

東海・南海地震のアスペリティと 短周期発生域 —震度インバージョンから見える世界—

2014年1月14日

名古屋大学減災連携研究センター
武村雅之

震度インバージョン関連の論文リスト

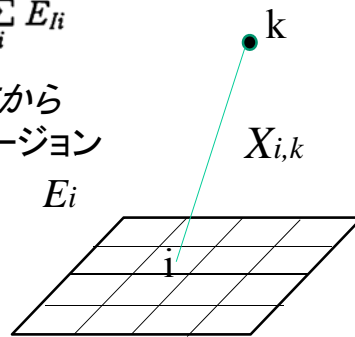
No	著者	発表年	題名	雑誌名	巻(号)	ページ
1	Ohno,S. M. Takemura,M. Niwa, and K. Takahashi	1996	Intensity of strong ground motion on Pre-Quaternary stratum and surface soil amplifications during the 1995 Hyogoken Nanbu earthquake, Japan	J. Phys. Earth	44	623-648
2	神田克久・武村雅之・宇佐美龍夫	2003	震度データを用いた震源断層からのエネルギー放出分布のインバージョン	地震2	56	39-57
3	神田克久・武村雅之・宇佐美龍夫	2004	震度インバージョン解析による南海トラフ巨大地震の短周期地震波発生域	地震2	57	153-170
4	Kanda,K and M. Takemura, .	2005	Inversion Analysis of the 2004 Off Kii-Peninsula Earthquake Using Seismic Intensity Data	Earth Planets Space	56	339-343
5	神田克久・武村雅之	2005	震度データから検証する宮城県沖で発生する被害地震の繰り返し	地震2	58	177-198
6	武村雅之・神田克久	2006	東海・南海地震の短周期地震波発生中心とアスペリティ	第12回地震工学シンポジウム		218-221
7	神田克久・武村雅之・八代和彦・橋竹富一・加藤研一	2006	震度インバージョン解析による1938年塩屋崎沖地震の短周期地震波発生域	第12回地震工学シンポジウム		222-225
8	神田克久・武村雅之	2006	十勝沖地震の震度インバージョン解析	月刊地球	号外No.55	64-70.
9	神田克久・武村雅之	2007	震度データから推察される相模トラフ沿いの巨大地震の震源過程	日本地震工学会論文集	7.2	68-79
10	武村雅之・神田克久	2007	南海トラフ沿いに発生する歴史的巨大地震の短周期地震波発生の特徴	地震2	60	57-69
11	武村雅之・神田克久・水谷浩之	2007	1968年十勝沖地震(M=7.9)と1994年三陸はるか沖地震(M=7.6)の震度から推定される短周期地震波発生域	地震2	60	139-151
12	高橋利昌・浅野彰洋・大内泰志・川崎真治・武村雅之・神田克久・宇佐美龍夫	2008	17世紀以降に雲予地域に発生した被害地震の地震規模	地震2	60	193-217
13	神田克久・武村雅之・高橋利昌・浅野彰洋・大内泰志・川崎真治・宇佐美龍夫	2008	豊後水道近傍で発生した歴史的被害地震の地震規模	地震2	60	225-242
14	武村雅之・神田克久	2008	震度データによる短周期地震波の震源推定	歴史地震	23	7-19
15	武村雅之・神田克久・阿比留哲生・原弘明	2009	20世紀初頭の九州・南西諸島で発生した2つのやや深発地震の震度分布と地震規模	歴史地震	24	7-32
16	神田克久・武村雅之	2010	1900年以降の宮城県北部の内陸地震の震度による短周期地震波発生域と地震規模の推定	歴史地震	25	63-74
17	神田克久・武村雅之	2011	震度データによる短周期地震波の震源推定1914年秋田仙北地震の短周期地震波発生域と地震規模の推定および1896年陸羽地震との比較	地震2	63	207-221
18	神田克久・武村雅之・広谷淳・石川和也	2013	震度分布に基づく2011年東北地方太平洋沖地震の短周期地震波発生域	地震2	65	189-203

