

大飯控訴審-「ばらつき」問題に関する陳述書

大飯原発の地震動評価で「経験式が有するばらつき」を考慮すれば
 現行最大加速度 856 ガルが 1,150 ガルに跳ね上がる

2023 年 11 月 14 日 小山英之（原告）

目 次

要旨-----1
 1. 地震規模（地震モーメント）の現状評価とその過小評価-----2
 2. 地震動審査ガイドによる「経験式が有するばらつき」の規定-----3
 3. 「経験式が有するばらつき」を考慮する必要性を国は認めた上で変質させている-----4
 4. 「経験式が有するばらつき」の具体的な想定-----6
 5. 「経験式が有するばらつき」はなぜ生じるか、「ばらつき」の根源-----8
 6. 「ばらつき」と「不確かさ」の区別——米国環境保護局（EPA）の見解-----9
 7. 短周期の地震動 1.5 倍ケースとは—「ばらつき」を考慮するための基礎-----10
 8. 関西電力の方式で地震規模の「ばらつき」を考慮すれば 856 ガルが 1,150 ガルになる---12
 9. 結論-----13
 付表-----14

（要旨）

この陳述書の主な対象は、「経験式が有するばらつき」の考慮である。一審被告（国）は、「経験式が有するばらつき」とは、「経験式とその基になる観測データの乖離」であると明確に認め（控訴理由書 49 頁）、また、「経験式がそのような『ばらつき』を有することについては、これを当然の前提とした上で」（控訴理由書・第 1 準備書面 陳述要旨）3 頁）と、「経験式が有するばらつき」を考慮するべきとの立場に立っている。ところがその後では、「震源断層面積 S と地震モーメント M_0 の関係における『経験式が有するばらつき』を地震動評価において考慮する方法について」（控訴理由書 49 頁）主に論じており、結局、「ばらつき」を考慮する「方法」としては、別の断層面積の不確かさを考慮することでまかなうべきだとの趣旨を述べている。

当陳述書では、この別方法説に対して次のような点で反論する。

- ① 「経験式が有するばらつき」を考慮する場面では、断層面積 S は所与のものとして固定されており、それを経験式に代入して得られる地震規模 M_0 と、実データである M_0 が乖離していることが問題の焦点である。断層面積 S の不確かさを考慮した場合でも、この性質は変わらない。 S を固定しても M_0 のばらつきが生じる原因は、 M_0 の定義式 $M_0 = \mu DS$ における μD （剛性率×平均すべり量）が、断層の個性に応じてばらつくことに求められる。
- ② 実際に大飯原発の FoA-FoB-熊川断層の最大加速度をもたらすケースで「ばらつき」を考慮する場合、断層面積 S は基本ケースと同じ値に固定されており、 S の不確かさは考慮外である。
- ③ そもそも「ばらつき」と「不確かさ」は性質を異にする独立した別概念であり、一方を他方で置き換えることはできない。このことは米国環境保護局（EPA）の見解が明確に述べており、入倉氏・川瀬

氏も意見書でそれを引用して認めている。この問題に関する日本のこれまでの検討経緯では、この区別の認識が希薄であったと考えられる。

結果的にやはり「経験式が有するばらつき」は国の言に反して考慮されていない。これでは本来 1,150 ガルになるべきところ 856 ガルに過小評価されていることになり、設置許可基準規則 4 条 3 項に違反している。「ばらつき」の考慮の検討を怠った国の審査の過程に過誤欠落があるというべきである。

1. 地震規模（地震モーメント）の現状評価とその過小評価

1-1. 地震規模評価の現状

この陳述書では、「経験式が有するばらつきの考慮」が主な検討の対象であるが、それを抽象的にではなく、実際に参加人（関西電力）が大飯原発に関して実施している地震動の評価に即して検討する。「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価のうち、以下ではまず、地震規模（地震モーメント）の評価について確認する（丙 5 号証に基づく）。特に、最大加速度 856 ガルをもたらず場合（Ss-4）に着目する。

検討用地震として上林川断層とともに FoA-FoB-熊川断層が選択されている。後者では、基本ケースとして断層面積 $S=951\text{km}^2$ が確定され、それを入倉・三宅式という経験式

$$M_0 = [(S/4.24) \times 10^{11}]^2 \times 10^{-7} = 5.56 \times 10^{13} \text{ S}^2 \text{ (Nm)}$$

に代入することにより地震規模 M_0 が求められて、 $M_0=5.03 \times 10^{19} \text{ Nm}$ が算出されている（丙 5 号証、80 頁の断層パラメータ表）。

最大加速度 856 ガルをもたらずのは、「短周期の地震動 1.5 倍ケース」であるが、そのケースの断層パラメータ表は基本ケースと共通になっていて、すべてのパラメータが基本ケースと同じ値をとっている（丙 5 号証 80 頁の断層パラメータ表）。その表の下部に注釈があり、「※短周期の地震動 1.5 倍ケースでは、短周期領域のフーリエスペクトルの比が基本ケースの 1.5 倍となるように設定する」と書かれている。その詳細は関西電力の別の資料（乙 244 号証の参考資料 3 (88-99 頁)）で説明されているので後述する。

別に、断層面積の評価に関係する不確かさケースとして、断層傾斜角 75 度ケースが設定されている。基本ケースでは断層面は地表面に対して垂直(90 度)であるのに対し、この場合は 75 度に傾いていて、かつ下端の深さは同じとされているため、断層面積が大きくなり $S=1002.85 \text{ km}^2$ となって基本ケースの 1.055 倍となっている。それに応じて、入倉・三宅式で計算された地震規模は $M_0=5.59 \times 10^{19} \text{ Nm}$ と、基本ケースの 1.11 倍になっている。

1-2. 短周期の地震動 1.5 倍ケースにおけるばらつきの効果

焦点を、最大加速度 856 ガルをもたらず短周期の地震動 1.5 倍ケースに当てると、入倉・三宅式が適用される場面では、それ以前にすでに断層面積 $S=951\text{km}^2$ が確定されている（別の傾斜角 75 度ケースでは前述のように断層面積が約 5.5% 増えるが、そのケースは別の独立したケースとして扱われている）。短周期の地震動 1.5 倍ケースでは断層面積 S はあくまでも基本ケースと同じ値に固定されていて、その値が入倉・三宅式に代入されて M_0 が算出されているのである。

そのとき問題になるのは、入倉・三宅式が有する「ばらつき」の効果をどう考慮するのかである。すでに設定された同じ断層面積 S に対して、 M_0 はばらつき効果として、たとえば 1 標準偏差だけ入倉・三宅

式から乖離した値を考慮すべきだということになる。ところが現状では、原審判決が指摘しており、また後で詳しく述べるように、国もその考慮が必要であることを認めているにもかかわらず、その効果がまったく無視されている。確率的な問題を扱う場合、たとえば標準偏差を考慮するのが常識であるのに、それをしないのでは過少評価になるのではないだろうか。

