



SSS33-07

強震動波形記録を用いた経験的グリーン関数法による
2011年3月11日15時15分茨城県沖地震(Mw7.9)の震源モデル

Source model of the 2011 Ibaraki-oki earthquake

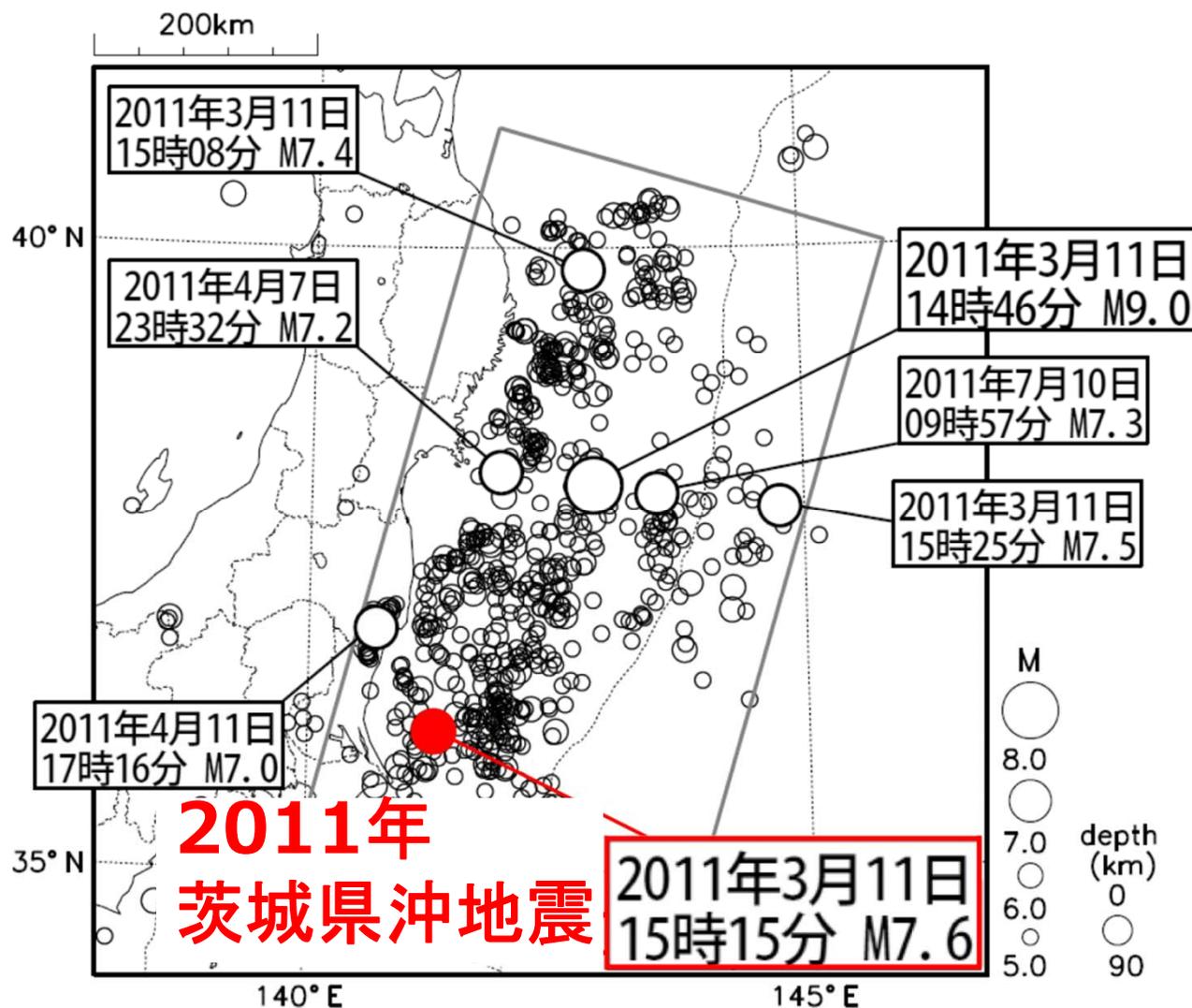
by the empirical Green's function method using strong-motion data

#久保久彦・浅野公之・岩田知孝（京都大学 防災研究所）

#Kubo, H., K. Asano, and T. Iwata (DPRI, Kyoto Univ.)

謝辞：本研究では防災科学技術
研究所K-NET, KiK-net, F-net,
および気象庁震度計で観測され
た強震波形記録を使用しました。

2011年茨城県沖地震

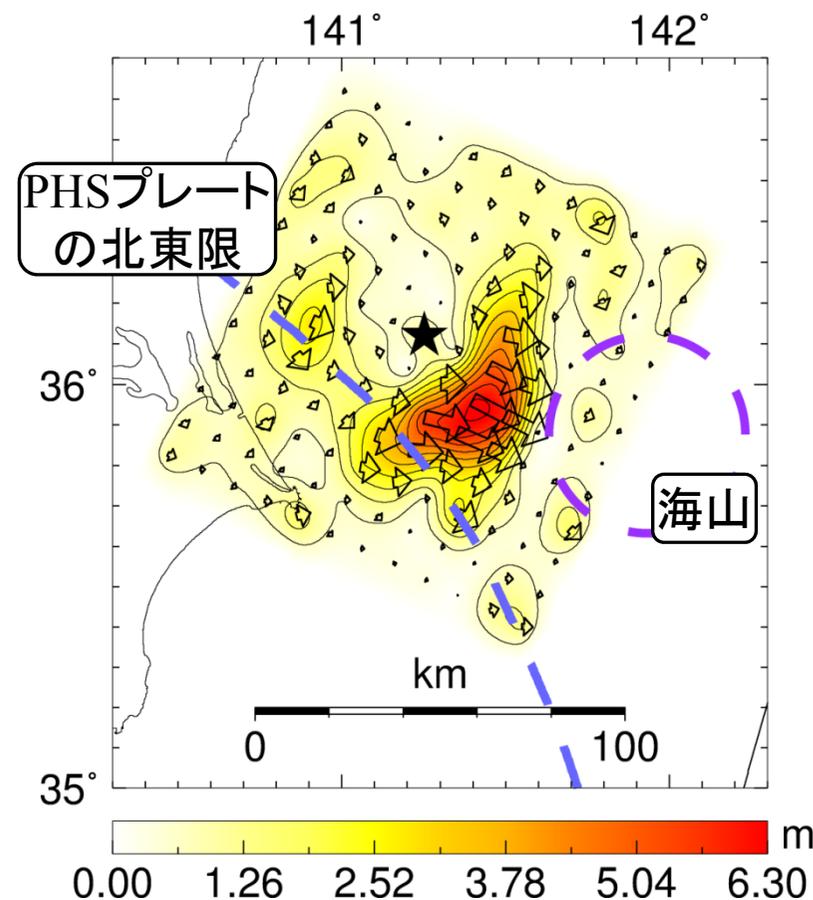


気象庁HPの図に加筆

- 2011年東北地震 (Mw 9.1) の最大余震. 本震の29分後に発生.
- Mw 7.9 (gCMT) のプレート境界型地震.