震度インバージョンと等価震源距離 X_{eq}

$$I = -4.1 \log(X_{eq}) + 1.1 M_I + 4.6$$

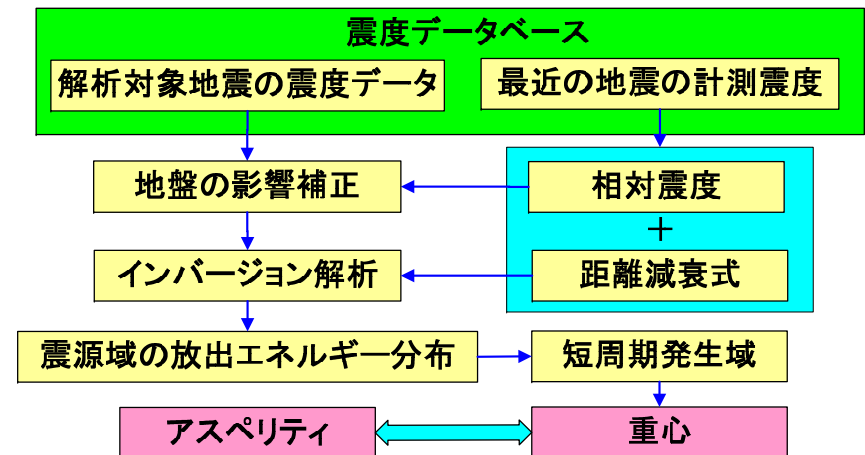
$$X_{eq,k}^{-2} = \sum_i (E_{li}/X_{i,k}^2) / \sum_i E_{li}$$

多くの観測点の震度データ I から
 E を求めるのが震度インバージョン



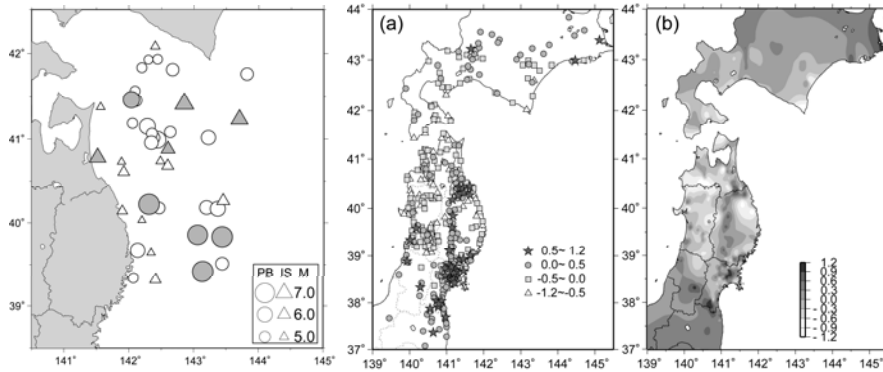
ただし
 E は、厳密な意味で震源から発生する地震波エネルギーの比を表す訳ではなく、あくまで震度データの性質に見合った地震波生成強度の比である。

震度インバージョン検討フロー



青森県東方沖の例

相対震度の評価



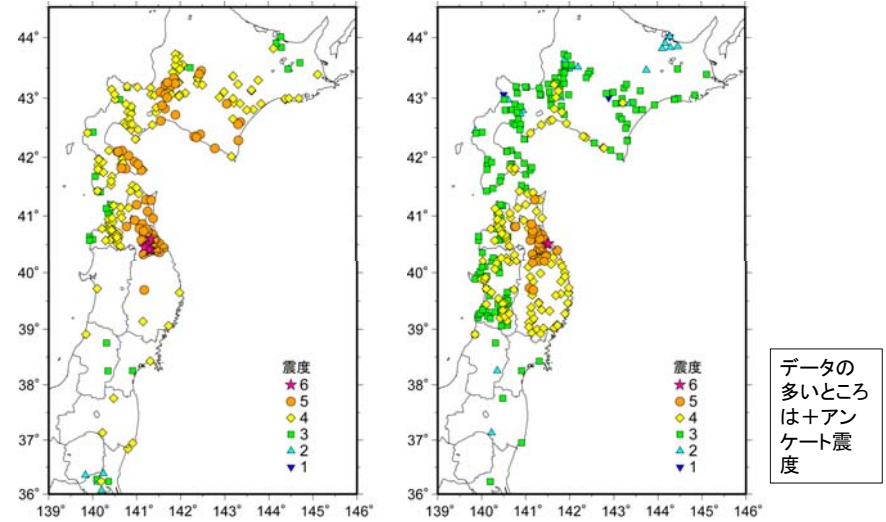
1960-2005の中小地震
 ○はプレート境界
 △はプレート内
 ○を使う

左は観測点毎の相対震度
 右はコンター:補間の際に地形増幅
 関係を使うこともある
相対震度はあくまで経験的に!

