

2011年東北地方太平洋沖地震の 広帯域強震動生成と震源破壊過程 の関係

京都大学防災研究所
○浅野公之・岩田知孝

本発表の構成



1. 東北日本太平洋沿岸域で観測された強震波形の特徴
2. 強震動生成領域の位置決定
3. 経験的グリーン関数法による強震動生成領域のモデル化
4. アスぺリティと強震動生成領域の関係について

<謝辞> 独立行政法人防災科学技術研究所の強震観測網K-NET/KiK-netの強震波形記録を使用しました。記して感謝します。

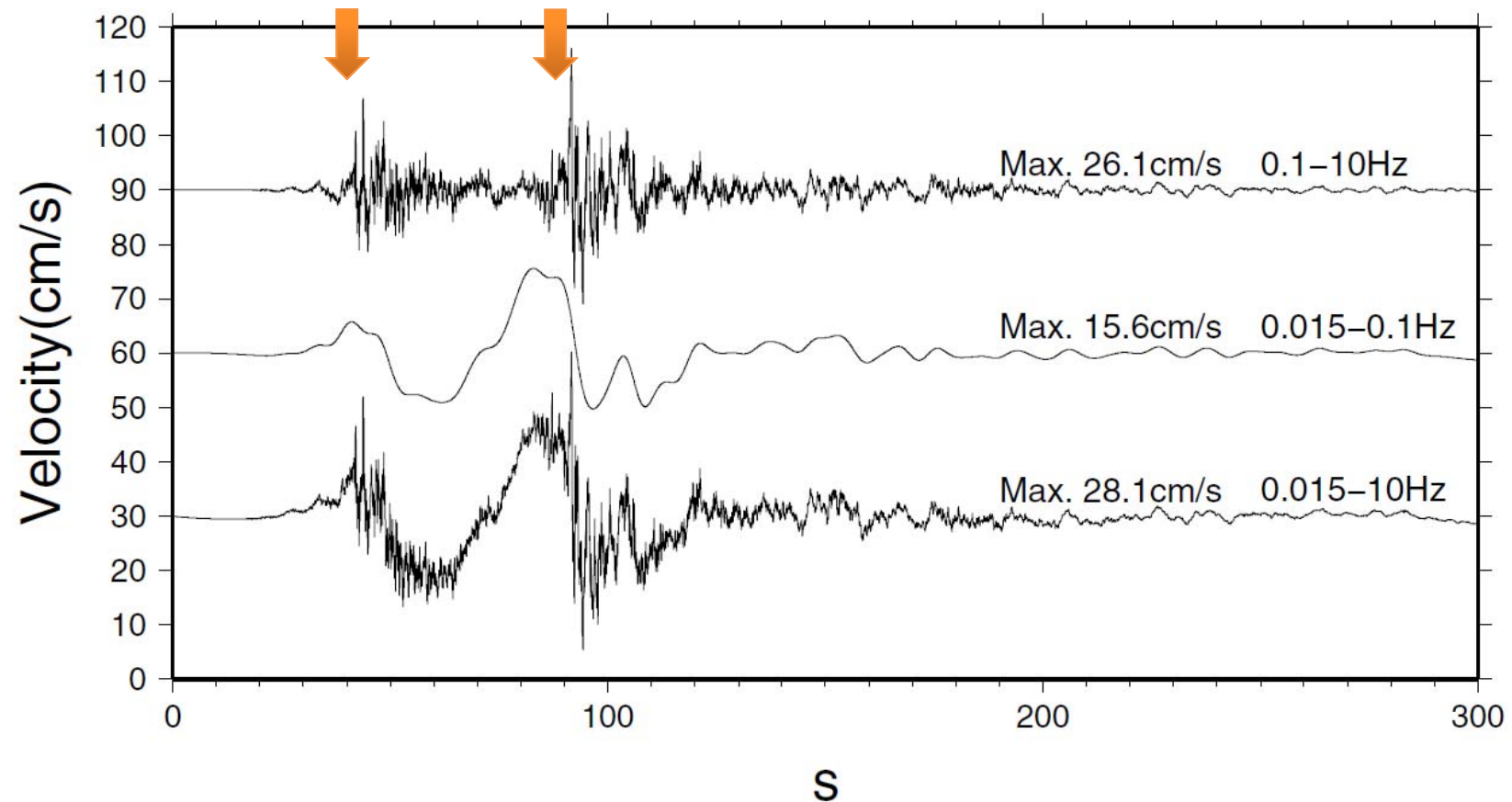
浅野・岩田 (2011, SSJ, A11-06)

観測された強震動の特徴



KiK-net 志津川における周波数帯別の観測波形(東西成分)

これをモデル化したい



観測された強震動の特徴



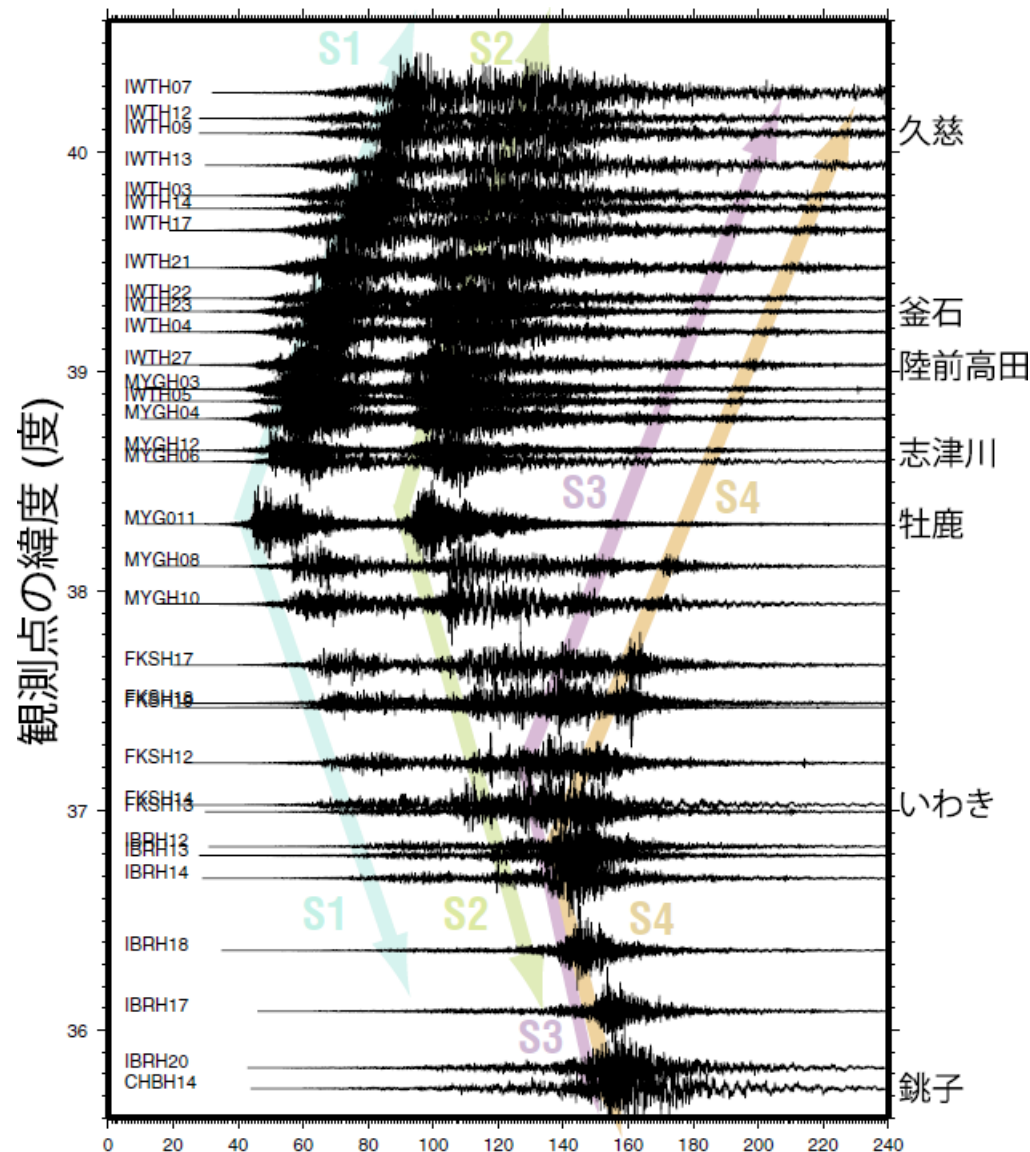
東北日本太平洋沿岸域の
K-NET/KiK-net観測点での
加速度波形(NS成分)