結論から言えば、1標準偏差を考慮すると最大加速度856ガルが1,150ガルと1.34倍になる。それだけ大きな地震動が起り得るということで、それに備えることが事業者に課せられるべきである。逆に言えば、本来1,150ガルと評価すべきところ、856ガルしか起こらないと過少評価していることになる。これでは、設置許可基準規則4条3項が定める次の要請に反していることになる。

設置許可基準規則4条3項：耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（以下「基準地震動による地震力」という。）に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

さらに、当の審査において実際に適用された「基準地震動及び耐震設計方針に関する審査ガイド」（地震動審査ガイド）のI.3.2.3(2)「ばらつき条項」の第2文は、経験式が有する「ばらつき」を考慮するよう求めている。「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」（下線は引用者）。この第2文は福島事故後に追加された重要な内容であり、まさに経験式が平均値であることを理由として、「経験式が有するばらつき」も考慮するよう求めているが、原審判決が指摘しているとおおり、実際には「ばらつき」は考慮されていない。

2. 地震動審査ガイドによる「経験式が有するばらつき」の規定

2-1. 「ばらつき」の考慮に関する地震動審査ガイドI.3.2.3(2)の規定

「ばらつき」の考慮について、当の審査において実際に適用された地震動審査ガイド（甲44）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147の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59）12～13頁では、第1文は存在したが、第2文は存在していない。2012年1月30日の原子力安全委員会による「安全審査の手引き（改定案）」（乙232）で第2文が「その際、経験式は平均値としての地震規模を与えるものであることから、その不確かさ（ばらつき）も考慮する必要がある」と初めて入り、2012年3月14日の地震・津波関連指針等検討小委員会での資料（乙122）の別紙2に引き継がれている。すなわち、この段階では「不確かさ（ばらつき）」となっているが、2013年6月の新規制制定段階で現在の「ばらつき」に改められている。

2-2. 原子力規制委員会による解釈

原子力規制委員会は、「実用発電用原子炉に係る新規制基準の考え方について【改訂版】」（乙147）

294頁において、「ばらつき」について次のように述べている（下記の②は上記の審査ガイド引用文中の②に対応）。

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

すなわち、②の規定は、「当該経験式の適用範囲を単に確認するのみではなく」、「当該経験式とその前提とされた観測データとの間の乖離の度合いまでを踏まえる必要があることを意味しているもの」であるとしている。ガイド作成過程では不確かさとばらつきの区別があいまいだったところ、新規制になって②が新たに加えられたこと、及び上記原子力規制委員会の引用文でばらつきの意味が明確に規定されたことによって、第2文②の意味と意義が鮮明になっている。ただし、「踏まえる」は原文通りに「考慮されている必要がある」と捉えるべきであろう。

3. 「経験式が有するばらつき」を考慮する必要性を国は認めた上で変質させている

3-1. 「経験式が有するばらつき」の規定

一審被告（国）は控訴理由書（2021.2.5）において、「経験式が有するばらつき」の存在を認め、それが何かを明確に規定している。実際、48-49頁の「ウ『経験式が有するばらつき』と『不確かさ』との関係について」において、次のように記述している（下線は引用者）。

「経験式とは、複雑な自然現象の観測データに基づいて複数の物理量等の相関を式として表現するものであり、経験式の基となる観測データにばらつき（経験式が有するばらつき）が存在するのは当然である（乙第264号証）。

このことを震源断層面積 S と地震モーメント M_0 との相関を示した経験式である上記の入倉・三宅式で説明すると、縦軸を S 、横軸を M_0 とした対数グラフ上にプロットされた各点のように、経験式の基となる個々の観測データにおける S と M_0 の値は必ずしも経験式どおりの物理量の相関関係とはならず散らばっているところ、「経験式が有するばらつき」とは、このように観測データが散らばっていることそのもの（経験式とその基になる観測データのかい離）を意味する」。

すなわち、入倉・三宅式の基になったデータ点は、入倉・三宅式を満たすようにその線上に乗るのかと思いきや、実際にはその線上から乖離した位置にばらついている。「経験式が有するばらつき」とは、経験式の基になった (M_0, S) の観測データ点が経験式の線上に乗らずに（上記引用文の「経験式どおりの物理量の相関関係とはならず」）、経験式の線から乖離していることであると規定している。

この規定では、経験式の基になったデータ点（入倉・三宅式では53個）はすでに選択されて確定しており、それからある種の平均操作（最小二乗法）で導かれた経験式も確定されている。このことが「経験式の有するばらつき」を規定する場合の前提となっている。

3-2. 不確かさ

次に、「不確かさ」について控訴理由書は次のようにいう。

「一方、地震動評価において考慮する「不確かさ」とは、例えば、震源断層面積 S （その基礎となる断

層長さ、上端・下端深さ、断層傾斜角)の値につき、調査結果等に基づいて最も確からしい値として設定するが、自然現象に対する知識の欠如や計測技術の不完全さなどにより、その値が必ずしも確かではないことをいう。すなわち、「不確かさ」は、観測技術の不完全さなども含めた認識上の問題から生じると説明している。

この考えは、震源断層が選ばれたときに、入倉・三宅式に代入すべき断層面積をどう設定するかという場面での不確かさだと考えられる。他に、経験式の基になった各断層それぞれでの断層面積をどう評価するかという不確かさも考えられるが、この問題は経験式とその基になったデータ点が選ばれ確定された場面・段階では考慮外となる(後の補足5-3参照)。

3-3. 「経験式が有するばらつき」を考慮する方法における「ばらつき」規定の変質

さらに国の控訴理由書では、「経験式が有するばらつき」を考慮する必要があることを当然の前提として、その考慮方法に関する説明が控訴理由書の49頁で次のように続く(下線は引用者)。

「エ 震源断層面積 S と地震モーメント M_0 の関係における「経験式が有するばらつき」を地震動評価において考慮する方法について」において、「ある震源断層から将来生じる可能性のある地震の地震動評価(強震動予測)をするに際して、 S と M_0 の関係を示す入倉・三宅式などの「経験式が有するばらつき」を踏まえて保守的な評価を行うには、一方で、観測データのばらつきの程度(経験式とのかい離の程度)に着目し、例えば標準偏差分を M_0 の値に上乘せする方法も一応考えられなくはないが、他方で、経験式に代入する S の値の不確かさに着目し、あらかじめ S の値を大きくすることにより、その S の値から算出される M_0 の値を大きくするという方法もある」。

すなわち、「経験式が有するばらつき」を考慮することを当然の前提として認めた上で、その考慮する方法については、

- ① 「ばらつき」の標準偏差分を M_0 に上乘せする方法
- ② 断層面積 S の値を大きくすることによって M_0 を大きくする方法

があると述べている。

3-4. 「ばらつき」の原因が「不確かさ」にあるとは?

