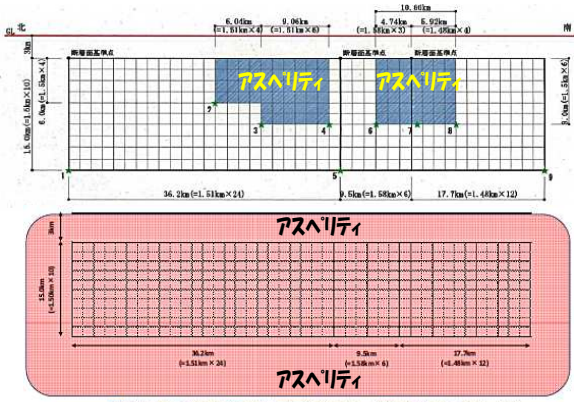
陳　述　書
地震動の評価について

２０１７年１月１２日　小山英之（債権者）

[1]福井地震が如実に示す現行レシピの矛盾と過小評価―矛盾の根源は壇他の式にある

耐震性の審査に用いられている現行のレシピ（「震源断層を特定した地震の強振動予測手法」，地震調査研究推進本部、地震調査委員会、2016）［甲Ａ］には、とんでもない矛盾が含まれている。このことが、島崎提言[甲 59]を契機として原子力規制庁が行った大飯原発に関する試算[甲 61]によって、昨年７月に明るみにでた。

関西電力による現行評価では、アスペリティ（断層面中の強く固着して結果的に大きなすべりとなる部分）の面積は、右上図のように断層面積の約 22%を占めている[甲 61]。ところが、入倉・三宅式[甲 47]に代えて武村式[甲 43]を適用した規制庁の試算によると、アスペリティ面積は断層面積の 1.93 倍にもなるという（右下図）[甲 61]。部分（アスペリティ面積）が全体（断層面積）の約２倍にもなるという余りにも奇妙な矛盾を起こす原因が、レシピに含まれていることになる。



武村式に置き換えたアスペリティ(赤色)のイメージ
（2016 年 7 月 27 日規制庁資料１より）

本来なら、このような矛盾がどうして起こるのかを探り、その原因を除去するようレシピを改善すべきである。そうでなければまともな耐震安全性の審査などできるはずがない。ところが規制庁と規制委員会は、試算で行ったような評価方式をまともに実行できるだけの域には達していないと判断しただけで、それ以上の原因究明を無責任にも放棄してしまった（甲 61，3 頁）。

規制庁の報告[甲 61]では、矛盾を起こす原因は武村式を用いたことにあるかと思わせるようなニュアンスを含んでいるが、けっしてそうではない。その矛盾を起こす根源は、レシピに組み込まれている壇他の式[乙 67]にあること、壇他の式に代えて片岡他の式[甲 67]を用いれば矛盾は起こらないことを、福井地震に即して以下で明らかにしよう。また、壇他の式は、現行での入倉・三宅式による過小評価に加えて、地震動過小評価のもう一つの根源になっていることも明らかになる。

１．福井地震

戦後間もない 1948 年に福井県坂井市丸岡町(現)で起こった福井大地震は、福井県だけで死者 3728 人、全壊家屋 35382 戸を出し、戦後復興途上の福井市に大きな被害をもたらした。厚い堆積層の下に隠れて知られていなかった断層（左横ずれ）が、M7.1、福井市で震度６

の地震を引き起こした。

M7.1 程度の地震はその後日本でいくつも起きている。福井地震と同様の地震が原発周辺で起こっても、原発にはそれに耐える耐震安全性が保証されていなければならないのはいうまでもない。

地震直後の大和百貨店
（ウィキペディアより）

ところが、現行の審査に用いられているレシピ[甲A]で福井地震を評価しようとすると、武村式とは関係なく福井地震のデータ自体によって、前記と同様の奇妙な矛盾が噴出し、まともに評価することができないことが以下で明らかになる。

福井地震を起こした断層の評価は、武村論文（1998)[甲 43] 表１で取り上げられているが、そのデータは古いと批判した入倉・宮腰・釜江論文（IMK, 2014）[乙 66]表５では、別の菊池他(1999)のデータを対置していて、それらは下表のようにまとめられる。地震モーメント M_0 は経験式によってではなく地震動の実測値から算出された値である。

以下では、最新の方法で評価しなおしたとする入倉・宮腰・釜江論文（IMK）表５のデータに基づいて評価を進める。

福井地震	断層長 L(km)	断層幅 W(km)	断層面積 S (km^2)	地震ﾓｰﾒﾝﾄ M_0 (10^{19}Nm)
武村表１	30	13	390	3.3
IMK 表５	30	10	300	2.1

２．福井地震でレシピ通りに壇他の式を適用すると奇妙な矛盾が現れる

レシピでは地震モーメント M_0 から短周期レベル A(最大加速度をもたらす短周期における地震動のレベル）を算出するのに壇他の式

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

を用いることになっている（注：M_0 の肩にある 1/3 等の数はべき指数と呼ばれている)。また、アスペリティを円と見なしてその総面積を $Sa=\pi r^2$ とするとき、等価半径 r を計算する式がレシピ(2016)[甲A]の(13)式で次のように与えられている。

$$r=(7\pi/4)\,\beta^2 M_0/(AR) \qquad (1\text{-}2)$$

ここで π は円周率、β はＳ波速度で β=3.5km/s とする（補足説明１参照)。また、R は断層面積 S の等価半径（$S=\pi R^2$）である。

これらの式を用いて前表内の S=300 から R を求め、$M_0=2.1\times10^{19}$ から(1-1)式で A を求めて(1-2)式から r を計算し、アスペリティの総面積 $Sa=\pi r^2$ を計算すると Sa=307.8 となる。この値は断層面積 S=300 を超えている。アスペリティ面積の断層面積に対する比は γ=Sa/S=1.03 となって１を超えている。実際に起きた福井地震を適応しても、部分が全体を超えるという余りにも奇妙な矛盾が起こる原因をレシピは含んでいるということである。

