

3. 4. 1 海底変動地形解析

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 2 ヶ年の年次実施業務の要約
 - 1) 平成 23 年度
 - 2) 平成 24 年度

(2) 平成 24 年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
- (c) 業務の成果
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (e) 引用文献

3. 4 海底地形調査等

3. 4. 1 海底変動地形解析

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 海底変動地形解析

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人 東京大学地震研究所	教授	佐藤 比呂志
国立大学法人 東京大学地震研究所	助教	石山 達也

(c) 業務の目的

海底地形調査で実施する海底地形及び浅部地質構造についての広域・詳細調査の結果得られるデータについて、地殻構造調査や海底堆積物調査の結果も踏まえて、地震断層・活断層・変動地形マップ等を作成するために、変動地形学・構造地質学的な解析を行う。また、海底地すべり地形等の地震に伴う副次的な海底地表変動の分布もあわせて推定する。

(d) 2 ヶ年の年次実施計画の要約

1) 平成 23 年度：

海底地形調査で実施する海底地形及び浅部地質構造についての広域・詳細調査の結果得られるデータについて、地殻構造調査や海底堆積物調査の結果も踏まえて、地震断層・活断層・変動地形マップ等を作成するために、変動地形学・構造地質学的な解析を行い、地震発生・津波波高計算の高度化に資する。また、海底地すべり地形等の地震に伴う副次的な海底地表変動の分布もあわせて推定した。

2) 平成 24 年度：

個別テーマ(4-2)海底地形調査で実施する海底地形及び浅部地質構造についての広域・詳細調査の結果得られるデータについて、地殻構造調査や海底堆積物調査の結果も踏まえて、地震断層・活断層・変動地形マップ等を作成するために、変動地形学・構造地質学的な解析を行う。また、海底地すべり地形等の地震に伴う副次的な海底地表変動の分布もあわせて推定する。

(2) 平成 24 年度の成果

(a) 業務の要約

調査地域の活断層・変動地形及び地すべりなどの分布・性状を明らかにするために、これまでの海底地形調査の結果得られた地形及び浅部地下構造などのデータについて、おもに 2011 年東北地方太平洋沖地震本震の震央付近において変動地形・構造地質学的な解析を行った。また、今後の海底地形調査の場所選定及び変動地形の構造的な解釈のために、東北地方太平洋沖地震（岩手～福島沖）の震源域周辺の既存反射法地震探査断面の再解析を

行った。

(b) 業務の実施方法

(独) 海洋研究開発機構が平成 23 及び 24 年度の航海で取得したデータをコンパイルして作成された、地震後の 300 m グリッド海底地形データに基づき、震源域周辺の変動地形の検討を行った。また、海上保安庁が取得した既存及び地震後の海底地形データの収集を行った。以下ではその結果について概要を報告する。

(c) 業務の成果

海洋研究開発機構（以降、JAMSTEC と称する）が作成した 300 m グリッド海底地形データ（図 1）を使用して、2011 年東北太平洋沖地震の震央周辺の海底地形についてより詳細に検討した（図 2）。基本的には昨年度の報告書で述べたように日本海溝の海溝軸及び海溝陸側斜面に分布する活断層は、大局的には（1）海溝陸側斜面基部の活断層、（2）海溝上部斜面基部の活断層、（3）F1 及び F2 と高角で斜交する横ずれ断層ないしは lateral ramp（4）海溝海側斜面の正断層群、（5）大陸斜面上の正断層群、に分類される（図 3 及び 4）。ここでは、（2）にあたる断層崖の一部が巨大な海底地すべりによって大規模に開析されている。

これらの変動地形の構造を明らかにするために、既存のマルチチャンネル反射法地震探査断面の再解析を行った。再解析測線を図 4 に、解析のフローチャートを図 5 に示す。

