

島崎提言に関連する見解

入倉・三宅式の過小評価を熊本地震が証明

クリフエッジを超える大飯原発・美浜3号は廃炉に 再稼働はやめて、全ての原発の基準地震動を武村式で評価し直すこと

2016.7.24 小山英之（美浜の会代表）

大飯原発をはじめ多くの原発の基準地震動評価では、断層面積から地震モーメント（地震規模）を算出する際に、入倉・三宅式 [1] が用いられている。我々は 2013 年秋以来、入倉・三宅式は過小評価をもたらすので、基準津波の評価で用いられているのと同じ武村式 [2] を用いて評価し直すべきだと主張し、規制庁との交渉も重ねてきた。大飯原発や玄海原発の裁判の中でもその主張を繰り返してきた。

前原子力規制委員長代理の島崎邦彦氏は、昨年（2015）の複数の学会において、入倉・三宅式では過小評価になると繰り返し発表されてきたが、今年 4 月の熊本地震を受けて、改めて入倉・三宅式を用いるべきではないとの警告を「科学」7 月号で発している。この警告は原子力規制委員会としても無視できなくなり、島崎氏と面談した後、6 月 20 日に島崎提言を受け入れて大飯原発について別の式で試算することを決め、それに従って規制庁は武村式を用いた試算を行って 7 月 13 日の規制委員会に提出した [3]。

島崎提案と規制庁試算によって、現行基準地震動評価にはさまざまな問題点のあることが浮き彫りになった。

- (1) 熊本地震によって、入倉・三宅式の過小評価が明確に暴露され、同時に、熊本地震は武村式とは整合的であることが示された。
- (2) 武村式を用いて大飯原発の基準地震動を現行の関電方式で評価するとき、結果を現行評価枠内に抑えるためには、次のような意図的な操作が必要となった。
 - ① 式の入れ替えを「不確かさ」の範疇に入れて、他の不確かさと重ならないようにするという現行方式を適用し、基本ケース（破壊開始点 3）の枠内に閉じ込めてしまうこと。
 - ② 基本ケースでも入倉・三宅式による現行最大加速度 596 ガルをなぜか 356 ガルになるよう、評価のベースを引き下げた。
 - ③ ところが他方、そこに武村式を適用すると、356 ガルが 644 ガルへと 1.81 倍にも高まることを認めた。この比率を現行の最大加速度（短周期 1.5 倍ケース）856 ガルに適用すると、1550 ガルにもなってしまふことを島崎氏も強調している。これではクリフエッジを超えてしまうので到底運転はできない。美浜 3 号でも 993 ガルが 1800 ガルにもなり、やはりクリフエッジを超えるので、40 年超運転などとんでもないということになる。すべての原発の基準地震動評価をやり直すべきである。
- (3) 通常使われているレシピ [4] の(13)式を用いて武村式でアスペリティの総面積を計算する

と 1830km² にもなり、断層面積 951km² を超えてしまう。この矛盾が起こることを規制庁試算は暴露した。この矛盾は(13)式内にある壇ほかの式 [4] に由来する。短周期レベル（最大加速度に比例）が地震モーメントの 1/3 乗に比例するというその式は単なる仮定にすぎず、何の根拠もない。壇ほかの式は加速度を著しく過小評価する源泉にもなっている。その使用をやめれば矛盾は起こらないようにできるのである。

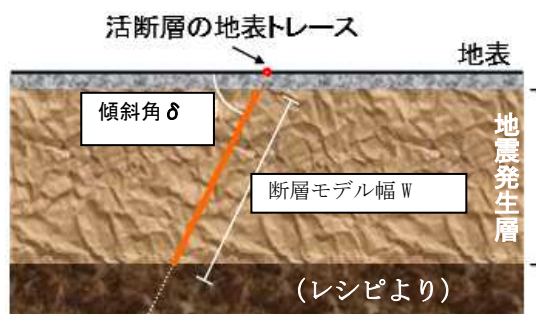
下記では、まず入倉・三宅式は熊本地震に照らして過小評価をもたらすという島崎氏の提言内容の紹介から始めて、上記の内容に順次立ち入っていきたい。規制庁の試算自体によって、現行基準地震動評価の矛盾が浮き彫りになり、大飯原発や美浜3号の地震動の過小評価が誰の目にも明確になったのであるから、すべての原発の地震動評価を根本からやりなおすべきである。それが明確になるまで、川内原発をすぐ停止し、すべての原発の再稼働を止めるべきである。

.....
1. 過小評価をもたらす入倉・三宅式を用いてはならない

(1) 島崎邦彦氏の新たな問題提起

岩波の「科学」7月号に掲載された島崎論文は、その結論部分で次のように述べている。「震源の大きさ(地震モーメント)が 1/3.5 程度の大きさに過小評価されている。日本列島の垂直、あるいは垂直に近い断層で発生する大地震の‘震源の大きさ’(地震モーメント)の推定には、入倉・三宅式を用いてはならない」。「(複数の県で津波評価に入倉・三宅式が使われていることに対し) この式を津波や強い揺れの推定に用いれば、「想定外」の災害や事故が繰り返される恐れがある。二度と同じ過ちを犯してはならない」(下線は引用者)。「二度と同じ過ち」とは福島事故で津波を過小評価していたことを踏まえているが、島崎氏は津波にとどまらず、地震動評価のあり方に反省の念を含めて強い警告を発している。