３．矛盾の根源は壇他の式にあり、片岡他の式では現れない

ところが、同じ計算を壇他の式に代えて片岡他の式で行うとアスペリティ面積は断層面積より小さくなって矛盾は起こらない。事実、片岡他１の式（全内陸地震）

$$A=3.162\times10^{9}\,M_0^{\,0.51} \qquad (1\text{-}3)$$

では Sa=128.7 で γ=0.43、片岡他２の式（内陸地震中の横ずれ断層）

$$A=3.162\times10^{8}\,M_0^{\,0.57} \qquad (1\text{-}4)$$

では、Sa=61.8、γ=0.21 となっていずれもアスペリティ面積は断層面積内に納まる。福井地震は左横ずれ断層なので、片岡他２の場合が相当しており、γ=0.21 なのでほぼレシピで妥当だとされている値になっている。こうして、レシピが含む矛盾の根源は壇他の式にあることが明らかになった。

次に、問題の本質をより明確に把握するために、入倉・三宅式[甲 47]や武村式[甲 43]などの M_0－S 関係の経験式の考え方に沿った扱いをしてみよう。これら経験式を用いて地震モーメント M_0 を算出する際、M_0 が 7.5×10^{18}Nm 以上の領域では両対数グラフで傾き 1/2 が当てはまるものとされ、つまり、そのような法則性に従っていると考えられている。

この考えに則って、福井地震データも傾き 1/2 の線上に乗っているものと考えよう。つまり $\log S=1/2\log M_0+b$ が成り立つとする。この式に福井地震のデータ S=300、$M_0=2.1\times10^{19}$ を代入すれば直線の切片が得られて b=－7.184 となる。この式を変形すると $M_0=10^{-2b}S^2$ となり、b の値を代入すると

$$M_0 = k\ S^2 \quad (\ k=2.333\times10^{14}\ ) \qquad (1\text{-}5)$$

が得られる。この式に S=300 を代入すると元の $M_0=2.1\times10^{19}$ が再現されるので、この式は福井地震データを内包している。

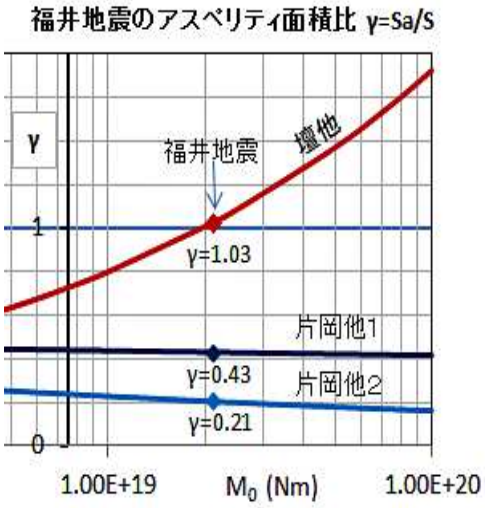
次に、この M_0 より短周期レベル A を求めるのであるが、壇他の式(1-1)と片岡他１の式(1-3)及び片岡他２の式(1-4)を統一的に扱えるよう、式を次のように表しておこう。

	C	α
壇他(内陸地震)	5.30×10^{12}	1/3
片岡他１(全内陸地震)	3.162×10^{9}	0.51
片岡他２(横ずれ内陸)	3.162×10^{8}	0.57

$$A=C\ M_0^{\alpha} \qquad (1\text{-}6)$$

ここで定数 C と α は右表にまとめられている。

これらの式(1-5)と式(1-6)に基づき、福井地震(IMK 表５)データ($k=2.333\times10^{14}$)の場合に、レシピのアスペリティ面積 Sa の等価半径 r を求める。上記の(1-2)式を用いて γ=Sa/S を求め、グラフで表すと右図のようになる（詳細は補足説明１）。グラフ内に記した福井地震の場合の γ の値は、上記で個別に求めた値ともちろん一致している。



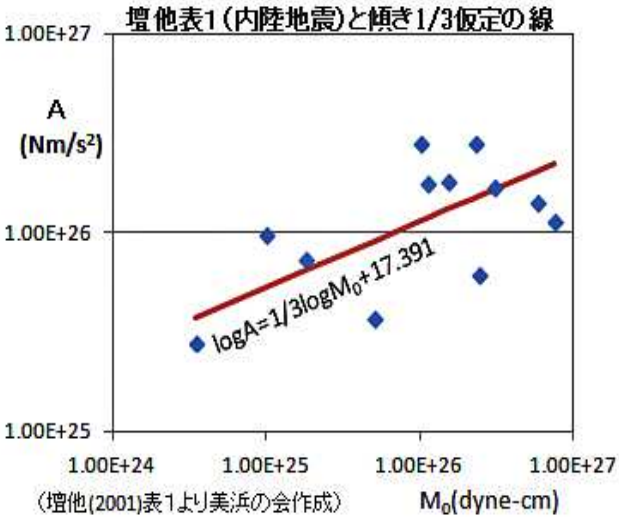
このように壇他の式では γ が増加して１を超えるが、片岡他の式では減少して１より小さい値に留

