

伊方原発と西南日本のテクトニクス

伊方原発と中央構造線について

基本的な考え方について

熊本地震と活断層

具体的な基準地震動策定の問題点

個々のパラメータの過小評価

- (1) 断層との距離
- (2) 断層の傾斜角
- (3) 断層の長さ
- (4) アスペリティの位置

スケーリング則の問題

2016年11月2日 岡村 眞

0 25 50 100 150 200 km

伊方原発と中央構造線について

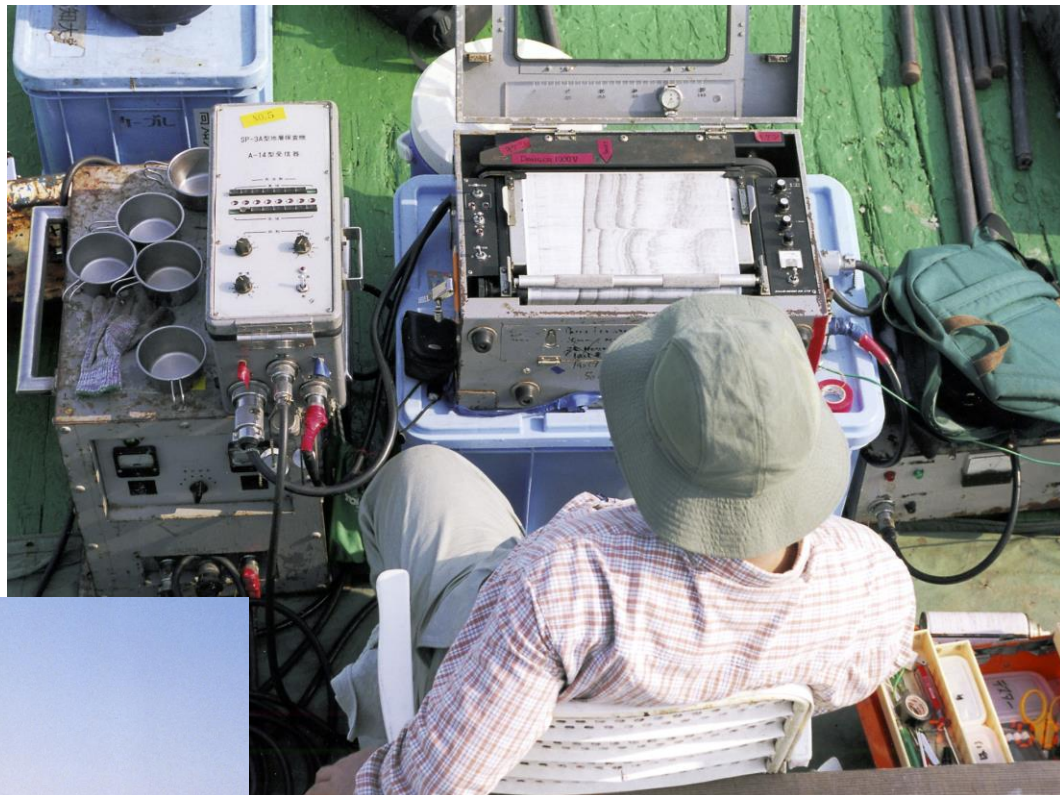


別府湾
伊予灘

— 活断層
- - - 推定活断層

海底活断層の音波探査

(音波探査の漁船
1994年7月 伊予灘、郡中港)



(音波探査機器 別府湾)



コンパクトな機材で
漁船を使用して調査可能

伊予灘の海底活断層分布図

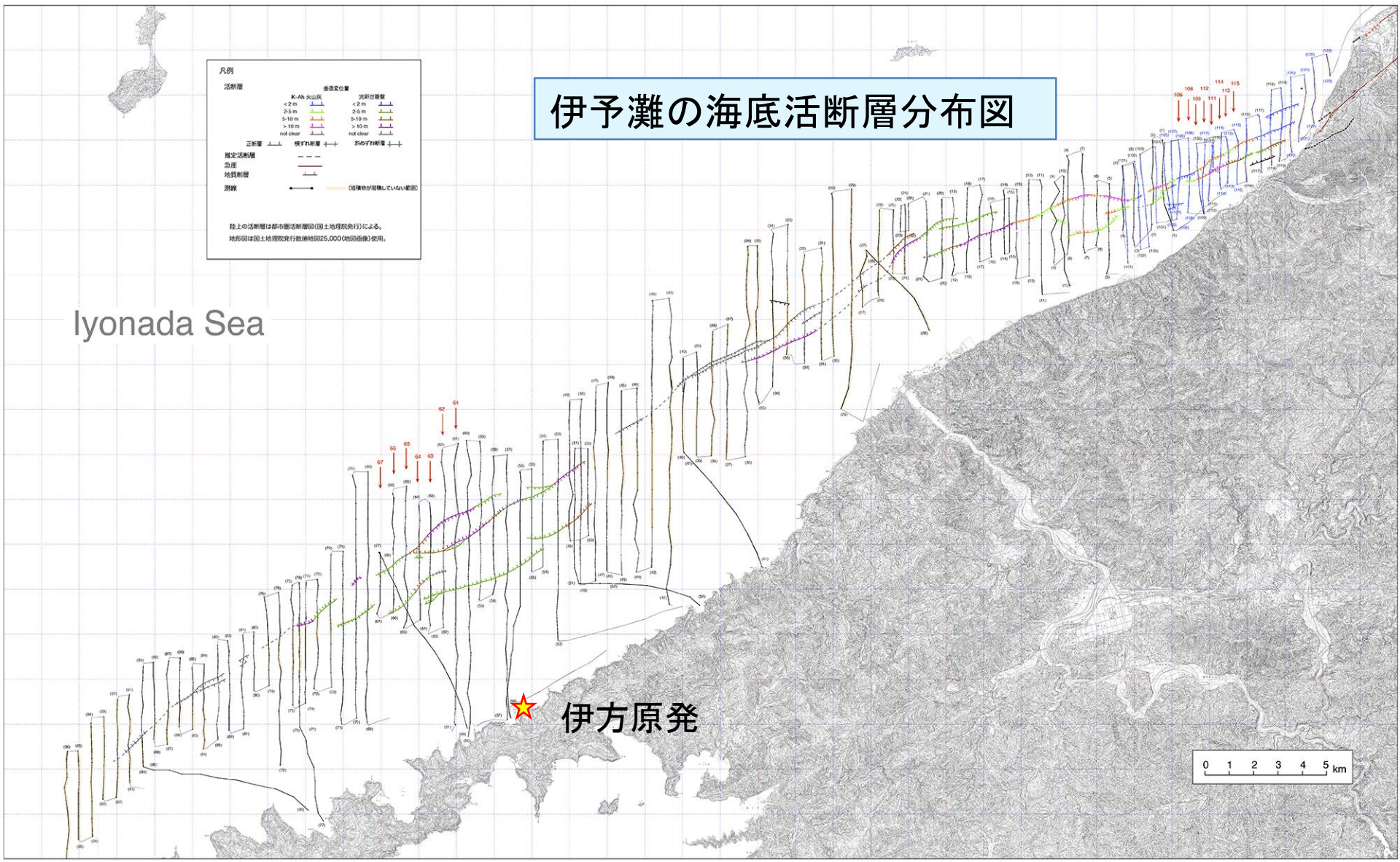
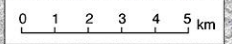
凡例

活断層	活断層の量 K-Ah 火山灰 <2 m 2-5 m 5-10 m >10 m not clear	活断層の量 活断層の量 <2 m 2-5 m 5-10 m >10 m not clear
正断層	↗ ↘	↖ ↙
逆断層	↖ ↙	↗ ↘
急崖	—	—
地質断層	—	—
選線	—	—

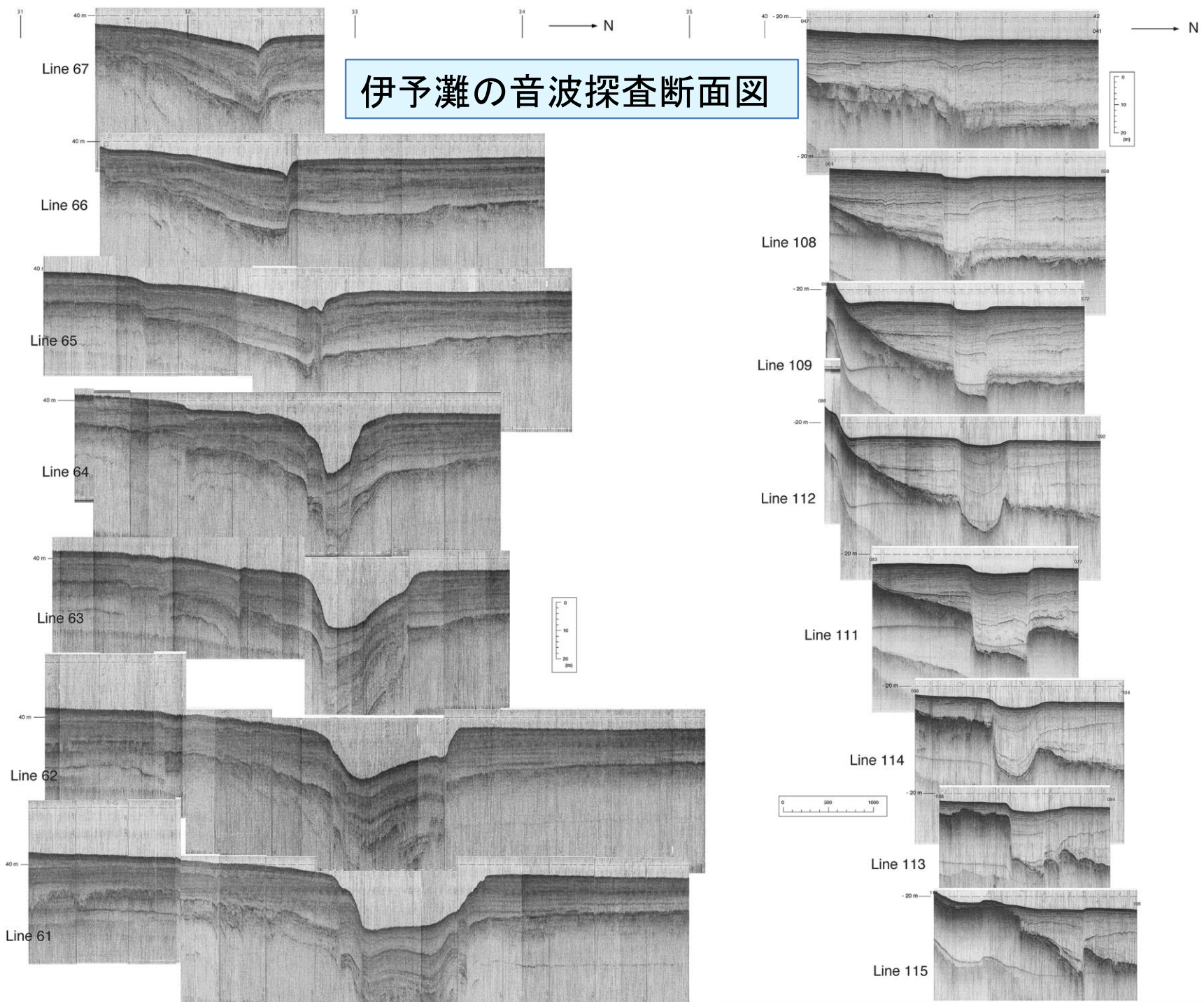
段上の活断層は都市圏活断層図(国土地理院発行)による。
地形図は国土地理院発行数値地形図25,000(地形画像)使用。

Iyonada Sea

★ 伊方原発

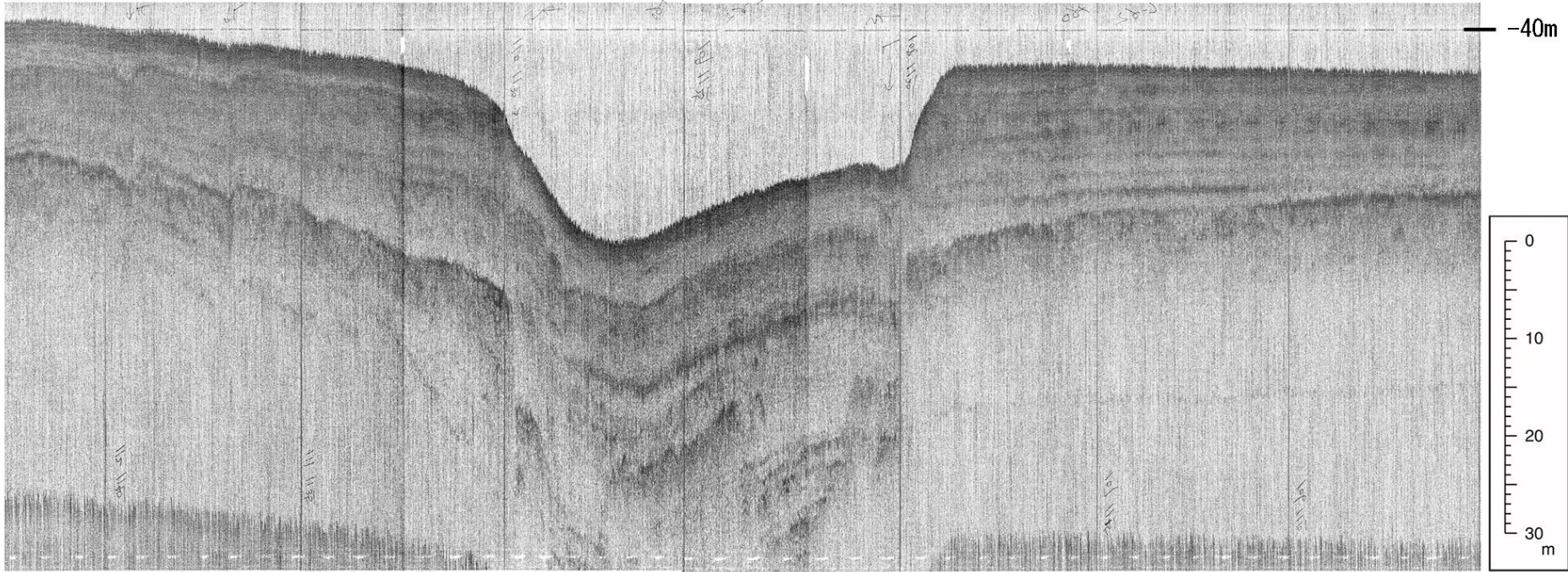


伊予灘の音波探査断面図

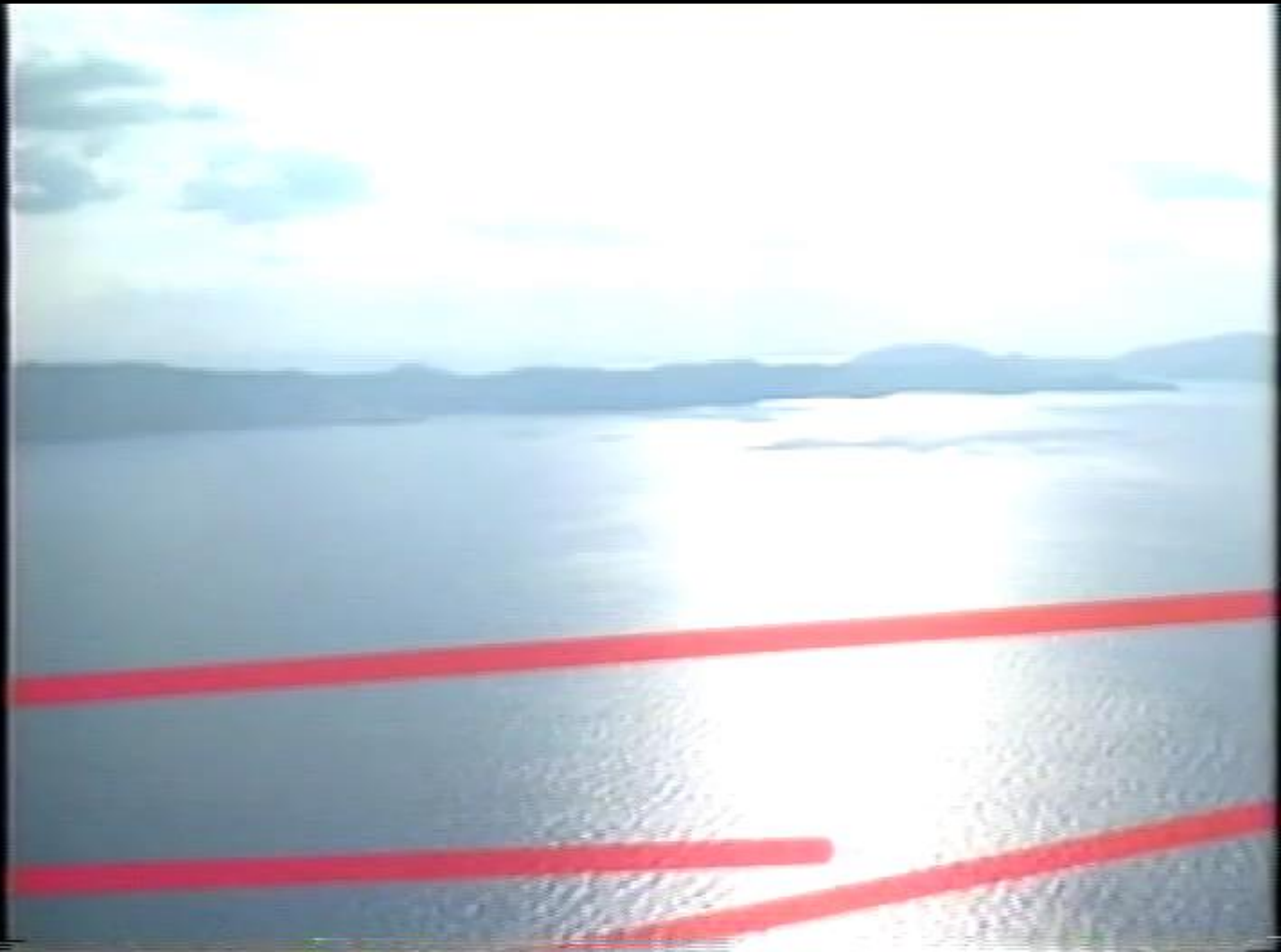


伊方原発付近の音波探査断面図

← 南(陸側)
Line 62



認められなかった海底活断層



1997年1月12日放送 TBS 製作
報道特別番組 日本列島の活断層 一阪神大震災から2年一

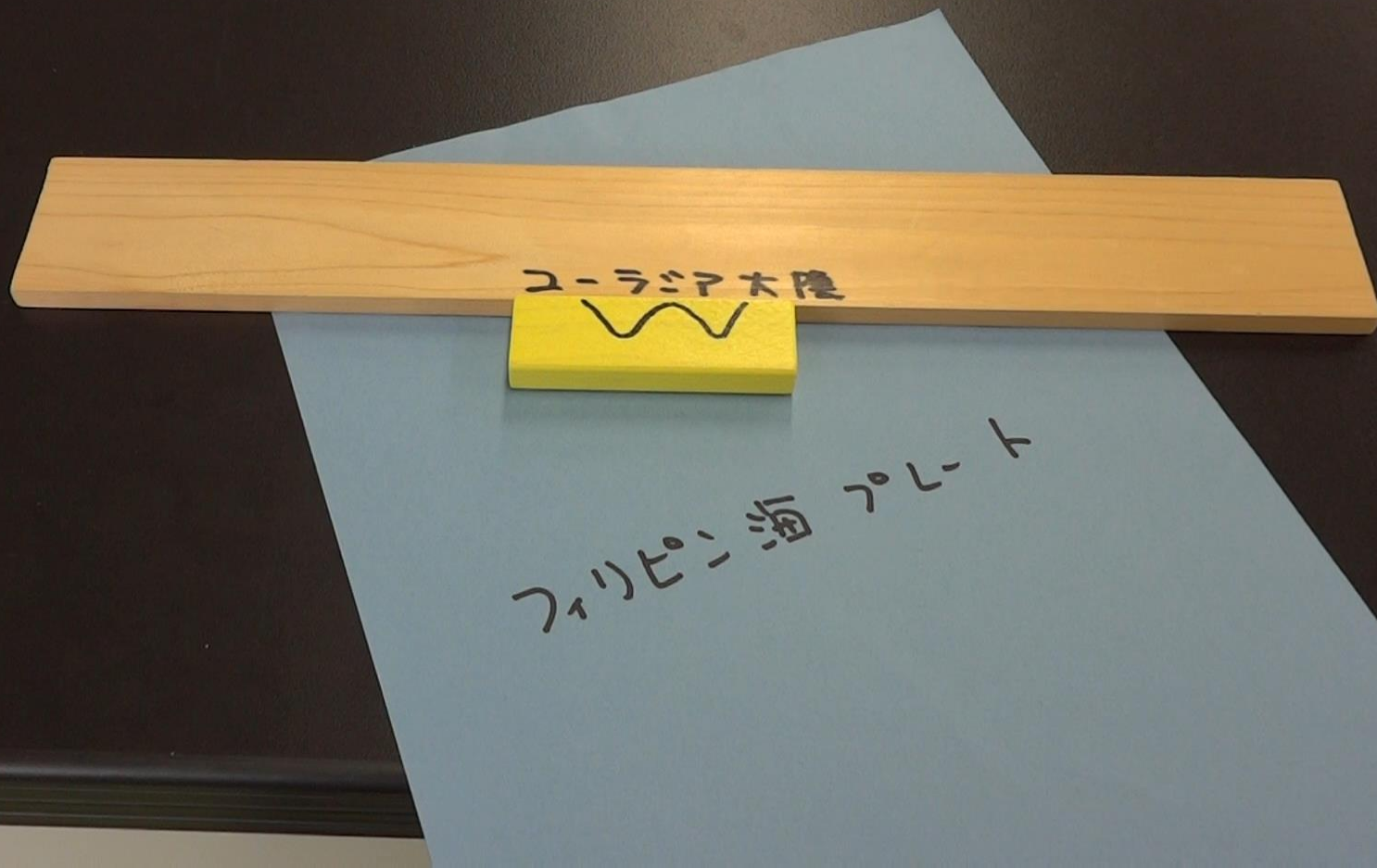
日本列島周辺の
プレート分布図



日本列島周辺のプレート分布図



西南日本前弧スリバーの西進運動



フィリピン海プレートの斜め沈み込みにともなう、中央構造線の横ずれ運動

歴史的事実：16世紀末に別府湾と六甲が連動して活動した。
四国も同時期に活動したと考えられている。

慶長伏見地震
1596年9月5日
有馬-高槻断層帯もしくは
六甲-淡路島断層帯

慶長豊後地震
1596年9月1日(4日?)
別府湾-日出生断層帯

9月5日? 16世紀以降に活動?

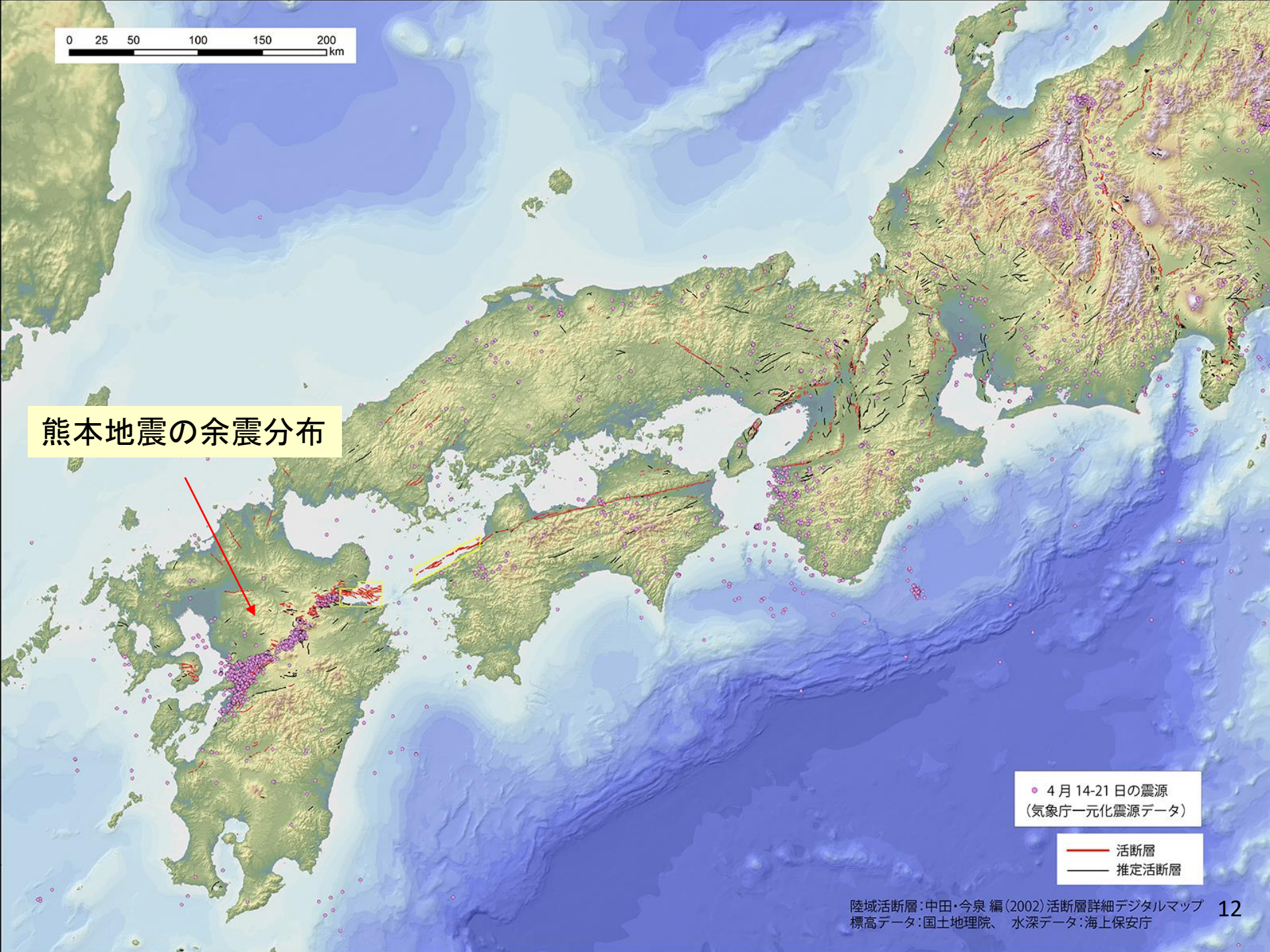
慶長伊予地震?
1596年9月1日?4日?