「入倉・三宅式を用いてはならない」という島崎氏の主張の裏付けになっているのが今年4月の熊本地震である。島崎氏の設定では、断層長さを L=31km、傾斜角(右図)を 60 度、断層幅を W=16km (= 発生層幅 14km / sin60°) として、断層面積は S=LW=496km² となる。地震モーメント(地震規模) M₀(Nm) とすべり量 u(m) を、次の入倉・三宅式と武村式を用いてそれぞれ計算する。



[入倉・三宅式]

$$M_0 = 5.562 \times 10^{13} S^2 \quad \text{or} \quad \log S = 1/2 \log M_0 - 6.783 \quad (1-1)$$

$$u = 1.622 \times 10^{-3} S \quad (1-2)$$

[武村式 (L の式)]

$$M_0 = 4.365 \times 10^{16} L^2 \quad \text{or} \quad \log L = 1/2 \log M_0 - 8.320 \quad (2-1)$$

$$u = 1.273 L / W \quad (2-2)$$

式(1-1)及び式(2-1)の右側の式は、x=logM₀、y=logS or =logL と書くと、1次式 y=ax+b の形を

して、傾きは $a=1/2$ に固定されている。これらの式はそれぞれのデータセット（集合）から最小二乗法で求めた結果であるが、 $a=1/2$ に固定されている場合は、 b に関する単なる算術平均値と一致する。

これらの関係式を用いて計算した結果を次表で示す。入倉・三宅式による地震モーメントは熊本地震の実測値の $1/3.4$ と過小評価になっていることが一目瞭然である。

他方、武村式による結果は、実測値にかなり近い値になっているが、まだ少し小さい。この傾向は、以下でコメントするように傾斜角と関係している。

	入倉・三宅式 A	実測値 B	比率 B/A	武村式
M_0 ($\times 10^{19}\text{Nm}$)	1.37	4.66	3.4	4.2
すべり量 u (m)	0.804	3.6	4.5	2.47

■（補足）入倉・三宅式を適用したときの断層長さ

島崎氏は「科学」論文 0658 頁において、逆に地震モーメントを上記の実測値 $M_0=4.7 \times 10^{19}\text{Nm}$ とし、断層幅を $W=16\text{km}$ と想定して、それを実現するような断層長さを入倉・三宅式で算出してみたらどうなるかを示している。結果は $L=57\text{km}$ にもなるということだ。熊本地震の断層の実測（ 31km 程度）からはこのような長い場合は到底考えられないとして、この面からも入倉・三宅式を否定している。

（2）加速度の評価

地震モーメントが 3.4 倍になると基準地震動の加速度（短周期レベルに比例）はどのようなのかについて、島崎氏は、（詳細な解析が必要だが）「しかし、原子力発電所の基準地震動に関連する短周期レベルは‘地震源の大きさ’（地震モーメント）の $1/3$ 乗（立方根）に比例するという式が提案されている（壇ほか,2001）」と述べて、加速度については現行の断層モデルで採用されている壇ほかの式をそのまま用いることにしている。そうすると、武村式の採用によって地震モーメントが 3.4 倍になると、 $3.4^{1/3}=1.50$ なので加速度は現評価値の 1.5 倍程度になる。この場合、主な原発について次のような結果になる。

- * 大飯原発：最大加速度が 856 ガル（入倉・三宅式による $Ss-4$ ）、その 1.5 倍で 1284 ガル。
- * 美浜 3 号：最大加速度が 993 ガル（入倉・三宅式による $Ss-3$ ）、その 1.5 倍で 1490 ガル。
- * 玄海 3・4 号：最大加速度が 524 ガル（入倉・三宅式による $Ss-3$ ）、その 1.5 倍で 780 ガル。

これは現行最大加速度 $Ss-4$ （震源を特定せずの留萌地震動）の 620 ガルを上回り、その 1.3 倍となる。

これらの結果は、島崎氏が「地震モーメントの $1/3$ 乗（立方根）に比例するという式が提案されている（壇ほか,2001）」とした壇ほかの式[5]に基づいた結果であるが、壇ほかの式には明確な根拠があるわけではない。壇ほかの式が加速度に著しい過小評価をもたらすことについては後で論じることにする。

2. 島崎提言を受けた規制庁の試算とそれへの批判

入倉・三宅式では過小評価をもたらすとの島崎提言を受けた規制委員会は6月20日に、大飯原発について別の式で計算し直すことを決め、7月13日の規制委員会に規制庁から報告が出された[3]。その要点は次のようである。

