甲第１３８号証

玄海行訴陳述書

玄海３・４号炉基準地震動の過小評価

2020 年 2 月 7 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・三宅式の特性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 ----------4
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 ----------7
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 ----------9
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 ------11
１-８．結論 ---------- --12
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 - ---- --- 13
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 ---------- ------13
２-２．「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を関連 --- --- -- ---------13
２-３．原子力規制委員会の考え方 ---------- -----14
２-４．推本地震調査委員会の「全国地震動予測地図、手引き・解説編」の説明 ---------- -----14
２-５．「ばらつき」の具体的な意味規定 ---------- --15
２-６．被告も標準偏差を「ばらつき」の度合いと捉えている ---------- ----17
２-７．被告は地震規模の評価において乖離の度合いをいっさい考慮していない ---------- ------ 18
２-８．地震動審査ガイドにおける Ⅰ.3.2.3(2)の位置づけ ---------- -----19
２-９．参加人は乖離の度合いとしての「ばらつき」をいっさい考慮していない ---------- -----20
２-10．結論 ---------- ----- 20
第３．レシピの矛盾に対する処方箋による過小評価 ---------- ----- 21
３-１．レシピの矛盾 ---------- ---- 21
３-２．入倉・三宅式は壇ほか式と整合しない ---------- ---- -22
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 ---------- ------ ---23
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 ---------- ---------26

（はじめに）　玄海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(乙 31)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」（乙 32、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 57、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。

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,乙 31)は玄海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。

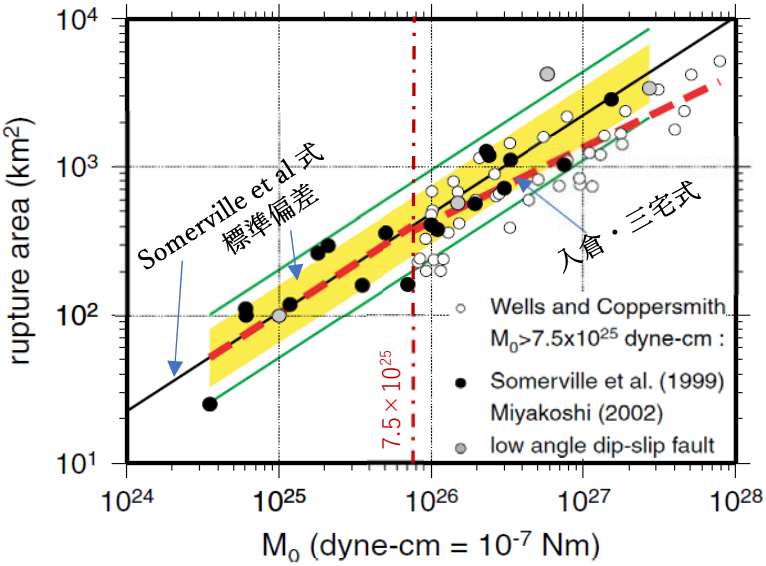
１-２．入倉・三宅式の特性を規定するデータセット(集合)

(1)入倉・三宅データセット(付表)

入倉・三宅式は入倉・三宅(2001,乙 31)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、右図のうち M_0>7.5×10^{25} の範囲から選ばれている。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。

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 61)のデータである。黒丸と灰丸（low angle dip-slip fault）は Somerville at al(1999,甲 60)データと 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)。

図 1-1.Somerville et al 式と入倉・三宅式

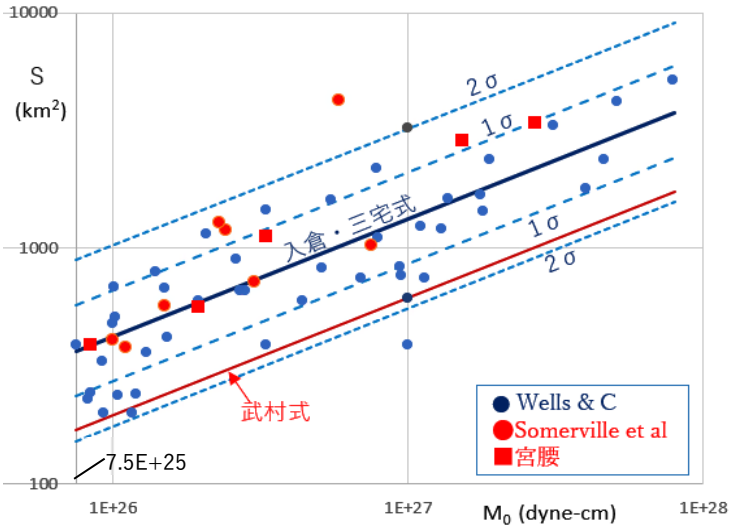


(入倉・三宅　月刊地球 2002(甲 108),Fig.1 に加筆)

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、そのばらつきの度合いは標準偏差として、Somerville et al 線に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１σ及び標準偏差の２倍２σ）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 1×10^{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。震源インバージョンの赤印点(●■)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。

図 1-2. 入倉・三宅データセットと標準偏差



(2)入倉・三宅データセットに関する島崎証言

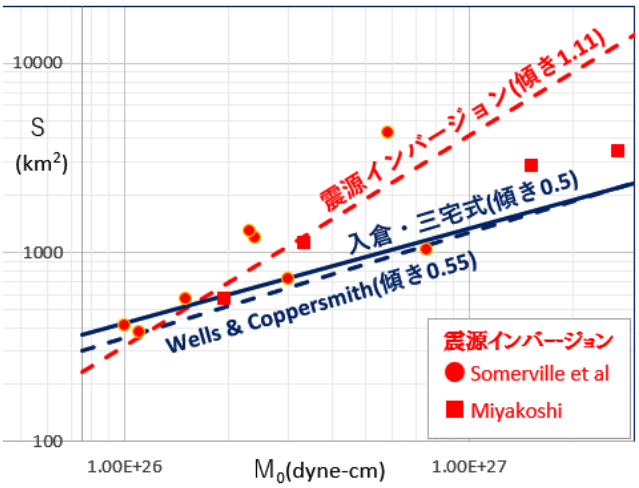
入倉・三宅データセットに関して図 1-1 が示す上記の性質について、名古屋高裁金沢支部における島崎証言が、次のように詳しく述べている（甲 62、証人調書 74 頁）。

「(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，ちよっと対数で見にくいんですけども，そ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。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と，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。だけども，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，外国のもあるかと思いますけれども，追加されたので，大きいところが増えてきました。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本の直線す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，こんなふうにば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。

(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

この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３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であり、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・三宅式は震源インバージョン・データではなく、基本的に測地学的データ等に基づいた式であることがこれで裏付けられた。

図 1-3. 入倉･三宅データセットの構成



被告は入倉･三宅式のデータは「震源インバージョン等」であるとか、「基本的に震源インバージョン」であるとかと随所で称している（第 6 準 21,23,25 頁、第 8 準 11,12,17 頁、第 13 準 13,15 頁、第 17 準 8,17 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 13 準備書面の 15 頁で、入倉・三宅式は「震源インバージョン等」に基づくので、それを用いるときは地下に存在する震源断層の長さを設定することが必要に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・三宅式は基本的に震源インバージョンではない測地学的データ（種々の測地観測による地殻変動や内部構造の推定のデータ）等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、測地学的データと比べて大きい値になることを示している。それゆえ、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。

(4)入倉・三宅データセットが基本的に震源インバージョンでないことは参加人も認めた

参加人は、2019 年 10 月 1 日プレゼンテーション資料（丙 178）の 33 頁において、「入倉・三宅式の経験式作成に用いられたデータは、海外の地震を中心としたもので、震源インバージョンデータである」と述べていた。ところが玄海全基訴訟の第 18 準備書面（甲 126）第 2 の 1 では「入倉・三宅式のデータセットにおいて震源インバージョンのデータが一部にとどまることは入倉-三宅式の合理性を否定するものではないこと」とのタイトルを設け、4 頁で「なお，入倉・三宅式におけるデータセットのうち震源インバージョンそのもののデータは 12 個ではあるものの」として、震源インバージョンデータが 12 個（22.6%）しかないことを認めている。

