

3-2 近地強震記録によって推定された2015年5月13日に宮城県沖で発生した地震の震源過程

Rupture process of the 2015 Miyagi-oki earthquake derived from near-source strong-motion records

防災科学技術研究所

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

2015年5月13日6時13分に宮城県沖で発生した地震(Mj 6.8; 気象庁)について、K-NET, KiK-net, F-net の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。

◎断層面モデルと震源過程のパラメータ化

広帯域地震計記録を用いた F-net ルーチンのモーメントテンソル解析¹⁾を行った。解析には、F-net 今金 (IMG), 輪島 (WJM), 中伊豆 (JIZ) 観測点の記録を使用した。その結果、西北西-東南東方向に圧縮軸をもつ逆断層タイプの地震であることが分かった (第1図)。

得られたメカニズム解や震源位置、余震分布の情報から同地震は太平洋プレートと北アメリカプレートの境界で発生したプレート境界型地震と考えられるため、断層面として F-net のモーメントテンソル解析結果から西傾斜の低角逆断層の解 (走向 177 度, 傾斜 25 度) を採用した (第2図)。断層面の大きさは予備的な解析の結果から走向方向の長さを 26km, 傾斜方向の幅を 28km とした (第2図)。破壊開始点は、気象庁震源に基づき、北緯 38.86 度, 東経 142.15 度, 深さ 46km においた。

本解析ではマルチタイムウィ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 2km 四方の小断層で、走向方向 13 個, 傾斜方向 14 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 V_{ftw} で広がる同心円が到達した時刻から、0.8 秒幅のスムーズランプ関数を 0.4 秒ずらして 7 個並べることにより表現した。これにより、各小断層からの要素波形 (グリーン関数) を通じて、断層破壊過程と各観測点での波形は線型の方程式で結び付けられる。

◎波形データとグリーン関数

防災科学技術研究所の K-NET 地表観測点 6 点, KiK-net 地中観測点 11 点の計 17 観測点での強震加速度波形記録を積分して得た速度波形と F-net の 1 観測点での強震速度波形記録を用いた (第2図)。これらの速度波形に 0.1-1.0Hz のバンドパスフィルタをかけ、5Hz にリサンプリングし、S 波到達 1 秒前から 15 秒間を切り出し解析データとした。

各小断層からの要素波形 (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⁶⁾を付加して求めた。地下構造モデルは、全国深部地盤構造モデル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も利用した。

◎波形インバージョン

各小断層の各タイムウィ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、F-net メカニズム解のすべり角である 64 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。平滑化の強さは ABIC¹⁰⁾を参考とし、第一タイムウィンドウをトリガーする同心円の伝播速度は残差を最小とするものを選んだ。

◎結果

第3図に推定された最終すべり分布を示す。第4図に断層破壊の時間進展過程を示す。第5図に観測波形と理論波形の比較を示す。Vftwは4.0km/s、最大すべり量は1.5m、断層面全体での地震モーメントは 1.28×10^{19} Nm (Mw6.7)である。破壊開始点付近の領域と破壊開始点から南東に約10kmの領域において大きなすべりが見られる。各領域の破壊時間は破壊開始から0.0–2.4秒と2.4–4.8秒と分離しており、各領域の破壊は両方ともdown-dip方向に進行したと考えられる。また、各破壊領域からの理論波形を計算することによって、観測波形で見られる二つのパルスはそれぞれの破壊領域から生成された地震波によって構成されていることを確認している。

