

広島高裁仮処分決定の基準地震動に関する問題点

2018年5月8日

大阪府立大学名誉教授

長沢 啓行

1 はじめに

広島高裁は2017年12月13日、広島地裁による「伊方3号の運転差止仮処分申立却下決定」(2017年3月30日)[7]を取り消し、伊方3号の運転を2018年9月30日まで差止める決定を行った[8]。これは高裁レベルで初めて出された原発運転差止仮処分決定であり、画期的である。また、火山ガイドへの不適合判断に基づく運転差止めであり、福岡高裁宮崎支部による川内原発稼働等差止仮処分申立却下決定[6]への痛烈な批判にもなっている。さらに、広島地裁決定の4ヶ月後に出された松山地裁による同様の却下決定[17](2017年7月21日)とその火山立地評価の判断を全否定するものであり、その影響は計り知れない。

しかし、残念ながら、その他の争点のうち、原子力規制委員会を巻き込む一大論争に発展した「島崎邦彦元原子力規制委員長代理による入倉式批判」、これと密接に関連した「長沢意見書による伊方3号基準地震動の過小評価批判」について、広島高裁決定は、四国電力の誤った主張に翻弄され、ミスリードされ、誤った判断に陥っている。

ここでは、広島高裁決定の基準地震動に関する内容に限って、その問題点を明らかにし、広島高裁決定の引用論文に掲載されたデータそのものが、皮肉にも、長沢意見書の主張の正しさを補強するものになっていることを示す。

2 ミスリードされた地震動評価

2.1 島崎氏の問題提起は曲解されている

広島高裁決定は、島崎氏による問題提起を次の①~③のように整理している。

「①入倉・三宅(2001)は、地震発生後に、強震動記録の震源インバージョン解析により事後的に判明した(後方視的に得られた知見に基づく)断層面積 S と地震モーメント M_0 の経験式であり、後方視的 S と M_0 の経験式としては妥当である、

②しかし、地震発生前に、事前に得られている断層長さ L や断層幅 W についての知見から前方視的に S を設定する場合には、前方視的 S は後方視的 S に比して過小に設定されるため、前方視的 S に後方視的 S と M_0 の経験式である入倉・三宅

(2001)を適用すると、 M_0 を過小評価するおそれがある、

③このような過小評価を防ぐためには、(ア)の手法に代え、(イ)の手法を適用して S を大きめに設定する(S に代えて S_{model} を用いる)とともに、(イ)の手法で用いる断層長さ L と気象庁マグニチュード M の経験式(ないし $L-M_0$ 経験式)として、レシピで採用されている松田式のほかにレシピで採用されていない武村(1998)や山中・島崎(1990)の適用も検討すべきである。」(p.266[8])

このうち、①と②については「その指摘の通りと考えられる」(p.269[8])と認めたが、③については、武村(1998)[21]の式(以下「武村式」と略す)を大飯原発の地震動評価に適用すると「レシピの前提とする知見に整合しない」ことを殊更に強調するのみで¹、レシピ(ア)とレシピ(イ)の関係には全く触れず、原子力規制委員会がレシピ(イ)の適用を原子力規制庁に指示しながら原子力規制庁が検討しなかったことについても敢えて無視している。

地震調査研究推進本部(以下「推本」と略す)による強震動予測レシピにはレシピ(ア)とレシピ(イ)の2つがあり、レシピ(ア)では、地震観測記録から求められる「不均質な震源断層」の面積から入倉・三宅(2001)[10]の式(以下「入倉式」と略す)で地震規模を求めるのに対し、レシピ(イ)では、過去の地震による地下でのすべりの一部が地表に現れてできる地震断層やその累積である活断層、さらには変動地形などの測地データから「震源断層」の長さを見積もり、松田式で地震規模を求める。原発周辺で将来起こりうる検討用地震についての地震観測記録が存在しない場合には(伊方3号を含めて通常はこうなる)、レシピ(ア)を適用するための前提となる「不均質な震源断層」のデータが存在せず、レシピ(イ)の「均質な震源断層」しか使えない。後者の「均質な震源断層」は前者の「不均質な震源断層」より

¹原子力規制庁による大飯原発の地震動評価が関西電力による同一条件での地震動評価の6割にすぎないこと、その際に原子力規制庁が用いた地震動評価のためのレシピは地震調査研究推進本部による強震動予測レシピを改ざんしたものであること、原子力規制委員の誰もこれらの事実未だに気付いていないことなどについては、広島高裁への意見書[19]の中で詳しく述べておいたので、ここでは省略する。

必然的に小さくなるため、後者の「均質な震源断層」にレシピ（ア）を適用すると地震規模が過小評価されてしまう。この事実が2016年熊本地震で明確に裏付けられたが故に、推本は2016年12月にレシピ（ア）と（イ）の表現を誤解されない形に改めたのである。

①と②で指摘されているのは、まさにこのことであり、その指摘を「その通り」と認めるのであれば、検討用地震の地震観測記録が存在しない伊方3号では当然、レシピ（ア）ではなく、レシピ（イ）を使うべきだと判断しなければならない。にもかかわらず、広島高裁決定が③で武村式の適用可能性についてのみ検討し、レシピ（イ）に触れることを取返して避けたのは、①と②の意義を全く理解できなかったからだというほかない。その証拠に、広島高裁決定は次のように締めくくり、問題をすり替えようとしている。

「上記②は、強震動予測に不可避の認識論的不確定性及びこれに伴う地震動過小評価のおそれをどのように低減させるべきかという一般的な問題であり、現時点での地震学の知見を前提とする限り、上記②のようなおそれを考慮しつつ、詳細な地盤調査を行って震源モデルを保守的に設定するとともに、断層の連動の可能性がある場合には、その可能性を考慮に入れて複数の震源モデルを設定し、さらに、後記の不確かさの考慮を適切に行うという方法を採用することで、強震動予測に不可避の認識論的不確定性及びこれに伴う地震動過小評価のおそれをできる限り低減させるしかないと考えられる。」 (p.271[8])

ここに言う「詳細な地盤調査」とは「測地データを詳細に得る」ということにほかならず、そこから推定される「震源断層」は「不均質な震源断層」とはほど遠い。この問題を解決するためには、測地データに基づく「均質な震源断層」と地震観測記録に基づく「不均質な震源断層」の間の関係を求める必要があるが、それには熊本地震のように、測地データに基づく「均質な震源断層」の評価がなされているところで、少なくとも10程度の地震が起こって地震観測記録が取得される必要があり（熊本地震はその最初の例である）、長い年月を要する。この関係がわからない地震学の

現状では、「震源モデルを保守的に設定」しようとしても、その術がない。レシピ（イ）はその折衷案として、詳細な測地データから得られる断層長さから地震規模を求め、この地震規模に対応する断層面積を入倉式で逆算し、断層幅に2km、断層長さに5kmの上限を設定して、逆算された断層面積まで震源断層を拡張しようとするものである。 レシピ（イ）自体も折衷案にすぎず、今後の地震学の進展によって、補完されるべきだとはいえ、地震規模が過小評価されることが分かっている、レシピ（ア）を使い続けることを容認するのは、原子力規制委員会による瑕疵を見逃すものと言える。

また、「複数の震源モデルを設定」と言うが、伊方3号の場合、54kmモデル（ないし69kmモデル）で原発への影響が最も大きくなるのであり、それ以上に長い130kmや480kmのモデルを設定しても、長大な断層ではスケーリング則が変わること、遠方の断層でしか破壊伝播速度が速く設定されないことなどから、地震動はほとんど変わらない。54kmモデルでは、レシピ（ア）によるモデルでFujii-Matsu'ura(2000)の応力降下量を適用するもの以外に、壇ほか(2011)のモデルも設定されているが、後述するように、Fujii-Matsu'ura(2000)や壇ほか(2011)は、いずれも依拠する地震データに問題があり、また、いずれも断層幅が15kmで54kmモデルの13kmより広いモデルによるシミュレーション結果に基づいているという欠陥がある。しかし、広島高裁決定はこれらを黙過している。

さらに、平均像の過小評価が問われているにもかかわらず、「不確かさの考慮を適切に行う」とか、「認識論的不確定性及びこれに伴う地震動過小評価のおそれをできる限り低減させる」とかに問題をすり替えている。しかし、「平均像」では、54km（鉛直）や69km（鉛直）の耐専スペクトルが適用外にされるなど致命的に過小評価されており、地震学界では共通認識となっている「倍半分」のぼらつき（その大半は偶然的な不確かさ）は全く考慮されていない。断層モデルにおける認識論的不確かさについては、「傾斜角」、「破壊伝播速度」、「短周期のレベル1.5倍化」などで、ある程度考慮されているが、偶然的な不確かさについては破壊開始点以外に考慮されていない。この偶然的な不確かさ

