

平成26年（ネ）第126号

大飯原発3，4号機運転差止請求控訴事件

一審原告 松田正 外186名

一審被告 関西電力株式会社

控訴審第1準備書面

平成27年1月26日

名古屋高等裁判所金沢支部 御中

一審原告ら代理人弁護士 佐藤辰弥

同上 笠原一浩

ほか

はじめに

原子力発電所の耐震安全性は、基準地震動の適切な策定にかかっているところ、過去10年間で5回も基準地震動を超える地震動が原発を襲ったことからすれば、これまでの地震動想定手法には根本的な欠陥があり、著しい過小評価を招いている。

その根本的な欠陥の最大の理由は、基準地震動の策定が、既往地震の平均像を基礎として行われてきたことにある。

そして、これは新規制基準でも全く是正されていない。

想定を超える地震動が原発を襲った場合には、安全上重要な設備も同時に想定を超える地震動に襲われるのであるから、炉心溶融などの過酷事故を防止できな

い。

本書面では、原審における一審原告第14準備書面に最新の知見を加えた上で、原発の地震動想定手法の誤りについての総論を述べるものであり、本件原発の固有の問題については、一審被告の主張を踏まえて追って述べることとする。

なお、初出の専門用語については、できる限り平易に説明することを試みたが、都度説明を行うには限界もある。後に詳細に説明している場合もあるので、ご容赦いただきたい。

目次

第1章 原発の耐震設計（前提）	8
第1 原発の耐震設計の流れ	8
1 原発の基準地震動について	8
(1) 基準地震動と耐震設計審査指針	8
(2) 旧耐震指針における基準地震動(S ₁ とS ₂)	8
(3) 新耐震指針における基準地震動(S _s)	9
2 原発の耐震設計の全体像	10
3 基準地震動S _s 策定の全体像	11
第2 基準地震動S _s の例	14
第3 前提となる事実	17
1 耐震設計の基礎	18
(1) 地震と地震動	18
(2) 震源断層面, アスペリティ (強震動生成域)	18
(3) 地震(動)の観測	20
(4) 地震の大きさ	20
(5) 地震動の大きさ	21
(6) 重力(の)加速度	22
(7) 加速度と力の関係	22
(8) 地震動の加速度	23
(9) 地震動の例	24
(10) 小括	26
2 地震動の性質	26
(1) 振動の基本的な性質	26
(2) 地震動の諸性質	27
(3) 周期特性とスペクトル	28
3 地震動の破壊力	30

(1) 地震動と建築	30
(2) 固有周期	31
(3) 共振現象	32
(4) 実際の地震動と建物の共振	32
(5) 応答スペクトル	33
(6) 地震動と応答スペクトル	35
(7) 原発の機器・配管の固有周期は0.02秒～0.5秒程度の短周期に集中して いること	36
(8) 耐震設計	39
(9) より詳細な耐震設計	40
(10) 短周期レベルの地震動と応力降下量	40
(11) 物が壊れれば，固有周期が変化すること	41
第2章 原発の耐震設計（各論）	42
第1 「不確かさの考慮」が原発の耐震設計では必要となること _____	42
1 不確かさを考慮しなければならない理由	42
(1) 地震の科学には限界があること	42
(2) 地震学の現状	44
(3) 不確かさを安全側に十分に大きく考慮することが必須である	46
2 新耐震指針(平成18年指針)における不確かさの考慮の要求	47
3 新規制基準における不確かさの考慮の定め	49
第2 応答スペクトルに基づく手法について _____	50
1 応答スペクトルに基づく手法とは	50
(1) マグニチュードと震源距離の想定	50
(2) 応答スペクトルに基づく手法の詳細	52
(3) 応答スペクトルに基づく手法の種類	54
2 応答スペクトルに基づく手法の問題	55
(1) 地震規模の想定には，莫大な誤差が伴う	55

(2) 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 るもの.....	56
(3) 応答スペクトルに基づく手法の誤差（平均像からのかい離の程度）	57
(4) 観測値のバラツキの程度	59
3 小括.....	61
第3 断層モデルを用いた手法について.....	63
1 断層モデルを用いた手法とは	63
2 グリーン関数の誤差（不確かさ）が考慮されていない.....	64
3 強震動予測レシピについて	66
(1) 強震動予測レシピ	66
STEP 1 断層破壊面積	67
STEP 2 地震モーメント	69
STEP 3 平均応力降下量	75
STEP 4 アスペリティの総面積.....	75
STEP 5 アスペリティの応力降下量	79
STEP 6 アスペリティの個数と配置	80
STEP 7 アスペリティの平均すべり量比	80
STEP 8 アスペリティの実効応力と背景領域の実効応力	81
STEP 9 すべり速度時間関数の設定	81
(2) 地震調査委員会の強震動予測レシピ	82
4 スケーリング則は莫大な誤差を必ず伴う	87
(1) スケーリング則について	87
(2) スケーリング則には必然的に莫大な誤差が含まれる	87
5 平成19年能登半島地震の概要（平均を超えた例）	88
(1) 平成19年能登半島地震の各種パラメータ	88
(2) 平成19年能登半島地震のパラメータと入倉レシピの比較.....	92
第4 「震源を特定せず策定する地震動」について.....	93

1 「震源を特定せず策定する地震動」とは.....	93
2 電力会社がこれまで採用していた「震源を特定せず策定する地震動」	94
3 石橋克彦氏による「加藤ほか(2004)」の応答スペクトル批判.....	96
4 原子力安全基盤機構（JNES）による検討.....	96
(1) 「加藤ほか(2004)」の研究の不充分性の指摘.....	96
(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.....	97
5 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.....	101
(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.....	101
(2) JNESの説明の欺瞞性.....	103
6 規制委員会の考え方.....	108
7 「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.....	114
8 2004年留萌支庁南部の地震.....	116
(1) 2004年年留萌支庁南部地震の概要.....	116
(2) 留萌支庁南部地震の地震動.....	117
(3) 地盤による地震動の増幅.....	118
(4) HKD020の観測点の地震動は、留萌支庁南部地震の最大地震動ではない.....	121
(5) 少なくともMw6.5が想定されるべき.....	123
(6) 試算.....	124
(7) 不確かさの考慮.....	126
第5 原子力発電所における従前の地震動想定は著しい過小評価であったこと.....	128
1 従前の地震動想定に対する国会事故調報告書の指摘.....	128
(1) 国会事故調報告書の指摘.....	128
(2) 従前の地震動想定は10年間で5ケースも誤ったこと.....	128
ア 平成17年（2005年）8月16日宮城県沖地震における女川原発のケース.....	129

イ	平成19年(2007年)3月25日能登半島沖地震.....	130
ウ	平成19年(2007年)7月16日新潟県中越沖地震.....	131
エ	平成23年(2011年)3月11日の東北地方太平洋沖地震における 福島第一原発のケース.....	133
オ	平成23年(2011年)の東北地方太平洋沖地震における女川原発の ケース.....	133
2	従前の地震動想定が著しい過小評価となった理由.....	134
第6	新規制基準においても地震動想定手法は従前のままであり, 原発の安全性は 到底確保されないこと.....	137
1	新規制基準においても地震動想定手法は従前のままであること.....	137
2	従前と同じ手法で地震動想定を続ければ, S sを上回る地震動が原発を襲う こと.....	138
3	「過去最大(既往最大)」を超えることも十分にあり得ること.....	138
4	失敗した従前の手法のままでは, 原発の安全性は到底確保されないこと.....	139
第7	原判決が地震動につき極めて適切な判断をしていること.....	139
1	人格権の価値.....	140
2	福島原発事故.....	140
3	原発に求められる安全性.....	140
4	原子力発電所の特性.....	141
5	冷却機能の維持について.....	141
6	閉じ込め機能(使用済み核燃料の危険性)について.....	144
7	本件原発の現在の安全性.....	144
8	原告(住民)らのその余の主張について.....	144
9	被告(関西電力)のその余の主張について.....	145
10	小括.....	145
第3章	結論.....	146

第1章 原発の耐震設計（前提）

（本章の内容については、当事者間に争いの無い事項であると思われる。）

第1 原発の耐震設計の流れ

1 原発の基準地震動について

（1） 基準地震動と耐震設計審査指針

原発の耐震設計は、基準地震動（S1、S2、Ss）を基礎として行われる。基準地震動はその後のすべての設計の基本となるものであって、基準地震動の想定を誤れば、原発の耐震安全性は確保されない。

基準地震動は、全国一律に定められているものではなく、原子力安全委員会の「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」に基づき、各電力事業者が策定してきた。

この耐震設計審査指針は、平成18年（2006年）9月に大きく改訂された。改訂の契機となったのは、平成7年（1995年）の兵庫県南部地震と平成12年（2000年）の鳥取県西部地震である。特に、2000年鳥取県西部地震では地表に現れていた断層から想定される地震動を上回る地震動が観測されたことが直接の契機となり、原子力安全委員会は、平成13年（2001年）から耐震設計審査指針の見直し作業を始めた。

しかし、この見直し作業は難航を極め、最新の地震学の知見などを盛り込んだ新耐震設計審査指針が定められたのは、平成18年（2006年）9月のことであった（以下、2006年に見直された耐震設計審査指針を「新耐震指針」といい、これ以前のもものを「旧耐震指針」という。）。

（2） 旧耐震指針における基準地震動（S1とS2）

旧耐震指針では、基準地震動は、S1とS2の二つに分けられており、以下のとおり定義される。

S1 設計用最強地震

「歴史的資料から過去において敷地またはその近傍に影響を与えたと考えられる地

震が再び起こり、敷地およびその周辺に同様の影響を与えるおそれのある地震および近い将来敷地に影響を与えるおそれのある活動度の高い活断層による地震のうちから最も影響の大きいもの」

S 2 設計用限界地震

「地震学的見地に立脚し設計用最強地震を上回る地震について、過去の地震の発生状況、敷地周辺の活断層の性質および地震地体構造に基づき工学的見地からの検討に加え、最も影響の大きいもの」

このように、原発の基準地震動は、過去の地震および将来の地震のうち「最も影響の大きいもの」(S 1 設計用最強地震)、「地震学的見地に立脚し設計用最強地震を上回る地震について・・・最も影響の大きいもの」(S 2 設計用限界地震)とされており、最大規模の地震動の想定が求められていた。

(3) 新耐震指針における基準地震動(S_s)

これに対して、新耐震指針における基準地震動S_sは、以下のとおり定義される。「施設の耐震設計において基準とする地震動で、敷地周辺の地質・地質構造並びに地震活動性等の地震学およ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」

このように、新耐震指針における基準地震動(S_s)は、「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」とされており、最大規模の地震動の想定が求められることが、より明確になった。

しかしながら、本書面を通じて論ずるように、実際に設定された基準地震動は、全国すべての原発で、「平均像+ α 」でしかなくおらず、最大規模の地震動の想定は全くなされていなかった。

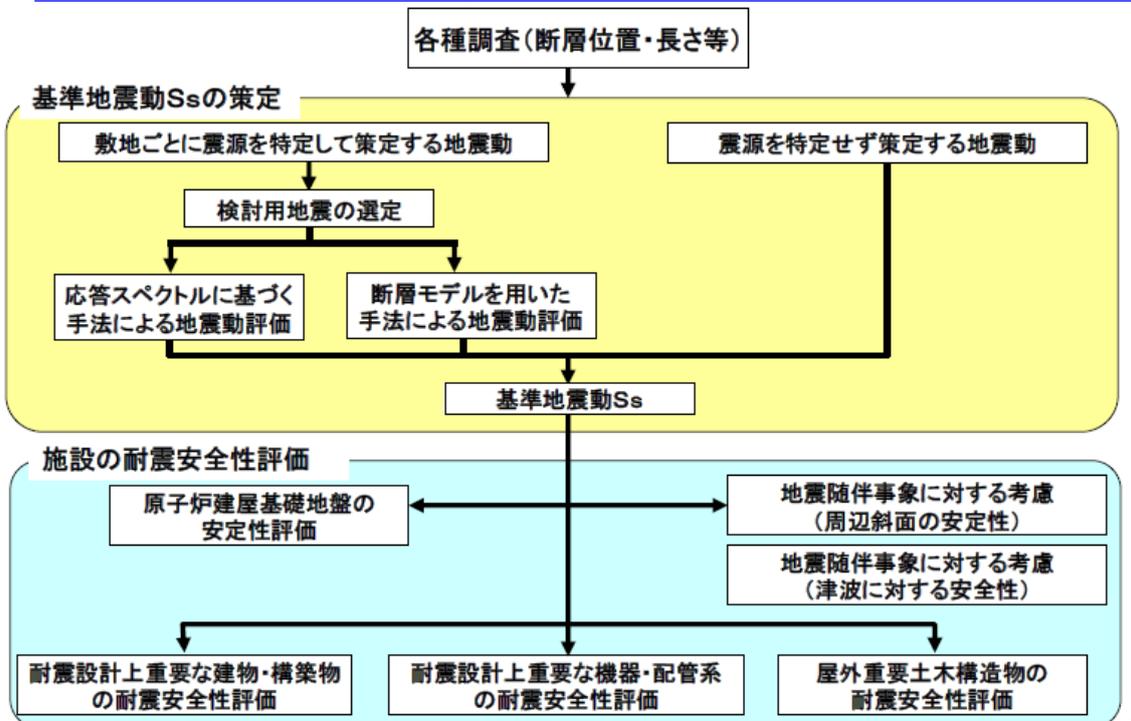
2 原発の耐震設計の全体像

原発の耐震設計は次のような流れでなされている。

2. 耐震安全性評価の基本方針

2007. 4. 4
耐震・構造設計小委員会

耐震安全性評価全体フロー



「浜岡原子力発電所3，4号機「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果の報告について」平成19年4月4日

これを大きく分ければ、以下の3つに分けられる。

- 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

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 4 8 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」 1 3 3 頁）。

断層位置や長さ等の各種調査を受けてなされる、基準地震動 S_s の策定は、要するに、将来起こる可能性のある最大の地震の揺れ（地震動）を予測することと同義である。

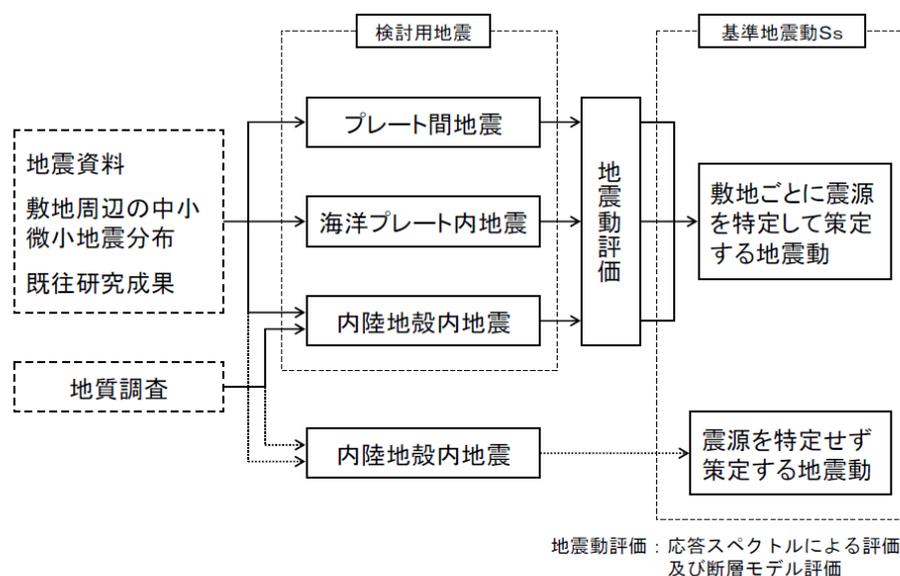
原発の安全性を確保するためには、将来起こる可能性のある最大の地震の揺れ（地震動）に対して、構造物が破壊されないように設計する必要がある。

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（入力地震動ともいう。）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。

3 基準地震動 S_s 策定の全体像

基準地震動 S_s の策定は、次のような流れでなされている。

(2) 基準地震動 S_s 策定フロー



これを大きく分ければ、

- ① 地質調査や活断層の評価を前提とする、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
- 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、新耐震指針は、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 S_s 」という。) 基準地震動 S_s は、以下の方針により策定することとする。

- (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、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変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変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。」

以上のように、地震動評価の手法については、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動と、震源を特定せず策定する地震動の双方を策定し、前者については、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，とされている。

なお，これらの基準地震動は，解放基盤表面において設定されるものである。解放基盤表面とは，以下のとおり定義される。

「基準地震動を策定するために，基盤面上の表層や構造物が無いものとして仮想的に設定する自由表面であって著しい高低差がなく，ほぼ水平で相当な広がりを持って想定される基盤の表面。ここでいう「基盤」とは，概ねせん断波速度 $V_s=700\text{m/s}$ 以上の硬質地盤であって，著しい風化を受けていないもの」

第2 基準地震動 S_s の例

基準地震動 S_s の一例として，九州電力の川内原発の例を挙げる。川内原発でも，上記の「応答スペクトルによる手法に基づく基準地震動」「断層モデルを用いた手法に基づく基準地震動」「震源を特定せず策定する地震動による基準地震動」の3つの検討を行い，基準地震動 S_s を策定している。その具体的な基準地震動の形状は，以下のとおりである。

「川内原子力発電所 地震について 平成26年4月23日」(甲115)

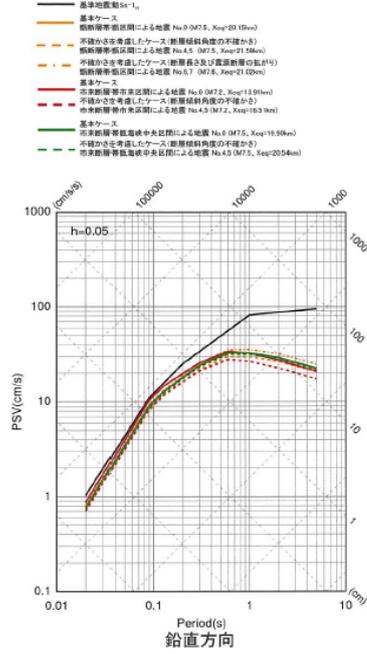
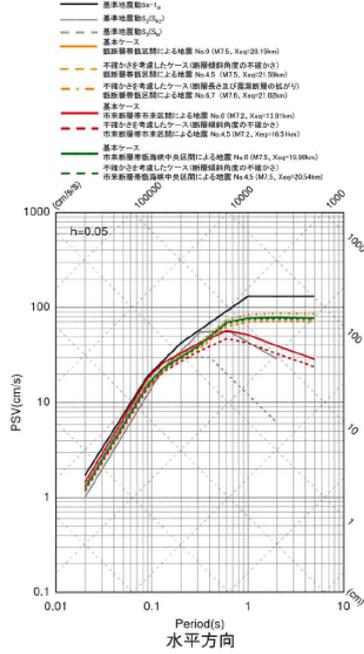
http://www.nsr.go.jp/activity/regulation/tekigousei/h26fy/data/0107_04-1.pdf

http://www.nsr.go.jp/activity/regulation/tekigousei/h26fy/data/0107_04-2.pdf

6.1 応答スペクトルによる手法に基づく基準地震動Ssの策定

応答スペクトルによる手法に基づく基準地震動Ssの策定

- 水平方向の基準地震動Ss-1は、検討用地震の応答スペクトルによる評価結果、及び旧耐震指針に基づく基準地震動S₂を包絡して設定する。
- 鉛直方向は、Noda et al.(2002)¹⁾に基づき設定する。

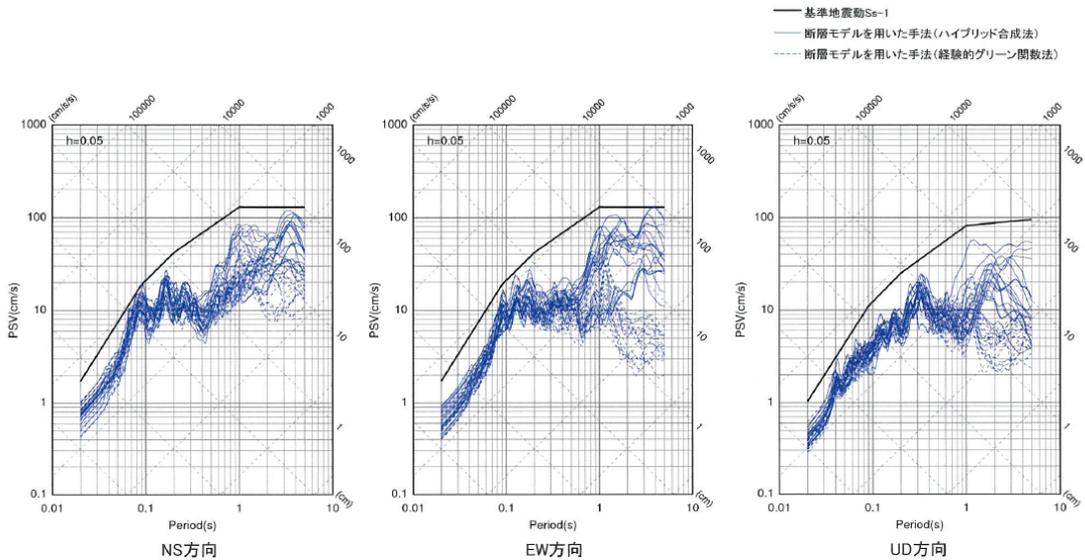


167

6.2 断層モデルを用いた手法に基づいた基準地震動Ssの策定

断層モデルを用いた手法に基づいた基準地震動Ssの策定

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

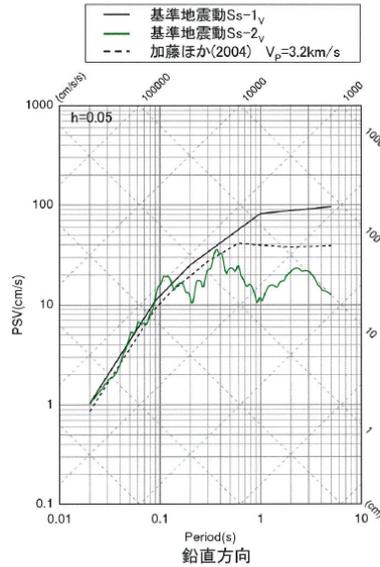
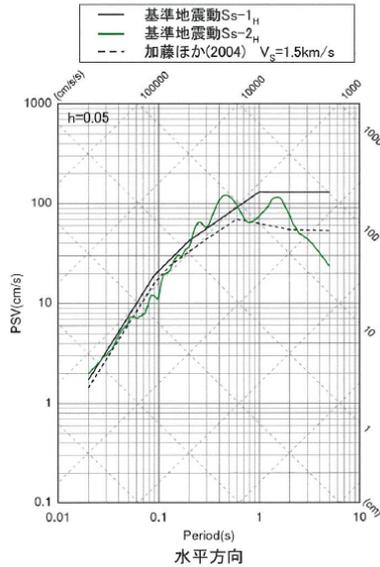


168

6.3 基準地震動の応答スペクトル

震源を特定せず策定する地震動による基準地震動Ssの策定

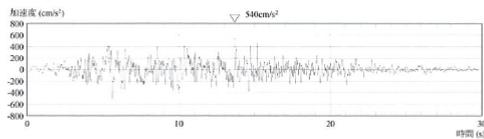
- 基準地震動Ss-1に加え、「震源を特定せず策定する地震動」として、2004年北海道留萌支庁南部地震におけるK-NET港町観測点の解放基盤波に当社独自の検討から余裕を持たせた地震動を、基準地震動Ss-2として追加。
⇒下図中緑線



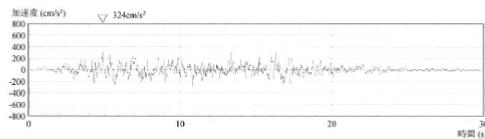
169

6.4 基準地震動の加速度時刻歴波形

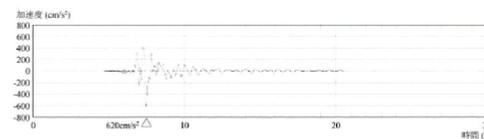
基準地震動の加速度時刻歴波形



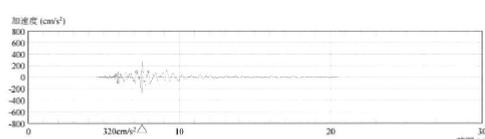
加速度(水平動: Ss-1_H)



加速度(鉛直動: Ss-1_V)



加速度(水平動: Ss-2_H)



加速度(鉛直動: Ss-2_V)

基準地震動				最大加速度 (cm/s ²)
基準地震動 Ss-1	設計用模擬地震波	水平成分	Ss-1 _H	540
		鉛直成分	Ss-1 _V	324
基準地震動 Ss-2	2004年北海道留萌支庁南部地震 を考慮した地震動	水平成分	Ss-2 _H	620
		鉛直成分	Ss-2 _V	320

170

以上のとおり、川内原発の基準地震動 S_s は、 S_{s-1} と S_{s-2} の2つが策定されている。

S_{s-1} （水平540ガル）は、旧耐震指針の S_2 に基づき策定されたものである。

S_{s-2} （水平620ガル）は、2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮したものである。

なお、基準地震動 S_s は、時刻歴波形と応答スペクトルの2つ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）実際の地震動であり、応答スペクトルとは、地震動が建物に与える影響を示したものである（この応答スペクトルについては、後述する。）。

なお、震源を特定して策定する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のであって、「応答スペクトルに基づく地震動評価」と「応答スペクトル」とは、名称は似ているが、異なる概念であることに注意を要する。

第3 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であり、応答スペクトルの理解のためには、地震と地震動、及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にするが、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48）と、大崎順彦著『地震と建築』（岩波新書。

甲50) とに基づいている。

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) 震源断層面、アスペリティ（強震動生成域）

ズレ破壊の面を、「震源断層面」という。この震源断層面は、鉛直であったり、一定の方向に傾いていたりする。

震源断層面での固着の程度は一樣ではなく、強固に固着されている部分（これを「アスペリティ」といい、断層がズレを起こす場合に特に強い地震波を発する。）と、非強固部分（背景領域）があり、このアスペリティは、各断層ごとに、その位置、大きさ、強固さ、その数を異にする。

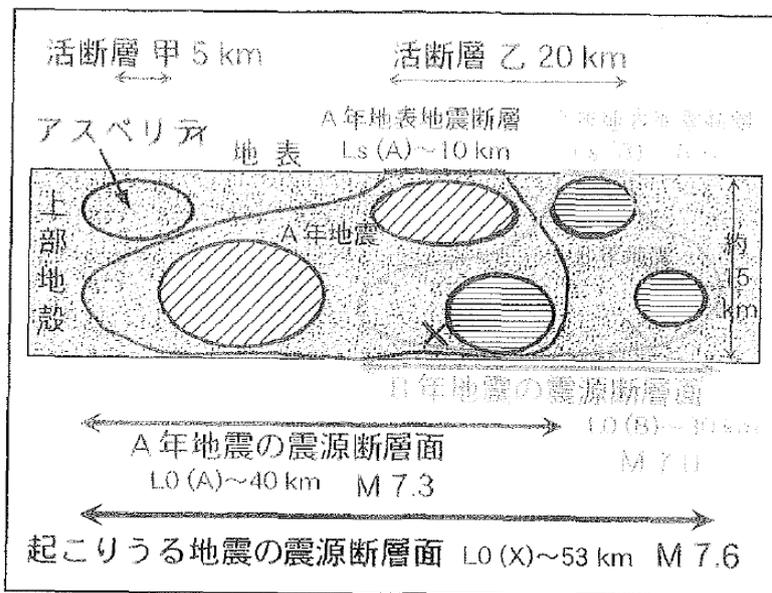
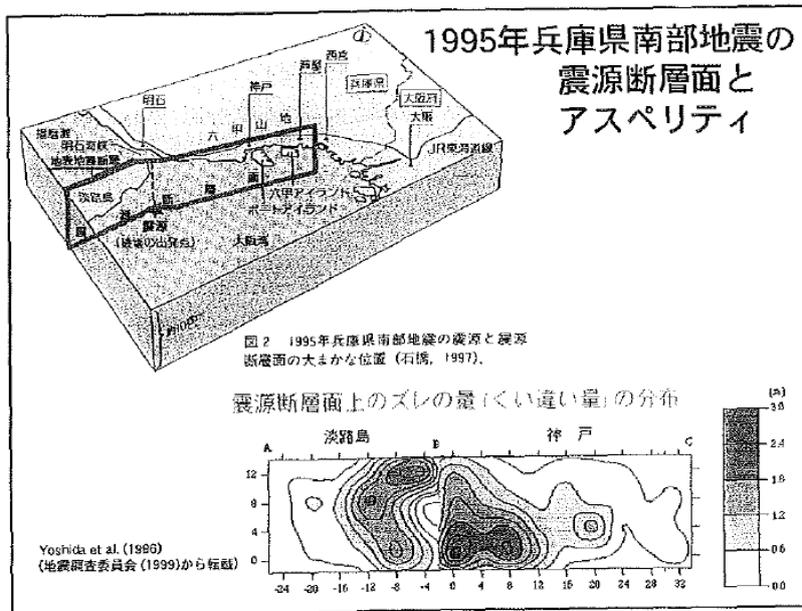
したがって、アスペリティの箇所・大きさ等の分析は、地震動の大きさを検討するうえで不可欠である。

