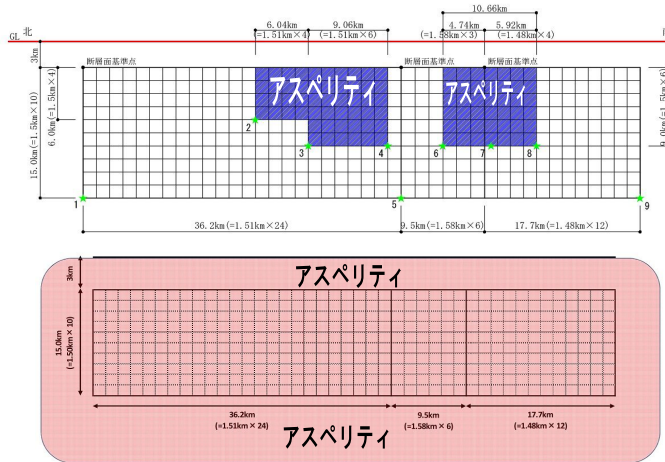


見 解 地震動レシピの矛盾と過小評価

## アスペリティ面積の矛盾の根源は現行レシピにある

### 実際の福井地震がレシピでは評価できない

2017.1.24 美浜の会



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)

※ 武村式で置き換えれば、アスペリティ面積(部分)が断層面積(全体)より大きくなる？

[目 次]

1. 玄海原発の審査書の「考え方」が示すもの—まともな審査の放棄・無責任	2
(1) アスペリティの矛盾を認めながらその原因究明は放棄	
(2) 入倉・三宅式を武村式で置き換えたときの矛盾の顕在化の確認	
2. 矛盾を起こす根源は壇他の式にある	3
(1) 壇他の式を片岡他の式に代えれば矛盾は起こらない	
(2) 矛盾が起こる構造	
(3) 壇他の式と片岡他の式の差異	
3. 現行は二重の過小評価になっている—地震モーメントと短周期レベル	6
(1) 入倉・三宅式による地震モーメントの過小評価	
(2) 壇他の式による短周期レベルの過小評価	
(3) 基準地震動の過小評価	
4. 福井地震に基づく評価の現実性	7
(1) 福井地震	
(2) 福井地震の場合のアスペリティ面積比	
(3) 福井地震の場合の最大加速度	
◇補足説明1. アスペリティの総面積について—矛盾が起こる構造	10
◇補足説明2. 壇他の式の信頼性は成り立つのか	10

# 1. 玄海原発の審査書の「考え方」が示すもの－まともな審査の放棄・無責任

## (1) アスペリティの矛盾を認めながらその原因究明は放棄

玄海原発の審査書案に対するパブコメに対し、1月18日に「ご意見への考え方」が公表された。基準地震動（第4条関係）については、「壇ほかの式により短周期レベルを算出する場合、過小評価となっているため、片岡ほかの式を採用すべき」、「入倉・

三宅式は世界の地震の平均であり日本の地震特性とは合致しない。日本の地震特性を考慮すれば武村式を採用すべき」等の意見に対し、回答は次のように説明している（下記URL4頁、下線は引用者）。  
(<http://www.nsr.go.jp/data/000175362.pdf>)

大飯発電所の地震動について、島崎元委員長代理の指摘を踏まえ、原子力規制委員会の指示に基づき、原子力規制庁が、地震モーメントを入倉・三宅式とは別の式である武村(1998)の式に置き換え、他に関西電力と同じ条件で試算しようと試みました。しかし、アスペリティの総面積が震源断層の総面積より大きくなり、アスペリティは震源断層の一部であるべきこととの矛盾が発生するなど、地震動評価のための科学的に適切な震源モデルを作成することができず、地震動への影響を議論できる結果を得られませんでした。

また、震源断層の詳細な調査結果を用いて、レシピで採用されている各式以外の式による方法で基準地震動を作成するというアプローチについては、どのように保守性を確保していくかに関し、妥当な方法が現時点で明らかになっているとは言えず、規制において要求又は推奨すべきアプローチとして位置付けるまでの科学的・技術的な熟度には至っていないと考えています。地震動の計算方法高度化については、まずは、地震調査研究推進本部のような場で議論されるべきであり、そこでの検討結果も含め、新たな知見が得られれば、原子力発電所の規制にどのように取り入れるかについて、原子力規制委員会として適切に判断していきます。

つまり、

①入倉・三宅式に代えて武村式を用いて地震モーメントを計算すると、部分であるべきアスペリティの面積が全体である断層の面積を超えるという「矛盾が発生」することを認めた。

②「レシピで採用されている各式以外の式」を用いるアプローチについては科学的・技術的な熟度に至っていないため、まずは地震調査研究推進本部のような場で議論されるべきだ。

