

千島海溝南西部周辺の3D海底地形[†]

泉 紀明^{*1}, 西澤あずさ^{*2}, 堀内大嗣^{*3}, 木戸ゆかり^{*4},
後藤秀昭^{*5}, 中田 高^{*6}

3D bathymetric image of the southwestern part of the Kuril Trench and its vicinity[†]

Noriaki IZUMI^{*1}, Azusa NISHIZAWA^{*2}, Daishi HORIUCHI^{*3},
Yukari KIDO^{*4}, Hideaki GOTO^{*5}, and Takashi NAKATA^{*6}

Abstract

We interpreted submarine landforms using anaglyph images based on 150 m DEM (Digital Elevation Model) processed from multibeam data collected by Japan Coast Guard and JAMSTEC in the area around the southwestern part of the Kuril Trench, from off Shikotan Island to Erimo Seamount, and made more precise submarine active fault maps than those produced by previous researchers. Reverse faults are mainly distributed along the northern margin of the Kuril Trench and along the foot of continental slope, while normal faults are found along the boundary of the submarine basin and the outer ridge off Kushiro. These faults are considered deeply related to large earthquakes on the plate boundary between subducting Pacific plate and Hokkaido continental mass.

1 はじめに

マルチビーム測深データからアナグリフ画像(余色立体画像)を作成して,海底地形をより詳細かつリアルに観察することが可能となった。これまで,筆者らはこのような手法を用い,南海トラフ(泉・他,2011),日本海溝(泉・他,2012),相模トラフから三重会合点(泉・他,2013),日本海東縁(泉・他,2014),伊豆・小笠

原海溝(泉・他,2015)及び南西諸島海溝(泉・他,2016)の海底地形の特徴を検討した。本報告では,北海道歯舞群島,色丹島より西方の千島海溝南西端部周辺海域の海底地形,特に海底活断層を検討するための詳細な判読を行い,深海平坦面や緩やかに傾く斜面,あるいは海底谷が形成した海底扇状地などの堆積面のほか,海山の斜面などを変位させる直線的な崖など顕著な地形を,マルチチャ

[†] Received September 28, 2016; Accepted November 11, 2016

* 1 第五管区海上保安本部 海洋情報部 Hydrographic and Oceanographic Department, 5th R.C.G.Hqs.

* 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 大陸棚調査室

Continental Shelf Surveys Office, Hydrographic Surveys 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 広島大学名誉教授 Professor Emeritus of Hiroshima University

ンネル地震探査記録との比較検討にもとづいて活断層と認定している。

2 マルチビーム測深データについて

2.1 海上保安庁海洋情報部の調査概要

海上保安庁海洋情報部は日本周辺海域で、主に海図の作成を目的として海底地形データを収集してきた。1980年代からは、マルチビーム測深機による面的な測深データが得られるようになり、機器能力の進歩に伴いより広範囲・精密なデータが得られるようになった。

本報告の海域では、南部海域では1994～1995年に行われた日本海溝の海底地形調査や三陸はるか沖地震震源域調査、北部海域では1993～2003年にかけて行われた十勝沖、釧路沖、襟裳岬沖の「明洋」及び「海洋」により行われたマルチビーム測深機による海底地形調査の結果を包含している。

2.2 海洋研究開発機構 (JAMSTEC) の調査概要

本海域での海洋研究開発機構（以下、JAMSTEC）による調査航海について記載する。JAMSTEC航海のデータベースであるDARWINサイト (<http://www.godac.jamstec.go.jp/darwin/j>) から検索すると、5隻の研究調査船「なつしま」「かいよう」「よこすか」「かいれい」及び「みらい」で150航海 (Table1 及び Fig. 1) の測深データが

Table 1. JAMSTEC research cruises that cover the area of southwestern region of the Kuril Trench.

表1. 千島海溝南西海域でのJAMSTEC調査航海。

船舶名	調査年度 (下記期間に該当 海域で実施)	航海数 (レグ毎にカウント)
なつしま 「NT」	2004-2013	19
かいよう 「KY」	2000-2014	18
よこすか 「YK」	1999-2014	41
かいれい 「KR」	1997-2014	68
みらい 「MR」	1997-2015	4

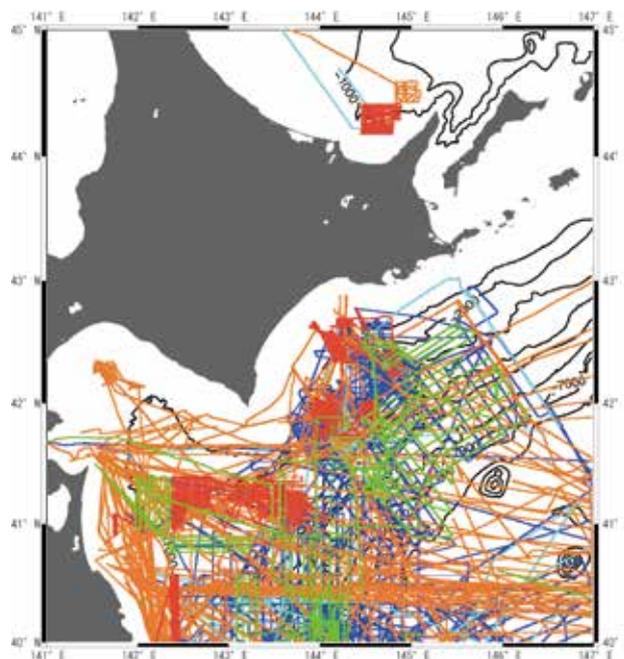


Fig. 1. Track chart of JAMSTEC vessels around Southeast Hokkaido and off North Tohoku vicinity area. JAMSTEC five research vessels are shown by different colors; R/Vs *Natsushima* (red), *Kaiyo* (light blue), *Yokosuka* (green), *Kairei* (blue) and *Mirai* (orange). Contour interval is 1,000 m based on ETOPO bathymetry data.

図1. JAMSTEC船舶による東北地方太平洋沖～北海道南東沖周辺での海底地形調査航跡図。5隻の調査船舶を色分け表示（「なつしま」赤色、「かいよう」水色、「よこすか」緑色、「かいれい」青色、「みらい」橙色）。等深線間隔は1,000mで、海底地形はETOPOによる。

取得されている。各船舶の測深機のスペックについては、泉・他 (2013) によるが、それ以後に更新された点は、2014年に「みらい」及び「かいれい」で「スエプトビーム (Swept Beam)」が搭載された測深装置になったことである。「スエプトビーム」とは送波ビームフォーミングで、船体のヨーイングとピッチングの影響を補正し、船体直下方向に測深ビームを送波する機能である。この搭載により、船首方向のふらつきによるフットプリントのばらつきが減り、均等なデータ取得が可能となった (徳長・他, 2015)。さらに、測深ビーム数が約2倍に増え、浅海域でも幅広いスワ幅が得られている。

本海域での JAMSTEC の調査としては、地殻構造探査の一環として海底地形データが取得されている。例えば、2000 年の北海道北東部を縦断する海陸統合の大規模な地殻構造探査（仲西・他、2001）、襟裳海山の沈み込みに伴う地殻構造探査（木戸・他、2002; Tsuru et al., 2005）や、北海道南東沖に伸びる海底ステーション周辺の海底地すべり調査などがなされ、海底地形データが得られている。特に Tsuru et al. (2005) では、同測線上の時間変化を狙い、沈み込む海山に誘発される地震活動や海底地形変動の可能性を示している。なお、本調査に続き、南海トラフ巨大地震発生が予測されている熊野灘における地殻変動のモニタリングや平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による影響を調べるため、地震時の前後に同じ測線を通るような Time-lapse 調査が行われるようになった（例えば、Fujiwara et al., 2011, 野・他、2012）。

JAMSTEC 船舶で取得した航海データについては、調査後 2 カ年を経過した航海について、ダウンロードが可能である (<http://www.godac.jamstec.go.jp/dataportal/viewer.htm>)。航海の基礎情報である航跡図、クルーズレポート、調査項目一覧が航海後すみやかに航海データベースサイト (<http://www.godac.jamstec.go.jp/darwin/j>) にて公開される。測深データは、品質チェックを行い、処理レベルを 6 段階表示している (<http://www.godac.jamstec.go.jp/darwin/explain/1/j>)。

本稿では、品質フラグを付加し、欠損値の置き換えなどの品質管理を行った処理レベルの高いデータ（レベル 3 以上）を用いた。

3 詳細 DEM 画像の作成

本報告では、海底地形を効率的に把握するために、これまで報告した海域と同様に、150 m グリッド DEM (Digital Elevation Model) を生成し、これと 250 m グリッド地形 DEM (岸本, 2000) を重ね合わせ、陸上は SRTM3 を用いて、DEM 解析ソフト Simple DEM Viewer® を用いてアナグリフを作成した。この画像を陸域の空中写真と同じ

要領で判読し、効率的に地形解析を行った。調査地域の根室半島以東の沖合海域及び北海道南岸浅海域では、マルチビームデータが欠落する範囲が広く、詳細な地形画像を得ることができなかった。

上述の DEM からそれぞれの海域の地形に対応させて、等深線間隔の異なる海底地形図を作成し、アナグリフ画像から判読した海底活断層や大規模な地すべりを記入した。

4 千島海溝沿いの海底地形に関するこれまでの研究

太平洋プレートが北米プレートに沈み込んでいく千島海溝の南西部海溝周辺海域では、最近の歴史時代にもプレート間地震と考えられるマグニチュード (M) 8 前後の地震が少なからず発生しており、これらの地震を「十勝沖の地震」・「根室沖の地震」と呼んでいる（地震調査委員会, 2004 など）。1839 年に十勝沖から択捉島沖に震源を持つと推定される地震の後、十勝沖では 1843 年 (M 8.0)、1952 年 (M 8.2)、2003 年 (M 8.0) に地震が発生した。また、根室沖でも 1839 年の後に、1894 年 (M 7.9) と 1973 年 (M 7.4) に地震が発生した（地震調査委員会, 2004 など）。さらに、十勝沖から根室沖にかけては M 7 クラスの一回り小さいプレート間地震とされる地震が 1990 年以降に 6 回記録されている（地震調査委員会, 2004 など）が、これらの地震の震源域は必ずしも特定されていない。一般に、プレート境界の大地震は、1 枚の断層面（プレート境界面）を想定して震源断層（震源域）の検討が行われているが、南海トラフ（泉・他, 2011）、日本海溝（泉・他, 2012）などの海底地形の詳細な解析からは、陸側斜面には海溝やトラフに平行する海底活断層の存在が指摘されている。従って、千島海溝南西部周辺にも同様な海底活断層の存在が予想され、それらと歴史地震の関連を明らかにすることが重要である。

研究対象地域において、マルチビーム測深機が導入される以前の海底地形研究の成果として佐藤 (1962) による釧路海底谷周辺の測深調査成果を

もとにした地形解析によって、大陸棚や深海平坦面の分布及び海底谷の特徴などが検討されたものが挙げられる。また、桜井・他(1975)が音響測深機とサイスマックプロファイラーを用いて北海道南岸沖の本格的な調査を行い、海底地形と地質構造の特徴を明らかにした。茂木(1977)は釧路沖の海底地形をイラストで示し、地形誌としてまとめている。

釧路沖では海上保安庁(1974)が測深機とエアガン探査によって海底地形と地質構造を検討し、大陸斜面に不明瞭な深海平坦面が3段以上存在することを指摘している。1990年代の後半から、マルチビーム測深機による調査が行われ、海上保安庁(1998)によって釧路沖の20m等深線図が作成され、詳細な地形やリニアメントの記述をもとに横ずれ断層の可能性が指摘された。