下図のとおり、現実のアスペリティは不定形であり複雑な形状を有していて、後述するようなアスペリティの想定は極めて大雑把な想定でしかない。

また、地震ごとに動くアスペリティは同じとはいえない。

震源断層面の本体は、地表の断層の前後、地下深部に延びており、地表の断層

は、地下の震源断層面の一部が地表に達したものでしかない。



(甲 1 1 6 石橋克彦陳述書)

アスペリティの実体がどのようなものなのかは、必ずしもよく分かっていない。

しかし、一般的に、震源断層面の両側の地盤の性質や凹凸などの形状によって、固着する部分と固着しない部分とがあるとされている。

(3) 地震（動）の観測

地震という事象の全体像として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が、地震計は今日では全国中に多数設置されており、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（マグニチュード）として発表されるが、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。

(4) 地震の大きさ

ア マグニチュードについて

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 ）で表わされるが、マグニチュードには幾つかの種類があり、代表的なものとしては、気象庁マグニチュード（ M_j ）と、モーメントマグニチュード（ M_w ）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（ M_o ）によって導かれるモーメントマグニチュード（ M_w ）が用いられる。

イ 地震モーメント（ M_o ）について

地震モーメント（ M_o ）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 ）に、媒質の剛性率 μ （変形のしやすさ＝ずれ面の接着の強さ）を乗じた物理量である（甲48・26頁）。

この地震モーメント（ M_o ）は、震源断層の規模を表すのに最適な量としてよ

く用いられ、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。

ウ モーメントマグニチュード(M_w)について

モーメントマグニチュード(M_w)は、物理量である地震モーメント(M_0)から、
 $\log M_0 = 1.5M_w + 9.1$ (①)

の式で算出される。

モーメントマグニチュード(M_w)からみれば、
 $M_w = (\log M_0 - 9.1) / 1.5$ (②)

となる(甲48・26頁)。

モーメントとは回転力を示すものであって、「力×長さ」であり、単位は、 $\text{dyne} \cdot \text{cm}$ (もしくは $\text{N} \cdot \text{m}$) である。

上記式の通り、マグニチュード(M_w)は地震によって放出されるエネルギーの量を、その対数によって表したものである。(1000は10の3乗であるが、10の何乗かを示す3を1000の対数という。「1000の対数は3である」ことを「 $\log 1000 = 3$ 」と書く)。

例えば、 $M_w = 6$ と $M_w = 8$ を①式の右辺に入れると、それぞれ、18.1と21.1となり、対数で3の差があるから、真数では10の3乗、すなわち、1000倍の差となり、エネルギーの量には大変な差がある(甲50・40頁)。

エ 応力降下量について

応力降下量とは、断層運動生成前に断層面に働いていた剪断応力 σ_0 と、生成後の応力 σ_1 の差 $\Delta\sigma$ ($= \sigma_1 - \sigma_0$) のことである。地震動のエネルギーとして放出される応力の解放量と理解できる (単位は、MPa)。

(5) 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が、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概念であるので、一言しておく。

例えば、A点からB点まで100m進むのに5秒かかったとすれば、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」を「加速度」という。

地震動の変位(位置の変化)は単位をセンチメートルで表すから、地面の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いう表わし方をするが、このような表わし方をした時の加速度(毎秒・毎秒何センチメートル)の単位を「ガル」と名付けている(甲50・51頁)。

(6) 重力(の)加速度

重力の加速度についても、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が、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が、これを「重力(の)加速度」といい、1G(イチジーと読む)ともあらわす(甲50・52頁, 54頁)。

この重力加速度は、物体が鉄であっても、木でもあっても、羽毛であっても変わらない。

空気抵抗が無ければ、みな同じ時間で落ちるのは、重力加速度のためである。

(7) 加速度と力の関係

加速度は1秒あたりの速度の変化であり、速度が変化するという事は、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（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（毎秒ごとに速度が減少する割合が大きい場合）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」。

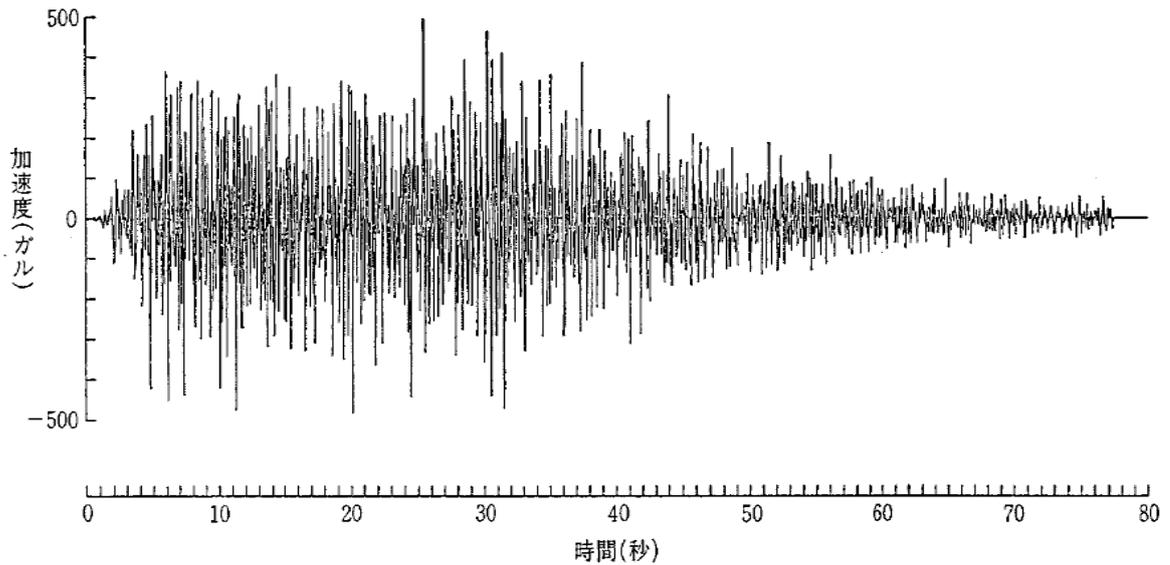
例えば，物には重さがある。「重さ」をもたらす力は重力であり，その重力によって生み出される加速度が重力加速度 980 ガル ($1G$) である。人間やビルは地面に支えられているが，地面が取り払われれば， 980 ガルの加速度で下に落ちる。

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 980 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のである。

(8) 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り，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。



図I-1 東京大学構内における加速度記録(「東京大地震」)

加速度は力であり、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(甲50・9頁)は、小説「日本沈没」が映画化された際に、大崎順彦氏が作成した「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、地面は振動を続けているが、最も大きい加速度は25秒付近に表れており、その値は492ガルである(甲50・8頁)。

したがって、上記の地震は、(最大加速度)492ガルの地震といえることができる。

(9) 地震動の例

ただし、最大加速度が同じ地震であれば、その性質(影響)も同じ、というわけではない。むしろ、最大加速度が同じでも、その性質(影響)は全く異なる。

たとえば、次の図V-3(甲50・77頁)では、4つの地震動の加速度記録が

並べてある。

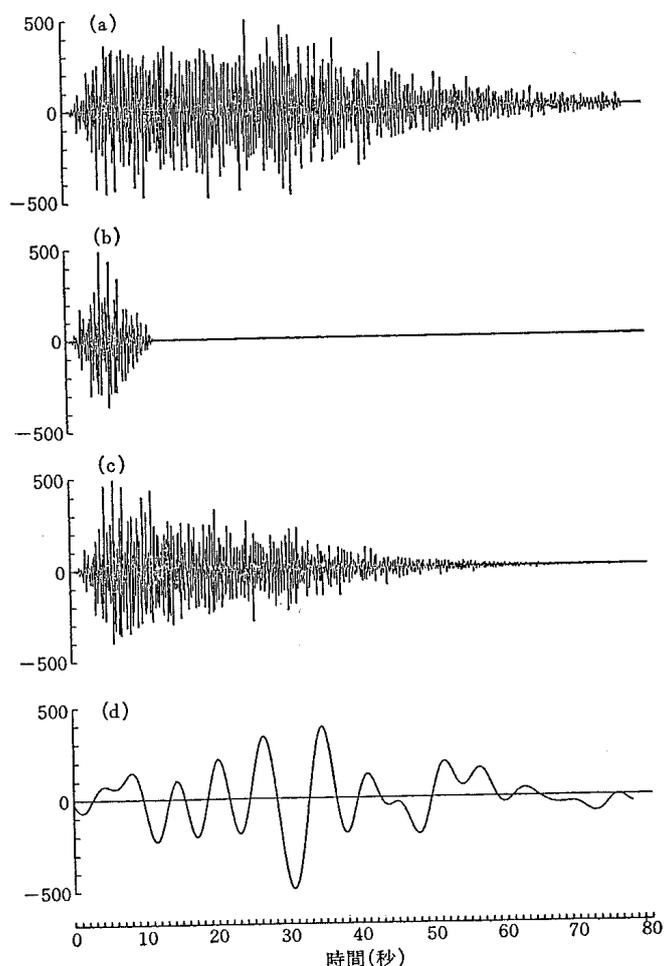


図 V-3 地震動のいろいろ

図 V-3 (甲 50・77 頁) の 4 つの地震動の最大加速度は、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。

このように、同じ 490 ガルの地震でも、その性質は相当に異なる。もちろん、

建物や機器・配管に及ぼす影響も全く異なるのである（このことは、後述する）。

（10） 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。

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（特に共振）の総合効果であることから、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。

2 地震動の性質

（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り子でも）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（例えば、0.5秒）を短周期、ゆっくり繰り返すもの（例えば、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」といい、その単位はヘルツである。

① 1ヘルツは、1秒間に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。

次頁の図 V-1 (甲 50・74 頁) は，周期 0.5 秒の振動を表している。

横軸が周期，縦軸が振れ幅を表す。振れ幅は「振幅」ともいう。

図 V-1 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っても，周期が同じであれば，戻ってくる時間は同じあるが，それは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，ということの意味している。

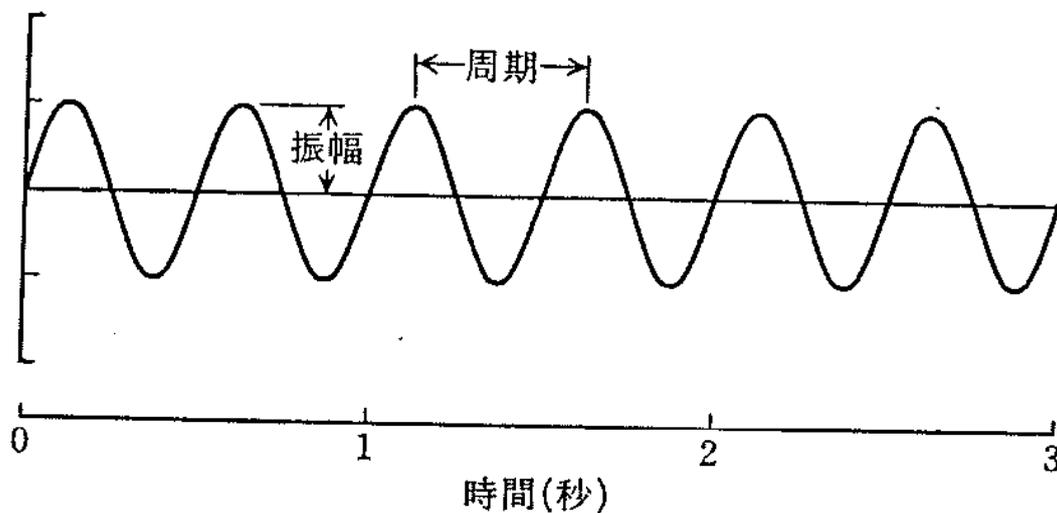


図 V-1 単振動

(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。

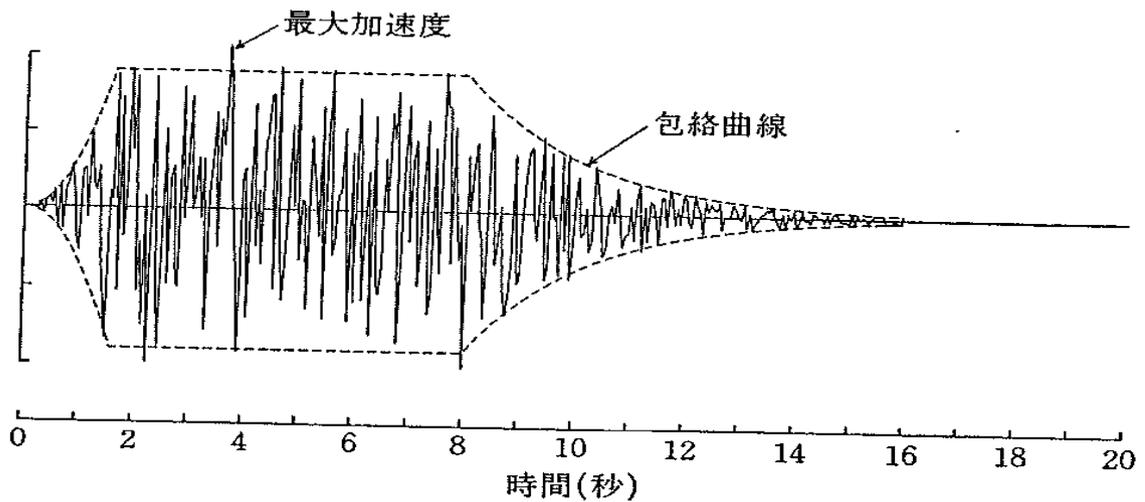


図 V-2 地震動

たとえば、図 V-2 (甲 50・75 頁) の地震動は 16 秒間続いているが、最大のもものは 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。

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)。

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。

スペクトルを一般的に定義すると、「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従って並べたもの」と言える (甲 50・83 頁)。

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。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。

前に紹介した図 I - 1 (甲 5 0 ・ 9 頁) の地震動を分解 (フーリエ解析) して、出てきた単振動 (もとの地震動の成分という。) のうち、代表的なものの幾つかを並べたものが、次頁の図 V - 4 (甲 5 0 ・ 8 6 頁 ~ 8 7 頁) である。

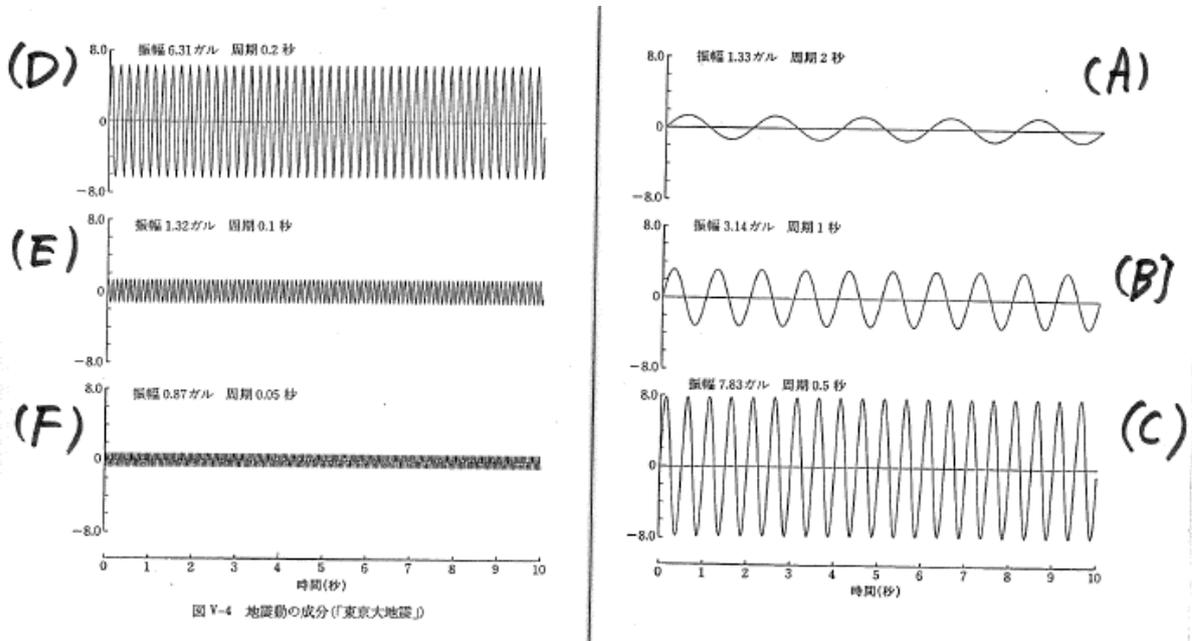


図 V-4 地震動の成分 (「東京大地震」)

この図 V - 4 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なになる。

- (A) 右上振幅 1. 3 3 ガル周期 2 秒
- (B) 右中振幅 3. 1 4 ガル周期 1 秒
- (C) 右下振幅 7. 8 3 ガル周期 0. 5 秒
- (D) 左上振幅 6. 3 1 ガル周期 0. 2 秒
- (E) 左中振幅 1. 3 2 ガル周期 0. 1 秒
- (F) 左下振幅 0. 8 7 ガル周期 0. 0 5 秒

この結果を、一覧できるようにしたものが、次の図 V - 5 (甲 5 0 ・ 8 9 頁) である。

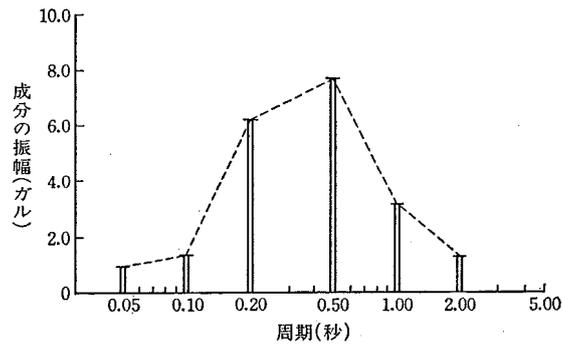


図 V-5 フーリエ・スペクトルの原理

さらに、図 V-5 をより細かく固有周期ごとに計算して一覧したものが、次の図 V-6 (甲 50・89 頁) の曲線である。

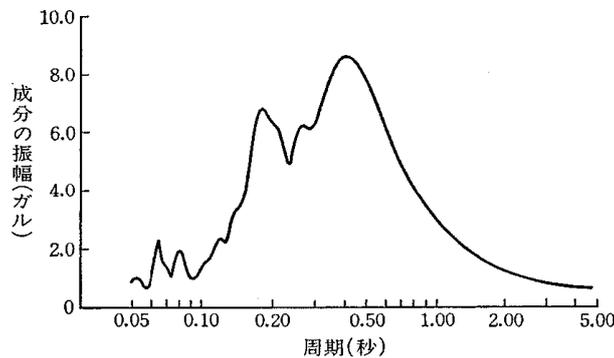


図 V-6 フーリエ・スペクトル(「東京大地震」)

図 V-6 をみると、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(甲 50・88 頁)。

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。そこで、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

ことをみていく。

(2) 固有周期

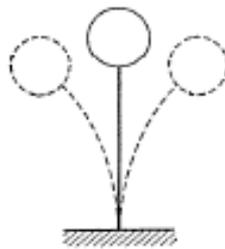
小さな地震（地震動）では建築にはダメージはないが、反対に、大きな地震（地震動）は建築を破壊する。

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。

建築に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。甲50・103頁）。



図VI-6 倒立振子

錘の重さ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」といえ、超高層のビルは柔らかいので「薄くて長い板バネ」といえる。

図VI-6の倒立振子を指でつついて揺らすと、振動を始める。

ひとりでの揺れ動く振動を「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。メトロノームで言えば、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。

このように、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。

物にはすべて固有周期があり、建築にも、その重量と剛性で決まってしまうそれぞれに固有な固有周期がある。すなわち、堅い低層建築の固有周期はガタガタと速く揺れる短周期、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（甲50・104頁）。

(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よう。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、振子の振動は次第に成長し、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、物の固有周期とが一致したために、途方もなく大きい振動が出現する現象」を、共振という（甲50・106頁）。

(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)に応じて揺り動かされる、その反応(答え方)のことをいう。

「応答スペクトル」とは、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り、「要するに、ある地震動がいろんな建築に対して、どんな力を及ぼすかということ、一見してわかりやすいように描いた図形」(甲50・107頁)である。

次の図VI-8(甲50・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。

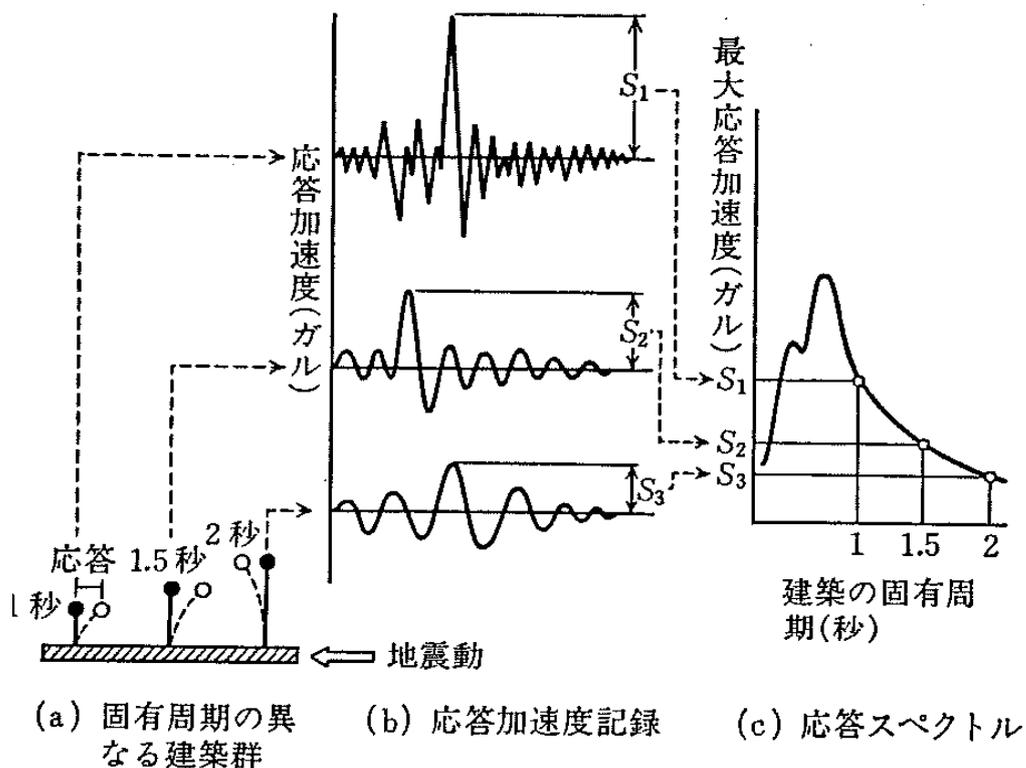


図 VI-8 応答スペクトルの説明図

図VI-8の左側の(a)では、地面を模した台上に、固有周期が異なるモデルを3つ（ここでは1秒，1.5秒，2秒）並べてある。今この台を、ある地震動の加速度で揺らしてみる。すると、3つの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、①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、②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られていたとすると、加速度計はそれぞれのモデルが、与えられた地震動（仮にA地震動とする。）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VI-8の真ん中の(b)の「応答加速度記録」である。

(b)の上段の記録は、固有周期が1秒のモデルの応答加速度を示しているが、その最大値がS1である（旧耐震指針のS1ではない）。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A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、A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S2，S3が作用する。

図VI-8右側の(c)は、横軸に建物の固有周期、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S1，S2，S3が縦軸に取られている。その結果が、(c)の白丸点である。

今みてきた固有周期は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)の白丸も隙間なく埋められ、波線が得られる。これが、すなわち、A地震動の応答スペクトルである。

こ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

クトルが得られ、また、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 (甲 50・9 頁) に示した地震動を、もう一度みる。

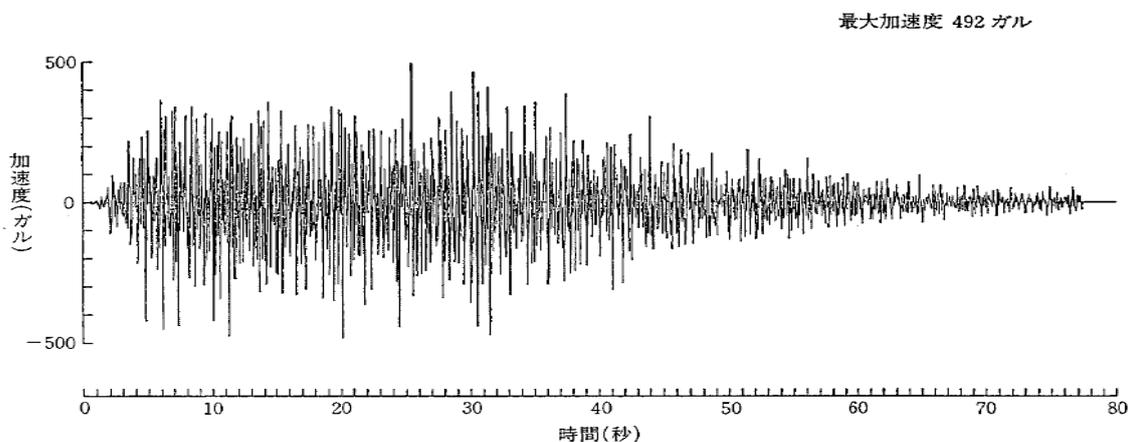


図 I-1 東京大学構内における加速度記録(「東京大地震」)

この地震動 (図 I-1) の応答スペクトルが、図 VI-9 (甲 50・110 頁) である。この地震動をフーリエ解析した図 V-6 (甲 50・89 頁) と並べてみる。

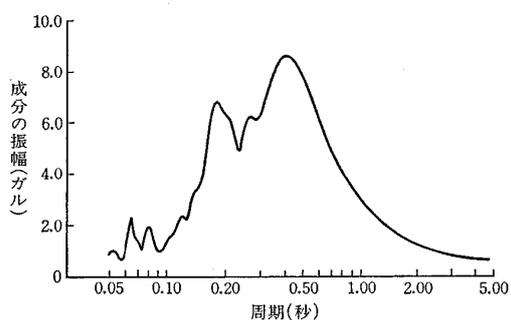


図 V-6 フーリエ・スペクトル(「東京大地震」)

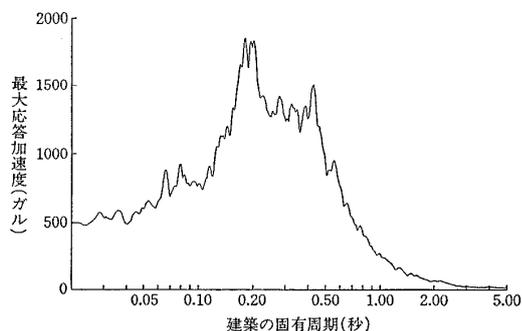


図 VI-9 応答スペクトル(「東京大地震」)

図 V-6 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 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おり、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(甲50・113頁～114頁)。

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（さらにその他の特性）も大きく影響することによるからである(甲50・112頁)。極めて単純化して言えば、地震動の中で最大の加速度は周期0.5秒付近の成分だったが、その継続時間は短く、一方で、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、ということが出来る（実際にはさらに複雑であるが、ここまでにとどめる）。

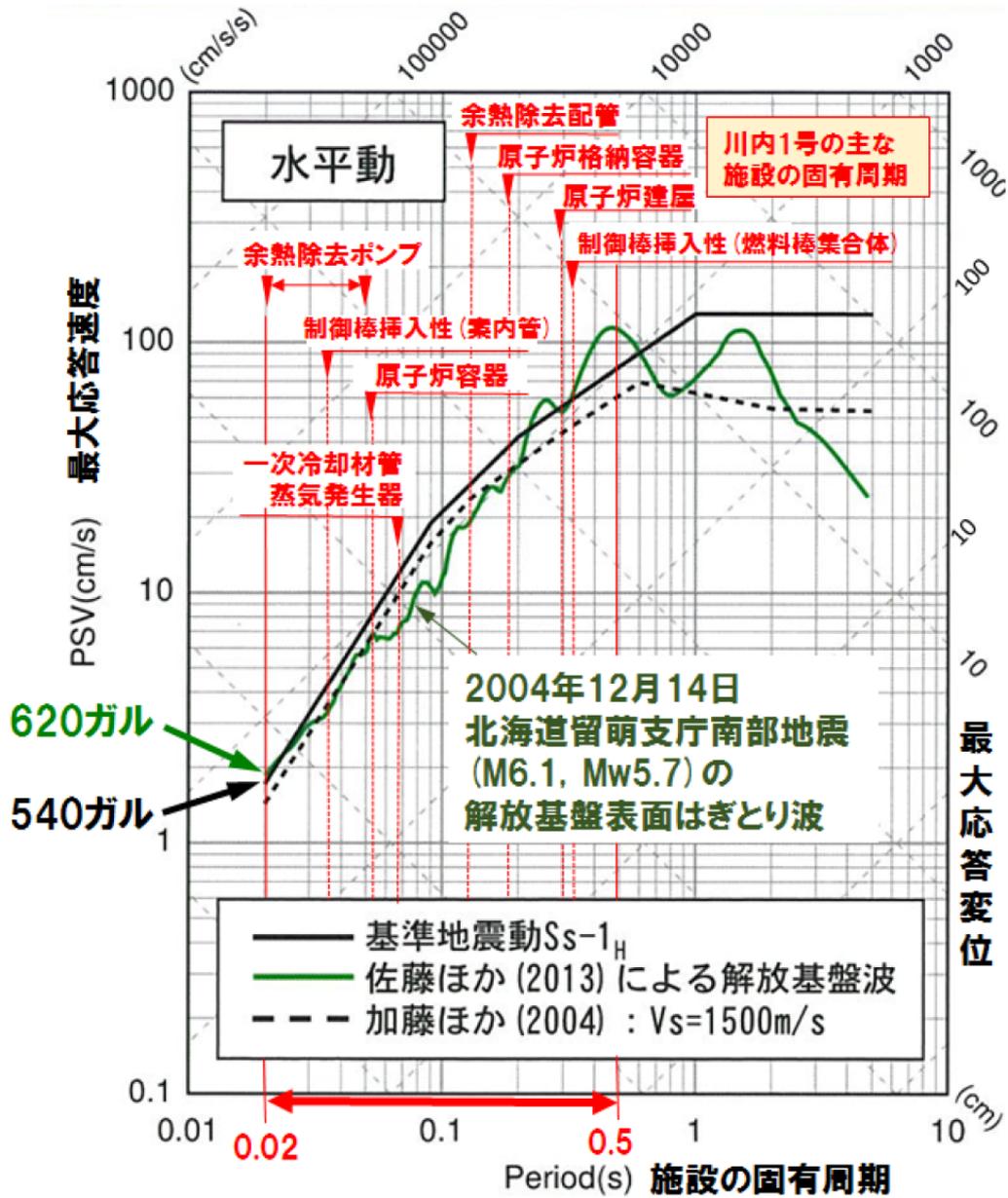
このようにして得られた応答スペクトルは、地震動が建築物に与える影響を集約したものであって、ここに耐震設計の全体が表れるのである。

