

## 目 次

第1章	被告九州電力の地震動評価が合理的であること	3
第1	はじめに	3
第2	新規制基準に基づく基準地震動策定の概要	3
1	基準地震動の策定に係る設置許可基準規則等	3
2	「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の概念	5
3	「断層モデルを用いた手法による地震動評価」に係る審査ガイドの定め	7
4	基準地震動の策定	9
第3	「入倉・三宅式」を用いることが合理的であること	9
1	本件原子力発電所における地震動評価と入倉・三宅式の関係	9
2	強震動予測レシピの位置づけ	10
3	強震動予測レシピにおける「入倉・三宅式」の位置づけ	10
4	「入倉・三宅式」を含む強震動予測レシピの合理性	13
第4	経験式の適用性を確認したうえで多面的な考慮により安全側に地震動 評価をおこなっていること	17
1	地震動評価における基本的な考え方	17
2	入倉・三宅式の適用性の確認及び安全側の評価	19
第5	原告らの主張への反論	26
第6	小括	29
第2章	敷地周辺の地質調査について	30
第1	原告らの主張	30
第2	呼子南リニアメントの評価	30
第3	小括	31
第3章	結論	32

被告九州電力は、本書面をもって、原告らの平成29年12月13日付「準備書面47」に対する反論を行う。

## 第1章 被告九州電力の地震動評価が合理的であること

### 第1 はじめに

原告らは、被告九州電力が「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」による基準地震動の策定にあたって用いている「入倉・三宅式」では地震モーメント（地震の規模）が過小評価となり、その結果想定を大きく超える地震動が本件原発を襲う可能性がある旨主張する（原告準備書面47・2～7頁）。

しかしながら、基準地震動の設定に「入倉・三宅式」を適用することは合理的であり、また、原告らが主張する想定を大きく超える地震動が本件原発を襲う可能性は極めて低いため、原告らの主張は理由がない。

本章では、まず、「第2」で新規制基準に基づく基準地震動策定における地震動評価の体系を述べた上で、「第3」では入倉・三宅式を用いることの合理性について、「第4」で本件原子力発電所の地震動評価は、強震動予測レシピを含む入倉・三宅式の適用性を確認した上で多面的な考慮により地震動を安全側に評価していること、「第5」で原告らの主張への反論について順次述べる。

### 第2 新規制基準に基づく基準地震動策定の概要

#### 1 基準地震動の策定に係る設置許可基準規則等

(1) 2011年の福島第一原子力発電所事故発生を踏まえ、原子炉等規制法が改正されるとともに、原子力規制委員会規則やこれに関連する原子力規制委員会の内規（以下総称して「新規制基準」という。）が多数策定された。

新規制基準においては、耐震重要施設の耐震設計に用いる基準地震動は「実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」（以下「設置許可基準規則」という。）に、以下（2）の通り定められている。

(2) 設置許可基準規則4条3項は、発電用原子炉施設の地震による損傷の防止に関して、「耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。」と定めている【乙イA62 (11頁)】。同項にいう「基準地震動」は、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造、地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から想定することが適切なものとして策定することとされている【乙イA62 (127頁)】。

基準地震動の策定過程は、下記図1に示したとおりであり、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」を、解放基盤表面<sup>1</sup>における水平方向及び鉛直方向の地震動としてそれぞれ策定することとされている【乙イA62 (127頁)】。

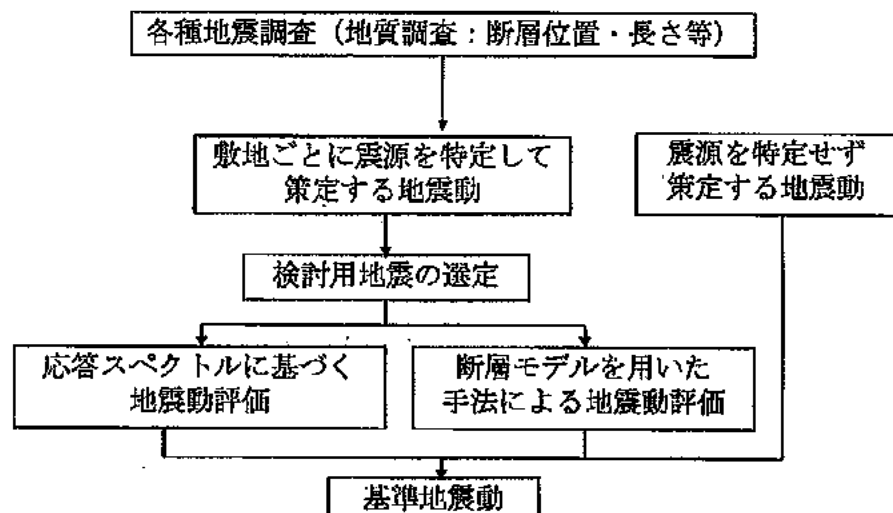


図1 基準地震動の策定過程

<sup>1</sup> 解放基盤表面：基盤（概ね第三紀層及びそれ以前の堅牢な岩盤で、著しい風化を受けていないもの）面上に表層や構築物がないものと仮定した上で、基盤面に著しい高低差がなく、ほぼ水平で相当な広がりのある基盤の表面をいう。

そして、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の策定に当たっては、(i) 内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震について、活断層の性質や地震発生状況を精査し、中・小・微小地震の分布、応力場<sup>2</sup>及び地震発生様式（プレートの形状・運動・相互作用を含む。）に関する既往の研究成果等を総合的に検討し、検討用地震を複数選定し、(ii) 選定した検討用地震ごとに不確かさを考慮して、①応答スペクトルに基づく地震動評価及び②断層モデルを用いた手法による地震動評価を解放基盤表面までの地震波の伝播特性を反映して策定することとされている【乙イA62（127～129頁）】。

## 2 「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の概念

「断層モデルを用いた手法による地震動評価」とは、活断層調査等により「将来活動する可能性のある断層等」を認定した上で、震源断層面を設定し、ある一点の破壊開始点からこれが次第に破壊伝播し、揺れが伝わっていく様子を解析することにより地震動を計算する評価手法である。具体的に言えば、①震源断層面を設定した上で更に細かい要素面に分割する、②ある特定の要素面から破壊が始まるものとして破壊開始点を設定する、③破壊開始点から破壊が各要素面に伝播し、分割された各要素面からの地震波が次々に評価地点に伝わることにより評価地点に生じる地震動を足し合わせる、④足し合わせの結果、評価地点での地震動が求められる（以上①から④について図2）。

断層モデルを用いた手法による地震動評価により、評価地点における地盤

---

<sup>2</sup> 応力場：応力場とは、地下にどのような力が加わっているかを示すもので、水平方向を基準にして押されていれば圧縮応力場、引っ張られていれば引張応力場という。応力場の変化は、プレートの運動に関係している。この地下にかかっている力を直接測定することは難しく、代わりに、力がかかった結果、大地がどのようにひずんで変形したかを観測して、それから逆に広い範囲での地下にかかる力の様子を推定するという方法（GPS（全地球測位システム）による地殻変動の測定）がとられる。近年、宇宙測地技術が発達し、広範囲の大地の変形を高精度に効率的かつ連続的に測定することができるようになった。その代表的なものとして、人工衛星を用いた測量技術（GPS）がある。

の揺れを表す時刻歴波形<sup>3</sup>や応答スペクトル<sup>4</sup>などを求めることができる。

この手法は、地震の発生メカニズムを反映した手法である。すなわち、そもそも地震とは、プレート運動などにより地中に蓄積されたひずみが限界に達し、断層が破壊される現象であり、その断層の面のことを震源断層面という。震源断層面は、全範囲が同時に破壊されるのではなく、破壊の範囲が次第に広がっていくものであることから、大きな地震は、小さな地震が次々に発生して、それが集まったものと分析することができる。このように、断層モデルを用いた手法は、震源を面として評価している点が特徴である。そして、断層モデルを用いた手法は、震源近傍における地震動特性を詳細に表すことができるのである。

ここで注意する必要があるのは、断層モデルを用いるにあたっては、地下の断層の形状（断層長さ $L$ 及び断層幅 $W$ ）とその動きを的確に捉えることが重要であり、強震動を生成する地下の断層面の動きを的確に把握する観点から、一般的に強震記録を用いた震源インバージョン<sup>5</sup>が用いられる。

- 
- <sup>3</sup> 時刻歴波形：地震波の到達によって起こされた評価地点での地震動が時間の経過とともに生じる変化を表したもの。変化の指標として、加速度、速度、変位があるが、強震動予測においては、加速度の時間変化を指すことが多い。
- <sup>4</sup> 応答スペクトル：評価地点における地震動の周期ごとの最大応答値を算出し、周期と最大応答値をグラフ化したもの。応答値としては、加速度、速度、変位があるが、強震動予測においては加速度の応答スペクトルを指すことが多い。
- <sup>5</sup> 震源インバージョン：複数の地震観測記録に基づき、地下の震源の動きを求める逆解析（インバージョン解析）を行うことにより、地下の震源断層の形状やすべり分布や時々刻々変化する破壊の過程等を求める手法。