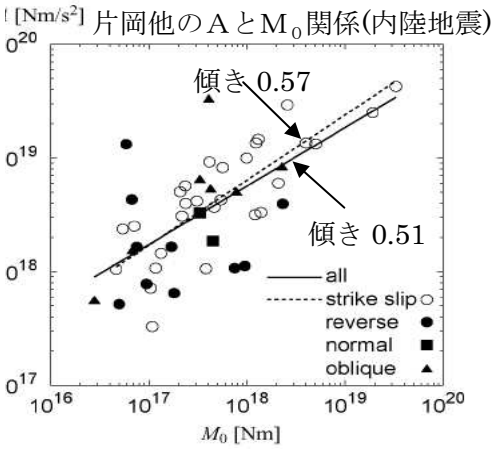
まるという違いは、(1-6)式のべき指数αの値から来ている。α=1/2 を境にして、α<1/2 ならγは増加するが、α>1/2 なら減少する（α=1/2 のとき一定値となる)。壇他ではα=1/3 と 1/2 より小さいため、γは増加して１を超えたのである（詳細は補足説明１)。では、このべき指数の違いはどこから来ているのかを次に見てみよう。

４．壇他の式と片岡他の式

アスペリティの面積が断層面積を超えるという矛盾の根源は、壇他の式の短周期レベル A が $M_0^{1/3}$ に比例しており、べき指数の 1/3 が 1/2 より小さいことに由来していた。それに対し片岡他の式ではべき指数が 0.51 または 0.57 と 1/2 より少し大きいがゆえに M_0 に関して緩やかに減少した。では、このようなべき指数の違いは何に由来するのだろうか。

壇他の式では下左図に示すように 12 個のデータ点から、傾きが 1/3 であると頭から仮定した上で、最小二乗法によって直線を求めている。この傾き 1/3 が、上記の式では M_0 のべき指数 1/3 となって矛盾を引き起こしたのである。それに対し片岡他の式では、下右図のように、頭から傾きを仮定するのではなく、傾きも含めて最小二乗法で求めている。こちらの方が事実データをよく反映して信頼性が高いのは当然である（補足説明２参照)。



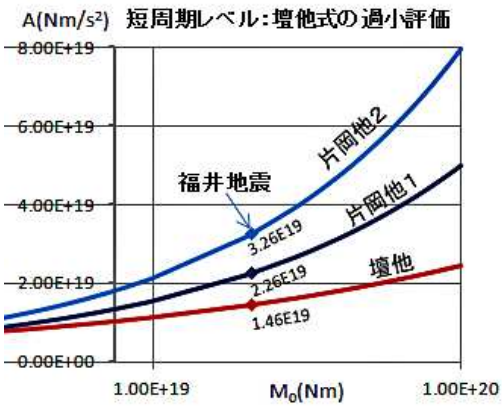


(b) タイプで分類

図−4　内陸地震の A と M_0 の関係

５．福井地震に照らせば壇他の式による短周期レベルは過小評価

これまで地震モーメントから短周期レベルを導く式である壇他の式がアスペリティ面積の矛盾を引き起こすことを見てきた。次に、(1-6)式を用いて壇他の式と片岡他の式から得られる短周期レベル A を比較すると右図のようになる。主に M_0 のべき指数（上記α）の違いによって、壇他の式による短周期レベル A は、片岡他の式と比べて過小評価になっていることが見てとれる。福



井地震の片岡他２では3.26×10^{19}Nm/s^2で、壇他の1.46×10^{19} Nm/s^2の2.23倍になっている。逆にそれだけ壇他は片岡他２より過小な短周期レベルを与えているということである。

６．福井地震に照らせば入倉・三宅式による地震モーメントは過小評価

さらに、地震モーメントの値を計算する際、現行では入倉・三宅式が用いられているが、その式も過小評価をもたらしていることが、やはり福井地震に照らして明らかとなる。

地震モーメントM_0を入倉・三宅式

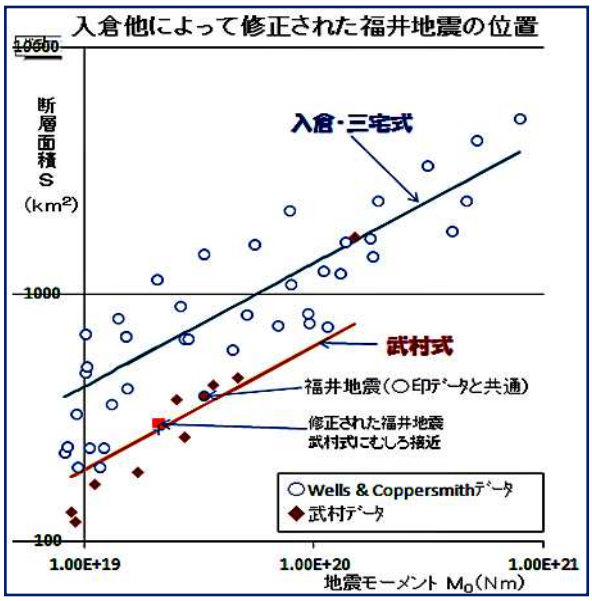
$$M_0=5.562\times10^{13}\ S^2 \qquad (1\text{-}7)$$