耐震設計ではこの応答スペクトルが重要であり、地震動の大きさそのものでは、地震の破壊力は示されない。

したがって、「何ガルの地震動にも施設は耐えられる」と言ったところで、それだけでは大した意味はなく、問題は、応答スペクトルが、建物や機器配管などの施設の固有周期付近でどれだけか、なのである。

(7) 原発の機器・配管の固有周期は0.02秒～0.5秒程度の短周期に集中していること

そして、原発の重要な機器・配管の固有周期は、0.02秒～0.5秒の短周期に集



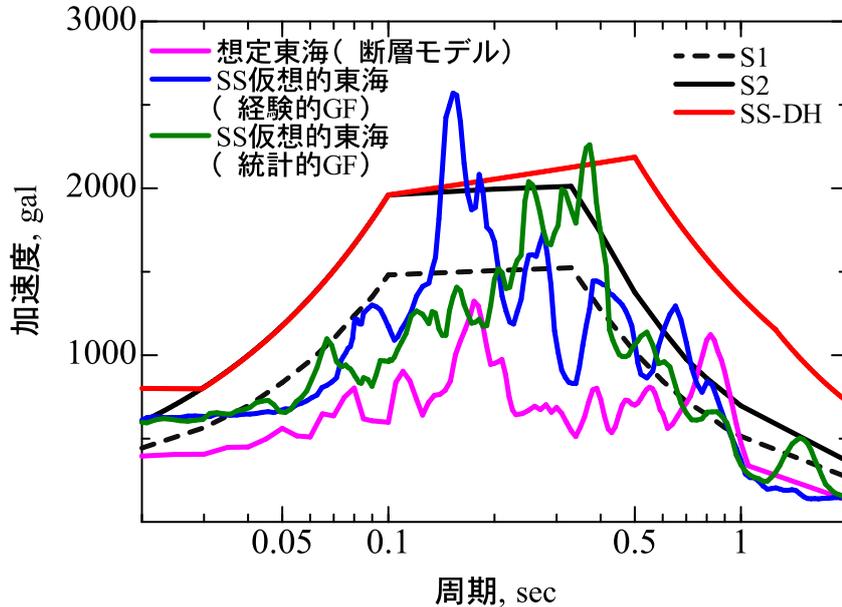
中している。次の図は、原発の重要な機器・配管の固有周期を、応答スペクトルに書き込んだものである。

図4：2014年原子力規制委員会適合性審査における川内1・2号の基準地震動[16]と主な施設の固有周期[12]
 (甲117の1 長沢啓行「川内1・2号機の耐震安全性は保証されていない」)

地震動の最大加速度だけに目を奪われてはならない。重要なのは、機器・配管

の固有周期における応答加速度である。

このことをもっとも端的に表している応答スペクトルが、下記の浜岡原発の基準地震動である。



この図でS 2は6 0 0ガルであった(縦軸において周期 0.02 秒で6 0 0ガルであることが、これを示している)。

これに対して、SS-DHは8 0 0ガルの地震動に引き上げられたとされた。しかし、その内容は、周期 0.02 秒~0.03 秒までが、引き上げられただけで、それ以降は、S 2と同じ軌跡をたどるというものであった。0.1 秒付近からは、S 2をやや上回る加速度を示しているが、重要な機器・配管における応答加速度には、ほとんど変化がないものであった。

すなわち、本来この地震動が施設に及ぼす影響は、赤線の下に隠れている黒の実線(S 2)の600ガル程度であるはずなのに、中部電力は、この図によって800ガルまで耐えられると喧伝したのである。

この地震動の引き上げは、施設には影響を与えないのであるから、中部電力による耐震偽装として評価されるべきものであった。

このように、生の地震動そのものの値では、地震が施設に与える影響の大きさ

の評価はできないことには注意が必要であり、問題は実際に当該建物、施設の固有周期に近い応答スペクトルがどうなのかなのである。

(8) 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。

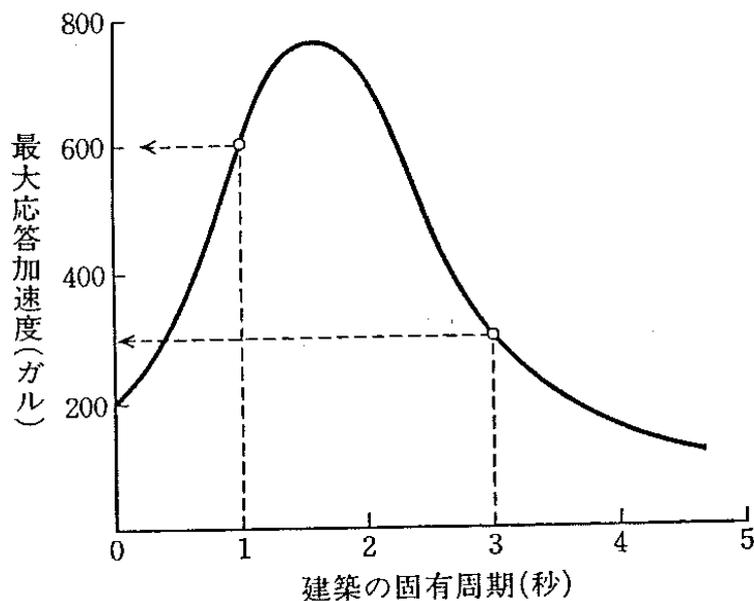


図 M-10 応答スペクトルの意味

たとえば、建築の固有周期が1秒だと決まると、上の図VI-10(甲50・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ということになる。

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。

このような考え方が採用されたのは昭和56年(1981年)の建築基準法の

改訂時であった。

(9) 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。

しかし、建築の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ない。

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。そして、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が、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しなければならない、ということになる。

このことは、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・施設について同様である。

(10) 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(2009年)4月24日付けの、各原子力事業者への原子力安全・保安院の通知である「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51)

<https://www.nsr.go.jp/archive/nisa/oshirase/2009/files/210427-1.pdf>

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。」としている。

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おむね異なるが、「異なる場合がある」ということを意味すると解される。

(11) 物が壊れれば、固有周期が変化すること

さらにやっかいなのは、物は、壊れれば、その固有周期が変化する、ということである。

前に、物にはすべて固有周期があり、堅い低層建築の固有周期はガタガタと速く揺れる短周期、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述べたが、今、これが、何らかの理由で壊れかけているとしよう。

そうすると、固有周期が短周期側から長周期側にずれることがあり、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(元々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、耐震設計時点での期待とは別の挙動を示すことがあり得る。

このとき、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。

第2章 原発の耐震設計（各論）

第1 「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

(1) 地震の科学には限界があること

自然現象の測定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るが、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。

岩波書店の雑誌「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52）に掲載された、岡田義光防災科学研究所理事長、瀨瀨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、瀨瀨教授と岡田教授の以下の発言が掲載されている。

「瀨瀨 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くない。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。そうした限界をこの地震の前に伝え切れていなかったことを、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のでしょうか。

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。

瀬瀬 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思います。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に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。地質の影響は本当にあらかじめわかるのでしょうか。

瀬瀬 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、あ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。」(甲52・636頁～637頁)

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。ほんとうに中で何が起きているのかには手が届いていない。」とも述べている。(甲52・642頁)。

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（瀨瀨）。

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）。

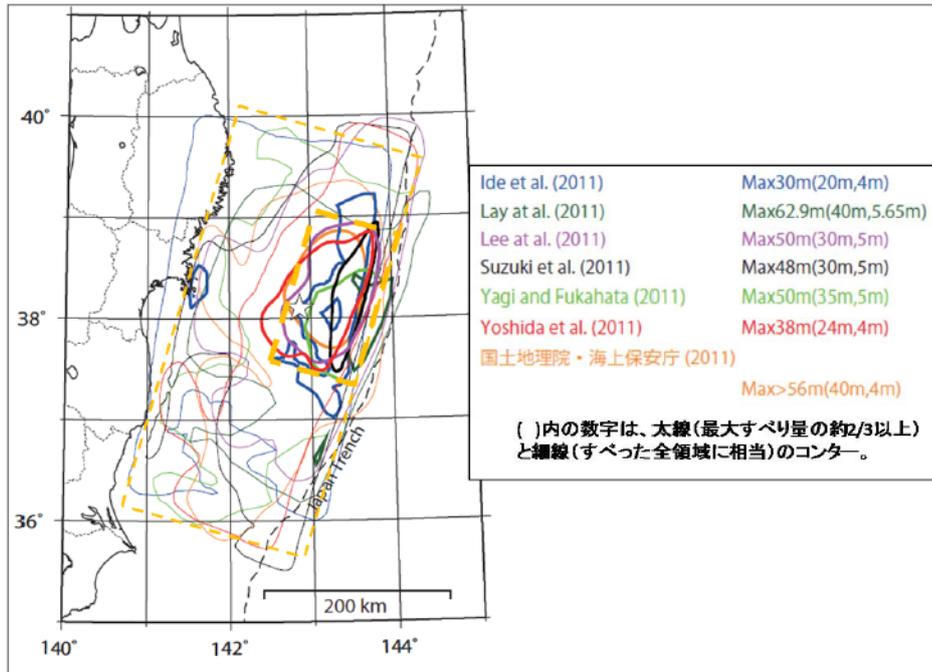
真に重要なものは（既往）日本最大か世界最大で備えるしかない（瀨瀨）とされているが、日本最大、世界最大と言っても、問題は、どれだけの期間での最大かであり、地震はたかだか何百年の間の最大でしかない。それで、何万年、何10万年の間の最大などわかるはずがない。

我々の手にしているデータは僅かであり、とりわけ詳細な地震動のデータは、日本においては、兵庫県南部地震後に多数の強震計が配置された平成9年（1997年）以降のものでしかない。

（2）地震学の現状

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分かっていない。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。

次の2つの図のうち、上の方の図IV. 10は、東北地方太平洋沖地震で、ずれの量がどこでどれだけあったかを示した図である。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、各見解は相当に異なっている。



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）

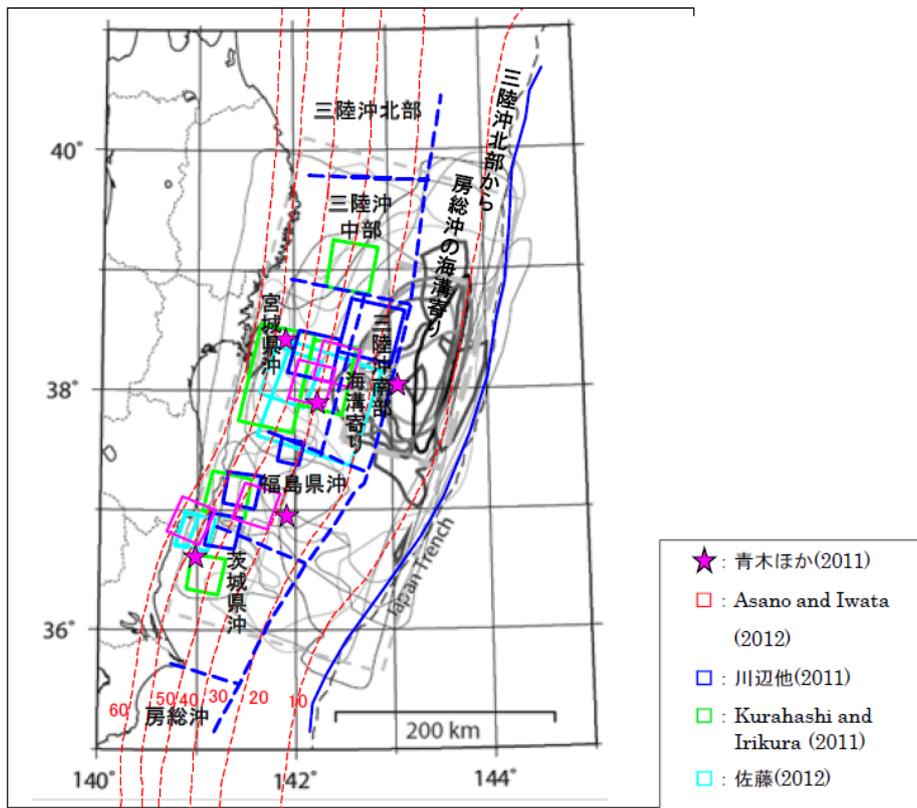


図6.0 東北地方太平洋沖地震の地震波形及び地殻変動による震源過程解析結果と強震動生成域

上の図では、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4角形で示しているが、見解ごとに大きく異なっている。

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、正確には分からないというのが、地震学の現状である。

(3) 不確かさを安全側に十分に大きく考慮することが必須である

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。前記瀧瀧発言の「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。そして、そのばらつきは、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、さらに、発生する地震、津波という現象そのものに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。平均像ではほぼ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、将来起こるほぼ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なのである。

2 新耐震指針(平成18年指針)における不確かさの考慮の要求

新耐震指針(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_s の策定方針について

- ④「基準地震動 S_s 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_s 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、新耐震指針は、「基準地震動 S_s 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。

3 新規制基準における不確かさの考慮の定め

平成25年（2013年）6月に定められた新規制基準，すなわち，「实用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準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、新耐震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、新規制基準は、「適切」という言葉を多用するのみで、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うている。

第2 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

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。

なお、応答スペクトルに基づく手法は、実際に観測された地震動記録に基づく手法であり、後に述べる断層モデルの手法とは全く異なる地震動想定手法である。

以下、応答スペクトルに基づく手法を概略する。

(1) マグニチュードと震源距離の想定

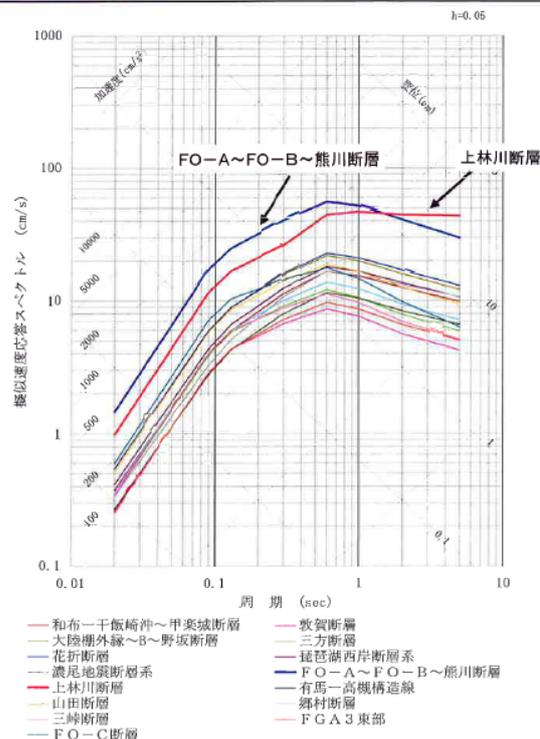
応答スペクトルに基づく手法は、まず当該断層で地震が発生したときの地震の規模（マグニチュード M ）と震源距離（等価震源距離 X_{eq} ）を想定することから始まる。その上で、そのマグニチュード、震源距離に応じた地震動の平均を求める。

2. 敷地周辺の活断層の分布

■ 検討用地震の選定(活断層による地震)

番号	断層名	マグニチュード	等価震源距離※ (km)
1	和布一干飯崎沖～甲斐城断層	7.8	71.5
2	敦賀断層	7.1	51.2
3	大陸棚外縁～B～野坂断層	7.7	47.5
4	三方断層	7.2	44.5
5	花折断層	7.8	51.4
6	琵琶湖西岸断層系	7.8	65.4
7	濃尾地震断層系	8.0	95.4
8	上林川断層	7.5	24.8
9	有馬一高槻構造線	7.6	38.6
10	山田断層	7.4	50.9
11	郷村断層	7.4	36.9
12	三峠断層	7.0	60.5
13	FGA3東部	7.3	71.5
14	FO-A～FO-B～熊川断層	7.8	23.5
15	FO-C断層	6.8	20.5

FO-A～FO-B～熊川断層および上林川断層を
検討用地震として選定する。



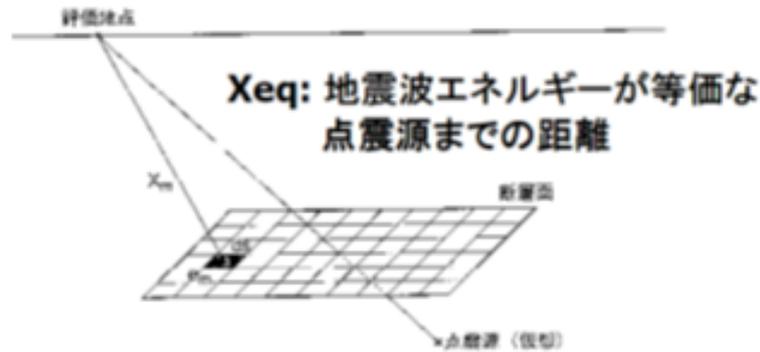
敷地に影響を及ぼすと考えられる活断層の地震による応答スペクトル図

甲 126 高浜発電所「地震動評価について」平成 26 年 8 月 22 日 関西電力

上記でも、それぞれ M (マグニチュード), X_{eq} (等価震源距離) が記載されており、この手法の出発点が、M と X_{eq} の想定であることが分かる。上図で見ると「FO-A～FO-B～熊川断層」では、M7.8, 等価震源距離 23.5 kmの地震が平均的にどの程度の地震動をもたらすかを、周期ごとに算出して、それを結んだものが応答スペクトルとなる。

等価震源距離

等価震源距離は、震源断層面の各部から放出される地震動のエネルギーの総計が、特定の1点から放出されたものと等価となるように計算するもの



東京電力 平成21年5月22日 震源近傍における等価震源距離と断層最短距離との関係

ここで等価震源距離とは、「地震エネルギーが等価な点震源までの距離」であり、実際には断層面の上で発生する地震動を、それと同じ（等価な）地震波エネルギーをもたらす点として表すものである。

(2) 応答スペクトルに基づく手法の詳細

応答スペクトルに基づく手法は、下図で見るなら、周期 0.02 秒, 0.09 秒, 0.13 秒, 0.3 秒, 0.6 秒での、「M7.5 震源距離 20.15km」「M7.2 震源距離 16.51 km」などと分類した上での地震動の大きさの平均を求め、プロットし、それをつなげた折れ線を描く方法である。プロットしたポイントを「コントロールポイント」と言う。

耐専スペクトルは折れ線で描く
ポイントを決めそれを結ぶ

周期0.6秒のポイント
周期0.6秒での
応答スペクトルの平均的大きさ

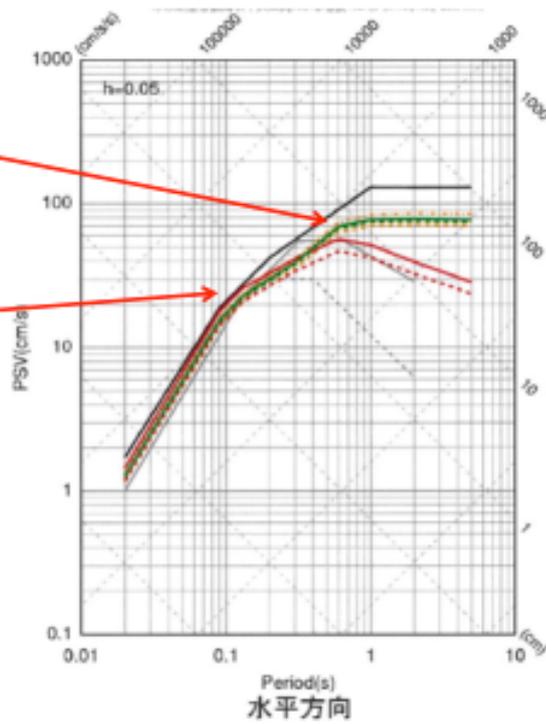
コントロールポイント

周期0.09秒のポイント
周期0.09秒での
応答スペクトルの平均的大きさ

たくさんの地震の記録から
周期ごとに
M、震源距離ごとに平均を求める

決められた周期ごとの平均を
点としてプロットし
その点をつないだ折れ線を求める
その折れ線が耐専スペクトル

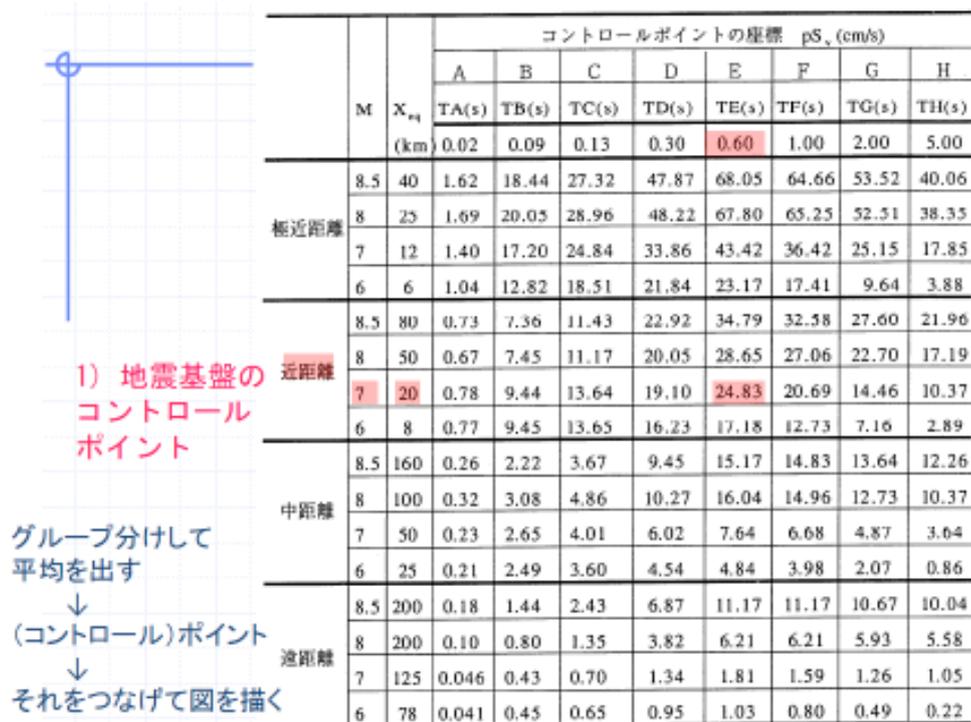
ではどうやって決めるか



川内発電所 地震について 平成 26 年 4 月 23 日 九州電力株式会社
http://www.nsr.go.jp/activity/regulation/tekigousei/h26fy/data/0107_04-2.pdf

	M	X _{eq} (km)	コントロールポイントの座標 pS _e (cm/s)							
			A	B	C	D	E	F	G	H
			TA(s)	TB(s)	TC(s)	TD(s)	TE(s)	TF(s)	TG(s)	TH(s)
			0.02	0.09	0.13	0.30	0.60	1.00	2.00	5.00
極近距離	8.5	40	1.62	18.44	27.32	47.87	68.05	64.66	53.52	40.06
	8	25	1.69	20.05	28.96	48.22	67.80	65.25	52.51	38.35
	7	12	1.40	17.20	24.84	33.86	43.42	36.42	25.15	17.85
	6	6	1.04	12.82	18.51	21.84	23.17	17.41	9.64	3.88
近距離	8.5	80	0.73	7.36	11.43	22.92	34.79	32.58	27.60	21.96
	8	50	0.67	7.45	11.17	20.05	28.65	27.06	22.70	17.19
	7	20	0.78	9.44	13.64	19.10	24.83	20.69	14.46	10.37
	6	8	0.77	9.45	13.65	16.23	17.18	12.73	7.16	2.89
中距離	8.5	160	0.26	2.22	3.67	9.45	15.17	14.83	13.64	12.26
	8	100	0.32	3.08	4.86	10.27	16.04	14.96	12.73	10.37
	7	50	0.23	2.65	4.01	6.02	7.64	6.68	4.87	3.64
	6	25	0.21	2.49	3.60	4.54	4.84	3.98	2.07	0.86
遠距離	8.5	200	0.18	1.44	2.43	6.87	11.17	11.17	10.67	10.04
	8	200	0.10	0.80	1.35	3.82	6.21	6.21	5.93	5.58
	7	125	0.046	0.43	0.70	1.34	1.81	1.59	1.26	1.05
	6	78	0.041	0.45	0.65	0.95	1.03	0.80	0.49	0.22

岩盤における設計用地震動評価手法(耐専スペクトル)について 2007年8月24日 原子力安全基盤機構



(甲 118 「岩盤における設計用地震動評価手法 (耐専スペクトル) について」)

このように、応答スペクトルに基づく手法は、たとえば、マグニチュード M6、震源距離 $X_{eq}78$ km、M7、 $X_{eq}20$ kmなどに分け、M7、 $X_{eq}20$ kmの地震で、周期 0.6 秒の周期で、その地震の応答スペクトルがどれだけの大きさになるかの平均値を算出し、周期ごとに算出したものをプロットして作成する。

(3) 応答スペクトルに基づく手法の種類

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。この大崎スペクトルでは、観測された地震動の最大値がほぼカバーされていて、より安全側に考えられていた。

ところが、現在用いられている、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) の応答スペクトルでは、地震動の平均像を求め

るものになっている。その他にも、Zhao.et.al (2006) の応答スペクトル等がある。

2 応答スペクトルに基づく手法の問題

(1) 地震規模の想定には、莫大な誤差が伴う

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動（敷地周辺の活断層により発生する地震動）は、いずれにしても地震規模の想定が必要となる。

地表の活断層の長さから出発し、そこからそのまま地震規模を直接推定する方法（松田式）にしても、地表の活断層の知見に加え、地下の震源断層面の長さや幅を推定した上で地震規模を推定する方法（後述）にしても、莫大な誤差という宿命からは逃れられない。

松田式は、断層の長さでマグニチュード（気象庁マグニチュード M_j ）との関係式であり、応答スペクトルに基づく手法では、まず断層の長さからマグニチュードを松田式によって求める。

高浜原発・大飯原発の場合

2. 地震動評価手法

12

■ 応答スペクトルに基づく地震動評価

- 解放基盤表面の地震動として評価できること、震源の揺がりが考慮できること、敷地における地震観測記録等を用いて諸特性が考慮できること、更に水平方向及び鉛直方向の地震動が評価できることから、Noda et al.(2002)(以下、耐専式という)を基本的に採用
- 検討用地震毎に、耐専式の適用性を検討し、適用が難しいと判断した場合は、断層モデルの結果を重視
- 地震規模は松田式より算定

■ 断層モデルを用いた地震動評価

- 評価地点の震源近傍で発生した地震の適切な観測記録が得られていないため、短周期側を統計的グリーン関数法、長周期側を理論的方法を適用したハイブリッド合成法により評価
- これまでの合同Cサブグループ会合における審議を踏まえ再評価した地盤モデルを用いて評価
- 新潟県中越沖地震の反映事項及び「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扱いについて(平成21年4月24日:原子力安全・保安院)」を踏まえて、短周期レベルを1.5倍したケースを精査して再計算

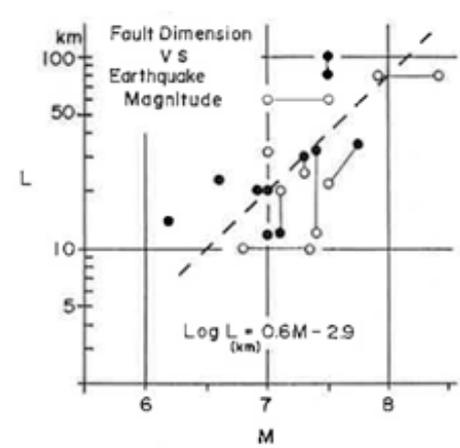
新耐震指針に照らした耐震安全性評価
基準地震動 S_s の策定について
(高浜発電所、大飯発電所)