1-3.「震源インバージョンによって求めた断層面積」とは

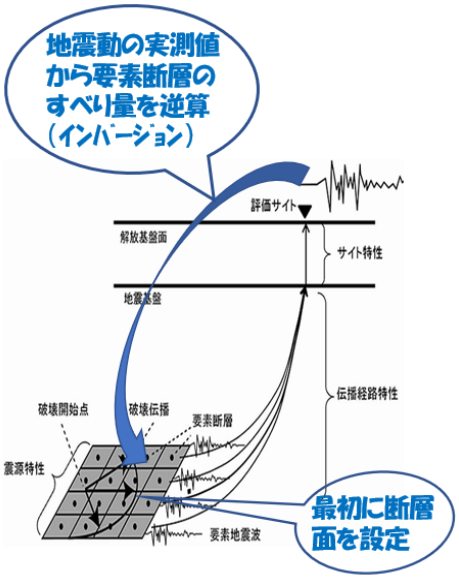
(1) 震源インバージョン

被告は第 17 準備書面 9 頁（及び、第 6 準 20 頁、第 13 準 20 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等のデータに基づき，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とされるものである（菊地正幸『リアルタイム地震学』乙第37号証・46ページ)」。ところが、乙37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の実態は以下のようである。

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、それを碁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)。

図 1-4.　震源インバージョンのイメージ



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、その説明はこの規範を提唱したSomerville et al論文(1999)（甲60、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)(甲40)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49)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は、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 38）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、たとえば参加人である九州電力の抗告審答弁書（甲 113）でも 32 頁で次のように認めている。「入倉ほか(2014)においては，平成 7 年以後国内で発生した最新 18 個の内陸地殻内地震のうち，入倉・三宅式が対象とする Mw6.5 以上の地震について,Somerville の規範に

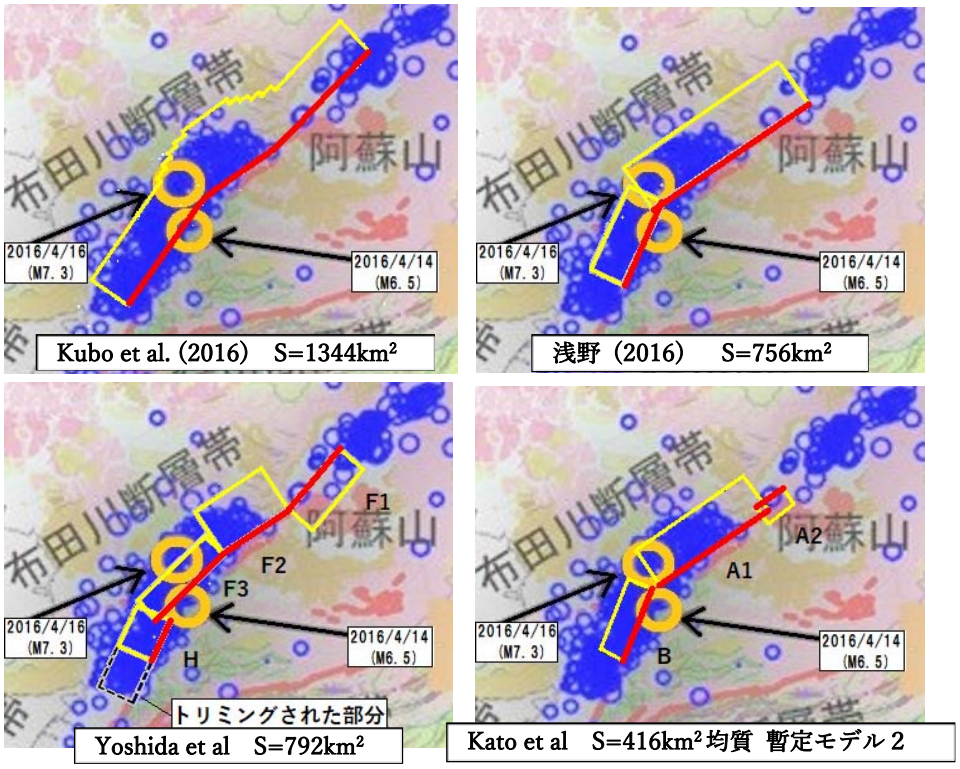
従い断層破壊面積(破壊領域)の抽出を試みた結果，いずれもすべり量が 0.3 以上であるためトリミングの実施は不要であること，すなわち震源インバージョンにおける仮定断層面がそのまま破壊領域として適用可能であることが確認されている」。同じ趣旨の記述は、玄海全基訴訟における参加人の準備書面 18 の 6 頁でも見られる。すなわち、トリミングできないので、仮定断層面がそのまま破壊領域になると述べているが、これでは断層面が研究者の最初の想定によって決まることになる。

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見ることができる。

(2)熊本地震の解析結果

右の図 1-5（甲 111）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 114）の想定断層は Yoshida et al（甲 76）のそれを包摂し、面積は 1.7 倍あるが、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 51）の 1.8 倍、Kato et al（甲 77）の 3.2 倍ある。

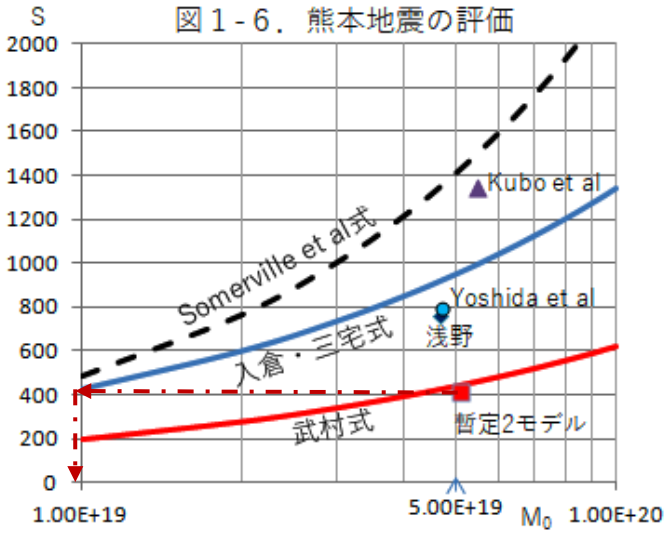
図 1-5. 熊本地震の種々の解析結果（甲 111）



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 112、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ばらついているが、横軸の地震モーメントは、どの点もほぼ $M_0=5\times10^{19}$Nm をとっていることが分かる。

図 1-6．熊本地震の評価



この熊本地震の震源断層モデルには、島崎氏が「科学」(甲 112) の 0483 頁で指摘しているように、2 種類がある。Kato et al(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。

島崎氏が指摘しているように（甲 112、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 1-2 参照)。これを武村式に代入すればほぼ M_0=5×10^{19}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 1×10^{19}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となる。

（注釈 1-1）島崎氏の「科学」論文（甲 112, 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いうことができる。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の証言と異なる。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。

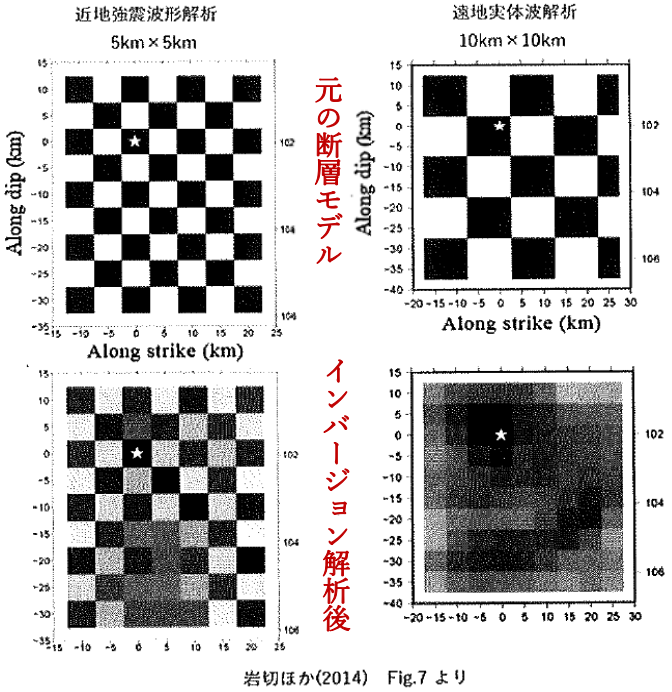
1-4. 震源インバージョンではなぜトリミングできないのか

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,甲 40)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

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

いたチェッカーボードテストでは図 1-7 のように、元の白(0)が解析結果では黒(1)に近い値をもつ。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 38)のトリミングなしの結果について、「いずれもすべり量が 0.3 以上であるためトリミングの実施は不要であること，すなわち震源インバージョンにおける仮定断層面がそのまま破壊領域として適用可能であることが確認されている」（甲 113, 32 頁）と述べて、トリミング不可ではなくトリミング不要であった論を述べている。しかしもし、端の平均すべり量が本当は全体平均の 0.3 倍より小さかったのに、解析による誤差のために 0.3 倍を超えるほど大きくなったとすれば、このような主張は成り立たない。こ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。その証拠は、たとえば宮腰ほか(2015,乙 40）や入倉ほか（2017,甲 62）によって示されているという。