と述べている。この内容は基本的には、昨年7月27日規制庁資料1の3頁と同じであるが、そこでは「レシピで採用されている各式以外の式」は、「レシピの（ア）の方法以外の方法」と書かれ、その上部では「レシピの（ア）の方法（入倉・三宅式）」と表現されている。レシピで（ア）と（イ）は震源断層に関する記述で、地震モーメントを求める経験式に限られている。今回の「考え方」では意見の内容に

即してそれを広げ、後で述べる短周期レベルを求める際の片岡他の式をも含めるようにしたものと考えられる。

それはともかく、上記②からすれば、矛盾を内包するレシピで審査するのはやめて、新たな議論の結果を待つべきではないか。矛盾がなぜ発生するかの原因を突き止め、それを除去する道を明らかにすべきではないだろうか。

武村式は決して架空の式ではなく、実際に日本で起こった地震を反映している。たとえば福井地震は武村式を体現するような態様の地震動を実際に引き起こしている。そのような地震の審査ができないことが明らかとなり、それを認めながら、現行方式で審査を続け、次々と原発の再稼働を認めるのは余りにも無責任で危険なやり方ではないだろうか。

## (2) 入倉・三宅式を武村式で置き換えたときの矛盾の顕在化の確認

前記で審査書の「考え方」が認めたように、レシピ（「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」、地震調査研究推進本部、地震調査委員会、2016）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、図1のように断層面積の約22%を占めている（レシピ通りの計算では約37%だが、関電が22%に引き下げた）。ところが、入倉・三宅式に代えて武村式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（図1）。部分（アスペリティ面積）が全体（断層面積）の約2倍にもなるという奇妙な矛盾を起こす原因が、レシピに含まれているということである。

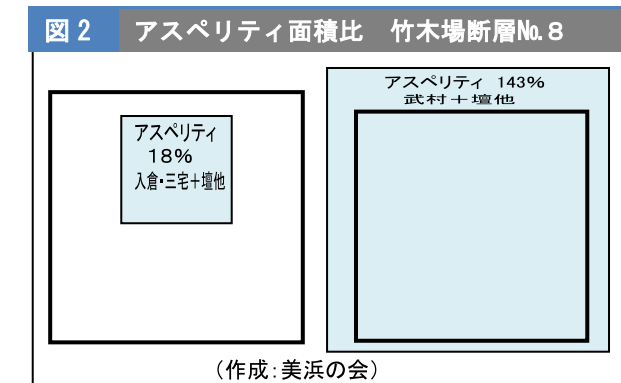
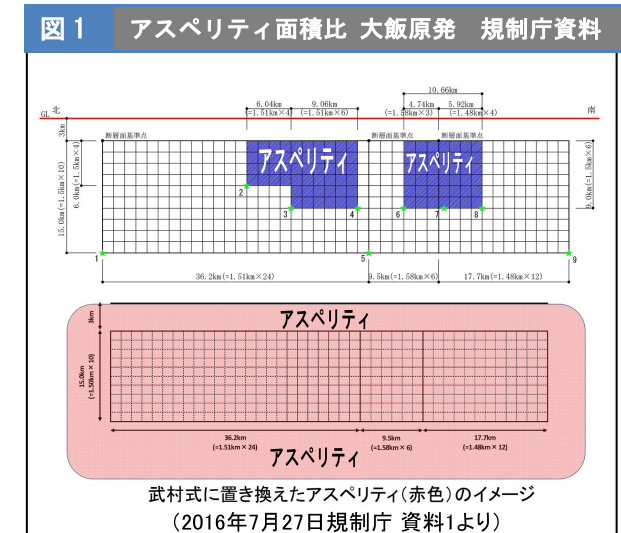
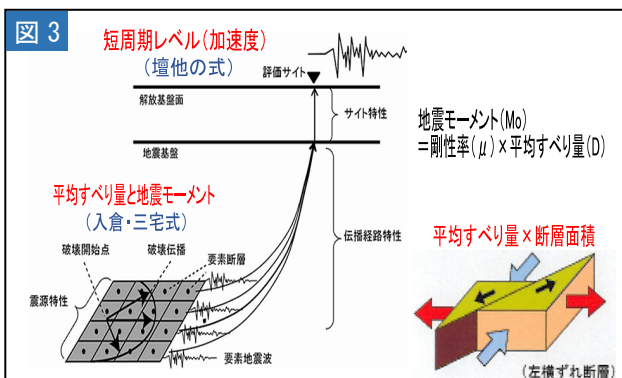
同様に玄海原発の竹木場断層 No.8 ケースに武村式を用いてレシピを当てはめると図2のようになり、やはりアスペリティ面積が断層面積の18.0%から143%(1.43倍)へと跳ね上がる。

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のに、規制委・規制庁は無責任にも原因究明を放棄してしまった。

規制庁の報告では、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、決してそうではない。アスペリティ面積の計算には地震モーメントだけでなく、短周期レベル（地震動のレベル）の計算も必要であり、

