

海底地形解析の新手法～音響画像データと 地形データから立体視画像をつくる～†

沖野郷子*, 山本富士夫**, 加藤幸弘*

Making of 'Seafloor Stereograph' from Side-looking Sonar Imagery and Swath Bathymetry †

Kyoko OKINO*, Fujio YAMAMOTO** and Yukihiro KATO*

Abstract

High resolution side-looking sonar data is of immense use in understanding the geology and the tectonics of seafloor. In order to study the detailed morphology and the crustal movement inferred from the topographic fabrics, it is necessary to analyze bathymetry as well as backscatter data. We introduce a new method 'seafloor stereograph' to combine two datasets, side-looking sonar imagery and multi-beam bathymetry. 'Seafloor stereograph' consists of two side-looking sonar images from slightly different viewpoints. It helps intuitive and rapid understanding of the seafloor and gives us new information and interpretations, which have not been obtained from the usual analyses. Two examples of 'seafloor stereograph' are presented, which lead us new interpretation of the studied area. 'Seafloor stereograph' has proved to be of great help in deciphering folds, faults and sediment structure etc. It will become powerful tool for morphological and geological analysis and for the study of seafloor tectonics.

Keywords : Stereograph, Side-looking Sonar, IZANAGI, Multibeam Bathymetry, Crustal Movement

1. はじめに

地形は、地殻変動や火山活動などの地球の内的なプロセスによってまず形成され、その後、堆積作用や斜面変動などの外的なプロセスを経てその形状が決まる。特に海底では陸上に比較して浸食作用が極めて弱いため、地殻変動や火山活動を原因とする地形が長期間にわたって保存されており、地形の判読が地殻変動を復元するための有効な手段であると考えられる。しかしながら、海底の調査は陸上に比して量的にも少なく、また、測定精度も陸上のレベルに到達していない。例えば、海底で判読可能な変動地形は10～100km程度の規模

であるため、中規模の地殻変動は復元できるが、現在の地殻変動を示す活断層などの最小単位の変動を読みとることは難しい。そのため、海底での変動地形や活断層の研究は、特に地震研究の立場から必要性が強く認識されているにも関わらず、陸上で行われているような組織的な研究（活断層研究会、1991）が現段階では困難な状況である。

近年、マルチナロービーム測深機やサイド・ルッキング・ソナーの導入により、海底地形の測定精度そのものはかなり向上した。一方、データの解釈にあたっては地形図や音響（反射強度）画像という従来の手法に変化がない。すなわち、地形図（多くの場合等深線図）から谷や崖を読みとり、

† Received 1997 November 27th; Accepted 1998 January 14th.

* 海洋研究室 Ocean Research Laboratory.

** 東京大学海洋研究所 Ocean Research Institute, University of Tokyo.

音響画像から微地形や堆積構造を読みとるのである。しかしながら、地形図と音響画像を並べ、起伏を持つ海底面にどのように反射強度データが分布しているのかを把握することは、かなり難しく熟練が必要とされる作業である。地形と音響画像の2種類のデータから、より多くの海底に関する情報を、より直感的に、たやすく、得る方法はないだろうか？

私たちは、その問いに答えるひとつの手法として、これらのデータから海底の立体視画像を作成することを試みた。本稿では、この立体視画像作成の方法について述べ、南海トラフと日本海東縁での地形判読例を紹介する。そして、立体視画像を用いてきわめてリアルな海底の姿を再現でき、陸上の航空写真立体視を利用した地形判読に近いレベルの解析が海底でも可能であることを示す。また、サイド・ルッキング・ソナー調査をわずかに航跡をずらして行う、いわば海底の「航空写真撮影」実験の結果についても併せて報告する。

2. 立体視画像の作成手法

(1) 立体視画像の原理と利点

人間がある対象物を見るとき、両眼それぞれから得る2つの像は、視差により頭の中で遠近感のある1つの像として認識される。ここで眼をカメラで置き換え、2カ所の離れた点から1つの対象物を撮影したものが立体視用写真(2枚組)である。組写真の一方を右目で、片方を左目で見ることにより、対象物を立体的に見ることができる。肉眼での立体視が難しい場合は立体視鏡が補助として用いられる。

立体視を利用して地形を判読することは、陸上においては既に広く行われている。これは航空写真測量と呼ばれ、航空機で対象となる地域の上を航路を少しづつ平行移動させながら飛行し、連続的に真上から写真を撮影する。隣接する写真同士は撮影範囲が充分重なるように撮るため、あるひとつの地形を2つのわずかにずらせた視点から眺めた写真の組ができあがる。この組写真から、変動地形をはじめとして様々な地形の詳細を判読す

ることができる。この手法の利点は、従来の地形の等高線図と比べてはるかに多くの情報量が得られ、しかもそれが直感的に理解できることで、地形図の作成にも使われる確立した手法である。もし同様の立体視の手法が海底にも応用できれば、海底地形の判読にきわめて有効である。

しかし、船を利用した海底の調査は、航空写真と比べて、はるかに時間がかかり作業量が多い。サイド・ルッキング・ソナーで得られる音響画像はまさに音による写真であるが、ある海域をソナーの探査幅が重複するように調査を行うことは船の運用から考えてあまり現実的でない(実験的にこの方法も試みており、その結果は4節で述べる)。そこで、水深のデータから3次元の地形を創造し、その表面に音響画像を貼り付けた仮想の海底面を計算機上で構成する。この手法は、例えば地形と地磁気、地形と植生など、2種のデータの間関係を見るときに広く使われるため、汎用のグラフィクスソフトウェアには機能のひとつとして付いていることも多い。また、3次元グラフィクスソフトウェアでは、視点をパラメタとして与え3次元画像を作成することができる。そこで、計算機上に構成した海底面を真上から眺め、視点をわずかに水平に変化させて2枚の画像を作成すれば、擬似的に「海底航空写真」を2枚撮影したことになる。この立体視ペアを立体鏡で見れば、陸上の航空写真にきわめて近い効果が得られ、地形の判読の助けとなるはずである。

(2) データ処理の方法

前節で解説した原理に基づき、画像解析用のソフトウェア ERMapper5.5 (Earth Resource Mapping 社製)を利用して、実際のデータから立体視用画像を作成した。利用したデータは、地形は水路部所有のナローマルチビーム測深機 SeaBeam2000により得られた水深、音響画像は東京大学海洋研究所所有のサイド・ルッキング・ソナー IZANAGI によるものである。ERMMapper の利点は、2種の異なるデータを同時に扱う場合、それぞれのデータの1ピクセル(グリッド)の大きさや、ピクセル数、データ範囲が異なっていて

