

大飯行訴陳述書  
大飯 3・4 号炉基準地震動の過小評価

2020 年 6 月 2 日 原告 小山 英之

目 次

はじめに	2
第 1. 地震規模（地震モーメント）に関する入倉・三宅式の過小評価	2
1-1. はじめに	2
1-2. 入倉・三宅式の特徴を規定するデータセット(集合)	2
1-3. 「震源インバージョンによって求めた断層面積」とは	5
1-4. 震源インバージョンではなぜトリミングできないのか	8
1-5. 日本の地震の震源インバージョンによる解析結果が入倉・三宅式と整合すること	8
1-6. 武村式—入倉・三宅式との違い	10
1-7. 実際の地震データから経験式を策定する場合と経験式により地震規模を予測する場合	12
1-8. 結論	13
第 2. 審査ガイドが要求する「ばらつき」の考慮がなされていないことによる過小評価	14
2-1. 「ばらつき」の考慮に関する審査ガイド I.3.2.3(2)の規定	14
2-2. 審査ガイド I.3.2.3 (2)に関する被告の解釈	15
2-3. 2020 年 1 月 30 日進行協議で示された裁判所の指摘	15
2-4. 「経験式が有するばらつきの考慮」は、経験式が平均値であることと関連	16
2-5. 被告による審査ガイドにおける I.3.2.3 (2)の独自の位置づけ	18
2-6. 被告第 33 準備書面の批判	19
2-7. 結論	21
第 3. レシピの矛盾に対する処方箋による過小評価	22
3-1. レシピの矛盾	22
3-2. 入倉・三宅式は壇ほか式と整合しない	23
3-3. 入倉・三宅式(または武村式)と片岡ほか式では矛盾は生じない	24
3-4. 壇ほか式(1/3 乗則)を用いても Fujii-Matsu'ura 式を用いれば矛盾は生じない	24
3-5. 結論	26
第 4 (総括的結論). 基準地震動の過小評価	27
付表：入倉・三宅データセット	29

(はじめに) 大飯3・4号炉の現行基準地震動が過小評価になっていることを明らかにするのが、この陳述書の目的である。そのため第1で、地震規模(地震モーメント)を算出するのに適用されている入倉・三宅式(甲96)が過小評価をもたらす性格であることを明らかにする。第2に、「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」(甲44、以下、審査ガイド)で要求されている「ばらつき」の考慮がなされていないために、それだけ地震規模が過小になっていることを具体的に示す。そして第3に、「震源断層を特定した地震の強振動予測手法(「レシピ」)」(乙87、以下、レシピ)に内在する矛盾の性格を分析し、現行ではその矛盾をある種の処方箋によって「解決」しているが、その結果地震動が過小評価されていることを明らかにする。これらを集約して最後に、現行基準地震動が著しい過小評価となっていることを示す(なお、特に出所が示されていない図は筆者の作による)。

## 第1. 地震規模(地震モーメント)に関する入倉・三宅式の過小評価

### 1-1. はじめに

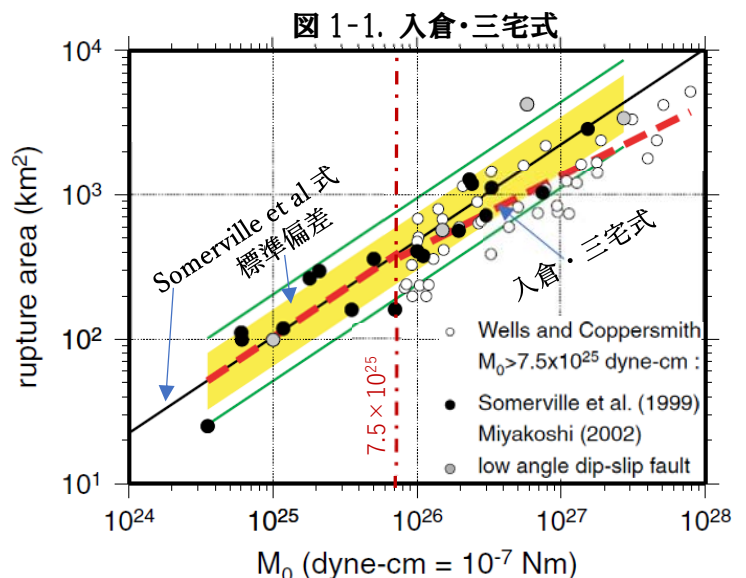
入倉・三宅式(2001,甲96)は大飯原発の基準地震動評価において、地震規模(地震モーメント)を算出するのに用いられるという基礎的・基本的に重要な役割を担っている。その入倉・三宅式が地震規模を過小に評価していることを示す。

### 1-2. 入倉・三宅式の特徴を規定するデータセット(集合)

#### (1)入倉・三宅データセット(末尾の付表参照)

入倉・三宅式は入倉・三宅(2001,甲96)によって選択された世界中の地震のデータセット(本書末尾の付表参照)から、平均操作によって一意的に導かれている。それゆえその特性は、基のデータセットによって規定されている。そのデータセットは、右図の  $M_0 > 7.5 \times 10^{25} \text{ dyne} \cdot \text{cm}$  ( $7.5 \times 10^{18} \text{ Nm}$ ) の範囲に属するデータから成り立つ。その範囲は、断層幅が飽和する領域と考えられており、第2ステージと呼ばれている。第1ステージ ( $M_0 < 7.5 \times 10^{25} \text{ dyne} \cdot \text{cm}$ ) では、断層幅は断層長さにほぼ比例して増加するが、第2ステージでは断層幅は断層ごとに一定値をとる(飽和する)ものと考えられ、この考えはレシピでも認められている(注: レシピ4~5頁では、ステージを3区分しており、それぞれの経験式は(2),(3),(4)式に対応している。 $M_0 > 1.8 \times 10^{27} \text{ dyne} \cdot \text{cm}$  ( $1.8 \times 10^{20} \text{ Nm}$ )は第3ステージとなるが、ここで問題にするのは主に第1と第2ステージの区分である)。

入倉・三宅データセットは大きく分けて2種類のデータから成る。白丸は Wells and Coppersmith(1994, 甲150)のデータである。黒丸と灰丸(low angle dip-slip fault)は Somerville et al(1999,甲161)データ

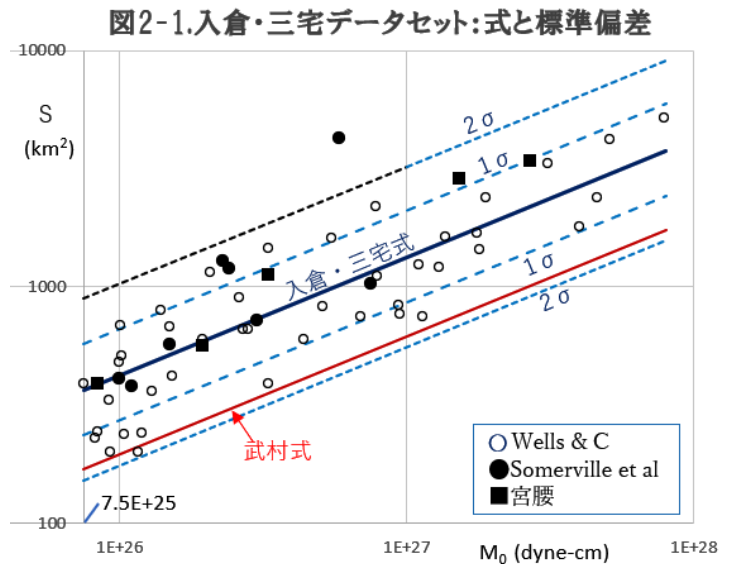


(入倉・三宅 月刊地球 2002(甲149),Fig.1 に加筆)

と Miyakoshi の私信によるデータであり、これらは震源インバージョンによるデータである（震源インバージョンは後の 1-3 参照）。

データセットを特徴づけるのは、単に平均線ばかりではない。データ点はばらついており、そのばらつき具合は標準偏差として、たとえば Somerville et al 線の場合、付随する黄色の影領域の幅で示されている。

後の議論のために、第 2 ステージだけを取り出し、入倉・三宅式の標準偏差（標準偏差  $1\sigma$  及び標準偏差の 2 倍  $\cdot 2\sigma$ ）をも書き込んだ図を図 1-2 で示す（注：横軸の例えば  $1E+26$  は  $1 \times 10^{26}$  の意味である）。入倉・三宅式が成り立つ第 2 ステージでは、全部で 53 個のデータがあるうち、震源インバージョンデータは Somerville et al の 8 個（日本 1、イラン 1、他は北米大陸北西部）と宮腰の 4 個（日本 2、台湾 1、トルコ 1）で計 12 個（22.6%）あり、震源インバージョンではない Wells and Coppersmith のデータは 41 個ある（注：図 1-1 の灰丸データ[low angle dip-slip fault]は元の所属に従って Somerville et al または宮腰のデータに入っている）。震源インバージョンの黒印点(●■)は、入倉・三宅式よりほぼ上方、すなわち断層面積がより大きい位置に分布していることが分かる。



## (2)入倉・三宅データセットに関する島崎証言

入倉・三宅データセットに関して図 1-1 が示す上記の性質について、名古屋高裁金沢支部における島崎証言が、次のように詳しく述べている（甲 168、証人調書 74 頁）。

「(島崎証人)これは Somerville さんの図であります。ごめんなさい、入倉先生の論文なんですけれども、斜めの直線が描かれていて、これは Somerville さんの提案している式です。それで、それを赤の破線が、ちょうどこれで言うと 10 の 18 乗（引用者注：dyne-cm 単位で 10 の 25 乗）の単位で 7.5 になる横軸ですね。ごめんなさい、ちょっと対数で見にくいんですけども、そここのところからボリューム上がっています。ですから、入倉・三宅式というのは、もともとの Somerville さんの式で 7.5 掛ける 10 の 18 乗以上のところを変えたわけですね。変えた基になっているのは、その白丸で書いてある Wells and Coppersmith のデータです。なぜ変えたかという、当時、大きい地震に関しては、震源インバージョンの結果がなかったからです。そのために入れたわけですね。けれども、その後、宮腰さんが震源インバージョンを日本のデータで追加されたり、外国のものもあるかと思えますけれども、追加されたので、大きいところが増えました。それで、この黒丸は、Somerville さんの震源インバージョンと宮腰さんの震源インバージョンを両方黒丸で示してあります。それで、この黒丸は、もともとの黒の直線ですね、Somerville さんの 1 本の直線ずっと引いてあるやつです。これの上と下に、ほぼ均等に分布してます。ですから、Somerville さんの元の式がよく合うんですが、わざわざ下の方に曲げたのは、この白丸、Wells and Coppersmith のデータのためなんです。この Wells and Coppersmith データっていうのは、世界各地の地震を扱っていて、

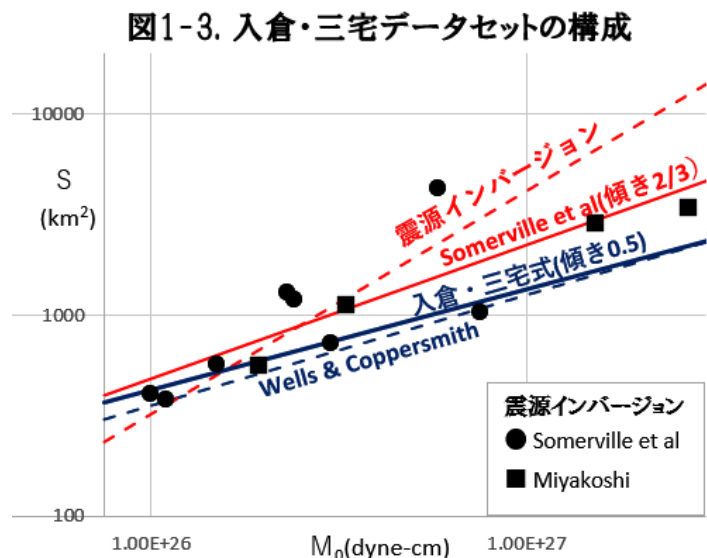
しかも震源インバージョンの結果ではなくて、主に余震を使っています。それで、余震というのは、要するに観測網がよければよく決まりますけれども、悪ければよく決まらないので、こんなふうにはらついてるんですね。だけど、それに基づいて入倉先生は曲げられたということになります」(下線は引用者)。

すなわち、入倉・三宅式を特徴づけるのは、基本的に震源インバージョンではない Wells and Coppersmith のデータであるとの趣旨が述べられている。

同様の指摘は、入倉・三宅(2001)の 858 頁で、次のようになされている。「Wells and Coppersmith (1994)による断層面積は、地震モーメントが  $10^{26}$ dyne-cm よりも大きな地震で、Somerville et al(1999)の式に比べて系統的に小さくなっていることがわかる」。また、レシピの 4 頁でも次のように書かれている。「ただし、上式(引用者注: Somerville et al 式(2))は、過去の大地震の強震記録を用いた震源インバージョン結果をもとにしており、この中には M8 クラスの巨大地震のデータは含まれていない。一方、Wells and Coppersmith(1994)では余震・地殻変動データを基に解析された M8 クラスの巨大地震のデータを含んでおり、これらによる地震モーメントに対する震源断層の面積は、地震規模が大きくなると上式に比べて系統的に小さくなっている」。このように第 2 ステージで、震源インバージョンではない Wells and Coppersmith のデータは、震源インバージョンに基づく Somerville et al 式に比べて「(断層面積が)系統的に小さくなっている」ことが認められている。

### (3)入倉・三宅データセットにおける 2 種類のデータセットの違い

入倉・三宅データセット内の上記 2 種類のデータセットの違いをもう少し具体的に調べてみる。図 1-3 は第 2 ステージにおける震源インバージョン・データと 4 種類の式を示している。赤い破線は震源インバージョンデータ (Somerville et al と宮腰) から傾きを仮定せずに最小二乗法によって求めた式、青の破線は Wells and Coppersmith データから同様の方法で求めた式である。それらを、赤の実線が示す Somerville et al 式(傾き 2/3)及び青の実線が示す入倉・三宅式(傾き 1/2 に固定)と比べると、まさに島崎証言がいうように、入倉・三宅式は Wells and



Coppersmith の線にほぼ重なっていることが分かる。やはり、入倉・三宅式は基本的に震源インバージョンではないデータに基づいた式であることがこれで裏付けられた。

被告は入倉・三宅式のデータは「震源インバージョン等」、「基本的に震源インバージョン」、「震源インバージョンを前提として」などと随所で称している(第 9 準 21,22 頁、第 10 準 21 頁、第 11 準 12 頁、第 15 準 14 頁、第 19 準 20,23 頁、第 21 準 17,26 頁、第 22 準 9 頁)が、このような誤った前提に立った主張は成り立たない。例えば第 15 準備書面の 14 頁で、「被告第 9 準備書面第 3 の 2 (1) (20 ないし 23 ページ)で述べたとおり、『入倉・三宅式』とは、具体的な地下の震源断層を推定して当該断層の面積とすべり量及びその方向を求める震源インバージョンの手法に基づいて策定された、震源断層面積と地震

モーメントの経験式である。そのため、「入倉・三宅式」を用いる場合は、地下の震源断層面積を設定した上で地震モーメントを算出することとなる」と述べているが、このような主張は成り立たない。そうではなく、入倉・三宅式は上記のように、基本的に震源インバージョンではないデータに基づいていると見なすべきである。

