長沢 啓行　証言内容

1．経歴

1975年 大阪大学 工学部 **機械工学科（蒸気工学）**卒業

1977年 大阪大学 大学院工学研究科博士前期課程
産業機械工学専攻（生産システム工学） 修了（**大学院進学時に専門を転換**）

1977年 大阪府立大学 工学部経営工学科助手
1986年 同講師
1988年 同助教授
1995年 同教授（経営工学科生産管理システム講座）
2001年 大阪府立大学 評議員（3.5年）
2001年 大阪府立大学 学長補佐（1年）
2009年 大阪府立工業高等専門学校長
2011年 公立大学法人大阪府立大学 理事（高専担当）
兼大阪府立大学工業高等専門学校長

社団法人日本経営工学会 理事（2000～05）・
監事（2005～09）
社団法人日本経営工学会 学会賞（2008）・
学会貢献賞（2010）

大阪府立大学名誉教授（2009）
大阪府立大学工業高等専門学校名誉教授（2013）

京都大学工学博士（1985）

2. 専門

(1) システム工学

システム構成要素間の有機的連関を考慮しながら、人、もの、金、情報を最適に設計・運用して、自然・社会環境に適応しながら、システムの目標達成・目的追求をはかる学問分野。

狭義では、「生産システム工学」と呼ばれ、全般的生産計画、生産プロセス計画、スケジューリング、生産実施、生産統制からなり、品質管理、信頼性工学、安全工学、人間工学を含む。

(2) 原発の安全性に関心を持った経緯

1974年度卒業論文「高負荷におけるエリミネータの分離性能について」(以下「緒論」抜粋)

「 原子力発電の場合には、火力発電の場合と比較して、発生蒸気の温度・圧力はかなり低く、このため原子力タービン入口において既に0.2～0.4%程度の水分を含む蒸気が流入し、ともすればタービンが湿り蒸気中で作動するという結果を招くのである。これは浸食のみならず内部効率の著しい低下をもたらす。実際には、タービン動翼を溝付汽水分離翼にし、またタービン間に汽水分離装置や湿分分離再熱器を用いたりして蒸気湿分を除去しているが、現在尚、解決を迫られる問題としてある。」

＜参考＞ 水の臨界点:374℃, 22.1MPa(218気圧)
超臨界圧発電: 蒸気温度566℃以下, 蒸気圧22.1MPa
超々臨界圧発電:蒸気温度593℃以上, 蒸気圧24.1MPa以上

	加圧水型原発PWR	沸騰水型原発BWR
炉心出口冷却水:	325℃ 15.4MPag(157atg),	286℃ 6.9MPag(70atg)
タービン入口蒸気:	274℃ 5.9MPag(60atg),	282℃ 6.6MPag(67atg)

⇨ **当時の超臨界圧火力発電と比べて原発が前近代的な後進技術であることに衝撃を受け、その理由を調べたところ、「原発の場合には、蒸気温度を上げると、炉心溶融事故が避けられなくなる」からだとわかり、大学院進学時に「蒸気工学」から「生産システム工学」へ転換した。その結果、科学技術的側面に加え、社会・経済的側面からも原子力問題をより広く捉えられるようになり、社会へ発信するようになった。阪神・淡路大震災等を通じて原発の基準地震動にも目を向けるようになった。** ②

3. 証拠の成立

(1) 甲A181（準備書面（12）2016年3月9日付）への反論）

(2) 甲B57（2013年12月26日「伊方原子力発電所の耐震安全性は保証されていない」）

(3) 甲B66（2015年12月20日「伊方3号の基準地震動は過小評価されている」）

(4) 甲B290（2015年3月28日「『長沢氏の意見書について』に対する反論」）

(5) 甲B308（2016年9月27日プレゼン資料）

(6) 甲B326（2016年11月2日プレゼン資料）

(7) 甲B368（2016年7月4日「島崎邦彦氏の問題提起と2016年6月改訂新レシピは原発基準地震動の根本改訂を求めている」）

(8) 甲B394（2016年5月26日「（大飯控訴審関電）準備書面（28）への反論」）

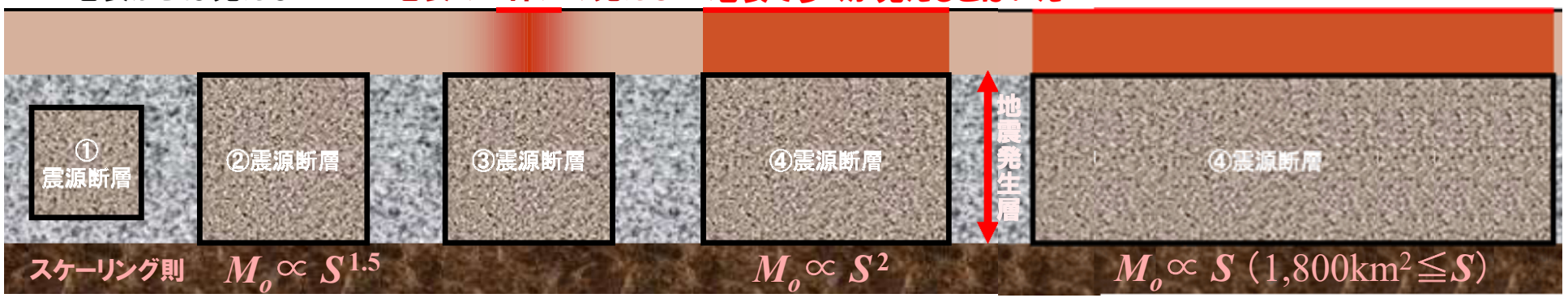
(9) 甲B614（2018年5月8日「松山地裁仮処分決定の基準地震動に関する問題点」）

(10) 甲B615（2018年5月8日「広島高裁仮処分決定の基準地震動に関する問題点」）

４．震源を特定して策定する地震動

見えない断層、見える飽和断層、長大な断層で地震動評価法が異なる

スケーリング則＝断層面積 S と地震規模 M_0 の関係が異なる



見えない断層のため詳細な調査でも不明

見える飽和断層でも、震源断層は地震が起こるまで不明

震源を特定せず策定する地震動

（「念のため」ではない！）

「原発が見えない断層の震源域内にある」と仮定し、国内観測記録の基盤波（現在16地震）についてサイトごとに適用性評価

⇨ 2016年熊本地震は

○M6.5の前震の震源近傍で1,000ガル超の地震動の可能性を強く示唆

○原子力安全基盤機構JNES（現規制庁）によるM6.5の1,340ガルの地震動解析結果を裏付け

震源を特定して策定する地震動

（地震時のすべり量分布は事前の詳細な調査でも不明）

耐専スペクトル：国内地震観測記録の平均像

断層モデル：

入倉式によるレシピ（ア）：地震前は適用不可

松田式によるレシピ（イ）：地震前でも適用可

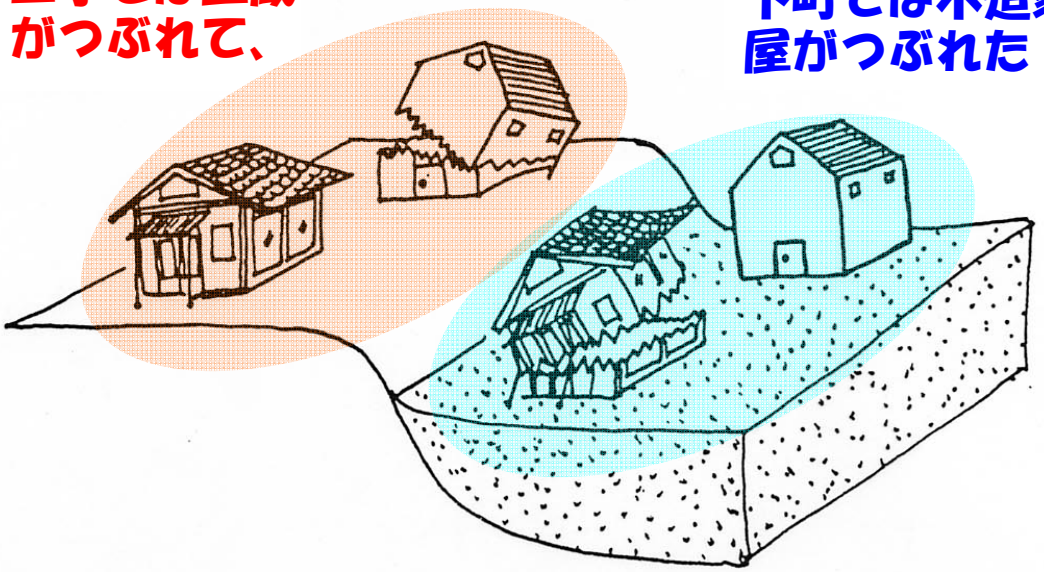
⇨ 島崎氏の2015～16年の問題提起で

○「世界最高水準の審査」の実態が暴かれた

○四国電力や規制庁が拒み続ける「推本のレシピ（イ）」では、地震動評価がクリフエッジを超える

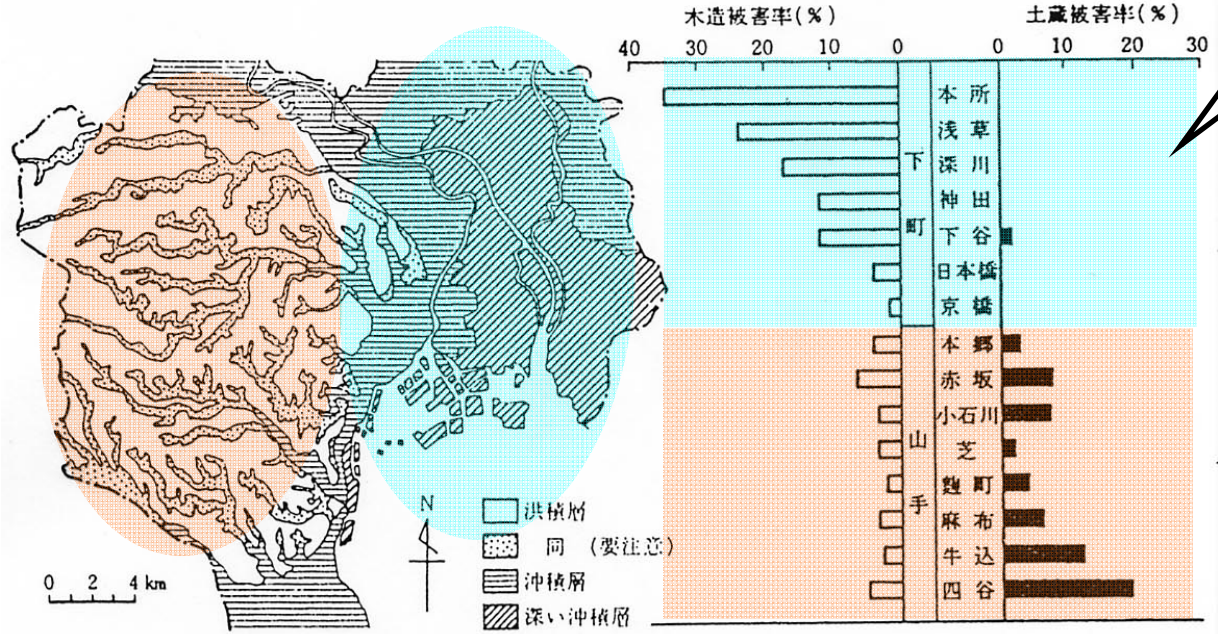
山手では土蔵
がつぶれて、

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)

原発の基準地震動と耐震性

原発にとっては周期0.02～0.5秒の短周期地震動が重要！

M6.5の直下地震に原発は耐えられない！

伊方3号は
855ガル
（原子力安全・保安院審査書2012.3）

クリフエッジ

基準地震動の何倍になると炉心溶融事故に至るか？

クリフエッジを超える地震動が襲うと、炉心溶融事故は避けられない！

基準地震動

この大きさの揺れには耐えられるように設計

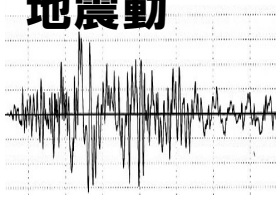
伊方3号は
Ss-1：650ガル
（震源特定：耐専スペクトル）
Ss-2-1～8：最大579ガル
（震源特定：断層モデル）
Ss-3-1～2：最大620ガル
（震源特定せず）

再稼働審査では基準地震動が過小評価されている！

応答スペクトル

単振り子がどれだけ大きく揺れるか

地震動



← 短い　単振り子の固有周期　長い →

解放基盤表面

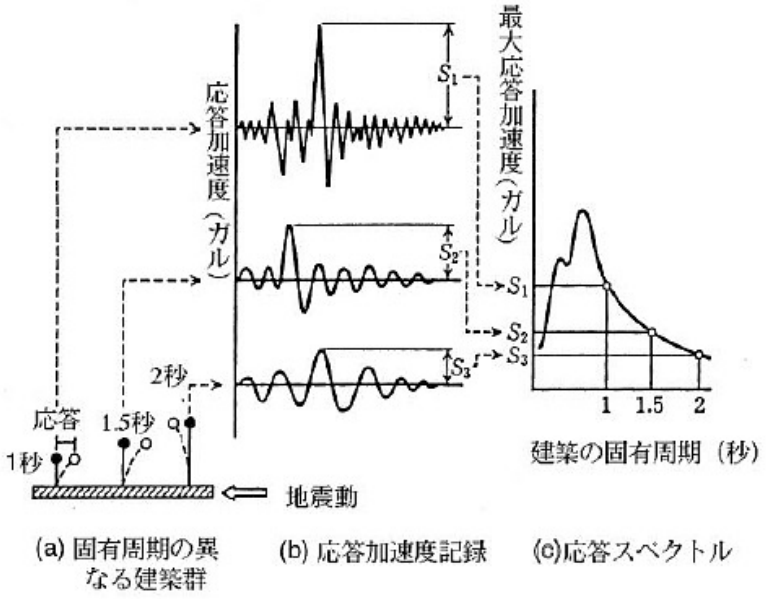
伊方3号の基準地震動の応答スペクトルと固有周期

○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）

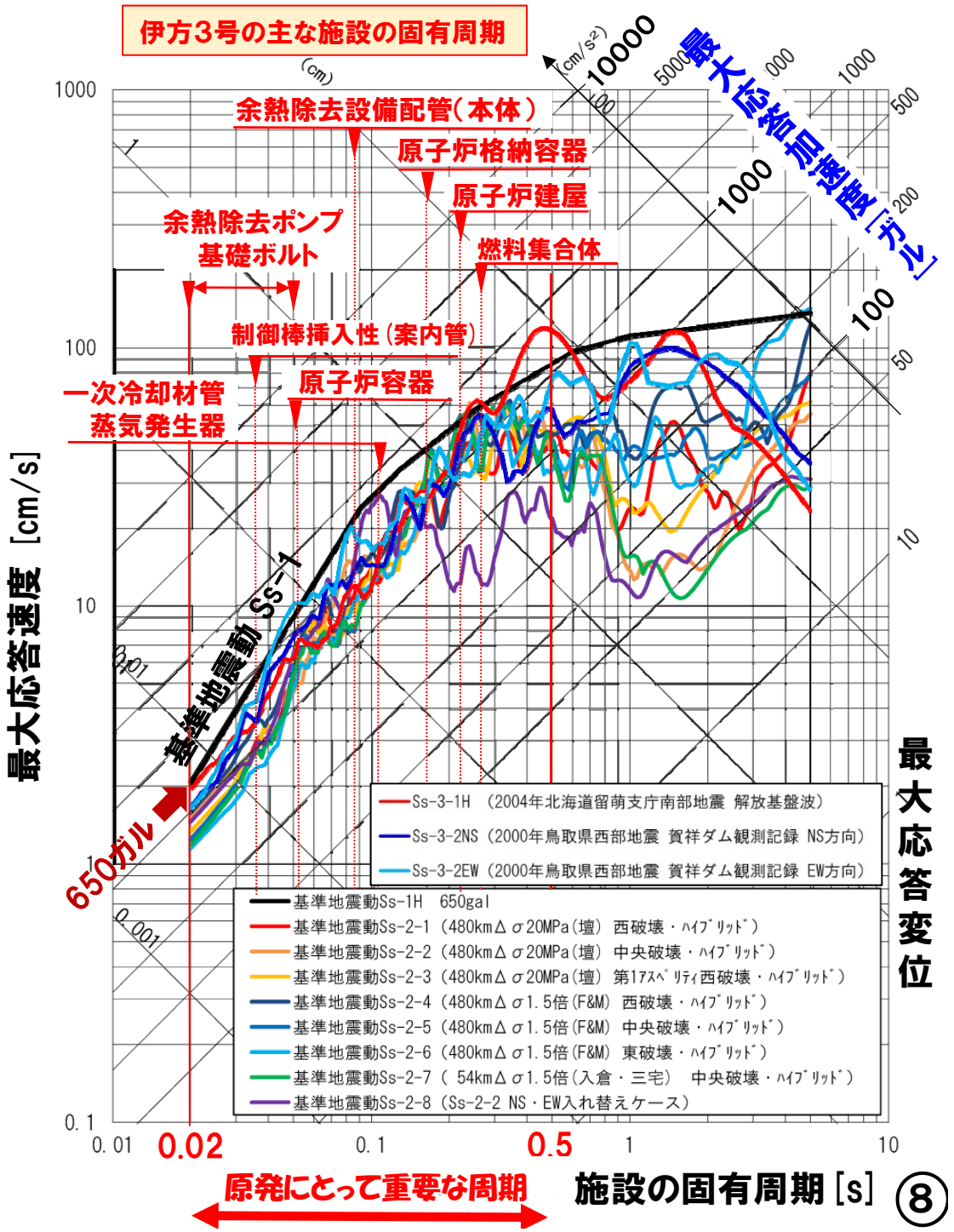
○「基準地震動の最大加速度」は周期0.02秒の最大応答加速度に対応する

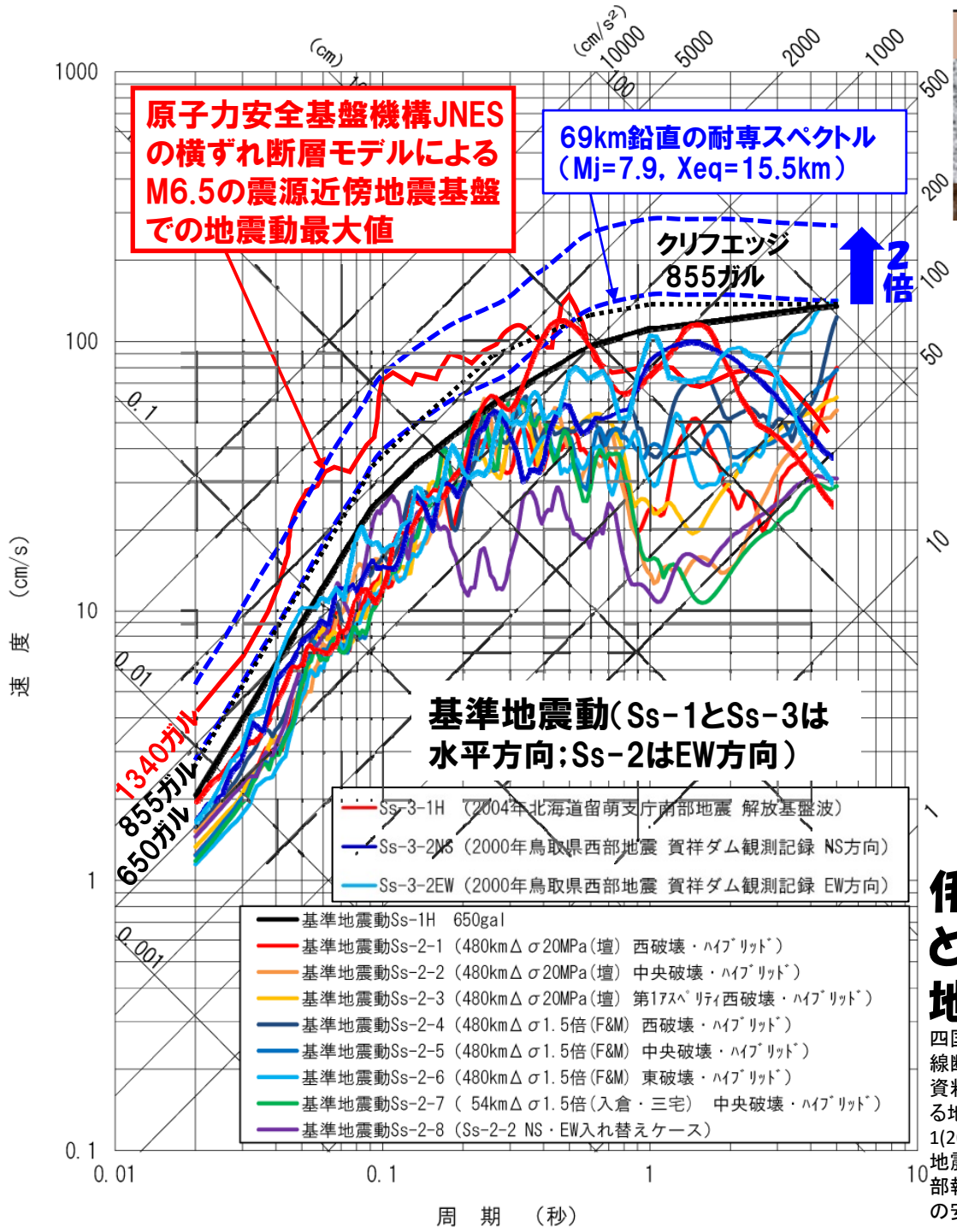
○斜め45度右上がりの目盛が最大応答加速度、右下がりの目盛が最大応答変位に対応する

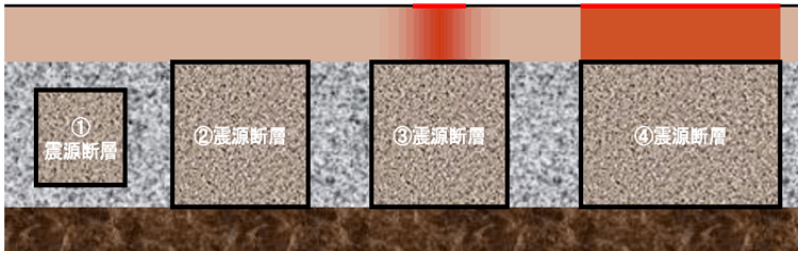
四国電力：柏崎刈羽原子力発電所で観測されたデータを基に行う伊方発電所における概略影響検討結果報告書(2007年9月20日)



(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







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の解放基盤表面はぎとり波（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バラツキを考慮し2倍以上へ引き上げ（1,800ガル程度）

⬇

伊方原発では基準地震動（650ガル）とクリフエッジ（855ガル）を超える地震動が襲い、炉心溶融事故に！

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)

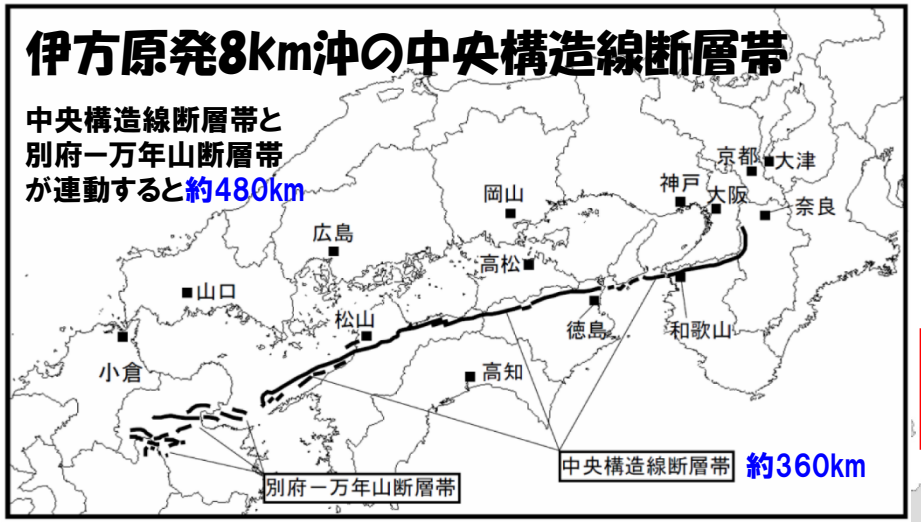
５．相手方の中央構造線に対する歴史

震源を特定して策定する地震動

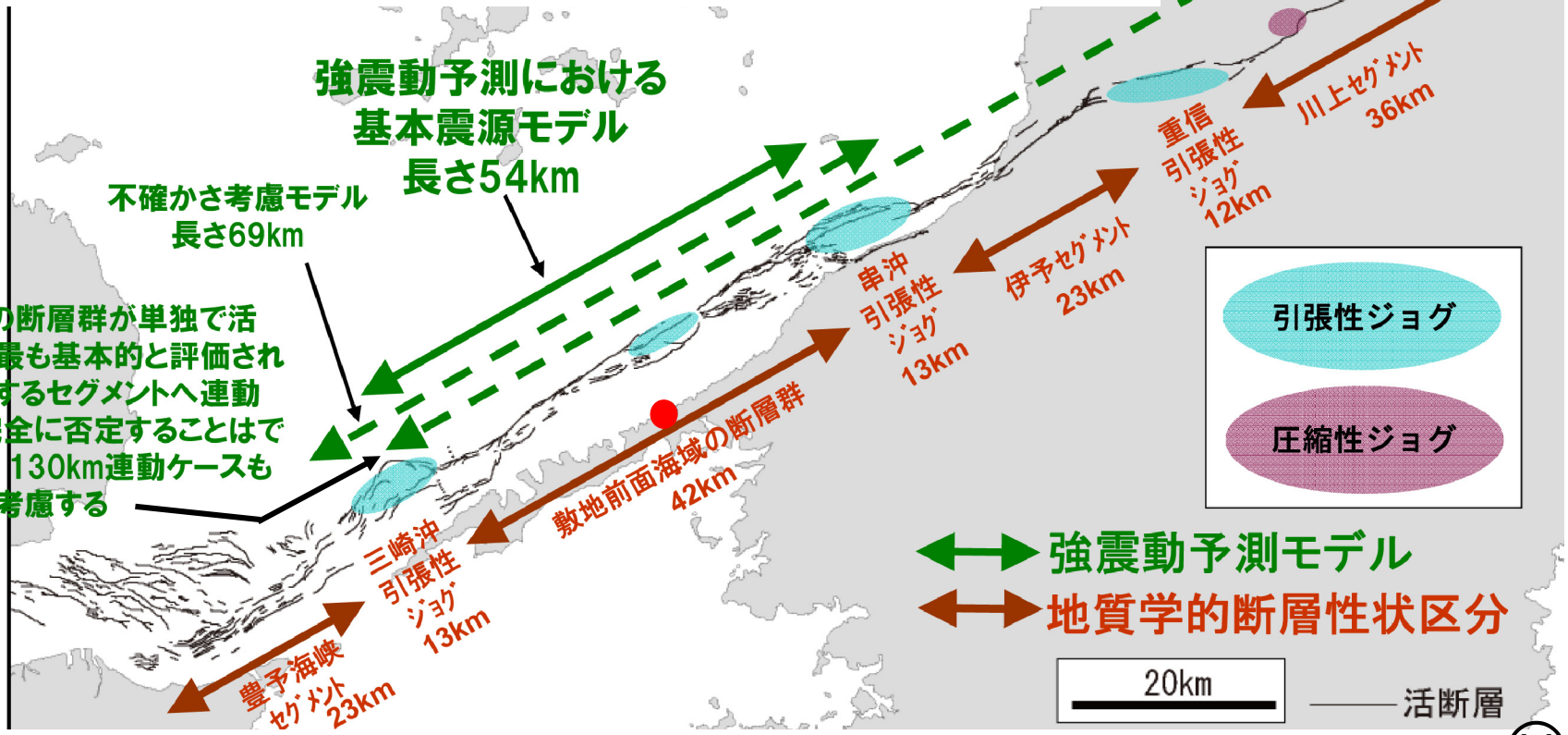
基本震源モデル

①480kmモデル（360km＋別府－万年山断層帯）
②360kmモデル（中央構造線断層帯：推本モデル）
③130kmモデル（敷地前面海域＋伊予・川上セグメント）
④69kmモデル（敷地前面海域の不確かさ考慮）
⑤54kmモデル（敷地前面海域：当初の四電モデル）

伊方原発8km沖の中央構造線断層帯



54kmと69kmを「長大な断層」とは異なる断層として評価すべき



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)

伊方3号基準地震動策定時の震源断層評価と地震動評価の経緯

1972・77年　伊方1・2号設置許可時の設計用最大加速度200ガル（1981年耐震指針前）

1984年　伊方3号増設申請　最強地震 S1：221ガル

限界地震 S2：473ガル（46kmの範囲に分布する敷地前面海域断層群の中で、小林・翠川の手法では25kmモデルで最大地震動になる）

1990年　岡村眞教授が伊予灘西断層系27kmと東断層系28kmはA級活断層と発表

1997年　四国電力が「自主保安の観点から安全評価上は当該断層群をS1とみなす」

S1：350ガル（敷地前面海域断層群46kmモデルの地震動を採用、25kmモデルは含まれず）

S2：473ガル（敷地前面海域断層群11，25，27，46，55，77kmを考慮し、25kmモデル採用）

2003年　推本が「中央構造線断層帯（金剛山地東縁ー伊予灘）の長期評価について」で「全長360kmが同時に活動する可能性を否定できない」と発表

2003年　四国電力が「130kmと360kmの地震動評価でS2を超えない」と旧保安院へ報告

2005年　推本が「入倉式による断層モデルのレシピ（ア）」を発表

2006年　原子力安全委員会の耐震設計審査指針が大幅改訂

2008年　四国電力の耐震バックチェック　Ss：570ガル（敷地前面海域断層群42km）

2008年　推本が「松田式による断層モデルのレシピ（イ）」を発表

2009年　四国電力の改訂版　Ss：570ガル（敷地前面海域断層群54km、不確実さ考慮で69km）

2013年　四国電力による再稼働申請：2009年改訂版とほぼ同じ

2015年　原子力規制委員会審査書 Ss－1：650ガル（基本震源モデルは54，130，480km）

69km北傾斜モデルの耐専スペクトルで570ガルから650ガルへ引上げ、69km鉛直は不採用

断層モデルによる地震動評価は一部周期でSs－1を超えるのみ、69km鉛直耐専の1／2程度

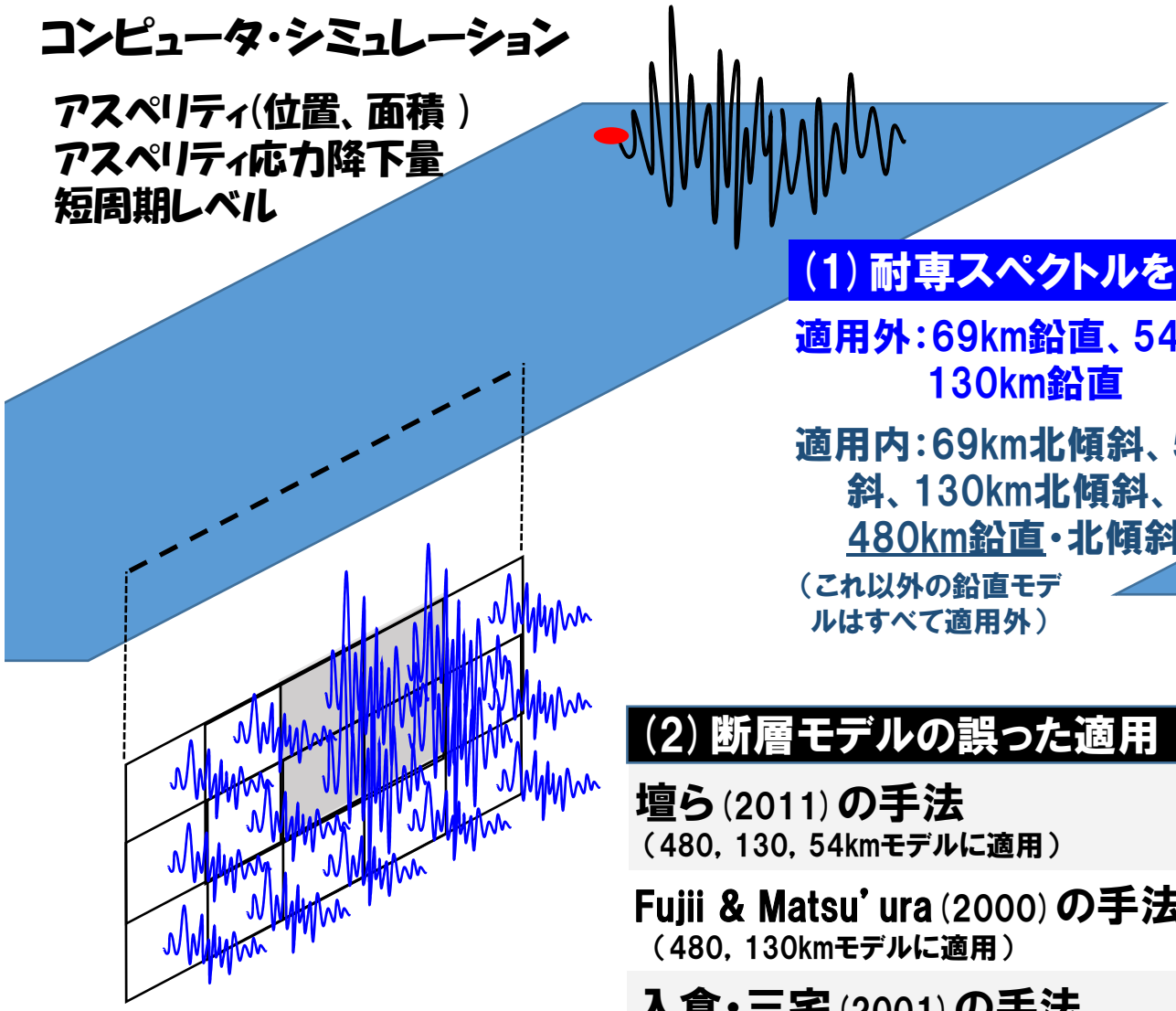
６．相手方の基準地震動の過小評価

震源を特定して策定する地震動

断層モデル

コンピュータ・シミュレーション

アスペリティ(位置、面積)
アスペリティ応力降下量
短周期レベル



応力降下量が大きいほど、要素地震波が
大きくなり、地震動評価結果が大きくなる！

耐専スペクトル(耐専式)

