

基準地震動に関する一つの話

A topic on the seismic design criteria for a nuclear power plant in Japan

*島崎 邦彦¹

*Kunihiko Shimazaki¹

1. 東京大学

1. University of Tokyo

或る経過を辿ることから、日本の原子力発電と地球科学界との関係についての討議材料を提供したい。筆者は2014年9月に原子力規制委員を退任した後、震源の規模を表す地震モーメントと断層面の形状、すなわち長さや面積との関係（以下では、その例示として入倉・三宅（2001）式をあげ、（ア）式とよぶ）について調査を行った。国交省による日本海の「最大クラス」の津波（日本海における大規模地震に関する調査検討会、2014）が、武村（1998）式ではなく（ア）式を用いて決められたからである。原子力発電所の基準津波の設定には通常、武村式が用いられるので、なぜ（ア）式なのかという疑問を抱いた。最大の問題は、これらの経験式が地震後に得られたパラメーター間の関係を示しているにも関わらず、地震発生前の地震モーメント推定に使われていることである。また、西日本に多い垂直な断層では、断層面積から（ア）式によって地震モーメントを推定すると、他の式と比べて小さな値となる。地震発生前に得られるパラメーターを用いた場合には、過小評価となることがわかった（島崎, 科学, 86(7), 0653, 2016）。

2015年のJpGUでこれらの結果の一部を筆者が発表したところ、大飯原子力発電所3, 4号機運転差止請求の控訴審で原告側がその結果を引用し、（ア）式を用いたため基準地震動が過小評価されていると主張した。これに対し、被告側は断層の捉え方が全く異なるもので、主張は不適切であるとした。議論の対象となっている断層はFO-A～FO-B～熊川断層と呼ばれ、国交省の「最大」津波の断層モデルF53に対応する。断層F53の地震モーメントが過小となっているという筆者の2015JpGUの結論は、大飯原発の基準地震動の断層モデルにも適用される。2016年6月2日筆者はこの旨、陳述書を裁判所に送った。

この報道により原子力規制委員長らは筆者との面談を求め、その結果、6月20日の規制委員会で（ア）式からの地震モーメント推定をせずに、大飯原発の強震動再計算を行うこととなった。7月13日の規制委員会で再計算結果が示され、基準地震動の範囲に収まっているとし、この問題は打ち切られた。筆者が検討したところ、提示された資料には計算結果を担保すべき比較対象が含まれていないこと、不確かさの考慮がされていないことなどの不備があり、これらを考慮すると基準地震動を超える結果が予想され、これを公表した。二度目の面談後、規制委は20日、27日の委員会で検討し、再計算は無理なパラメーター設定で行われたとして事実上取り消し、もとのままで問題ないとした。

2016年10月の地震学会では熊本地震の断層パラメーターについて多くの講演が行われた。地震発生前に震源断層を推定することは困難であり、地震本部の強震動予測手法で「レシピ」の（ア）、すなわち地震前に推定された震源断層面積から（ア）式により地震モーメントを推定すると過小評価になるが、「レシピ」（イ）、すなわち断層長から松田（1975）式で地震モーメントを推定する方が実際に近い値となることを瀧瀬（2016, 地震学会S15-06）は示した。大飯原発では、基準地震動設定のために行われた詳細な調査結果に基づいたとして「レシピ」（ア）を用いている。

地震本部では6月10日に公表した強震動予測手法（「レシピ」）について検討が行われ、12月9日に次のような修正が公表された。

「レシピ」（イ）の説明が、

「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」から

「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」へ、

「レシピ」（ア）の説明が、

「過去の地震記録などに基づく震源断層を用い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」から

「過去の地震記録や調査結果などの諸知見を吟味・判断して震源モデルを設定する場合」へ。

『週刊東洋経済』（2017.1.21）によると、規制庁の岩田順一安全規制管理官付管理官補佐は「誤解を持たれないように補足が加わっただけで、中身はほとんど変わっていない」ととらえている。

キーワード：基準地震動、原子力発電、地球科学界

Keywords: seismic design criterion, nuclear power, earth science community

原子力発電所の地震安全性を矮小化している「基準地震動」：新たな「深層防護用地震動」の提案

Design Basis Ground Motion reduces seismic safety of NPP: Proposal of Earthquake Ground Motion for Defense in Depth