アスぺリティ:

すべり量の大きな領域
(すべる速さの大小は問わない)
after Somerville *et al.* (1999)

強震動生成領域:

すべり速度の大きな領域
(広帯域強震動の励起に関係)
after Miyake *et al.* (2003)



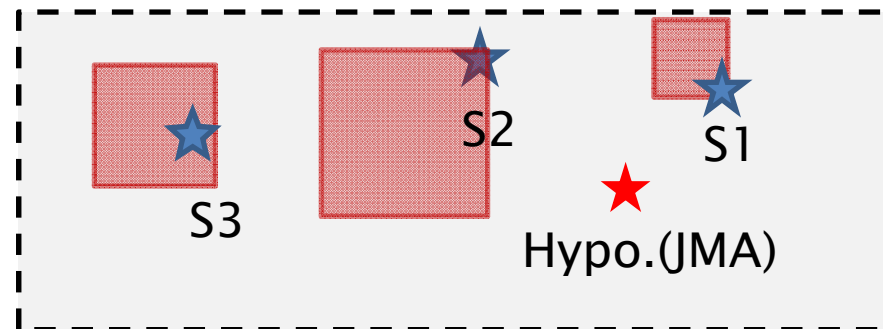
浅野・岩田 (2011, SSJ, A11-06) 発震時からの経過時間 (秒)

震源モデル推定の手続き



1. 各観測点の観測波形からS波初動と4つの波群（S1～S4）の到達時刻（S波）を読み取る.
2. 適当な一次元速度構造を与え，それぞれの波群に対応する強震動生成領域（SMGA1～SMGA4）の破壊開始点の位置及び（発震時に対する相対）時刻を決定する．これらは気象庁震源を含む走向203度，傾斜10度の断層面上に存在すると仮定．2011年3月10日3時16分のMw6.0の地震（EGF1として使用）を基準イベントとし，各観測点補正值とした．
3. いくつかの観測点のS1, S2, S3, S4部分を切り出して、EGFに対するスペクトル比をとり，要素地震の重ね合わせ数Nを決定する．
4. SMGA1～SMGA4の大きさ，ライズタイム，破壊速度，強震動生成領域内の破壊開始点を経験的グリーン関数法による強震動シミュレーション結果に基づいて，グリッドサーチにより決定する．

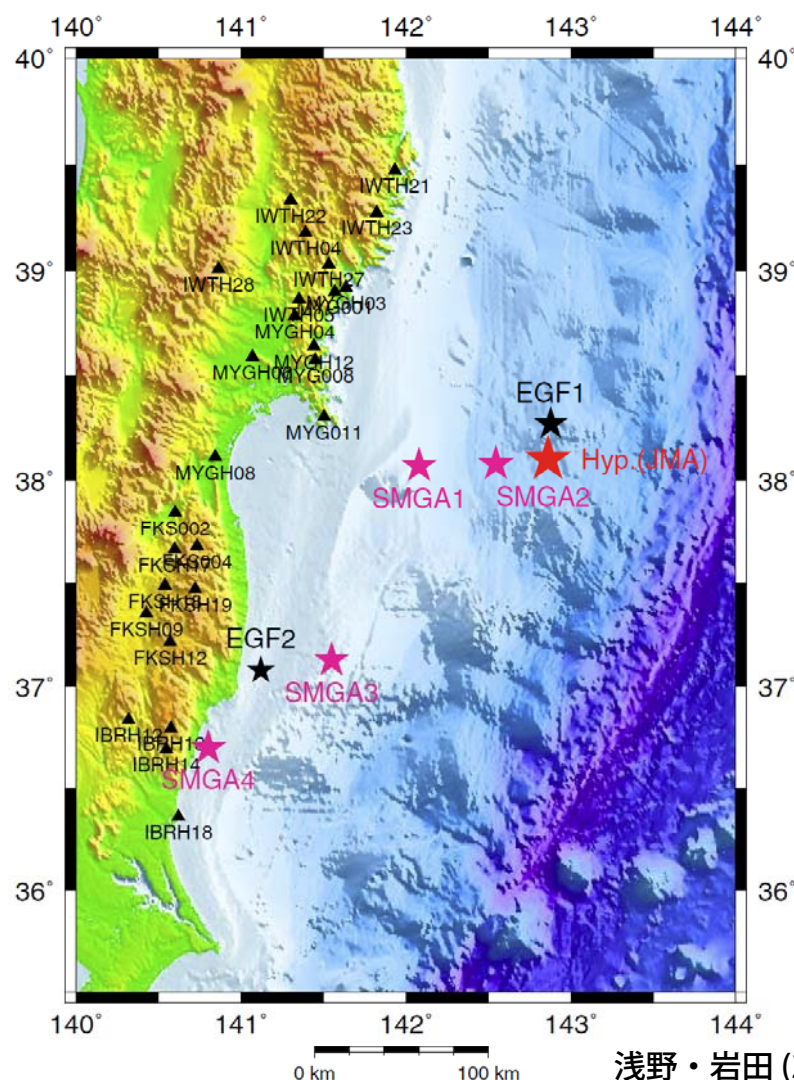
(イメージ図)



