

平成30年6月7日付け「事務連絡」に対する回答と 地震モーメント過小評価についての説明

平成30年7月9日 @大阪地方裁判所

債権者代理人 甫守 一樹

**1. 基準地震動の策定手順において常に
入倉・三宅式が果たす役割が大きいのか？**

島崎前原子力規制委員会委員長代理との面会の概要について

平成28年6月20日
原子力規制庁

1. 面会の趣旨

島崎前委員長代理が地震動評価手法の問題点を指摘されている旨の新聞報道等があり、その内容が島崎前委員長代理在任中に行われた審査に関するものであったことを踏まえ、事実関係を確認するため、田中委員長と石渡委員が島崎前委員長代理から直接話をお聞きした。

2. 面会における主なやり取り

(島崎) 将来の地震を予測する場合は、地震前に、断層の長さ、面積、地震モーメントを測定、断層のずれの量を考える必要があるが、関係式は地震後にわかった量で作られている。そこから、不確定性というか、推定の誤りが出てくる。

(島崎) 断層面が垂直の場合は地震モーメントが、入倉・三宅式を1とすると、山中・島崎式は3.5倍、武村式は4倍になる。

(島崎) 熊本地震に係る国土地理院の暫定的な解で計算した断層面積を、入倉・三宅式に入れると、地震モーメントと断層のずれの量が、実際の値に比べ非常に小さくなる。入倉・三宅式で実際の値になるような断層長さを求めると、57kmになるが、実際は30km、35kmと言われている。地震前に57kmと言う人はいない。すなわち、入倉・三宅式を使う限り、震源の大きさは過小評価される。

(島崎) 大飯で評価している断層は垂直で、入倉・三宅式を使っている。より真実に近そうな、過小評価にならないような式を使って、これまでと同じように計算し、必要であれば色々な判断をするのが一番ではないか。まずそこがスタートである。

(島崎) 垂直になっている断層に入倉・三宅式を使うことが既成事実化すること、これ以上見直すつもりはないという後ろ向きになってしまうことが一番怖い。必ず前向きに新しいものを受け入れるという方向で進めていただきたい。

(島崎) 川内は、すぐにどうこうという問題ではなさそうに見える。

(島崎) 高浜は遠いから、そんなに影響はないであろう。

(委員長) 今後、新知見については、それなりに評価されたものをベースにして、我々なりの判断を入れながら取り入れていきたい。

島崎前原子力規制委員会委員長代理との面会について

平成28年7月20日
原子力規制庁

以下のとおり、島崎前原子力規制委員会委員長代理と田中委員長、石渡委員ほかとの面会を行った。その速記録（未定稿）は別紙のとおり。

日時：平成28年7月19日（火）15：00～

場所：原子力規制委員会庁舎 記者会見室

先方：島崎前原子力規制委員会委員長代理

当方：田中委員長、石渡委員、櫻田原子力規制部長、小林長官官房耐震等規制総括官、小林安全技術管理官（地震・津波担当）付企画官

別紙

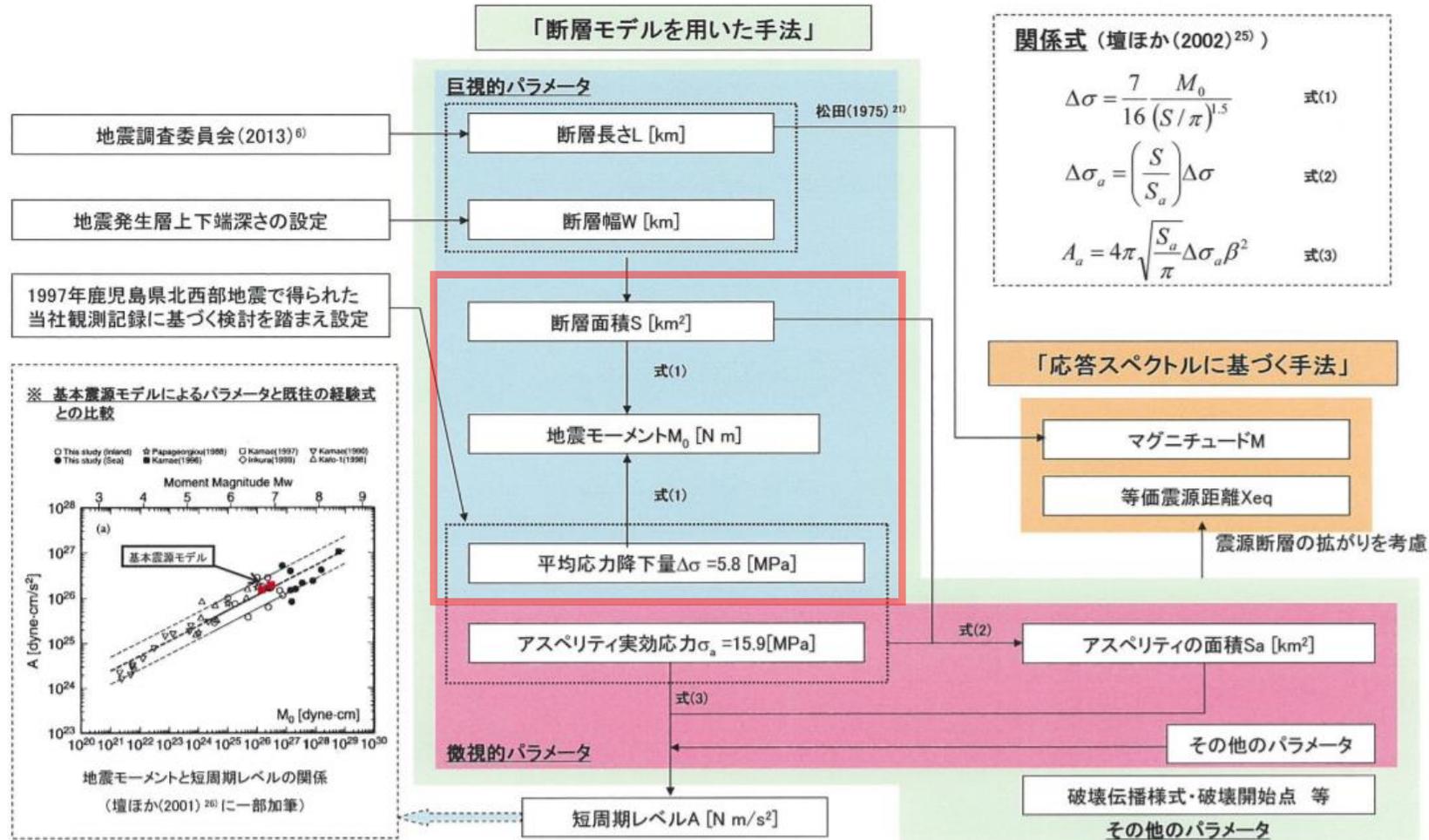
島崎前原子力規制委員会委員長代理との面会速記録（未定稿）

○島崎前委員長代理 入倉・三宅式だけは使わない。実際に強震動の評価の手法はたくさんあって、審査でもいろいろな手法が使われているわけです。入倉・三宅式を使わないと審査ができないということではないので、実際に発電所によってはほかの手法を使ったり、たまたまかもしれないけれども、ほかの手法でやった方が基準地震動は大きくなる。さまざまな事例がありますけれども、入倉・三宅式が特に問題なのは、おそらくこの大飯ぐらいであって、全体がどうこうなるという問題では多分ないだろうと思います。

大飯に関しても、入倉・三宅式を使わなくてはならないということはないので、ほかにも震源を特定した地震の強震動予測手法が提案されていますけれども、ここにも入倉・三宅式が入っていないくて、単に震源面積から地震モーメントを求めるという形で入っているだけですので、より適正な式を用いることは可能だと思います。

4.4 検討用地震の地震動評価

断層パラメータの設定



九州電力株式会社
「川内原子力発電所 地震について」平成26年4月23日

2.1 敷地周辺の活断層分布(半径30km以内)

当社活断層評価結果



断層の名称	断層長さ (km)	震央距離 (km)
市来断層帯 市来区間※1	24.9	12
辻の堂断層	12.3	29
笠山周辺断層群 一水俣南断層群	31.8	34
長島西断層・長島断層群	20.0	34
出水断層系	23.0	35
甌断層帯 甌区間※1,2	40.9	26
市来断層帯 甌海峡中央区間※1	38.5	29
市来断層帯 吹上浜西方沖区間※1	20.2	30
F-E断層	9.1	22
F-F断層	18.0	27

※1：地震調査委員会(2013)⁶⁾の活断層評価結果
 ※2：敷地周辺の活断層に関する当社調査結果

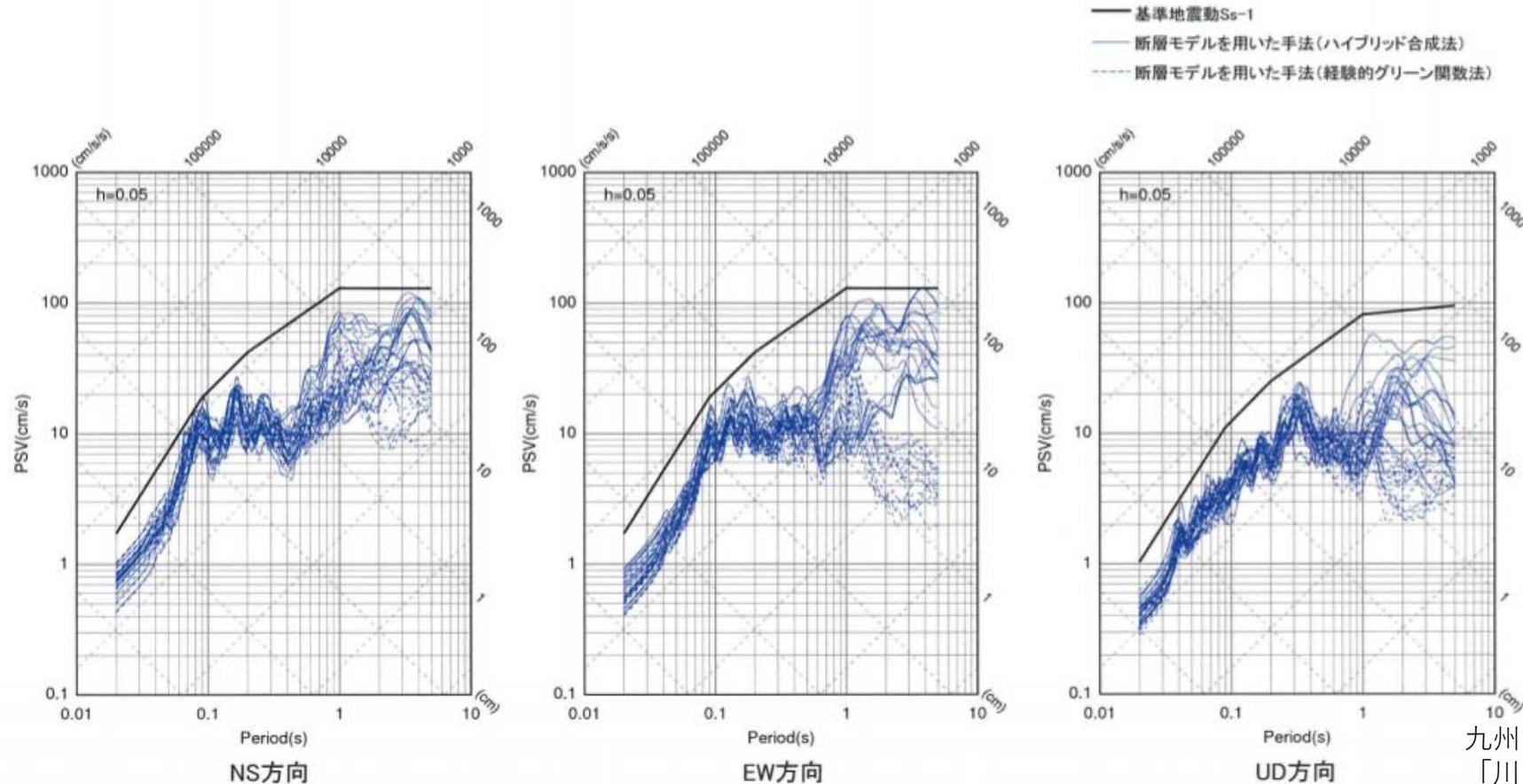
地震調査委員会(2013)⁶⁾が公表した活断層の評価結果



6.2 断層モデルを用いた手法に基づいた基準地震動Ssの策定

断層モデルを用いた手法に基づいた基準地震動Ssの策定

- 基準地震動Ss-1は、断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を上回ることから、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の基準地震動はSs-1で代表させる。

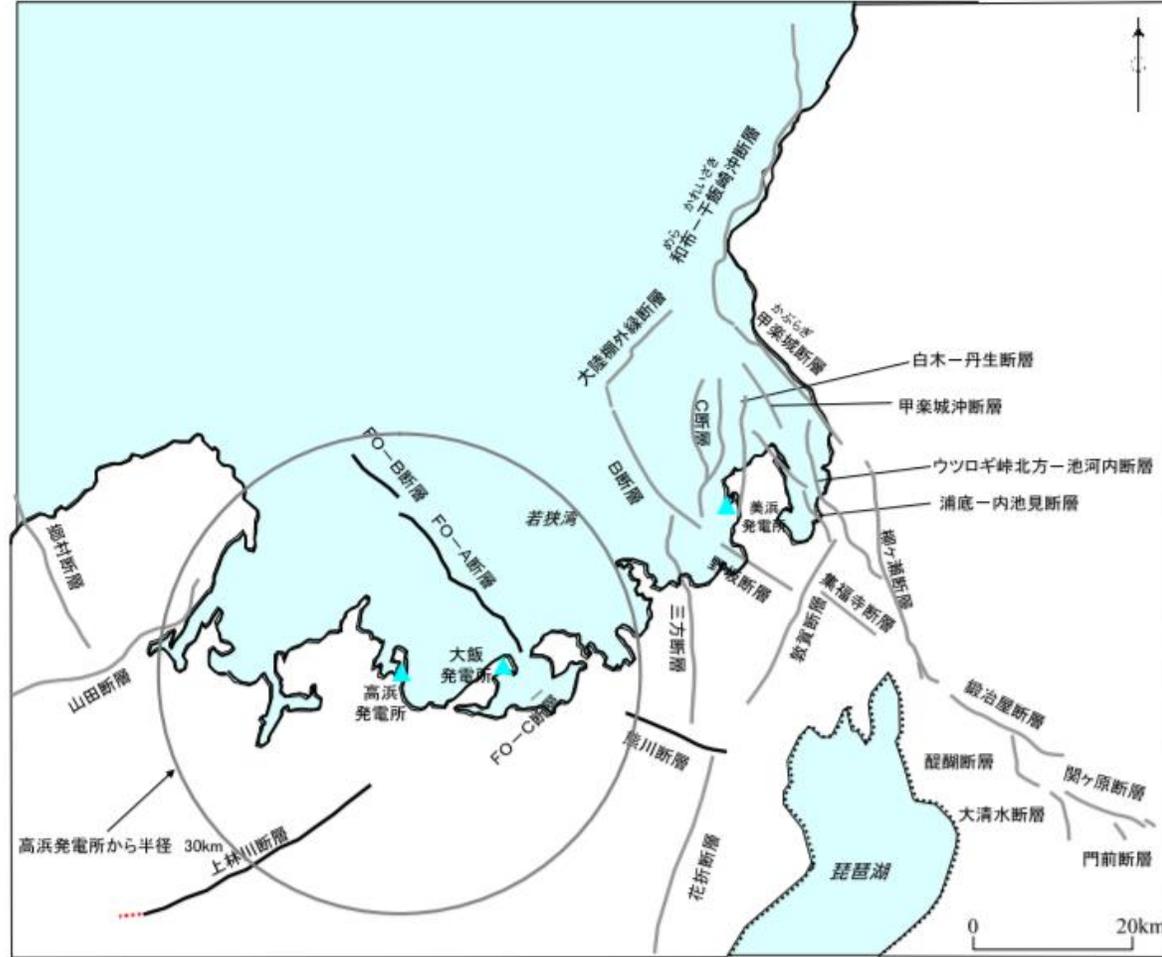


2. 敷地周辺の活断層の分布

第122回審査会合
資料再掲

6

■若狭湾周辺の主な断層の分布



■敷地に大きな影響を及ぼす活断層の地震

番号	断層名	長さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
1	和布-干飯崎沖断層~甲楽城断層	60	7.8	70
2	敦賀断層	23	7.1	50
3	大陸棚外縁~B~野坂断層	49	7.7	44
4	三方断層	27	7.2	37
5	花折断層	58	7.8	50
6	琵琶湖西岸断層系	60	7.8	53
7	濃尾地震断層系	80	8.0	110
8	上林川断層	39.5※1	7.5	26
9	有馬-高槻構造線	45	7.6	77
10	山田断層	33	7.4	38
11	郷村断層	34	7.4	51
12	三峠断層	20	7.0	35
13	FGA3東部	29	7.3	60
14	FO-A~FO-B~熊川断層	63.4※1	7.8	15
15	FO-C断層	20※1	6.8※2	18

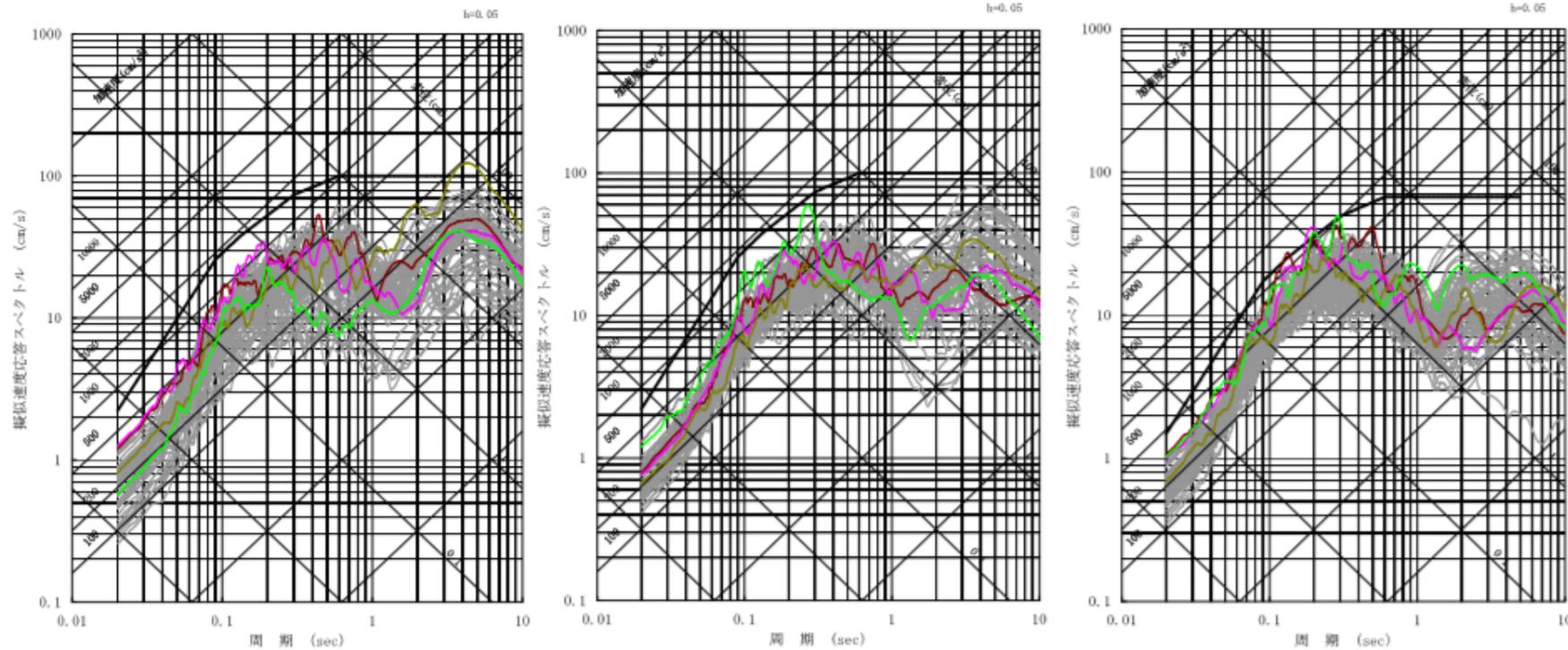
※1 地震動評価上の長さ

※2 孤立した短い活断層として、M6.8の地震規模を想定した。

関西電力株式会社
「高浜発電所 地震動評価につ
いて」平成26年8月22日

6. 基準地震動の策定

■FO-A~FO-Bと熊川断層との3連動および上林川断層の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果のうち、基準地震動Ss-1の設計用応答スペクトルを上回るケースから、以下のケースを基準地震動(Ss-2~Ss-5)として採用する。



水平(NS)方向

水平(EW)方向

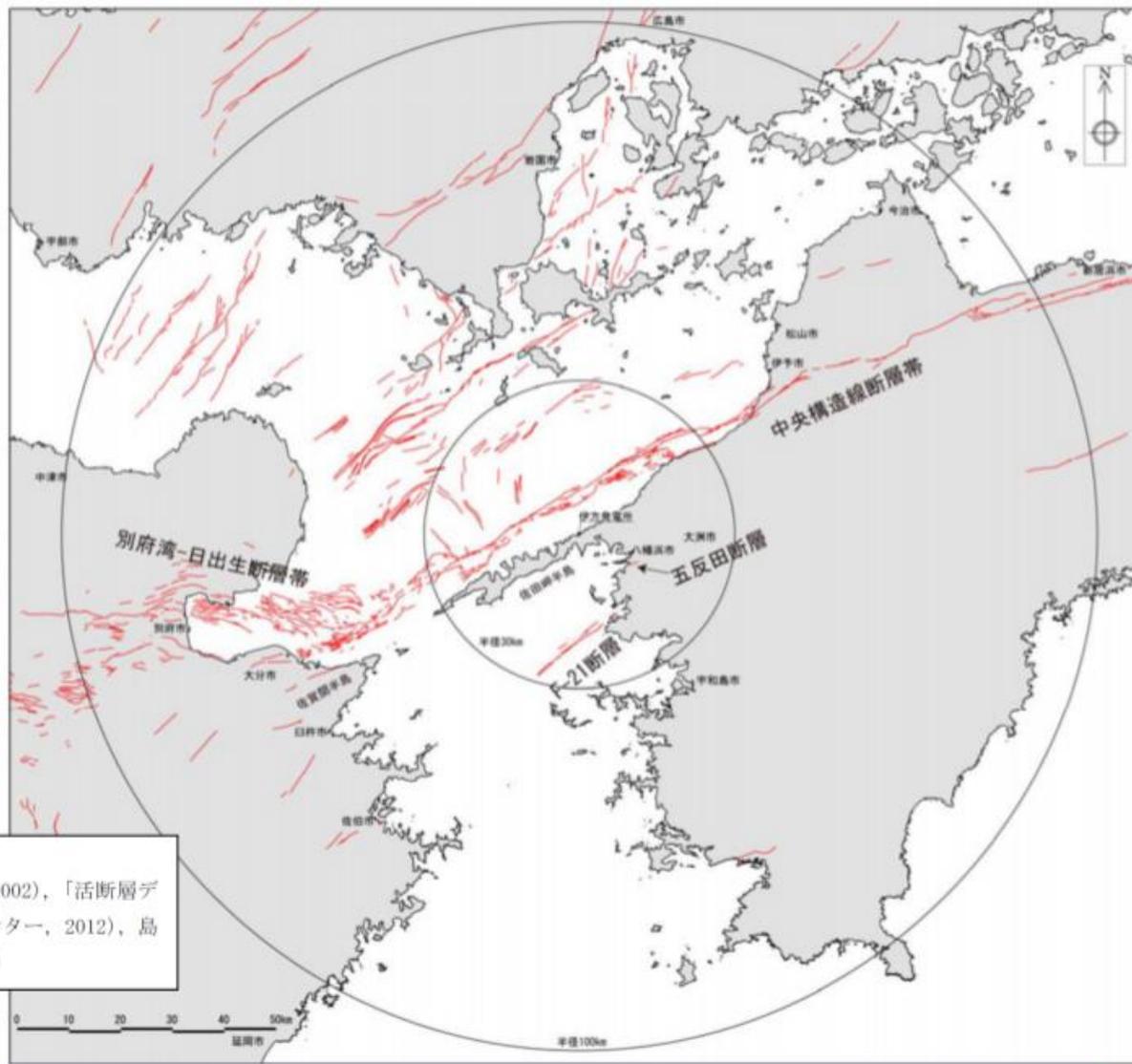
鉛直(UD)方向

- 基準地震動 Ss-1
- Ss-2: FO-A~FO-B~熊川断層(短周期1.5倍ケース、破壊開始点5)
- Ss-3: FO-A~FO-B~熊川断層(短周期1.5倍ケース、破壊開始点6)
- Ss-4: FO-A~FO-B~熊川断層($V_r=0.87\beta$ ケース、破壊開始点9)
- Ss-5: 上林川断層(短周期1.5倍ケース、破壊開始点3)

灰色: Ssを除くFO-A~FO-B~熊川断層、上林川断層の全てのケースの地震動評価結果

関西電力株式会社
「高浜発電所 地震動評価について」平成26年8月22日

■ 敷地に最も影響の大きいと思われる活断層は中央構造線断層帯



※活断層分布は以下の文献に基づいて作成

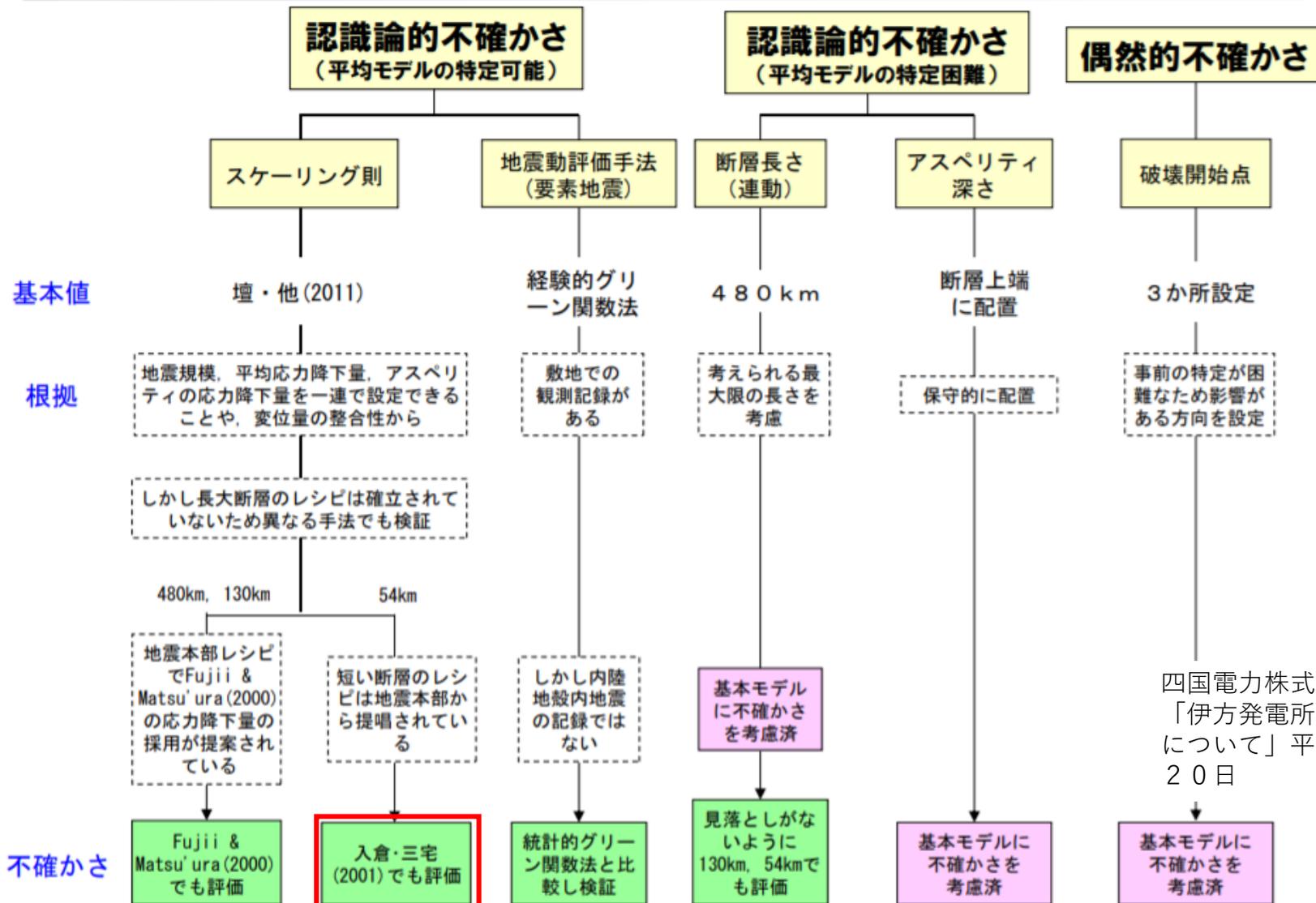
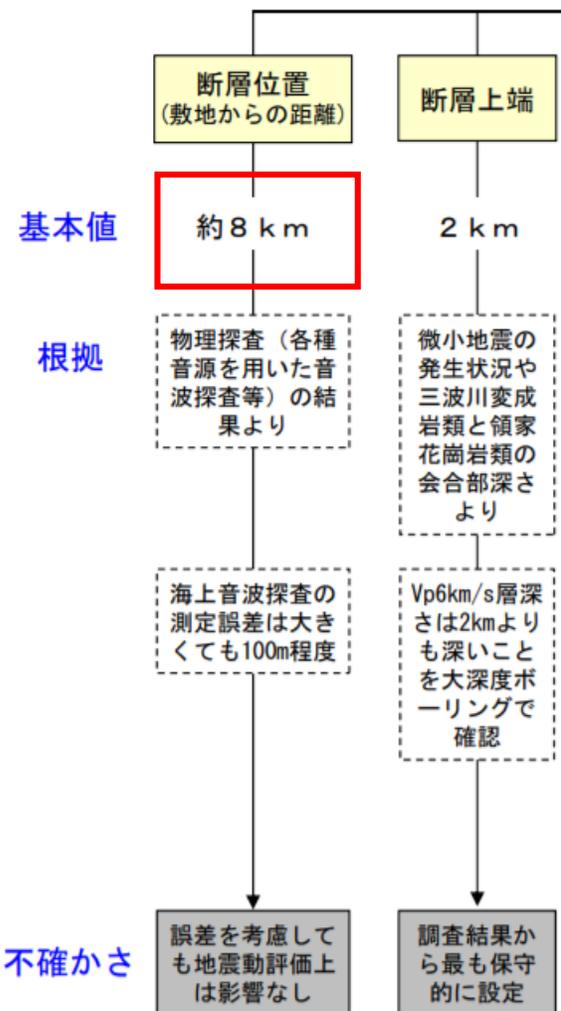
「活断層詳細デジタルマップ」(中田・今泉編, 2002), 「活断層データベース」(産業技術総合研究所・地震研究センター, 2012), 島崎ほか(2000), 七山ほか(2002), 田中ほか(2010)



4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
内陸地殻内地震の地震動

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
内陸地殻内地震の地震動評価 —不確かさの分析(3/4)—