インバージョンに用いた震度データ

1968年十勝沖地震

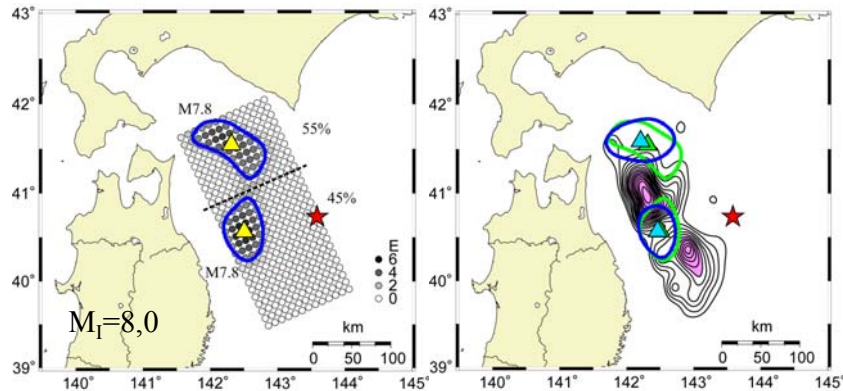
1994三陸はるか沖地震



データの多いところはアンケート震度

1968十勝沖地震

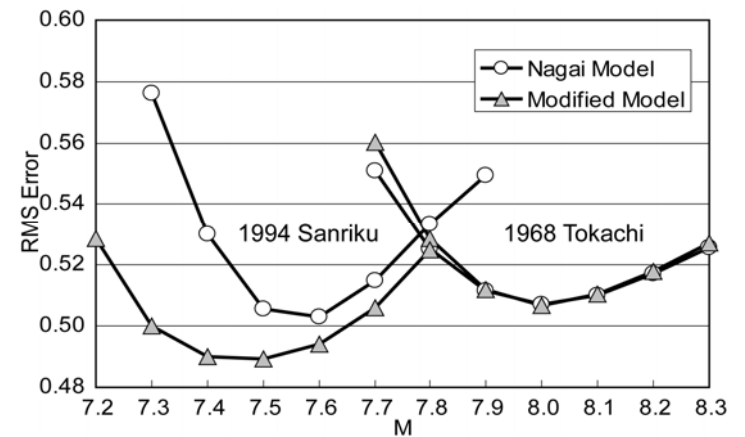
$$M_{ij} = M_l + \frac{1}{1.5} \log \frac{E_{ij}}{E_l}$$



青: Modified

☆: 震央、青実線: 短周期地震波発生域、△: エネルギー重心

震度評価誤差 (Mを変えながら最適値を探す)



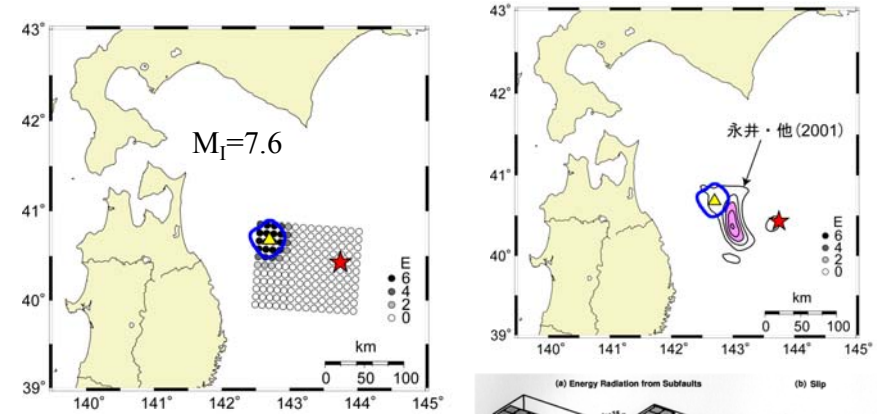
短周期発生域に対するMの求め方

$$\text{Log } E = 1.5M + 11.8 \quad (1) \quad M_{ij} = M_i + \frac{1}{1.5} \log \frac{E_{ij}}{E_i} \quad (2)$$