各強震動生成領域の位置決定

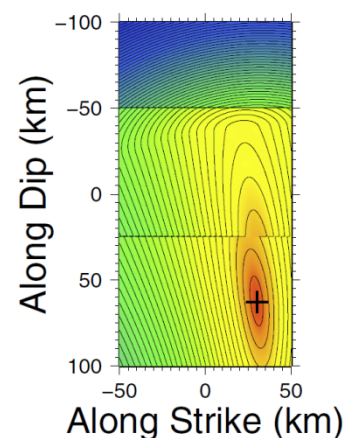


走時解析により推定された
各強震動生成領域 (SMGA) の破壊開始点

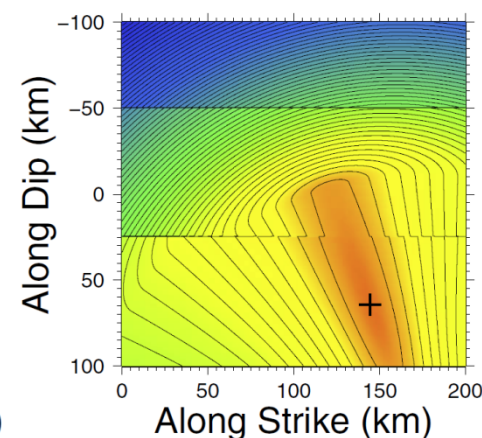


走時残差RMS和の空間分布

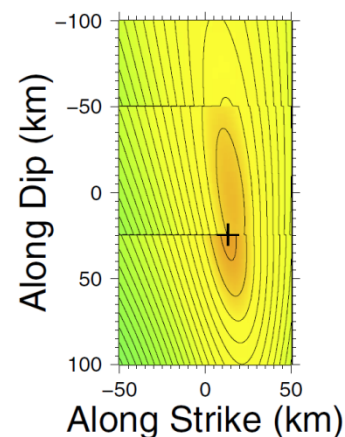
SMGA1



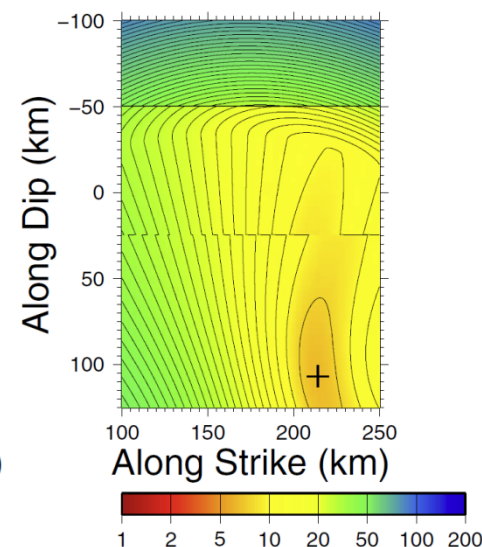
SMGA3



SMGA2



SMGA4



経験的Green関数法 (Irikura, 1986)

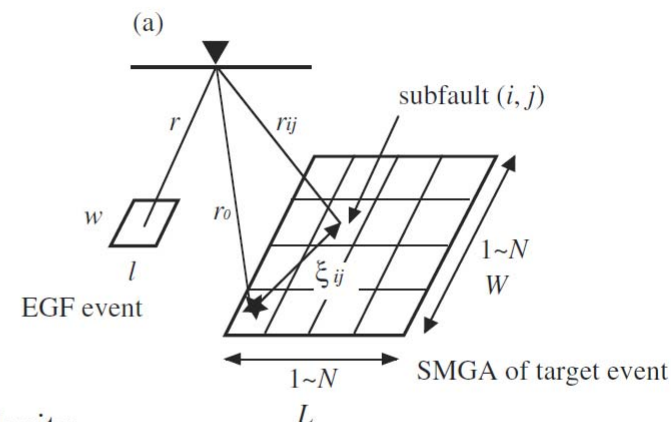


要素地震記録を時間方向と空間方向に重ね合わせて大地震の地震動を合成する

Ground motion of target event

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

EGF



Filtering function to correct the slip-velocity

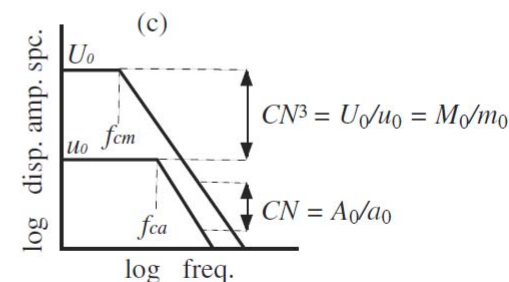
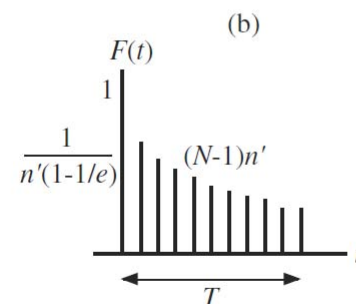
$$F(t) = \delta(t - t_{ij}) + \frac{1}{n'(1 - \exp(-1))} \sum_{k=1}^{(N-1)n'} \left[\exp\left(-\frac{k-1}{(N-1)n'}\right) \delta\left(t - t_{ij} - \frac{(k-1)\tau}{(N-1)n'}\right) \right]$$

入倉・他 (1997)

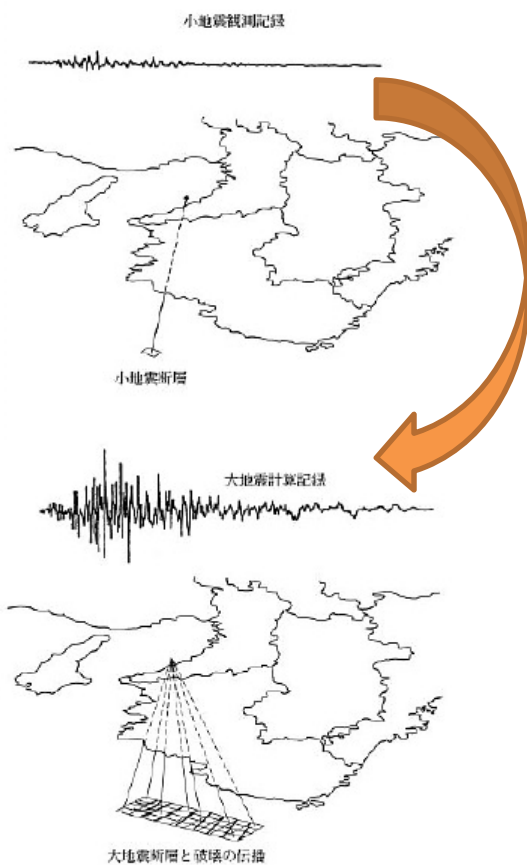
Travel time difference between r_{ij} and r_0

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

Rupture time at ξ_{ij}

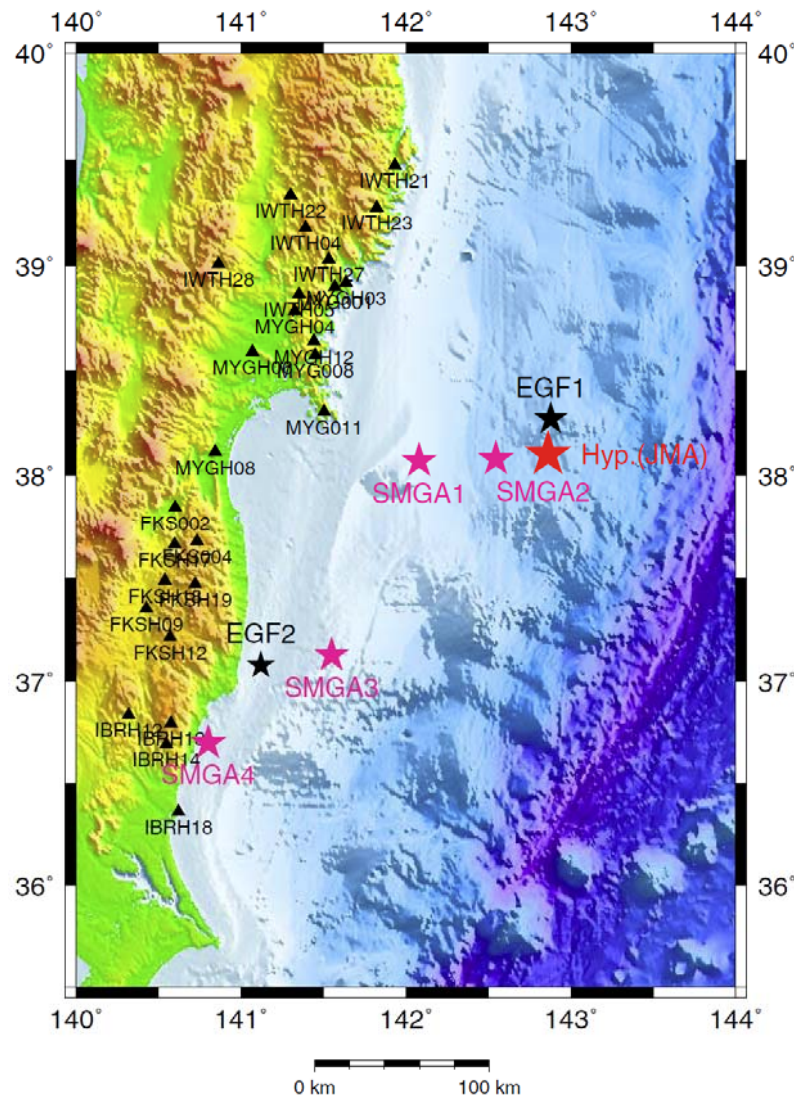


After Miyake *et al.* (2003)