このような類似の考えは、一審被告の「控訴理由書・第1準備書面 陳述要旨」(以下、「陳述要旨」)の3頁でも述べられているが、その内容は次のように、上記のせっかくの正しい規定をあいまい化したものである(下線は引用者)。

「また、原判決は、本件ばらつき条項第2文を、経験式が有する「ばらつき」を検証して経験式によって算出された値に上乘せをする必要があるか否かを検討するものと位置づけていますが、そもそも基準地震動の策定の実務では、経験式の基となる観測データに散らばりがあることを意味する「ばらつき」は、その原因でもある各種パラメータの「不確かさ」を考慮することによって解決するものと考えられています。そのため、経験式がそのような「ばらつき」を有することについては、これを当然の前提とした上で、地震動に直接かつ大きく作用する支配的なパラメータの「不確かさ」で考慮することで保守的な地震動評価を行う必要があるが、「ばらつき」そのものの考慮のために、別途、経験式によって算出されたパラメータ値の上乗せを検討する必要はないというのが地震学・地震工学における一般的な考え方です」。

ここでは、上記3-1での「ばらつき」規定と異なって、「ばらつき」を観測データのちらばりであるとあいまい化し、さらに「ばらつき」の原因が「不確かさ」にあるとして、誤った方向に導いている。

3-5. まとめ

以上のような国の考え方（特に控訴理由書）をまとめると、次のようになる。

- ① 「経験式が有するばらつき」とは、経験式とその基になった観測データとの間に乖離が存在することである。
 - ② 経験式がそのような「ばらつき」を有すること、それを考慮することは当然の前提である。
 - ③ その考慮の方法としては、 M_0 に直接上乘せする方法があるが、それ以外に、断層面積 S を大きくすることによって M_0 を大きくする方法もあり、むしろ後者を採用するのが妥当である。
- これらの点につき、特に肝心の「ばらつき」、「乖離」について、次の節で考え方を具体的に整理する。

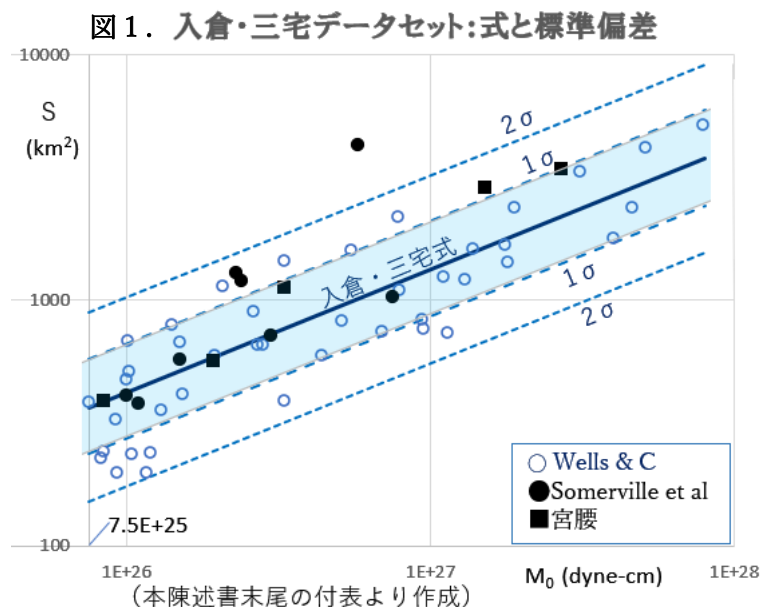
4. 「経験式が有するばらつき」の具体的な想定

ここでは、前記2-2及び3-1で原子力規制委員会と国が認めている「乖離」について、入倉・三宅式に即して具体的に概観しよう。

4-1. 入倉・三宅式とその基になったデータセット

まず、入倉・三宅が Wells & Coppersmith や Somerville et al 等から選択した 53 個の (M_0, S) データが、

データセット（データ集合）として確定していることが、経験式を設定するための前提となっている（右図と最後の付表参照）。すなわち、各地震の S と M_0 の値は観測者（論文）によって異なるという不確かさをもっているが、入倉・三宅が選択したデータセットは確定しており、それに応じて最小二乗法というある種の平均操作により経験式が確定される。もし観測データの不確かさを考慮してデータの別の選び方をしたならば、別の経験式が生み出されることになる。すなわち、入倉・三宅式をとり上げた以上、その基になったデータセットと経験式（入倉・三宅式）



は確定したものとして扱われる。そのことを前提とした上で、「経験式が有するばらつき」が問題となるのである。

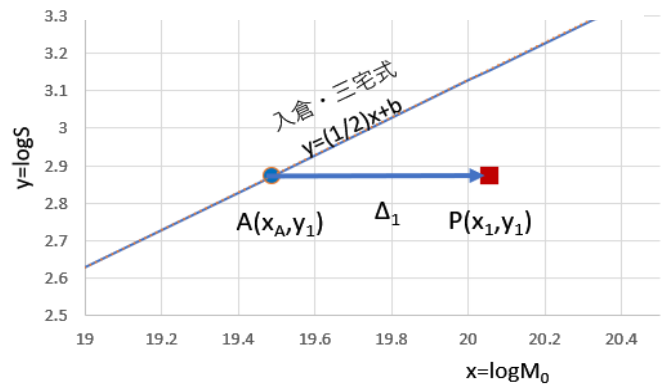
4-2. 入倉・三宅式とその基になったデータ点の乖離

では、入倉・三宅式でデータ点と経験式との乖離がどうなるかを具体的に見てみよう（次図）。グラフは両対数で書かれているので、横軸に $x = \log M_0$ 、縦軸に $y = \log S$ がとられている。入倉・三宅式は傾きを $1/2$ に固定して得られた直線で、 $y = (1/2)x + b$ ($b = -6.873$) と書かれ、 b は縦軸との交点の y 値で切片と呼ばれている。

例えば、入倉・三宅データセット内の一つである Landers 地震（付表の W&C, No.240）を第1番目のデータとして選び、添え字 1 を付けると、 $M_{01} = 1.14 \times 10^{20} (\text{Nm})$ 、 $S_1 = 744 (\text{km}^2)$ なので、 $x_1 = \log M_{01} = 20.06$,

$y_1 = \log S_1 = 2.87$ となって、右図の点 $P(x_1, y_1)$ の位置にくる。点 P の入倉・三宅式との乖離を見る場合、今は断層面積 S が与えられて（所与のものとして固定されて）、それに応じた地震規模 M_0 を算出する場面である。それゆえ、図のように点 P に向かう横向きの線を引いて点 A との隔たりを見ることになる。点 A は入倉・三宅式に乗っているの、 $x_A = 2y_1 - 2b$ となっている。点 P は明らかに直線が示す入倉・三宅式から乖離して、点 A とは $\Delta_1 = x_1 - x_A = x_1 - 2y_1 + 2b$ だけ離れている。