海上保安庁(2000)は、大陸斜面下部の3200-3300m平坦面と外弧隆起帯の間が東北東-西南西走向の断層で接することやその上部の2000-2200mにも3つの断層が存在することを指摘した。さらに、海上保安庁(2002)は、襟裳岬沖でエアガンによる地質構造調査を行い、襟裳堆周辺の詳細な海底地形図と地質構造図を作成し、広尾海脚や襟裳堆に発達する北西-南東方向の褶曲や断層による変形が海底面まで達していることを明らかにした。海上保安庁(2004)では、マルチビーム測量の成果として十勝沖の釧路海底谷中流部の西側地域の詳しい海底地形図を提示している。

また、海洋研究開発機構(2005)は、マルチチャンネル地震探査を実施し、大陸斜面下部から千島海溝にかけての構造を解明した。

本報告では、上記のほか、JAMSTECによるマルチビーム調査の成果も多く利用しているが、150mグリッドDEMによって作成されたアナグリフ画像は、海底の起伏を容易かつ詳細にとらえることが可能であり、従来手法と比較して地形解析の精度が高いことが特徴である。

5 アナグリフ画像による海底地形の観察

Fig. 2 (a) は、今回の研究対象地域である千島

海溝南西端部の位置を示すために日本海溝の北端部と北海道西部及び東北地方北部を含む地域を示したアナグリフ画像である。また、Fig. 2 (b) は、Fig. 2 (a) の範囲の海底地形名を200m等深線図に示したものである。根室半島沖から色丹島の沖合の海域ではマルチビームデータが欠落する範囲や、海溝より南の太平洋プレートの海底にはノイズの多い部分もあり、詳細な地形判読が困難な地域もある。

太平洋プレートの北西縁は襟裳海山が襟裳岬沖で陸域プレートに衝突する場所を境に屈曲し、北東部が千島海溝、南部が日本海溝となっている。しかし、千島海溝沿いの地形配列の特徴は、海溝底に位置する襟裳海山の南の北緯40度45分まで連続している。

本報告における千島海溝周辺海底地形の呼称区分をFig. 3に示す。千島海溝南西部周辺の地形を、南側から、1) 太平洋プレート、2) アウターライズ、3) 千島海溝底、4) 海溝前縁陸側斜面、5) 陸棚斜面、6) アウターリッジ、7) 陸棚外縁斜面、8) 陸棚、の8つの地形帯に区分した。

多くの研究が指摘する(海上保安庁, 1998 など)ように、釧路海底谷を境に東と西では地形が異なり、特に陸棚斜面と陸棚外縁斜面の様相が変化する。海洋研究開発機構(2005)が行ったマルチチャンネル地震探査結果と合わせ、それぞれの地形帯の構造的な特徴を読み解くこととする。海域を幾つかに分けて、地形の特徴と海底活断層や地すべりの分布について記載する。

5.1 襟裳海山の海底地形

Fig. 4 (a) は、千島海溝西端に位置する襟裳海山とその北に位置する大規模な崩壊地形によって特徴付けられる海域のアナグリフ画像である。また、Fig. 4 (b) は同じ範囲の50m等深線図に海底活断層と大規模崩壊・地すべりを記入したものである。同じような等深線図は、木戸・他(2002)などによっても既に作成されている。付加帯と考えられる海溝前縁陸側斜面には古い海山が沈み込んでいる(木戸・他, 2002; Tsuru et al., 2005 など)

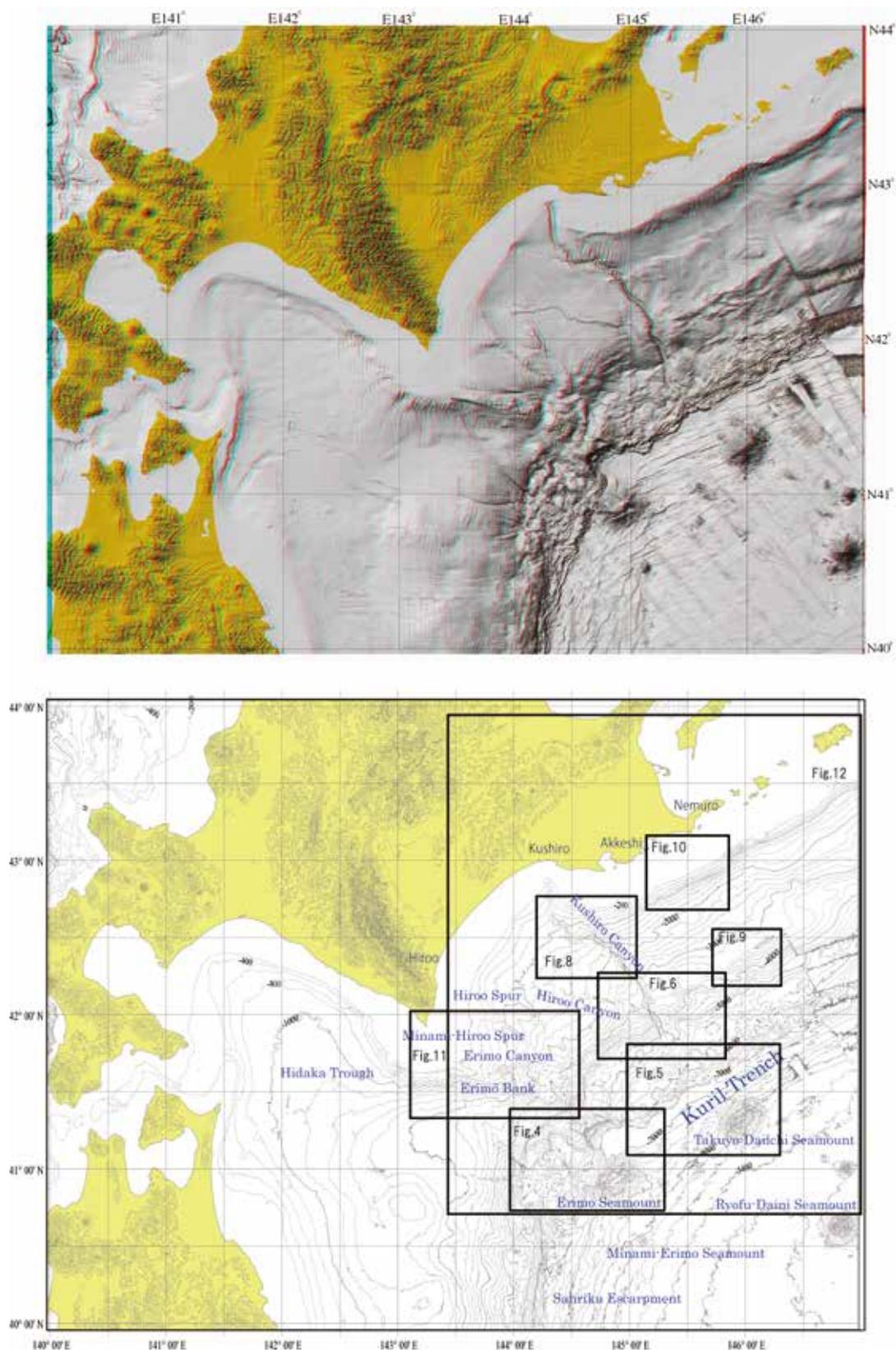


Fig. 2. (a) Anaglyph image of study area including the northern part of Japan Trench and Hidaka Trough (top). (b) Bathymetric map with names of submarine topography and locations on land (bottom). Contour interval is 200 m. Boxes indicate areas for detailed description of submarine landform.

図 2. (a) 日本海溝北部及び日高舟状海盆を含む本報告のアナグリフ図 (上). (b) 日本海溝北部及び日高舟状海盆を含む本報告の海底地形図 (下). 等深線間隔は 200 m. 四角の枠は詳細図の位置を示す.

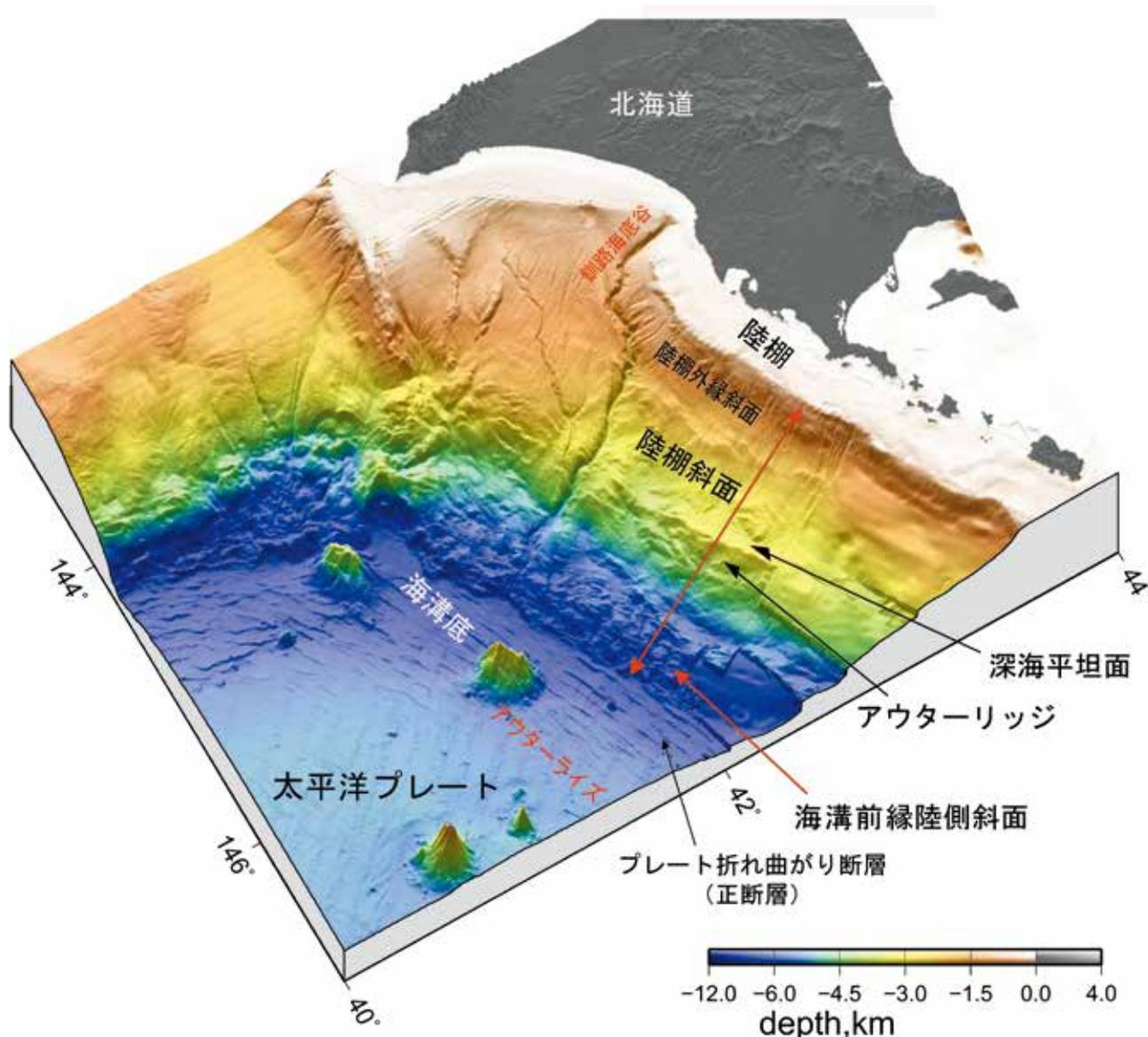


Fig. 3. Classification of seafloor topography around the Kuril Trench in this study.