によって計算すれば、前記表のIMK表５データの場合S=300なので、$M_0=0.509\times10^{19}$Nm となる。この値は前記表中の実測値$M_0=2.1\times10^{19}$Nmの1／4.13である。入倉・三宅式で福井地震及びそれと同様な地震を評価すれば地震モーメントが著しい過小評価になることを示している。

他方、これを武村式(S)、

$$M_0=26.31\times10^{13}S^2 \qquad (1\text{-}8)$$

で計算すれば、$M_0=2.37\times10^{19}$Nmとなり、ほぼ実測値と整合している。



入倉・三宅式及び武村式と比較した福井地震の位置は右図の２つの点で示している。修正されたIMKデータ点の方が元の武村表１の場合より武村式に近い位置にあることが分かる。修正データに基づく(1-5)式は、武村式(S)(1-8)と比べて係数が23.33／26.31=0.887倍になっている。このことは右のグラフ上で福井地震の点が武村式よりわずかに上部にあることに相当している（切片がｂのとき、S^2の係数は10^{-2b}で決まる）。

７．福井地震に基づく式と片岡他の式で地震動を評価すれば

最後に、福井地震に照らせば最大加速度がどうなるかを見ておこう。福井地震の式(1-5)によってM_0を求め、横ずれ断層では片岡他２の式(1-4)または(1-6)（$C=3.162\times10^8$, $\alpha=0.57$）を用いて短周期レベルAを求める。この方式で、大飯原発（FoA-FoB-熊川断層；横ずれ）及び玄海原発（竹木場断層；横ずれ）の最大加速度を計算し、入倉・三宅式と壇他の式に基づく現行評価と比較すると、次表のようになる。ただし、最大加速度は、現行評価値に短周期レベルの倍率をかけて算出した（例えば玄海原発の竹木場断層の場合では、524×(4.376／1.08) =2123)。

このように現に起こった福井地震に照らしてみると、現行評価は入倉・三宅式による地

震モーメントの算出及び壇他の式による短周期レベルの算出という両方において、いわば二重の過小評価になっていることが明らかになった。武村式の基になったデータ集合にはさらに大きな地震を引き起こすものもあるので、それに基づいて同様の評価をすればさらに最大加速度は大きくなる。

	S (km^2)	現行（入倉・三宅＋壇他）			福井地震＋片岡他		
		M_0 (10^{19} Nm)	A (10^{19} Nm/s^2)	最大加速度(ｶﾞﾙ)	M_0 (10^{19} Nm)	A (10^{19} Nm/s^2)	最大加速度(ｶﾞﾙ)
大飯原発	951	5.03	1.96	856	21.10	12.16	5311
玄海原発	388.09	0.838	1.08	524	3.514	4.376	2123

それ以前に、壇他の式には誰が見ても明らかな矛盾を起こす重大な欠陥があるので、そのような式を含んだレシピで耐震安全性を審査することはとうてい認められない。悲惨な福島原発事故を踏まえたはずの現状でもなお、このような審査姿勢がとられていることが許されていいのだろうか。耐震審査方式の再検討が必要なことは規制庁試算で明らかになり規制庁もそれを認めている。審査方式の見直しを行い、結論がでるまで原発の運転は凍結すべきである。

■補足説明１．アスペリティの総面積について

ここではアスペリティの総面積の計算方式について補足説明する。アスペリティの総面積を $Sa=\pi r^2$ と円の面積で表したとき、その半径 r（等価半径）は次のレシピ(2016)の(13)式（本文中の(1-2)式）で与えられる。

$$r=(7\pi/4)\beta^2 M_0/(AR) \qquad (1\text{-}2)$$

ただし、β はＳ波速度であり、R は断層面積 S の等価半径である（$S=\pi R^2$）。短周期レベル A は本文(1-6)式で与えられるものとする。すなわち、

$$A=C\ M_0^{\alpha} \qquad (1\text{-}6)$$

これより、$r/R=(7\pi/4)\beta^2 M_0/(C\ M_0^{\alpha} R^2)$ となるが、$R^2=S/\pi$ を代入し、さらに(1-5)式より $S=(M_0/k)^{1/2}$ となるので、これを代入すると次式となる。

$$r/R=(7/4)k^{1/2}(\pi\beta)^2 M_0/(C\ M_0^{\alpha} M_0^{1/2})=(7/4)(\pi\beta)^2(k^{1/2}/C)M_0^{1/2-\alpha}$$

こうして、$\gamma=Sa/S=(\pi r^2)/(\pi R^2)=(r/R)^2$ に上式を代入すると次式が得られる。

$$\gamma=(7/4)^2(\pi\beta)^4(k/C^2)M_0^{1-2\alpha} \qquad (1\text{-}9)$$

ここで、π は円周率であり、(1-5)式より $k=2.333\times10^{14}$ であり、C と α は(1-6)式の付表で与えられている。また、Ｓ波速度 β をどうとるかは、γ が β の４乗に比例しているので大きな問題である。福井地震の β は比較的最近でもいろいろ検討されているようであるが、ここでは入倉・釜江論文(1999)[甲Ｂ，137 頁]の地震基盤における値 β=3.5km/s を採用した。この場合、大飯原発や美浜原発に関しては β=3.6km/s、玄海原発竹木場断層では β=3.5km/s とされているので、それらとほぼ共通に論じることができる。

結局 γ は次式のようにまとめられる。

$$\gamma = F\ M_0^{1-2\alpha} \qquad (F=(7/4)^2(\pi\beta)^4(k/C^2)) \qquad (1\text{-}10)$$