強震波形記録（0.02-0.2 Hz）とGPS
静的変位記録を用いた震源インヴァー
ジョンによって2011年茨城県沖地
震の時空間的なすべりモデルを
構築.

震源域付近の沈み込む海山および
フィリピン海プレートによって
2011年茨城県沖地震の破壊伝播
が止められたことを示した.



研究概要



① 経験的グリーン関数法を用いた広帯域強震波形 (0.1-10Hz) のモデリングによって、2011年茨城県沖地震の強震動生成領域 (SMGA) モデルを構築.

② 時空間すべりモデル (Kubo et al., 2013, 強震 0.02-0.2Hz+GPS静的変位) と比較.

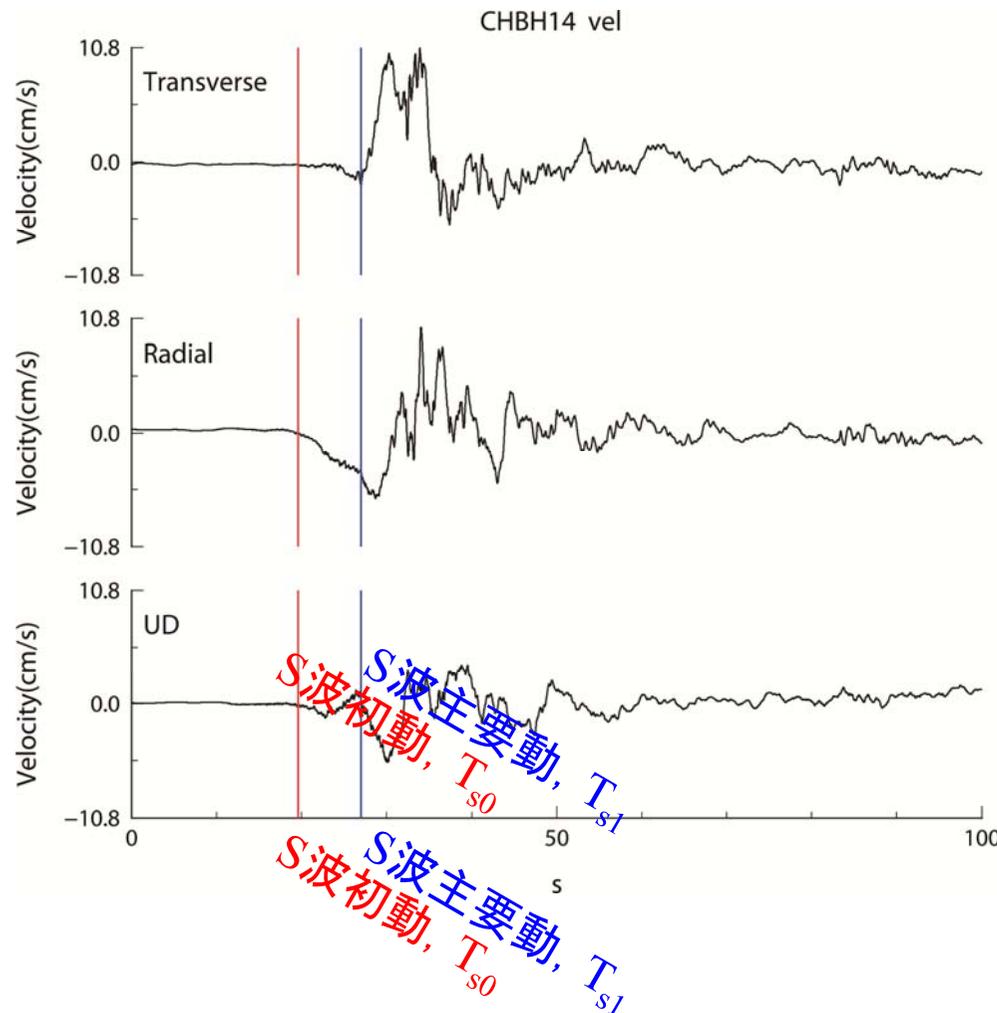
2011年茨城県沖地震の強震動生成と震源過程の関係を調べる.

- **SMGAと大すべり領域の位置関係**はどうなっているのか？
←過去のM7~8のプレート境界型地震では重なっていた.
- **強震動生成時間帯とすべりの時間発展**の関係は？
- 海山がrupture barrierとして断層破壊を止めたことによるstopping phaseは見られるか？

SMGAモデルの仮定



CHBH14(銚子中)での速度波形
(LPF 0.01Hz)



S波初動が到達して数秒後に、大振幅の主要動が到着。
→ 初期破壊の存在を示唆。



震源で断層破壊が開始して数秒後に、主破壊 (SMGAの破壊) が発生したと仮定。

SMGAの破壊開始点と遅れ時間



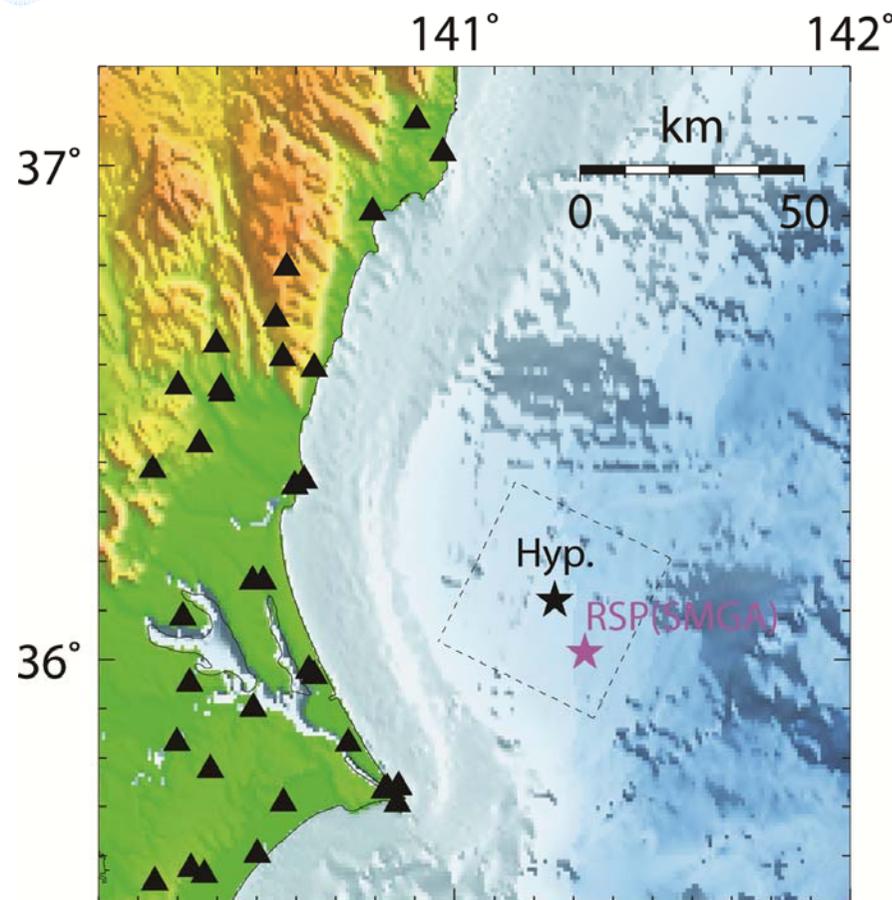
断層面上に震源とSMGA破壊開始点が存在していると仮定した上で、S波の初動と主要動の到達時刻の差を用いて推定する（Takenaka *et al.*, 2006; Suzuki and Iwata, 2007）。