図 1-3 はまた、震源インバージョン・データ(●■)では縦軸が示す断層面積が、そうではない Wells and Coppersmith のデータと比べて大きい値になることを示している。Wells and Coppersmith のデータでは、断層長さ L のとり方に 2 種類あり、地表面の  $L_{surf}$  と地下の  $L_{sub}$  がある。 $L_{surf}$  は地下の断層の動きが地表面に現れた形跡から断層長さを判断したものであり、 $L_{sub}$  は余震分布から推定した断層長さである。 $L_{surf}$  は平均で  $L_{sub}$  の約 75%、つまり逆に  $L_{sub}$  は  $L_{surf}$  の 1.33 倍あるが、大きい地震では両者は接近すると評価されている (Wells and Coppersmith(1994)984~985 頁、訳等、甲 213 の 1、213 の 2)。Wells and Coppersmith データでは、ほとんどの場合に地下の  $L_{sub}$  の方が採用されているが、それでも上記のように震源インバージョンによる断層面積は、 $L_{sub}$  に基づく断層面積より相当に大きい。結局、縦軸の断層面積を与えて横軸が示す地震規模を予測する場合、後節 1-7 で説明するように、震源インバージョンの式を適用すれば地震規模は過小評価となる。

### 1-3. 「震源インバージョンによって求めた断層面積」とは

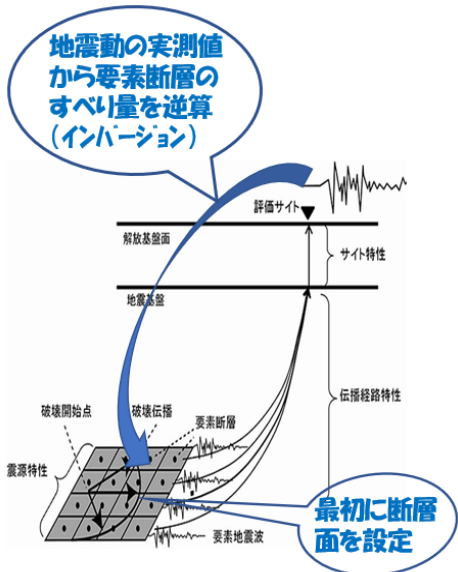
#### (1) 震源インバージョン

被告は第 9 準備書面 21 頁 (及び、第 19 準 22 頁) で次のように述べている。『震源インバージョン』とは、複数の観測地点で得られた観測記録をもとに、断層面を仮定し、当該面の各地点において生じるすべり量及びすべりの方向を解析によって求め、それらの結果から震源断層を推定する方法であり、解析の結果、高精度に断層面積  $S$  を求めることができる〔菊池正幸『リアルタイム地震学』乙第 56 号証 46 ページ参照〕。地震学においては、確立された解析方法である」。ところが、乙 56 の 46 頁では、「精度のよい強振動分布を推定するためには、断層運動の時空間分布を考慮することが重要である」と書かれてはいるが、「高精度に断層面積  $S$  を求めることができる」などの記述はない。それどころか、震源インバージョンによる断層面積  $S$  の評価結果の実態は以下のものである。

震源インバージョンとは、地下にある未知の断層面がすべりを起こした結果発生するであろう未知の地震波が地表面に伝播した結果を観測値と比較することによって、逆にその未知のすべり量を算出する方法である。そのためには、まず解析の前提として、地下にある断層面を想定し、それを基盤の目のような要素断層に分けなければならない。すなわち断層面は研究者がまず解析の出発点として想定するのである (右図)。

その後、解析結果として各要素断層のすべり量 (すべりの大きさ、すべり方向、時間的変化) が得られたとすると、それから断層面全体の平均すべり量が計算できる。次に断層面の両端の各行または両端の各列の平均すべり量を計算し、その値が断層面全体の平均すべり量の 0.3 倍未満で

図 1-4. 震源インバージョンのイメージ



あれば、その端行または端列を削除（トリミング）してよいというのが Somerville 規範と呼ばれている方法である。ただし、Somerville 規範でなぜ 0.3 倍を採用するのか、その根拠説明はこの規範を提唱した Somerville et al 論文(1999)（甲 161、60 頁及び 62 頁）には書かれていないが、なぜか一般にこの規範が当然のように適用されている。

その際、Somerville et al(1999)では次のような注釈が書かれている。「断層の長方形寸法は、少なくとも全体的な断層破壊を盛り込むよう十分大きくとられる。それゆえ一般に、破壊領域の実際の寸法を過大評価することになる」（60頁）。「トリミングされた断層は、この研究では破壊領域と定義される」（62頁）。また、岩切ほか(2014)(乙111)でも「震源過程解析の際には、一般に、実際のすべり領域よりも大きい断層面が設定される」（p.82）と述べている。さらに、入倉コメント(甲158)の6枚目の注釈でも、「（#）トリミング：一般に波形インバージョンによる震源過程の推定（震源断層上の時空間すべり分布推定）では、震源断層面を仮定して設定し、その断層面上でのすべり分布を推定する。震源断層面の広がり、直後の余震分布やセントロイドモーメントテンソル解、地表断層情報などによって設定される。この設定した断層面が震源断層モデルサイズとするのではなく、すべりの小さい領域などを切り捨て（トリミング）て、ある程度の断層すべりが求められた領域を、震源断層モデルサイズとしている」と書かれている。

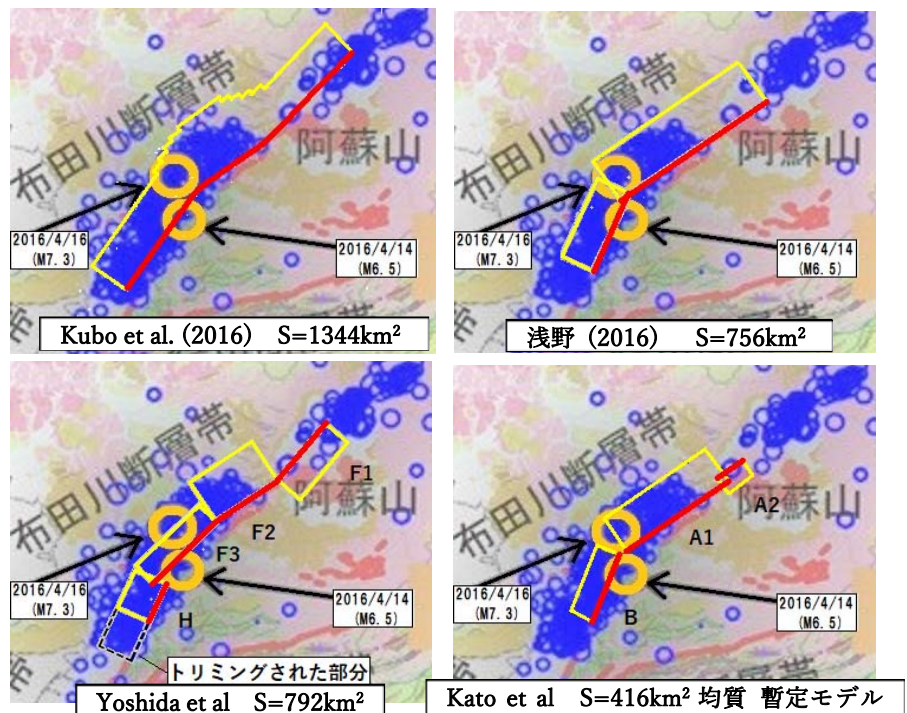
ところが、入倉ほか(2014)（乙 57）が取り上げた日本の 18 地震に関する震源インバージョン結果では、トリミングがなされていない。このことは被告第 19 準備書面 27 頁（第 22 準 18 頁、第 27 準 21 頁）において、事実上次のように認めている（少なくとも否定していない）。「すなわち、『Somerville 規範』によるトリミングを実施した結果として震源断層面積が削減されていないとしても、そのことから、直ちに『Somerville 規範』によるトリミングが不可能であった」ということはできず、むしろ、断層面積を削減する（トリミングする）必要がなかったということの意味するものにすぎない」。すなわち、トリミングできないので、研究者が最初に大きく仮定した断層面がそのまま破壊領域になることを認めているが、これでは断層面が研究者の最初の想定によって決まることになる。

そのような断層面の想定がいかに不確かなものであるかを、次の熊本地震の例によって具体的にみることができる。

## (2)熊本地震の解析結果

右の図 1-5（甲 214）では、Kato et al を除く 3 例は震源インバージョンによる結果であるが、Kubo et al と浅野はトリミングされていない。Kubo et al（甲 159）の想定断層は Yoshida et al（甲 215）のそれを包摂し、面積は 1.7 倍ある

図 1-5. 熊本地震の種々の解析結果（甲 214）



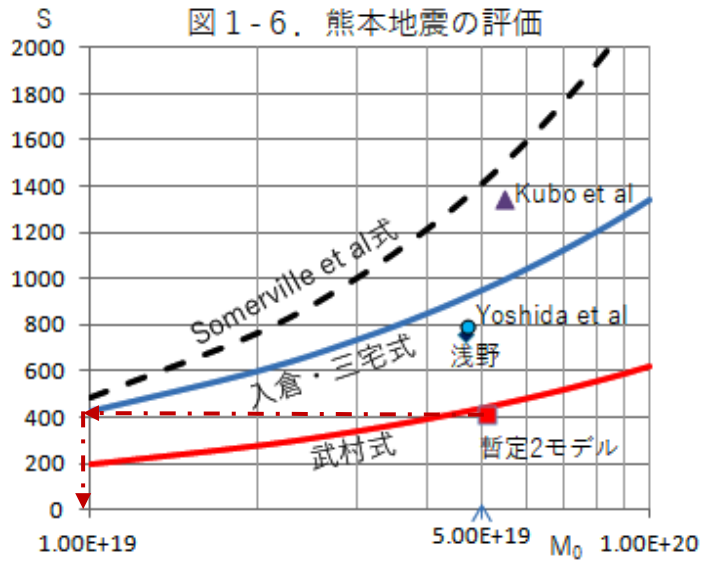
が、Yoshida et al でトリミングした部分が Kubo et al ではトリミング不可能となっている。Kubo et al の想定断層は浅野（甲 160）の 1.8 倍、Kato et al（甲 216）の 3.2 倍ある。

また、Yoshida et al の F1 は Kubo et al の同部分とは傾きが逆になっている。さらに、Kubo et al の断層幅は 24km としているが、島崎氏は「火山地域でそのような深部まで強い揺れを発生するような断層のずれが生じることは、普通考えない」と指摘している（甲 217、0484 頁）。

上記の結果を  $M_0$ -S 面でプロットすると図 1-6 のように描ける。4 点は断層面積の違いによって上下にはらついているが、横軸の地震モーメントは、どの点もほぼ  $M_0=5 \times 10^{19} \text{Nm}$  をとっていることが分かる。

この熊本地震の震源断層モデルには、島崎氏が「科学」（甲 217）の 0483 頁で指摘しているように、2 種類がある。Kato et al（または暫定 2 モデル）は単純な均質（一様）すべりを想定しているが、他の 3 例では震源インバージョンによって不均質すべり量を求めている。図 1-6 を見れば、震源インバージョンによる 3 例のうち、Kubo et al は Somerville et al 式の近くに、他の 2 点は入倉・三宅式の近くにあるが、均質な暫定 2 モデル（または Kato et al）は武村式にほぼ乗っていることが分かる。

断層モデルを想定して地震規模（地震モーメント）を予測する場合、地震波が観測されていないために震源インバージョンを適用することはできず、それゆえ熊本地震の震源インバージョンによる断層面は地震発生前に設定可能ではない。島崎氏が指摘しているように（甲 217、0483～0484 頁）、震源インバージョンではない Kato et al または同じ内容の暫定 2 モデルの場合が事前に予測として適用可能なモデルである（注釈 1-1 参照）。これを武村式に代入すればほぼ  $M_0=5 \times 10^{19} \text{Nm}$  が再現できるが、入倉・三宅式に代入すると、赤の一点破線が示しているように、 $M_0$  はほぼ  $1 \times 10^{19} \text{Nm}$  と 1/5 程度の値にしかならない。すなわち、事前に予測として想定可能な断層面積に入倉・三宅式を適用すると著しい過小評価になる。



（注釈 1-1）島崎氏の「科学」論文（甲 217、0483～0484 頁）では、次のように記述されている。「震源断層モデルには二種類あると上で述べたが、暫定 1 モデルや暫定 2 モデルは単純で、地震発生前に設定可能なモデルである。暫定 3 モデルは複雑で、事前に設定することはできない。複雑な地震現象をより忠実に表そうとする震源断層モデルである。入倉・三宅式を事前に設定可能な震源断層モデルに適用すると、震源の大きさは過小評価される。その原因の一つは、二種類の震源断層モデルを混同したためとすることができる。すなわち、複雑な地震現象を表そうとする震源断層モデルから得られた経験式、すなわち入倉・三宅式を、事前に設定可能な単純な震源断層モデルに適用すると、震源の大きさは過小評価されるのである」。ただし、上の引用文では、入倉・三宅式は「複雑な地震現象を表そうとする震源断層モデルから得られた経験式」すなわち震源インバージョンで得られた経験式と捉えているようであるが、これは島崎氏の名古屋高裁金沢支部における最後の詰め証言と異なる。入倉・三宅式は基本的に震源イン

バージョンではないが、北米大陸など海外のデータに基づくゆえに大きな断層面積に対応しており、同時に、事実上は日本の地震の震源インバージョン解析と対応している。この日本の地震に関する事実を捉えれば、上記の島崎氏の説明はそのまま適用され得ることになる。

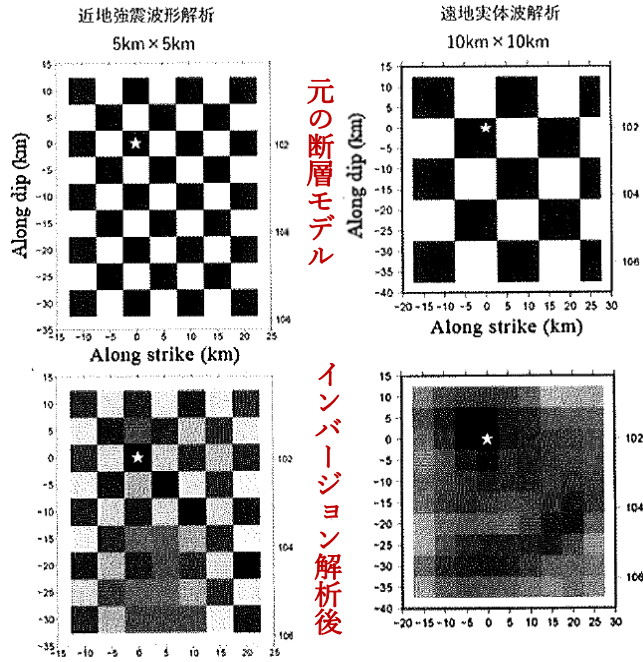
-----  
**1-4. 震源インバージョンではなぜトリミングできないのか**

震源インバージョンでは、未知のすべりから生じる未知の地震波と実際の観測値との残差（差の2乗和を観測値の2乗和で割った量）を最小にするように未知のすべり量を決める。残差は相対誤差の2乗の意味をもつ。

岩切ほか(2014,乙 111)の71頁によれば、残差が0.5未満であれば、研究結果を公表するという。そのとき誤差は約70%まで許されていることになる。岩切ほかの十勝地方南部地震の例では、残差0.31~0.26なので、誤差は約50%にもなる。

