

平成 23 年(ワ)第 1291 号.平成 24 年(ワ)第 441 号.平成 25 年(ワ)第 516 号

伊方原発運転差止請求事件

原 告 須 藤 昭 男 外 1001 名

被 告 四国電力株式会社

準備書面(1 6)

2014年 2月 17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

原告ら訴訟復代理人

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

長沢意見書に基づく主張

長沢啓行大阪府立大学名誉教授の「伊方原子力発電所の耐震安全性は保証されていない」(甲第107号証)に基づき、以下の通り主張する(括弧内の数字は意見書の該当頁である)。

第1 「要旨」(1～2頁)

伊方原子力発電所の耐震設計において、四国電力による地震動過小評価には目に余るものがあるが、伊方3号炉の1984年設置変更許可申請書以降の四国電力による地震動過小評価への批判を通して、それを具体的に明らかにする。

- 1 第1に、四国電力は、当初、敷地前面海域の断層群25kmの地震動評価結果をベースに設計用基準地震動 S_2 を設定していたが、高知大学の岡村教授の調査で「この断層群が1万年前以降に活動しており、基準地震動 S_1 の対象である」ことが判明したことから、1997年に基準地震動を見直した。その際に、「 S_1 を従来の S_2 に引き上げ、 S_2 を更に余裕を持って引き上げる」べきところ、同じ断層群の中で、「46kmを S_1 対象、より短い25kmを S_2 対象」とし、「 S_1 を少し引き上げて S_2 を変更なし」とする作為的過小評価を行った。
- 2 第2に、1997年の基準地震動再評価時に、四国電力は、日本国内と北西アメリカとで断層パラメータに大きな違いがあることを認識していたが、同じ断層面積では地震規模が1/3程度に小さくなる北西アメリカの経験式を用いて地震動を過小評価した。その後も、国内と海外とで地震データの断層パラメータに食い違いがあることが示されたにもかかわらず、四国電力等はこれを無視し、海外地震データに基づいて地震動を過小評価し続けた。
- 3 第3に、2003年の地震調査研究推進本部による中央構造線断層帯の長期評価結果を受け、四国電力は、130kmモデルの地震動評価を行ったが、断層平均応力降下量を無限長垂直横ずれ断層モデルで過小評価し、地震動を過小評価した。
- 4 第4に、2006年耐震設計審査指針改定を受け、四国電力は、2008年にバックチェック中間報告を出し、断層モデルのレシピと耐専スペクト

ルによる地震動評価を初めて行ったが、いずれも地震動を過小評価した。

① 北米中心の地震データに基づく断層モデルのレシピを国内の活断層にそのまま適用すると地震規模が過小評価されることを知りつつ、それを適用し、地震調査研究推進本部が広く用いている松田式で求めた地震規模より $1/2 \sim 1/5$ 程度に小さく設定した。さらに、応力降下量を楕円クラックモデルで過小設定し、断層モデルのレシピから更に過小となるように地震動評価を行った。130kmモデルでは、カスケードモデルを用いて地震規模を過小算定し、規制当局から通常のスケールリング則に基づいて評価するよう指示された際には、応力降下量を楕円クラックモデルから無限長垂直横ずれ断層モデルに切り替えて、地震動を過小評価した。

② 耐専スペクトルでは、松田式で地震規模Mを求めるべきところ、断層モデルの地震規模 M_0 を用い、更に、簡略化した M_0-M 換算式を用いてMの値を $1/4$ 程度に過小算定し、地震動を大幅に過小評価した。

5 第5に、四国電力は、2013年の伊方3号炉設置変更許可申請書では、敷地前面海域の断層群54kmを基本モデルとしたが、耐専スペクトルでは、2008年バックチェック時に1.5倍の震源特性を考慮するため内陸補正をしなかったにもかかわらず、内陸補正を行って地震動を過小評価し、54km・90度モデルは適用範囲外として採用しなかった。

この点について、四国電力が参考値として示した54km・90度モデルや69km・90度モデルの耐専スペクトルによれば、1.5倍の震源特性を考慮した(または内陸補正を行わない)耐専スペクトルが基準地震動 S_s を大きく超えることを明らかにした。また、断層モデルでも、松田式で地震規模を算定し、楕円クラックモデルの適用をやめ、スラブ内地震を要素地震に用いた問題点を補えば、地震動が基準地震動 S_s を遥かに超えることを明らかにした。

6 第6に、四国電力は、2013年申請時に、480km連動ケースを基本モデルとして再検討しているが、そこで断層モデルとして用いられた壇らのモデルと傾斜ケースで用いられた Fujii-Matsu'ura の問題点を指摘し、国

内の地震データに基づいて適用すべき断層モデルを構築し直さなければならぬことの証左であることを明らかにした。また、壇らは、応力降下量を $\Delta \sigma = 3.4 \text{ MPa}$, $\Delta \sigma_a = 12.2 \text{ MPa}$ と導き、四国電力はそのまま用いているが、これは、過小評価であり、 $\Delta \sigma = 4.3 \text{ MPa}$, $\Delta \sigma_a = 19.5 \text{ MPa}$ とすべきことを明らかにした。また、傾斜ケースについても、四国電力は、応力降下量を $\Delta \sigma = 3.1 \text{ MPa}$ としながら、断層モデルのレシピアに従うのであれば $\Delta \sigma_a = 3.1 / 0.22 = 14.4 \text{ MPa}$ とすべきところ、アスペリティ面積を大きく設定し、 $\Delta \sigma_a = 3.1 / 0.276 = 11.2 \text{ MPa}$ と意図的に小さくしていることを明らかにした。

- 7 最後に、2008年岩手・宮城内陸地震の地下で1000 gal を超える地震波を解放基盤表面はざとりに波に換算すれば2000 gal 程度にもなり、伊方原発は耐えられないことを示した。

断層モデルの妥当性は、結局、実際の地震データで検証するしかないが、巨大な地震が起きてからでは取り返しがつかない。フクシマ事故を教訓とし、予防原則の立場に立ち、起こり得る最大規模の地震動を想定し、耐えられない原発は閉鎖すべきである。

伊方原発はその最たるものである。

第2 「1 緒言」(2～3頁)

- 1 四国電力は、伊方原発の地震動を過小評価してきた。その手口は実に多彩であり、時に乱暴であり、他の電力会社が採用しない方法を大胆に導入してきた。
- 2 断層モデルでは、日本国内の地震データに基づくのか、北米中心の地震データに基づくのかで結果に大きな差が出る。

国内データへの回帰式としては、断層長さから地震規模を求める松田式があり、地震調査研究推進本部の活断層長期評価で広く使われている。

Shimazaki の式や武村の式もあり、これらの間には大差はない。

他方、北米中心データへの回帰式としては、Somerville et al.(1999) 及び入倉らの式があるが、断層長さではなく断層面積から地震規模を算出している。ところが、国内データでは断層幅が約13 kmと短く、北米中心

データでは16.6 kmと長い。そのため、同じ地震規模でも、北米中心データでは断層面積が広く、国内データでは断層面積が狭い。日本国内の地震ではより狭い震源断層面から大きなひずみエネルギーが放出されていることになる。つまり、地震規模をはじめ応力降下量などの重要な断層パラメータの値が北米中心データとは異なるのである。その象徴となるのが、松田式による地震規模と入倉式など断層モデルによる地震規模の食い違いである。

この問題は、Somerville et al.(1993)によって具体的に問題提起されたものの、それ以後、武村や入倉らが再提起しながら、再検討されないままに放置されてきた。これが、今日の断層モデルによる地震動過小評価の核心である。

このSomerville et al.(1993)の論文に最初に触れた電力会社が四国電力ではないかと思われ、四国電力は、1997年の基準地震動再評価時の断層モデルによる地震動評価の際に、国内データと北西アメリカのデータの間明らかに大きな食い違いがあることを認識していた。そして、北西アメリカの地震データへの回帰式を用いて地震動を過小評価した。その後の四国電力の地震動過小評価はすべてこの延長線上にある。

- 3 ところが、480 km連動モデルを基本モデルとして地震動評価せざるを得なくなり、国内データに適合する壇らのモデルを持ち出した。地震動過小評価にとって都合のいいモデルをピックアップし、適当につきはぎする、四国電力らしい、いつものやり方である。
- 4 また、旧来の大崎スペクトルに替わって作成された耐専スペクトルは、国内地震データに基づいて地震動を推定する経験式だが、11年前に発表された時点では地震観測記録が少なく、適用範囲が狭かった。ところが、1995年の阪神・淡路大震災を契機に強震観測網が拡がり、震源近傍の地震データが収集されてきた。これらに基づいて耐専スペクトルを再構築すれば、地震動を過小評価できなくなる可能性が出てきた。そこで電力会社が採った地震動過小評価方策は、「適用範囲外なので耐専スペクトルは用いない」という「適用除外」路線、及び「最近20年間の地震データを用

いて耐専スペクトルを再構築するようなことはしない」という「現状放置」路線である。

- 5 本意見書では、伊方3号炉の1984年設置変更許可申請書以降、四国電力がどのようにして地震動を過小評価してきたのかを跡付け、批判する。そして、最近20年間の国内地震データに基づいて断層モデルや耐専スペクトルを再構築すれば、地震動評価結果が現在の基準地震動 S_S を大きく超えることは間違いないこと、2007年新潟県中越沖地震や2008年岩手・宮城内陸地震の観測記録は基準地震動 S_S を遥かに超えること、これらを考慮すれば、伊方原発は閉鎖する以外にないことを具体的に明らかにする。

