

3-23 強震記録を用いた平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の震源過程 Rupture process of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake estimated from strong-motion records

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

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分に発生した平成 23 年東北地方太平洋沖地震（M9.0）について、強震波形記録を用いた震源インバージョン解析を行った。

◎データ

第 1 図に示す防災科研の K-NET 地表観測点 10 点、KiK-net 地中観測点 26 点、合計 36 観測点の強震記録を解析に用いた。観測された加速度波形記録に 0.01 ~ 0.125Hz のバンドパスフィルタをかけ積分して速度波形を得た。この速度波形を 1Hz にリサンプリングして、S 波到達 10 秒前から観測点ごとのデータ記録長と S/N 比に基づき 230 ~ 275 秒間を切り出し解析データとした。

◎断層面の設定と断層破壊過程のモデル化

プレート形状¹⁾を参考に、走向 195 度、傾斜 13 度の断層面を設定し、走向方向の長さは 510km、傾斜方向の幅は 210km とした。破壊開始点は Hi-net および気象庁震源に基づき北緯 38.10 度、東経 142.85 度、深さ 24km においた。

本解析ではマルチタイムウインドウ線型波形インバージョン法^{2,3)}に基づき、断層破壊過程を時空間的に離散化した。空間的には、断層面を長さ 30km、幅 30km の小断層で、走向方向 17 個、傾斜方向 7 個に分割した。時間的には、各小断層でのすべり時間関数を、破壊開始点から一定速度 Vr で広がる同心円が到達した時刻から、6 秒幅のスムーズドランプ関数を 3 秒ずらして 25 個並べることにより表現した。

グリーン関数は、一次元地下構造モデルを仮定し、離散化波数積分法⁴⁾と反射・透過係数行列法⁵⁾により点震源の波形を計算し、小断層内部の破壊伝播の効果を付加⁶⁾して求めた。地下構造モデルは、三次元地下構造モデル⁷⁾の各観測点直下の情報を用いて観測点ごとに構築した。KiK-net 観測点については速度検層の情報を利用した。

◎波形インバージョン解析

各小断層の各タイムウインドウでのすべり量を、観測波形と合成波形の差を最小とするように、最小二乗法を用いて求めた。不等式拘束条件をつけた最小二乗法⁸⁾を用いて、各小断層でのすべり方向の変化を、90 度の ±45 度に収めた。また時空間的に近接するすべりを平滑化する拘束条件⁹⁾を付加した。