平成26年11月7日
審査会合資料再掲



6. 基準地震動の策定

震源を特定せず策定する地震動 ー基準地震動Ssの最大加速度振幅ー

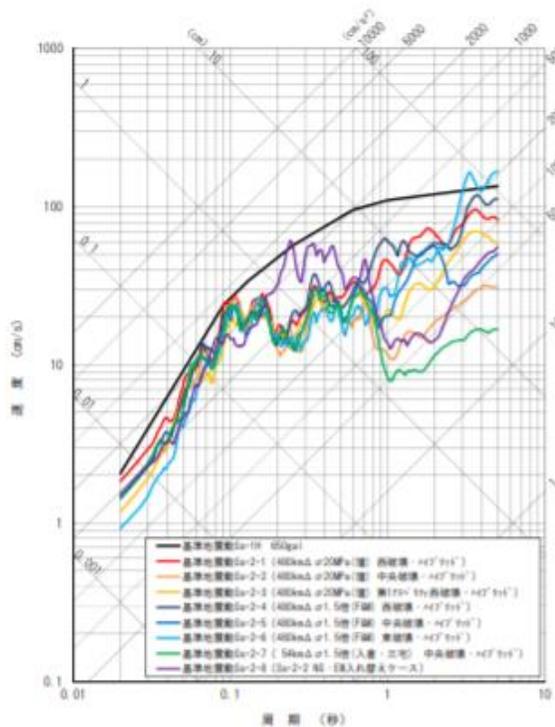
平成26年11月7日
審査会合資料一部修正

基準地震動Ss			最大加速度振幅(cm/s ²)		
震源を特定して策定する地震動	応答スペクトルに基づく手法	設計用模擬地震波	水平動	Ss-1H	650
	震源を特定して策定する地震動	断層モデルを用いた手法	敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・壇の手法・ $\Delta\sigma$ 20MPa・西破壊	鉛直動	Ss-1V
水平動NS				Ss-2-1NS	579
敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・壇の手法・ $\Delta\sigma$ 20MPa・中央破壊			水平動EW	Ss-2-1EW	390
			鉛直動UD	Ss-2-1UD	210
敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・壇の手法・ $\Delta\sigma$ 20MPa・第17スベリティ西破壊			水平動NS	Ss-2-2NS	456
			水平動EW	Ss-2-2EW	478
敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・壇の手法・ $\Delta\sigma$ 20MPa・第17スベリティ西破壊			鉛直動UD	Ss-2-2UD	195
			水平動NS	Ss-2-3NS	371
敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・F&Mの手法・ $\Delta\sigma$ 1.5倍・西破壊			水平動EW	Ss-2-3EW	418
			鉛直動UD	Ss-2-3UD	263
敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・F&Mの手法・ $\Delta\sigma$ 1.5倍・中央破壊			水平動NS	Ss-2-4NS	452
			水平動EW	Ss-2-4EW	494
敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・F&Mの手法・ $\Delta\sigma$ 1.5倍・東破壊			鉛直動UD	Ss-2-4UD	280
			水平動NS	Ss-2-5NS	452
敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・F&Mの手法・ $\Delta\sigma$ 1.5倍・中央破壊			水平動EW	Ss-2-5EW	388
			鉛直動UD	Ss-2-5UD	199
敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・F&Mの手法・ $\Delta\sigma$ 1.5倍・東破壊			水平動NS	Ss-2-6NS	291
			水平動EW	Ss-2-6EW	360
敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 54km・入倉・三宅の手法・ $\Delta\sigma$ 1.5倍・中央破壊			鉛直動UD	Ss-2-6UD	201
			水平動NS	Ss-2-7NS	458
敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・壇の手法・ $\Delta\sigma$ 20MPa・中央破壊・入れ替え			水平動EW	Ss-2-7EW	371
	鉛直動UD	Ss-2-7UD	178		
敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・壇の手法・ $\Delta\sigma$ 20MPa・中央破壊・入れ替え	水平動NS	Ss-2-8NS	478		
	水平動EW	Ss-2-8EW	456		
2004年北海道留萌支庁南部の地震 基盤地震動の基準化波	鉛直動UD	Ss-2-8UD	195		
	水平動	Ss-3-1H	620		
震源を特定せず策定する地震動		2000年鳥取県西部地震 賀祥ダム(監査廊)の観測記録	鉛直動	Ss-3-1V	320
			水平動NS	Ss-3-2NS	528
		水平動EW	Ss-3-2EW	531	
		鉛直動UD	Ss-3-2UD	485	

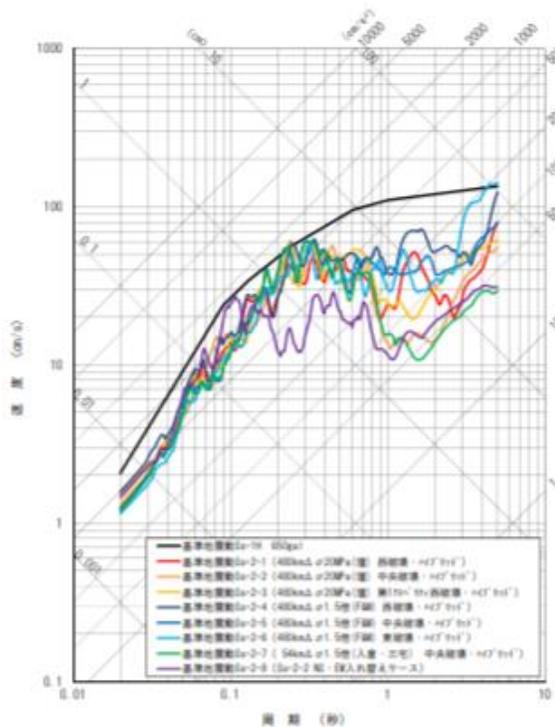
6. 基準地震動の策定

震源を特定して策定する地震動 —基準地震動Ss-2の応答スペクトル—

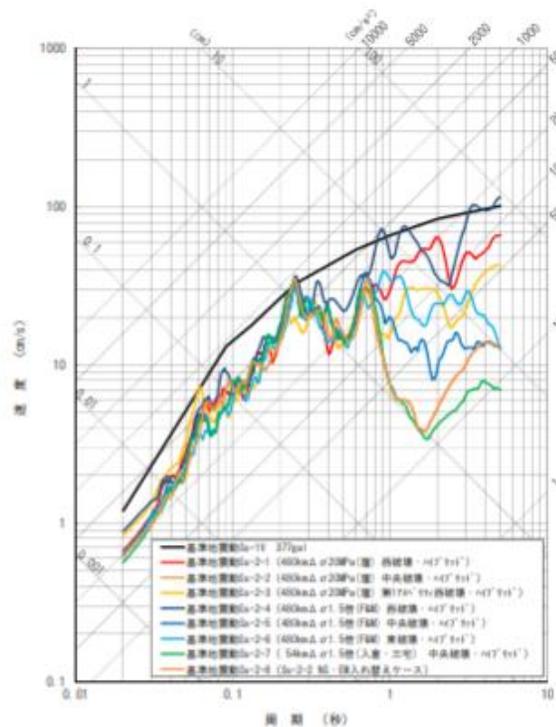
平成26年11月7日
審査会合資料再掲



NS方向



EW方向



UD方向

四国電力株式会社
「伊方発電所 地震動評価につ
いて」平成27年3月20日

2.1 敷地周辺の活断層分布（半径30km以内）

第130回審査会合
資料再掲

敷地周辺の活断層分布



断層の名称	断層長さ (km)	震央距離 (km)
竹木場断層	4.9	11
今福断層	8.7	20
城山南断層	19.5	20
楠久断層	8.6	23
国見断層	17.0	26
真名子-荒谷峠断層	15.5	29
鉾ノ木山リニアメント	11.9	30
糸島半島沖断層群	21.1	27
F-h断層	6.0	29

九州電力株式会社
「玄海原子力発電所 地震につ
いて」平成28年9月16日

4.4 検討用地震の地震動評価

第74回審査会合
資料再掲

竹木場断層による地震の基本的なケースと不確かさを考慮したケース(1/2)

基本的なケース(No.0)

項目		記号	設定方法	設定値	
巨視的パラメータ	断層位置	北緯	—	33° 31' 24"	
		東経	—	129° 56' 32"	
		北緯	—	33° 22' 21"	
		東経	—	129° 53' 41"	
	走向(度)	—	—	194.8	
	傾斜角(度)	—	—	80	
ずれの種類	—	—	右横ずれ		
断層上端深さ(km)	—	—	3		
断層長さ(km)	L		17.3		
断層幅(km)	W		17.3		
断層面積(km ²)	S	S=L・W	299.29		
剛性率(N/m ²)	μ	$\mu = \rho \cdot \beta^2$	3.31×10^{10}		
S波速度(km/s)	β		3.5		
地震モーメント(N・m)	M_0	$M_0 = (S / (4.24 \times 10^{-11}))^2 \cdot 10^{-7}$	4.98×10^{18}		
平均すべり量(cm)	D	$D = M_0 / (\mu \cdot S)$	50.3		
平均応力降下量(MPa)	$\Delta \sigma$	$\Delta \sigma = (7/16) \cdot M_0 / (S / \pi)^{2/2}$	2.34		
短周期レベル(N・m/s ²)	A	$A = 2.46 \times 10^{10} \cdot (M_0 \times 10^7)^{1/2}$	9.05×10^{13}		
微視的パラメータ	アスペリティ	地震モーメント(N・m)	M_{0a}	$M_{0a} = \mu \cdot D_a \cdot S_a$	1.52×10^{18}
		面積(km ²)	S_a	$S_a = S \cdot \Delta \sigma / \Delta \sigma_a$	45.32
		平均すべり量(cm)	D_a	$D_a = 2.01 \cdot D$	101.2
		実効応力(MPa)	$\Delta \sigma_a$	$\Delta \sigma_a = A^2 / (16 \pi \cdot \beta^4 \cdot \Delta \sigma \cdot S)$	15.5
	背景領域	地震モーメント(N・m)	M_{0b}	$M_{0b} = M_0 \cdot M_{0a}$	3.47×10^{18}
		面積(km ²)	S_b	$S_b = S \cdot S_a$	253.97
		平均すべり量(cm)	D_b	$D_b = M_{0b} / (\mu \cdot S_b)$	41.3
		実効応力(MPa)	σ_b	$\sigma_b = \Delta \sigma_a \cdot (D_b / S_b^{0.5}) \cdot (S_a^{0.5} / D_a)$	2.7
その他のパラメータ	破壊伝播速度(km/s)	V_f	$V_f = 0.72 \beta$	2.52	
	破壊開始点	—	—	別紙参照	
	破壊伝播様式	—	—	放射状	
Q値	—	—	—	$56 f^{1.5}$	

応力降下量の不確かさ(No.4,5,6)

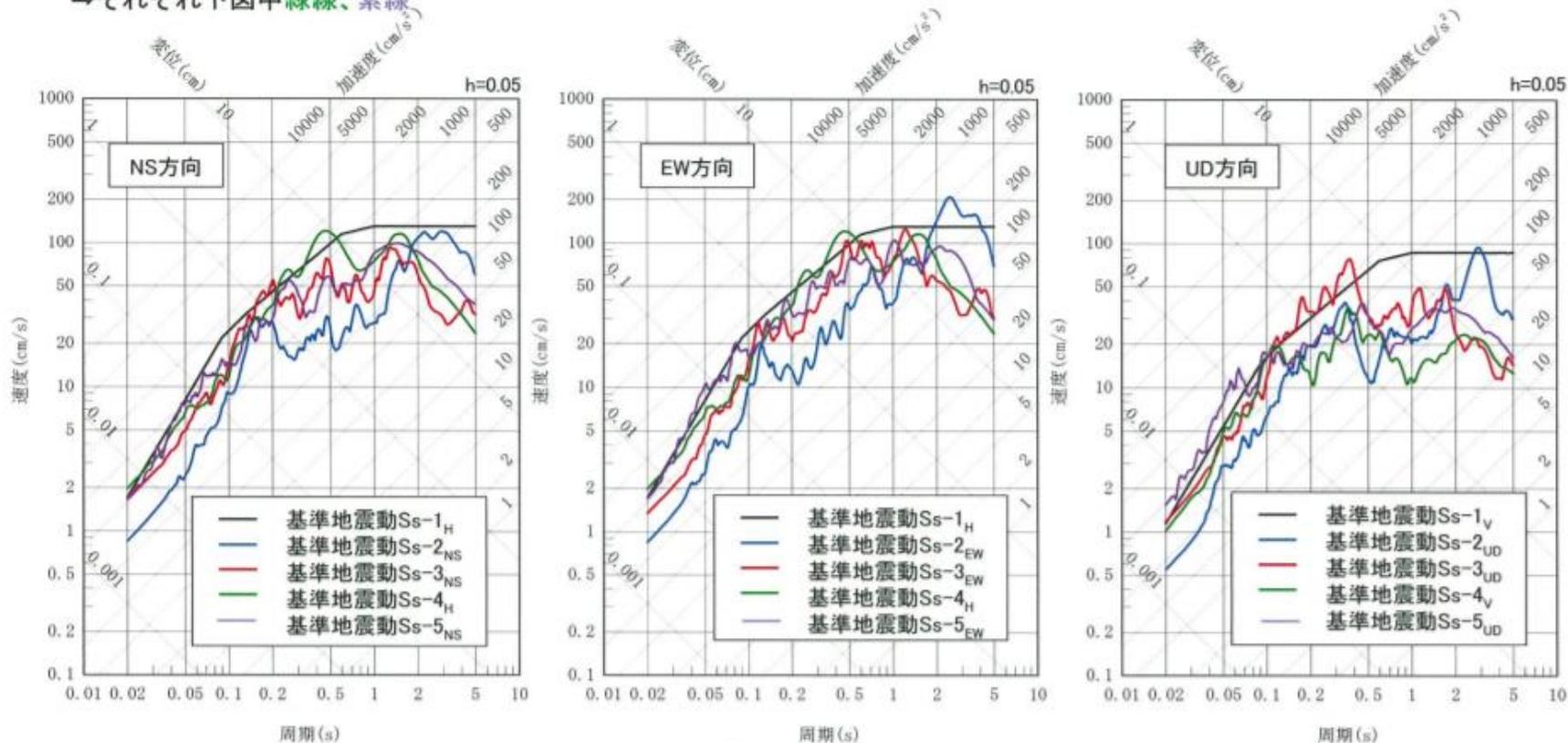
項目		記号	設定方法	設定値	
巨視的パラメータ	断層位置	北緯	—	33° 31' 24"	
		東経	—	129° 56' 32"	
		北緯	—	33° 22' 21"	
		東経	—	129° 53' 41"	
	走向(度)	—	—	194.8	
	傾斜角(度)	—	—	80	
ずれの種類	—	—	右横ずれ		
断層上端深さ(km)	—	—	3		
断層長さ(km)	L		17.3		
断層幅(km)	W		17.3		
断層面積(km ²)	S	S=L・W	299.29		
剛性率(N/m ²)	μ	$\mu = \rho \cdot \beta^2$	3.31×10^{10}		
S波速度(km/s)	β		3.5		
地震モーメント(N・m)	M_0	$M_0 = (S / (4.24 \times 10^{-11}))^2 \cdot 10^{-7}$	4.98×10^{18}		
平均すべり量(cm)	D	$D = M_0 / (\mu \cdot S)$	50.3		
平均応力降下量(MPa)	$\Delta \sigma$	$\Delta \sigma = (7/16) \cdot M_0 / (S / \pi)^{2/2}$	2.34		
短周期レベル(N・m/s ²)	A	基本的なケースの1.5倍	1.36×10^{13}		
微視的パラメータ	アスペリティ	地震モーメント(N・m)	M_{0a}	基本的なケース	1.52×10^{18}
		面積(km ²)	S_a	基本的なケース	45.32
		平均すべり量(cm)	D_a	基本的なケース	101.2
		実効応力(MPa)	$\Delta \sigma_a$	基本的なケースの1.5倍	23.25
	背景領域	地震モーメント(N・m)	M_{0b}	基本的なケース	3.47×10^{18}
		面積(km ²)	S_b	基本的なケース	253.97
		平均すべり量(cm)	D_b	基本的なケース	41.3
		実効応力(MPa)	σ_b	基本的なケースの1.5倍	4.05
その他のパラメータ	破壊伝播速度(km/s)	V_f	$V_f = 0.72 \beta$	2.52	
	破壊開始点	—	—	別紙参照	
	破壊伝播様式	—	—	放射状	
Q値	—	—	—	$56 f^{1.5}$	

※No. : 破壊開始点の位置を示す

6.3 基準地震動の策定

第123回審査会合
資料再掲

- 新規制基準を踏まえ、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」として、以下のとおり、基準地震動 S_s-1 ～ S_s-3 を策定。
 - ・ 基準地震動 S_s-1 は、検討用地震の応答スペクトルによる評価結果、及び旧耐震指針に基づく基準地震動 S_2 を包絡して設定。
なお、鉛直方向の基準地震動 S_s-1_v は、水平方向の基準地震動 S_s-1_H の2/3として設定。⇒下図中黒線
 - ・ 「城山南断層による地震」及び「竹木場断層による地震」の評価結果のうち、基準地震動 S_s-1 を一部の周期で上回るものとして、断層傾斜角の不確かさを考慮したケースを、それぞれ基準地震動 S_s-2 、基準地震動 S_s-3 と設定。⇒下図中青線、赤線
- 上記の基準地震動 S_s-1 ～ S_s-3 に加え、「震源を特定せず策定する地震動」として、2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動を S_s-4 、2000年鳥取県西部地震の賀祥ダム基礎上の観測記録を基準地震動 S_s-5 として考慮。
⇒それぞれ下図中緑線、紫線



基準地震動の応答スペクトル

九州電力株式会社
「玄海原子力発電所
地震について」
平成28年9月16日

6. 基準地震動の策定

第206回審査会合
資料再掲

141

■ 基準地震動の最大加速度

基準地震動		(cm/s ²)		
		NS方向	EW方向	UD方向
Ss-1	設計用模擬地震波	700		468
Ss-2	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース・破壊開始点1)	690	776	583
Ss-3	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース・破壊開始点2)	496	826	383
Ss-4	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース・破壊開始点3)	546	856	518
Ss-5	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース・破壊開始点4)	511	653	451
Ss-6	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース・破壊開始点5)	660	578	450
Ss-7	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース・破壊開始点8)	442	745	373
Ss-8	FO-A～FO-B～熊川断層(傾斜角75° ケース・破壊開始点1)	434	555	349
Ss-9	FO-A～FO-B～熊川断層(すべり角30° ケース・破壊開始点3)	489	595	291
Ss-10	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_{T}=0.87\beta$ ケース・破壊開始点1)	511	762	361
Ss-11	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_{T}=0.87\beta$ ケース・破壊開始点3)	658	727	469
Ss-12	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_{T}=0.87\beta$ ケース・破壊開始点4)	495	546	334
Ss-13	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_{T}=0.87\beta$ ケース・破壊開始点5)	744	694	380
Ss-14	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_{T}=0.87\beta$ ケース・破壊開始点6)	723	630	613
Ss-15	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_{T}=0.87\beta$ ケース・破壊開始点7)	685	728	430
Ss-16	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_{T}=0.87\beta$ ケース・破壊開始点8)	677	753	391
Ss-17	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_{T}=0.87\beta$ ケース・破壊開始点9)	594	607	436
Ss-18	2000年鳥取県西部地震・賀祥ダムの記録	528	531	485
Ss-19	2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動	620		320

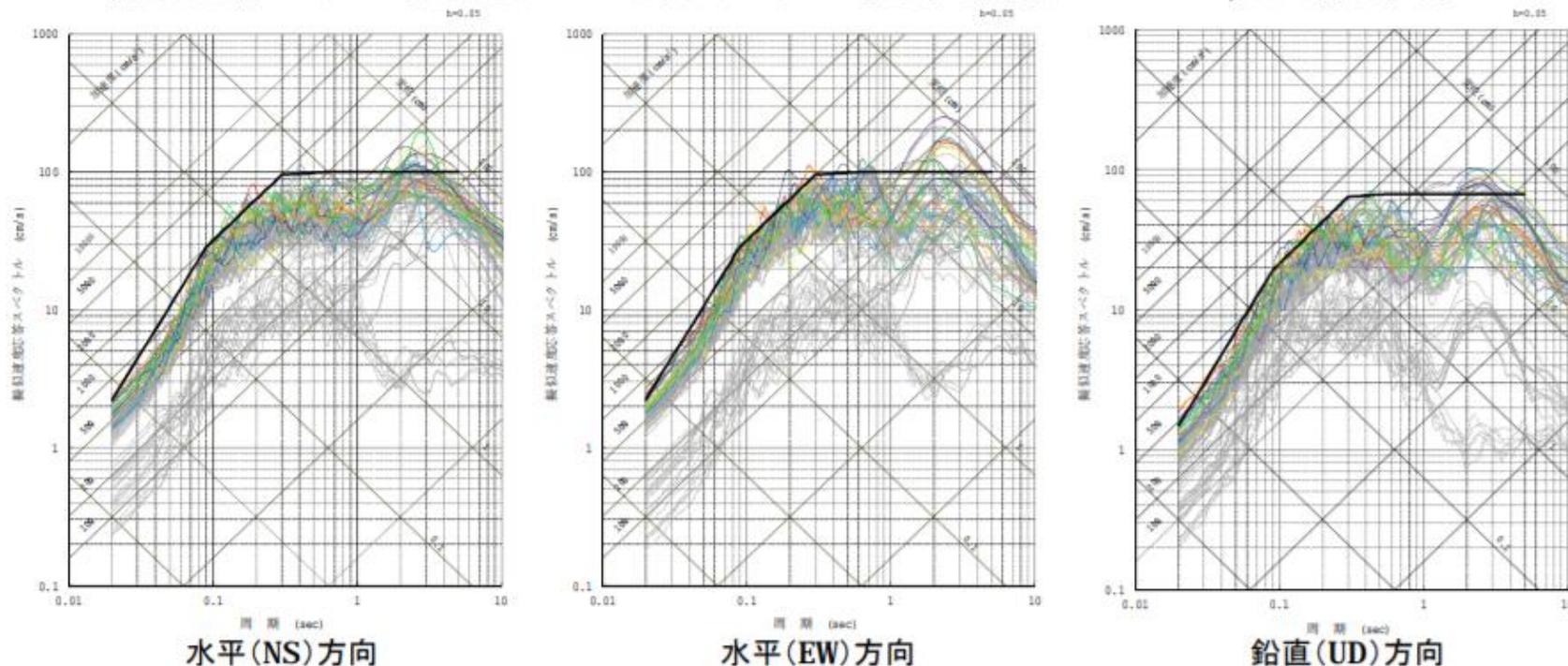
関西電力株式会社
「大飯発電所 地震動評価につ
いて」平成28年2月19日

6. 基準地震動の策定(震源を特定して策定する地震動)

第206回審査会合
資料再掲

131

■FO-A~FO-B~熊川断層および上林川断層の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果のうち、Ss-1の設計用応答スペクトルを上回るケースから、以下のケースを基準地震動(Ss-2~Ss-17)として採用する。



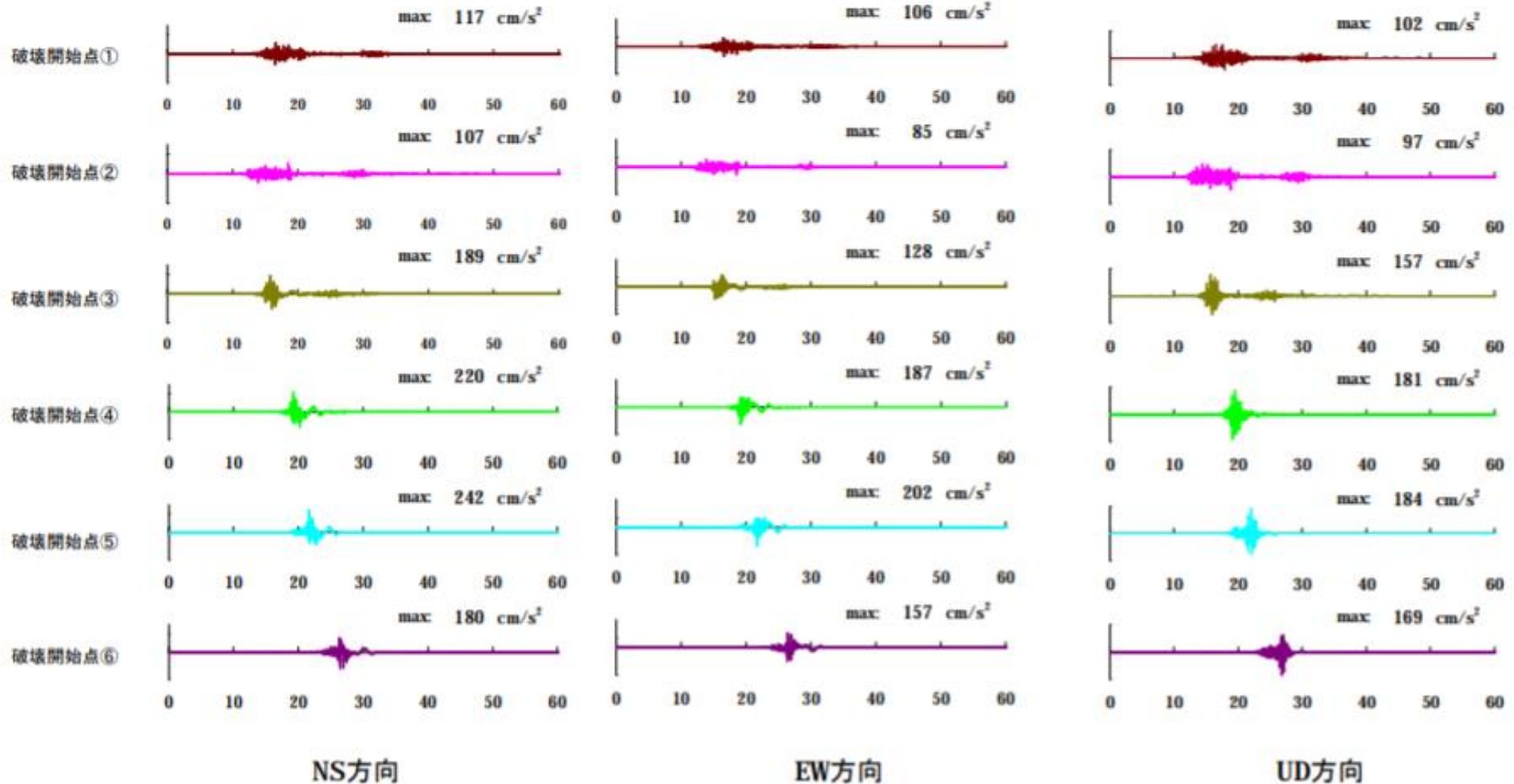
- | | |
|---|---|
| — 基準地震動 Ss-1 | — Ss-11: FO-A~FO-B~熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_{r1}=0.87\beta$ ケース、破壊開始点3) |
| — Ss-2: FO-A~FO-B~熊川断層(短周期1.5倍ケース、破壊開始点1) | — Ss-12: FO-A~FO-B~熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_{r1}=0.87\beta$ ケース、破壊開始点4) |
| — Ss-3: FO-A~FO-B~熊川断層(短周期1.5倍ケース、破壊開始点2) | — Ss-13: FO-A~FO-B~熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_{r1}=0.87\beta$ ケース、破壊開始点5) |
| — Ss-4: FO-A~FO-B~熊川断層(短周期1.5倍ケース、破壊開始点3) | — Ss-14: FO-A~FO-B~熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_{r1}=0.87\beta$ ケース、破壊開始点6) |
| — Ss-5: FO-A~FO-B~熊川断層(短周期1.5倍ケース、破壊開始点4) | — Ss-15: FO-A~FO-B~熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_{r1}=0.87\beta$ ケース、破壊開始点7) |
| — Ss-6: FO-A~FO-B~熊川断層(短周期1.5倍ケース、破壊開始点5) | — Ss-16: FO-A~FO-B~熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_{r1}=0.87\beta$ ケース、破壊開始点8) |
| — Ss-7: FO-A~FO-B~熊川断層(短周期1.5倍ケース、破壊開始点8) | — Ss-17: FO-A~FO-B~熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_{r1}=0.87\beta$ ケース、破壊開始点9) |
| — Ss-8: FO-A~FO-B~熊川断層(傾斜角75° ケース、破壊開始点1) | |
| — Ss-9: FO-A~FO-B~熊川断層(すべり角30° ケース、破壊開始点3) | |
| — Ss-10: FO-A~FO-B~熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_{r1}=0.87\beta$ ケース、破壊開始点1) | |

灰色:Ssを除くFO-A~FO-B~熊川断層、上林川断層の全てのケースの地震動評価結果

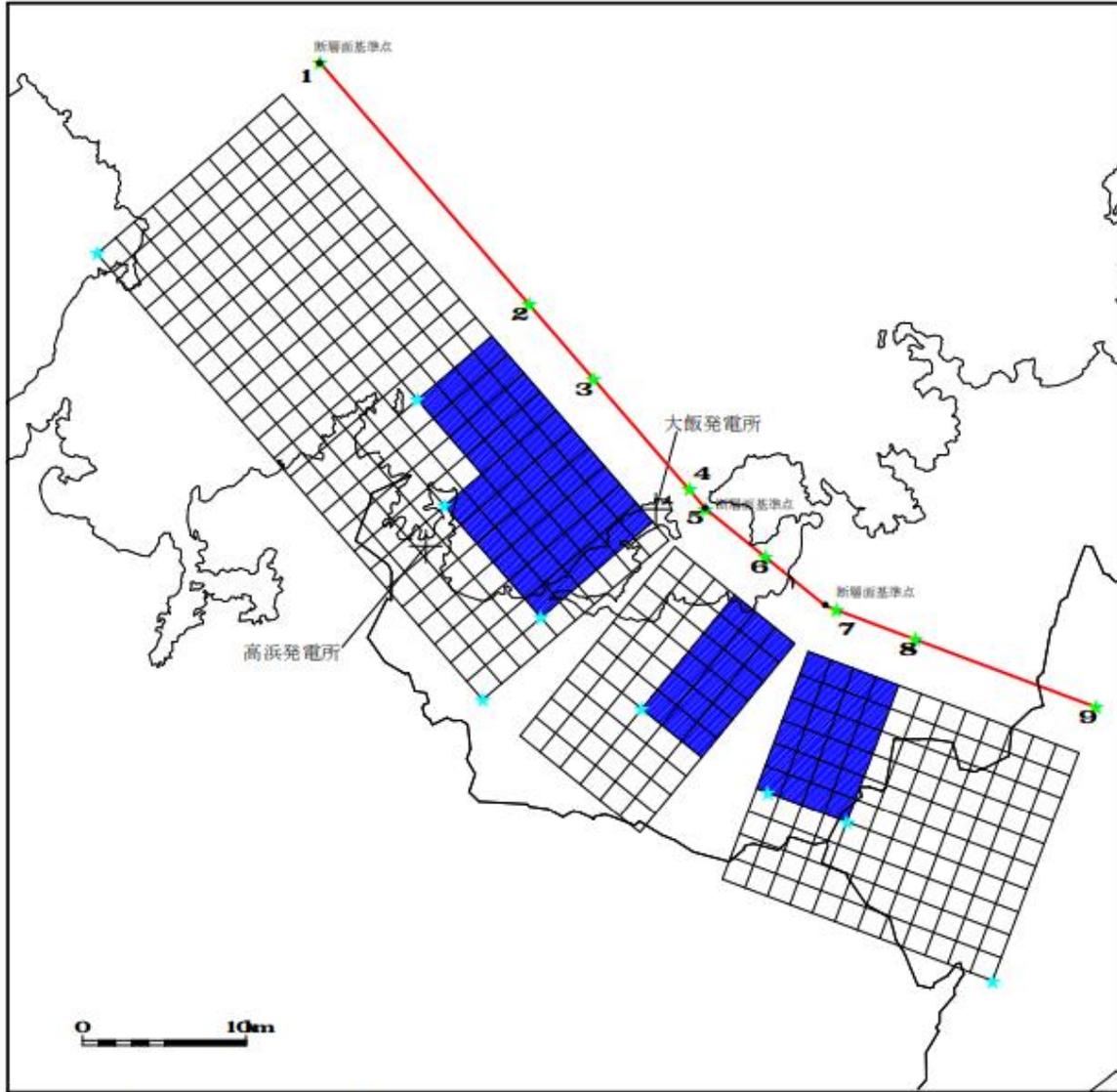
関西電力株式会社
「大飯発電所 地震動評価につ
いて」平成28年2月19日

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果:上林川断層
短周期の地震動1.5倍ケースの加速度波形