M_0の肩にあるべき指数 $1-2\alpha>0$（すなわち$\alpha<1/2$）ならばγはM_0とともに増加するが、$1-2\alpha<0$（$\alpha>1/2$）なら$\gamma=F/M_0^{2\alpha-1}$となるので減少する。それゆえ壇他の式ではγはM_0が増加すれば必ず増加して１を超えるが、片岡他の式では逆に減少するのでけっして１を越さない。すなわち、γが増加して１を超える傾向は、壇他の式で短周期レベルがM_0の1/3乗に比例すると頭から仮定したことから由来しているのであり、その仮定が同時に地震動の過小評価をもたらしているのである。

■補足説明２．壇他の式の信頼性は成り立つのか

債務者は準備書面１６の7～8頁の「(２)「壇他の式」の信頼性」において図４を挙げて、壇他の式は「科学的合理性を有している」と称している。しかし、その図４では、地震モーメントが7.5×10^{25}dyne-cmを超えるデータ点は唯一つしかない。

それとは別に、そのようなM_0が大きい領域では壇他の式は過小評価になるという証拠が存在する［甲Ｃ］（「断層モデルによる地震動評価の不確実さに関する検討」、平成 20 年 12 月、原子力安全基盤機構）。その報告書2-15頁図2.6（下記図）によれば、明らかに地震モーメントが大きい領域において真ん中の実線で示される壇他の式は過小評価となる傾向が見られる。この図の説明は同報告書の 2-5 頁にあるが、「図 2.6 に、その比較の図を示す。2005 年宮城県沖地震の短周期レベルは壇・他(2001)の約 3.8 倍、片岡・他(2006)による 1978 年宮城県沖地震の短周期レベルは壇・他(2001)の約 3.4 倍と大きい」と記述されている。

この例は上記債務者のデータ的な主張に対する反例になっている。このようなデータ的な問題もあるが、本質的に重大な問題は、地震評価上の矛盾を引き起こすという性質を壇他の式は内包していることである。これはどうにも否定しようのない事実であるので、壇他の式は地震動評価に用いるべきではない。

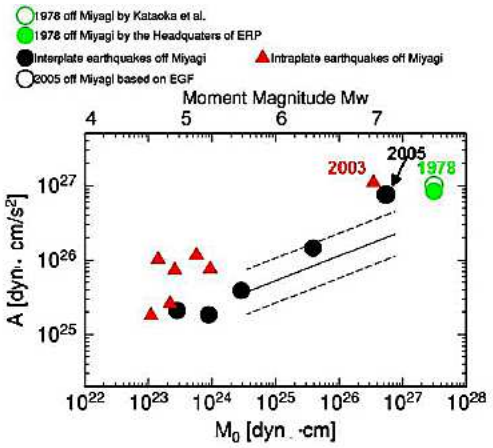


Figure 3. The relation between A and M_0. A bold line is the empirical relation for crustal and interplate earthquakes derived by Dan et al. (2001). The dashed lines denote two times and half of the Dan et al's relation. Black circles and red triangles denote A for interplate and intraplate off-shore Miyagi prefecture earthquakes estimated in this study. Green open and bold circles denote the 1978 Miyagi-oki earthquakes estimated by Kataoka et al. (2006) and The Headquarters of Earthquake Research Promotion (2005), respectively.

図 2.6　Satoh(2006)[2.19]の宮城県沖の海溝型地震の地震モーメントM_0と短周期レベルAの関係（実線は壇・他(2001)[2.1]の経験式、破線はその倍と半分の関係）

［２］震源インバージョンについて

［２－１］入倉・三宅式データセットの大部分は震源インバージョンに依っていない

債務者は準備書面１４の 10 頁において「入倉・三宅式は、主として海外で発生した地震に関する震源インバージョンに基づいて作成された経験式である」とか、11 頁において、入倉・三宅式は「震源インバージョンデータを基に提案されていたもの」と述べている。また、準備書面１６の 5 頁においては、「「入倉・三宅式」は、断層長さと断層幅で計算される断層面積と地震モーメントの関係性を示すもので、信頼性の高い震源インバージョンデータに基づいて作成された経験式であり」と述べている。しかし、入倉・三宅式が震源インバージョンデータに基づくとの判断は、以下のように事実に反している。

入倉・三宅論文[甲 47]の 858 頁の図７の説明に、「地震モーメントが 7.5×10^{25}dyne×cm より小さい場合（震源インバージョンデータのみで回帰）と大きい場合（震源インバージョンの結果と Wells and Coppersmith(1994)のカタログを含めて回帰)」と書かれている。

その内容説明は 852 頁の右欄に次のように書かれている。「しかしながら,これらの結果を加えても M8 クラスの大地震にも適用可能かどうかは検証されていないため,さらに大きな地震に対する震源の特性化を行うには,震源インバージョン以外の方法で決められた断層パラメータによる検証が必要とされている。M8 クラスの大地震に対する断層パラメータのデータは Wells and Coppersmith(1994)により種々の文献からコンパイルされている。彼らによる断層パラメータは,余震分布や活断層情報,一部は測地学的データから求められたものである。そのうち 11 の地震については Somerville et al.(1999)も震源インバージョンの結果から断層パラメータを評価している」。すなわち、7.5×10^{25}dyne・cm より大きい M_0 に対して大部分を占めている Wells and Coppersmith のデータ（図７の約 41 個）は震源インバージョンによるものでなく、共通とされている 11 個のデータでもその領域に属するのは数個であることが図２(f)から読みとれる。結局、入倉・三宅データの大部分は震源インバージョンではないということである。