解析対象となる測線は JAMSTEC が実施した下記 2 調査からの計 6 測線、すなわち A. 平成 10 年度日本海溝福島・宮城県沖調査研究測線（計 2 測線）、B. 平成 11 年度日本海溝宮城沖の地震探査調査研究測線（計 4 測線）と、通商産業省（現経済産業省）からの委託を受けて石油開発公団（現石油天然ガス・金属鉱物資源機構が実施した下記 3 調査からの計 13 測線、すなわち、「A. 昭和 45 年度基礎物理探査「北上－阿武隈」測線（計 4 測線）B. 昭和 48 年度基礎物理探査「下北－北上」測線（計 1 測線）C. 昭和 52 年度基礎物理探査「下北－東海沖海域」（計 8 測線）である。

これらの解析対象データは、発震、受振及び記録取得仕様に依りてデータ品質に差異が存在する。そこで、今回、各既存データに関してデータ取得仕様及び解析パラメータを精査した上で、以下に挙げる再解析を実施した。①に関しては全測線を解析対象とし、②、③、及び④に関しては選択した測線に対して適用している。

①高密度速度解析を伴う高精度反射法イメージング解析。

解析対象には 1970 年代に取得されたデータが含まれるために、周波数-空間領域における予測フィルタ適用を通じた発震記録内挿による CDP（共通反射点）間オフセット分布の均一化を行った。また、放物線ラドン変換法、及び、SRME（Surface-related Multiple Elimination）法の複合適用による長周期多重反射波抑制処理をテストの上、適用した。さらに、1.0km 間隔の高密度速度解析を実施し、高精度イメージングによる品質改善を行った。

なお、速度解析においては、Miura *et al.* (2005) の OBS による速度構造を参照にし、細かい点については NMO（Normal Moveout）による速度解析でチューニングを行った。

②連続ウェーブレット変換 (CWT) を用いた浅部高分解能解析

浅部堆積層構造(海溝充填堆積層を含む)の詳細把握を目的として、連続ウェーブレット変換によって反射地地震探査データを時間-周波数スペクトル領域に展開し、この領域におけるスペクトラルホワイトニングを実施して高分解能化を図った。

③CRS(Common Reflection Surface)法による深部構造イメージング

CRS 法では、近軸波線理論('Paraxial Ray Theory')に基づき、ゼロオフセット反射波走時に関わる CMP(共通中間点) 間走時差の挙動を考慮したムーブアウト補正、つまり反射面沿いの振幅応答の平滑化を通じて飛躍的な重合数が確保されるが、本解析では、複数の傾斜イベントに関して対応可能なアルゴリズムを採用し、一部の広角領域を含む反射波イメージングの高精度化を図った。

④スケルトン指標を用いた反射パターン認識解析

スケルトン処理では、地震探査記録上でコヒーレントな反射波列を抽出するためにトレース間の連結度を統計的に抽出し、線型な反射セグメントの集積として重合記録を表現する。本解析は、断層分布を含む不連続構造の客観的抽出や、浅部堆積層の反射パターン抽出を目的に適用した。

再解析測線のうち、MY103 測線(Tsuru *et al.*, 2002)の再解析断面の解釈及び重合速度構造を図6に示す。海溝海側斜面は、海底面に平行する反射面に富む厚さ7-800m程度の半遠洋性堆積物で構成される。厚さはほぼ一様である。海溝海側斜面上の崖地形の直下には、崖の基部から中角度で下方に延びる正断層の反射面が認められ、崖地形はアウターライズの正断層群であると考えられる。正断層は半遠洋性堆積物及び海洋地殻を切断するが、一部の正断層の先端は海洋性地殻上部に伏在し、半遠洋性堆積物を撓曲変形させる。海底面下7kmには明瞭な反射面がほぼ連続的に分布し、海洋性モホ面と考えられる。海洋性モホ面には明確な落差は認められず、正断層群は海洋性モホ面に収斂するか、海洋地殻内部で消滅するものとみられる。正断層によって切断される半遠洋性堆積物には断層の両側で厚さの変化が認められないことから、その活動開始時期は新しく、海溝近傍に到達して活動を開始したものとみられる。太平洋スラブを構成する海洋地殻は、この様な正断層構造を保持したままに日本海溝を境に下方に沈み込んでいる。