図3. 本報告における千島海溝付近の海底地形呼称区分.

とされており、比高 3000 m 以上、幅 20 km 以上の大規模で馬蹄形状の崩落崖が形成され、基部にあたる水深 7000 m を超える海溝底に崩落地塊が認められる。襟裳海山の載る太平洋プレートには、アウターライズの正断層がほぼ等間隔で海溝軸に平行に発達している。日本海溝に沈み込む太平洋プレートでは、正断層が作る断層崖は海溝に近づくほど比高が大きくなり、沖合で形成された後に西に移動するに連れて成長する過程が観察されるが、千島海溝沿いにはそのような特徴は認められない。襟裳海山の北西では、千島海溝に接する海溝前縁陸側斜面の基部に沿って新期断層変位を示

す比高 100 m 前後の断層崖が認められる。この活断層は、襟裳海山の西麓を限って日本海溝の北部の海溝前縁陸側斜面の基部に連続する。

襟裳海山の西の海溝陸側斜面の海溝寄りの地域では海溝に平行するリッジや凹地が発達するが、大部分の地域では古い地すべりの影響をうかがわせるコブ状の高まりが分布しており、断層変位を示す地形は認められない。一方、陸棚斜面は丸みをおびており、一部に大規模地すべりが発達する。これは、この斜面が撓曲崖のような変動崖であり、崖の成長によって斜面の傾斜が増して不安定化し、地すべりが起こったと推定される。深さ

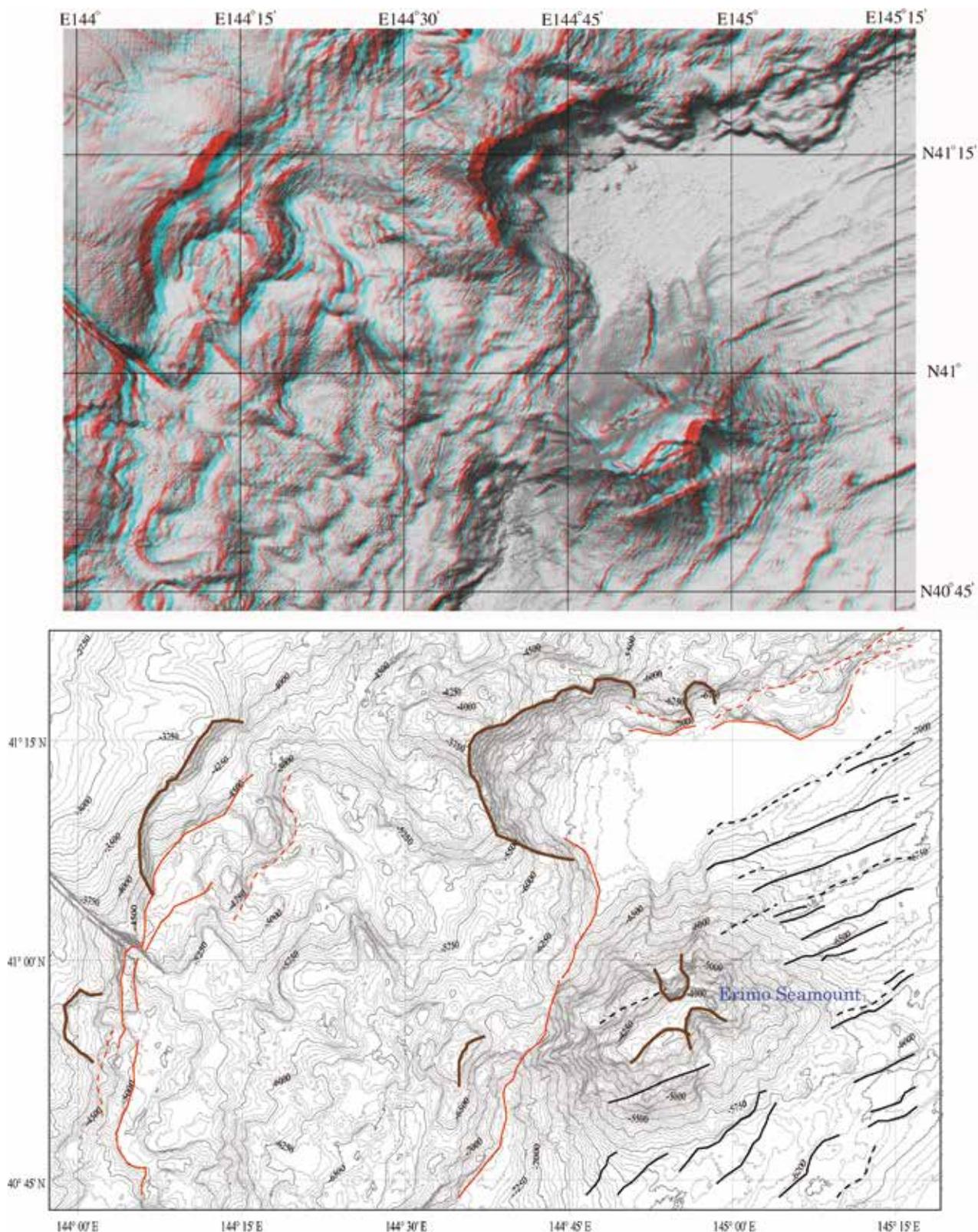


Fig. 4. (a) Anaglyph image around Erimo Seamount (top). (b) Bathymetric map with names of submarine topography around Erimo Seamount (bottom). Contour interval is 50 m.

(Red line: reverse fault, black line: normal fault, broken line: inferred fault, brown line: crown of large submarine landslide.)

図 4. (a) 襟裳海山周辺のアナグリフ図 (上). (b) 襟裳海山周辺の海底地形図 (下). 等深線間隔は 50 m. (赤: 逆断層, 黒: 正断層, 破線: 推定断層, 茶: 大規模な海底地すべり.)

5000 m 付近にある撓曲崖の基部には、新たな断層運動を示す比高 100-200 m の断層崖が発達し、撓曲崖を横切って流下する襟裳海底谷の谷底も撓んでおり、この撓曲崖が断層運動に伴って形成されたものであることを示している。

5.2 釧路海底谷下流部の海底地形

Fig. 5 (a) は、釧路海底谷が千島海溝に流れ込む周辺の高溝前縁陸側斜面、海溝底と拓洋第 1 海山の載る太平洋プレートから構成される地域のアナグリフ画像である。また、Fig. 5 (b) は同じ範囲の 50 m 等深線図に海底活断層と大規模崩壊・地すべりを記入したものである。太平洋プレートの正断層は、上述した襟裳海山周辺の状況と同じように、海溝軸にほぼ平行する走向に数 km の間隔で整然と配列している。顕著な断層崖は、概ね南東向きの比高 100 m 程度のものであるが、北東向きの断層との間にグラベン状の凹地を形成するところもある。釧路海底谷は中流部に比較して下流部では流路の幅も狭く谷も深くなっていない。また、流路は断層変位によって持ち上げられたかつての高溝底に流下しており、高溝前縁陸側斜面の基部には逆断層運動を示す比高 200 m 程度の断層崖が発達している。比高数 10 m の低断層崖も認められ、千島海溝の北縁のプレート境界で大規模な地震が繰り返している証拠と考えられる。この断層と平行する長さ 20 km 程度の直線的な断層崖がすぐ北側に認められ、釧路海底谷の河床にも低断層崖と思われる地形が存在する。一方、高溝前縁陸側斜面には高溝軸に平行あるいはやや斜めの走向の数多くのリニアメントが認められるが、これらは海洋研究開発機構 (2005) が指摘するスラストや沈み込んだ太平洋プレートのグラベン構造を反映するもので、活構造ではない可能性が高い。なお、この斜面には幅数 km の馬蹄形状の滑落崖を持つ地すべりが複数存在している。

5.3 釧路海底谷中流部の海底地形

Fig. 6 (a) は、釧路海底谷中流部周辺のアナグ

リフ画像である。Fig. 6 (b) は同じ範囲の 50 m 等深線図に海底活断層と大規模崩壊・地すべりを記入したものである。この地域は、高溝前縁陸側斜面の上部とアウターリッジと陸棚外縁斜面を含んでおり、地殻変動に関連する地形が発達する。

穿入曲流する流路を持つ釧路海底谷は陸棚斜面の緩斜面部を横切る所では比較的直線的で相対的に浅い谷を形成するが、アウターリッジを横切る場所では曲流をしながら深く狭い峡谷を形作り、高溝前縁陸側斜面の中の平坦面に流下する。アウターリッジは丸みを帯びた凸型斜面で、その基部は海底谷の流路方向と直交する急崖で上述の平坦面と接しており、逆断層が存在すると考えられる。海洋研究開発機構 (2005) のマルチチャンネル地震探査の記録のうち、釧路海底谷とほぼ同じ位置の反射断面 (Fig. 7 の K-08) には想定される場所に逆断層と思われる構造が認められている (青矢印)。この断層は、釧路海底谷を挟んで 70 km ほど連続している。一方、陸棚斜面の緩斜面とアウターリッジの間の水深 3500 m 付近には東北東-西南西方向の北落ちの直線的な崖が複数認められ、後述する釧路沖の大陸斜面に認められる正断層 (海上保安庁, 2000) の西延長部にあたりと考えられる。また、釧路海底谷の西には南北方向の丸みを帯びた崖が認められ、それを横切って広尾海底谷が穿入曲流をしている。隆起部より上流側のみが曲流していることから、もともと平坦な海底を曲流していた広尾海底谷が、撓曲運動に伴って曲流しながら穿入して流路を維持したと考えられる。このことから、この撓曲崖の地下に逆断層が存在すると考えられる。前述のように、釧路海底谷を境に千島海溝沿いの地域の地形や構造が異なるとされているが、実際にはこの撓曲崖が境界となっていると考えられる。また、釧路海底谷の谷壁には複数の馬蹄形状の地すべりも存在している。

