

3-24 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震 前震・余震のセントロイド・モーメントテンソル（CMT）解析結果 Spatiotemporal Distribution of Centroid Moment Tensor Solutions of foreshocks and aftershocks of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

防災科学技術研究所
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

平成 23 年（2011）年 3 月 11 日 14 時 46 分頃に東北地方から関東地方の東方沖を震源域とするマグニチュード 9.0（気象庁によるモーメント・マグニチュード）の地震（以下、本震）が発生し、甚大な被害をもたらした。陸地から遠く離れた海域の比較的浅い場所を震源とする地震については、陸上観測点で観測される P 波初動や S 波の到達時刻のみからは、その震源の位置、とりわけ深さを精度良く決定することは困難である。一方、多数の観測点の観測波形を説明するようなセントロイド位置とモーメントテンソルを推定するセントロイド・モーメントテンソル（以下、CMT）解析においては、そのような条件下にあっても比較的安定したセントロイド位置の推定が可能であることが報告されている¹⁾。そこで、防災科学技術研究所では、平成 23 年（2011）年 3 月 9 日から 4 月 21 日までの期間（ただし、3 月 11 日 19 時から 15 日 11 時を除く）に震源域およびその周辺で発生した振幅マグニチュード (M) 3.5 以上の約 1000 個地震について CMT 解析を行い、本震に先行して発生した地震活動や余震の時空間分布や発震機構解を調べた。

本解析では、防災科研広帯域地震観測網（F-net）と高感度地震観測網 Hi-net に併設された高感度加速度計（傾斜計）の記録を使用した。ここでは、原記録に対して機器特性の補正と積分による変位波形への変換を行った後に、通過帯域 0.02–0.05 Hz のバンドパスフィルター (M が特に大きい一部の地震については 0.005–0.02 Hz) に通し、さらに 1 Hz サンプリングにデシメーションした記録を解析した。CMT 解の推定には Ito et al. (2006)¹⁾ による最適解の探索法を用い、初期セントロイド位置は Hi-net の震源カタログによる震源を、セントロイド時刻は震源時に M に応じた遅れ時間を加えたものを使用した。解析時間窓は M に応じて震源時から 120 – 180 秒間 (M が特に大きい一部の地震については 300 秒間) とした。また、グリーン関数は、F-net による MT 解ルーチン解析²⁾ と同様の構造を仮定し、波数積分法によって合成した。

解析の結果推定された CMT 解の中から、解析に使用した観測点が 20 点以上、かつ、残差減少を表す指標（variance reduction）が 70 以上の解（470 個）を選んで第 1 図に示す。本震発生 2 日前の 3 月 9 日には Mw7.3 の地震が宮城県沖で発生し、この地震とそれに伴う余震（本震発生直前まで）を含めたいわゆる前震活動があった（以下、前震）。主に低角逆断層型地震によって構成される前震の活動域は、東西約 90 km × 南北約 70 km の広がりを持ち、本震はその南西端付近に位置する（第 1 図(a)）。このことは、一連の前震活動が本震発生の引き金となった可能性を示唆する。

本震発生後の地震（以下、余震）は、岩手県沖から千葉県東方沖にかけて広く分布し、さまざまな発震機構解を持つ。そのうち、海陸プレート境界近傍で発生する低角逆断層型地震（以下、プレート境界型）に限ってみれば、本震の震源近傍の初期津波波高が高い領域³⁾、すなわち、その直下における地震時のプレート間すべりが大きかったと考えられる領域を避けて発生しており、その周囲に位置する北部（岩手県北部沖）、南部（茨城県沖～千葉県東方沖）、および深部延長で活発である（第 1 図(b)）。このような特徴は、地震時すべりが大きかった領域では蓄積されてきたひずみの十

