

# 性能確保のための 対地震ハザード設計への適用

## (1) 性能確保のための設計体系に対応 する地震ハザード評価の体系

糸井達哉  
(委員会幹事、東京大学)

### 本報告の内容

#### IV. 性能確保のための対地震ハザード設計への適用

- 5.1. 提案体系導入における技術者の役割とそれに伴う地震ハザード評価者の役割の変化
- 5.2. 確率論的地震ハザード評価に対する要件と実施手順
- 5.3. 設計用地震ハザードの設定
  - 5.3.1. 基本的な考え方
  - 5.3.2. 安全性検討用地震
  - 5.3.3. 供用性検討用地震

## 本発表の概要

- 「耐震設計」から「対地震ハザード設計」へ
  - ✓ 様々な大きさの「地震ハザード」が発生しうることを前提にした備え（設計）
  - ✓ 「地震動」だけでなく、「津波」、「断層変位」、「斜面崩壊」をその重畳も含め、その発生しやすさも含めた重要性に応じた備え（設計）
- 地震ハザード評価
  - ✓ 地震ハザードは本質的に不確かさであるとの認識
  - ✓ 「設計基準」の評価から「地震ハザード」の評価へ
- 設計用地震ハザード評価
  - 「安全性検討用地震」と「供用性検討用地震」の二種類のハザード評価（要求性能と対応した評価）
  - 「確率論的地震ハザード評価」の設計への活用

3

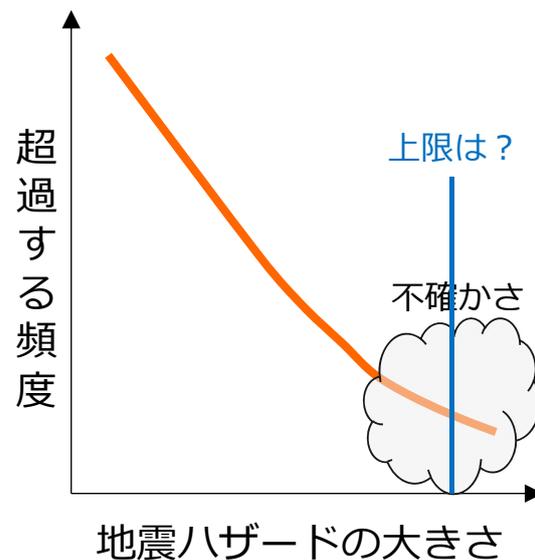
## 本委員会における「地震ハザード」とは

- 地震が原因で原子力発電所に作用・影響を及ぼすような様々な事象外乱
  - 地震動
  - その他の地震随伴事象（地震動とほぼ同時あるいはその後が発生する余震、津波、斜面崩壊、断層変位等の事故の誘因となる事象）

4

# 地震ハザードの特徴

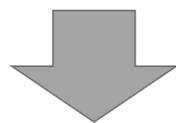
- **不確かさ**、広域性、共通原因、随伴性
- 地震ハザードの評価は、上限を設定するのが難しい
  - ✓ 設計用地震ハザード（基準地震動など）をひとつに設定することは、本質的に困難
  - ✓ 一方で、ハードウェアの設計では、何らかの設計基準が必要
- 確率値を用いて、**設計用**地震ハザードを決められるのか？
  - ✓ 特に低頻度の事象の評価における「不確かさ」の問題
  - ✓  $0.5 \times 10^{-4}$ /年か、 $1 \times 10^{-4}$ /年か  $2 \times 10^{-4}$ /年のいずれを参照することが妥当かという細かい数字の性質の議論は不毛



5

## 「対地震ハザード設計」の必要性

- 地震動以外の事象（重畳も含む）の考慮
- 地震ハザードの不確かさ



- 「対地震ハザード設計」の提案
  - 設備集合、組織、マネジメント及び人的要因に対し、バランスや多様性も含めた備えをするための、ひとつの中心的となる枠組み

6

## 5.1. 提案体系導入における技術者の役割とそれに伴う地震ハザード評価者の役割の変化

- 設計者を含む技術者が果たすべき役割
  - 従来：起こりうる最大級の地震について、主に地震学的観点から決定論的に設定された地震ハザードに対して、個別の設備単体における要求性能を満足することを確認すること
  - 本委員会での提案：安全性等の性能要求の観点から定められるシステムに対する目標や設備に対する要求性能に基づいて、どの規模の地震ハザードまで個々の設備単体の性能として保証し、システムとして安全性を確保するかを、これまでの設計やリスク評価の経験として蓄積された知見に基づき標準化する