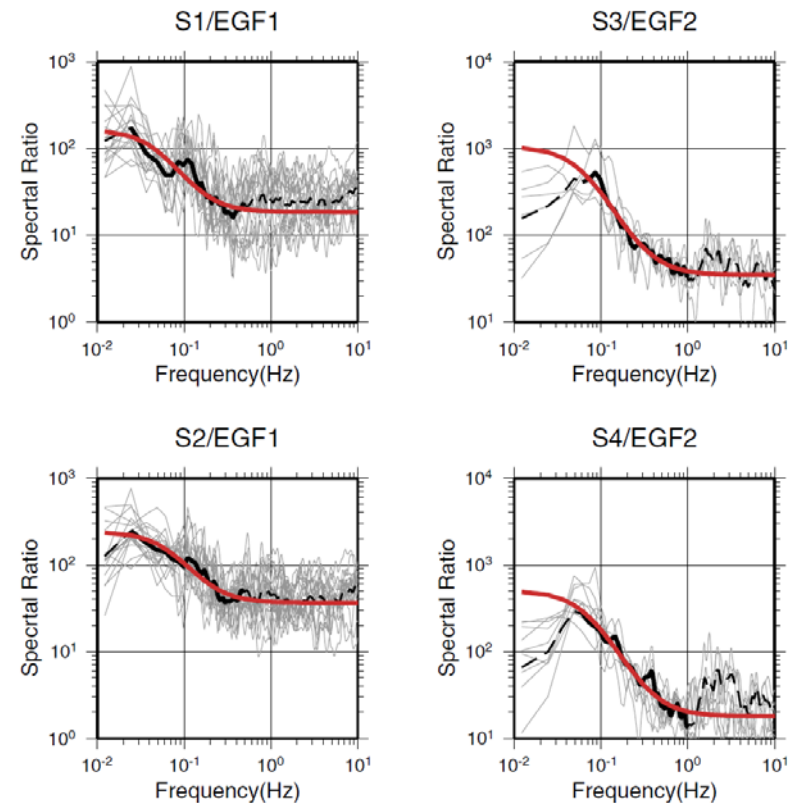


浅野・岩田 (2011, SSJ, A11-06)

観測スペクトル比



各SMGAに対応する波群のEGFに対する
スペクトル比を ω^{-2} モデルで合わせた



これにより要素地震の重ね合わせ数Nは
SMGA1: 3, SMGA2: 3, SMGA3: 6, SMGA4: 5

推定された震源モデル



各強震動生成領域のパラメータ

	SMGA1	SMGA2	SMGA3	SMGA4
Length (km)	33.0	33.0	33.0	27.5
Width (km)	33.0	33.0	33.0	27.5
Area (km ²)	1089.0	1089.0	1089.0	756.3
Rise Time (s)	6.60	6.60	1.38	1.15
M_0 (Nm)	3.81E+20	5.33E+20	2.90E+20	1.04E+20
$\Delta\sigma$ (MPa)	25.8	36.1	19.7	12.2
Slip (m)	5.2	7.2	3.9	2.0
Delay Time (s)	24.0	65.6	108.5	128.3

