

平成 23 年(ワ)第 1291 号, 平成 24 年(ワ)第 441 号, 平成 25 年(ワ)第 516 号, 平成 26 年(ワ)第 328 号, 平成 31 年(ワ)第 93 号伊方原発運転差止請求事件

原 告 須藤昭男外 1 4 1 8 名

被 告 四国電力株式会社

準備書面(8 3)

地震源に立地, 基礎知識, 強振動学の現状, 極近傍, 南海トラフ

2 0 2 0 (令和 2) 年 1 1 月 2 7 日

松山地方裁判所民事第 2 部 御 中

原告ら訴訟代理人弁護士 薦田伸夫

弁護士 東俊一

弁護士 高田義之

弁護士 今川正章

弁護士 中川創太

弁護士 中尾英二

弁護士 谷脇和仁

弁護士 山口剛史

弁護士 定者吉人

弁護士 足立修一

弁護士 端野真

弁護士 橋本貴司

弁護士 山本尚吾

弁護士 高丸雄介

弁護士 南拓人

弁護士 東翔

訴訟復代理人

弁護士 内山成樹

弁護士 只野靖

弁護士 中野宏典

【目次】

第1	地震源に建つ日本の原発	3 頁
第2	地震動評価の基礎知識	5 頁
第3	強震動地震学の現状と原発の安全性の確保	30 頁
第4	震源が原発敷地に極めて近い場合の特別の考慮	63 頁
第5	南海トラフの巨大地震の地震動評価	70 頁

第1 地震源に建つ日本の原発

図1 甲629 3頁

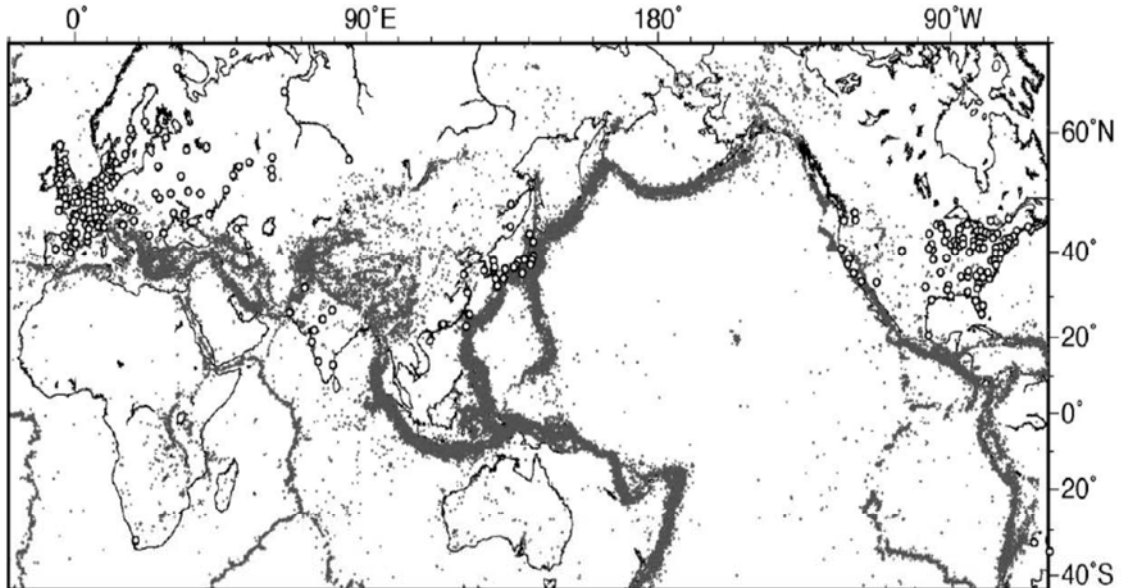


図1 世界の地震と原子力発電所の分布. グレーの点は、1990年1月1日から2013年11月30日までのM4.0以上、深さ40km以下の地震15万8761個の震央を、米国地質調査所のPDEとQEDによってプロットしたもの(作図：原田智也). 白丸は、2010年1月現在の世界の原子力発電所(原子力資料情報室(2010)による. ブラジルの原発1ヶ所が図の外側にある).

日本列島は、太平洋プレート、フィリピン海プレート、ユーラシアプレート、北米プレートという4つのプレートがせめぎ合う境界線上に位置し、世界有数の地震多発地帯となっている。

日本の面積は地球の表面積のわずか0.3%足らずだが、その日本で地球の地震の約10%が発生する。図1の通り、1990年から2013年までに発生したマグニチュード4.0以上、深さ40km以下の地震を世界地図に黒点でプロットしていくと、日本列島が見えなくなる程である(甲629石橋克彦『地震列島・日本の原子力発電所と地震科学』(日本地震学会モノグラフ「日本の原子力発電と地球科学」3頁))。

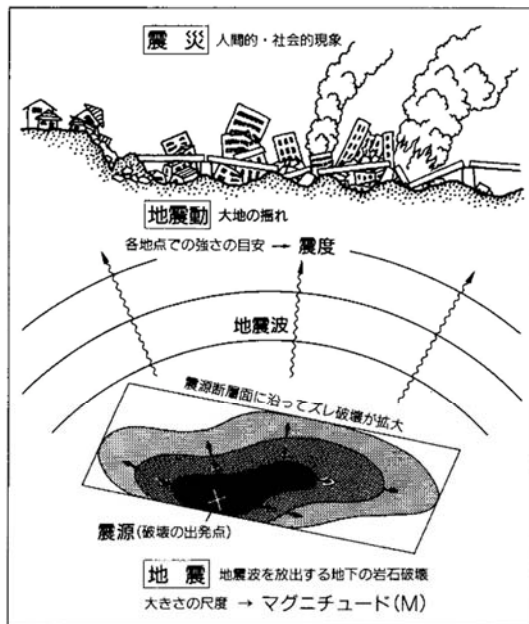
この地震列島に、17箇所の商業用原子炉サイト(図1白丸)があつて、伊方原発を含めて合計54機の発電用原子炉が存在した(2011年5月末現在)。かような地震多発地帯に多くの原子炉を建設している国は他国において例がない。

神戸大学名誉教授の石橋克彦氏（地震学）が警鐘を鳴らす通り，日本の原発は「地震付き原発」であり，M4以上の地震がほとんど起きないヨーロッパやアメリカ中～東部などの原発とは根本的に地震に対するリスクが違うのである。

しかも，地震の静穏期に導入された日本の原発が，地震活動期を迎えた日本列島において，より危険のものとなっていることは，原告ら準備書面（70）46頁～において述べたとおりである。

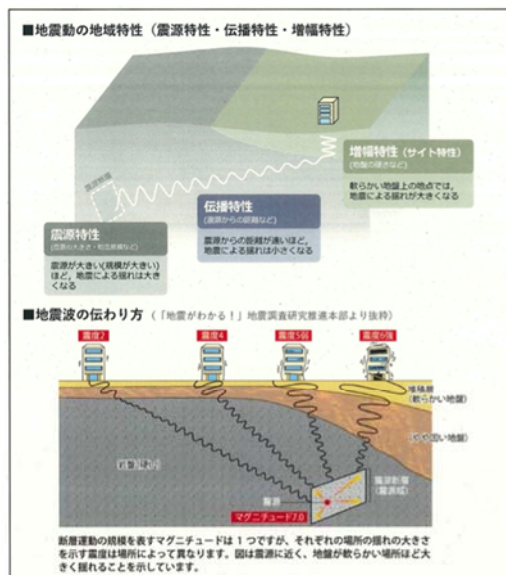
第2 地震動評価の基礎知識

図2



石橋克彦(1997)

図3



四電「地震動評価の基礎知識等について」

3

地震は、地下の岩石破壊という現象であり、そこから、地震波が放出される。

そして、地震波が地上に到達すると、地盤に揺れが生じる。この揺れが、地震動である。

地震の大きさ、すなわち地震の規模は、マグニチュードという尺度が用いられている。

これに対して、揺れの大きさは、震源特性、伝播経路特性、地盤増幅特性の3つの特性によって決まると考えられており、このような考え方は、一般に広く受け入れられている。

ただし、地震は、地下深くで発生する現象であるため、実際のところ、どのような現象が発生しているのか観察することはできないし、実験によって確認することもできない。

このことについては、後述する。

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
検討用地震の選定 ー選定結果ー

平成26年11月7日
 審査会合資料再掲

内陸地殻内地震	: 敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯)による地震
海洋プレート内地震	: 1649年安芸・伊予の地震(M6.9)
プレート間地震	: 南海トラフの巨大地震(M9.0 内閣府検討会 陸側ケース)

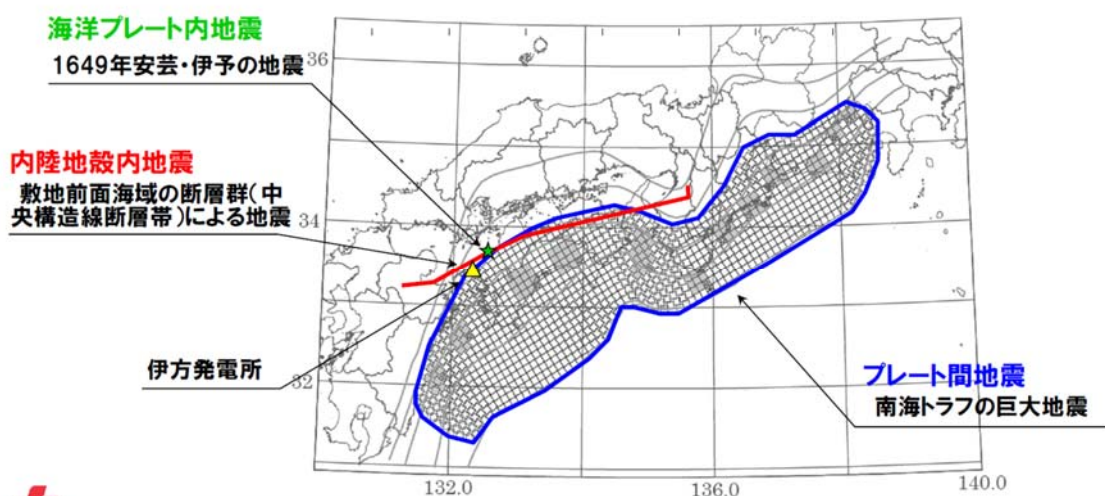


図4は、原子力規制委員会の210回審査会合の資料である。

四国電力は、図4のとおり検討用地震として、

内陸活断層地震は、中央構造線断層帯、

海洋プレート内地震は、1649年安芸・伊予の地震

プレート間地震は南海トラフの巨大地震を、

それぞれ選定した。

これらの地震の大きさは、地震の規模を示すマグニチュードという尺度が用いられる。

一般に、地震の大きさ、すなわち、すなわち地震の規模(マグニチュード)が大きいくほど、地震動は大きくなる。

しかし、大きなマグニチュードの地震であっても、その発生場所が遠ければ遠い

ほど、揺れは小さくなる。

これとは逆に、地震の規模（マグニチュード）が小さくても、その地震の発生場所が近ければ近いほど、揺れは大きくなる。

図5 甲631 2～4頁

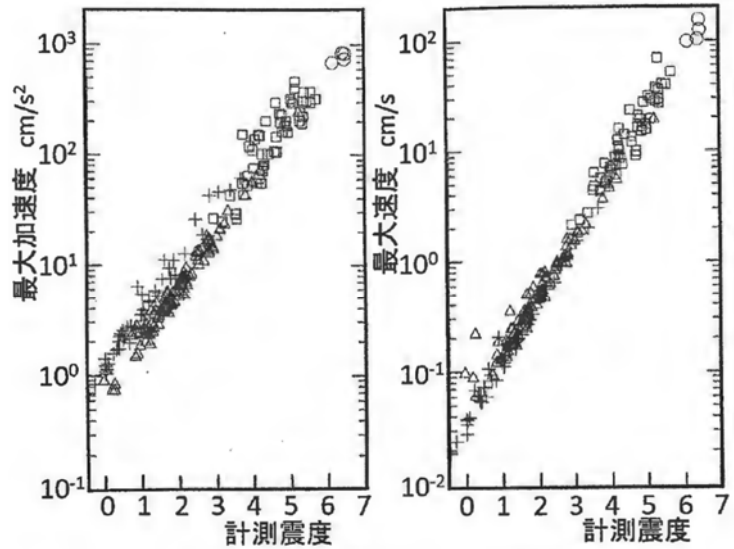


図 1.2 計測震度と最大加速度振幅および最大速度振幅との相関

おおよその目安

震度 5 強と 6 弱の境界 ($I = 5.5$)

最大速度 40 (カイン, cm/s) 前後

最大加速度 400 (ガル, cm/s²) 前後

震度 6 強と 7 の境界 ($I = 6.5$)

最大速度 150 (カイン, cm/s) 前後

最大加速度 1300 (ガル, cm/s²) 前後

$$I = 0.55 + 1.90 \log PGA \pm 0.30 \quad (4 \leq I \leq 7)$$

$$= 0.32 + 2.00 \log PGA \pm 0.30 \quad (4 \leq I \leq 7)$$

$$I = 2.68 + 1.72 \log PGV \pm 0.21 \quad (4 \leq I \leq 7)$$

$$= 2.32 + 2.00 \log PGV \pm 0.24 \quad (4 \leq I \leq 7)$$

これに対して、地震動の大きさを表す尺度には様々なものがある。

最も一般的に用いられているものは、震度であり、現在、震度 0～最大 7 まである。

そのほかの尺度として、加速度 (ガル, cm/s²)、速度 (カイン, cm/s) という尺度もある。

左側は気象庁の震度階、右側は、翠川三郎「強震動」(甲 6 3 1) にある計測震度 (I) と、最大加速度 (ガル, cm/s²)、最大速度 (カイン, cm/s) の関係図である。

おおよその目安をいえば、

震度 5 強と 6 弱の境界では ($I = 5.5$)

最大速度 40 (カイン, cm/s) 前後

最大加速度 400 (ガル, cm/s²) 前後

震度 6 強と 7 の境界では ($I = 6.5$)

最大速度 150 (カイン, cm/s) 前後

最大加速度 1300 (ガル, cm/s²) 前後

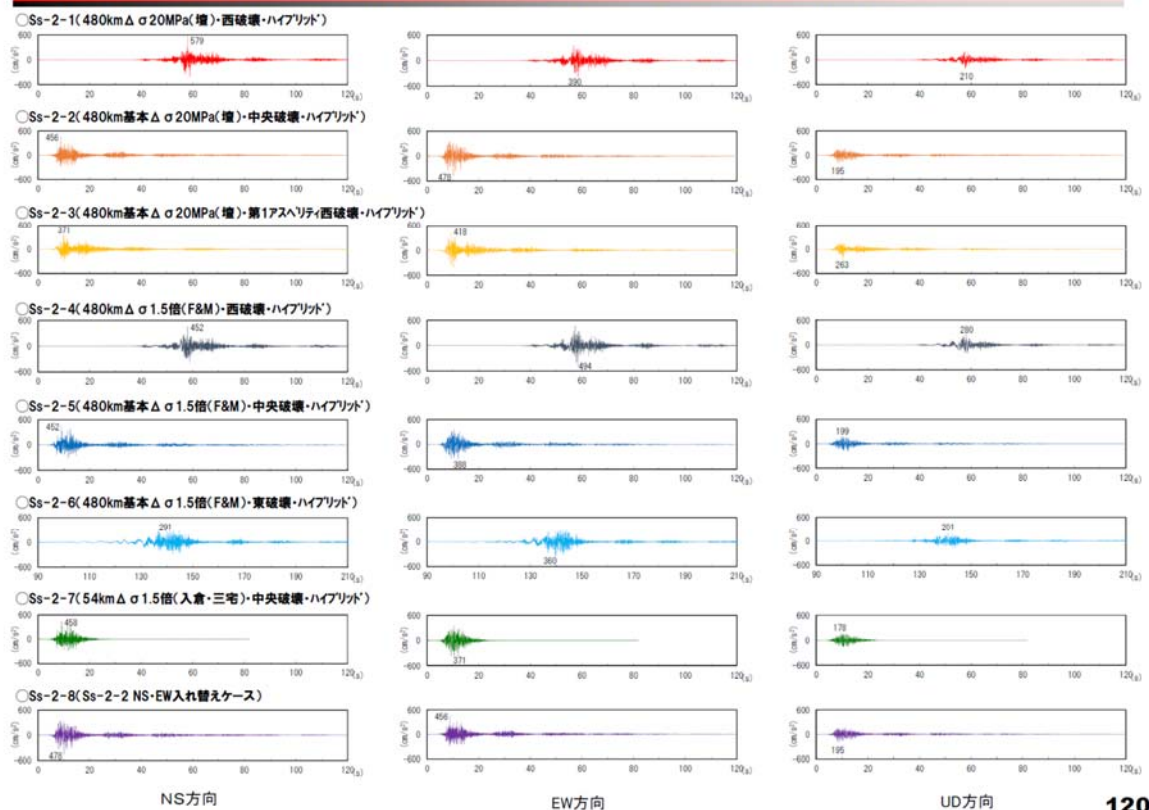
とされている。

しかし、地震動による揺れを評価する上では、より定量的な物理的尺度が必要となる。

6. 基準地震動の策定

震源を特定して策定する地震動 —基準地震動Ss-2の加速度時刻歴波形—

平成26年11月7日
審査会合資料再掲



四国電力は、内陸活断層による地震動として、伊方原発について、基準地震動を合計8つ策定している。

8本あるのは、破壊開始点を変えたり、応力降下量を変えたり、断層長さを変えたりしていることによるものである。

これらは、8本の基準地震動の、加速度時刻歴波形であり、横軸が時間、縦軸が加速度である。

各地震に対して、横に3つのグラフが並んでいるのは、それぞれ、NS（南北）成分、EW（東西）成分、UD（上下）成分である。

加速度時刻歴波形は、地震動を表す、表現方法の1つである。

ここにある加速度時刻歴波形は将来予測であるが、実際に発生した地震の観測記録も、このような加速度時刻歴波形が地震計によって得られる。

図7 甲630 121頁

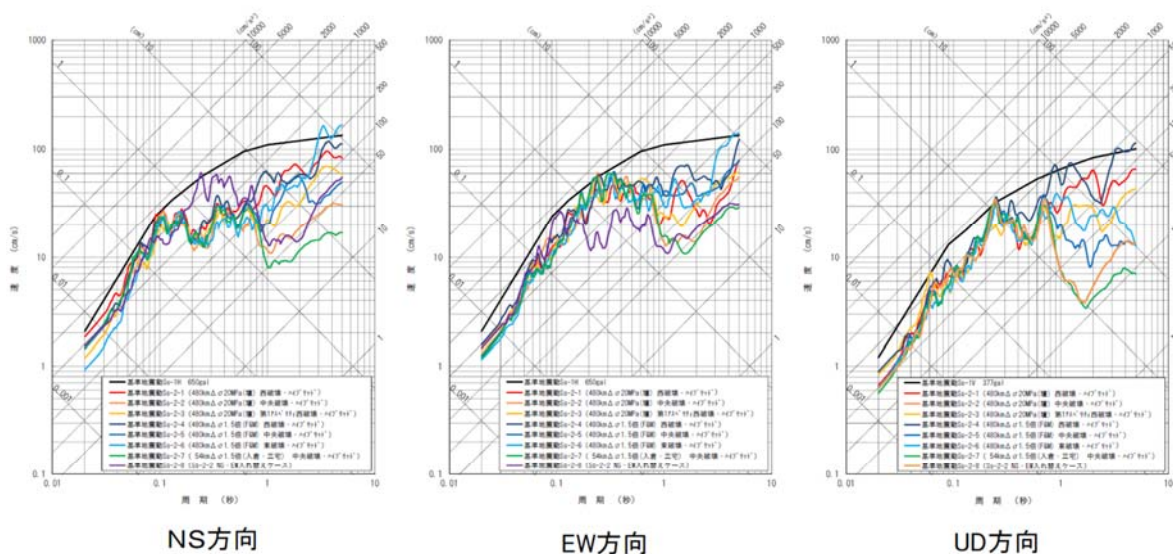


図7のカラーの波線は、内陸活断層による基準地震動8本を、応答スペクトルで表記したものである。

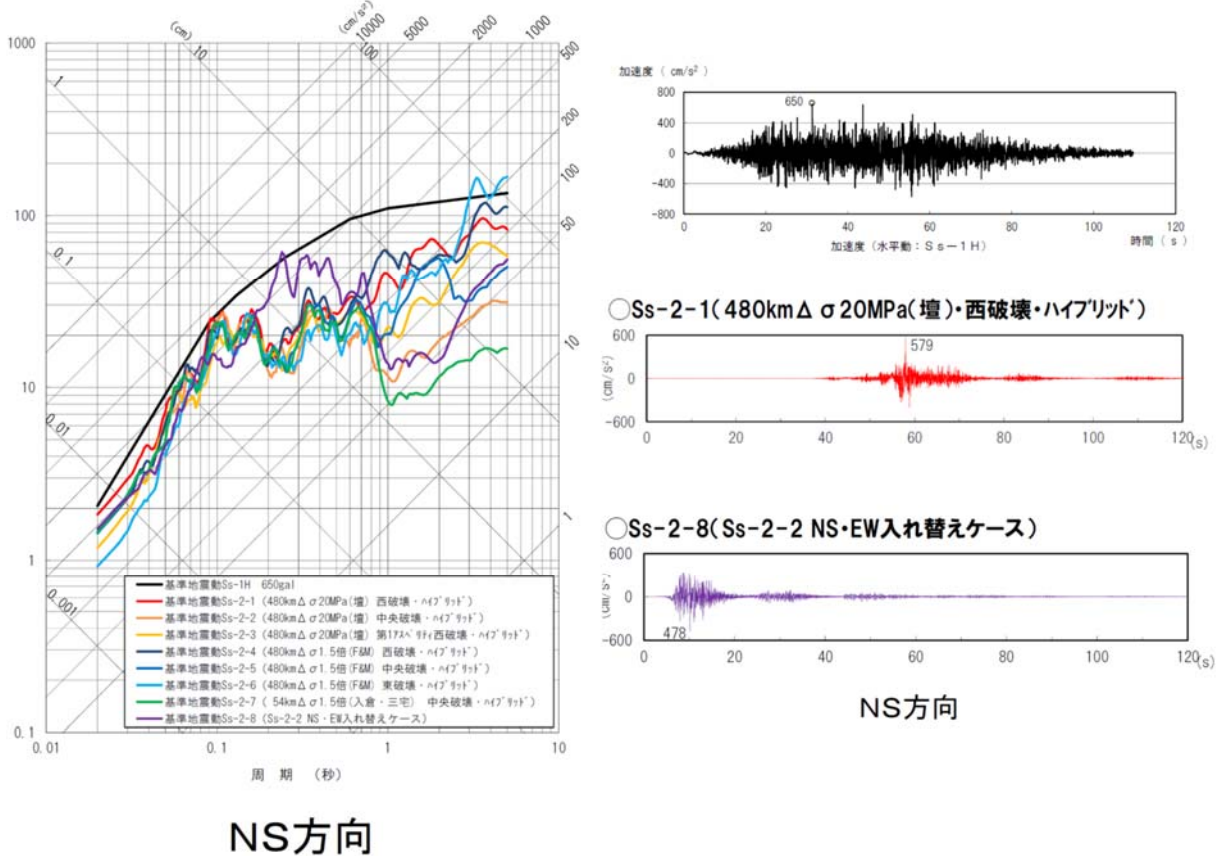
この応答スペクトルも、地震動を表す、表現方法の1つである。

内陸活断層による基準地震動8本のカラーの波線とは別に、黒い実線が引かれているが、これはS S-1 Hという基準地震動である。

これは、応答スペクトルに基づく手法による基準地震動で、直線で示されている。

地震動の争点を理解する上では、こうした地震動の表記方法についての理解が、前提知識として必要となる。

図8 甲630 116頁, 120頁, 121頁



一例として、SS-1Hと、SS-2-1と、SS-2-8の加速度時刻歴波形のNS成分と、応答スペクトル図のNS成分を示す。

SS-1Hは黒い実線で、SS-2-1は赤い線で、S-2-8は紫色の線で、示されている。

これらは、それぞれ、同一の地震動を、別の形式で書いたもの、ということである。

ところで、左側の応答スペクトル図では、SS-1Hは黒い実線で直線であるのに対して、SS-2-1の赤い線やS-2-8の紫色の線は、なぜ、波状の線を示しているのか。

その答えは、波状の線になっているのは、観測記録（あるいは断層モデル）を用いた手法によるもので、時刻歴波形を分解して作ったものだからであり、これに対して、直線で引かれているのは、まさにこの応答スペクトル図上で線を決めている

ものだからである。

また、加速度時刻歴波形では、

SS-1Hの地震動は最大650ガルの地震であるのに対して、

SS-2-1の地震動は最大579ガル

SS-2-8の地震動は、最大478ガル

とある。

そうすると、この3つの基準地震動のうちでは、建物・機器・配管に対する影響は、SS-1Hの最大650ガルの地震が最も大きく、SS-2-8の最大478ガルの地震が最も小さいのか。

その答えは、「必ずしもそのようにはいえない。各建物・機器・配管の固有周期による」ことになる。

これらの点は、当事者双方に争いの無い事実である。

ただし、地震動の争点を理解する上では、こうした事柄についての理解が、前提知識として必要となる。

そこで、これらについて、概要を説明しておく。

図9 甲130 大崎順彦「地震と建築」77頁

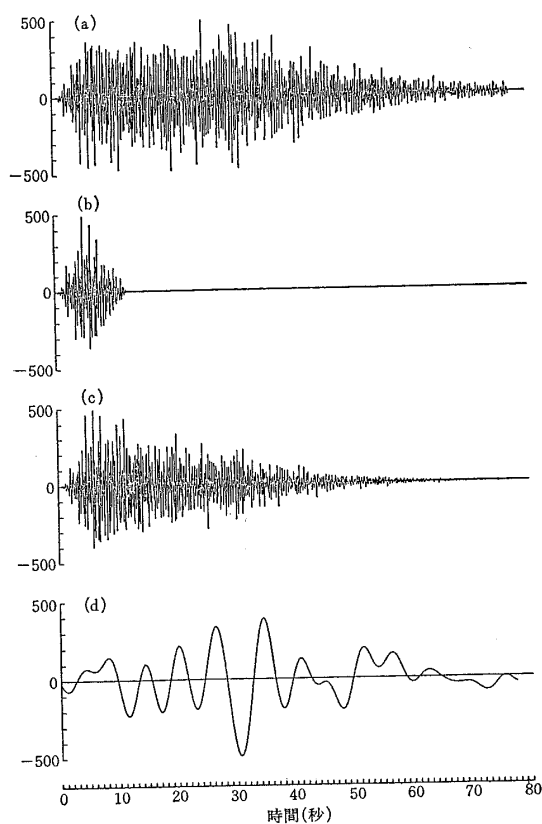


図 V-3 地震動のいろいろ

図9は、甲130大崎順彦「地震と建築」77頁に掲載されている、4つの加速度時刻歴波形であり、横軸は時間、縦軸は加速度である。

1番上の地震動は、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。最大加速度は25秒付近で約490ガルである。

2番目の地震動は、継続時間が短く約20秒しかないが、最大加速度はやはり約490ガルである。

3番目の地震動は、主要な部分の継続時間は約60秒である。1番目と比較すると、時間の経過とともに加速度は小さくなる。ただし、最大加速度はやはり約490ガルである。

4番目の地震動は、上記3つとは揺れの性質が全く異なる。これは、地震の周期が長く、長周期地震動である。ただし、最大加速度はやはり約490ガルである。

このように、これらの4つの地震動は、すべて最大加速度490ガルの地震動である。

そして、最大加速度490ガルの地震動は、これら4つに限らず、無数にある。

このように、単に「490ガルの地震動」というだけでは、特定の地震動が決まるわけではない。

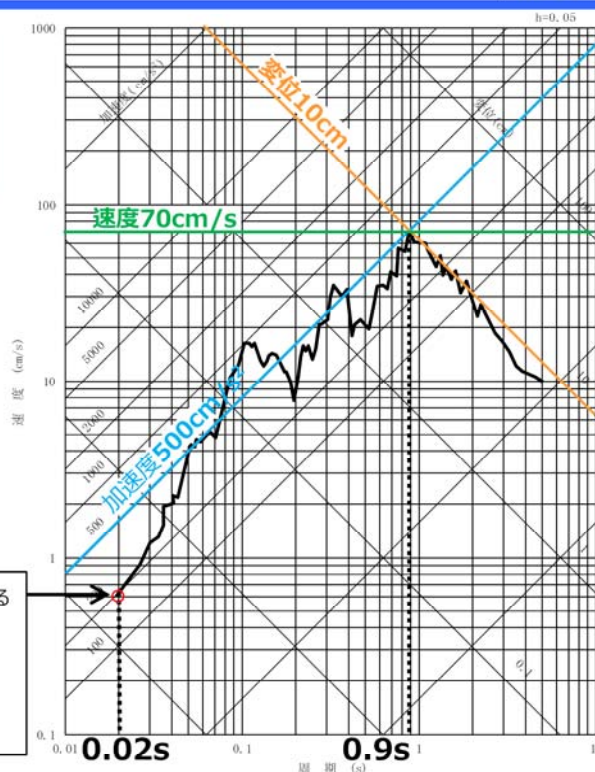
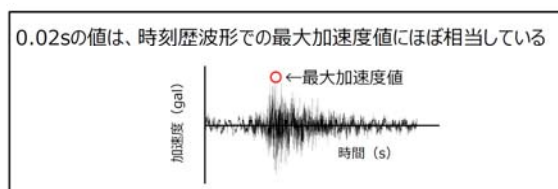
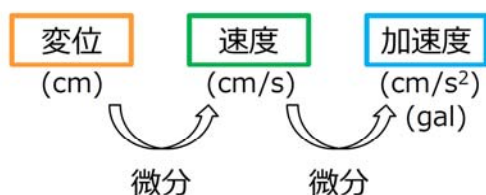
また、これらの1番目から3番目までの地震と、4番目の地震は、波の形が全く異なる。

