

不確実さとその取扱い

Uncertainties and its Treatment

原子力リスク研究センター 自然外部事象研究チーム

松山 昌史

2024年11月12日

一般財団法人 電力中央研究所

構成

1. はじめに
2. 不確実さの取り扱いについて
3. 不確実さ評価例
4. おわりに

はじめに

一般に言われている懸念事項

- A) リスク情報といっても、自然現象の場合は、不確実さについて必ずしも定量化できないことが多い。
- B) 外部ハザード評価のリスク結果を意思決定に使えるかということに関しては不確実さが大きく、それだけでは困難である。

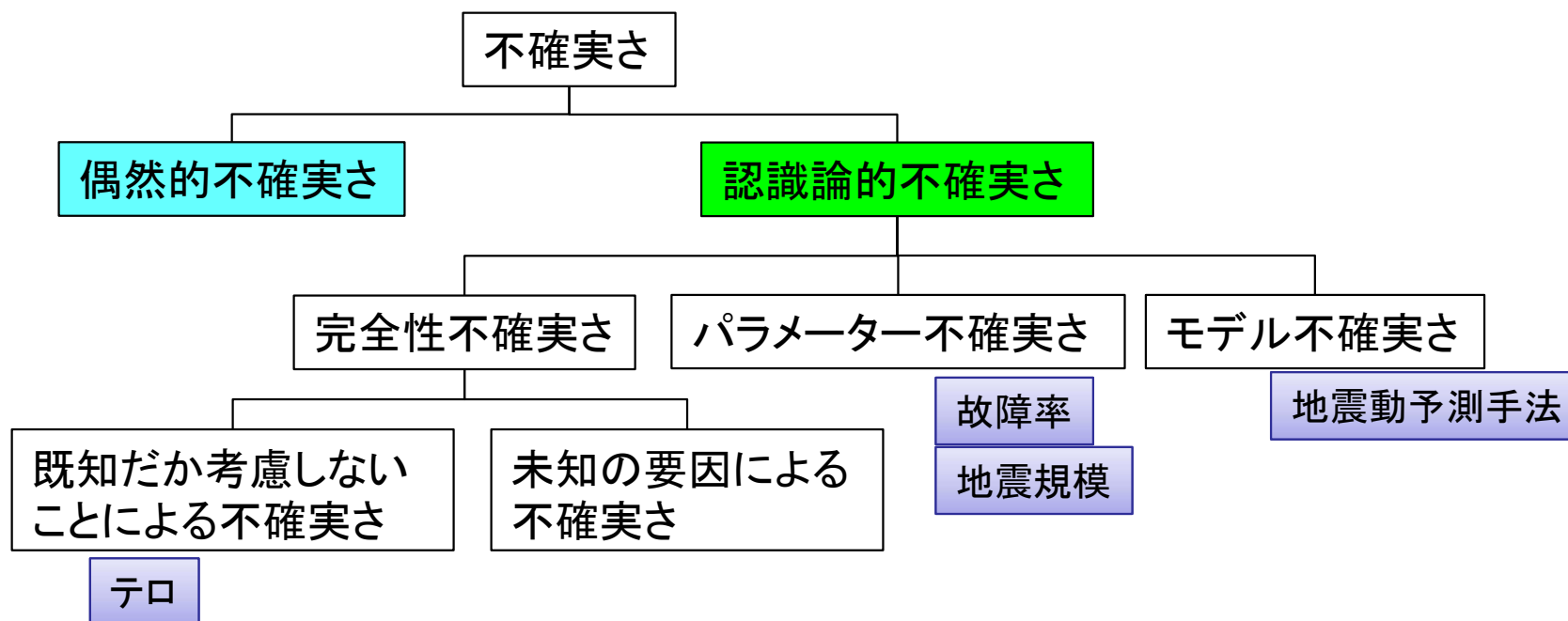
本発表の趣旨

- 不確実さをまずは定量的に評価する方法は確率論的な手法である。
 - 不確実さ定量化手法といったほうがよいかも。
 - 現状のデータ・知見を最大限有効活用して定量化

