

2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)の震源のモデル化

○川辺秀憲・釜江克宏・上林宏敏・原田怜 (京都大学 原子炉実験所)

はじめに

2011年3月11日14時46分、三陸沖から茨城県沖のプレート境界を震源とするマグニチュード9.0の超巨大地震が発生した。この地震では7mを超える津波が観測され、津波による甚大な被害が岩手県から茨城県に至る広域で生じた。一方、観測された加速度記録を見ると、宮城県以北の地域では特徴的な2つの波群が観測されており、福島県ではその2つの波群に加えて異なった波群も観測され、その南の茨城県では特徴的な1つの波群が観測されている。これらの観測記録は、この地震の震源過程が非常に複雑であったことを示唆している。よって、この地震の震源過程を明らかにすることは、今後の東南海・南海地震などプレート境界で発生する地震の強震動予測をする上でも非常に重要なことである。

観測記録

防災科学技術研究所・KiK-netによる本震の観測記録を図1に示す。この図に示す波群の伝播過程から、5つの強震動生成域(アスペリティ)があると推定し、以下の震源のモデル化を行った。

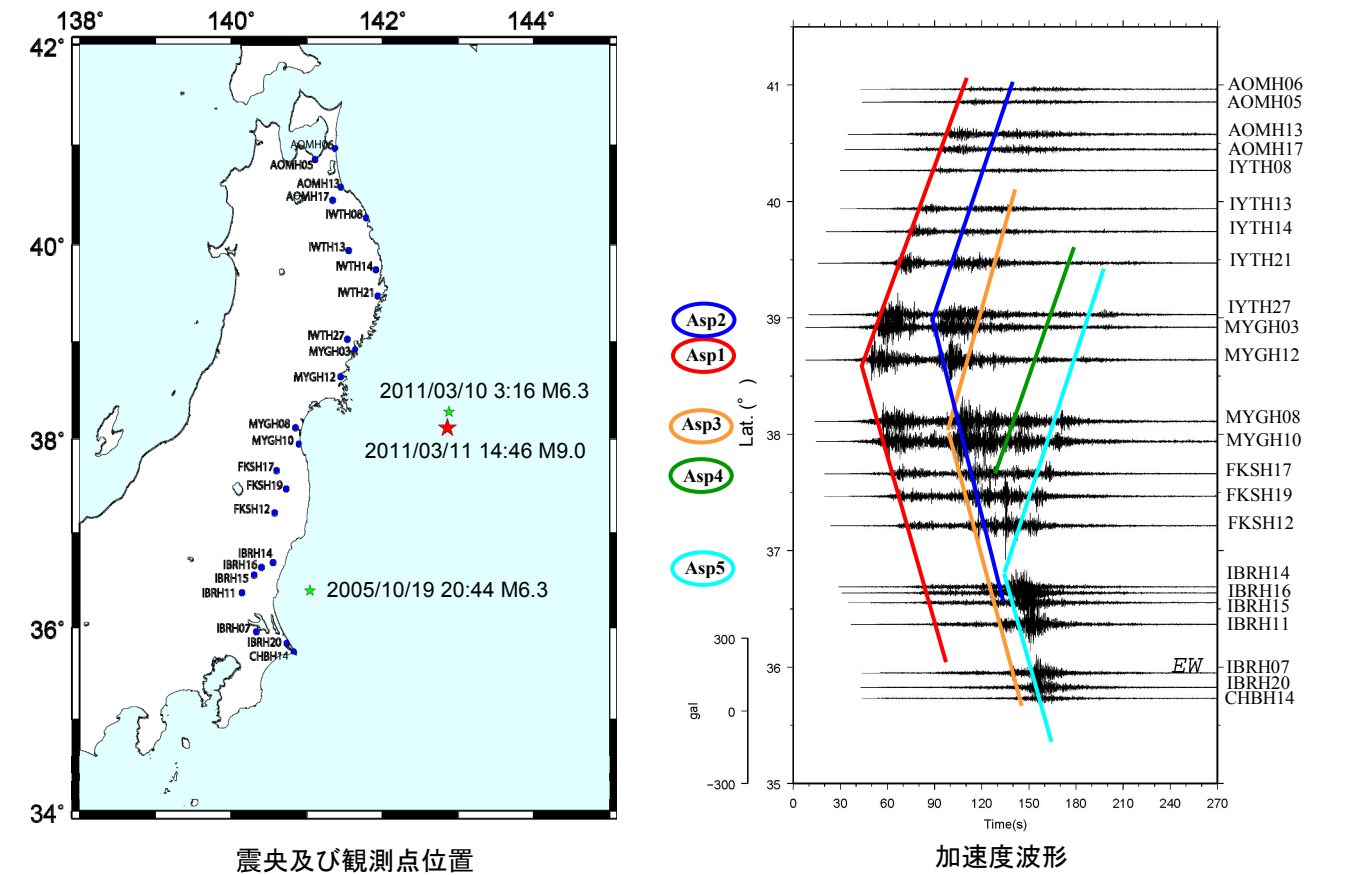


図1 震央位置及び本震の防災科学技術研究所・KiK-net強震計の観測記録(地中、フィルター:0.1-10Hz)

解析手法とモデルの設定

経験的グリーン関数法

ここでは、太平洋沿岸部のKiK-net(地中)の観測記録を用い、次の条件のもとで経験的グリーン関数法によるフォワードモデリングによって、強震動生成域(アスペリティ)のモデル化を行った。

・0.1～10Hzの波形を対象とした。

・震源面は、沈み込む太平洋プレートの形状をもとに、気象庁の震源をとる走行195度、傾斜角13度の面と仮定した

・経験的グリーン関数として2005年10月19日20:44に茨城県沖で発生したMj6.3の地震、及び2011年3月10日3時16分に宮城県沖で発生したMj6.4の地震の記録を用いた。

・本検討では、KiK-netの観測記録によって、波群の伝播や到達時刻などから破壊過程(アスペリティ)の位置や破壊開始時刻等)を推定した。

・1つ目のアスペリティ(Asp1)の破壊開始時刻及び破壊開始位置は、表3に示す1次元構造と各観測点のS波到達時刻から決定した。表3に示す各アスペリティの破壊開始時間は、気象庁の震源時間を0秒とした場合の値である。

・アスペリティ内の破壊速度は2.8km/sで一定とした。

離散化波数法

次に、水平成層構造(表3)を仮定し離散化波数法により、上記で求めた震源モデルの検証を行った。ここでは、震源時間関数はSmoothed ramp functionとした。

表1 グリーン関数として使用した地震の震源パラメータ

Origin Time (JST)*	2005/10/19 20:44	2011/3/10 3:16
Latitude (deg.)*	36.382	38.271
Longitude (deg.)*	141.043	142.879
Depth (km)*	48.3	28.9
Mj*	6.3	6.4
Mo (Nm)**	3.18×10^{18}	2.21×10^{18}
Strike/dip/rake** (deg.)	25/68/88 209/22/94	22/70/91 199/20/87

