

## 5. 基準地震動の策定(震源を特定せず策定する地震動)

86

■ 審査ガイドに示されている16地震について、

- ① Mw6.5以上の2地震(2008年岩手・宮城内陸地震、2000年鳥取県西部地震)については、地域性について整理・分析した結果、観測記録収集の対象外とした。
- ② Mw6.5未満の14地震については、震源近傍の観測記録を収集し、基盤地震動の検討・評価を実施。

表-1 収集対象となる内陸地殻内の地震の例

No	地震名	日時	規模
1	2008年岩手・宮城内陸地震	2008/06/14, 08:43	Mw6.9
2	2000年鳥取県西部地震	2000/10/06, 13:30	Mw6.6
3	2011年長野県北部地震	2011/03/12, 03:59	Mw6.2
4	1997年3月鹿児島県北西部地震	1997/03/26, 17:31	Mw6.1
5	2003年宮城県北部地震	2003/07/26, 07:13	Mw6.1
6	1996年宮城県北部(鬼首)地震	1996/08/11, 03:12	Mw6.0
7	1997年5月鹿児島県北西部地震	1997/05/13, 14:38	Mw6.0
8	1998年岩手県内陸北部地震	1998/09/03, 16:58	Mw5.9
9	2011年静岡県東部地震	2011/03/15, 22:31	Mw5.9
10	1997年山口県北部地震	1997/06/25, 18:50	Mw5.8
11	2011年茨城県北部地震	2011/03/19, 18:56	Mw5.8
12	2013年栃木県北部地震	2013/02/25, 16:23	Mw5.8
13	2004年北海道留萌支庁南部地震	2004/12/14, 14:56	Mw5.7
14	2005年福岡県西方沖地震の最大余震	2005/04/20, 06:11	Mw5.4
15	2012年茨城県北部地震	2012/03/10, 02:25	Mw5.2
16	2011年和歌山県北部地震	2011/07/05, 19:18	Mw5.0

## 5. 基準地震動の策定(震源特定せず)

第63回審査会合  
資料再掲

87

■ Mw6.5未満の地震のうち影響の大きい5記録について整理した結果は以下のとおり。

		2004年北海道留萌支庁南部地震	2013年栃木県北部地震	2011年和歌山北部地震	2011年茨城県北部地震	2011年長野県北部地震
地盤モデル	使用モデル	佐藤他(2013)のボーリング結果に基づく地盤モデル	KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	地盤情報が少なくモデルを構築できない
	既往の知見との整合性	微動探査による地盤データと整合 知見で指摘されている非線形性を考慮	KiK-net地盤データと整合しない 知見で指摘されている減衰・方位依存性の影響が不明	KiK-net地盤データと整合しない 知見で指摘されている減衰の影響が不明	観測記録の伝達関数及びKiK-net地盤データと整合しない 知見で指摘されている減衰の影響が不明	地盤モデルに関する既往の知見がない
	更なる知見収集・検討事項	—	地盤モデルの改良 知見で指摘されている特性に係るデータの取得と影響度合いの評価	地盤モデルの改良 知見で指摘されている特性に係るデータの取得と影響度合いの評価	地盤モデルの改良 知見で指摘されている特性に係るデータの取得と影響度合いの評価	地質調査、微動探査等による地盤情報の取得
はざとり解析	解析手法	非線形性を考慮した等価線形解析	線形解析	線形解析	線形解析	地盤モデルが構築できないため、解析できない
	精度	観測記録と整合	はざとり解析の適用性が不明	はざとり解析の適用性が不明	はざとり解析の適用性が不明	はざとり解析の適用性が不明
	更なる知見収集・検討事項	—	地表・地中観測記録の再現解析	√地表・地中観測記録の再現解析	地表・地中観測記録の再現解析	地表観測記録の再現解析
		○	×	×	×	×

■Mw6.5未満の地震のうち、影響の大きい5記録について整理した結果、2004年留萌支庁南部地震のHKD020の記録については、信頼性のある基盤地震動が評価できたと考えられ、震源を特定せず策定する地震動に反映する。

■2013年栃木県北部地震のTCGH07、2011年茨城県北部地震のIBRH13、2011年和歌山北部地震のWKYH01の記録については、一次元波動論では信頼性のある地盤モデルが構築できず、はざとり解析による基盤地震動の評価は困難と考えられ、今後とも継続的に知見の収集とはざとり解析等の検討を進め、信頼性の高い解放基盤波の算定を試みる。

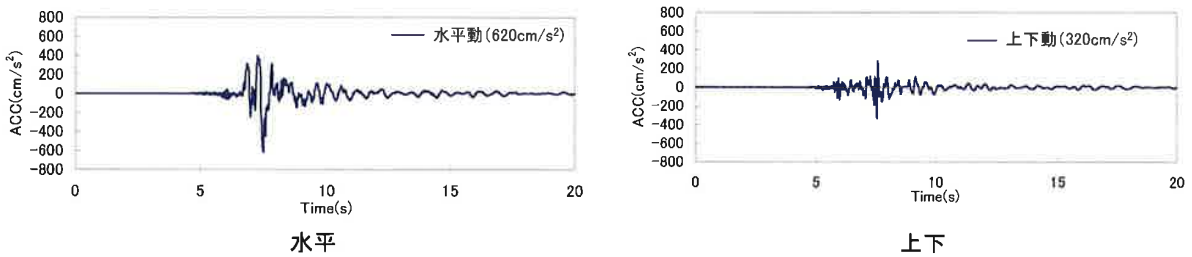
■2011年長野県北部地震のNIG023の記録については、地盤情報が乏しいためはざとり解析が困難であり、今後各種調査により地盤情報の取得を行い、分析を試みる。

### 2004年北海道留萌支庁南部の地震に関する検討のまとめ

- 2004年北海道留萌支庁南部の地震における佐藤・他(2013)による港町観測点の基盤地震動評価(水平動 $585\text{cm/s}^2$ 、上下動 $296\text{cm/s}^2$ )を元に、以下の検討を行った。
  - ①GL-41mまでの非線形性を考慮した基盤地震動評価(水平動,  $561\text{cm/s}^2$ )
  - ②当社として不確かさを考慮して、GL-6mからGL-41mまでの減衰定数を3%とした基盤地震動を評価(水平動,  $609\text{cm/s}^2$ )
  - ③再測定されたPS検層結果を踏まえた上下動の再評価(上下動,  $306\text{cm/s}^2$ )
  - ④地下水位の現状を反映したGL-6mまでポアソン比一定とした上下動評価(上下動,  $262\text{cm/s}^2$ )
- 以上より、基盤地震動の評価結果としては、水平動に関しては②のケース( $609\text{cm/s}^2$ )が、上下動に関しては③のケース( $306\text{cm/s}^2$ )が最も地震動の最大加速度が大きくなる事を確認した。

