

基準地震動の策定について

令和3年3月21日

本日の説明の概括

昨年12月の判決のポイント

原子力規制委員会は、経験式が有するばらつきを考慮した場合、これに基づき算出された地震モーメントの値に何らかの上乗せをする必要があるか否か等について何ら検討することなく、本件申請が設置許可基準規則4条3項に適合し、地震動審査ガイドを踏まえているとした。このような原子力規制委員会の調査審議及び判断の過程には、看過し難い過誤、欠落があるものというべきである。

～ 説明内容 ～

- 大飯発電所の基準地震動の策定について（審査のポイント）
- 入倉・三宅式を用いて震源断層面積から計算した地震モーメントに何らかの値を上乗せした場合の試算について

大飯発電所の基準地震動の策定について（審査のポイント）

- 1 大飯発電所の基準地震動の策定について
- 2 レシピにおける内陸地殻内地震の震源特性パラメータ設定フロー
- 3 レシピにおける内陸地殻内地震の震源特性パラメータ設定フロー（概要）
- 4 「断層長さ及び断層幅」への不確かさの反映
- 5 断層長さ及び断層幅を見直したことによる地震モーメントへの影響
（事業者による当初申請との比較）
- 6 アスペリティの配置
- 7 地震動評価の「不確かさケース」
- 8 断層の上端深さ、断層の連動、短周期の地震動レベルにかかる不確かさを反映したことによる地震動評価結果（最大加速度）
- 9 大飯発電所の基準地震動の審査のまとめ

（別添）入倉・三宅式を用いて震源断層面積から計算した地震モーメントに何らかの値を上乗せした場合の試算について

別添1 入倉・三宅式を用いて震源断層面積から計算した地震モーメントに何らかの値を上乗せする操作について

別添2 地震モーメントに何らかの値を上乗せした場合の試算結果

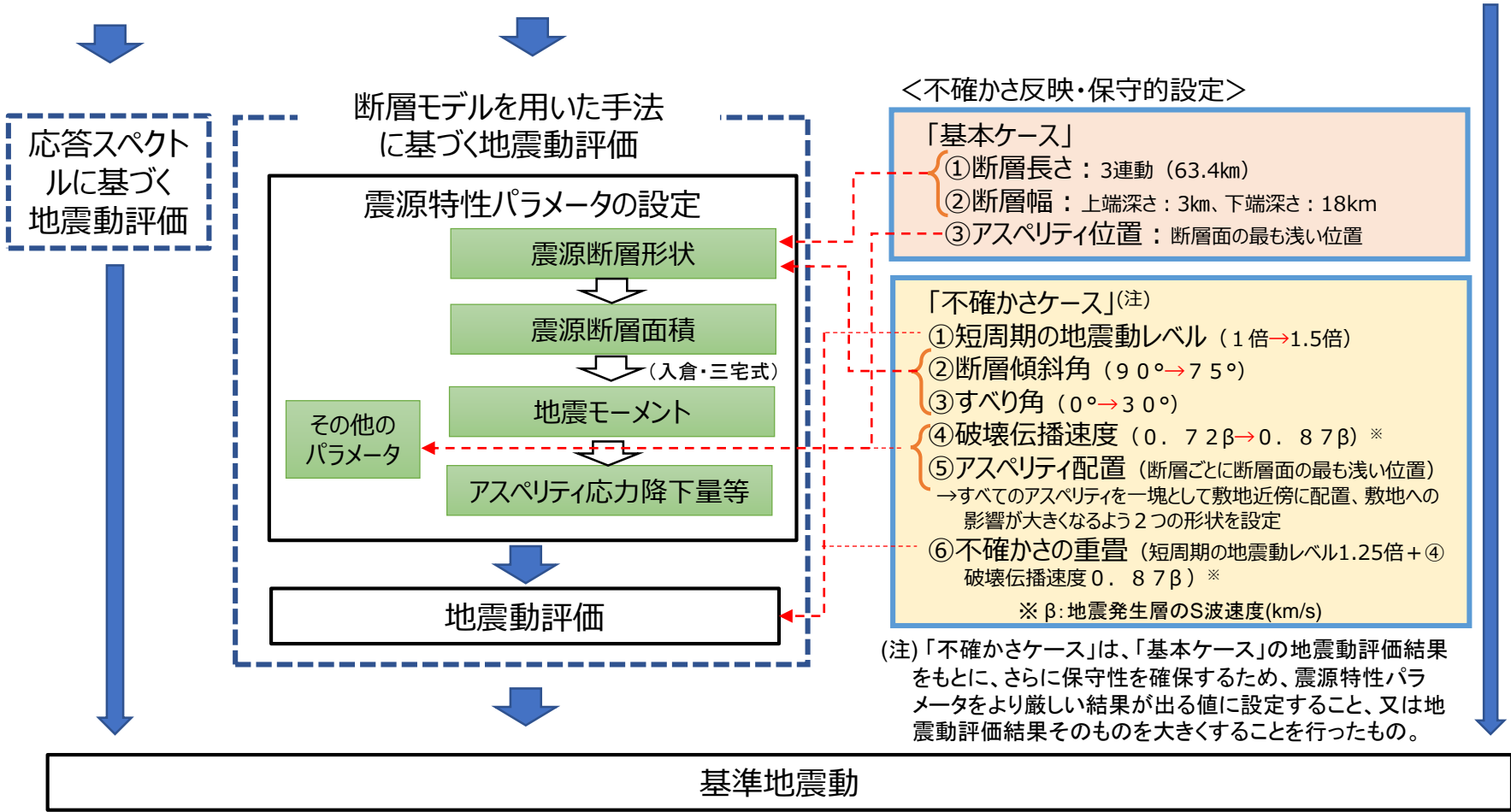
（参考）

1. 基準地震動の策定に係る審査の基本的考え方
2. 大飯発電所の基準地震動の策定に係る審査
3. 地震本部（地震調査研究推進本部）とは
4. 震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）とは