しかし、それぞれの地震動によって、建物や構造物に対してどのような影響があるか、この加速度時刻歴波形を見るだけではわからない。

【解説】応答スペクトル（トリパタイト）のグラフの見方

頁向事項
第1-1

○トリパタイトとは、正弦波 $\sin(\omega t)$ を微分すると円振動数 $(1/\omega)$ 倍になる関係を利用して、変位・速度・加速度の関係を一つのグラフに示したもの。



地震動によって、建物や構造物に対してどのような影響があるか、それを表すものが応答スペクトル図(トリパタイト図ともいう)である。

応答スペクトル図の表記は、横軸が周期で、左側が0.02秒という短周期で、右側にいくほど長周期となる。

縦軸は速度であり、単位は、センチメートル・毎秒（カイン）である。

右上がりの45度でひかれている線が加速度であり、単位は、センチメートル・毎秒・毎秒（ガル）である。

右下がりの45度の線は、変位を表す。

図10の左下の図は、加速度時刻歴波形である。

加速度時刻歴波形も、地震動の大きさを表記する一つの手法であること、ここにある加速度時刻歴波形は将来予測であるが、実際に発生した地震の観測記録も、このような加速度時刻歴波形として地震計によって得られること、応答スペクトルも、

時刻歴波形も，地震動の記録を別々の形式で表現したものであることは前述した。

【解説】応答スペクトル

- 地震動には様々な周期の波が含まれる。
- 建物等には特定の揺れやすい周期があり、同じ周期を持つ地震動が到来すると大きく揺れる。
- 「応答スペクトル」とは、様々な周期を有する建物等に対して地震動がどのくらいの揺れを生じさせるかを、横軸に周期、縦軸に最大応答値をとって分かりやすく描いたもので、その地震動によって建物等に生じる揺れの大きさが把握できる。

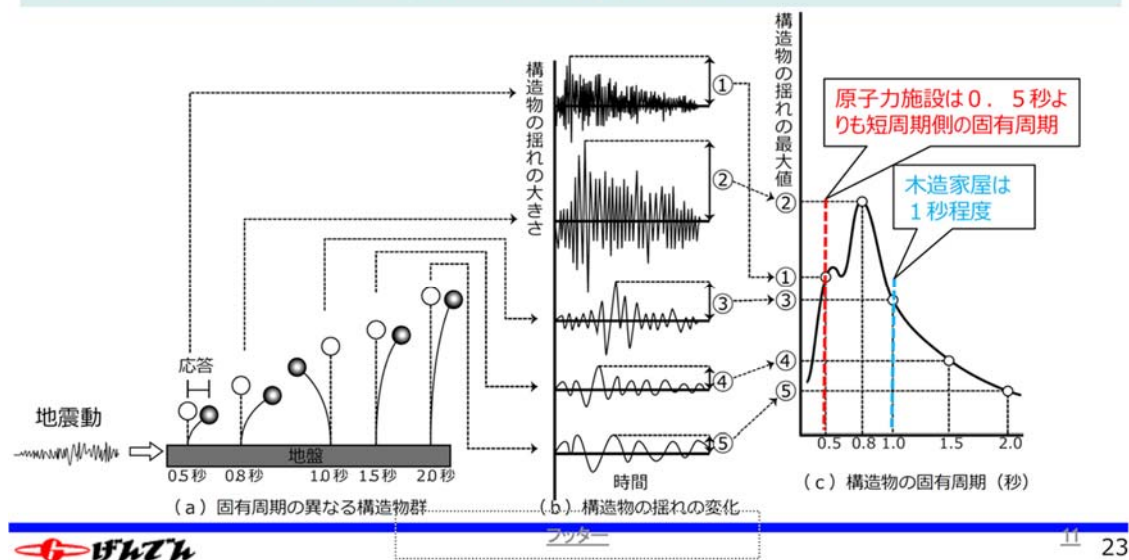


図 1 1 は、地震動の加速度時刻歴波形から、応答スペクトル作成の過程を説明したものである。

図 1 1 の (b) は、地震動の加速度時刻歴波形である。この加速度時刻歴波形は将来予測であるが、実際に発生した観測記録でも、応答スペクトルの策定方法は、同じである。

地震動の加速度時刻歴波形は一見複雑だが、実はいろいろな周期（一往復にかかる時間）をもった振動の寄せ集めである。

これは、単純な振動に分解していくことができる。

図 (a) では、5つの倒立振子が例示されている。これらは、別々の固有周期を持っている。

固有周期とは、振り子のように自然に揺れることを自由振動といい、そのときの周期（片側に振れて再び戻ってくるまでの時間）のことである。

固有周期は質量が大きくなるほど長くなり、逆に剛性が大きくなるほど短くなる。例えば建築物では、その高さが高くなるほど質量が増大し、その結果、固有周期は長くなる。

建物・機器・配管には、すべて一定の固有周期があり、この倒立振子をもって模擬できる。

たとえば、固有周期0.5秒の倒立振子（これはすなわち固有周期0.5秒の建物・機器・配管である）は、地震動の中の、いろいろな周期の地震動がやってくるうちの、自らの固有周期である0.5秒に近いものを選び出して、その都度大きくゆれる。

この場合、周期0.5秒の揺れが長く続くと、固有周期0.5秒の倒立振子（これはすなわち固有周期0.5秒の建物・機器・配管である）は、揺れ始めた震動が成長しどんどん大きなゆれに成長する。これを共振という。

図（b）は、それぞれの倒立振子の揺れ方、すなわち応答を表している。

たとえば、周期0.5秒の振り子の応答としては、図（b）の①の波のようになる。

この地震に対しては、固有周期が0.5秒の振り子＝建物・機器・配管は、揺れはじめに大きく揺れ、時間の経過とともに、揺れが小さくなっていく、ということを示している。

これに対して、たとえば、周期1.0秒の振り子の応答としては、図（b）の③の波のようになる。

この地震に対しては、固有周期が1.0秒の振り子＝建物・機器・配管は、揺れはじめは大きく揺れていないが、全体の間で大きく揺れ、その後、揺れが小さくなっていく、ということを示している。

そして、図（c）は、横軸に周期、縦軸に各周期に対応する当該地震動における最大の揺れの大きさ（最大応答）をプロットしたものである。

図（c）では、波状の滑らかなにつないだ線が示されているが、図（a）では振り子

は5つであり、図（b）の波も5つであるので、図（c）でプロットできるのは5つである。それが、図（c）の白丸である。

そして、このプロットされた白丸は、各周期における揺れの最大の値が記載されている。

ただし、これらの5つの振り子で示した固有周期以外にも、この間には、大小さまざまな固有周期がある。

このような加速度時刻歴波形から、応答スペクトルへの変換は、現在では瞬時に計算できる。

そこで、図（c）では、このような計算結果から、各固有周期における揺れの最大値を、波状の線で表している。

このように、地震動が建物・機器・配管に与える影響を集約したものが、応答スペクトルである。

「応答」とは、建築や振子が、地震動を受け、地震動とそのもの（建築や振子）自体の特性（固有周期）に応じて揺り動かされる、その反応のことである。

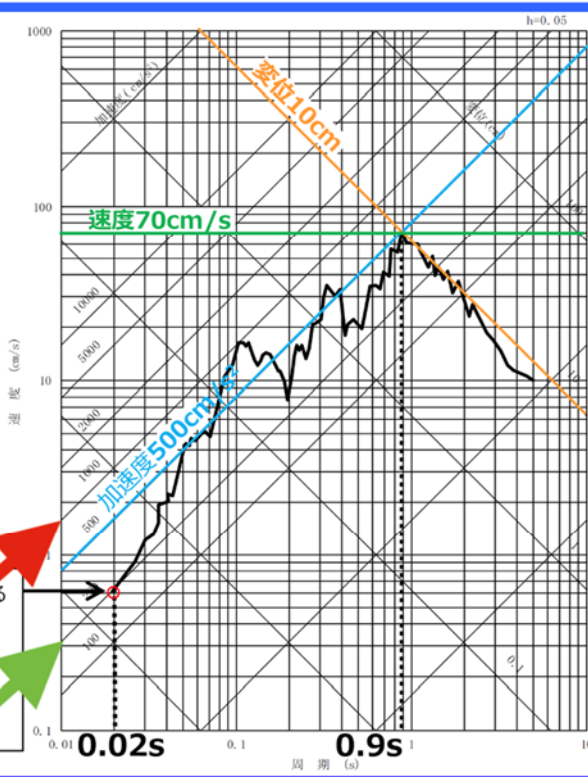
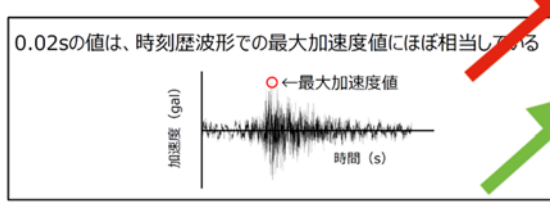
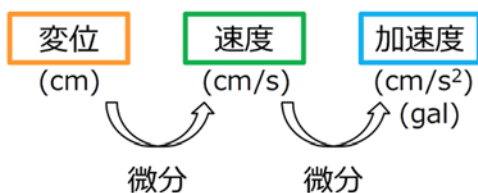
「スペクトル」とは、複雑な情報や信号をその成分に分解し、成分ごとの大小に従って配列したもののことである。

「応答スペクトル」は、建築や振子の反応の最大値を、周期の大小の順に従って並べたものである。

以上から、ある地震動の時刻歴波形からは、1本の応答スペクトルが決まり、それは波状の線となる。

【解説】応答スペクトル（トリパタイト）のグラフの見方

○トリパタイトとは、正弦波 $\sin(\omega t)$ を微分すると円振動数 $(1/\omega)$ 倍になる関係を利用して、変位・速度・加速度の関係を一つのグラフに示したもの。



以上が、地震動の加速度時刻歴波形から、応答スペクトルを作成する過程の説明である。

もう一度、図12で確認しておく、図の左下の地震動の加速度時刻歴波形における最大加速度は、地震動全体の中の1往復の揺れの最大加速度である。

これに対して、さまざまな固有周期をもった倒立振子（これはすなわち建物・機器・配管である）の揺れの最大加速度は、繰り返し揺れることによって共振するので、時刻歴加速度波形における最大加速度よりも大きくなる。

たとえば、図12では、左下の地震動の時刻歴加速度波形における最大加速度は200ガルであるのに対して、周期0.9秒の最大加速度は500ガルとなることが示されている（図12では水色の線が500ガルを示す）。

周期0.1秒の最大加速度は1000ガルとなることが示されている（図12の赤矢印の線が1000ガルを示す）。

ちなみに、周期0.9秒の最大速度は70カイン、最大変位は10センチであることが示されている。

図12にもあるように、左下の地震動の加速度時刻歴波形における最大加速度200ガルは、応答スペクトルでは、周期0.02秒の最大加速度にほぼ相当する(図の緑矢印の線が200ガルを示す)。

周期0.02秒は、極短周期であり、倒立振子では長さがほぼなく、地面にピッタリくっついて、地面と一緒に揺れる。

そのため、地震動の加速度時刻歴波形における最大加速度が、そのまま、応答スペクトルの最大加速度となるのである。

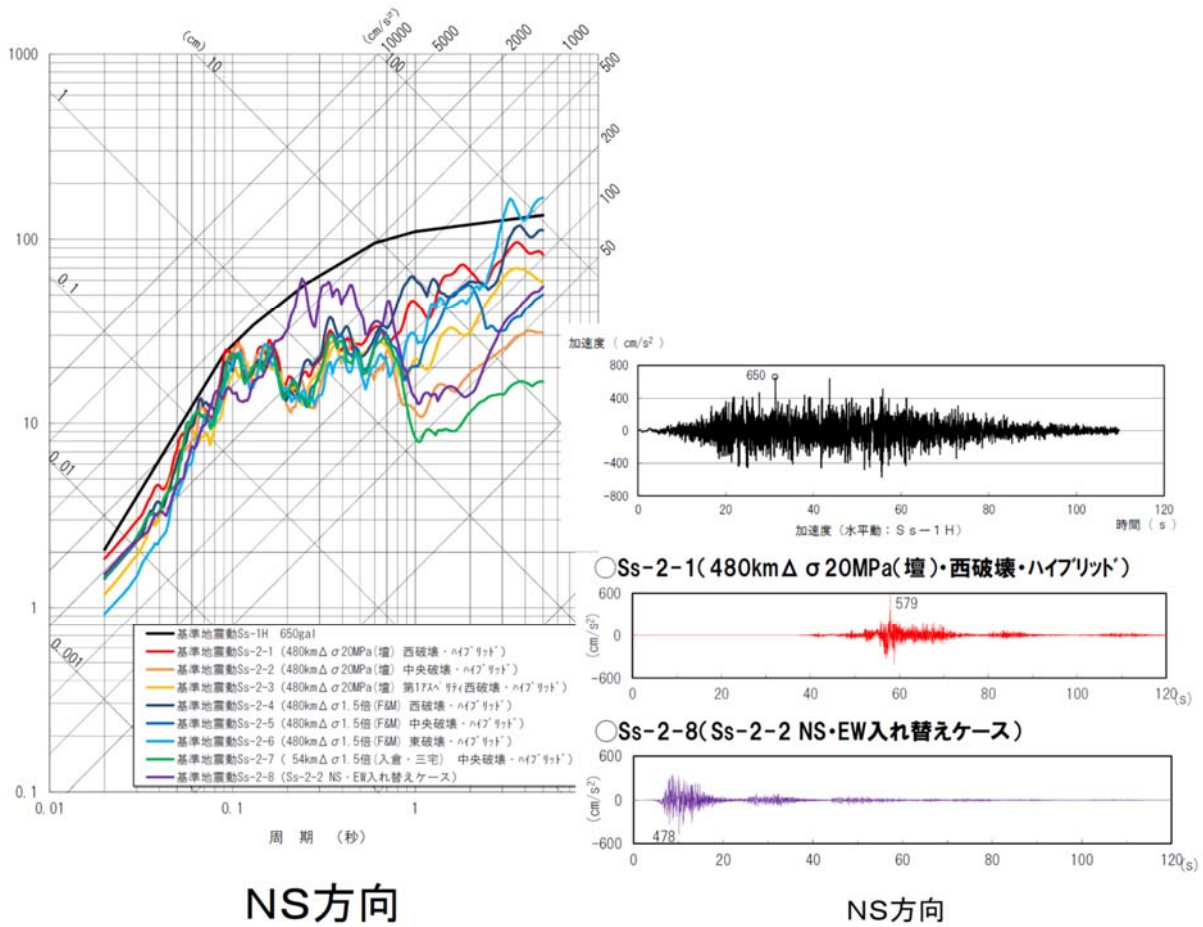
一般的には、加速度が大きい地震波は、破壊力が大きい。

この点について、東海第2原発運転差止訴訟において、我が国の強震動研究をリードする一人である野津厚氏は、以下のように説明した。

「地震波の大きさを測るときに、加速度で測る場合と、速度で測る場合がありますけれども、それを簡単に言いますと、加速度というのは、車が、アクセルを踏んでるときに、ぐうっと体に力が掛かる状況になるかと思えますけれども、その状態が加速度でありまして、それに対して、速度というのは、ある一定の時間、アクセルを踏み続けると、次第にスピードが上がっていくわけで、最終的には、アクセルを離してもスピードが出続けている状態になりますが、そのことを速度というふうに呼んでいるわけです。で、それは車の場合でしたけれども、同じように地震波の場合も、加速度と速度というのがございます」(甲633野津証人調書13頁)。

ゆえに、加速度の大きな地震動は、建物・機器・配管にとって、危険なのである。

図13 甲630 116頁, 120頁, 121頁



以上の説明をもって、冒頭の問題についてはすでに解決している。

改めて確認すると、

応答スペクトル図では、SS-1Hは黒い実線で直線であるのに対して、SS-2-1の赤い線やSS-2-8の紫色の線はが波状の線を示しているのはなぜか、については、観測記録(あるいは断層モデル)を用いた手法によるもので、加速度時刻歴波形を分解して作ったものだからであり、これに対して、直線で引かれているのは、まさにこの応答スペクトル図上で線を決めているものだからである。

また、加速度時刻歴波形では、この3つの基準地震動のうちでは、建物・機器・配管に対する影響は、SS-1Hの最大650ガルの地震が最も大きく、SS-2-8の最大478ガルの地震が最も小さいのか、については、「必ずしもそのようにはいえない。各建物・機器・配管の固有周期による」ことになる。

図では、固有周期が0.2～0.3秒前後では、紫の線（SS-2-8）が、黒い実線（応答スペクトルに基づく手法）を、ほんの少しではあるが上回っている。

したがって、固有周期が0.2～0.3秒前後の建物・機器・配管では、この650ガルの地震動よりも、この478ガルの地震動の方が、影響力は大きい。

このように、観測記録（あるいは断層モデル）を用いた手法による波状の線で表される地震動では、最大加速度の大小だけでは、各建物・機器・配管への影響は分からない。各建物・機器・配管への影響は、周期による。それを把握するためには、応答スペクトル図を見る必要がある。

これに対して、応答スペクトル図上で引いた直線は、直線で構成されており、傘のような形をしているので、通常は、最大加速度の大小によって、各建物・機器・配管への影響の大小を、把握できる。

すなわち、応答スペクトルに基づく手法による地震動は、通常は、数字が大きい地震の方が、各建物・機器・配管への影響も大きい。

ただし、もちろん、傘の形によっては、例外もある。

以上が、原発で用いられている耐震設計の手法についての内容説明である。

図 1 4

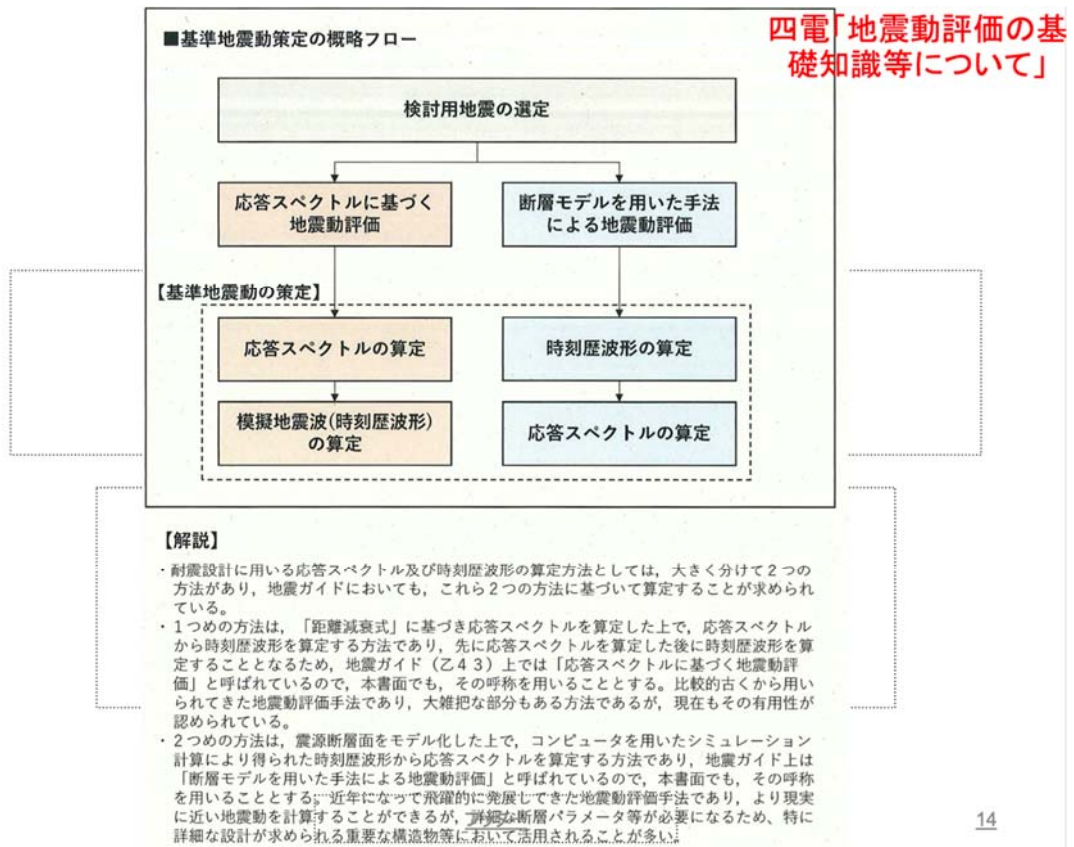


図 1 4 では、基準地震動策定のフローが書かれており、検討用地震が選定された後、断層モデルを用いた手法による地震動評価と、応答スペクトルに基づく地震動評価との2つのルートで、地震動評価を行うことが求められている。

断層モデルを用いた手法では、まず、時刻歴波形を算定してから、応答スペクトルを算定する。

この場合は、時刻歴波形と応答スペクトルは、1対1の対応関係となる。

応答スペクトルに基づく地震動評価では、応答スペクトル図上で地震動を決めてから、時刻歴波形を算定する。

応答スペクトルは、それぞれの周期の最大値を表しているだけなので、これを満足させる時刻歴波形は無数に作成でき、1対1の対応関係にはない。

そこで、応答スペクトルから、時刻歴波形を策定する方法は、標準的な手法が提案されている(これを模擬地震波という)。

2-3 地震動評価
断層モデルを用いた手法

三つの特性を詳細にモデル化して
理論的に評価する手法

経験的グリーン関数法の特徴

敷地の観測記録には、地域性の反映された**伝播経路特性**、**地盤増幅特性**の影響が含まれている。

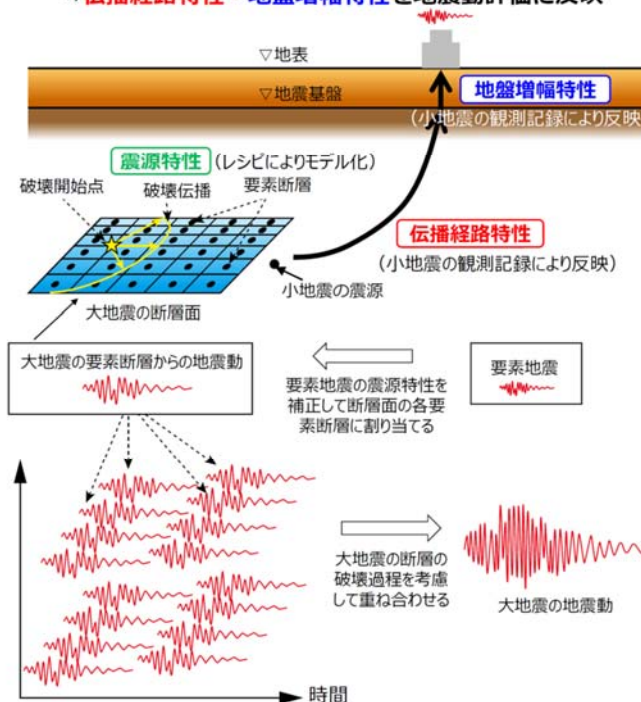


この観測記録を地震動評価に用いることで、敷地の**伝播経路特性**、**地盤増幅特性**を地震動評価に反映することができる。

(参考)
経験的グリーン関数法の他にも
・統計的グリーン関数法
・理論的手法
・ハイブリッド合成法
などがある。

震源特性 <small>(震源の大きさ・マグニチュードなど)</small>	伝播経路特性 <small>(震源からの距離など)</small>	地盤増幅特性 <small>(地盤の軟らかさなど)</small>
--	---	---

敷地で得られた小地震の観測記録を要素地震とする。
⇒**伝播経路特性**・**地盤増幅特性**を地震動評価に反映



それぞれの具体的な手法について確認しておく。

この図は、断層モデルを用いた手法（経験的グリーン関数法）の概念図である。

断層モデルを用いた手法は、敷地で得られた小地震の観測記録から、大地震の地震動を予測する手法である。

小規模の地震を、少しずつ時間をずらして重ね合わせていけば、大地震における地震動を表現できる、という考え方に基づいている。

図 1 6

応答スペクトルに基づく手法

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

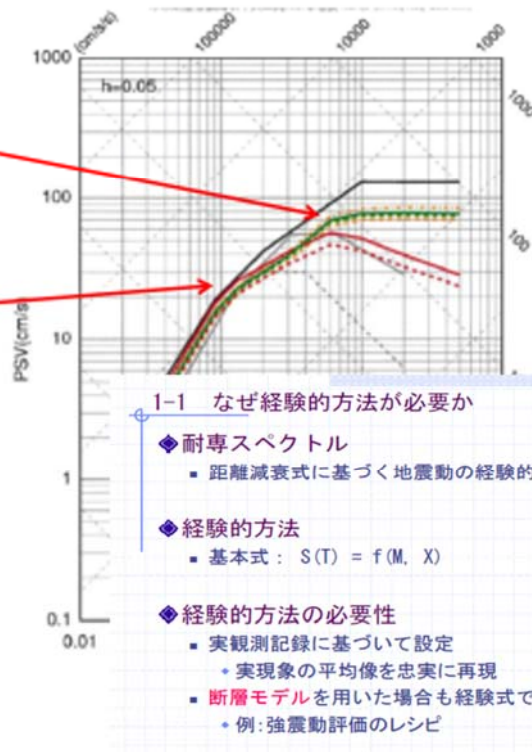
コントロールポイント

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

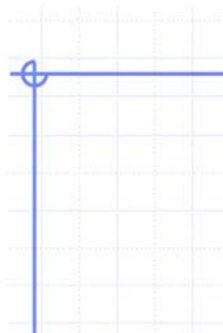
決められた周期ごとの平均を
点としてプロットし
その点をつないだ折れ線を求める
その折れ線が耐専スペクトル

ではどうやって決めるか



応答スペクトルに基づく手法は、応答スペクトル図の上において、各固有周期における揺れの最大値を決める手法である。

具体的には、実際に発生した地震動観測記録を、地震の規模、敷地との距離によっておおまかに分類した上で、応答スペクトル図において並べ、その地震の規模、敷地との距離における地震動の平均を再現するものである。



	M	X _{eq} (km)	コントロールポイントの座標 pS _v (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

1) 地震基盤の
コントロール
ポイント

17

この表は、縦軸に地震の規模(M)と、等価震源距離(X_{eq})に分類し、横軸には各周期における地震動のコントロールポイント(地震動の大きさ)を明示したものである。