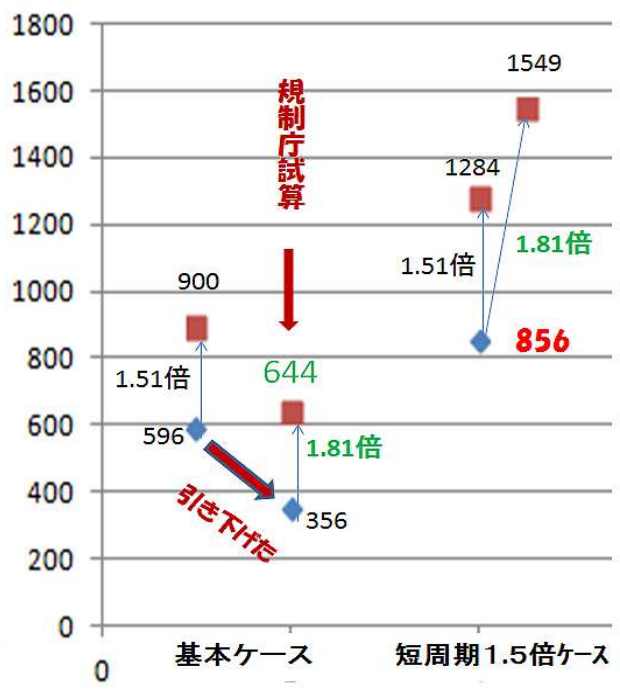
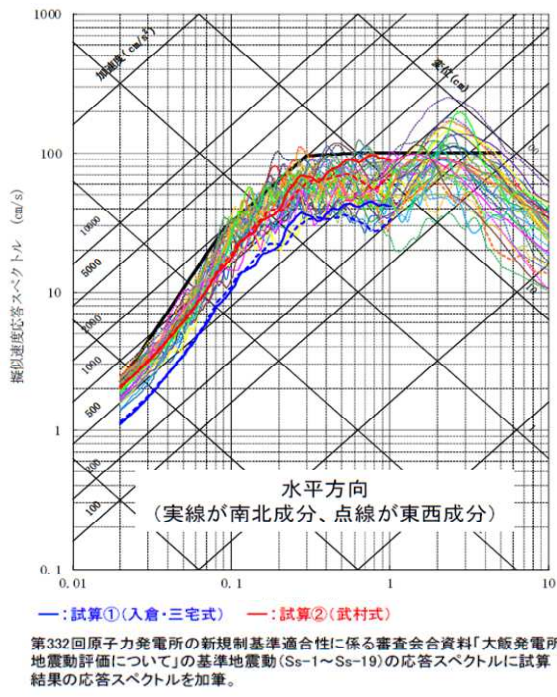
(1) 規制庁試算の要点 1

- 評価の対象として断層モデルの基本ケースで破壊開始点3の場合を選ぶ。
- そこで面積から地震モーメントを決めるのに入倉・三宅式が用いられているが、その式を武村式(Lの式)に置き換える。L=63.4kmと現行どおりにとっていることが確認できる。
- そうすると、地震モーメント M_0 は 5.05(1019Nm)から 17.5 へと 3.49 倍になり、 M_0 の 1/3 乗に比例して決まる短周期レベル A は、1.96(1019Nm/s²)から 2.97 へと 1.51 倍に上がった(下図)。これらの結果は、前記熊本地震の実測値が入倉・三宅式による評価値に対してもっていった倍率とほぼ同程度である。

<p>関西電力の「基本ケース」と同一条件: 試算①</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 断層面積: $S = 951km^2$ ➤ 地震モーメント: $M_0 = 5.03 \times 10^{19}Nm$ (入倉・三宅式) ➤ 短周期レベル: $A = 1.96 \times 10^{19}Nm/S^2$ ➤ アスぺリティ面積: $209.22km^2$ (0.22S) ➤ アスぺリティ応力降下量: $\Delta\sigma_a = 14.1MPa$ 	<p>武村式を用いたケース(断層形状は試算①と同じ): 試算②</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 断層面積: $S = 951km^2$ ➤ 地震モーメント: $M_0 = 1.75 \times 10^{20}Nm$ (武村1998) ➤ 短周期レベル: $A = 2.97 \times 10^{19}Nm/S^2$ ➤ アスぺリティ面積: $209.22km^2$ (0.22S) ➤ アスぺリティ応力降下量: $\Delta\sigma_a = 22.3MPa$
<p>入倉・三宅式と武村(1998)では、地震モーメントの求め方(震源断層面積から又は地表断層長さから)が異なるが、試算では断層形状等の震源断層モデルは変えていない。断層形状を変えずに武村式を用いると、地震モーメントは3.49倍、短周期レベルは1.51倍となった。また、応力降下量は1.58倍とした。</p>	

規制庁試算[3]・別紙3より

- その結果、現行基本ケースで破壊開始点3の場合の最大加速度は 596 ガル(東西方向)なので、それが短周期レベルの倍率だけ高まることになり $596 \times 1.51 = 900.0$ ガルとなるはずである。
- ところが奇妙なことに、規制庁試算ではそれが 644 ガルにしかならず、現行最大加速度である短周期 1.5 倍ケースの 856 ガルを下回っているので、評価を変更する必要はないと結論づけている。
- なぜこのような低い値になったかの事情は、規制庁提出資料1の別紙4の水平方向グラフ(次図左側)から明らかになる。次左図は水平方向の応答スペクトル(各周期ごとの加速度等)を表している。現行の基準地震動 Ss-1~Ss-19 に試算①(下部の青線)と試算②(赤線)を「加筆」している。グラフの左端が周期 0.02 秒の点で、そのときの加速度が最大加速度を表す(加速度メモリは斜めの線)。その最大加速度値は、武村式を用いた試算②の値ではほぼ上記の 644 ガルになっている。ところがその評価の元になったはずの試算①の青線値は 360 ガル程度しかない(後で島崎氏の手紙で東西方向 356 ガルだと分かった)。要するに、出発点となるべき現行の設定を関西電力の設定(最大加速度 596 ガル)ではなく、最大加速度が 356 ガルでしかない別の低めた設定に変えたということである(次図右側)。ただしこの場合、武村式に替えた効果として、加速度は試算①の 356 ガルから試算②の 644 ガルへと 1.81 倍(1.51 倍ではなく)に上がったことになる。
- この点は、島崎氏も7月14日に田中委員長に抗議の手紙を送り、もし 1.81 倍になるのであれば、現行最大加速度 856 ガルの 1.81 倍で 1550 ガルにもなるのではないかと主張している。