名前が何であろうと、近畿から九州に延びる
大きな活構造線に位置していることは否定できない。

— 活断層
— 推定活断層

0 25 50 100 150 200 km

熊本地震の余震分布



● 4月14-21日の震源
(気象庁一元化震源データ)

— 活断層
— 推定活断層

基本的な考え方について

現在の科学で将来発生する地震を正しく想定することは不可能

戦後混乱期～約50年間、活断層の大地震は発生しなかった

- ・1995年 兵庫県南部地震 → 活断層が社会的に認知される
→ 全国に強震計のネットワークが構築される

これ以降、さまざまなデータが得られる

まだ、20年弱

被害地震はすべて「想定外」といわれた
地震がおこるたびに新事実を知る

基本的な考え方について

現在の科学で将来発生する地震を正しく想定することは不可能

2004年12月14日 北海道留萌支庁南部の地震(M6.1) 1127 gal (E-W成分)

2008年6月14日 岩手・宮城内陸地震(M7.2) 4022 gal (3成分合成)

このような強い揺れは、強震計ネットワークにより初めて明らかになった。

今年に入ってから、

4月14日	熊本地震(M6.5)	1580 gal
4月16日	熊本地震(M7.3)	1362 gal
6月16日	内浦湾の地震(M5.3)	976 gal
10月21日	鳥取県中部の地震(M6.6)	1494 gal

(いずれも3成分合成)

1000 gal は、もはや珍しいことではない

致命的なのは、最大でM7.3の地震しか経験がないこと

基本的な考え方について

現在の科学で将来発生する地震を正しく想定することは不可能

- ・1995年兵庫県南部地震 (M7.3) 野島断層ほか15km活断層→50kmの震源断層
- ・2000年鳥取県西部地震 (M7.3) 未発見
- ・2004年新潟県中越地震 (M6.8) 出現せず(未発見)
- ・2005年福岡県西方沖の地震 (M7.0) 出現せず(未発見)
- ・2007年能登半島地震 (M6.9) 海底活断層15km→25kmの震源断層
- ・2007年新潟県中越沖地震 (M6.8) F-B断層?
- ・2008年岩手・宮城内陸地震 (M7.2) 未発見
- ・2011年長野・新潟県境の地震 (M6.7) 出現せず(未発見)
- ・2011年福島県浜通りの地震 (M7.0) 井戸沢断層ほか15km→30kmの震源断層
- ・2014年長野県北部の地震 (M6.7) 神城断層の一部
- ・2016年熊本地震 (M7.3) 布田川断層ほか25km→50kmの震源断層

既知の活断層が、そのままの位置と長さで
震源断層として活動したことはない

現在の科学で将来発生する地震を正しく想定することは不可能

表層の活断層の分布



調査で明らかになるのはこれだけ
(それでも様々な見解があるが)

震源断層の位置、長さ、幅



地震前に、わかったことがない
地震後でも、正確にはわからない

発生する地震動の大きさ、特性

地震によって大きな差異

伝わり方(地盤の特性)

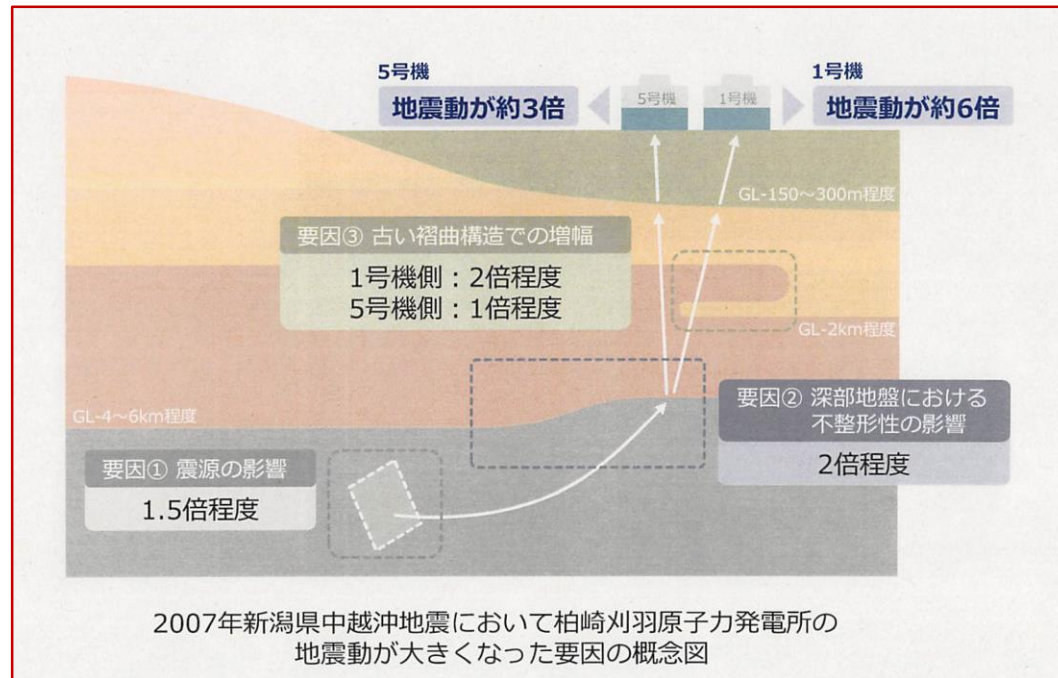
伊方周辺で大地震の経験なし
(伊方に限らず、これだけ
近距離の大地震の経験もなし)

たとえば、2007年新潟県中越沖地震(M6.8)。
東京電力はもちろん「詳細な調査」を行っていたが、
1号機と5号機の基準地震動は小さいだけでなく、同じだった。
こんなに大きく揺れることも、こんなに大きく違うことも、
地震がおこってはじめてわかった。

5号機
766ガル

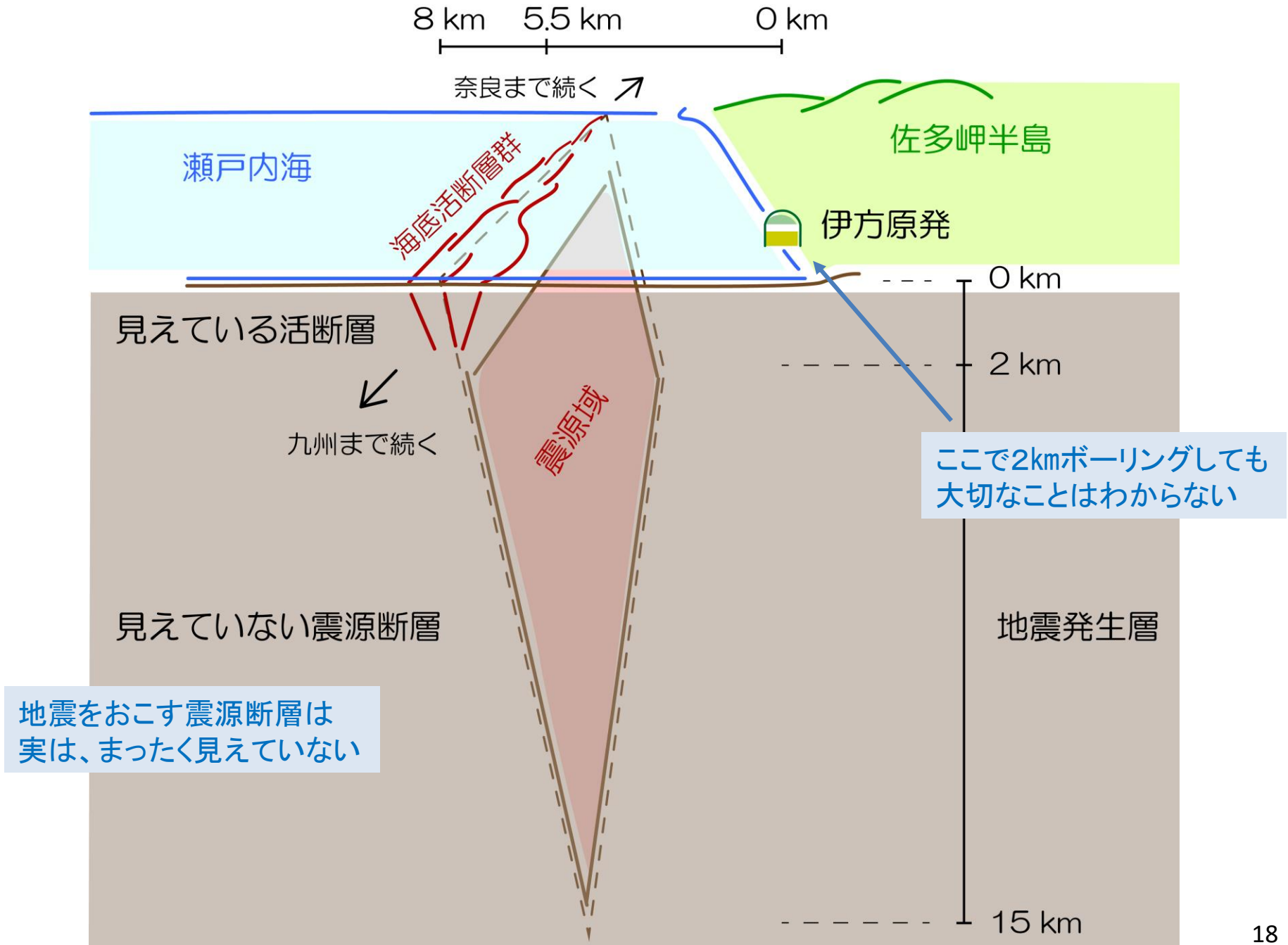
1号機
1699ガル

ちなみに6号機は
539ガルで
1号機と3倍違う



(四国電力 乙第227号証より)

柏崎の事例から、地震を理解したなどと思ったらとんでもない、
わからないことが、よくわかっただけである。



私たち科学者はわからないことだらけの地震について、その真実を明らかにしようと努力している。論文として、様々な事実とその解釈が提唱されるが、必ずしも完全なものではないし、正しいわけでもない。試行錯誤を繰り返しながら、より真実に近づこうとするのが科学である。

ところが電力会社はあるひとつの論文に書かれていることをまるで真実のように扱い、都合のよい結論を導き出そうとする。この「わからなさ」を排除した態度は科学になじまない。

論文の査読は原発の安全審査を想定して行われているわけではない。学問的な議論に耐える基準と、現実に原発を建設し運転するための基準が同じであるはずがない。論文があるからといってその背景を顧みず、都合のよい結論だけを使用するのは、危険きわまりない行為である。

0 5 10 20 30 40 50 km

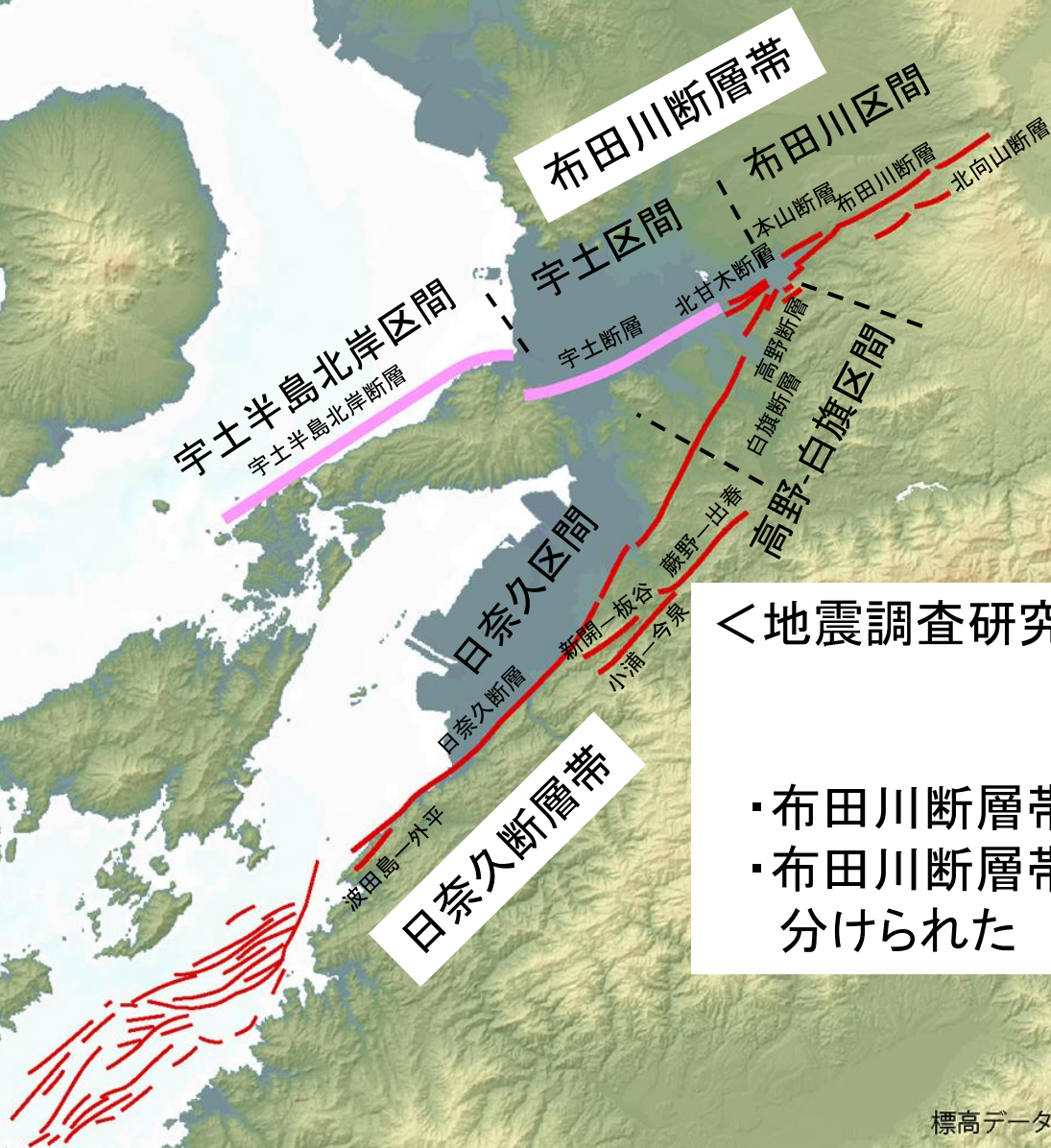
熊本地震と活断層

布田川・日奈久断層帯

＜地震調査研究推進本部(2002)
による断層分布＞

「布田川・日奈久断層帯」として評価された

0 5 10 20 30 40 50 km



＜地震調査研究推進本部(2013)による断層分布＞

- ・布田川断層帯と、日奈久断層帯に
- ・布田川断層帯はさらに、3つの区間に分けられた



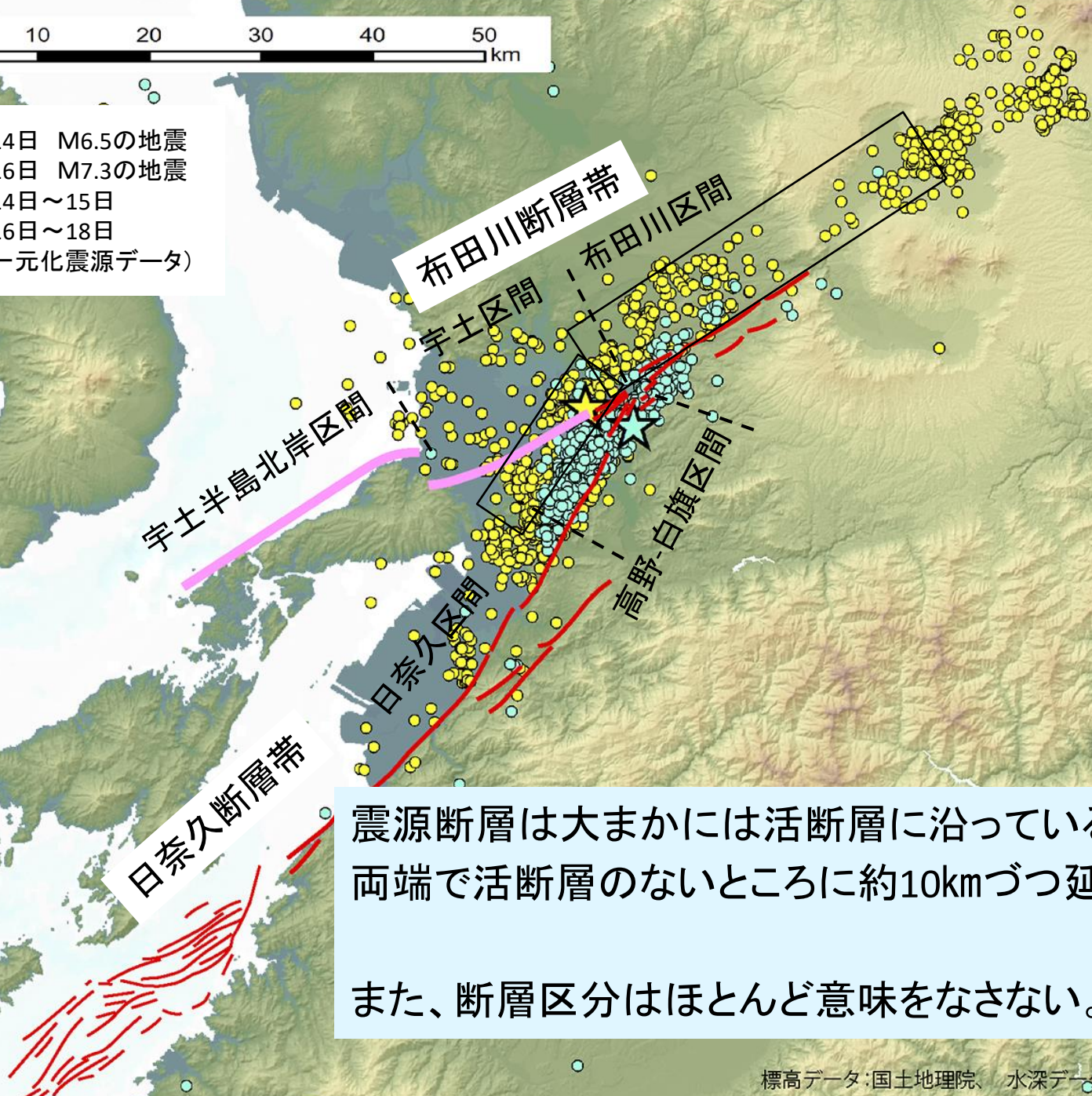
熊本地震の震源分布

宇土半島北岸区間
宇土区間・布田川区間
布田川断層帯
日奈久断層帯

- ★ 4月14日 M6.5の地震
 - ★ 4月16日 M7.3の地震
 - 4月14日～15日
 - 4月16日～18日
- (気象庁一元化震源データ)



- ★ 4月14日 M6.5の地震
 - ★ 4月16日 M7.3の地震
 - 4月14日～15日
 - 4月16日～18日
- (気象庁一元化震源データ)



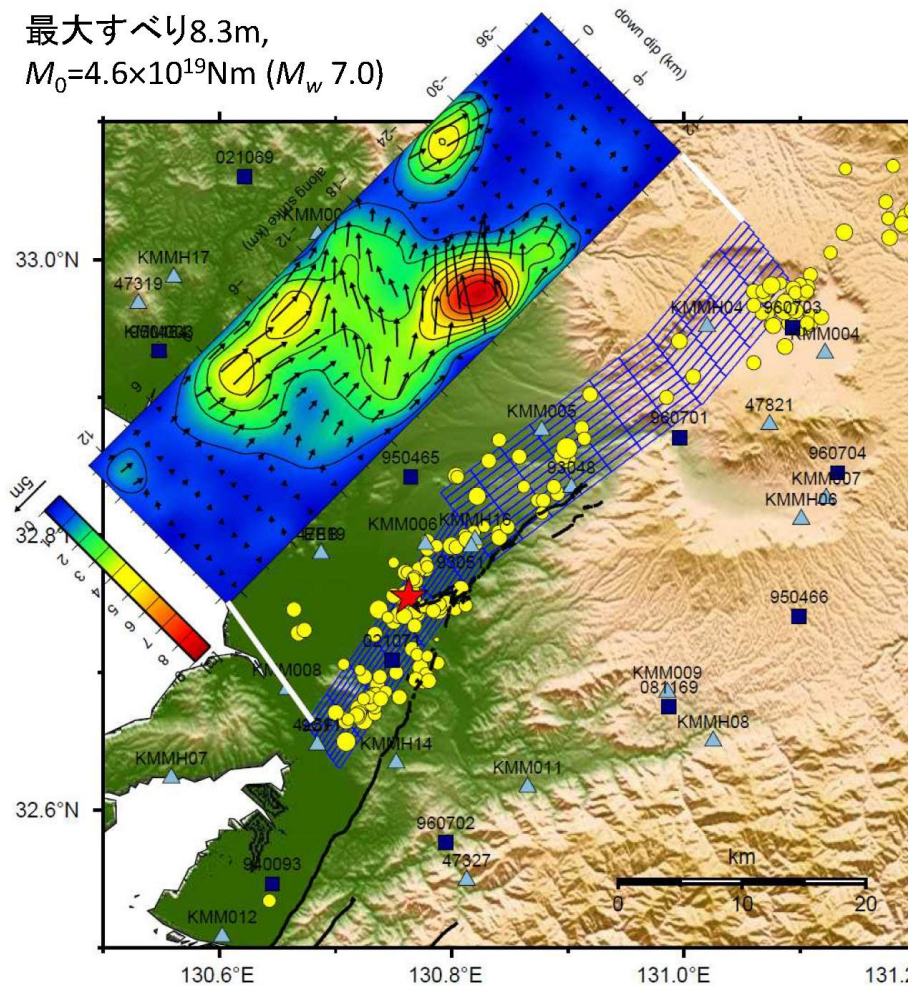
震源断層は大まかには活断層に沿っているが、
両端で活断層のないところに約10kmずつ延長された。
また、断層区分はほとんど意味をなさない。

さらに、地震を発生させた地下の震源断層の大きさやすべり量分布は、地震後でも研究者によって見解が異なる。

地震後に公表された、様々な研究者の熊本地震の震源断層モデルを次に示す。

強震・遠地・測地データのジョイントインバージョン結果

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

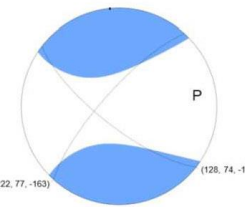


最終すべり量とそのベクトルの分布.

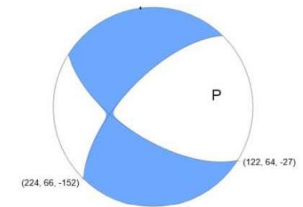
1. 大きなすべりは破壊開始点から阿蘇カルデラ入り口まで.
2. 特に大きなすべりは西原村付近の浅い部分.
3. 横ずれ成分だけでなく、かなりの正断層成分を持つ.
4. そのため、断層直交方向ではなく、斜交する方向の東西成分が大きな揺れとなった.