それよりも、債務者が信頼性が高いと評している震源インバージョンの方法自体に大きな問題があり、必ずしも明確な基準に基づくものではないことを下記で指摘する。

［２－２］震源インバージョンによる断層面積の想定は研究者によって大きく異なる

入倉・三宅式が地震モーメントの適切な評価を与えるかどうかは、断層面積の想定の仕方によって大きく異なることをまず確認しておこう。入倉・三宅式や武村式等の経験式は

$$M_0=kS^2$$

の形になっており、係数 k は入倉・三宅式では小さく、武村式ではその 4.73 倍と大きい。実際に起こった地震では、地震モーメント M_0 が実測値から決められるが、それを上式で再現するのに断層面積 S を大きくとれば、入倉・三宅式のように係数 k が小さくても、その実測値を再現できる。このように、実際に起こった地震を震源インバージョンで評価する際に、断層面積を大きくとる評価をすれば、小さな k をもつ入倉・三宅式が妥当だと判断

されることになる。

実際に起こった地震の評価では、余震分布などを参考にして断層面積を決めているので、どうしても断層が大きく広がったように評価される傾向になる。この点、島﨑氏は「科学」の論文で次のように述べている。「これまで提案されている式は、地震発生後に得られた情報に基づいている。・・・。断層の面積や長さは、地震発生後に確定する。その値は事前に推定できる値と等しいとは限らない。実際には事前の推定値より大きくなることがある。2016 年 4 月 16 日の熊本地震(ﾏｸﾞﾆﾁｭｰﾄﾞ 7.3)の場合には、事前に推定された活断層の東端より 7km 東まで断層がひろがった」（甲 59, 0656 頁右欄）。

これから起こる地震を現に見えている断層形状から予測する場合は、断層形状は小さめに評価される可能性が高い。その場合、小さな k をもつ入倉・三宅式に小さめの S を代入するのだから、M_0は小さく予測される。すなわち過小評価されることになる。

では、信頼性が高いと債務者が評価する震源インバージョンの方法では、実際に起こった地震に関する断層面積の評価はどうなっているのだろうか。震源インバージョンでは、最初に断層面積を想定することから始めるが、その想定は研究者（研究機関）によって大きく異なっている。たとえば、熊本地震の本震に関して想定された断層面積は、浅野[甲 64]では 756km^2 であるが、久保他[甲 63]では 1344km^2 と２倍近く異なった値になっている。その想定に応じて、入倉・三宅式による地震モーメントはそれぞれ 3.18×10^{19}Nm と 10.1×10^{19}Nm というように約 3.2 倍の違いがある。

この点債務者は準備書面１４の 11 頁で「解析者によって異なることがあるが、余震分布（気象庁の一元化震源データ）に用いるデータの統一化、地震の震源像に関する知見・見解が固まった後はばらつきは小さくなる」と述べ、また準備書面１６の 12 頁では、「現段階で評価にばらつきが生じるのは、熊本地震についてはまだ知見が固まっていないためであり、余震分布（気象庁の一元化震源データによる統一)、震源像に関する知見・見解が固まれば、ばらつきは小さくなると考えられる」と楽観的な期待を述べている。ところが、そのような結果は出されていないし、例えば、2005 年の福岡県西方沖地震の場合、未だ４つの断層像が並列されているのである[乙 101,75 頁]（2014 年 9 月 16 日、資料２－４)。

福岡県西方沖地震に関しては、次表のように震源インバージョンに依る３つの研究論文（ケース１～３）で想定した断層形状が異なっており、それを推本（地震調査研究推進本部）がケース４としてまとめている[甲 66 の 3]。ケース４では、断層長さを 28km、断層幅を 16km と小さく設定していることが分かる。次に、そのように設定した断層面積 448km^2 か

	断層長さ (km)	断層幅 (km)	断層面積 S(km^2)	地震ﾓｰﾒﾝﾄ M_0(10^{19}Nm)	入倉・三宅式による M_0(10^{19}Nm)
ケース１	32	28	896	1.0	4.47
ケース２	26	18	468	1.15	1.22
ケース３	32	18	576	1.16	1.85
ケース４	28	16	448	1.12	1.12

ら入倉・三宅式(レシピの(3)式)を用いて地震モーメント 1.12×10^{19}Nm を算出している[甲66の3]。それゆえ、ケース４では入倉・三宅式が頭から仮定されているのである。

こうして計算されたケース４の地震モーメントは、不思議にもケース１～３で実測値から求めた値とほぼ整合している。ケース４のように断層形状を設定した根拠は明らかにされていないが、結果的に見ると、入倉・三宅式で計算した地震モーメントが実測値から求めた値に整合するよう、断層面積を決めたとも考えられる。この点、島﨑氏は昨年７月１９日の規制委員長との面談の際に次のように述べている[乙 103, 9 頁]。「地震本部の場合は、入倉・三宅式が補助的に使われているのです。それでどうなっているかというと、まず入倉・三宅式ではない式で震源の大きさ（引用者注：震源インバージョン）を決めます。その大きさを決めた後で断層面積を入倉・三宅式を使って決める。逆をやっているのです」。まさにケース４をこのように決めたとすれば納得できる。