この結果については、2 つの観点から確認しておく必要がある。第 1 は、これら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 2013 年研究発表（甲 87）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。

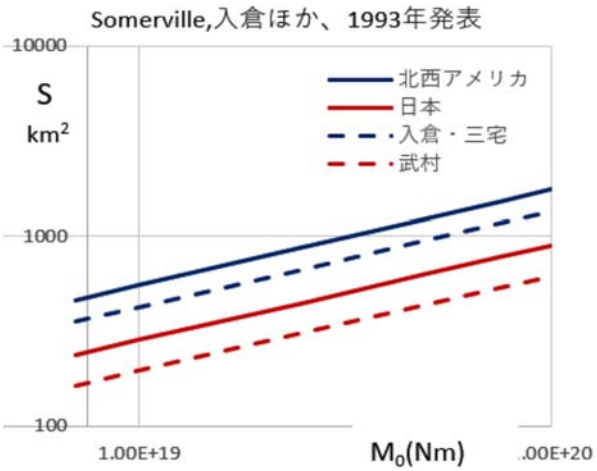
第 2 は、これらの震源インバージョンでは、トリミングする必要がなかったために正当な断層面積が得られているとの主張についてである。この点への反論はすでに行ったが、仮にトリミングする必要がなかったとしても、その断層面積は地下深くにある断層の面積を捉えたものと考えられるので、大きめの値になるのは当然である。それに整合する入倉・三宅式の断層面積 S は地下の断層面積を表すのだが、その S に地上の形跡から想定した断層面積を代入したのでは過小評価をもたらすことになる。

(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 87)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、右図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、被告第 15 準備書面の 39～41 頁で認めてい

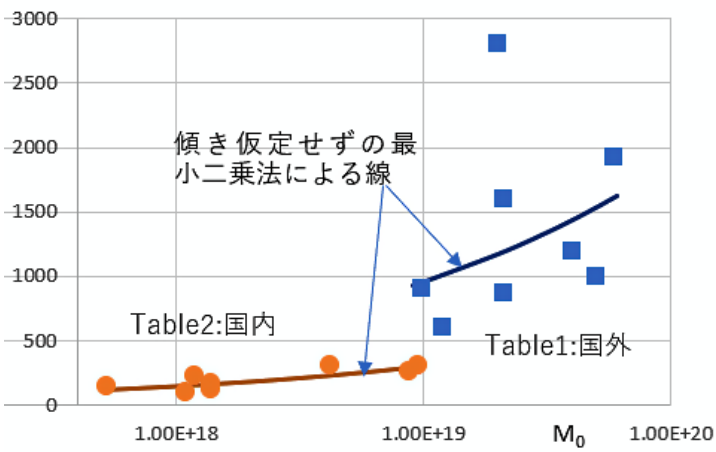
図 1-8. 北西アメリカと日本の違い



るように、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被告は、第 13 準備書面の 11 頁で宮腰ほか(2015)の「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」を引用して「国内外の地震スケーリング則には違いがないとの評価が一般的である」と述べている。しかし、宮腰ほか(2015)では、そのような判断がどうしてなされ得るのか、具体的な説明はなされていない。また、被告は第 17 準備書面の 15～16 頁において岩切ほか(甲 40)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」を引用している。しかし、岩切ほか論文でも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、Table1(国外)と Table2(国内)とも 8 地震が存在している。ところが、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 1×10^{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(右図)。右図からどうしてどのような基準で「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、スケーリング則が同じかどうかの判断はできないはずである。

図 1-9.岩切ほか、地殻内地震-国内と国外の比較



いずれにせよ、上記の 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

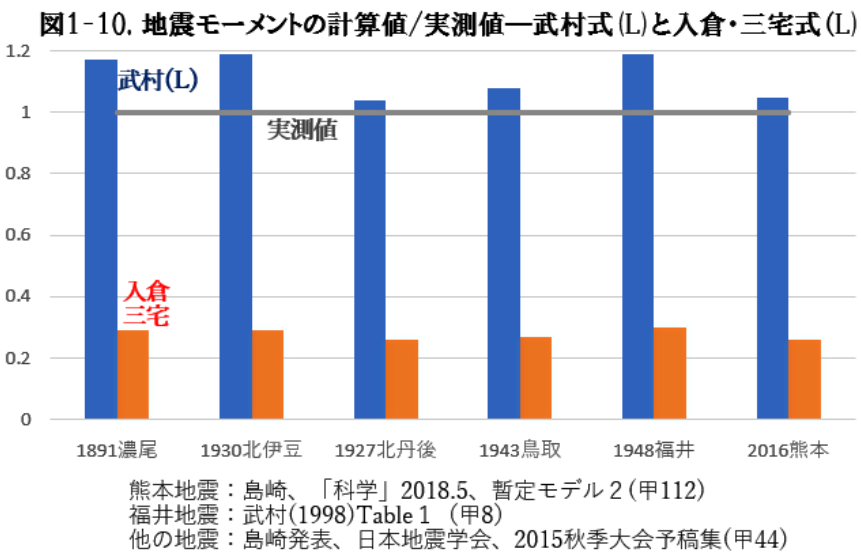
武村式（武村(1998)，甲 8）は、日本の地震だけからなる武村データセットによって規定され、そのデータは武村(1998)の Table(表) 1 に集約されている。第 2 ステージの武村式は、断層長さ L と地震モーメント M_0 の関係として、傾きを 1/2 に固定した最小二乗法によって 10 地震のデータから導かれている（これを武村式(L)とする)。同時に、その式で W=13km に固定し、L=S/13 とすることによって、S-M_0 関係式も導かれている（これを武村式(S)とする。武村式(L)と(S)はそれぞれ甲 8 の(3)、(7)式に相当）

実は、武村の 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 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=13km としたことが妥当であったことを裏付けている（注釈 1-3 参照)。被告は第 6 準備書面の 27 頁で、W=13km に固定したために、武村式が M_0 の過大評価を与えるかのように述べているが、それは不当な評価である。

この武村式と比較して入倉・三宅式が過小評価になることを、島崎氏は地震の実データに基づいて具体的に示している(甲 44)。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。一般に第 i 番目のデータについて、W を共通にとり、$S_i=WL_i$ としたとき、S の式による $M_{0i}(S)$ と L の式による $M_{0i}(L)$ との間に次式が成り立つ（注釈 1-3）。



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

一般に n 個のデータ $X_1,\cdot\cdot\cdot,X_n$ の対数平均値 X*を次式で定義する（この平均方式は、地震評価で実際に用いられている）。

$$\log X^*=[\log X_1+\cdot\cdot\cdot+\log X_n]/n$$

断層幅の対数平均値を W*とし、断層幅を W*に固定して S=W*L として $S\text{-}M_0$ 関係から $L\text{-}M_0$ 関係を導く。このとき、$L\text{-}M_0$ 関係から得られた M_0 の対数平均値は、$S\text{-}M_0$ 関係から得られた M_0 の対数平均値と等しくなる（注釈 1-3）。すなわち W*を用いれば、$S\text{-}M_0$ 関係と $L\text{-}M_0$ 関係は平均的に同等となる。

被告は例えば第 13 準備書面 14 頁の 3 か所で島崎方式を批判して、「『入倉・三宅式』は、個別具体的に震源断層面積を把握することを前提とする関係式であるから」、その断層面積 S を勝手に断層長さ L の式に替えたと非難している。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。

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く、本当は対数平均値 W*=17.0 程度にとるべきで、その場合入倉・三宅式(L)による値は図 1-3 の値の $(17.0/14)^2=1.47$ 倍程度になるはずである（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。

なお、入倉・三宅(2001、乙 31)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}=16.6km 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。

（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、

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

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

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

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

となる。W*は各断層幅 W_1〜W_n の対数平均値である。

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、元と変換後は以下のようになる。

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

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

それゆえ、次の関係が導かれる。

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

$M_{0i}(S)$の対数平均値を M_0^*とすると、その M_0^*値は、（W*を W の対数平均値にとっている場合には）S-M_0 関係と L-M_0 関係で同じ値になる。その意味で、S-M_0 関係を L-M_0 関係に直しても、逆に武村式の場合のように L-M_0 関係から S-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。