注：なお、本解析は暫定的なものであり、今後修正される可能性がある。

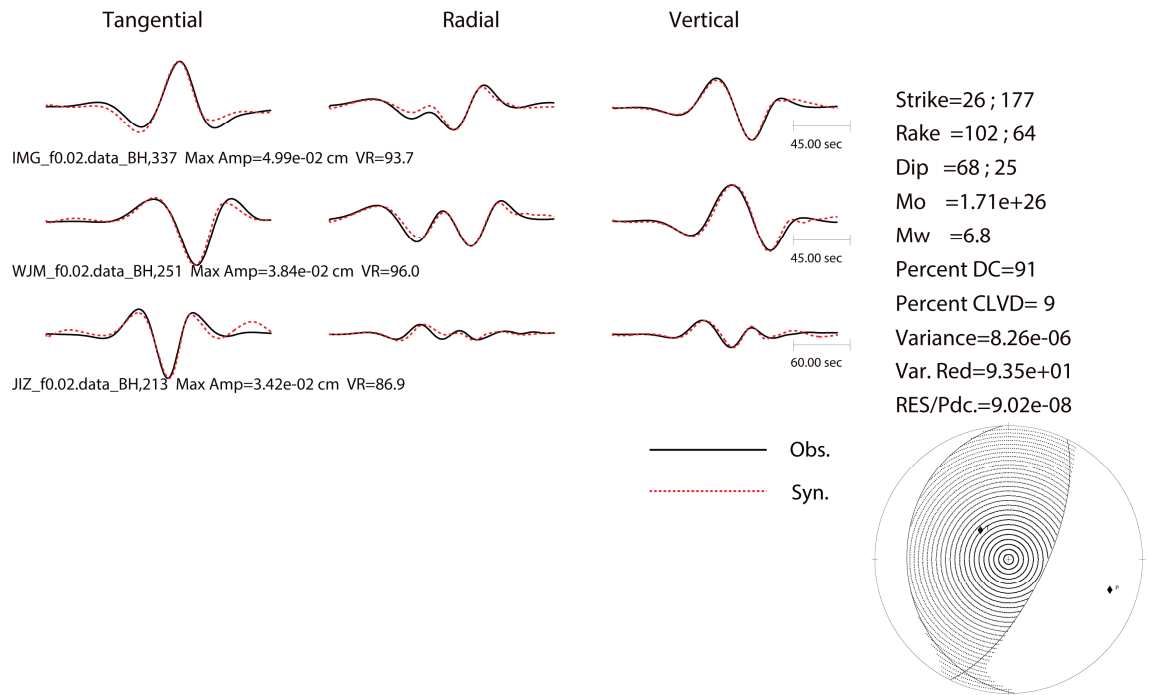
(文責：久保久彦・木村武志・鈴木亘・青井真 (防災科研)・関口春子 (京大防災研・防災科研))

http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/MiyagikenOki_20150513/inversion/