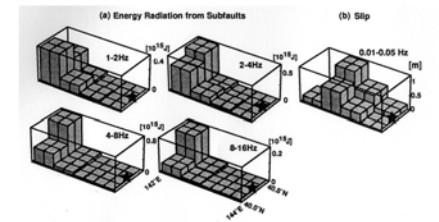
地震全体の規模 M_i [神田・他(2004)]と短周期域毎に評価される E_{ij}/E_i から(2)式によって M_{ij} を求めることができる。震度インバージョン解析によって求められる E_{ij}/E_i は、厳密な意味で震源から発生する地震波エネルギーの比を表す訳ではなく、あくまで震度データの性質に見合った地震波生成強度の比である。また短周期域の規模を示す M_{ij} は、絶対値は(1)式の係数に依存するためそれほど意味は無いが、短周期域間で相対的には意味のあるパラメータである。[武村・神田(2007)]

短周期域は、断層上の平均的な短周期エネルギーの2倍以上のエネルギーを出した場所として定義されている[神田・他(2004)]。各短周期域の M_{ij} は、短周期域を含むようまたなるべく短周期域間の中間線を通るように区分けされた領域に対して求められている。このようにすると各短周期域に対して評価されたエネルギーの総和が地震全体のエネルギーに完全に一致する。

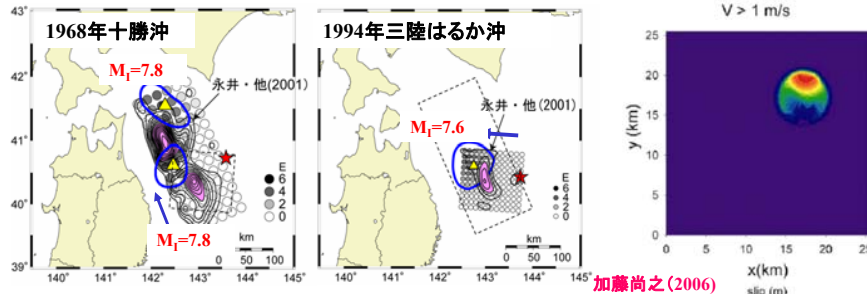
1994三陸はるか沖地震



(右) 中原のエンベロップインバージョン結果 (1998)



震度インバージョンで求められる短周期域は破壊伝播効果によるみかけのものではない!

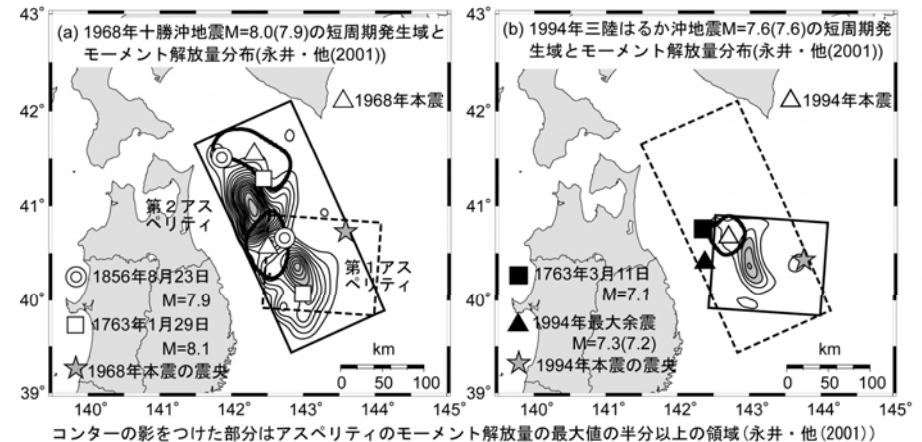


アスペリティの終端部に短周期発生域が現れる場合が多い [1978, 1936年宮城沖、1923年関東地震、2004年十勝沖など]。



最後が痛い!