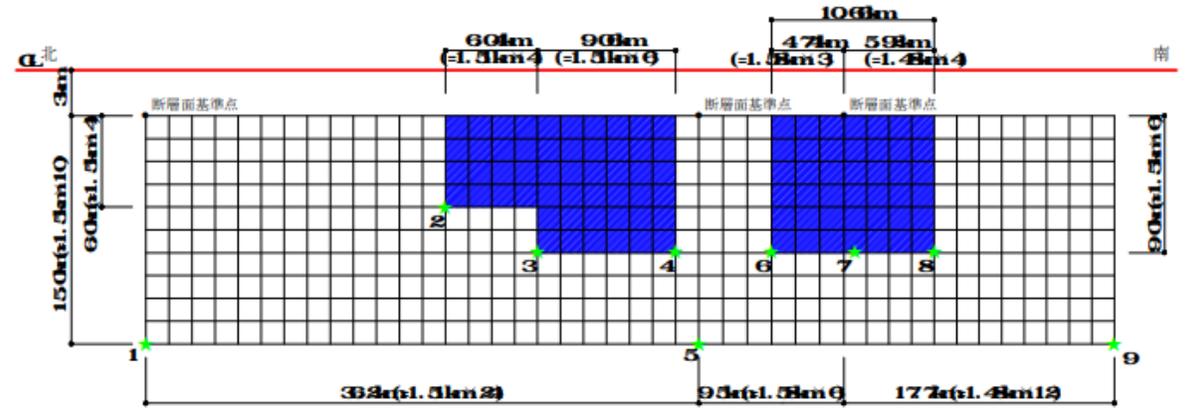
■FO-A~FO-B~熊川断層のモデル図



※ 傾斜角 90° の断層面は、傾斜角 0° として図化している。

★：破壊開始点

断層配置図



断面図

関西電力株式会社
 「大飯発電所 地震動評価につ
 いて（基準地震動の選定）」
 平成26年12月12日

基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド

3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

3.1 策定方針

- (1) 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の策定においては、検討用地震ごとに「応答スペクトルに基づく地震動評価」及び「断層モデルを用いた手法による地震動評価」に基づき策定されている必要がある。なお、地震動評価に当たっては、敷地における地震観測記録を踏まえて、地震発生様式、地震波の伝播経路等に応じた諸特性（その地域における特性を含む。）が十分に考慮されている必要がある。
- (2) 震源が敷地に近く、その破壊過程が地震動評価に大きな影響を与えると考えられる地震については、断層モデルを用いた手法が重視されている必要がある。

3.3.2 断層モデルを用いた手法による地震動評価

④ 震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価

- 1) 震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価においては、地表に変位を伴う断層全体（地表地震断層から震源断層までの断層全体）を考慮した上で、震源モデルの形状及び位置の妥当性、敷地及びそこに設置する施設との位置関係、並びに震源特性パラメータの設定の妥当性について詳細に検討されていることを確認する。
- 2) これらの検討結果を踏まえた評価手法の適用性に留意の上、各種の不確かさが地震動評価に与える影響をより詳細に評価し、震源の極近傍での地震動の特徴に係る最新の科学的・技術的知見を踏まえた上で、さらに十分な余裕を考慮して地震動が評価されていることを確認する。特に、評価地点近傍に存在する強震動生成領域（アスペリティ）での応力降下量などの強震動の生成強度に関するパラメータ、強震動生成領域同士の破壊開始時間のずれや破壊進行パターンの設定において、不確かさを考慮し、破壊シナリオが適切に考慮されていることを確認する。
- 3) なお、震源の極近傍での地震動の特徴に係る最新の科学的・技術的知見を取り込んだ手法により、地表に変位を伴う国内外被害地震の震源極近傍の地震動記録に対して適切な再現解析を行い、震源モデルに基づく短周期地震動、長周期地震動及び永久変位を十分に説明できていることを確認する。この場合、特に永久変位・変形についても実現象を適切に再現できていることを確認する。さらに、浅部における断層のずれの進展の不均質性が地震動評価へ及ぼす影響を検討するとともに、浅部における断層のずれの不確かさが十分に評価されていることを確認する。
- 4) 震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価においては、破壊伝播効果が地震動へ与える影響について、十分に精査されていることを確認する。また、水平動成分に加えて上下動成分の評価が適切に行われていることを確認する。

「实用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」

第4条5項二号

⑤ 上記④の基準地震動の策定過程に伴う各種の不確かさ（震源断層の長さ、地震発生層の上端深さ・下端深さ、断層傾斜角、アスペリティの位置・大きさ、応力降下量、破壊開始点等の不確かさ、並びにそれらに係る考え方及び解釈の違いによる不確かさ）については、敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータについて分析した上で、必要に応じて不確かさを組み合わせるなど適切な手法を用いて考慮すること。

⑥ 内陸地殻内地震について選定した検討用地震のうち、震源が敷地に極めて近い場合は、地表に変位を伴う断層全体を考慮した上で、震源モデルの形状及び位置の妥当性、敷地及びそこに設置する施設との位置関係、並びに震源特性パラメータの設定の妥当性について詳細に検討するとともに、これらの検討結果を踏まえた評価手法の適用性に留意の上、上記⑤の各種の不確かさが地震動評価に与える影響をより詳細に評価し、震源の極近傍での地震動の特徴に係る最新の科学的・技術的知見を踏まえた上で、さらに十分な余裕を考慮して基準地震動を策定すること。

各原発基準地震動への入倉・三宅式の影響

- 川内 → 無し
- 高浜 → ほぼ無し
- 伊方 → ほぼ無し
- 玄海 → やや有り
- 大飯 → 有り

A. 常に入倉・三宅式が果たす役割が大きいとはいえない。

2. 入倉・三宅式によるパラメータ M_0 の過小評価の可能性について

① 「関係式自体の問題」

断層面が垂直又は垂直に近い場合、入倉・三宅式は武村(1998)の関係式等と比べて地震モーメントを過少に評価することから、入倉・三宅式を地震動の推定に用いるべきではない。

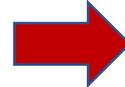
② 「事前推定の問題」

震源断層の面積や長さは、地震発生後に確定するもので、地震発生前に震源断層の情報は得られない。地震動の推定に用いることのできる情報は、「地震発生前の情報」に限られる。そのような情報をもとに入倉・三宅式を用いると地震動は過小評価となるため、同式を用いるべきではない。

「実際に発生した地震で、地震後にえられたデータと入倉・三宅式を用いて‘震源の大きさ’や断層のずれを計算すると、実際の値よりもはるかに小さい。事前推定の問題があろうとなかろうと、入倉・三宅式の過小評価は変わらず存在する」

(島崎(2016)657頁)

変遷?



「…それぞれの式は、しかるべきデータに基づいて作られているので、ある意味、どの式も正しいわけです」

「要するに、入倉・三宅式をどう使うかという問題ですね。入倉・三宅式が震源パラメータ間のスケーリング則として問題があると、私は申し上げていないんです」

(証人調書5, 48頁)

第3 島崎氏の証言の不合理性について

1 島崎氏の見解の変遷等について

(1) 島崎氏の見解の要旨

島崎氏は別件訴訟で証人として証言したが、同氏は文献等においても自身の見解を表明している。

これまでに島崎氏が表明した見解を改めてまとめると、以下のとおりである（甲1の1, 38頁等, 乙100, 「活断層の長さから推定する地震モーメント」, 乙101, 日本地震学会講演予稿集2015年度秋季大会 S17-10「活断層長に基づく地震モーメントの事前推定」, 乙102, 日本活断層学会2015年度秋季学術大会講演予稿集 0-13「活断層の長さから推定される地震モーメント：日本海『最大』クラスの津波断層モデルについて」, 乙103, 日本地球惑星科学連合2016年大会予稿集 HDS19-12「過小な日本海『最大クラス』津波断層モデルとその原因」, 乙104, 「最大クラスではない日本海『最大クラス』の津波一過ちを糾さないままでは『想定外』の災害が再生産される」）。

ア 断層面が垂直又は垂直に近い場合、入倉・三宅式は、武村（1998）⁸（乙105）の関係式（以下、「武村式」という）等と比べて地震モーメントを過小に評価することから、入倉・三宅式を地震動の推定に用いるべきではない。（以下、「関係式自体の問題」という。）

イ 震源断層の面積や長さは、地震発生後に確定するもので、地震発生前に震源断層の情報は得られない。地震動の推定に用いることのできる情報は、「地震発生前の情報」（甲1の1, 3頁）に限られる。そのような情報をもとに入倉・三宅式を用いると地震動は過小評価となるため、同式を用いるべきではない。（以下、「事前推定の問題」という。）

(2) 島崎氏の見解の変遷

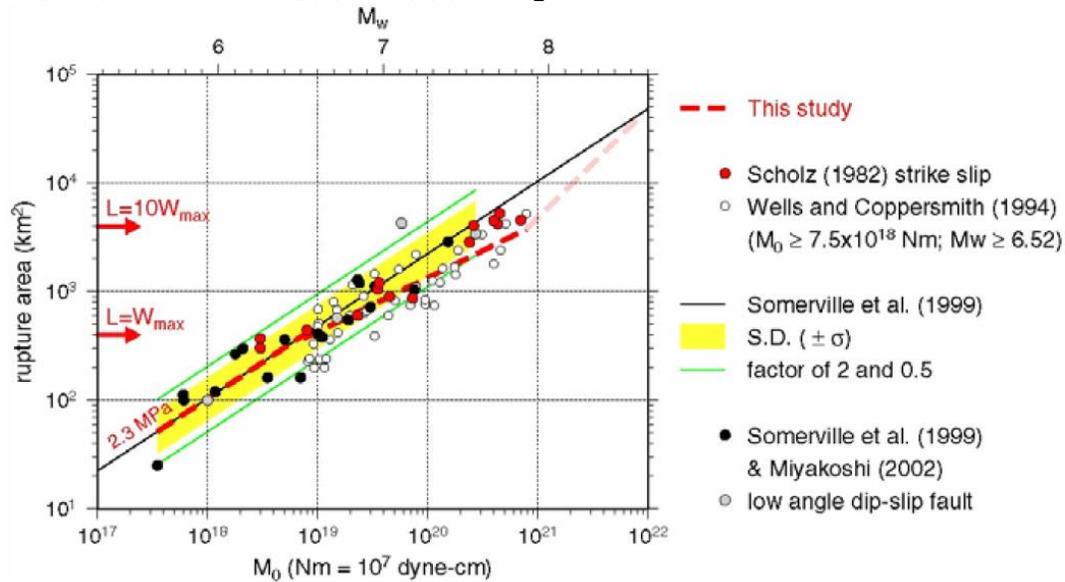
島崎氏は、別件訴訟で証言する前に自身が作成した文献等において、上記「関係式自体の問題」について、「実際に発生した地震（次の例）で、地震後に得られたデータと入倉・三宅式を用いて‘震源の大きさ’や断層のずれを計算すると、実際の値よりはるかに小さい。事前推定の問題があろうとなかろうと、入倉・三宅式の過小評価は変わらず存在する」（乙104, 657頁）との見解を表明していた。つまり、「地震発生前の情報」を用いると地震モーメントが過小に算出されるとする上記「事前推定の問題」の有無にかかわらず、入倉・三宅式自体が地震モーメントの過小評価をもたらす関係式であるとの上記「関係式自体の問題」は変わりなく存在するとしていた。そして、平成28年（2016年）熊本地震（以下、「熊本地震」という）等を対象に、相当の分量を割いて上記「関係式自体の問題」を指摘していた（同657～659頁）。

しかるに、別件訴訟の証人尋問において、島崎氏は、主尋問で「これらの式が出たからといって、皆さん誤解されているかと思うんですけども、どの式が悪いとかどの式がいいとかいう話ではありません。それぞれの式は、しかるべきデータに基づいて作られているので、ある意味、どの式も正しいわけです。私が問題にしているのは、地震が発生する前に強震動を計算するには、地震の大きさ、ここで言うM₀（モーメント）が分からないと何も始まらないわけですね。それで、地震の前に我々が分かっている情報を使って断層の長さを決めて、それを入れたときにどういうモーメントになるかというのはこの式で計算できるわけですけども、この式を使って計算したものが、本当に地震が起きたときに合っているかどうか、これがポイントなんです。

どの式が正しい、どの式が正しくないという話ではなくて、どの式を使ったらよいかという使い方の問題なんですね」（甲1の1, 5～6頁）と述べ、また反対尋問でも「要するに、入倉・三宅式をどう使うかという問題ですね。入倉・三宅式が震源パラメータの間のスケーリング則として問題があると、私は申し上げていないんです」（甲1の1, 48頁）と述べた。

すなわち、入倉・三宅式等の各関係式は、それぞれしかるべきデータに基づいて提案されているもので、関係式自体に問題があるということではなく、入倉・三宅式がスケーリング則⁹として問題があるということではない、問題となるのは、地震発生前に分かっている断層長さの情報を与えた場合に、当該断層で発生する地震の地震モーメントを想定できるかという点のみである、と証言したのである。

これは、従前表明していた、入倉・三宅式が震源断層面積と地震モーメントとの関係を表すスケーリング則としては過小評価をもたらす問題があるとの「関係式自体の問題」を一転して否定するものであり、同式に「地震発生前の情報」を与えると地震モーメントが過小評価されるとの「事前推定の問題」のみが問題であるとして、その見解を実質的に変遷させたものである。



入倉・三宅(2001)のスケーリング則の研究は、科学論文として査読付きの科学誌「地学雑誌」に掲載されている。破壊域面積と地震モーメントの経験的關係式は、強震動データを用いた波形インバージョンによる断層すべり分布に基づく震源パラメータ(Miyakoshi et al., 20003); Somerville et al., 19994) および地表断層変位分布など地質・地形学的アプローチや余震域など地震学的アプローチで収集されてきた震源パラメータ・カタログ(Wells and Coppersmith, 1994)の両方を考慮して導かれたものである。その後、宮腰・他(2015)は、1995年兵庫県南部地震を契機として整備された高密度の強震動観測網で得られた日本国内の内陸に発生した大地震の強震動データを用いた波形インバージョンによって得られた断層すべりモデルを用いて、入倉・三宅(2001)の経験的關係式の有効性を確認している

入倉孝次郎「岩波科学 2016年7月号の島崎邦彦氏の「最大クラスではない日本海『最大クラス』の津波一過ちを糺さないままでは『想定外』の災害が再生産される」へのコメント」

地震本部「震源断層を特定した強震動予測手法（レシピ）」

(c) 地震規模（地震モーメント M_0 ）

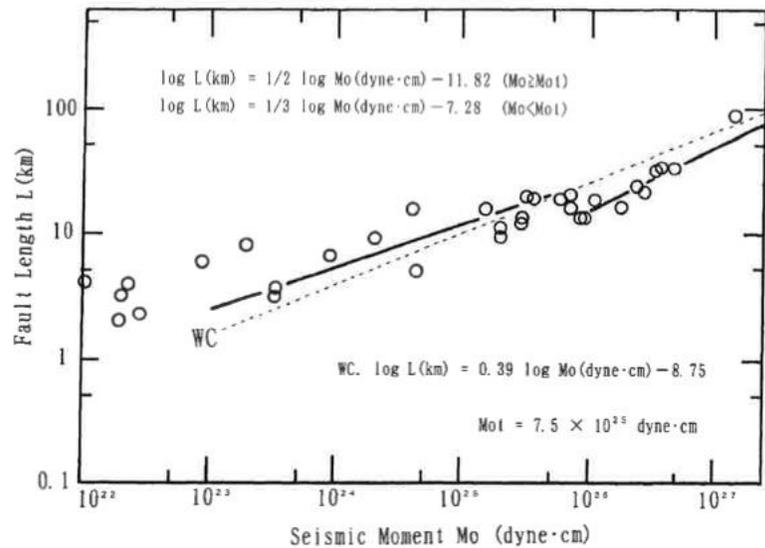
地震モーメント M_0 (N・m)、震源断層の面積 S (km²) との経験的關係より算出する。Somerville et al. (1999) によると地震モーメントと震源断層の面積の關係は、

$$M_0 = \left(\frac{S}{2.23} \times 10^{15} \right)^{3/2} \times 10^{-7} \dots\dots\dots (2)$$

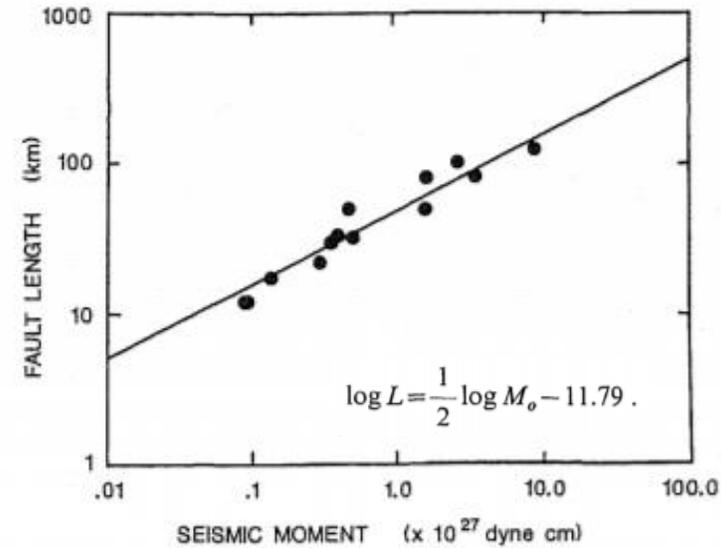
となる⁵。ただし、上式は、過去の大地震の強震記録を用いた震源インバージョン結果をもとにしており、この中にはM8クラスの巨大地震のデータは含まれていない。一方、Wells and Coppersmith (1994) では余震・地殻変動データを基に解析されたM8クラスの巨大地震のデータを含んでおり、これらによる地震モーメントに対する震源断層の面積は、地震規模が大きくなると上式に比べて系統的に小さくなっている。したがって、地震モーメントが大きい地震については、入倉・三宅 (2001) の提案によるWells and Coppersmith (1994) などのデータに基づいた次式を用いる。

$$M_0 = \left(\frac{S}{4.24} \times 10^{11} \right)^2 \times 10^{-7} \dots\dots\dots (3)$$

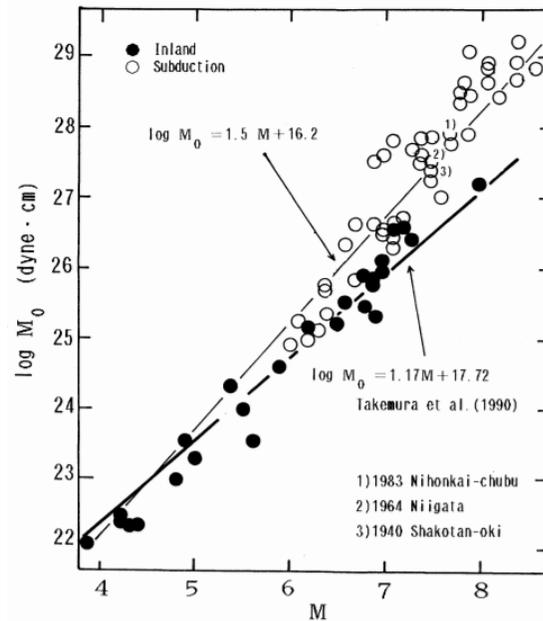
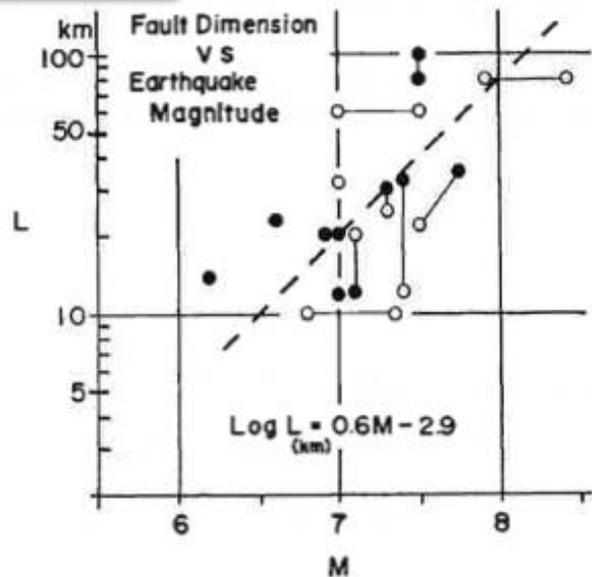
武村式の場合



山中・島崎式の場合

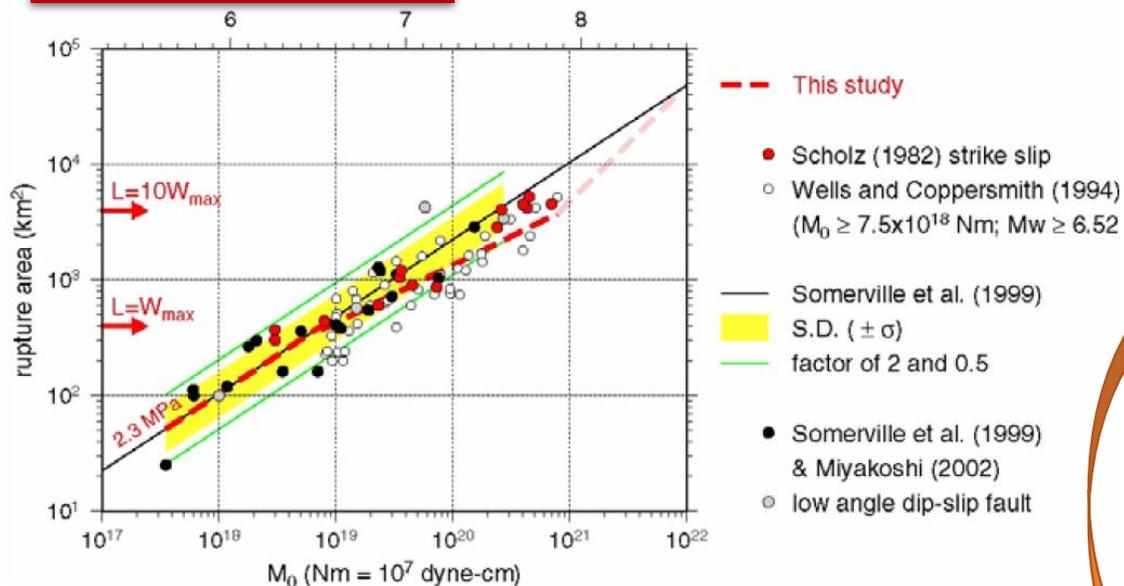


レシピ(イ)の場合



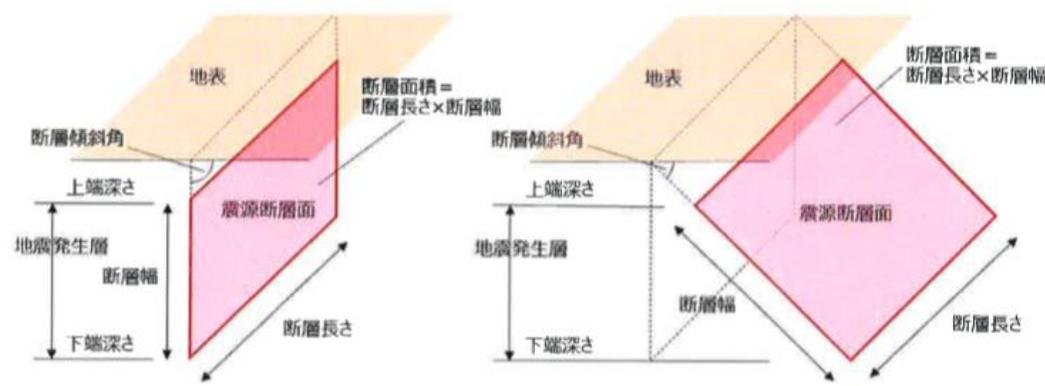
この3つの手法は、いずれも断層長さLのみからMoを導く；傾斜角（断層幅）は無関係

レシピ(ア) (入倉・三宅式) の場合



断層傾斜角が垂直 (90°) の場合

断層傾斜角が垂直でない (傾斜がある) 場合



【図表 6 8 断層傾斜角と震源断層面積との関係】

(b) 震源断層モデルの大きさ (長さ L · 幅 W) · 深さ · 傾斜角 (δ)

震源断層モデルの長さ L (km) については、(a) 震源断層モデルの位置・構造で想定した震源断層モデルの形状を基に設定する。幅 W (km) については、入倉・三宅 (2001) による下記に示した W と L の経験的關係、

$$W = L \quad (L < W_{\max}) \dots\dots\dots(1-a)$$

$$W = W_{\max} \quad (L \geq W_{\max}) \dots\dots\dots(1-b)$$

を用いる。ここで、

$$W_{\max} = T_s / \sin \delta$$

$$T_s = H_d - H_s$$

T_s : 地震発生層の厚さ (km) ($T_s \leq 20$ km)

δ : 断層の傾斜角

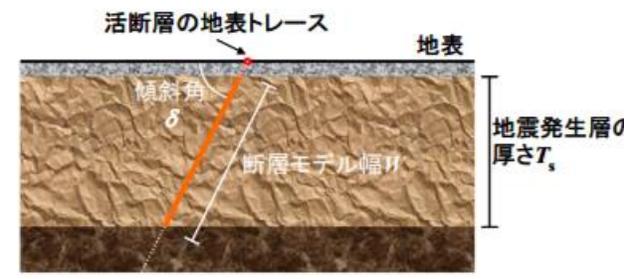
H_d, H_s : それぞれ地震発生層下限および断層モデル上端の深さ (km) (微小地震の深さ分布から決めることができる (Ito, 1999))

(1)式は、内陸地殻内の活断層で発生する地震の震源断層モデルの幅 W が、地震発生層の厚さ T_s に応じて飽和して一定値となることを示している。

$T_s = 15$ km とすると、

- $\delta = 90^\circ \rightarrow W = 15$ km
- $\delta = 60^\circ \rightarrow W = 17.3$ km
- $\delta = 45^\circ \rightarrow W = 21.2$ km
- $\delta = 30^\circ \rightarrow W = 30$ km

地震発生層の厚さ T_s と断層モデル幅 W の関係



	観測記録 10の18乗 Nm	断層長さ km	武村式	山中・ 島崎式	松田式 +武村 (1990)	入倉・ 三宅式	入倉・三宅 ／観測記録	断層 傾斜角
1891年 濃尾地震	180	69	210	180	130	52	0.29倍	90°
1930年 北伊豆地震	27	27	32	28	21	7.9	0.29倍	90°
2011年 福島県浜通り	11	19.5	17	14	11	5.5	0.5倍	60°
1927年 北丹後地震	46	33	48	41	31	12	0.26倍	90°
1943年 鳥取地震	36	30	39	34	25	9.8	0.27倍	90°
1945年 三河地震	10	21	19	17	13	19	1.9倍	30°
1995年 兵庫県南部地震	22	32	45	39	29	11	0.5倍	90°
2016年 熊本地震	47	31	42	37	27	13.7	0.29倍	60°

3. 震源インバージョンによらない パラメータSの設定について

○（地表）地震断層とは ⇒一回の地震で現れるもの

広義；地震後に地表に現れた‘ずれ’や割れ目など

（揺れと重力によるものを含む）

狭義；震源断層に直接関連するもの

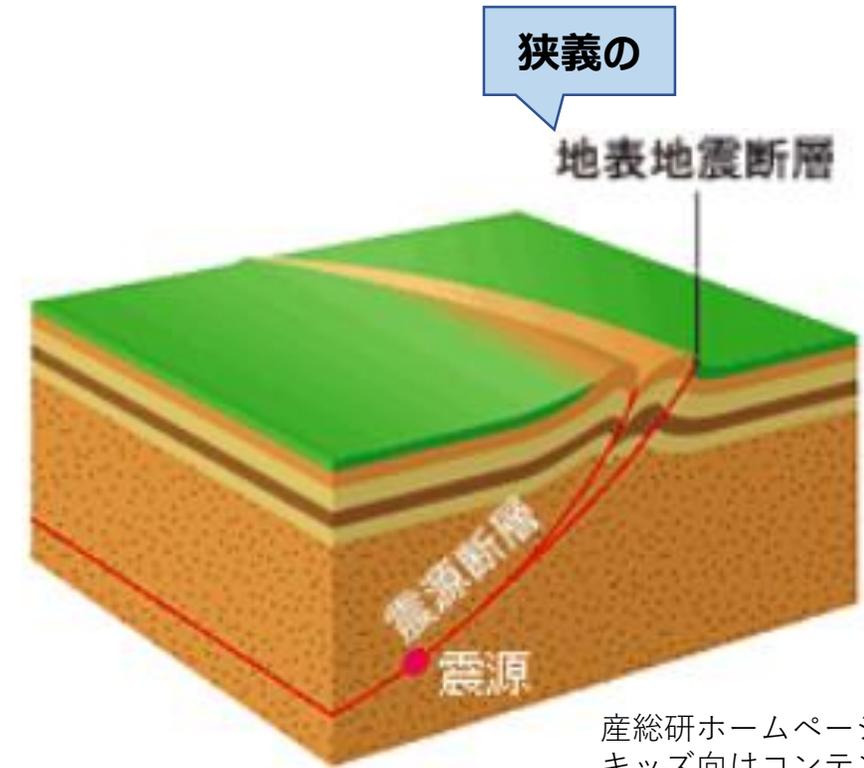
（震源断層の地表延長部）

○活断層とは：繰り返し発生する地震により、地震断層の累積によって作られた地形で、新しい時代（過去数十万年前以降）に地震が発生した証拠があり、今後も地震が発生することを示しているもの

地表は、風化・浸食によって削られる。

また、低い土地は堆積物によって埋められる。

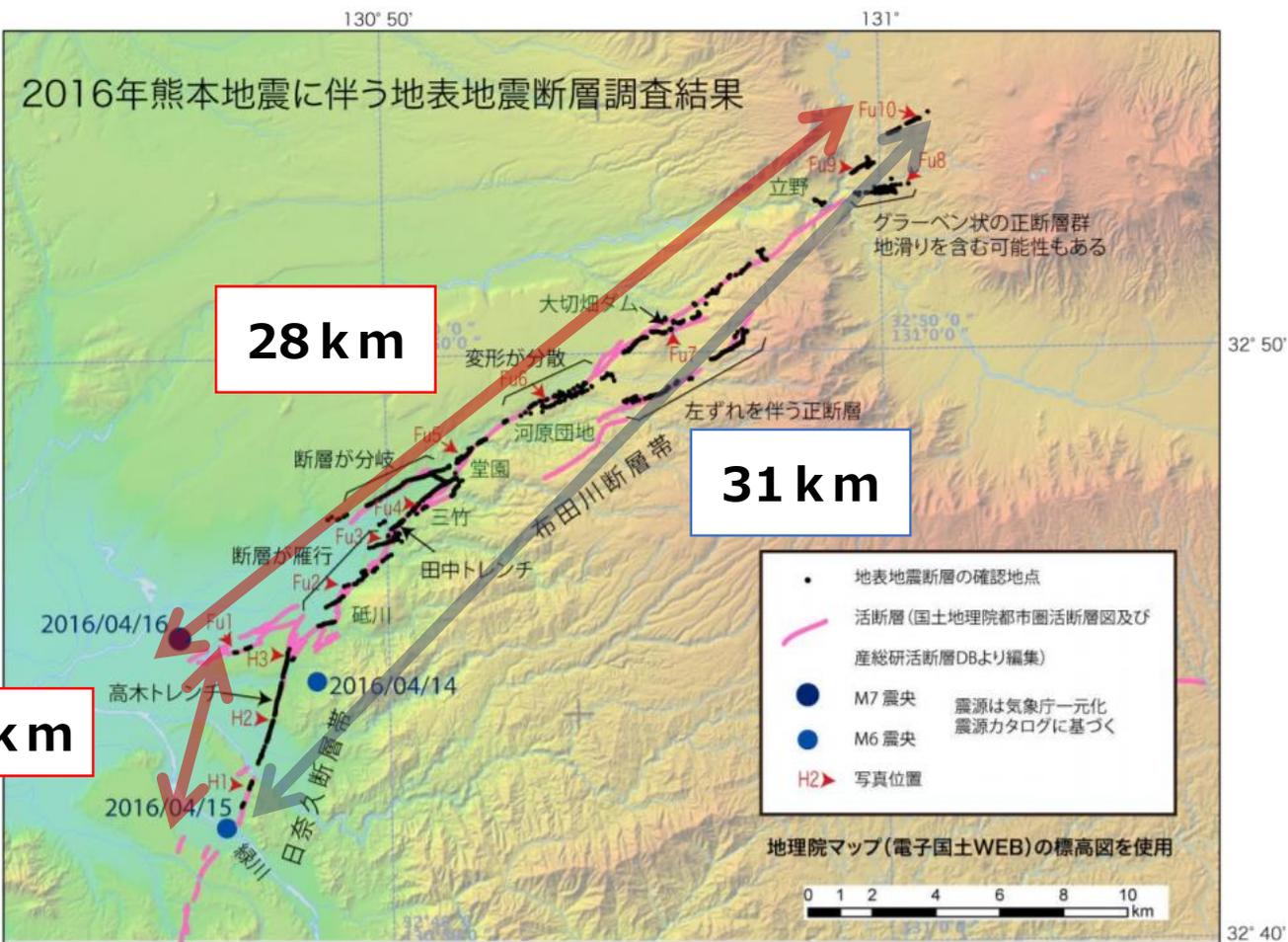
これらによって、地震断層は出現後に長い時間が経過すると薄れ、遂には消えてしまう。しかし、消える前に次の地震が起き、地震断層が同じ場所に現れれば、ずれは累積される。