海溝軸部では、海溝海側斜面の正断層群によって形成されたグラーベンを、厚さ1km未満の堆積物が充填している。この海溝充填堆積物は正断層によって切断された半遠洋性堆積物を覆って堆積している。また、海溝軸部直下の正断層群の落差は、海溝海側斜面のそれに比べて大きく、沈み込むスラブの曲げの効果が海溝海側斜面にくらべて大きいことに起因すると考えられる。

海溝軸から陸側に向けて幅20kmほどの区間は、地形的には平均勾配約5度の緩斜面であるが、この部分は沈み込み帯先端部の付加体にあたる。付加体は複数条の覆瓦スラスト群で構成される。スラストの構造は、沈み込み帯先端部では低角のrampであるが、海底面下1km内外ではほぼ水平なデコルマに移り変わる。Rampの部分では海底地形は局所的に10度程度の勾配をなす。これに対して、デコルマの直上では海底面はほぼ水平である。最も構造的最低位のデコルマは、沈み込み帯の最先端部のスラストに繋がるが、沈み込む海洋性地殻の上位に分布する半遠洋性堆積物に収斂するように見える。

半遠洋性堆積物や海洋性モホ面に対応する反射面の特徴から、沈み込む海洋地殻は海溝軸部からの距離 20km 付近で下方に折れ曲がるように見える。これに対応して、デコルマ面は西傾斜の ramp に再び移行する。このデコルマの折れ曲がり部分の上位には重合速度が周辺の付加体に比べて速い領域が、上方に凸の三角形をなして存在するのが認められる。この直接的なデータはないものの、ここではこれを沈み込んだ海山と推定した。海山の沈み込みは茨城沖でも認められる (Mochizuki *et al.*, 2008) が、いずれの地点でも空中磁気の高異常帯が認められる (産業技術総合研究所, 2005) 点で共通する。この高速度異常帯の直上では海底地形は上方に緩やかに凸に膨らんでいるほか、付加帯の内部には小規模な正断層や逆断層が認められる。これより西方ではスラブ上面の反射面は西に急傾斜するように見える部分はあるが、これより西方のイメージは得られていない。

(2) 海溝上部斜面基部の東向き崖地形は、MY103 では海溝海側斜面上部の高度急変部として認められ、その比高は 1000m 近くに達する。その地下には、西傾斜のウェッジスラストが伏在する。周辺の層序から判断すると、このスラストウェッジは白亜系及びこれより古い岩石で構成される。このスラストウェッジの先端ではこれを不整合の覆う新第三系が褶曲変形に参加し、ウェッジ先端より伸びる軸面を境にして折れ曲がっている。一方、この新第三系の褶曲東翼には、崖地形基部以東の海底面を直接構成するほぼ水平な地層(斜面堆積物)がオンラップしており、これらはウェッジスラストが形成する褶曲構造に参加していない。また、崖地形基部の位置はウェッジスラスト先端の軸面の位置と明らかにずれている。このことは、(2) 海溝上部斜面基部の東向き崖地形は、かつて活動していたウェッジスラストによって成長していた構造的崖地形の下半部を、ウェッジスラスト活動停止後に斜面堆積物が埋積したものと考えられる。すなわち、このウェッジスラストは、現在は活動を停止している可能性が高い。

