

平成24年（行ウ）第15号東海第二原子力発電所運転差止等請求事件

原 告 大石光伸 外265名

被 告 国 外1名

準 備 書 面

東海第二原発の耐震設計の問題点

2014年（平成26年）2月6日

（次回期日2月13日）

水戸地方裁判所 民事第2部 御中

原告ら訴訟代理人

弁護士 河合 弘之  
外

原子力規制委員会は、2013年7月に、いわゆる新規制基準を決定した。この新規制基準は、2011年3月11日の福島原発事故を防ぐことができなかつたというそれまでの原子力規制の誤りを反省し、2度とこのような事故を起こさないようにするために、原子力規制を根本的に見直したとするものである。

新規制基準の一つである、「津波による損傷防止並びに津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」（甲Bア1、以下「津波審査ガイド」と言う）は、すでに準備書面（2013年10月17日付 基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイドについて）において主張したとおり、千島海溝～日本海溝までを1つの領域として考え、既往津波の発生事例に捉われることなく、この領域を津波波源とするよう求めている。その時に発生する津波の規模は参考値だとはしながら、最大Mw9.6としている。津波審査ガイドは、「3.2 基準津波の策定方針」において、「(2) 基準津波の策定に当たっては、最新の知見に基づき、科学的想像力を發揮し、十分な不確かさを考慮していることを確認する。」とも述べており、これは、従前の考え方からすれば、安全側の考え方である。

一方で、新規制基準は、耐震設計（地震・地震動）に関しては、従前の耐震設計の考え方をほぼ踏襲しており、むしろ、一部後退した部分さえある。

ようするに、新規制基準は、津波を検討する場合と、地震動を検討する場合とで、地震の想定を違え、地震動の想定の際には、はるかに小さなものを検討すれば足りることを許している。これは、典型的な二重基準である。

地震は地下の岩盤の破壊現象であり、地震動も津波も、地震により発生するのである。したがって、地震動を検討する際も、最低限、津波を想定する際の地震を基礎としなければならない。

本書面においては、これまでの知見をふまえて、原発の耐震設計の流れとその問題点、そして東海第二原発を襲いうる地震と地震動について、あらためて述べるものである。

## 内容

第1 原発の耐震設計の流れ .....	7
1 原発の耐震設計の全体像 .....	7
2 基準地震動 S s 策定の全体像 .....	8
3 被告日本原電が策定した基準地震動 S s .....	10
第2 前提となる事実 .....	13
1 耐震設計の基礎 .....	13
(1) 地震と地震動 .....	13
(2) 地震（動）の観測 .....	13
(3) 地震の大きさ .....	14
(4) 地震動の大きさ .....	14
(5) 重力加速度 .....	15
(6) 加速度と力の関係 .....	15
(7) 地震動の加速度 .....	16
(8) 小括 .....	17
2 地震動の性質 .....	17
(1) 振動の基本的な性質 .....	17
(2) 地震動の諸性質 .....	19
(3) 周期特性とスペクトル .....	21

3 地震動の破壊力 .....	23
(1) 地震動と建築 .....	23
(2) 固有周期.....	23
(3) 共振現象.....	24
(4) 実際の地震動と建物の共振.....	24
(5) 応答スペクトル.....	24
(6) 地震動と応答スペクトル.....	26
(7) 耐震設計.....	28
(8) より詳細な耐震設計 .....	29
(9) 物が壊れれば、固有周期が変化する .....	30
4 その他の基礎的な事項 .....	30
(1) 応力降下量とは .....	30
(2) 短周期レベルの地震動と応力降下量 .....	30
第3 不確かさの考慮が原発の耐震設計では必要となること .....	32
1 不確かさを考慮しなければならない理由 .....	32
2 指針における不確かさの考慮の要求 .....	36
(1) 不確かさの考慮についての平成 18 年 9 月 19 日付の発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（平成 18 年指針）の定め .....	36
(2) 新基準における不確かさの考慮の定め .....	38
第4 応答スペクトルに基づく手法について .....	40
1 応答スペクトルに基づく手法とは .....	40
(1) はじめに .....	40
(2) 耐専スペクトル .....	40
(3) 野田他（2002）の応答スペクトル .....	41
2 応答スペクトルに基づく手法の限界 .....	41
3 応答スペクトルに基づく手法における誤差の評価 .....	41
4 小括 .....	41
第5 断層モデルを用いた手法について .....	43
1 断層モデルを用いた手法とは .....	43
2 グリーン関数の誤差（不確かさ）が考慮されていない .....	43

3 強震動予測レシピにおける不確かさ（不確実さ、誤差）の考慮は全く不十分である .....	45
(1) JNESによる報告（平成19年4月「断層モデルの高度化に関する検討」） (甲D 8) .....	45
(2) 強震動予測レシピ .....	46
S T E P 1 断層破壊面積.....	47
S T E P 2 地震モーメント .....	48
S T E P 3 平均応力降下量.....	53
S T E P 4 アスペリティの総面積.....	53
S T E P 5 アスペリティの応力降下量.....	56
S T E P 6 アスペリティの個数と配置.....	57
S T E P 7 アスペリティの平均すべり量比 .....	57
S T E P 8 アスペリティの実効応力と背景領域の実行応力.....	58
S T E P 9 すべり速度時間関数の設定.....	58
4 スケーリング則は莫大な誤差を必ず伴う .....	59
(1) スケーリング則について .....	59
(2) スケーリング則は、旧耐震設計審査指針においても用いられていた....	60
(3) スケーリング則には必然的に莫大な誤差が含まれる.....	60
第6 プレート間地震の危険性 .....	62
1 被告日本原電の想定.....	62
2 被告日本原電の想定は不十分であった .....	65
(1) 被告日本原電の想定は、著しい過小評価であった .....	65
(2) 津波と地震の二重基準.....	66
(3) スケーリング則の誤差を考慮していない .....	67
3 地震の空白域が存在すること .....	68
4 東海第二原発前面海域で巨大事象が生起する可能性（沈み込む海山の存在） .....	70
5 小括.....	73
第7 内陸地殻内地震の危険性 .....	74
1 被告日本原電の想定.....	74

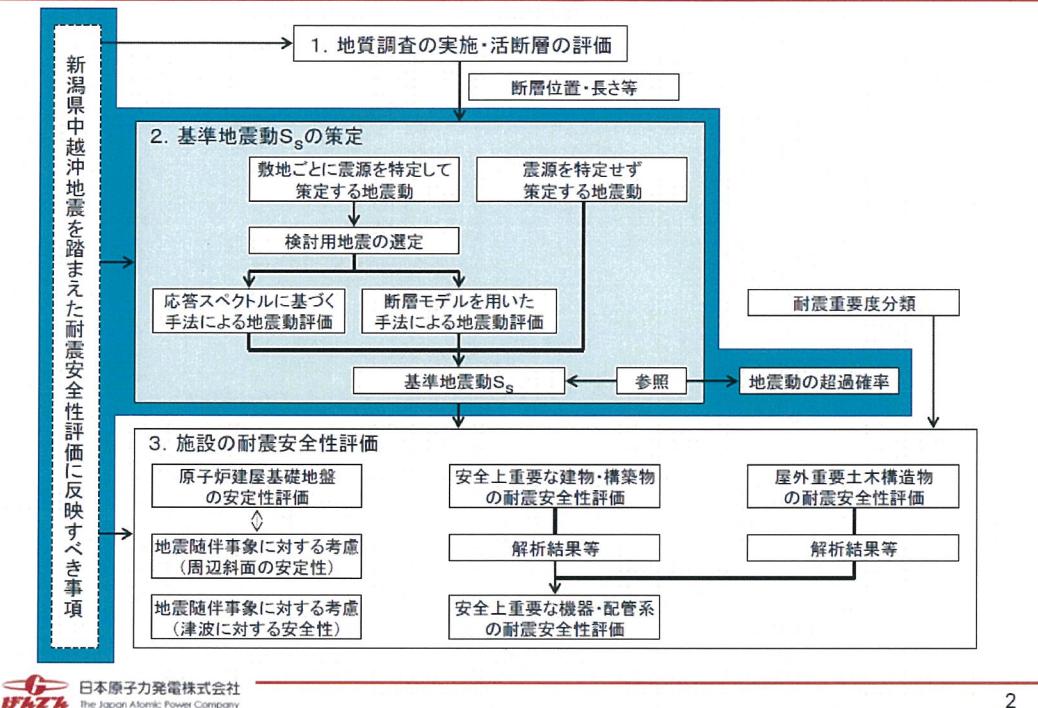
2 F3 断層及びF4 断層による地震動評価は不十分である.....	75
(1) 不確かさの検討が不十分である .....	75
(2) 不合理な地震発生層の想定とその想定の国による追認 .....	78
(3) 地震発生層の厚さを 32 kmとしたときの F3～F4 断層で発生する地震....	85
3 F1 断層と北方陸域の断層の連動を考慮しない地震動評価は不十分である .	86
(1) F1 断層について .....	86
(2) F1 断層と北方陸域の断層の連動したときに発生する地震 .....	90
4 棚倉破碎帯についての地震動評価は不十分である .....	91
5 F2 断層による地震動評価は不十分である.....	92
(1) F2 断層について .....	92
(2) F2 断層が活動したときに発生する地震.....	97
第8 「震源を特定せず策定する地震動」について .....	99
1 「震源を特定せず策定する地震動」とは .....	99
2 被告日本原電が採用した「震源を特定せず策定する地震動」（「加藤、他、2004」による応答スペクトル） .....	99
3 石橋克彦氏による「加藤、他」の応答スペクトル批判.....	101
4 原子力安全基盤機構（JNES）による検討.....	101
(1) 「加藤、他」の研究の不充分性の指摘.....	101
(2) 対象地震の選定と「震源を特定せず策定する地震動」の最大規模の推定 .....	102
5 被告日本原電における「震源を特定せず策定する地震動」評価.....	105
(1) 断層モデルを用いた方法による「震源を特定せず策定する地震動」 ..	105
(2) 断層モデルによる方法で算出した応答スペクトルは「加藤、他（2004）」のスペクトルを上回っている.....	108
(3) 地震発生層を正しく評価すれば、さらに大きな値となる .....	109
6 震源を特定せず策定する地震動についての JNES による断層モデルでの評価 .....	110
(1) JNES によって行われた断層モデルによる方法とその結果 .....	110
(2) JNES の説明の欺瞞性 .....	112
7 規制委員会の考え方.....	117

8	「震源を特定せず策定する地震動」にも不確かさの考慮が必要.....	123
9	2004年留萌支庁南部の地震.....	124
(1)	2004年留萌支庁南部地震の概要 .....	124
(2)	留萌支庁南部地震の地震動 .....	125
(3)	地盤による地震動の增幅.....	126
(4)	証明を求める事項.....	130

## 第1 原発の耐震設計の流れ

### 1 原発の耐震設計の全体像

#### (1) 新耐震指針に照らした耐震安全性評価の流れ



甲D 3 「東海第二発電所  $S_s$  の策定について 平成 22 年 11 月 22 日」

原発の耐震設計について、これを大きく分ければ、

- (1) 断層位置や長さ等の各種調査
- (2) 基準地震動  $S_s$  の策定
- (3) (基準地震動  $S_s$  に基づく) 施設の耐震安全性評価

に分けられる。

- (1) 断層位置や長さ等の各種調査を適切に行うことは当然である。しかしながら、過去に発生した地震を完全に把握することは不可能である。また、構造物を建設する地点で、将来起こる地震の記録は得られておらず、将来起こると予想される地震の記録と同様の性質を有する地震の記録が得られている場合もほとんどない。そこで、将来起こる地震の当該地点での強震動を、シミュレーションによって予測することが必要となるのである（甲D 4 「地震の揺れを科学する」133頁）。

(2) 基準地震動 S<sub>s</sub> の策定は、ようするに、将来起こる可能性のある最大の地震(ないし地震動・強震動)を予測することと同義である。

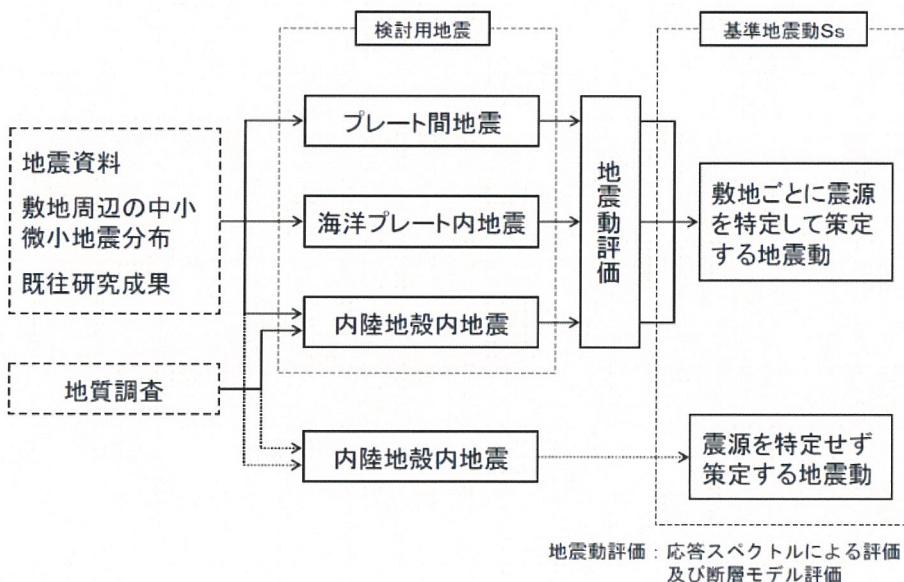
(3) 原発の安全性を確保するためには、この地震(ないし地震動・強震動)に対して、構造物が破壊されないように設計する必要がある。

そして、そのためには、構造物を数値的なモデルで表して、それと地盤が接している部分に入力する地震動(入力地震動)を用意し、その地震動を受けた構造物がどのような挙動を示すかをシミュレーションする必要がある。

本書面は、このうち、基準地震動 S<sub>s</sub> の策定における問題について述べるものである。

## 2 基準地震動 S<sub>s</sub> 策定の全体像

### (2) 基準地震動 S<sub>s</sub> 策定フロー



基準地震動 S<sub>s</sub> の策定は、地質調査や活断層の評価などを前提に、

- ① 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
  - ア プレート間地震
  - イ 海洋プレート内地震
  - ウ 内陸地殻内地震

② 震源を特定せず策定する地震動  
の大きく2つに分かれる。

この点について、平成18年9月19日付の発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（「平成18年耐震設計審査指針」）は、以下のように規定している。

## 「5. 基準地震動の策定

施設の耐震設計において基準とする地震動は、敷地周辺の地質・地質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施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があり、施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切なものとして策定しなければならない。（以下、この地震動を「基準地震動Ss」という。）基準地震動Ssは、以下の方針により策定することとする。

- (1) 基準地震動Ssは、下記(2)の「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び(3)の「震源を特定せず策定する地震動」について、敷地における解放基盤表面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する。
- (2) 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」は、以下の方針により策定することとする。

- ① 敷地周辺の活断層の性質、過去及び現在の地震発生状況等を考慮し、さらに地震発生様式等による地震の分類を行ったうえで、敷地に大きな影響を与えると予想される地震（以下、「検討用地震」という。）を、複数選定すること。
- ② 上記①の「敷地周辺の活断層の性質」に関しては、次に示す事項を考慮すること。
- i) 耐震設計上考慮する活断層としては、後期更新世以降の活動が否定できないものとする。なお、その認定に際しては最終間氷期の地層又は地形面に断層による変位・変形が認められるか否かによることができる。
  - ii) 活断層の位置・形状・活動性等を明らかにするため、敷地からの距離に応じて、地形学・地質学・地球物理学的手法等を総合した十分な活断層調査を行うこと。
- ③ 上記①で選定した検討用地震ごとに、次に示すi)の応答スペクトルに基づく地震動評価及びii)の断層モデルを用いた手法による地震動評価の双方を実施し、

それぞれによる基準地震動 S s を策定する。なお、地震動評価に当たっては、地震発生様式、地震波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。）を十分に考慮することとする。

i) 応答スペクトルに基づく地震動評価

検討用地震ごとに、適切な手法を用いて応答スペクトルを評価のうえ、それらを基に設計用応答スペクトルを設定し、これに地震動の継続時間、振幅包絡線の経時的变化等の地震動特性を適切に考慮して地震動評価を行うこと。

ii) 断層モデルを用いた手法による地震動評価

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、地震動評価を行うこと。

④ 上記③の基準地震動 S s の策定過程に伴う不確かさ（ばらつき）については、適切な手法を用いて考慮することとする。

(3) 「震源を特定せず策定する地震動」は、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に敷地の地盤物性を加味した応答スペクトルを設定し、これに地震動の継続時間、振幅包絡線の経時的变化等の地震動特性を適切に考慮して基準地震動 S s を策定することとする。」

このように、地震動評価の手法については、

応答スペクトルに基づく地震動評価

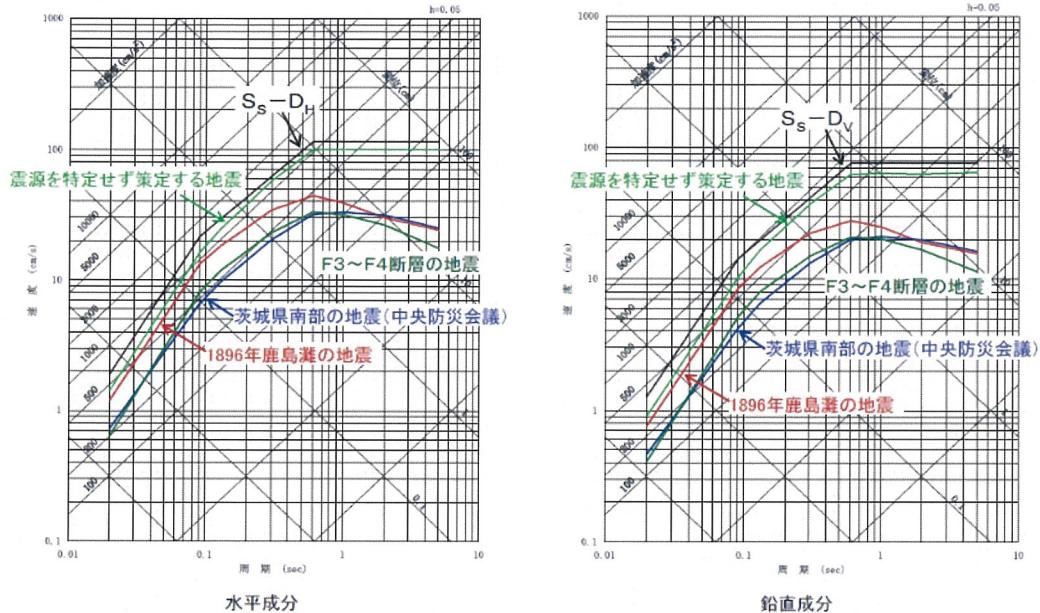
断層モデルを用いた手法による地震動評価

の双方を実施するとされている。

### 3 被告日本原電が策定した基準地震動 S s

被告日本原電も、上記の検討を行い、基準地震動 S s を策定している。それが、「東海第二発電所 Ss の策定について 平成 22 年 11 月 22 日」(甲D 3) である。その具体的な特性は、以下の形で示されている。

## 応答スペクトルに基づく手法による基準地震動Ss

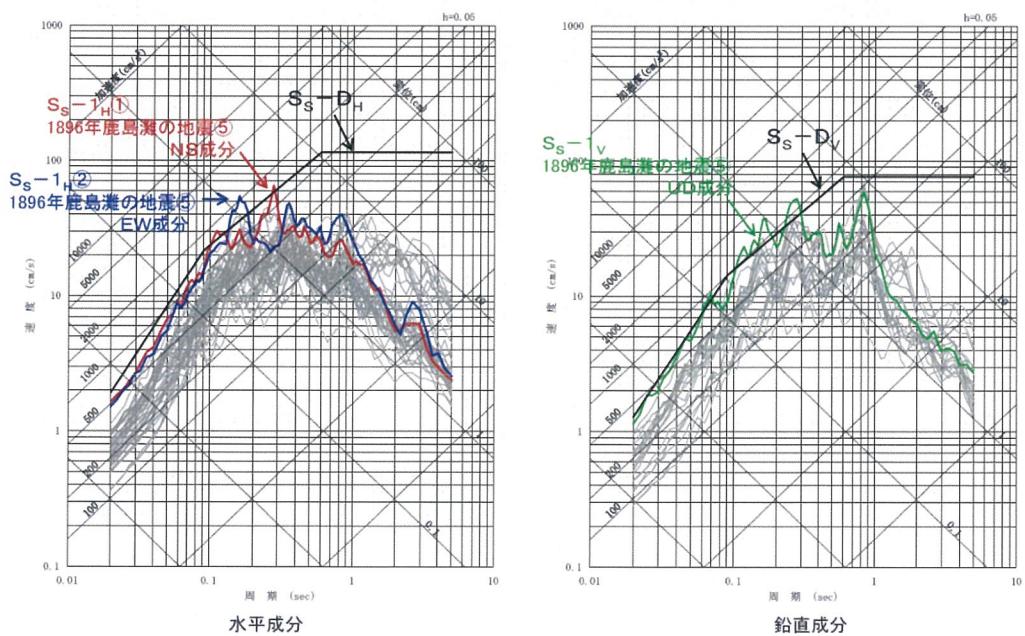


日本原子力発電株式会社  
The Japan Atomic Power Company

80

## 断層モデルを用いた手法による基準地震動Ss

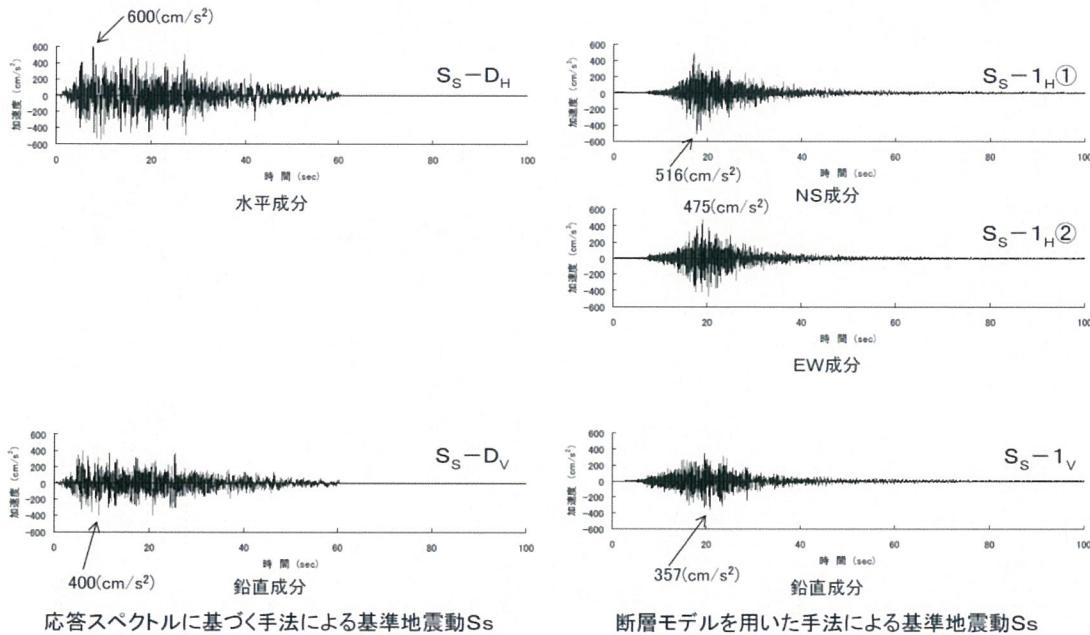
### ○断層モデルを用いた手法による地震動評価と基準地震動Ss-Dの比較



日本原子力発電株式会社  
The Japan Atomic Power Company

81

## 基準地震動Ssの時刻歴波形



このように基準地震動Ssは、時刻歴波形と応答スペクトルの形で示されている。時刻歴波形とは、地震計で観測される（観測されるであろう）地震であり、応答スペクトルとは、地震動が建物に与える影響を図示したものである。

なお、地震動評価の手法としては、「応答スペクトルに基づく地震動評価」と「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の双方を実施することとされているが、その結果、地震動が建物に与える影響を示したものは、「応答スペクトル」と呼ばれる。すなわち、断層モデルを用いた手法による地震動評価でも、応答スペクトルが示される。「応答スペクトルに基づく地震動評価」と、応答スペクトルは、名称は似てであるが、異なる概念であることに注意を要する。

## 第2 前提となる事実

耐震設計の手法やその問題点を理解する前提として、応答スペクトルの理解が不可欠となる。

そして、応答スペクトルの理解のためには、地震と地震動、およびその地震動が建物に与える影響（すなわち、これが応答スペクトルであるが）についての基本的な理解が不可欠である。

そこで、本項では、これらの耐震設計の基本的な考え方について述べることとする。なお、本項の内容は、山中浩明編著「地震の揺れを科学するーみえてきた強震動の姿」（東京大学出版会、甲D 4）と、大崎順彦著「地震と建築」（岩波新書、甲D 5）とに基づいており、本項の内容については、被告らとの間に争いはないと思われる。

### 1 耐震設計の基礎

#### (1) 地震と地震動

地震は、地下の岩盤が急速に破壊されることによって地震波が発生し、それが地殻内をあらゆる方向に伝わる自然現象である。

地震動は、その地震がもたらす揺れである。地下の岩盤が大きく破壊されればされるほど、それだけ発生する地震波は大きなものになる。

地震は、ある特定の地点（震源域）で発生するものであり、その大きさは1つの決まった値（推定値）である。これに対して、地震動は、同一の地震であっても、それを観測する地点によって、その大きさは全く異なる。遠くで地震が起きた場合は、揺れ（地震動）は小さいが、近くで地震が起きた場合は、揺れ（地震動）は大きい。このことは、私たちが日常に体験することである。

#### (2) 地震（動）の観測

地震の大きさを直接測定する方法はない。地震は、地中奥深くで発生するため、直接測定ができないからである。

私たちが、観測できるのは地震動であり、地震動は地震計で測定することができる。地震計は、今日では全国中に設置されており、一つの地震に対して、瞬時に地

震計が揺れを観測する。

このようにして観測された地震動の記録から、地下のどのあたりでどのような規模の地震が発生したのか、を推定している。これが、地震の震源（域）や深さ、大きさとして発表される。

その後、地表での変位のデータや余震分布なども加えて、震源域がより詳細に特定されていくのである。

### (3) 地震の大きさ

地震の大きさ（地震の持つエネルギーの大きさ）はマグニチュード（M）で表わされる。マグニチュードには、いくつかの種類があるが、代表的なものとして気象庁マグニチュード（Mj）とモーメントマグニチュード（Mw）とがある。

気象庁マグニチュードは、周期5秒までの強震計の最大振幅を用いて計算するもので、大きな値になると飽和して、それ以上に大きな値にはならない。そこで、東北地方太平洋沖地震のような巨大地震では、地震モーメント（Mo）によって導かれるモーメントマグニチュード（Mw）が用いられる。

地震モーメント（Mo）とは、震源断層面の面積（S）と、断層面におけるずれ量（平均すべり量 D）と、剛性率（変形のしやすさ＝ずれ面の接着の強さ）から得られる物理量である。地震モーメント（Mo）は、後に述べる「断層モデルを用いた手法」において、重要な要素となる。

モーメントマグニチュード（Mw）は、物理量である地震モーメント（Mo）から

$$\log Mo = 1.5Mw + 9.1$$

の式で算出される。

Mw からみれば、 $Mw = (\log Mo - 9.1) / 1.5$  となる。

モーメントとは力×長さであり、単位は、dyne・cm（もしくはN・m）である。

マグニチュード（M）は対数であるので、Mでは0.2の差でも、エネルギーは2倍の差がある。M6とM7では約3.2倍の差、M6とM8では約1000倍の差となる。

### (4) 地震動の大きさ

これに対して、地震動の大きさは、日常的には、震度として示されている。ただ

し、震度は、人の揺れの体感であるので、科学的厳密さに欠ける。

そこで、より科学的な尺度として用いられているのは、地震動の速度と加速度である。

速度と加速度は、極めて重要な基本的な概念であるので、一言しておく。

たとえば、A点からB点まで100m進むのに5秒間かかったとすれば、この時の速度は毎秒20mとなる。これに対して、A点を通過する時の速度が毎秒15mで、B点を通過する時の速度は毎秒25mだったとすれば、5秒間に毎秒10mの速度の変化があったことになる。これを1秒間あたりの速度の変化にすると、毎秒・毎秒2mとなる。このような毎秒ごとに速度の変化する割合が加速度である。

地震動の場合は、単位はセンチメートルで表す。速度は毎秒何センチメートル、加速度は毎秒・毎秒何センチメートルとなる。この時の毎秒・毎秒何センチメートルを、「ガル」という単位であらわす（かのガリレオ・ガリレイから名付けられたものである）。

#### (5) 重力加速度

重力加速度について、後の議論のために、補充しておく。

高いところから物を落とすと、地球の引力に引かれて、落ちる。そして、この時の落下速度は一定ではなく、刻々と速度が加わっていく。つまり物体は加速されている。この時の加速度は、およそ980ガル（すなわち毎秒・毎秒980センチメートル）という一定の値である。これを重力加速度といい、1Gともあらわす。

この加速度は、物体が鉄であっても木であっても羽毛であっても変わらない。空気抵抗が無ければ、皆同じ時間で落ちるのは、重力加速度のためである。

#### (6) 加速度と力の関係

加速度は速度の変化であり、速度が変化するということは、その物体に力が作用した、ということを意味している。これは、車を急発進した場合（すなわち毎秒ごとに速度が増加する割合が大きい場合）に、体がシートに押さえつけられること、逆に車を急停止した場合（この場合は、毎秒ごとに速度が減少する割合が大きい）

に、体が前のめりになることで、体感できる。

「物体に力が働くとき、物体には力の同じ向きの加速度が生じる。その加速度  $a$  の大きさは、働いている力の大きさ  $F$  に比例し、物体の質量  $m$  に反比例する。」というのがニュートンの運動の第二法則であり、このように加速度と力は比例する。

たとえば物には重さがある。「重さ」をもたらす力は重力であり、その重力によって生み出される加速度が重力加速度 9.80 ガルである。人間やビルは地面に支えられているが、地面が取り払われれば、9.80 ガルの加速度で下に落ちる。このように物体は、支えがあるから落ちていかないだけであって、いつも下方に向かって 9.80 ガルの加速度をもたらす重力を、地球上のすべての物体は受けている。

#### (7) 地震動の加速度

地震動は、地面の振動である。振動とは、ある量のプラスとマイナスが繰り返される状態である。地面の振動は、プラス・マイナスの加速度が繰り返し作用する状態である。これは、車が急発進・急停止・急後進を何度も繰り返している状態と同じである。

加速度は力であり、このような地震動の加速度によって、地上の物体には力が作用する。加速度が大きければ、作用する力もそれだけ大きくなり、建築物を壊したりする。

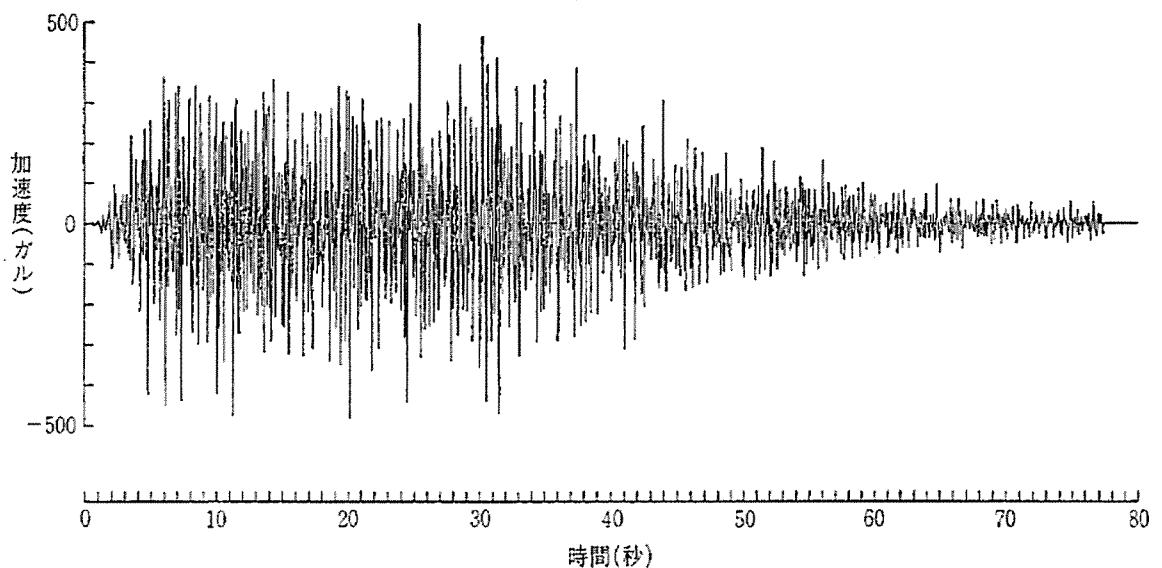


図 I-1 東京大学構内における加速度記録(「東京大地震」)

図 I-1 (大崎 9 頁) は、小説「日本沈没」が映画化された際に、大崎順彦が作成した「東京大地震」の推定地震動の加速度記録である（実測ではない）。

この図では、約 80 秒間、大小様々な加速度を繰り返しながら、地面は振動を続いている。最も大きい加速度は 25 秒付近に表れていて、その値は 492 ガルである。

#### (8) 小括

以上のとおり、最大加速度が大きければ地震動は強い、と言えることは間違いない。だから最大加速度が大きい地震は破壊力が強く、大きい被害を引き起こす。破壊力は力であり、加速度も力であるから、加速度＝破壊力ということが成り立つ。

## 2 地震動の性質

ただし、最大加速度の大小だけが、破壊力を決定する要因ではない。地震動の破壊力は、最大加速度以外の特性の総合効果である。次に、最大加速度以外の地震動の性質を述べた上で、地震動の破壊力について述べる。

#### (1) 振動の基本的な性質

振動の基本的な性質は、メトロノームの動きで（後述するように倒立振子でも）イメージできる。

メトロノームの振り子は、同一線上を、左右に規則正しく、行きつ戻りつしてい

る。振り子が1秒間に1回往復する間に経過する時間を「振動の周期」という。

- ① 1回往復するのに1秒かかるとすれば周期は1秒
- ② 0.5秒かかるとすれば周期は0.5秒
- ③ 2秒かかるとすれば周期は2秒

である。速く繰り返すもの（たとえば0.5秒）を短周期、ゆっくり繰り返すもの（たとえば2秒）を長周期という。

これに対して、1秒間に何回振動するかという回数を「振動数」という。その単位はヘルツである。

- ① 1ヘルツは1秒に1回の振動
- ② 2ヘルツは1秒間に2回の振動
- ③ 0.5ヘルツは1秒間に0.5回の振動

となる。周期と振動数は逆数の関係になる。

図V-1（大崎74頁）は、周期0.5秒の振動を表している。

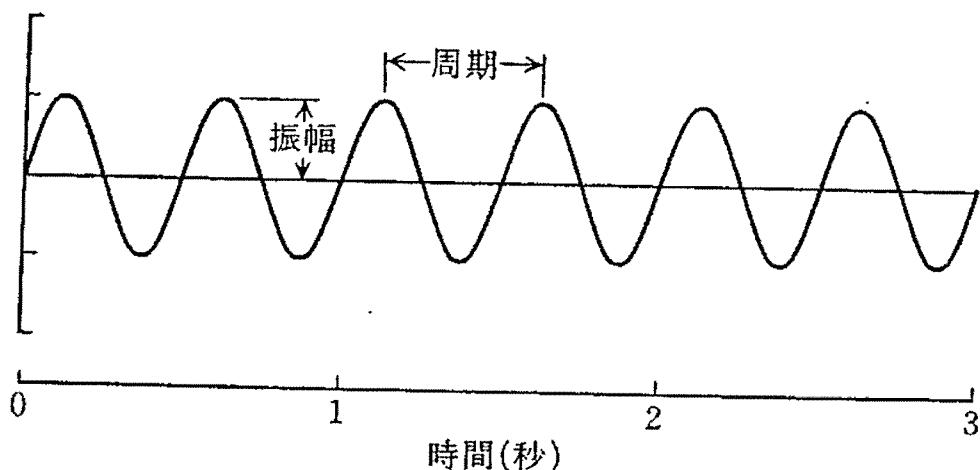


図 V-1 単振動

横軸が周期、縦軸が振れ幅を表す。振れ幅は「振幅」ともいう。このような同じ状態を単純に繰り返している振動を単振動という。

振幅がいくら大きくなても、周期が同じであれば、戻ってくる時間は同じである。それは、すなわち、揺れの速度が速いということであり、すなわち、速度の変化量=加速度も大きくなるということを意味している。