7

## 5.1. 提案体系導入における技術者の役割とそれに伴う地震ハザード評価者の役割の変化

- ハザード評価者が果たすべき役割
  - 従来：起こりうる最大級の地震を提示すること
  - 本委員会での提案：どの程度の地震ハザードがどの程度の頻度で起こりうるかを、その評価結果や用いた地震学的知見の確からしさも含めて提示すること。さらに、地震動に加えて、津波や断層変位等のハザードについてもそれらの同時発生の可能性も含めて評価するなど、様々な観点からの情報を提供すること。

8

## 5.2. 確率論的地震ハザード評価に対する要件と実施手順

地震ハザードの評価では、以下の7つの要件について、利用目的に応じた水準で満たす

- 事象の網羅性と重要な事象の特定
- サイト固有の評価
- 国内外の経験や最新知見の反映
- 調査・予測に伴う不確かさと適用範囲の明示
- 調査・予測における多面的な評価
- ピアレビューによる要改善点の把握と対処
- 文書化などのトレーサビリティ

9

## 5.2. 確率論的地震ハザード評価に対する要件と実施手順

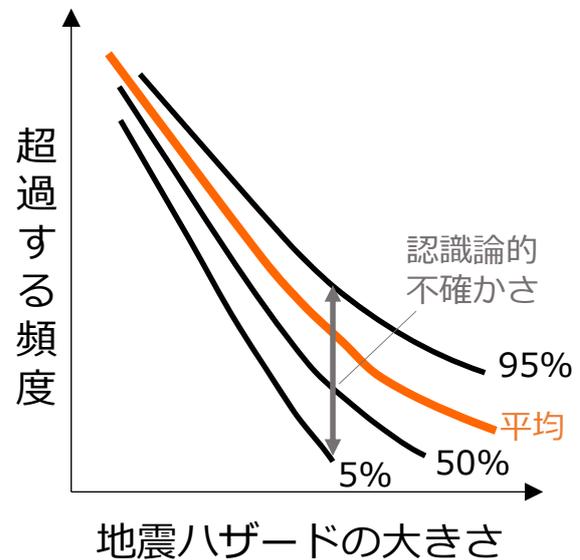
- 地震ハザード評価においては、不確かさの扱いが大きな課題
- SSHAC手法（米国地震ハザード評価専門委員会の手順）の活用により代表される取り組みが、（前ページの）7つの要件を満たすために必須
- また、保守的な設計判断等を含めた意思決定の妥当性を担保するうえで重要