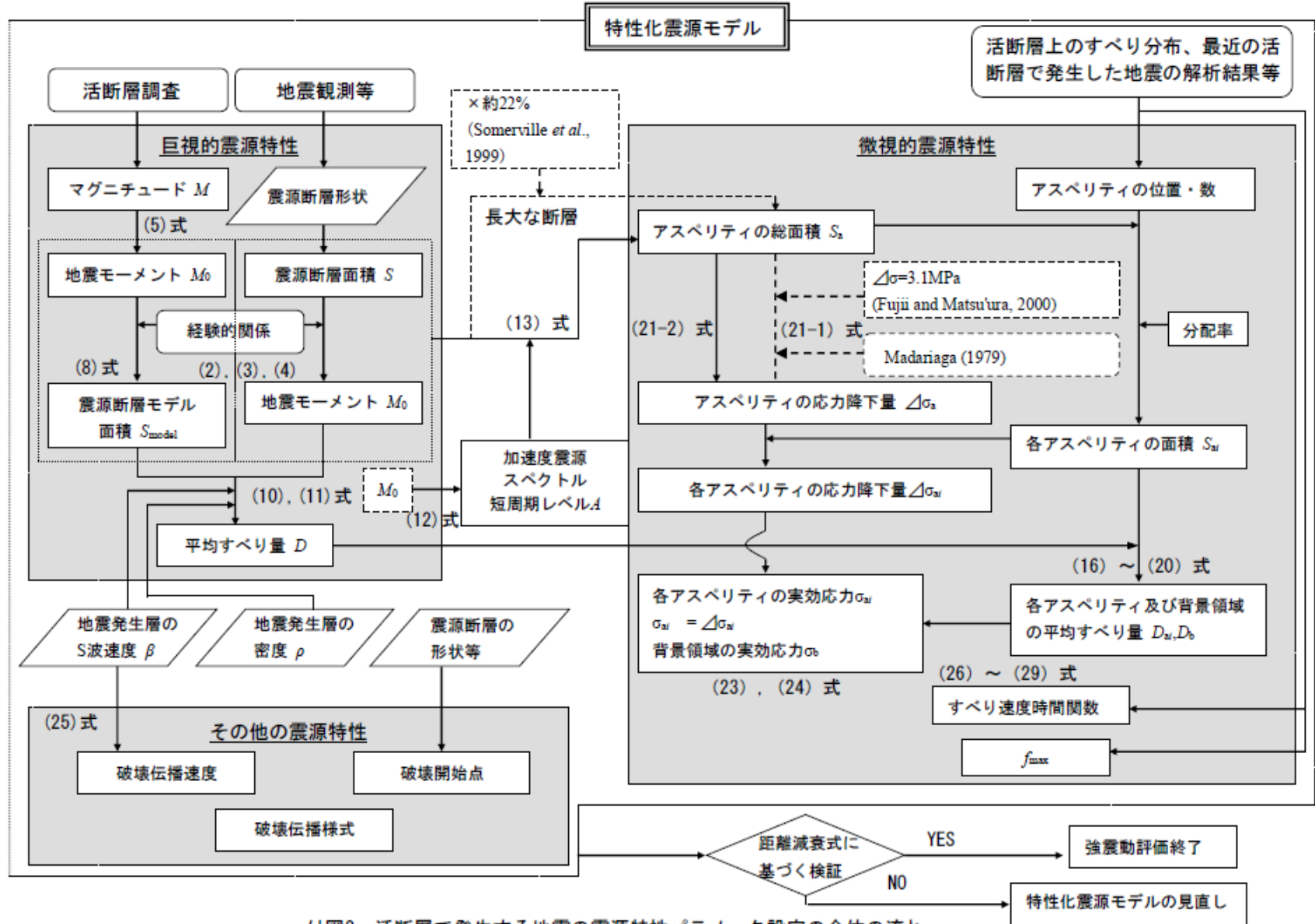
図表1 大飯発電所の基準地震動の策定について

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
(検討用地震) ①FO-A~FO-B~熊川断層による地震 ②上林川断層による地震

