# 12-5 地震断層のイメージングと地震に伴う構造変化 Seismic imaging of the fault and structure change due to the earthquake

独立行政法人海洋研究開発機構 Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology 中村恭之・小平秀一・野徹雄・三浦誠一・富士原敏也・ 海宝由佳・藤江剛・高橋成実・金田義行 Yasuyuki Nakamura, Shuichi Kodaira, Tesuo No, Seiichi Miura, Toshiya Fujiwara, Yuka Kaiho, Gou Fujie, Narumi Takahashi, Yoshiyuki Kaneda

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震の発生を受け,海洋研究開発機構(JAMSTEC)では,主に宮城沖を対象に地形・地下構造調査を実施してきた.主たる目的は,震源域の構造の把握,断層のイメージングである.本稿では,これらの地球物理学的調査の結果とそれに基づいてこれまでにわかってきたことを報告する.

#### 2. 地形調查

JAMSTEC では、東北地方太平洋沖地震発生前から東北沖でマルチナロービーム音響測深器による地形調査を実施してきている.地震発生後、宮城沖の震央付近で過去に調査を実施した測線と同 ー測線で得られた地形データと、過去に得られたデータを比較したところ、特に海溝軸近傍で最大 50m にも及ぶ地形変化があったことが判明した<sup>1)</sup>(第1図).この測線以外でも地震前後でのデータ 比較が可能な測線を対象に同様に海底地形データを比較したところ、震央から北約 50km では海溝 軸近傍で地震前後での地形変化が見られたが、震央から南へ約 70km 離れた測線では同様な変化が 見られなかった(Fujiwara et al., in prep).

## 3. 地下構造調査

今回の地震では地震に伴う変形が海溝軸近傍まで及んだことが地形調査から明らかになった.し かし、実際の断層はどのように位置し、どのように断層が海底へ達しているかを知るには地下構造 調査が必要である.我々は地震後の複数回にわたって反射法地震探査を実施した.そのうちいくつ かの測線では地震発生前にも反射法地震探査を実施しており、地震発生前後での地下構造の変化の 抽出を試みた.その結果、海底地形変化が見られた測線と同一の測線において、地震前後で海溝軸 近傍に地下構造変化が見られた<sup>2)</sup>(第2図).海溝軸から陸側約3kmまでの海溝底では地震前に比べ 海底面が浅くなることで堆積物の体積が増加している一方、海溝軸から陸側約3-5kmの斜面下の堆 積物は減少していたが、海溝底部での増加分は斜面下での減少分では補うことができない.また、 この付近でのピストンコアによる調査の結果、浅層堆積物には地すべりや斜面崩壊のみでは説明 できない.高分解能反射法探査の結果明瞭になった海溝軸近傍の堆積層の変形様式をあわせて考え ると、地下構造の変化は、今回の地震によるプレート境界断層に沿った破壊が海溝軸ごく近傍まで 伝播し、海溝底下の堆積層を変形させながら海底へ突き抜けたことによるものであると説明できる. 海溝底下で見られる堆積物はおよそ 1km にわたってはぎとられるような変形を受けていると解釈 できるため、海溝底下の変形構造は今回1度きりのイベントで作られたものではなく、過去を含めた複数回のイベントによって形成されたと考えられる.同様の海溝底下の変形構造は、上述した測線より南側約15-20km付近の海溝軸部の反射断面にも見られるが、たとえば海溝底下のデコルマ面深度は南側では深くなっている、海溝軸部に存在する海洋地殻上面の地溝構造内に複数の正断層が認められる場所があるなど、詳細な構造は測線によって異なることがわかった<sup>3</sup>(第3図).

上述したように、海溝軸近傍では地震に伴うと考えられる構造変化が見られたが、同一測線の陸 側にあたる破壊開始点(震源)近傍での構造変化についても検討した(No et al., in prep). 地震前に 取得されたデータは連続的でない場所があるが、得られている構造の特徴は地震前、地震後で非常 に類似している. 破壊開始点のやや海側では陸側傾斜の反射面が明瞭に観察できる. これまでに屈 折法によって求められた地殻速度構造モデル<sup>4)</sup>と比較すると、この強い反射面は沈み込む太平洋プ レートの上面ではなく、海洋地殻の内部に存在している.海溝軸近傍でも明瞭に見られるように、 沈み込む太平洋プレートは地塁-地溝構造を形成する正断層変形を受けており、プレート上面は必 ずしも滑らかな形状をしていない. 破壊開始点近傍は規模の大きい地塁-地溝構造になっている可 能性が示唆される. このように破壊開始点近傍では興味深い構造が見られるが、地震前後での有意 な構造変化を見出すことはできていない.

### 4. 今後の計画

海溝軸部で見られた変形構造は,過去の「滑りが海溝軸まで及んだ」タイプの地震の履歴を記録 している可能性がある.日本海溝では 2011 年東北地方太平洋沖地震の前にも,1896 年明治三陸地 震,1677 年延宝房総沖地震など,異なる津波波源域を持つ巨大地震が発生している.海溝軸の変形 構造は日本海溝のどこに分布しているかを詳細に調査し,過去の地震と対比させることは日本海溝 沈み込み帯における巨大地震・津波発生のメカニズムを考察する上で極めて重要であると考える. JAMSTEC では,今後数年にわたって日本海溝軸域での詳細な調査を実施し,海溝軸での変形構造 分布の把握に努める予定である.これらの調査結果と深海掘削を含めた関連研究によって,海溝軸 まで滑りが及んだ地震の空間的広がりと履歴の解明を進めたいと考えている.