かなりの正断層成分を持つことは

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



GCMT



USGS W phase 9

(平成28年5月13日 地震調査研究推進本部地震調査委員会「平成28年熊本地震の評価」より、東京大学地震研究所提出資料、瀨瀬一起・小林広明・三宅弘恵)

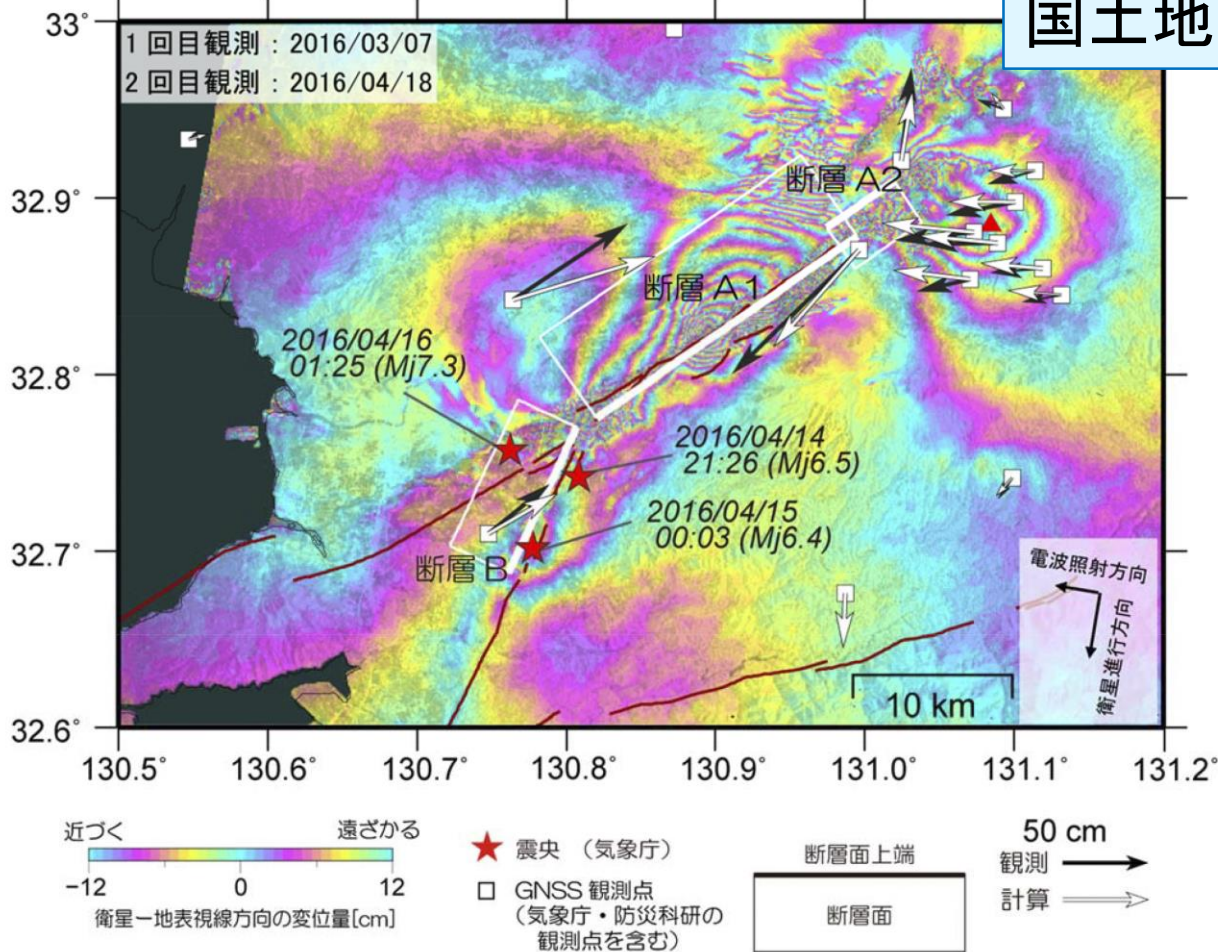


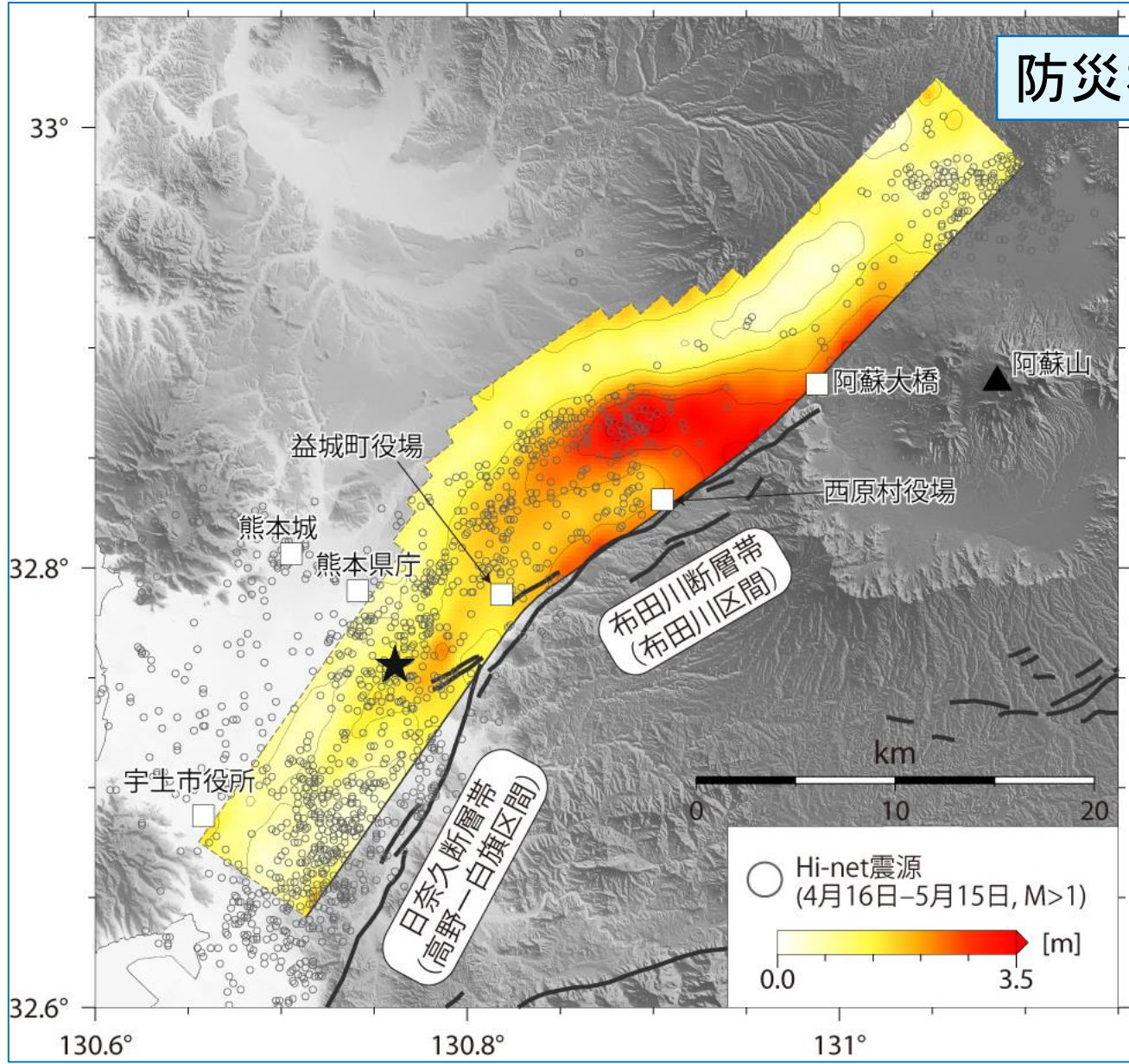
図1 干渉 SAR (観測値) と GNSS(観測値・計算値)

	経度 [°]	緯度 [°]	上端深さ [km]	長さ [km]	幅 [km]	走向 [°]	傾斜 [°]	滑り角 [°]	滑り量 [m]	M _w
断層 A1	130.996	32.878	0.6	20.0	12.5	235	60	209	4.1	6.96
断層 A2	130.975	32.883	0.2	5.1	6.6	56	62	178	3.8	6.36
断層 B	130.807	32.770	0.8	10.2	13.0	205	72	176	2.7	6.65

※矩形断層 3 枚での推定結果。位置は断層の左上端を示す。

(平成28年5月13日
地震調査研究推進本部
地震調査委員会「平成28年
熊本地震の評価」より、
国土地理院提出資料)

防災科研の断層モデル

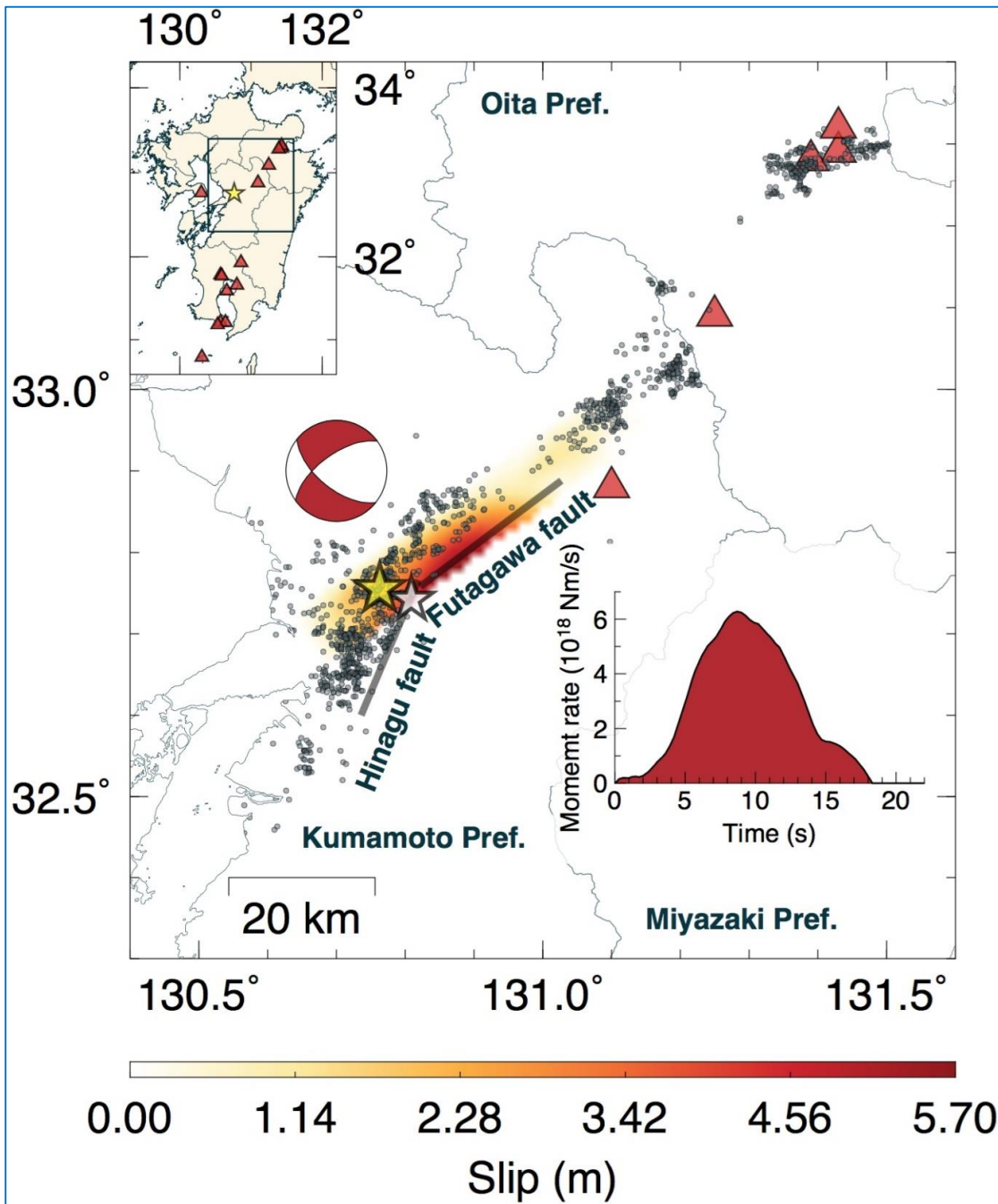


すべり分布の地表投影

最大すべり量 3.8m
地震モーメント
 $5.5 \times 10^{19} \text{Nm}$ (Mw 7.1)

(防災科研ホームページより 久保久彦、鈴木亘、青井真、防災科学技術研究所)
関口春子、京都大学防災研究所)

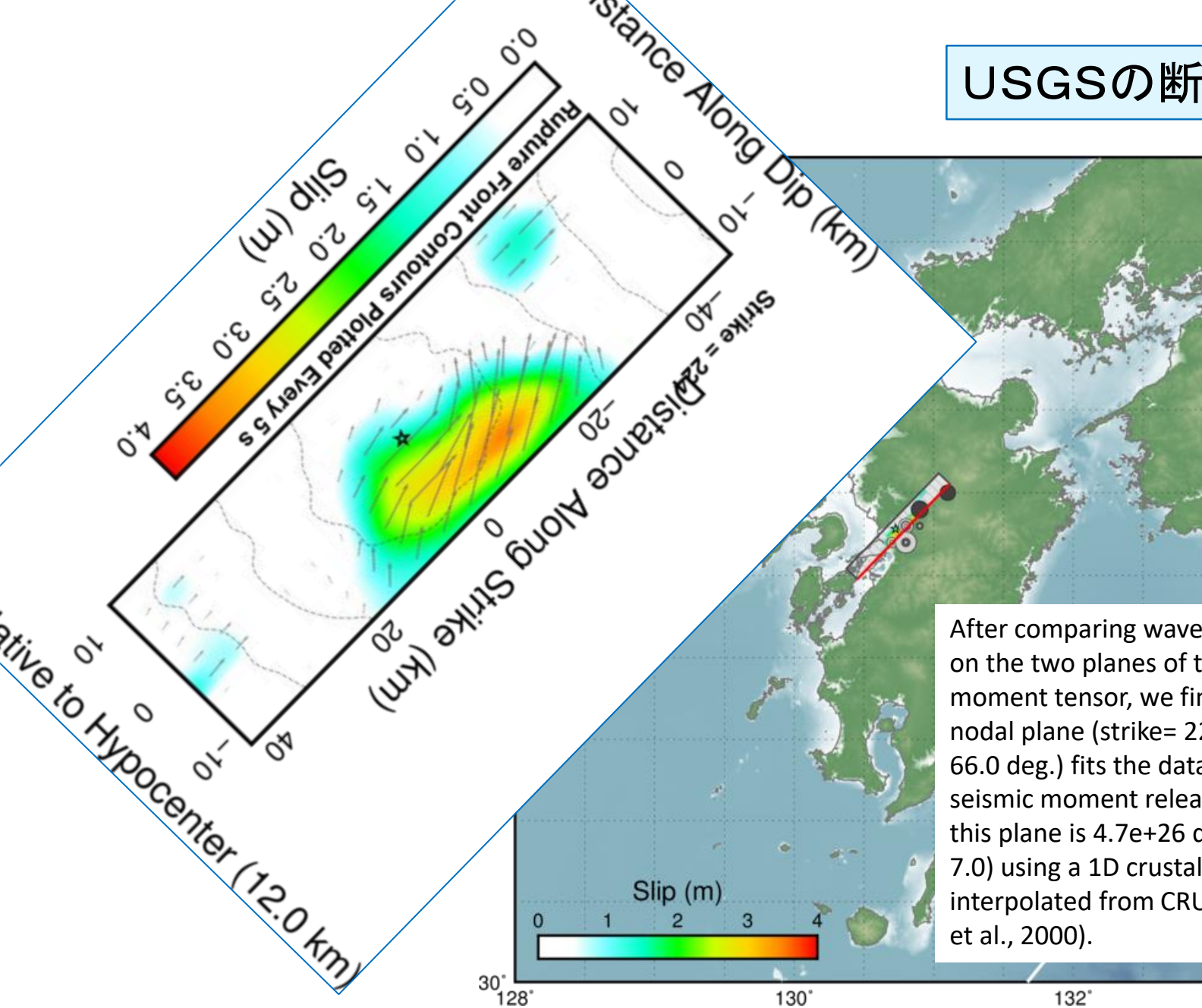
Yagi et al., (2016) の
断層モデル



strike, dip, rake :
 234° , 64° , -148°
 effective slip area : 40 x 15 km
 maximum slip : 5.7 m
 seismic moment :
 5.1×10^{19} Nm ($M_w = 7.1$)

(Yagi et al., 2016)

USGSの断層モデル



After comparing waveform fits based on the two planes of the input moment tensor, we find that the nodal plane (strike= 224.0 deg., dip= 66.0 deg.) fits the data better. The seismic moment release based upon this plane is 4.7×10^{26} dyne.cm ($M_w = 7.0$) using a 1D crustal model interpolated from CRUST2.0 (Bassin et al., 2000).

具体的な基準地震動策定の問題点

(1) 「たくさんパラメーターマジック」

地震を想定するためには、まず調査によって断層の位置、長さ、幅、傾斜角、すべり方向を決める。さらにその断層のすべり量と地震モーメントを求める強い地震波を発生させるアスペリティの位置と面積、応力降下量を決めるだけでなく、地盤の剛性率や、破壊伝搬方向、破壊伝搬速度等も想定する。

一見すると科学的なように見えるが、これらはほとんど地盤の中の出来事であり、すでに発生した地震でも正確な値を求めることは難しい。また、地震は不均等な地盤における破壊運動なので、多様性が大きい。従って、これらは不確実性の積み重ねでしかなく、実際はザル勘定である。

(1) 「たくさんパラメーターマジック」

四国電力の「基本ケース」は、これら多くのパラメーターについて、少しずつ厳しくない値を採用する。この過小評価の積み重ねにより、最終的な結果はかなり厳しくない値となる。これが「たくさんパラメーターマジック」である。



(2) 「基本ケース」を用いた「あらゆる地震」の想定

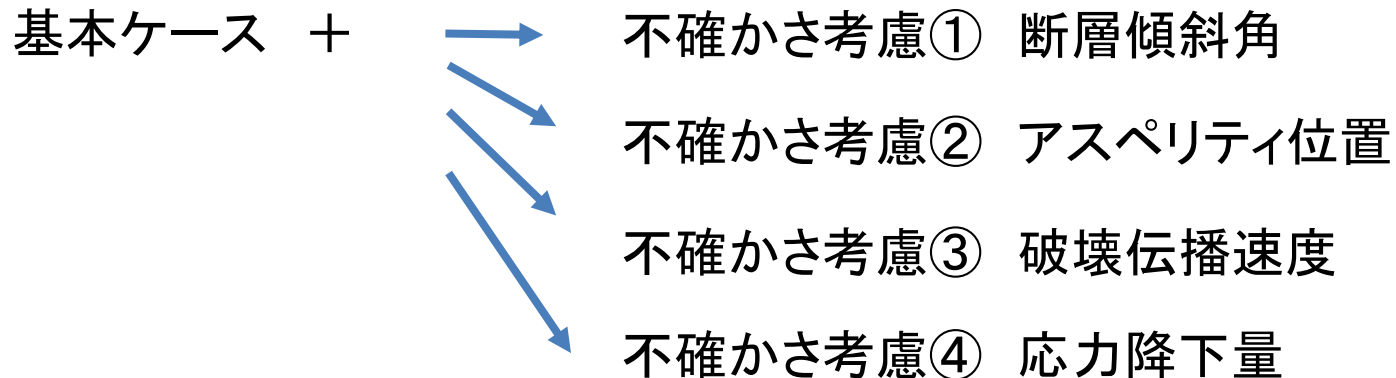
3. あらゆる地震を想定した設計

伊方発電所の耐震設計は、過去の地震や敷地周辺の活断層・地質等について詳細に調査を行い、考えられる最大の地震を想定し、設計の基準となる地震動(基準地震動)を決定しています。

(四国電力のホームページより http://www.yonden.co.jp/energy/atom/ikata/page_08.html)

しかし、実際には、少しずつ厳しくない値を集めた「基本ケース」を決め、いくつかのパラメータを、**ひとつずつだけ**を変化させて「不確かさの考慮」を行っているにすぎない。

(2) 「基本ケース」を用いた「あらゆる地震」の想定



厳しい値をとっているパラメータはひとつだけ！

このような手法を、日本語で「あらゆる地震を想定した」とは言わない。
さらに、「考えられる最大の地震」に程遠いことは言うまでもない。

また、断層の位置(距離)、断層の幅、などは一切不確かさが考慮されていない。

(3) 個々のパラメータの過小評価

前述のように数多くのパラメータにおいて、「基本ケース」として明らかに過小評価な値が採用されている。全てのパラメータについて説明するのは不可能だが、以下に4例をあげる。

(3)-1 個々のパラメータの過小評価 <断層との距離>

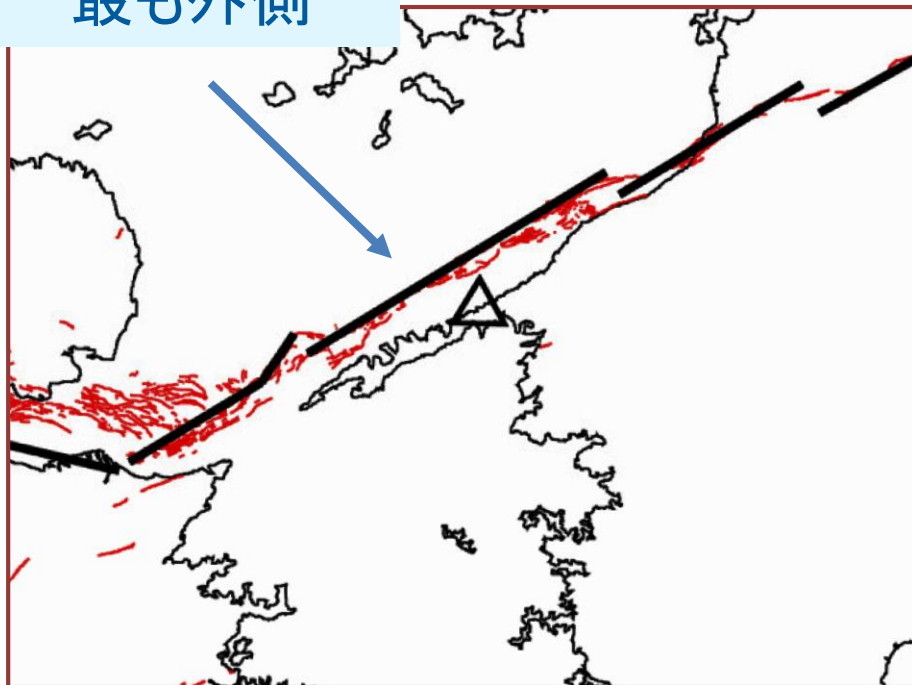
科学的で詳細な調査が行われても、地震波を発生させる震源断層は、実際はまったく見えていない。

地震波を発生させるのは、およそ深さ2kmよりも深い部分である。原発周辺で確認されているのは、表層付近の活断層(地震波を発生させない部分)と、地層境界としての中央構造線(過去の断層)だけである。従って、最も簡単に見える**原発と震源断層との距離さえ、正確にはわからない。**

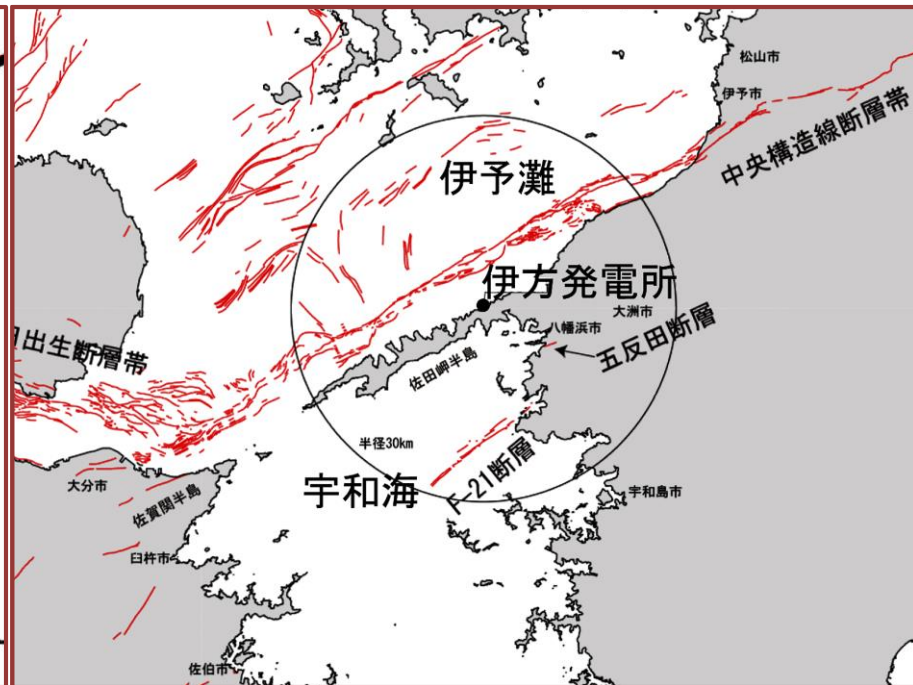
四国電力は断層位置として、見えている活断層の最も外側である8kmを「基本ケース」として採用し、過小評価。

(3)-1 個々のパラメータの過小評価 <断層との距離>

最も外側



(四国電力 H25年8月28日 資料1-1 P133 一部抜粋)



(四国電力 H27年3月20日 資料3-3 P10 一部抜粋)

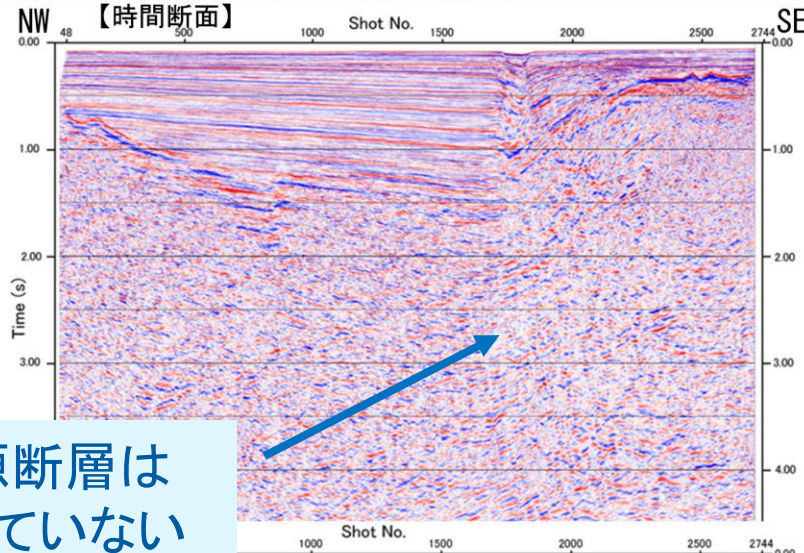
地震動の評価において断層距離の違いは非常に大きいですが、四国電力は断層距離を8kmより近くした不確かさの評価は、一切行っていない。

