

## 2.4 プレート境界およびその周辺域の地殻構造調査

### 2.4.1 宮城県沖における地殻構造探査

#### (1) 研究調査の内容

##### (a) 課題 宮城県沖における地殻構造探査

##### (b) 担当者

所 属	役 職	氏 名
東京大学地震研究所	教授	笠原 順三
	教授	金沢 敏彦
	助教授	篠原 雅尚
	助手	望月 公廣
東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター	助教授	日野 亮太
	助手	西野 実
九州大学大学院理学研究院 地震・火山観測研究センター	助手	植平 賢司
	助教授	佐藤 利典

##### (c) 調査観測の目的

宮城県沖地震のアスペリティの分布およびアスペリティを特徴づける構造の理解に資するため、人工地震探査の手法を用いて、1) 海陸プレート境界の形状、2) プレート境界からの地震波反射強度の空間変化、3) 海陸プレート内での地震波速度不均質構造を高精度で解明することを目的とする。

#### (2) 平成15年度の成果

##### (a) 調査観測の要約

想定される宮城県沖地震の震源域における海陸プレート境界とその周囲の地震学的な構造を解明することを目的として、東京大学地震研究所の特定共同利用研究(用船航海)により、平成14年度10月に1978年宮城県沖地震の震源域の東側においてエアガン-海底地震計(OBS)を用いた人工地震探査を行った(図2.4.1-1)。今年度はそのデータ解析を進め、プレート境界からの反射波の強度が相対的に強い領域において定常的な地震活動度が低調である傾向を認めることができた。一方、探査測線が1981年宮城県沖地震M7.0の震源域を横切る場所では、反射強度が弱い傾向にあることも示された。

## (b) エアガン - 海底地震計を用いた人工地震探査

### 1) 調査観測の概要

今年度は4本の探査測線すべてについて、各OBSの記録で捉えられている初動および明瞭な後続波の到達時刻を読みとり、これらを用いて2次元走時インヴァージョン解析を行い、各測線に沿った2次元P波速度構造モデルを求めた。さらに、OBSで得られた波形記録に対してnormal-moveout処理とstacking処理を施すことによって、海陸プレート境界の反射イメージを求めた。normal-moveout処理を行う際には、走時インヴァージョンの結果得られた2次元不均質構造を用いることにより、測線方向で地震波速度構造が変化することによる影響を取り除いた。また、各OBS観測点の観測点ごとの振幅増幅特性を補正するため、エアガンショットによる振動のコーダ部分の振幅が一致するようなscaling factorを各観測点ごとに求めて、それを用いた振幅補正をstacking処理する前の記録に対して施している。

### 2) 調査観測の成果

走時インヴァージョン解析によって得られた2次元P波速度構造モデル(図2.4.1-2)をみると、海底直下の厚さ3km程度の堆積層(モデルでは2層からなる)を除いては、顕著な横方向不均質構造がみられないことがわかる。また、広角反射波の走時から推定される海陸プレート境界の形状には、僅かな凹凸はみられるものの概ね水平であり、今回の測線の方向と沈み込む海洋性プレートの走向方向がほぼ一致していることがわかる。Miura et al. (2001) は本調査研究で人工地震探査を実施したのと同じ海域において、海溝軸あるいは本調査観測の探査測線と直交するほぼ東西方向の測線で行った、エアガン-OBS海底地震探査を行っている。その結果と、上記の結果を比較すると、プレート境界面までの深さおよびプレート境界より上盤側の地殻の地震波速度はほぼ一致しており、このことから上盤内での地震波速度構造の不均質性は大きくないといえる。

図2.4.1-3は、測線3のデータを用いて得た海陸プレート境界の地震波反射断面である。測線の北側領域で強い振幅の反射波が捉えられているが、南側では余り明瞭でない。北側の強い反射波が得られている部分は、定常的に地震活動が低調な領域に対応し、地震活動度の増加とともに反射波の明瞭度が低下するように見える。こうした強い反射波と低調な地震活動という対応関係は、Fujie et al. (2002)やNakamura et al. (2002)により指摘されている。本調査観測の観測域は、彼らの観測海域とややオーバーラップしながら南側に隣接しており、今回の結果は、高反射強度の領域の南限が低地震活動度領域の南限と一致していることを示すことによって、彼らの主張を強く支持するものである。

その一方、測線南側領域では、プレート境界からの反射波が明瞭ではないにもかかわらず、地震活動が低い部分があって、低地震活動度の領域が必ずしも高反射強度を示すわけではないことを意味する。この測線南側部分は、山中・菊池(2002)によると1981年宮城沖地震(M7.0)の震源域に含まれており、定常的には地震活動度が低くても、大地震の破壊

域となりうる部分では、高反射強度 - 低地震活動の関係が崩れるのかもしれない。

### 3) 結論ならびに今後の課題

1978年宮城沖地震の震源域の東側においてエアガン - OBS を用いた海底人工地震探査を行い、海陸プレート境界からの反射波を捉え、またその反射分布には顕著な空間的变化があることがわかった。従来の研究によって、今回の探査海域の北側に、地震波反射強度が強く定常的な地震活動が低調な領域が存在することが指摘されていたが、今回の探査結果によりそのことを確かめることができた。しかし、探査域南側では地震活動が低いにもかかわらず反射波が明瞭でなく、上記のような対応関係が普遍的にはなりたないかもしれない。この低地震活動度かつ低反射強度の領域は、1981年の地震の震源域と対応する可能性があって、対応関係が崩れる領域がアスペリティに対応する可能性も否定できない。今回の探査データの解析はまだ preliminary なものであり、詳細な検討を加えながら、反射強度の面的な分布を求めた上で、こうした対応関係についての吟味を進めていく必要がある。

### (c) 引用文献

Fujie, G., J. Kasahara, R. Hino, T. Sato, M. Shinohara and K. Suyehiro, A significant relation between seismic activities and reflection intensities in the Japan Trench region, *Geophys. Res. Lett.*, 29, 7, 10.1029/2001GL013764, 4-1 - 4-4, 2002.

Miura, S., A. Nakanishi, N. Takahashi, S. Kodaira, T. Tsuru, A. Ito, R. Hino and Y. Kaneda, Seismic velocity structure of Japan Trench off Miyagi fore arc region, Northeastern Japan using airgun-OBS data, *Eos Trans. AGU*, 82(47), Fall Meet. Suppl., Abstract T22C-0937, 2001.

Nakamura, M, J. Kasahara, K. Mochizuki, R. Hino, M. Nishino, T. Yamada, A. Kuwano, T. Kuno, T. Sato, Y. Nakamura and T. Kanazawa, Characteristics of plate boundary reflected phases at the Japan Trench obtained by OBS-airgun study in 2001, - Preliminary results -, *EOS Trans. AGU*, 83(47), Fall Meet. Suppl., Abstract T52B-1193, 2002.

山中佳子・菊池正幸, 見えてきたアスペリティの特徴, 地球惑星科学関連学会 2002 年合同大会予稿集, J076-002, 2002.

### (d) 成果の論文発表・口頭発表等

#### 1) 論文発表

著者	題名	発表先	発表年月日
なし			

2) 口頭発表、その他

発表者	題名	発表先、主催、発表場所	発表年月日
Hino, R., M.Nishino, K.Mochizuki, K.Uehira, T. Sato,M. Nakamura, S. Nakata, A. Sato, M. Shinohara, J. Kasahara	Seismic structure of the middle Japan trench subduction zone by airgun-OBS experiment, <i>Eos Trans. AGU</i> , 84(46), Fall Meet. Suppl., Abstract T52B-0252, 2003.		
日野亮太・西野実・望月公廣・篠原雅尚・笠原順三・植平賢司・佐藤利典	1981年宮城県沖地震(M7.0)震源域周辺における海陸プレート境界の地震波反射イメージ,	地球惑星科学関連学会2004年合同大会予稿集, S053-P015, 2004	