第3 「2 1984年設置変更許可申請と1997年基準地震動再検討」(3～7頁)

- 1 四国電力は、1984年の伊方3号炉設置変更許可申請書において、敷地前面海域の46kmの断層群について、小林・翠川(1981)の手法を用いて解析を行った結果、断層端から破壊が始まり敷地をわずかに過ぎたところで破壊が終了する25kmモデルが、敷地において最大の短周期地震動を与える結果となったとして、この25kmモデルの解析結果を包絡するように最大加速度473galの基準地震動 S_2 を設定したと説明している。
- 2 小林・翠川の手法によれば、周期0.1秒付近の応答スペクトルでは、疑似応答速度は、断層長さ46kmで最も小さく、11km、27km、25kmの順に大きくなり、25kmで最大となっている。46kmを超える断層長さに対する解析が1997年に行われているが、その結果、46km、55km、77kmと断層長さが長くなるにつれて疑似応答速度も増加している。上述したように、46km以下では、上記46kmを超える断層長さの場合とは逆に、断層長さが短くなるほど疑似応答速度が増加している(11kmでは激減)のは、小林・翠川の手法におけるパラメータ設定の特殊性によるものと考えられる。
- 3 ところが、岡村眞(1996)が、伊予灘西断層系(27km)と伊予灘東断層系(28km)は最新活動時期が1万年以降でA級活動度の活断層であり、 S_1 対

象の活断層であることを調査で明らかにした。

- 4 これを受けて、四国電力は、「自主保安の観点から安全評価上は当該断層群を基準地震動 S_1 とみなすことにした」のである。その結果、大きな問題が生じた。というのは、基準地震動 S_1 は、弾性設計用に想定される最強地震に対応したものであるのに対し、基準地震動 S_2 は、耐震設計上重要な建物・構築物や機器・配管等の安全機能維持確認用に想定される限界地震に対応したものであるので、 S_1 の方が S_2 よりも小さい。従来 S_2 としてきたものを S_1 とした場合には、これよりも大きい S_2 を設定しなければならないのである。

- 5 そこで、四国電力が考え出した理屈が次のようなものであった。

「断層の連続性、断層の存在位置、断層の形態的特徴、活動時期、深部地質構造を考慮して再評価した結果、1984年の評価同様、46kmを一連のセグメントとするのが妥当と評価されたため、これを基準地震動 S_1 対象とした。一方、基準地震動 S_2 対象としては、1984年の評価において、46kmの断層分布範囲の中で感度解析を実施し、敷地に及ぼす地震動が最大となるケースを抽出した。したがって、これを上回るケースは考え難いが、岡村教授等の指摘も踏まえ、工学的見地から各種の長さ（11, 25, 27, 46, 55, 77km）を設定した。」

- 6 上記文面だけ見れば、 S_1 対象として46kmモデルを採用し、 S_2 対象として11～77kmモデルを考慮するから、 S_2 の方が広い範囲を取っているように見える。

しかし、上述したように、小林・翠川による手法で解析した結果から言えば、11～77kmモデルの内、25kmモデルが最大、46kmモデルが最小の短周期地震動になるから、25kmモデルを S_2 、46kmモデルを S_1 に設定したということになる。 S_1 も S_2 も同じ敷地前面海域の断層群を対象にしていながら、 S_1 より S_2 の方が想定する断層長さが短いことになるが、これは科学的に納得できるであろうか。25kmモデルは、何故46kmモデルに包含されないのか。それを科学的に説明できる理屈は存在しない。

- 7 ところが、当時の安全規制当局は、これを妥当と判断し、 S_2 を変えること

なく、小林・翠川の手法による46kmモデルの解析結果を包絡するように、 S_1 を221galから350galへ改定するだけで妥当としたのである。

- 8 伊方原発の耐震安全性は、四国電力による御都合主義的な理屈で積み上げられた虚構の上に成り立っており、原子力安全規制当局は、これまでそれを無批判にそのまま飲み込んできたといえる。国会事故調が嘆いた「規制の虜」とは、正にこのことであろう。

第4 「3 2001年のアスペリティを考慮した非一様断層モデルの評価」(7～8頁)

- 1 四国電力は、1997年の基準地震動再評価時に一様断層モデルを用いた波形合成法による地震動評価を行ったが、同時に、断層長さ46kmのモデルについては、アスペリティを考慮した非一様断層モデルについても検討していた。この非一様断層モデルは、2001年に、Fukushima et al.及び高橋らによって報告されている。
- 2 この一様断層モデルと非一様断層モデルとでは、断層長さが同じ46kmモデルではあっても、断層幅、地震モーメント、断層平均すべり量が全く異なっている。敢えて両者を比較すれば、アスペリティを考慮した非一様断層モデルでは、アスペリティの平均応力降下量が断層平均の2倍になっているため、一様断層モデルより断層面積が小さいにもかかわらず、短周期側で地震動が大きく評価されている。図7では、周期0.1秒付近で、設定し直した基準地震動 S_1 のグラフ(Designと記された太い点線の折れ線グラフ)に接するほどである。また、周期0.02秒の応答値(解放基盤表面での地震動の最大加速度に対応する)も大きくなっている。
- 3 このことから、アスペリティの面積、平均応力降下量、平均すべり量などのパラメータ設定が地震動評価において極めて重要であることが分かる。これらのパラメータとの関連で、断層全体の面積、地震モーメント、平均応力降下量、平均すべり量などマクロなパラメータ設定が重要になる。このパラメータ設定が過小評価されていれば、地震動評価結果は過小評価されることになる。
- 4 四国電力は、1997年の地震動再評価時に、Somerville et al.(1993)

の論文を引用し、北西アメリカの12の地震の地震データから得た式 $S = 2.05 \times 10^{-1.5} M_o^{2/3}$ で M_o を求め、アスペリティと背景領域については、 $M_{oa} = \mu DaSa$ と $M_{ob} = M_o - M_{oa}$ の式より求めている。ところが、上記 Somerville et al.(1993)の論文は、日本国内の8の地震データから $S = 1.09 \times 10^{-1.5} M_o^{2/3}$ という別の関係式をも導き出した上、次のように記している。

「日本の地殻内地震の断層面積は北西アメリカの地震の0.53倍であり、平均すべり量は1.86倍大きく、対応する日本の地殻内地震の静的応力降下量は平均で北西アメリカの地震の2.6倍大きい。日本の Slip Constant Ratio の平均は1.57であり、アスペリティの破壊面積の合計は断層全体面積の42%を平均で示している。北西アメリカではそれぞれ1.875と26%である。このことは、日本の地殻内地震はすべり量のコントラストが小さいアスペリティで、より広い領域が覆われていることを示す。アスペリティの絶対面積は、日本の地震と北西アメリカの地震で大きな差はない。即ち、日本の地殻内地震は北西アメリカの地震とほぼ同じ大きさのアスペリティを持っているが、すべり量の小さい領域は少ない。つまり、破壊領域全体の面積は小さい。すべり継続時間は、平均して、3.6倍日本の地殻内地震の方が北西アメリカの地震より大きい。」

- 5 ところが、四国電力は、これを知りながら、同じ断層面積では地震規模が1/3程度に小さくなる北西アメリカの経験式を用いて地震動評価を過小評価したのである。
- 6 当時は国内地震観測記録も少なかったが、1995年の兵庫県南部地震による阪神・淡路大震災を契機に、強震観測系の全国ネットワークが構築されるに伴い、M7クラスの地震観測記録が次々ととられ、震源近傍の観測記録さえ入手可能になってきた。ところが、四国電力等は、これを無視し、海外地震データに基づいて地震動を過小評価し続けたのである。重大事故につながる可能性の高い原発耐震設計で、矛盾を知りつつ、地震動を過小評価し続けることは許されない。
- 7 付言すれば、表7および表8では、断層幅を断層長さの1/2と設定してお

り、断層長さが40kmを超えると断層幅は20kmを超え、断層長さ46kmで断層幅が23km、断層長さ55kmで断層幅が27.5kmと設定されている。しかし、垂直横ずれ断層の場合には、断層幅がコンラッド面(上部地殻)の深さである約20kmを超えることはなく、内陸地殻内地震の垂直横ずれ断層に $W(\text{断層幅}) = L(\text{断層長さ}) / 2$ の関係式を機械的に適用するのは間違いである。

第5 「4 2001年中央構造線断層帯の長期評価に伴う2003年中間報告」
(8～9頁)

