

伊方3号の基準地震動に関する補足説明

大阪府立大学名誉教授 長沢啓行

1. 日本地震学会2016年度秋季大会(2016年10月5日)における 瀧瀬一起東京大学地震研教授の発表に基づく「入倉式による地震規模過小評価とレシピ(イ)を使うべきことの主張」^{③②}に関する補足
2. 四国電力「伊方発電所の地震による揺れの評価について」(2016.10.12, p.59)の「壇ほか(2011)に適用する断層幅の設定について」に基づき、「震源断層幅15kmで算出された応力降下量3.4MPaは、震源断層幅12kmでは4.3MPaになるとの主張」^{③⑧}に関する補足
3. 四国電力「伊方発電所の地震による揺れの評価について」(2016.10.12, p.22)の「横ずれ断層型は逆断層型と比べると短周期の揺れが小さい」に関する補足
4. 「伊方3号における耐専スペクトルの適用可能性検討」^{②②}における69kmの南傾斜モデルと「その他距離減衰式」に関する補足

②母集団の違いは震源断層の定義の違い?

入倉・三宅式:地震観測記録の震源インバージョンによる「すべり量分布」から推定される**不均質な震源断層**

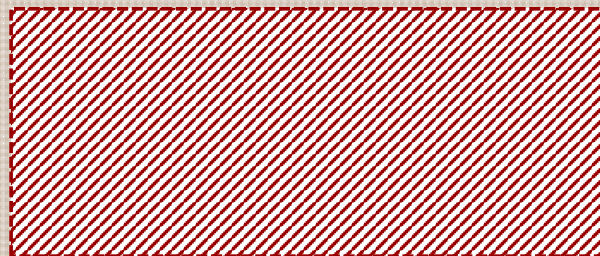
武村式、山中・島崎式:地震断層など測地データから推測される**均質な震源断層**

松田式:活断層や変動地形など測地データから推測される**均質な震源断層**

地表

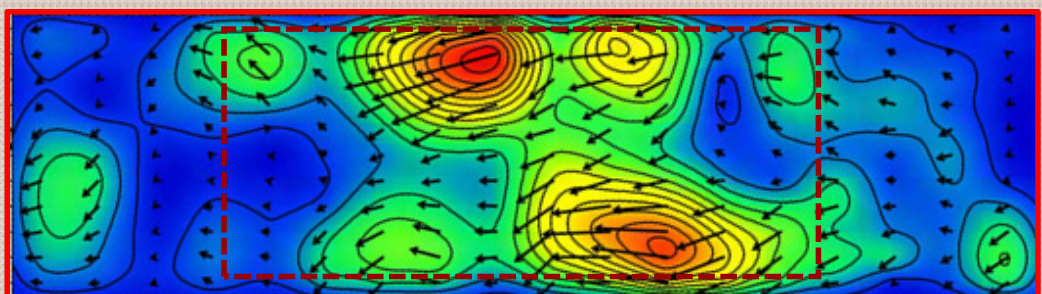
地震が起きる前に、活断層や変動地形などから推定された「均質な震源断層」

➡ 被災していない原発の適合性審査に用いられるのはこちら!



地表

地震が起きた後に、地震観測記録等から震源インバージョンで算出されるすべり量分布に基づいて初めて推定される「不均質な震源断層」



「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」と熊本地震
#瀬藤一起(東大地震研)

“Strong Ground Motion Assessment Scheme for Specified Source Faults” and the Kumamoto Earthquake
#Kazuki Koketsu (ERI, Univ. Tokyo)

はじめに

いろいろなシナリオ地震動予測に用いられている「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」(地震調査委員会, 2005, 2009)に対して, 島崎(2016)などをもとに, 手法全体が過小評価(たとえば6月8日朝日新聞), あるいは中で使われている回帰式が過小評価(たとえば7月14日毎日新聞)との報道がなされている。これら指摘の妥当性について, 2016年熊本地震を用いて検証した。

震源断層

小林・他(2016)は4月16日熊本地震(M_{JMA} 7.3)に対して, まず長さ54km, 幅16.5kmの初期断層モデルを設定し, そのすべりの分布を強震・遠地・測地データのジョイントインバージョンによって求めた。さらにSomerville *et al.* (1999)の方法でほとんどすべていない部分をトリミングして実質的な震源断層モデルを求めると以下の通りとなる。

表1 震源断層の諸元

長さ	幅	面積	下端深さ	地震モーメント
45km	16.5km	742.5km ²	15.95km	4.6×10^{19} Nm

これらのうち面積と地震モーメントを, 「予測手法」で使われている回帰式のひとつ, 入倉・三宅(2001)の式と比較すると図1となる。太点線の入倉・三宅式は熊本地震の値をほぼ再現している。

地表地震断層など

吉見(2016)は熊本地震による地表地震断層が現れた領域の長さを34kmと見積もった。また, 国土地理院(2016)は単純な均質すべりの震源断層を求め, その合計長さを35.4kmとした。これらの値を, 「予測手法」で使われている別の回帰式, 松田(1975)の式と比較すると図2となる。点線の松田式はこれらの値(図中, 地表地

震源断層と均質すべり震源断層)をほぼ再現している。また, 2002年の長期評価は地表地震断層の長さを概ね予測していた。

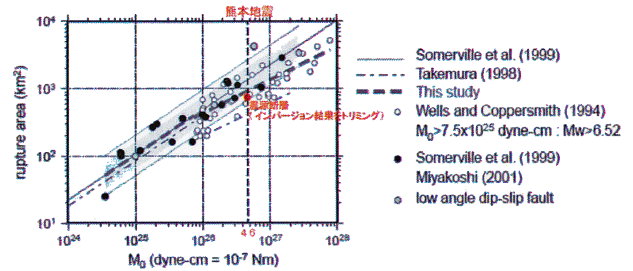


図1 入倉・三宅式と熊本地震の比較

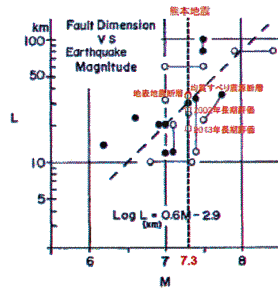


図2 松田式と熊本地震の比較

震源断層の幅

一方, 震源断層の幅は活断層調査で得ることは難しく, 「大地震の震源断層は小地震による地震発生層内に収まる」という仮定に基づいて決められる。熊本地震付近の地震発生層は下限 15km 程度とされているが, 実際の震源断層の下端は約 16km であった, 震源断層の幅を地震発生層の下限で打ち切ると面積は過小評価されてしまう。そこで, 全国地震動予測地図では, すべての活断層の地震に対して, 面積に基づいた「予測手法」(ア)の方法ではなく, 長さに基づいた(イ)の方法を用いている。

まとめ

「手法」で用いられている回帰式に誤りはなかった。一方, 詳細な活断層調査を行っても震源断層の幅の推定は困難であるので, 活断層の地震の地震動予測には「手法」(イ)の方法を用いるべきであることを確認した。

**54km・69kmモデルの地震動評価には、推本のレシピ(イ)を用いるべき！
伊方3号でも、応力降下量が増え、クリフエッジを超える！**



強震、遠地、測地データのジョイントインバージョンによる2016年熊本地震の震源過程

Rupture processes of the 2016 Kumamoto earthquakes derived from joint inversion of strong-motion, teleseismic, and geodetic data

日本地球惑星科学連合2016年大会
MIS34-P65, 2016.5.26

*小林 広明¹、瀬藤 一起¹、三宅 弘恵^{1,2}

*Hiroaki Kobayashi¹, Kazuki Koketsu¹, Hiroe Miyake^{1,2}

1.東京大学地震研究所、2.東京大学情報学環

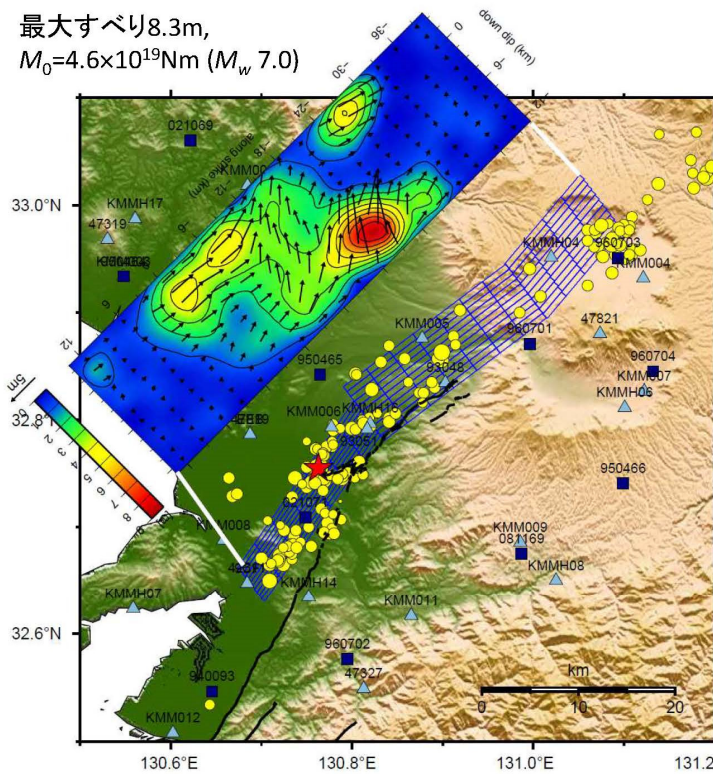
1.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2.Interfaculty Initiative in Information Studies, The University of Tokyo