震源を特定せず
策定する地震動



図表2 レシピにおける内陸地殻内地震の震源特性パラメータ設定フロー



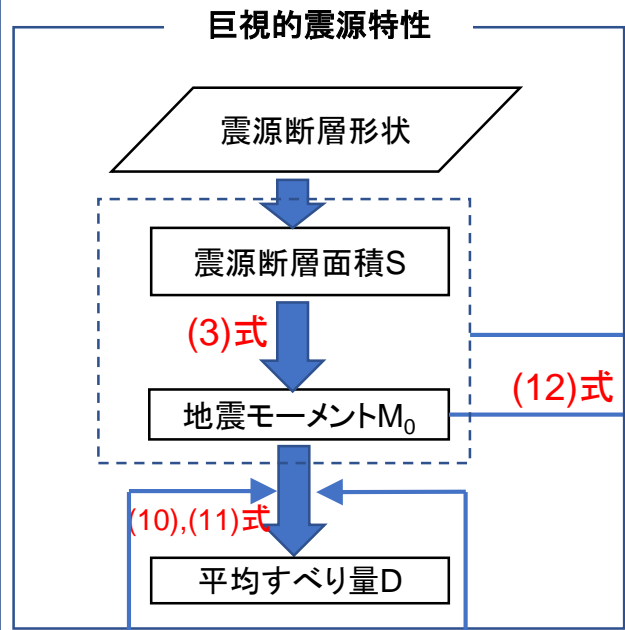
付図2 活断層で発生する地震の震源特性パラメータ設定の全体の流れ

(地震調査研究推進本部地震調査委員会「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)」(令和2年(2020年)3月)から抜粋
<https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20_yosokuchizu/recipe.pdf>)

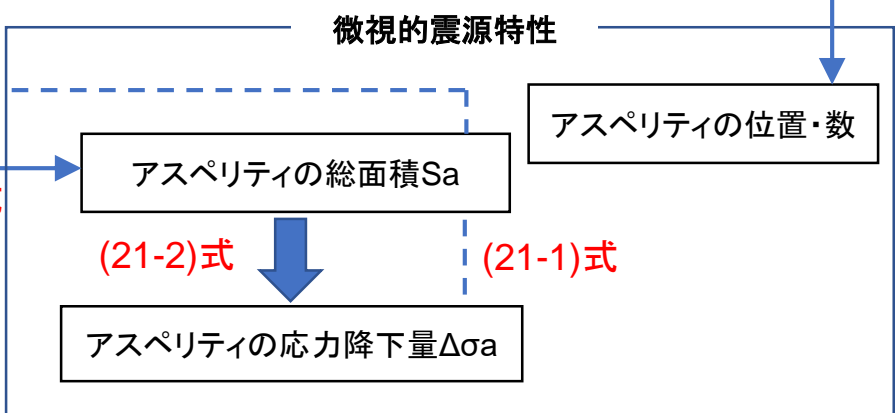
図表3 レシピにおける内陸地殻内地震の
震源特性パラメータ設定フロー（概要）

特性化震源モデル

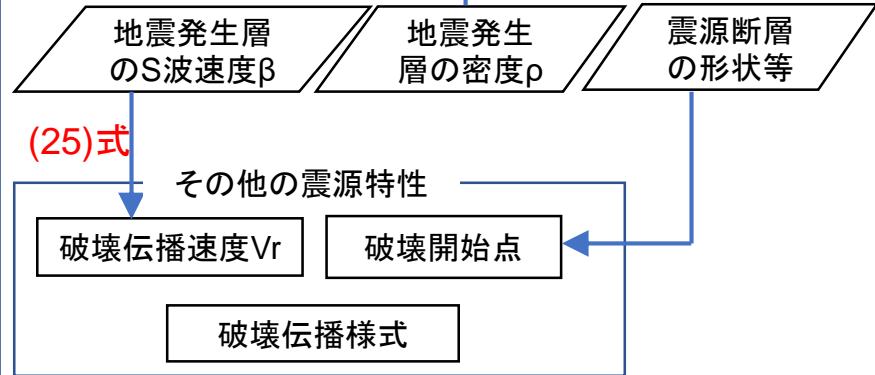
活断層上のすべり分布、最近の活断層で発生した地震の解析結果等



長大な断層:
Somerville et al.
(1999)



加速度震源
スペクトル
短周期レベルA



式番号	レシピの主な構成式
(3)式	$M_0 = \{S / (4.24 \times 10^{-11})\}^{2.0} \times 10^{-7}$
(10),(11)式	$D = M_0 / (\mu S), \quad \mu = \rho \cdot \beta^2$
(25)式	$V_r = 0.72\beta$
(12)式	$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$
—	$S_a = 0.22S$ (Somerville et al. (1999)の知見)
(13)式	$S_a = \pi \cdot r^2, \quad r = (7\pi/4) \cdot \{(M_0 / (A \cdot R))\} \cdot \beta^2$
(15)式	$A = 4\pi \cdot r \cdot \Delta\sigma_a \cdot \beta^2$
(21-2)式	$\Delta\sigma_a = (7/16) \cdot M_0 / (r^2 \cdot R)$
(21-1)式	$\Delta\sigma = 3.1 \text{MPa}, \quad \Delta\sigma_a = (S/S_a) \Delta\sigma$