は、認識論的不確かさを除去しても取り除けない。最近の知見によれば、地震動の偶然的な不確かさは「平均+1標準偏差」が「平均」の1.75倍であり、認識論的不確かさも完全には除去できないため、その残りを含めて少なくとも平均の2倍の不確かさを考慮すべきである。誤解されないように、改めて強調しておくが、「平均像の2倍化」というと過大な要求のように見えるが、それは決して「過大な要求」ではなく、「平均+1標準偏差」のばらつきを考慮するだけのことであり、地震学界では常識になっている「倍半分」のばらつきを考慮する「控えめで合理的な要求」にすぎない。このことは断層モデルだけでなく、耐専スペクトルでも同様であり、それぞれの平均像の2倍を考慮すれば、伊方3号のクリフエッジを超える地震動を基準地震動として策定する以外にない。これらは長沢意見書[19]の中でも詳しく書かれており、キチンと評価すれば無視できないはずである。にもかかわらず、島崎氏による問題提起を曲解して、別の問題にすり替えるのは、許されることではない。

2.2 長沢意見書への的外れの批判

先の広島地裁決定では、地震動評価に不合理な点はないと結論づけながら、「さらに慎重な検討」が必要だが、そのような認定作業は「本件のような保全手続きにはなじまない」と逃げていた。曰く、「内陸地殻内地震に係る地震動評価における、すべり量飽和の考え方に依拠することの是非や入倉・三宅式の過小評価のおそれ等、四国電力の想定 of 合理性の有無について 確証を得るにはなお慎重な検討を要すべき問題がある。しかし、そのような検討には、例えば、地震学者、原子力規制委員会の関係者等の証人尋問を実施して関連事実（例えば、地震学界における学説の状況、原子力規制委員会における審査の経緯等）を 慎重に認定する作業が不可欠であるが、そのような証拠調べは、本案訴訟で行われるべきであって、本件のような仮処分手続にはなじまない。」（決定要旨 p.3[7]）

広島高裁決定は、この広島地裁決定を取り消して伊方3号の運転を差止めたが、その理由は火山の立地評価に基づくものであり、それ自体は画期的であるとはいえ、地震動評価では上記のような

慎重な認定作業を行わないまま、長沢意見書[19]を含めて抗告人の主張を全面的に退けた。広島高裁は、私の提出した意見書[19]を斜め読みしただけで、四国電力や原子力規制委員会の主張にミスリードされたまま、誤った結論に至ったと言える。火山学の知見の現状と同様に、地震学の知見についても、その現状を深く認識しさえすれば、地震動評価についても全く異なる決定になったと考えられる。ここでは意見書で述べた内容との重複を避け、広島高裁決定の何が問題かを整理する。

表1は「54kmモデル（基本ケース）に関する震源パラメータ」を要約したものだが、ここに争点とすべきすべての情報が掲載されている。意見書では、この表から次のことを指摘していた。

(a) 伊方3号の検討用地震である敷地前面海域断層群54kmモデルについては、地震観測記録が存在しないため、レシピ（ア）は使えず、レシピ（イ）を用いるしかない。

(b) レシピ（イ）によれば、地震モーメント M_0 はレシピ（ア）の1.96倍になり、円形破壊の式から断層平均応力降下量は5.0MPaとなり、アスペリティ面積比0.22より、アスペリティ平均応力降下量は22.5MPaとなる。最近の国内のM7クラス地震データによれば、アスペリティの応力降下量は20~30MPaであり²、これに整合している。

(c) 壇ら(2011)[2]およびFujii-Matsu'ura(2000)[3]は断層幅15kmの震源断層を想定したシミュレーションに基づいており、54kmモデルの断層幅13kmとは整合しない。壇ら(2011)が回帰に用いた国内地震の断層幅12kmを W_{max} とすれば、応力降下量は $\Delta\sigma = 4.3\text{MPa}$ 、 $\Delta\sigma_a = 19.5\text{MPa}$ となる。この値であれば、最近の国内地震データとほぼ整合しており、これを用いるべきである。

(d) 壇ら(2011)およびFujii-Matsu'ura(2000)が用いた地震データのうち「長大でない飽和断層」の地震データは、武村式の回帰に用いられた国内データとほぼ同一であり、入倉式の回帰に用いら

²鳥取県西部地震M7.3(2000.10.6)では2アスペリティで平均応力降下量は28.0MPaと14.0MPaと評価され[9]、能登半島地震M6.9(2007.3.25)では3アスペリティで20MPa、20MPaおよび10MPa[16]、新潟中越沖地震M6.8(2007.7.16)では3アスペリティで23.7MPa、23.7MPaおよび19.8MPa[12]、岩手・宮城内陸地震M7.2(2009.6.14)では2アスペリティで17.0MPaと18.5MPa[13]であった。

表 1: 伊方 3 号における敷地前面海域断層群 54km 基本ケース (鉛直) の震源パラメータ *1[20, 19]

	地震モーメント M_o [Nm] (比)	短周期レベル A [Nm/s ²]	応力降下量 ($\Delta\sigma, \Delta\sigma_a, 1.5\Delta\sigma_a$ or 20MPa)	S_a/S ($=\Delta\sigma/\Delta\sigma_a$)
壇ら (2011) の手法に基づく (四国電力) *2				
480km モデル	6.08×10^{19} (2.22)	1.56×10^{19}	(3.4MPa, 12.2MPa, 20MPa)	0.279
130km モデル	6.20×10^{19} (2.26)			
54km モデル	5.84×10^{19} (2.13)			
断層幅 12km で壇ら (2011) の回帰線にあわせたモデル (引用者が算出) *2				
480km モデル	7.69×10^{19} (2.81)	2.49×10^{19}	(4.3MPa, 19.5MPa, 29.3MPa)	0.22
130km モデル	7.85×10^{19} (2.86)			
54km モデル	7.38×10^{19} (2.69)			
Fujii-Matsu'ura(2000) の手法に基づく (四国電力: ただし, 54km モデルは引用者が算出) *3				
480km モデル	1.35×10^{20} (4.93)	1.65×10^{19}	(3.1MPa, 14.4MPa, 21.6MPa)	0.215
130km モデル	9.92×10^{19} (3.62)			
54km モデル	6.69×10^{19} (2.44)			
入倉・三宅 (2001)+ レシピ (ア) で Fujii-Matsu'ura の $\Delta\sigma = 3.1\text{MPa}$ を採用 (四国電力) *4				
54km モデル	2.74×10^{19} (1.00)	1.65×10^{19}	(3.1MPa, 14.4MPa, 21.6MPa)	0.215
入倉・三宅 (2001)+ レシピ (ア) で $\Delta\sigma$ を引用者が算出 (上段: A 法, 下段: $S_a/S = 0.22$ 法) *5				
54km モデル	2.74×10^{19} (1.00)	1.60×10^{19}	(3.6MPa, 13.4MPa, 20.1MPa)	0.267
	2.74×10^{19} (1.00)	1.60×10^{19}	(3.6MPa, 16.3MPa, 24.5MPa)	0.22
松田式で地震規模を求め断層面積を広げるレシピ (イ) から引用者が算出 ($S_a/S = 0.22$ 法) *6				
54km モデル	5.36×10^{19} (1.96)	2.00×10^{19}	(5.0MPa, 22.5MPa, 33.7MPa)	0.22