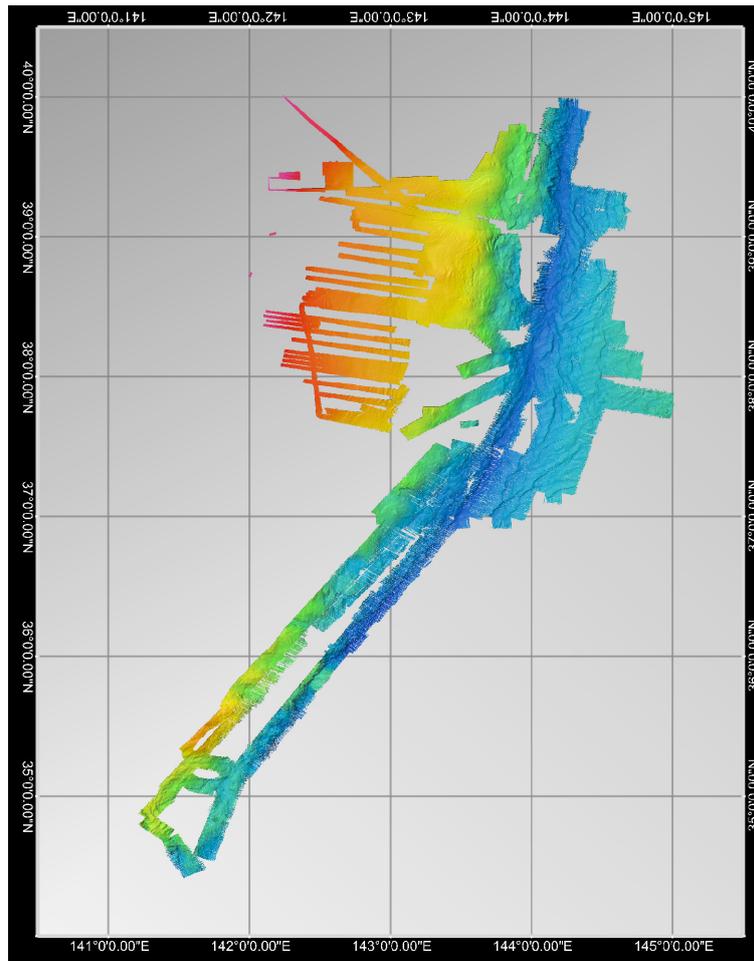


図1 今回の解析に使用した地震後の300 mグリッド海底地形データにより作成した陰影図。

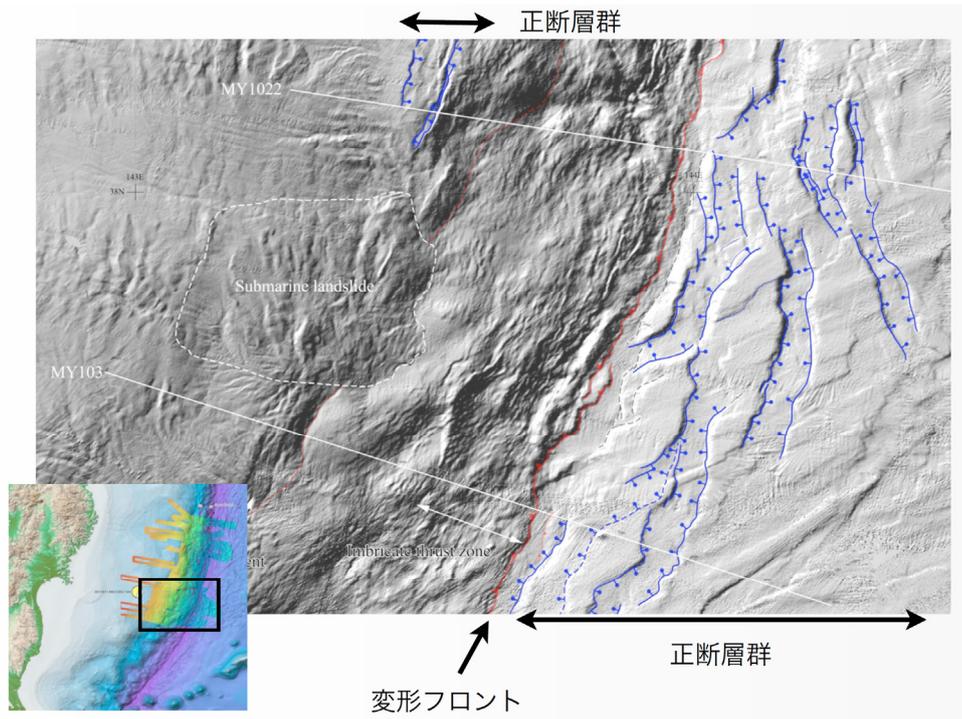


図2 地震後の 300 m グリッド海底地形データにもとづく震源域の活断層図。背景は JTopo30 を使用。