各周期における地震動のコントロールポイント(地震動の大きさ)は、実現象の平均像である。

図 1 7

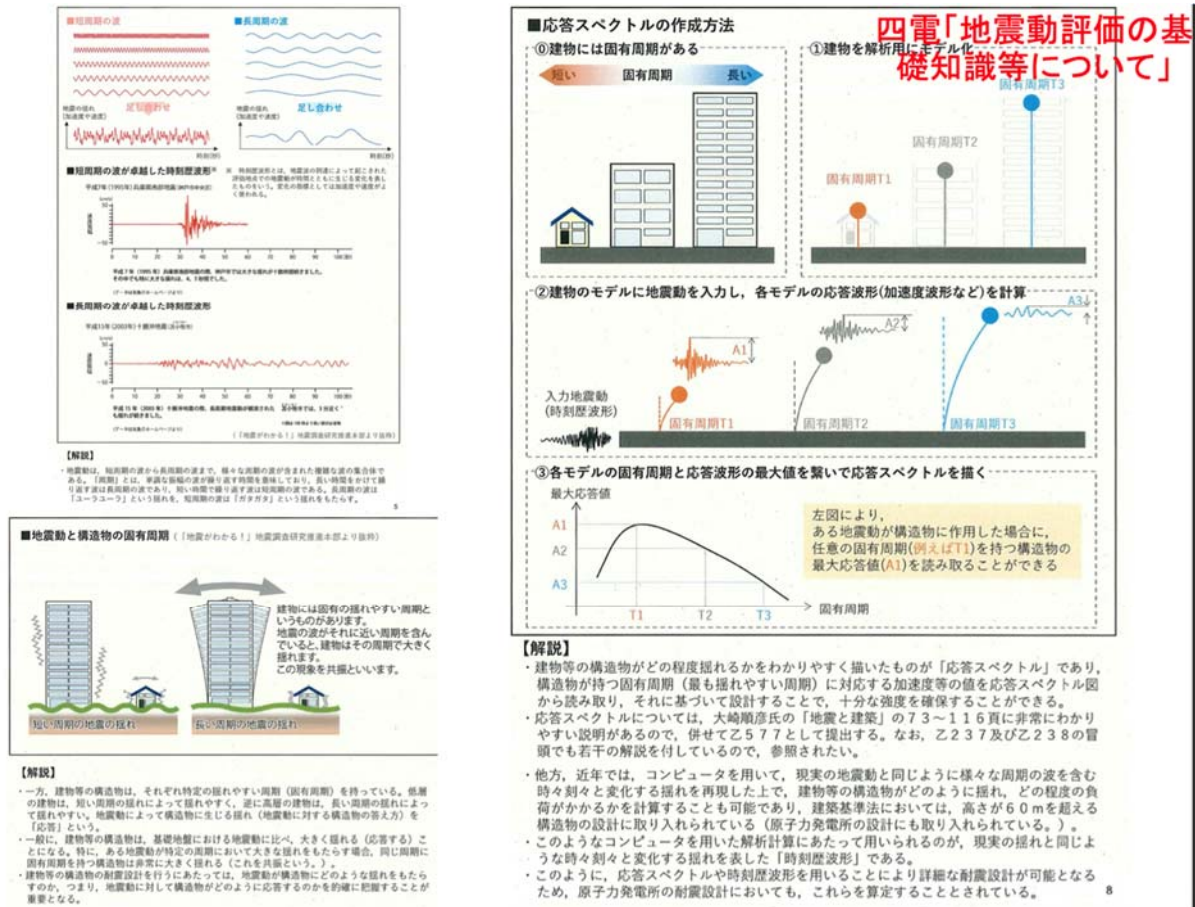


図 1 7における四国電力の説明も、これまでの説明と同じことである。

したがって、いままで述べた限度では、当事者間に争いはない。

ただし、地震は、地下深くで発生する現象であるため、実際のところ、どのような現象が発生しているのか観察することも、実験で確認することもできない。

したがって、地震動の想定においては、大きな不確実性が伴う。

第3 強震動地震学の現状と原発の安全性の確保

・強震動に関する研究は、実際に起こった地震に関する事後の分析という点では大きく発展してきましたが、今後起こりうる事象の予測という点においては、強震動研究はまだまだ発展段階にあり、原子力発電所の安全性の保証に活用できるほどにはこの分野の研究は成熟していない。

・強震動研究は若い学問であるが故に、被害地震が起こる度に、それ以前の知見では予測できなかったような事態が生じ、それによって強震動研究の知見は塗り替えられてきています。

・1960年代後半プレートテクトニクスが発展(現代の地震学が依拠)

・1995年兵庫県南部地震

・2000年鳥取県西部地震(M7.3)

・2005年福岡県西方沖の地震(M7.0)

・2007年能登半島地震(M6.9)

・2007年新潟県中越沖地震(M6.8)

・2008年岩手・宮城内陸地震(M7.2)

・2011年東北地方太平洋沖地震

・2016年熊本地震

甲536 2～3頁

それでは、四国電力が策定した基準地震動をもって、原発の耐震安全性は確保されているといえるのか。

まず、このような地震動想定科学の信頼性は、どの程度なのかを確認する必要がある。

野津厚氏は、強震動研究を原子力発電所の安全に寄与できるほどには成熟していないとして、以下のように述べている。

原子力発電所の耐震安全性を判断する上で、極めて重要な指摘であるので、そのまま引用する(甲536野津厚意見書・2頁～4頁)。

「強震動に関する研究は、実際に起こった地震に関する事後の分析という点では大きく発展してきましたが、今後起こりうる事象の予測という点においては、強

震動研究はまだまだ発展段階にあり、原子力発電所の安全性の保証に活用できるほどにはこの分野の研究は成熟していない、ということを最初に申し上げたいと思います。

そもそも、地震学が全体として若い学問です。現代の地震学が依拠しているプレートテクトニクスが発展したのは1960年代後半以降になります。すなわち、石橋⁴⁾が指摘しているように、1966年に福島第一原発の1号機の設置が許可されたとき、その沖合にプレート境界があり足元に太平洋プレートが沈み込んでいることに誰も気付いていなかったのです。

強震動研究は若い学問であるが故に、被害地震が起こる度に、それ以前の知見では予測できなかったような事態が生じ、それによって強震動研究の知見は塗り替えられてきています。

1995年兵庫県南部地震は、既に知られていた六甲・淡路断層帯に沿って発生したという点では驚くべき地震ではなかったかも知れません。しかしながら、この地震がもたらした強い揺れとそれによる大被害は、当時の専門家の想像を大きく越えるものでした。この地震の際に神戸市内で観測された地震動は最大加速度800Gal、最大速度100kineといった極めて強いものでした。これらは、それ以前の土木構造物の耐震設計で考慮されていた地震動レベルよりもはるかに大きいものであったため、これをきっかけとして土木構造物の耐震設計に用いられる設計地震動は大きく改められました⁵⁾⁶⁾。

2011年東北地方太平洋沖地震はM9クラスの巨大地震でしたが、この地震の発生以前は日本海溝においてM9クラスの巨大地震の発生は想定されていませんでした⁷⁾⁸⁾。2011年3月11日の時点で、宮城県沖から茨城県沖にかけての日本海溝には、M9の地震がいつ発生してもおかしくない程度に応力とひずみが蓄積されていたこととなります。この応力とひずみは一朝一夕に蓄積されたものではなく、少なくとも500年程度の長い時間をかけて蓄積されたものと考えられます。従って、地震発生前の数十年程度は、M9の地震がいつ発生してもおかしくない程度に応力とひずみ

が蓄積した状態が継続していたと考えられるにも関わらず、そのことに誰も気付いてはいませんでした。日本海溝において M9 クラスの巨大地震の発生を想定できなかったという反省から、南海トラフにおける想定地震の規模は東北地方太平洋沖地震と同等の M9 クラスまで引き上げられました。

2016 年熊本地震は、基本的に既に知られていた布田川・日奈久断層帯に沿って発生した地震ではありますが、この地震の発生以前に公表されていた地震調査研究推進本部による長期評価は地震規模を過小評価しており、また、地震後に確認された地表地震断層の長さをもとに地震調査研究推進本部の「レシピ」に従って評価された地震規模も実際のもを下回っていました⁹⁾。これを踏まえて地震動予測手法をどのように改良すべきかの議論が学会において続けられています。

これらに加え、1995 年兵庫県南部地震から 2016 年熊本地震までの間にわが国で発生した規模の大きい内陸地殻内地震のうち、2000 年鳥取県西部地震 (M7.3)、2005 年福岡県西方沖の地震 (M7.0)、2007 年能登半島地震 (M6.9)、2007 年新潟県中越沖地震 (M6.8)、2008 年岩手・宮城内陸地震 (M7.2) などはいずれも事前に「その規模の地震がその場所で起こる」とは考えられていなかった地震です。

強震動地震学は原子力発電所の安全に寄与できるほどには成熟していない

・強震動研究およびそれに関連する研究分野では、これまでの数十年間、被害地震が起こる度に、それ以前の知見では予測できなかったような事態が生じ、それによって知見が塗り替えられてきています。言い換えればパラダイムシフトが繰り返し起きています。したがって、今後も、少なくとも数十年間程度は、それ以前の知見を覆すような事態が度々生じるであろうと考えられます。これが、「強震動研究はまだ原子力発電所の安全性の保証に活用できるほどには成熟していない」と考える理由です。

・今後も「考えてもいなかったような場所で」「考えてもいなかったような規模の地震が」「考えてもいなかったような起こり方で」起こり、それによってパラダイムは変わっていくと考えられます。したがって、強震動研究の成果を活用して原子力発電所の安全性の保証することは現段階では不可能であると考えます。

甲536野津意見書4頁～5頁 20

甲536・4～5頁

このように、強震動研究およびそれに関連する研究分野では、これまでの数十年間、被害地震が起こる度に、それ以前の知見では予測できなかったような事態が生じ、それによって知見が塗り替えられてきています。言い換えればパラダイムシフトが繰り返し起きています。したがって、今後も、少なくとも数十年間程度は、それ以前の知見を覆すような事態が度々生じるであろうと考えられます。これが、「強震動研究はまだ原子力発電所の安全性の保証に活用できるほどには成熟していない」と考える理由です。

強震動研究のリーダーの一人である地震学者の武村¹⁰⁾は、2011年の段階で、「地震の発生予測が短期であろうが長期であろうが簡単でないことは誰の目にも明らかです。地震学者や国やマスコミは予測をあまりに楽観的に考えすぎていませんか。地震学者はもっと広い視野に立って、自分達の持つ不完全な知識をどのような方面

でどのようにして社会に役立てることができるか、地震工学者をはじめ他分野の方々の知恵も借りながら真剣に考えるべきです」と述べています。この指摘は現時点でもそのまま当てはまります。

土木分野の耐震の専門家の間では「入力地震動はどのみちよく分からないものだから、その部分を精緻に検討しても、設計の改善につながらないのではないか」といった考え方が支配的です。例えば高橋他¹¹⁾は「地震や津波などの将来予測には、依然として圧倒的な不確実性を伴っており、現状の技術レベルでは、これらに対して確かな安全を保証することはできない」と述べています。長年土木分野の耐震研究をリードしてきた川島はその著書¹²⁾の中で「まだよくわかっていない強震動の特性」という節を設け、「強震動の推定には多くの未知の領域が残されている」と述べています。別な専門家の方からは、「M9.0地震の発生を予測できないのになぜ強震動予測の結果を設計に使えるだろうか」という趣旨の意見をいただいたこともあります(ここで言っている予測とは短期予測のことでなく長期予測のことです)。これらはいずれも強震動研究の成熟度に対する疑念の表明であると言えます。筆者は、これらの土木分野におけるいわゆる「主流」の考えが、現時点での強震動研究の実力がある意味で正確に見抜いていることを認めざるを得ないと思います。すなわち、現状の強震動研究の実力の下では、地震動の振幅レベルの将来予測に大きな不確実性を伴うことを、事実として認めなければならないと考えます。

筆者自身は、「強震動研究の成果をできるだけ構造物の設計に活かすべきである」との立場で研究を行っており、原子力発電所ではなく一般的な土木構造物の耐震設計においては、強震動研究の成果を活かすことが、より小さなコストでより高い安全性を達成するのに役立つと考えているものの¹³⁾、原子力発電所の耐震設計に使えるほどには、現状の強震動研究は成熟していないと考えます。

今後も「考えてもいなかったような場所で」「考えてもいなかったような規模の地震が」「考えてもいなかったような起こり方で」起こり、それによってパラダイムは変わっていくと考えられます。したがって、強震動研究の成果を活用して原子力発

電所の安全性を保証することは現段階では不可能であると考えます。しかし、それでもなお、原子力発電所の耐震検討に強震動研究の成果を活用しようとするのであれば、現状のパラダイムの下で想定される地震あるいは地震動を考えるだけでは不十分であり、物理的に確実に否定できるシナリオ以外のあらゆるシナリオを考えるべきであると考えられます。以下の記述はこのような観点からのものです。」

1948年福井地震(Mj7.3)

甲631 翠川三郎「強震動」5頁



写真 1.2 1948年福井地震での墓石の散乱 (小林啓美氏撮影)



写真 1.1 1948年福井地震での木造家屋の被害 (小林啓美氏撮影)

「強震動地震学は原子力発電所の安全に寄与できるほどには成熟していない」というこれら地震学者の警告は、地震は有史以前から繰り返されてきた現象であるにもかかわらず、地震動の記録はまだわずかしかない、ということが、最大の理由である。

この点は、過去の地震被害を振り返ってみると、より一層はっきりする。

1948年福井地震(Mj7.1)は、福井平野直下の横ずれ断層による地震であり、死者約3700名、全壊家屋約35000棟と言われている。

地震の規模、すなわちマグニチュードが小さくても、地震の発生場所が地上の敷地に近ければ大被害をもたらすという、代表的な例である。

この地震の前までは、震度6が最高だったが、翌年震度7が追加された(甲631, 翠川三郎「強震動」5頁)。

しかし、この地震では、強震観測記録は得られていない。

そのため、このような大被害をもたらした揺れはどのようなものだったのか、その詳細を知ることはできない(甲631強震動5頁～6頁)。

1995年兵庫県南部地震(Mj7.3)



1995年兵庫県南部地震（Mj 7.3）は、野島断層（六甲断層系）による地震である。

死者約6400名、全壊家屋約10万棟といわれており、震度7の地域は長さ20km、幅2km程度の帯状に分布し、震災の帯と言われた。

その被害のすさまじさは、ビデオや写真に数多く記録されている（その例として甲634）。

この地震動の後に、震度5と震度6は、強弱に細分化された。

1995年兵庫県南部地震(Mj7.3)

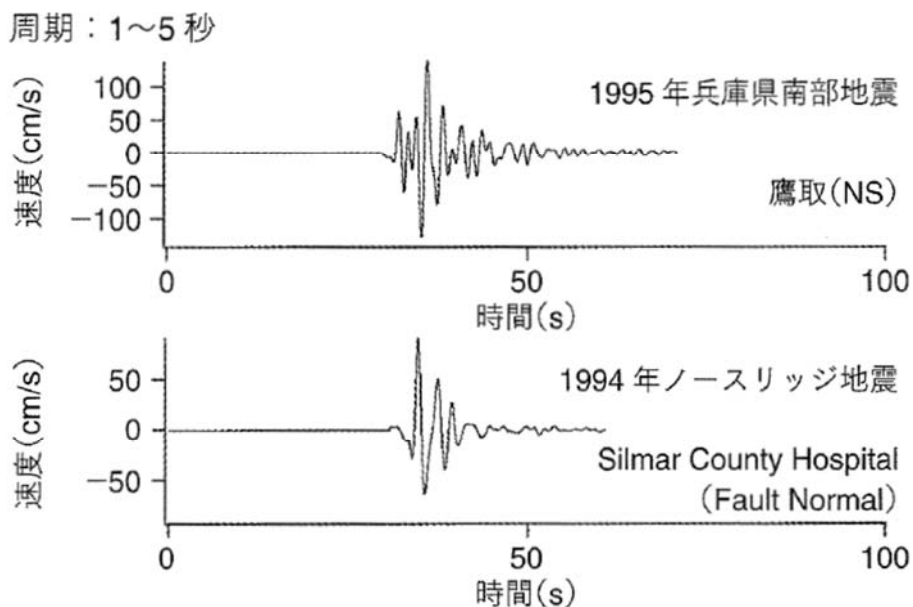


図2—内陸地殻内地震による強震動パルスの例(周期1～5秒の帯域の速度波形)

このような大被害をもたらした揺れは、どのようなものだったのか。

図18が、1995年兵庫県南部地震(Mj7.3)において、鷹取という観測点で得られた強震観測記録である。

これは、速度時刻歴波形であり、横軸が時間(秒)、縦軸は速度を示す。

1995年兵庫県南部地震は、主要な地震動の継続時間はわずかに20秒程度である。

ただし、その中に、100センチ/秒を超える非常に大きい波が1回、その半分くらいの大きさの波が数回、現れている。

この大振幅の波が大被害をもたらしたことは、今ではよく知られている。

なぜ、このような大振幅の波が、構造物に大被害をもたらしたのか、その原理的なメカニズムは、以下のとおりである。

「こういったパルス状の地震波で、かつ、周期が1秒から2秒くらいのパルス状

の地震波といいますのは、加速度も大きくて、かつ速度も大きいという特徴があります。その結果として、構造物に大被害をもたらしやすいということになりますが、加速度の大きさは、構造物に作用する力と深い関わりがありますので、まず、構造物に最初の損傷が生じるかどうかということについては、どちらかというところ、加速度の大小が、影響が大きいと言えます。しかしながら、一旦構造物に損傷が生じたときに、その損傷がどこまで生じるかということについては、どちらかというところ、速度の影響が大きいと言えます。それは、構造物に大きな損傷をもたらすためには、一定期間、力を加え続けていなければ、大きな損傷になりにくいわけでありまして、例えば、その力を加える時間が0.1秒とか0.05秒といった短い時間であれば、構造物に損傷を生じて、その損傷が大きなものには育たないということがあります。」(甲633野津証人調書13頁～14頁)

ここで、パルスというのは、短時間に急峻な変化をする波や信号のことである。すなわち、地震は往復する波であるので、ごく短い時間で加速度が増えたり、あるいは、逆側にマイナスになったりする。

加速度が大きくても、それが一瞬のことであれば、すぐ反対向きの力になってしまうので、構造物に対しての力は総体的に小さくなる。

これに対して、加速度が大きくなるのが一瞬のことではなくて、ある程度の時間、0.5秒とか1秒とか、そういう時間、加速度が大きいということになれば、これは構造物に対しての力は総体的に大きくなる。

一方で、速度は、同じ向きの加速度を受けた結果、大きくなっていくものであるから、同じ向きの加速度が一瞬であれば速度は大きくならないけれども、同じ向きの加速度を一定の時間受ければ速度は大きくなる。

このような関係から、加速度が大きいだけではなくて、速度も大きい波が、構造物に大きな影響を与えるのである(甲633野津証人調書14頁～15頁)。

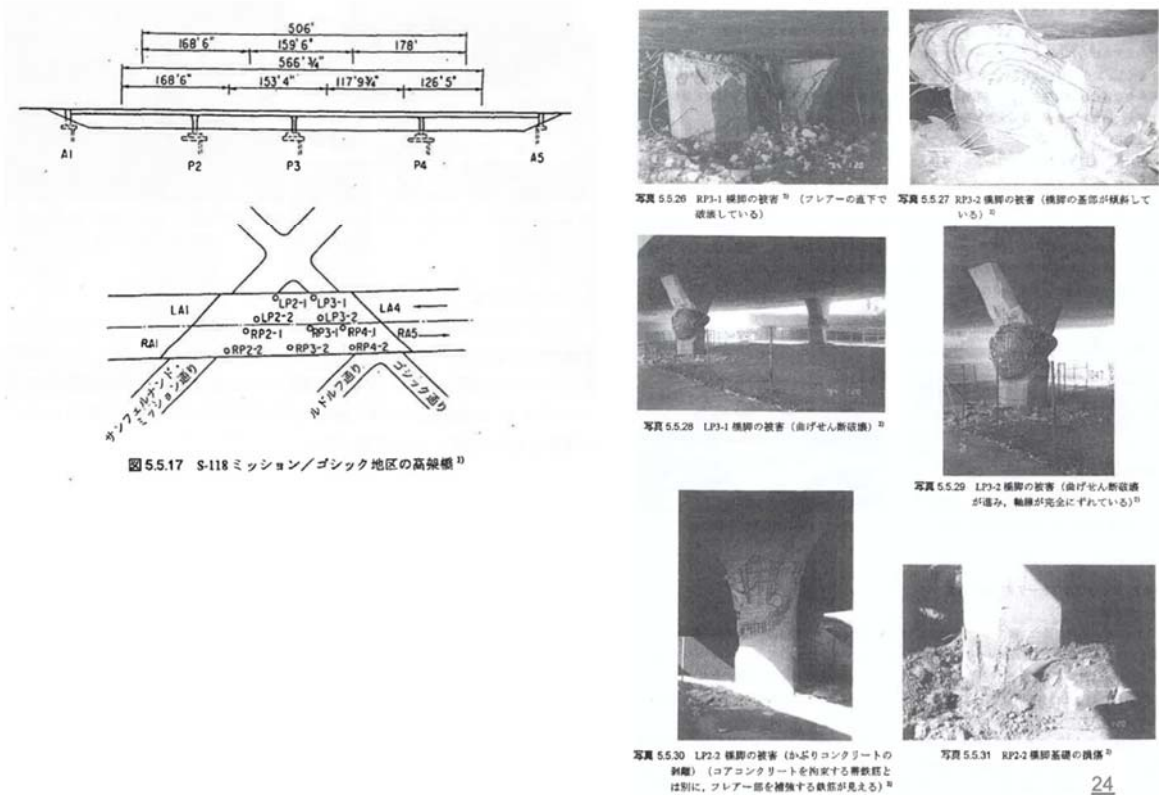
このような、速度も加速度も大きい波を大振幅の波とか、強震動パルスという。兵庫県南部地震クラスの極めて強い揺れについて、「地表面で最大加速度

800Gal(=cm/s²)以上、かつ最大速度 100kine(=cm/s)以上」とあるのが、建物や構造物に被害をもたらすパルスを目安である(甲536野津意見書2頁)

ただし、上記の鷹取観測点で得られた強震観測記録が、1995年兵庫県南部地震(Mj7.3)における最大のものというわけではないことには注意を要する。

強震動観測記録は、あくまで、その地点における記録であり、たまたまその地点が観測点とされ、地震計が置かれていたことによって得られた記録だからである。

1994年ノースリッジ地震(Mj6.8)



強震動パルスは、実は、アメリカ・カリフォルニアで発生した1994年ノースリッジ地震 (Mj 6.8) でも観測されていた。

しかし、当時は、「カリフォルニア特有の現象である可能性を捨てきれなかった」(甲637 瀬瀬一起) ため、日本の耐震設計において、直ちに考慮されることはなかったのである。

共振と強震動パルスの関係について、野津厚氏は、次のように説明した。

「構造物には、それぞれ、揺れやすい周期がありまして、例えば、高い建物であれば長い周期の波で揺ると揺れやすい、それから、低い建物であれば、短い周期の波で揺ると揺れやすいという現象が共振というものですけれども、この共振という現象が生じると、たとえ地盤のほうの揺れが余り大きくなくても、共振という現象が生じることによって、構造物に作用する加速度が大きくなるということがあります。したがって、共振という現象は昔から着目されていた現象ではありますけ

れども、しかし、この兵庫県南部地震に見られるような、こうしたパルス的な地震波の場合には、共振という現象が必ずしも重要な役割を果たしていません。なぜなら、この地盤の加速度自体が非常に大きいので、その共振という現象を介さなくても、構造物に対して大きな加速度を作用させ得るような波です。したがって、こういった兵庫県南部地震で見られたようなパルス状の地震波の場合は、この入ってきた地震波の、その周期の特性と、構造物の固有周期が一致するかどうかということについては、相対的には余り重要ではなくなってきた、こういったパルス的な波というのは、様々な固有周期を持つ幅広い構造物に対して影響を及ぼし得るものだと考えてます。で、実際に、兵庫県南部地震のときに様々な固有周期の特性を持った構造物に対して被害が出ています。」(甲633野津証人調書17頁)

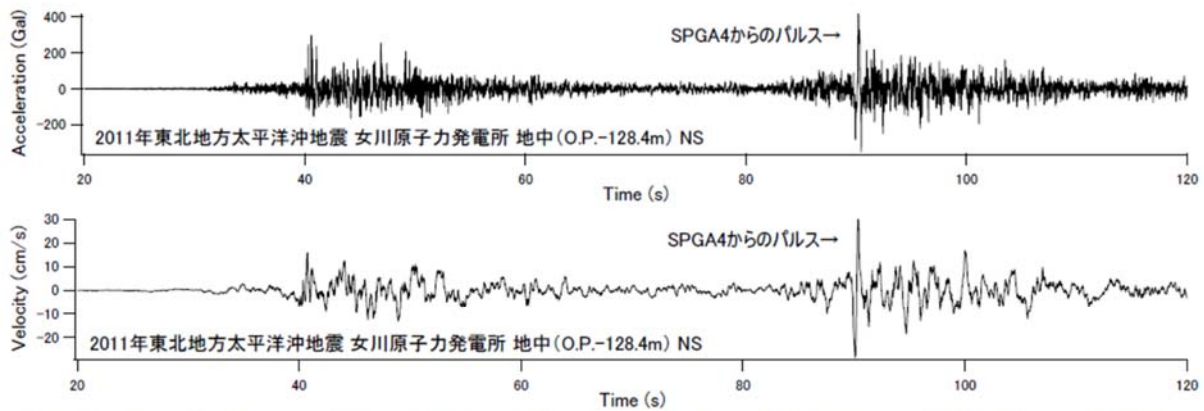


図7 東北地方太平洋沖地震の際に女川原子力発電所の深さ128mで観測されたNS成分の加速度波形と速度波形。この図面上の90秒付近に加速度で見ても速度で見ても振幅の大きいパルス波が到来している。これがSPGA4に由来するパルス波である。

甲536 野津意見書

2011年東北地方太平洋沖地震の時刻歴波形をみてみよう。

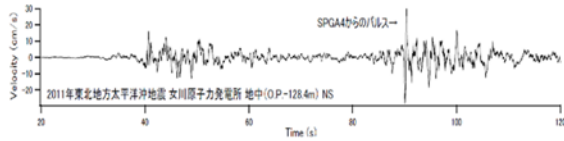
図20は、2011年東北地方太平洋沖地震の際の、女川原子力発電所の深さ128mの観測記録である。

上は、NS成分の加速度時刻歴波形

下は、NS成分の速度時刻歴波形

である。

図21 甲536 11頁, 17頁



甲536野津意見書

図2

図7

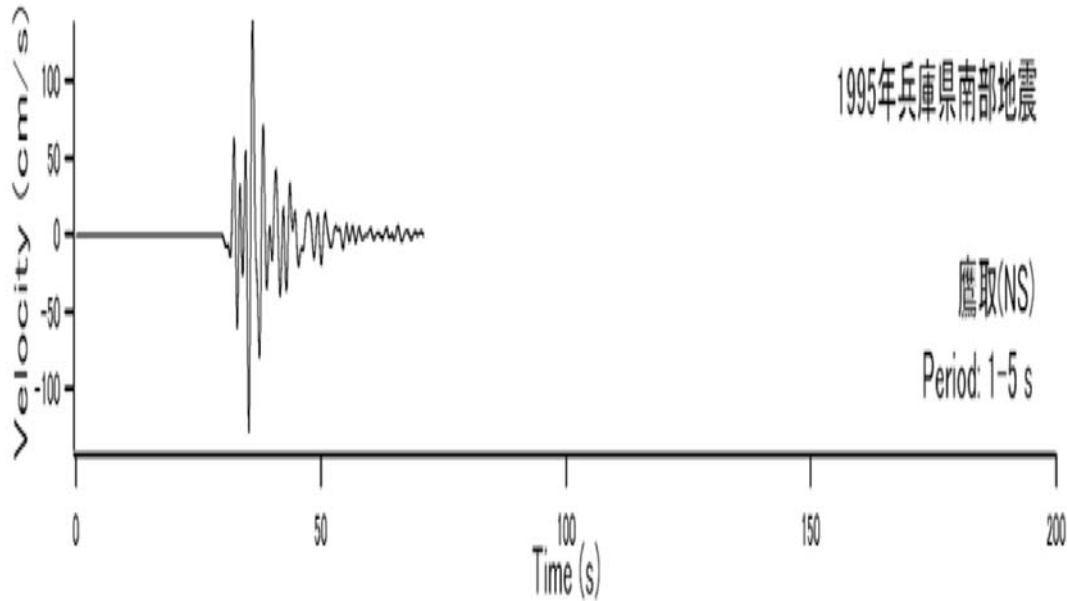


図21は、東北地方太平洋沖地震の女川と、兵庫県南部地震の鷹取の、速度時刻歴波形を並べたものである。

時間も振幅も、おおよそではあるが、合わせてある。

東北地方太平洋沖地震は、マグニチュード9の大地震で、何分も揺れ続ける大きな地震であった。

兵庫県南部地震のほうは、マグニチュード7.3の地震で、20秒程度の揺れであった。

地震による被害は、地震の規模（マグニチュード）や継続時間とは比例関係にはないことがよくわかる。

地震の規模（マグニチュード）が小さくても、地震の発生場所が地上の敷地に近ければ大被害をもたらす。

ただし、東北地方太平洋沖地震においても小さいけれどもパルスが観測されている。

そして、この観測されたパルスは、沖合150キロメートルも離れた場所に、その源があった。

このことの重要性は、後述する。

野津厚(甲536 野津意見書4頁～5頁)

「原子力発電所の耐震検討に強震動研究の成果を活用しようとするのであれば」「物理的に確実に否定できるシナリオ以外のあらゆるシナリオを考えるべきである」

「瀬戸一起東京大学地震研究所教授(甲17 岩波・科学 2012年6月号)