- *1: 敷地前面海域断層群 54km 基本ケースの震源断層は, 傾斜角 90 度 (鉛直) の右横ずれ断層で, 上端深さ 2km, 断層長さ $L = 54.0\text{km}$, 断層幅 $W = 13.0\text{km}$, 断層面積 $S = 702.0\text{km}^2$, 剛性率 $\mu = 3.31 \times 10^{10}\text{N/m}^2$, S 波速度 $\beta = 3.5\text{km/s}$, 密度 $\rho = 2.7\text{g/cm}^3$, 破壊伝播速度 $V_r = 2.5\text{km/s}$ である。480km と 130km のモデルにおいては, カスケード方式 (断層面積に比例して地震モーメントを配分) で, 全体の一部をなすものとして 54km 断層群の震源パラメータが算出されている。
- *2: 壇ら (2011) は, Irie et al.(2010) の動力学的断層破壊シミュレーションから導かれた式 $\Delta\sigma = M_o(0.5 + 2 \exp(-L/W_{\max})) / (SW_{\max})$ を国内 9 地震, 海外 13 地震のデータに当てはめて平均動的応力降下量を求め, その幾何平均として $\Delta\sigma = 3.4\text{MPa}$ を導いている。その際, 断層面積 S と断層長さ L は各地震データの値を用いているが, 断層幅は $W = S/L$ ではなく, すべて $W_{\max} = 15\text{km}$ としている。つまり, $\Delta\sigma = 3.4\text{MPa}$ と $W_{\max} = 15\text{km}$ はペアになっている。壇らの回帰式を用いて地震モーメント M_o の平均像を求めるのであれば, $W_{\max} = 15\text{km}$ とすべきところ, 四国電力は平均断層幅 (480km モデルで 12.7km, 130km モデルと 54km モデルで 13.0km) を用いている。その結果, 壇らの回帰線からずれる結果になっている。こうして得た全体の地震モーメントを断層面積に比例して配分している。たとえば, 480km モデルでは, 全体の断層面積が 6124.2km^2 , 地震モーメントが $5.30 \times 10^{20}\text{Nm}$ になるため, 54km モデルの地震モーメントは $M_o = 5.30 \times 10^{20} \times (702.0/6124.2) = 6.08 \times 10^{19}\text{Nm}$ となっている。壇らの用いた国内 9 地震の平均断層幅は 12.0km なので, $W_{\max} = 12.0\text{km}$ として, 壇らの回帰線に合うように調整すると $\Delta\sigma = 4.3\text{MPa}$ になり, 「壇ら (2011) の回帰線にあわせたモデル」のように, 地震モーメントは壇らの回帰線に載り, 短周期レベルや応力降下量も大きくなる (アスペリティ面積比は 0.279 では大きすぎるため, 断層モデルのレシピに従い $S_a/S = 0.22$ とした)。
- *3: Fujii-Matsu'ura(2000) は, 2次元のトランスフォーム・プレート境界での準静的なテクトニックローディングによる有限長断層運動シミュレーションから経験式 $M_o = WL^2\Delta\sigma/(aL + b)$ を導き, これを国内外の地震データに回帰させて, 断層平均応力降下量を $\Delta\sigma = 3.1\text{MPa}$ と求めている。ただし, リソスフェアの厚さは 30km , 剛性率 $\mu = 4.0 \times 10^{10}\text{N/m}^2$, $a = 1.4 \times 10^{-2}$, $b = 1.0$, $W = 15\text{km}$ としている。ここでも, 断層幅は 15km であり, 12~13km の震源断層に適用する際にはこの違いを考慮する必要がある。しかし, 四国電力にも原子力規制委員会にも, この違いを考慮した形跡は見られない。こうして得た全体の断層帯に対する地震モーメントを断層面積に応じて 54km モデルに比例配分している。
- *4: 四国電力はレシピ (ア) で, 本来は 100km 以上の「長大な断層」に適用すべき Fujii-Matsu'ura の応力降下量を用いている。短周期レベル A は, アスペリティの面積 S_a と平均応力降下量 $\Delta\sigma_a$ から短周期レベル $A_a = 4\sqrt{\pi S_a \beta^2 \Delta\sigma_a}$ (β は基盤での S 波速度) を求め, 背景領域についても短周期レベル $A_b = 4\sqrt{\pi S_b \beta^2 \sigma_b}$ (S_b と σ_b は背景領域の面積と実効応力) も同様に求め, $A^2 = A_a^2 + A_b^2$ の関係を用いて算出している。応力降下量を予め定める壇ら (2011) の手法と Fujii-Matsu'ura の応力降下量を用いた場合は, いずれもこの方法で短周期レベルを算出している。
- *5: 断層モデルのレシピ (ア) に従い, 入倉・三宅式で地震モーメント M_o を求め, 54km モデルは長大断層ではないため, Fujii-Matsu'ura(2000) の応力降下量を使わず, 短周期レベルは M_o から算出し, 応力降下量は円形破壊の式で求めた。上段の「A 法」とは短周期レベルからアスペリティ総面積を求める方法で, 下段の「 $S_a/S = 0.22$ 法」とはアスペリティ総面積を断層面積の 22% に固定する方法である。A 法では, 断層面積が大きくなるほどアスペリティ面積の全断層面積との比 S_a/S が大きくなり, 応力降下量が小さくなる。そのため, 地震調査研究推進本部のレシピでは, 長大な断層に関しては $S_a/S = 0.22$ 法を用いるように推奨し, 「内陸地震によるアスペリティ総面積の占める割合は, 断層総面積の平均 22% (Somerville et al., 1999), 15%~27% (宮腰・他, 2001) であり, 拘束条件にはならないが, こうした値も参照しておく必要がある」としている。壇らの $S_a/S = 0.279$ は平均像からかなり離れ, 27% の上限も超えている。
- *6: 松田式 $\log_{10} L = 0.6M - 2.9$ で断層長さ $L[\text{km}]$ から気象庁マグニチュードを求め, 換算式 $\log_{10} M_o[\text{Nm}] = 1.17M + 10.72$ で地震モーメントを求め, レシピ (イ) に従い, 断層長さを $L = 54.0 + 5.0 = 59.0\text{km}$, 断層幅を $W = 13.0 + 2.0 = 15.0\text{km}$, したがって, 断層面積を $S = 885.0\text{km}^2$ とした。この場合, A 法では $S_a/S = 0.411$ と過大になるため, $S_a/S = 0.22$ 法の結果だけを示した。

れた地震データとは整合しない。レシピ（ア）は「不均質な震源断層」に関する断層モデルのレシピであり、レシピ（イ）は地震観測記録が存在しない場合に、測地データに基づく「均質な震源断層」から地震規模を松田式で求めた後、断層面積を「不均質な震源断層」に近づけるものであり、いずれも「不均質な震源断層」による地震動評価を目指すものである。そうであれば、壇ら(2011)および Fujii-Matsu'ura(2000) が用いるべき地震データは「不均質な震源断層」に関するものであるべきであり、「長大でない飽和断層」の地震については、武村式ではなく入倉式の回帰に用いられた地震データを用い、これと整合するよう応力降下量を求め直すべきである³。

ところが、広島高裁決定では、(a)については一切触れず、レシピ（ア）を使うのが当然であるかのようにみなしている。

(b)について、広島高裁決定は「長沢意見書は、 $\Delta\sigma$ については、原則的方法で5.0MPaと設定する一方、 S_a/S については、原則的方法によると41.1%と過大になるとして、例外的方法により S_a/S ≈ 約22%と設定し、これを前提に $\Delta\sigma_a = 22.5\text{MPa}$ ($\equiv 5.0\text{MPa} \div 0.22$)と設定しており、このように原則的方法と例外的方法を混在させる方法は、レシピに照らし相当ではない。」(p.252[8])と決めつけている。ここに、「原則的方法」とは表1で「A法」と呼んでいる方法であり、「例外的方法」とは表1の「 $S_a/S = 0.22$ 法」で Fujii-Matsu'ura(2000)の $\Delta\sigma = 3.1\text{MPa}$ を用いる方法である。ここで確認しておくべきは、アスペリティの応力降下量を $\Delta\sigma_a = \Delta\sigma/(S_a/S)$ で算出すること、および、アスペリ

³少なくとも、壇ら(2011)のモデルを入倉式の回帰に用いられた地震データに回帰させようとすると、長大な断層の地震データから乖離してしまい、うまくいかない。逆に言えば、入倉式の地震データを使わずに武村式のデータが使われた理由はここにあるのかも知れない。つまり、入倉式の地震データに回帰させると応力降下量が妥当な値にならず、「長大でない飽和断層と長大な断層で応力降下量は一定である」とのモデルの前提条件が根底から崩れる可能性もある。根源的には国内地震データが少なすぎるとはいえ、この前提条件は仮説の域を出ない。推本のレシピでも、Fujii-Matsu'ura(2000)のモデルを「内陸の長大な横ずれ断層に対する関係式」と規定し、「 $W = 15\text{km}$, $a = 1.4 \times 10^{-2}$, $b = 1.0$ を仮定した上で、収集した観測データに基づく回帰計算により、 $\Delta\sigma = 3.1(\text{MPa})$ を導出している」とし、この「3.1MPaは横ずれ断層を対象とし、…いくつかの条件下で導出された値であり、その適用範囲等については今後十分に検討していく必要がある。」と但し書きしている。

ティ面積比 S_a/S が(27%を超えて)過大になれば22%に固定することについては争点になっておらず、断層平均応力降下量 $\Delta\sigma$ をどのように設定するかが争点になっていることである。「原則的方法と例外的方法を混在させる方法」かどうかは問題ではない。確かに、レシピでは「A法」でアスペリティの応力降下量 $\Delta\sigma_a$ を求めることはできないが、断層平均応力降下量 $\Delta\sigma$ については極めて曖昧だ。Fujii-Matsu'ura(2000)のモデルを「内陸の長大な横ずれ断層に対する関係式」として紹介し、「長大断層の静的応力降下量 $\Delta\sigma(\text{MPa})$ に関する新たな知見が得られるまでは暫定値としては $\Delta\sigma = 3.1(\text{MPa})$ を与えることとする。他方、円形破壊面を仮定できる規模の震源断層に対しては、次式

$$\Delta\sigma = (7\pi^{3/2}/16)M_o/S^{3/2} \quad (1)$$

により震源断層全体の静的応力降下量 $\Delta\sigma(\text{MPa})$ を算出することができる。」としているが、 $\Delta\sigma_a$ の関係式の適用範囲として S_a/S に明確な制限が付いていたのとは異なり、 $\Delta\sigma$ について「円形破壊面を仮定できる」範囲に関する記述は存在しない。