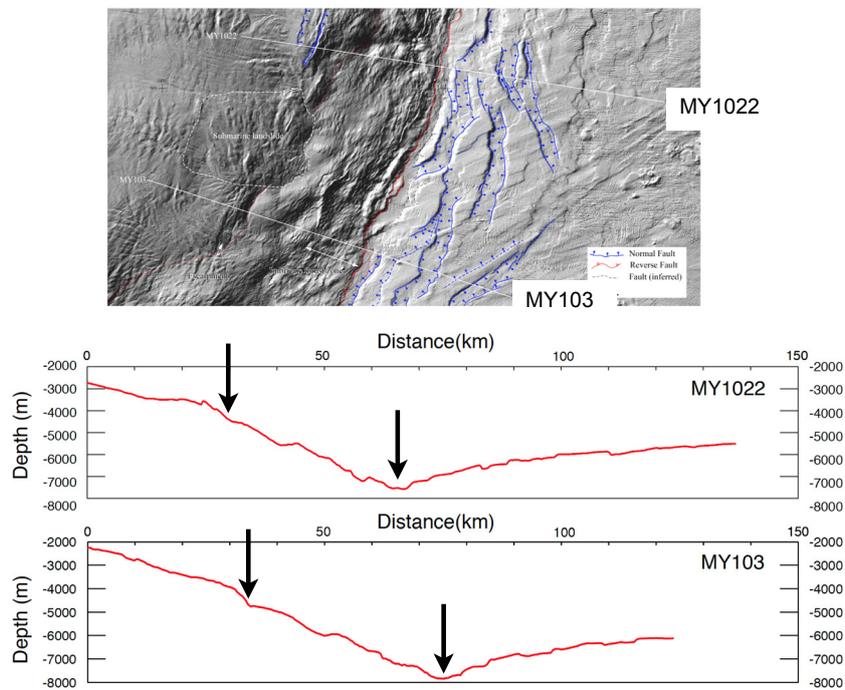


図3 地震後の 300 m グリッド海底地形データにもとづく地形断面図。断面線の位置は 図4 の再解析測線 (MY1022 及び MY103) と一致する。黒矢印は海溝軸と海溝海側斜面上部の高度急変部の位置を示す。