その場合のインバージョン解析方法を用いたチェッカーボードテストでは図1-7のように、すべり量を白領域で0、黒領域で1と割り振ったモデルを想定し、それに震源インバージョンの方法を適用して元の分布が再現できるかどうかを見ている。その結果は図1-7の下側の図が

**図1-7. 震源インバージョンのチェッカーボードテスト**



岩切ほか(2014) Fig.7より

示すように、元の白(0)が解析結果では黒(1)に近い値をもっている。特に右側の遠地のデータに基づく場合は、白黒の区別がつかないまでになる。こうして、すべり量比0.3未満が誤差のために0.3を超えれば、本来はトリミングできたはずの領域がトリミング不可となる。

被告は入倉ほか(2014,乙 57)のトリミングなしの結果について、被告第19準備書面25頁において「3入倉・三宅式(2001)と震源インバージョンの結果の整合性を確認した入倉(2014)において、検討対象とされた国内地震に係る断層面積についてトリミングがされていないのは、その必要がなかったことを意味するものにすぎず、これを理由に、同式を批判する原告らの主張には理由がないこと」と、トリミング不可ではなくトリミング不要であった論を主張している。しかしもし、端の平均すべり量が本当は全体平均の0.3倍未満であったのに、解析誤差のために0.3倍を超えるほどに大きくなったとすれば、このような主張は成り立たない。そのような可能性があることを上記のテスト結果は示しているのである。

**1-5. 日本の地震の震源インバージョンによる解析結果が入倉・三宅式と整合すること**

被告は、日本で実際に起こった地震に関する震源インバージョンによる解析結果が、入倉・三宅式と整合するがゆえに、同式が合理的な式として評価されるべきであると強調している(第22準備書面第1)。その証拠は、たとえば宮腰ほか(2015,乙 61)や入倉ほか(2017,乙 75)によって示されているという。

しかし、震源インバージョンでは、余震分布で決めた地下の断層面積の評価値よりもさらに大きな面



積値になることは、すでに図 1-3 において指摘した。特に上記の宮腰ほか等の結果では断層面積のトリミングがほとんどなされていないために、断層面積が過大に評価されており、そのために主として海外のデータに基づく入倉・三宅式に整合したと考えられる。なぜなら、入倉、Somerville ほかの 1993 年研究発表 (甲 151) によれば、日本の断層面積は北米のそれと比較して小さい値になることが確かめられているからである (下記注釈 1-2)。その日本の小さい断層面積が震源インバージョンによって大きな値に変わったために、大きい断層面積に基づく北米などのデータによって策定された入倉・三宅式に整合したと考えられる。

(注釈 1-2)入倉・三宅データの 77%は震源インバージョンではないのに、なぜ日本の地震のトリミングなしインバージョン結果と整合するのか

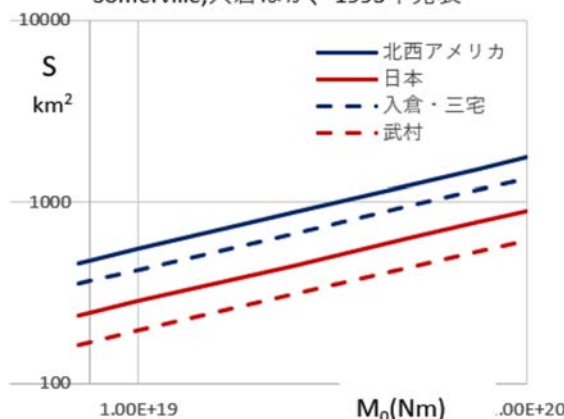
Somerville,入倉ほかの研究発表(1993)(甲 151)では、「まとめ」(292 頁)で次のように述べている。「日本と北西アメリカの地震では、明らかな違いがあることがわかった。同じ地震モーメントの地震に対して、・・・日本の地震の断層面積は小さく、平均すべり量は大きい」。その様相は、図 1-8 の青と赤の実線が示している。

入倉・三宅式は北西アメリカ地震とほぼ整合的である。他方、日本の地震でもインバージョン解析で断層面積を大きくとると、北西アメリカ地震に近づき、区別がなくなる方向に行く。しかし、インバージョンでない武村式はグラフでは下方 (断層面積が小さい方) に位置する。つまりインバージョンではないもの同士を比較すると、日本と北米とでは違いがある。

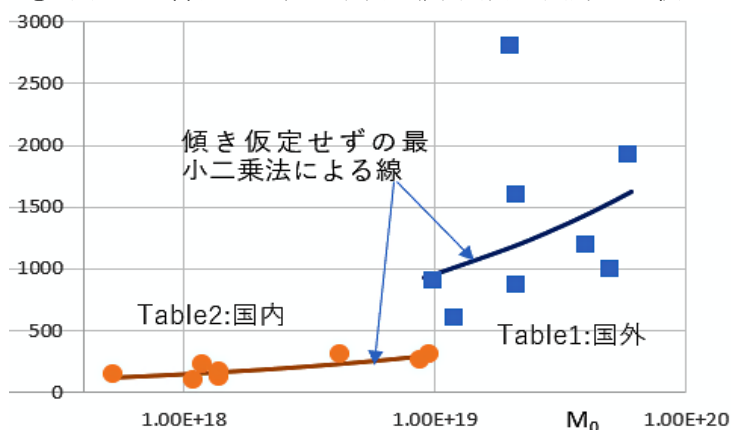
この問題に関連しては、宮腰ほか(2015) (乙 61) の 11 頁で、「1995 年以降に発生した国内の内陸地殻内地震の震源インバージョン結果から抽出される震源断層の長さは・・・国外のデータとも調和的である」と主張されている。これについては、日本国内の地震を震源インバージョンで扱えば断層面積が大きくなるので、国外のデータと整合するのは当然だと言えるだろう。

また、被告の第 22 準備書面 21 頁では、「加えて、地震波形を用いた気象庁の震源過程解析を説明した論文においても、震源インバージョン解析で得られたデータを検証した結果、国外の地震と国内の地震のスケーリング則に違いはほとんどみられなかったとの知見がある (乙第 111 号証・85 ページ右段 1 ないし 3 行目)」と述べているが、これは岩切ほか (乙 111) の 85 頁の記述「国外の地震 (Table1) と国内の地震 (Table2) のスケーリング則に違いはほとんど見られなかった」に基づくものである。しかし、岩切ほか論文

図 1-8. 北西アメリカと日本の違い  
Somerville,入倉ほか、1993年発表



S 図 1-9. 岩切ほか、地殻内地震-国内と国外の比較



ではそのように判断する具体的な根拠は示されていないばかりか、肝心の地殻内地震(crustal)について調べてみると、そのような主張は成り立たないことが分かる。実際、図 1-9 が示すように、Table1(国外)と Table2(国内)とも 8 地震が存在しているが、国外の地震がすべて第 2 ステージに属するのに対し、国内の地震の  $M_0$  はすべて  $1 \times 10^{19}$ Nm より小さく、かろうじて第 2 ステージに属するものが 2 個だけある(図 1-9)。図 1-9 からどうしてもどのような基準で「違いはほとんど見られなかった」と結論づけることができるのだろうか。これでは  $M_0$  の存在領域が違うものを比較することになるので、スケージング則が同じかどうかの判断はできないはずである。

いずれにせよ、1993 年の Somerville ほかの研究発表は直接否定されてはいないので、そのまま生きていると見なすべきである。

## 1-6. 武村式—入倉・三宅式との違い

### (1) 武村式(L)と武村式(S)

武村式(武村(1998), 甲 97) は、日本の地震だけからなる武村データセットによって規定され、そのデータは武村(1998)の Table(表) 1 に集約されている。第 2 ステージの武村式は、断層長さ  $L$  と地震モーメント  $M_0$  の関係として、傾きを  $1/2$  に固定した最小二乗法によって 10 地震のデータから導かれている(これを武村式(L)とする)。同時に、その式で  $W=13$ km に固定し、 $L=S/13$  とすることによって、 $S-M_0$  関係式も導かれている(これを武村式(S)とする。武村式(L)と武村式(S)はそれぞれ甲 97 の(3)式、(7)式に相当)。

実は、武村(1998)の Table 1 には、各地震の断層長さ  $L$  と断層幅  $W$  が書かれているので、それから各地震の断層面積  $S=WL$  が計算できる。それゆえ、直接的に最小二乗法によって  $S-M_0$  関係を導くこともできる。その結果は、上記の  $L$  から導かれた武村式(S)と有効数字の範囲で一致する。それゆえ、上記の武村式(S)は直接最小二乗法によって導かれた式と考えてもよい。この事実は、断層幅を  $W=13$ km としたことが妥当であったことを裏付けている。その根拠は、固定した断層幅 13km が、Table 1 にある断層幅 10 データの対数平均値  $W^*=12.76$  にほぼ一致していることにある(注釈 1-3 参照)。

この結果、武村式(S)と入倉・三宅式とを比較することに明確な意味がある。どちらの式も  $M_0=kS^2$  の形をしており、係数  $k$  が武村式の方が入倉・三宅式の 4.73 倍になっている。それゆえ、同じ断層面積  $S$  に対して、地震規模(地震モーメント)  $M_0$  は武村式の方が入倉・三宅式による結果の 4.73 倍になる。逆に入倉・三宅式はそれだけ過小評価をもたらすことになる。

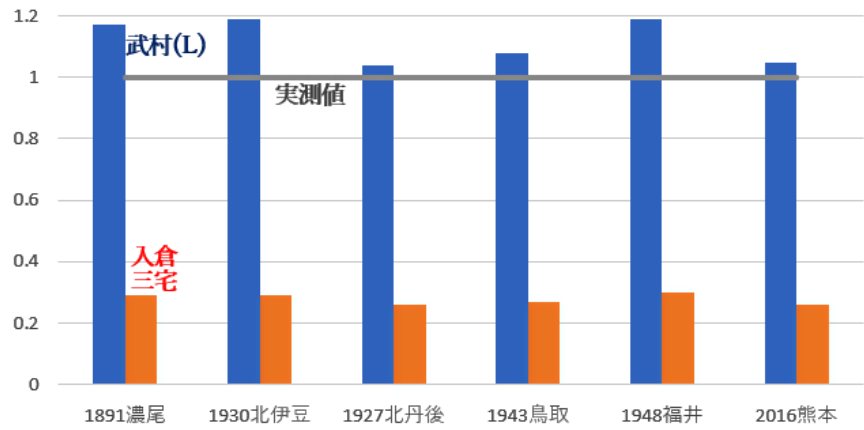
(注) なお、島崎氏は「科学」(2016.7) (甲 152) の 0657 頁表 1 において、3 つの地震(濃尾地震、北伊豆地震、福島県浜通り地震)に関して入倉・三宅式と武村式を比較しているが、この場合は  $S-M_0$  関係の入倉・三宅式・(1)式と  $L-M_0$  関係の武村式・(3)式を比較している。その結果、武村式では入倉・三宅式の 3.1~4.0 倍の地震規模が生じている。

### (2) 島崎氏による入倉・三宅式(L)を用いた比較

他方、島崎氏は学会発表においては、 $S-M_0$  関係の入倉・三宅式で断層幅  $W=14$  km と固定した式(これを入倉・三宅式(L)とする)を用いて武村式(L)と比較しており、入倉・三宅式ではない勝手な変形式を用いているなどの批判を受けている。そこで、このような比較の内容と、その比較が妥当な意味をもつのかについて、以下で検討する。

島崎氏はそのような比較を地震の実データを用いて具体的に示している(甲148)。図1-10では、島崎氏が示した地震の他に、福井地震と熊本地震について、島崎氏と同じ方法で計算した値も示している。横軸の各地震について、武村式(L)と入倉・三宅式(L)の計算値の実測値に対する比が縦軸に取られている。すなわち、計算値が実測値と等しいときは縦軸の値は1をとる。ただし、入倉・三宅式(L)は入倉・三宅式において、島崎氏に従って  $W=14$ 、 $S=14L$  として導かれた式である。

図1-10.地震モーメントの計算値/実測値-武村式(L)と入倉・三宅式(L)



熊本地震：島崎、「科学」2018.5、暫定モデル2(甲112)  
 福井地震：武村(1998)Table 1 (甲8)  
 他の地震：島崎発表、日本地震学会、2015秋季大会予稿集(甲44)

図1-10より、武村式(L)の結果は実測値と同程度か少し大きめであるのに対し、入倉・三宅式による計算値は実測値の30%以下であることが分かる。ただし、島崎氏が採用した  $W=14$  はあまり妥当ではない。島崎氏が  $W=14$  に固定したのは、第2ステージで断層幅が飽和するという考えに基づくものであろう。その飽和する断層幅は断層ごとに異なっているので、変換で想定する共通の一定値  $W$  をどう選ぶべきかが問題になる。その答えは、一定値は対数平均値  $W^*$  にとるべきであるということであり、入倉・三宅データセットでは  $W^*=17.0$  となる(注釈1-3参照)。その場合入倉・三宅式(L)による値は図1-10の値の  $(17.0/14)^2=1.47$  倍になるはずである(注釈1-3参照)。しかしその場合でも入倉・三宅式による結果は実測値の44%程度以下にしかならないので、相当な過小評価であることに変わりはない。

-----

(注釈1-3) 武村式や入倉・三宅式において、 $S-M_0$  関係式と  $L-M_0$  関係式の相互関係をここで明らかにする。両式とも対数座標において傾きを  $1/2$  に固定した直線で考えているので、

$$y=1/2x+b \quad (y=\log S \text{ or } \log L, x=\log M_0)$$

と書ける。ここで、最小二乗法によって決まる最適な切片  $b$  は、各点における  $y-1/2x$  の値の平均値として決まる(後の第2の2-5参照)。すなわち、データ数を  $n$  として、

$$S-M_0 \text{ 関係では、 } b(S)=[(\log S_1-1/2\log M_{01})+\dots+(\log S_n-1/2\log M_{0n})]/n$$

$$L-M_0 \text{ 関係では、 } b(L)=[(\log L_1-1/2\log M_{01})+\dots+(\log L_n-1/2\log M_{0n})]/n$$

ここで対数の性質より、 $\log S_1=\log(W_1L_1)=\log W_1+\log L_1$  となるので、 $S-M_0$  関係より

$$b(S)=b(L)+\log W^* \quad (\log W^*=[\log W_1+\dots+\log W_n]/n)$$

となる。 $W^*$  は各断層幅  $W_1\sim W_n$  の対数平均値であり、別表現では  $W^*=(W_1\cdot\dots\cdot W_n)^{1/n}$  と書いて、幾何平均と呼ばれている。

武村式や島崎氏の方法では、各データに共通の断層幅を用いている。その共通断層幅として上記の対数平均値  $W^*$  を用いるのが妥当であることを示そう。すなわち第  $i$  番目のデータ  $S_i=W_iL_i$  を  $S_i=W^*L_i$  に替えることにより  $S-M_0$  関係式を  $L-M_0$  関係式に変換する。その結果、元と変換後は以下ようになる。

$$S\text{-}M_0 \text{ 関係} \quad M_{0i}(S)=10^{-2b(S)}S_i^2=(W_i/W^*)^2 10^{-2b(L)}L_i^2$$

$$L\text{-}M_0 \text{ 関係} \quad M_{0i}(L)=10^{-2b(L)}L_i^2$$

それゆえ、次の関係が導かれる。

$$M_{0i}(S)=(W_i/W^*)^2 M_{0i}(L)$$

これより、 $\log(M_{0i}(S))=2(\log(W_i)-\log(W^*))+\log(M_{0i}(L))$ となるので、 $i=1\sim n$  の和をとると、以下の結論が導かれる。