## (2) 地震動の諸性質

実際の地震は、このような単純な振動ではなく、同じ状態が規則正しく繰り返されているわけではない。

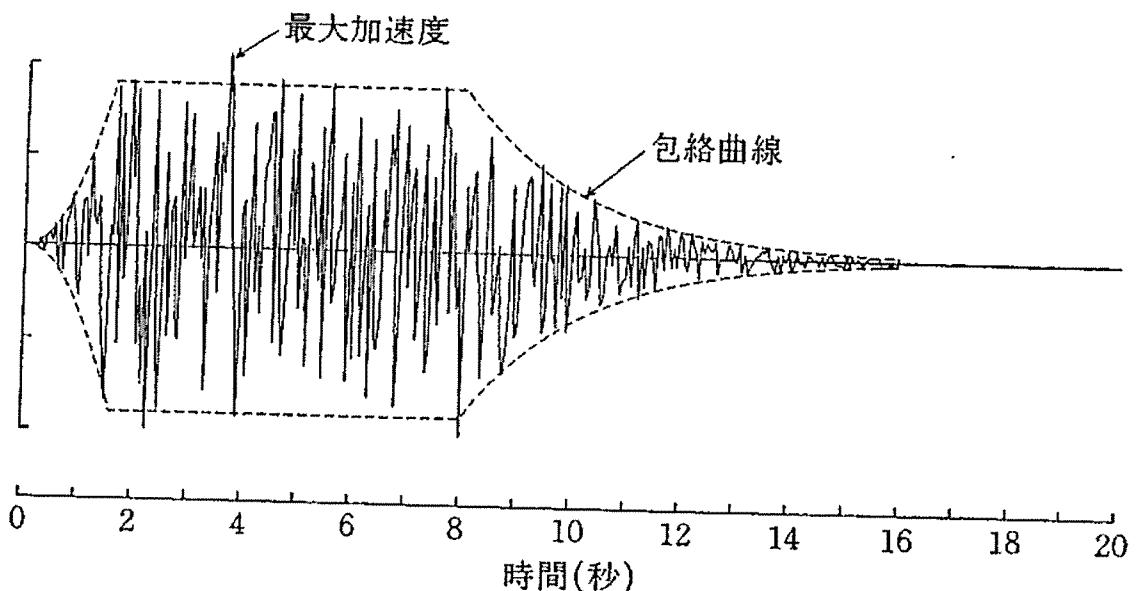


図 V-2 地震動

たとえば、図V-2（大崎75頁）の地震動は16秒間続いているが、最大のものは3.7秒付近であり、これがこの地震動の最大加速度である。

破線は、地震動の振幅を包み込んでいるという意味で、包絡曲線という。

ただし、一見複雑に見える振動も、実は、いろいろな振幅と周期をもった振動の寄せ集めであり、単純な振動に分解することができる（このことは、後述する）。

たとえば、図V-3（大崎77頁）では、4つの地震動の加速度記録が並べてあ

る。

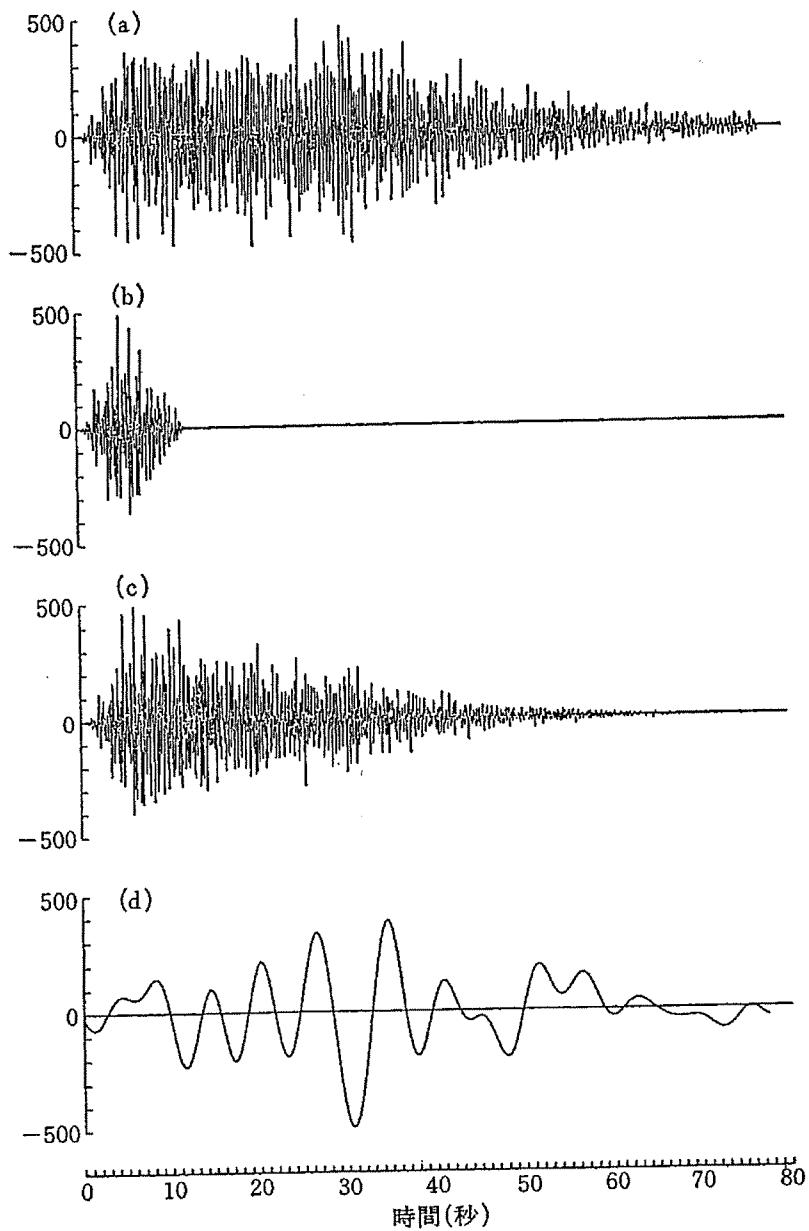


図 V-3 地震動のいろいろ

これらの最大加速度はすべて 490 ガルである。ただし、その性質は全く異なる。

(a) は、激しい地震動が 80 秒近く続いている。

(b) は、継続時間が短く、12 秒ほどである。

(c) は、立ち上がり直後にいったん強い加速度が作用するが、徐々に振動が収束

する。

(d) は、(a) (b) (c) と異なり、長周期のゆっくりとした揺れである。

以上をまとめると、地震動の特性としては、

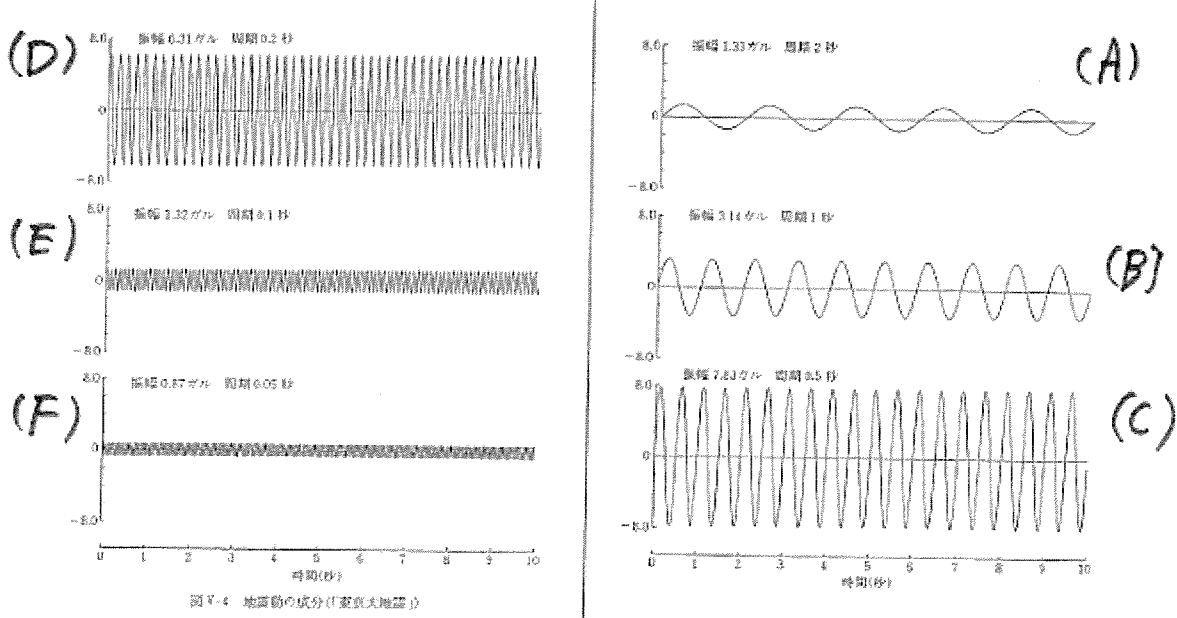
- ①最大加速度、②継続時間、③包絡曲線、④周期特性
- の4つがあげられる。

### (3) 周期特性とスペクトル

ここでスペクトルという概念を説明しておく。スペクトルとは、複雑な組成を持つものを、単純な成分に分解し、その成分を、それを特徴づけるある量の大小の順に並べたもの、と言える。

地震動の加速度記録は、一見複雑に見えるが、実は、いろいろな振幅と周期をもった振動の寄せ集めであり、単純な振動に分解することができることを述べた。分解する方法は、創始者である数学者フーリエの名前にちなんで、フーリエ解析と呼ばれている。

図I-1 (大崎9頁) の地震動を分解 (フーリエ解析) して、得られたもとの地震動の成分のうち、代表的なもののいくつかを並べたものが、図V-4 (大崎86頁～87頁) である。



ここに並べた成分は、全部単振動であるが、振幅と周期が違う。これをスペクトルの趣旨に従って、周期の大きい順番に並べると以下のようになる。

- (A) 右上 振幅 1.33 ガル 周期 2 秒
- (B) 右中 振幅 3.14 ガル 周期 1 秒
- (C) 右下 振幅 7.83 ガル 周期 0.5 秒
- (D) 左上 振幅 6.31 ガル 周期 0.2 秒
- (E) 左中 振幅 1.32 ガル 周期 0.1 秒
- (F) 左下 振幅 0.87 ガル 周期 0.05 秒

この結果を、一覧できるようにしたものが図V-5（大崎88頁）である。

この曲線は、フーリエの名をとって、フーリエ・スペクトルと呼ばれている。

これを、さらにより細かく固有周期ごとに計算して一覧したものが、図V-6（大崎89頁）の曲線である。図V-6には、周期 0.5 秒付近に高い山がある。これは、つまり、元の地震動の中に周期が 0.5 秒程度の大きな振動が含まれていることによる。このような性質は、元の地震動記録を見ただけでは分からないものであり、これをはっきりさせてくれるのが、フーリエ解析であり、フーリエ・スペクトルなのである。

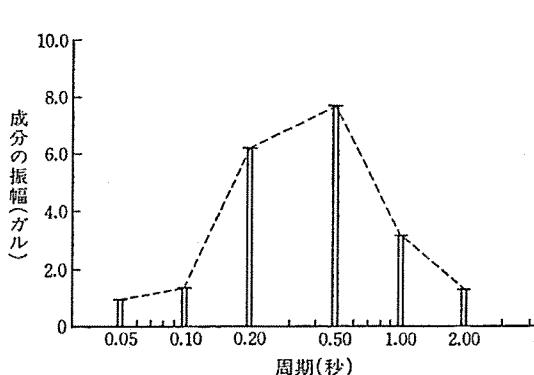


図 V-5 フーリエ・スペクトルの原理

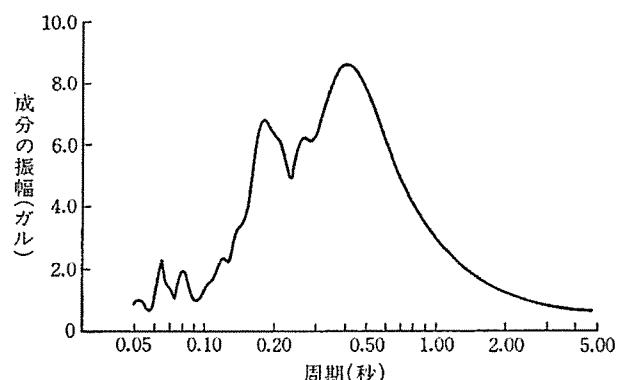


図 V-6 フーリエ・スペクトル（「東京大地震」）

### 3 地震動の破壊力

#### (1) 地震動と建築

ここまで述べたことは、地震と地震動のことばかりであり、建築物は不在であった。ここから、地震動が、建築物にどのような影響を及ぼすかということをみていこう。

#### (2) 固有周期

小さな地震（地震動）では、建築にはダメージはない。

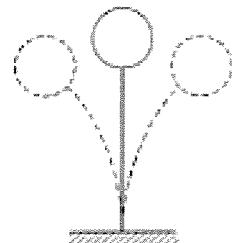
反対に、大きな地震（地震動）は、建築を破壊する。建築が破壊されるのは、建築が揺れ動くからである。すなわち、建築は、力を加えればそれ自体揺れ動く振動体である。

では、建築は、どのように揺れるのか。揺れによる破壊を考える場合は、振動体としての揺れ方の性質、すなわち、早く揺れるのか、ゆっくり揺れるのか、という振動の周期が重要となる。

建築は、大小様々なものがあるが、板バネ（倒立振子）と錘（おもり）の簡単なモデルで示すことができる（図VI-6（大崎103頁））。

錘は建築全体の重量を表し、板バネは建築の堅さ・柔らかさを表す。コンクリートの低層の建物は堅いので厚くて短い板バネで、超高層のビルは柔らかいので薄くて長い板バネにする。

図VI-6の倒立振子を指でつづいて揺らすと、振動を始める。ひとりでに揺れ動く振動を自由振動という。この場合の振動の周期は、錘の重さと板バネの強さ（厚さと長さ）で決まる一定の値であって、それ以外の周期をもって自由振動することはない。再び、メトロノームに戻れば、錘の位置をずらさないかぎり、一定の周期で揺れるのと同じことである。この自由振動の周期は、それぞれの振子に固有なものであり、これを固有周期という。



図VI-6 倒立振子

物には、すべて固有周期がある。低層建築の固有周期はガタガタ速く揺れる短周期、柔らかい高層建築はユラユラとゆっくり揺れる長周期である。

### (3) 共振現象

では、なぜ、固有周期が問題となるのか。それは、建物の固有周期と一致する地震動の成分によって、揺れ始めた振動が成長していき、ついには建物を破壊するに至るからである。

たとえば、固有周期が0.5秒の振子を想定して、この足下の地面を揺らしてみる。この時、地面の揺れの周期が、振子の固有周期と一致しない短周期（たとえば0.2秒）、あるいはずっと長周期（たとえば3秒とか5秒とか）だったとすると、振子はそれなりに揺れるけれども、揺れは成長はしない。そして、この場合、揺れが少ないので、建物を破壊することはない。

これに対して、地面の揺れの周期が、振子の固有周期と一致する0.5秒だとすると、振子の振動はしだいに成長し、とめどもなく大きい揺れに成長してしまうのである。揺れが大きくなるということは、それだけ大きな力が振子に加わるということであり、そして、ついには、建物を破壊するに至るのである。

このように、外部から与えられる振動の周期と、物の固有周期が一致したために、大きき振動が出現する現象を、共振という。

### (4) 実際の地震動と建物の共振

実際の地震動は、0.5秒の単周期ではなく、様々な周期の波の集合だということは前述した。

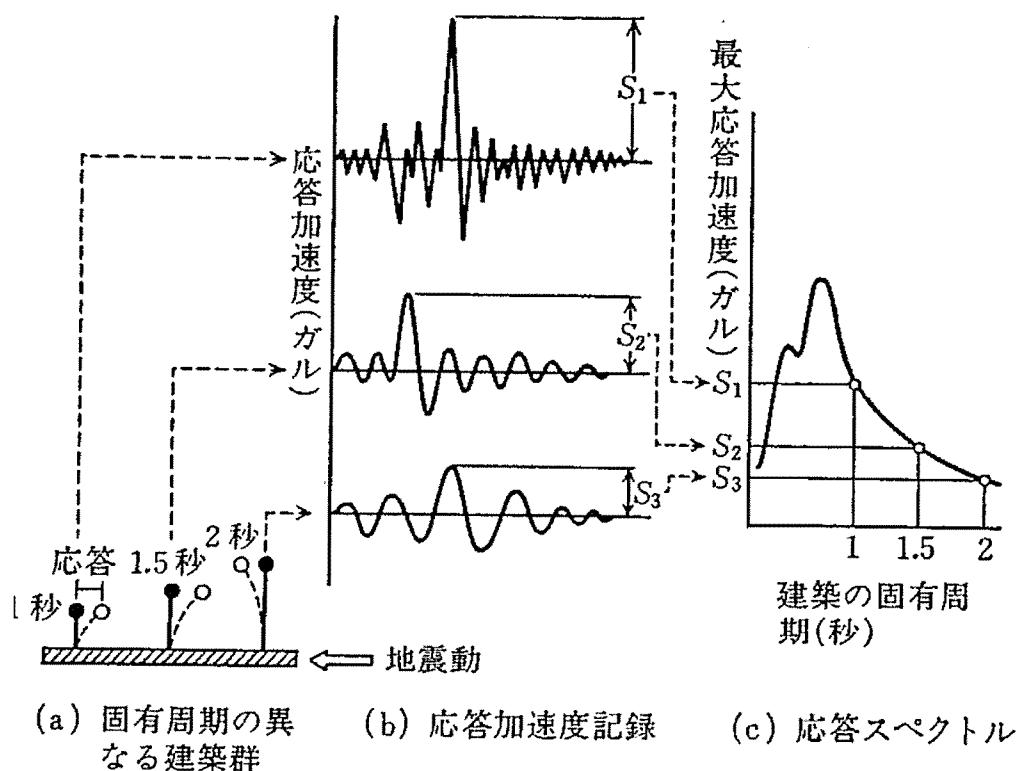
これに対して、物の固有周期は一定（たとえば周期0.5秒）であるので、物の側からすれば、いろいろな周期の地震動がやってくるうちの、自分の固有周期に近いものに特に反応して共振し、その都度大きく揺れる、ということになる。

### (5) 応答スペクトル

「応答」とは、建築や振子が、地震動を受け、地震動とその物（建築物や振子）

自体の特性（固有周期）に応じて振り動かされる、その反応のことをいう。「応答スペクトル」は、応答のスペクトル、すなわち、建築や振子の反応を、周期の大小の順に従って並べたもの、である。

図IV-8（大崎109頁）は、応答スペクトルの概念を、模式的に説明したものである。



図IV-8 応答スペクトルの説明図

図VI-8の左側の(a)には、固有周期の異なるモデルが3つ（ここでは1秒、1.5秒、2秒）並べてある。これに対して、ある地震動の加速度で揺らしてみると、モデルは一斉に揺れ出す、つまり応答を始めるが、その揺れ方は地震動の特性（揺れの特性、すなわち最大加速度、継続時間、周期特性など）と、モデルの特性（固有周期）との関係で、それぞれ違ったものとなる。

この時、振子の錘に加速度計が取り付けてあったとする。加速度計はそれぞれのモデルが、与えられた地震動に対して応答することによって生じる加速度、すなわち応答加速度をそれぞれ記録する。この記録が、図IV-8の真ん中の(b)応答加速

度記録である。

(b) の上段は、固有周期が 1 秒のモデルの応答加速度を示している。その最大値が  $S_1$  である。これが、(a) の左端のモデル、つまり固有周期が 1 秒の建築が、この地震動によって揺さぶられている間に、その建築に対して作用した最大の加速度、つまり、この地震動に対する固有周期 1 秒の建築の最大応答加速度である。同じように、固有周期 1.5 秒 ((b) の中段) や 2 秒の建築 ((b) の下段) には、それぞれ最大応答加速度  $S_2$ 、 $S_3$  が作用する。

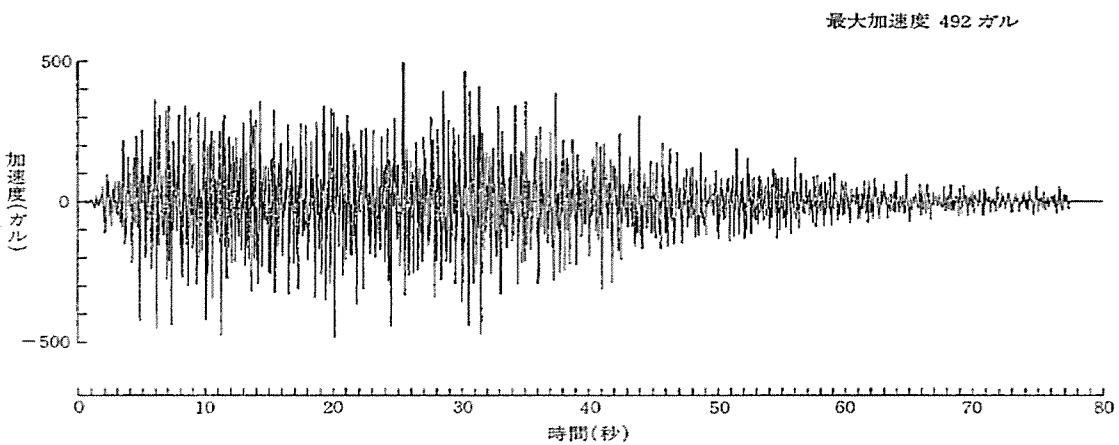
図 IV-8 右側の (c) は、横軸に固有周期、縦軸に最大応答加速度を表したものである。(a) の 3 つのモデルの固有周期 (ここでは 1 秒、1.5 秒、2 秒) を横軸にとり、それに対応する最大応答加速度  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  が縦軸に取られている。その結果が、(c) の白丸点である。

今までてきた固有周期は 3 つだけであるが、実際には、さらに細かく固有周期を分け、応答加速度を得ることができる。すなわち、さらに多くの固有周期におけるそれぞれの最大応答加速度を調べて、これを隙間無くつなげると、(c) の波線が得られる。これが、すなわち応答スペクトルである。

のことから明らかなように、ある地震動に対しては、それに対応した応答スペクトルが、別の地震動に対してはその別の地震動に対応した応答スペクトルが得られる。

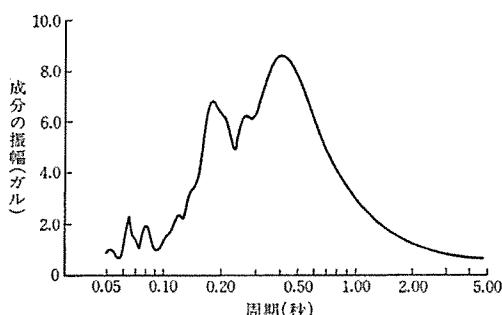
## (6) 地震動と応答スペクトル

ここで、図 I-1 (大崎 9 頁) に示した地震動を、もう一度みる。

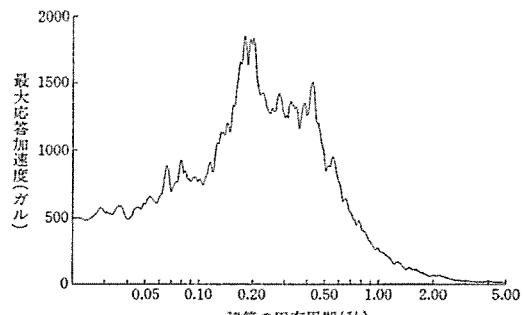


図I-1 東京大学構内における加速度記録(「東京大地震」)

この地震動(図I-1)の応答スペクトルが、図VI-9(大崎110頁)である。この地震動をフーリエ解析した図V-6(大崎89頁)と並べてみよう。



図V-6 フーリエ・スペクトル(「東京大地震」)



図VI-9 応答スペクトル(「東京大地震」)

図V-6(大崎89頁)のフーリエ・スペクトルでは、周期0.5秒付近に高い山(大きな加速度)があり、この地震動では周期0.5秒の成分が優勢であった。そして、周期0.2秒付近にも、やや低い山がある。

これに対して、同じ地震動に対応する応答スペクトル図VI-9(大崎110頁)でも、0.5秒と0.2秒のところに山があるが、山の高さが逆転して、0.2秒付近の方が高い。

ということは、地震動の成分としては、0.5秒のものがより優勢であるが、建築に与える影響という点からみると、固有周期が0.5秒ではなくて、0.2秒の方が建築に対してもっとも強く作用する、ということを示している。

なぜ、このような結果になるのか。

これは、地震動の破壊力は、最大加速度だけでは説明できず、継続時間（さらに他の特性）も、大きく影響することによるからである。極めて単純化して言えば、地震動の中で最大の加速度は固有周期0.5秒付近の成分だったが、その継続時間は短く、一方で、固有周期0.2秒付近の加速度は、地震動の中では最大の成分ではなかったが、継続時間が長く、共振により建物の揺れは成長したものだということができる（実際には、さらに複雑であるが、ここまでにとどめる）。

このようにして得られた応答スペクトルは、地震動が建築物に与える影響を集約したものであって、ここに耐震設計の全体が表れるのである。

#### (7) 耐震設計

同じ土地の同じ地盤の上に立ち、同じ地震動を受けても、作用する力（すなわち地震動入力）は、建築自体の特性によって違う。

建築の特性を端的に表現し、直接地震動入力に反映させるのに、もっともふさわしい特性値、それが応答スペクトルである。

たとえば、建築の固有周期が1秒だと決まると、図VI-10（大崎111頁）の応答スペクトルから、最大応答加速度は600ガルに耐えられるようにすれば良いということになる。もし、この時、建築の固有周期が3秒だとすれば、最大応答加速度は300ガルに耐えられるようにすれば良いことになる。

600ガルという  
のは、つまり重力加  
速度（980ガル）  
のほぼ0.6倍であ  
るから、建築には、  
その重量の0.6倍  
の力がかかるとい  
うことになる。この力  
に対して壊れないよ  
うに、部材や寸法な  
ど、具体的な設計に  
取りかかれば良い。

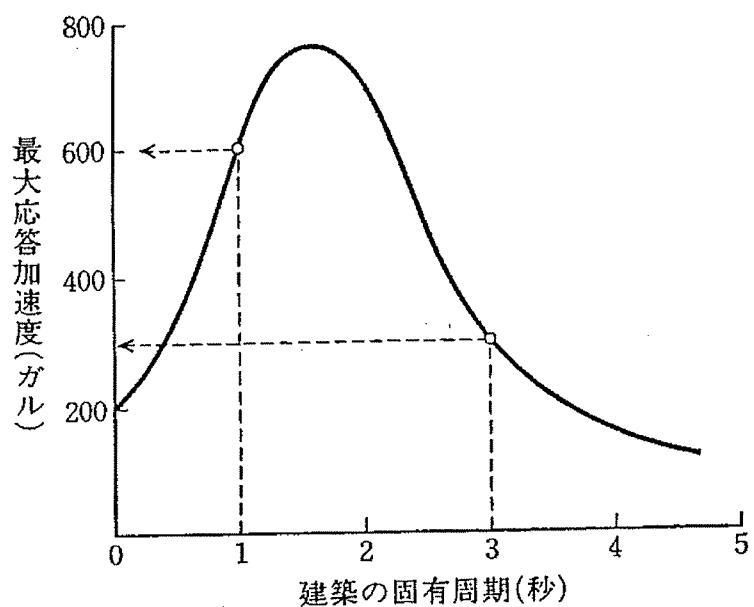


図 VII-10 応答スペクトルの意味

このような考え方方が採用されたのは、1981年の建築基準法の改訂時であった。

#### (8) より詳細な耐震設計

ここまでみてきた応答スペクトルは、錘が一つだけの倒立振子のモデルであった。この錘は建築の全重量をひと塊にしたものと考えているので、これから求められるものは、建築に働く総体の力である。

総体に働く力はこれでいいが、数階建ての建物の場合の各床に、どのような力が働くかは、これだけでは分からぬ。原発では、原子炉やポンプ等無数の機器・配管が設置されており、これらの機器・配管は、建物とは別の固有周期を有している。そこで、その応答は、それが各階のどこに設置されているかによっても異なる。そこで、各階の床にどのような力が働くかは、この階数分だけ、錘を縦につなげて串団子のようなモデルを考える必要がある。このようにして得られた応答スペクトルは、床の数だけ得られる。これを床応答スペクトルという。

各階の床に設置された機器・配管の設計においては、機器・配管の固有周期を把握し、それを設置する床応答スペクトルから、最大応答加速度に耐えられるように、設計することになる。

これは、数千本とも数万本とも言われている配管や、その他の機器・設備・施設についても同様である。

#### (9) 物が壊れれば、固有周期が変化する

よりやっかいなのは、物は壊れれば、その固有周期は変化するということである。すなわち、物には、すべて固有周期があり、低層建築の固有周期はガタガタ速く揺れる短周期、柔らかい高層建築はユラユラとゆっくり揺れる長周期であると前述した。

今、これが、何らかの理由でこわれかけているとしよう。そうすると、固有周期は、短周期側から長周期側にずれることがある。そうすると、元の設計時の固有周期では最大応答加速度以下の応答だったものが（もともとそうして設計された）、固有周期が変化することによって、別の周期で共振することになってしまい、設計時点での期待とは別の挙動を示すことがあり得る。建築物にかかる力（すなわち加速度）が小さくなる方向であれば問題はないが、いつもそうだとは限らない。

したがって、物を設計する場合は、これらについても考慮する必要がある。

### 4 その他の基礎的な事項

#### (1) 応力降下量とは

震源断層面、特にその中でも強く固着した領域（アスペリティと呼ばれる）に大きな歪が蓄積され、ある時に一気に歪が解放されて、蓄積されたエネルギーが放出される。それが地震という現象である。地震動のエネルギーとして放出される応力の解放量を「応力降下量」（単位は、MPa）と言う。

#### (2) 短周期レベルの地震動と応力降下量

一般に、アスペリティの応力降下量の大きさと短周期レベルの地震動の大きさとは比例的関係にあるので、応力降下量を大きくした割合と短周期レベルが大きくなる割合はおおむね一致する。平成 21 年 4 月 24 日付被告を含めた各原子力事業者への保安院の通知「耐震バックチェックにおいて地震動評価を行う際の応力降下量の取り扱いについて」（甲D 6）では、「基本震源モデルに対して応力降下量を大きく

した割合と短周期レベルが大きくなる割合が異なる場合があることが確認されました。」とされている。これは、応力降下量を大きくした割合と短周期レベルが大きくなる割合はおむね異なるが、「異なる場合もある」ということを意味すると解される。

### 第3 不確かさの考慮が原発の耐震設計では必要となること

#### 1 不確かさを考慮しなければならない理由

自然現象を測定するときには、必ずある誤差がある。測定の精度は、その測定の対象や手法によって種々であり、たとえば地盤の速度構造の測定の誤差は、決して小さくはない。

雑誌「科学」2012年6月号（「地震の予測と対策：『想定』をどのように活かすのか」甲D7）に掲載された、岡田義光防災科学研究所理事長、纈纈一起東京大学地震研究所教授、島崎邦彦東京大学名誉教授の鼎談では、纈纈教授と岡田教授の以下の発言が掲載されている。

纈纈 地震という自然現象は本質的に複雑系の問題で、理論的に完全な予測をすることは原理的に不可能なところがあります。また、実験ができるないので、過去の事象に学ぶしかない。ところが地震は低頻度の現象で、学ぶべき過去のデータがすぐない。私はこれらを「三重苦」と言っていますが、そのために地震の科学には十分な予測の力はなかったと思いますし、東北地方太平洋沖地震ではまさにこの科学の限界が現れてしまったと言わざるをえません。こうした限界をこの地震の前に伝え切れていなかつたことを、いちばんに反省しています。

編集部 限界があるとして、どういう態度で臨むべきでしょうか。既往最大に備えることになりますか。

岡田 どれくらいの低頻度・大事象にまで備えるかという問題になります。1000年に一度、1万年に一度と、頻度が1桁下がるごとに巨大な現象があると考えられます。大きなものに限りなく備えるのは無理ですから、どれくらいまで許容するかになります。日常的に備えるのは、人生の長さから考えると、100～150年に一度のM8くらいまでで、M9クラスになると、ハードではなくソフト的に、避難などの知恵を働かせるしかないのではないかでしょうか。

編集部 原発の場合にはどうお考えになりますか。

岡田 施設の重要度に応じて考えるべきですから、原発は、はるかに安全サイドに考えなければなりません。いちばん安全側に考えれば、日本のような地殻変動の激しいところで安定にオペレーションすることは、土

台無理だったのではないかという感じがします。だんだん減らしていくのが世の中の意見の大勢のようですが、私も基本的にそう思います。

纒纒 真に重要なものは、日本最大か世界最大に備えていただくしかないと最近は言っています。科学の限界がありますから、これ以外のことは確信をもって言うことができません。しかし、全国の海岸すべてで日本最大の津波高さに備える経済力が日本はないだろうと考えています。そうするとどうするか。それは政治などの場で、あるいは国民に直接決めていただくしかないであろうと思います。

編集部 中越沖地震で号機ごとにゆれがかなり違っていましたが、地質の影響は本当にあらかじめわかるのでしょうか。

纒纒 前述のような科学のレベルですから、予測の結果には非常に大きな誤差が伴います。その結果として、予測が当たる場合もありますし、外れる場合もあります。ですので、その程度の科学のレベルなのに、のように危険なものを科学だけで審査できると考えることがそもそも間違いだったと今は考えています。

また、同じ鼎談の中で、島崎邦彦氏（原子力規制委員会委員長代理）は、「平均像のようなものを見ていることになります。解像度を一生懸命よくしようとしていますが、ほんとうに中で何がおきているのかには手が届いていない。」とも述べている。

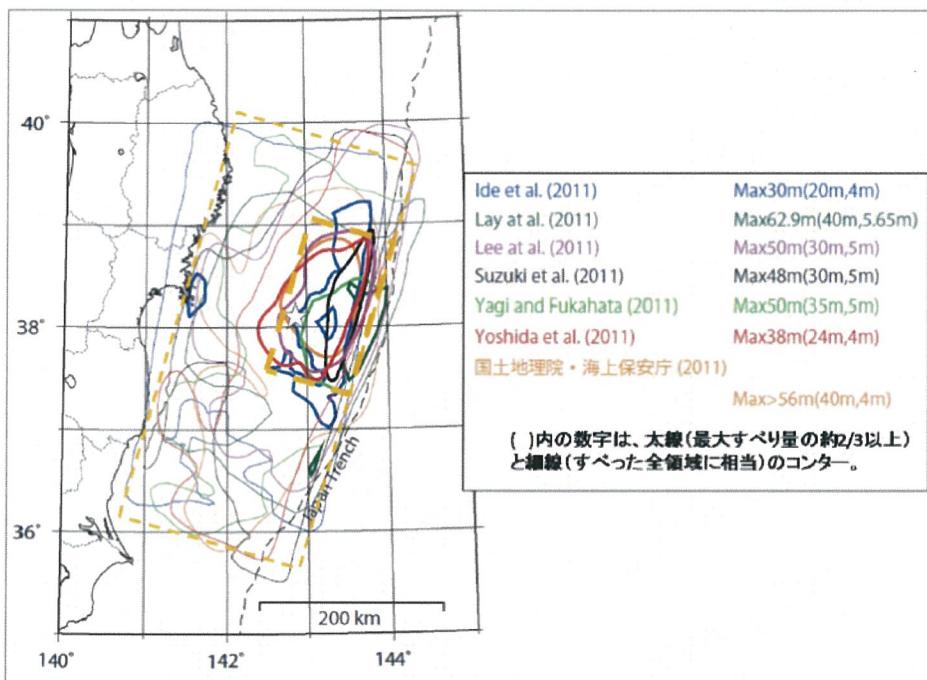
これらの発言の意味するところは極めて重大である。要するに、地震の科学は、対象が複雑系の問題であるので、原理的に完全な予測が困難であること、実験のできるものではないので、過去のデータに頼るしかないが、起こる現象が低頻度であるのでデータが少ないこと、したがって地震の科学には限界があるということである（纒纒）。また、頻度が1桁下がるごとに大きな現象があると考えられるとされている（岡田）。また真に重要なものは（既往）日本最大か世界最大で備えるしかない（纒纒）とされている。

実際に、過去の地震では、それがどのような現象であるのかは、必ずしもわかつ

ていない。東北地方太平洋沖地震について見れば、それが良くわかる。

下の2つの図のうち、上図は、東北地方太平洋沖地震で、それの量がどこでどれだけあったかを7つの見解ごとに示した図であるが、宮城県沖で大きなずれが発生したことは共通して認められるものの、各見解は相當に異なっている。

下図では、強震動生成域（強い地震動を発生させた領域、すなわちアスペリティ）と考えられる領域を5つの見解ごとに4角形で示しているが、見解ごとに大きく異なっている。



図IV.10 東北地方太平洋沖地震の地震波形及び地殻変動による  
震源過程解析結果（関係論文をもとに気象庁気象研究所作成）

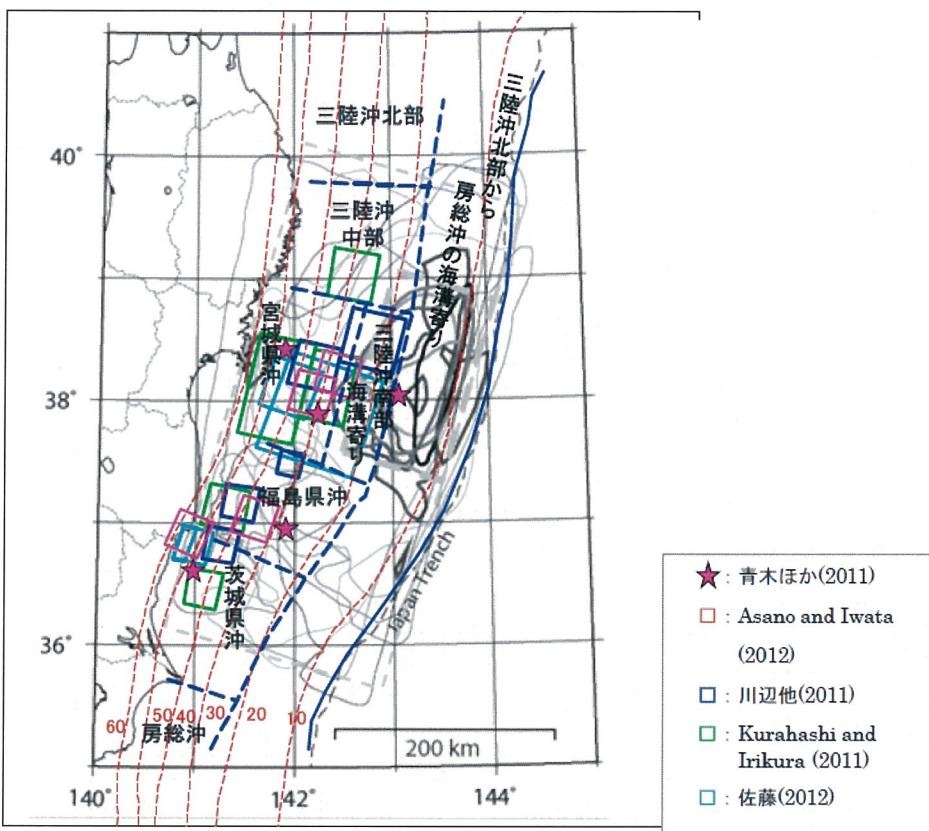


図6.○ 東北地方太平洋沖地震の地震波形及び地殻変動による震源過程解析結果と強震動生成域

このように、実際に起きた地震でも、どんな現象だったかは、正確には分からぬといいうのが、地震学の現状である。

地震は、地下深くで起こる現象であり、それを強震計で地震動を観測し、あるいはGPSでどれだけ地面がずれたかを観測するなどして、それらのデータから、地震現象を推し量ろうとする。直接、地下深部で起こっていることが観測できるわけではなく、種々のデータから地下での現象を推測するものであるため、地震現象は正確には把握しきれない。前記瀬瀬発言の「隔靴搔痒」とは、まさしくそのような状態を表している。

