

近地地震動記録による 2007 年新潟県中越沖地震の震源インバージョン (暫定版)

Source Process of the 2007 Niigata-ken Chuetsu-oki Earthquake

Derived from Near-fault Strong Motion Data

防災科学技術研究所

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

2007 年 7 月 16 日 10 時 13 分に発生した新潟県中越沖地震 (37 度 33.4 分、138 度 36.5 分、深さ 17km ; 気象庁) について、K-NET, KiK-net 等の断層近傍の強震波形記録を用いて、震源過程のマルチタイムウィンドウ線形波形インバージョン (Hartzell and Heaton, 1983) を行った。

◎断層面モデルと震源過程のパラメータ化

図 1 に、Hi-net の再検測による本震後約 24 時間以内の余震分布と、Hi-net の押し引き及び F-net のモーメントテンソル逆解析から推定された震源メカニズムを示す。余震分布等からはいずれの断層面が本震時にすべったかの確証が得られないため、インバージョンは北西傾斜断層モデル (モデル A) および南東傾斜断層モデル (モデル B) の両方で行った。それぞれ、メカニズムは F-net のモーメントテンソル解の北西傾斜 (走向 215° 、傾斜 49° 、すべり角 80°)、南東傾斜 (走向 49° 、傾斜 42° 、すべり角 101°) の面とし、破壊開始点は、Hi-net の再検測値を用いた DD 法による解析 (行竹・他、2007) で推定された震央 (37.5397N , 138.6091E) とした。深さに関しては DD 法による震源が 7.417km と浅く推定されたことを考慮し、深さ 8km に置いた。大きさは余震分布の広がり参考に、長さ 30km、幅 24km とした (図 1 に示した長方形)。インバージョン解析 (Hartzell and Heaton, 1983) において、断層面上のすべり破壊過程は、時間・空間的に離散化して表現されている。空間的には 2km 四方の小断層 180 個 (15×12) に分けた。時間的には各小断層において破壊開始点から一定速度で広がる同心円が到達してから時間幅 1.0 秒のスムーズランプ関数を 0.5 秒間隔で 6 つ並べることによって表現した。各小断層からの理論波形は、反射法地震探査やボーリング調査等による地下構造の情報をもとに観測点ごとに異なる一次元成層構造モデルを仮定して、離散化波数法 (Bouchon, 1981) と反射透過係数法 (Kennett and Kerry, 1979) により点震源の波形を計算し、これに小断層内部の破壊伝播の効果を付加した (Sekiguchi et al., 2002)。

◎解析に用いた波形データ

防災科研 K-NET、KiK-net (地中)、F-net、気象庁 (上越市中ノ俣：以下、JMACB6) および新潟県の自治体震度計 (出雲崎町川西：以下、L65039) の計 14 観測点 (図 1) で得られた強震波形に、0.1~1.0Hz (1~10 秒) のバンドパスフィルターをかけた。速度記録である F-net 以外の観測点については、加速度記録を積分し速度波形とした。F-net に関しては、速度型強震計 (VSE-355G2) の波形を用いた。速度波形の S 波部分 14 秒間を切り出し (S 波到達時刻の 1 秒前から 13 秒後まで)、解析データとした。

◎波形インバージョン

各小断層の各タイムウィンドウのすべり量は、観測記録と理論波形の差を最小とするように、最小二乗法により解いた。インバージョンには、すべりの方向をモーメントテンソル解のメカニズムのすべり方向（北西傾斜の断層面の場合は 80° 、南東傾斜の断層面の場合は 101° ）から片側 45° の幅の中に収める拘束条件（Non Negative Least Square: Lawson and Hanson, 1974）と、時間的・空間的に近接したすべりを平滑化する拘束条件をかけている。平滑化の強さは、ABICにより妥当な値を選んだ。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、観測と合成の波形の残差が小さくなるものを選んだ。

◎結果

図 2A,B に推定されたすべり分布を、図 3A, B に観測波形と合成波形の比較を示す。

【モデルA：北西傾斜断層面】インバージョンの最適解の断層面全体での地震モーメント M_0 は $1.42 \times 10^{19} \text{Nm}$ ($M_w=6.7$) であった。破壊開始点よりも南西側（柏崎市側）で破壊開始点より深い部分にすべりの大きい領域がある。このアスペリティは、観測波形に2個または3個見られるパルスのうち後の方に寄与したとみられる。

