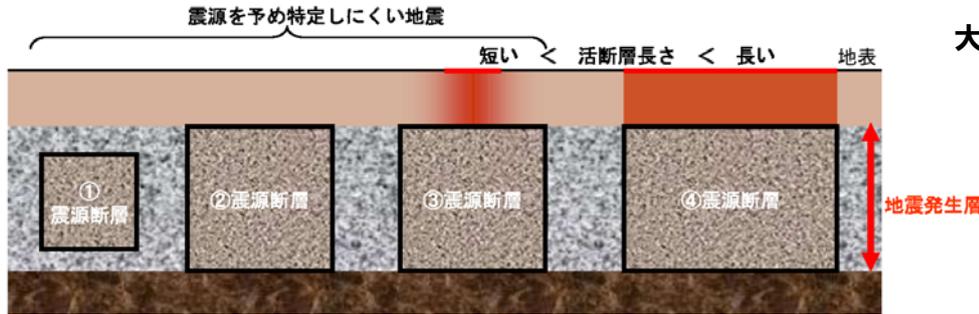


# 基準地震動の審査において、クリフエッジ超えを避けようとする「恣意的操作」がある



大阪府立大学名誉教授  
長沢啓行

## ○震源を特定せず策定する地震動

16地震の観測記録についてサイトごとに評価:限定的すぎる  
(古くは「M6.5の直下地震」, 加藤らの「上限レベル」)

## ○震源を特定して策定する地震動

耐専スペクトル:20年前の古い国内地震観測記録に基づく(現在見直し中のもの)

断層モデル:北米中心の地震データに基づき国内地震に不適

断層幅などモデルの違いを無視して解析モデルを適用

①

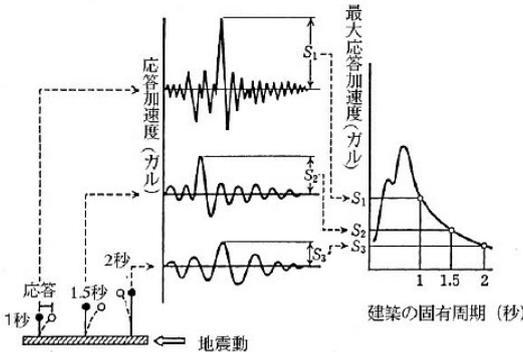
## 伊方3号の基準地震動の応答スペクトルと固有周期

○伊方原発の解放基盤表面での  
応答スペクトルを描いたもの  
(対数目盛であることに注意)

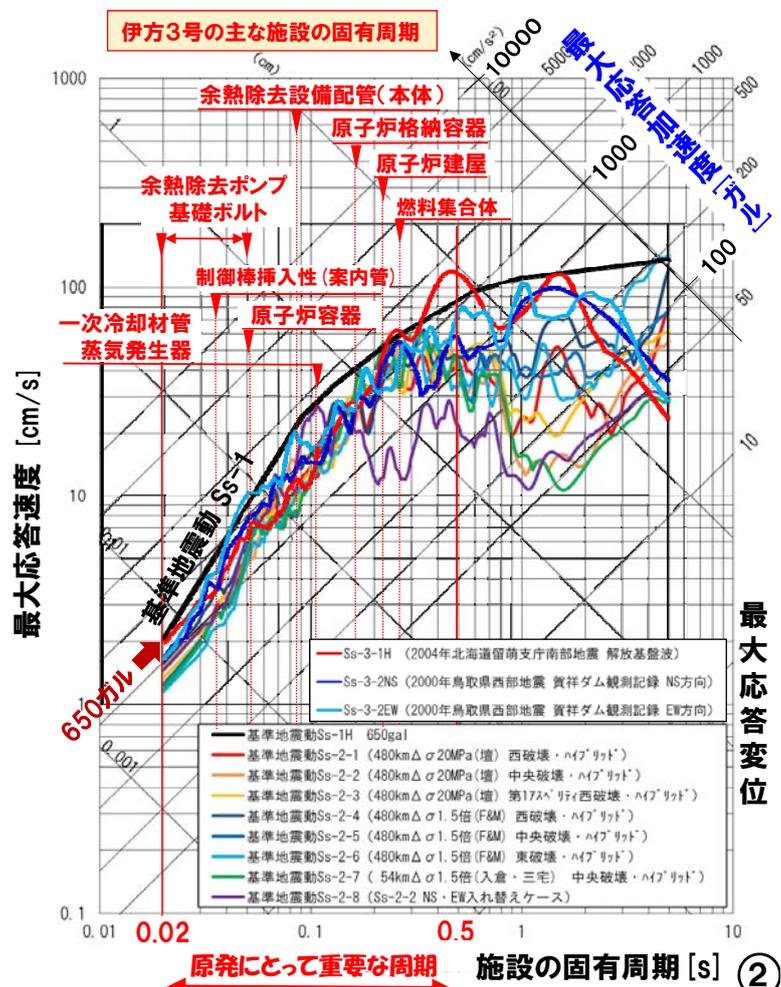
○「基準地震動の最大加速度」は  
周期0.02秒の最大応答加速度  
に対応する

○斜め45度右上がりの目盛が最大  
応答加速度、右下がりの目盛  
が最大応答変位に対応する

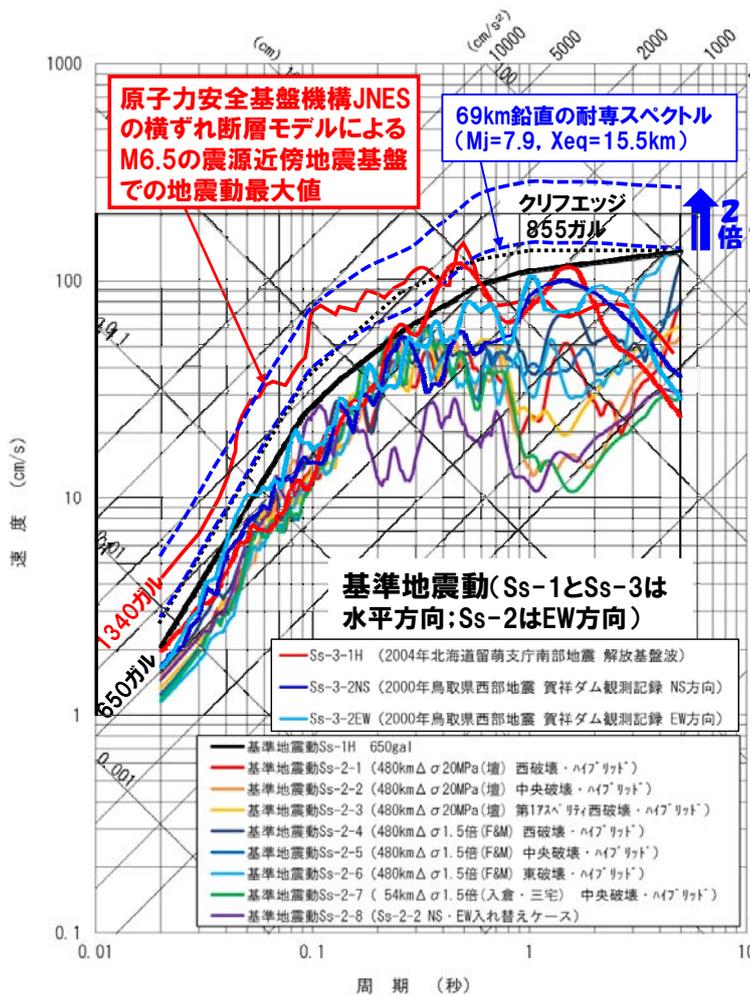
四国電力: 柏崎刈羽原子力発電所で観測されたデータを基に行う  
伊方発電所における概略影響検討結果報告書(2007年9月20日)



(a) 固有周期の異なる建築群 (b) 応答加速度記録 (c) 応答スペクトル



原発にとって重要な周期 施設の固有周期 [s] ②



### 震源を特定せず 策定する地震動

2004年北海道留萌支庁南部地震M6.1の解放基盤表面はざとり波 (620ガル)

JNESによるM6.5の横ずれ断層による震源近傍での地震動最大値 (1,340ガル)

### 震源を特定して 策定する地震動

敷地前面海域69km鉛直の耐専スペクトル (900ガル程度:適用外)

最新データの反映と倍半分のパラッキを考慮し2倍以上へ引き上げ (1,800ガル程度)

## 伊方原発の基準地震動は クリフエッジ(855ガル)を超える!

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); 独立行政法人原子力安全基盤機構(2005): 震源を特定しにくい地震による地震動の検討に関する報告書(平成16年度), JNES/SAE05-00405 解部報-0004(2005.6); 原子力安全・保安院「四国電力伊方発電所3号機の安全性に関する総合的評価(一次評価)に関する審査書」(2012.3.26)

## 震源を特定せず策定する地震動

### ○16地震観測記録に限定

- ・地震観測網が整備されたのは20年前, 観測記録が決定的に不足している
- ・2008年岩手・宮城内陸地震・一関西の観測記録は不使用:  
「上部に軟岩や火山岩、堆積岩が厚く分布する地域」ではないとの理由
- ・観測記録の不足を補う手法があるのに使われていない

### ○2004年北海道留萌支庁南部地震の観測記録

- ・K-NET地表観測点HKD020(震源距離12.1km)で

535.7ガル (NS), 1,127.2ガル (EW)

⇒基準地震動620ガル

再現震源モデルによる解析は地震計の不足と観測記録の不足を補う

- ・仮想地表観測点最大 約1,700ガル (NS), 約1,300ガル (EW)
- ・破壊開始点変更最大 約1,050ガル (NS), 約2,000ガル (EW) : 約1.8倍

⇒基準地震動1,100ガル

### ○原子力安全基盤機構JNESの断層モデルによる解析

⇒M6.5の横ずれ断層による地震で, 1,340ガルの地震動



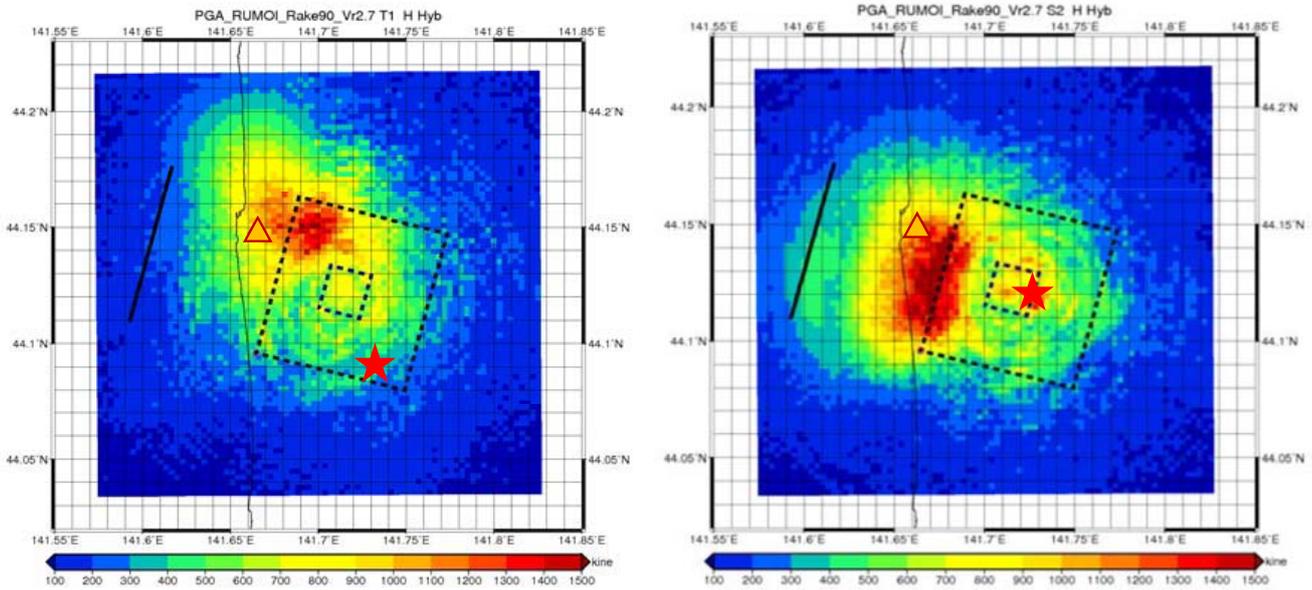
# 北海道留萌支庁南部地震M6.1の震源モデルによる地震動解析(左)と破壊開始点をアスペリティ下端中央へ変えた場合の地震動解析(右)

(アスペリティ領域のみのモデルで、断層最短距離15km以内の仮想地表観測点での地震動評価)

K-NET地表観測点HKD020(震源距離12.1km)で 535.7ガル(NS), 1,127.2ガル(EW)

⇒ (左) 仮想地表観測点最大 約1,700ガル(NS), 約1,300ガル(EW)

⇒ (右) 破壊開始点変更最大 約1,050ガル(NS), 約2,000ガル(EW) : 約1.8倍

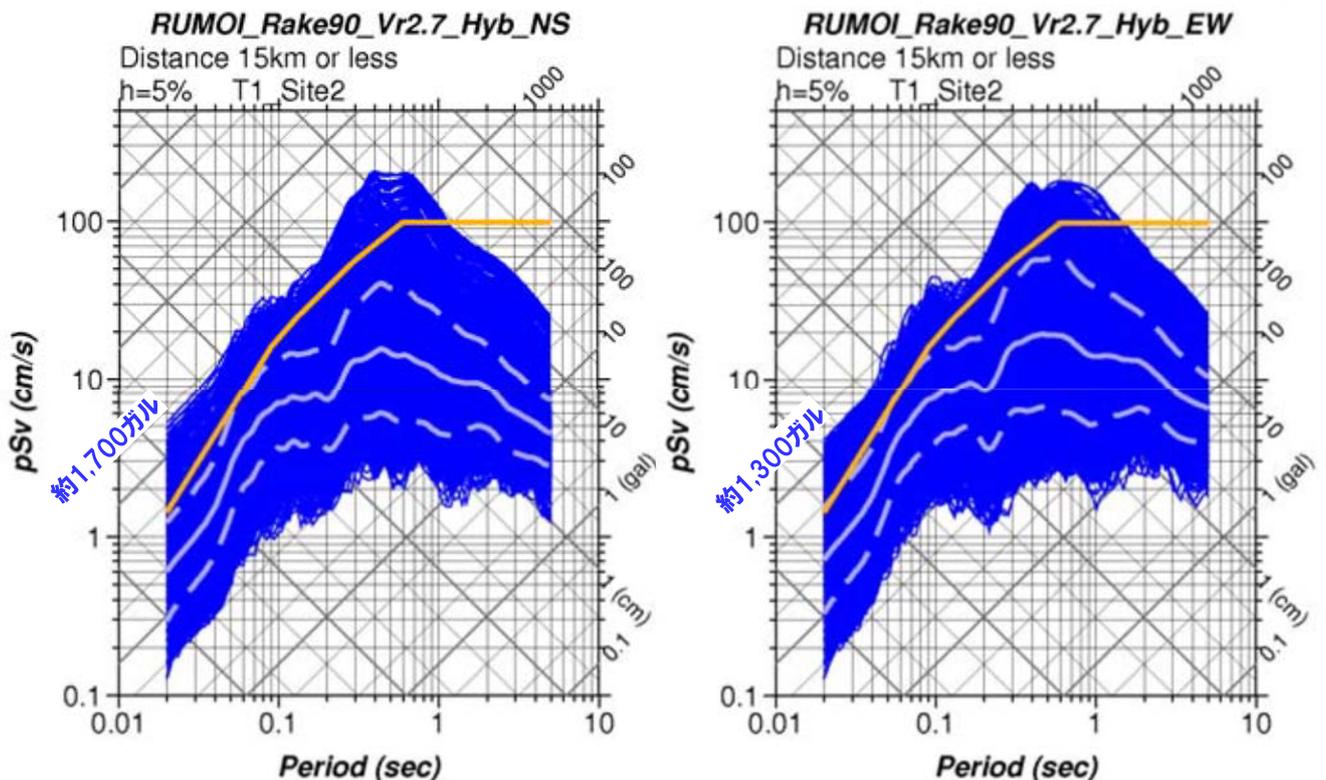


ハイブリッド法による面的強震動計算結果:(左)擬似加速度応答PGA分布, (右)破壊開始点をアスペリティ下端中央(S2)へ変えたPGA分布 (△:HKD020地表観測速点, ★:破壊開始点)

(財)地域地盤環境研究所「震源を特定せず策定する地震動に関する計算業務報告書(2011.3)

7

# 北海道留萌支庁南部地震M6.1の震源モデルによる地震動解析(アスペリティ領域のみのモデルで、断層最短距離15km以内の仮想地表観測点での地震動評価結果の応答スペクトル重ね書き)



面的強震動計算による疑似速度応答 (PSV) スペクトル

(白実線:断層最短距離15km以内の平均PSV スペクトル, 白破線:平均PSV スペクトルの標準偏差)