図2. データ点 P と入倉・三宅式との乖離



4-3. 乖離の程度としての標準偏差

次に、控訴理由書 49 頁で言われている「経験式との乖離の程度」の「程度」である標準偏差について見ておきたい。上記の入倉・三宅データセットの場合、1 番目のデータ点に関する乖離 Δ_1 と同様の乖離が各データ点に対応して全部で $n=53$ 個あるので、乖離 $\Delta_1, \dots, \Delta_n$ が考えられる。これらを単に加えた場合は、経験式が平均値であるために乖離が打ち消し合い、 $\Delta_1 + \dots + \Delta_n = 0$ となる（注釈 1）。

（注釈 1） $\Delta_i = x_i - x_A = x_i - 2y_i + 2b$ より $\Delta_1 + \dots + \Delta_n = n(\bar{x} - 2\bar{y} + 2b) = 0$ （ \bar{x} 等は平均値で $b = \bar{y} - \bar{x}/2$ だから）。

そこで次式のように 2 乗和の平方根を考える。すなわち、横向きの乖離の程度を示す 2 乗和の平方根としての平均値

$$\sigma = (\Delta_1^2 + \dots + \Delta_n^2)^{1/2}$$

を定義し、これを標準偏差と呼ぶ。入倉・三宅式及び 1σ 及び 2σ の線を一緒に描くと図 1 のようになる。すなわち、入倉・三宅式とは、1 本の線で表されるだけでなく、最低で 1σ の幅をもっているものと捉えるべきである。入倉・三宅式と 1σ の線との横向き隔たりは $\sigma = 0.382$ なので、 M_0 が大きくなるように 1σ を考慮すると $M_0^* = 10^\sigma M_0 = 2.41M_0$ となる（注釈 2）。

（注釈 2） 同じ S に対して入倉・三宅式線上の地震規模を M_0 、 1σ 線上の地震規模を M_0^* とすると、
 $\log M_0^* - \log M_0 = \sigma$ これより $M_0^* = 10^\sigma M_0$ となる。

ところで川瀬氏は意見書（乙 269 号証）で、このような「経験式の有するばらつき」の考慮が必要であるとの立場に立った上で、 M_0 に乖離分を直接考慮するという方法もあるが、断層面積 S を同等になるように増やしてそれに対応する M_0 を求める方法もあると述べている。この説は、川瀬氏自身が認めている「ばらつき」と「不確かさ」は区別されるとの考えに反しているが、それはさておき、ここでは実際にはそのような S を増やす操作は行われていないという事実について、次に補足的に述べておこう。

補足 4-1. 川瀬氏の断層面積 S の操作で「ばらつき」分を補充できる論の実際

川瀬氏は「意見書」（乙 269 号証）において、「報告書」（乙 235 号証）と同様の論を展開している。すなわち、地震規模 M_0 の乖離分の上乗せは、断層面積 S を大きくすることでまかなうべきだという趣旨である。この論は、ばらつきを不確かさで補うというもので、自らの見地に違反しているが、それを実際にどうするのかは、15 頁の「3.3 現状の審査における M_0 - S 関係等における不確かさ（ばらつき）考慮の

必要十分性について」で述べている。

その内容は、FoA-FoB-熊川断層については、過去に設定していた熊川断層や FoA-FoB 断層 (36.2km) と比較して、現在採用している FoA-FoB-熊川断層の 3 連動は長さが 63.4km (断層面積で 951km²) にもなっているので、十分大きくとっているという評価である。

しかし、川瀬氏の元々の論は、「ばらつき」による M_0 の乖離分を断層面積 S で補うべきだという趣旨であった。1 σ 分だけ考慮した場合、 M_0 は前述のように入倉・三宅式による M_0 の 2.41 倍になるが、これだけを S でまかなうためには、 S は現行評価値 951km² の 1.55 倍である 1416km² でなければならないが、実際には、最初に述べたように、断層面積 S は 951km² に固定されている。不確かさを考慮したケースでも、わずかに 5.5% 増えて 1003km² になっているだけであり、とても 1416km² とは程遠い。

そもそも現在の評価の対象は検討用地震であって、過去の FoA-FoB 断層は現在では検討用地震ではない。設置許可基準規則の解釈別記 2 では、「5 ④ ii)断層モデルを用いた手法に基づく地震動評価」において「検討用地震ごとに、適切な手法を用いて震源断層パラメータを設定し、地震動評価を行うこと」と定められている。現在では検討用地震ではない過去の小さな断層 (2 連動) を未練がましく持ち出して比較するのは、まったくの筋違いである。ただし、川瀬氏の論で評価すべきは、「経験式の有するばらつき」を評価すべきであるという立場に立っている点である。

5. 「経験式が有するばらつき」はなぜ生じるのか、「ばらつき」の根源

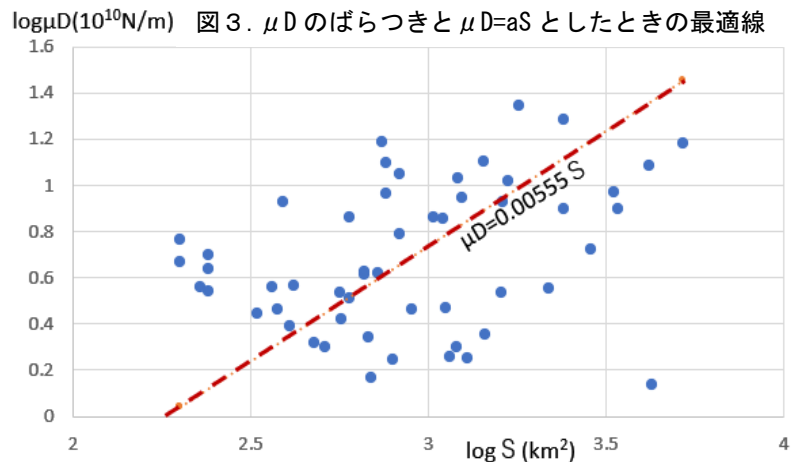
問題は、断層面積 S が入倉・三宅式の基になった実データとして与えられたとき、その S から入倉・三宅式によって計算した M_0 値と、その S と組みになっていた基の実データ M_0 値との間に乖離が生じるのはなぜかということである。国は「ばらつき」の原因を S の不確かさに求めているが、そうではなく、 S が所与のものであるときに、 M_0 の「ばらつき」はどこから生じるのかという問題である。