KiK-net(地中)及びK-NETの計24点を使用

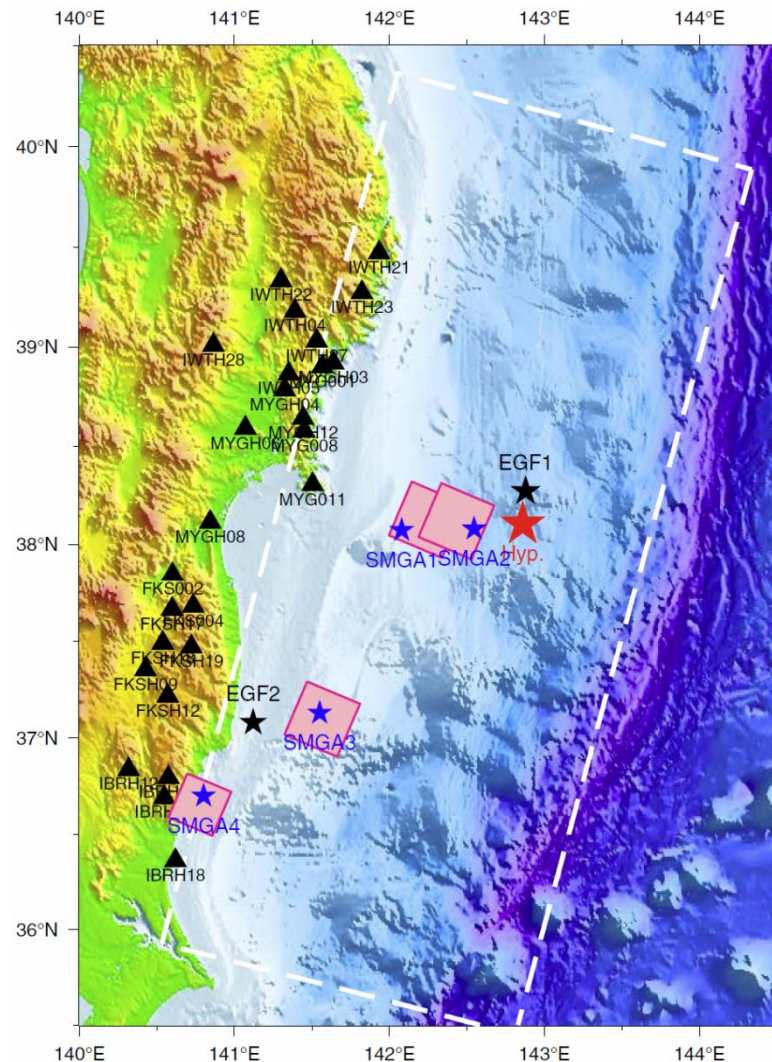
SMGA1及びSMGA2にはEGF1を使用

2011/3/10 03:16 Mw6.0

SMGA3及びSMGA4にはEGF2を使用

2005/10/22 22:12 Mw5.5

本震 Strike:203, Dip:10 from GCMT

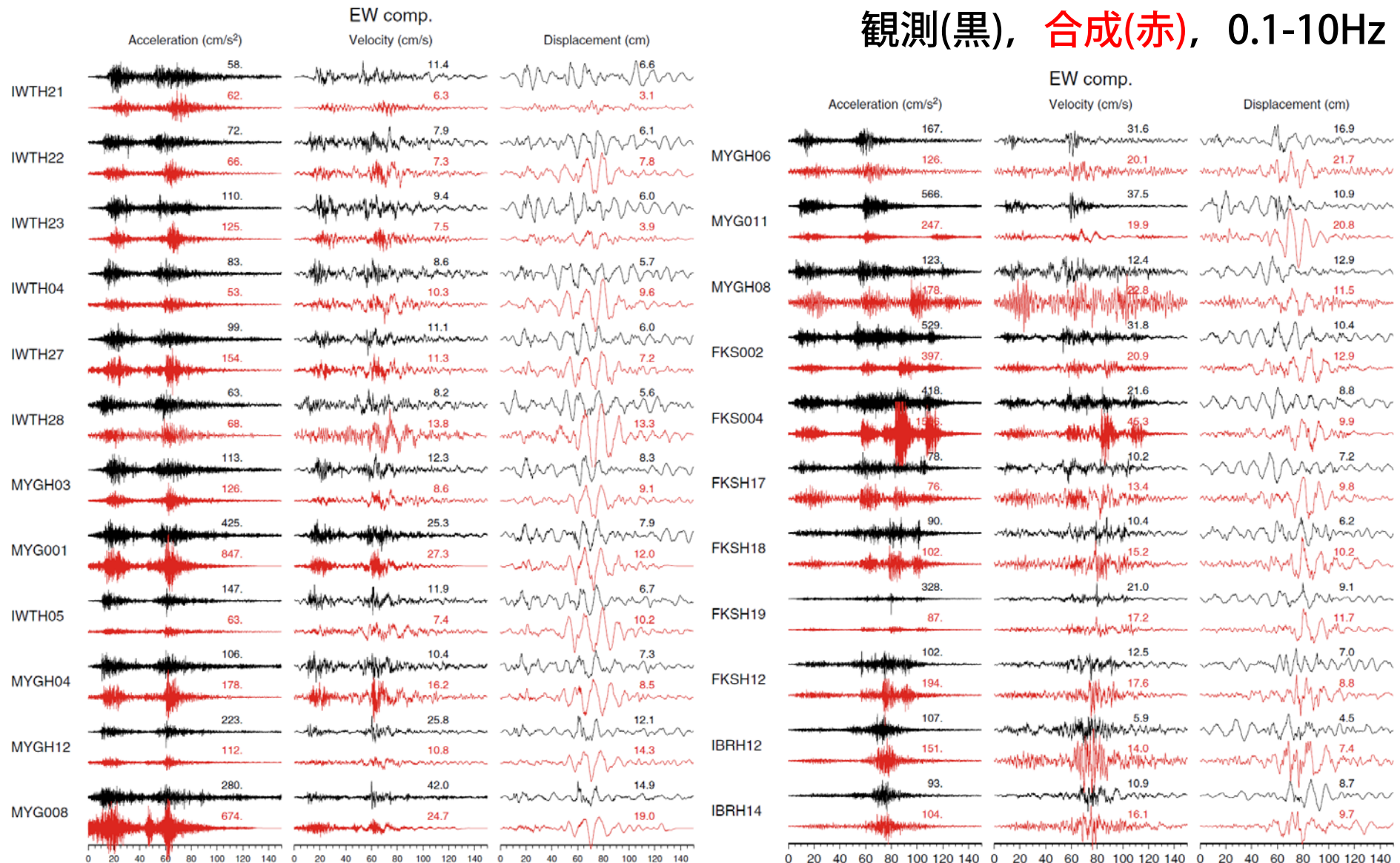


浅野・岩田 (2011, SSJ, A11-06)