2016年4月14日21時26分(JST)および4月16日1時25分(JST)に発生した M_{JMA} 6.5, M_{JMA} 7.3の地震では、熊本県益城町や熊本県西原村で震度7が観測され、熊本県を中心に大きな被害をもたらした。特に、4月16日の地震では、熊本県西原村で得られた加速度記録を積分した速度波形が、EW成分が最大で250 cm/s程度の大振幅を持っており、こういった震源近傍の地震動の解釈には震源過程解析を行うことが不可欠である。そこで、強震、遠地、測地データを用いることによって4月16日に発生した M_{JMA} 7.3についてジョイントインバージョンによる震源過程解析を行った。強震データはK-NET, KiK-netに加え、JMAと地方自治体の震度観測点のデータを使用した。遠地データはIRIS-DMCより入手し、P波部分を使用した。測地データはGEONETで得られたデータを用いた。断層モデルの構築にあたっては、地表地震断層位置、余震分布、SAR解析結果などを考慮に入れると、単純な1枚の平面で表現することが難しいため、日奈久・布田川断層帯の接合部および阿蘇カルデラ内で断層を折り曲げ、3つのセグメントに分割して構築した。解析の結果、破壊は主に震源から北東浅部へ向けて進み、最大滑りは北東浅部の西原村付近で生じていることがわかった。また、破壊の継続時間は約20秒程度であった。得られたモデルは、観測記録を概ね再現できているが、再現性が不十分な記録が幾つかあり、断層モデルや速度構造モデルの調整が必要だと思われる。今後は、4月14日の地震などについても同様にジョイントインバージョンによる震源過程解析を行う予定である。



強震・遠地・測地データのジョイントインバージョン結果

最大すべり8.3m,
 $M_0=4.6 \times 10^{19} \text{Nm}$ (M_w 7.0)

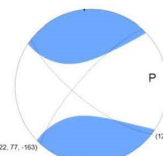


最終すべり量とそのベクトルの分布.

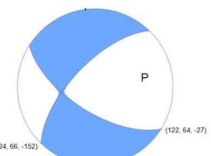
1. 大きなすべりは破壊開始点から阿蘇カルデラ入り口まで.
2. 特に大きなすべりは西原村付近の浅い部分.
3. 横ずれ成分だけでなく、かなりの正断層成分を持つ.
4. そのため、断層直交方向ではなく、斜交する方向の東西成分が大きな揺れとなった.

かなりの正断層成分を持つことは

1. GCMTやUSGSのCMT解
2. 地表地震断層の一部
3. 余震メカニズムの一部と整合的である.



GCMT



USGS W phase 9



熊本地震における地表地震断層が現われた領域とすべり量分布に基づく震源断層の比較 (強震・遠地・測地データのジョイントインバージョン結果)

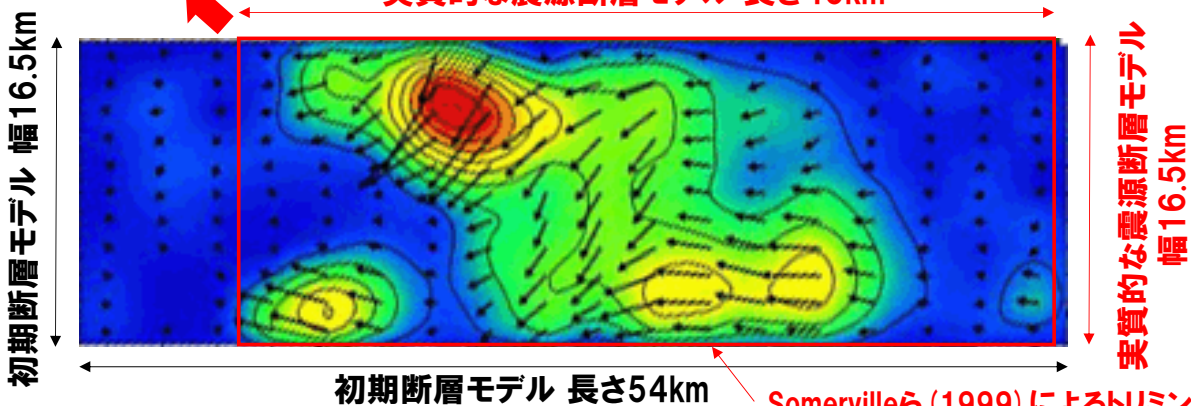
地表地震断層が現われた領域の長さ
 吉見(2016) 34km, 国土地理院35.4km

地震調査研究
 推進本部の
 レシビ(イ)で
 地震規模を推定

レシビ(ア)で
 地震規模を推定

震源断層幅を活断層調査で得るのは難しい。
 地震発生層の下限は15km程度とされていたが、
 実際の震源断層の下端は約16kmであった。

実質的な震源断層モデル 長さ45km

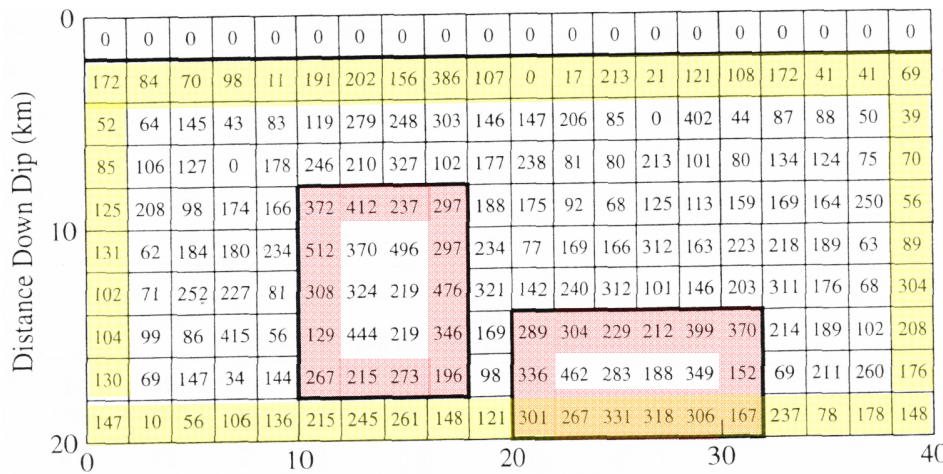


初期断層モデル 長さ54km

Somervilleら(1999)によるトリミング法



1989.10.17 Loma Prieta, California earthquake M_w 6.95 のすべりモデル

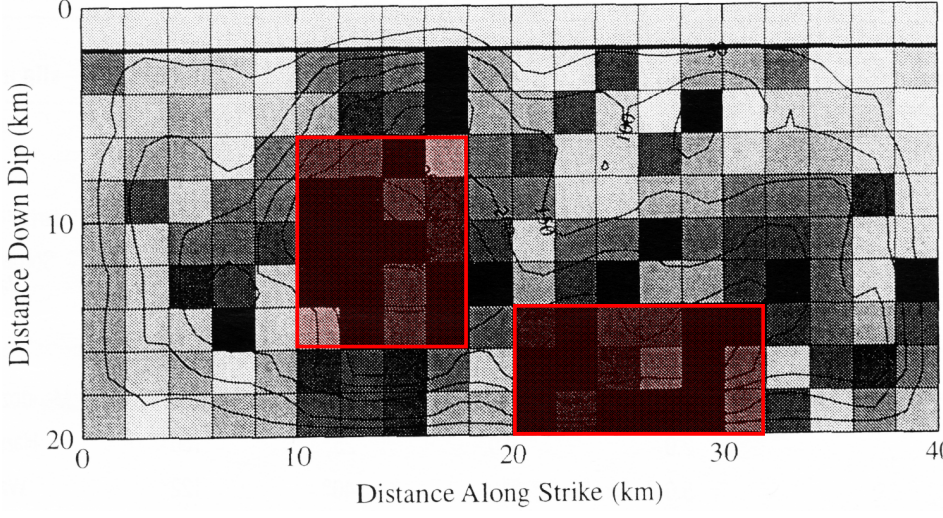


Somerville, P.G., Irikura, K., Graves, R., Sawada, S., Wald, D., Abrahamson, N., Iwasaki, Y., Kagawa, T., Smith, N. and Kowada, A. (1999): Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, *Seismological Research Letters*, 70, 59-80

破壊領域 rupture area
 (「最外周部のどの「行/列の平均すべり量」も断層平均すべり量の0.3倍以上となるように決定: 平均すべり量が0.3倍未満の最小の行/列を順次削除していく)

アスペリティ asperity
 (「断層平均すべり量の1.5倍以上」の小断層を包含する矩形を作成し、その最外周部の行/列の平均すべり量が1.5倍未満であれば分割し、同平均すべり量が1.25倍以上となるよう決定)

(アスペリティを形成する小断層の個数は、各すべり量が平均の2倍以上なら2個以上、各すべり量が1.5倍以上または1個が2倍以上かつ他の2個が1.5倍以上なら4個以上とする)