M_0 の定義式によれば、 $M_0 = \mu DS$ と表される。 μ は剛性率で土地の硬さを表し、 D は平均すべり量で、断層面 (2 枚) の各部分が互いに逆方向にすべった量の断層面に関する平均値である。入倉・三宅式では S だけから M_0 を決めるのであるが、実際の M_0 値は μD の影響を受けて異なり得る。特に、平均すべり量 D は、断層面積 S が同じであっても、断層が存在する地域で働く外力の度合い、その外力に耐えるアスペリティの状態によって異なることは基本的にあり得ることである。

事実、入倉・三宅データセットについて $\mu D (=M_0/S)$ を、 S を横軸にとってプロットしてみると右図のようになる。横軸の同じ S に対して μD は縦向きにばらついているのがわかる。これが、 S が同じでも M_0 がばらつく根源である。

結局、入倉・三宅式は、このような μD のばらつき効果を捨象 (または平均

化) した式なのであるが (補足 5-1)、実際の地震はその式から乖離した M_0 値で起こっているのだから、その乖離の度合い (程度) をせめて 1 標準偏差分だけでも考慮する必要があるということになる。

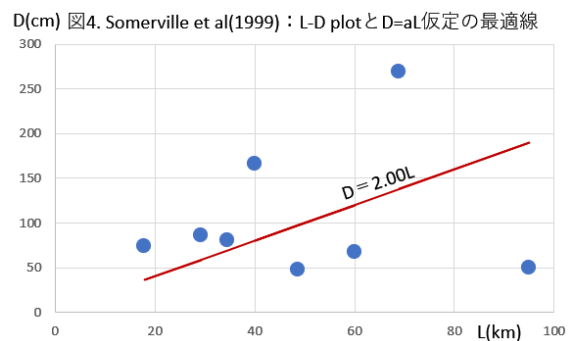


補足5-1. μD のばらつきを平均化すると入倉・三宅式となる

ちなみに上図で $\mu D=aS$ の形を仮定して、最小二乗法により最適な係数 a を求めると、 $a=0.00555(10^{10}N/m)$ となり、最適線は図内に示した点線となる。このときの $\mu D=aS$ を定義式 $M_0=\mu DS$ に代入すると、 $M_0=5.55\times 10^{13}S^2$ となって入倉・三宅式 ($M_0=5.56\times 10^{13}S^2$) が再現される。すなわち逆に、平均値である入倉・三宅式は、まさに μD のばらつきを捨象 (平均化) したものであることが如実に明らかになる。

補足5-2. 国の第2準備書面批判

国 (一審被告) の第2準備書面では、 D のばらつきが S の不確かさに解消されるとの主張を、上記と同様に定義式 $M_0=\mu DS$ を用いながら、2つの仮定をおいて論じている。第1は、断層長さ L が大きくなると断層幅 W は飽和して一定になるとして W を一定値においている。実際には飽和値 W は、付表の最右欄の W 数値が示すように、断層によって異なるので、この仮定は成り立たない。第2は、平均すべり量 D は断層長さ L に比例する ($D=aL$) という仮定であるが、これも根拠が示されていない。実際のデータでは、例えば Somerville et al の第2ステージのデータでは右図のようになり、最小二乗法により $D=2.00L$ が得られる。国がいうのはこのような平均化した関係のことだと分かる。



補足5-3. 国の第13準備書面批判

国の第13準備書面 (2023.8.15) の内容について、ごく簡単に触れておきたい。これはあまりにも見当違いな内容なので、本来なら批判の対象になる代物ではないのだが、念のためである。

第13準備書面は15頁下部の「2」において次の表題を掲げている。

「2 震源断層面積 S と地震モーメント M_0 に関する経験式のばらつきは震源断層面積 S の不確かさによるところが大きく、一方、断層の剛性率 μ の不確かさは小さいことから、結果として平均すべり量 D の不確かさは震源断層面積 S の不確かさを考慮することにより解消されること (一審被告控訴理由書第3の5(2)アないしオ・47ないし52ページ及び一審被告第2準備書面2(2)・7ないし10ページ参照)」

この内容は前記で述べた M_0 の定義式 $M_0=\mu DS$ に基づいているので、それと同じ問題を論じているのかと思いきや、実はまったく別問題なのである。たとえば S や D や μ の不確かさと言っているのは、同じ断層 (例えば熊本地震) を対象としても、そのデータが観察者 (論文) によって異なるという、そのような不確かさである。しかし今問題になっているのは、断層ごとのデータを確定した上で、つまり経験式の基になるデータセットを確定した上で、経験式と基になったデータとの間に乖離が存在するという、そのような乖離である。結局、国の第13準備書面が論じていることは、別の場面で問題になることではあっても、今問題の焦点となっている「経験式が有するばらつき」とは無関係な内容である。

6. 「ばらつき」と「不確かさ」の区別——米国環境保護局 (EPA) の見解

川瀬氏・入倉氏は各意見書 (乙269, 乙270) の冒頭で、「ばらつき」と「不確かさ」について、「ばらつき」は aleatory variability (偶然的ばらつき (変動性)) であり、「不確かさ」は epistemic uncertainty (認識上の不確かさ) であると明確に区別している。この考えは米国環境保護局 (EPA) の考えにのっとって

る（釜江氏(乙 271)は最初から両概念を区別せずごちゃまぜにしている）。

川瀬氏はその意見書の2頁で、「ばらつき」の例として米国環境保護局（EPA）の体重の例を挙げており、体重は正確に測定することにより「不確かさ」を減らすことはできるが、「調査者は評価対象者の個々の体重を変更することはできず、したがって母集団のばらつきを減少させることはできない」と述べている。つまり、個々人の体重は各人の遺伝的要因や生活環境による要因によってそれぞれに応じて個性として決まっており、本質的にそれが同じ年齢でも体重が異なるというばらつきをもたらすのである。このばらつきは、体重計の不具合や指針の見方からくる不確かさとは違って、客観的・偶然的である。

断層の場合、断層の置かれている地域的条件からくる外力の違いや、アスペリティの状況の違いからくる客観的・偶然的な「ばらつき」が μD のばらつきをもたらす。それを断層面積の認識上の「不確かさ」で置き換えることはできないのである。結局、「ばらつき」は「不確かさ」とは独立した概念であり、一方が他方の原因になったり、一方を他方で置き換えたりすることはできないのである。

ところがこの問題をめぐるこれまでの経緯では、2-1で述べた「不確かさ（ばらつき）」という表現に象徴されるように、両者は明確に区別されていなかったし、最後に「ばらつき」という表現にまとまった経緯も、規制庁に問い合わせてもはっきりしない。地震の専門家が必ずしも確率統計の専門家ではないことを意味しているのだろうか。

7. 短周期の地震動 1.5 倍ケースとは——「ばらつき」を考慮するための基礎

「経験式が有するばらつき」を、現状で最大加速度 856 ガルをもたらすケースに即して具体的に検討する必要がある。そのために、その基礎となっている「短周期の地震動 1.5 倍ケース」とはどのようなケースかを、参加人の想定に即して具体的に確認する。