SMGA破壊開始点：

震源から南東方向に約14km

遅れ時間：8.6秒

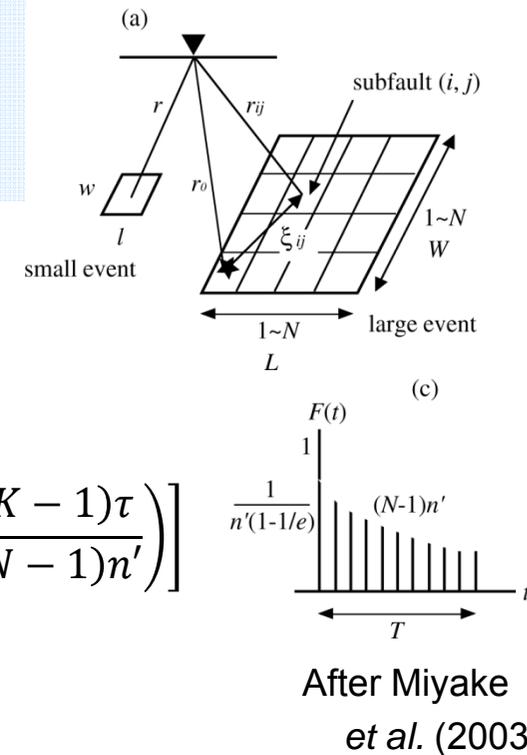
- * KiK-net（地中）・K-NET・気象庁震度計の計34点を使用
- * Strike： 206° ，dip： 10° ，震源位置：気象庁震央＋プレート境界の深さ（Yamada *et al.*, 2011）



経験的Green関数法



経験的Green関数法 (Irikura 1986; Irikura *et al.*, 1997) によって, 小地震記録を時空間方向に重ね合わせて大地震の地震動を合成する。



$$U(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{r}{r_{ij}} \left(F(t) * (C \cdot u(t)) \right)$$

Ground motion of small event

Ground motion of large event

Filtering function to correct the slip-velocity

$$F(t) = \delta(t - t_{ij}) + \frac{1}{n'(1 - e^{-1})} \sum_{k=1}^{(N-1)n'} \left[e^{-\frac{k-1}{(N-1)n'}} \delta \left(t - t_{ij} - \frac{(K-1)\tau}{(N-1)n'} \right) \right]$$

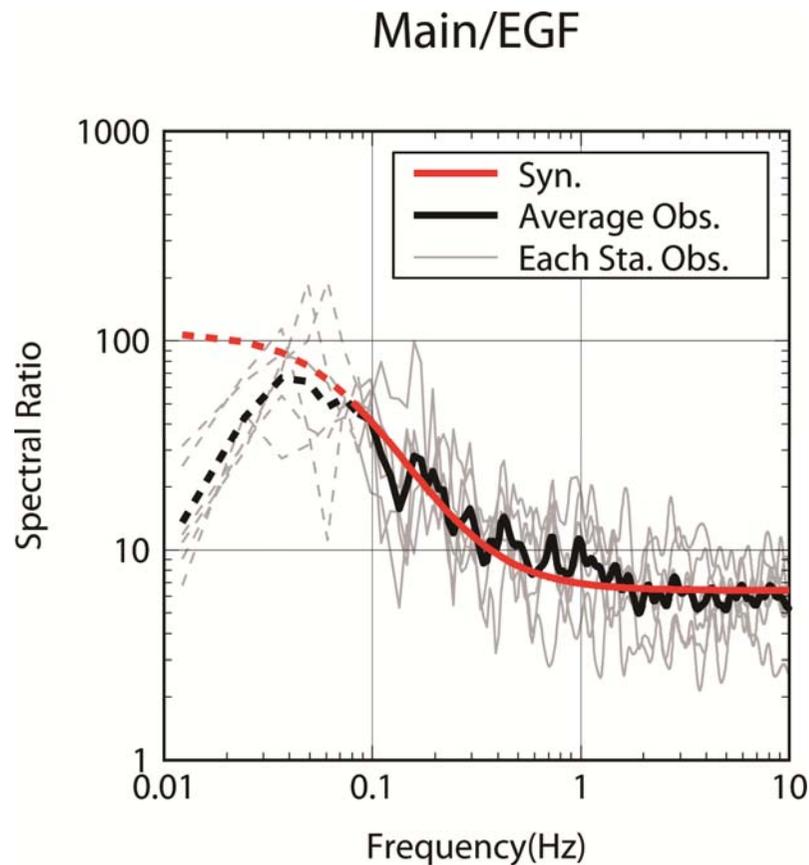
$$t_{ij} = (T_{ij} - T_0) + \frac{\xi_{ij}}{V_r}$$

Rupture time at ξ_{ij}

Travel time difference between r_{ij} and r_0

小地震の重ね合わせ数

観測スペクトル比（大地震/小地震）と ω^{-2} モデルを仮定した理論スペクトル比のフィッティングによって決定した（Miyake *et al.*, 1999）.