## 2. 矛盾を起こす根源は壇他の式にある

### (1) 壇他の式を片岡他の式に代えれば矛盾は起らない



そこに壇他の式が用いられている。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にあること、壇他の式に代えて片岡他の式を用いれば矛盾は起こらないことを、以下で明らかにしよう。また、壇他の式は、現行では入倉・三宅式による地震モーメントの過小評価に加えて、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。

ここでは、武村式を用いても壇他の式に代えて片岡他の式を用いれば、上記のようなアスペリティ面積の矛盾は起こらないことを示そう。

基準地震動の計算では、第1段階として断層面のすべりによって引き起こされる地震の規模が地震モーメント  $M_0$  として計算され、第2に、地震モーメントから地表面における地震動（加速度）のレベルが短周期レベル A として算出される（図3）。現行で

は、地震モーメントは入倉・三宅式によって計算され、短周期レベルは壇他の式を用いて計算されており、両式はレシピに組み込まれている。問題のアスペリティ面積の計算では、これら両方の式が用いられており、規制庁の試算では、入倉・三宅式は武村

式によって置き換えられたが、壇他の式はそのまま用いられた。しかし、短周期レベルの計算でも、壇他の式に代えて片岡他の式を用いることもできるし、その方が妥当であることを以下で示そう。これらに必要な式をあらかじめ整理して示しておく。

断層面積  $S$  (km<sup>2</sup>)・長さ  $L$  (km)、 $M_0$  (Nm)

◆入倉・三宅式  
 $M_0 = k_I S^2$  ;  $k_I = 5.562 \times 10^{13}$  (1)

◆武村式(S)---断層面積  $S$  による式  
 $M_0 = k_{TS} S^2$  ;  $k_{TS} = 26.30 \times 10^{13}$  (2)

◆武村式(L)---断層長さ  $L$  による式  
 $M_0 = k_{TL} L^2$  ;  $k_{TL} = 4.365 \times 10^{16}$  (3)

$M_0$  (Nm)、短周期レベル  $A$  (Nm/s<sup>2</sup>)

$A = C M_0^\alpha$  (4)

- 壇他は内陸地震
- 片岡他 1 は内陸地震 (全体)
- 片岡他 2 は横ずれ内陸地震

	C	$\alpha$
壇他	$5.30 \times 10^{12}$	1/3
片岡他 1	$3.162 \times 10^9$	0.51
片岡他 2	$3.162 \times 10^8$	0.57

例えば、壇他の式は上記(4)式に表中の  $C$  と  $\alpha$  の値を当てはめれば、 $A = 5.30 \times 10^{12} M_0^{1/3}$  となる。これらの式で、 $M_0$  の何乗かを表す  $\alpha$  の値は「べき指数」と呼ばれている。べき指数が、壇他では 1/3 で 1/2 より小さいが、片岡他では 0.51 または 0.57 と 1/2 より大きいことが矛盾を起こすか起こさないかに決定的な差異をもたらす。このことを以下で具体的に示そう。

レシピに従って、アスペリティを円と見なしてそ

の総面積を  $S_a = \pi r^2$  とするとき、等価半径  $r$  を計算する式がレシピ(2016)の(13)式で次のように与えられている。

$$r = (7\pi/4) \beta^2 M_0 / (AR) \quad (5)$$

ここで  $\pi$  は円周率、 $\beta$  は S 波速度で  $\beta = 3.6$  km/s (大飯原発)、 $\beta = 3.5$  km/s (玄海原発) である。また、 $R$  は断層面積  $S$  の等価半径 ( $S = \pi R^2$ ) である。

以下で、アスペリティ面積がどうなるか、大飯原発と玄海原発について検証する。

### ①大飯原発 (FoA-FoB-熊川断層)

大飯原発については規制庁の試算 (7月27日付資料1の19頁) をフォローする。断層面積  $S = 951$  km<sup>2</sup>、長さ  $L = 63.4$  km で武村式(L)すなわち(3)式により地震モーメントを計算して  $M_0 = 1.75 \times 10^{20}$  Nm を算出している。これより壇他の式、(4)式を用いることにより短周期レベルが  $A = 2.97 \times 10^{19}$  Nm/s<sup>2</sup> と算出されている。これらを(5)式に代入すればアスペリティ面積  $S_a = \pi r^2 = 1840$  km<sup>2</sup> となるので、断層面積に対する比  $\gamma = S_a/S = 1840/951 = 1.93$

と、図1のようになる。

次に、同じ計算を壇他の式に代えて、片岡他の式で実施してみる。大飯原発は横ずれ断層なので、(4)式の片岡他 2 の場合が当てはまる。 $M_0$  は上と同じで、短周期レベルが

$$A = 3.162 \times 10^8 M_0^{0.57} = 1.09 \times 10^{20} \text{ Nm/s}^2$$

となるので、(5)式により  $S_a = 135.4$  km<sup>2</sup>、 $\gamma = S_a/S = 0.142$  となって矛盾は起こらない。