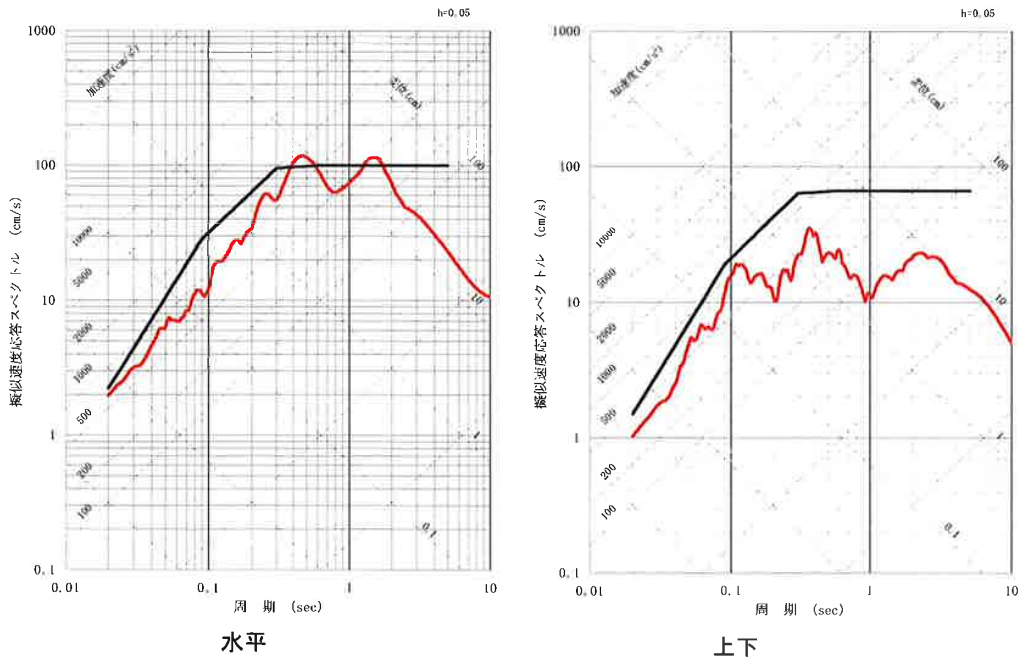
2004年北海道留萌支庁南部の地震の検討結果

- これまでの検討により、2004年北海道留萌支庁南部の地震の記録を用いて基盤地震動を求めた結果、水平動609cm/s<sup>2</sup>、上下動306cm/s<sup>2</sup>となった。
- 当社として、原子力発電所の耐震性に求められる保守性を勘案して、震源を特定せず策定する地震動として水平動620cm/s<sup>2</sup>、上下動320cm/s<sup>2</sup>と設定する。



加速度波形

■ 留萌支庁南部の地震の評価結果と基準地震動Ss-1との比較



— 大飯Ss-1  
— 震源を特定せず策定する地震動(留萌)

■ 前回審査会合で示した地盤モデルを用いて、FO-A～FO-Bと熊川断層との3連動および上林川断層について地震動評価を行った。

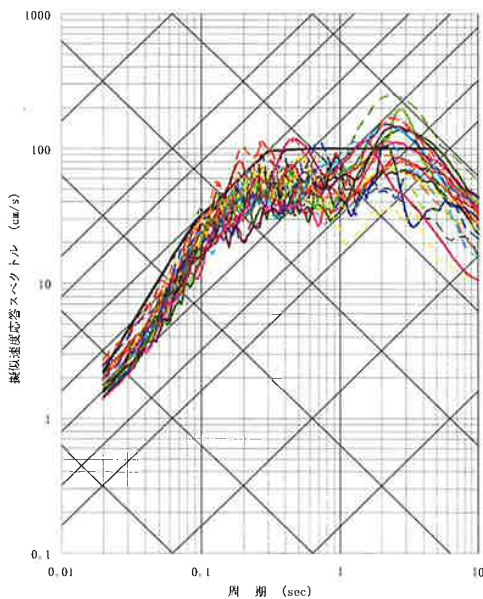
■ 地震動評価結果を踏まえて、基準地震動Ss-1の設計用スペクトルを設定した。また、断層モデルを用いた手法による地震動評価結果のうち、Ss-1のスペクトルを上回るケースについて、基準地震動(Ss-2～Ss-12)として選定した。

■ 震源を特定せず策定する地震動については、前回までの審査会合で示した検討結果から、以下を基準地震動として採用する。

・ Ss-13: 2004年留萌支庁南部地震、港町観測点の記録を考慮した地震動

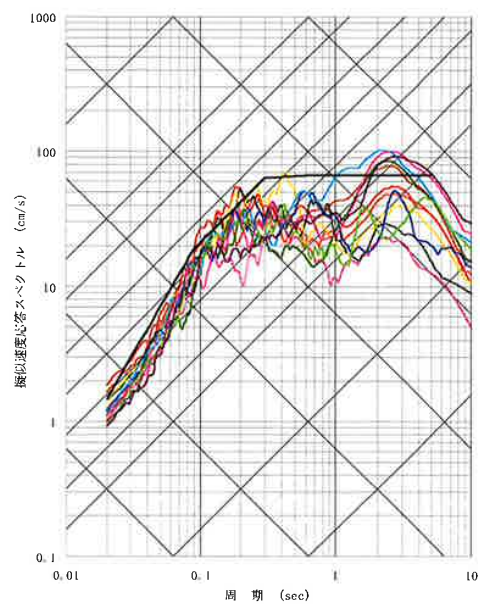
## 5. 基準地震動の策定

■ 基準地震動Ss-1～Ss-13の応答スペクトルは以下のとおり。

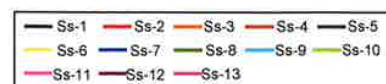


水平

(Ss2～Ss12では実線がNS成分、破線がEW成分)