「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。」

金森博雄(甲638 「巨大地震の科学と防災」)

「観測データや地震学の知識には限界があり、予測には大きな不確実性が伴います」(204頁)

「一般に大きな地震ほど発生確率は低いと考えられます。逆に確率をどんどん小さくしていけば、考えられる地震はどんどん大きくなります。そんなに小さい確率まで考えてもしかたがない、と思う人もいるでしょう。」「しかし、もし発生した結果が莫大な影響を与えるのであれば、まったく考慮しないというわけにはいかないのではないのでしょうか。たとえば常識を超えるような地震が原子力発電所を襲ったらどうなるのか、その結果を受容できるのかどうかまで考えると、たとえ確率が低くても、起こりうることは考慮しておくべきではないでしょうか」(174頁)

野津厚氏は、以下のように警鐘を鳴らしている。

「それでもなお、原子力発電所の耐震検討に強震動研究の成果を活用しようとするのであれば、現状のパラダイムの下で想定される地震あるいは地震動を考えるだけでは不十分であり、物理的に確実に否定できるシナリオ以外のあらゆるシナリオを考えるべきであると考えられます。」

そして、「地震の科学には限界がある」と警鐘を鳴らしているのは、野津厚氏だけではない。

瀬戸一起東京大学地震研究所教授は、以下のようにいう（甲17「科学」2012年6月号，636～637頁）。

「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。」「真に重要なものは、日本最大か世界最大に備えていただくしかないと最近は言っています。科学の限界がありますから、これ以外のことは確信をもって言うことができません。」

また、金森博雄カリフォルニア工科大学教授は、以下のようにいう（甲638「巨大地震の科学と防災」）

「地球物理は、ほかの科学と違い、実験が非常に難しく、実験をしたとしても、自然現象とはスケールが違うので、実験室で自然現象が本当に再現できているかどうかはわかりません。ですから、仮説を立てて考えることが大事です。仮説を立てて、自然の現象が起こったときに得られた観測データを使って検証していくという方法をとるしかありません。しかし、その成果から得られた解釈を広げて、予測につなげようとする場合には、注意が必要です」（157頁～158頁）

「一般に大きな地震ほど発生確率は低いと考えられます。逆に確率をどんどん小さくしていけば、考えられる地震はどんどん大きくなります。そんなに小さい確率まで考えてもしかたがない、と思う人もいるでしょう。」

「しかし、もし発生した結果が莫大な影響を与えるのであれば、まったく考慮しないというわけにはいかないのではないのでしょうか。たとえば常識を超えるような地震が原子力発電所を襲ったらどうなるのか、その結果を受容できるのかどうかまで考えると、たとえ確率が低くても、起こりうることは考慮しておくべきではないのでしょうか」（174頁）

「観測データや地震学の知識には限界があり、予測には大きな不確定性が伴います」（204頁）。

金森博雄氏は、

- ・地震モーメント（地震のエネルギー）から、地震のマグニチュードを表すM_w（モーメントマグニチュード）の概念の考案者（75頁）

- ・揺れは小さいが、大きな津波を起こす「津波地震」の名付け親（112 頁）
- ・アスペリティの概念の生みの親（138 頁）

であり、「地震学の巨人」とも称される、現代の地震学の基礎を作った文字通りの第一人者である。

金森博雄氏は、政府の「地震調査研究推進本部 20 年の資料集」の「地震学の知見の一般社会への伝達と還元」を寄稿して、以下のとおり訴えている（甲 6 3 9）

「5. 地球科学の特殊性

もう一つの問題は地球科学では多くの場合実験ができないことである。したがって、一つの研究方法は、限られたデータで作業仮説を立て、それに従って将来の予測をすることである。仮説は、新しい観測結果が得られるたびに改訂されるべきものである。仮説を立てることは研究者にとって重要な知的活動でありそれがときには当たらないからといって非難されるべきものではない。私は、仮説を立てずに漫然と観測をするより、たとえ時々間違えがあっても、はっきりした作業仮説を立てて、観測をしながら進むやりの方が、地球科学においては、はるかに魅力的、生産的であり、そこに、地球科学研究の特殊性があるように思う。

しかし、仮説はあくまで仮説であって、それを直接防災に用いることは危険で、仮説を防災に用いる場合、特にその社会的影響が大きい場合には、その意味を不確定性を含めて正確に理解した上でほかの仮説も考えあわせて用いることが重要である。要するに、仮説の修正は、学界では、日常茶飯のことであっても、一般社会に発表する予測は、その社会的影響を考えて、慎重に行うべきと考える。

もう一つの困難は、地震データが地質現象のタイムスケールと比べて極めて短い期間でしか得られていないことである。これを補うためには地質学的なデータを加えるとともに、世界に目を広げて、日本だけでなく世界中の地震について経験を積むことである。世界中の地震活動を見れば、いろいろなテクトニックな構造のもとに起こっている地震を理解できるので地震のデータベースを有意義に広げることができる。例えば、東北沖地震は日本だけで見れば想定外であってもスマトラまで

考えれば必ずしも想定外ではない。」

そのほか、多くの地震学者が、同様の警鐘を鳴らしている（甲629日本地震学会モノグラフ「日本の原子力発電と地球科学」）

福島原発事故

福島原発事故は、想定を超えた津波という自然現象に対して、原発が極めて脆弱なシステムであることを示した。

地震・地震動も、津波と同様、同時に、すべての安全装置に損傷をもたらす危険がある自然現象である。

→政府事故調報告書(甲640:25頁)

「『想定外』という言葉には、大別すると2つの意味がある。1つは最先端の学術的な知見をもってしても予測できなかった事象が起きた場合であり、もう1つは、予想されるあらゆる事態に対応できるようにするには財源等の制約から無理があるため、現実的な判断により発生確率の低い事象については除外するという線引きをしていたところ、線引きした範囲を大きく超える事象が起きたという場合である。今回の大津波の発生は、この10年余りの地震学の進展と防災行政の経緯を調べてみると、後者であったことがわかる」

28

それでは、新規制基準が求めている基準地震動とはどのようなものか、さらに、事業者が想定した基準地震動が、新規制基準に適合しているかどうか、それはどのような基準で判断すればいいのか。

福島原発事故は、想定を超えた津波という自然現象に対して、原発が極めて脆弱なシステムであることを示した。

そして、地震・地震動も、津波と同様、同時に、すべての安全装置に損傷をもたらす危険がある自然現象である。

まずは、福島原発事故を踏まえて、新規制基準が策定されたという事実を確認する必要がある。

地震は地下深くで発生する自然現象であり、その科学には限界がある。

福島原発事故は、そのような科学の限界を踏まえずに、自然現象の想定を発生確率が低いとして線引きし切り捨てたことが原因だった。

新規制基準の目的は、福島第一原発事故のような過酷事故を二度と起こさないこと

原子力規制委員会

「東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故を契機に明らかとなった原子力の研究、開発及び利用（以下「原子力利用」という。）に関する政策に係る縦割り行政の弊害を除去し」「国民の生命、健康及び財産の保護、環境の保全並びに我が国の安全保障に資することを目的と」して設置された（原子力規制委員会設置法第1条）。

原子炉等規制法、及びこれに基づき原子力規制委員会が策定した新規制基準も、このような理念に基づき、厳格に解釈・適用されるべきである。

原子炉等規制法、設置許可基準規則、審査ガイドの定めは、原発の安全を確保するための最低基準である。

29

原子力規制委員会は、「東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故を契機に明らかとなった原子力の研究、開発及び利用（以下「原子力利用」という。）に関する政策に係る縦割り行政の弊害を除去し」「国民の生命、健康及び財産の保護、環境の保全並びに我が国の安全保障に資することを目的と」して設置された（原子力規制委員会設置法第1条）。

原子炉等規制法、及び原子力規制委員会が策定した新規制基準は、甚大な被害をもたらした福島第一原発事故のような過酷事故を二度と起こしてはならないことを目的にしているものである。

原子炉等規制法、及び設置許可基準規則、審査ガイドの定めも、このような理念に基づき、原発の安全を確保するための最低基準として、厳格に解釈・適用されるべきである。

新規制基準が求める基準地震動

- ア 原子炉設置許可は、「発電用原子炉施設の位置、構造及び設備が核燃料物質若しくは核燃料物質によって汚染された物又は発電用原子炉による災害の防止上支障がないものとして原子力規制委員会規則で定める基準に適合するものであること。」(「4号要件」原子炉等規制法43条の3の6第1項4号)。
- イ 「耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力(以下「**基準地震動**による地震力」という。)に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。」(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(「設置許可基準規則」)第4条3項)
- ウ 「重大事故等対処施設」は、「**基準地震動**による地震力に対して」、「重大事故に至るおそれがある事故」ないし「重大事故」に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであること」(設置許可基準規則39条1項, 3項, 4項)

30

新規制基準は、「耐震重要施設」が「基準地震動による地震力に対して」「安全機能が損なわれるおそれがない」こと(設置許可基準規則第4条3項)を求めるだけでなく、福島原発事故を踏まえて、事故が発生した場合の「重大事故等対処施設」も、同じ「基準地震動による地震力に対して」「重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがない」こと(設置許可基準規則39条1項, 3項, 4項)を求めている。

この点、過酷事故時の重大事故等対処施設は、過酷事故が発生した時にこれに対処するための施設であり、そして、過酷事故は、耐震重要施設が、基準地震動を超える地震力に対して、安全機能が損なわれて発生することも考えられるのであるから、過酷事故時の重大事故等対処施設については、耐震重要施設の基準地震動の何倍かに耐えられるようにすることを求めることも考えられた。

しかし、新規制基準は、「耐震重要施設」と、過酷事故時の重大事故等対処施設の基準地震動に差を設けることはせず、同じ基準地震動に耐えられることを求めている。

る。

この点から、新規制基準が求めている基準地震動は、極めて保守的なものであることが分かる。

設置許可基準規則の解釈 別記2

- 「基準地震動」は、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造、地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から想定することが適切なものと」すること。
- 基準地震動は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について、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
- 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」は、内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震の、地震発生様式の3つの種類について選定すること。
- それぞれの地震について、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行うこと
- 検討用地震の選定や基準地震動の策定に当たって行う調査や評価は、最新の科学的・技術的知見を踏まえること。また、既往の資料等について、それらの充足度及び精度に対する十分な考慮を行い、参照すること。なお、既往の資料と異なる見解を採用した場合及び既往の評価と異なる結果を得た場合には、その根拠を明示すること。
- 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」については、それぞれが対応する超過確率を参照し、それぞれ策定された地震動の応答スペクトルがどの程度の超過確率に相当するかを把握すること。

さらに、設置許可基準の解釈は、基準地震動は、

「最新の科学的・技術的知見を踏まえ」て策定すること。

「検討用地震の選定や基準地震動の策定に当たって行う調査や評価は、最新の科学的・技術的知見を踏まえること。また、既往の資料等について、それらの充足度及び精度に対する十分な考慮を行い、参照すること。なお、既往の資料と異なる見解を採用した場合及び既往の評価と異なる結果を得た場合には、その根拠を明示すること。」

などを求めている。

地震動審査ガイド

「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。

(略)

(4) 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」を相補的に考慮することによって、敷地で発生する可能性のある地震動全体を考慮した地震動として策定されていること。

「3. 3 地震動評価

3. 3. 1 応答スペクトルに基づく地震動評価

(略)

3. 3. 2 断層モデルを用いた手法による地震動評価

(4)①震源モデルの設定

1) 震源断層のパラメータは、活断層調査結果等に基づき、地震調査研究推進本部による「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」等の最新の研究成果を考慮し設定されていることを確認する。

2) アスペリティの位置が各断層調査等によって設定できる場合は、その根拠が示されていることを確認する。…なお、アスペリティの応力降下量(短周期レベル)については、新潟県中越沖地震を踏まえて設定されていることを確認する。

さらに、地震動審査ガイドでは、2の基本方針で、「敷地で発生する可能性のある地震動全体を考慮した地震動」を考慮することを求めている。

そして、3. 3. 2の中の①の震源モデルの設定において、「アスペリティの応力降下量(短周期レベル)については、新潟県中越沖地震を踏まえて設定されていること」(強震動予測レシピの1.5倍とすること)と規定している。

地震動審査ガイド

「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。

(略)

(4) 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」を相補的に考慮することによって、敷地で発生する可能性のある地震動全体を考慮した地震動として策定されていること。

「3. 3 地震動評価

3. 3. 1 応答スペクトルに基づく地震動評価

(略)

3. 3. 2 断層モデルを用いた手法による地震動評価

(4)①震源モデルの設定

1) 震源断層のパラメータは、活断層調査結果等に基づき、地震調査研究推進本部による「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」等の最新の研究成果を考慮し設定されていることを確認する。

2) アスペリティの位置が各断層調査等によって設定できる場合は、その根拠が示されていることを確認する。…なお、アスペリティの応力降下量(短周期レベル)については、新潟県中越沖地震を踏まえて設定されていることを確認する。

そして、次の3. 3. 3の項で不確かさの考慮をするよう求めている。

したがって、①の震源モデルの設定にいう「震源モデル」は、不確かさの考慮の前の基本震源モデルであり、新潟県中越沖地震を踏まえて応力降下量を1.5倍にしたモデルは、基本震源モデルであるから、そこからさらに不確かさの考慮がなされなければならない。

これは、原発が極めて危険な施設だからである。すなわち、危険な原発の安全性は最大限に確保しなくてはならないから、端的に敷地で発生する可能性のある全ての地震動に対して安全であることを求めているものである。

強震観測網が整備された以降に観測された地震の中で最大の応力降下量が生じた2007年新潟県中越沖地震の応力降下量を、今後発生する地震で発生する応力降下量が超えないなどと言えるはずもない。したがって、さらにそこから「不確かさの考慮」をして、十分に今後発生する地震動をカバーできるようにする必要がある。

地震動審査ガイドは、まさに、このような考慮を求めているのである。

「深層防護」が求めているのも同じ趣旨

▶ 「深層防護」のポイント

第1の防護レベル：異常の発生の防止

第2の防護レベル：異常発生時におけるその拡大の防止

第3の防護レベル：異常拡大時におけるその影響の緩和ひいてはシビアアクシデントへの発展の防止

第4の防護レベル：シビアアクシデントに至った場合におけるその影響の緩和

第5の防護レベル：放射性物質が大量に放出された場合における放射線影響の緩和

＜前段否定の論理＞ある防護レベルの安全確保対策にあたって、前段階の防護レベルにおける安全確保対策の有効性を前提としてはならないこと

＜後段否定の論理＞ある防護レベルの安全確保対策にあたって、後段の防護レベルが控えていることを前提としてはならないこと ³⁴

「深層防護」が IAEA において採用されている趣旨も、同じ趣旨である。

(乙A4・新規制基準の考え方：67頁以下)

「深層防護」のポイントは、複数の防護レベルを用意し、その防護レベルそれぞれが独立して有効に機能することである。

そして、「深層防護」には、

＜前段否定の論理＞ある防護レベルの安全確保対策にあたって、前段階の防護レベルにおける安全確保対策の有効性を前提としてはならないこと

＜後段否定の論理＞ある防護レベルの安全確保対策にあたって、後段の防護レベルが控えていることを前提としてはならないこと

が求められる。

これは、原子力発電所は炉心に大量の放射性物質を内蔵しており、人と環境に対して大きなリスクが存在し、かつ、どのようなリスクが顕在化するかの不確かさも

大きいという点で、不確実さに対処しつつリスクの顕在化を着実に防ぐためであり、原発事故被害の危険の特異性とそれを回避するための科学の限界を踏まえつつ、それでも原発の稼働による人格権侵害の具体的危険を可能な限り排除するために採用された考え方である。

ところが、福島第一原発事故では、「深層防護」の不備が指摘されている。

この「深層防護」の不備について、第4の防護レベル（シビアアクシデントに至った場合におけるその影響の緩和対策）の実践が不足していたという文脈で言われることが多い。

すなわち、福島第一原発事故当時、シビアアクシデント対策は、法規制上要求されていなかった

→自主的な取組みとして推奨する限りだった

→東電も不十分な対策しか講じておらず、規制当局もそのまま運転することを容認していた

というものである。

しかし、「深層防護」の実践不足はそれだけではなかった。

地震想定、津波想定などの自然現象の想定においていえば、これらの想定は、第1～第3の防護レベルにおけるものであるが、

第4の防護レベルでシビアアクシデント対策が控えているから、原発を襲う可能性のある自然現象の80%～90%をカバーしていれば十分だという判断をしてはならない、ということである。

たとえば、地震動については、基準地震動は当該原発を襲う可能性がある地震動をカバーしているといえるものであること、基準地震動を超える地震動が当該原発を襲うことはまずないといえるものであることが、必要である。

深層防護における、＜前段否定の論理＞及び＜後段否定の論理＞は、まさにこのことを求めているのである。

政府事故調報告書（甲640：25頁）が、『想定外』という言葉には、大別す

ると2つの意味がある。1つは最先端の学術的な知見をもってしても予測できなかった事象が起きた場合であり、もう1つは、予想されるあらゆる事態に対応できるようにするには財源等の制約から無理があるため、現実的な判断により発生確率の低い事象については除外するという線引きをしていたところ、線引きした範囲を大きく超える事象が起きたという場合である。今回の大津波の発生は、この10年余りの地震学の進展と防災行政の経緯を調べてみると、後者であったことがわかる」と述べているのはこの趣旨である。

また、仙台高裁令和2年3月12日判決（甲641：41頁）の「被告（※東電）は、遅くとも平成20年4月頃には、福島第一原発において、平成20年津波試算における想定津波と同程度の津波が到来し、浸水により電源設備が機能を喪失して原子炉の安全停止に係る機器が機能を喪失する可能性があることを認識して……いたにも関わらず、平成20年津波試算が確立した知見に基づくものではないこと等を理由に、本件事故までの間、具体的な対策工事を計画又は実施するに至っていなかったということが出来る」との判示も、この考え方が前提にある。

裁判所における審理判断

原発の安全に関わる自然科学に関する知見(究明・獲得途上の専門知)を利活用する場合には、不確実性を十分に踏まえて、深刻な災害が万が一にも起こらないといえるだけの保守性が確保されているのかを確認する必要がある。

地震動については、基準地震動は当該原発を襲う可能性がある地震動をカバーしているといえるものであること、基準地震動を超える地震動が当該原発を襲うことはまずないといえるものであることが、必要である。

科学的合理性があるより保守的な知見がある場合、これを排除する理由として、発生確率が低いことや知見が確立されていないことを理由としてはならない。科学的に正確な評価かどうかという判断よりも、不確実ではあっても保守的な評価かどうかという判断がなされるべきである。

その主張・立証責任は、事業者にある。

35

原発の安全に関わる自然科学に関する知見(究明・獲得途上の専門知)を利活用する場合には、不確実性を十分に踏まえて、深刻な災害が万が一にも起こらないといえるだけの保守性が確保されているのかを確認する必要がある。

地震動については、基準地震動は当該原発を襲う可能性がある地震動をカバーしているといえるものであること、基準地震動を超える地震動が当該原発を襲うことはまずないといえるものであることが、必要である。

科学的合理性があるより保守的な知見がある場合、これを排除する理由として、発生確率が低いことや知見が確立されていないことを理由としてはならない。科学的に正確な評価かどうかという判断よりも、不確実ではあっても保守的な評価かどうかという判断がなされるべきである。

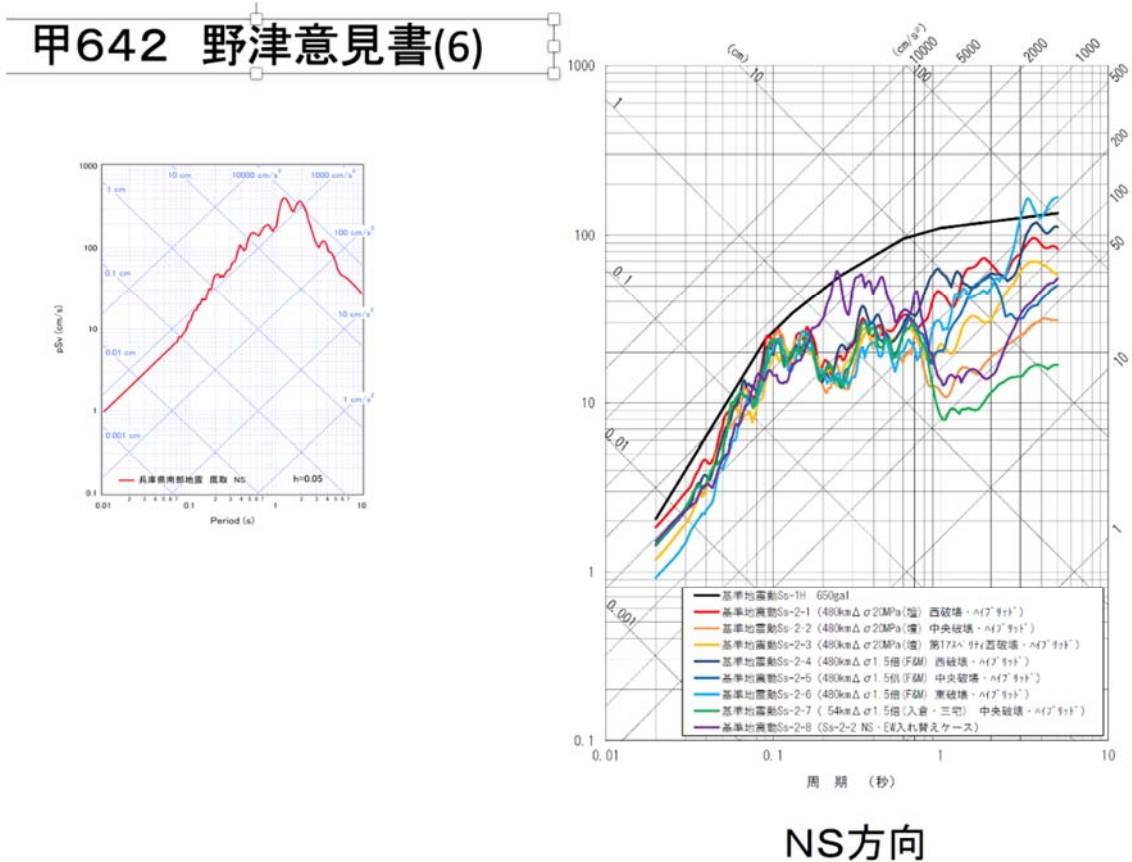


図22の左側は、兵庫県南部地震の鷹取（NS）の応答スペクトル図（甲642野津意見書(6)）。

図22の右側は、四国電力の伊方原発の基準地震動の応答スペクトル図である。グラフの縦軸，横軸は，おおよそではあるが，合わせてある。

ただし，厳密には，左側の兵庫県南部地震の鷹取（NS）は，地表の観測点であるのに対して，右側の四国電力の伊方原発の基準地震動の想定は，解放基盤面における想定である。

したがって，単純な比較はできない。

これを比較するためには，兵庫県南部地震の鷹取（NS）の地表の観測点の記録を，伊方原発の基準地震動に換算して，比較する必要がある。

四国電力は，これまでに敷地において得た地震観測記録を保有しており，また，敷地地盤の性状についても，多数のデータを有しており，さらに，専門家スタッフ

も多数要しているのであるから、このような換算作業を行うことは、極めて容易である。

にもかかわらず、四国電力は、伊方原発で想定している基準地震動は、兵庫県南部地震をはじめとする、これまでに発生し観測された地震動をすべてカバーしているという主張・立証をしていない。

第4 震源が原発敷地に極めて近い場合の特別の考慮

甲539 26～28頁

(設置許可基準規則解釈別記2、審査ガイド、決定28頁)

「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」について、内陸地殻内地震について選定した検討用地震に関し、震源として考慮する活断層の評価に当たっては、調査地域の地形・地質条件に応じ、既存文献の調査、変動地形学的調査、地質調査、地球物理学的調査等の特性を活かし、これらを適切に組み合わせた調査を実施した上で、その結果を総合的に評価し活断層の位置・形状・活動性等を明らかにすることを考慮し(設置許可基準規則解釈別記2の4条5項2号②)、また、検討用地震のうち、**震源が敷地に極めて近い場合は**、地表に変位を伴う断層全体を考慮した上で、震源モデルの形状及び位置の妥当性、敷地及びそこに設置する施設との位置関係、並びに震源特性パラメータの設定の妥当性について詳細に検討するとともに、これらの検討結果を踏まえた評価手法の適用性に留意の上、各種の不確かさが地震動評価に与える影響をより詳細に評価し、**震源の極近傍での地震動の特徴に係る最新の科学的・技術的知見を踏まえた上で、さらに十分な余裕を考慮して基準地震動を策定することが求められている(同別記2の4条5項2号⑥)。**

→**審査ガイドの I.3.3.2(4)④はさらに詳細規定(決定甲53926頁～28頁)**

それでは、広島高裁決定(甲539)の地震・地震動に関する判示を確認する。

広島高裁決定(甲539)は、震源が敷地に極めて近い場合について、設置許可基準規則解釈別記2や審査ガイドを引用して、以下のとおり述べている(決定28頁)。

「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」について、内陸地殻内地震について選定した検討用地震に関し、震源として考慮する活断層の評価に当たっては、調査地域の地形・地質条件に応じ、既存文献の調査、変動地形学的調査、地質調査、地球物理学的調査等の特性を活かし、これらを適切に組み合わせた調査を実施した上で、その結果を総合的に評価し活断層の位置・形状・活動性等を明らかにすることを考慮し(設置許可基準規則解釈別記2の4条5項2号②)、また、検討用地震のうち、震源が敷地に極めて近い場合は、地表に変位を伴う断層全体を考慮した上で、震源モデルの形状及び位置の妥当性、敷地及びそこに設置する施設との位置関係、並びに震源特性パラメータの設定の妥当性について詳細に検討するとともに、これらの検討結果を踏まえた評価手法の適用性に留意の上、各種の不確かさが地震

動評価に与える影響をより詳細に評価し、震源の極近傍での地震動の特徴に係る最新の科学的・技術的知見を踏まえた上で、さらに十分な余裕を考慮して基準地震動を策定することが求められている（同別記2の4条5項2号⑥）。

さらに、審査ガイドのI.3.3.2（4）④には、さらに詳細規定がある（決定26頁～28頁）。

震源が敷地に極めて近い場合に特別の考慮を求める規定の根拠

・規制委員会 平成27年1月『福島第一事故を踏まえた震源極近傍の地震動評価の高度化』(甲643。以下「震源極近傍の地震動評価」という。)

地表地震断層から震源断層までの浅部地盤(震源断層とはならない比較的軟らかい地盤)が活動することの影響について、震源から2km以上離れていれば浅部地盤の影響は無視し得るものの、敷地から2km程度以内の浅部地盤が変位する場合には、比較的軟らかい地盤の活動といえどもその影響を無視できない。(決定28頁)

・原子力規制委員会「発電用軽水型原子炉施設の地震・津波に関わる新安全設計基準に関する検討チーム」における議論(藤原広行・防災科学技術研究所領域長)(甲644 第3回議事録50頁)「例えば1kmとか2km以内のサイトについては、物理モデルとして波動的な計算手法が破綻する領域になっている」

この、震源が敷地に極めて近い場合に特別の考慮を求める規定には、以下のよう
な科学的な根拠がある。

・規制委員会平成27年1月『福島第一事故を踏まえた震源極近傍の地震動評価の高度化』(甲643。以下「震源極近傍の地震動評価」という。)

地表地震断層から震源断層までの浅部地盤(震源断層とはならない比較的軟らかい地盤)が活動することの影響について、震源から2km以上離れていれば浅部地盤の影響は無視し得るものの、敷地から2km程度以内の浅部地盤が変位する場合には、比較的軟らかい地盤の活動といえどもその影響を無視できない(決定28頁)

・原子力規制委員会「発電用軽水型原子炉施設の地震・津波に関わる新安全設計基準に関する検討チーム」における議論(藤原広行・防災科学技術研究所領域長)

・「数km以内、例えば1kmとか2km以内のサイトについては、物理モデルとして波動的な計算手法が破綻する領域になっているということで、そんな近いところでの精度を保証する形での評価がこれまで行われてきていない方法論を用いた

評価を実際行っていると。…ここ10年間で断層近傍の記録が幾つかとれています。岩手、宮城ですと、ほぼ逆断層真上でとれた記録は、深さ260mの地中ですら、時系列で加速度記録で1Gを超えるような値にもなっている。そういう、たまたまとれた1点の記録でも、すごく大きな値、それが全てを語っているわけではないという、そういう不確実さの中に我々がいるということを考えますと、断層の本当に近いところにあるサイトについては、そういったものを十分に考慮をする方法、枠組みをさらに上乗せするということをしてほしいなと思っています。」(甲644第3回議事録50頁)