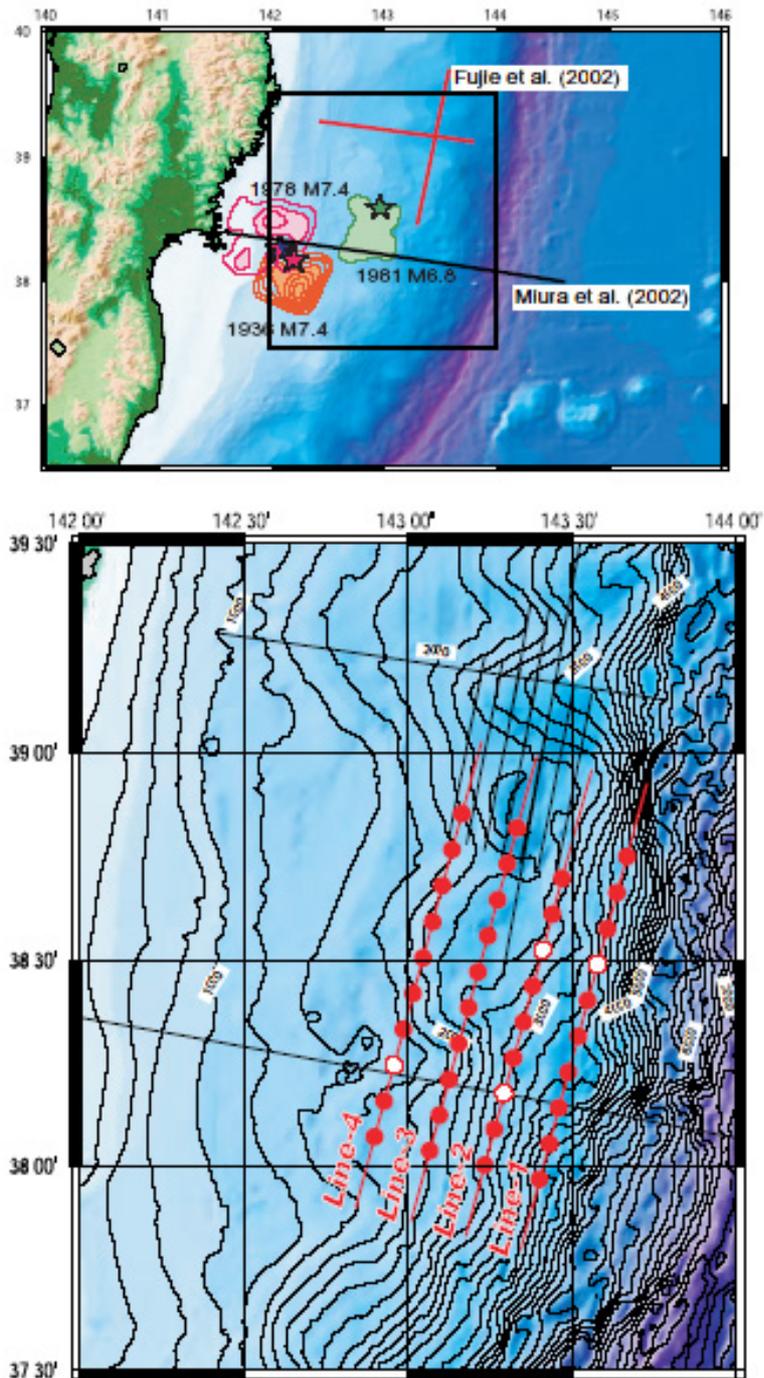


図 2.4.1-1 平成 14 年度に実施したエアガン - 海底地震計を用いた地震探査の測線配置。上図：周辺海域図。太線四角の範囲を下図に拡大して示す。等値線は、1936 年、1978 年、1981 年に発生した宮城沖地震の破壊域（山中・菊池，2002）。赤実線および黒実線は、Fujie et al. (2002) および Miura et al. (2002) による海底人工地震探査の測線。下図：エアガン探査測線（赤実線）と探査に用いた OBS の設置位置（赤丸）。白抜きシンボルの OBS ではデータを得ることができなかった。黒実線は過去に周辺で行われた探査の測線（Fujie et al., 2002; Miura et al., 2002; Nakamura et al., 2003）