江戸時代の地震への適用可能性



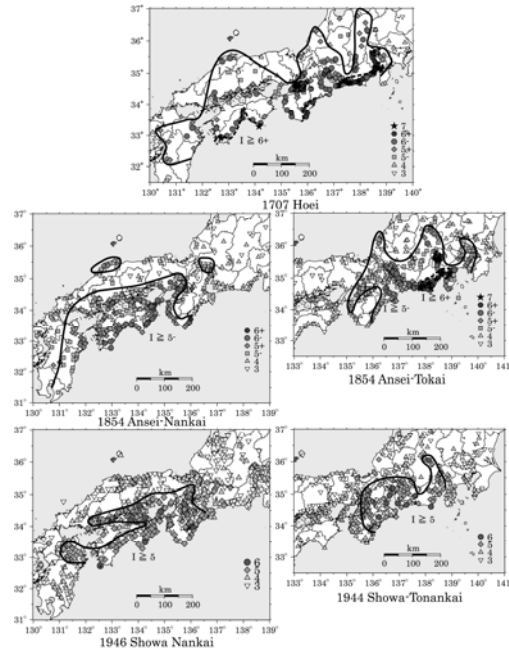
南海トラフの地震

(1) 評価精度の検証

- ・数値実験
- ・紀伊半島沖地震への適用

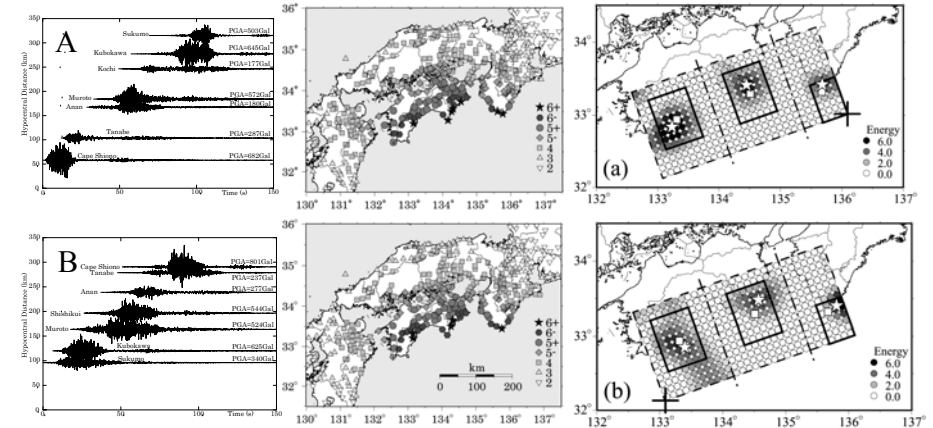
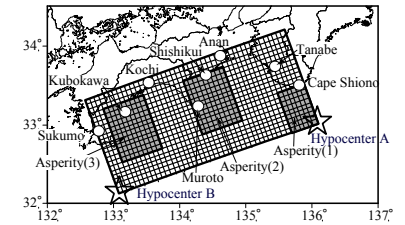
(2) 宝永・安政・昭和

- ・短周期発生域評価
- ・昭和のアスペリティと比較
- ・短周期発生域の規模

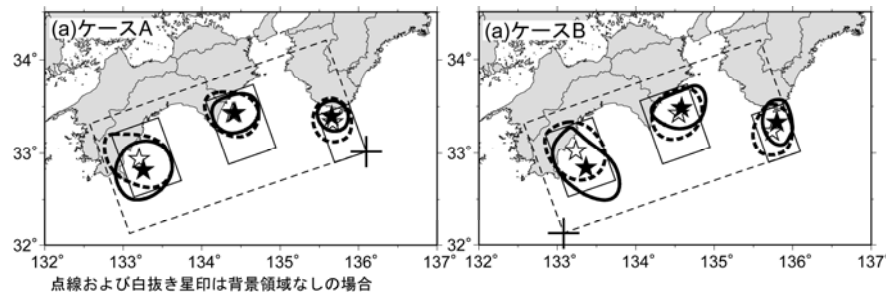


数値実験

- 統計的G法でデータを造りインバージョンで短周期発生域を求める
- 破壊伝播2種類→短周期では破壊伝播効果小の証明



震度インバージョンによって求められた短周期発生域と仮定したアスペリティ位置(結果)