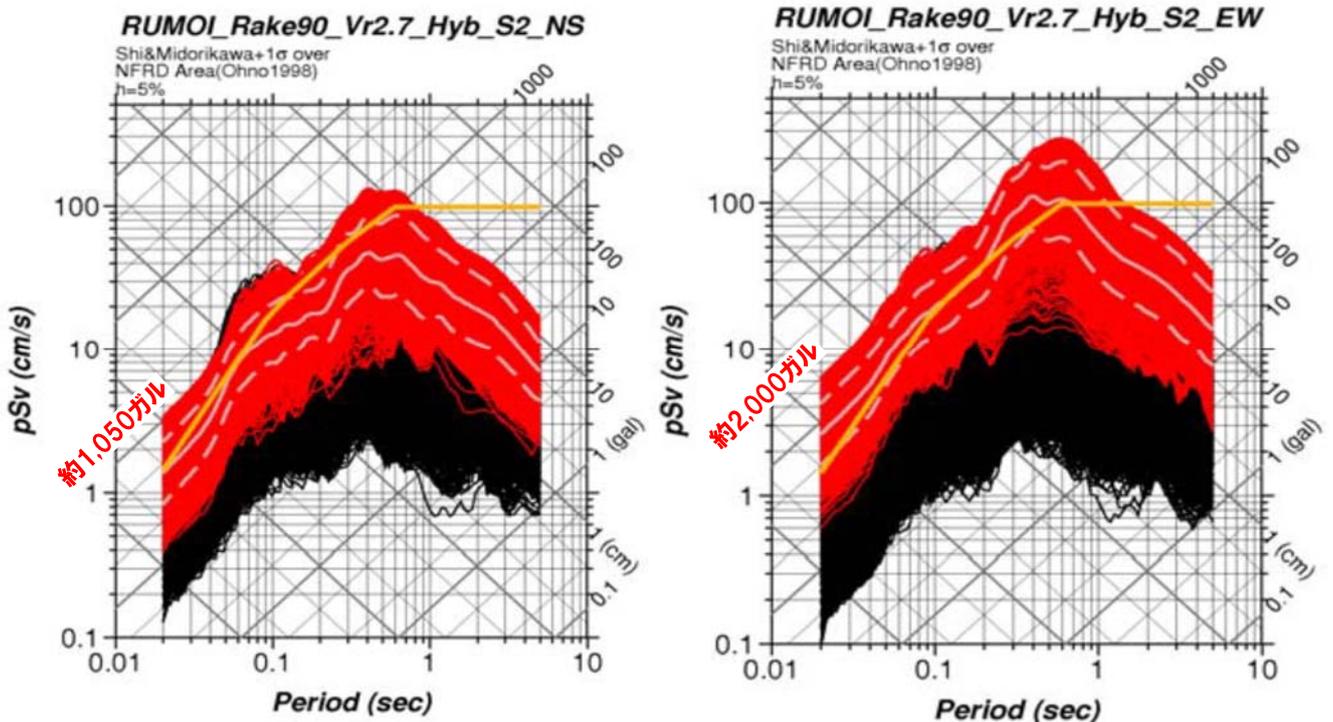
(財)地域地盤環境研究所「震源を特定せず策定する地震動に関する計算業務報告書(2011.3)

8

# 留萌支庁南部地震の震源モデルで破壊開始点を変更した場合の解析

(アスペリティ領域のみ、断層最短距離15km以内の仮想地表観測点での地震動評価結果の応答スペクトル重ね描き)

K-NET地表観測点HKD020で 1,127.2ガル (EW) ⇒ 破壊開始点変更最大 約2,000ガル (EW)  
 留萌支庁南部地震の伊方原発解放基盤表面はざとり波 620ガル (EW) ⇒ 1,100ガル (EW) : 1.8倍

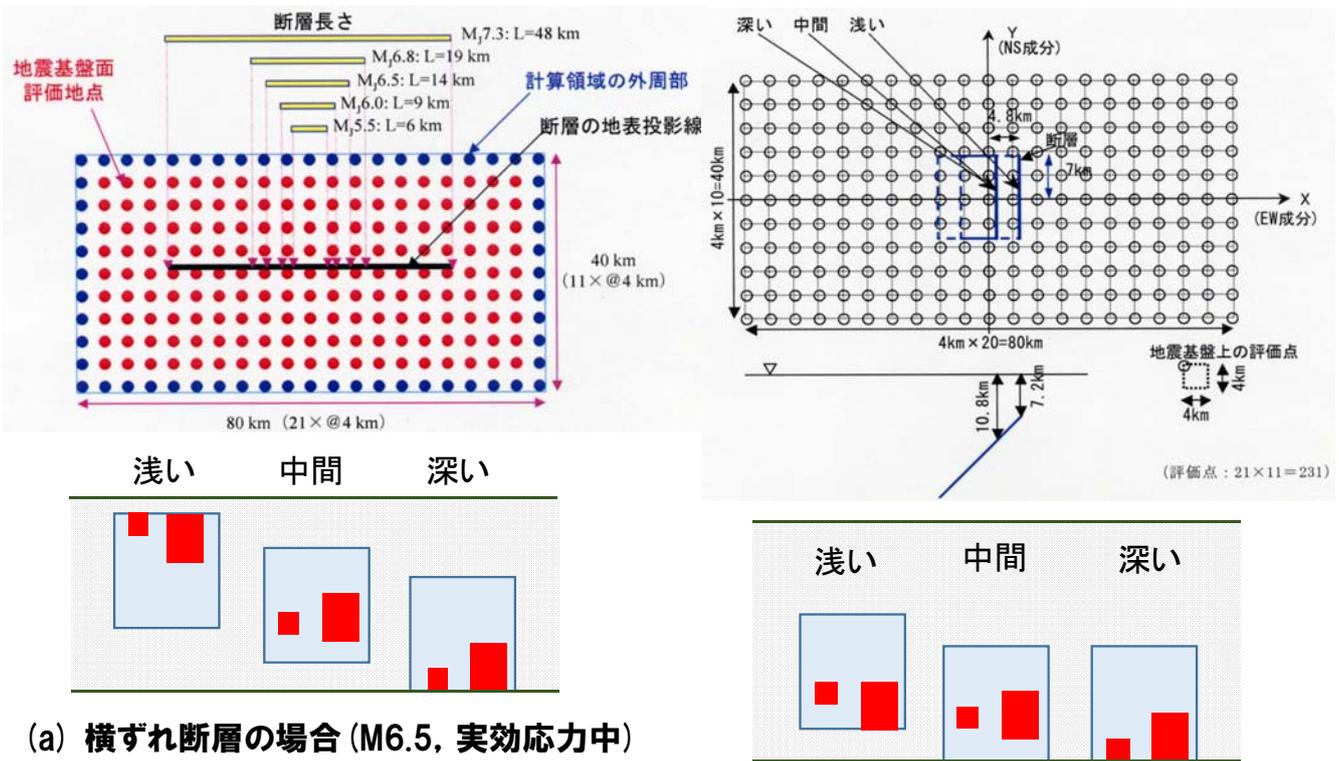


破壊開始点がアスペリティ下端中央の場合の疑似速度応答 (PSV) スペクトル (赤実線:大野・他 (1998) NFRD効果を含む領域内で、司・翠川 (1999) のPGV距離減衰式に対し+1σのPGVを示す領域のPSV、白実線:同領域内平均PSV、白破線:同領域内平均PSVの標準偏差) (財)地域地盤環境研究所「震源を特定せず策定する地震動に関する計算業務報告書(2011.3)

9

# 原子力安全基盤機構JNES(原子力規制庁へ2014.3.1統合)の断層モデル

地震基盤表面(Vs=2600m/s, 原発解放基盤表面より固い岩盤)上「40km×80km」の231点で地震動評価(はざとり波相当)



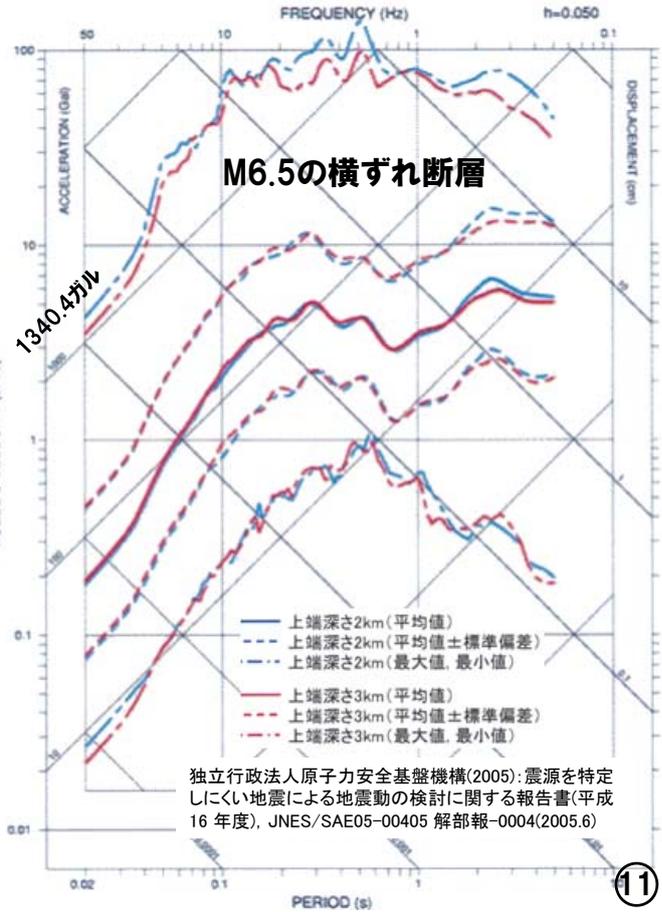
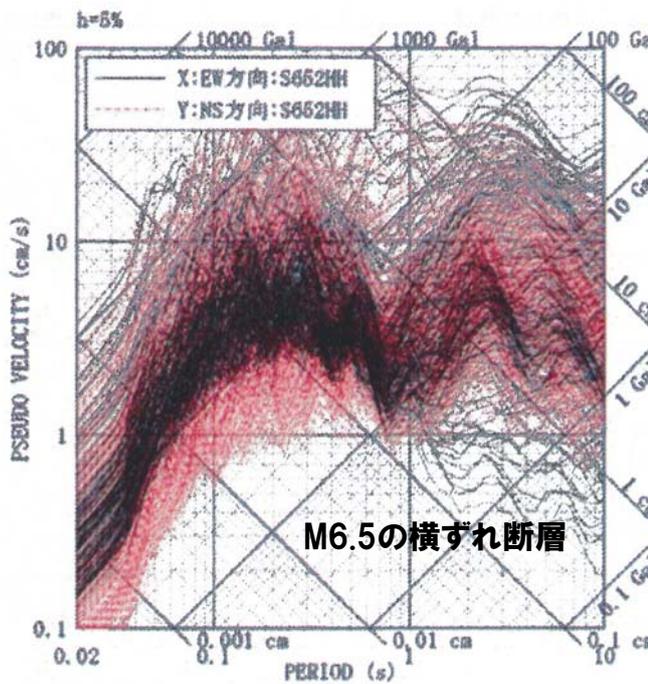
(a) 横ずれ断層の場合 (M6.5, 実効応力中)

独立行政法人原子力安全基盤機構(2005):震源を特定しにくい地震による地震動の検討に関する報告書(平成16年度), JNES/SAE05-00405 解部報-0004(2005.6)  
 独立行政法人原子力安全基盤機構(2004):平成15年度震源を特定しにくい地震による地震動の検討に関する報告書, JNES/SAE04-07004 解部報-0070(2004.9)

(b) 縦ずれ断層の場合 (M6.5, 45度, 実効応力中)

10

# M6.5の横ずれ断層モデルで、最大加速度の最大値は1340.4ガル！

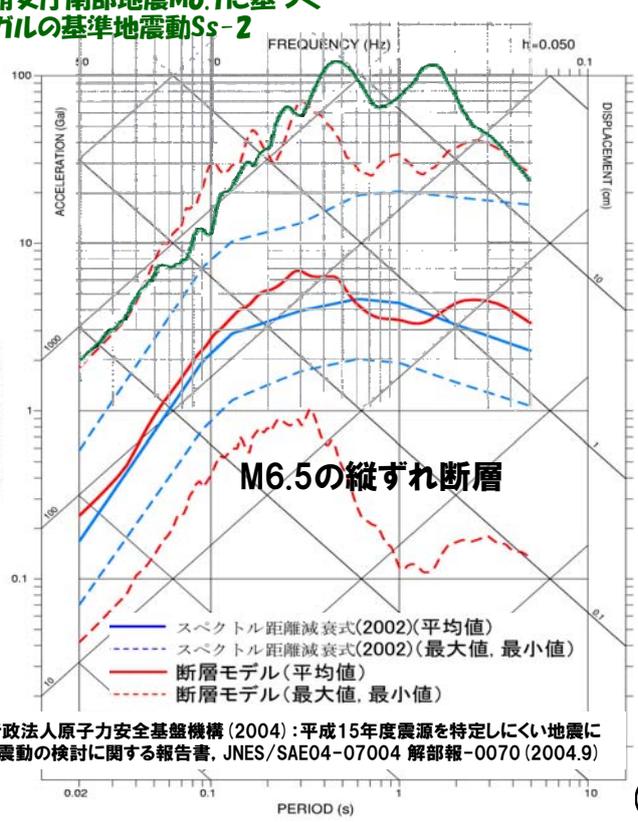
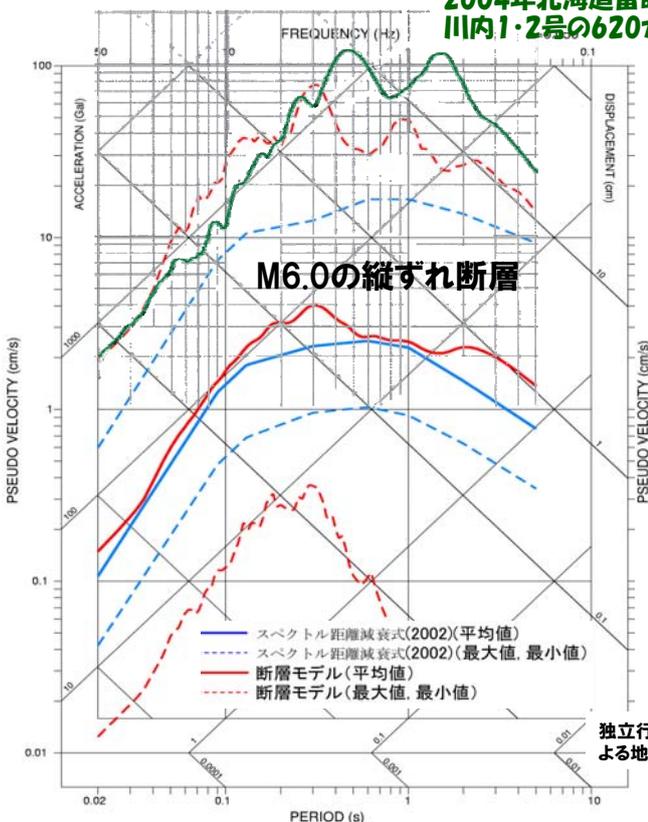


( $V_s=2600\text{m/s}$ の地震基盤表面上に設定した231評価点における各周期ごとに求めた地震動応答スペクトルの平均値, 標準偏差, 最大・最小値であり, 特定の評価点での応答スペクトルではない。「最大値」は, 「実効応力大」, 「高周波遮断特性平均+標準偏差」の場合である)

独立行政法人原子力安全基盤機構(2005):震源を特定しにくい地震による地震動の検討に関する報告書(平成16年度), JNES/SAE05-00405 解部報-0004(2005.6)

原子力規制庁は当初、JNESモデルは「厳しいパラメータ設定だ」と批判していたが、**2004年北海道留萌支庁南部地震の地震動とJNES縦ずれ断層モデルによる解析が良く合うことを認め、「専門家を含めて再現性について改めて検討すべき」と発言！**

2004年北海道留萌支庁南部地震M6.1に基づく  
川内1・2号の620ガルの基準地震動Ss-2



独立行政法人原子力安全基盤機構(2004):平成15年度震源を特定しにくい地震による地震動の検討に関する報告書, JNES/SAE04-07004 解部報-0070(2004.9)

## 伊方原発8km沖の中央構造線断層帯

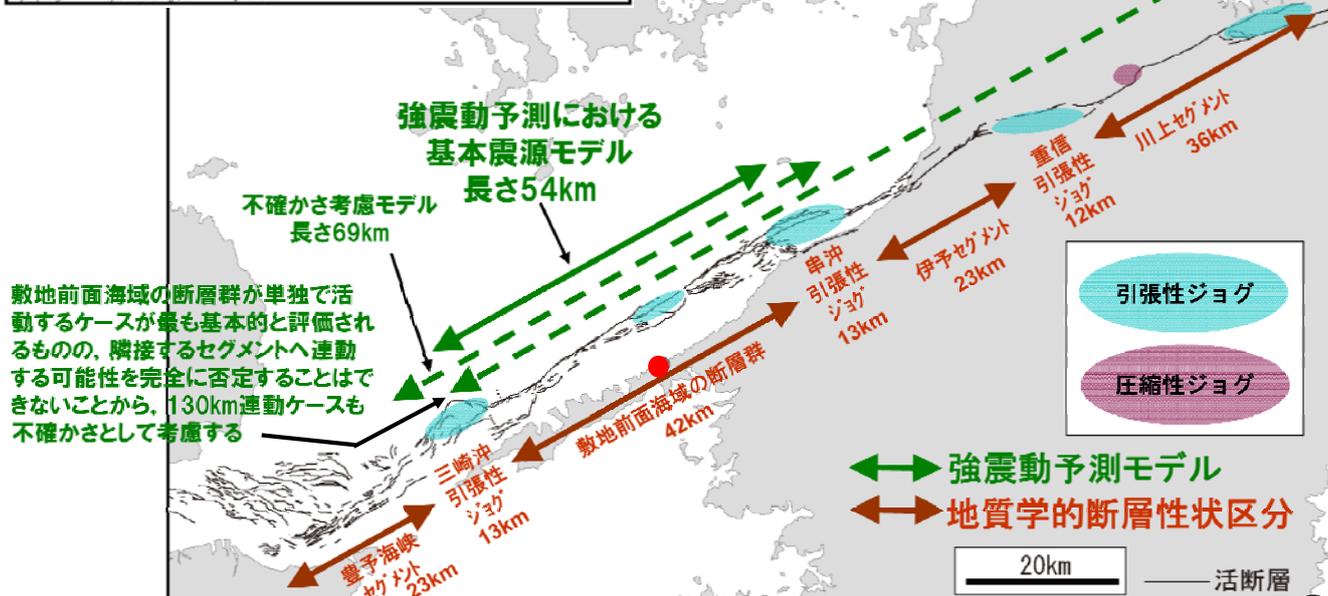
中央構造線断層帯と別府-万年山断層帯が運動すると約480km



## 震源を特定して策定する地震動

### 基本震源モデル

- ① 480kmモデル (360km+別府-万年山断層帯)
- ② 360kmモデル (中央構造線断層帯:推本モデル)
- ③ 130kmモデル (敷地前面海域+伊予・川上セグメント)
- ④ 69kmモデル (敷地前面海域の不確かさ考慮)
- ⑤ 54kmモデル (敷地前面海域:当初の四電モデル)