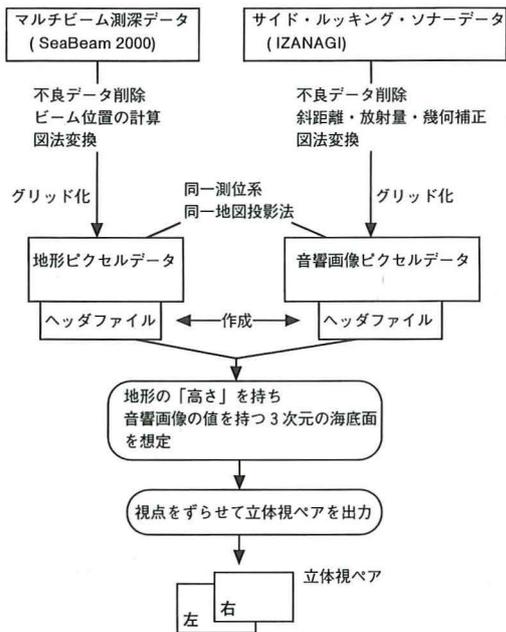


Fig. 1 Flow chart of data processing.

も構わない点である。ただし、2種のデータの地図投影図法と測地系は一致させておく必要がある。

データ処理の流れを Fig. 1 に示した。地形は測深データを適当なサイズにグリッド化したものを用い、各ピクセル毎に水深値が入っている。ただし、グリッドは緯度経度によるものではなく、適切な図法で平面に投影した後にグリッド化した。ナローマルチビーム測深機の場合、水深が深くなるほど、また外側のビームほど、水平方向の分解能が落ちるため、これを考慮してピクセル幅を決める必要がある。音響画像は、測得データに斜距離・放射量・幾何補正を施し、調査海域を1枚の画像ファイルに編集したものを利用した。反射強度データは画像の濃淡の値に変換され、各ピクセル毎に2バイト整数で保存されている。IZANAGIの場合、調査時に探査幅が可変であり、探査幅が2000ピクセルに対応するため、水平方向の分解能は探査幅に応じて変化する。地形、音響画像それぞれのデータは、同じ測地系、同じ地図投影法で処理し、それぞれの分解能に合うピクセル幅で処理して独立のデータセットを作成する。

次に、ERMMapper を利用するために、各データセットにヘッダーファイルを作成する。ここには、

測地系、地図投影法、ピクセル幅、ピクセル数、データ形式、リファレンスポイント（緯度経度を与えるピクセルを指定する。これにより、ピクセルの並びと地球上の位置が対応し、他データとの照合が可能になる）などを記載する。

以上でデータの準備は終わり、ERMMapper を利用した作図を行う。このソフトウェアでは、あるデータを height というカテゴリで宣言すると、そのデータは高さであると解釈され、簡単に3次元図等を作成することができる。今回は、地形を height に、音響画像を通常の pseudo color のカテゴリで宣言することにより、地形の凹凸の上に音響画像を貼り付けた海底面を定義した。音響画像については、濃淡の調整を行った。ここで定義した海底面は、2次元図として真上から見ると、まったく音響画像図と同一であるが、内部に高さ（地形の凹凸）のデータを所持している。従って、出力時に、stereo という選択を行うと、ソフトウェアが自動的に視点を水平にずらせた2枚の画像を作成、出力してくれる。stereo を選択する際に、視点をどの程度移動するかのパラメータを設

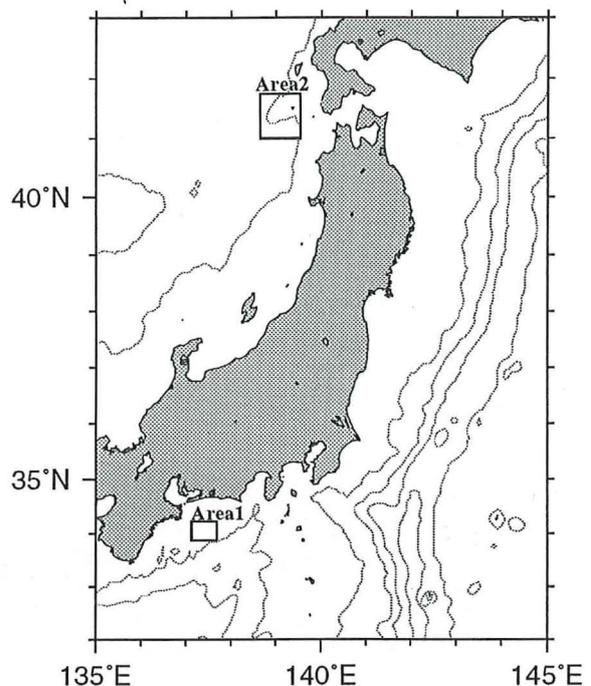


Fig. 2 Location map of our map of the Area1, the landward slope of the Nankai Trough. The location is shown in Fig. 2. Contour interval is 50m.

定することができ、立体視した場合の垂直方向の強調度を変えることができる。出力形式は各種選択できるが、今回は、RGB ファイルに出力したのち高画質の熱転写式プリンターで印刷した。

3. 変動地形解析の試み

(1) データ

実際の立体視ペアの作成例を2例紹介する。対象とした海域は南海トラフ（遠州灘沖）と日本海東縁（松前海台）である (Fig. 2)。

まず、例1の南海トラフの調査及びデータについて述べる。南海トラフは、フィリピン海プレートが日本の下に沈み込むプレート境界で、その陸

側斜面には主にトラフの堆積物からなる付加体が発達している。斜面にはトラフ軸にほぼ平行なマイナーリッジとマイナートラフが配列しており、そのさらに陸側には堆積盆が形成されている。調査海域は、南海トラフ付加体の東部、トラフ軸から陸側へおよそ50kmの水深1500m付近である。海域の東側に南北に延びる天竜海底谷が刻まれている (Fig. 3, 4)。地形調査は、1994年に海上保安庁水路部の測量船「明洋」搭載の SeaBeam2000によって行われた。SeaBeam2000はスワ幅が120°、すなわち水深の約3.5倍の探査幅を持ち、ビーム数は121本である。従って、この海域の水深では、外側の隣り合うビーム間の間隔は70m程度