不確実さの取り扱い

- ガイダンス: NUREG-1855、AESJ-SC-TR011
各評価段階における不確実さを理解して、定量化する。

不確実さの分類



- USNRC、NUREG-1855(2017): Guidance on the Treatment of Uncertainties Associated with PRAs in Risk-Informed Decision Making
- 日本原子力学会、AESJ-SC-TR011(2015): リスク評価の理解のために

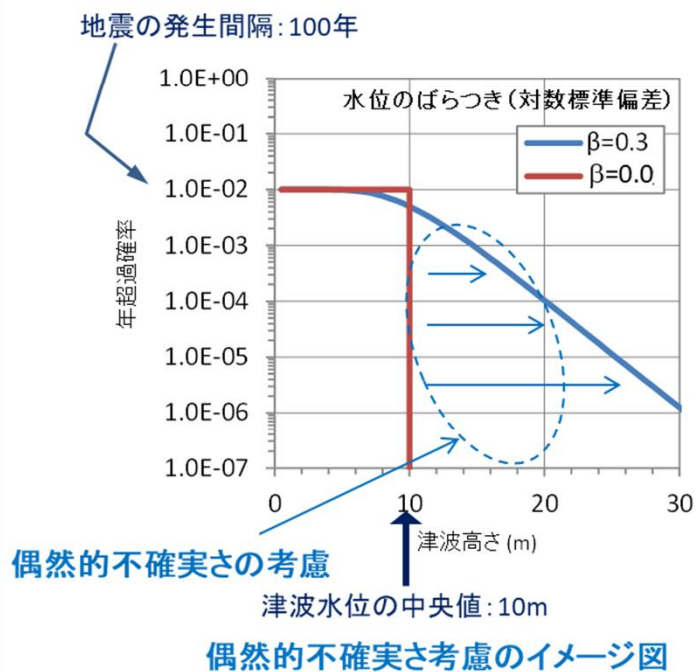
不確実さの取り扱い方例：津波

ある波源(地震)による津波推定値10m
この津波推定値に対して不確実さ考慮

地震の平均発生間隔(重み(例))
50年(0.25)、100年(0.5)、200年(0.25)
学説等の違いを考慮

① 偶然的な不確実さ(aleatory variability)

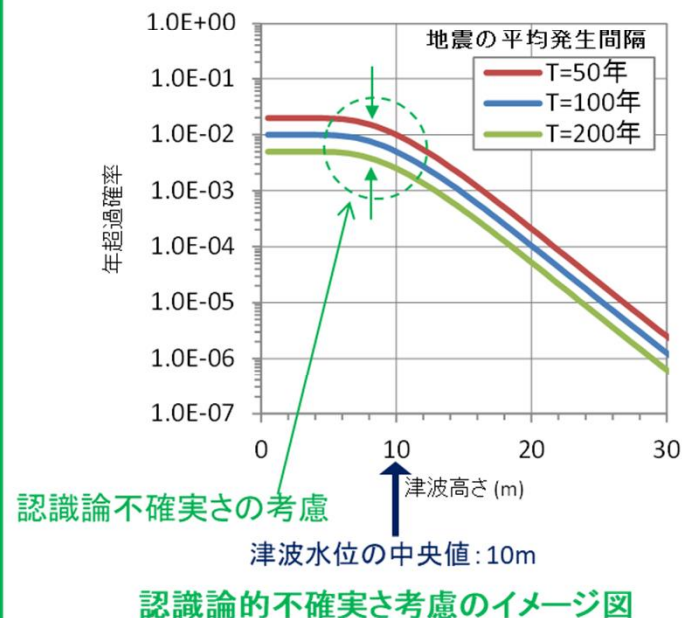
- 物理現象固有のランダム性に起因する不確実性
- 予測不可能
- 1本の津波ハザード曲線の中で考慮



確率分布として処理

② 認識論的な不確実さ(epistemic uncertainty)

- 知識や認識不足に起因する不確実性
- 研究が進捗すれば確定させることができるが現状では予測不可能なもの
- ロジックツリーの分岐として考慮し、複数の津波ハザード曲線で表現



