

## 12 - 16 海底地形調査より明らかにされた 2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う地形変動 Seafloor deformation by the 2011 Tohoku-oki earthquake detected by multibeam bathymetric data

海洋研究開発機構 小平秀一、富士原敏也

Shuichi Kodaira and Toshiya Fujiwara

Institute for Research on Earth Evolution, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

### 1. はじめに

2011 東北地震の破壊過程に関しては、地震波<sup>1)</sup>、津波<sup>2)</sup>、地殻変動<sup>3,4)</sup>などのデータから様々なモデルが提出されているが、最も特徴的な点は、地震時の大きな滑りが海溝軸周辺まで及んでいる点である。しかしながら、どのデータを用いても滑り域の上限を厳密に決めるのは困難である。陸上地殻変動データは海域の分解能は低く、津波データは空間的分解能に限界があり、地震データは解の安定性の問題がある。また、海底地殻変動のデータからは観測点がある場所の変位のみしか計測できない。以上の理由から、これまでのところ地震、津波、地殻変動データからは滑りの上限が厳密にどこまで及んだか十分理解されていなかった。

### 2. 海底地形調査

地震、津波のデータから大きな滑りが予想される宮城沖では、海洋研究開発機構によって 1999 年と 2004 年に同一測線上で地震探査調査<sup>5)</sup>が行われており、その際同時にマルチナロービーム海底地形データも取得していた。そこで、地震前後の海底地形データを比較することによって、地震に伴う海底地形変動を検出する目的で、地震の直後の 3 月 14 日から 31 日にかけて、過去の測線と同一の測線で地形調査を実施した(図 1)。測線は海溝を挟んで両側 70km に及んでいる。1999 年の調査ではほぼ同一の領域をカバーしたが、2004 年の調査では海溝海側は 10km 程度しかカバーしていない。

今回の地形調査により 143° 10'E から 144° 50'E の間で得られたデータの内、swath 幅 45° 以内のビームを用いることによって、幅 2-6 km の精度のよい地形データが得られた。1999 年、2004 年の調査でも同様の品質のデータが得られている。

### 3. 海底変動解析と議論

本研究では、これらのデータを用いて地震前後の地形変動の検出を試みた<sup>6)</sup>。しかしながら、水深を得る際に用いた海水の音速データの違いや、観測船の位置精度から、得られた地形データの絶対値をそのまま比較することはできない。そこで、本研究では各調査間の相対的な変化を求めた。その際、地震に伴う変動がほとんどないと考えられる、海溝より海側(144° 00'E より東)において、既存データと今回観測された海底地形の差が最も小さくなるように、今回の得られた海底地形全体をシフトさせた。次に、この補正後のデータを比較することによって、海溝より陸側でどのような地形変化が確認できるかを調べた。図 2b に補正後の 1999 年に対する 2011 年の差、図 2c には 2004 年に対する 2011 年の差を示す。また、参考として 1999 年に対する 2004 年の差を図 2d に示す。

これによると、地震前後を比較した図 2b,c とともに海溝軸(144° 00'E 付近)を境にして明瞭な

地形の偏差が現れた。1999年と2011年の差では、地形の傾斜が大きい(約 $5.5^\circ$ )海溝軸らから40kmの範囲で地形の上下偏差が15-30mを示している(地震後が高い)。傾斜が緩くなる海溝軸から40km付近を境に偏差は小さくなるように見え、その上下偏差は10m程度である。2004年度2011年の比較では、偏差の値は若干小さく見えるが、海溝軸を境に陸側で地震前後の地形偏差が大きいという傾向は同様である。一方、地震前の二つを比較した図2dでは海溝軸を挟んで明瞭な違いは確認されず、数m程度のばらつきが見られるのみである。

これに加えて、図2b,cとも海溝軸極近傍で、+50mの偏差と-50mの偏差と隣接して確認できる。1999年と2011年の地形断面を比較してみると、海溝軸陸側の斜面が長さ1kmにわたって崩落し、海溝軸に幅1.5km高さ50mのデブリとして堆積していることが分かる。このことから、海溝軸付近で海底地滑りがあったと解釈できる(図2e)。