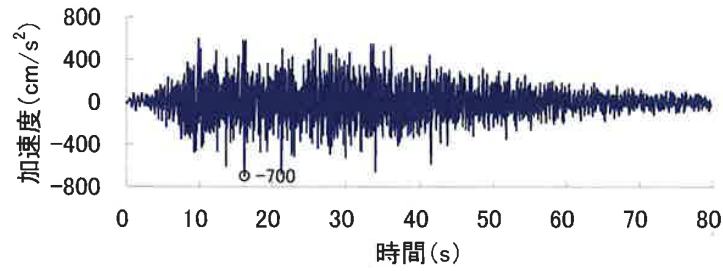


上下

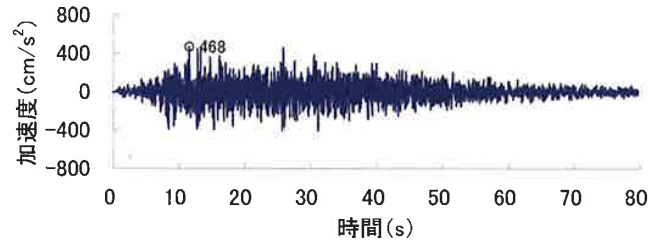


# 5. 基準地震動の策定

■ 基準地震動Ss-1の加速度時刻歴波形



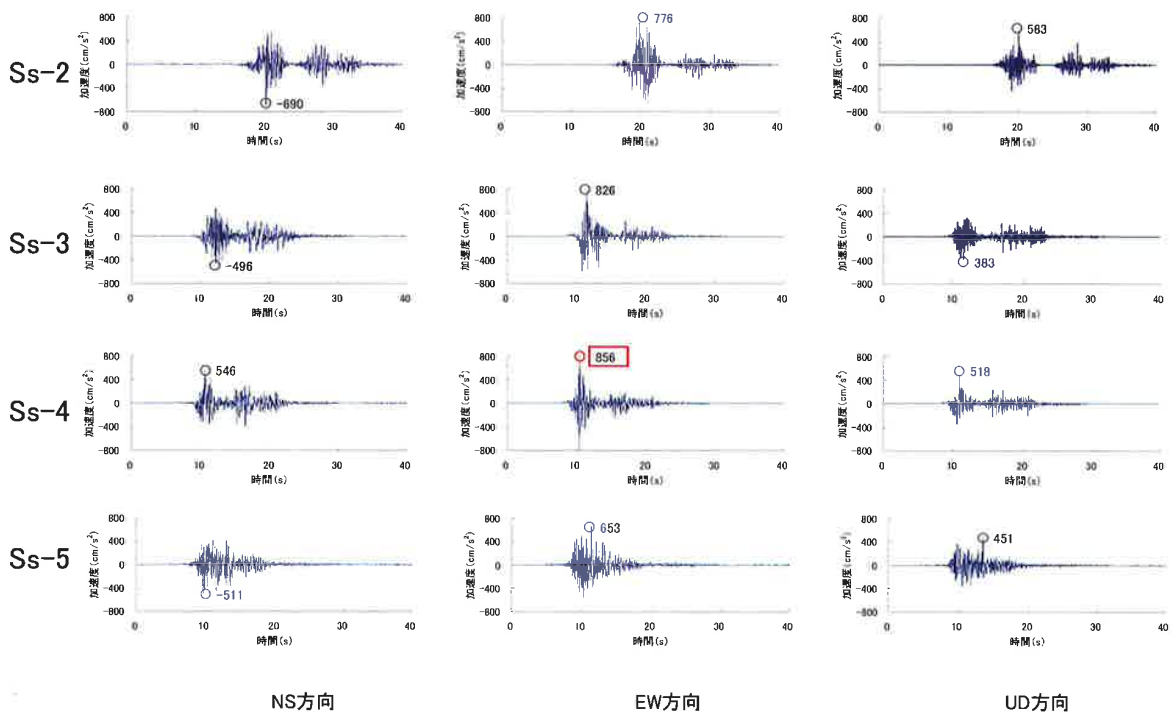
水平



鉛直

# 5. 基準地震動の策定

■ 基準地震動の加速度時刻歴波形(Ss-2~Ss-5)