産総研ホームページ
キッズ向けコンテンツ
>自然災害に対応するために
>大地のナゾの傷口！？

震源断層と地表地震断層

地震は断層運動により発生するが、その断層を震源断層という。震源断層が地表に表れたものが、地表地震断層である。



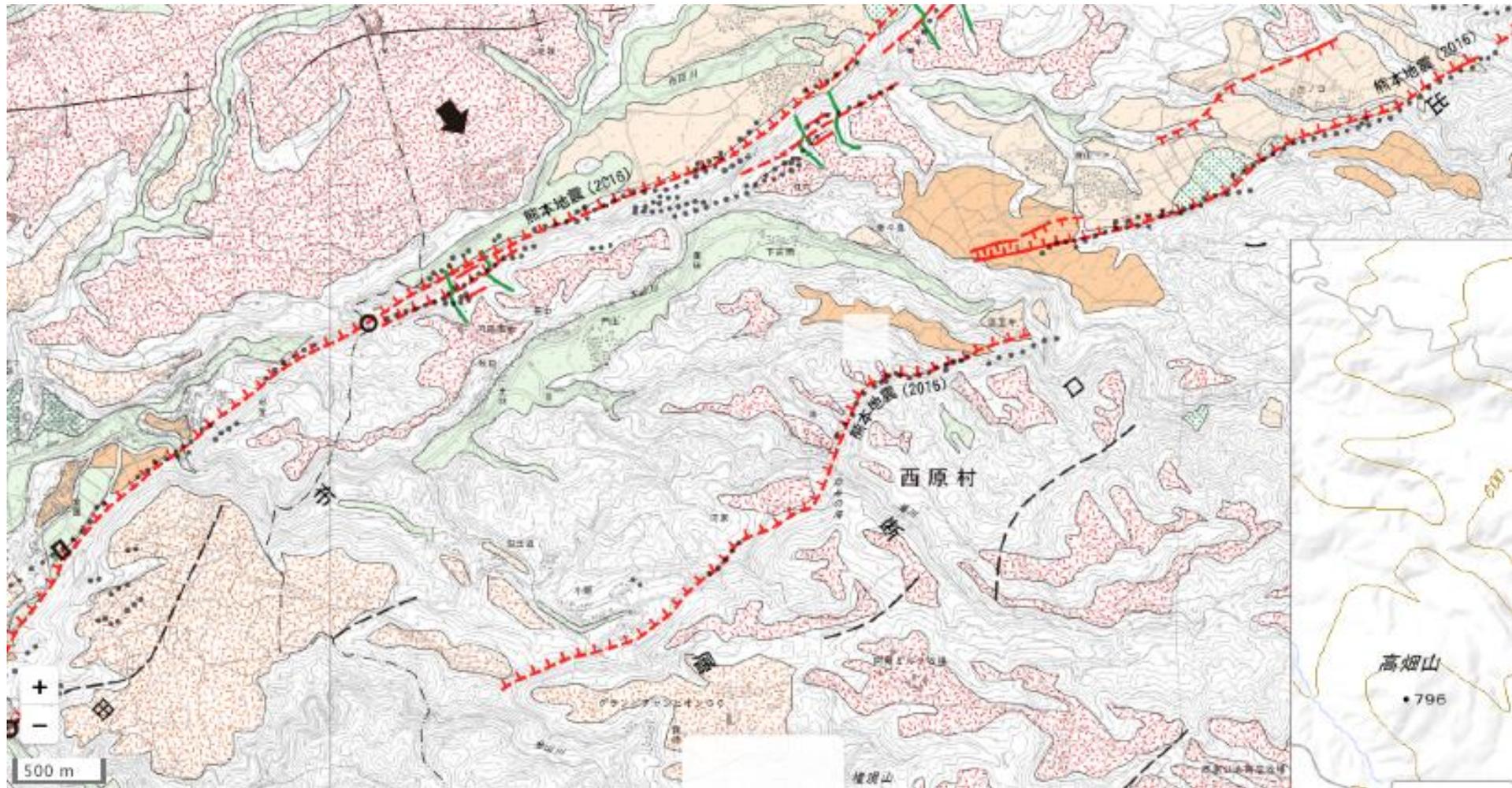
第2図 2016年熊本地震に伴う地表地震断層調査結果

産業技術総合研究所「2016年熊本地震に伴って出現した地表地震断層」



第5図 益城町における地表地震断層の位置と変位量

複雑な活断層（赤線）と地震断層（黒点線）

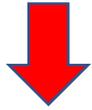


国土地理院の1:25,000活断層図「布田川・日奈久断層帯とその周辺」の『阿蘇』および『熊本』の2016年改訂版（部分）

国土地理院の1:25,000活断層図‘布田川・日奈久断層帯とその周辺’の『阿蘇』および『熊本』の2016年改訂版（部分）



布田川断層の東端は
従来より東に約3 km

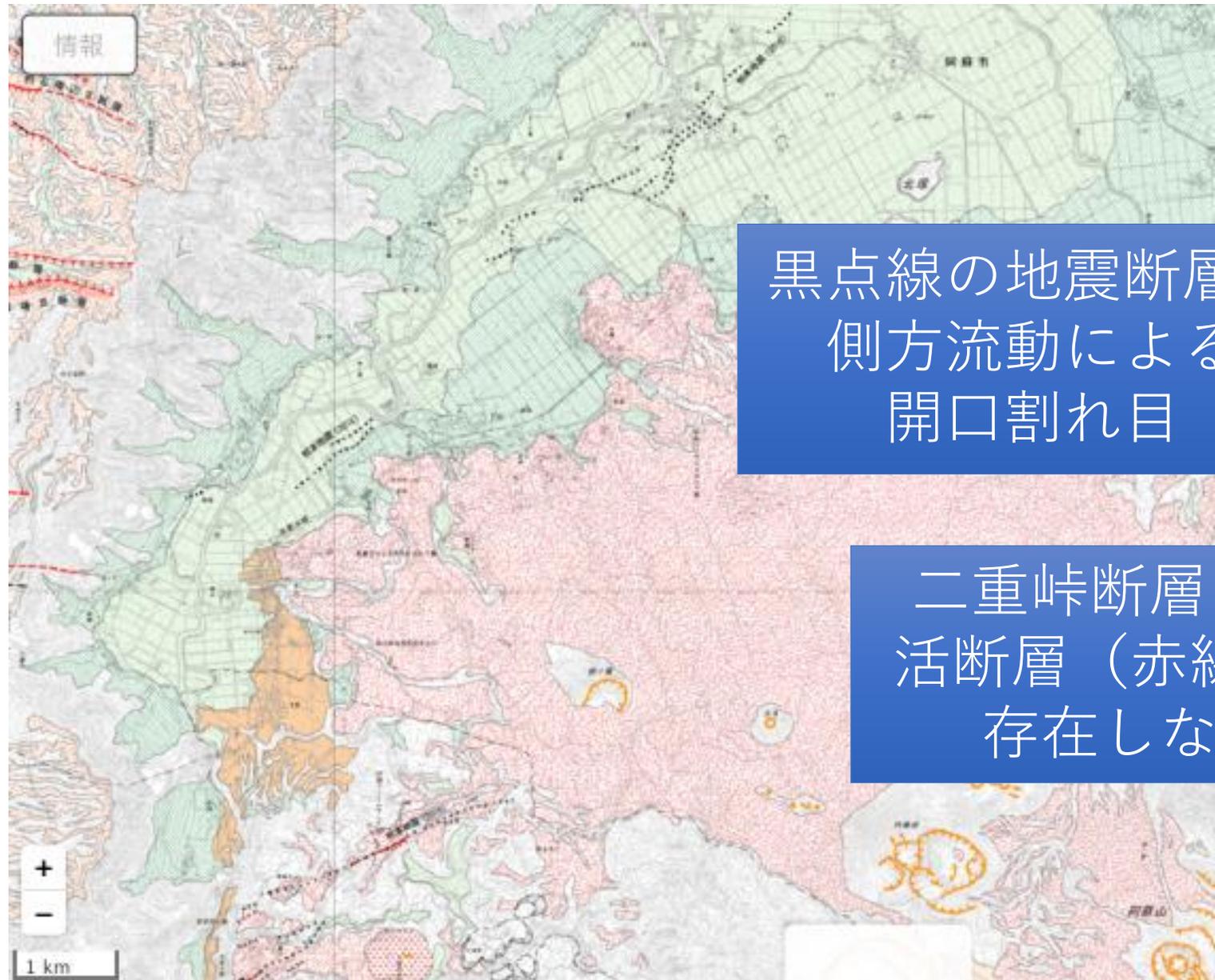


十分な調査があれば
布田川・日奈久断層帯
北東部区間は30 kmと
設定されたのでは



布田川断層
東端部

国土地理院の1:25,000活断層図‘布田川・日奈久断層帯とその周辺’の『阿蘇』の2016年改訂版（部分）



黒点線の地震断層は
側方流動による
開口割れ目

二重峠断層という
活断層（赤線）は
存在しない

国土地理院の1:25,000活断層図‘布田川・日奈久断層帯とその周辺’の『阿蘇』の2016年改訂版（部分）

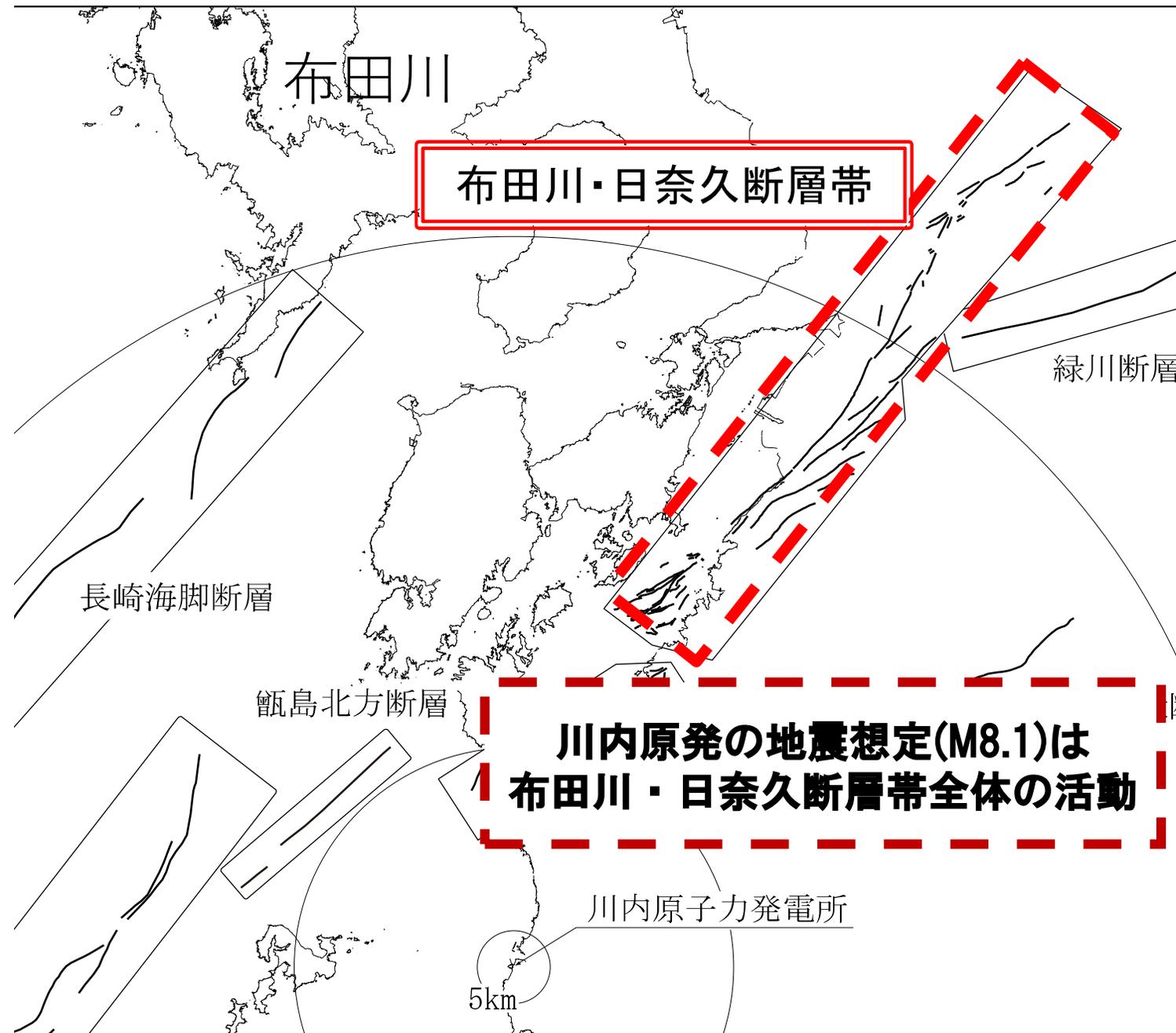
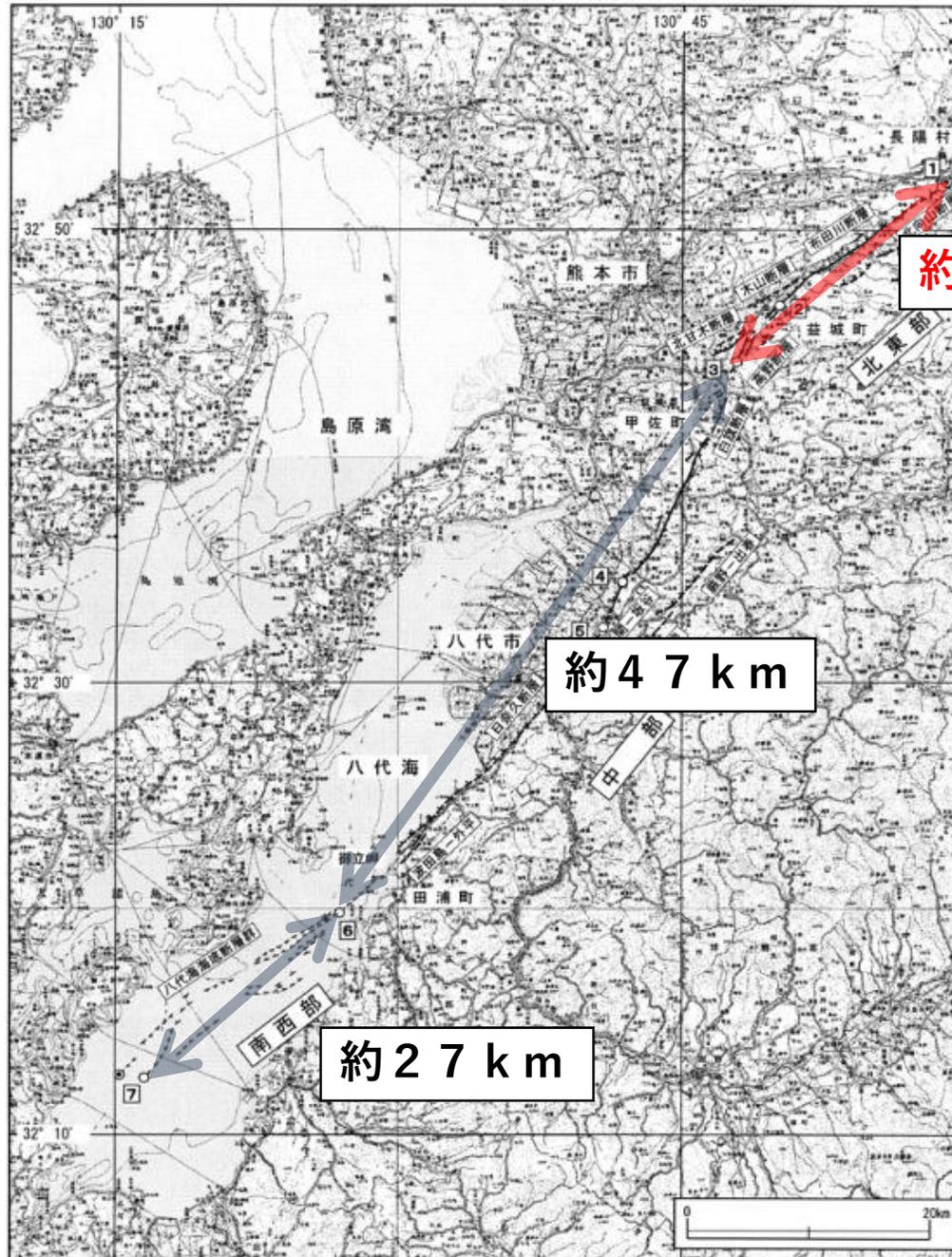


図2 布田川・日奈久断層帯の活断層位置と調査地点

地震本部(2002)
「布田川・日奈久断層帯の評価」
4頁 抜粋・加筆

図2 布田川・日奈久断層帯の活断層位置と調査地点



約27km



L=27kmを武村式に当てはめると、
 $M_o = 32 \times 10^{18} \text{Nm}$
(熊本地震の M_o は $47 \times 10^{18} \text{Nm}$ 程度)

L=30kmを武村式に当てはめると、
 $M_o = 39 \times 10^{18} \text{Nm}$

平成25年2月1日付け
地震本部「布田川・日奈
久断層帯の評価（一部改
訂）」

12頁 抜粋・加筆

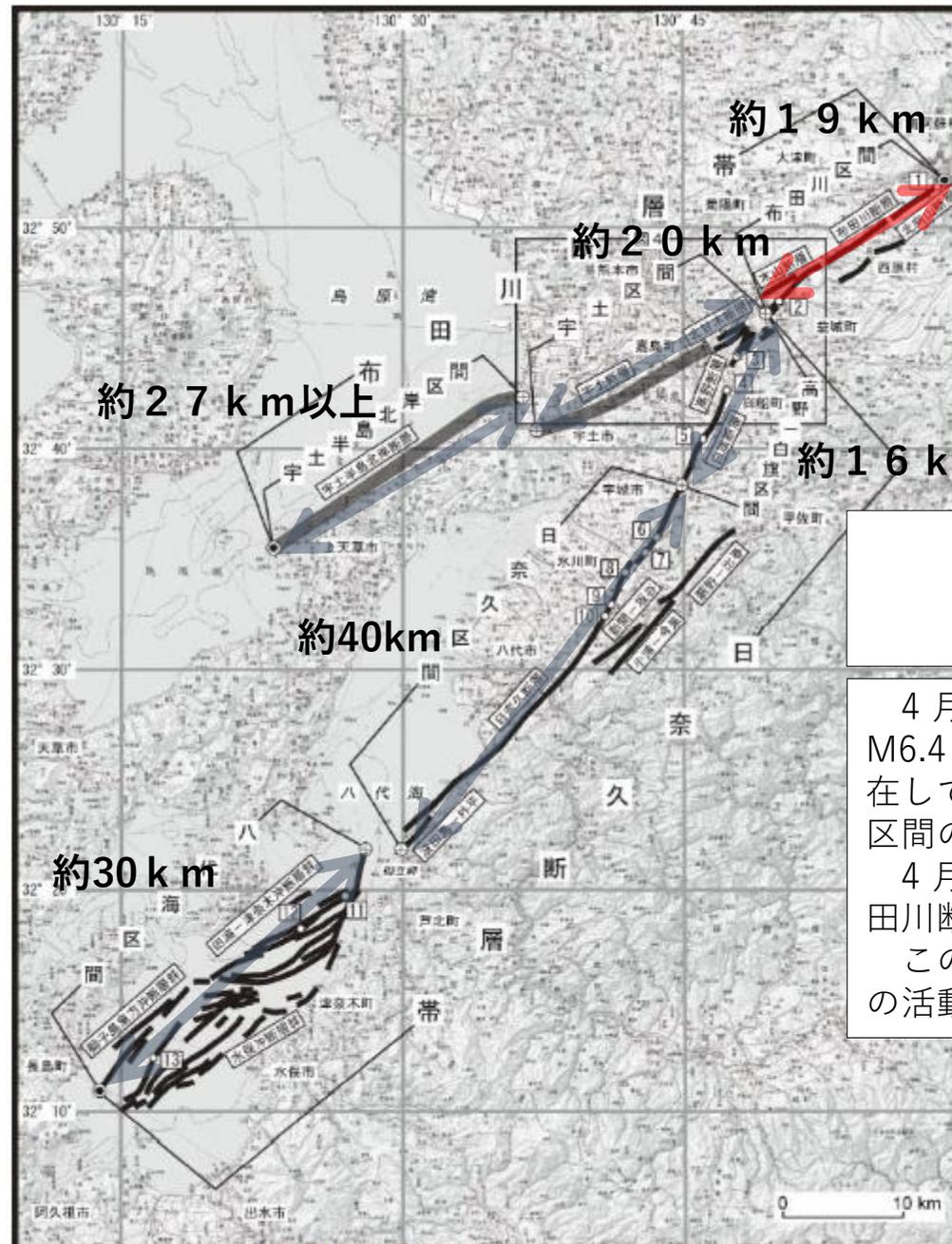


図2 布田川断層帯・日奈久断層帯の活断層位置と調査地点

平成28年熊本地震の震源断層モデル（暫定）

SAR（だいち2号）及びGNSSで観測された地殻変動から、布田川断層帯および日奈久断層帯に沿った位置に震源断層が推定された。布田川断層帯では北西傾斜の断層面とその東側延長に南東傾斜の断層面、日奈久断層帯では北西傾斜の断層面で、それぞれ右横ずれ的な動きが生じたと推定される。

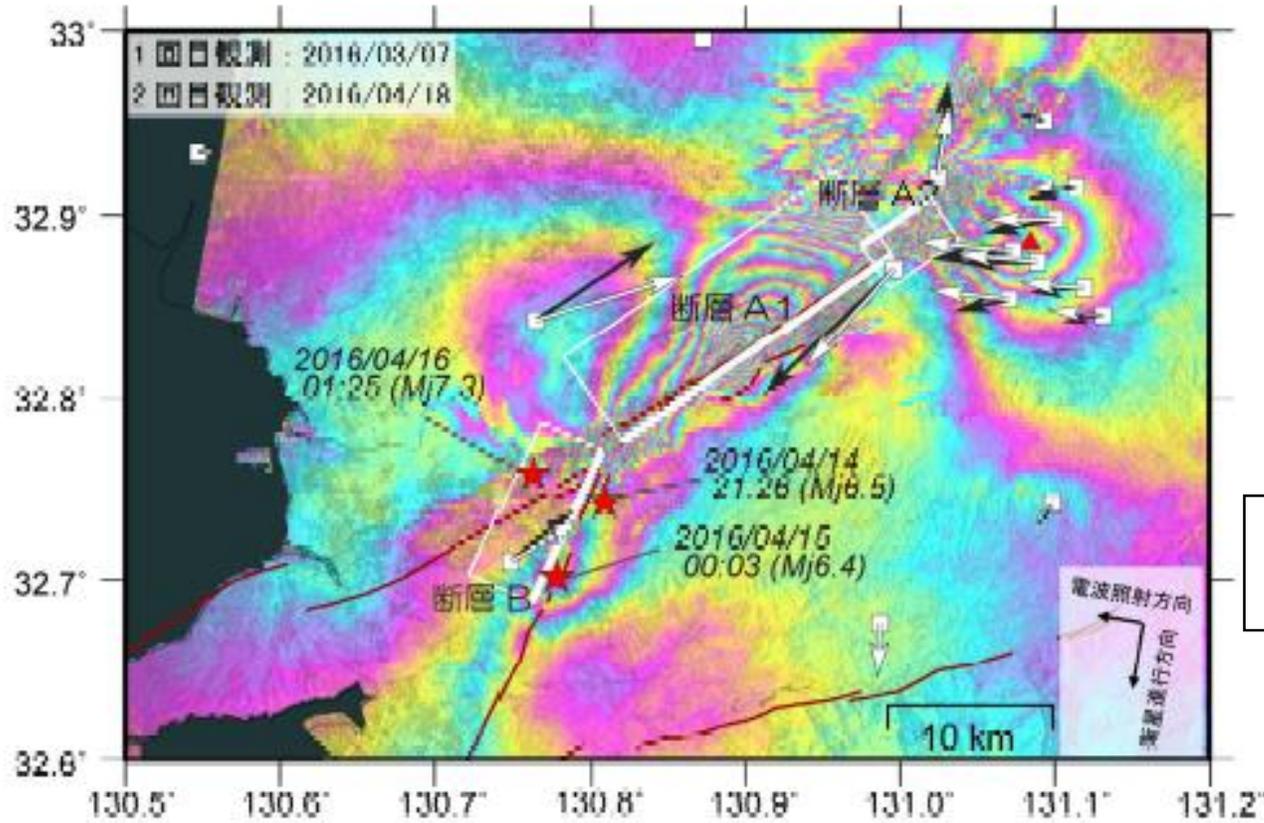


図1 干渉 SAR（観測値）と GNSS(観測値・計算値)

	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。

合計断層長さ
35.3 km

総断層面積
416 km³

平均滑り量
3.6 m

国土地理院

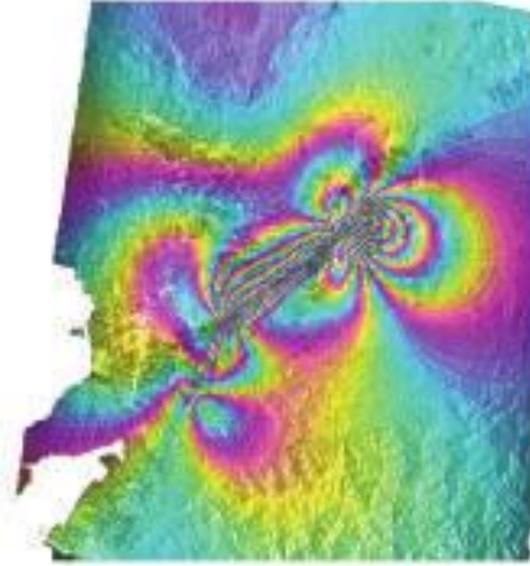
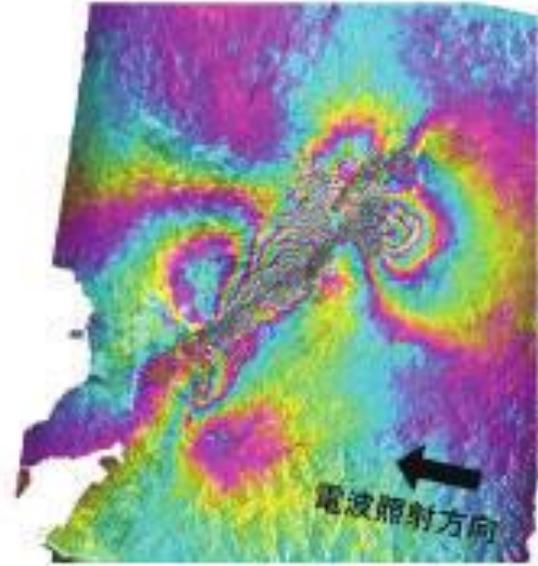
矢来博司・小林知勝・森下遊・藤原智・檜山洋平・川元智司・上芝晴香・三浦優司・宮原伐折羅: 国土地理院時報,128, 169(2016)

(b)

観測値

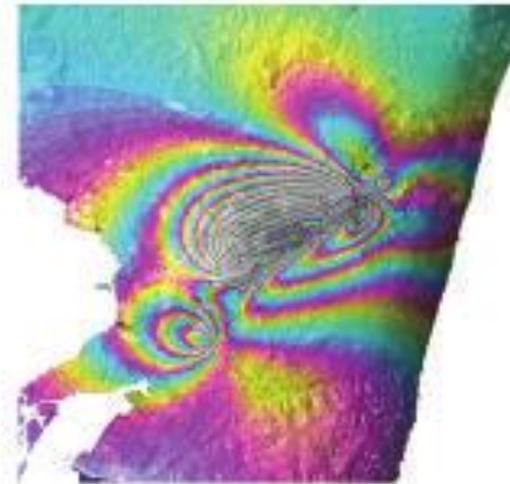
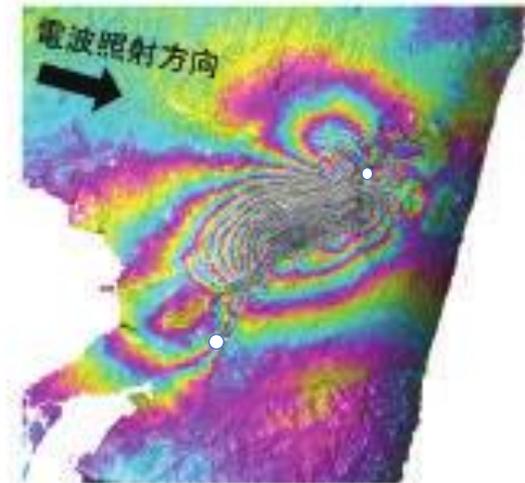
モデルからの計算値