$S_a/S = 0.22$ と設定すれば、式(1)で $\Delta\sigma$ を求めても、アスペリティ面積が過大になって背景領域の地震モーメントがマイナスになるなどの理論的な矛盾は起こらず、この面からの制約は存在しないし、最近のM7クラスの国内地震データにも整合している。そもそも、 $S_a/S = 0.22$ の関係は、入倉・三宅(2001)[10]が、断層面積で $S = 100 \sim 4,000\text{km}^2$ という、飽和断層から長大な断層に至る広範囲の地震データについて、その平均像として導いた関係式であり、円形破壊面を仮定できるか否かとは無関係である。

レシピにおける「長大でない飽和断層」における $\Delta\sigma$ の設定問題は、レシピで率直に認められているとおり、「未解決の研究課題となっている」のであり、長大な断層に対する Fujii-Matsu'ura(2000)の応力降下量 $\Delta\sigma = 3.1\text{MPa}$ を用いるのはあくまで暫定的な扱いにすぎない。

むしろ、 $\Delta\sigma$ を式(1)で算出せず、 $\Delta\sigma = 3.1\text{MPa}$ と固定すれば、次のような矛盾が顕在化する。

第1に、「長大でない飽和断層」では、地震モー

メント M_o が断層面積 S の 2 乗に比例して増え⁴、面積当りの地震モーメント M_o/S が S に比例して増えるにもかかわらず、応力降下量を一定とすれば、この関係が反映されないことになり、結果として地震動が過小評価される。原子力規制庁が島崎氏の問題提起に応じて行った大飯原発の地震動評価でも、同じ断層面積に対して武村式等では地震モーメントが増大するため、 $\Delta\sigma$ を M_o に比例させて大きくしている。これは事実上、 S を一定として、式 (1) の関係を用いたに等しい。こうしなければ、大飯原発の地震動評価は地震モーメントが増えても同じという結果になっていたのである。これと同じことは、表 1 にも見られ、54km モデルの断層面積は変わらないのに、四国電力による壇ら (2011) のモデルや Fujii-Matsu'ura(2000) のモデルでは、それぞれ 3 種類の地震モーメント M_o が導かれているが、応力降下量はそれぞれで 3 種類とも一定値に設定されており⁵、地震モーメントの増大が応力降下量や短周期レベルなど地震動評価を左右する震源パラメータには全く反映されていない。これでは、 M_o が大きく増えても、地震動が小さいままに留まるのは必然だと言える。

第 2 に、 $S_a/S = 0.22$ かつ $\Delta\sigma = 3.1\text{MPa}$ として得られる $\Delta\sigma_a = 14.4\text{MPa}$ の値は、(b) で指摘したとおり、最近の M7 クラスの国内地震データで $\Delta\sigma_a = 20 \sim 30\text{MPa}$ であるという事実と整合せず、過小設定になっている恐れがある。ここで注意すべきは、広島高裁決定が、1995~2013 年に国内で発生した $M_w 5.4 \sim 6.9$ の 18 の内陸地殻内地震を分析した宮腰ほか (2015)[18] に基づき、アスペリティ応力降下量 $\Delta\sigma_a$ の幾何平均が震源インバージョンで 13.2MPa 、経験的グリーン関数法フォワードモデリングによる SMGA 応力降下量で 13.6MPa であることから、 14.4MPa の値もこれに「概ね整合している」(p.260[8]) と判断していることである。

しかし、宮腰ほか (2015) の用いた地震データは $M_w 6.5$ 以上の飽和断層による 8 地震と $M_w 6.5$ 未満の未飽和断層による 10 地震を区別せず、全地震

⁴未飽和断層では $M_o \propto S^{3/2}$ なので、式 (1) との関係から、 $\Delta\sigma$ は一定となる。長大な断層では $M_o \propto S$ なので、 M_o/S は一定となり、 $\Delta\sigma$ を一定と見なしても矛盾しない。長大でない飽和断層では $M_o \propto S^2$ となって $M_o/S \propto S$ となるため、 $\Delta\sigma$ を一定とすると地震モーメントの増分が震源パラメータに反映されるところがなくなる。

について応力降下量の幾何平均を算出したものであり、スケーリング則の異なる飽和断層と未飽和断層を区別して評価しなければ、飽和断層の応力降下量を過小評価し、結果として地震動を過小評価してしまう。というのも、伊方 3 号で対象とすべきは M7 クラスの飽和断層 ($M_w 6.5$ 以上または $7.5 \times 10^{18}\text{Nm}$ 以上) だからである。

そこで、表 2 および表 3 のように、飽和断層と未飽和断層を区別し、飽和断層の 8 地震について応力降下量の幾何平均を求めると、震源インバージョンによる $\Delta\sigma_a$ は 18.1MPa 、フォワードモデリングによる SMGA 最大応力降下量は 19.7MPa となり⁶、 14.4MPa はこれらと整合しないと言える。

さらに、宮腰ほか (2015) は震源インバージョンによる飽和断層の 8 地震については、一律に $\Delta\sigma = 3.1\text{MPa}$ として S_a/S から $\Delta\sigma_a$ を算出しており、引用文献の地震動評価で用いられた $\Delta\sigma_a$ とは異なる。アスペリティが複数ある場合にはアスペリティ応力降下量の最大値 (地震動評価を決定づける) で代表させ、たとえ平均をとるとしても、最大値に関する平均としなければ地震動を過小評価してしまう。(b) で注記した M7 クラス 4 地震のアスペリティ応力降下量の代表値 (最大値) は、 28.0MPa 、 20MPa 、 23.7MPa 、 18.5MPa 、幾何平均で 22.3MPa であり、 14.4MPa はこのレベルにはほど遠い。

宮腰ほか (2015) のフォワードモデリングでも飽和断層の 8 地震における SMGA 応力降下量の最大値は $10.7 \sim 46.9\text{MPa}$ と地震や引用文献によって大きくばらつくが、その幾何平均は上記の 19.7MPa であり、 14.4MPa がこれに整合しないのは明らかだ。要するに、地震動を再現できるようにパラメータの幾何平均をとらなければ、地震動を再現できない「平均像」になってしまい、結果として地震動の過小評価につながるのである。

第 3 に、Fujii-Matsu'ura(2000) の応力降下量は、「長大でない飽和断層と長大な断層で応力降下量が

⁶宮腰ほか (2015)[18] は、震源インバージョンでは、アスペリティ面積比 S_a/S が $0.14 \sim 0.23$ と過大でないにもかかわらず、飽和断層に対して一律に Fujii-Matsu'ura の $\Delta\sigma = 3.1\text{MPa}$ を用い、 $\Delta\sigma_a = \Delta\sigma/(S_a/S)$ で $\Delta\sigma_a$ を算出しており、引用文献に示された複数のアスペリティと複数の $\Delta\sigma_a$ の存在を無視している。フォワードモデリングでは、各地震について SMGA が複数ある場合はその幾何平均をとっているが、地震動を再現するためには最大値を代表値とすべきであり、ここでは応力降下量の最大値の幾何平均を求めた。

表 2: 宮腰ほか (2015) による「内陸地殻内地震 (M_w 5.4 ~ 6.9) の震源インバージョン結果から抽出された震源パラメータ」[18] の一部を抜粋し、飽和断層と未飽和断層を区別して幾何平均を求めて比較したもの