そもそも過去の現象ですら正確には把握しきれないのに、将来の現象を正確に予測できるはずなどない。したがって、このことのみからしても、将来の地震・津波の予測には大きな不確かさが必然的に伴わざるを得ないのである。

また、発生する現象である地震や津波も、同じ場所であれば常に同じ範囲で、同じ規模、同じ様相で生じるというわけではなく、発生する現象自体にも、ばらつき

(不確かさ)がある。そのばらつきも極めて大きい。

将来発生する地震や津波の想定は、過去の地震、津波のデータに基づきなされ、また地盤などの測定データも用いられるが、測定データやデータをもととした推定に誤差があり、また発生する地震、津波という現象そのものにはばらつきがあるため、この点からしても、将来事象の想定（推定）には、必然的に大きな不確かさを伴わざるをえない。

一方、原発が極めて危険な施設であり、一旦重大な事故を起こしたときには、取り返しのつかない深刻な被害を広範に生ずる。したがって、原発の耐震設計は、「万が一にも」事故を起こさないように安全側に行わなければならないが、現実には、これまでの原発の耐震設計は、後に詳述するように、地震動・津波という現象の推定を「平均像」で行ってきたのである。

平均像で行えば、実際に起こる地震、津波の半分は、無視され、著しい過小評価となる。平均像では50%の事象しかカバーできないが、原発という極めて危険な施設の安全性のためには、このような、将来起こる50%でのみ安全が確保されるなどという設計では不足することは明らかである。

福島原発事故は、あらためてこの事実を示した。したがって、原発の耐震設計において、地震動、津波という現象の推定を、平均像で行なうことは決して許されない。

また、仮にある程度の事象をカバーするように推定したとしても、完全に全ての現象をカバーできるわけではない。現実の地震が想定を上回る可能性は、大きく、だからこそ原発の潜在的な危険性の大きさに鑑みて、不確かさを安全側に十分に大きく考慮することは、原発の耐震設計における地震動評価の際に、地震動評価をするための全ての手法において必須である。

## 2 指針における不確かさの考慮の要求

- (1) 不確かさの考慮についての平成18年9月19日付の発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（平成18年指針）の定め

平成18年指針は、不確かさの考慮について、以下のように規定する。

### 「3. 基本方針

耐震設計上重要な施設は、敷地周辺の地質・地質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施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があり、施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切な地震動による地震力に対して、その安全機能が損なわれることがないように設計されなければならない。さらに、施設は、地震により発生する可能性のある環境への放射線による影響の観点からなされる耐震設計上の区分ごとに、適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられるように設計されなければならない。

また、建物・構築物は、十分な支持性能をもつ地盤に設置されなければならない。」

## 「5. 基準地震動の策定

施設の耐震設計において基準とする地震動は、敷地周辺の地質・地質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施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があり、施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切なものとして策定しなければならない（以下、この地震動を「基準地震動」という。）

- (1) 基準地震動  $S_s$  は、下記 (2) の「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び (3) の「震源を特定せず策定する地震動」について、敷地における解放基盤表面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する。
- (2) 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」は、以下の方針により策定することとする。
  - ① (敷地周辺の活断層の性質・・・を考慮し、地震発生様式等による分類の上での敷地に大きな影響を与えると予想される地震（「検討用地震」）の複数選定
  - ② 「活断層の性質」に関する考慮事項
  - ③ 上記①で選定した検討用地震ごとに、次に示す i) の応答スペクトルに基づく地震動評価及び ii) の断層モデルを用いた手法による地震動評価の双方を実施し、それぞれによる基準地震動  $S_s$  を策定する。なお、地震動評価に当たっては、地震発生様式、地震波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。）を十分に考慮すること

とする。

- i ) 応答スペクトルに基づく地震動評価
  - ii ) 断層モデルを用いた手法による地震動評価
- ④ 上記③の基準地震動の策定過程に伴う不確かさ（ばらつき）については、適切に考慮する。」

また、その（解説）では、以下のとおり解説している。

「(3) 基準地震動 S<sub>s</sub> の策定方針について

- ④ 「基準地震動 S<sub>s</sub> の策定過程に伴う不確かさ（ばらつき）」の考慮に当たっては、基準地震動 S<sub>s</sub> の策定に及ぼす影響が大きいと考えられる不確かさ（ばらつき）の要因及びその大きさの程度を十分踏まえつつ、適切な手法を用いることとする。

経験式を用いて断層の長さ等から地震規模を想定する際には、その経験式の特徴等を踏まえ、地震規模を適切に評価することとする。

(4) 震源として想定する断層の評価について

- ⑤ 活断層調査によっても、震源として想定する断層の形状評価を含めた震源特性パラメータの設定に必要な情報が十分得られなかった場合には、その震源特性の設定に当たって不確かさの考慮を適切に行うこととする。」

このように、平成 18 年指針は、「基準地震動 S<sub>s</sub> の策定過程に伴う不確かさ」と「震源特性の設定に当たっての不確かさ」の 2 つの過程での不確かさを考慮するよう求めている。

(2) 新基準における不確かさの考慮の定め

平成 25 年 6 月に定められた新基準（「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を定める規則の解釈」）でも、次のとおり規定されている。

「選定した検討用地震ごとに、不確かさを考慮して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」

このように、新たに定められた基準でも、平成 18 年指針を踏襲しており、やはり不確かさの考慮は求められている。しかし、問題は、「不確かさの考慮」をどのように行うかの具体的手法である。この点について、新基準は、それ以上、具体的規定を置かず、結果として、従来行われてきた全く不十分な「不確かさの考慮」を放置することとなってしまっている。

## 第4 応答スペクトルに基づく手法について

### 1 応答スペクトルに基づく手法とは

#### (1) はじめに

応答スペクトルに基づく手法は、地震動評価の手法の1つであり、実際の多数の地震の地震動観測記録に基づき、地震の規模、敷地との距離によって分けて、地震動の平均像を求めたものを用いる手法である。

応答スペクトルに基づく手法には、いくつかの手法がある。かつては、大崎順彦氏による「大崎スペクトル」が用いられていたが、現在では、電気協会耐震設計専門部会が作成した「耐専スペクトル」や、野田、他（2002）の応答スペクトルなどが用いられている。

#### (2) 耐専スペクトル

耐専スペクトルについて、これを定めた日本電気協会原子力発電耐震設計専門部会は、次のように説明する。

### 1-1 なぜ経験的方法が必要か

#### ◆耐専スペクトル

- 距離減衰式に基づく地震動の経験的評価法

#### ◆経験的方法

- 基本式： $S(T) = f(M, X)$

#### ◆経験的方法の必要性

- 実観測記録に基づいて設定
  - ◆ 実現象の平均像を忠実に再現
- 断層モデルを用いた場合も経験式で確認
  - ◆ 例：強震動評価のレシピ

このように、応答スペクトルに基づく手法の1つである耐専スペクトルは、「実現象の平均像を忠実に再現」しようとしたものである。

### (3) 野田他 (2002) の応答スペクトル

野田他 (2002) の応答スペクトルも、44 の地震の 107 の記録に基づく平均の応答スペクトルであり、やはり実現象の平均像を求めようとしたものである。

## 2 応答スペクトルに基づく手法の限界

以上にみてきたように、応答スペクトルに基づく手法は、耐専スペクトルも、野田他 (2002) の応答スペクトルも、平均像を求めようとしているものである。

しかし、原発の耐震設計を地震動の平均像に基づいて行うことは、地震動の著しい過小評価をもたらすことは前述したとおりである。原発の極めて大きな危険性に照らせば、平均像ではなく、科学的に予測しうる最大値に基づいて評価しなければならない。もし仮に、一旦平均像を用いたとしても、そこからのずれ、すなわち不確かさを、原発の持つ大きな危険性に鑑み、安全側に十分に考慮しなければならないのである。

## 3 応答スペクトルに基づく手法における誤差の評価

応答スペクトルに基づく手法は平均像を求める手法であるから、その背後の実現象にはバラツキが存在する。そのバラツキの程度がどの程度あるかは、統計的手法によって検証される。後述する強震動予測では、データのバラツキから標準偏差( $\sigma$ )を算出し、そのバラツキの程度を見るが、同様に、応答スペクトルに基づく手法においても、バラツキの程度を、標準偏差を算出することによって見ることになる。そして、そこから何  $\sigma$  までを取るかが検討される。このような手法が、応答スペクトルに基づく手法にも取られなければならない。

## 4 小括

前記したように、新基準（「基準の解釈」）においても、「選定した検討用地震ごとに、不確かさを考慮して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を」するよう求められている。ここでは、応答スペクトルに基づく手法においても、不確かさを考慮しなければならないことが、規定の文言で明記されている。

そして、各地の原発の耐震設計で応答スペクトルに基づく手法が採用されている

が、どの原発でも不確かさを考慮していない。さらに、もともと平均像であることからすれば、原発では特に、その誤差（不確かさ）は必ず考慮しなければならないが、それが新基準でも不確かさの考慮が明記され、これがバックフィットされることになったのであるから、各地の原発で耐震設計の見直しがなされなければならない。東海第二原発も同様であって、この点において見直しがなされることが確実となると考えられる。

## 第5 断層モデルを用いた手法について

### 1 断層モデルを用いた手法とは

断層モデルを用いた手法とは、地震動評価の手法の1つであり、震源断層面を小区画に分け、破壊開始点を定めて、そこから破壊が伝播していき、各小区画の破壊に伴う地震動を算定して、それらが敷地まで達する間にどのように減衰するかを算定し、これら小区画からの地震動をすべて重ね合わせて敷地の地震動を導く手法である。

敷地までの間の経路でどのように減衰するかの関係式をグリーン関数と言う。グリーン関数には、近くの実際に起きた小地震の距離減衰の様子をそのまますべての小区画にあてはめて地震動を算定する「経験的グリーン関数」と、近くに適当な小地震がないときに、他の地域での多数の地震の距離減衰の様子の平均を使う統計的グリーン関数とがある。

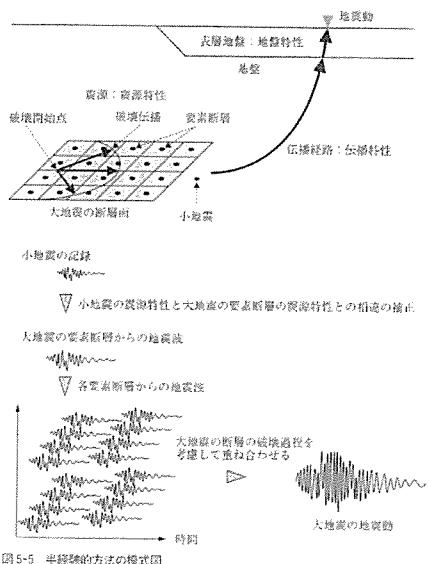


図5-5 半経験的方法の模式図

(甲D 4 『地震の揺れを科学する』 151頁)

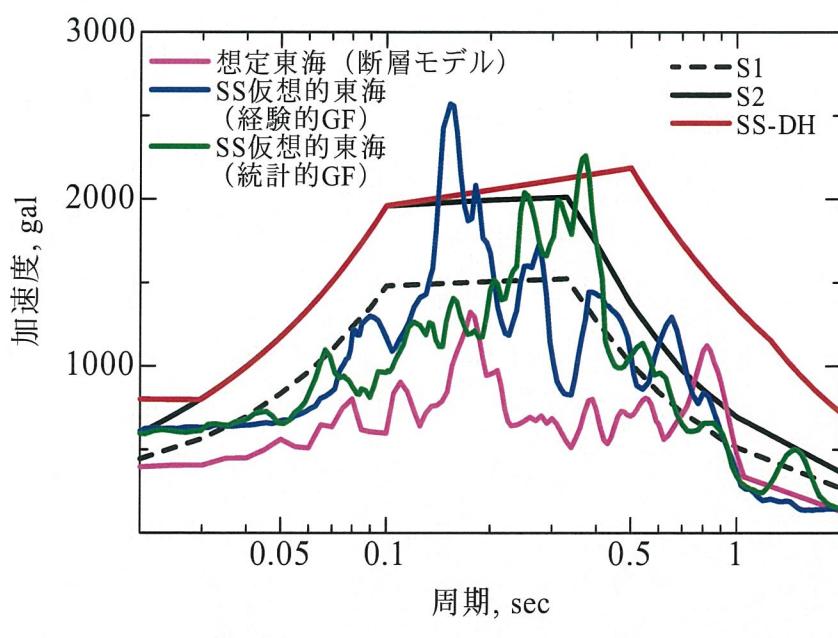
### 2 グリーン関数の誤差（不確かさ）が考慮されていない

まず、震源断層面から敷地までの間の距離減衰の関係式であるグリーン関数の誤差（不確かさ）について具体的にみることとする。

すでに述べたように、グリーン関数には、経験的グリーン関数と統計的グリーン関数とがある（そのほかに、短周期成分には統計的グリーン関数、長周期成分には

他の理論的手法を組み合わせたハイブリッド合成法がある)。経験的グリーン関数法は、近傍の実際に発生した地震（要素地震）の距離減衰式をそのままグリーン関数として用いる手法であるが、適切な近傍の地震がない場合には使えない。その場合には、統計的グリーン関数を用いるほかにない。

この両者を浜岡原発における地震動の評価で用いられたもので比較すると、次のとおりである。



(青線が経験的グリーン関数 緑線が統計的グリーン関数)

この経験的グリーン関数では、要素地震として 1995 年 4 月の駿河湾北部の地震と 1997 年 3 月の愛知県東部の地震とが用いられている。これらの地震を平均して地表の地震動を導くのであるが、どちらの地震も、仮想的東海地震の震源域とは相当離れた場所で起こった地震であるから、これらの地震での地震動の減衰の状況を、そのまま仮想的東海地震に用いるなら、大きな誤差が生じてしまうのはやむをえないこととなる。そこで、統計的グリーン関数も用いるのであるが、その統計的グリーン関数も、もともと多数の地震の地震動の地盤内での伝播過程の平均像でしかないことから、統計的グリーン関数自体にも、大きな誤差（不確かさ）があることとなる。

では、グリーン関数にはどれほどの誤差があるのか。上図で、同じ仮想的東海地震の応答スペクトルであるのに、経験的グリーン関数による結果と統計的グリーン関数による結果とが大きく食い違っていることが明らかである。両者のかい離は、最大2倍程度となっている。したがって、少なくとも、この程度の誤差は、グリーン関数に存在するものと見なければならない。

また、統計的グリーン関数自体の誤差がどれだけあるかも、別途検討されなければならない。特に、上図によれば、統計的グリーン関数の方が、経験的グリーン関数より短周期において過小となっていることが問題とされなければならない。原発にとって危険な地震動である短周期地震動が過小に評価されるなら、統計的グリーン関数によって導いた地震動では、原発の安全性が担保されなくなるおそれが生じてしまう。

いずれにしても、「グリーン関数」には、極めて大きな誤差（不確かさ）があるということになる。しかし、「不確かさの考慮」として、東海第二原発をはじめ、どこの原発でも、グリーン関数の不確かさは考慮されていない。この点だけをとっても、被告日本原電の行っている地震動評価は、明らかな新基準違反があるということになる。

3 強震動予測レシピにおける不確かさ（不確実さ、誤差）の考慮は全く不十分である

(1) JNESによる報告（平成19年4月「断層モデルの高度化に関する検討」）（甲D8）

JNESによるこの検討は、「平成18年指針においては、基準地震動  $S_s$  の策定に際し、その算定方式に断層モデルが導入され、地震動の不確実さについても言及することが要求されたことより」なされることとなったとされている。またこの検討は、「強震動予測パラメータの不確実さの定量的取り扱い」を目指している（同序論）。

※定量的とは、量によって表現しようというものであり、その反対が定性的で、性質によって表現しようというものである。たとえば、「高い」は定性的表現であり、「5 cm高い」は定量的表現である。

このように、「不確かさ」には、その不確かさの程度という量的な視点も重要で

ある。しかし、実際に本件原発の耐震設計でなされた「不確かさの考慮」は、たとえばアスペリティの位置を変えてみたり、応力降下量を変えてみたりするだけで、不確かさをどの程度考慮するのか、電源開発の「不確かさの考慮」で充分なのかという検討がなされた形跡がない。この「不確かさ」の量的な問題を無視しては、その「不確かさの考慮」が十分なものかどうかの判断もしようがない。

## (2) 強震動予測レシピ

強震動予測レシピとは、本報告によると次のようなものである（甲D 8 平成 19 年 4 月「断層モデルの高度化に関する検討」 2-1）。

「断層モデルによる強震動予測に関しては、想定する震源断層を設定し、その規模や破壊シナリオを構築する必要がある。しかしながら、その方法に関しては設定者に依存しばらつきの大きなものとなりがちであった。そこで、モデル化に際しての任意性を少しでも小さくするために、入倉孝次郎京都大学名誉教授らによって提案されたものが、「強震動予測レシピ」と呼ばれる非一様断層破壊シナリオの設定マニュアルである。」

現在、認識されている地震発生メカニズムは、地下に震源断層面という地震が発生する面があり、そのある 1 点から破壊が始まり（破壊開始点）、それが伝播して次々破壊が面に沿って進行していき、破壊のたびに地震動を発生させていく、震源断層面の破壊は一様ではなく、アスペリティという固着した領域では、大きな歪みの解放があって、そこではより大きな地震動が発生する、というものである。これが「破壊シナリオ」であり、その破壊シナリオの種々の要素を設定していく。その設定の仕方が、人によってばらばらになってしまふことを避けるために、定式化したマニュアルを「レシピ」と呼んでいる。

なお、後述するように、日本原電が用いている断層モデルは、「強震動予測レシピ」そのものではないようであるが、基本的な考え方においては、異なる点はない。この「強震動予測レシピ」（入倉のレシピ）は、次の 9 つの段階（step）からなっている。

## STEP 1 断層破壊面積

### Step 1: 断層破壊面積 ( $S = LW$ )

断層長さ  $L$  を決め、地震発生層厚と断層傾斜を考慮した最大幅 ( $W_{max}$ ) との関係で断層幅 ( $W$ ) を設定する。

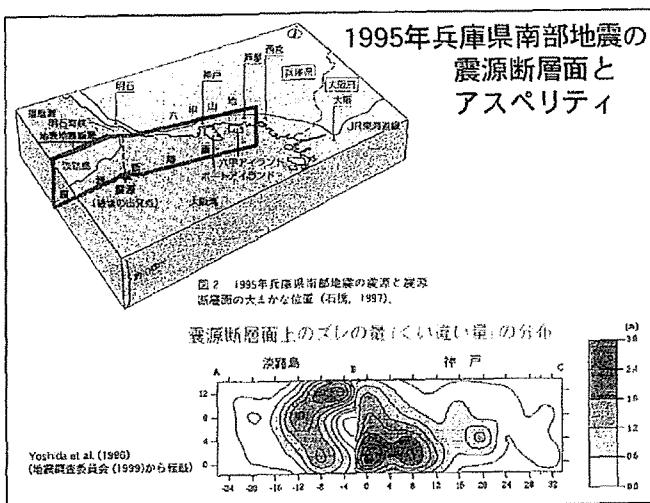
$$W \text{ (km)} = L \text{ (km)} : L < W_{max}$$

$$W \text{ (km)} = W_{max} \text{ (km)} : L \geq W_{max}$$

Step1は断層破壊面積を導くものである。

レシピでは、震源断層面を正方形もしくは長方形として想定するので、面積は長さ×幅となる。断層モデルを用いた手法の出発点は、この断層の長さと幅を決めることがある。

この断層の長さと幅を決めるについても大きな不確かさがある。内陸地殻内地震であれば、地表の断層の長さから震源断層面の長さを推定するが、実際に地震が起る前に、地表の断層の長さから地下に広がる震源断層面の長さを推定する確実な方法はない。すなわち、震源断層面が地表（もしくは海底）の断層の長さを超え、どれだけ伸びるかには大きな不確かさがある。1995年兵庫県南部地震では、地表の断層の長さを大きく超えて、地下の断層は伸びていた（下図）。地表の断層は地下長く続く断層面の氷山の一角にすぎず、断層面の長さがどこまで伸びるかについては大きな不確かさを考慮する必要があるのである。



上が震源断層面のモデル、下が現実の震源断層面とアスペリティ  
(濃い領域がアスペリティ)

また内陸地殻内地震の震源断層面の幅は、地震発生層の厚さから推定する。震源断層面の長さが地震発生層の厚さと断層傾斜を考慮した最大幅（傾斜があると地震発生層の厚さより長くなる）より短い場合は、長さと幅とは一致していると考える、すなわち震源断層面は正方形と見る、そして長さが最大幅を超えている場合は、最大幅を幅として使用し、長さだけが大きくなる、すなわち震源断層面は長方形と見るというのが、上記の関係式である。

しかし、地震発生層の厚さ（下限深さと上限深さから厚さが導かれる）は、微小地震の発生領域などから推定するが、そもそも微小地震のデータがわずか20年ほどもデータでしかないことから、この地震発生層の厚さの推定にも大きな不確かさが存在する。

したがって、一旦、震源断層面の長さと幅が決まれば、面積は長さ×幅で決まるが、実際の震源断層面は、上図の兵庫県南部地震でみられるように4角形ではなく、アスペリティも不定形なものである。この断層モデル自体、極めて簡略化したモデルでしかなく、そこにもすでに大きな誤差の要因があることになる。

## STEP 2 地震モーメント

### Step 2: 地震モーメント ( $M_0$ )

断層破壊面積と地震モーメントの関係式から設定する（図 2.1 参照）。

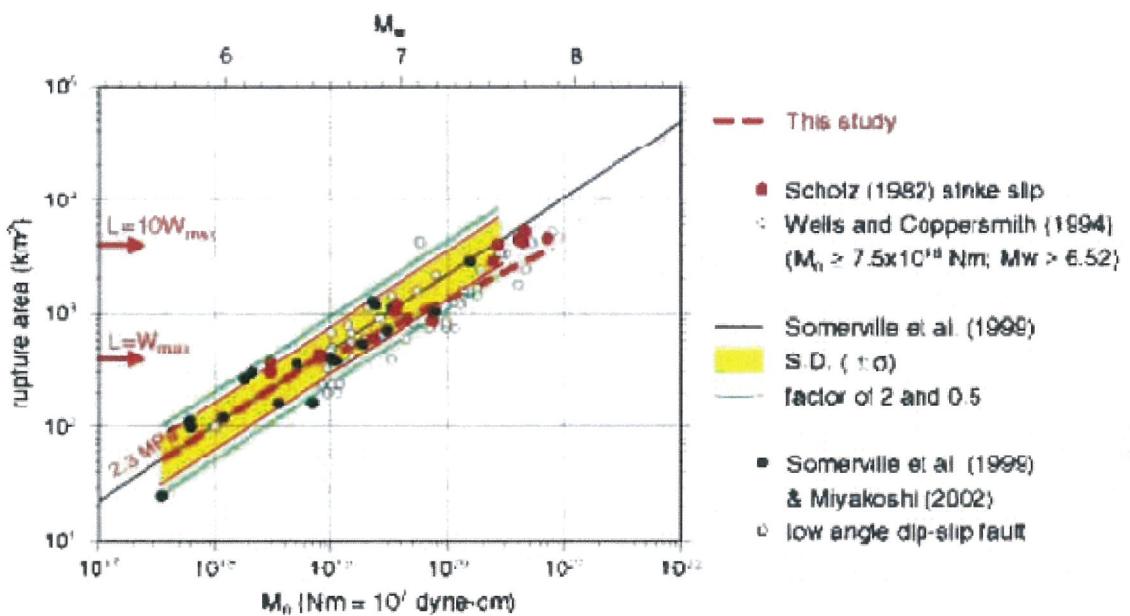


図 2.1 入倉・三宅の (2001) のスケーリング

Step2 は、断層破壊面積（震源断层面の面積）から地震モーメントを導くものであり、上図の関係式によって導かれる。ちなみに上図はいずれも内陸地殻内地震のものである。

上図は、縦軸、横軸ともに対数表示となっていて、大きな1目盛が10倍である。中央の線を含む黄色の範囲が、中央の線からの $\pm \sigma$ の範囲である。

※ $\sigma$ =標準偏差

図でもわかるとおり、縦軸における断層破壊面積が大きくなれば、それに応じて横軸における地震モーメントも大きくなる。それをスケーリング則と言う。しかし、その関係も、全ての値が1つの線の上に乗るものではなく、図のように、相当なばらつきのある関係となっている。

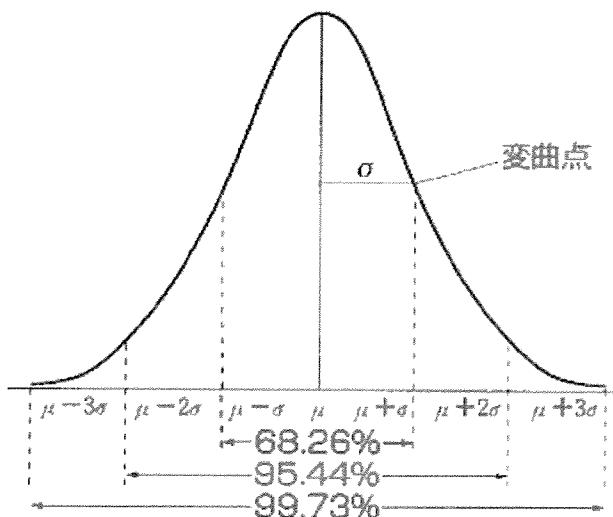
この図の黄色の範囲が標準偏差 ( $\pm \sigma$ ) の範囲であり、その端に引いた赤線は、平均像の  $1/2$  と  $2$  倍の線であり、原告らが引いた線である。

下の目盛りで大きい目盛りから次の右側の小さい目盛りまでの長さは目盛り上「2倍」の長さであり、この「2倍」の長さは、図のどこでも同じ2倍である。したがって、上図のように、平均像の中央の線の2倍の値は、平均像の線に平行に引

かれることとなる。同様に、 $1/2$ の値の線も、同じ長さで左側に平行に引かれる。ちなみに、その外側の緑色の線は、入倉らが引いた「2倍」と $1/2$ の値を示す線とされているが、これは、縦軸での2倍と $1/2$ の線であり、横軸での2倍と $1/2$ の線は、原告らが書き入れた赤線である。

この図の示すところからして、 $+\sigma$  の値は、ほぼ平均像（中央の直線の値）の2倍の値となっている。さらにもっとも平均から離れた値を見れば、ほぼ平均像の4倍となっている、 $1\sigma$ ごとに2倍となっているから、この値は $+2\sigma$ の値である。ちなみに $\pm\sigma$ の範囲には、データの68.26%、 $\pm 2\sigma$ の範囲にはデータの95.44%が入る（下図正規分布の図）。2.28% ( $4.56/2$ ) の地震は、この $2\sigma$ を超えることになる。

下図は正規分布の図であるが、 $+\sigma$ と $-\sigma$ の範囲に68.26%の値が入り、 $+2\sigma$ と $-2\sigma$ の範囲に95.44%の値が入る。



したがって、平均像の4倍をとったとしても、おおよそ4.4 (=  $1/0.0228$ ) 個に1つの地震は、この値を超えててしまう。さらに言えば、 $+3\sigma$ の値は、平均像の $2 \times 2 \times 2 = 8$ 倍の値であるが、それでも0.135%の地震は、その8倍の値を超える地震動をもたらす。すなわち、同様の計算をすれば、740個に1つの地震の地震動は、平均像の8倍を超えるのである。このように少ないデータで、どこまで言えるかは問題があるが、少なくとも、その程度のことは起こりうると考えなければならぬ。そして、740個に1個程度の可能性なら、起こったときにはあきらめるという

ことでいいのかというのが、このスケーリング則の問題の帰結の一つである。しかし、起こったときの被害は、福島第一原発事故の程度にとどまる保証はない。このあまりに甚大すぎる被害を考えれば、仮に 740 分の 1 であれ、危険を冒してはならないというのが、常識的判断であるはずである。

仮に、そこまでの値を取らなかったとしても、少なくとも、上図のもっとも平均から値の大きい側（右側）にはずれた値程度は想定すべきであると考えるのが相当である。少なくとも、それだけはずれた値の地震が現実に発生している以上、少なくともその程度の  $M_0$  となる地震は発生しうるものと考える必要がある。この値は、平均値の約 4 倍となっている。

ところで、上の最初の図で、黄色の範囲は、幅が同じである。その意味するところは、データのばらつきは、値の大小にかかわらず、同じということであり、面積  $S$  のいかんにかかわらず、あるいは地震モーメント  $M_0$  の大きさいかんにかかわらず、せめて 4 倍程度の不確かさは考慮されなければならないということを意味している。

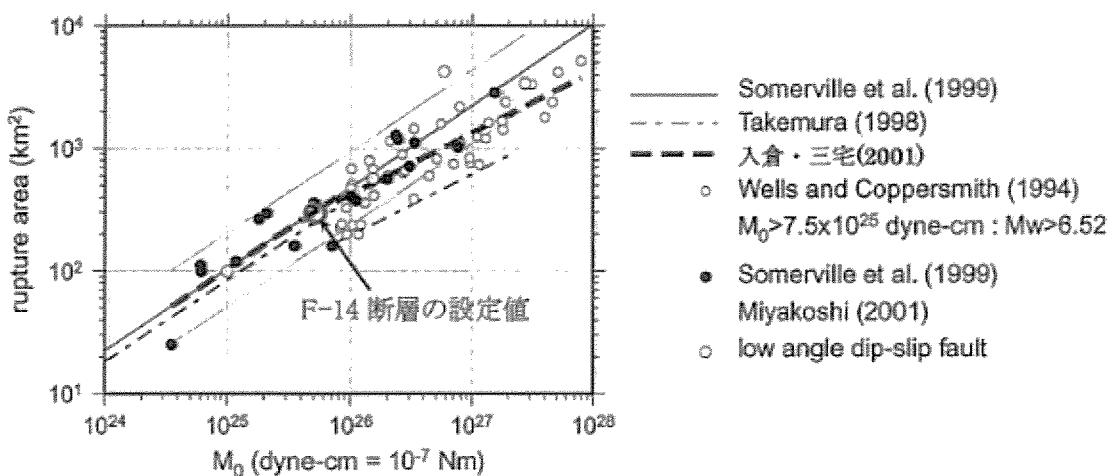
上の「4 倍の値を取れ」というのは「過去最大」の値で想定するということを意味している。しかし、さらに、「過去最大」の平均値からのずれで足りるか、もっと大きな値を取らなければならないのではないかというのが、せめて 30 年までは取るべきだ、あるいは 30 よりも大きな値も取るべきだという問題である。「過去最大」と言っても、われわれの知識経験は、何 10 年程度のものでしかなく、地質現象の長い長いスパンからしたら、本当にわずかな短い期間の、けし粒ほどの価値しかないものでしかない。だから、その中の「過去最大」など、常に更新し続けていく。スマトラ沖地震も、東北地方太平洋沖地震もそうであった。古くはチリ津波もそうであった。したがって、「過去最大」を上回る現象が起こることは、覚悟する必要がある。それが、「原発は、「過去最大」で耐震設計をしてはならない」という後に述べる原発の耐震設計上の第 2 原則である。この原則からすれば、この 4 倍では足らないと考えるべきであり、4 倍という値は最低限のものと考えなければならない。

以上からして、この点での誤差（不確かさ）としては、原発の耐震設計での最低限の要求として、強震動レシピで決めた  $M_0$  の値の 4 倍程度は取るべきである。

次に示す図は、大間原発における「原子力安全・保安院 平成 20 年 3 月 敷地ご

とに震源を特定して策定する地震動」p190に記載されたものである。

この図の一番下に引かれた一転破線は、武村雅之現名古屋大学減災連携センター教授の研究結果を示すものである。



黒線は Somerville *et al.* (1999) によるもので、灰色の領域は標準偏差 ( $\sigma = 0.16$ ) の範囲、実線は点線の倍半分の値を示す。白丸印で示される Wells and Coppersmith (1994) のカタログのデータは地震モーメントが  $10^{26}$  dyne-cm を超える大きな地震で系統的ななれを示す。地震モーメントが  $7.5 \times 10^{25}$  dyne-cm より小さい場合（震源インバージョンの結果のみで回帰）と大きい場合（震源インバージョンの結果と Wells and Coppersmith (1994) のカタログを含めて回帰）に分けて決められた式が点線で示される。一点鎖線は武村 (1998) による経験的関係式を示す。  
(入倉・三宅(2001)に加筆・修正)

### 第 6.1-1 図 断層面積と地震モーメント Mo の関係

武村教授が示す式は、日本における過去の地震の破壊面積と地震モーメントの平均を取ったものとされている。結果的に、武村式は、入倉式よりも、約4倍以上安全側の式を提案していることになる。

耐震設計や耐津波設計において、しばしばこのスケーリング則が用いられる。それは、既に述べたように地震現象や津波現象が、良くは分からないため、多数の事象を集めて、その平均像を求めるしかないというところに、根本の原因がある。すなわち、スケーリング則には必然的に大きな誤差を伴わざるをえない。そして、このスケーリング則を用いた耐震設計、耐津波設計には、また当然の帰結として、大きな誤差が伴わざるを得ないのである。

そうであるならば、耐震設計は、このような平均的な値で行ってはいけない。それ

では 50% の地震で、平均値を超えるので、とりわけ危険極まりない施設である原発で、平均値で耐震設計を行うなど到底許されないことである（原発の耐震設計上の第 1 原則）。

### STEP 3 平均応力降下量

Step 3: 平均応力降下量 ( $\Delta \bar{\sigma}_c$ )

クラック理論 [Eshelby (1957)]<sup>(2.5)</sup> に基づき設定する。

$$\Delta \bar{\sigma}_c = \frac{7\pi^{1.5}}{16} \cdot \frac{M_0}{S^{1.5}}$$

Step3 は、平均応力降下量を導くものであり、これを導く式が上の式である。平均応力降下量とは、震源断層面全体の応力降下量を面積で割ったものであり、 $S$  (面積) が一定であれば、 $M_0$  と平均応力降下量とは比例関係にあることとなる。したがって、 $M_0$  が 4 倍になれば、平均応力降下量も必然的に 4 倍になる。

### STEP 4 アスペリティの総面積

Step 4: アスペリティの総面積 ( $S_a$ )

断層破壊面積とアスペリティの総面積の経験則 [Somerville et al. (1999)、人倉・三宅 (2001)] から設定する。

$$\frac{S_a}{S} = 0.22$$

Step4 は、アスペリティの総面積を導くものであるが、これは経験的に震源断層面の 22% がアスペリティの総面積であるというものであって、震源断層面の平均像を示すものである。この関係を見れば、次のとおりである。

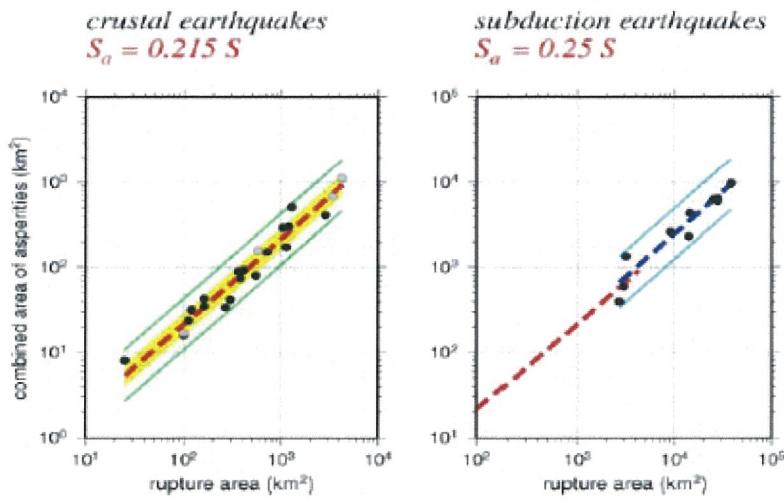


図 3. アスペリティ総面積と破壊域(断層面積)の経験的関係(入倉, 2004)。左図:内陸活断層地震。右図:海溝型地震。影部は標準偏差 $\sigma$ を示す。細実線は平均に対する2倍と1/2倍を示す。

#### 甲D 9 「強震動予測レシピ」入倉孝次郎

上図は、内陸地殻内地震では、アスペリティの面積は、断層の総面積の 21.5%、海溝型地震では 25.5% というのが平均像であることを示している。まず、この図でも、縦軸も横軸も対数表示であり、大きな 1 目盛りが 10 倍を示すことに注意する必要がある。そして、図を見れば、実はデータはやはり極めて大きなばらつきを示していることがわかる。

この図の縦軸はアスペリティの総面積、横軸は断層の総面積で、いずれも対数表示であり、大きな 1 目盛りが 10 倍を示している。

この図で、平均（中央の直線）から下に最大はずれた値を見れば、同じ断層面積でも、アスペリティの面積が、平均の 2 分の 1 近い大きさとなる地震があることがわかる。アスペリティの面積比が小さければ、その分、アスペリティの応力降下量が大きくなるというのが、次の Step5 であるが、そうだとすると最低限、面積比を平均の 2 分の 1 として取るのが、危険な原発の耐震設計上の安全側に立った考え方ということになる。しかも、これも「過去最大」(面積比ということでは「過去最小」) ということでしかなく、すでに述べた原発の耐震設計上の原則からすれば、それだけでも足らない。したがって、原発の安全性を十分に確保するためには、さらに面積比を小さくとることも必要である。

ちなみに、内閣府に設けられた南海トラフの巨大地震モデル検討会は、南海トラフ沿いの地域の地震動や津波高の想定を実施したが、そのとき用いた強震断層モデルを見ると、東海域で面積比を 12.44%（下記パラメータ一覧記載の東海域の強震動生成域面積 3661 ÷ セグメント面積 29419）としている。（甲D10「南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について（第1次報告）巻末資料22頁）。