【モデルB：南東傾斜断層面】インバージョンの最適解の断層面全体での地震モーメント M_0 は $1.62 \times 10^{19} \text{Nm}$ ($M_w=6.7$) であった。破壊開始点よりも南西側（柏崎市側）で破壊開始点の深さから浅い側にかけてすべりの大きい領域がある。

南東傾斜及び北西傾斜のどちらの断層面を仮定した場合でも、破壊開始点付近に小さなすべりがあり、その南西十数 km のところに最大のすべり（モデルA、Bでそれぞれ約 2.2m、2.5m）が推定された。本解析では、二通りのインバージョンにより再構成した合成波形・残差結果には明白な優劣の差は得られなかったため、現時点では、どちらの断層面が妥当であるかを判断し難い。

両モデルにおいて最も大きなすべりが推定される領域は地図投影するとほぼ同じ場所に位置し、余震の発生が少ない領域とほぼ重なる。このすべりの大きな領域は、北西傾斜と南東傾斜の両断層面が交差する部分に位置しており、共役な断層面から生じる地震波の放射特性も似ているため、いずれの解が適切であるかを推定することを困難にしていると考えられる。今後、測地データ等を考慮した断層面の設定を行う必要がある。

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。

（青井真*・関口春子**・森川信之*・功刀卓*・白坂光行***）

*防災科研・**産総研・***気象庁

謝辞：新潟県により記録・収集された自治体震度計データを使用させていただきました。

<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/topics/chuetsuoki20070716/inversion/>

◎参考文献

Bouchon, M. (1981), A simple method to calculate Green's function for elastic layered media, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 71, 959-971.

F-net, www.fnet.bosai.go.jp/freesia/index-j.html

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.

Hi-net, www.hinet.bosai.go.jp/

Kennett, B. L. and N. J. Kerry (1979), Seismic waves in a stratified half space, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 57, 557-583.

Lawson, C. L., and R. J. Hanson (1974). *Solving Least Squares Problems*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 340 pp.

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.

行竹洋平・武田哲也・小原一成(2007). 波形相関を用いた 2007 年新潟県中越沖地震の余震分布の推定、日本地震学会 2007 年秋季大会.

Wessel, P., and W. H. F. Smith (1995). New version of the Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. AGU* 76, 329.

