

日本地震学会2009秋季大会、国立大学法人京都大学、京都
2009年10月21日(火)

長大断層地震のための強震動予測レシピ ー四川大地震の強震動記録による検証ー

入倉孝次郎・倉橋 奨
愛知工業大学地域防災センター

四川地震の波形インバージョン

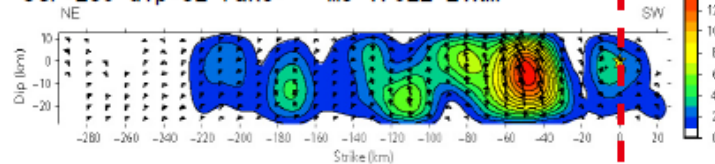
- 破壊開始点よりも30~50km程度

北側で大きなすべり

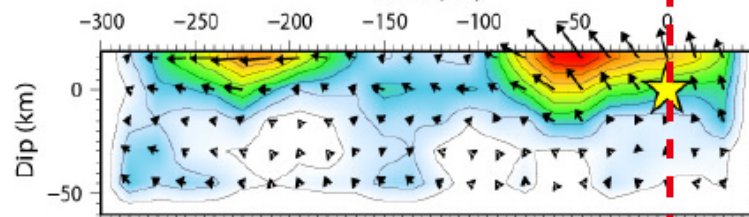
北東

南西

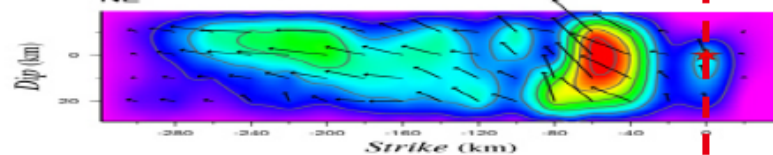
引間モデル str:230 dip:32 rake:- Mo=1.02E+21Nm



八木モデル str:229 dip:33 rake:146 Mo=9.36E+20Nm



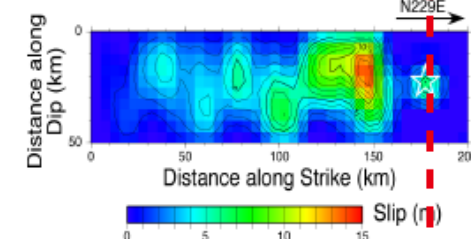
JAMSTECモデル str:229 dip:33 rake:138 Mo=1.2E+21Nm



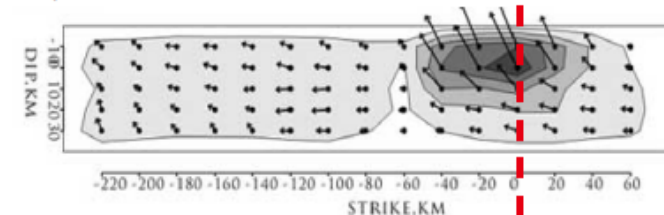
北東

南西

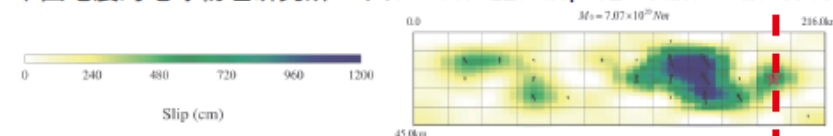
堀川モデル str:229 dip:33 rake:141 Mo=9.4E+20Nm



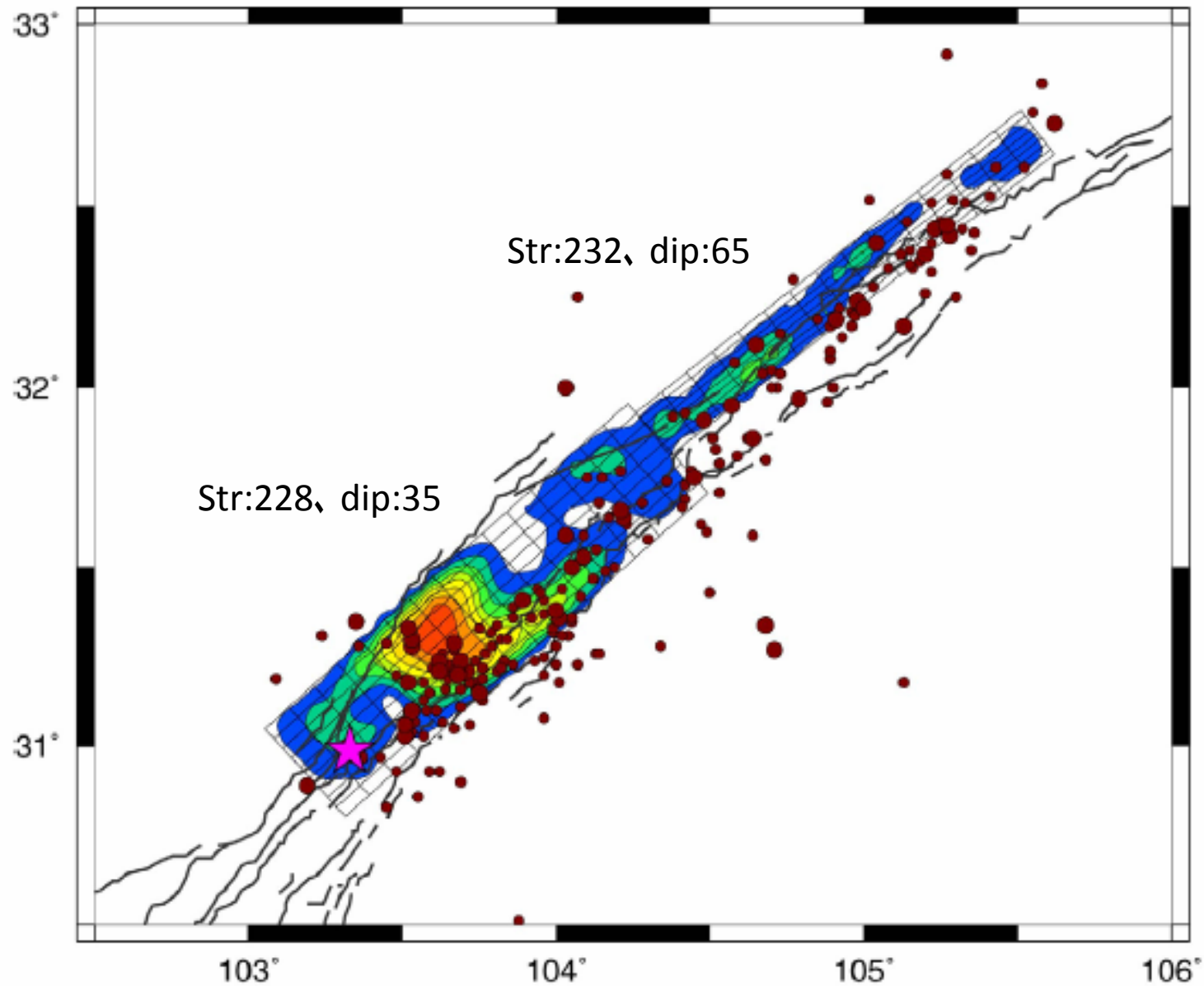
山中モデル str:230 dip:30 rake:145 Mo=6.8E+20Nm



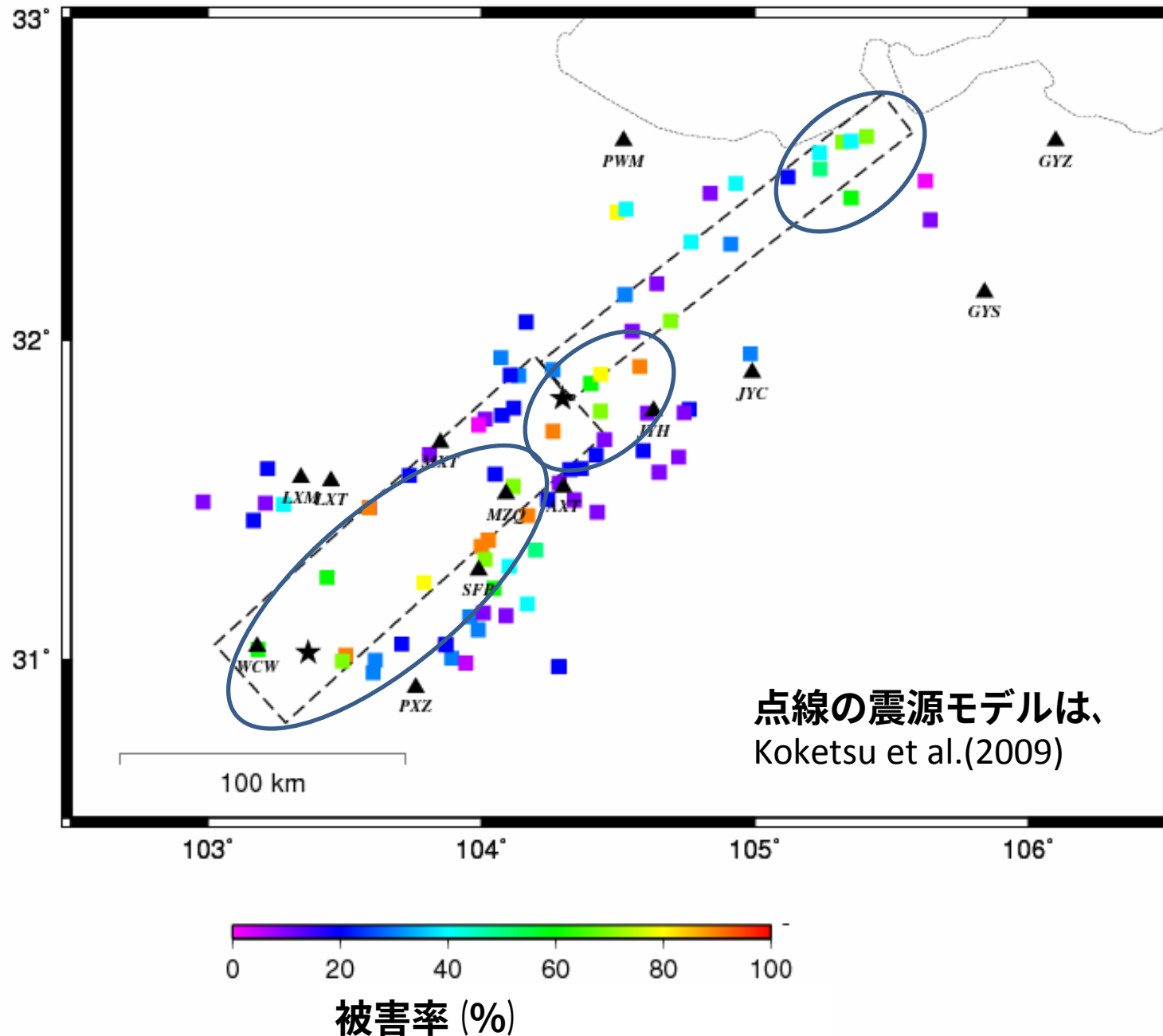
中国地震局地球物理研究所モデル str:229 dip:32 rake:- Mo=7.07E+20Nm



