

島崎氏の問題提起と新レシピに基づき基準地震動見直しを

ながさわひろゆき
長沢啓行

(大阪府立大学名誉教授、若狭ネット資料室長)

前原子力規制委員長代理の島崎邦彦氏による問題提起が原子力規制委員会・原子力規制庁を揺るがしている。「入倉式で地震規模が過小評価されている」という問題提起だが、原子力規制庁が入倉式を武村式に置換えて大飯原発の地震動を計算したところ、基本ケースで1.8倍になった。それでも、「基準地震動を超えなかった」ことから、原子力規制委員会は「大飯原発の基準地震動を見直す必要はない」との結論を一旦は下した。しかし、その夕方には、規制庁による入倉式を使った基本ケースの地震動計算が関西電力の6割程度にすぎないことが発覚し、これを関西電力と同じ条件に直せば、武村式では基本ケースでも基準地震動を超え、不確実さを考慮すれば大飯3・4号の1,260ガルのクリフエッジ(炉心溶融へ至るギリギリの地震動)を超えてしまうことが判明した。島崎氏は直ちに田中委員長宛の手紙で抗議し、再計算を求めた。あわてた規制委は、規制庁の説明不足を責め立て、一旦下した「結論」を白紙に戻し、1週間後に改めて規制庁に検討結果を説明させたが、新たな計算結果もないまま同じ「結論」を再び下した。国民の面前で披露されたお粗末な展開は、「世界最高水準の規制基準への適合性審査」の実態をつぶさに暴き出した。ここでは、断層モデルによる地震動評価における入倉式の位置づけを明らかにするとともに、原子力規制庁がこっそり行ったレシピの改ざんを暴き、推本が活用している松田式による修正レシピで地震動を評価するよう主張する。

入倉式によるレシピと松田式による修正レシピ

「断層モデルのレシピ」とは地震調査研究推進本部地震調査委員会(以下「推本」と略す)の作成した「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レ

シピ)」のことをいう。2005年に初めて「全国を概観した地震動予測地図」報告書を作成し、その別冊としてまとめたのが最初である。これ以降、推本はこのレシピに基づいて「全国を概観した地震動予測地図」をほぼ毎年作成し公表しており、そのたびにレシピも改訂してきた。2016年6月10日改訂版が最新のレシピである。

内陸地殻内地震は、(1)震源断層が地震発生層(上端が地下2~3km、下端が地下15~18kmの地層)の中に収まる未飽和断層による地震(M7.1以下の中小地震)、(2)震源断層が地震発生層の上下端に達して広がった飽和断層による地震(M7~M8程度の中・大地震)、(3)概ね80kmを超える「長大な断層」による地震(M8.1を超える巨大地震)の3つに分かれる。それぞれでレシピが異なるため、ここでは大飯原発の長さ63.4km、幅15kmの「F0-A~F0-B~熊川断層」に則して、(2)の中・大地震について説明する。その際、剛性率($\mu=3.5 \times 10^{10} \text{N/m}^2$)やS波速度($\beta=3.6 \text{km/s}$)等の条件は大飯原発に合わせているので、他の原発と比較する際にはこの違いに注意する必要がある。

レシピでは、最初に地震モーメント $M_0[\text{Nm}]$ を求める。これには電力会社が原発で使う入倉式と推本が全国地震動予測地図作成に用いる松田式がある。

$$\text{大飯原発の場合、断層面積 } S=951 \text{km}^2 \text{ を入倉式} \\ M_0 = (1/4.24)^2 \times 10^{15} S^2 \quad (1)$$

に代入すると、 $M_0=5.03 \times 10^{19} \text{Nm}$ になる。

$$\text{他方、松田式では、断層長さ } L=63.4 \text{km を} \\ M = (\log_{10} L + 2.9) / 0.6 \quad (2)$$

に代入してM7.8を求め、これにM- M_0 換算式

$$\log_{10} M_0 = 1.17 M + 10.72 \quad (3)$$

を適用して $M_0=7.01 \times 10^{19} \text{Nm}$ を得る。これは入倉式の1.39倍になる。

レシピでは使われていないが、武村式を使うと
 $M_0 = 4.37 \times 10^{16} L^2$ (4)