注)r:アスペリティの総面積 S_a に対する等価半径
R:震源断層面積Sに対する等価半径
 μ :剛性率

図表4 「断層長さ及び断層幅」への不確かさの反映

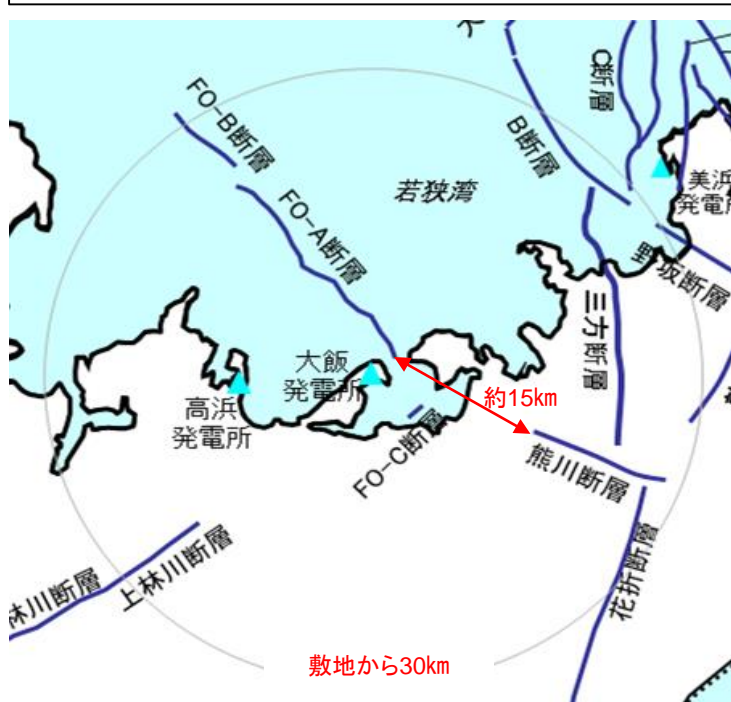
①断層の連動(断層長さ)

事業者の当初の申請では、「FO-A～FO-B断層」(断層長さ約35km)と「熊川断層」(断層長さ約14km)との間には、約15kmの離隔があったことから連動は考慮されていなかったものの、以下の観点から、両断層を連動(断層長さ約63.4km)させた。

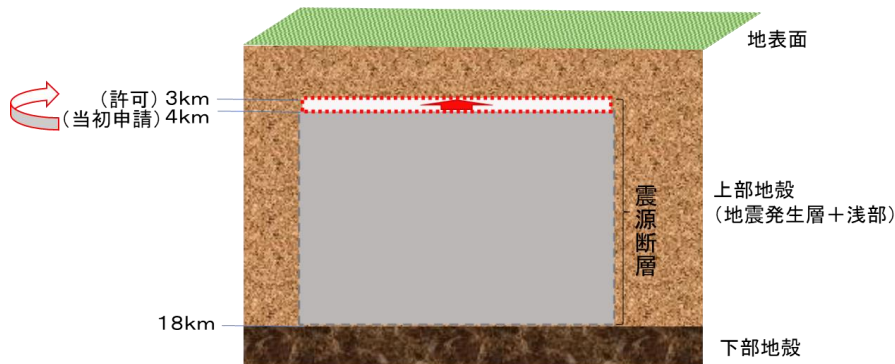
- ・両断層は敷地の前面に位置しており、連動させた場合に地震動評価の影響が大きいこと
- ・両断層の間には断層の有無が不明瞭な区間が相当有り、走向・傾斜等の観点から、連動破壊を否定することが難しいこと

②上端深さ・下端深さ(断層幅)

上端深さ・下端深さは、事業者の当初の申請では4km・18kmに設定していたが、速度構造や微小地震の発生状況を考慮して、評価結果が厳しくなるように上端深さは3kmに見直した。



若狭湾周辺の主な断層の分布



図表5 断層長さ及び断層幅を見直したことによる地震モーメントへの影響
(事業者による当初申請との比較)

審査の過程において、FO-A～FO-B～熊川断層による地震について、断層長さ、断層幅を見直したことにより、審査結果における地震モーメント※は、事業者の当初の申請と比較して3.7倍となった。

主な震源特性パラメータ	事業者の当初の申請 FO-A～FO-B断層	審査結果 FO-A～FO-B～熊川断層	審査結果／ 事業者の当初の申請
断層長さ	35.3 km	63.4 km	1.80
断層深さ: 上端深さ～下端深さ	4 ~ 18 km	3 ~ 18 km	
断層幅(傾斜角90° ケース)	14 km	15 km	1.07
震源断層面積	494 km ²	951 km ²	1.92
地震モーメント※	1.36×10^{19} Nm	5.03×10^{19} Nm	3.70

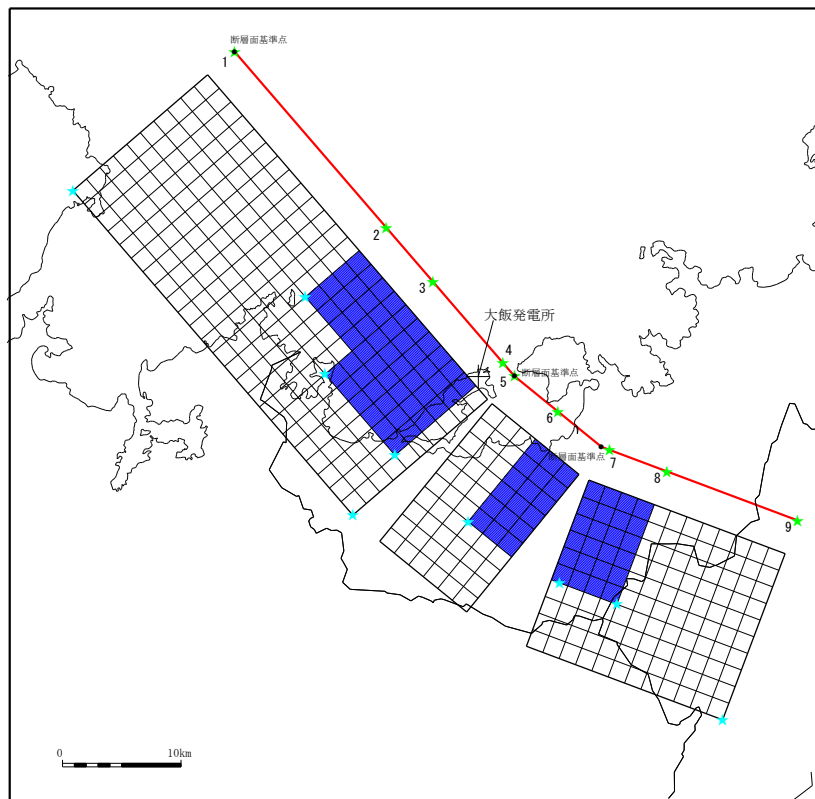
※ 地震モーメント:断層を境にした2つの面を異なる方向にずらそうとするエネルギー