◎結果

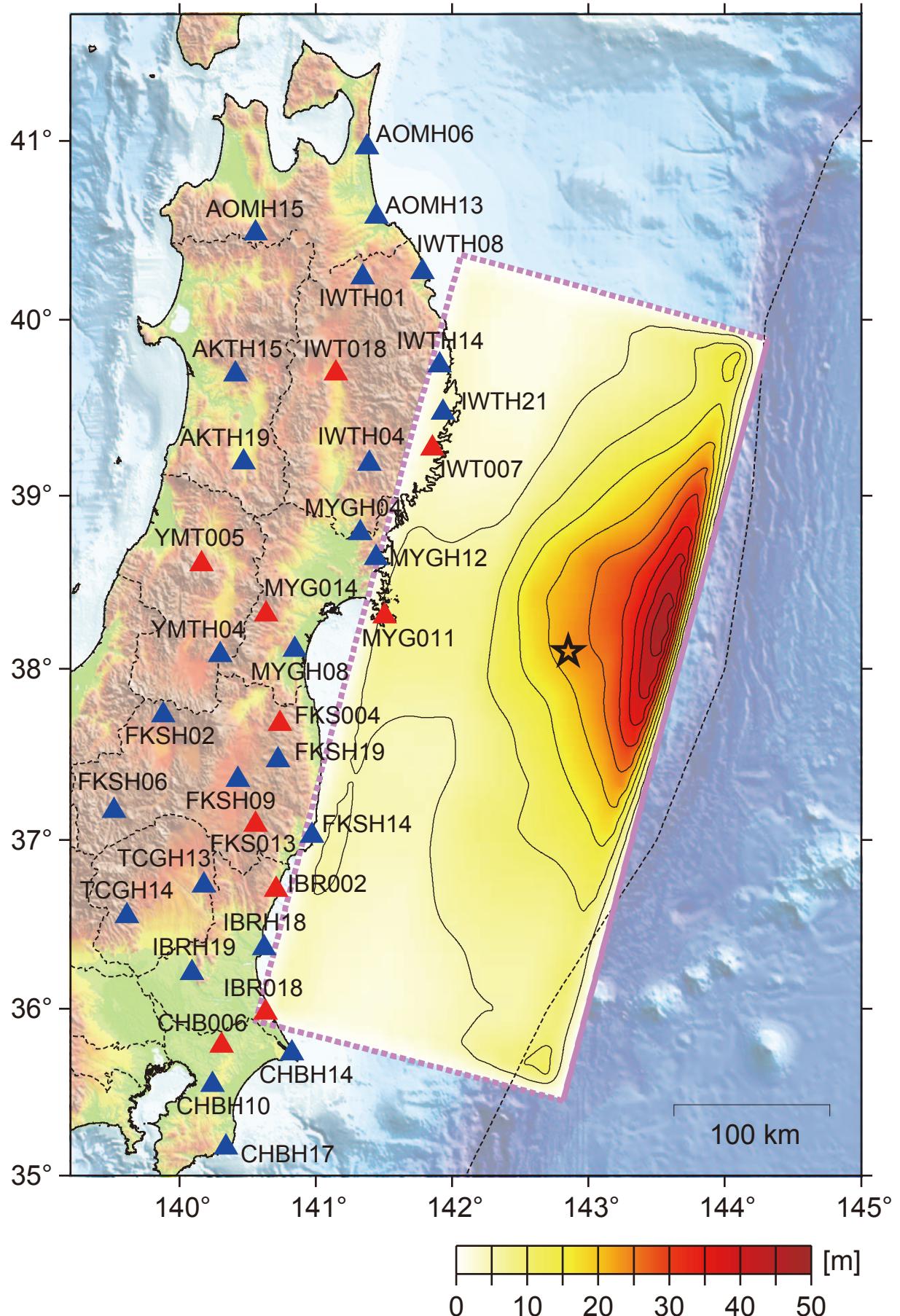
第 1 図に推定されたすべり分布を、第 2 図に観測波形と合成波形の比較を、第 3 図に断層破壊の時間進展過程を示す。Vr は 3.2km/s、最大すべり量は 48m、断層面全体での地震モーメントは 4.42×10^{22} Nm (Mw9.0) である。

すべりの大きい領域は破壊開始点付近から海溝軸近くの浅い領域にかけて広がり、最大すべりは破壊開始点の東北東約60kmの宮城県はるか沖に推定された。破壊開始後60秒間のすべりは宮城県沖で生じ、60-100秒後に岩手県南部から福島県北部にかけての沖合、断層面浅部で大規模なすべりに発展し、100秒以降は福島、茨城県沖へと進展した。陸に近い断層面深部でのすべり量は比較的小さいが、宮城県沖では深部でも5m以上のすべりが推定された。この領域の破壊は破壊開始後40-50秒後と80-100秒後に見られる。

(鈴木亘・青井真(防災科研)・関口春子(京大防災研・防災科研))