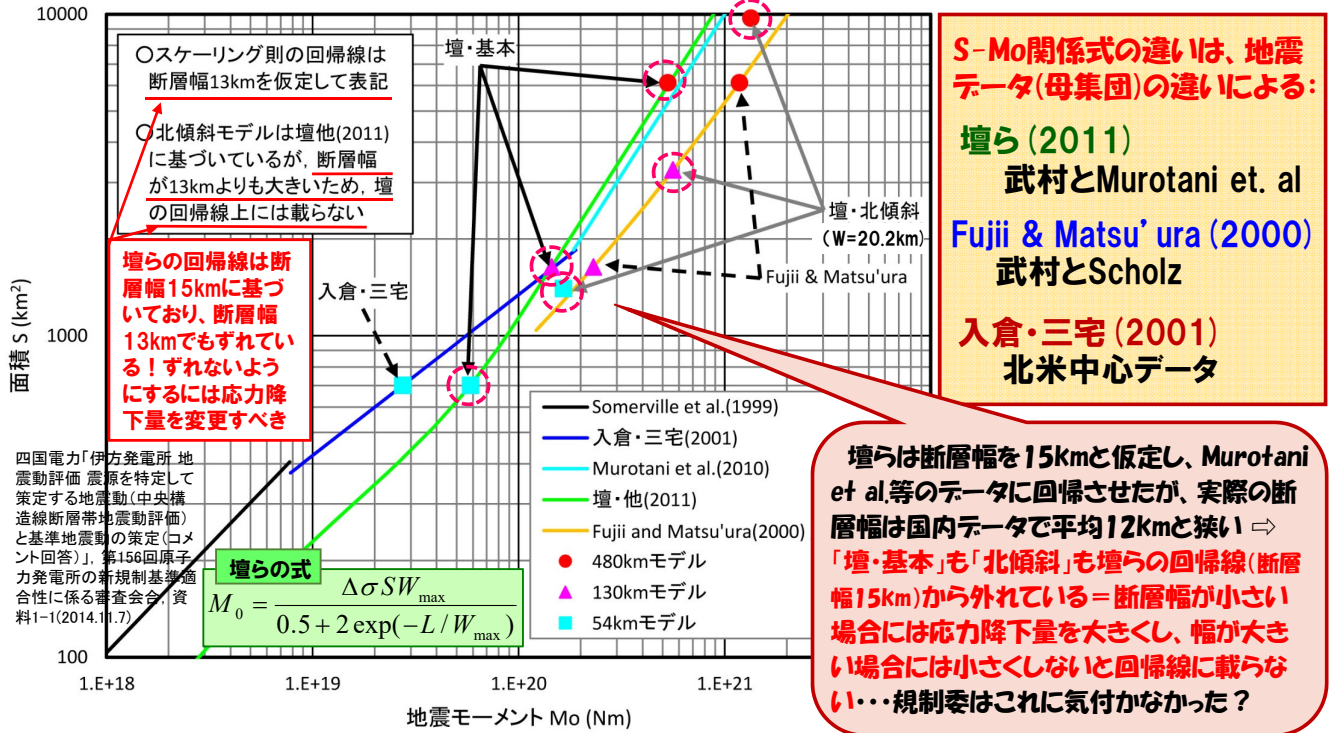
伊方3号の基準地震動に関する補足説明

大阪府立大学名誉教授 長沢啓行

1. 日本地震学会2016年度秋季大会 (2016年10月5日) における 瀧瀬一起東京大学地震研教授の発表に基づく「入倉式による地震規模過小評価とレシピ(イ)を使うべきことの主張」³²⁾に関する補足
2. 四国電力「伊方発電所の地震による揺れの評価について」(2016.10.12, p.59) の「壇ほか (2011) に適用する断層幅の設定について」に基づき、「震源断層幅15kmで算出された応力降下量3.4MPaは、震源断層幅12kmでは4.3MPaになるとの主張」³⁸⁾に関する補足
3. 四国電力「伊方発電所の地震による揺れの評価について」(2016.10.12, p.22) の「横ずれ断層型は逆断層型と比べると短周期の揺れが小さい」に関する補足
4. 「伊方3号における耐専スペクトルの適用可能性検討」²²⁾における 69kmの南傾斜モデルと「その他距離減衰式」に関する補足

伊方3号の断層モデルによる地震動評価で設定したパラメータの検証(四国電力による)

○480kmと130kmモデルでは, Fujii and Matsu'uraの手法で設定した地震規模の方が保守的となっている。逆に54kmモデルでは, 入倉・三宅の手法よりも壇の手法の方が保守的である。



壇ら(2011)による応力降下量の過小設定 断層幅の違いを考慮すれば応力降下量は1.6倍に
 $(\Delta\sigma, \Delta\sigma_a) = (3.4\text{MPa}, 12.2\text{MPa}) \Rightarrow (4.3\text{MPa}, 19.5\text{MPa}) \quad (S_a/S = 0.22) \quad \textcircled{38}$

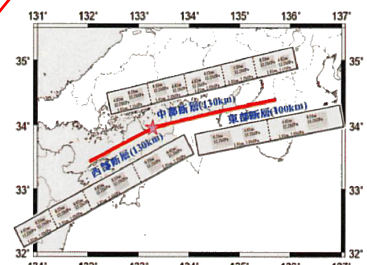
(1) 基本震源モデルの設定 (四国電力プレゼン)

4. 基本スタンス ②地震動評価を安全側に 4.2 評価に用いる震源モデルの設定

補足 壇ほか(2011)に適用する断層幅の設定について

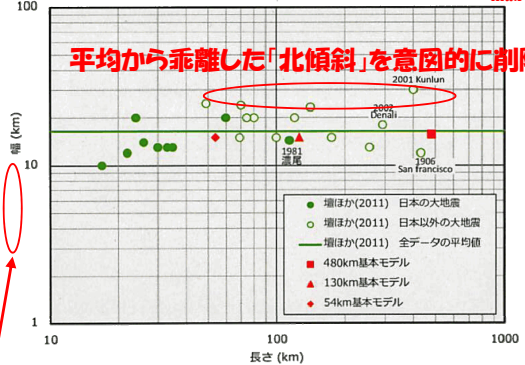
- 壇ほか(2011)は, 断層幅を15kmと仮定した動学的破壊シミュレーションの結果と, 国内外の22地震のデータから, 平均動的応力降下量3.4MPaとアスペリティの動的応力降下量12.2MPaを提案
- 敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯)の基本モデルの断層幅は13kmであり, 壇ほか(2011)の回帰に用いたデータのばらつきの範囲内
- このため, 断層幅13kmを壇ほか(2011)に適用しても問題ない
- また, 中央構造線断層帯を対象として壇ほか(2011)の検証を実施した藤堂ほか(2012)においても, 断層幅は14kmであるが, 応力降下量は壇ほか(2011)の設定値から変更していない

国内地震データからは $\Delta\sigma = 4.3\text{MPa}$ と $\Delta\sigma_a = 19.5\text{MPa}$ になる!



藤堂ほか(2012)による中央構造線の断層モデル

国内地震データに合わせて4.3MPaとするか, $W_{max} = 13\text{km}$ で動学的シミュレーションをやり直すべき!



平均から乖離した「北傾斜」を意図的に削除!

断層		東部断層	中部断層	西部断層
長さ	km	100	130	130
幅	km	14	14	14
面積	km ²	1400	1820	1820
地震モーメント Mo	N·m	1.33E+20	1.73E+20	1.73E+20
モーメントマグニチュード Mw		7.3	7.4	7.4
平均すべり量 D	m	2.95	2.95	2.95
平均動的応力降下量	MPa	3.4	3.4	3.4
面積 Sa	km ²	390.2	507.2	507.2
平均すべり量 Da (=2D)	m	5.89	5.89	5.89
地震モーメント Moa	N·m	7.43E+19	9.66E+19	9.66E+19
動的応力降下量 σ_a	MPa	12.2	12.2	12.2
短周期レベル Aa	N·m/s ²	2.05E+19	2.33E+19	2.33E+19

藤堂ほか(2012)による断層パラメータの設定

自分のモデルを適用しただけで, 地震観測記録による検証なし!

壇ほか(2011)の設定値のまま

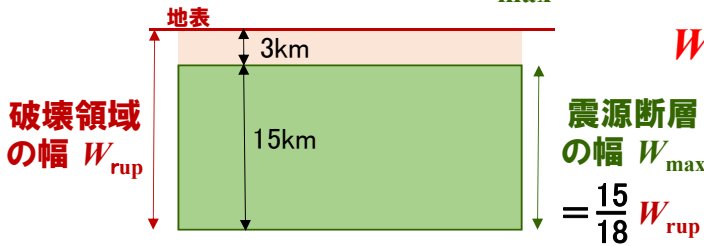
壇ほか(2011)の回帰に用いた地震と伊方発電所の基本震源モデルの断層幅の比較「破壊領域の」を意図的に削除し、「断層幅」と説明!

藤堂正喜・壇一男・具典淑・入江紀嘉・呉長江, 2012, 長大な横ずれ断層による内陸地震のアスペリティモデル設定方法の中央構造線への応用と強震動の試算, 日本建築学会大会(東海)学術講演梗概集, 21053, 105-106.

