

企画セッション | 委員会セッション：標準委員会2（リスク専門部会（外的事象PRA分科会・地震PRA作業会））

■ 2016年3月27日(日) 13:00 ~ 14:30 | 血P会場 講義棟C棟 C200

[BC05] SSHAC手法に基づく原子力発電所サイトの確率論的地震ハザード評価について

座長：亀田 弘行（電中研）

[BC0501] (1)地震ハザード評価における認識論的不確実さの克服へ：本セッションの趣旨

＊亀田 弘行¹ (1.京大名誉)

[BC0502] (2)地震PRAにおけるハザード評価の意義、重要性について

＊蛭澤 勝三¹ (1.電中研)

[BC0503] (3)SSHAC手法を用いた確率論的地震ハザード評価の日本への適用について

＊酒井 俊朗¹ (1.電中研)

[BC0504] (4)内陸地殻内地震を対象とした確率論的地震動ハザード評価/課題とその解決に向けて

＊隈元 崇¹ (1.岡山大)

[BC0505] (5)SSHAC実施計画について

＊中島 正人¹ (1.電中研)

標準委員会 2 （リスク専門部会（外的事象 PRA 分科会・地震 PRA 作業会））
「SSHAC 手法に基づく原子力発電所サイトの確率論的地震ハザード評価」

(1) 地震ハザード評価における認識論的不確実さの克服へ：本セッションの趣旨

(1) Objective of this session – key challenges to evaluate epistemic uncertainties-

*亀田弘行¹

¹京都大学名誉教授

1. セッションの目的～不確実性評価に関する実践研究の推進

本セッションの目的は、電力中央研究所 原子力リスク研究センターの支援のもとに立ち上げつつある、「SSHAC レベル 3 方法論を用いた確率論的地震ハザード解析のためのプロジェクト」の枠組とその意義を討議し、原子力施設の地震安全のための技術的な認識を深めることである。プロジェクトの重要な使命は、事業者が原子力施設のリスク評価力を向上させる努力への、的確な技術的サポートとなる実践研究である。

ここで中心課題とするのは、地震ハザード評価モデルにおいて不可避的な不確実性の処理、特に、偶然的不確実性（Aleatory uncertainty）とは性格が異なる、認識論的不確実性（Epistemic uncertainty）を適切に評価することである。すなわち、いかに観測データが増えてもなお残る、震源特性や地震動特性に関する専門家の解釈の相違を合理的に集約することが主題である。

以下、本セッションでは、「不確実性評価に関する実践研究の推進」、「地震 PRA におけるハザード評価の意義、重要性について」、「SSHAC 手法を用いた確率論的地震ハザード評価の日本への適用について」、「内陸地殻内地震を対象とした確率論的地震動ハザード評価/課題とその解決に向けて」、「SSHAC 実施計画について」の諸点を論じ、最後に総合討議を行う。

2. 認識論的不確実さ評価のための SSHAC ガイドラインの意義

偶然的不確実さが確率分布モデルで表現されるのに対し、認識論的不確実さの表現のためには、専門家の意見の体系的な集約と、結果の定量的表現としてのロジックツリーの作成が行われる。特に、専門家の意見の集約が恣意的にならず、その時の学界の意見の内容と多様性を、科学的合理性をもって集約することが重要である。この目的を達成するために米国で開発され、国際的にも普及しつつある SSHAC ガイドライン（SSHAC: Senior Seismic Hazard Analysis Committee）のレベル 3（NUREG2117）を、日本で初めて本格的に適用する。これにより、リスク評価プロセスの質・説明性・透明性を確保することに、このプロジェクトの主たる意義がある。