観測と合成波形の比較 –EW成分

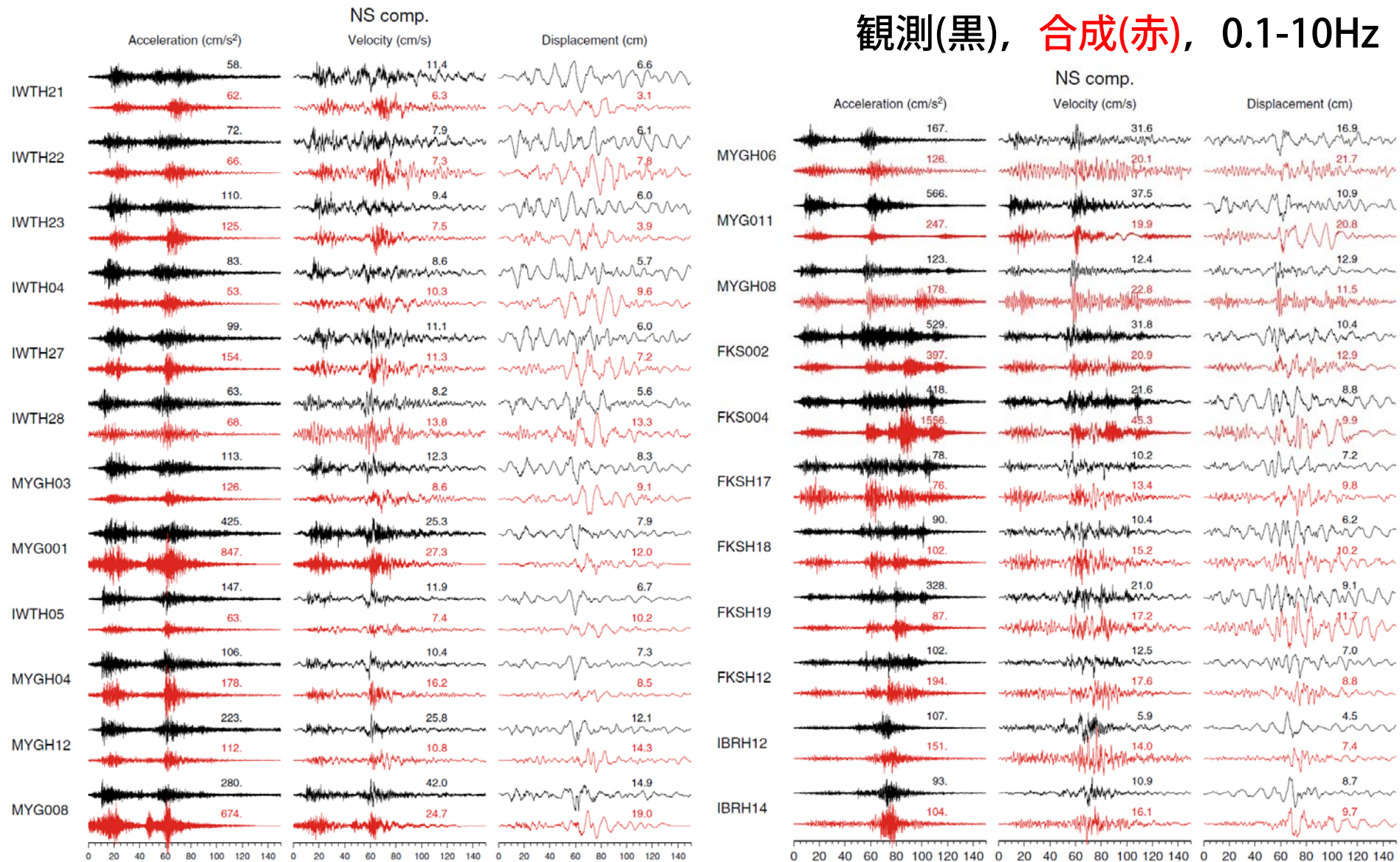


観測(黒), 合成(赤), 0.1-10Hz



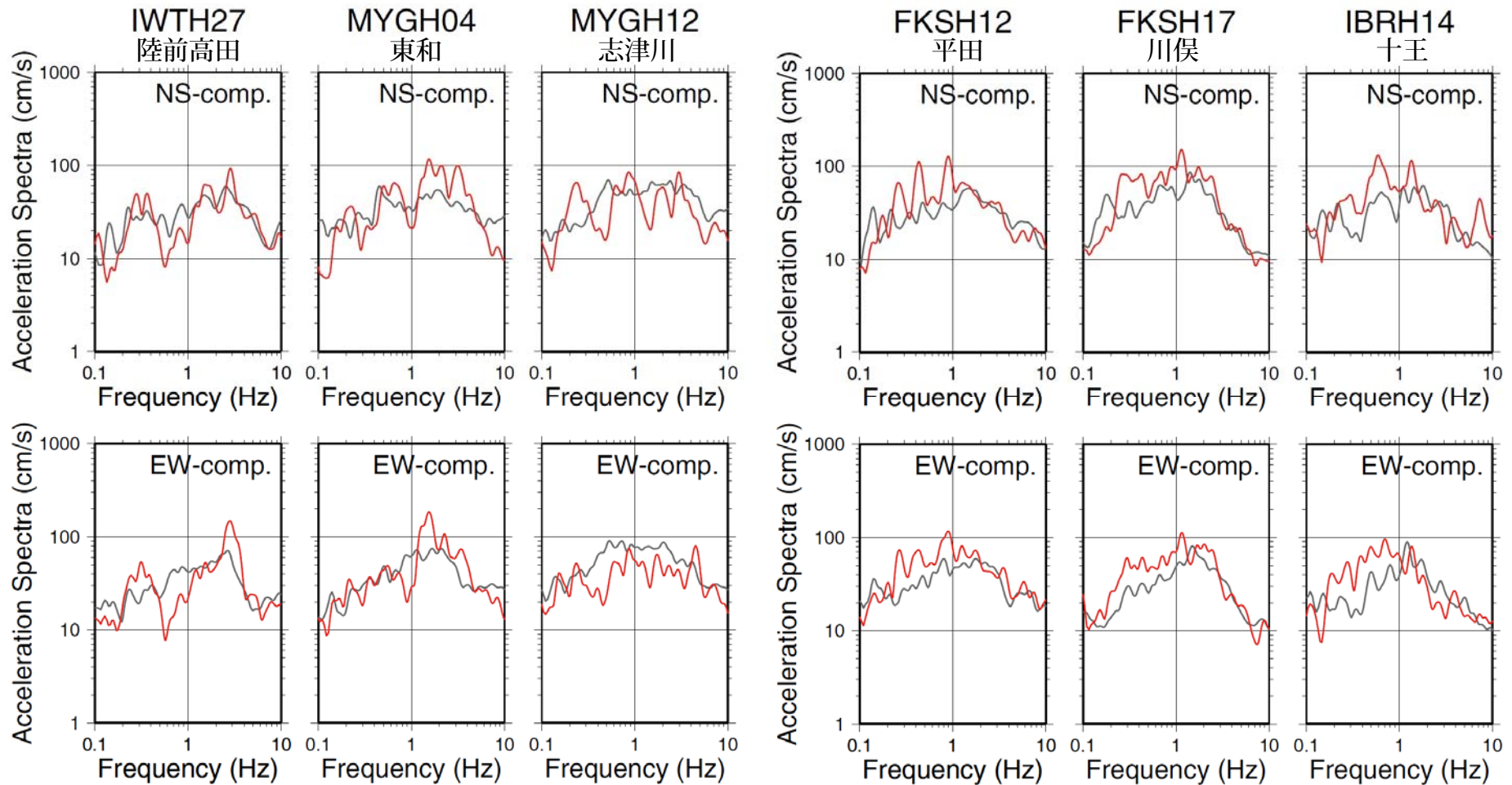
浅野・岩田 (2011, SSJ, A11-06)

観測と合成波形の比較 – NS成分



浅野・岩田 (2011, SSJ, A11-06)

加速度フーリエ振幅スペクトル



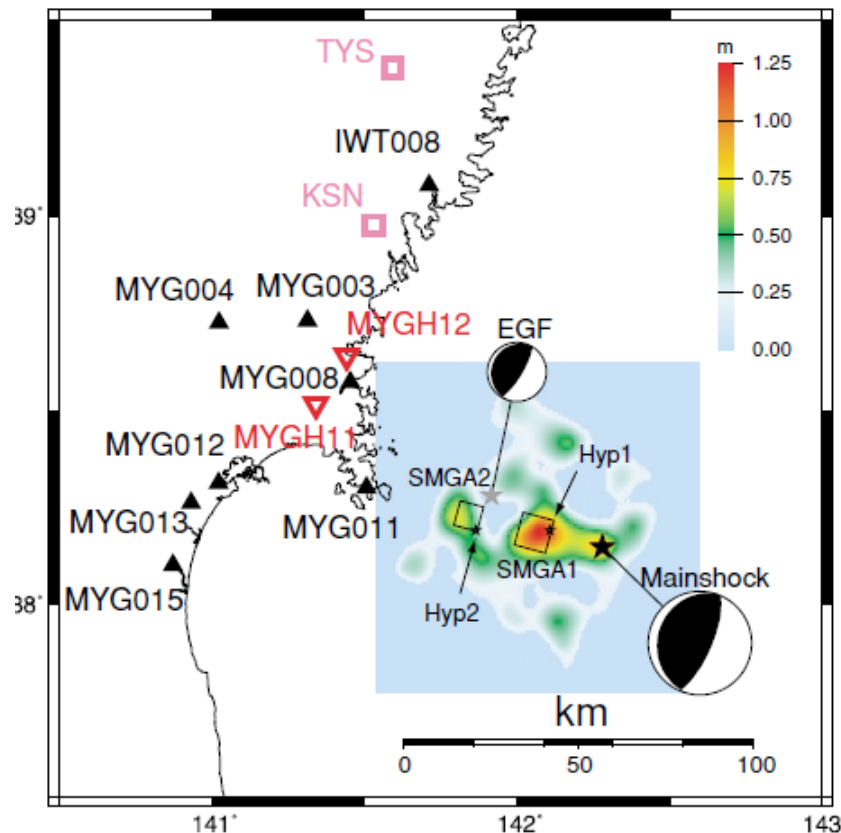
広い周波数帯域で**合成(赤)**は観測(黒)をよく説明している

浅野・岩田 (2011, SSJ, A11-06)

これまでのプレート境界地震 ($M_w < 8$) のSMGAは
アスペリティ (すべりの大きな領域) の内部にあった



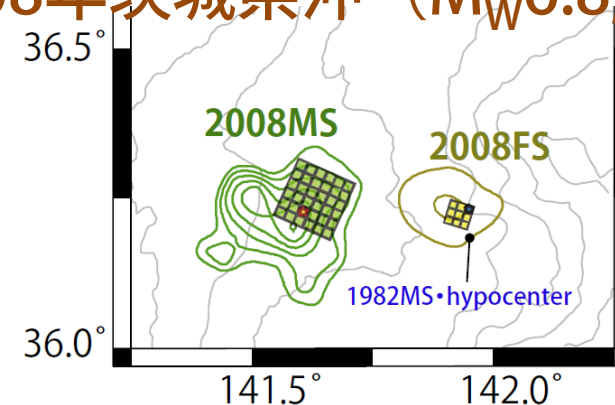
2005年宮城県沖 ($M_w 7.1$)



SMGAはSuzuki and Iwata (2007)
すべり分布はWu et al. (2008)

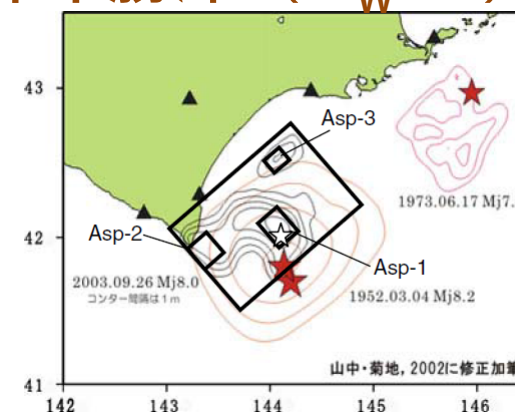
浅野・岩田 (2011, SSJ, A11-06)