図表6 アスペリティの配置

敷地での地震動が厳しいものになるよう、「基本ケース」において、地震動評価結果に大きく影響するアスペリティ注)を断層面の最も浅い位置に配置した。

注)アスペリティ:

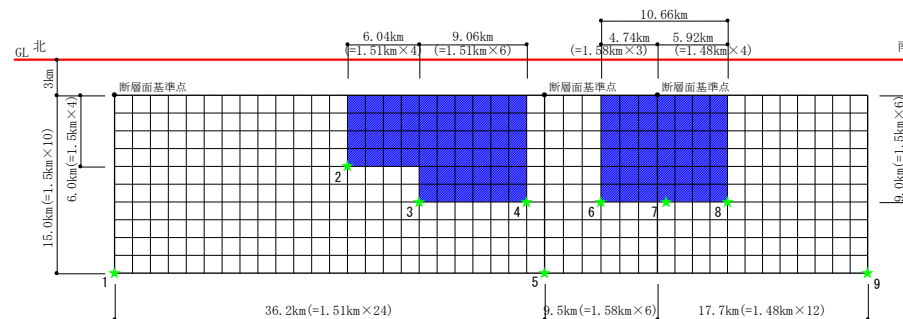
プレート境界や活断層などの断層面上で、ある時に急激にずれて(すべて)地震波を出す領域のうち、通常は強く固着していて、周囲に比べて特にすべり量大きい領域のこと(図の青く塗った部分)。



※ 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

図表7 地震動評価の「不確かさケース」

FO-A～FO-B～熊川断層の地震動評価ケース

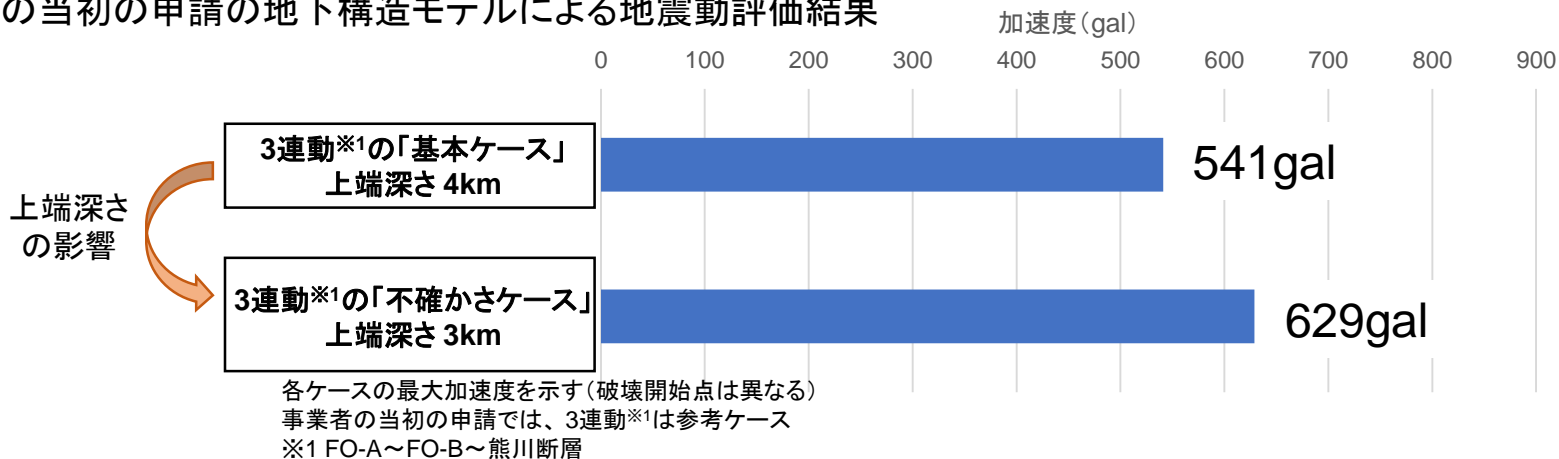
評価ケース	短周期の地震動レベル	断層傾斜角	すべり角	破壊伝播速度 V_r	アスペリティ配置	破壊開始点
基本ケース	レシピに基づく	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
短周期の地震動レベル (新潟県中越沖地震の知見を反映)	基本ケース×1.5倍	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
断層傾斜角	基本ケースに同じ	75°	0°	$V_r=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
すべり角	基本ケースに同じ	90°	30°	$V_r=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
破壊伝播速度 V_r	基本ケースに同じ	90°	0°	$V_r=0.87\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
アスペリティ配置	基本ケースに同じ	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	②敷地近傍に一塊(正方形)	5箇所
	基本ケースに同じ	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	③敷地近傍に一塊(長方形)	5箇所
短周期の地震動レベルおよび破壊伝播速度 V_r の不確かさの組合せを考慮	基本ケース×1.25倍	90°	0°	$V_r=0.87\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所