ともかくこのようにして、ケース４はケース１～３をまとめたかに見えるが、実際にはこれら４つのケースは並列されている。この点、債務者は国に提出した報告書において「地震調査委員会(2007)、(2008)では、2005 年福岡県西方沖地震の震源モデルとして、ケース１からケース４までの４つの震源モデルが提案されている」と説明しているので[乙 101, 75 頁]、地震発生から９年後の 2014 年 9 月段階でも統一されたモデルは存在しないようである。さらに債務者は、準備書面１６の 12 頁において、推本によるケース４の設定は、「地震動予測レシピに基づく特性化震源モデル構築の妥当性検証のため、震源インバージョンに関する複数の知見を同一条件（断層幅、断層長さ）に揃えたものであって」と述べているので、トリミングが行われていないことを認めている。この点債権者は、ケース１～３の論文に書かれている図内のすべり量を表す矢印から数値を読みとった結果、Somerville 他の規範ではトリミングできないことを確認しているが、債務者の記述はそれを裏付けたことになる。

それにもかかわらず、推本が「複数の知見を同一条件に揃えた」のであれば、その場合の縮小規範は、少なくとも Somerville 他が提唱したトリミング規範より相当に大胆に断層面積を縮める規範となるので、もしその規範を適用すれば、その結果は入倉・三宅式ではなく、武村式を支持する方向になるのは間違いない。

なお別に債務者は、準備書面１６の 12 頁において、「入倉ほか(2014)において示される８地震は、解析の精度が高く信頼性のある知見として著者が選定し、Somerville et al(1999)の規範に基づき震源領域の抽出を行ったとされていることからも、トリミングの要否について適切な検討がなされていると考えられる」と述べているが、乙 66 では元の文献内の値がそのまま引用されており、その元の論文のうちすべり量の数値読みとりが可能な８文献については、債権者は実際にすべり量数値を読みとって Somerville 他の規範ではトリミングできないことを確認している。この点債務者は、自らは何も確認する作業をしていないようである。

震源インバージョンでは前述のように、余震分布などを用いて最終すべり分布から最初

の断層面積が定められているが、余震は地震動の結果であり、地震が起こる前より断層面積が大きく評価される傾向になる。そうすると、その大きい断層面積を用いれば入倉・三宅式であってもそれなりに大きな地震モーメントを算出することになるため、その結果は入倉・三宅式を支持する傾向になる。ところが前述のように、実際には入倉・三宅式はこれから起こる地震動を予測するために用いられるので、地震が起こる前の、より小さな断層面積に入倉・三宅式を適用すると過小評価になることは必然となる。

［３］ばらつきの考慮について

債務者は準備書面１６の 12 頁の「３　債務者はばらつきの考慮を行っていること」において、「経験式は、その基となった各データとの間に乖離（ばらつき）が存在し、また、各データから求められた経験式は、地震の「平均像」を示すものであり、各データにおける経験式との乖離（ばらつき）は、当該地震が発生した地域の地域的な特性を示すものである」と認め、続けて「そのため、債務者は、地震動評価において経験式を用いるにあたっては、経験式に上記のばらつきがあることを踏まえ、評価対象地域における地震の地域的な特性を十分に考慮した上で、基準地震動が過小とならないよう多面的に安全側の評価を行っている（債務者準備書面 12・6～12 頁、準備書面 14・5～8 頁)」と述べている。ところが、そこで引用されている準備書面の指定ページでは、地震動審査ガイド 3.2.3 のばらつきではなく、同ガイド 3.3.3 で規定されている不確かさ（断層長さなどの不確かさ）に関する内容がもっぱら説明されているにすぎない。

そこで改めて、平均像としての経験式とデータとの乖離について、具体的に説明しておきたい。端的に言えば、債務者が説明しているばらつき（乖離）とは、経験式 $M_0=kS^2$ において断層面積 S の不確かさを考慮し、S を大きめにとって安全側に評価しているということである。ところが、経験式にはそれとは別のばらつきがあり、同じ S であっても、実際の地震データのばらつきを反映して、係数 k の値が幅をもつという事実がある。この点を以下で詳しく述べる。

入倉・三宅式や武村式においては地震モーメント M_0 と断層面積 S のデータセットから最小二乗法によって経験式を導いているが、その際、両対数グラフにおいて直線を仮定し、さらに傾きを 1/2 に仮定している。すなわち、$x=\log M_0$、$y=\log S$ とするとき

$$y=1/2x+b \qquad (3\text{-}1)$$

と仮定し、切片 b（x=0 のときの y 値、すなわち直線が y 軸を切る点の y 座標）を最小二乗法で求めている。このように傾きを一定値に仮定したとき、最小二乗法で切片 b を求めた結果は、各点から決まる b の平均値をとった結果と一致する（このことは最小二乗法の公式から簡単に証明できるが、証明は略す)。以下でその平均値と乖離について説明する。

いま、データ点が n 個あるとし、各データ点に番号 1,2,・・・,n を打ち、それらデータから得られる点(x,y)を(x1,y1),(x2,y2),・・・,(xn,yn)とする。例えば、点(x1,y1)を(3-1)式に代入すれば、$b1=y1-1/2x_1$ が求まる。この b1 は、点(x1,y1)を通る傾き 1/2 の直線(3-1)の