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、玄海原発に関する竹木場断層では、実際に竹

木場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 1 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、それは不確定性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、たとえば竹木場断層の場合、基本的なケースでは、L=W=17.3km で S=299.29km^2,M_0=4.98×10^{18}Nm であり、「断層長さ及び震源断層の拡がりの不確かさ」を考慮したケースでは、L=20.0km,W=17km, S=340.00km^2 で、M_0=6.43×10^{18}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で 1.14 倍、地震モーメントで 1.29 倍になっている。これに対し、もし武村式を考慮すれば、入倉・三宅式に対し地震モーメントは 4.73 倍になる。ただし、不確定性は審査ガイド Ⅰ.3.3.3 で要求されている通り、Ⅰ.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。

図 1-10-1. M_0 に対応する S の策定

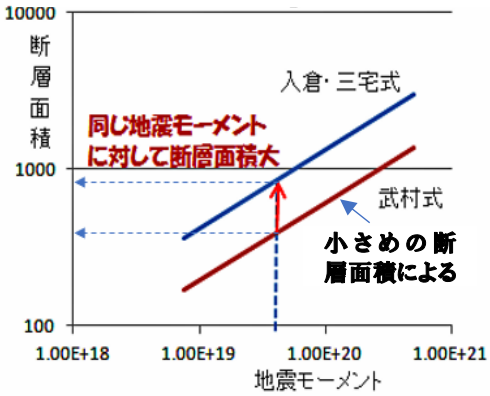
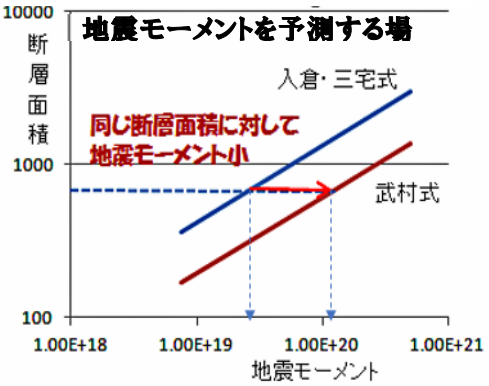


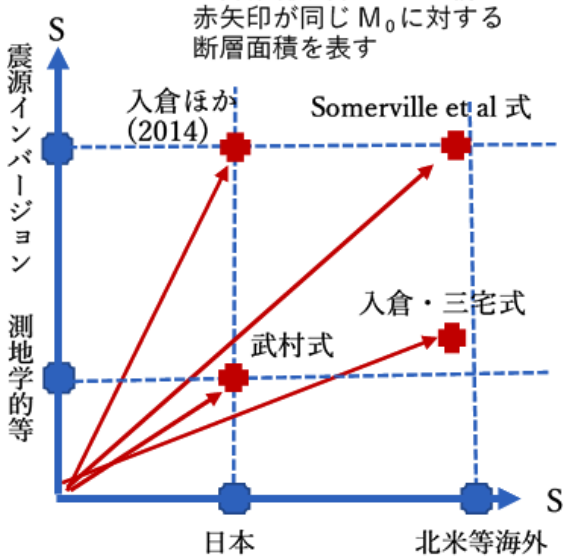
図 1-10-2. S に対応する M_0 の予測



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、震源インバージョンによる地下深くにある複雑な断層面の評価値か、それとも測地学的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。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。このような 2 軸に基づいて経験式は評価し得る（右図）。

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



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、北西米国等の地震に対応して、比較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測地学的に求めた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 1-9 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」の考慮に関する基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイドⅠ.３.２.３(2)の規定

「ばらつき」の考慮について、審査ガイド（乙 32）はⅠ.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 108、294 頁に習って第 1 文を①、第 2 文を②とした。

Ⅰ.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 127、12～13 頁）では、第 1 文は存在したが、第 2 文はなく、2013 年 6 月制定の新規制になって新たに追加されている。問題の焦点は、②の部分が、①がいう適用範囲を確認する際の留意点を単に指すのか、それともより広く「地震規模を設定する場合」を指すのかにある。被告は随所において、適用範囲に限るとの説を展開しているが、以下でこの点を検討する。

なお、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 128)。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（甲 129）では、「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（甲 129、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質問したが、分からないとの回答だった)。

２-２．「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

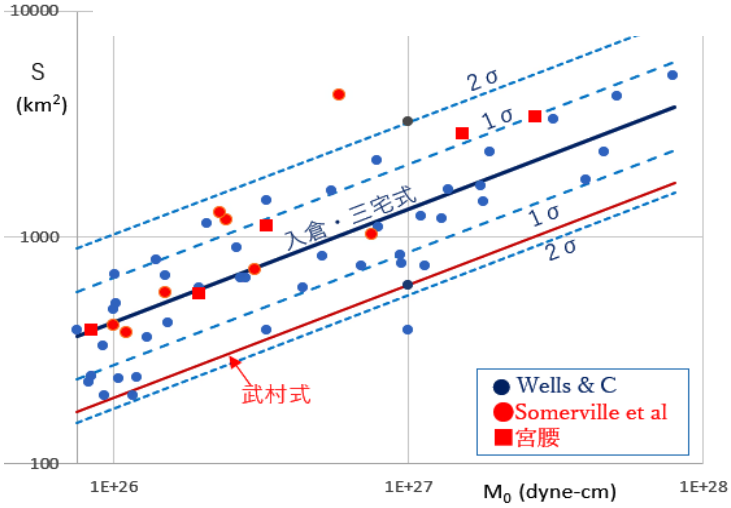
前記②では、入倉・三宅式のような経験式は平均値であるから「経験式が有するばらつき」も考慮せよと規定しているように、ばらつきは平均値と関連して考慮されている。そのことは、入倉・三宅の図においては、Somerville et al 式を包むように標準偏差として影の部分で示されていた。つまり、「経験式が有するばらつき」とは、経験式を１本の線と見るのではなく、幅をもったものとして見るべきだということである。データ点のばらつきは、断層ごとに地震の起こり方が異なること、断層の個性に由来している。標準偏差はそのようなデータ点のばらつきの度合いを示すものであり、入倉・三宅式の場合は図 2-1 の

ように示される（σ=0.191）。

2-3．原子力規制委員会の考え方

被告は第 22 準備書面の 15 頁において、原子力規制委員会の見解について次のように述べている。「地震動審査ガイドを作成した原子力規制委員会もまた，『経験式の適用に係る規定としては初出となることから，確認的に,……当該経験式の適用範囲を確認する際の留意点を記載したものである』旨を示している（傍点引用者。『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】』[乙第 108 号証／293 ないし 295 ページ]）。この考え方は，これまでの被告の主張（前記（4）等）と同様である」。

図 2-1. 入倉・三宅データセットと標準偏差



しかし、この規制委員会の文書で最も重要な内容を規定しているのは、294 頁に書かれている次の記述である（下記の①、②は上記の審査ガイドⅠ.3.2.3(2)に関する①、②のこと）。

「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」。

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。ここで、適用範囲については①で規定されているのだが、それにとどまることなく、②によって乖離の度合いまでを踏まえる必要があると規定している。すなわち、②の主眼点は、「乖離の度合いを踏まえる必要がある」という内容にある。被告が引用した部分だけに立てば、肝心の「乖離の度合い」がまったく生かされないことになるし、前記のように新規制になって②が新たに加えられたことの意義が失われることになる。

2-4．推本地震調査委員会の「全国地震動予測地図、手引・解説編」の説明

推本の地震調査委員会は「全国地震動予測地図、手引・解説編」（乙 133）の 45 頁で、下記の枠囲いのように説明している

ここでは、「ばらつき」は自然現象に伴うものとされ、「不確定性」はモデル（関係式）に伴うものと捉えられている。それらは、「自然現象のばらつきやモデルの不確定性を考慮」と書かれているように、あるいは、「ポイント」で定式されているように、並列的なものと考えられている。モデルに伴う不確定性は新たなデータや知見によって改善されるべきものとされているが、「ばらつき」についてはそのような記述はない。すなわち「ばらつき」は、実際に起こった各地震（自然現象）のデータ（地震モーメントと

断層面積）が事実として異なっていることに由来するもので、客観的な性格のものである。

解説：震源断層を特定した地震の断層モデル

「レシピ」に用いられるパラメータ関係式の不確定性とその基データのばらつき

地震本部の「レシピ」は最もあり得る地震動を予測するためのものであり、用いられているパラメータ関係式は自然現象のデータを平均的に良く説明する式である。一方、自然現象のデータにはばらつきがあり、関係式には不確定性があるので新たな知見が得られれば見直される可能性もある。従って、特に、自然現象のばらつきやモデルの不確定性を考慮する必要がある場合には、この点に十分に留意して断層モデルを設定することが望ましい。（下線は引用者）