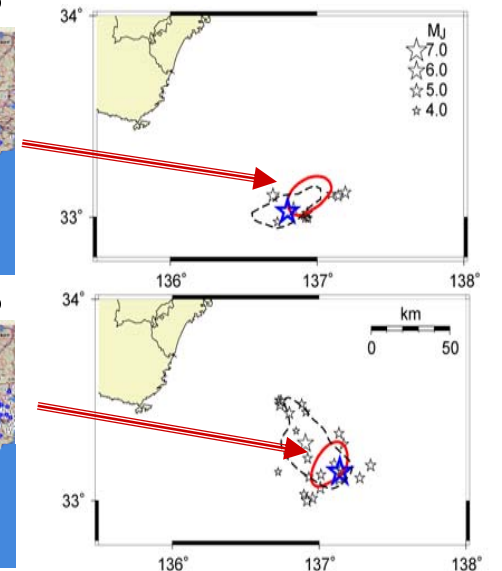
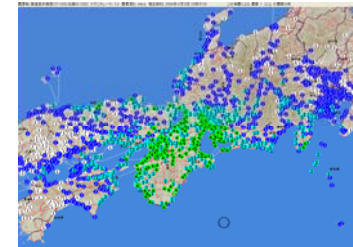


2004年9月東海道沖の地震

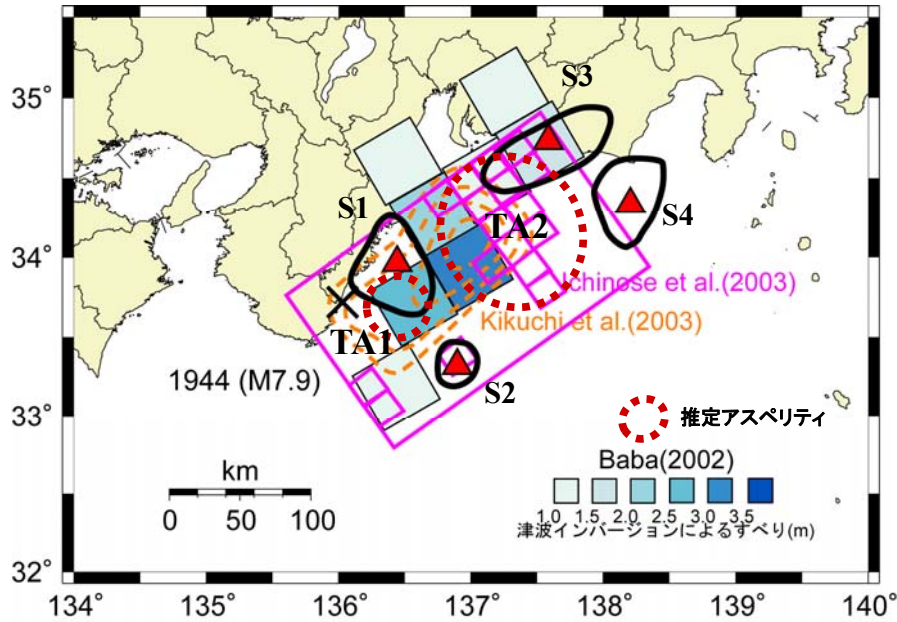
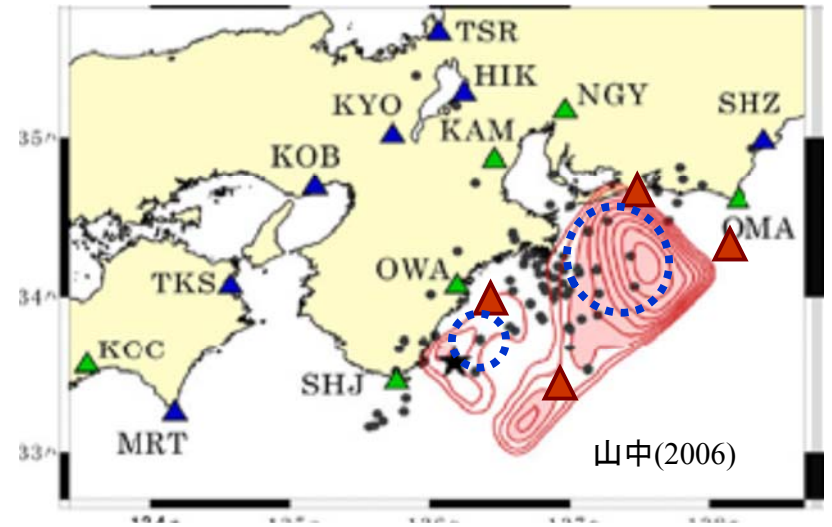
2004年9月5日 19:07 (前震) 震度分布 (M6.9)



2004年9月5日 23:57 (本震) 震度分布 (M7.4)