- 1 地震調査研究推進本部地震調査委員会が、2003年2月12日に、「中央構造線断層帯(金剛山地東縁—伊予灘)の長期評価について」を発表し、「石鎚山脈北縁西部の川上断層から伊予灘の佐田岬北西沖に至る区間が活動すると、マグニチュードが8.0程度もしくはそれ以上の地震が発生し、その際に2～3m程度の右横ずれが生じる可能性がある」とし、また、金剛山地東縁から伊予灘に至る5つの区間、全長360kmが「同時に活動する可能性を否定できない」としたことから、四国電力は、石鎚山脈北縁西部—伊予灘の130kmおよび全長360kmの地震動評価を行った。
- 2 その結果は、図8および図9のとおり、基準地震動 S_2 を超えないとするものであり、原子力安全・保安院も「四国電力の評価は問題ないものと考える」とした。
- 3 しかし、四国電力の評価は、以下に述べるように、大いに問題のあるものであった。四国電力は、図8は1997年の評価結果と同じだとしている。図8について、1997年の図5および図6と対比すると、確かに波形合成法による評価結果は全く同じだが、小林・翠川の手法による評価結果は図8の方が小さくなっている。より長い断層帯である130kmと360kmを評価した図9の小林・翠川の手法による評価結果は、図8よりは大きい。図6の25～77kmのどの結果よりも小さい。図8にも25kmモデルの結果が薄い線で描かれているが、明らかに図6の25kmモデルの結果(周期0.1秒の疑似応答速度 pSv が一番大きい細線のグラフ)より小さい。この違いについて、四国電力はきちんと説明すべきである。

- 4 また、波形合成法の結果についても、図8と図5を比べると、周期0.1秒付近を除いて130kmモデルの結果の方が27～77kmモデルの結果よりも小さくなっている。130kmの断層モデルのパラメータは表9のとおりであり、77km以下の一様断層モデルのパラメータは表8のとおりだが、その差が一番目立つのは断層平均応力降下量 $\Delta\sigma$ である。 $\Delta\sigma$ は、後者が5.0MPaであるのに対し、前者は2.55MPaでしかない。四国電力は、断層モデルのレシピを使うと、 $\Delta\sigma = 4.3\text{MPa}$ になり、アスペリティ平均応力降下量も $\Delta\sigma_a = \Delta\sigma / 0.22 = 19.5\text{MPa}$ と大きくなってしまったため、わざわざ無限長垂直横ずれ断層モデルの場合の応力降下量を適用して2.55MPaにおさえ、アスペリティ平均応力降下量も11.6MPaにおさえたのである。その結果、図7および表9の断層長さ46kmの非一様断層モデルの結果と比べても、小さな結果となっている。
- 5 断層幅が頭打ちになった飽和断層のスケーリング則によれば、断層長さ80～100km程度までは、断層面積の二乗に比例して地震規模が大きくなり、応力降下量も大きくなり、地震動が大きくなる。しかし、四国電力による130kmモデルの解析結果はそうになっていない。それは、四国電力が、断層モデルのスケーリング則に従うような姿勢を示しながら、実際には、応力降下量の設定に無限長垂直横ずれ断層モデルを持ち出すなど、御都合主義的なパラメータ設定をしているからである。
- 6 また、四国電力は、図10で、断層長さが長くなっても地震動評価結果は変わらないと説明しているが、長大な断層では、破壊伝播速度が非常に大きくなる場合があり、そうなれば地震波が重なって大きな地震動になる可能性がある。このことは、2013年10月30日の原子力規制委員会の審査会合において指摘され、四国電力の宿題とされた。

第6 「5 耐震設計審査指針改定に伴う2008年中間報告」(9～23頁)

- 1 2006年9月19日、原子力安全委員会は、耐震設計審査指針を大幅に改定した。地震動解析手法に関しては、それまでの大崎スペクトルが耐専スペクトルに置き換えられ、断層モデルによる評価が正式な手法として組み込まれた。耐震設計で考慮すべき活断層や基準地震動の定義が大きく変

- わったこともあり、既存の原子力発電所にもバックチェックがかけられた。
- 2 2008年3月28日、四国電力は、バックチェックの中間報告を原子力安全・保安院に提出した。その地震動評価結果は、図23および図24のとおりであり、結果として、図25および図26の基準地震動 S_s が設定された。図23および図25には、破線で旧基準地震動 S_2 が新基準地震動 S_s に沿うように描かれているが、新基準地震動 S_s は、原発にとって重要な周期0.03～0.5秒で、旧基準地震動 S_2 と殆ど変わっていない。四国電力は、この中間報告で、初めて断層モデルのレシピを本格的に適用し、また、耐専スペクトルも初めて適用した。
 - 3 四国電力は、中間報告で、敷地前面海域の断層群の長さを42kmとし、それまでの46kmより短く設定していたが、原子力安全委員会の審議会で指摘され、震源断層の基本モデルを54kmとし、断層長さ69kmまでの不確かさを考慮することになった。震源断層の基本モデルをどのように設定するかは、それ自身として重要であるばかりか、基本モデルを中心として不確かさの考慮を行うため、とりわけ重要であるが、最終的には是正されたとはいえ、四国電力が、基本モデルを過小設定していた事実は重大である。
 - 4 断層モデルのレシピでは、断層面積から地震規模を求めており、地震調査研究推進本部地震調査委員会(推本)の活断層長期評価では断層長さから松田式で地震規模を求めている。北西アメリカの地震データと日本国内のデータには大きな違いがあることは上述した通りであるが、断層モデルのレシピは、北西アメリカのデータに多くを依拠しているため、断層モデルによる地震規模は活断層長期評価と比べて1/2～1/5に過小評価されている。これは、四国電力に限ったことではなく、レシピそのものに含まれる問題点ではあるが、地震規模が小さく設定されれば、地震動評価も過小評価されることになり、極めて重要な問題である。
 - 5 そのようなことから、2008年4月11日、レシピが大きく修正されたが、この修正レシピも、現実の震源断層とは別に仮想モデルとして断層幅や断層長さを長くし、断層面積を少し増やしてレシピを適用するという折衷的なものに過ぎず、決して科学的とはいえないし、断層面積を非現実的

に拡大しすぎることにより、地震動を過小評価している可能性もある。阪神・淡路大震災以降、M7クラスの多くの地震が強震観測計で記録されており、地震動解析も進んでいる。最も科学的な方法は、これらのデータを集約して、日本国内に適用できる断層モデルの設定法を開発することであろうが、それが行われていない。

- 6 2006年の中央防災会議の専門調査会では、国内の主要活断層に対し、将来起こりうる地震の規模を推定するため、各種推定式を適用して図20の結果を得た。これによると、武村(断層面積)、武村(断層長さ)、Shimazaki, Fujii-Matsu`ura, Irikura et al.(入倉式)の順で地震規模が小さくなり、断層モデルで使われている入倉式で最も小さい地震規模になることは明白である。このようなことから、上記専門調査会では、独自に回帰式を作成したが、国内地震データに回帰させているため、その推定結果は、武村(断層長さ)やShimazakiの結果とほぼ同じとなっている。
- 7 表10~表15には断層モデルのレシピに基づく断層パラメータ及び四国電力が独自に設定した断層パラメータを示すとともに、断層長さの行に、松田式で求めた地震規模をM(気象庁マグニチュード)で示し、この地震規模に対し断層モデルのレシピを適用した結果も記載した。さらに、修正レシピを適用した結果も、表16~表18に示してある。これらを比較すれば、断層モデルのレシピをそのまま適用した場合に、地震規模がいかに過小評価されるか一目瞭然である。
- 8 四国電力にのみ特有のテクニックとして、楕円クラックモデルの使用がある。断層モデルのレシピでは、円形破壊(円形クラック)面を仮定した式で断層平均応力降下量 $\Delta\sigma$ を求めている。つまり、未飽和断層では、断層平均応力降下量 $\Delta\sigma = 2.31\text{ MPa}$ と一定になり、断層が飽和した後では、断層面積の平方根に比例する形で図21の「円形クラックモデル」の線に沿って大きくなっていく。レシピに従うのであれば、この円形クラックモデルで応力降下量を求めるべきところ、四国電力は、楕円クラックモデルを持ち出し、図21のように、レシピの円形クラックモデルより応力降下量が小さくなるように設定している。具体的な数値は、表10のように、

円形クラックモデルが3.17 MPaに対し、カッコ内に示した通り、楕円クラックモデルでは2.22 MPaで、2/3程度の値にしかならない。アスペリティの平均応力降下量では、円形クラックモデルで14.4 MPaに対し、楕円クラックモデルでは10.1 MPaに留まる。

- 9) どのモデルを採用するのが最も適切であるかは、現実に発生している国内地震データに沿った値になっているかどうかで判断すべきである。2007年能登半島地震の震源モデルでは、3個のアスペリティを採用し、応力降下量は、20 MPa, 20 MPa, 10 MPaであった。新潟県中越沖地震の入倉らの南東傾斜断層モデルでも3個のアスペリティで、応力降下量は、23.7 MPa, 23.7 MPa, 19.8 MPaであった。断層モデルのレシピ通りでは到底これらのレベルには届かないし、楕円クラックモデルではなおさらである。地震規模を断層長さから松田式で求める方法も表10に示しておいたが、これによれば、断層平均で $\Delta\sigma = 6.0$ MPa, アスペリティ平均で $\Delta\sigma_a = 27.1$ MPaになる。これらの値は少し高めになっているので、修正レシピを適用すると、表16のように、断層平均で $\Delta\sigma = 4.1$ MPa, アスペリティ平均で $\Delta\sigma_a = 18.5$ MPaになる。少なくとも、この程度の値でなければ、現実を反映したモデルとはいえない。
- 10) 四国電力は、要素地震として、表8および表9の波形合成法では1988年7月29日に発生したM5.1の伊予灘地震を、2008年の中間報告及び2013年の再稼働申請では2001年3月26日に発生したM5.0の安芸灘地震を用いている。しかし、これらの地震は、敷地前面海域断層群の震源断層内で発生したものでないばかりか、内陸地殻内地震ですらなく、1988年伊予灘地震は震央距離28 km, 深さ53 km, 2001年安芸灘地震は震央距離87 km, 深さ49 kmの、いずれもスラブ内地震(海洋プレート内地震)である。スラブ内地震は、内陸地殻内地震とは震源特性において大きな違いがあり、スラブ内地震では応力降下量が大きく、短周期地震波が強い。現に、1988年伊予灘地震の応力降下量は20 MPa, 2001年安芸灘地震では30 MPaと評価されている。波形合成法や断層モデルの経験的グリーン関数法で小断層の要素地震波とする際には、断層平