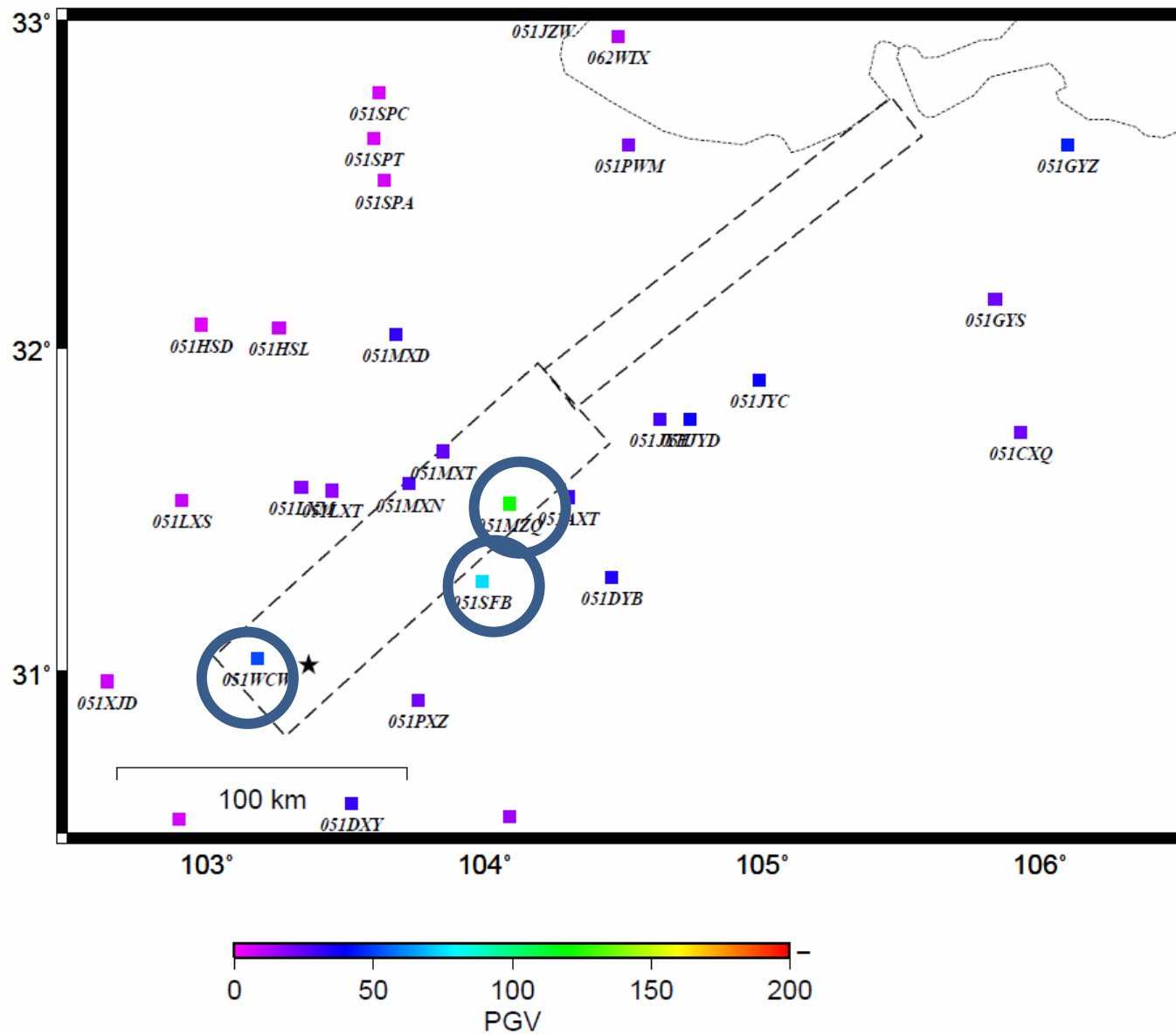
波形インバージョンによるすべり量分布 (Koketsu et al., 2009)



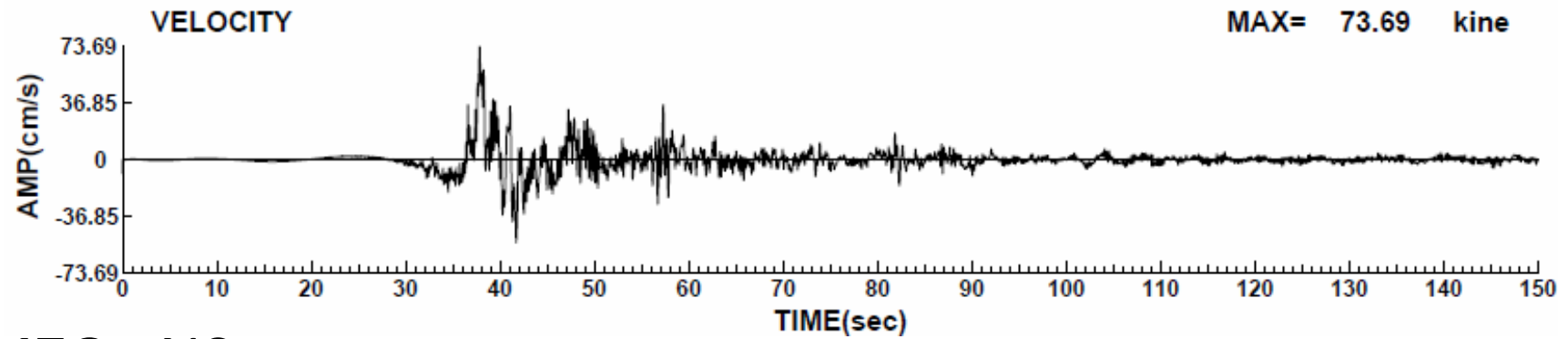
四川地震における被害率 (MCEER、2008)



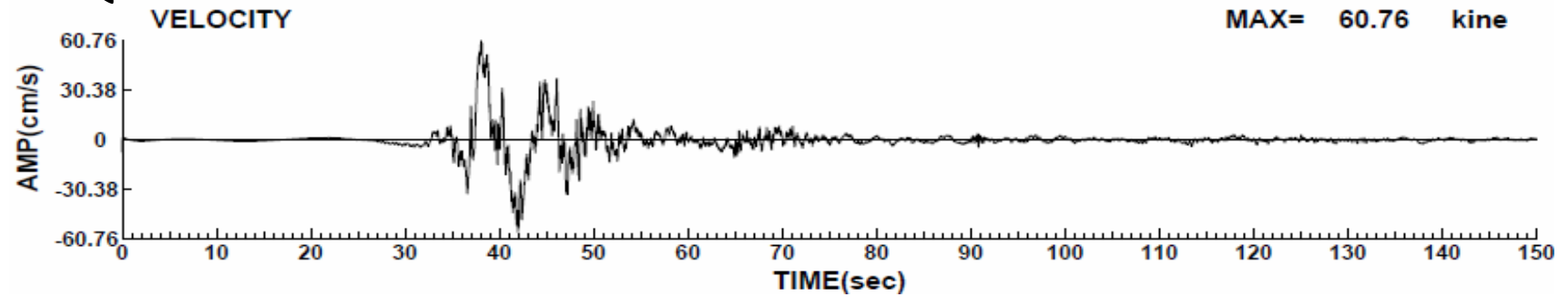
最大速度分布 (水平動)