国内地震観測記録の平均像

気象庁マグニチュード M
等価震源距離 X_{eq}

(1) 耐専スペクトルを適用外に

適用外：69km鉛直、54km鉛直、
130km鉛直

適用内：69km北傾斜、54km北傾
斜、130km北傾斜、
480km鉛直・北傾斜

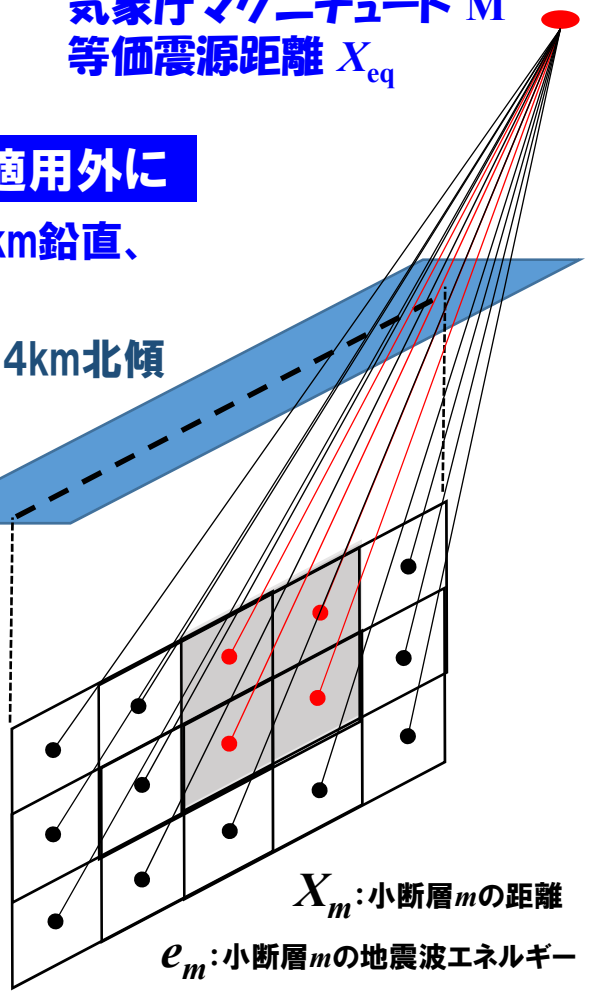
（これ以外の鉛直モデ
ルはすべて適用外）

(2) 断層モデルの誤った適用

壇ら(2011)の手法
（480，130，54kmモデルに適用）

Fujii & Matsu' ura(2000)の手法
（480，130kmモデルに適用）

入倉・三宅(2001)の手法
（54kmモデルに適用）



X_m：小断層mの距離

e_m：小断層mの地震波エネルギー

ds：小断層mの微小領域の面積

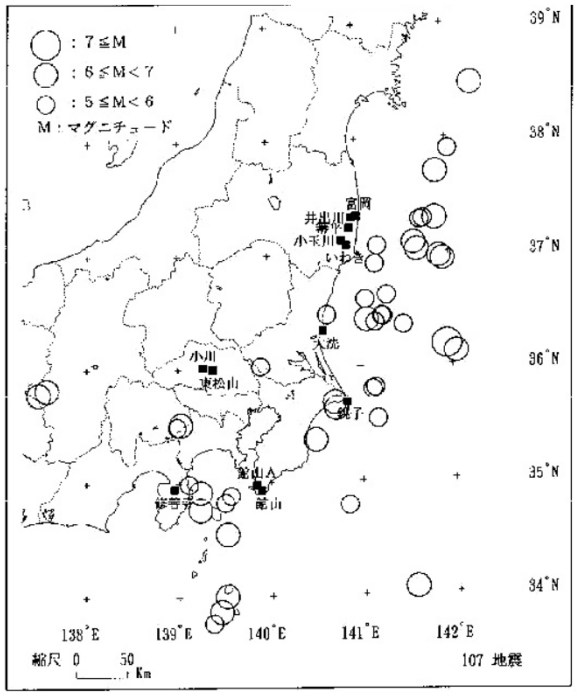
7. 耐専式（耐専スペクトル）とは

社団法人 日本電気協会 原子力発電耐震設計専門部会（略称「耐専部会」）が、「原発の基準地震動」を設定するために策定した応答スペクトルのこと

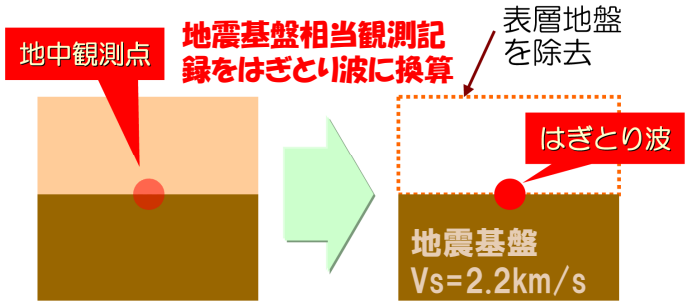
国内で観測された地震波を「地震基盤表面はぎとり波」に換算し、その応答スペクトルの平均像を気象庁マグニチュードMと等価震源距離X_{eq}で整理したもの

（甲A112，甲A113，甲A114，甲A115号証）

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）



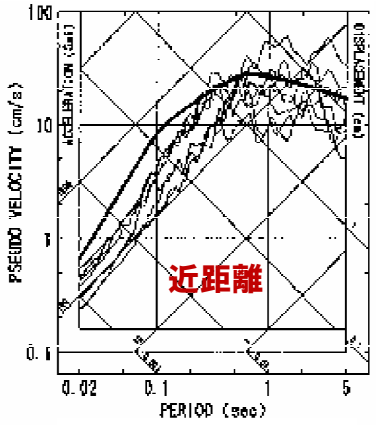
44地震・107地震観測記録
プレート境界地震　32（81記録）
内陸地殻内地震　12（26記録）



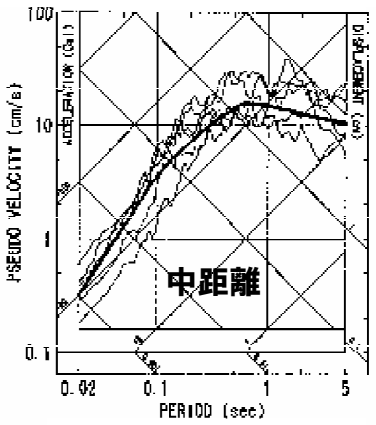
東京電力「耐専スペクトルの概要(1999年時点での内容)」および「耐専スペクトルの適用性検討(内陸地殻内地震を対象とした追加検討内容)」，原子力安全委員会「応答スペクトルに基づく地震動評価」に関する専門家との意見交換会，資料第1-1号および1-2号(2009.5.22)

（甲A112号証）

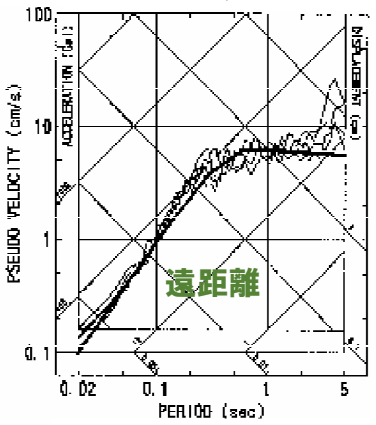
水平動の耐専スペクトル(地震基盤相当)
他地点観測記録(各ｺﾝﾄﾛｰﾙﾎﾟｲﾝﾄのMとXeq相当に変換)



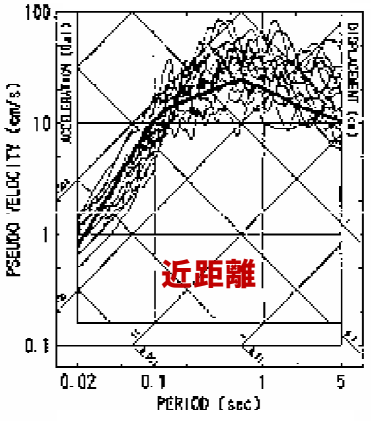
【Mj 8.0 Xeq 50km】



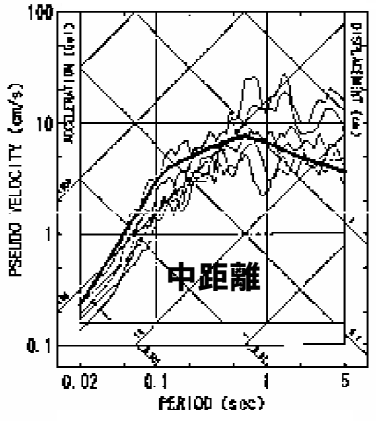
【Mj 8.0 Xeq 100km】



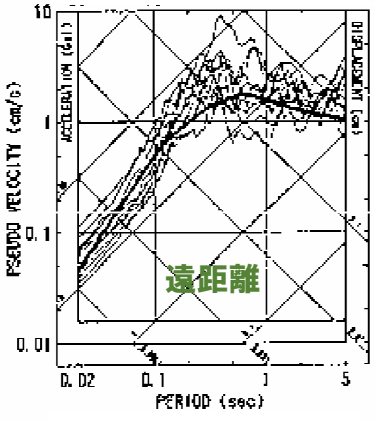
【Mj 8.0 Xeq 200km】



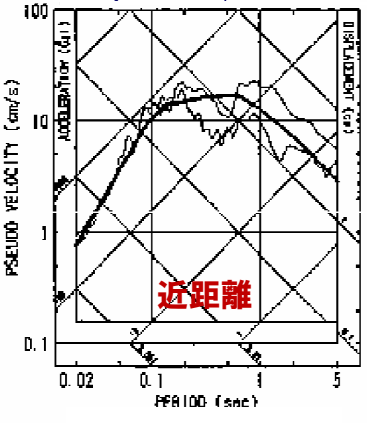
【Mj 7.0 Xeq 20km】



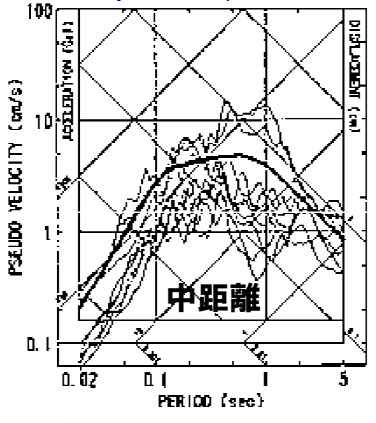
【Mj 7.0 Xeq 50km】



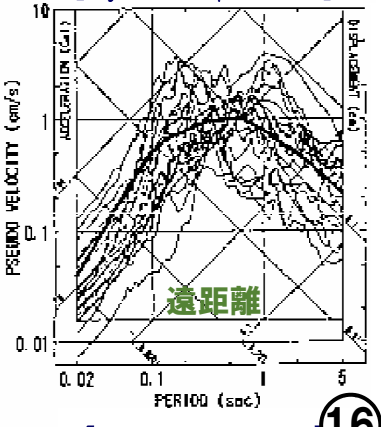
【Mj 7.0 Xeq 125km】



【Mj 6.0 Xeq 8km】

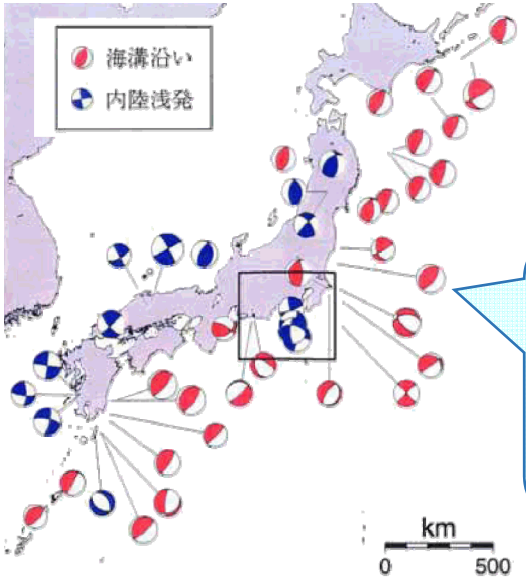


【Mj 6.0 Xeq 25km】



【Mj 6.0 Xeq 78km】

耐専スペクトルは、プレート間地震等の混在データに基づくため、内陸地殻内地震への適用に際して内陸補正が必要とされていたが・・・・

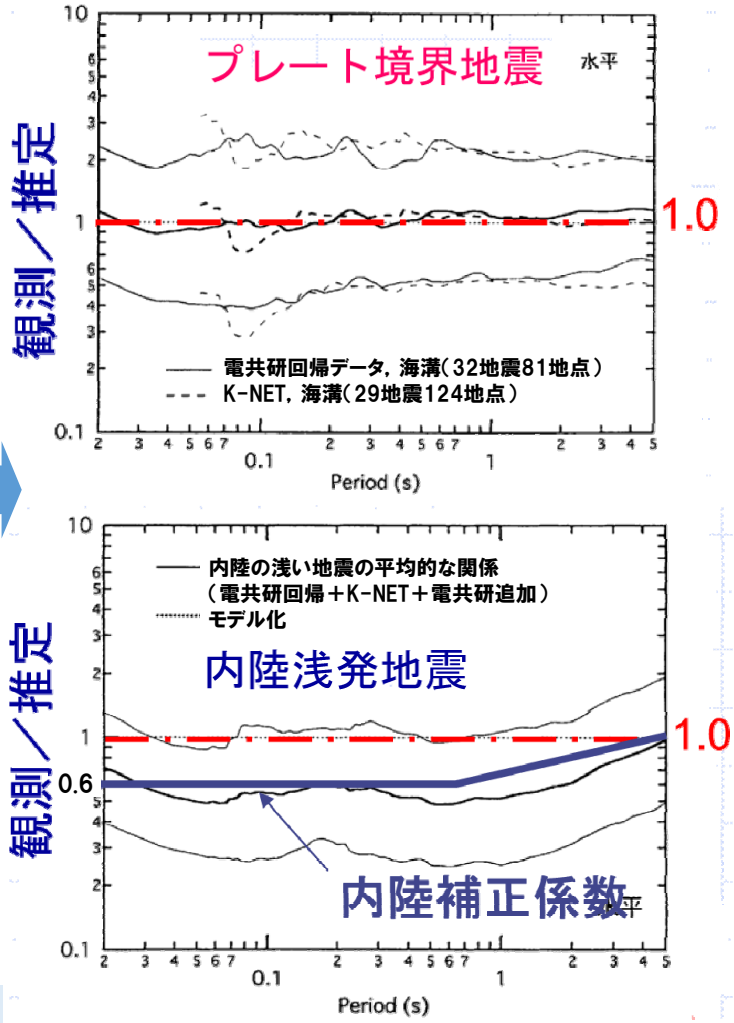


⇨ 地震観測記録で補正
または，
内陸補正係数で補正

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



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）（水平動）

2007年新潟県中越沖地震の教訓から，震源特性の不確実さとして「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

伊方3号で「内陸補正しない」のは当然の対応だが、69km鉛直等の耐専スペクトルを採用していない！

断層モデルの誤適用により、その地震動評価結果は、69km鉛直の耐専スペクトルの1/2程度に留まる！

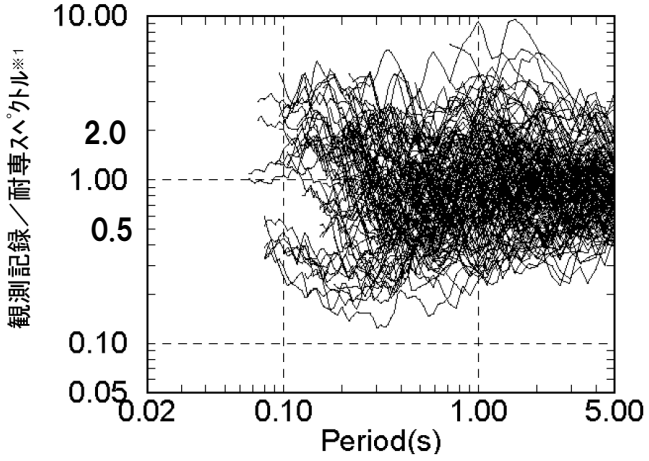
⇨耐専スペクトルの適用範囲を広げ、
断層モデルの地震動評価法を改めるべき！

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)

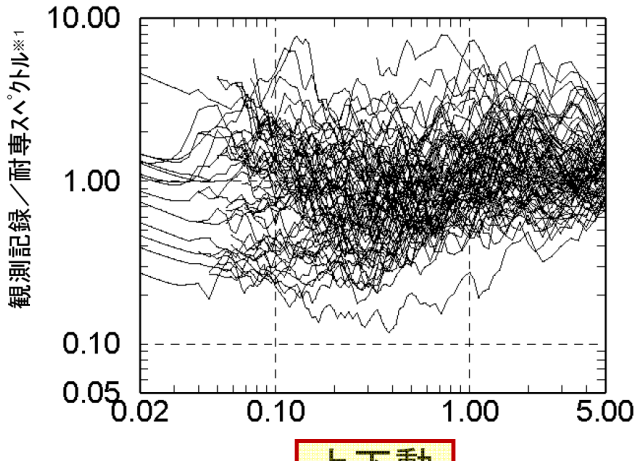
2007年新潟中越沖地震の震源特性1.5倍の根拠：

広域観測記録（K-NET、KiK-net地表記録）と耐専スペクトル（内陸補正なし）の比は、平均がほぼ1.0で、耐専スペクトル（内陸補正あり）のほぼ1.5倍になっている！

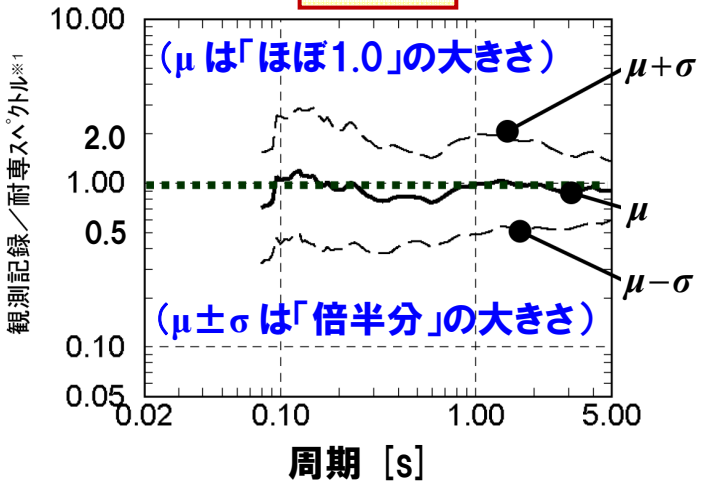
➡ 耐専スペクトルでは「内陸補正なし」、断層モデルでは「短周期レベル1.5倍」かつ「応力降下量1.5倍または20MPaの大きい方」とする

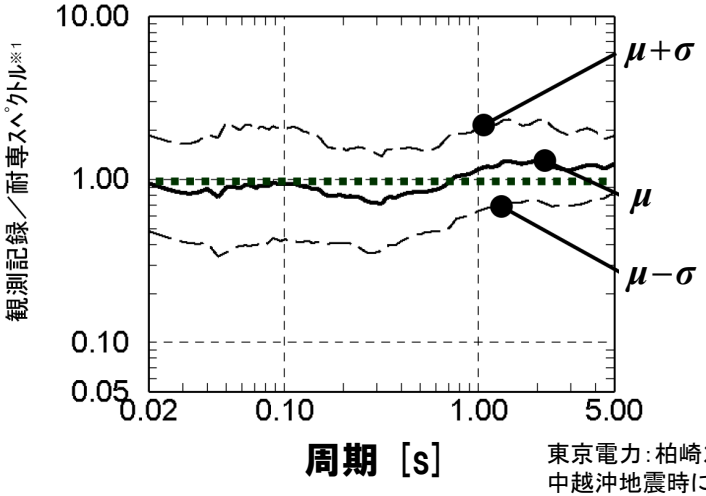


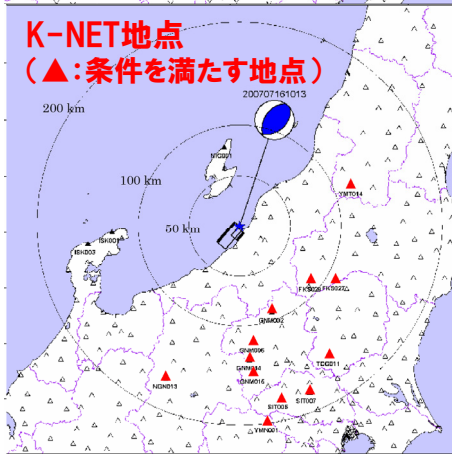
水平動



上下動





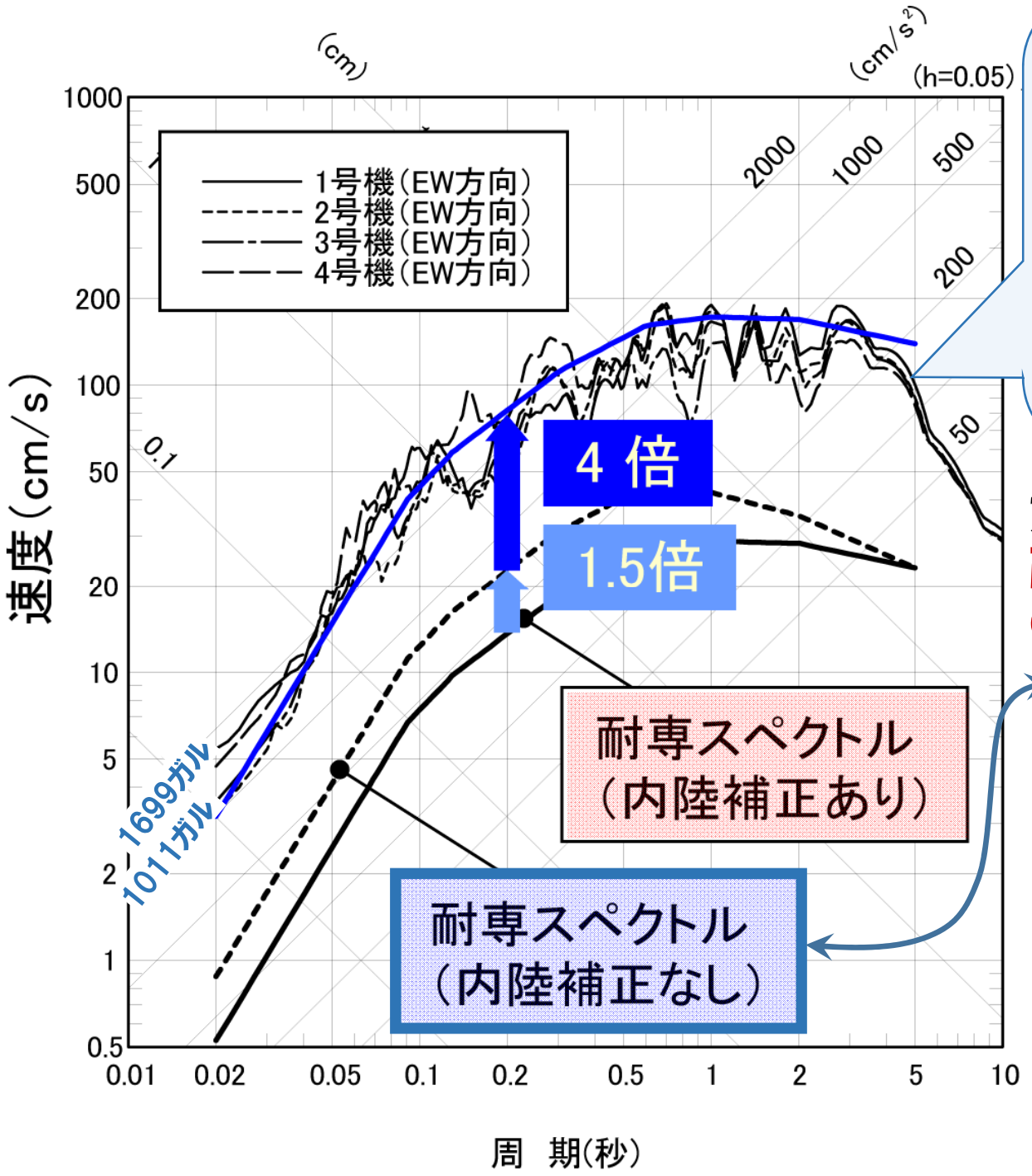


○震源距離が200km以下
○S波速度Vs≧700m/sの地層が存在
○第三紀以前の地質条件

※表層の地盤増幅の影響避けるため、Vs≧700m/s以浅の地層における1次卓越周期の2倍以上の帯域を対象とした。

断層モデルとは無関係に、耐専スペクトルで1.5倍化を決定！

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，総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ（第9回），合同W9-1-2(2008.5.22)



新潟県中越沖地震M6.8(2007.7)による柏崎刈羽1～4号での地震観測記録(解放基盤表面はぎとり波)は1011～1699ガル！

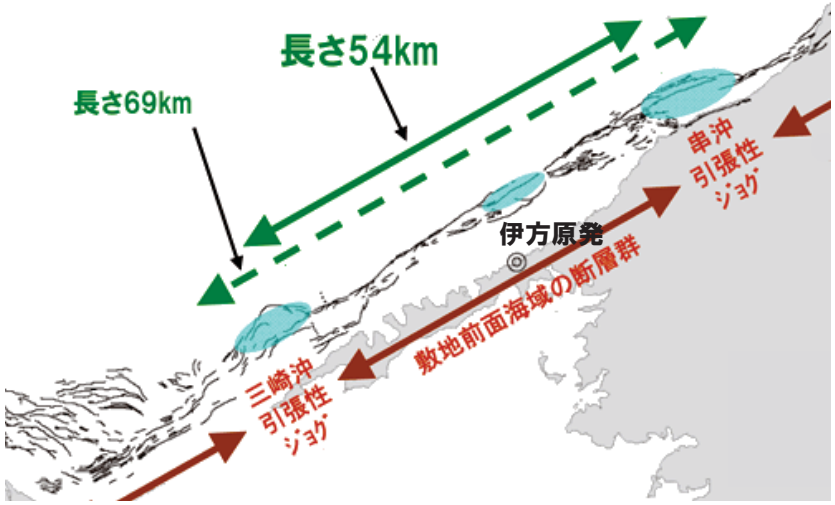
東電やJNESの解析によれば、耐専スペクトル(内陸補正有)の地震動が

- **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)

8. 耐専式(耐専スペクトル)を鉛直ケースに適用しない問題点



高浜3・4号:63.4km鉛直「FO-A～FO-B～熊川断層」(M7.8, X_{eq}=18.6km)に
耐専スペクトルを適用し, 基準地震動Ss-1Hを550ガルから700ガルへ引き上げ

伊方3号:54km鉛直(M7.7, X_{eq}=14.3km), 69km鉛直(M7.9, X_{eq}=15.5km)には
耐専スペクトル適用外, 北傾斜には適用しSs-1Hを570ガルから650ガルへ微増

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
南傾斜は除外

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)

耐専スペクトルの極近距離

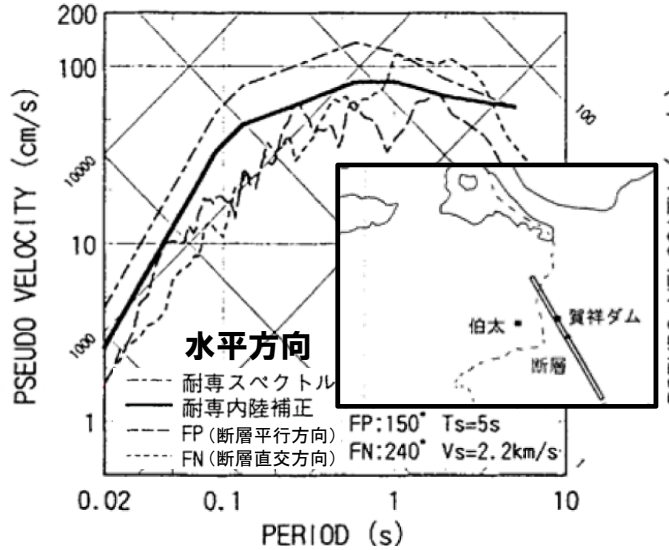
480km

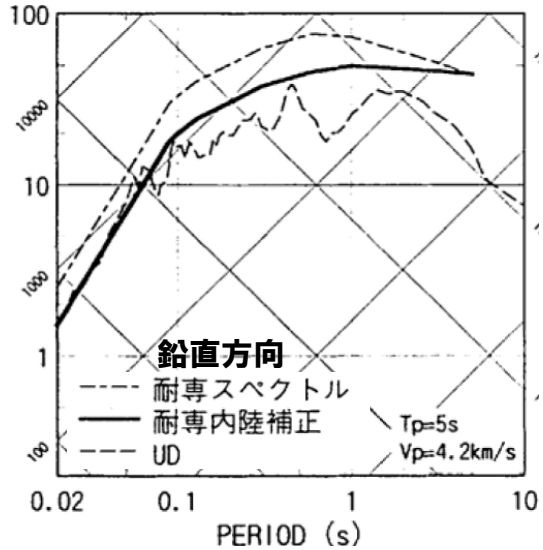
「内陸補正を適用してもその他距離減衰式との乖離が大きく耐専スペクトルの適用は不適」というが・・・

130km→
69km→
54km→

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、過大評価になるが、保守的に耐専スペクトル（内陸補正なし）で評価

2000年鳥取県西部地震M7.3の賀祥ダム（Xeq=6km）：旧原子力安全委員会の会合で地震観測記録と整合することから「適用可」と判断されていた！（甲A114号証）
ここでも、その他距離減衰式との乖離は大きいはずである。