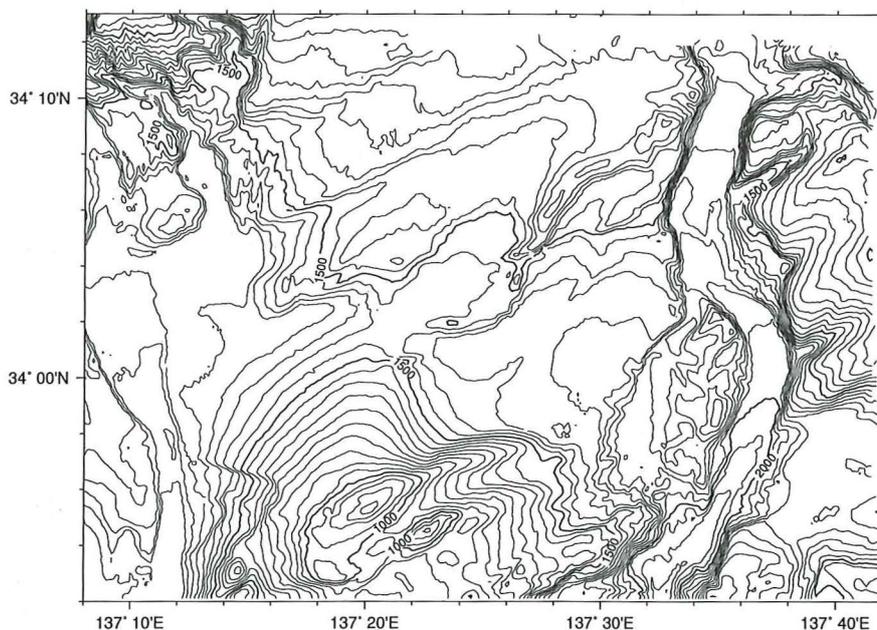


Fig. 3 Contour map of the Area 1, the Nankai accretionary prism. Contour interval is 50m.

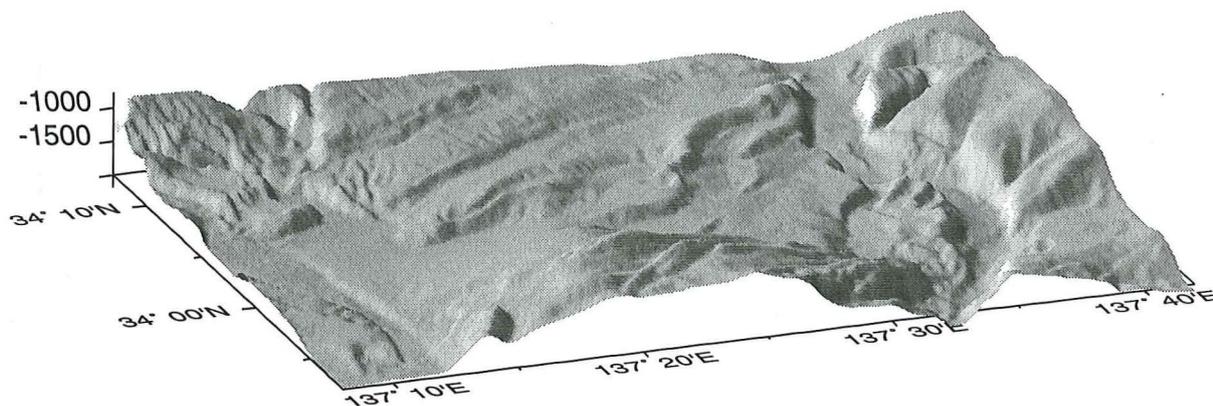


Fig. 4 Three dimensional image of the Area 1 from southwest.

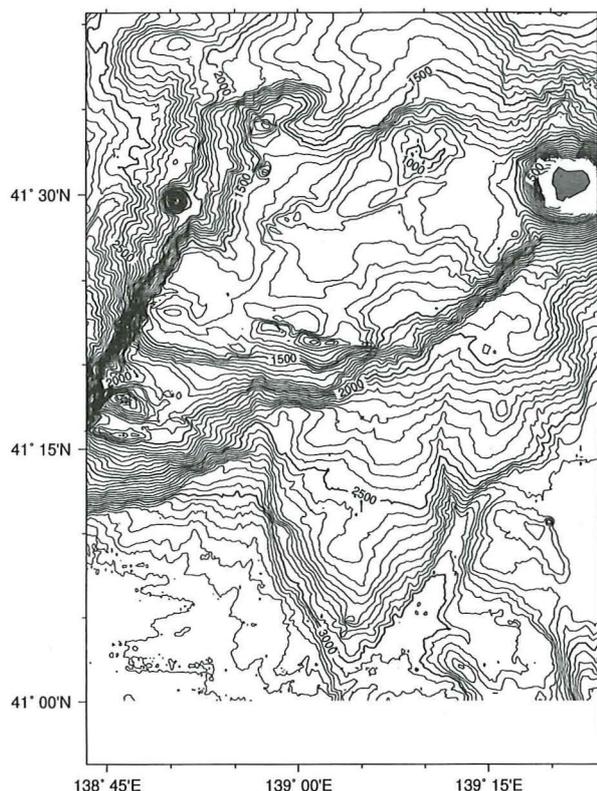


Fig. 5 Contour map of the Area 2, the eastern margin of the Japan Sea. The location is shown in Fig. 2. Contour interval is 50m.

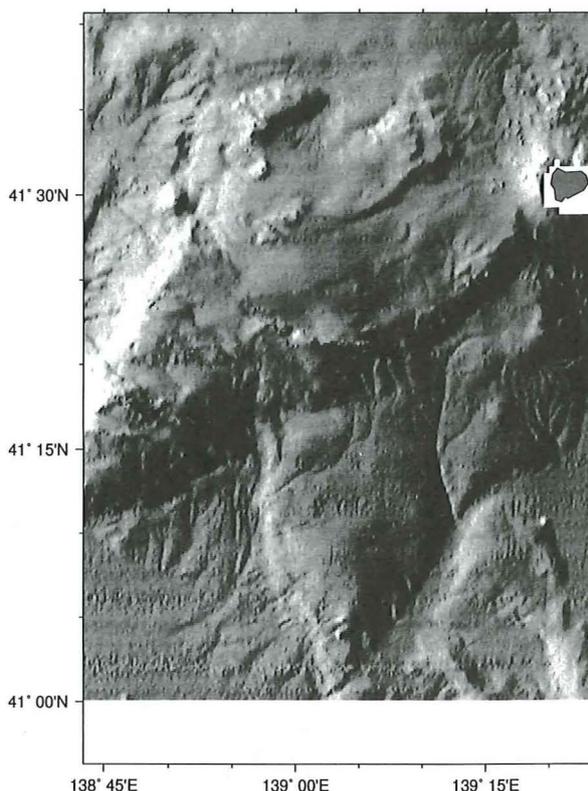


Fig. 6 Bathymetric relief map of the Area 2 (sunlight from northwest).