■ : 不確かさを独立して考慮するパラメータ □ : 不確かさを重畳して考慮するパラメータ

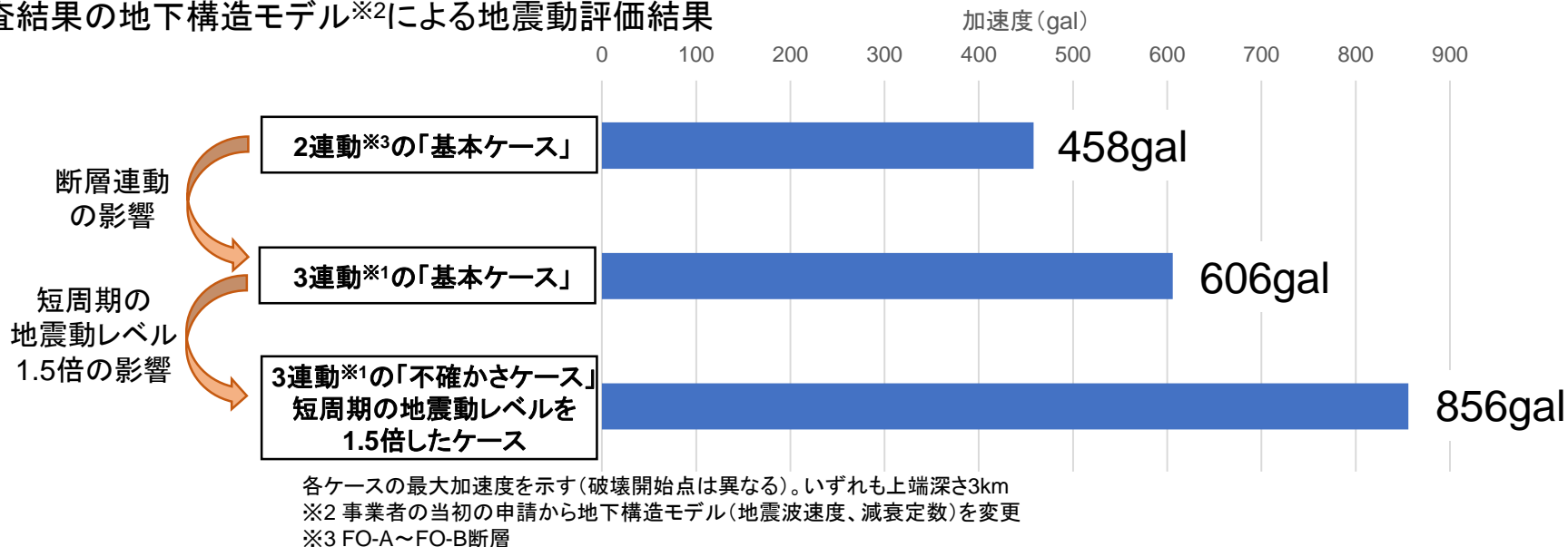
図表8 断層の上端深さ、断層の連動、短周期の地震動レベルにかかる不確かさを反映したことによる地震動評価結果（最大加速度）

断層の上端深さ、断層の連動及び短周期の地震動レベルについて、評価結果が厳しいものになるように設定した結果、最大加速度の値が大きくなり、保守的な評価となった。

事業者の当初の申請の地下構造モデルによる地震動評価結果



審査結果の地下構造モデル※2による地震動評価結果



図表9 大飯発電所の基準地震動の審査のまとめ

大飯発電所の基準地震動の策定に係る審査においては、基準地震動が、敷地及び敷地周辺の地域的な特性を踏まえて、地震学及び地震工学的見地に基づく総合的な観点から不確かさを十分に考慮して策定されていることを確認し、妥当なものであると判断している。

■ 基準地震動の最大加速度

(cm/s²)

基準地震動		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 $V_r=0.87\beta$ 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 $V_r=0.87\beta$ 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 $V_r=0.87\beta$ 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 $V_r=0.87\beta$ 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 $V_r=0.87\beta$ 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 $V_r=0.87\beta$ 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 $V_r=0.87\beta$ 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 $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点9)	594	607	436
Ss-18	2000年鳥取県西部地震・賀祥ダムの観測記録	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)大飯発電所3、4号炉審査資料(平成29年4月14日提出資料)から抜粋<<https://www2.nsr.go.jp/data/000194032.pdf>>)

入倉・三宅式を用いて震源断層面積から計算した地震モーメントに何らかの値を上乗せした場合の試算について

令和2年12月16日原子力規制委員会資料「基準地震動の策定に係る審査について」(抜粋)より

○内陸地殻内地震の地震動評価で一般的に用いられている経験式は、入倉・三宅式である。同式は、震源断層面積と地震モーメントとの関係を一意的に示す経験式であり、強震動予測レシピを構成する関係式の一つである。