・「断層の本当の近傍の領域については、まだデータも少なく、計算手法にもまだまだ足りないところがあって、必ずしも定量的にきちんとした評価ができるわけではない。…そういった中で、じゃあ、今使っている計算手法では確かにカバーできていない部分があるかわからないけれども、ある程度の不確かさをさらにそこに上乗せすれば、起こり得る現象を上から押さえるということですね、そういったことができるんじゃないのかという気もしていると」(甲645第5回議事録36頁)。

震源が敷地に極めて近い場合に特別の考慮を求める規定の根拠

・(甲646「断層極近傍のための理論地震動シミュレーション法を用いた断層表層領域破壊時の地震動推定」)

「地震発生層上端～地表においても地震動を発生する可能性があると考えた場合に断層から極めて近い位置における地震動がどの程度の強度となりうるかについての数値シミュレーションを実施した。その結果、断層表層領域における地震動の生成を考慮した数値シミュレーションを実施すると、最大速度(平均)、最大加速度(平均)は、それぞれ1.7倍、1.6倍程度となる」

・2016年熊本地震

鈴木康弘氏は「従来の強震動計算においては、深さ3km以浅は強震動を生成しないとされてきたが、今回の観測結果はこの前提に疑問を呈している」(甲647)と述べ、長坂陽介氏らは「熊本地震による断層近傍の強震動を再現するには深部だけでなく表層付近の影響を含める必要がある」(甲648)と述べている。

断層極近傍の地震動評価に関し、地震発生層上端より浅い部分の地震動を考慮する必要性については、地震の専門家の間で広く認識されているところである。

・藤原氏は株式会社ニュージェックの山田雅行氏らとともに、2015年、断層極近傍では強震動予測手法が正常に機能しない場合があることや、特に原子力発電所のような硬質地盤の場合には地震動を発生する領域の上限深さを決めることが難しい場合もあることから、断層の極近傍において理論地震動シミュレーションを実施する際の積分誤差の評価を行い、さらに地震発生層上端～地表においても地震動を発生する可能性があると考えた場合に断層から極めて近い位置における地震動がどの程度の強度となりうるかについての数値シミュレーションを実施した。その結果、断層表層領域における地震動の生成を考慮した数値シミュレーションを実施すると、最大速度(平均)、最大加速度(平均)は、それぞれ1.7倍、1.6倍程度となることを確認している(甲646「断層極近傍のための理論地震動シミュレーション法を用いた断層表層領域破壊時の地震動推定」)。

・2016年熊本地震の際にも表層付近の地盤ですべりが生じていると考えられ

ている。日本地球惑星科学連合2017年大会において、鈴木康弘氏は「従来の強震動計算においては、深さ3km以浅は強震動を生成しないとされてきたが、今回の観測結果はこの前提に疑問を呈している」（甲647）と述べ、長坂陽介氏らは「熊本地震による断層近傍の強震動を再現するには深部だけでなく表層付近の影響を含める必要がある」（甲648）と述べている。

・鈴木ほか(2016)では、熊本地震の課題として、「従来の強震動モデルでは一般に『浅部（深度約2km以浅）は強震動を出さない』ことを仮定しているが、今回の震源断層モデルによれば、益城町や西原村付近に見られる顕著なずれは明らかに浅部にある。2014年長野県神城断層地震においても主要なずれは浅部にあり、堀之内集落付近など極めて局地的に震度7相当の揺れが起きている。そこでは建物が激しく倒壊するほか、墓地は壊滅的な破壊を被った。同様の現象が今回は断層全域にわたって確認されるが、その範囲（「震災の帯」）は断層線から概ね数百m以内であり、局所的な被害集中が地下数km以深で発生した地震動によるとは考えにくい。」と指摘されている（甲665科学，845頁）

・第2回専門家フォーラムでは、話題提供者P1（京都大学教授の釜江克宏氏と推測される）より、「最後に、極近傍の問題ですね。我々は、地震発生層とそうじゃないところっていうことで、非常に地震波が出るところと出ないところで分けていますけれども、最近は浅いところ、特に極近傍のときには、当然距離が近くなるということで、そこから、もし応力降下があれば、波が出れば、当然強い波が出るわけです。そういうことを考えるべきだというような話もあります。」（甲649・19頁）と述べられている。

震源が敷地に極めて近い場合に特別の考慮を求める規定の根拠

新規制基準では、「震源が敷地に極めて近い場合」に該当するときには、「最新の科学的・技術的知見」を踏まえ、「さらに十分な余裕を考慮」して基準地震動を設定しなければならないものと規定されているのは、ある程度不確実な部分があっても基準地震動の保守的な評価につながる知見は積極的に採り入れ、基準地震動を通常よりもさらに引き上げることを趣旨としているものである。

さらに、その後の知見も、「震源極近傍の地震動評価」(甲643)を裏付けているといえ、新規制基準が震源が敷地に極めて近い場合に特別の考慮を求めることを否定するような知見は無い。

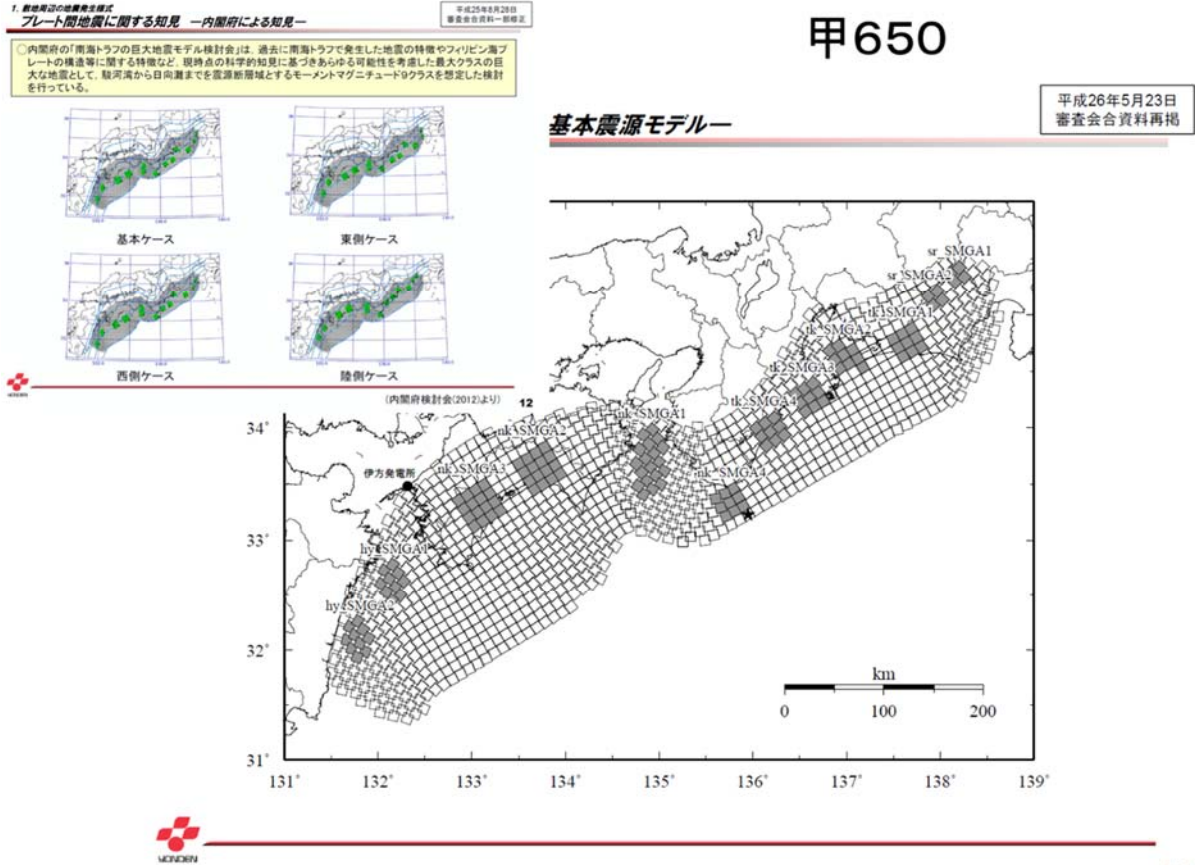
・最新の科学的知見を踏まえて十分な余裕を考慮するためには、このような知見を採り入れることを検討すべきだが、被告や規制委員会においてこのような知見が検討された事実はうかがえない。

かかる被告の評価は審査ガイドの I.3.3.2(4)④ 3)にも反する。

このように、被告は、震源が原発敷地に極めて近い場合の特別の考慮を怠っており、伊方原発の安全性は確保されていない。

第5 南海トラフの巨大地震の地震動評価

左図（甲630 12頁）、右図（甲650 58頁）



58

四国電力の基準地震動の想定が不十分であることについて、もう1点、プレート間地震による想定が極めて不十分であることについて指摘する。

四国電力は、プレート間地震として、内閣府検討会(2012)の南海トラフの巨大地震（陸側ケース）(M9.0)を基本モデルに採用した上で、さらに保守的な評価となるよう不確かさを考慮して、強震動生成域を敷地の直下に追加配置した断層モデルによる評価も行った、と主張する（平成26年10月21日付被告準備書面(5)・77頁）。

これに対して、原告らは、四国電力のプレート間地震による地震動の想定は、不

確かさの考慮が不十分であること、とりわけ、SPGA(Strong-motion Pulse Generation Area)を本件発電所敷地近傍に配置しなければ最大限の地震動を想定して不確かさの考慮を行ったことにはならないことを明らかにした野津厚氏の平成28年9月9日付意見書(甲392)を提出した。

以下では、この点について補足して主張する。

図23 甲650 59頁, 右下の図(甲630 91頁)

添付資料

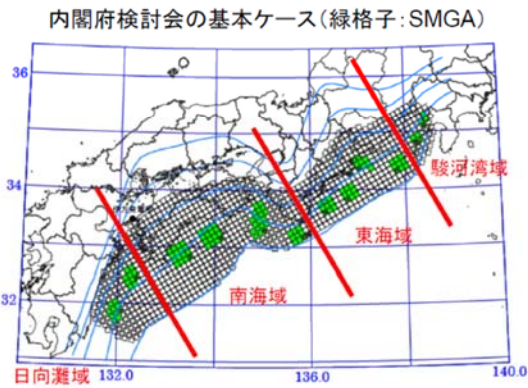
プレート間地震の地震動評価 ー検討ケースー

平成26年5月23日
審査会合資料再掲

断層モデル(不確かさ① 陸側+直下SMGA追加ケース)

敷地に最も近い日向灘のSMGAを敷地近傍に追加配置した。

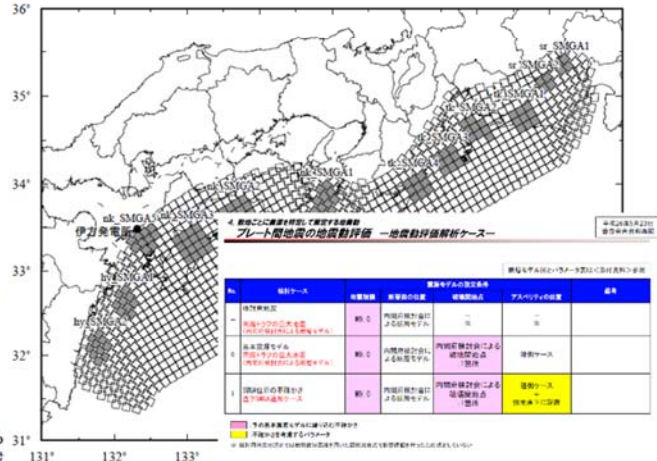
甲650



発電所直下に配置するSMGAの考え方

1. 基本ケースのSMGAと伊方発電所との平面位置関係は、日向灘域のSMGAに近い
2. 沈み込むフィリピン海プレートの形状(青い等深度線)から判断すると、伊方発電所直下の深さに近いのは日向灘域のSMGA
3. 南海域のSMGAはプレートの傾斜がきつくなる前の領域に配置されており、形状がSMGA1は傾斜がきつくなり始めた領域に位置しており、プレートの湾曲を考慮した形状
4. 以上のことから発電所直下に配置するSMGAは、日向灘域のSMGAを参照して設定することとし、安全側の評価となるよう陸側ケースに追加して配置した(右図)。

追加検討モデル
陸側+直下SMGA追加ケース



59

南海トラフ検討会は、SMGA (Strong Motion Generation Area: 強震動生成域) の配置を、東側、南側、西側と陸側に、それぞれ設定した4つのモデルを公表している。

このSMGAというのは、強震動生成域ないしアスペリティというモデルで、地震断層の中で、特に大きな地震動を発生させる領域として想定されているものである。

図23のように、四国電力は、このうち、陸側のモデルを基本として、さらに、アスペリティを敷地直下に追加しておいたことをもって、不確かさを考慮したケースとしている。

図24 甲650 60頁, 左下の図(甲630 94頁)

添付資料

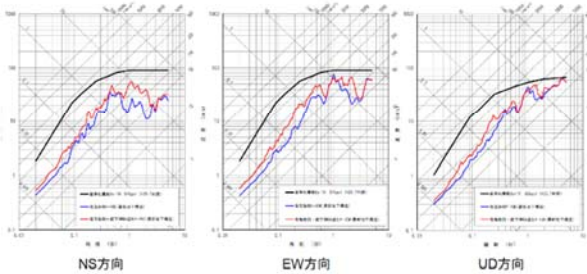
プレート間地震の地震動評価 -パラメータ表-

平成26年5月23日
審査会資料再掲

- ▶ 南海トラフの断層モデルパラメータの設定に当たって、全世界のプレート境界地震の震源断層モデルを調査した上で、調査結果の平均値よりも安全側に大きめの値となる断層パラメータが設定されている。

4. 各地ごとに震源を特定して想定する地震動
プレート間地震の地震動評価 -断層モデルを用いた手法に基づく評価結果- 平成26年5月23日 審査会資料一部修正

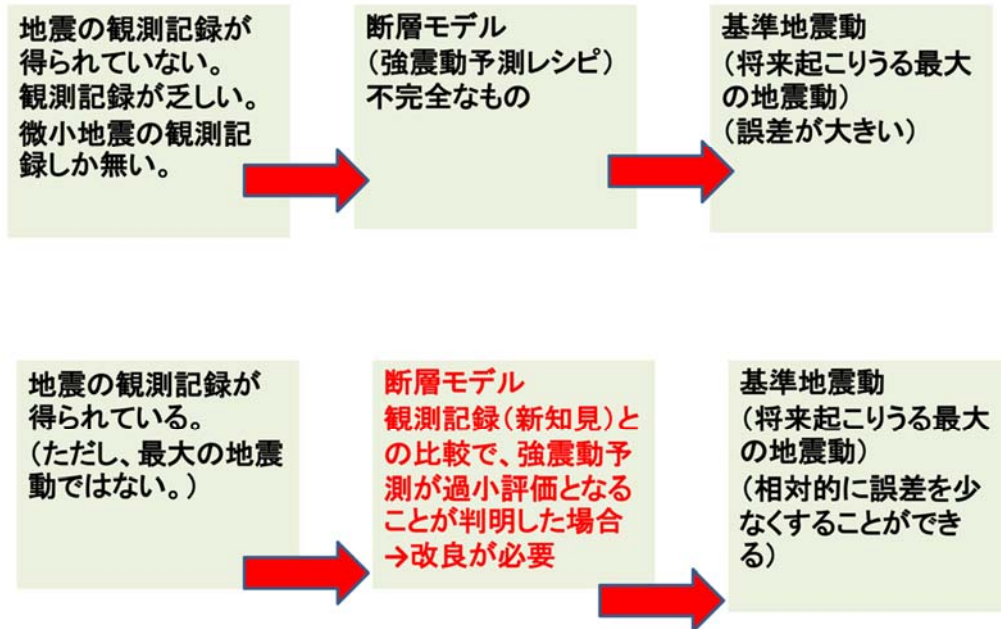
短周期側地震動(統計的グリーン関数法)と長周期側地震動(理論計算)を接続周期2.5秒でハイブリッド合成した。



全体	面積(m 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(m ²)	19,053	53,760	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)	4.2E+21	2.0E+22	8.3E+21	1.2E+21
強震動生成域 SMGA	Mw	8.4	8.8	8.5	8.0
	面積(m ²)	2,047	6,109	3,661	853
	面積比	11%	11%	12%	11%
	平均すべり量(m)	11.1	18.8	13.7	7.1
	地震モーメント(Nm)	5.3E+20	4.7E+21	2.1E+21	2.5E+20
強震動生成域 SMGA①	Mw	7.9	8.4	8.1	7.5
	面積(m 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
強震動生成域 SMGA②	Mw	7.7	8.1	7.7	7.3
	面積(m ²)	1,029	1,019	914	415
	応力パラメータ(MPa)	34.5	46.4	45.4	34.4
	平均すべり量(m)	11.1	18.7	13.7	7.0
	地震モーメント(Nm)	4.7E+20	1.2E+21	5.1E+20	1.2E+20
強震動生成域 SMGA③	Mw	7.7	8.0	7.7	7.3
	面積(m ²)		1,812	913	
	応力パラメータ (MPa)		46.4	45.4	
	平均すべり量(m)		18.7	13.7	
	地震モーメント(Nm)		1.2E+21	5.1E+20	
強震動生成域 SMGA④	Mw		8.0	7.7	
	面積(m 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	
背側領域	Mw		7.8	7.7	
	面積(m ²)	17,000	47,681	25,758	7,035
	応力パラメータ (MPa)	3.7	3.7	3.7	3.7
	平均すべり量(m)	4.9	8.1	5.9	3.1
	地震モーメント(Nm)	3.4E+21	1.6E+22	6.2E+21	9.0E+20
その他	Mw	8.3	8.7	8.5	7.9
	破壊伝播速度(km/s)	2.7	2.7	2.7	2.7
	fmax(Hz)	6Hz	6Hz	6Hz	6Hz
	剛性率(N/m ²)	4.1E+10	4.1E+10	4.1E+10	4.1E+10

図24の左側は、四国電力が想定したプレート間地震による地震動である。
図24の右側は、その想定したプレート間地震の断層モデルのパラメータである。
プレート間地震による地震動は、図の直線で表現されている応答スペクトルに基づく基準地震動を下回るとしている。

強震動予測の信頼性



46

この四電の想定について、我が国を代表する強震動地震学者の一人である野津厚氏は、以下のとおり述べる（甲 3 9 2）

- ・四国電力がプレート間地震を対象に行っている強震動評価の決定的な不備は、一言で言えば、東北地方太平洋沖地震の経験から十分に学ばないまま南海トラフ地震の予測に進んでしまっているという点です。

- ・東北地方太平洋沖地震では、福島第一原子力発電所および女川原子力発電所において、基準地震動を上回る地震動を観測しました。

- ・断層面上でどのように強震動が生成され、その結果としてどのように基準地震動を上回る地震動となったのか、四国電力は十分な分析をされたのでしょうか。

すなわち、我が国で全国に地震観測網が整備されるようになったのは、1995年（平成7）年兵庫県南部地震が契機であった。

全国の強震観測記録は、まだわずか20年程度分しかない。

そして、2011年東北地方太平洋沖地震は、今日のような密な強震観測網が構築されて以来、初めて発生したM9クラスの巨大地震である。

この地震の発生により我々はM9クラスの巨大地震による強震動の実態を初めて知ったのである。

したがって、まず、何よりも、2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録をつぶさに観察し、今後の地震動予測には、この知見が十分に活かされなければならない。

このような地震が発生する前に、このような強震動を正確に予測することは出来ない。

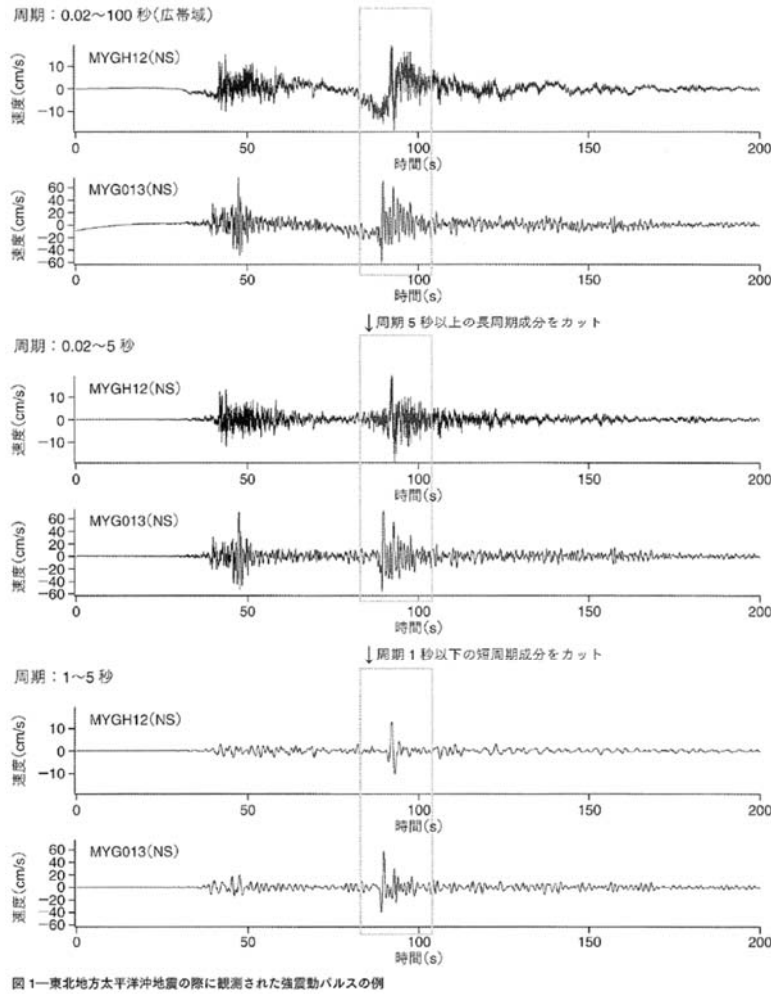
これに対して、現に地震が発生し観測記録が得られている場合は、これらの観測記録を、既存の強震動予測手法で再現できるかどうか検証することが可能となる。

より具体的にいえば、2011年（平成23年）東北地方太平洋沖地震においては、各地で詳細な観測記録が得られているので、これらの観測記録を、四国電力が用いているSMGAモデル（強震動予測レシピ）で再現できるかどうか、が問題となる。

そして、その検証の結果、既存の強震動予測手法では過少評価となることが判明した場合には、強震動予測手法を改良しなければならない。

結論を述べれば、既存の強震動予測手法（SMGAモデル）では、2011（平成23）年東北地方太平洋沖地震の観測記録を再現できなかった。

このことを、以下具体的にみていく。



まず、議論の前提として、2011年東北地方太平洋沖地震の地震波形を確認する。

これは、東北地方太平洋沖地震における、MYGH12とMYG013という観測点における観測記録である（MYGH12やMYG013は、宮城県の観測点である）。

地震発生から約80秒後付近の、上記の四角で囲ったものが、問題となる第二波群の先頭に位置するパルスである。

MYGH12での最大速度は20cm/sであるのに対して、MYG013での最大速度は73cm/sである。これは、地盤条件によって増幅されたためである。

このほか「仙台市内の七郷中学校では、やはり第二波群先頭のパルスが支配的で

あり、パルスの震幅はNS成分で114 cm/sに達していた」（甲635「科学2015.10」976頁）。

甲536 野津意見書

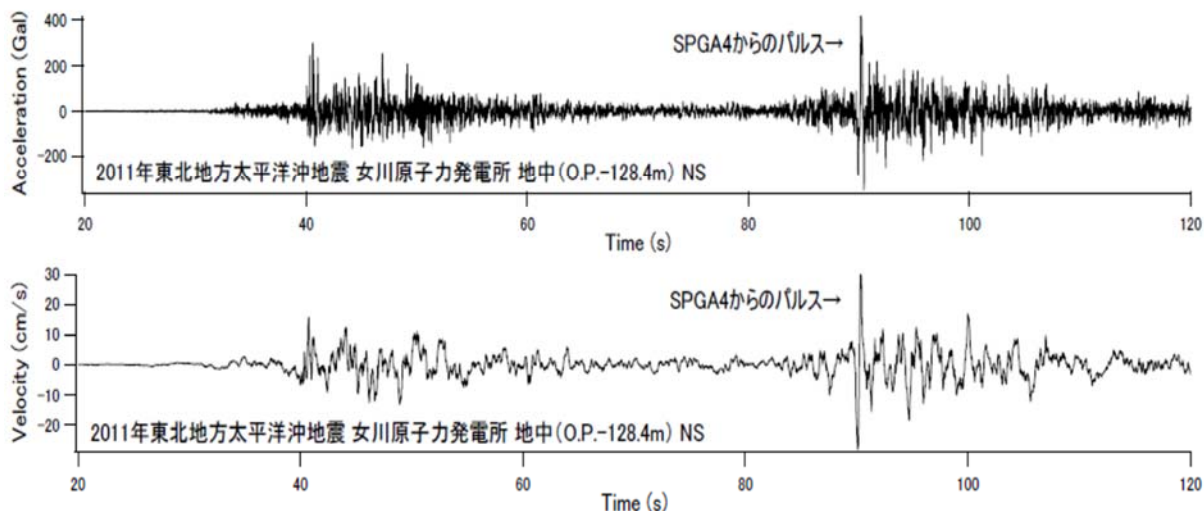


図7 東北地方太平洋沖地震の際に女川原子力発電所の深さ128mで観測されたNS成分の加速度波形と速度波形。この図面上の90秒付近に加速度で見ても速度で見ても振幅の大きいパルス波が到来している。これがSPGA4に由来するパルス波である。

東北地方太平洋沖地震では、女川原子力発電所でも、強震動パルスが観測された。女川原子力発電所では、周期2秒程度のパルス状の地震波が観測され、これが最大加速度の値が大きくなる原因であった。

このことは、入倉孝次郎氏のグループも指摘している（甲536野津意見書5頁，甲651）

Short-period Source Model of the 2011 Mw 9.0 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake kurahashi & irikura (2013) 2011年 Mw9.0 東北地方太平洋沖地震の短周期震源モデル（倉橋・入倉 2013）。

入倉孝次郎氏は、我が国を代表する強震動地震学者であり、強震動予測レシピの生みの親でもある。

野津証人は、入倉孝次郎氏について、「そもそもこの分野に携わるきっかけとなったのは1995年兵庫県南部地震です。この地震による土木構造物の大被害をもたらしたのは、アスペリティの破壊に起因する周期1-2秒のパルス状の地震動でした。当時京都大学防災研究所におられた入倉孝次郎先生のグループが、断層面上に

複数のアスペリティを置いた震源モデルにより、このパルス波を精度良く再現できることを示されました」として、その功績と知見について紹介している（甲 5 3 6 野津意見書 2 頁，甲 6 3 3 野津証人調書 1 0 頁）。

東北地方太平洋沖地震の際に女川原子力発電所周辺で観測されたパルス波と類似のパルス波は、宮城県だけでなく、福島県や茨城県でも観測されている（甲 5 3 6 野津意見書 1 6 頁，甲 6 3 3 野津証人調書 4 1 頁，甲 6 5 3）。

そして、海溝型巨大地震による強震動パルスの生成は、東北地方太平洋沖地震だけに見られる現象ではない。2 0 0 3 年十勝沖地震（甲 6 5 3），1 9 7 8 年宮城県沖地震（甲 6 5 4 松島・川瀬「海溝性地震におけるスーパーアスペリティモデルの提案」），1 9 6 8 年十勝沖地震（Mori and Shimazaki「High stress drops of short-period subevents from the 1968 Tokachi-oki earthquake as observed on strong-motion records」），など強震記録の取得されている主要な海溝型巨大地震において、強震動パルスの生成が確認されている（甲 5 3 6 野津意見書 1 6 頁）。

海溝型巨大地震による強震動パルスの生成は普遍的な現象である。

以上のとおり、「パルスの形状や周期特性という点で、東北地方太平洋沖地震の際に観測された強震動パルスは、内陸地殻内地震による強震動パルスとよく似ており、震幅が大きければ構造物にとって脅威となる」（甲 6 3 5「科学 2015. 10」9 7 5 頁）。

甲652 諸井ほか(2013)

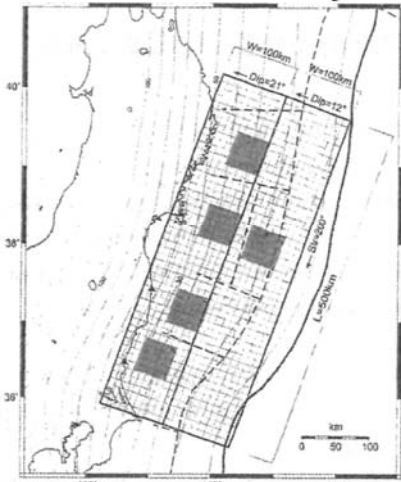


図1 震源モデル (背景の太線は日本海溝、破線は海溝型地震の発生領域、点線はJ-SHISの太平洋プレート上面等深線)