表2.1 強震断層モデルのパラメータ一覧

全体	面積(km <sup>2</sup> )	110,150			
	応力パラメータ (MPa)	2.3			
	平均すべり量(m)	7.6			
	地震モーメント(Nm)	3.4E+22			
	Mw	9.0			
各セグメント	セグメント名	日向灘域	南海域	東海域	駿河湾域
	面積(km <sup>2</sup> )	19,053	53,790	29,419	7,888
	平均応力降下量(MPa)	4	4	4	4
	平均すべり量(m)	5.5	9.3	6.9	3.6
	地震モーメント(Nm)	4.3E+21	2.0E+22	8.3E+21	1.2E+21
強震動 生成域 SMGA	Mw	8.4	8.8	8.5	8.0
	面積(km <sup>2</sup> )	2,047	6,109	3,661	853
	面積比	11%	11%	12%	11%
	平均すべり量(m)	11.1	18.6	13.7	7.1
	地震モーメント(Nm)	9.3E+20	4.7E+21	2.1E+21	2.5E+20
強震動 生成域 SMGA①	Mw	7.9	8.4	8.1	7.5
	面積(km <sup>2</sup> )	1,018	1,953	910	438
	応力パラメータ (MPa)	34.5	46.4	45.4	34.4
	平均すべり量(m)	11.0	20.5	13.7	7.2
	地震モーメント(Nm)	4.6E+20	1.6E+21	5.1E+20	1.3E+20
強震動 生成域 SMGA②	Mw	7.7	8.1	7.7	7.3
	面積(km <sup>2</sup> )	1,029	1,615	914	415
	応力パラメータ(MPa)	34.5	46.4	45.4	34.4
	平均すべり量(m)	11.1	18.7	13.7	7.0
	地震モーメント(Nm)	4.7E+20	1.2E+21	5.1E+20	1.2E+20
強震動 生成域 SMGA③	Mw	7.7	8.0	7.7	7.3
	面積(km <sup>2</sup> )		1,612	913	
	応力パラメータ (MPa)		46.4	45.4	
	平均すべり量(m)		18.7	13.7	
	地震モーメント(Nm)		1.2E+21	5.1E+20	
強震動 生成域 SMGA④	Mw		8.0	7.7	
	面積(km <sup>2</sup> )		929	924	
	応力パラメータ (MPa)		46.4	45.4	
	平均すべり量(m)		14.2	13.8	
	地震モーメント(Nm)		5.4E+20	5.2E+20	
背景領域	Mw		7.8	7.7	
	面積(km <sup>2</sup> )	17,006	47,681	25,758	7,035
	応力パラメータ (MPa)	3.7	3.7	3.7	3.7
	平均すべり量(m)	4.9	8.1	5.9	3.1
	地震モーメント(Nm)	3.4E+21	1.6E+22	6.2E+21	9.0E+20
その他	Mw	8.3	8.7	8.5	7.9
	破壊伝播速度(km/s)	2.7	2.7	2.7	2.7
	fmax(Hz)	6Hz	6Hz	6Hz	6Hz
その他	剛性率(Nm <sup>2</sup> )	4.1E+10	4.1E+10	4.1E+10	4.1E+10

この検討会の値 12.4% は、まさしくアスペリティと総面積の面積比の関係の中の

最小値である。要するに、検討会は、入倉レシピを適用する場合に、この面積比については、結果として、既往過去最小（地震動としては過去最大になる）の値を取るべきという立場を取ったということになる。

## STEP 5 アスペリティの応力降下量

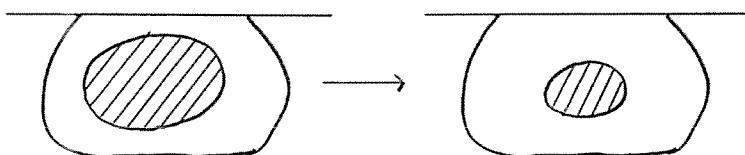
### Step 5: アスペリティの応力降下量 ( $\Delta \sigma_a$ )

アスペリティ理論から、平均応力降下量に Step4 で設定した比の逆数を掛けて求める  
[入倉・三宅 (2001)]。

$$\Delta\sigma_a = \Delta\bar{\sigma}_c \cdot \frac{S}{S_a}$$

Step5 は、アスペリティの応力降下量を導くものであるが、これは、アスペリティ以外の震源断層面の領域（背景領域という）では、応力が蓄積されていない（いつも滑っていて応力がたまっていない）という考えによるもので、応力はすべてアスペリティで蓄積されている、したがって、アスペリティの面積比の逆数を平均応力降下量に（アスペリティが総面積の4分の1なら4倍というように）かけばアスペリティの応力降下量となるとするものである。

アスペリティで全ての歪が集中する、すなわち、アスペリティでだけで断層が動かないように支えているということになれば、その面積が小さければ、そこに歪は集中して凝縮され、歪解消となったときに、より大きな地震動を発生させる。そこで、アスペリティの面積比が2分の1になれば、アスペリティの平均応力降下量は2倍となるのである。



アスペリティ 大

蓄積された歪みが薄まる

→ 発生する地震動は小さい

アスペリティ 小

歪みが凝縮される

→ 地震動が大きい

一方、地震モーメント  $M_0$  が、仮に4倍になれば、やはりアスペリティの応力降

下量も必然的に4倍となることになる。

これも簡略化されたモデルで平均像しかない。そもそもアスペリティとされる領域では、どこでも一様の応力降下量となるというわけではない。また本来は、異なるアスペリティで異なる応力降下量となることも考えなければならない。

また上記のように  $M_0$  が同じでも、アスペリティの面積が断層面の総面積より小さければ小さいだけアスペリティの応力降下量は大きくなる (step4 の不確かさ)。

たとえば、この面積比が 22%ではなく、その半分の 11%であれば、アスペリティの応力降下量は 2 倍となってしまう。面積が同じでも、 $M_0$  が 4 倍になり、さらにアスペリティの面積比が 11%であれば、アスペリティの応力降下量は、レシピの 8 倍となってしまうのである。

## STEP 6 アスペリティの個数と配置

### Step 6: アスペリティの個数 ( $N$ ) と配置

アスペリティの個数は対象断層帶のセグメンテーションに依存する。アスペリティの位置は地表変形量から推定して設定する。再来期間の短い地震であれば過去の地震時のアスペリティ位置が参照できる。近年では GPS 観測網が捉えたバックスリップ量が援用できる。

Step6 は、アスペリティの個数と配置を決めるものである。過去の地震時のアスペリティ位置がわかる場合以外は、地表での変形量などから推測するが、ここにも大きな不確かさがあり、正しいアスペリティの個数や位置は、実際に地震が起こらなければわからない。

## STEP 7 アスペリティの平均すべり量比

### Step 7: アスペリティの平均すべり量比 ( $D_a$ )

動力学破壊シミュレーション（その手法は 6 章で紹介する）の結果を基に、STEP6 で設定したアスペリティ個数 ( $N$ ) に応じて、断層面全体の平均すべり量 ( $D$ ) に対するアスペリティ部の平均すべり量 ( $D_a$ ) の比を設定する。

$N = 1$  の場合は  $D_a/D = 2.3$

$N = 2$  の場合は  $D_a/D = 2.0$

$N = 3$  の場合は  $D_a/D = 1.8$

Step7 のアスペリティの平均すべり量比を決めるものであるが、アスペリティの

平均すべり量の比は、アスペリティの個数に応じて、上記の式で導かれる。しかし、これも平均像でしかない。

### STEP 8 アスペリティの実効応力と背景領域の実行応力

*Step 8: アスペリティの実効応力( $\sigma_a$ ) と背景領域の実効応力 ( $\sigma_b$ )*

アスペリティ部の実効応力( $\sigma_a$ ) は応力降下量 ( $\Delta \sigma_a$ ) で近似できる。背景領域の実効応力( $\sigma_b$ )は、動力学破壊シミュレーションの結果より、アスペリティ部の 1/5 程度に設定できる。

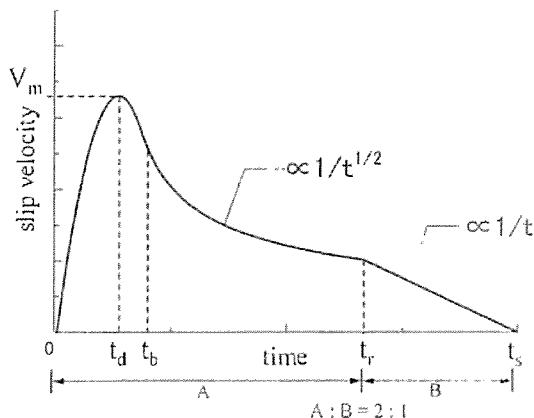
Step8 は、アスペリティの実効応力を導くものである。

地震発生時には、急速に破壊が伝播し、ある領域の破壊とともに、隣接領域に瞬時に歪を与えていく。そこで、本来歪が蓄積していなかった背景領域にも歪が発生して、その歪が解放されることによって、背景領域でも地震動が発生する。そのときの歪の解放量（応力降下量）が実効応力であり、アスペリティ部の実効応力は、蓄積された応力の解放量（応力降下量）で近似することとし、背景領域の実効応力は、アスペリティ部の応力降下量の 1/5 とするというものである。

### STEP 9 すべり速度時間関数の設定

*Step 9: すべり速度時間関数の設定*

Kostrov 型のすべり速度時間関数を想定する [中村・富武 (2000)]<sup>[2,7]</sup>。その際、最大すべり速度は実効応力から、継続時間はアスペリティの大きさと破壊伝播速度から設定する。ここでも、動力学破壊シミュレーションの結果が参照されている (図 2.2)。



Step9 は、すべり速度が時間によってどう変化するかの関数を設定するものである。

以上の9つのStepは、「レシピ」であり、レシピによって導かれた値は、平均的な値でしかない。しかし、自然現象としての地震現象はばらつきがあって、現実の値は、「レシピ」で定めた値の前後にはばらついて存在する。要するに、この「レシピ」は平均的な値、平均像を求めるものでしかない。

#### 4 スケーリング則は莫大な誤差を必ず伴う

##### (1) スケーリング則について

地震現象は、地下深く起こる現象であるので、これを正確に知ることは極めて困難である（前記纏纏発言「隔靴搔痒」）。現に発生した地震でさえ、様々な見解がある。いわんや、まだ発生していない地震や津波が、どのようなものとなるかは、正確にはわからない。

そこで、全体の傾向を「スケーリング則」として記述し、それによって各種のパラメータを設定していく。それが強震動予測レシピ（入倉レシピ）と言われるものである。スケーリング則とは、規模に応じて各種の量が、増大するというものであり、前述した断層破壊面積  $S$  と地震モーメント  $M_0$  やモーメントマグニチュード  $M_w$  の関係などが、スケーリング則である。あらためて、津波における規模とすべり量とのスケーリング則の図を以下に見ておく。

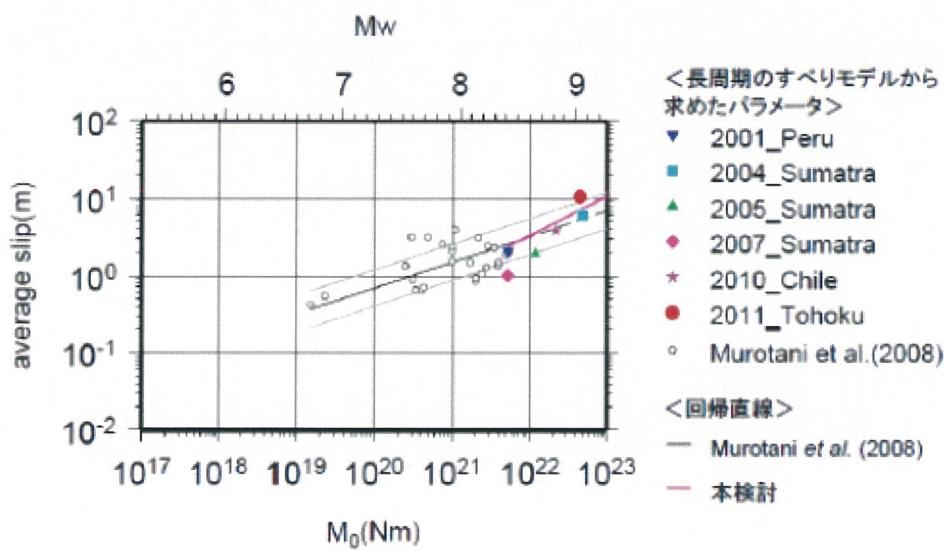
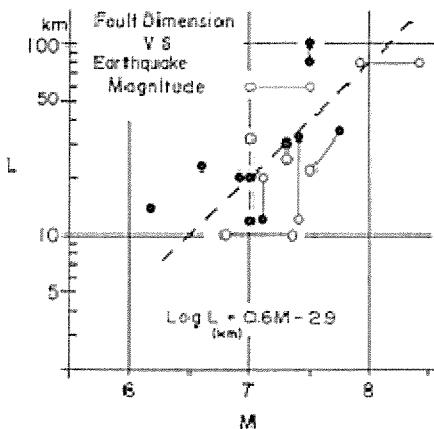


図 4.11 プレート境界型地震の  $M_0$  -  $D$  (average slip)の関係

(2) スケーリング則は、旧耐震設計審査指針においても用いられていた  
このようなスケーリング則によって行う地震動の想定は、旧耐震設計審査指針に  
おいても用いられていた。それが下記の松田の式という、断層の長さとマグニチュード  
(気象庁マグニチュード  $M_j$ ) との関係式である。



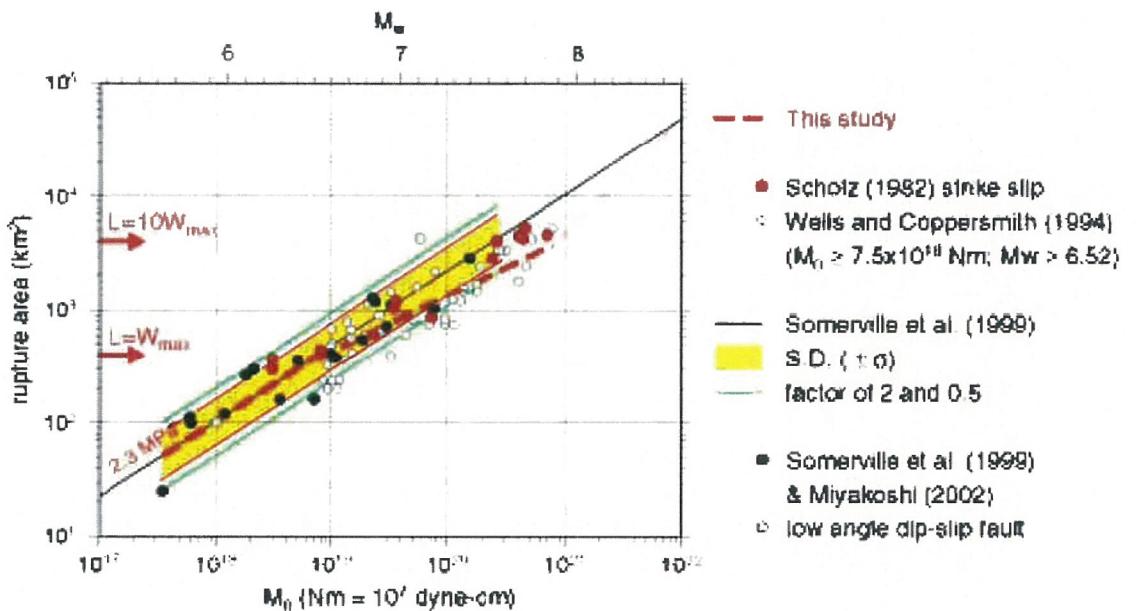
この図は、縦軸が断層の長さであり、横軸がマグニチュードであり、中央の点線  
が松田式である。この図を見れば、同じ断層の長さであっても、松田式を超えるこ  
と、マグニチュードで 1.0 度上回る地震が現に発生していたことがわかる。マ  
グニチュード 1.0 は、エネルギーで 32 倍であり、松田式は、とんでもなく大  
きな誤差をかかえていたことがわかる。

このような莫大な誤差をかかえた松田式で、旧来の耐震設計は行われていた。松  
田式に莫大な誤差があることについては、もんじゅ訴訟で原告側住民が強く主張し  
た。ところが、もんじゅ訴訟の被告「核燃料サイクル開発機構」は、この議論には  
一切応じようとせず、もんじゅ訴訟高裁における住民側逆転勝訴判決でも、触れら  
れることができなく裁判は終わった（同判決は、その後最高裁で逆転敗訴）。

### (3) スケーリング則には必然的に莫大な誤差が含まれる

松田式と、入倉レシピの断層面積  $S$ —地震モーメント  $M_0$ （モーメントマグニチュ  
ード  $M_w$ ）とは、断層長さが断層面積に変わり、気象庁マグニチュード  $M_j$  がモー  
メントマグニチュード  $M_w$  に変わったという違いはあり、より物理的な意味がはっきり  
したもの、全体の傾向からみるという点では、同じ性質の関係式である。そして、

この入倉レシピ S - Mo ( $M_w$ ) の式も、やはり極めて大きな誤差をかかえているという点も、同じである。



特に、Step2 の  $M_0$  の決定は、そのまま平均応力降下量とアスペリティの応力降下量、背景領域での実効応力に直結し、その平均応力降下量とアスペリティの応力降下量、背景領域の実効応力は、短周期レベルの地震動の大きさに直結する（前記保安院の通知）。したがって、 $M_0$  が 4 倍の不確かさを持つのであれば、短周期レベルの地震動も 4 倍の値を取る必要がある。それが 8 倍だとすれば、8 倍の値を取らなければならない。この短周期レベルの地震動の大きさこそが、 $S_s$  の大きさを導くものであるから、 $M_0$  を 4 倍に取るなら、 $S_s$  も 4 倍にすることが求められる。

さらにアスペリティの面積比が小さければ、アスペリティで発生する地震動も大きくなる。アスペリティ面積も小さくなるので地震動を小さくする効果もあるから、そのまま比例的に大きくなるわけではないが、短周期レベルの地震動もさらに大きくなってしまう。しかし、全国の原発では、どこでも、 $M_0$  を何倍にもするなどして、強震動予測レシピの不確かさ（誤差）を考慮し、S に反映させるようなことは、全くしていない。

きわめて危険な原発においては、こうした誤差を無視することは許されない。

## 第6 プレート間地震の危険性

### 1 被告日本原電の想定

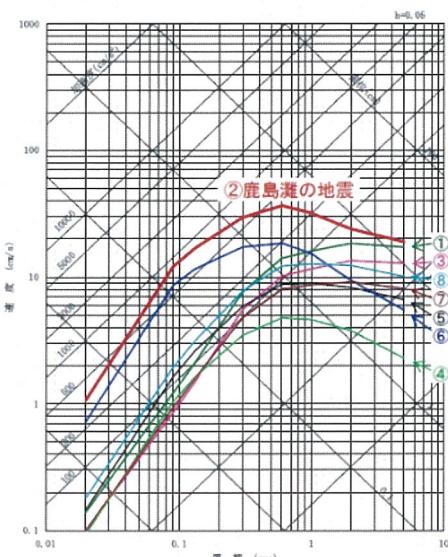
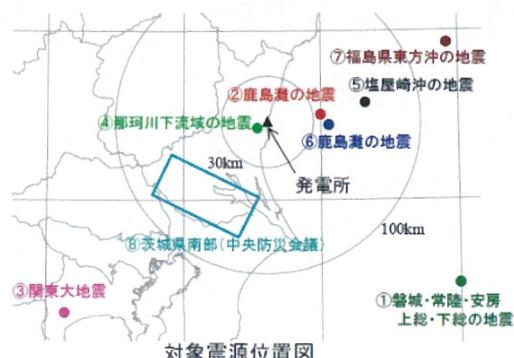
被告日本原電の「東海第二発電所 Ss の策定について 平成 22 年 11 月 22 日」(甲 D 3) によれば、被告日本原電は、プレート間地震について、「磐城・日立・安房・上総・下総の地震」など 8 つの地震を検討用地震の候補として取り上げている（うち 7 つが過去に現実に発生した地震であり、1 つが中央防災会議の提唱する仮想の地震である）。

それぞれの震源位置と被告日本原電の行なった各地震動の応答スペクトル、及び、8 つのなかで最も敷地に影響を与えるものとして選定された 1896 年発生の「鹿島灘の地震」の断層モデルに関するパラメータは、以下のとおりである。

## 検討用地震の選定

### 1) プレート間地震

No.	年月日	M	Xeq (km)	地 震 名	補正係数
①	1677.11. 4	8.0	164	磐城・常陸・安房・上総・下総の地震	鹿島灘以外
②	1896. 1. 9	7.3	59	鹿島灘の地震	鹿島灘
③	1923. 9. 1	7.9	182	関東大地震	鹿島灘以外
④	1930. 6. 1	6.5	61	那珂川下流域の地震	鹿島灘以外
⑤	1938. 5.23	7.0	65	塩屋崎沖の地震	鹿島灘以外
⑥	1938. 9.22	6.5	40	鹿島灘の地震	鹿島灘
⑦	1938.11. 5	7.5	127	福島県東方沖の地震	鹿島灘以外
⑧	—	7.3	75	茨城県南部(中央防災会議)	鹿島灘以外



プレート間地震の地震動の応答スペクトル  
(Noda et al.(2002)の手法に補正係数を考慮)

## 地震動評価 一プレート間地震(鹿島灘の地震)－

### (b) 与条件としたパラメータ

主要な6個の断層パラメータ(地震モーメント $M_0(N\cdot m)$ 、断層面積 $S(km^2)$ 、応力降下量 $\Delta \sigma(MPa)$ 、短周期レベル $A(N\cdot m/s^2)$ 、アスペリティ面積 $S_a(km^2)$ 、アスペリティの応力降下量 $\Delta \sigma_a(MPa)$ )のうち、下記のパラメータの値を与条件とし、残りのパラメータを右式を用いて算定する。

#### ・地震モーメント

宇津(1982)による1896年鹿島灘の地震規模 $Mj7.3$ に基づき、佐藤(1989)を用いて地震モーメントに変換する。

$$M_0 = 10^{1.5Mj+16.2} = 1.41 \times 10^{27} (dyne\cdot cm) \\ = 1.41 \times 10^{20} (N\cdot m) \quad \cdots \text{佐藤(1989)}$$

#### ・短周期レベル

佐藤(2003)等に基づき、茨城県沖の短周期レベル( $A$ )と地震モーメント( $M_0$ )の経験的な関係に基づき設定する。

#### ・アスペリティ面積比

地震調査委員会(2009)の海溝型地震に対するレシピで参照されている石井、他(2000)等を参考に35%とする。

#### ■パラメータ間の関係式

- ・アスペリティの応力降下量 $\Delta \sigma_a$  (Madariaga,1979)

$$\Delta \sigma_a = (S / S_a) \cdot \Delta \sigma$$

ここで、 $\Delta \sigma$ :応力降下量 (MPa)

$S$  :断層面積 ( $km^2$ )

$S_a$  :アスペリティ面積 ( $km^2$ )

- ・応力降下量 $\Delta \sigma$  (Eshelby,1957)

$$\Delta \sigma = (7/16) \cdot M_0 / R^3$$

ここで、 $M_0$  : 地震モーメント ( $N\cdot m$ )

$R$  : 断層面積 $S(km^2)$ に対する等価半径

$$R = (S / \pi)^{0.5}$$

- ・短周期レベル $A$  (壇・他,2001)

$$A = 4\pi r \Delta \sigma_a \beta^2$$

ここで、 $r$  : アスペリティの総面積の等価半径 ( $km$ )

$$r = (S / \pi)^{0.5}$$

$\beta$  : 震源域における岩盤のS波速度 ( $km/s$ )

## 地震動評価 一プレート間地震(鹿島灘の地震)－

### 1) 断層モデルのパラメータ設定(基本パラメータ)

項目		設定値
気象庁マグニチュード Mj		7.3
モーメントマグニチュード Mw		7.4
基準点	北緯(°)	36° 36' 10"
	東經(°)	141° 23' 28"
断層上端深さ(km)		35.0
断層長さ L (km)		54.0
断層幅 W (km)		54.0
断層面積 S (km <sup>2</sup> )		2916.00
走向(°)		209
傾斜角(°)		22
破壊伝播形式		同心円状
S波速度(km/s)		4.0
破壊伝播速度(km/s)		2.88
地震モーメント Mo (N·m)		$1.41 \times 10^{20}$
平均応力降下量 Δ σ (MPa)		2.19
項目		設定値
アスペリティ1	面積 Sa1 (km <sup>2</sup> )	721.71
	応力降下量 Δ σ a1 (MPa)	6.27
	平均すべり量 Da1 (cm)	223.7
	地震モーメント Moa1 (N·m)	$7.75 \times 10^{19}$
アスペリティ2	面積 Sa2 (km <sup>2</sup> )	306.18
	応力降下量 Δ σ a2 (MPa)	6.27
	平均すべり量 Da2 (cm)	158.2
	地震モーメント Moa2 (N·m)	$2.32 \times 10^{19}$
背景領域	面積 Sb (km <sup>2</sup> )	1888.11
	実効応力 Δ σ b (MPa)	1.25
	平均すべり量 Da3 (cm)	47.0
	地震モーメント Mob (N·m)	$4.26 \times 10^{19}$

2010年11月22日「東海第二発電所基準地震動 Ss の策定について」

この想定についての不確かさの考慮として検討したのは、次の点であった。

## 地震動評価 プレート間地震(鹿島灘の地震)一

### 1)断層モデルのパラメータ設定(不確かさの考慮)

①基本的な震源要素	不確かさの考慮	
	②アスペリティ位置	③断層面位置
<ul style="list-style-type: none"> <li>・地震規模は、1896年鹿島灘の地震の規模よりM7.3と設定</li> <li>・断層位置は、1896年鹿島灘の地震の震央を断層面の中心に設定</li> <li>・アスペリティは、比較的大きいバックスリップが分布するプレート境界面の浅い位置に配置</li> <li>・破壊開始点は、破壊が敷地に向かうよう全てのケースとも断層上端の両端に設定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アスペリティをサイトにより近い位置に移動</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・断層面の中心位置を、1896年鹿島灘の震央位置からサイトと太平洋プレートの最短距離の位置に移動</li> </ul>

## 地震動評価 プレート間地震(鹿島灘の地震)一

### 1)断層モデルのパラメータ設定(不確かさの考慮)

不確かさの考慮		
④地震の規模	⑤短周期レベル	⑥要素地震
<ul style="list-style-type: none"> <li>・茨城～福島県沖のプレート間地震の最大規模(M7.5、1938年福島県東方沖地震)や地震体構造マップを参考に、地震規模をM7.5に変更した。</li> <li>・地震規模(M)を変更することにより、地震モーメント、短周期レベル、断層面積、すべり量、アスペリティ面積を変更した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①の短周期レベルは、鹿島灘付近の地震の平均的なスケーリング則に基づき設定したが、⑤は最大規模のスケーリング則に基づき設定した。</li> <li>・A-M0のスケーリング則は、応力降下量(<math>\Delta \sigma</math>)一定の条件で成り立っており、短周期レベルを増加すると、応力降下量も増加させたことになる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・断層モデル解析(経験的グリーン関数法)に用いる要素地震を変更した。 (2000年7月21日の地震(M6.4))</li> <li>・断層モデルのパラメータは基本ケースと同じである。</li> <li>※本ケースは、断層モデルを用いた手法のみ実施する。</li> </ul>

## 2 被告日本原電の想定は不十分であった

### (1) 被告日本原電の想定は、著しい過小評価であった

この鹿島灘の地震の基本モデルの規模は Mj7.3 (Mw7.4) に過ぎず、「不確かさの考慮」として想定した地震の規模も Mj7.5 でしかなかった。被告日本原電は、これらの不確かさの考慮で、起こりうる地震の全てをカバーしたとしていた。そして、これを被告国も追認していた。

これがいかに不十分なものであったかは、その後、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震を見れば明らかである。東北地方太平洋沖地震の規模は、Mw9.0 であり、エネルギーで500倍以上のものであった。

被告日本原電の評価は、とてつもなく過小だったということであり、いかに被告らが、無能極まりなく、何の役にも立たない評価しかできなかつたかが、この点から実に明確となってしまっている。

そこで、なぜこのような評価しかできなかつたかがまず問われなければならない。その原因を両被告がどのように考え、今後、そのようなことがないようにどのように改善するのかが明らかにされることが必要である。

福島第一原発事故のような大量の放射能汚染をもたらす事故は、絶対に起こしてはならない。そのために、まずなすべきは、なぜこのような極端な過小な評価しかできなかつたかであり、この点の追及が、今まで全くできていない現状がある。同じ過ちを犯さないためには、まずなぜこのような過ちを犯したかを明確にし、その上で、今後何をなすべきかが、この裁判でも、まず問われなくてはならない。そこで、被告らは、このような過小評価に陥った原因と今後同じ過ちを犯さないための方策を明らかにすべきである。

被告らは、それでも、想定以上の地震が原発を襲っても、原発は、地震動によつては破壊されなかつたと言うのかもしれない。

しかし、地震動によって、原発が破壊されなかつたという証拠は何も示されていない。現に、国会事故調は、地震動によって、福島第一原発の機器・配管が破壊された可能性があることを指摘している。また、外部電源の供給が絶たれたのは、地震動によって送電線が破壊されたことも原因の一つである。

また、東海第二原発にとっては、震源断層からかなりの距離があつたことが幸い

した。しかし、次の地震は、東海第二原発の面前で起きるかもしれない。いや、その可能性は十分にある。その際、原発が地震動によって破壊されないことを保証するものでもない。

## (2) 津波と地震の二重基準

ところで新規制基準の一つである、「津波による損傷防止並びに津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」(甲Bア1)は、すでに準備書面(2013年10月17日付 基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイドについて)において主張したとおり、千島海溝～日本海溝までを1つの領域として考え、既往津波の発生事例に捉われることなく、この領域を津波波源とするよう求めている。その時に発生する津波の規模は参考値だとはしながら、最大Mw9.6としている。津波審査ガイドは、「3.2 基準津波の策定方針」において、「(2) 基準津波の策定に当たっては、最新の知見に基づき、科学的想像力を發揮し、十分な不確かさを考慮していることを確認する。」とも述べており、これは、従前の考え方からすれば、安全側の考え方である。

一方で、新規制基準は、耐震設計(地震・地震動)に関しては、従前の耐震設計の考え方をほぼ踏襲しており、むしろ、一部後退した部分さえある。

ようするに、新規制基準は、津波を検討する場合と、地震動を検討する場合とで、地震の想定を違え、地震動の想定の際には、はるかに小さなものを検討すれば足りることを許している。これは、典型的な二重基準である。

地震は地下の岩盤の破壊現象であり、地震動も津波も、地震により発生するのである。したがって、地震動を検討する際も、最低限、津波を想定する際の地震を基礎としなければならない。



解説図1 プレート間地震に起因する津波波源の対象領域

### (3) スケーリング則の誤差を考慮していない

そのことを措くとしても、被告日本原電の行った想定は、地震動の大きさを算出するに際して、用いているはずのスケーリング則の誤差（不確かさ）を一切考慮していないという、重大な問題を有するものであった。このスケーリング則の誤差問題が、次の地震で現実化し、深刻な事故を起こしたときに、国も原子力事業者も、どのように言い訳をするのか。

なお、日本原電が用いている断層モデルは、前述した入倉レシピではなく、地震本部の強振動予測レシピが用いられているようであるが、基本的な考え方においては、異なる点はない。

被告日本原電の①基本的な想定は、アスペリティの面積比を35%とし、アスペリティの位置も、発電所サイトにもっとも厳しくなるように設定しているわけではない。

被告日本原電は、不確かさの考慮として、②アスペリティ位置をより発電所に近い位置に移動させたり、③断层面位置を発電所と太平洋プレートの最短距離の位置に移動したり、④地震の規模をMj7.3からMj7.5に大きくしたり、⑤短周期レベルを平均的なスケーリング則から最大規模に変更したり（これは応力降下量を増加させることになるという）、⑥経験的グリーン関数法に用いる要素地震を変更したり、している。

しかしながら、被告日本原電は、これらの不確かさの考慮を、そのまま基準地震

動 S s の策定に反映させているわけではなく、まず、この点で過小評価である。

さらに、仮に被告日本原電のモデルを用いたとしても、同じ断層面積の地震でも M<sub>w</sub> (M<sub>0</sub>) には大きなバラツキがある。地震動想定の出発点での、M<sub>w</sub> (M<sub>0</sub>) の想定で、被告日本原電は、バラツキの中での最大の値を採用しているわけではない。M<sub>j</sub> を 0.2 大きくしたモデルも検討してはいるが、それでは地震のエネルギーは 2 倍程度になるものの、不充分であり、少なくとも 4 倍程度とすることが求められる。

そして、これらの要素は、それぞれ独立のパラメータであり、すべて両立するものなのであるから、最低限、すべて掛け合わせて考慮しなければならない。

ただし、それら個別の「不確かさの考慮」が、スケーリング則の中で、最大限の不確かさを考慮しているというわけではない。そこで、その上で、さらに不確かさの考慮をすることが必要なのである。

被告日本原電の想定は、幾重にも不十分であり、こうして策定された基準地震動 S s は、全く過小評価であり、不十分である。

### 3 地震の空白域が存在すること

東海第二原発は、茨城県の中部海岸にあり、沖合いには日本有数の海溝である日本海溝が走っている。東北地方太平洋沖地震は、この日本海溝沿いの領域のうち、三陸沖中部から茨城県沖までの領域で発生した。茨城県沖の南部と房総沖では、プレート境界は動いていない。

そこで、南海トラフの巨大地震モデル検討会第一次報告（甲D 10）に掲載された図を示す。

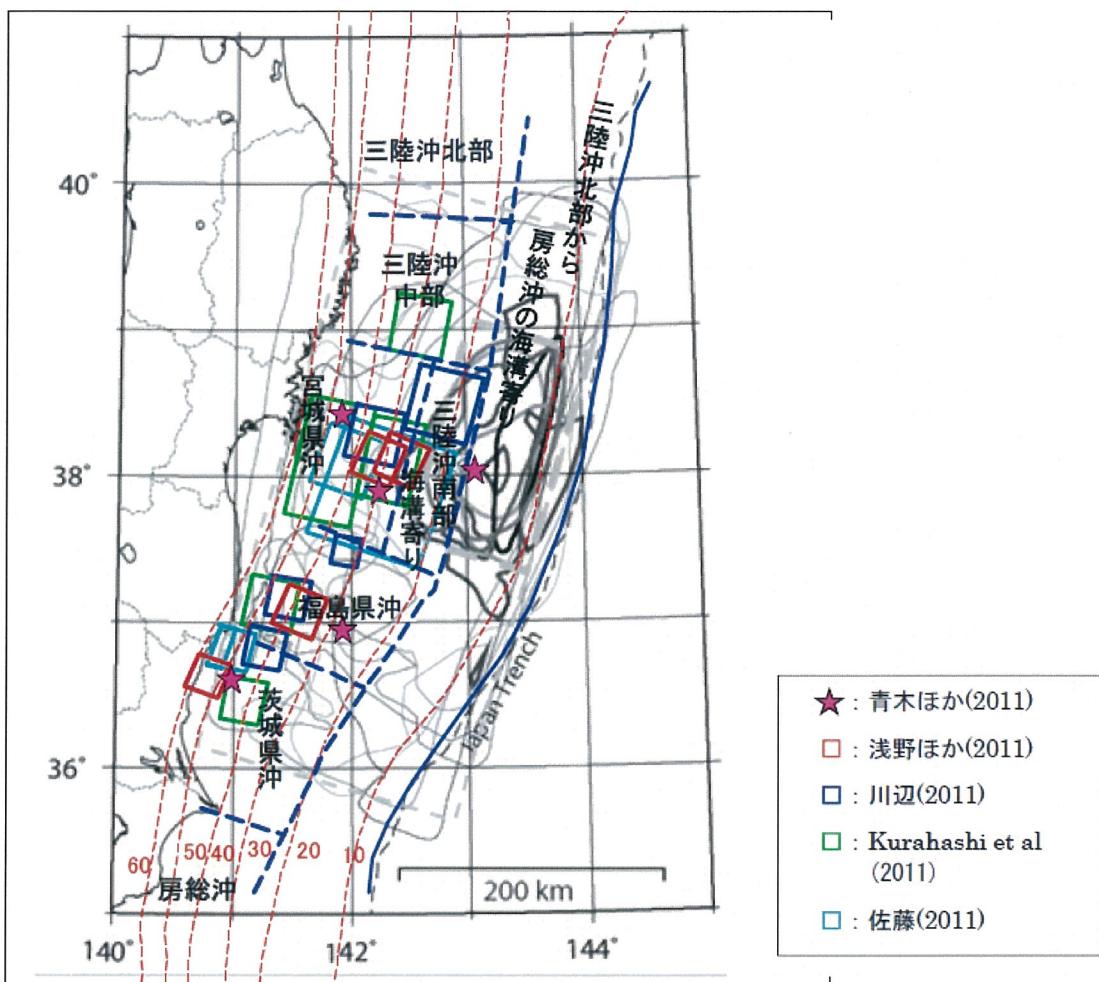


図1.3 東北地方太平洋沖地震の地震波形及び地殻変動による震源過程解析結果と強震動生成域

前述したとおり、東北地方太平洋沖地震の際、茨城県沖の南部と房総沖のプレート境界は動かなかった。すなわち、この領域は地震の空白域に該当し、プレート境界が近々動く可能性がある。また、茨城県沖の北部のうち東側一帯と、福島県沖の日本海溝寄りの領域においても、プレート境界が十分に動いていなかった可能性がある。さらには、プレート境界が動いた領域であっても、はたして応力が十分に解放されたのかは不明である。大きな応力を溜め込んだ領域がまだ潜んでいる可能性も否定できない。動いた領域の隣接領域がバリアとなって震源断層面の破壊が止まり、そこにさらに大きな歪みが蓄積されているおそれもある。

そうだとすると、宮城県沖の南端から房総沖にかけての領域で、再び巨大地震が発生する可能性があると見なければならないし、千島海溝の領域での巨大地震との

同時発生も考える必要がある。

#### 4 東海第二原発前面海域で巨大事象が生起する可能性（沈み込む海山の存在）

また、千島海溝～日本海溝の領域で巨大地震が発生する際、強い強震動が生成する領域が、敷地近傍に生じる可能性もある。

原子力安全・保安院に設置された「総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループAサブグループ」の第30回会合に提出された、被告日本原電作成の2009年10月28日付「東海第二発電所基準地震動 Ss の策定について（コメント回答）」（甲D11）には、次の記載がある。

##### <コメント>

「鹿島灘周辺は短周期レベルが高く、特殊な場所であるが、不確かさとして考慮した短周期レベルの妥当性とも関連するので、この原因について検討してほしい。」

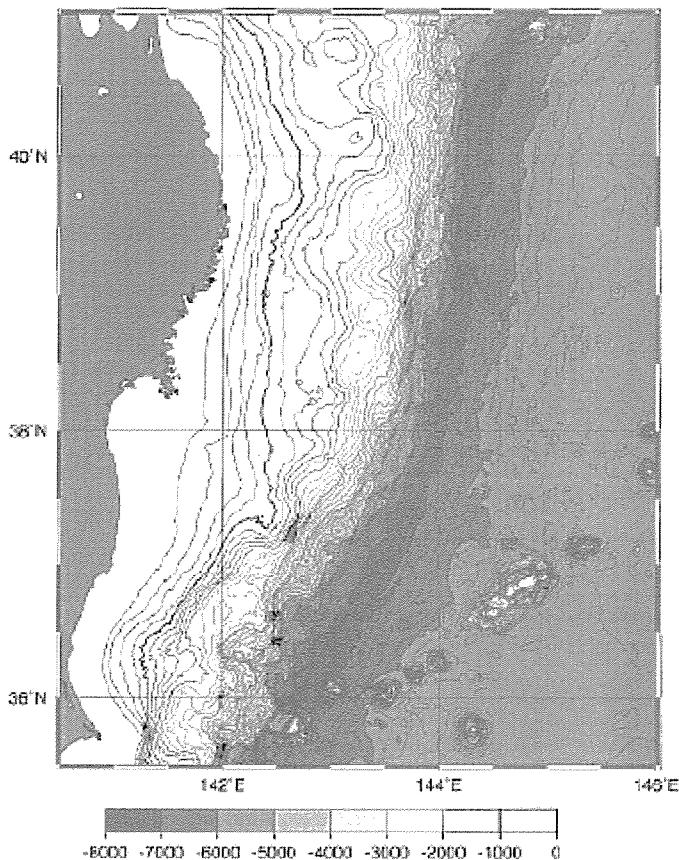
##### <回答>

「鹿島灘の周辺で発生する地震の短周期レベルが大きい要因については定かではなく、要因分析には大規模な調査等が必要となるため、中長期的な課題として考えていく。」

また、コメント回答（甲D11）は、茨城県沖の地震に関する文献整理として、「沈み込む海山と上盤プレートとの相互作用－大地震の発生との関連について」（甲D12 山崎俊嗣（2000）、地質調査所月報 第51巻 第2/3号、103-111）を引用し、次のように述べている。

「本件は、海山等の起伏の沈み込みと上盤プレートとの相互作用に関する研究をレビューしている。日本海溝に沈み込む太平洋プレートを巨視的に見た場合、南部に海山が多数存在しているのに対し、北部は少ないことを Yamazaki and Okamura (1989) を引用しながら指摘し、南部の陸側斜面下には沈み込んだ海山が存在すると考えるのが自然であるとしている。また、陸側斜面の地形は、北部では等深線が海溝軸に平行に近く単純であるのに対し、南部では出入りが

激しく複雑であり、海山の沈み込みによる変形を思わせるとも指摘している。さらに、菊池・須藤（1984）が1982年茨城県沖地震について、沈み込んだ海山がasperityとなっていることを提案している。」



第5回 東北日本沈み込み帶の地形地図。等深線刻度は200m、北緯38度以南では、日本海側近くの太平洋プレート上には多くの海山が存在し、等深線刻度距離を縮めることに注意。底面地形は、日本標準標高に対する250mマッシュのグリッドデータを用いた。  
Fig. 5 Bathymetry of the Northeast Japan subduction zone. Contours are at 200m intervals. Note that many seamounts occur on the Pacific side near the Izu-Ogasawara Trench north of 38°N, and that the corresponding bathymetric depth chart uses rough topographic GridNet bathymetric data of 250m mesh. Weights for projection were used.