### ②玄海原発 (竹木場断層 No.8 ケース)

竹木場断層で最大加速度をもたらす場合の No.8 ケースを取り上げる。 $S = 388.09$  km<sup>2</sup> であり、現行では入倉・三宅式と壇他の式により、 $M_0 = 8.38 \times 10^{18}$  Nm、 $A = 1.08 \times 10^{19}$  Nm/s<sup>2</sup> となっている。このと

きアスペリティ面積の断層面積に対する比は  $\gamma = S_a/S = 0.18$  となっている。

今度は武村式(S)を用いて(2)式の地震モーメントを計算すると、 $M_0 = 3.96 \times 10^{19}$  となる。そこでまず、

壇他の式で短周期レベルを求めて(5)式から  $S_a$  を計算すると、 $S_a=554.2$  となるので、 $\gamma=S_a/S=1.43$  となり矛盾が起こる (図 2 参照)。

## (2) 矛盾が起こる構造

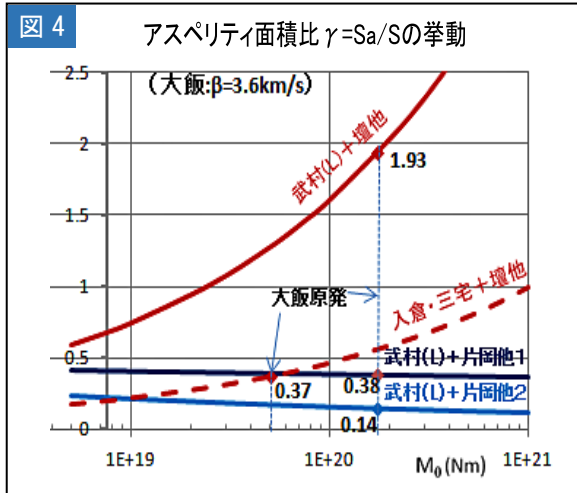
どのような事情で矛盾が起こるのかを探るために、大飯原発では武村式( $L:M_0=k_{TL}L^2$ )、玄海原発では武村式( $S:M_0=k_{TS}S^2$ )の場合に、 $\gamma=S_a/S$  の式の構造を調べてみよう (詳細は補足説明 1 参照)。結果は次式となる。

$$\gamma=S_a/S=F_0M_0^{1-2\alpha} \quad (F_0=(7/4)^2(\pi\beta)^4(k/C^2)) \quad (6)$$

ただし、定数  $C$  と  $\alpha$  は(4)式の付表で与えられている。また  $k$  は武村式(S)の場合は  $k=k_{TS}$  を用いるが、武村式(L)の場合は、 $k=k_{TL}/W^2$  ( $W=15\text{km}$ )を用いる

次に、竹木場断層は横ずれ断層なので片岡他 2 の式を用いて短周期レベルと求めると  $A=4.685 \times 10^{19}$  となり、 $S_a=82.4$ 、 $\gamma=0.21$  となって何も矛盾は起こらない。

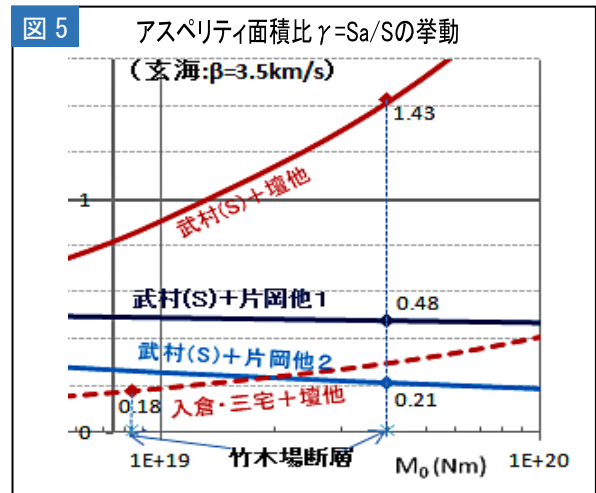
(元の武村論文では  $W=13\text{km}$  であるが、ここでは大飯原発に関する規制庁試算に合わせるため  $15\text{km}$  とした)。この式より  $\gamma$  の  $M_0$  に関する挙動は、べき指数  $1-2\alpha$  の違いによって異なる。 $\alpha=1/2$  のとき  $1-2\alpha=0$  となるので  $\gamma$  は一定値  $\gamma=F_0$  となり、 $\alpha$  が  $1/2$  より小さいか大きいかにによって  $\gamma$  が増加するか減少するかの違いが生じる。結果は次のグラフのようになり、左側が大飯原発、右側が玄海原発の場合である。