No.	地震名	L km		W km		S^{*1} km ²		S_{a2} km ²		S_a/S		$\Delta\sigma^{*2}$ MPa	$\Delta\sigma_a$ MPa
1	1995 年兵庫県南部地震	64		21		1303		244		0.19		3.1 ^{*2}	16.6
2	2008 年岩手・宮城内陸地震	39	38 40	18	18 18	702	684 720	112	104 120	0.16	0.15 0.17	3.1 ^{*2}	19.5
3	2007 年能登半島地震	26	30 22	18	16 20	460	480 440	82	84 81	0.18	0.18 0.18	3.1 ^{*2}	17.3
4	2011 年福島県浜通りの地震	40		16		640		144		0.23		3.1 ^{*2}	13.8
5	2007 年新潟県中越沖地震	28	30 30 25 28	19	24 18 17 18	537	720 540 425 504	81	64 92 100 72	0.16	0.09 0.17 0.24 0.14	3.1 ^{*2}	19.5
6	2000 年鳥取県西部地震	34		18		598		101		0.17		3.1 ^{*2}	18.4
7	2005 年福岡県西方沖の地震	26		18		468		64		0.14		3.1 ^{*2}	22.7
8	2004 年新潟県中越地震	28		18		504		84		0.17		3.1 ^{*2}	18.6
地震モーメント M_0 が 7.5×10^{18} Nm (Mw6.5 相当) 以上の飽和断層に関する幾何平均 ^{*3}										0.17	3.1	18.1	
9	2011年長野県・新潟県県境付近の地震	22		14		308		72		0.23		1.0	4.1
10	2003 年宮城県北部の地震	18		10		180		20		0.11		1.5	13.9
11	1997 年 3 月鹿児島県北西部の地震	12		10		120		18		0.15		2.6	17.3
12	1997 年 5 月鹿児島県北西部の地震	17		10		170		15		0.09		1.3	15.2
13	2011 年静岡県東部の地震	8		12		96		16		0.17		2.2	13.0
14	1998 年岩手県内陸北部の地震	10		10		100		16		0.16		1.8	11.5
15	1997 年山口県北部の地震	8		14		112		18		0.16		1.2	7.2
16	2013 年栃木県北部の地震	12		7		84		12		0.14		1.8	12.3
17	2013 年淡路島付近の地震	10		6		60		12		0.20		2.9	14.3
18	2005年福岡県西方沖の地震最大余震	8		8		64		9		0.14		0.6	4.4
地震モーメント M_0 が 7.5×10^{18} Nm (Mw6.5 相当) 未満の未飽和断層に関する幾何平均										0.15	1.5	10.2	
飽和断層と未飽和断層を区別せず、全断層について幾何平均を求めた場合 (原論文)										0.16	2.1	13.2	

*1: 原論文 [18] では、「Somerville et al. の規範に従い、震源インバージョン解析で得られた断層面上での不均質すべり分布に基づいて断層破壊領域 (S : Rupture Area), アスペリティ領域 (S_a : Combined Area of Asperities) 等を抽出した」とされており、上表の震源断層面積 S はこの「断層破壊領域」を表す。したがって、これは入倉・三宅式 (2001)[10] の対象とする震源断層の定義と一致し、地震後に判明する「不均質な震源断層」を表す。壇ら (2011)[2] も「破壊面積」を定義しているが、この「断層破壊領域」とは別物であり、混同しやすいので注意を要する。壇らは、断層幅 15km の震源断層モデルによるシミュレーション結果を用いているが、その震源断層の上端は地下 3km にあり、地表から 3~18km の範囲に震源断層が存在すると仮定されている。断層上端から地表までの 3km の範囲は歪みエネルギーを蓄積できない部分であり、地震動評価にも影響しないが、壇らは、この部分を含めた領域を「破壊領域 S_{rup} 」と呼んでいる。

*2: 応力降下量の算出方法は飽和断層と未飽和断層とで異なっている。原論文 [18] では、「断層面全体の平均応力降下量 ($\Delta\sigma$) を求める際、 M_w 6.5 (7.5×10^{18} [Nm]) 以下の自己相似則が仮定できる地震 (stage 1) は円形クラックの式 (Eshelby)) から求め ($\Delta\sigma = 7\pi\mu D / (16\sqrt{LW/\pi})$; $M_0 = \mu DS$ と $S = LW$ より式 (1) と同じ)、自己相似則から乖離する M_w 6.5 (7.5×10^{18} [Nm]) 以上の大地震 (stage 2 以上) は Fujii and Matsu'ura に従って平均応力降下量を 3.1MPa と仮定している。ただし、地震本部でも述べられているように Fujii and Matsu'ura の検討で得られた 3.1MPa は、横ずれ断層を対象にしており、その適用範囲等については十分に検討していく必要があるが、ここでは暫定値として与えている。得られた平均応力降下量 ($\Delta\sigma$) に基づき、下記に示すようにアスペリティ面積比 (S_a/S) を用いてアスペリティ領域の平均応力降下量 ($\Delta\sigma_a$) を算出した。

$$\Delta\sigma_a = (S/S_a)\Delta\sigma \text{ (Madariaga)}$$

Fujii and Matsu'ura[3] の応力降下量は飽和断層から長大な断層まで応力降下量が変わらないと仮定して導かれたものであり、仮説の域を出ない。未飽和断層の場合には、スケーリング則から「応力降下量は一定になる」と言えるが、原論文でも指摘されているとおり、「スケーリング則の異なる飽和断層と長大な断層で応力降下量は一定になる」という仮説は理論的にも地震データでも未だ証明されていない。しかも、Fujii and Matsu'ura[3] が理論式への回帰に用いた地震データは、長大な断層では「不均質な震源断層」のデータなのに、長大でない飽和断層のデータのほとんどは武村 (1998)[21] の「均質な震源断層」のデータである。仮に、武村のデータを入倉/三宅 (2001) の「不均質な震源断層」データと入替えると Fujii and Matsu'ura[3] の理論式にはうまくフィットしない。また、長大な飽和断層では断層面積の 2 乗に比例して地震モーメントが増えるため、これを応力降下量に反映させる必要があることは、島崎氏の問題提起に応じて行った原子力規制庁の解析でも認められている。

*3: 原論文 [18] では、未飽和断層と飽和断層を区別せず、すべての断層についてアスペリティ面積比 S_a/S や応力降下量 $\Delta\sigma$, $\Delta\sigma_a$ の幾何平均を求めているが、両者でスケーリング則が異なるため、飽和断層と未飽和断層を区別して幾何平均を求めた。その結果、アスペリティ面積比 S_a/S ではほとんど差がなかったものの、応力降下量では飽和断層で $\Delta\sigma = 3.1$ MPa, $\Delta\sigma_a = 18.1$ と大きくなり、未飽和断層では $\Delta\sigma = 1.5$ MPa, $\Delta\sigma_a = 10.2$ と小さくなった。両者を混在させた原論文のやり方では、飽和断層の応力降下量が過小評価されることは明らかであろう。

表 3: 宮腰ほか (2015) による「内陸地殻内地震 (M_w 5.4 ~ 6.9) の EGF フォワードモデリングによる SMGA 面積および応力降下量」[18] の一部を抜粋し、飽和断層と未飽和断層を区別して幾何平均を求めて比較したものの

No.	地震名	Total SMGA km ² (Number)	SMGA km ²			Stress Drop MPa				
			SMGA1	SMGA2	SMGA3	SMGA1	SMGA2	SMGA3	Average	
1	1995 年兵庫県南部地震	304.0 (3)	176	64	64	8.6	16.3	8.6	10.6	
2	2008 年岩手・宮城内陸地震	92.5 (2)	46.24	46.24	-	13.8	13.8	-	13.8	
3	2007 年能登半島地震	85.0	52.7 (2)	39.69	12.96	-	25.8	10.3	-	20.5
			69.2 (3)	27.0	27.0	15.2	46.9	37.5	46.9	
			146.0 (2)	98.01	48.00	-	9.4	15.6	-	
			97.9 (3)	51.84	23.04	23.04	20.0	20.0	10.0	
4	2011 年福島県浜通りの地震	79.0 (2)	39.5	39.5	-	14.6	14.6	-	14.6	
5	2007 年新潟県中越沖地震	89.0	85.9 (3)	30.25	30.25	25.40	23.7	23.7	19.8	19.9
			92.3 (3)	36.00	36.00	20.25	19.5	14.8	19.5	
6	2000 年鳥取県西部地震	57.6 (2)	28.8	28.8	-	28.0	14.0	-	19.8	
7	2005 年福岡県西方沖の地震	41.8 (1)	41.8	-	-	10.7	-	-	10.7	
8	2004 年新潟県中越地震	91.0 (2)	75	16	-	7.0	20.0	-	11.8	
M ₀ が 7.5×10^{18} Nm (Mw6.5 相当) 以上の飽和断層に関する幾何平均 *2						19.7 (最大値の幾何平均)			14.7	
9	2011年長野県・新潟県県境付近の地震	None (×)	×	×	×	×	×	×	×	
10	2003 年宮城県北部の地震	None (×)	×	×	×	×	×	×	×	
11	1997 年 3 月鹿児島県北西部の地震	42.0 (1)	42	-	-	17.0*1	-	-	17.0*1	
12	1997 年 5 月鹿児島県北西部の地震	24.0 (2)	12	12	-	23.9*1	23.9*1	-	23.9*1	
13	2011 年静岡県東部の地震	26.6 (1)	26.63	-	-	16.9	-	-	16.9	
14	1998年岩手県内陸北部の地震	16.0 (1)	16	-	-	20.3*1	-	-	20.3*1	
15	1997 年山口県北部の地震	14.4 (1)	14.4	-	-	20.5*1	-	-	20.5*1	
16	2013 年栃木県北部の地震	17.6 (1)	17.6	-	-	16.4	-	-	16.4	
17	2013 年淡路島付近の地震	8.1 (1)	8.12	-	-	9.0	-	-	9.0	
18	2005年福岡県西方沖の地震最大余震	15.8 (1)	15.75	-	-	1.4	-	-	1.4	
M ₀ が 7.5×10^{18} Nm (Mw6.5 相当) 未満の未飽和断層に関する幾何平均 *2						12.5 (最大値の幾何平均)			12.5	
飽和断層と未飽和断層を区別せず、全断層について幾何平均を求めた場合 (原論文) *2									13.6	