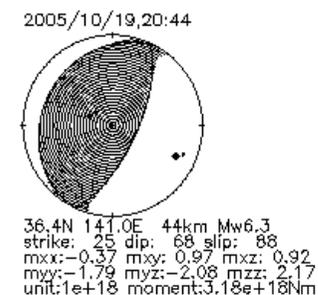


小地震の重ね合わせ数 N : 4

大地震と小地震の応力降下量の比 C : 1.72

* 大地震（本震主要動部）と小地震の地震モーメント比は、F-net観測点（広野・八溝）でのスペクトル比を参考にした。

EGFイベント：
2005/10/19 20:44
(Mw 6.3)



経験的Green関数法



経験的Green関数法 (Irikura 1986; Irikura *et al.*, 1997) によって, 小地震記録を時空間方向に重ね合わせて大地震の地震動を合成する.

$$U(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{r}{r_{ij}} \left(F(t) * (C \cdot u(t)) \right)$$

Ground motion of small event

Ground motion of large event

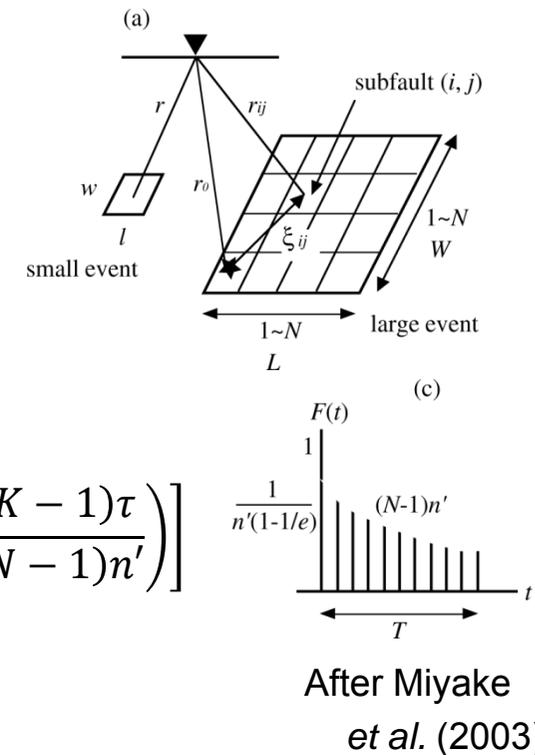
Filtering function to correct the slip-velocity

$$F(t) = \delta(t - t_{ij}) + \frac{1}{n'(1 - e^{-1})} \sum_{k=1}^{(N-1)n'} \left[e^{-\frac{k-1}{(N-1)n'}} \delta \left(t - t_{ij} - \frac{(K-1)\tau}{(N-1)n'} \right) \right]$$

$$t_{ij} = (T_{ij} - T_0) + \frac{\xi_{ij}}{V_r}$$

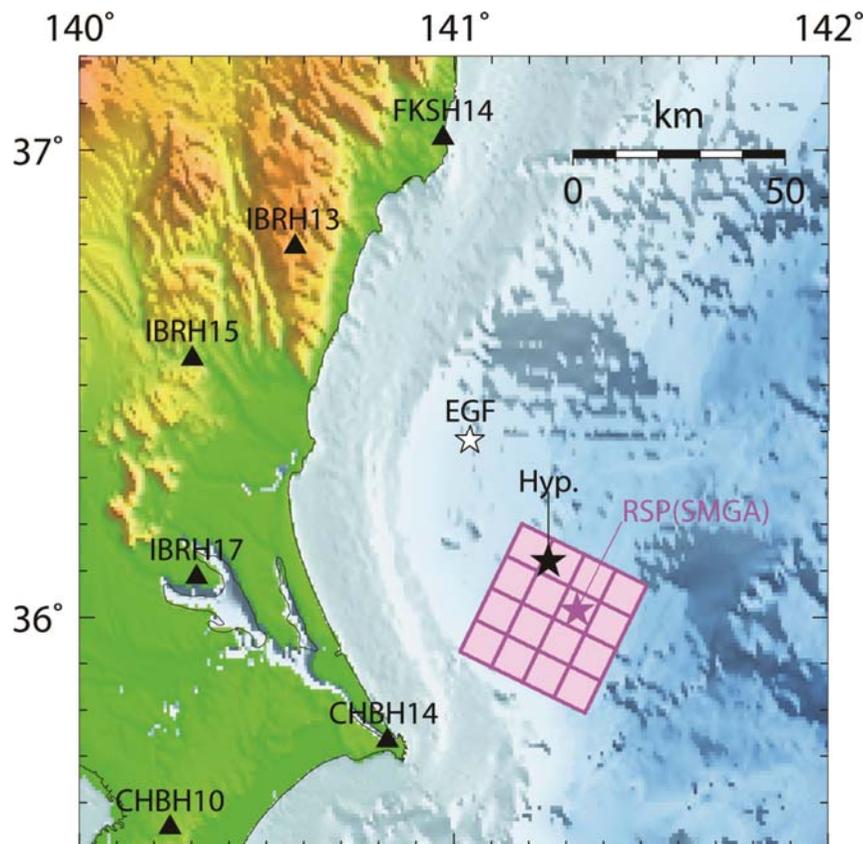
Rupture time at ξ_{ij}

Travel time difference between r_{ij} and r_0



この強震動シミュレーションに基づく, 加速度エンベロープと変位波形の残差の和を評価関数としたグリッドサーチによって, SMGAの大きさや配置, ライズタイム, 破壊伝播速度を決定する.

推定されたSMGAモデル



EGFイベント：
2005/10/19 20:44, Mw 6.3

SMGAパラメータ

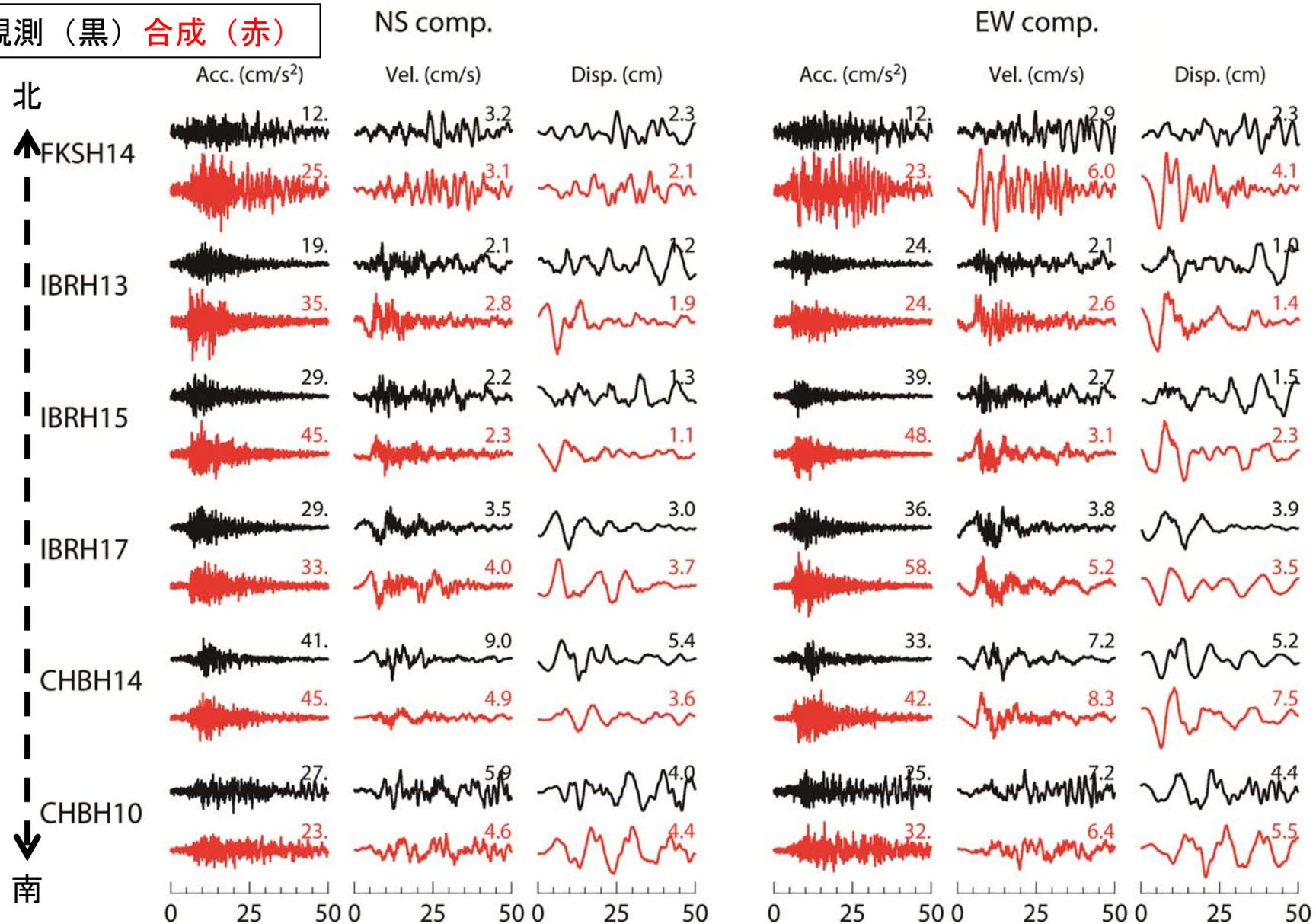
Length (km)	34.0
Width (km)	34.0
Area (km ²)	1156.0
Rise Time (s)	2.8
V_r (km/s)	3.6
M_0 (Nm)	3.5×10^{20}
M_w	7.6
$\Delta\sigma$ (MPa)	21.5
Delay Time (s)	8.6