上図のとおり、確かに東海第二原発の前面の日本海溝に近い等深線は相当に複雑であり、なおかつ日本海溝を超えた海洋プレート上には、鹿島海山列等の海山が多数存在し、東海第二原発前面海域で、海山が沈み込んでいることを示している。

そして、コメント回答（甲D11）は、茨城県沖の地震に関する文献整理について、以下のとおり結んでいる。

- ・茨城県沖の地震に関する文献整理より、茨城県沖の震源特性には地域性があることが指摘されているが、その要因については定かではない。
- ・茨城県沖の日本海溝から幾つもの海山がもぐり込んでいると推測され、海山に起因すると考えられる地震が発生している。
- ・茨城県沖の震源特性の地域性と海山のもぐり込みによると推測される地震の関連は不明である。



・これらの問題を検討するには、震源域付近における詳細な地震観測（海底地震計を含む）による地震記録の収集や、大規模な地殻構造調査による地下構造の解明が必要である。



- ・現在行われている、茨城県沖での海底地震計による地震観測等の成果を注視する。
- ・発電所敷地内における地震観測を継続し、地震観測記録を充実させることに努力する。

この結論は、「（茨城県沖の震源特質の地域性と海山のもぐりこみによると推測される地震の関連は）よく分からないから、地震記録を収集し、大規模な地殻構造調査による地下構造の解明が必要だ。地震観測記録等の成果を注視する。」と述べたものである。その一方で、被告日本原電は、東海第二原発の稼動を継続させる前提で、前記文書を原子力安全・保安院に提出している。

要するに、被告日本原電の論理は、「よく分からない。今後はさらに調査などをし、地震観測記録を充実させるべく努力する。（しかし東海第二原発は安全だ。だから原発は稼働させる。）」というものでしかない。

前記山崎論文（甲D12）のいう海山の存在は、そこにアスペリティがある可能性をやはり示すものというべきであって、しかも滅多に動かないこの海山アスペリティが動いたときには、被告日本原電の想定をはるかに超えた巨大な地震動や津波の発生する可能性のあることを示している。さらには、東海第二原発の前面海域に、山崎論文で指摘されている海山ではない、別の沈み込んでいる海山が存在する可能性も相当程度あり、ここがアスペリティになって巨大な地震動やすべり量を発生させるおそれもあるといわねばならない。

Mw9.6 の地震が仮に起こるなら、通常の断層運動を大きく超えるものであるため、滅多に動かない海山アスペリティの固着がはずれて、強烈な地震動を引き起こすおそれも否定できないのである。

## 5 小括

以上述べたとおり、津波と同様に、地震動の策定にあたっても、千島海溝～日本海溝の領域で Mw9.6 の巨大地震がまず、想定されなければならない。

そして、東海第二原発の前面海域に存在する沈み込んだ海山のアスペリティが破壊されたならば、巨大な地震動をもたらす可能性が否定できず、海山アスペリティの活動による地震が、東北地方太平洋沖地震を大幅に超えるおそれも、やはり否定できないのである。

そのときに発生した地震が、東海第二原発を大規模損壊に至らしめる可能性も、否定できない。

## 第7 内陸地殻内地震の危険性

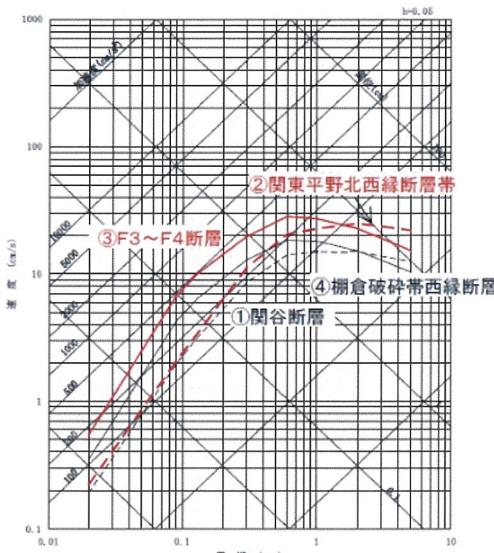
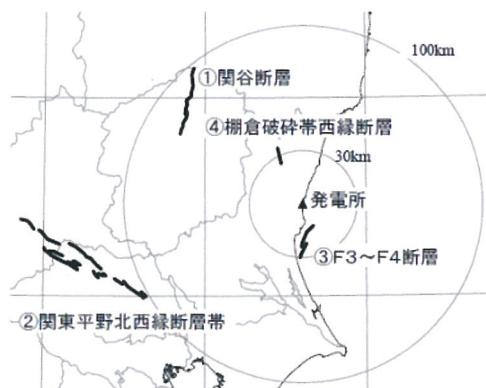
### 1 被告日本原電の想定

被告日本原電の2010年11月22日「東海第二発電所基準地震動Ssの策定について」によれば、被告日本原電は、内陸地殻内地震について、関谷断層など4箇所の断層を検討用地震の候補として取り上げている。それぞれの位置と被告日本原電の行った各地震動の応答スペクトル、及び、このなかで敷地に最も影響を与えるものとして選定されたF3断層及びF4断層による地震の断層モデルのパラメータは、以下のとおりである。

## 検討用地震の選定

### 3) 内陸地殻内地震

No.	断層名	L(km)	M	Xeq(km)
①	関谷断層	40	7.5	87
②	関東平野北西縁断層帯	82	8.0	125
③	F3～F4断層	16	6.8	22
④	棚倉破碎帯西縁断層	16	6.8	31



## 地震動評価 一内陸地殻内地震(F3～F4断層による地震)一

### 1) 断層モデルのパラメータ設定(基本パラメータ)

断層パラメータ	パラメータ	設定方法
断層長さL(km)	16	断層位置から計算
断層傾斜角(°)	60	調査結果に基づき設定
断層上端深さ(km) 断層下端深さ(km)	5 18	地下構造を参考に設定
断層幅W(km)	15	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S(km <sup>2</sup> )	240.0	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	—
地震モーメントM <sub>0</sub> (Nm)	$3.53 \times 10^{18}$	$M_0 = [S / (2.23 \times 10^{-15})]^{1.5}$
剛性率(N/m <sup>2</sup> )	$3.5 \times 10^{10}$	$\mu = \rho \beta^2, \rho = 2.7 \text{ g/cm}^3, \beta = 3.6 \text{ km/s}$
平均すべり量D(cm)	42.0	$D = M_0 / (\mu S)$
平均応力降下量△σ(MPa)	2.3	$\Delta \sigma = (7\pi/16)(M_0/R^3)$
破壊伝播速度V <sub>r</sub> (km/s)	2.59	$V_r = 0.72\beta$
短周期レベルA(Nm/s <sup>2</sup> )	$8.07 \times 10^{18}$	$A = 2.46 \times 10^{17} \times M_0^{1/3}$

断層パラメータ	パラメータ	設定方法
ア ス ペ リ テ イ	面積S <sub>a</sub> (km <sup>2</sup> )	40.0
	平均すべり量D <sub>a</sub> (cm)	$D_a = 2D$
	地震モーメントM <sub>0a</sub> (Nm)	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
	応力降下量△σ <sub>a</sub> (MPa)	$\Delta \sigma_a = (7\pi/16)M_0/(r^2 R)$
背景 領 域	面積S <sub>b</sub> (km <sup>2</sup> )	200.0
	平均すべり量D <sub>b</sub> (cm)	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
	地震モーメントM <sub>0b</sub> (Nm)	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	実効応力△σ <sub>b</sub> (MPa)	$\sigma_b = 0.2 \Delta \sigma_a$

### ■ 地盤モデル

深度(km)	層厚(km)	$I_p^2$ (km/s)	$I_s^2$ (km/s)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Q	備考
0.378						▼解放基盤面(E-L-370m)
0.474	0.096	1.855	0.700	1.898	100	
0.674	0.200	2.608	1.200	2.112	100	
5.000	4.126	5.492	2.900	2.656	$110f^{0.69}$	
18.000	13.000	5.960	3.600	2.700	$110f^{0.69}$	◀断層上端※2
	—	6.810	4.170	2.800	$110f^{0.69}$	◀断層下端

※1 敷地周辺で実施した弾性波探査、微動アレー探査等より地盤モデルを設定

※2 地震発生層の上面深度を0kmとしているが、断層上端深さは安全側に5kmとして設定

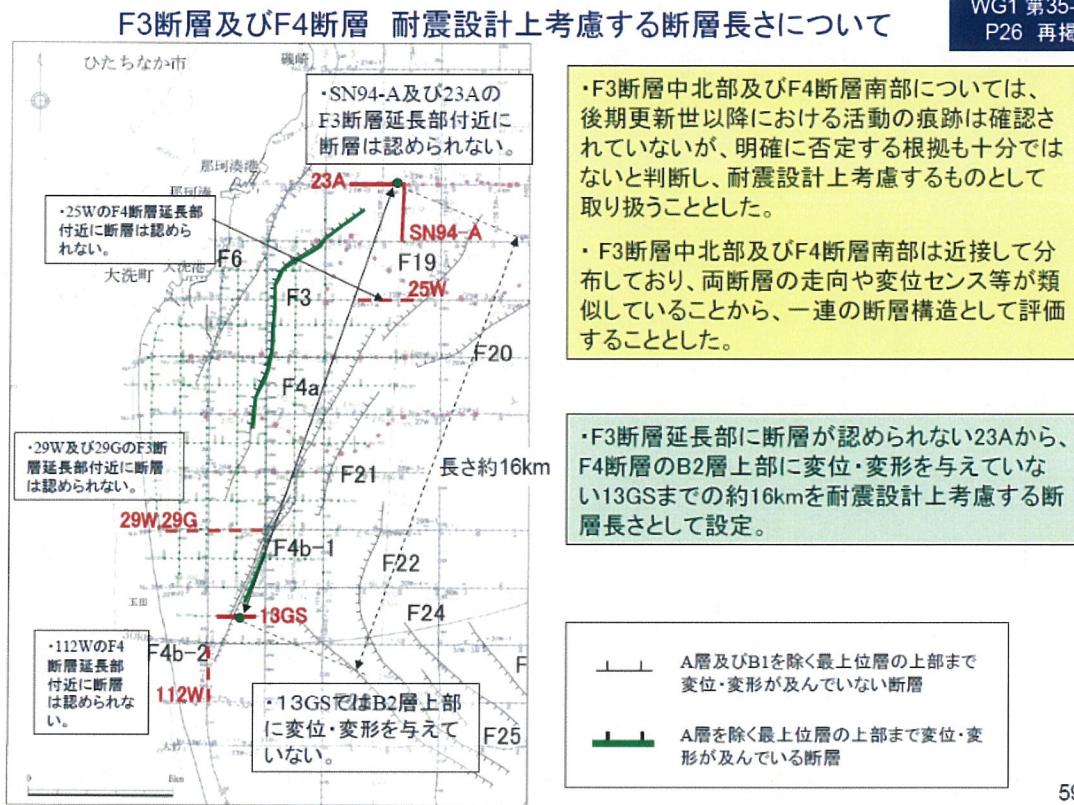


## 2 F3 断層及びF4 断層による地震動評価は不十分である

### (1) 不確かさの検討が不十分である

F3 断層及びF4 断層は、大洗東方の海域に位置し、それぞれの長さが約 14km 及び約 15km の西側隆起逆断層である。

被告日本原電は、F3 断層中北部及びF4 断層南部について、後期更新世以降における活動を否定する根拠が十分でなく、両断層が近接して分布しており、走向や変位センス等も類似していることから、一連の断層構造として評価し、F3 断層のうち北方向への延長部に断層が認められない地点から F4 断層の B2 層（中部更新統）上部に変位・変形を与えていない地点までの長さ約 16km を耐震設計上考慮する断層と設定したという。そのうえで、応答スペクトルに基づく手法、ならびに断層モデルを用いた手法による地震動評価をそれぞれ行なっており、いずれの地震動評価も基準地震動 S<sub>s</sub> を上回るものではないとしている。



59

これらの海域の断層に対する調査は、海上音波探査を用いて実施されているが、音波探査の画像が不鮮明な場合、断層の状態を正確に把握することが難しい。画像の判読者によっては解析結果が異なる場合もあり、「延長部に断層が認められない」あるいは「B2層上部に変位・変形を与えていない」とする被告日本原電の前記判断が適切かどうかは、疑問である。したがって、断層の長さを耐震設計上どの程度まで考慮すべきかについては、安全余裕の観点から長めに設定すべき必要があるところ、これを約16kmに限定した被告日本原電の判断は、実は過小評価の可能性が否定できない。

また、断層モデルを用いた手法による地震動評価について、被告日本原電は、基本ケース及び不確かさを考慮したケースを設定し、さらに、2007年7月16日に発生した新潟県中越沖地震の知見を反映し、応力降下量の短周期レベルを1.5倍にしたケースも設定しているという。すなわち、基本ケースでは、「断層傾斜角=西傾斜60度」、「破壊開始点=アスペリティ中央下端」、「応力降下量の短周期レベル=レシピ平均」の各値で断層パラメータが設定されているのに対して、不確かさを考慮し

たケースでは、東海第二原発の敷地への影響がより大きくなるように、断層パラメータに「断層傾斜角=西傾斜45度」、「破壊開始点=アスペリティ南下端」を設定し、さらに、「応力降下量の短周期レベル=1.5倍」を設定したケースも採用している、などと被告日本原電はいうのである。

## 地震動評価 一内陸地殻内地震(F3～F4断層による地震)一

### 1) 断層モデルのパラメータ設定(不確かさの考慮)

■検討用地震として選定したF3～F4断層に関する各パラメータについて、地震動への影響の程度を検討し、敷地に大きな影響を与えると考えられるパラメータに対して不確かさを考慮

	断層傾斜角	アスペリティ	破壊開始点	短周期レベル	備考
基本ケース	60° ※1 (西傾斜)	断層北部に配置※2	アスペリティ中央下端	レシピ平均	
破壊開始点の不確かさを考慮	60° ※1 (西傾斜)	断層北部に配置※2	アスペリティ南下端	レシピ平均	
断層傾斜角の不確かさを考慮	45° (西傾斜)	断層北部に配置※2	アスペリティ中央下端	レシピ平均	
短周期レベル1.5倍	60° ※1 (西傾斜)	断層北部に配置※2	アスペリティ中央下端	1.5倍	中越沖地震知見反映

※1:調査結果より高角の断層として設定

※2:後期更新世以降の活動が否定できないF3断層北部に配置

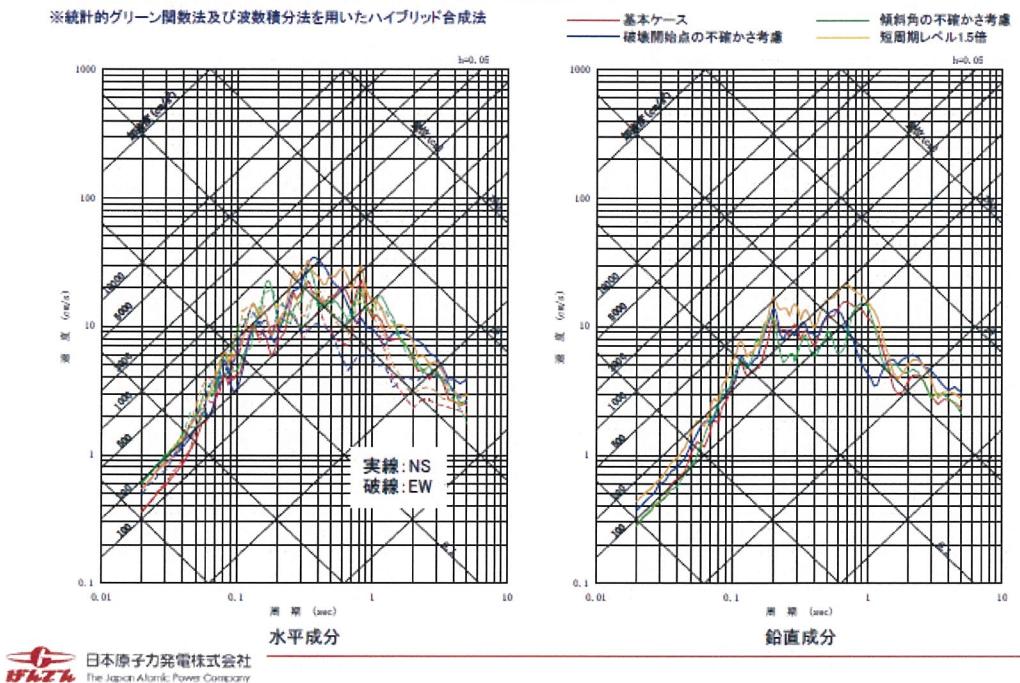
 不確かさを考慮したパラメータ

しかしながら、被告日本原電による地震動評価は、①基本ケース+「断層傾斜角=西傾斜45度」、②基本ケース+「破壊開始点=アスペリティ南下端」、③基本ケース+「応力降下量の短周期レベル=1.5倍」、といった三種類のケースを別々に設定したうえで行なわれており、これらを掛け合わせた想定はしていない。

## 地震動評価 一内陸地殻内地震(F3～F4断層による地震)一

### 3) 断層モデルを用いた手法(ハイブリッド合成法<sup>(※)</sup>)

<sup>(※)</sup>統計的グリーン関数法及び波数積分法を用いたハイブリッド合成法



日本原子力発電株式会社  
The Japan Atomic Power Company

64

「断層傾斜角=西傾斜 45 度」、「破壊開始点=アスペリティ南下端」、「応力降下量の短周期レベル=1.5 倍」の三要素は、それぞれ独立のパラメータであって、これらが重なって震源断層運動が発生するケースも十分に想定される。この場合、①②③のケースよりも大きな地震動が引き起こされることは明らかである。それにもかかわらず、この重大な事態についての解析を全く行なっていない被告日本原電の地震動評価は、極めて不十分な内容といわねばならず、F3 断層及び F4 断層による地震動が基準地震動 Ss を上回らないとした被告日本原電の解析結果も、およそ正当であるとは認め難いのである。

よって、被告日本原電の「不確かさの考慮」は不十分であると言わざるを得ない。

### (2) 不合理な地震発生層の想定とその想定の国による追認

—地震発生層の問題の重要性（断層の幅はさらに大きくとるべきで、かつそこにも大きな不確かさがある）—

断層モデルを用いた手法による強震動予測の出発点は、断層モデルの設定である。断層モデルを用いた手法において、モデルは単純化され、四角形の断層面が

想定されるので、断層モデルは、長さと幅をまず設定することとなる。ここから断層面積は、断層面の長さ×幅で算出される。

地震の規模は、この震源となる断層面の面積によって決めるというのが、強震動予測レシピの手法である。ここで適用するスケーリング則の誤差が極めて大きいことは述べたとおりであるが、地震規模は、断層面積から算出することには違いない。この断層面積は、単純化されて断層面の長さ×幅とされることとなるが、そのうち断層面の長さは、地表の痕跡から推定される。しかし、断層面の幅がどれだけかは、地表の痕跡からはわからない。

この断層面の幅は、地震発生層が深さ何kmから何kmの間にあるかを推定し、その上限から下限までにわたる層全体で地震が発生するとして、推定する。したがって、断層の傾斜角がゼロの横ずれ断層では地震発生層の厚さ（上限から下限までの深さの差）が断層幅となり、傾斜角が大きくなるほど、断層幅は大きくなる。たとえば傾斜角  $60^\circ$  の場合は、地震発生層の厚さ  $\times \sqrt{3}$  ( $=1.155$ )、傾斜角  $45^\circ$  の場合は、地震発生層の厚さ  $\times \sqrt{2}$  ( $=1.414$ ) が断層幅となる。

この地震発生層の厚さは、地表の痕跡からはわからないので、コンラッド面の深さなどを参考にしつつ、主としてこれまで観測された地震のデータによって推定する。この地震のデータとして用いられるのは、気象庁一元化カタログと呼ばれる震源データであるが、1997年以降のデータでしかなく、被告日本原電が用いているものは、2007年までの10年ほどのものでしかない。データの期間は、何万年、何10万年という地震現象のスパンからすれば、あまりに微々たるものでしかない。したがって、このデータをもとにした地震発生層の推定は、極めて大きな誤差を含むものとして、扱われなければならない。どこの原発でも気象庁一元化カタログから地震発生層を推定し、そこから内陸地殻内地震の震源断層面の幅を推定するという手法が用いられているが、元のデータが極めてわずかであることからくる地震発生層の推定の誤差についての検討は、どこの原発でもしていない。というよりは、データがあまりに少ないとから、このデータによる地震発生層の誤差の推定自体、不可能である。

しかし、平成18年耐震設計審査指針でも、また規制委員会の定めた新基準でも「不確かさの考慮」が求められているから、この地震発生層の想定における不確かさの考慮は必ずなされなければならない。にもかかわらず、この点の不確か

さについては、どの原子力事業者も、国も、目をつぶって何の言及もしようとしてない。否、言及した途端に、地震発生層推定の誤差評価が不可能という、克服困難な大問題に突き当たってしまう。そこで、この問題には、国も原子力事業者も一切目をつぶるほかないというのが、現状である。

では何のための「不確かさの考慮」の規定だったのか。「不確かさの考慮」が危険極まりない原子力施設の耐震設計に必要なことは、ほとんど自明のことである。しかし、結局、前述したスケーリング則における誤差問題も一切考慮されていない。この地震発生層の推定でも同様である。このように、結局のところ、「不確かさの考慮」は結論に影響を与えない範囲でしかなされていない。要するに、国も原子力事業者も、単なる「ご都合主義」で、都合の悪いところには、一切目をつぶって原子力施設を設置している。しかも、このことに客観的事実を第一とするはずの科学者までもが加担しているのが現状である。

なお、2011年3月11日以降、多数の地震がこの地域でも発生しているから、この新しいデータを用いることが、少なくともとりあえずは求められる。

(注) 地殻は、地表からマントルまでの領域を指し、上部地殻と下部地殻とでわかかれていると考えられており、上部地殻と下部地殻の境界をコンラッド面と呼ぶ。コンラッド面で、地震波の速度が変化するとされ、上部地殻と下部地殻では岩質に違いがあるとされている。しかし、コンラッド面は、必ずしも明瞭ではなく、また連続しているわけでもない。一方、震源断層面は、上部地殻内にとどまることが多いとされているが、下部地殻内に達するものもあり、コンラッド面の深さ（日本では平均的に15km）で、地震発生層下限を区切ることには問題がある。また、コンラッド面の深さを直接ボーリングして岩質の違いを確認するわけではないから、そこにも大きな推定の誤差が含まれる。

被告日本原電は、地震発生層について、次のような結論を導いている（「東海第二発電所 基準地震動 Ss の策定について」 平成22年11月22日）。

## 地震発生層の検討

### 6)まとめ

東海第二発電所周辺の地震発生層に関する情報をまとめると以下のとおりである。

	上端深さ	下端深さ	厚さ
<b>微小地震分布による検討</b>			
広域(福島・茨城)[原子力安全基盤機構(2004)]	6.1km	18.1km	12.0km
敷地周辺(半径20km以内)[気象庁一元化震源(1997/10~2007)]	(16.1km)	(28.6km)	(12.5km)
<b>速度構造による検討</b>			
福島県の海岸線付近(深部構造探査)[三浦、他(2000)]	約6~9km	約15km	約6~9km
茨城県鹿嶋市付近(深部構造探査)[大大特(2003)]	約5km	—	
茨城県鹿嶋市付近(トモグラフィ)[大大特(2008)]	約10~16km	約20km	約4~15km

- 敷地周辺の微小地震分布から求まる地震発生層は深めとなっているので、広域(福島・茨城)の値を参考にする。
- 速度構造について、三浦、他(2000)による速度構造モデルは、地下深部までモデル化されており、安定したデータが得られたものと考えられるため、この値を参考にする。
- これらのデータを総合的に判断し、地震発生層の上端深さを6km、下端深さを18kmと設定する。
- なお、上記で設定した値は、地殻熱構造やコンラッド面に関する知見とも概ね対応している。

少なくとも微小地震を含む地震が起きている深さの範囲では地震が発生すると考えるべきであるので、とりわけ敷地周辺の微小地震等の分布は重要である。被告日本原電が示す敷地周辺の微小地震等の分布は、次のとおりである。

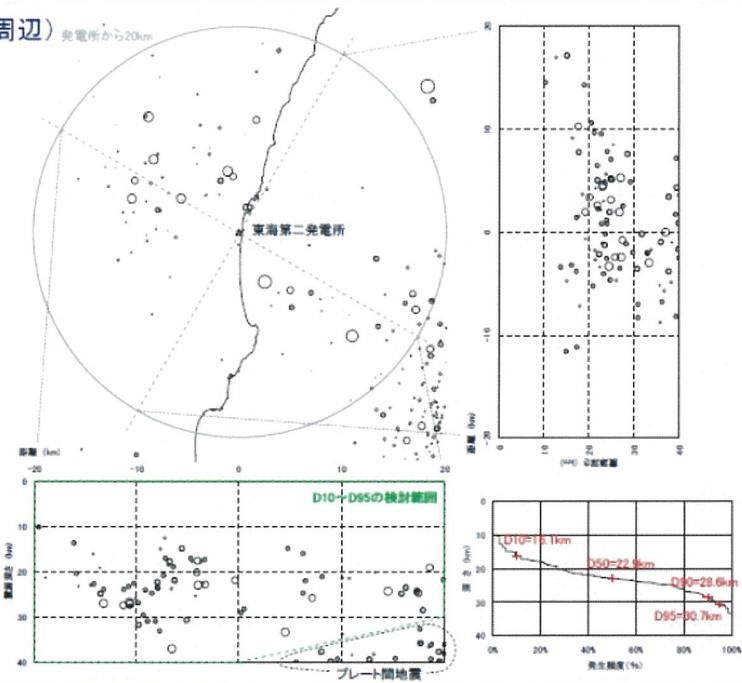
## 地震発生層の検討

### 2) 地震発生深さ(敷地周辺)

敷地から半径20km以内の深さ40km以浅で発生した微小地震を右図に示す。震源データは、気象庁一元化カタログ(1997年10月～2007年12月)を利用した。

図によると、深さ10km以浅では地震が発生しておらず、深さ10km以深ではM0～3程度の極めて微小な地震が発生している。

参考までに算定したD10%は16.1km、D90%は28.6kmである。



 日本原子力発電株式会社  
The Japan Atomic Power Company

11

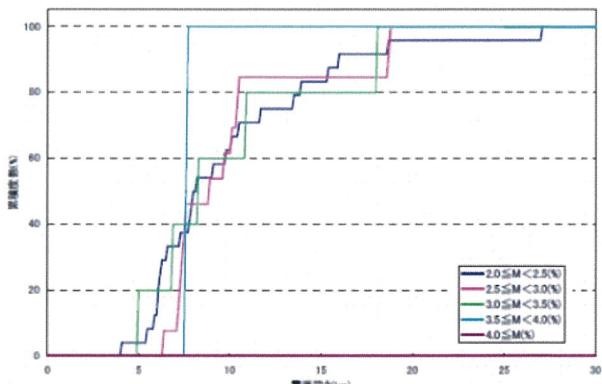
まず地震発生層の下限を検討すれば、上図によると、敷地から西北西7kmほどのところで深さ37kmのM6を超える大きい地震が発生していることがわかる。また敷地南東7kmほどのところでも深さ33kmのやはり同様に大きい地震が発生している。またほとんどの地震が深さ18kmより深い位置で発生している。敷地近傍でこれだけの深さの大きい地震が発生し、またほとんどの地震が18km以深で発生していることを認識しながら、地震発生層下限が18kmで、それより深い領域では地震は発生しないというのが、被告日本原電の主張であるが、この主張は、現に発生した地震のデータを完全に無視した空理空論、絵空事でしかない。これが、真実に目をつぶって、自己の都合の良い結論を導こうとする被告日本原電の対応の顕著な例であることは、明らかである。したがって、少なくとも37kmの深さまでは地震発生層とすることが必要なはずである。被告日本原電も、上記のデータ「敷地周辺20kmの気象庁一元化カタログ(1997年10月～2007年12月)」によって「参考までに」算定したD90%は28.6kmだとしているものの、福島・茨城をまとめた広域のD90%が仮に18.1kmとして、結局は地震発生層の下限深さを18kmとしている。

## 地震発生層の検討

### 1) 地震発生深さ(広域)

原子力安全基盤機構(2004)は、気象庁震源記録のうち、1997年10月～2001年9月の震源記録を、日本全国の15の地震域毎に振り分け、地殻内地震の地震発生上下限層に関するパラメータ(震源深さの最浅値、D10%、D50%、D90%、震源深さの最深値)を地震域毎に評価している。

敷地が位置する「福島茨城」のD10%は6.1km、D90%は18.1kmであった。



マグニチュード区分による累積度数と震源深さの関係(地震域=福島茨城)



 日本原子力発電株式会社  
The Japan Atomic Power Company

地震域における地震発生上下限層のパラメータ

地震域	M区分	最浅(km)	D10%(km)	D50%(km)	D90%(km)	最深(km)	データ数	D90%-D10%(km)	震源域上端深さ(飯田式)
福島 茨城	2.0 ≤ M < 2.5	4.1	5.9	8.0	16.0	27.1	24	10.1	3.4
	2.5 ≤ M < 3.0	6.3	7.2	8.9	18.7	18.7	13	11.5	5.4
	3.0 ≤ M < 3.5	4.9	5.0	8.3	18.1	18.1	5	13.1	3.5
	3.5 ≤ M < 4.0	7.6	7.6	7.6	7.7	7.6	2	0.1	5.0
	4.0 ≤ M	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
全データ		4.1	6.1	8.0	18.1	27.1	44	12.0	3.4

10

しかし、問題はこの地域の地震発生層なのだから、この広域のデータで地震発生層の下限を推定するのは、誤りである。微小地震の範囲を広域にとり、そのD90%を見るというのは、ただデータを広域にとることによって敷地周辺のデータの価値を薄めたというだけしかない。福島・茨城という広域で、地震発生層が一定だなどと主張するなら、その根拠を示すべきであるが、そもそもこんな広域で地震発生層が一定だなどという主張をするかどうかもはっきりしていない。いずれにしても問題は、敷地周辺での地震発生層であるから、ほとんどの地震が18 km以深で発生し、37 kmの深さでも相当に大きな地震が発生しているという敷地周辺のデータを、このように薄めることは正しくないことは明らかである。

ともかく、敷地近傍で深さ 37 kmの非常に大きな地震が発生している以上、地震発生層は、最低限 37 kmととらなければならないのは、否定のしようのないことである。

ちなみに、この付近でのコンラッド面の深さは 16 kmとされていると日本原電は指摘する。

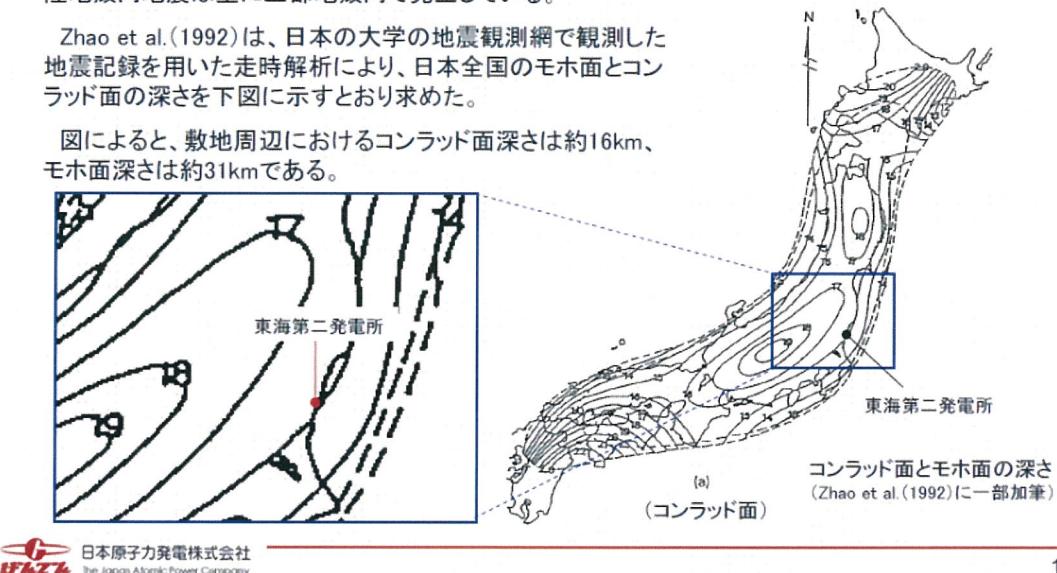
## 地震発生層の検討

### 5) コンラッド面深さ

地球の内部構造は、内核、外核、マントル及び地殻から構成され、マントルと地殻の境界面をモホ面(以下「モホ面」という。)といふ。また地殻では、花崗岩質層の上部地殻と玄武岩質層の下部地殻を分ける境界面をコンラッド面(以下「コンラッド面」という。)といふ、内陸地殻内地震は主に上部地殻内で発生している。

Zhao et al.(1992)は、日本の大学の地震観測網で観測した地震記録を用いた走時解析により、日本全国のモホ面とコンラッド面の深さを下図に示すとおり求めた。

図によると、敷地周辺におけるコンラッド面深さは約16km、モホ面深さは約31kmである。



しかし、気象庁一元化カタログによれば、現実に発生している地震は、ほとんどが 16 kmより深い領域にある。このことは、コンラッド面が地震発生層の下限だとすること自体が誤っていることを示しているものと言うことができるから、コンラッド面の深さを参考とすること自体、誤りである。

一方、地震発生層の上限を検討すれば、上図からすれば、浅いところでは 10 kmより浅い部分では地震はほとんど発生しておらず、D10%は 16.1km と非常に深い。しかし、地震発生層が、本件敷地付近においては、16 kmより浅いところはないとするのは、無理がある。そこで、地震発生層が 16 kmより浅くは存在しないなどという結論を、被告日本原電も導いてはいない。そもそもほんの 10 年ほどの微小地震データで、10 万年以上のスパンで起こる地震現象の地震発生層を導くという方法論上の誤りが顕在化したというだけのことと見るのが相当である。しかし、だからといって、データを福島・茨城と広域にとって敷地周辺のデータを薄めることは正しくないことは述べたとおりである。