平成22年9月15日

関西電力株式会社

松田式は、断層の長さから地震のマグニチュードを推定する式であるが、この

松田式には莫大な誤差がある関係式であり、これを提唱した松田時彦氏自身、単なる目安に過ぎないとしている。その意味は、極めて大きな誤差があるということにほかならない。下図が、その松田式を示す図である。



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、松田式を超える地震が発生していたこと、マグニチュードで1.0程度上回る地震が現に発生していたことがわかる。マグニチュードが1.0大きくなるとは、エネルギーで32倍（2の5乗）になることを意味しており（ちなみに、2.0大きくなると2の10乗で1024倍）、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。

(2) 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るもの

耐専スペクトルも、野田他（2002）の応答スペクトルも、その基礎となる観測された地震動記録は極めてわずかなものに過ぎず、そもそも、これによって地震動の最大値を知ることは不可能である。

また、耐専スペクトルも、野田他（2002）の応答スペクトルも、「実現象の平均像を忠実に再現」しようとしたものである。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

5

(甲 118 「岩盤における設計用地震動評価手法 (耐専スペクトル) について」
<https://www.nsr.go.jp/archive/nsc/senmon/shidai/taishinpic/taishinpic004/siry04-6-1.pdf>)

(3) 応答スペクトルに基づく手法の誤差 (平均像からのかい離の程度)

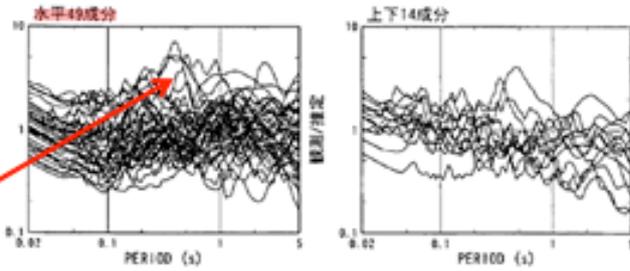
このように、応答スペクトルに基づく手法は、以前の大崎スペクトルを除き、基本的に平均像を求める手法である。これを原発の耐震設計に用いるのであれば、平均からどれだけかい離し、最大どこまでの値になるかを考える必要がある。それを問題にしないなら、本来危険な原発の耐震設計はできないはずだからである。平均像からのかい離は、応答スペクトルに基づく手法の誤差ということとなる。では平均像から、どれだけかい離した値となりうるのか。

近年の内陸地殻内地震による残差

耐専スペクトルのもと
となった地震ではない

各地震

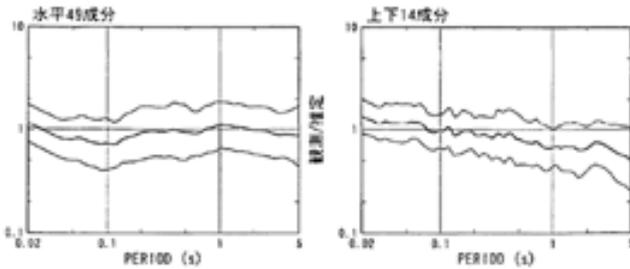
観測/推定



1本1本の線が現実に行った地震を示す

平均値

観測/推定



水平動

上下動

岩盤における設計用地震動評価手法(耐専スペクトル)について 2007年8月24日 原子力安全基盤機構

(甲 118 「岩盤における設計用地震動評価手法(耐専スペクトル)について」)

近年の内陸地殻内地震による残差

5倍

2倍

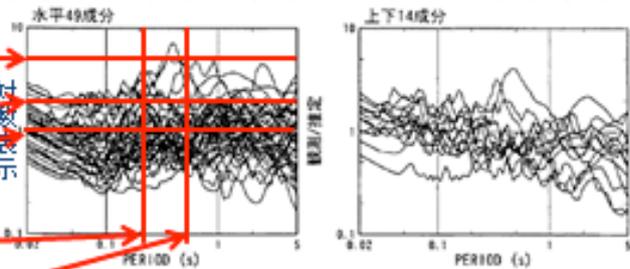
1倍

0.2秒

0.5秒

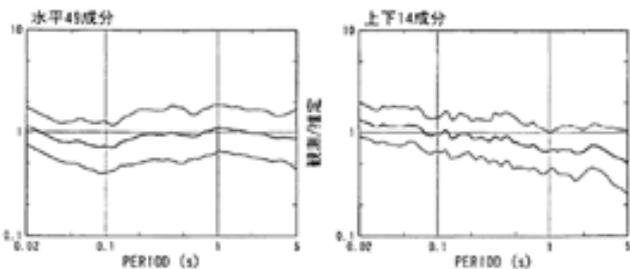
各地震

観測/推定
対数表示



平均値

観測/推定



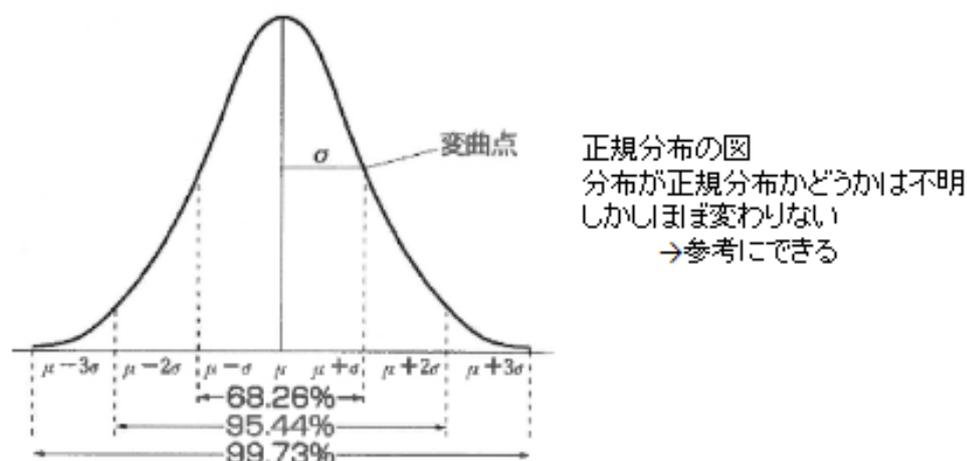
水平動

上下動

差 (σ) である。上図の下側の図には、 $+\sigma$ と $-\sigma$ の線が示されている。

標準偏差とは、値のバラツキを見る指標となるものであり、平均値と各値との差 (偏差) を二乗し、それを合算した和をデータの数で割り、それをルートした値である。

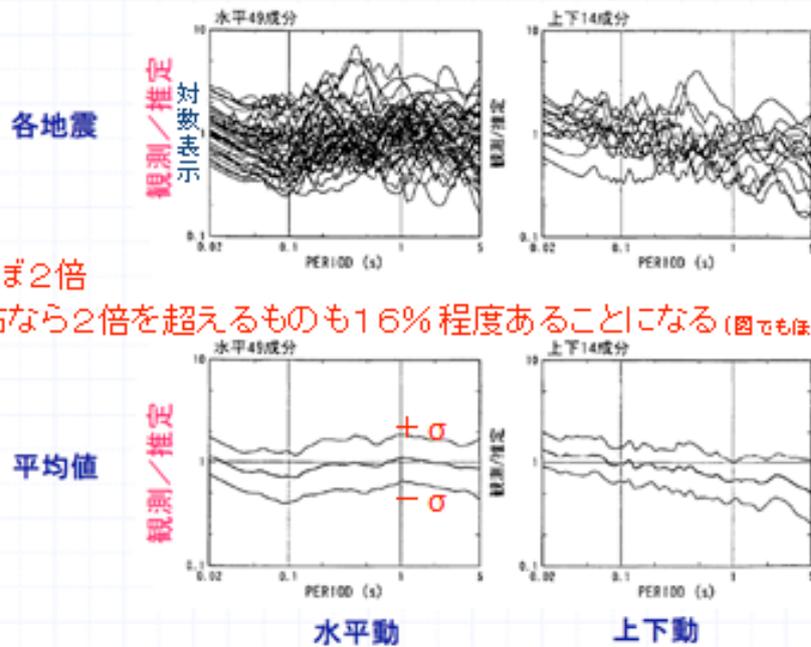
標準偏差(σ)とは、値のバラツキを見る指標
平均値と各値との差(偏差)を二乗し、それを合算した和をデータの数で割り、それをルートした値



$+\sigma$ を超えるもの (100 - 68.26) / 2 \approx 16 (%)
 $+2\sigma$ を超えるもの 2.3% $+3\sigma$ を超えるもの 0.14%

上図は、正規分布という良く見られる分布の図である。数値のバラツキの仕方には、いろいろなものがあるが、「正規分布」はその代表格のものである。上記観測値と推定値の比のバラツキ(分布)が必ず正規分布であるとまでは言えないが、バラツキの様子は正規分布にそう違わない。ちなみに縦軸は「対数表示」となっていることには注意が必要である。地震動の観測値と推定値の比のバラツキは、対数表示で見ると正規分布に近いものとなるということである。正規分布であるとすれば、 $+\sigma$ (標準偏差1つ分) を超えるものは約16%、 $+2\sigma$ (同2つ分) を超えるものも、2.3%あり、 $+3\sigma$ を超えるものもなおも0.135% (740分の1) あることとなる。 $+3\sigma$ をとったとしても、740個の地震のうち1個は、 3σ も超えるのである。

近年の内陸地殻内地震による残差



$+\sigma$ = ほぼ2倍

正規分布なら2倍を超えるものも16%程度あることになる(図でもほぼそのくらい)

2倍を超えるもの 16%程度ではなくても相当数あることになる

上図を見れば、 $+\sigma$ の値は、ほぼ2倍に近いと見ることができる。 $+\sigma$ を超える観測値も相当あるので、そもそも $+\sigma$ 程度の値を採用するのでは不足する。 $+2\sigma$ でも、なお正規分布なら、 2σ を超えるものも2.3%あることとなるので、原発の耐震設計であることを考えれば、それでも不足すると考えるべきで、 $+3\sigma$ 程度もしくはそれ以上は考えるべきということとなる。 $+2\sigma$ はほぼ4倍に近い、観測値と推定値の比の最大値に近い値である。また $+3\sigma$ で8倍に近い値と見ることができるが、せめてほぼ既往最大である4倍はとるべきであり、また安全性を考えればそれではなおも相当不足し、平均値の8倍もしくはそれ以上を考える必要がある。すると、少なくとも平均の10倍はとるべきという結論となる。

3 小括

前述したように、新規制基準(「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。しかし、応答スペクトルに基づく手法は、各地の原発の耐震設計で採用されているが、この手法は、出発点の松田式による地震規模の推定でも、その後の地震動推定でも、平均像を求めるに過ぎない手法である。

そもそも、平均像からのかい離を「不確かさ」と呼ぶこと自体、誤りである。平均像を現実の地震が超えることは、決して不確かなことではない。起こる地震のほぼ半数が、平均像を確実に超える。したがって、単に平均像からのかい離でしかないものを「不確かさ」と呼ぶのは相当ではない。特に、原発の耐震設計であることを考えれば、まず平均像を取って耐震設計をしようとする自体、全くの誤りであって、当初より、平均像ではない、最大値はどれくらいかを考えるべきである。

もっとも、国も電力事業者も、平均像からのかい離自体を「不確かさ」とは呼ぼうとしているわけではない。想定が基本的には平均像でしかないことを十分に知りつつ、平均像からのかい離という観点を取ろうとせず、無視している。この平均像からのかい離を不確かさの考慮と呼ぶとしても、この手法について、どの原発でも、この平均像でしかないことからくる不確かさを考慮していない。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）は本来必ず考慮しなければならない。新規制基準でも「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必要とされなければならない。しかしながら、この点の誤差は、国も電力会社も、無視を決め込んでしまっている。しかし、それが誤りであることは、否定しようのない事実である。

ただし、もし仮に応答スペクトルに基づく手法でも不確かさの考慮をするとしても、その不確かさの考慮は、しっかりとした根拠をもって行わなければならない。間違っても、「ある程度大きめにとっておけば、それで不確かさを考慮した」などとするようないい加減な方法によるわけにはいかない。あるいは多少大きめにとるなどという、お茶を濁すようなことでは足りない。明確に、少なくとも平

均像からどれだけのかい離まで想定すべきか、観測記録上の過去最大のかい離はどれだけか、それをも超えるものをどこまで想定すべきか（すなわち何 σ まで想定すべきか）という観点から、最大の地震動想定を行わなければならない。この何 σ まで想定すべきかは、松田式の適用においても考えられなければならない。そのときの不確かさの考慮は、最高裁判所伊方判決が言うような「万が一にも災害防止上支障のないこと」を実現するように、万が一にも、想定した応答スペクトルをはみ出す地震がないような、すべての考えられる地震・地震動を包絡するようなものとしなければならないである。

以上のとおり、地震動想定手法のうち、「応答スペクトルに基づく手法」は、地震規模の推定における経験的關係式（松田式）でも莫大な誤差があることが明らかであり、その後の地震動想定の手法も、実現象の平均像を求めるに過ぎない手法であって、しかもその平均からのかい離は、莫大なものであることが明らかである。しかるに電力会社は、この平均からのかい離を一切顧慮せず、地震動を想定している。そのことのみで、すでに電力会社の想定する地震動が極めて過小であることは明らかである。

第3 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

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つて、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。

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、上記の地震発生メカニズムに基づき、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、近くに適切な小地震がないときに、理論的手法などによって導く「統計的グリーン関数」とがある。

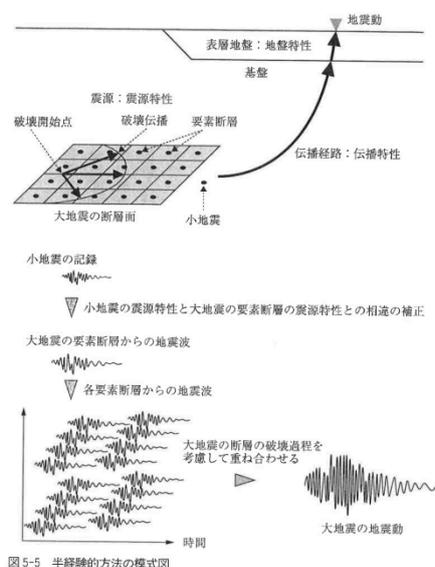


図 5-5 半経験的方法の模式図

(甲 4 8 『地震の揺れを科学する』 1 5 1 頁)

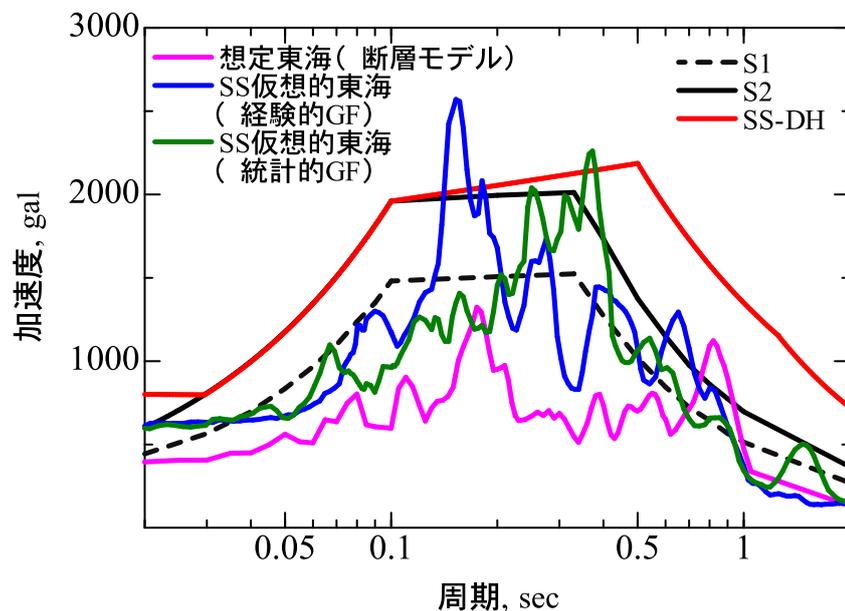
2 グリーン関数の誤差（不確かさ）が考慮されていない

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にする。

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はない。

この両者を浜岡原発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、要素地震として敷地になるべく近い小地震を選ぶのであるが、適切な地震はなかなかなく、多少離れた場所での小地震を選ぶのが通例である。そうすると、どうしても、現実の減衰とは食い違ってしまう。ここで誤差の生ずるのは、性質上まぬかれず、なおかつその誤差の評価は困難である。

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、経験的グリーン関数と大きく違うことから明らかなように、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ぬ。

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。

「グリーン関数」には、極めて大きな誤差（不確かさ）がある。しかし、「不確かさの考慮」として、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、電力会社が行っている地震動評価は、明らかな新規制基準違反があるということになる。もともと、現在進行中の適合性審査の過程でも、グリーン関数の「不確かさ」は一切取り上げられていない。規制委員会自身が、触れるべきグリーン関数の誤差について、一切触れようとしないのであるが、ここには明らかな審査の欠落が存在し、導かれた地震動は、なすべき不確かさ（誤差）の考慮がされていない過小なものとなっている。

3 強震動予測レシピについて

(1) 強震動予測レシピ

「強震動予測レシピ」とは、以下のとおり説明されている。

「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。」(甲53 平成19年4月「断

層モデルの高度化に関する検討」 2-1)

原発の耐震設計において使用されているのは、入倉孝次郎氏による入倉レシピと、地震調査研究推進本部地震調査委員会のレシピとがある。

ここでは、まず入倉レシピについてみることにする。

<http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/nenpo/no47/47a0/a47a0t02-2.pdf>

(甲 1 1 9 「入倉 2002」)

http://www.kojiro-irikura.jp/pdf/kyoushindouyosoku_recipe.pdf

(甲 5 4 「入倉 2008」)

なお、電力会社によっては、地震調査委員会による「震源を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）（甲 1 2 0）」

http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_yosokuchizu/g_furoku3.pdf

が用いられている場合もあるが、基本的な考え方においては、異なる点はない。

この入倉レシピは、次の 9 つの段階 (step) からなっている。

S T E P 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。

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

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

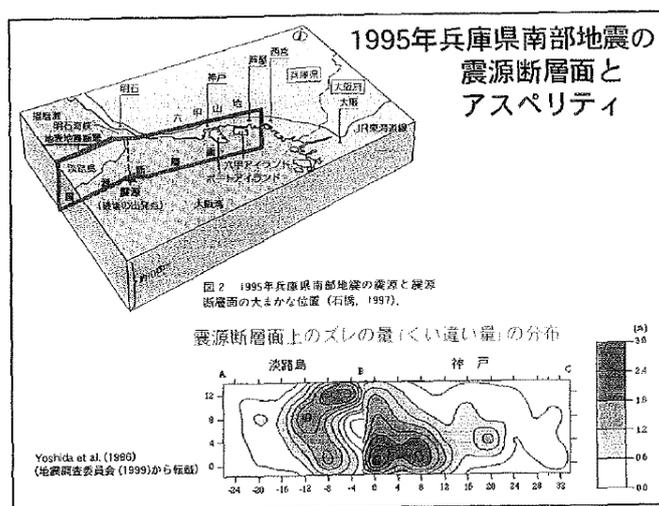
Step1 は断層破壊面積を導くものである。

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×幅を決めることである。このモデルは、極めて簡略なモデルであり、モデル自体に大き

な誤差が含まれている。大飯，高浜を含むどの原発でも，断層の下に四角い震源断層面を想定し，断層からはみ出して前後に続く断層面は，想定しない。しかし，兵庫県南部地震で見られたように，現実の断層面は地表の断層を大きくはみ出している。少なくとも，その可能性を考えることが原発の耐震設計では求められている。それを無視して策定した断層モデルは，過小なモデルと言うほかない。

一方，短い断層では，ようやく最近になって，地表の断層の前後に断層面が伸びる可能性を認めるに至っている。したがって，同様，長い断層であっても，前後に断層面が伸びることは考えなければならない。

平成7年（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，地下の断層は延びていた（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。



(甲116 石橋克彦陳述書)

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年ほどの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。

一旦、震源断層面の長さとは幅が決まれば、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)。

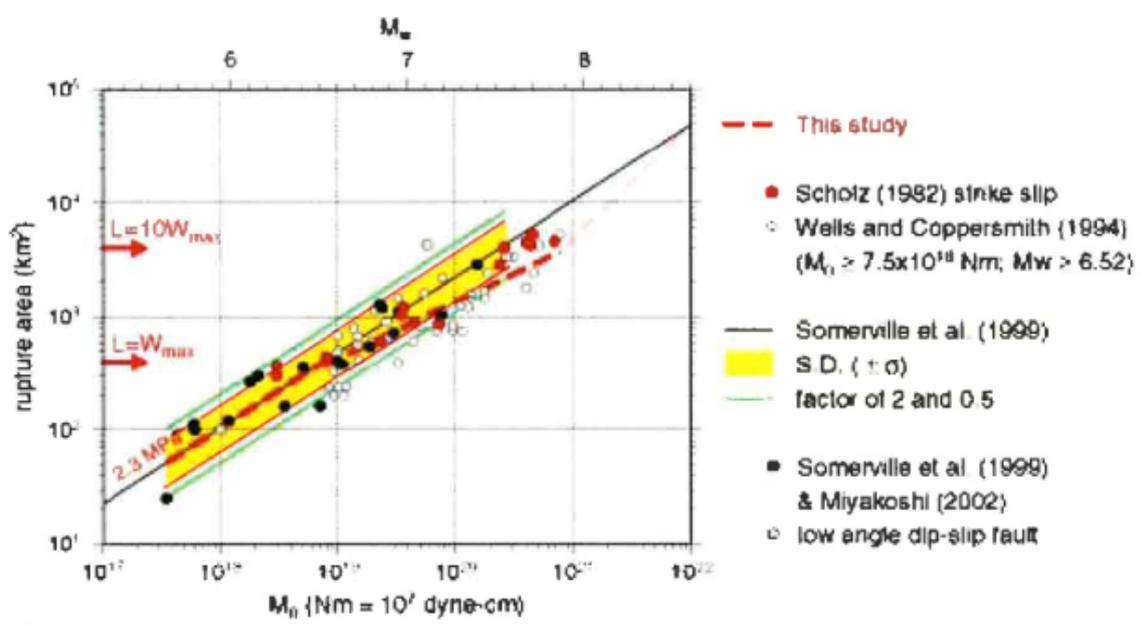


図 2.1 入倉・三宅の (2001) のスケーリング

Step2 は、断層破壊面積（震源断層面の面積）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。

図でもわかるとおり、断層破壊面積が大きくなれば、それに応じて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。

このうち、入倉－三宅の式は、図の赤点線で示されたものであって、 L （長さ） $=W$ （幅）の点で折れ曲がっている。折れ曲がらない黒線がサマービル他（1999）の関係式である。

これらの関係式は、実際に起きた地震の平均を取っている。

黄色の範囲が、中央の線（平均の線）からの $+\sigma$ 、 $-\sigma$ の範囲である。

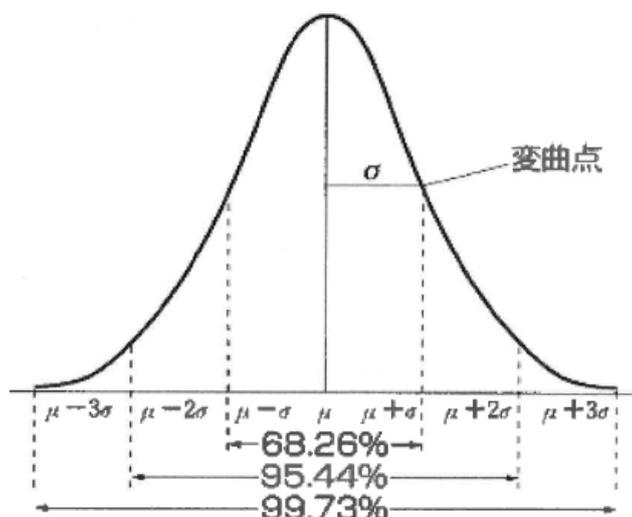
※ σ = 標準偏差

その端に加筆した赤線は、横軸の M_0 の平均像の $1/2$ と 2 倍の線である。この赤線は、同じ断層面積で、 M_0 が $1/2$ の値と 2 倍の値がどこかを示している。ちなみに、その外側の緑線は、入倉らが引いた同じ M_0 での縦軸の断層面積の平均像の $1/2$ と 2 倍の値を示している。

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。

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倍となっていて、 1σ 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 2σ をも超えることになる。

再度、正規分布の図をみれば、 $+\sigma$ と $-\sigma$ の範囲に68.26%の値が入り、 $+2\sigma$ と -2σ 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44個に1つ（ $=1 / ((1-0.0544) \div 2) = 1 / 0.0228$ ）の地震は、この値を超えてしまい、 $+3\sigma$ 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%（ $=1 / ((1-0.9973) \div 2)$ ）の地震は、その8倍の値を超える地震動をもたらすことは述べたとおりである。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倍をも超える。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思えなければならない。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も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は発生している以上、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er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の意味している。

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 3σ までは取るべきだ、あるいは 3σ 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、近代地震計が登場してからの何 10 年程度のものでしかなく（甲 1 2 7 =

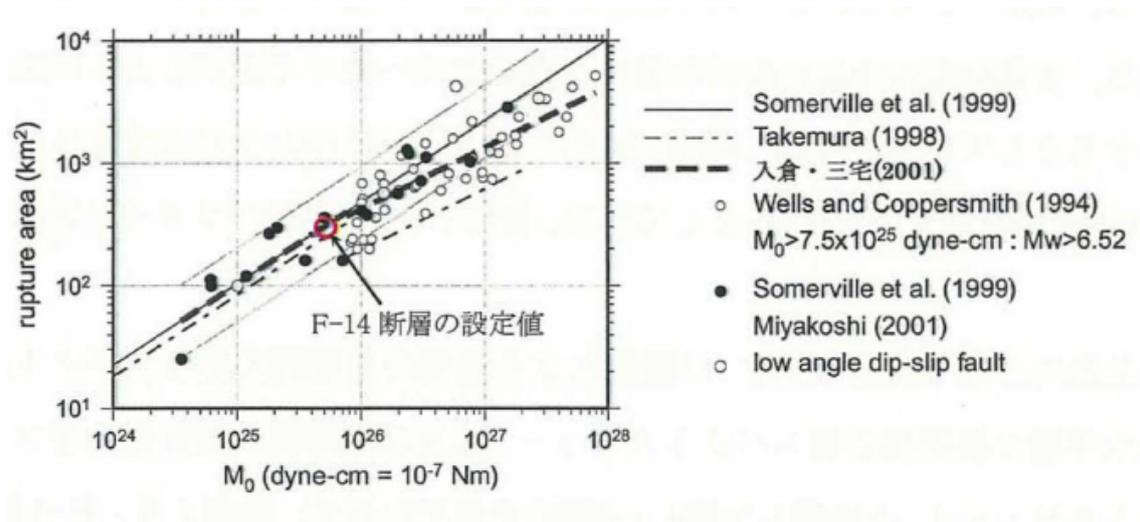
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/kenshin/vol63p093.pdf> なお甲 50 の 18 p 以下も参照), 地質現象の長い長いスパンからしたら、本当にわずかな短い期間の、けし粒ほどの価値しかないものでしかない。だから、その中の「過去最大」など、常に更新し続けていく。スマトラ沖地震も、東北地方太平洋沖地震もそうであった。古くはチリ津波もそうであった。したがって、「過去最大」を上回る現象が起こることは、覚悟する必要がある。このことからすれば、この 4 倍では足りないと考えerべきであり、4 倍という値は最低限のものと考えなければ

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、強震動レシピで決めた平均的 M_0 の値の4倍程度は取るべきだというのは、原発の耐震設計での最低限の要求であり、極めて危険な原発の安全性を考えれば、平均的値の10倍はとる必要があるということになる。

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点破線は、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。

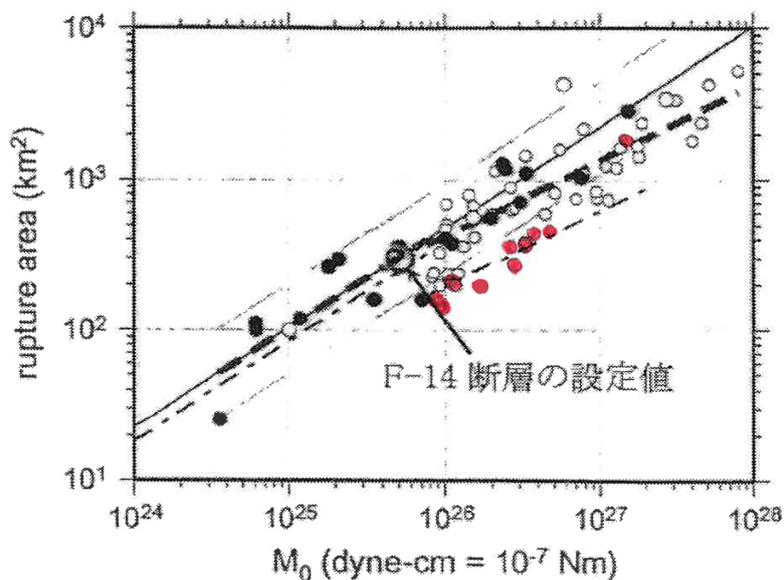


黒線は Somerville *et al.* (1999) によるもので、灰色の領域は標準偏差 ($\sigma = 0.16$) の範囲、実線は点線の倍半分の値を示す。白丸印で示される Wells and Coppersmith (1994) のカタログのデータは地震モーメントが 10^{26} dyne-cm を超える大きな地震で系統的なずれを示す。地震モーメントが 7.5×10^{25} dyne-cm より小さい場合（震源インバージョンの結果のみで回帰）と大きい場合（震源インバージョンの結果と Wells and Coppersmith (1994) のカタログを含めて回帰）に分けて決められた式が点線で示される。一点鎖線は武村 (1998) による経験的關係式を示す。
(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 M_0 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。しかし、武村式も、入倉式同様にスクエーリング則の式であり、平均像を求めようとする式でしかない。したがって、そ