(3)-1 個々のパラメータの過小評価 <断層との距離>

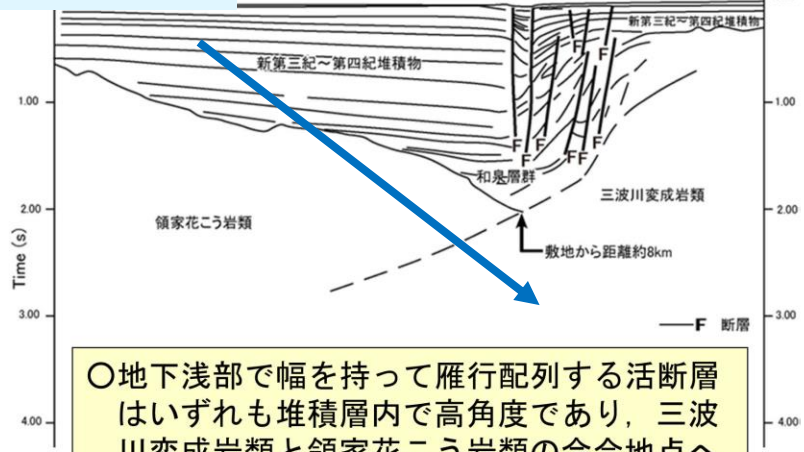
III. 中央構造線断層帯の評価

エアガンによる探査断面図③<伊方沖>

平成25年7月31日
審査会合資料再掲

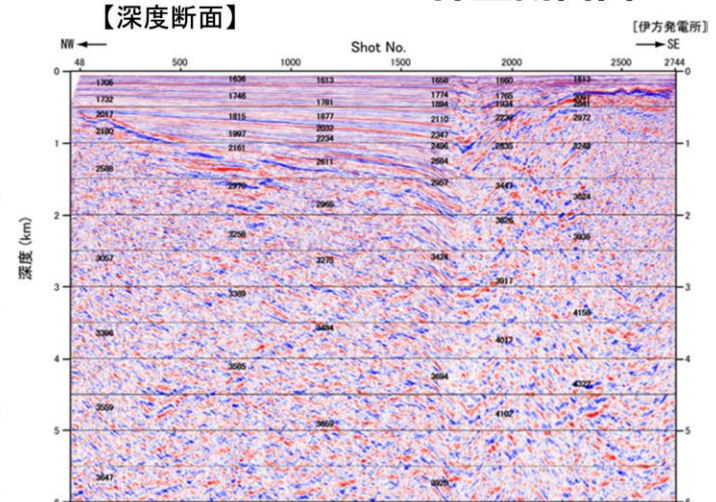


震源断層は
見えていない

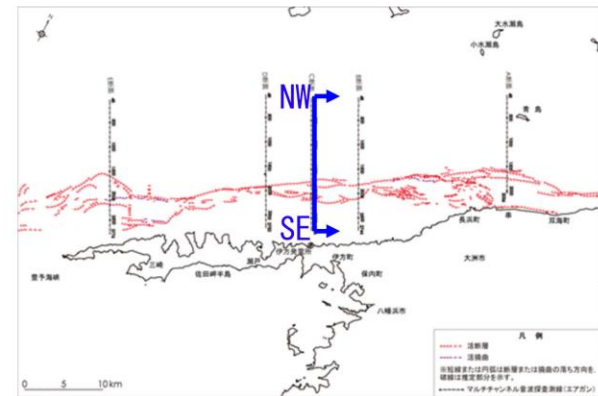


○地下浅部で幅を持って雁行配列する活断層はいずれも堆積層内で高角度であり、三波川変成岩類と領家花こう岩類の会合地点へ収斂する。

エアガン探査断面図

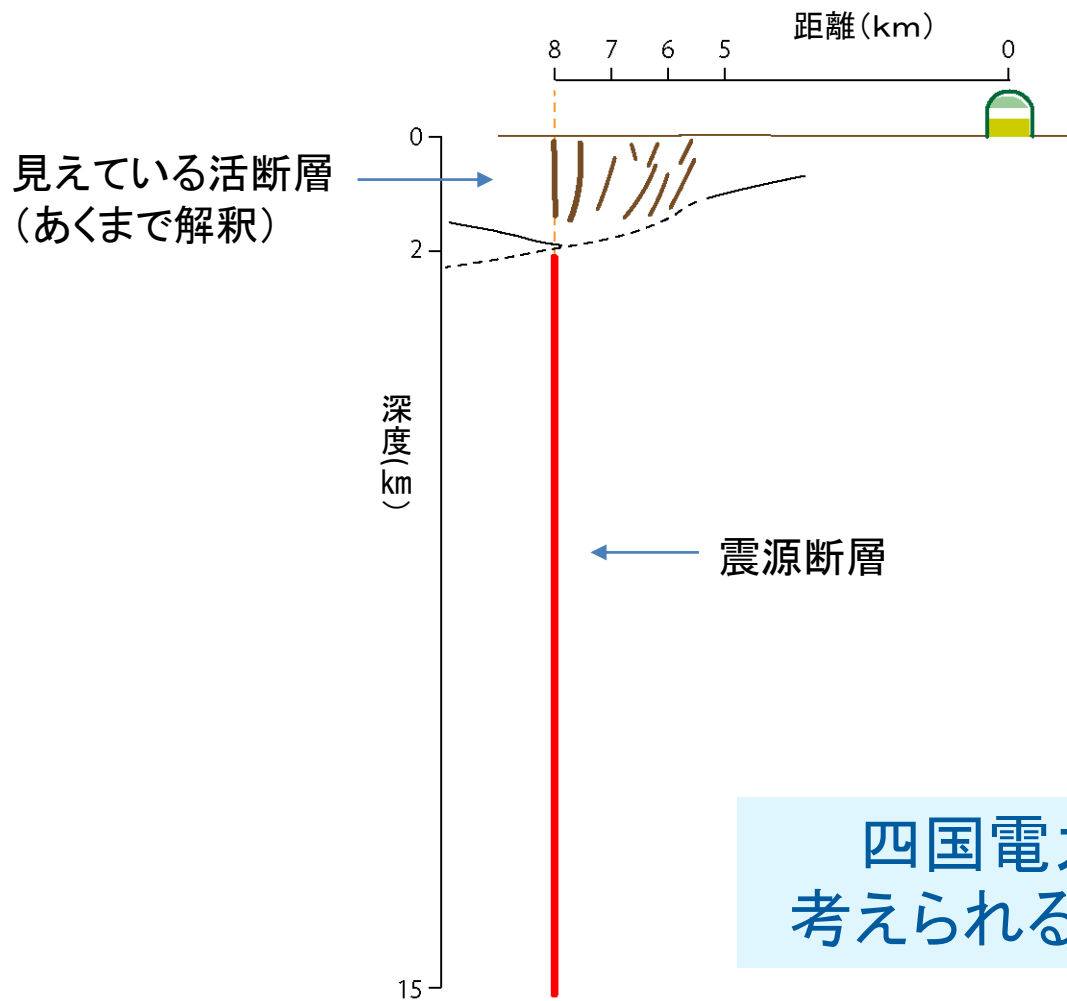


※図中の数字は速度値 (m/s) を示す。



(四国電力 H27年3月20日 資料3-3 P48に青字、矢印加筆)

(3)-1 個々のパラメータの過小評価 <断層との距離>



四国電力の「基本ケース」
考えられる、最も遠い震源断層

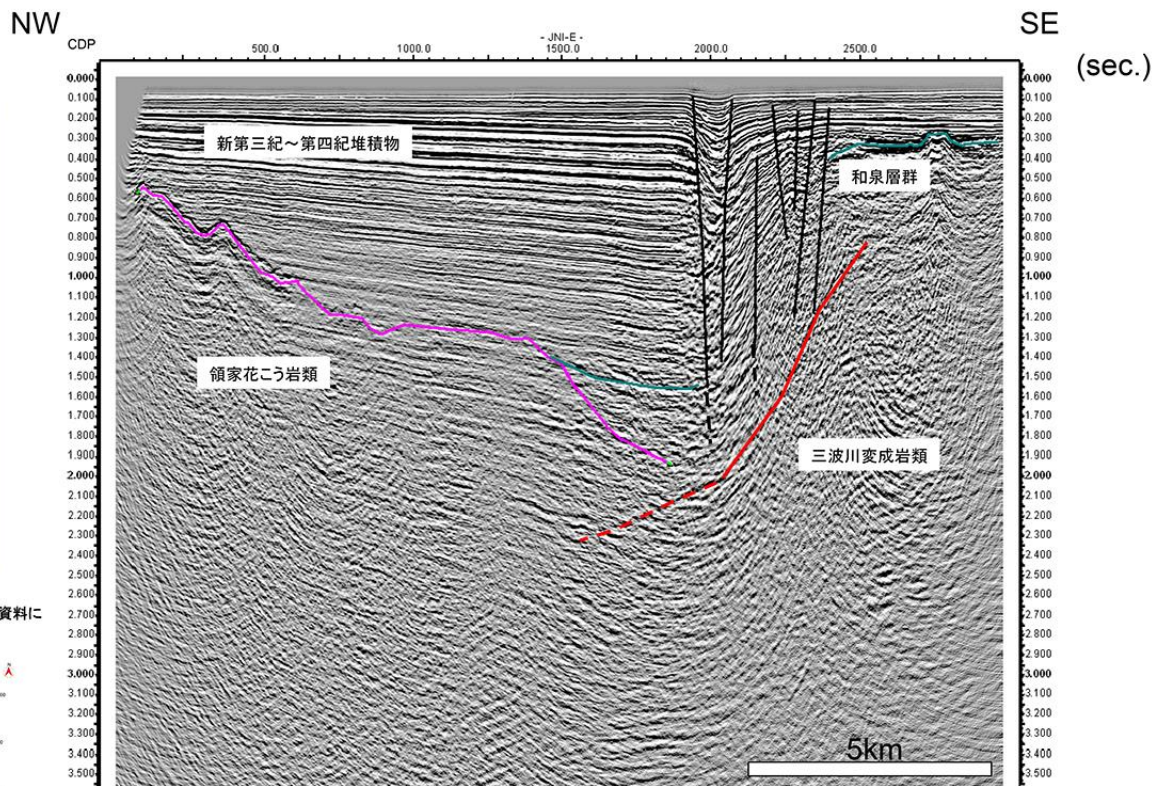
次頁の断面図は、原子力安全・保安院がP36の四国電力とほぼ同じ測線で確認のために行った調査結果とその解釈である。

(3)-1 個々のパラメータの過小評価 <断層との距離>

JNI-E断面図

地質時代			四国電力側による	
			陸域の地質区分	海域の地質区分
新生代	第四紀	完新世	沖積層	A
		更新世	低位段丘礫層 ~ 高位段丘礫層	D
			八重層	
	第三紀	鮮新世	郡中層	T (伊予灘層)
		中新世	瀬戸内火山岩類	B
	古第三紀			
中生代	白堊紀	和泉層群		
		四万十系層群 領家花こう岩類	B	
	ジュラ紀	三波川変成岩類 秩父系帯の構成岩類		
	三疊紀			

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WG(第3回)Aサブグループ会合の資料に
加筆したもの



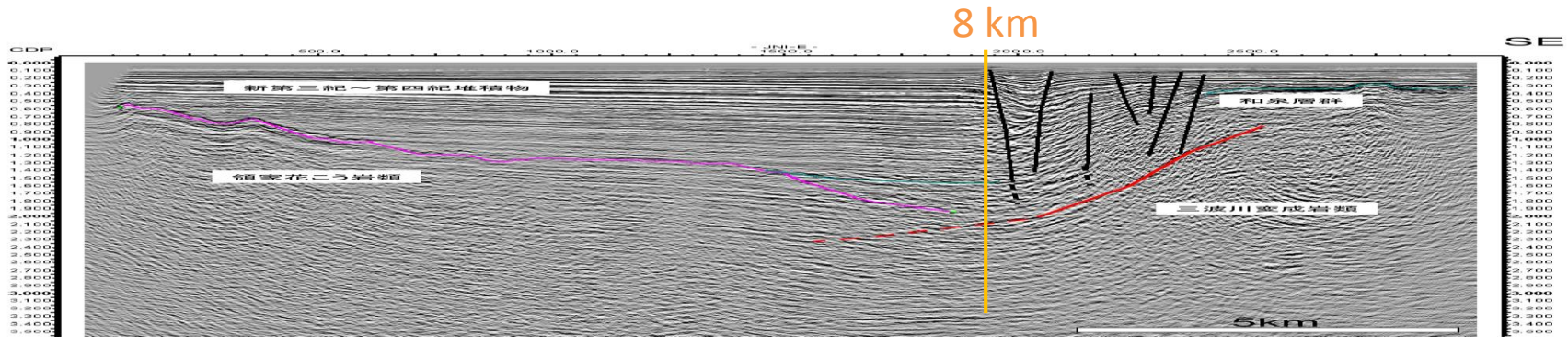
伊方原子力発電所敷地前面海域における
海上音波探査反射断面図
原子力安全・保安院 提出資料

(原子力安全・保安院H21年11月6日WG3第38 資料4 P10)

(注 縦横比 約4:1)

(3)-1 個々のパラメータの過小評価 <断層との距離>

縦横比をほぼ等倍にした図を以下に示す。

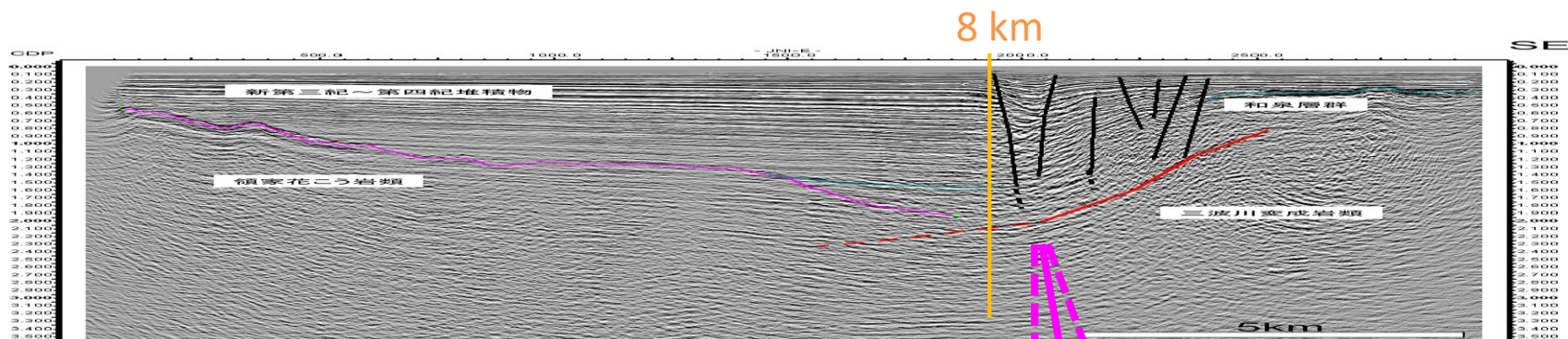


(原子力安全・保安院 前頁の図の一部抜粋、縦横比をほぼ等倍に改変、橙線加筆)

最も外側の断層は、明らかに南傾斜しており、震源断層の位置は、8kmよりも原発に近づくことになる。

(3)-1 個々のパラメータの過小評価 <断層との距離>

縦横比をほぼ等倍にした図を以下に示す。



(原子力安全・保安院 前頁の図の一部抜粋、縦横比をほぼ等倍に改変)

最も外側の断層は、明らかに南傾斜しており、震源断層の位置は、8kmよりも原発に近づくことになる。

震源断層

90° 80° 70°

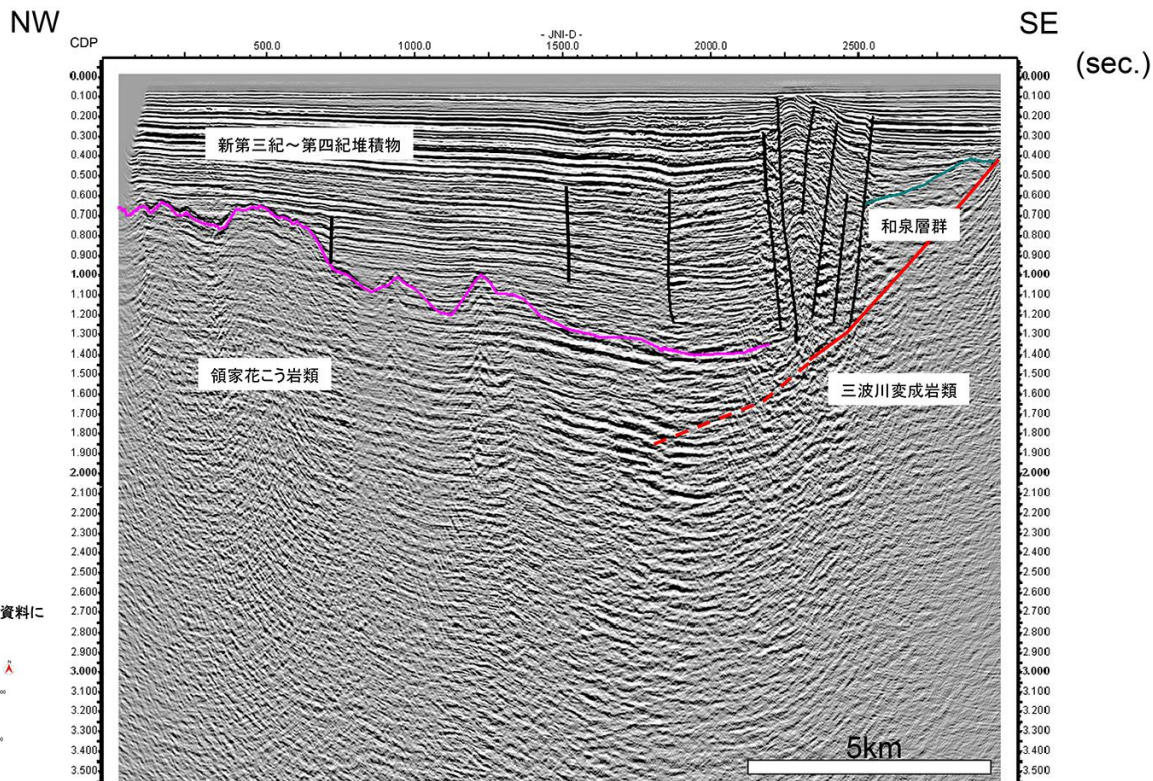
(3)-1 個々のパラメータの過小評価 <断層との距離>

下図は、前頁より南西側の測線における調査結果とその解釈である。

JNI-D断面図

地質時代		四国電力株による		
		陸域の地質区分	海域の地質区分	
新生代	第四紀	完新世	A	
		更新世	沖積層	D
			低位段丘礫層 ～ 高位段丘礫層	
	新第三紀	八重層	T (伊予灘層)	
		郡中層		
		中新世		瀬戸内火山岩類
古第三紀				
中生代	白亜紀	和泉層群		
		四万十層群 領家花こう岩類	B	
	ジュラ紀	三波川変成岩類 秩父岩帯の構成岩類		
	三疊紀			

原子力安全・保安院 耐震・構造設計小委員会
地震・津波、地質・地盤合同WG(第3回)Aサブグループ会合の資料に
加筆したもの

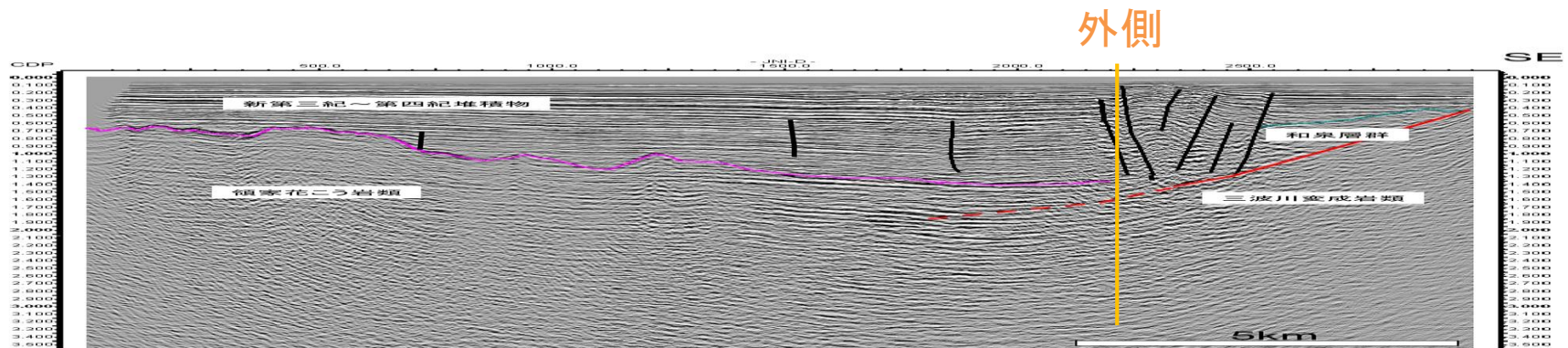


伊方原子力発電所敷地前面海域における
海上音波探査反射断面図
原子力安全・保安院 提出資料

(原子力安全・保安院H21年11月6日WG3第38 資料4 P8)

(注 縦横比 約4:1)

(3)-1 個々のパラメータの過小評価 <断層との距離>



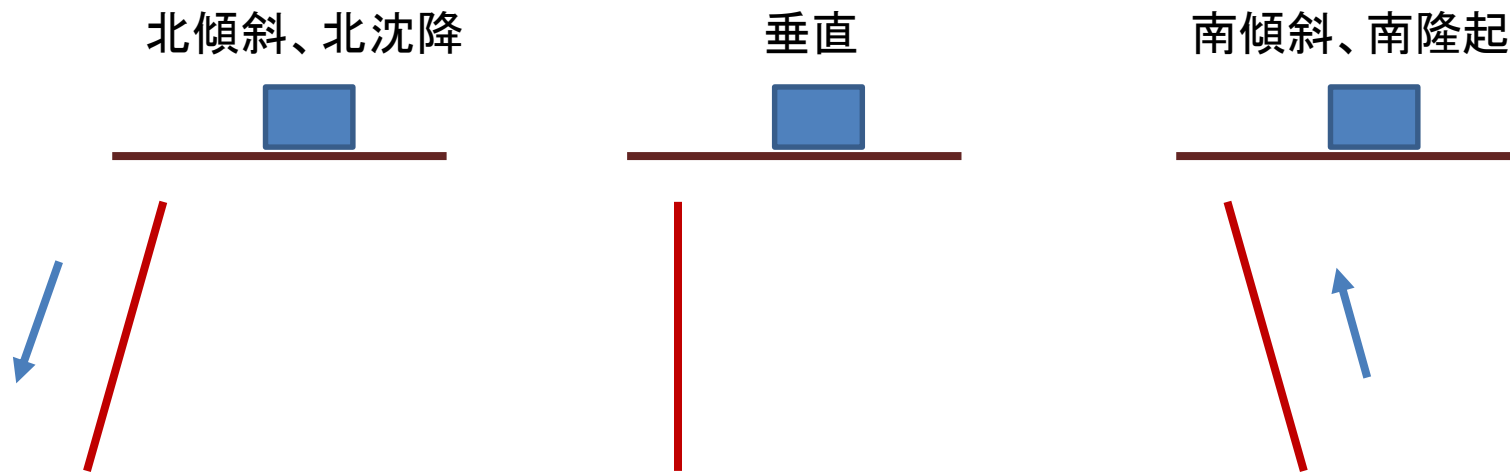
(原子力安全・保安院 前頁の図の一部抜粋、縦横比をほぼ等倍に改変 橙線加筆)

P39の断面は地溝のものだが、この断面はバルジの部分にあたる。ここでも、震源断層の位置は、最も外側の活断層よりも明らかに原発側になる。

さらに、忘れてはならないのは、あくまでこれは解釈である。何度でも繰り返すが、震源断層の位置は地震発生後でも正確にわかるわけではなく、ある程度の幅をもって見積もるべきである。

(3)-2 個々のパラメータの過小評価 <断層傾斜角>

断層の傾斜角によって地震が原発に与える影響は大きく異なる。伊方原発の場合は垂直な横ずれ断層と比較して、南傾斜・南隆起の場合、断層との距離が近づくとともに、断層の面積が広く、地震の規模も大きくなる。さらに、断層の動きが原発に向かう方向になるため、より強い揺れが想定される。



(3)-2 個々のパラメータの過小評価 <断層傾斜角>

四国電力は「基本ケース」として断層の傾斜角を垂直としている。しかし、震源断層は調査結果では見えておらず、断層の傾斜角はわからない。詳細な調査を行っても、「震源断層は高角度」であることが示唆されただけで、垂直である証拠はない。

横ずれ断層は通常は高角度であることから、震源断層の傾斜角を高角度と考えることは問題ない。しかし、実際の断層は垂直ではなく、どちらかに70～90度程度の傾斜を持つことが多い。

横ずれ断層では地下深部よりも地表付近で高角度になることも多く、表層の活断層の傾斜がほぼ垂直であるからといって、地下深部がほぼ垂直であるとは限らない。

断層傾斜角⑥

敷地前面海域の断層群における調査結果（まとめ）

敷地前面海域に分布する中央構造線については、

○活断層としての中央構造線

- ・音波探査記録からは震源断層面を特定できないが堆積層内で高角であり、鉛直変位がほとんどなく横ずれの卓越する断層と推定されることから、高角度の震源断層面が示唆される

○地質境界としての中央構造線

- ・四国中東部と同様に北に30-40度傾斜する構造が確認される

と整理される。

活断層としての中央構造線と地質境界としての中央構造線の関係については、断定的な結論を導くことはできないものの、アトリビュート解析結果によると、北傾斜する地質境界断層が高角度の断層によって変位を受けている可能性を示唆する結果が得られた。

断層傾斜角⑥

敷地前面海域の断層群における調査結果（まとめ）

敷地前面海域に分布する中央構造線については、

○活断層としての中央構造線

- ・音波探査記録からは震源断層面を特定できないが堆積層内で高角であり、鉛直変位がほとんどなく横ずれの卓越する断層と推定されることから、高角度の震源断層面が示唆される

結論はこれ、「高角度が示唆」だけ

アトリビュート解析は、名前はカッコがいいが、「可能性を示唆する」だけで、たいした意味はない。こうやって惑わすのが常套手段。

活断層としての中央構造線と地質境界としての中央構造線の関係については、断定的な結論を導くことはできないものの、アトリビュート解析結果によると、北傾斜する地質境界断層が高角度の断層によって変位を受けている可能性を示唆する結果が得られた。

(3)-2 個々のパラメータの過小評価 <断層傾斜角>

推本による中央構造線活断層帯の傾斜角

讃岐山脈南縁：北傾斜 30° -40° (深さ 5 km 以浅)
石鎚山脈北縁-愛媛北西部： 高角度 (地表及び海底付近)
伊予灘： 高角度 北傾斜 (深さ 2 km 以浅)