均あるいはアスペリティ平均の応力降下量との比に応じて要素地震波が小さく設定されるため、地震動が小さく設定されている可能性がある。

- 1 1 四国電力は、地震モーメント、応力降下量、要素地震の3点における過小評価をやめ、断層モデルのパラメータ設定法の根本に立ち返って断層モデルを構築し直し、断層モデルによる地震動評価を根本的にやり直すべきであるが、その際、次のような点も加味されなければならない。

四国電力は、2008年中間報告以降、地震動評価の際に用いられるライズタイムの値を公表していない。表7～表9のように、2003年までの波形合成法で公表されているライズタイムは、46kmモデルで3.8秒と極めて大きい。ライズタイムが大きいと、すべり速度が全体として小さくなるため、断層モデルで生成される地震波が抑制される。すべり量が小さく設定された上に、ライズタイムが大きく設定されているとすれば、地震動が酷く過小評価されることになる。ライズタイムは、表1のM6.8～M7.3の国内内陸地殻内地震の例に倣い、0.4秒～0.6秒に小さく設定されるべきである。

また、2000年鳥取県西部地震(M7.3)、2007年能登半島地震(M6.9)、2007年新潟県中越沖地震(M6.8)を教訓として、アスペリティの応力降下量を20MPa～30MPaに設定した上で、地震動再現解析でよく行われているように、アスペリティの破壊開始点に破壊が到達してからアスペリティ内で改めて同心円状に破壊が伝播するマルチハイポセンター破壊を想定すべきである。アスペリティの配置や破壊開始点の位置も、ディレクティビティ効果やフォーカシング効果が現れるように想定し、原発にとって最悪のシナリオを描いて評価し直すべきである。

- 1 2 四国電力は、中央構造線断層帯の「石鎚山脈北縁西部—伊予灘区間(約130km)」について、カスケードモデルを用いている。表10～13の地震モーメント M_0 についてはレシピどおりに求めているが、表14～表15の地震モーメント M_0 についてはレシピ通りに計算していないことでそれが分かる。表14～表15の地震モーメント M_0 の値は、敷地前面海域の断層群、伊予セグメント、川上セグメントについて個別に求めた地震モーメントの

値を足し合わせて求めた値である。これは「カスケードモデル」と呼ばれ、地震モーメントで表される地震規模が断層面積の大きさに比例すると、暗に仮定しているのと同じである。しかし、飽和断層の場合、レシピでは地震モーメントは総断層面積の2乗に比例して大きくなる。断層面積が2倍になれば、地震モーメントは2倍ではなく4倍になるのである。断層面積が3倍になれば9倍になり、その差は一層広がる。

- 1 3 四国電力は、当初、カスケードモデルを採用し、地震モーメントは表1 4および表1 9の括弧内に記載の値を採用していた。平均応力降下量の計算も、レシピによらず、楕円クラックモデルを用いていた。ところが、バックチェック報告の審議会で、スケーリング則による評価を求められると、地震モーメントなど巨視的パラメータについてはスケーリング則に従いながら、断層平均応力降下量を無限長地表垂直横ずれ断層モデルによる計算式を用いて、レシピから得られる5.5 MPaではなく、4.46 MPaに下げている。アスペリティの平均応力降下量についても、 $Sa = 0.22S$ 法を適用せず、アスペリティ面積を大きくすることで、本来なら $\Delta \sigma a = 24.9$ MPaまたは $\Delta \sigma a = 20.3$ MPaとすべきところ、 $\Delta \sigma a = 13.3$ MPaと小さく設定しているのである。
- 1 4 四国電力は、レシピのスケーリング則を適用するのであれば、表1 4~表1 5のように、M8.1の規模の断層モデルで $Sa = 0.22S$ 法を適用し、また、全長126 kmを松田式に適用して得られるM8.3の規模の断層モデルで地震動を評価し直すべきである。
- 1 5 2008年4月11日、地震調査研究推進本部は、従来の方法である「(ア)過去の地震記録などにに基づき震源断層を推定する場合や詳細な調査結果に基づき震源断層を推定する場合」とは別に、「(イ)地表の活断層の情報をもとに簡便化した方法で震源断層を推定する場合」をレシピに追加した。これが修正レシピである。修正レシピでは、松田の式から求めた地震規模に断層面積を出来るだけ合わせるが、断層幅を+2 kmまで、断層長さを+5 kmまでしか大きく出来ない。そこで、この方法を、敷地前面海域の断層群、伊予セグメント、川上セグメントおよび断層帯全長に適用したの

が表16～表18である。これらの表では、「M8.3で平均すべり量3.2m」となっているが、この値は、上述した地震中央研究推進本部の126kmの断層帯により「M8.0程度またはそれ以上の地震が発生し、その際に2～3m程度の横ずれが生じる可能性がある」という長期評価と整合している。

- 16 ところが、四国電力による2008年中間報告では、表14の「断層モデルでM8.1とした場合」の「 $S_a/S=0.22$ 法」の列に示す通り、MはM7.5で、平均すべり量は0.8mに過ぎない評価となっているのである。これでは、地震調査研究推進本部の長期評価にも整合しない。四国電力は、断層モデルの設定法を根本的に改め、地震動評価をやり直すべきである。
- 17 四国電力など電力会社は、原発の場合には詳細な調査を行うから従来からの(ア)の方法でよいと主張する。しかし、(ア)の方法では、「過去の地震記録などに基づき震源断層を推定する場合には、その知見を活かした断層モデルの設定を行う。」とあり、過去の地震記録など震源断層を推定するに十分な知見がなければならない。女川、志賀、柏崎・刈羽、福島など、「詳細な調査によって策定された」筈の基準地震動S2やSsが、実際に起きた地震によって超えられてしまったことを真摯に受け止めるべきであろう。特に四国電力の場合には、伊方原発において想定する震源断層領域内でのM5以上の地震観測記録は存在しないのである。そうである以上、地震規模を過小評価することなく、活断層の長さから松田式で地震規模を決め、少なくとも(イ)の方法で地震動評価を行うべきであるにもかかわらず、これを行っていないのである。
- 18 2006年に耐震設計審査指針が改定されるまで、「大崎スペクトル」という距離減衰式に基づく応答スペクトルがもっぱら基準地震動作成に使われた。これに対し、「耐専スペクトル」は、「大崎スペクトル」に替わるものとして、日本電気協会が、1977年から20年がかりで収集した地震観測記録に基づいて作成した応答スペクトルで、2006年の耐震設計審査指針の改定による新指針で、断層モデルとともに、基準地震動作成法として認定された。

- 19 この耐専スペクトルは、国内地震データに基づく現実的な応答スペクトルとして評価されてはいるが、1995年兵庫県南部地震以降に、震源近傍を含めて記録されたM7クラスの多くの地震観測記録が反映されておらず、適用範囲が狭い。また、内陸地殻内地震と海洋プレート間地震が混在しており、「内陸補正」した場合には、内陸地殻内地震による地震動や震源近傍の地震動を過小評価する可能性もある。また、原発サイトから遠ざかる方向へ伸びていく断層の場合には、断層が長くなるほど等価震源距離が大きくなるため地震動が小さくなるという矛盾も見られる。とはいえ、他の距離減衰式による応答スペクトル設定法は、海外の地震データがより多く含まれており、日本国内の地震動を評価するには適していない。例えば、図28は、2008年中間報告で検討された距離減衰式による応答スペクトルだが、Noda et al.(2002)とある耐専スペクトルと比べて、Zhao et al.(2006)、Kanno et al.(2006)、内山・翠川(2006)らの応答スペクトルがかなり下方にあり、地震動評価が小さくなっていることが分かる。
- 20 Noda et al.(2002)の耐専スペクトルでは、図30に示すように、耐専スペクトル作成に用いた44地震、107観測記録(海洋プレート間地震32、81記録、内陸地殻内地震12、26記録)はすべて国内地震だが、震源近傍を含めて近距離地震データが反映されておらず、適用範囲が狭い。図30には、適用範囲外の領域に最近の震源近傍データも記されており、これらを含めて最近のM7クラスの地震データを反映させれば、適用範囲はもっと広がるはずである。また、適用範囲を少し外れれば直ちに適用範囲外だとするのも問題である。少なくとも、保守的に適用範囲外の場合も採用すべきであろう。
- 21 耐専スペクトルでは、地震観測データの不足を補うため、海洋プレート間地震(スラブ内地震は含まれていない)と内陸地殻内地震の観測データが混在しており、内陸地殻内地震の応答スペクトルを作成するには「内陸補正係数(周期0.02~0.7秒では0.6)」を掛けて補正する必要がある。つまり、海洋プレート間地震の方が、応答スペクトルが大きいのである。とこ