7-1. 短周期の地震動 1.5 倍ケースとは

大飯 3・4 号機で最大加速度 856 ガルをもたらすのは、断層モデルで基準地震動 Ss-4 の EW 方向であるが、それは「短周期の地震動 1.5 倍ケース」で破壊開始点③の場合である。このケースは新潟県の中越沖地震を教訓に設定されている。このケースに関して重要な特徴を2点指摘しておきたい。

(1) このケースでは、断層面積、地震モーメント（地震規模）及び短周期レベル等すべての断層パラメータが基本ケースと同じであり、断層パラメータ表（丙5号証、80頁）の下部に注釈として書かれているように、この1.5倍ケースは「短周期領域のフーリエスペクトルの比が基本ケースの1.5倍となるように設定」されたものとされている。なお、「短周期の地震動レベル」は地表(解放基盤表面)での揺れ(加速度等)を表し、他方、「短周期レベル A」は地下の震源における揺れ(加速度)を表す(注釈3)。

(注釈3)「地震動」について、参加人の一審準備書面(1)の9頁では次のように説明している。「この(引用者注：地震波が到達した)特定の地点における地盤の揺れのことを「地震動」といい、「地震」と区別される」。他方、「短周期レベル」をレシピ9頁では「短周期領域における加速度震源スペクトルのレベル」として、震源における概念と捉えている。

なお国は第3準備書面の8～9頁において、この区別問題で原告の考えを批判しているが、その内容はまるで意味不明である。また、大飯3・4号に関する審査書では、16頁のFoA-FoB-熊川断層に関する項で1.5倍ケースを、「短周期の地震動レベルを基本ケースの1.5倍したケース」という表現で記述している。

(2) この「短周期の地震動 1.5 倍ケース」で、国が強調するように断層面積 S の「不確かさ」の考慮によって、すでに地震規模 M_0 の「ばらつき」と同様の効果もたらされているだろうか。注目すべきは、この 1.5 倍ケースでは、断層面積の「不確かさ」はいっさい考慮されていないことである。国は苦し紛れに、FoA-FoB-熊川断層という 3 連動を取り上げたことによって、それより以前に想定していた FoA-FoB の 2 連動より断層面積を大きくとったことまでも「不確かさ」の考慮に入れている。しかし、ここでいう「不確かさ」の考慮とは、FoA-FoB-熊川断層の基本ケースを出発点として、それに加味すべき「不確かさ」のことであるのはいうまでもない。事実、前記のように設置許可基準規則の解釈別記 2 では、「5④ ii)断層モデルを用いた手法に基づく地震動評価」において「検討用地震ごとに、適切な手法を用いて震源特性パラメータを設定し、地震動評価を行うこと」と定めている。いま取り上げている FoA-FoB-熊川断層は検討用地震であるが、FoA-FoB はもはや検討用地震ではないのである。

7-2. 最大加速度をもたらずケースに関する関西電力の評価

——地震規模 M_0 は基本ケースと同じ、応力降下量の増で 1.5 倍が実現

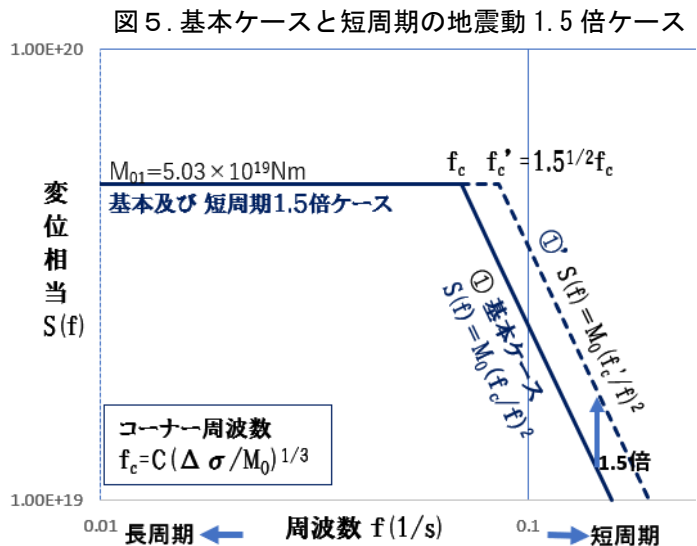
前述のように、現行評価では大飯原発で最大加速度 856 ガルをもたらずのは「短周期の地震動 1.5 倍ケース」であり、関西電力の説明（乙 244 の参考資料 3 (p.88~99)）に詳しく書かれているように、短周期レベル A や地震モーメント M_0 は「基本ケース」と変えていない。また、このケースは「短周期領域のフーリエスペクトルの比が基本ケースの 1.5 倍となるように設定」されたものである。このケースで短周期の地震動レベル 1.5 倍がどのようにして実現するのか、以下で参加人の説明をフォローするが、それは国の審査で認められた方式でもある。

重要な第 1 点は、短周期レベル A や地震モーメント M_0 は「基本ケース」と変えていないことである。この点、控訴人や引用されている専門家の意見書（入倉意見書・乙 270, 11 頁、釜江意見書・乙 271, 11 頁）があたかも、関電が短周期レベル A を 1.5 倍し、それに応じて壇ほかの式等を逆に用いて M_0 を $1.5^3 = 3.375$ 倍または別法(注釈 4)により $1.5^4 = 5.06$ 倍したかのように強調しているのは、まやかしの術であり事実と反している。

(注釈 4) FoA-FoB-熊川断層の場合、基本ケースですでにアスペリティ面積比 $\gamma = Sa/S$ が 0.3 を超えるので、レシピの処方箋に従って $\gamma = 0.22$ 、応力降下量 $\Delta \sigma = 3.1 \text{MPa}$ と固定する。このとき、入倉・三宅式及びレシピの(15)式より、 $A \propto M_0^{1/4}$ (α は比例関係)、すなわち $M_0 \propto A^4$ となり、短周期レベル A が 1.5 倍になれば M_0 は 5.1 倍になると主張している。しかし以下で述べるように、 A と M_0 は短周期の地震動 1.5 倍ケースでも値を基本ケースと変えていないのである。

このことは実際に関電の説明を見れば明らかになる。短周期の地震動 1.5 倍ケースは右図のグラフのような想定によって実現されている（乙 244 の 98 頁のグラフに基づく）。横軸に周波数がとられているが、それは周期の逆数なので右方が短周期領域を表す。短周期と長周期はコーナー周波数

$$f_c = C(\Delta \sigma / M_0)^{1/3}$$



($\Delta\sigma$ は応力降下量、Cは定数)