表1 断層パラメータ

	面積 S(km ²)	地震モーメント M ₀ (Nm)	平均すべり量 D(m)	応力降下量 Δσ(MPa)	短周期レベル A(Nm/s ²)
断層全体	100,000	4.0E+22	8.5	3.08	2.97E+20
SMGA1個あたり	2,500	2.0E+21	17.1	24.6	1.33E+20
背景領域	87,500	3.0E+22	7.3	4.9	—

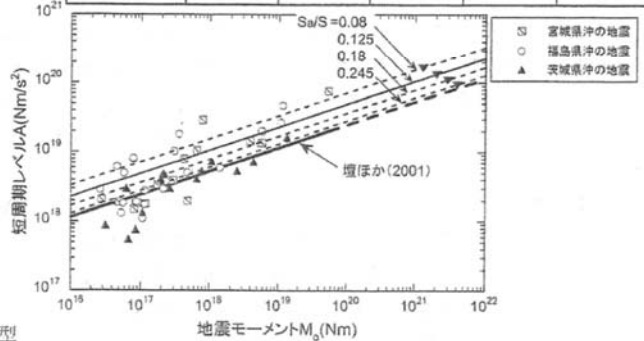
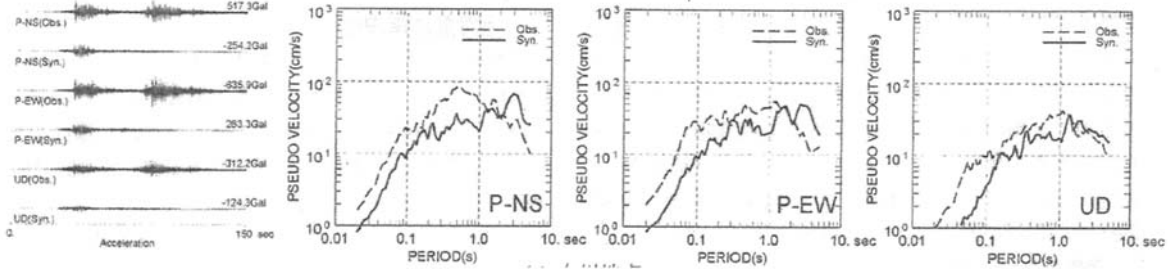


図2 当該3地域の中小地震とSMGAのM₀-A関係



東北地方太平洋沖地震の際に観測された強震動パルスが、強震動予測レシピ (SMGAモデル) で再現できているかが、問題となる。

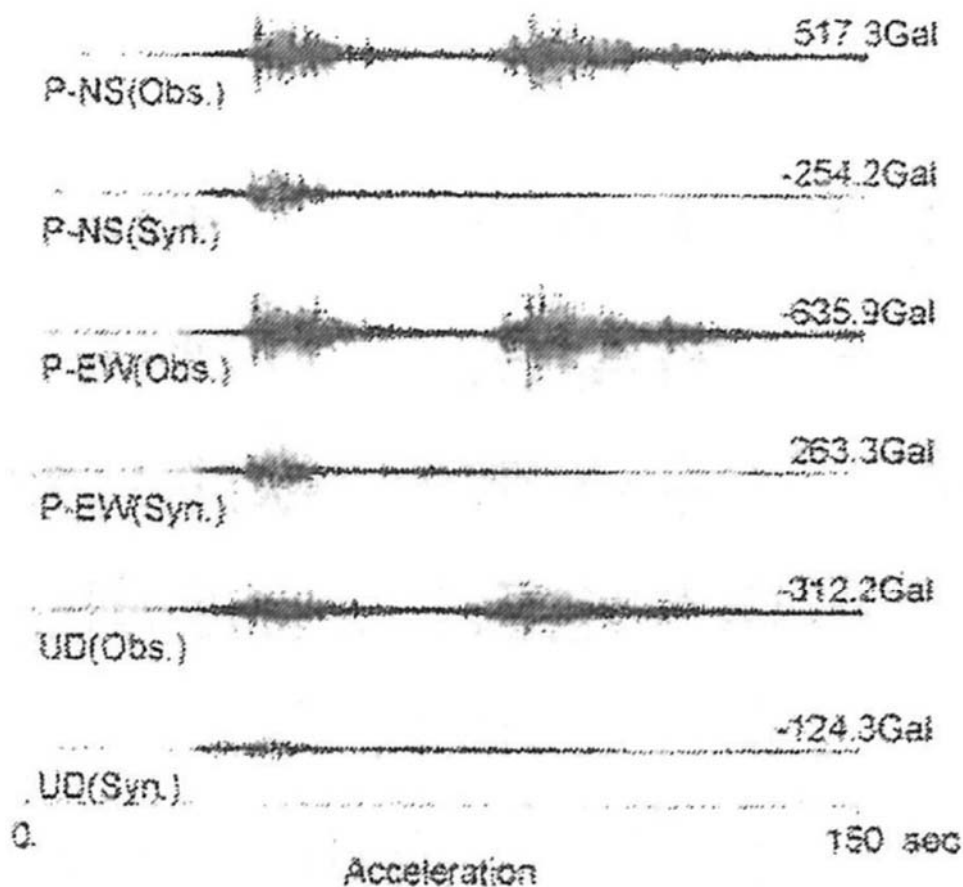
日本原電は、「巨大プレート間地震に対し強震動予測レシピが適用できることは、諸井ほか (2013) で示されている」と述べている。

「諸井の論文では、この左上の図1とされるような震源モデルが考慮されておりまして、この中では、SMGAと呼ばれる、一辺の大きさが、少なくとも50キロくらいあるような、かなり面積が大きな領域ですね、この図1の中にハッチングしてある場所が5か所ございますけれども、岩手沖に1つと、それから宮城県沖に2つ、それから福島沖に1つと、茨城沖に1つ、全部で5か所のSMGAと呼ばれる領域がございますが、それを組み合わせて地震動を計算するというモデルが、この諸井ほかの論文で取り上げられているモデルであります」(甲633野

津証人調書 3 1 頁)

この研究でも、実際に観測された地震動を再現しようと、努力している。

図29 甲652 2頁



甲652
図3(a)女川

しかしながら、諸井ほか2013（甲652）では、強震動パルスを再現できていないばかりか（甲633野津証人調書118頁）、そもそも、基本的な地震動すら全く再現できていない。

その特徴的な点を述べれば、以下のとおりである。

図29では、6つの波形が書かれていて、上から1番目、3番目、5番目に「Obs.」と書かれているのは、「観測、オブザベーション」の意味であり、観測された地震波という意味である。

このObs. と書かれている波形に着目すると、それぞれ、前半に一山、それから後半に一山、大きく2つの山があるような波形が観測されている。

これに対して、上から2番目、4番目、6番目に「Syn.」と書かれているのは、「シンセティックの略」であり、これが、諸井ほかの震源モデルに基づいて計算さ

れた波という意味である（甲633野津証人調書32頁～33頁）。

ここでは、1番目のObs.と2番目のSyn.が、「NS」すなわち南北成分のセットである。同様に、3番目と4番目は「EW」すなわち東西成分のセット、5番目と6番目は「UD」すなわち上下成分のセットである。

一見して明らかなおり、上から2番目、4番目、6番目の「Syn.」（諸井ほかの震源モデルに基づいて計算された波）は、上から1番目、3番目、5番目の「Obs.」（観測波）を、まったく再現できていない。

この理由について、野津証人は、以下のとおり述べている。

「2つの波形を説明するために、宮城県沖に、少なくとも2つの大きな破壊を考えるということは、東北地方太平洋沖地震の研究を行っている研究者の間で、比較的幅広く採用されている考えでありまして、2つの破壊領域というか、SMGAが宮城県沖に置かれているというのは、元々はそのような考えがあろうかと思えます。ただ、しかしながら、この諸井ほかの論文で採用されているSMGAの配置では、1つ、ほかの研究者と大きく異なる点がございまして、それは、沖合側のSMGAが先に破壊をして、そして、陸側のSMGAが後から破壊をしたというふうに考えている点であります。そして、その沖合側のSMGAと陸側のSMGA、その2つのSMGAから出てきた地震波が、タイミング的にうまく重なることによって、宮城県内の波形を生成したというふうに考えているわけですがけれども、その結果として、諸井ほかの計算結果では、1つ目の波群しか説明できないという結果になっております。」（甲633野津証人調書32～33頁）

図30 甲652 2頁

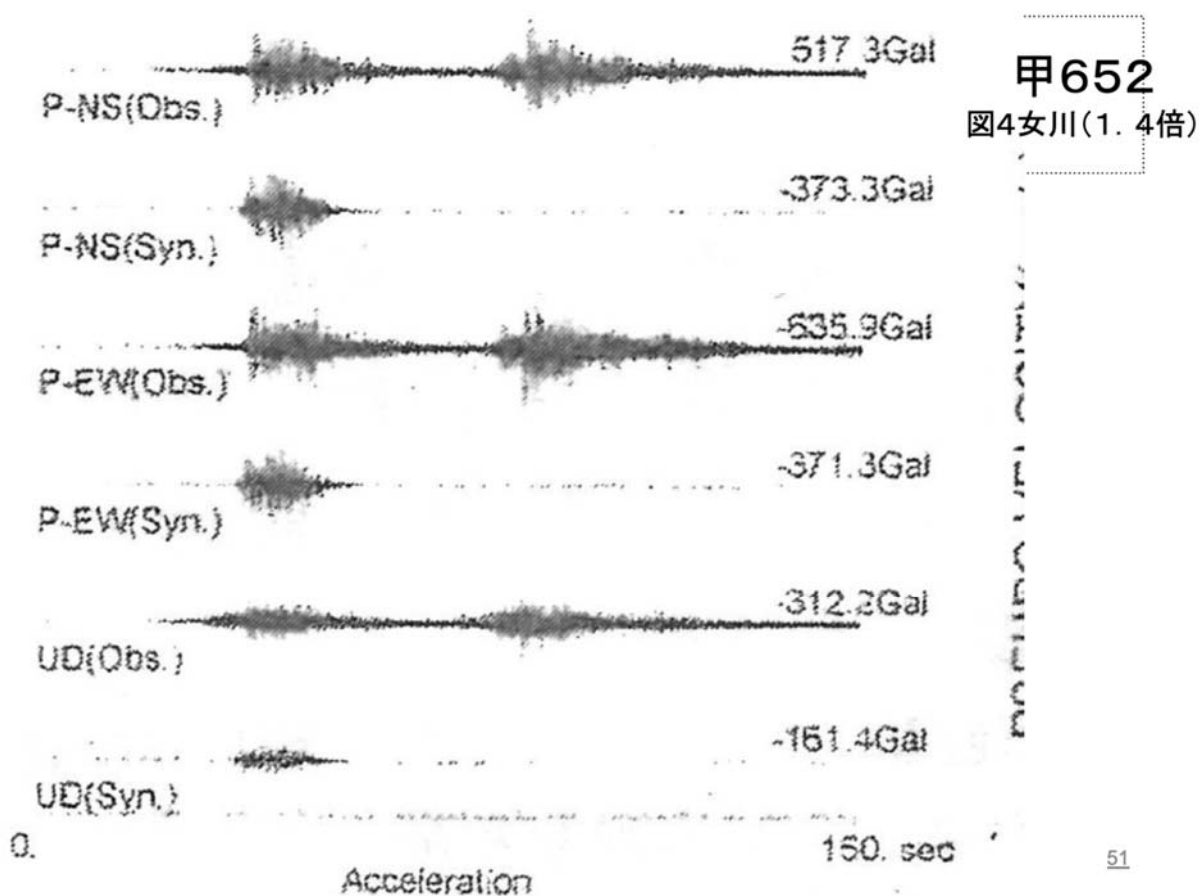


図30は、諸井ほか2013（甲652）の図4の左の図である（震源の地域性を考慮した女川地点の強震動（短周期レベルを1.4倍）

諸井ほかの論文では、「東海地点に比較して女川地点の解析結果はやや過小評価となっている。」

「そこで1978年宮城県沖地震を参考に、宮城県沖SMGAの短周期レベルをかさ上げすることで、震源の地域性の影響を取り込んだ評価を行った。その結果は図4のとおりであり、地震動レベルの再現性が有意に高まっている。」とされている。

しかし、これをもって、「地震動レベルの再現性が有意に高まっている。」とはとても言えない。

甲652

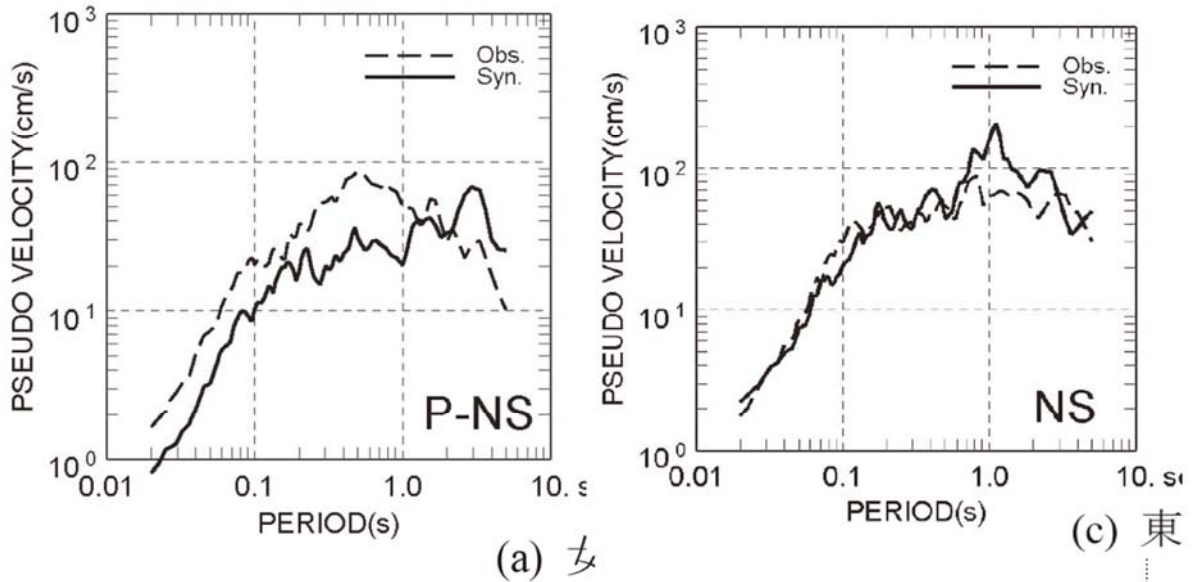


図30は、加速度時刻歴波形であったが、図31の応答スペクトルの比較においても、再現はできていない。

左側は、甲652の図3(a)女川で、右側は(c)東海の、P-NSのグラフである。

点線が「Obs.」で観測地震波、実線が「Syn.」(シンセティック)でモデルに基づいて計算された地震波である。

「地震動レベルの観測記録との整合性を地点ごとに見ると、東海地点に比較して女川地点の解析結果はやや過小評価となっている。」と甲652の本文中にも記載されているが、このグラフの横軸は周期、縦軸は速度で、いずれも対数のグラフであるから、周期によっては、5倍くらい観測値の方が大きい。逆にいえば、周期によっては、シミュレーションでは、観測値の5分の1しか再現できていないということである。

甲652

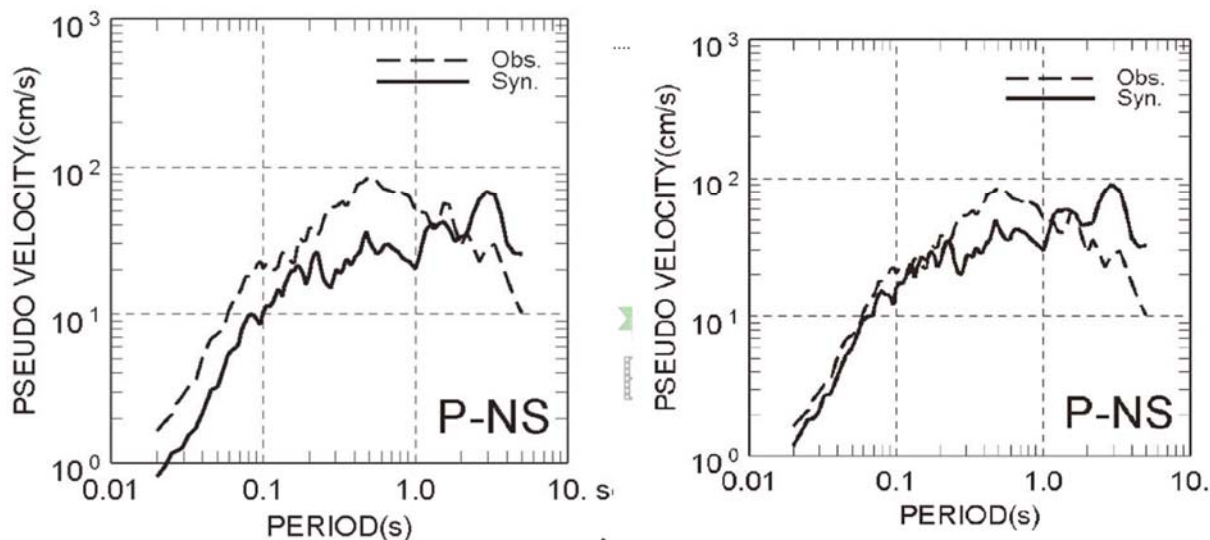


図32の左側は、甲652の図3(a)女川で、右側は図4女川のP-NSのグラフであり、短周期レベルを1.4倍かさ上げしたものである。

2つのグラフのObs.の観測記録は、同一のものである。

しかし、1.4倍かさ上げしても、横軸の周期の0.3秒付近から1秒付近までは、やはり、観測記録を再現できていない。

この程度の再現をもって、諸井ほか2013(甲652)は、「地震動レベルの再現性が有意に高まっている」と評価しているのである。

この点について、野津証人は、以下のとおり述べた。

「再現性が高まっているとは考えられません。先ほどと同じように、沖合側のSMGAがまず破壊して、その後で、陸側のSMGAが破壊し、その2つのSMGAからの波が重なることによって、この1波目の波形を計測しているわけですがけれども、それでも、2つのSMGAの破壊を合わせたとしても、なお、まだ振幅的に観測された値には至っておりません。例えば、奇数番号のObs.と書かれているところの振幅と、偶数番号のSyn.の計算結果の振幅を、最大加速度で比べてみて

いただいても、計算結果のほうが、これでもまだ小さくなってしまっております。そして、なおかつ、その2波目については全く再現されておられません。」(甲633野津証人調書34～35頁)

そして、さらに重要な点は、以下である。

「もし、これを、結果を改善しようとするれば、まず、1つ目の、陸側のSMGAが先に破壊をして、それから、沖合側のSMGAが後から破壊したというように、東北地方太平洋沖地震の際に実際に起きた現象と合わせる形で、そのようにモデルを修正した上で、かつ沖合のSMGAに関しては、かなり大きな短周期レベルを与えなければ、この2波目の大きな振幅は再現できないと思います。したがって、この1.4倍という大きさは、全くもって不十分であるということが言えると思います。沖合にSMGAがありますと、距離が遠くなりますので、したがって、沖合のSMGAで、2波目の波形を再現しようとするれば、当然、距離が遠い分だけ、強い震源を沖合に置かなければいけないこととなりますので、1.4倍では全く足りないということになります。」(甲633野津証人調書35頁)

すなわち、このモデルを、2つのSMGAの破壊の順番を入れ替えて、東北地方太平洋沖地震の際に実際に起きた現象と合わせる形(1つ目の陸側のSMGAが先に破壊をして、それから、沖合側のSMGAが後から破壊したモデル。これによって、時刻歴波形に2つ目の山が表現できる)に修正した場合は、後に破壊した沖合のSMGAは、観測点に対してさらに距離が遠くなる。そして、2波目の波形を沖合のSMGAによって再現しなければならず、距離が遠い分だけ、強い震源を沖合に置かなければいけないことになる。かなり大きな短周期レベルを与えなければ、この2波目の大きな振幅は再現できない。したがって、この点からも、1.4倍では、全くもって不十分だということになる。

SPGAモデル	SMGAモデル
東北地方太平洋沖地震をはじめとする海溝型巨大地震において特徴的な強震動パルスのパルス幅と調和的なサイズのサブイベント(SPGA)から構成される震源モデルであり、サブイベントのサイズは対象地震の場合一辺が数km程度。	より広い領域(対象地震の場合、一辺が数十km程度)からまんべんなく強震動が生成されるとする震源モデル。

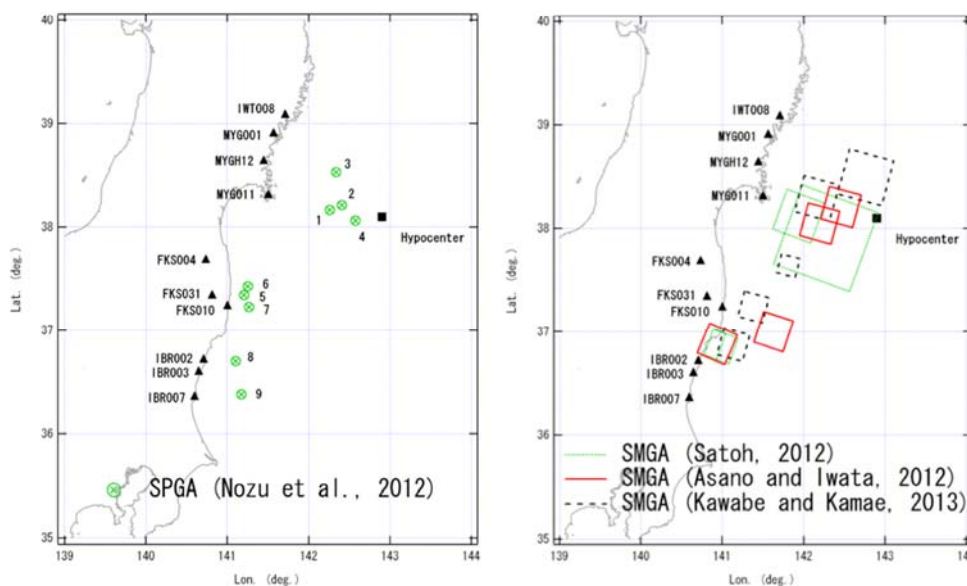


図12 2011年東北地方太平洋沖地震を対象としたSPGAモデルとSMGAモデルの比較

他の研究者も、東北地方太平洋沖地震を再現しようとモデルの構築を鋭意行っている。

図33は、後述する野津証人が策定したSPGA (Strong-motion Pulse Generation Area)モデルと、他の研究者のSMGA (Strong Motion Generation Area)モデルを対比したものである。

図33の右側の図で宮城県沖では、例えば「Sato, 2012」の論文(乙D80)では緑色の四角が2個、「AsanoandIwata 2012」(甲655)でも赤い四角が2個、さらに「KawabeandKamae, 2013」(甲656)でも点線の四角が2個ある。これらは、宮城県内で観測された地震波を何とか再現しようというふうに努力した、その結果のモデルである(甲633野津証人調書36頁)。

甲536 野津意見書

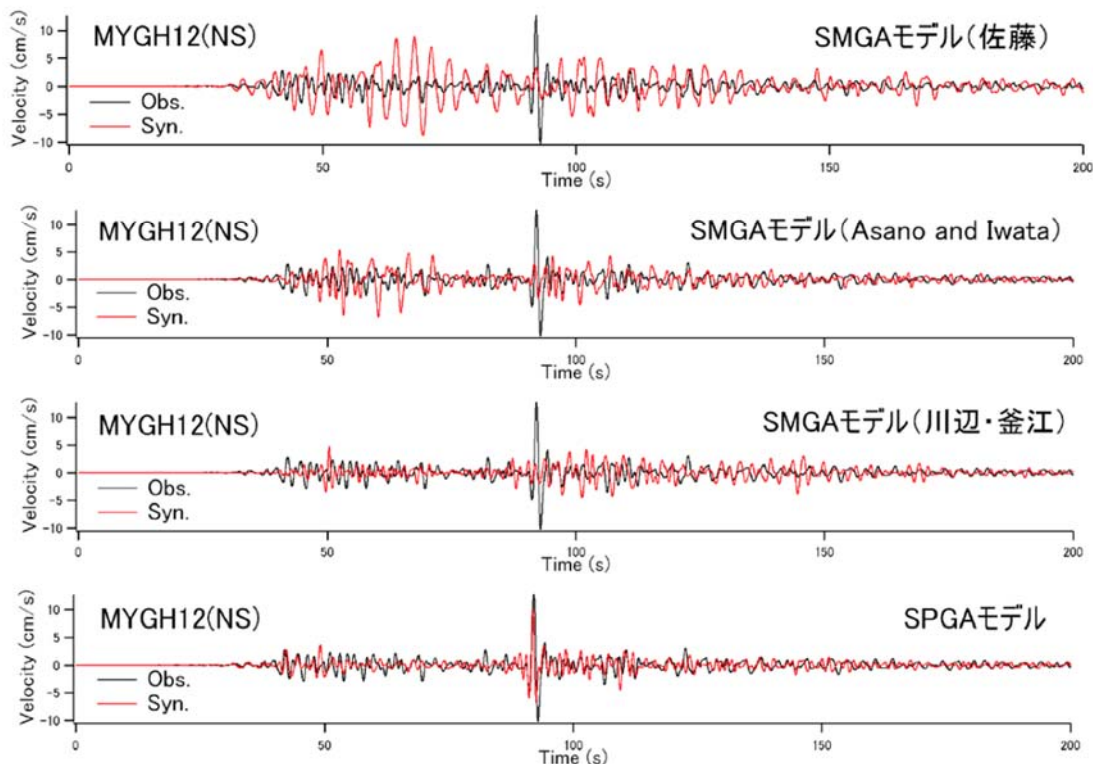


図13 MYGH12における速度波形(0.2-1Hz)の観測結果(—Obs.)とSMGAモデルおよびSPGAモデルによる計算結果(—Syn.)