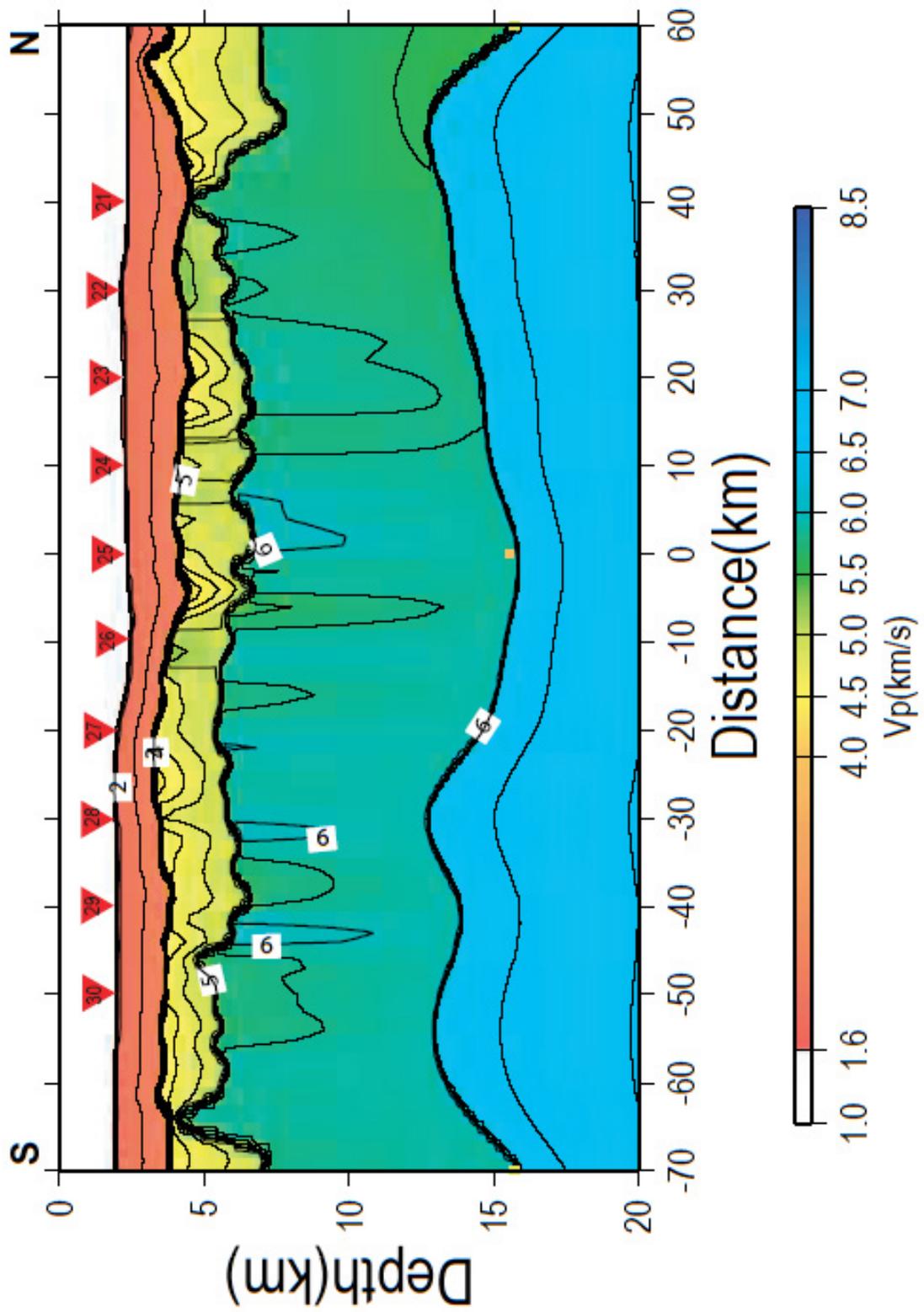


図 2.4.1-2 測線 3 の OBS の初動走時を用いた 2 次元 P 波速度構造インヴァージョンの結果

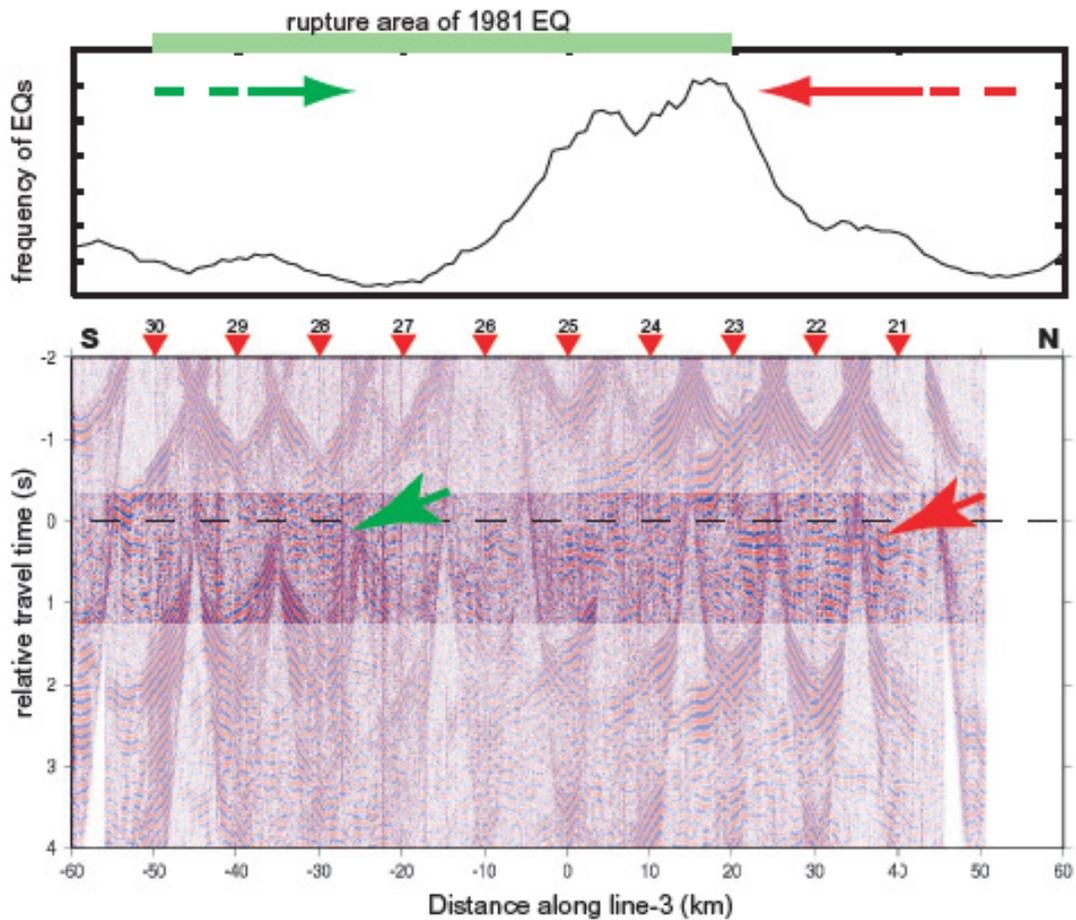


図 2.4.1-3 上図：測線 3 に沿った微小地震の相対個数の変化。震央データは東北大学による 1975～2002 年のものを用いた。淡緑の帯で山中・菊池（2002）による 1981 年宮城県沖地震の破壊域の広がりを示す。赤矢印・緑矢印の範囲では、微小地震の活動が低い。下図：測線 3 の OBS の記録を反射法地震探査の手法を用いて処理することによって得られた、海陸プレート境界の地震波反射イメージ。縦軸が 0 秒の部分にプレート境界からの反射波がそろうように並べてある。赤矢印の部分では明瞭な反射波を認めることができるが、緑矢印の部分では不明瞭である。

## 2.4.2 精密海底地形データを用いた海底構造の調査

### (1) 調査観測の内容

(a) 課題 精密海底地形データを用いた海底構造の調査

(b) 担当者

所 属	役 職	氏 名
海上保安庁海洋情報部	課長補佐	加藤 幸弘
	課長補佐	矢吹 哲一朗
	地震調査官	渡辺 一樹
	主任海洋調査官	林田 政和 登崎 隆志

(c) 調査観測の目的

想定される宮城県沖地震の震源域周辺において、詳細な海底地形図、海底音響画像を作製することによって、海底面の構造、断層の海底面における詳細な位置・形態、斜面変動の分布を明らかにする。これらの解析結果は、本海域に設置される予定の海底地殻変動観測基準局の適地選定時に検討資料として活用される。適地に設置された新たな海底地殻変動観測基準局において観測を行うことによって、海底の地殻活動の状況把握の高度化を図る。

### (2) 平成15年度の成果

(a) 調査観測の要約

宮城県沖地震の想定震源域の周辺海域においてマルチビーム音響測深機、深海用サイドスキャンソナーを用いて調査を実施し、得られた海底地形と海底音響画像を解析することによって、想定震源域周辺海域の断層分布等の海底面の状態を明らかにする。

測量船「昭洋」により得られた海底地形、海底音響画像に、シングルチャンネル反射法地震波探査記録、海上地磁気・重力観測の結果を加味して総合的に解析し、断層分布等の海底面の形態を判読した。

今回の調査解析の結果、調査区域の海底面には露岩域、海底谷、地すべり頭部の亀裂や断層の可能性のあるリニアメントが分布することが判明した。平成16年度に設置予定の海底地殻変動観測基準局は、判読した海底面の形態と宮城県沖地震の震源域の位置等を加味して検討する。

(b) 調査観測の実施方法

宮城県沖における測量船「昭洋」による調査は、平成14年、15年にそれぞれ1回実施された。調査範囲は北緯37度30分から38度45分まで、東経142度5分から144度30分までの海域(図2.4.2-1)であり、大陸斜面から日本海溝海側斜面を含んでいる。調査項目はマルチビーム音響測深機(Seabeam 2112)による海底地形調査、深海用サイドスキャンソナー(「アンコウ」:スワ幅10km, 8192ピクセル)による海底音響画像調査、3.5kHz表層探査とシングルチャンネル反射法地震波探査(エアガン:350in<sup>3</sup>)による海底表層部の地層調査、海上地磁気・重

力観測である。

得られたデータは、既存データと合わせ解析を行い、海底地形図、海底音響画像、地磁気異常図、重力異常図を作製した。海底地形データと海底音響画像データを結合させて、立体的な海底音響画像イメージを作製した。特に海底音響画像に現れる海底面の微細な起伏を解析し、リニアメント（線構造）海底谷、露岩域等の分布を確認し、これらの分布と海底地形・シングルチャンネル反射法地震波探査記録等を比較検討して、海底面に達する断層等の詳細な位置、形態を描画した。

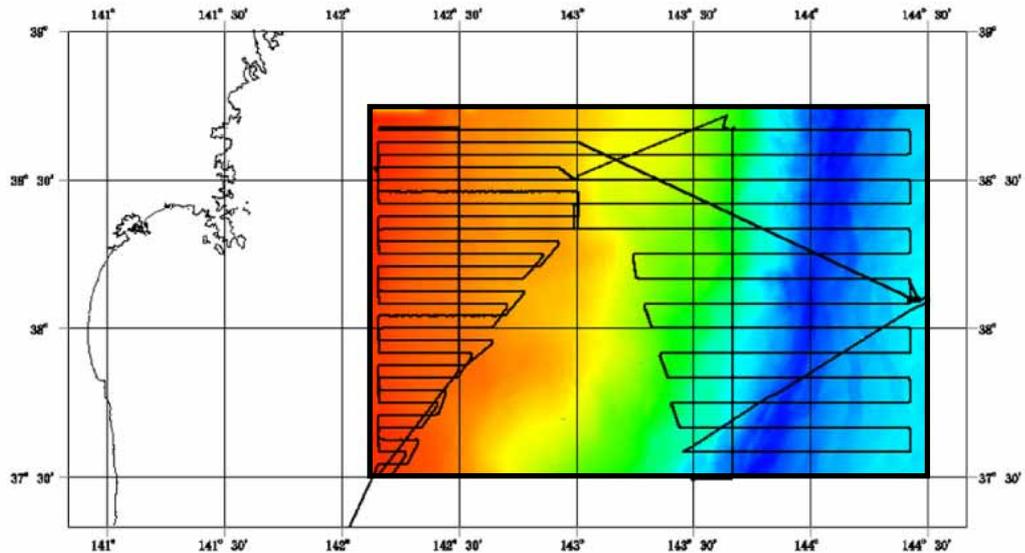


図 2.4.2-1 調査区域(北緯 37 度 30 分から 38 度 45 分、東経 142 度 5 分から 144 度 30 分)  
黒線が調査測線、測線の無い部分は既存データを使用した。