敷地前面海域の断層群が単独で活動するケースが最も基本的と評価されるものの、隣接するセグメントへ連動する可能性を完全に否定することはできないことから、130km運動ケースも不確かさとして考慮する

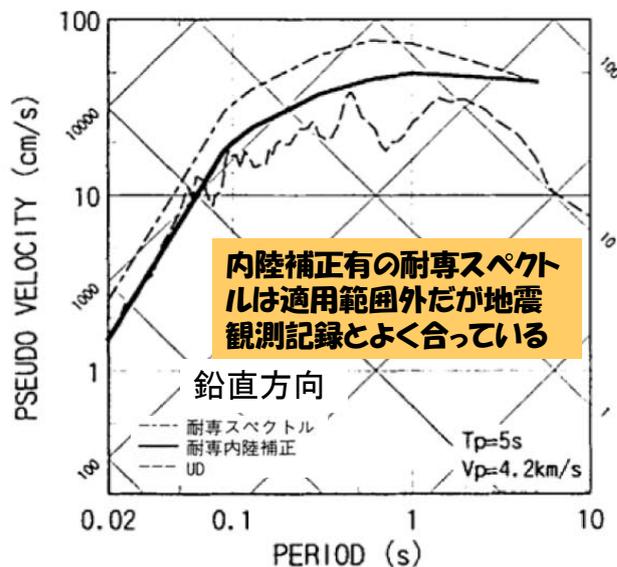
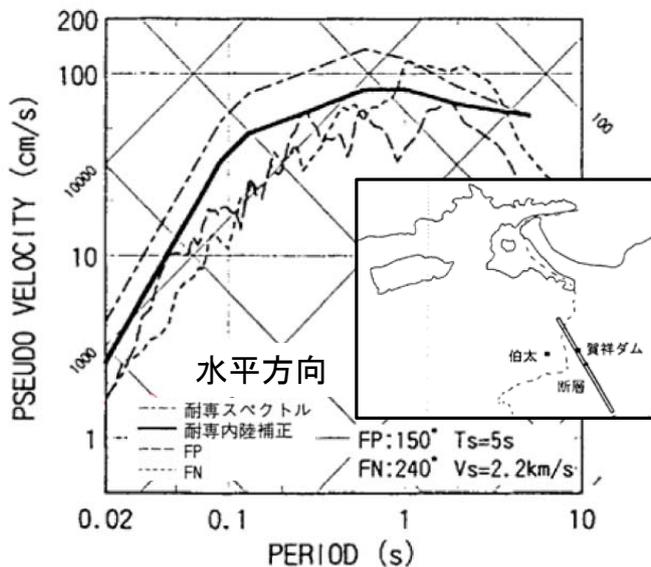
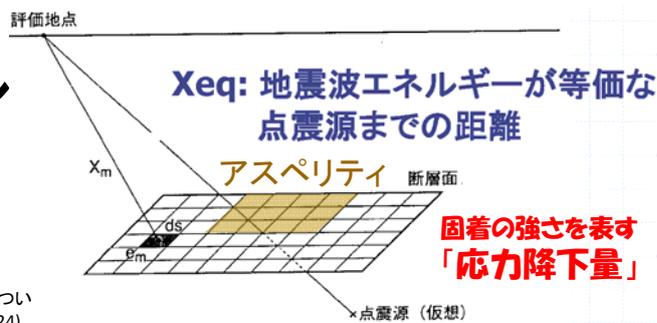
四国電力「伊方発電所地震動評価」、原子力規制委員会第14回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合資料I-1(2013.8.28)

13

## 耐震設計での地震動評価法

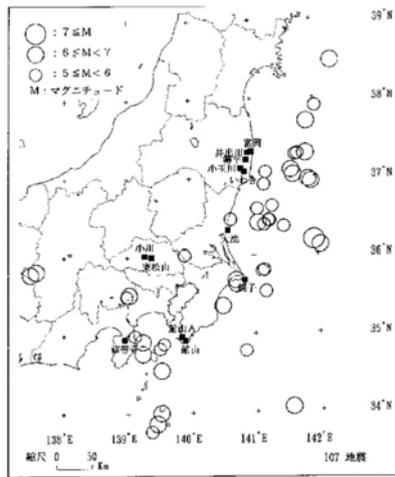
- ① 経験式による応答スペクトル (耐専スペクトル)
- ② 断層モデル・シミュレーション

(独)原子力安全基盤機構「岩盤における設計用地震動評価手法(耐専スペクトル)について」、耐震安全性に関する調査プロジェクトチーム第4回会合、耐PT第4-6-1号(2007.8.24)

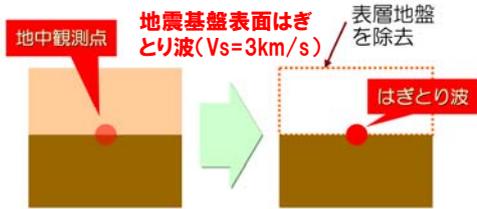


鳥取県西部地震M7.3(2000):賀祥ダム基礎部(Xeq=6km)での観測記録と耐専スペクトル 14

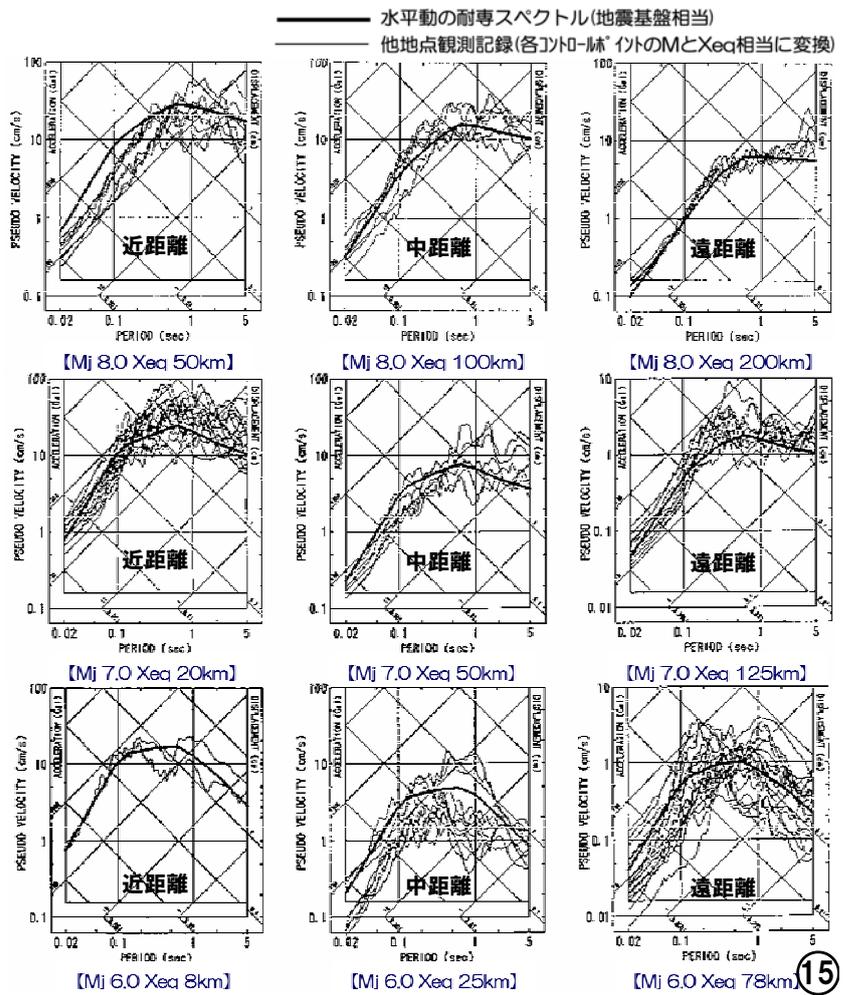
## 耐専スペクトル(地震規模と等価震源距離ごとにコントロールポイントを設定)



44地震・107地震観測記録  
プレート境界地震 32 (81記録)  
内陸地殻内地震 12 (26記録)



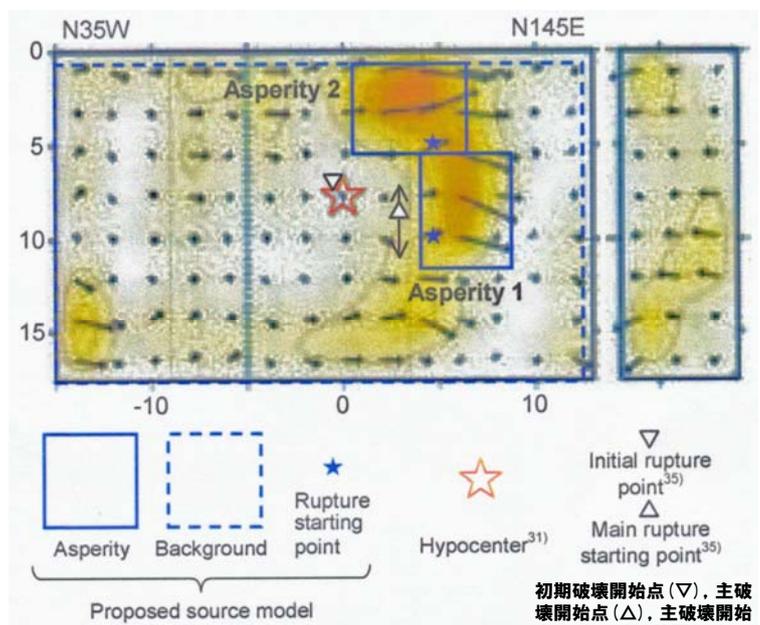
東京電力「耐専スペクトルの概要(1999年時点での内容)および「耐専スペクトルの適用性検討(内陸地殻内地震を対象とした追加検討内容)」、原子力安全委員会「応答スペクトルに基づく地震動評価」に関する専門家との意見交換会、資料第1-1号および1-2号(2009.5.22)



## 2000年鳥取県西部地震に見られる実際の断層破壊過程の複雑さ

池田隆明, 釜江克宏, 三輪 滋, 入倉孝次郎:  
経験的グリーン関数法を用いた2000年鳥取県西部地震の震源のモデル化と強震動シミュレーション, 日本建築学会構造系論文集, 第561号, pp.37-45(2002.11)

初期破壊は震源から出発し南東方向のやや深い方向に7km すすみ, そこで第二の破壊(主破壊)が始まった。主破壊開始点は震源の南東のすべり量大きい領域の下部に位置している。その深さは、初期破壊開始点が約7km であるのに対して、主破壊開始点は7.5~11kmの範囲にばらつく。



初期破壊開始点(▽), 主破壊開始点(△), 主破壊開始点のばらつきの範囲(↔)

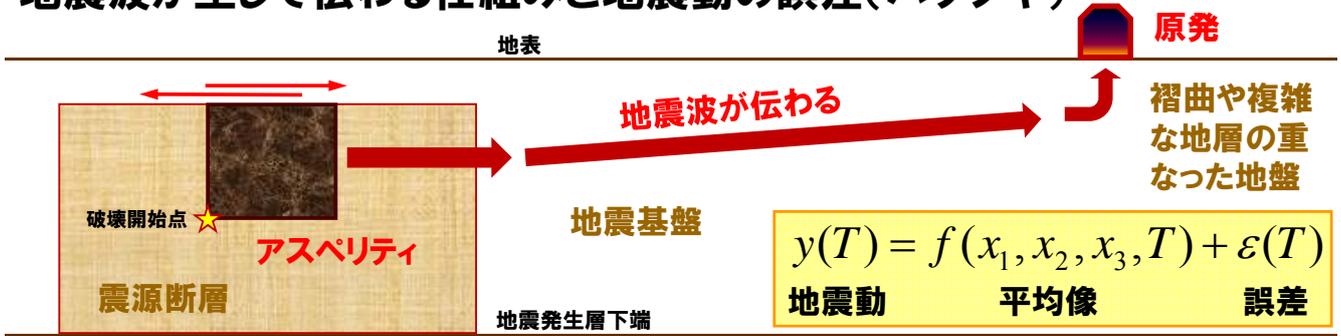
関口・岩田はインバージョン結果より、震源で始まった破壊はいったん主破壊開始点付近に移動し、そこから上向きおよび北西上向きに進む、つまり回り込んでいるような現象があるとしている。従って、震源から破壊が同心円状に伝播すると考えた場合と異なる破壊伝播を示す。このように鳥取県西部地震の震源の破壊過程は複雑であるため、震源モデルの設定においてもこの破壊過程を参考とした。

地震: プレート運動による歪みエネルギーが断層運動で一挙に解放される現象

- ➡ 歪みの大きさ・場所は一様ではない
- ➡ 破壊開始点、破壊伝播の速度・方向、ずれの大きさ・方向は一様ではなく、破壊場所によって発生する地震波形も異なる

➡ 地震動に「倍半分」以上のバラツキは必至 (16)

# 地震波が生じて伝わる仕組みと地震動の誤差(バラツキ)



$$y(T) = f(x_1, x_2, x_3, T) + \varepsilon(T)$$

震源特性  $x_1$

伝播経路特性  $x_2$

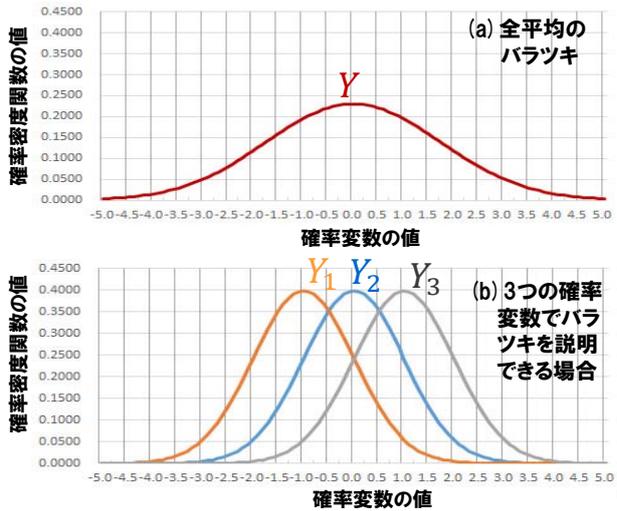
サイト増幅特性  $x_3$

誤差の一部を「地域性」で説明できても、誤差が多少小さくなるだけ！

正規分布  $N(\mu, \sigma^2)$  ( $\mu=0, \sigma^2=3$ ) に従う確率変数  $Y$  のバラツキ (標準偏差  $\sigma = \sqrt{3}$ ) を  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 1$  の3つの確率変数  $Y_1 \sim N(-1, 1^2), Y_2 \sim N(0, 1^2), Y_3 \sim N(1, 1^2)$  に分けて説明できる場合 (右図 (b)) とそうでない場合 (右図 (a)) の比較

○標準偏差で表されるバラツキは  $\sigma$  から  $\sigma_1$  などへ多少小さくできるだけである。

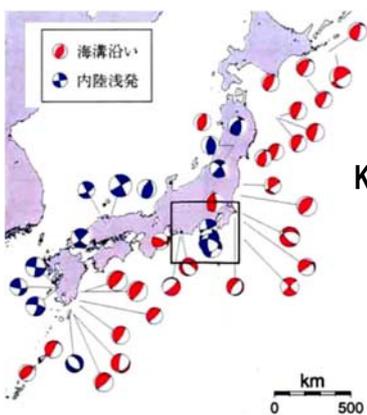
○偶然変動のバラツキ(制御不能)は減らせない！



⑬

## 耐専スペクトルの問題点

■主にプレート境界地震のデータセットに基づいて策定  
内陸地殻内地震に適用するには内陸補正が必要



⇒ 地震観測記録で補正  
または、  
内陸補正係数で補正

K-NET観測地震で適用性を検討

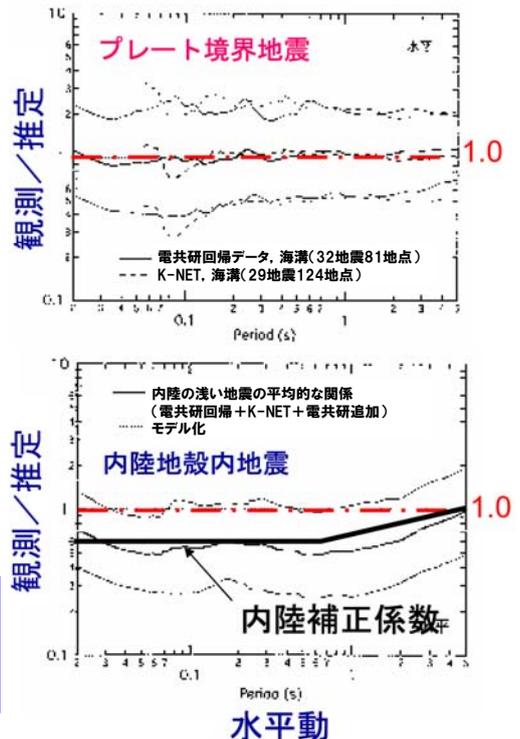
プレート境界地震29, 124記録  
: M5.5~7.0, Xeq 46~199km  
内陸地殻内地震15, 170記録  
: M5.5~7.3, Xeq 17~195km

2007年新潟県中越沖地震の教訓から、震源特性の不確かさとして「短周期の地震動レベル1.5倍化」を考慮  
⇒ 「内陸補正後1.5倍化」または「内陸補正無」で適用

■震源近傍やM8クラスの巨大地震のデータが少ない  
最近20年間の地震観測記録で策定し直すべき

2000年鳥取県西部地震(M7.3)  
2007年新潟県中越沖地震(M6.8)  
2008年岩手・宮城内陸地震(M7.2)など

⇒ 日本電気協会で見直しを検討中(原子力規制庁2014.7.29)