①図 4 の大飯原発では、規制庁試算に合わせるために、武村式(L)を用いた ( $\beta=3.6\text{km/s}$ )。点線は元の入倉・三宅式+壇他の式による結果を表しており、地震モーメントが小さいことから  $\gamma$  は 1 より小さいが、それでも  $M_0$  が  $1E21$  ( $1 \times 10^{21}$ ) の付近で 1 を超えることが分かる。たとえ 1 を超えなくても点線グラ

②玄海原発の竹木場断層の場合 ( $\beta=3.5$ ) は図 5 のようになり、武村式(S)+壇他では  $\gamma=1.43$  となるが、武村式(S)+片岡他 2 の式では  $\gamma=0.21$  と妥当な値になっている。

このように、壇他の式を用いていることが、アスペリティ面積の矛盾の発生源であることが明らかに



フから分かるように  $\gamma=0.37$  というかなり大きい値をとるため、関西電力はこれを人為的に  $\gamma=0.22$  に抑えている。壇他の式に代えて片岡他 2 の式を用いれば、 $\gamma=1.93$  が  $0.14$  となるので、このような人為的な操作は不要になる。

なった。入倉・三宅式を用いている限りは、地震モーメントが大きく出ないために、この矛盾の性質が隠れていたにすぎないことを図 4・図 5 の点線グラフが示している。

では、このような壇他と片岡他 2 の違いはどこから生じているのかを次にみてみよう。

### (3) 壇他の式と片岡他の式の差異

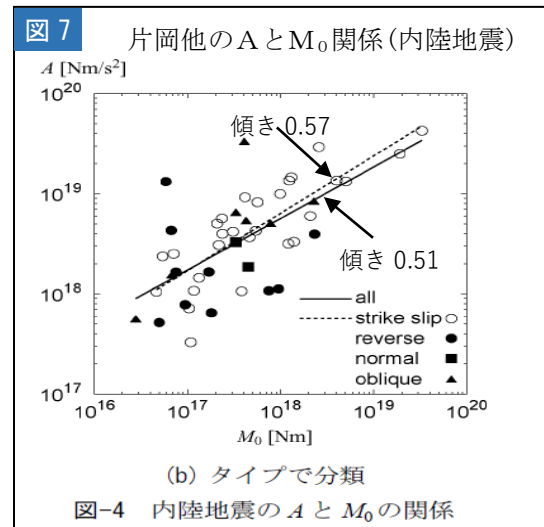
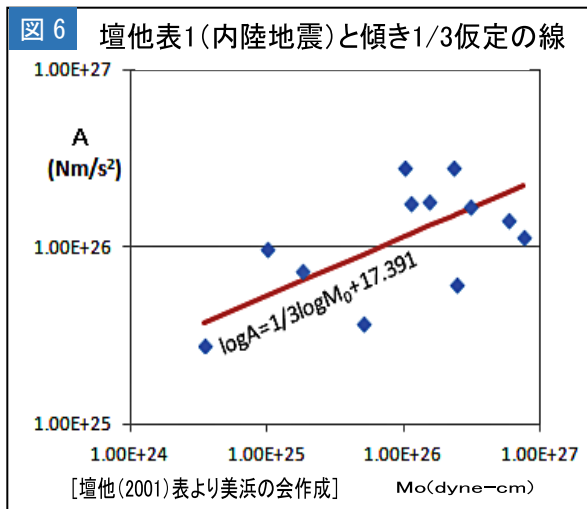
アスペリティの面積が断層面積を超えるという奇妙な矛盾の根源は、壇他の式の短周期レベル  $A$  が  $M_0^{1/3}$  に比例しており、べき指数の  $1/3$  が  $1/2$  より小さいことに由来していた。それに対し片岡他の式では、べき指数が  $0.51$  または  $0.57$  と  $1/2$  より少し大きいゆえに  $M_0$  に関して緩やかに減少した。では、このようなべき指数の違いは何に由来するのだろうか。

壇他の式では図6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、図7の片岡

他の式では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)。

さらに、両者には副次的ではあるが別の地域的な違いもある。壇他のデータ12個のうち、イラン1と日本1を除く10個のデータはすべてカリフォルニア州とその周辺の数であるが、片岡他ではすべてが日本のデータである。日本の地震の特性を論じるには日本のデータを用いる方が妥当していることはいままでもない。

このような考察からも、壇他の式を用いることは適切とは言えない。



### 3. 現行は二重の過小評価になっている - 地震モーメントと短周期レベル

地表における地震動(加速度)の評価は、第一に地下の断層面に関する地震モーメントの評価に、第二にそれが生み出す短周期レベルの評価に依拠している。まず、地震モーメントについては、入倉・三宅式が過小評価をもたらすことはすでに島崎氏によ