強震動予測レシピを用いて地震動評価を行う場合には、強震動予測レシピに示された関係式及び手順に基づいて行っていることを審査で確認している。また、その際、強震動予測レシピに示されていない方法をとる場合には、その方法に十分な科学的根拠を要する。

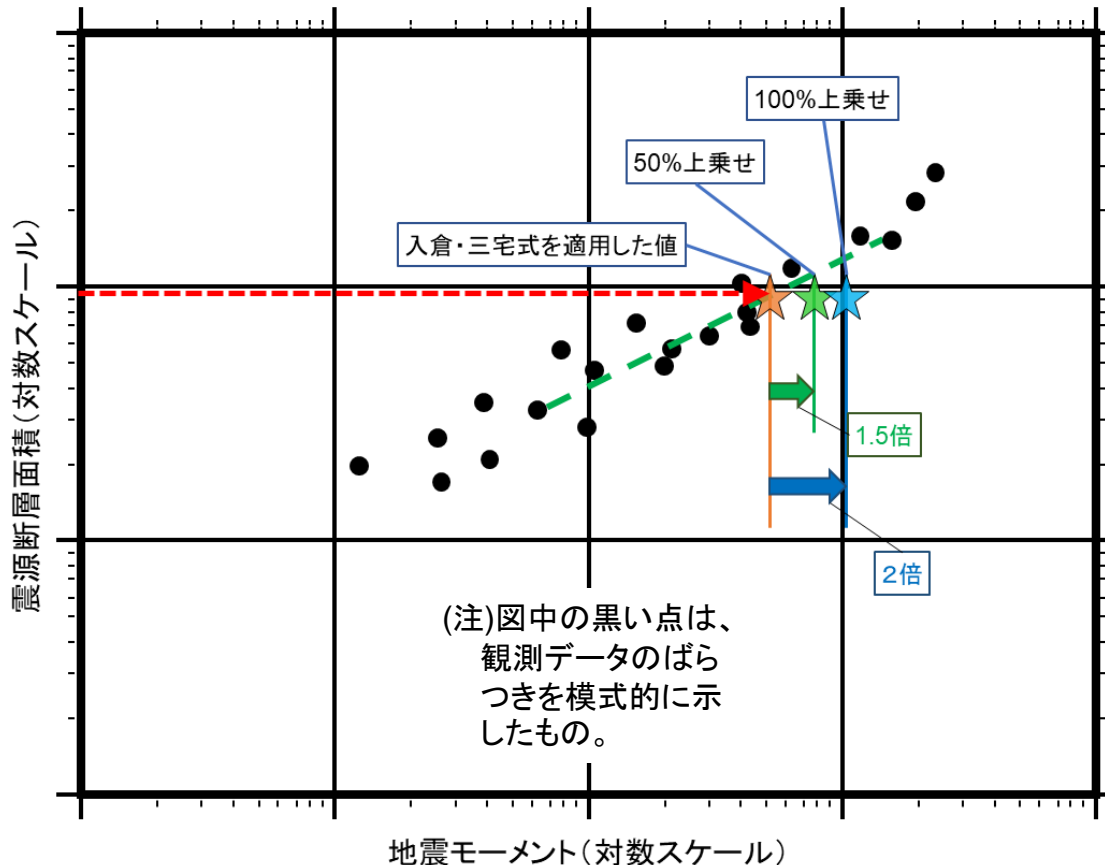
○審査では、入倉・三宅式を用いて地震モーメントを計算する際、式の基となった観測データのばらつきを反映して計算結果に数値を上乗せする方法は用いていない。このような方法は、強震動予測レシピで示された方法ではなく、かつこのような方法の科学的根拠を承知していないからである。

別添図表1 入倉・三宅式を用いて震源断層面積から計算した地震モーメントに何らかの値を上乗せする操作について

試しに、経験式である入倉・三宅式 $M_0 = \left(\frac{S}{4.24} \times 10^{11}\right)^2 \times 10^{-7}$ を用いて、震源断層面積から計算した地震モーメント M_0 に、何らかの値を上乗せする操作を行うとすれば、図のように震源断層面積一定のもと、地震モーメントの値を求めることになり、経験式により求まる値から外れていくことになる。

入倉・三宅式に基づき震源断層面積から地震モーメントを求める概念図

震源断層面積を固定して、地震モーメントを50%上乗せ(1.5倍)、100%上乗せ(2倍)にした場合



※審査における「短周期の地震動レベルを1.5倍したケース」は、レシピの式を用いて計算すれば、地震モーメントを約3.4倍することに相当する。

別添図表2 地震モーメントに何らかの値を上乗せした場合の試算結果

- 地震モーメントへの上乗せにより、震源断層面積に占めるアスペリティ総面積の比が60%を超え、レシピで参照している知見に反する。また、レシピに従うと、アスペリティのすべり量は平均すべり量の2倍としているため、背景領域のすべり量が負となり、震源モデルに破綻が生じる。
- 仮にこうした上乗せをすると、長大な断層の場合、レシピに従ってアスペリティの面積比を22%に設定することになり、入倉・三宅式をそのまま用いて震源断層面積から地震モーメント場合とほとんど変わらない結果となる。そのためこの操作は、基準地震動の策定において必ずしも厳しい側に評価することにつながらない。