ポイント

・自然現象のデータを平均的に説明する式である。
・自然現象（データ）にはばらつきがある。
・関係式（モデル）には不確定性があり、将来、新たなデータや知見が得られれば検証され、必要に応じて見直される。

被告は第 22 準備書面の 9 頁で、乙 133 に基づいて、「自然現象のデータに『ばらつき』があるがゆえに、関係式には不確かさがある」などと述べているが、これは上記の並列的な考えに照らせば誤りである。また、被告は同書面の 16 頁において乙 133 を取り上げ、あたかも「ばらつき」を考慮した例として関谷断層（乙 134）を示している。しかし、関谷断層のモデルで考慮されたのはアスペリティや破壊開始点の位置であって、それらは一般に断層モデルで「不確かさ」として考慮されていることである。

また、被告は同準備書面の 11～16 頁において、あたかも原告が「ばらつき」と「不確かさ」を混同しているかのようなありもしない幻を想定してそれをたたいている。このような手法は、被告の常套手段のようであるが、自らの品位を損ねることにしかならないであろう。

なお、2016年12月以降の地震動レシピの前文では、次のように書かれている。「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」。ここでも「現象のばらつき」と「不確定性の考慮」が並列的に捉えられている。

2-5.「ばらつき」の具体的な意味規定

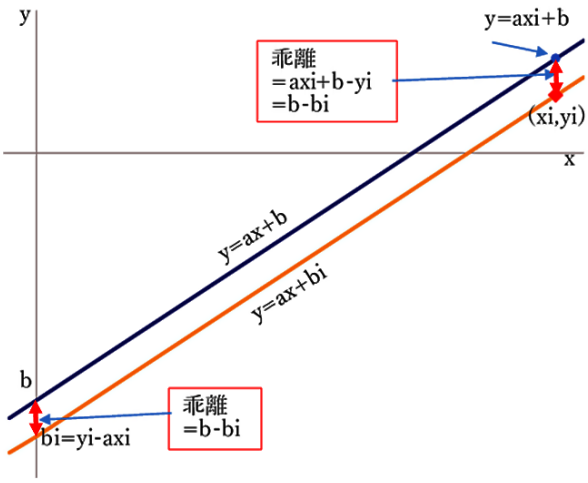
上記のガイド②「その際、経験式は平均値としての地震規模を与えるものであることから、経験式が有するばらつきも考慮されている必要がある」ことの意味を改めて具体的に確認する必要がある。すなわち、「経験式は平均値としての地震規模を与えるもの」の具体的内容及び考慮すべき「ばらつき」とは何かである。

「ばらつき」の意味はすでに原子力規制委員会の乙 108 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 8 準備書面の 8 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。この具体的な意味をより明確にするためには、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 8 準備書面 7 頁の脚注に書かれている最小二乗法に沿って確認する必要がある。

ここでは、経験式として入倉・三宅式を想定することにすると、それは入倉・三宅によって選ばれたデータセットを前提としている。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：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 を想定している。そこで

図 2-2. 乖離は切片の差に等しいこと



$$y_i-ax_i=b_i$$

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

$$F(b)=(b-b_1)^2+\cdots+(b-b_n)^2$$
$$=nb^2-2c_1b+c_0 \quad (c_1=b_1+\cdots+b_n,\quad c_0=b_1^2+\cdots+b_n^2)$$

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

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

と定まる。つまり最適な b は $b_1,\cdots,b_n$ の単純平均となり、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、

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

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 σ）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考慮するためには、入倉・三宅式 $M_0=10^{-2b}S^2$ の b が b-σ 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 σ=0.191 なので、$10^{2\sigma}$=2.41 倍となる。

被告は、例えば第 8 準備書面 10 頁や第 11 準備書面 6～8 頁において、このような考慮は入倉・三宅式を変形・修正するものだと非難するようであるが、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 72）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(15）8 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Ⅰ.3.2.3(2)の要求とⅠ.3.3.3 の要求が別々にあると認めながら、前者を後者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たのである。

２-６．被告も標準偏差を「ばらつき」の度合いと捉えている

被告は第 13 準備書面の 25～26 頁において、入倉・三宅式が熊本地震に適合することが査読論文でも認められていると主張し、入倉ほか論文(2017)（乙 62 の２）の図２を挙げて、次のように述べている。「したがって、入倉らの上記論文にいう『熊本地震における断層破壊面と地震モーメントの関係が、スケーリング則の第２ステージの標準偏差内に納まる』とは、熊本地震の震源インバージョン解析結果（乙第 62 号証の１・５ページ Fig.2 の図及び同号証の２・５ページ図２における赤色の三角形）が、『入倉・三宅式』が平均をとるデータのばらつきの範囲内に、ほぼ納まっていることを意味している」。

熊本地震の震源インバージョン結果が入倉・三宅式の周辺に位置することは、すでに指摘したように断層面積を大きくとっているので当然のことであるが、それはともかく、ここで注目すべきは、「標準偏差内」と「ばらつきの範囲内」を同義的に捉えていることである。すなわち、標準偏差を「ばらつきの度合い」の指標と考えていることが明らかである。

ただし、入倉ほか（2017）の図２で示されている「標準偏差」は、実は本当の標準偏差ではなく、きわめて奇妙な量であることを､本筋ではないが学問的良心の問題として指摘しておきたい(注釈 2-1 参照)。

(注釈 2-1)被告は第１３準備書面の 26～27 頁等で入倉ほか(2017)（乙 62）の図２に依拠した主張をしているが、その図２の「標準偏差」σ＝0.14 はおよそ非常識なものである。

入倉ほか（2017）（乙 62 の 2、５頁）の図２（次の図 2-3）についての説明では、「２本の緑色の折れ線（引用者注：破線(broken green lines)）は、日本の内陸地殻内地震に対する１標準偏差（σ=0.14）を示している」と書かれている。これら緑色の破線は、第２ステージにおける緑色の実線（右図）が示す入倉・三宅式の両側に書かれているので、同式に関する標準偏差を表すものと解釈できる。事実、熊本地震

のデータがその標準偏差の範囲内にあることで「個々のモデルについてもスケーリング則の標準偏差の範囲内にあることが分かった」と図２の上部に書かれている。これらの図示とその説明からすれば、入倉・三宅式の標準偏差がσ＝0.14 であると読み取れる。

図 2-3. 入倉ほか(2017)の図２

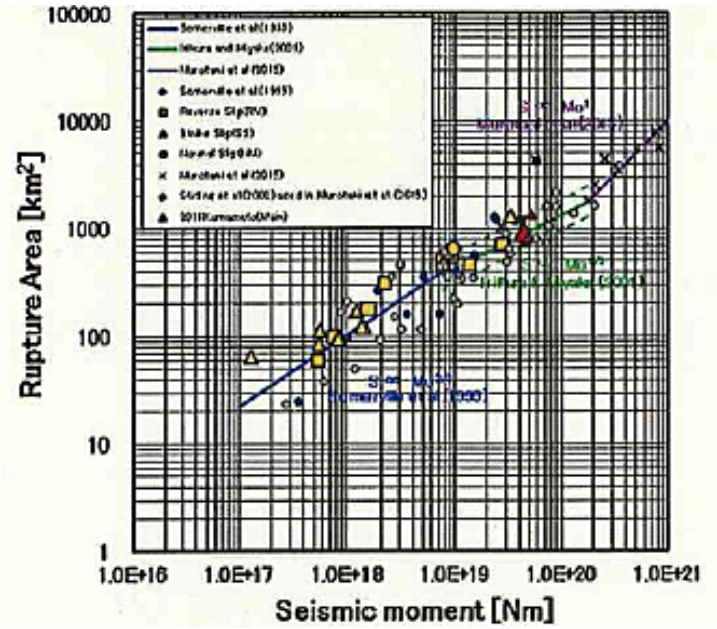
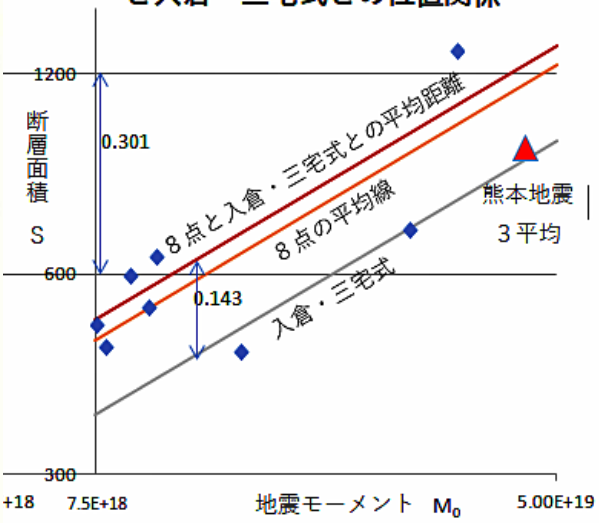