- 以上のように、すべての入倉・三宅式で計算した結果の加速度が 1.81 倍になるのだから、その主な結果は次表のようになる。大飯原発や美浜 3 号はクリフエッジを超えるので、到底運転は不可能となる。

	入倉・三宅式による現行の最大加速度 (ガル)	1.81 倍した場合の加速度 (ガル)	クリフエッジ※ (ガル)
大飯原発	856	1,549	1,260
美浜 3 号	993	1,797	1,320
玄海 3・4 号	524	948	988
高浜 3・4 号	396	717	973

※) クリフエッジ (崖っぶち)：これを超えると炉心の冷却ができなくなり大惨事に至る地震動

結局規制庁は、評価の出発点となるべき試算①として関西電力が求めた最大 596 ガルになる想定ではなく、356 ガルという大幅に低い値に変え、入倉・三宅式を武村式に置き換えて 1.81 倍に引き上げても、現行最大加速度 856 ガルよりも低い値にしかならないように小細工を弄したのである。

(2) 規制庁試算の要点 2

今回の規制庁の試算には、上記のおそまつな小細工にとどまらず、より本質的な問題がある。それは当日 (7 月 13 日) の記者会見における小林耐震等規制総括官の説明に現れている。速記録 [6] の 6 頁で小林氏は次のように述べている。

「○小林長官官房耐震等規制総括官 また繰り返しになりますけれども、いわゆる不確かさの組み合わせには認識論的な組み合わせと偶発的な組み合わせがあって、その 1 分類として認識論的不確かさの中で今回武村式をやったということで、これは今までの審査の中

では他のパラメータは組み合わせないと。ただ、偶発的なものについては、これは組み合わせるといふふうに審査の中で見えていますので、それに応じたような形で、今回、試算してみたということでございます。」

結局、式の入れ替えを不確かさ（認識論的な）の一つと捉えているということだ。そうすると、他の不確かさ（傾斜角、短周期を 1.5 倍など）との組み合わせはしないことになっているので、基本ケースで式を入れ替えるだけでいいのだという論法になっている。

この考えは地震動審査ガイドの 3.3.3「不確かさの考慮」に則ったものと思われる。ところが、そこで「震源モデルの不確かさ」として挙がっている震源断層の長さ等々の中に、式の入れ替えなどという項目が見当たらないことは、下記引用の下線部から明らかである。

【基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド】（下線は引用者）

3.3.3 不確かさの考慮

(2) 断層モデルを用いた手法による地震動の評価過程に伴う不確かさについて、適切な手法を用いて考慮されていることを確認する。併せて、震源特性パラメータの不確かさについて、その設定の考え方が明確にされていることを確認する。

① 支配的な震源特性パラメータ等の分析

1) 震源モデルの不確かさ（震源断層の長さ、地震発生層の上端深さ・下端深さ、断層傾斜角、アスペリティの位置・大きさ、応力降下量、破壊開始点等の不確かさ、並びにそれらに係る考え方、解釈の違いによる不確かさ）を考慮する場合には、敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータについて分析し、その結果を地震動評価に反映させることが必要である。特に、アスペリティの位置・応力降下量や破壊開始点の設定等が重要であり、震源モデルの不確かさとして適切に評価されていることを確認する。

② 必要に応じた不確かさの組み合わせによる適切な考慮

1) 地震動の評価過程に伴う不確かさについては、必要に応じて不確かさを組み合わせるなど適切な手法を用いて考慮されていることを確認する。

2) 地震動評価においては、震源特性（震源モデル）、伝播特性（地殻・上部マントル構造）、サイト特性（深部・浅部地下構造）における各種の不確かさが含まれるため、これらの不確かさ要因を偶発的不確かさと認識論的不確かさに分類して、分析が適切になされていることを確認する。

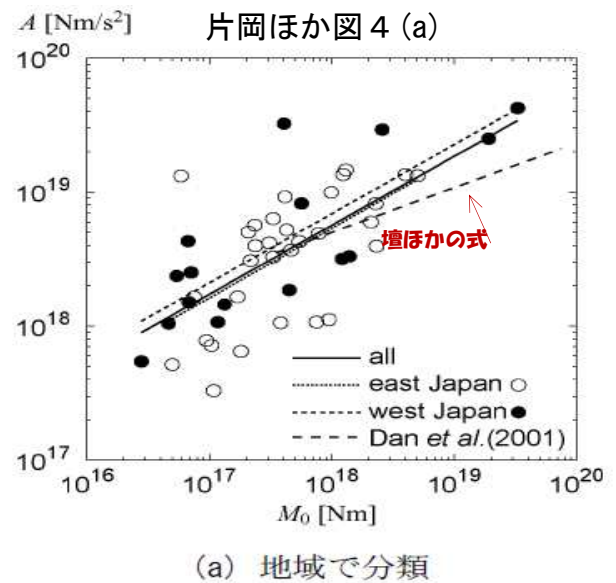
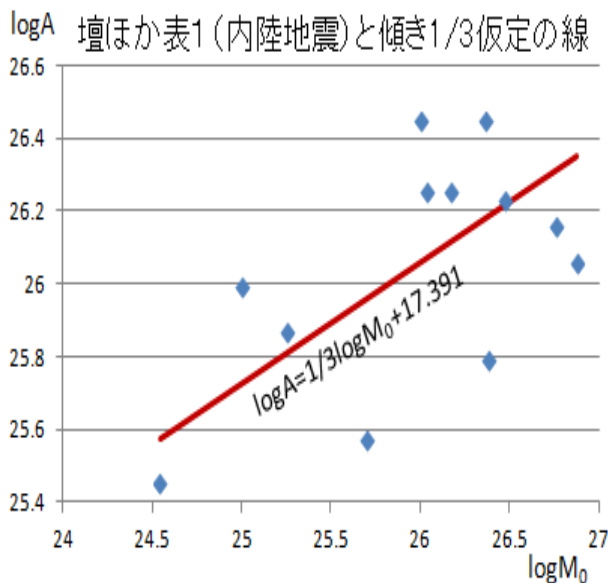
そもそも不確かさとは、断層の形態を正しく捉える際の測定誤差などの不確かさを指しているのである。後で見るように（8頁）、入倉・三宅式や武村式の基になったデータセット（集合）は分布している。熊本地震は、その分布の中で断層面積を固定して見たときに最も右側の位置（地震モーメントが大きくなる位置）に来ている。その位置は武村式には極めて近いが入倉・三宅式とは大きく隔たっている。このようなデータ分布における熊本地震の位置は、断層長さなどのデータを把握する際の不確かさなどではなく、熊本地震自体のある種の地域的特性を反映する本質的な性質である。このような性格は米国では「ばらつき」(variability)として、「不確かさ」(uncertainty)とは明確に区別され、対立概念として捉えられている。ところが、我が国のガイド作成過程では土壇場で 3.2.3 項の「不確かさ」が「ばらつき」に入れ替えられたが、いまだに意識的な区別がなされていないことが上記小林氏の考え方にも反映しているようである。