5.4 釧路海底谷上流部の海底地形

Fig. 8 (a) は、釧路海底谷上流部周辺のアナグリフ画像である。Fig. 8 (b) は同じ範囲の 20 m

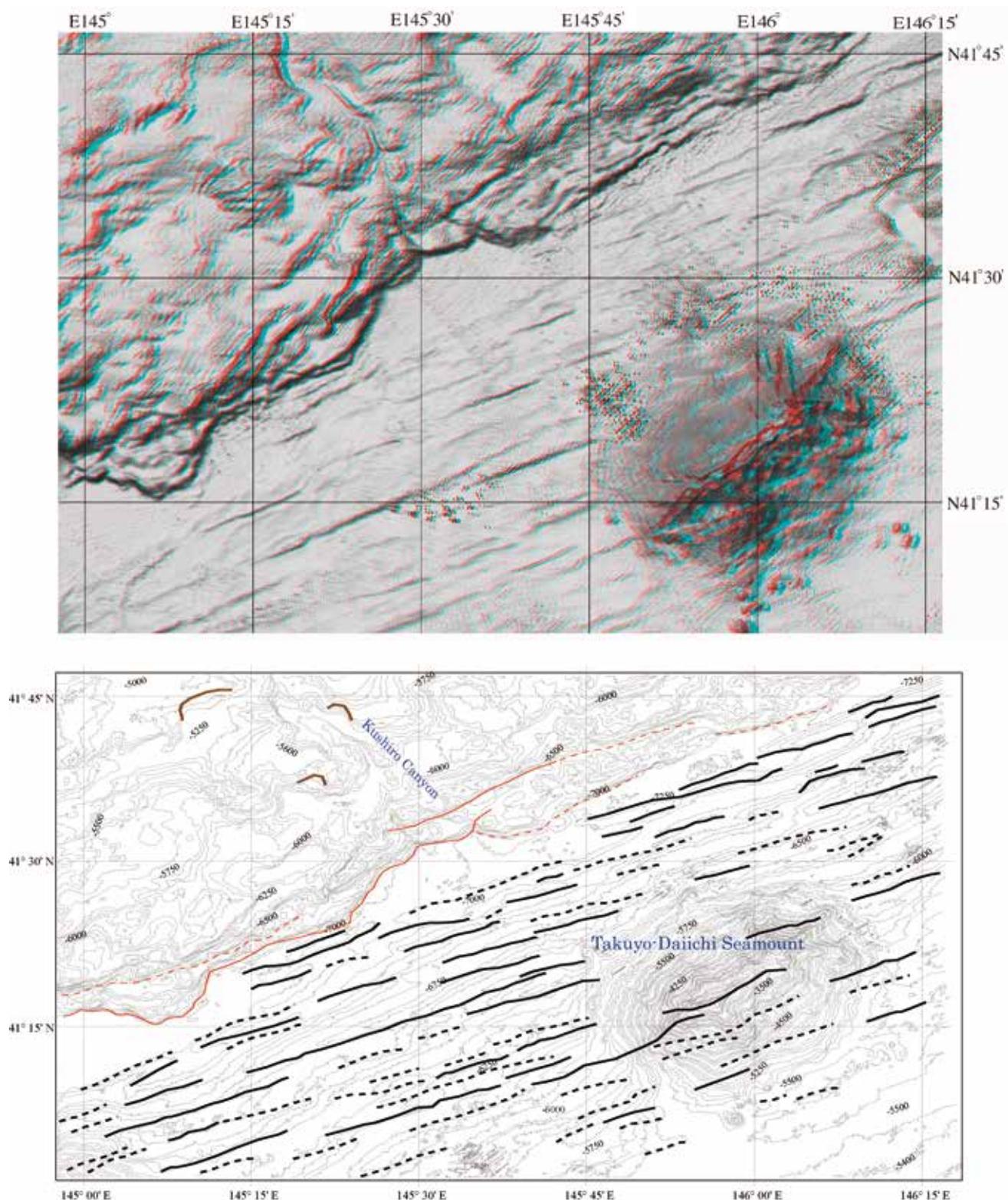


Fig. 5. (a) Anaglyph image around lower drainage of Kushiro Submarine Canyon (top). (b) Bathymetric map with names of submarine topography around lower drainage of Kushiro Submarine Canyon (bottom). Contour interval is 50 m.

(Red line: reverse fault, black line: normal fault, broken line: inferred fault, brown line: crown of large submarine landslide.)

図 5. (a) 釧路海底谷下流部のアナグリフ図 (上). (b) 釧路海底谷下流部の海底地形図 (下). 等深線間隔は 50 m. (赤: 逆断層, 黒: 正断層, 破線: 推定断層, 茶: 大規模な海底地すべり.)

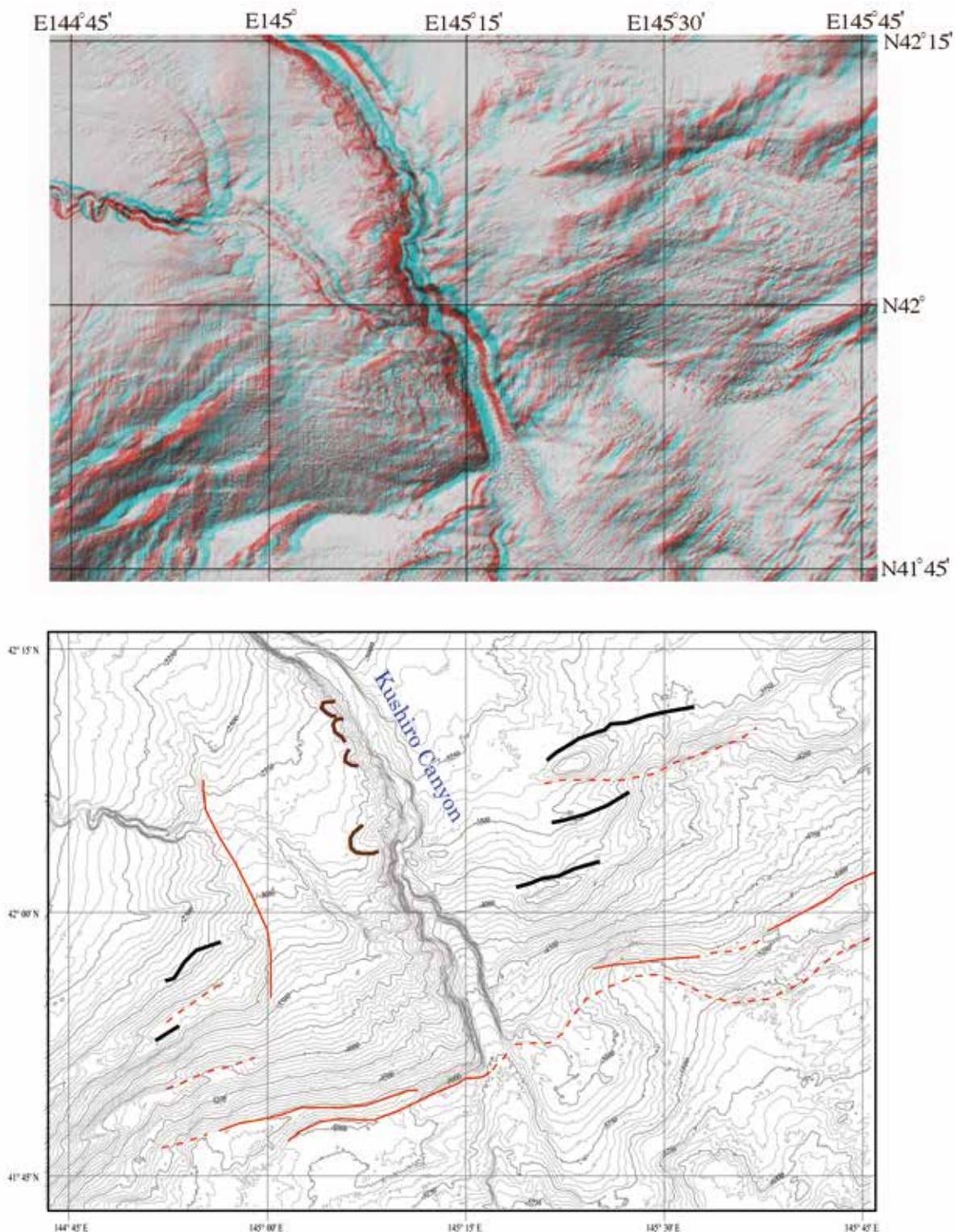


Fig. 6. (a) Anaglyph image around middle drainage of Koshiro Submarine Canyon (top). (b) Bathymetric map with names of submarine topography around middle drainage of Koshiro Submarine Canyon (bottom). Contour interval is 50 m.

(Red line: reverse fault, black line: normal fault, broken line: inferred fault, brown line: crown of large submarine landslide.)

図 6. (a) 釧路海底谷中流部のアナグリフ図 (上). (b) 釧路海底谷中流部の海底地形図 (下). 等深線間隔は 50 m. (赤: 逆断層, 黒: 正断層, 破線: 推定断層, 茶: 大規模な海底地すべり.)

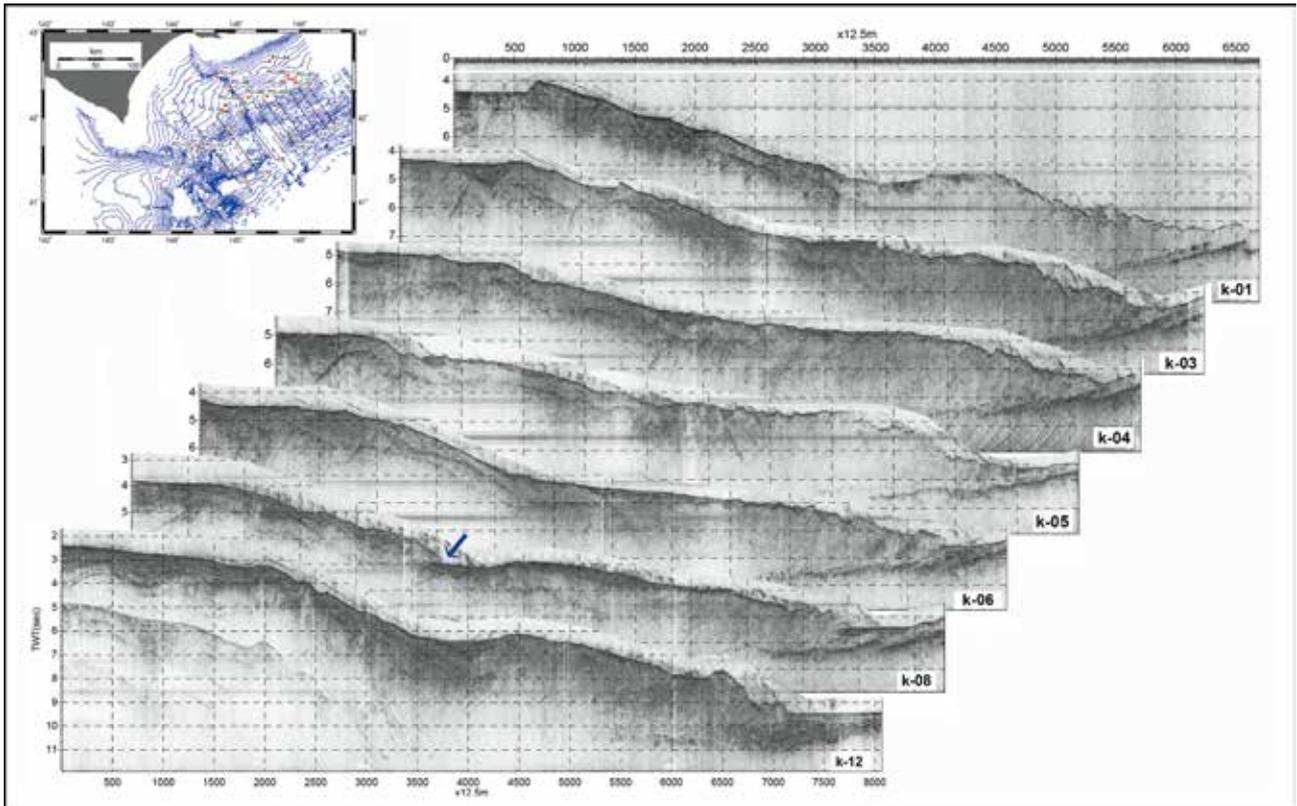


Fig. 7. Compiled multi-channel seismic records in the southwestern part of Kuril Trench. Modified from original records by JAMSTEC (2005). Blue arrow indicates the location of reverse fault.