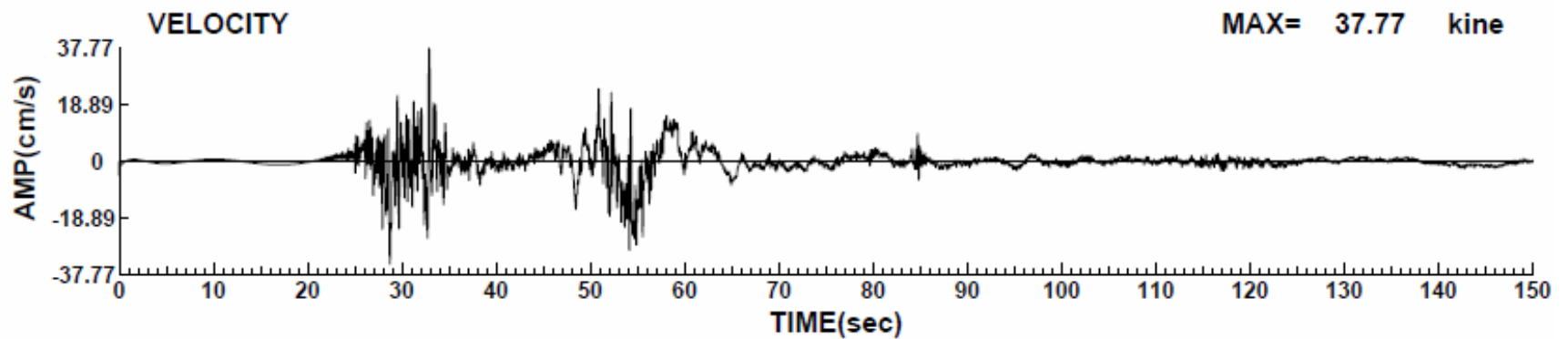
SFB NS



MZQ NS



WCW NS

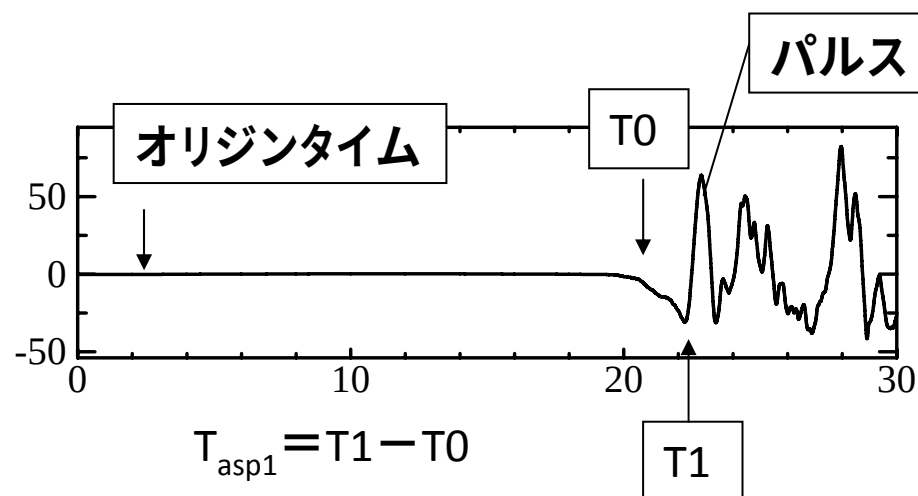
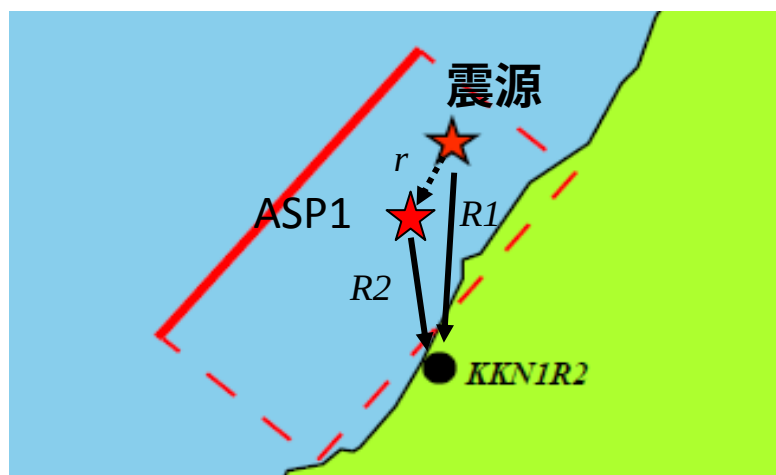


震源モデルの構築の手順

1. 近地強震動波形から、アスペリティの位置の推定
2. 経験的グリーン関数法による震源モデルの構築
3. 波数積分法による震源モデルの構築
4. ハイブリッド合成法による波形の比較

1. 近地強震動波形によるアスペリティの位置の推定

・観測された強震動のパルスは、アスペリティから放出された波と推定される。そこで、震源位置・時間とパルスの立ち上がり時間から、アスペリティの位置を推定



震源からのS波到達時間:

$$\frac{R1}{Vs} = T0 \quad \text{式1)}$$

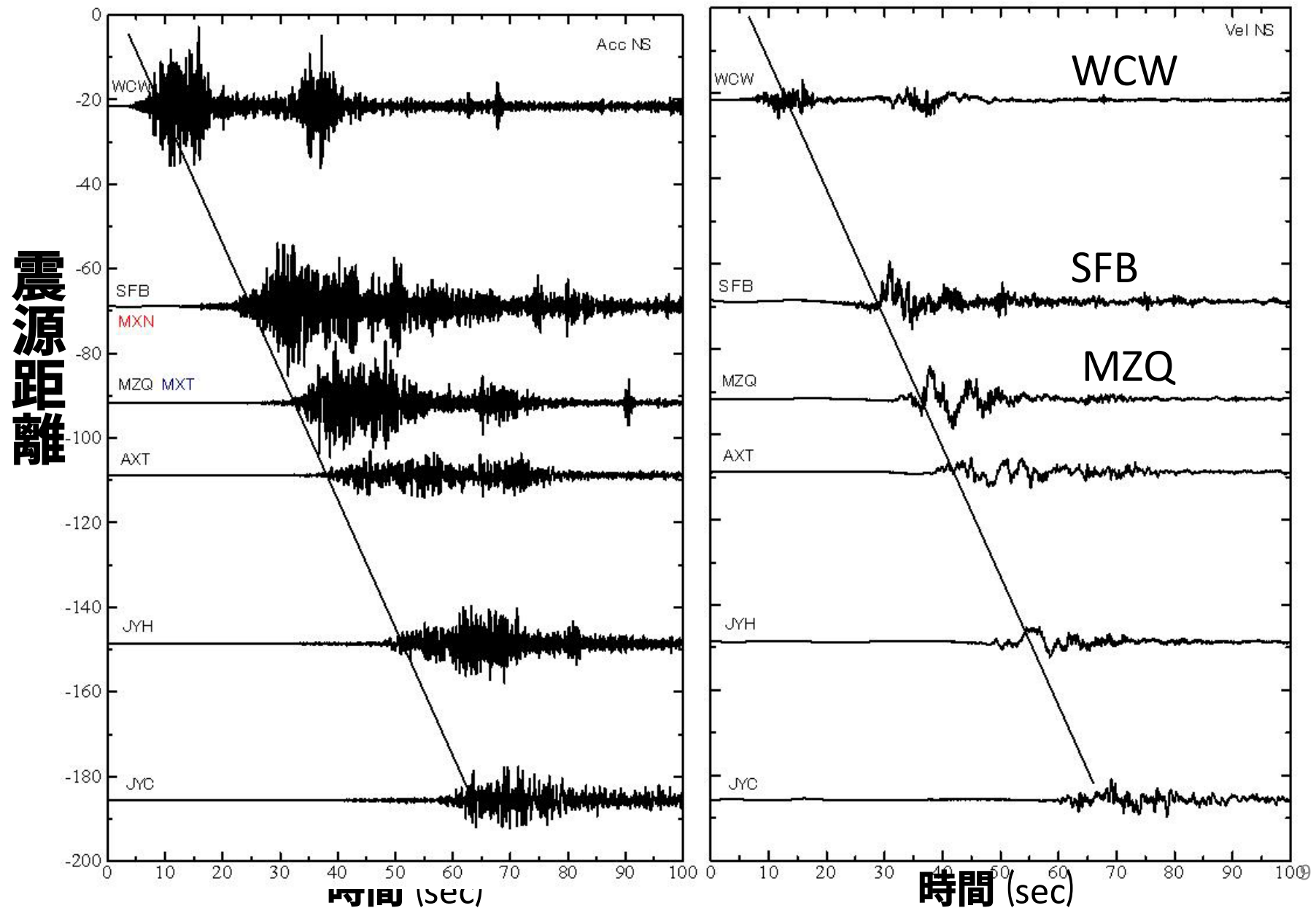
ASP1からのS波到達時間:

$$\frac{r}{Vr} + \frac{R2}{Vs} = T1 \quad \text{式2)}$$

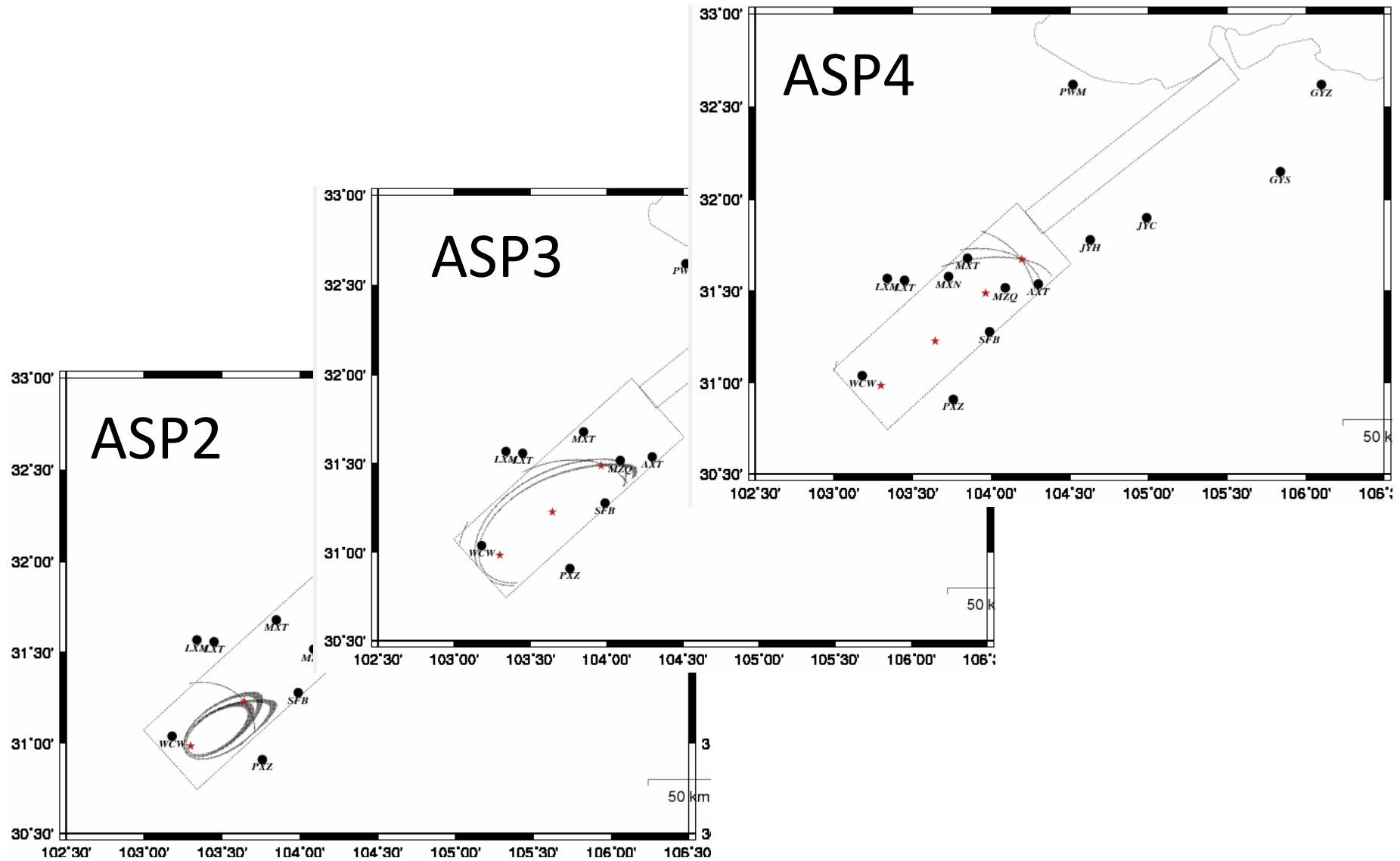
震源とASP1からのS波到達時間の差:

$$\frac{r}{Vr} + \frac{R2}{Vs} - \frac{R1}{Vs} = T1 - T0 \quad \text{式3)}$$

NS成分における、各観測点の波形と震源距離の関係



1. 強震動波形アスペリティの位置の推定



2. 経験的グリーン関数法による震源モデルの構築

経験的グリーン関数法として使用したい、断層付近で発生した小地震記録は、入手が困難。

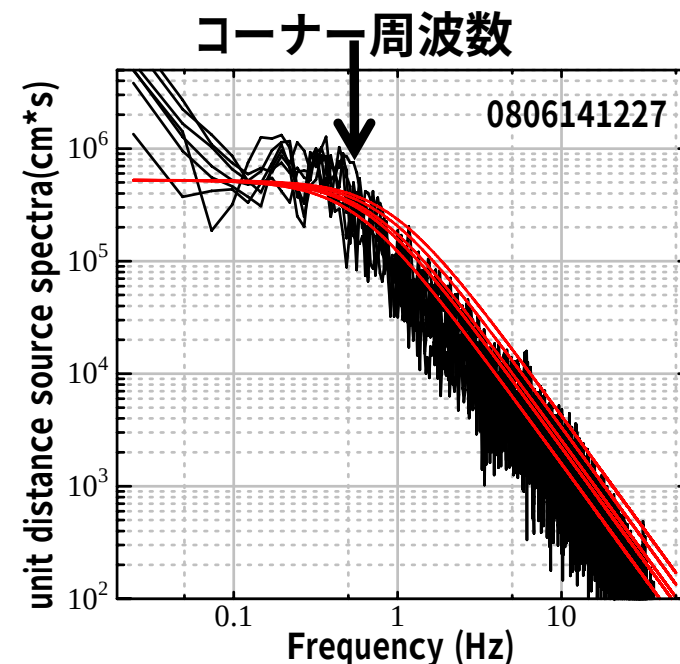
→ 日本で発生した地震を使用

使用する地震の選定条件

経験的グリーン関数法は、小地震と大地震の伝播経路とサイト特性が近似していることが望ましい。

- 1. 本震のラディエーションと近似**
- 2. 地盤条件の近似**
- 3. 震源距離の近似**

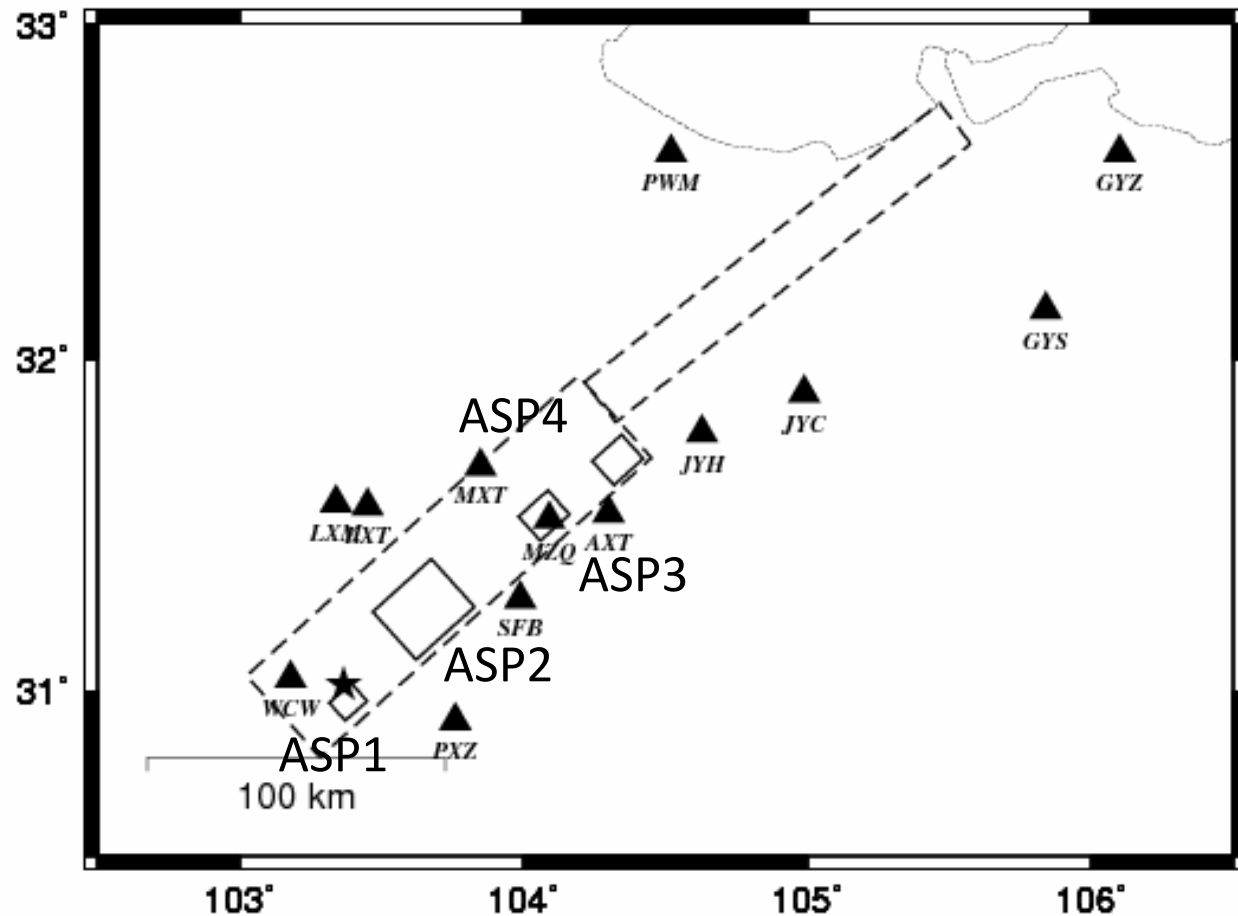
2008年岩手宮城内陸地震の余震を経験的グリーン関数の小地震として選定



震源スペクトル

発信時間	08/08/14 12:27
マグニチュード	Mw4.2
面積	3.3km×3.3km
応力降下量	3.4MPa

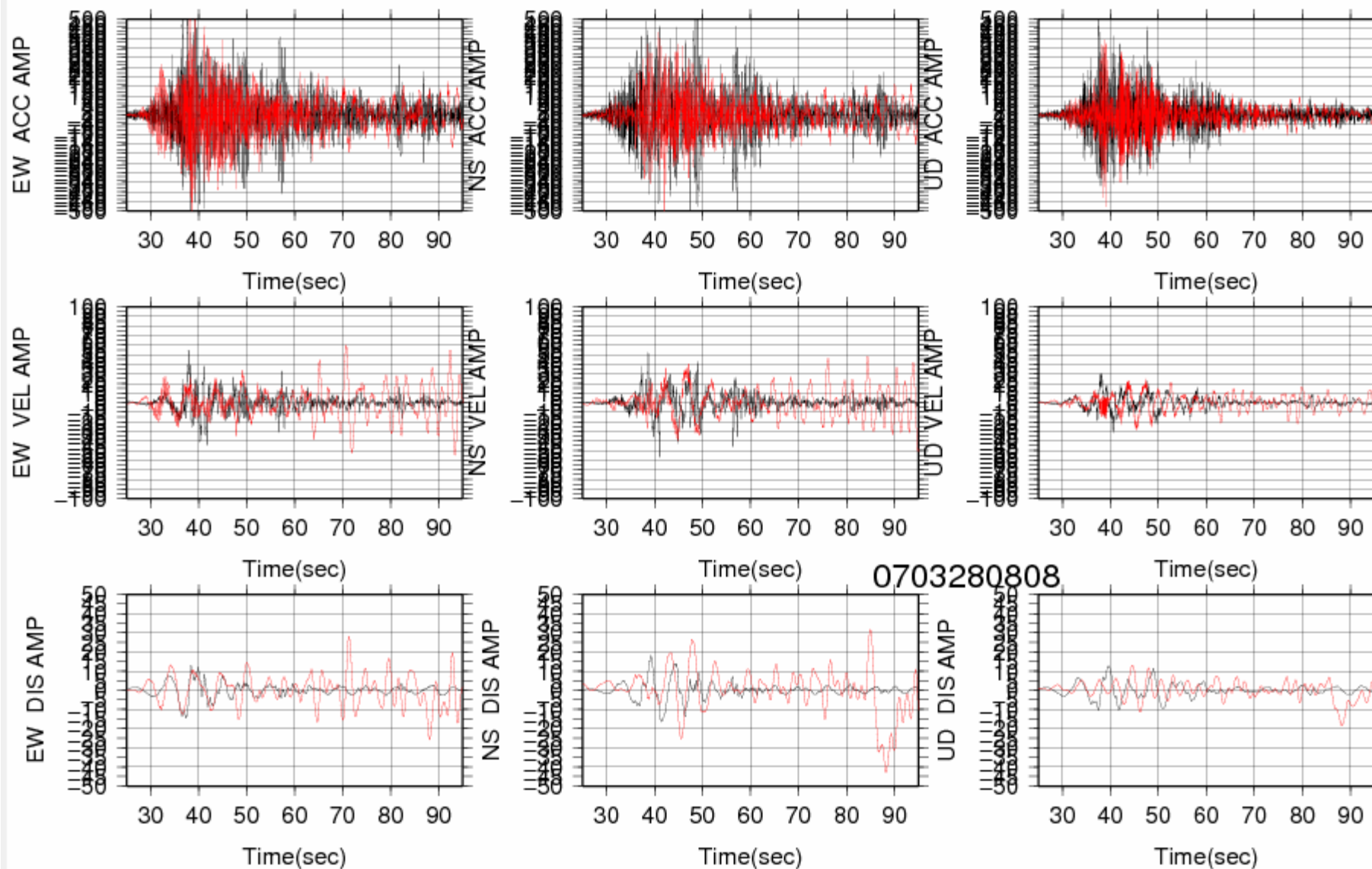
2. 経験的グリーン関数法による震源モデル



	ASP1	ASP2	ASP3	ASP4
面積	9.9×9.9	26.4×26.4	13.2×13.2	13.2×13.2
応力降下量	13.2MPz	13.2MPz	13.2MPz	13.2MPz
モーメント	$3.65 \times 10^{18} \text{Nm}$	$6.9 \times 10^{19} \text{Nm}$	$8.64 \times 10^{18} \text{Nm}$	$8.64 \times 10^{18} \text{Nm}$