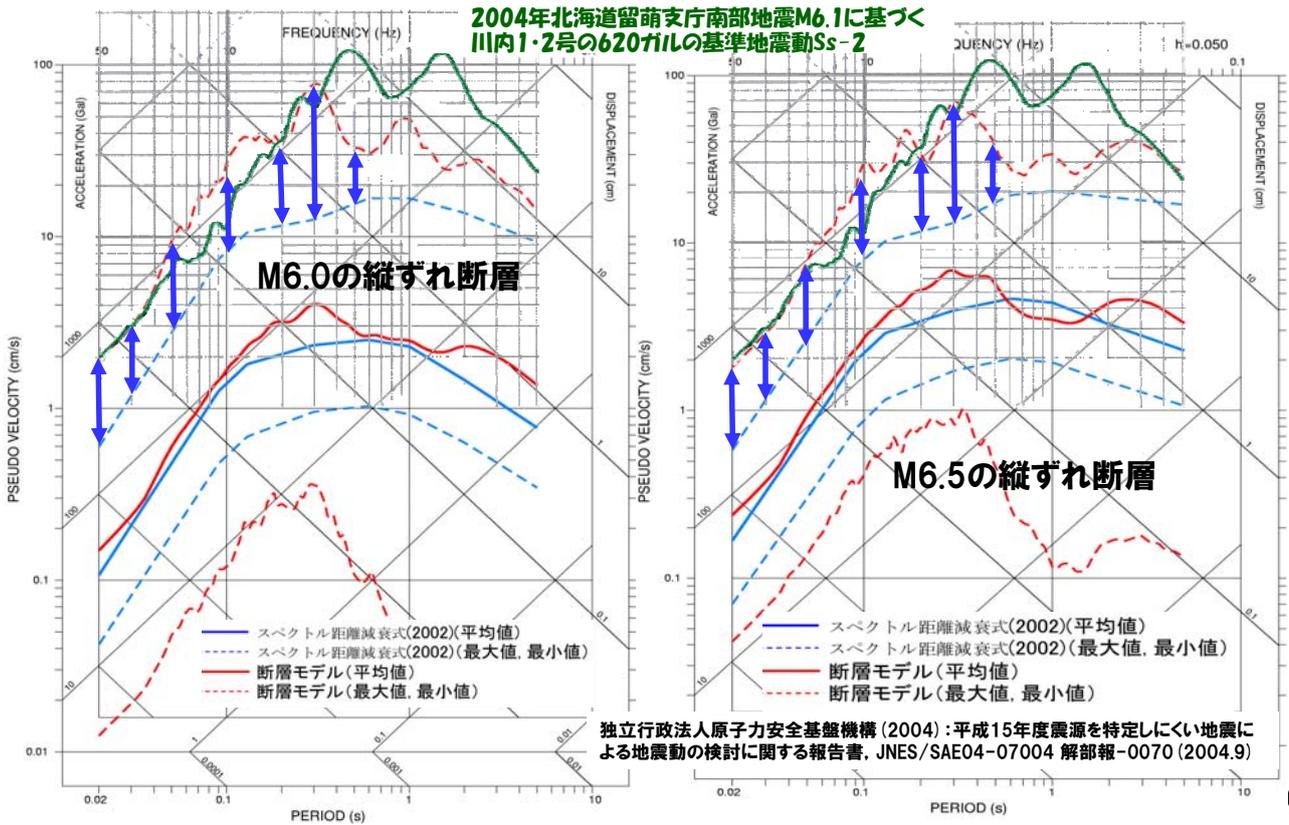
地震観測記録と耐専スペクトルによる推定値との比の平均とバラツキ (±1標準偏差)

東京電力「耐専スペクトルの概要(1999年時点での内容)」および「耐専スペクトルの適用性検討(内陸地殻内地震を対象とした追加検討内容)」, 原子力安全委員会「応答スペクトルに基づく地震動評価」に関する専門家との意見交換会, 資料第1-1号および1-2号(2009.5.22)

⑭

JNESによる耐専スペクトル(内陸補正後)と縦ずれ断層モデル(地震発生層3~20km)による地震動評価の比較

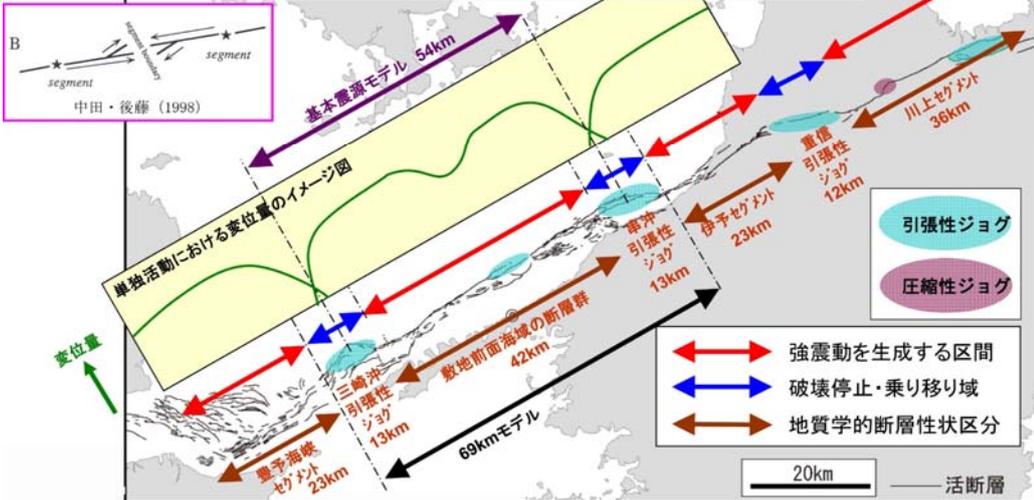
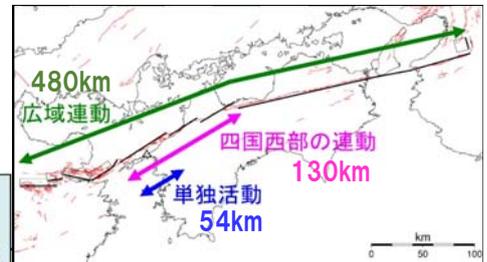
**平均値は大差ないが、最大値では差が大きく、耐専スペクトルは縦ずれ断層モデルの1/2~1/5、横ずれ断層では1/3~1/8に!**



## 69kmモデル:応答スペクトルでは想定し、断層モデルでは想定していない

### ①当初申請で想定したが今回想定しない理由(四国電力)

- 地質学的に評価される前面海域断層本体の長さは42km。
- その両端にはジョグが存在する。
- ジョグは破壊が停止し乗り移る領域であり、変位量が低減する。
- そして引張性ジョグでは断層が分岐して対置する構造がみられ、中田・後藤(1998)はセグメント境界を推定する有力な指標としている。(左下図)
- そこで、単独の活動としては、運動も考慮することを前提として、両端のジョグのほぼ中心から中心までの54kmを基本震源モデルとした。
- 69kmモデルはジョグの変位量大きい(ジョグで変位量が低減しない)モデルを想定することになる。
- これはジョグで破壊が停止せず、隣のセグメントに破壊が伝播(運動)することを意味する。



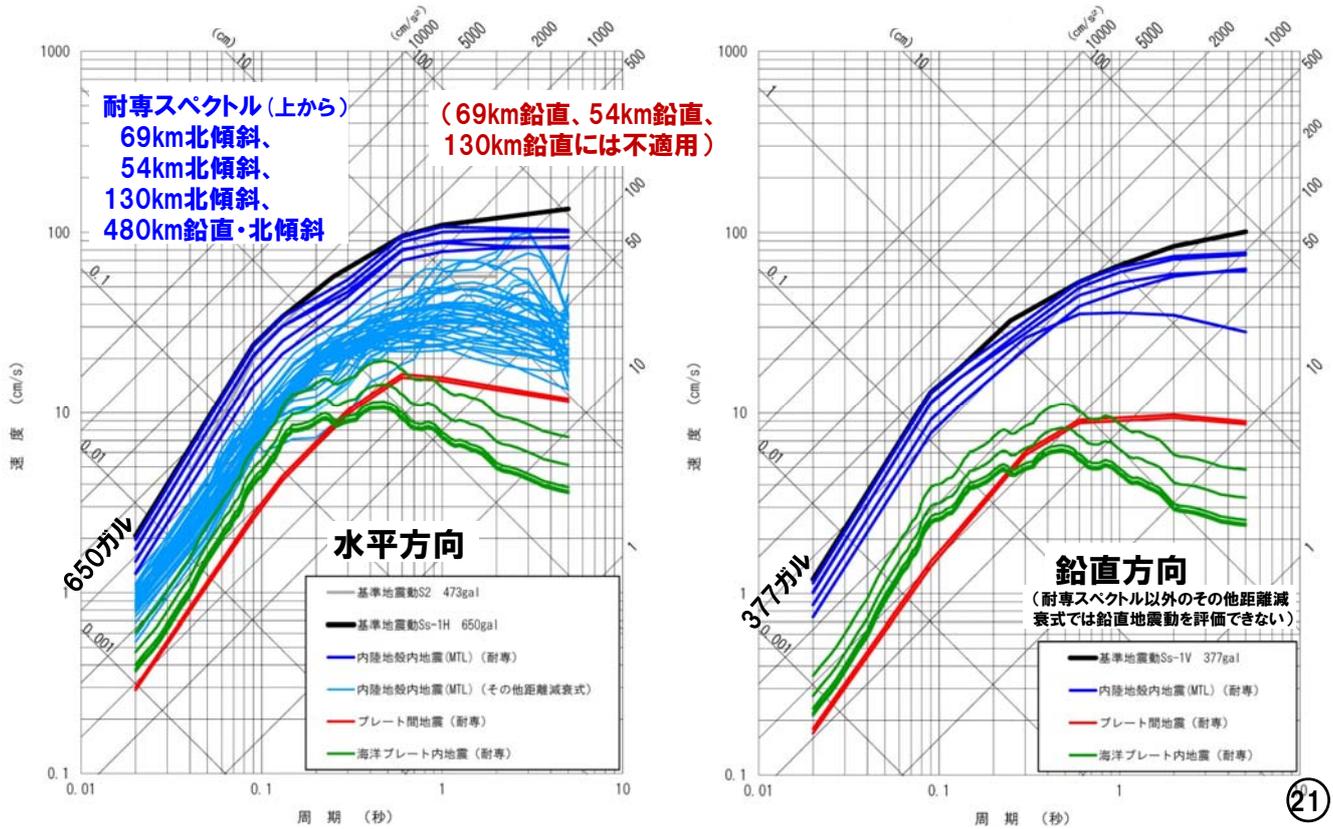
- ### ②
- I 当初申請での基本震源モデルの長さは54km
  - II 69kmは54kmから派生する不確かさケースのひとつとして設定
  - III そして、130km運動(カスケード)を不確かさとして想定
  - IV さらに、130km運動(スケールアップ)を基準地震動の妥当性確認の位置づけで実施

○当社は、69kmモデルは運動を想定しているものと考え、今回は、130km運動(スケールアップ)も不確かさの中で考慮し評価した。このため、69kmモデルは130km運動(スケールアップ)に包含されているとの認識

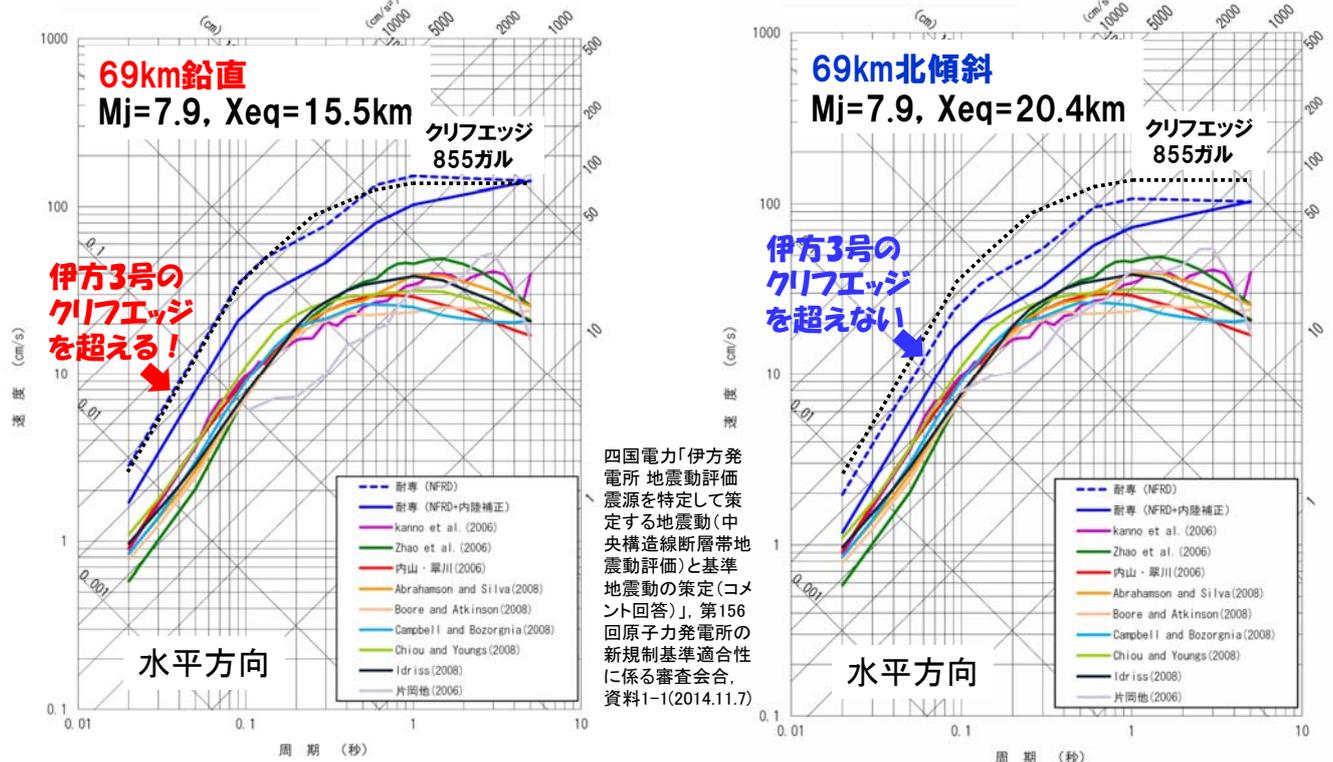
54kmと69kmのモデルに対し、100km以上の長大な断層に適用されるべきFujii-Matsu' uralによる応力降下量をなぜ採用できるのか?なぜ、修正レシピを使わない?

**基準地震動Ss-1は、耐専スペクトル(69km北傾斜)が申請時の570ガルを超えたため、650ガルへ引き上げられた！  
「69km鉛直」には、なぜ適用されないのか？**

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)



**伊方3号の耐専スペクトル: 69kmの北傾斜は適用、鉛直は適用外！**



耐専スペクトルの検証データがない範囲であり、内陸補正をしてもその他距離減衰式と大きく乖離する。  
**耐専スペクトルの適用は不適であり、その他距離減衰式で評価を行う。**

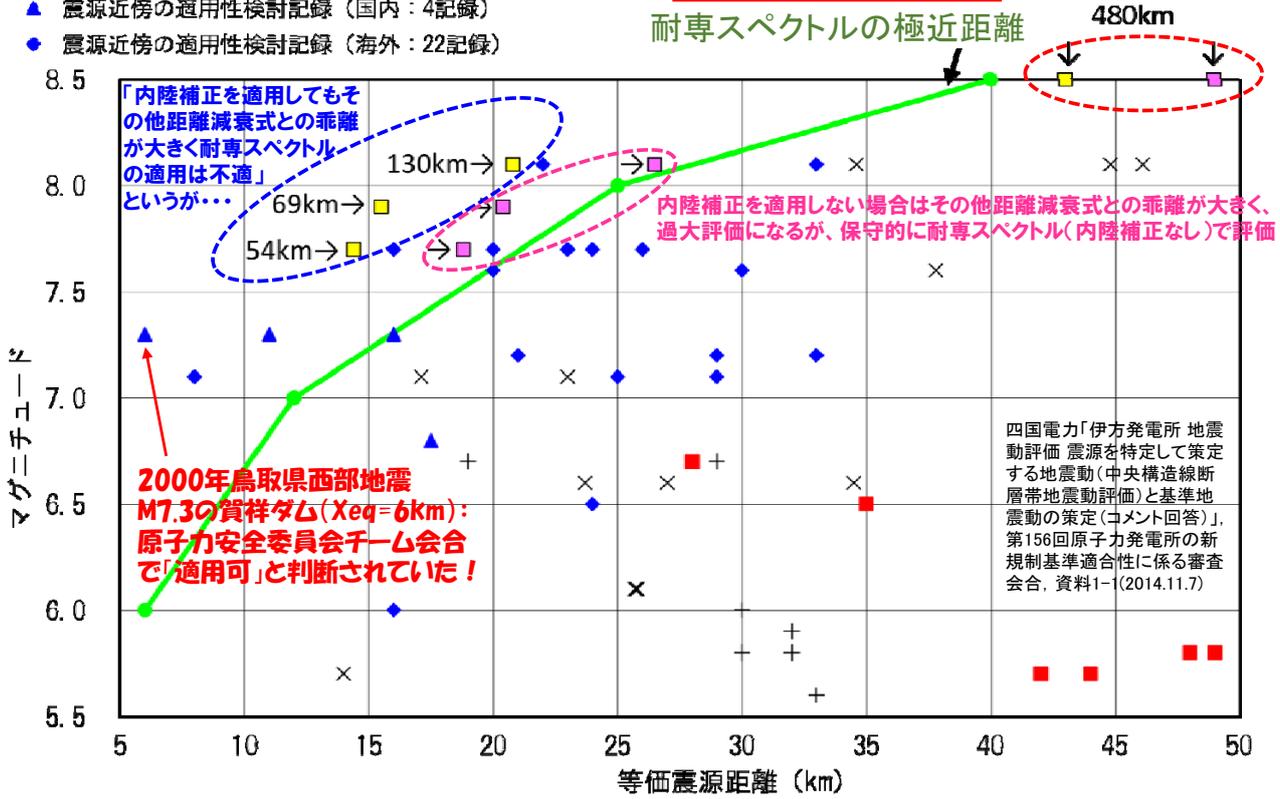
震源近傍の適用性を検証したデータがある領域であり、内陸補正をした場合には、その他距離減衰式と比較的整合的である。一方、内陸補正を適用しない場合は、その他距離減衰式との乖離が大きく、過大評価となっている。しかしながら、**保守的に内陸補正を見込まずに評価を行うこととする。**