*1: 原論文 [18] では、「Miyake et al(2003) (の文献から引用されたこれらの地震) の応力降下量は本研究で円形クラック (Eshelby) を仮定した推定値」と注意書きされている

*2: 原論文 [18] では、未飽和断層と飽和断層を区別せず、すべての断層について Stress drop (応力降下量) の幾何平均を 13.6MPa と算出しているが、両者でスケール則が異なるため、表 2 と同様に、飽和断層と未飽和断層を区別して幾何平均を求めた。その結果、応力降下量は飽和断層で 14.7MPa と大きくなり、未飽和断層では 12.5MPa と小さくなった。さらに、飽和断層では強震動生成領域 SMGA(Strong Motion Generation Area) が複数ある場合が多く、このような場合には、その最大の応力降下量が地震動の再現に最も寄与していると考えられることから、応力降下量の最大値について幾何平均を求めた。その結果、飽和断層では 19.7MPa と大きくなる一方、SMGA がほぼ一つの未飽和断層では 12.5MPa と小さいままに留まり、その差が大きく開いた。両者を混在させ、また、最大値の幾何平均で評価しない原論文のやり方では、飽和断層の応力降下量が過小評価されることは明らかであろう。

一定になる」と仮定したモデルについて国内外の地震データを回帰させて導かれたものだが、このモデルは仮説にすぎず、広島高裁決定が指摘しているとおり、推本のレシピでも、モデルそのものは採用されていない⁷。また、(d) で指摘したとお

り、用いられた国内データのほとんどは「不均質な震源断層」のデータではなく、そのような質の異なるデータに基づいて導かれた応力降下量に信頼性は乏しいと言わざるを得ないし、入倉・三宅 (2001) の用いた「不均質な震源断層」の地震データを「長大でない飽和断層による地震」のデータ

⁷Fujii-Matsu'ura(2000) は $M_0 = \Delta\sigma WL^2/(aL+b)$ の関係式で表されるモデルを構築し、リソスフェアの厚さ = 30km, 剛性率 $\mu = 4.0 \times 10^{10}$ N/m² とし、構造依存のパラメータの値を $a = 1.4 \times 10^{-2}$, $b = 1.0$ と導いている。これらの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 $\Delta\sigma = 3.1$ MPa を導出しているが、入倉 (2004)[11] は、この式を次のように論評している。「Matsu'ura and Sato (1997) による『2次元のトランスフォーム・プレート境界での準静的なテクトニック・ローディングによる有限長の断層運動のシミュレーション』を用いて導かれたものである。従って、この式自体は3次元の断層場での地震発生の理論モデル

としては不十分なものである。ただし、観測データとして得られている $M_0 - L$ 関係を説明するための経験的関係式として意味がある。式の物理学的な意味での有効性については、3次元の動力学モデルに基づく理論的検証および観測データに基づく検証の両面の検討が必要とされる。」つまり、理論モデルとしては不十分であり、経験式としても、応力降下量を含めたパラメータの値の妥当性については、動力学の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であり、 $\Delta\sigma = 3.1$ MPa については具体的な検証が必要なのである。

として採用すれば、応力降下量が妥当な値にならず（つまり、モデルとして回帰できず）、前提となる仮説が成り立たない可能性もある。同じことは、壇ら(2011)のモデルについても言える。

第4に、耐専スペクトルが適用された高浜3・4号では、耐専スペクトルに対して断層モデルによる地震動評価結果が1/2～1/3になっており、Fujii-Matsu'ura(2000)の応力降下量 $\Delta\sigma = 3.1\text{MPa}$ を用いた結果だと考えられる。ちなみに、断層モデルでは2007年新潟県中越沖地震の教訓を踏まえて短周期のレベル（応力降下量と短周期レベル）を1.5倍にしているが、耐専スペクトルでも「内陸補正を行っていない」ことが「短周期のレベルの1.5倍化」に等しく、条件としては全く同じである。川内1・2号でも同様の結果が見られるが、伊方3号では54km鉛直および69km鉛直に対応する耐専スペクトルが適用されていないため、比較できないだけである。

第5に、レシピは「長大でない飽和断層における応力降下量の設定法」が「未解決の研究課題」であることを認めながら、暫定値として長大断層に対する値 $\Delta\sigma = 3.1\text{MPa}$ を与えているが、その根拠は明示されず、考え抜かれたものとは言い難い。たとえば、長大断層のスケーリング則が導入された2016年6月レシピ[14]では、 $\Delta\sigma = 3.1\text{MPa}$ の採用は長大断層に限ると明記され、事実上、式(1)で $\Delta\sigma$ を求めることが明確になったかと思えば、半年後の12月レシピ[15]では、長大でない飽和断層も暫定的な対象とすることが追記された⁸。このように、レシピを作成した推本そのものが短期間に大きく動揺しており、しっかり考え抜かれた定

⁸2016年6月レシピでは、「円形破壊面を仮定せずアスペリティ面積比を22%、静的応力降下量を3.1MPaとする取扱いは、暫定的に、断層幅と平均すべり量とが飽和する目安となる $M_0 = 1.8 \times 10^{20}(\text{Nm})$ を上回る断層の地震を対象とする。断層幅のみが飽和するような規模の地震に対する設定方法に関しては、今後の研究成果に応じて改良される可能性がある。」とされ、2016年12月レシピでは「円形破壊面を仮定せずアスペリティ面積比を22%、静的応力降下量を3.1MPaとする取扱いは、暫定的に、以下のいずれかの断層の地震を対象とする。(i)断層幅と平均すべり量とが飽和する目安となる $M_0 = 1.8 \times 10^{20}(\text{Nm})$ を上回る断層、(ii) $M_0 = 1.8 \times 10^{20}(\text{Nm})$ を上回らない場合でも、アスペリティ面積比が大きくなったり背景領域の応力降下量が負になるなど、非現実的なパラメータ設定になり、円形クラックの式を用いてアスペリティの大きさを決めることが困難な断層等。なお、断層幅のみが飽和するような規模の地震に対する設定方法に関しては、今後の研究成果に応じて改良される可能性がある。」とされ、その根拠も説明もなく、(ii)が追加された。

説と言えるものでないことは明らかである。

広島高裁決定は、抗告人が $S_a/S = 0.22$ かつ式(1)で $\Delta\sigma$ を求める長沢意見書の方法に基づき「 $\Delta\sigma_a$ も M_0 と正の相関があると考えるのが相当である」と主張したことに對して、「上記主張に沿う知見は、本件で証拠として提出されておらず、上記主張も採用できない。」(p.255[8])と決めつけているが、それに対する証拠は以上に述べた第1から第5の5つであり、その大半は長沢意見書の中で詳細に述べてある。広島高裁は、四国電力の主張にミスリードされることなく、長沢意見書をつぶさに証拠として検討すべきであった。

(c)については、広島高裁決定は「 W が15kmより小さい本件54kmケース($W = 13\text{km}$)、130kmケース($W = 13\text{km}$)、480kmケース($W = 12.7\text{km}$)で $\Delta\sigma = 3.4\text{MPa}$ を用いると、 $\Delta\sigma$ が過小評価になる（その結果 $\Delta\sigma_a$ も過小評価となる）との疑いが生じないではない。」と認めながら、「壇ほか(2011)は…長大な横ずれ断層における断層パラメータの設定を可能にするために $\Delta\sigma$ と $\Delta\sigma_a$ を先験的に定めることを目的としているのであり、上記各既定値($\Delta\sigma = 3.1\text{MPa}$, $\Delta\sigma_a = 12.2\text{MPa}$)は、個々の断層モデルの設定に当たり、当該断層の W に応じた引き直しをすることをそもそも予定していない数値といえる。」(pp.261-262[8])と横道へそれている。そもそも「引き直し」を求めているわけではなく、壇ら(2011)の用いた国内地震データの断層幅は平均12.0kmと狭く、海外平均の16.0kmと大きな差があるにもかかわらず、動力的シミュレーションに合わせて一律に15kmと設定したものであり、地震データの問題を当面棚上げにして、国内地震データに合わせて断層幅を12kmとして「 $\Delta\sigma$ と $\Delta\sigma_a$ を先験的に定め」れば（実際には、地震データに回帰させるという意味で「経験的」なのだが）、 $\Delta\sigma = 4.3\text{MPa}$, $\Delta\sigma_a = 19.5\text{MPa}$ ($S_a/S = 0.22$ を仮定)になると主張しているのである。