$M_{0i}(S)$ 、 $M_{0i}(L)$ の対数平均値をそれぞれ  $M_0(S)^*$ 、 $M_0(L)^*$ とすると、 $W^*$ を  $W_1, \dots, W_n$ の対数平均値にとっている場合には、 $M_0(S)^*=M_0(L)^*$ となる。その意味で、 $S\text{-}M_0$ 関係を  $L\text{-}M_0$ 関係に直しても、逆に武村式の場合のように  $L\text{-}M_0$ 関係から  $S\text{-}M_0$ 関係を導いても両者は平均的に同等であることが分かる。

そこで実際にデータを用いて  $W^*$ を求める必要がある。武村式の場合、 $W^*=12.76$ となるので  $W=13$ と固定したのはほぼ妥当である。他方、入倉・三宅式の場合、付表のデータから計算すると、 $W^*=17.0$ となる。上記で求めた関係  $M_{0i}(L) = (W^*/W_i)^2 M_{0i}(S)$ より、 $M_{0i}(L)$ は  $W^{*2}$ に比例するので、島崎氏の  $W^*=14$ のときの値は妥当な  $W^*=17.0$ のときの値より 47%程度過小評価になっている。

被告は例えば第 16 準備書面 22 頁で島崎方式を批判して、「したがって、島崎発表は、震源、断層面積を個別具体的に把握することを前提として策定された『入倉・三宅式』を、断層長さのみに依拠して地震モーメント  $M_0$  を算出する式に変形しているということができ、『入倉・三宅式』の科学的な意義を踏まえないものである」と述べている。しかし入倉・三宅式自体はけっして個別具体的な式ではなく、データセットの平均値であり、その平均値としてのレベルが上記のように不変なのだから、批判は不当である。

なお、入倉・三宅(2001、甲 96)の 857 頁では、第 2 ステージで断層幅が飽和するとして  $W_{MAX}=16.6\text{km}$ となっている。この値は第 1 ステージにある Somerville et al のデータも含めて断層長さ  $L$  が 20km 以上である  $W$  データの対数平均値をとって決めているようである(宮腰データにはこの条件を満たす第 1 ステージデータはない)。上記の  $W^*=17.0$  は第 2 ステージだけのすべてのデータから求めたので状況が異なるが、両者はほぼ等しい値になっている。すなわち  $W^*=17.0$  は第 2 ステージで  $W$  が飽和して平均的に一定値をとる段階での値だと見なすことができよう。

-----

### 1-7. 実際の地震データから経験式を策定する場合と経験式により地震規模を予測する場合

入倉・三宅式などの経験式は、過去に実際に起こった地震の断層面積と地震規模(地震モーメント)のデータに基づいて平均操作によって求められた式である。その際、地震モーメントは地震波のデータから決まるので、研究者によって値が大きく変わることはない(図 1-6 で例示)。ところが、断層面積は研究者によって 2 倍も変わることがしばしばある。断層面積の定義が明確ではない上、地下深くにある断層を直接見ることができないためである。

地震波からの逆解析によって、地下深くにある断層面を探る手立てが震源インバージョンとして開発されている。この場合は、まず研究者が断層面積を大きめに想定し、それを後でトリミングによって縮めることが、そもそもの Somerville 規範では前提とされている。ところが実際にはトリミングしないままで、研究者が最初に想定した断層面積がそのまま採用されるため、震源インバージョンでは一般に大きめの断層面積となる。仮に、求められた断層面積が正当な大きさだとしても、それは地下深くにある断層の面積を表すものなので、地表面から判断した値より一般に大きくなる。

他方、断層面積を与えて経験式から地震規模(地震モーメント)を予測する場合、その想定される断層

面積は地下深くにある断層の面積ではあり得ない。例えば、大飯原発に関する FoA-FoB-熊川断層では、実際にその断層で起こった地震のデータがないので、震源インバージョンは適用できない。地表面近くに現れた何らかの形跡から断層面を予測するしかない。

図 1-11-1 では、大きめの断層面積から策定された式（青線）と小さめの断層面積から策定された式（赤線）を比較している。次に、図 1-11-2 では、それらを用いて与えられた断層面積から地震モーメントを予測すると、大きめの断層面積から策定された式では過小評価になることが分かる。

経験式を適用するときには断層面積を安全側に大きめに想定するにしても、それは不確かさの考慮としてなされるものであって、適用すべき経験式の性格とは別問題である。実際、たとえば FoA-FoB-熊川断層の場合、基本的なケースでは、 $L=63.4\text{km}$ 、 $W=15\text{km}$  で  $S=951\text{km}^2$ 、 $M_0=5.03 \times 10^{19}\text{Nm}$  であり、「不確かさ」として傾斜角  $75^\circ$  を考慮したケースでは、 $L=64.7\text{km}$ 、 $W=15.5\text{km}$ 、 $S=1002.85\text{km}^2$ 、 $M_0=5.59 \times 10^{19}\text{Nm}$  となっている。不確かさを考慮したケースでは、基本ケースに対し断層面積  $S$  で 1.05 倍、地震モーメント  $M_0$  で 1.11 倍になっている。これに対し、もし武村式(S)を考慮すれば、入倉・三宅式に対し地震モーメントは同じ断層面積で 4.73 倍になる。ただし、不確かさは審査ガイド 1.3.3.3 で要求されている通り、1.3.2.3(2)への対処とは別に独立に考慮されるべきことはいうまでもない。

### 1-8. 結論

以上述べてきた内容には、選ばれたデータセットの評価について2つの観点(軸)が含まれている。第1は断層面に関して、震源インバージョンによる地下深くにある複雑で不均質な断層面の評価値か、それとも震源インバージョンではない均質な断層面データによる比較的単純で事前に予測可能な断層面かの違いであった。この性質を右図では縦軸で表現している。第2は、北米等海外のデータに依拠するか、日本のデータだけに依拠するかの違いであった(右図の横軸)。このような2軸に基づいて経験式は評価し得る。各式の断層面がこれら両軸の性質を反映しているように位置を示し、同じ地震モーメントに関する断層面の大きさを赤い矢印で示している。

入倉・三宅式は基本的に震源インバージョンによる式ではないが、北西米等海外の地震に対応して、比較

図 1-11-1.  $M_0$  に対応する  $S$  の策定

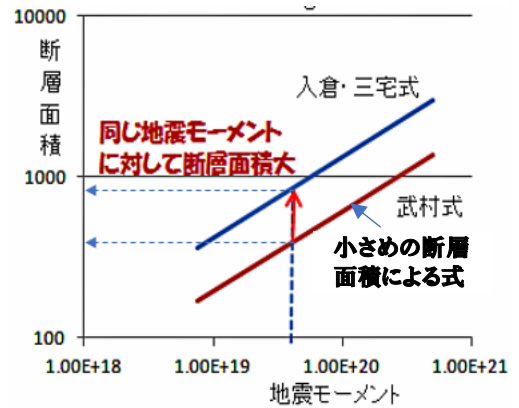


図 1-11-2.  $S$  に対応する  $M_0$  の予測

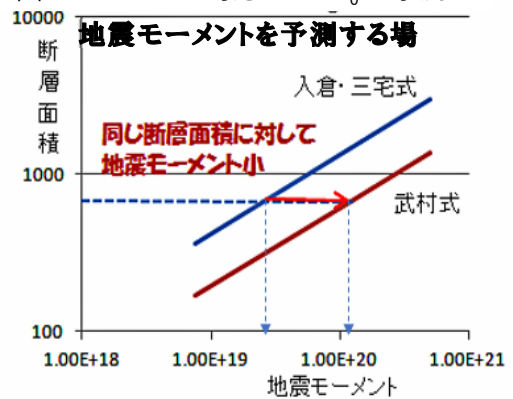
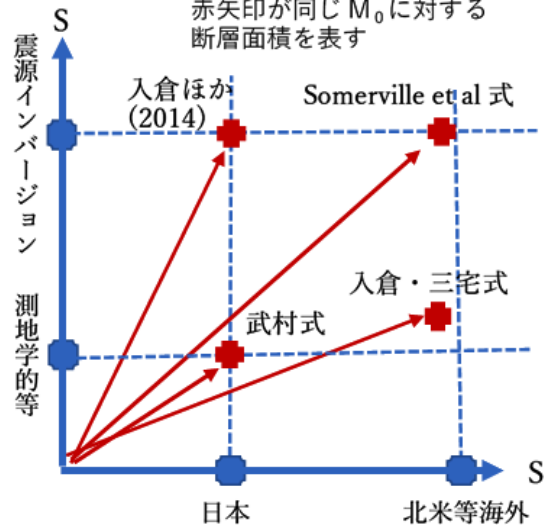


図 1-12 断層面積評価の二重構造  
赤矢印が同じ  $M_0$  に対する断層面積を表す



的に大きい断層面積に対応している。それゆえ、日本の地震で震源インバージョンにより断層面積を大きく採った場合と整合する。島崎氏が指摘するように、地震規模を予測する場合は震源インバージョンによらない均質モデルが基本となるので、日本の地震から測地学的に求めた武村式を用いるのが妥当であると考えられる。

図 1-10 の実例が示すように、入倉・三宅式による地震モーメントの結果は、武村式に比べて過小であるばかりか、地震モーメントの実測値に対して過小な値をもたらしている。入倉・三宅式は地震規模（地震モーメント）の過小評価をもたらすことが明らかになった。

他方、レシピの矛盾の観点からは別の可能性（Fujii-Matsu'ura 式）が浮かび上がってくるが、それは第 3 で述べることにする。

## 第 2. 審査ガイドが要求する「ばらつき」の考慮がなされていないことによる過小評価

### 2-1. 「ばらつき」の考慮に関する審査ガイド 1.3.2.3 (2) の規定

「ばらつき」の考慮について、審査ガイド（甲 44）は 1.3.2.3「震源特性パラメータの設定」の(2)において次のように規定している。下記では、乙 147、294 頁に習って第 1 文を①、第 2 文を②とした。

#### 1.3.2.3 震源特性パラメータの設定

(2) ①震源モデルの長さ又は面積、あるいは 1 回の活動による変位量と地震規模を関連づける経験式を用いて地震規模を設定する場合には、経験式の適用範囲が十分に検討されていることを確認する。  
②その際、経験式は平均値としての地震規模を与えるものであることから、経験式が有するばらつきも考慮されている必要がある。

2010 年の原子力安全委員会の「安全審査の手引き」（甲 59）12～13 頁では、第 1 文は存在したが、第 2 文は存在していない。2012 年 1 月 30 日の原子力安全委員会による「安全審査の手引き（改定案）」（乙 232）で第 2 文が「その際、経験式は平均値としての地震規模を与えるものであることから、その不確かさ（ばらつき）も考慮する必要がある」と初めて入り、2012 年 3 月 14 日の地震・津波関連指針等検討小委員会での資料（乙 122）の別紙 2 に引き継がれている。すなわち、この段階では「不確かさ（ばらつき）」となっているが、2013 年 6 月の新規制制定段階で現在の「ばらつき」に改められている。

原子力規制委員会は、「実用発電用原子炉に係る新規制基準の考え方について【改訂版】」（乙 147）294 頁において、「ばらつき」について次のように述べている（下記の①、②は上記の審査ガイド 1.3.2.3(2)に関する①、②に相当）。

「そして、上記②の規定は、経験式を用いて地震規模を設定する場合の当該経験式の適用範囲を確認する際の留意点として、経験式は平均値としての地震規模を与えるものであることから、当該経験式の適用範囲を単に確認するのみではなく、より慎重に、当該経験式の前提とされた観測データとの間の乖離の度合いまでを踏まえる必要があることを意味しているものである。つまり、上記②の規定の『経験式が有するばらつき』とは、当該経験式とその前提とされた観測データとの間の乖離の度合いのことである」（下線は引用者）。

すなわち、②の規定は、「当該経験式の適用範囲を単に確認するのみではなく」、「当該経験式とその前提とされた観測データとの間の乖離の度合いまでを踏まえる必要があることを意味しているもの」であるとしている。ガイド作成過程では不確かさとばらつきの区別があいまいだったところ、新規制になっ

て②が新たに加えられたこと、及び上記原子力規制委員会の引用文によってばらつきの意味が明確に規定されたことによって、第2文②の意味と意義が鮮明になっている。

-----

#### (注釈 2-1) ばらつきと不確かさの区別

米国では「ばらつき」(variability)は「不確定性または不確かさ(uncertainty)」と明確に区別されている(甲 193)。しかし日本では専門家の間でも、必ずしも区別が意識されていないようである。実際、地震動審査ガイドの策定過程では、「発電用軽水型原子炉施設の地震・津波に関わる規制基準に関する検討チーム」の最終回(第13回会合、平成25年6月6日)時点の案(乙 234)でもまだ、「その際、経験式は平均値としての地震規模を与えるものであることから、その不確かさも考慮されている必要がある」と書かれていた(乙 234、3頁3.2.3(2)。下線は引用者)。ところが、パブコメを経た後の同年6月19日の原子力規制委員会では、現在の表現「経験式が有するばらつき」に改められて決定されている。すなわち、検討チームの段階では両概念が明確に区別されていなかったものの、やはりここは「不確かさ」ではなく「ばらつき」に直すべきだとの判断が働いたようである(この変更の動機や理由を直接規制庁に文書で質問したが、分からないとの回答だった)。このように第2文②が新たに加えられたことによって、後で述べるように1.3.3.3の不確かさとの区別が明確に規定されたことになる。

-----

#### 2-2. 審査ガイド1.3.2.3(2)に関する被告の解釈

被告は随所(11準9頁、13準6頁、18準6頁、20準7~8頁、24準42・46頁)において、以下の主張を繰り返し行っている。すなわち、第2文②記載の意味については、「経験式を用いて地震規模を設定する場合に、当該地域の地質調査の結果等を踏まえて設定される震源断層に当該経験式を適用することの適否(適用範囲)を確認する際の留意点として、当該経験式とその前提とされた観測データ(データセット)との間の乖離の度合いを踏まえる必要があることを意味するものである」としている。すなわち、「ばらつき」を「当該経験式とその前提とされた観測データ(データセット)との間の乖離の度合い」と一応は捉えていながら、それは直接考慮すべき対象ではなく、経験式の適用範囲を確認する際の留意点として「踏まえる必要がある」ものとしている。これは意味不明な内容であり、事実上は第1文の範囲にとどまって、第2文の意義を無視していると考えられる。

#### 2-3. 2020年1月30日進行協議で示された裁判所の指摘

当該訴訟の2020年1月30日の進行協議において、裁判所はおよそ次のような指摘をした。「審査ガイド1.3.2.3(2)の第1文は安全審査の手引き12~13頁にすでに書かれていて前から存在していた。第2文は新規制になって初めて取り入れられたものである。第2文が書かれた意味を考慮すると、被告は少なくとも標準偏差を加えても設置許可基準規則4条3項を満たすことを示すべきではないか。ばらつきについての主張をあらためて書くように」と指摘した。