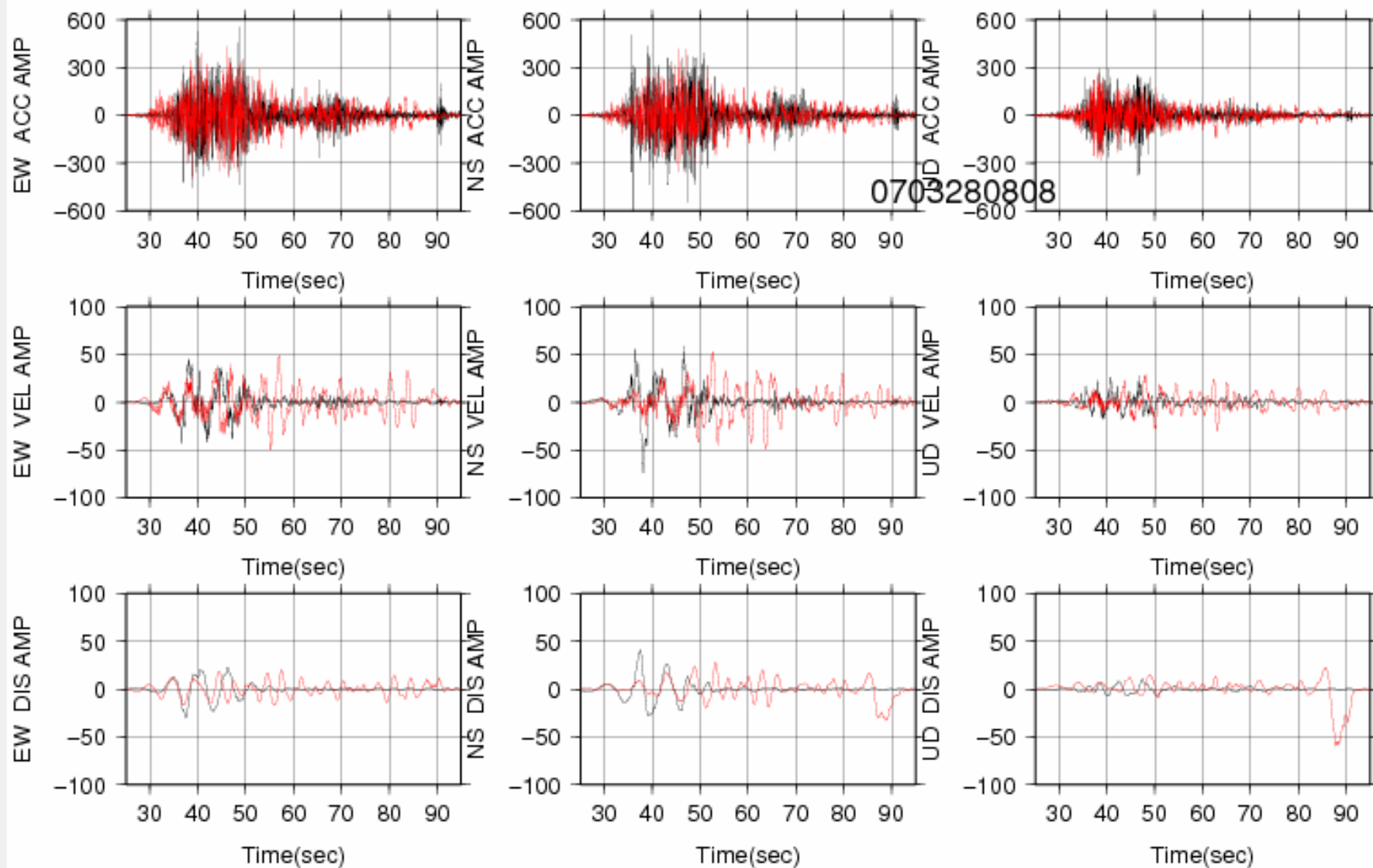
SFB

— 観測波形
— 合成波形



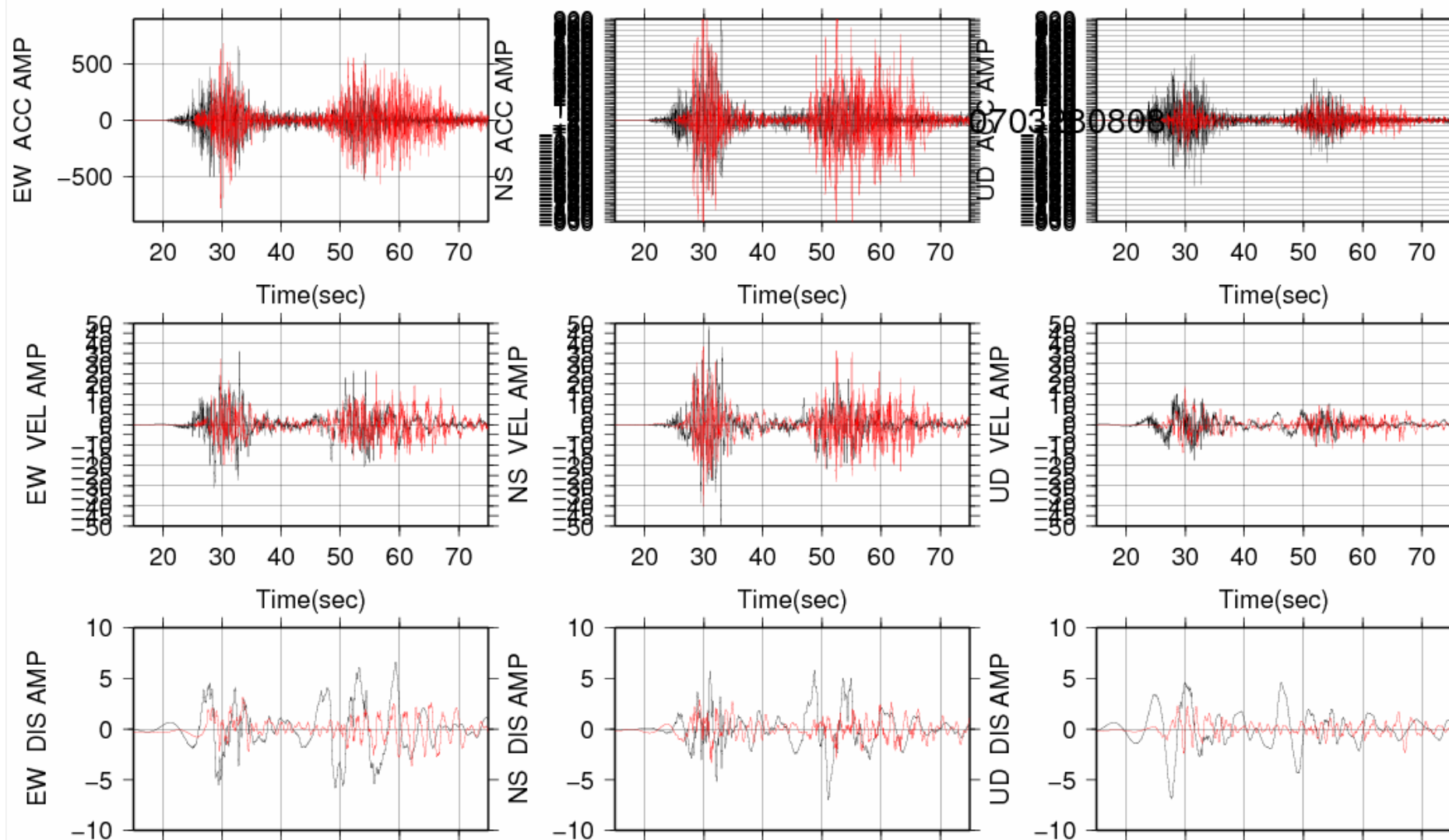
MZQ

観測波形
合成波形



WCW

観測波形
合成波形

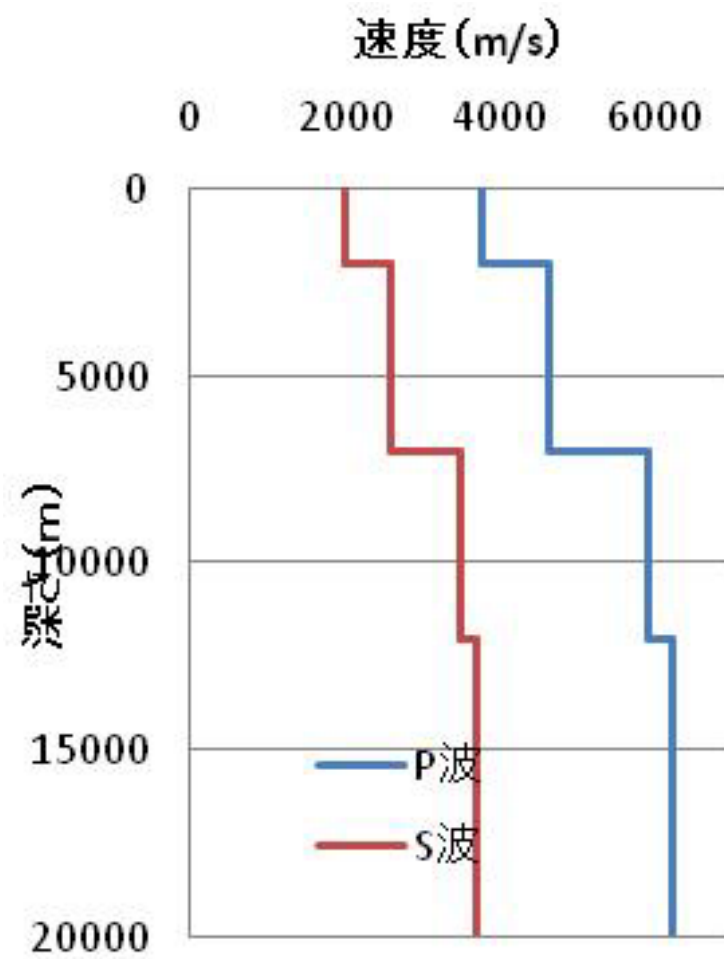


3. 波数積分法による震源モデルの構築

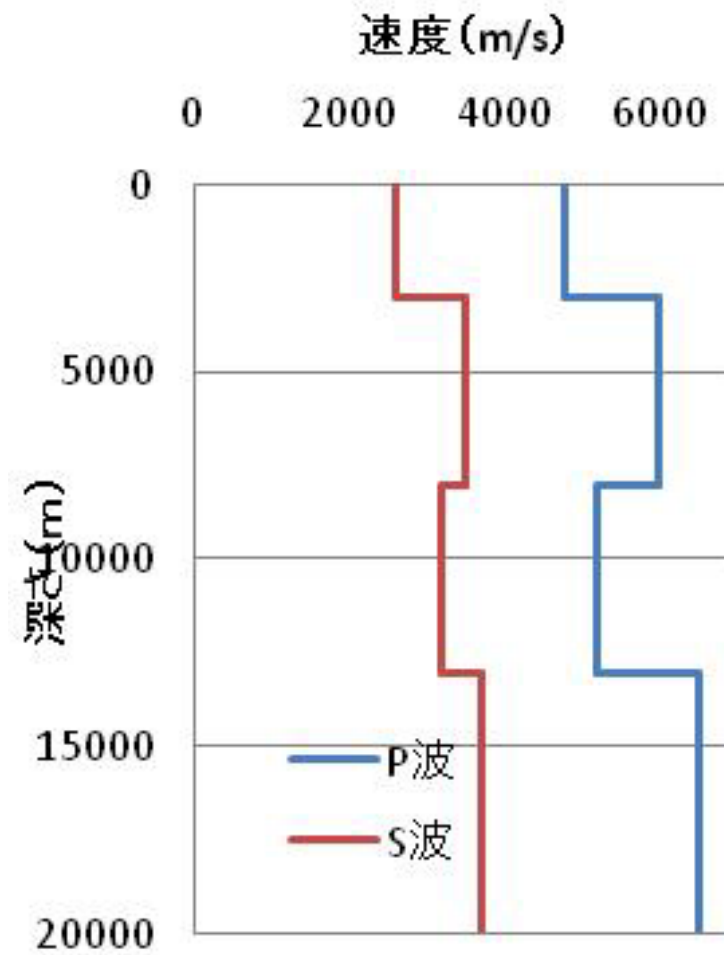
長周期成分に関しては、波数積分法により震源モデルを構築した。経験的グリーン関数法で推定した震源モデルを基として、理論的手法により震源モデルを確定する。