図 2-4. 宮腰ほか(2015)表３の８点と入倉・三宅式との位置関係



しかし、これは余りにも非常識な誤った理解である。「日本の内陸地殻内地震に対する１標準偏差」とは何を意味するのか。入倉・三宅式の標準偏差であるなら、それはそのデータセットのデータ全体によって規定されるはずなので、その中の日本の地殻内地震（４個）だけを取り出して標準偏差を求めることはあり得ない。また、本当に入倉・三宅式の標準偏差であるならσ＝0.191 となるはずである。

実は、この図２は宮腰ほか（2015,乙 40）の図３に加筆したものであり、入倉・三宅式を示す直線の周辺に表３が示す内陸地殻内地震のデータ点が書き込まれている。試しに表３の第２ステージに属する内陸地殻内８地震のデータを形式的に入倉・三宅式の標準偏差の式に当てはめて計算してみると、ちょうどσ＝0.14 となるので、おそらくこの値を指していると推察される。

しかし、表３のデータ集合は入倉・三宅データセットとは関係ないばかりか、図 2-4 が示すように、主に入倉・三宅式の上方に分布していて、本当の標準偏差のように平均線の両側に分布してはいない。σ＝0.14 は、標準偏差の式を形式的に用いて、入倉・三宅式とそのデータ集合とのある種の距離を計算したものにすぎないのである。

２-７．被告は地震規模の評価において乖離の度合いをいっさい考慮していない

被告第１１準備書面の７頁では、前記②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」と記述している。その説明として、伊方原発の震源断層面積が 6124.2km2 であり、これは入倉・三宅式のデータセットの面積値の範囲、入

倉・三宅論文の図 7 にあるデータ点の範囲、約 100km^2～5000km^2 を超えているので、適用範囲外となっていることを挙げている。

しかし、この例は単に入倉・三宅式の適用範囲を断層面積 S で示しているだけのことであって、前記ガイドの①に即した内容である。これでは、②で規定されている「ばらつき」＝「乖離の度合い」、たとえば標準偏差 σ の考慮などが介入する余地はどこにもない。

実は実際には、レシピで記述されているように、経験式の適用範囲（数学では定義域）は縦軸の面積ではなく、横軸の地震モーメントの値で区分けされている。ガイドの①はその区分を確認するだけのことであって、乖離の度合いとは何の関係もないことは明らかである。

２-８．地震動審査ガイドにおける Ⅰ.3.2.3(2)の位置づけ

被告は地震動審査ガイド Ⅰ.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、様々な架空の想定を試みているので、その点を具体的に指摘しておきたい。

まず、第 18 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に、Ⅰ.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 13 準備書面の 45～46 頁では次のように述べている。「もっとも，検討用地震とは，『敷地に大きな影響を与えると予想される地震』であり（乙第 9 号証・126 ページ〔別記２の５二〕)，［①検討用地震の選定］とは，例えば『ＯＯ断層による地震』を検討用地震として選定するという地震動評価の前提として評価の大枠を決める過程であり，地震動審査ガイド Ⅰ.3.2.3 に留意事項として記載された震源特性パラメータを具体的にどのように設定するのかという問題は，むしろ，本来的には地震動評価の問題である（図 1 の②の段階)」(45 頁)。「すなわち，地震動審査ガイドは，Ⅰ.3.3.2 において，基本震源モデル策定に係る震源特性パラメータの設定について，直接的な要求を規定しているのである」(46 頁)。このように、震源特性パラメータの設定は、ガイドでは「Ⅰ.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、その位置から無理やり追い払い、「Ⅰ.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 Ⅰ.3.3 は地震動評価の項であり、「Ⅰ.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とおり、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 Ⅰ.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、ガイド 4～5 頁の①～⑤が、Ⅰ.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 21 準備書面 18 頁における Ⅰ.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、Ⅰ.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 18 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、Ⅰ.3.2.3 で主要に規定されていると捉える

べきであり、Ⅰ.3.2.3(2)の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るべきである。

２-９．参加人は乖離の度合いとしての「ばらつき」をいっさい考慮していない

参加人は玄海全基訴訟の準備書面 18 第 2 の 3 において、原告の主張に対する反論として「経験式にばらつきがあることを踏まえた地震動評価を実施していること」のタイトルの下、7 頁で次のように述べている。「しかしながら，被告は，地震動評価に用いる経験式にばらつきがあることを踏まえ，本件原子力発電所の地震動評価においては，敷地周辺の地域的な特性を把握するため，各種調査・観測（地震調査，地質調査，地下構造調査，地震観測）を実施し，十分に地域的な特性を把握した上で，基本震源モデルの構築に際しては，震源特性パラメータ（断層長さ，傾斜角，アスペリティの位置等）を安全側に考慮した上で構築しており，さらに，基準地震動の策定過程において不確かさが存在することを考慮し，基本震源モデルを更に保守的に設定した不確かさ考慮モデルについても構築している」。

しかし、ガイドが要求しているのは、「ばらつき」を「踏まえる」ことではなく、考慮することである。「ばらつき」は前記のように、経験式の基になったデータセットの枠内で、平均値との乖離の度合いとして規定されているものである。それゆえ「ばらつき」の度合いは、参加人が述べているような「敷地周辺の地域的な特性」などとは何らの関係もない。平均式自体の有するある種の幅として決まるものである。そのような乖離の度合いがどこにも見当たらないことは明らかである。

国は審査において、このような重要な欠陥を見逃している。

２-１０．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、経験式と各データ点との「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ことにより、データは「ばらつき」をもっている。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。これら経験式や「ばらつき」を表す標準偏差は、選ばれたデータセットによって一意的に決まるのであって、そこにデータセット内にはない例えば竹木場断層のデータが介在するなどはあり得ない。

他方、竹木場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。竹木場断層自体による地震波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、傾き等の想定に不確かさがつきまとうので、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」とは区別される審査ガイドⅠ.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、選ばれた経験式（入倉・三宅式）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、審査ガイドの要求に反して、それをいっさい考慮していない。標準偏差を考慮することは世間の常識であるのに、それを守っていない。もしどこかで考慮しているというのであれば、具体的にどの文献のどこそこで考慮していると具体的に指し示すべきである。

第３．レシピの矛盾に対する処方箋による過小評価

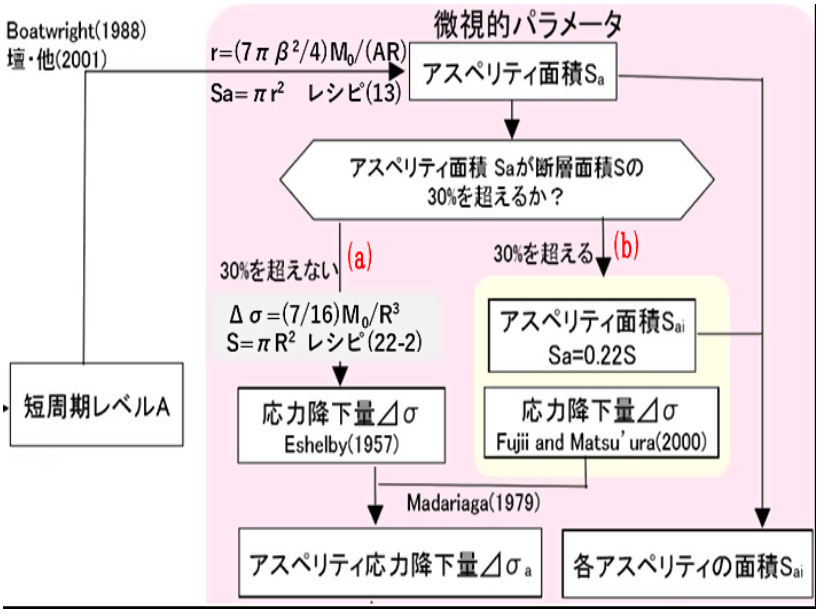
３-１．レシピの矛盾

「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 57)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 $M_0=1.8\times10^{20}$(N・m)を上回る断層。
>
> (ii) $M_0=1.8\times10^{20}$(N・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（γ=Sa/S）がある程度以上に大きくなると、γ=0.22、$\Delta\sigma$=3.1MPa を適用するよう、上の処方箋は定めている。