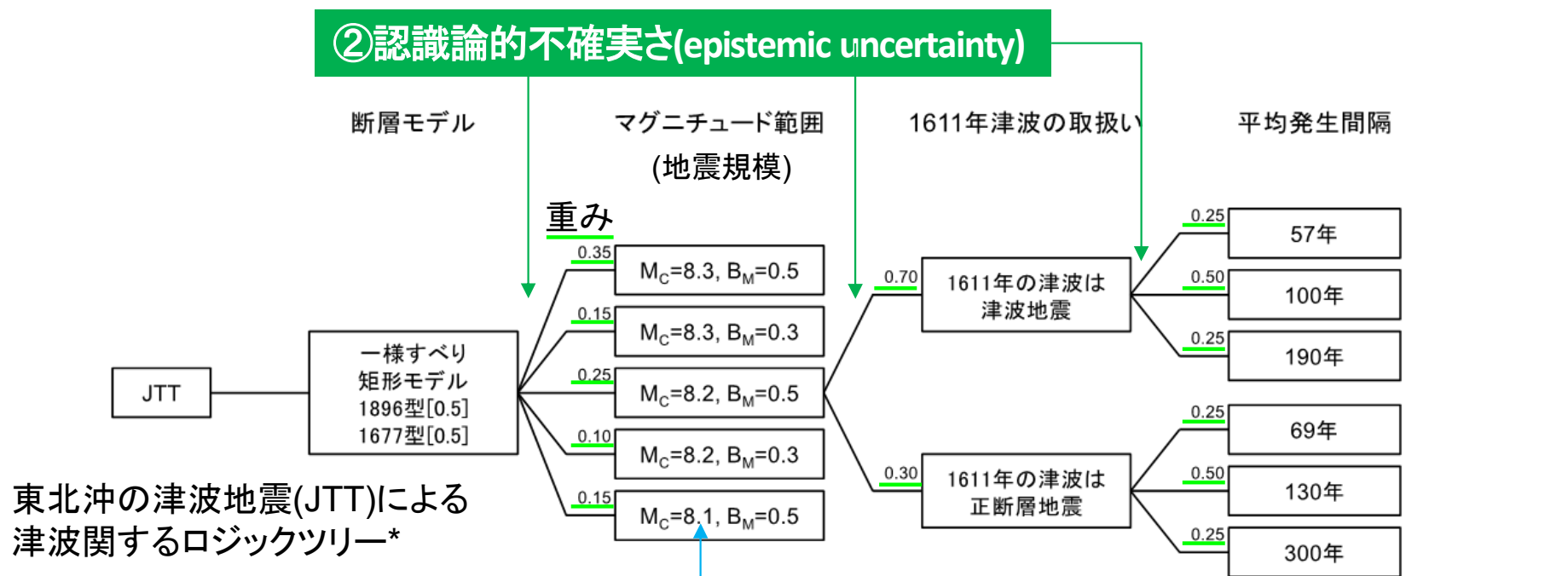
ロジックツリーの分岐の重みとして処理

認識論的不確実さ

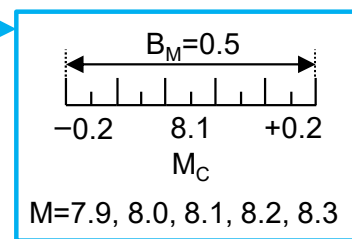
- 3つの不確実さ:NUREG-1855
 - 完全性の不確実さ
 - 隕石衝突による津波→既往例はあるが頻度が小さいとして考慮しない。
 - パラメータの不確実さ
 - 地震の平均発生期間
 - 地震の最大規模(マグニチュード)
 - モデルの不確実さ
 - ある地震に提案された複数の断層モデル
 - 地震PRA:複数の地震動予測手法

認識論的／偶然的な不確実さの扱い

- 認識論的不確実さを下記に例を示すロジックツリーで整理



① 偶然的な不確実さ(aleatory variability)



