

地震調査研究推進本部が2016年12月9日に断層モデルのレシピを再改定

レシピ改定の意義と大飯・高浜原発基準地震動への影響

大阪府立大学名誉教授 長沢 啓行

地震調査研究推進本部(以下「推本」)は2016年6月10日の改定に続き、半年後の12月9日に「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)」を再改定した。今回の改定は、2点からなり、いずれも原発の基準地震動評価に直接関係している。

地震が起きる前にはレシピ(イ)を使うべき

レシピ改定の一つ目の特徴は、レシピ(ア)とレシピ(イ)の相互関係をより明確にしたことである。

レシピ(ア)は「過去の地震記録などに基づき震源断層を推定する場合や詳細な調査結果に基づき震源断層を推定する場合」となっていたが、下線部が削られ、「過去の地震記録や調査結果などの諸知見を吟味・判断して震源断層モデルを設定する場合」と1本に統一して書き換えられ、「諸知見を吟味・判断」することが求められた。

レシピ(イ)は「地表の活断層の情報をもとに簡便化した方法で震源断層を推定する場合」となっていたが、下線部が削られ、「長期評価された地表の活断層長さ等から地震規模を設定し震源断層モデルを設定する場合」と書き換えられた。

電力会社は原発の地震動評価を行う際、推本は簡便化した方法を用いているが、「原発では詳細な調査を行っているからレシピ(ア)を用いてかまわない」と強弁してきた。今回、その表現がすべて削除され、レシピ(ア)を適用する際のハードルが上げられたと言える。とはいえ、文言の変化だけを見ても、本質的な変化はわからない。なんとなれば、今回の改定は、2016年4月14日の熊本地震による新たな知見を反映させ、また、島崎邦彦前原子力規制委員長代理による入倉式に関する問題提起を受けたものであり、これらの正確な評価がなければ、今回の改定を理解することはできない。島崎氏の問題提起を詳しく報道したマスコミにおいても、ほとんど取り上げられていないのは、そのためであろう。

島崎氏は断層幅の狭い国内の横ずれ断層に入

倉式を適用すると地震規模が過小評価されるからレシピ(ア)を用いるべきではなく、レシピ(イ)を用いるべきであることを理論的に説明し、批判した。これをまさに実証したのが熊本地震であった。

熊本地震は長期評価された活断層が実際に動いた最初の例であり、地震観測記録や測地データから推測された地下のすべり量分布から「不均質な震源断層」が求められ、地震断層や活断層に基づく「均質な震源断層」との比較を可能にした。「不均質な震源断層」は「均質な震源断層」よりかなり大きかった。レシピ(ア)は前者の「不均質な震源断層」から地震規模を求め、レシピ(イ)は後者の「均質な震源断層」から地震規模を求めるものだが、纈纈一起東大地震研教授が10月の日本地震学会で発表したように、いずれの地震規模もほぼ一致した。つまり、地震観測記録が得られていれば、「不均質な震源断層」がわかってレシピ(ア)を適用できるが、地震が起きる前には「不均質な震源断層」を推定する術がなく、レシピ(ア)は適用できない。それを押してレシピ(ア)を適用するためには、「均質な震源断層」から「不均質な震源断層」を推定しなければならぬが、そのためには、熊本地震のような例が少なくとも数例は必要となる。このような例が蓄積されていない現状では、「過去の地震記録や調査結果などの諸知見を」どのように「吟味・判断して」不均質な震源断層を推定したかについて明確に述べなければならない。それができなければ、レシピ(ア)は使えず、入倉式で地震規模を推定することはできなくなる。したがって、地震が起きていない原発ではレシピ(イ)を用い、震源断層の長さから松田式で地震規模を推定し、震源断層を少し広げて地震動評価を行うことになる。これが今回のレシピ改定の第1の実践的な意義であり、その意味では、島崎氏の問題提起が一定程度解決したと言える。