地盤モデルは、Lou et al., 2008、Liu et al., 2009による、レシーバー関数インバージョンなどで得られた速度モデルを用いた。

WCW



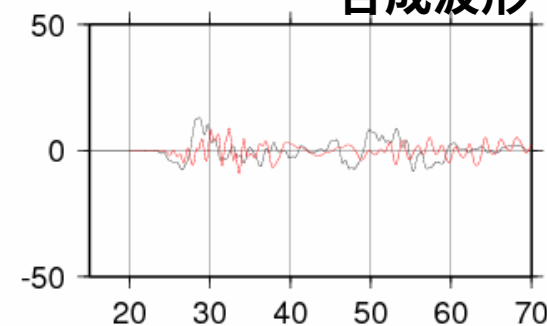
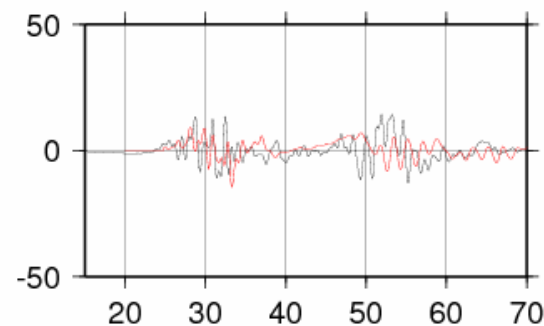
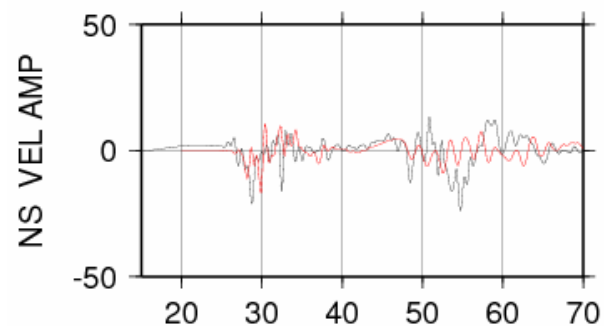
MZQ、SFB



3. 波数積分法による合成波形 (速度)

観測波形
合成波形

WCW

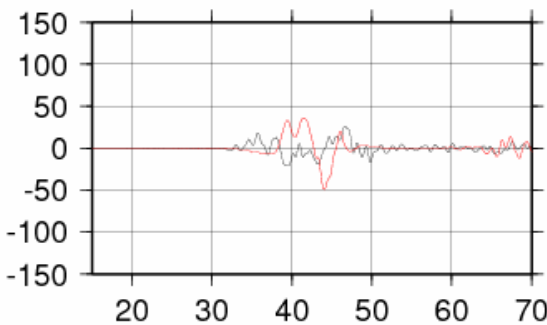
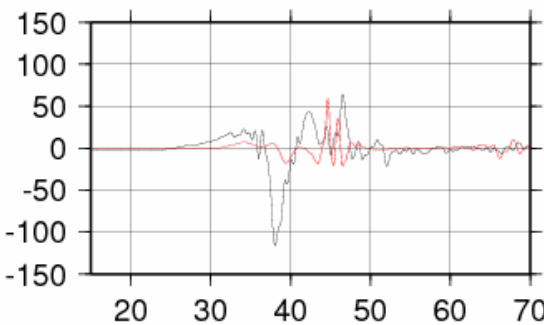
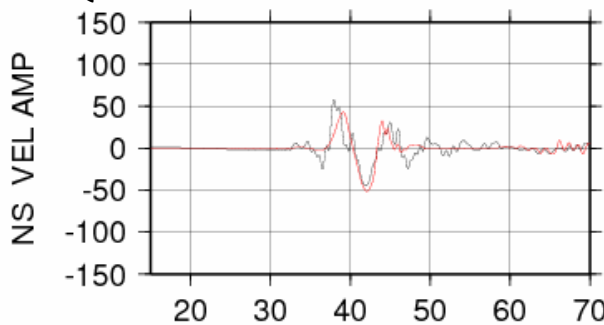


Time(sec)

Time(sec)

Time(sec)

MZQ

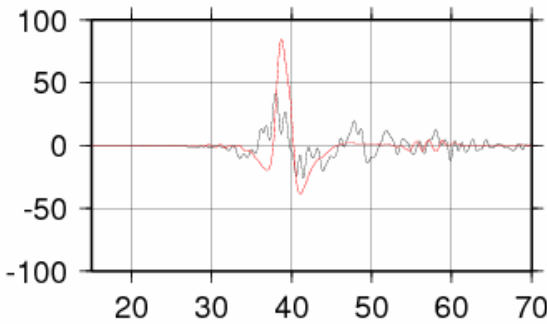
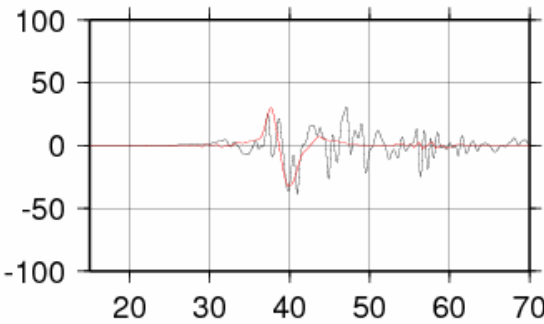
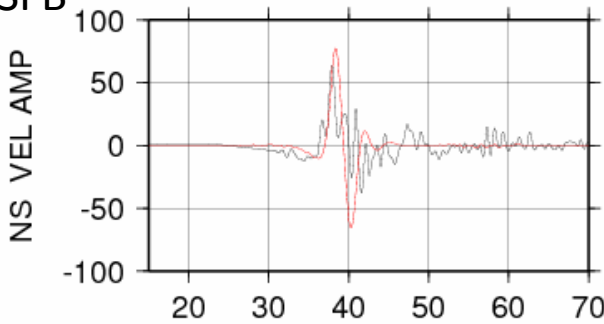


Time(sec)

Time(sec)

Time(sec)

SFB



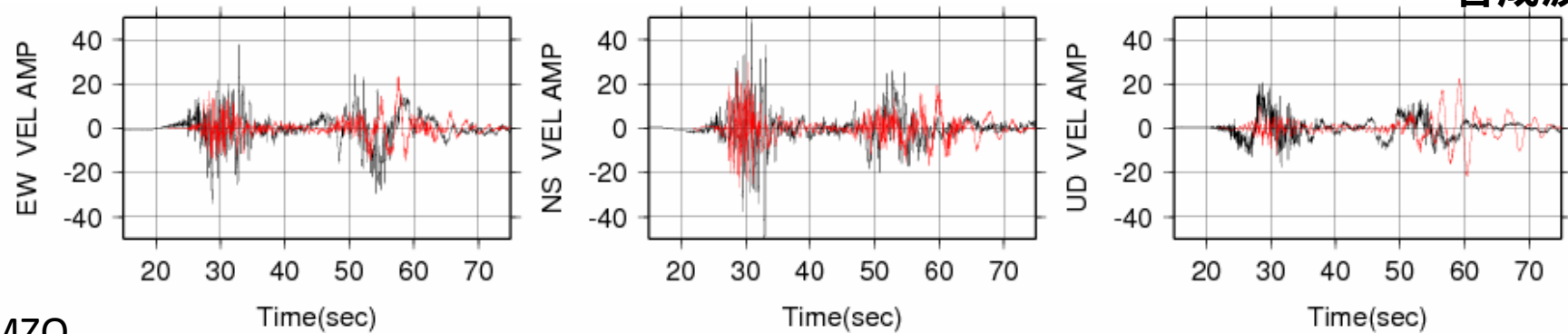
Time(sec)

Time(sec)

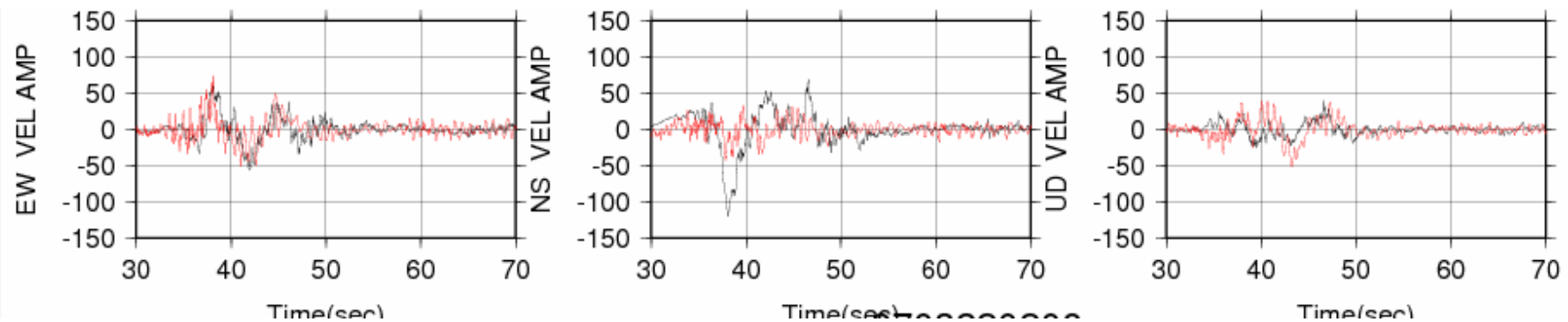
Time(sec)