の背後には、4倍を大きく上回るデータが存在する。念のため、入倉のデータを示した大間原発の上図に、武村のデータを書き加えた図を示しておく。この図によれば、武村のデータの中には、入倉の平均値の7倍に及ぶデータが存在する。



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、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得ない。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。

しかし、耐震設計は、この平均的な値で行ってはいけない。それでは50%の地震で、平均値を超えてしまうので、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。

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)]^(2.5) 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)、入倉・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。

るためには、さらに面積比を小さくす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 5 5 「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 2 2 頁)。

http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/pdf/kanmatsu_shiryou.pdf

表2.1 強震断層モデルのパラメーター一覧

全体	面積(km ²)	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 ²)	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
	Mw	8.4	8.8	8.5	8.0
	強震動生成域 SMGA	面積(km ²)	2,047	6,109	3,661
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
Mw		7.9	8.4	8.1	7.5
強震動生成域 SMGA①	面積(km ²)	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
	Mw	7.7	8.1	7.7	7.3
強震動生成域 SMGA②	面積(km ²)	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
	Mw	7.7	8.0	7.7	7.3
強震動生成域 SMGA③	面積(km ²)		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	
	Mw		8.0	7.7	
強震動生成域 SMGA④	面積(km ²)		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	
	Mw		7.8	7.7	
背景領域	面積(km ²)	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
	Mw	8.3	8.7	8.5	7.9
その他	破壊伝播速度(km/s)	2.7	2.7	2.7	2.7
	fmax(Hz)	6Hz	6Hz	6Hz	6Hz
	剛性率(Nm ²)	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。検討会は、東北地方太平洋沖地震の知見から、このような値を導いたのであるが、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、結果的にではあるものの、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

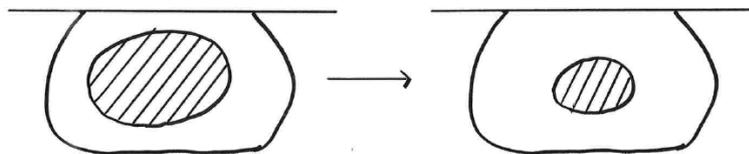
Step 5: アスペリティの応力降下量 ($\Delta\sigma_a$)

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）かけれ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帯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。

$$N=1 \text{ の場合は } D_a/D=2.3$$

$$N=2 \text{ の場合は } D_a/D=2.0$$

$$N=3 \text{ の場合は } D_a/D=1.8$$

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効応力

Step 8: アスペリティの実効応力(σ_a) と背景領域の実効応力 (σ_b)

アスペリティ部の実効応力(σ_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(σ_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。

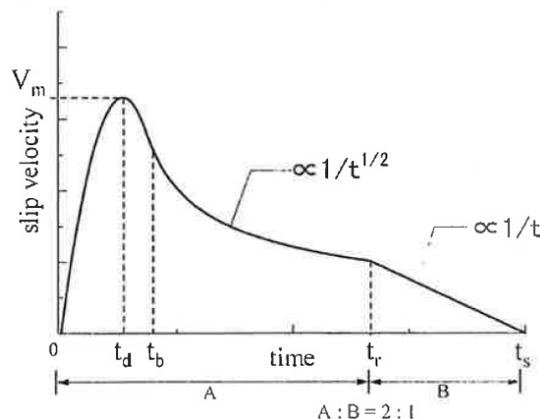
Step8 は、アスペリティの実効応力を導くものである。

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・宮武 (2000)]^(2.7)。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)。



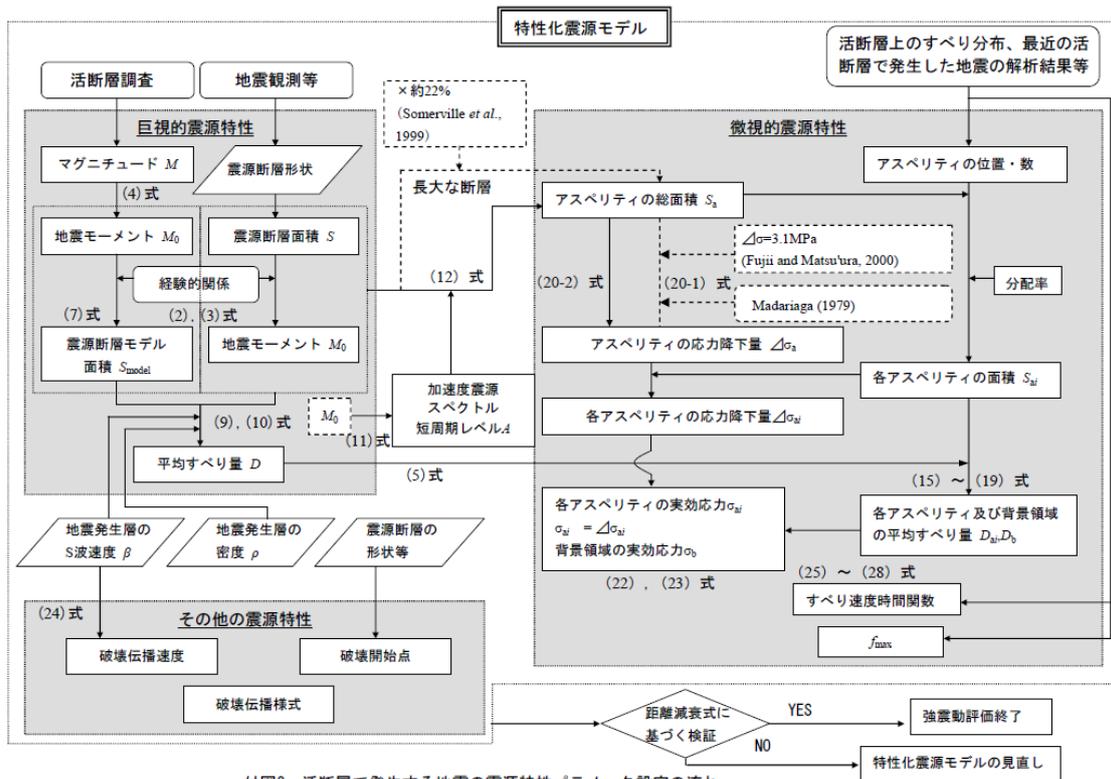
Step9 は、すべり速度が時間によってどう変化するか関数を設定するものである。

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。

(2) 地震調査委員会の強震動予測レシピ

地震調査委員会は、特定化震源モデルとして、「震源を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）を提案している（甲120）。

http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_yosokuchizu/g_furoku3.pdf



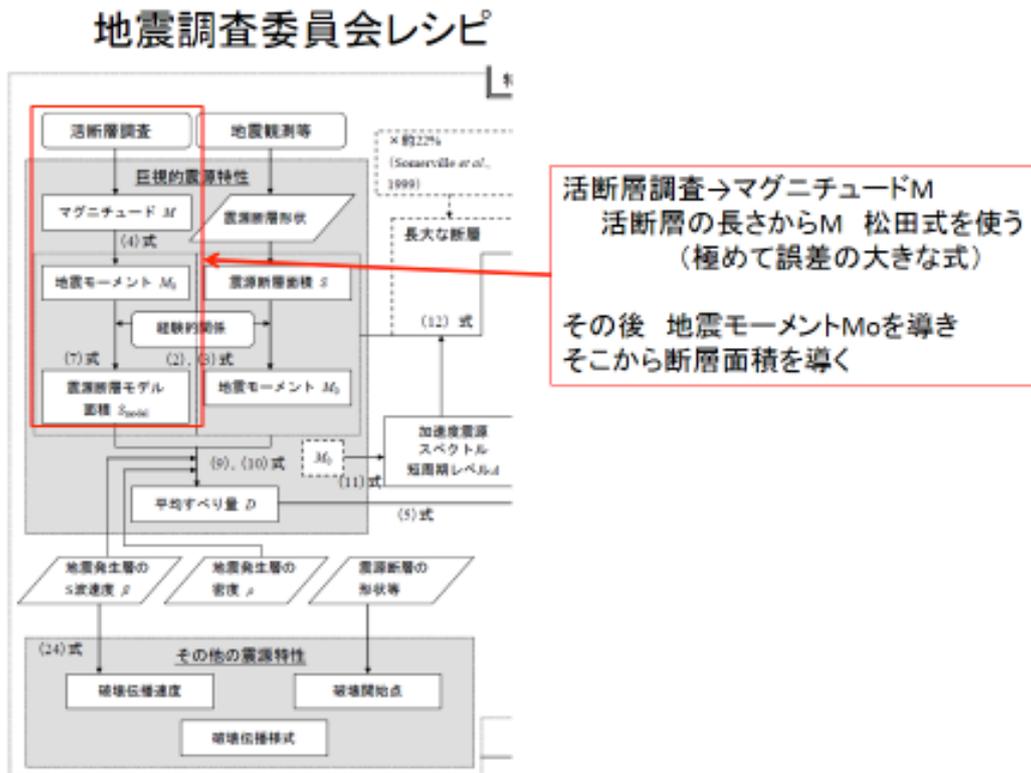
付図2 活断層で発生する地震の震源特性パラメータ設定の流れ
(過去の地震記録や詳細な調査結果に基づき震源断層を推定する場合)

このレシピでも、地震観測等のデータから、震源断層の長さ、幅をだして断層

面積 S を算出し、そこから地震モーメント M_0 を導く点は同じである。

入倉レシピとの最大の違いは、アスペリティの平均応力降下量を求める際に、地震モーメント M_0 から短周期レベル A を求め、その上で、短周期レベル A からアスペリティの総面積、アスペリティの応力降下量を導く部分である。

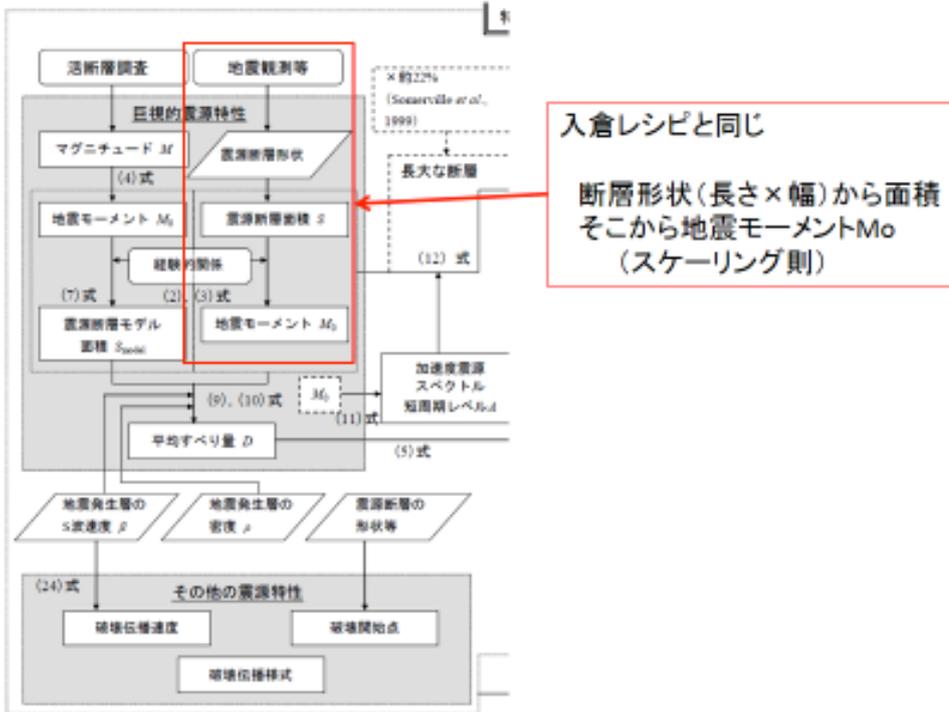
以下ではさらに詳細にこのレシピを見ることとする。



この部分は、活断層調査をして活断層の長さを定め、その長さから松田式を使ってマグニチュード M を導き、そこから地震モーメント M_0 を出し、さらに断層面積 S を出すというものである。

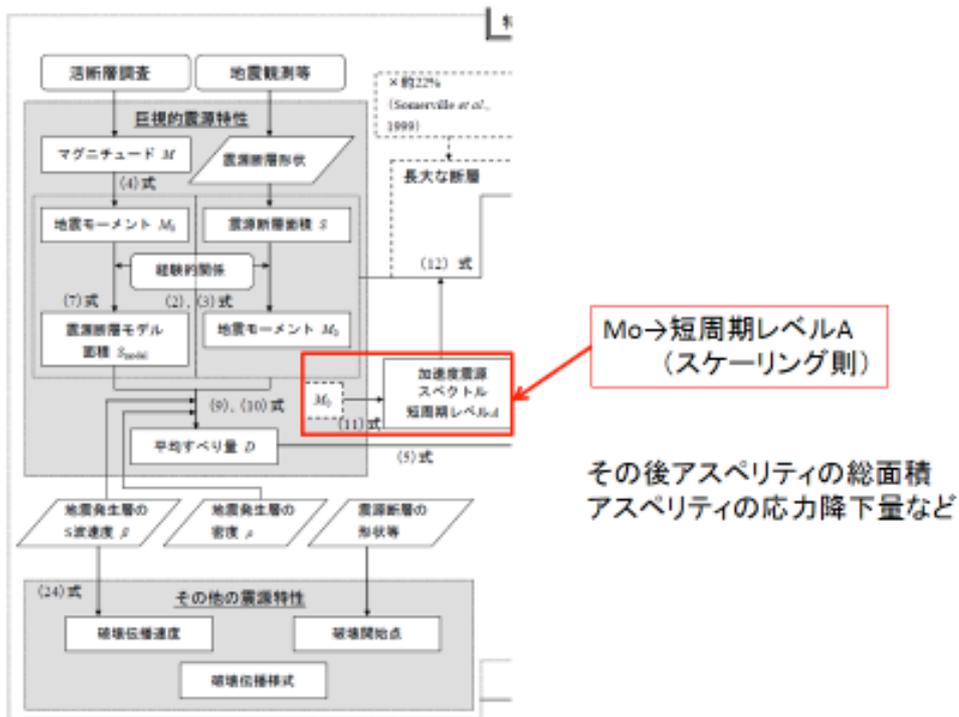
しかし、松田式には莫大な誤差が存在し、その後の過程にも誤差が存在する。したがって、この道筋の地震動想定は必然的に極めて大きな誤差を含んでいる。

地震調査委員会レシピ^①



この部分は、入倉レシピと同じであり、地震観測等から震源断層の形状を導き、そこから断層面積 S を、さらに地震モーメント M_o を導くものである。

地震調査委員会レシピ



さらにその後 M_0 から短周期レベル A を導く。 M_0 から直接、短周期の地震動のレベルを出すという点で入倉レシピとは異なっている。

しかし、この M_0 -A の関係もスケールリング則であり、そこにはまた誤差が存在することは下図を見ればわかる。

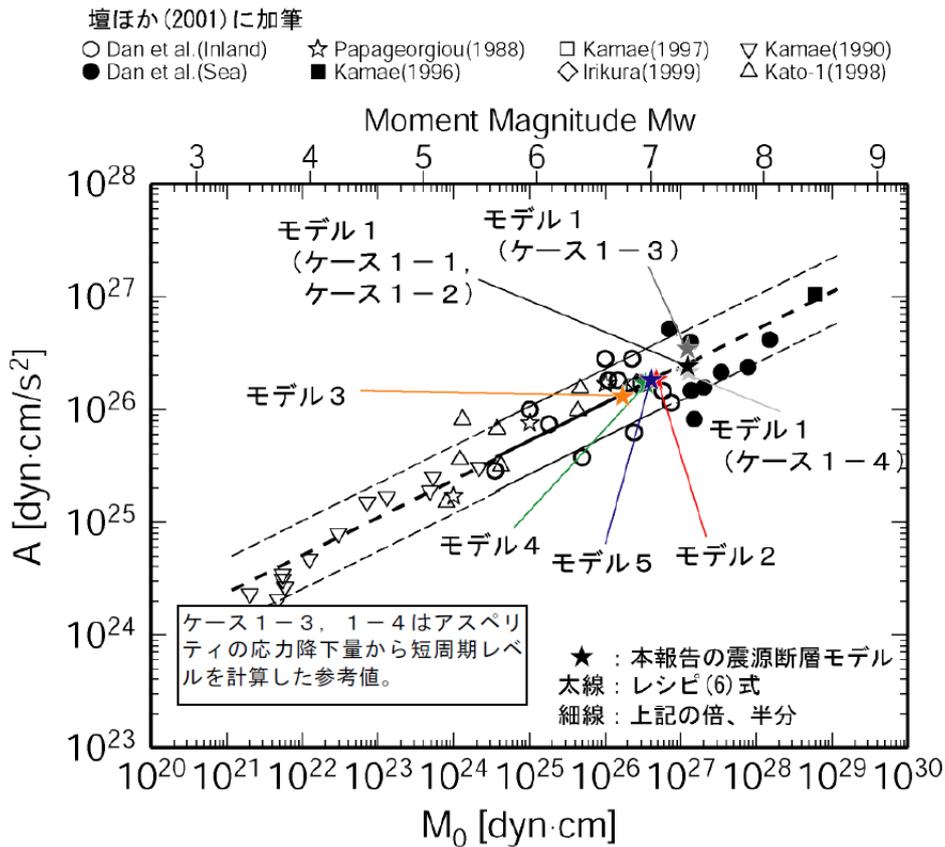


図 1 1 地震モーメント M_0 と断層面積 S の経験的關係 (上) および地震モーメント M_0 と短周期レベル A の關係 (下)

もとは同じで結果も同じで、道筋が変わるだけだから、当然のことではあるが、地震調査委員会のレシピも入倉レシピと同様、極めて大きな誤差を含んだレシピなのである。

特に、入倉レシピの 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、地震動に反映させるようなことは、全くしていない。

また地震調査委員会のレシピを用いる場合にも、スケーリング則に伴う誤差（不確かさ）は考慮されていない。

きわめて危険な原発の耐震設計において、こうした誤差を無視することは許されない。

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（前記瀬瀬発言「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・地震調査委員会レシピ）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。

(2) スケーリング則には必然的に莫大な誤差が含まれる

地下の現象は、正確には良くわかっていない。そこで、なるべく多数のデータを集めて、その傾向を見出すのが「スケーリング則」である。スケーリング則に

は、それなりの理論的裏付けもあるが、いずれにしても現実の現象は、極めてばらつきが大きく、到底「スケーリング則」で正確に記述できない。要するに、「スケーリング則」は、基本的に地震等の現象の傾向を見出すにすぎず、そこには必然的に大きなばらつきが伴わざるを得ない。しかも、集めたデータも、極く極くわずかな期間でのものでしかなく、その程度のデータでは、現象の傾向自体も、正確に把握できるわけではない。

松田式もスケーリング則の1つであるが、スケーリング則には、どうしても極めて大きな誤差が存在する。このスケーリング則を用いる原発の耐震設計は、その誤差を最大限検討すべきであるのに、電力会社も規制委員会も、この誤差について、一切顧慮しようともしていない。

ここにこそ、日本の原発の耐震設計上の極めて大きな問題がある。そして、その莫大な誤差が考慮されない原発の耐震設計は、根本的に誤っており、そうして導かれた地震動は、起こりうる最大限の地震動から比べて、あまりに過小である。

5 平成19年能登半島地震の概要（平均を超えた例）

(1) 平成19年能登半島地震の各種パラメータ

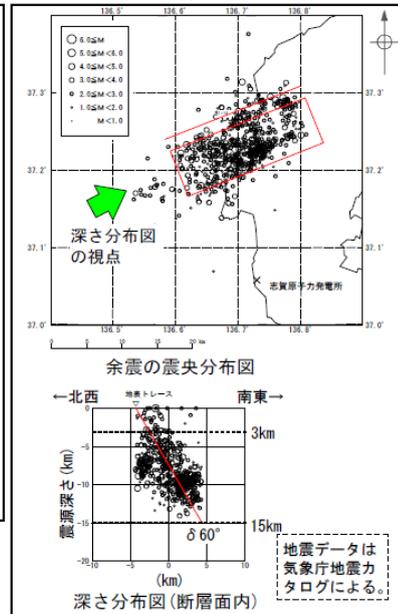
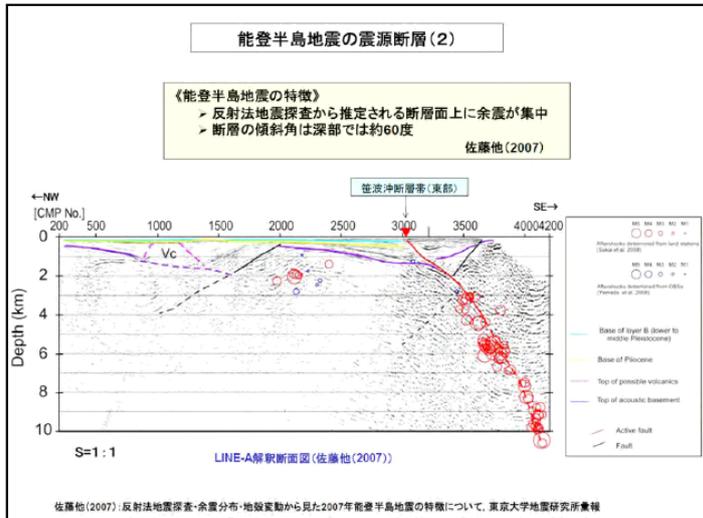
平成19年（2007年）3月25日、能登半島北西部で、 $M_j 6.9$ ($M_w 6.7$)の地震が発生した（甲57「志賀原子力発電所 新耐震指針に照らした耐震安全性評価(基準地震動 S_s の策定について)」平成21年1月15日 北陸電力株式会社)。
https://www.nsr.go.jp/archive/nsc/senmon/shidai/taishin_godo_WG2/taishin_godo_WG2_05/siryu3.pdf

これによれば、この平成19年能登半島地震の震源域、形状は、下図のとおりであった。

断層モデルによるシミュレーション解析を用いた検討③

2. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
2-5. 平成19年能登半島地震の知見を踏まえた検討

震源断層面の設定 (iii) [断層幅及び傾斜角の設定]



研究機関による知見や気象庁地震カタログを用いた検討から、断層長さを20.6km、傾斜角を60°、断層上端及び下端深さをそれぞれ3km及び15kmと設定。

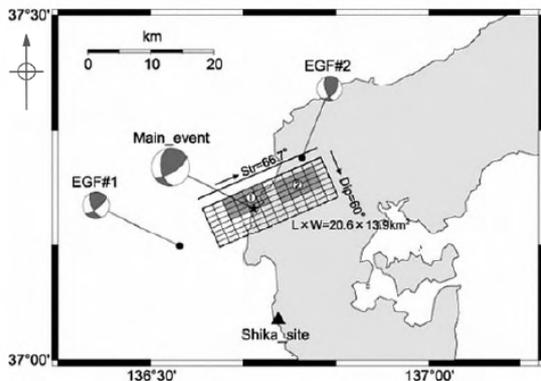
本震発生から最大余震(3月25日18時11分)発生前までの余震分布

断層モデルによるシミュレーション解析を用いた検討④

2. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
2-5. 平成19年能登半島地震の知見を踏まえた検討

シミュレーション解析方針

- ・シミュレーション解析は、震源位置、震源メカニズム、地震波の到来方向等からみて地下構造特性が適切に反映されている観測記録が敷地で得られていることから、それらを要素地震とする経験的グリーン関数法により実施。
- ・再現する記録は敷地地盤の観測地点におけるEL-10mの観測記録とする。



(メカニズム解は(独)防災科学技術研究所広帯域地震観測網(F-net)による)

(注) 断層モデルは、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。

要素地震は、本震の震源域付近で発生し震源メカニズム解が整合していること、観測記録にノイズが少なく評価対象とする周期0.02~5秒程度の周期帯域において十分な精度を有していること、に留意して以下の2地震を選定。

要素地震の諸元

地震	年月日	時	分	秒	震央位置		震源深さ(km)	マグニチュードM
					東経	北緯		
EGF#1	2007 3 26	14	46	34.67	136° 33.11'	37° 09.92'	8.62	4.8
EGF#2	2007 3 25	15	43	30.59	136° 46.31'	37° 17.64'	8.90	4.5
本震	2007 3 25	09	41	57.91	136° 41.16'	37° 13.24'	10.70	6.9

地震諸元は気象庁地震カタログによる。

策定した断層パラメータ

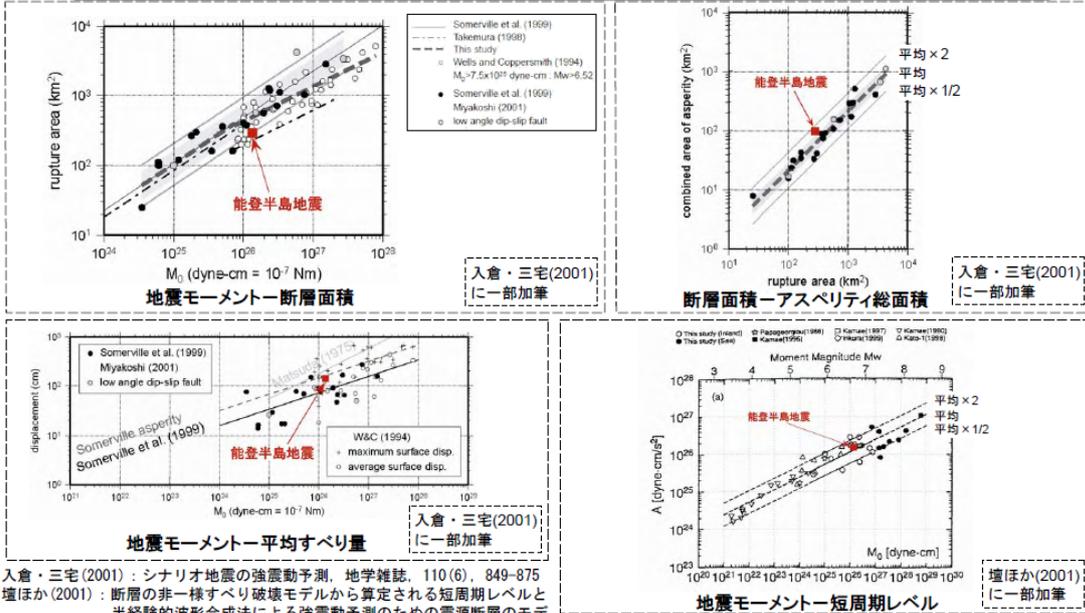
領域	要素地震	要素地震の応力降下量 $\Delta\sigma_0$ (MPa)	応力降下量補正係数 C	応力降下量 $C \cdot \Delta\sigma_0$ (MPa)	地震モーメント (N·m)
アスペリティ①	EGF#1	8.6	2.32	20.0	2.72E+18
アスペリティ②	EGF#2	2.0	5.00	10.0	1.91E+18
背景領域	EGF#1	8.6	0.50	4.3	8.97E+18

断層モデルによるシミュレーション解析を用いた検討⑦

能登半島地震のシミュレーション解析結果と地震調査委員会の強震動予測レシビ等で用いられている断層パラメータとの関係

2. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
2-5. 平成19年能登半島地震の知見を踏まえた検討

他の内陸地殻内の同程度の地震に比べ断層面積がやや小さく、アスペリティ総面積、すべり量及び短周期レベルが大きい傾向がある。



入倉・三宅(2001): シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, 110(6), 849-875
壇ほか(2001): 断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化, 日本建築学会構造系論文集, 545, 51-62