ろが、2007年7月に起きた M6.8 の新潟県中越沖地震では、図31のように、柏崎・刈羽原発で1699 gal という非常に大きな地震動(解放基盤表面はぎとり波)が観測された。内陸補正した耐専スペクトルの約6倍の地震動に相当する。東京電力や JNES の解析によれば、震源特性の要因で約1.5倍、深部地盤構造の伝播経路特性で約2倍、敷地下の古い褶曲構造などサイト「地盤」特性で約2倍、合計約6倍に増幅されたという。これ以降、震源特性として約1.5倍の不確かさを考慮し、深部地下構造や3次元地盤構造を詳細に調べるのが常識となった。そのため、「耐専スペクトル」では、内陸補正を行わないことで震源特性の不確かさを考慮することになったのである。断層モデルでは、不確かさの考慮として、応力降下量と短周期レベルを1.5倍しているのはこのためである。

22 この点について、四国電力は、2008年中間報告では、「内陸地殻内地震の応答スペクトルには、敷地内で観測された地震記録がないことから、内陸地震の補正は考慮していない。これは、Noda et al.(2002)の内陸地震の補正の項に記載されているように、敷地内で観測された記録がなくても、内陸地震に対する補正を考慮することは問題ないと考えるが、不確かさを考慮するものとして、内陸地震に対する補正を用いないこととする。」としていた。ところが、2013年の伊方3号炉の再稼働申請時には、「耐専スペクトル」の内陸補正を行い、1.5倍の不確かさの考慮をしていないのである。

23 図32を見れば、2008年中間報告で策定された基準地震動 S_s に対し、敷地前面海域断層群42km(M7.1, 等価震源距離 $X_{eq} = 14.8$ km)と30度傾斜モデル(M7.6, $X_{eq} = 20.5$ km)の耐専スペクトルがかなりの程度、基準地震動 S_s に接近していることが分かる。このように、耐専スペクトルは、基準地震動策定時に重要な働きをするのである。

ここで、四国電力は、耐専スペクトルを小さく作成するテクニックを使っている。表10を見れば、敷地前面海域断層群42kmの地震規模は、四国電力が採用している M7.1 ではなく、断層モデルでは M7.3、松田式では M7.5 であることが分かる。耐専スペクトルでは、断層長さから松田

式を使って気象庁マグニチュードを求めるのが正しい方法である。ところが、四国電力は、(1)気象庁マグニチュードが小さくなる断層モデルにより地震規模を求め、しかも、(2)地震モーメント M_0 から気象庁マグニチュードを求める式を「工夫」している。通常は、 $M=(1/1.17)(\log_{10}M_0-10.72)$ で気象庁マグニチュードを求めるところ、係数を小数点以下1桁で丸めた式 $M=(1/1.2)(\log_{10}M_0-10.7)$ を用いている。その結果、気象庁マグニチュードは0.2も小さくなるのである。実に涙ぐましい「工夫」であるが、原発の安全性に関わる看過し難い問題である。

「4.2 km(M 7.1, 等価震源距離 $X_{eq}=14.8$ km)」ではなく、「4.2 km(M 7.5, 等価震源距離 $X_{eq}=14.8$ km)」で耐専スペクトルを描き直せば、図32の基準地震動 S_s を超える可能性が高いが、今度は図30に示される適用範囲の外になり、採用されないという結果になる。つまり、基準地震動 S_s を超えるような耐専スペクトルは元々適用範囲外になり、採用されないような仕組みになっているのである。この壁を乗り越えるには、最近の地震データを取り込んで耐専スペクトルを作り直し、適用範囲を広げる以外にないが、それまでの間は、現在の耐専スペクトルを外挿して得たスペクトルを保守的な評価として適用すべきであろう。

- 2.4 四国電力だけでなく、関西電力、日本原子力発電、日本原子力研究開発機構も、2008年バックチェック中間報告では、「耐専スペクトル」の地震規模を断層モデルで過小評価する(1)の方法を用いていたが、その後、四国電力も含めて、松田式を用いる正しい方法に直している。しかし、四国電力は、四国電力にのみ特有の上記換算式(2)を2013年の伊方3号炉の再稼働申請時も用いている。「耐専スペクトル」で用いる気象庁マグニチュードを断層長さから松田式で直接求めるようになったため、上記換算式(2)で断層モデルの地震モーメントを気象庁マグニチュードに換算する意味はなくなったが、四国電力は、上記換算式(2)をそのまま使い続けているのである。

第7 「6 2013年3号炉設置変更許可申請における耐震性評価」(23~34頁)

1 四国電力は、2008年中間報告に対する原子力安全・保安院の審議会での意見を受け、いくつかの点について修正した上で、2009年2月2日、「伊方発電所3号機『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う四国電力株式会社伊方発電所3号機耐震安全性にかかる評価について(基準地震動の策定及び主要な施設の耐震安全性評価)」を提出した。主な修正箇所は以下のとおりである。

(1)敷地前面海域の断層群による地震の基本モデルを長さ約42kmから約54kmに延長し、長さ約69kmも不確かさとして考慮した。基本モデルでのアスペリティの配置場所を断層深さ中央から断層上端へ移動させた。

(2)耐専スペクトルに必要な気象庁マグニチュードを求める際、断層モデルの地震規模を用いるのをやめ、断層長さから松田式で求める方式に変更した。

(3)その結果、適用範囲に入った「耐専スペクトル」は、断層長さ約54km、断層傾斜角北傾斜30度の場合だけになった。また、他の距離減衰式による評価と整合させるため、「内陸補正係数」を用いて応答スペクトルを低減させた。

(4)応力降下量を1.5倍にする不確かさの考慮については、中間報告で用いた耐専スペクトル(内陸補正なし)またはその1.5倍化で考慮できるにもかかわらず、それを行わなかった。

断層モデルについては、敷地前面海域の断層群の長さを延長したこと以外は、楕円クラックモデルや無限長垂直横ずれ断層モデルで応力降下量を算出するなど殆どそのままである。

2 2013年7月8日、四国電力は、伊方3号炉の再稼働のため、原子力規制委員会に、「伊方発電所の発電用原子炉設置変更許可申請書(3号原子炉施設の変更)」を提出した。その内容は、上記2009年の「結果報告書」と殆ど変わらないものであった。これに対し、原子力規制委員会は、図33の左図に示される「480km(中央構造線断層帯と別府^{はねやま}一万年山断層帯の連動)」を考慮するように求め、四国電力は、同年10月30日、480kmを基本震源モデルとする解析結果を回答した。この回答を受けた原子力規

制委員会は、「長大な断層の場合には破壊伝播速度が横弾性波速度(S波速度) V_s を超える場合もあるので考慮するように」と指示した。

断層モデルのレシピでは、破壊伝播速度がS波速度の0.72倍と設定しており、不確かさ考慮でも0.84倍までである。このレシピに基づくと、破壊伝播より地震波の伝播の方が早いので、複数の断層が連動する場合、図10のように、後から破壊する断層の地震波は遅れて到達するため、互いに重なり合うことはない。しかし、破壊伝播速度が地震波(ここではS波)の伝播速度に近いと、より速いと、複数の断層破壊からの地震波が互いに重なり合っ大きくなる場合がある。四国電力は、これを解析するように指示されたのである。この問題は、断層モデルのレシピが、依然として大きな改善点を有していることの証左でもある。

- 3 四国電力は、2013年申請で、図34に示す通り、基本ケース(54km, 90度)について、耐専スペクトルとその他距離減衰式による応答スペクトルの比較を行っているが、2つの問題がある。

第1に、2008年中間報告では、「不確かさを考慮するものとして、内陸地震に対する補正を用いないことにする」としていたにも関わらず、2013年申請では、内陸補正を行い、耐専スペクトルでも行える「震源特性で1.5倍の不確かさの考慮」を行っていない。その理由は、原子力安全委員会の「応答スペクトルに基づく地震動評価」に関する専門家との意見交換会において、「断層近傍の観測記録に対する耐専スペクトルの適用性を検証したところ、内陸補正を適用すると概ね観測記録を説明できた」との報告がなされているからだという。「耐専スペクトル」が海洋プレート間地震と内陸地殻内地震の混在するデータに基づいて策定されていることから、内陸地殻内地震用に内陸補正を行う必要があることは上述した通りである。しかし、四国電力が、2008年中間報告で内陸補正なしの「耐専スペクトル」を用いたのは、新潟県中越沖地震の教訓から、震源特性を1.5倍化する必要があるとの耐震安全性評価上の要請からであった。にもかかわらず、これを無視するのは、耐専スペクトルでは震源特性の不確かさを考慮しないと宣言しているようなものである。また、内陸地殻内地震

用に内陸補正が必ず必要かという点、必ずしもそうではない。四国電力が引用している意見交換会で報告したのは東京電力だが、K-NET など近年の強震記録を収集し、更に国内外の震源近傍記録を収集して耐専スペクトルの適用性を検討したものである。そこには、「内陸補正係数を考慮することにより、耐専スペクトルは複数の観測記録を概ね説明できた」とする記述に加えて、「縦ずれ断層では、内陸補正を加えない方が観測記録と対応する例も見られた(2004年中越地震, 1994年ノースリッジ地震)」と記述されているのである。