って指摘され、そのことが規制庁試算の出発点となった。次に、短周期レベルについての現行壇他の式は、アスペリティ面積の矛盾をきたすだけでなく、同時に過小評価をももたらすことが以下で明らかになる。

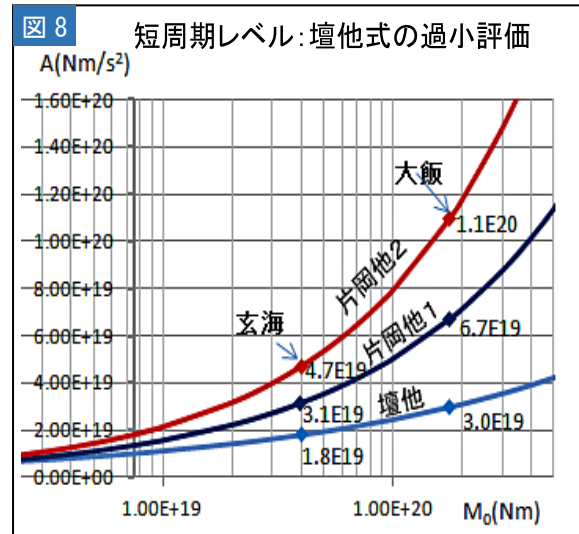
#### (1) 入倉・三宅式による地震モーメントの過小評価

現行で地震モーメントの計算に用いられている入倉・三宅式は著しい過小評価をもたらすことはすでに島崎氏によって指摘されている。3頁の枠囲い内の入倉・三宅式(1)と武村式(S)(2)を比較すると、断層面積  $S$  が与えられたとき、地震モーメント  $M_0$

の大きさは  $S^2$  の前の係数によって決まる。武村式の係数  $26.30 \times 10^{13}$  は入倉・三宅式の係数  $5.562 \times 10^{13}$  の  $4.73$  倍ある。逆にそれだけ入倉・三宅式は過小評価になっている。

## (2) 壇他の式による短周期レベルの過小評価

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、(4)式と付表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を比較すると図8のようになる。主に  $M_0$  のべき指数 ( $\alpha$ ) 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。図8内には、大飯原発と玄海原発の場合のそれぞれ  $M_0=1.75 \times 10^{20}\text{Nm}$  及び  $M_0=3.96 \times 10^{19}\text{Nm}$  に対応するAの数値が書き込まれている。片岡他2では大飯原発の場合、 $1.1 \times 10^{20}$ で、壇他の  $1.8 \times 10^{19}$  の2.23倍に、玄海原発では  $4.7 \times 10^{19}$  で  $1.8 \times 10^{19}$  の2.61倍になっている。逆に



それだけ壇他は片岡他2より過小評価になっているのである。

## (3) 基準地震動の過小評価

以上のように、地震モーメントの入倉・三宅式は武村式の1/4.73の過小評価になっており、壇他の式による短周期レベルは上記グラフ内に示したように、片岡他の式に比べて過小評価になっている。ただし、前記のように大飯原発については武村式(L)を、玄海原発については武村式(S)を適用している。その結果、入倉・三宅式を武村式に置き換え、壇他の式を片岡

他の式に置き換えると、基準地震動は[表1]のように現行より格段に大きくなる。それだけ現行の基準地震動は過小評価されているということである。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。

(例えば大飯原発の場合、 $856 \times (10.94 / 1.96) = 4778$ )。

表1	断層長 さL (km)	断層面 積S (km <sup>2</sup> )	現行(入倉・三宅+壇他)			武村式+片岡他		
			$M_0(10^{19})$ Nm	A( $10^{19}$ ) Nm/s <sup>2</sup> )	最大加速 度(ガル)	$M_0(10^{19})$ Nm	A( $10^{19}$ ) Nm/s <sup>2</sup> )	最大加速 度(ガル)
大飯原発	63.4	951	5.03	1.96	856	17.55	10.94	4778
玄海原発	19.7	388.09	0.838	1.08	524	3.963	4.686	2274

大飯原発の最大加速度が約4800ガルにもなるとは、とても信じがたいと感じる人があるかもしれない。これだけ大きいわけは、この地震動がFOA-F0B-熊川断層の3連動によるもので、断層長さが63.4km

もあるためである。それでもこれまで856ガルに納まっていたのは、入倉・三宅式と壇他の式による過小評価のおかげであった。

## 4. 福井地震に基づく評価の現実性

これまでは地震モーメントを評価するために入倉・三宅式または武村式という経験式を用いてきたが、ここでは福井地震による実測値から求められる

地震モーメントに基づいて地震動を評価する。その目的は、実測値の場合にアスペリティ面積の矛盾がどうなるかを検証するためである。もし実際に起こ

った福井地震の場合でも矛盾が起こるなら、レシピ以外の式を用いる域には達していないなどという呑

気なことを言うてはおれないことになる。

### (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きてても、原発にはそれに耐える耐震安全性が要求されることはいうまでもない。

福井地震を起こした断層の評価は、武村論文(1998)の表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)の表5では、別の菊池他(1999)のデータを対置していて、それらは[表2]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。