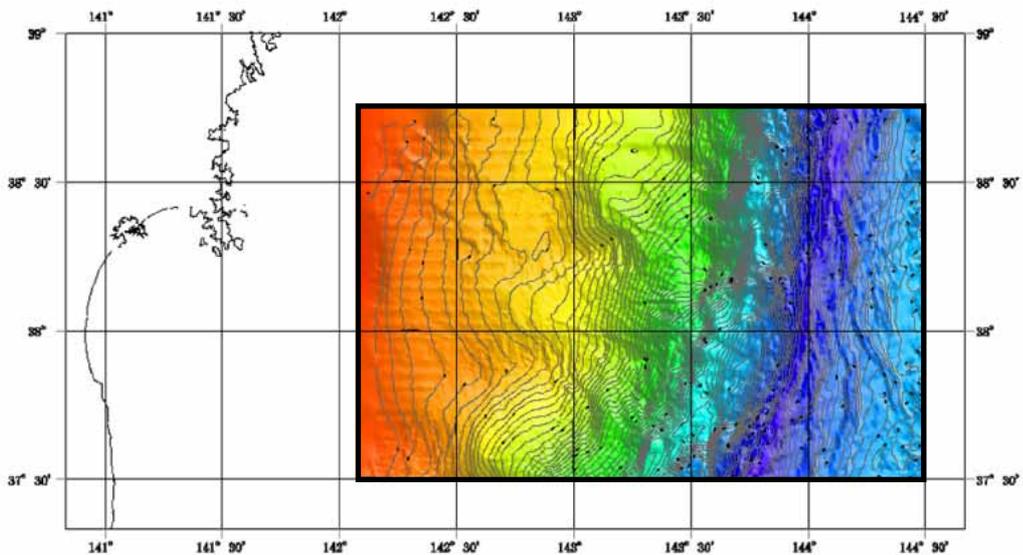


図 2.4.2-2 海底地形図(100m コンター)

水深が浅い所は起伏に乏しく、水深が深くなると起伏に富む地形面が認められる。  
日本海溝の海側斜面には地塁・地溝が明瞭に現れている。

## (c) 調査観測の成果

### 1) 海底地形

日本海溝の北部(三陸沖)では海溝陸側斜面から大陸斜面にかけては大陸斜面が全体として東に凸となっており、逆に南部では西に凹んだ地形を示している。調査区域である宮城県沖は、この北部と南部の地形の境界部のやや北側に位置し、大陸斜面が東に凸となっている。

調査区域は大陸斜面の水深 600m から、水深 7500m の日本海溝底までを含んでいる。全体的な傾向としては、水深が浅い所は起伏の乏しい緩傾斜の斜面を構成しており、水深が深くなるにつれて起伏に富む地形面が認められる。日本海溝の陸側斜面の基部(深海部)には付加プリズムの小刻みな起伏が、日本海溝の海側斜面にはプレートの沈み込みに伴って形成された地塁・地溝帯が存在する。

### 2) 海底音響画像

海底地形データと海底音響画像データを結合した 3次元イメージを図 2.4.2-3 に、海底音響画像の全体図を図 2.4.2-4 に示す。海底音響画像は反射強度の強い場所を黒く、弱い場所を白く描画した緻密なグレースケールの図面であり、全体図のままでは解析が困難なので、A～C 区の 3 区域を切り出して紹介する。

A 区(図 2.4.2-5)では地形の尾根部に反射強度の強い露岩域が、地形の谷部に海底谷の谷筋が現れている。区域東部のリニアメントは東側に連なる斜面の上端に位置するので、小規模な地すべり頭部の亀裂の可能性がある。B 区(図 2.4.2-6)では区域中央の地形の尾根部に露岩域が、区域南部と露岩域の東には海底谷の谷筋が現れている。区域東部と北東部のリニアメントはいずれも東側に連なる斜面の上端に位置するので、小規模な地すべり頭部の亀裂の可能性がある。C 区(図 2.4.2-7)では区域南西部に 4 筋のリニアメントが存在し、ケスタ状の露岩域か、または東側に連なる斜面の上端に現れた小規模な地すべり頭部の亀裂の可能性がある。区域北西には、海底面に現れた断層に相当すると考えられるリニアメントが存在する。

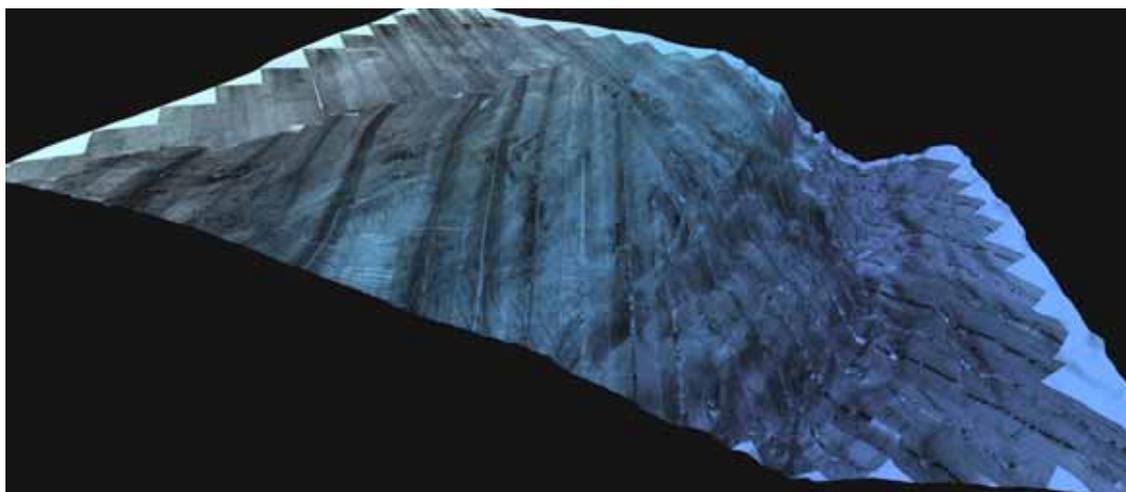


図 2.4.2-3 海底地形データと海底音響画像データを結合した 3次元イメージ

調査区域を南南東方向から鳥瞰。垂直方向を 10 倍に強調して表示。調査区域東部の海溝斜面には海底面の起伏に対応した濃淡が現れ、西部の大陸斜面は比較的平坦で音波の反射が弱いいため、淡い色彩となる。