原子力規制委員会では、レシピ(ア)を用いた地震動評価を是としてきたが、今回のレシピ改定によ

って高いハードルが設定されたことから、レシピ(ア)を用いる根拠が示せない限り、レシピ(イ)で大飯・高浜原発などの地震動評価をやり直すべきである。

「長大な断層」の応力降下量は適用可能か

今回のレシピ改定の2つ目の特徴は、長大な断層に適用されるべき応力降下量の適用範囲を不用意に広げ、矛盾を抱え込んだことである。

これには前史がある。推本は2016年6月10日にレシピを改定し、M8程度以上の長大な断層のスケーリング則を組み込んだ。それは、長大な断層では断層面積に比例して地震モーメントが大きくなり、すべり量が一定に飽和するというものである。そして、長大な断層とM7～M8程度の「長大でない断層」をつなぐFujii-Matsu'uraの関係式から得られる応力降下量(一定値)は長大な断層に限って適用するとの注釈がつけられた。すなわち、「円形破壊面を仮定せずアスペリティ面積比を22%、静的応力降下量を3.1MPaとする取扱いは、暫定的に、断層幅と平均すべり量とが飽和する目安となる $M_0=1.8 \times 10^{20}$ (N・m)を上回る断層の地震を対象とする。」とされたのだった。

6月レシピ改定の重大な意義

この6月10日のレシピ改定は原発の地震動評価に直接的な影響を与える可能性があった。大飯・高浜原発では断層長さ63.5kmの「FO-A～FO-B～熊川断層」の応力降下量はレシピ(ア)で断層平均 $\Delta\sigma=4.2$ MPa、アスペリティ平均 $\Delta\sigma_s=19.0$ MPaとなるべきところ、関西電力はFujii-Matsu'uraの応力降下量 $\Delta\sigma=3.1$ MPaと $\Delta\sigma_s=14.1$ MPaを採用し、地震動を過小評価していたからである。6月レシピ改定によれば大飯・高浜原発の基準地震動を即座に直さざるを得ない。さらに、島崎氏の問題提起も6月レシピ改定を適用しなければ無意味になることが予想された。というのは、入倉式以外の武村式や松田式などの関係式で地震規模が大きくなったとしても、長大な断層と同様にFujii-Matsu'uraの応力降下量(地震規模にかかわらず一定値)が適用されてしまうと、地震動はほとんど大きくなりからである。その意味で、6月10日のレシピ改定は重要な意味を持っていたのである。

12月レシピ再改定で矛盾を抱え込む

ところが、今回の改定では「(i)断層幅と平均すべり量とが飽和する目安となる $M_0=1.8 \times 10^{20}$ (N・m)を上回る断層。」または「(ii) $M_0=1.8 \times 10^{20}$ (N・m)を上回らない場合でも、アスペリティ面積比が大きくなったり背景領域の応力降下量が負になるなど、非現実的なパラメータ設定になり、円形クラックの式を用いてアスペリティの大きさを決めることが困難な断層等。」のいずれかの場合に適用することとされた。

これは、レシピ(イ)を採用して震源断層面積を拡張してもなお、アスペリティ面積が過大になる(この結果、アスペリティの平均応力降下量が過小になる)場合には、アスペリティ面積比を22%にするが、同時に静的応力降下量を3.1MPa(アスペリティ平均応力降下量は14.1MPa)とすることを意味する。文字通りだと、これまでは、アスペリティ面積比を22%に設定しても断層平均応力降下量を地震モーメントと断層面積から円形破壊面を仮定した式で算出できたが、それができなくなる。

原子力規制庁は、円形破壊面を仮定した関係式を前提として、今回の大飯原発に関する地震動試算において、武村式による断層平均応力降下量を地震モーメントに比例させて大きくしたが、このような通常の扱いができないことになる。ちなみに、原子力規制庁はレシピを改ざんしたが、それは断層平均応力降下量とは独自にアスペリティ平均応力降下量を計算する際に行った改ざんであり、ここでの議論とは直接的な関係はない。

すべり量が増えるのに応力降下量は不変という矛盾

長大な断層に限らず、M7.5程度の中規模の断層でも地震規模が増大しても断層平均応力降下量が一定になるという奇妙なことが起きる。長大な断層の場合には、地震モーメント M_0 、震源断層面積 S 、断層平均すべり量 D の間に $M_0=\mu DS$ という関係が成立し(μ は剛性率で定数)、 $M_0 \propto S$ の比例関係からすべり量 D が一定になり、応力降下量も一定になるという理屈は理解できる。しかし、M7～M8の長大でない地震の場合には、地震モーメントが断層面積の

2乗に比例して大きくなる $M_0 \propto S^2$ の関係が成立つことから、すべり量 D は地震規模の平方根に比例して大きくなる。断層平均すべり量が大きく増えるのに断層平均応力降下量が一定に留まるというのは矛盾している。