* KiK-net (地中) の計6点を使用
Strike:206° , dip:10°

観測波形と合成波形の比較



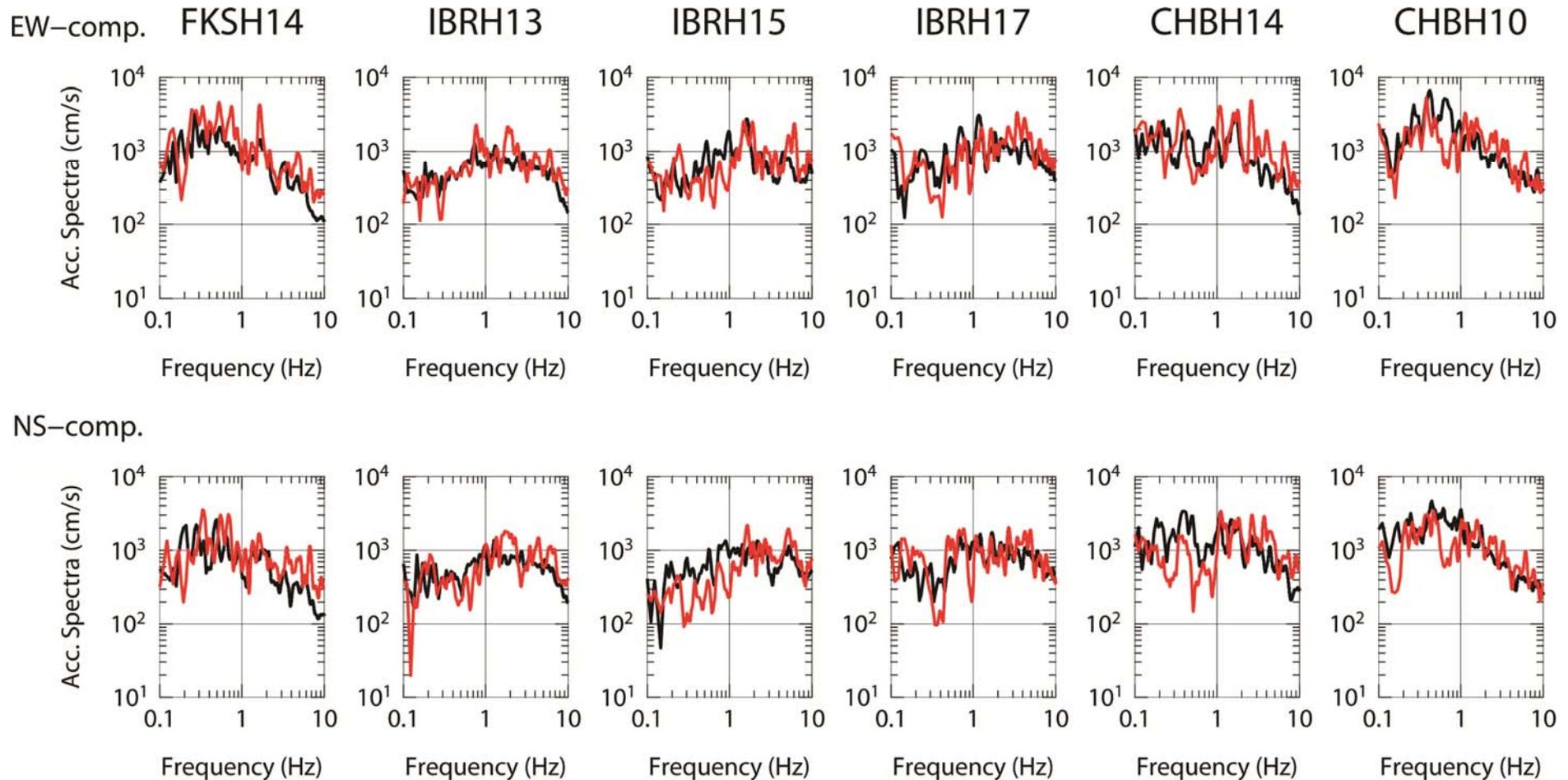
観測 (黒) 合成 (赤)



加速度フーリエ振幅スペクトル



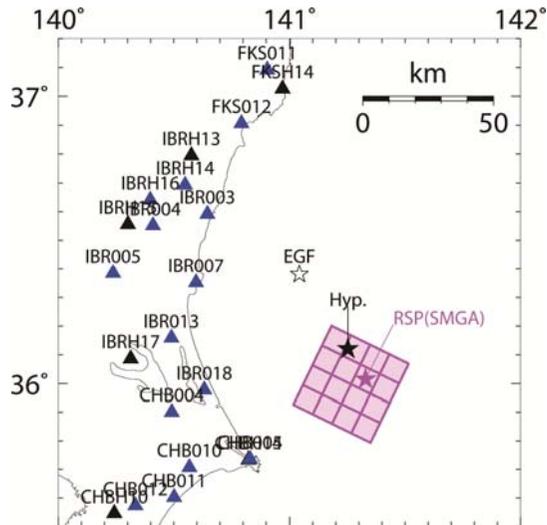
観測 (黒) 合成 (赤)