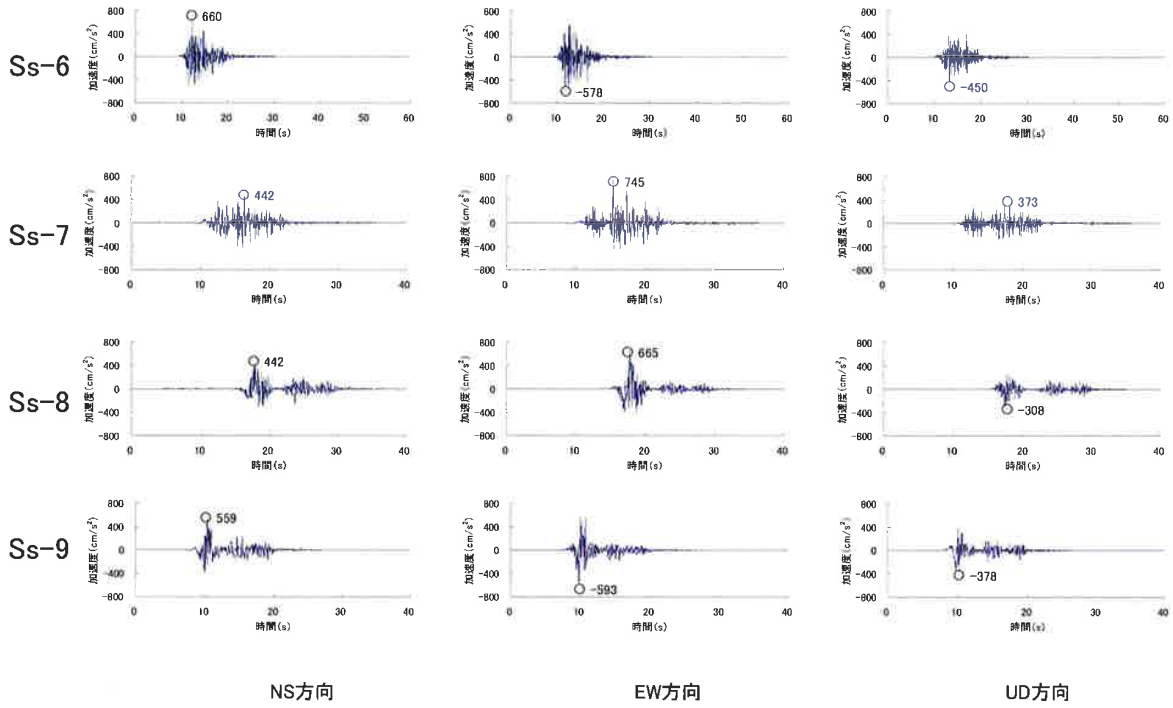
NS方向

EW方向

UD方向

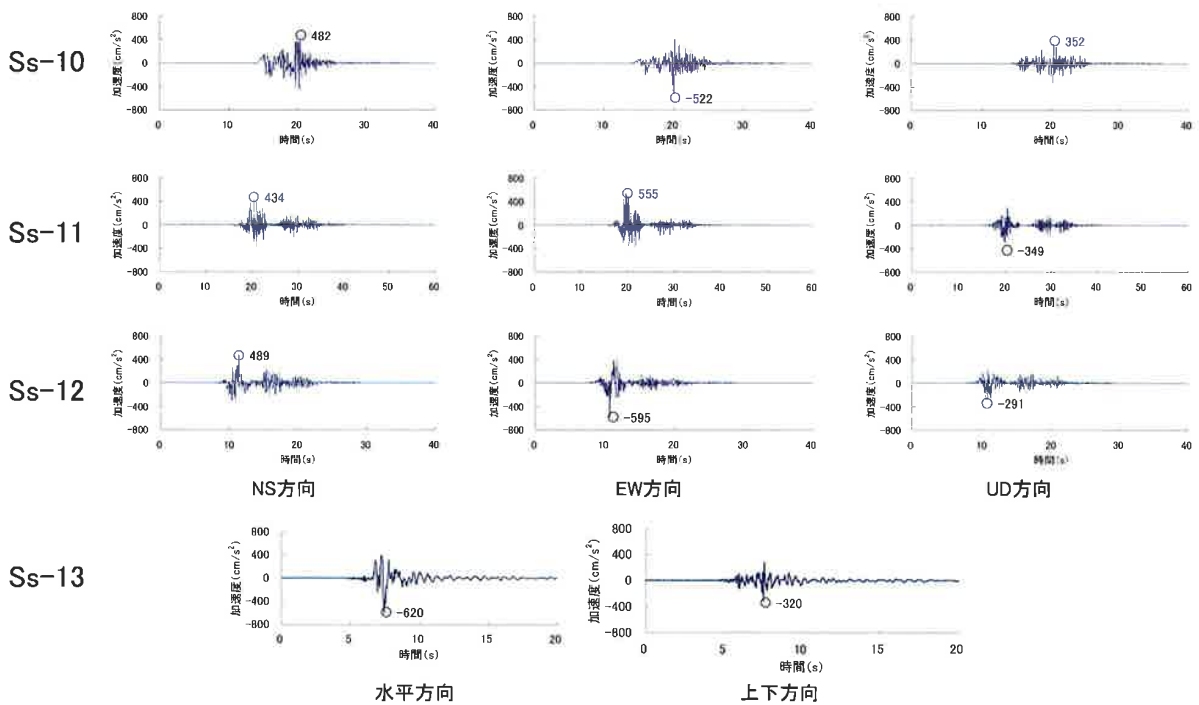
# 5. 基準地震動の策定

■基準地震動の加速度時刻歴波形(Ss-6~Ss-9)



# 5. 基準地震動の策定

■基準地震動の加速度時刻歴波形(Ss-10~Ss-13)