3. SSHAC レベル 3 の適用に関する我が国の状況

米国において、ロジックツリー手法の展開や SSHAC 活動が行われた当初の動機は、地震データが少ない同国の中西部・東部において、専門家の意見が結果に大きく依存しなければならない状況に合理的に対処することにあった。これに対し、地震データが豊富なわが国では、認識論的不確実さの重要性はあまり意識されていなかったが、阪神・淡路大震災を契機にデータが飛躍的に増えても、その解釈をめぐる専門家の意見が多様である現実が重視されるようになった。この状況下で、2004 年頃から、SSHAC レポートを適用する先行的努力が JNES（当時）や電力事業者等で行われてきた。その多くは SSHAC レベル 2 であり、中にはレベル 3 を目指した試みもあったが、オープン・ワークショップを含む本格的なレベル 3 ではなかった。これより、本プロジェクトは、SSHAC レベル 3 の手順を忠実に実践しようとする、わが国で初めての試みと言える。

*Hiroyuki Kameda¹、¹Professor Emeritus, Kyoto Univ.

標準委員会 2 (リスク専門部会 (外的事象 PRA 分科会・地震 PRA 作業会))
「SSHAC 手法に基づく原子力発電所サイトの確率論的地震ハザード評価」

(2) 地震 PRA におけるハザード評価の意義、重要性について

(2) The importance and significance of seismic hazard evaluation in seismic PRA

*蛭沢 勝三¹

¹電力中央研究所

1. 地震ハザードの開発・整備の経緯

地震ハザードは、原子力分野における地震 PRA (Probabilistic Risk Assessment)の一環として開発されてきた。地震 PRA は、米国では 1980 年代に開発され、固形プラントの安全性評価に活用されてきている。一方、日本では 1985 年に日本原子力研究所で開発・着手され、2007 年日本原子力学会地震 PRA 実施基準として策定され、2015 年に改訂された[1]。旧原子力安全委員会では、2006 年 9 月の改定耐震設計審査指針において、基準地震動 S_s を超える地震動の可能性が否定できないとして、残余のリスクが明記されると共に、 S_s の不確かさの考慮として、地震ハザードによる超過頻度の参照が規定された。地震 PRA の活用が期待されたが、活用前に 2011 年 3 月東北地方太平洋沖地震の津波によって福島第 1 原子力発電所事故が発生した。

2. 地震 PRA と地震ハザードとの関係

地震 PRA は、図 1 に示すように地震ハザード、フラジリティ、事故シーケンスの各評価からなる。地震ハザードとフラジリティ及び事故シーケンスから求まる炉心損傷確率とを用いて、炉心損傷頻度(CDF: Core Damage Frequency)が求まる。地震ハザードの平均値は、不確かさ評価によって大きく影響され、CDF の平均値にも大きく影響を及ぼすので、地震ハザードの不確かさ評価は極めて重要となる。

3. 地震ハザードの定義及び不確かさの取り扱い

3-1. 定義 地震ハザードは、図 2 に示すように解放基盤での地震動の最大加速度(GAL)或いは加速度応答スペクトル(Gal)とその年超過頻度(1/年)との関係として定義され、地震ハザード曲線として表される。地震ハザード評価では、まず、対象サイト周辺で将来発生する複数の震源特性(位置、規模、発生頻度)を設定する。次いで、これらの震源からの地震動伝播特性(地震動の最大加速度、来襲頻度)を設定する。そして、複数の震源からの地震ハザード曲線を組み合わせ、対象サイトの地震ハザード曲線とする。

3-2. 不確かさの取り扱い 地震ハザードの不確かさは、震源特性及び地震動伝播特性に係る現象に起因する不確かさ(Aleatory uncertainty)と認識知識・データ不足に起因する不確かさ(Epistemic uncertainty)からなる。後者は、不確かさの項目毎に専門家の意見を取り入れ、意見を組み合わせたロジックツリーを用いて、定量評価される。地震ハザード評価における前者の要因は、図 2 に示す曲線の傾きとして表され、後者は信頼度(例えば、5%、50%、平均、95%)曲線として表される。

参考文献[1] 日本原子力学会：地震 PRA 実施基準、2015.1.