もともと関電が設定した断層モデルでは不確かさに応じたさまざまなケースが想定されていて、そのどのケースでも入倉・三宅式が使われているのだから、それらをすべて武村式に置き換えた計算をし、かつ重要なことは他の条件は変えないことである。そうしないと入倉・三宅式を武村式に置き換えた効果が別の要因の陰に隠れて分からなくなってしまう。

このようにして、現行最大加速度が 856 ガルなので、その 1.51 倍で 1292 ガルにはなるはず。あるいは、規制庁が今回示したように 1.81 倍になるといっているのであれば、1550 ガルになると認めるべきである。

(3) 規制庁試算の要点 3

規制庁の試算で地震モーメントから加速度（短周期レベル）を導く際、前述のように壇ほかの式（2001）[5] が用いられているが、その式は何かの根拠から導かれたとか、データからの回帰として導かれた結果ではなく、1/3 乗に比例するとする仮定を最初から置いたことの結果にすぎない。壇ほかの表 1 データをグラフ化した下図左側を見ると、点はずいぶんばらついていて、1/3 乗を仮定せずに回帰線を求めると別の式になる。この点、片岡ほかの論文 [7] によれば、1/3 乗を仮定せずにデータからの回帰で導いた場合、ほぼ 1/2 乗（平方根）に比例するという結果が導かれている（下図右側）。



もし、1/2 乗に比例する場合を採用すると、 $3.4^{1/2} = 1.84$ なので、大飯原発では $856 \times 1.84 = 1575$ ガル、美浜 3 号では $993 \times 1.84 = 1827$ ガルとなっていていずれもクリフエッジを超えてしまう。玄海 3・4 号では $524 \times 1.84 = 964$ ガルとなり、現行最大加速度 620 ガルの 1.55 倍となる。

さらに、今回規制庁も採用したという統計的グリーン関数法によれば、短周期レベルは地震モーメントの 1 乗（それ自体）に比例するという結果になる（ただし、「長大な断層」という概念を当てはめない場合）。この場合は、玄海原発でも $524 \times 3.4 = 1782$ ガルにもなって、クリフエッジを超えてしまう。

このように、現行の断層モデルで採用されている短周期レベルが地震モーメントの 1/3 乗に比例するという壇ほかの式は、入倉・三宅式の採用による過小評価とは別に、加速度の著しい過小

評価をもたらすもう一つの源泉である。この式をレシピに取り入れたのも、入倉ほかであることがレシピ [4] の参考文献から読み取れる [8]。

なおこの問題は、レシピの (13) 式を用いてアスペリティの総面積を算出する際にも効いてきて、壇ほかの式を用いればアスペリティの総面積が断層面積より大きくなるという矛盾をきたすようになる (後述)。この意味でも壇ほかの式は用いるべきでない。

3. 武村式を用いるべき根拠と留意点

最初の 1 ですでに述べたように、熊本地震はほぼ武村式で再現できる。武村式は武村氏が採用したデータセットからその平均値として決まる式なので、そのデータセットのどの位置に熊本地震がくるかを確認しておく必要がある。ただし、これまで用いてきた武村式は断層長さ L と地震モーメント M_0 の関係(2-1)式であるが、別に断層面積 S と地震モーメント M_0 の関係を与える式があるのでその点を先に確認しておこう。

(1) 断層面積と地震モーメントの武村式

武村論文には断層長さ L と地震モーメント M_0 の関係式の他に、断層面積 S と地震モーメント M_0 の次の関係式も書かれている。

$$[\text{武村式 (S の式)}] \quad M_0 = 26.3 \times 10^{13} S^2 \quad \text{or} \quad \log S = 1/2 \log M_0 - 7.21 \quad (3)$$

この式は武村式 (L の式) (2-1)式において、断層幅を $W = 13\text{km}$ と固定し、 $L = S/13$ を(2-1)式の L に代入して得られた式であることは、武村論文で説明されている。