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

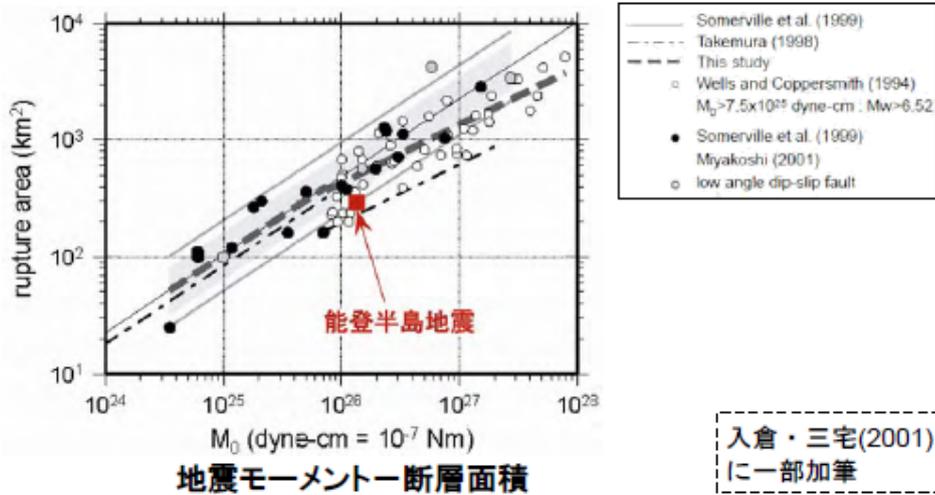
項目	【参考】能登半島地震			笹波沖断層帯(全長)			設定方法
	東部	西部		東部	西部		
基準点北緯	N(°)	37.2207	37.2207	37.0838			
基準点東経	E(°)	136.5931	136.5931	136.4030			
走向	θ (°)	66.7	66.7	52.7	調査結果に基づき設定		
傾斜角	δ (°)	60	60	60	調査結果に基づき設定		
すべり角	λ (°)	132	132	132	能登半島地震シミュレーション解析結果		
長さ	L(km)	20.6	20.6	22.2	調査結果に基づき設定		
幅	W(km)	13.9	17.3	17.3	W=地震発生層厚さ[15km]/sin δ		
上端深さ	h(km)	3.0	3.0	3.0	微小地震分布等により設定		
すべり量	S_i (km)	286.3	356.4	384.1	$S_i=L \cdot W$		
断層面積	S (km ²)	286.3	740.4		$S=\sum S_i$		
地震モーメント	M_0 (N·m)	1.36E+19	7.31E+19		$M_0=\mu \cdot D \cdot S$		
平均すべり量	D(cm)	143.6	298.4		D=L		
平均応力降下量	$\Delta\sigma$ (MPa)	6.84	8.83		$\Delta\sigma=7/16 \cdot M_0 \cdot (S/\pi)^{-3/2}$		
短周期レベル	A (N·m/s ²)	1.38E+19	2.41E+19		$A \propto M_0^{1/3}$		
面積	S_{21} (km ²)	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_{021} (N·m)	2.72E+18	3.35E+18	3.34E+18	$M_{021}=\mu \cdot D_{21} \cdot S_{21}$		
すべり量	D_{21} (cm)	172.3	213.4	213.4	$D_{21} \propto A_{21}$		
全すべり量	D_{21t} (cm)	267.0	465.3	465.3	$D_{21t}=D_{21}+D_0$		
応力降下量	$\Delta\sigma_{21}$ (MPa)	20.0	24.8	24.8	$\Delta\sigma_{21} \propto A_{21}$		
トライタイム	T_{r21} (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		
短周期レベル	A_{21} (N·m/s ²)	1.20E+19	1.49E+19	1.49E+19	$A_{21}=(\sum A_{21})^{1/2}$		
面積	S_{22} (km ²)	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_{022} (N·m)	1.91E+18	2.36E+18	2.34E+18	$M_{022}=\mu \cdot D_{22} \cdot S_{22}$		
すべり量	D_{22} (cm)	121.0	149.9	149.9	$D_{22} \propto A_{22}$		
全すべり量	D_{22t} (cm)	215.7	401.7	401.7	$D_{22t}=D_{22}+D_0$		
応力降下量	$\Delta\sigma_{22}$ (MPa)	10.0	12.4	12.4	$\Delta\sigma_{22} \propto A_{22}$		
トライタイム	T_{r22} (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		
短周期レベル	A_{22} (N·m/s ²)	6.73E+18	8.34E+18	8.34E+18	$A_{22}=(\sum A_{22})^{1/2}$		

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。

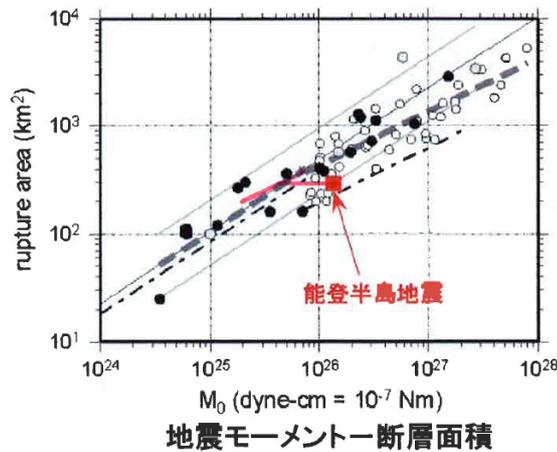
「設定した断層パラメータ」の図で「参考」として記載されているのが、能登

半島地震の各種パラメータである。この中で、特に問題となるのが、次の図である。



この図からわかることとして、同じ断層面積の地震の中で、地震モーメント M_0 （あるいは M_w ）が平均的地震より、相当程度大きいことである。ちなみに、この地震は、地表に断層が現れた断層であるので、上図の太い波線（入倉レシピによる平均像を示すもの）のうち、折れ曲がったものの右側の破線がこの種の地震の平均像を示す入倉の直線である。

そこで、この平均像からのかい離を図で見ると次のとおりとなっている。



(2) 平成19年能登半島地震のパラメータと入倉レシピの比較

この断層面積での平均像を示す入倉レシピによる計算結果と比較すると、次のとおりである。

平成19年能登半島地震のパラメータと入倉レシピの比較

入倉レシピ

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
 286.3 3.89061E+25 1.95653E+22 8.89334E+22 6.326678217

平成19年能登半島地震

286.3 1.36E+26 6.84E+22 20.0E+22 (20.0MPa)
 10.0E+22 (20.0MPa)

上の値からして、平成19年能登半島地震は、地震モーメント及び平均応力降下量で、平均の3.5倍となっている。ただし、アスペリティの面積が33%と平均(22%)よりも大きいことから、アスペリティの応力降下量は、平均の2.25倍にとどまっている。いずれにしてもこの地震は平均像の地震ではないことがわかる。

また上の表「設定した断層パラメータ」をみるなら、2つのアスペリティで、応力降下量が大きく違うことがわかる。

策定した断層パラメータ

領域	要素地震	要素地震の 応力降下量 $\Delta\sigma_e$ (MPa)	応力降下量 補正係数 C	応力降下量 $\Delta\sigma =$ $C \cdot \Delta\sigma_e$ (MPa)	地震モーメント (N·m)
アスペリティ①	EGF#1	8.6	2.32	20.0	2.72E+18
アスペリティ②	EGF#2	2.0	5.00	10.0	1.91E+18
背景領域	EGF#1	8.6	0.50	4.3	8.97E+18

ちなみに、中越沖地震でも、下記のとおり3つのアスペリティの応力降下量は、すべて同じというわけではなかった(甲121 入倉ほか「2007年新潟県中

越沖地震の強震動」 2008年3月19日再修正版)

http://www.kojiro-irikura.jp/pdf/cyuetsu_080319.pdf

設定した震源断層モデルの緒元

	Rupture start point	Depth (km)	Mo (Nm)
ASP1	(4,3)	10.0	1.69×10^{18}
ASP2	(5,2)	8.3	1.69×10^{18}
ASP3	(4,5)	11.3	1.02×10^{18}
	L (km) × W (km)	$\Delta\sigma$ (MPa)	Risetime (second)
ASP1	5.5 × 5.5 (N:5 × 5)	23.7	0.5
ASP2	5.5 × 5.5 (N:5 × 5)	23.7	0.5
ASP3	5.04 × 5.04 (N:9 × 9)	19.8	0.45

これまでほとんどの原発で、複数のアスペリティの応力降下量は同じとしてモデルが設定されてきていたが、実は、現実の地震では、必ずしもそうではなく、1つのアスペリティだけが他より、応力降下量が相当に大きくなることがあるのである。

このことからすれば、断層モデルの設定にあたっては、特に敷地直近のアスペリティで、他よりも大きな応力降下量が発生するモデルも検討される必要がある。また、割り当てられる応力降下量が他の2倍で足りるというわけでもない。さらに大きな応力降下量が1つのアスペリティで発生する可能性も考える必要がある。

このように、現実の地震像は種々であるが、原発の耐震設計は、あくまでも地震の平均像で行われており、様々なバラツキについての考慮が全く不足していることが、この能登半島地震の知見からも明らかとなる。

第4 「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、新耐震指針で導入された概念であり、旧耐震指針で「直下地震」といわれていたものに相当する。これについて、新耐震指針では、「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変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 電力会社がこれまで採用していた「震源を特定せず策定する地震動」

電力会社がこれまで採用していた「震源を特定せず作成する地震動」は、加藤ほか(2004)による「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」における応答スペクトルであった。

(2004年、加藤研一、他、日本地震工学会論文集、第4巻、第4号、甲122
http://www.jaee.gr.jp/stack/submit-j/v04n04/040403_paper.pdf)

この「加藤ほか(2004)」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。

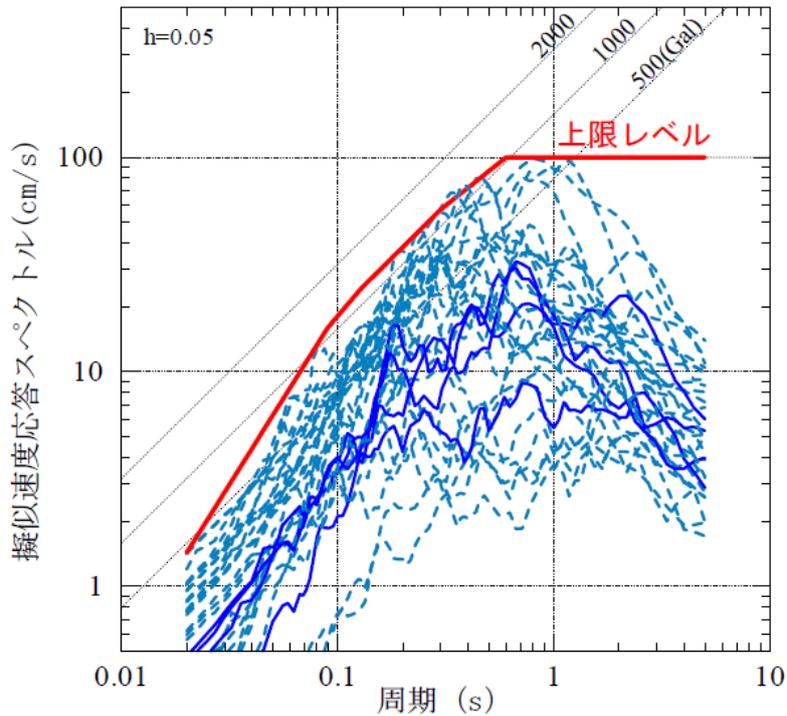


図 8 震源を事前に特定できない地震による震源近傍の観測記録の水平動応答スペクトルとその上限レベル
 (実線は 1997 年鹿児島県北西部地震の鶴田ダムの特クトル、破線はスケーリングの観点から確実に事前に震源を特定できるとは断定できないと判断した Mj6.5(Mw6.2)以下の 7 地震の特クトル)

この図で明らかなように、「加藤ほか(2004)」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、「加藤ほか(2004)」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。そのことは、後述する留萌支庁南部地震が、Mw5.7 という極めて小さな地震でありながら、やすやすと加藤ほか(2004)の応答スペクトルを超えてしまっていることからしても明らかである。要するに、加藤ほか(2004)の応答スペクトルは、限られたデータに基づく、その限りのものでしかないのである。少なくとも 12~13 万年間、も

しくは40万年間の最大の地震動を想定するには、このデータがあまりに少なすぎる
ことが明らかであり、だからこそ、留萌支庁南部地震が、これを超えてしまっ
たのである。

3 石橋克彦氏による「加藤ほか(2004)」の応答スペクトル批判

この「加藤ほか(2004)」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」(甲60)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 S_s 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照から
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、「加藤ほか(2004)」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) 「加藤ほか(2004)」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」(甲61)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、もとなつたデータがあまりに少ないことから一見して明らかであった。今回規制委員会が定めた新規制基準が過去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、日本国内では昭和28年(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、平成7年(1995年)の兵庫県南部地震以降であつて、だからこそ気象庁一元化カタログは、平成9年(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。結局、「加藤ほか(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、もともと何らかの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。

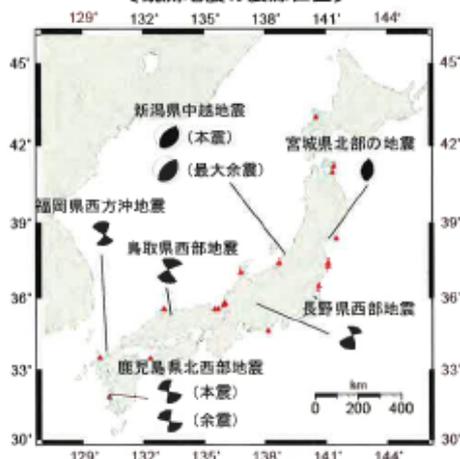
新耐震指針の解説においても、「震源を特定せず策定する地震動」の策定方針については、敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な地震の全てを事前に評価しうるとは言い切れない」としているから、上記の「明瞭な痕跡とみなすかどうか判読が難しく、意見が分かれている」地震も、新耐震指針という「震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震」ではあると言うべきである。JNES が対象とした地震の中でもっとも大きな鳥取県西部地震について見れば、地震が起こるまで、断層があるとは思われていなかった。この地震やカリフォルニアの 2 地震について、「加藤ほか(2004)」は、「1983 年 Coalinga, 1994 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、起こっ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、新耐震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 震源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 ₀	Depth(km) ※1 JMA ※2 F-net	観測点	対象V _s (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
						奈川渡ダム	-	32.9
鹿児島県北西部地震 (本震)	1997	1	横ずれ	6.6	8※2	鶴田ダム	-	4.6
鹿児島県北西部地震 (余震)	1997	1	横ずれ	6.4	11※2	鶴田ダム	-	9.1
宮城県北部の地震	2003	1	縦ずれ 逆断層	6.4	5※2	MYGH01(仙台)	3.30	21.7
						MYGH11(河北)	2.66	9.1
鳥取県西部地震	2000	2	横ずれ	7.3	11※2	SMNH01(伯太)	2.70	6.1
						TTRH02(日野)	1.50	2.6
						賀津ダム	-	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)	0.85	8.9
						NIGH12(湯之谷)	0.73	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)	0.85	11.1
						NIGH12(湯之谷)	0.73	11.2
福岡県西方沖地震	2005	2	横ずれ	7.0	5※2	FKOH03(宇美)	3.10	27.5
						SAGHD4(東背蔭)	2.90	36.7

【観測地震の震源位置】



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ない。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ないからである。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の-4乗)、10万年に1回(10の-5乗)の現象の確率を出す

など、できるはずのないことである。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。

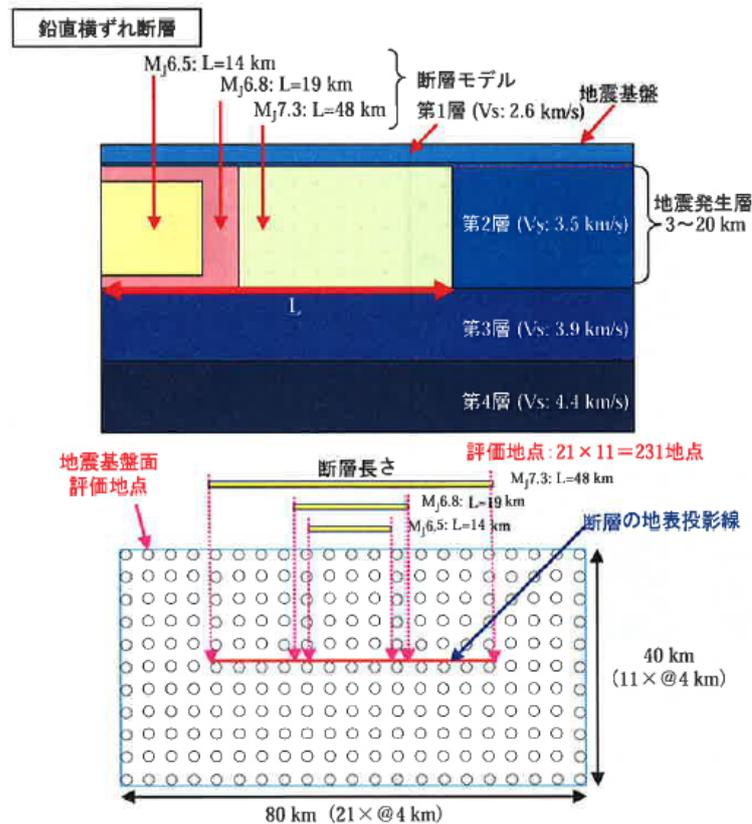
こうして JNES は、震源を特定せず策定する地震動の最大地震として、横ずれ断層では鳥取県西部地震の $M_j 7.3$ 、逆断層では新潟県中越沖地震（本震）の $M_j 6.8$ を採用する。その上で、JNES は、基礎となったデータが少ないことを補完するためとして、次の5項に述べるような断層モデルによる方法を採用している。

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。すなわち、ここにも極めて大きな不確かさがあるのであって、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。この点に不確かさの存在することは否定しようがないが、一方で、データが少なすぎることなどからの、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 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M_j6.8、横ずれ断層についてはM_j7.3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。上図は立面図で、下図は平面図である。



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。

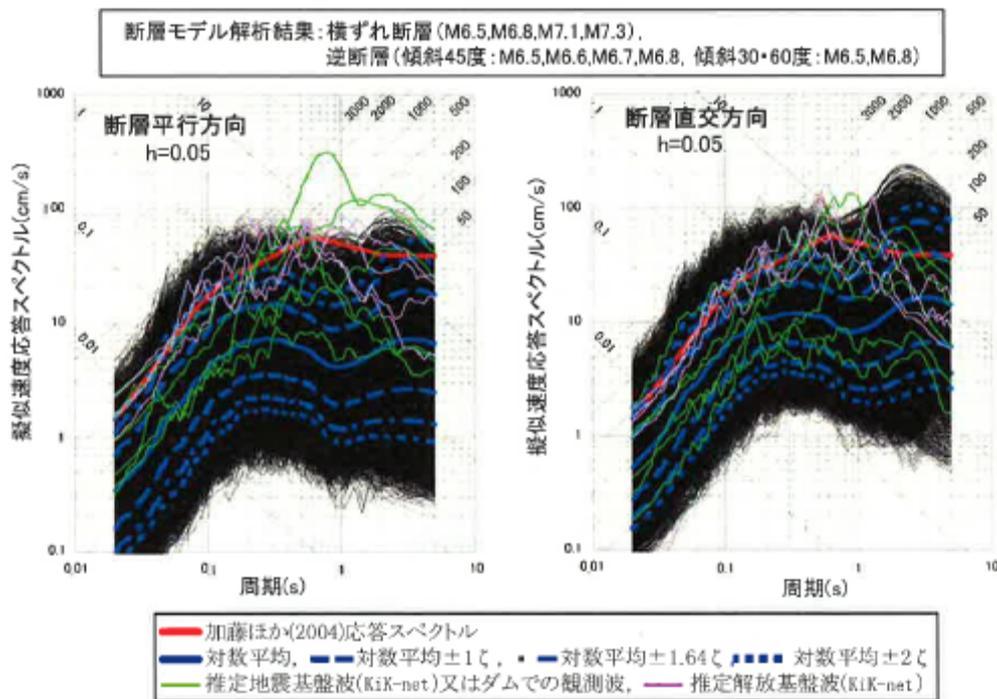


図8 断層最短距離20km以内の観測記録及び断層モデルによる応答スペクトル及び統計量

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、周期 0.1 秒前後の短周期の応答スペクトルで 5000 ガル程度にまで達してしまっている。

しかし、この JNES の作業の結果について、「加藤ほか(2004)」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は採らない。

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 以内の応答スペクトルの対数平均+ ξ (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 ξ (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^{-4} 乗から 10^{-5} 乗の範囲にある。

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。

(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 M7.3 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ないことは、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 が最も大きい地震と考えている 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になってしまう。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、その考え方であれば、極めて小さい微小地震を多数加えるのが公平であろう。しかし、そのような微小地震を多数合わせてしまえば、微小地震が平均的な地震となってしまう、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 もできなかったが、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「加藤ほか(2004)」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けということである。もし、「加藤ほか(2004)」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ほかならない。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の意味する。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、「加藤ほか(2004)」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ます、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るのか、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るのかが、事前には分からないということとなる。

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、万が一にも苛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っては、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、切り下げ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。

また信頼度 84%というのは、16%が、その値を超え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。

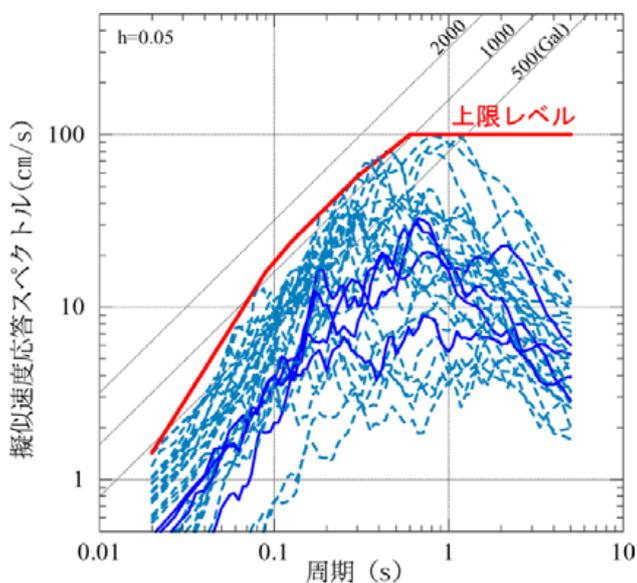
JNES は、全プラントに共通に設定するものだから、としてこれを正当化しようとしている。しかし、全プラントに共通に設定することが、なぜ 84%の信頼度で良いということにつながるのか。そもそも JNES の断層モデルは、全プラントのどこでも起こりえるものだからとして設定したのではなかったのか。直下地震を想定するという事は、どこでもその程度の地震は起こりうるということを前提としていたのではなかったか。

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の意味する。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%の事象が起こ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ということになるはずである。しかし、新指針は、そのようには規定していないし、どこ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いるではない。

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「加藤ほか(2004)」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、「加藤ほか(2004)」の応答スペクトルを見れば、次のとおりである。



ここでは、「加藤ほか(2004)」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「加藤ほか(2004)」のスペクトルがあったことも明らかである。

新耐震指針制定当時はまだ「加藤ほか(2004)」の応答スペクトルが不十分なもの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、「加藤ほか(2004)」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、「加藤ほか(2004)」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「加藤ほか(2004)」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ったことは、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「加藤ほか(2004)」のスペクトル超過という事態を受けて、JNES が初めて言い出したことでしかない。

そもそも、なぜ、「加藤ほか(2004)」の応答スペクトルでなければいけないのか。「加藤ほか(2004)」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「加藤ほか(2004)」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「加藤ほか(2004)」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、「加藤ほか(2004)」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「加藤ほか(2004)」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のである。

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採るには、地震動についての知見は余りに少なすぎる。確率を出すためには、データが相当数に達しなければ、出された確率は、いい加減なものでしかない。「大数の法則」は、データが大きくなれば、一定の値に収束していく法則であるが、「大きな数」になって初めて確率は意味を有するものとなる。しかし、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。

6 規制委員会の考え方

平成25年（2013年）7月8日、新審査基準である「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附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」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。

上記の「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」（甲 4 7）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。

http://www.nsr.go.jp/nra/kettei/data/20130628_jitsuyoutaishin.pdf

- (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。後述する平成16年(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、新規制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47)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、上記のとおり平成9年(1997年)3月の鹿児島県北西部地震から、平成25年(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。これは平成7年(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のに、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に該当とされる鳥取県西部地震は、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、正しい分類とすることができる。

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。

7 「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、述べたとおり、この強震動予測レシピ(入倉レシピ)を用いてなされたものであり、(一部+ σ 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(2007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 46
2-6. 検討用地震の地震動評価

項目	【参考】 能登半島 地震	笹波沖断層帯(全長)		設定方法	項目	【参考】 能登半島 地震	笹波沖断層帯(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	巨視的 パラメータ	面積	S_0 (km ²)	286.3	356.4	384.1	$S_0=S_1$
基準点東経	E(°)	136.5931	136.5931	136.4030		地震モーメント	M_{00} (N·m)	8.97E+18	2.97E+19	3.20E+19	$M_{00}=(M_0-\sum M_{0n1})+S_0/S$
走向	θ (°)	66.7	66.7	52.7		すべり量	D_0 (cm)	94.7	251.8	251.8	$D_0=M_{00}/(\mu*S_0)$
傾斜角	δ (°)	60	60	60		実効応力	$\Delta\sigma_b$ (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		ブレイクタイム	T_{b0} (s)	1.2	1.2	1.2	同上
長さ	L(km)	20.6	20.6	22.2		高周波数断特性	f_{max} (Hz)	8.3	8.3	8.3	香川ほか(2003)
幅	W(km)	13.9	17.3	17.3		剛性率	μ (N/m ²)	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	上部地殻の剛性率
上端深さ	h(km)	3.0	3.0	3.0		S波速度	V_s (km/s)	3.5	3.5	3.5	上部地殻のS波速度
すべり面面積	S_1 (km ²)	286.3	356.4	384.1		破壊伝播速度	V_r (km/s)	2.5	2.5	2.5	$V_r=0.72*V_s$ [Geller (1976)]
断層面積	S (km ²)	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_0 (N·m)	1.36E+19	7.31E+19								
平均すべり量	D(cm)	143.6	298.4		<p>能登半島地震</p> <p>笹波沖断層帯(全長)</p>						
平均応力降下量	$\Delta\sigma$ (MPa)	6.84	8.83		<p>(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。</p>						
短周期レベル	A (N·m/s ²)	1.38E+19	2.41E+19								
微視的 パラメータ	面積	S_{a1} (km ²)	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_{a1} (N·m)	2.72E+18	3.35E+18	3.34E+18	$M_{a1}=\mu*D_{a1}*S_{a1}$					
	すべり量	D_{a1} (cm)	172.3	213.4	213.4	$D_{a1}\propto A_{a1}$					
	全すべり量	D_{s1} (cm)	267.0	465.3	465.3	$D_{s1}=D_{a1}+D_0$					
	応力降下量	$\Delta\sigma_{s1}$ (MPa)	20.0	24.8	24.8	$\Delta\sigma_{s1}\propto A_{s1}$					
	ブレイクタイム	T_{r1} (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					
	短周期レベル	A_{a1} (N·m/s ²)	1.20E+19	1.49E+19	1.49E+19	$A=(\sum A_{a1})^{1/2}$					
	面積	S_{a2} (km ²)	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_{a2} (N·m)	1.91E+18	2.36E+18	2.34E+18	$M_{a2}=\mu*D_{a2}*S_{a2}$					
	すべり量	D_{a2} (cm)	121.0	149.9	149.9	$D_{a2}\propto A_{a2}$					
全すべり量	D_{s2} (cm)	215.7	401.7	401.7	$D_{s2}=D_{a2}+D_0$						
応力降下量	$\Delta\sigma_{s2}$ (MPa)	10.0	12.4	12.4	$\Delta\sigma_{s2}\propto A_{s2}$						
ブレイクタイム	T_{r2} (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						
短周期レベル	A_{a2} (N·m/s ²)	6.73E+18	8.34E+18	8.34E+18	$A=(\sum A_{a1})^{1/2}$						

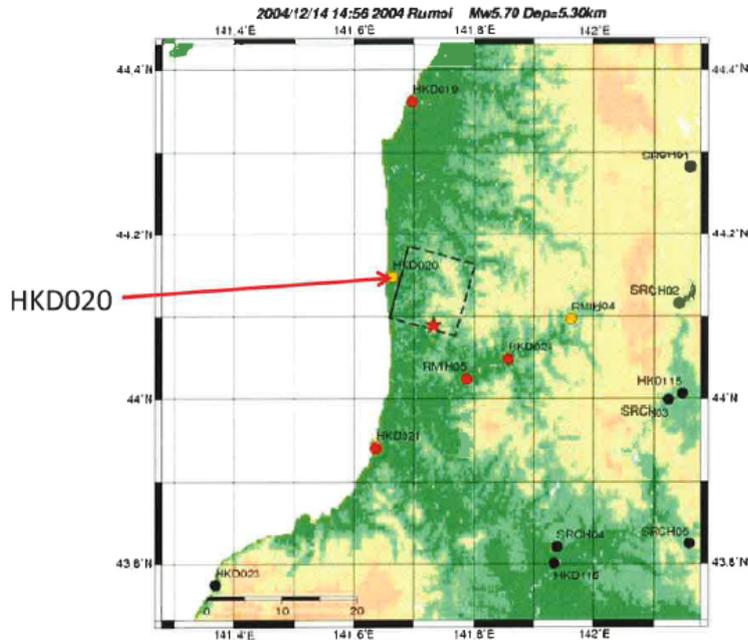
断層パラメータは平成19年能登半島地震のシミュレーション解析結果を反映して設定

甲 5 7 「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 S_s の策定について）平成 21 年 1 月 15 日 北陸電力株式会社」
https://www.nsr.go.jp/archive/nsc/senmon/shidai/taishin_godo_WG2/taishin_godo_WG2_05/siryu3.pdf

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います。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す。