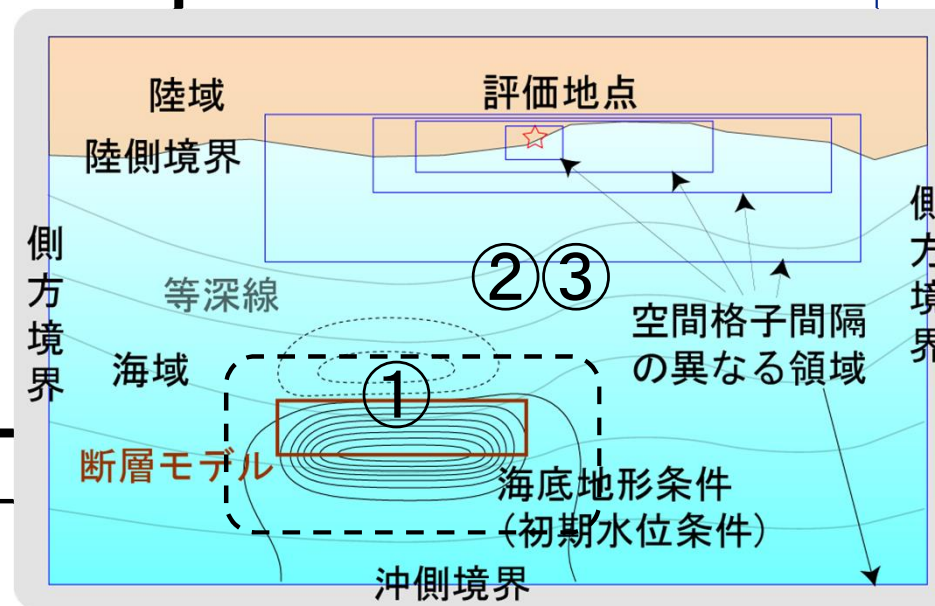
不確実さを定量的に評価し、多くの津波シナリオを作成
巨大地震についてもシナリオ化は可能

*原子力発電所の津波評価技術2016(土木学会)

津波ハザード評価で考慮される不確実さ

- 津波の波源から伝播解析の過程の不確実さを定量化

| ①地震波源の不確実さ | ②数値解析上の不確実さ | ③データの不確実さ |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ・平面位置 ・走向 ・断層上縁深さ ・傾斜方向角 ・すべり角 ・セグメントの組み合わせ ・最大地震規模 ・スケージング則 ・すべり量不均質性など | <ul style="list-style-type: none"> ・基礎方程式 ・計算スキーム ・初期条件 ・境界条件 ・計算格子分割 ・諸係数 ・再現時間 | <ul style="list-style-type: none"> ・海底地形, 海岸地形データの誤差など |



支配的であり丁寧にモデル化 (不確実さを分類)