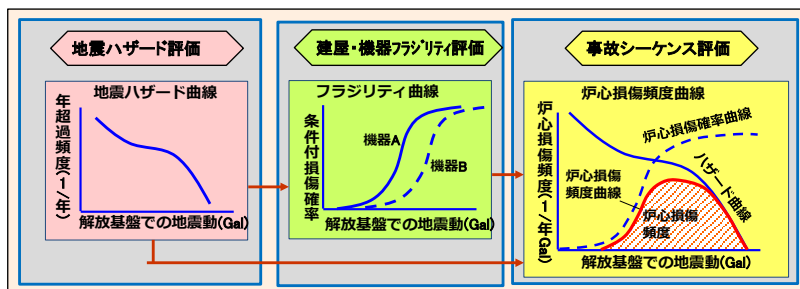


図1 地震 PRA 手順

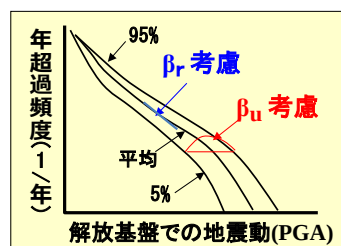


図2 地震ハザードの不確かさの概念

*Katsumi Ebisawa¹, ¹Central Research Institute of Electric Power Industry

標準委員会 2 （リスク専門部会（外的事象 PRA 分科会・地震 PRA 作業会））
「SSHAC 手法に基づく原子力発電所サイトの確率論的地震ハザード評価」

(3) SSHAC 手法を用いた確率論的地震ハザード評価の日本への適用について

(3) The application of SSHAC guideline to the probabilistic seismic hazard assessment in Japan

*酒井俊朗¹

¹電力中央研究所

1. 米国における SSHAC ガイドライン制定の経緯

米国内の事例として、異なる研究機関が独立に実施した確率論的地震動ハザードに関する検討結果では、両者の不確かさの幅に関する検討結果に大きな相違があることが認識された。そのため、米国原子力規制委（USNRC）や米国エネルギー省（DOE）他の研究機関が中心となり、その原因を検討する委員会が制定された。この委員会が SSHAC（Senior Seismic Hazard Analysis Committee）である。同委員会で検討した結果、上記の結果の相違は技術的な観点ではなく、両者の検討の手順の差によるものであることが明らかとなり、SSHAC 報告書が 1997 年に公表された。さらにその後の SSHAC の検討事例に基づき、より実際的な手順を定めたガイドラインとして 2012 年に改訂された（SSHAC ガイドライン：NUREG-2117）。

2. SSHAC ガイドラインにおける重要な概念

SSHAC ガイドラインでは、最終的な結果に与える影響が大きい認識論的な不確かさの評価に関して、関係する専門家が自己の見解、主張を展開するのではなく、関係するコミュニティの意見分布をいかに説明性高く再現するか（CBR OF TDI（Center, Body, Range of Technically Defensible Interpretation））を目的としている。同目的を達成するために、下記のとおり、検討の手順や検討に係る関係者の役割、責任、資質を明確にしている。

3. SSHAC ガイドラインの特徴

SSHAC ガイドラインの特徴として、以下が挙げられる。

- サイトの地震動特性や不確かさの大きさ、対象構造物の重要度から、そのレベルを 1～4 と分類し（4 が最も高度）、そのレベルに応じて検討の深まりを規定している。なお、米国及び米国以外の既往の検討例において、原子力サイトの場合は SSHAC レベル 3 以上が要求性能とされていることから、日本で実施する場合もレベル 3 以上の実施が望まれる。
- 初期段階でのデータベースの共有や主要検討事項の整理、次のステップでの一次モデルの検討、その後に最終モデルを構築することなどの検討手順を明確に定め、また、どの段階でワークショップを開催するか、等も明確に規定している（全体では 3 回のワークショップが開催される）。
- 合せて各討に係る関係者の役割、資質を明確に定め、その責任を明確にしている。