第2に、四国電力は、耐専スペクトルの適用範囲外であれば無条件に採用しないという立場に立ち、54km・90度の基本ケースですら耐専スペクトルを採用していない。その理由について、四国電力は、図34と図35を示し、「(54km・90度の)耐専スペクトルによる評価はその他距離減衰式よりも大きい地震動が算出され、過大評価となっており、適用は適切ではないと考えられる。これは、54km・30度のケースよりも敷地がより震源に近い位置での評価となるためと考えられる。その他距離減衰式の結果は、断層モデル(統計的グリーン関数法)の結果ともほぼ整合的である。」としている。しかし、これは全く逆である。2008年中間報告批判で指摘したように、断層モデル(統計的グリーン関数法)やその他距離減衰式の方が、地震動を過小評価しているのである。四国電力は、自らが引用した意見交換会での東京電力の報告書をよく読んでいないのであろうか。同報告書では、「極近距離より更に近い地震に関しては観測データも少なく、また、コントロールポイントも設けられていない。これらより、今後スペクトルの適用性や改良に関する検討等が必要と考えられる。」としているが、示された数少ない極近距離のデータでは、耐専スペクトルはよく合っている。例えば、同報告書で紹介された2000年鳥取県西部地震(M7.3)での震源断層のほぼ直上にある賀祥ダム($X_{eq} = 6$ km)での地震観測記録は、図36のように、耐専スペクトル(内陸補正あり)とよく適合しているのである。また、極近傍で耐専スペクトルの妥当性を示す試算結果が、2010年の第62回原子力安全委員会のWG3で示されている。

- 4 2013年申請に記載された基本ケース「54km・90度(M7.7, 等価震源距離 $X_{eq}=14.3$ km)」と不確かさ考慮ケース「69km・90度(M7.9, 等価震源距離 $X_{eq}=15.4$ km)」の耐専スペクトル(内陸補正あり)及び震源特性の不確かさ1.5倍を考慮して1.5倍に引き上げた耐専スペクトルを書くと、図38のようになる。つまり、「適用範囲外」として排除された耐専スペクトルを考慮すれば、断層長さ54kmおよび69kmでは、基準地震動 S_s を超える地震動が予想されるのである。
- 5 2013年申請時の敷地前面海域断層群は、2009年2月2日結果報告と全く変わらない。それは、2008年中間報告から、断層長さを42kmから54キロに延ばし、アスペリティの位置を断層深さ中央から断層上端に移動させただけである。断層モデルによる地震動過小評価の基本は同じであるので、その内容については繰り返しを避け、ここでは、(1)地震規模、(2)応力降下量、(3)要素地震に限って問題点を整理しておく。
- (1)敷地前面海域の断層群54kmの断層長さから松田式で地震規模をM7.7、 $M_o=5.36 \times 10^{19}$ N.mと算出すべきところ、表21のように、断層面積から地震規模を算出しているため、ほぼ半分のM7.5、 $M_o=2.74 \times 10^{19}$ N.mと小さく設定されている。
- (2)応力降下量を通常の断層モデルのレシピで求めると断層平均で3.6MPaとなるが、これを楕円クラックモデルで2.6MPaに過小算定している。その結果、アスペリティ平均でも、16.3MPaとなるどころ、11.8MPaとほぼ2/3に過小設定している。これは、地震規模を断層モデルでM7.5に設定した場合だが、松田式で求めたM7.7を単純に断層モデルのレシピに適用すると、応力降下量は7.0MPa、アスペリティ平均で32MPaとなる。これと比べれば、実に1/3程度に過小設定していることになる。応力降下量をここまで大きくする必要はないかもしれないが、少なくとも、M7.7を修正レシピに適用して、応力降下量の過小設定を防ぐべきである。そうでなければ、震源特性の1.5倍を考慮しても、四国電力の楕円クラックモデルではアスペリティ平均で17.7MPaにしかならず、「応力降下量について1.5倍または20MPaの大きい方」を考慮するとの原子力安全・

保安院による方針にも合わない。また、実際に起きたM7クラスの地震では応力降下量が20~30MPaと評価されており、四国電力の設定は、現実を反映したものとはいえないのである。

(3)断層モデルの経験的グリーン関数法で用いられている要素地震は、2008年中間報告と同じ図22のNo.9「安芸灘地震」であり、震源断層領域から離れた沈み込んだプレート内で起きたスラブ内地震である。この地震では、応力降下量が30MPaと大きく、敷地前面海域断層群54kmの応力降下量が11.8MPaと小さいため、要素地震波が小さく設定される。図40がその評価結果である。要素地震は、図42の「余震M5.2」であり、短周期地震動が強いという要素地震の特徴が図40によく反映されている。しかし、乱数によって統計的に生成した要素地震を用いる統計的グリーン関数法による評価結果(図41)と比べると、図40で薄く塗った0.3~3秒の応答速度が、図41の半分程度に小さいことが分かる。図41で薄く塗った0.05~0.1秒の短周期側では、図40の応答速度がやや大きめではあるが、0.3~3秒と比べるとそれほど大きくはない。ここに、応力降下量を過小に設定し、要素地震にスラブ内地震を採用した効果が表れていると言える。つまり、図40の地震動評価結果は、統計的グリーン関数法による評価結果と周期0.3~3秒で同等になる程度まで、全体として上に持ち上げるべきであろう。そうなれば、短周期側で地震動評価結果が基準地震動 S_s をかなり超えることになるだろう。

- 6 四国電力が、その断層モデルで、地震規模を約半分に過小算定していること、応力降下量を2/3に過小算定していること、要素地震が応力降下量の大きいスラブ内地震であることを考慮すれば、図40の地震動評価結果は2~3倍程度大きくなり、図40の基準地震動 S_s-1H をその程度に大きく超えることは間違いないといえる。さらに、断層長さを69kmまで長くとれば、さらに大きな地震動評価結果になることも間違いないといえる。図40はそれを示唆している。四国電力が様々な地震動過小評価のテクニックを使った下でも、図40の0.1秒付近で、「54km・30度北傾斜・破壊開始点西下端」ケースの地震波(NS方向)が基準地震動 S_s-1H を僅

かに超えている。この「54 km・30度北傾斜」ケースでは、「54 km・90度」の基本ケースと比べて、断層面積が2倍になるため、地震モーメント M_0 が4倍に増えているが、楕円クラックモデルで応力降下量を求めているため、応力降下量は断層平均で3.6 MPa、アスペリティ平均で16.3 MPaと1.4倍に留まっている。しかも、30度の北傾斜であるため、震源断層面が敷地より遠くなっている。このような状況の下でも、その地震動評価結果は、一部で $S_s - 1H$ を超えているのである。

また、図40の0.07秒付近を見れば、「54 km, 90度, $\Delta\sigma$ 1.5倍, 破壊開始点西下端」ケースの地震波が最も大きく、基準地震動 $S_s - 1H$ に接近していることが分かる。この場合、「 $\Delta\sigma$ 1.5倍」でも、応力降下量は、断層平均で3.9 MPa、アスペリティ平均で17.7 MPaに過ぎない。アスペリティ平均で20~30 MPaになるケースを検討すれば、要素地震がスラブ内地震であることをさておいても、断層モデルによる地震動評価結果が基準地震動 $S_s - 1H$ を超えることは間違いなく、69 km ケースではさらに大きく超えることも間違いはない。四国電力は、応力降下量の過小設定をやめ、M7クラスの国内地震で実際に確認されている20~30 MPaに引き上げ、更に要素地震がスラブ内地震であることを考慮して、地震動を評価し直すべきである。

- 7 2013年10月30日、四国電力は、原子力規制委員会から指摘されていた「480 km(中央構造線断層帯と別府一万年山断層帯の連動)」を基本震源モデルとした解析結果を回答した。ここでは、480 km・90度の基本ケース、応力降下量1.5倍ケースおよび破壊伝播速度増大ケースに対して壇ら(2011)のモデルを適用している。また、480 km・北傾斜ケース(敷地前面海域断層群は30度傾斜、それ以外は推本評価による30~60度傾斜)に対しては、地震規模を Murotani et al.(2010)で求め、断層平均応力降下量を Fujii-Matsu'ura(2000)で求め、アスペリティ平均応力降下量を短周期レベルが合うように $S_a/S = \Delta\sigma/\Delta\sigma_a = 0.276$ で設定している。