ところが他方、武村論文には採用した地震のデータ表があり、その中に各地震の断層長さだけでなく断層幅も書かれているので断層面積も計算できる。そこで、武村式 (L の式) を導いたのと同じ 10 個の地震を選び、断層面積 S と地震モーメント M_0 のデータを用いて、直接最小二乗法を適用して S - M_0 の関係式を導くことができる。その結果は、驚くべきことに、上記(3)式と有効数字内で完全に一致するのである。そうすると、(3)式は(2-1)式とは独立の意味をもち、入倉・三宅式が S - M_0 の関係式であるのと同様に S - M_0 関係式としての資格をもつことになる。

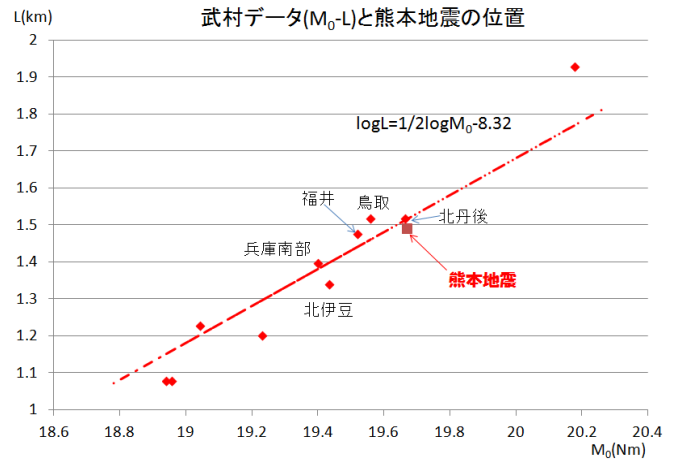
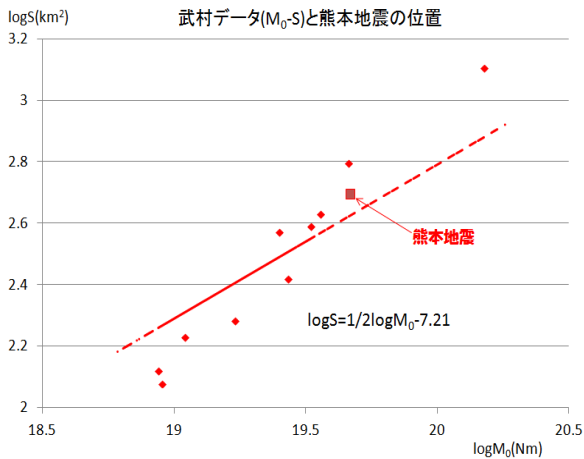
その結果、断層面積 S は入倉・三宅式と武村式 (S の式) で共通になるので、両者の違いは式の係数の違いから決まることになる。その結果、

$$\text{武村式の } M_0 / \text{入倉・三宅式の } M_0 = 26.3 / 5.562 = 4.73$$

となって、武村式の方がどの断層面積でも常に入倉・三宅式の 4.73 倍の地震モーメントをもたらすことになる。傾斜角が小さいときでも、両方で共通して断層面積が大きくなるので、この比は同じ値になる。

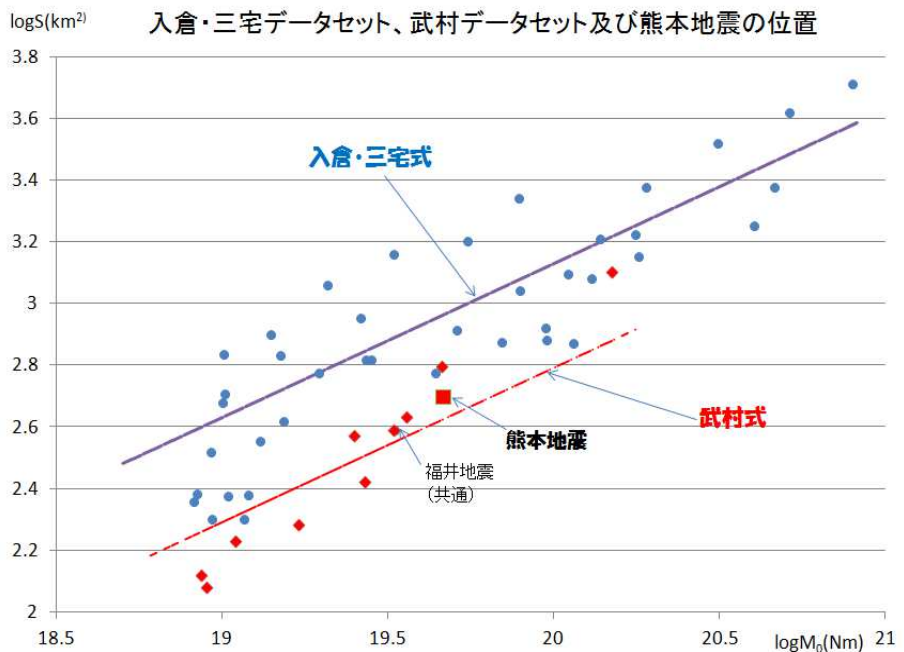
(2) データセットにおける熊本地震の位置

元に戻って、熊本地震が武村データセット (集合) に占める位置を見ておこう。次図の左側が断層長さ L と地震モーメント M_0 の関係、右側は断層面積 S と M_0 の関係を示す。熊本地震は武村データセットの中に納まっているのが分かる。すぐ近くにあるデータ点は、北丹後、鳥取、福井、兵庫南部などである。島崎氏が西日本の活断層に注目するのと意味合いは共通している。