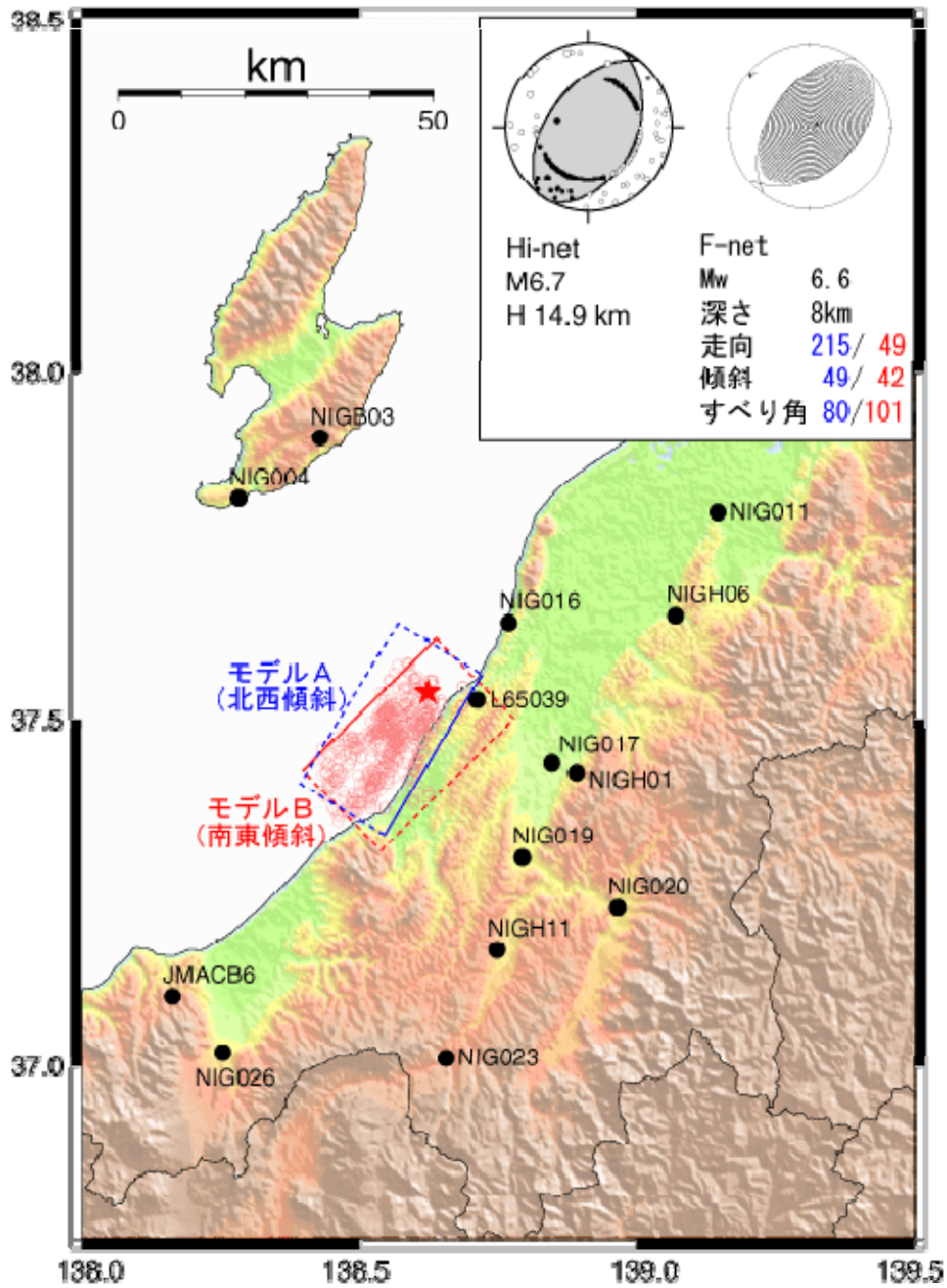


図 1：解析に用いた観測点の分布図。長方形はインバージョン解析に用いた断層モデルを地表に投影したものを、星印は破壊開始点を示す。赤丸は、Hi-net の再検測による本震後約 24 時間の余震分布。震源メカニズムは Hi-net の P 波押し引き分布及び F-net のモーメントテンソル逆解析による。