- 8 断層面積と地震規模の関係 ($S-M_0$ 関係) 式について、図45に示したよ

うに、壇らの式は結果的に武村式と Murotani et al.(2010)の式に接するように作成され、Fujii-Matsu'ura(2000)の式は武村式と Scholz(2002)の式に接するように作成されていることが分かる。そして、いずれも、入倉式には接しておらず、入倉式とはかなりずれていることが分かる。その理由は、いずれも地震データの殆どが日本国内のデータであり、それを回帰した式が武村式であるのに対し、入倉式は、北米中心の地震データによるものだからである。四国電力は、ご都合主義的に、480kmモデルの際には国内の地震データに回帰した式を用い、54kmモデルに対しては北米中心の地震データに回帰した式を用いているのである。そのため、480kmモデルの一部を構成する敷地前面海域断層群54kmの地震規模は $M_0 = 5.81 \times 10^{19} \text{ N}\cdot\text{m}$ 、平均すべり量 $D = 207 \text{ cm}$ と設定されている。これらは、断層長さ54kmに対する断層モデルのレシピを適用して得た表21の値、 $M_0 = 2.74 \times 10^{19} \text{ N}\cdot\text{m}$ 、平均すべり量 $D = 97.6 \text{ cm}$ と比べて2倍以上大きい。四国電力は、壇ら(2011)及び Fujii-Matsu'ura(2000)の式を使うのであれば、54kmモデルに対しても、日本国内の地震データ(表23参照)に適合する松田式や武村式を使って断層パラメータを求め、54kmモデルの地震動を評価し直すべきである。

- 9 壇ら(2011)は、Irie et al.(2010)による動力学的断層破壊シミュレーションの解析結果より、応力降下量を断層平均 $\Delta \sigma = 3.4 \text{ MPa}$ 、アスペリティ平均 $\Delta \sigma_a = 12.2 \text{ MPa}$ と設定しているが、これは過小評価である。図46が Irie et al.(2010)の結果であり、震源断層の幅 W_{\max} は15kmに設定されている。 $L/W \leq 4$ の範囲で、震源断層の幅 $W_{\max} = 15 \text{ km}$ の場合、震源断層面積 $S \leq 900 \text{ km}^2$ になる。ところが、震源断層面積 S がこの条件を満たす壇らのデータは、表25で明らかのように、海外1地震と国内7地震の計8地震であり、その平均断層幅は11.5kmである。 $L/W \leq 5$ ($S \leq 1125 \text{ km}^2$) にまで広げると、海外2地震と国内8地震の計10地震になり、平均断層幅は12.9kmになる。濃尾地震を含めた国内9地震の平均断層幅は12.0kmである。そこで、式(18)に $W_{\max} = 12 \text{ km}$ 、 $\Delta \sigma = 3.4 \text{ MPa}$ を代入して得た曲線が、図45の破線「Dan (1

2 km)」である。この破線は、 $W_{\max}=1.5$ km, $\Delta\sigma=3.4$ MPaの太い実線から明らかにずれており、これに合わせるには、応力降下量を $\Delta\sigma=4.3$ MPaに引き上げなければならない。

壇ら(2010)は、回帰に用いた地震データの「平均的な値として、平均動的応力降下量 $\Delta\sigma^{\#}=3.4$ MPaが得られた」としているが、壇らの用いた地震データの平均動的応力降下量は、国内9地震で5.1 MPa, 海外13地震で3.7 MPa, 22地震の平均で4.3 MPaである。その意味では、実際の地震データに即しても、壇らの「平均的な値」は明らかに過小評価であり、「平均的な値」として、4.3 MPaを設定すべきである。

- 10 アスペリティの平均応力降下量 $\Delta\sigma_a$ についても、壇らは過小評価している。壇らは、地震データの内、短周期レベルの分かっている5地震のデータを式に代入してアスペリティ平均応力降下量の「平均的な値」を $\Delta\sigma_a=12.2$ MPaと導出している。しかし、この式を使って、壇らの地震データから実際に $\Delta\sigma_a$ の値を求めると、表26に示す通り、3.2 MPa(1995年兵庫県南部), 6.7 MPa(2000年鳥取県西部), 1.9 MPa(2005年福岡県西方沖), 5.1 MPa(1992 Landers), 1.3 MPa(1999 Kocaeli)となり、平均1.5 MPaになる。壇らが一貫して「平均値」とは言わず、「平均的な値」と言っているのは、単純加算平均ではなく、「大体こんな値」という感じで「12.2 MPaを導出」したとしか考えられない。図46のCase 1~5は、アスペリティを考慮した断層モデルの5ケースだが、ケースごとに「アスペリティ面積 S_a 対断層面積 S の比(S_a/S 比)」と「アスペリティの位置」が異なる。図46では、 S_a/S 比が最大のCase 2で係数 c の値が最も大きく、最少のCase 4で最も小さい。係数 c の曲線はそのほぼ真ん中を通るようにひかれており、 $S_a/S=\Delta\sigma/\Delta\sigma_a=3.4/12.2=0.279$ となるように引かれたようにも見える。このCase 1~5の S_a/S 比の設定は、地震データに基づくものではなく、全く恣意的に設定されたものであり、その平均や真ん中を取ることに意味はない。Irie et al.(2010)は、単に条件を変えてシミュレーション実験をただけであり、得られた結果を実際の地震データで検証する必要があると述べ

ている。その結果を実際の地震データで検証したのが壇ら(2011)であり、その意味では、 $S_a/S=0.279$ の妥当性を実際の地震データに即して説明する必要があった。なぜなら、これは、入倉ら(2001)の地震データに基づく値 $S_a/S=0.215$ (標準偏差1.34)と比べてもかなり大きいからである。

- 1.1 四国電力は、中央構造線断層帯の480km連動モデルに対して、壇ら(2011)の結果をそのまま用いている。四国電力による「480km・90度」基本ケースの平均断層幅は12.2kmであり、壇らの想定した15kmよりかなり小さい。 $W_{max}=12$ kmであれば、上述したように、 $\Delta\sigma=3.4$ MPaでなければ、壇らの曲線上には乗らないし、アスペリティの応力降下量は、断層モデルのレシピに合わせて $\Delta\sigma_a=(S_a/S)\Delta\sigma=4.3/0.22=19.5$ MPaとすべきである。また、壇らのもとになった Irie et al.のシミュレーションでは、S波速度は $\beta=3.46$ km/sec、剛性率は $\mu=3.23\times 10^{20}$ N/m²であり、480kmモデルの $\beta=3.5$ km/sec、剛性率は $\mu=4.00\times 10^{20}$ N/m²より小さい。したがって、 W_{max} 、 β 、 μ を480kmモデルに合わせて動力的断層破壊シミュレーションをやり直せば、応力降下量はさらに大きくなると推測される。

このような検証を行わずに、あくまで壇らの結果に従うというのであれば、四国電力は、上述した問題点を自ら検討し、 $\Delta\sigma=3.4$ MPa、 $\Delta\sigma_a=12.2$ MPaでよいとする具体的根拠を示すべきである。

- 1.2 四国電力は、「480km・北傾斜ケース」の断層平均応力降下量を Fujii-Matsu'ura(2000)の $\Delta\sigma=3.1$ MPaを採用し、アスペリティ平均応力降下量を $S_a/S=0.276$ から $\Delta\sigma_a=(S_a/S)\Delta\sigma=3.1/0.276=11.2$ MPaと設定しているが、これも過小評価である。確かに、断層モデルのレシピでは、長大な断層のアスペリティに関するスケーリング則についてはデータも少なく未解決の研究課題だと指摘した上で、Fujii-Matsu'ura が横ずれ断層を対象として導出した式を図45の地震データに回帰させて導出した値 $\Delta\sigma=3.1$ MPaを用いるよう推奨している。しかし、これについては、 M_o-L 関係が式で表されるということが重要で

あり、パラメータの値の妥当性については、動力学的シミュレーションや実際の地震データに基づいて検証すべきだとされている。Fujii-Matsu'ura は、 $a=1.4 \cdot 10^{-2}$ 、 $b=1.0$ というパラメータ値を用いて、 $W=15$ km と設定し、地震データへの回帰計算で $\Delta \sigma = 3.1 \text{ MPa}$ を導出しているが、その適用に際しては、具体的な検証が必要なのである。ところが、四国電力による「480 km・北傾斜モデル」の断層幅は $W=20.2$ km であり、15 km より $1/3$ ほど大きい。また、Fujii-Matsu'ura の地震データの最大は、1949年 Queen Charlotte ($M_0=1.1 \times 10^{21} \text{ N}\cdot\text{m}$ 、 $L=440$ km、 $W=15$ km、 $S=6,600 \text{ km}^2$) であり、「480 km・北傾斜モデル」($W=20.2$ km、 $S=9,727 \text{ km}^2$) は、これを遥かに超える。この北傾斜モデルに対して、四国電力は、地震モーメントの値として、Fujii-Matsu'ura による値、 $M_0=1.4 \times 10^{21} \text{ N}\cdot\text{m}$ ($L=480$ km、 $W=15$ km) を使わず、Murotani et al.(2010) で $M_0=9.73 \times 10^{20} \text{ N}\cdot\text{m}$ を求め、過小に設定している。勿論、Fujii-Matsu'ura による値も断層幅が異なるので、 $W=20.2$ km として回帰し直す必要があるが、わざわざ Fujii-Matsu'ura を引用しながら、地震規模を全く関係のない式で求めるというのは理解しがたい。

さらに、アスペリティの応力降下量について、断層モデルのレシピでは、Fujii-Matsu'ura による $\Delta \sigma = 3.1 \text{ MPa}$ より $\Delta \sigma a = 3.1/0.22 = 14.4 \text{ MPa}$ とし、「既往の調査・研究成果とおおよそ対応することから、その適用範囲等について今後十分に検討していく必要がある」と断った上で、「現時点では、暫定的に $\Delta \sigma = 3.1 \text{ MPa}$ 、 $\Delta \sigma a = 14.4 \text{ MPa}$ 」とセットで設定することを推奨している。しかし、四国電力は、地震モーメントを別途設定した上で、これすら使わず、短周期レベルから $S_a/S = 0.276$ を導き、 $\Delta \sigma a = 3.1/0.276 = 11.2 \text{ MPa}$ と設定しているのである。正にご都合主義としか言いようがない。