壇らの地震データでは国内震源断層の幅 W_{max} は11.7kmにすぎない

壇らは $W_{max} = 15\text{km}$ として $\Delta\sigma = 3.4\text{MPa}$ を算出したが、

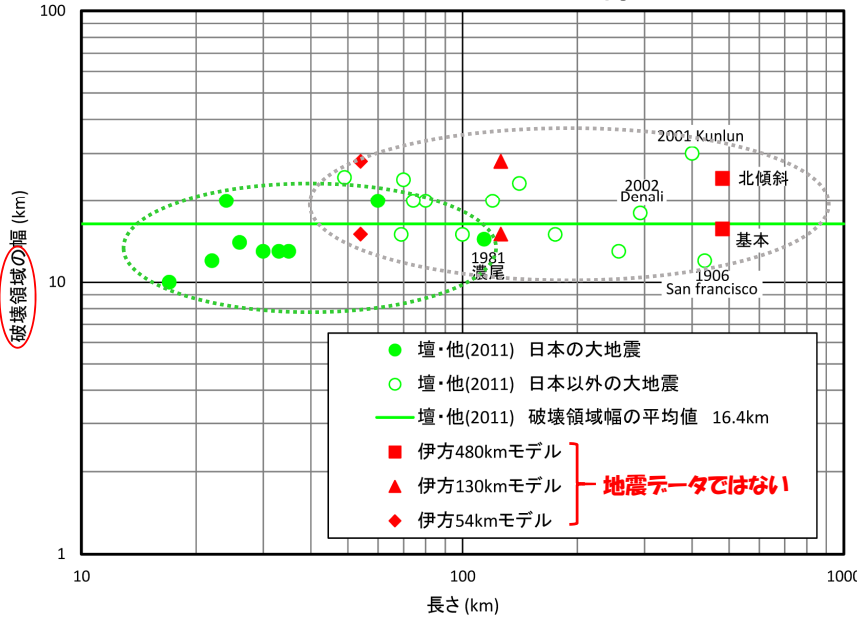
$W_{max} = 12\text{km}$ なら $\Delta\sigma = 4.3\text{MPa}$ に！



壇らの式

$$M_0 = \frac{\Delta\sigma S W_{max}}{0.5 + 2 \exp(-L/W_{max})}$$

$W_{max} = 15\text{km}$ のように与え、地震データから S, L, M_0 を代入して $\Delta\sigma$ を幾何平均で算出する



全体の幾何平均

$W_{rup} = 16.4\text{km} \rightarrow W_{max} = 13.7\text{km}$

日本以外の幾何平均

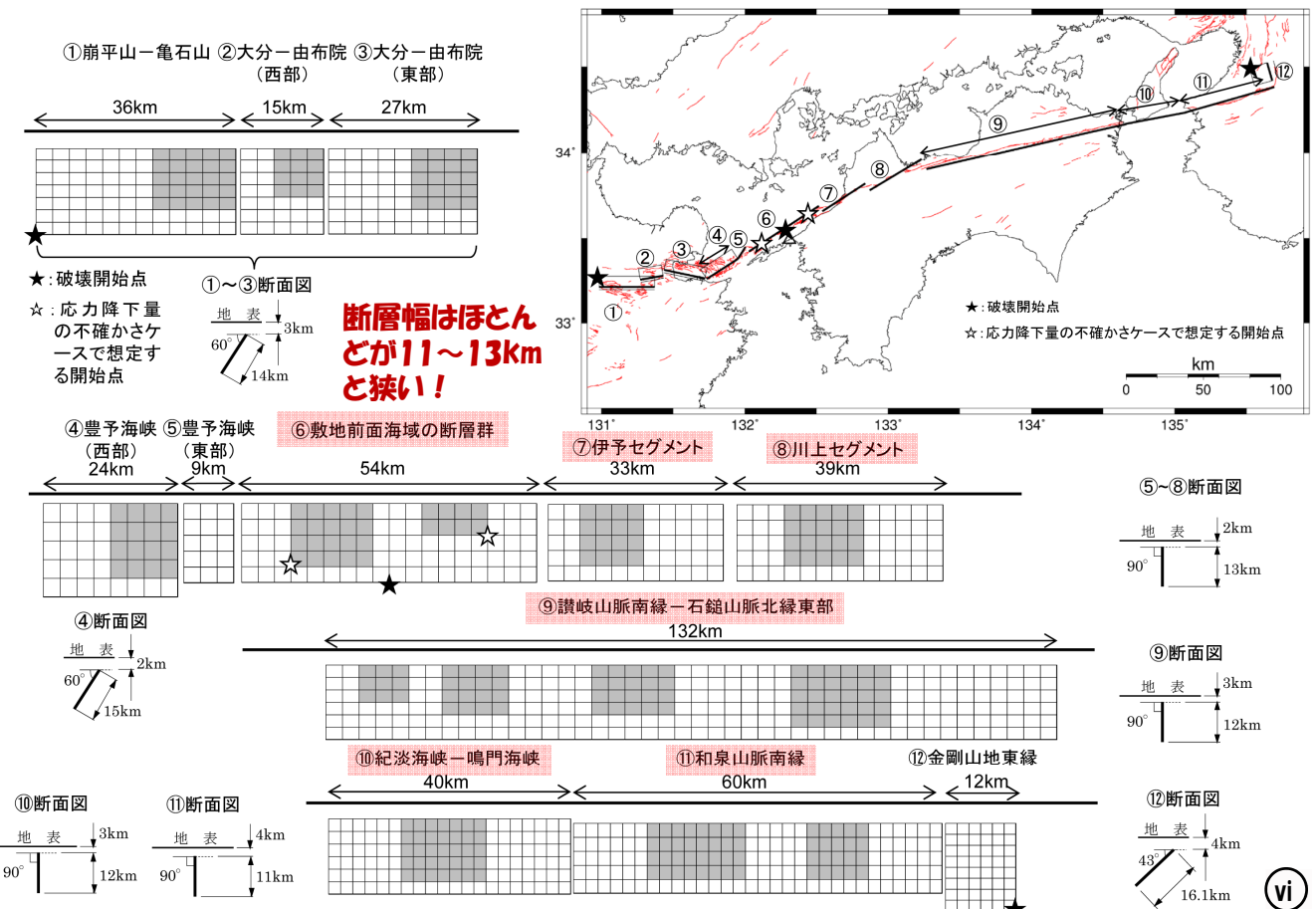
$W_{rup} = 18.6\text{km} \rightarrow W_{max} = 15.5\text{km}$

日本の幾何平均

$W_{rup} = 14.0\text{km} \rightarrow W_{max} = 11.7\text{km}$

四国電力「伊方発電所 地震動評価 震源を特定して策定する地震動(中央構造線断層帯地震動評価)と基準地震動の策定 添付資料」, 第156回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合, 資料1-2(2016.11.7) (V)

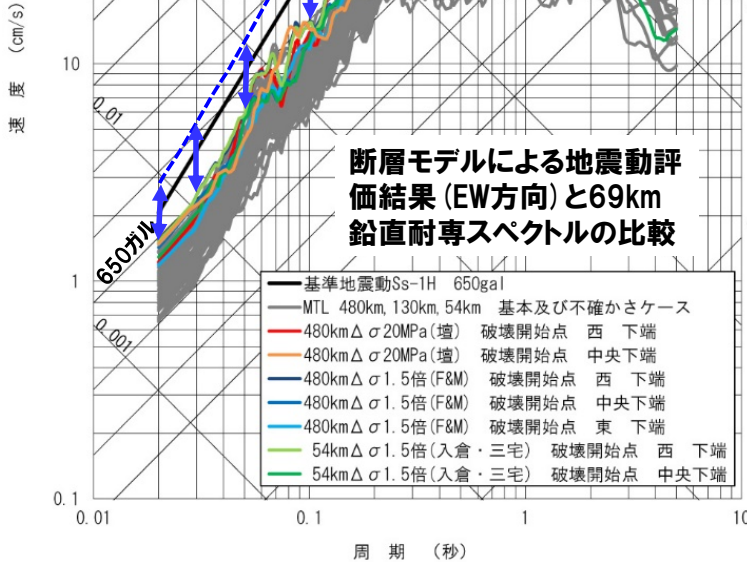
480km基本震源モデル by 壇の手法: 不確かさ考慮①(応力降下量), ④(破壊伝播速度) も同じ



四国電力「伊方発電所 地震動評価 震源を特定して策定する地震動(中央構造線断層帯地震動評価)と基準地震動の策定(コメント回答)」, 第156回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合, 資料1-1(2014.11.7); 四国電力「伊方発電所 地震動評価 震源を特定せず策定する地震動と基準地震動の策定(コメント回答)」, 第173回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合, 資料2-1(2014.12.12)

69kmモデル(鉛直)でも修正レシビで評価すべき
 $(\Delta\sigma=6.0\text{MPa}, \Delta\sigma_a=27.5\text{MPa})$

地震動は $\Delta\sigma_a$ にほぼ比例して大きくなる



69km鉛直の耐専スペクトル
 $(M_j=7.9, X_{eq}=15.5\text{km})$

現実起きた地震も、断層モデルによる過小評価を示唆している!

M7クラスの国内地震データの $\Delta\sigma_a$

28.0, 14.0MPa : 2000年鳥取県西部地震M7.3 (池田・釜江・三輪・入倉, 2002)
20, 20, 10MPa : 2007年能登半島地震M6.9 (釜江・池田・三輪, 2003)
23.7, 23.7, 19.8 : 2007年新潟中越沖地震M6.8 (入倉・香川・宮腰・倉橋, 2007)
17.0, 18.5MPa : 2009年岩手・宮城内陸地震M7.2 (入倉・倉橋, 2008)

壇ら(2011)の手法(断層幅15kmの解析)

(480, 130, 54kmモデルに適用)
 $\Delta\sigma=3.4\text{MPa}, \Delta\sigma_a=12.2\text{MPa}$

⇒ $W_{max}=12\text{km}$ では約**1.6倍**の地震動に!

$\Delta\sigma=4.3\text{MPa}, \Delta\sigma_a=19.5\text{MPa}$

Fujii & Matsu'ura (2000)の手法(同上)

(480, 130kmモデルに適用)

$\Delta\sigma=3.1\text{MPa}, \Delta\sigma_a=14.4\text{MPa}$

入倉・三宅(2001)の手法

(54kmモデルに適用)

$\Delta\sigma=3.1\text{MPa}, \Delta\sigma_a=14.4\text{MPa}$

6月新レシビで使用不可

⇒ **修正レシビでは約1.6倍**の地震動に!