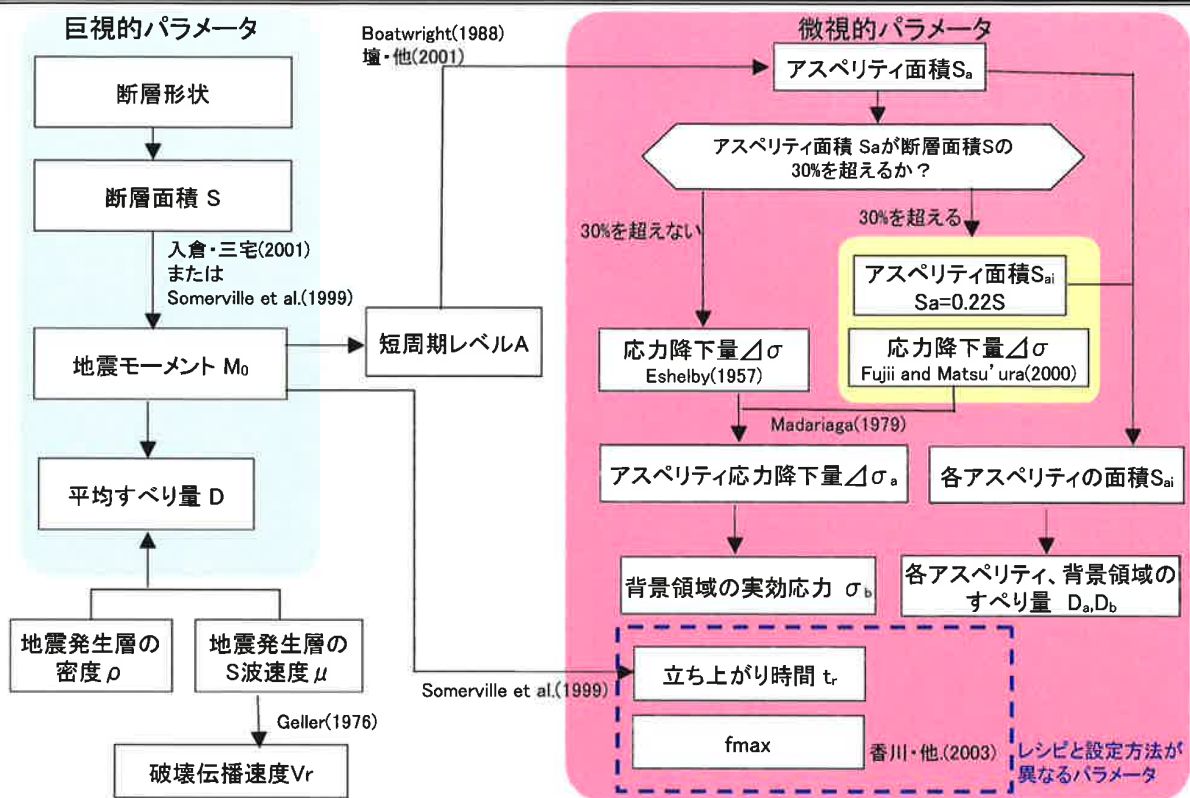


## 断層モデルによる地震動評価における パラメータの設定について

### (参考)断層パラメータの設定のフロー

#### <基本方針>

- 活断層調査等をもとに、地震本部の強震動予測レシピに従ってパラメータを設定する。  
(アスペリティ面積については、レシピのとおり短周期レベルから設定する。)
- 応力降下量の算定には、アスペリティ面積比 $S_a/S$ の値に応じ、以下の2つの方法のいずれかを用いる
  - ①円形クラックの式(Eshelby(1957))
  - ②Fujii and Matsu'ura(2000)
- 以下の2つのパラメータは、レシピと異なる方法で設定する。
  - ①立ち上がり時間 $T_r$ : Somerville et al.(1999)
  - ② $f_{max}$  : 香川・他(2003)
- 上記によりパラメータを設定したものを基本ケースとする。なお、不確かさを考慮したケースとして、短周期の地震動を1.5倍したケース等を検討する。



■アスペリティ面積 S<sub>a</sub> および 応力降下量 Δσ は、以下の方法①または②により設定する。

【方法①】

応力降下量は円形クラックの式 (Eshelby, 1957) により求める。また、アスペリティ面積は Boatwright(1988) および 壇・他(2001) から導出される式で求める。

$$\text{応力降下量} \quad \Delta\sigma = \frac{7}{16} \times \frac{M_0}{R^3}, \quad R = (S/\pi)^{1/2}$$

$$\text{アスペリティ面積} \quad S_a = \pi r^2, \quad r = \frac{7\pi}{4} \times \frac{M_0 \beta^2}{A \cdot R}, \quad R = (S/\pi)^{1/2}$$

【方法②】

震源断層の長さが震源断層の幅に比べて十分に大きい長大な断層については、応力降下量は Fujii and Matsu'ura(2000) により Δσ=3.1MPa とする。また、アスペリティ面積は Somerville et al(1999) をもとに断層面積 S の 22% として求める。

応力降下量	Δσ = 3.1 MPa	Fujii and Matsu'ura(2000)
アスペリティ面積	S <sub>a</sub> = 0.22 · S	Somerville et al.(1999)

■アスペリティの応力降下量 Δσ<sub>a</sub> は、Madariaga(1979)により求める。

$$\text{アスペリティ応力降下量} \quad \Delta\sigma_a = (S/S_a) \cdot \Delta\sigma$$



- 地盤モデル変更により上端深さ3kmとしたケースについて、前頁の2つの方法でパラメータを求めると、以下のとおりとなる。
- レシピで引用されている既往の研究(例えばSomerville et al,1999 や 宮腰・他,2001)では、内陸地震の場合の断層面積Sに対するアスペリティ面積Saの比は、約22%あるいは15～27%とされている。
- 方法①で算定した場合、アスペリティ面積比Sa/Sが0.37であり、既往の研究結果に比べて大きくなる。  
⇒アスペリティ応力降下量が大きくなり保守的な評価となる方法②を採用する。

	方法①	方法②
断層面積S(km <sup>2</sup> )	951	
地震モーメントM <sub>0</sub> (N・m)	5.03 × 10 <sup>19</sup>	
短周期レベルA(N・m/s <sup>2</sup> )	1.96 × 10 <sup>19</sup>	
応力降下量Δσ(MPa)	4.2	3.1
アスペリティ面積Sa(km <sup>2</sup> )	348.34	209.22
アスペリティ面積比Sa/S	0.37	0.22
アスペリティ応力降下量Δσ <sub>a</sub> (MPa)	11.4	14.1

- 立ち上がり時間t<sub>r</sub>は、Somerville et al(1999)による次式で設定する。

$$t_r = 2.03 \times 10^{-9} \times M_0^{1/3} \quad \dots \text{式①}$$

なお、レシピでは次式により算定すると記載されている。

$$t_r = \alpha \cdot W / V_r, \quad \alpha = 0.5 \quad \dots \text{式②}$$

W: アスペリティ領域においてはアスペリティ幅、背景領域においては断層全体の幅  
V<sub>r</sub>: 破壊伝播速度

- 上記の2式で立ち上がり時間を求めると、式①で算定したほうが立ち上がり時間が小さくなり、保守的な評価となっている。

	式① Somerville et al(1999)	式② レシピ
立ち上がり時間t <sub>r</sub> (s)	1.60	1.71(アスペリティ) 2.85(背景領域)

■  $f_{max}$ は、香川・他(2003)による $f_{max}=8.3\text{Hz}$ を用いる。

香川・他(2003)では、1995年兵庫県南部地震・1997年鹿児島県北西部地震・2000年鳥取県西部地震の硬質サイトでの10観測記録を用いて高周波低減特性について分析した結果、 $f_{max}=8.3\text{Hz}$ と評価している。

なお、レシピでは $f_{max}$ について以下のように記載されており、 $f_{max}=6\text{Hz}$ とされている。

地震調査委員会強震動評価部会(2001)では、 $f_{max}=6\text{Hz}$ (鶴来・他,1997)および $f_{max}=13.5\text{Hz}$ (佐藤・他1994)の2つのケースを想定し、比較した。その結果、 $f_{max}=6\text{Hz}$ のケースの方が、既存の距離減衰式の対応が良いことが分かったため、 $f_{max}=6\text{Hz}$ を用いることとする。

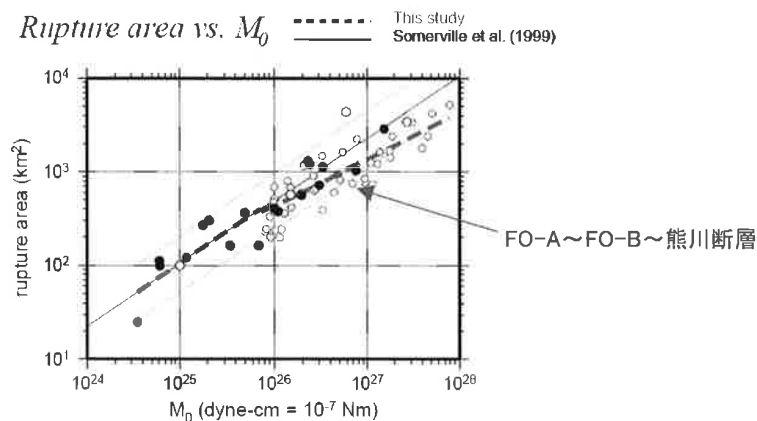
■  $f_{max}$ は香川・他(2003)を用いたほうが保守的な評価となっている。