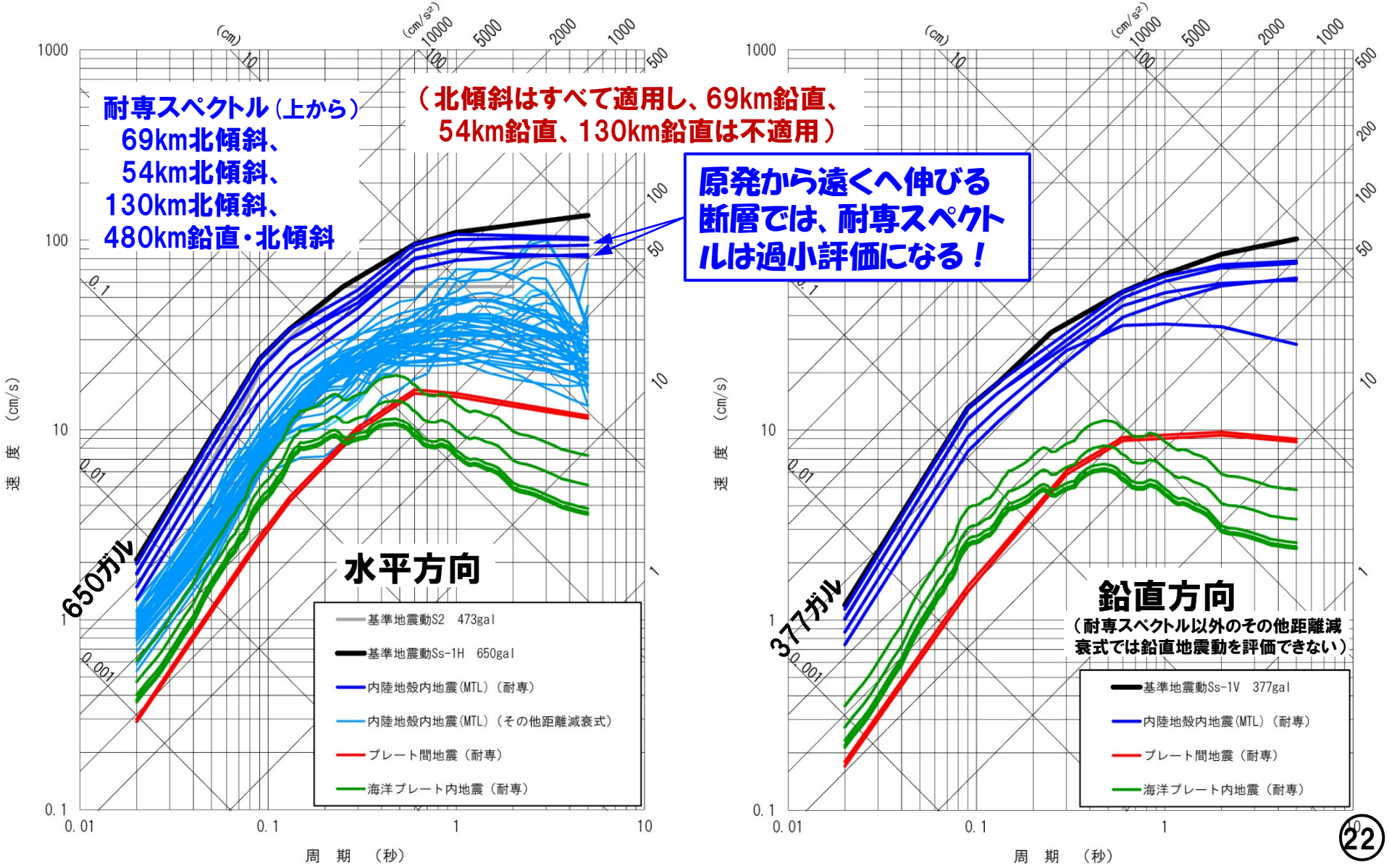
2000年鳥取県西部地震M7.3：賀祥ダム基礎部(Xeq=6km)での観測記録と耐専スペクトル

マグニチュード
等価震源距離（km）

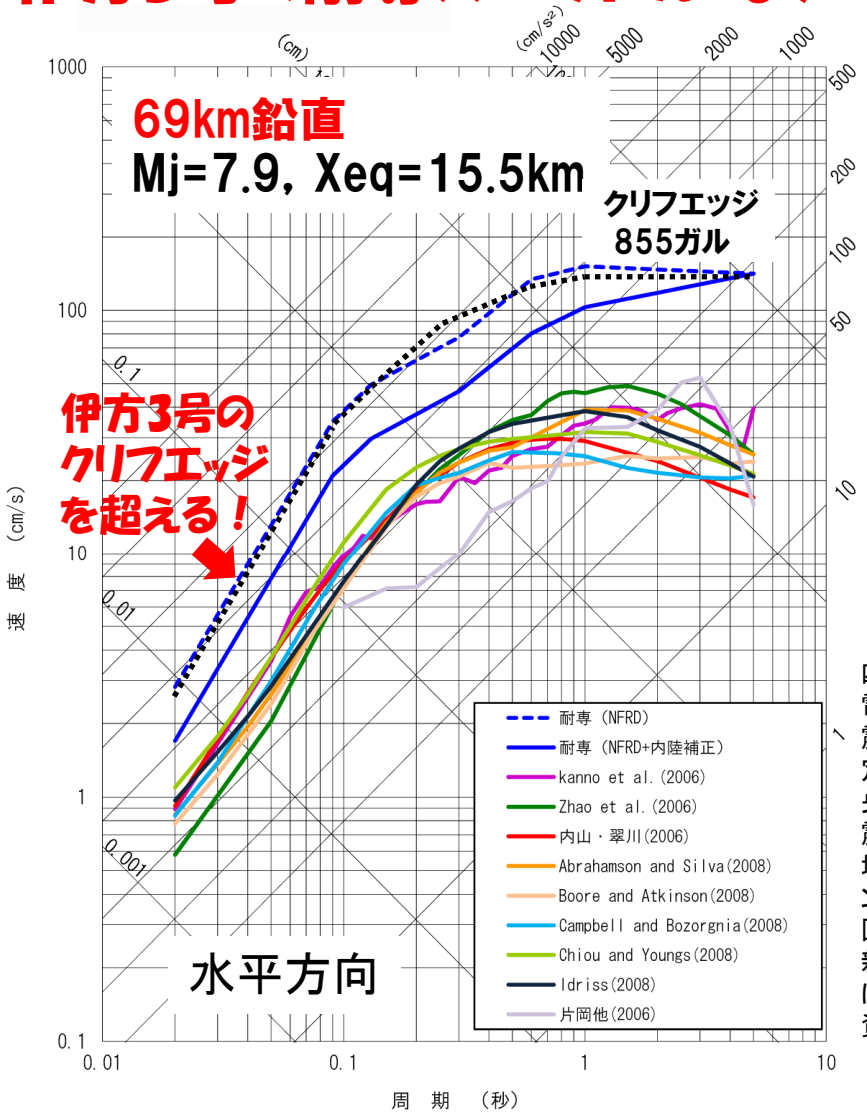
基準地震動Ss－1は、耐専スペクトル（69km北傾斜）が申請時の570ガルを超えたため、650ガルへ引上げられた！

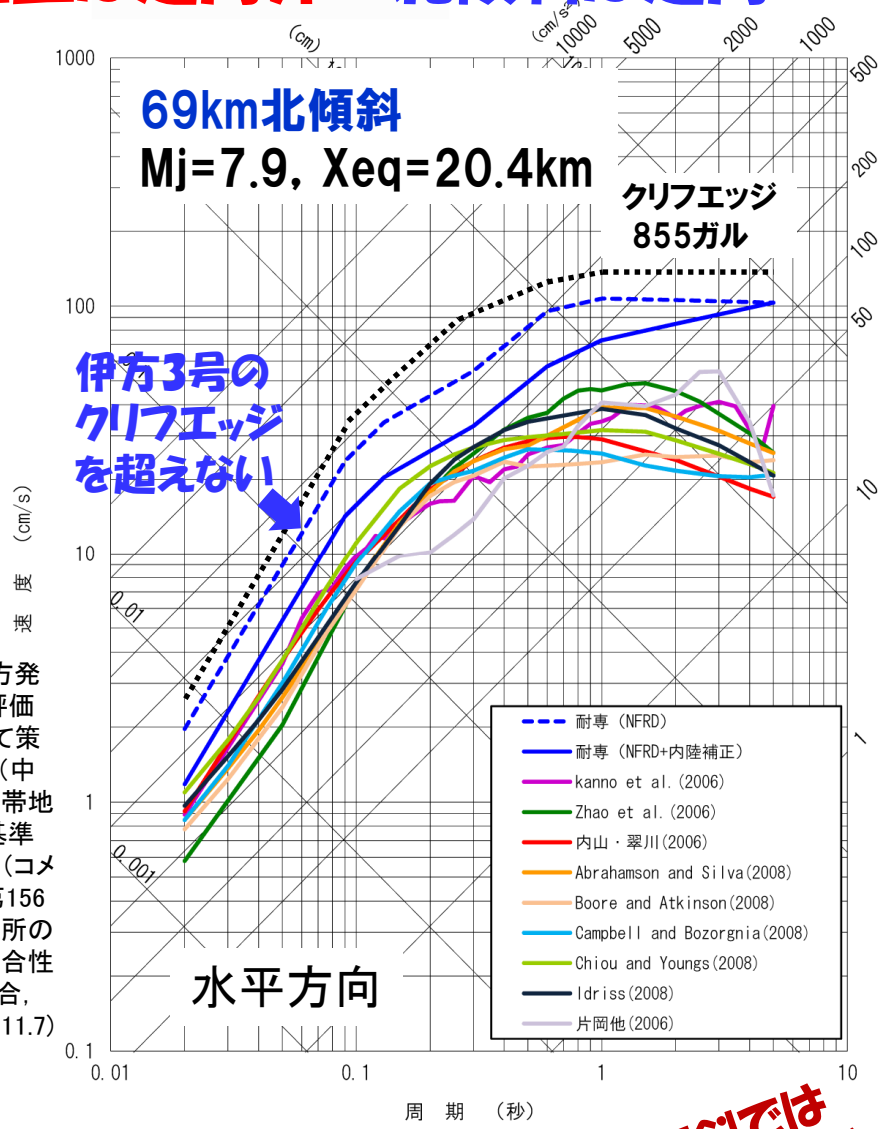
「69km鉛直」をなぜ適用しないのか！？

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の鉛直は適用外！北傾斜は適用！





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)

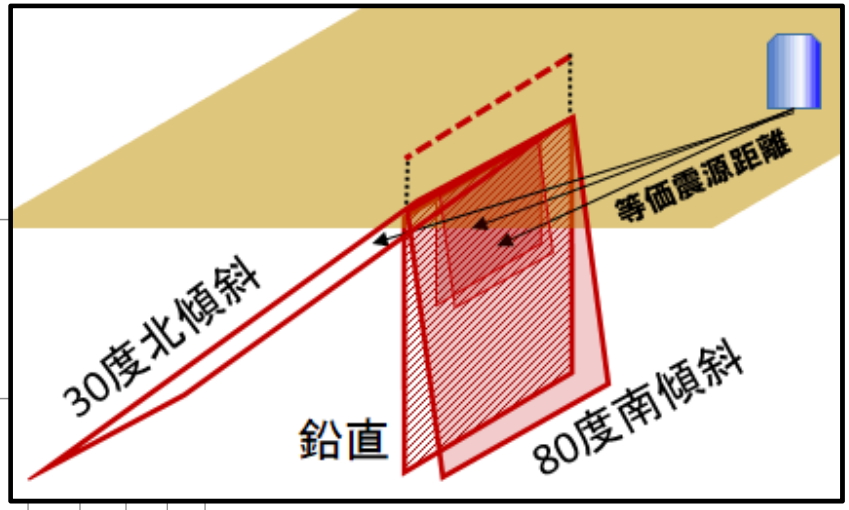
四国電力：69km鉛直は，耐専スペクトルの検証データがない範囲であり，内陸補正をしてもその他距離減衰式と大きく乖離する。耐専スペクトルの適用は不適であり，その他距離減衰式で評価を行う。69km北傾斜は，震源近傍の適用性を検証したデータがある領域であり，内陸補正をした場合には，その他距離減衰式と比較的整合的である。一方，内陸補正を適用しない場合は，その他距離減衰式との乖離が大きく，過大評価となっている。しかしながら，保守的に内陸補正を見込まずに評価を行う。

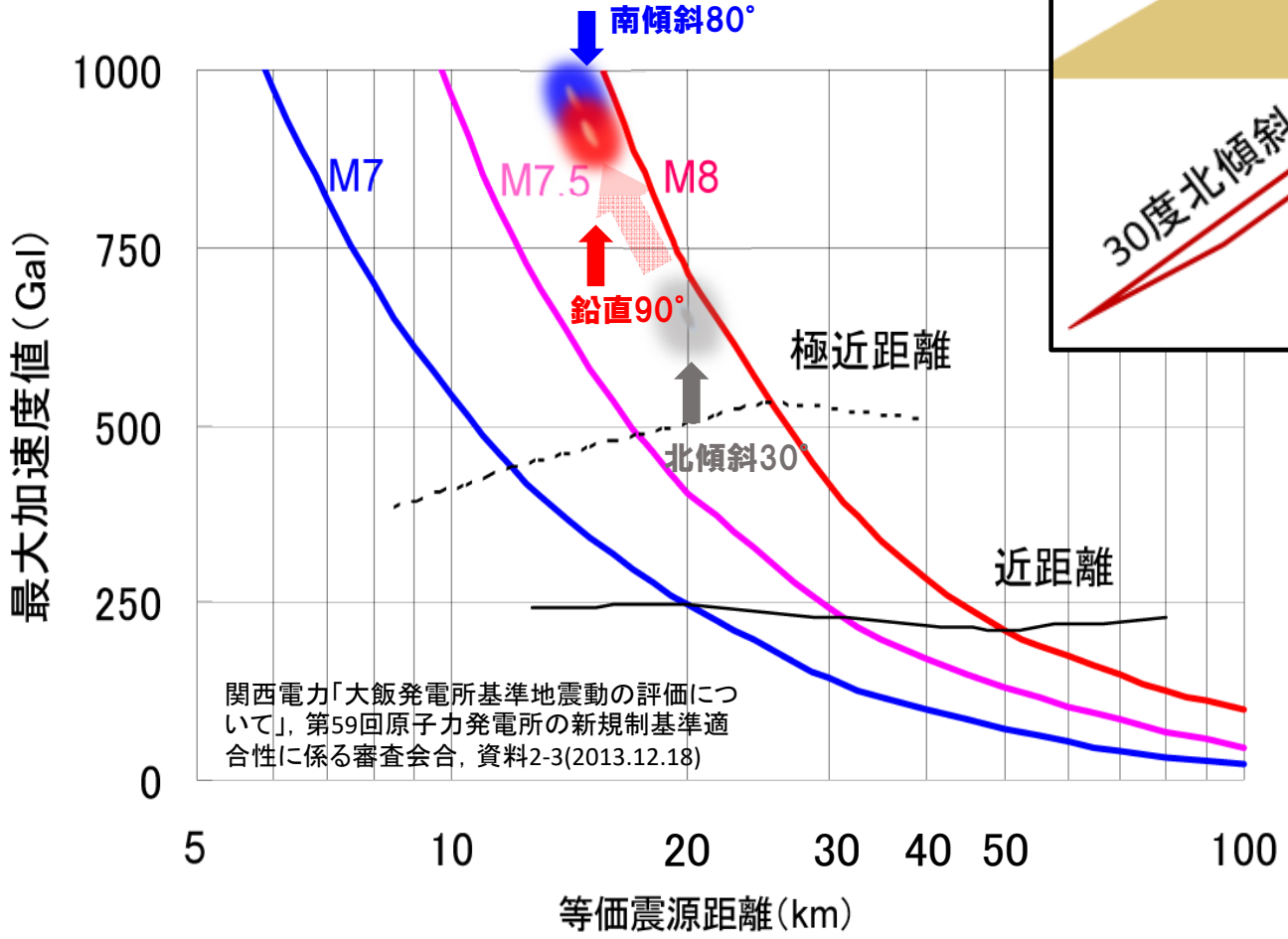
南傾斜では地震動評価が鉛直より大きくなる！

９．耐専式を南傾斜ケースに適用した場合の地震動

（80度南傾斜ケースは、断層モデルで考慮されながら、耐専スペクトルは考慮外）

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 と増える！





関西電力「大飯発電所基準地震動の評価について」，第59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2-3(2013.12.18)

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り波は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り波（概算）は約2,000ガル！

1000ガル超の実記録がある！

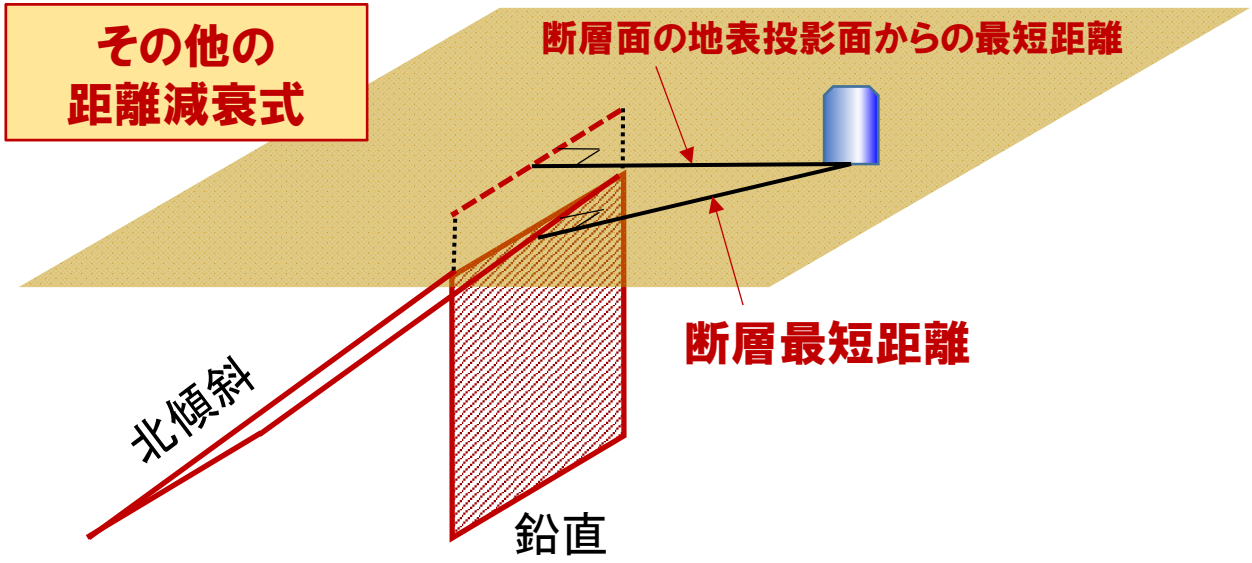
69kmモデル（M7.9）の（等価震源距離Xeq，最大加速度）

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）

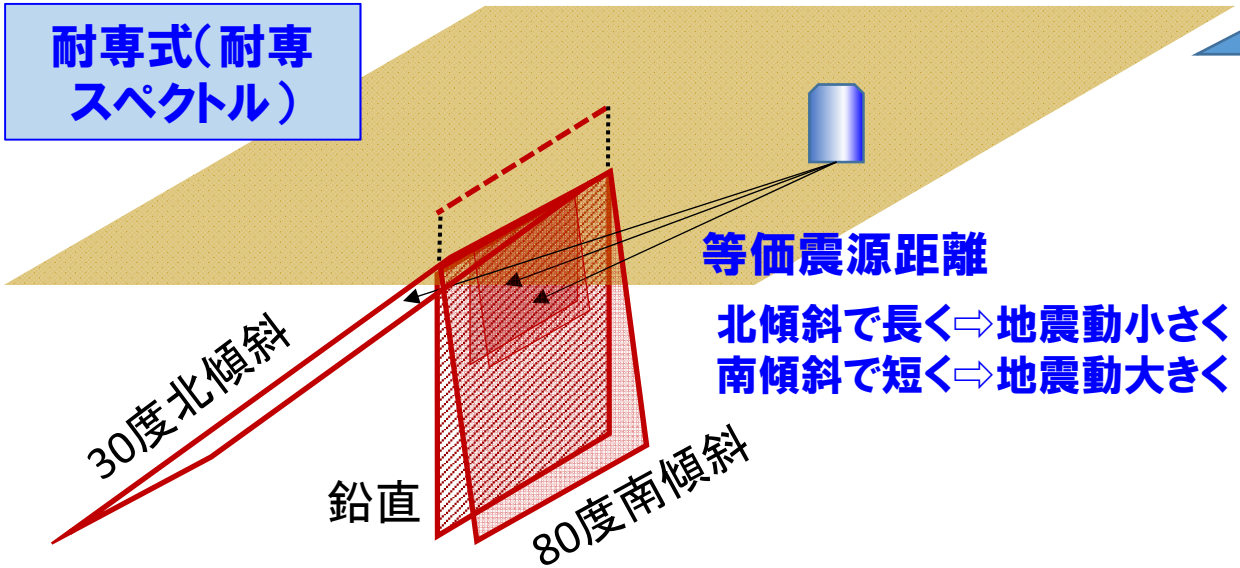
10. 相手方が用いた「その他距離減衰式」の問題点

その他の距離減衰式



・断層が傾斜していると
断層最短距離は変わらない⇨地震動は変わらない
等価震源距離は変わる⇨傾斜方向で地震動は変わる

耐専式（耐専スペクトル）



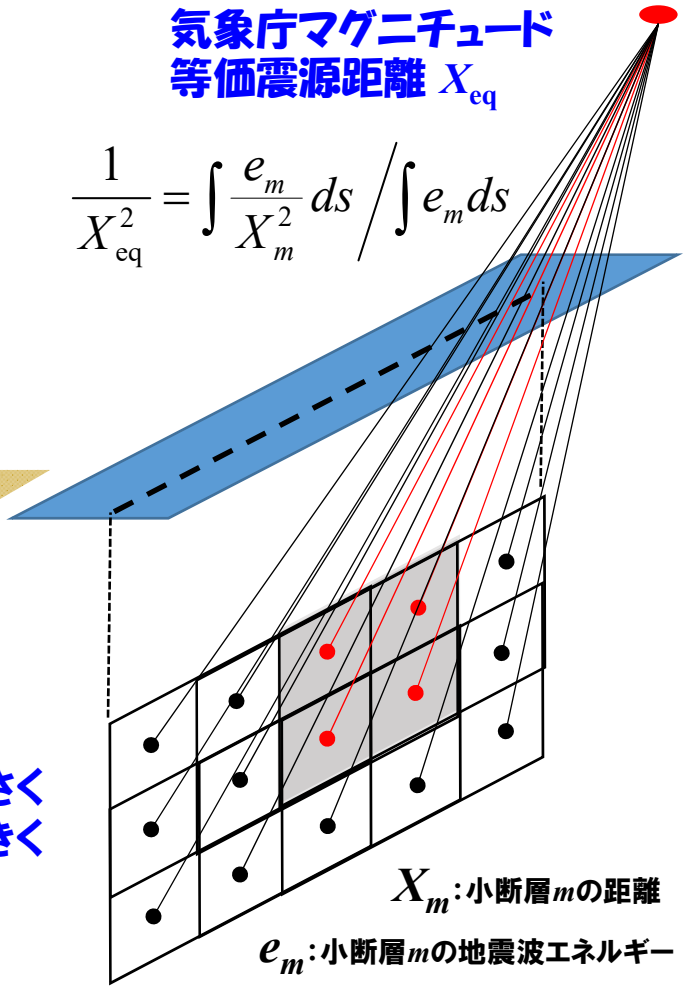
等価震源距離
北傾斜で長く⇨地震動小さく
南傾斜で短く⇨地震動大きく

耐専スペクトル

国内地震観測記録の平均像

気象庁マグニチュード
等価震源距離 X_{eq}

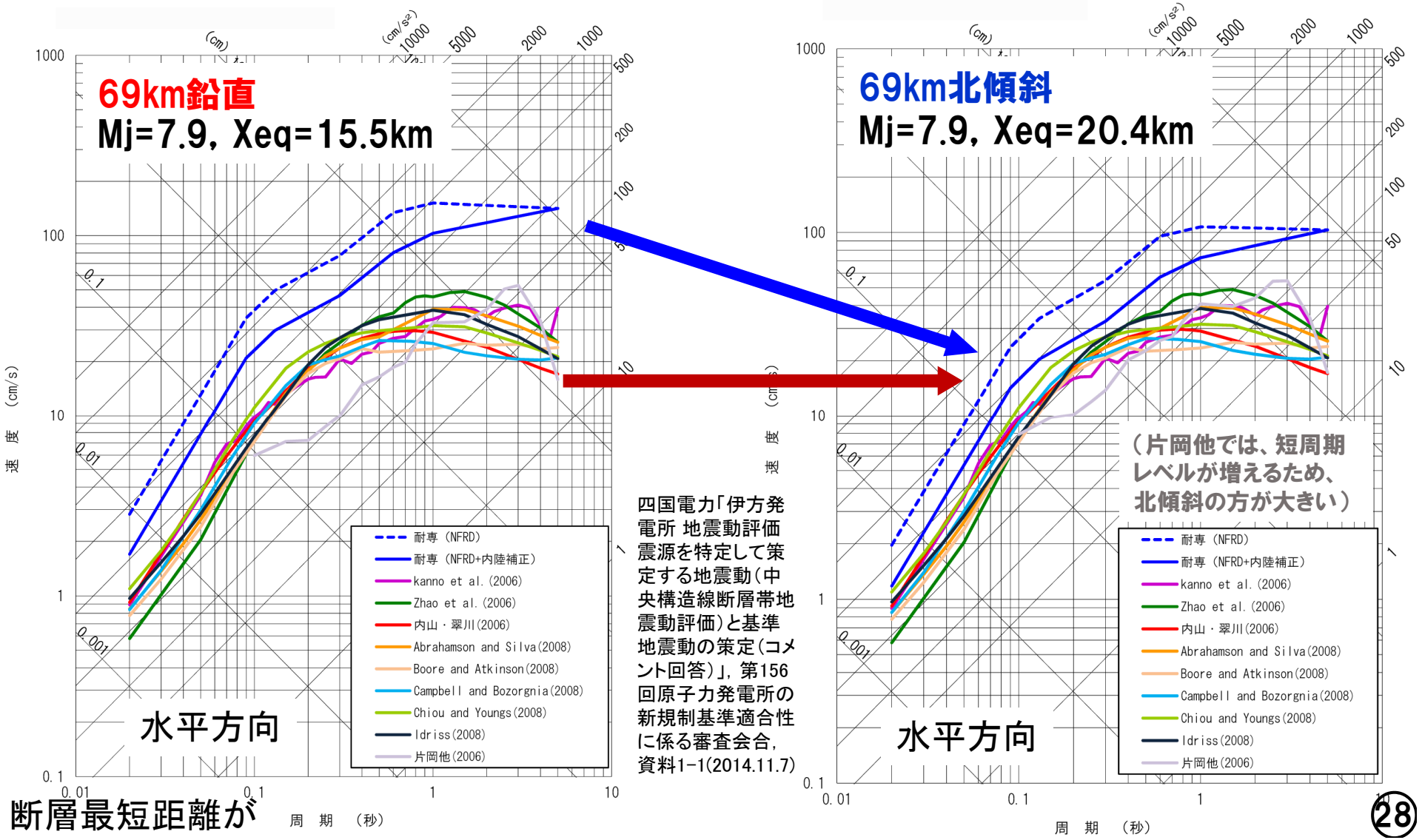
$$\frac{1}{X_{eq}^2} = \int \frac{e_m}{X_m^2} ds \Big/ \int e_m ds$$



X_m：小断層mの距離
e_m：小断層mの地震波エネルギー
ds：小断層mの微小領域の面積

断層モデルの地震動評価は、「北傾斜」のほうが「鉛直」より大きい・・・

耐専スペクトルは、Xeqが大きくなるため、北傾斜のほうが小さい！
その他距離減衰式の地震動評価は「鉛直」と「北傾斜」で変わらない！



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)

断層最短距離が

四国電力が用いた「その他距離減衰式」

どの距離減衰式も敷地の解放基盤表面のVs=2600m/sまでは対応していないので，適用範囲内で最も硬い地盤条件で地震動を算定する。

M7.3, X_{eq}=6kmで適用可と確認されている（旧原子力安全委員会：甲A114号証）

各距離減衰式のデータベース諸元

距離減衰式	データベース諸元					今回地震動の推定に設定した対象地盤のせん断波速度（Vs30）[最も硬い地盤で推定]
	対象地域	地震タイプ	Mwの範囲	断層最短距離の範囲	地盤種別	
耐専スペクトル	国内	主に太平洋沿岸の60km以浅の地震	M_J5.5～7.0	28～202km（等価震源距離）	500≦Vs≦2700 m/s	2200m/s（Vs）
Kanno et al.(2006)	主に国内	内陸 プレート間 プレート内	5.5～8.2	1～500km	100≦Vs30※1≦1400 m/s	1400m/s
Zhao et al.(2006)			5.0～8.3	0.3～300km	Soft soil ～Hard rock（Hard rock Vs=2000m/s）	2000m/s（Vs）
内山・翠川(2006)	日本周辺		5.5～8.3	300km以内	150≦Vs30※1≦750m/s	1500m/s
片岡ほか(2006)	国内	内陸 M_w 4.9～6.9 海溝性 5.2～8.2		250km以内	Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種地盤および工学的基盤	1500m/s
Abrahamson and Silva(2008)	主に国外	内陸	4.27～7.9	0.07～200km	100≦Vs30※1≦2000m/s	1500～2000m/s※2
Boore and Atkinson(2008)				0.1～400km	NEHRP分類A～E	1300m/s
Campbell and Bozorgnia(2008)				0.1～200km	150≦Vs30※1≦1500m/s	1100～1500m/s※2
Chiou and Youngs(2008)				0.07～70km	100≦Vs30※1≦2000m/s	1130～1500m/s※2
Idriss(2008)			4.5～7.7	0.3～200km	450≦Vs30※1≦900m/s	≧900m/s※2

※1 Vs30：表層30mにおけるS波速度の平均値
※2 この間の地震動は一定値として算出される
伊方発電所敷地のS波速度：2600m/s

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)

「その他距離減衰式」は、

（長沢啓行「被告準備書面（12）への反論」，甲A181）

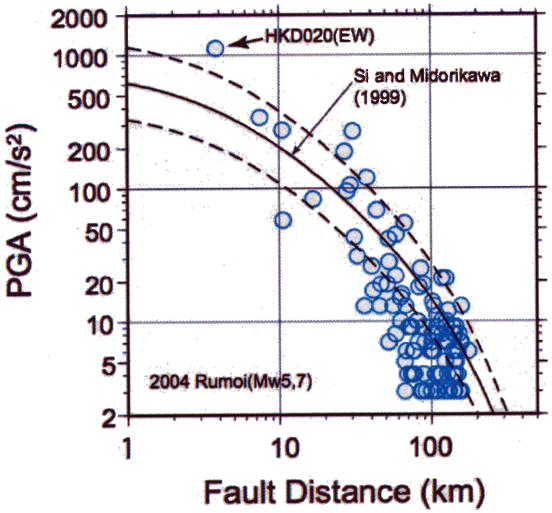
（1）2003年までのMw6.9以下の内陸地殻内地震観測記録に基づいたもので、最新の震源近傍での地震観測記録は反映されていない。（2004年北海道留萌支庁南部地震，2005年福岡県西方沖地震，2008年岩手・宮城内陸地震，2016年熊本地震など）

（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。
（ただし、片岡他（2006）には短周期レベル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、M7.9の69kmモデルは適用範囲外となる。**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適用外の根拠にはならない！

耐専スペクトルと震源域内地震観測記録（2000年鳥取県西部地震など）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PGA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。しかし、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）台湾は非常に破砕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。

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（$e^{0.760}$～$e^{0.849}$＝2.14～2.34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（$10^{0.35}$～$10^{0.40}$＝2.2～2.5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）：

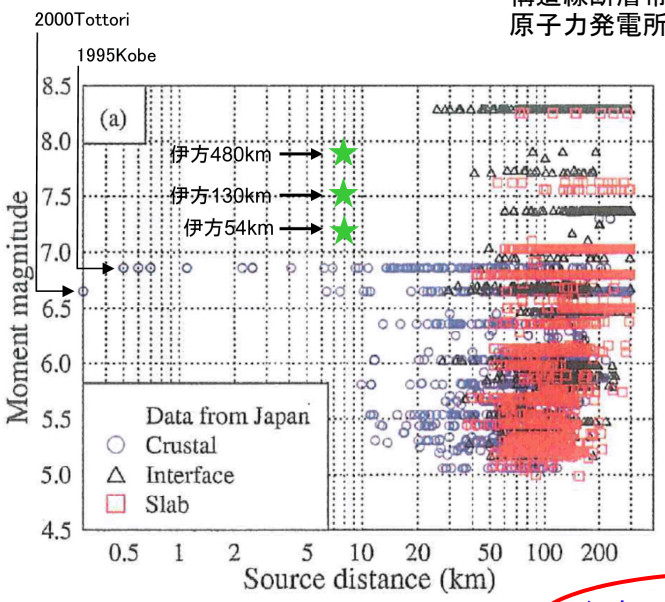
1978～2003年の国内183地震のデータ（内陸地殻内地震47はMw4.9～6.9の5,160波形，海溝性地震136はMw5.2～8.2の5,882波形）が対象。

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）とやや大きいが，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。

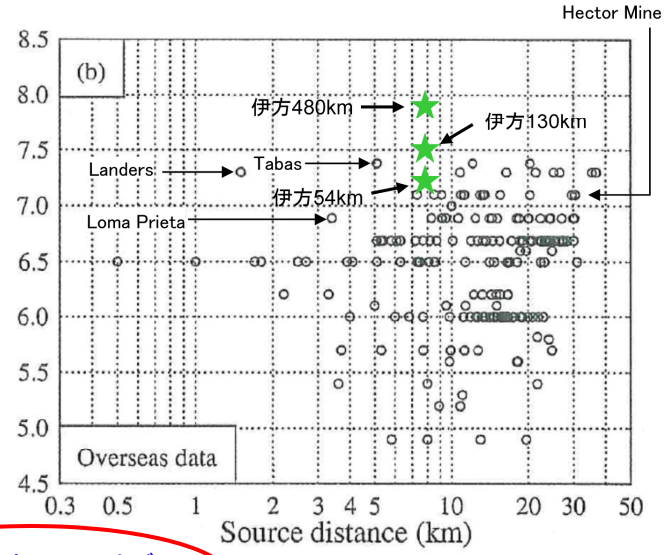
国内記録が多いとされる「その他距離減衰式」でも地震規模と距離から、M7.9の69kmモデルは適用範囲外になる！