次に、図2bの偏差の内、海溝陸側斜面(地滑り領域より西側143.43-143.57の間)の地形偏差を最小にするよう、2011年の地形データの陸側斜面全体を水平方向にシフトさせて、地震前後の海底地形の偏差が最小になるところを探し、地震前後の地形変動量を見積もった。この結果、1999年データに対し、2011年データを50m NW ~ WNWにシフトさせると地形偏差が最小になることが分かった。また、この補正後でも残差は+10m残っている。言い換えると、1999年と2011年の間に海溝陸側ブロックが、NE ~ ESEに50m、上方向に10mの変動をしたとすると、観測されて1999年と2011年地形偏差が説明できる。ここで最も強調すべき点は、その変動は海溝軸ぎりぎりまで及んでいる点である。すなわち、地震、津波、地殻変動データからは確定できなかった地震に伴う滑りの上限が、海溝軸まで及んでいたことが本研究によって初めて確認された。

この大きな水平変動が、海底地形の急な海溝軸まで及び、局所的に実質的に30mを超える海底上昇をもたらした。これが今回の地震に伴う巨大津波生成に大きく寄与したと考えられる。実際、今回観測された地形偏差を海底の変動として津波波形を計算すると、海底ケーブル水圧計で観測された、6mにおよぶパルス的な津波波形を非常によく説明できる。海溝軸において、これだけ大きなすべりが生じたことは、海溝軸付近のプレート間固着に対する概念を改める必要があることを示唆する。

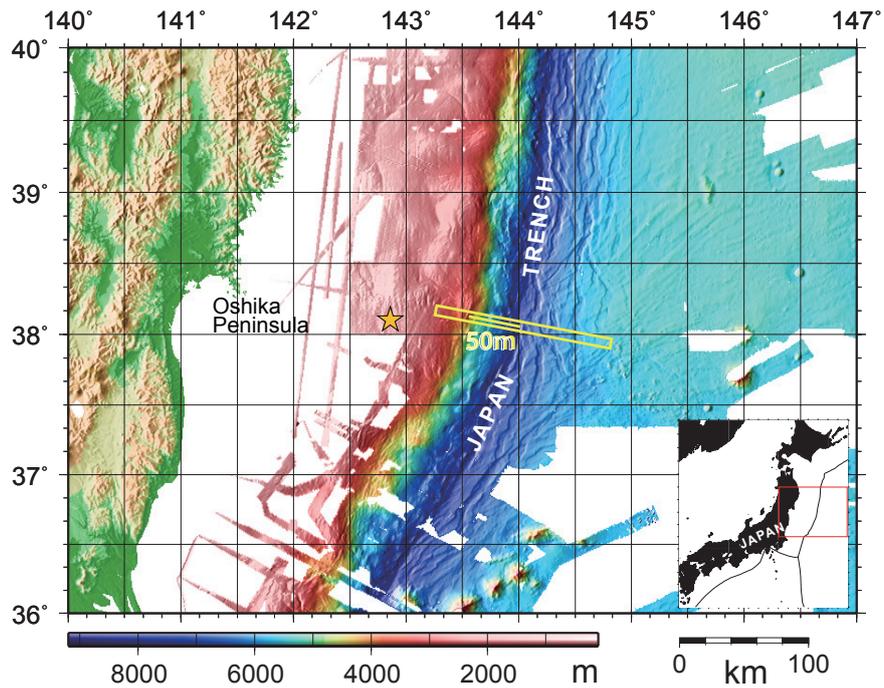
### 3. まとめ

2011年東北地方太平洋沖地震では、海溝軸周辺まで及んだ断層の滑りが大きな津波の原因と考えられている。しかしながら、滑りの上限は正確に見積もられておらず、巨大津波の成因は未解決のままであった。そこで、海溝軸周辺の海底変動を明らかにするため、地震発生直後に取得したマルチなロービームによる海底地形データを、地震前の海底地形データと比較した。その結果、海溝陸側で海溝軸まで及ぶ大きな地形の偏差が確認された。この偏差から地震に伴う海底変動を見積もったところ、海溝陸側が南東~東南東方向に50m水平に移動して、10m隆起していると推定された。