被告日本原電は、この広域の D10% のデータから、地震発生層の上限深さを 6 km としている。しかし、この広域のデータで D10% が 6.1 km とされているということ

は、それより浅い地震が 10% あったということを意味しており、もっとも浅い地震は、実際に 4.1 km で発生していた。現に 6 km より浅い地震が相当数発生していることからすれば、地震発生層の上限を 6 km とするのでは不足であり、実際発生している地震の上限の 4 km はとるべきであるが、せめて 6 km ではなく 5 km 程度を地震発生層の上限としなくてはならない。

また地震発生層の下限は、被告日本原電の言う 18 km で足りるわけではなく、少なくとも 37 km とすべきで、さらにそこに「不確かさの考慮」を加えなければならないから、プレート境界付近に達するせめて 40 km 程度とすべきである。

このように被告日本原電の地震発生層の想定は、極めて不合理である。そして、被告国は、にもかかわらず、この日本原電の地震発生層の想定を追認した。いったい、国は、何を見ているのか。このような例からみると、国は、ろくな審査もせず、単に原子力事業者の行った評価を追認するだけの期間に堕したのか、あるいは、この点を取り上げることが不都合だとして意図的にこの問題を看過して、被告日本原電の評価を追認した、共犯者となっているかのどちらかと考えるほかない。

### (3) 地震発生層の厚さを 32 km としたときの F3～F4 断層で発生する地震

地震発生層の厚さを仮に 32 km (37-5) としたときに、F3～F4 断層の傾斜角を  $60^\circ$  とすれば、断層の幅は、約 37 km ( $32 \times 2/\sqrt{3}$ ) となる。また傾斜角を  $45^\circ$  とすれば、45 km ( $32 \times \sqrt{2}$ ) となる。少なくとも、断層長さは、断層幅よりは長いと考えるべきであるから、被告日本原電の想定は、断層長さの点でも、過小ということになってしまう。また、地表の断層が出現するかどうかぎりぎりの震源断層面が、断層面の幅と長さが同じで、それを超えて大きくなると、地表の断層が出現すると考えるのが一般的な考え方であるから、地表の断層がある程度の長さのときには、断層幅より断層の長さはさらに長いと考えることとなる。地表の現れるぎりぎりの断層運動のときに、震源断層面の長さと幅が一致すると考えるなら、地表の断層が現れるときには、その分、断層は長さ方向にも長く伸びると考えるのが相当であるから、そうだとすれば、F3～F4 断層の長さは、被告日本原電の想定する 16 km ではなく、少なくともそれに 37 km もしくは 45 km を加えて、53 km もしくは 61 km と考えなければならなくなる。

要するに、断層幅を大きくとるなら、震源断層面の面積は、極めて大きく想定すべきこととなり、 $1961 \text{ km}^2$  ( $37 \times 53$ ) もしくは  $2745 \text{ km}^2$  ( $45 \times 61$ ) ということとなる。その場合、下記エクセルの表のとおり、Mw は、7.44 もしくは 7.66 となる。また平均応力降下量は  $5.12 \text{ MPa}$  もしくは  $6.06 \text{ MPa}$  となり、アスペリティの応力降下量は、 $23.28 \text{ MPa}$  もしくは  $27.54 \text{ MPa}$  となる。

F3～F4の地震動計算				
断層面積S	地震モーメントMo	平均応力降下量	アスペリティの応力降下量	モーメントマグニチュードMw
1961	$1.82528E+27$	$5.12054E+22$	$2.32752E+23$	7.440886544
2745	$3.57651E+27$	$6.05826E+22$	$2.75376E+23$	7.635639551

(エクセルで使用した関数)

$$Mo = (S / 4.59 * 10^{11})^2$$

$$\text{平均応力降下量} = Mo * 7 * 3.14159^{1.5} / S^{1.5} / 16$$

$$\text{アスペリティの応力降下量} = \text{平均応力降下量} / 0.22$$

$$Mw = (\log(Mo) - 16.1) / 1.5$$

この値は、被告日本原電の想定した値（上記表）の断層面積  $240 \text{ km}^2$ 、平均応力降下量  $2.3 \text{ MPa}$ 、アスペリティの応力降下量  $13.89 \text{ MPa}$  を大きく上回る。

ところで、上記の推定値は、すでに述べた推定の誤差を考慮していない値である。断層面積から地震モーメント、平均応力降下量やアスペリティの応力降下量の推定に伴う誤差が少なくとも地震モーメントも平均応力降下量もアスペリティの応力降下量も算出された値の 4 倍はとる必要がある。さらにアスペリティの面積比が小さければ、アスペリティの応力降下量は、さらに大きくなるから、アスペリティの応力降下量として想定すべき値は、 $100 \text{ MPa}$  を大きく上回る程度としなければならない。

### 3 F1 断層と北方陸域の断層の連動を考慮しない地震動評価は不十分である

#### (1) F1 断層について

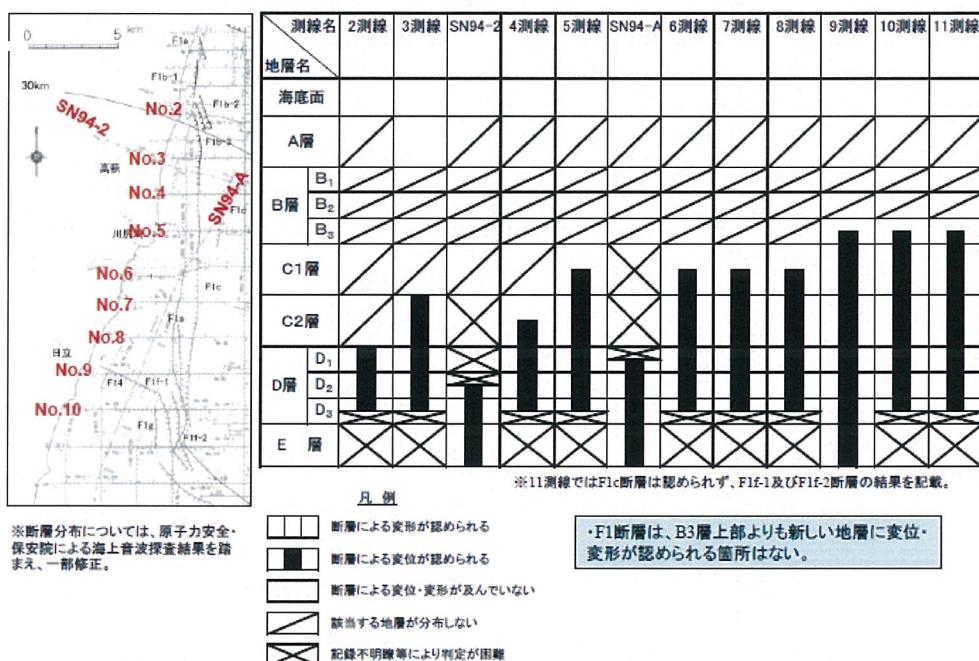
F1 断層は、川尻崎東方の海域に位置する長さ約  $23 \text{ km}$  の高角度西傾斜の正断層である。

被告日本原電は、F1 断層に対する海上音波探査の結果、断層北部では最上位の地層として D1 層（中新統）及び C2 層（鮮新統）が分布しており海底面付近まで変位・

変形が及んでいるが、それ以南では最上位の地層としてC2層、C1層及びB3層（下部更新統）が分布しており、海底面付近の変位・変形が認められないとして、少なくとも後期更新世以降の活動はなく、耐震設計上考慮すべき断層ではないと判断したという。

原子力安全・保安院

### F1断層の音波探査結果

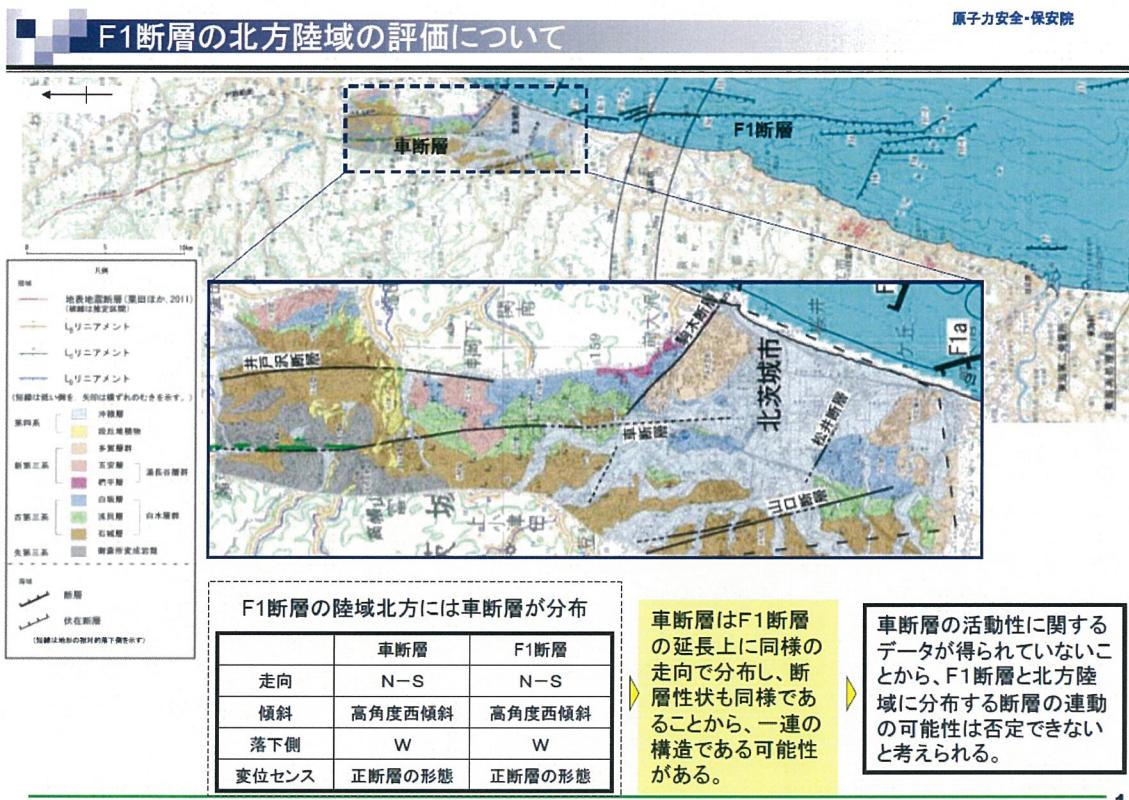


29

甲D 1 3 原子力安全・保安院 2011年11月16日 「日本原子力発電株式会社 東海第二発電所 東北地方太平洋沖地震に伴なう地殻変動による応力場の影響を踏えた断層の活動性について」 29 頁

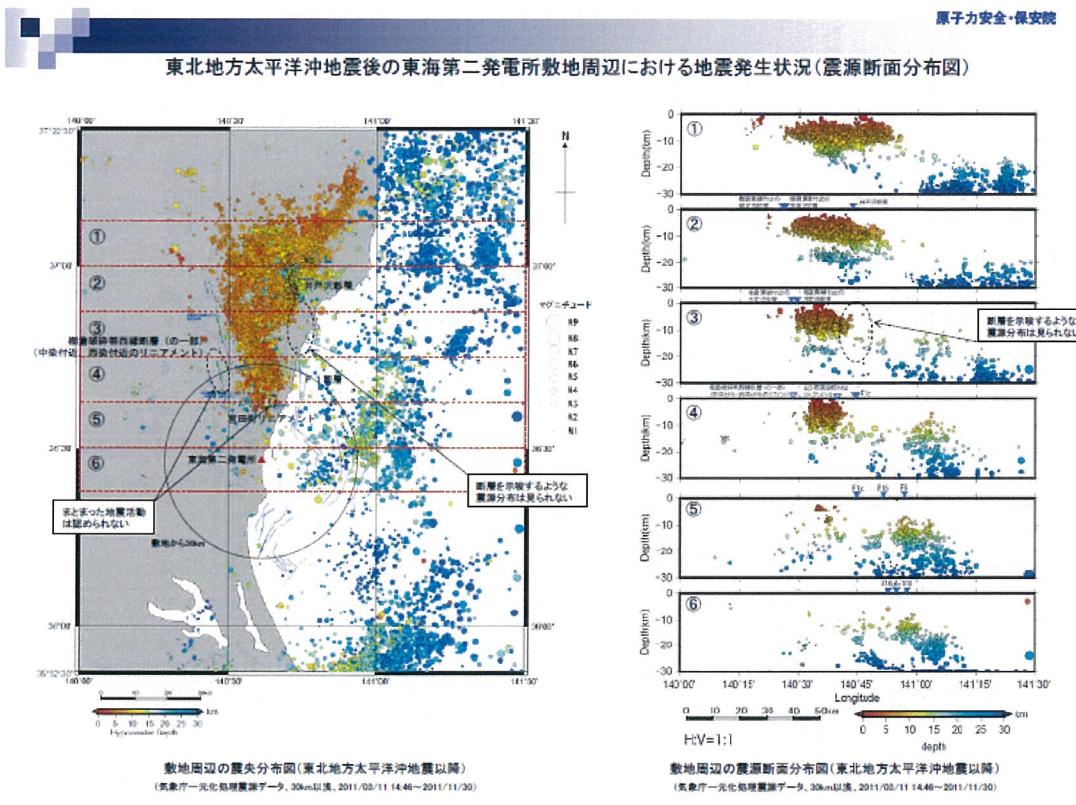
しかしながら、海上音波探査の画像が不鮮明であった場合、断層の状態を正確に把握することは難しいことは前述したとおりである。現に、同海域を対象に実施した原子力安全・保安院の海上音波探査では、B3層及びC1層中における変形の有無を判断することは困難とされていた。さらに、東北地方太平洋沖地震発生後に原子力安全・保安院に設置された「地震・津波に関する意見聴取会」においても、F1断層南部についても断層北部と同様に上載地層との関係を判断できないとする専門家意見が示されている。よって、F1断層については、後期更新世以降の活動がないと評価することはできず、耐震設計上考慮すべき断層に該当するといわねばならない。

さらに、F1 断層の北方約 15km の陸域に井戸沢断層が位置している。井戸沢断層は、複数の断層線から構成されているが、2011年4月11日に発生した福島県浜通りの地震によって、北西側に位置する塩ノ平断層には地表地震断層が出現しており、その活動性を認めることができる。また、井戸沢断層の南西側に位置する車断層は、F1 断層の南北線延長上にあるところ、車断層と F1 断層は、走向=南北、傾斜=高角度西傾斜、落下側=西、変位センス=正断層の形態、といった断層性状を共通にする。



甲D14 原子力安全・保安院 2012年3月8日 「日本原子力発電株式会社東海第二発電所における追加地質調査について（案）」1頁

被告日本原電は、東北地方太平洋沖地震に伴い、東北から関東にかけて、地殻変動による顕著なひずみの変化が認められ、東海第二原発周辺においても、特に茨城県北部から福島県浜通り及び東方 30km 付近の海域でまとまった地震活動が見られるところ、F1 断層と井戸沢断層との間では地震活動が極めて低調であり、断層を示唆するような震源分布は見られないとして、両者の同時活動を考慮する必要はないとしている。



15

甲D15 原子力安全・保安院 2011年12月27日 「日本原子力発電株式会社 東海第二発電所 平成23年東北地方太平洋沖地震を踏まえた断層の活動性及び長さの評価について」15頁

しかしながら、車断層とF1断層との位置関係、及び、断層性状が共通であることに鑑みるならば、少なくとも、車断層とF1断層は一連の地質構造にあるものと考えられる。この点については、原子力安全・保安院も、2012年1月27日付「平成23年東北地方太平洋沖地震から得られた地震動に関する知見を踏まえた原子力発電所等の耐震安全性評価に反映すべき事項（中間とりまとめ）について」（甲D16）の指示において、一連の地質構造である可能性を肯定している。

F1断層と井戸沢断層との間の地震活動が低調という結論を導いているこのデータの最大の問題は、このデータが、東北地方太平洋沖地震の発生した2011年3月11日以降、2011年11月30日までのわずか8か月半ほどの期間の気象庁の一元化処理震源データでしかないことである。このわずかな期間のデータで、何が言えると

いうのか。この地域の地震活動が低調というのは、このわずかな期間での活動性というだけでしかなく、さらには同地域がこの期間では地震の空白域だというにすぎない。逆に周囲の地震活動に伴って、岩盤にひずみを蓄積し続けて近い将来に大きな地震動を発生させる可能性を内包しているといわねばならない。わずか8か月半のデータで、ここまで言い切るというのは、あまりに大胆と言うほかない。

また、このデータは、東北地方太平洋沖地震発生に伴って、従来発生しなかった地震が多数発生し始めたことを示している。東北地方太平洋沖地震発生は、広範な地域の応力場に大きな変化を与えた。したがって、今後、思いもかけない場所での大きな地震発生が懸念される状況となっている。

結局、このデータから、車断層とF1断層の連動の可能性を否定することは不可能である。では、これらが連動して活動した場合、どれだけの地震を生じさせるか。連動した断層の総距離が約40kmにも及ぶことから、断層長さを16kmとしたF3断層及びF4断層による地震と比較して、はるかに大きな地震、地震動が発生し、東海第二原発の敷地に重大な影響を及ぼす事態が十分に想定されるのである。

## (2) F1断層と北方陸域の断層の連動したときに発生する地震

F1断層と北方陸域の断層の連動したとき、その長さを40kmだとすると、F3～F4断層で検討したように、震源断层面の長さは40kmに断層幅の37km（傾斜角60°とした場合）もしくは45km（傾斜角45°とした場合）を足すと、震源断层面の長さは77kmもしくは85kmとなる。断層面積は2849km<sup>2</sup>もしくは3825km<sup>2</sup>となり、その場合の地震モーメント、平均応力降下量、アスペリティの応力降下量及びモーメントマグニチュードは、下記エクセルの表のとおりとなる。傾斜角45°のモデルの場合、モーメントマグニチュードMwは7.83となって、これは気象庁マグニチュードMjでみれば、8以上の巨大な内陸地殻内地震となる。その場合のアスペリティの応力降下量は、32.5MPaとなるが、これがすでに述べたように、強震動予測レシピによる平均的な値でしかないことからすれば、100MPaすらも大幅に超える大きな応力降下量も覚悟すべきこととなってしまう。

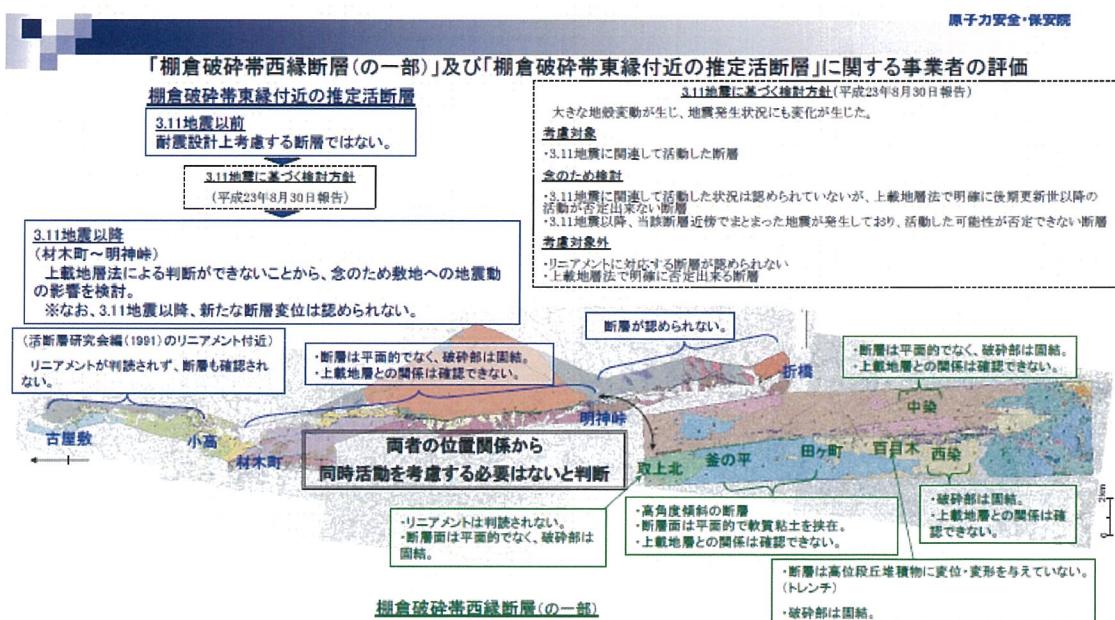
F1～の強震動計算					
断層面積S	地震モーメントMo	平均応力降下量	アスペリティの応力降下量	モーメントマグニチュードMw	Mj
2849	3.85265E+27	6.17196E+22	2.80544E+23	7.657173018	
3825	6.94444E+27	7.15143E+22	3.25065E+23	7.827758339	

#### 4 棚倉破碎帯についての地震動評価は不十分である

久慈川源流の福島県東白川郡棚倉町から常陸太田市付近にかけて二本の断層が並行している。両断層の間は岩石が著しく破碎されていることから、棚倉破碎帯と呼ばれており、西側の断層を棚倉破碎帯西縁断層、東側の断層を棚倉破碎帯東縁断層という。

被告日本原電は、棚倉破碎帯西縁断層の常陸太田市湯草北西から同市田ヶ町へと至る区間のうち、取上北から百目木までの約13kmについては、リニアメントと断層が大部分で一致していることに加えて、断層と上載地層との関係が確認できず、後期更新世以降の活動が明確に否定できないとして、従前より耐震設計上考慮すべき断層としていた。また、百目木の南西側に位置する西染付近のリニアメント、ならびに、同じく南東側に位置する中染付近のリニアメントについては、東北地方太平洋沖地震後、原子力安全・保安院の検討方針に従い、上載地層との関係が確認できない場合にあたるとして、耐震設計上考慮すべきものとすることに改めた。

他方、棚倉破碎帯東縁断層については、従前、被告日本原電は、耐震設計上考慮する断層ではないとしていた。しかし、東北地方太平洋沖地震後、このうち福島県東白川郡塙町材木町から福島・茨城県境の明神峠に至る区間約20kmについては、上載地層との関係が確認できることから、耐震設計上考慮すべきものとすることに改めた。



2011年12月27日「日本原子力発電株式会社 東海第二発電所 平成23年東北

地方太平洋沖地震を踏まえた断層の活動性及び長さの評価について」12 頁より引用

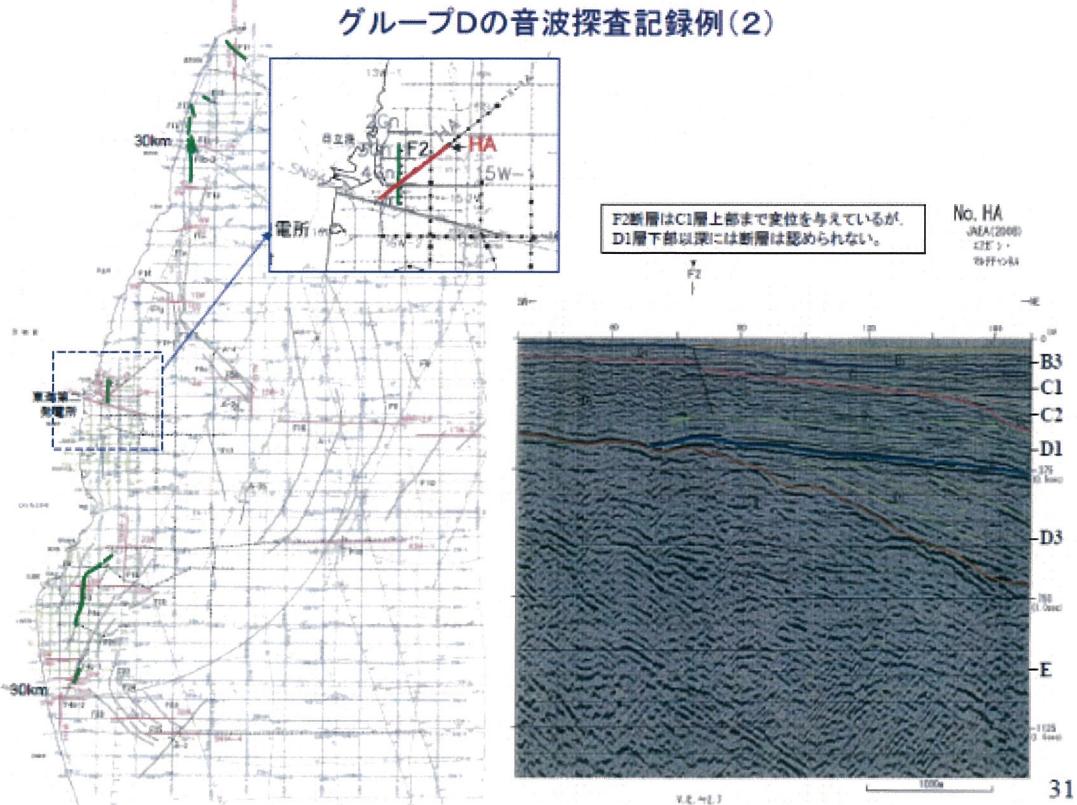
棚倉破碎帯西縁断層と棚倉破碎帯東縁断層が連動する可能性について、被告日本原電は、両者の位置関係からこれを考慮する必要はないとしているが、断層の向きが同じであり、地下深部に向かって近づく関係であることからして、両断層が連動する可能性があるというべきである。原子力安全・保安院も、前述した 2012 年 1 月 27 日付「平成 23 年東北地方太平洋沖地震から得られた地震動に関する知見を踏まえた原子力発電所等の耐震安全性評価に反映すべき事項（中間とりまとめ）について」の指示において、連動の可能性を否定しなかった。もし両断層が連動したならば、車断層と F1 断層が連動した場合と同様に、大きな地震動が発生し、東海第二原発の敷地に重大な影響を及ぼす可能性が否定できないのである。

## 5 F2 断層による地震動評価は不十分である

### (1) F2 断層について

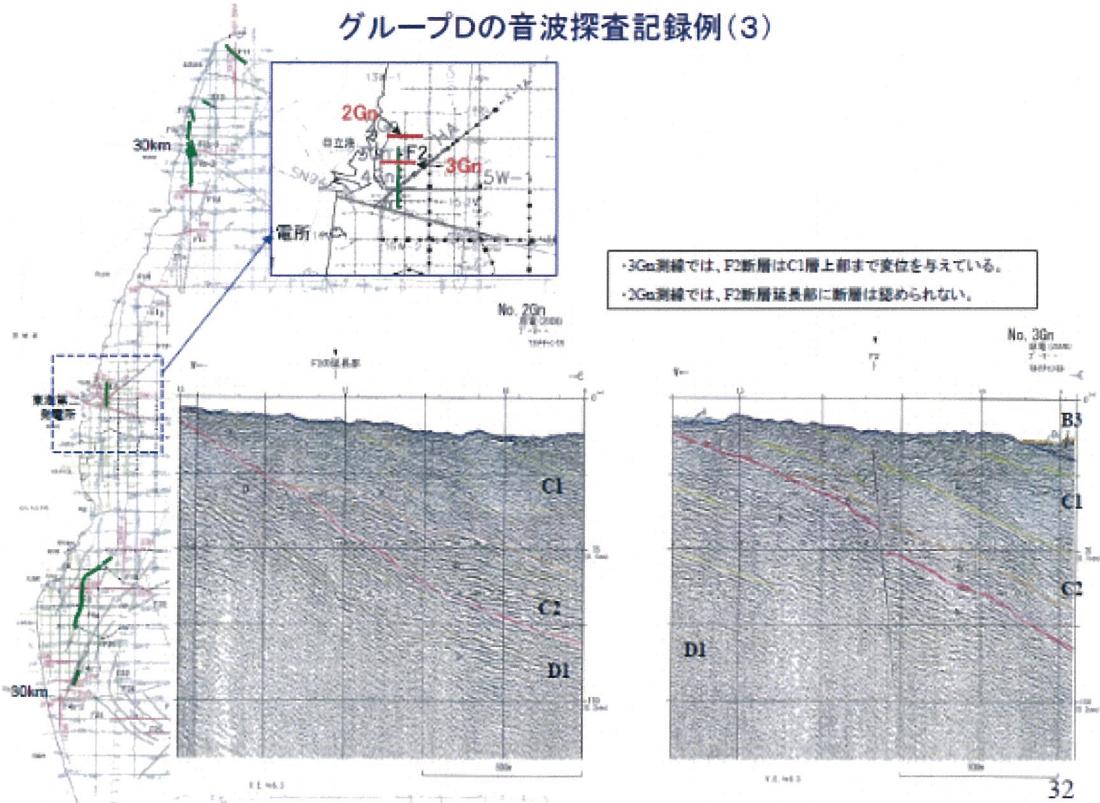
被告日本原電は、東海第二原発にもっとも近い F2 断層を、検討用地震の対象から外している。F2 断層は、東海第二原発から約 4km 沖合にある長さ 3.0km の断層である。その位置及び音波探査記録は、以下のとおりである。

## グループDの音波探査記録例(2)



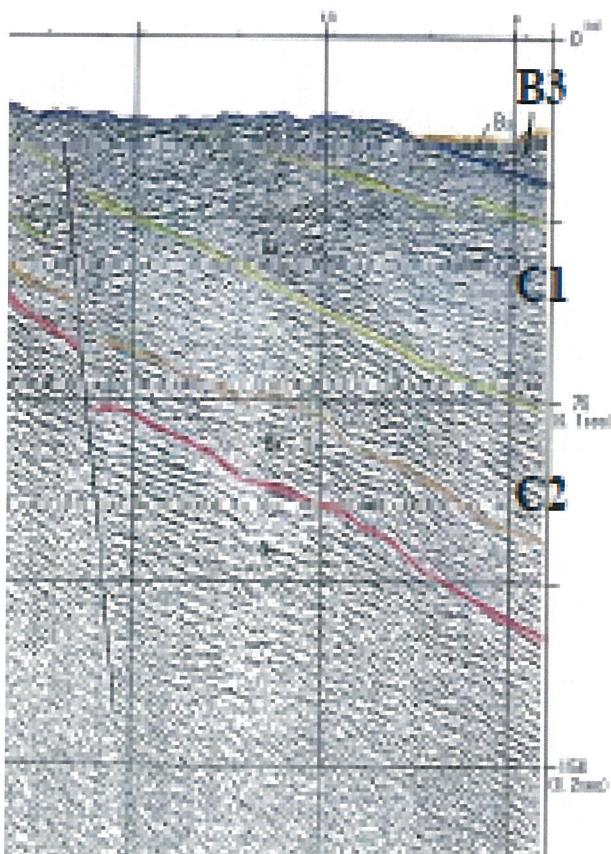
日本原子力発電株式会社 2010年10月22日 「東海第二発電所 敷地周辺・敷地近傍の地質・地質構造（海域）」25頁より引用

### グループDの音波探査記録例(3)



日本原子力発電株式会社 2010年10月22日 「東海第二発電所 敷地周辺・敷地近傍の地質・地質構造（海域）」26頁より引用

なお、右側の図面上部を拡大して以下に掲載する。



この点について、被告日本原電は、「海底面付近に後期更新世以前の地層に変位・変形が認められるが、D1層（中新統）下層以下の地層に変位・変形が認められないことから地震を起こすような断層ではないと評価」したと説明している（東海第二発電所 耐震設計上考慮していない断層に対する評価リスト）。

しかし、少なくとも、海底面付近の地層に変位・変形が認められるのであるから、F2断層が後期更新世以降に活動したことは明確に否定できないはずである。被告日本原電も「後期更新世以降の地層に変形が認められない」とは言っていない。それにもかかわらず、被告日本原電は、深い地層に変位・変形が認められないことを理由に、F2断層を検討用地震から外している。

ところで、被告日本原電の説明を前提にした場合、F2断層が変位・変形を与えたとされる最下層の地層はC2層（鮮新統）であるところ、上記音波探査記録によれば、C2層の海底面からの深さは200m程度でしかない。

すなわち、被告日本原電の説明によると、F2断層は、深さわずか200mで長さ3.0kmにも及ぶ極めて薄っぺらな、極めて奇異な断層ということになる。そもそも、この

のような浅い領域で、アスペリティのような固着する領域は生じようもないところ、上記音波探査記録によれば、C2 層は F2 断層を挟んで 10m 程度は縦ずれしているように読める。しかし、断層に加わる圧縮の応力源はプレートの圧力であるが、物理的に考えて、その圧力が地表近くだけに集中することなどありえないはずである。

一方、グループ D の音波探査記録(2)によれば、実は、D1 層の下方にも地層の乱れが見てとれる。要するに、被告日本原電の音波探査記録の解釈が誤っており、さらには、極めて恣意的かつデタラメな解釈をして、断層の存在をなかったものにしたと認めるのが正しいと思われる。

そうすると、この 3.0km の長さの断層の下には、もっと大きな断層が隠れていると見なければならない。2009 年 10 月 28 日原子力安全委員会事務局の「震源を特定せず策定する地震動レベルを検証する方法について」は、次のようなイメージ図を示している。

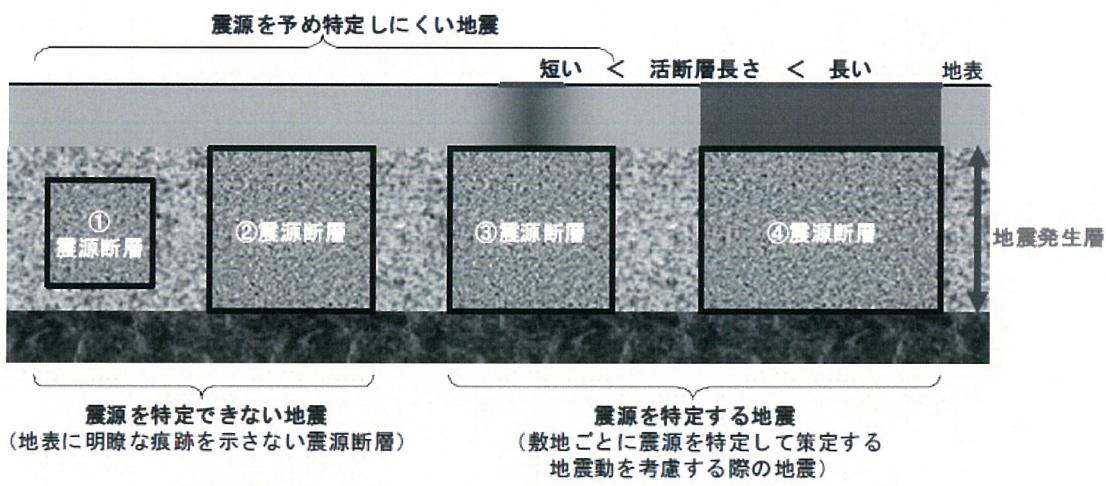


図 1. 震源を特定できない地震とできる地震の震源断層のイメージ図

ここでは、「震源を特定できない地震と孤立した長さの短い断層の震源像の連続性を考慮して、震源を予め特定しにくい地震の地震規模を設定する」とされているが、上記の図から明らかなように、地中に隠れてしまい震源を特定できない断層よりも、短いながらも地表に現れて震源を特定できる断層の方が、断層はより長くなっていると考えるべきである。仮に震源を特定できない断層によって生じる地震が M6.8 であるならば、地表に現われた短い断層は、それ以上の大きな規模の地震を起こすと想定するのが正しい。

また、今回規制委員会が定めた新規制基準でも、「孤立した長さの短い活断層については、地震発生層の厚さ、地震発生機構、断層破壊過程、スケーリング則等に関する最新の研究成果を十分に考慮して、地震規模や震源断層モデルが設定されていることを確認する。」（「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」3.2.3 震源特性パラメータの設定（5））とされ、また「4 震源を特定せず策定する地震動」の4.2 地震動評価の解説では、「事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域において発生し、地表付近に一部の痕跡が確認された地震」は、震源断層がほぼ地震発生層の厚さ全体に広がっているものの、地表地震断層としてその全容を表すまでには至っていない地震（震源の規模が推定できない地震（Mw6.5 以上の地震））であり、孤立した長さの短い活断層による地震が相当する。」とされている。

新規制基準も、短い活断層による地震は Mw6.5 以上の地震であり、震源断層は、ほぼ地震発生層の厚さ全体に広がっているものと想定すべきだとしているのである。

よって、F2 断層を検討用地震の対象から外した被告日本原電の安全性評価は、不當極まりないものというべきである。

## (2) F2 断層が活動したときに発生する地震

短い断層は、少なくとも、断層の幅と同じ長さを有するものとして考えられている。しかし、すでに述べたように、さらに長さは地表の断層の長さだけは長くなると考えるべきで、そうすると、断層面積は  $37 \text{ km} \times 40 \text{ km} = 1489 \text{ km}^2$ （傾斜角  $60^\circ$  の場合）、もしくは  $45 \text{ km} \times 48 \text{ km} = 2160 \text{ km}^2$ （傾斜角  $45^\circ$  の場合）となる。その場合の地震モーメント、平均応力降下量、アスペリティの応力降下量及びモーメントマグニチュードは、下記エクセルの表のとおりとなる。傾斜角  $45^\circ$  のモデルの場合、モーメントマグニチュード Mw は 7.50 となって、これは気象庁マグニチュード Mj でみれば、8 近い巨大な内陸地殻内地震となる。その場合のアスペリティの応力降下量は、 $24.4 \text{ MPa}$  となるが、これがすでに述べたように、強震動予測レシピによる平均的な値でしかないことからすれば、やはり  $100 \text{ MPa}$  に達するほどの大きな応力降下量も覚悟すべきこととなってしまう。

F2の強震動計算	断層面積S	地震モーメントMo	平均応力降下量	アスペリティの応力降下量	モーメントマグニチュードMw
	1489	1.05236E+27	4.46195E+22	2.02816E+23	7.281442683
	2160	2.21453E+27	5.37408E+22	2.44276E+23	7.496854754

現在、本件敷地付近は、東北地方太平洋沖地震の発生のために、引張りの応力場となっている可能性がある。F2 断層は、その形状からして、正断層とみられるので、まさしくこの断層が、今活動するおそれがあるということとなる。