になる。そこで、ピクセル幅150m、総ピクセル数353×264のデータセットを作成した。一方、音響画像データは、1996年に東京大学海洋研究所のIZANAGIを「淡青丸」に搭載して調査した結果である。探査幅は10kmに設定したため、測得データの水平分解能は $10 \times 1000 / 2000 = 5$ mである。各種補正後、ピクセル幅16.9m(縮尺1:200,000, 300 dpiで出力した場合に1 dot=1 pixel)、ピクセル数3300×2400のデータセットを作成した。

例2は渡島大島を含む松前海台付近である。ここは日本海の東縁部にあたり、奥尻海嶺の南部で、松前海台が日本海盆に張り出している。(Fig. 5, 6)。地形調査は1993年に例1と同様の機材で実施し、同様の処理を施した。ピクセル幅200m、ピクセル数は383×423である。音響画像データは、1995年、IZANAGIを「あじあ丸」に搭載して行った。探査幅10km、ピクセル幅16.9m、ピクセル数3300×4800である。両例とも測地系はWGS84を採用した。

(2) 立体視画像による地形判読

作成した立体視ペアをFig. 7, 8に示す。立体視鏡もしくは肉眼で、海底の詳細な様子を捉えることができる。これらの画像を利用して両海域の地形の判読を試みた。以下に判読した変動地形について紹介する。

遠州灘沖の海域は(Fig. 7)、遠州灘沖の大陸棚から南海トラフに至る西南日本弧の大陸斜面の内、陸棚斜面基部から外縁隆起帯に相当する。また、海域の東部には天竜海底谷が、また西部に大山沖海底谷と安乗口海底谷が分布する。安乗口海底谷の西方の平坦面は、熊野舟状海盆の東端である。立体視画像で判読できる顕著な変動地形としては、下部テラス面上の東北東-西南西方向のリニアメント、第2渥美海丘の活褶曲である。また地殻変動に関連する現象として、第2渥美海丘北方のS字状海嶺頂部から流れ出した泥流や海丘斜面の崩壊などが判読できた(Fig. 9)。

陸棚斜面基部の下部テラス面上には、テラス基部の崖と平行な長さ約10kmの東北東-西南西方向のリニアメントが分布する。このリニアメントは、

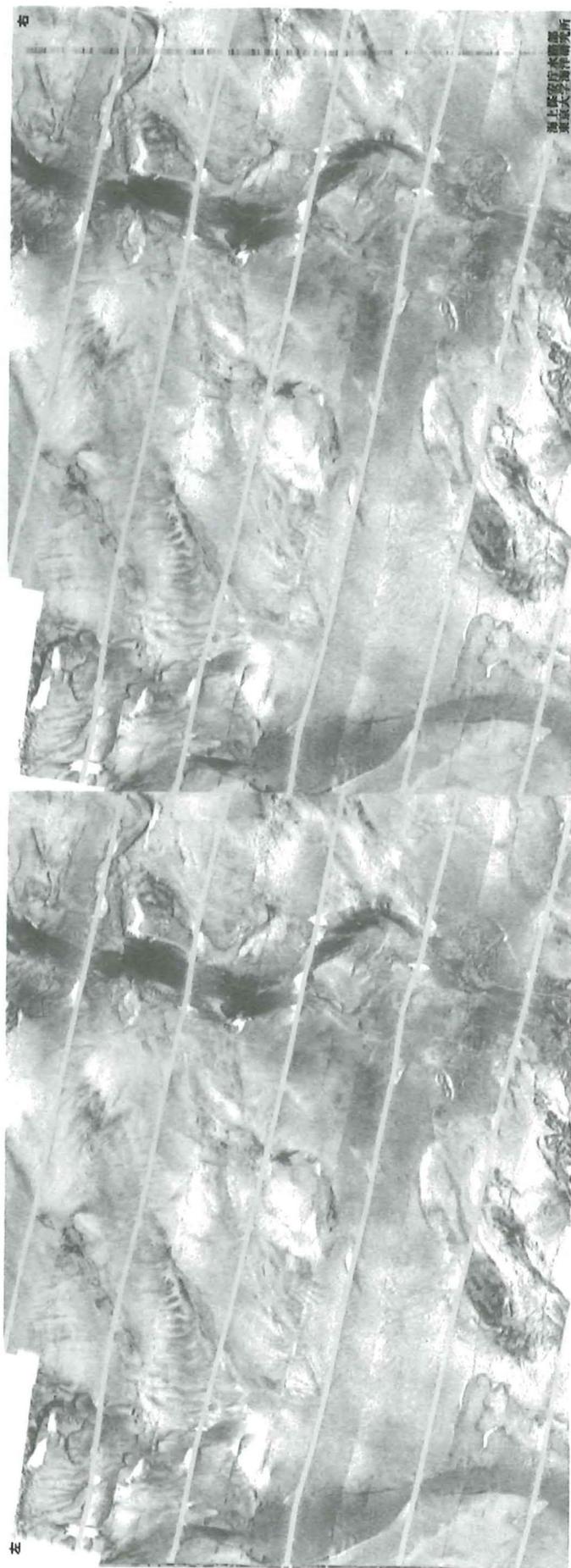


Fig. 7 Seafloor stereograph of the Area 1.