によって分けられており、短周期でグラフは右下がりになっている。

このグラフは、「変位相当」(注釈5)に関する次の周波数2乗モデル式の次のような漸近形を表している。

$$S(f) = M_0 / (1 + (f/f_c)^2)$$

$$\rightarrow \begin{cases} M_0 & (\text{長周期: } f \rightarrow \text{小、分母の } f=0 \text{ で実現}) \\ f_c^2 M_0 / f^2 & (\text{短周期: } f \rightarrow \text{大、分母の } 1 \text{ を無視すれば } = M_0 / (f/f_c)^2 = f_c^2 M_0 / f^2 \text{ となる}) \end{cases}$$

(注釈5)「変位相当」 $S(f)$: 観測された地震動加速度のフーリエスペクトル(周波数 f に応じた値) A_f は $A_f = \text{震源特性} \times \text{地震波の伝播経路特性} \times \text{サイト特性}$ によって震源特性と比例関係にある。その震源特性 = 係数 $\times (2\pi f)^2 S(f)$ と書かれ、 $(2\pi f)^2 S(f)$ は加速度のレベルを表す(単位は Nm/sec^2)。 $S(f)$ はこれを $(2\pi f)^2$ (単位は $1/\text{sec}^2$) で割ったもの、すなわち加速度に時間の2乗をかけたものなので「変位相当」を表す。結局、 $S(f)$ は震源特性を表すと同時に、他方では地震波の観測値に比例して実質的に地震動を表すことになる。

短周期レベル1.5倍ケースではコーナー周波数が $1.5^{1/2}$ 倍になると想定され($f_c' = 1.5^{1/2} f_c$)、右側にずれて点線グラフのようになるので、実線グラフ(基本ケース)の1.5倍となる(点線グラフの値は $(f_c')^2 M_0 / f^2 = 1.5 f_c^2 M_0 / f^2$ 、すなわち点線グラフの変位相当 $S(f)$ が実線グラフの1.5倍になっている。注釈5を考慮すれば、結果的に震源における加速度レベルが1.5倍されることになる)。

他方、長周期(左方)では基本ケースと短周期1.5倍ケースで地震モーメント M_0 は同じ値をとっている。コーナー周波数 f_c が $1.5^{1/2}$ 倍になるのは、 M_0 は固定されたままなので、応力降下量 $\Delta\sigma$ が増えた結果ということになる。このようにして、乙244の98頁に書かれているように、「高振動数側のみ大地震の短周期レベル1.5倍及び応力降下量1.5倍が実現される(A法)」となる(注:ただし応力降下量は $1.5^{3/2}$ 倍になると思われる)。

このように、短周期の地震動レベル1.5倍ケースでは、地震モーメント M_0 は基本ケースと同じでありながら、応力降下量 $\Delta\sigma$ が増えることによってコーナー周波数が増えて、1.5倍が実現している。

重要な第2点は、地震規模 M_0 の果たしている役割である。地震動レベルを表す式は、上記のように $S(f) = M_0 / (1 + (f/f_c)^2)$ であり M_0 に依存している。周波数 f が小さいとき、 $S(f)$ は M_0 にほぼ比例している。短周期で f が大きいときは、 $S(f)$ は $f_c^2 M_0$ に比例し、 f_c 内の M_0 を考慮すれば $M_0^{1/3}$ に比例する。この場合でも M_0 の影響が地震動に直接及ぶ。これでどうして、 M_0 の役割は「中間的」で低い(「陳述要旨」2-3頁)などと言えるのだろうか。このような M_0 の果たす役割は、次に示すように、 M_0 の「ばらつき」を考慮してそれだけ M_0 を増やしたときに実際に明らかになる。

8. 関西電力の方式で地震モーメントの「ばらつき」を考慮すれば856ガルが1,150ガルになる

上記の短周期の地震動1.5倍ケースで、さらに地震規模(地震モーメント) M_0 の「ばらつき」を考慮すればどうなるだろうか。上記関電の評価はこの問題に対する基礎を提供している。国は、 M_0 の「ばらつき」考慮を否定する理由の一つとして、 M_0 は中間的役割しかせず(「陳述要旨」2-3頁)、地震動評価で果たす役割が低いことを挙げている。しかし、下記が如実に示すように、「ばらつき」によって M_0 が増

えることの効果は直接的で重要であることが明らかになる。

国は前記のように、地震規模の「ばらつき」が存在するのは当然であると認めながら、その分は断層面積 S の「不確かさ」によってカバーされると主張している。しかし第1に、地震規模が「ばらつき」を有するならば当然その効果が安全性のために考慮されるべきである。第2に、断層面積 S の「不確かさ」が考慮されても、それを所与の値として地震規模を計算する際に「ばらつき」が独立に考慮されるべきであるし、ましていま問題にしているケースでは断層面積の「不確かさ」は考慮外となっている。

入倉・三宅データセットから入倉・三宅式の標準偏差を求めると、前記のように M_0 の標準偏差(横軸方向の標準偏差) $\sigma=0.382$ となり、それだけ考慮すると M_0 は $10^{0.382}=2.41$ 倍される(注釈2参照)。

右のグラフでは青線が 2.41 倍された赤線の位置に上がる。コーナー周波数は M_0 が 2.41 倍になるのに応じて $1/2.41^{1/3}$ 倍と下がる(右図で f_{c1} が f_{c2} に変わる)。

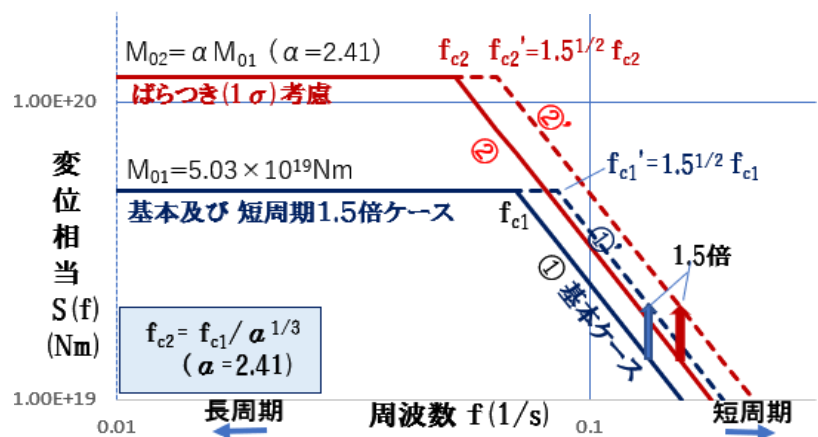
このようにして得られた新たな M_0 に対して、前記と同様に短周期 1.5 倍ケースの手続きをすれば、右図の赤実線が赤点線に変わり、短周期の地震動レベルが 1.5 倍されることになる。

結局、地震規模に対して 1 標準偏差

を上乗せすると、地震規模は 2.41 倍になり、コーナー周波数は $1/2.41^{1/3}$ 倍となるので、短周期の地震動レベルは $2.41^{1/3}=1.34$ 倍になる。その結果、地震動の加速度は現行 856 ガル $\times 1.34=1,150$ ガルとなる。