# 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

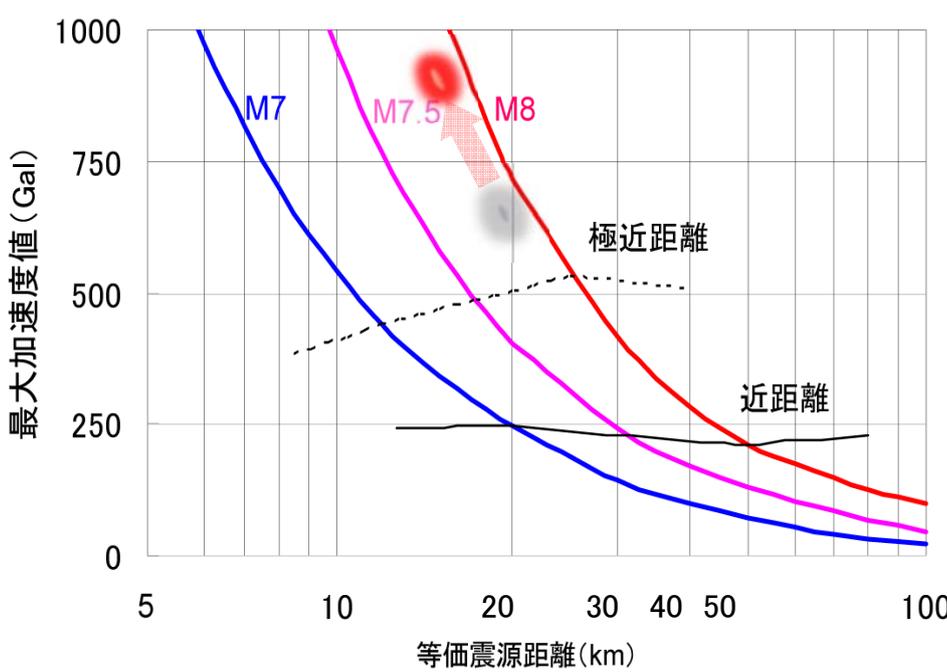
- 耐専回帰式作成に用いた観測記録 (107記録)
- + 耐専の適用性検討に用いた他地点観測記録 (国内: 23記録)
- × 耐専の適用性検討に用いた他地点観測記録 (海外: 14記録)
- ▲ 震源近傍の適用性検討記録 (国内: 4記録)
- 震源近傍の適用性検討記録 (海外: 22記録)

- 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)



## 伊方3号における「敷地前面海域69km鉛直」の耐専スペクトルは、900ガル程度でクリフエッジ(855ガル)を超える!



さらに、少なくとも2倍の偶然変動を考慮すれば、1,800ガル程度に!

四国電力は、「内陸補正を適用してもその他距離減衰式との乖離が大きく耐専スペクトルの適用は不適」と言うが、原子力安全委チーム会合で「適用可」とされている2000年鳥取県西部地震賀祥ダムではその他距離減衰式と比較していない。  
地前面海域69km鉛直ではクリフエッジを超え、北傾斜では超えないのが主因?

敷地前面海域の断層69km北傾斜(Mj=7.9, Xeq=20.4km) ➡ 650ガル程度  
69km鉛直 (Mj=7.9, Xeq=15.5km) ➡ 900ガル程度

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); 関西電力「高浜発電所 地震動評価について」, 第131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1-3(2014.8.22)

**耐専スペクトルは国内地震動評価の平均を表しており、倍半分(±1σ強)以上の大きなバラツキを考慮しなければ耐震安全性を確保できない!**

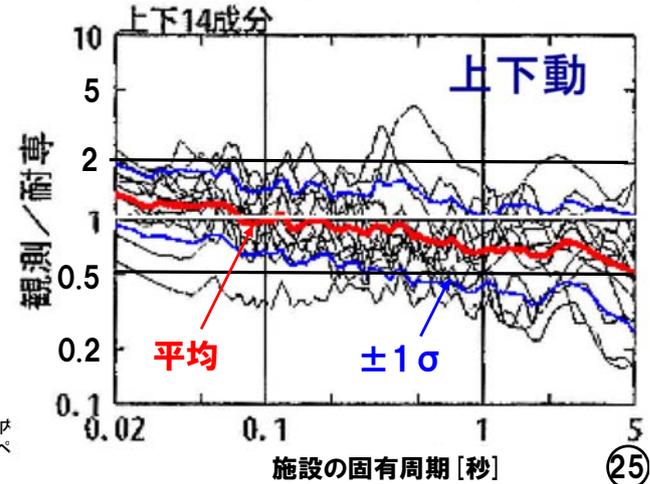
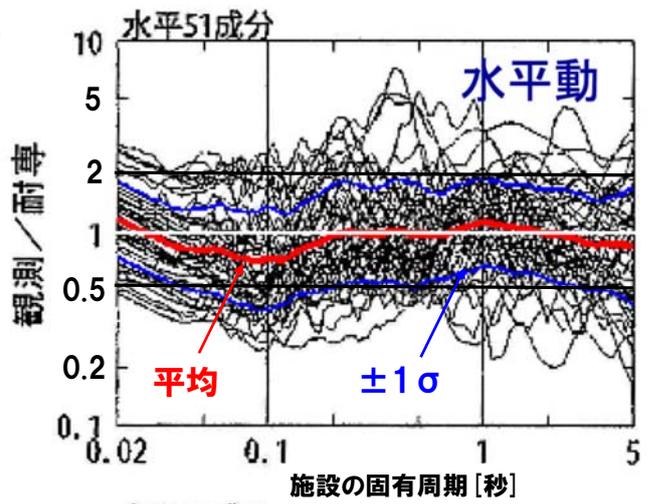
国内外の内陸地殻内地震による震源近傍の観測記録 (M6.0~8.1, Xeq=6~33km, 水平51記録, 上下14記録) の耐専スペクトル (内陸補正有) との残差 (バラツキ) の平均と標準偏差σ

↓ (細線:各地震観測記録に対する残差, 赤実線:残差の平均, 青実線:平均から±1σ(「倍半分」弱))

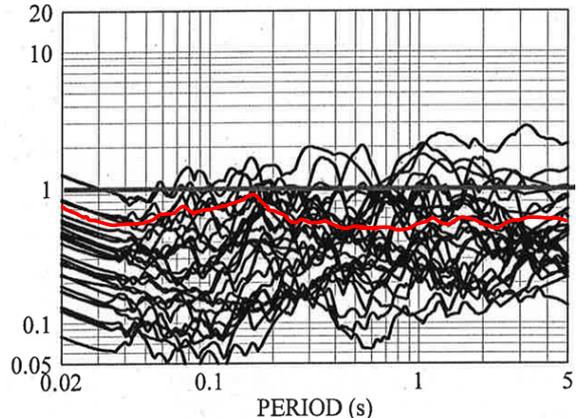
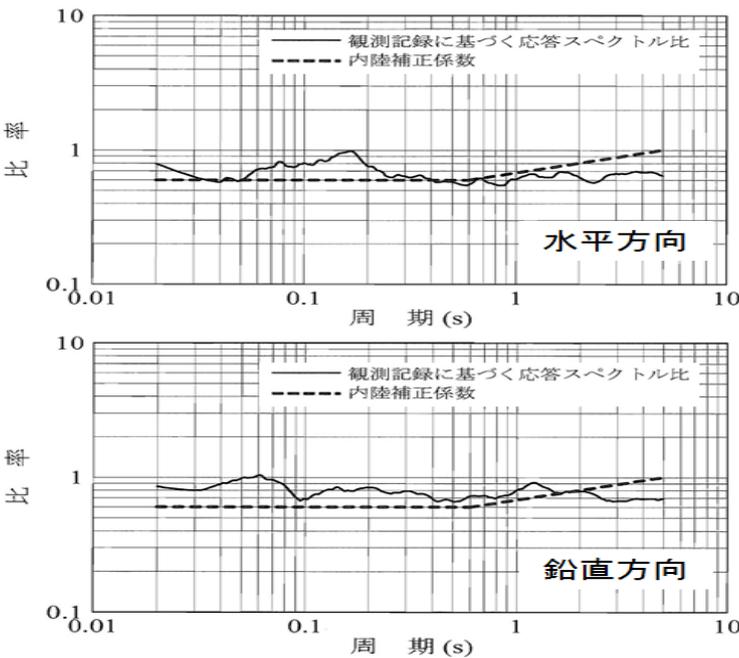
新潟中越沖地震や岩手宮城内陸地震では1,690~2,000ガルの地震動が観測されており、耐専スペクトルのバラツキをも考慮すれば、少なくとも2倍の偶然変動を考慮すべき!

伊方3号: 900ガル程度 ⇨ 1,800ガル程度  
 ➡ **クリフエッジを超える!**  
 伊方3号(855ガル)

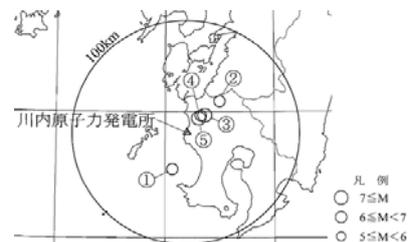
東京電力(2009):耐専スペクトルの適用性検討(内陸地殻内地震を対象とした追加検討内容),原子力安全委員会耐震安全性評価特別委員会地震・地震動評価委員会「応答スペクトルに基づく地震動評価」に関する専門家との意見交換会,資料第1-2号(2009.5.22)



**川内原発敷地内地震観測記録の応答スペクトル比の平均は国内平均より大きく、上側へのバラツキは約2倍!**



川内原発の敷地地盤で得られた観測記録の応答スペクトルと耐専スペクトルとの比 (川内判決主文別紙図④p.294)

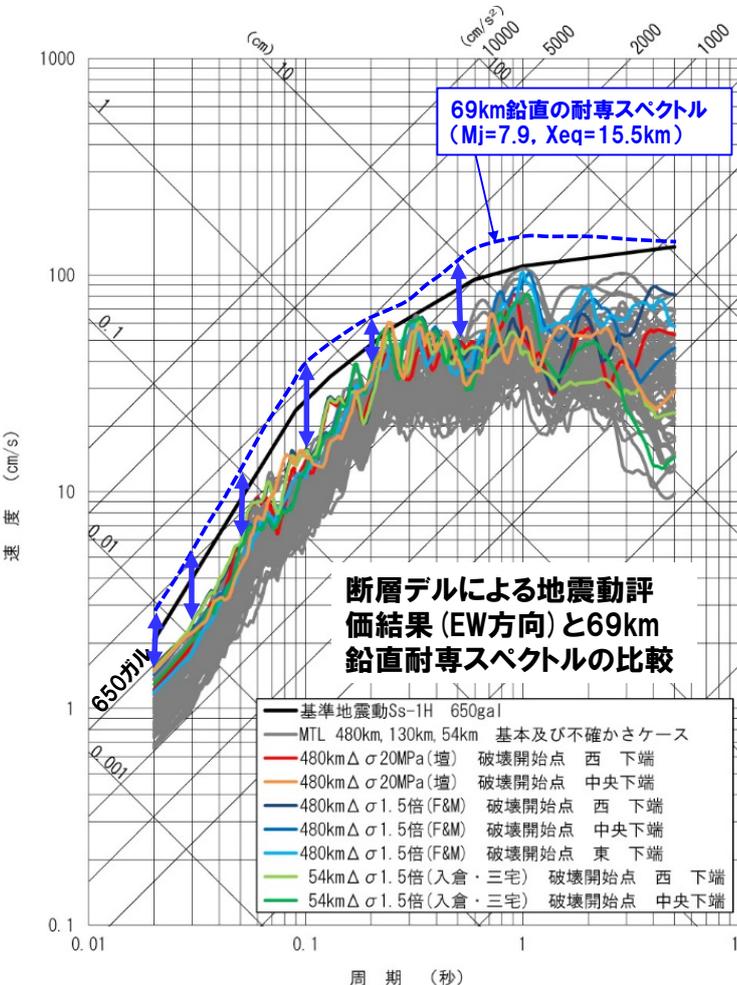
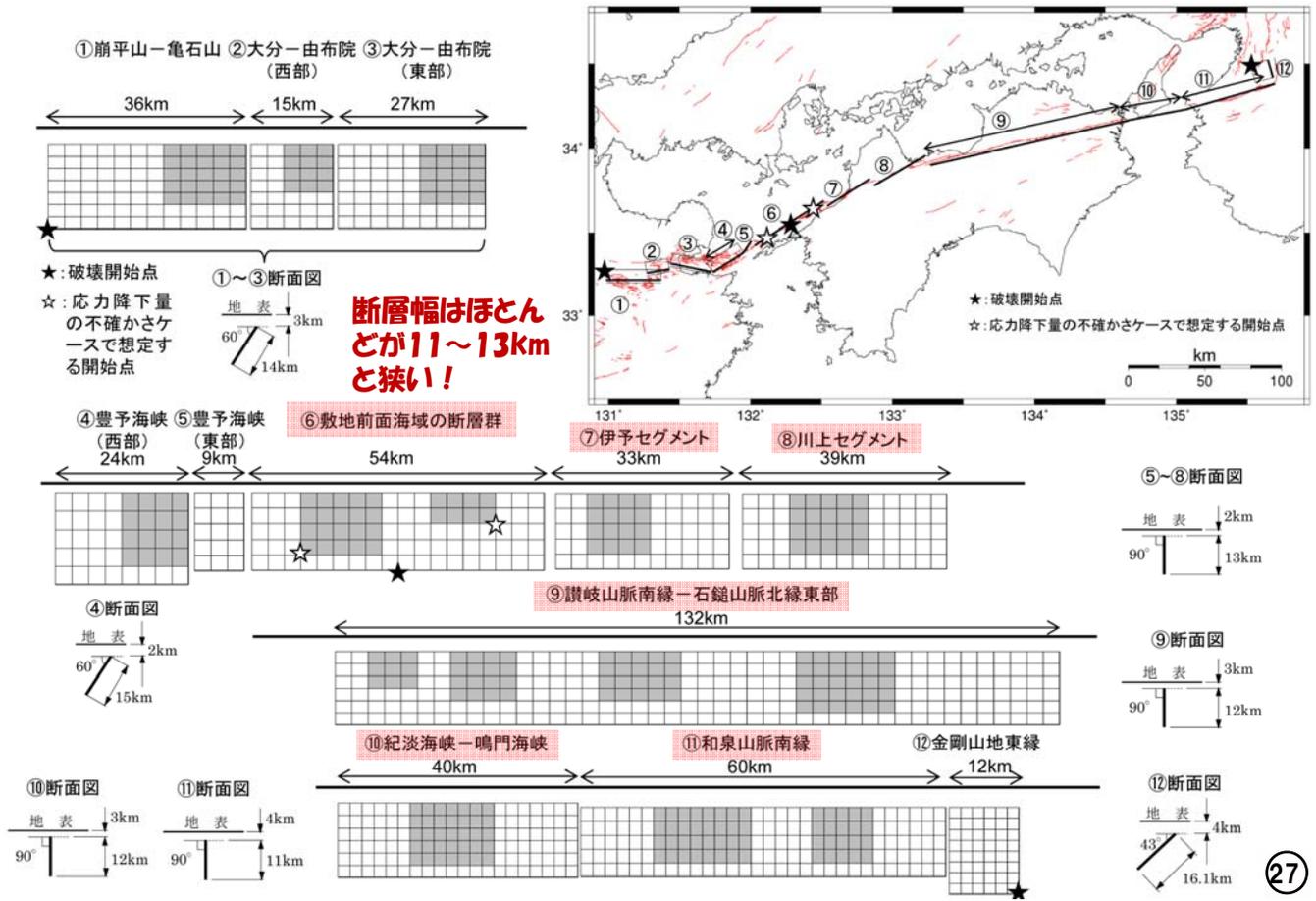


番号	地震名	発生日時
①	九州西側海域の地震	1984年8月15日 3時30分頃
②	鹿児島県北西部の地震	1994年2月13日 2時6分頃
③	鹿児島県北西部地震:本震	1997年3月26日 17時31分頃
④	鹿児島県北西部地震:余震	1997年4月3日 4時33分頃
⑤	鹿児島県北西部地震:本震	1997年5月13日 14時38分頃

川内原発内地震観測記録に基づく耐専スペクトルの補正係数 (九州電力(2013):川内原子力発電所第1・2号機の設置変更許可申請書,添付書類六(2013.7.8))

敷地観測記録には地域性の違いは少なく、上側への約2倍のバラツキは、その大半が偶然変動と見られる!