「その他距離減衰式」では地震動を過小評価する可能性があり、耐専スペクトルと乖離していても、耐専スペクトル適用外の根拠にはならない！

【Zhao et al.(2006)】



日本の記録

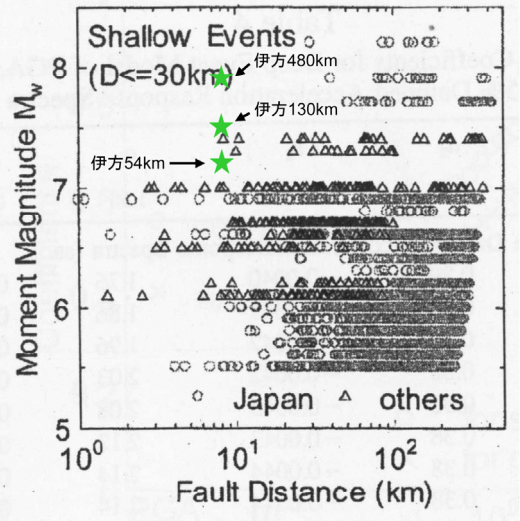


国外の記録

伊方480kmと130kmはデータの少ない範囲にある

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)

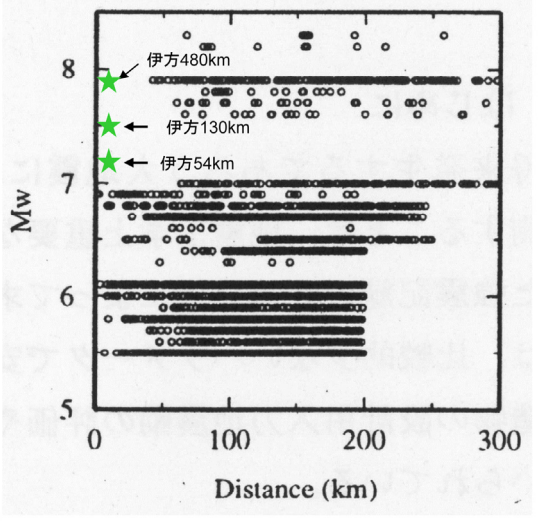
【Kanno et al.(2006)】



Mw7.4 Kocaeli
Mw7.3 Landers
Mw7.0 Loma Prieta, Duzce
Mw6.9 Kobe

伊方480kmはデータの少ない範囲にある

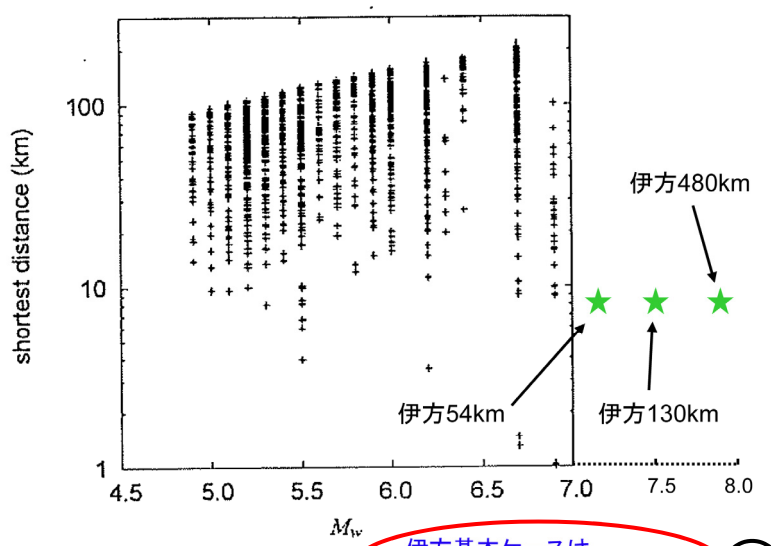
【内山・翠川(2006)】



Mw7.9 十勝沖
Mw7.0 2003宮城県沖
Mw6.9 兵庫県南部
Mw6.8 鳥取県西部

伊方は外挿評価になると判断される

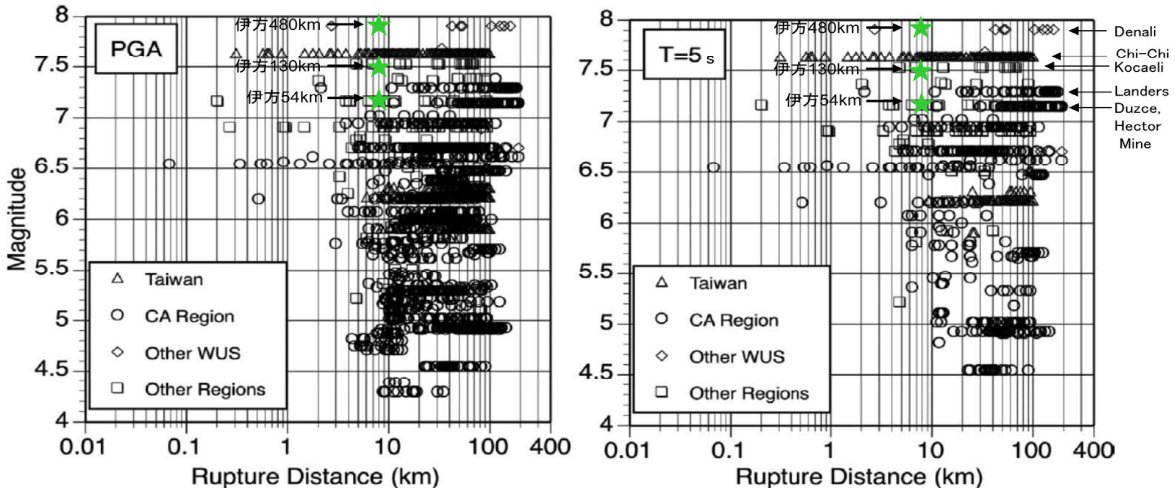
【片岡・他(2006)】



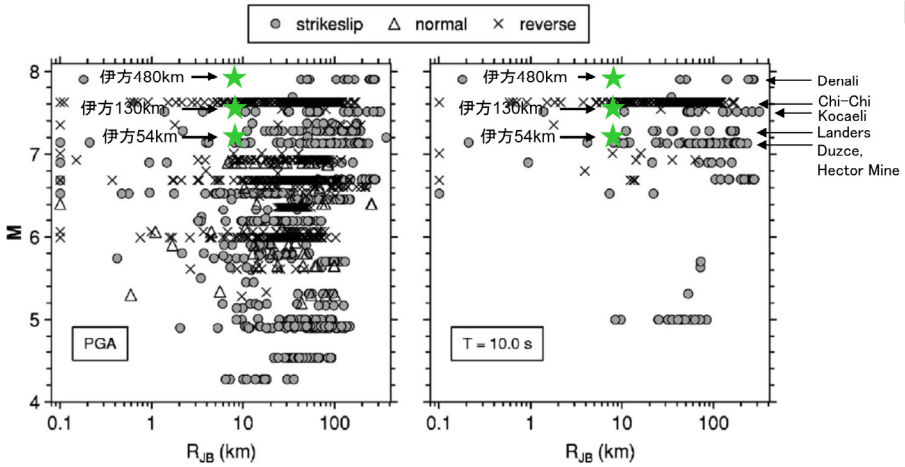
伊方基本ケースは外挿評価になると判断される

米NGAプロジェクトの5つの距離減衰式では、
全データのほぼ半数が台湾・集集（Chi-Chi）地震
Mw7.62とその5余震Mw5.90～Mw6.30の記録、
大地震の震源近傍データはKocaeri地震Mw7.5と
Denali地震Mw7.9によるものが大部分を占める。
日本の観測記録は兵庫県南部地震の22記録だけ。

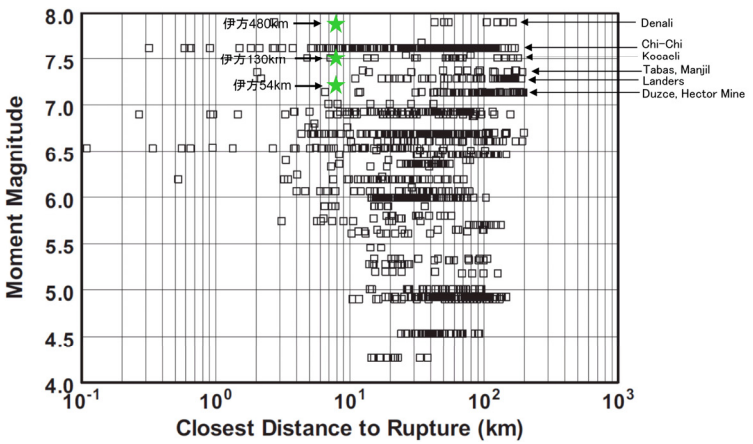
【Abrahamson and Silva (2008)】



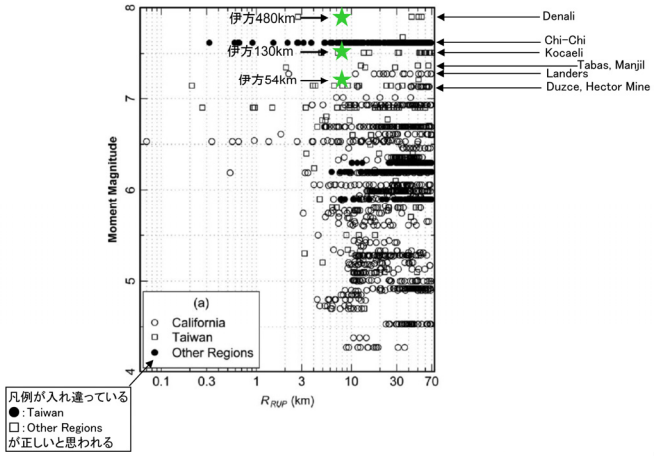
【Boore and Atkinson (2008)】



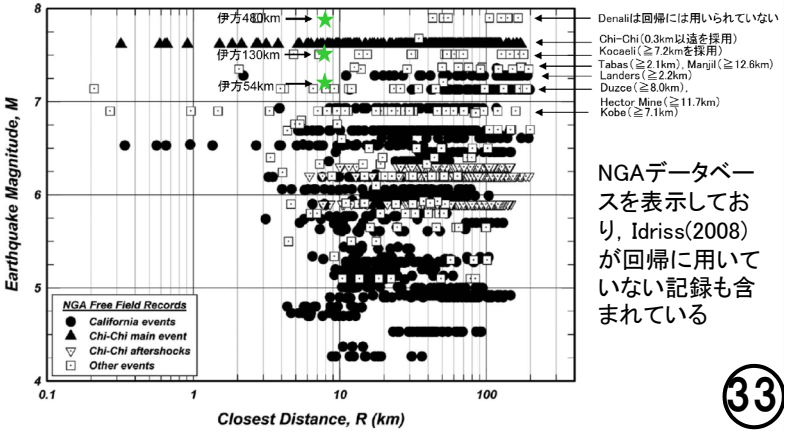
【Campbell and Bozorgnia (2008)】



【Chiou and Youngs (2008)】



【Idriss (2008)】



NGAデータベースを表示しており，Idriss(2008)が回帰に用いていない記録も含まれている

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Kocaeri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。

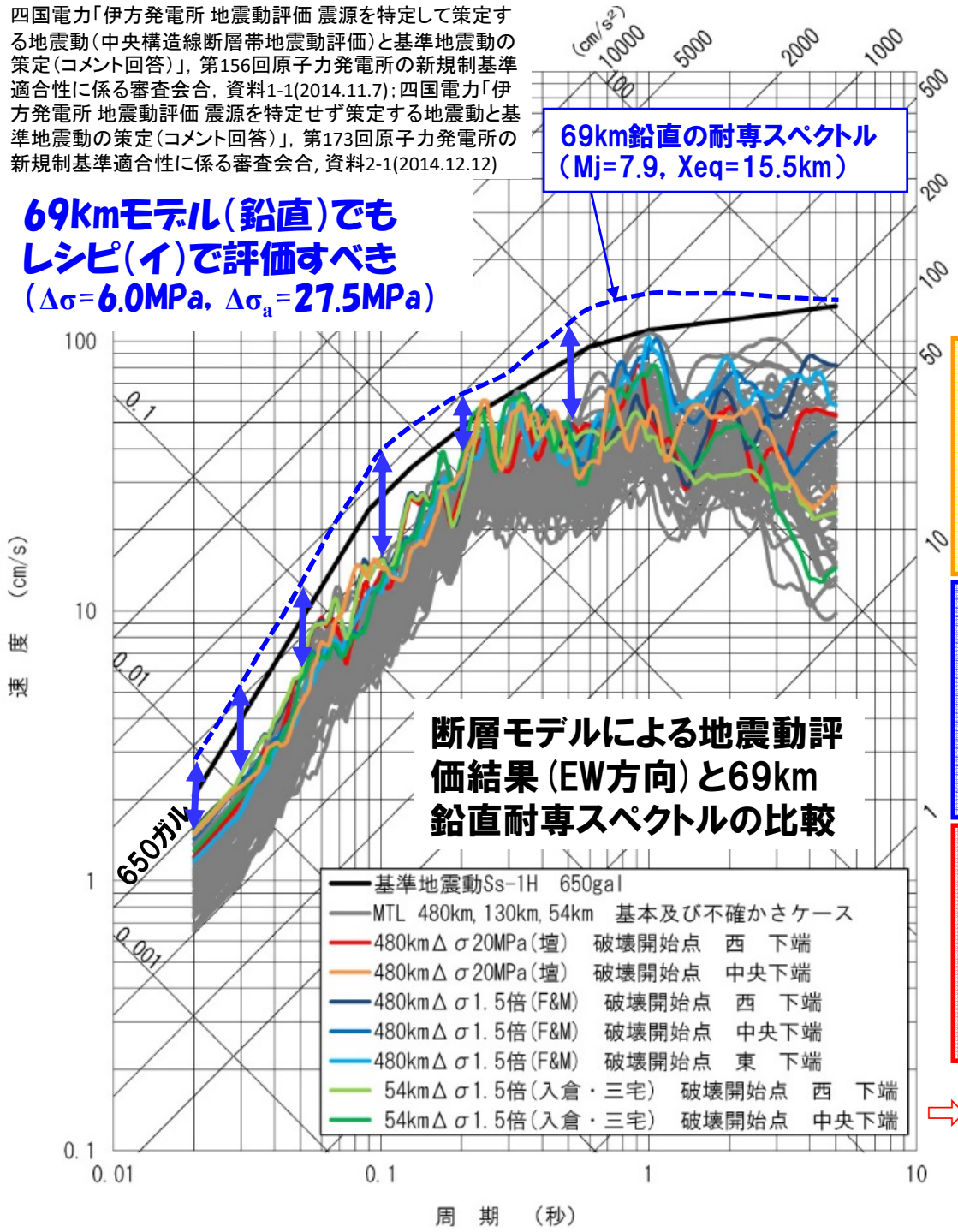
自然による警告＝熊本地震を真摯に受け止めれば、伊方3号は止めるしかない！

11. 断層モデル評価の問題点

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)

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！

69kmモデル（鉛直）でもレシピ（イ）で評価すべき
（$\Delta\sigma$=6.0MPa，$\Delta\sigma_a$=27.5MPa）



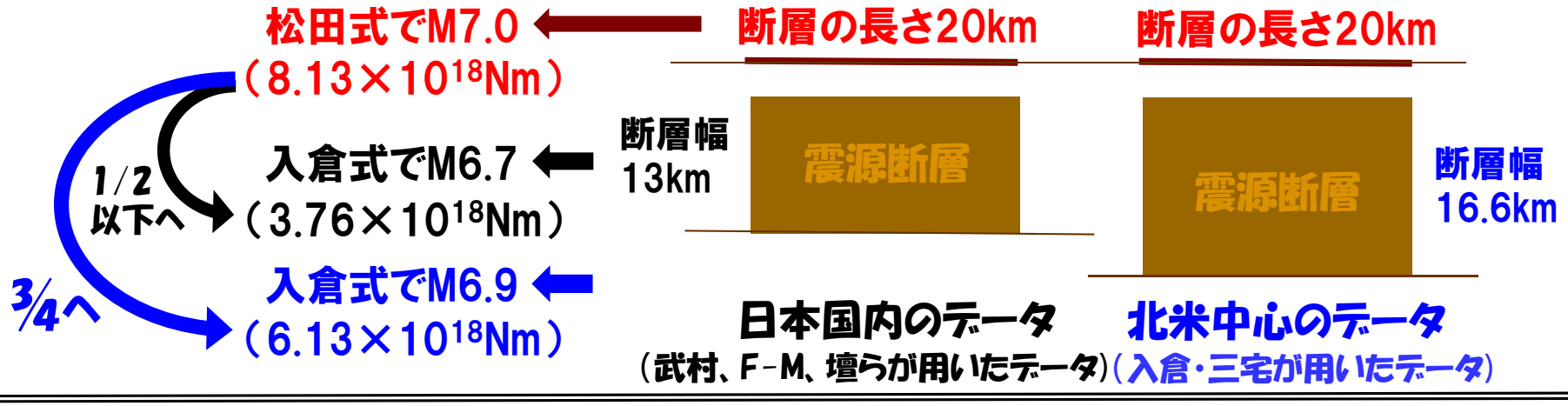
壇ら（2011）の手法（断層幅15kmの解析）
（480，130，54kmモデルに適用）
武村とMurotaniに合うS-Mo関係式
$\Delta\sigma$=3.4MPa，$\Delta\sigma_a$=12.2MPa

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
$\Delta\sigma$=3.1MPa，$\Delta\sigma_a$=14.4MPa

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

⇨レシピ（イ）では約1.6倍の地震動に！
54km鉛直：$\Delta\sigma$=5.0MPa，$\Delta\sigma_a$=22.5MPa

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！



耐専スペクトル

断層長さ
↓ 松田式
地震規模
↓
等価震源距離
↓
地震動評価

断層モデル（レシピ（イ））

地震調査研究推進本部（阪神・淡路大震災後設置され、本部長は文部科学大臣）が用いているレシピ

断層面積の修正

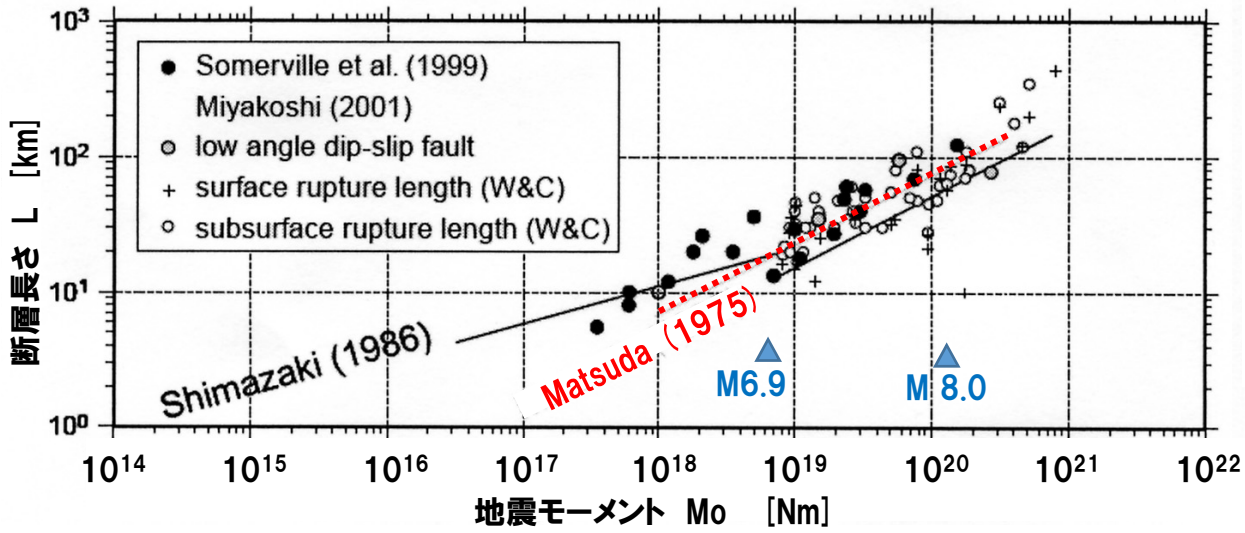
2005年初公開の入倉式によるレシピを検証した結果、2008年にレシピ（イ）が公表され、「全国地震動予測地図」ではもっぱらレシピ（イ）が用いられている。

断層モデル

断層面積
↓ 入倉式
地震規模
↓
応力降下量
短周期レベル
↓
地震動評価

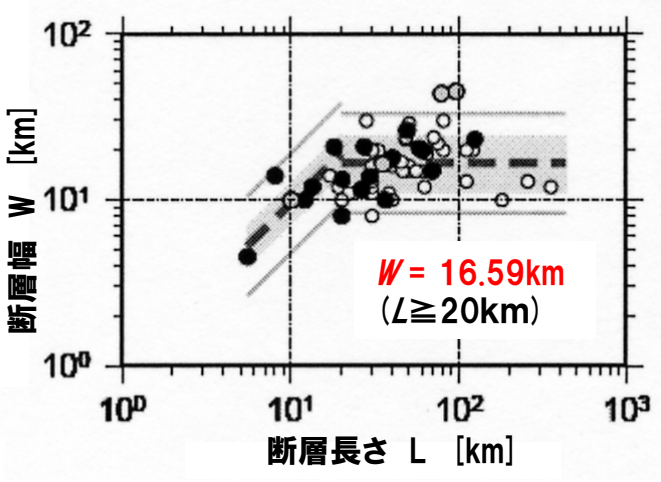
四国電力はレシピ（イ）を用いず、54kmモデルでは、レシピ（ア）の入倉式で地震規模を過小設定！

さらに，断層幅の違いを無視して，壇ら(2011)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！



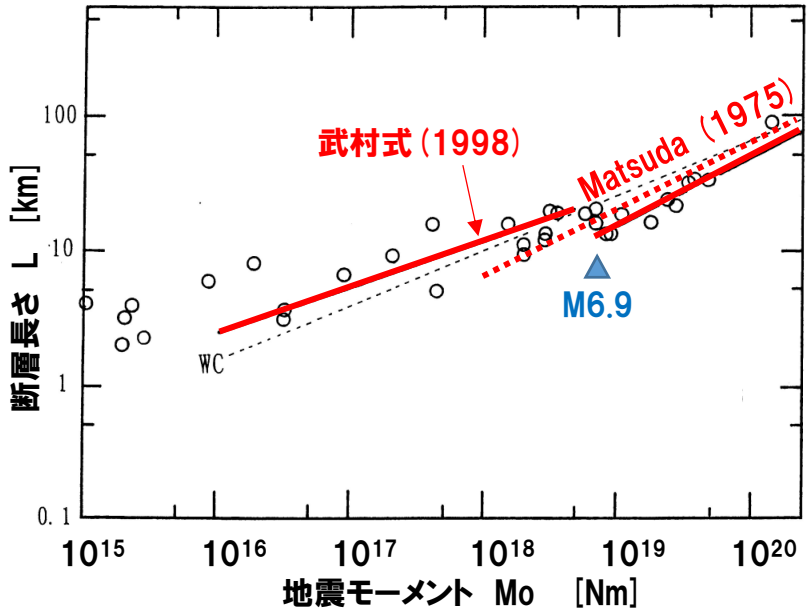
北米中心データによる断層長さと地震モーメントの関係

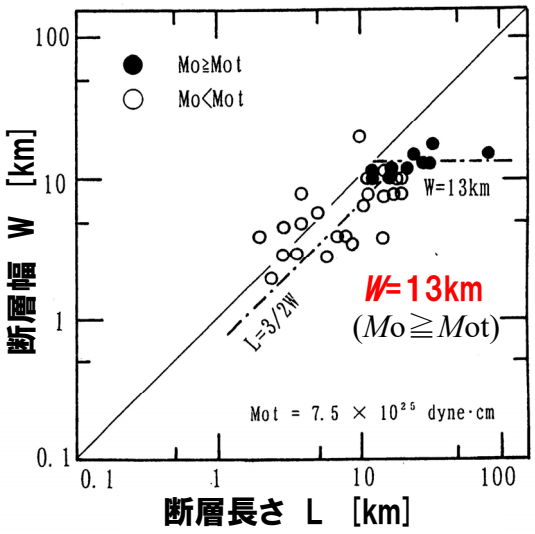
入倉孝次郎・三宅弘恵 (2001):シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, 110, 849-875



断層長さと断層幅の関係

●（横ずれ，高角逆断層）
●（低角逆断層）
:震源インバージョンによる，
Somerville et al.(1999),
Miyakoshi(2001)
○（伏在断層）
＋（地表地震断層）
:余震と地表観察による
Wells and Coppersmith(1994)





断層長さと断層幅の関係

国内データによる断層長さと地震モーメントの関係

武村雅之(1998):日本列島における地殻内地震のスケーリング則----地震断層の影響および地震被害との関連----, 地震第2輯, 51, 211-228.

松田式による地震規模は、北米中心データよりやや大きめ、国内データよりやや小さめだが、震源断層長さと地震規模の関係を比較的よく表す。断層幅の違いから、断層面積では食い違ってくる。

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

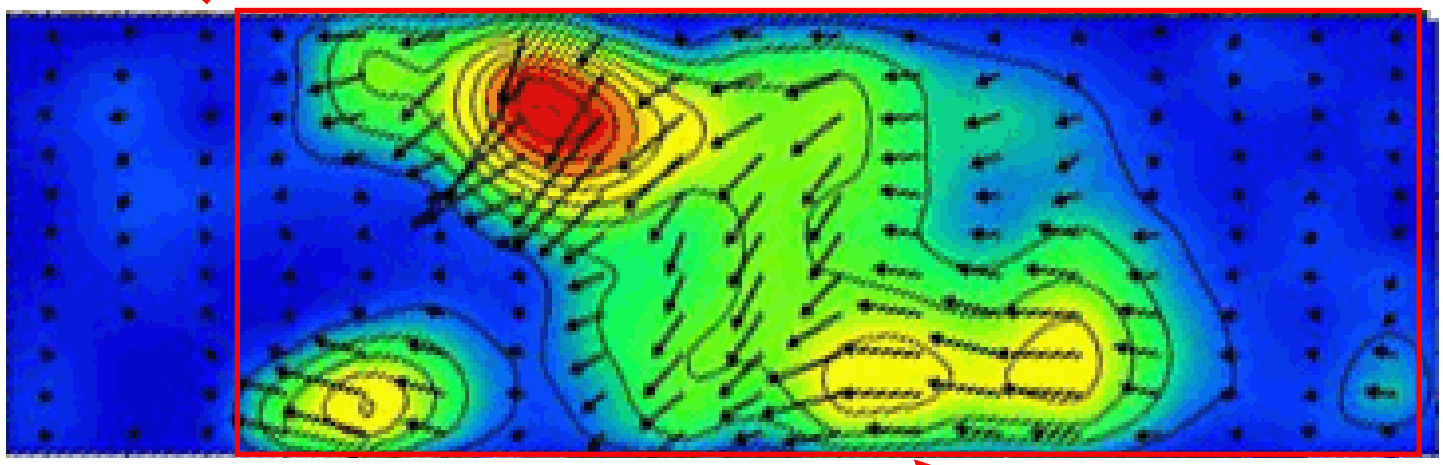
地震調査研究推進本部のレシピ(イ)で地震規模を推定

均質な震源断層

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。

レシピ(ア)で地震規模を推定

不均質な震源断層 長さ45km



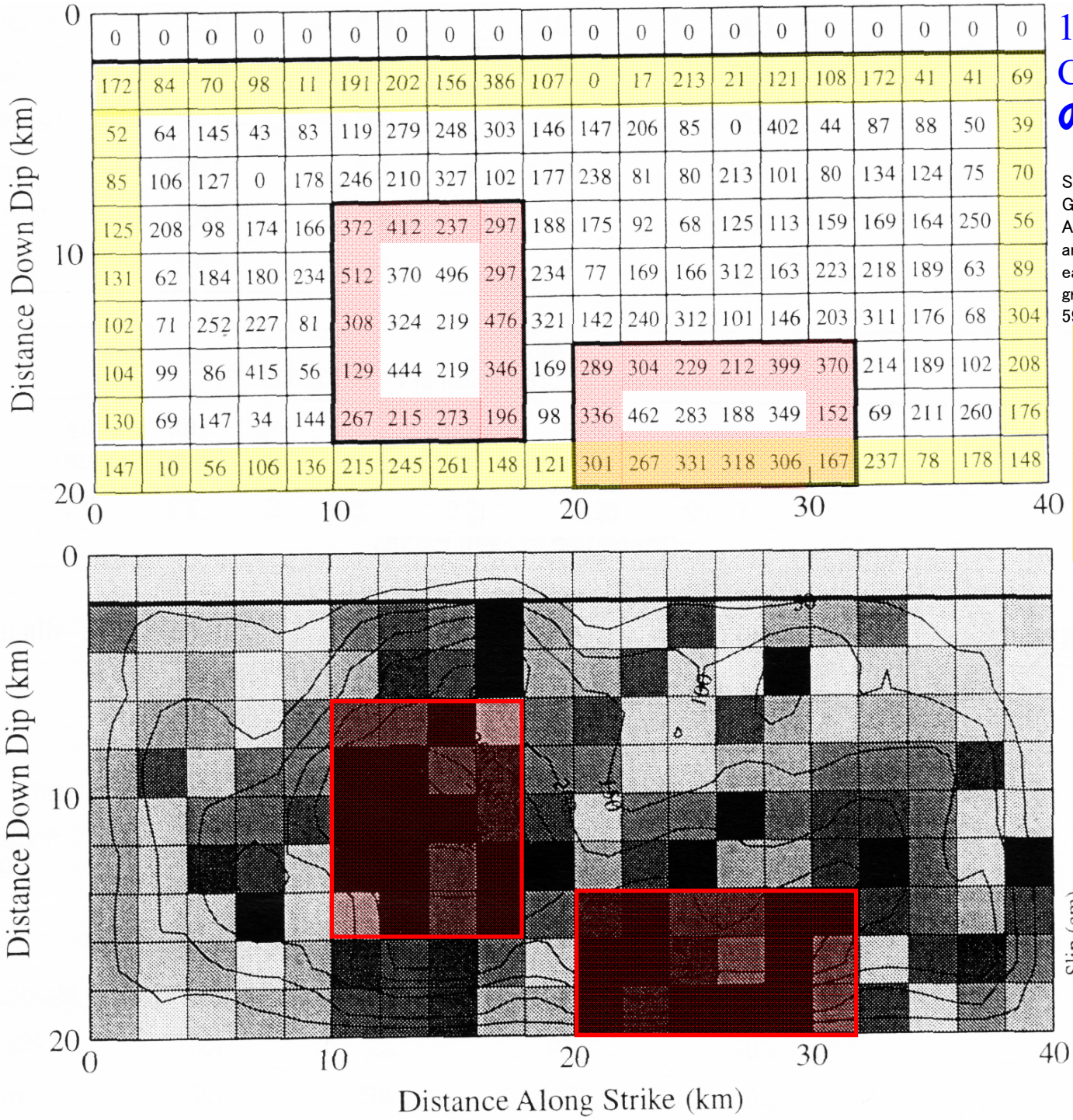
初期断層モデル 幅16.5km

不均質な震源断層 幅16.5km

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_w6.95 のすべりモデル



Trim Line

Asperity

148 Slip in cm

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）

入倉式は熊本地震の不均質な震源断層をほぼ再現！

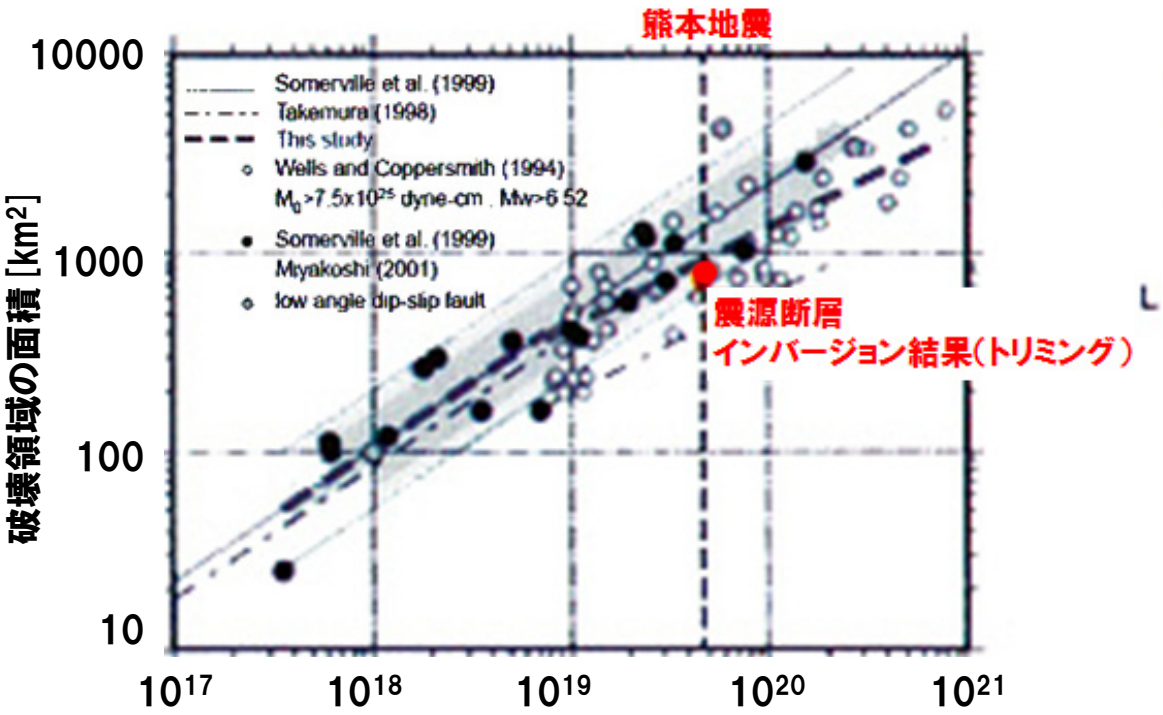
不均質断層の面積 $742.5km^2$ → 入倉式で逆算 → $909.4km^2$（1.22倍）