	香川・他(2003)	レシピ
$f_{max}$	8.3	6

■ 地震モーメント $M_0$ : 断層面積 $S$ に応じて、次式により求める。

$$M_0 = \{S / (2.23 \times 10^{-15})\}^{3/2} \quad (S < 291\text{km}^2) \quad \text{Somerville et al(1999)}$$

$$M_0 = \{S / (4.24 \times 10^{-11})\}^2 \quad (S \geq 291\text{km}^2) \quad \text{入倉・三宅(2001)}$$



入倉・三宅(2001)

# 鳥取県西部地震について (第63回審査会合資料抜粋)

## 鳥取県西部地震 活断層の出現要因に関する文献調査

山陰地方の活断層は、山陰地方の山陰中央構造線に属する。山陰中央構造線は、山陰地方の山陰中央構造線を形成する。山陰地方の山陰中央構造線は、山陰地方の山陰中央構造線を形成する。山陰地方の山陰中央構造線は、山陰地方の山陰中央構造線を形成する。

### 岡田 (2002)

山陰地方の活断層は、山陰地方の山陰中央構造線に属する。山陰中央構造線は、山陰地方の山陰中央構造線を形成する。山陰地方の山陰中央構造線は、山陰地方の山陰中央構造線を形成する。

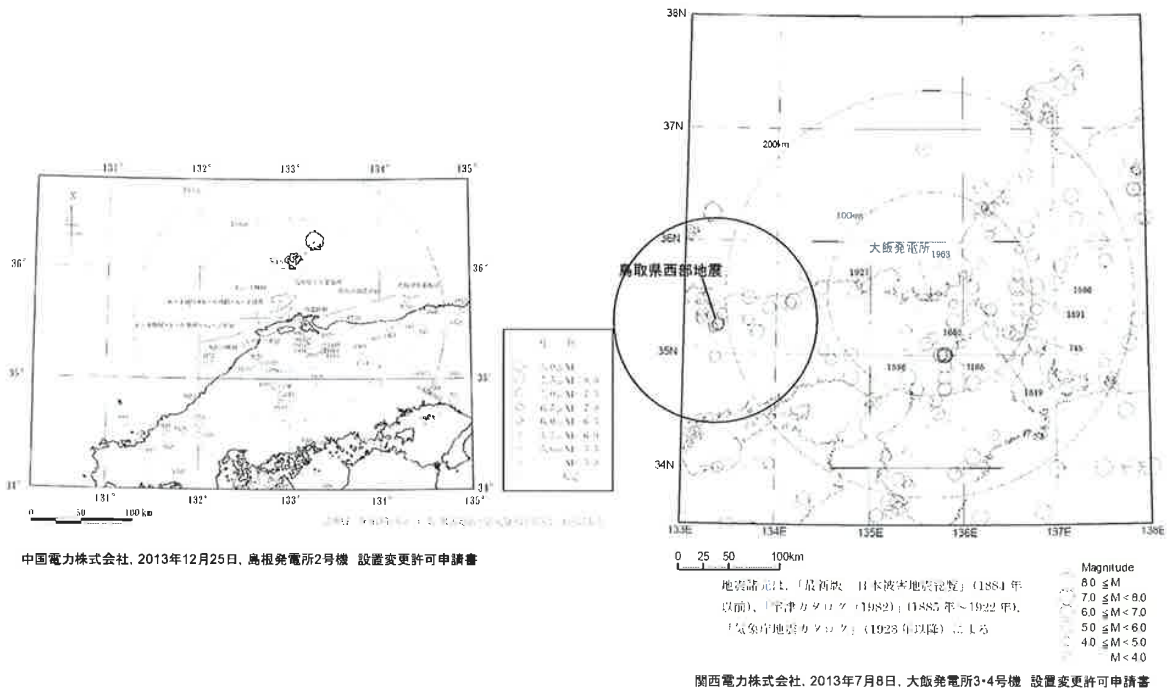
### 垣見 (2002)

山陰地方の活断層は、山陰地方の山陰中央構造線に属する。山陰中央構造線は、山陰地方の山陰中央構造線を形成する。山陰地方の山陰中央構造線は、山陰地方の山陰中央構造線を形成する。

- ▶ 全体が地表地震断層として現れず、震源が特定しにくい地震であった要因としては、以下のとおり、活断層が未成熟であったことが考えられる。
- ・岡田(2002)によると、山陰地域の活断層は「活断層の発達過程でみると、初期の発達段階を示し、随伴される断層破砕帯が狭く、未成熟な状態とみなされる。」とされている。
- ・垣見(2002)によると、「今回の鳥取県西部地震は、典型的な未成熟地震である」とされている。
- ▶ 一方、「中部や近畿地方では、累積変位量の大きな明瞭な活断層が密に発達する。大規模な活構造は内帯の全域に発達しており、山陰地域とは著しく異なる地体構造域となっている。」とされており、地域差が指摘されている。