このように国の審査に合格した関西電力の方式に基づけば、入倉氏・釜江氏がいうような短周期レベル 1.5 倍によって M_0 が大きく動くなどということはなく、地震規模の「ばらつき」による上乗せという独立した操作によって地震動が高まるのである。

図 6. 短周期 1.5 倍とばらつき (1σ) の影響



9. 結論

国は「経験式がそのような『ばらつき』を有することについては、これを当然の前提」だと明確に認めている。それならば、基準地震動の策定においてその「ばらつき」の効果を当然考慮すべきだということになるが、これを2つの理由によって否定している。すなわち、①地震規模の「ばらつき」は断層面積の「不確かさ」で置き換えられること、②地震規模の地震動評価に占める役割は間接的で低いことである。

しかしこれら2点が成り立たないことは上記で示したとおりであり、何よりも「ばらつき」と「不確かさ」は独立した概念であることは、入倉意見書と川瀬意見書の冒頭に書かれているとおりである。

そうするとやはり、基準地震動の評価において、「ばらつき」がどのような効果をもたらすかを検討しなければならない。実際には、関西電力の評価方式に従えば、地震規模の「ばらつき」について1標準偏差を考慮するだけで、現行 856 ガルが 1,150 ガルに高まるのであり、逆に言えば、本来 1,150 ガルであるべき基準地震動が 856 ガルと過小評価されていることになる。これでは設置許可基準規則4条3項がいう基準地震動による地震力に対して安全機能が損なわれるおそれがないということが満たされない。このような検討を怠った国の審査の過程に過誤欠落があるというべきである。

付表：入倉・三宅データセット

著者	番号	国	地震	日付	Mo(dyne-cm)	S(km ²)	L(km)	W(km)
W&C	219	Australia	Tennant Creek	01/22/1988	8.2E+25	228	19	12
W&C	120	China	Songpan, Huya	08/23/1976	8.4E+25	242	22	11
W&C	216	USA, CA	Superstition Hills	11/24/1987	9.2E+25	330	30	11
W&C	74	Australia	Meckering	10/14/1968	9.3E+25	200	20	10
W&C	160	Greece	Corinth	02/24/1981	1E+26	480	30	16
W&C	158	China	Daofu	01/23/1981	1.01E+26	690	46	15
W&C	191	Canada	Nahanni	10/05/1985	1.02E+26	512	32	16
W&C	86	USA, CA	San Fernando	02/09/1971	1.04E+26	238	17	14
W&C	241	USA, CA	Big Bear	06/28/1992	1.16E+26	200	20	10
W&C	75	USA, Alaska	Rampart	10/29/1968	1.2E+26	240	30	8
W&C	117	China	Songpan, Huya	08/16/1976	1.3E+26	360	30	12
W&C	175	Turkey	Pasinier	10/30/1983	1.4E+26	800	50	16
W&C	193	Canada	Nahanni	12/23/1985	1.5E+26	680	40	17
W&C	225	USSR	Armenia	12/07/1988	1.53E+26	418	38	11
W&C	113	USSR	Uzbekistan	04/08/1976	1.95E+26	600	30	20
W&C	115	USSR	Uzbekistan	05/17/1976	2.07E+26	1152	48	24
W&C	157	Italy	South Apennines	11/23/1980	2.6E+26	900	60	15
W&C	26	USA, CA	Imperial Valley	05/19/1940	2.7E+26	660	60	11
W&C	174	USA, Idaho	Borah Peak	10/28/1983	2.8E+26	660	33	20
W&C	139	Yugoslavia	Montenegro	04/15/1979	3.29E+26	1450	50	29
W&C	34	Japan	Fukui	06/28/1948	3.3E+26	390	30	13
W&C	102	USSR	Tadzhikistan	08/11/1974	4.38E+26	600	30	20
W&C	156	Algeria	El Asnam	10/10/1980	5.08E+26	825	55	15
W&C	221	China	Lancang -Gengma	11/06/1988	5.47E+26	1600	80	20
W&C	187	New Guinea	New Britan	05/10/1985	6.93E+26	750	50	15
W&C	73	Iran	Dasht-e-Bayaz	08/31/1968	7.8E+26	2200	110	20
W&C	188	New Guinea	New Ireland	07/03/1985	7.9E+26	1104	48	23
W&C	32	Peru	Ancash	11/10/1946	9.4E+26	840	28	30
W&C	54	USA, MT	Hebgen Lake	08/18/1959	9.5E+26	765	45	17
W&C	206	Taiwan	Hualien	11/14/1986	1.1E+27	1248	48	26
W&C	240	USA, CA	Landers	06/28/1992	1.14E+27	744	62	12
W&C	42	USA, CA	Kem County	07/21/1952	1.3E+27	1216	64	19
W&C	135	Iran	Tabas-e-Golshan	09/16/1978	1.37E+27	1628	74	22
W&C	116	China	Tangshan	07/27/1976	1.76E+27	1680	70	24
W&C	96	China	Luhuo	02/06/1973	1.8E+27	1430	110	13
W&C	127	Argentina	Caucete	11/23/1977	1.89E+27	2400	80	30
W&C	112	Guatemala	Motagua	02/04/1976	3.1E+27	3341	257	13
W&C	91	USA, Alaska	Sitka	07/30/1972	4E+27	1800	180	10
W&C	233	Philippines	Luzon	07/16/1990	4.6E+27	2400	120	20
W&C	53	USA, Alaska	Lituya Bay	07/10/1958	5.1E+27	4200	350	12
W&C	7	USA, CA	San Francisco	04/18/1906	7.9E+27	5184	432	12
Somerville	s1	USA, California	Landers	06/28/1992	7.5E+26	1035	69	15
Somerville	s2	Iran	Tabas	09/16/1978	5.8E+26	4275	95	45
Somerville	s3	USA, California	Loma Prieta	10/17/1989	3E+26	720	40	18
Somerville	s4	Japan	Kobe	01/17/1995	2.4E+26	1200	60	20
Somerville	s5	USA, Idaho	Borah Peak	10/28/1938	2.3E+26	1287	48.75	26.4
Somerville	s6	Canada	Nahanni, N.W.T.	12/23/1985	1.5E+26	572	34.67	16.49
Somerville	s7	USA, California	Northridge	01/17/1994	1.1E+26	378	18	21
Somerville	s8	Canada	Nahanni, N.W.T.	10/05/1985	1E+26	408	29.33	13.92
宮腰		Japan	?	?	1.94E+26	564	27	20.9
宮腰		Japan	?	?	3.31E+26	1119	56	20
宮腰		Turkey	Kocaeli	1999	1.52E+27	2867	123	23.3
宮腰		Taiwan	Chi-Chi	1999	2.70E+27	3404	79	43.1

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

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