より、 $M_0 = 1.75 \times 10^{20}$ Nm、入倉式の 3.49 倍にもなる。

このように、入倉式による地震規模の過小評価は明らかだが、地震モーメントが大きければ地震動が同程度に大きくなるかと言えば、そう単純ではない。

断層モデルでは、震源断層を 2km 四方程度の小断層に区切り、それぞれの小断層で、破壊伝播を模擬した時間遅れで「要素地震波」が発生すると仮定し、伝播経路特性やサイト増幅特性を考慮しながら、原発(観測点)に到達する要素地震波をすべて合算して地震動を算出する。要素地震波は、強く固着した「アスペリティ」と呼ばれる部分と固着力の弱い「背景領域」とで大きさが異なる。その大きさを調整するのが「応力降下量」である。この「応力降下量」は断層がずれ動く寸前の「応力」とずれ動いた後の「応力」の差で表され、固着力の強さ、したがって、「すべり量の大きさ」に関係する。他方、短周期レベル A は、コーナー周波数 f_c と M_0 とから $A = (2\pi f_c)^2 M_0$ で表され、短周期の地震動の大きさに関係し、経験的グリーン関数法では「すべり速度の速さ」に関係する。地震動の大きさを左右するのは、この応力降下量と短周期レベルである。したがって、地震モーメントが大きくなってもこれらの値が大きくならなければ地震動は大きくならない。では、応力降下量や短周期レベルはどのようにして求められるのか。

入倉式では応力降下量と短周期レベルが過小に

通常のレシピでは、断層平均の応力降下量を

$$\Delta\sigma = 7(\pi/S)^{1.5} M_0 / 16 \quad (5)$$

で求める。大飯原発の場合、入倉式では $\Delta\sigma = 4.18$ MPa、松田式では $\Delta\sigma = 5.83$ MPa、武村式では $\Delta\sigma = 14.6$ MPa になる。武村式では異常に大きくなってしまふ。

アスペリティ平均の応力降下量 $\Delta\sigma_a$ は、

$$\Delta\sigma_a = \Delta\sigma S/S_a \quad (6)$$

で算出するが、それにはアスペリティ面積 S_a を求める必要がある。

アスペリティ面積は、短周期レベル A [Nm²/s²]を

$$A = 2.46 \times 10^{10} (10^7 M_0)^{1/3} \quad (7)$$

で求め、これを

$$S_a = \pi r^2 \quad (8)$$

$$r = 7\pi M_0 \beta^2 / (4AR) \quad (9)$$

に代入して算出する。ただし、 $S = \pi R^2$ である。

たとえば、入倉式では $A = 1.96 \times 10^{19}$ Nm/s² と $S_a = 348.34$ km² ($S_a/S = 0.366$)、松田式では $A = 2.19 \times 10^{19}$ Nm/s² (入倉式の 1.12 倍) と $S_a = 542.63$ km² ($S_a/S = 0.571$)、武村式では $A = 2.97 \times 10^{19}$ Nm/s² (入倉式の 1.52 倍) と $S_a = 1842.49$ km² ($S_a/S = 1.94$) となる。ただし、括弧内の S_a/S は断層面積に占めるアスペリティ面積の割合を表すが、武村式では断層面積の 2 倍にもなり、物理的意味がない。入倉式でも断層面積の 36.6% にもなり、過大だと言える。これをそのまま式(6)に代入してアスペリティ平均応力降下量 $\Delta\sigma_a$ を求めると、入倉式では $\Delta\sigma_a = 11.4$ MPa、松田式では $\Delta\sigma_a = 10.2$ MPa、武村式では $\Delta\sigma_a = 7.5$ MPa といずれもかなり小さくなり、現実にそぐわない小さな地震動になってしまう。これはアスペリティ面積が大きく算定されすぎて地震エネルギーが薄められてしまうためである。理論式に合うから科学的だというわけではなく、現実に合うかどうかで判断する必要がある。

推本のレシピでは、このような場合には、式(8)～(9)でアスペリティ面積を求めるのではなく、入倉らが北米中心のデータを解析して得たアスペリティ面積比の平均値 0.22 を使って

$$S_a = 0.22S \quad (10)$$

とし、アスペリティ平均応力降下量も式(6)にこれを適用して

$$\Delta\sigma_a = \Delta\sigma / 0.22 \quad (11)$$

で算出するよう推奨している。これを大飯原発に適用すると $S_a = 209.22$ km² となり、アスペリティ平均応力降下量は、入倉式で $\Delta\sigma_a = 19.0$ MPa、松田式で $\Delta\sigma_a = 26.5$ MPa、武村式では $\Delta\sigma_a = 66.3$ MPa となる。最近発生した M7 クラスの地震で評価されているアスペリティ平均応力降下量は、鳥取県西部地震 M7.3(2000.10.6)ではアスペリティ 2 個で 28.0MPa と 14.0MPa、能登半島地震 M6.9(2007.3.25)では同 3 個で 20MPa、