図7. 千島海溝南西部でのマルチチャンネル地震探査記録 (海洋研究開発機構, 2005 を一部改変). 青矢印は逆断層の位置を示す。

等深線図に海底活断層と大規模崩壊・地すべりを記入したものである。この地域は、陸棚に谷頭がある釧路海底谷と陸棚外縁斜面及び陸棚斜面を含んでいる。この海域では、海上保安庁（1988）がマルチビーム測深結果をもとに 20 m 等深線図を作成し、地形の特徴の概要を述べている。釧路海底谷はここでも穿入蛇行をしているが、曲流が直線的な流路に変化した区間もある。海底の馬蹄形状の急崖を伴う地形の多くは地すべり地形であり、この地域でも比較的規模の大きい地すべりが発達している。一方、釧路海底谷に沿って発達する馬蹄形状の急崖を持つ地形には、嶋村（2008）が指摘するように、海底谷のかつての流路跡（海底河岸段丘）にあたるものが少なくない。これらの地形は、馬蹄形状の急崖の下に平坦面が広がっており、地すべりとは区別が可能である。陸棚斜面は、斜面の最大傾斜方向に流下する必従的な谷が発達しているが、谷に直交する方向に直線的な

崖が発達し、その上部の陸棚の縁にも細長い高まりを伴うものもあり、逆断層の存在を推定させる。一方、緩斜面部を釧路海底谷が東に流下する区間の南には、東西方向に延びるバルジ状の高まりが認められ、その南縁は撓曲崖と推定されることから、逆断層の存在が想定される。

海底河岸段丘は流路が東西方向から北西-南東方向に変化する場所まで存在しており、段丘の形成とバルジ状の高まりには関係があると考えられる。

5.5 釧路沖陸棚斜面の地形

Fig. 9 (a) は、釧路沖陸棚斜面のアナグリフ画像である。Fig. 9 (b) は同じ範囲の 20 m 等深線図に海底活断層を記入したものである。

この海域に発達する北東-南西走向の北西向きの直線的な崖は、長さが 60 km 以上で比高 200 m に達するものでありマルチビーム測深が行われる

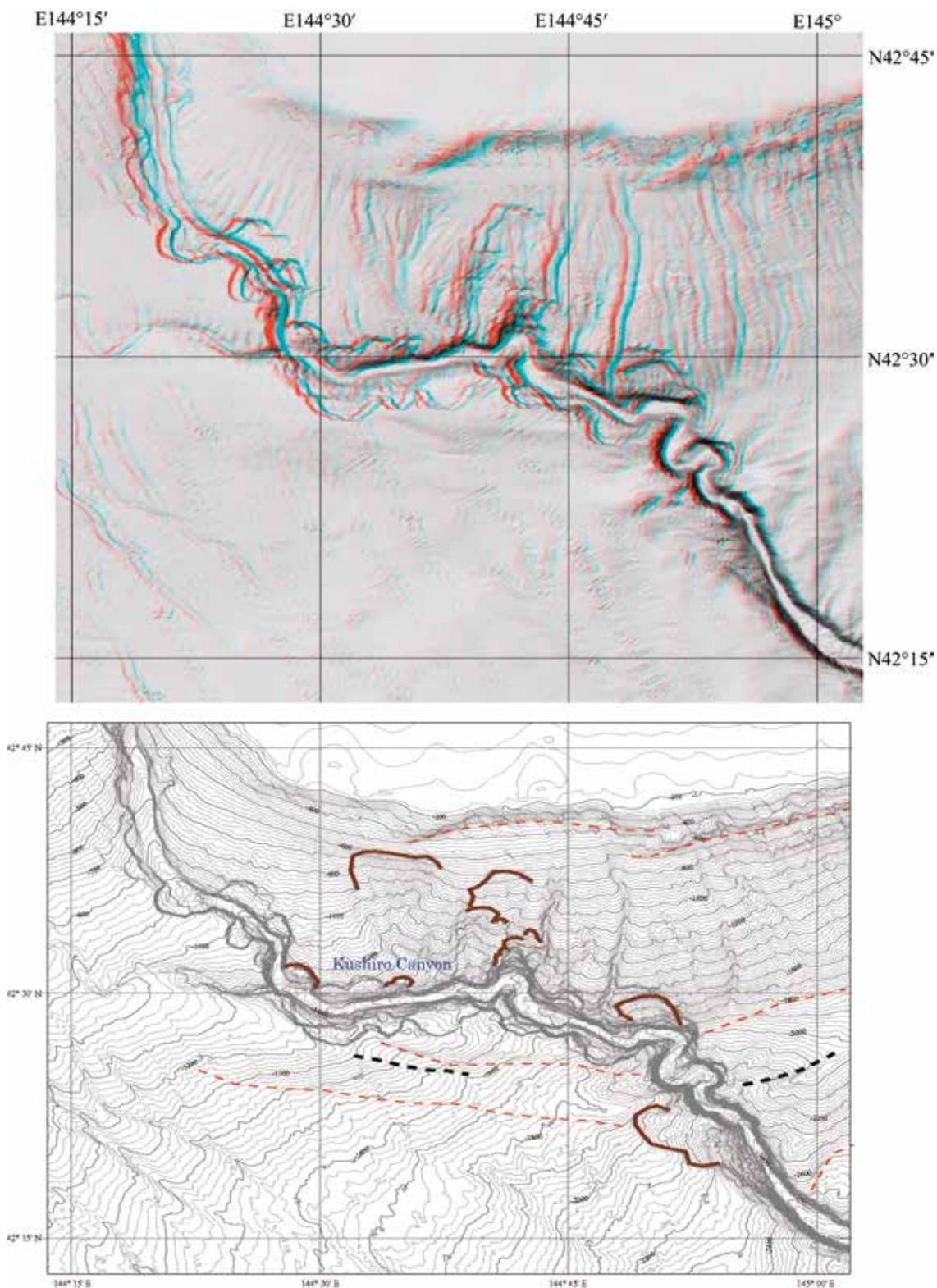


Fig. 8. (a) Anaglyph image around upper drainage of Kushiro Submarine Canyon (top). (b) Bathymetric map with names of submarine topography around upper drainage of Kushiro Submarine Canyon (bottom). Contour interval is 20 m.

(Red line: reverse fault, black line: normal fault, broken line: inferred fault, brown line: crown of large submarine landslide.)

図 8. (a) 釧路海底谷上流部のアナグリフ図 (上). (b) 釧路海底谷上流部の海底地形図 (下). 等深線間隔は 20 m. (赤: 逆断層, 黒: 正断層, 破線: 推定断層, 茶: 大規模な海底地すべり.)

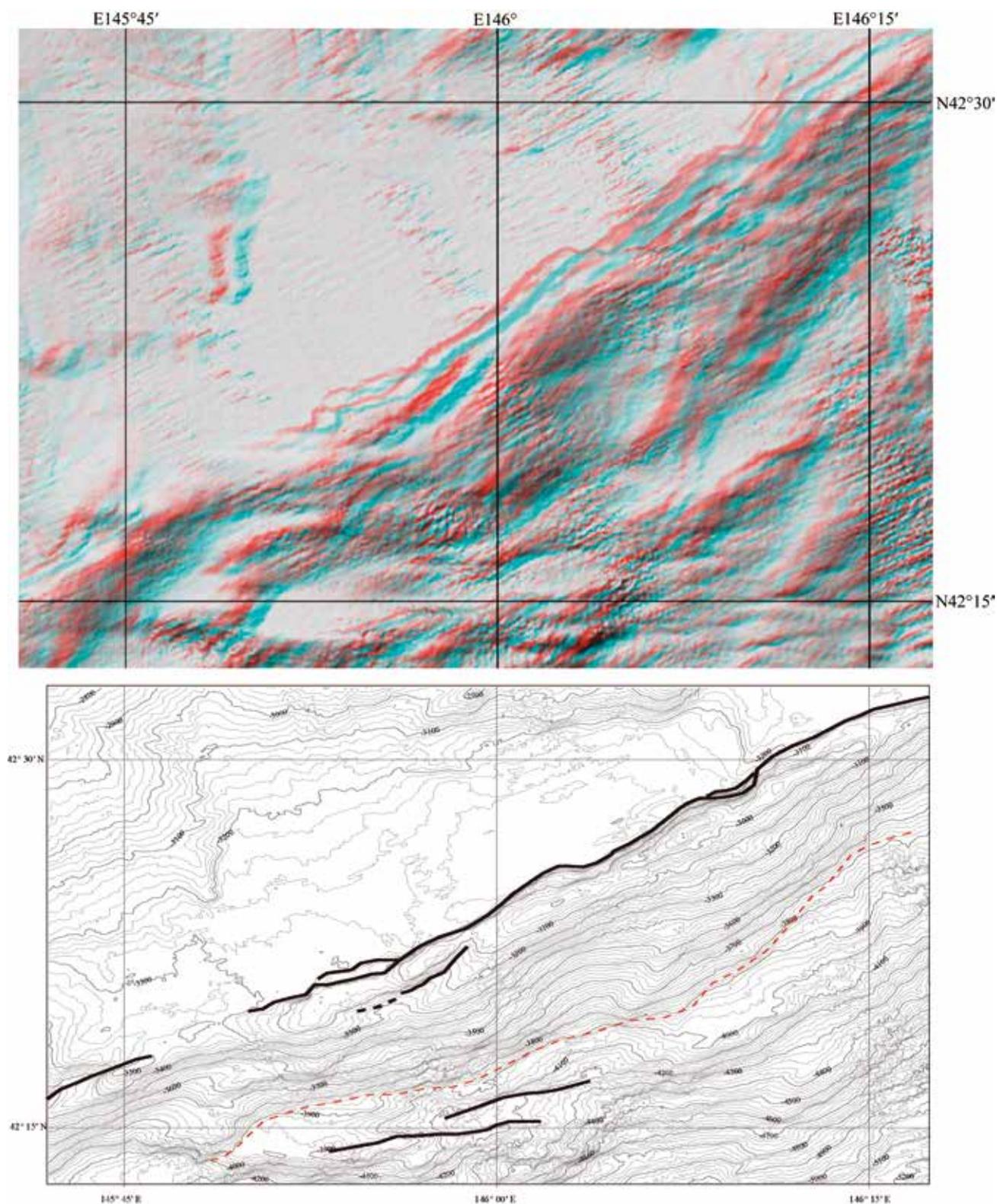


Fig. 9. (a) Anaglyph image around continental slope off Kushiro (top). (b) Bathymetric map with names of submarine topography around continental slope off Kushiro (bottom). Contour interval is 20 m. (Red line: reverse fault, black line: normal fault, broken line: inferred fault.)

図9. (a) 釧路沖大陸斜面周辺のアナグリフ図 (上). (b) 釧路沖大陸斜面周辺の海底地形図 (下). 等深線間隔は 20 m. (赤: 逆断層, 黒: 正断層, 破線: 推定断層.)