次に入倉・三宅式との違いを見るために、入倉・三宅が採用した Wells & Coppersmith のデータと比較してみる。下図の青丸点 41 個は、Wells & Coppersmith の論文に掲載されている 244 個の地震から地震モーメントが一定以上の値をとるデータとして選びだされている。その内訳は約 1/3 がアラスカ、カナダを含む北米、約 1/3 がアジア・オセアニア（オーストラリア等）、残りの 1/3 が地中海周辺地域や旧ソ連圏及び中南米からである。要するに世界中から選ばれてきたデータだということができる。

それに対し武村式のデータはすべて日本の地震で、やはり地震モーメントが一定以上となる 10 個である。Wells & Coppersmith のデータセットでは日本の地震は福井地震しかなく、このデータだけが両セットに共通している（ただし、これらの判断はグラフから数値を読み取って 244 個のデータと比較特定した結果である）。



世界の地震のばらついている実情から見ると、熊本地震や武村データセットは、同じ S の値をもつばらつきが一番右端付近の位置を占めている（ある S の値に沿って右側にたどった場合の右端にある）。すなわち、同じ断層面積であっても、最も大きい地震モーメントが起こるような位置にある。それぞれの地震はそれぞれの条件に応じて起こることを認めるべきであり、安全側に立つなら、大飯や玄海原発周辺で起こる地震動も熊本地震や武村データセットと同様の部類に属す

ると捉える必要がある。それゆえ、地震動の評価は入倉・三宅式ではなく、武村式を用いて行うべきである。

4. 武村式をめぐる経緯

熊本地震の結果は、上記3頁の表のように、ほぼ武村式によって再現されている。基準津波評価では武村式を用いていながら、基準地震動では著しい過小評価をもたらす入倉・三宅式を用いていることを問題として、我々市民は2013年11月8日に規制庁に要請書を出し交渉も行った。11月14日には、若狭と関西の9団体でおおい町と高浜町への申し入れも行っている。

この点、2013年12月18日の大飯原発審査会合において小林勝安全規制管理官が、津波で用いているすべり量を基準地震動にも当てはめるべきだと主張している。これに呼応するように同会合で島崎氏が津波と基準地震動では震源は同じものを用いるべきだと強調している。実は、すでに同年8月21日の伊方3号審査会合で、島崎氏は同趣旨の発言をしていることが議事録に記載されている。

これらの発言を把握した市民は、賛同署名を集めて204団体で2014年1月29日に規制庁交渉もち、基準地震動評価に武村式を用いるよう強く迫るという経緯があった。

いずれにせよ、島崎氏にはすでに2013年夏ごろから基準地震動にも武村式を用いるべきだとの考え

があったこと、及び熊本地震を受けて、その考えが確信的になったことが推察される。



2014年1月29日 規制庁交渉 参議院議員会館

5. 結論：武村式を用いて基準地震動の評価をやり直せ

6月20日の規制委が決めた「現在とは別の算出方法で試算」とは、具体的には武村式を用いることであった。入倉・三宅式を武村式に置き換えて計算すると、地震モーメントが3.49倍になり、短周期レベルが1.81倍になることを規制庁は明確に示した。ただし、その倍率がまともに反映することを避けるよう、出発点をこっそりと変えて低い状態から出発するという小細工を弄したのである。

もしまともにその倍率を反映させれば、入倉・三宅式を用いて算出した最大加速度はすべて1.81倍となるので、大飯原発や美浜3号の基準地震動はクリフエッジを超えてしまうことになる。

高浜原発3・4号は運転再開を許可されたが、大津地裁の決定によって停止している。高浜原発1・2号は40年越えの長期運転という無謀な運転が予定されている。これら原発の最大加速度はSs-1で700ガルであるが、この場合は入倉・三宅式による評価は入っていない。入倉・三宅式による評価で最大加速度となるのはSs-3の場合で、396ガルである。武村式と壇ほかの式によってこれが1.5倍になると、594ガルとなるが700ガルには達しない。ところが、前記のように「長大な断層」扱いしない場合で短周期レベル（加速度）が M_0 に比例する場合は、3.4倍と

なるので、 $396 \times 3.4 = 1346$ ガルとなってクリフエッジを超えることになる。それゆえ、やはり高浜原発を動かしてはならない。

入倉・三宅氏が世界中の地震データの平均値であるのにたいし、武村氏は日本だけの強い地震の特性を反映している。熊本地震によってもその正当性が強く支持された今、武村氏を用いて大飯原発をはじめ、すべての原発の基準地震動評価をやり直すべきである。それまで川内原発を停止させ、すべての原発の運転再開を許してはならない。

A. 補足的説明事項

【1】統計的グリーン関数法による短周期レベル A と M_0 の関係

規制庁も今回試算で用いた統計的グリーン関数法によって、次の点を明らかにする。

- ① 短周期レベルが加速度と比例関係にあること。
- ② 断層面積を固定して考えると、短周期の加速度は地震モーメントに比例すること。

ここでは、片岡ほか [7] に依拠して上記 2 つの点を検討する。まず、加速度スペクトル $A_c(f)$ は次式で表される。

$$A_c(f) = S(f)P(f)G(f) \quad \text{式(A-1)}$$

ここで f は周波数で周期の逆数である。震源を表すのは $S(f)$ で、他の P と G は地震波の伝播に関係する量である。その $S(f)$ は片岡他論文 744 頁の式 (12) と式 (15) で表され、次の形をしている。