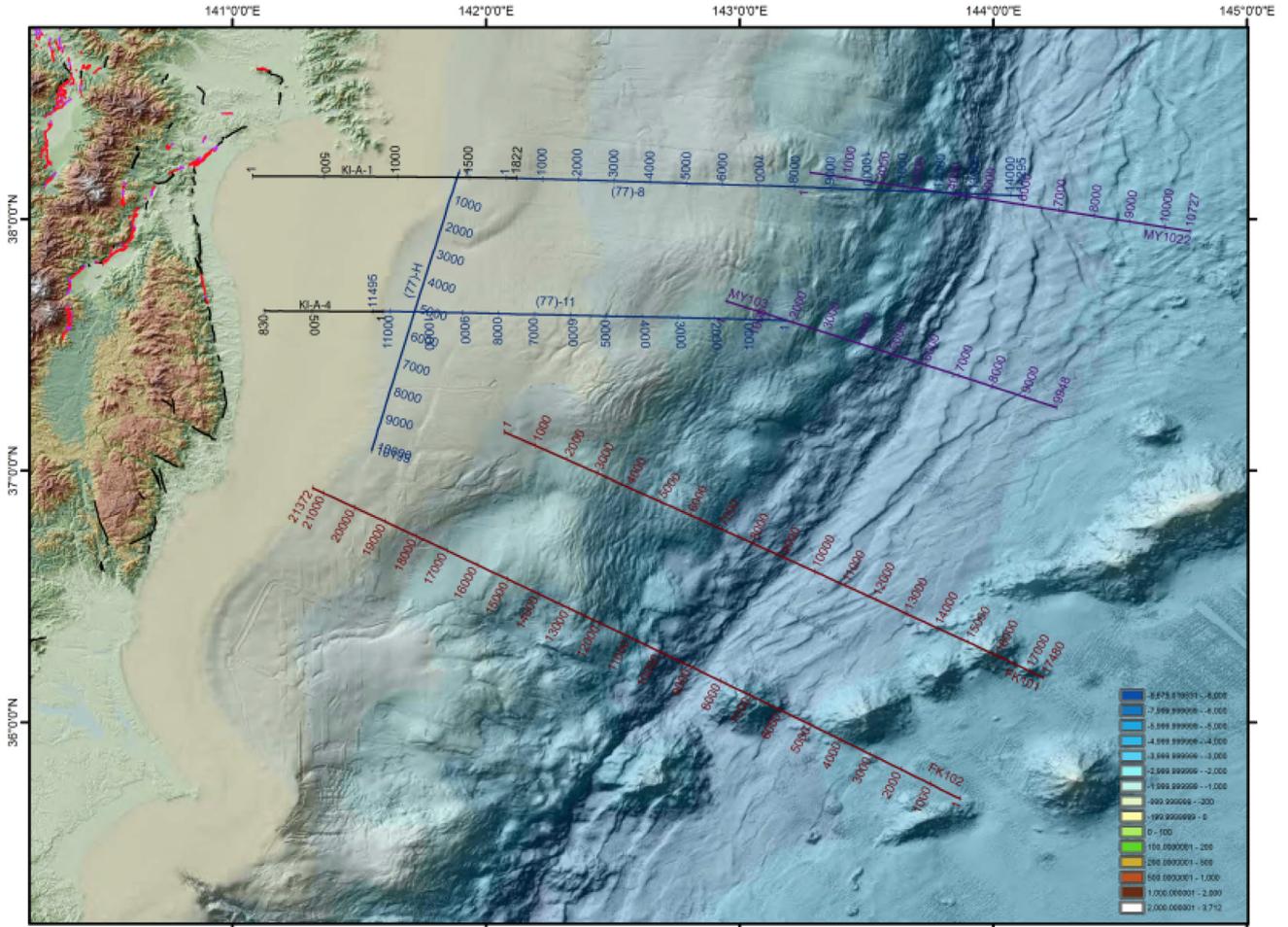


図4 今回再解析した測線の位置図。

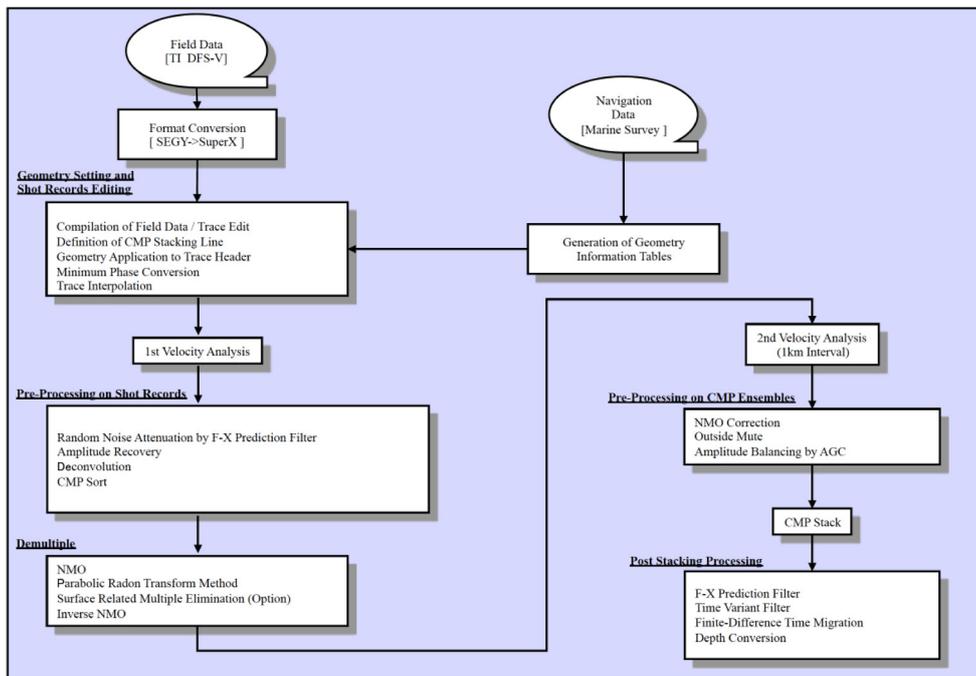


図5 再解析のフローチャート。

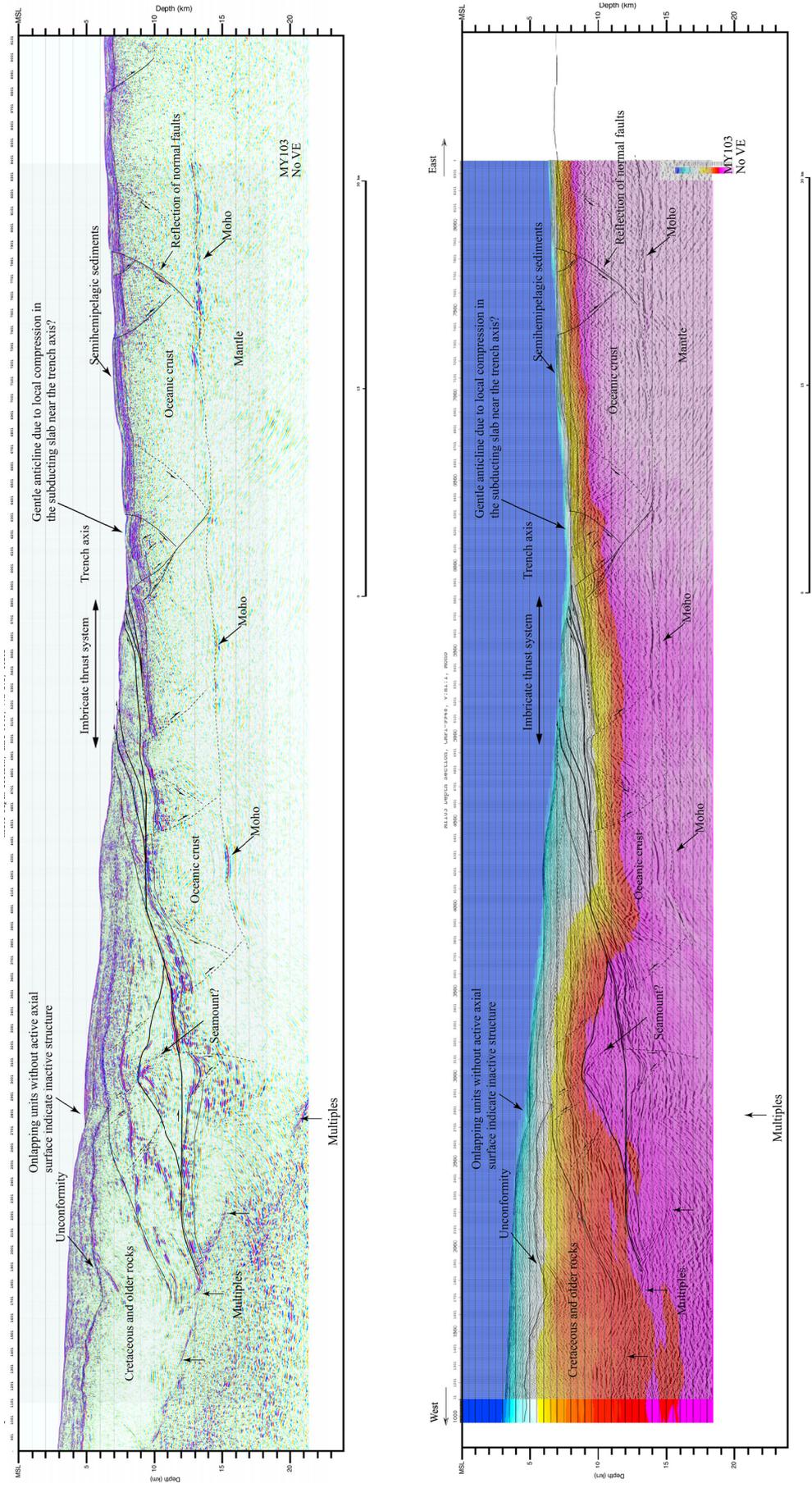


図6 今回再解析した MY103 測線の解釈断面図（左）と重合速度構造図（右）。

(d) 結論ならびに今後の課題

サブテーマ (4-2) で海洋研究開発機構が作成した、地震後の 300 m グリッド海底地形データに基づき、2011 年東北地方太平洋沖地震震源域の海底地形データと、再解析した既存マルチチャネル反射法地震探査データをもちいて、震源域の変動地形と検討した結果、以下の点が明らかになった。

震源域の変動地形は (1) 海溝陸側斜面基部の変動崖 (2) 海溝上部斜面基部の変動崖 (3) これらと高角で斜交する横ずれ断層ないしは lateral ramp、(4) 海溝海側斜面の断層群、(5) 大陸斜面上及びアウターライズの正断層群に大別されることがわかった。