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



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 130）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γ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（ルート(a)）。しかしγが 0.3 を超えると、γや$\Delta\sigma$の計算値を放棄してγ=0.22、$\Delta\sigma$=3.1MPa とするよう定めている（ルート(b)）。$\Delta\sigma$=3.1MPa は、図 3-1 内の$\Delta\sigma$の箇所に Fujii-Matsu'ura(2000、甲 131)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β=3.6km/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、Δσ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Δσとアスペリティ面積比γの間には Δσ=(414/β³)γ^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 3-2-1.アスペリティ面積比γ=Sa/S の挙動と処方箋

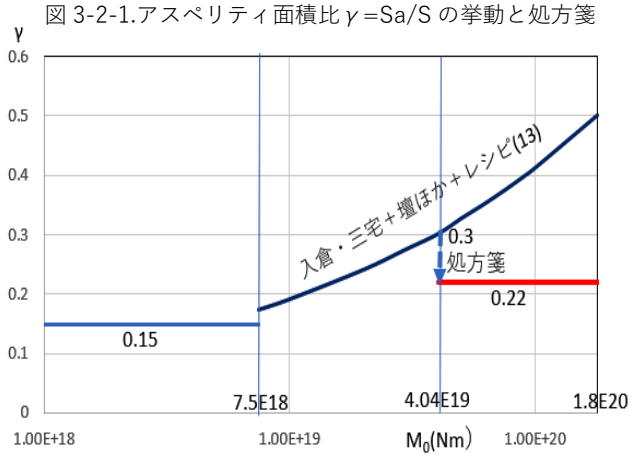
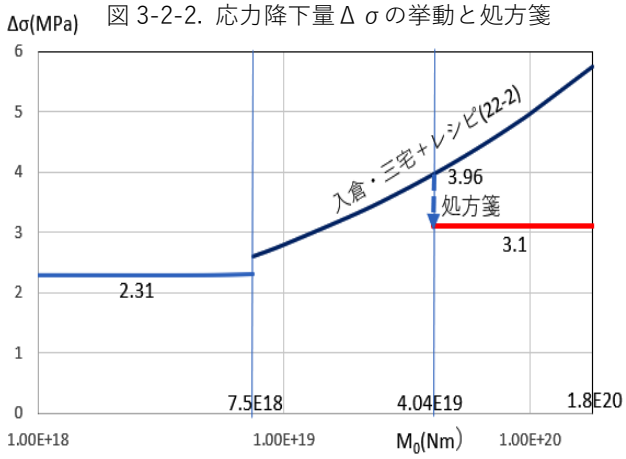


図 3-2-2. 応力降下量Δσの挙動と処方箋



上図のルート(a)と(b)は、被告の第 15 準備書面 21 頁図 3 及び第 23 準備書面 14 頁図 2 におけるルート(a)と(b)に対応している。そこでは、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。

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にする。

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γ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、そこでは壇他の式と入倉・三宅式が同時に適用されている。γ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γは以下の式で与えられる。

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

ここで A は短周期レベル、β 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γ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（$M_0<7.5\times10^{18}$）の場合、短周期レベルに壇ほかの式

$$A=C_D M_0^{1/3} \qquad (C_D=5.30\times10^{12}) \qquad (3\text{-}2)$$

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

$$M_0=k_S S^{3/2} \qquad (k_S=9.496\times10^{14}) \qquad (3\text{-}3)$$

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

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

となって、γ は一定値をとる（前頁グラフの第 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 γ 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

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

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>7.5×10^{18}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

$$M_0=k_IS^2 \qquad (\ k_I=5.562\times10^{13}) \qquad (3\text{-}6)$$

を用いている。この場合、レシピ(13)式により

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

となる。γ 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、γ 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

$$A=C_2\,M_0^{1/2} \qquad (C_2=(7/4)(\pi\beta)^2(k_I/\gamma)^{1/2}\ ) \qquad (3\text{-}8)$$

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

$$A=C_K\,M_0^{\alpha} \qquad (C_K=3.162\times10^8\ 、\ \alpha=0.57) \qquad (3\text{-}9)$$

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 γ 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 γ = Sa/Sを求めると

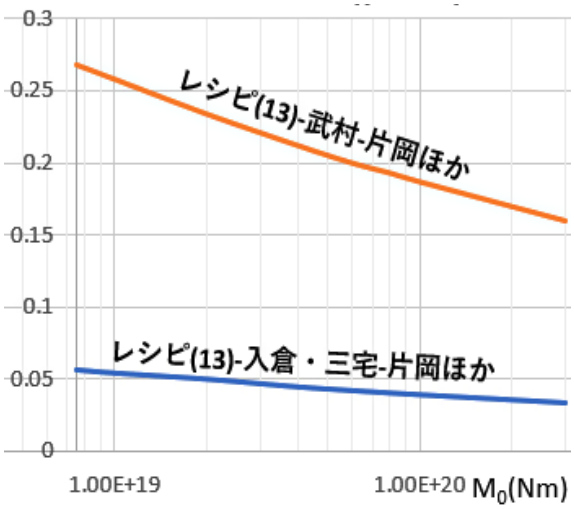
$$\gamma = K_3M_0^{1-2\alpha} = K_3/M_0^{0.14}$$

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

となるので、γ 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 1-2α ≦ 0 すなわち α ≧1/2 であれば増大挙動は生じないことが分かる。

竹木場断層の S 波速度 β =3.5km/s の場合に、入倉・三宅式($k=k_I=5.562\times10^{13}$)と武村式($k=k_T=26.30\times10^{13}$)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 γ 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。

図 3-3. アスペリティ面積比(γ =Sa/S)の挙動



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 132)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。

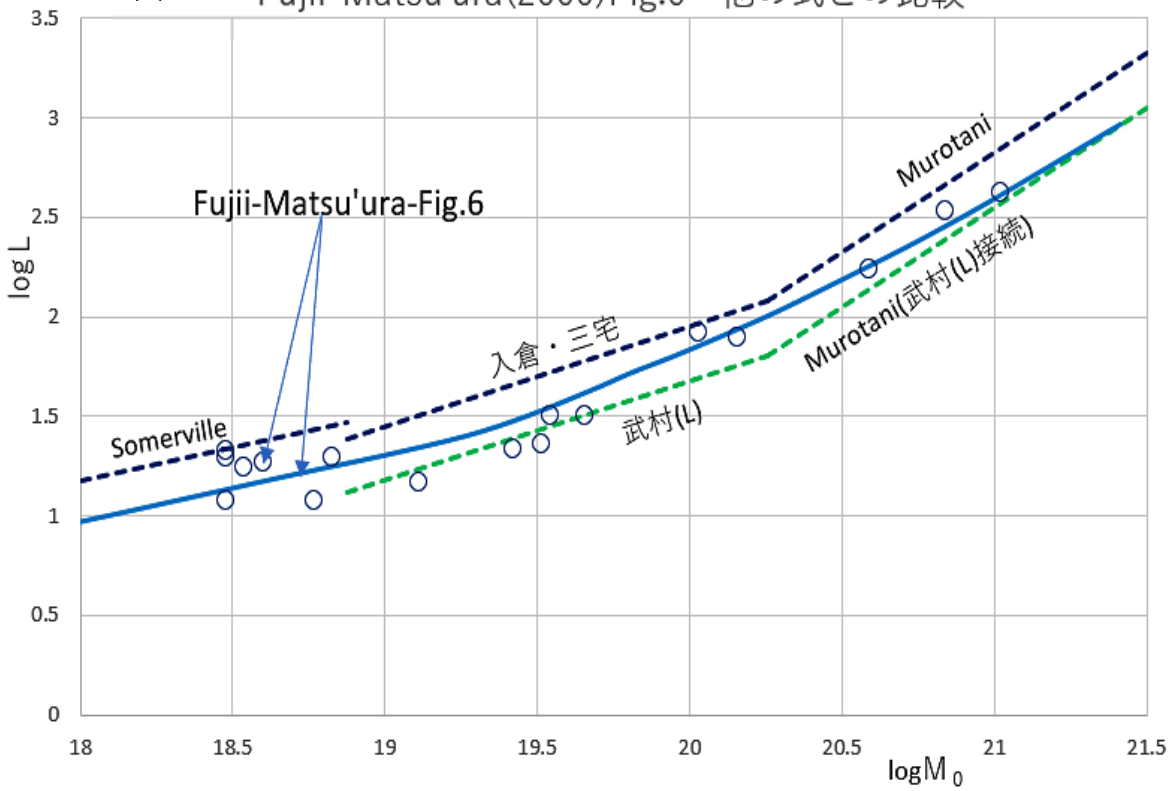
前記のレシピ 12 頁の処方箋では、アスペリティ面積比γが大きくなった場合、応力降下量Δσはレシピの(22-2)式によって決めるのではなく、Fujii-Matsu'ura（2000,甲〇）の提唱するΔσ=3.1MPa を適用することになっている。ところが、レシピでは Fujii-Matsu'ura 式（以下 Fujii-M 式）が(22-1)式として書かれているのに、それは用いずに、その式で仮定されているΔσ=3.1 だけが処方箋として採用されている。(22-2)式が円形破壊を仮定した式であるのに対し、(22-1)式はそれを一般化した式であり、入倉・三宅式に代わって地震モーメントを算出することができる。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 133)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 133、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。