### 参 考 文 献

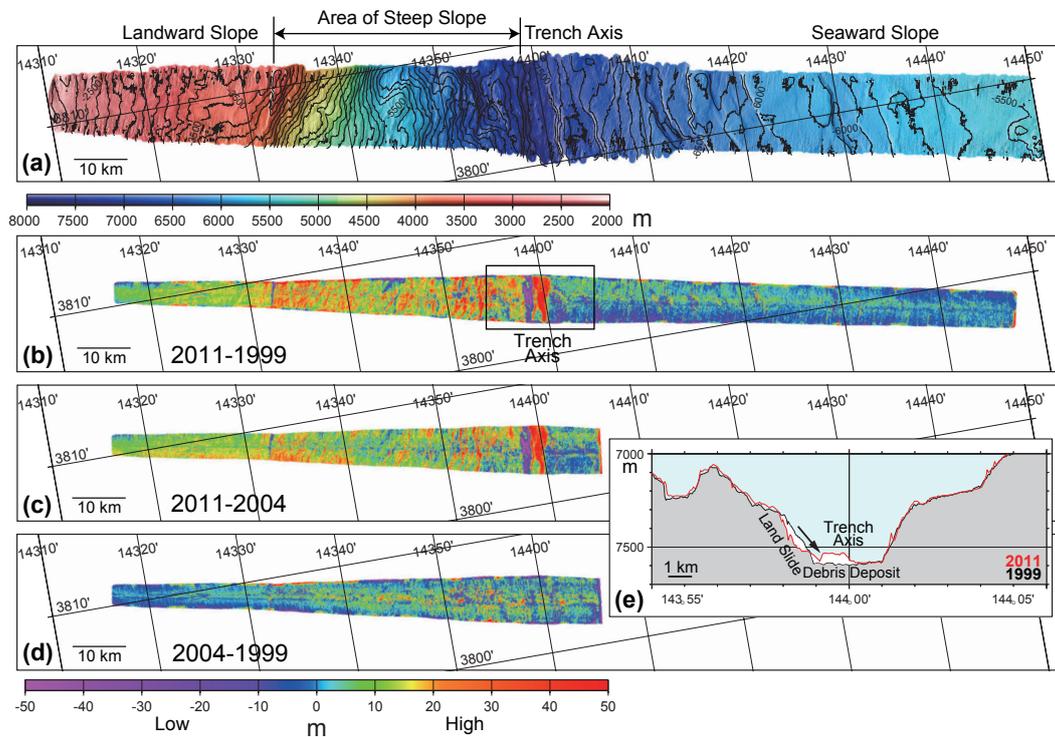
- 1) Ide, S., Baltay, A. & Beroza, G. C. Shallow Dynamic Overshoot and Energetic Deep Rupture in the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki Earthquake, *Science*, 332, 1426-1429, DOI: 10.1126/science.1207020 (2011) .
- 2) Fujii, Y., Satake, K., Sakai, S., Shinohara, M. & Kanazawa, T., Tsunami source of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku, Japan earthquake, *Earth Planet Space*, 63, 815-820, 2011

- 3 ) Inuma, T., Ohzono, M., Ohta, Y. & Miura, S., Coseismic slip distribution of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku, Earthquake (M9.0) estimated based on GPS data –Was the asperity in Miyagi-oki ruptured?, *Earth Planet Space*, 63, 643-648, 2011
- 4 ) Sato, M., T. Ishikawa, N. Ujihara, S. Yoshida, M. Fujita, M. Mochizuki, A. Asada, Displacement above the hypocenter of the 2011 Tohoku-Oki Earthquake, *Science* 332, 1395, doi:10.1126/science.1207401, 2011
- 5 ) 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, *J. Geophys.* 107, , doi:10.1029/2001JB001664, 2002
- 6 ) Fujiwara, T., S., Kodaira, T. No, Y. Kaiho, N. Takahashi, Y. Kaneda., The 2011 Tohoku-Oki Earthquake: Displacement Reaching the Trench Axis, *Science*, 10.1126/science.1211554, 2011



第1図 観測領域図。星印は震央を示す

Fig. 1 Location map with bathymetric survey track shown as yellow line. Star shows the epicenter.



第2図 (a) 地震後に得られた海底地形。(b) 1999年と2011年の地形データの差、(c) 2004年と2011年の地形データの差、(d) 1999年と2004年の地形データの差、(e) 海溝軸付近の海底地形

Fig. 2 (a) Multibeam bathymetry collected in 2011. Change in seafloor elevation by subtracting the 1999 bathymetric data from the 2011 data (b), the 2004 data from the 2011 data (c), and the 1999 data from the 2004 data (d), respectively. (e) Cross section of seafloor near the trench axis