*気象庁, **F-net

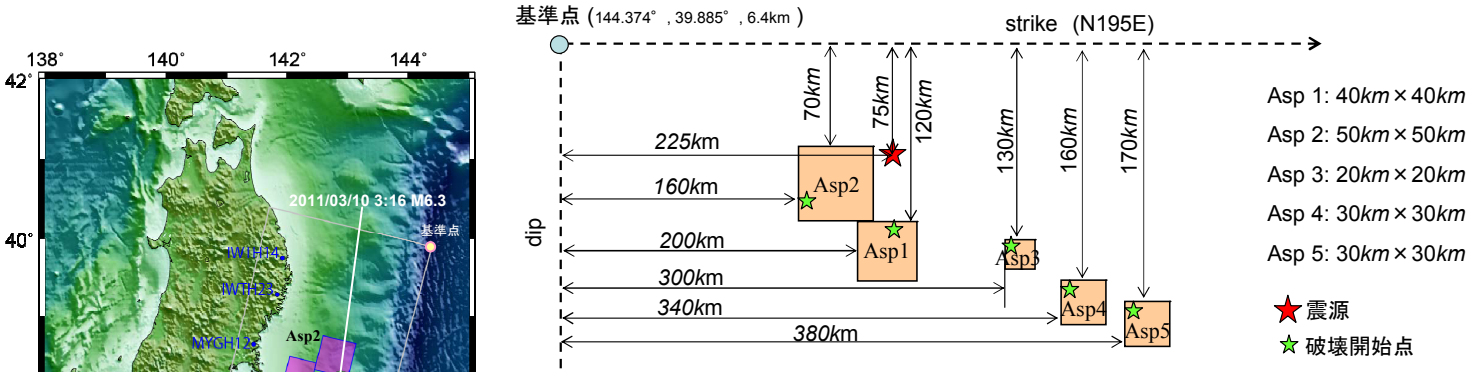


図3 東北地方太平洋沖地震の5つのアスペリティからなる震源モデル

表2 震源パラメータ

	Asp1	Asp2	Asp3	Asp4	Asp5
走行 (°)	195	195	195	195	195
傾斜角 (°)	13	13	13	13	13
面積 (km ²)	40 × 40	50 × 50	20 × 20	30 × 30	30 × 30
地震モーメント (N・m)	9.9×10^{20}	2.21×10^{21}	1.77×10^{20}	2.39×10^{20}	2.58×10^{20}
応力降下量 (MPa)	37.8	43.2	54	21.6	23.1
ライズタイム (s)	3.6	4.5	1.8	2.7	2.7
破壊開始時間 (s)	24.0	59.0	81.0	111.0	126.0
経験的グリーン関数として用いた地震	2011/03/10 3:16 M6.3	2011/03/10 3:16 M6.3	2011/03/10 3:16 M6.3	2011/03/10 3:16 M6.3	2005/10/19 20:44 M6.3

表3 1次元地下構造モデル

(Qp以外の値は地震調査研究推進本部の「三陸沖北部の地震を想定した強震動評価」のモデル。)

	Vp (km/s)	Vs (km/s)	$\rho(\text{g/cm}^3)$	Qs	Qp
Layer 1	5.8	3.4	2.67	110	110
Layer 2	6.37	3.67	2.7	250	250
Layer 3	6.9	3.93	2.8	300	300
Layer 4	8.0	4.5	2.9	300	300