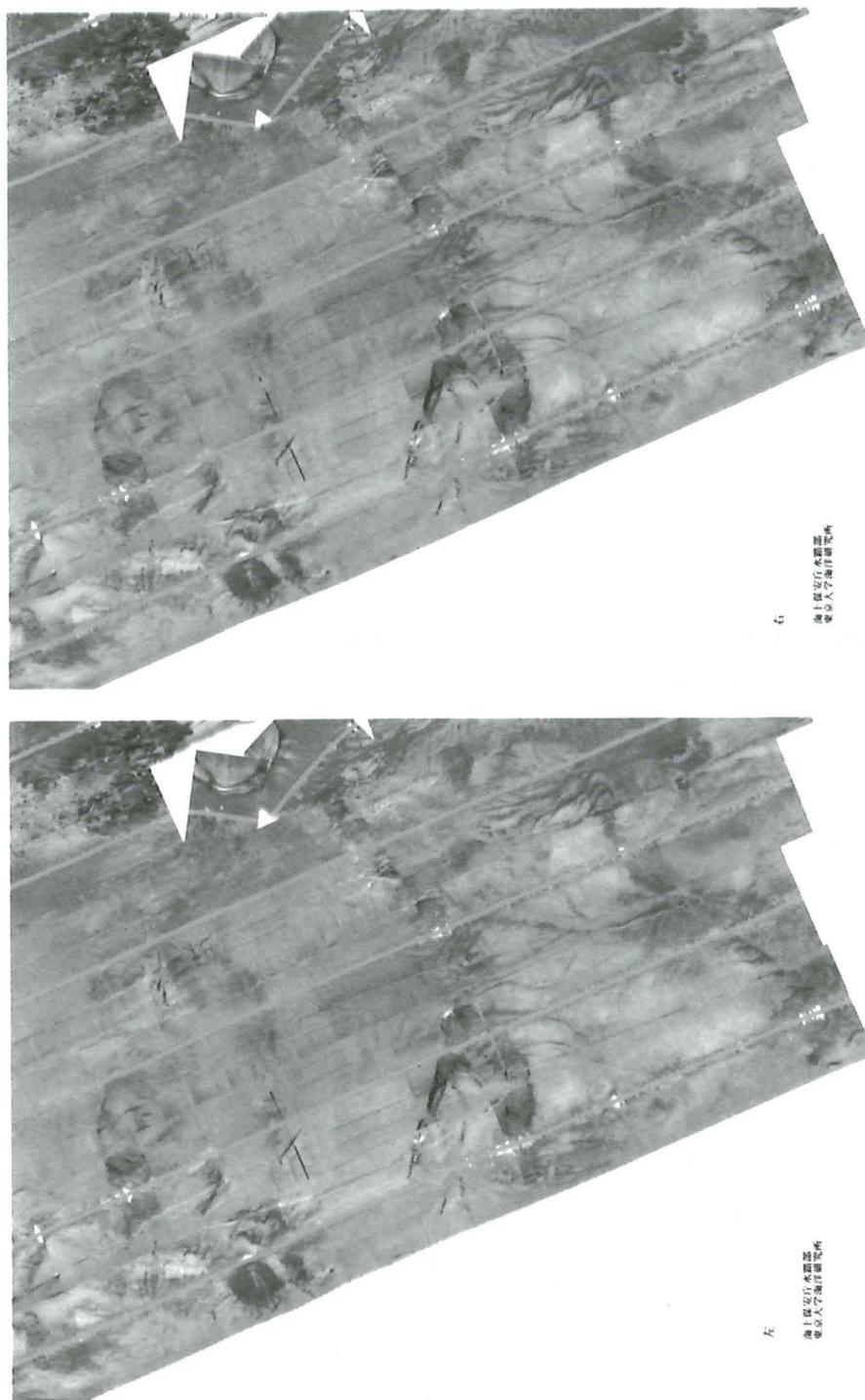


Fig. 8 Seafloor stereograph of the Area 2.

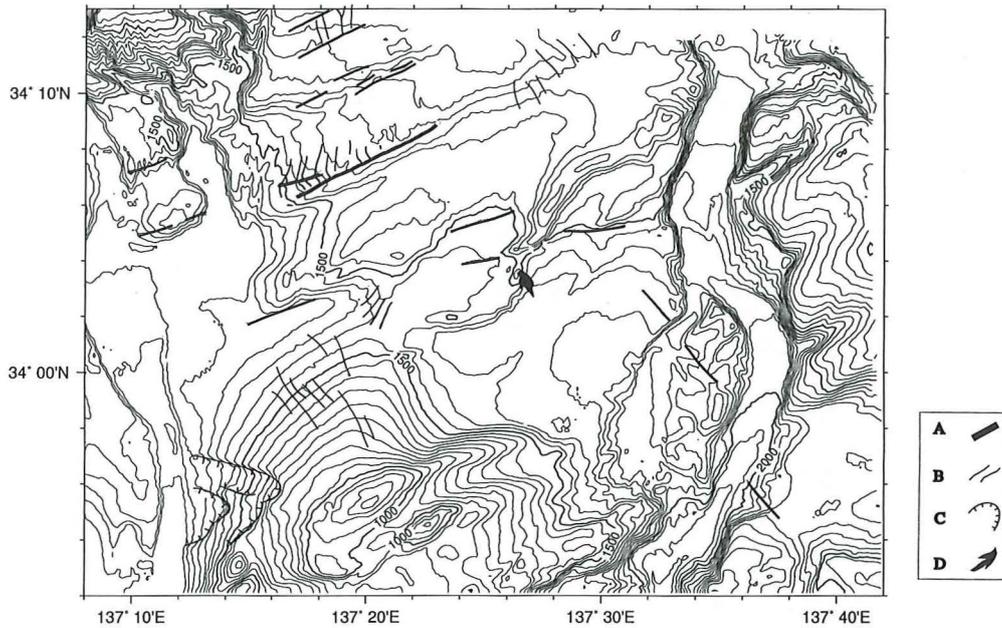


Fig. 9 Geological interpretation obtained by using the stereograph. A : lineament, B : submarine channel, C : escarpment, D : mud flow.

地形図においても南西部は溝地形として認識できる、しかし中央部から北東側では、明確な溝地形とはなっていないために、認識することが難しい。一方立体視画像ではリニアメント北東部についても、海底谷の末端の連続した線として表現されている。このリニアメント北方のテラス上には、ほぼ平行なりニアメントが分布する。テラス上の海底谷は、このリニアメントで、南南西方向から南東方向に向きを変える。この場所のテラスは、南西方向に傾斜しており、現在の地形では、海底谷の流路を説明できない。このことは、リニアメントが、海底谷の流路を変化させた、横ずれ成分を伴った断層であることを示している。断層の変動時期は分からないものの、海底表面に刻まれた海底谷が変形していることから、比較的最近の現象と考えられる。

第2渥美海丘の北側斜面には、南北方向の褶曲軸を有する波長の大きい褶曲が存在する。北側斜面の末端に接続する地形的な高まりから流下する数本の海底谷は、北東から南西に順傾斜で東北東—西南西方向の溝状地形に流下してのではなく、海底谷の末端は、逆に第2渥美海丘の斜面を上っている。これは通常海底谷形成では説明す

ることが出来ない。この海底谷を説明するためには、海底谷形成後の地殻変動(活褶曲)によって、海底谷の末端が持ち上がったと考えるのが妥当である。以上のように、立体視画像から判読された変動地形から推測されるこの海域の地殻変動は、海底地形図に表れる中規模変動地形から読みとった地殻変動の様式と調和的であり、中規模地形を形成した地殻変動がごく新しい時期まで連続することを示している。

次に、Fig. 8に示される松前海台海域は、北海道西方の日本海東縁部と呼ばれる奥尻海嶺から渡島大島を通り日本海盆西方に張り出す松前海台を含んでいる。また、海域の東部には渡島大島、西部には無名の海底火山が分布する。