*石橋 克彦¹

*Katsuhiko Ishibashi¹

1. 神戸大学名誉教授

1. Emeritus Professor, Kobe University

●はじめに： 地震の脅威を仮に地震動に限っても、原子力規制委員会による新規制基準は、原発の地震安全性の確保に関して極めて不十分である。原発の地震対策は、福島原発事故後に抜本的に再構築されるべきだったにもかかわらず、基本的に昔ながらの狭義の耐震設計とそのための「基準地震動」に矮小化されているからである。したがって、ある原発が新規制基準を満たしても（審査に合格しても）、その原発の地震安全性は保証されない。しかも現在は、審査が甘く、新規制基準すら満たさずに再稼働しつつある。本発表では、新規制基準の枠内での基準地震動（以下Ss）の技術的問題点にも言及するが、より根元的に、基準地震動に替わるべき新たな想定地震動の概念を提案する。

●新規制基準でのSsの問題点： 規制委員会規則第5号および「同規則の解釈」および関連審査ガイドが規定するSsと、実際に新規制基準適合性審査で承認されたSsは、年超過確率でみたとき、原発の安全目標である 10^{-4} （炉心損傷頻度）～ 10^{-6} （重大事故による大量放射能放出）に比べて著しく過小評価である。「震源を特定せず策定する地震動」には旧原子力安全委員会以来の方法論的欠陥があるし、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」では、活断層の長さから地震モーメントを求める式の良否など以前の問題として、一般に活断層が地下の震源断層を一意的には示さないことが根本的に重要である。なお、松田（1975）の式が今でも使われているが、石橋（1998）以来指摘している問題があるし、松田（1998）で改訂もされている。また、演者が旧安全委の耐震指針改訂の際に提案した続発大余震の考慮が新規制基準に入っていないのも問題である。

●狭義の耐震設計用基準地震動から「深層防護用地震動」へ： 原発事故による放射線災害から人と環境を守るための基本的考え方は「深層防護」（安全対策の多段階設定）であり、新規制基準もそれが基本だとしている。そうであれば、原発の地震安全性を確保するための地震動は、これまでのように第1層の異常運転の予防、第2層の異常運転の制御、第3層の事故を想定範囲に収める制御（ここまでが重大事故SAの防止）における設備・機器の耐震設計のためのSsとして考慮するだけでは不十分である。第4層のSAの制御と影響緩和においても当然考慮されなければならない。すなわち、1万～100万年に1度の地震に対して特定重大事故等対処施設（免震重要棟、予備電源・注水設備、可搬型設備など）や発電所内の道路なども機能を損なわないことを、厳重に確認しなければならない。九州電力川内原発を例にとれば、水平最大加速度 540 Gal のSs-1も、同 620 Gal のSs-2も、短周期成分だけで振動継続時間が短く、米国で重視されている累積絶対速度CAV（Cumulative Absolute Velocity；佐藤，2015）も極めて小さい。南海トラフ巨大地震が内閣府（2012）の想定か、それ以上の規模で起これば、川内原発における短周期から長周期までの地震動の加速度、速度、変位、継続時間が第4層の設備・施設・作業を破綻させる可能性は高い。したがって、第1層から第4層までに適用される広帯域の「深層防護用地震動」（Earthquake Ground Motion for Defense in Depth, EGMDD）とでもいうべきものを新たに想定し、それに対して各層の健全性を確認する必要がある。さらに、深層防護の第5層（SAが制御できずに放射性物質が大量放出された場合の所外での緊急対応）が、（津波と地殻変動を別としても）EGMDDによって阻害されないことが、原発の総合的な地震対策の最後の砦として必要不可欠である。

●国民が納得できる「深層防護用地震動」の策定を： ある原発において人々の安全と安心が得られる地震動（SsであれEGMDDであれ）がどのようなものであるかは、地震学・地震工学によっては答が出せず、Weinberg（1972）が述べたようにトランス・サイエンスの問題である。その決定は規制委の守備範囲を超える。理学・工学専門家による検討過程、工学的対応可能性、経営的判断、住民の要求といったものをすべて

持ち寄り、全関係者の討論によって、あるレベルで合意できるか、合意できずに操業をやめるか、結論を導くべきであろう。そのような場として、例えばフランスで相当程度に機能しているCLI (Commission Locale d'Information ; 地域情報委員会 ; 例えば, 菅原・城山, 2010) のような仕組みをいっそう拡充・確立することが考えられる。このような取り組みをしなければ、福島原発事故を上回るような「原発震災」の再発を防げないだろう。

キーワード：原子力発電所、基準地震動、深層防護、トランス・サイエンス、深層防護用地震動、地域情報委員会

Keywords: nuclear power plant, design basis earthquake ground motion, defense in depth, trans-science, earthquake ground motion for defense in depth, local commission of information

西南日本外帯の回転運動と伊方原子力発電所に関する考察

Rigid rotation of outer Southwest Japan and its implication for the safety of Ikata Nuclear Power Plant