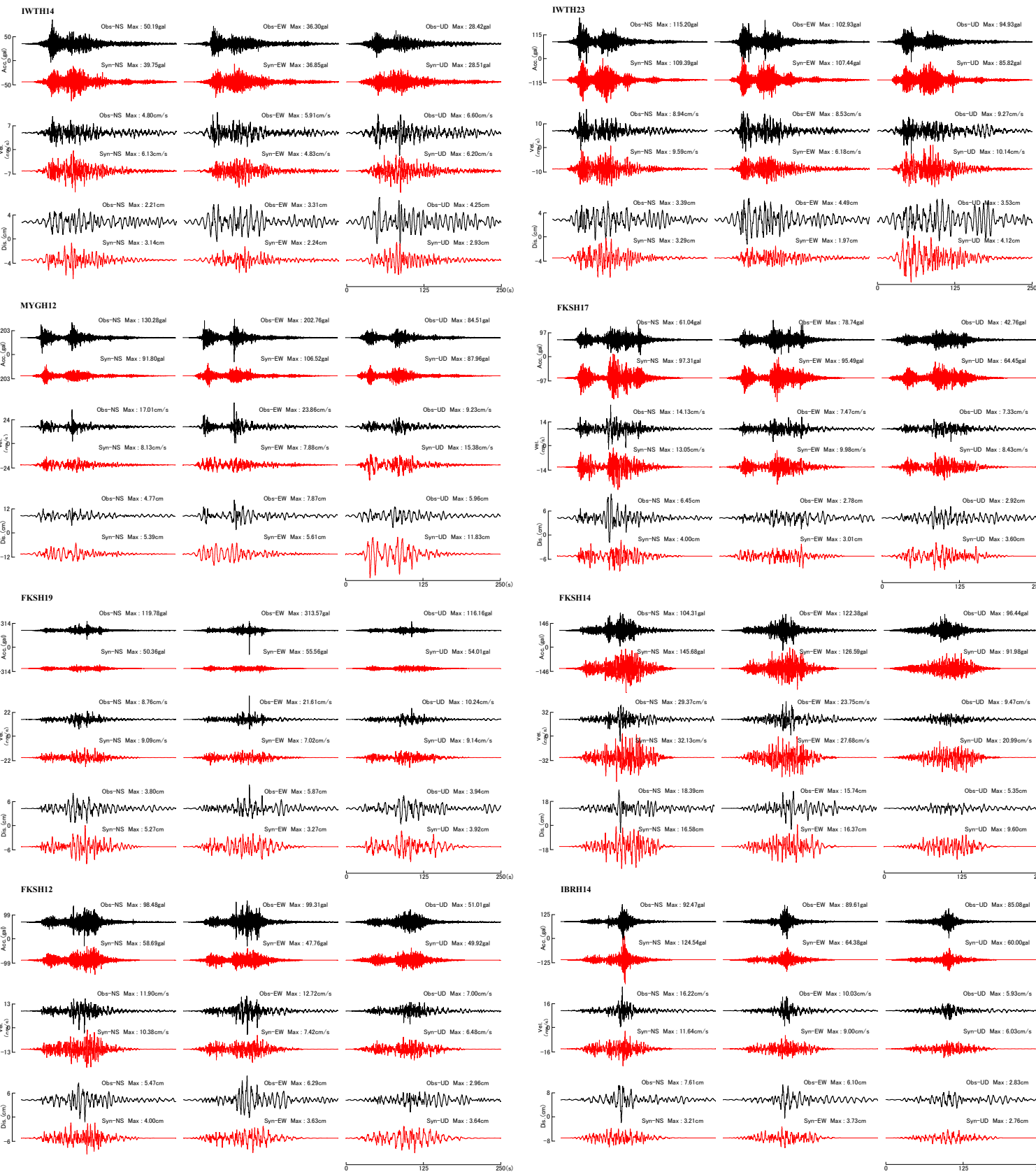
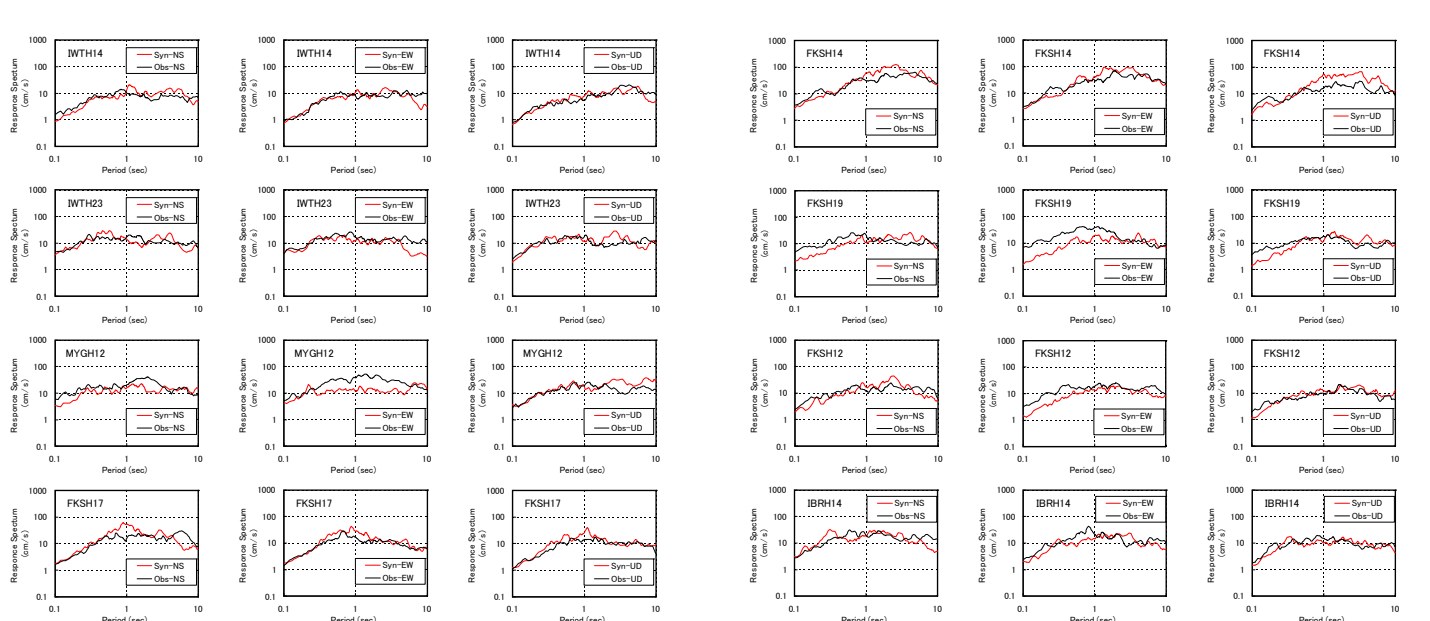