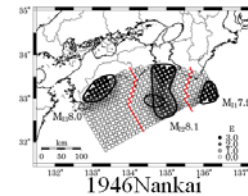


東南海(山中再評価)と短周期中心

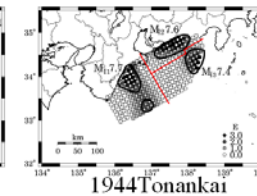


昭和南海

$M_f=8.3$



1946 Nankai



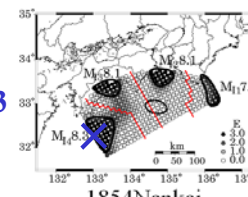
1944 Tonankai

昭和東南海

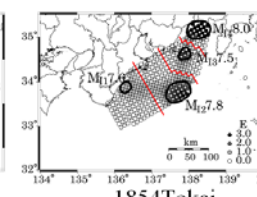
$M_f=7.9$

安政南海

$M_f=8.5 \rightarrow 8.3$



1854 Nankai



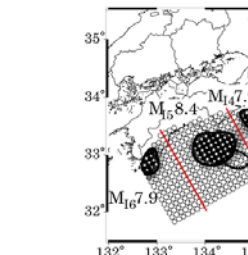
1854 Tokai

安政東海

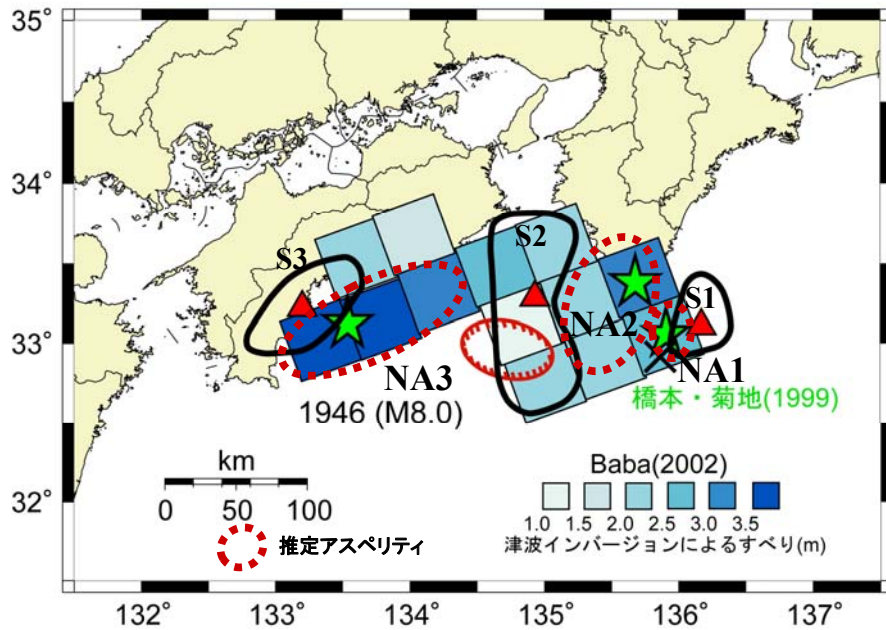
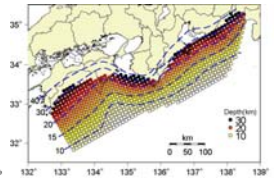
$M_f=8.2$

