

12 - 12 近地強震記録によって推定された平成 28 年（2016 年）熊本地震（4 月 16 日 1 時 25 分，M 7.3）の震源過程

Rupture process of the 2016 Kumamoto earthquake (Apr. 16, M 7.3) derived from near-source strong-motion records

防災科学技術研究所

National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

一連の平成 28 年（2016 年）熊本地震のうち、4 月 16 日 1 時 25 分に発生した地震（M 7.3; 気象庁）について、防災科学技術研究所 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

走向方向の長さ 56 km, 傾斜方向の幅 24 km を持つ断層面を仮定した（第 1 図）。断層面の走向は F-net のモーメントテンソル逆解析の結果から 226 度とした。断層面の傾斜は地震後の地震活動の分布及び地表地震断層の分布, InSAR や GNSS で捉えられた地震前後の静的地表変位の分布を参考に 65 度とした。破壊開始点は, DD 法で再決定された震源位置に基づき, 北緯 32.7557 度, 東経 130.7616 度, 深さ 13.58 km 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 2 km 四方の小断層で, 走向方向 28 個, 傾斜方向 12 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 13 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 観測点 13 点, KiK-net 観測点 11 点の計 24 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 3 観測点での強震速度波形記録を用いた（第 1 図）。これらの速度波形に 0.05 - 1.0 Hz のバンドパスフィルタをかけ, 5 Hz にリサンプリングし, S 波到達 1 秒前から 30 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て求めた。地下構造モデルは, 全国深部地盤構造モデル⁶⁾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。また小断層内部の破壊伝播の効果を 25 個の点震源（走向方向, 傾斜方向それぞれ 5 列）を小断層に分布させることにより表現した。

◎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⁷⁾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 - 142 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⁸⁾を付加した。平滑化の強さは ABIC⁹⁾を参考とし、Vftw は残差を最小とするものを選んだ。

◎結果

第2図に推定された最終すべり分布を示す。第3図に断層破壊の時間進展過程を示す。図4にすべり分布の地表投影を活断層トレースと地震後の地震活動と比較した図を示す。第5図に観測波形と理論波形の比較を示す。Vftw は 2.8 km/s, 最大すべり量は 4.6 m, 断層面全体での地震モーメントは 5.3×10^{19} Nm (M_w 7.1) である。すべりの大きい領域は震央の北東 10 km から 30 km 程度の領域に広がり、阿蘇山付近にまで及ぶ。浅い領域のすべりは、地表踏査で確認された地表地震断層と整合的である。3 m 以上のすべりを持つ領域と地震後の地震活動の領域は相補的である。主たる破壊は地震発生から 5 - 15 秒後に生じており、全体の破壊は約 20 秒で収束する。

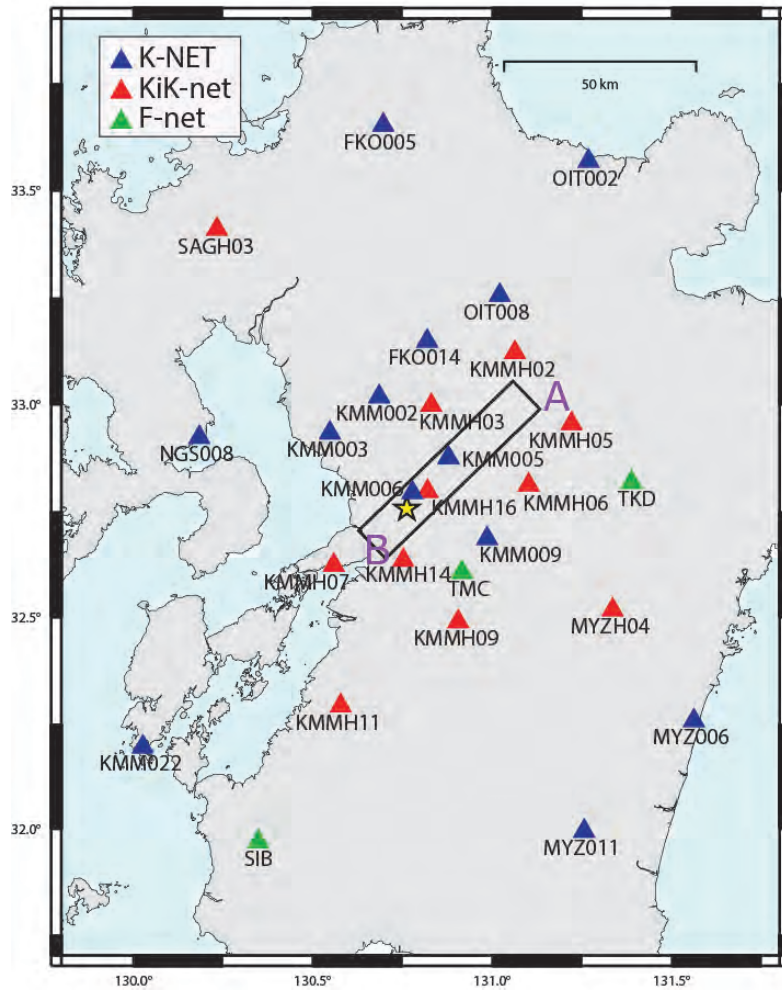
注：なお、本解析は暫定的なものであり、今後修正される可能性がある。

(文責：久保久彦・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/Kumamoto_20160416/inversion/