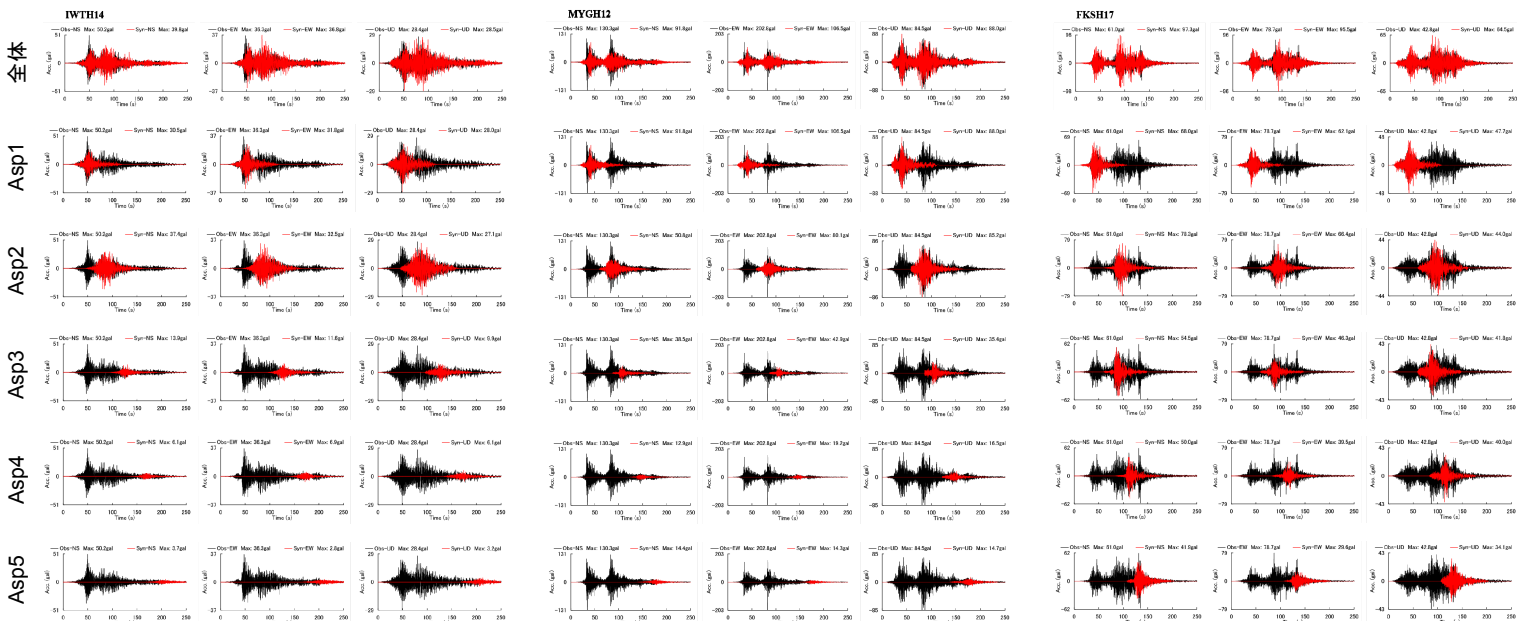