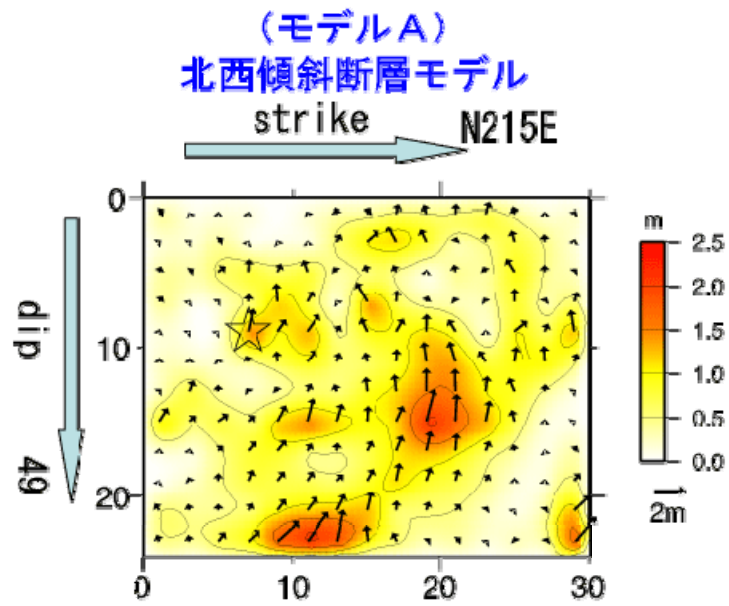


図 2A：逆解析により推定された断層面上のすべり分布（北西傾斜モデル、モデルA）。

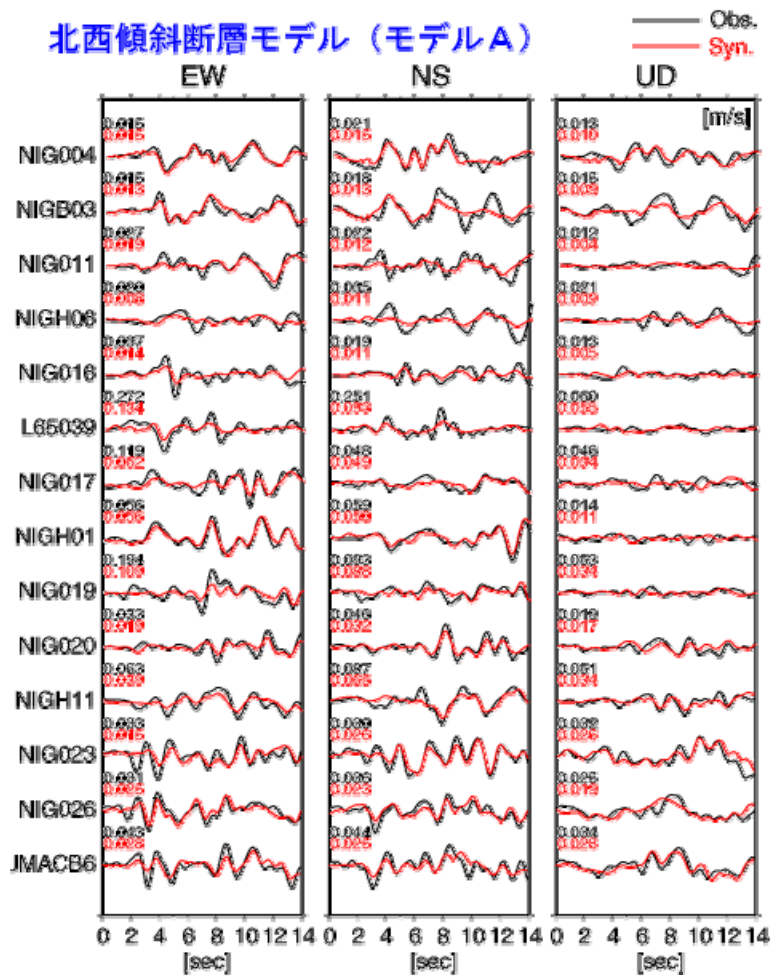


図 3A：観測波形と合成波形の比較。黒線と赤線はそれぞれ観測波形と合成波形を示す（北西傾斜モデル、モデルA）。

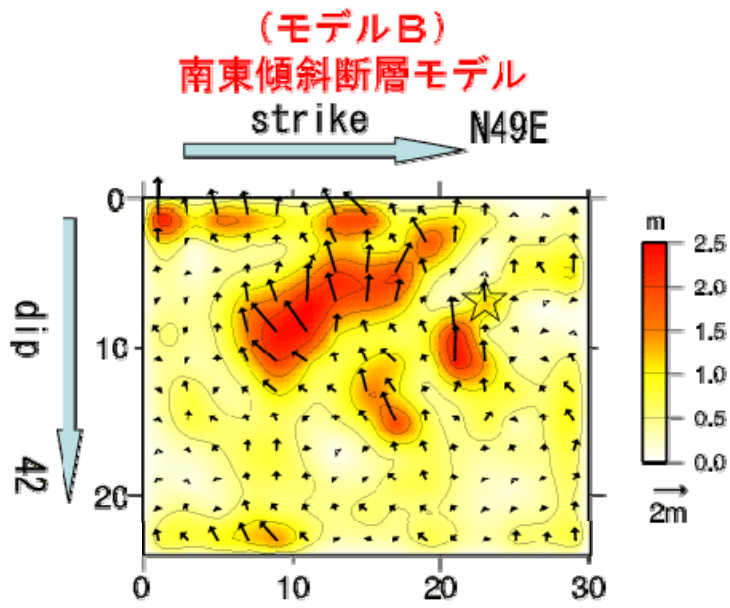


図 2B：逆解析により推定された断層面上のすべり分布（南東傾斜モデル、モデルB）。