$\Delta\sigma=5.0\text{MPa}, \Delta\sigma_a=22.5\text{MPa}$

(vii)

伊方3号の基準地震動に関する補足説明

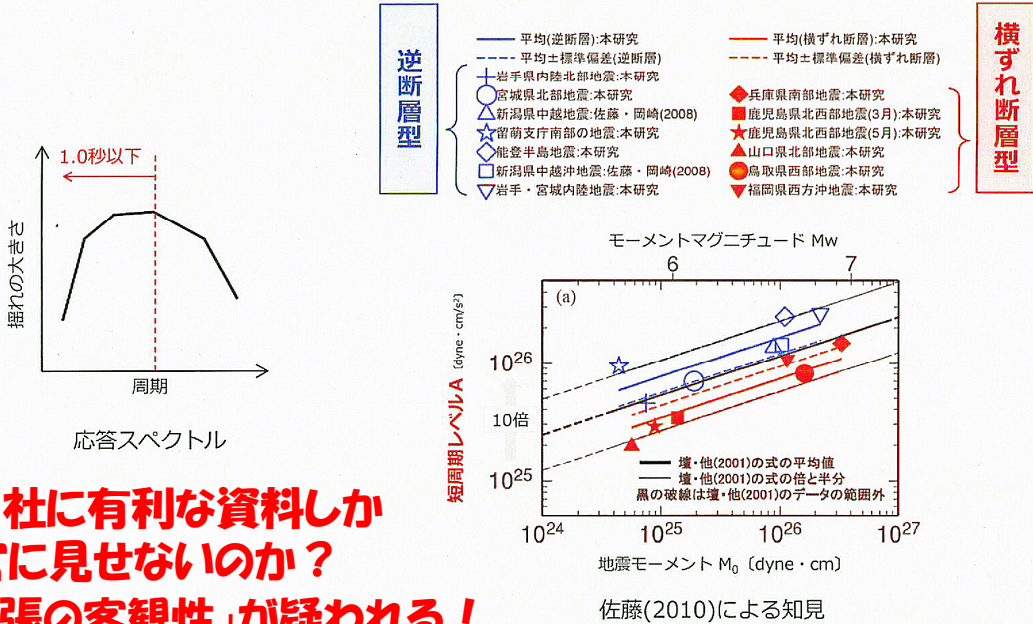
大阪府立大学名誉教授 長沢啓行

1. 日本地震学会2016年度秋季大会(2016年10月5日)における 瀧瀬一起東京大学地震研教授の発表に基づく「入倉式による地震規模過小評価とレシビ(イ)を使うべきことの主張」^{③②}に関する補足
2. 四国電力「伊方発電所の地震による揺れの評価について」(2016.10.12, p.59)の「壇ほか(2011)に適用する断層幅の設定について」に基づき、「震源断層幅15kmで算出された応力降下量3.4MPaは、震源断層幅12kmでは4.3MPaになるとの主張」^{③⑧}に関する補足
3. 四国電力「伊方発電所の地震による揺れの評価について」(2016.10.12, p.22)の「横ずれ断層型は逆断層型と比べると短周期の揺れが小さい」に関する補足
4. 「伊方3号における耐専スペクトルの適用可能性検討」^{②②}における 69kmの南傾斜モデルと「その他距離減衰式」に関する補足

3.1 震源特性の評価

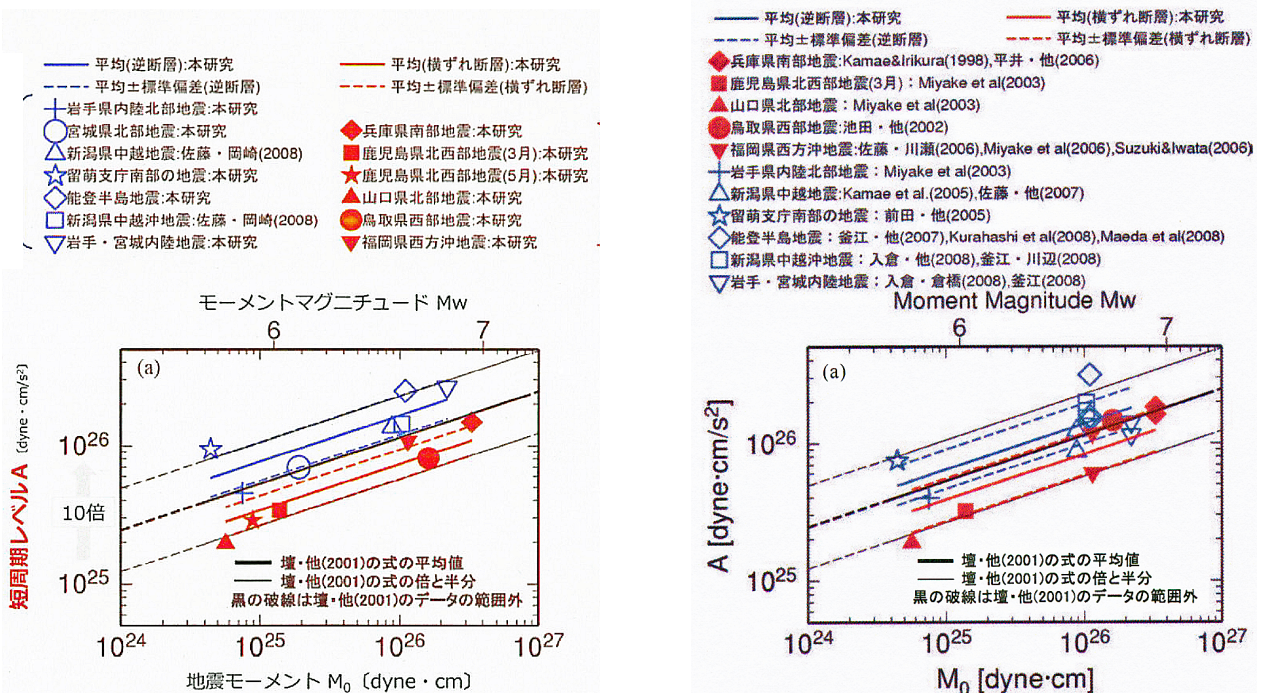
「横ずれ断層型」は「逆断層型」と比べると短周期の揺れが小さい

- 断層型による揺れの大きさの違いを**短周期レベル**で見ると、**横ずれ断層型は、逆断層型の地震による揺れに比べて有意に小さい。**
- 短周期レベル**とは、震源特性として、**短周期領域(原子力発電所建物の固有周期に相当する1.0秒以下)**での地震による揺れの大きさを表す指標。



佐藤(2010)は、スペクトルインバージョンだけでなく経験的グリーン関数法に基づく評価も示しており、M7クラスの地震ではデータが重なり合っている！

佐藤智美「逆断層と横ずれ断層の違いを考慮した日本の地殻内地震の短周期レベルのスケールリング則」、日本建築学会構造系論文集75(651), 923-932(2010)



関西電力は審査会合で両方とも示している！

関西電力「大飯発電所 地震動評価について(コメント回答)」, 第135回原子力発電所の新規規制基準適合性に係る審査会合, 資料4-1(2014.9.5)

染井ら(2010)によれば、断層タイプによる短周期レベルの違いは確認できず、佐藤(2010)と同等の条件で解析しても明瞭な違いはない!

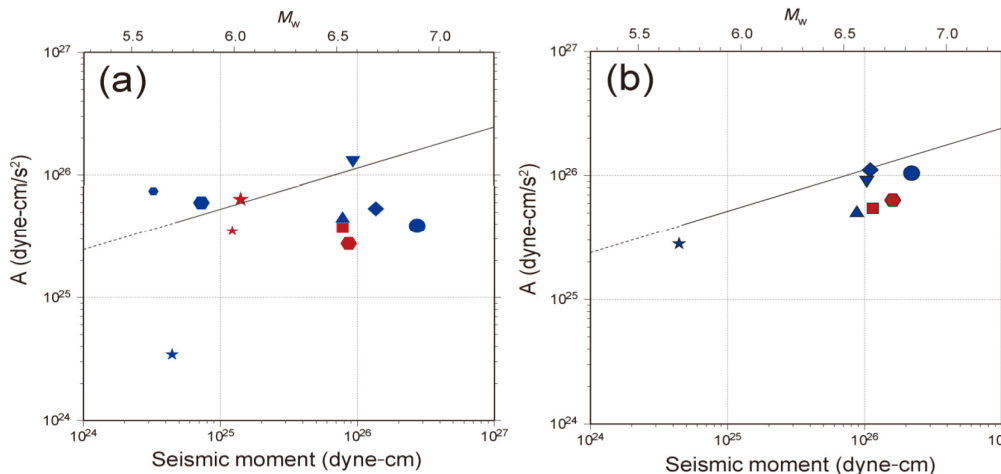
逆断層型地震

- 1996年宮城県北部地震(8月11日03:12)
- 1996年宮城県北部地震(8月11日08:10)
- ▲ 2004年新潟県中越地震
- ★ 2004年留萌支庁南部地震
- ◆ 2007年能登半島地震
- ▼ 2007年新潟県中越沖地震
- 2008年岩手・宮城内陸地震

横ずれ断層型地震

- ★ 1997年鹿児島県北西部地震(3月)
- ★ 1997年鹿児島県北西部地震(5月)
- 2000年鳥取県西部地震
- 2005年福岡県西方沖地震

— 壇・他³⁾
 - - - 壇・他³⁾外挿



染井一寛(地域地盤環境研究所)・浅野公之・岩田知孝「ひずみ集中帯内外で発生した地殻内地震系列間の震源特性の比較」, 第13回日本地震工学シンポジウム, GO3-Thu-PM-5(2010)

東京電力はこれを第292回審査会合で紹介している!