図9 損壊した大和百貨店(福井市)。1階が壊れ、各階の梁が著しく破壊し、また火災による被害も受けた。小林啓美氏(東京工業大学名誉教授)撮影・提供  
日本地震学会広報紙「なるふる」より

表2

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

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。

### (2) 福井地震の場合のアスペリティ面積比

地震モーメントの実測値 $M_0=2.1 \times 10^{19}$  Nmを用いて、まず壇他の式から短周期レベルAを計算し、それらからアスペリティの面積 $S_a$ と $\gamma=S_a/S$ を算出すると

$$S_a=307.8, \quad \gamma=1.03$$

となって、 $\gamma$ はかろうじてではあるが1を超えて矛盾が起こる。ただし、入倉・釜江(1999)に従って $\beta=3.5$  km/sとした。この値は、玄海原発・竹木場断層と同じであり、大飯原発の $\beta=3.6$  km/sともほぼ共通している。

今度は、同じ計算を壇他の式に代えて片岡他の式で行うが、福井地震断層は横ずれ断層なので片岡他2が当てはまる。その結果、 $S_a=61.8$ 、 $\gamma=0.21$ となってアスペリティ面積は断層面積内に納まるばかりか、レシピでほぼ妥当だとされている値になる。

次に、問題の本質をより明確に把握するために、入倉・三宅式や武村式などの $M_0-S$ 関係の経験式の考え方に沿った扱いを試みよう。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 $7.5 \times 10^{18}$  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(図10の点線グラフ)。両対数グラフの場合、横軸の実際の数値としては $\log M_0$ がとられ、縦軸には $\log S$ がとられている。そこで、 $x=\log M_0$ 、 $y=\log S$ とにおいて $y=(1/2)x+b$ が成り立つものとする。この式に福井地震のデータ $S=300$ 、 $M_0=2.1 \times 10^{19}$ 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

$$M_0 = k_F S^2 \quad (k_F=2.333 \times 10^{14}) \quad (7)$$

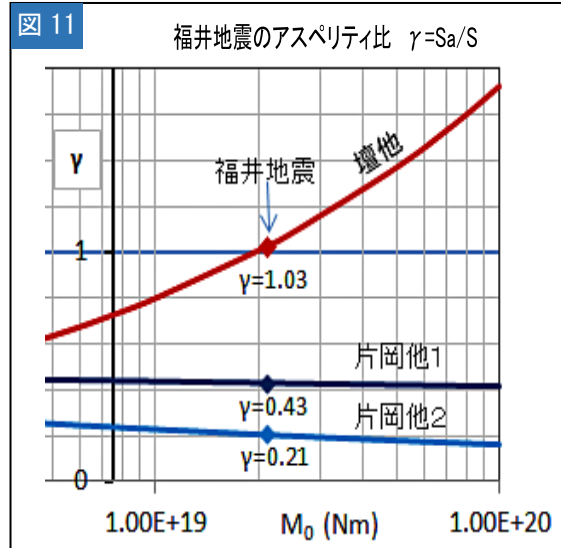
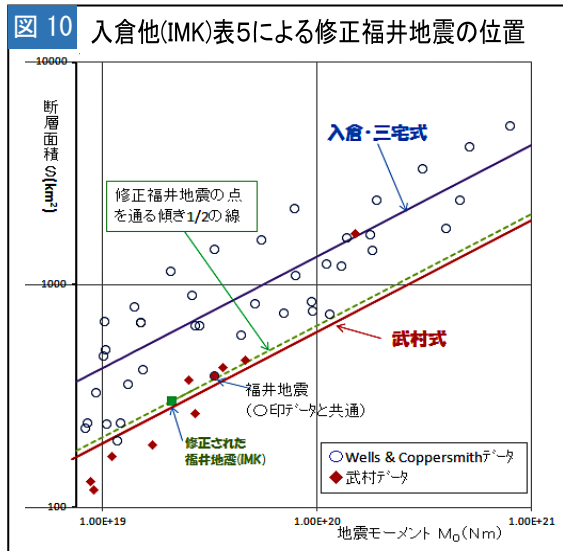
が得られる。この式に $S=300$ を代入すると元の $M_0=2.1 \times 10^{19}$ が再現されるので、この式は福井地震データを内包している。



次に、 $\gamma$  を求める(6)式で  $k_{TS}$  の代わりに  $k_F$  を用いれば、 $\beta=3.5$  として、福井地震の場合のアスペリティ面積比  $\gamma$  が計算できる。その結果は図 11 のようになる（注意：縦軸は対数目盛でなく普通の目盛）。グラフ内に記した福井地震の場合の  $\gamma$  の値は、上記