これに対して被告は4月30日に第33準備書面を提出し、その前文(6頁)で次のように述べている。すなわち、「令和2年1月30日進行協議期日において裁判所から『ばらつきの考慮』に関する主張の検討を促されたことを踏まえ、地震動審査ガイドに『経験式が有するばらつきも考慮されている必要がある』との記載がされた経過やその記載の意味内容について明らかにし(後記第3)」と述べて、一応は裁

判所の指摘を踏まえる姿勢であることを明らかにした。

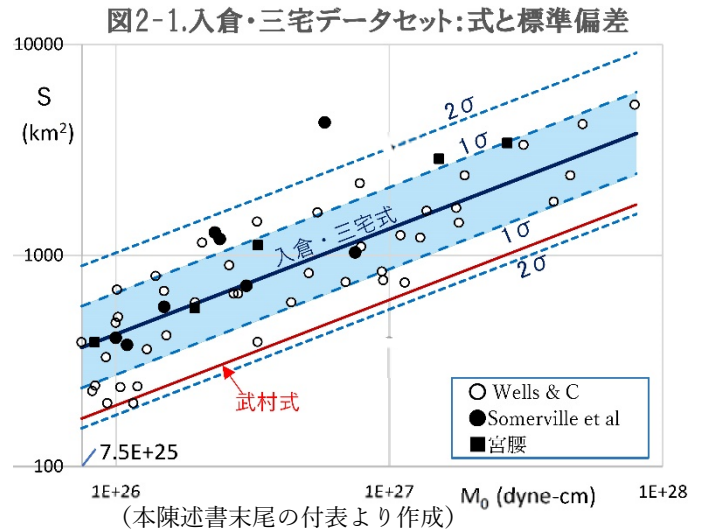
しかし、その内容はたいへん的外れなものである。その点は後記 2-6 で明らかにすることにして、その前にばらつきの内容に関わるポイントとなる問題について抑えておきたい。

#### 2-4. 「経験式が有するばらつき」の考慮は、経験式が平均値であることと関連

前記のガイド第 2 文②では、入倉・三宅式のような経験式は平均値であるから「経験式が有するばらつき」も考慮せよと規定しているように、ばらつきは平均値と関連して考慮されている。そのことは、入倉・三宅の図 1-1 においては、Somerville et al 式を包むように標準偏差として影の部分で示されていた。また図 2-1 が示す第 2 ステージにおいては、入倉・三宅式の両側に標準偏差 ( $1\sigma$ ) とその 2 倍 ( $2\sigma$ ) の線を引いている。つまり、「経験式が有するばらつき」とは、経験式を 1 本の線と見るのではなく、幅をもったものとして見るべきだということである。

データ点のばらつきは、断層ごとに地震の起こり方が異なること、断層の個性に由来している。例えば断層はそれを動かそうとする外からの力（外力）を受けてすべりを起こすが、その外力は場所（地域）によって異なる。その影響ですべり量も異なり、それに応じて地震規模も異なるはずである。入倉・三宅式には外力は含まれず地震規模は断層面積だけで決まるが、実際には断層面積が同じでも外力に応じて地震規模は異なるはずである。その結果、外力は隠れた偶然的な（すなわち地震規模と断層面積の関係にとっては外的な）要因としてデータ点をばらつかせ、地震規模にばらつきとして反映されることになると考えられる。

標準偏差はそのようなデータ点のばらつきの度合いを示すものであり、入倉・三宅式の場合は図 2-1 のように示される。後でも用いる入倉・三宅式の標準偏差の数値  $\sigma=0.191$  は、末尾のデータセット表のデータを用いて計算した結果である。ばらつきの具体的な規定や標準偏差については注釈 2-2 に示す。



#### (注釈 2-2) 「ばらつき」の具体的な意味規定

上記のガイド②「その際、経験式は平均値としての地震規模を与えるものであることから、経験式が有するばらつきも考慮されている必要がある」ことの意味を改めて具体的に確認する必要がある。すなわち、「経験式は平均値としての地震規模を与えるもの」の具体的内容及び考慮すべき「ばらつき」とは何かである。

「ばらつき」の意味はすでに原子力規制委員会の乙 147 において、上記のように「当該経験式とその前提とされた観測データとの間の乖離の度合いのことである」と説明されている。同様に、被告第 11 準備書面の 9 頁で「このようにして導き出されたものが経験式であるから、当該経験式とその前提とされた観測データとの間には当然乖離があり、かかる乖離の度合いが、『経験式が有するばらつき』である」と記述されている。すなわち、ここで扱う「乖離」は当該経験式と「その前提とされた観測データとの間



の乖離」とされているように、あくまでも最初に設定したデータセットの枠内での考察に限られている。この具体的な意味をより明確にするために、経験式がデータセットの平均値として導かれることを被告第 11 準備書 8 頁の脚注に書かれている最小二乗法に沿って確認する。

ここでは、経験式として入倉・三宅式を想定することになると、それは入倉・三宅によって選ばれたデータセットを前提にしている。いま地震規模（地震モーメント） $M_0$ と断層面積  $S$  の組のデータが  $n$  個あるとして、第  $i$  番目のデータを  $M_{0i}$ 、 $S_i$  とする。両対数グラフで考えているので、 $x_i = \log M_{0i}$ 、 $y_i = \log S_i$  が上記の脚注にある「観測記録のデータ」( $x_i, y_i$ ) となる。そこで、直線  $y = ax + b$  を想定し（注：同脚注では  $y = bx + a$ ）、最小二乗法でパラメータ  $a, b$  を決めた結果が経験式となる。最小二乗法では、直線と各データ点 ( $x_i, y_i$ ) との隔たり（乖離）の二乗和を最小にすることを条件とするのであるが、その隔たりとして脚注では、 $x_i$  に対応する直線上の  $y$  値  $= ax_i + b$  とデータ値  $y_i$  との差  $= (ax_i + b) - y_i = b - (y_i - ax_i)$  を想定している。そこで

$$b_i = y_i - ax_i$$

と書くと、 $b_i$  は点 ( $x_i, y_i$ ) を通る直線の切片となり、乖離は  $b - b_i$  に等しくなる（図 2-2 で一目瞭然）。

入倉・三宅式では傾き  $a = 1/2$  と固定されており、そのとき最小二乗法によって切片  $b$  を求める。それは次の各点ごとの乖離の 2 乗和

$$\begin{aligned} F(b) &= (b - b_1)^2 + \dots + (b - b_n)^2 \\ &= nb^2 - 2c_1b + c_0 \\ & \quad (c_1 = b_1 + \dots + b_n, c_0 = b_1^2 + \dots + b_n^2) \end{aligned}$$

を最小にする  $b$  を求めることである。  $F(b)$  は  $b$  の 2 次式（放物線）なので、 $F(b)$  を最小にする  $b$  は

$$b = c_1/n = (b_1 + \dots + b_n)/n$$

と定まる。つまり最適な  $b$  は  $b_1, \dots, b_n$  の算術平均となり、この  $b$  が入倉・三宅式の切片  $b$  である。

次に、「ばらつき」としては、「乖離の度合い」を考えればよいが、平均式と各点との乖離は  $b - b_i$  であり、その乖離の度合いは通常、 $b - b_i$  の 2 乗平均値の平方根すなわち、

$$\sigma = \left[ \frac{(b - b_1)^2 + \dots + (b - b_n)^2}{n} \right]^{1/2}$$

で表され、標準偏差と呼ばれている。これはばらつきに関するある種の平均値であるので、まさに「ばらつきの度合い」を表している。危険性の高い問題では、標準偏差の 2 倍 ( $2\sigma$ ) などがとられるのが普通の扱いである。平均値だけでなく標準偏差まで考慮することは、地震学以外ではごく常識的に行われていることである。

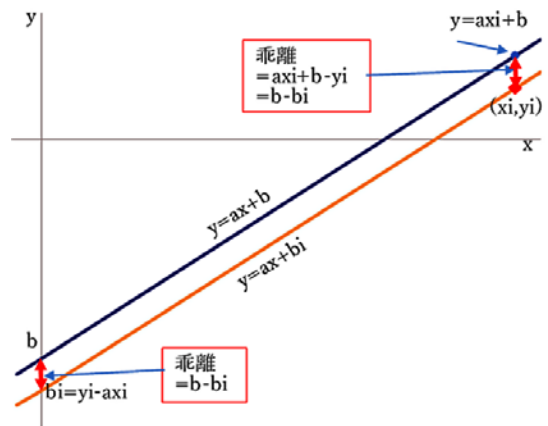
この乖離の度合いを（地震規模が大きくなる方で）考慮するためには、入倉・三宅式  $M_0 = 10^{-2b} S^2$  の  $b$  が  $b - \sigma$  となった場合を考えればよい。そのときの地震モーメントを  $M_0'$  と書くと、

$$M_0' = 10^{-2(b - \sigma)} S^2 = 10^{2\sigma} 10^{-2b} S^2 = 10^{2\sigma} M_0$$

となって、元の  $M_0$  の  $10^{2\sigma}$  倍になる。入倉・三宅式では  $\sigma = 0.191$  なので、 $10^{2\sigma} = 2.41$  倍となる。

被告は、このような考慮は入倉・三宅式を変形・修正するものだと随所で非難しているが（第 13 準備書面 6~8、12~13、22 頁、第 14 準 6 頁、第 18 準 6~7 頁、第 20 準 8 頁）、けっして式自体の変形・修正を求めているのではない。標準偏差を考慮するのは、式を変形するのではなく、式が示す 1 本の線が実は、ばらつきの効果によって広がりをもっていると理解することである。このような考慮は、諸分野で

図 2-2. 乖離は切片の差に等しい



ごく常識的に行われていることであり、まして原発が地震に襲われるという極めて危険性の高い分野では、地震動審査ガイドの規定が厳しく守られるべきである。

この点、福井地裁の樋口決定に対する異議審決定（乙 96）では、

「b 確かに、債務者が採用した本件地震動算定手法は、いずれも本質的には過去の観測記録を基に地震動等を想定しようとするものであるから（証拠略）、それらの手法によって算定された基準地震動は、債権者らが主張するとおり、設定された条件を前提として平均的・標準的な地震動を示すものというべきである。

そうすると、本件地震動算定手法によって得られた数値は、一定の幅を持ったばらつきが内包されているというべきであり、審査ガイドにおいても、震源モデルの長さ等と震源規模を関連付ける経験式を用いて地震規模を設定する場合には当該経験式が有するばらつきを考慮することとされている（証拠略）ところである。したがって、債権者らの主張するとおり、債務者は、本件地震動算定手法を用いて地震動を評価するに当たり、ばらつきが内包されていることを考慮しなければならないというべきである」と述べて、経験式は幅をもつものと理解すべきことを認めている（原告準備書面(24) 13 頁）。もっともこの異議審決定は 119 頁で、「震源断層の長さが十分に保守的に設定されている」等を認めた上で、「そうすると、債務者は、本件地震動算定手法に内包されているばらつきを債権者らが主張するような方法では考慮していないが、保守的な設定によって上記のばらつきをも考慮したものと評価することができる」としている。すなわち、審査ガイド 1.3.2.3(2)の要求と 1.3.3.3 の要求が別々にあると認めながら、前者を後方でカバーできるという、法的にきわめて無謀な判断に立っている。

## 2-5. 被告による審査ガイドにおける 1.3.2.3(2)の独自の位置づけ

被告は審査ガイド 1.3.2.3(2)が規定する「ばらつき」の考慮の意義を否定するために、独自の様々な架空の想定を試みている。念のため、その点を具体的に指摘しておきたい。

まず、第 23 準備書面においては、本来なら 66 頁の(イ)震源特性パラメータの設定の項の 1.3.2.3(1)と 1.3.2.3(3)の間に 1.3.2.3(2)が記述されるべきところ、これが完全に飛ばされている。この扱いは、震源特性パラメータの位置づけと密接に関係していると思われる。事実、被告第 23 準備書面 66 頁の脚注 \*42 では次のように述べている。「\*42 『震源、特性パラメータ』とは、地震動評価に用いる震源断層モデルを設定する際に必要なパラメータをいう。巨視的パラメータとして『地震モーメント』、『震源、断層面積』等、微視的パラメータとして『アスペリティ面積』、『応力降下量』等がある。なお、ここ（イ）での『震源特性パラメータの設定』についての記載（審査ガイド 1.3.2.3）は、検討用地震の選定に係るものである。具体的な地震動評価に当たっての震源特性パラメータの設定についての妥当性は、審査ガイド 1.3.3.2（後記ウ（イ））に基づき確認される」。このように、震源特性パラメータの設定は、審査ガイドでは「1.3.2.3 震源特性パラメータの設定」と明確に書かれているにも関わらず、その位置から追い払い、「1.3.3 地震動評価」の項にもち込んでいる。しかし、これは明らかに間違いである。

ガイドの 1.3.3 は地震動評価の項であり、「1.3.3.2 断層モデルを用いた手法による地震動評価」の内容を見れば明らかなおおり、そこの主な内容はグリーン関数の評価となっているように、震源から基盤面に至る地震動の伝播過程の評価である。そのための出発点として、その前に行った震源特性パラメータが設定されていることを確認するのが 1.3.3.2(1)となっている。そこで確認すべき具体的な内容が「①震源モデルの設定」で 2 点にわたって説明されている。

なお被告は、審査ガイド4～5頁の①～⑤が、1.3.3.2(4)の小項目であるかのように考えてそのような引用の仕方（例えば、被告第23準備書面68頁bにおける「1.3.3.2(4)①1」）をしているが、これは明らかに間違いである。そのことは、(4)では経験的グリーン関数法、統計的グリーン関数法、ハイブリッド法以外の方法を用いる場合になっているのに、②と③ではまさにそれらの方法を用いる場合が記述されているからである。結局①～⑤は、(4)の小項目ではなく、1.3.3.2の全体に対する注釈的内容が記載されているものと理解すべきである。

この点に関連して言えば、被告第23準備書面68頁におけるa,b,c等の番号付けは、元のガイド内の位置づけを完全に無視した、でたらめなものというべきである。

結局、震源特性パラメータの設定は、その項目名のとおり、審査ガイド1.3.2.3で主に規定されているのであり、1.3.2.3(2)の「ばらつき」規定はそれにふさわしい重要性をもっているものと考えられるべきである。1.3.3.3で取り上げられているのは震源特性パラメータの「設定」ではなく、「震源特性パラメータ等の分析」、「震源モデルの不確かさ」の考慮である。

## 2-6. 被告第33準備書面の批判

前記2-3で述べたように、被告は1月30日進行協議における裁判所の指摘に応じて、5月12日付け第33準備書面を4月24日に提出した。これまで事実上は、審査ガイド1.3.2.3(2)の第2文は無視するという態度を貫いてきたが、今回の第33準備書面の第5では原告と同じ方法で、実際に標準偏差を考慮した場合を計算してみせている。それゆえ、いまの時点での問題の焦点は、被告のばらつきの考慮の仕方が当を得たものかどうかを検証することにある。

被告は第33準備書面の30頁において、29頁で引用している川瀬委員発言に関して次のように容認している。「(イ)川瀬委員による上記(ア)の意見は、『断層パラメータのばらつき』のみならず『想定断層のマグニチュード等の断層想定におけるばらつき』が考慮されるべきとするものであるが、これは、地震規模は想定した震源断層面に対して平均則に基づき設定されたものよりも大きくなる可能性も否定できないため、上記のようなばらつきを考慮するなどして大きくすることも必要であるとの趣旨であると解される」。被告はこのように経験式の有するばらつきの趣旨を正当に認めながら、30頁の後半では2つの方法という説に流し込んでいる。