8 2004年留萌支庁南部の地震

(1) 2004年年留萌支庁南部地震の概要



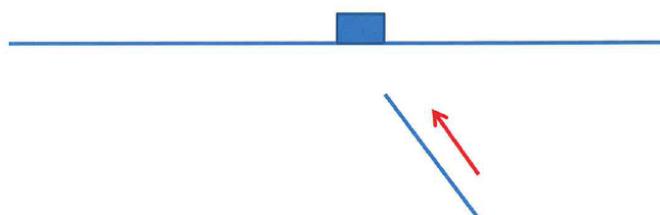
「震源を特定せず策定する地震動について」原子力規制委員会平成 25 年 3 月 25 日

平成 16 年（2004 年）留萌支庁南部地震は、規模も Mw で 5.7（ M_j で 6.1）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（甲 6 2 「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）

http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/taishinkojo/pdf/ukeoi_1.pdf

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（NFRD 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増幅する効果）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）。

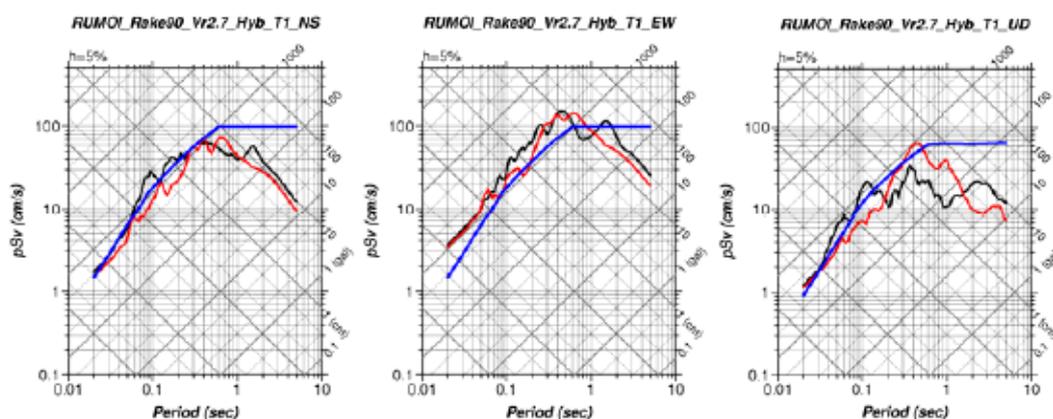


図 2.2-3(2) HKD020 におけるハイブリッド波形（赤）と観測波形（黒）による疑似速度応答スペクトルの比較（青：加藤スペクトル）

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、青線が加藤ほか（2004）の応答スペクトルである。加藤ほか（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、大幅に加藤ほか

(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、加藤ほか(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

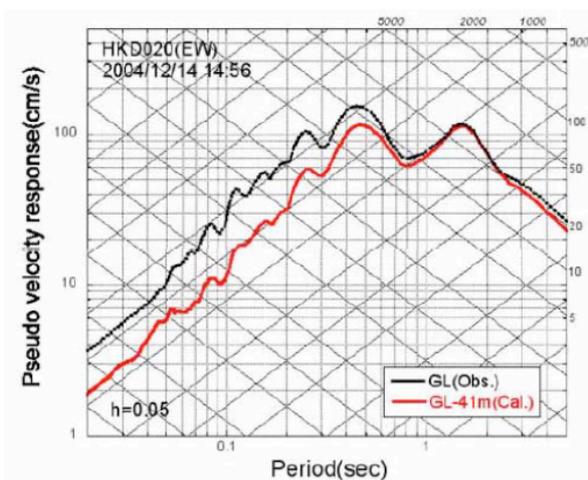
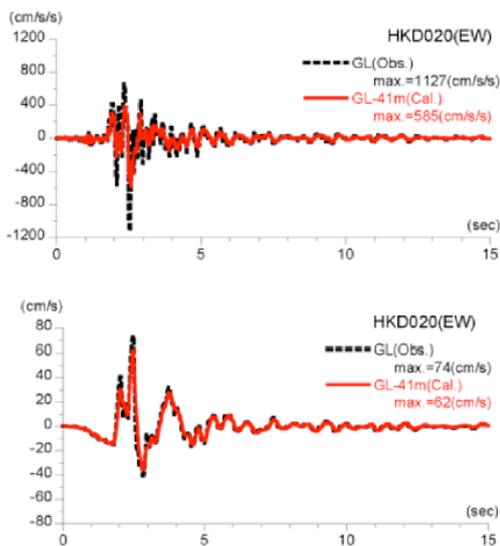
この強い地震動の原因について、佐藤(2013)は、特に地表から13mまでは岩盤は亀裂が多く、岩盤が6mまでの地盤が脆いとし、そのため、地震動が増幅するとして、41mまでの地層を除去したときのはざとり波が次のようになるとした。

佐藤他(2013)によるHKD020観測点の基盤地震動評価

第59回審査会合
資料31に加筆修正

48

- 等価線形解析により、地表観測記録(EW成分)から深さ41mでの基盤地震動を評価した。
- はざとり結果は、最大加速度が585Galとなっており、地表観測記録の約1/2となった。



甲63 「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」

http://www.nsr.go.jp/activity/regulation/tekigousei/data/0063_07.pdf

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、加藤ほか（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、相当に大きな値である。

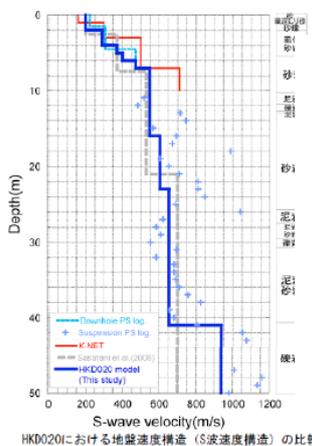
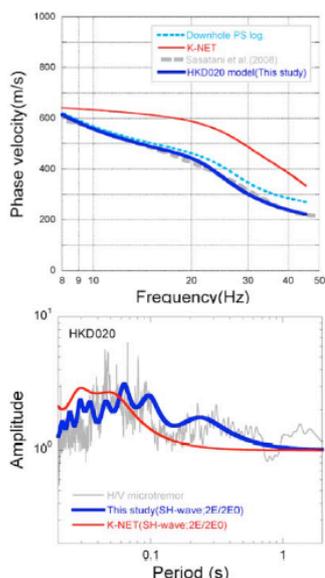
ちなみに、地表深さ 6m までの地盤が弱いとする図は次のとおりである。

佐藤他(2013)によるHKD020観測点の物理探査

第59回審査会合
資料3に加筆修正

45

- 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。



上面深度 (m)	P波速度 Vp(m/s)	S波速度 Vs(m/s)	密度 ρ (10 ³ kg/m ³)	層厚 H(m)	減衰定数 h	非線形特性
0		200	1.90	0.5	0.02	砂
0.5	457	200	2.00	0.5	0.03	礫混じり砂
1		200	2.00	1.0	0.02	礫1
1.5		290	2.00	1.0	0.01	礫2
2		290	2.00	1.0	0.01	黒化砂岩1
3	952	370	2.00	1.0	0.01	黒化砂岩2
4		400	2.00	1.0	0.01	黒化砂岩2
5		473	2.00	1.0	0.01	—
6		549	2.00	9.0	0.01	—
7	1722	604	2.06	7.0	0.01	—
16		653	2.06	18.0	0.01	—
23		938	2.13	—	0.01	—
38	2215					—
41						—

甲 6 3 「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 2 5 年 1 2 月 2 5 日

http://www.nsr.go.jp/activity/regulation/tekigousei/data/0063_07.pdf

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。

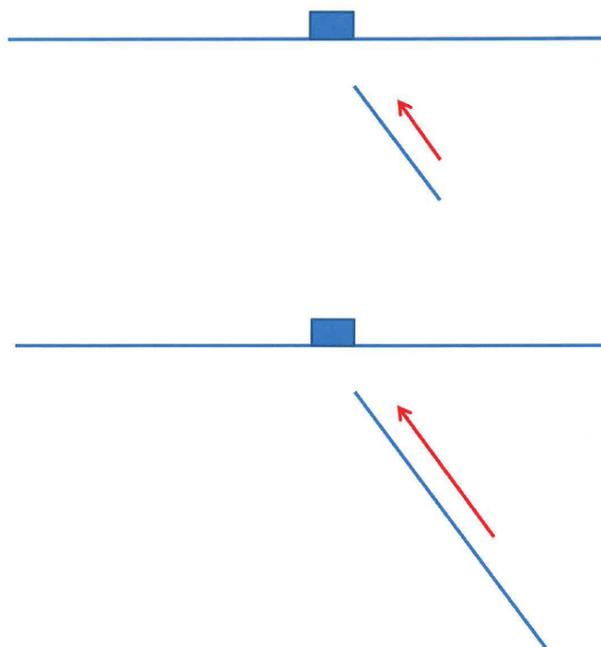
前記の「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の「4.2 地震動評価」「4.2.1 震源近傍の観測記録の収集と検討対象地震の選定」の中の「解説」では、「地表地震断層が出現しない可能性のある地震」を前記のように次のように説明する。

〔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。

このように新規制基準は、「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（2の4乗倍）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。

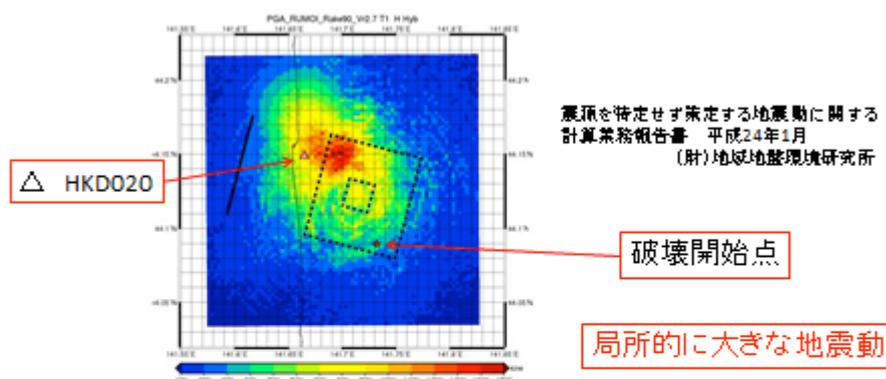


そうであれば、問題は、このMw6.5未満の地震が、破壊伝播効果（NFRD 効果）のもたらされるような位置で発生したときに、最大限どこまでの地震動が敷地を襲うかである。

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し。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、直下地震発生の際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。

(4) HKD020の観測点の地震動は、留萌支庁南部地震の最大地震動ではない

留萌支庁南部地震で、地震動がどのように分布していたかを検討したものが、下図である。



(1)PGA 分布 (△ : HKD020 地点, ☆ : 破壊開始点)

実際には、アスぺリティ面積比も小さかったとしている

HKD020の観測結果も、留萌支庁南部地震の最大地震動ではない

最大地震動は観測記録の1.5倍程度以上

これは、(財)地域地盤環境研究所の検討結果であるが、この報告書は規制委員会のホームページに掲載されているものである。

これを見れば、留萌支庁南部地震の地表での地震動のうち、HKD020の観測点

の地震動は、同地震の最大地震動ではないことが明らかである。もっとも、上記のような局所的地震動分布の中で、たまたま HKD020 での地震動が最大地震動となる可能性は、もともとほとんどない。すなわち、同地点の地震動は、決して留萌支庁南部地震の地震動の最大値ではありえないことが確実である。

では、最大地震動は、HKD020 での観測値をどれだけ上回るか。この点について、この報告書は、下のように、いくつかのシミュレーションを行って検討している。

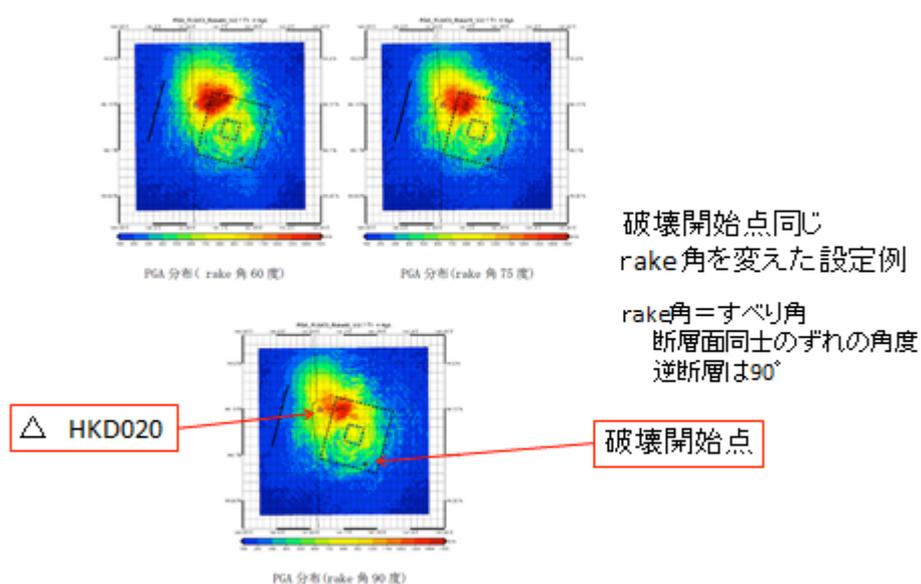


図 2.3-2 rake角 60度、75度および90度の場合のPGAの面的地震動分布
(△:HKD020地点、☆:破壊開始点)

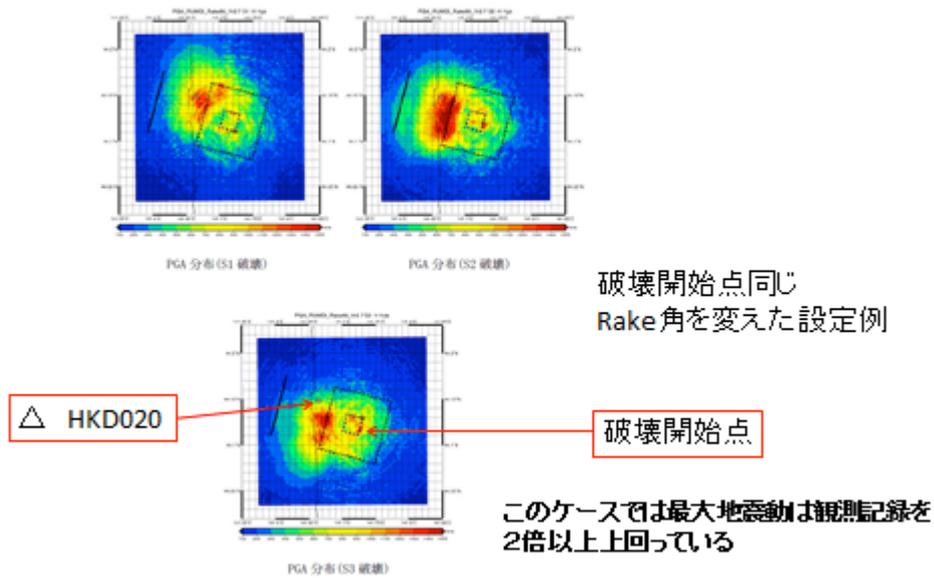


図 2.3-5 rake角 90 度における破壊開始点 (S1, S2, S3) を変えた PGA 分布
(△: HKD020 地点, ☆: 破壊開始点)

これによれば、留萌支庁南部地震の最大地震動は、おおむね HKD020 での観測値の 1.5 倍～2 倍程度、もしくはそれ以上に達している。

(5) 少なくとも Mw6.5 が想定されるべき

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、原発の地震動想定、耐震設計は成り立ちようがない。

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、60.5 km²、Mw6.5 の地震の断層面積は、381.6 km² 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。

一方、壇ほか (2001) の関係式

$$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$$

地震調査委員会強震動予測手法 (レシピ) (11) 式

によれば、短周期レベルは M_0 の $1/3$ 乗に比例する。この関係式は、 M_0 と短周期レベル A との平均的な関係を示す関係式であり、 M_0 が大きくなれば面積も大きくなる前提での式である。この式によれば、 M_w が 0.8 大きくなれば、 M_0 は 16 倍になるから 16 の $1/3$ 乗 = 2.52 倍、短周期レベルが大きくなることを導く。求めるのが $M_w 6.5$ 未満の地震での最大地震動ということからしても、2.52 を若干小さくした 2.5 倍が、やはりこの M_w が 0.8 未満大きくなったときの増幅の程度ということになる。

(6) 試算

「震源を特定せず策定する地震動」が「全国どこでも起こる可能性のある地震」であり、留萌支庁南部地震がそのような地震だとされていること、そうだとすれば留萌支庁南部地震の最大地震動を想定すべきである。そして、留萌支庁南部地震の最大地震動は、少なくとも現実に観測記録の 1.5 倍程度～2 倍以上の地震動が発生している。

そうすると、留萌支庁南部地震で HKD020 の観測点で観測された地震動から地表の地盤の影響を計算上取り去ったとされる地震動 609 ガルの 1.5 倍ないし 2 倍以上の地震動を、まずは想定しなければならない。1.5 倍だとして 913 ガル、2 倍だとして 1218 ガルであるが、それ以上の地震動となることも想定する必要がある。

さらに、留萌支庁南部地震がわずか $M_w 5.7$ の地震でしかなく、 $M_w 6.5$ 未満だったらどこまでの地震動となるかも検討する必要がある。 $M_w 0.8$ の差は、 M_0 で 15.85 倍の差となる。それに壇ほか (2001) の式

$$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$$

を当てはめてみる。

そうすると、短周期レベル A は、2.51 倍となることが分かる。

これは Mw5.7 の地震と Mw6.5 の地震を平均的地震像どうしで比べた場合であるが、留萌支庁南部地震の最大地震動を HKD020 観測点の 1.5 倍として、Mw6.5 の地震の地震動計算をすると、それだけで、

$$609 \times 1.5 \text{ (観測点を越える地震動の発生)} \times 2.5 = \underline{2280 \text{ ガル}}$$

となる。

もっとも、留萌支庁南部地震の断層モデルでは、入倉レシピから Mw5.7 の地震での断層面積を導いて出している。繰り返し述べているとおり、入倉レシピは、地震の平均像を前提している。

上記の 2280 ガルは、断層面積と M_0 との関係では平均的な地震であった留萌支庁南部地震を、平均像のまま大きくした場合の数字でしかない。

では、平均像を超えた地震の場合、どうなるのか。

留萌支庁南部地震と震源断層面の面積が同じで

M_0 が平均的値の4倍の場合の地震動

M_0 が4倍になれば応力降下量も4倍
短周期地震動も4倍

$$\Rightarrow 609 \times 1.5 \times 4 = \underline{3654 \text{ ガル}}$$

短周期地震動4倍は Mw で +0.4

$$\Rightarrow 5.7 + 0.4 = 6.1 \text{ (Mw6.1の地震でしかない)}$$

さらに +0.4 してみる

同じ断層面積でも、既往最大で M_0 は平均的値の 4 倍程度となる場合がある。

そうすると、短周期地震動も、そのまま4倍となるというのが、入倉レシピの示すところであるから、もたらされる地震動は3654ガルとなる。しかし、これもまだMw6.1の地震でしかないから、さらに+M0.4とすると次のとおりとなる。

壇ほか(2001)の式(短周期レベルAとMoとの関係)

$$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{2/3}$$

Mw+0.4は、Moで+4倍

4の1/3乗(=1.59倍)できいてくる(上の壇ほか(2001)の式)

$$\Rightarrow 609 \times 1.5 \times 4 \times 1.59 = \underline{5810 \text{ガル}}$$

結論 留萌支庁南部地震の知見からすれば

少なくとも 5800ガル

仮にMoが平均像の4倍ではなく10倍だったら(Mw6.36程度)

$$609 \times 1.5 \times 10 = 9130 \text{ガル}$$

9130ガル ⇒ 9000ガル超程度

さらに+Mw0.14 ⇒ 10500ガル程度は考える必要!

結論としては、少なくとも、5800ガルの地震動を想定すべきこととなる。

もっとも、同じ断層面積でも、すでに見たとおりさらに大きなMoとなる可能性があり、それを平均的値の10倍とするなら、10500ガルという大きな地震動となる可能性があることとなる。

(7) 不確かさの考慮

審査ガイドは、また次のように規定する。

2. 基本方針

基準地震動の策定における基本方針は以下の通りである。

- (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こと。

したがって、「震源を特定せず策定する地震動」は、単に「観測記録」を収集しただけではならず、その上で、「各種の不確かさを考慮」することが必要とされている。「震源を特定せず策定する地震動」も一つの推定であり、推定には誤差があることからして、当然のことである。求められるのは、地表地震断層が生じない地震では、Mw6.5未満の地震での最大地震動はどれだけかであるが、留萌支庁南部地震がMw5.7であることからして、それがMw6.5程度だったらどの程度の地震動となるかは、一つの「不確かさの考慮となるはずである。また、留萌支庁南部地震での最大地震動はどれだけかも、また「不確かさの考慮」となる。

では、敷地直下のMw6.5未満の地震は最大限どこまでの地震動をもたらすか

壇ほか(2001)の式

壇ほか(2001)の式(短周期レベルAとMoとの関係)

$$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$$

Mw6.5の地震のMo(地震モーメント)はMw5.7の地震のMoの約16倍
(マグニチュードが0.2あがるたびにMoは2倍となる)
ただし正確には15.85倍

Moが15.85倍だと壇ほか(2001)の式によれば、Aは15.85の1/3乗倍
(1/3乗=3乗根 1/2乗=平方根=ルート)

15.85の1/3乗 = 2.51

Mw6.5未満の地震の最大地震動は、Mw5.7の地震の地震動の2.5倍となる

壇ほか(2001)の式によれば、Mw6.5の地震の地震動は、Mw5.7の地震の地震動の2.51倍となる。

地震動は留萌支庁南部地震の2.5倍として

$$609 \times 1.5 (\text{観測点を超える地震動の発生}) \times 2.5 = \underline{2280 \text{ガル}}$$
$$(\text{短周期での応答スペクトル } 1300 \times 1.5 \times 2.83 = \underline{4875 \text{ガル}})$$

しかしこれは平均像でのものしかない

さらにたとえば、断層面積が平均的地震より小さいなど平均像と異なる地震となる可能性も考える必要がある

第5 原子力発電所における従前の地震動想定は著しい過小評価であったこと

1 従前の地震動想定に対する国会事故調報告書の指摘

(1) 国会事故調報告書の指摘

国会事故調報告書は、原子力発電所における従前の地震動想定について、次のとおり指摘している（「2. 1. 6 検討」の7）a。甲1・193頁）。

<http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndl.jp/pid/3856371/naic.go.jp/report/>

「わが国においては、観測された最大地震加速度が設計地震加速度を超過する事例が、今般の東北地方太平洋沖地震に伴う福島第一原発と女川原発における2ケースも含めると、平成17（2005）年以降に確認されただけでも5ケースに及んでいる。このような超過頻度は異常であり、例えば、超過頻度を1万年に1回未満として設定している欧州主要国と比べても、著しく非保守的である実態を示唆している。」

(2) 従前の地震動想定は10年間で5ケースも誤ったこと

上記(1)の指摘は、要するに、原子力発電所における従前の地震動想定は僅か10年間の間だけで5ケースも誤った、ということである。

ここで、平成17年（2005年）以降に確認された5ケースとは、以下の5つを指す。

ア 平成17年（2005年）8月16日宮城県沖地震における女川原発のケース

平成17年（2005年）8月16日に発生した宮城県沖地震は、北緯38度9.0分、東経142度16.7分の宮城県沖を震源とするM7.2の地震である。

この地震の際、東北電力女川原発で観測された地震動は、南北方向では基礎盤上で316ガルを記録した(甲34「今回の地震による女川原子力発電所第1号機の建屋の耐震安全性評価結果について」

<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g60720c06j.pdf>

当時の女川原発の設計用最大地震動は、S1（設計用最強地震）が250ガル、S2（設計用限界地震）が375ガルであった。

しかも、この地震の規模は、当時想定されていた地震（M7.5）の3分の1の規模に過ぎなかった。

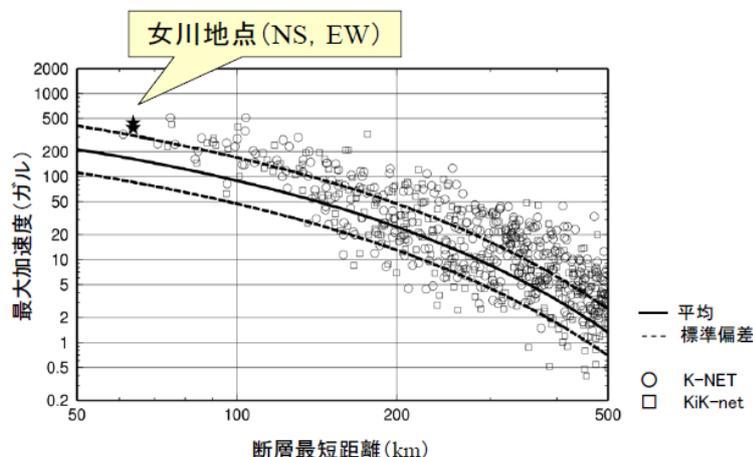
国内の原発で、基準地震動を上回る地震動が確認されたのは、このケースが初めてであった。

このようなこととなった要因とされているのは、「大地震においても顕著に宮城県沖近海の地域特性が現れる」からだとされている。要するに、平均像で行っていたところ、この地域では平均像からはずれたからというのである。

地域特性の一つとして、次の点が挙げられている。

敷地周辺で観測された今回の地震記録の分析結果

今回の地震は、経験式(距離減衰式)よりも最大加速度が大きい。
また、短周期成分の卓越が顕著である傾向が認められた。



司・翠川(1999)による距離減衰式と各観測点で観測された最大加速度の比較

13

(甲123・「女川原子力発電所における宮城県沖の地震時に取得されたデータの分析・評価および耐震安全性評価に係る報告について」東北電力)

<http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/senmon/shidai/taisinbun/taisinbun032/ssiryol.pdf>

もっとも、上図からすれば、平均像からのかい離はそれほどでもなく、もっと大幅にかい離するおそれも否定できなかったということになる。

イ 平成19年(2007年)3月25日能登半島沖地震

平成19年(2007年)3月25日に発生した能登半島沖地震は、能登半島沖(北緯37度13.2分、東経136度41.1分)で発生したマグニチュード(Mj)6.9、震源深さ11キロメートルの地震である。

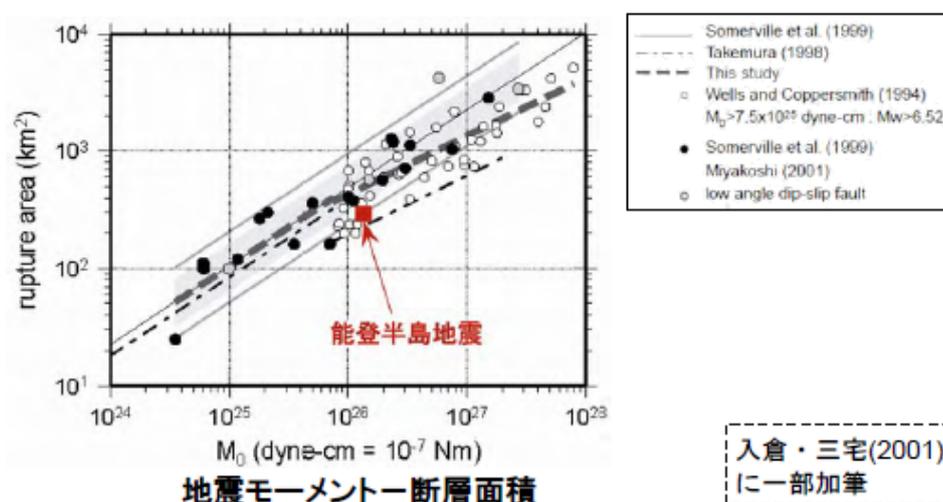
この地震の際、北陸電力志賀原発1号機及び2号機において、基準地震動(応答)を超過した(甲37・「能登半島地震を踏まえた志賀原子力発電所の耐震安全性確認について」5頁及び8頁。<http://www.rikuden.co.jp/press/attach/07041902.pdf>)。

志賀原発の設計用地震動の最大加速度は、1・2号炉とも、S1(設計用最強地震)

が375ガル，S2（設計用限界地震）が490ガルであった。

この地震では，下図のように，地震モーメント(M_0 = 「剛性率〔震源断層面のすべり強度〕 × 平均すべり量 × 震源断層面の面積」。単位はNm〔ニュートン・メートル〕)が平均的地震より大きく，これが S_s を超えた要因となっている。

ただし，平均的地震より大きいといっても，同じ程度の断層面積で発生した地震における既往最大までは至っていない。



(甲124・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（敷地周辺海域の地質・地質構造）」平成21年1月15日北陸電力株式会社)

http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/senmon/shidai/taishin_godo_WG2/taishin_godo_WG2_05/siryu2.pdf

ウ 平成19年（2007年）7月16日新潟県中越沖地震

平成19年（2007年）7月16日に発生した新潟県中越沖地震は，新潟県中越沖で発生したマグニチュード6.8の地震である。

この地震の際，東京電力柏崎・刈羽原発で観測された地震動は，最大1699ガルであった（甲38・「柏崎刈羽原子力発電所の耐震安全性向上の取り組み状況」）。

<http://www.tepco.co.jp/company/corp-com/annai/shiryou/report/bknumber/0806/pdf/ts080601-j.pdf>