	入倉・三宅式による 地震モーメントに従ったベース	上乗せケース(1) (50%上乗せ)	上乗せケース(2) (100%上乗せ)
1. 地震モーメント M_0 [Nm]	5.03×10^{19} Nm	7.55×10^{19} Nm	1.01×10^{20} Nm
2. アスペリティ総面積 S_a [km ²] (アスペリティ面積比 S_a/S)	348.3 km ² (36.6 %) (209.22km ²)※ (22.2 %)	598.1 km ² (62.9 %)	877.8 km ² (92.3 %)
3. アスペリティ応力降下量 $\Delta\sigma_a$ [Pa]	11.4 MPa [S_a/S が22%の場合は14.1MPa]	10.0 MPa	9.1 MPa
4. 背景領域のすべり量 D_b [m]	0.638 m	-1.576 m	-33.21 m

与条件) 震源断層面積 S : 951km² (長さ L : 63.4km, 幅 W : 15km) S 波速度 β : 3.6km/s

※ レシピに従えば、長大断層の場合、 $S_a/S=22\%$ とすることになっており、事業者の申請もそれに従っている。

令和2年12月16日原子力規制委員会資料「基準地震動の策定に係る審査について」より

1. 基準地震動の策定に係る審査の基本的考え方

- 基準地震動の策定に係る審査は、設置許可基準規則及びその解釈に適合するか否かを地震ガイドを参照しながら行うものであり、基準地震動が、地震動評価に大きな影響を与えると考えられる不確かさを考慮して適切に策定されていることを、地震学及び地震工学的見地に基づく総合的な観点から判断している。
- この基準地震動の策定過程において用いられる地震モーメントは、経験式を用いて求められることがある。複雑な自然現象の観測データにばらつきが存在するのは当然であり、経験式とは、観測データに基づいて複数の物理量等の相関を式として表現するものである。
- 内陸地殻内地震の地震動評価で一般的に用いられている経験式は、入倉・三宅式である。同式は、震源断層面積と地震モーメントとの関係を一意的に示す経験式であり、強震動予測レシピを構成する関係式の一つである。

強震動予測レシピを用いて地震動評価を行う場合には、強震動予測レシピに示された関係式及び手順に基づいて行っていることを審査で確認している。また、その際、強震動予測レシピに示されていない方法をとる場合には、その方法に十分な科学的根拠を要する。
- 審査では、入倉・三宅式を用いて地震モーメントを計算する際、式の基となった観測データのばらつきを反映して計算結果に数値を上乗せする方法は用いていない。このような方法は、強震動予測レシピで示された方法ではなく、かつこのような方法の科学的根拠を承知していないからである。
- 基準地震動の策定に係る審査においては、以上のような考え方により、総合的な観点から、基準地震動の妥当性を判断することとしている。

令和2年12月16日原子力規制委員会資料「基準地震動の策定に係る審査について」より

2. 大飯発電所の基準地震動の策定に係る審査

- 大飯発電所の基準地震動(「FO-A～FO-B～熊川断層による地震」の地震動評価)の策定に係る審査においては、基準地震動が、1. に示した基本的考え方に基づき、敷地及び敷地周辺の地域的な特性を踏まえて、地震学及び地震工学的見地に基づく総合的な観点から不確かさを十分に考慮して策定されていることを確認し、妥当なものであると判断している。
- 具体的には、震源断層面積の設定にあたっては、「FO-A～FO-B 断層」と「熊川断層」との間には、約15kmの離隔があるものの、敷地の前面に位置しており連動させた場合に地震動評価への影響が大きいことなどから、連動を考慮して震源断層の長さを保守的に設定していること、震源断層の上端・下端から求まる震源断層幅も保守的に設定していることを確認している。入倉・三宅式を適用して求められた「FO-A～FO-B～熊川断層による地震」の地震モーメントは、その結果、十分に保守的なものとなっている。
- この地震モーメントを用いた基本ケースの地震動評価においては、地震動評価に大きく影響するアスペリティを断層浅部に設定していること、さらに不確かさケースとして、短周期の地震動レベルを1.5倍としたケース、断層傾斜角の不確かさに伴い地震モーメントが大きくなるケース、断層が敷地の極近傍に位置することを踏まえ不確かさを重畳させたケース等を設定していることなど、各種の不確かさを十分に反映した地震動評価を行っていることを確認している。

3. 地震本部(地震調査研究推進本部)とは

地震調査研究推進本部 ホームページより

- ◆ 平成7年1月17日に阪神・淡路大震災が発生し、我が国の地震防災対策の多くの課題を浮き彫りにした。
- ◆ 地震に関する調査研究の成果が国民や防災を担当する機関に十分伝達され活用される体制になっていなかった。
- ◆ 行政施策に直結すべき地震に関する調査研究の責任体制を明らかにし、これを政府として一元的に推進するため、設置された政府の特別の機関。
- ◆ 地震防災対策の強化、特に地震による被害の軽減に資する地震調査研究の推進が基本的な目標。

4. 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)とは

- ✓ 大飯発電所の地震動評価の方法は、**最新の科学的知見として、地震調査研究推進本部**によりまとめられた「**震源断層を特定した地震の強震動予測手法(レシピ)**」にしたがったもの。

「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(レシピ)」とは

- ◆ 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。
- ◆ 「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いる。

地震調査研究推進本部 「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)」より