原子力規制委員会での議論についても、四国電力が「 $S \sim M_0$ 関係については、基本ケースは、 $W_{\text{max}} = 15\text{km}$ を仮定した壇ほか(2011)の回帰曲線の付近にあって平均的といえ、北傾斜ケースのうち480kmと130kmは M_0 がやや大きめではあるが、データのばらつきの範囲内にある」ので、

M_0 の設定値は適切なレベルにあり、壇ほか (2011) の $\Delta\sigma \sim M_0$ 関係式の適用は可能と判断する」などと説明し、「この見解は、原子力規制委員会では認められている。」(p.263[8]) としているが、見当違いも甚だしい。基本ケースや北傾斜ケースは地震データではなく、壇ら (2011) の回帰式から平均像として導かれたものであり、 $S \sim M_0$ 関係でも壇ら (2011) の回帰曲線の上に乗らねばならず、そこを外れていればそれ自体がおかしいのである。四国電力は「断層幅 13km を仮定した回帰線」を描いており、広島高裁の言う「 W に応じた (回帰曲線の) 引き直し」を行っている⁹。原告人はその「引き直し」の仕方が間違っていると指摘しているのである。また、回帰式による平均像を示しているのに、「データのばらつきの範囲内にある」という説明は、それ自身が成り立たない。四国電力は元より、原子力規制委員会も、この自明のことを理解できなかったものであり、過誤・欠落も甚だしい。

(d) については、(b) の第 3 の矛盾の箇所に取り込んで説明したので、ここでは繰り返さないが、「スケリング則の異なる長大でない飽和断層と長大な断層とで応力降下量が同じ」という仮説は地震学界の中でも未解決であり、何十年かかるかわからない「解決」を待っていては遅いと言える。

2.3 しびれを切らせた「震源を特性せず策定する地震動」の解析サボタージュ

地震ガイド [5] では、「『震源を特定せず策定する地震動』は、震源と活断層を関連づけることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に各種の不確かさを考慮して敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定して策定されている必要がある。」としていることから、原告人は、地震計

⁹四国電力は $W_{\max} = 15\text{km}$ の回帰線を引くべきところ、 $W_{\max} = 13\text{km}$ の回帰線を引いているが、ここに四国電力による壇らの回帰線への無理解が顕著に現われている。壇らは地震データに理論式を当てはめる際に、地震データの断層幅をそのまま使わず、 $W_{\max} = 15\text{km}$ に置換える一方、震源断層面積 S は $S = LW_{\max}$ とせずに、地震データそのものを用いている。つまり、実際の地震データとは無関係に、 $W_{\max} = 15\text{km}$ として応力降下量を算出しているのである。したがって、壇らの回帰線は $W_{\max} = 15\text{km}$ の回帰線以外に存在せず、 $W_{\max} = 13\text{km}$ の回帰線を求めるのであれば、 $W_{\max} = 15\text{km}$ の代わりに $W_{\max} = 13\text{km}$ で地震データの断層幅を置換えた上で、壇らの式で応力降下量を計算し直す必要があったのである。

の設置不足を補い、地震観測記録の不足を補う観点から、「各種の不確かさを考慮」する一環として、2004 年北海道留萌支庁南部地震に関する地盤環境研究所の再現モデルによる地震動解析結果 [1] および原子力安全基盤機構 JNES による $M6.5$ の横ずれ断層の断層モデルによる地震動解析結果 [4] を採用すべきと主張した。ところが、広島高裁決定は、ガイドでは「考慮すべき『各種不確かさ』が具体的に列挙されているわけでもない」とごまかし、「いずれも断層モデルを設定し、これをもとに留萌支庁南部地震の地震動を予測した結果であることが明らかであるから、…新規制基準及び地震ガイドにおける『震源を特定せず策定する地震動』の定め趣旨や内容に照らすと、原告人らの主張に沿う上記各知見によっては、相手方がした『震源を特定せず策定する地震動』の評価の合理性は左右されない。この点に関する原告人らの主張は採用できない。」と退けている。

しかし、以下に述べるとおり、状況はすでに大きく変わりつつある。「震源を特定せず策定する地震動」については、第 52 回原子力規制委員会 (2017.11.29) で「震源を特定せず策定する地震動に関する検討チーム」の設置が決定され、2018 年 1 月から検討し始め、「半年とか 1 年程度以内には何とかめどをつけ」、その検討結果も踏まえ、「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」への反映について検討を行うことになった。その主な検討内容は、(1) 対象とする地震の規模及び観測記録、(2) 観測記録の統計処理の方法 (震源距離等の補正)、(3) 標準応答スペクトルの策定 (統計処理後の観測記録のばらつきの考え方等)、(4) 敷地の地盤物性に応じた応答スペクトル及び加速度時刻歴波形の策定方法の 4 項目であり、「全国共通に適用できる地震動の策定方法 (標準応答スペクトルの提示も含む) を明確にすることが望ましい」としている。(2) では各観測点と震源との距離がまちまちなのでこれを統一すべく補正し、(3) では統計処理後の観測記録のばらつきを考慮しながらどのように標準応答スペクトルを策定するのが検討される。つまり、観測記録に基づいて「各種の不確かさを考慮して」標準応答スペクトルを

提示することが、原子力規制委員会でも、これから検討されようとしているのである。これは、抗告人がまさに主張してきた観点を一部取り入れたものと言える。その具体的な対処の仕方は原子力規制委員会と抗告人とで異なるとは言え、四国電力のように審査ガイドに記された「各種の不確かさの考慮」を頭から否定する主張とは相容れない。この点では、今回の「震源を特定せず策定する地震動に関する検討チーム」の設置そのものが、電力会社による地震動解析のサボタージュとも言える事態に原子力規制委員会が「しびれを切らした」結果であることも見逃せない事実である。その経緯については、議事録（pp.21-25）に以下のように詳しく記されている。

○石渡委員　そういう活断層が地表に現れないような地震というのは、これはどこでも起こるもので、ですから、そういうどこでも起こり得る地震というものを発電所の直下に発生すると仮定して、この「震源を特定せず策定する地震動」という基準地震動の一つを作るということになっているわけです。その候補となるような地震というのを地震ガイドでは沢山挙げているのですけれども、現在までの審査では、1つだけ、北海道留萌支庁南部地震という、実際にこれは起きた地震なわけですけれども、その波形というものを使ってやっていて、実際、今までの審査の中で、それが基準地震動になっている発電所というのものもあるわけなのです。ですから、そういう意味では非常に重要なのですが、なかなかその検討というのがそれ以後進んでいないということで、もうそろそろこれはきちんとこちら側が主導的にやらなければいけないだろうということで、こういう提案になっているものと私は理解しております。（中略）

○更田委員長　私も、この検討チームの設置については、重要な意味を持っていると思って、このとおりでいいと思っているのですけれども、最初の石渡委員のコメントに重なるところがあるのだけれども、震源を特定せず策定する地震動に関しては、原子力事業者がきちんと努力をして、北海道留萌支庁南部地震以外のものについても、一定程度のまとまった成果が出たら、きちんとそれを自ら示してくると、そういうものだと私はずっと理解をしていたのですけれども、この点はそれでいいですね。

○大浅田原子力規制部審査グループ安全規制管理官（地震・津波審査担当）　そういうふうに私どもも考えておいて、後続の審査会合の場とか、あと、電力中央研究所も含めて、電力事業者とのヒアリングの場とかで進捗状況自体は聞いておったのですけれども、まだ、ころっとしたまとまった形でというのは聞いてございま