このうち、海溝上部斜面基部の変動崖は、いわゆるバックストップの地形表現であるが、ウェッジスラストの前翼部に水平にオンラップする地層が MCS で確認され、さらに海底地すべり地形を変位させていないことから、現在活動的でない区間があることが分かった。

また、アウターライズ正断層のうち、MCS がカバーする海溝軸に近い断層群は 海洋性モホを切っていないように見える。

(e) 引用文献

- Miura, S., Takahashi, N., Nakanishi, A., Tsuru, T., Kodaira, S., & Kaneda, Y. , Structural characteristics off Miyagi forearc region, the Japan Trench seismogenic zone, deduced from a wide-angle reflection and refraction study. *Tectonophysics*, **407**(3-4), 165-188. doi:10.1016/j.tecto.2005.08.001, 2005.
- Mochizuki, K., Yamada, T., Shinohara, M., Yamanaka, Y., & Kanazawa, T. , Weak interplate coupling by seamounts and repeating M approximately 7 earthquakes. *Science*, **321**(5893), 1194-7. doi:10.1126/science.1160250, 2008.
- 産業技術総合研究所, 日本空中磁気データベース, 数値地質図 P-6, 2005.
- Tsuru, T., Park, J.-O., Miura, S., Kodaira, S., Kido, Y., & Hayashi, T. , Along-arc structural variation of the plate boundary at the Japan Trench margin: Implication of interplate coupling. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **107**(B12), ESE 11-1-ESE 11-15. doi:10.1029/2001JB001664, 2002.