20MPa、10MPa、新潟中越沖地震 M6.8(2007.7.16)では同3個で23.7MPa、23.7MPa、19.8MPa、岩手・宮城内陸地震 M7.2(2009.6.14)では同2個で17.0MPaと18.5MPaであった。つまり、M7クラスの地震では20～30MPa程度であれば妥当だと言える。その意味では、入倉式の19.0MPaと松田式の26.5MPaは現実的にも妥当な範囲内だと言えるが、武村式の66.3MPaは内陸地殻内地震としては過大であり、プレート間地震のアスペリティ平均応力降下量に相当する大きさになっている。その意味では、推本の現在のレシピは、武村式には整合しておらず、北米中心の地震データに基づく入倉レシピに依存した現在のレシピそのものを国内の地震データに則して根本的に作り変える必要があると言える。ただし、松田式を使った修正レシピは熟度も高く、推本で活用されている。

大飯で使えなくなった Fujii-Matsu'ura の応力降下量

関西電力は、入倉式による応力降下量 $\Delta\sigma=4.18\text{MPa}$ 、 $\Delta\sigma_a=19.0\text{MPa}$ をそのまま用いているわけではない。推本は、長大な断層の場合には Fujii-Matsu'ura の応力降下量 $\Delta\sigma=3.1\text{MPa}$ 、 $\Delta\sigma_a=14.1\text{MPa}$ を採用するよう推奨しているが、関西電力は63.4kmの「F0-A～F0-B～熊川断層」にこれを適用し、応力降下量を小さく設定しているのだ。私たちが「63.4kmでは『長大な断層』ではない」といくら批判しても、関西電力は聞く耳を持たなかった。というのも、推本は「活断層の長期評価手法(暫定版)」報告書の中で「長さが100kmを超えるような長大な断層」とし、「全国地震動予測地図2014年版」付録の中でも「長大断層(概ね長さが80kmを超える断層)」と明記していたが、レシピ自体には明記していなかったからである。しかし、今年6月10日に改訂されたレシピには長大な断層のレシピが明記され、Fujii-Matsu'ura の応力降下量は地震モーメントで $1.8 \times 10^{20}\text{Nm}$ を超える断層に適用することとされた。これは、断層面積では $1,800\text{km}^2$ 以上、断層幅15kmの「F0-A～F0-B～熊川断層」では120km以上ということになる。つまり、Fujii-Matsu'ura の応力降下量を63.4kmの「F0-A～

F0-B～熊川断層」に採用してはならないということだ。これだけで、大飯原発のアスペリティ平均応力降下量を14.1MPaから19.0MPaへ1.35倍に引き上げなければならず、基準地震動の見直しが避けられない。この6月10日改訂の新レシピがなければ、原子力規制庁は涼しい顔をして、Fujii-Matsu'ura の応力降下量を採用し、「地震動はほとんど変わらない」という結論も出せたはずだが、脱原発弁護団全国連絡会が6月23日付け要請書の中でこれを指摘したため、それもかなわず、独自のレシピで地震動を計算する羽目に陥ったのである。つまり、新レシピがなければ、今回の島崎氏の問題提起は空振りに終わるおそれがあった。少なくとも原子力規制庁はこのことを認識しており、大飯原発をはじめ、40～70kmの断層で Fujii-Matsu'ura の応力降下量を採用している原発では基準地震動の見直しが避けられない。

「素人集団」の原子力規制委員会は、島崎氏への対応に追われるあまり、その背後に存在する事柄の重大さに全く気づかず、今回の本会議でも全く議論されていない。その陰で、原子力規制庁は新レシピに対応してアスペリティ平均応力降下量を求める新たな方法を「見だし」、武村式による地震動評価に早速これを適用している。余りにも姑息ではないか。

規制庁が「見だし」応力降下量の過小算出法

短周期レベルからアスペリティ面積を求める式(9)は単一アスペリティに関する次の二つの理論式を組み合わせて導かれている。

$$M_0 = (16/7) r^2 R \Delta\sigma_a \quad (11)$$

$$A = 4\pi r \Delta\sigma_a \beta^2 \quad (12)$$

原子力規制庁は式(10)より $S_a = 0.22S = \pi r^2$ とし、これを式(12)に代入して $\Delta\sigma_a$ を算出する方法を「見だし」。つまり、次式から算出するのである。

$$\Delta\sigma_a = A / (4\pi^{1/2} S_a^{1/2} \beta^2) \quad (13)$$

これを用いると、アスペリティ平均応力降下量は、入倉式で $\Delta\sigma_a=14.7\text{MPa}$ 、松田式で $\Delta\sigma_a=16.4\text{MPa}$ 、武村式では $\Delta\sigma_a=22.3\text{MPa}$ となる。レシピ通りでは、武村式を用いた場合には $\Delta\sigma_a=66.3\text{MPa}$ と異常に大きか