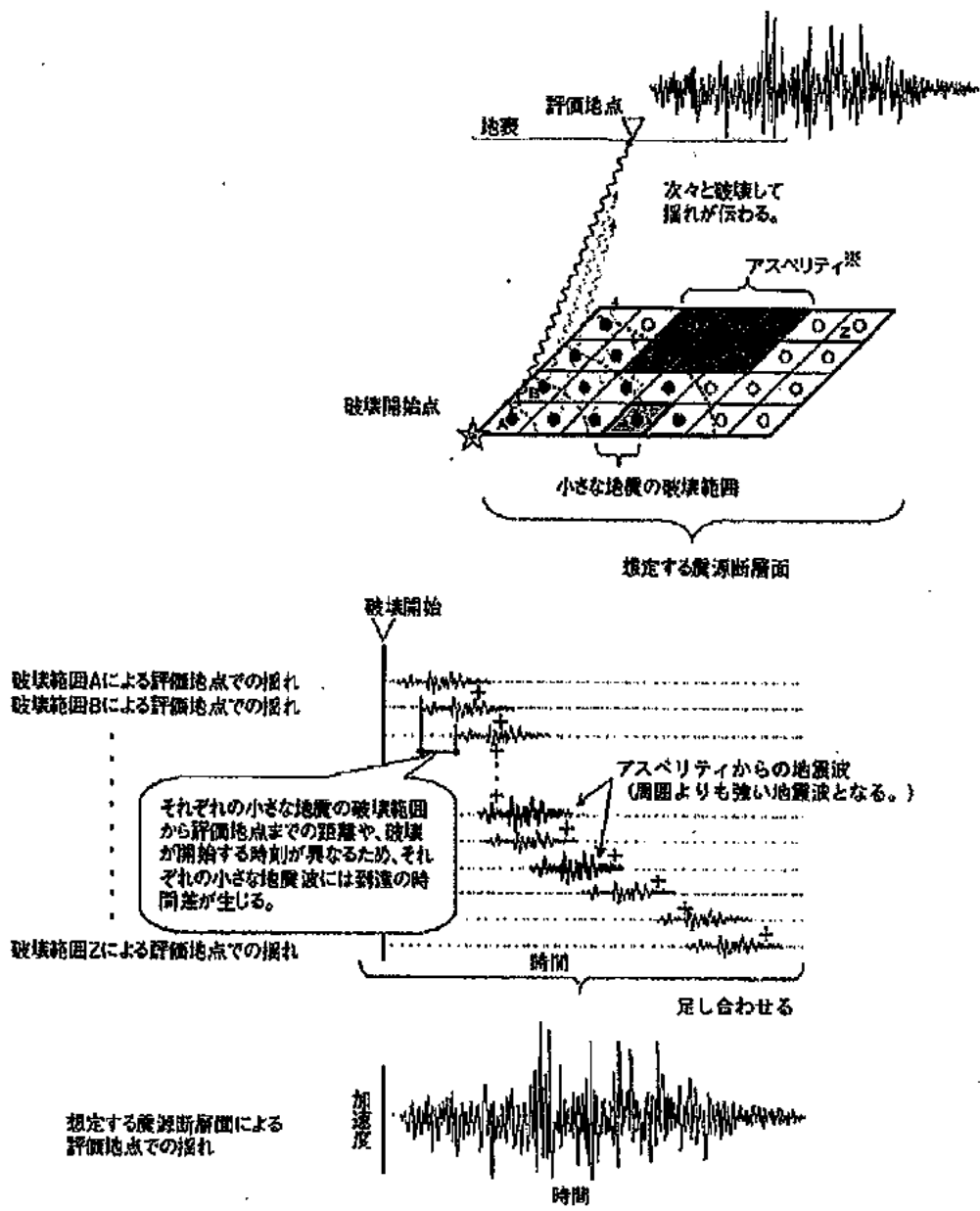


図2 「(参考) 断層モデルの手法の概念について」(原子力安全委員会)

3 「断層モデルを用いた手法による地震動評価」に係る審査ガイドの定め

(1) 基準地震動策定に係る審査ガイド

基準地震動策定に係る審査ガイドとして、「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」(以下「審査ガイド」という。)が制定されている。

審査ガイドは、発電用軽水型原子炉施設の設置（変更）許可段階の審査において審査官等が設置許可基準規則4条3項を含む同規則を踏まえて基準地震動策定の妥当性を確認するために活用することを目的としたものであり【乙イA31（1頁）】、断層モデルを用いた手法による地震動評価に関する専門家を含めた検討チーム（以下「地震・津波検討チーム」という。）の検討を踏まえて原子力規制委員会で策定されたものである。

## （2）審査ガイドにおける「断層モデルを用いた手法による地震動評価」に係る定め

### ア 基本震源モデル<sup>6</sup>の策定

断層モデルを用いた手法による地震動評価に当たっては、検討用地震ごとに適切な手法を用いて震源特性パラメータを設定したモデル（以下「基本震源モデル」という。）を策定し、地震動評価を行うとされている【乙イA62（129頁）】。

これを受けて、審査ガイドでは、断層モデルを用いた手法による地震動評価を行う際の震源特性パラメータは、活断層調査結果等に基づき、地震調査研究推進本部（以下「推本」という。）による「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」（以下「強震動予測レシピ」という。）等最新の研究成果を考慮して設定されていることを確認することとされている【乙イA31（4～5頁）】。

### イ 不確かさの考慮

審査ガイドでは、基本震源モデルを前提として、評価の過程に伴う不確かさ（震源断層の形状（長さ、傾斜角）、アスペリティ<sup>7</sup>の応力降下量（短周期レベル）、破壊開始点等の不確かさ等）について分析して地震

<sup>6</sup> 震源モデル：震源モデルとは、震源（地震が発生した地下の場所）の断層面をモデル化したものであり、「断層モデル」もしくは「震源断層モデル」と呼ばれることがある。震源モデルには、本件原子力発電所において用いているアスペリティと背景領域からなる特性化震源モデルや、アスペリティのみからなる背景領域がないクラックモデルがある。

<sup>7</sup> アスペリティ：地震を起こす震源断層面の中でも強く固着した領域で、この部分がずれると特に大きなずれを生じ、大きな揺れが生じる。

動評価に反映させることとされている【乙イA31(6~7頁)】。

#### ウ 断層モデルを用いた手法による基準地震動

検討用地震ごとに各種の不確かさを考慮して評価した応答スペクトルを比較し、施設に与える影響の観点から地震動特性(周波数特性、位相特性、継続時間等)を考慮して、別途評価した応答スペクトルとの関係を踏まえつつ、複数の地震動評価結果から適切なものを基準地震動として策定することとされている【乙イA31(9頁)】。

#### 4 基準地震動の策定

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動は、検討用地震ごとに評価して策定された「応答スペクトルに基づく手法による基準地震動」と前記2及び3で述べた「断層モデルを用いた手法による基準地震動」に基づいて策定することとされている。さらに、別途策定した「震源を特定せず策定する地震動による基準地震動」(被告九州電力準備書面10・84~92頁)と併せ、基準地震動を策定することとされている【乙イA31(3,9頁)】。

### 第3 「入倉・三宅式」を用いることが合理的であること

#### 1 本件原子力発電所における地震動評価と入倉・三宅式の関係

本件原子力発電所の基準地震動を策定するに際しては、上記審査ガイドに従い、断層モデルを用いた手法による地震動評価を行っているが、その際、入倉・三宅式を評価体系に含んだ強震動予測レシピを用いている【乙イB54(106頁)】。強震動予測レシピは、震源特性を表す様々なパラメータを設定する方法を体系的に整理し、観測事実との整合性を検証することでその妥当性が確認された合理的な手法である。以下、強震動予測に用いる強震動予測レシピが合理的な手法であって、それに組み込まれている入倉・三宅式も合理的であることを説明する。



## 2 強震動予測レシピの位置づけ

### (1) 地震調査研究推進本部（推本）について

推本は、1995年兵庫県南部地震を契機に明らかになった我が国の地震防災対策に関する課題を踏まえ、同年7月全国にわたる総合的な地震防災対策を推進するために制定された地震防災対策特別措置法（平成7年法律第111号）7条の規定に基づき総理府（当時）に設置されたものである。推本は、現在は文部科学省に設置されている。

そして、推本の下部組織として、地震に関する観測、測量、調査又は研究を行う関係行政機関、大学等の調査結果等を収集し、整理し、及び分析し、並びにこれに基づき総合的な評価を行うため、地震調査委員会が設置されている。