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



**断層モデルによる全地震動評価結果(480km、130km、54kmの基本ケース+不確かさ考慮)は、69km鉛直耐専スペクトル(不適用)の1/2程度!**

**壇ら(2011)の手法(断層幅15kmの解析)**  
(480, 130, 54kmモデルに適用)  
武村とMurotaniに合うS-Mo関係式  
 $\Delta\sigma=3.4\text{MPa}$ ,  $\Delta\sigma_a=12.2\text{MPa}$

**Fujii & Matsu'ura (2000)の手法(同上)**  
(480, 130kmモデルに適用)  
武村とScholzに合うS-Mo関係式  
 $\Delta\sigma=3.1\text{MPa}$ ,  $\Delta\sigma_a=14.4\text{MPa}$

**入倉・三宅(2001)の手法**  
(54kmモデルに適用)  
北米中心データに合うS-Mo関係式  
 $\Delta\sigma=3.1\text{MPa}$ ,  $\Delta\sigma_a=14.4\text{MPa}$

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); 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規制基準適合性に係る審査会合, 資料2-1(2014.12.12)

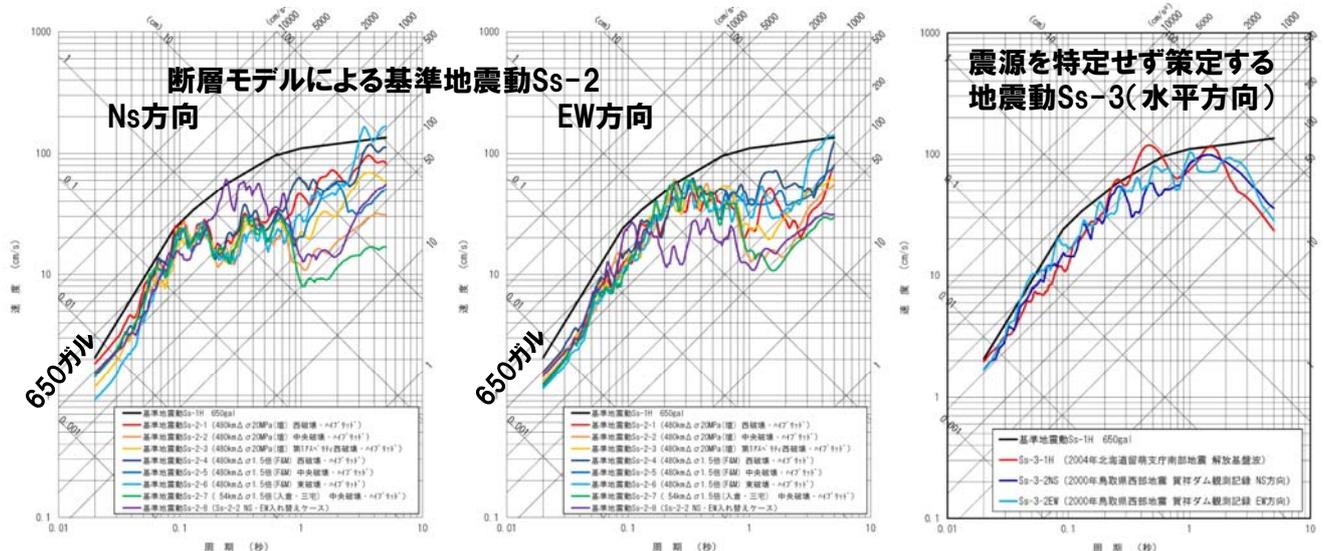
# 伊方3号の中央構造線断層帯に関する断層モデルによる地震動評価は、耐専スペクトル(69km鉛直:水平方向900ガル程度)の1/2程度にすぎず、M6.1の地震観測記録(解放基盤波)より小さい!

[ガル]

基準地震動Ss		NS方向	EW方向	UD方向
Ss-1	応答スペクトルに基づく手法による設計用模擬地震波	650		377
Ss-2-1	敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯)の断層モデルによる480km連動・壇の手法・ $\Delta\sigma$ 20MPa・西破壊	579	390	210
Ss-2-2	同 480km連動・壇の手法・ $\Delta\sigma$ 20MPa・中央破壊	456	478	195
Ss-2-3	同 480km連動・壇の手法・ $\Delta\sigma$ 20MPa・第1アスぺリティ西破壊	371	418	263
Ss-2-4	同 480km連動・F&Mの手法・ $\Delta\sigma$ 1.5倍・西破壊	452	494	280
Ss-2-5	同 480km連動・F&Mの手法・ $\Delta\sigma$ 1.5倍・中央破壊	452	388	199
Ss-2-6	同 480km連動・F&Mの手法・ $\Delta\sigma$ 1.5倍・東破壊	291	360	201
Ss-2-7	同 54km・入倉・三宅の手法・ $\Delta\sigma$ 1.5倍・中央破壊	458	371	178
Ss-2-8	Ss-2-2のNSとEWの入れ替え	478	456	195
Ss-3-1	2004年北海道留萌支庁南部地震M6.1の解放基盤波	620		320
Ss-3-2	2000年鳥取県西部地震M7.3の賀祥ダム(監査廊)の観測記録	528	531	485

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)

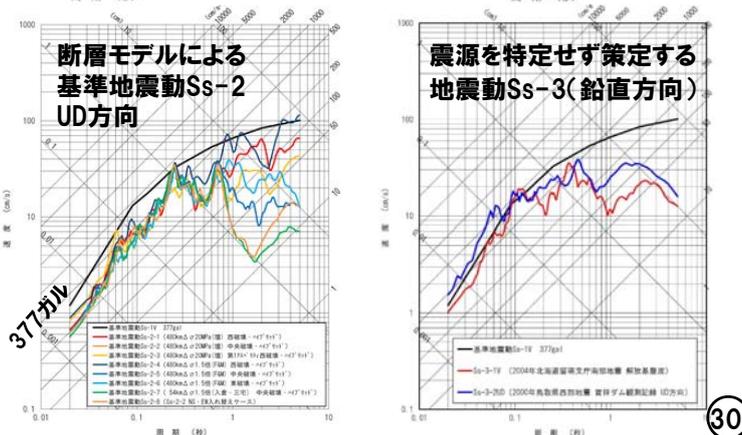
29



断層モデルによる基準地震動Ss-2-1~8は、留萌支庁南部地震M6.1や鳥取県西部地震M7.3と比べても小さい!

なぜ? ⇒ 断層モデルのベースとなる地震データ(母集団)の違い  
解析モデル(断層幅)の違い  
を十分検討し直すべきだ!

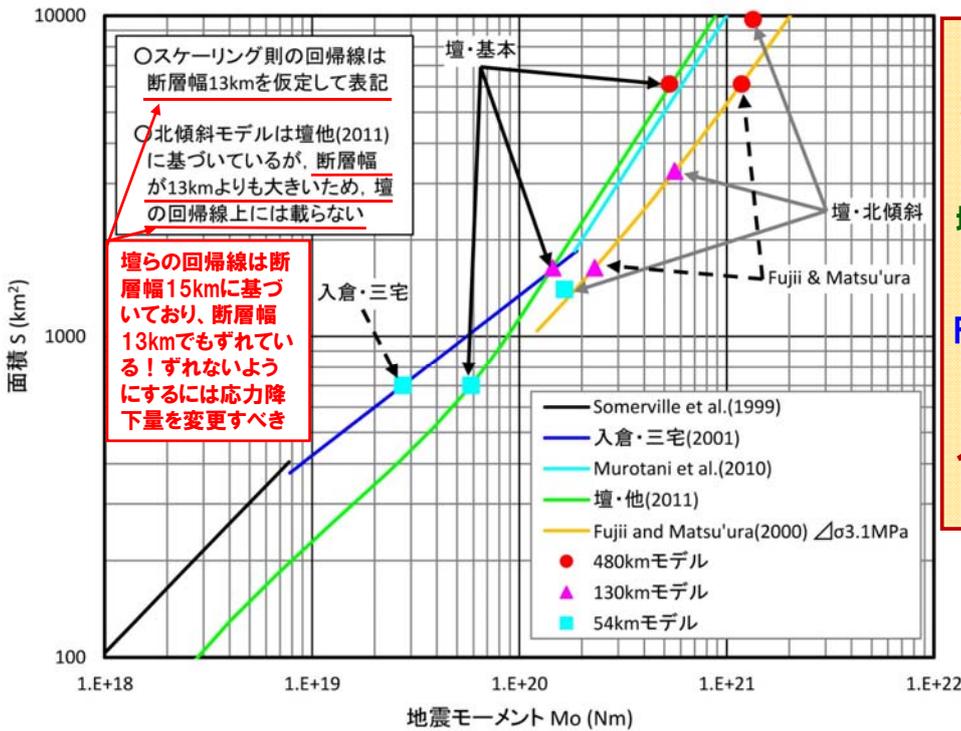
基準地震動Ss-2は、周期0.6秒以上の長周期側を波数積分法で算出し、接続周期0.8秒で断層モデルによる評価結果とハイブリッド合成して作成している: 四国電力「伊方発電所 地震動評価 震源を特定して策定する地震動(中央構造線断層帯地震動評価)と基準地震動の策定(コメント回答)」, 第156回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合, 資料1-1(2014.11.7)



30

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。
- 本検討では, ひとつの断層帯に対して異なる長さのモデルを構築するため, 同一の手法で一連に評価を行うことは重要であり, 壇の手法を基本とし, スケーリング則の違いを不確かさとして評価することは適切と考える。



**S-Mo関係式の違いは、地震データ(母集団)の違いによる:**

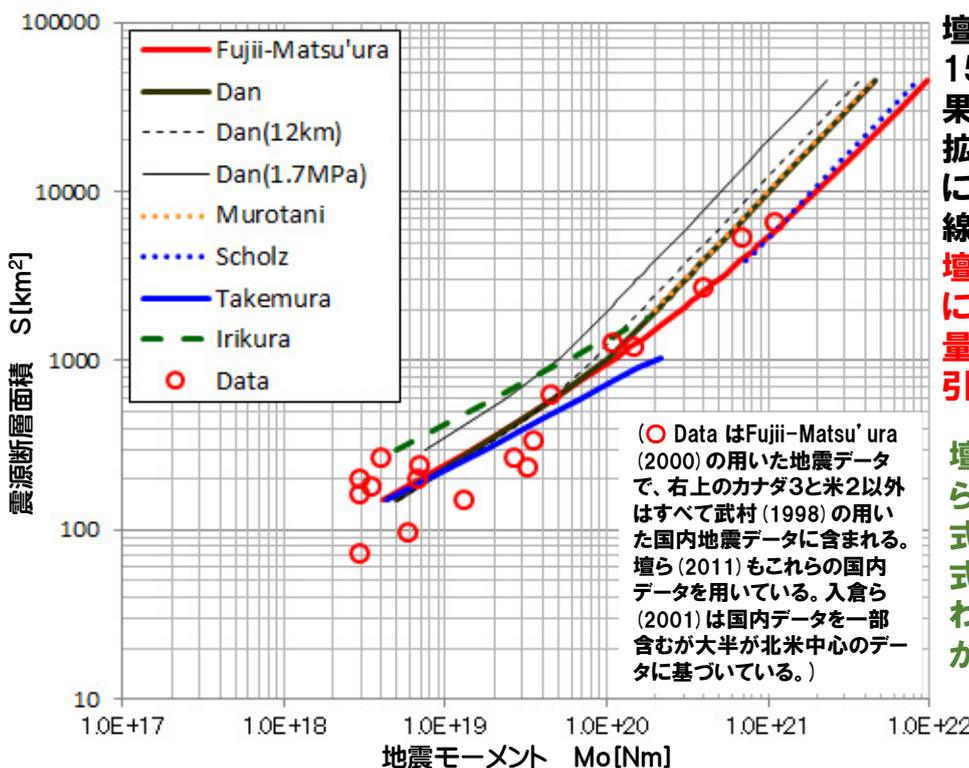
壇ら(2011)  
武村とMurotani et. al

Fujii & Matsu'ura (2000)  
武村とScholz

入倉・三宅(2001)  
北米中心データ

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) (31)

壇ら(2011)およびFujii-Matsu'ura(2000)と他のS-Mo関係式との関係



壇らはIriwakaによる断層幅15kmのシミュレーション結果を断層幅12kmの場合に拡張適用しているが、単純に $W_{max}=12km$ とすると、破線のようにかなりずれてくる。壇らの太い実線に合わせるには、断層平均応力降下量を3.4MPaから4.3MPaに引き上げなければならない。

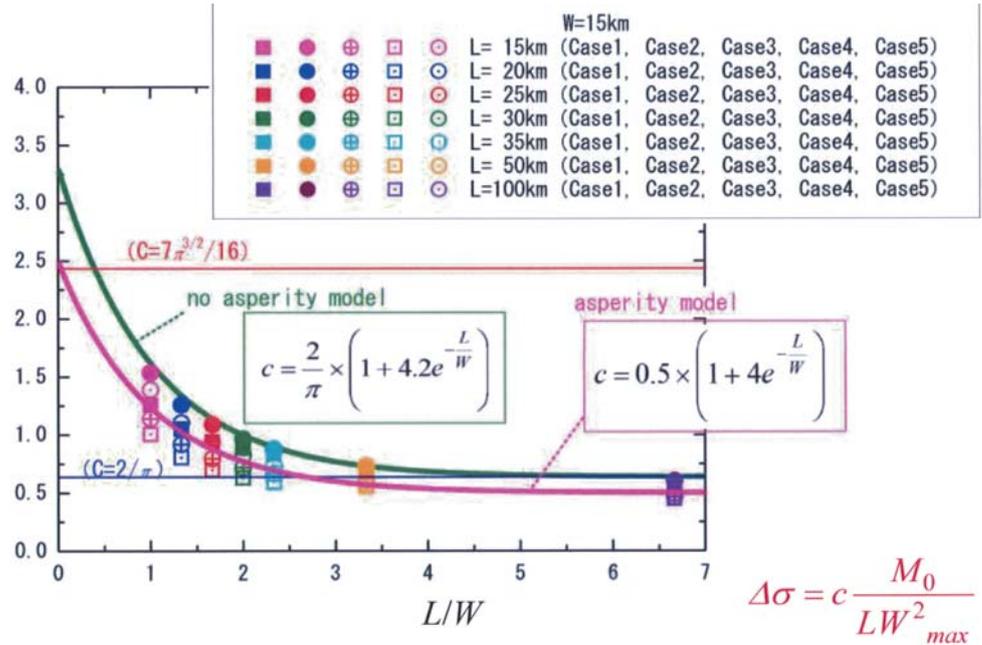
壇らは武村式とMurotaniらの式に合うように回帰式を求めているが、武村式の代わりに入倉式に合わせると細線のようになり、かなりずれてしまう。

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  
 $(\Delta\sigma, \Delta\sigma_a) = (3.4MPa, 12.2MPa) \iff (4.3MPa, 19.5MPa) \quad (S_a/S = 0.22)$  (32)

# Irie et al. (2010) による動学的断層破壊シミュレーション結果

Irie et al. (2010) は  $W_{max} = 15km$  として 動学的断層破壊シミュレーションを行っているが、壇らの対象とした地震データの断層幅は、国内9地震平均で **12.0km** と小さい。

⇒ シミュレーションをやい直すか、断層幅に合わせて応力降下量を変えるべき!



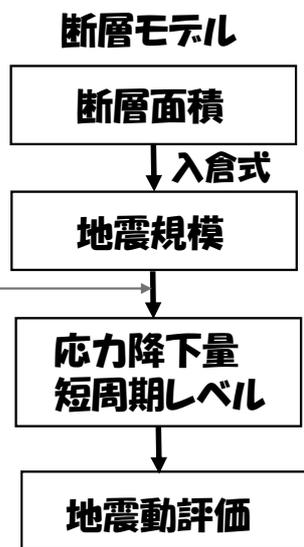
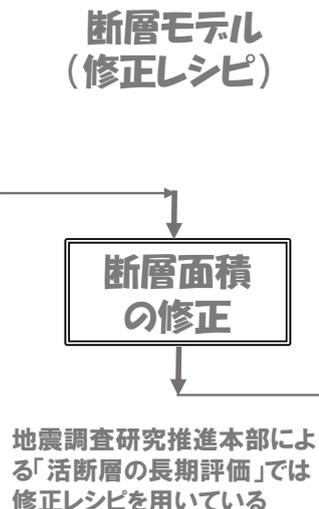
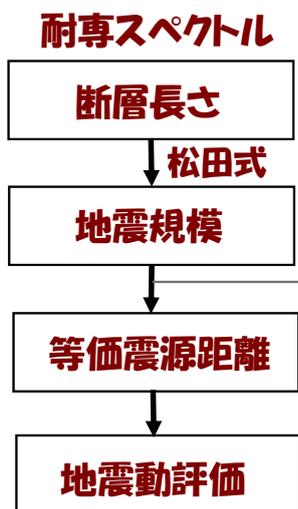
断層平均応力降下量は、国内9地震平均5.1MPa、海外13地震平均3.7MPa、**22地震平均4.3MPa**だが、壇ら(2010)は幾何平均を用いて**3.4MPa**と小さく設定し、アスペリティ平均応力降下量を次式から**12.2MPa**と設定している。

$$\Delta\sigma_a = \frac{A^2 W_{max}}{16\pi\beta^4 M_0 (0.5 + 2 \exp(-S/W_{max}^2))}$$

Sa/S面積比 = 3.4 / 12.2 = 0.279

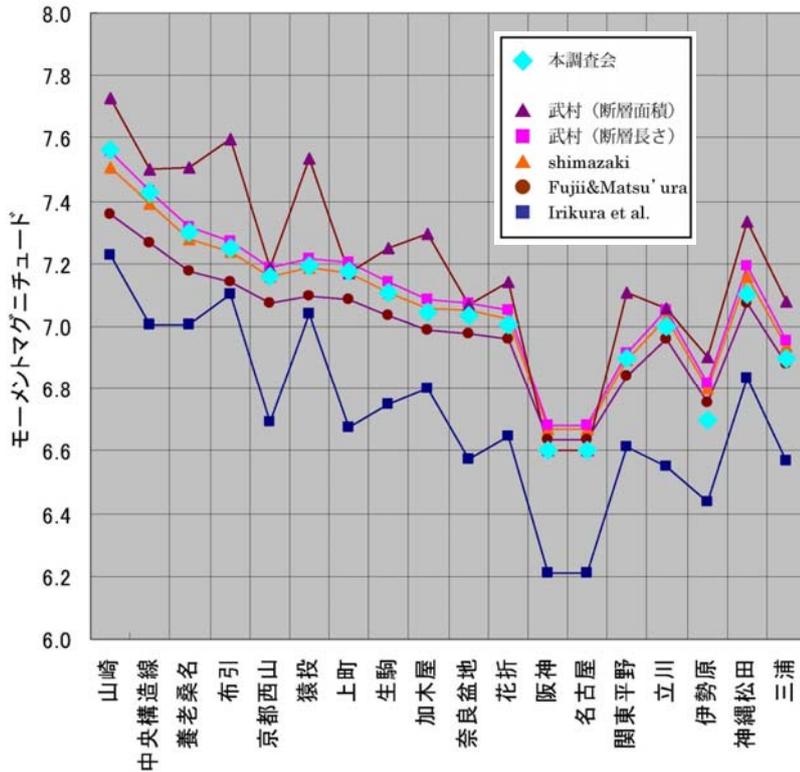
これは 0.405(Case1), 0.448(Case2), 0.261(Case3), 0.206(Case4), 0.322(Case5) のほぼ中央 (33)

## 断層モデル(入倉式)では地震規模が1/2以下へ過小評価される!



四国電力は修正レシピを用いず、54kmモデルでは入倉式で地震規模を過小設定!  
さらに、断層幅の違いを無視して、壇らやFujii-Matsu'uraの手法をそのまま適用し、応力降下量を過小評価!