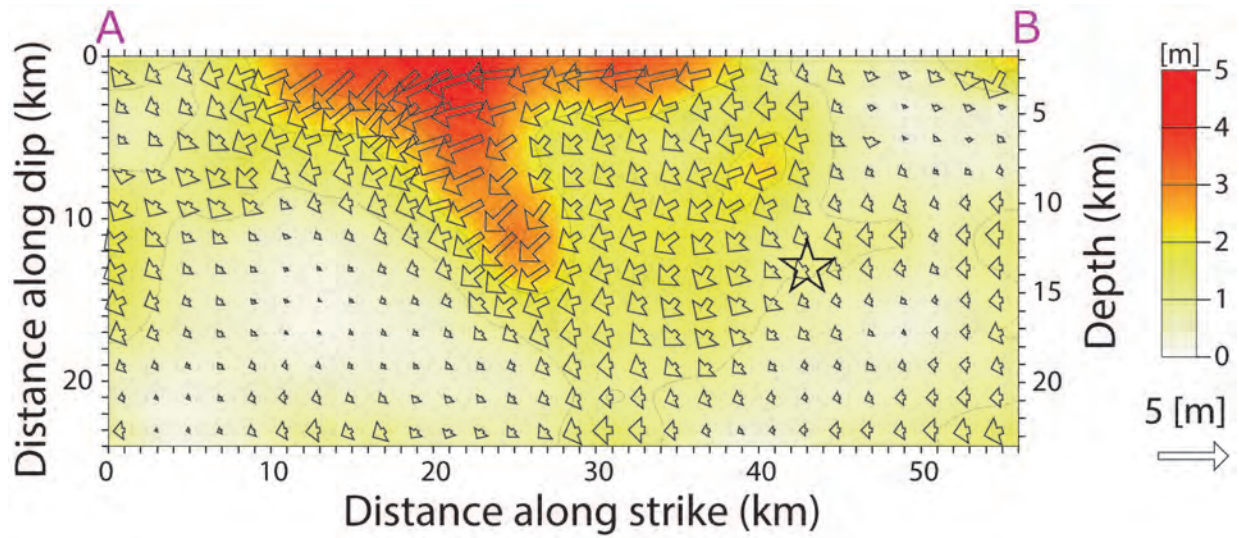
引用文献

- 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) 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.
- 7) Lawson, C. L., and R. J. Hanson (1974). Solving Least Squares Problems, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 340 pp.
- 8) 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.
- 9) Akaike, H. (1980), Likelihood and the Bayes procedure, in Bayesian statistics, edited by J. M. Bernardo, M. H. DeGroot, D. V. Lindley, and A. F. M. Smith, University Press, Valencia, Spain.



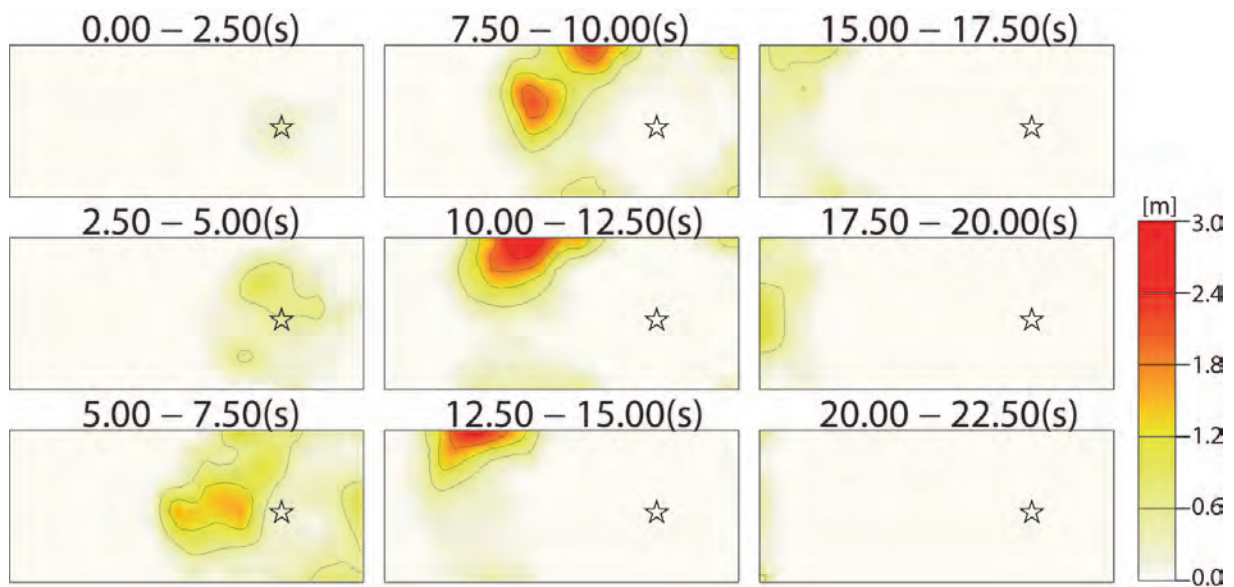
第 1 図 観測点の分布及び断層面の地表投影. 星印は破壊開始点を示す.