ったが、原子力規制庁の「見いだした」方法によれば $\Delta\sigma_a=22.3\text{MPa}$ と、ほぼ現実的な値へ引き下げられている。ところが、よく見ると、入倉式の場合の $\Delta\sigma_a=14.7\text{MPa}$ は、「採用してはならない」とされた Fujii-Matsu'ura の応力降下量 14.1MPa にほぼ等しい。まさに、新レシピに対応した新たな方法であり、この方法であれば、応力降下量を大きくせずすみ、大飯原発の基準地震動も微修正ですむ。これはレシピの改ざんだ。島崎氏が入倉式以外に挙げていた武村式、山中・島崎式、松田式のうち原子力規制庁が武村式を採用して地震動解析を行った理由はここにあるのかもしれない。3番目の松田式であれば、 $\Delta\sigma_a=26.5\text{MPa}$ であり、やや過大ではあるが異常とまでは言えず、新たな方法を「見いだす」根拠にはならなかったであろう。ましてや、松田式を使った修正レシピによれば、このような新しい方法を「見いだす」必要性は全く生まれなかったはずである。

松田式による修正レシピでは、クリフエッジを超える

田中原子力規制委員長は「すぐには残念ながら(入倉式を)やめるといふほどの手だてを持っていない」と島崎氏に回答したが、島崎氏は推本による松田式を用いた修正レシピを対置し、これで計算するよう求めている。これは推本が活断層長期評価や全国地震動予測地図で現に活用しているレシピであり、原子カムラだけが無視している。規制委・規制庁は今回これを「熟度不足」だとけなしたが、無知も甚だしい。松田式は国内の地震学界では断層長さから地震規模の平均像(バラツキが大きく、推本もその考慮を今後の課題としている)を求める式として広く受け入れられており、入倉論文でも北米中心の地震データにもほぼ適合することが確認されている。しかし、大飯原発で例示したように、松田式による地震規模は入倉式より大きく、そのままレシピに適用すると、地震動評価結果が大きくなりすぎる。そこで、修正レシピでは、現実の震源断層とは別に仮想モデルとして断層幅や断層長さを長くし、断層面積を少し増やしてレシピを適用するという折衷的なモ

デル設定法を追加した。これが2008年4月11日に改訂されたレシピ(「修正レシピ」とよぶ)である。

修正レシピでは、地震規模を松田式で求め、短周期レベルを求める。大飯原発の場合には、先に示したとおり、 $M7.8$ および $M_0=7.01\times 10^{19}\text{Nm}$ (入倉式の1.54倍)と $A=2.19\times 10^{19}\text{Nm/s}^2$ (同1.12倍)が得られる。修正レシピでは、この段階で、地震モーメント M_0 に対応する断層面積を式(1)の入倉式で $S_{\text{model}}=1,123\text{km}^2$ と逆算し、この面積まで元の $S=951\text{km}^2$ から断層幅と断層長さを少し拡張する(幅は最大2kmまで、長さは最大5kmまで)。この S_{model} を用いて断層平均応力降下量 $\Delta\sigma=4.54\text{MPa}$ を求め、アスペリティ面積比を $S_0/S=0.22$ として、式(10)と式(11)より $S_a=0.22S_{\text{model}}=247.05\text{km}^2$ (修正前の1.18倍)と $\sigma_a=\Delta\sigma/0.22=20.6\text{MPa}$ (修正前の0.78倍)を求める。

松田式から得られる地震規模のままでは応力降下量は $\Delta\sigma=5.83\text{MPa}$ 、 $\Delta\sigma_a=26.5\text{MPa}$ と過大気味だったが、修正レシピを用いることで、 $\Delta\sigma=4.54\text{MPa}$ 、 $\Delta\sigma_a=20.6\text{MPa}$ と現実的な値に修正できている。これは、Fujii-Matsu'ura の応力降下量 $\Delta\sigma=3.1\text{MPa}$ 、 $\Delta\sigma_a=14.1\text{MPa}$ を用いた関西電力と比べて1.46倍であり、アスペリティ面積と短周期レベルがそれぞれ1.18倍と1.12倍になることを考慮すれば、修正レシピによる地震動は関西電力の1.5倍強になり、1,260ガルのクリフエッジを超えることは必至である。原子力規制委員会・規制庁はもはや悪あがきをやめ、新レシピに従って、Fujii-Matsu'ura の応力降下量を用いた全原発で基準地震動を見直し、また、島崎氏の指摘に従って入倉式の使用をとりやめ、推本の修正レシピを用いて地震動評価をやり直すべきである。(原発ごとの分析結果は若狭ネット第161号参照 <http://wakasa-net.sakura.ne.jp/www>)

(23字×286行)