この海域には、海底地形図で判読可能な、北東—南西方向とそれにほぼ直交する西北西—東南東方向の崖地形が顕著に認められる。立体視画像ではこれらの地形にそって顕著なりニアメントは認められず、ごくわずかに西北西—東南東方向の海嶺の基部に反射強度の強いリニアメントが認められるが、これは、極めて急傾斜の斜面基部に限られており、平坦面には連続していないことから、露岩をみていると考えられる。したがってこれら

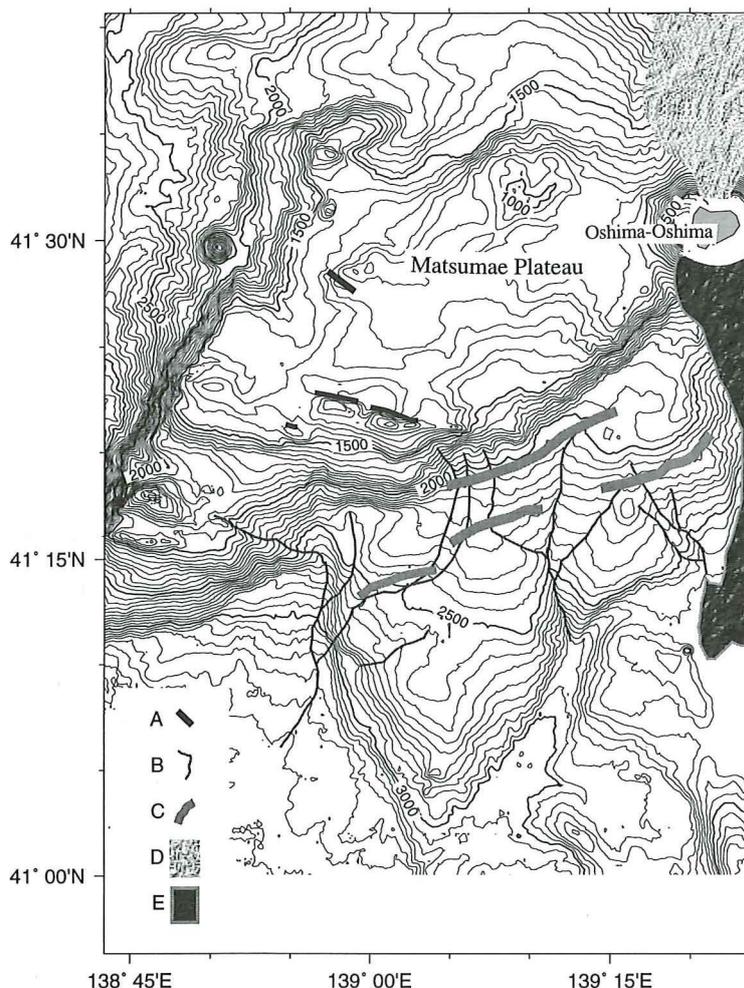


Fig.10 Geological interpretation obtained by using the stereograph. A : outcrop, B : submarine channel, C : lineament, D : sector collapse, E : submarine fan.

の構造は、過去の地殻変動を反映して形成された地形であり、現在は活動していないと考えられる。一方松前海台南部の水深2000mより深い緩斜面は、一様な傾斜の斜面ではなく、途中で数箇所の地形変換点が存在し、小規模なテラスが形成されている。また、この斜面上には、北東から南西方向に流下する海底谷が分布する。これらの海底谷は緩斜面の地形傾斜面変換点で流路が変わったり、また傾斜変換点にそってほぼ斜面に平行に流れ下っている。以上のことからこの緩斜面には、立体視図に明確にリニアメントとして表現される断層崖等は存在しないものの、北東-南西方向の断層が存在し、斜面を変形させ、海底谷の流路を支配していると考えられる (Fig.10)。

この海域は、変動地形の他に、渡島大島起源の山体崩壊堆積物や、海底扇状地が認められる。

(3) 議論

私たちが従来地形の判読に主として使用してきたのは、Fig. 3, 5のような等深線図であった。これらは、実際の地形を3次元的に把握することが難しいだけでなく、含まれる情報も限られる。そこで考えられるのは、Fig. 4のような地形の3次元表示である。3次元表示の利点は、まず第一に、空間的な認識が直感的に正しく得られ、等深線図のような情報の欠落がないことである。第二に、このような表示を可能にさせる計算機環境では、3次元の地形を視点を変えてさまざま方向から見ることができ、さらに光源を変えて陰影を付けられることから、特定方向のリニアメントの強調ができることである。一方、3次元にしたためにリニアメントの角度や長さなどを計測することが難しく、紙上に出力した場合には当然ながら死

角ができるという欠点がある。この欠点を補うものとして使われている手法が、陰影図 (shaded relief) と呼ばれる表示法で、光源を設定して地形の傾斜方向により陰影をつけ、擬似的に真上から地形の浮き彫りをみているようにした図である (Fig. 6)。この場合、光源の調整によりリニアメントの強調も可能であるし、地形要素の計測も可能である。直感的な空間把握も容易である。陰影図は2種類のデータを重ね表示する場合にも使われる。例えば地磁気異常のデータを各ピクセルの色相とし、地形データを用いてある光源によって作られる陰影を各ピクセルの明度として扱うことにより、あたかも地形の凹凸の上にカラーで地磁気異常が投影されたような図を作成することができ、解析にもきわめて役に立つ。しかしながら、今回の解析例のように、地形と合わせて解析するデータが音響画像である場合、元のデータは海底面の反射強度で明度の変化であるグレースケールでの表示が普通である。もちろん、強度に応じて色相をあてはめることは不可能ではないが、解析者にとって反射強度はグレースケールで認識する方が自然である。従って、前述の地磁気の場合のように色相と明度で2種のデータを1つのピクセルに入れることができない。言い換えれば、地形による陰影と、反射強度のデータが共に明度の変化であるため、区別できなくなってしまう。

それに対し、本稿で試みた立体視画像の場合は、そのような欠点はなく、立体的な地形の上に音響画像が貼り付けられ、地形と反射強度を同時に理解することができる。特に、前項で述べた遠州灘沖の逆傾斜の海底谷などは、この手法ならばこそ捉えることができた変動地形の例といえる。また、2枚の画像は視点により若干のゆがみが生じるものの、個々の画像は概ね平面図と考えてよいので、Fig. 9, 10のような分布図の作成や、地形要素の計測にも便利である。ただし、肉眼での立体視は誰にでもできるわけではなく、特に大きな立体視画像の場合は立体視鏡が必要となることがこの手法の欠点と言えよう。なお、解析には不向きであるが、2枚の画像をそれぞれRGB画像のRとGB