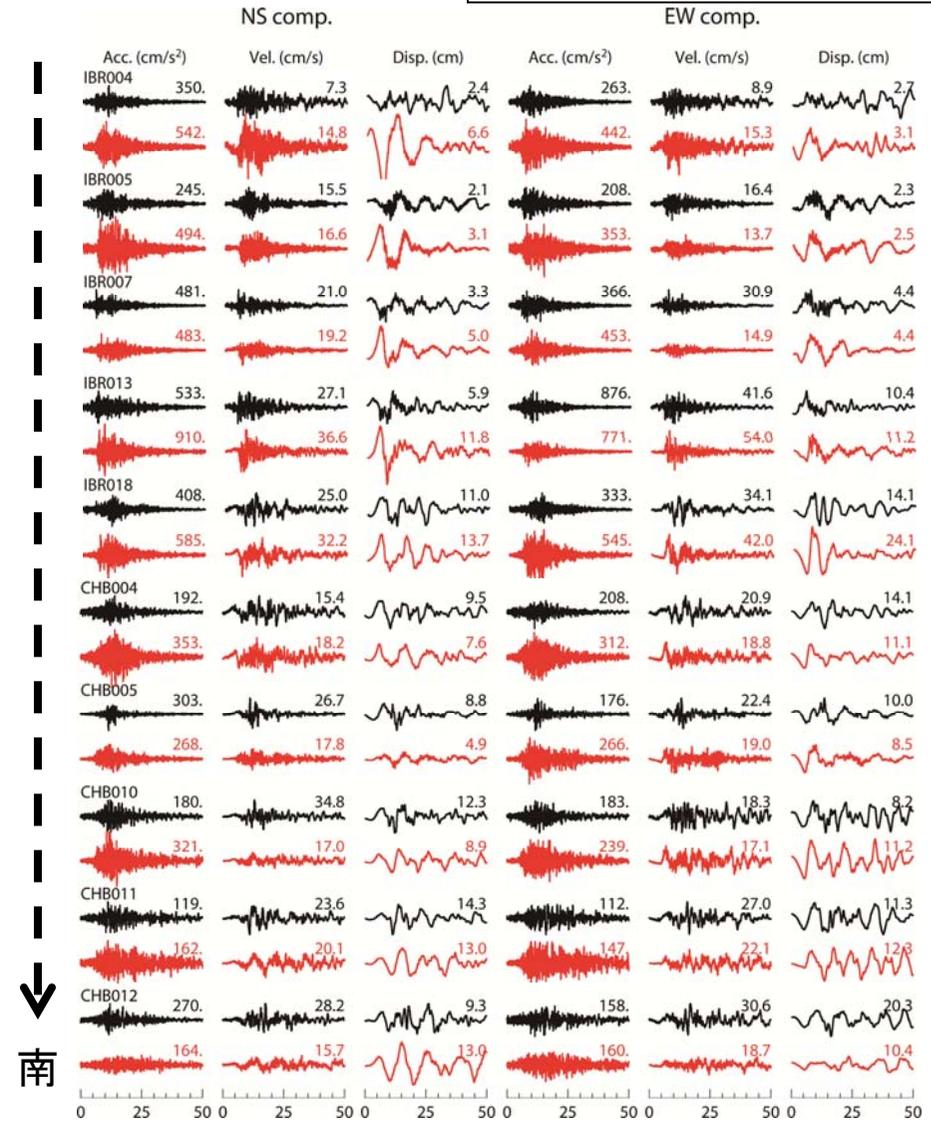
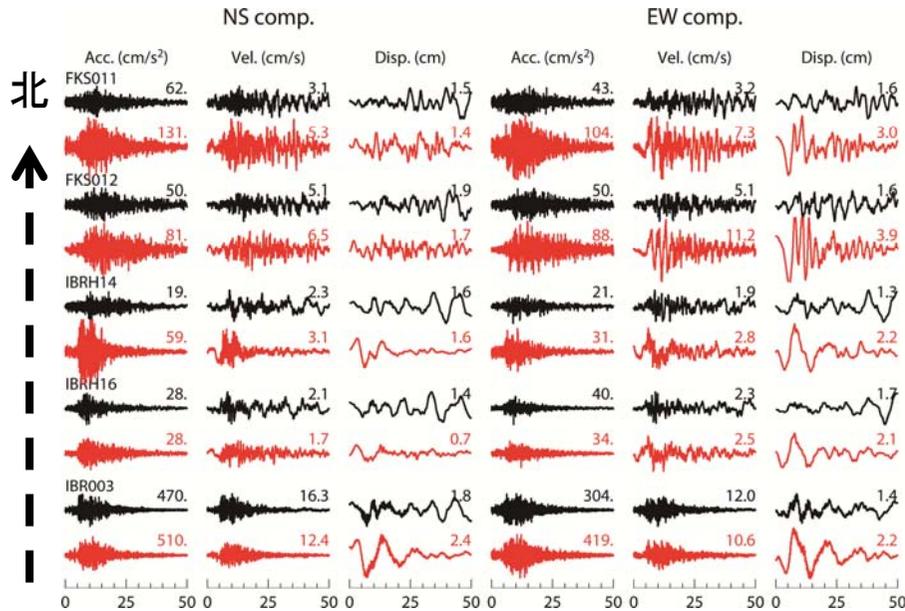
モデル推定に使用していない観測点での波形比較