以前から注目された。桜井・他(1975)は、傾動地塊或いは背斜状の高まりが平坦面の外縁にあり、北側の断層角盆地的な場所に堆積が進んだ結果、深海平坦面が形成されたと考えた。

マルチビーム測深やマルチチャンネル地震探査が行われるようになって以降、海上保安庁(1998)は釧路沖の20 m等深線図を作成し、上記の崖を左横ずれ断層と考えた。海洋研究開発機構(2005)は、地層の傾斜や層厚分布、またフラワー構造とも見える複数の断層によって地層が切られていることなどから、この断層が通常の正断層によるものと異なり、さらに検討が必要としている。海洋研究開発機構(2016)が公開しているマルチチャンネル地震探査記録の図(HK-101)には、この断層の断面が明確に示されている。

一方、アナグリフ画像の解析から明らかにされる活断層は、急崖の頂部が丸みを帯びているが直線的であり、横ずれ断層や逆断層としての特徴が強くないことから、暫定的に正断層として記載する。リッジの南側斜面には北西-南東方向の構造を切る丸みを帯びた撓曲的な崖が認められ、その基部に逆断層を推定した。

5.6 厚岸沖の陸棚外縁斜面の海底地形

Fig. 10 (a) は、厚岸沖の陸棚斜面外縁のアナグリフ画像である。Fig. 10 (b) は同じ範囲の20 m等深線図に海底活断層を記入したものである。厚岸沖では陸棚が幅約25 kmの幅で発達し、その外縁部では水深約180 mから約2000 mになる急傾斜の陸棚斜面となっている。陸棚外縁斜面及び陸棚斜面は千島海溝とほぼ平行しており、両者の間に何らかの関連があることを推測させる。陸棚外縁斜面は多くの必従的な谷によって浸食されており、断層変位を示す明確な地形は確認できない。しかしその基部には斜面堆積物からなる、斜面を数10 m北上がりに変位させている2条の雁行配列をする長さ20 km未満の丸みを帯びた低い崖を見出すことができる。この崖より北の隆起域では、小さな海底谷が斜面堆積物を下刻し凹型の横断面を呈することから、逆断層の存在が推定

される。さらに、緩やかな斜面を流れる海底谷は、東北東-西南西に延びる高まりを横切って先行性の流路を形成しており、高まりの北縁に北上がりの低断層崖が認定できる。海洋研究開発機構(2016)のマルチチャンネル地震探査記録には、低断層崖の位置に正断層構造が確認される。

5.7 襟裳岬沖の海底地形

Fig. 11 (a) は、襟裳岬の海底地形のアナグリフ画像である。Fig. 11 (b) は同じ範囲の50 m等深線図に海底活断層を記入したものである。

本海域では、海上保安庁(2002)が襟裳岬沖から十勝沖にかけて実施したマルチビーム測深のデータをもとに、襟裳海底谷・広尾海脚・南広尾海脚を含む海域の20 m等深線図を作成し、これらの地形の特徴について言及している。アナグリフ画像では、襟裳堆・南広尾海脚で両縁を北西-南東走向の逆断層に挟まれたようなホルスト状の地形が明瞭である。襟裳海底谷の北岸にも丸みを帯びた地形が東西方向にのびており、断層崖と認定される。また、襟裳堆の東縁には南北方向に湾曲しながら延びる活断層が、襟裳海底谷の作る小扇状地や襟裳堆の東斜面を数10 mから200 m程度西上がりに変位させており、明瞭な断層崖を形成している。桜井・他(1975)はエアガンによる地質構造調査によって、襟裳堆・広尾海脚・南広尾海脚で、これらの高まりに対応する断層を伴う背斜構造を確認している。海上保安庁(2002)も、これらの活断層に対応する断層や褶曲を認めている。また、襟裳堆の南斜面に幅4-7 km、滑落崖の高さが300-400 mの大規模な地すべりが発達することを報告している。襟裳堆南縁斜面には、東西走向の丸みを帯びた直線的な崖が存在しており、活断層が存在する可能性を示唆している。

6 千島海溝南西部の海底活断層と地震

本調査海域では、地震調査委員会(2004)は千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第二版)において、過去の震源域をもとに十勝沖想定震源域と根室沖想定震源域と十勝沖・根室沖の連動想定震

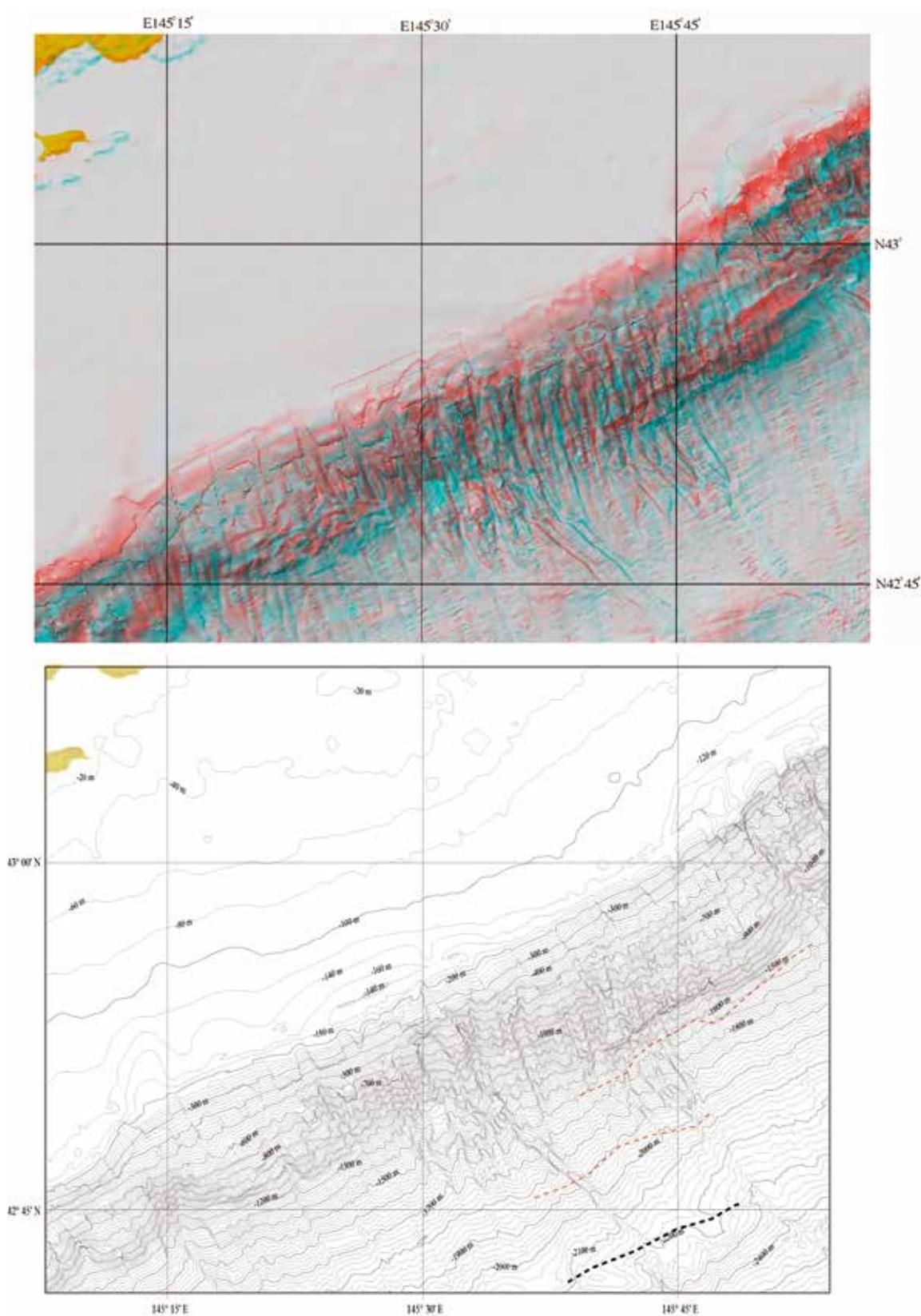


Fig. 10. (a) Anaglyph image around continental shelf off Akkeshi (top). (b) Bathymetric map with names of submarine topography around continental shelf off Akkeshi (bottom). Contour interval is 20 m. (Red line: reverse fault, black line: normal fault, broken line: inferred fault.)

図 10. (a) 厚岸沖大陸斜面周辺のアナグリフ図 (上). (b) 厚岸沖大陸斜面周辺の海底地形図 (下). 等深線間隔は 20 m. (赤: 逆断層, 黒: 正断層, 破線: 推定断層.)

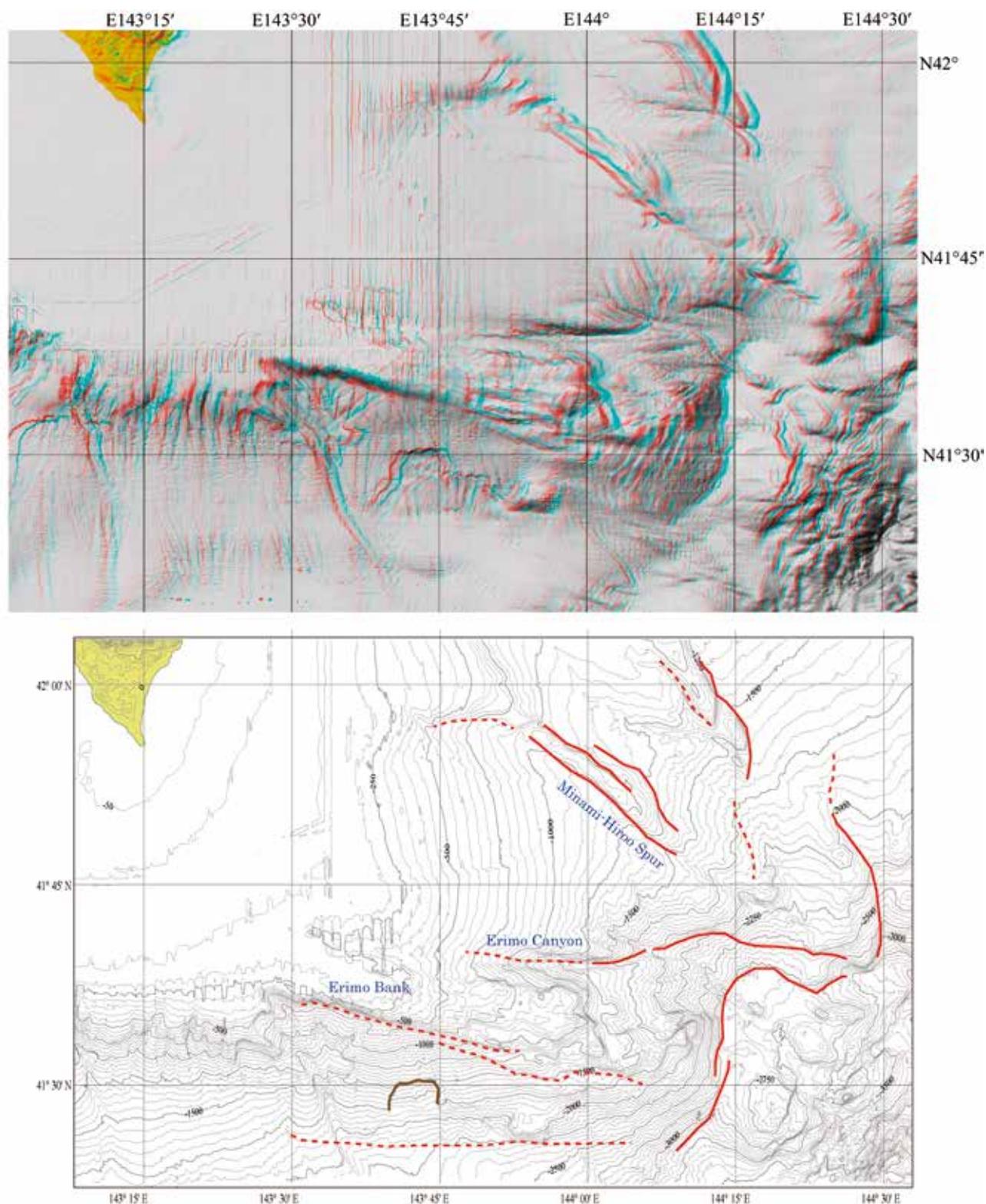


Fig. 11. (a) Anaglyph image around the area off Cape Erimo (top). (b) Bathymetric map with names of submarine topography around the area off Cape Erimo (bottom). Contour interval is 50 m. (Red line: reverse fault, broken line: inferred fault, brown line: crown of large submarine landslide.)

図 11. (a) 襟裳岬沖のアナグリフ図 (上). (b) 襟裳岬沖の海底地形図 (下). 等深線間隔は 50 m. (赤: 逆断層, 破線: 推定断層, 茶: 大規模な海底地すべり.)