第8 「7 強震観測記録による耐震性の確認」(34~37頁)

- 1 2006年の耐震設計審査指針大幅改定のすぐ後に、2007年新潟県中越沖地震(M6.8)と2008年岩手・宮城内陸地震(M7.2)が起きた。

新潟県中越沖地震による柏崎・刈羽原発敷地内解放基盤表面でののはぎとり波は、図31のように、耐専スペクトル(内陸補正あり)を6倍程度超え、東京電力の策定した基準地震動 S_s を超えた。

岩手・宮城内陸地震の震源極近傍で逆断層の上盤直上に位置する一いちのせきにし関西では、表2のように、最大加速度が地表で4022 gal、地下で1078 galという極めて大きな地震動が観測された。しかも、上下動が極めて大きく、地表では3866 galで水平動の約3倍、周期0.06秒における加速度応答スペクトルは図47のように上下(UD)で9853 galにも達した。地下でも、最大速度は水平動の1.5倍を超えている。一関西の地下地震計は深さ260 m、S波速度1810 m/sの岩盤に設置されており、原発解放基盤表面に求められる700 m/s相当を遥かに超える。この地下地震動を解放基盤表面位置でののはぎとり波に換算すれば、柏崎・刈羽原発の1699 galを遥かに超えるであろう。また、東成瀬(地表)で観測された地震動の速度応答スペクトルは、周期0.32秒で316 cm/Sに達している。

- 2 これほど大きな地震動が、相次いで、実際に、観測されたにもかかわらず、新指針に対応するための耐震バックチェックは旧態依然としたものであった。電力会社は、より長い震源断層、より大きな規模の地震を考慮することを余儀なくされ、その分だけ、余計に地震動の過小評価に走った。北米中心の地震データに基づき、日本国内の地震を過小評価する断層モデルのレシピはその道具と化している。耐専スペクトルの適用範囲を広げる努力は何もなされない。東京電力は、福島第一原発の耐震バックチェックの最終報告を遅らせ、耐震工事などの対策をさぼった。そんな中で、2011年3月11日にMw9.0の東北地方太平洋沖地震が発生し、福島第一原発1~3号炉で炉心溶融事故が起きた。福島第一原発を襲った地震動は、基準地震動を超え、建屋・構築物、機器・配管類に重大な損傷を与えたと推定される。福島第一原発の事故を津波だけのせいにはせず、地震動の過小評価を反省し、地震動評価法を根本的に改定すべきである。
- 3 新潟県中越沖地震による地震動を事前にはだれも予測できなかった以上、こののはぎとり波を「震源を特定せず策定する地震動」に加える必要がある。

それだけに留まらず、基準地震動 S_s の決め方を抜本的に変更し、岩手・宮城内陸地震を含め、これまでに観測され、また今後観測されるであろう M 7.3 以下の地震の解放基盤表面相当位置での地震動(はぎとり波)をすべて「震源を特定せず策定する地震動」に加える必要があるだろう。そうすれば、伊方原発の基準地震動を遥かに超過し、クリフエッジを超えることも避けられない。そのような伊方原発は即刻閉鎖すべきである。

- 4 その際に注意すべきは、「倍半分」といわれる地震動のバラツキの扱いである。その例を図 4 9 に示す。これは、東京電力が、原子力安全委員会の指示により、耐専スペクトルの適用可能性を 2009 年段階で検討したものであり、震源近傍 6~33 km の地震観測記録に対する耐専スペクトル(内陸補正あり)からの残差を表している。この図より、実際の地震観測値は、残差平均より「倍半分」(やや太い青実線の範囲)以上のバラツキがあり、内陸補正した耐専スペクトルからも「倍半分」(「観測/耐専」の値で 0.5~2 の範囲)のバラツキがあることが分かる。地震動評価の際には、震源断層の長さや傾斜角の不確かさ、破壊開始点、アスペリティの位置、破碎伝播速度、応力降下量(震源特性で 1.5)などの不確かさを考慮しているが、これは断層モデル自体の不確かさと断層パラメータの基礎データにおける不確かさを考慮するものであり、図 4 9 に示される偶然変動の不確かさを考慮するものではない。耐専スペクトルでは、伝播経路特性や地盤(サイト)特性の観測点による違い(不確かさ)をモデルの中に組み込んでおり、それを一層精緻化することで吸収できる部分も少しは残されているが、偶然変動そのものはモデルのパラメータとして取り込めない。現状では、震源近傍で図 4 9 に相当する偶然変動を想定する必要がある。したがって、耐専スペクトルや断層モデルによる地震動評価から更に「倍半分」の偶然変動が存在することを前提にして、基準地震動 S_s を設定し、耐震設計を行う必要がある。

ところが、実際には、「倍半分」の余裕をもって策定された基準地震動 S_s など存在しない。この現状に鑑みれば、クリフエッジで $2.0 S_s$ 以上、耐震裕度で 2.0 以上でなければ、耐震安全性が確保されているとはいえない。

先のストレステストでは、ほとんどの原子力発電所でクリフエッジが2.0 Ssには届かなかった。伊方3号炉では、原子力安全・保安院報告書で、クリフエッジが1.5 Ssと評価されている。耐専スペクトルが適用範囲外とされ、断層モデルで地震規模や地震動が過小評価されている現状でもこの結果である。耐専スペクトルが最近の地震観測記録を取り込むことで再構築され、断層モデルが北米中心の地震データではなく国内地震データに基づいて再構築されれば、現在の基準地震動 Ss が大幅に引き上げられることは必至であるが、それを待つまでもなく、伊方3号炉の耐震安全性は保証されていないといえるのである。

第9 「8 結言」(37~39頁)

- 1 以上述べたように、伊方3号炉の1984年設置変更許可申請書以降の四国電力の地震動評価結果を検討し、耐震設計における多岐にわたる過小評価を明らかにした。四国電力のこのような過小評価は、日本国内の全原発における地震動過小評価の縮図でもある。地震動評価は、理論的にも経験的にも歴史が浅く、これから精密化していく必要がある。とはいえ、原子力分野における地震動の過小評価には目に余るものがある。原子力規制当局が、「規制の虜」となって、電力会社等に迎合し、安全の「お墨付き」を与えてきた。それは、伊方原発にかかる耐震性評価の歴史的経緯を少し紐解くだけでも明らかだといえる。その結果、2005年8月16日の宮城県沖地震M7.2(スラブ内地震)による地震動が女川原発の基準地震動 S2(限界地震)を超えて以降、M7クラスのごく普通の地震による地震動が、志賀原発や柏崎・刈羽原発の基準地震動 Ss を超え、遂に、M_w9.0の東北地方太平洋沖地震が起こり、設計基準を超える地震動と津波が福島第一原発を襲い、炉心溶融事故が発生したのである。電力会社はもとより、原子力規制当局も、このことを肝に銘じ、地震動の過小評価を深く反省しなければならない。
- 2 2007年新潟県中越沖地震の解放基盤表面はざとり波は1699 gal を超えており、また、2008年岩手・宮城内陸地震の一関西での強震観測記録は地下地震計で1000 gal を超えており、解放基盤表面はざとり波

に換算すれば2000 gal 程度にもなる。しかも、重要な原発施設の固有周期帯である0.03～0.5秒の短周期帯で地震動が大きい。これらの貴重な地震波を、国内すべての原発で、耐震性評価のための基準地震波として採用すべきである。四国電力は、伊方原発の耐震安全性を主張するのであれば、これらの地震波を用いて、伊方原発の耐震安全性を具体的に明らかにすべきである。四国電力の伊方3号炉のストレステスト結果を見ても、クリフエッジは1.50 Ss(地震動の最大加速度で855 gal(=570 gal×1.5))と評価されており、これらの地震動(地震動の最大加速度で1699 gal あるいは2000 gal 程度)には到底耐えられない。

- 3 断層モデルは、一種のシミュレーション実験に過ぎず、パラメータ設定によって結果を自在にコントロールできる。したがって、断層モデルの適用に際しては、断層パラメータの妥当性について細心の注意が必要であり、地震動の過小評価を回避するためには保守的な安全側に立った設定が不可欠である。しかし、四国電力をはじめ電力会社は、大きな地震動評価になって原発が廃炉に追い込まれたり、耐震工事費が高価につくことを恐れるあまり、出来るだけ地震動評価が小さくなるようにパラメータ設定を行おうとする。結局のところ、断層モデルの妥当性は、実際の地震データによる検証を受けるほかない。ところが、伊方原発をはじめ多くの場合、実際に中央構造線断層帯などで地震が起こらない限り検証データがなく、検証することができない。しかし、480 kmにも及ぶ超長大な断層が実際に活動し、巨大な地震が起き、原発重大事故が起きてからでは取り返しがつかないのである。予防原則の立場に立ち、起こり得る最大規模の地震動を想定し、それに耐えられない原発は閉鎖すべきであろう。伊方原発はその最たるものである。