### (2) 強震動予測レシピについて

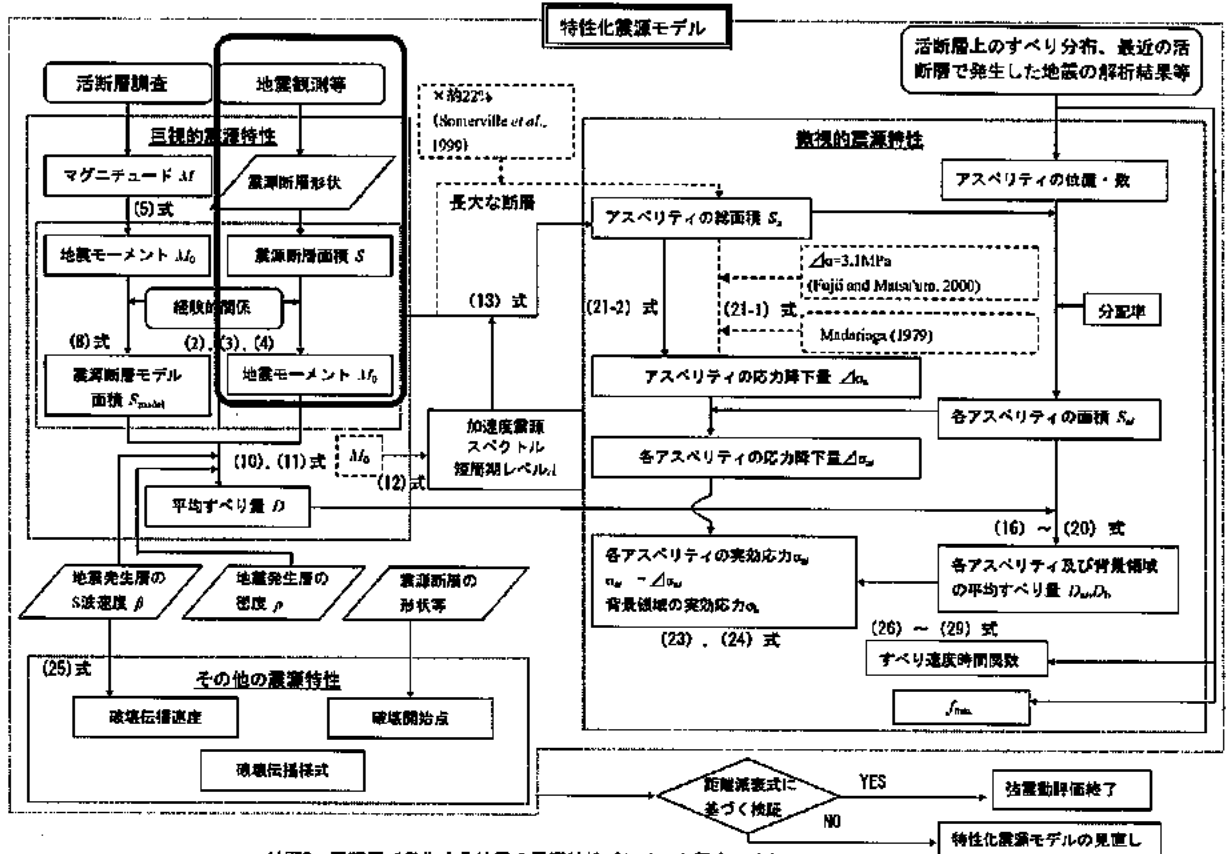
強震動予測レシピは、地震調査委員会において実施してきた強震動評価に関する検討結果から、強震動予測手法の構成要素となる震源特性、地下構造モデル、強震動計算並びに予測結果の検証の現状における手法や震源特性パラメータの設定に当たっての考え方をとりまとめたものであり、震源断層を特定した地震を想定した場合の強震動を高精度に予測するための「誰がやっても同じ答えが得られる標準的な方法論」を確立することを目的としている（被告九州電力準備書面15・11～12頁）。

後述するように、強震動予測レシピは、現実に発生した地震の観測記録を精度よく再現できることが確認されており、上述したように、審査ガイドにおいて、断層モデルを用いた手法による地震動評価を行う際の震源特性パラメータの設定に関する代表的な手法として例示されるに至っている。

## 3 強震動予測レシピにおける「入倉・三宅式」の位置づけ

強震動予測レシピにおいては、図3に示すフローのように、震源断層面の

形状（断層長さL 及び断層幅W）から震源特性を表す様々なパラメータを設定する方法が体系的に整理されている。



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

### 図3 強震動予測レシピにおける震源パラメータの設定フロー

【乙イA55 (41頁 付図2)】に一部加筆（本書面に関係の深い箇所を赤線にて囲んだ）

そして、強震動予測レシピにおいて、「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」に、断層面積 $S$ と地震モーメント $M_0$ との関係式として採用されているのが上記図3の(2)式及び(3)式である<sup>8</sup>。（被告九州電力準備書面15・13頁）

<sup>8</sup> 平成28年6月の強震動予測レシピの改定により、新たに図中(4)式が追加されたが、(4)式は $M_0 = 1.8 \times 10^{20}$ を上回る地震を対象としたものであって、本件原子力発電所の検討用地震においては該当しない。

$$\begin{cases} M_0 = (S/2.23 \times 10^{15})^{3/2} \times 10^{-7} & (M_0 < 7.5 \times 10^{18} \text{ (Nm)}) & \text{(2) 式} \\ M_0 = (S/4.24 \times 10^{11})^2 \times 10^{-7} & (M_0 \geq 7.5 \times 10^{18} \text{ (Nm)}) & \text{(3) 式} \end{cases}$$

上記 (2) 式は、Somerville et al. (1999) により提案された関係式であり、モーメントマグニチュード<sup>9</sup> Mw 6.5相当未満の地震に適用される関係式である。

他方 (3) 式は、モーメントマグニチュード Mw 6.5以上の地震に適用される関係式であり、論文「シナリオ地震の強震動予測」(入倉・三宅 (2001)) により提案された関係式であって、この (3) 式が「入倉・三宅式」と呼ばれるものである。

上記 (2) 式及び (3) 式を用いた断層面積 S と地震モーメント  $M_0$  との関係を図 4 に示す。(被告九州電力準備書面 15・13頁)

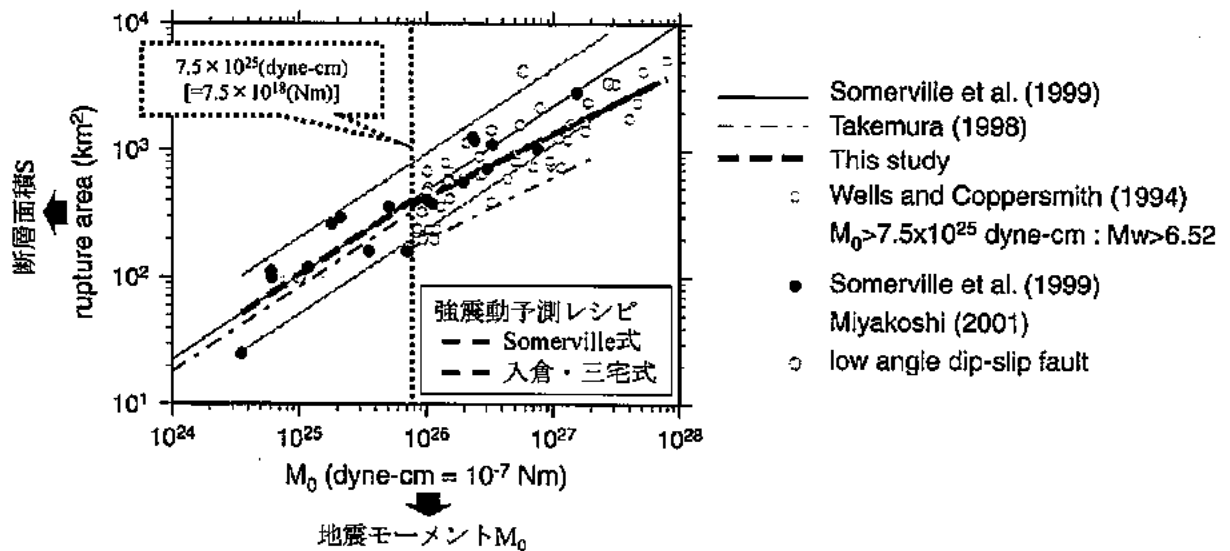


図 4 強震動予測レシピによる断層面積 S と地震モーメント  $M_0$  との関係  
(入倉・三宅(2001)【乙イ A56 (858~859 頁)】の図 7 に加筆)

<sup>9</sup> モーメントマグニチュード：地震は地下の岩盤がずれて起こるが、この岩盤のずれの規模（ずれ動いた部分の面積×ずれた量×岩石の硬さ）をもとにして計算したマグニチュードを、モーメントマグニチュード (Mw) という。

#### 4 「入倉・三宅式」を含む強震動予測レシピの合理性

地震による揺れ（強震動）は、震源となる断層の性質や震源から観測点に至る地下構造により異なり、結果として構造物に対する強い破壊力の地震動が生じた地域で大きな被害が引き起こされることになる。それぞれの構造物に対する地震動の破壊力を1つの指標で表すのは困難であり、それぞれの構造物・施設の動的な耐震性を知るためには地震動の時刻歴波形あるいは応答スペクトルの評価が必要となる。そして、そのためには震源断層の破壊過程及び震源から対象地点までの地下構造による伝播特性に基づいた強震動の予測がなされなければならない。