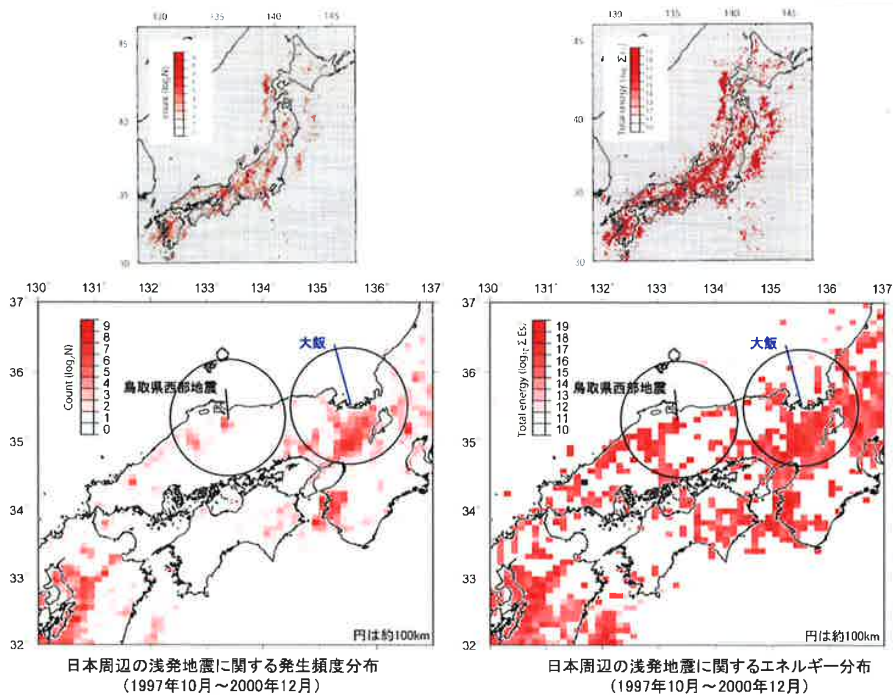
・岡田篤正, 2002, 山陰地方の活断層の諸特徴, 活断層研究22(松田時彦先生古稀記念号), p17-32  
 ・垣見俊弘, 2002, 「活断層地震」と「バックグラウンド地震」のはざまの地震―鳥取県西部地震を例として―, 災害の研究第33巻 損害保険料率算定会, p113-125

## 地震活動の検討 (歴史被害地震の比較)



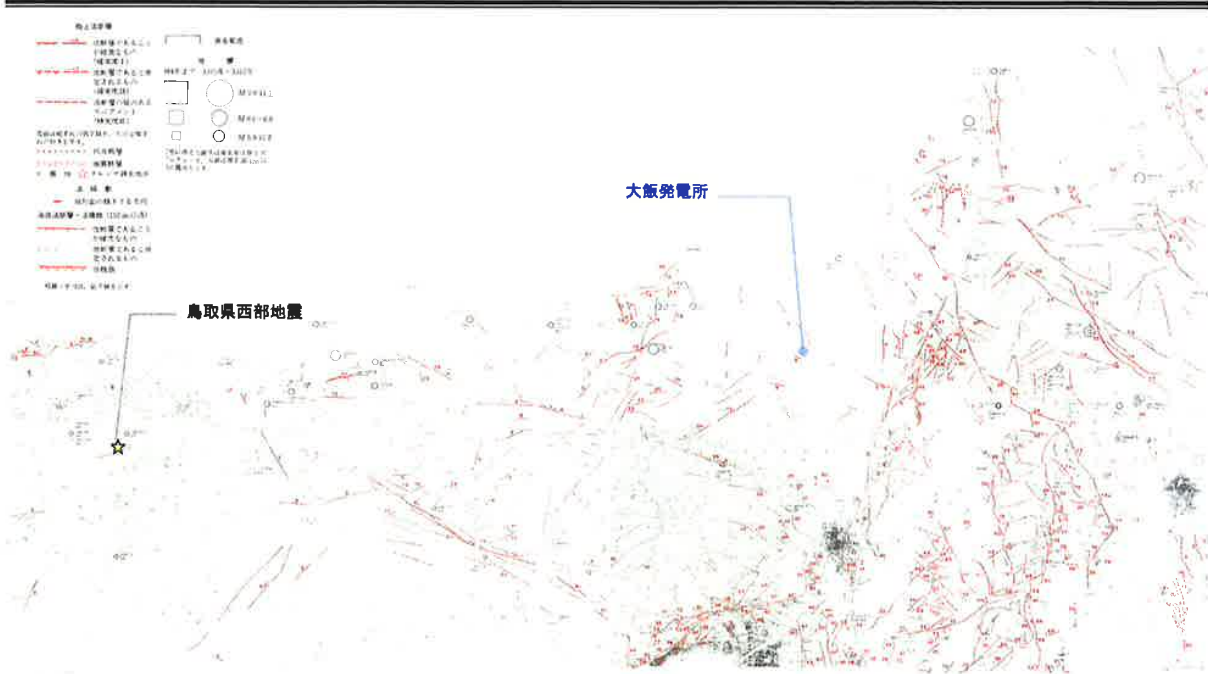
- ・鳥取県西部地震周辺地域では、その震源近傍や出雲地方近傍で繰り返し地震が発生している。
- ・大飯発電所周辺地域では、活断層に関連付けられる地震が数多く見られる。

## 地震活動の検討 (発生頻度とエネルギーの比較)



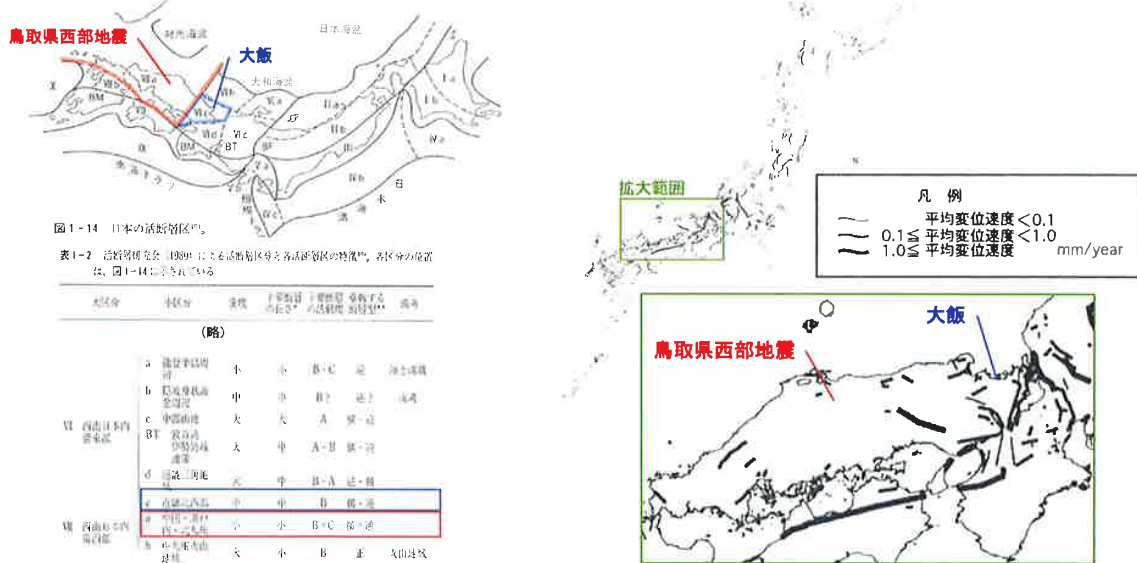
- ・青柳ほか(2005)より、それぞれの地域における浅発地震に関する発生頻度及びエネルギー分布を比較した結果、大飯発電所周辺地域においては山陰地方と比較しても比較的多くの地震が発生している。