東京電力「柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉 地震関係のコメント回答(敷地ごとに震源を特定して策定する地震動関連)」, 第292回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合, 資料1(2015.11.11)

断層タイプ別の本震の短周期レベルAと地震モーメントの関係: (a) 本研究の手法(スペクトル比法), (b) (a)の条件を佐藤(2010)の解析周波数帯域などの条件と同等とした場合

(ix)

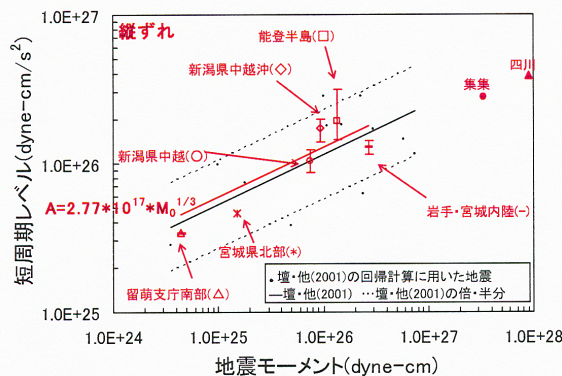
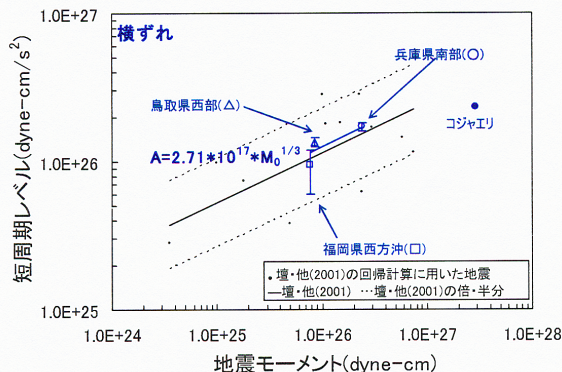
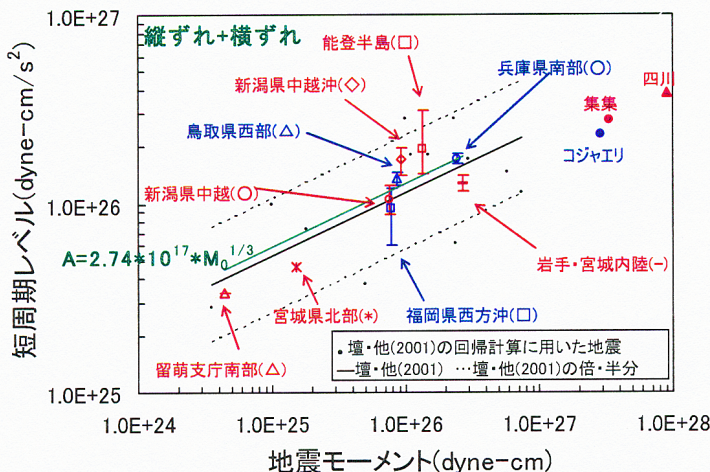
構造計画研究所(2010)によれば、断層タイプ別に短周期レベルの明確な違いはない!

構造計画研究所「内陸地殻内地震における短周期レベルの地域的な整理・分析業務」平成21年度業務委託報告書(2010)

断層タイプ別に短周期レベルの明確な違いが見られなかったが、逆断層の短周期レベルが若干大きい。この傾向は佐藤(2010)による結果と調和的であるが、数値的には大きく異なるので、今後の検討課題になる。

関電も東電も審査会合で紹介している!

関西電力「大飯発電所 地震動評価について(コメント回答)」, 第135回審査会合, 資料4-1(2014.9.5); 東京電力「柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉 地震関係のコメント回答(敷地ごとに震源を特定して策定する地震動関連)」, 第292回審査会合, 資料1(2015.11.11)

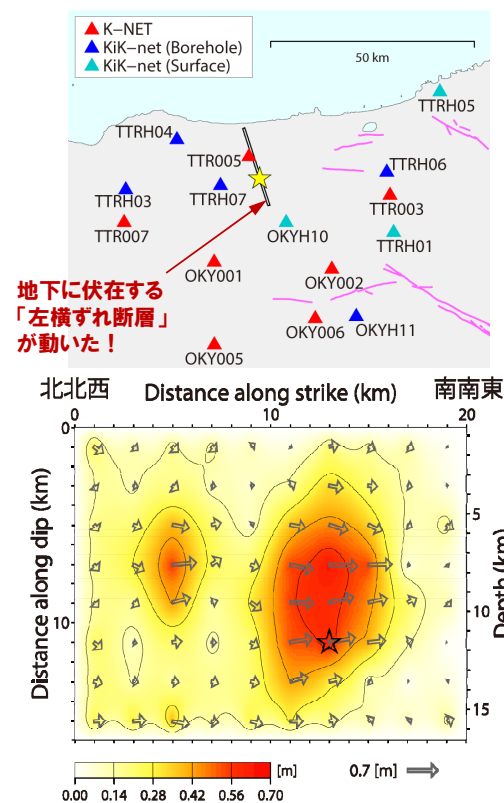


地震モーメントと短周期レベルの関係(バーは最大・最小の短周期レベルを示す)(左図:横ずれと縦ずれ、右上図:横ずれ断層のみ、右下図:縦ずれ断層のみ)

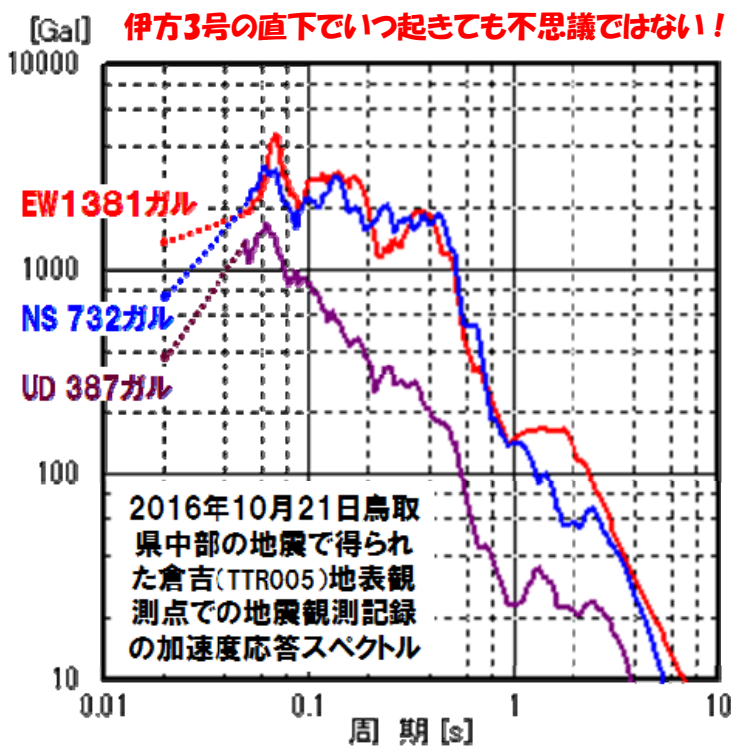
結論づけるには地震データが足りない!

(x)

横ずれ断層でも強い短周期地震動が襲っている！ 2016.10.21の鳥取県中部の地震M6.6(地表地震断層現われず)では、地表で3成分合成1494ガルを記録



防災科学技術研究所「2016年10月21日鳥取県中部の地震の震源過程(暫定)」, 地震調査研究推進本部地震調査委員会「2016年10月21日鳥取県中部の地震の評価」(2016.10.22)



2016.4.14の熊本地震の前震6.5では、地表で3成分合成1580ガル、地下でも237ガル(NS)を記録し、解放基盤表面換算で1000ガル超の可能性ある！

(xi)

伊方3号の基準地震動に関する補足説明

大阪府立大学名誉教授 長沢啓行

1. 日本地震学会2016年度秋季大会(2016年10月5日)における 額野一起東京大学地震研教授の発表に基づく「入倉式による地震規模過小評価とレシピ(イ)を使うべきことの主張」^{③②}に関する補足
2. 四国電力「伊方発電所の地震による揺れの評価について」(2016.10.12, p.59)の「壇ほか(2011)に適用する断層幅の設定について」に基づき、「震源断層幅15kmで算出された応力降下量3.4MPaは、震源断層幅12kmでは4.3MPaになるとの主張」^{③⑧}に関する補足
3. 四国電力「伊方発電所の地震による揺れの評価について」(2016.10.12, p.22)の「横ずれ断層型は逆断層型と比べると短周期の揺れが小さい」に関する補足
4. 「伊方3号における耐専スペクトルの適用可能性検討」^{②②}における 69kmの南傾斜モデルと「その他距離減衰式」に関する補足