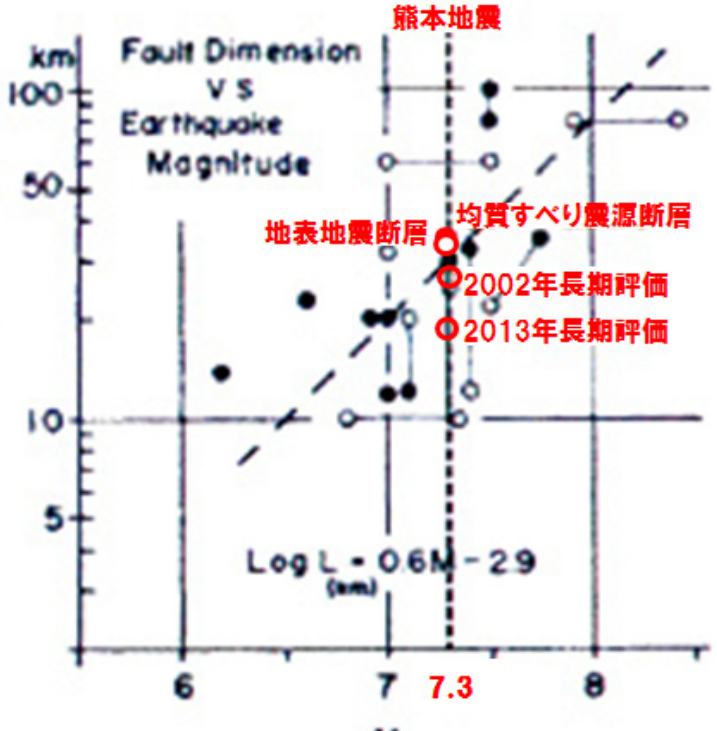
地震モーメント $4.6\times10^{19}Nm$ → 入倉式で逆算 → $3.1\times10^{19}Nm$（0.67倍）

松田式は熊本地震の均質な震源断層をほぼ再現！

均質断層の長さ 34km/35.4km → 松田式で逆算 → 30.2km（0.89/0.85倍）

気象庁マグニチュード M7.3 → 松田式で逆算 → M7.4/M7.4（0.1大きい）





不均質な震源断層は地震前には分からない

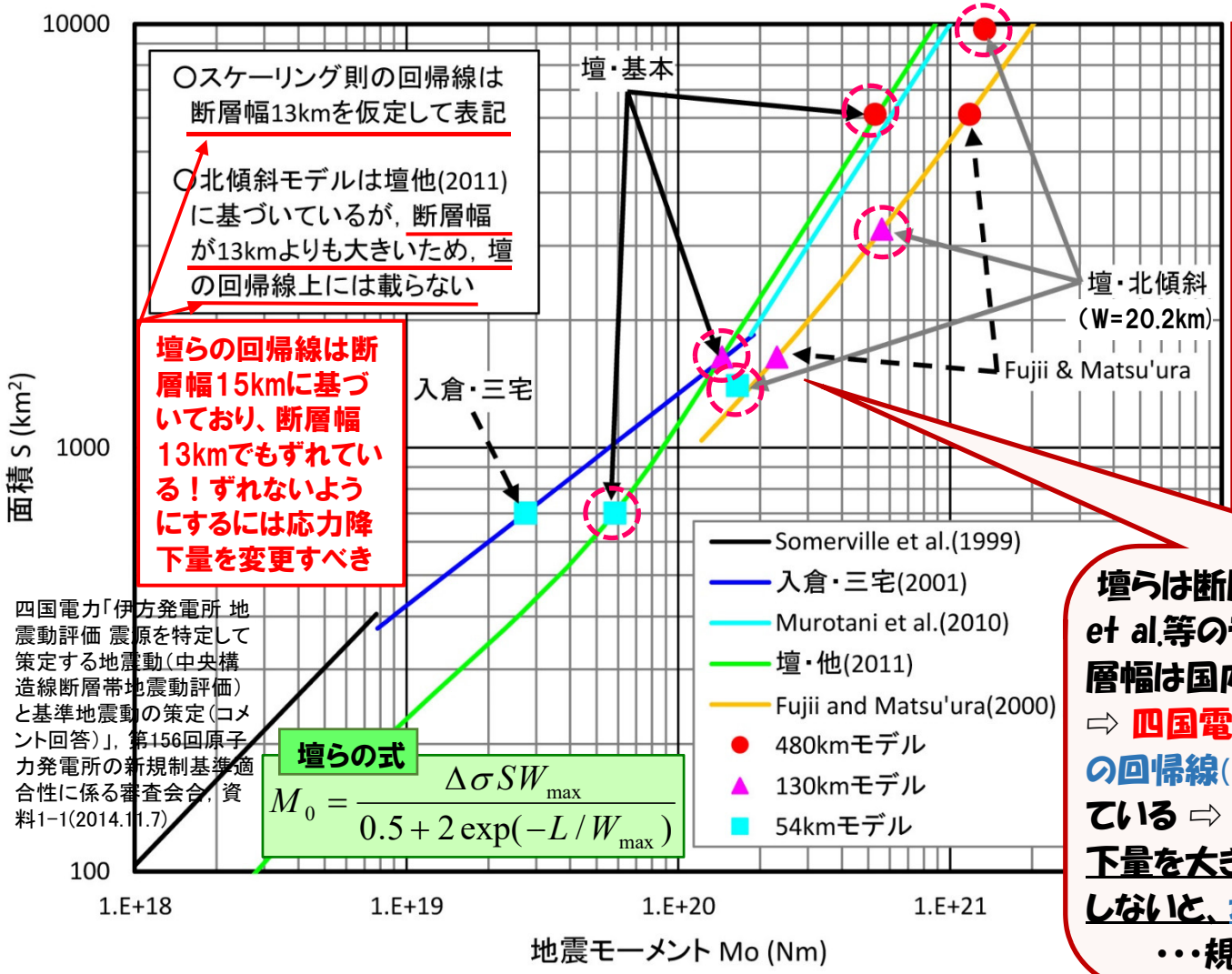
（断層上端深さ2km、地震発生層下端15km、傾斜角60度と仮定）

地震が起きる前に、断層長さ34km、断層幅15kmとした場合
松田式ではM7.4だが、入倉式では$1.45\times10^{19}Nm$（0.32倍）になる！

➡ レシピ（イ）を使うべき！

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。



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

壇らは断層幅を15kmと仮定し、Murotani et al.等のデータに回帰させたが、実際の断層幅は国内データで平均12kmと狭い
⇨ 四国電力の「壇・基本」も「北傾斜」も壇らの回帰線(Murotaniの回帰線に重なる)から外れている ⇨ 断層幅が小さい場合には応力降下量を大きくし、幅が大きい場合には小さくしないと、壇らの回帰線には乗らない
・・・規制委はこれに気付かなかった？

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

$(\Delta\sigma, \Delta\sigma_a) = (3.4\text{MPa}, 12.2\text{MPa}) \Rightarrow (4.3\text{MPa}, 19.5\text{MPa})$　(Sa/S=0.22)

12. 島崎元原子力規制委員会委員長代理の入倉・三宅式についての指摘の意味と原子力規制委員会の能力

「世界最高水準の規制基準による適合性審査」のひどすぎる実態が遂に暴かれた！

2014.9.18 島崎邦彦氏が任期切れ退職
（原子力規制委員長代理）

島崎氏が「入倉式批判」を開始
2015.5.28 日本地球惑星科学連合大会
2015.10.28 日本地震学会
2015.11.28 日本活断層学会
2016.5.25 日本地球惑星科学連合大会

2016.6.10 地震調査研究推進本部が新レシピで「長大な断層」を定義

2016.6.16 田中俊一原子力規制委員長らが島崎氏と1回目の会見

2016.6.20 本会議で「大飯原発について地震動評価を行う」ことを決定

2016.6.23 脱原発弁護団全国連絡会が新レシピに関する要請書

2016.7.13 本会議で「武村式による地震動計算結果は基準地震動の範囲内」、「大飯原発について基準地震動見直しの必要はなく、これで結論が出た」

2016.7.14 島崎氏が田中委員長へ抗議の手紙を提出し、記者会見で批判

2016.7.19 島崎氏と2回目の会見

2016.7.20 本会議で、委員の無知を棚上げ、規制庁による説明不足をやり玉に挙げ、7.13の「結論」を白紙化、入倉式や武村式以外の推本の修正レシピや中央防災会議の方法も検討を指示

2016.7.27 本会議で、新たな試計算は一切追加されず、規制庁による「レシピの改ざん」が数式とポンチ絵で説明されたが、改ざんレシピの妥当性や推本の修正レシピの適用可能性に関する意見も出ず、7.13の「結論」をそのまま了承

「世界最高水準の規制基準による適合性審査」は、結論ありきの情報操作を行う規制庁とそれを見抜けない規制委員とで担われている。入倉式による地震動過小評価と修正レシピの有効性が示されているにもかかわらず、採用しようとしない。

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

2014年9月原子力規制委員長代理退任8ヶ月後

島崎 邦彦 [1*]
SHIMAZAKI, Kunihiko[1*]

[1] 東京大学
[1]University of Tokyo

日本地球惑星科学連合2015年大会
Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.
http://www2.jpgu.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。

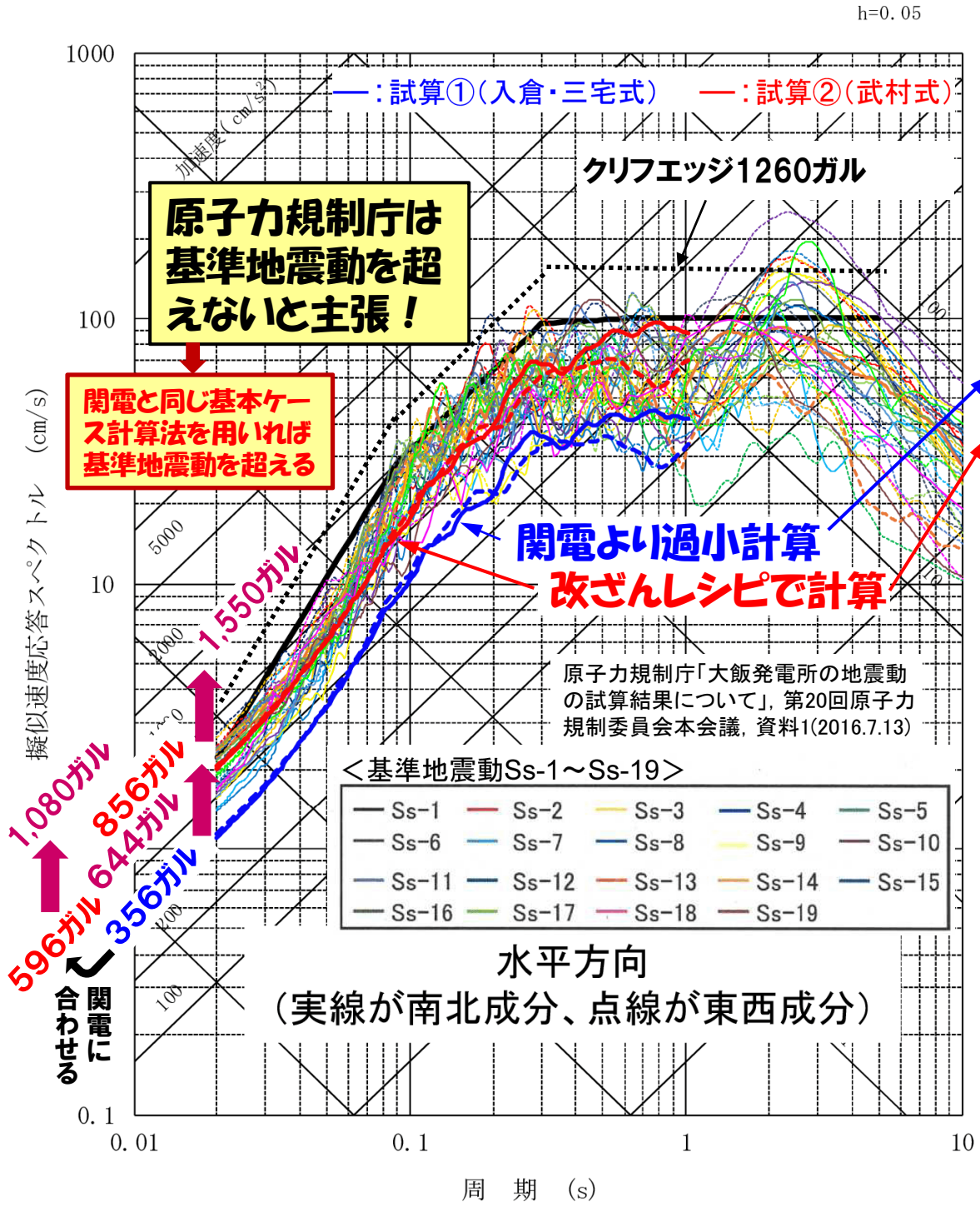
日本の陸域およびその周辺の地殻内浅発地震（マグニチュード 7 程度以上）について、断層長L（m）と地震モーメントMo（Nm）との関係式をわかりやすさを重視して表現すると次のようになる。

（1）$Mo = 4.37 \times 10^{10} \times L^2$　（武村, 1998）
（2）$Mo = 3.80 \times 10^{10} \times L^2$（Yamanaka & Shimazaki, 1999）**（注1：1990年の誤植）**
（3）$Mo = 3.35 \times 10^{10} \times L^{1.95}$　（地震調査委, 2006）**（注2：地震調査委は松田式を使用：Mの値を丸めていない）**
（4）$Mo = 1.09 \times 10^{10} \times L^2$　（入倉・三宅, 2001）**⇨$1.25 \times 10^{10} \times L^2$（$W$=15kmの場合）**

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。



FO-A～FO-B～熊川断層に対する大飯3・4号での基本ケース（破壊開始点③）に関する原子力規制庁による入倉式と武村式を用いた地震動評価結果の比較［ガル］

	NS	EW	UD
入倉式	346	356	233
武村式	632	644	405
対入倉比	1.83	1.81	1.74

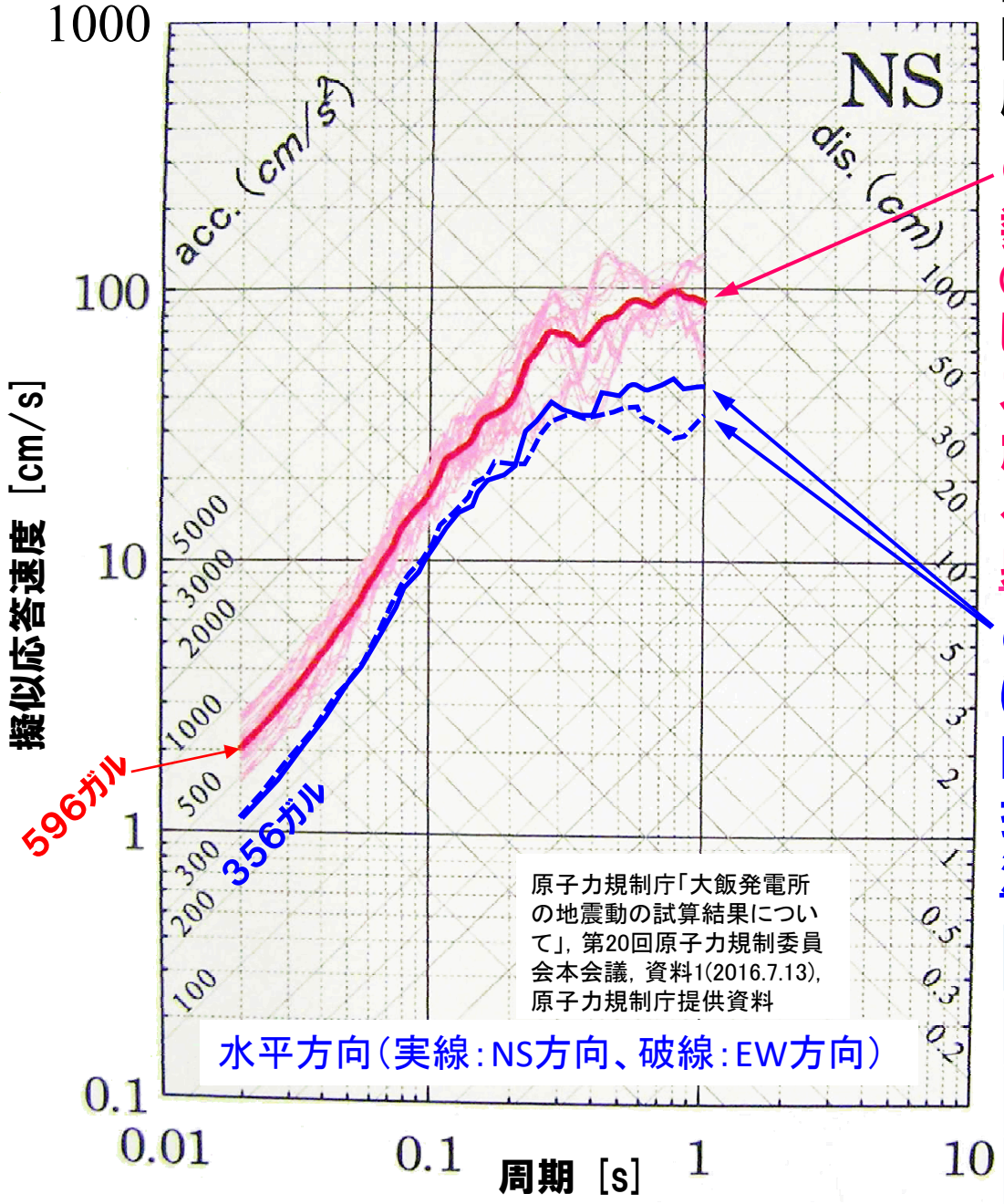
関電による同基本ケースの評価

	NS	EW	UD
関電	428	596	347
倍率	1.83	1.81	1.74
島崎試算	780	1,080	600

関電による基準地震動Ss-4の評価

	NS	EW	UD
Ss-4	546	856	518
倍率	1.83	1.81	1.74
島崎試算	1,000	1,550	900

規制庁の地震動評価は関電の6割！



原子力規制庁「大飯発電所の地震動の試算結果について」，第20回原子力規制委員会本会議，資料1(2016.7.13)，原子力規制庁提供資料

関西電力による基本ケース（破壊開始点③）の地震波と原子力規制庁の試算地震波の食違いの理由

●関西電力は、統計的グリーン関数法で要素地震波を50程度生成（位相乱数とVr±5%揺らぎの乱数による）して地震動評価を行い、その平均スペクトルに最も近い中央値の地震波形を代表波として採用している。また、横ずれ断層に合わせて放射特性に偏りを持たせている。

●原子力規制庁は20程度（25くらい）生成した平均スペクトルを図示。関電とは異なり、放射特性に偏りを持たせず、等方的放射特性にし、波形合成のプロセスも違う。

	NS	EW	UD
規制庁	346	356	233
関電	428	596	347
比	1.24	1.67	1.49

入倉式によるレシピ(ア) ⇨ 使うべきでない（地震発生前には、活断層や変動地形などによる均質な震源断層しか分からないため不均質な震源断層を推定できず、地震動が過小評価される）

武村式や山中・島崎式 ⇨ 使えるレシピがない（国内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を解析し、国内用の断層モデル・レシピを作り、武村式等とをつなぐ関係式も確立させるべきだが、長年月を要する。）（原子力規制庁は今回の武村式の試計算で、レシピを改ざんした）

松田式によるレシピ(イ) ⇨ 全国地震動評価だけでなく原発にも使うべき
（測地データに基づく均質な「震源断層の長さ」と「地震規模」の平均像を与える関係式として松田式は北米中心データにも国内データにもほぼ適合しており、レシピ(イ)は北米中心データに基づくレシピではあれ、現時点では次善の策として適用可能。ただし、20～35kmでは断層幅のみ拡大に留めるべきである）

	活断層の評価	地震動の評価
地震調査研究推進本部（1995年7月地震防災対策特別措置法に基づき設置）	活断層の長期評価手法」報告書（暫定版）(2010.11.25)	震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）（2008.4.11改訂）:**松田式で地震規模を求め断層面積を少し拡大するレシピ(イ)で全国地震動予測地図作成**
原発の安全審査/適合性審査	詳細な調査を理由に「松田の基準」など不採用だったが、2006年の耐震設計審査指針改定後に転換	レシピ(ア)の入倉式、長大な断層に適用すべきFujii-Matsu' uraの応力降下量を採用（壇ら(2011)の方法は推本レシピにはない）

①断層モデルによる地震動評価が耐専スペクトルの1/2～1/3倍になる乖離が解消される。
②レシピ(イ)に基づけば、伊方3号ではクリフエッジを超える。

13. 震源を特定せず策定する地震動

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

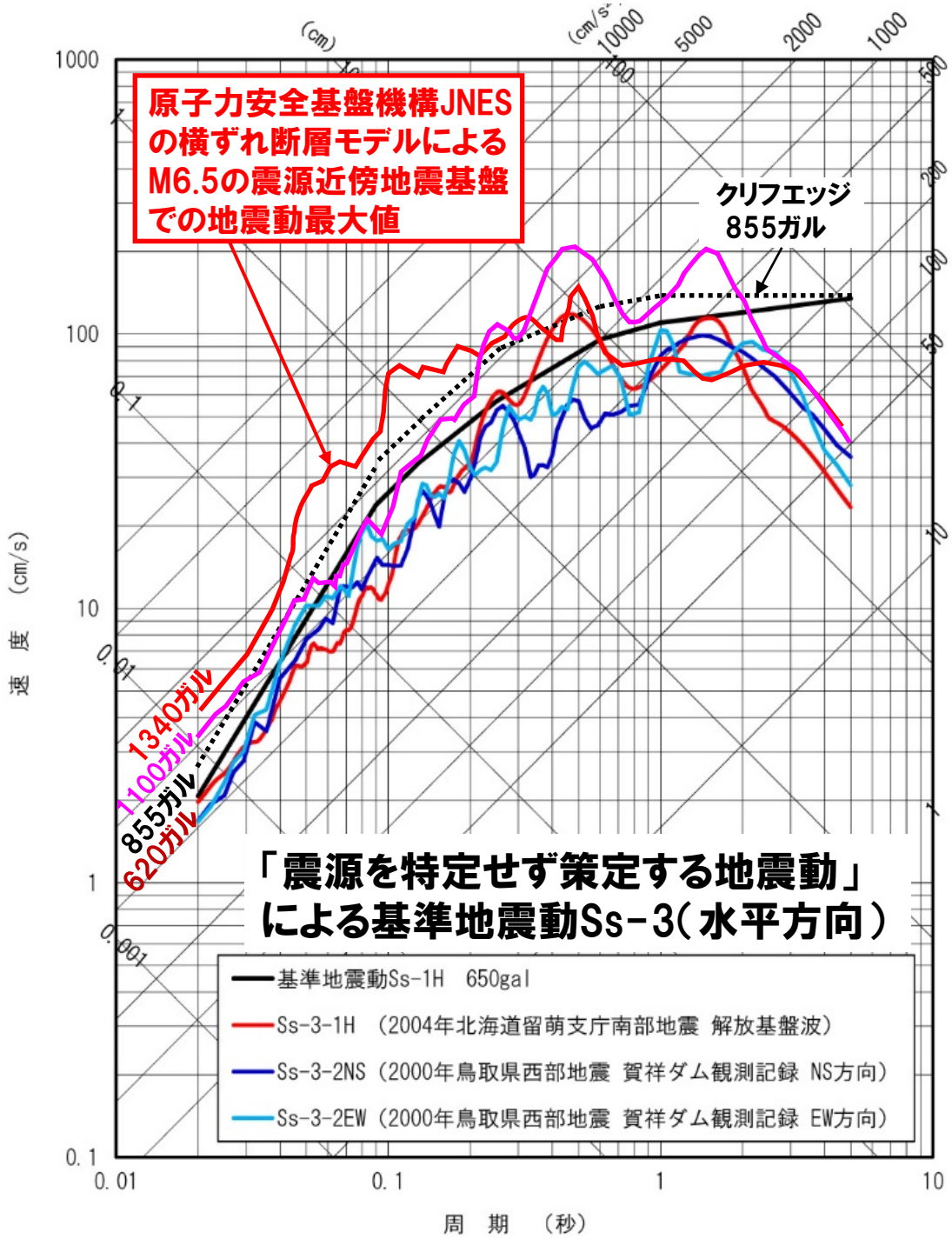
○原子力安全基盤機構JNESの断層モデルによる解析

⇨M6.5の横ずれ断層による地震で，1,340ガルの地震動

2016年熊本地震が解析の正しさを裏付けている

「震源を特定せず策定する地震動」で「収集対象となる内陸地殻内の地震の例」

No	地震名	日時	規模
1	2008年岩手・宮城内陸地震	2008/ 6/14 8:43	Mw6.9
2	2000年鳥取県西部地震	2000/10/ 6 13:30	Mw6.6
3	2011年長野県北部地震	2011/ 3/12 3:59	Mw6.2
4	1997年3月鹿児島県北西部地震	1997/ 3/26 17:31	Mw6.1
5	2003年宮城県北部地震	2003/ 7/26 7:13	Mw6.1
6	1996年宮城県北部（鬼首）地震	1996/ 8/11 3:12	Mw6.0
7	1997年5月鹿児島県北西部地震	1997/ 5/13 14:38	Mw6.0
8	1998年岩手県内陸北部地震	1998/ 9/ 3 16:58	Mw5.9
9	2011年静岡県東部地震	2011/ 3/15 22:31	Mw5.9
10	1997年山口県北部地震	1997/ 6/25 18:50	Mw5.8
11	2011年茨城県北部地震	2011/ 3/19 18:56	Mw5.8
12	2013年栃木県北部地震	2013/ 2/25 16:23	Mw5.8
13	2004北海道留萌支庁南部地震	2004/12/14 14:56	Mw5.7
14	2005年福岡県西方沖地震の最大余震	2005/ 4/20 6:11	Mw5.4
15	2012年茨城県北部地震	2012/ 3/10 2:25	Mw5.2
16	2011年和歌山県北部地震	2011/ 7/ 5 19:18	Mw5.0



伊方3号の震源を特定せず策定する地震動：

①地域地盤環境研究所による留萌支庁南部地震の震源近傍地震動評価ではEWで1.8倍、1,100ガルにない(応答スペクトルは参考)、伊方3号のクリフエッジ(855ガル)を超える！

②JNESによる1,340ガルの地震動を考慮すれば、伊方3号のクリフエッジ(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)

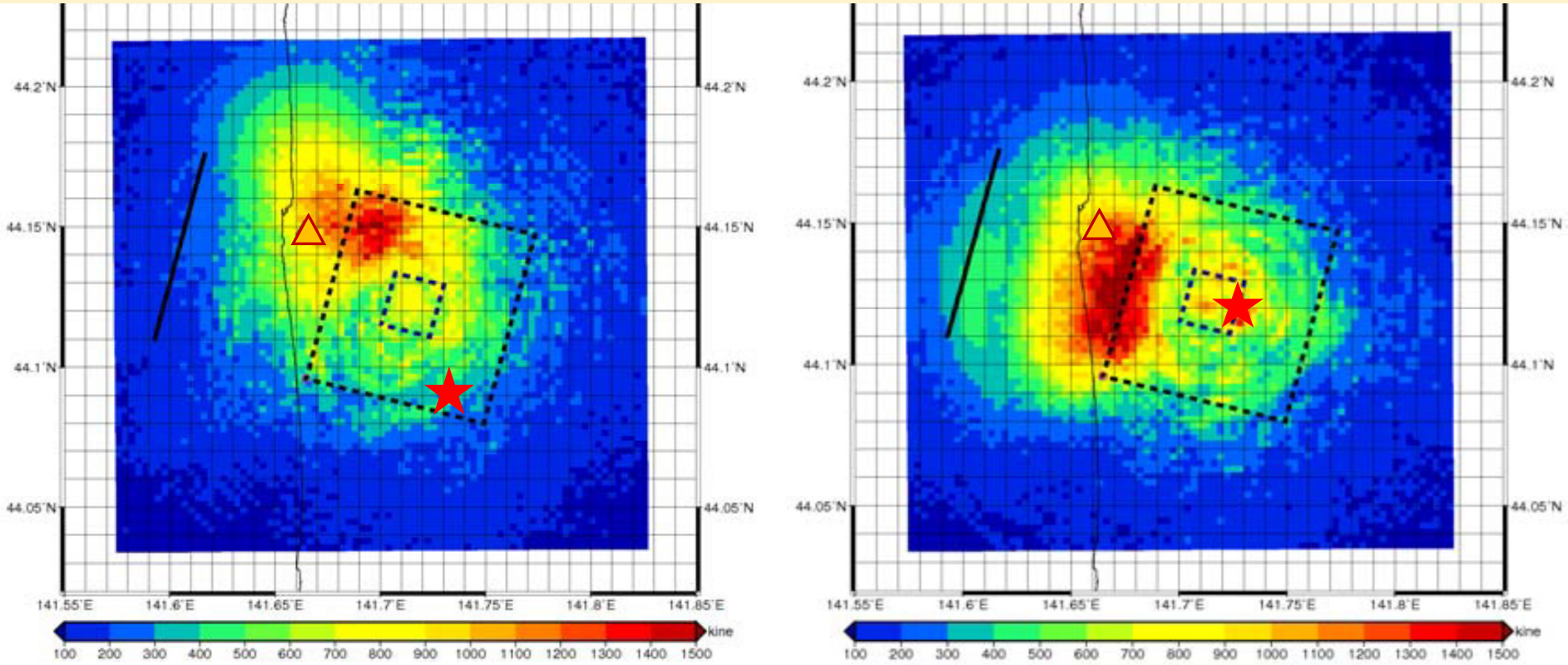
北海道留萌支庁南部地震M6.1の震源モデルによる地震動解析（左）と破壊開始点をアスペリティ下端中央へ変えた場合の地震動解析（右）

（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観測点HKD020（地表）：535.7ガル（NS），1,127.2ガル（EW）⇨ 620ガル（基盤波）