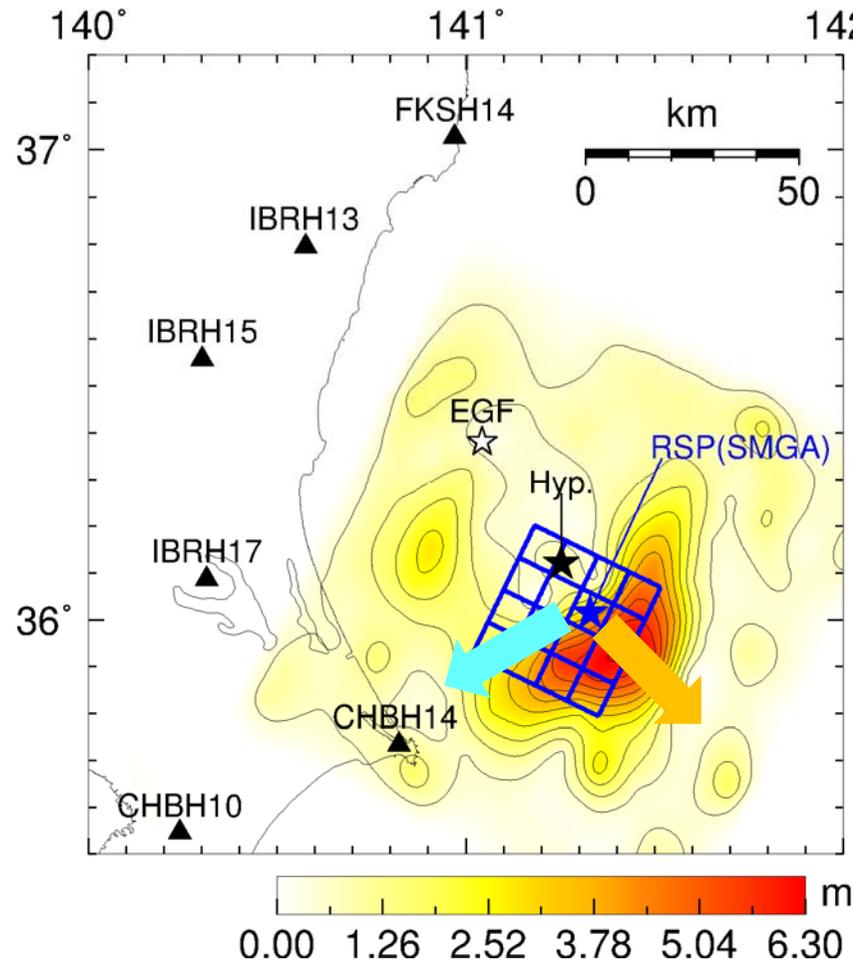
観測 (黒) 合成 (赤)



▲ : 推定に
使用
▲ : 推定に
未使用



SMGAと最終すべり分布



SMGA : 本研究, 強震 0.1-10 Hz
時空間すべり : Kubo *et al.* (2013),
強震 0.02-0.2 Hz +GPS静的変位

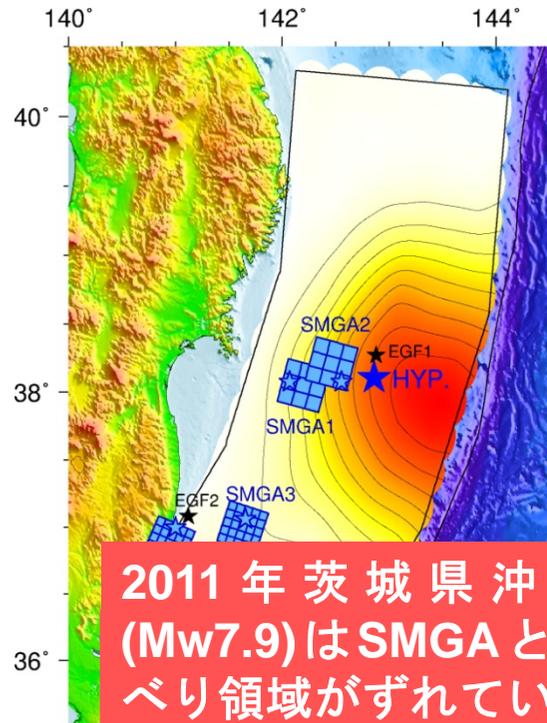
- SMGAは大すべり領域よりも深い場所に位置していて、完全には重なっていない。
- SMGA (34km×34km) は大すべり領域 (60 km×30km) と比べて一回り小さい。
- SMGA内の破壊は主に南西方向に進展しているが、時空間すべりモデルでの破壊は南東方向に伝播している。

日本海溝付近で起きたプレート境界型大地震

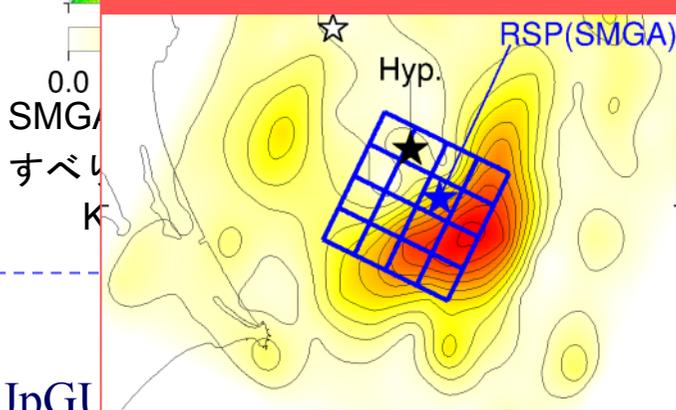


ずれている

2011年東北地震 (Mw 9.1)

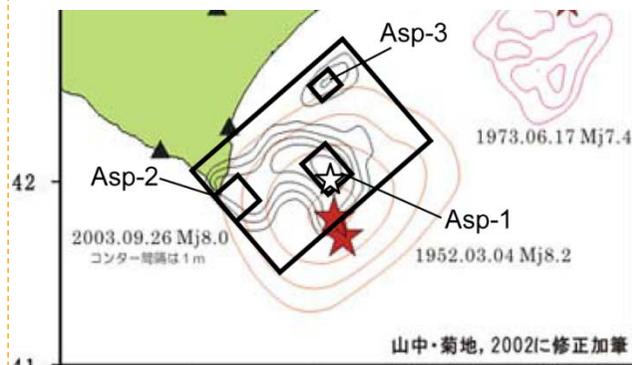


2011年茨城県沖地震 (Mw7.9) はSMGAと大すべり領域がずれている？



重なっている

2003年十勝沖地震 (Mw8.3)

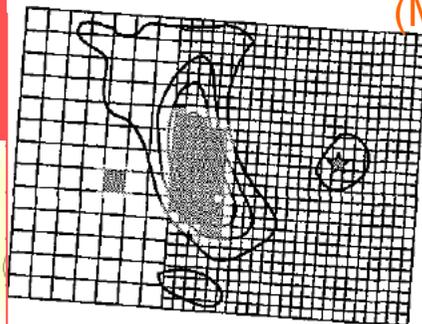


SMGA : Kamae and Kawabe (2004)

すべり分布 : 山中・菊地 (2003)

1994年三陸はるか沖地震

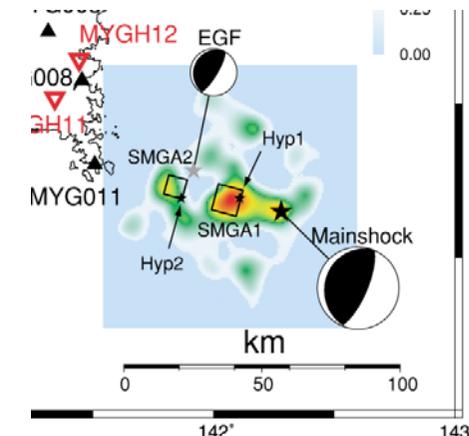
(Mw7.7)



SMGA : 宮原・笹谷 (2004)

すべり分布 : Nagai et al. (2001)