*野津 厚¹

*Atsushi Nozu¹

1. 港湾空港技術研究所

1. Port and Airport Research Institute

福島第一原子力発電所の事故を受けて、原子力発電所の審査体制が見直され、新規制基準への適合性に関する審査が行われるようになった。審査会合の資料は公開されており

(<http://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/yuushikisya/tekigousei.html>)、審査の学術的妥当性を、トレースしようとすればトレースできる状態にある。しかしながら、地球科学の多くの専門家は多忙であるため、よほど必要に迫られなければ、資料を開いてみようとは思わないであろう。著者自身も基本的にはそうであったが、縁があって伊方原子力発電所の基準地震動策定に関する資料に目を通すことになった。その結果、多くの専門家が首を傾げるのではないかと考えざるを得ないような部分もあることに気付いた。ここではそれについて報告する。報告する内容は、著者自身が専門とする強震動シミュレーションに関するのではなく、テクニクスに関することであるから、通常であれば著者から報告すべき内容ではない。しかし、現時点でこのような報告ができる専門家が他にいない可能性が高いので、あえて著者から報告するものである。本報告をきっかけとして、今後、専門家の間での議論が深まることを期待するものである。

伊方原子力発電所の基準地震動策定については平成27年3月20日の会合に事業者が提出した資料3-4-1 (<http://www.nsr.go.jp/data/000100928.pdf>) に詳しい。発電所の敷地前面海域には中央構造線断層帯が存在しているので、それによる地震動が基準地震動の策定において考慮されている。その際、傾斜角については90度を基本とし角度のばらつきも考慮しているが、発電所から離れるセンスである北傾斜については30度まで考慮しているにも関わらず、発電所に近づくセンスである南傾斜については80度までしか考慮していない (p.55)。つまり発電所にとって厳しくなる条件が考慮されていない。

国土地理院の地殻変動ベクトル (<http://www.gsi.go.jp/kyusyu/test.html>) が示しているように、九州地方は陸側プレートに対して反時計回りに回転している (Nishimura and Hashimoto, 2006) ことはよく知られているところであり、この運動と整合するように2016年熊本地震が発生したこともよく知られている。このとき、上記のサイトのアニメーションから明確にわかるように、伊方発電所付近はコントラクション (圧縮) が生じている領域である。同じ会合に提出した資料3-3 (<https://www.nsr.go.jp/data/000100933.pdf>) で事業者は「敷地周辺は横ずれ断層が卓越する地域と正断層が卓越する地域の遷移域に位置」と述べているが、横ずれに正断層成分が混じるのは豊後海峡より西側に限られ、発電所前面海域の中央構造線断層帯で横ずれ断層を主体とする地震が発生するときには、正断層成分よりも逆断層成分が加わる可能性が高い。

ところで、逆断層成分を含む地震が北傾斜の断層面で生じると仮定すると、断層の北側が隆起することになるので、断層の南側が高い (半島がある) という地形の特徴と矛盾する。よって、発電所前面海域の中央構造線断層帯が動くときには、少なくとも北傾斜よりは南傾斜の断層面で生じる可能性が高いと言えるだろう。従って、南傾斜より北傾斜に力点を置いている現状の基準地震動策定は妥当ではないと言えるだろう。南傾斜の断層面で地震が生じれば、北傾斜の断層面よりも発電所までの距離が短いため、より大きな地震動が作用する可能性がある。

一点注意すべきことは、四国西部の北西への移動は大部分はプレート間のカップリングによるものであり、いったん南海トラフ巨大地震が起こればキャンセルされるもので、そのすべてが内陸地殻内地震によって解放されるべきものではないという点である。しかしながら、地殻変動ベクトルに示される九州南東部の反時計回りの回転運動と整合する形で熊本地震が発生したという事実は重く、この回転運動とそれに伴う四国西部の北西への移動が、発電所前面海域にその動きと整合する地震、すなわち逆断層成分を含む横ずれ断層地震を

発生させる可能性はおおいにあると考えられる。フィリピン海プレートの沈み込みに伴うひずみの蓄積により、そのような地震の発生の可能性が刻一刻高まっている可能性さえある。

キーワード：原子力発電所、設計地震動、中央構造線、傾斜角、地殻変動、逆断層

Keywords: nuclear power plant, design ground motion, Median Tectonic Line, dip angle, crustal deformation, reverse fault

リスクの不確実性と社会の意思決定：原子力安全規制を例に

Uncertainty in Risk and Social Decision Making: A case study of nuclear safety regulation