（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）⇨ 1,100ガル：1.8倍

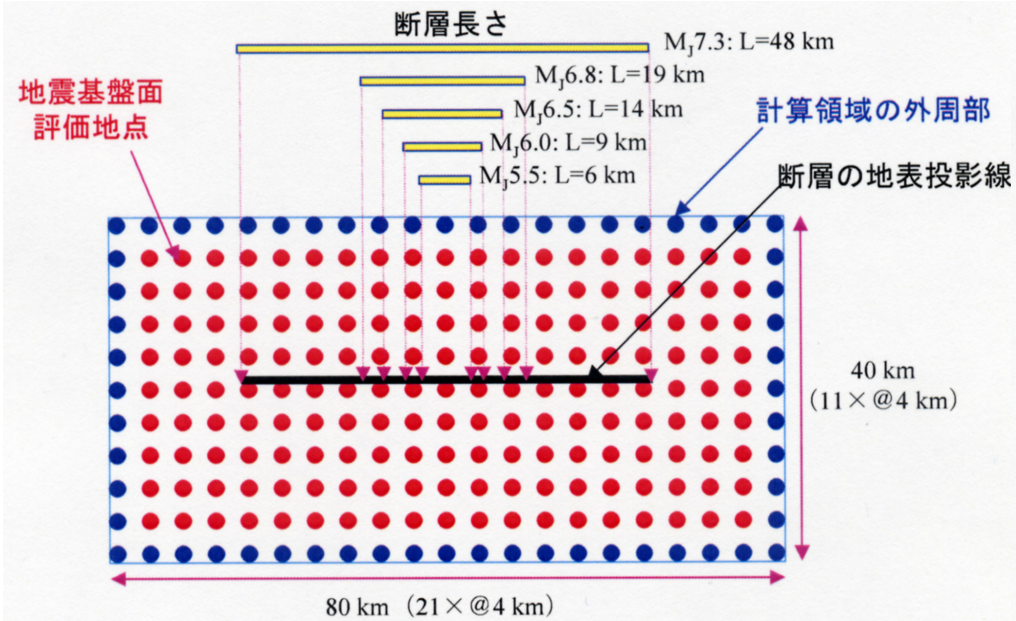


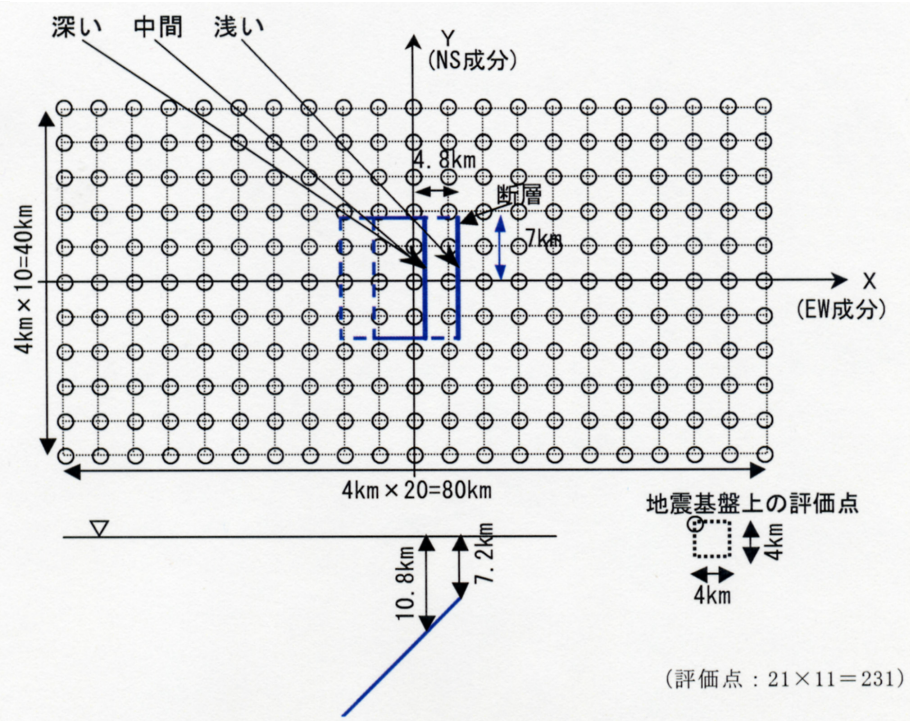
ハイブリッド法による面的強震動計算結果：（左）擬似加速度応答PGA分布，（右）破壊開始点★をアスペリティ下端中央（S2）へ変えたPGA分布　（△：HKD020地表観測速点，★：破壊開始点）

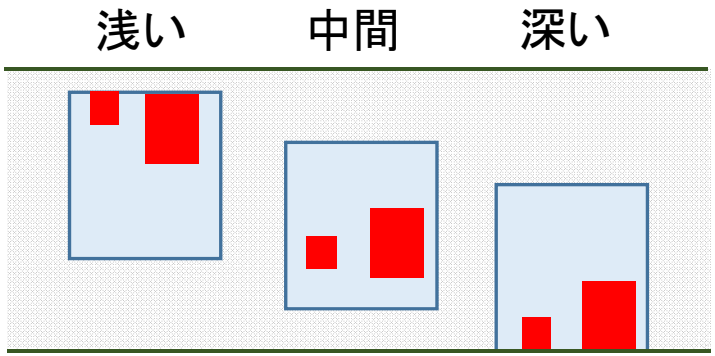
（財）地域地盤環境研究所「震源を特定せず策定する地震動に関する計算業務報告書(2011.3)

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

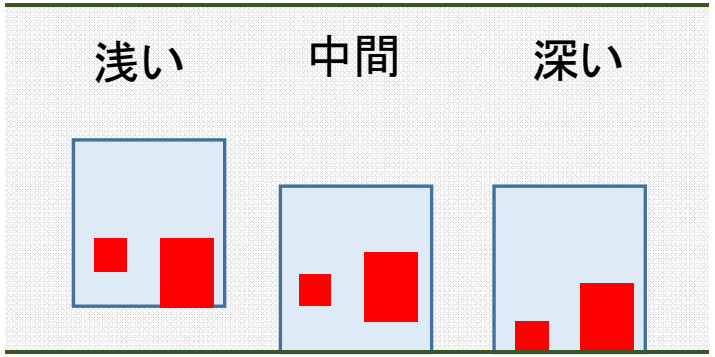
地震基盤表面(Vs=2600m/s, 原発解放基盤表面より固い岩盤)上「40km×80km」の231点で地震動評価(はぎとり波相当)







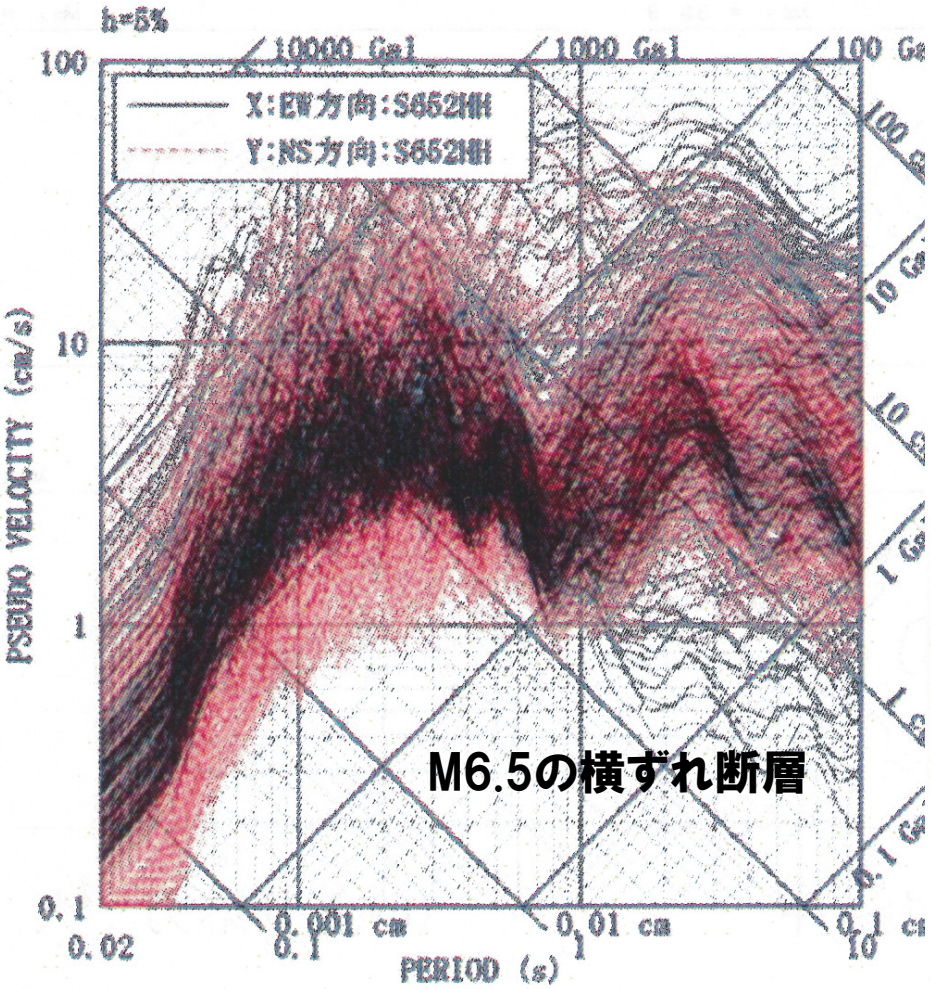
(a) 横ずれ断層の場合 (M6.5, 実効応力中)



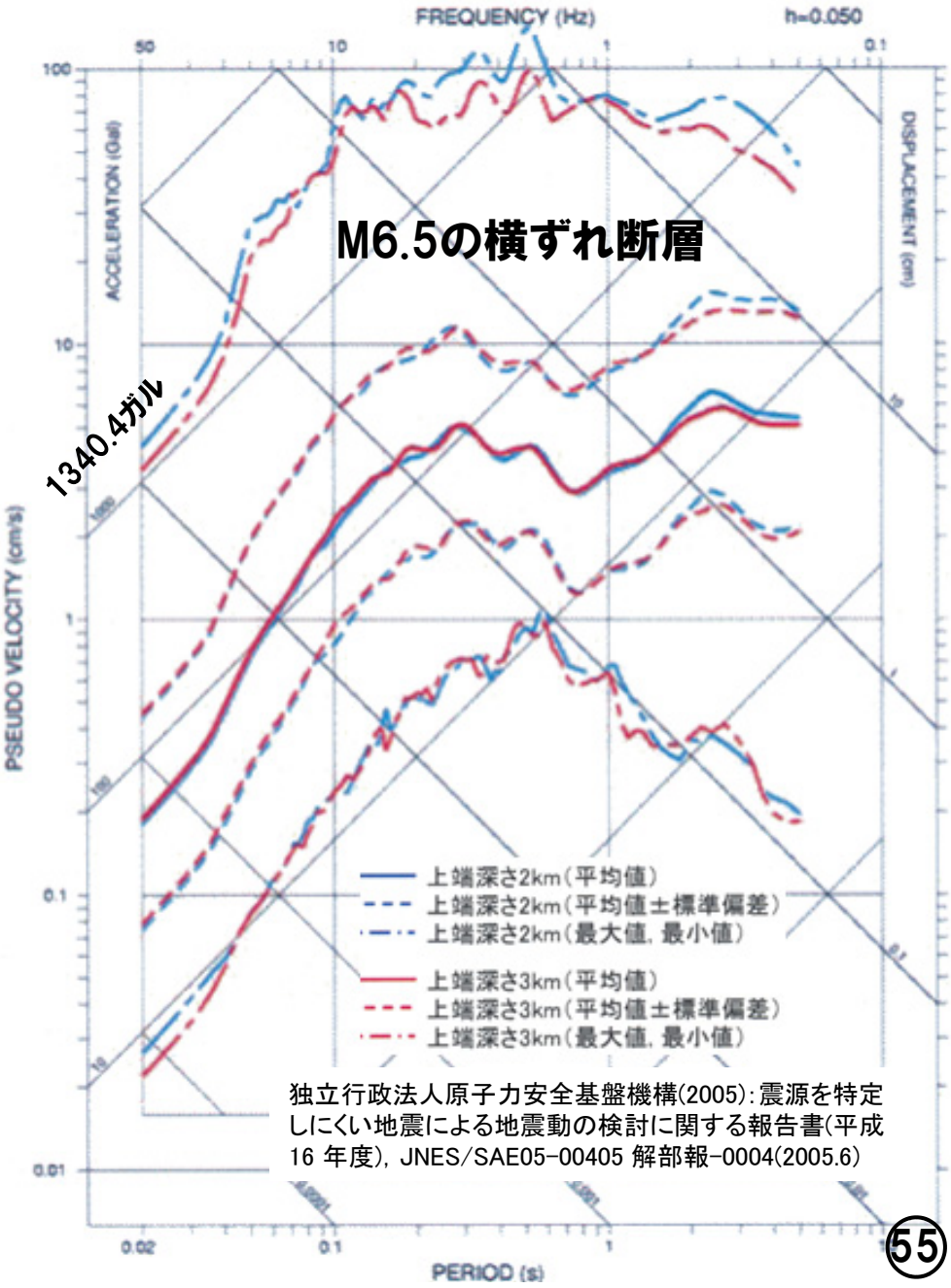
(b) 縦ずれ断層の場合
(M6.5, 45 度, 実効応力中)

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)

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！



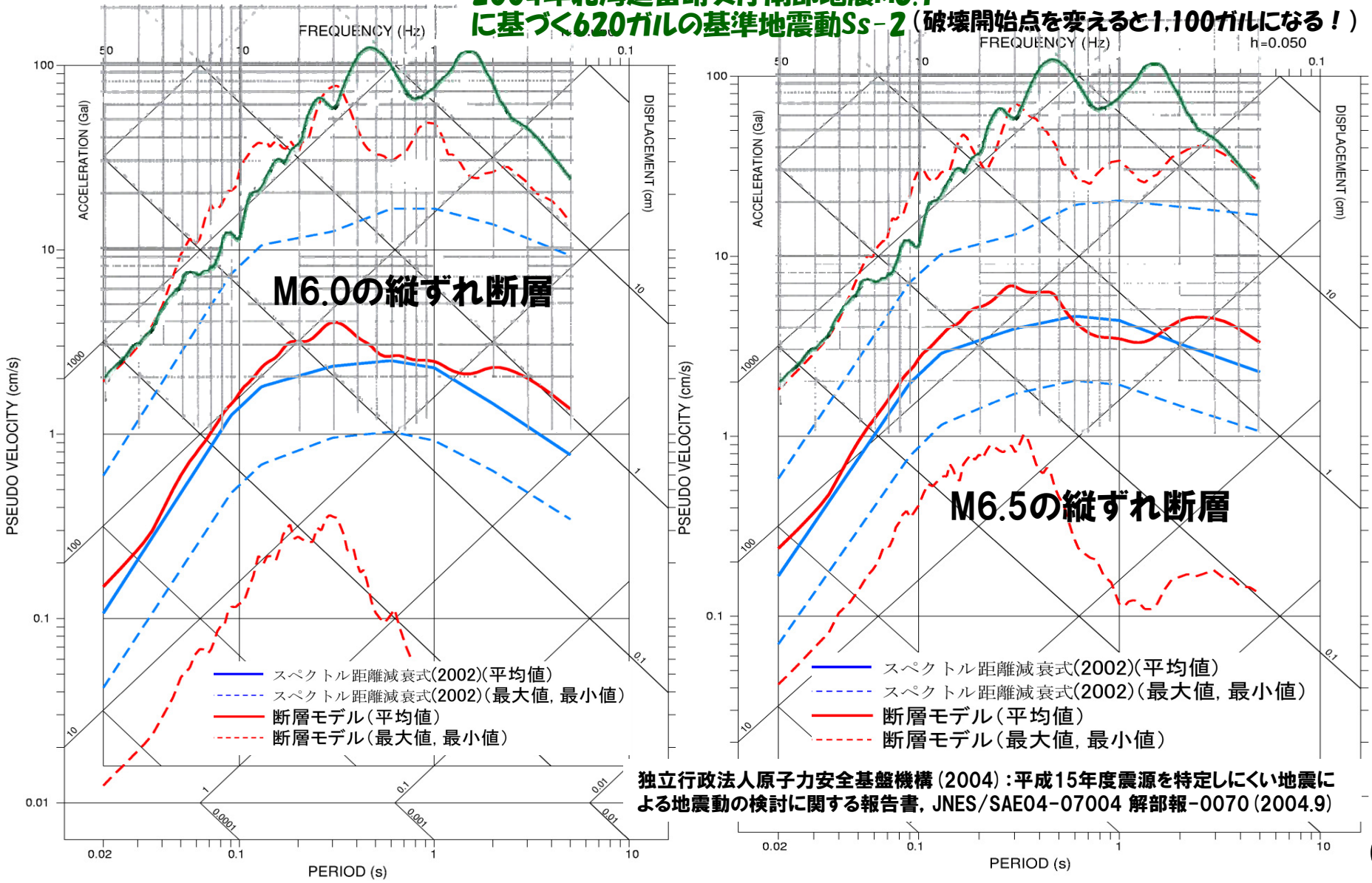
（Vs=2600m/sの地震基盤表面上に設定した231評価点における各周期ごとに求めた地震動応答スペクトルの平均値，標準偏差，最大・最小値であり，特定の評価点での応答スペクトルではない．
「最大値」は，「実効応力大」，「高周波遮断特性平均+標準偏差」の場合である）



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)

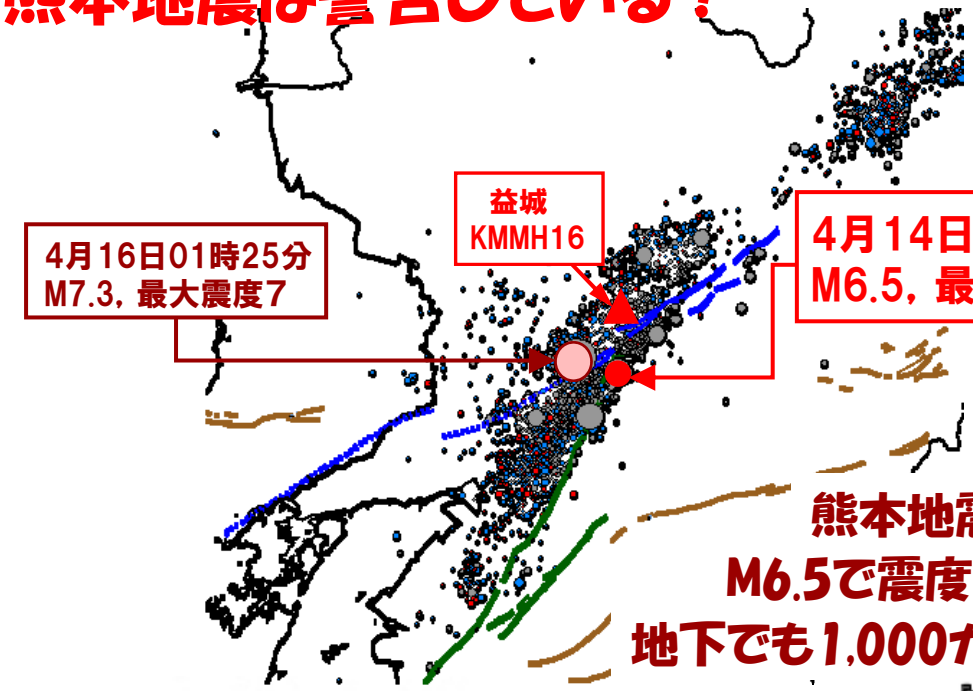
原子力規制庁は当初、JNESモデルは「厳しいパラメータ設定だ」と批判していたが、2004年北海道留萌支庁南部地震の地震動とJNES縦ずれ断層モデルによる解析が良く合うことを認め、「専門家を含めて再現性について改めて検討すべき」と発言！

2004年北海道留萌支庁南部地震M6.1に基づく620ガルの基準地震動Ss-2（破壊開始点を変えると1,100ガルになる！）



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）

熊本地震は警告している！

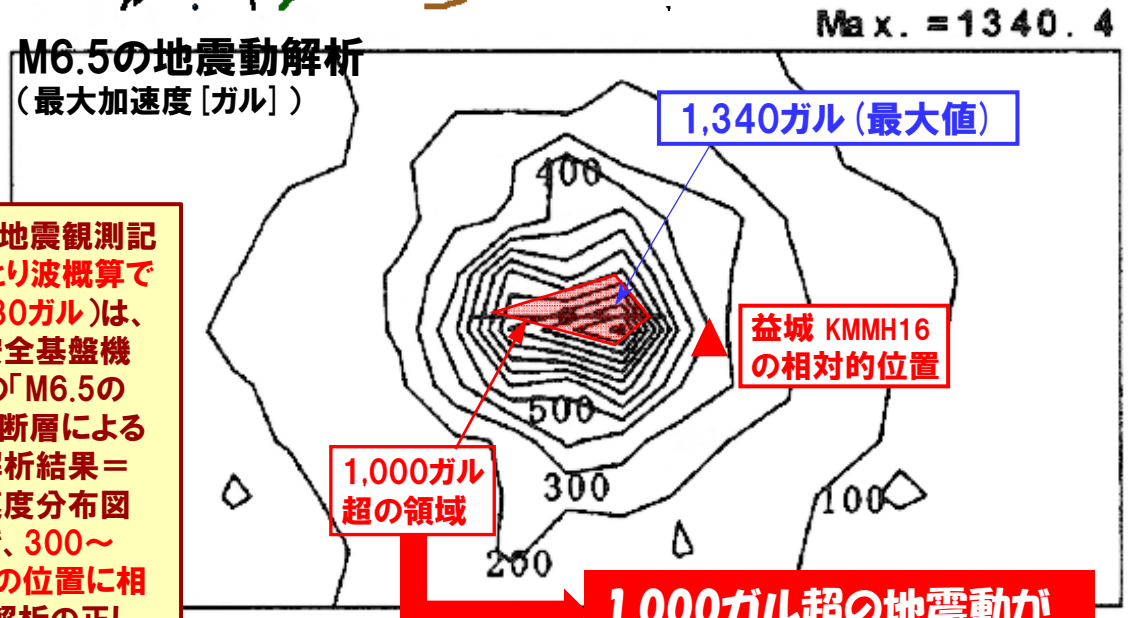


2016年4月14日のM6.5の右横ずれ断層による地震：
益城観測点の地下地震計観測記録　はぎとり波概算
NS237ガル⇨380～430ガル
EW178ガル⇨280～320ガル
UD127ガル⇨200～230ガル

（注）原発の基準地震動と同じ条件で比較するには、「解放基盤表面でのはぎとり波」に換算しなければならない。地下地震記録の2倍弱になる。新潟県中越沖地震の柏崎刈羽原発では、はぎとり波はサービスホールの地下地震記録の1.7倍だった。

熊本地震では、
M6.5で震度7の激震！
地下でも1,000ガル超の激震が！

M6.5の地震動解析
（最大加速度［ガル］）



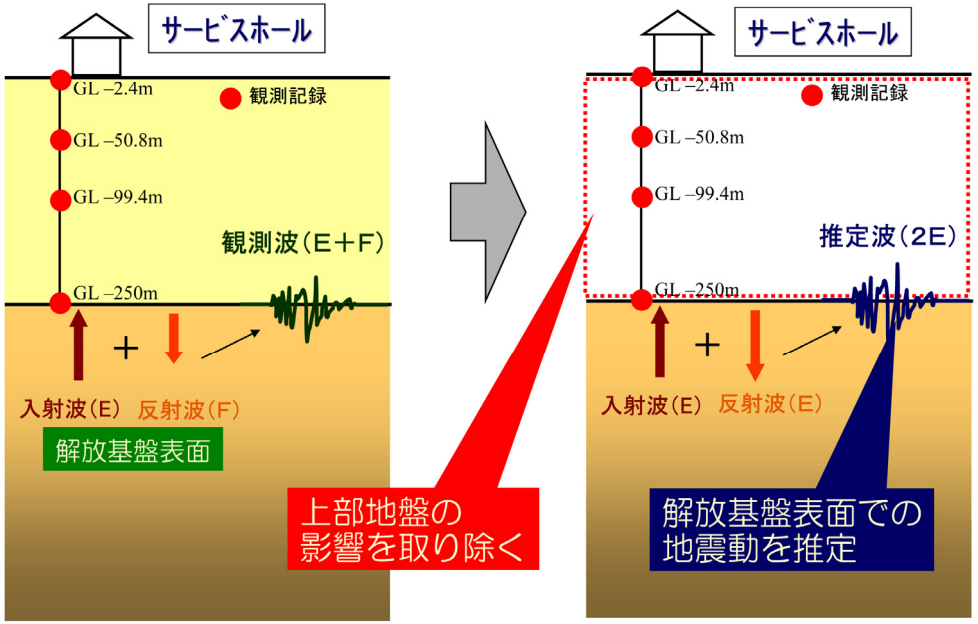
益城での地震観測記録（はぎとり波概算で380～430ガル）は、原子力安全基盤機構JNESの「M6.5の左横ずれ断層による地震動解析結果＝最大加速度分布図（右図）で、300～400ガルの位置に相当し、同解析の正しさを裏付けている！

1,000ガル超の地震動が起きていた可能性あり！

熊本地震は、JNESによる1,340ガルの地震動解析の正しさを裏付けている！

柏崎・刈羽原発での新潟中越沖地震地下観測記録「はぎとり波」解析

解放基盤表面における地震動の推定方法（ｻｰﾋﾞｽﾎｰﾙ）①



地盤モデル同定

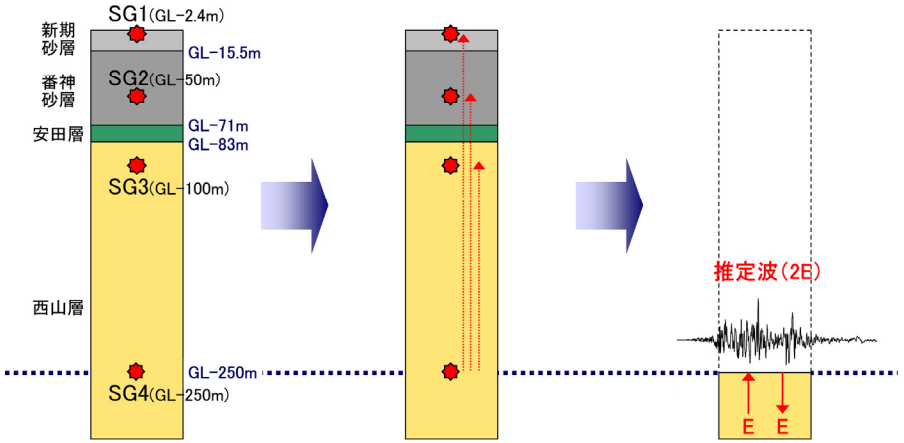
各区間の伝達関数と各深度の観測最大加速度値を同時逆解析して同定

妥当性確認

GL−250m記録を入力とした観測波形のシミュレーション解析により確認

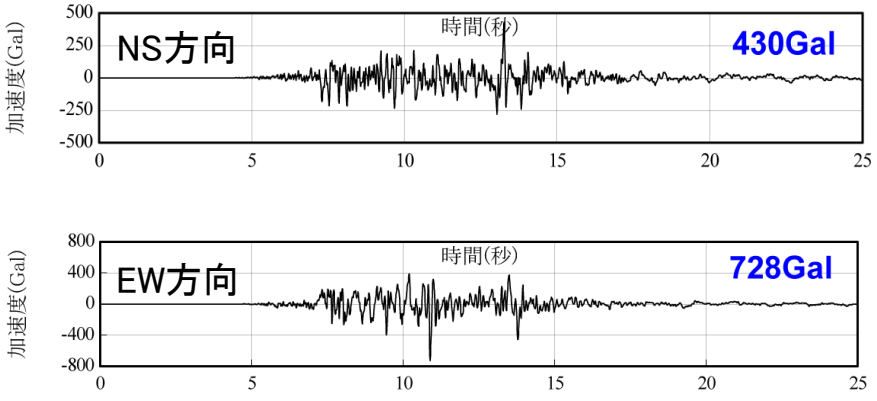
解放基盤波推定

解析によりGL−250m位置の解放基盤波を推定（推定にはGL−250m記録を使用）



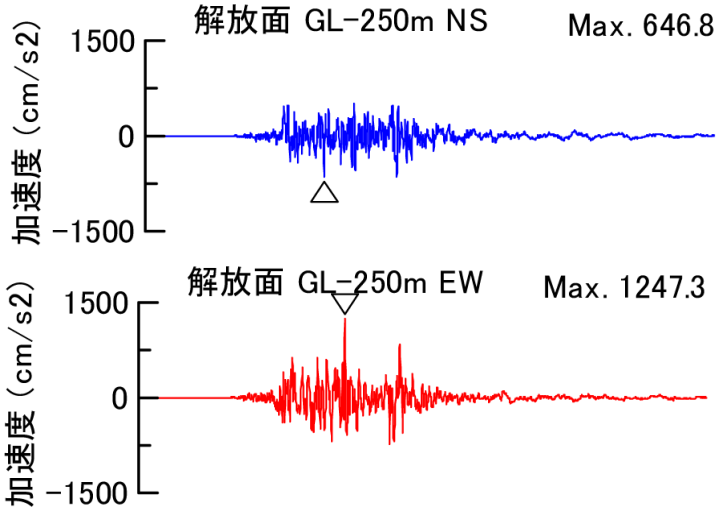
東京電力：柏崎刈羽原子力発電所における平成19年新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動について，総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ（第9回），合同W9−1−2(2008.5.22)

サービスホール地下地震観測記録（GL−250m）



1.5倍

1.7倍



伊方原発敷地内地下2.0kmの地震観測記録では1.92倍！（四国電力「伊方発電所の地震による揺れ(地震動)の評価について，乙第269号証，,2016.9.13広島地裁プレゼン資料）

14. 平均像を用いた基準地震動策定の問題点

耐専スペクトルは平均像を表しており、倍半分(±1σ)以上の大きなバラツキを考慮すべき！

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**

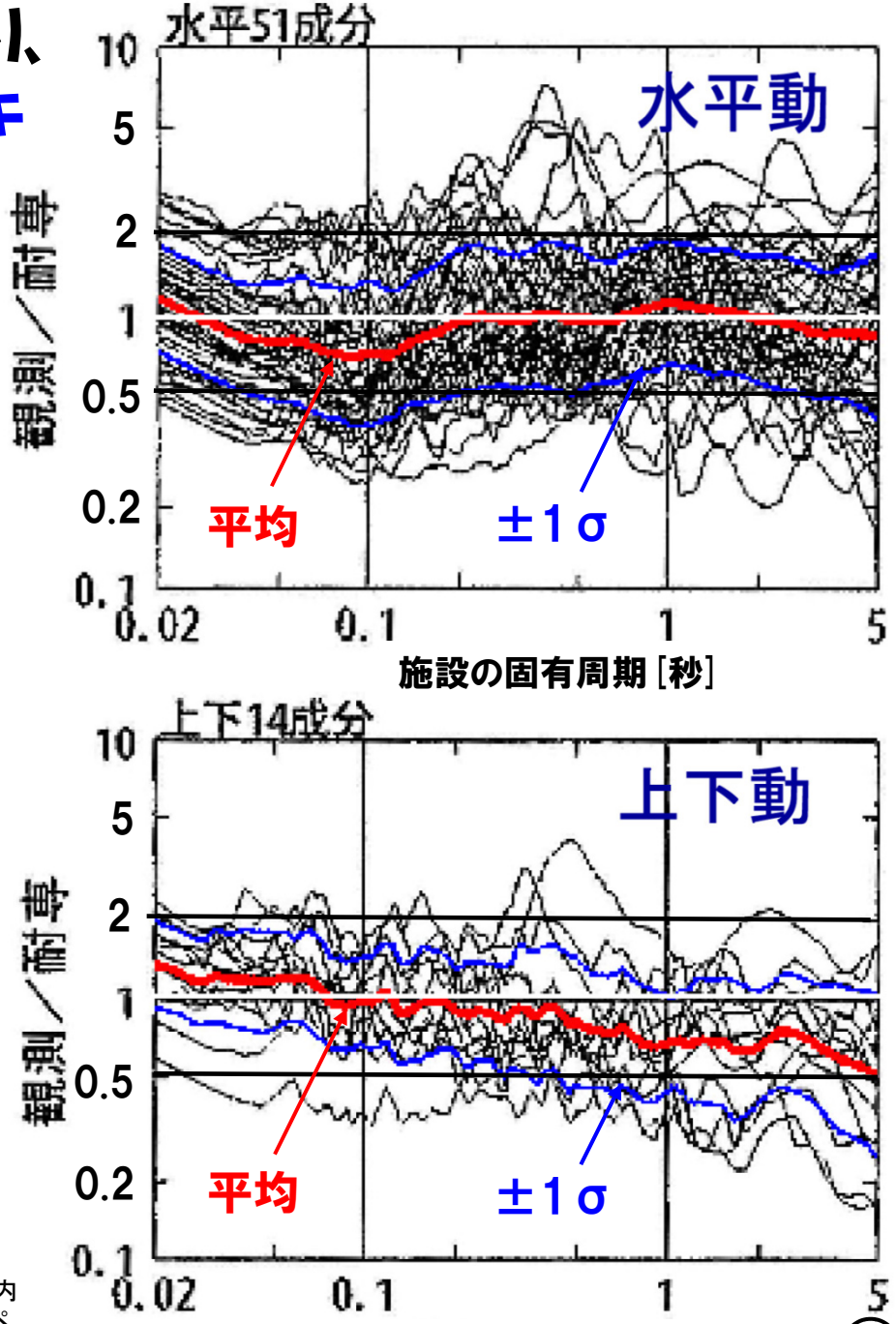
(細線:各地震観測記録に対する残渣,
赤実線:残差の平均,
青実線:平均から±1σ(「倍半分」弱))