4. SSHAC ガイドラインの日本適用における課題

SSHAC ガイドラインの日本適用に際しては、日米における規制体系の違い（日本では決定論的評価が要求事項となっており、確率論的地震動ハザードの検討は事業者による自主的安全性向上の方策の一環として実施される）や日米の地震活動度、敷地と支配的震源が近いことによる断層モデルの活用等、背景状況として異なる点も多くあることから、SSHAC ガイドラインの考え方を十分尊重したうえで、我が国の現状に応じた具体的な進め方や結果の取り扱い方法などを検討する必要がある

*Toshiaki Sakai¹、¹Central Research Institute of Electric Power Industry

標準委員会 2 (リスク専門部会 (外的事象 PRA 分科会・地震 PRA 作業会))
「SSHAC 手法に基づく原子力発電所サイトの確率論的地震ハザード評価」

**(4) 内陸地殻内地震を対象とした確率論的地震動ハザード評価
課題とその解決に向けて**

(4) The outline of probabilistic seismic hazard assessment for intraplate earthquakes

Key challenges of the assessment and the direction of resolution.

*隈元 崇¹

¹岡山大学

1. 確率論的地震動ハザード評価のための活断層データの利用の課題

活断層による内陸地殻内地震の危険度評価として地震動ハザードを行う場合には、(a)地震の発生場所を示す活断層の位置の特定、(b)活断層から発生する地震の規模の推定、(c)地震の活動間隔と最後の地震からの経過時間を基にした地震発生確率の算出が必須となる。この中で、活断層の位置については、変動地形学の成果として出版・公開された活断層分布図や、さらに文部科学省・地震調査研究推進本部で整備が進められている「活断層基本図」などを利用することにより、規模に見合った地表地震断層を伴うおよそマグニチュード 7.4 以上の地震の発生位置の推定は可能と考えられる。また、地震発生確率の算出も、BPT モデルを用いた更新過程の考え方に基づく評価手法が地震本部により取りまとめられており、地震動予測地図とあわせて広く活用されている。これらに対して、地震の規模の推定については、断層の長さやマグニチュードの関係式や断層面積と地震モーメントの経験式などが提案されてはいる。しかし、実際に活断層への適用を試みる際には、例えば、孤立した地震発生層の厚さよりも地表で短い長さの活断層への適用可能性や、複数のセグメントからなる長大な活断層帯の連動性の取り扱いなど、これまで発生例が少ないために観測データのばらつき (epistemic uncertainty) が大きく、また、観測データに個々の地震・活断層の特性に起因する影響 (aleatory uncertainty) が含まれる場合には、それらの不確実性に関する取り扱いについて専門家の間でも意見の相違が生じる事例が少なくない。このような状況で、内陸地殻内地震の確率論的地震動ハザード評価を合理的なものとするためには、これらの不確実さを基準に則って定量的に取り扱う必要があり、ロジックツリーを用いて専門家の意見を集約・評価する手法への期待は大きい。

2. 糸魚川ー静岡構造線活断層系のロジックツリー評価事例紹介と今後の課題

本発表では、原子力基盤安全機構 (JNES) により行われた糸魚川ー静岡構造線活断層帯の地震規模の推定に関するロジックツリー評価 (隈元ほか, 2007, 活断層研究, 27, 95-111) を一例として紹介する。ここでは、長大断層帯のロジックツリーの分岐項目として、セグメントの形状、セグメントの連動の組合せである連動のシナリオ、地震規模推定式の選定、連動時の地震規模評価手法が検討された。その結果、この評価が既に進められているアメリカなどと比較して、専門家パネルの構成や討議の行い方、TFI の最終的判断付けの根拠などについて、日本の理学研究者の考え方の独自性に起因した手法活用のための know-how が必要と感じられた。今後の活用に向けて課題となった具体的事項として、例えば、分岐に対する重み付けは専門家からなるパネルでの議論をもとにコミュニティ全体の意見分布の推定値として依頼しても、専門家個人の意見から分離が十分でない回答事例や、細分化された研究分野に起因する偏った重み分布も確認された。これらの回避には、評価手法の基準の策定と遵守、さらに、評価事例の蓄積が重要である。

*Takashi Kumamoto¹, ¹Okayama Univ.