中央構造線断層帯(金剛山地東縁-伊予灘)
の評価 (一部改訂)
平成23年2月18日 地震調査研究推進本部
地震調査委員会 より抜粋 赤線加筆

推本による布田川断層の傾斜角

一般走向	
全 体	N62° E
布田川区間	N55° E
宇土区間	N62° E
宇土半島北岸区間	N61° E
上端の深さ	0 km
傾斜	高角 (地表付近) 北西傾斜 (地下)

布田川断層帯・日奈久断層帯の評価 (一部改訂)
平成25年2月1日 地震調査研究推進本部
地震調査委員会 より抜粋 赤線加筆

断層の傾斜角が、地表付近と深部で必ずしも同じではないことは、この推本による傾斜角の記述方法がよく表している。伊予灘については震源断層となる深部の傾斜は示されていない。

熊本地震の布田川断層は、地表付近は高角、地下は北西傾斜とされており、今回の地震の震源断層は60～75度程度であった(P24-28参照)。

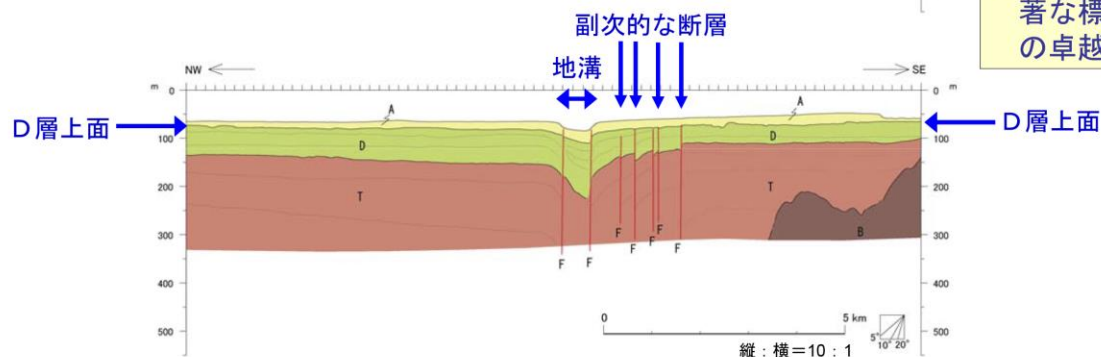
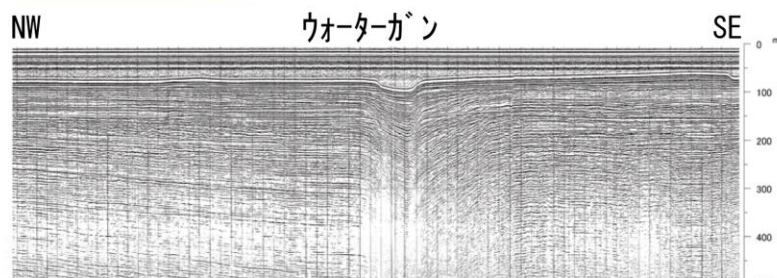
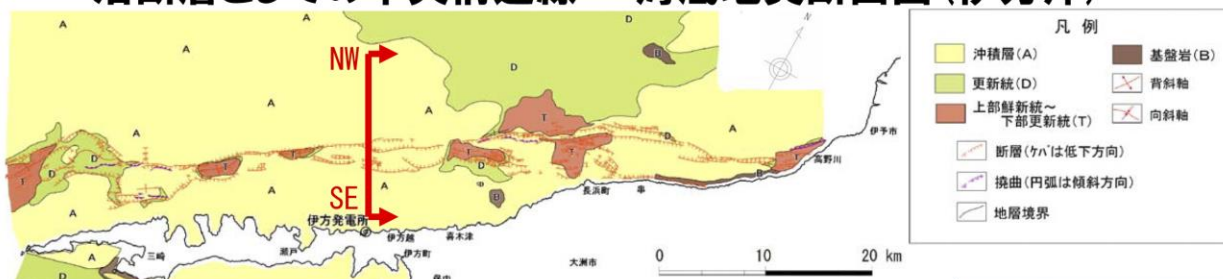
注：伊予灘の「北傾斜」は、大野ほか(1997)にもとづいて書かれているが、地下浅部の活断層が北傾斜とは言えないことは、P39,42の断面図からも明らか。

(3)-2 個々のパラメータの過小評価 <断層傾斜角>

さらに、以下にあげるいくつかの証拠から、南傾斜南隆起である可能性が示されている。

断層傾斜角②

敷地前面海域の断層群における調査結果 活断層としての中央構造線 海底地質断面図(伊方沖)

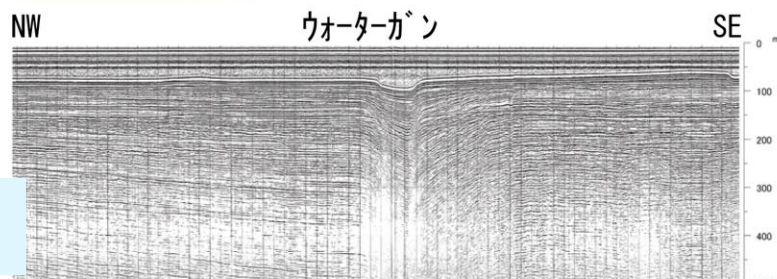


- 中央構造線断層帯は、沖積層を変位させ、海底面にも変形を与える高角の活断層として認められる。
- 活断層の分布域には、横ずれ断層変位に伴って形成された地溝やバルジがみられる。
- 断層分布域の南北でD層上面に顕著な標高差は認められず、横ずれの卓越する断層運動が推定される。

断層傾斜角②

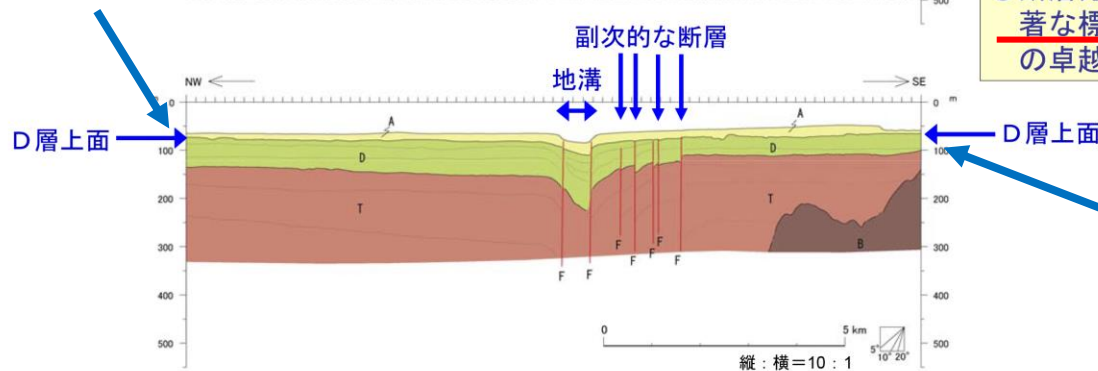
敷地前面海域の断層群における調査結果
活断層としての中央構造線 海底地質断面図 (伊方沖)

「標高差はない」としているが、
5-10m程度あり、しかも累積性が認められる。



- 中央構造線断層帯は、沖積層を変位させ、海底面にも変形を与える高角の活断層として認められる。
- 活断層の分布域には、横ずれ断層変位に伴って形成された地溝やバルジがみられる。
- 断層分布域の南北でD層上面に顕著な標高差は認められず、横ずれの卓越する断層運動が推定される。

75 m 程度



65~70 m 程度

(3)-2 個々のパラメータの過小評価 <断層傾斜角>

四国電力は敷地沖の海底地質断面図から標高差はない(つまり、隆起はない)と簡単に結論づけた。

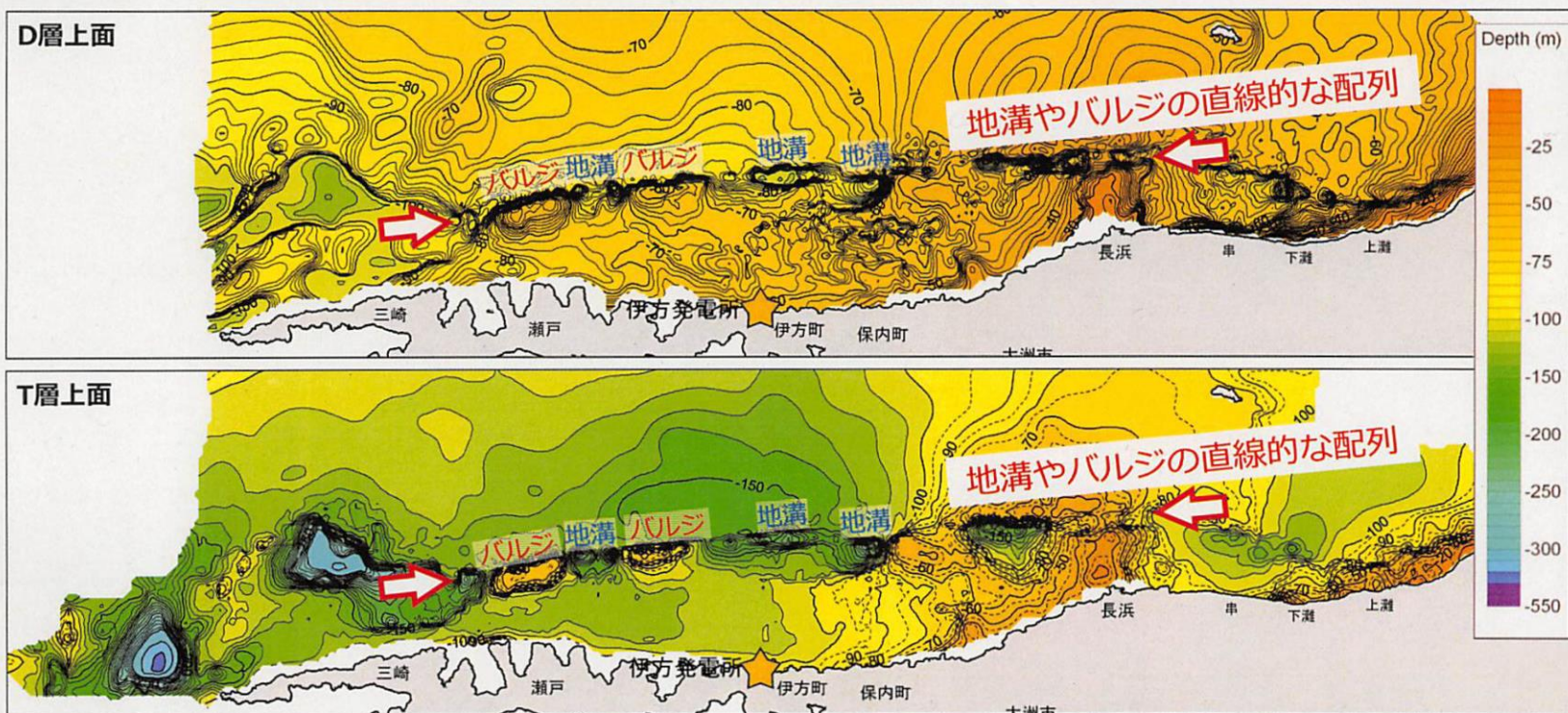
しかし、この図をよくみると5~10mの標高差がある。

D層上面つまり過去1万年間としては、これは十分顕著な標高差であり(日本最大級の隆起量を示す室戸岬でも、1万年間では15m程度)、この縮尺の図で検討すべきではない。

(3)-2 個々のパラメータの過小評価 <断層傾斜角>

中央構造線断層帯の断層型と傾斜角

- 敷地前面海域の断層群の分布域は地溝やバルジが配列していることから、横ずれ断層。
- 更に、それらが非常に直線的な配列を示すことから、少なくとも地下浅部における活断層はほぼ鉛直。震源断層もほぼ鉛直。



(四国電力 乙第227号証 P23)

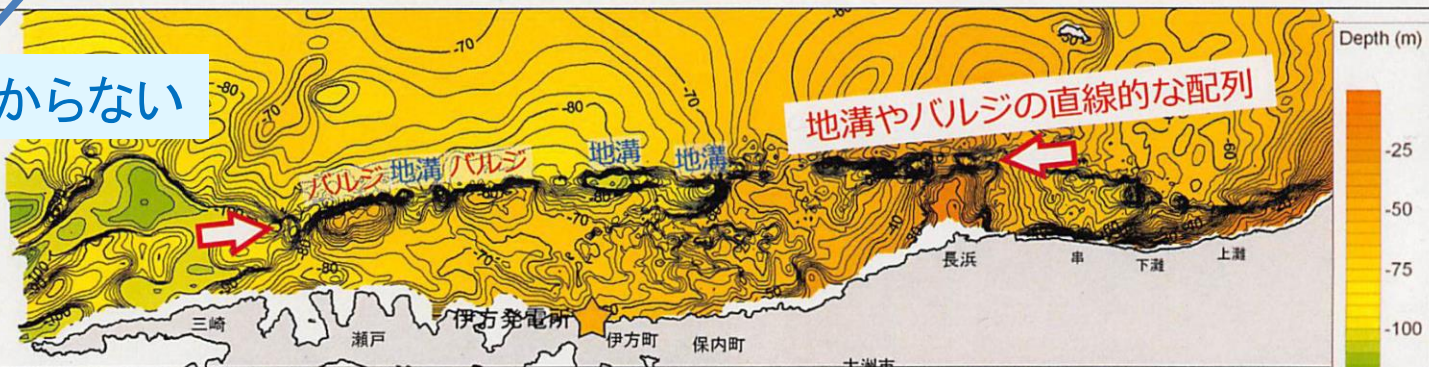
(3)-2 個々のパラメータの過小評価 <断層傾斜角>

高角度

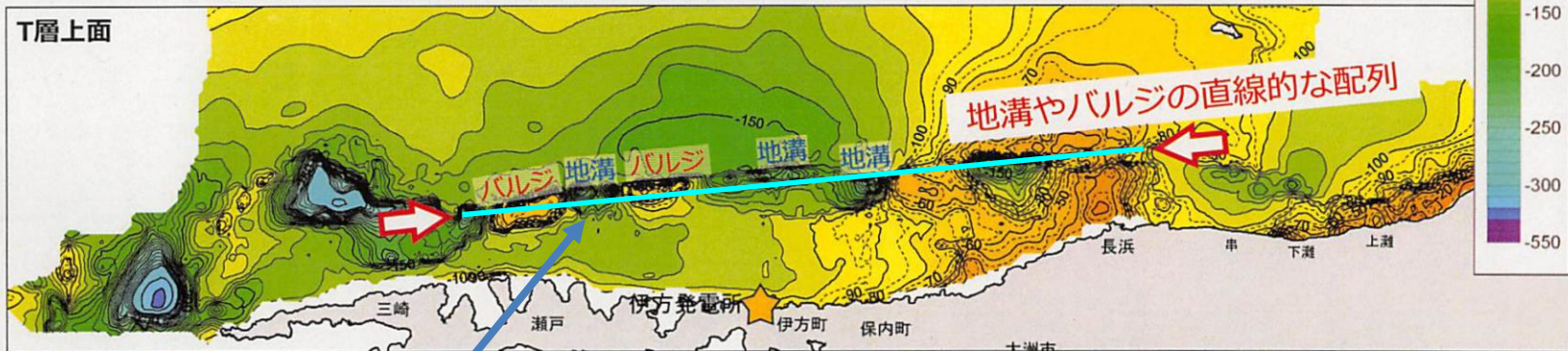
中央構造線断層帯の断層型と傾斜角

- 敷地前面海域の断層群の分布域は地溝やバルジが配列していることから、横ずれ断層。
- 更に、それらが非常に直線的な配列を示すことから、少なくとも地下浅部における活断層はほぼ鉛直。震源断層もほぼ鉛直。

D層上面



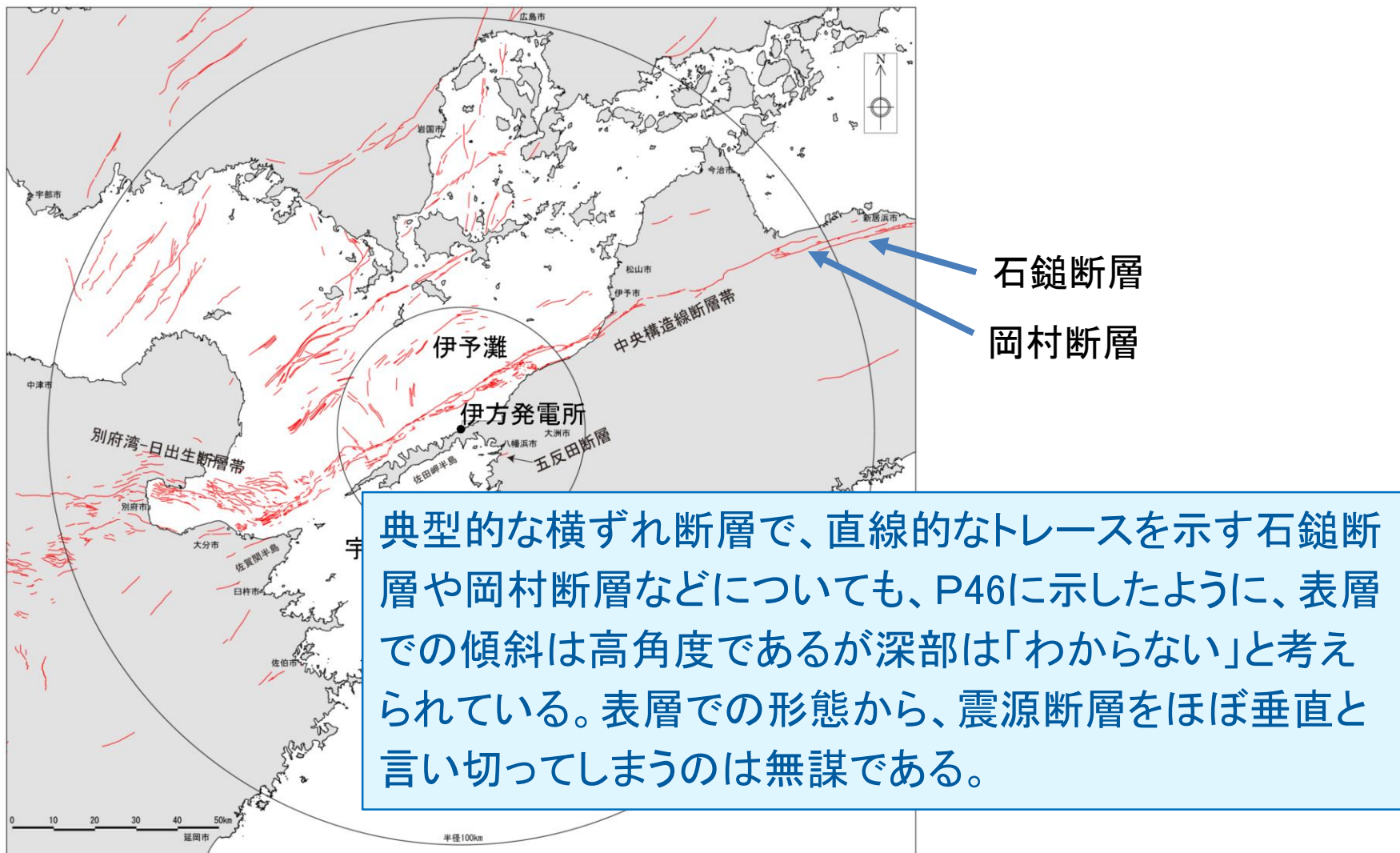
T層上面



(四国電力 乙第227号証 P23に加筆)

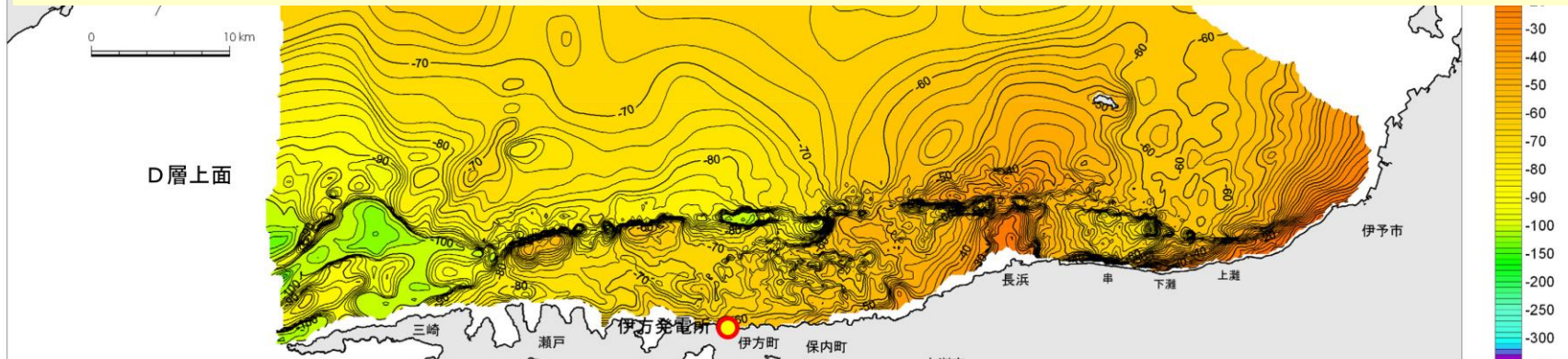
この矢印を結ぶと、原発からの距離は 7-7.5 km

(3)-2 個々のパラメータの過小評価 <断層傾斜角>

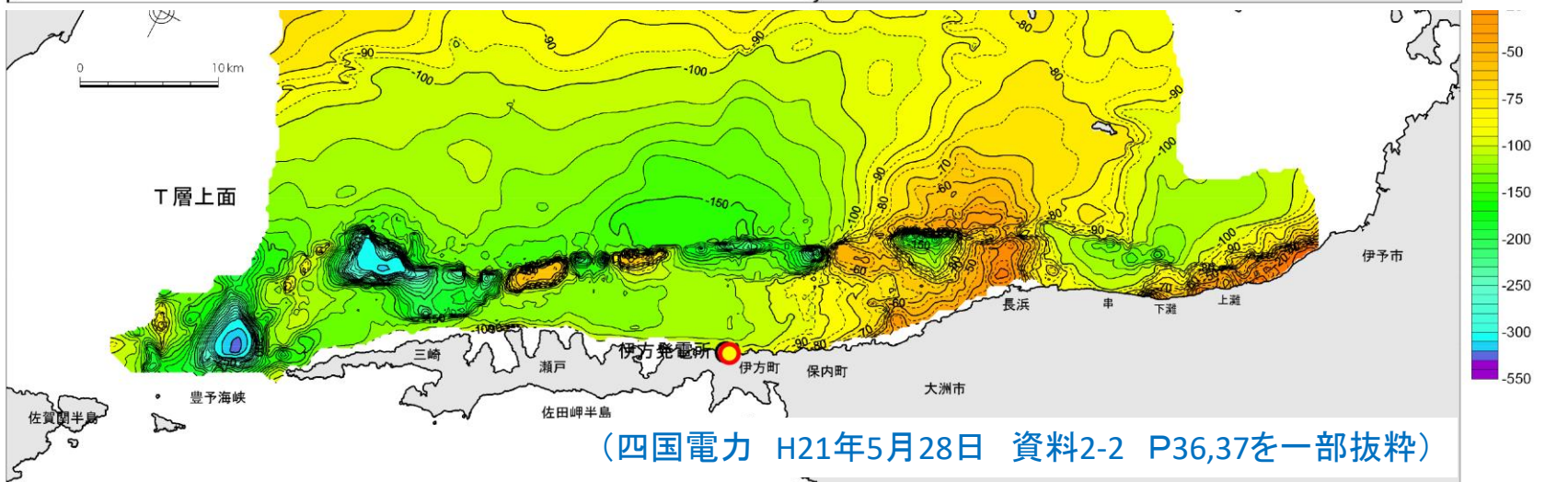


(四国電力 H27年3月20日 資料3-3 P10 一部抜粋)

