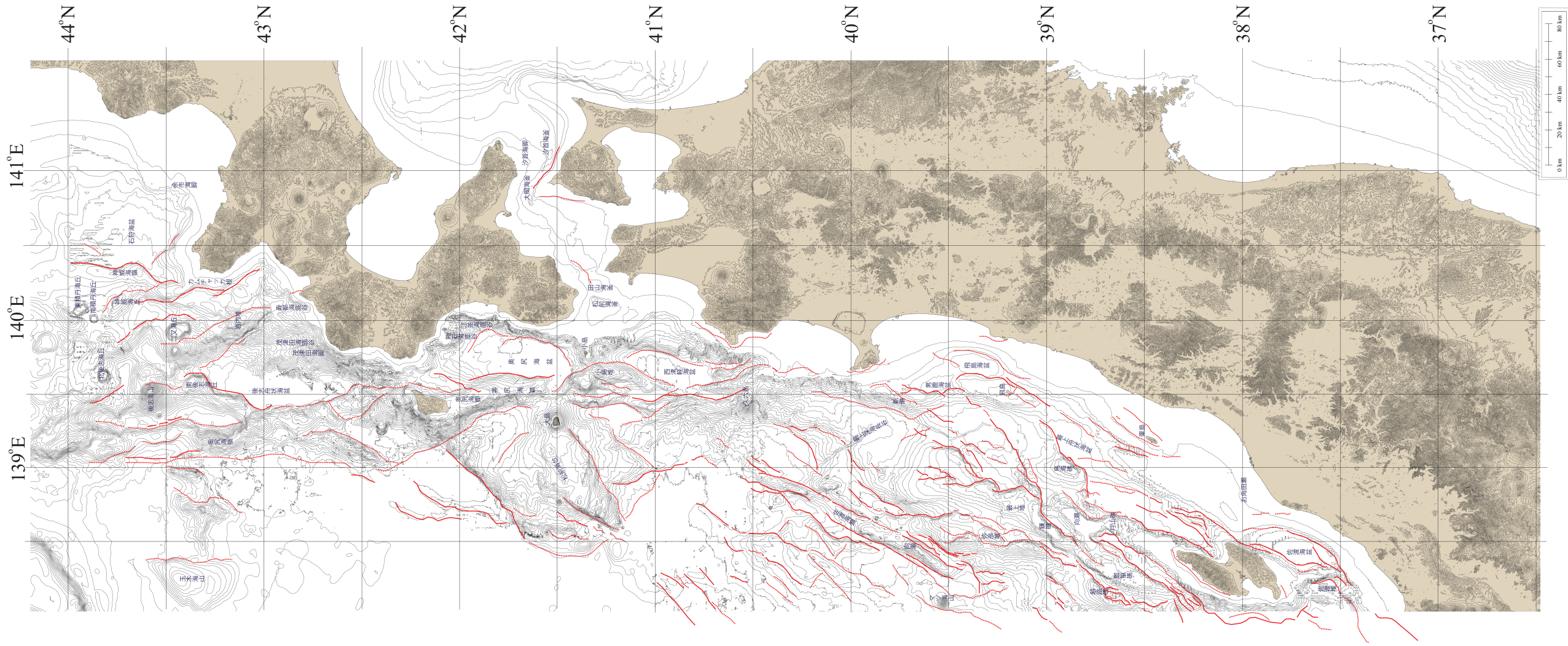


Fig. 9. Map showing active faults (solid red line : active fault, dashed red line : presumed active fault) superimposed on bathymetry (contours in 100 m) of the eastern margin of the Sea of Japan.  
 図9. 日本海東縁部の活断層分布図 (コンター間隔100 m) (赤実線 : 活断層, 赤破線 : 推定活断層).



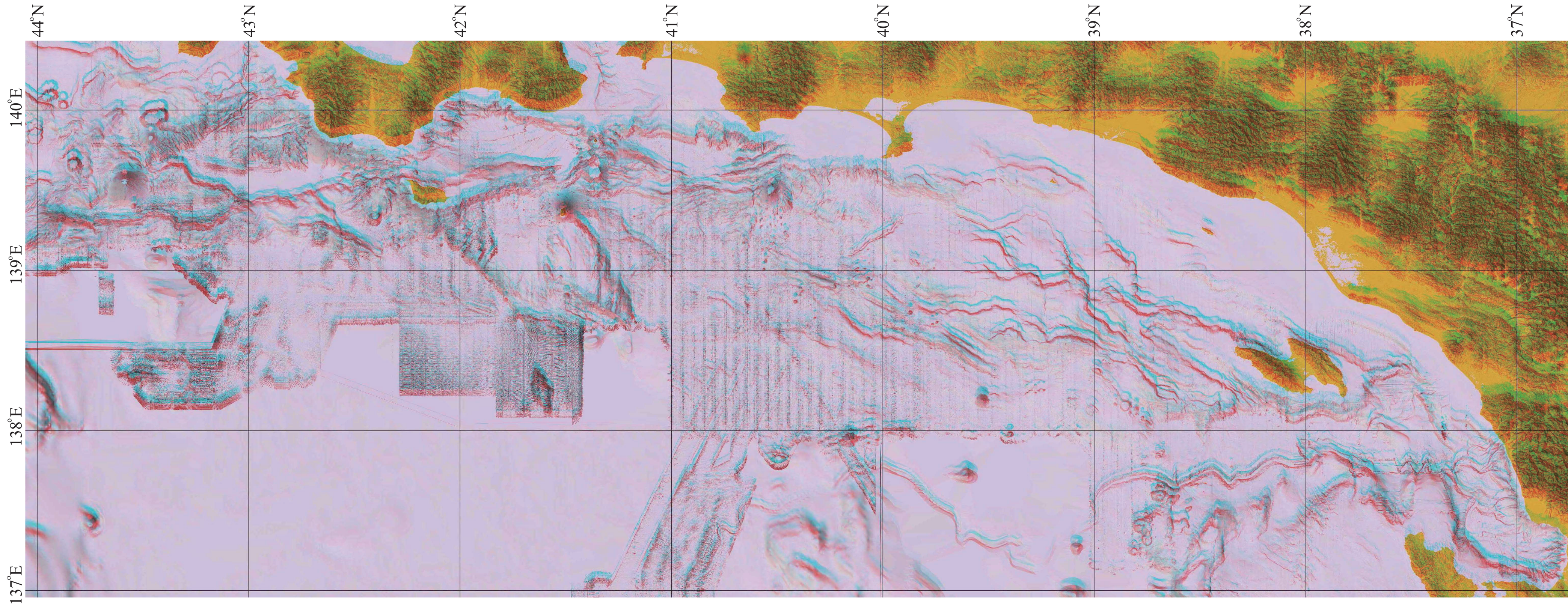


Fig. 10. Anaglyph image of the eastern margin of the Sea of Japan.  
 図 10. 日本海東縁部のアナグリフ図。