# 中央防災会議による地震規模の評価は Shimazaki式や武村式(断層長さ)に近い



中央防災会議第26回「東南海、南海地震等に関する専門調査会」参考資料：中部圏・近畿圏の内陸地震の震度分布の検討資料集，図2.3.2(2006.12.7)

**地震調査研究推進本部も松田式(活断層の長さではなく震源断層の長さで評価、武村式(断層長さ)とほぼ同等)で活断層による地震規模を評価(長期評価)**

**耐震設計では地震と津波で使い分け**

**津波高さの評価：  
武村式(断層長さ)**

**地震動の評価**

**断層モデル：  
入倉式**

**応答スペクトル：  
松田式**

## 活断層の長さから推定する地震モーメント Predicted seismic moment based on the length of active fault

島崎 邦彦<sup>1\*</sup>

SHIMAZAKI, Kunihiko<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京大学  
<sup>1</sup> University of Tokyo

**入倉式(断層モデル)による地震規模過小評価を学会で発表!**

Japan Geoscience Union Meeting 2015

(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)

©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

<http://www2.jggu.org/meeting/2015/session/PDF/S-SS28/SSS28-07.pdf>

2015/05/28 セッションS-SS28「活断層と古地震」で発表

地震モーメントを活断層の長さから予測する場合、過小評価となる可能性があり注意が必要である。予測には、震源断層の長さ(あるいは面積)と地震モーメントとの関係式が使われるが、地震発生前に使用できるのは活断層の情報であって、震源断層のものではない。地震モーメントは断層モデルの基本物理量であり、その予測値は、将来発生する地震の揺れや津波の高さなどの予測に使われることが多い。このため地震モーメントの過小予測は、災害の過小想定につながりかねない。

日本の陸域およびその周辺の地殻内浅発地震(マグニチュード7程度以上)について、断層長 $L$ (m)と地震モーメント $M_0$ (Nm)との関係式をわかりやすさを重視して表現すると次のようになる。

- (1)  $M_0 = 4.37 \times 10^{10} \times L^2$  (武村, 1998)
- (2)  $M_0 = 3.80 \times 10^{10} \times L^2$  (Yamanaka & Shimazaki, 1999)
- (3)  $M_0 = 3.35 \times 10^{10} \times L^{1.95}$  (地震調査委, 2006)
- (4)  $M_0 = 1.09 \times 10^{10} \times L^2$  (入倉・三宅, 2001)

**原子力規制委員長代理としての許可処分に疑問を抱かせる! 現役時代になぜ問題提起できなかったのか?**

なお、入倉・三宅(2001)では地震モーメントと断層面積との関係式が提案されているが、厚さ14kmの地震発生層中の垂直な断層を仮定し(4)を導いた。断層の傾斜角を60度とした場合には、係数が1.09ではなく1.45となる。(4)と他との差異は顕著で、同じ断層長で比較すると、地震モーメントは4倍程度異なる。一方、同じ震源モーメントで比べれば、断層長が2倍程度異なる。

上記の関係式中の $L$ として、活断層の長さを用いた場合の地震モーメントの予測値と、活断層で発生した地震の地震モーメントの観測値とを1891年濃尾地震、1930年北伊豆地震、2011年4月11日福島県浜通りの地震で比較し、さらに1943年鳥取地震、1945年三河地震、1978年兵庫県南部地震で検討した。例は少ないが(4)を用いると地震モーメントが過小評価される傾向が明らかとなった。

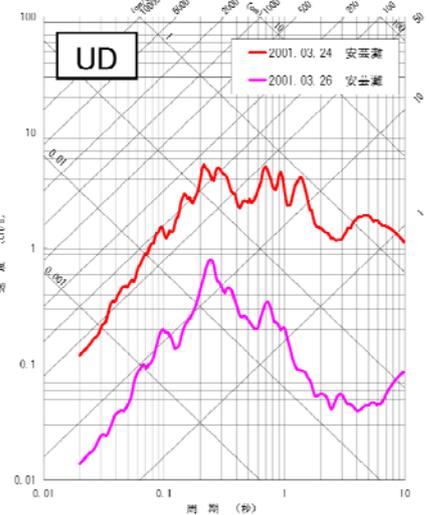
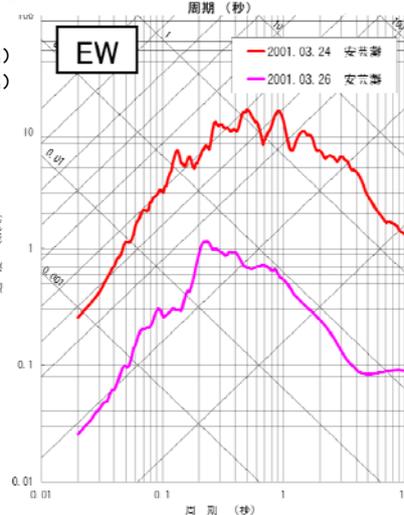
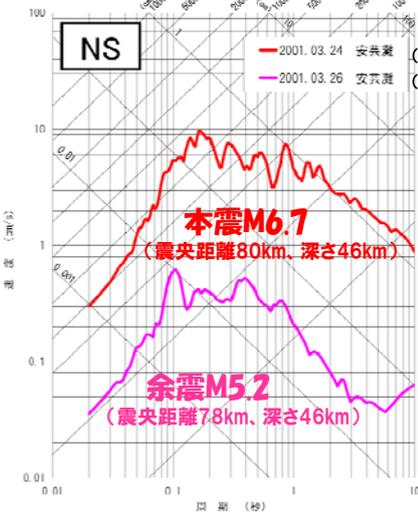
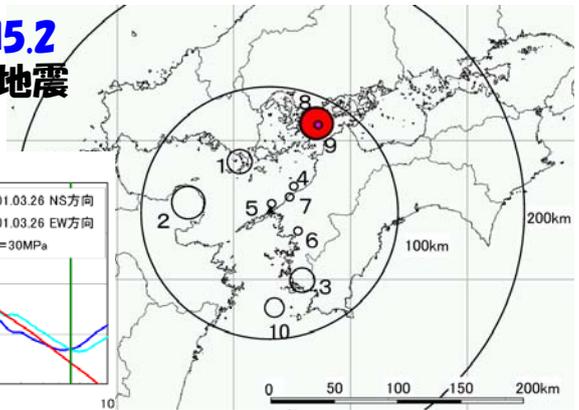
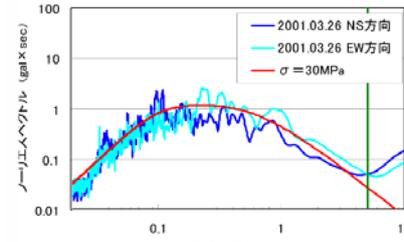
地震本部の強震動予測では、いわゆる改正レシピが使われており、(3)によって地震モーメントが予測され、(4)のもととなる入倉・三宅(2001)の式から断層面積が推定されている。昨年9月に発表された国土交通省の日本海における大規模地震に関する調査検討会の報告書では、日本海の「最大クラス」の地震による津波想定において、入倉・三宅(2001)の式により地震モーメントが推定されている。一方、原子力発電所の津波推定では(1)が使われている。

# 2001年芸予地震M6.7(スラブ内地震)の余震M5.2(応力降下量30MPa)を内陸地殻内地震の要素地震(経験的グリーン関数)に使っている!



内陸地殻内地震の断層モデル応力降下量が小さいため、要素地震の地震波が小さく評価される!

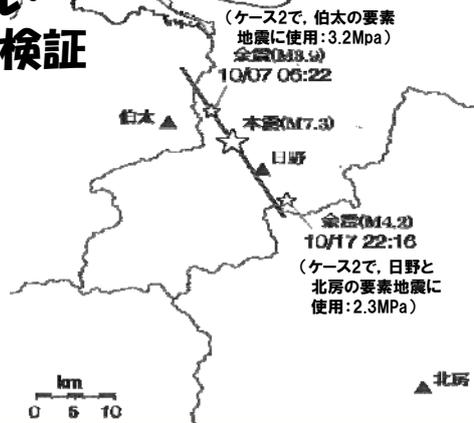
○余震のフーリエスペクトル



伊方原発敷地での地震観測記録から求めた解放基盤表面(標高+10m, Vs=2600m/s)はざとり波

四国電力「伊方発電所地震動評価」、原子力規制委員会第14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(2013.8.28) 37

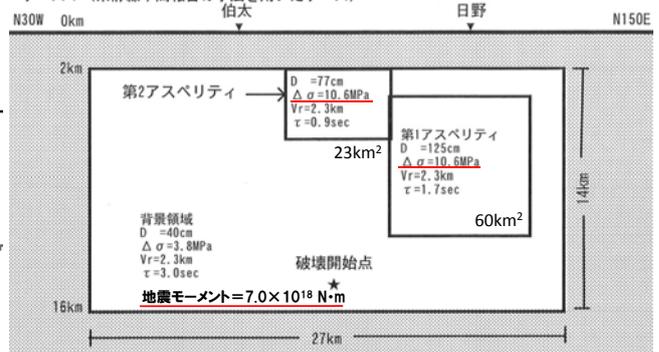
## 地震調査研究推進本部による鳥取県西部地震の観測記録を用いた断層モデル・レシピの検証



池田ら(2002)の再現モデルでは、地震規模はケース2と同じだが、アスペリティは( $S_a$  [km<sup>2</sup>],  $\sigma_a$  [MPa],  $\tau$  [sec],  $V_r$  [km/s]) = (28.8, 28.0, 0.6, 2.5), (28.8, 14.0, 0.6, 3.0)とかなり違い、第1アスペリティ内で破壊開始後、同心円状破壊伝播が第2アスペリティ内の破壊開始点に到達後、そこから再び同心円状に破壊伝播が進むとして解析している。

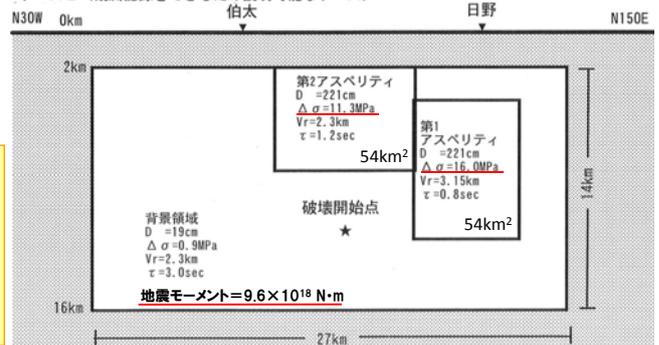
### ケース1:ハイブリッド合成法(統計的グリーン関数法+波数積分法)

ケース1(糸静線中間報告の手法を用いたケース)



### ケース2:経験的グリーン関数法(要素地震に左図の余震を使用)

ケース2(観測記録をできるだけ説明可能なケース)

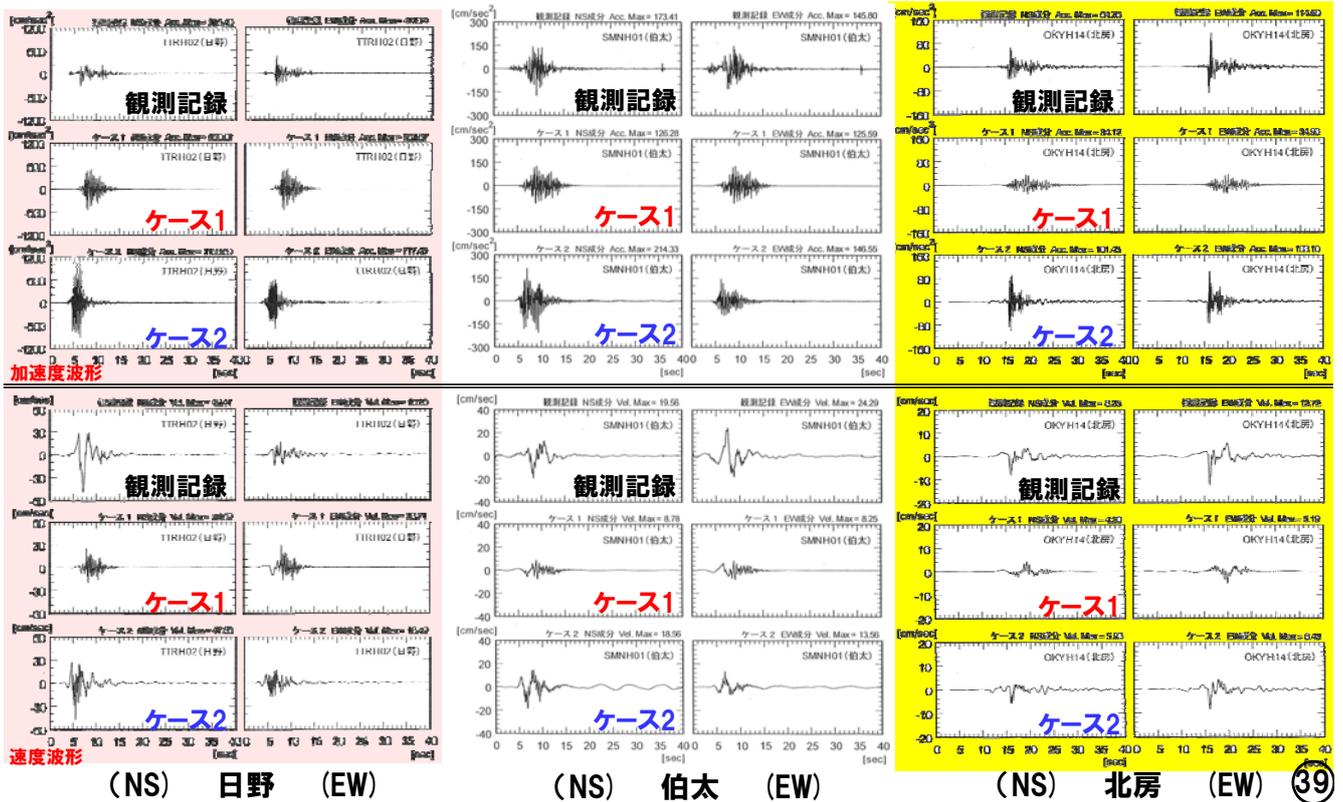


・ケース1とケース2の試算結果の違いは、北房(ほくぼう)で特に大きい。北房は断層走向の延長線上に位置し、断層破壊の進行方向の影響が特に強い領域に当たる。したがって、震源特性によるパラメータの違いがこうした領域に敏感に影響を与えることを意味する。

# 鳥取県西部地震の観測記録と断層モデル・レシピ(Case 1・2)の比較

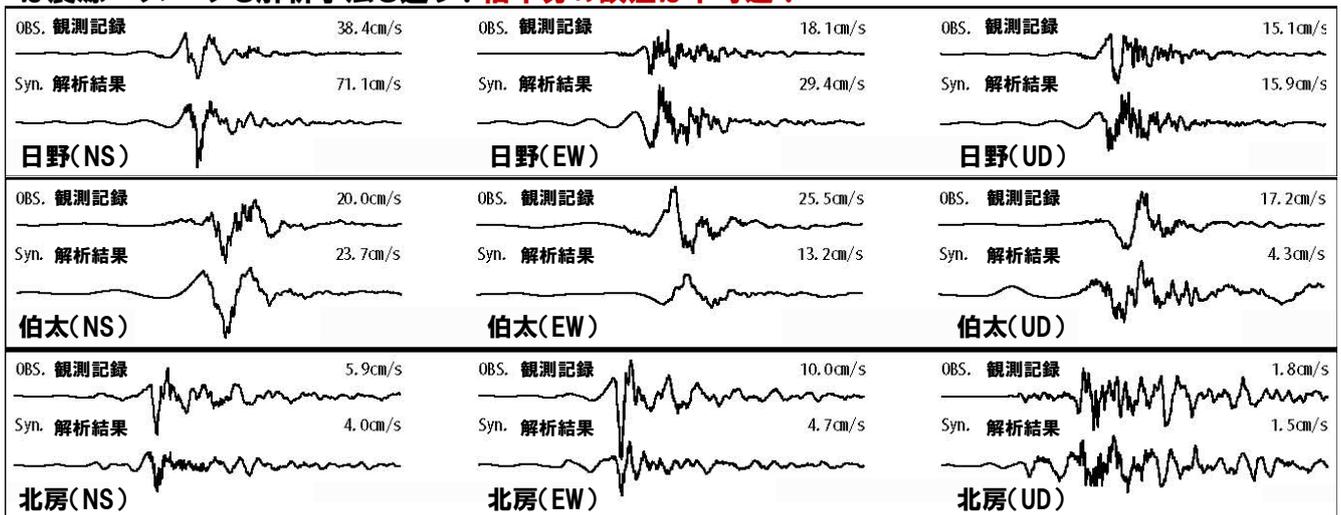
地震調査研究推進本部  
地震調査委員会 強震動  
評価部会: 鳥取県西部地  
震の観測記録を利用し  
た強震動評価手法の検  
証について(2002.10.31)