青柳恭平・阿部信太郎, 2005. 日本列島陸域における地震活動度の地域性に関する統計的検討, 電力中央研究所報告



・新編日本の活断層(1991)を確認した結果、大飯発電所周辺地域と比較しても、鳥取県西部地震周辺地域は活断層の密度が少ないと考えられる地域である。

活断層研究会, 1991, 新編日本の活断層—分布図と資料—, 東京大学出版会



\* 中: 20km以上、小: 20-50km、大: 20km以下、長さ(%)は元の資料が不明  
\*\* 逆: 逆断層、正: 正断層、斜: 斜断層 (活断層研究会(1980))

活断層タイプごとの分布図とその頻度(活断層は確かな活断層のみを抽出)  
(200万分の1活断層図編集ワーキンググループ(2000))

➤活断層研究会(1980)による活断層区分と各活断層区の特徴より、鳥取県西部地震周辺地域では大飯発電所周辺地域に比べて活断層の活動度が低い地域である。  
➤また、この傾向は、200万分の1活断層図編集ワーキンググループ(2000)とも整合的である。

・活断層研究会, 日本の活断層—分布図と資料, 東京大学出版会, 363p., 1980.  
・200万分の1活断層図編集ワーキンググループ, 2000, 『200万の1日本列島活断層図—過去数万年間の断層活動の特徴—, 活断層研究No.19, p3-12

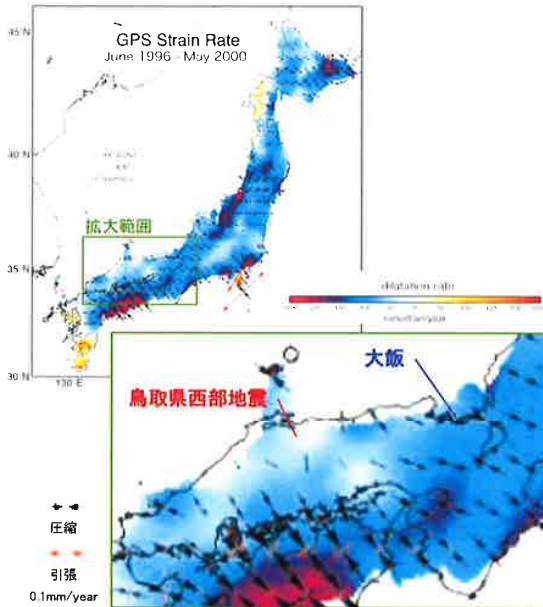


Fig. 3. Strain rate of the Japanese island, obtained from GONET data. Strain rate was calculated in the same way as Sagiya et al. (2000), using the velocity data from June 1996 to May 2000. Dilatation rate is shown in color. Arrows denote principal strain rates.

Sagiya(2004)

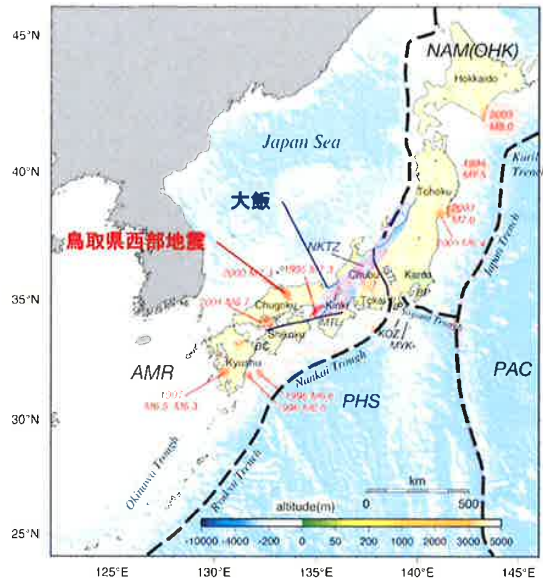


Fig. 4. Index map of the Japanese Islands. Active regions of compressive earthquakes during 1994-2003 are shown in red. PAC: Pacific Plate; PHS: Philippine Sea Plate; AMR: American Plate; NAM: North American Plate; OHK: Okhotsk Plate; KUR: Kuril-Kamoyake Island; JOR: Japan (Sagiya et al., 2000); PH: Honshu; SHOKU: Shikoku; ITO: Ito; MH: Median Tectonic Line; BP: Bonin Plateau; IP: Ito Peninsula; BK: Bungo Channel; KTZ: Kuroshio Trench; MK: Mikura Island.

Sagiya(2004)

➤鳥取県西部地震周辺地域では、大飯発電所周辺地域に比べてひずみ速度が小さい地域である。

• Takeshi Sagiya, 2004. A decade of GEONET: 1994-2003—The continuous GPS observation in Japan and its impact on earthquake studies—, Earth Planets Space, 56, xxix-xli

地域性の比較のまとめ

【地震活動】

歴史地震を含め地震の活動状況を比較した結果、近年の地震活動に大きな違いは見られなかった。

【活断層分布】

新編日本の活断層、活断層データベース及び活断層詳細デジタルマップ等の複数の文献を確認した結果、鳥取県西部地震周辺地域では大飯発電所周辺地域に比べて活断層の分布密度は少ない地域である。

【活断層活動度】

鳥取県西部地震周辺地域では、大飯発電所周辺地域に比べて活断層の活動度が低く、ひずみ速度が小さい地域である。

➤近年の地震活動については両地域で大きな違いは認められなかったが、活断層の分布や活動度から見ると、活断層が未成熟とされている鳥取県西部地震周辺地域に比べ、大飯発電所周辺地域は活断層密度、活動度が高く、活断層が成熟している地域と考えられ、両地域では大きな違いが認められる。

大飯発電所周辺地域は活断層が成熟しており震源が特定しにくい地域ではないことから、鳥取県西部地震は観測記録収集対象外とする。