2008年茨城県沖 ($M_w 6.8, 6.2$)



SMGAは瀧口・他 (2011)
すべり分布は山中 (2008)

2003年十勝沖 ($M_w 8.1$)

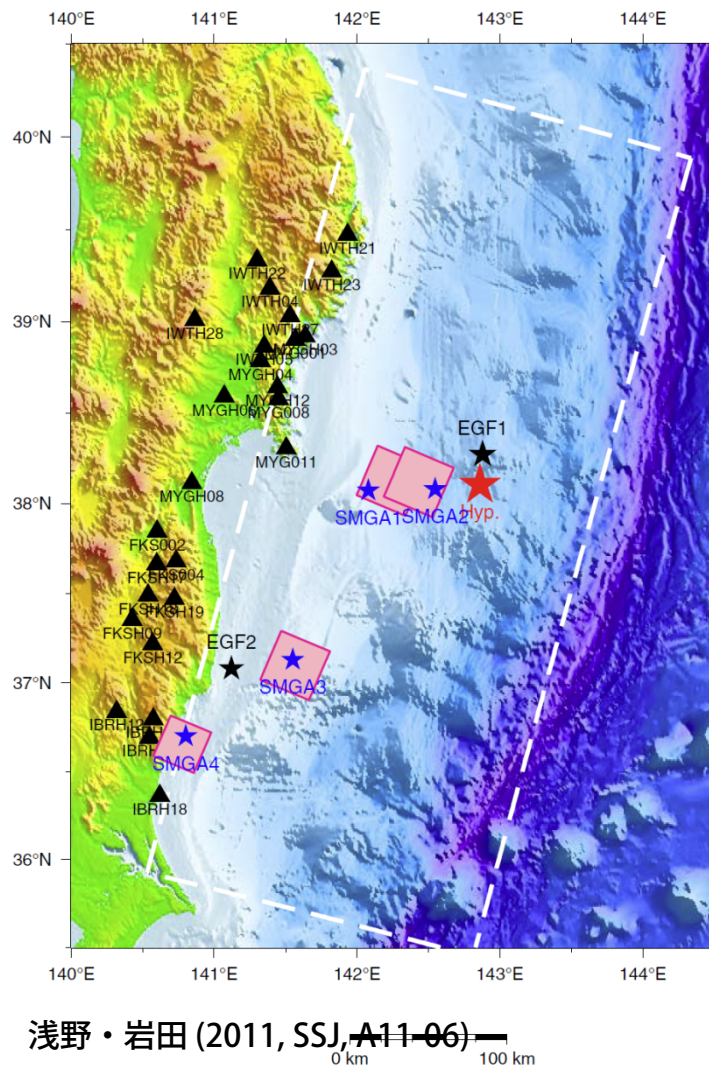


SMGAはKamae and Kawabe (2004)
すべり分布は山中・菊地 (2002)