標準委員会 2（リスク専門部会（外的事象 PRA 分科会・地震 PRA 作業会））
「SSHAC 手法に基づく原子力発電所サイトの確率論的地震ハザード評価」

（5）SSHAC 実施計画について

（5）Project plan document for SSHAC study

*中島正人¹

¹電力中央研究所

1. SSHAC 実施計画書の策定について

SSHAC ガイドラインは、確率論的地震ハザード評価結果の質・説明性・透明性が確実に担保されるよう、専門家の意見集約の手順を規定した点に最大の特徴がある。このガイドラインで示された手法に基づき確率論的地震ハザード評価を実施する際には、その検討手順や検討内容を「実施計画書（英語では Project Plan）」として明確に定め、その実施内容について PPRP (Participatory Peer Review Panel) の承認を得て、実際の検討に進むことが要求事項となっている。以下、過去の米国での事例等に基づき、SSHAC の実施計画書で記載すべき要件と我が国で SSHAC プロジェクトを実施する場合の留意点について記述する。

2. SSHAC 実施計画書で記載すべき事項

過去に米国などで実施された SSHAC プロジェクト例によると、実施計画書は「1. 序論とスコープ 2. 役割と責任 3. 重要な作業 4. スケジュール 5. プロジェクト成果物 6. 技術的なリスクと軽減方法 7. 参考文献」から構成される計画書が多い。このうち、技術的観点およびプロジェクト運営から最も重要な情報が記載されるのが、3. 重要な作業（Key Tasks and Activities）である。この章では実施計画書の品質保証、PTI (Project Technical Integrator)を筆頭にプロジェクト参加者の選出基準、データベースの構築、キックオフ会議および 3 回のワークショップの準備および各回のワークショップでの目的および参加者の役割、議論を含めたコミュニケーション方法、文書化の方法に至るまで、具体的な情報が記載される必要がある。

3. SSHAC 実施計画書に関係して日本で留意すべき事項

我が国において具体的な検討対象地点を定め実施計画を作成する場合に留意すべき事項としては以下の点が挙げられる。

(1) 米国では SSHAC 手法に基づく原子力発電所サイトの地震ハザード評価は法律に基づく規制要求として行われているが、日本では確率論的地震ハザード評価自体が規制要求案件ではない。よって実施計画書の「序論とスコープ」においては背景・意義を含めて詳述説明する必要がある。

(2) 日本のサイトを対象とした場合、SSC（地震発生源特性化）モデル、GMC（地震動特性化）モデルは諸外国と比較して複雑なモデルかつ高度な評価技術で構成される。例えば GMC に関して断層モデルを用いた地震動評価を行うためには、SSC チームで評価された地震発生源の規模のみだけでは十分ではないため、GMC チームと SSC チームの間で相互のフィードバックが必要となる。SSC/GMC モデル構築に関する会議体（ワークショップ、ワークミーティング）では SSC および GMC チームが合同で議論可能な時間帯を十分確保する必要がある。

(3) 米国で開発された SSHAC 手法（特にレベル 3、レベル 4）では、プロジェクト参加者の役割と責任が実施計画書にも明示され、役割遂行が求められている。我が国でのプロジェクトにおいて米国流の役割分担を単純に導入して厳格に踏襲することが、プロジェクトの円滑な運営に繋がるかについては不明な点もある。SSHAC レベル 3 およびレベル 4 を規定している NUREG-2117 を順守すべき点と弾力的運用が容認される箇所については、日本で SSHAC プロジェクトを適用する初期段階では、SSHAC プロジェクトに携わった経験がある専門家にプロジェクトのレビューを依頼することが必要かつ有用であろう。

*Masato Nakajima¹, ¹Central Research Institute of Electric Power Industry