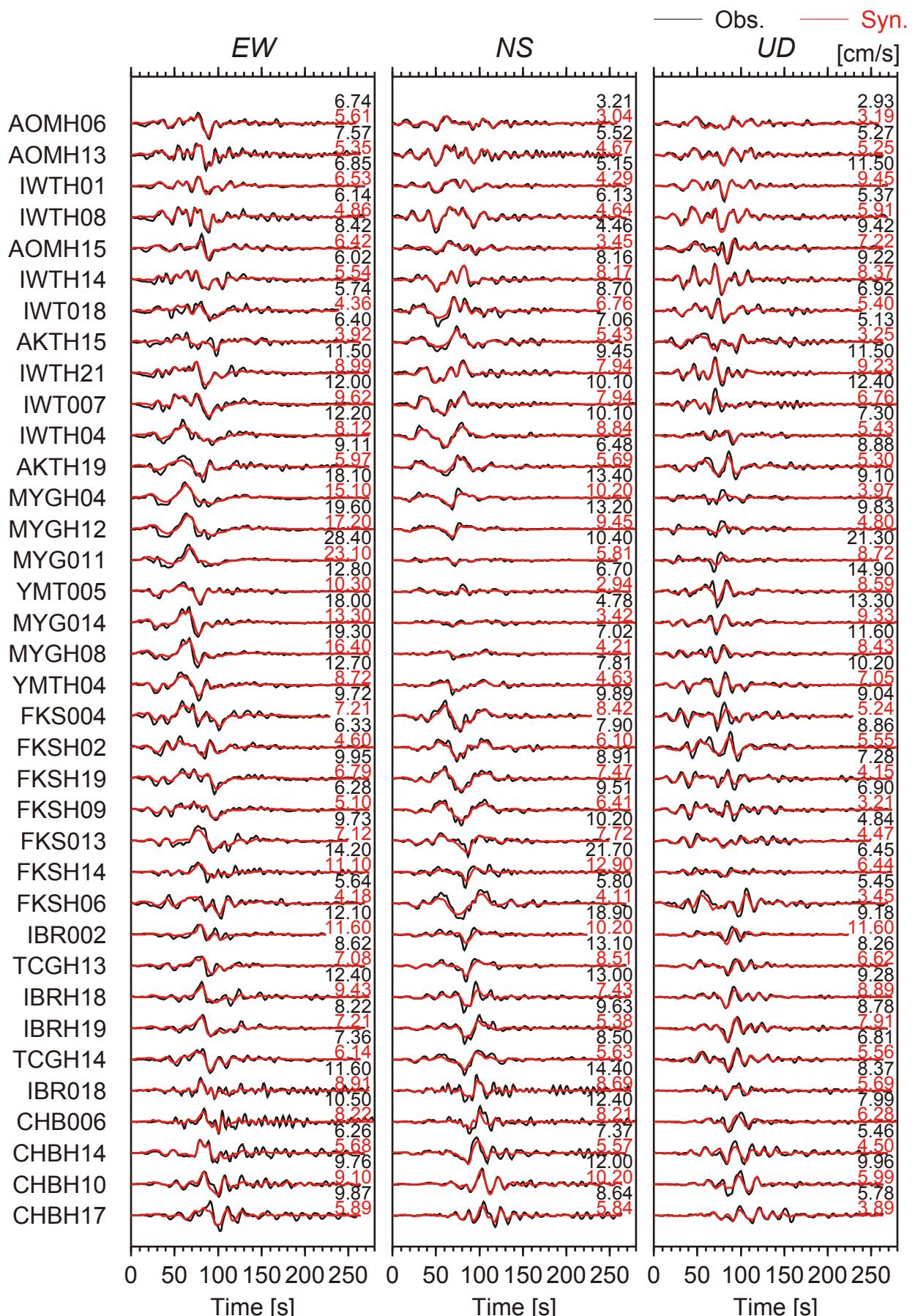
参考文献

- 1) Hasegawa, A. S. Horiuchi, and N. Umino (1994), Seismic structure of the northeastern Japan convergent margin: A synthesis, *J. Geophys. Res.*, 99, 22295-22311
- 2) Olson, A. H. and R. J. Apsel (1982), Finite faults and inverse theory with applications to the 1979 Imperial Valley earthquake, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 72, 1969-2001.
- 3) Hartzell, S. H. and T. H. Heaton (1983), Inversion of strong ground motion and teleseismic waveform data for the fault rupture history of the 1979 Imperial Valley, California, earthquake, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 73, 1553-1583.
- 4) Bouchon, M. (1981), A simple method to calculate Green's function for elastic layered media, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 71, 959-971.
- 5) Kennett, B. L. N. and N. J. Kerry (1979), Seismic waves in a stratified half space, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 57, 557-583.
- 6) Sekiguchi, H., K. Irikura, and T. Iwata. (2002). Source inversion for estimating the continuous slip distribution on a fault—introduction of Green's functions convolved with a correction function to give moving dislocation effects in subfaults—, *Geophys. J. Int.*, 150, 377-391, 2002.
- 7) 藤原広行・河合伸一・青井真・森川信之・先名重樹・工藤暢章・大井昌弘・はお憲生・早川譲・遠山信彦・松山尚典・岩本鋼司・鈴木晴彦・劉瑛(2009), 強震動評価のための全国深部地盤構造モデル作成手法の検討, 防災科学技術研究所研究資料, No.337.
- 8) Lawson, C. L. and R. J. Hanson (1974). Solving Least Squares Problems, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 340 pp.
- 9) Sekiguchi, H., K. Irikura, and T. Iwata (2000), Fault geometry at the rupture termination of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 90, 117-133.