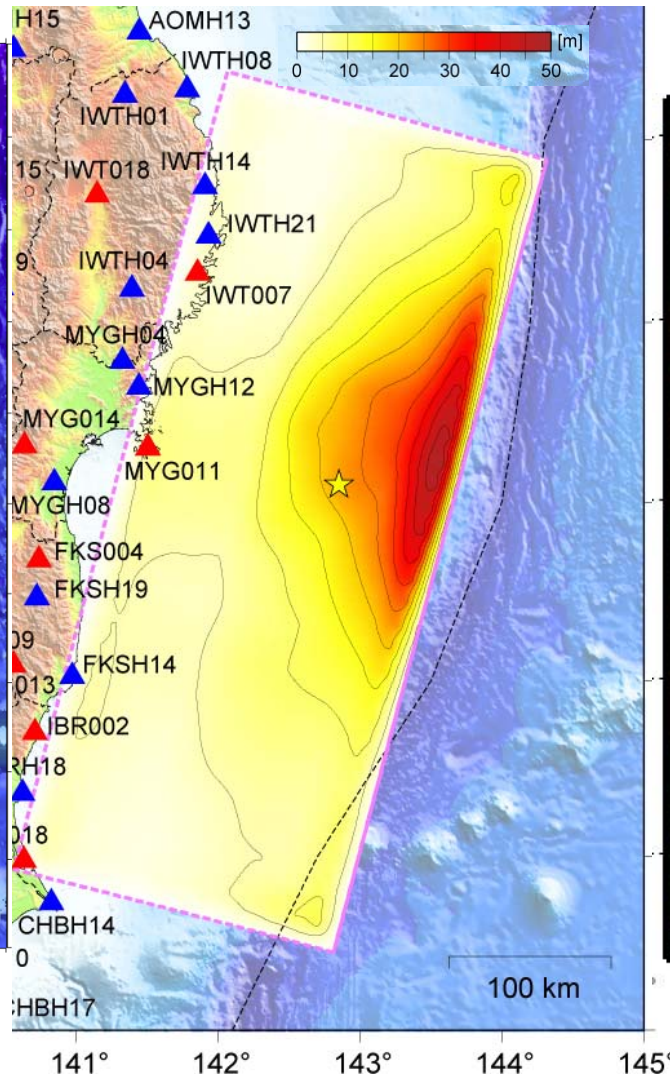
すべり分布と強震動生成領域



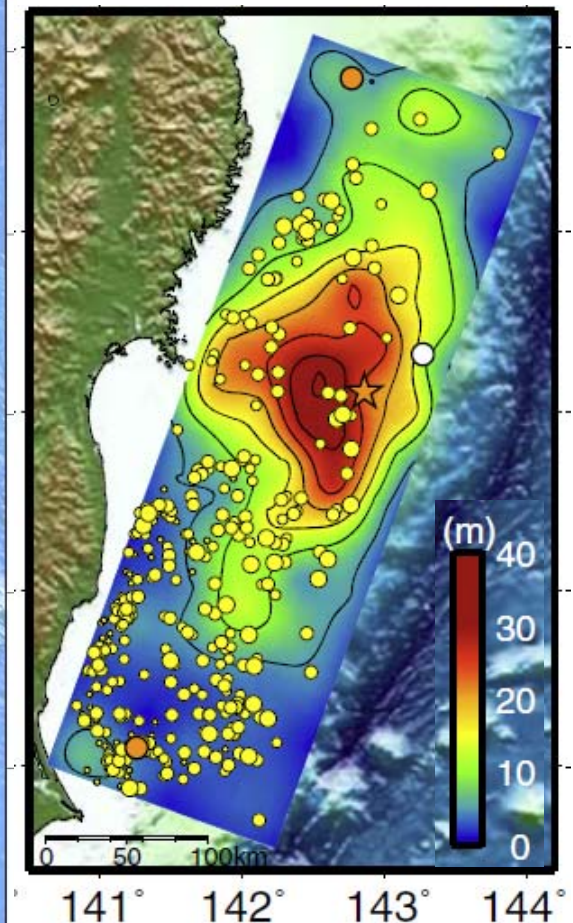
強震動生成領域（本研究）
強震 0.1–10 Hz



Suzuki et al. (2011)
強震 0.01–0.125 Hz



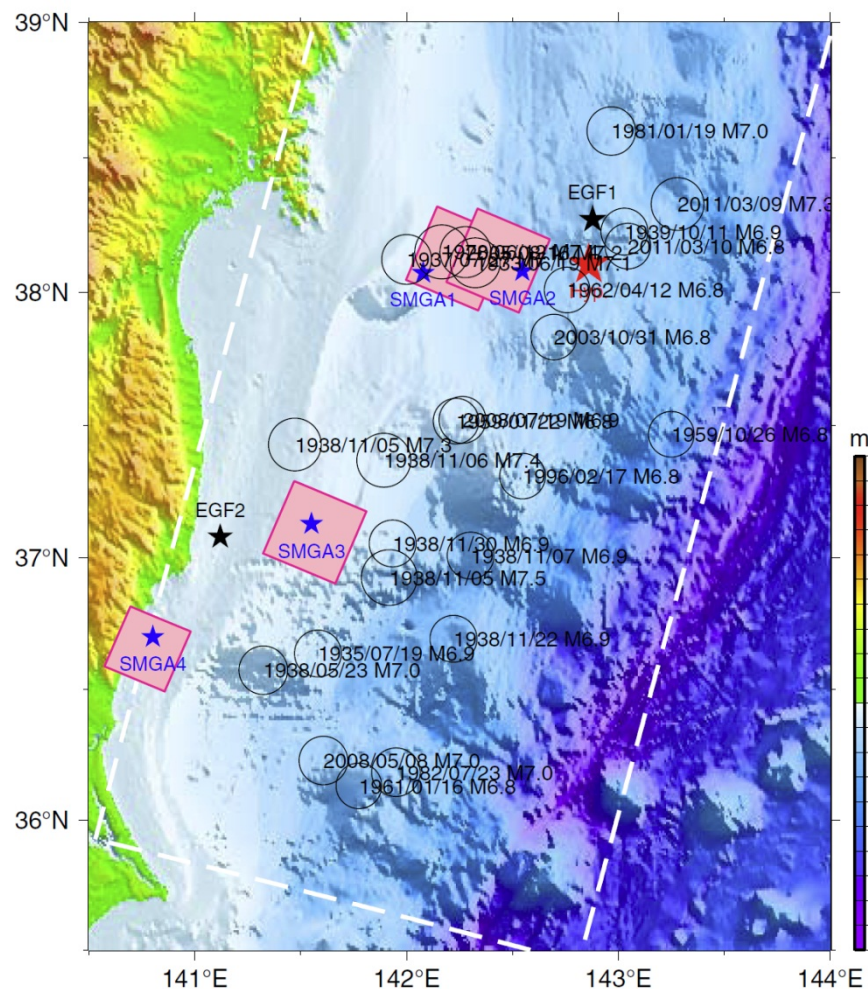
Koketsu et al. (2011)
強震 0.01–0.1 Hz
+遠地+GPS



宮城沖～茨城沖の過去の地震

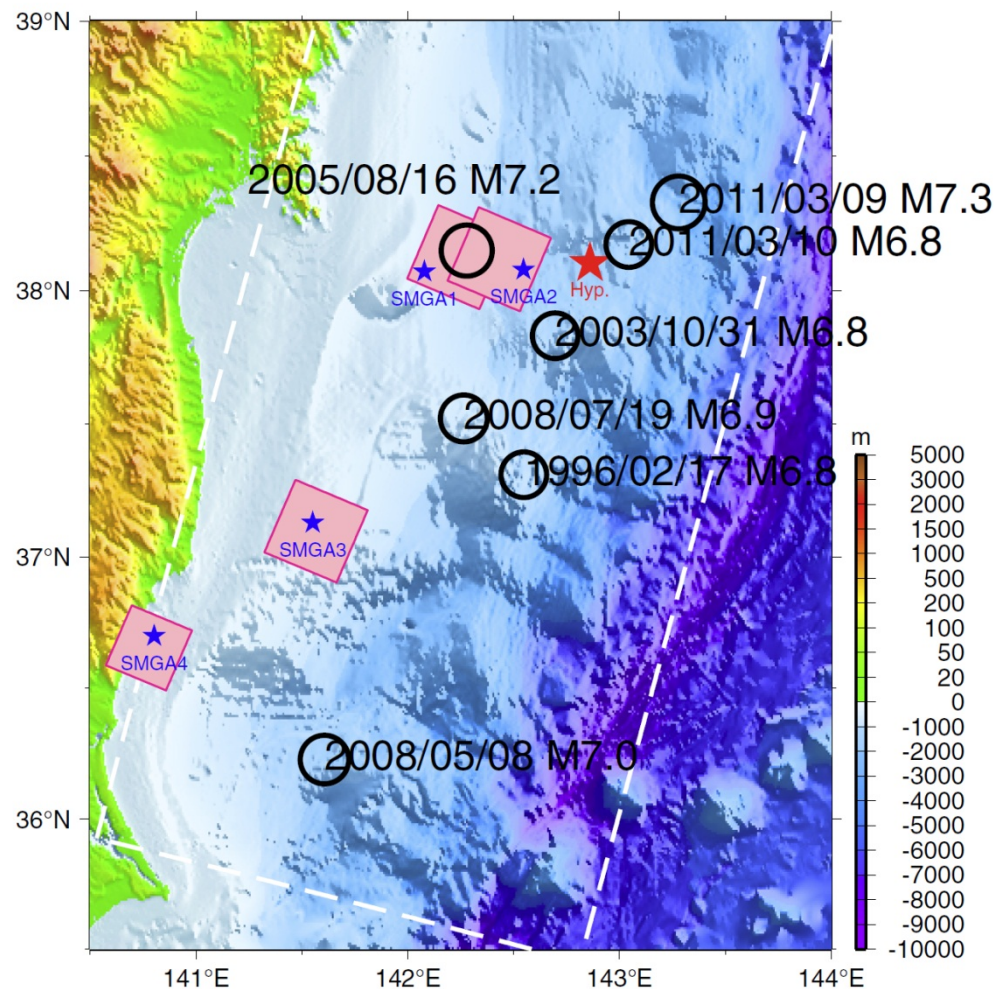


1932/1/1～2011/3/11 M6.8以上の地震



0 km 100 km

1992/1/1～2011/3/11 M6.8以上の地震



0 km 100 km

浅野・岩田 (2011, SSJ, A11-06)

まとめ（１）



- 東日本沿岸域の強震動を説明するため、経験的Green関数法を用いた広帯域強震動シミュレーション（0.1-10Hz）により、4つの強震動生成領域（SMGA）からなる震源モデルを推定した。ただし、これらは0.1Hz以下の低周波数成分のみを用いた波形インバージョンでは埋もれてしまっていて見えていない。
- 宮城県沖の強震動生成領域は2カ所推定され、それらの破壊時刻差は約42秒あるものの、空間的には重なっている可能性がある。これらのSMGA1&2は宮城県沖地震の想定震源域に含まれているが、2005年のSMGAとは相補的である。
- 福島及び茨城県沖にも強震動生成領域がそれぞれ1つ存在し、関東地方の地震動は、これらの強震動生成領域によって主として支配されている。SMGA3は1938年の活動域であり、想定福島県沖地震の可能性が高い。

まとめ（２）



- 強震動生成領域の地震モーメントの総和は約 $1.31 \times 10^{21} \text{Nm}$ であり, $M_w 8.0$ 相当でしかない. 残りのモーメントは海溝軸付近の大すべりによると考えられる.
- つまり, 2011年東北地方太平洋沖地震は, 宮城沖や福島沖の複数の通常のプレート境界型地震と海溝軸付近の低すべり速度で継続時間の長い津波地震が連動したイベントであると考えられる.
- 周期0.1-10秒程度の強震動は, これまでの特性化震源モデルの考え方で再現可能と考えられる. 今後は, 海溝型地震の強震動予測にはアスペリティそのものではなく強震動生成領域に基づくモデル化をするべきである.