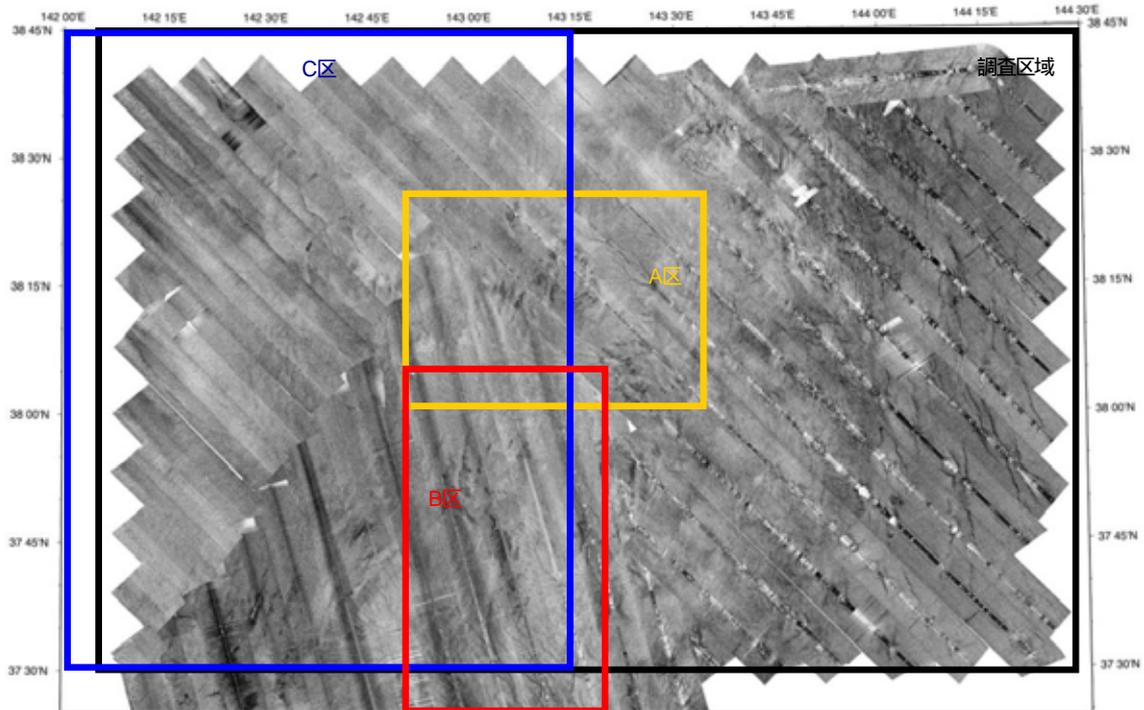


図 2.4.2-4 海底音響画像の全体図（平面図）

調査区域西部の大陸斜面上のA区(黄枠)を図2.4.2-5に、B区(赤枠)を図2.4.2-6に、C区(青枠)を図2.4.2-7に示す。

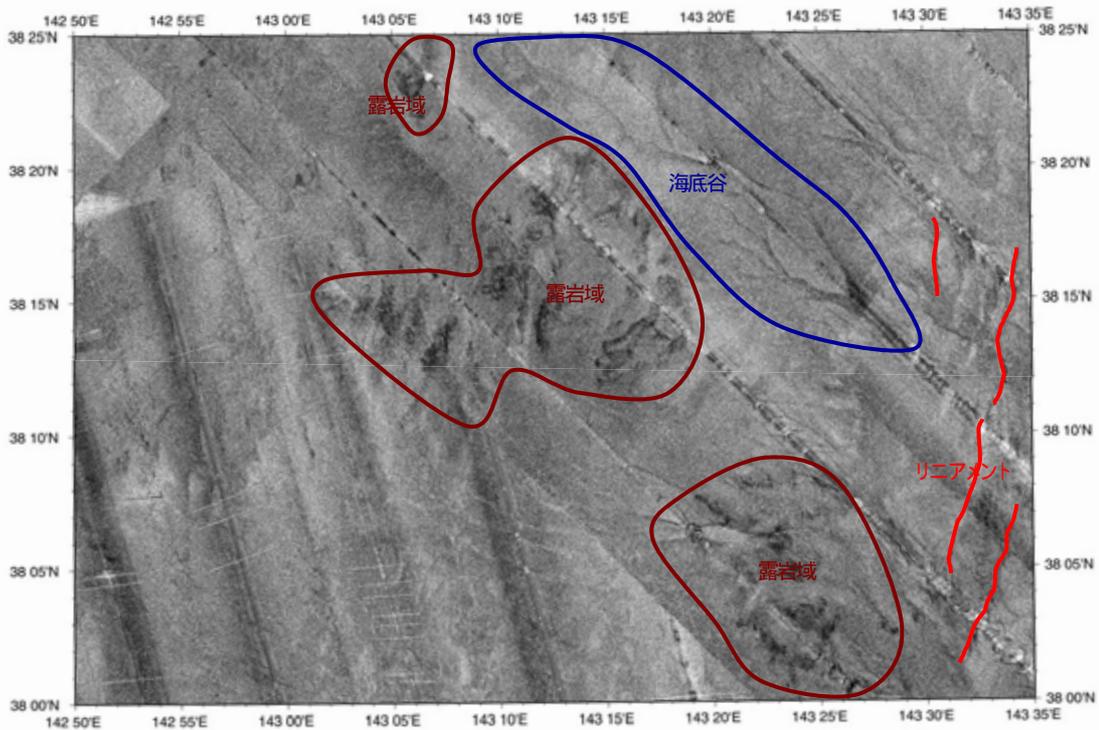


図 2.4.2-5 A区の海底音響画像

茶色枠のエリア：露岩域、青枠のエリア：海底谷

赤線：リニアメント（ここでは小規模な地すべり頭部の亀裂と判読。）

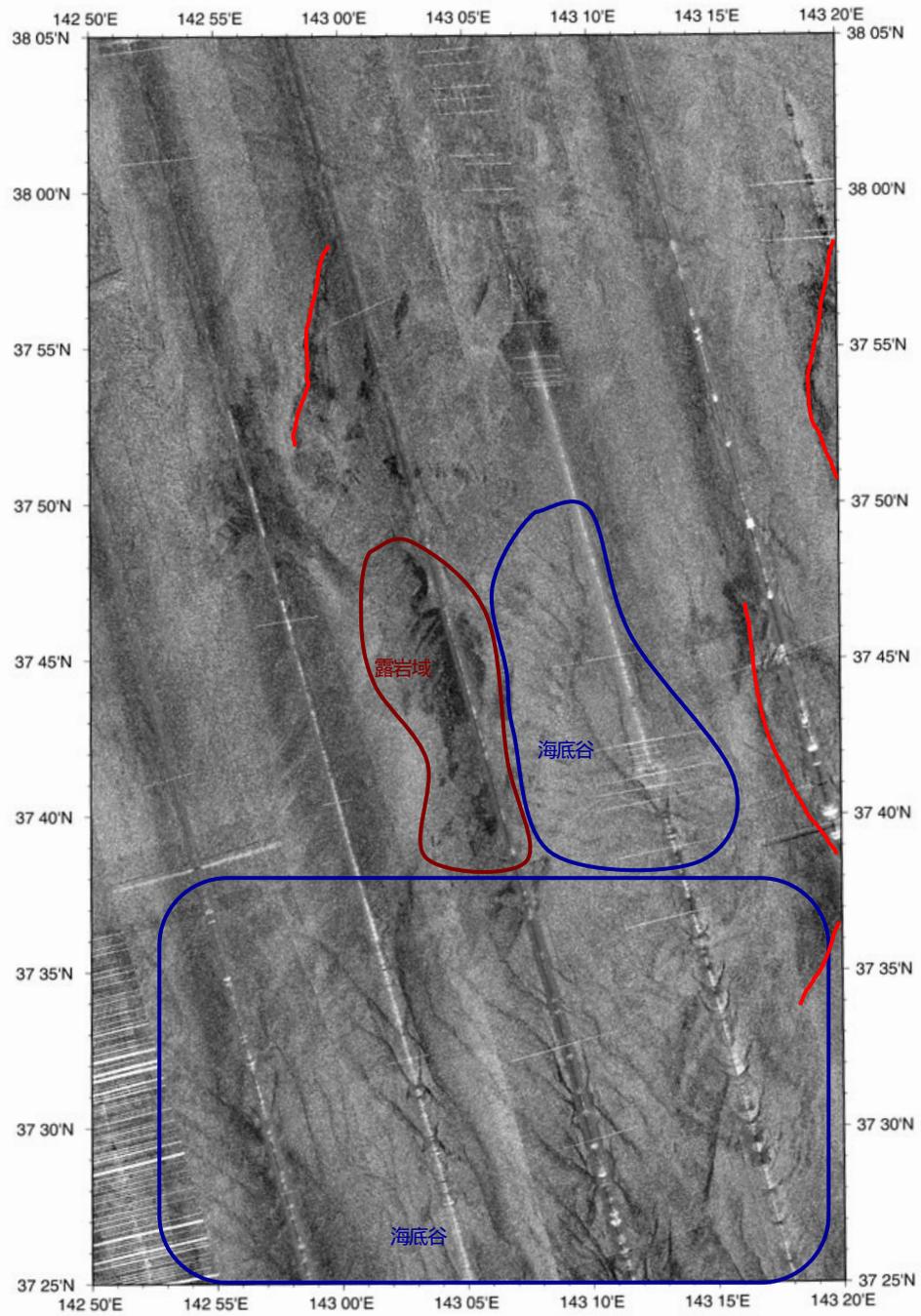


図2.4.2-6 B区の海底音響画像

茶色枠のエリア：露岩域、青枠のエリア：海底谷

赤線：リニアメント（ここでは小規模な地すべり頭部の亀裂と判読。）

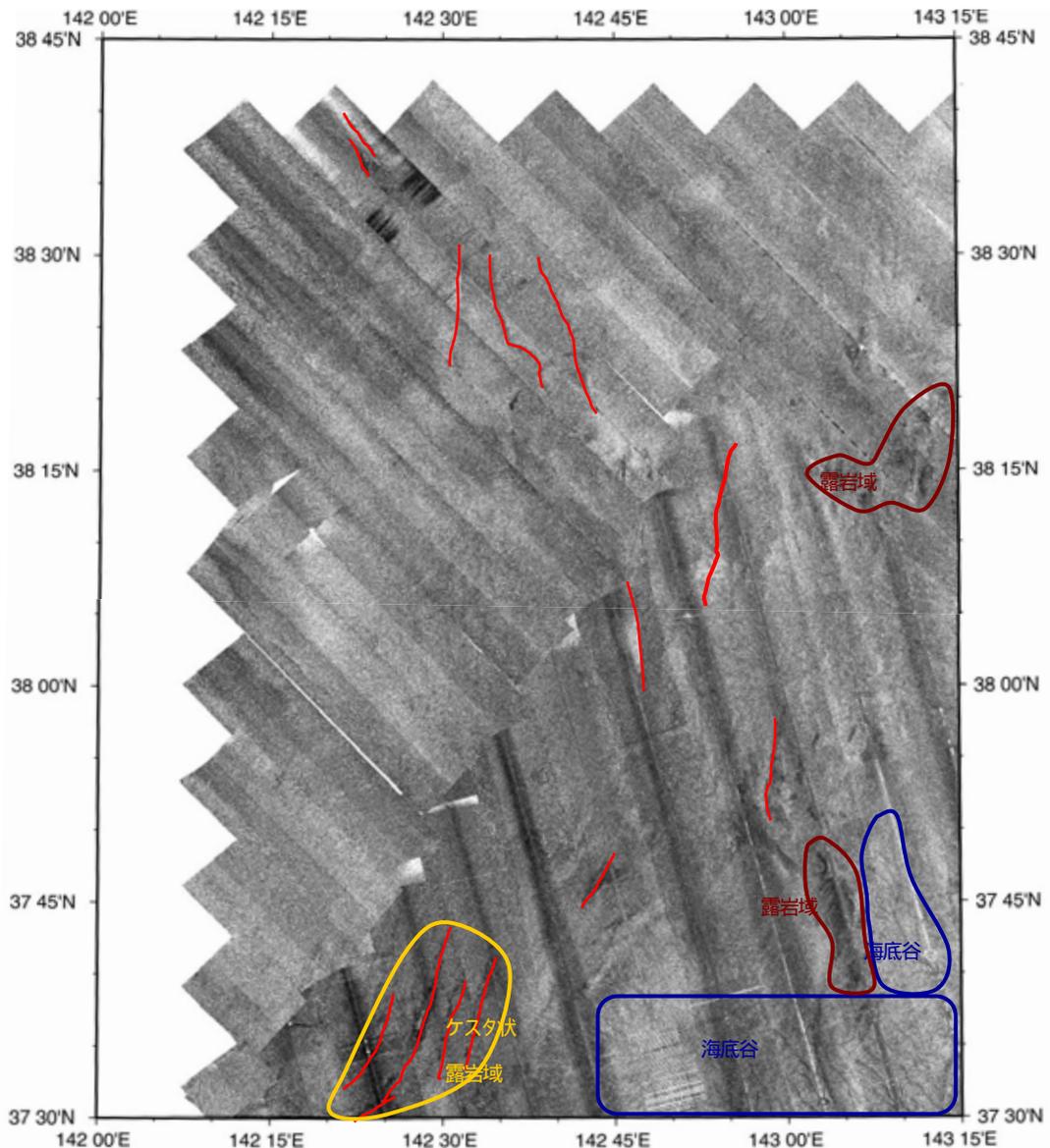


図2.4.2-7 C区の海底音響画像

茶色枠のエリア：露岩域、青枠のエリア：海底谷、赤線：リニアメント

区域南西部の4本のリニアメントはケスタ状の露岩域または小規模な地すべり頭部の亀裂判読。区域北西部のリニアメントは海底面に現れた断層と判読。

全調査区域におけるリニアメント、海底谷、露岩域の分布と海底地形から判読した海底の状態を図2.4.2-8に示す。図中のA B線、C D線のシングルチャンネル反射法地震波探査記録には海底面に変位を与えている断層が現れている。A B線の記録(図2.4.2-9)には海底面に変位を与えている断層が3本存在し、これらの断層に相当する場所の海底音響画像にも明瞭にリニアメントが現れている。A B線の北側に位置するC D線の記録(図2-4-2-10)には海底面に変位を与えている断層が何本が存在するが、相当する場所の海底音響画像にリニアメントは現れていない。これは海底面の変位量が深海用サイドスキャンソナー「アンコウ」の分解能以下である可能性、または海底面の変位が堆積物に覆われて平滑化されているため音響画像に現れていない可能性がある。C D線の記録では、測線の中ほどに後で記述する岩体が貫入しているような記録が得られている。