強震動予測を行うには、地質・地形学的アプローチだけでなく、地下にある断層の動きを知るために地震記録や測地記録<sup>10</sup>から断層運動を推定する地震学的アプローチとの連携が重要であって、精緻な調査や観測、そしてそれらのデータ解析から得られる震源や波動伝播に関する高精度の情報が必要となる。すなわち、活断層や地震活動の調査に基づく活断層ごとの地震危険度評価、これまでの地震動記録のインバージョン（逆解析）に基づく震源のモデル化、さらには地下構造調査や地震動観測によるグリーン関数<sup>11</sup>の評価などを総合して、各地の地震動を推定する。このようにして予測された地震動は、これまでに得られている強震動の関係式や過去の大地震の被害分布などとの比較により、その有効性を検証している。【乙イA56（850～854頁）】

そして、「入倉・三宅（2001）」を採用した強震動予測レシピによれば、強震動予測のための震源モデルは、巨視的断層パラメータ<sup>12</sup>、微視的断層パラメータ<sup>13</sup>及びその他のパラメータ<sup>14</sup>により、以下のとおり与えられる【乙イ

- 
- <sup>10</sup> 測地記録：断層運動による地殻の変動等を把握するために、三角・三辺測量、水準測量、験潮、GPS連続観測等により地球上の任意の点の位置や変化を測定した記録。
- <sup>11</sup> グリーン関数：ある地点に入力された情報が伝播し、評価地点で確認される応答を求めるもの。
- <sup>12</sup> 巨視的断層パラメータ：巨視的パラメータとは、震源断層面の形状や規模等、その全体的なパラメータを示すもので、その諸元には震源断層の位置や走向・長さ・幅・深さ・傾斜角、地震規模、平均すべり量等がある。
- <sup>13</sup> 微視的断層パラメータ：微視的パラメータとは、震源断層面での細かな特徴を表すもの

A55 (1~15頁)】【乙イA56 (873~874頁)】。

巨視的断層パラメータとしては、活断層調査により同時に活動する可能性の高い断層セグメントの総和から断層長さが、また地震発生の深さ限界から断層幅がそれぞれ推定され、長さとの積から断層面積、そして断層面積と地震モーメントとの経験的關係から地震モーメントがそれぞれ推定される。断層の走向と傾斜角は地質・地形・地理的調査、さらには反射法探査<sup>15</sup>などから推定される。次に、微視的断層パラメータは、断層面上のすべり不均質性をモデル化するものであって、アスペリティ面積の総和、最大アスペリティ面積、アスペリティの面積及びそこでの応力降下量が与えられる(前記図3参照)。

このように震源を特性化する有効性は、1995年兵庫県南部地震の震源モデル化及びそれに基づいた経験的グリーン関数法<sup>16</sup>、並びにハイブリッドグリーン関数法<sup>17</sup>を用いて合成された強震動が観測記録とよく一致することで確認されている【乙イA56 (873~874頁), 乙イA84 (32~33頁, 図4ないし図7)】。

そのため、強震動予測レシピは、現在の科学技術水準に照らして特定の活断層を想定した強震動の予測手法として合理的であり、また上記巨視的断層

---

で、その諸元にはアスペリティの位置・個数・面積、アスペリティと背景領域の応力降下量等がある。

<sup>14</sup> その他のパラメータ：その他のパラメータとは、巨視的パラメータ及び微視的パラメータ以外のパラメータであり、岩盤のずれ破壊に関する特性として破壊伝播速度、破壊開始点等がある。

<sup>15</sup> 反射法探査：反射法地震探査とは、地表又は海面付近で人工的に弾性波(P波又はS波)を発生させ、地下の音響インピーダンス(弾性波速度と密度とを掛けた量)の異なる境界で反射して戻ってきた反射波を、地表又は海面付近に設置した受振器で観測し、その結果を解析して地下の地質構造等を求める探査法をいう。

<sup>16</sup> 経験的グリーン関数法：経験的グリーン関数法とは、実際に発生した小さな地震の観測記録のうち、地震動評価に用いるのに適切な観測記録(要素地震)を足し合わせて大きな地震による揺れを計算する方法をいう。この方法には、評価する活断層付近で発生した小さな地震による評価地点での適切な観測記録が必要となる。経験的グリーン関数法に用いる要素地震には、観測記録を用いるため、震源から敷地までの地震波の伝わり方を適切に反映している。

<sup>17</sup> ハイブリッドグリーン関数法：ハイブリッドグリーン関数法(ハイブリッド合成法)とは、短周期領域の評価に適している経験的グリーン関数法又は統計的グリーン関数法により計算した地震動と、長周期帯の評価に適している理論的手法により計算した地震動を組み合わせて、広い周期帯で精度よく地震動を評価する手法をいう。

パラメータの1つである地震モーメント $M_0$ と断層面積 $S$ とのスケーリング則<sup>18</sup>（関係式）について「入倉・三宅式」を用いることも合理的である。

さらに、地震調査委員会は、強震動予測レシピ策定以降に発生した2000年鳥取県西部地震及び2005年福岡県西方沖地震等の各観測波形と、これらの地震の震源像を基に強震動予測レシピを用いて行ったシミュレーション解析により得られる理論波形とを比較検討した結果、整合的であることを確認している。（被告九州電力準備書面15・14頁）

なお、原子力規制委員会においても、熊本地震本震の震源インバージョンによる震源断層面積と地震モーメントが入倉・三宅式と整合（震源断層面積が大きい場合には地震モーメントも大きく既往のスケーリング則に整合）することが示され（図5）、熊本地震に関して基準地震動策定手法（強震動予測レシピ等）に影響のある要因がないことが確認されている【乙イA85（2,4頁）】。

---

<sup>18</sup> スケーリング則：（地震の）スケーリング則とは、地震の震源特性（「震源特性」参照）を表す断層パラメータ間に見られる一定の比例関係をいう。相似則とも呼ばれる。

地下に分布する断層の断層幅（地下の深さ方向の幅）が地震発生層（地中において地震が発生する深さ方向の幅）いっばいに広がる地震（断層幅が飽和した地震）と、地震発生層の一部の領域にとどまる地震（断層幅が飽和しない地震）では、地震モーメント $M_0$ と断層面積 $S$ のスケーリング則が異なることが強震動予測レシピや各種文献等で一般的に知られている。

強震動予測レシピにおいては、地震モーメント $M_0$ と断層面積 $S$ のスケーリング則は、断層幅が飽和しない地震はSomerville et al.(1999)の関係式、断層幅が飽和した地震は入倉・三宅式がそれぞれ用いられる。

表1 各機関の震源断層モデル

項目	Yoshida et al. <sup>*)</sup> (2016地震学会)	浅野・岩田 (2016JpGU)	久保・他 (2016JpGU)	小林・他 (2016JpGU)	引間 (2016地 震工学会)
地震モーメントMo[Nm]	4.8E+19	4.67E+19	5.3E+19	4.60E+19	4.65E+19
断層長さL[km]	44	42	56	45	44
断層幅W[km]	18	18	24	16.5	20
面積S[km <sup>2</sup> ]	792	756	1344	742.5	880

注\*) 原子力規制庁委託業務

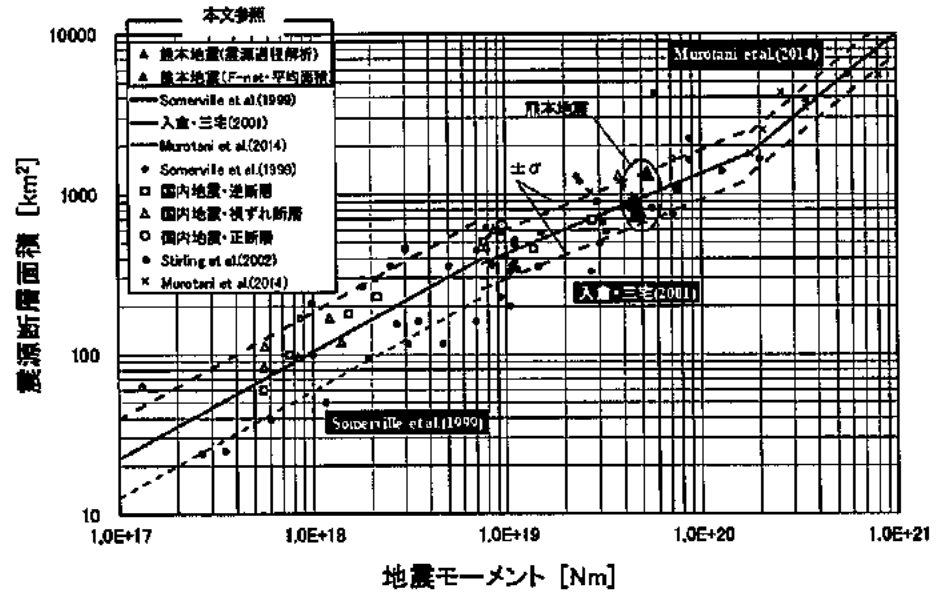


図2 地震モーメントと震源断層面積との関係

図5 熊本地震の震源断層面積と地震モーメントの関係【乙イA85(2頁)】

以上のとおり、入倉・三宅式を含む強震動予測レシピは、専門家から構成された地震調査委員会で取りまとめられたものであって、平成12年以降に我が国で発生した地震に係る地震観測記録を精度よく再現できるとともに、原子力規制委員会の地震・津波検討チームにおいても、最新の知見を反映するものとして評価されているのであり、入倉・三宅式を含む強震動予測レシピが現在の科学技術水準に照らして合理的なものであることは明らかである。