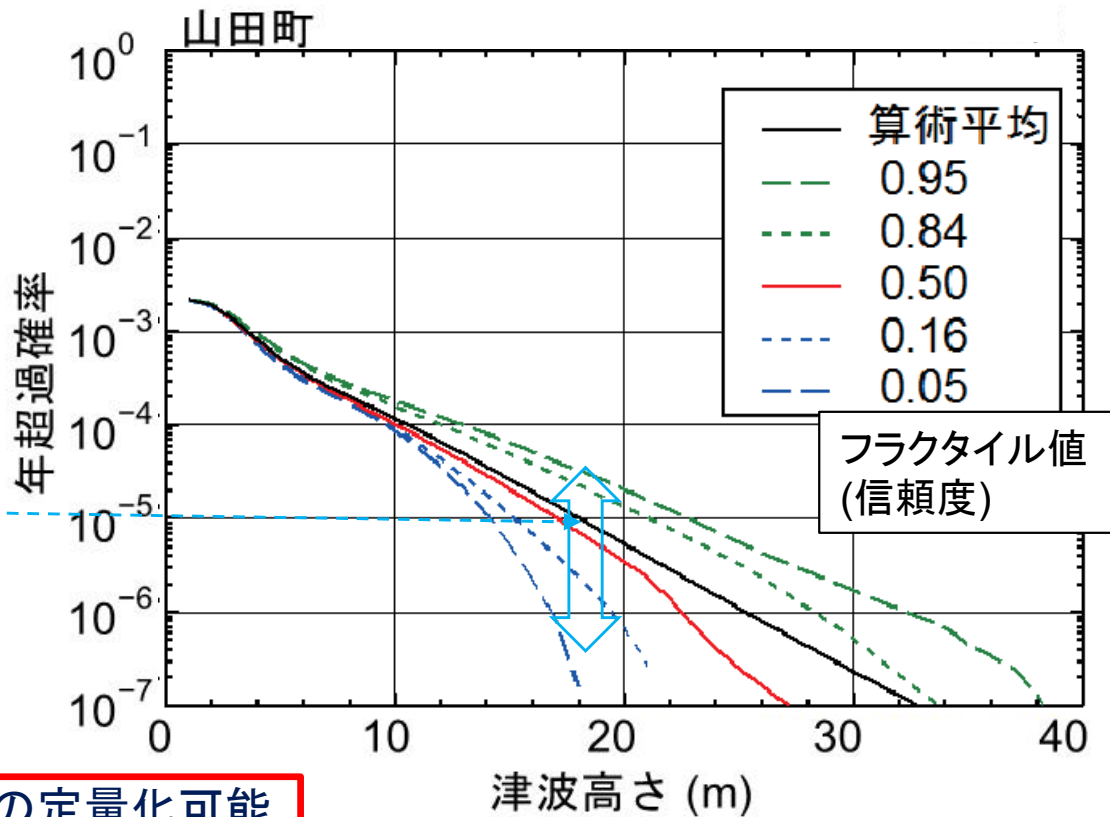
最適な波源モデルに対する津波高の不確実さを考慮して定量評価

既往津波の再現モデルの実測記録とのばらつき考慮

偶然的
 ・ばらつき $\kappa \cdot \ln(\kappa)$
 認識論的
 ・ κ の大きさ

確率論的津波ハザード評価例

- 海岸で20m以上の巨大津波の年超過頻度(確率)を定量評価
- PRAでは、防潮堤高を超える津波シナリオについて連続的に想定してリスク評価可能
- フラクタル曲線の広がり
が認識論的不確実さの幅を示す。→RIDMへの活用
- 地震の履歴データは著しいデータ拡充はない。



➤ 現状知見・データの不確実さの定量化可能

➤ 新たな知見を反映し更新することは可能

フラクタル津波ハザード曲線と算術平均ハザード曲線の評価例*

SSHAC手法による認識論的不確実さの定量化

*原子力発電所の津波評価技術2016(土木学会)