(3)-2 個々のパラメータの過小評価 <断層傾斜角>



D層上面の標高差は歴然であり、断層より南側が累積的に高い



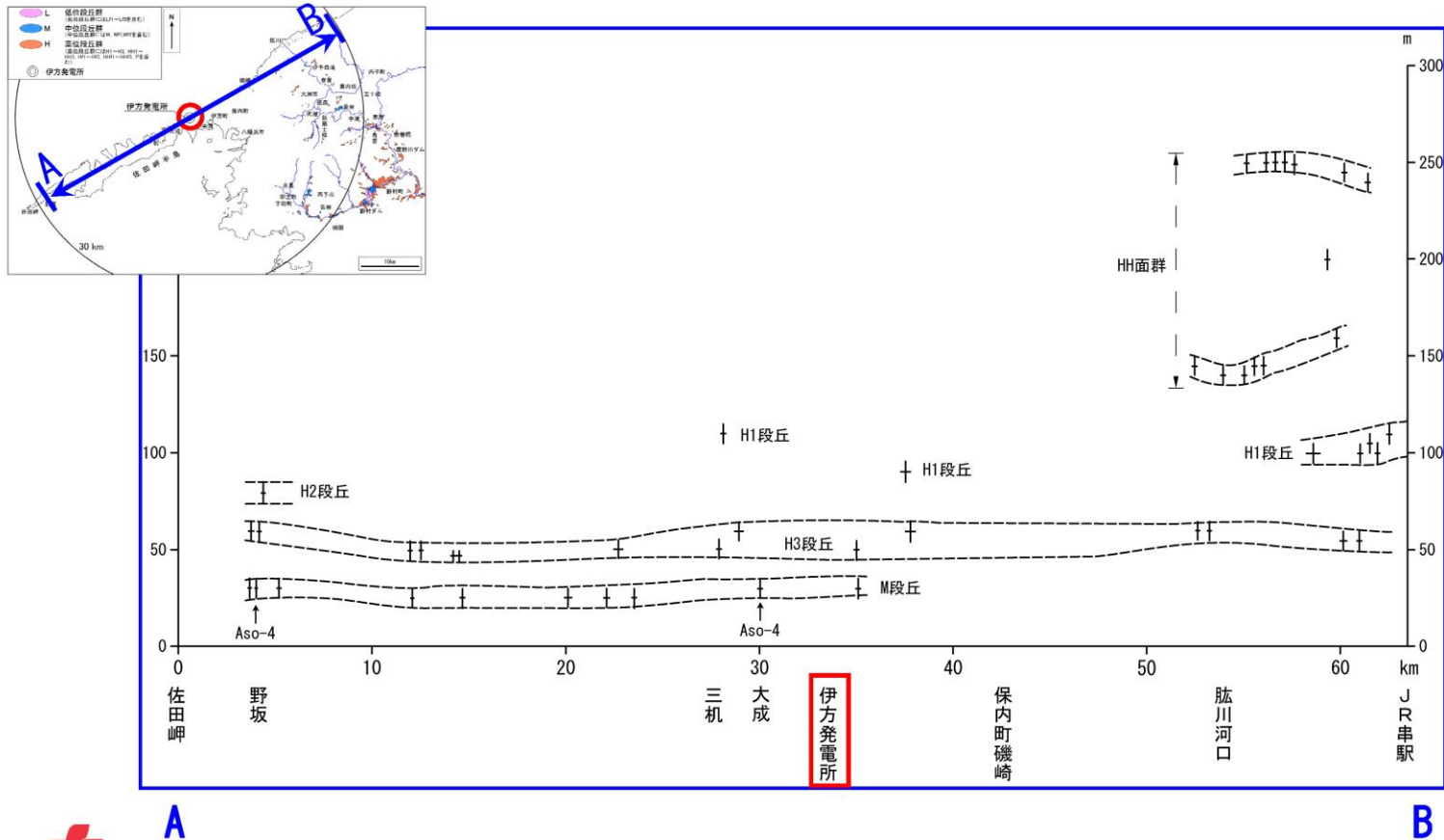
(四国電力 H21年5月28日 資料2-2 P36,37を一部抜粋)

断層線は直線的であるが、明らかに北に凸の地形変位を示す

(3)-2 個々のパラメータの過小評価 <断層傾斜角>

佐田岬半島沿いの段丘面高度

○伊予灘沿岸部に佐田岬半島に沿って配列する海成段丘面に急な高度差はみられない。

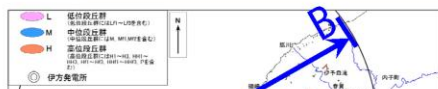


(四国電力 H21年4月21日 WG3-16-2-5)

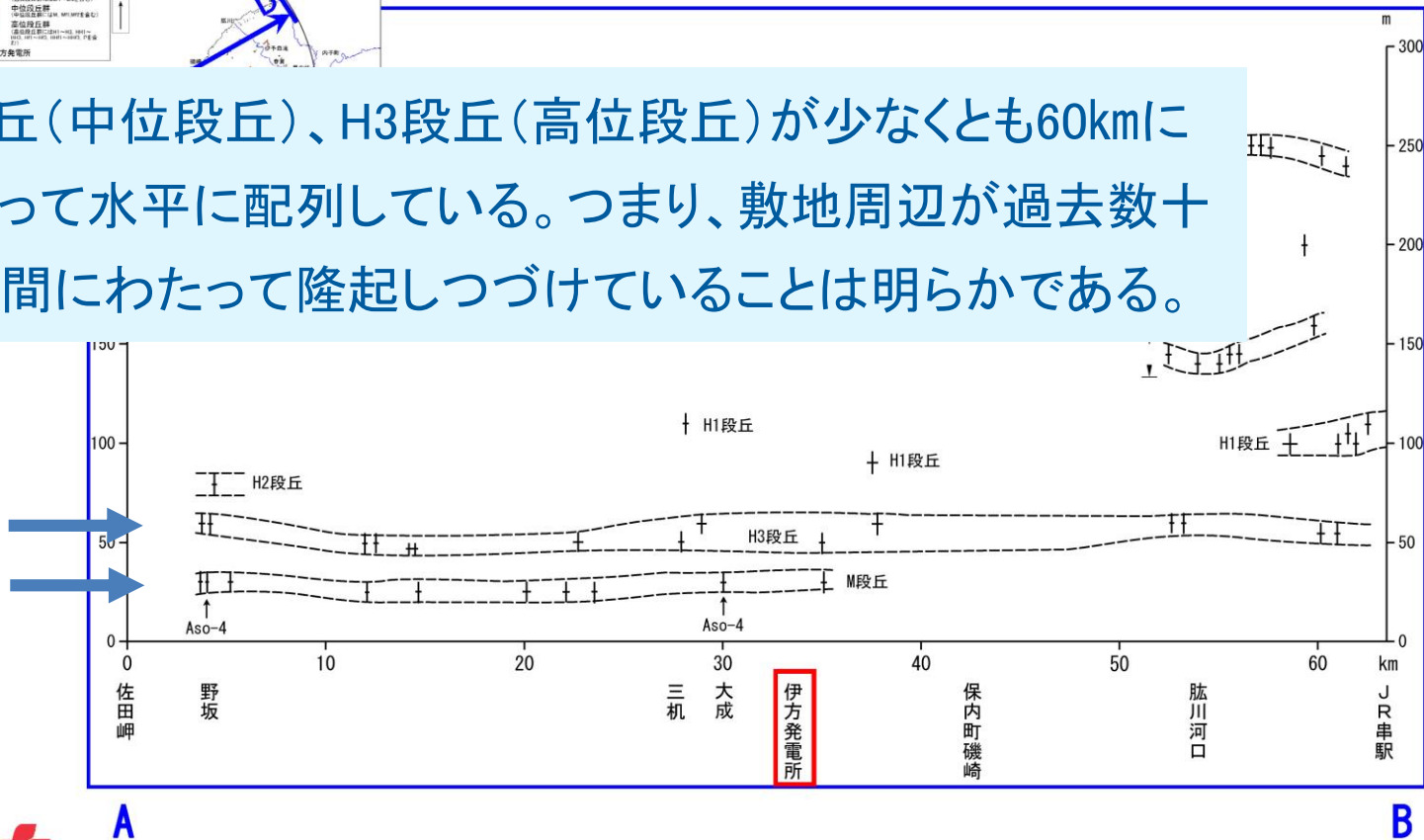
(3)-2 個々のパラメータの過小評価 <断層傾斜角>

佐田岬半島沿いの段丘面高度

○伊予灘沿岸部に佐田岬半島に沿って配列する海成段丘面に急な高度差はみられない。



M段丘(中位段丘)、H3段丘(高位段丘)が少なくとも60kmにわたって水平に配列している。つまり、敷地周辺が過去数十万年間にわたって隆起しつづけていることは明らかである。



(四国電力 H21年4月21日 WG3-16-2-5に加筆)

(3)-2 個々のパラメータの過小評価 <断層傾斜角>

傾斜角は高角度であると考えられること、断層南側が累積的に隆起していることから、断層傾斜角としては南傾斜80度、南側隆起を「基本ケース」とするべきである(さらに、その不確かさを確認すべき)。

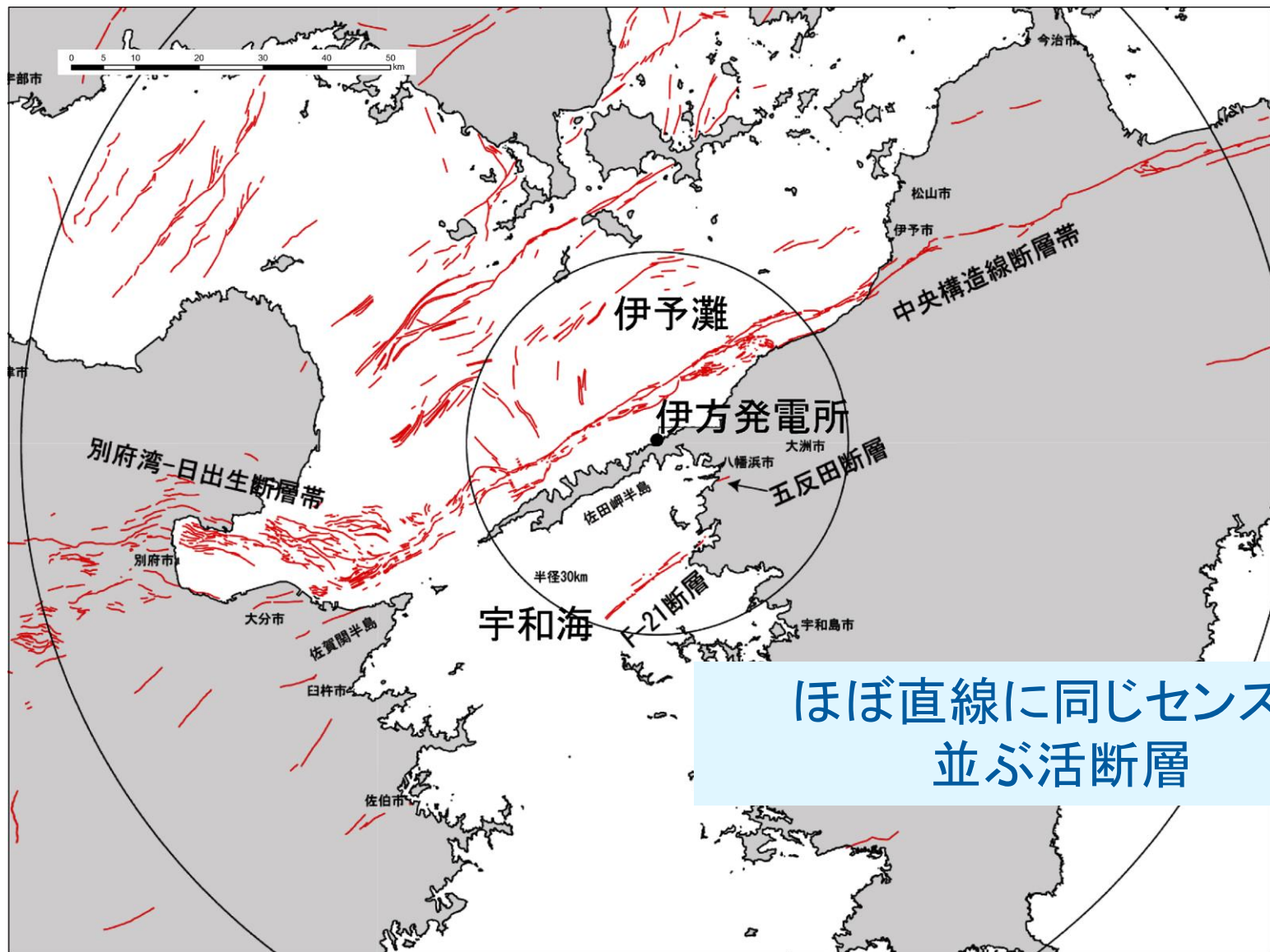
四国電力は断層が南傾斜についても検討しているとしているが、純粹な横ずれに対して逆断層成分が加わった場合の揺れの違いを、正しく評価できているのかは疑問である。

(3)-3 個々のパラメータの過小評価 <断層の長さ>

四国電力はセグメントやジョグという概念を持ち出して、敷地前の断層を54kmに限定し、それを「基本ケース」として使用してきた。しかし、東北地方太平洋沖地震において、断層がどのように連動するか、動いてみなければわからないことが明らかになった。前述のように、熊本地震もしかりである。しかしながら、四国電力は、「基本ケース」は54kmのままに検討を行っている。

480kmの断層は、データがほとんどないことから、科学的に検討することは難しい。通常の評価手法が使用できる最大値である100～130km程度を基本ケースとして使用し、再検討すべきである。

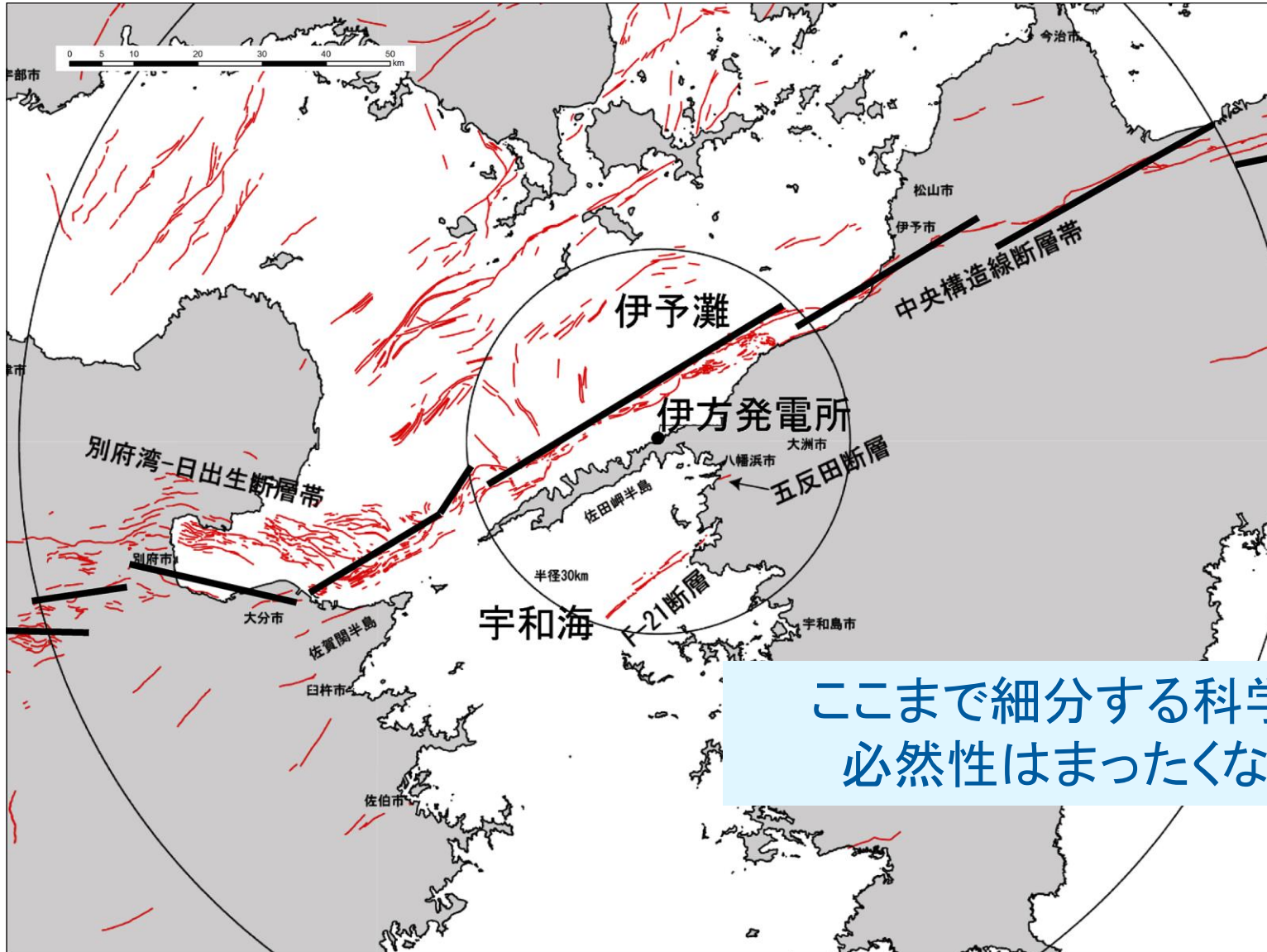
(3)-3 個々のパラメータの過小評価 <断層の長さ>



ほぼ直線に同じセンスで
並ぶ活断層

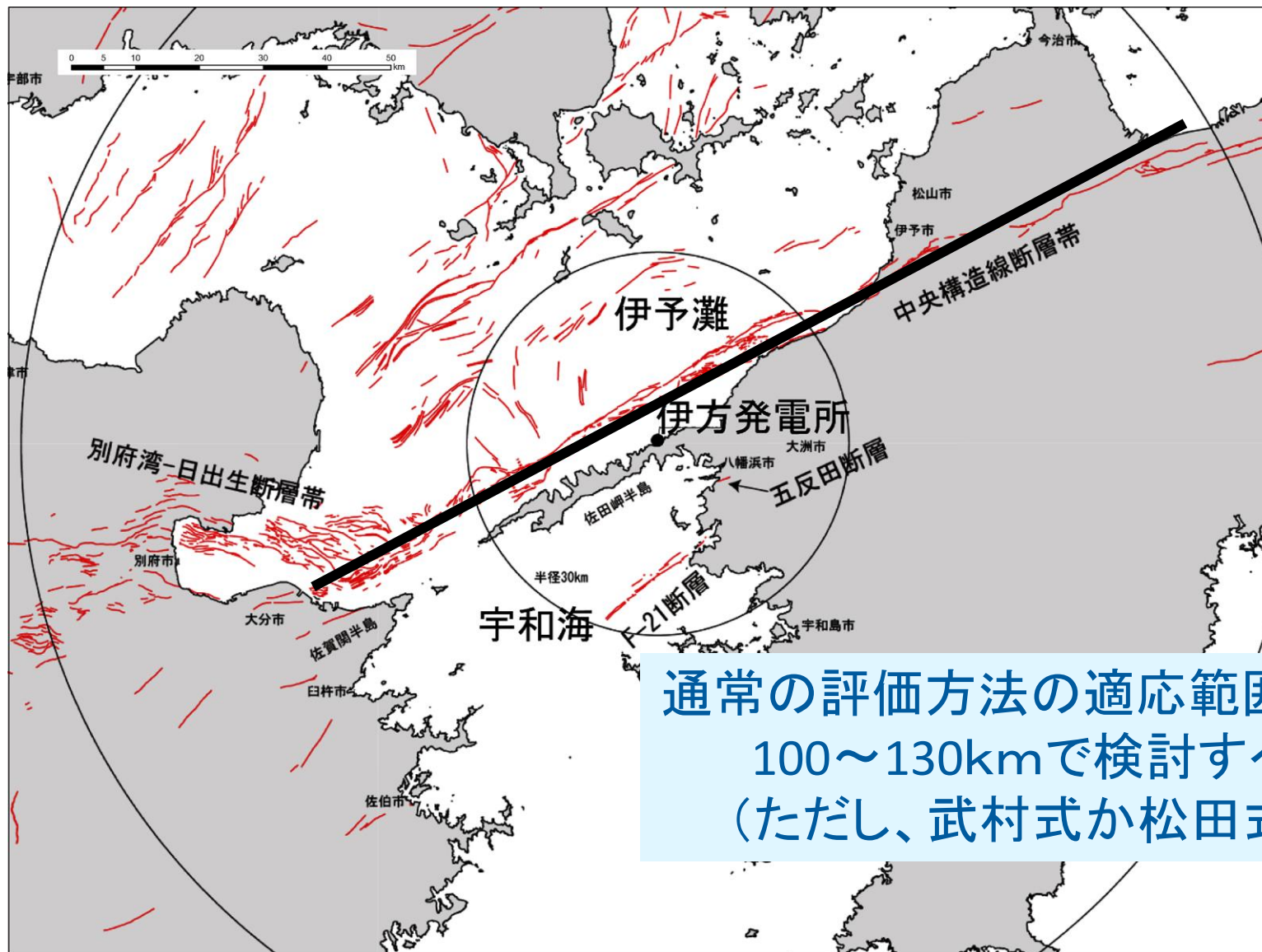
(四国電力 H27年3月20日 資料3-3 P10 一部抜粋 スケール加筆)

(3)-3 個々のパラメータの過小評価 <断層の長さ>



ここまで細分する科学的
必然性はまったくない

(3)-3 個々のパラメータの過小評価 <断層の長さ>



(四国電力 H27年3月20日 資料3-3 P10 一部抜粋 断層モデル位置加筆)

(3)-4 個々のパラメータの過小評価 <アスペリティ位置>

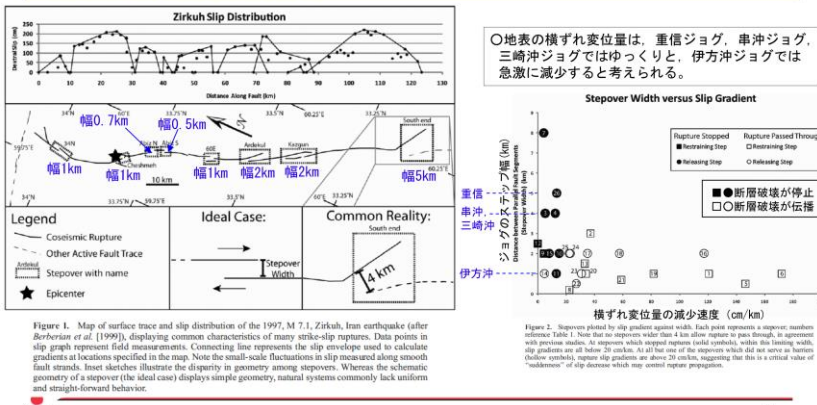
ジョグがアスペリティにならない、などというのは「たわごと」である。
地表の断層形態から地下深部のアスペリティの位置などわからない。

- ・ 表層地層の変形であるジョグがある程度のもので、
敷地前にアスペリティを置かない理由にはならない。
- ・ 54km程度の断層でアスペリティを2つに分ける必然性もない

アスペリティはわからないものとして、厳しい位置に配置するべきである。

ジョグと地表の横ずれ変位量の変化(Elliott et al.,2009)

「Evidence from coseismic slip gradients for dynamic control on rupture propagation and arrest through steppers」(Elliott et al., 2009)
 ○1944年～2002年に発生した7個の歴史地震(全て横ずれ断層)を用いて検討
 ○ジョグ両側の活断層トレース間の距離をステップ幅として計測
 ○ジョグのステップ幅が大きいと地表の横ずれ変位量がゆっくりと減少し、ステップ幅が小さいと横ずれ変位量が急激に減少する傾向がある。



○地表の横ずれ変位量は、重信ジョグ、串沖ジョグ、三崎沖ジョグではゆっくりと、伊方沖ジョグでは急激に減少すると考えられる。

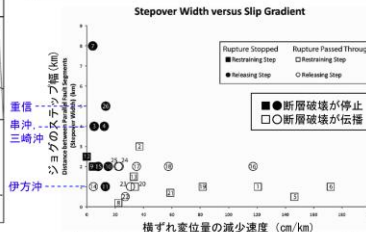


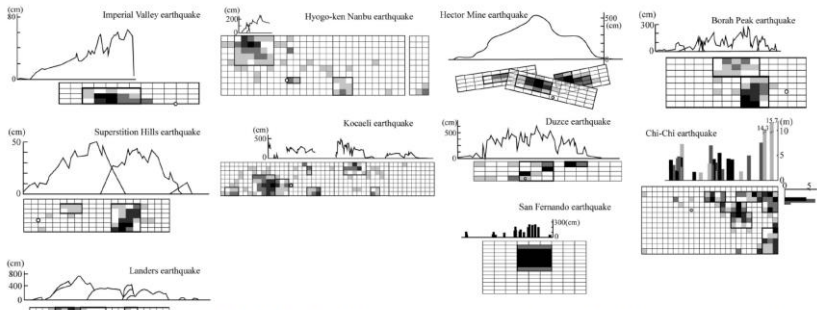
Figure 2. Steppers plotted by slip gradient against width. Each point represents a steppover, number indicates distance from rupture. Note that no steppover wider than 4 km allows rupture to pass through. A steppover with previous studies. All steppovers which stopped rupture (filled symbols), within this limiting width, slip gradients are all below 20 cm/km. All full size of the steppovers which did not serve as barriers (outlier symbols), rupture slip gradients are above 20 cm/km, suggesting that this is a critical value of 'widthness' of slip decrease which stop rupture propagation.

四国電力がジョグにアスペリティを置かないとする理由は左図のように説明されている。

Elliott et al.,(2009)で、「ジョグのステップの幅が大きいと変位量がゆっくり減少し、ステップの幅が小さいと変位量が急激に減少する」ことを示す。

地表変位量とアスペリティ分布(岩城ほか, 2006)

「大規模地震に伴う地表地震断層と深部起震断層に関する既存資料の整理とカタログの作成」(岩城ほか, 2006)
 ○1968年～1999年に国内外で発生した14個の歴史地震を用いて検討
 ○「深部起震断層のすべり量分布は、地表地震断層の変位量分布とは独立して求められているにも関わらず、アスペリティ分布と地表で変位量が大きかった範囲がよく一致しており、両者には密接な関係があることが示唆される。」



第4図 対象地震の地表地震断層に沿った変位量分布と、深部起震断層の破壊領域とアスペリティ分布の比較。個々の図の詳細については、付図を参照のこと。
 Fig.4 Comparison of displacement on surface faults and asperity on rupture area. Detail drawings of each earthquake are shown in appendix.