引用文献

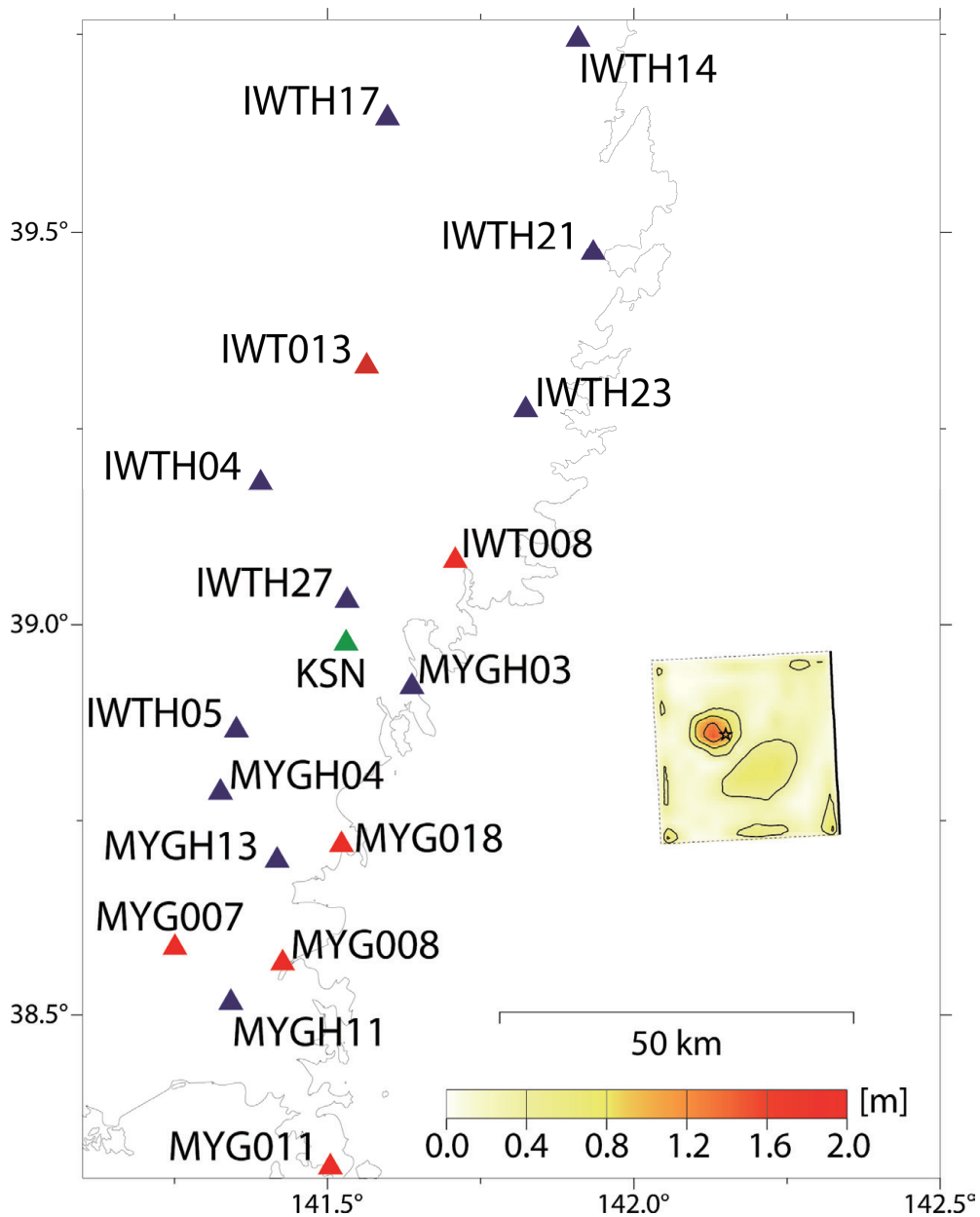
- 1) 福山英一・石田瑞穂・D. S. Dreger・川井啓廉 (1998), オンライン広帯域地震データを用いた完全自動メカニズム決定, 地震 2, 51, 149-156.
- 2) Olson, A. H. and R. J. Apsel (1982), Finite faults and inverse theory with applications to the 1979 Imperial Valley earthquake, Bull. Seismol. Soc. Am., 72, 1969-2001.
- 3) Hartzell, S. H. and T. H. Heaton (1983), Inversion of strong ground motion and teleseismic waveform data for the fault rupture history of the 1979 Imperial Valley, California, earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., 73, 1553-1583.
- 4) Bouchon, M. (1981), A simple method to calculate Green's function for elastic layered media, Bull. Seism. Soc. Am., 71, 959-971.
- 5) Kennett, B. L. 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 continuous slip distribution on the 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, 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. Seism. Soc. Am., 90, 117–133.

10) Akaike, H. (1980), Likelihood and the Bayes procedure, in Bayesian statics, edited by J. M. Bernardo, M. H. DeGroot, D. V. Lindley, and A. F. M. Smith, University Press, Valencia, Spain.