・時刻歴波形については、**ケース1**ではいずれの地点も**加速度波形(上段)**、**速度波形(下段)**ともに観測記録と整合していない。**ケース2**では**加速度波形**についてはあまり整合していないが、**速度波形**については位相がかなり合っている。

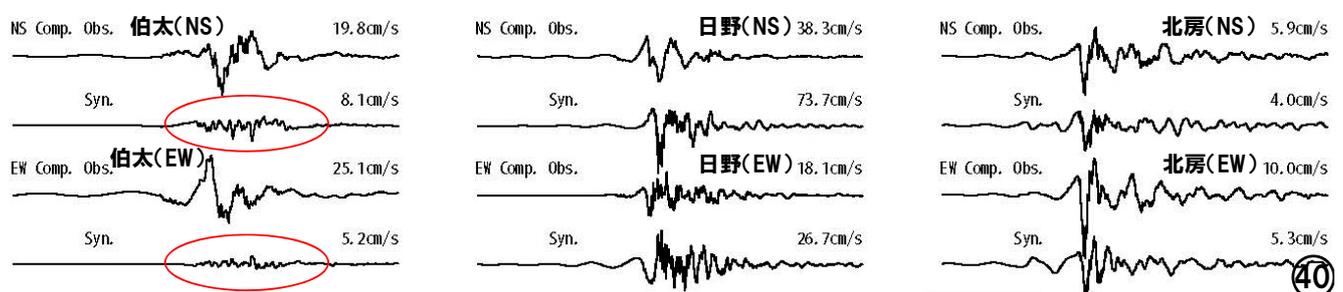


## 鳥取県西部地震の地震動再現モデルでは断層モデルのレシピとは震源パラメータも解析手法も違う! 倍半分の誤差は不可避!

池田隆明, 釜江克宏, 三輪 滋, 入倉孝次郎: 経験的グリーン関数法を用いた2000年鳥取県西部地震の震源のモデル化と強震動シミュレーション, 日本建築学会構造系論文集, 第561号, pp.37-45(2002.11)



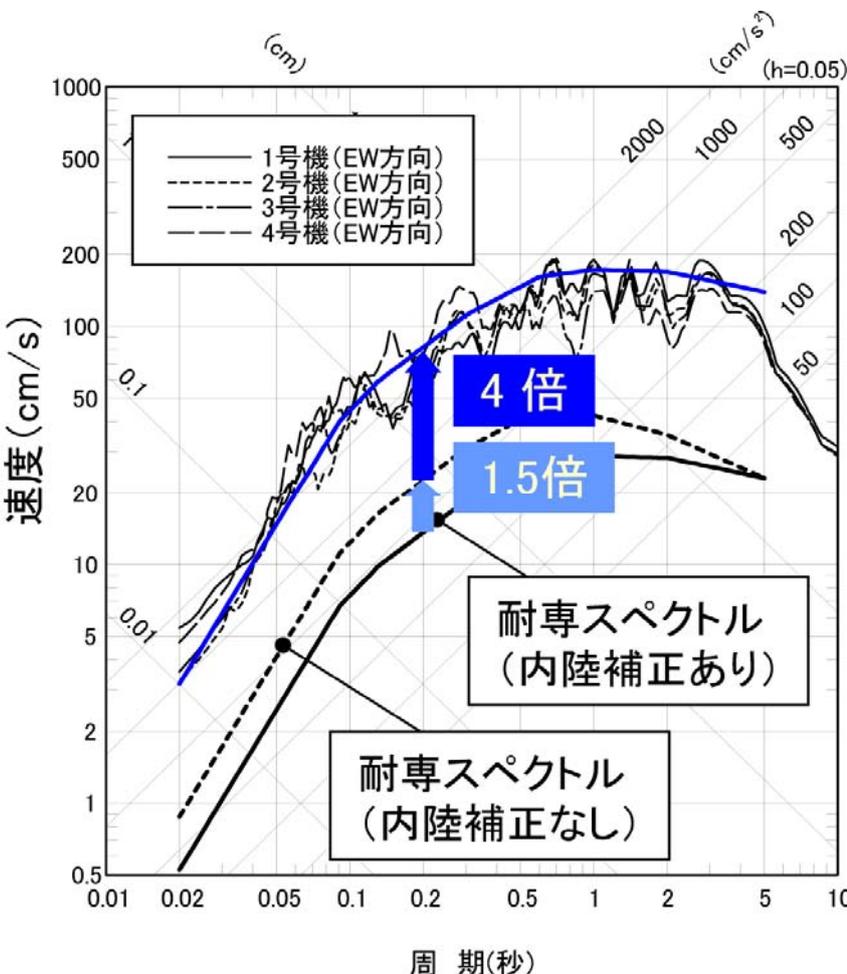
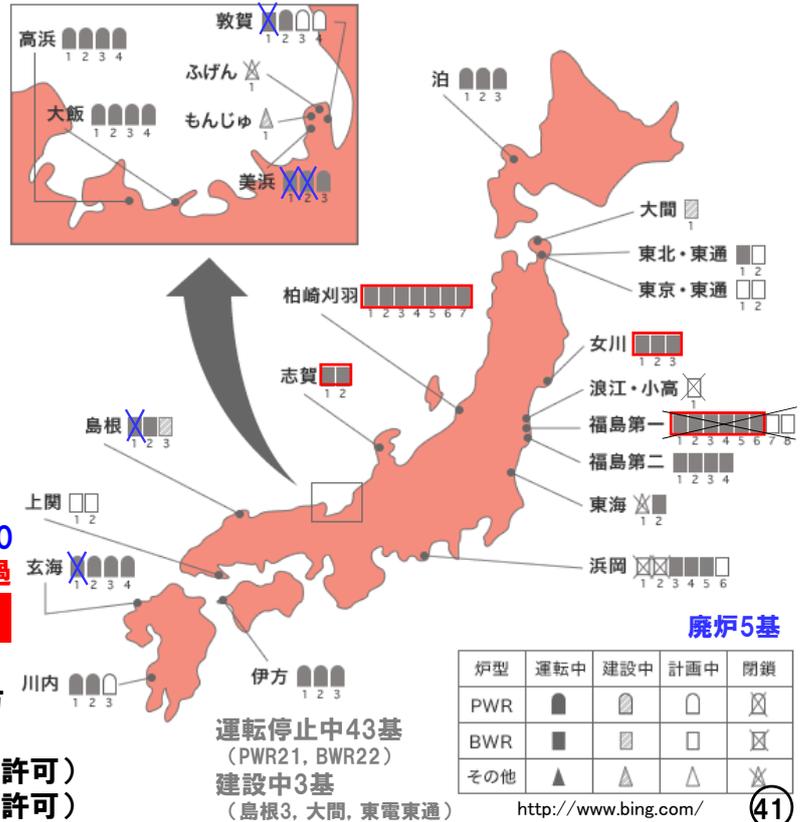
## 地中の観測速度波形と震源から同心円状に破壊伝播するとした場合の合成速度波形(アスペリティのみを考慮)の比較 ⇒ バックワードとなる伯太ではパルス状の波形は再現できない!



1978.10.4 原子力安全委員会設置  
 1981.7.20 「耐震設計審査指針」策定  
 (この時すでに22基の原発が運転: 東海, 東海第二, 敦賀1, 美浜1~3, 高浜1~2, 大飯1~2, 福島第一1~6, 浜岡1~2, 島根1, 伊方1, 玄海1~2)

# ここ10年、4サイト18原発で 基準地震動を超える地震が!

- 1995.1.17 兵庫県南部地震M7.3
- 1995.7.18 地震調査研究推進本部設置 (地震防災対策特別措置法)
- 2001.6~2006.9 「指針」改訂調査審議
- 2005.8.16 宮城県沖地震M7.2  
女川原発基準地震動S<sub>2</sub>超過
- 2006.9.19 「指針」大幅改定
- 2007.3.25 能登半島地震M6.9  
志賀原発基準地震動S<sub>2</sub>超過
- 2007.7.16 新潟県中越沖地震M6.8  
柏崎刈羽原発基準地震動S<sub>2</sub>超過
- 2008.6.14 岩手・宮城内陸地震M7.2  
地表4,022ガル、地下1,078ガル
- 2011.3.11 東北地方太平洋沖地震M<sub>w</sub>9.0  
福島第一・女川原発基準地震動S<sub>s</sub>超過  
**福島第一原発重大事故・放射能災害**
- 2012.9.19 原子力規制委員会発足
- 2013.6.19 「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」等策定
- 2014.9.10 川内1・2号審査書決定(設置許可)
- 2015.2.12 高浜3・4号審査書決定(設置許可)

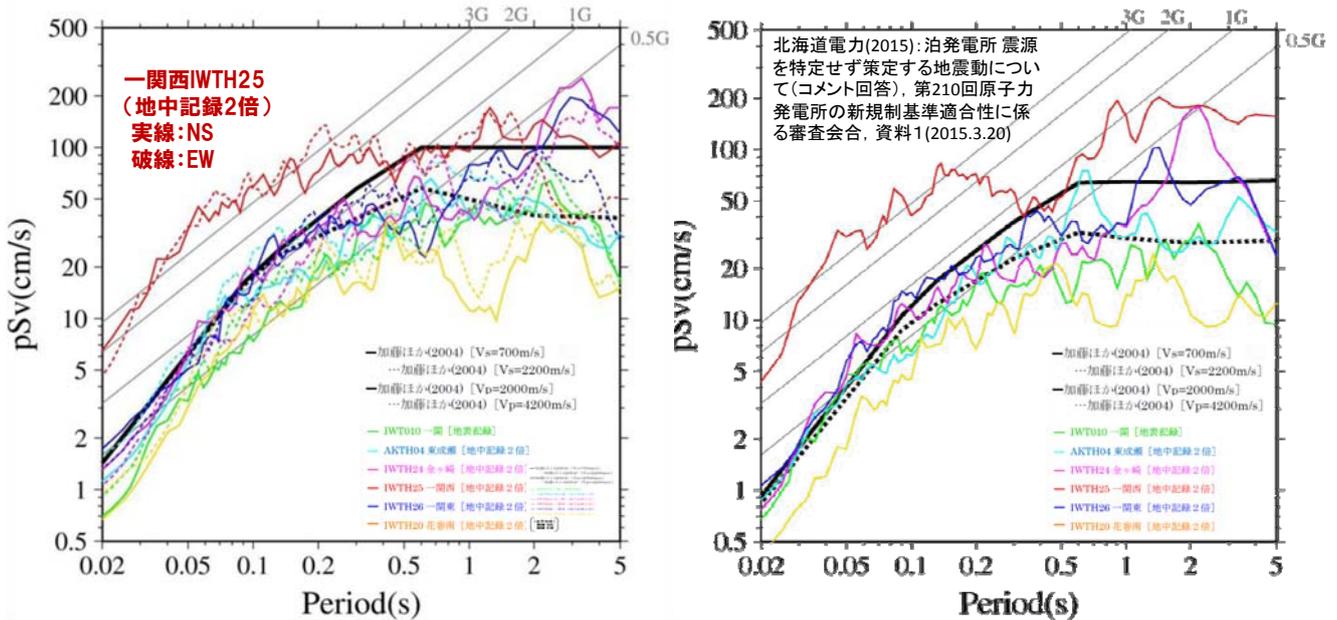


## 新潟県中越沖地震 M6.8(2007.7)による 柏崎刈羽1~4号での解放基盤表面 はざとい波は1,011 ~1,699ガル!

東電やJNESの解析によれば、地震動は、耐専スペクトル(内陸補正有)のレベルから震源特性の要因で約1.5倍、深部地盤構造で約2倍、敷地下の古い褶曲構造で約2倍、合計約6倍に増幅された。

東京電力「柏崎刈羽原子力発電所における平成19年新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動について」(耐震・構造設計小委員会第9回地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ(2008.5.22), 資料合同W9-1-2, p.37) (42)

# 2008年岩手・宮城内陸地震 (M7.2) 地中観測記録に関する解放基盤表面はぎとり波相当応答スペクトルは約2,000ガル



**伊方原発:**「活断層や地表地震断層の出現要因の可能性としての軟岩・火山岩・堆積層の厚さの観点から、堅硬かつ緻密な結晶片岩が少なくとも地下2kmまで連続する伊方発電所立地地点と新第三紀以降の火山岩、堆積岩が厚く分布する岩手・宮城内陸地震震源域とでは地域差が顕著である。」(第156回審査会合, 資料1-3 (2014.11.7))

泊原発審査(2015.3)で初めて検討するも、一関西以外の1/4以下の観測記録を採用する方向:「IwTH25 (一関西)については、トランボリン効果、ロッキング振動の要因や大加速度が発生した要因を特定するため、地盤構造等の調査、調査結果を踏まえたはぎとり解析、および震源特性を踏まえた検討が必要である。それらの検討には相応の期間が必要であり、現時点で信頼性の高い基盤地震動の評価は困難である。」

(43)

## 福島第一原発で15.7mの津波評価が無視された経緯:これを教訓とすべき!

2008年6月まで:東京電力社内で「15.7mの津波が福島第一原発を襲う恐れがある」と試算

2009年6月30日:小林勝氏が原子力発電安全審査課耐震安全審査室長に就任  
(現「原子力規制庁原子力規制部安全規制管理官(地震・津波安全対策担当)」)

2009年7月21日:福島第一原発5号機の耐震バックチェック中間報告評価結果(貞観津波の調査研究成果を踏まえ、事業者がその成果に応じた適切な対応を取るべき)

2009年9月7日:東京電力ヒアリングで「8.9mの津波」試算結果を保安院に報告

2010年2月16日:佐藤福島県知事が福島第一原発3号機ブルサーマル計画を条件付受入れ  
「耐震安全性」「高経年化対策」「MOX燃料の健全性」

2010年3月末:直嶋正行経済産業大臣の指示で、福島第一原発3号機に関する耐震バックチェック中間報告評価作業開始

小林室長や森山善範審議官らは、評価するのなら5号機で棚上げされた貞観津波の評価を行うべきであり、原子力安全委員会でも審議すべきだと主張したところ、小林室長は、上司である野口安全審査課長から「その件は、安全委員会と手を握っているから、余計な事を言うな。」保安院と原子力安全委員会の上層部が手を握っているのだから、余計なことはするな。」と叱責され、当時ノンキャリアのトップだった原広報課長から「あまり関わるとクビになるよ。」と恫喝された。

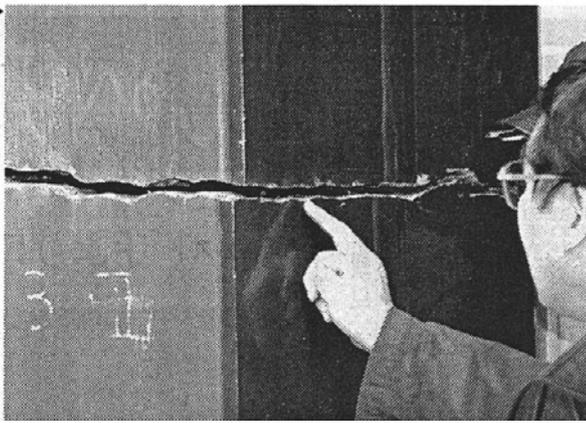
2010年7月26日:福島第一原発3号機の耐震バックチェック中間報告評価結果(貞観津波の審議なく、5号機で評価された地震・津波を対象に構造強度のチェックだけ)

2010年8月:福島第一原発3号機にMOX燃料装荷

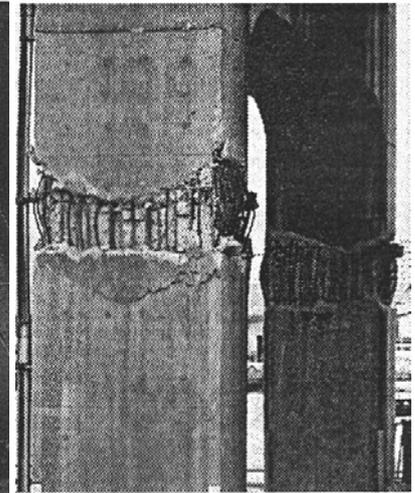
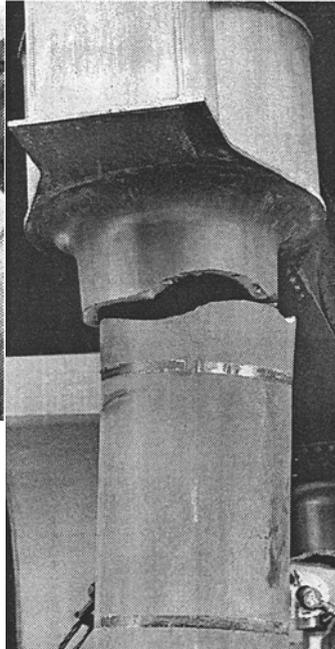
2011年3月7日:東京電力ヒアリングで「15.7mの津波」試算結果を保安院に報告

2011年3月11日:東日本大震災で福島第一原発重大事故発生

(44)



**兵庫県南部地震では、芦屋浜シーサイドタウンの約40cm四方、肉厚5cmの中空箱形鋼鉄柱が416本中53本も破断！**



「衝撃座屈」とみられる破壊もコンクリート橋脚などで起こった＝神戸市内で、谷村真治・大阪府立大教授提供

**原発は直下地震に耐えられるのか？**

**阪神高速鉄道の円柱形の鋼管柱2本が破断！**

**伊方3号設置変更許可処分を撤回せよ！**

**鉄筋コンクリートが衝撃座屈！**

**原子力規制委員会の異議申立への姿勢を問う！**

**川内1・2号「設置変更許可処分」については、  
2014年11月7日 1502人が異議申立書を提出  
2015年1月21日 12名が意見陳述  
その後、下記4件の「処分」に対し異議申立  
「1号機の工事計画認可処分」「2号機と同処分」  
「1号機の保安規定認可処分」「2号機と同処分」  
しかし、11月末現在、異議申立人に一切回答なし  
異議申立を聞き置くだけで、回答しないつもりか？**

**今回の伊方3号処分への異議申立には、  
いつ回答するのか？  
国民に誠意を見せるべきではないのか！**