55

図34は、他の研究者のSMGAモデルと観測記録を比較したものである。

横軸は地震発生からの時間、縦軸は速度を示しており、黒線の実線は、MYGH12観測点における地震動の実測値である。

これに対して、各赤線は、各研究者らの各論文(①佐藤智美, ②K. asano&T. iwata, ③川辺秀憲・釜江克宏)に基づき、当該論文に示された手法に従って、野津厚氏が計算した地震動の結果を、観測値と比較したものである。

①佐藤智美, ②K. asano&T. iwata, ③川辺秀憲・釜江克宏の「SMGAモデルはいずれも第一線の優れた研究者によって開発されたものである。」

しかし、これらのSMGAモデルは、観測された地震動の最も重要な部分、すなわち地震発生から約80秒後付近の問題となる第二波群の先頭に位置するパルスを含め、全く再現できていない。

野津証人は、このことについて、「このような結果になるということについては学会でも報告しており」、各研究者らも同じ意見であり、批判・反論されたことは無いと述べている（甲633野津証人調書37頁～38頁）。

このことは、現状のSMGAモデルに限界があることを示している。

甲536 野津意見書

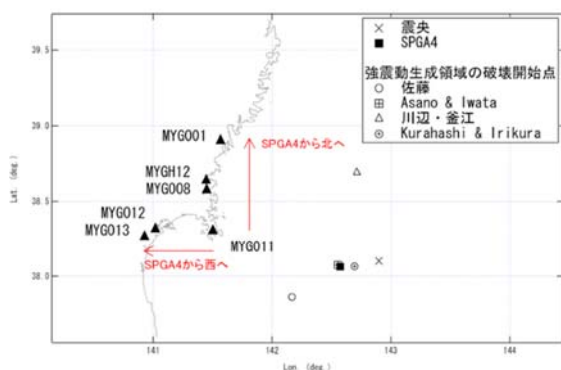


図3上

図3中

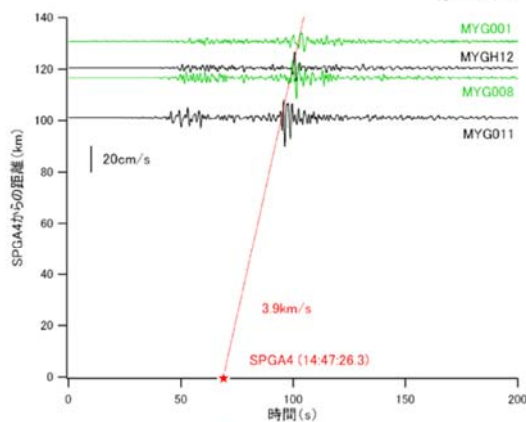
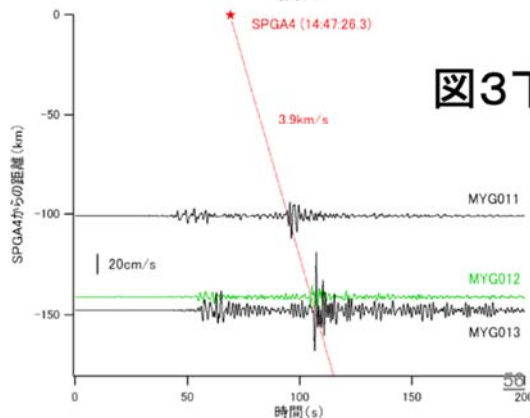


図3下



これに対して、野津厚氏は、観測記録を再現できるようなモデルを構築した。それが、SPGA (Strong-motion Pulse Generations Areas) モデルである。SPGAモデルは、地震動の最も重要な部分である、強震動パルスを再現できている。

まず、パルスの発生源が断層面上にあることを仮定している（甲536野津意見書7頁）。

この「断層面上に強震動を生成した源があるだろうという考え方は、一般的に取り入れられており」「多くの人がそういった考え方で震源モデルを作成している」（甲633野津証人調書18頁）。

野津厚氏の研究の結論は、この強震動パルスは、図3上の黒い四角（SPGA4）の位置で、14時47分26.3秒という時刻に破壊が生じたことによるものである、ということである。

では、このようなSPGAモデルは、どのような考え方で構築されたのか。

図36 甲536 12頁

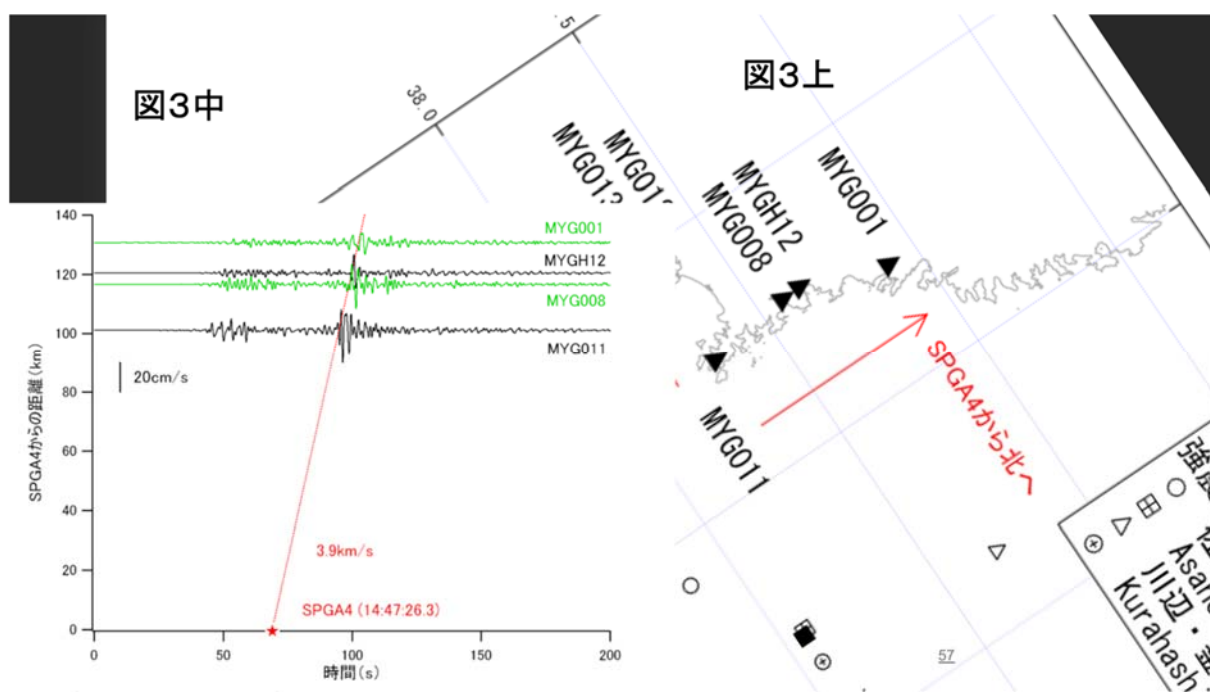


図36は、甲536の図3中の、SPGA4から各観測点への赤い線を基準として、これと視覚的に、比較できるように、図3上の向きを変えたものである。

「この右上の図3中と申しますのは、牡鹿半島から北に、4つの地震観測点がございませうけれども、その4つの地震観測点での波形を並べておりますが、先ほどの黒い四角からの距離を縦軸に取っています。つまり縦軸で、上のほうに行けば行くほど黒い四角からの距離が少しずつ遠くなっていくということなんですけれども、黒い四角からの距離が遠くなるほど、この縦軸の値は大きくなっていくという関係にございませう。そして、今、赤の斜めの線が書かれておまして、この赤の斜めの線は、仮にSPGA4とされる場所で、14時47分26.3秒にパルスが出たというふうに仮定しますと、それぞれの観測点に、この赤の破線で示されるような時刻にパルスが到来するはずだということになるんですけれども、実際に、各観測点にパルスが到来してる時刻を見ますと、大体、この赤の斜めの線と整合的であると。こういうことから、SPGA4の場所、それから、その時間が、ほぼこれで妥当だ

というふうに考えております。」(甲633野津証人調書19～20頁)

図3中の縦軸の距離は、SPGA4から各観測点までの距離である。各観測点の間の距離を示すものではない。

図3上にも、「SPGA4から北へ」という赤い矢印があるが、これは、図3中のSPGA4から各観測点への赤い線の向きとは対応しない。

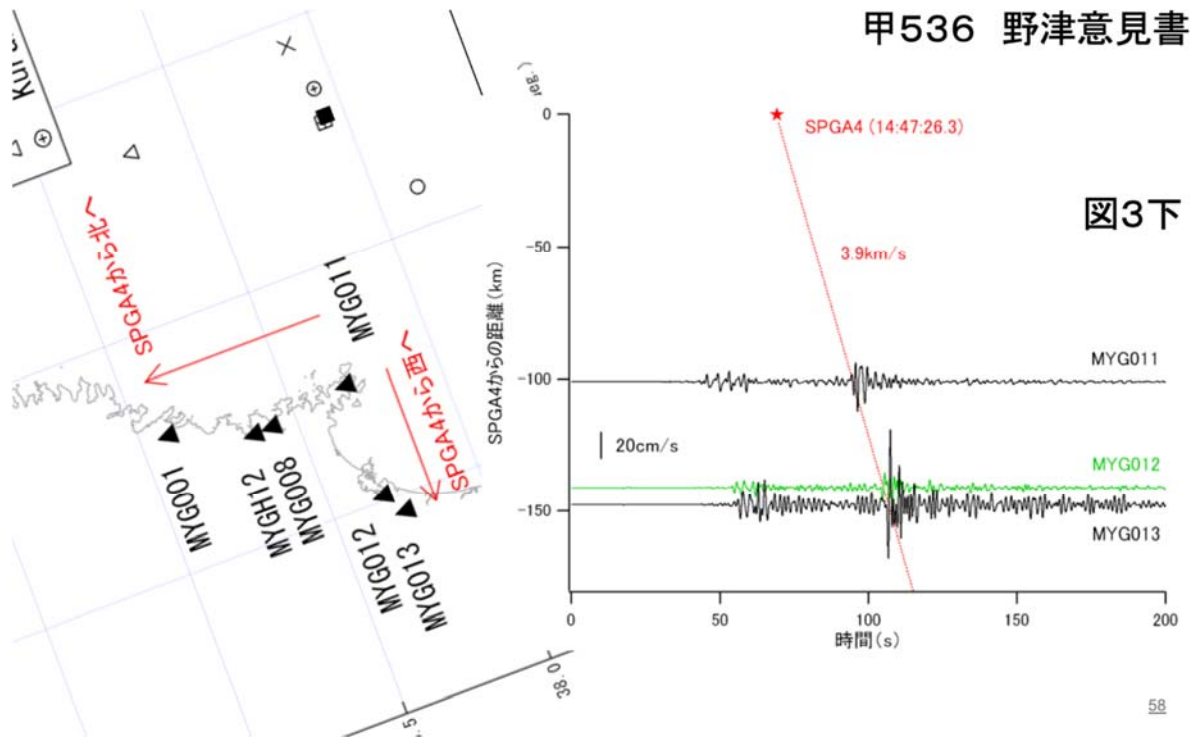


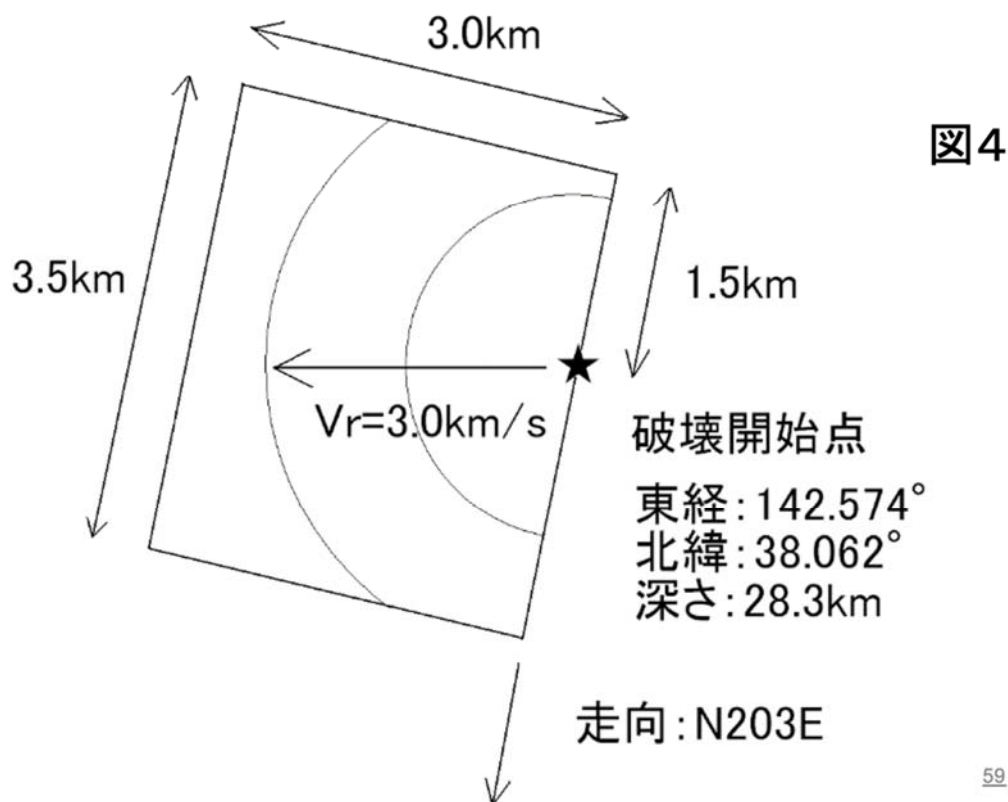
図37は、甲536の図3下の、SPGA4から各観測点への赤い線を基準として、これと視覚的に、比較できるように、図3上の向きを変えたものである。

「図3下は、同じようなことですがけれども、牡鹿半島の先端部から、西から東へ観測点を並べているものでありまして、牡鹿半島の先端に位置するMYG011では比較的早くパルスが到来しているのに対して、少し西のほうに離れている、MYG013という点では、大分遅れてパルスが到来している。いずれにしても、パルスの生じた場所と時間が、大体これで合っているということがこの図から言えると、そういう図であります。」(甲633野津証人調書20頁)

図3下の縦軸の距離は、SPGA4から各観測点までの距離である。各観測点の間の距離を示すものではない。

図3上にも、「SPGA4から西へ」という赤い矢印があり、こちらは、図3下のSPGA4から各観測点への赤い線と、ほぼ同じ角度を示しているが、これは、各観測点が、SPGA4からほぼ直線状に並んでいることによるものである。

甲536 野津意見書



59

次に、この強震動パルスが発生させたSPGAの面積は、どのようなものなのか。この点について、野津証人は、以下のとおり述べる。

「パルスを生成した部分の領域の広がりですね、あるいは面積、これが、そこから出てくるパルスの時間軸上の幅と関わりがあるということは、地震学の分野で広く知られていることでありまして、この領域が小さければ、そこから生成されるパルスの時間軸上の幅は比較的狭いと。それに対して、この領域が広ければ、そこから生成される地震波のパルスの時間軸上の幅は長くなるということが一般に知られております。これは、こういった、ある1つの領域が破壊をするときに、この破壊の伝わる速さというのはそれほど変わりませんので、したがって、面積が大きくなれば大きくなるほど、その破壊には時間を要するということになりますので、したがって、時間を要した結果として、観測点で観測されるパルスの時間軸上の幅が

長いものになると、こういう性質があります。」(甲633野津証人調書21頁～)。

「左下の図(図4)に示しますように、ある程度の面積を有している領域から地震波が放出されたというふうに考えておきまして、そのサイズが、数キロ程度のオーダーであつたらうと考えております。これは、先ほど、ちょっと申し遅れてしまいましたけれども、観測されているパルスの時間軸上の幅が1秒から2秒程度の幅でありますので、そういった1秒から2秒程度の幅を持ったパルスが生成されるためには、その源となった破壊領域も、それほど大きいものであることは不可能だと、数キロ程度のサイズ、ここにある程度のサイズを持った領域から出ているとしか考えようがないということになります。その領域をSPGAという名前で表現しております」(甲633野津証人調書22頁)

甲536 野津意見書

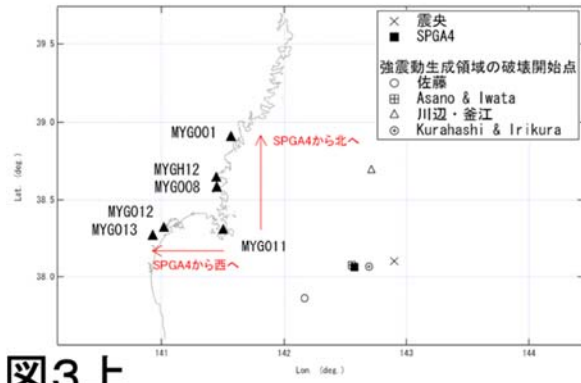


図3上

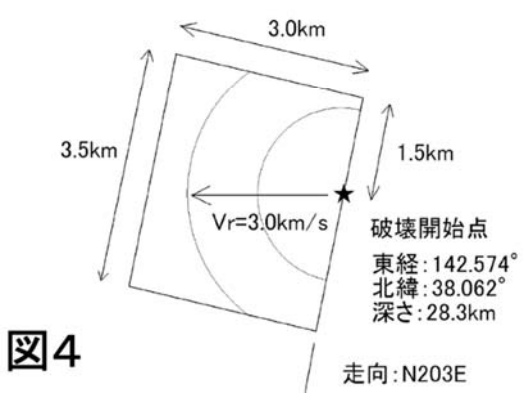


図4

図3中

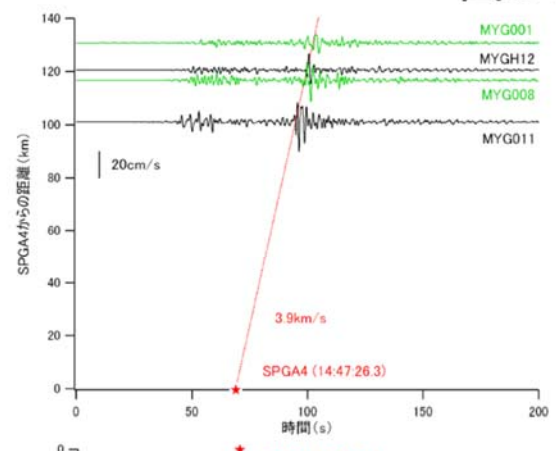
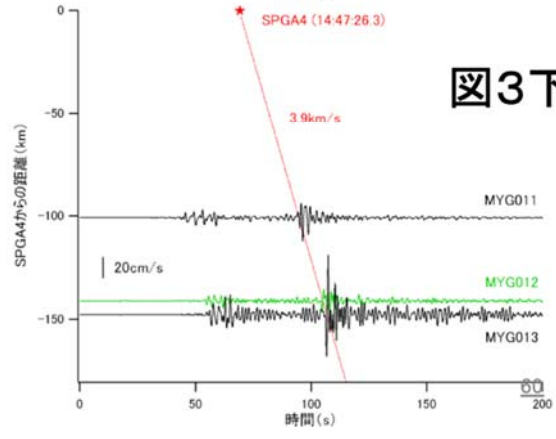


図3下



以上をまとめると、もともと得られているデータは、各観測点における観測波形である。

野津証人の研究は、強震動パルスを発生させる震源（SPGA）は、同一場所、同一時刻での破壊であり、地震波は震源から放射状に放出され、各観測点まで一定の同じ速度で伝わってくる、SPGAから各観測点までの距離が微妙に違うので、その地震波が伝わるのも微妙な時間差をもって観測される、ということが前提となっている。

そして、このような前提に基づいて、「試行錯誤的に、そのSPGA4の場所と時間を様々に仮定をしまして、各観測点での地震波の到来時刻を最も説明できるような場所と時間を決めたという」ものである（甲633野津証人調書20頁）

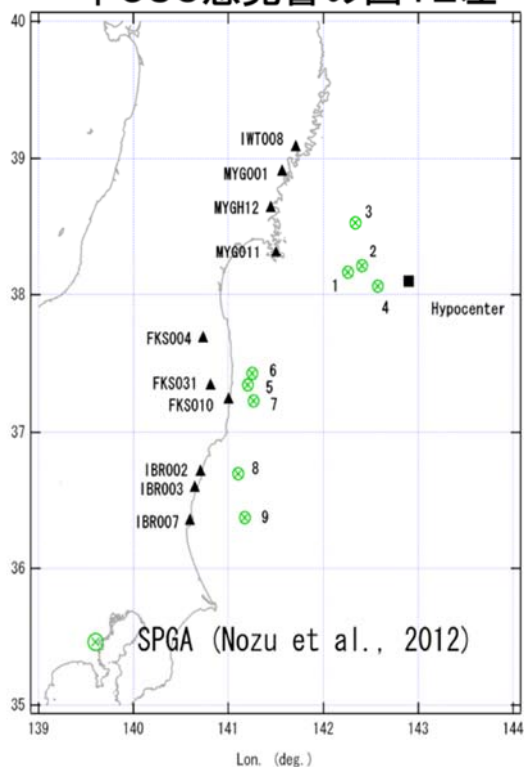
要するに、観測波形を時間軸上に並べて、いろんなパターンを考えると、図3中

のSPGA4という場所で、図4の大きさに破壊されて地震波が放出された、と考えると、すべてのつじつまが合う、ということである。

野津証人の研究は、結論は明快であるが、その過程では、膨大な計算を行っている。

「グリッドサーチというのは、簡単に言いますと、しらみ潰しということでありまして、断層面上にそのSPGAの位置それから、その破壊の起こった時刻を様々に仮定しまして、結果的に、どの位置と時刻にしたときに、最も観測事実を説明できるかということから、その場所と時間を求めたということである（甲633野津証人調書23頁）。

甲536意見書の図12左



甲657の図1

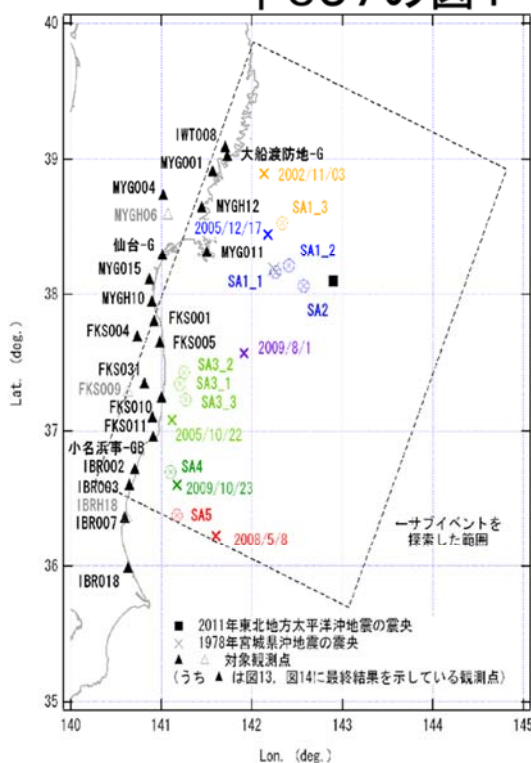


図1 解析対象観測点、スーパーアスペリティの位置、および解析に用いた主な中小地震の震央

図12 2011年東北地方太平洋沖地震を対象

61

野津厚氏は、さらに岩手県から茨城県までの観測記録に基づき、同様の計算を行った。

その結果が、「2011年東北地方太平洋沖地震を対象としたスーパーアスペリティモデルの提案」（甲657）である。

この結果、野津証人は、東北地方太平洋沖地震の地震動全体を示すために、宮城県沖に4つのSPGA、福島県沖に3つ、茨城県沖に2つ、全部で9つのSPGAを設定した（甲633野津証人調書24頁～29頁）。

なお、9つのSPGAモデルの元となった研究論文は、野津厚：2011年東北地方太平洋沖地震を対象としたスーパーアスペリティモデルの提案、日本地震工学会論文集, 12, 21(2012)甲657である。

この論文の段階では、SPGAという表記がなく、SAという表記がされているが、これは表記の問題であって、見解が変更されたものではない。

後の論文との対応関係は、以下のとおりである。

S A 1 - 1 → S P G A 1

S A 1 - 2 → S P G A 2

S A 1 - 3 → S P G A 3

S A 2 → S P G A 4

S A 3 - 1 → S P G A 5

S A 3 - 2 → S P G A 6

S A 3 - 3 → S P G A 7

S A 4 → S P G A 8

S A 5 → S P G A 9

東北地方太平洋沖地震では、女川原発、福島第1原発、東海第二原発で、当時の原発の基準地震動を超過した。

それぞれの強い揺れをもたらしたのは、それぞれ別々のSPGAである。

S P G A 4 → 女川原発

S P G A 7 → 福島第一原発

S P G A 9 → 東海第二原発

東北地方太平洋沖地震全体の震源はマグニチュードM9という巨大なものであるが、それぞれの地点での強い揺れをもたらしたのは、各地点の近傍での局所的な破壊であった（甲633野津証人調書26頁～）。

そして、「原発の耐震安全性を考える上で極めて重要な事項」は、「問題のパルス波は仙台市から見て150kmも沖合から来ているという点で」ある。

そして、同じようなパルス波の波源（SPGA）がもっと至近距離にあったとしてもまったくおかしくない、ということである。

SPGAモデル	SMGAモデル	甲536
東北地方太平洋沖地震をはじめとする海溝型巨大地震において特徴的な強震動パルスのパルス幅と調和的なサイズのサブイベント(SPGA)から構成される震源モデルであり、サブイベントのサイズは対象地震の場合一辺が数km程度.	より広い領域(対象地震の場合、一辺が数十km程度)からまんべんなく強震動が生成されるとする震源モデル.	

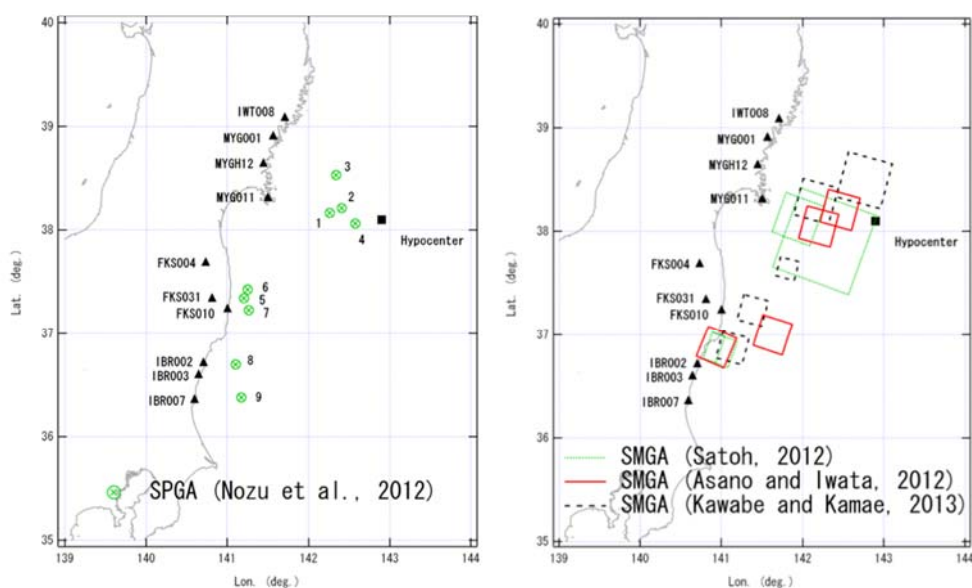


図12 2011年東北地方太平洋沖地震を対象としたSPGAモデルとSMGAモデルの比較

SMGAモデル(強震動予測レシピ)は、野津厚氏も認めているように、1995年兵庫県南部地震による土木構造物の大被害をもたらした周期1-2秒のパルス状の地震動を、断層面上に複数のアスペリティを置いた震源モデルを用いて再現した、極めて優れたモデルである(甲536野津意見書2頁)。

そして、野津厚氏が提唱したSPGAモデルは、強震動が断層面上の特定の部分で生成されるというSMGAモデル(強震動予測レシピ)の考え方に基づくものであることは共通している。その点では、野津厚氏のSPGAモデルは、これまでの地震学の知見をベースにしている。

問題は、1995年兵庫県南部地震のような内陸活断層による地震動を再現できたSMGAモデル(強震動予測レシピ)では、東北地方太平洋沖地震のようなM9クラスの巨大プレート間地震の地震動が再現できなかった、ということである。

SMGAモデルでは、断層全体の面積に対して強震動生成域（すなわちSMGA）の面積を一定割合となるように設定している（強震動生成域の面積を断層全体の12.5%としている）。そうすると、このモデルでは、断層全体の面積が大きくなればなるほど、強震動生成域（すなわちSMGA）の面積も大きなものを仮定するということになる（このような考え方を、スケーリング則という）。この結果、SMGAモデルでは、一辺が数十kmという大きな広がりを持つ面積で強震動が生成されるという仮定につながってしまっている（甲633野津証人調書53頁～、112頁～）。

これに対して、野津厚氏が提唱したSPGAモデルは、一辺が約3kmという小さな面積で強震動が生成されると仮定し、これによって、実際に観測された地震動がよく再現できている。

両者の差異は、強震動が生成される面積が、SMGAモデルでは一辺が数十kmという大きな広がりを持つ面積と仮定しているのに対して、SPGAモデルは一辺が約3kmという小さな面積を仮定している点である。

結局のところ、SMGAモデルは、1995年兵庫県南部地震のような内陸活断層による地震動の再現性は高かったが、東北地方太平洋沖地震のようなM9クラスの巨大プレート間地震による地震動の再現性は低かった。断層全体の面積が大きくなればなるほど、強震動生成域（すなわちSMGA）の面積も大きくなるというスケーリング則は、M9クラスの巨大プレート間地震においては成立していなかったということが、今回の東北地方太平洋沖地震の観測結果から判明したのである。

巨大な海洋プレート間地震である東北地方太平洋沖地震の地震動について、SMGAモデルを用いた再現は、あまたいる研究者の誰一人できなかつた（甲633野津証人調書41頁）、という事実を直視すべきである。

- ▶ 南海トラフの断層モデルパラメータの設定に当たって、全世界のプレート境界地震の震源断層モデルを調査した上で、調査結果の平均値よりも安全側に大きめの値となる断層パラメータが設定されている。

甲650

全体	面積(km ²)	110,150			
	応力パラメータ (MPa)	2.3			
各セグメント	平均すべり量(m)	7.6			
	地震モーメント(Nm)	3.4E+22			
	Mw	9.0			
	セグメント名	日向灘域	南海域	東海域	駿河湾域
強震動生成域 SMGA	面積(km ²)	19,053	53,790	29,419	7,888
	応力パラメータ (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)	4.5E+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-1	面積(km ²)	2,047	6,109	3,691	853
	面積比	11%	11%	12%	11%
	平均すべり量(m)	11.1	18.6	13.7	7.1
	地震モーメント(Nm)	9.3E+20	4.7E+21	2.1E+21	2.5E+20
	Mw	7.9	8.4	8.1	7.5
強震動生成域 SMGA-2	面積(km ²)	1,018	1,953	910	439
	応力パラメータ (MPa)	34.3	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 SMGA-3	面積(km ²)	1,029	1,815	914	415
	応力パラメータ (MPa)	34.3	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 SMGA-4	面積(km ²)		1,812	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 SMGA-5	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	
群衆領域	面積(km ²)	17,006	47,881	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
	減衰率(1/m ²)	4.1E+10	4.1E+10	4.1E+10	4.1E+10



これは、四国電力が想定したプレート間地震の断層モデルのパラメータである。四国電力は、断層全体の面積に対して強震動生成域（すなわちSMGA）の面積を11%ないし12%と一定割合となるように設定している。