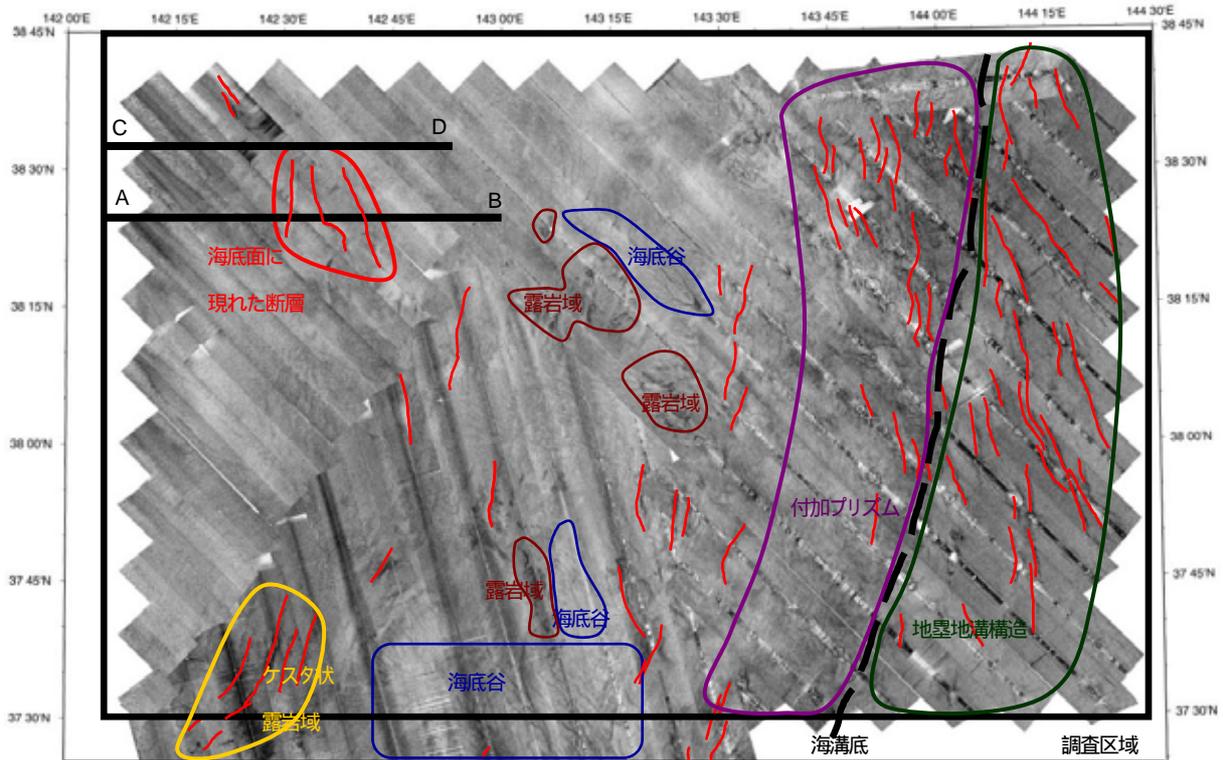


図 2.4.2-8 海底音響画像から判読した海底面の状態

区域北西部のA B線のシングルチャンネル反射法地震波探査記録を図 2.4.2-9 に、C D線の記録を図 2.4.2-10 に示す。

海溝海側斜面には地塁・地溝構造、陸側斜面基部には付加プリズムが現れている。

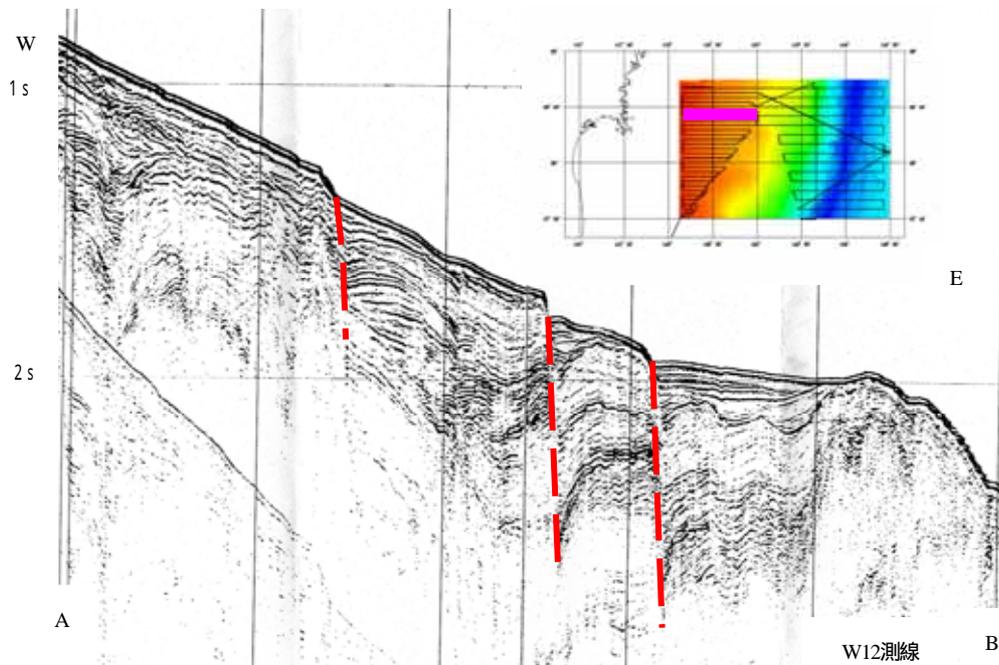


図 2.4.2-9 区域北西部のA B線のシングルチャンネル反射法地震波探査記録

海底面に変位を与えている断層が3本(赤破線)存在し、これらの断層は海底音響画像にもリニアメントとして現れている。

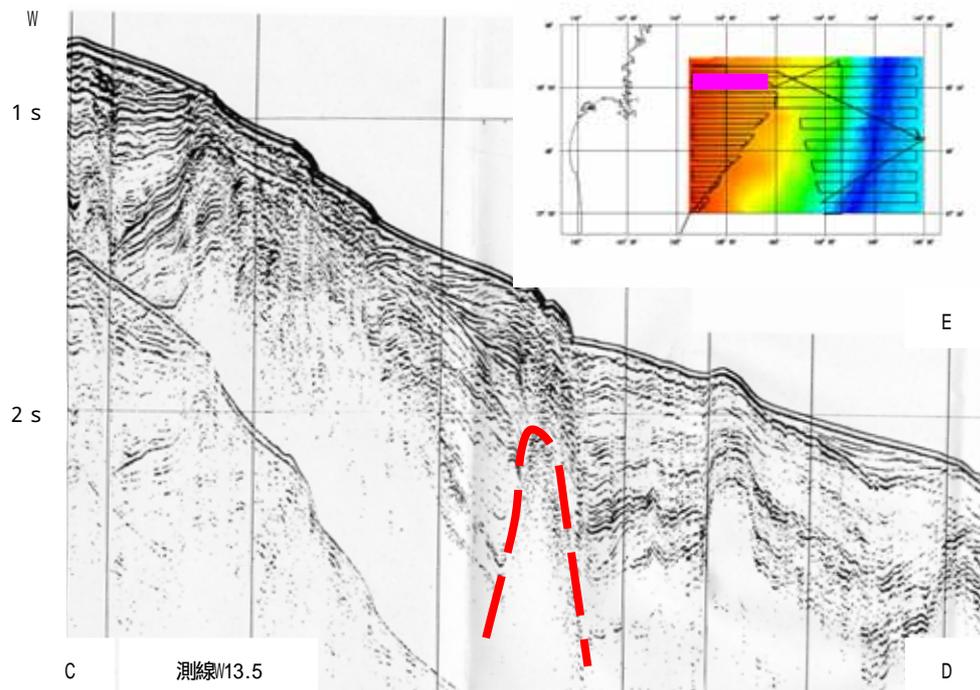


図2-4.2-10 区域北西部のCD線のシングルチャンネル反射法地震波探査記録  
 海底面に変位を与えている断層が何本が存在するが、相当する場所の海底音響画像にはリニアメントが現れていない。測線の中ほどに貫入岩体状の記録が見られる（赤破線）

### 3) 地磁気異常・重力異常

地磁気異常図を図2.4.2-11、ブーゲー重力異常図を図2.4.2-12、フリーエア重力異常図を図2.4.2-13に示す。

調査区域の東部では、東北東 - 西南西方向の縞状地磁気異常が存在し、海溝の海側斜面から海溝を越えて海溝の陸側斜面の下部まで分布している。この縞状地磁気異常は太平洋プレート誕生時に形成されたものであり、プレートが海溝で沈み込んでもお海溝の陸側斜面の下部までその縞状地磁気異常が現れているものである。前記のCD線の記録で岩体が貫入しているような記録が得られている場所には地磁気のダイポール異常が存在する。重力異常図の同じ場所にも正の異常が現れているので、密度の高い深成岩体が貫入している可能性があるが、岩体の性質や貫入の時期などは不明である。

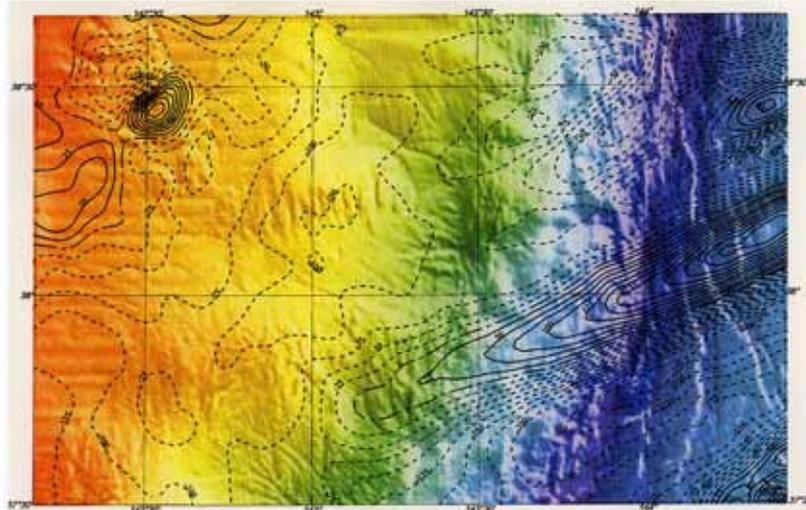


図 2.4.2-11 地磁気異常図 (25nT コントア)

調査区域北西部にダイポール異常、東部に正負の縞状異常が存在する。

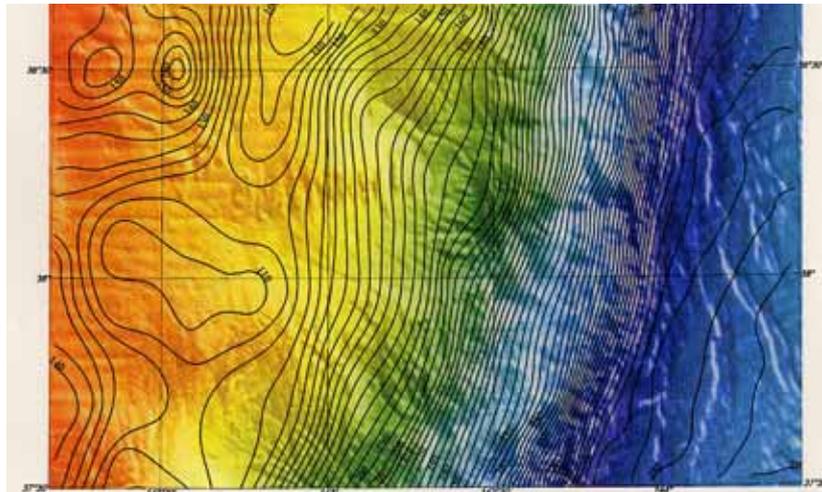


図 2.4.2-12 ブーゲー重力異常図 (5mgal コントア、ブーゲー密度 2.67g/cc)

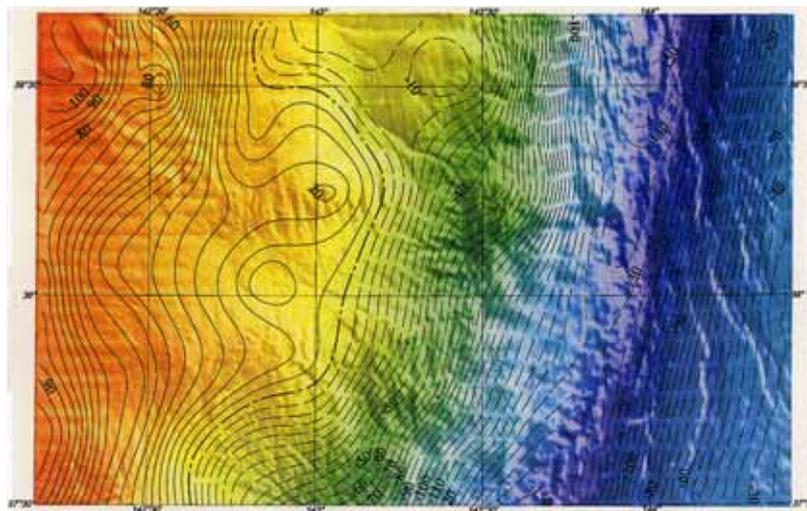


図 2.4.2-13 フリーエア重力異常図 (5mgal コントア)