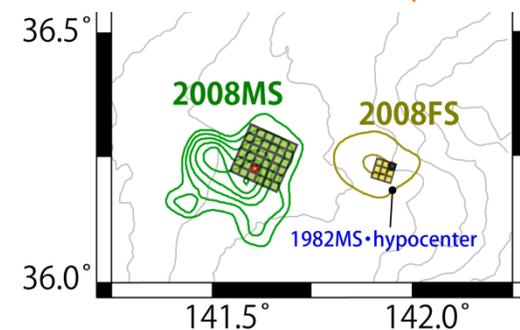
2005年宮城県沖地震 (Mw 7.2)



SMGA : Suzuki and Iwata (2007)

すべり分布 : Wu and Koketsu (2006)

2008年茨城県沖地震 (Mw 6.8)



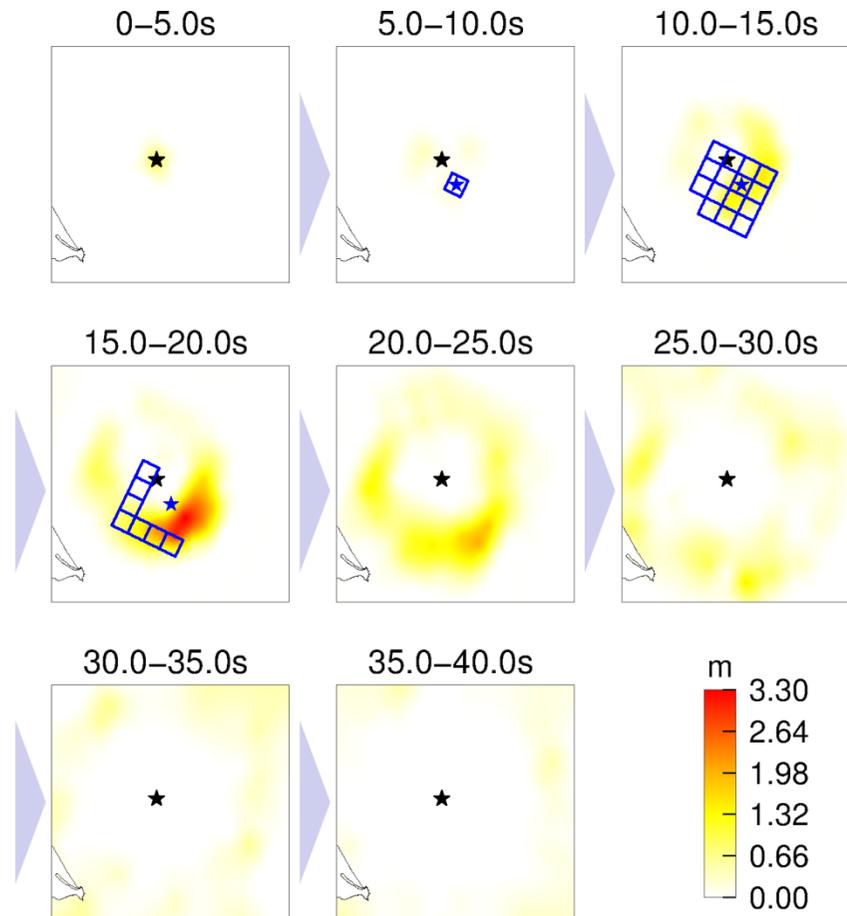
SMGA : 瀧口・他 (2011)

すべり分布 : 山中 (2008)

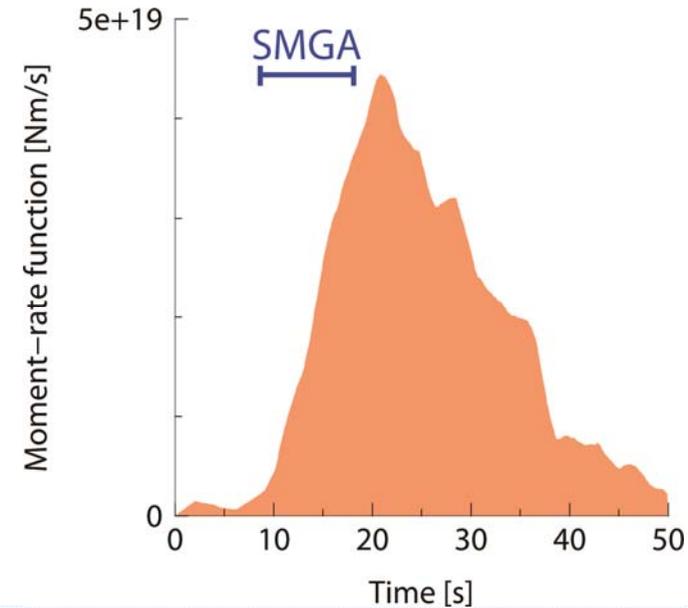
強震動生成時間帯とすべりの時間発展



● SMGA破壊のスナップショット vs すべりのスナップショット



● SMGA破壊時間帯 vs 震源時間関数



- ・ SMGAの破壊は、時空間すべりモデルの主破壊の前半部に対応する。
- **主破壊の前半に比較的短周期（0.1-10Hz）の地震波が多く放射された。**

まとめ

解析周波数帯域の異なる二つの2011年
茨城県沖地震の震源モデルの比較

SMGAモデル

本研究

強震 (0.1-10Hz)

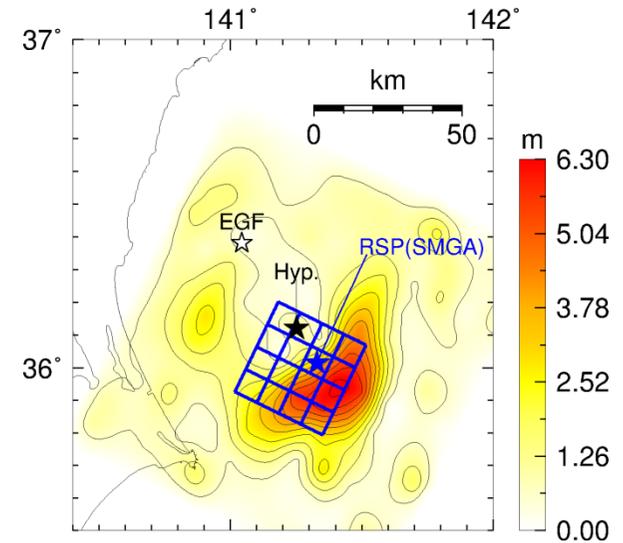
時空間すべりモデル

Kubo *et al.* (2013)

強震 (0.02-0.2Hz)
+GPS静的変位

- 2011年茨城県沖地震では**SMGAと大すべり領域がずれていた可能性**がある.
- 2011年茨城県沖地震の**主破壊の前半**では比較的短周期の地震波が多く**励起された**.
- 破壊の停止に関係する短周期地震動の生成は見られなかった.

● SMGAモデルと最終すべり分布



● SMGA破壊時間帯と震源時間関数