の層に読み込んで1枚の図に出力すると (アナグリフ方式)、簡易な赤青メガネで立体視ができ、デモンストレーション用に利用できる。

4. 海底“航空写真撮影”の試み

前節までは、地形と音響画像の2種のデータから立体視画像について述べてきた。ここでは、サイド・ルッキング・ソナーの探査幅を重複させて、航空写真測量に近い形で立体視画像を得る試みについて述べる。この場合、地形のデータは必要ないが、対象海域を100%以上のカバー率でデータを重複するように調査を行わねばならない。

(1) 立体視画像の取得方法

1997年7月、東京大学海洋研究所所有の淡青丸にIZANAGIを搭載し、サイド・ルッキング・ソナーを用いた海底地形の立体視手法の可能性について実験を行った。サイド・ルッキング・ソナーでは、同一海域の異なる2本以上の測線から得られた画像の重複部から、海底地形を立体的に把握することができる。サイド・ルッキング・ソナーの音響写真的立体画像を作成するための最も有効かつ、効率的なデータの取得方法 (曳航体の曳航方法) には、以下の二つの方法 (Fig.11) が考えられる。

(a) 異方向立体視

航空写真測量で用いられている方法である。サイド・ルッキング・ソナーでは、海底地形の起伏が大きい場合、その地形的変化を強調できる反面、音響的影が山体のそれぞれ反対の斜面にできるために、海底表面の特徴抽出を行うことが難しくなる。また、同じ対象物を左右のトランスデューサで捉えた画像は、左右のトランスデューサの感度特性の差による画像濃度の違いがあるために、後処理によって濃度補正を行う必要がある。

(b) 同方向立体視

陸上において作成される立体視は、太陽光線と同じ方向からあてて、人間の左右の目が異なる方向から捉えることによって、対象物を立体的に見る方法である。同方向立体視は、同様の考え方で、異なる2測線の方向を同じにして、海底の対象物

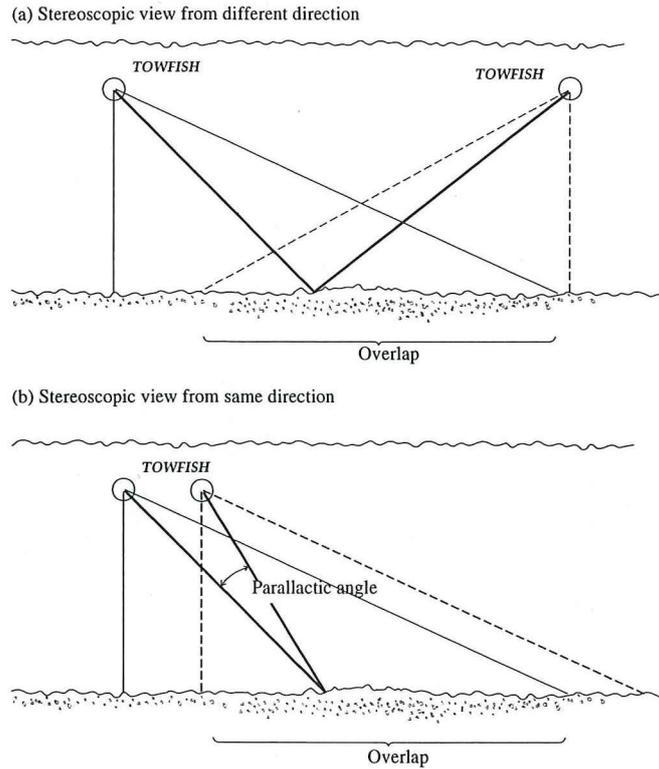


Fig.11 Schematic figure of two stereoscopic view. (a) Stereoscopic view from different direction. Two sonar images are obtained from different transducers. (b) Stereoscopic view from same direction. Images are obtained from same transducer.

を同じ方向から見るものである。海底対象物を同じトランスデューサで捉えるために、異方向立体視にみられるような視準方向の違いによる画像判読の難しさはなくなる。しかし、同方向立体視では、交会角が小さくなるために、地形の三次元計測の精度が低下するといった影響がある。また、この交会角を大きくする（測線間隔を広げる）と画像の重複部が小さくなることが問題になる。

サイド・ルッキング・ソナーの画像は、カメラによる光学画像と異なり、視準方向が異なると海底対象物からの応答が大きく異なるほか、音響的影のできる方向が異なることから、同一物体からの認識が著しく阻害されてしまう。したがって、今回の観測においては、同方向立体視によって、異なる2測線で得られたサイド・ルッキング・データから、海底地形の立体的画像作成を試みた。調査海域は房総半島東側海域 (Fig.12) である。それぞれの測線は、探査幅が10km、測線間隔は約1kmである。

(2) 立体視画像処理と結果

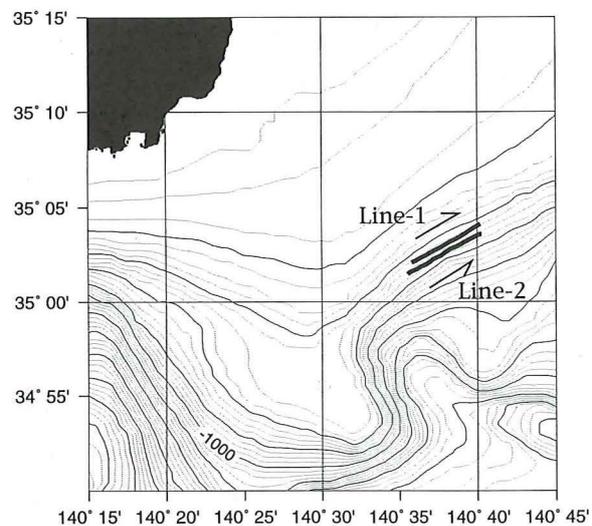


Fig.12 Survey lines in off Boso Peninsula. Arrows indicate the ship's heading direction. Bathymetric contour interval is 50m.