図4 観測波形(黒線)と経験的グリーン関数法による合成波形(赤線)の比較 (Filter:0.1-10.0Hz)



まとめ

1. 結果として、宮城県沖、岩手県南部沖、福島県沖、茨城県沖等の5力所にアスペリティを配置した震源モデルを提案する。ここで提案するモデルによって、岩手県沿岸から茨城県沿岸にかけての観測点における特徴的な観測波形がほぼ再現できた。
2. ここでは0.1~10Hzの地震動を対象として強震動生成域のモデル化を行ったが、離散化波数法による検証でも、観測速度波形は概ね再現できた。しかしながら、宮城県などで観測された大振幅の変位は再現できなかった。
3. 5つのアスペリティの総地震モーメント量は本震($M_w9.0: 4.5 \times 10^{22} \text{N} \cdot \text{m}$)の1割程度となっており、今回考慮しなかった背景領域のみでなく、公開されているインバージョン結果における海溝側でのすべり量の大きい部分(観測された強震動への寄与は小さい)からの寄与が想定される。
4. 上記のことから、ここで求めた震源モデルは、0.1~10Hzの地震動を対象とした強震動生成域のモデルであり、大振幅の変位(長周期の地震動)を出す震源域とは異なる可能性がある。
5. 今回のモデルでは断層面を1枚の平面として取り扱っており、プレートの潜り込み形状、特に陸側で傾斜角が大きくなることを正確に反映できていない。今後は、プレートの潜り込み形状をより正確に反映したモデルの検討及び、上記以外の地震記録を用いた定量的な検討を行っていく予定である。

謝辭

本研究では防災科学技術研究所によるKiK-net地震観測記録及び気象庁の震源データを使用させて頂きました。記して感謝の意を表します。また、今回の地震では防災科学技術研究所や同所職員が被災したにもかかわらず、貴重な観測データを迅速に公開して頂きましたことに心から敬意を表しますとともに、お礼申し上げます。