これは、まさに、スケーリング則そのものであり、従前のSMGAモデルである。しかし、巨大海洋プレート間地震には、スケーリング則は成立していなかったことは、前述したとおりである。

したがって、四国電力の地震動想定は、過小評価となっている。

甲664 港湾の施設の技術上の 基準・同解説

(上 巻)

平成30年5月

SPGAモデルは、すでに多数の施設で実用
されて、用いられている。

甲658_管内のレベル2地震動作成について
河村哲哉、齊藤幸博、服部昌樹

甲659_管内防波堤耐津波安定性検証業務
名古屋港湾空港技術調査事務所

甲660_平成29年度業務概要_2017年_国土交
通省近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査
事務所

甲661_和歌山下津港海岸(海南地区)湾奥部
ゾーンにおけるL2地震動の設定について_寺本
健太郎

甲662_四国臨海部の液状化対策について
2013年_大川大一、福間正、高尾俊輝、小椋卓
実

甲663_漁港護岸の耐震・耐津波性能向上を
目的としたグラウンドアンカー工について_静岡
県土木施工管理技士会

64

このSPGAモデルは、港湾の施設の技術上の基準においては、すでに採用されているモデルである(甲664, 甲633野津証人調書114頁)。SPGAモデルは、単なる野津厚氏の学説ではなく、既に国交省の公の施設の技術上の基準に取り入れられている。もし、SPGAモデルがおよそ地震学のこれまでの知見と矛盾するとか、物理法則に反するというものであれば、国交省の基準に取り入れられるはずがない。港湾の施設の技術上の基準の策定過程では、当然、SPGAモデルのモデルとしての妥当性が、多数の専門家の関与のもとに、科学的・技術的に多方面から検討されている(甲664)。

そして、SPGAモデルは、すでに多数の施設で実用されて、用いられている。

甲658 管内のレベル2地震動作成について河村哲哉、齊藤幸博、服部昌樹

甲659 管内防波堤耐津波安定性検証業務名古屋港湾空港技術調査事務所

甲 6 6 0 平成 29 年度業務概要 2017 年国土交通省近畿地方整備局神戸港湾空港
技術調査事務所

甲 6 6 1 和歌山下津港海岸（海南地区）湾奥部ゾーンにおける L2 地震動の設
定について寺本健太朗

甲 6 6 2 四国臨海部の液状化対策について 2013 年大川大一，福間正，高尾俊
輝，小椋卓実

甲 6 6 3 漁港護岸の耐震・耐津波性能向上を目的としたグラウンドアンカー工に
ついて，静岡県土木施工管理技士会

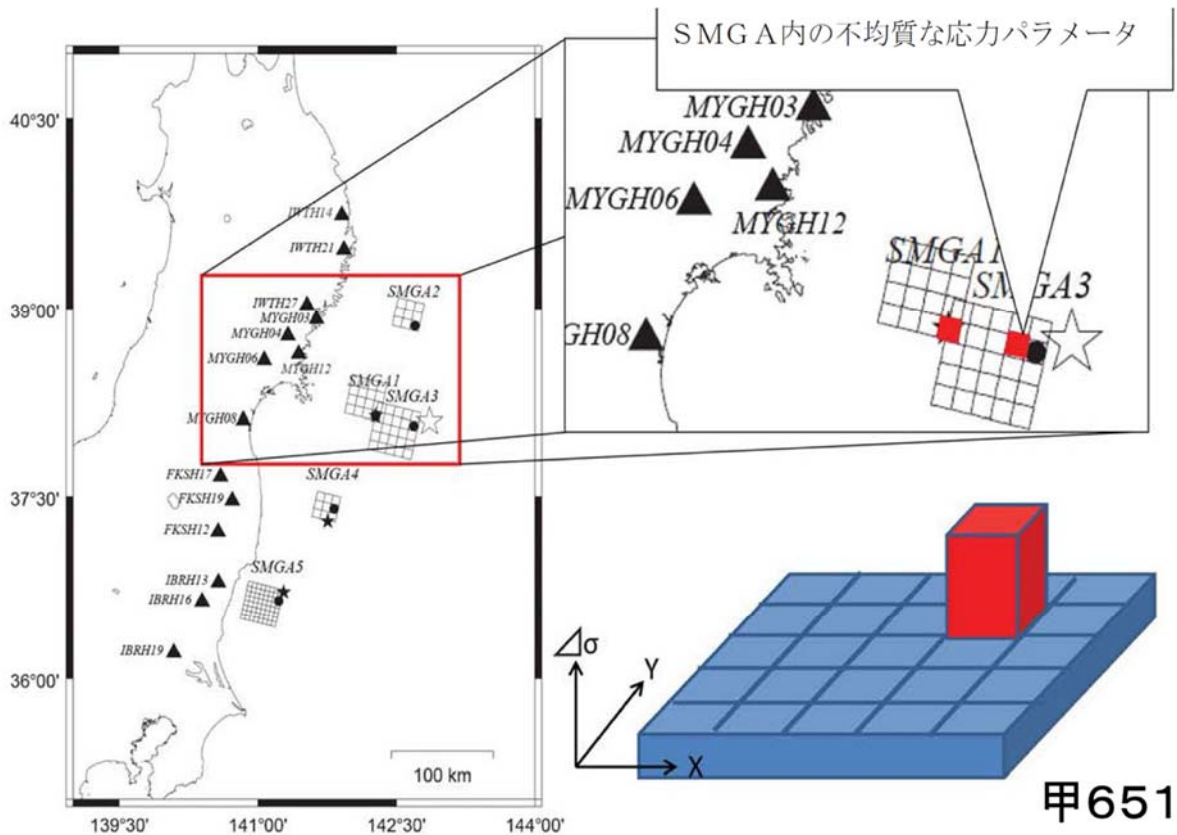


図17. (左) この研究で使用された短周期震源モデル。(右上) 強震動生成域1 (SMGA1) と強震動生成域3 (SMGA3) の拡大図。より高い応力パラメータが赤枠内に含まれる。(右下) 空間的に様々な応力パラメータを入力した不均質SMGAモデル。

野津厚氏のSPGAモデル以外に、東北地方太平洋沖地震の際に観測された強震動パルスを再現するためのモデルとして、倉橋・入倉2013 (甲651) の「不均質モデル」が提案されている。

図44のように、ノーマルの強震動予測レシピを基本として、その上で、SMGA内の小さなサブエリア内でより高い応力パラメータを持つ「不均質モデル」を使用すれば、このパルスを再現できる、とするものである。

この「不均質モデル」について、野津証人は、SPGAモデルと、非常に似た手法であること述べている。

「倉橋・入倉さんたちは、まずは、この図で言うところの、青い色で示されていますように、SMGAモデル、SMGAと呼ばれる、一辺の長さが50キロ、あるいは、それ以上あるようなモデルをまずは考えておられますけれども、ただし、

このSMGAモデルでは、先ほど御紹介したようなパルス的な波が計算できないということを、この倉橋さん、入倉さんたちの論文では、やはり問題視しておられました。そして、そのパルス的な波を計算するための方法の1つとして、この青い領域の中で地震動が一様に生成されるのではなくて、この青い領域の中で、今、赤い立方体、直方体で示されている部分があるかと思えますけれども、この部分だけ、ほかの部分よりも相対的に、まあ、局所的にといいますか、強い地震波を出すと、倉橋さん、入倉先生方がこういうモデルを考えておられまして、こういうモデルを考えると、宮城県内で観測されたような、先ほどのようなパルス的な地震波がきちんと再現されると。言い換えると、逆に、こういうモデルを考えなければ、一様なSMGAを考えてしまうと、実際に観測された波にならないということを、倉橋さん、入倉さんたちは論文の中で書かれております。」(甲633野津証人調書38頁)

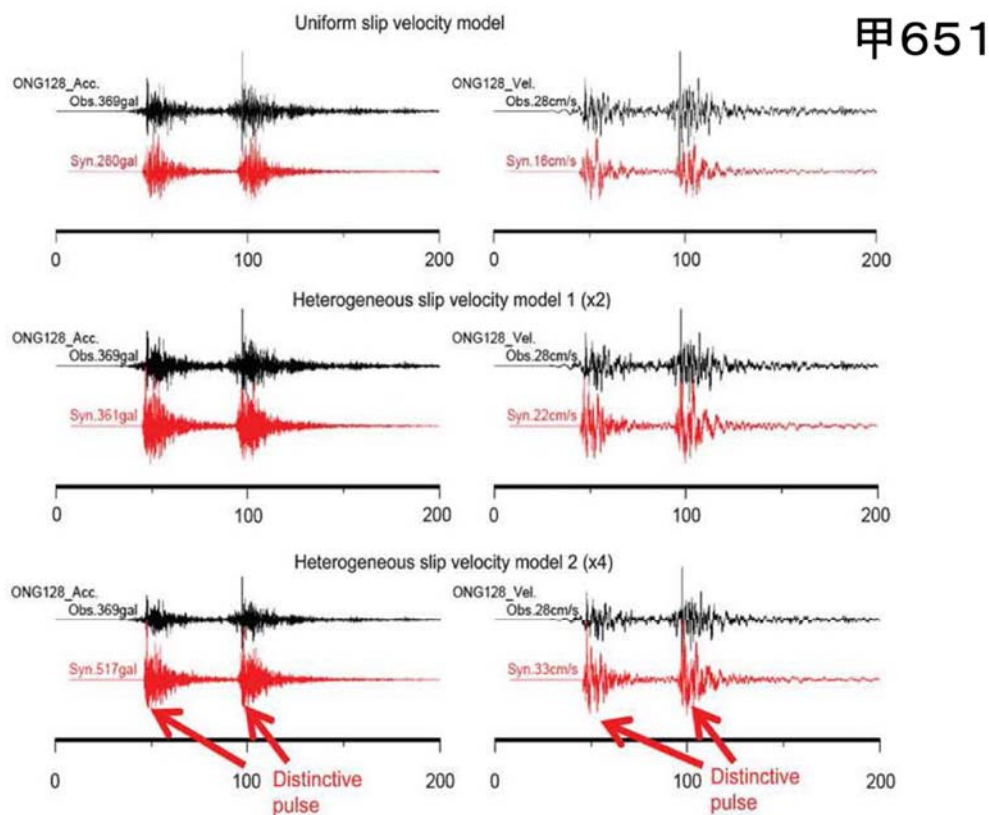


図 18. (ONG128 女川観測点での) 南北成分の速度の観測記録と合成記録の比較。均質なすべり速度モデル (上), 応力パラメータを 2 倍に増加させた不均質なすべり速度モデル 1 (中), 応力パラメータを 4 倍にした不均質なすべり速度モデル 2 (下)。(*訳注: 中段, 下段の不均質モデルで特徴的なパルス波が再現できている)

倉橋・入倉 (甲 6 5 1) で示されている再現モデルと, 野津証人が提案している S P G A モデルは,

「両者は非常に似た方法だというふうに考えておりました, この倉橋さん, 入倉先生たちのモデルでは, 青い部分と赤い部分がございますけれども, 主要な地震波は赤い部分から生成されております。そして, この赤い部分は面積が小さく, 私が提案している S P G A と非常に近いものだというふうに考えております。そして, 相対的に, その外側にある青い部分は, 地震動に対する寄与はそれほど目立たないという形になりますので, ですから, 正に, この入倉先生たちが提案されているモデルというのは, 私が提案している S P G A モデルと非常に近いものだというふうに考えております。また, 場所的にも, 今, この右上の地図で, 2 か所に赤い四角がプロットされているかと思っておりますけれども, この 2 か所の赤い四角というのは,

私のほうで提案しているSPGAの、SPGA1とSPGA4、それぞれに相当するものでありまして、沖合側がSPGA4、それから、海岸線に近いほうが、SPGA1に相当するものと。ですので、これらの2つの赤い領域の破壊を考えるとということが、私のモデルと非常に近い結果を与えていると思います。」（甲633野津証人調書39頁～40頁）

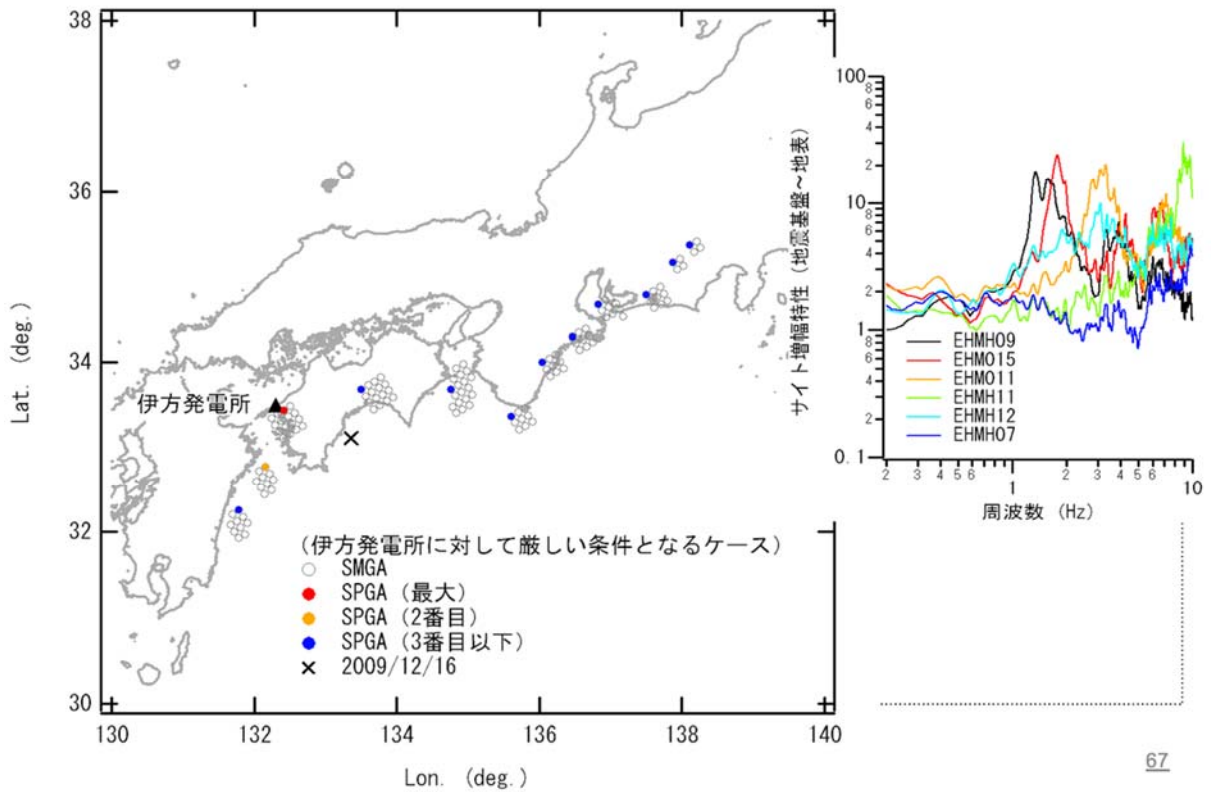
この「不均質モデル」は、我が国を代表する強震動地震学者であり、ノーマルの強震動予測レシピの生みの親である入倉孝次郎氏が提案しているものである。

すなわち、入倉孝次郎氏自身が、ノーマルなSMGAモデル（強震動予測レシピ）では、東北地方太平洋沖地震の波形は説明できないことを認めているものである（甲633野津証人調書39頁）。

被告が、あくまでSMGAモデル（強震動予測レシピ）に基づき地震動想定を行うというのであれば、SMGAで地震動が一様に生成されるのではなくて、その中において、相対的・局所的に強い地震波を出す領域があるという倉橋・入倉（甲651）の「不均質モデル」は、当然に検討しなければならない知見である。

しかし、四国電力は、「不均質モデル」について、まったく検討を行っていないし、検討しなくてもよい理由も示していない。

東北地方太平洋沖地震の知見を踏まえた伊方原発を襲う可能性のある地震動(1) 甲392野津意見書



以上のとおり、被告が用いたSMGAモデルによる伊方原発の基準地震動は、実観測記録を再現できていないという点で、伊方原発を襲う可能性のある地震動をカバーしているとはいえない。

したがって、この論点は、上記で決着している。

ゆえに、本来的には、原告側において、伊方原発を襲う可能性のある地震動について、さらなる主張・立証は不要であると思われる。

ただし、この点を明らかにすることにより、ノーマルなSMGAモデルを用いて策定された地震動がどの程度過小評価となっているか、について明確になるため、念のため、これらについて、原告側から積極的に述べる（ただし、本来、これらの主張・立証責任は、被告側にある）。

東北地方太平洋沖地震で観測されたパルス波の波源が、伊方原発の至近距離にあ

った場合の、地震動計算は以下のとおりである（甲 3 9 2 野津意見書・2 8 頁～）。

「(1) 四国電力自身が作成した平成 27 年 3 月 20 日付けの適合性審査資料『伊方発電所地震動評価について』（p. 9）でも、伊方発電所からプレート上面までの深さはわずか約 41km とされています。従って上述のようなパルス波の波源が原子力発電所直下のわずか 41km の位置に存在するというシナリオも、否定できません。

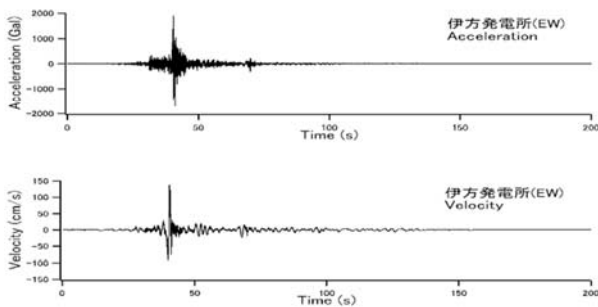
(2) その場合に想定される地震動を、手元で利用可能な情報のみを用いて試算してみました。ここではその算定手順と算定結果について述べます。なお、ここで行っている計算は、筆者が現時点で利用可能な情報のみに基づいていますが、四国電力から敷地における地震観測データや地盤データの提供があれば、より現地に即した計算を同様の方法で実施する用意が筆者にはあります。

(3) 計算手順の詳細は文献 28)（「南海トラフの地震（Mw9.0）を対象とした S P G A モデルによる強震動評価事例」）を参照していただければと思いますが、まず、図 16 に示すとおり、内閣府の S M G A モデル（陸側ケース）を出発点とし、四国における西側の S M G A を、想定震源断層から外れない範囲で可能な限り伊方発電所に近づけます。四国電力による平成 27 年 3 月 20 日付けの適合性審査資料『伊方発電所地震動評価について』（p. 9）でも、伊方発電所の直下におけるプレート境界は中小微小地震の発生している領域に当たっていることから、この位置に S M G A が位置する可能性は否定できません。

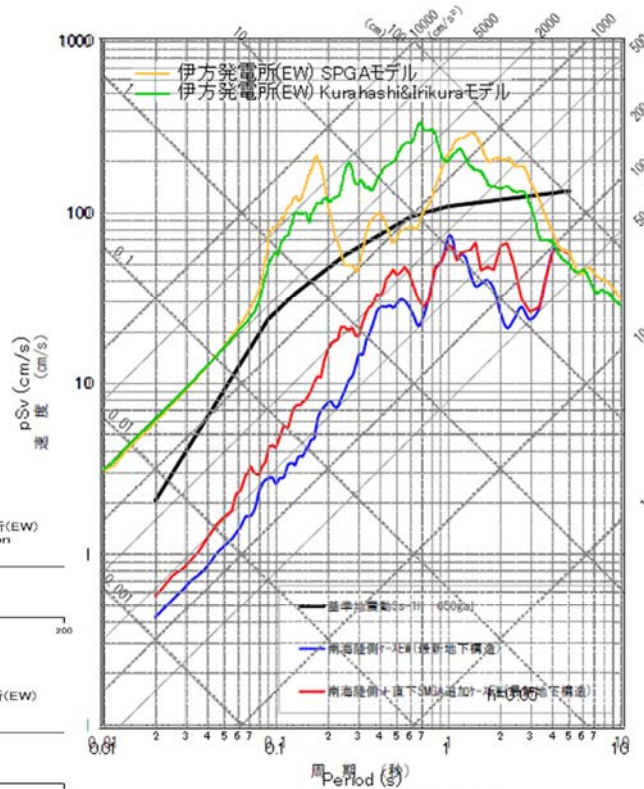
(4) 次に、各 S M G A を構成する小断層の中で最も伊方発電所に近いものを選び出し、そこに S P G A を配置します。このとき配置する S P G A のパラメーターは、東北地方太平洋沖地震の地震動の再現に成功したパラメーターとします。ただし、東北地方太平洋沖地震の S P G A モデル（図 5）を構成する各 S P G A のうち、最も強力な S P G A 4 を図 16 の赤の位置におき、2 番目に強力な S P G A 1 を図 16 の黄色の位置におきます。地震動の計算手法は、東北地方太平洋沖地震による地震動の再現に成功したのと同様の手法¹⁴⁾¹⁵⁾を用います。ただし、経験的サイト増幅特性は、伊方発電所の敷地における地震観測記録を筆者は入手できていないため、伊方

発電所の敷地における地盤が堅固であることを考慮し、図 17 に示す EHMH07 の地点での経験的サイト増幅特性²⁹⁾を用いました。またサイト位相特性としては 2009 年 12 月 16 日の地震における EHMH07 の記録を用いました。」

**東北地方太平洋沖地震の知見を踏まえた伊方原発を襲う可能性がある地震動(1)
最大加速度1900ガル
最大速度138カイン**



甲392野津意見書30頁



甲642野津意見書(6)
EW方向

図47の左下は、その加速度波形と速度波形である。最大加速度は約1900Gal、最大速度は約138cm/sとなり、地盤条件が良いにもかかわらず、SPGAからの最短距離が小さいために、加速度、速度ともに大きな値を示している。

図47右側は、この計算結果(黄色の線)を四国電力が策定した基準地震動と比較できるように、四国電力が作成した応答スペクトル図(青色の線が南海陸側、赤色の線が南海陸側+直下、黒色の線が中央構造線の基準地震動に重ね書きしたものである。

「周期にもよりますが、この図は対数表示ですので、四国電力の基準地震動と比較すると、加速度でも、速度でも、数倍大きな地震動となることが分かります。」(甲642野津意見書(6))

「図の緑の線は、Kurahashi&Irikura(2013)のモデルによる計算結果です。これは、

同じ位置に Kurahashi&Irikura (2013) の SMG A3 を置き，SMG A内の不均質性を考慮した場合の結果であり，SMG A3 内で高い応力パラメータを持つ部分を図 16 の赤の位置におき，走向と傾斜は南海トラフのものに合わせています。」

「この結果から，Kurahashi&Irikura の SMG A3 を伊方発電所に近い位置に置いた場合は，やはり基準地震動を大きく上回る地震動になります。」（甲 6 4 2 野津意見書（6））

「近い将来の発生が懸念される南海トラフ巨大地震において，このような地震動が伊方発電所を襲う蓋然性は否定できず，万が一このようなシナリオが現実のものとなった場合，福島第一原発事故のような事態が再来することが考えられます。」

（甲 3 9 2 野津意見書 3 0 頁）

東北地方太平洋沖地震の知見を踏まえた伊方原発を襲う可能性のある地震動(2) 甲642野津意見書(6)

岩波・科学 野津(2017)

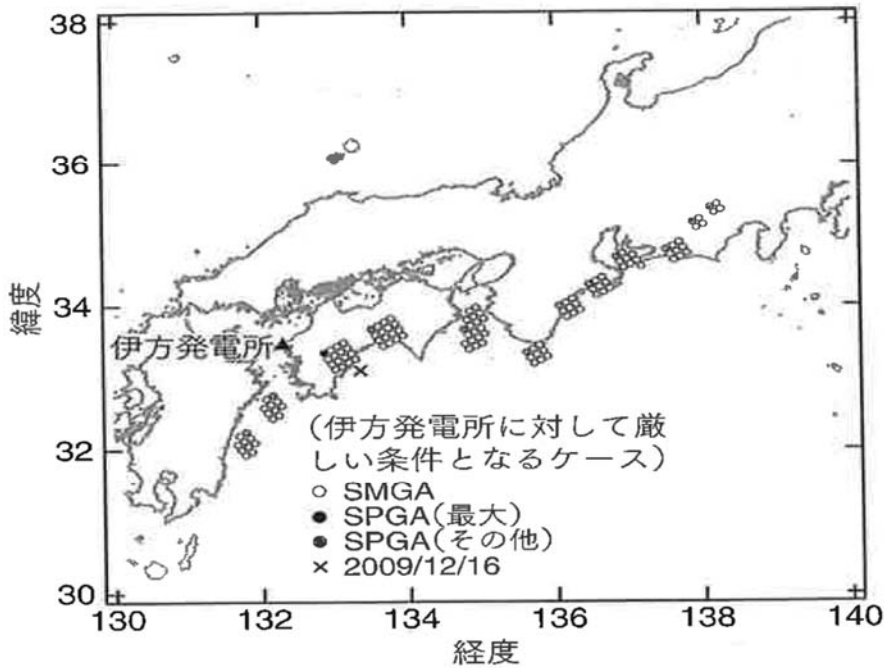


図8—内閣府¹⁴⁾の陸側ケースのSMGA(白丸)内に設定したSPGAの位置(黒丸または灰色の丸)
黒丸は最大のSPGAを、灰色の丸はその他のSPGAを示す。

69

これは、別の考え方で、東北地方太平洋沖地震の知見を踏まえた伊方原発を襲う可能性のある地震動を示したものである。

これも、内閣府による南海トラフ巨大地震のSMGAモデル(陸側ケース)を出発点とするところは共通である。

上述したSPGAモデルによる地震動(最大加速度約1900Gal, 最大速度約138cm/s)は、四国における西側のSMGAを、想定震源断層から外れない範囲で可能な限り伊方発電所に近づけて計算したものである。

これに対して、岩波・科学の野津(2017)に記載したSPGAモデルによる地震動(最大加速度約1066ガル)は、SMGAモデル(陸側ケース)を前提として、「各SMGAを構成する小断層の中で最も伊方発電所に近いものを選び出し、そこにSPGAを配置」したものである。

東北地方太平洋沖地震の知見を踏まえた伊方原発を襲う可能性がある地震動(2)
最大加速度1066ガル

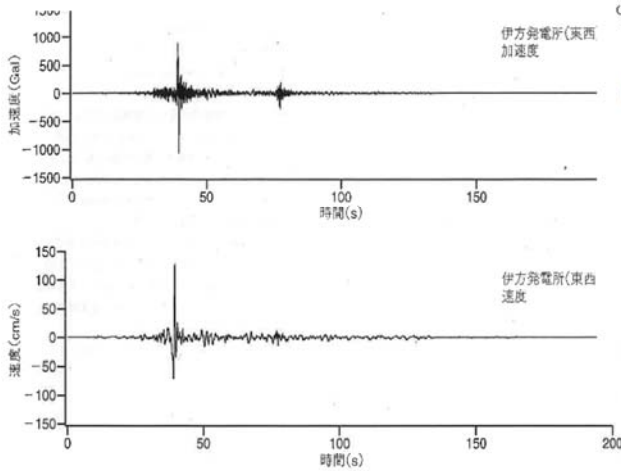
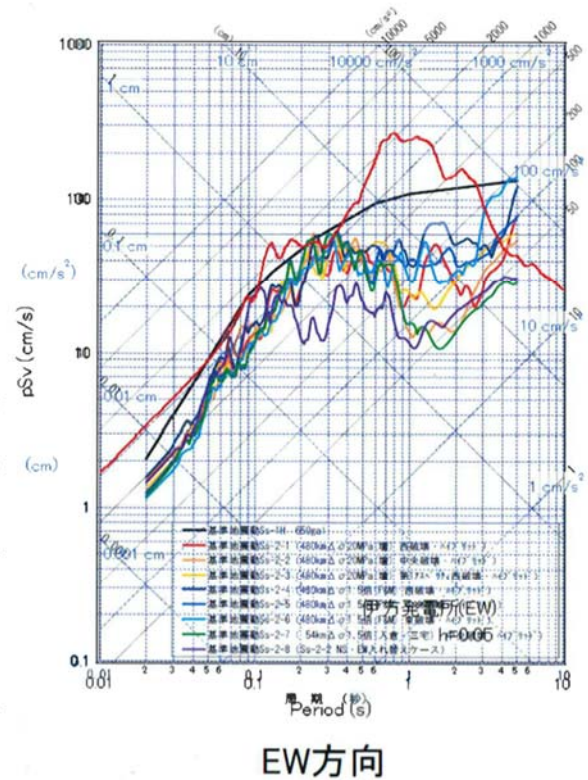


図10-1 加速度波形および速度波形の試算結果



EW方向
甲642野津意見書(6)

その結果によっても、やはり基準地震動を大きく上回る地震動になっている（右図応答スペクトルの赤の実線）。