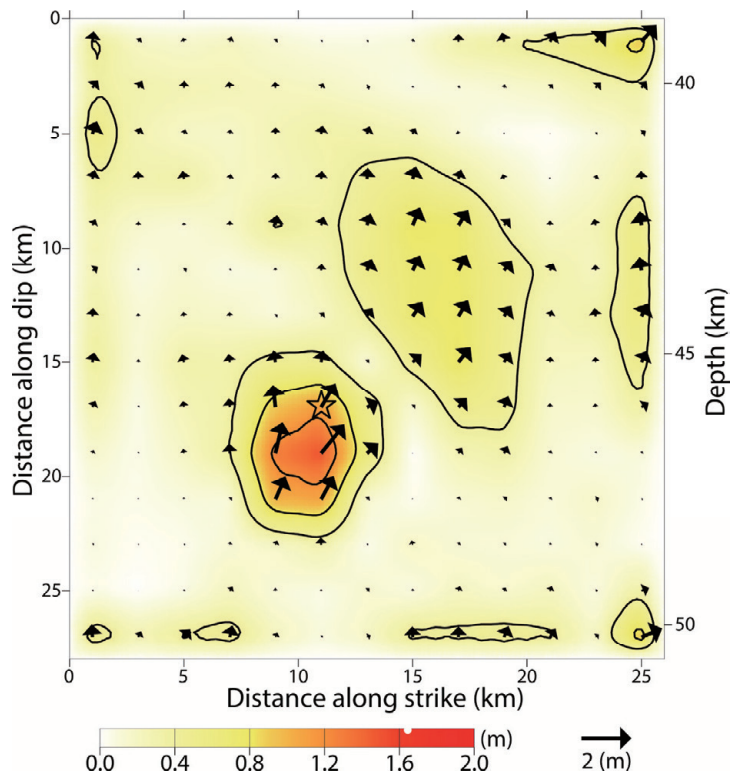
第 1 図 広帯域地震計記録を用いた F-net ルーチンのモーメントテンソル解析の結果. 左に観測波形 (黒実線) と理論波形 (赤破線) の比較を示す. 右に得られた断層パラメータとともに推定されたモーメントテンソルを示す.

Fig.1 Result of F-net moment tensor analysis. Left hand side shows the comparison between observed (black solid lines) and synthetic (red broken lines) waveforms. Right hand side shows the moment tensor with obtained parameters.

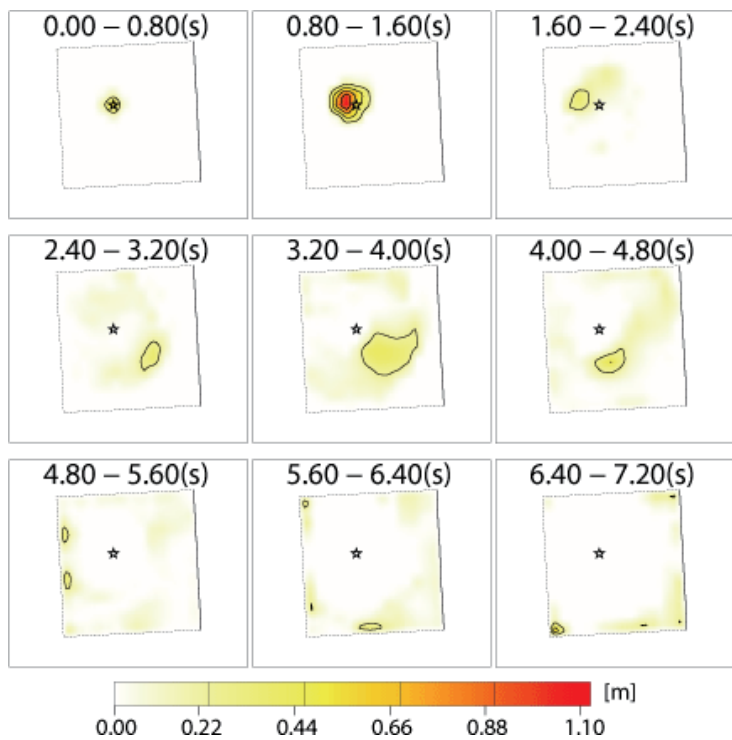


第2図 解析に用いた観測点の分布及び断層面と最終すべり分布の地表投影. 赤三角が K-NET 観測点, 青三角が KiK-net 観測点, 緑三角が F-net 観測点を示す. 星印は破壊開始点を示す.