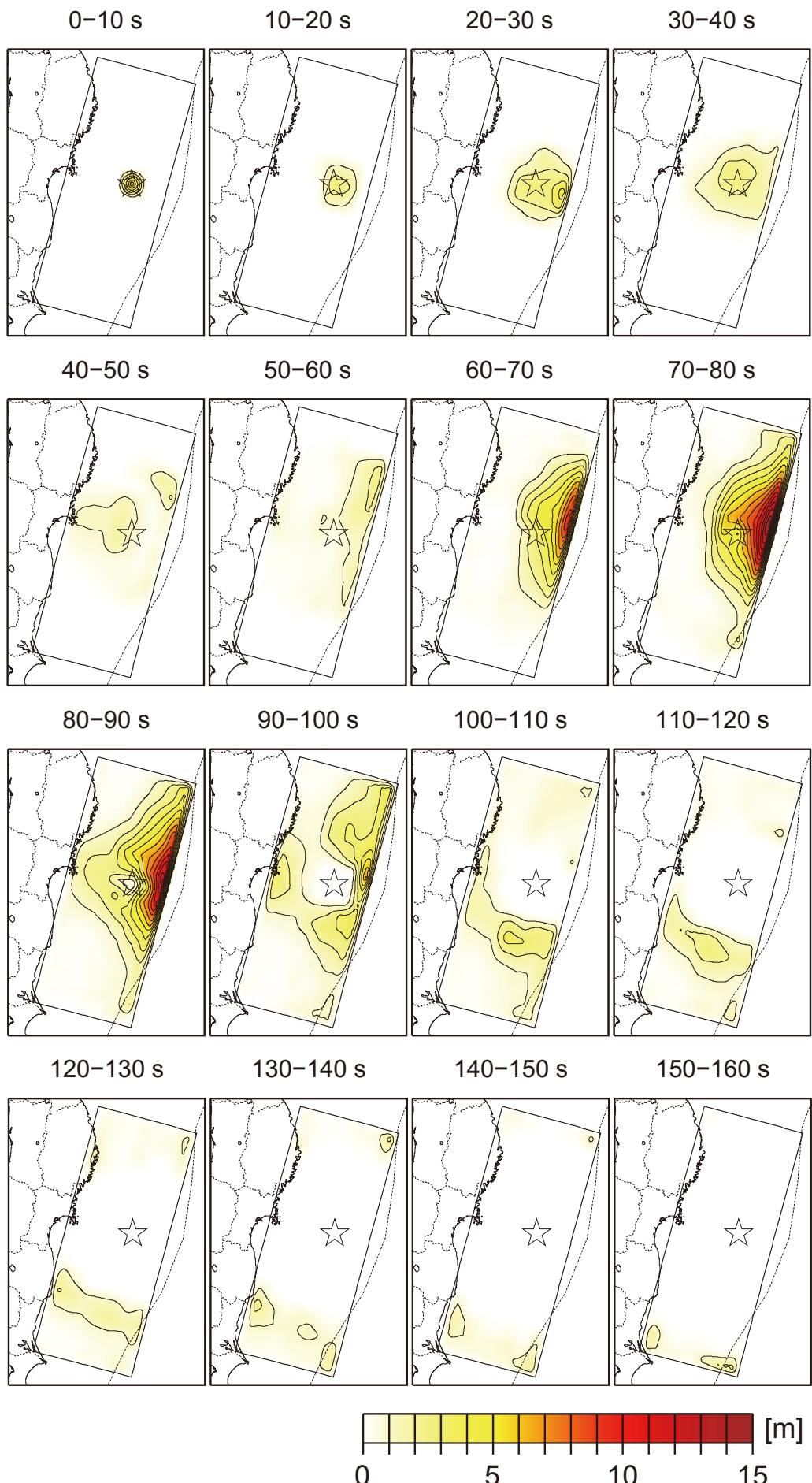
第1図：解析に用いた観測点（赤：K-NET、青：KiK-net）と推定されたすべり分布。すべり量の
センターは5m間隔。

Figure 1: Distribution of the strong-motion stations used in the inversion analysis and the derived
slip distribution. Contour interval is 5 m.



第2図：観測波形（黒）と合成波形（赤）の比較。各波形右上に最大値を示す。

Figure 2: Comparison between the observed (black) and synthetic (red) waveforms. Upper right values denote the maximum value of each trace.



第3図：10秒ごとのすべり分布で表した破壊の時間進展過程。

Figure 3: Slip progression in terms of the slip distribution during 10 second time window.