伊方3号における耐専スペクトル(内陸補正なしで評価)の適用可能性検討

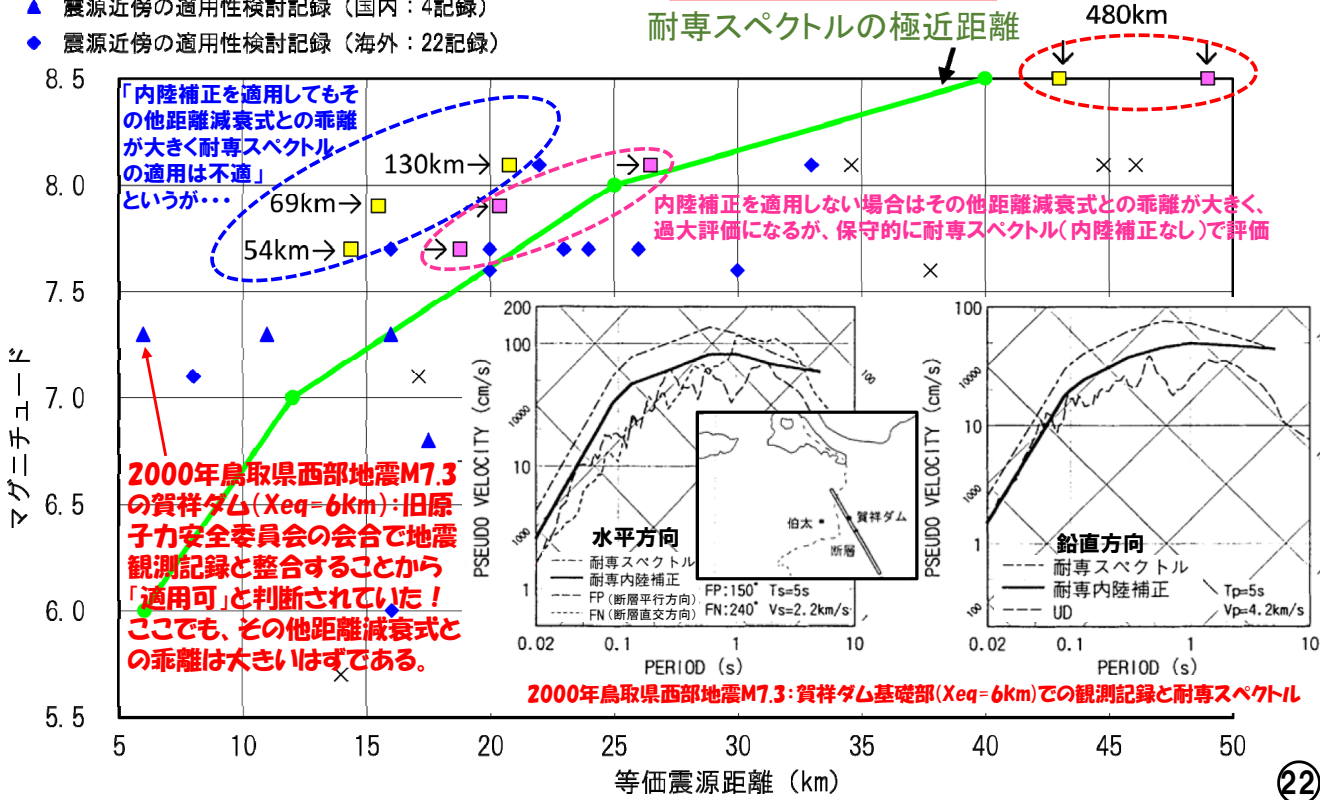
- 耐専回歸式作成に用いた観測記録 (107記録)
- + 耐専の適用性検討に用いた他地点観測記録 (国内: 23記録)
- × 耐専の適用性検討に用いた他地点観測記録 (海外: 14記録)
- ▲ 震源近傍の適用性検討記録 (国内: 4記録)
- ◆ 震源近傍の適用性検討記録 (海外: 22記録)

● 耐専スペクトル極近距離

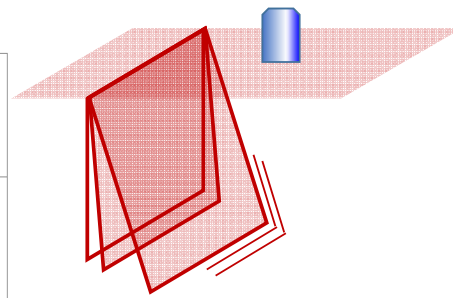
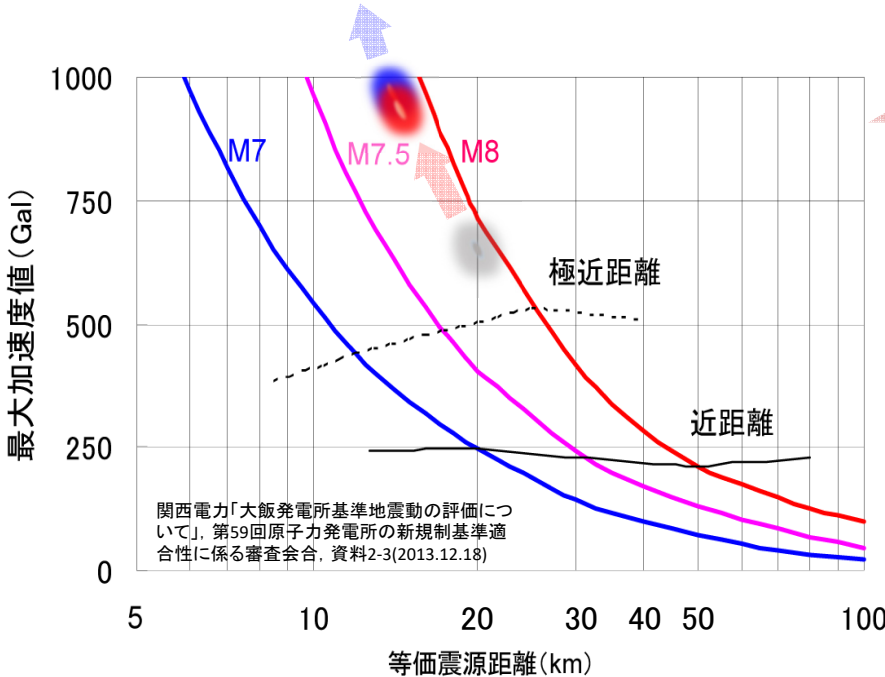
■ 伊方 鉛直

■ 伊方 北傾斜

四国電力「伊方発電所 地震動評価 震源を特定して策定する地震動(中央構造線断層帯地震動評価)と基準地震動の策定(コメント回答)」, 第156回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合, 資料1-1(2014.11.7)



耐専スペクトルは、69km北傾斜30° で650ガル、鉛直 900ガル、南傾斜80° 930ガル と増え、南へ傾斜するほど急激に大きくなる!



2007年新潟県中越沖地震 M6.8による柏崎刈羽1~4号での解放基盤表面はぎとい波は1011~1699ガル!

2008年岩手・宮城内陸地震M7.2による地中観測記録のはぎとい波(概算)は約2,000ガル!

1000ガル超の実観測記録がある!

69kmモデル(M7.9)の(等価震源距離Xeq, 最大加速度)

北傾斜30° (20.4km, 650ガル) → 鉛直90° (15.5km, 900ガル)

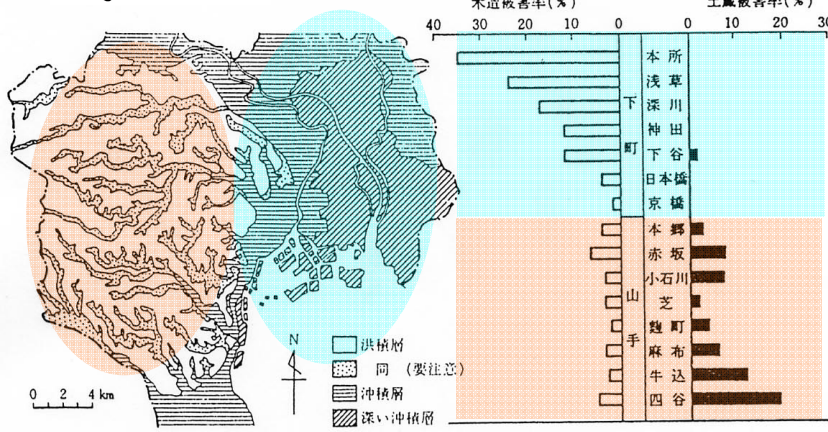
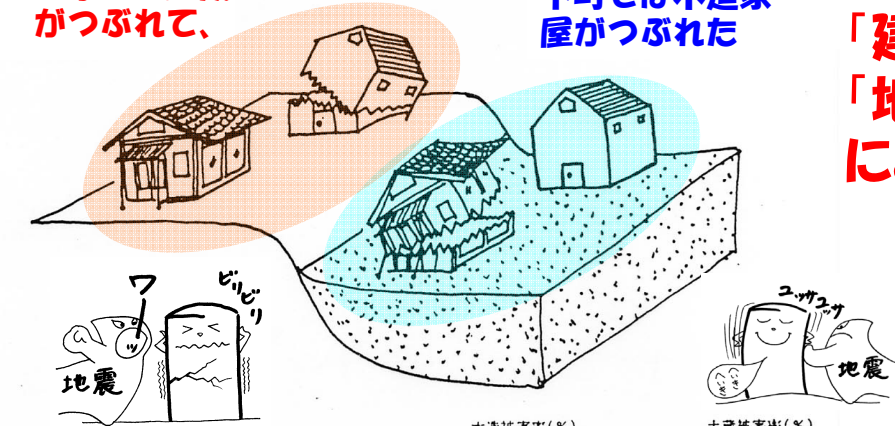
→ 南傾斜80° (15.0km, 930ガル) → ...