## 参考文献

1) Fujiwara et al. (2011), The 2011 Tohoku-Oki earthquake: Displacement reaching the trench axis, *Science* **334**, 1240

2) Kodaira et al. (2012), Coseismic fault rupture at the trench axis during the 2011 Tohoku-oki earthquake, *Nat. Geosci.*, **5**, 646–650.

3) Nakamura et al. (2013), High-resolution seismic imaging in the Japan Trench axis area off Miyagi, northeastern Japan, *Geophys. Res. Lett.*, **40**, doi:10.1002/grl.50364.

4) Miura et al. (2005), Structural characteristics off Miyagi forearc region, the Japan Trench seismogenic zone, deduced from a wide-angle reflection and refraction study, *Tectonophys.*, **407**, 165-188



- 第1図.2011年東北地方太平洋沖地震前後での海底地形比較.(A)広域図.海底地形調査測線を黄色で示し、黄色で塗りつぶされている部分に地震前後での変動が見られた.×印は震央.(B)地震後に取得されたマルチビーム海底地形図.赤い三角は海溝軸,青い三角は陸側斜面の変換点を表す.(C)1999年に取得されたデータと2011年に取得されたデータから求められた水深の変化.(E)1999年のデータと2004年のデータと2011年のデータから求められた水深の変化.(E)1999年のデータと2004年のデータから求められた水深の変化.(E)に見られる地形の変化は非常に小さく、2004年以降に大きな水深の変化があったことがわかる.この変化は斜面変換点と海溝軸の間で顕著に見られる.(Fujiwara et al., 2011による).
- Figure 1. Changes in sea-floor elevation between bathymetric data before and after the 2011 Tohoku-Oki earthquake. (A) Location map with bathymetric survey track shown as yellow line. Coseismic horizontal displacement is estimated over the landward slope indicated by solid portion of yellow line. Cross shows the epicenter. (B) Multibeam bathymetry collected in 2011. Red triangles mark the trench axis; the blue triangle marks the landward slope break. Change in sea-floor elevation by subtracting the 1999 bathymetric data from the 2011 data (C), the 2004 data from the 2011 data (D), and the 1999 data from the 2004 data (E). The yellow star marks location of probable submarine landslide. (After Fujiwara et al., 2011)



- 第2図. a) 2011年の地震直後に取得された反射断面. 縦横比は 1:1. 横軸は CDP 番号で,距離等で はないことに注意. b) 地震前の 1999年に取得された反射断面のうち海溝軸近傍を拡大した もの. a) 図の四角の部分にあたる. 海底下 200m付近に見える黒い線はエアガンのバブル振 動によるノイズ. 縦方向に 2 倍に拡大(縦横比 2:1)されている. c) 地震後に取得された断面(a) の海溝軸近傍拡大図. a) 図の四角の部分にあたる. 縦横比は 2:1. 緑色の線は地震前の断面 (b)の海底面の位置. d) 高分解能反射断面を元に解釈を加えたもの. c)図の四角点線部分にあ たる. 変形構造が明瞭に観察できる. (Kodaira et al., 2012 による)
- Figure 2. a) Seismic reflection section obtained in 2011. No vertical exaggeration. CDP, common depth point (no unit). b) Seismic image of the trench axis (within the rectangle shown in a) obtained in 1999 before the earthquake. An interface imaged 200m below the sea floor (black interface) at the landward slope of the trench is an artefact generated by a bubble signal from a non-tuned large airgun. Vertical exaggeration, 2:1. c) Seismic image of the trench axis (within the rectangle shown in a) obtained after the earthquake. Vertical exaggeration, 2:1. Green line indicates the sea floor before the earthquake. d) Interpretation of the high-resolution seismic image obtained after the earthquake around the trench (within the rectangle shown in c). (After Kodaira et al., 2012)



- 第3図.高分解能探査断面の例(HD33B測線).縦軸は往復走時であることに注意.海底面で縦横 比がおよそ3:1になっている.(a)海溝軸近傍の高分解能反射断面.解釈されたサイスミック ユニットをそれぞれ茶色(サイスミックユニット1),青(サイスミックユニット2),黄色(サイ スミックユニット3),緑(サイスミックユニット4)で色分けした.緑の点線は正断層.(b) (a)図の四角を拡大したもの.黒い点線は逆断層.短い矢印で示された海側傾斜の反射面はデ コルマ面と解釈される.(Nakamura et al., 2013 による)
- Figure 3. Post stack time migrated section of line HD34B. (a) Seismic profile of trench axis transect. Interpreted seismic units are colored in brown (SU1), blue (SU2), yellow (SU3), and green (SU4). Dashed green lines are interpreted normal faults. (b) Close-up view of the seismic profile in the trench axis area (black rectangle in Figure 3a). Black dashed lines are reverse faults. Short black arrows indicate a seaward dipping reflection which is interpreted as the décollement. V. E. is the vertical exaggeration assuming 1500 m/s for the velocity. (After Nakamura et al., 2013)