柏崎・刈羽原発の設計用地震動の最大加速度は，S1（設計用最強地震）が300

ガル，S 2（設計用限界地震）が450ガルであった。中越沖地震では，この約4倍（1号機解放基盤面で1699ガル・S 2の約4倍）の地震動が観測された。

中越沖地震はM6.8と地震規模はそれほど大きくなく，震源の深さが17kmとそれほど浅い地震でもないのに，旧指針の限界地震の想定を約4倍も超える地震動が発生した。

そして，これによって，柏崎・刈羽原発に，次のような本格的な被害が発生した。

- ①柏崎・刈羽原発5号機においては，燃料集合体の一つが燃料支持金具から外れていた。
- ②同7号機の点検作業中に，制御棒205本のうちの1本が引き抜けなくなる異常が見つかった。東京電力は，「地震の影響が何らかの形で発生したと思う」と説明している。
- ③同6号機でも，制御棒2本が一時引き抜けなくなった。引き抜けなかった制御棒については，詳細な点検が行われたが，原因は明らかになっていない。
- ④同5号機では，炉内の水を循環させるために原子炉压力容器内の壁に沿って20本設置されているジェットポンプの振動を抑えるためのくさび形金具が，水平方向に4cmずれているのが見つかった。
- ⑤これらを含め，この地震の結果，柏崎・刈羽原発は，約3000箇所故障が生じた。

柏崎・刈羽原発での当時の基準地震動はS 2（設計用限界地震）であったが，新耐震指針における基準地震動S sすら超える地震動が観測されてしまったのである。

東京電力は，中越沖地震がS s（新耐震指針における基準地震動）を大きく上回る地震動を観測したことを受けて，その要因を分析し，アスペリティ（大地震発生時に震源断層面内において特に強い地震波を発生した領域。地震発生直前まで断層面が残り部分より強く固着していたと考えられることから，もともと「突起」という意味の「アスペリティ」と呼ばれる。）の平均応力降下量（断層がずれた時のエネルギーを

示す。これは短周期地震動レベルに直結する。)が平均像の1.5倍だったことと、地盤による増幅が4倍あったことが原因だとされた。

そこで、原子力安全委員会、原子力安全・保安院は、各原子力事業者に対して、短周期地震動レベルを1.5倍とした場合に機器・配管の健全性が保たれるか確認することを求めた。

しかしながら、アスペリティの平均応力降下量が平均像の1.5倍程度以上となる地震は無数に観測されている。

したがって、この対応は、単なる弥縫策でしかなかった。

ところが、原子力安全委員会も、原子力安全・保安院も、各原子力事業者も、想定を失敗した根本的な原因について改めることは一切しなかった。

エ 平成23年(2011年)3月11日の東北地方太平洋沖地震における福島第一原発のケース

平成23年(2011年)3月11日の東北地方太平洋沖地震は、マグニチュード9の巨大地震である。

この地震の際、東京電力福島第一原発で観測された地震動は、基準地震動を超えた(甲1・国会事故調報告書「2.2.1東北地方太平洋沖地震による福島第一原発の地震動」)。

そして、この地震動によって原発の配管が破断した可能性も指摘されている(甲1・国会事故調報告書「2.2.2地震動に起因する重要機器の破損の可能性」)。

オ 平成23年(2011年)の東北地方太平洋沖地震における女川原発のケース

また、平成23年(2011年)3月11日の東北地方太平洋沖地震の際、東北電力女川原発で観測された地震動も、基準地震動を超えた(甲94「平成23年東北地方太平洋沖地震における女川原子力発電所及び東海第二発電所の地震観測記録及び津波波高記録について」)。

2 従前の地震動想定が著しい過小評価となった理由

このように、従前の原子力発電所における地震動想定は、著しい過小評価であった。

そして、原発事業者と規制機関たる国が地震動想定に失敗した最大の原因は、その地震動想定手法が、過去に発生した地震・地震動の平均像で想定を行っていたことにある

原子力発電所における地震動想定手法が、過去に発生した地震・地震動の平均像で行われていたことについては、この分野の第一人者であり、原発の耐震設計を主導してきた入倉孝次郎氏自身が認めている。

すなわち、平成26年3月29日付愛媛新聞（甲111）には、入倉孝次郎氏の次の発言が掲載されている。

「基準地震動は計算で出た一番大きい揺れの値のように思われることがあるが、そうではない。（四電が原子力規制委員会に提出した）資料を見る限り、570ガルじゃないといけないという根拠はなく、もうちょっと大きくてもいい。・・・（応力降下量は）評価に最も影響を与える値で、（四電が不確かさを考慮して）1.5倍にしているが、これに明確な根拠はない。570ガルはあくまで目安値。私は科学的な式を使って計算方法を提案してきたが、これは地震の平均像を求めるもの。平均からずれた地震はいくらでもあり、観測そのものが間違っていることもある。基準地震動はできるだけ余裕を持って決めた方が安心だが、それは経営判断だ。」（下線は代理人）。

入倉孝次郎氏は、ついに基準地震動は、目安に過ぎない「平均像」だと認めた。

これを中越沖地震の知見から1.5倍にすることについても、明確な根拠があるわけではないと言う。

そして、その平均像を超える地震はいくらでもある、とまで言う。

過去に発生した地震・地震動の知見の平均像で想定を行っているのであるから、現

実に発生する地震・地震動がしばしば基準地震動を超えることは、いわば当然のことであった。

では、そのような基準地震動を金科玉条のように、重要なものとしてこれまで行ってきた耐震設計は、何だったのか。実にいい加減なものだということを、主導してきた入倉孝次郎名誉教授自身が認めたのである。

すでに述べたとおり、原発の耐震設計は、まず基準地震動（ S_s ）を定めることから始まる。この基準地震動 S_s は

「施設の耐震設計において基準とする地震動で、敷地周辺の地質・地質構造並びに地震活動性等の地震学およ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」

とされ、要するに、 S_s は、施設を襲うと想定できる最大地震動であるはずであり、それが、原発の耐震設計の根本であったはずである。

ところが、基準地震動は、単なる目安に過ぎない「平均像」だというのである。これでは、原発の耐震設計の根本は、完全に崩れ去ってしまう。したがって原発の耐震設計は、その出発点において、極めて大きな誤りがあったということになり、それを隠し続けてきたのが、原発の耐震設計の歴史だったのである。

したがって、このような耐震設計で、原発の安全性が担保されるわけがない。もはや原発の耐震設計が、根本から誤っていることは、誰の目から見ても明らかになった。それを明白にしたのが、この入倉発言である。

しかも、入倉孝次郎氏は、あとは「経営判断だ」とすら言う。

しかし、そうであれば、司法が、原発の差し止めを認めない判決を下すための唯一の論理は、「原発の安全性は電力事業者の経営判断であり、司法がこれに介入することは許されない」ということでしかない。

第6 新規制基準においても地震動想定手法は従前のままであり、原発の安全性は到底確保されないこと

1 新規制基準においても地震動想定手法は従前のままであること

では、3・11福島第一原発事故を受けて、原発の地震動想定手法は変更されたか。結論から言えば、否であり、何ら見直しはされていない。

いわゆる新規制基準のうち、基準地震動の想定や耐震設計に関する「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」（甲47）

http://www.nsr.go.jp/nra/kettei/data/20130628_jitsuyoutaishin.pdf

を見ると、地震動想定手法は、福島第一原発事故以前と同一であり、従前の考え方をほぼ踏襲しており、しかも、一部ではむしろ後退しているところも存在する。

同ガイドでは、多くの点で「適切に」評価することを確認する等とされているにすぎない。

例えば、同ガイドの「3.3 地震動評価」のみを見ても、
「適切に評価されていることを確認する」、
「適切に設定され、地震動評価がされていることを確認する」、
「適切に選定されていることを確認する」、
「適切に考慮されていることを確認する」、
「適切な手法を用いて震源パラメータが設定され、地震動評価が行われていることを確認する」

など、「適切に」といった文言が実に22ヶ所に及んでいる。

また、同ガイドの「4. 震源を特定せず策定する地震動」以下においても同様であり、多数の「適切に」といった用語が用いられている。

このように極めて多数の項目において「適切に」行う等とされているが、そこでは、何が適切かは全く記載されていない。

断層や地震動の評価において、「適切に評価する、設定する」のは当然のことであり、ことさら審査の基準として「適切に行うように」等と規定する必要はない。

それが審査の基準となるためには、何が適切かをどう判断するかが記載されている

ことが必要であるのに、具体的な審査の基準の記載がない「審査ガイド」は、全く基準の名に値せず、結局、規制委員会が、どのような審査をしようとしているかは、この「審査ガイド」ではほとんど分からない。

2 従前と同じ手法で地震動想定を続ければ、 S_s を上回る地震動が原発を襲うこと
その結果、原子力事業者による地震動想定においても、現在も相変わらず、平均像を基本として地震動想定をしようとし、それに若干の「不確かさの考慮」をして地震動を算出しており、従来と何ら変わりがないものとなっている。

ちなみに、「不確かさの考慮」でもっとも効くのは短周期レベルを1.5倍することであり、他の「不確かさの考慮」は、地震動の大きさにさしたる影響を与えない。

この短周期レベルを1.5倍にすることにとどめることこそ、前述した中越沖地震の知見を単なる中途半端な弥縫策として用いることにほかならない。

要するに、新規制基準のもとでも、その手法は全く変わっていないのである。

本来、地震動想定に失敗した原子力安全委員会、原子力安全・保安院や原子力事業者は、なぜ想定に失敗したかの原因を追求し、新たな想定手法を採用して、改めて地震動想定を行うべきなのに、単に結果としての地震動の数値を変えて対応しただけだった。

失敗に学ぼうとする姿勢が、原子力安全委員会にも、原子力安全・保安院にも、原子力事業者にも全く欠けていたのである。

そして、このことは、原子力規制委員会が設けられた現在においても同様と言わざるをえない。

このように、失敗した原因を追求せずに、失敗したのと同じ手法で地震動想定を続けていけば、いずれは、大きく S_s （新耐震指針における基準地震動）を上回る地震動が原発を襲うこととなる。

3 「過去最大（既往最大）」を超えることも十分にあり得ること

基準地震動(S_s)の策定は、耐震設計の要である。その要である基準地震動(S_s)

をどこまで上回る地震動が原発を襲うか分からないのでは、そもそも耐震設計のしようがない。

原発の機器・配管のどこが地震に耐えられないか、地震に耐えられない機器・配管が破壊された時にどのような結果となるか等という議論は、全て、襲来する地震動の大きさが分かってからでなければ、なしようがない。

とりわけ、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震により、津波があれば想定を大きく上回ってしまった原因は、自然現象が過去最大(既往最大)を容易に超えうることを無視したことにある。ここで、「過去最大(既往最大)」と言っても、それは、たかだか数100年程度の知見でしかない。津波堆積物を考えても、せいぜい1000年～2000年程度の知見でしかない。要するに、そもそも、「過去最大(既往最大)」の知見を得ること自体、容易なことではないが、さらに、その「過去最大(既往最大)」を超えることも十分にあり得る、ということである。

4 失敗した従前の手法のままでは、原発の安全性は到底確保されないこと

以上に述べたとおり、2011年東北地方太平洋沖地震及び福島第一原発事故を踏まえれば、少なくとも、基準地震動(S_s)の策定は、少なくとも「既往最大」を基礎とした上で、さらにその「既往最大」を超える地震・地震動・津波が発生する可能性のあることを前提にして想定を行うことが求められているというべきである。

しかしながら、規制機関たる国も、原子力事業者も、失敗した従前の手法を繰り返しているだけである。

国も、原子力事業者も、何らの反省もなく、失敗した従前の手法を漫然と繰り返し、基準地震動を策定している。このような、過去の失敗に学ぼうとしない手法のままでは、原発の安全性は、到底、確保されようがないのである。

第7 原判決が地震動につき極めて適切な判断をしていること

原判決の要旨は、以下のとおりである。

1 人格権の価値

人格権は憲法上の権利(憲法13条, 25条)であり, 人の生命を基礎とする。わが国の法制下で, これを超える価値を他に見いだすことはできない。

2 福島原発事故

原子力委員会委員長は, 福島第一原発から250キロ圏内に居住する住民に避難を勧告する可能性を検討し, チェルノブイリ事故でも同様の規模に及んだ。ウクライナ, ベラルーシで今もなお避難が続いているという事実は, 放射性物質のもたらす健康被害についての楽観的な見方や, 避難区域は最小限のもので足りるという見解の正当性に重大な疑問を投げかける。250キロは, 緊急時に想定された数字だが, 過大と判断することはできない。

3 原発に求められる安全性

(1) 原子力発電所に求められる安全性

原発の稼働は法的には電気を生み出す一手段である経済活動の自由(憲法22条1項)に属し, 憲法上は人格権の中核部分よりも劣位に置かれるべきものである。自然災害や戦争以外で, この根源的な権利(人格権の中核部分)が極めて広範に奪われる事態を招く可能性があるのは原発事故以外に想定し難い。具体的危険性が万が一でもあれば, 差し止めが認められるのは当然である。

原子力発電技術の危険性の本質及びそのもたらす被害の大きさは, 福島原発事故により十分に明らかになった。このような事態を招く具体的な危険性が万が一でもあるのかが判断の対象とされるべきであり, 福島原発事故の後においてこの判断を避けることは, 裁判所に課された最も重要な責務を放棄するに等しい。

(2) 原子炉等規制法に基づく審査との関係

(1)の考えは, 人格権と条理によって導かれる。

原子炉等規制法などの行政法規のあり方, 内容によって左右されるものではない。

新規制基準の対象となっている事項についても、基準への適合性や原子力規制委員会による基準への適合性の審査の適否という観点からではなく、(1)の理に基づく裁判所の判断が及ぼされるべきである。

4 原子力発電所の特性

原子力発電技術で発生するエネルギーは極めて膨大であり、運転停止後も電気と水で原子炉の冷却を継続しなければならず、その間に何時間か電源が失われるだけで事故につながり、いったん発生した事故は時の経過に従って拡大する。これは、原子力発電に内在する本質的な危険である。

施設の損傷に結びつき得る地震が起きた場合、止める、冷やす、閉じ込めるという3つの要請がそろって初めて原発の安全性が保たれる。福島原発事故では、冷やすことができず、放射性物質が外部に放出された。本件原発には地震の際の冷やす機能と閉じ込めるという構造に、次のような欠陥がある。

5 冷却機能の維持について

(1) ストレステストのクリフエッジを超える可能性を認めたこと

1260ガルを超える地震では冷却システムが崩壊し、メルトダウンに結びつくことは、被告（関西電力）も認めている。

原判決は、以下のとおり述べた。

「地震は地下深くで起こる現象であって、その発生の機序の分析は仮説や推測に依拠せざるを得ないのであって、仮説の立論や検証も実験という手法がとれない以上過去のデータに頼らざるを得ない。確かに地震は太古の昔から存在し、繰り返し発生している現象ではあるがその発生頻度は必ずしも高いものではない上に、正確な記録は近時のものに限られることからすると、頼るべき過去のデータは極めて限られたものにならざるをえない。したがって、大飯原発には1260ガル（ストレステストにおけるクリフエッジ〔施設が耐えられる限界の地震動の大きさ〕）を超える地震は来ないとの確実な科学的根拠に基づく想定は本来的に不可能である。・・・この既往最大

という概念自体が、有史以来世界最大というものではなく近時の我が国において最大というものにすぎないことからすると、1260ガルを超える地震は大飯原発に到来する危険がある。」

(2) 700ガルを超えて1260ガルに至らない地震により、過酷事故につながる危険があること

① (イベントツリー記載の対策の有効性)

被告(関西電力)は、700ガルを超えるが1260ガルに至らない地震への対応策があり、大事故に至らないと主張する。

被告(関西電力)は、イベントツリーを策定してその対策をとれば安全としているが、イベントツリーによる対策が有効であることは論証されていない。事態が深刻であればあるほど、それがもたらす混乱と焦燥の中で、原発の従業員に適切、迅速な措置を取ることを求めることはできない。地震は従業員が少なくなる夜も昼と同じ確率で起き、人員の数や指揮命令系統の中心の所長がいるかいないかが大きな意味を持つことは明白である。

また、対応策を取るには、どんな事態が起きているか把握することが前提だが、その把握は困難である。福島原発事故でも、地震がどんな損傷をもたらしたかの確定には至っていない。現場に立ち入ることができず、原因は将来においても確定できない可能性が高い。

過酷事故において、仮にいかなる事態が起きているか把握できたとしても、全交流電源喪失から炉心損傷開始までは5時間余りであり、そこからメルトダウン開始までの時間も2時間もないなど、残された時間は限られている。

地震で複数の設備が同時にあるいは相前後して使えなくなったり、故障したりすることも当然考えられ、防御設備が複数あることは安全性を大きく高めるものではない。

原発に通ずる道路は限られ、施設外部からの支援も期待できない。

② (基準地震動の信頼性)

従来と同様の手法によって策定された基準地震動では、これを超える地震動が発生する危険がある。とりわけ、4つの原発に5回にわたり想定した基準地震動を超える地震が平成17年以後10年足らずの間に到来しているという事実を重視すべきである。

このような誤りが重ねられた理由については、学術的に解明されるべきだが、裁判所が立ち入る必要はない。

これらの事例は、「地震という自然の前における人間の能力の限界を示すもの」というほかない。

基準地震動を超える地震が大飯原発に到来しないというのは、根拠のない楽観的見通しである。

③（安全余裕について）

被告（関西電力）は、安全余裕があり、基準地震動を超えても重要な設備の安全は確保できると主張したが、「基準を超えれば設備の安全は確保できない」。

過去に基準地震動を超えても耐えられた例があるとしても、それは、今後、基準地震動を超える地震が到来したときに施設が損傷しないことを何ら根拠づけるものではない。

(3) 700ガルを超えない地震について

地震における外部電源の喪失や主給水の遮断が、700ガルを超えない基準地震動以下の地震動によって生じ得ることに争いが無い。

外部電源と主給水が同時に失われれば、限られた手段が効を奏さなければ、大事故となる。

補助給水には限界があり、①主蒸気逃し弁による熱放出、②充てん系によるホウ酸の添加、③余熱除去系による冷却のうち、いずれか一つでも失敗すれば、補助給水設備による蒸気発生器への給水ができないのと同様の事態に進展する。

主給水系は安全上重要な設備ではないという被告（関西電力）の主張は、理解に苦

しむ。

6 閉じ込める機能（使用済み核燃料の危険性）について

使用済み核燃料は、原子炉格納容器の外の建屋内にある使用済み核燃料プールと呼ばれる水槽内に置かれている。その本数は1000本を超えるが、プールから放射性物質が漏れた時、敷地外部に放出されることを防御する原子炉格納容器のような堅固な設備は存在しない。

福島原発事故で、4号機のプールに納められた使用済み核燃料が危機的状态に陥り、この危険性ゆえに避難計画が検討された。原子力委員会委員長の被害想定のうち、最も重大な被害を及ぼすと想定されたのは使用済み核燃料プールからの放射能汚染であり、使用済み核燃料も、原子炉格納容器の中の炉心部分と同様に、外部からの不測の事態に対して堅固な施設によって防御を固められてこそ初めて万全の措置といえる。

大飯原発では、全交流電源喪失から3日を経ずして使用済み核燃料プールの冠水状態が維持できなくなる危機的状态に陥る。そのようなものが、堅固な設備によって閉じ込められないまま、むき出しに近い状態になっている。

国民の安全が何よりも優先されるべきであるとの見識に立たず、深刻な事故はめったに起きないだろうという見通しのもとにかような対応が成り立っている。

7 本件原発の現在の安全性

人格権を放射性物質の危険から守るとの観点からみると、本件原発の安全技術と設備は、確たる根拠のない楽観的な見通しのもとに初めて成り立ち得る脆弱（ぜいじゃく）なものと認めざるを得ない。

8 原告（住民）らのその余の主張について

さまざまな違法理由や環境権に基づく主張、高レベル放射性廃棄物の問題などについては、判断の必要がない。幾世代にもわたる後の人々に対する我々世代の責任とい

う道義的にはこれ以上ない重い問題について、裁判所に判断する資格が与えられているか、疑問である。

9 被告（関西電力）のその余の主張について

被告（関西電力）は、原発稼働が電力供給の安定性、コストの低減につながると主張するが、極めて多数の人の生存そのものに関わる権利と電気代の高い低いの問題等を並べて論じるような議論に加わり、議論の当否を判断すること自体、法的には許されない。

原発停止で多額の貿易赤字が出るとしても、豊かな国土に国民が根を下ろして生活していることが国富であり、これを取り戻すことができなくなることが国富の喪失である。

被告（関西電力）は、原発稼働がCO₂（二酸化炭素）排出削減に資すると主張するが、福島原発事故はわが国始まって以来最大の公害、環境汚染であることに照らすと、環境問題を原発の運転継続の根拠とすることは甚だしい筋違いである。

10 小括

原判決は、以上のように述べ、一審原告らのうち、大飯原発から250キロメートル圏内に居住する者は、大飯原発の運転によって直接的にその人格権が侵害される具体的な危険があるから、これらの原告（住民）らの請求を認容すべきである、として、大飯原発について、運転の差し止めを命じた。

同判決の白眉は、大飯原発の基準地震動では、原発の安全性が確保できないとしたところにある。

同判決は、まずストレステストでのクリフエッジ（施設が耐えられる限界の地震動の大きさ）とされる1260ガルを超える地震動について、「地震は地下深くで起こる現象であって、その発生機序の分析は仮説や推測に依拠せざるを得ない→検証や実験という手法がとれない→過去のデータに頼らざるを得ない」とし「発生頻度が必ずしも高いものではない上に、正確な記録は近時のものに限られ

ることからすると、頼るべき過去のデータは極めて限られたものにならざるをえない、したがって、1260ガルを超える地震は来ないとの確実な科学的根拠に基づく想定は本来的に不可能である。」とする。地震現象の長い長いスパンに比べて、地震動想定において頼るべきデータがあまりに少ないという点は、否定しようのない事実であり、これに対する反論は困難である。

次に原判決は、基準地震動を超えた事例が過去10年足らずの間に5例あることなどから、過去と同様の手法に基づき策定された基準地震動 S_s の700ガルを超える地震が到来する危険があると指摘した。基準地震動は、基本的に地震動の平均像で作られてきたことは、地震動予測の第一人者であり、原発の耐震設計を主導してきた前記入倉孝次郎氏の、平成26年（2014年）3月27日付愛媛新聞（甲111）の記事での「私は科学的な式を使って計算方法を提案してきたが、これは平均像を求めるもの。平均からずれた地震はいくらでもあ」る、地震動評価に最も大きな影響を与える応力降下量を不確かさの考慮として1.5倍にすることには「明確な根拠はない」との見解で明確に示されている。この見解に照らせば、基準地震動を超える地震など、いくらでもあるのは当然であり、10年足らずに基準地震動を超える地震が5例もあったというのも、当たり前のことである。原判決は、地震動想定に誤りが重ねられた理由については、「学術的に解決すべき問題」だとして判断を回避しているが、原判決のこの指摘は、これまで原発推進者が、地震動の平均像で耐震設計をしてきたことを、鋭く断罪するものとなっている。

原判決のこれらの指摘は、大飯原発に限らず、原発の基準地震動の想定手法が信頼できないことを示したとすることができる。

第3章 結論

1 原発の基準地震動は平均でなされており、著しい過小評価である

以上述べたとおり、原発の基準地震動は、既往地震の平均像を基に想定されており、著しい過小評価である。

「応答スペクトルに基づく手法」は、多数の地震・地震動の平均像を求めるものでしかない。代表的な「応答スペクトルに基づく手法」である耐専スペクトルを見れば、平均像の4倍程度の地震動をもたらす地震が現に存在するが、原発の耐震設計では、「応答スペクトルに基づく手法」が平均像でしかないことによる「不確かさの考慮」、具体的には平均像からのかい離（すなわち平均像であることによる誤差）は、一切考慮されていない。

「断層モデルを用いた手法」においても、実際には、同じ断層面積(S)の地震でも、地震モーメント M_0 、そこから導かれるアスペリティの応力降下量（これが短周期レベルの地震動を規定する）が4倍となる地震が現に発生している。 M_0 が4倍になれば、アスペリティの応力降下量が4倍になるというのが強震動予測レシピの示すところであり、そうなれば地震動も4倍になると考えられる。また、アスペリティの全断層面積に対する比が平均的値である22%程度の半分であれば、それによっても、地震動はさらに2倍となってしまう。

また、断層面から敷地までの地震動減衰を示すグリーン関数にも、本来は大きな誤差があるはずなのに、これについても一切考慮されていない。これを最大限とるなら、さらに地震動想定は4倍程度にする必要がある。

電力会社が行っているのは、基本は、平均像としての地震動想定であり、それをプラス α した地震動を想定しているだけである。また実際に起こった地震についても、その知見を取り入れたとするが、それはせめて実際起こった地震程度には耐えられるようにしようとする、単なる弥縫策でしかない。

震源を特定せず策定する地震動においても、電力会社が採用してきた加藤ほか(2004)の応答スペクトルもデータが少なすぎる。また、留萌支庁南部地震の知見のみを取り入れたのでは、不十分である。留萌支庁南部地震を考慮したのも、中越沖地震などと同様、現実起きた地震には耐えられるようにしようとするに過ぎないものであり、現実起きた地震、といっても地震現象からす

れば、極めてわずかな期間でのものでしかないが、それを超えて最大どこまでの地震動が敷地を襲うかという発想そのものが欠けているのである。

福島第一原発で経験したように、極めて危険な放射性物質を多量に抱え込んだ原発で、平均的な地震動で耐震設計するなどということは、決して許されることではない。したがって、仮に平均像を基本ケースとするにしても、さらに最大限の誤差を考慮することが原発の耐震設計では求められる。

2 さらに、地震は、いつも同じ場所で同じ規模で発生するものではない。複数回同じ領域（震源断層面）で発生したとしても、破壊が止まる領域の端では、歪が蓄積される。多数回の地震で累積した変位は、通常の変位が生じる領域では収まりきらず、いずれはその領域の外に破壊を及ぼす。常に一定の箇所断層の破壊が止まると考えるのは、科学的に通用しがたい考えであり、時折、破壊の規模が拡大するとするのが正しい。

しかし、現在の耐震設計は、破壊が常に一定の領域で起こり、それがその領域の外に拡大することはないという、一種のドグマによってなされている。電力会社の選定した各活断層については、多数回すでに活動していると考えられるが、その累積変位は、通常地震の発生する下限をさらに突き抜けて破壊が及ぶことによって、時折、変位に伴う歪を解消させると解されるべきであるし、少なくともその可能性は否定できない。

もともと地震発生層については、データが少なすぎる中での想定であり、そもそもこの推定には大きな誤差があるが、この点については、一切考慮がなされていない。

そして、地震・地震動のデータは、数10年程度の極めてわずかなものでしかない。特に日本において詳細な地震・地震動の記録を得られるようになったのは、兵庫県南部地震が発生してから各地に強震計が配置されるようになった1997年以降の17年程度のデータでしかない。したがって、何万年、何十万年というスパンで生じる地震現象の想定とするなら、この程度の期間での過去最

大の地震動では全く不足する。

断層面積 S と地震モーメント M_0 の関係式の図からすれば、同じ S の断層の活動による地震動では、統計的に見て観測された過去最大の地震動を超える地震の割合も 44 個に 1 つ程度はあると考えられ、地震動が平均像の 8 倍を超える地震も 740 個に 1 つはあると考えられる。そうすると、少なくとも平均像の 1 桁大きな地震動を考えることが求められる。あるいはさらに安全性を十分に求めるなら、平均像の 10 倍でも不足する。

- 3 平均像で耐震設計をしてはならないなどという問題は、当たり前過ぎる問題であった。この「平均像で原発の耐震設計をしてはならない」という問題は、住民側が「もんじゅ」訴訟差し戻し後控訴審において明確に取り上げて以来、原子炉施設事業者も国も十分に承知していた問題であった。にもかかわらず、同事件判決は、このような主張などなかったことにして、争点として取り上げることすらせず判決をし、原発推進者である事業者や国も、この問題にあえて目をつぶり、これまで営々と原子炉を運転し続けてきた。
- 4 また、既往最大で耐震設計をしてはならないという問題も、浜岡原発訴訟第一審で住民側が取り上げた問題であった。この問題も、我々の知見が極めて小さいものであることからしたら、また当たり前過ぎる問題であった。しかし、浜岡第一審判決は、過去最大を超える地震が発生する可能性を認めつつ、「抽象的危険で、むやみに国の施策に影響を与えることはできない」として、住民側の言い分を排斥した。そして、既往最大を超える東北地方太平洋沖地震が発生して、福島原発事故が発生し、大きな被害をもたらした。
- 5 原発の耐震設計における当たり前過ぎる問題を、事業者、国、裁判所が一体となって、あえて無視してこれまで原発の運転はなされてきた。しかし、自然は、容赦なく、巨大な現象として立ち現われ、原子炉を破壊に導く。基準地震

動を超える地震動を本件原発に与えたときに、本件原発がその地震動に耐えられる保証はない。そのときには、本件原子炉は、新規制基準も認める「大規模損壊」となって、多量の放射性物質を環境中に一気に放出する。日本の破滅すらもたらしかねない本件原発の稼働を阻止するのは、まさしく本裁判に与えられた極めて重大な任務である。

以上