切片という意味をもつ。同様にして b2,・・・,bn が求まるので、それらの平均値 bav が次式で求まる。

$$bav=(b1+b2+\cdots+bn)/n$$

この式に b1=y1-1/2x1 等を代入すれば、x 座標、y 座標それぞれで平均をとる形となり、

$$bav=yav-1/2xav$$

となる。ただし、xav, yav はデータ点の x 座標及び y 座標の平均値である。

この切片 b= bav のときの(3-1)式がいわゆる経験式となる。すなわち、経験式は

$$\log S=1/2\log M_0+bav \qquad (3\text{-}2)$$

となる。平均値 bav はデータ集合が決まれば一意的に決まるので、経験式はデータ集合に応じて決まることになる。この式を変形すれば、次式が得られる。

$$M_0=kS^2\ ;\quad k=10^{-2bav} \qquad (3\text{-}3)$$

では次に、平均式とデータ点の乖離が地震モーメントにどのように影響するかを見てみよう。いま代表としてデータ点(x1, y1)を選ぶと、それに応じた地震モーメントは

$$M_01=k1S^2;\quad k1=10^{-2b1}$$

となるので、これらの比をとると、

$$M_01/M_0=k1S^2/kS^2=k1/k=10^{2(bav-b1)}$$

となるが、bav-b1=(yav-y1)-1/2(xav-x1)なので、まさにデータ点の平均値と選ばれたデータ点との乖離によって、比 M_01/M_0 が１から離れることを示している。

すなわち、平均値とデータ点との乖離によって、断層面積 S が同じでも、地震モーメントの値が異なることを示しており、これこそがばらつきの真の意味である。断層面積が同じでも、地域によって断層面を動かそうとする外力等に違いがあるがゆえに、すべり量が異なり、それに応じて地震モーメントが異なるというばらつきが生じているに違いない。それゆえ、地震審査ガイド3.2.3 が規定しているように、「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」とは、上記のように平均値とデータ点との差異を考慮せよという意味に他ならない。

ところが、債務者は審査ガイド 3.3.3 がいう断層長さや面積等の「不確かさ」は考慮しているが、それと区別される意味での審査ガイド 3.2.3 における意味の「ばらつき」については、いっさい考慮していないのである。

[４]熊本地震の特性が考慮されていないことについて

債務者は準備書面１６の「第５　熊本地震を踏まえた検討」において、債権者の熊本地震を踏まえた主張に対する反論を行っている。しかしその反論内容は、①「そもそも玄海原子力発電所周辺で熊本地震と同じ態様の地震が発生する可能性は極めて低く」、及び、②「玄海３，４号機については、基準地震動に対する耐震安全性を確保していること」に限られている。

債権者が提起している問題は、熊本地震のように、基準地震動に匹敵するほどの地震が

まず起こり、続けて相当に大きな余震に見舞われたときに原発の安全性が保たれるのかということである。「続けて」とは、最初の地震で制御棒が自動的に降りて核分裂が停止した後、冷温停止状態に至るまでに次の地震に襲われるという意味である。福島原発事故が如実に示しているように、制御棒が素早く降りた後でも、炉心の冷却が停止すれば炉心溶融事故に至る可能性があることを懸念しているのである。

この意味で、上記のまず②については問題外である。いまの場合、基準地震動に対する安全性が確保されていることは前提となっているからである。

地震が継続する場合、特に端的に問題になるのは疲労累積係数がどうなるかである。債務者の川内１号機の格納容器の伸縮式配管貫通部の累積疲労係数は、次表に示されているように、Ss-1 の場合許容値１に達するまでの余裕はわずか 3.6%しかない[甲 69, 6 頁]。基準地震動の 4%程度の余震に見舞われただけで格納容器の機能が喪失する恐れがある。では、玄海３、４号について累積疲労係数はどうなっているか具体的に答えるよう債権者は疑問を呈しているのに、債務者は何も具体的な数値を示していないどころか、この問題には触れさえしていない。疲労累積係数については、基準地震動に余震が重なった場合の検討などまったく何も行われていないのは、規制庁も認めていることである。

② 評価結果

評価地震動		Ss-1	Ss-2
疲労累積係数（許容値１以下）	通常運転時	0.020	0.020
	地震時	0.944	0.582
	合計	0.964	0.602

川内原発１号機の格納容器伸縮式貫通配管部の累積疲労係数の評価。
平成 27 年 7 月 13 日資料 1-2、九州電力 KK

次に①の問題であるが、債務者は熊本地震と同様の態様の地震が起こること自体をほぼ否定している。これが福島事故を踏まえて耐震安全性を真剣に検討する姿勢と言えるだろうか。現に、福岡県西方沖地震が起こることはまったく予期されていなかったし、福井地震もそうであった。熊本地震と同様の態様の地震が玄海原発を襲った場合にも耐震安全性が保証されていなければ、住民・国民は安心して暮らすことができないのは当然である。

要するに、熊本地震と同様の態様の地震が起こった場合、玄海原発の耐震安全性は何も保証されていないことを債務者は事実上認めているということである。

甲Ａ：「震源断層を特定した地震の強振動予測手法（「レシピ」）」，地震調査研究推進本部、地震調査委員会、2016。
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/16_yosokuchizu/recipe.pdf

甲Ｂ：入倉孝次郎、釜江克宏　「１９４８年福井地震の強振動－ハイブリッド法による広周期帯域強振動の再現―。地震、第２輯、第 52 巻(1999)129-150 頁。
https://www.jstage.jst.go.jp/article/zisin1948/52/1/52_1_129/_pdf

甲Ｃ：「断層モデルによる地震動評価の不確実さに関する検討」、平成 20 年 12 月、原子力安全基盤機構　―――表紙～2-19 頁（通し 31 頁）