岩城ほか(2006)で、「アスペリティ分布と地表で変位量が大きかった範囲がよく一致している」ことを示す。

(四国電力 H25年8月28日 資料1-2P8、P9に青線を加筆)

地震動評価上のジョグの考え方について(まとめ)

- 杉山(2003)に従い、活断層トレースの屈曲(ステップ)、分岐、雁行などの形状の上での非単調な構造をジョグと称す。
- 四国北西部の中央構造線断層帯には、東から重信、串沖、伊方沖、三崎沖にジョグが認められ、各々のステップ幅は約5km, 約4km, 約1km, 約4kmである。
- ジョグのステップ幅が大きいほど断層破壊が停止しやすく、重信ジョグ、串沖ジョグ、三崎沖ジョグでは地震時に断層破壊が停止する可能性が高いと考えられ、これらでセグメントを区分する。
- 地表の横ずれ変位量はジョグのステップ幅が大きいほどゆっくりと、小さいほど急激に減少する傾向がある。規模によらず、ジョグでは横ずれ変位量が減少すると考えられる。
- アスペリティ分布と地表変位量には密接な関係があるので、地表の横ずれ変位量が減少するジョグ以外の部分で、また施設に近い個所にアスペリティを設定する。



11

(まとめ)では、いつのまにか、「ジョグでは横ずれ変位量が減少すると考えられる」という一文が加わり(誰がいつ考えたのか)、

次の文では「地表の横ずれ変位量が減少するジョグ」と既成事実になっている。

(四国電力 H25年8月28日 資料1-2P11に赤青線を加筆)

(3)-4 個々のパラメータの過小評価 <アスペリティ位置>

ジョグと地表の横ずれ変位量の変化(Elliott et al.,2009)

「Evidence from coseismic slip gradients for dynamic control on rupture propagation and arrest through steppers」 (Elliott et al., 2009)

- 1944年～2002年に発生した7個の歴史地震（全て横ずれ断層）を用いて検討
- ジョグ両側の活断層トレース間の距離をステップ幅として計測
- ジョグのステップ幅が大きいと地表の横ずれ変位量がゆっくりと減少し、ステップ幅が小さいと横ずれ変位量が急激に減少する傾向がある。

ジョグ周辺で
高い変位量

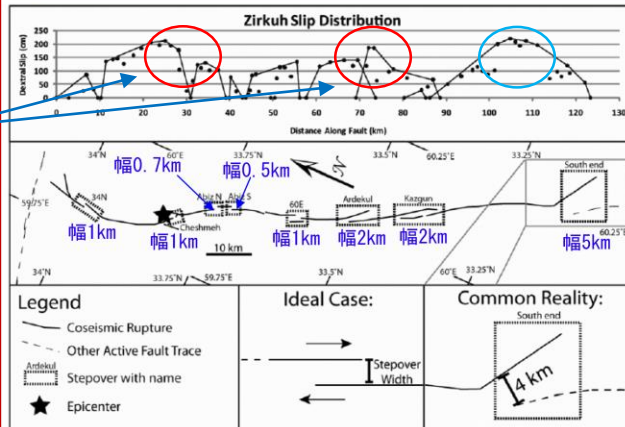


Figure 1. Map of surface trace and slip distribution of the 1997, M 7.1, Zirkuh, Iran earthquake (after Berberian et al. [1999]), displaying common characteristics of many strike-slip ruptures. Data points in slip graph represent field measurements. Connecting line represents the slip envelope used to calculate gradients at locations specified in the map. Note the small-scale fluctuations in slip measured along smooth fault strands. Inset sketches illustrate the disparity in geometry among steppers. Whereas the schematic geometry of a steppover (the ideal case) displays simple geometry, natural systems commonly lack uniform and straight-forward behavior.

○地表の横ずれ変位量は、重信ジョグ、串沖ジョグ、三崎沖ジョグではゆっくりと、伊方沖ジョグでは急激に減少すると考えられる。

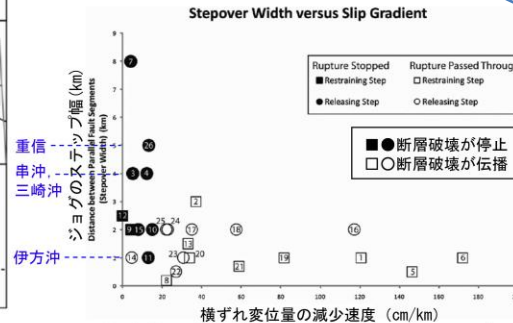


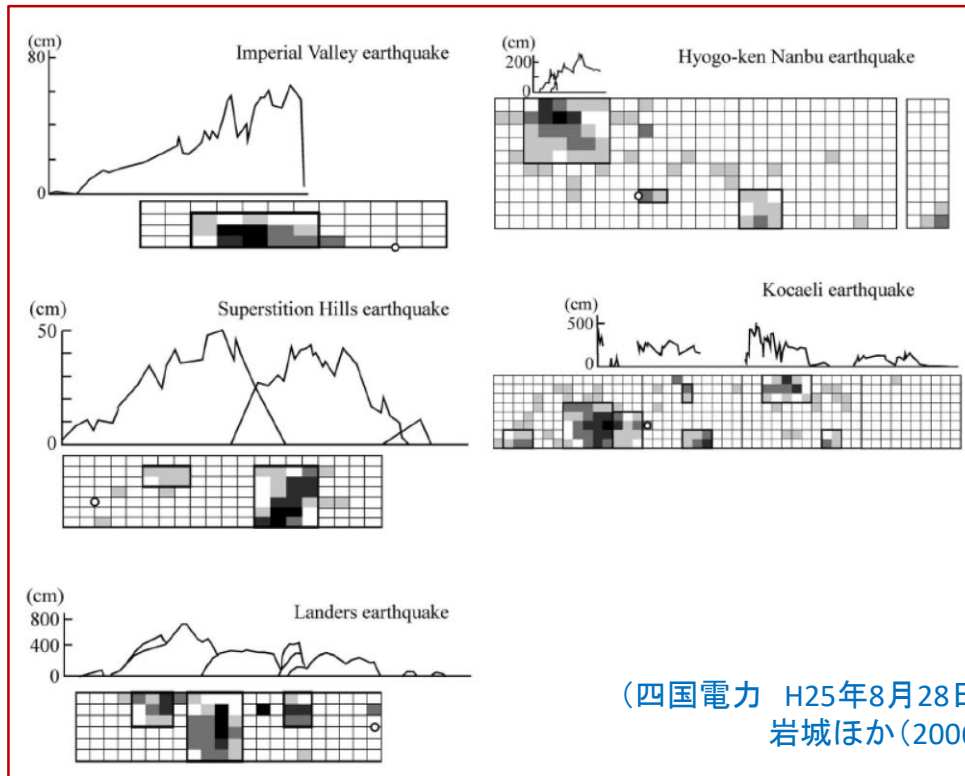
Figure 2. Steppers plotted by slip gradient against width. Each point represents a steppover; numbers reference Table 1. Note that no steppers wider than 4 km allow rupture to pass through, in agreement with previous studies. At steppers which stopped ruptures (solid symbols), within this limiting width, slip gradients are all below 20 cm/km. At all but one of the steppers which did not serve as barriers (hollow symbols), rupture slip gradients are above 20 cm/km, suggesting that this is a critical value of "suddenness" of slip decrease which may control rupture propagation.

急激に減少
するだけ。

(四国電力 H25年8月28日 資料1-2 P8 に加筆)

Elliott et al.,(2009) は、ジョグのステップ幅による変位量の減少速度を示しており、ジョグ周辺での変位量の大小を示しているわけではない。むしろ、変位量が比較的大きい3か所のうち2か所はジョグ周辺である。

(3)-4 個々のパラメータの過小評価 <アスペリティ位置>

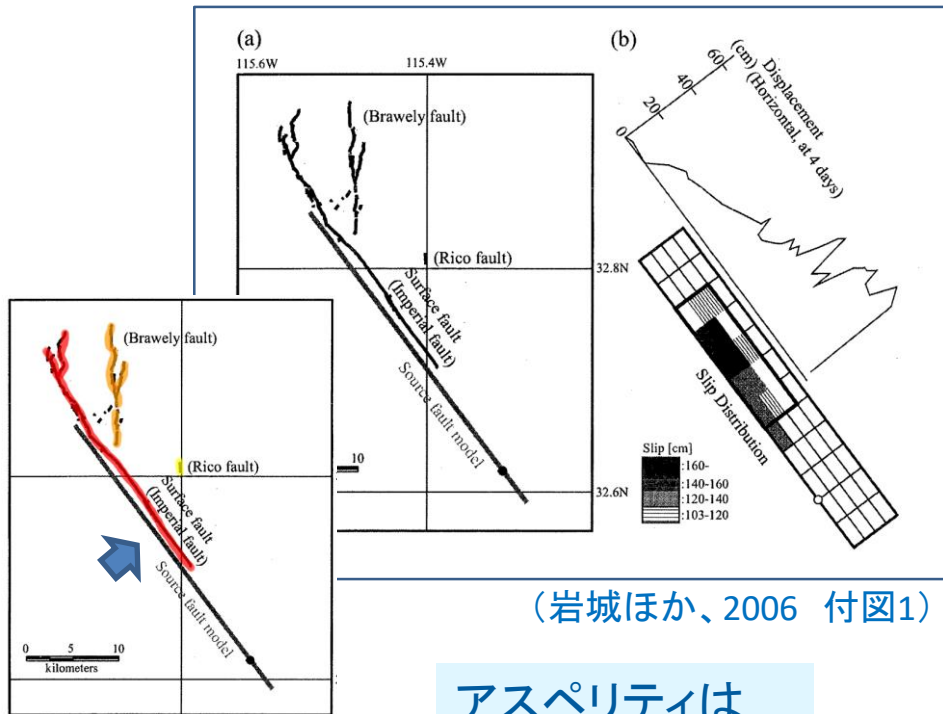


(四国電力 H25年8月28日 資料1-2 P9
岩城ほか(2006)の一部抜粋)

Elliott et al.,(2009)の変位量減少は、ジョグ周辺の**数km程度の範囲**だが、岩城ほか(2006)の変位量とアスペリティの関係は、断層全体の**数十km程度の範囲**における議論であり、これを混同すべきではない。

(3)-4 個々のパラメータの過小評価

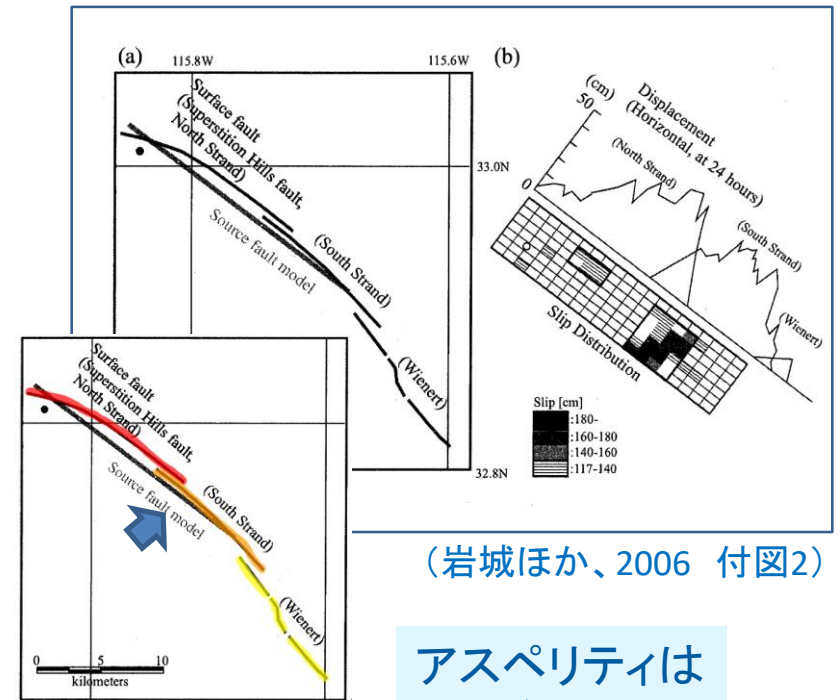
<アスペリティ位置>



(岩城ほか、2006 付図1)

アスペリティは
断層の南端部分

(右の断層区分図に
色分けの加筆)



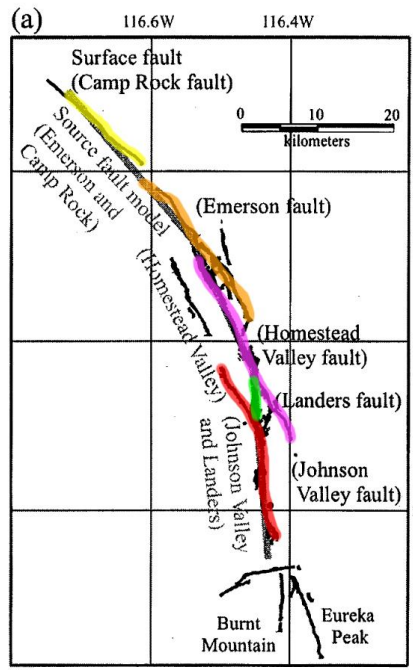
(岩城ほか、2006 付図2)

アスペリティは
ジョグの部分

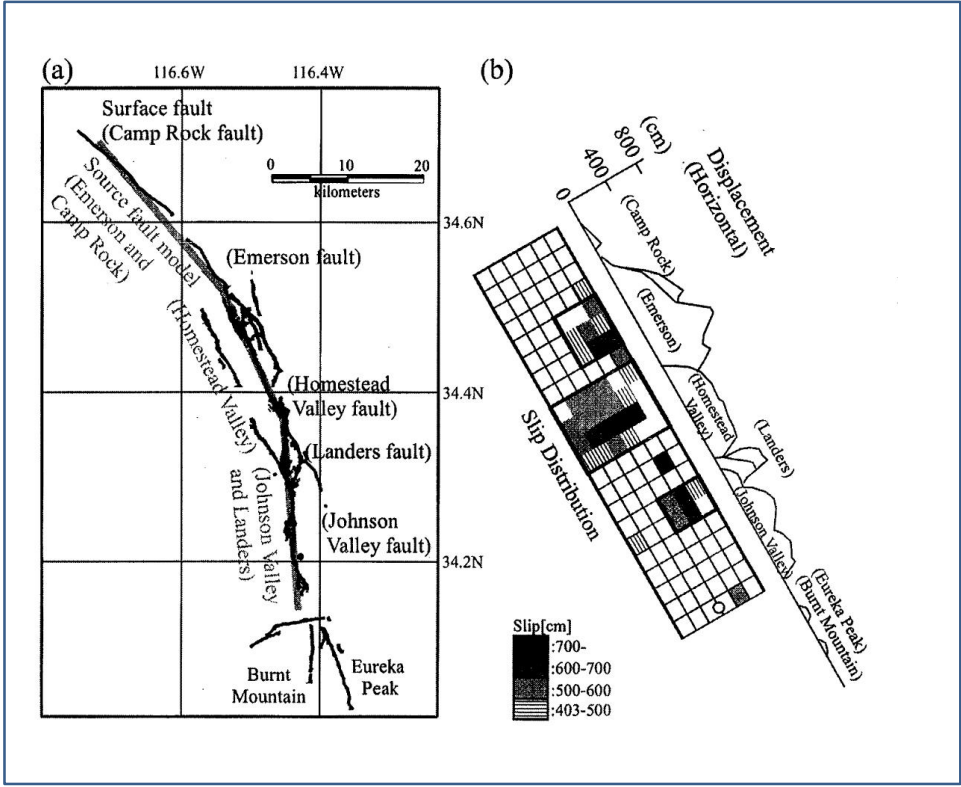
(右の断層区分図に
色分けの加筆)

岩城ほか(2006)には、詳細な付図が添付されている。これらの図からは、アスペリティは、おおまかには表層変位量の大きいところと一致しているが、詳細には、むしろ断層の端や、ジョグに位置していることがわかる。

(3)-4 個々のパラメータの過小評価 <アスペリティ位置>



(右の断層区分図に色分けの加筆)

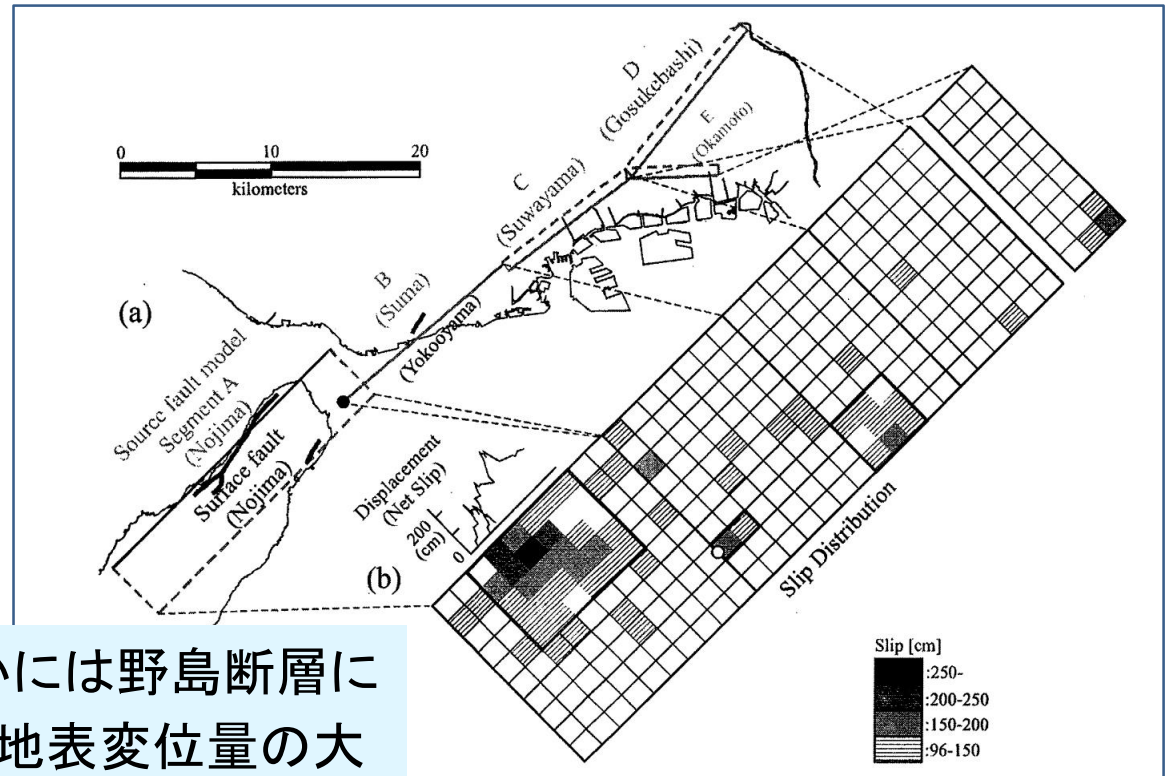


(岩城ほか、2006 付図3)

ジョグとなっているLanders断層(緑色)で大きな表層変位量とアスペリティが見られる。

(3)-4 個々のパラメータの過小評価 <アスペリティ位置>

注：野島断層の震源断層モデルは数多く発表されており、岩城ほか(2006)が採用したこのモデル(Sekiguchi et al.,2002)はあくまで一例である。



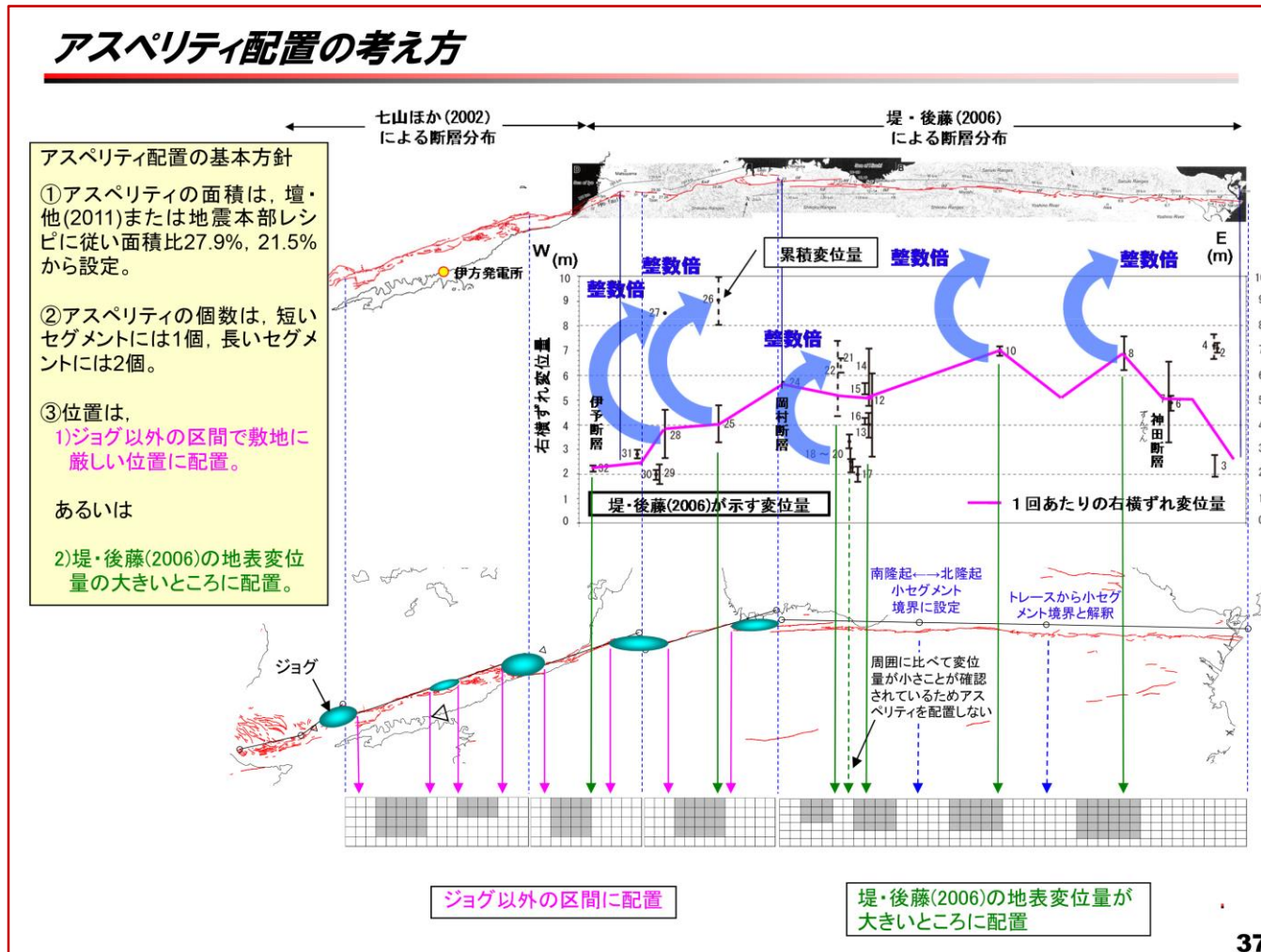
(岩城ほか、2006 付図4)

アスペリティはおおまかには野島断層に一致するが、詳細には地表変位量の大きい断層北東部よりも、地表変位量の小さい断層の南西端でスリップが大きい。

そしてなによりも、この活断層の分布からこの震源断層を想定し、さらにこのアスペリティを配置することはほぼ不可能である。

(3)-4 個々のパラメータの過小評価 <アスペリティ位置>

アスペリティの配置は、一見論理的に見えるが、実際には無謀。



データの扱いがあまりにもズサン、
かつ恣意的

この矢印の先にはデータはない。
実際の値は21mと13mで
このようにキレイな矢印にはならない。

アスペリティ配置の考え方

アスペリティ配置の基本方針

①アスペリティの面積は、壇他(2011)または地震本部レポートに従い面積比27.9%, 21.5%から設定

周囲よりもむしろ小さい
ところにアスペリティを配置

③位置は、
1)ジョグ以外の区間で敷地に
敵しい位置に配置。

あるいは

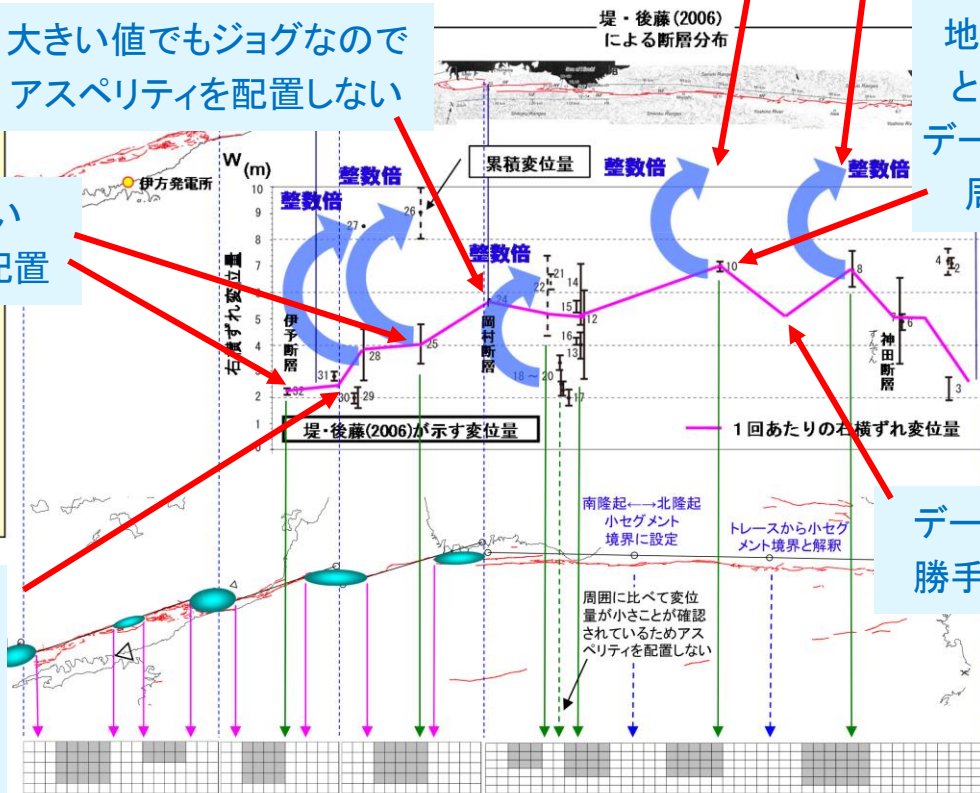
2)堤・後藤(2006)の地表変位
量の大きいところに配置。

桃色線の位置がデータ
よりも下に描かれている
(ジョグの値が低いように
見せかける)