Fig. 1 Station distribution and assumed fault model on the map. A star denotes the rupture starting point.



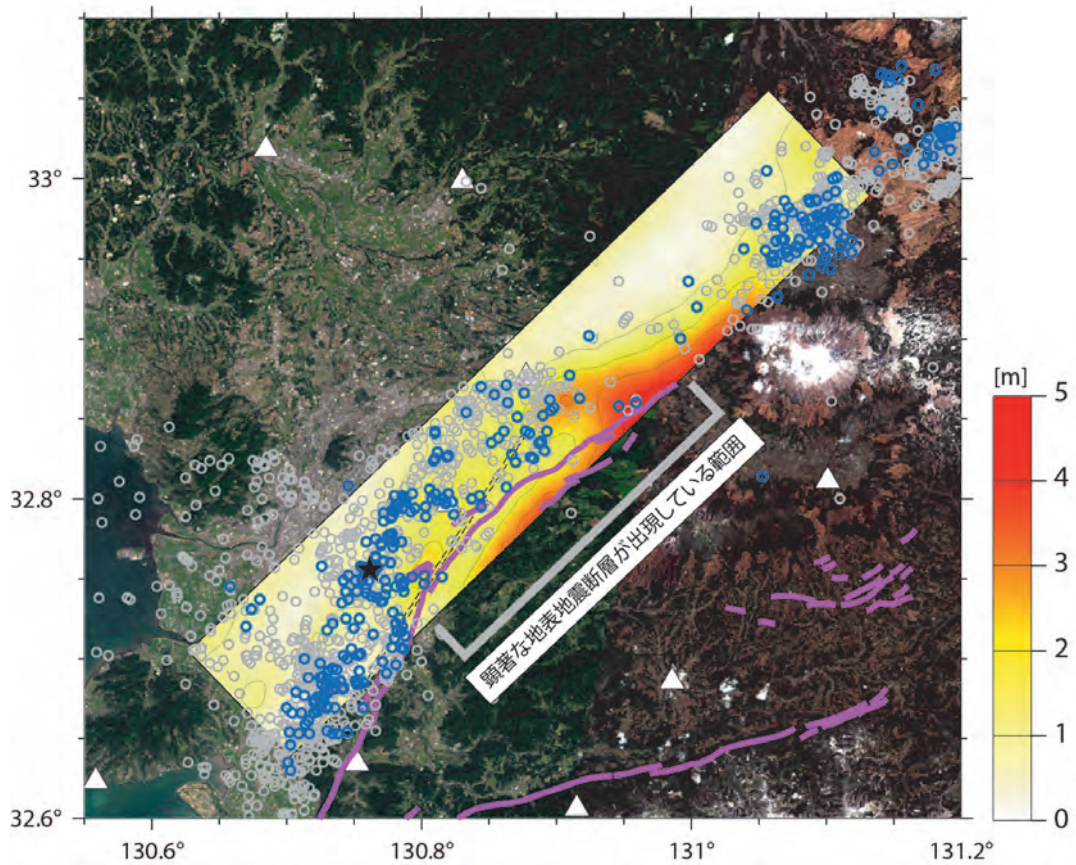
第2図 断層面上の最終すべり分布. ベクトルは上盤のすべり方向とすべり量を示している. 星印は破壊開始点を示す

Fig. 2 Total slip distribution on the fault. The vectors denote the direction and amount of the slip of the hanging wall side. A star denotes the rupture starting point.