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、少なくとも2倍(「平均＋標準偏差」分)のバラツキを考慮すべき！　地震学界の常識の範囲

内山・翠川(2013)によれば、偶然的不確実さは1.75倍(「平均＋標準偏差」分)、認識論的不確実さの残りを考慮しても2倍以上を考慮すべき！

伊方3号：900ガル程度　⇨1,800ガル程度

➡ クリフエッジを一層大きく超える！
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)

新幹線では、踏切をなくして「踏切事故ゼロ」を実現！

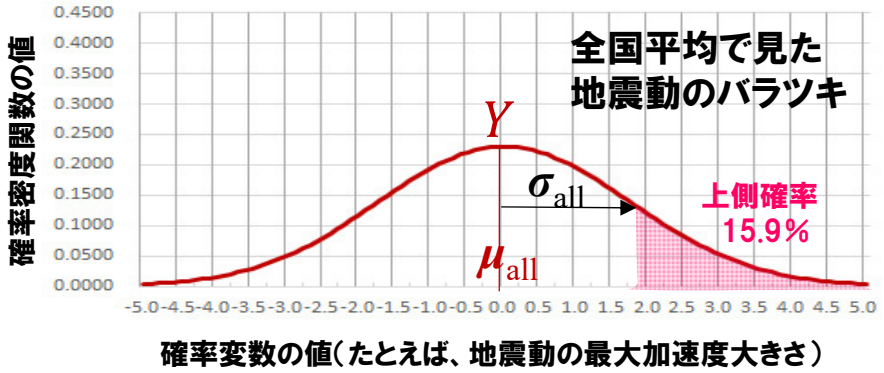
ZD（zero defects）運動

欠陥が出たら、止めて、原因の徹底究明・解決を図り、欠陥をなくす

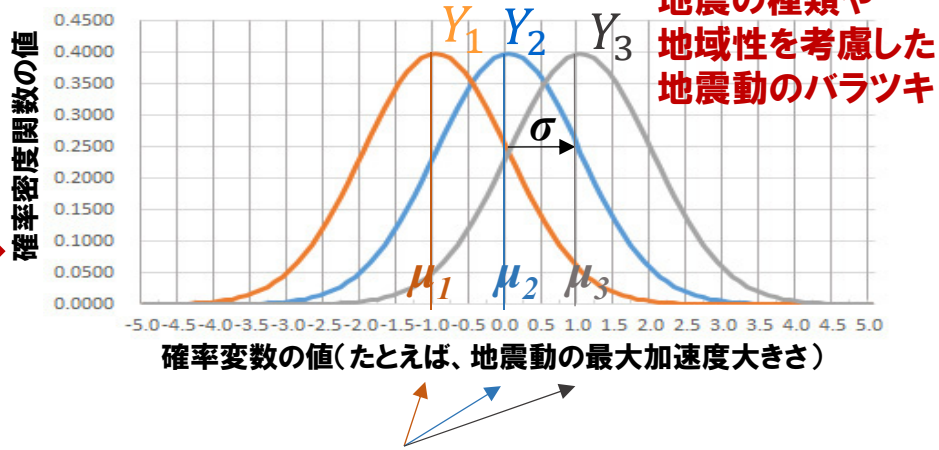
6σ（シックスシグマ）

品質保証のレベルを100万個に3.4個（3.4ppm）の欠陥に抑えるための経営品質改革活動：
6σ＝3σ×1.5（片側3.4ppm）＋1.5σ（平均値の揺らぎ）

耐震設計では、地震動の「倍半分」のバラツキへの対応が重要



地域性を考慮



地震動の平均像から少なくとも2倍にすべき！
（これでも15.9%の割合で超えられる）

地震観測記録を蓄積評価すれば減らせる ← **認識論的不確実さは平均像のレベルの違いとして現われる！**

最新の知見によれば、μ＋σがμの1.75倍 ← **偶然的不確実さは自然界の偶然変動。人間の手では減らせない！**

15. 原決定の問題点

2017年7月松山地裁仮処分決定の基準地震動に関する問題点

○松山地裁決定には，「最新の科学的，専門技術的知見を踏まえて」検討したという形跡が認められず，原子力規制委員会の審査をなぞっただけ →「規制の虜」状態を無視

○「最新の科学的，専門技術的知見を踏まえて合理的に予測される規模の自然災害を想定」するとしながら，「最新の科学的，専門技術的知見」を排斥したり，無視したりしている

●震源を特定せず策定する地震動

（１）地震観測・解析体制の不備を容認
（２）地震観測記録の不足を最新の地震動解析手法で補うことを排斥
（３）2016年熊本地震など地震観測記録による地震動解析手法の妥当性確認を無視

●震源を特定して策定する地震動

（１）耐専スペクトル：700ガルを超えれば適用外とする恣意性を容認，倍半分の不確実さを無視

2000年鳥取県西部地震賀祥ダム観測記録に対し，耐専スペクトルと「その他の距離減衰式」を比較すべき

（２）断層モデル：地震観測記録がないのに，レシピ（ア）による地震動評価を容認

島崎氏が問題提起し，2016年熊本地震で実証された「震源断層」とレシピの対応関係を無視：
地震観測記録がある → 地下のすべり量の分布から推測される「不均質な震源断層」をレシピ（ア）に適用
地震観測記録がない → 活断層など測地データから推測される「均質な震源断層」をレシピ（イ）に適用

○災害リスクを容認し管理する立場

●福島事故のリスクを容認できず，国民の過半数が原発再稼働に反対している現実を無視

16. 広島高裁決定の問題点

2017年12月広島高裁仮処分決定の基準地震動に関する問題点

(a) 伊方3号では地震観測記録がないため，レシピ(ア)は使えず，レシピ(イ)を用いるしかない．

(b) レシピ(イ)では$\Delta\sigma$＝5.0MPa，$\Delta\sigma_a$＝22.5MPaとなり，M7クラスの$\Delta\sigma_a$＝20～30MPaに整合．

第1:「長大でない飽和断層」で$\Delta\sigma$＝一定とすれば，$M_o \propto S^2$となり，$M_o/S \propto S$の関係が反映されない．

第2: Fujii-Matsu 'ura (2000) の$\Delta\sigma$＝3.1MPa，$\Delta\sigma_a$＝14.4MPaは，最近の国内地震に整合しない．

●宮腰ほか (2015) の「$\Delta\sigma_a$＝13.2MPa，SMGA応力降下量＝13.6MPa」と14.4MPaは「概ね整合」というが，スケーリング則の異なる飽和断層と未飽和断層を混在させたもの．飽和断層8地震では，「$\Delta\sigma_a$＝18.1MPa，SMGA最大応力降下量＝19.7MPa」となり，14.4MPaは整合しない．

●M7クラス4地震の$\Delta\sigma_a$代表値(最大値)は，28.0MPa，20MPa，23.7MPa，18.5MPa，幾何平均で22.3MPaであり，14.4MPaはこのレベルにはほど遠い．

第3:Fujii-Matsu 'ura (2000) と壇ら (2011) の応力降下量は，「長大でない飽和断層と長大な断層で応力降下量が一定になる」との仮説によるもので，推本のレシピでもこの仮説は採用されていない．理論式への回帰に用いられた国内地震データは「不均質な震源断層」のデータではい．

第4:高浜3・4号では，断層モデルによる地震動評価結果は耐専スペクトルの1/2～1/3と小さく，Fujii-Matsu'ura (2000) の$\Delta\sigma$＝3.1MPaを用いた結果だと考えられる．

第5:推本レシピでも「長大でない飽和断層における応力降下量の設定法」は「未解決の研究課題」だと認めながら，長大断層に対する値$\Delta\sigma$＝3.1MPaをその暫定値とする一方，根拠を示さず，考え抜かれたものではない．2016年6月に$\Delta\sigma$＝3.1MPaは長大断層に限ると明記されたかと思えば，半年後の12月には，長大でない飽和断層でも暫定的な対象とすることが追記された．

(c) 壇ら (2011) およびFujii-Matsu'ura (2000) は断層幅15kmのシミュレーションに基づいており，54kmモデルの断層幅13kmとは整合しない．壇ら (2011) が回帰に用いた国内地震の断層幅12kmをW_{max} とすれば，$\Delta\sigma$＝4.3MPa，$\Delta\sigma_a$＝19.5MPaとなる．

(d) 武村式ではなく入倉式の地震データを用いて壇ら (2011) およびFujii-Matsu 'ura (2000) の理論式に回帰させるべきだが，そうすると無理が生じる．

宮腰研ほか(2015)によるアスペリティ応力降下量

1995～2013年のMw5.4～6.9の国内18地震(横ずれ断層9，逆断層8，正断層1)

宮腰研・入倉孝次郎・釜江克宏(2015)：強震動記録を用いた震源インバージョンに基づく国内の内陸地殻内地震の震源パラメータのスケーリング則の再検討，日本地震工学会論文集，15-7，pp.141-156(2015)；表6の福井地震のWとSおよび三河地震のSのデータを訂正，同17-2(2017)

18地震(Mw5.4～6.9)の幾何平均$\Delta\sigma_a$＝13.2MPa

8地震(Mw6.5～6.9)の幾何平均$\Delta\sigma_a$＝18.1MPa

→「Fujii-Matsu' uraの$\Delta\sigma$＝3.1MPa」に設定され，
S_a/S＝0.14～0.23で$\Delta\sigma_a=\Delta\sigma/(S_a/S)$より算出

→ 複数アスペリティの複数$\Delta\sigma_a$が平均化されている
最大$\Delta\sigma_a$が地震動評価に最大の影響を与える
右の4地震の最大$\Delta\sigma_a$の幾何平均は22.3MPa

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M72（入倉・倉橋，2008）

表 3 検討対象の内陸地殻内地震(Mw5.4～6.9)の震源インバージョン結果から抽出された震源パラメータ

No.	地震名	Reference No.	Mo(F-net) Nm	Length km	Width km	Rupture Area km²	Av. Slip m	Max. Slip m	Total Asperity Area km²	/Area	Av. Asp. Slip m	/Av.Slip	Δσ rup MPa	Δσ asp MPa
1	1995年兵庫県南部地震	11)	3.30E+19	64	21	1303	0.79	4.01	244	0.19	1.74	2.20	3.1*	16.6
2	2008年岩手・宮城内陸地震	12)	2.72E+19	39	38	18	18	702	684	1.31	1.20	6.07	5.94	112	104	0.16	0.15	3.22	2.81	2.45	2.34	3.1*	19.5
		13)			40		18		720		1.44		6.20		120		0.17		3.68		2.56		
3	2007年能登半島地震	14)	1.36E+19	26	30	18	16	460	480	0.92	1.09	3.73	5.07	82	84	0.18	0.18	1.96	2.32	2.14	2.13	3.1*	17.3
		15)			22		20		440		0.77		2.75		81		0.18		1.65		2.14		
4	2011年福島県浜通りの地震	16)	9.58E+18	40		16		640		0.52		2.51		144		0.23		1.25		2.40		3.1*	13.8
5	2007年新潟県中越沖地震	17)	9.30E+18	28	30	19	24	537	720	0.76	0.91	2.65	2.68	81	64	0.16	0.09	1.70	2.13	2.26	2.34	3.1*	19.5
		18)			30		18		540		0.56		2.66		92		0.17		1.44		2.57		
		19)			25		17		425		0.54		2.12		100		0.24		1.27		2.35		
		20)			28		18		504		1.22		3.28		72		0.14		2.16		1.77		
6	2000年鳥取県西部地震	21)	8.62E+18	34		18		598		0.91		4.44		101		0.17		2.34		2.57		3.1*	18.4
7	2005年福岡県西方沖の地震	22)	7.80E+18	26		18		468		0.78		3.17		64		0.14		1.97		2.53		3.1*	22.7
8	2004年新潟県中越地震	23)	7.53E+18	28		18		504		0.67		3.08		84		0.17		1.38		2.06		3.1*	18.6
9	2011年長野県・新潟県県境付近の地震	24)	2.13E+18	22		14		308		0.43		1.19		72		0.23		0.88		2.05		1.0	4.1
10	2003年宮城県北部の地震	25)	1.53E+18	18		10		180		0.31		1.04		20		0.11		0.78		2.52		1.5	13.9
11	1997年3月鹿児島県北西部の地震	26)	1.40E+18	12		10		120		0.46		1.20		18		0.15		0.88		1.91		2.6	17.3
12	1997年5月鹿児島県北西部の地震	27)	1.22E+18	17		10		170		0.21		0.41		15		0.09		0.36		1.71		1.3	15.2
13	2011年静岡県東部の地震	28)	8.38E+17	8		12		96		0.32		1.10		16		0.17		0.80		2.50		2.2	13.0
14	1998年岩手県内陸北部の地震	29)	7.53E+17	10		10		100		0.16		0.52		16		0.16		0.43		2.69		1.8	11.5
15	1997年山口県北部の地震	26)	5.66E+17	8		14		112		0.14		0.83		18		0.16		0.41		2.93		1.2	7.2
16	2013年栃木県北部の地震	30)	5.54E+17	12		7		84		0.28		0.98		12		0.14		0.66		2.36		1.8	12.3
17	2013年淡路島付近の地震	31)	5.47E+17	10		6		60		0.20		0.71		12		0.20		0.46		2.30		2.9	14.3
18	2005年福岡県西方沖の地震 最大余震	22)	1.31E+17	8		8		64		0.14		0.51		9		0.14		0.33		2.36		0.6	4.4
																Av.= 0.16				Av.= 2.33			Av.=13.2

*Fujii and Matsu'ura[50]を参照

宮腰研ほか(2015)によるアスペリティ応力降下量

1995～2013年のMw5.4～6.9の国内18地震(横ずれ断層9，逆断層8，正断層1)

宮腰研・入倉孝次郎・釜江克宏(2015)：強震動記録を用いた震源インバージョンに基づく国内の内陸地殻内地震の震源パラメータのスケーリング則の再検討，日本地震工学会論文集，15-7，pp.141-156(2015)；表6の福井地震のWとSおよび三河地震のSのデータを訂正，同17-2(2017)

18地震(Mw5.4～6.9)の幾何平均$\Delta\sigma_a$＝13.6MPa

8地震(Mw6.5～6.9)の幾何平均$\Delta\sigma_a$＝14.7MPa → 複数SMGAの複数$\Delta\sigma_a$が平均化されている

SMGA最大の幾何平均$\Delta\sigma_a$＝19.7MPa (SMGAの最大$\Delta\sigma_a$は10.7～46.9MPa)

表 4 本検討対象の内陸地殻内地震(Mw5.4～6.9)の EGF フォーワード・モデリングによる SMGA 面積および応力降下量

No.	地震名	Reference No.	Mo (F-net) (Nm)	Total SMGA km²		Num. of SMGA	SMGA (km²) SMGA1	SMGA2	SMGA3	Stress drop (MPa) SMGA1	SMGA2	SMGA3	Stress drop (MPa) average
1	1995年兵庫県南部地震	33)	3.30E+19*	304.0		3	176	64	64	8.6	16.3	8.6	10.6
2	2008年岩手・宮城内陸地震	34)	2.72E+19	92.5		2	46.24	46.24		13.8	13.8		13.8
3	2007年能登半島地震	35)	1.36E+19	85.0	52.7	2	39.69	12.96		25.8	10.3		20.5
		36)			69.2	3	27.0	27.0	15.2	46.9	37.5	46.9	
		37)			146.0	2	98.01	48.00		9.4	15.6		
		38)			97.9	3	51.84	23.04	23.04	20.0	20.0	10.0	
4	2011年福島県浜通りの地震	39)	9.58E+18	79.0		2	39.5	39.5		14.6	14.6		14.6
5	2007年新潟県中越沖地震	40)	9.30E+18	89.0	85.9	3	30.25	30.25	25.40	23.7	23.7	19.8	19.9
		41)			92.3	3	36.00	36.00	20.25	19.5	14.8	19.5	
6	2000年鳥取県西部地震	42)	8.62E+18	57.6		2	28.8	28.8		28.0	14.0		19.8
7	2005年福岡県西方沖の地震	43)	7.80E+18	41.8		1	41.82			10.7			10.7
8	2004年新潟県中越地震	44)	7.53E+18	91.0		2	75	16		7.0	20.0		11.8
9	2011年長野県・新潟県県境付近の地震	None	2.13E+18	None		×	×	×	×	×	×	×	×
10	2003年宮城県北部の地震	None	1.53E+18	None		×	×	×	×	×	×	×	×
11	1997年3月鹿児島県北西部の地震	45)	1.40E+18	42.0		1	42			17.0※			17.0※
12	1997年5月鹿児島県北西部の地震	45)	1.22E+18	24.0		2	12	12		23.9※	23.9※		23.9※
13	2011年静岡県東部の地震	46)	8.38E+17	26.6		1	26.63			16.9			16.9
14	1998年岩手県内陸北部の地震	45)	7.53E+17	16.0		1	16			20.3※			20.3※
15	1997年山口県北部の地震	45)	5.66E+17	14.4		1	14.4			20.5※			20.5※
16	2013年栃木県北部の地震	47)	5.54E+17	17.6		1	17.6			16.4			16.4
17	2013年淡路島付近の地震	48)	5.47E+17	8.1		1	8.12			9.0			9.0
18	2005年福岡県西方沖の地震 最大余震	43)	1.31E+17	15.8		1	15.75			1.4			1.4
													Av. = 13.6

* Sekiguchi et al.[11]による地震モーメント

※Miyake et al.[45]の応力降下量は本研究で円形クラック(Eshelby[49])を仮定した推定値

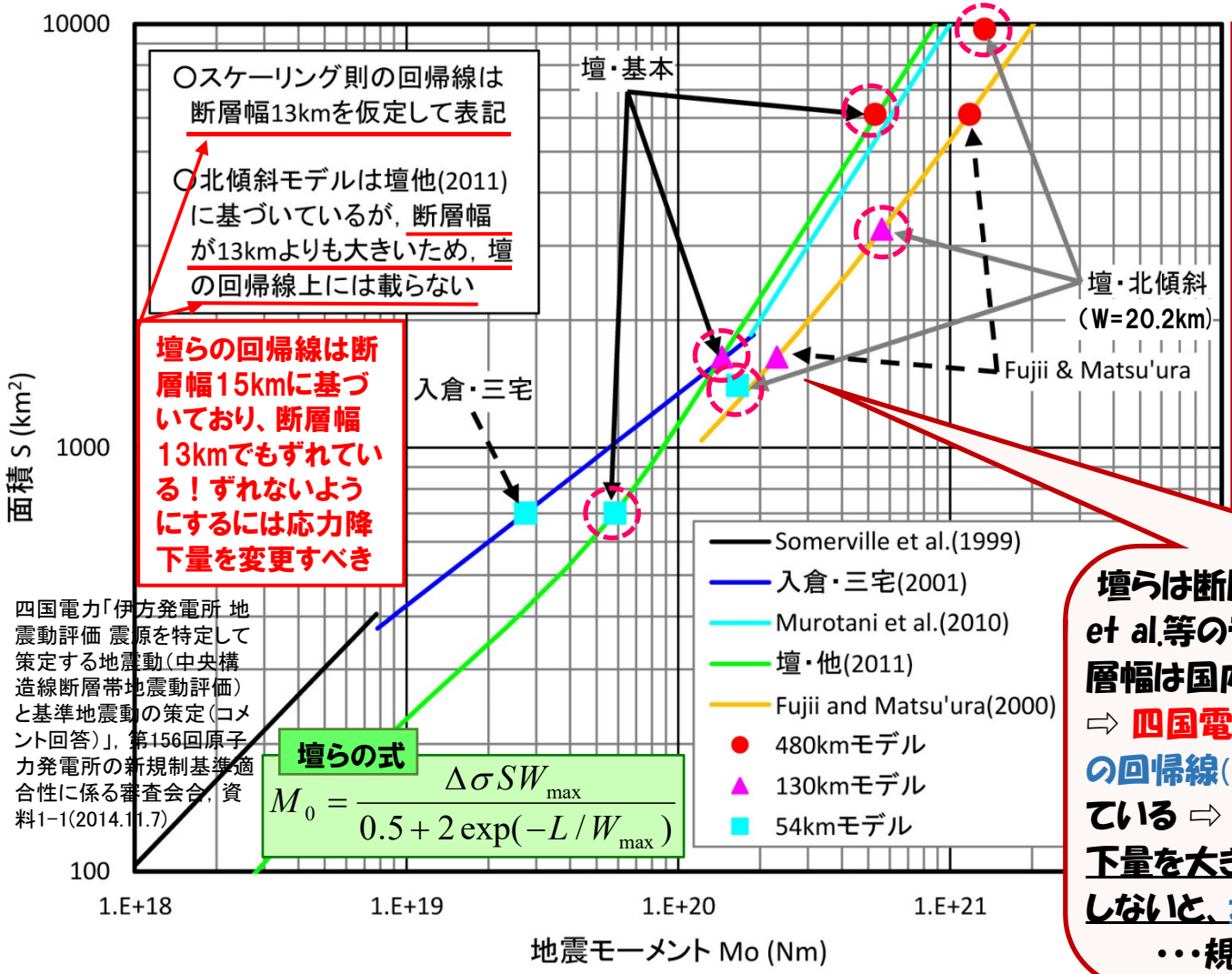
17. 原審でプレゼンを行った相手方社員の松﨑氏の虚偽説明等

(1)「破壊領域の幅」を震源断層の「幅」と見せかける虚偽説明

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」

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) 再掲

○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。



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

壇らは断層幅を15kmと仮定し、Murotani et al.等のデータに回帰させたが、実際の断層幅は国内データで平均12kmと狭い
⇨ 四国電力の「壇・基本」も「北傾斜」も壇らの回帰線(Murotaniの回帰線に重なる)から外れている ⇨ 断層幅が小さい場合には応力降下量を大きくし、幅が大きい場合には小さくしないと、壇らの回帰線には乗らない
・・・規制委はこれに気付かなかった？

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

$(\Delta\sigma, \Delta\sigma_a) = (3.4\text{MPa}, 12.2\text{MPa}) \Rightarrow (4.3\text{MPa}, 19.5\text{MPa})$　(Sa/S=0.22)

(1) 基本震源モデルの設定（四国電力プレゼン）

補足　壇ほか(2011)に適用する断層幅の設定について

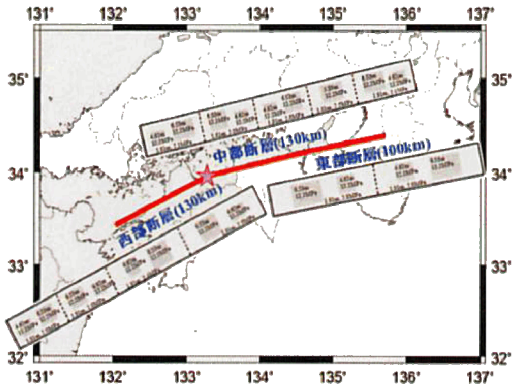
国内地震データからは$\Delta\sigma$=4.3MPaと$\Delta\sigma_a$=19.5MPaになる！

○壇ほか(2011)は，断層幅を15kmと仮定した動力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**

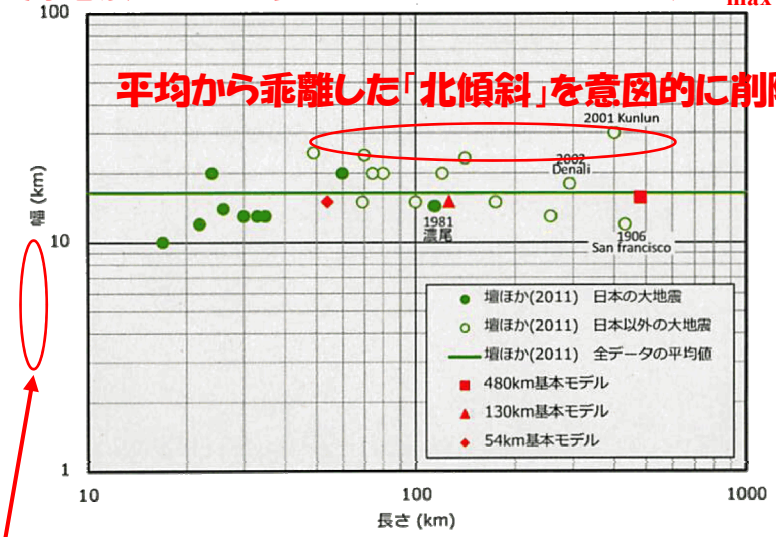
○このため，**断層幅13kmを壇ほか(2011)に適用しても問題ない**

○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**



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}=13kmで動力学的シミュレーションをやり直すべき！



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！

	断層		東部断層	中部断層	西部断層
巨視的	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
アスペリティ	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 σa	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

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

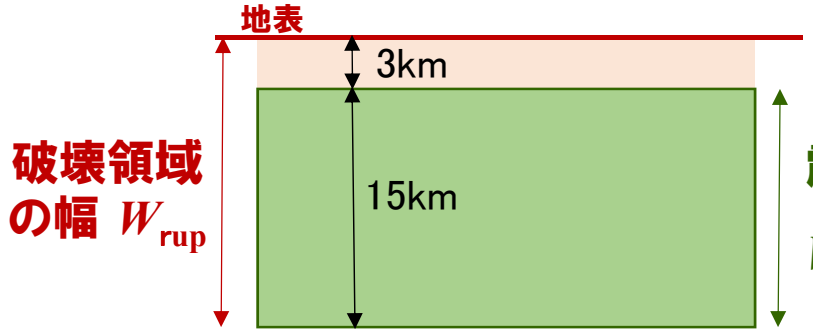
藤堂ほか(2012)による断層パラメータの設定

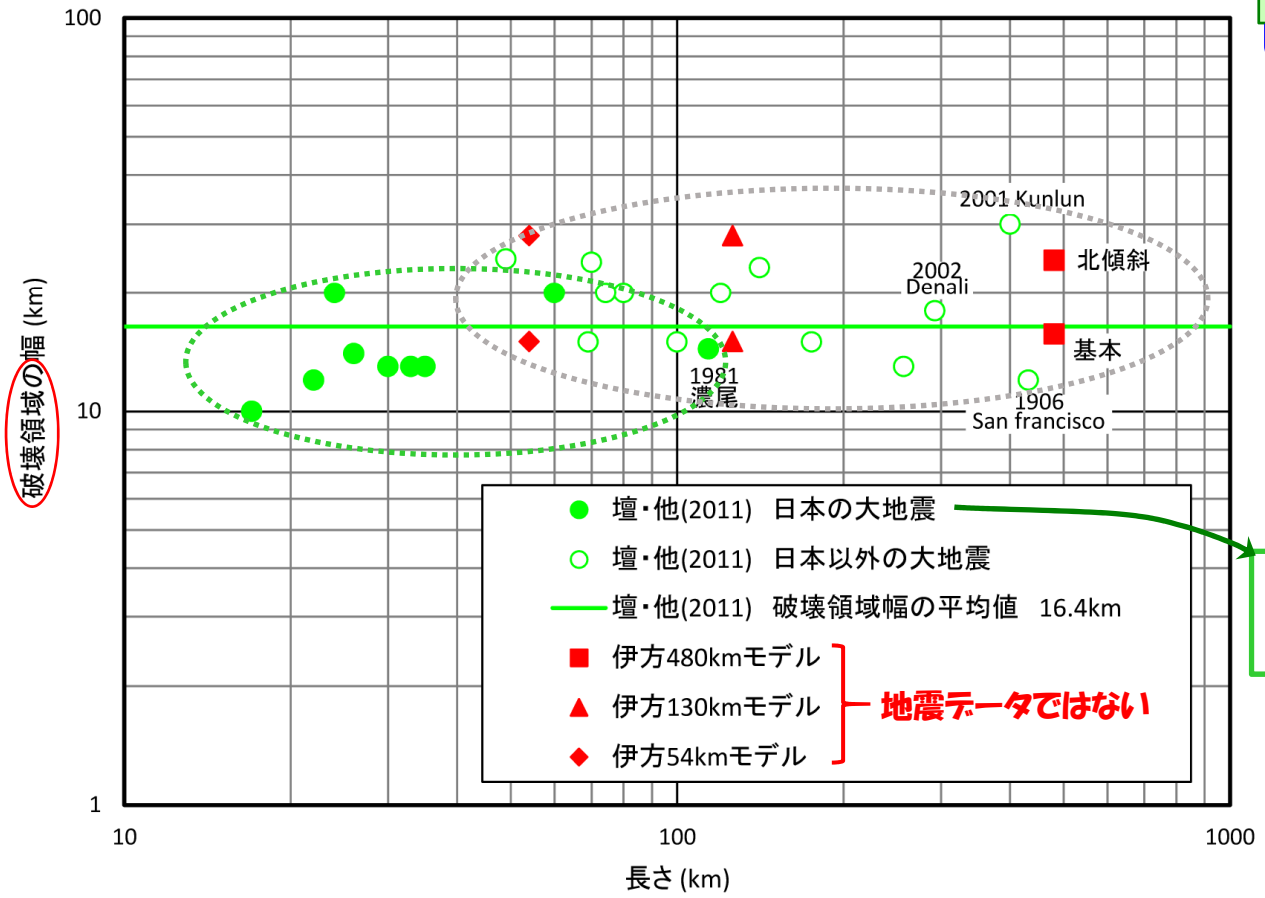
藤堂正喜・壇一男・具典淑・入江紀嘉・呉長江，2012，長大な横ずれ断層による内陸地震のアスペリティモデル設定方法の中央構造線への応用と強震動の試算，日本建築学会大会(東海)学術講演梗概集，21053，105-106.