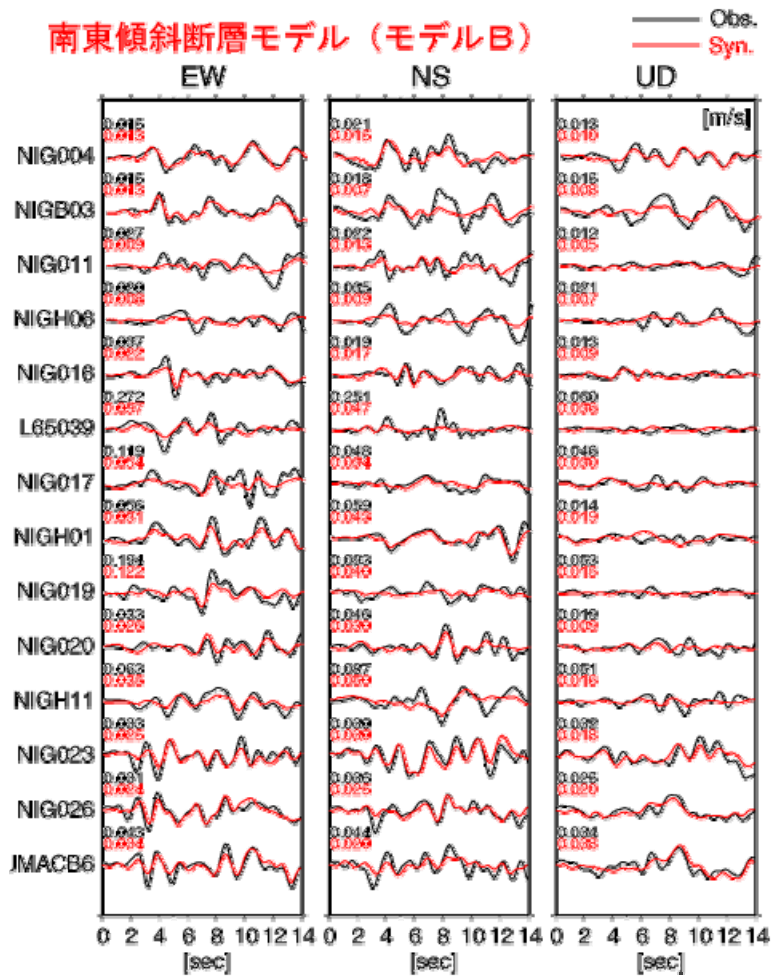


図 3B：観測波形と合成波形の比較。黒線と赤線はそれぞれ観測波形と合成波形を示す（南東傾斜モデル、モデルB）。

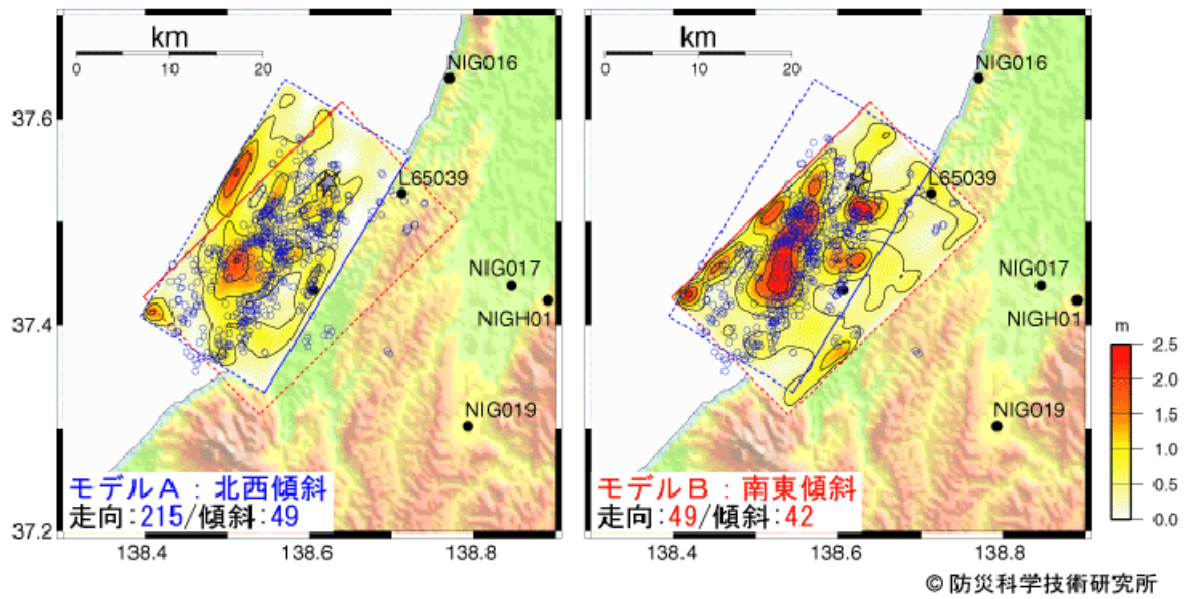


図 4 : 推定されたすべり分布の地表投影。左：モデルA（北西傾斜断層モデル）、右：モデルB（南東傾斜断層モデル）。青色で示した○はDD法により推定された余震分布。すべりの大きな部分は余震の少ないところと一致する。

注：2007/8/19：図 2A, B,4 のコンターの配色変更（モデルは変更していません）