源域を想定している。この想定は、地震計記録の解析や津波波源域および津波堆積物の研究成果に基づくもので、海底活断層の位置・形状は考慮されていない。

6.1 海底活断層の特徴

Fig. 12 (a) は千島海溝南西部の海底地形のアナグリフ画像である。アナグリフ画像を判読した海底活断層 (Fig. 12 (b)) には、(1) アウターライズの正断層群、(2) 海溝前縁陸側斜面基部の逆断層、(3) アウターリッジ基部の逆断層、(4) 深海平坦面とアウターリッジの境界に位置する正断層、(5) 陸棚斜面の推定逆断層、などの千島海溝にほぼ平行する走向を有する活断層の他に、(6) 襟裳海底谷の西に位置する南北走向の逆断層、広尾海脚、南広尾海脚および襟裳堆を取り巻く南北方向から東西方向に連なる逆断層がある。このような活断層の分布と配列は、太平洋プレートと北海道の陸域プレートの境界面を1枚と仮定し、面上に固着域を想定したアスペリティモデルでは説明できない。海底活断層をもとに本海域で想定される地震は以下のようにまとめられる。

アウターライズの正断層は、日本海溝の東方沖で認められる正断層が海溝軸に近いものほど規模が大きくなり、継続的な活動によって変位が累積する (例えば、岩淵, 2012) という特徴を持つものに対して、海溝軸付近でもほぼ一様な規模と配列間隔を維持している特徴が認められる。この特徴は、正断層群の主たる活動域がアウターライズに近い比較的沖合にあり、海溝軸付近での新期の活動が不活発であることを暗示しているものと推定される。また、海溝前縁陸側斜面の下部に正断層が沈み込んでいる事例 (海洋研究開発機構, 2005 など) が認められている。

海溝前縁陸側斜面基部の逆断層は、水深約 7000 m の海溝底北縁に沿ってほぼ連続的断層崖を形成し、マルチチャンネル地震探査記録 (海洋研究開発機構, 2005 など) にも低角逆断層が認められる。襟裳海山の北方、東経 144 度 50 分付近から明瞭な断層崖が認められ、海底谷末端 (東

経 145 度 30 分) の東まで連続する。釧路海底谷の海溝出口付近では、海底の谷底は顕著な断層変位をうけ、比高約 300 m の断層崖を越えて海溝に注ぐが、この断層崖の東への連続性は次第に不明瞭になる。一方、海底谷出口付近では、海溝北縁から数 km 北側の付加帯の中に海溝北縁と平行する顕著な断層崖が認められ、この崖が東経 146 度より東では海溝北縁の不明瞭な断層崖に繋がっている。襟裳海山の周辺を除き、水深約 5000 m の海溝前縁陸側斜面には海溝軸に平行あるいは斜行する多くのリニアメントがあり、反射断面にはこれに対応する北傾斜の逆断層が認められている (海洋研究開発機構, 2005 など)。新期の活動を示す考えられる断層崖や撓曲変形が認められるリニアメントは多くはないが、釧路沖の水深約 6000 m 付近には比較的連続性の良い逆断層の存在が推定される。

アウターリッジの南には、大規模な撓曲崖と考えられる凸型斜面が発達しているのが認められる。この斜面は、千島海溝周辺を構成する地形要素としては最も起伏量が大きい連続的なものである。その基部には、明瞭な断層崖が連続的に発達している。釧路海底谷周辺では極めて平滑な凸型斜面となっており、基部の反射断面 (海洋研究開発機構, 2005 の k-8 など) からは逆断層構造が認められる。したがって、この断層は、海溝北縁の活断層に関連する震源断層とは異なる別の震源断層の存在を暗示している。釧路海底谷の東の根室沖では、この撓曲崖は海溝軸に平行する階段状の平坦面が複数発達し、その北縁には逆断層、南縁には正断層が認められる。

根室沖の 2000-3500 m に広がる深海平坦面とその南側のアウターリッジの境界には、長さ約 60 km、比高 200 m 以上に達する連続性の良い顕著な北落ちの断層崖が発達し、断続的に釧路海底谷の東方約 20 km の東経 145 度 20 分付近まで追跡できる。東経 146 度 20 分以東は詳細な DEM が得られていないため、アナグリフ画像は鮮明ではないが、少なくとも歯舞群島沖の東経 146 度 40 分付近まで連続すると考えられる。前述のよ

うに、この断層崖は、形態的には正断層起源のものと考えられるが、海洋研究開発機構（2005, 2016）のマルチチャンネル地震探査記録には、フラワーストラクチャー的な横ずれ変位を伴う正断層的な断層形態が示されている。このような長大な活断層は、多くの逆断層に伴う副次的な断層とは考えにくく、個別に活動して大きな地震を発生させる可能性がある。根室沖の深海平坦面上部の斜面上にも小規模な北向き直接的な崖が認められ、反射断面には上述の断層と同様な構造が認められる。

厚岸沖の東経 145 度から東の陸棚外縁斜面は水深 200 m から 1500 m に至り、直線的な急崖はほぼ千島海溝に平行に歯舞群島沖に達する、極めて顕著な地形要素である。この急崖の斜面は無数の必従的な谷に刻まれているが、海底面は崖の延長方向に延びる直線的な崖がシャープなりニアメントとして認められ、崖を構成する地層の構造を示すと思われる。一方、この急崖の基部には緩斜面を横切る、丸みを帯びた比高数 10 m の南落ち崖が発達する。根室半島や歯舞群島には海成段丘が発達しており、また、アナグリフ画像は不鮮明であるが、平坦面の外縁を縁取るように比高数 10 m の高まりがあり、これらの地域に隆起をもたらす地殻変動が考えられる。従って、これらの崖のうちの幾つかは北傾斜の逆断層起源の崖と推定される。

襟裳海底谷の西方では東方と異なり、海溝軸に平行しない北西-南東走向、東西走向あるいは南北走向の活断層の発達が認められる。このような状況は、東経 145 度付近を南北に延びる逆断層を境としており、地震調査委員会（2004）が地震の長期評価に用いた「十勝沖」と「釧路沖」の境界は、釧路海底谷に位置するのではなく、この境界に置くのが適切と考えられる。

襟裳岬の南東沖で「ミ」字状に細長く張りだす細長いホルスト状の 3 つの海脚（北から、広尾海脚、南広尾海脚、襟裳堆）の南北両縁は断層崖であり、海洋研究開発機構（2016）の反射断面（hk-201）には、これを示す地層の変状が認められる。

さらに、襟裳海脚の南縁を限る断層崖の基部から南に広がる斜面にはこの崖の傾斜増加を反映する大規模な地すべりが発達しており、斜面の基部に認められる直線的な崖は日高舟状海盆の北縁を限る断層崖と推定される。この断層崖は東では北東方向に「S」字状に湾曲し、日高舟状海盆の延長部である深海平坦面を変位させる明瞭な断層崖に連続する。さらに、襟裳海底谷の北に位置する東西性の断層崖など本海域には多数の海底活断層が存在する。

6.2 海底活断層と地震

本海域での地震や津波に関する 2004 年までの研究については、地震調査委員会（2004）による総括的なレビューがなされており、1952 年十勝沖地震、1969 年色丹沖地震、1973 年根室沖地震、2003 年十勝沖地震など余震分布をもとに推定した過去の震源域をもとに想定震源域が設定されている。これらの地震は、 $M8$ クラスのプレート間の地震でさらに古い時代の歴史地震の震源についても議論（Fukao and Furumoto, 1979 など）がなされている。津波波源域の一連の研究（羽鳥, 1973, 1974, 1995）では、1894 年根室沖地震のように波源が海溝まで達するものと、1952 年十勝沖地震や 1973 年根室沖地震のように陸域に近いものが認められる。2003 年十勝沖地震については、海溝軸から離れた襟裳岬南東沖を震源とする詳しいモデルが提示（Yamanaka and Kikuchi, 2003）されている。これらの歴史地震の震源モデルでは、海底活断層への言及は全くされなかった。これは、これらの地震が大局的にみれば 1 枚のプレート境界断層面の異なる固着域のズレで発生したと考えられてきたためであろう。実際にはプレート境界は累重する複数の逆断層とこれに共役的な正断層によって構成されており、大別すると海溝北縁の海溝前縁陸側斜面基部の逆断層、アウターリッジ基部の逆断層、陸棚外縁斜面基部の推定逆断層などに関連する個別の震源断層の変位によって大地震が発生していると考えの方が妥当であろう。歴史地震と海底活断層の関連に

については、1894年根室地震は海溝陸側斜面基部の逆断層との関連が指摘されるが、1952年十勝沖地震、1973年根室沖地震は大陸斜面基部の活断層、2003年十勝沖地震は襟裳岬沖の活断層と関連する可能性がある。また、地震調査委員会(2004)の根室沖の「ひとまわり小さいプレート間地震」についても、陸棚外縁基部などに見られる小規模な活断層との関連を検討する必要がある。

7 おわりに

本海域では、マルチビーム測深データを用いた数多くの先行研究があり、貴重な成果が蓄積されてきた。本報告では、海底地形を面的かつ立体的により容易に把握することできるアナグリフ画像を用いて地形の概略と海底活断層の検討を行ったが、関連研究者にこれらの画像が活用され、海底地形・海底活断層に関する理解が深まることを期待したい。

謝 辞

本報告作成にあたり、匿名査読者からは多くのご助言をいただいた。記して感謝いたします。

文 献

- Fujiwara, T., S. Kodaira, T. No, Y. Kaiho, N. Takahashi, and Y. Kaneda (2011) The 2011 Tohoku-Oki earthquake: Displacement reaching the trench axis, *Science*, 34, 1240–1240, doi: 10.1126/science.1211554.
- Fukao, Y. and M. Furumoto (1979) Stress drops, wave spectra and recurrence intervals of great earthquakes – implications of the Etorofu earthquake of 1958, November 6, *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, 57, 23–40.
- 羽鳥徳太郎 (1973) 1952年十勝沖地震津波の波源の再検討, *地震* 2, 26, 206–208.
- 羽鳥徳太郎 (1974) 1973年根室半島沖地震津波の波源域と1894年津波との比較, *地震研究所研究速報*, 13, 67–76.
- 羽鳥徳太郎 (1995) 1994年北海道東方沖津波と南千島津波の波高分布, *地震* 2, 48, 307–314.
- 岩淵洋 (2012) 日本海溝海側斜面における地殻伸張速度, *地震* 2, 65, 9–19.
- 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・梶塚 (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・渡辺満久・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・渡辺満久・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.
- 泉紀明・堀内大嗣・西澤あずさ・木戸ゆかり・中田高・後藤秀昭・渡辺満久・鈴木康弘 (2014) 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, *海洋情報部研究報告*, 51, 127–139.
- 泉紀明・西澤あずさ・及川光弘・木戸ゆかり・後藤秀昭・渡辺満久・鈴木康弘・中田高 (2015) 150mグリッドDEMから作成した伊豆・小笠原海溝周辺の3D海底地形, *海洋情報部研究報告*, 52, 140–155.
- 泉紀明・西澤あずさ・堀内大嗣・木戸ゆかり・後藤秀昭・中田高 (2016) 南西諸島海溝周辺の3D海底地形, *海洋情報部研究報告*, 53, 133–149.
- 地震調査委員会 (2004) 千島海溝沿いの地震活動の長期評価, http://jishin.go.jp/main/chousa/04dec_chishima2/chishima2.pdf.
- 海上保安庁水路部 (1974) 釧路沖の海底地形・地質構造・地磁気全磁力, *地震予知連絡会会報*, 11, 24–29.