10

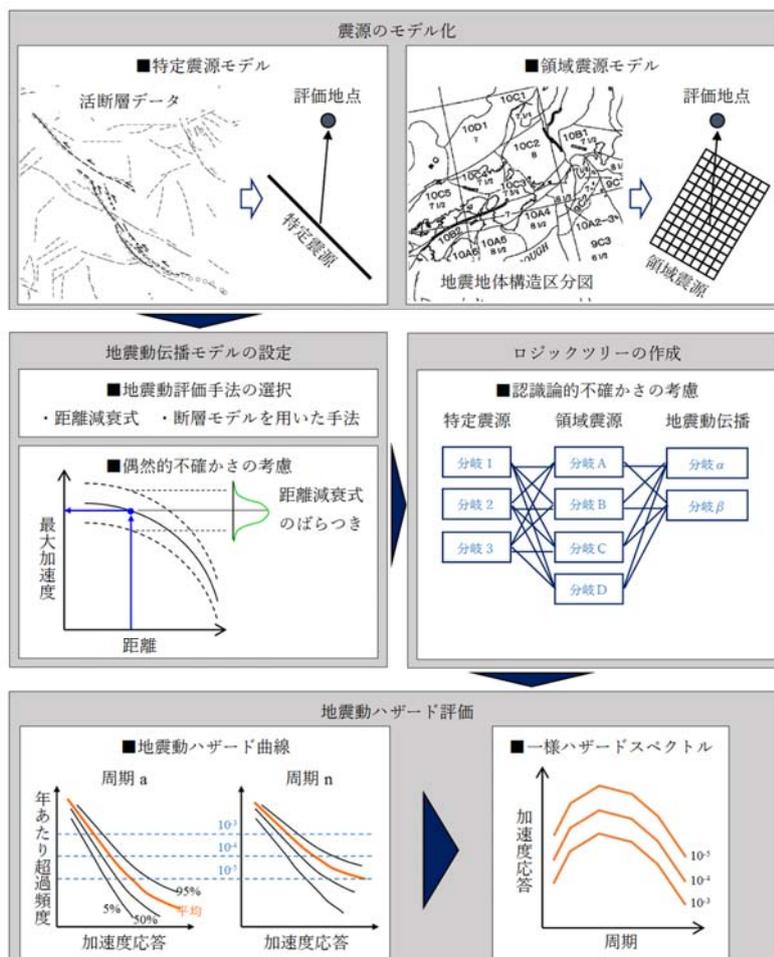
## 5.2. 確率論的地震ハザード評価に対する要件と実施手順

平均的特性／不確かさについて、評価プロセス（参加専門家の資質、データベースの構築、ピアレビュー等）に留意して評価

- 平均的特性
- 偶然的不確かさ
  - ✓ 物理的なランダムネス
- 認識論的不確かさ
  - ✓ 知識起因



11



(参考)  
確率論的地震  
動ハザード評  
価の実施手順

12

## (参考)SSHAC手法とは

- 米国内の事例として、異なる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において、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ったことが発端で開発された手法
- 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（SSHAC: Senior Seismic Hazard Analysis Committee）として、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と結論（1997年報告書）
- 実際的な手順を定めたガイドラインとして 2012 年、2018年に改訂（NUREG-2117、NUREG-2213）

13

## 設計用地震ハザードの設定

### •基本的な考え方

- ✓ハードウェアの設計のプロセスを考えると、設計用地震ハザードを何らかの形で設定することが必要
- ✓「敷地における最大の地震動」のような確定的予測は困難
  - 地震ハザードが連続的なものであることを踏まえると、このような代表を選ぶ行為自体が困難であるため
- ✓一方、何らかの合理的な考え方に基づき、参照する年超過頻度の厳密な値を設定し、それに応じた地震ハザードを決定するという事は原理的に不可能（前述）
  - 確率論的地震ハザード評価の限界（不確かさ）の理解
- ✓設計において、設計用地震ハザードを超えたとしても急激に性能が低下しないような備えにより、予測に不確かさがある連続的な地震ハザードに対する性能確保が可能に

14

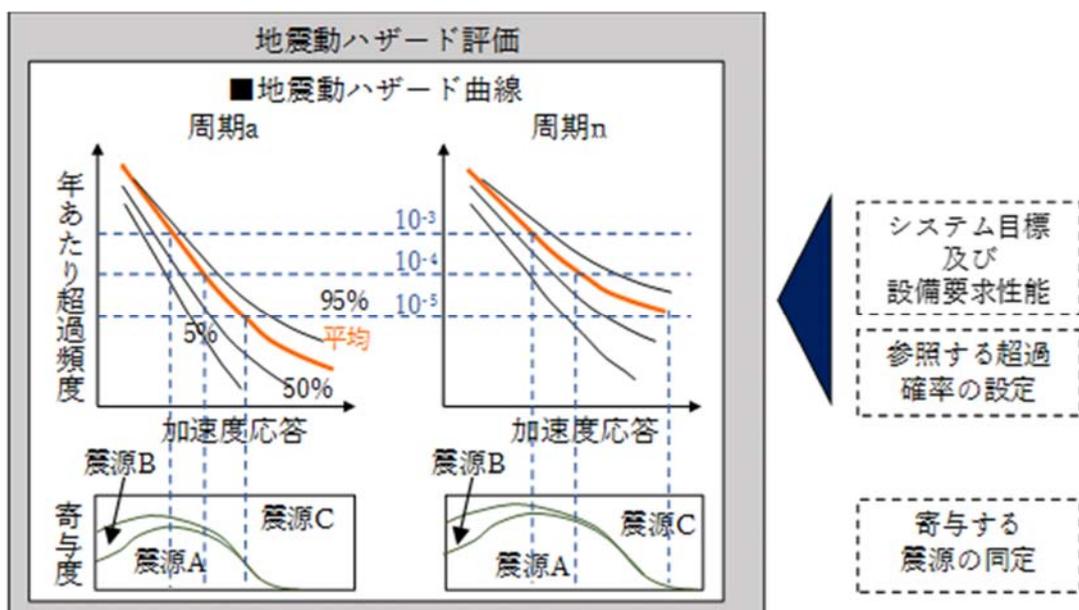
## 5.3. 設計用地震ハザードの設定

- 要求性能と要求性能水準に応じた設計用地震ハザード
  - 「安全性検討用地震」
  - 「供用性検討用地震」
- 「対地震ハザード設計」の体系を確立することで、「どの年超過確率を参照すべきか？」という厳密な細かい数字の議論が重要でなくなり、その結果として、設計で参照する年超過頻度の数字等の議論が可能となる
  - 工学的努力が重要