*鈴木 達治郎¹

*Tatsujiro Suzuki¹

1. 長崎大学核兵器廃絶研究センター

1. Research Center for Nuclear Weapons Abolition, Nagasaki University

リスクをめぐる社会意思決定

どんな科学技術にも社会にリスクを及ぼす可能性がある。どこまでそのリスクを許容するかは、当然ながら社会の意思決定となる。しかし、現実にはすべてのリスク評価に不確実性が伴う。その不確実性をどう扱うかが、明確にされていないと社会意思決定プロセスとして、十分な信頼が得られない。

リスク評価は科学・工学の専門家が実施することになるが、現実には、リスク評価は不確実性が高く、幅で示されることが多い。また、リスク評価の方法論、もともになるデータ、最新の知見など、様々な要素がリスク評価に差異をもたらすため、専門家の間でも合意が得られない場合も出てくる。それでも、最終的には、政策決定にかかわる専門家の判断が重要な役割を果たすため、意思決定に参加する専門家とそのプロセスに対する信頼が極めて重要となる。特に、その不確実性をどのように扱うかについての合意がないと、意見が分かれたままでの意思決定になる可能性がある。

次に、許容リスクの決定であるが、多くの場合リスクがゼロにはならないので、どこかで許容範囲についての意思決定をする必要がある。この意思決定は、科学・工学の専門家だけでは決められない。現実には、科学技術を使うユーザー、あるいはリスクが現実には及ぶとされる当事者が意思決定に参加することが望ましい。実際には、直接そのような当事者が議論に参加することは困難な場合が多いため、規制当局の意思決定が、必ずしも社会に許容されない可能性が出てくる。

このプロセスが、十分な透明性を担保しているかが、リスクをめぐる社会意思決定にとって極めて重要であり、それがないとリスクをめぐる意思決定に信頼感が失われてしまうことになる。

要約すれば、①リスク評価には必ず不確実性が伴い、意思決定に関与する専門家、およびその判断に至るプロセスへの信頼感が重要②リスクはゼロにならないことが多いため、許容リスクの意思決定は専門家以外の参加で決定することが望ましい。そのプロセスに透明性が担保されていることが、リスクに関する意思決定の信頼性に極めて重要である。

原子力安全規制（基準値振動）における問題点

以上の観点から、原子力安全規制、特に基準値振動における問題点について検討してみる。最近問題になった、大飯原発基準値振動をめぐる議論を整理してみると下記のようなことになる。

大飯原発の基準値振動評価では、規制当局（原子力規制委員会）並びに電力会社はこれまで実績のある手法「入倉・三宅式」を採用して、合格の判断を下す。

これに対し、島崎元原子力規制委員長代理は、熊本地震に基づく新たなデータを考慮すると、「入倉・三宅式」では過小評価になる可能性があるとして指摘。見直しを要請。

しかし、規制委員会は、島崎教授の指摘は一部のデータだけを取り上げているので、見直しの根拠としては薄弱である。新たな計算手法は実績がないのでとりあげない。その結果大飯原発の許認可判断に問題はない。

ここには、リスク評価にかかわる不確実性をどう扱うか、について典型的な問題がいくつも示されている。

まず、島崎氏の指摘する「新たなデータ」に対する評価が規制当局と島崎氏で分かれている。地震動計算の専門家からも、「自然現象（地震）や人間側の認識が内包する不確かさもきちんと考慮して安全性を確保する必要がある。」（藤原広行・防災科学技術研究所・社会防災システム研究部門長）との指摘がされている。藤原部門長によると「（入倉・三宅方式では）平均値に対して大きなばらつき（不確かさ）が存在している。そ

の不確かさが原発の審査の際にきちんと考慮されているかどうかが重要だ」との見解を示している。これに対し、規制当局は「大飯原発の審査に際しては、断層の長さについて不確かさを考慮している。断層の角度を寝かせて断層幅を大きく取ることもしている」などと説明している。

問題は、この評価の差が、最終的には再稼働という大きな社会意思決定の判断につながるため、「規制当局は、再稼働の判断見直しを避けたいのではないか」という不信感を生むことになった。リスク評価（基準値振動）と最終的な許容リスク（再稼働）の関係の不透明さが、このような不信を生んだのではないだろうか。再稼働に至るまでに意思決定は、科学・工学以外の専門家や利害関係者の参加が不可欠である。

まとめ

以上の事例からいえることは、① 規制判断におけるリスク評価において、専門家で意見が分かれた場合、不確実性をどのように扱うか、そのプロセス設計が極めて重要である②リスク評価の結果が、大きな社会意思決定につながる場合は、その判断基準の明示やプロセスの透明性が、より重要となる。科学・工学の専門家だけでは、十分に信頼が得られる意思決定にならない可能性があることを、規制当局も認識すべきである。

キーワード：リスク評価、不確実性、社会意思決定、信頼

Keywords: risk assessment, uncertainty, social decision making, public trust