4. ハイブリッド合成法による合成波形 (速度)

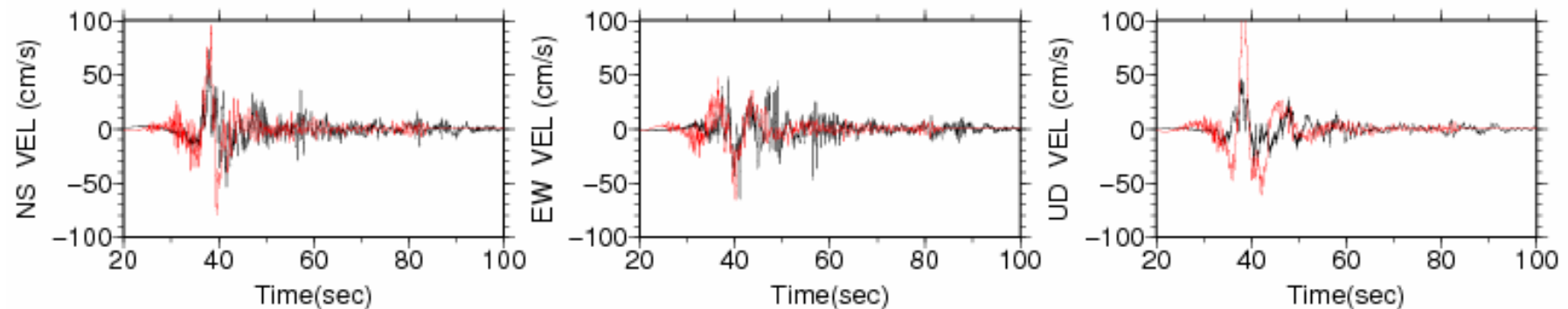
WCW



MZQ



SFB



破壊速度の揺らぎの地震動への影響

- 久田 (2005) は破壊遅れ時間に揺らぎの地震動への影響。
- 渡辺・他 (2008) は破壊速度の揺らぎの地震動への影響。

例:

WCW: 破壊前方方向の観測点

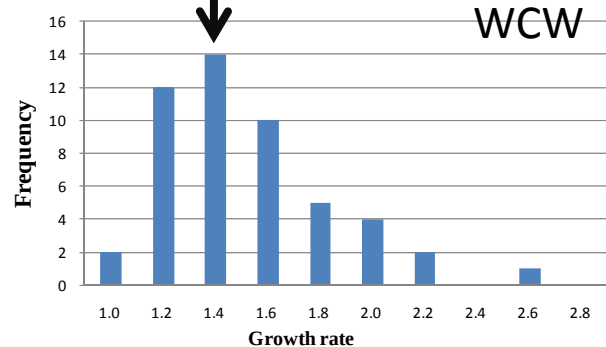
SFB, MZQ: 破壊前方方向の観測点

破壊速度を 3km/s とし、アスペリティ内の破壊速度に揺らぎ

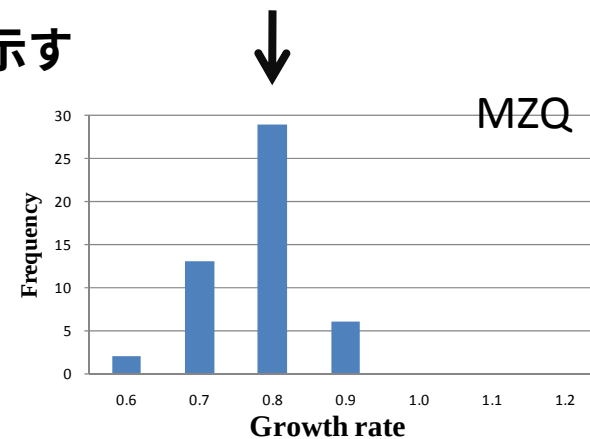
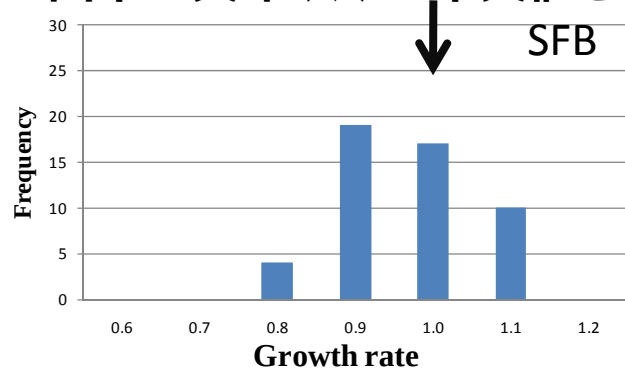
CASE1: 10% のばらつきを与える。

CASE2: 20% のばらつきを与える。

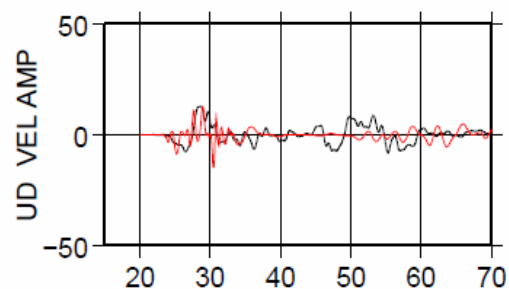
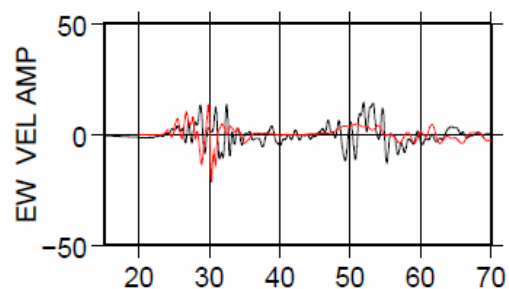
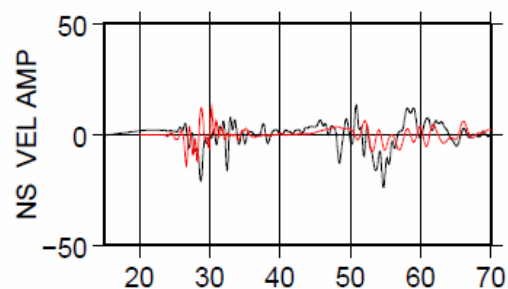
Case1: 10%揺らぎ



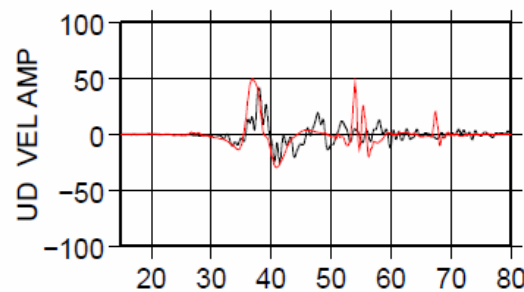
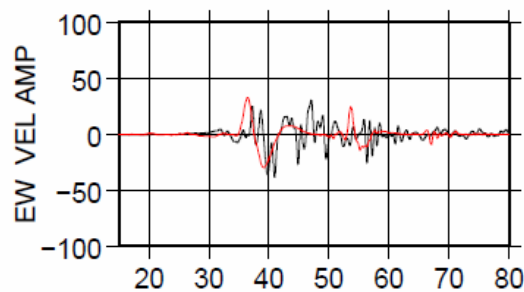
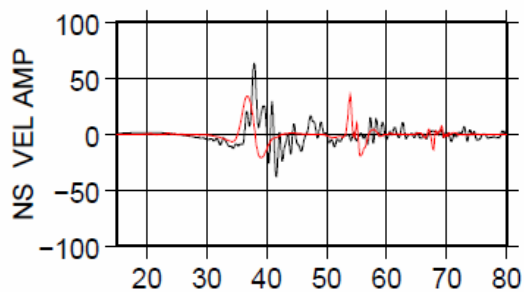
図中の矢印(↓)は中央値を示す



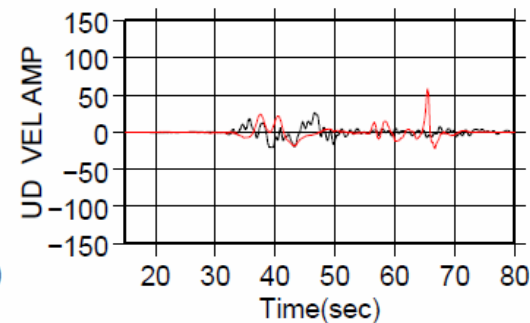
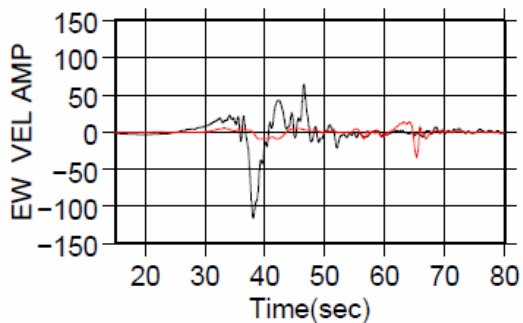
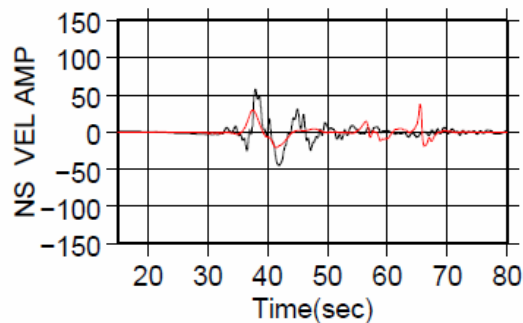
WCW