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}=15kmとして $\Delta\sigma$=3.4MPaを算出したが、

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





壇らの式

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

W_{max}=15km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

（W_{max}=15kmは地震データより大きい）

全体の幾何平均

W_{rup}=16.4km → W_{max}=13.7km

日本以外の幾何平均

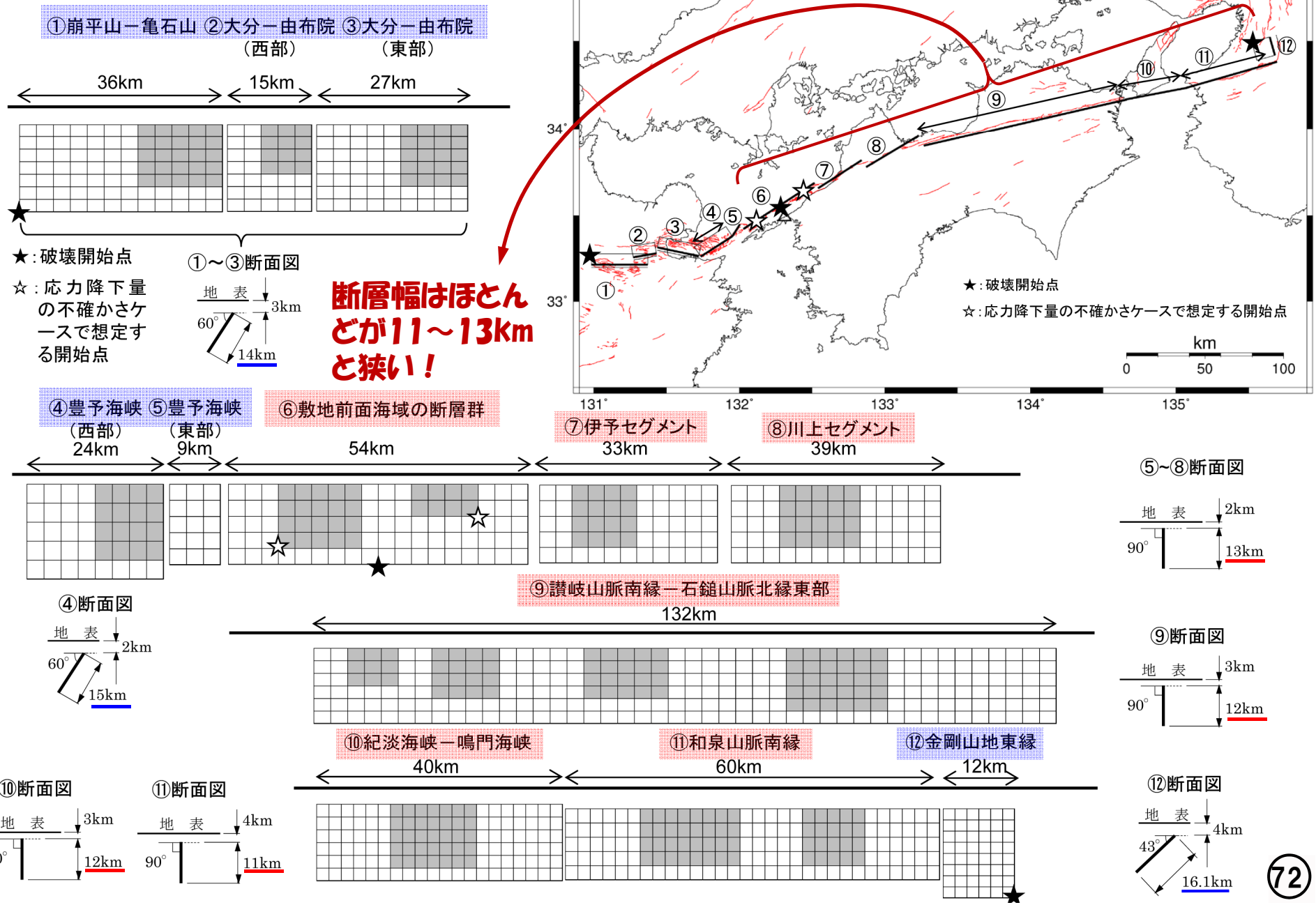
W_{rup}=18.6km → W_{max}=15.5km

日本の幾何平均

W_{rup}=14.0km → W_{max}=11.7km

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)

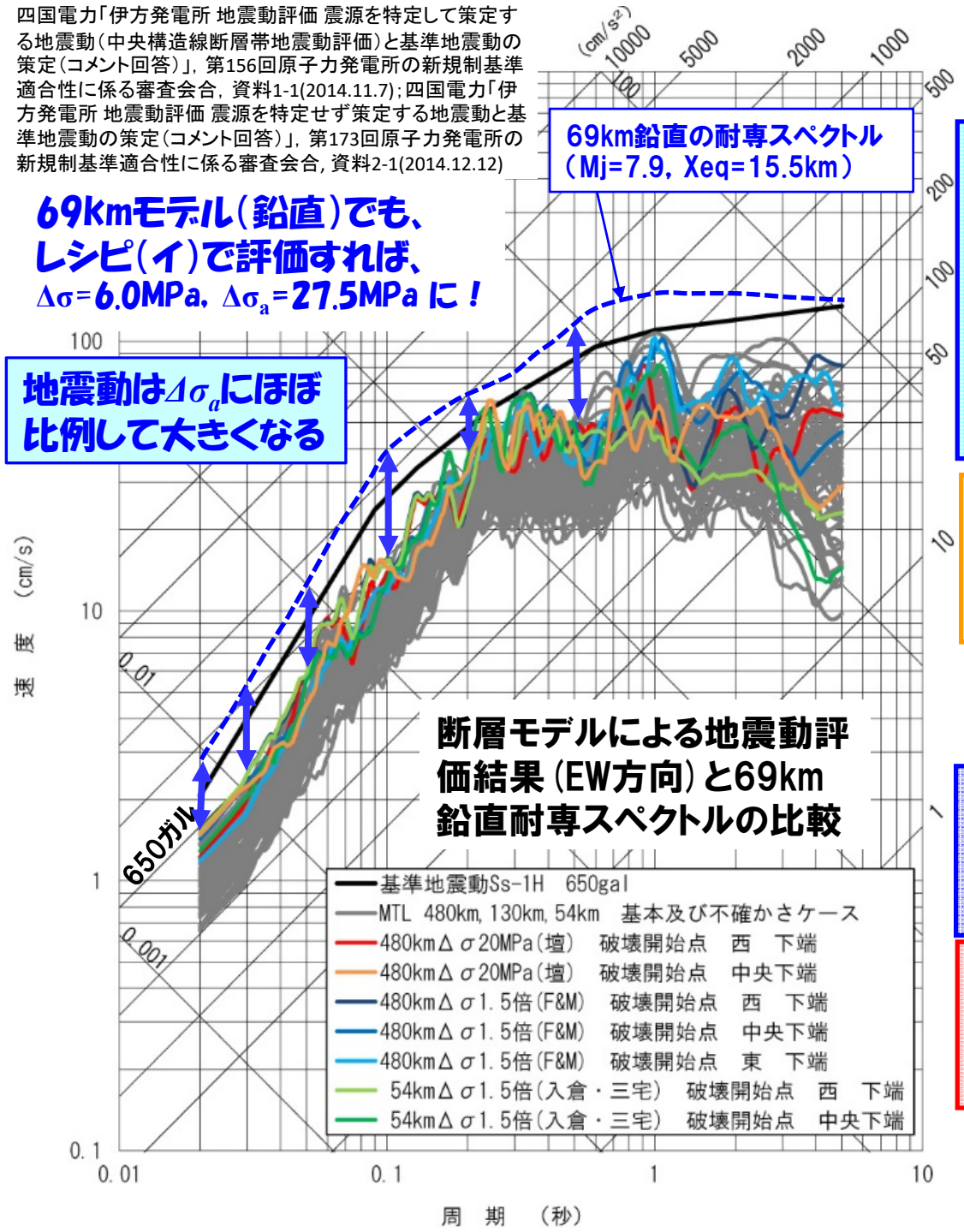
480km基本震源モデル by 壇の手法：不確かさ考慮①（応力降下量），④（破壊伝播速度）も同じ



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)

現実に起きた地震も、断層モデルによる過小評価を示唆している！

69kmモデル（鉛直）でも、レシピ（イ）で評価すれば、
$\Delta\sigma$=6.0MPa，$\Delta\sigma_a$=27.5MPa に！



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M72（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）
$\Delta\sigma$=3.4MPa，$\Delta\sigma_a$=12.2MPa

⇨W_{max}=12kmでは約1.6倍の地震動に！
$\Delta\sigma$=4.3MPa，$\Delta\sigma_a$=19.5MPa

Fujii & Matsu'ura（2000）の手法（同上）
（480，130kmモデルに適用）
$\Delta\sigma$=3.1MPa，$\Delta\sigma_a$=14.4MPa

入倉・三宅（2001）の手法
（54kmモデルに適用）
$\Delta\sigma$=3.1MPa，$\Delta\sigma_a$=14.4MPa

⇨レシピ（イ）では約1.6倍の地震動に！
54km鉛直：$\Delta\sigma$=5.0MPa，$\Delta\sigma_a$=22.5MPa

17. 原審でプレゼンを行った相手方社員の松﨑氏の虚偽説明等

(2) 断層タイプによる短周期レベルの違いについて
都合の悪い資料を隠蔽

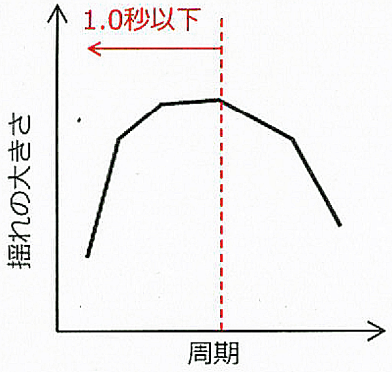
四国電力「伊方発電所の地震による揺れの評価について」(2016.10.12, p.22)
の「横ずれ断層型は逆断層型と比べると短周期の揺れが小さい」について

3.1 震源特性の評価

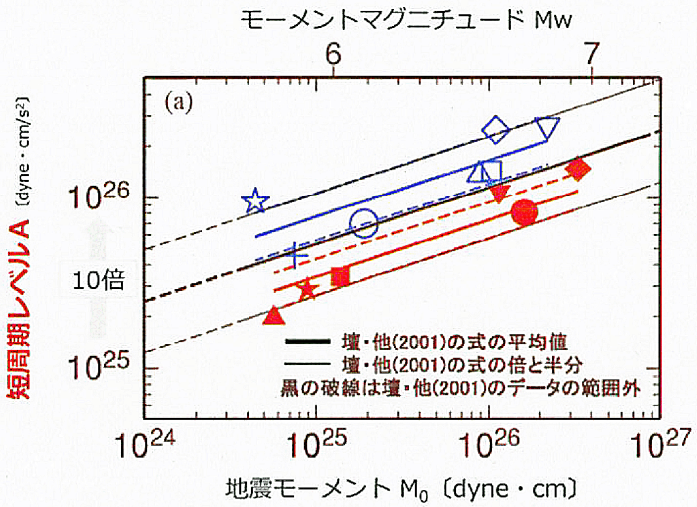
「横ずれ断層型」は「逆断層型」と比べると短周期の揺れが小さい

○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。**



応答スペクトル



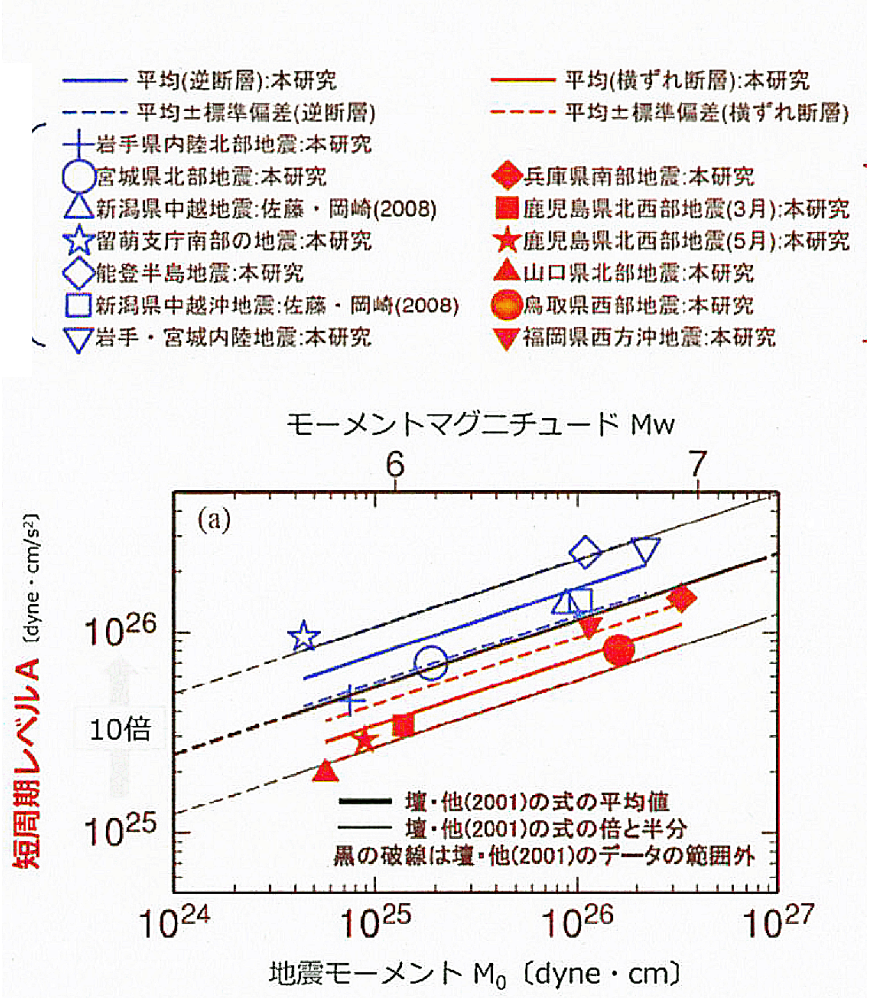
佐藤(2010)による知見

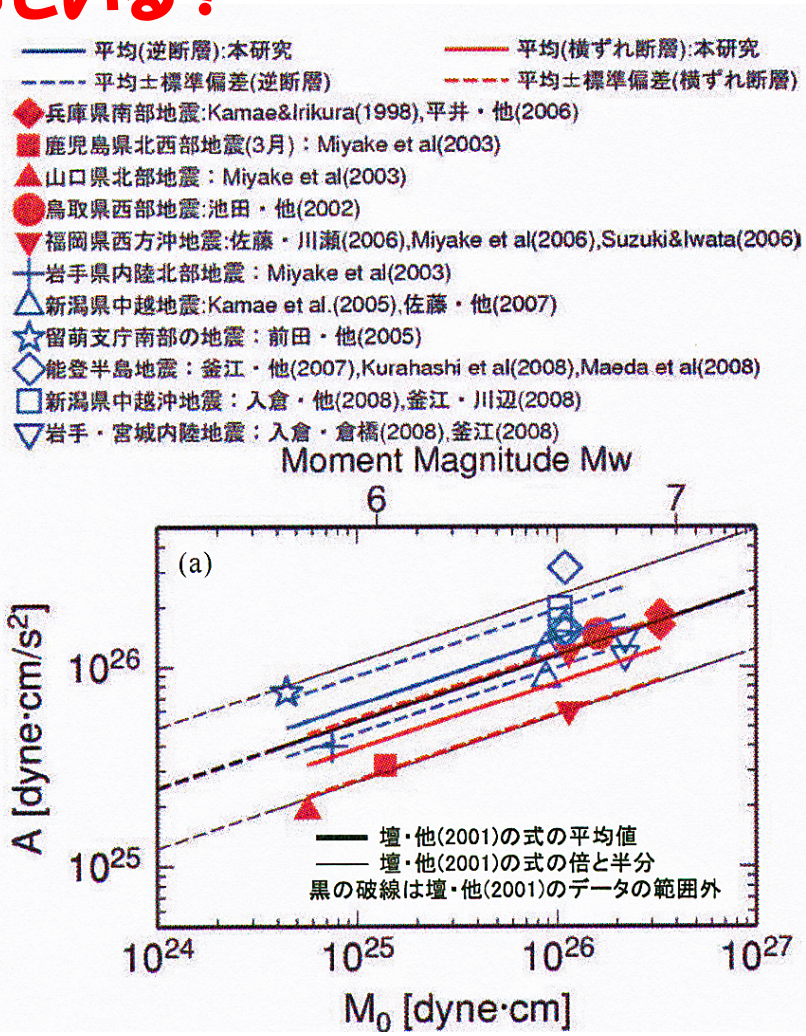
なぜ、自社に有利な資料しか裁判官に見せないのか？

➡「主張の客観性」が疑われる！

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リング則」，日本建築学会構造系論文集75(651), 923-932(2010)





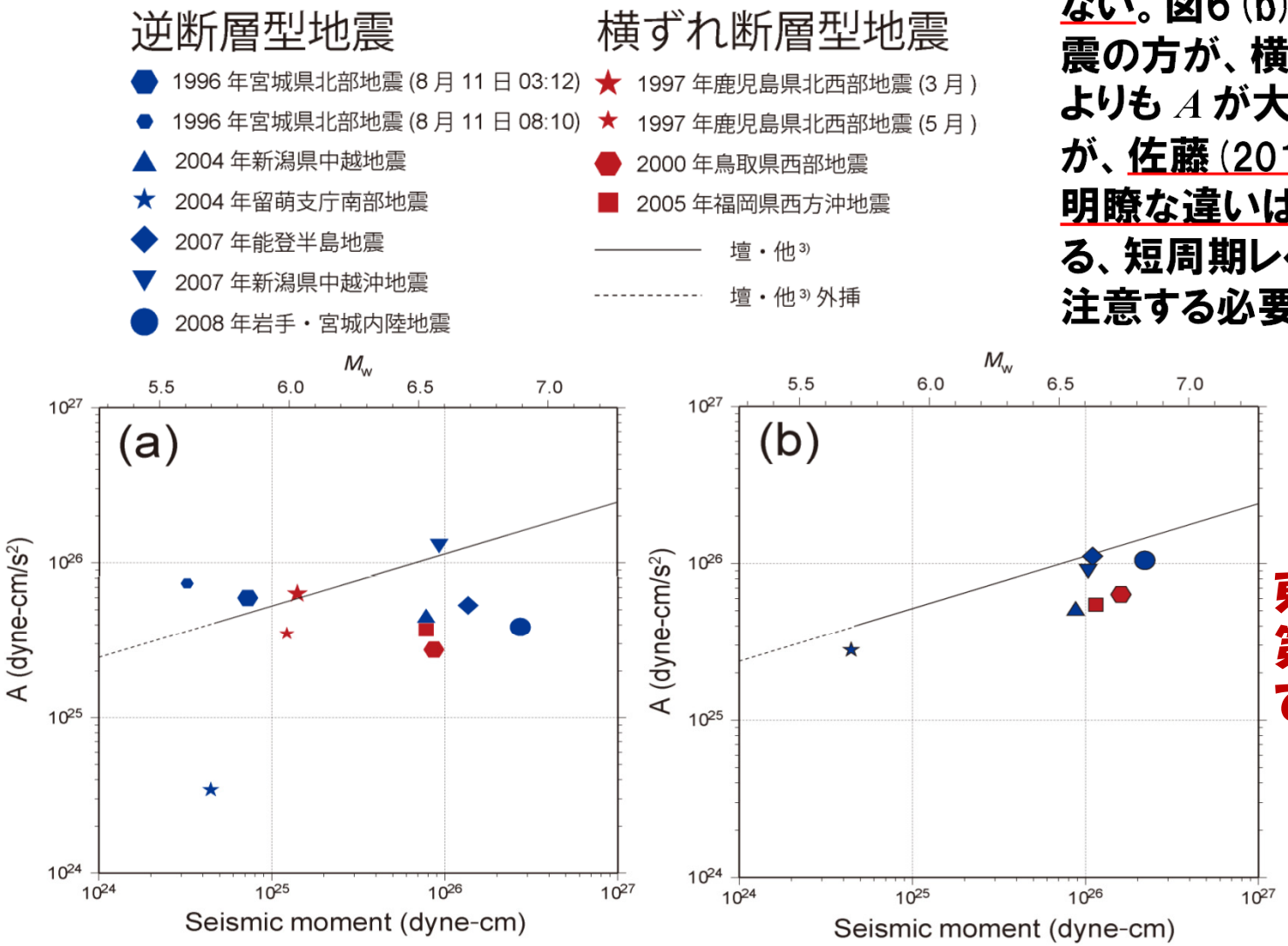
スペクトルインバージョン（左図）および経験的グリーン関数法（右図）に基づく地殻内地震のAとM_0の関係

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！

壇・他 (2001) のスケーリング式を基準に見ると、図6 (a) は、断層タイプによる A の違いは、確認できない。図6 (b) は、逆断層型の地震の方が、横ずれ断層型の地震よりも A が大きいようにも見えるが、佐藤 (2010) で示されるほどの明瞭な違いは無い。解析手法による、短周期レベルの評価の偏りに注意する必要があると考えられる。



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

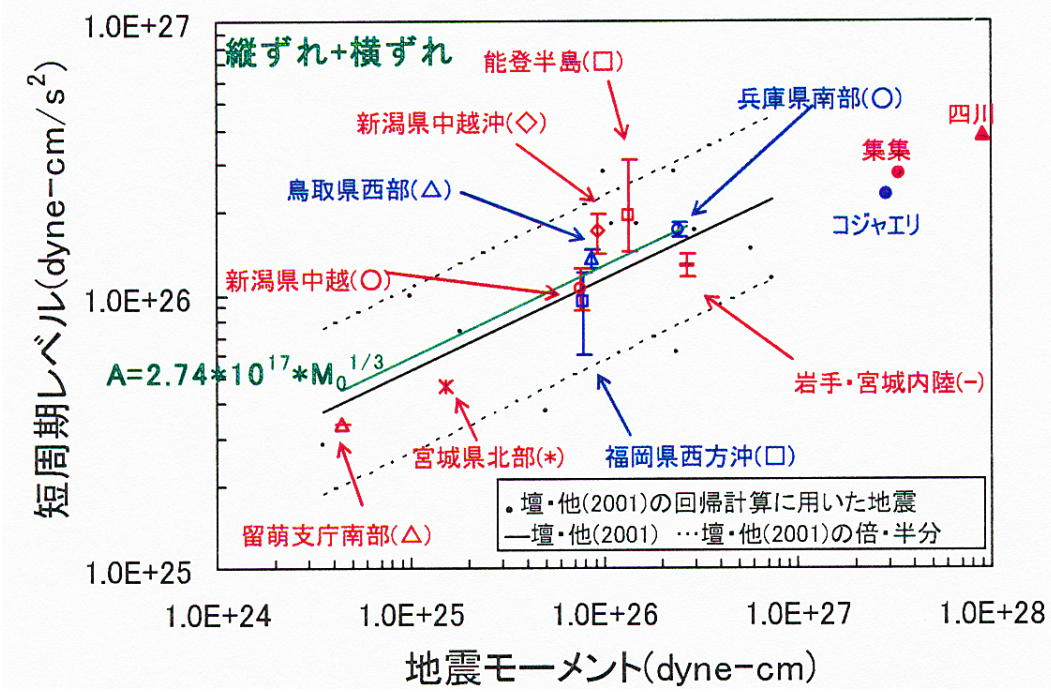
構造計画研究所(2010)によれば、断層タイプ別に短周期レベルの明確な違いはない！

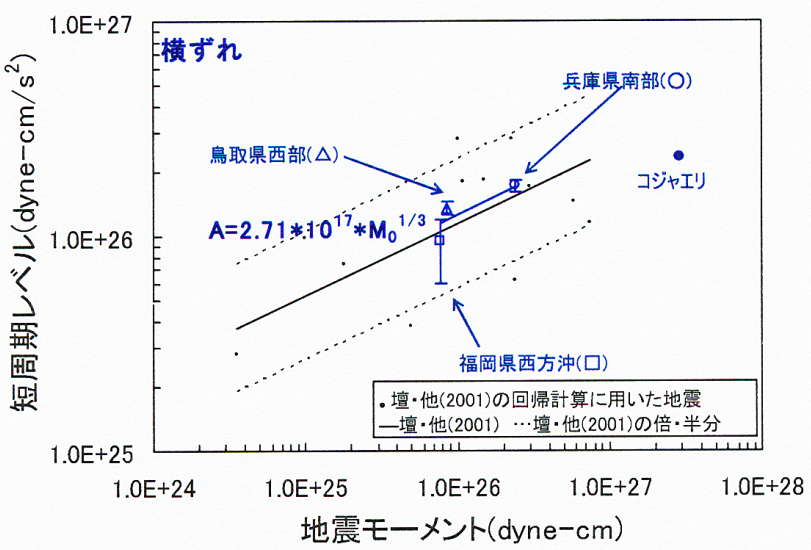
構造計画研究所「内陸地殻内地震における短周期レベルの地域的な整理・分析業務」平成21年度業務委託報告書(2010)

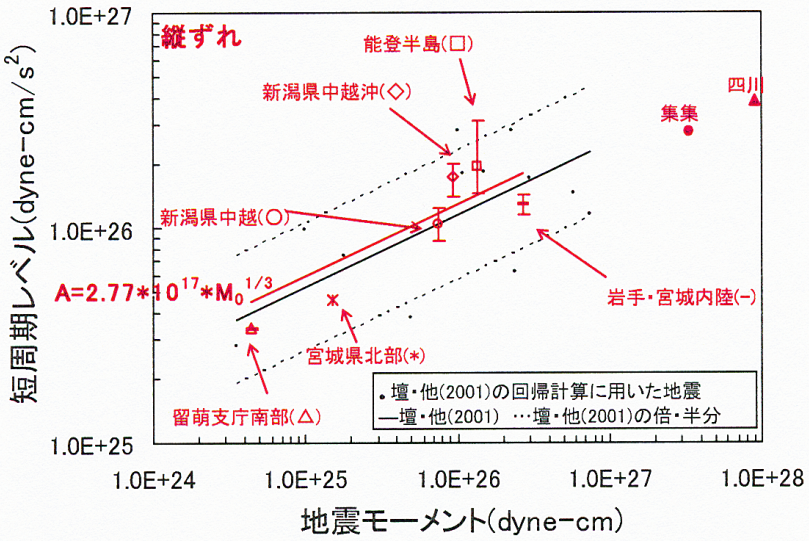
断層タイプ別に短周期レベルの明確な違いが見られなかったが、逆断層の短周期レベルが若干大きい。この傾向は佐藤(2010)による結果と調和的であるが、数値的には大きく異なるので、今後の検討課題になる。

関電も東電も審査会合でこれを紹介している！

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)



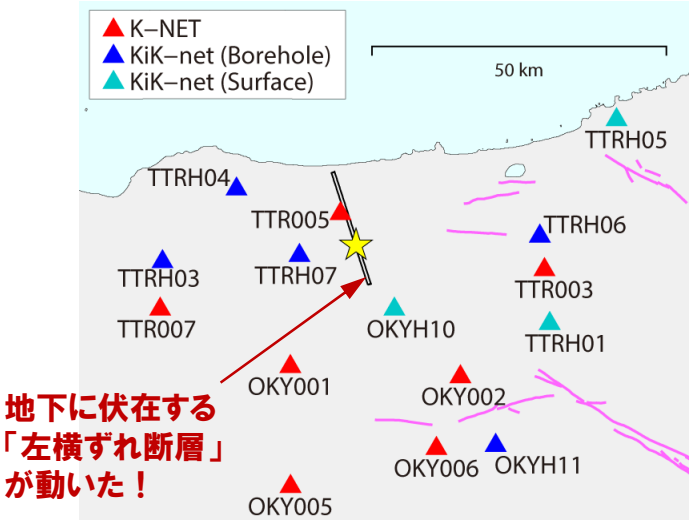


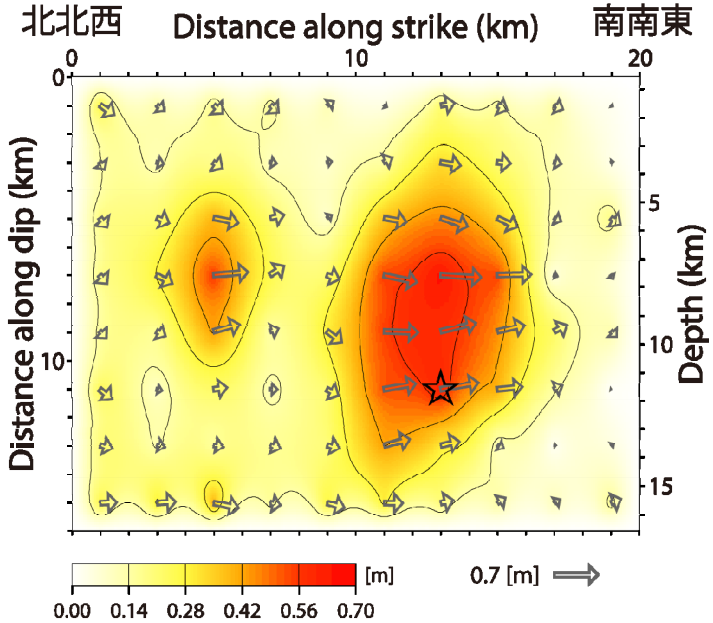


地震モーメントと短周期レベルの関係(バーは最大・最小の短周期レベルを示す)
(左図:横ずれと縦ずれ、右上図:横ずれ断層のみ、右下図:縦ずれ断層のみ)

結論づけるには地震データが足りない！

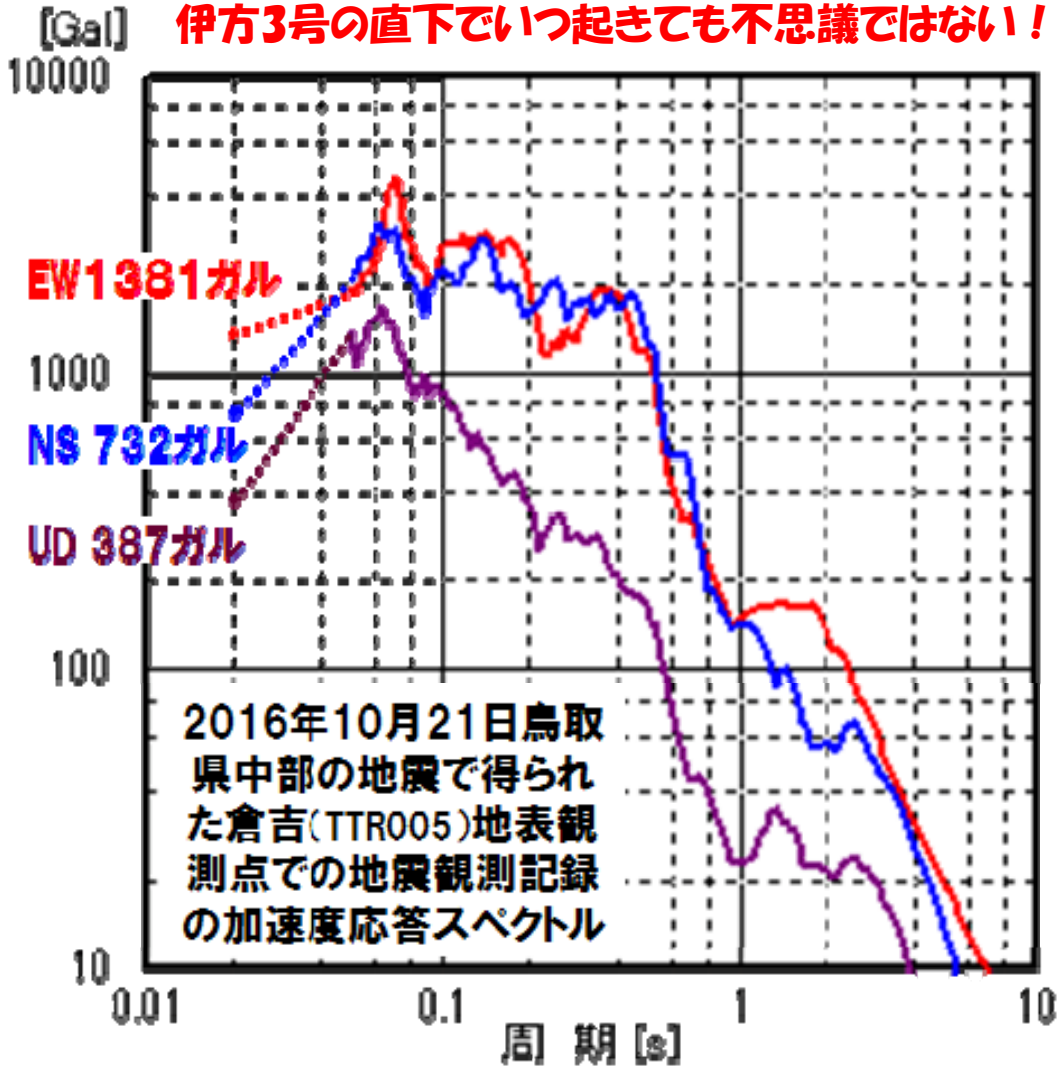
横ずれ断層でも強い短周期地震動が襲っている！　2016.10.21の鳥取県中部の地震M6.6（地表地震断層現われず）では、地表で3成分合成1494ガルを記録





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)

伊方3号の直下でいつ起きても不思議ではない！



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ガル超の可能性がある！

18. その他

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）

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_2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_2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_2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_W9.0
福島第一・女川原発基準地震動Ss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、2015.2.12 高浜3・4号、
7.15 伊方3号審査書決定（設置許可）

ここ10年、4サイト18原発で基準地震動を超える地震が！

見えない断層は、見える断層の10倍以上存在し、直下地震の恐れがある

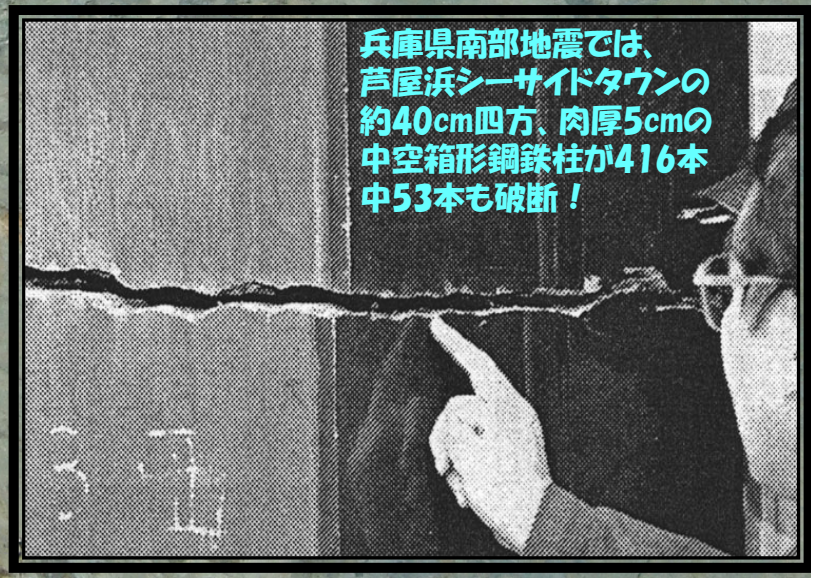
新規制基準でも地震動評価法は変わらず、基準地震動を超える地震の発生は避けられない！

活断層研究会編「新編 日本の活断層 分布図と資料」，東京大学出版会(1991)

1891年濃尾地震以降、国内では「長大な断層」による地震が まだ起きてはいないが・・・

1891年濃尾地震で出現した
総延長約76kmの一部をなす
根尾谷断層帯（隆起成分を伴う
左横ずれ断層）の地震断層：
写真は根尾村水鳥（みどり）地区の
左横ずれ4m、上下差6mの断層

中央構造線断層帯480kmは、
これをはるかに超える規模になる

淡路島北淡町で保存されている野島断層
（1995年1月17日阪神・淡路大震災）

こうなってからでは・・・