山手では土蔵
がつぶれて、

下町では木造家
屋がつぶれた

地震による破壊は
「建物の固有周期」と
「地震動の卓越周期」
による

関東大震災では、
山手と下町で
倒壊した建物が
異なった！



東京の地盤種別図

木造と土蔵の被害率(関東大地震, 1923年)

(出典: 大崎順彦「地震と建築」岩波新書(1983) pp. 127-132)

固い岩盤では短周期地震動が
よく伝わる!(固いコア・サンプル)

→ 固い岩盤に建つ伊方3号
は直下地震に弱い!

熊本地震の前震M6.5では震源
近傍で1,000ガル超の強震動
が起きていたと推定される!

→ それは伊方3号の855ガルの
クリフエッジを超える! (xiii)

四国電力が用いた「その他距離減衰式」

四国電力「伊方発電所 地震動評価 震源を特定して策定する地震動(中央構造線断層帯地震動評価)と基準地震動の策定(コメント回答)」, 第156回原子力発電所の新規規制基準適合性に係る審査会合, 資料1-1(2014.11.7)

距離減衰式一覧

距離減衰式	データベースの対象地域	地震タイプ	主なパラメータ	Mの範囲	距離の範囲	地盤条件・種別	その他
耐専スペクトル [Noda et al.(2002)]	国内	主に太平洋沿岸の60km以内の浅い地震	Mjma 等価震源距離 Vs, Vp 地盤の卓越周期	Mj5.5~7.0	28~202km (震源距離)	500 ≤ Vs ≤ 2700 m/s	NFRD効果を考慮可能 水平動・鉛直動を評価可能
Kanno et al.(2006)	主に国内	内陸 プレート間 プレート内	Mw 断層最短距離 震源深さ、Vs30	5.5~ <u>8.2</u>	1~500km	100 ≤ Vs30 ≤ 1400 m/s	Vs30による補正が可能
Zhao et al.(2006)				5.0~ <u>8.3</u>	0.3~300km	Soft soil ~ Hard rock (Hard rock Vs=2000m/s)	
内山・翠川(2006)				日本周辺	5.5~ <u>8.3</u>	300km以内	150 ≤ Vs30 ≤ 750m/s
片岡ほか(2006)	国内	内陸 海溝性	Mw 断層最短距離 短周期レベル	陸: 4.9~6.9 海: 5.2~8.2	250km以内	I種、II種、III種地盤 および工学的基盤	
Abrahamson and Silva(2008)	主に国外	内陸	Mw 断層最短距離 Vs30, 断層上端深さ	4.27~ <u>7.9</u>	0.07~200km	100 ≤ Vs30 ≤ 2000m/s	Vs30による補正が可能
Boore and Atkinson(2008)					0.1~400km	NEHRP分類A~E	Vs30による補正が可能
Campbell and Bozorgnia(2008)					0.1~200km	150 ≤ Vs30 ≤ 1500m/s	Vs30による補正が可能
Chiou and Youngs(2008)					0.07~70km	100 ≤ Vs30 ≤ 2000m/s	Vs30による補正が可能
Idriss(2008)					0.3~200km	450 ≤ Vs30 ≤ 900m/s	Vs30による補正が可能

Vs30: 表層30mにおけるS波速度の平均値

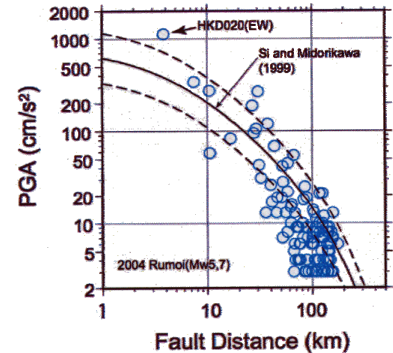
(xiv)

「その他距離減衰式」は、

- (1) 2003年までのMw6.9以下(内陸地殻内地震)の地震観測記録に基づき、国内の震源近くでの最新観測記録は反映されていない。
- (2) 断層最短距離を用いるため震源特性(アスペリティ, 応力降下量, 傾斜等)を反映できない。(片岡他(2006)は短周期レベルAを含む回帰式もある)
- (3) 震源近傍で地震動が飽和すると仮定しており、飽和レベルの設定次第で、震源近くでは過小評価に陥る。

➡ 「その他距離減衰式」では、地震規模と距離からみて、69kmモデル(M7.9)は適用範囲外で、地震動を過小評価する可能性があり、これとの乖離が大きくても耐専スペクトルを適用外とする根拠にはならない!

耐専スペクトルと震源域内地震観測記録との整合性をなぜ無視するのか? 「現実に合う理論式」を使うべき!



2004年北海道留萌支庁南部地震の最大加速度の距離減衰と司・翠川(1999)距離減衰式(実線:平均, 破線:平均±標準偏差)の比較

Kanno et al. (2006) :

1963~2003年の国内73地震(プレート境界地震と混在)が基本だが、大地震の震源近くのデータが不十分なため、米国カリフォルニアとトルコの10地震のデータを追加。台湾集集(Chi-Chi)地震については、(1)震源近傍観測点以外では振幅が顕著に小さい、(2)台湾は非常に破碎の進んだ大陸プレート境界に位置する、(3)地殻内の地震波伝播特性が他の地域と異なる可能性があるとの理由から除外。回帰応答スペクトルの対数標準偏差は最大加速度PGAで0.37(「平均値+標準偏差」は平均値の $10^{0.37} = 2.3$ 倍), 周期0.05~0.5秒で0.37~0.41(2.3~2.6倍)と大きく、少なくとも「平均値+標準偏差」で平均値の2.3~2.6倍にしなければ、留萌支庁南部地震の場合のように震源近傍で大幅な過小評価に陥る可能性が高い。 (XV)

Zhao et al. (2006) :

2003年までの国内地震4,518記録(Mw6.9以下の内陸地殻内地震1,285記録, Mw8.3以下のプレート間地震1,508記録, Mw8.3以下のスラブ内地震1,725記録)と国外地震208記録(Mw7.4以下の米国・イラン内陸地殻内地震196記録, プレート間地震12記録)を用いているが、国内では10km以内のデータは兵庫県南部地震と鳥取県西部地震だけで、40km以内の地震データは米国と1978年Tabas Iran地震に大きく制約される。回帰応答スペクトルの自然対数標準偏差は最大加速度PGAで0.723($e^{0.723} = 2.06$ 倍), 周期0.05~0.5秒で0.760~0.849($e^{0.760} \sim e^{0.849} = 2.14 \sim 2.34$ 倍)と大きい。この距離減衰式においても、少なくとも平均値の2.1~2.3倍にしなければ、震源近傍で大幅な過小評価に陥る可能性が高い。

内山・翠川(2006) :

1968~2003年の国内52地震のデータ(内陸地殻内地震13はMw5.5~6.9, プレート間地震23はMw5.5~8.2, プレート内地震16はMw5.5~8.3)が対象。回帰応答スペクトルの対数標準偏差は周期0.02~0.5秒で0.35~0.40($10^{0.35} \sim 10^{0.40} = 2.2 \sim 2.5$ 倍)であり、少なくとも平均値の2.2~2.5倍にしなければ、震源近傍で大幅な過小評価に陥る可能性が高い。

片岡・他(2006) :

1978~2003年の国内183地震のデータ(内陸地殻内地震47はMw4.9~6.9の5,160波形, 海溝性地震136はMw5.2~8.2の5,882波形)を対象に、短周期レベルAを回帰式に取り込んだケースでは、最大加速度の対数標準偏差は0.135($10^{0.135} = 1.36$ 倍)とかなり小さいが、地震観測記録がない状態で地域や地震によって異なる短周期レベルを正確に求められなければ、逆に、ばらつきが大きくなる。短周期レベルAを取り込まないケースでは、最大加速度の対数標準偏差は0.169($10^{0.169} = 1.48$ 倍)とやや大きい、それでも他の距離減衰式より少し小さい。その理由は、地震データの母集団が違うからかも知れないが、今のところ不明である。 (XVI)

他の5つの距離減衰式は、米国で2003年に選ばれた次世代型距離減衰式の開発プロジェクト (NGAプロジェクト) の5チームによるもの。内陸地殻内地震に関する距離減衰式を求める目的で、全世界から内陸地殻内地震に限ったデータベース (173地震3,551記録) が構築されたが、チームによって回帰に用いたデータの母集団はかなり異なる。

Abrahamson and Silvia (2008) : ほぼ3/4の地震と余震の全データ

Boore and Atkinson (2008) : ほぼ1/3の地震に厳選し、余震記録を除外

Campbell and Bozorgnia (2008) : ほぼ1/3の地震に厳選し、余震記録を除外

Chiou and Youngs (2008) : ほぼ3/4の地震と余震の全データ

Idriss (2008) : 4割程度の地震に限り、余震記録についても岩盤記録に限る

翠川 (地震強さの距離減衰式, 地震第2輯, 第61号, p.471-477 (2009)) によれば, このデータベースにおける全データのほぼ半数が1999年台湾・集集 (Chi-Chi) 地震Mw7.62とその5余震Mw5.90~Mw6.30の記録が占め, 大地震の震源近傍データはカリフォルニア地震以外の地震 (1999年Kocaeli地震Mw7.51, 2002年Denali地震Mw7.90) によるものが大部分を占めている。日本の観測記録は1995年兵庫県南部地震の22記録だけであり, 基本的に日本以外の地震記録に対する距離減衰式である。しかも, 1952~2003年の古いデータであり, 日本国内で兵庫県南部地震を契機に整備された地震観測網による1996年以降の地震観測記録は全く入っていない。

自然による警告 = 熊本地震を真摯に受け止めれば、伊方3号は止めるしかない!