大きい値でもジョグなので
アスペリティを配置しない

地表変位量が大きい
ところではなく、単に
データが得られたところ。
周囲の値は不明。

データの無いところに
勝手にデータをつくる



ジョグ以外の区間に配置

堤・後藤(2006)の地表変位量が
大きいところに配置

(3)-4 個々のパラメータの過小評価 <アスペリティ位置>

堤・後藤(2006)の論文は、以下の理由でアスペリティの配置に使用するには不十分である(学問的な議論と、原発の震源想定は、安全性という観点で同じレベルではない)。

- ・過去の地震のデータであり、痕跡が残されている場所にのみ限られるため、データの分布が均等ではなく、また数も十分ではない(地表最大変位量を示すわけではない)。
- ・前回の地震の変位量データであり、次回の地震の変位量が同じであるとは限らない(昭和南海地震の津波が5mだから、次の津波は5mの堤防で防げるという理論と同じ)。

さらに、前述のように、地表の変位量分布と震源断層のアスペリティの位置の関係は十分に明らかになっておらず、このデータから次回の地震のアスペリティを議論するのは無謀である。

スケーリング則の問題

基準地震動の策定に必要なデータを決定する上で、過小評価が積み重ねられていることを示してきた。しかしながら、**このような詳細な議論は、実は、あまり意味がない。**

なぜならば、震源断層から発生する地震動を想定する段階で、決定的な過小評価が行われてしまうからである。

伊方原発では、断層のスケーリング則として檀他(2011)が使用されている。簡単に言えば、この檀式は「断層が50~60km以上になると、あとはどれだけ大きくなっても同じ」という式だからである。

480kmになろうが、南傾斜になろうが、この式を使用している限り、地震動はたいして大きくなりません。

これが、伊方原発の「安全性」を一身に背負った 檀他(2011)のデータ

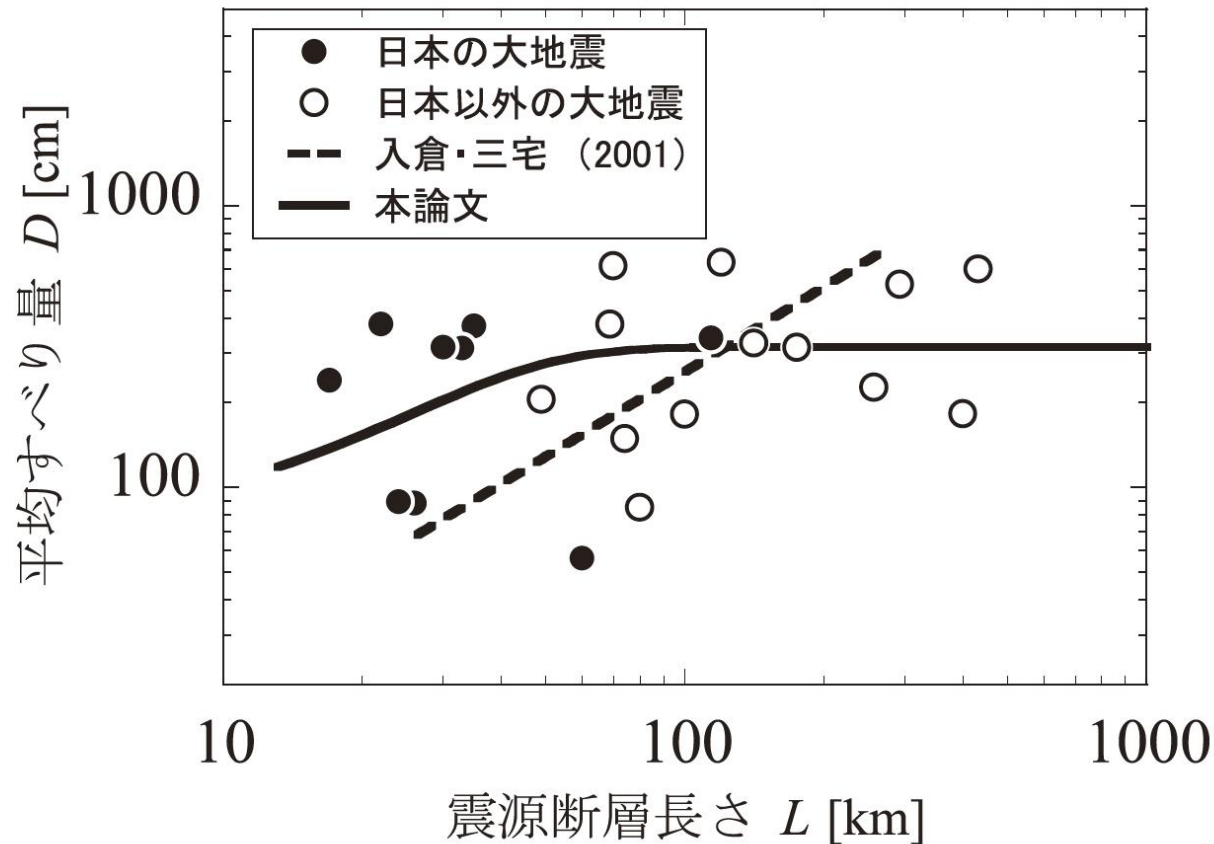


図7 平均すべり量と震源断層長さとの関係 (檀他, 2011)

式の線を除けば、とても60km程度で一定になるとは思えない
(もちろん、データが少なすぎるが…)

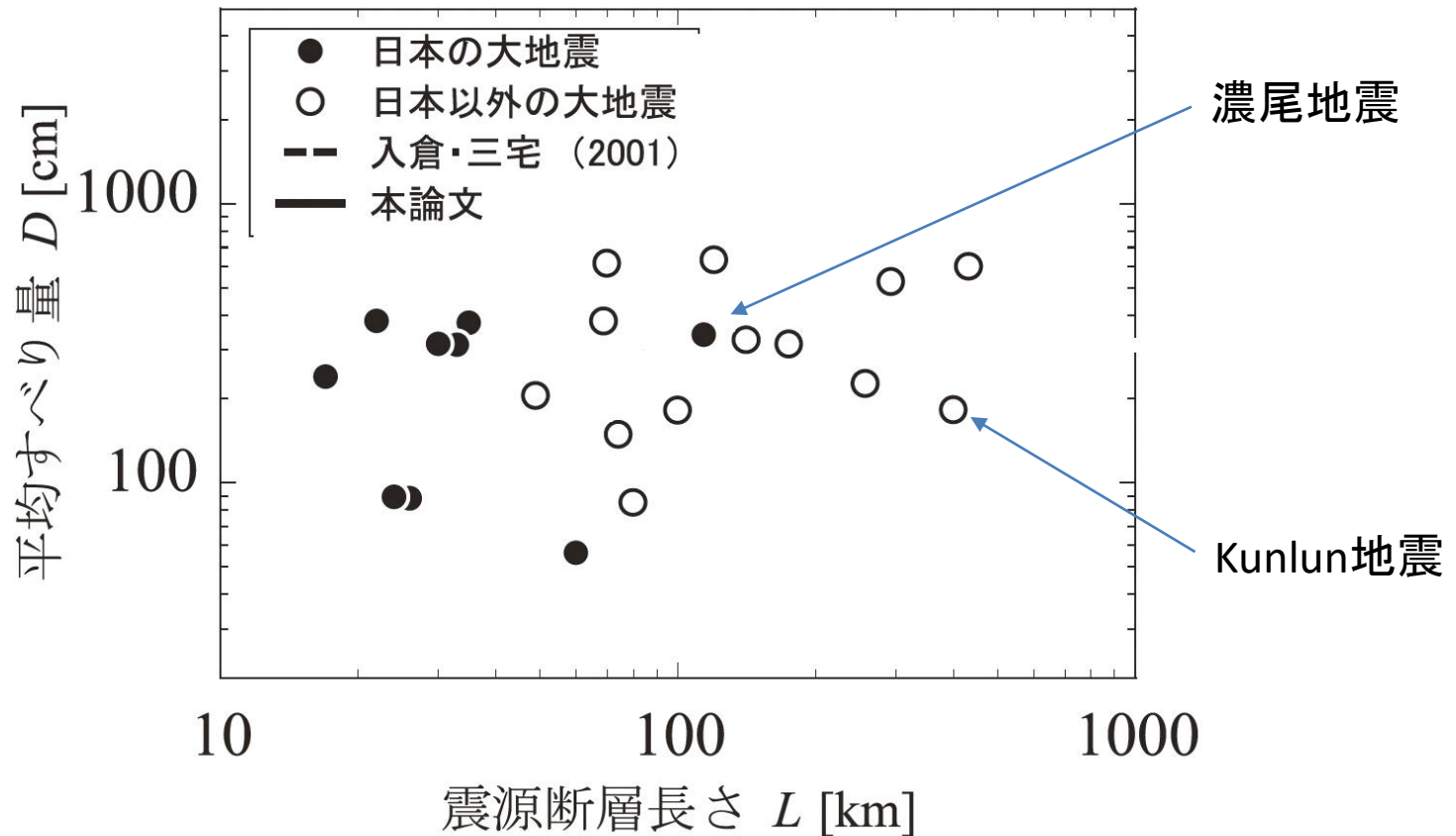


図7 平均すべり量と震源断層長さとの関係 (檀 他, 2011)

両対数表示での大きなバラつきは、統計的手法の限界を示す

地震動の評価でもっとも重要なパラメータのひとつである地震モーメント（つまり、地震の発生させる力の大きさ）は、
簡単には断層の「長さ x 幅 x すべり量」で表すことができる。
従って、すべり量は重要な値である。

断層が長くなっても、原発からは遠ざかる。従って断層が長くなり、地震の規模が大きくなっても、それだけなら実は大きな問題はない。
問題は、断層が長い（規模の大きい）地震は、すべり量も大きくなることにある。

原発の前にある断層のすべり量がどの程度大きくなるのかが問題であり、それを決めるのがスケーリング則と呼ばれる入倉・三宅(2001)の式や檀ほか(2011)の式である。

檀の式は、50~60kmを超えると、すべり量はほぼ同じ。
つまりこの式を採用する限り、54kmも480kmもたいして変わらない。

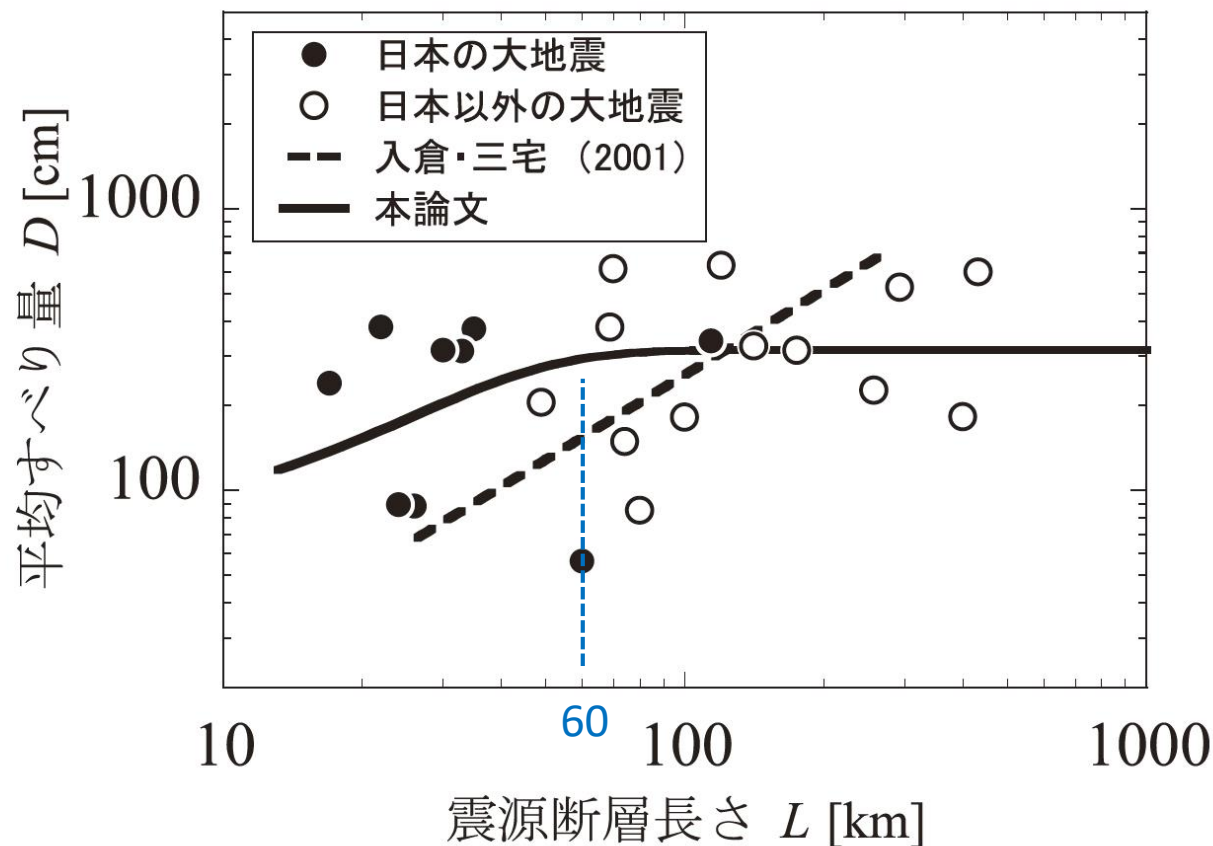


図7 平均すべり量と震源断層長さとの関係 (檀 他, 2011)

約100km以上では、入倉式より過小評価

この表からは、断層の長さが同じでも
すべり量が10倍近く違うこともわかる
(つまり想定は困難、ザル勘定)。

伊方の2.6mは、ここのすべての
地震のなかでも半分より下

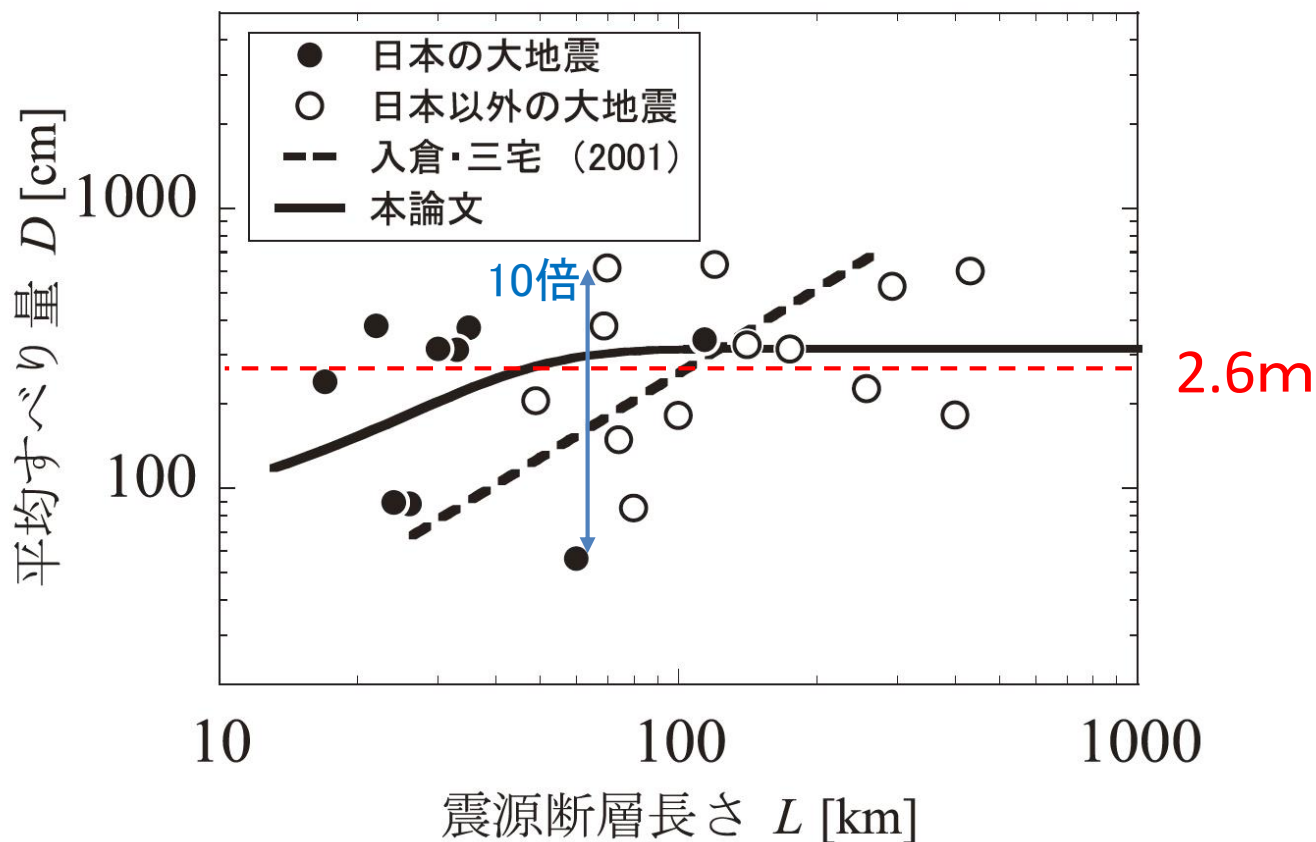


図7 平均すべり量と震源断層長さとの関係 (檀 他, 2011)

この表からは、断層の長さが同じでも
すべり量が10倍近く違うこともわかる
(つまり想定は困難、ザル勘定)。

伊方の2.6mは、ここのすべての
地震のなかでも半分より下

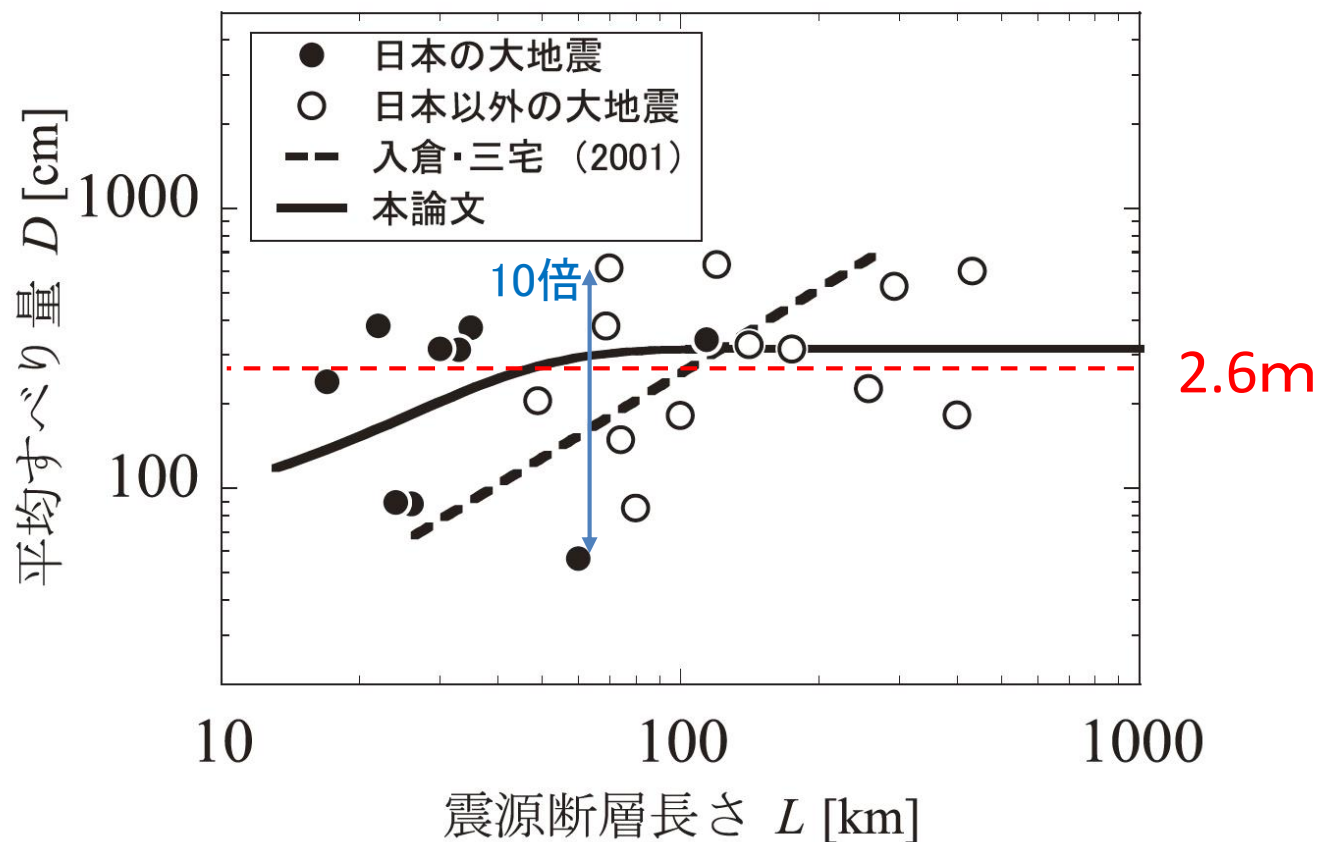


図7 平均すべり量と震源断層長さとの関係 (檀 他, 2011)

逆断層ではないので、平均的な値でよいというのは、あてはまらない。
檀ほか(2011)の論文題名は、
「長大横ずれ断層による内陸地震の平均動的応力降下量の推定と
強震動予測のためのアスペリティモデルの設定方法への応用」
つまり、横ずれ断層しか扱っていない(横ずれ断層の平均以下)。

入倉式の過小評価の問題は、伊方では檀式を使用しているので関係ないというのもあてはまらない。

入倉式が過小評価になるのは、主に海外のデータを使用しているためである。檀式のデータも100km以上は9個しかないが、そのなかで国内は1個(濃尾地震)だけであり、同様の問題があることは明白。

原発の安全基準として使用するのであれば、式はこれらのデータの点の上限を通るべきである(赤線)。その時のすべり量は7mとなる。しかも、経験則にもかかわらずデータが少ないことから、この赤線がもっと右上がりになることは十分想定されなければならない。

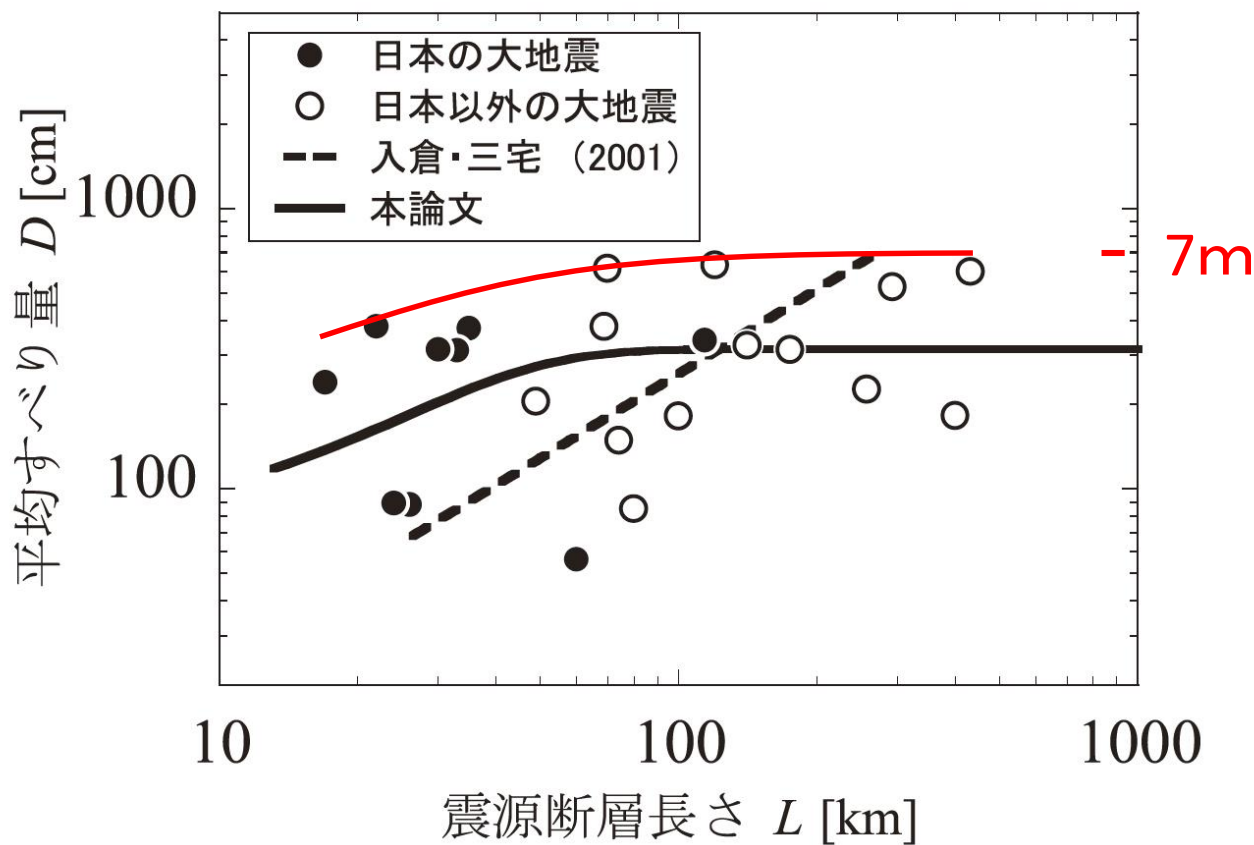


図7 平均すべり量と震源断層長さとの関係 (檀 他, 2011)

3.あらゆる地震を想定した設計

伊方発電所の耐震設計は、過去の地震や敷地周辺の活断層・地質等について詳細に調査を行い、考えられる最大の地震を想定し、設計の基準となる地震動(基準地震動)を決定しています。

(四国電力のホームページよりhttp://www.yonden.co.jp/energy/atom/ikata/page_08.html)

伊方の住民、愛媛県民、そして四国に住む多くの人々は、たとえこのホームページを見ていなくとも、まさか、四国電力が平均以下の地震を想定した基準地震動で原発を建て、運転しているとは、思ってもいないであろう。