## 第8 「震源を特定せず策定する地震動」について

### 1 「震源を特定せず策定する地震動」とは

「震源を特定せず策定する地震動」とは、平成18年耐震設計審査指針で導入された概念であり、古い耐震設計審査指針で「直下地震」といわれていたものに相当する。

これについて、平成18年耐震設計審査指針では、「5 基準地震動の策定」の(3)において、次のとおり規定する。

「震源を特定せず策定する地震動」は、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に敷地の地盤特性を加味した応答スペクトルを設定し、これに地震動の継続時間、振幅包絡線の継時的变化等の地震動特性を適切に考慮して基準地震動  $S_s$  を策定すること。」

さらに、その（解説）においては、

「震源を特定せず策定する地震動」の策定方針については、敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な地震の全てを事前に評価しうるとは言い切れないことから、敷地近傍における詳細な調査の結果にかかわらず、全ての申請において共通的に考慮すべき地震動であると意味付けたものである。

この考え方を具現化して策定された基準地震動  $S_s$  の妥当性については、申請時点における最新の知見に照らして個別に確認すべきである。なお、その際には、地表に明瞭な痕跡を示さない震源断層に起因する震源近傍の地震動について、確率論的な評価を必要に応じて参考とすることが望ましい。」

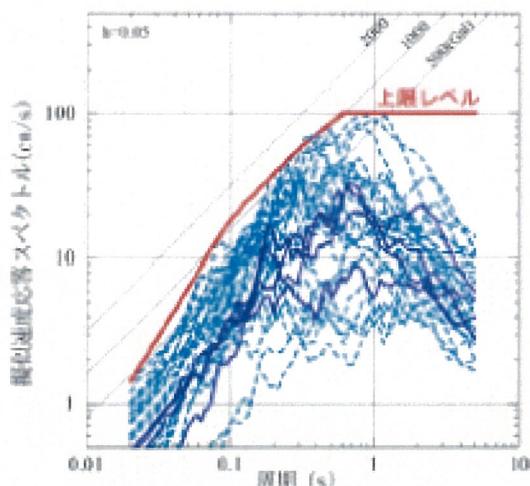
とする。

### 2 被告日本原電が採用した「震源を特定せず策定する地震動」（「加藤、他、2004」による応答スペクトル）

被告日本原電は、後に述べるように、断層モデルを用いた手法による「震源を特定せず作成する地震動」の想定も行ったうえで、結局のところ、「震源を特定せずに策定する地震動」としては、「震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベル」（2004年、加藤研一、他、日本地震工学会論文集、第4巻、第4号）に

おける応答スペクトル（以下「加藤、他」の応答スペクトル」と言う。）を採用した。そして、これにさらに若干上乗せしたものを Ss としている。

この「加藤、他」の応答スペクトルの研究は、日本及びカリフォルニアで発生した 41 の内陸地殻内地震のうち、震源を事前に特定できない地震として、9 地震 12 点の計 15 記録（30 水平成分）の強震記録を用いて行ったものである。9 地震は、1966 年のパークフィールド地震から 1997 年の鹿児島県北西部地震までの 31 年間のカリフォルニアの 6 地震と日本の 3 地震である。この研究の結果が、日本原子力発電所平成 23 年 2 月 23 日「東海第二発電所 基準地震動 Ss の策定について」6 ページに記載された下図であり、同ページには、「当該地点の震源を特定せず策定する地震動は、加藤、他（2004）に基づき設定する。」とされている。



震源を事前に特定できない地震による震源近傍の観測記録の水平動応答スペクトルとその上限レベル

加藤、他（2004）

この図で明らかなように、「加藤、他」の応答スペクトルは、実際の地震動の観測記録をほとんど全て包絡するようには作られており、一見すると安全側に大きめに上限レベルを取っているかのようである。しかし、もともと、「加藤、他」の研究は、ごく 31 年間のわずか 9 つの地震の 12 地点の 15 の記録に基づくものでしかなく、データとして全く不十分なものでしかない。

### 3 石橋克彦氏による「加藤、他」の応答スペクトル批判

この「加藤、他」の応答スペクトルについて、国会福島原発事故調査委員会の委員でもあった神戸大学名誉教授の石橋克彦氏は、「科学」2012年8月号掲載の「電力会社の「虜」だった原発耐震指針改訂の委員たち」において、

「震源を特定せず策定する地震動」についての「震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に（中略）基準地震動 Ss を策定する」との規定自体、恣意性と過小評価を許す規定である。具体的な策定値は申請者にまかされるが、電力会社側の日本電気協会が示した加藤ほか（2004）という模範解答では、M7級地震の強い地震動記録をすべて「活断層と関連付けられる」と屁理屈をつけて参考から排除し、M6.6までの地震の揺れしか用いていない。

としている。

石橋克彦氏によれば、「加藤、他」は、M7級の地震動記録を無理やり排除し、残されたM6.6までの地震動記録のみを対象としたものでしかない。したがって、これが過小なものとなるのは当然のことであった。

### 4 原子力安全基盤機構（JNES）による検討

#### (1) 「加藤、他」の研究の不充分性の指摘

平成21年3月の原子力安全基盤機構（JNES）作成の「震源を特定せず策定する地震動の設定に係る検討に関する報告書」においても、その「要旨」において

加藤ほか（2004）の課題としては、調査した震源を事前に特定できるとした地震の周辺活断層との関連付けの根拠が明確でないこと、対象とした地震及び震源近傍の地震動観測記録が少なく、地震動の上限レベルの規定の根拠が明確ではないこと等が挙げられた。

とされている。したがって、原子力安全基盤機構も、加藤ほか（2004）の研究では、不十分であることを認めているのである。

しかし、もともと加藤ほかの研究では不十分であることは、もととなつたデータがあまりに少ないと見して明らかであった。今回規制委員会が定めた新基準が過去12、3万年間に活動したことのある断層を活断層と認めていることからしても、上限レベルは、少なくとも、過去12、3万年間での上限レベルでなくてはな

らない。そもそも「加速度計による強震観測は、日本国内では 1953 年から、米国カリフォルニアでは 1930 年代から開始されて」いるに過ぎないし（平成 19 年 5 月の保安院の前記「震源を特定せず策定する地震動の考え方」）。特に日本で、強震動観測網が整備されたのは、1995 年の兵庫県南部地震以降であって、だからこそ気象庁一元化カタログは、1997 年以降のものしかないのである。要するに、もともと地震についての強震計による観測が始まってから、まだ 80 年ほどしか経過していないし、詳細な地震記録は、もっと短い期間のものしかないのである。結局、「加藤、他」（2004）も 1966 年以降の地震しか対象としていない。極めて頻度の小さい現象である地震の、30 年ほどの観測データからでは、もともと何らか科学的な明確かつ確実な意味を持つ結論を導くことは不可能である。

## （2）対象地震の選定と「震源を特定せず策定する地震動」の最大規模の推定

JNES は、上記報告書において、8 つの地震を選定し、それを 2 つのグループに分けて、検討している。下表のうち、赤枠で囲ったグループ 1 の地震とは、「基本的に震源を特定できない地震」であり、グループ 2 の地震とは、「明瞭な痕跡とみなすかどうか判読が難しく、意見が分かれている」地震である。

平成 18 年指針の解説においても、「「震源を特定せず策定する地震動」の策定方針については、敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な地震の全てを事前に評価しうるとは言い切れない」としているから、上記の「明瞭な痕跡とみなすかどうか判読が難しく、意見が分かれている」地震も、平成 18 年指針にいう「震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震」ではあると言うべきである。

JNES が対象とした地震の中でもっとも大きな鳥取県西部地震について見れば、地震が起こるまで、断層があるとは思われていなかった。この地震やカリフォルニアの 2 地震について、「加藤、他」（2004）は、「1983 年 Coalinga、1994 年 Northridge、および 2000 年鳥取県西部地震については、地震前に震源断層に対応する活断層が文献に記載されていなかったが、活褶曲構造等との関連により事前に詳細な調査を行えば震源を特定可能と判断した。」として、対象にはしなかった。しかし、起こつてみてから精査したら、わかったはずだという、この後講釈的見解では、少なくとも原子力施設の安全性は到底確保できないし、事前に確実にみながそこに活断層があると認めるかにも、疑問がある。とりわけ、原子力事業者は、活断層の存在を認

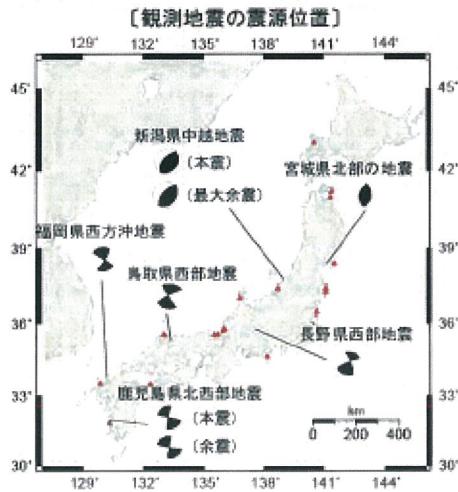
めたがらないという傾向も指摘しておく必要がある。

したがって、「判読が難しく意見が分かれている」地震もまた、平成18年指針の考え方からすれば、震源を特定せず策定する地震動の基礎となるべき地震動とすべきこととなる。

表1 地震を特定せず策定する地震動で対象とする地震の諸元

グループ1(図1参照)  
 グループ2

観測地震	Year	グループ	種別	M <sub>J</sub>	Depth(km) ※1 JMA ※2 F-net	観測点	対象Vs (km/s)	Xsh (km)
長野県西部地震	1984	1	横ずれ	6.8	2 ※1	高根第一ダム	-	23.6
鹿児島県北西部地震 (本震)	1997	1	横ずれ	6.6	8 ※2	奈川淮ダム	-	32.9
鹿児島県北西部地震 (余震)	1997	1	横ずれ	6.4	11 ※2	鶴田ダム	-	4.6
宮城県北部の地震	2003	1	縦ずれ 逆断層	6.4	5 ※2	MYGH01(仙台) MYGH11(河北)	3.30 2.86	21.7 9.1
鳥取県西部地震	2000	2	横ずれ	7.3	11 ※2	SMNH01(伯太) TTRH02(日野) 賀林ダム	2.70 1.50 -	6.1 2.6 2.4
新潟県中越地震 (本震)	2004	2	縦ずれ 逆断層	6.8	5 ※2	NIGH11(川西) NIGH12(湯之谷)	0.85 0.73	8.9 9.5
新潟県中越地震 (最大余震)	2004	2	縦ずれ 逆断層	6.5	11 ※2	NIGH11(川西) NIGH12(湯之谷)	0.85 0.73	11.1 11.2
福岡県西方沖地震	2005	2	横ずれ	7.0	5 ※2	FKOH03(宇美) SAGH04(東芦原)	3.10 2.90	27.5 36.2



※ ちなみに、JNESは、このデータによって、その後、確率論的ハザード評価手法を用いるとして、「加藤、ほか（2004）の応答スペクトルは・・・JNESによる超過確率別スペクトルの10の4乗から10の5乗の範囲にある」としている。しかし、JNESが、確率論的手法によって導き出した超過確率別スペクトルなるものは、基礎となったデータが、確率を論ずる

に足りるほどの多数のデータに基づくものではありえない。なぜならば、確率論的手法も、本来、確かな確率を導くには、多数のデータがなければならぬからである。この示された「確率」は、極めて誤差の大きな確率でしかない。特に地震は、時としてけた違いに巨大な現象を引き起こすことは、東北地方太平洋沖地震がはっきりと示してしまった。たかだか 80 年ほどの知見で、1 万年に 1 回 ( $10 \text{ の}-4$  乗)、10 万年に 1 回 ( $10 \text{ の}-5$  乗) の現象の確率を出すなど、できるはずのことである。何 10 年単位で起こることがないわけではないものの、一般的には何百年、何千年、何万年あるいは何 10 万年というスパンで生起する現象、それが地質現象なのである。このような長期のスパンで生起する地震、津波という自然現象の確率を求める方法論を、われわれ人類は持っていない。もしそれでも確率を出したいというのなら、新指針の考え方からしても、「確率」自体の「不確かさ」、より厳格に言えば、「確率」の誤差も、同時に示さない限り、誤った結論を導くこととなってしまうはずであるが、この程度のデータで、「確率の誤差」を評価すること自体、不可能である。

こうして JNES は、震源を特定せず策定する地震動の最大地震として、横ずれ断層では鳥取県西部地震の  $Mj 7.3$ 、逆断層では新潟県中越沖地震（本震）の  $Mj 6.8$  を採用する。その上で、JNES は、基礎となったデータが少ないと補完するためとして、次の 5 項に述べるような断層モデルによる方法を採用している。

JNES のこの整理は、わずかな期間のわずかなデータからの検討によるものであって、それで十分とは言えず、実際にはさらに大きな規模の地震が「基本的に震源を特定できない地震」、「明瞭な痕跡とみなすかどうか判読が難しく、意見が分かれている地震」として、発生しうることが否定できないのであって、ここにも極めて大きな不確かさがある。JNES の検討は、この点の不確かさについて言及のないところに、極めて大きな問題がある。

このように不確かさの存在することは否定しようがない。さらに、データが少なすぎることなどのからの、この不確かさの評価自体が不可能という重大な問題がある。原発の耐震設計で、「不確かさの考慮」は、必ずすべきものであるが、一方で、詳細なデータが、ほぼ 1997 年以降のものでしかないことなどから、「不確かさの考慮」

が本来不可能という、本質的な問題を、原発の耐震設計がはらんでいることは、忘れてはならない。原発の耐震設計には克服不可能な重大な問題がある。

## 5 被告日本原電における「震源を特定せず策定する地震動」評価

### (1) 断層モデルを用いた方法による「震源を特定せず策定する地震動」

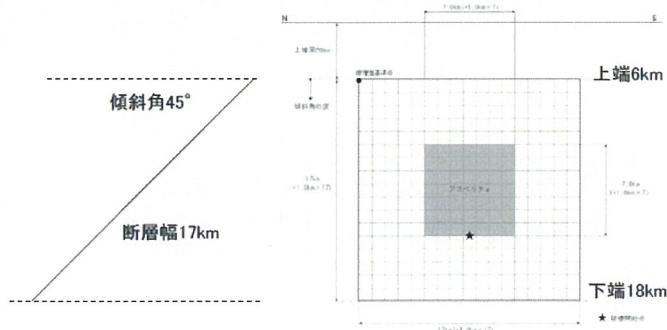
被告日本原電は、加藤、他（2004）による応答スペクトルのほか、東海第二原発敷地付近でM6.8の地震が発生するとして、断層モデルによる方法によって、多数の地震動を想定している。すなわち、断層モデルを設定して、M6.8、断層の長さ17km、断層幅17km、深さ6km～18km、アスペリティの応力降下量13.89MPaというパラメータを設け、この断層を中心に多数地点の地震動を評価し、算出しているのであるが、具体的には、敷地近傍の40kmについて、2km間隔の441地点で地震動評価をし、さらに加えて断層最短距離10kmの120地点（赤丸地点）の評価地点における地震動の評価をしたうえで、平均的地震動レベルを把握している。

## 震源を特定せず策定する地震動

### 5) 検証 b. 断層モデルの設定

項目	設定値
気象庁マグニチュード	6.8
モーメントマグニチュード	6.4
断層長さL(km)	17
断層傾斜角(°)	45
断層上端深さ(km)	6
断層下端深さ(km)	18
断層幅W(km)	17
断層面積S(km <sup>2</sup> )	240.0
破壊伝播様式	同心円状
地震モーメントM <sub>0</sub> (Nm)	$3.53 \times 10^{18}$
剛性率(N/m <sup>2</sup> )	$3.5 \times 10^{10}$
平均すべり量D(cm)	42.0
平均応力降下量△σ(MPa)	2.3
破壊伝播速度V <sub>r</sub> (km/s)	2.59
短周期レベルA(Nm/s <sup>2</sup> )	$8.07 \times 10^{18}$
f <sub>max</sub> (Hz)	6.0

項目	設定値	
アスペリティ	面積S <sub>a</sub> (km <sup>2</sup> )	40.0
	平均すべり量D <sub>a</sub> (cm)	84.1
	地震モーメントM <sub>0a</sub> (Nm)	$1.18 \times 10^{18}$
	応力降下量△σ <sub>a</sub> (MPa)	13.89
背景領域	面積S <sub>b</sub> (km <sup>2</sup> )	200.0
	平均すべり量D <sub>b</sub> (cm)	33.6
	地震モーメントM <sub>0b</sub> (Nm)	$2.35 \times 10^{18}$
	実効応力△σ <sub>b</sub> (MPa)	2.78



日本原子力発電株式会社 2010年11月22日「東海第二発電所基準地震動 S<sub>S</sub> の策

## 定について」71頁より引用

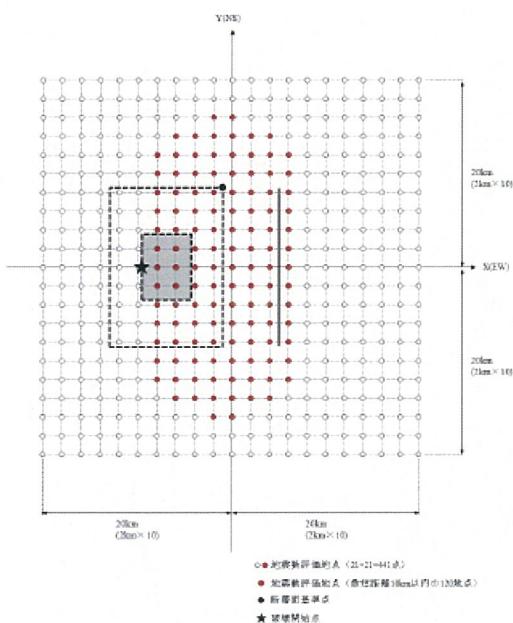
このモデル自体の基本的なパラメーターは、地震本部の強振動予測レシピに基づき設定されたものようであるが、基本的な考え方は、「入倉レシピ」と異なるものではない。

前述したように「入倉レシピ」は、平均像を求めるためのものであるので、このモデルは、この規模の地震の平均像によって作られたものである。したがって、この平均をはずれる可能性は、平均であることからして、50%はあるということになる。たとえば、アスペリティの面積は断層面の面積の1/6に定められているが、これは平均像の22%よりは小さいものの、十分に小さくとっているとは言えない。アスペリティの応力降下量13.89MPaは、強震動予測レシピによって算出された平均応力降下量2.31MPaを6倍したものであるが、もともと平均応力降下量の算出に用いたスケーリング則に大きな誤差があることからすれば、この値の4倍程度はとも必要となってくる。4倍しただけで、アスペリティの応力降下量は、55.56MPaとなってしまう。

## 震源を特定せず策定する地震動

### 5)検証 d. 地震動評価地点

敷地近傍の40kmについて、2km間隔で地震動評価を実施。これらのうち、断層最短距離10km以内の評価地点における平均的な地震動レベルを把握する。



 日本原子力発電株式会社  
The Japan Atomic Power Company

73

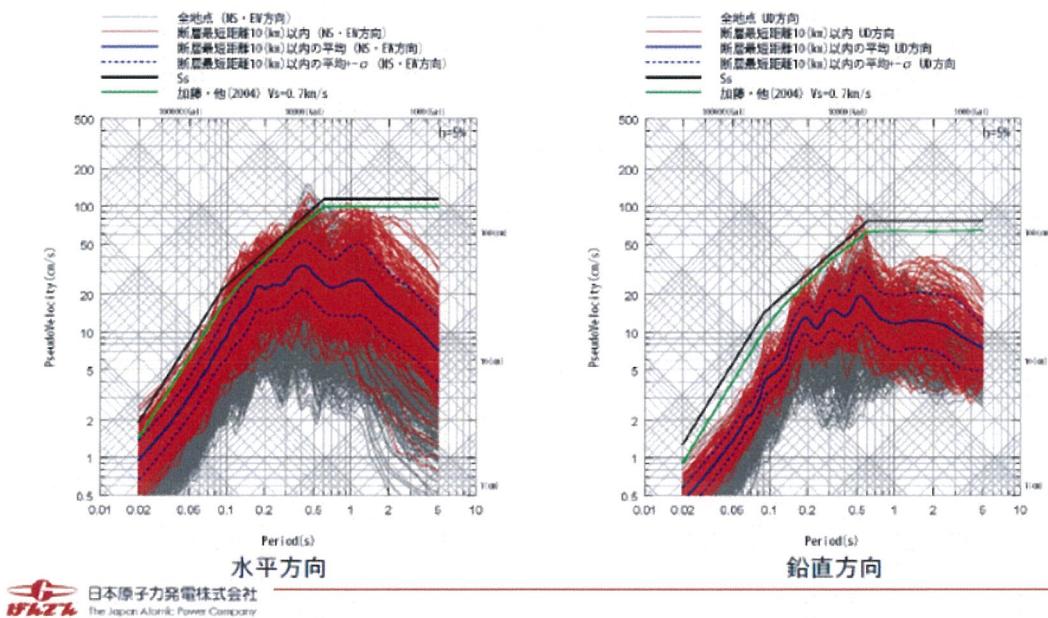
日本原子力発電株式会社 2010年11月22日「東海第二発電所基準地震動 Ss の策定について」73頁より引用

その評価の結果は、下図のとおりとされている。

## 震源を特定せず策定する地震動

### 5) 検証 e. 地震動評価結果

震源近傍における平均的な地震動レベルは、加藤・他(2004)に基づき設定した「震源を特定せず策定する地震動」のレベルを下回る。



日本原子力発電株式会社 2010年11月22日「東海第二発電所基準地震動 Ss の策定について」74頁より引用

(2) 断層モデルによる方法で算出した応答スペクトルは「加藤、他 (2004)」のスペクトルを上回っている

「加藤、他」の応答スペクトルは、実観測記録に基づく「震源を特定せず策定する地震動」であり、一方、日本原電が検討対象にしたのは、理論的に算出した「震源を特定せず策定する地震動」であった。上図を見れば、この断層モデルによって算出した応答スペクトル（赤い領域）は、特に原発にとって致命的な短周期レベルにおいて、明らかに「加藤、他 (2004)」のスペクトルのみならず、Ss すらも上回っているものが相当程度ある。ちなみに、図で上回る程度がそれほどではないように見えるかもしれないが、この縦軸は対数表示であるので、わずかでも、相當に大きな超過となり、周期 0.1 秒から 0.4 秒程度で、ほぼ 50% 程度も Ss を上回ってしまっている。しかも、アスペリティの応力降下量が、被告日本原電の想定の 4 倍に達しうるとすれば、Ss を 6 倍程度上回るおそれもあるということになる。

このことは、もともと「加藤、他（2004）」が過小評価であったことを示すものである。したがって、Ss は、少なくともこの赤い領域を包絡するように定められなければならない。しかし、日本原電は、赤い領域の平均を示す青線が、加藤、他（2004）のスペクトルを下回っているとして、赤い領域が上回ってしまったことを無視した。平均的値で耐震設計をするなら、半数の地震動が、平均を上回ることになってしまうから（青線を上回る赤い領域）、原発の耐震設計でそのような考え方をすることは許されない。

そもそもなぜ震源を特定しない地震動を策定しなければならなかつたのか。震源を特定せず策定する地震動は、もともと、どこで地震が起こるか分からなから、地表に断層が出現しない地震の中の最大だとしているM6.8 の地震が周辺で起こったときの、最大の地震動を想定するためのものである。その目的からすれば、最低限赤い領域の最大の値を取らなければならず、さらにこの算出に用いた強震動予測レシピの誤差を考慮すれば、さらに大幅に大きな値をとることが必要である。

### （3）地震発生層を正しく評価すれば、さらに大きな値となる

日本原電のモデルの何より問題な点は、このモデルが地震発生層を 6 kmから 18 kmとしている点である。これを前述したように、せめて上限 5 kmから下限 37 kmもしくは 40 kmとしてしまえば、モデルは極めて大きくなってしまう。その場合、被告日本原電の手法を踏襲すれば、下限 37 kmとしたとしても断層幅は 37 km（傾斜角 60° の場合）もしくは 45 km（傾斜角 45° の場合）となるので、長さも同じとすると、面積は 1369 km<sup>2</sup>もしくは 2025 km<sup>2</sup>となり、その場合の地震モーメント、平均応力降下量、アスペリティの応力降下量、モーメントマグニチュードは、下記のエクセルの表のとおりとなる。

震源を特定せず策定する地震動				
断層面積S	地震モーメントMo	平均応力降下量	アスペリティの応力降下量	モーメントマグニチュードMw
1369	4.81003E+26	2.31337E+22	1.05153E+23	7.054765252
2925	1.50221E+27	2.31337E+22	1.05153E+23	7.384487674

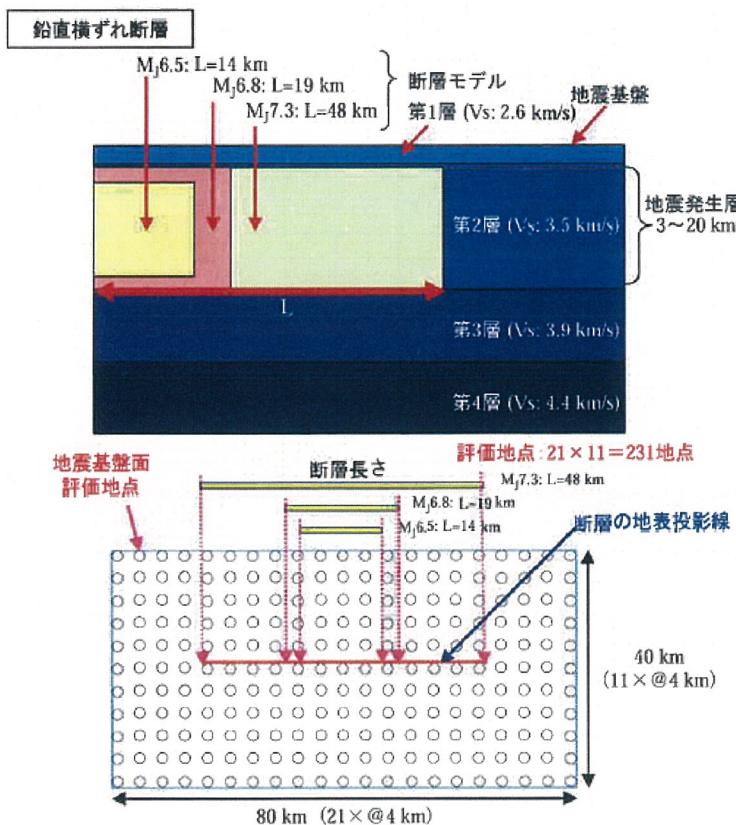
地震発生層が厚くなれば、地震の規模は極めて大きくなる。被告日本原電のモデルでは Mw は 6.4 だったが、上記の 45° のモデルでは、ほぼ 7.4 となっていて、地

震の規模は32倍となる。そうなれば、地震動も極めて大きくなることは明らかである。そのうえで、強震動予測レシピの誤差を考えれば、さらに大きな値となってしまう。

## 6 震源を特定せず策定する地震動についてのJNESによる断層モデルでの評価

### (1) JNESによって行われた断層モデルによる方法とその結果

JNESは、縦ずれ断層についてはMj6.8、横ずれ断層についてはMj7.3の地震を採用し、これについても断層モデルによる方法で、評価をした。横ずれ断層についての断層のモデルは次のとおりであった。



JNESは、M7.3の横ずれ断層による地震について、長さ48kmの断層を設定し、周辺211ヶ所で地震動評価を断層モデルによる方法で算出している。

その結果が次の図である。

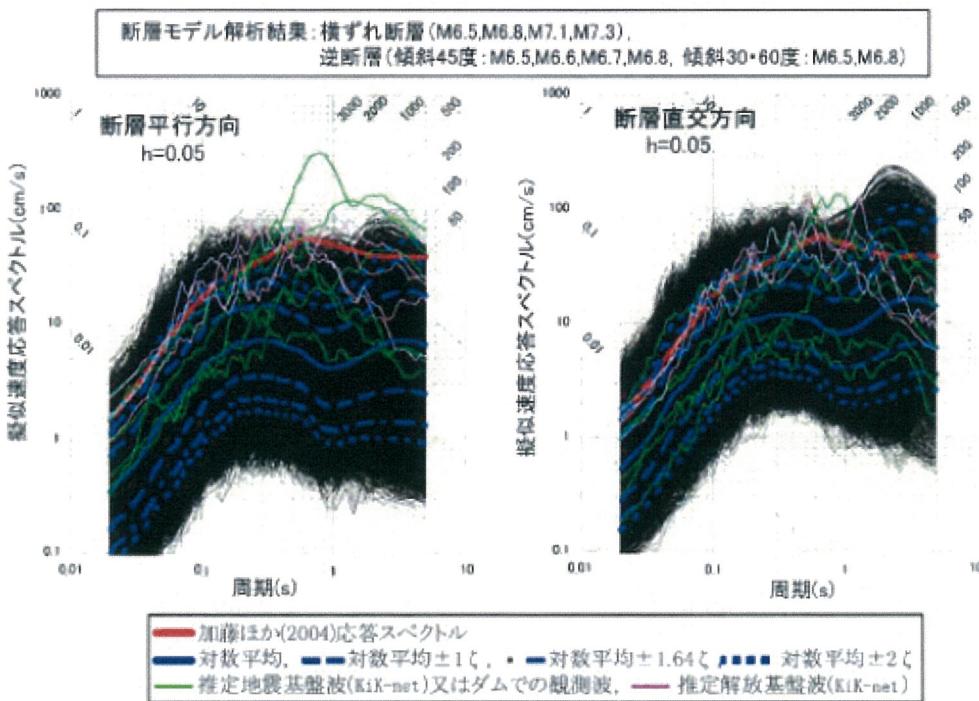


図8 断層最短距離20km以内の観測記録及び断層モデルによる応答スペクトル及び統計量

この図からして、JNES の行った作業の結果、「震源を特定せず策定する地震動」は、応答スペクトルで 5000 ガル程度にまで達している。

しかし、この JNES の作業の結果について、「加藤、他」の応答スペクトルを大きく上回ってしまったという結果について、JNES は、

その際、設定した地震動を超過する地震動の発生確率を JNES による超過確率別スペクトル（例えば目安値 10 の $-4$ 乗程度）と比較するとともに、超過する地震動を発生させている震源断層の条件を検討して地震動レベルの妥当性を判断する。ミニマムリクワイアメントとしての位置付けから、地震動を最大包絡する考え方を探らない。

とする。

JNES は、「震源を特定せず策定する地震動」が、全プラント共通に設定するものであるから、ミニマムリクワイアメント（最低限の要求）で足りるとされ、出された結果を包絡する線ではなくても良いとした。

その上で、

加藤ほか (2004) による応答スペクトルは、断層からの最短距離が 10km 以下の

応答スペクトルの対数平均 $+\zeta$ （信頼度 84%）程度、20 km以内の応答スペクトルの対数平均 $+1.64\zeta$ （信頼度 95%）程度に対応し、JNES による超過確率別スペクトルの 10 の $-4$ 乗から 10 の $-5$ 乗の範囲にある。

そして、結局、明言はしていないものの、「加藤、他」の応答スペクトルを支持するという結論となっている。

## (2) JNES の説明の欺瞞性

しかし、JNES の検討では、多数の小さな地震と合わせることによって、横ずれM 7.3 の地震の希薄化が行われている。

まず、指摘しておかなければならぬことは、この図が、マグニチュード 7.3 の横ずれ断層による地震の他に、M6.5、6.8、7.1 の横ずれ断層による地震や、M6.5、6.6、6.7、6.8 で、傾斜角も 30°、45°、60° の逆断層による地震も合わせた図であるということである。

そこで「(対数) 平均」と言っているものも、これらの全部の断層モデルを合わせた平均ということになる。このことは、少なくとも JNES が最も大きい地震を考えている M7.3 の地震での結果を薄めてしまうこととなる。

本来、この作業で、行わなければならないのは、M7.3 の横ずれ断層地震だけであり、仮にプラスするとしても、M6.8 の逆断層地震だけで良いはずである。どうして小さな規模の地震をこれだけ多数一緒にし、足し合わせて平均値を下げなければならないのか。その例の取り方も恣意的で、そうなら、もっともっと多数の、さらに小さな地震も合わせても良いこととなってしまう。実際には極めて多数発生する微小地震が②の「基本的に震源を特定できない地震」のほとんどであるから、その微小地震を合わせてしまえば、微小地震が平均的な地震となってしまい、平均像としては、体感できない地震動にしかなりようがないことになってしまう。さすがにそこまでは JNES もできなかつたが、このやり方は、あまりに恣意的に過ぎ、公正な評価とは到底認められない。

そして、JNES は、このような結果を出しながらも、「全プラントに共通」という理由で、「ミニマムリクワイアメント」だから、結論的に「加藤、他」の応答スペクトルで良いとしている。

しかし、問題は、JNES の結果を示している図に記載された 1 本 1 本の線が、実は、全て、ある評価地点の地震動を示しているものだということである。もし、「加藤、他」のスペクトルをはみ出した評価地点のものは、考慮の対象に入れずに排除するなら、要するに一群の評価地点はなかったこととするということにはかならない。それは、具体的には、断層の周辺に敷地があるとき、特に断層の直交方向の近くに評価地点（すなわち原発の敷地）があるときは、考慮の対象外とするということを意味する。しかし、もともと、敷地の直近、直下のどこに断層があるかわからないから、このような作業をしたはずである。横ずれ断層 M7.3 の断層が直近、直下に走行していることは考えず、離れたところに走行している場合だけを考慮するのであれば、震源を定めない地震として最も原発に危険性の高い地震を想定した作業の目的に反することとなる。

以下に述べるように、「ミニマムリクワイアメント」などという言い訳は、全く意味不明であり、「加藤、他」の応答スペクトル自体が、「最低限の要求」ではないものとして策定されたものなのである。

JNES は「全プラントに共通するものであるからミニマムリクワイアメントで良い」として、最大の値を取る必要がなく、平均的値で考えればよいとしていたが、そもそも、地震活動には、①事前に判明している地表の断層の、その地下に広がる震源断層面の活動に由来する地震と、②地表に現れない断層の活動に由来して起こる地震（基本的に震源を特定できない地震）や、③地震が起こるまで、そこに断層があるとは思われておらず、あるいは断層があるか否かで意見が分かれていって、事前に震源を特定することが困難な地震とがある。

このうち、①の地震については、活断層の位置を調査することで、どの場所で地震が起ころのか、ある程度特定することができるのに対し、②及び③の地震については、どのような場所で地震が起ころのかが、事前には分からぬということとなる。

この②及び③の地震が「震源を特定せず策定する地震動」であり、原発のように、万が一にも過酷事故を起こしてはならない施設について、耐震設計をするに当たつては、原発施設にもっとも大きい影響を与える場所、すなわち、施設の直近・直下で、事前に判明していない断層による地震が起こるものとして考慮する必要がある。

このような観点から、前記の JNES の作業は行われたはずである。にもかかわらず、

最低限の要求で良いとの理由で、この地震動を切り下げるなら、何のための「震源を特定せず策定する地震動」なのか。それでは、どこかの原発では、切り下された地震動以上の地震動に襲われる可能性を否定できない。

JNES の断層モデルを用いた方法によって算出された結果は、「加藤、他」の応答スペクトルを、さらに大きく3～4倍も上回るほどに達している。このことは、極めて重大なこととして、受け止める必要がある。要するに、「加藤、他」の応答スペクトルでは、全く過小であったということである。しかも、述べたように、採用したMjの値である6.8や7.3の値でも、安全側の数値とは到底言えないものである。基礎とされたデータは、1984年から2005年までのわずか20年ほどのデータでしかない。これほど少ないデータで、本来12～13万年、あるいは40万年間の最大規模の地震でなければならない、「基本的に震源を特定できない地震」や「明瞭な痕跡とみなすかどうか判読が難しく、意見が分かれている」地震（その中の最大規模地震）を導こうというのであるから、実に大胆不敵というほかない。

しかも、この「加藤、他」の応答スペクトルを大きく上回ってしまったという結果について、JNESは、

その際、設定した地震動を超過する地震動の発生確率をJNESによる超過確率別スペクトル（例えば目安値10の $-4$ 乗程度）と比較するとともに、超過する地震動を発生させている震源断層の条件を検討して地震動レベルの妥当性を判断する。ミニマムリクワイアメントとしての位置付けから、地震動を最大包絡する考え方を探らない。

※ JNESが検討した地震動は、全プラント共通に設定するものであるから、ミニマムリクワイアメント（最低限の要求）のものとする、とされている。とする。その上で、

加藤ほか（2004）による応答スペクトルは、断層からの最短距離が10km以内の応答スペクトルの対数平均 $+\zeta$ （信頼度84%）程度、20km以内の応答スペクトルの対数平均 $+1.64\zeta$ （信頼度95%）程度に対応し、JNESによる超過確率別スペクトルの10の $-4$ 乗から10の $-5$ 乗の範囲にある。

※  $\zeta$ （ゼータ）とは、対数平均（それぞれの値の対数をとった上で平均したもの）の標準偏差であり、対数をとらない、平均の場合の標準偏差 $\sigma$ に相

当する。

として、結局、明言はしていないものの、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを支持するという結論となっているようである。

まず、指摘しておかなければならぬことは、最短距離10km以内の地震は、10kmから20kmの範囲の地震より地震動レベルが大きくなるのは、当然であり、その最短距離10km以内の地震に10kmから20kmの範囲の地震を加えれば、全体として平均の地震動レベルは小さくなってしまう。より地震動の小さな10kmから20kmの地震まで加えて、全体として薄めてしまえば、結果として、対数平均も下がってしまう。そのような値を参考とすること自体、相当ではない。

また信頼度84%というのは、16%が、その値を超てしまうことを意味している。このような値では、到底安全性は確保できるはずがない。

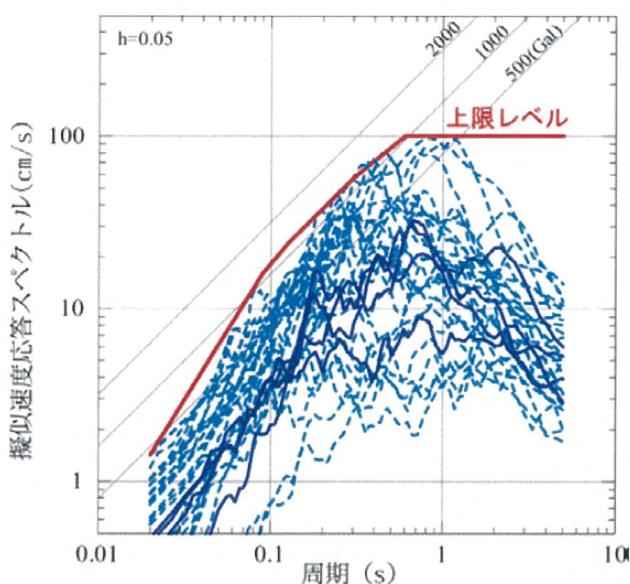
JNESは、全プラントに共通に設定するものだから、としてこれを正当化しようとしている。しかし、全プラントに共通に設定することが、なぜ84%の信頼度で良いということにつながるのか。そもそもJNESの断層モデルは、全プラントのどこでも起こりえるものだからとして設定したのではなかったのか。直下地震を想定することは、どこでもその程度の地震は起こりうるということを前提としていたのではなかったか。