断層幅が地震発生層の上下端に達しない「未飽和」断層の場合には、応力降下量が一定で断層平均すべり量が地震モーメントの1/3乗に比例してやや増えるという関係が成立つが、「飽和」断層になってすべり量がより大きく増えるにもかかわらず、応力降下量が一定というのは説明がつかない。「未飽和」断層と「長大」な断層では応力降下量が一定であるとしても、その間のM7～M8の「飽和」断層で応力降下量が一定になるとの理論的証明はない。この矛盾を推本の地震調査委員会はどのように認識し、解決するつもりなのであろうか。レシピ(A)とレシピ(I)の論争が一応決着した今、これが、レシピ(I)における今後の争点になると思われる。

レシピ(I)で地震動評価をやり直せ

大飯・高浜原発等の地震動評価をレシピ(I)でやり直せば、地震規模が大きくなり、それに対応して震源断層モデルが少し拡張される。その結果、断層面積とともに、アスペリティ面積も増大するため(アスペリティ面積/断層面積比が22%とした場合、面積の絶対値が増える)、これらの分だけ(主としてアスペリティ面積増大の効果大きい)、断層モデルによる地震動評価結果が大きくなり、基準地震動を大きくする方向で見直さざるを得なくなる。

問題は応力降下量である。

大飯・高浜原発における「FO-A～FO-B～熊川断層」の場合、レシピ(I)で、円形破壊面を仮定してアスペリティ面積を求めるとアスペリティ面積/断層面積比が40.9%と極めて過大になり、アスペリティ平均応力降下量が11.1MPaと過小になり、背景領域の地震モーメントも断層全体の17.7%と過小になるためアスペリティ面積/断層面積比を22%に設定する必要がある。この際、今回のレシピ改定に基づけば、応力降下量としてFuji-Matsu'uraの応力降下量 $\Delta\sigma = 3.1\text{MPa}$ と $\Delta\sigma = 14.1\text{MPa}$ を用いることになるが、これで

は、実際に国内で起きたM7クラスの地震の20～30MPaのアスペリティ平均応力降下量よりかなり小さくなり、地震動は過小評価されてしまう。

国内のM7クラスの地震データに学べ

M7クラスの国内地震データのアスペリティ平均応力降下量 $\Delta\sigma_s$ は下記の通り20～30MPaと大きい(値が複数あるのはアスペリティが複数あることを示す)。

2000年鳥取県西部地震M7.3: 28.0, 14.0MPa

(池田・釜江・三輪・入倉, 2002)

2007年能登半島地震M6.9: 20, 20, 10MPa

(釜江・池田・三輪, 2003)

2007年新潟中越沖地震M6.8: 23.7, 23.7, 19.8MPa

(入倉・香川・宮腰・倉橋, 2007)

2009年岩手・宮城内陸地震M7.2: 17.0, 18.5MPa

(入倉・倉橋, 2008)

したがって、「FO-A～FO-B～熊川断層」についても、円形破壊面を仮定した断層平均応力降下量4.5MPaを準用し、アスペリティ面積/断層面積比を22%としてアスペリティ平均応力降下量20.6MPaを算出し、これを用いて地震動評価を行うべきである。そうすれば、国内のM7クラスの地震データとも整合する。理論は現実と整合しなければ意味がない。

断層モデルと耐専スペクトルの不整合の解消を

こうして初めて、耐専スペクトルによる地震動評価との整合性も得られる。もちろん、高浜原発では耐専スペクトルが適用されているが、大飯では適用されていない。もし、大飯原発でも耐専スペクトルを適用すれば、これと整合するようになる。ただし、耐専スペクトルには、最近得られている震源近傍での大きな地震観測記録が反映されておらず、これを反映させる必要がある。また、耐専スペクトルは国内地震観測記録に基づくとはいえ、地震動の平均像を示すものであって、「倍半分」と常識的に言われるバラツキがある。今回の改定でも「特に現象のばらつきや不確定性の考慮が必要な場合には、その点に十分留意して計算手法と計算結果を吟味・判断した上で震源断層を設定することが望ましい」とわざわざ追記されたことを肝に銘じるべきであろう。地震動評価では、平均像から2倍の余裕を見るべきだと言える。