$$S(f) = B \cdot M(f) \quad (B \text{ は片岡他の式(12)の前部で定数}) \quad \text{式(A-2)}$$

$$M(f) = (2\pi f)^2 M_0 / [1 + (f/f_0)^2] \quad \text{式(A-3)}$$

つまり、加速度 $A(f)$ は $S(f)$ に比例し、 $S(f)$ は $M(f)$ に比例しているので、結局加速度は $M(f)$ に比例している。その $M(f)$ において、周期が短周期の場合、すなわち、周波数 f がコーナー周波数 f_0 に比べて十分大きい場合を考えると、式 (15) の分母は 1 が無視されて近似的に $(f/f_0)^2$ となる。結局短周期では式 (A-3) は次の式 (A-4) となって、これが短周期レベルを表す。すなわち、

$$M(f) \rightarrow (\text{短周期レベル}) A = 4\pi^2 f_0^2 M_0 \quad \text{式(A-4)}$$

となり、短周期で加速度スペクトル $A_c(f)$ は、式(A-1)、式(A-2)、式(A-4)を通じて短周期レベル A に比例することになる。ただし、コーナー周波数は

$$f_0 = 4.9 \cdot 10^6 \beta (\Delta \sigma / M_0)^{1/3}$$

で与えられており、 β は S 波速度で、 $\Delta \sigma$ は平均応力降下量である。

ここで、平均応力降下量 $\Delta \sigma$ について 2 通りの場合を考える。

- (1) 玄海原発や美浜原発などたいていの断層で採用している式 $\Delta \sigma = (7/16)M_0(\pi/S)^{3/2}$ の場合、これを代入すると、 $f_0 = 4.9 \cdot 10^6 (7/16)^{1/3} \beta (\pi/S)^{1/2} = C\beta (\pi/S)^{1/2}$ となる(これは片岡ほか論文の式(15)と一致している)。この場合は断層面積 S を一定値に固定すると、短周期レベル A は地震モーメント M_0 に比例することになる。

- (2) 「長大な断層」の場合は、平均応力降下量が $\Delta \sigma = 3.1$ と一定の場合である。このときは、

$$f_0 = K(1/M_0)^{1/3}$$

の形となる (K は定数) ので、 $A \propto M_0^{1/3}$ となる。

この(2)の場合が壇ほかの場合と一致しているが、ただしこれは「長大な断層」の場合で、新レシピ(たとえば5頁)によれば、地震モーメント M_0 が $1.8 \times 10^{20} \text{Nm}$ 以上の場合である。大飯原発と高浜原発の3連動の場合は、「長大な断層」扱いをして $\Delta \sigma = 3.1$ に固定しているが、そのときの $M_0 = 5.03 \times 10^{19} \text{Nm}$ であり、武村式で計算しても $1.75 \times 10^{20} \text{Nm}$ なので、「長大な断層」の条件を満たしていない。それゆえ、短周期レベルは M_0 の $1/3$ 乗に比例するのではなく、1乗に比例すると考えるべきである。

【2】武村式を適用するとアスペリティの総面積は断層面積を超えるのか

今回の規制庁試算の過程で、レシピの(13)式を用いてアスペリティの総面積 S_a を計算すると、元の断層面積 951km^2 をはるかに超えて 1830km^2 にもなるという矛盾が生じて困ったと話している。この点、2つの面から考えることができる。

第1に、関西電力はFoA-FoB-熊川断層のアスペリティ総面積 S_a を計算するのに、レシピの(13)式は使っていないで、 $S_a = 0.22S$ という式を用いている(つまり断層面積の22%が S_a)。この通りに計算すれば何の問題も起こらなかったはずで、結局はそのようにしたようである。

第2に、レシピ(13)式は次のようになっている。 $S_a = \pi r^2$ で、その有効半径 r は、 $r = (7\pi \beta^2 / 4R)(M_0/A)$; $\beta = 3.6 \text{km/s}$ (S波速度), $S = \pi R^2$ (Rは断層面積の有効半径) 要するに、 S_a の有効半径 r は M_0/A に比例する。もしAとして M_0 の $1/3$ 乗に比例するという壇ほかの式を採用すれば、 $S_a = 1830 \text{km}^2$ ときわめて大きい値になって矛盾がおこる。しかし、前記のようにAが M_0 の1乗に比例するという結果を用いれば、何の矛盾も起こらない。ここでもやはり、壇ほかの仮定は採用すべきでないというのが結論となる。

参考文献

- [1] 入倉孝次郎・三宅弘恵、地学雑誌、110,849(2001)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jgeography1889/110/6/110_6_849/_pdf
- [2] 武村雅之、地震、第2輯、51,211(1998)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/zisin1948/51/2/51_2_211/_pdf
- [3] 7月13日規制委員会 規制庁資料1「大飯発電所の地震動の試算結果について」
<http://www.nsr.go.jp/data/000156913.pdf>
- [4] 平成28年(2016年)6月地震調査研究推進本部 地震調査委員会
「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(レシピ)」
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/16_yosokuchizu/recipe.pdf
- [5] 壇一男、他、日本建築学会構造系論文集、第545号:51-62, 2001年7月
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110004304876> (有料)
- [6] 7月13日記者会見速記録 <http://www.nsr.go.jp/data/000156872.pdf>
- [7] 片岡正次郎、他、土木学会論文集A, Vol.62, No.4, 740-757, 2006.10
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscej/62/4/62_4_740/_pdf
- [8] レシピ[4]9頁の(12)式の参考文献である(入倉・他,2002)
http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/people/hiroe/JEES2002_irikura.pdf