#### 第4 経験式の適用性を確認したうえで多面的な考慮により安全側に地震動評価をおこなっていること

##### 1 地震動評価における基本的な考え方

(1) 前述(第2及び第3)の審査ガイドにおける地震動評価手法の考え方は、全国的な調査や観測事実等に基づき汎用的に用いることが出来るよう標準化された評価手法(「基本震源モデルの策定」における強震動予測レシピ)を基に、各サイト周辺の調査や観測事実等から得られる地域的な特性を安全側に配慮する(「不確かさの考慮」というものである(図6)。

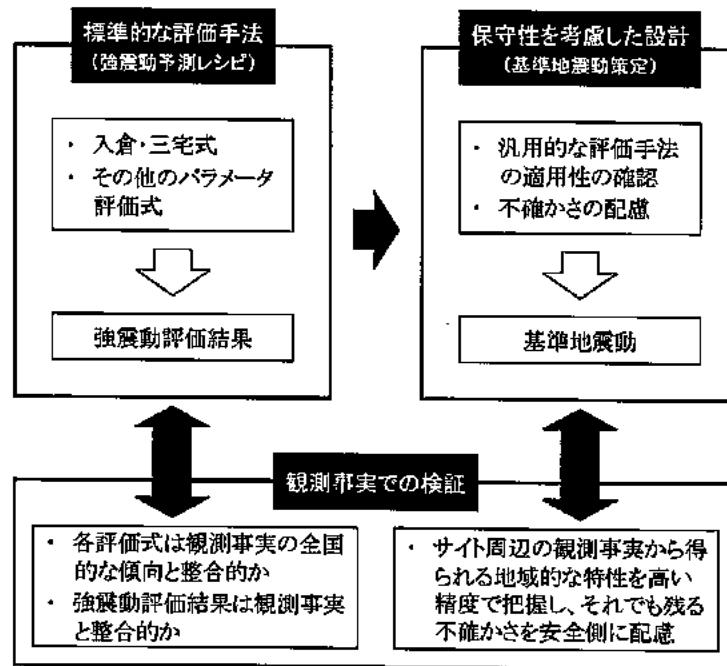


図6 自然現象(地震)の評価の考え方

(2) このような考え方は、地震に限らず、自然現象を評価するに当たって一般的に共通する考え方であり、地域毎あるいは対象となる構造物の種類毎に多種多様な評価手法を定めるのではなく、一定の共通的な評価手法をベースに、地域や構造物毎にその特性に応じて必要な事項を適宜付加していくという極めて合理的な考え方である。



例えば、建築基準法に従った建物の設計においても、全国共通の地震力を定めた上で、それに地域係数を乗じて地域毎の地震力を求めることとされている。

(3) 標準的な評価手法については、観測事実との整合性を検証し、手法の汎用性（標準的な傾向を見て取ることができること）が確認されていることが重要である。

(4) ここで言う「標準的な評価手法」で汎用的に用いられる関係式のひとつが「経験式」である。

経験式は、観測データ（データセット）を回帰分析<sup>19</sup>して得られるものであって、多くの地震に適用可能な一般法則である。

ある特定の地域の地震動評価において経験式を用いる際は、①その経験式自体の信頼性を確認することと、②その経験式が評価しようとする地震の地域性と照合して適用できるかを確認することが重要である。

また、経験式による評価には多少の「ばらつき」が存在する。したがって、地震動評価を行う際には、経験式による評価結果を基に、地域的な特性を踏まえて安全側の評価となるように様々な考慮を行うことが必要である。

被告九州電力が用いた、入倉・三宅式を含む地震動評価手法である強震動予測レシピは、地震調査委員会において、各パラメータの評価式を基に体系的に評価した結果としての強震動が観測事実と整合することが検証され、手法の汎用性が確認されている。（第3の4）

---

<sup>19</sup> 回帰分析：回帰分析（regression analysis）とは、2変数X、Yのデータがあるときに、回帰方程式（regression equation）と呼ばれる説明の関係を定量的に表す式を求めることを目的としている。説明される変数をYで表し、これを従属変数、被説明変数、内生変数などと呼ぶ。また、説明する変数をXで表し、独立変数、説明変数、外生変数などと呼ぶ。回帰分析の目的は、XとYとの定量的な関係の構造（モデル（model）ということがある）を求めることである。ある一方が他方を左右する（決定する）という一方方向の関係にある場合、かかる関係を分析するには回帰分析の方法がふさわしい。

## 2 入倉・三宅式の適用性の確認及び安全側の評価

### (1) 入倉・三宅式の信頼性

ア 入倉・三宅式は、推本が公表した強震動予測レシピにおいて、震源断層面の形状（断層長さ $L$ ，断層幅 $W$ ）から震源特性を表す様々なパラメータを設定する方法が体系的に整理されている中で、断層面積 $S$ と地震モーメント $M_0$ の関係式として採用されている式である（第3の3）。

イ 入倉・三宅式を含む強震動予測レシピにおける強震動予測手法については、実際に発生した地震（2000年鳥取県西部地震，2005年福岡県西方沖地震）における実際の観測記録（防災科学技術研究所K-NET・KiK-net観測点，気象庁観測点，自治体観測点）と，強震動予測レシピに基づくシミュレーション結果が整合することが確認されており，その信頼性が実証されている（第3の4）。（被告九州電力準備書面15・14頁）

ウ さらに，入倉ほか(2014)において，1995年以降に国内で発生した最新の18個の内陸地殻内地震に関する，既往の震源インバージョン結果が，入倉・三宅式と調和的であることが確認されており（図7），最新かつ国内のデータによっても入倉・三宅式の信頼性は損なわれないことが実証されている。（被告九州電力準備書面15・15～16頁）

エ 以上のとおり，入倉・三宅式は，経験式として信頼性を有する。

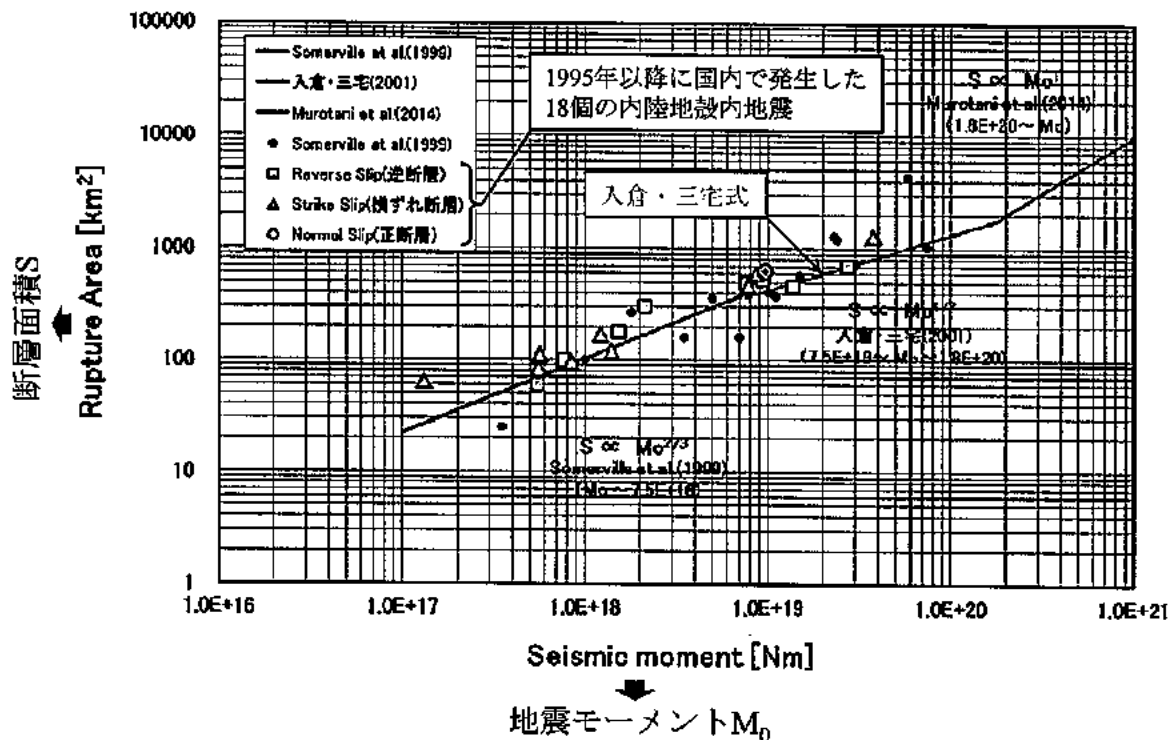


図7 1995年以降に国内で発生した18個の内陸地殻内地震の断層面積  $S$  と地震モーメント  $M_0$  との関係 (入倉ほか(2014)【乙イ A57 (1529 頁)】の図 2(a) に加筆)