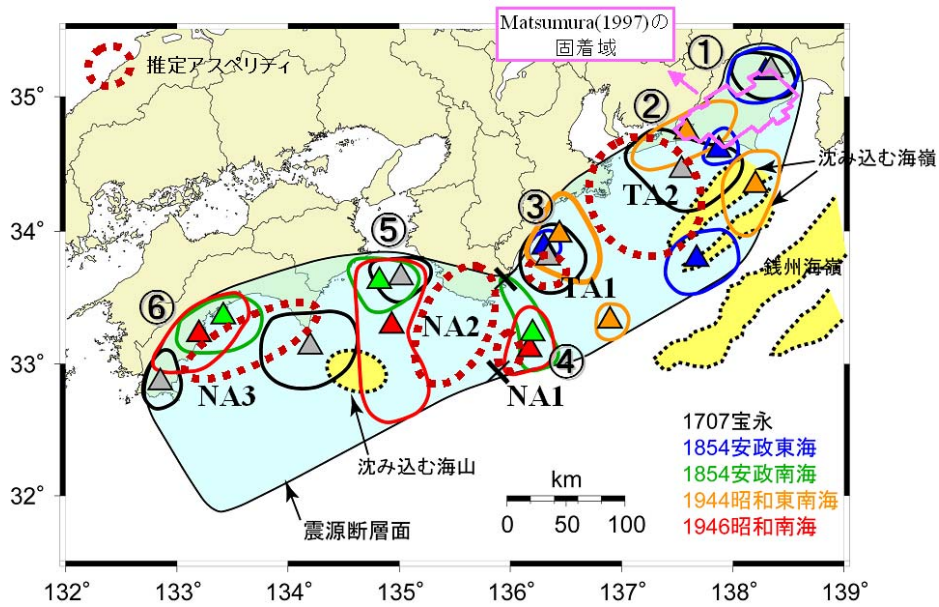
宝永地震

$M_f=8.7$



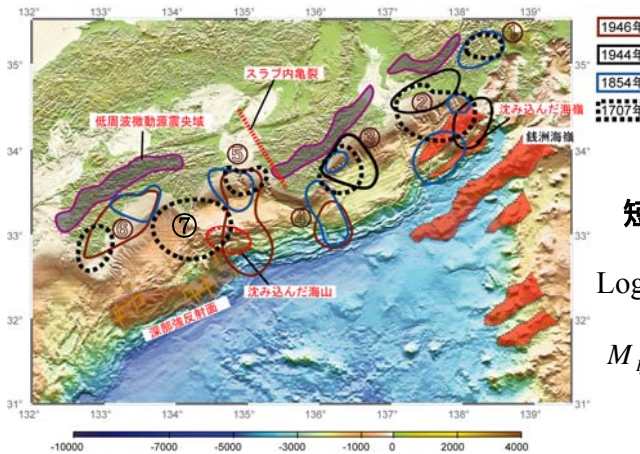
1707 Hoi





短周期域に対する連動の影響

地震	AP7	AP6	AP5	AP4	AP3	AP2	AP1	南海	東海	全体
昭和		8.0	8.1	7.9	7.7	7.7		8.3	7.9	8.4
安政		8.1	8.1	7.8	7.6	7.9	8.0	8.5-8.3	8.2	8.6
宝永	8.4	7.9	7.9		8.1	8.3	8.2	8.5	8.5	8.7



短周期Mの定義

$$\text{Log } E = 1.5M + 11.8$$

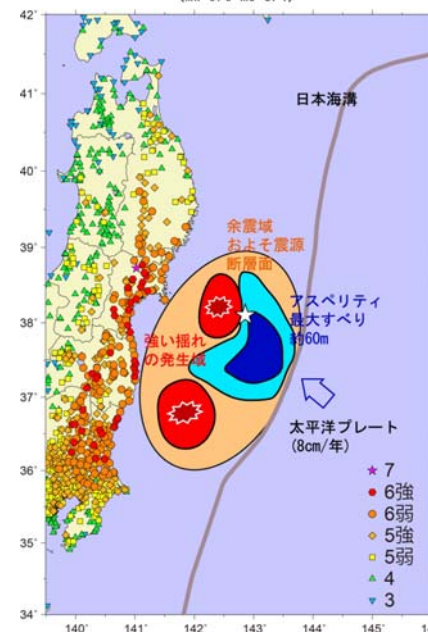
$$M_{ij} = M_i + \frac{1}{1.5} \log \frac{E_{ij}}{E_i}$$

海溝沿いの地震で分かったこと

- ① 短周期発生域はアスペリティ破壊終端部(複数の場合も含めほぼ例外なく.)
- ② 短周期域(エンベロープ)と対応(アスペリティとは一致せず)
- ③ 短周期域から歴史地震の震源過程が推定できる

- ・アスペリティは共通のものが多い
- ・破壊開始点も同じ場合が多い
- ・一部の例外、1763年十勝、1707年宝永四国沖

東北地方太平洋沖地震：震源断層の詳細と震度分布 (Mw=9.0 MJ=8.4)



東北地方太平洋沖地震

短周期はアスペリティ(すべりの大きなどころ)の縁から発生するということを明確に表している！

津波を起こした部分(GPSより)海溝に近いところで最大60mもすべった。Mw=9.0

揺れを起こした部分(震度より)陸地に近い2カ所で発生
MI=8.4(MJ=8.4)

詳細は神田・武村(2012)