実際には、被告の考え方、対処の仕方には少なくとも次の2つの問題がある。第1は、ばらつきと不確かさをわざと混同し、断層面積の不確かさを考慮していれば経験式が有するばらつきは考慮する必要がないとの立場に立っていること。第2は、裁判所の指摘を受けて第5で標準偏差を考慮しているが、その考慮対象をやはり不確かさをいっさい考慮しない場合に限定していることである。以下、詳述する。

### (1) 不確かさを考慮していればばらつきは考慮しなくていいのか

被告は第33準備書面の第2(20頁)で、「・・・『ばらつき』の意義について、当事者間で争いがあるが、そもそも、上記の争いは、経験式が有するばらつきないし不確かさをどのような方法で考慮するかという方法論を問題としているものともいい得る(後記第5の2(1)イ・61ページ以下)」と述べて、ばらつきと不確かさの区別を無視した上で、この争いはそれらの考慮の仕方の問題であると予防線を張っている。その上で、39頁において川瀬報告書(乙235)を引用しながら次のように述べている。

「さらに、そのばらつきの考慮の仕方として、川瀬氏報告書は、『ばらつきを考慮するとなった場合、その考慮の仕方は必ずしも一意に定まるわけではない』とした上で、『地震モーメント $M_0$ の予測平均値

に一定の上乗せをする』方法と、『予め断層面積  $S$  を大きめにと』る方法の 2 つがあると述べ、『ばらつきを考慮するに際して予め断層面積  $S$  を大きめにとった場合（中略）、その断層面積  $S$  を用いて経験式から求めた地震モーメント  $M_0$  は断層面積  $S$  の上乗せ分に相応するだけ大きな値となるため、そのようにして経験式から算出された値にさらに上乗せする必要はない』（同号証・12 及び 13 ページ）と述べている。要するに、断層面積を大きめにとっているのだから、それにさらに経験式が有するばらつきを上乗せする必要はないと主張しているようであり、その趣旨を 39 頁の図 3 で図式化して示している。

ここで被告は以下で述べるように、第 1 に、ばらつきの考慮と不確かさの考慮の質的区別を無視している。第 2 に、審査ガイド 1.3.2.3(2) と 1.3.3.3 の位置づけの区別を無視している。そして第 3 に、実際の扱いからしても上記図 3 は成り立っていない。

- ① 第 33 準備書面 39 頁図 3 では、縦軸  $S$  の不確かさと横軸  $M_0$  のばらつきの効果を、質的な違いを無視した単なる量的な操作によって同一視して見せている。しかし実際には、横軸  $M_0$  を経験式によって設定する場合のばらつきは、入倉・三宅データセットに含まれる過去に実際に起こった地震のデータの客観的なばらつきに由来するものである。他方、縦軸の  $S$  の不確かさは、地震予測の対象となる断層の調査に基づいて、断層の長さや幅や傾き等を把握する場合の認識上の不確かさとして現れるものである。それゆえ、一方を他方で補えるような性質のものではない。
- ② 審査ガイドでは、ばらつきの考慮（1.3.2.3(2)）と不確かさの考慮（1.3.3.3）は独立に設定されている。このことは、不確かさの考慮が以前から継続して存在しているのに対し、ばらつきの考慮は新たに新規制になって初めて別項目 1.3.2.3(2) の第 2 文として付加されたことから明らかである。1.3.3.3 は、すでに「1.3.2.3.震源特性パラメータの設定」で基本ケースとして設定された震源特性パラメータについて、「地震動の評価過程に伴う不確かさ」について考慮する項目であり、その不確かさの中に地震規模のばらつきは入っていない。それらの位置づけの差異は、審査ガイド図-1 が示すフローチャートにおいては、地震規模のばらつきが検討用地震の項に属しているはずなのに対し、不確かさの考慮は、より下流にある地震動の評価に付随する位置に属していることから明らかである。
- ③ 実際は FoA-FoB-熊川断層 Ss-4 の 856 ガルの場合、不確かさとしては短周期レベル 1.5 倍ケースが考慮されているが、それと独立な関係にある断層面積の不確かさはいっさい考慮されていない。他方、断層面積の不確かさを考慮するケースでは、面積  $951\text{km}^2$  が  $1002.85\text{km}^2$  と 1.055 倍になり地震規模は 1.11 倍になるだけなので、とても標準偏差による「上乗せ」2.41 倍をカバーすることはできない。結局、断層面積の不確かさを考慮しているからと言って、経験式から決まる地震規模（地震モーメント）のばらつきを考慮しなくてもよいというような根拠は何もない。

## （2） 被告が採用した標準偏差の考慮方法を現行の FoA-FoB-熊川断層の Ss-4 に適用すれば

被告第 33 準備書面第 5 の 69～76 頁では、原告が標準偏差を適用したのと同じ方法を採用して、地震規模に対する標準偏差の効果を実際に計算して見せている。ただしその際、その対象を①FoA-FoB 断層の基本ケースに、②FoA-FoB-熊川断層の場合でもやはり不確かさを考慮しない基本ケースにとっている。その結果、標準偏差  $\sigma=0.191$  によって地震規模が  $10^{2\sigma}=2.41$  倍になり、壇ほかの式によって加速度は  $2.41^{1/3}=1.34$  倍になるので、①の場合、加速度 396 ガルが  $396 \times 1.34=530$  ガルとなり、②の場合、606 ガルが  $606 \times 1.34=810$  ガルになる。これらの結果は、現在の FoA-FoB-熊川断層の Ss-4 による最大加速度 856 ガルを下回るるので問題はないとしている。

しかし、まず①の場合、FoA-FoB 断層は検討用地震の対象からはずれているので問題外である。実際、関西電力の 2016 年 2 月 19 日付提出資料「大飯発電所地震動評価について」(丙 5) の 9 頁では、「FO-A~FO-B~熊川断層および上林川断層を検討用地震として選定した」と明確に書かれている。②の場合、606 ガルは基本ケースで最大加速度となる破壊開始点②の場合であり(丙 5、95 頁)、不確かさを考慮していない場合である。このような選択は、不確かさを考慮すれば経験式のばらつきを二重に考慮する必要はないとの前記の立場からきている。しかし、不確かさを考慮すればばらつきを考慮する必要はないとの立場は前記のように誤っている。

なお、被告第 33 準備書面 62 頁の表 1 では、不確かさとして 5 ケースが考慮されているが、これらは同時にではなく、5 者択一的に考慮されている。それゆえ、856 ガルをもたらず Ss-4 の短周期 1.5 倍ケースでは、断層面積は基本ケースのままで不確かさは考慮されていない。

こうして、被告が適用したのと同じ方法を FoA-FoB-熊川断層の Ss-4 の場合に適用すれば、現行 856 ガルは  $856 \times 2.41^{1/3} = 1150$  ガルになる。さらに危険性が高い場合、標準偏差の 2 倍( $2\sigma$ )も考慮されている。その場合、加速度はさらに 1.34 倍となるので  $1148 \times 1.34 = 1540$  ガルとなり、最大乖離の場合(1992.Big Bear 地震)の 1480 ガルをも上回る。このような加速度が考慮されていないので、現状は審査ガイド違反である。

## 2-7. 結論

審査ガイドが考慮することを求めている「経験式が有するばらつき」とは、当該経験式と「その前提とされた観測データ」(すなわち、平均値を生み出した基のデータセット内の各データ)との「乖離の度合い」のことであることは被告も認めている。経験式は、過去に起こった地震の実態から、将来起こるであろう地震の一般的法則性(スケーリング則)を、データセット(集合)の平均値として導いたものである。しかしそれだけでは、データセットが含む地震情報を十分に生かすことにならない。各地震はその地域の断層や外力の実態を反映してその個性に応じた起こり方をするにより、経験式のデータセット内のデータには客観的な性格の「ばらつき」が存在する。将来起こるであろう地震は、平均値で起こるとは限らないのであるから、「ばらつき」も考慮するのは当然の要求である。

他方、FoA-FoB-熊川断層のモデルをどう想定するかには、不確かさがつきまとう。FoA-FoB-熊川断層による地震波自体は観測されていないので、震源インバージョンで断層面を探ることはできない。そのため測地学的な種々の情報に基づいて断層が想定されている。それでもなお断層長さや深さ、傾き等に認識上の不確かさが伴うので、安全側の考慮が「不確かさの考慮」として実際になされている。これは「ばらつき」とは区別され独立なガイド 1.3.3.3 の要求に基づくものである。これは経験式をどう想定するかの問題ではなく、(断層面積の不確かさに限って言えば)選ばれた経験式にどのような断層面積データを代入するかという問題である。

結局、被告は「ばらつき」が経験式と経験式を導いたデータセット内の各データとの「乖離の度合い」であることを認めながら、不確かさを考慮すればばらつきは考慮しなくていいとの立場に立って、審査ガイド 1.3.2.3(2)の要求に違反しており、設置許可基準規則 4 条 3 項が要求する安全性が保証されていない。同時に、被告が今回、裁判所の指摘を受けて実際に採用した評価方法を現在の FoA-FoB-熊川断層の Ss-4 に適用すれば、まともな評価結果の得られることが明らかとなり、その結果、現状の違法性がむしろ明確に裏付けられたのである。

### 第3. レシピの矛盾に対する処方箋による過小評価

#### 3-1. レシピの矛盾

「震源断層を特定した地震の強振動予測手法（「レシピ」）」に矛盾が含まれており、それに対処する処方箋がレシピ(乙 87)の 12 頁で以下のように示されている。

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  $M_0=1.8 \times 10^{20}(\text{N} \cdot \text{m})$  を上回る断層。

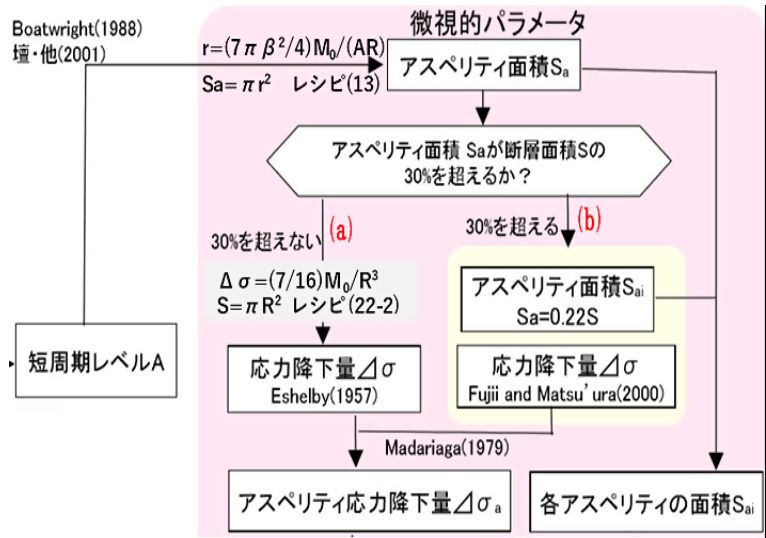
(ii)  $M_0=1.8 \times 10^{20}(\text{N} \cdot \text{m})$  を上回らない場合でも、アスペリティ面積比が大きくなったり背景領域の応力降下量が負になるなど、非現実的なパラメータ設定になり、円形クラックの式を用いてアスペリティの大きさを決めることが困難な断層等。

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。

ここで(ii)の場合が、最後の文章でいう「断層幅のみが飽和するような規模の地震」で、いわゆる第 2 ステージに属する場合である。その場合、暫定的な判断として、円形クラックの式を用いることが困難な場合には、アスペリティ面積比 ( $\gamma = S_a/S$ ) がある程度以上に大きくなると、 $\gamma=0.22$ 、 $\Delta \sigma=3.1\text{MPa}$  を適用するよう、上の処方箋は定めている。

この場合は、例えば関西電力が大飯原発に関して審査会合で提出した資料（甲 139）100 頁では、図 3-1 のように図示している。ここでレシピ(13)式に登場する短周期レベル A は、地震動の短周期レベルから算定される震源における加速度のレベルを表しており、地表面における加速度と比例関係にあると考えられている。レシピ(13)式で計算したアスペリティ面積比  $\gamma$  が 0.3 (30%) を超えない場合は、レシピ (22-2) 式で応力降下量  $\Delta \sigma$  を計算する（ル

図 3-1. 関電、2014.5.9 審査会合資料 1-2、p.100 の図に数式等加筆



ート(a))。しかし  $\gamma$  が 0.3 を超えると、 $\gamma$  や  $\Delta \sigma$  の計算値を放棄して  $\gamma=0.22$ 、 $\Delta \sigma=3.1\text{MPa}$  とするよう定めている（ルート(b))。  $\Delta \sigma=3.1\text{MPa}$  は、図 3-1 内の  $\Delta \sigma$  の箇所に Fujii-Matsu'ura(2000、甲 218) に従った方式であることが示されている。この処方箋をグラフで示すと次頁の図 3-2-1、図 3-2-2 のようになる。

この図は大飯原発の場合で S 波速度  $\beta=3.6\text{km/s}$  の場合である。左側図(図 3-2-1)のアスペリティ面積比の計算では、レシピの(13)式内の短周期レベル A に壇ほかの式を、地震モーメントに入倉・三宅式を用いている。図 3-2-2 の応力降下量  $\Delta \sigma$  の計算では、レシピ(22-2)式に入倉・三宅式を適用している。すなわち、 $\Delta \sigma$  の挙動には、壇ほか式やレシピ(13)式は関与していない。応力降下量  $\Delta \sigma$  とアスペリティ面積比  $\gamma$  の間には  $\Delta \sigma=(414/\beta^3)\gamma^{3/4}$  という関係があるので、両者は歩調を揃えて動いている。

図 3-1 のルート(a)と(b)は、被告の第 19 準備書面 34 頁図 2 におけるルート(a)と(b)に対応している。ここでは、ルート(a)が成り立たない場合はルート(b)を設けることで合理的な解決策が与えられているかのように主張されている。

図 3-2-1.アスペリティ面積比  $\gamma = Sa/S$  の挙動と処方箋

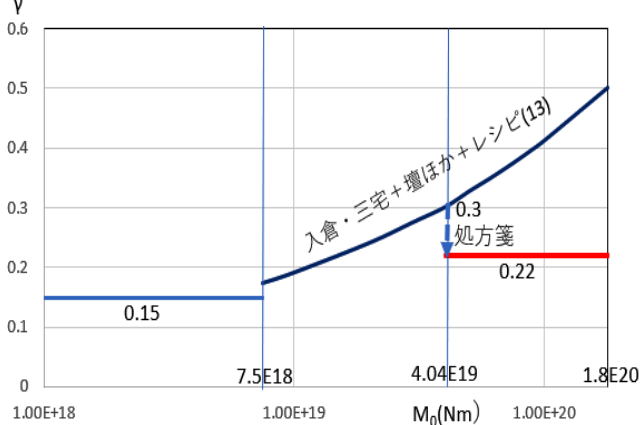
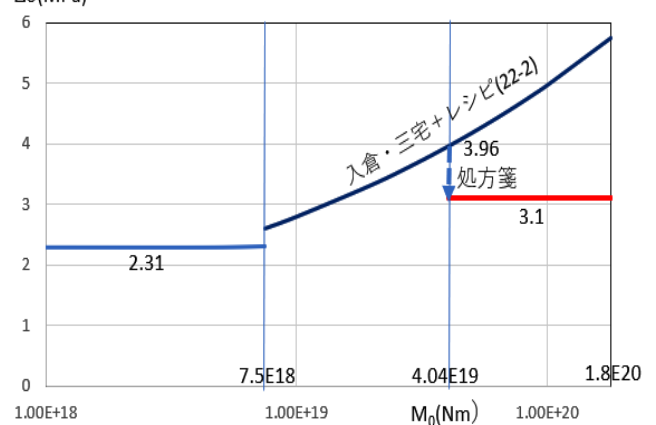