で個別に求めた値とももちろん一致している。

このように壇他の式では  $\gamma$  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、前記と同様に  $\alpha$  の違いからきている。



### (3) 福井地震の場合の最大加速度

福井地震に基づけば最大加速度がどうなるかを見ておこう。福井地震の式(7)から定まる  $M_0$  を用い、横ずれ断層なので片岡他 2 の式(4) ( $C=3.162 \times 10^8$ ,  $\alpha=0.57$ ) 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、[表 3] 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 (例えば大飯原発場合、 $856 \times (12.16 / 1.96) = 5311$ )。

このように現に起こった福井地震に基づいても、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。福井地震と同様の地震が起こった場合アスペリティの矛盾が起こるが、現行評価方式ではその処理ができないことにより、地震動の評価ができないことを規制委・規制庁は事実上認めていることになる。

「福井地震」は明日にも大飯原発周辺で起こるかも知れないのである。それにもかかわらず、「まずは、地震調査研究推進本部のような場で議論されるべきであり」などとしてまともな審査を放棄することが許されるのだろうか。早急な審査方式の改善ができないのであれば、それができるまで原発の運転を停止させるのが当然の措置ではないだろうか。

表 3	S (km <sup>2</sup> )	現行 (入倉・三宅+壇他)			福井地震+片岡他		
		M <sub>0</sub> (10 <sup>19</sup> Nm)	A(10 <sup>19</sup> Nm/s <sup>2</sup> )	最大加速 度(ガル)	M <sub>0</sub> (10 <sup>19</sup> Nm)	A(10 <sup>19</sup> Nm/s <sup>2</sup> )	最大加速 度(ガル)
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

◇補足説明1. アスペリティの総面積について－矛盾が起こる構造

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  $S_a = \pi r^2$  と円の面積で表したとき、その半径  $r$  (等価半径) は次のレシビ(2016)の(13)式 (本文中の(5)式) で与えられる。すなわち、

$$r = (7\pi/4)\beta^2 M_0 / (AR) \quad (5)$$

ただし、 $\beta$  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(4)式で与えられるものとする。すなわち、

$$A = C M_0^\alpha \quad (4)$$

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)式または(2)式より  $S = (M_0/k)^{1/2}$  となるので ( $k = k_l, k_{TS}$  または(7)式の  $k_F$ )、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、 $\gamma = S_a/S = (\pi r^2)/(\pi R^2) = (r/R)^2$  に上式を代入すると次式が得られる。

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

ここで、 $\pi$  は円周率であり、 $C$  と  $\alpha$  は(4)式の付表で与えられている。また、S波速度  $\beta$  をどうとるかは、 $\gamma$  が  $\beta$  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  $\beta$  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)の地震基盤における値  $\beta = 3.5\text{km/s}$  を採用した。この場合、大飯原発や美浜原発に関しては  $\beta = 3.6\text{km/s}$ 、玄海原発竹木場断層では  $\beta = 3.5\text{km/s}$  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  $\gamma$  は次式のようにまとめられる。

$$\gamma = F_0 M_0^{1-2\alpha} \quad (F_0 = (7/4)^2 (\pi\beta)^4 (k/C^2)) \quad (6)$$

$M_0$  の肩にあるべき指数  $1-2\alpha > 0$  (すなわち  $\alpha < 1/2$ ) ならば  $\gamma$  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  $\gamma$  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決して1を越さない。すなわち、 $\gamma$  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

例えば九州電力は、壇他の式は「科学的合理性を有している」と称しているが、地震モーメント  $M_0$  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(「断層モデルによる地震動評価の不確かさに関する検討」、平成20年12月、原子力安全基盤機構)。その報告書の2-15頁図2.6 (図12)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実測値と比べて過小評価に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。

このようなデータの矛盾もあるが、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。

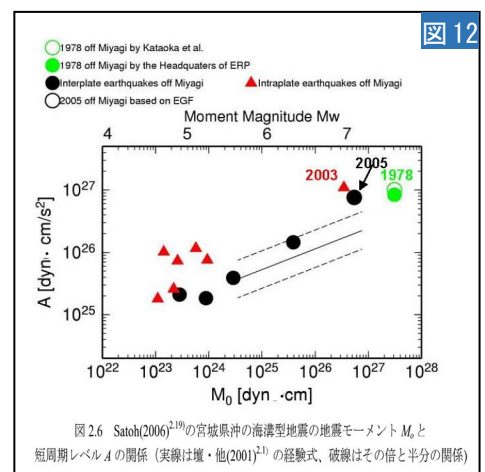


図2.6 Satoh(2006)<sup>21)</sup>の宮城県沖の海溝型地震の地震モーメント  $M_0$  と短周期レベル  $A$  の関係 (実線は壇・他(2001)<sup>21)</sup>の経験式、破線はその倍と半分の関係)