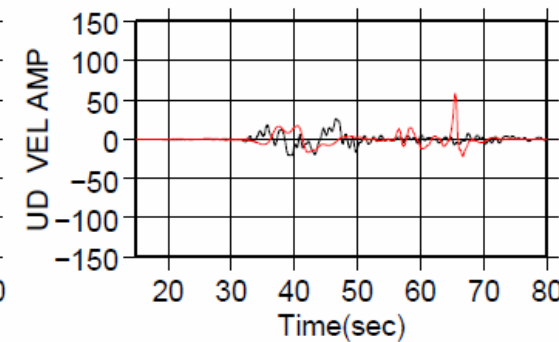
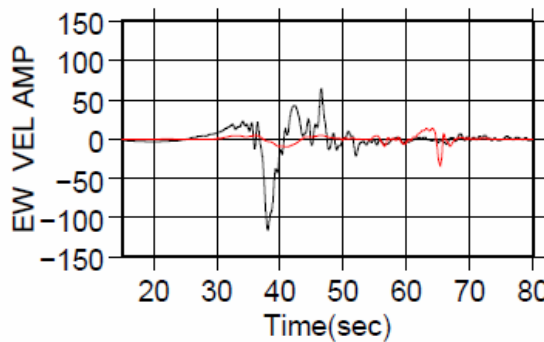
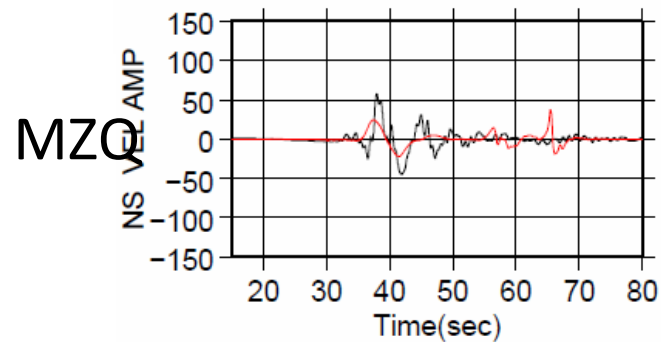
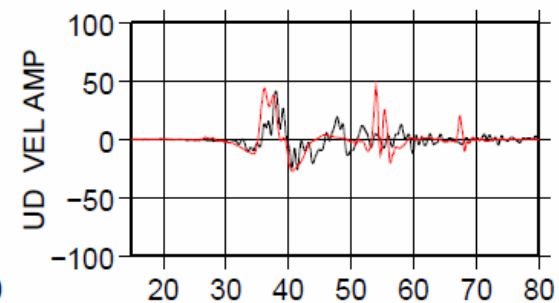
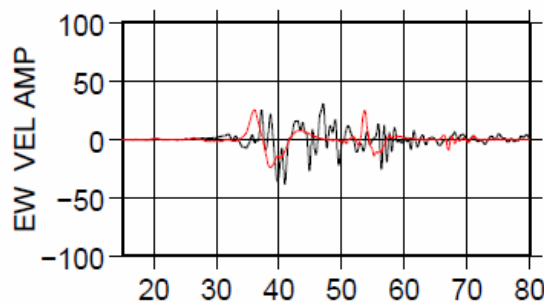
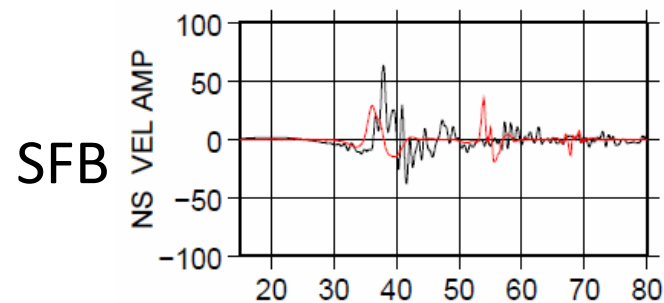
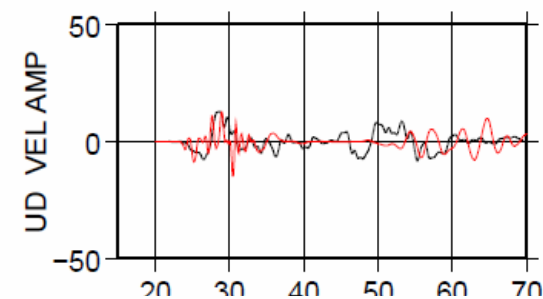
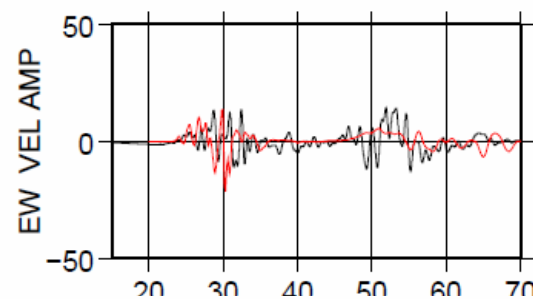
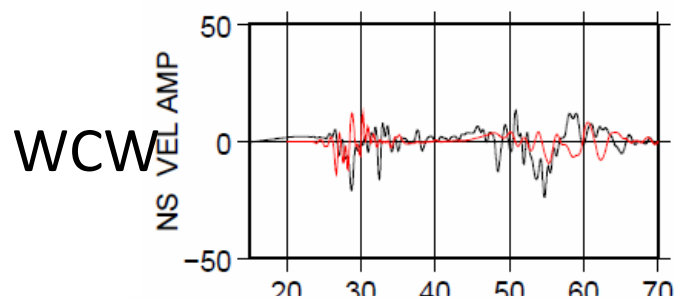
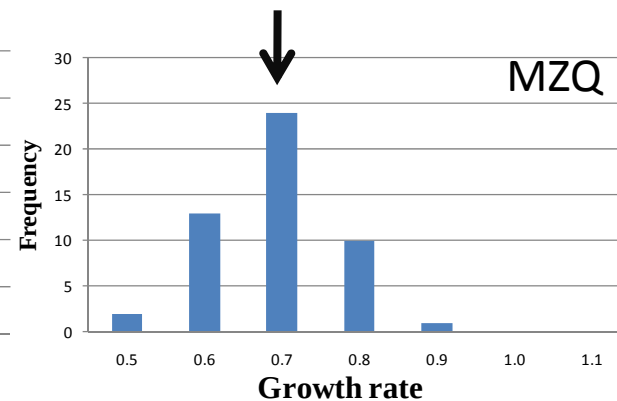
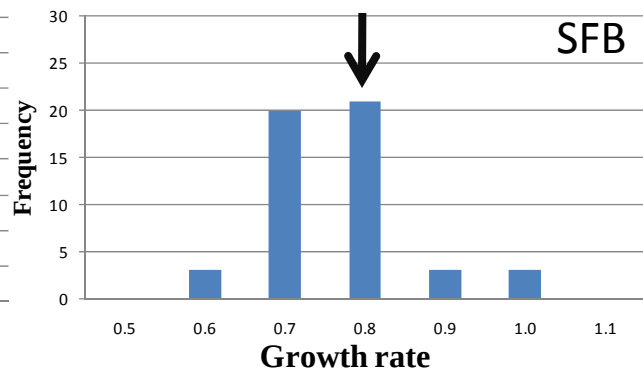
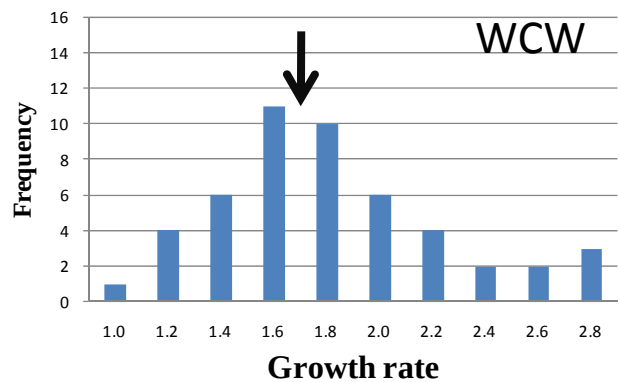
SFB



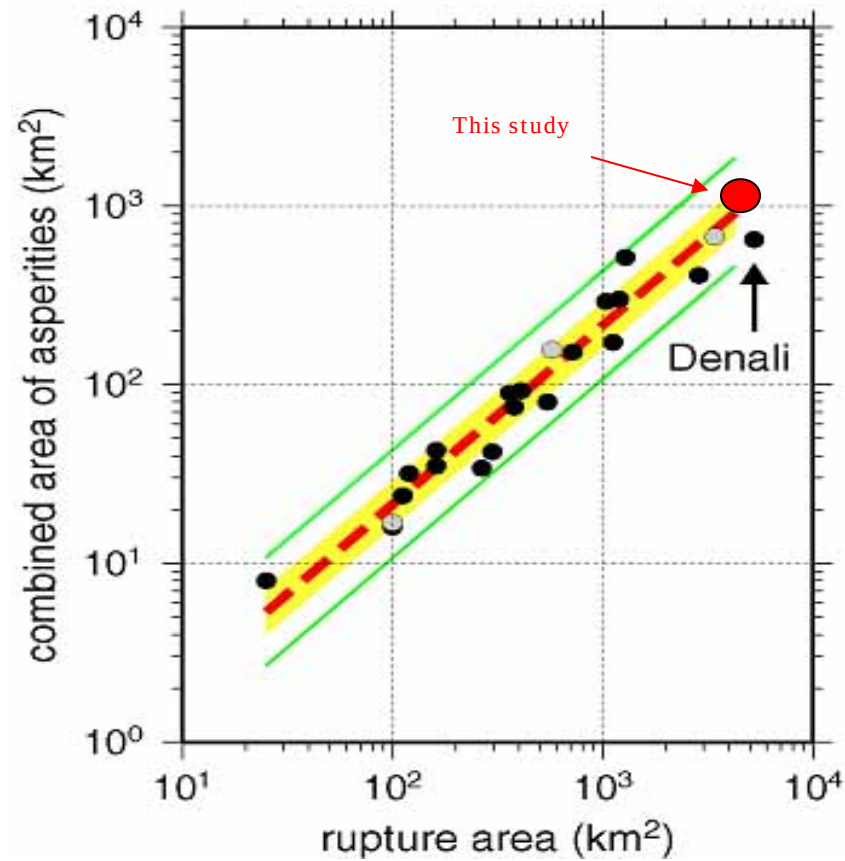
MZQ



Case2: 20% 揺らぎ



四川地震における破壊域とアスペリティ域の比較



破壊域は，Koketsu et al. (2009) による震源モデルの南側セグメントのみを考慮。

まとめ

1. **2008年四川地震 (Wenchuan Earthquake)の強震動は特性化震源モデルで再現可能。**
2. **南部セグメント (長さ約400 km) には4つのアスペリティを設定。**
3. **SFB(Bajiao, Shifang City)やMZQ(Qingping, Mianzhu)で見られる顕著な長周期パルスは、最大アスペリティからの破壊前方方向に現れるディレクティビティ・パルスとして説明可能。**
4. **WCW(Wolong)は破壊後方方向に位置するので、長周期地震動が過小評価される。**
5. **アスペリティ内の破壊速度に揺らぎを与えると、破壊後方方向の地震動の振幅は増大する。**