本震ペア 2

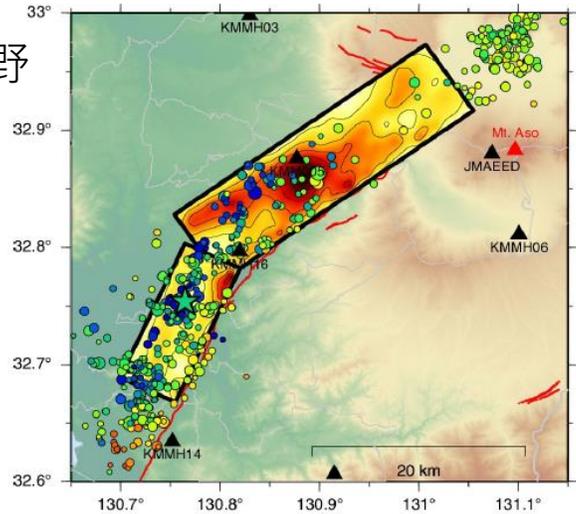
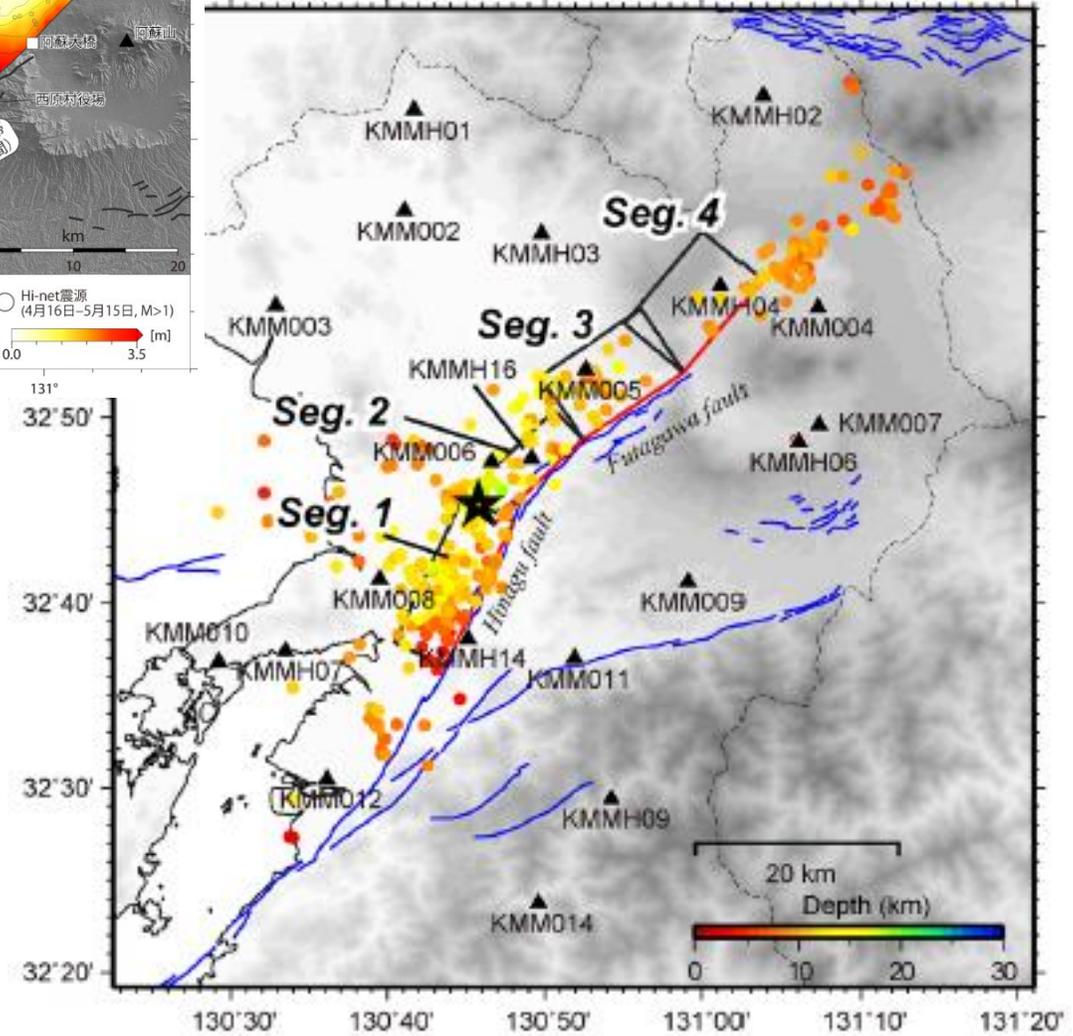
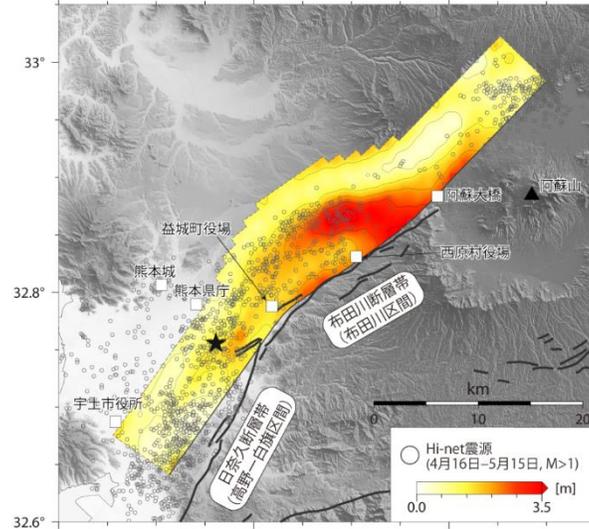
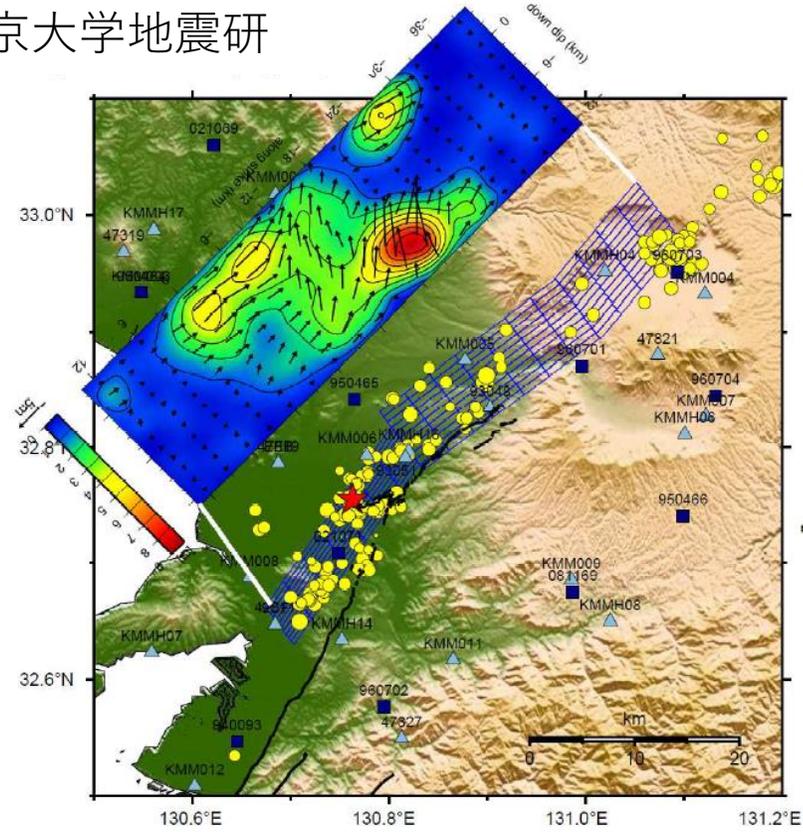


矢来他
(2016)

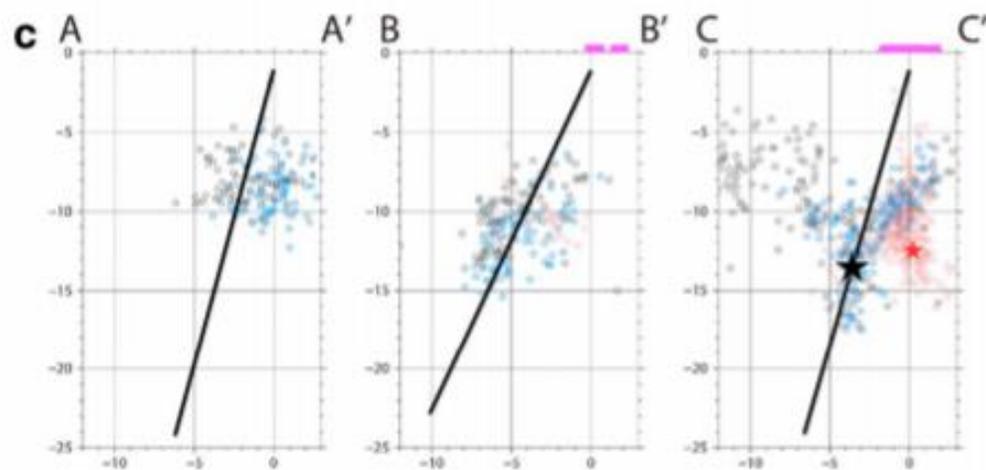
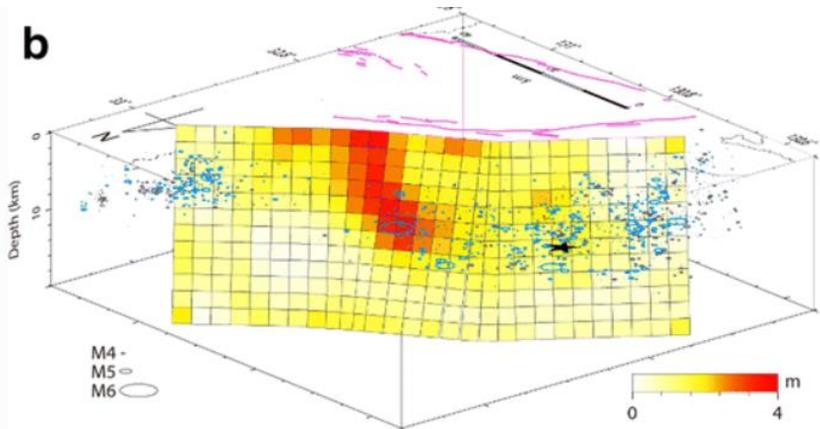
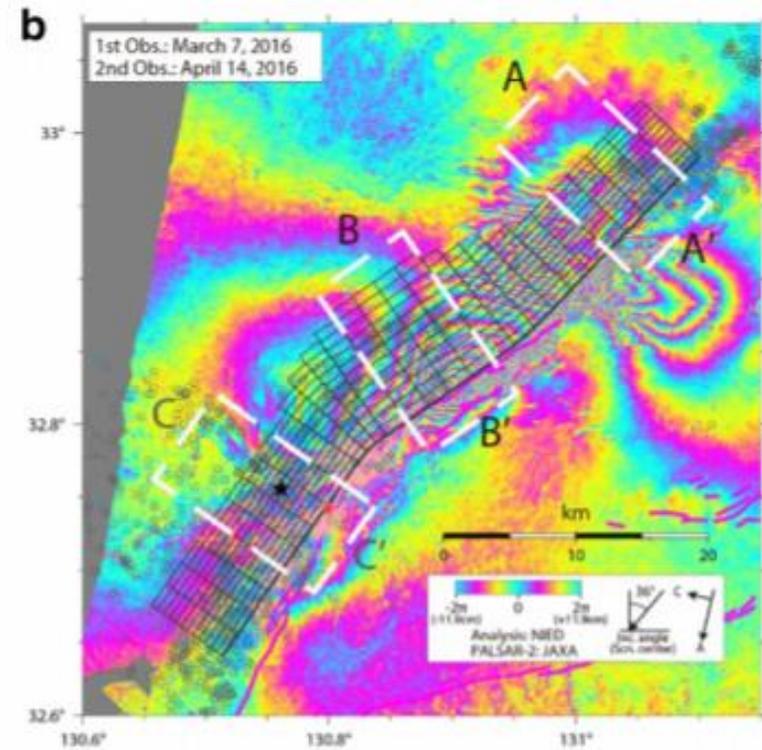
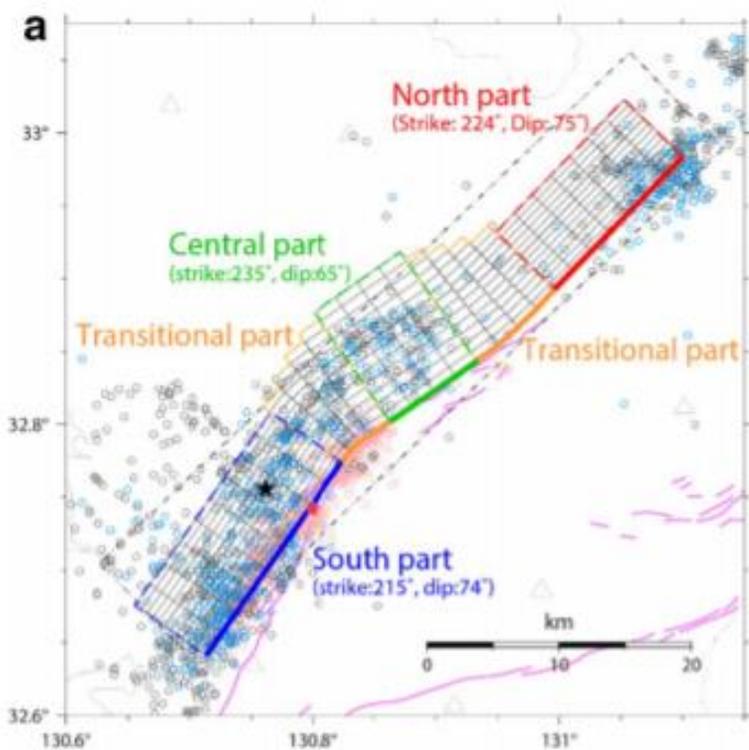
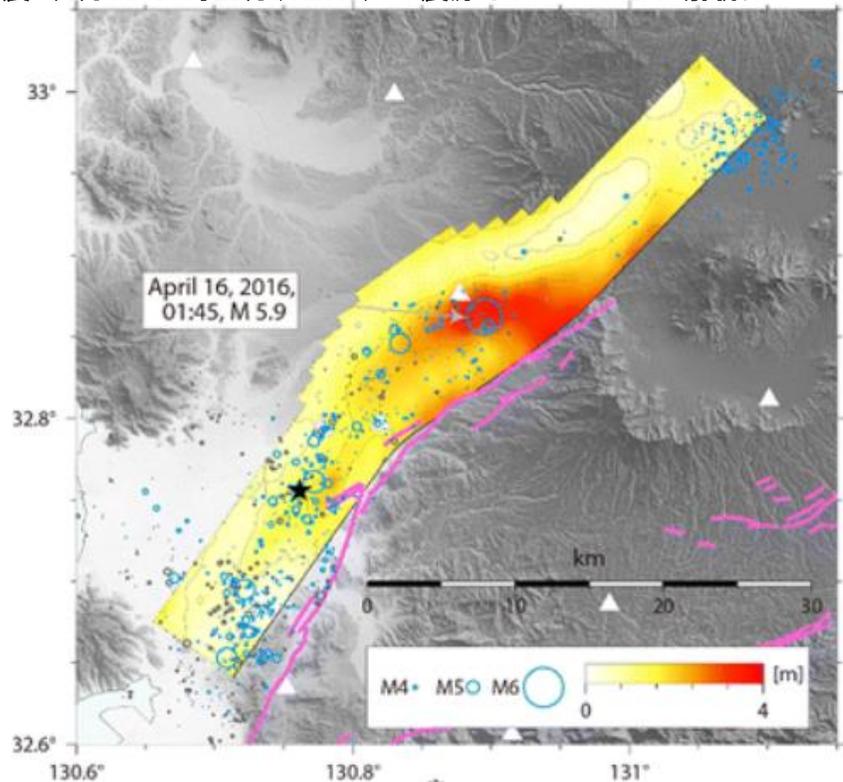
本震ペア 1



白丸は
おおよその断層
端
推定位置



Kubo et al., 2017 "Source rupture processes of the 2016 Kumamoto, Japan, earthquakes estimated from strong-motion waveforms" (近地強震記録を用いた平成28年(2016年)熊本地震(4月16日1時25分、M7.3)の震源インバージョン解析)



平成28年熊本地震の滑り分布モデル（暫定）

SAR（だいち2号）及びGNSSで観測された地殻変動から、布田川断層帯および日奈久断層帯に沿った位置に震源断層が推定された。布田川断層帯では北西傾斜の断層面とその東側延長に南東傾斜の断層面、日奈久断層帯では北西傾斜の断層面で、それぞれ右横ずれ的な動きが生じたと推定される。

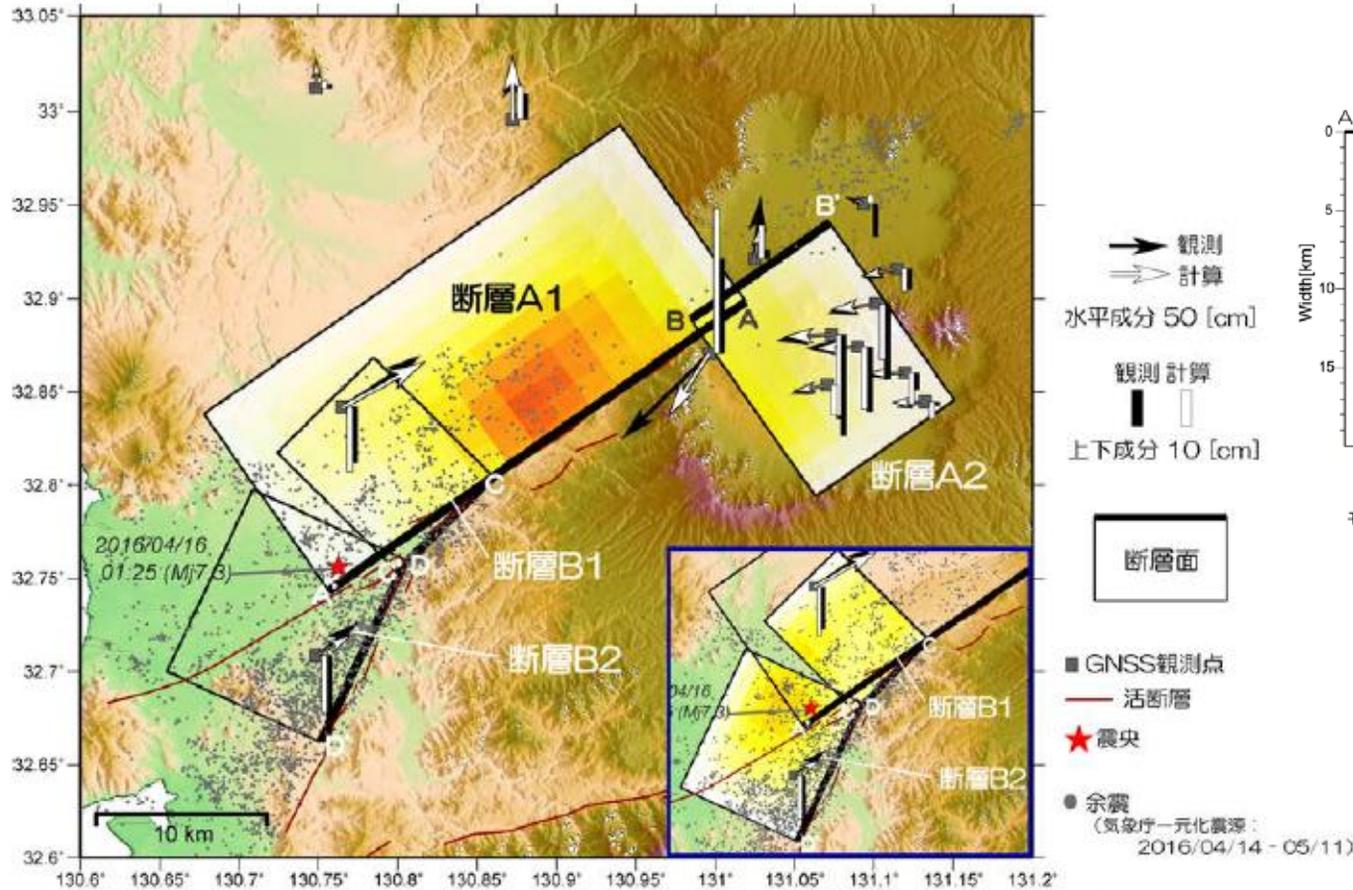


図1 断層モデルの位置とGNSSデータ(観測値・計算値)

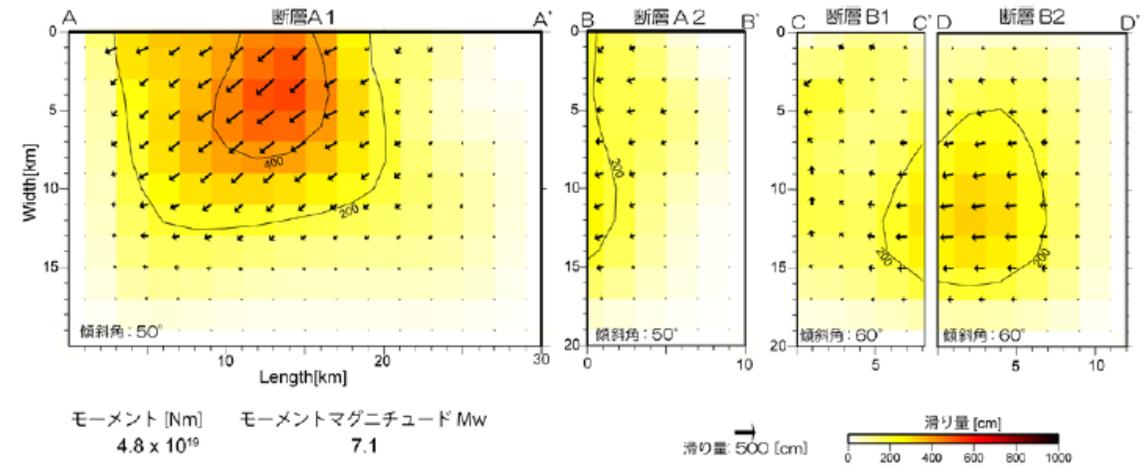


図2 推定された断層面上の滑り分布

はじめに
島崎先生の発表は、大変重要な問題提起を含んでいると思いますが、問題とされている入倉・三宅(2001)のスケーリング則が高角断層で過小評価になるという主張は、「科学的事実」と「行政的判断のあり方」が区別されずに、議論されており、大変残念に思っております。

しかしながら、島崎先生が発表で指摘されたように測地データから求めた均質な震源断層は過小評価になってしまう、という問題があります。

もう1つの問題として、宮腰・他(2015)でも指摘されていますが、地表で観測できる地表断層のずれの長さ(L_{surf})と震源インバージョンから決まる震源断層の長さ(L_{sub})は、必ずしも一致しない場合(例えば、1995年兵庫県南部地震)があり、それらを一致させるために活断層調査をどうするか、という問題は、重要です。

今回の熊本地震を例としても、事前に認定されていた活断層の長さ、地震後の認定された地表地震断層の長さ、地震後に累積地形の情報などの追加情報で活断層と認定できる長さ、さらに震源インバージョンからの震源断層長さ等が必ずしも一致していないという問題は残されています。また、断層幅についても、事前にどのように推定するかについて、経験的關係の検討が必要です。

入倉・三宅式を強震動予測や津波予測に使う場合に、過小評価にならないためにどうすれば良いかに関しては、島崎先生の主張をすべて否定しようとは思っていません。



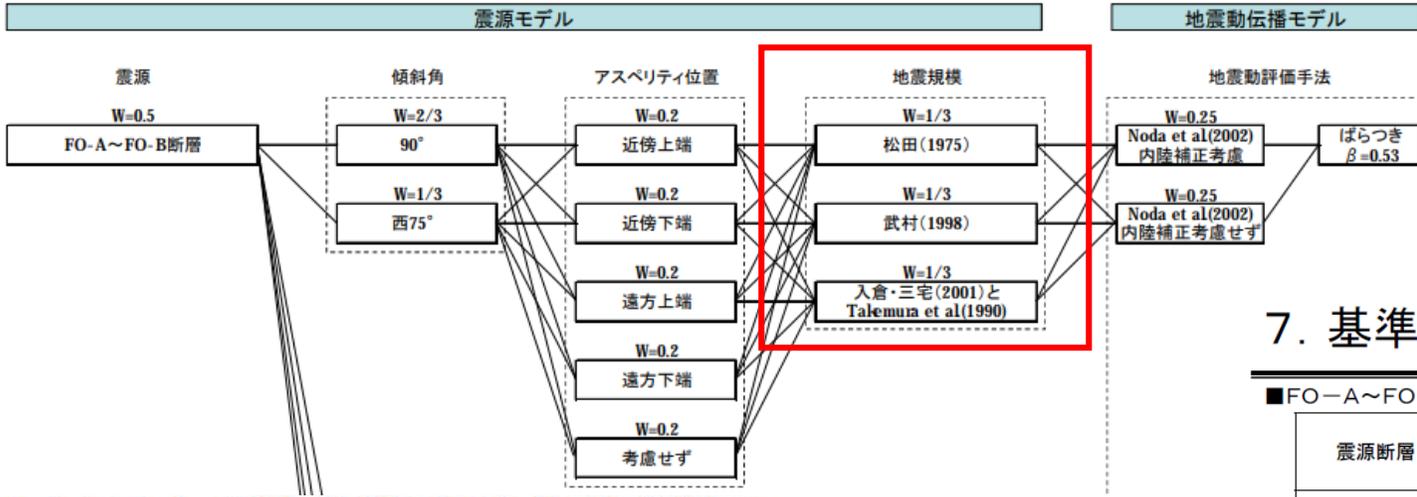
予測の際の震源断層の設定に関して事前の地表情報から震源断層が特定できるかどうかは極めて重要である。地表情報だけで真の震源断層の評価は困難な場合があることは事実である。熊本地震については、事後の地表情報でも十分な震源断層の長さの特定ができなかったことが、島崎論文で示される地表地震断層の長さ（論文では 31km、産総研の調査では 34km）と強震動の解析から推定される震源断層の長さ（42-60 km）との違いとして表れている、と考えられる。

このような場合に対して、島崎氏は 2008 年の「活断層研究」に「地質図、重力異常図を併用することにより、地下の弱面の存在とその全長を推定することができ、震源の規模、あるいは最大規模も推定できると考えられる」と述べ、解決策を提案している。島崎氏の上記の考えに対応して、地震調査委員会の長期評価部会は 2010 年 11 月「活断層の長期評価手法」報告書をまとめ、その第 3 章で「新しい活断層評価方法」を提案している。地震調査委員会における活断層評価はこの報告書の考えに沿って行われている。

入倉孝次郎「岩波科学 2016年7月号の島崎邦彦氏の「最大クラスではない日本海『最大クラス』の津波一過ちを糺さないままでは『想定外』の災害が再生産される」へのコメント」

7. 基準地震動Ssの超過確率

■FO-A~FO-B~熊川断層のロジックツリーは以下のとおり。



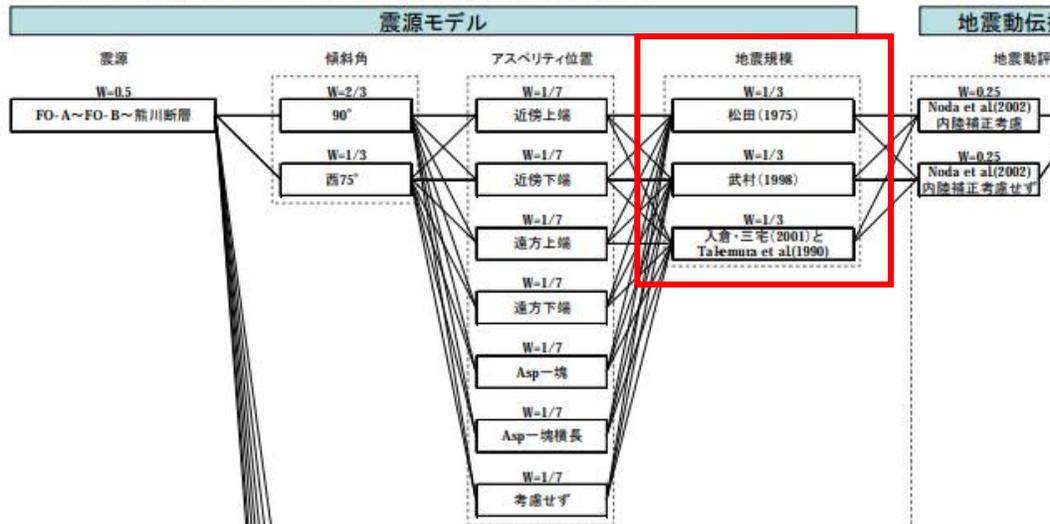
H28.2.19 大飯発電所
地震動評価について

7. 基準地震動Ssの超過確率

■FO-A~FO-B~熊川断層のロジックツリーの分岐ごとの諸元は以下のとおり。

震源断層	断層長さ (km)	傾斜角 (°)	アスペリティ	Xeq(km)	M 松田(1975)	M 武村(1998)	M 入倉・三宅(2001)と Takemura et al.(1990)	活動度	年発生頻度 (回/年)
FO-A~FO-B断層	35.3	90	近傍上端	10.3	7.4	7.5	7.2	B	8.92E-05
			近傍下端	14.8					
			遠方上端	20.0					
			遠方下端	20.8					
			考慮せず	14.8					
		75	近傍上端	9.8	7.4	7.5	7.3		
			近傍下端	14.5					
			遠方上端	19.7					
			遠方下端	20.4					
			考慮せず	14.3					
FO-A~FO-B ~熊川断層	63.4	90	近傍上端	11.0	7.8	8.0	7.7	B	4.96E-05
			近傍下端	15.2					
			遠方上端	19.3					
			遠方下端	19.9					
			Asp一塊	10.6					
			Asp一塊横長	10.4					
			考慮せず	14.9					
		75	近傍上端	10.7	7.8	8.0	7.7		
			近傍下端	15.0					
			遠方上端	19.0					
			遠方下端	19.6					
			Asp一塊	10.2					
			Asp一塊横長	10.0					
			考慮せず	14.5					

■FO-A~FO-B~熊川断層のロジックツリーは以下のとおり。



パラメータスタディ(海域活断層)

- 土木学会(2002)に基づき、不選定性が存在する因子のうち、広域応力場を合理的と考えられる範囲で変化させた数値シミュレーションを実施し、パラメータの変動範囲を補完するように広域応力場を変化させた場合の検討を行った。
- 検討対象断層の傾斜角は、調査結果に基づいた傾斜角とした。
- 海域活断層においては地盤の変動量も考慮する。

【各断層のセグメントの番号】



断層名	合計断層長さ L	平均断層幅 W	Mw ^{※1}	断層セグメント No.	上端深さ	地震発生層厚さ	傾斜角	断層セグメント幅	広域応力場	すべり角	剛性率 μ	すべり量 D ^{※2}
大陸棚外縁～B～野坂断層	49km	16.2km	7.29	①	0.0km	15.0km	60°	17.3km	90°	157°	3.5×10^{10} N/m ²	3.76m
				②						70°		
				③						46°		
				④			0°					
				⑤			90°	15.0km		11°		
				⑥						0°		
FO-A～FO-B～熊川断層	64km	15.0km	7.43	①	0.0km	15.0km	90°	15.0km	90°	30°	3.5×10^{10} N/m ²	5.32m
				②						0°		
				③						0°		

※1: 武村(1998)より、 $\log M_0 = 2.0 \log L + 16.64$ 、Kanamori(1977)より、 $M_w = (\log M_0 - 9.1) / 1.5$ の関係を用いて算出

※2: $M_0 = \mu DLW$ より算出

H28.2.19 大飯発電所
津波評価について
(一部改変)

水位変動量の大きい「大陸棚外縁～B～野坂断層」、及び「FO-A～FO-B断層～熊川断層」について詳細数値計算モデルによる検討対象波源として選定する。

Lの2乗を用いたMo過小評価の推定

武村式、山中・島崎式、レシピ（イ）、及び入倉・三宅式は、いずれも、地震モーメント M_0 が断層長 L の二乗（ L^2 ）に比例していることを示唆する。

$$M_{01} = a \times L_1^2$$

$$M_{02} = a \times L_2^2$$

$$\rightarrow M_{01} = (L_1 / L_2)^2 \times M_{02}$$

L_1 FoA～FoB～熊川断層の事前設定された断層長（63.4km）

M_{01} この断層長から推定される地震モーメント

L_2 他の地震について、事前設定が可能であった断層長

M_{02} 実際に発生した、上記「他の地震」の地震モーメント

熊本地震について、 $L_2 = 30\text{km}$ 、 $M_{02} = 47 \times 10^{18} \text{ Nm}$ とすると、

$$M_{01} = (63.4 / 30)^2 \times 47 \times 10^{18} \text{ Nm} = 210 \times 10^{18} \text{ Nm}$$

$L_2 = 34\text{km}$ とすると、

$$M_{01} = (63.4 / 34)^2 \times 47 \times 10^{18} \text{ Nm} = 163 \times 10^{18} \text{ Nm}$$

⇒**関電の設定は $50.3 \times 10^{18} \text{ Nm}$ なので、3分の1から4分の1程度の過小評価**

1891年濃尾地震について、 $L_2 = 80\text{km}$ 、 $M_{02} = 180 \times 10^{18} \text{ Nm}$ とすると、

$$M_{01} = (63.4 / 80)^2 \times 180 \times 10^{18} \text{ Nm} = 113 \times 10^{18} \text{ Nm}$$

⇒**関電の設定は $50.3 \times 10^{18} \text{ Nm}$ なので、2分の1未満の過小評価**

2. 基準地震動の策定における保守性の考慮

基準地震動の策定においては、保守性の考慮として、まず、断層長さを保守的に設定している（別紙2参照）。今回の対象の断層についても以下のとおり各断層長さを保守的に設定し、さらに、これら3つの断層の連動を考慮し、これを基本ケースとしている。