15

## 設計用地震ハザードの設定

- 地震ハザード評価から得られる様々な情報をフルに活用
  - 例えば、地震ハザード曲線を分解し、寄与の大きい震源を同定
    - ✓このような情報も加味して、設計として考慮する震源（「安全性検討用地震」、「供用性検討用地震」）を決定  
(震源を特定せず策定する地震動に対する震源の想定も含む)



16

## 5.3.2. 安全性検討用地震

- 確率的に設計用地震ハザードを設定する際の追加的な検討の観点
  - 位置や規模を予め特定している震源
    - ハザード評価から得られる震源の寄与度などの情報も活用して、重要な震源の見落としがないことを確認すること
    - 重要な震源については、適切な余裕を付与した取扱いとなっていること
  - 位置や規模を予め特定しにくい震源
    - その不確かさを踏まえ、設備単体あるいは設備集合として適切な水準で安全性が確保されていること

17

### (参考)安全性検討用地震の評価の際に参照とするハザードの年超過確率

- IAEA\*の安全ガイドでは、設計基準地震動が参照する確率値の現状として以下が示されている
  - 平均ハザード曲線に対して $10^{-3}$ /年～ $10^{-4}$ /年程度
  - 中央値ハザード曲線に対して $10^{-4}$ /年～ $10^{-5}$ /年程度
- 本報告書では、「対地震ハザード設計」枠組みの中で、その数字の意味を議論することで、その位置付けをより明確にすることを提案

\* IAEA: Seismic Design and Qualification for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.6, 2003. 18

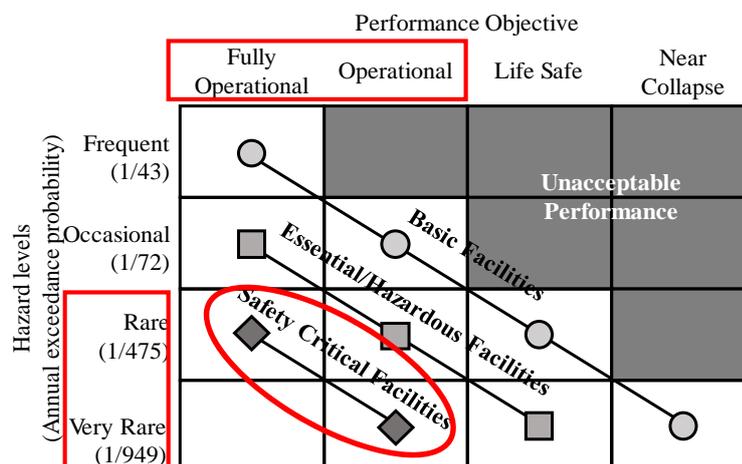
### 5.3.3. 供用性検討用地震

- 2つのレベルの地震を設定
  - 供用性検討用地震（供用性検討用地震①、②）
- 運転継続や早期運転再開に重要となる構築物・設備・機器に対して適用
  - 安全性の確保（安全規制）に加えて、重要な性能

19

供用性検討用地震としてどの程度の地震を想定するか？

- 運転継続や早期運転再開をどの程度の地震に対して実現するべきかという観点等から判断
- どのような設備を対象として設計を行うのかも要検討



地震動に対する類似提案の例 (Vision 2000)

20

## まとめ

- 「耐震設計」から「対地震ハザード設計」へ
  - ✓ 様々な大きさの「地震ハザード」が発生しうることを前提にした備え（設計）
  - ✓ 「地震動」だけでなく、「津波」、「断層変位」、「斜面崩壊」など、様々な事象に対する、その発生しやすさに応じた備え（設計）
- 地震ハザード評価
  - ✓ サイト固有の評価
  - ✓ 「設計基準」の評価から「地震ハザード」の評価へ
- 設計用地震ハザード評価
  - 「安全性検討用地震」と「供用性検討用地震」の二種類のハザード評価（要求性能と対応した評価）
  - 「確率論的地震ハザード評価」の設計への活用