(2) 本件原子力発電所における入倉・三宅式の適用性の確認

ア 入倉・三宅式の適用範囲について、強震動予測レシピでは、「地震モーメント  $M_0=7.5 \times 10^{18}$  (N・m) (モーメントマグニチュード  $M_w 6.5$  相当) 以上」とされているが、この数値は利便性に配慮して機械的に値を設定したものであり、原理的には、断層幅が飽和しているか飽和していないかでスケールリング則が変わるため、強震動予測レシピにおいても「断層幅が飽和している場合は入倉・三宅式を用いる方が合理的である」とされている【乙イ A55 (4~5 頁)】。

本件原子力発電所の基準地震動策定にあたっては、敷地周辺の詳細な活断層調査等の結果を基に、2つの検討用地震(城山南断層による

地震及び竹木場断層による地震)を選定し、これを基に評価を行っているが、これらの地震は、いずれも「断層幅が飽和した地震」を想定しており【乙イ B54 (89,92,119~122 頁)], 入倉・三宅式の適用範囲内であることを確認している。

イ また、被告九州電力は、本件原子力発電所に関して、入倉・三宅式を含む強震動予測レシピの予測手法を採用するにあたって、本件原子力発電所の敷地地盤における観測記録を用いて、入倉・三宅式を含む強震動予測レシピの予測手法の適用性を確認している。

具体的には、強震動予測レシピを用いて 2005 年福岡県西方沖地震の震源モデルを策定し、本件原子力発電所敷地の地震動をシミュレーションした値が実際に 2005 年福岡県西方沖地震の際に敷地で観測された記録を精度良く再現できることを確認した (図 8)【乙イ B54 (99~100 頁)】。

このことは、2005 年福岡県西方沖地震の震源特性が強震動予測レシピで設定する標準的な震源特性と良く整合すること(再現できること)を意味し、入倉・三宅式などの経験式を含む強震動予測レシピが本件原子力発電所敷地周辺の地域性に適合すること(北部九州地域の震源特性は強震動予測レシピの標準的な震源特性と整合すること)を意味している。

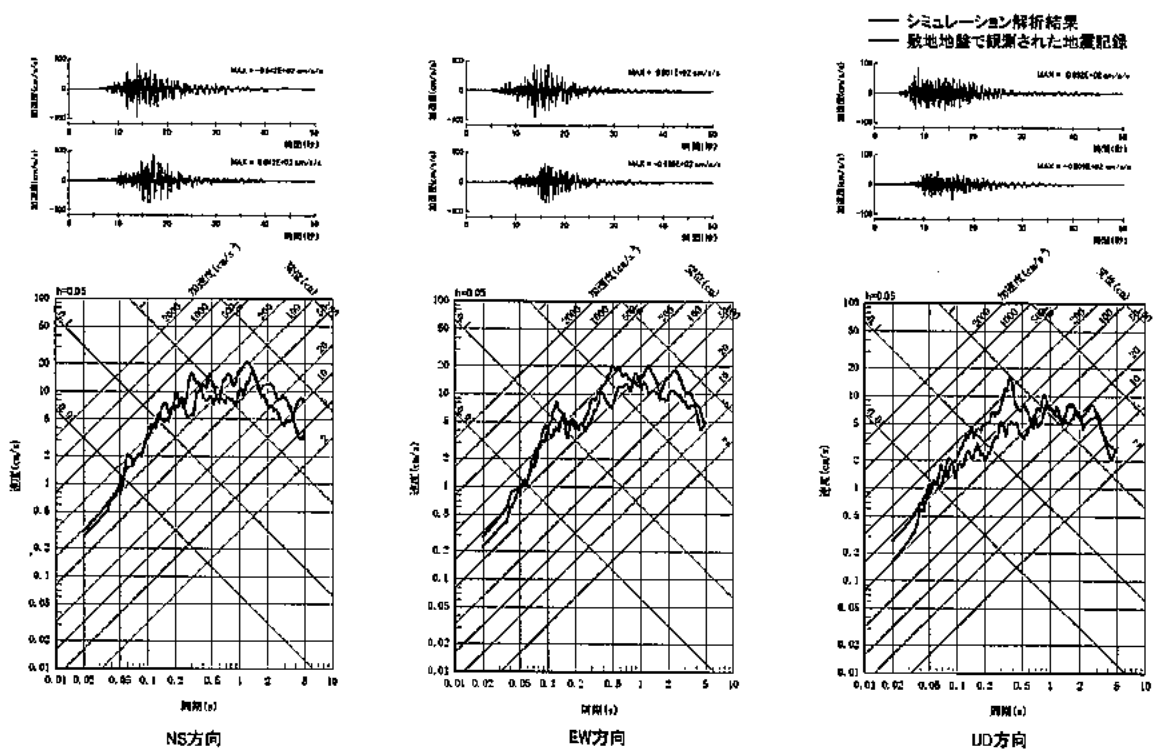


図8 本件原子力発電所敷地地盤の観測記録とシミュレーション結果との比較【乙イ B54 (100 頁)】

つまり、本件原子力発電所の敷地周辺の地域的な特性に照らしても、入倉・三宅式を含む強震動予測レシピを地震動評価に用いることが妥当であることが確認されたのである。

ウ 以上より、本件原子力発電所の敷地周辺の地震動評価において、入倉・三宅式を適用することは妥当である。

### (3) 地震動評価が安全側となるよう多面的に考慮していること

ア 被告九州電力は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の基準地震動策定に当たっては、『簡便な手法』である「応答スペクトルに基づく地震動評価」と、地域的な特性（「震源特性」、「伝播経路特性<sup>20</sup>」

<sup>20</sup> 伝播経路特性：伝播経路特性については、震源断層からの距離が遠ければ遠いほど、震源

及び「サイト特性<sup>21)</sup>」を考慮し、より精緻に実像を評価できる『詳細な手法』である「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の2つの評価手法を用いて適切な評価を実施している（図9）。

その過程において、被告九州電力は、経験式自体にばらつき（内在する誤差）が存在することを踏まえ、その影響を極力小さくする努力を行うとともに、最終的に策定する基準地震動が過小なものとならないように、多面的な評価を行っている。

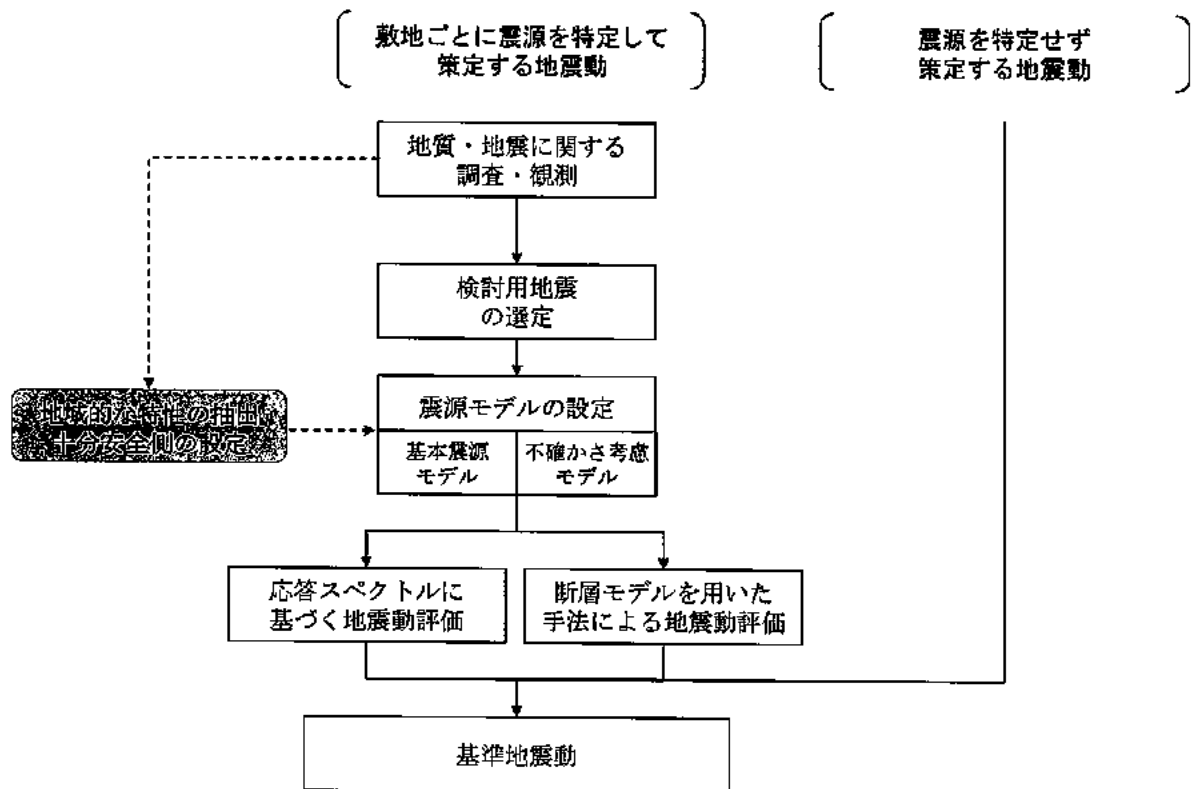


図9 基準地震動  $S_s$  の策定フロー

から放出された揺れは小さくなる。この、距離に応じて揺れが小さくなる現象を距離減衰という。ただし、地下の深いところの傾き等によって、影響を受けることがあるため留意しなければならない。