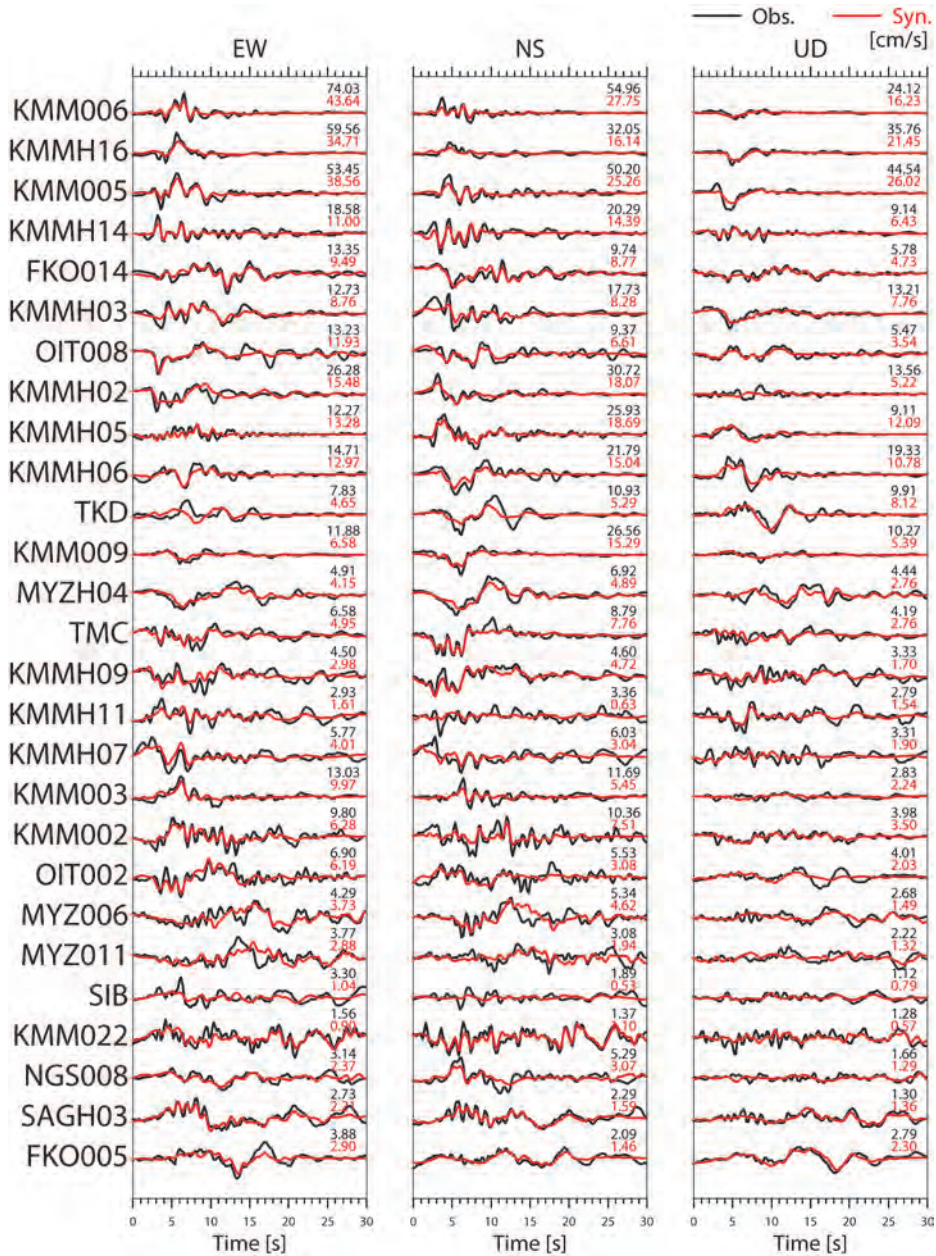
第3図 破壊の時間進展過程. 2.5秒ごとのすべり分布を示す.

Fig. 3 Rupture progression in terms of slip amount for each 2.5 s time window.



第4図 すべり分布の地表投影。星印は破壊開始点を，三角は観測点を，青丸は地震発生後六時間以内の地震活動のHi-net震源位置を，灰色の丸は地震発生後二週間以内の地震活動のHi-net震源位置を，紫線は活断層トレースを示す。背景の地図は「地理院地図」(国土地理院) (<http://maps.gsi.go.jp>) をもとに作成。

Fig. 4 Map projection of slip distribution. A star denotes the rupture starting point. Triangles denote the used stations. Blue and gray circles denote the hypocenters of aftershocks occurring during 6 hours and 2 weeks after the M 7.3 event, respectively, which were determined by the NIED Hi-net. Purple lines denote the surface traces of active faults. Background map was made using GSI Maps of Geospatial Information Authority of Japan (<http://maps.gsi.go.jp>)



第5図 観測波形（黒線）と理論波形（赤線）の比較。波形の右上にそれぞれの最大値を示す。

Fig. 5 Comparison between the observed and the synthetic waveforms. The maximum values are shown on the upper right of each waveform.