- 海上保安庁水路部 (1998) 釧路沖の海底地形, 地震予知連絡会会報, 60, 44-45.
- 海上保安庁水路部 (2000) 釧路沖の海底地質構造, 地震予知連絡会会報, 63, 23-28.
- 海上保安庁水路部 (2002) 襟裳岬沖の地質構造, 地震予知連絡会会報, 67, 44-47.
- 海上保安庁海洋情報部 (2004) 十勝沖の海底地形, 地震予知連絡会会報, 72, 127-128.
- 海洋研究開発機構 (2016) 地殻構造探査データベース サ イ ト, http://www.jamstec.go.jp/jamstec-j/IFREE_center/.
- 木戸ゆかり・小角幸代・仲西理子・鶴哲郎・金田義行 (2002) 日本海溝と千島海溝の接合点付近に沈み込む海山の地球物理学的特徴－地磁気およびアドミッタンス関数を用いた重力解析－, 情報地質, 13 (3), 141-151.
- 岸本清行 (2000) 海陸を合わせた日本周辺のメッシュ地形データの作成: japan250m.grd, 地質調査所研究資料集 353, 地質調査所, つくば.
- 茂木清 (1977) 日本近海海底地形誌, 東京大学出版会.
- 仲西理子・三浦誠一・尾鼻浩一郎・小平秀一・金田義行・高橋成実 (2001) 北海道東方・千島海溝周辺の地震学的探査—KY0005 航海報告一, JAMSTEC 深海研究, 18, 157-169.
- 野徹雄・中村恭之・小平秀一・辻健・朴進午・海宝由佳・藤江剛・佐藤壮・山下幹也・瀧澤薫・高橋成実・金田義行 (2012) 「かいいい」反射法地震探査データを用いた東北太平洋沖地震前後の構造変化の抽出, ブルーアースシンポジウム.
- 桜井操・永野真男・長井俊夫・桂忠彦・戸沢実・池田清 (1975) 北海道南岸沖の海底地質, 水路部研究報告, 10, 1-37.
- 海洋研究開発機構 KR05-04 Cruise Report (2005) http://www.godac.jamstec.go.jp/catalog/data/doc_catalog/media/KR05-04_all.pdf.
- 佐藤任弘 (1962) 釧路沖海底谷付近の深海地形 地質学雑誌, 68, 563-572.
- 嶋村清 (2008) 改訂「日本列島海底谷系図」—海底谷の地形的特徴と問題点—, 地質学雑誌, 114, 11, 560-576.
- 徳長航・末吉惣一郎・奥村慎也・前野克尚・吉田一穂・大山亮・稲垣孝一・森岡美樹・村上裕太郎 (2015) 「みらい」マルチビーム音響測深装置 (SeaBeam3012) の紹介, Blue Earth シンポジウム.
- Tsuru, T., J.-O. Park, Y. Kido, A. Ito, Y. Kaneda, T. Yamada, M. Shinohara, and T. Kanazawa (2005) Did expanded porous patches guide rupture propagation in 2003 Tokachi-oki earthquake?, Geophys. Res. Lett., 32, L20310, doi:10.1029/2005GL023753.
- Yamanaka, Y. and M. Kikuchi (2003), Source process of the recurrent Tokachi-oki earthquake on September 26, 2003, inferred from teleseismic body waves, Earth Planets Space, 55, e21-e24.

要 旨

海上保安庁と海洋研究開発機構 (JAMSTEC) のマルチビームデータなどから千島海溝南西部周辺の 150 mDEM (Digital Elevation Model) を作成した. この DEM から作成したアナグリフ画像を用いて海底活断層を中心に地形判読を行った.

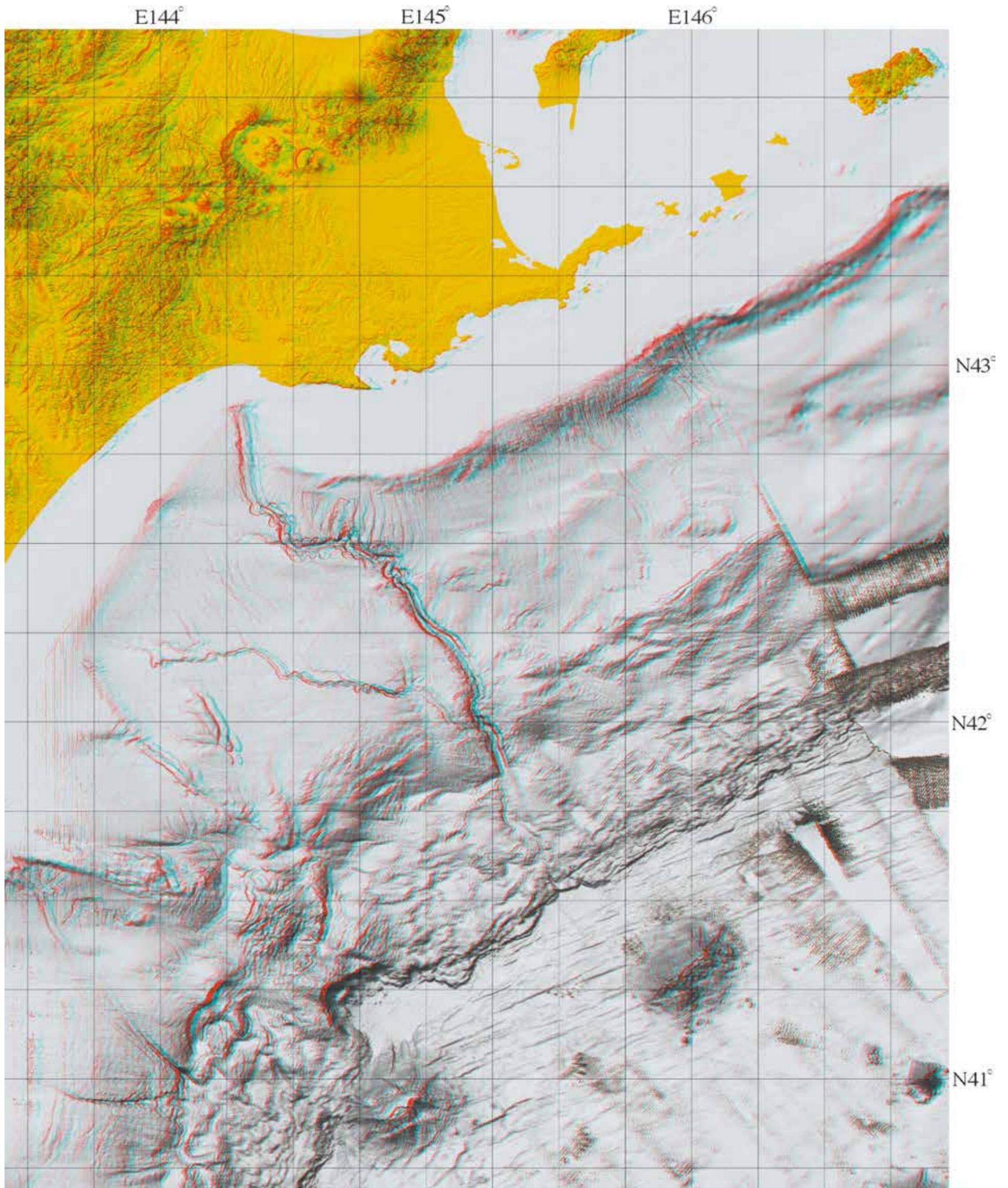


Fig. 12. (a) Anaglyph image of the study area.
図 12. (a) 本報告でのアナグリフ図.

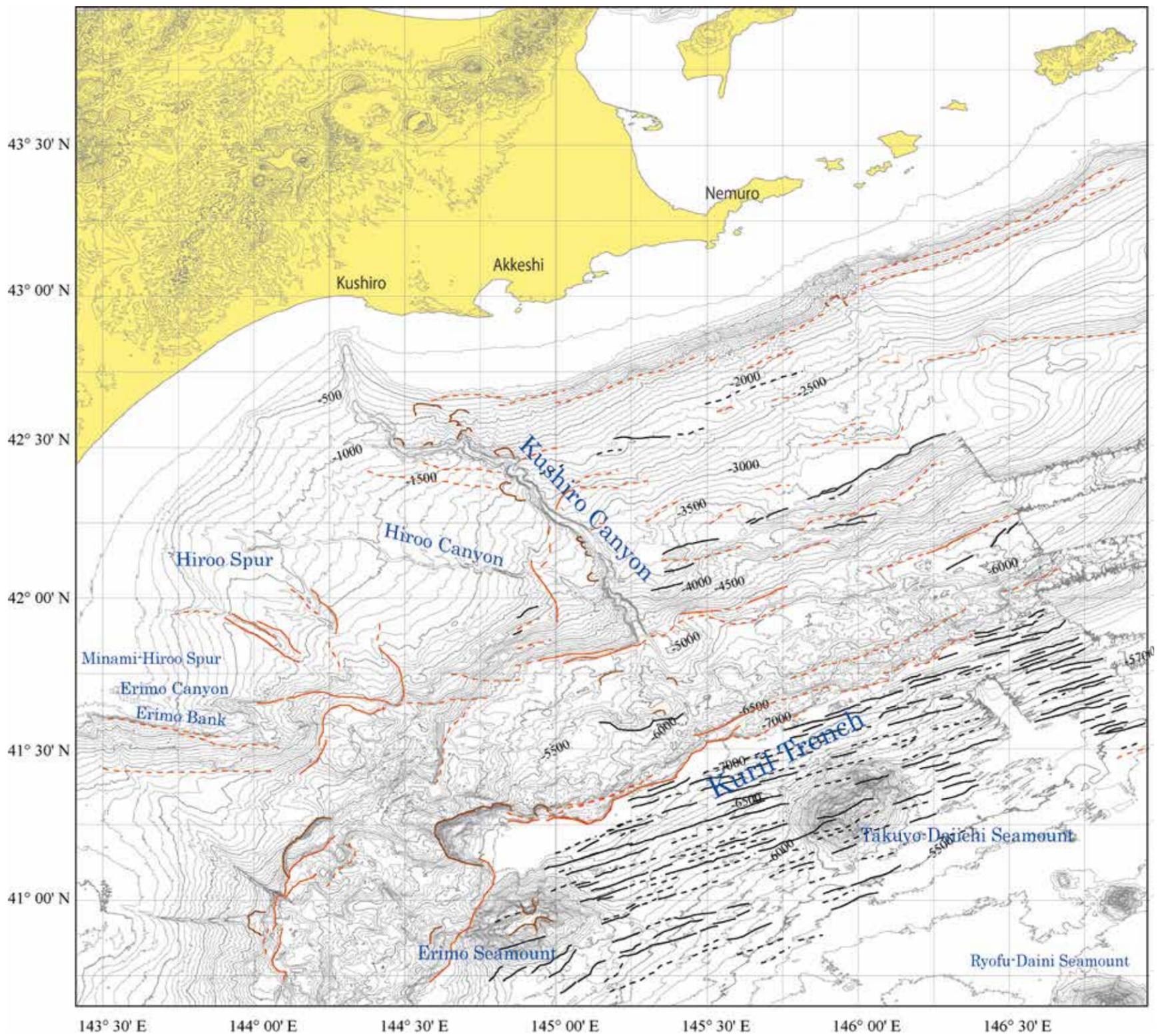


Fig. 12. (b) Distribution of submarine active faults in the study area. Contour interval is 100 m. (Red line: reverse fault, black line: normal fault, broken line: inferred fault, brown line: crown of large submarine landslide.)

図 12. (b) 本報告での海底地形図。等深線間隔は 100 m。

(赤：逆断層，黒：正断層，破線：推定断層，茶：大規模な海底地すべり。)