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

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。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。

図 3-4.　Fujii-Matsu'ura(2000)Fig.6ー他の式との比較



Fujii-M 式では、断層幅は、$\Delta\sigma$=3.1MPa 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 γ 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。

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

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=71.4km(このときの M_0=1.186×10^{20}Nm)で最大値 $g_{max}=1/(4ab)^{2/3}$ =6.832 $km^{2/3}$ をとる。

竹木場断層の場合 β=3.5km/s とし、短周期レベルとしては次のような場合を考える。

(i)壇ほか式の場合 (C=5.30×10^{12})

単位に注意しながら計算すると、K_F=0.118/$km^{2/3}$、γ の最大値は γ_{max}= 0.809 とかなり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 132)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 $A=4(\pi f_0)^2M_0$ に代入すると壇ほかと同型の式が得られて C=1.106×10^{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、(3-13)式の K_F=0.0272/$(km)^{2/3}$、γ_{max}=0.185 となるので、きわめて妥当な値だと言える（大飯原発の β=3.6 の場合、γ_{max}=0.21 となる）。

これら 2 つの場合に C=1.00×10^{13} の場合を加えて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

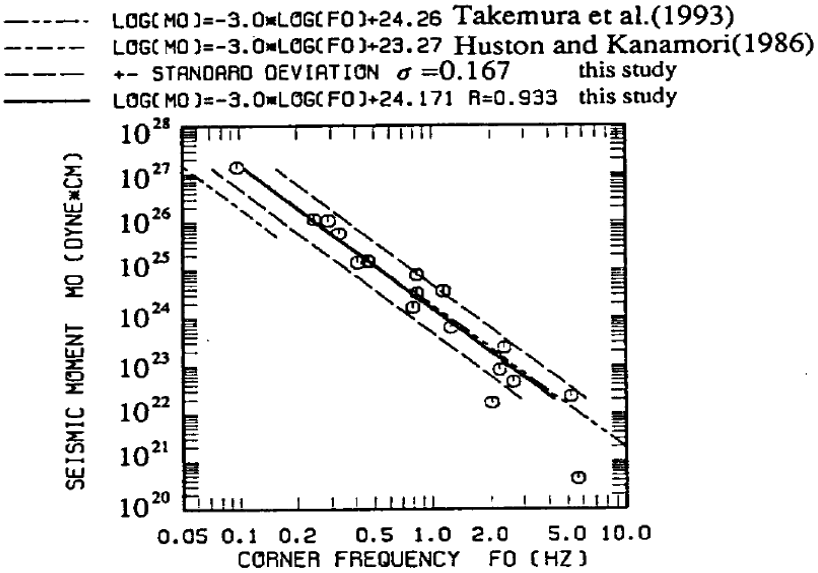
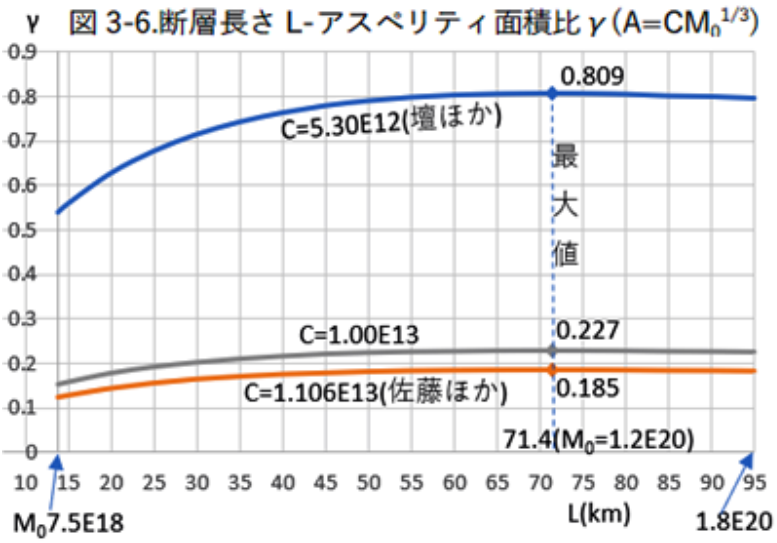


Fig.12 Relationship between seismic moment M_0 and corner frequency f_0



3-5．結論

上記において、アスペリティ面積比γが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 乗則の対立にあることを明らかにした。他方、応力降下量Δσもやはり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。

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。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が許されていいのだろうか。肝心なのは、限られた地震の専門家の間で体系を守ることではなく、人々の生命を守る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」。

また実際、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 78-1)。

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、竹木場断層の No.8 の場合における基準地震動 Ss-3、最大加速度 524 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まることにする。

(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 8.38×10^{18}Nm の $10^{2\sigma}=2.41$ 倍である 2.02×10^{19}Nm となる。壇ほか式は $M_0^{1/3}$ に比例しているので、竹木場断層の最大加速度 524 ガルは $2.41^{1/3}=1.34$ 倍の 702 ガルとなる。それゆえ、全体的な最大加速度（留萌の場合）620 ガルを上回る。もし 2 σ 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 $702\times1.34=941$ ガルとなる。

(2) 武村式(S)と片岡ほか式の組み合わせの場合

断層面積 S=388.09 なので、武村式(S)より $M_0=2.630\times10^{14}\times S^2=3.96\times10^{19}$ となる。片岡ほか式（横ずれ断層）より $A=3.162\times10^8\times M_0^{0.57}=4.68\times10^{19}$ となって、現行の $A=1.08\times10^{19}$ の 4.35 倍になる。ゆえに、最大加速度は現行 524 ガルの 4.35 倍である 2279 ガルとなる。

さらに、武村式の標準偏差を求めると武村の Table1 より $\sigma=0.134$ となる。1 σ を考慮しただけで、M_0 は $10^{2\sigma}=1.85$ 倍となる。このとき短周期レベル A は $1.85^{0.57}=1.42$ 倍となるので、最大加速度は $2279\times1.42=3236$ ガルとなる。

なお、武村式(L)と片岡ほか式の場合、$M_0(L)=1.69\times10^{19}$Nm、最大加速度は 1400 ガルとなるが、武村式(L)の標準偏差 $\sigma_L=0.074$ を考慮した場合、最大加速度は現行の 3.25 倍の 1700 ガルとなる。

(3) Fujii-Matsu'ura 式と佐藤ほか式の組み合わせの場合

Fujii-Matsu'ura 式を竹木場断層にどのように適用するかには、多少不確かな面がある。例えば、竹木場断層では断層長さを L=19.7km としているので、Fujii-Matsu'ura(2000)の Fig.6 グラフよりそれに対応する M_0 値を読みとると、$M_0=1.68\times10^{19}$ となって武村式(L)と同程度になる（単に W=19.7, L=19.7 を Fujii-Matsu'ura 式に代入すると $M_0=1.86\times10^{19}$ となる。あるいは、S=15L として断層長さ L を求めると L=25.81km となる。これを Fujii-Matsu'ura 式に代入すると $M_0=2.28\times10^{19}$ となる)。

最小の $M_0=1.68\times10^{19}$ の場合を採用し、佐藤ほかの式に代入すると、短周期レベルは $A=1.106\times10^{13}M_0^{1/3}=2.83\times10^{19}$ となって現行の 2.62 倍になる。それゆえ最大加速度は $524\times2.62=1373$ 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（logL 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 Δ 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 logL を $\log L+\Delta$ ($L\rightarrow10^{\Delta}L$) 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=19.7 のとき M_0 は 1.63 倍になる。最大加速度は、1373 ガル$\times1.63^{1/3}=1616$ ガルとなる。

以上に加えて、短周期レベルのばらつきも考慮すれば、最大加速度は約 2000 ガルになるものと考えねばならない。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	M_0(dyne-cm)	S(km2)	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	Tadzhikestan	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 59 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。