PRAへの適用

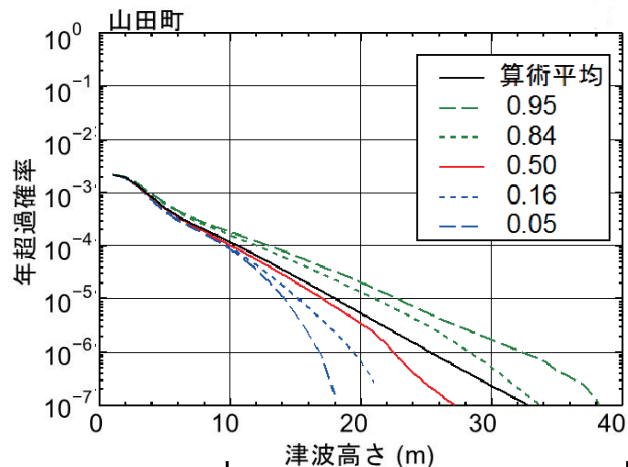
ハザード評価



フラジリティ評価

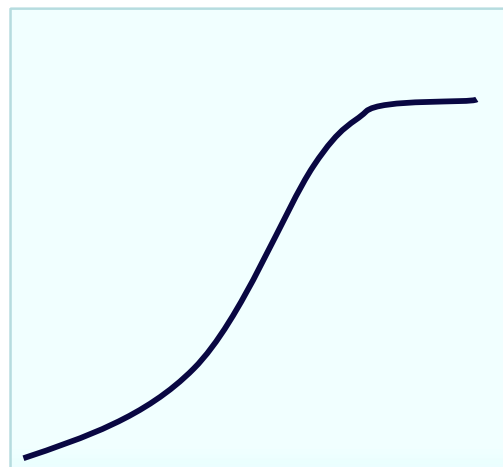


システム解析



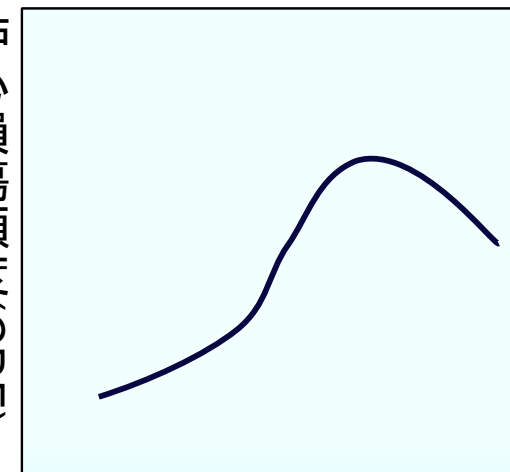
| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| シ | シ | シ | シ | シ | シ | シ | シ |
| ナ | ナ | ナ | ナ | ナ | ナ | ナ | ナ |
| リ | リ | リ | リ | リ | リ | リ | リ |
| オ | オ | オ | オ | オ | オ | オ | オ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |

損傷頻度



津波高

炉心損傷頻度(CDF)



津波高

イベントツリー解析

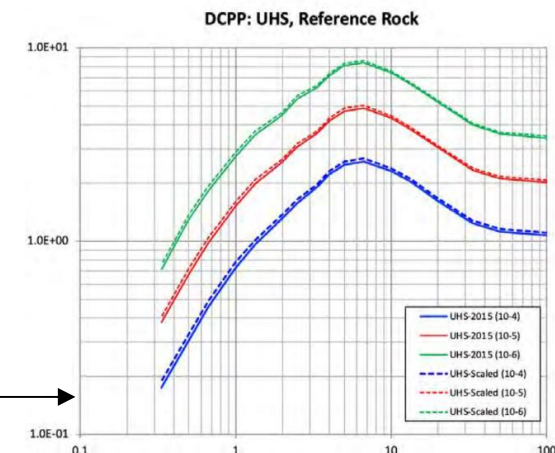
フォールトツリー解析

- 津波の規模のある範囲を連続的にシナリオを作成して、連続的にリスクを評価する。
- 各シナリオには発生頻度(確率)も紐づけられている。

*原子力発電所の津波評価技術2016(土木学会)

米国での活用:地震PRA(SPRA)

- Diablo Canyon Power Plant(DCPP) 1号機(1985年)、2号機(1986年)
 - Long Term Seismic Program(LTSP)
 - 1988年SPRA更新*: 以下を改善
 - ディーゼル発電機(DG)送油システム、冷却システムの補強、変電所予備品の追加
 - 2018年SPRALレポート**
 - 福島第一事故を受け、まず決定論的地震リスク評価
 - 確率論的地震ハザードの再評価、SSHAC level3 適用(2015年)
 - この結果を受けてSPRA更新
 - 地震ハザードに関して対策が必要なリスク増加はない。
 - この過程で発見された送風ダクトに関する脆弱性を改善
 - 2024年Diablo Canyon Updated Seismic Assessment ***
 - 地震ハザード再評価: SSHAC level 1適用
 - 地震リスク評価結果更新
 - 炉心損傷頻度(CDF)や大規模早期放出頻度(LERF)の総量は基準以下
 - 地震ハザード更新による Δ CDFや Δ LERFの変化も小
 - その他:断層変位影響検討に確率論的評価適用



UHS from the 2015 study (solid lines) and the updated results (dashed lines) for hazard levels of 10-4 (blue lines), 10-5 (red lines), and 10-6 (green lines) ***

ハザードの不確かさの定量化に関する改善: 新知見反映など
継続的な地震を含むリスク評価を継続実施し、必要な対策実施

*D. C. Bley et. al, Enhanced Seismic Risk Assessment on the Diablo Canyon Power Plant, SMiRT10, 1989.

**PG&E Letter DCL-18-027, 2018, <https://www.nrc.gov/docs/ML1812/ML18120A201.pdf>

*** PG&E, Diablo Canyon Updated Seismic Assessment, 2024.

まとめ

- ハザード評価を事例に、不確実さの定量化について紹介した。
- 不確実さの定量化手法としてPRAは、不確実さが大きい場合も含めてPRAで定量化可能である。
 - 現状は不確実さを定量化・理解する最も有力な方法
 - 自然外部事象の不確実さの大きな日本では活用すべき。
 - 新たな知見を反映し更新することは可能
 - 米国などで地震PRAは意思決定に活用