<sup>21)</sup> サイト特性：サイト特性については、地盤が軟らかいほど増幅し、硬いほど増幅しない。地盤の軟らかい・硬いだけでなく、地盤の形状（整形・不整形）等によって増幅する例も見られる。

イ 具体的には、本件原子力発電所への影響が最も大きいと選定した2つの検討用地震（城山南断層による地震及び竹木場断層による地震）の「断層モデルを用いた手法による地震動評価」において、詳細な活断層調査等の結果及び観測記録に基づく分析により把握した地域的な特性を踏まえて、以下で述べるとおり、地震動評価に用いる「基本震源モデル」を十分安全側に設定している。さらに、上記分析等によっても十分に把握しきれないものについては不確かさとして考慮し、「不確かさ考慮モデル」として設定している。

(ア) 基本震源モデル（被告九州電力準備書面10・69～71頁）

- ① 「断層長さ」については、調査により、活断層の存在の可能性が否定できない箇所まで「延ばす」ことによって長くなるように評価している。さらに、孤立した長さの短い竹木場断層（約5km）については、震源幅と同じ断層長さ（約17km）が拡がるものとして、より長く設定している【乙イB54（11,92,108,119頁）】。
- ② 「断層幅」については、微小地震分布（気象庁一元化震源データ）、防災科学技術研究所の地下の速度構造データ及び2005年福岡県西方沖地震における臨時余震観測<sup>22</sup>データ（高い精度で余震分布領域を把握できる）から、2つの検討用地震で想定される断層幅は、2005年福岡県西方沖地震震源と比べて小さい傾向にあるものの、安全側評価となるよう2005年福岡県西方沖地震に合わせて大きく設定した【乙イB54（83～89頁）】。
- ③ 「断層傾斜角」については、九州北部地方では、東西圧縮の応力場により、横ずれ主体の活断層が分布していること、また、検討用地震と同等規模（M7）で同じ九州北部地域で発生した2005年福岡県西方沖地震のメカニズムは鉛直横ずれ断層であることを踏まえて、強震動予測レシピに基づき、断層傾斜角を鉛直（90度）に設定した。竹木場断層については、本件原子力発電所から最も近くに位置し、地質調査結果により、断層露頭では傾斜の傾向が見られること等を

<sup>22</sup> 臨時余震観測：比較的大きな地震（本震）の発生直後から、震源域周辺等に地震計を設置し、震源特性の分析等を目的として余震データを収集すること。

踏まえて、安全側に敷地への影響の度合いが大きくなるように西側傾斜（80度）と設定した（西側に傾斜させることで、震源断層面が敷地に近づき、震源断層も大きくなる）【乙イ B54(108,114, 168 頁)】。

④ 「アスペリティ位置」については、調査により活断層存在の可能性を認定した範囲で、敷地に最も近い位置に設定した【乙イ B54(108,117~118 頁)】。

⑤ 「破壊開始点<sup>23</sup>」については、巨視的断層面（断層面全体）下端で、敷地に破壊が向かうように設定した【乙イ B54(108,117~118 頁)】。

(イ) 不確かさ考慮モデル（被告九州電力準備書面 10・72~77 頁）【乙イ B54(108,115~122 頁)】

① 2つの検討用地震ともに、断層長さをさらに長くして、調査により活断層存在の可能性を認定した範囲で、敷地に最も近い位置に震源断層面を想定した。

② 「断層傾斜角」については、2つの検討用地震ともに、断層傾斜角を 60 度として評価した（断層面を傾斜させることにより、基本震源モデルに比べて、震源断層面が敷地に近づき、震源断層面積及び地震モーメントが増加する。竹木場断層は、断層傾斜角の不確かさを考慮することにより、敷地直下まで震源断層を想定している）。

③ 「応力降下量」については、2007 年新潟県中越沖地震（マグニチュード<sup>24</sup> 6.8）の知見を踏まえ、短周期レベル<sup>25</sup> A に関する既往の経験式の 1.5 倍相当の値を考慮して、地震動評価を行った。

<sup>23</sup> 破壊開始点：固着している断層面において、最初にずれ始める点（破壊が始まる点）のことであり、これを起点にして次第に断層面全体に破壊が広がる。

<sup>24</sup> マグニチュード：マグニチュード（M）とは、地震の際に放出するエネルギーを対数で表現したものをいう。マグニチュードには、日本で一般に用いられている気象庁マグニチュードのほか、モーメント・マグニチュード（Mw）等がある。

<sup>25</sup> 短周期レベル：短周期レベルとは、震源特性のうち強震動に直接影響を与える短周期領域における加速度震源スペクトルのレベルを表す値（ $N \cdot m/s^2$ ）をいう。なお、N はニュートン、m はメートル、s は秒である。実際に発生した地震の短周期レベルは、地震観測記録から伝播経路特性及び地盤増幅特性の影響を取り除くことにより震源特性の加速度震源スペクトルを求めることで知ることができる。

短周期レベルと強震断層モデルとの関係については、短周期レベル（A）は、強震動生成域の面積（ $S_a$ ）の平方根と強震動生成域の応力降下量（ $\Delta \sigma_a$ ）との積に比例する値として、壇ほか（2001）の関係式で表される。



④ 「破壊開始点及びアスペリティの位置」については、アスペリティを敷地に近い位置に設定し、また、破壊が敷地に向かう方向となる複数ケースを選定し、地震動評価を行った。

ウ また、被告九州電力は、「応答スペクトルに基づく地震動評価」においても、Noda et al.(2002)<sup>26</sup>で算定した地震動と本件原子力発電所敷地での観測記録とを比較したところ、本件原子力発電所敷地での観測記録の方が相対的に小さい傾向になることを確認し、地域的な特性を踏まえて修正する（実際の観測記録が小さいことを踏まえ下方修正する）ことも可能であったが、地震動評価がより安全側となるよう修正しなかった（被告九州電力準備書面10・78頁）【乙イB54(102頁)】。

エ このように、被告九州電力は、地震動評価において多くの観点から安全側となる評価を行っており、本件原子力発電所の基準地震動は十分な余裕が確保されたものである。

## 第5 原告らの主張への反論

- 1 原告らは、準備書面47において、前原子力規制委員会委員長代理である島崎邦彦氏の論文を基に、被告九州電力が「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」による基準地震動を策定するにあたって用いている「入倉・三宅式」では地震モーメント（地震の規模）が過小評価となり、その結果想定を大きく超える地震動が本件原発を襲う可能性がある旨主張する。
- 2 しかしながら、原告らが主張の根拠とする島崎氏の論文において「入倉・三宅式」とされた式（原告ら準備書面47・3頁の④の式）は、「入倉・三宅式」の成り立ちを踏まえずに変形したもので、科学的な意義を失ってお

<sup>26</sup> Noda et al.(2002) : Noda et al.(2002)の方法については、日本電気協会原子力発電耐震設計専門部会にて、議論・検討されたことから、「耐専スペクトル」もしくは「日本電気協会の手法」と呼ばれることがある。

Noda et al.(2002)の方法は、岩盤における観測記録に基づいて提案された距離減衰式で、解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動の応答スペクトルを予測することができ、敷地における地震観測記録に基づいて補正することにより、地震の分類に従った震源特性、伝播経路特性及びサイト特性を的確に反映することが可能である。また、内陸地殻内地震に適用する場合には、周期0.02秒～0.6秒で0.6、周期0.6秒～5.0秒までは周期5.0秒で1.0となるよう、0.6秒から徐々に大きくなる補正係数を用いることができる。