FO-A断層；約24 km（既存文献では18 km）

FO-B断層；約11 km（既存文献に記載なし）

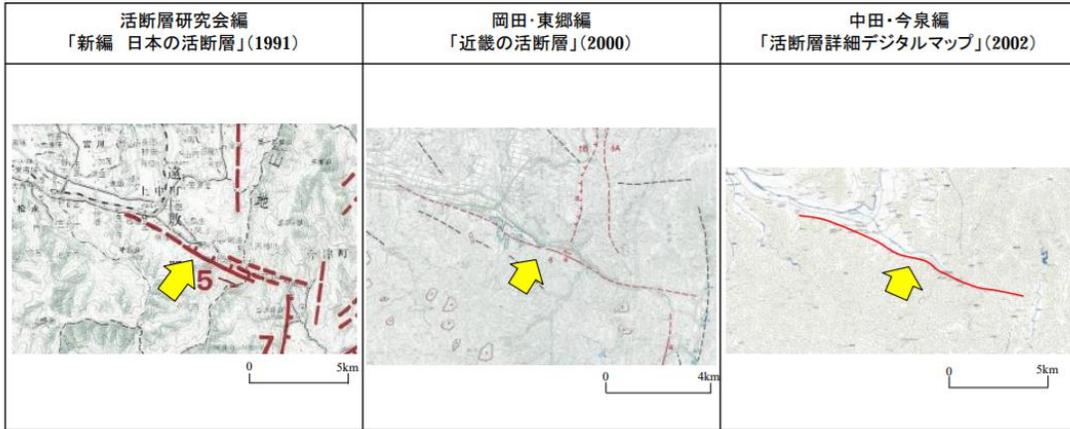
熊川断層；約14 km（既存文献では9 km又は12 km）

この基本ケースに、さらに断層幅、短周期の地震動レベル、アスペリティ配置等の不確かさを考慮している。

H25.11.1付け 「大飯発電所 地震 動評価について」

熊川断層に関する文献調査結果

2-10



断層名	長さ	確実度	変位の向き
5 熊川断層	9km	I	左横ずれ 南側隆起

確実度 I : 活断層であることが確実なもの
 確実度 II : 活断層であると推定されるもの
 確実度 III : 活断層の疑いがあるリニアメント

断層名	長さ	確実度	変位の向き
6 熊川断層	12km	I	左横ずれ

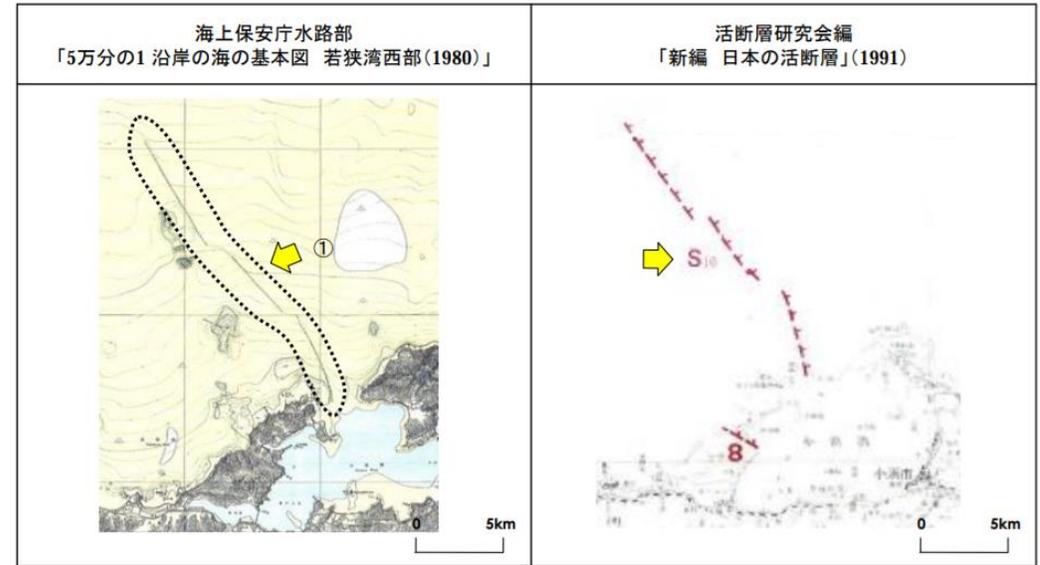
活断層の確実度
 確実度 I : 活断層であることが確実なもの
 確実度 II : 活断層であると推定されるもの
 断層組織地形
 連続性に富むシャープなリニアメント (L)
 主なリニアメント

断層名	長さ	分類	変位の向き
熊川断層帯	12km (図説)	活断層	左横ずれ 南側隆起

活断層 : 過去に繰り返し動いてきた跡が地形に現れ、今後も活動を繰り返すと考えられる断層
 推定活断層 : 地形的な特徴により活断層の存在が推定されるが、現時点では明確には特定できないもの

FO-A断層に関する文献調査結果

2-40



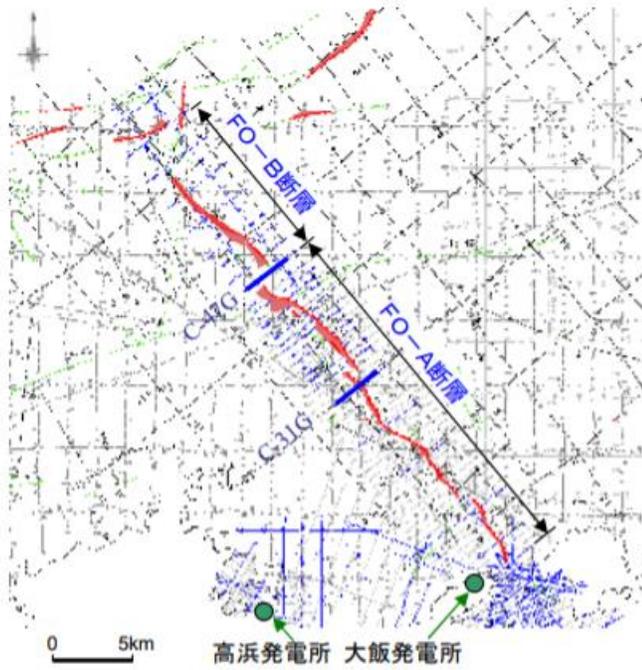
断層名	長さ	分類	変位の向き
①名称なし	約18km	推定断層	南西側隆起

断層名	長さ	分類	変位の向き
若狭湾断層群 S10	18km	推定断層 (確実度 II)	南西側隆起

確実度 I : 活断層であることが確実なもの
 確実度 II : 活断層であると推定されるもの
 確実度 III : 活断層の疑いがあるリニアメント

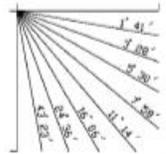
FO-A断層に関する調査結果

2-41



■■■■■ : 後期更新世以降の活動が認められる断層及び拗曲
■■■■■ : 後期更新世以降の活動が認められない断層及び拗曲

V.E. ≒ 6

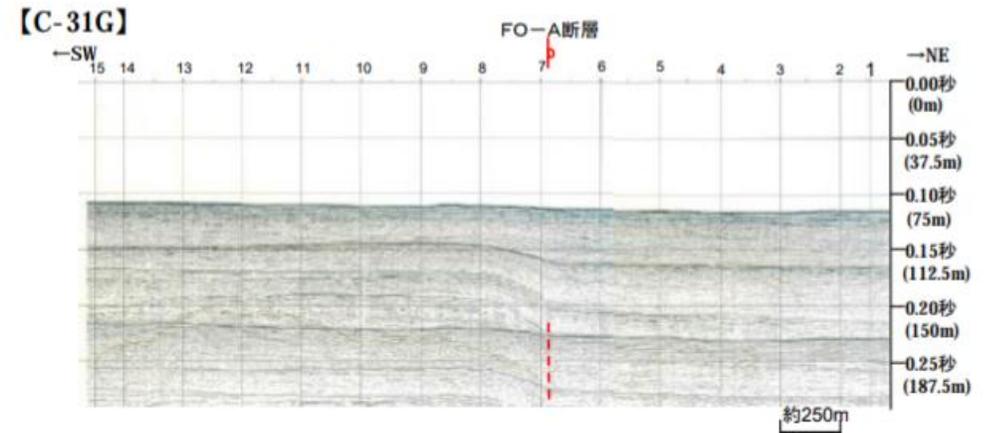
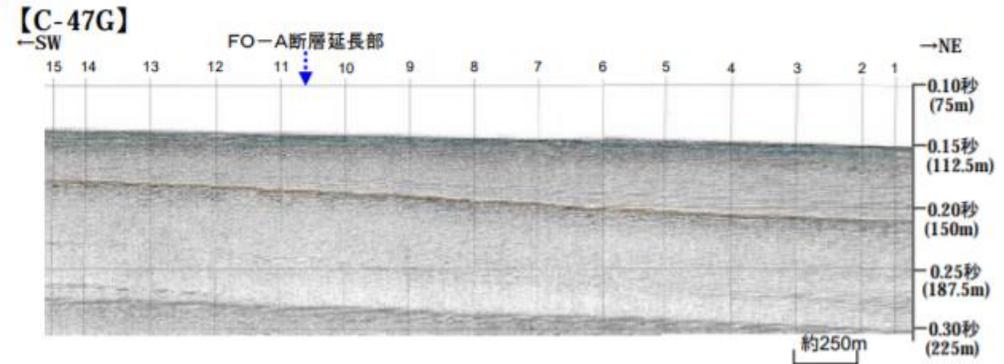


数字(角度)は水平・垂直比が1:1の傾斜角度

凡例

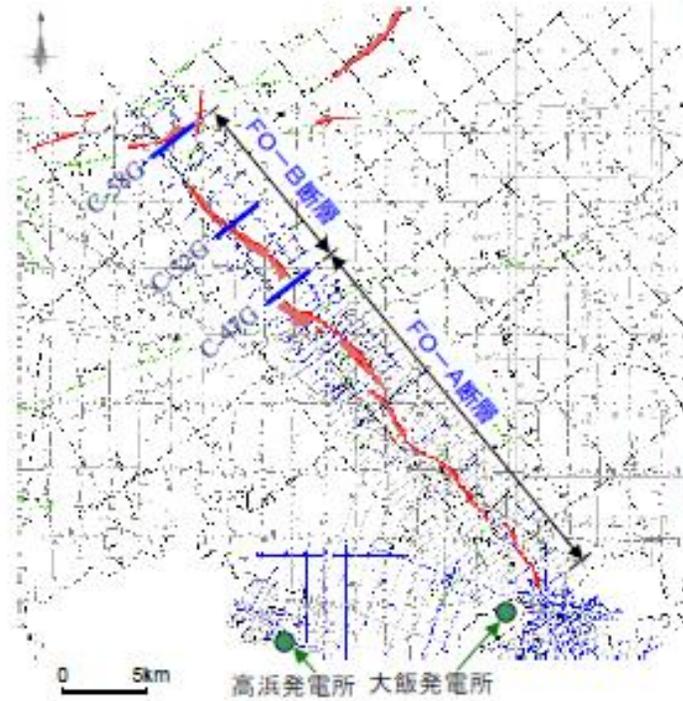
— B層上面
— C層上面
— R層上面

断層の北端部、南端部は後期更新世以降の地層に変位・変形が認められないことにより確認。

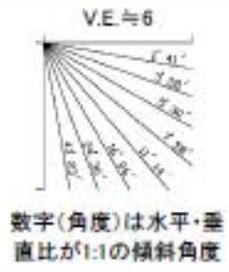


FO-B断層に関する調査結果

2-43



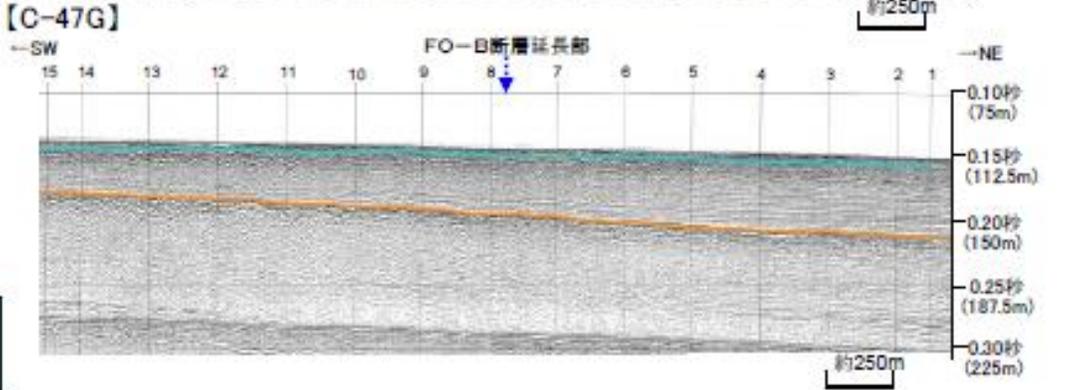
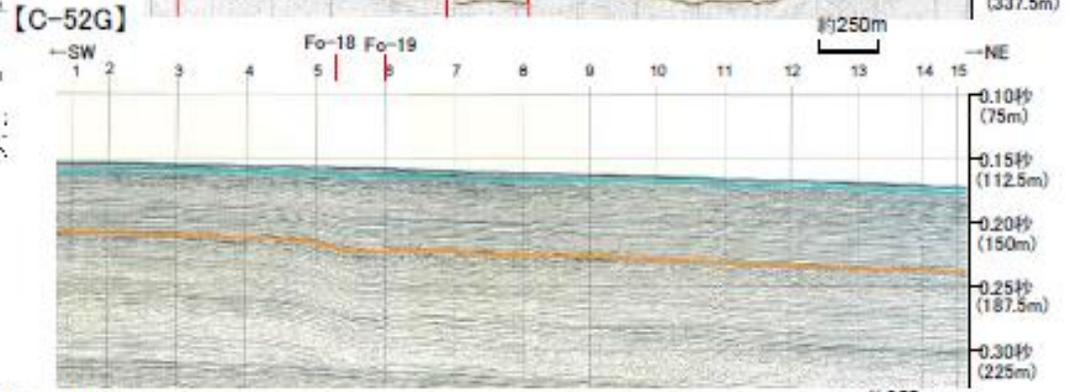
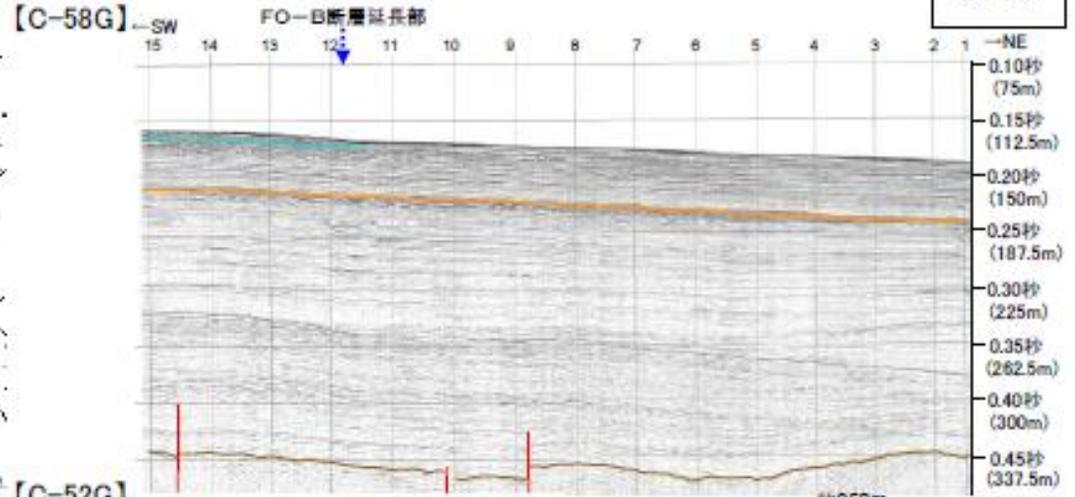
--- 後期更新世以降の活動が認められる断層及び拗曲
--- 後期更新世以降の活動が認められない断層及び拗曲



凡例

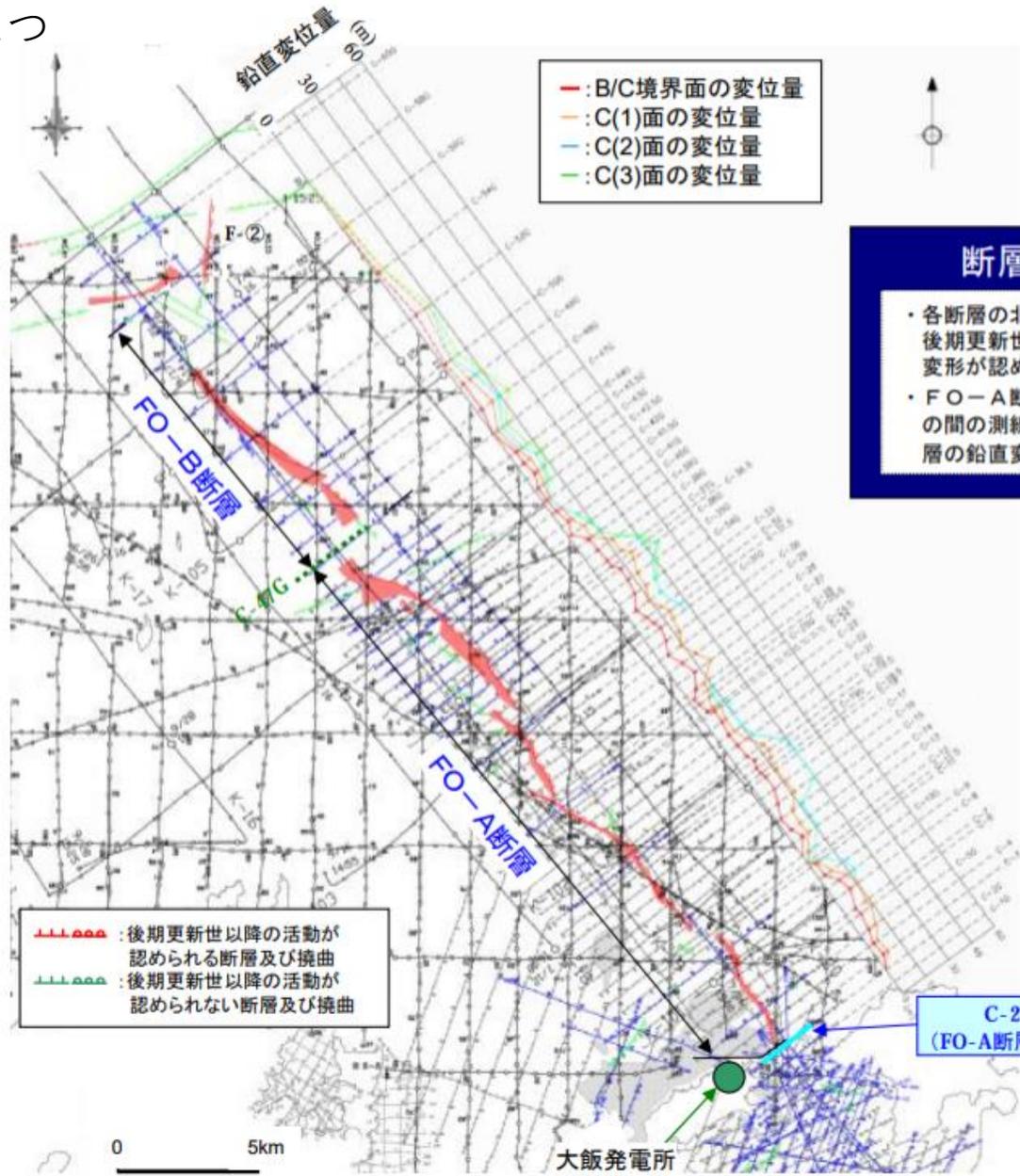
- B層上面
- C層上面
- R層上面

断層の北端部、南端部は後期更新世以降の地層に変位・変形が認められないことにより確認。



FO-A断層, FO-B断層の評価

2-44



- : B/C境界面の変位量
- : C(1)面の変位量
- : C(2)面の変位量
- : C(3)面の変位量

断層の連続性

- 各断層の北端部、南端部では、後期更新世以降の地層に変位・変形が認められない。
- FO-A断層とFO-B断層の間の測線C-47Gには、堆積層の鉛直変位量が認められない。

断層の活動性

後期更新世以降の活動あり

・FO-A断層: 約24km
・FO-B断層: 約11km
・両断層の連動を考慮

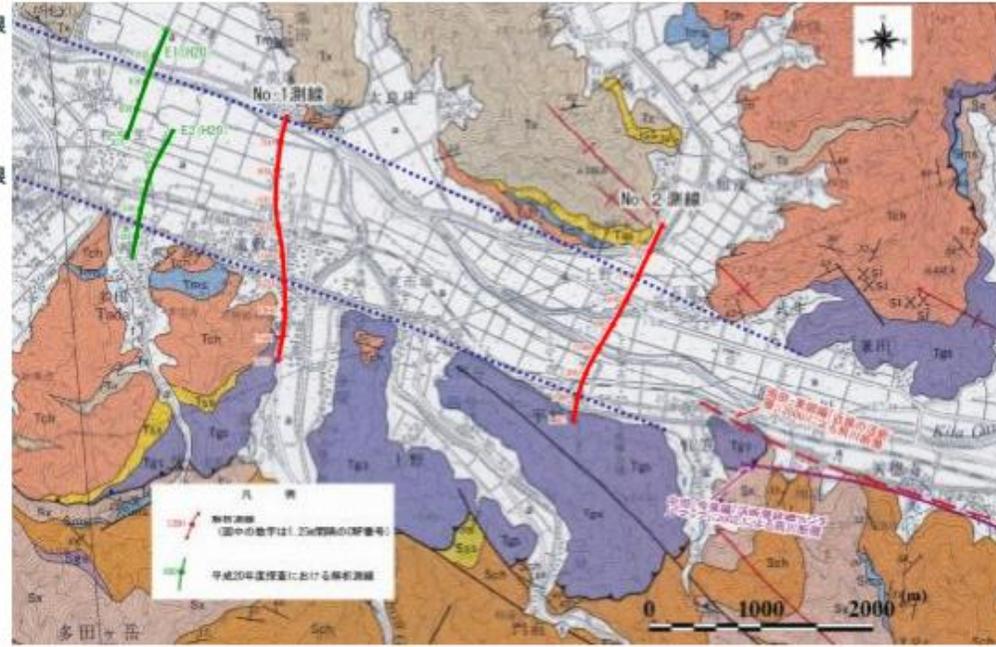
---: 後期更新世以降の活動が認められる断層及び撓曲
---: 後期更新世以降の活動が認められない断層及び撓曲

熊川断層西端に関する補足調査結果 (H24年度反射法地震探査結果)

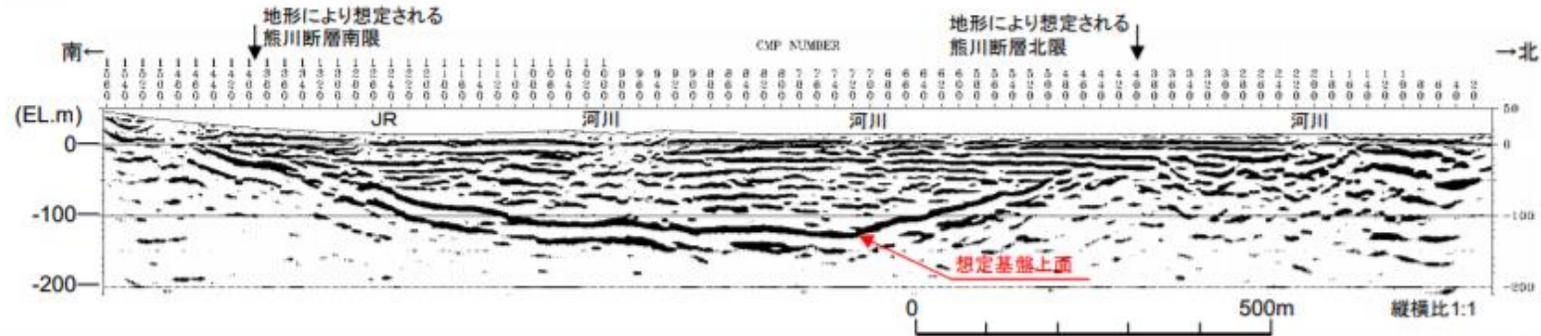
2-16

地形により想定される熊川断層北限

地形により想定される熊川断層南限



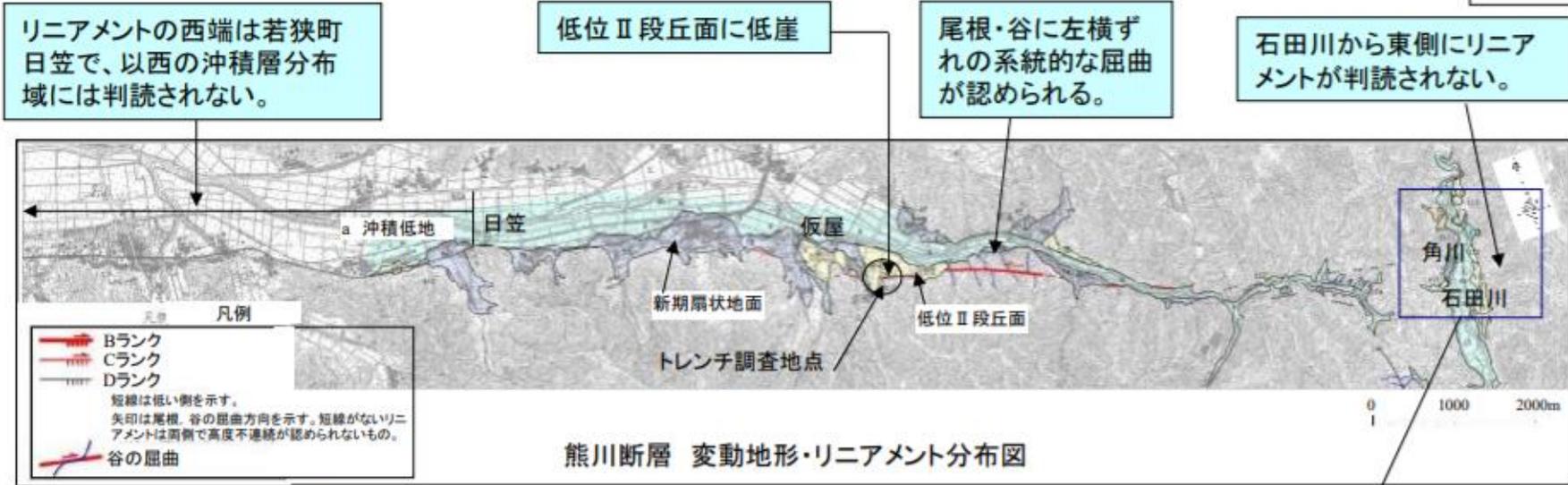
No. 2測線



- 既往反射法地震探査測線の東側、約4km離れた小浜市平野付近 (No. 2測線) において実施した反射法地震探査の結果、基盤岩上面 (想定) や堆積層中に断層による変位・変形が認められない。
- 文献 (変動地形学的調査) で示された熊川断層の端部と整合する。
- 今回の補足調査の結果、従来、小浜市和久里付近としていた熊川断層の西端を小浜市平野付近とし、長さを14kmとする。

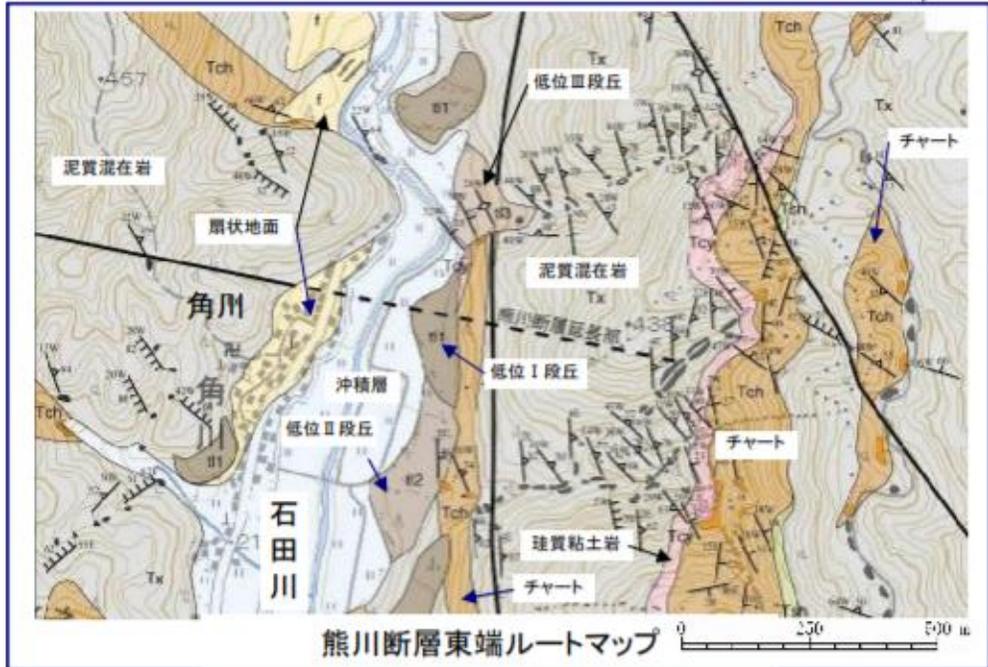
熊川断層に関する地形調査結果及び東端付近の地表地質調査結果

2-11



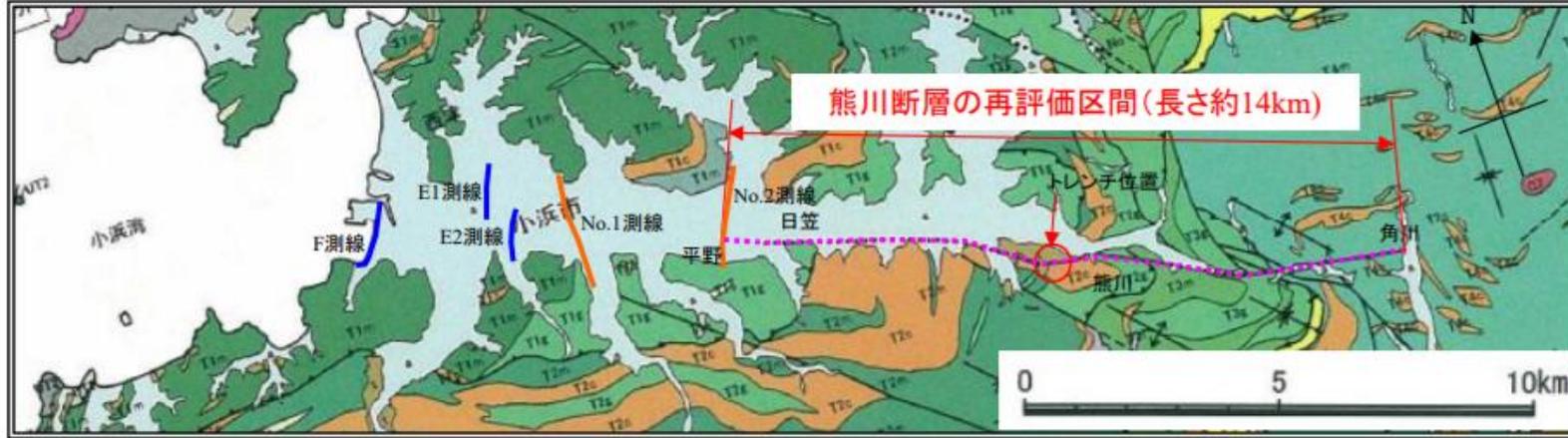
- リニアメント延長部に健岩露頭が密に分布し、断層は認められない。
- 岩盤中のへき開や層理面はNNW方向が卓越。
- NNW方向に延びるチャートには変位が認められない。

熊川断層は、石田川から東方には延びない。



熊川断層の評価

2-17



断層の活動性

- ・後期更新世以降の活動あり。
- ・最新活動時期は、始良Tnテフラ降灰時(約2.6~2.9万年前)以降かつ阪手テフラ降灰時(約1.6万年前)以前。

断層の連続性

- ・西端: No. 2測線において実施した反射法地震探査の結果、基盤岩上面(想定)や堆積層中に断層による変位・変形が認められないことから小浜市平野付近とする。
- ・東端: リニアメントが石田川から東側には判読されないこと、東側延長部には健岩が密に分布し断層が認められないこと、さらにNNW方向に延びるチャートに左ずれの変位が認められないことから、角川付近とする。

長さ約14kmの活断層と評価

① 内陸地殻内地震

内陸地殻内地震については、気象庁震度階級関連解説表の記載によると、地震によって建物等に被害が発生するのは震度 5 弱（1996 年以前は震度 V）程度以上であると考えられることから、過去の地震及び活断層による地震から、敷地に影響を及ぼすものを抽出した。そのうち敷地で想定される震度が最も大きい FO-A～FO-B～熊川断層による地震を検討用地震として選定した。FO-A～FO-B断層と熊川断層については、約 15km の離隔を有し、両断層間が連続するような地質構造等は認められないが、連動を考慮して地震動評価を行うこととした。

また、FO-A～FO-B～熊川断層以外の敷地に影響を及ぼす地震について、Noda et al. (2002)の方法により求めた応答スペクトルの比較を行った結果、長周期側の地震動レベルが大きい上林川断層による地震を検討用地震として選定した。

規制委員会は、審査の過程において、申請者が当初、FO-A～FO-B断層と熊川断層の同時活動を考慮する必要はないと評価していたため、敷地の前面に存在する FO-A～FO-B断層と熊川断層との間に断層の有無が不明瞭な区間が相当あり、連動破壊を否定することは難しいことから、検討用地震の選定に際しては、敷地に与える影響が大きくなるよう、FO-A～FO-B断層と熊川断層が連動する場合を考慮することを求めた。

これに対して、申請者は、これらを反映して検討用地震の選定に係る評価を示した。

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■断層上端深さについて、下記の を参考にして検討した。

シナリオ地震の強震動予測

入倉孝次郎・三宅弘恵, 2001, 地学雑誌, 110(6)

微小地震の浅さ限界 H_s はP波速度5.8~5.9km/sの層の上限と良い相関がある。

近畿地方北部の地震波速度構造と地震発生層

吉井弘治・伊藤潔, 2001, 地球惑星科学連合学会2001年合同大会

1989年に実施された岐阜県藤橋村から兵庫県上郡町における人工地震探査データをもとに、波線追跡法によって地殻の詳細な速度構造を求め、得られた速度構造モデルと、地震活動の深さ断面とを比較し、地震発生層の上限は速度構造が6km/sとなるところにおおむね一致していることが分かった。

広角反射法および屈折法解析による近畿地方の地殻構造の推定

廣瀬一聖・伊藤潔, 2006, 京都大学防災研究所年報, 第49号B, pp307-321

浅い地殻内で発生する微小地震は、P波速度が5.8~6.4km/sの層に集中しており、その上下には地震波速度境界が存在する。

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■地盤速度構造による地震発生層の検討

若狭周辺地域において、大都市大震災軽減化特別プロジェクト(大大特)による大規模な地下構造探査が実施されており、内陸地殻内地震が発生する上部地殻に相当する $V_p=6.0\sim 6.2\text{km/s}$ 層は、深さ約6~16kmであった。また、速度構造断面図に気象庁一元化カタログによる測線に沿う幅20kmの範囲内の震源分布は、 $V_p=6.0\sim 6.2\text{km/s}$ 層に対応している。

○新宮—舞鶴測線(2004)の探査結果

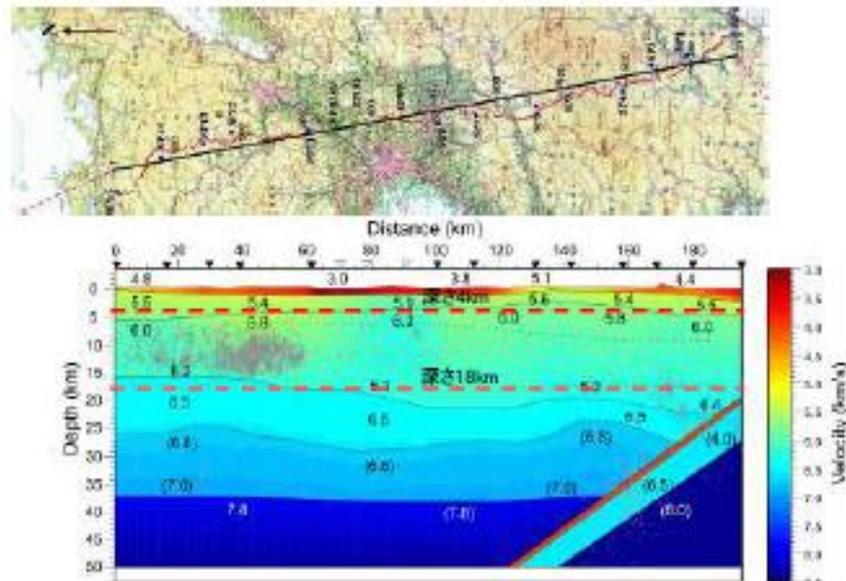


Fig. 9 P-wave velocity structure for the Niinohashi line. Parameters show P-wave velocities in km/s. Parentheses show assumed velocity values. Small black and red dots (about 35-40km depth) show earthquakes and low-frequency earthquakes, respectively after Hase and Ito (2007).