全プラントに共通に設定するからとして、「最低限の要求」でよしとするのは、プラントごとに異なる値になるときに、全プラント共通の基準としては、最低限のレベルとならざるをえないということを意味する。それ以外に、全プラント共通だから最低限の要求となるという根拠を見出すことは不可能である。しかし、ここでJNESの行っているのは、決してプラントごとに異なる値を求めるという作業ではない。行っているのは、全プラントに共通の断層モデルによる手法での「震源を特定せず策定する地震動」の算出である。そこに、全プラント共通だから、最低限の要求で良いとする根拠は見いだせない。したがって、全プラントに共通に設定するということが、信頼度84%程度で良く、16%の事象が起ったとしても仕方ないとする理由となるという論理は、明らかに破綻した論理である。

もし、JNESの言うように、全プラントに共通であるから、最低限の要求を満たすものであれば良いと言うなら、個別のプラントでは、さらにより厳しい想定が必要とならなければならない。「震源を特定せず策定する地震動」(直下地震)は、まず

全プラントに共通の最低限のものを考え、さらにその上で、各プラントごとに、より厳しいものを考えることになるはずである。しかし、新指針は、そのように規定していないし、どのプラントでもそのような作業はしていない。すなわち、新指針は、「最低限の要求」ではなく、どのプラントでも、それさえ満たせば直下地震の想定として十分なものを考えている。だから、新指針は、共通に定めた応答スペクトルのほかに、個別に検討することを求めてはいない。

振り返ってみるならば、複数の地震動を包絡するように引かれた「加藤、他」の応答スペクトルは、そこまで考慮すれば、どのプラントでも、直下地震の想定として十分な共通の応答スペクトルだとされていたはずである。念のため、「加藤、他」の応答スペクトルを見れば、次のとおりである。



ここでは、「加藤、他」の応答スペクトルには、明確に「上限レベル」と記載されている。図を見ても、赤線は、まさしく全ての地震動を包絡している「上限レベル」であり、最低限の要求などというものではありえない。そして、新指針の「震源を特定せず策定する地震動」の規定の前提に、この「加藤、他」のスペクトルがあったことも明らかである。

平成 18 年指針制定当時はまだ「加藤、他」の応答スペクトルが不十分なものとは考えられていなかった。ところが、その後、この応答スペクトルの問題点が指摘され、そのため JNES が、新たな検討を行ったところ、断層モデルによる方法で、「加藤、他」の応答スペクトルより、大幅に大きな値が出てしまったのである。この断

層モデルによる方法での、「加藤、他」の応答スペクトルを大幅に超える値が算出される前に、「震源を特定せず策定する地震動」として採用された「加藤、他」の応答スペクトルが、最低限の要求を満たすだけのものなどと考えられていなかつたことは、明らかである。「震源を特定せず策定する地震動」が「最低限の要求」でしかないなどという言い分は、このとんでもなく大幅な「加藤、他」のスペクトル超過という事態を受けて、JNES が初めて言いだしたことでしかない。

そもそも何で、「加藤、他」の応答スペクトルでなければいけないのか。「加藤、他」の応答スペクトルが不十分なものであることは JNES も認めざるをえなくなっている。もし「震源を特定せず策定する地震動」とは全プラント共通の「最低限の要求」だとするなら、不十分な「加藤、他」の応答スペクトルとは無関係に策定するのが当然の理であるはずである。しかし、JNES の行っていることは、単に不十分な「加藤、他」の応答スペクトルでも構わないと言っているだけでしかない。これがなんで「震源を特定せず策定する地震動」として妥当なのかは、一切、論じられていない。積極的に、「加藤、他」の応答スペクトルこそが、「震源を特定せず策定する地震動」としてとるべきものだとする根拠はどこにもないのである。なぜ「加藤、他」の応答スペクトルが「震源を特定せず策定する地震動」なのか。JNES が、根拠が崩れてしまったこの応答スペクトルに固執する理由は何か。

JNES のこの点についての論理は、完全に破綻していると言わざるをえないである。念のため、さらに JNES が言及する、超過確率別スペクトルについて見るなら、この超過確率別スペクトルなどという確率的手法を探るには、地震動についての知見は余りに少なすぎ、この超過確率自体が、誤差の評定をできないほどの、極めて大きな誤差を含むものとなっており、この方法論で、原発の安全性を議論すること自体、誤りである。

## 7 規制委員会の考え方

平成 25 年 7 月 8 日、新規制基準である「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」及び「実用発電用原子炉及びその付属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」が施行された。このうち、審査基準を具体的に規定するのは、後者の「解釈」であるが、この「解釈」は「震源を特定せず策定する地震動」について別記 2 「第 4 条（地震による損傷） 5 三にお

いて、次のとおり規定する。

「震源を特定せず策定する地震動」は、震源と活断層を関連づけることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に、各種の不確かさを考慮して敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定して策定すること。

この規定は、「震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に・・・応答スペクトルを設定して策定する」とするものであるが、決して、収集した観測記録そのものを、そのまま「震源を特定せず策定する地震動」とすると規定するわけではなく、「これらを基に・・・応答スペクトルを設定して策定する」としているのみである。そこで問題は、観測記録を基にどのように策定するかであるが、この規則の解釈は、そこまでは規定していない。

次に、この規則及び規則の解釈のもとの内規である、基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイドの総則の中の1.2用語の定義には、下記のとおり規定されている。

(6) 「震源を特定せず策定する地震動」とは、敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な調査を実施しても、なお敷地近傍において発生する可能性のある内陸地殻内の地震の全てを事前に評価しうるとは言い切れないことから、敷地近傍における詳細な調査の結果にかかわらず、全ての敷地（対象サイト）において共通的に考慮すべき地震動であると意味付けた地震動をいう。

すなわち、「震源を特定せず策定する地震動」は、敷地近傍においてどんなに詳細に調査しても、発生する可能性のある内陸地殻内地震の全てが事前に評価しうるとは言い切れないために策定するものとされている。

また、4.震源を特定せず策定する地震動の項には

#### 4.1 策定方針

(1) 「震源を特定せず策定する地震動」は、震源と活断層を関連づけることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に各種の不確かさを考慮して敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定して策定されている必要がある。

とされ、さらに

## 4.2 地震動評価

### 4.2.1 検討対象地震の選定と震源近傍の観測記録の収集

- (1) 震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内の地震を検討対象地震として適切に選定し、それらの地震時に得られた震源近傍における観測記録を適切かつ十分に収集していることを確認する。
- (2) 検討対象地震の選定においては、地震規模のスケーリング（スケーリング則が不連続となる地震規模）の観点から、「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」を適切に選定していることを確認する。
- (3) また、検討対象地震の選定の際には、「事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域において発生し、地表付近に一部の痕跡が確認された地震」についても検討を加え、必要に応じて選定していることを確認する。

とされたうえで、その解説では

#### 〔解説〕

- (1) 「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」は、断層破壊領域が地震発生層の内部に留まり、国内においてどこでも発生すると考えられる地震で、震源の位置も規模もわからない地震として地震学的検討から全国共通に考慮すべき地震（震源の位置も規模も推定できない地震（Mw6.5 未満の地震））であり、震源近傍において強震動が観測された地震を対象とする。
- (2) 「事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域において発生し、地表付近に一部の痕跡が確認された地震」は、震源断層がほぼ地震発生層の厚さ全体に広がっているものの、地表地震断層としてその全容を表すまでには至っていない地震（震源の規模が推定できない地震（Mw6.5 以上の地震））であり、孤立した長さの短い活断層による地震が相当する。なお、活断層や地表地震断層の出現要因の可能性として、地域によって活断層の成熟度が異なること、上部に軟岩や火山岩、堆積層が厚く分布する場合や地質体の違い等の地域差があることが考えられる。このことを踏まえ、観測記録収集対象の地震としては、以下の地震を個別に検討する必要がある。
- ① 孤立した長さの短い活断層による地震
  - ② 活断層の密度が少なく活動度が低いと考えられる地域で発生した地震
  - ③ 上部に軟岩や火山岩、堆積層が厚く分布する地域で発生した地震

とした上で

その収集対象となる地震の例として、次の 16 の地震を挙げる。

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

しかし、まず「観測記録」は、実際に観測された記録であるが、観測するための機器である強震計が、全ての地震動をカバーできるほど配置されているわけではない。したがって、観測記録だけでは、全く不十分なものでしかない。後述する2004年留萌支庁南部の地震では、断層面の延長上に観測点があったために、極めて大きな地震動を観測した。しかし、このようなことは極めて稀であり、多くは、断層面からある程度離れた地点での観測記録でしかない。だからこそ、JNESの前記報告書の「要旨」で

加藤ほか（2004）の課題としては、調査した震源を事前に特定できるとした地震の周辺活断層との関連付けの根拠が明確でないこと、対象とした地震及び震源近傍の地震動観測記録が少なく、地震動の上限レベルの規定の根拠が明確ではないこと等が挙げられた。

しかも、新基準として策定された「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイ

ド」(甲D 17)では、この収集対象となる内陸地殻内の地震の例として挙げるものを見れば、上記のとおり1997年3月の鹿児島県北西部地震から、2013年栃木県北部地震までの16地震が取り上げられているだけでしかない。

わずか17年間の地震の観測記録だけで、「震源を特定せず策定する地震動」を決めようとしているのである。これは1995年の兵庫県南部地震以降に、強震計が数多く設置されるようになったからのことであるが、要するに観測記録はごくわずかしかないので、その観測記録だけで、「震源を特定せず策定する地震動」を決めようと言うのである。このようなわずかな記録で、たとえば過去1000年、1万年、10万年の間の「震源を特定せず策定する地震動」の参考となる地震動の最大値を知ることなど不可能である。

確かに、現時点で、発生した地震の詳細な情報の得られている、「震源を特定せず策定する地震動」の基礎となる地震は、わずかしかない。問題は、そこから、どうやって、真に上限となる「震源を特定せず策定する地震動」を策定するかである。この点について「解釈」も「審査ガイド」も「収集された観測記録を基に」としているだけであるから、この収集された観測記録を「基に」どのようにして、「震源を特定せず策定する地震動」を策定するかが問題となるのである。

間違っても、収集された観測点での地震動自体（あるいはその地点での地表近くでの地震動増幅を取り除いた「はぎとり波」自体）を「震源を特定せず策定する地震動」としてはならない。そこで、やはりJNESの行った作業や、後述する留萌支庁南部地震から導かれるMw6.5未満の地震での最大地震動を検討することにならざるをえないのである。

ところで、上記のように、規制委員会は、「震源を特定せず策定する地震動」を2つに分け、1つを

(1) 「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」は、断層破壊領域が地震発生層の内部に留まり、国内においてどこでも発生すると考えられる地震で、震源の位置も規模もわからない地震として地震学的検討から全国共通に考慮すべき地震（震源の位置も

規模も推定できない地震（Mw6.5未満の地震））であり、震源近傍において強震動が観測された地震を対象とする。

とし、もう1つを

(2) 「事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域において発生し、地表付近に一部の痕跡が確認された地震」は、震源断層がほぼ地震発生層の厚さ全体に広がっているものの、地表地震断層としてその全容を表すまでには至っていない地震（震源の規模が推定できない地震（Mw6.5 以上の地震））であり、孤立した長さの短い活断層による地震が相当する。なお、活断層や地表地震断層の出現要因の可能性として、地域によって活断層の成熟度が異なること、上部に軟岩や火山岩、堆積層が厚く分布する場合や地質体の違い等の地域差があることが考えられる。このことを踏まえ、観測記録収集対象の地震としては、以下の地震を個別に検討する必要がある。

- ① 孤立した長さの短い活断層による地震
- ② 活断層の密度が少なく活動度が低いと考えられる地域で発生した地震
- ③ 上部に軟岩や火山岩、堆積層が厚く分布する地域で発生した地震

とする。

これは、JNES の前記したグループ 1 の地震、「基本的に震源を特定できない地震」と、グループ 2 の地震「明瞭な痕跡とみなすかどうか判読が難しく、意見が分かれている」地震にほぼ相当し、グループ 2 については、それをさらに詳細にしたと言えるものである。

ちなみに、上記の②は、鳥取県西部地震を想定しているものであり、③は岩手・宮城内陸地震を想定しているが、島崎邦彦規制委員会委員によれば、②に該当とされる島根県西部地震は、活動性が小さい地震ではなく、1000 年間に 1 度の M7 の地震を発生させる日本でもっとも活動度の高い活断層に対応するとされている（「科学」2013 年 4 月号掲載論文「地域と活断層：その関係を捉え直す」p450）。したがって、この鳥取県西部地震は、単に「明瞭な痕跡とみなすかどうか判読が難しく、意見が分かれている」地震として分類すべきものであり、その点からすると規制委員会の分類よりは JNES の分類の方が、正しい分類と言うことができる。

この 2 つのグループの地震を参照した「震源を特定せず策定する地震動」は、2 つ目のグループについては、鳥取県西部地震を取り上げた JNES の作業によるものを採用すべきであり、一方、「地表地震断層が出現しない断層」（基本的に震源を特定できない断層）については、後述の留萌支庁南部地震から、導かれる地震動が、重要となる。

## 8 「震源を特定せず策定する地震動」にも不確かさの考慮が必要

強震動予測レシピには大きな不確かさが、各 step で存在することは、すでに詳細に論じた。上記の JNES の作業は、強震動予測レシピ（入倉レシピ）を用いてなされたものであり、（一部 $\pm \sigma$ 程度の考慮はされているが）基本的には平均像によるものである。たとえばアスペリティの面積比にも不確かさが存在することも考慮する必要がある。また、グリーン関数の不確かさも考慮しなければならない。

いくつかアスペリティがあるとき、直近のアスペリティの応力降下量だけは、アスペリティ全体の平均応力降下量よりさらに大幅に大きくなる可能性もある。中越沖地震の際にも、3つあるとされたアスペリティの応力降下量は、同じではなかった。

また平成19年能登半島地震では、下記のとおり、2つのアスペリティの応力降下量は大きく食い違っていた。

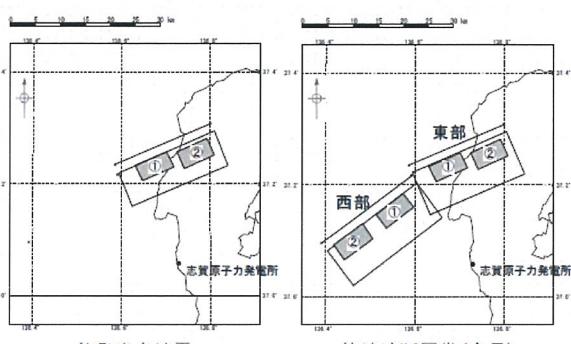
設定した断層パラメータ

2. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動  
2-6. 検討用地震の地震動評価

項目	【参考】能登半島地震	笠波冲断層帯(全長)		設定方法	項目	【参考】能登半島地震	笠波冲断層帯(全長)		設定方法		
		東部	西部				東部	西部			
基準点北緯	N (°)	37.2207	37.2207	37.0838	背景領域 アスペリティ パラメータ	面積	S <sub>b</sub> (km <sup>2</sup> )	286.3	356.4	384.1	S <sub>b</sub> =S <sub>i</sub>
基準点東経	E (°)	136.5931	136.5931	136.4030		地震モーメント	M <sub>0b</sub> (N·m)	8.97E+18	2.97E+19	3.20E+19	M <sub>0b</sub> =(M <sub>0i</sub> -ΣM <sub>0ai</sub> )×S <sub>b</sub> /S
走向	θ (°)	66.7	66.7	52.7		すべり量	D <sub>b</sub> (cm)	94.7	251.8	251.8	D <sub>b</sub> =M <sub>0b</sub> /(μ×S <sub>b</sub> )
傾斜角	δ (°)	60	60	60		実効応力	△σ <sub>b</sub> (MPa)	4.3	4.3	4.3	能登半島地震シミュレーション解析結果
すべり角	λ (°)	132	132	132		ラバライム	T <sub>rb</sub> (s)	1.2	1.2	1.2	同上
長さ	L (km)	20.6	20.6	22.2		高周波遮断特性	f <sub>max</sub> (Hz)	8.3	8.3	8.3	香川ほか (2003)
幅	W (km)	13.9	17.3	17.3		パラメータ	剛性率	μ (N/m <sup>2</sup> )	3.31E+10	3.31E+10	上部地殻の剛性率
ラメーダ	上端深さ	h (km)	3.0	3.0		S波速度	V <sub>s</sub> (km/s)	3.5	3.5	3.5	上部地殻のS波速度
セグメント面積	S <sub>i</sub> (km <sup>2</sup> )	286.3	356.4	384.1		破壊伝播速度	V <sub>r</sub> (km/s)	2.5	2.5	2.5	V <sub>r</sub> =0.72×V <sub>s</sub> [Geller (1976)]
断層面積	S (km <sup>2</sup> )	286.3		740.4		破壊伝播様式	放射状	放射状	放射状	能登半島地震シミュレーション解析結果	
地震モーメント	M <sub>0</sub> (N·m)	1.36E+19									
平均すべり量	D (cm)	143.6		298.4							
平均応力降下量	△σ (MPa)	6.84		8.83							
短周期ペル	A (N·m·s <sup>2</sup> )	1.38E+19		2.41E+19							
微視的 アスペリティ パラメータ	面積	S <sub>a1</sub> (km <sup>2</sup> )	47.7	47.5	47.3	能登半島地震シミュレーション解析結果					
	地震モーメント	M <sub>0a1</sub> (N·m)	2.72E+18	3.35E+18	3.34E+18	M <sub>0a1</sub> =μ×D <sub>a1</sub> ×S <sub>a1</sub>					
	すべり量	D <sub>a1</sub> (cm)	172.3	213.4	213.4	D <sub>a1</sub> ≈C <sub>a1</sub>					
	全すべり量	D <sub>a1t</sub> (cm)	267.0	465.3	465.3	D <sub>a1t</sub> =D <sub>a1</sub> +D <sub>b</sub>					
	応力降下量	△σ <sub>a1</sub> (MPa)	20.0	24.8	24.8	△σ <sub>a1</sub> ≈C <sub>a1</sub>					
	ラバライム	T <sub>ra1</sub> (s)	0.6	0.6	0.6	能登半島地震シミュレーション解析結果					
	短周期ペル	A <sub>a1</sub> (N·m·s <sup>2</sup> )	1.20E+19	1.49E+19	1.49E+19	A=(ΣA <sub>a1</sub> <sup>2</sup> ) <sup>1/2</sup>					
	面積	S <sub>a2</sub> (km <sup>2</sup> )	47.7	47.5	47.3	能登半島地震シミュレーション解析結果					
	地震モーメント	M <sub>0a2</sub> (N·m)	1.91E+18	2.36E+18	2.34E+18	M <sub>0a2</sub> =μ×D <sub>a2</sub> ×S <sub>a2</sub>					
	すべり量	D <sub>a2</sub> (cm)	121.0	149.9	149.9	D <sub>a2</sub> ≈C <sub>a2</sub>					
アスペリティ パラメータ ②	全すべり量	D <sub>a2t</sub> (cm)	215.7	401.7	401.7	D <sub>a2t</sub> =D <sub>a2</sub> +D <sub>b</sub>					
	応力降下量	△σ <sub>a2</sub> (MPa)	10.0	12.4	12.4	△σ <sub>a2</sub> ≈C <sub>a2</sub>					
	ラバライム	T <sub>ra2</sub> (s)	0.6	0.6	0.6	能登半島地震シミュレーション解析結果					
アスペリティ パラメータ ②	短周期ペル	A <sub>a2</sub> (N·m·s <sup>2</sup> )	6.73E+18	8.34E+18	8.34E+18	A=(ΣA <sub>a2</sub> <sup>2</sup> ) <sup>1/2</sup>					

断層パラメータは平成19年能登半島地震のシミュレーション解析結果を反映して設定

(注)  
断層モデルは、能登半島地震と同様アスペリティ部分において、強震動を発生させるすべり量(地震モーメント)の他に、実効応力が小さく短周期地震動への寄与が少ない背景領域のすべり量(地震モーメント)が付加的に生じるモデルを設定。



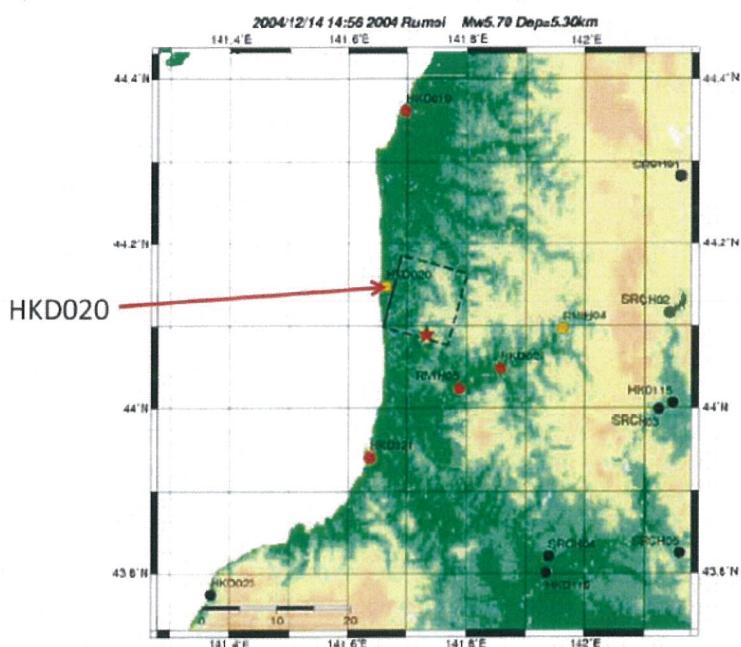
志賀原子力発電所「新耐震指針に照らした耐震安全性評価（基準地震動 Ss の策定について）平成 21 年

1月 15 日 北陸電力株式会社]

そうすると、加速度応答スペクトルは、さらに大きくなってしまう。しかし、そのほかにもアスペリティの面積比を2分の1とすれば、アスペリティの応力降下量は2倍となり、さらにグリーン関数の不確かさを2倍とすれば、もっと相当に大きな加速度応答スペクトルとなる可能性があるのである。

## 9 2004年留萌支庁南部の地震

### (1) 2004年留萌支庁南部地震の概要

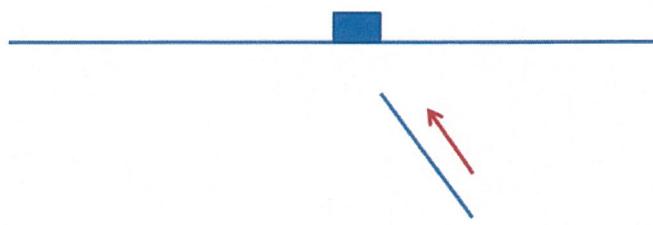


「震源を特定せず策定する地震動について」原子力規制委員会平成25年3月25日

2004年留萌支庁南部地震は、規模も Mw5.7 (Mj6.1) という比較的小規模の地震でありながら、断層面の延長上に極く近い観測点 (HKD020) で、1000ガル超という地震動を観測した（「震源を特定せず策定する地震動 計算業務報告書」、平成23年3月（財）地域地盤環境研究所）

なぜこのような大きな地震動を生じたかについては、破壊伝播効果（下図のように、破壊伝播方向に観測点があるとき、破壊伝播の方向と地震動の進行方向が同じために地震動が重なって增幅する効果。NFRD効果ともいう。）によるものとされている。実際、上の地図を見ても、断層面の延長に極めて近くに観測点がある。赤丸と黄丸は、観測点を表しているが、観測点の配置の密度を見れば、このような地表

面にある断層の極く近くに観測点があることが極めてまれなことであることが一目瞭然である。



## (2) 留萌支庁南部地震の地震動

HKD020 観測点での応答スペクトルは、次のとおりであった（上記計算業務報告書）。

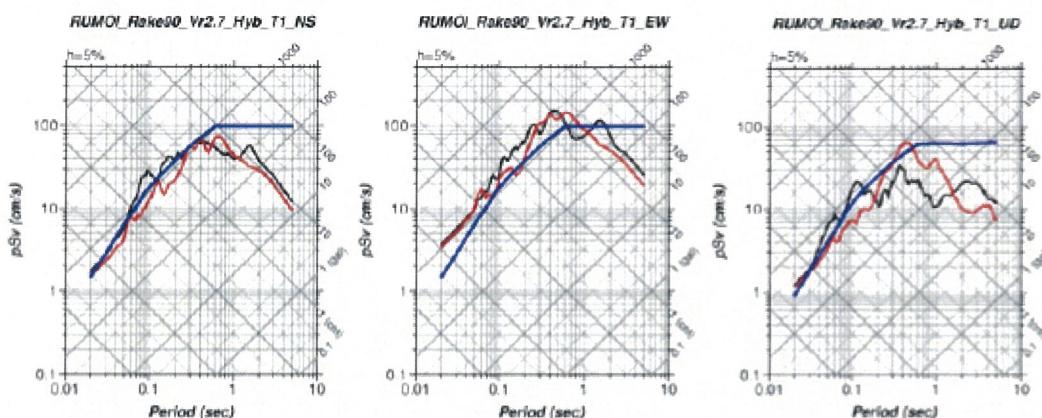


図 2.2-3(2) HKD020 におけるハイブリッド波形（赤）と観測波形（黒）による疑似速度応答スペクトルの比較（青：加藤スペクトル）

左：NS、中：EW、右：UD

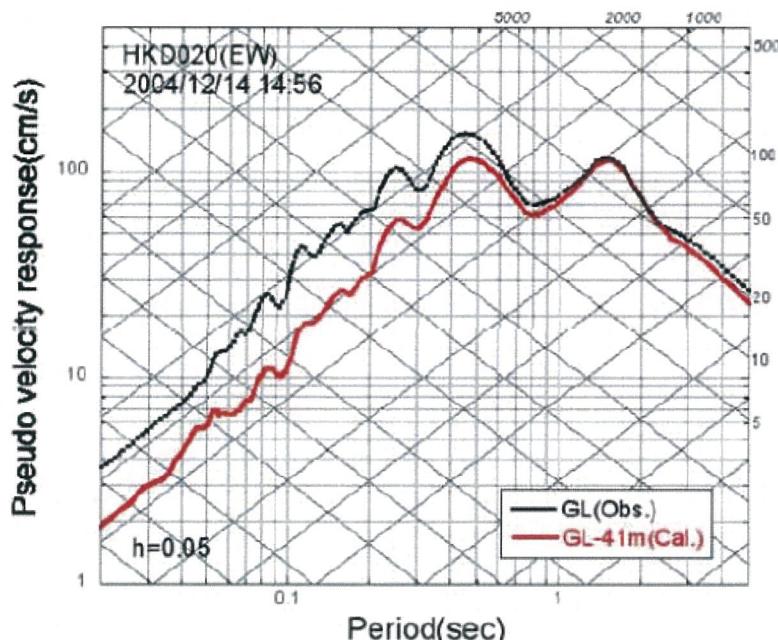
左下から右上にひかれた直線が、加速度応答スペクトルの目盛であり、青線が加藤他（2004）の応答スペクトルである。加藤他（2004）の応答スペクトルは、周期 0.1 秒から 0.5 秒の短周期で、1000 ガルを少し超える程度となっているが、特に中央の東西成分の図で、黒線の観測波形は、大幅に加藤他（2004）のスペクトルを上回っている。

わずか Mw5.7 の地震で、とりわけ原発にとって厳しい、周期 0.1 秒から 0.5 秒の短周期で、加藤他（2004）の加速度応答スペクトルの 2 倍に及ぶ地震動を実際に観

測したのである。

### (3) 地盤による地震動の増幅

この強い地震動の原因について、佐藤（2013）は、特に地表から13mまでは岩盤は亀裂が多く、岩盤が6mまでの地盤が脆いとし、そのため、地震動が増幅するとして、41mまでの地層を除去したときのはぎ取り波が次のようになるとした。

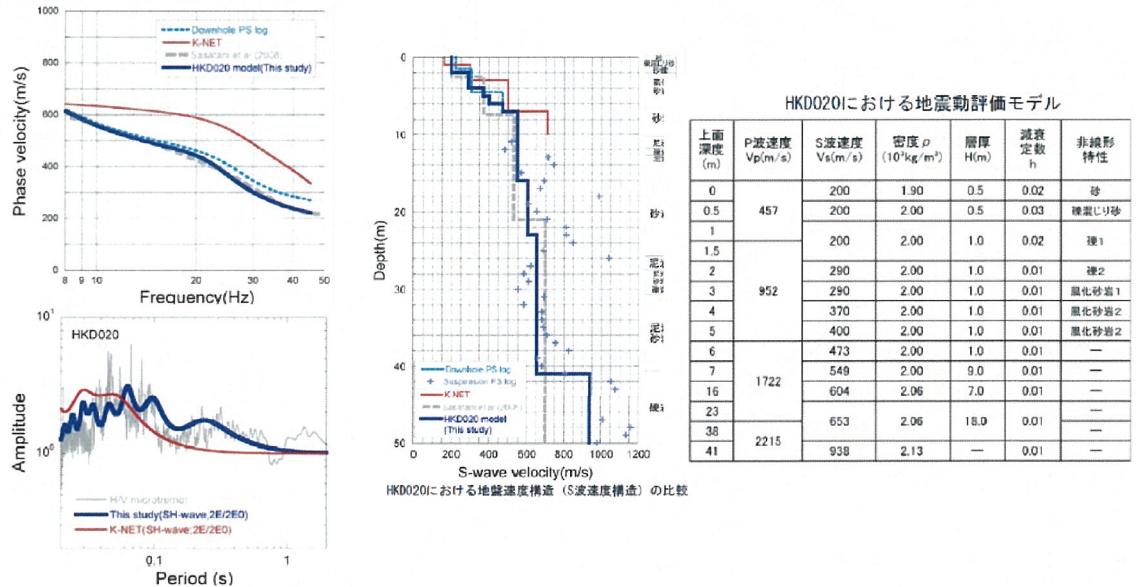


高浜発電所・大飯発電所「震源を特定せず策定する地震動について」平成25年12月25日関西電力株式会社

この赤線が、はぎ取り波である。地震動は585ガルであり、応答加速度（右下から左上に伸びる斜線）でみると、周期0.2秒から0.5秒という原発にとって危険な短周期で、一部1500ガルを超えるほどに達しており、おおむね1300ガル以上となっている。この応答加速度は、加藤他（2004）の応答スペクトルが1000ガル超程度であることを考えると、相當に大きな値である。

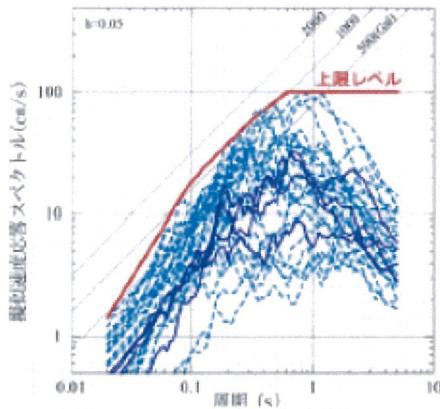
ちなみに、地表深さ6mまでの地盤が弱いとする図は次のとおりである。

- ダウンホール法によるPS検層結果のVsが500m/s以下の深さ6mまでのS波速度を、笹谷ほか(2008)による位相速度を説明できるように若干修正し、HKD020の地盤モデルを作成した。
- HKD020の地盤モデルによるSH波の理論増幅特性の卓越周期は、微動H/Vスペクトルの卓越周期と周期0.02秒程度のごく短周期までよく対応。K-NET地盤情報によるSH波の理論増幅特性は、微動H/Vスペクトルの卓越を説明できない。
- 以上から、本研究によるHKD020の地盤モデルは、より妥当なモデルであると結論付けられる。



川内・玄海原発「震源を特定せず策定する地震動について」平成25年11月8日 九州電力株式会社

しかも、この地震動が、わずか Mw5.7 の地震でもたらされたことが大きな問題である。上のはぎ取り波に原子炉施設が耐えられたとしても、それはわずか Mw5.7 の地震に耐えられるというだけでしかない。



震源を事前に特定できない地震による震源近傍の観測記録の水平動応答スペクトルとその上限レベル

加藤、他(2004)

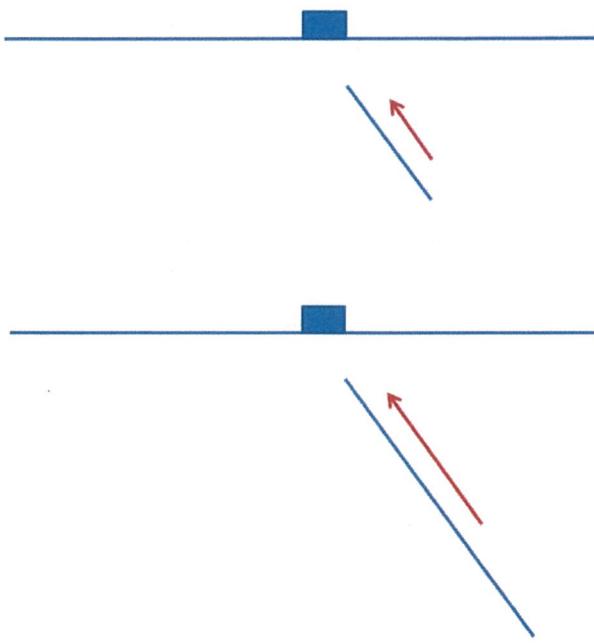
前記の「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の「4.2 地震動評価」「4.2.1 震源近傍の観測記録の収集と検討対象地震の選定」の中の「解説」では、「地表地震断層が出現しない可能性のある地震」を前記のように次のように説明する。

#### 〔解説〕

(1) 「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」は、断層破壊領域が地震発生層の内部に留まり、国内においてどこでも発生すると考えられる地震であり、震源の位置も規模もわからない地震として地震学的検討から全国共通に考慮すべき地震（震源の位置も規模も推定できない地震（Mw6.5未満の地震））である。

このように新基準は、「震源の位置も規模も推定できない地震」を Mw6.5 未満の地震としているが、Mw6.5 の地震は、Mw5.7 の地震の 16 倍のエネルギーを有する地震である。

地震の規模が大きくなれば、地震波は、さらにたくさん重なる。そして、破壊伝播効果は、より大きくなることは明らかである。



そうであれば、問題は、このMw6.5未満の地震が、破壊伝播効果(NFRD効果)のもたらされるような位置で発生したときに、最大限どこまでの地震動が敷地を襲うかである。

このような地震はまさしく「直下地震」である。直下地震は、直下ではない地震に比べ、破壊伝播効果(NFRD効果)により、格段に大きな地震動を敷地にもたらす。したがって、「震源を特定せず策定する地震動」の中の、特に「地表地震断層が発生しない可能性のある地震」の想定では、直下地震発生のときの地震動だけを問題にすれば足り、他の想定を考える必要はない。

Mw5.7の地震で。これほど大きな地震動をもたらしたのであれば、Mw6.5未満の地震では最大どこまで大きな地震動が来るのかは、誰でもただちに抱く、極めて素朴な疑問である。この素朴な疑問に、答えるようなものでなければ、本件原発の地震動想定、耐震設計は成り立つようがない。

そこで、まずMw5.7の地震とMw6.5の地震を入倉レシピ(強震動予測レシピ)の計算式を用い、エクセルで計算すると次のとおりである。

断層面積S	地震モーメントMo	平均応力降下量	アスペリティの応力降下量	モーメントマグニチュードMw
60.483679	4.46684E+24	2.31337E+22	1.05153E+23	5.7
381.62621	7.07946E+25	2.31337E+22	1.05153E+23	6.5

このように、Mw5.7の地震の断層面積は、60.5km<sup>2</sup>、Mw6.5の地震の断層面積は、381.6km<sup>2</sup>となり、これを平方根すれば、1辺の長さが出る。それは、Mw5.7の地震の

断層面は 7.78 km、Mw6.5 の地震の断層面は 19.5 km で、Mw5.7 の地震の断層面の 1 辺の長さの 2.5 倍となっている。そうすると、地震波の重なりはおおよそ 2.5 倍とみるのが素直な見方であり、地震動は 2.5 倍余分に増幅すると、とりあえずは見なければならない。もちろん、震源断層面は、幅だけではなく長さも 2.5 倍となるから、事はそれほどシンプルではないが、その程度には増幅は増えると、とりあえずは見るべきである。

なお、地震動は主として、固着した領域であるアスペリティで発生する地震動の大きさで決まってくる。アスペリティの固着が強く、そこに歪みがたくさんたまつていれば、アスペリティ部分がはがれて破壊されたときに大きな地震動を発生する。そのため、アスペリティの歪みの解放量、すなわち応力降下量が大きくなれば地震動は大きくなる。また、上図のように、アスペリティの面積が大きければ、やはり重なる地震波が増えるから、破壊伝播効果 (NFRD 効果) は大きくなる。したがって、アスペリティの応力降下量や面積が平均的なものより大きければ、その分破壊伝搬効果 (NFRD 効果) も大きくなる。このことから、アスペリティの応力降下量や面積についての不確かさが、直下地震での地震動の大きさを想定する際には、必ず問題となる。

#### (4) 釈明を求める事項

- ア 被告らは、Mw6.5 未満の地震が、破壊伝播効果 (NFRD 効果) のもたらされるような位置で発生したときに、敷地の地震動は、最大限どこまでとなると考えているか。
- イ 被告らは、破壊伝播効果 (NFRD 効果) に加え、さらに、アスペリティの応力降下量の不確かさ、アスペリティ面積の不確かさを考慮したとき、敷地の地震動は、最大どこまでとなると考えているか。