せんので、そこはきちんと検討チームの場で聴取したいと考えてございます。

○更田委員長　要するに、これはしびれを切らしたということですか。

○大浅田原子力規制部審査グループ安全規制管理官（地震・津波審査担当）はい。そういう側面もでございます。

○更田委員長　であるとする、事業者の姿勢の問題として問わなければいけない部分もあって、地震というのは、やはり発電所を含めた原子力施設全般において最も防ぎにくい脅威であって、防ぎにくいというのはいろいろな意味で、ですけれども、多重性等々が必ずしも有効な対策にならないという意味で、地震というのは非常に守りにくいハザードであって、それについてのレベルを定めるということは、安全上の考慮の「いろは」の「い」に来るはずですね。それについて、新規基準策定以来、それから、審査の初期から、震源を特定せず策定する地震動に関しては、きちんとした事業者努力が傾注されることを求めてきたはずだけれども、それに関してしびれを切らしたというのは、ただ、だから待っているというわけにいかないの、こちら側から始めることは大変重要なことだと思いますけれども、なぜこちらがしびれを切らしてこうしなければならなかったのだよというのは、気分として残るところでありまして、事業者努力がどこまで進んでいるのか。それから、先ほど大浅田管理官は半年、1年という言い方をしたけれども、規制当局が半年、1年でできることを、事業者はこの2年なり3年なりで何をしてきたのか。これはきちんと聴取をして、きちんとした努力が注がれているのかどうかという。これは少し検討チームの枠から出るわけではなくて、石渡委員にお願いするしかないのだけれども、是非その辺りは、当然、検討チームの最初の方で、事業者においてどういう検討がなされているかは聴取することになるのだらうと思いますけれども、そこら辺をうやむやにしないできちんと詰めてほしいと思いますけれども、石渡委員、よろしいでしょうか。

○石渡委員　それについては、例えば、電力会社の社長を呼んで意見交換会をずっとやっておりますけれども、あの場で電気事業連合会の会長である方とか、そういう方にも、これについてはきちんとなるべく早くやってくださいということを何回もお願いはしていたわけですね。ですから、そういう意味で、ある意味、実際、一つそういう波形ができてしまうと、それを使って他のところも全部それでやればいというようなことで今までやってきたのではないかという感じがいたしますので、やはりこの時期、もう既にそういう規制基準ができてからもう大分になりますので、これはもうこちらからやはり動くべき時期ではないかということで、今回、動き出すということだと思います。

この石渡委員の発言は、原子力規制委員会・原

子力規制庁の中では周知の事実で裏付けられているが、その詳細は長沢意見書 [8] の中で述べたので、ここでは繰り返さない。

四国電力をはじめ電力会社はこれまでの地震動解析のサボタージュを反省し、「震源を特定せず策定する地震動」の位置づけを改め、「各種の不確かさの考慮」を取り入れるべきである。そうすれば、基準地震動を大きく設定し直す必要があり、それがクリフエッジを超えることは避けられない。これを回避するために各種の不確かさを考慮しないのであれば、その結果として、福島第一原発事故のように破局的な原子力災害が生じて、四国電力等は歴史的に重大な責任を免れることはできない。

2.4 結言

伊方3号の運転を差止めた広島高裁の仮処分決定は画期的であった。しかし、地震動評価については事実誤認や誤った判断に基づいている。

広島高裁決定は、地震動評価では、島崎邦彦元原子力規制委員長代理による問題提起を歪曲しており、地震調査研究推進本部の強震動予測レシピのうちレシピ(A)は検討用地震の地震観測記録に基づく「不均質な震源断層」が得られていなければ使えず、詳細な調査で得た測地データに基づく震源断層ではレシピ(I)を使うほかないことを認定しなかった。

レシピ(A)の入倉式によるモデル以外に壇らのモデルや Fujii-Matsu'ura のモデルなど複数のモデル作成および不確かさの考慮でカバーできるかのような指摘を真に受け、長沢意見書で指摘されていたモデルの問題点を無視し、偶然的不確かさを含めた「倍半分」のばらつきの考慮を退けた。これらは地震動評価にとって致命的であり、原子力規制委員会による瑕疵を見逃し、地震動の過小評価を黙認するものである。

広島高裁決定は、長沢意見書で示されたレシピ(I)による震源パラメータの設定法にはそれを正当化する証拠がないと決めつけていたため、本小論では長沢意見書の中でその証拠の大半が具体的に示されていることを改めて整理して示し、新たな論点を加え、5点にわたる証拠として補強した。

参考文献

- [1] (財)地域地盤環境研究所(2011): 震源を特定せず策定する地震動に関する計算業務報告書(2011.3)
http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/taishinkojo/pdf/ukeoi_1.pdf
- [2] 壇一男・具典淑・入江紀嘉・アルズベイマサマン・石井やよい(2011): 長大横ずれ断層による内陸地震の平均動的応力降下量の推定と強震動予測のためのアスペリティモデルの設定方法への応用, 日本建築学会構造系論文集, 第 670 号, 2041-2050.
- [3] Fujii Y. and Matsu'ura M. (2000): Regional Difference in Scaling Laws for Large Earthquakes and its Tectonic Implication, Pure appl. Geophys. 157, 2283-2302
- [4] 独立行政法人原子力安全基盤機構(2005): 震源を特定しにくい地震による地震動の検討に関する報告書(平成 16 年度), JNES/SAE05-00405 解部報-0004(2005.6)
<https://www.nsr.go.jp/archive/jnes/atom-library/seika/000005757.pdf>
- [5] 原子力規制委員会(2013): 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド(2013.6.19)
- [6] 福岡高等裁判所宮崎支部(西川知一郎裁判長)「平成 27 年(ワ)第 33 号川内原発稼働等差止仮処分申立却下決定に対する即時抗告事件(原審・鹿児島地方裁判所平成 26 年(ヨ)第 36 号)」決定(2016.4.6)
- [7] 広島地方裁判所民事第 4 部(吉岡茂之裁判長)「平成 28 年(ヨ)第 38 号伊方原発 3 号機運転差止仮処分命令申立事件, 平成 28 年(ヨ)第 109 号伊方原発 3 号機運転差止仮処分命令申立事件」決定(2017.3.30)
- [8] 広島高等裁判所第 2 部(野々上友之裁判長)「平成 29 年(ワ)第 63 号伊方原発 3 号機運転差止仮処分命令申立(第 1 事件, 第 2 事件)却下決定に対する即時抗告事件(原審・広島地方裁判所平成 28 年(ヨ)第 38 号, 同年(ヨ)第 109 号)」決定(2017.12.13)
- [9] 池田隆明・釜江克宏・三輪滋・入倉孝次郎(2002): 経験的グリーン関数法を用いた 2000 年鳥取県西部地震の震源のモデル化と強震動シミュレーション, 日本建築学会構造系論文集 第 561 号, 37-45
- [10] 入倉孝次郎・三宅弘恵(2001): シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, 110, 849-875
- [11] 入倉孝次郎(2004): 強震動予測レシピ—大地震による強震動の予測手法—, 京都大学防災研究所年報, 47A
- [12] 入倉孝次郎・香川敬生・宮腰研・倉橋奨(2007): 2007 年新潟県中越沖地震の強震動—なぜ柏崎刈羽原子力発電所は想定以上の破壊的強震動に襲われたのか?—(2007 年 12 月 24 日修正版)
- [13] 入倉孝次郎・倉橋奨(2008): 「2008 年岩手・宮城内陸地震の震源モデルと強震動—なぜ 4000 ガルの強震動が生成されたのか—」, 日本活断層学会 2008 年度秋季学術大会
- [14] 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2016): 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)(平成 28 年 6 月 10 日改訂) <http://wakasa-net.sakura.ne.jp/news/recipe20160610.pdf>
- [15] 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2016): 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)平成 28 年 6 月(12 月修正版)(2016.12.9) http://www.jishin.go.jp/main/chousa/16_yosokuchizu/recipe.pdf
- [16] 釜江克宏・池田隆明・三輪滋(2003): 2007 年 3 月 25 日能登半島地震(MJ6.9)の震源のモデル化
- [17] 松山地方裁判所民事第 2 部(久保井恵子裁判長)「平成 28 年(ヨ)第 23 号伊方原発 3 号炉運転差止仮処分命令申立事件」決定(2017.7.21)
- [18] 宮腰研・入倉孝次郎・釜江克宏(2015): 強震動記録を用いた震源インバージョンに基づく国内の内陸地殻内地震の震源パラメータのスケーリング則の再検討, 日本地震工学会論文集, 15-7, pp.141-156(2015); 表 6 の福井地震の W と S および三河地震の S のデータを訂正, 同 17-2(2017)
- [19] 長沢啓行(2017): 伊方3号の運転差止仮処分申立を却下した広島地裁決定は司法の責任を回避し、「不作為の瑕疵」を容認するもの, 広島高等裁判所民事部へ提出した意見書(2017 年 4 月 28 日付) <http://wakasa-net.sakura.ne.jp/news/Ikata20170428.pdf>
- [20] 四国電力株式会社(2014): 伊方発電所 地震動評価 震源を特定して策定する地震動(中央構造線断層帯地震動評価)と基準地震動の策定(コメント回答), 第 156 回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合, 資料 1-1(2014.11.7)
- [21] 武村雅之(1998): 日本列島における地殻内地震のスケーリング則—地震断層の影響および地震被害との関連—, 地震第 2 輯, 51, 211-228.