図 3-2-2. 応力降下量  $\Delta\sigma$  の挙動と処方箋



しかしなぜ、レシピで与えられた式によって、アスペリティ面積比が際限なく増加するような奇妙な挙動（矛盾）が生じるのか、その原因がまったく明らかにされずに、突然数値を一定値に置き換えることで「解決」していいのだろうか。しかも、その処方箋によって地震動の過小評価が許されているとすれば、このような暫定方式を適用することには強い疑問をもたざるを得ない。そのため、以下ではまず矛盾が生じる原因から探ることとする。

### 3-2. 入倉・三宅式は壇ほか式と整合しない

上記の矛盾はアスペリティ面積比  $\gamma$  が一定以上に大きくなる領域、すなわち第 2 ステージで生じるのであり、ここでは壇ほかの式と入倉・三宅式が同時に適用されている。 $\gamma$  の矛盾は両式を同時に用いることから生じることを以下で示そう。

レシピ(13)式を用いると、アスペリティ面積比  $\gamma$  は以下の式で与えられる。

$$\gamma = [(7/4)(\pi \beta)^2 (M_0/AS)]^2 \quad (3-1)$$

ここで  $A$  は短周期レベル、 $\beta$  は  $S$  波速度、 $S$  は断層面積であり、 $A$ - $M_0$  関係式（壇ほか式や片岡ほか式等）と  $M_0$ - $S(L)$  関係式（Somerville et al 式、入倉・三宅式、武村式、Fujii-Matsu'ura 式等）に対応して  $\gamma$  が定まる。

#### (1) Somerville ほか式を用いる第 1 ステージでは矛盾は生じない

レシピでは、第 1 ステージ ( $M_0 < 7.5 \times 10^{18}$ ) の場合、短周期レベルに壇ほかの式

$$A = C_D M_0^{1/3} \quad (C_D = 5.30 \times 10^{12}) \quad (3-2)$$

地震モーメント  $M_0$  に対し入倉・三宅式ではなく Somerville et al の式

$$M_0 = k_S S^{3/2} \quad (k_S = 9.496 \times 10^{14}) \quad (3-3)$$

が用いられている。この場合にレシピ(13)式を用いて、アスペリティ面積比を求めると

$$\gamma = K_1 \quad (K_1 = [(7/4)(\pi \beta)^2 (k_S^{2/3}/C_D)]^2) \quad (3-4)$$

となって  $\gamma$  は一定値をとる（前頁の図 3-2-1 グラフの第 1 ステージにおける一定値が示している）ので矛盾は起こらない。逆に  $\gamma$  を一定値とすると、レシピ(13)式と Somerville et al 式より、短周期レベルは

$$A=C_1M_0^{1/3} \quad (C_1=(7/4)(\pi\beta)^2(k_s^{2/3}/\gamma^{1/2})) \quad (3-5)$$

となって、Aは壇ほかの式と同型の1/3乗則に従う。

## (2) 第2ステージで入倉・三宅式は壇ほか式と整合しない

レシピでは第2ステージ ( $M_0 > 7.5 \times 10^{18} \text{Nm}$ ) の場合に、短周期レベルには壇ほか式を適用しているが、 $M_0$ には入倉・三宅式

$$M_0=k_1S^2 \quad (k_1=5.562 \times 10^{13}) \quad (3-6)$$

を用いている。この場合、レシピ(13)式により

$$\gamma=K_2M_0^{1/3} \quad (K_2=[(7/4)(\pi\beta)^2(k_1^{1/2}/C_D)]^2) \quad (3-7)$$

となる。 $\gamma$ は $M_0^{1/3}$ に比例して前頁グラフのように単調増加し、矛盾を引き起こす。

他方、 $\gamma$ はほぼ一定値0.22をとることが認められているのでそれを仮定すると、レシピ(13)式と入倉・三宅式より

$$A=C_2M_0^{1/2} \quad (C_2=(7/4)(\pi\beta)^2(k_1/\gamma)^{1/2}) \quad (3-8)$$

となって1/2乗則になるので、壇ほかの1/3乗則とは矛盾する。他方、片岡ほかの横ずれ断層の式は

$$A=C_KM_0^\alpha \quad (C_K=3.162 \times 10^8, \alpha=0.57) \quad (3-9)$$

のように0.57乗則なので、これに近い挙動を示している。

結局、第2ステージにおいて $\gamma$ の矛盾が生じるのは、入倉・三宅式 ( $M_0 \propto S^2$ ) と壇ほかの式 ( $A \propto M_0^{1/3}$ ) を同時に用いているためであることが分かった。どちらかの式の使用を止めて別の式に置き換えれば、矛盾は生じない可能性がある。このことを以下で検討する。

### 3-3. 入倉・三宅式(または武村式)と片岡ほか式では矛盾は生じない

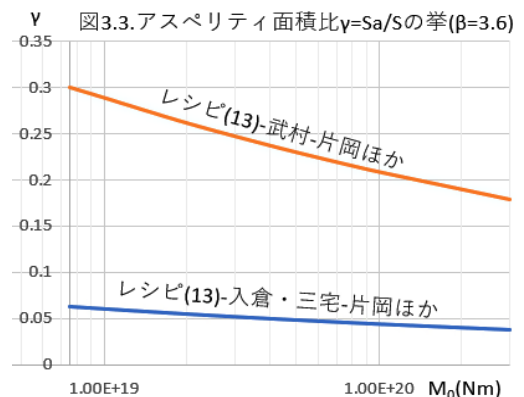
入倉・三宅式と武村式は同型なのでそれらを $M_0=kS^2$ と書くことにする。この式と片岡ほか式(3-9)を前と同様にしてレシピ(13)式に代入して $\gamma=Sa/S$ を求めると

$$\gamma=K_3M_0^{1-2\alpha}=K_3/M_0^{0.14} \quad (\alpha=0.57\text{より})$$

$$(K_3=[(7/4)(\pi\beta)^2(k^{1/2}/C_K)]^2) \quad (3-10)$$

となるので、 $\gamma$ は $M_0$ が増えるにつれてゆっくりと減少する。上式より一般に、べき指数 $1-2\alpha \leq 0$ すなわち $\alpha \geq 1/2$ であれば増大挙動は生じないことが分かる。

FoA-FoB-熊川断層のS波速度 $\beta=3.6\text{km/s}$ の場合に、入倉・三宅式( $k=k_1=5.562 \times 10^{13}$ )と武村式( $k=k_T=26.30 \times 10^{13}$ )に対応するグラフは図3-3のようになる。この結果より、入倉・三宅式では $\gamma$ は余りにも小さすぎるが、武村式を用いた場合は、ちょうど0.22付近の適切な値をとっていることが分かる。



### 3-4. 壇ほか式(1/3乗則)を用いても Fujii-Matsu'ura 式を用いれば矛盾は生じない

上記では、入倉・三宅式または武村式のようなスケーリング則を採用した場合でも、壇ほか式ではなく



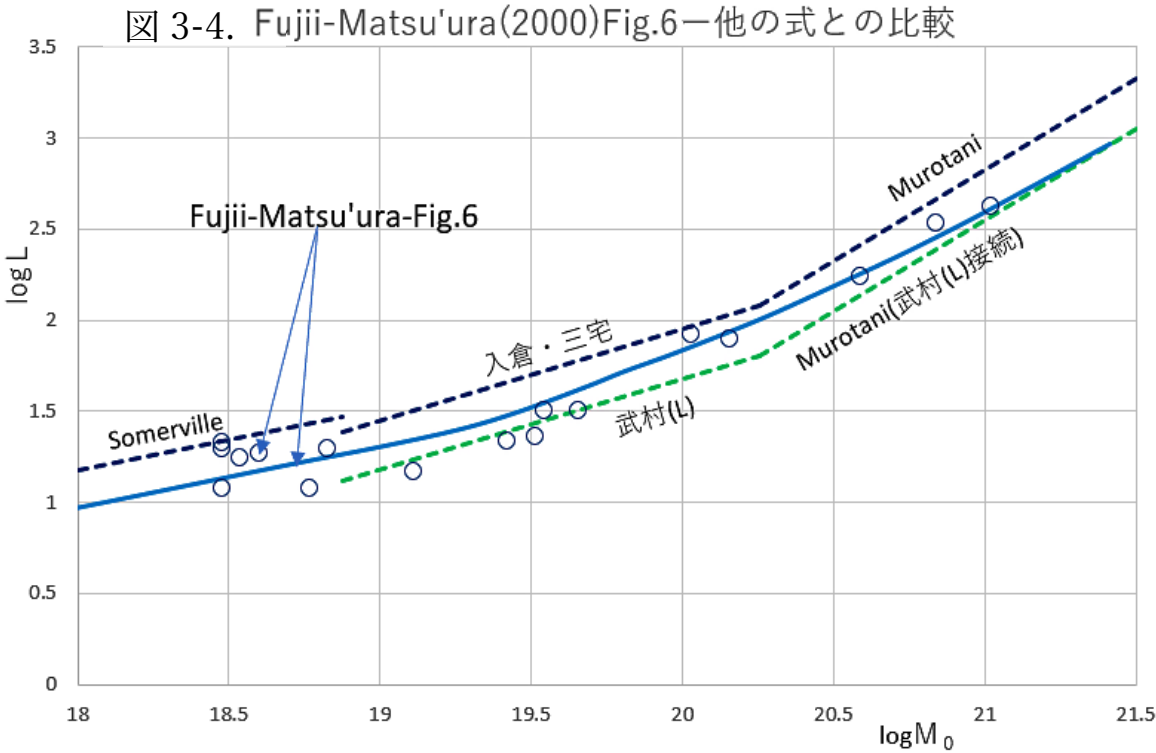
片岡ほか式を用いれば矛盾は生じないことを示した。他方、短周期レベル A に関する壇ほかの式のような 1/3 乗則は、第 1 ステージを超えて第 2 ステージでも成り立っていることが佐藤ほか(1994,甲 219)等によって示されている。この 1/3 乗則を是とする立場に立てば、入倉・三宅式のようなスケーリング則は排除されねばならないことになる。

前記のレシピ 12 頁の処方箋では、アスペリティ面積比  $\gamma$  が大きくなった場合、応力降下量  $\Delta \sigma$  はレシピの(22-2)式によって決めるのではなく、Fujii-Matsu'ura (2000,甲 218) の提唱する  $\Delta \sigma=3.1\text{MPa}$  を適用することになっている。ところが、レシピでは Fujii-Matsu'ura 式 (以下 Fujii-M 式) が(22-1)式として書かれているのに、それは用いずに、その式で仮定されている  $\Delta \sigma=3.1$  だけが処方箋として採用されている。(22-2)式が円形破壊を仮定した式であるのに対し、(22-1)式はそれを一般化した式であり、入倉・三宅式に代わって地震モーメントを算出することができる。また、国際的にも C.H.Scholz や Miller 等の流れに沿っており一定の根拠がある。Miller(2002,甲 220)では、下記の Fujii-M 式 (3-11)の分母の  $aL$  が  $aL/W$  となった場合に相当している (甲 220、27-2 頁、(4)式と(6)式)。

レシピ(22-1)式の Fujii-M 式は次式で与えられている。

$$M_0 = \Delta \sigma \cdot \{WL^2/(aL+b)\} \quad (W=15\text{km}, \Delta \sigma=3.1\text{MPa}, a=0.014/\text{km}, b=1.0) \quad (3-11)$$

この式のグラフがデータ点とともに、Fujii-Matsu'ura(2000)の Fig.6 に示されているので、それらの数値を読み取り、他の式と比較したのが図 3-4 である(第 1 ステージでは  $W=0.455L$  とした)。青の実線で示されている Fujii-M 式を入倉・三宅式と比べると、第 2 ステージで入倉・三宅式は過小(左寄り)であり、Fujii-M 式は武村式(L)に比較的近い位置にあることが分かる。



Fujii-M 式では、応力降下量は、 $\Delta \sigma=3.1\text{MPa}$  に固定されているので、アスペリティ面積比がどうなるか調べよう。その際、レシピ(13)式を用いるのであるが、短周期レベルは 1/3 乗則に従うとして、

$$A = CM_0^{1/3}$$

とし、 $M_0$  は Fujii-M 式に従うものとする。

このとき第2ステージにおける $\gamma$ は、レシピ(13)式より断層長さ $L$ の関数として次式で決まる。

$$\gamma = K_F g(L) \quad (K_F = [(7/4)(\pi \beta)^2 \Delta \sigma^{2/3} / (CW^{1/3})]^2, g(L) = [L / (aL + b)]^{2/3}) \quad (3-13)$$

ここで $g(L)$ は断層長さ $L$ の関数として緩やかに変化し、 $L = b/a = 71.4\text{km}$ (このときの $M_0 = 1.186 \times 10^{20}\text{Nm}$ )で最大値 $g_{\max} = 1/(4ab)^{2/3} = 6.832\text{ km}^{2/3}$ をとる。

FoA-FoB-熊川断層の場合、S波速度 $\beta = 3.6\text{km/s}$ とし、短周期レベルとしては次の場合を考える。

**(i) 壇ほか式の場合 ( $C = 5.30 \times 10^{12}$ )**

単位に注意しながら計算すると、 $K_F = 0.132/\text{km}^{2/3}$ 、 $L = 63.4\text{km}$ のときの $\gamma = 0.900$ と相当に大きい値になるので適切ではない。

**(ii) 佐藤ほか(1994)の Fig.12 の場合**

佐藤ほか(1994,甲 219)の Fig.12 (図3-5)の上部に this study としてコーナー周波数 $f_0$ を求める式が書かれている。それより $f_0$ を $M_0$ で表し、 $M_0$ の単位を dyne-cm から Nm に直し、短周期レベル  $A = 4(\pi f_0)^2 M_0$  に代入すると壇ほかと同型の式が得られて  $C = 1.106 \times 10^{13}$  となる。すなわち、壇ほか式の約2倍の値になっている。壇ほか式は12データのうち10データは北米地震で、他の2つは日本とイランであるが、佐藤ほか(1994)ではすべてが日本の地震である。この場合 ( $\beta = 3.6$ )、(3-13)式の  $K_F = 0.0304/(\text{km})^{2/3}$  となり、 $L = 63.4$ のときの $\gamma = 0.207$ となるので、きわめて妥当な値だと言える。これら2つの場合をグラフで表すと右図 (図3-6) のようになる。

図3-5. 佐藤ほか(1994), コーナー周波数  $f_0$  と  $M_0$  の関係

- $\text{LOG}(M_0) = -3.0 \times \text{LOG}(F_0) + 24.26$  Takemura et al.(1993)
- $\text{LOG}(M_0) = -3.0 \times \text{LOG}(F_0) + 23.27$  Huston and Kanamori(1986)
- + - STANDARD DEVIATION  $\sigma = 0.167$  this study
- $\text{LOG}(M_0) = -3.0 \times \text{LOG}(F_0) + 24.171$   $R = 0.933$  this study