伊藤、他(2007)に一部加筆

○藤橋—上郡測線(1989)の再解析結果

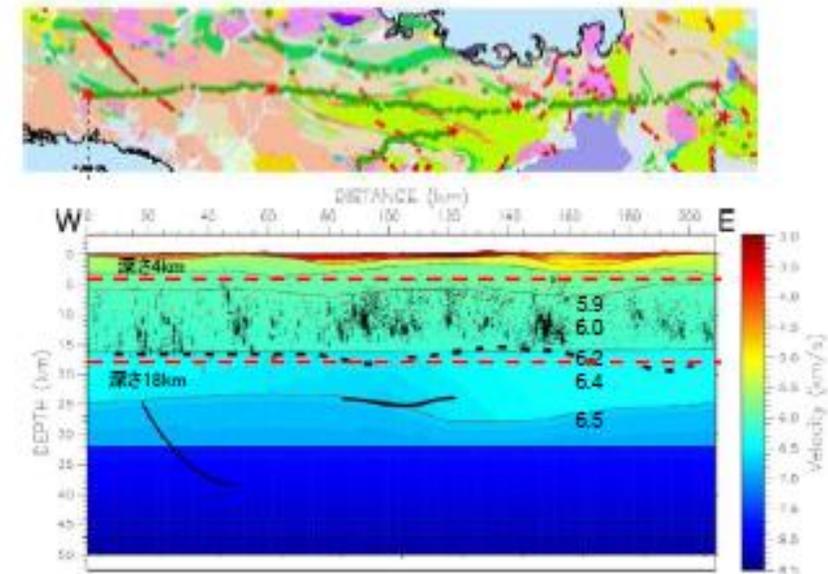


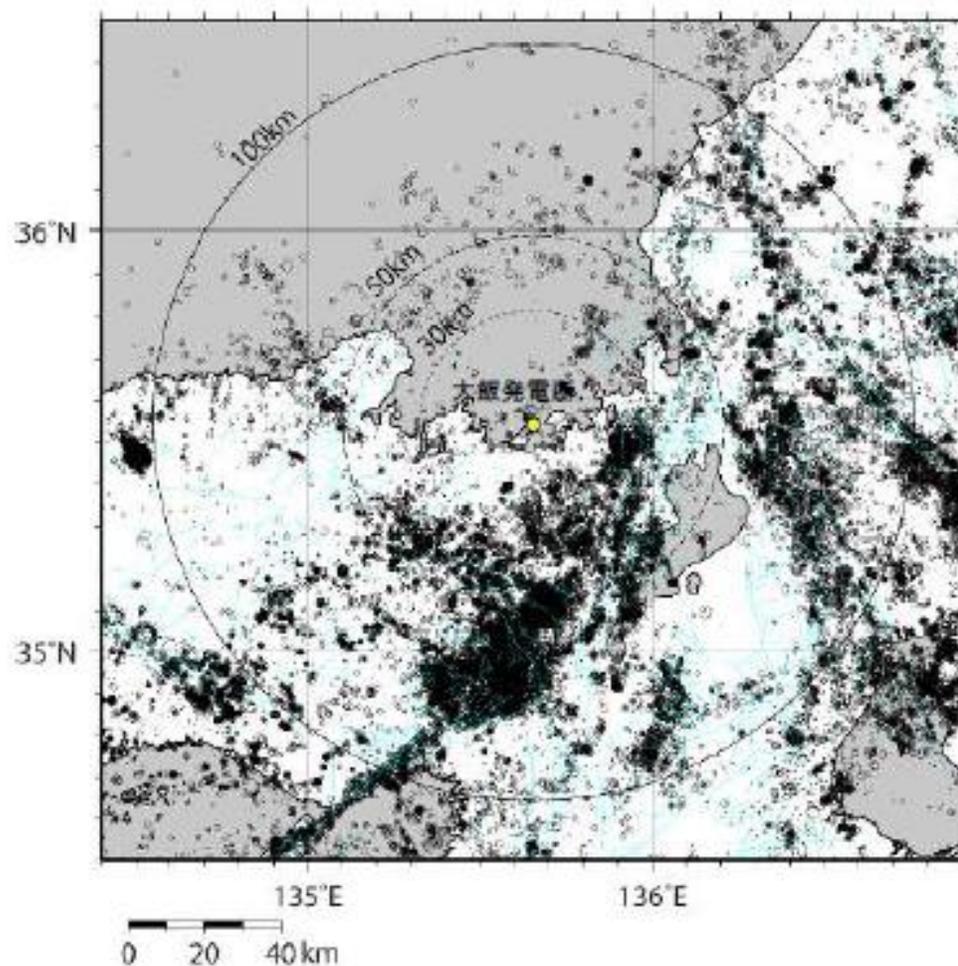
図10 藤橋—上郡測線の地震波速度構造に、測線周辺の震源分布と反射法解析によって見出された反射面を重ねた。

伊藤、他(2006)に一部加筆

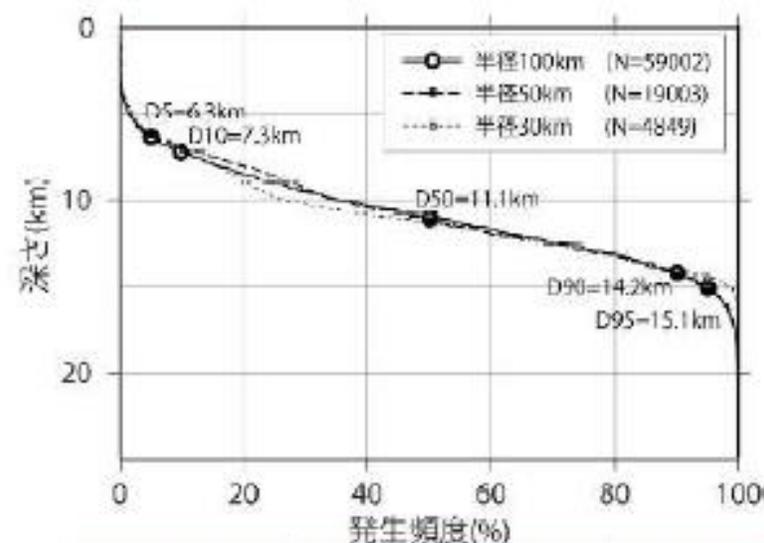
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■ 微小地震記録を用いた検討(大飯発電所)

伊藤・中村(1998)を参考に、大飯発電所を中心とする半径100km以内の地震発生状況を統計的に評価すると、地震の10%発生頻度深さ(D10%)は約7km、地震の90%発生頻度深さ(D90%)は約15kmであった。伊藤・中村(1998)によれば、D90は地震発生層の下限より2~3km浅いとされている。



気象庁一元化震源 (2000年1月~2012年12月)



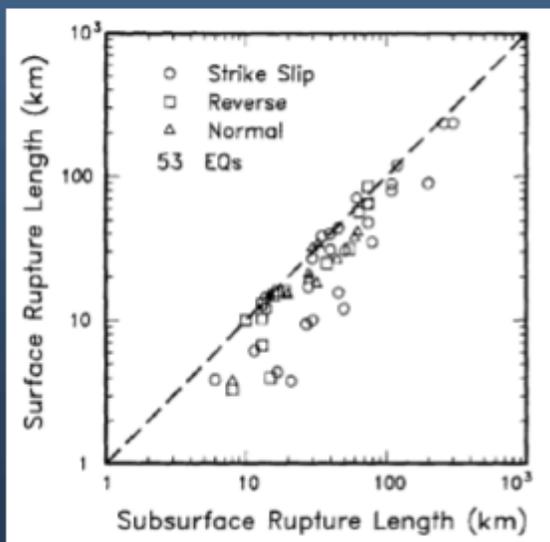
領域半径	100km	50km	30km
D5	6.3km	6.2km	6.1km
D10	7.3km	6.9km	7.1km
D50	11.1km	11.2km	11.4km
D90	14.2km	14.4km	14.1km
D95	15.1km	15.2km	14.6km
地震個数N	59002	19003	4849

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

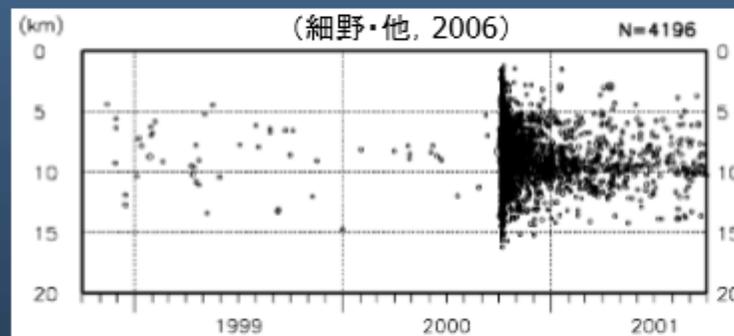
- 近畿地方の地震発生層に関する文献調査を行った。また、敷地周辺の微小地震発生状況について整理を行った。
- 発電所敷地の速度構造の $V_p=5.8\text{km/s}$ 層の上面深度や微小地震の発生状況から、断層上端深さを3km、下端深さを18kmと設定した。

「予測手法」(ア)はなぜうまくいかないのか？

- 大地震の震源断層の下端は地震発生層からさらに深い部分に及ぶことが多い。
- 震源断層は地表には現れない部分が存在し、その長さは地表地震断層より長いことが多い。
- 結果として、幅も長さも短く予測されてしまうので、面積がかなり小さく決まってしまう(熊本地震では実際の半分以下)。そのため、面積から決まるMが過小評価となる。



Wells & Coppersmith (1994)



鳥取県西部地震

「断層幅は地震発生層を余震分布から3~19kmと設定した上で求める手順とした。」(2007年検証)

幅	15 km 程度 (北西部、南東部とも)	○	傾斜と地震発生層の下限の深さ(15 km 程度)から推定。
---	-------------------------	---	-------------------------------

(2007年警戒断層長期評価)

福岡県西方沖の地震

2.4 断層幅の評価

断層長を評価した地震について、D95 をもとに断層幅を推定した。用いた震源分布は山本・他 (2008) で検討されたものである。各地震の震央から 0.3 度以内の震源分布から D95 を推定した。今回の地震は、基本的に地表地震断層を伴うものが多いため、上端は地表、すなわち 0km とした。整理した結果を表 2.4-1 に示す。図 2.4-1 に両者の関係を示す。横ずれ断層では断層上端を 0km にしても、大半が過小評価となっている。

表 2.4-1 D95 より推定した断層幅

地震	発生年	メカニズム	断層幅 (km)	傾斜角 (度)	D95	地震発生層厚による幅 (km)	断層帯種別
熊本	2016	S	19	65	14	15	成熟
長野県北部	2014	R	15	60	14	16	成熟
福島県浜通	2011	N	16	73	19	20	未成熟
岩手宮城内陸	2008	R	18	51	11	14	未成熟
能登半島	2007	R	18	60	11	13	未成熟
中越	2004	R	18	47	20	27	成熟
鳥取県西部	2000	S	18	90	13	13	未成熟
岩手内陸	1998	R	10	41	11	17	未成熟
兵庫県南部	1995	S	21	90	15	15	成熟
伊豆大島近海	1978	S	18	80	10	10	未成熟
三河	1945	R	15	30	27	54	未成熟
濃尾	1891	S	15	90	16	16	成熟

地域地盤環境研究所「平成28年度 原子力規制庁委託成果報告書 地震動評価における不確かさの評価手法の検討」2017年3月

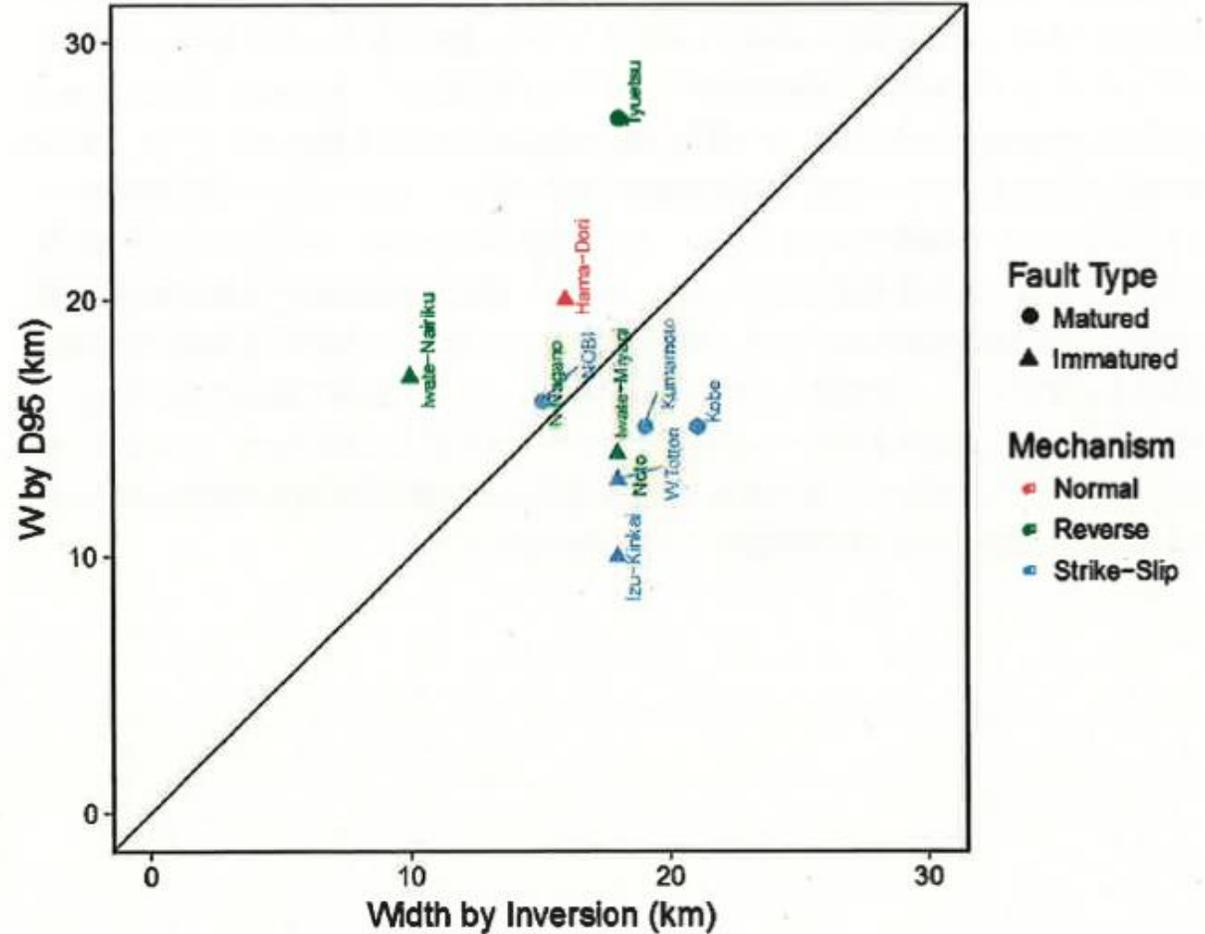


図 2.4-1 D95 より推定した断層幅と震源断層幅との関係

藤原広行氏 書面尋問
(函館地裁平成22年
(行ウ)第2号ほか)
質問回答書1

1 1 入倉・三宅(2001)の断層面積と地震モーメントとの関係式を用いた地震モーメントの事前推定についておうかがいします。

(1) 島崎邦彦・前原子力規制委員会委員長代理は、入倉・三宅(2001)の式を用いて鉛直若しくは鉛直に近い活断層から発生する地震の地震モーメントを事前に推定する場合、過小評価のおそれがあると指摘していますが、証人はこの島崎氏の指摘は妥当なものであると考えますか。

妥当性については、一概には言えません。

(2) 上記(1)のようにお考えになる理由についてお教えてください。

個々の断層での個別の検討が必要です。島崎氏が懸念する条件がそろった断層での地震動の評価に関して、従来から用いられている手法を適用し、かつ、ばらつきなど考慮せず平均値のみを用いると仮定した場合に限っては、妥当な場合もあり得ると考えます。

(3) 上記(1)で島崎氏の指摘を妥当なものであるとお答えの場合にお尋ねします。

その過小評価のおそれを解消ないし低減させるためには、どのような方法を用いるべきだと考えますか。具体的にお教えてください。

妥当性については一概には言えませんが、現在専門家の中で改善に向けての検討が実施されている課題と認識しております。あくまでも個人的な見解ですが、一案としては、断層面の設定の手法として、断層下端の深さについて深め設定し、断層上端を地表面まで面を張るなどして断層面を拡張することと、入倉・三宅式においてばらつきを考慮したパラメータ設定を行うことなどが考えられます。

活断層の長期評価に基づく強震動評価の改良

#森川信之・藤原広行・岩城麻子・前田宜浩(防災科研)

Revision of Strong-motion Evaluation Procedure Based on Long-term Evaluation of Earthquakes in Active Faults

#Nobuyuki Morikawa, Hiroyuki Fujiwara, Asako Iwaki, Takahiro Maeda (NIED)

地震調査委員会による活断層の地域評価では、「活断層の長期評価手法(暫定版)」(地震調査委員会長期評価部会、2010)の枠組みにしたがい、強震動評価に必要な地下での震源断層長さや地震発生層下限深さ、断層幅も評価され、具体的な断層面も示されている。しかしながら、全国地震動予測地図作成のための震源断層モデルを設定する際には、これまで「レシビ」の(イ)の方法が適用されてきた。その結果、活断層の長期評価において、断層上端は 0km(地表)と評価されているのに対して、震源断層モデルの上端は 2km より深くなっており整合していない。さらに、(イ)の方法の場合、断層幅が 18km 程度で頭打ちしてしまうため、断層幅が 20km 以上になると評価されている傾斜が緩い断層に対しては、震源断層の大きさや地震モーメントを過小評価する可能性がある。

一方で、平成 28 年熊本地震では、明瞭な地表断層、地表変位が確認されていることに加え、地表付近に大きなすべりを有する震源インバージョン解析結果もある。このことは、地震発生層より浅いすべりも震源断層全体から放出される地震モーメントに寄与することを意味している。従って、主要活断層帯のように明瞭な地表断層が認められるような規模の大きな地震を対象とした強震動評価においては、震源断層モデルの上端を 0km と設定する方が、特に断層面積より地震モーメントを設定する(ア)の方法を適用する際には妥当であると考えられる。この点に関しては、その元となっている入倉・三宅(2001)や Murotani et al. (2015) の地震モーメントと断層面積の関係式の導出において断層上端がほぼ地表となっているモデルも含まれていることとも矛盾しない。

これらの点を踏まえて、本稿では長期評価に基づく活断層の地震の震源パラメータ設定手順として以下の新たな案を提示する。

- ① 長期評価の M から武村(1990)の式を用いて地震モーメント(M_0)を設定。
- ② 震源断層は長期評価によるものをそのまま用いる。→ S
- ③ 「震源断層面積 S」と「地震モーメント M_0 」を用いて地震調査委員会の「レシ

ビ」の(ウ)を適用。このとき、地震発生層より浅い部分(以下では単に「浅部」と記す)は背景領域のみとし、かつ長周期成分のみ出す、と仮定する(または実効応力をゼロと設定)。

さらに、浅部の震源モデル化手法が未確立である現時点では、暫定的に以下のいずれかを仮定する。

a: 浅部と深部で背景領域のすべり量が等しいと仮定。

b: 浅部と深部で平均すべり量が等しいと仮定。

- ④ ②の S から「レシビ」の(ア)の方法(3 ステージの $S-M_0$ 関係)によって求められる地震モーメントが①と大きく異なる場合はそのモデルも考慮する。

ここで、③に関して、すべり時間を smoothed ramp 型関数とし、ライズタイムは地震発生層内の背景領域と同じとする。また、破壊伝播速度は、各速度層の S 波速度の 72%とする。

ただし、浅部の S 波速度が遅いほど、あるいは厚いほどすべり量が大きくなる。そのため、速度が遅い堆積層が厚い場合には本案によるモデル化は適切でない可能性がある。また、断層幅が長さよりも極端に短い場合、震源断層全体の平均応力降下量($\Delta\sigma$)を円形クラックの式を用いて設定すると、アスペリティ面積が 50%を超えてしまいモデルが破綻してしまう。この場合は、 $\Delta\sigma=3.1\text{MPa}$ (Fujii and Matsu'ura, 2000) およびアスペリティ面積約 22% (Somerville et al., 1999) を仮定する「暫定的な措置」を適用することになるが、そもそも断層が地表に到達している場合に円形クラックの式を用いること自体適切ではない。従って、本案もあくまで暫定的な方法であり、適用にあたってはこの点に留意する必要がある。

これらの課題に加え、今後のさらなる改良として、地表断層の位置形状、地震発生層より浅い部分のすべり分布やすべり関数を詳細にモデル化するための検討も今後進める必要がある。また、将来発生する地震に対する評価を行う上では、不確かさをどのように考慮していくかについてもあわせて検討する必要がある。

参考文献

Fujii and Matsu'ura (2000): PAGEOPH, 157, 2283-2302.

入倉・三宅(2001): 地学雑誌, 110, 849-875.

地震調査委員会長期評価部会(2010): http://www.jishin.go.jp/main/choukihyoka/katsu_hyokashuho/honpen.pdf

Murotani et al. (2015): PAGEOPH, 172, 1371-1381.

Somerville et al. (1999): SRL, 70, 59-80.

3連動、上端3kmをめぐる審査

- ・平成25年5月10日
第4回大飯発電所3・4号機の現状に関する評価会合
- ・平成25年6月6日
第9回大飯発電所3・4号機の現状に関する評価会合
- ・平成25年10月2日
原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 第27回
- ・平成25年11月1日
原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 第41回
- ・平成25年12月18日
原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 第59回
- ・平成26年3月12日
原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 第92回
- ・平成26年5月9日
原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 第111回

4. レシピ(イ)について

震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）

平成28年 6月10日改訂

「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)」(以下「レシピ」と呼ぶ)は、地震調査委員会において実施してきた強震動評価に関する検討結果から、強震動予測手法の構成要素となる震源特性、地下構造モデル、強震動計算、予測結果の検証の現状における手法や震源特性パラメータの設定にあたっての考え方について取りまとめたものである。地震調査委員会では、これまでに「活断層で発生する地震」について11件、「海溝型地震」のうちプレート境界で発生する地震について4件、併せて15件の強震動評価を実施し、公表してきている¹。また、平成12年(2000年)鳥取県西部地震、平成15年(2003年)十勝沖地震、2005年福岡県西方沖の地震のK-NETおよびKiK-net観測網や気象庁および自治体震度計観測網などの観測記録を用いた強震動予測手法の検証を実施した(地震調査委員会強震動評価部会, 2002 ; 2004 ; 2008)。

また、「レシピ」は、震源断層を特定した地震を想定した場合の強震動を高精度に予測するための、「誰がやっても同じ答えが得られる標準的な方法論」を確立することを目指しており、今後も強震動評価における検討により、修正を加え、改訂されていくことを前提としている。

付図1に、「レシピ」に従った強震動予測の流れを示す。「レシピ」は、①特性化震源モデル²の設定、②地下構造モデルの作成、③強震動計算、④予測結果の検証の4つの過程からなる。以降では、この流れに沿って各項目について解説する。

なお、上記の「レシピ」は、個々の断層を個別に取り上げて、詳細に強震動評価をする上で参考となる「レシピ」と位置づけられる。一方、約100余りの主要活断層帯で発生する地震の強震動を一括して計算するような場合、「レシピ」に基づきながらも、一部の断層パラメータの設定をやや簡便化した方法が作業上有効と考えられるので、それも併せて掲載する。

(ア) 過去の地震記録などに基づき震源断層を推定する場合や詳細な調査結果に基づき震源断層を推定する場合

過去の地震記録などに基づき震源断層を推定する場合には、その知見を生かした断層モデルの設定を行う。

(イ) 地表の活断層の情報をもとに簡便化した方法で震源断層を推定する場合

長期評価で評価された地表の活断層長さ L (km) から推定される地震規模から、地震規模に見合うように震源断層の断層モデルの面積を経験的關係により推定する。断層モデルの面積の推定までのフローを付図3に示す。このフローは、M7以上の場合に適用するものとし、それよりも規模の小さい場合は適宜適切な方法を選定するものとする。また、活断層長さが概ね80kmを超える場合も、適宜適切な方法によりモデル化をすることが望ましい。

震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）

平成28年 6月10日改訂

平成28年12月 9日修正

「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）」（以下「レシピ」と呼ぶ）は、地震調査委員会において実施してきた強震動評価に関する検討結果から、強震動予測手法の構成要素となる震源特性、地下構造モデル、強震動計算、予測結果の検証の現状における手法や震源特性パラメータの設定にあたっての考え方について取りまとめたものである。地震調査委員会では、これまでに「活断層で発生する地震」について11件、「海溝型地震」のうちプレート境界で発生する地震について4件、併せて15件の強震動評価を実施し、公表してきている¹。また、平成12年（2000年）鳥取県西部地震、平成15年（2003年）十勝沖地震、2005年福岡県西方沖の地震のK-NETおよびKiK-net観測網や気象庁および自治体震度計観測網などの観測記録を用いた強震動予測手法の検証を実施した（地震調査委員会強震動評価部会、2002；2004；2008）。

また、「レシピ」は、震源断層を特定した地震を想定した場合の強震動を高精度に予測するための、「誰がやっても同じ答えが得られる標準的な方法論」を確立することを目指しており、今後も強震動評価における検討により、修正を加え、改訂されていくことを前提としている。

付図1に、「レシピ」に従った強震動予測の流れを示す。「レシピ」は、①特性化震源モデル²の設定、②地下構造モデルの作成、③強震動計算、④予測結果の検証の4つの過程からなる。以降では、この流れに沿って各項目について解説する。

この「レシピ」は、個々の断層で発生する地震によってもたらされる強震動を詳細に評価することを目指している。但し、日本各地で長期評価された多数の活断層帯で発生する地震の強震動を一定以上の品質で安定的に計算するために、地表の活断層長さ等から地震規模を設定する方法も併せて掲載する。

ここに示すのは、最新の知見に基づき最もあり得る地震と強震動を評価するための方法論であるが、断層とそこで将来生じる地震およびそれによってもたらされる強震動に関して得られた知見は未だ十分とは言えないことから、特に現象のばらつきや不確定性の考慮が必要な場合には、その点に十分留意して計算手法と計算結果を吟味・判断した上で震源断層を設定することが望ましい。

（ア）過去の地震記録や調査結果などの諸知見を吟味・判断して震源断層モデルを設定する場合

過去の地震記録などに基づき震源断層を推定する場合には、その知見を生かした断層モデルの設定を行う。

（イ）長期評価された地表の活断層長さ等から地震規模を設定し震源断層モデルを設定する場合

長期評価で評価された地表の活断層長さ L (km) から推定される地震規模から、地震規模に見合うように震源断層の断層モデルの面積を経験的關係により推定する。断層モデルの面積の推定までのフローを付図3に示す。このフローは、M7以上の場合に適用するものとし、それよりも規模の小さい場



「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」の検証について

瀧 一 起

まとめ

- たとえ詳細な調査が行われたとしても、活断層や地震発生層の調査から将来の地震の震源断層の面積を精度よく推定することは困難であることが、熊本地震の実例で明らかになった（熊本県が1996年と1998年に詳細な調査を実施）。
- そのため、震源断層面積から予測を始める（ア）より、活断層調査で精度よく求まると言われる地表地震断層の長さなどから予測を始める（イ）の方が安定的である可能性が高い。全国地震動予測地図では活断層の地震に対して（イ）のみを用いている。
- 以上を踏まえ、「予測手法」における（ア）のセクションタイトルを、「（ア）過去の地震記録などに基づき震源断層を推定する場合や詳細な調査結果に基づき震源断層を推定する場合」から「（ア）過去の地震記録などに基づき震源断層を推定する場合」に替えたかどうか。
- 同じく（イ）のセクションタイトルを、「（イ）地表の活断層の情報をもとに簡便化した方法で震源断層を推定する場合」から「（イ）その他の場合」に替えたかどうか。

地震調査研究推進本部 地震調査委員会
第152回強震動評価部会
議事概要(案)

1. 日 時 平成28年9月14日(水) 10時00分～12時20分
2. 場 所 文部科学省 13F1・13F2会議室
3. 議 題
 - (1) 震源断層を特定した地震の強震動予測手法について
 - (2) 地下構造モデル作成の考え方について
 - (3) 長周期地震動評価について
 - (4) その他
4. 配付資料

強152(1)	第151回強震動評価部会 議事要旨(案)
強152(2)	強震動評価部会の今後当面の具体的な検討方針案
強152(3)	強震動評価部会 活動計画案(2016.09.06時点案)
強152(4)	地下構造モデル作成の考え方(1～4章案)
強152(5)	長周期地震動ハザード評価(仮称)2016年試作版(案) ー相模トラフ巨大地震の検討ー
参考資料1	第151回強震動評価部会 議事概要(案)
参考資料2	メーリングリスト[shindou]における議論
参考資料3	強震動予測手法検討分科会の検討状況
参考資料4	地震動予測地図高度化ワーキンググループの検討状況
参考資料5	「レシピ」の一部記述表現について(案)
参考資料6	「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」の検証について (額織部会長資料)
参考資料7	活断層の長期評価に基づく強震動評価の改良ー平成28年(2016年)熊本地震を踏まえてー(防災科学技術研究所資料)
参考資料8	長周期地震動ハザード評価(仮称)2016年試作版修正・指摘事項一覧(2016.03.31案→2016.09.06修正)
参考資料9	長周期地震動ハザード評価(仮称)2016年試作版 ー相模トラフ巨大地震の検討ーの概要
参考資料10	地震本部ニュース「夏」2016
机上資料	震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)