(d) 結果ならびに今後の課題

今回の調査解析の結果と本海域の既設の地殻変動観測基準局の位置を図 2.4.2-14 に示す。既設の地殻変動観測基準局は、露岩域、地すべり頭部の亀裂の可能性があるリニアメントの無い比較的平坦な場所に設置されている。地震調査委員会の資料(図 2.4.2-15)によると、既設の地殻変動観測基準局は宮城県沖地震の震源域 B の南東部に位置し、震源域 A よりは東側に位置している。

平成 16 年度に本海域に設置予定の海底地殻変動観測基準局も同様に、露岩域、地すべり頭部の亀裂の可能性があるリニアメントの近傍、大陸斜面下部の傾斜が急で起伏に富んだ場所を避けて、比較的平坦な場所に設置することを検討している。さらに、宮城県沖地震の震源域 A 及び B との位置関係に加え、特定の断層に焦点をあてた観測を行う可能性も含めて海底基準局の設置場所を検討する予定であり、今回の調査結果をそのための基礎資料として活用する。

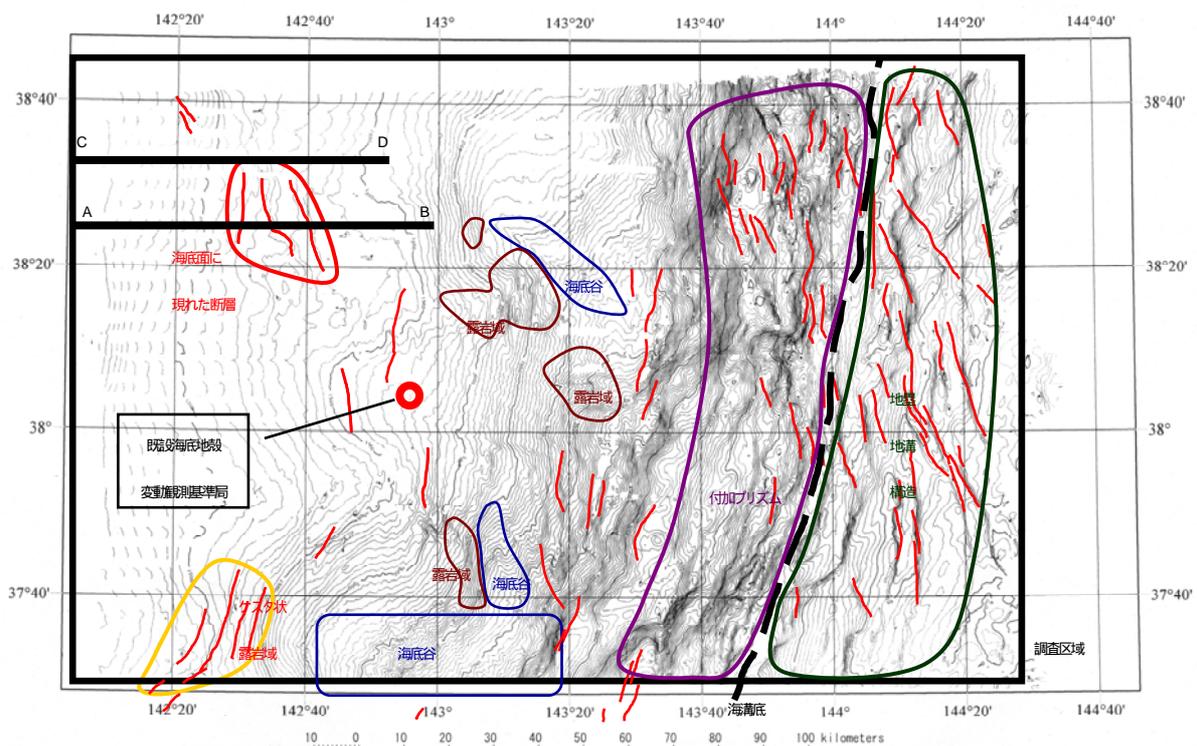
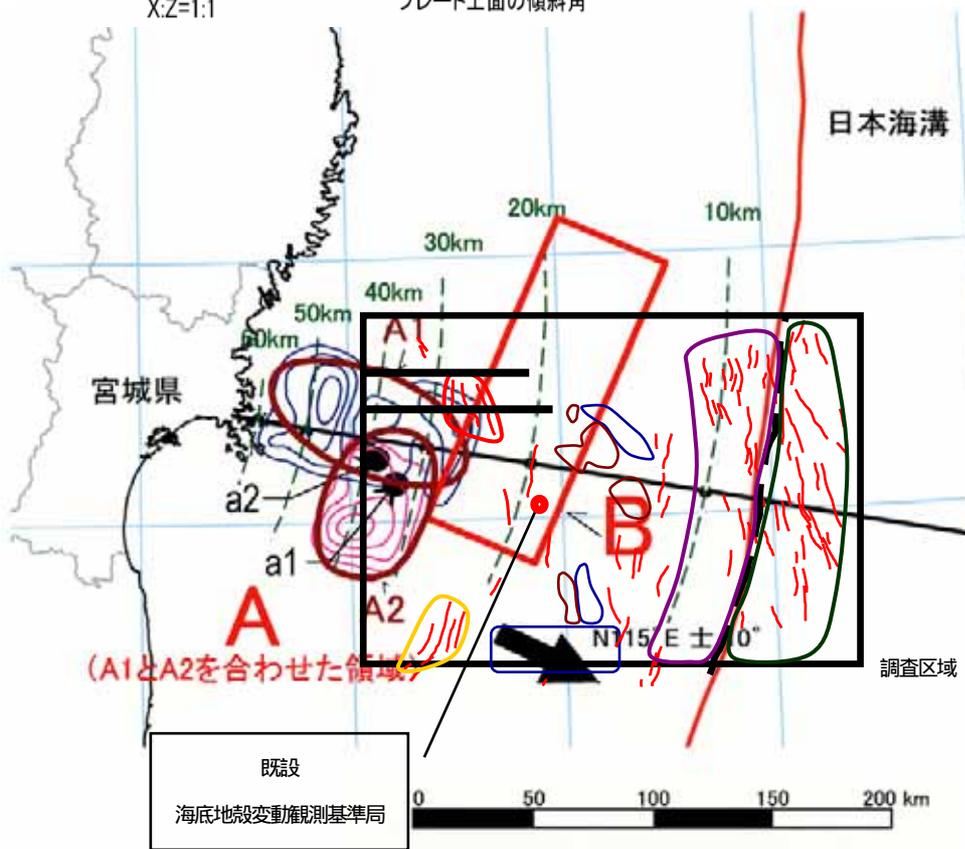
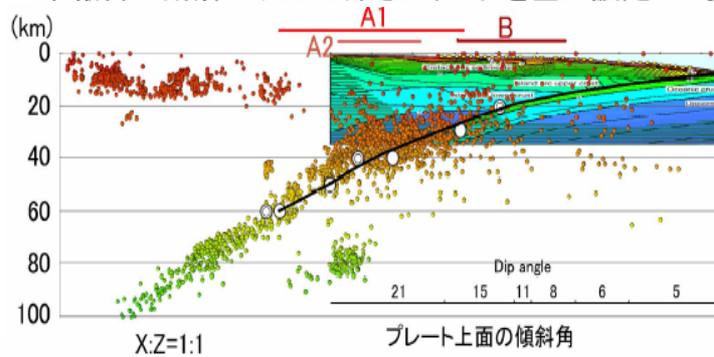


図 2.4.2-14 海底地形 50m コンター図上に示した海底面の状態と既設の海底地殻変動観測基準局の位置

断面図(実線は太平洋プレートの上面を示している。  
本報告の断層モデルの深さは、これを基に設定した。



平面図(「形状評価」による震源域A1、A2およびBの位置・形状を示す)

図 2.4.2-15 宮城県沖地震の想定震源域と本調査区域・既設海底地殻変動観測基準局との位置関係(地震調査委員会の資料に加筆)

既設地殻変動観測基準局は想定震源域Bの南東部に位置する。

(e) 引用文献

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：宮城県沖地震を想定した強震動評価について，地震調査委員会報告集，2003年1月～12月，，pp.291-351．

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 論文発表

著者	題名	発表先	発表年月日
なし			

2) 口頭発表、その他

発表者	題名	発表先、主催、発表場所	発表年月日
海洋情報部	宮城沖の断層分布	地震予知連絡会会報 第71巻 . pp.332-338	平成16年2月