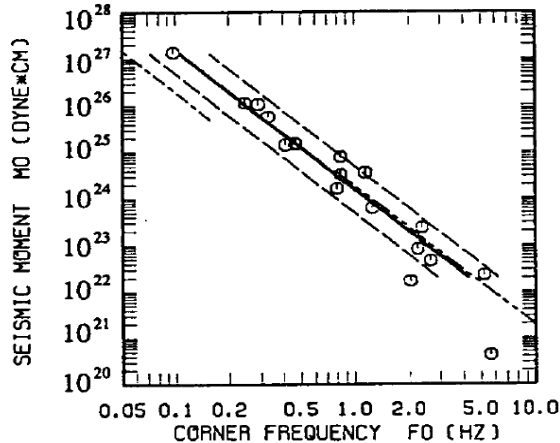


Fig.12 Relationship between seismic moment  $M_0$  and corner frequency  $f_0$

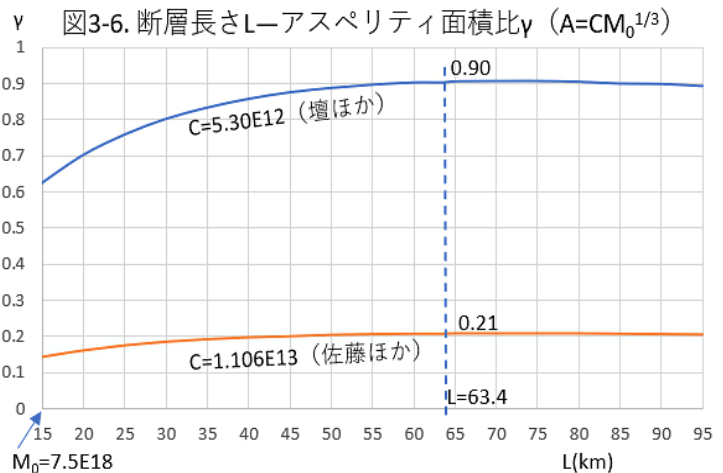


図3-6. 断層長さ $L$ -アスペリティ面積比 $\gamma$  ( $A = CM_0^{1/3}$ )

**3-5. 結論**

上記において、アスペリティ面積比 $\gamma$ が第2ステージで増大するという矛盾に着目し、その原因が入倉・三宅式(または武村式)と壇ほかの式のような1/3乗則との対立にあることを明らかにした。他方、応力降下量 $\Delta \sigma$ もやはり $\gamma$ と歩調を揃えて増大し矛盾を引き起こすが、この挙動には壇ほか式は関与していない。このように考えると、矛盾を起こす根源は第2ステージで入倉・三宅式のような $M_0$ が $S$ の2乗に比例するというスケールリング則を採用したことにあると考えるべきかも知れない。壇ほかのような

1/3 乗則の式を用いても、入倉・三宅式に替えて Fujii-Matsu'ura の式を用いれば矛盾は生じないのである。レシピの矛盾の解決を(b)ルートのような処方箋で「解決」するのではなく、なぜ矛盾が生じるのかを解明し、その矛盾を解決する方向で対処すべきである。実際、本陳述書の 22 頁で引用したように、レシピの 12 頁では処方箋を示した後、「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」と認めているのである。

被告はレシピは体系化されており、その一部の式を別の式に置き換えるのは、とんでもない罪悪を冒すかのように非難する。被告が第 31 準備書面の第 2 で足場をおいている釜江意見書 (乙 208) では 2.2.2.1 において、レシピの一体性を全体の論点のベースとし、「その一部を安易に置き換えればその体系が破綻して科学的合理性が失われる」と脅しをかけている。しかし、レシピには明らかな矛盾が含まれているにもかかわらずその原因究明を怠り、いきなり処方箋で置き換えて「解決」すること、その結果、地震動の著しい過小評価をもたらすことを棚に上げたままでいいのだろうか。肝心なのは、限られた地震の専門家と国の間で体系を守ることによって、司法も含めた「部外者」の批判を封じることではない。原発の安全性に最大限留意し、人々の生命を守ることこそが最も大切なことではないのだろうか。

実は、レシピの前文で次のような真摯な姿勢が述べられている。「また、『レシピ』は、震源断層を特定した地震を想定した場合の強震動を高精度に予測するための、『誰がやっても同じ答えが得られる標準的な方法論』を確立することを目指しており、今後も強震動評価における検討により、修正を加え、改訂されていくことを前提としている」。「ここに示すのは、最新の知見に基づき最もあり得る地震と強震動を評価するための方法論であるが、断層とそこで将来生じる地震およびそれによってもたらされる強震動に関して得られた知見は未だ十分とは言えないことから、特に現象のばらつきや不確定性の考慮が必要な場合には、その点に十分留意して計算手法と計算結果を吟味・判断した上で震源断層を設定することが望ましい」。

実際、レシピには入倉・三宅式等を用いる(ア)の方法とは別に(イ)の方法が同等の方法として設定されている。また、たとえば川内原発の場合、レシピとは別の方法が適用されて審査を通っている (甲 140)。

矛盾の解決を見出すことが不十分な現段階の方策としては、地震動の過小評価を引き起こさない安全側の立場に立って、処方箋の(b)ルートのアスペリティ面積比や応力降下量と整合するような方式である武村式と片岡ほか式の組み合わせ、または Fujii-Matsu'ura 式と佐藤ほかの 1/3 乗則の組み合わせを選んで地震動を評価すべきである。

#### 第 4 (総括的結論). 基準地震動の過小評価

これまで述べてきた内容を集約して、FoA-FoB-熊川断層の基準地震動 Ss-4、最大加速度 856 ガルを再評価する。その際、地震規模 (地震モーメント)  $M_0$  及び短周期レベル A の経験式としてどの式を適用するかという問題と、それら経験式の有するばらつきを考慮する問題とがある。ばらつきの考慮については、本来なら短周期レベルの式についても考慮すべきであるが、審査ガイドでは地震規模の経験式についてしか触れていないことに鑑みて、ここでもそれにとどめることにする。

##### (1) 現行の入倉・三宅式と壇ほか式の場合

入倉・三宅式の標準偏差  $\sigma = 0.191$  を考慮すると、 $M_0$  は現行  $5.03 \times 10^{19} \text{Nm}$  の  $10^{2\sigma} = 2.41$  倍である  $1.21 \times 10^{20} \text{Nm}$  となる。壇ほか式は  $M_0^{1/3}$  に比例しているため、FoA-FoB-熊川断層の最大加速度 856 ガル

は  $2.41^{1/3} = 1.34$  倍の 1147 ガルとなる。もし  $2\sigma$  を考慮すると、同様にして最大加速度はさらに 1.34 倍となるので  $1147 \times 1.34 = 1537$  ガルとなる。

## (2) 武村式(S)と片岡ほか式(横ずれ)を組み合わせた場合

断層面積  $S=951\text{km}^2$  なので、武村式(S)より  $M_0=2.630 \times 10^{14} \times S^2=2.38 \times 10^{20}\text{Nm}$  となる。片岡ほか式(横ずれ断層)より  $A=3.162 \times 10^8 \times M_0^{0.57}=1.30 \times 10^{20}\text{Nm/s}^2$  となって、現行の  $A=1.96 \times 10^{19}$  の 6.63 倍になる。ゆえに、最大加速度は現行 856 ガルの 6.63 倍である 5675 ガルとなる(この場合の標準偏差の効果は省略する)。

次に、武村式(L)と片岡ほか式の場合、 $L=63.4$  より  $M_0(L)=4.365 \times 10^{16}L^2=1.75 \times 10^{20}\text{Nm}$ 。  $A=1.09 \times 10^{20}$  は現行の 5.56 倍なので、最大加速度は  $856 \times 5.56 = 4759$  ガルとなる。さらに武村式(L)の標準偏差  $\sigma_L=0.074$  を考慮した場合、地震規模が  $10^{2\sigma}=1.41$  倍となるので、最大加速度は上記 4759 ガルの  $1.41^{0.57} = 1.22$  倍の 5806 ガルとなる。

## (3) Fujii-Matsu'ura 式と佐藤ほか式を組み合わせた場合

断層長  $L=63.4\text{km}$  を Fujii-Matsu'ura 式(本論(3-11)式)に代入すると、 $M_0=9.90 \times 10^{19}\text{Nm}$  となる(ただし、 $\Delta\sigma=3.1\text{MPa}$ 、 $W=15\text{km}$  とした)。これを佐藤ほか式に代入すると、 $A=1.106 \times 10^{13}M_0^{1/3}=5.12 \times 10^{19}$  となって、現行  $1.96 \times 10^{19}$  の 2.61 倍になる。それゆえ最大加速度は、 $856 \times 2.61 = 2235$  ガルとなる。

次に、ばらつきの効果を考慮するのであるが、Fujii-Matsu'ura 式は平均式として導かれていないので、標準偏差もない。そこで、Fujii-Matsu'ura(2000)の Fig.6 で、第 2 ステージにあって式を表す線より下側( $\log L$  が小さい側)にある 6 つのデータ点を選び、そのデータ集合と式との距離  $\Delta$  を標準偏差と同様に、 $y$  座標差の 2 乗平均の平方根で定義する。数値を読みとって計算すると  $\Delta=0.121$  となる。縦軸の断層長さ  $\log L$  を  $\log L + \Delta$  ( $L \rightarrow 10^\Delta L$ ) とすれば、ばらつきの効果が得られる。結果は断層長さ  $L$  に依存するが、 $L=63.4\text{km}$  のとき  $M_0$  は 1.52 倍になる。最大加速度は、 $2235 \times 1.52^{1/3} = 2568$  ガルとなる。

以上に加えて、もし仮に短周期レベルのばらつきまでも考慮した場合、最大加速度はさらに大きくなるものと考えなければならない。現行の評価値がそれだけ過小評価されているのであり、実際に地震に襲われるとそれに耐えきれないという恐ろしい結果に陥る可能性がある。

付表：入倉・三宅データセット

著者	番号	国	地震	日付	Mo(dyne-cm)	S(km)	L(km)	W(km)
W&C	219	Australia	Tennant Creek	01/22/1988	8.2E+25	228	19	12
W&C	120	China	Songpan, Huya	08/23/1976	8.4E+25	242	22	11
W&C	216	USA, CA	Superstition Hills	11/24/1987	9.2E+25	330	30	11
W&C	74	Australia	Meckering	10/14/1968	9.3E+25	200	20	10
W&C	160	Greece	Corinth	02/24/1981	1E+26	480	30	16
W&C	158	China	Daofu	01/23/1981	1.01E+26	690	46	15
W&C	191	Canada	Nahanni	10/05/1985	1.02E+26	512	32	16
W&C	86	USA, CA	San Fernando	02/09/1971	1.04E+26	238	17	14
W&C	241	USA, CA	Big Bear	06/28/1992	1.16E+26	200	20	10
W&C	75	USA, Alaska	Rampart	10/29/1968	1.2E+26	240	30	8
W&C	117	China	Songpan, Huya	08/16/1976	1.3E+26	360	30	12
W&C	175	Turkey	Pasinier	10/30/1983	1.4E+26	800	50	16
W&C	193	Canada	Nahanni	12/23/1985	1.5E+26	680	40	17
W&C	225	USSR	Armenia	12/07/1988	1.53E+26	418	38	11
W&C	113	USSR	Uzbekistan	04/08/1976	1.95E+26	600	30	20
W&C	115	USSR	Uzbekistan	05/17/1976	2.07E+26	1152	48	24
W&C	157	Italy	South Apennines	11/23/1980	2.6E+26	900	60	15
W&C	26	USA, CA	Imperial Valley	05/19/1940	2.7E+26	660	60	11
W&C	174	USA, Idaho	Borah Peak	10/28/1983	2.8E+26	660	33	20
W&C	139	Yugoslavia	Montenegro	04/15/1979	3.29E+26	1450	50	29
W&C	34	Japan	Fukui	06/28/1948	3.3E+26	390	30	13
W&C	102	USSR	Tadzhikistan	08/11/1974	4.38E+26	600	30	20
W&C	156	Algeria	El Asnam	10/10/1980	5.08E+26	825	55	15
W&C	221	China	Lancang -Gengma	11/06/1988	5.47E+26	1600	80	20
W&C	187	New Guinea	New Britan	05/10/1985	6.93E+26	750	50	15
W&C	73	Iran	Dasht-e-Bayaz	08/31/1968	7.8E+26	2200	110	20
W&C	188	New Guinea	New Ireland	07/03/1985	7.9E+26	1104	48	23
W&C	32	Peru	Ancash	11/10/1946	9.4E+26	840	28	30
W&C	54	USA, MT	Hebgen Lake	08/18/1959	9.5E+26	765	45	17
W&C	206	Taiwan	Hualien	11/14/1986	1.1E+27	1248	48	26
W&C	240	USA, CA	Landers	06/28/1992	1.14E+27	744	62	12
W&C	42	USA, CA	Kem County	07/21/1952	1.3E+27	1216	64	19
W&C	135	Iran	Tabas-e-Golshan	09/16/1978	1.37E+27	1628	74	22
W&C	116	China	Tangshan	07/27/1976	1.76E+27	1680	70	24
W&C	96	China	Luhuo	02/06/1973	1.8E+27	1430	110	13
W&C	127	Argentina	Caucete	11/23/1977	1.89E+27	2400	80	30
W&C	112	Guatemala	Motagua	02/04/1976	3.1E+27	3341	257	13
W&C	91	USA, Alaska	Sitka	07/30/1972	4E+27	1800	180	10
W&C	233	Philippines	Luzon	07/16/1990	4.6E+27	2400	120	20
W&C	53	USA, Alaska	Lituya Bay	07/10/1958	5.1E+27	4200	350	12
W&C	7	USA, CA	San Francisco	04/18/1906	7.9E+27	5184	432	12
Somerville	s1	USA, California	Landers	06/28/1992	7.5E+26	1035	69	15
Somerville	s2	Iran	Tabas	09/16/1978	5.8E+26	4275	95	45
Somerville	s3	USA, California	Loma Prieta	10/17/1989	3E+26	720	40	18
Somerville	s4	Japan	Kobe	01/17/1995	2.4E+26	1200	60	20
Somerville	s5	USA, Idaho	Borah Peak	10/28/1938	2.3E+26	1287	48.75	26.4
Somerville	s6	Canada	Nahanni, N.W.T.	12/23/1985	1.5E+26	572	34.67	16.49
Somerville	s7	USA, California	Northridge	01/17/1994	1.1E+26	378	18	21
Somerville	s8	Canada	Nahanni, N.W.T.	10/05/1985	1E+26	408	29.33	13.92
宮腰		Japan	?	?	1.94E+26	564	27	20.9
宮腰		Japan	?	?	3.31E+26	1119	56	20
宮腰		Turkey	Kocaeli	1999	1.52E+27	2867	123	23.3
宮腰		Taiwan	Chi-Chi	1999	2.70E+27	3404	79	43.1

◆甲 165 の表をベースにして、断層長さ L と断層幅 W のデータを次のように付加した。

- ・ W&C : Wells and Coppersmith(1994)の Table 1 から該当データをピックアップした。
- ・ Somerville : Somerville et al(1999)の Table 3 のデータを用いた。
- ・ 宮腰 : 入倉・三宅(2001)の図 3 より L、図 5 より W の数値を読みとった。