空中写真を撮影する場合のフィルムとフィルターの組み合わせは、写真像のコントラストや、色調にいろいろな変化を与える。サイド・ルッキング・ソナーにおいても、使用する周波数や画像処理における濃度変換は、出力画像に大きな変化

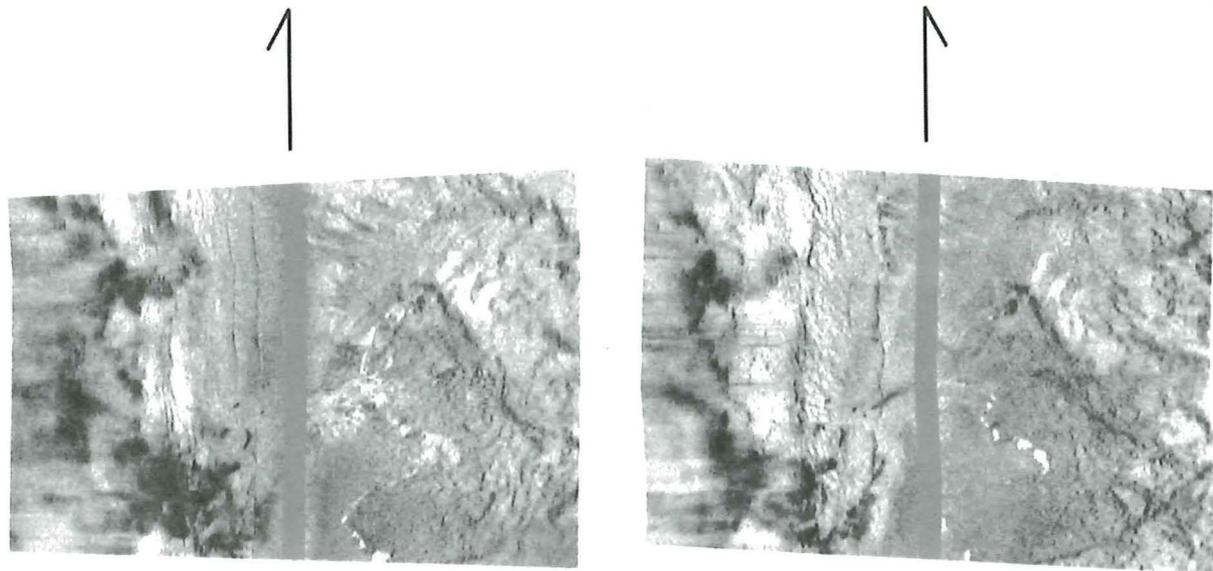


Fig.13 Stereograph pair based on two side-looking sonar datasets.

をもたらす。IZANAGIの周波数は、左舷11kHz、右舷12kHzで、その分解能は1波長(約12cm)となる。一方、3節2項で述べたとおり、IZANAGIの水平分解能は、探査幅を10kmに設定した場合、5mとなる。この分解能を活かして、海底微細地形、底質の変化を抽出するために、ピクセル幅を8.5m(縮尺1:100,000, 300dpiで出力した場合に1 dot=1 pixel)とし、画像画質の最適な補正方法を施した。同方向立体視においても、若干の撮影方向の違いや、撮影高度の違いによる両ステレオ画像間の音圧レベルの差によって、解像度の高い立体視画像を得ることは難しくなる。したがって、従来のサイド・ルッキング・ソナー画像処理と同様に、コンピュータを用いた放射量補正や航跡データ、曳航体のヘディングデータを用いた幾何学的位置精度の高い画像処理を施し、高解像度プリンターへ出力した。今回の実験から得られた海底“航空写真”をFig.13に示す。測線の北側では、水深が浅い上に、斜面地形であることから、音響的な影や強い反射波の影響によって、海底面の特徴抽出を行うことは難しい。しかしながら、測線の南側においては、斜面崩壊地形を立体的に捉えることができた。

(3) 議論

今回の実験によって、サイド・ルッキング・ソナーを用いて、海底“航空写真撮影”を行い、得

られた画像から海底地形を立体視できることが分かった。また、同方向立体視によって作成する立体視画像は、調査時間が倍かかるものの、水深データがない海域においては、有効な手段である。しかしながら、得られた画像は、曳航体から見た地形的变化によって、音響的な影を生じるため、立体視画像を作成するには、観測方法や処理において、次のような点で十分な配慮が必要となる。

- (a) 曳航体と海底対象物との空間的位置関係を正確に再現する必要がある。そのためには、画像中に含まれている各種の幾何学的歪や機械的ノイズを取り除いた上で、曳航体の視準中心位置、および三軸姿勢を明らかにする必要がある。
- (b) 二つの測線の航跡が平行でない(どちらかの測線が蛇行したとき)場合は、立体視が困難となる。
- (c) 左右の画像の濃淡が、大きく異なると立体視が困難となる。異方向立体視は、左右の画像の濃淡を合わせることは極めて難しいが、同方向立体視の場合では、視準方向が同じなので、比較的容易である。

サイド・ルッキング・ソナー画像を高い精度で立体視するには、マルチナロービーム測深機で得られた水深データと、一本の測線から得られた音響画像とを用いて、前節で述べたERMMapper等で、2枚の立体視画像を作成するほうが容易であ

る。しかしながら、このように立体視画像を合成した場合も、当節で述べた視準方向の問題は残ることに注意が必要である。すなわち、多くの調査の場合、海底面を面的に調査するために、私たちはコの字型に航跡をとる。そのため、海域によっては、曳航体からの距離や海底地形によって、視準方向の違いによる立体視の難しさを生じることがあろう。

5. まとめ

私たちは、海底の地形解析を効果的に行うために、マルチビーム測深による海底地形とサイド・ルッキング・ソナーによる音響画像（反射強度）をあわせて立体視する手法を確立した。これは、計算機上で、3次元の海底地形の上に音響画像を貼り付けたものを真上から眺め、視点を水平にわずかにずらせて2枚の画像を作成し、陸上の航空写真測量と同様の効果を得ようとするものである。解析例として、遠州灘沖の南海トラフと日本海東縁のふたつの海域について立体視画像を作成し、地形の判読を行った。その結果、従来利用してきた地形の等深線図と音響画像図との比較からは得ることのできない、詳細な地形を判読することが可能になり、海底の地殻変動について新しい知見を得ることができた。また、海底立体視画像は強く直感に訴える表示方法であるので、解析に要する時間も短縮された。従って、この海底地形

と音響画像を用いた海底立体視という新しい手法は、海底の地形解析に際して強力なツールとなることが確かめられた。今後、これまで蓄積されたデータや今後の調査データをこの手法を用いて解析し、海底の地殻変動について研究を進めていく予定である。

謝 辞

観測に携わったすべての船の乗組員の方々に深く感謝いたします。IZANAGIの調査およびデータ解析にあたっては、平朝彦教授、徳山英一博士をはじめとする東京大学海洋研究所の皆様に、地形調査とそのデータ処理にあたっては水路部海洋調査課および海洋研究室の皆様に大変お世話になり、たくさんの有用なご助言をいただきました。海洋先端技術研究所の植木俊明氏にはデータ処理を助けていただきました。ここにお礼申し上げます。Fig. 3～6の作成にあたっては、GMTver3.0を利用しました（Wessel & Smith, 1995）。

参 考 文 献

- 活断層研究会編：[新編]日本の活断層—分布図と資料，(1991)
- Wessel, P., Smith, W. H. F. : New version of the Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. Amer. Geophys. U.*, 76, 329, (1995).