「レシピ」の一部記述表現について（案）

2016.09.14 地震本部事務局

震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）の正しい理解と活用に向けて、その一部記述表現について、強震動評価部会や強震動予測手法検討分科会の各委員から頂戴した御意見等に基づき、事務局で検討中である。

■ p.3（ア）および p.5（イ）のタイトル

それぞれの方法の趣旨（目的・内容）を適切に理解・判断し活用して頂けるように、一部記述表現の見直しも含めて再考したい。

【参考メモ】

- ・（ア）は、得られる知見や情報の質・量とも申し分ない場合には、本来あるべき姿である。しかし現実には、仮に調査・研究にベストを尽くしても、得られる知見や情報の質・量とも不完全なことから、手順を形式的に追うだけでは不十分であり、各種知見や情報を多面的かつ慎重に吟味することが肝要である。
- ・（イ）は、得られる知見や情報に多少の精粗があっても、ある程度は安定的に扱える方法である。故に、今のところ、長期評価結果に基づいて全国地震動予測地図の震源断層を特定した地震動予測地図を作成する際の方法として用いられている。
- ・得られる知見や情報の質・量とも不完全な現状では、方法としての「詳細さ」と結果としての「信頼性」とは必ずしも一致しない。仮に（ア）を用いる場合であっても、併せて（イ）の結果も照合して検討することが必要な場合が多いと思われる。

議題1 震源断層を特定した地震の強震動予測手法について

－「レシピ」の一部記述表現について－

事務局：[参考資料5、机上資料を説明]

★★委員：[参考資料6を説明]

◎◎委員：「レシピ」の（ア）と（イ）の方法の位置付けについて述べたい。地震本部が強震動評価に取り組んできた初めの5年間は、本部会のメンバーが個々の断層帯について1つ1つのパラメータをチェックしていた。それらを一般化した手法として（ア）の方法がオーソライズされた。それが最初のレシピの（ア）であった。その後、日本の主要活断層帯全体の強震動の評価を詳細に行うというニーズが生まれ、1つ1つの活断層帯を個別に議論するというスタイルでは時間的に間に合わないということで、長期評価されたものであればある程度機械的に評価出来る簡略化された方法として妥協しながら作ったのが（イ）の方法である。今回、熊本地震の結果を見ると（イ）の方法は上手くいったと言えるが、元々強震動評価部会で目指していたのは（ア）の方法をきちんと築き上げていくことである。地震動の予測としては、経験式に基づいた距離減衰式的な方法論と断層モデルという2つの方法のうち、断層モデルによる地震動評価をしっかりとしたものにしていうのが本部会のこれまでの活動である。そうだとすると、熊本地震を踏まえて（ア）の方法をどのように改良すれば良いのかを積極的に議論した上で、レシピの改訂につなげた方が良い。熊本地震を踏まえると、（ア）の方法では、平均的なパラメータを設定するだけのレシピの運用では実際に起こる事象を十分に捉えきれないと言える。我々の主張は、ある程度幅を持った予測に使えるような形にレシピを拡張していくことが必須であろうということである。あとは、長期評価を受けて地震動予測地図を作ったり、ハザード評価をするという地震調査委員会の中の活動だけではなく、外部の人がレシピを使うとすると、レシピの使い方としては、（イ）の方法もそうだが特に（ア）の方法については、平均的なパラメータ設定に基づいた地震動評価を行うだけではなく、目的に応じてパラメータの持つばらつきや不確実性を適切に考慮して、目的に応じた安全性を考慮して使うことが必須である。その辺りも明確に記述して頂きたい。ここではあくまでも自然現象を解析して出てきた結果に基づいて平均的なものをレシピとして記述しているが、それ以上の安全性や不確実さを考慮するものについては、使う側が目的

に応じて適切に使うというところで責任分担を切り分けることを明確にした方が良い。（イ）の方法論がたまたま上手くいったのは、そこに不確実さを初めから見込んだ方法論として埋め込まれているということである。本来は、平均像はこうであり、ある目的に応じてはこれだけの不確実さを考慮に入れるべきだという議論があって、初めてその適切性が議論されると思う。そこがないままに（イ）の方が（ア）よりも上手くいっているからその方が良いということにすると、そもそも本部会で長く議論してきた大切な部分が失われてしまう。★★委員の言っていることは分かるが、本部会の長い活動と、これからの長期的な活動を考えた時に、どういう風に（ア）と（イ）を位置付け、それぞれをどのように発展させるかという議論が必要である。

☆☆委員：★★委員の資料に書かれていることは正しいし、分析も正しいと思っている。
但し、それが現在の新聞報道の論調では間違っただけの理解になっている。(イ)は正しいが(ア)は間違いであるという論調である。(イ)の方法は、断層長さだけではなく地震モーメントを決めたら(ア)に戻って入倉・三宅式を使わないと、レシビとしては上手くいかない。そこが完全に抜けてしまって、「レシビが間違いである。(ア)が間違いである。」と攻撃され、(イ)の方法を使わなかったという責任

追及を受けている。しかし、慎重に議論して欲しいのは、(ア)の方法は間違いではないし、(イ)を使っても(ア)に戻って検討しないといけない。(ア)を直接実施しようとする、不確実性がまだ残っている。そのことは十分に考えなければいけない。★★委員の分析は参考になるが、それを受け取ったマスコミの論調は明らかに「(ア)は間違い。入倉・三宅式は間違っている。」ということになり、非常に大きな攻撃を受けている。その点については、慎重に地震調査委員会の姿勢を示して欲しい。間違いであれば訂正するが、間違いではないものを間違っていたと言うわけにはいかない。(イ)の方法を使うことは重要で、長期評価の方法と強震動評価の方法を整合させるために、しかも、情報が十分ではないときにどうするかということから、(イ)の重要性は認識しているし今後も重要だと思うが、(イ)の方法だけを進めるとなると、地表で決まった断層の長さだけから強震動予測が出来るという誤解を受ける。これは非常に大きな問題である。熊本地震について★★委員が書いているように、(地表の情報から)30km ぐらいの長さがわかっている震源断層もそういう長さのものだとして(強震動予測を)やろうとするのであれば、これまで強震動評価部会で検討してきた評価方法は全て間違いということになる。(この場合)30km の長さ(の震源断層)では強震動の評価は出来ない。震源断層がどうして分かるようになったかという、強震動の記録が日本でもとれるようになり、強震動データに基づく震源インバージョン解析も出来るようになったからである。そういう解析結果がテレサイスミックなデータや他のデータによる解析結果とも合うということから、予測が可能になってきた。あ

と重要な点は、活断層の評価に対しても重要な影響を与えていたということである。地表に見える活断層は常識的に考えて震源断層の長さよりも短いことは、容易に予測出来る。従って、震源断層の長さを決められるような方法論を考える必要があり、地震調査委員会の中でも、活断層評価をしている人と地震動評価をしている人の意見の違いを解消するために、検討されている。例えば、活断層調査の変動地形的な地表調査は重要だが、震源断層を決める場合には地表だけではなく地中がどうなっているかということも重要であり、変動地形的調査に加えて、地球物理学的調査や地質学的な調査、構造地質的なものも含めた総合的な活断層調査が必要ではないかということになり、(それらの調査に基づいて)活断層評価が行われてきている。しかし、もしも地表の長さだけわかれば良いということになり、例えば、熊本地震であれば地表に見えた長さだけで全てが分かると言ってしまうと、地震調査研究は止まってしまう。強震動予測では、目に見える研究成果として「地表と地中が違う」ということを言ってきており、◆◆委員が以前発言したように、「活断層の成熟度によって違う」ということも研究されてきているので、活断層調査としても、地中の深いところも含めた調査を行って欲しい。そのために(ア)の方法は重要だし、(イ)の方法も重要である。両方やることには

賛成だが、(イ)の方法だけで良いと受け取られないような工夫が必要である。

★★委員：議論がまとまって発表出来ることになれば、事務局にはその点を十分に説明した上で発表することをお願いしたい。審議には3年間ぐらいはかかると思うので、それまではこのような形で公表しておくことが、地震調査委員会の国民への貢献になるのではないかと思う。

●●委員：防災工学的な立場から3年という時間がかかるからベターな方向に行こうという選択をしたことは評価するが、今回の熊本地震でまた言われたことは、地表に現れた活断層の長さと震源断層の長さとの関係に関する知見が不足しているということなので、それが出来るまでは（イ）の方法を使っていこうということを常に条件として、地震調査委員会として社会に答えることにして欲しい。

★★委員：☆☆委員が言ったような本来あるべき予測手法を作ることを次回の強震動評価部会から検討し始めても良い。早急に検討を始めることに異論はないが、それがまとまるまでの間の応急策として、今ある選択肢の中で、とりあえず熊本地震で上手くいっているようなフローを使うという考え方である。現状の予測手法は非常に卑下した書き方をしている。簡略化してあり、とりあえずこれを使いますと明示的に書いてあるので、外から見ると、それを使うのはあまり良くないととられている可能性が高いと**思っていて、少なくともその部分は直したらどうか**と思う。☆☆委員の発言にあった「入倉・三宅式が間違っている」という報道は、**■■■■■**がそれを言っているからそうなってしまったのだが、

記者から問い合わせがあれば、『間違っている』と言っていることが間違っている」と必ず言っているので、最近、そういう報道はなくなった。新聞報道で「（イ）の方法が（ア）の方法を改良した結果として出来た」と言われているのは、☆☆委員が言うように間違いである。その点も、記者に聞かれたら言っている。主要活断層帯の地震動をすぐに評価しないといけないので、とりあえずこういう方法で評価しようと◎◎委員が頭をひねって作ったものなのだが、それが結果的には上手くいっている。評価結果がそこそこ良いということが重要であり、事務局もそれを認識していると参考資料5を読む限り分かるのだが、今後3年以上かけて結論を出すのであれば、（ア）と（イ）を合体させて、メインのフローは（ア）で行い（イ）によってそれを上手く修正していくという1本の流れになるのではないか。入倉・三宅式は（イ）でも使っているわけで、それに合うように地表地震断層の長さから得られる情報をうまく調整していくという（ア）の方にうまくフィットするように調整していくという流れは良い。基本的に（ア）と（イ）は対立するものではなく、現実と上手く合うようにまとめた結果なので、熊本地震でもそこそこ上手くいったということになると理解している。

「レシピ」の訂正・微修正・補足についての事務局案

2016.11.15 地震本部事務局

■ 基本方針

事務局では、「レシピ」の訂正、微修正あるいは補足、改定の基本方針を次のように考えている。

- ・誤植の訂正（HP上で随時対応）
- ・正しい理解・普及や誤解防止のための表現の微修正あるいは補足（HP上で随時対応）
- ・新たな知見に基づく内容の改定（報告書を改定しHPを更新）

■ 今後の予定

今後の予定を以下に示す。

- ・訂正・微修正あるいは補足（随時：後述）
 - ・表記の誤りの訂正
 - ・近年求められる国際化対応のために表題に英訳を付記
 - ・内容や意義が正しく伝わらないかあるいは誤解される恐れのある表現の微修正・補足
- ・新たな知見に基づく内容の改定（今後の審議による）

■ 今回の対応案

次頁以降に、現時点での訂正・微修正あるいは補足（内容は改定しない）の具体的な案を示す。

★ 表紙 タイトル

震源断層を特定した地震の強震動予測手法
（「レシピ」）

【補足案】

震源断層を特定した地震の強震動予測手法
（「レシピ」）

Strong ground motion prediction method for earthquakes with specified source faults
(the "Recipe")

★ p.1 第4段落

なお、上記の「レシピ」は、個々の断層を個別に取り上げて、詳細に強震動評価をする上で参考となる「レシピ」と位置づけられる。一方、約100余りの主要活断層帯で発生する地震の強震動を一括して計算するような場合、「レシピ」に基づきながらも、一部の断層パラメータの設定をやや簡便化した方法が作業上有効と考えられるので、それも併せて掲載する。

【微修正・補足案】

この「レシピ」は、個々の断層で発生する地震によってもたらされる強震動を詳細に評価することを目指している。但し、日本各地で長期評価された多数の活断層帯で発生する地震の強震動を一定以上の品質で安定的に計算するためには、一部の断層パラメータの設定を規格（or 標準）化した方法が作業上有効と考えられるので、それも併せて掲載する。ここに示すのは、最新の知見に基づき最もあり得る地震と地震動を評価するための方法論であるが、断層とそこで将来生じる地震およびそれによってもたらされる地震動に関して得られた知見は未だ十分とは言えないことから、特に現象のばらつきや不確定性の考慮が必要な場合には、その点に十分留意して計算手法と計算結果を吟味・判断した上で震源断層を設定することが望ましい。

★ p.2 第2段落

ここでは、過去の地震記録などに基づく震源断層を用いる場合や詳細な調査結果に基づき震源断層を推定する場合（1.1.1（ア）参照）と、地表の活断層の情報をもとに簡便化した方法で震源断層を推定する場合（1.1.1（イ）参照）とで、異なる巨視的震源特性の設定方法を解説する。付図2に、活断層で発生する地震に対する震源特性パラメータの設定の流れを示す。

【微修正案】（※ 後述 p.3、p.5、p.41の微修正に対応）

ここでは、過去の地震記録や調査結果などの諸知見を吟味・判断して震源断層モデルを設定する場合（1.1.1（ア）参照）と、長期評価された地表の活断層長さ等の情報に基づき規格（or 標準）化された震源断層モデルを設定する場合（1.1.1（イ）参照）とについて、巨視的震源特性の設定方法を解説する。付図2に、活断層で発生する地震に対する震源特性パラメータの設定の全体の流れを示す。

地震調査研究推進本部地震調査委員会
強震動評価部会第 158 回強震動予測手法検討分科会議事概要（案）

1. 日 時 平成 28 年 11 月 8 日（火） 14 時 00 分～16 時 30 分
2. 場 所 旧文部省庁舎第 2 会議室
3. 議 題
 1. 「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」の改良に向けた提案について
 2. 「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」の表現の修正について
 3. 長周期地震動評価について
 4. その他

※※：1 頁目の第 4 段落の修正箇所について、「特に現象のばらつきや不確定性の考慮が必要な場合には、その点に十分留意して震源断層を設定することが望ましい」ではなく、その間に「計算手法と計算結果を吟味・判断した上で」とあるが、具体的にはどのような手順を踏むものか。

→事務局：前回・前々回も議論になったが、特に（ア）の方法を使う場合には、例えば、併せて（イ）の方法についても検討して比較するなど、結果に不自然なことが生じていないか注意しながら検討して頂きたいという趣旨である。

→※※：3 文目は（ア）や（イ）といったすべてを含んでいるのか。

→事務局：3 文目は（ア）と（イ）を含んでいる。この文は改行して段落を変えた方が良くもしいない。

★★：「レシピ」の訂正・微修正・補足についての事務局案を当分科会としては承認と言う形で、よろしくお願ひしたい。

震源断層モデルと活断層

島崎邦彦（東京大学）

Seismic source modeling and an actual active fault

Kunihiko Shimazaki (UTokyo)

震源モデルは、現象の記述と震度・強震動等の予測との二つの目的を持つが、これらが明確に意識されず、誤用されている。昨年12月に修正される前の地震本部の強震動レシピが、その一例である。活断層に基づく断層モデルから、入倉・三宅式（2001）によって地震モーメントを求めると強震動が過小となる。

地下の震源断層は、通常、手で触れることはできない。一方、地表地震断層や活断層は手で触れることができる。地下の震源断層の存在を疑う人はいないが、その実体は確認できない。ここではモデルとして表されている震源断層、すなわち震源断層モデルを取り扱う。

実際の震源断層が複雑なことは、地表に出現した地震断層から想像することができる。その複雑な震源断層をどのように表現するかは、震源断層の推定に用いられる観測量の多寡、解析手法、利用法、目的等によって異なる。断層モデルには、少なくとも二つの重要な目的がある。一つは実際に起きた地震の震源を表現することであり、他方は将来起る地震の影響を評価することである。

これまで上記の二つの目的が必ずしも明確に意識されておらず、震源モデルが誤用されるようになってきている。震源モデルの目的の一つ、すなわち実際に起きた地震の忠実な表現のためにモデルが複雑化しているが、もう一つの目的、すなわち将来起る地震の影響評価には、或る程度簡単なモデルでなければ策定することができない。

地表の変形データを用いた熊本地震の三つの（暫定）震源モデル（国土地理院，2016）を例としてあげる。暫定1モデルが最も単純で、地震直後に発表された。その後、表のように暫定2、暫定3が発表され、モデルはより複雑化した。なお、暫定3の不均質モデルは、具体的な量の量が不明なので、Somerville他（1999）によるトリミングは行われていないが、トリミングを行えば、断層面積の和はこれより小さい値となる。

表1 国土地理院(2016)による熊本地震の震源断層モデルと地震モーメント M_0

モデル	観測値	断層面	ずれ	断層長 (の和)	断層面積 (の和)	M_0 10^{19}Nm	入倉・三宅 式より	山中・島崎 式より
暫定1	主にGNSS	1枚	一定	27km	333km ²	40	6	28
暫定2	GNSS, SAR	3枚	各々一定	35km	416km ²	51	10	47
暫定3	GNSS, SAR	4枚	不均質	60km	1200*km ²	48	80	137

モデル暫定1の断層長は、2009年の長期予測の断層長に等しい。モデル暫定2では断層間にわずかな隙と重なりがあるが、断層長の和は、ほぼ全体の長さに対応する。一方、モデル暫定3では、断層A1とB1はほとんど重なり合い、A1とA2、B1とB2とが一部重なりあっている。地震発生前にこのような複雑な断層モデルを策定することはできない。

表には、断層長（の和）を用いて山中・島崎式（1990）から求められる地震モーメントの値（単位 10^{19}Nm ）を示した。モデル暫定1および2からは、実際の地震モーメントに近い値を求めることができる。一方、断層面積（の和）を用いて入倉・三宅式から求められる地震モーメントは、表に示すようにモデル暫定1と2で過小評価となっている。

島崎（2015, 2016）は、活断層等に基づき地震発生前に推定された、或は地震発生前に推定可能な断層長から、様々な経験式で地震モーメントを推定した。また、地震発生前に推定可能な断層面積から入倉・三宅式で求められる地震モーメントを実際の観測で得られた地震モーメントの値と比較し、垂直または垂直に近い断層の場合、過小評価となることを示した。

地震モーメントの過小評価が、強震動の過小評価を引き起こすことは、昨2016年、規制庁が大飯原子力発電所の地震動について「試算」した結果や森川他（2016）より明らかである。地震本部のレシピ、すなわち「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」のうちレシピ（ア）では入倉・三宅式から地震モーメントが推定されている。これまでレシピ（ア）の説明には「詳細な調査結果に基づき震源断層を推定する場合」が含まれていたが、昨2016年12月の「修正」で削除された。一方、松田式（1975）からマグニチュードを推定し、武村（1990）式によって地震モーメントに変換する方法がレシピ（イ）で用いられている。これまでのレシピ（イ）の説明から「簡便化した方法」が削除されており、「修正」にあたった委員からは、レシピ（ア）と（イ）の両方を使うようにとの議論であったと伝えられている。このようなレシピの「修正」にもかかわらず、原子力規制委員会はレシピ（ア）のみを用いた大飯原子力発電所の基準地震動を実質上認めている。

基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド

I. 基準地震動

3.3.2 断層モデルを用いた手法による地震動評価

(4)

① 震源モデルの設定

- 1) 震源断層のパラメータは、活断層調査結果等に基づき、地震調査研究推進本部による「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」等の最新の研究成果を考慮し設定されていることを確認する。

訂正申立書

名古屋高等裁判所金沢支部 御中

平成 29 年 12 月 19 日

島崎 邦彦 

御庁平成29年4月24日の口頭弁論期日において、地震発生前に得られる情報に基づいた各経験式の検証に関する証言をいたしました。

さらに検討を重ねたところ、2015年の学会で発表した内容に一部計算違いがあったため、御庁での証言にも一部訂正すべきところが判明しました。正しくは別紙の通りです。

なお、別紙では、計算違いの修正に加え、従前、2011年福島県浜通りの地震と1945年三河地震について、地震発生後に得られた断層傾斜角のデータを用いていたことからこの点を見直し、地震発生前に調査が実施されていた場合に設定可能な断層傾斜角を検討し、それぞれの断層幅を16km、17kmに設定しました。また、中央防災会議では、地震本部レシピ（イ）と同じく、松田式を用いて活断層長から気象庁マグニチュードを算定しますが、気象庁マグニチュードから地震モーメントを算定する式がレシピと違っているため、計算結果に有意な違いが生じております。

今年度開催された活断層学会では、別紙のような内容で発表しました。

以上

地震モーメントの観測値と事前推定値：単位 10^{18}Nm

地震名称	地震モーメント観測値	断層長(km) ×幅(km)	中央防災会議 (2008)	武村 (1998)	山中・島崎 (1990)	地震本部 レシビ ² (イ)	入倉・三宅 (2001)
1891 濃尾	180	69×14	220	210	180	91	52
1930 北伊豆	27	27×14	27	32	28	15	7.9
2011 浜通り	11	19.5×15	13	17	14	7.8	4.8
1927 北丹後	46	33×14	43	48	41	22	12
1943 鳥取	36	30×14	35	39	34	18	9.8
1945 三河	10	21×17	16	19	17	9.0	7.1
1995 兵庫県南	22	32×14	40	45	39	20	11
2016 熊本	46	31×14	37	42	37	19.2	10.5

熊本地震を踏まえた強震動評価の課題(その2)

#藤原広行・森川信之・岩城麻子・前田宜浩(防災科研)

Problems on Strong-Motion Evaluation Based on the 2016 Kumamoto earthquake (part 2)

#Hiroyuki Fujiwara, Nobuyuki Morikawa, Asako Iwaki, Takahiro Maeda (NIED)

1. はじめに

本稿では、森川・他(2016)での検討を踏まえ、活断層を対象とした長期評価に基づく強震動評価手法の改良に向けた試案を挙げる。

2. 改良に向けた試案

試案1：活断層で発生する地震の規模の設定における不確かさの考慮

認識論的不確実性及び偶然的ばらつきを考慮した地震規模の設定を行う。

A) 経験的関係式(スケールリング)に対する認識論的不確実性の考慮

現行の「レシピ」では、強震動評価の対象地震の地震モーメントを下記の2種類の方法を用いて設定している。

(ア) 震源断層の面積($S = L \times W$)からSomerville et al. (1999)、入倉・三宅(2001)、Murotani et al. (2015)の関係式

(イ) 長期評価された断層長さ(L)から松田(1975)および武村(1990)の関係

これらに加えて、例えば下記の手法等を認識論的不確実性の考慮のためのロジックツリーの分岐とし、地震規模設定における不確かさの考慮の幅を広げる

A1: 首都直下地震モデル検討会(2013)によるMj-Mw関係

A2: 武村(1998)によるL-M0関係

B) 地震発生の多様性を踏まえた偶然的ばらつき

長期評価では主として「地表の長さ」から断層長さが評価されているが、偶然的ばらつきを考慮として経験式によるばらつきを考慮に加え、地中の断層長さがそれよりも長い可能性や隣接する区間の一部との同時活動を考慮することも必要である。また、大地震時には、微小地震の震源分布より評価されている地震発生層下端深さよりも断層下端が深くなる可能性、および傾斜角の不確かさを考慮する。

B0: 経験的関係式におけるばらつき

B1: 断層長さ(L)の偶然的ばらつき

B2: 断層幅(W)の偶然的ばらつき

試案2：現行「レシピ」におけるパラメータ設定手法の改良・または追記

認識論的不確実性及び偶然的ばらつきを考慮に伴い、アスペリティ面積・実効応力の設定方法の改良が必要となる。現行の「レシピ」に基づく徹底的パラメータの設定では、 M_0-S 関係の第2ステージにおいて、断層面積が同一の場合、地震モーメントが大きいほど、また、地震モーメントが同一の場合、断層面積が小さいほどアスペリティ面積比が大きくなり、アスペリティの実効応力が小さくなる。このため、暫定的な手法として、パラメータ設定が不安定になる場合には、震源断層全体の平均応力降下量をFujii and Matsu'ura (2000)による3.1MPa、アスペリティ面積比(Sa/S)をSomerville et al. (1999)による約22%に固定する手法が採用されている。これを「暫定的に」適用するの一案である。ただし、この場合、震源モデル全体の短周期レベルが壇・他(2001)の関係よりも小さくなることから、平均応力降下量または面積比のどちらかのみを一定とするモデル化手法も考えられる。

試案3：固有規模よりも一回り小さい地震(M6.8より小さい地震)の考慮

現行の地震動ハザード評価のモデルでは、主要活断層帯で発生する一回り小さな地震(グループ5)の地震は、「震源断層をあらかじめ特定しにくい地震」と一体化してモデル化されており、個別にはモデル化していない。このため、主要断層帯周辺における地震動ハザードが過小評価されている可能性がある。主要断層帯で発生する地震の内、発生頻度が大きい可能性のある固有規模よりも一回り小さい地震までを考慮した地震動ハザードの評価を行うことが重要である。

試案4：各種不確かさを考慮した大きめのシナリオ地震動の提示

現行のレシピに基づくシナリオ地震の地震動計算においては、平均像の提示がなされているが、これに加えて、認識論的不確実性及び偶然的ばらつきなど各種不確かさを考慮に入れ、目的に応じて大きめのシナリオ地震動の計算を行うことができる手法を体系的に構築し、それら結果を提示することが防災に資する情報提供として必要である。

試案5：震源断層ごく近傍の地震動評価手法の高度化

熊本地震においては、地表地震断層のごく近傍域において、顕著な建物被害が発生した。現行の計算手法では、断層のごく近傍での地震動の再現が不十分である。地表地震断層ごく近傍域での地震動評価の高度化に関する検討が必要である。地震基盤以浅の震源モデル化手法、断層を含む詳細な震源断層ごく近傍の地下構造モデルの作成手法とともに、地表変位を含む地震動計算手法の開発を進める必要がある。

不確かさを考慮した地震動予測・地震ハザード評価の課題 Consideration of uncertainty in strong-motion prediction and seismic hazard analysis

*藤原 広行¹、森川 信之¹、岩城 麻子¹、前田 宜浩¹
*Hiroyuki Fujiwara¹, Nobuyuki Morikawa¹, Asako Iwaki¹, Takahiro Maeda¹

1. 防災科学技術研究所
1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

平成28年熊本地震は、地震本部による長期評価がなされ、震源断層を特定した地震動予測地図が公表されていた布田川断層帯・日奈久断層帯の一部が活動した地震であった。熊本地震の解析より得られた知見を踏まえ、地震動予測・地震ハザード評価における課題、特に、将来の事象の予測における不確かさの取り扱いに関して考察する。予測における不確かさを、偶然的ばらつきと認識論的不確定性に分類して考える。偶然的ばらつきは確率変数として評価され、認識論的不確定性はロジックツリーなどを用いて評価される。

(1) 地震規模（地震モーメント）設定における不確かさの考慮

- ① 震源断層形状のモデル設定の考え方に関する認識論的不確定性の考慮
震源断層の大きさの設定に関して、認識論的不確定性を考慮し、現行のレシピに従った基本モデルに加え、下記のようなモデルを考慮することが必要である。
- ・震源断層長さが地表断層長さより長いとするモデル
 - ・断層下端深さを地震発生層下限よりもやや深くするモデル
 - ・震源断層の上端を0km（地表）とするモデル
 - ・傾斜角の設定における不確かさを考慮したモデル

② 震源断層の巨視的パラメータ設定に関する不確かさの考慮

経験的關係式を用いて震源断層モデルのパラメータ設定を行う場合、式の選択に伴う認識論的不確定性や、経験式を用いた予測に含まれる偶然的ばらつきを適切に考慮することが重要である。例えば、下記のような不確かさを考慮することが必要である。

- ・L-Mo関係、Mj-Mw関係における経験式選択に関する認識論的不確定性
- ・Mo-S関係、Mo-A関係における偶然的ばらつき

(2) 地表を含む震源断層の位置・形状のモデル化に関する不確かさの考慮

これまでの強震動評価では主として短周期の強震動生成のモデル化に重点を置いており、震源断層は地震発生層内とし、その上端を0km（地表）としていなかった。断層のごく近傍での強震動予測を行うためには、地表地震断層の評価に基づく、上端深さを0kmとした震源断層の位置・形状の詳細なモデル化が必要となる。それに伴い、詳細な位置・形状のモデル化に関する不確かさを考慮することが必要である。

(3) 震源断層モデルの微視的パラメータにおける不確かさの考慮

断層モデルを用いたシミュレーションによる地震動予測では、「平均的な地震動レベル」と「モデルの不確定性に起因する地震動のばらつき」の両方を評価する必要がある。そのためには、震源断層モデルの微視的パラメータにおける不確かさの考慮が必要である。特に、破壊開始点位置、アスペリティ位置、アスペリティの実効応力の不均質さ、地震発生層より浅部でのすべり速度時間関数の設定などに関する不確かさの考慮が重要である。その際、ばらつきを考慮した場合においても、安定してパラメータ設定が可能となるようレシピを改良する必要がある。仮定した断層パラメータのばらつきの物理的根拠や、得られた地震動のばらつきの観測記録等による裏付けも今後の課題である。

シミュレーションを用いて将来の予測を行う場合、過去地震の再現モデルと予測のためのモデル群との関係を明確にする必要がある。再現モデルが予測モデル群にそのまま含まれている必要は必ずしもないが、過去地震の再現モデルから得られる知見を予測のためのモデルの構築にどのように活かすのかが重要なポイントである。

(4) 地下構造モデルにおける不確かさの考慮

震源のモデル化に比べると地下構造モデルの不確かさはほとんど考慮されていない。陸域は浅部・深部統合地盤モデルのように稠密な観測データに基づいたモデルが作成されつつあるが、海域については大きな不確かさがある。1Hz程度以上の高周波数域を計算対象として含む場合には、ランダム不均質などによる偶然的ばらつきを考慮する必要がある。浅部地盤による増幅率の評価においても、データの不足による認識論的不確定性の考慮が今後の課題である。

(5) 固有規模よりもひとまわり小さい地震の考慮

4月14日21時26分頃の地震はM6.5であり、固有規模よりもひとまわり小さい地震と考えられるが、最大震度7が観測されている。現状の確率論的な地震動ハザード評価（全国地震動予測地図）では、こうした地震は、震源断層をあらかじめ特定しにくい地震としてモデル化されており、ハザードの過小評価の懸念がある。固有規模よりもひとまわり小さい地震の地震規模と発生頻度のモデル化も重要な課題である。

キーワード：強震動予測、地震ハザード評価、不確定性、ばらつき

Keywords: strong-motion prediction, seismic hazard analysis, uncertainty, variability

M _j - M _o 式比較		M _j	武村(1990)	中央防災会議(2008)	中央防災会議(2013)	F-net
	2016熊本地震	7.3	1.82E+19	3.52E+19	3.98E+19	4.12E+19
	1995兵庫県南部地震	7.3	1.82E+19	3.52E+19	3.98E+19	3.30E+19
	2008岩手・宮城内陸	7.2	1.39E+19	2.59E+19	2.82E+19	2.72E+19
	2007能登半島地震	6.9	6.21E+18	1.04E+19	1.00E+19	1.36E+19
	2011福島県浜通り	7	8.13E+18	1.41E+19	1.41E+19	9.58E+18
	2007新潟県中越沖	6.8	4.74E+18	7.69E+18	7.08E+18	9.30E+18
	2000 鳥取県西部地震	7.3	1.82E+19	3.52E+19	3.98E+19	8.62E+18
	2005福岡県西方沖	7	8.13E+18	1.41E+19	1.41E+19	7.80E+18
	2004新潟県中越	6.8	4.74E+18	7.69E+18	7.08E+18	7.53E+18

中央防災会議(2008)：東南海、南海地震等に関する専門調査会 「断層のモデル化」

$M_w = 0.88M + 0.54$ を変形

中央防災会議(2013)：首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの

地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書 図表集

$M_w = M_j - 0.3$ を変形

レシピ（イ）パラメータ試算（FO-A~FO-B~熊川断層）

	関電設定	レシピ（イ）	（イ）+F&M
断層面積 (km ²)	951	1162.8	1162.8
地震モーメント(Nm)	5.03E+19	7.75E+19	7.75E+19
平均すべり量(cm)	151.2	187.6	187.6
平均応力降下量(MPa)	3.1	4.76	3.1
短周期レベル(Nm/s ²)	1.96E+19	2.26E+19	2.26E+19
全アスペリティ面積 (km ²)	209.22	452	255.8
アスペリティ応力降下量 (MPa)	14.1	12.2	14.1