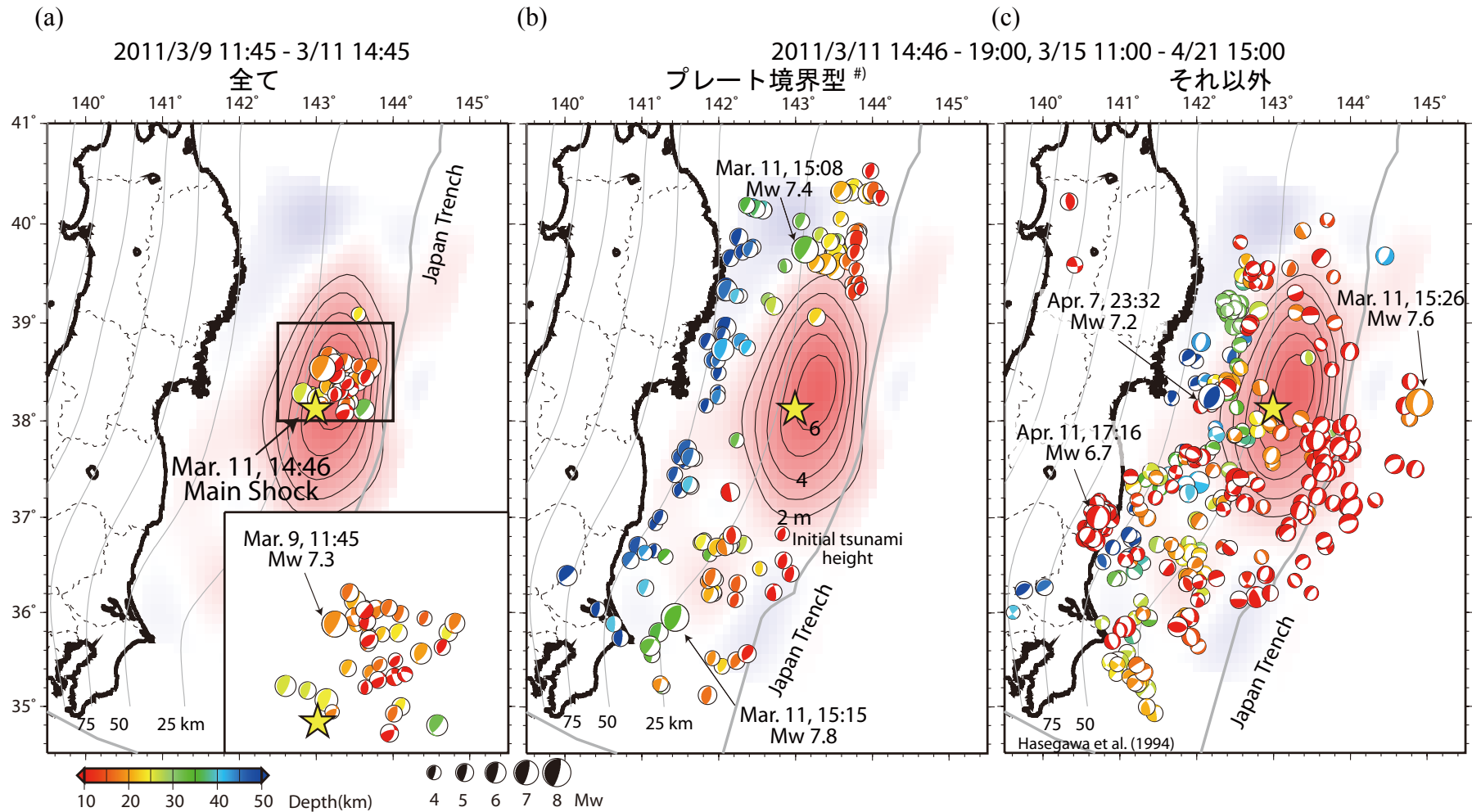
分な解放によって、プレート境界型の余震が起こりづらい場となっている可能性を示唆する。一方で、その周囲では地震時すべりや余効すべりに伴う応力集中によって、プレート境界型の余震活動が活発になっているものと考えられる。

プレート境界型以外の余震の活動もかなり活発である（第1図(c)）。震源断層下盤に位置する太平洋プレート内では、日本海溝付近～アウターライズにおける浅い正断層型の余震と、陸域近くにおける深い逆断層型の余震がそれぞれ発生している。また、上盤に位置する陸側プレート内では、正断層型の余震が多数発生している。地震時すべりからは、下盤の海溝側および上盤の陸側で伸張、下盤の陸側では圧縮の静的応力変化が期待され、正断層型および逆断層型の余震活動域の分布はこれと定性的に一致する。このように、余震の起こり方は、大局的には本震の発生が周囲におよぼす応力変化によって説明可能であることが分かった。

(浅野陽一)

参 考 文 献

- 1) Ito et al. (2006), Performance of regional distance centroid moment tensor inversion applied to the 2004 mid-Niigata prefecture earthquake, Japan, *Geophys J. Int.*, 167, 1317-1331.
- 2) 福山・他 (1998), オンライン広帯域地震データを用いた完全自動メカニズム決定, *地震* 2, 51, 149-156.
- 3) 防災科学技術研究所 (2011), 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震の津波波源, *地震予知連絡会会報*, 86 (本巻).
- 4) Kagan (1991), 3-D rotation of double-couple earthquake sources, *Geophys. J. Int.*, 106, 709-716.



第1図. セントロイド・モーメントテンソル（CMT）解の空間分布。(a) 2011年3月9日11時45分から11日14時45分までの間に発生した地震，(b) 2011年3月11日14時46分から4月21日15時まで（ただし，3月11日19時から15日11時を除く）の間に発生した地震のうちのプレート境界型地震，および(c) それ以外の地震についてのCMT解を下半球投影で示す。シンボルの大きさはモーメントマグニチュードを，カラースケールはセントロイド下深さをそれぞれ表す。星印は防災科学技術研究所 Hi-net による本震の震央を表し，背景に初期津波波高の分布³⁾を併せて示す。ここでは，走向195度，傾斜角13度，すべり角90度の発震機構解からの最小回転角である Kagan 角⁴⁾を評価し，その Kagan 角が35度以下でかつ，すべり角が0度以上の発震機構解をプレート境界型と分類した。

Fig. 1. Spatial distribution of centroid moment tensors (CMTs) of (a) foreshocks from 03/09 2:45 to 03/11 5:45 (UTC), (b) interplate aftershocks, and (c) other aftershocks from 03/11 5:46 to 10:00 and from 03/15 02:00 to 04/21 6:00 (UTC). This interplate type was defined by a condition: rake $\theta \geq 0^\circ$ and Kagan's angle⁴⁾ $\theta \leq 35^\circ$; which is a minimum rotation angle of a focal mechanism from a reference mechanism of a typical interplate earthquake (strike $\phi = 195^\circ$, dip $\delta = 13^\circ$, rake $\lambda = 90^\circ$) in this region. Size of focal mechanism indicates moment magnitude. Color scale denotes centroid depth. The mainshock epicenter located by the NIED Hi-net is indicated by a star. Black contour denotes the initial tsunami height estimated from tsunami data³⁾. Red and blue shades respectively show positive and negative height of the initial tsunami.