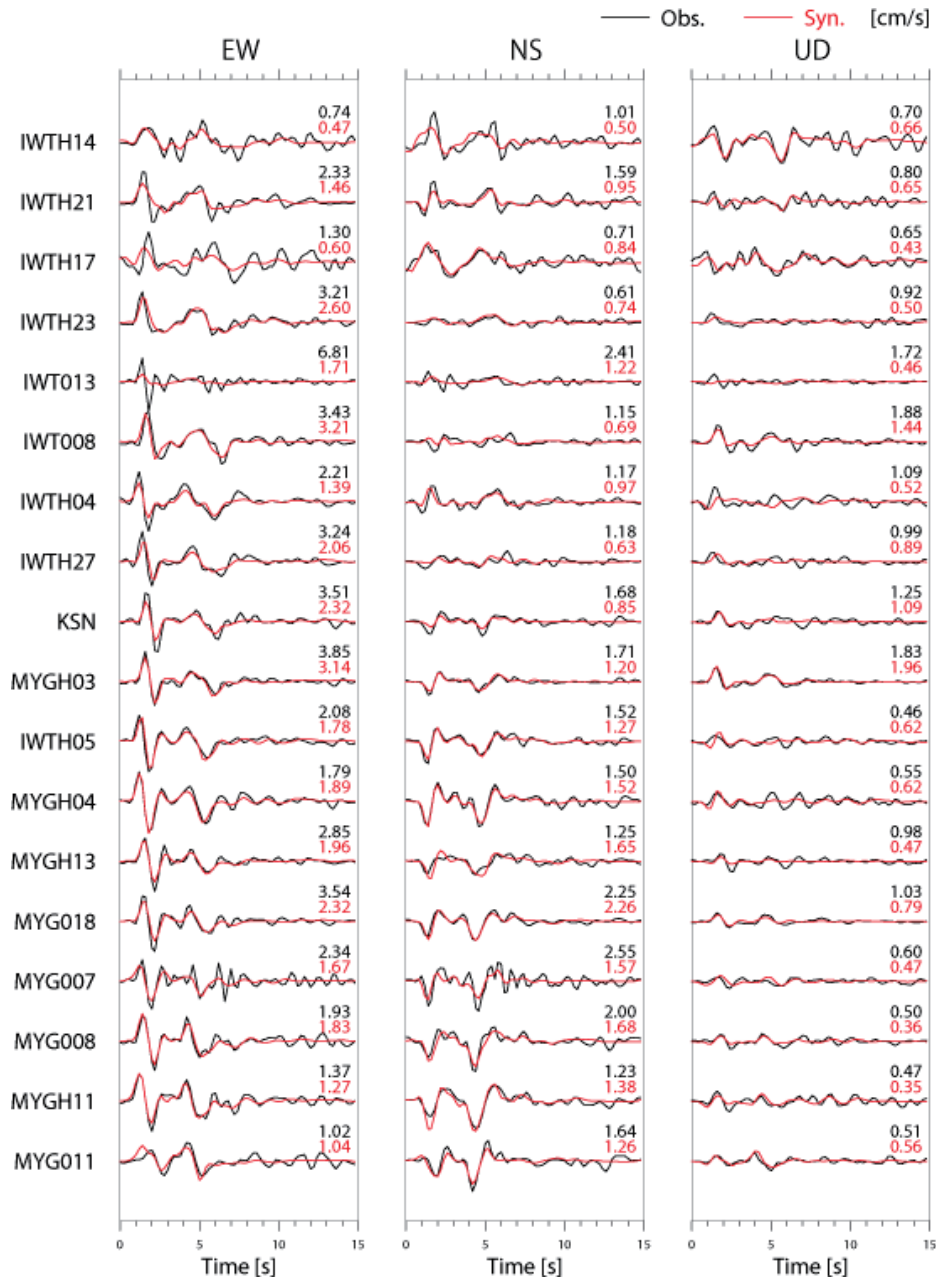
Fig.2 Station distribution used for the inversion analysis. The assumed fault plane and the final slip distribution are also projected on the map. The red, blue, and green triangles indicate the K-NET, KiK-net, and F-net stations, respectively. A star indicates the rupture starting point.



第 3 図 断層面上の最終すべり分布図. 星印は破壊開始点を示す.
 Fig.3 Final slip distribution on the assumed fault plane. A star indicates the rupture starting point.



第 5 図 破壊の時間進展過程. 0.8 秒ごとのすべり分布を地表投影している.
 Fig.5 Snapshots of the slip distributions projected on the map at a time step of 0.8 s.



第4図 観測波形（黒）と理論波形（赤）の比較. 右上の数字はそれぞれの最大値（m/s）を示す.
 Fig.4 Comparison between the observed (black) and synthetic (red) waveforms. The maximum velocities for the observation and simulation are shown upper right of each trace.