り、本来の「入倉・三宅式」とは本質的に異なる。

すなわち、「入倉・三宅式」は、地震動を生成する主要な断層運動は地下にある断層面（震源断層）の動きであり、地表に現れる断層変位（地表地震断層）は地下にある断層の運動の結果にすぎないため、地表地震断層の動きのみから断層運動全体を特性化することが困難であることを前提に、震源断層での動きに着目して、過去に発生した地震に係る震源断層面積の数値と地震モーメントの数値から関係式を策定したものである。策定にあたって参照された地震データの震源断層面積は、地表に現れた断層長さをそのまま用いるものではなく、震源周辺の複数の観測地点で得られた地震観測記録から具体的な震源断層を推定して高精度に断層面積を求めるといふ震源インバージョンの手法を前提とするものである。

以上のような成り立ちから、「入倉・三宅式」を用いて地震モーメントを求める際に代入する値については、地表地震断層長さをそのまま用いることなどは予定されておらず、個別に地下の震源断層のパラメータ（断層長さ、断層幅、断層傾斜角等）を求めた上で、震源断層面積の値を代入することが予定されている。

これに対して、島崎氏は、「わかりやすさを重視」という理由のもと、震源断層面積と地震モーメントの関係式である「入倉・三宅式」について、本来、調査結果に基づいて断層ごとに個別に設定すべき断層幅を14 kmに固定し、断層傾斜角を垂直に固定した上で、断層長さとは地震モーメントの関係式に変形しているが、かかる変形は上述した「入倉・三宅式」の成り立ちを踏まえておらず、もはやその本来有する科学的な意義を失ったものとなっている。

このように、島崎氏の論文において「入倉・三宅式」とされた式は、本来の「入倉・三宅式」とは本質的に異なるのであり、島崎氏の論文を根拠とする原告らの主張は失当である。

- 3 また、原告らが主張の根拠とする島崎氏の論文において、観測記録との比較の際に地震モーメントの計算に用いた断層長さ $L$ については、具体的な数値や根拠が明確にされていない上に、地震学、強震動地震学、変動地形学、地形学、活断層学などの専門家などからの検証を受けたものではなく島崎氏独自の見解（解釈）にとどまるものである。

また、各々の式はその成り立ちが異なる（例えば、原告ら準備書面47・3頁の①の式（武村式）は、当時、強震観測網（K-NET, KiK-net等）が整備される前であり、地震学的情報が必ずしも十分には取得できなかったため、地震直後の地表断層調査や測地学的な情報から震源パラメータを間接的に推定する場合が多く、断層長さ $L$ についても地表地震断層長さに近い不十分なデータしか取得できないことが多かったと考えられ、武村式のデータセットにおける地震の断層長さは震源断層長さではなく地表地震断層長さに近いと推察できる）ため、それに適した断層長さ $L$ を入力する必要があるが、そのような考慮がなされた形跡も見られない。

このように、各々の式の比較の前提とされた断層長さ $L$ 自体に合理性がない以上、比較の結果も合理性を欠くのであり、原告らの主張に合理性がないことは明らかである。

- 4 原子力規制委員会は、島崎氏の主張に端を発した議論について、「入倉・三宅式を用いる手法（強震動予測レシピの（ア）の方法）は、震源断層の詳細な調査結果を基に断層モデルを用いて最終的に地震動計算を行うまでの一連の手法として、その合理性が検証され広く用いられている。また、審査に当たっては、入倉・三宅式が他の関係式に比べて、同じ断層長さに対する地震モーメントを小さく算出する可能性を有していることも留意して、断層長さや幅等に係る保守性の考慮が適切になされているかという観点で確認してきている。」「震源断層の詳細な調査結果を用いて、レシピの（ア）の方法以外の方法によって基準地震動を作成するというアプローチについては、どのように保守性を確保していくか（断層長さの設定、各種

不確かさの取り方等) に関し、妥当な方法が現時点で明らかになっているとは言えず、規制において要求または推奨すべきアプローチとして位置づけるまでの科学的・技術的な熟度には至っていない(基準地震動  $S_s$  の妥当性を議論するのに適さない) と考える。」とし、島崎氏の主張を排斥している【乙イ A86, 乙イ A87 (3頁)】。

また、本件と同様に上記島崎氏の論文及び「入倉・三宅式」の合理性が争点となった大阪高等裁判所の決定【乙イ A88】においても、「島崎氏が行った入倉・三宅式と武村式等の比較は、各関係式の基となったデータの違い、すなわち震源断層の評価の違いを考慮しない不適切なものであり、熊本地震を対象とした比較検討についても、入倉・三宅式が前提としている震源断層の不均質なすべり分布を伴うモデルを用いずに行った不適切なものであって、島崎氏の主張は科学的に見て合理性を欠くものというべき」

「これに対し、入倉・三宅式は、熊本地震を含む近時の内陸地殻内地震の震源断層面の不均質なすべり分布を伴う解析を通じてその合理性が検証されており、島崎氏の主張を採用することができない」【乙イ A88 (174 頁)】として、島崎氏の見解は不合理であると結論付けている。

- 5 以上のとおり、島崎氏の論文を根拠として「入倉・三宅式」では地震モーメントが過小評価となる旨の原告らの主張は、理由がない。

## 第6 小括

以上より、本件原子力発電所の基準地震動の設定において「入倉・三宅式」を適用することは科学的な合理性を有する妥当なものであるとともに、原告らの主張は観測事実との整合による検証に立脚した地震動評価体系を無視した独自の解釈に基づく合理性のないものであることが明らかである。

## 第2章 敷地周辺の地質調査について

### 第1 原告らの主張

原告らは、準備書面47において、VLF-MT法調査を実施した甲A382号証を根拠に、呼子南リニアメントは活断層である可能性があり、城山南断層、呼子南リニアメント及び名護屋断層が連続する活断層であることが否定できず、被告九州電力が想定した基準地震動を上回る地震動が発生する可能性があるとして主張する。

しかし、準備書面10及び17で主張したとおり、被告九州電力は各種の調査及び観測等により、内陸地殻内地震等の震源として想定する活断層（後期更新世（約12～13万年前）以降の活動が明確に否定できない断層）の位置、長さ等の評価を適切に実施していることから、原告の主張は妥当ではない。

以下、これらについて反論する。

### 第2 呼子南リニアメントの評価

1 被告九州電力は、準備書面17でも述べた通り、呼子南リニアメントについて、「九州の活構造」（1989）、「[新編]日本の活断層」（1991）等の文献には示されていないものの、被告九州電力が実施した変動地形学的調査により、最もランクの低いL<sub>D</sub>ランクのリニアメントを抽出した。

地表地質調査の結果、リニアメントを横断して、約300万年前の東松浦玄武岩類の各層がずれることなく概ね水平に連続していることが確認され、少なくとも東松浦玄武岩類の堆積以降の活動が認められないことから、活断層ではないと判断した。（被告九州電力準備書面17・57～58頁）

2 原告らは、甲A383号証により、VLF-MT法について探査深度が数十m以下と比較的浅い方法であるが、活断層調査に多用されているとして、甲A382号証を示して呼子南リニアメントが活断層の可能性があると主張する。

しかし、甲A382号証は、学会等において発表されたものか確認できず、そもそも信頼できるものであるのか疑問がある。

また、被告九州電力準備書面17でも述べた通り、VLF法を含む「地下の電気抵抗を測定する方法」は、電磁波等を利用して地下の比抵抗（電気の流れやすさ）の分布を測定するもので、地盤の比抵抗は、乾湿や温度、風化や変質の程度、岩石を構成する鉱物の種類等を反映していることから「地盤の詳しい状態」の調査に広く使われているものではあるが、「活断層の有無」の判断に資するものではない。

さらに、断層に伴う破砕帯には大量の水や粘土鉱物が含まれていることが多いため、断層が低比抵抗帯として把握できる場合もあるが、それは活断層でない場合においても当てはまることであって、低比抵抗帯が存したことをもって、活断層の存在が推測されるものではない。

なお、原告らが依拠する甲A383号証は、「活断層探査に活躍するVLF法」との標題で、「活断層調査の一つにVLF法と呼ばれる方法がある」などとしているが、ここで示されている調査例は、あくまでも調査対象箇所に活断層が存在することを既知の前提として、VLF法によって当該活断層の地下構造の特徴として低比抵抗部を探査したものに過ぎず、活断層が存在するか否かが分からない箇所における「活断層の有無」を判定する方法としてVLF法が有効であることまでを示したものではない。

### 第3 小括

被告九州電力は、各種の調査により、呼子南リニアメント及び名護屋断層は活断層ではない旨判断しており、原告らの主張は、いずれも不合理である。

### 第3章 結論

以上のとおり、被告九州電力は、本件原子力発電所の基準地震動の策定に当たっては、各種の調査及び観測によって内陸地殻内地震等の震源として想定する活断層の位置、長さ等の評価を適切に実施し、科学的合理性を有する「入倉・三宅式」を含む強震動予測レシピの適用性を確認した上で、多面的な考慮により地震動を安全側に評価しており、本件原子力発電所の基準地震動を超える地震動が発生する可能性は低く、原告らの主張は理由がない。

以上