

## 断層リスク評価と規制の在り方について考える ～敦賀2号機の不許可を題材に～

Fault risk assessment and regulatory position  
– on Regulatory Rejection of Tsuruga Unit 2 NPP

# 工学的意思決定と地震PRA

## Engineering Decision Making and Seismic PRA

東京大学名誉教授 高田毅士

# 発表概要

---

- 目的
- 地震PRAの意義
- 総合的意思決定
- 敦賀2号機不許可事案に関して論点抽出

# 目 的

- 原子力安全確保のための4つの提言(2022)を公表
- この提言より、敦賀2号機の不許可事案について課題を抽出すること

提言:規制者、事業者を含む社会全体に向けた提言(2022)

提言1:科学的合理性に基づく工学的意思決定を目指すべき

提言2:安全確保のための手続論から本質論を展開すべき

提言3:リスク情報を活用した意思決定の必要性

提言4:不確かさに対する安全性確保の考え方の説明性を向上させるべき

# 地震PRAの意義

- 1) リスク概念による安全性評価
- 2) 様々な不確定性の考慮と定量化
- 3) バイアスや保守性を排除した科学的作業
- 4) 統合化したトータルな安全性を評価

# PRAは安全を科学するツール

## ○ 理学(Science)と工学(Engineering)の役割の違い

理学 = 真理の追求 (安全側、危険側という価値判断はない)  
工学 = モノづくり (様々な工学的判断)

上記に従うと、

- ・PRA(確率論的リスク評価)は、バイアス(保守性を含む)を排除し、現在の知識・情報を忠実に反映したリスクの真実の姿(真実是不確定なもの)を求めるもので「理学」としての活動。
- ・PRAは安全を科学するツール



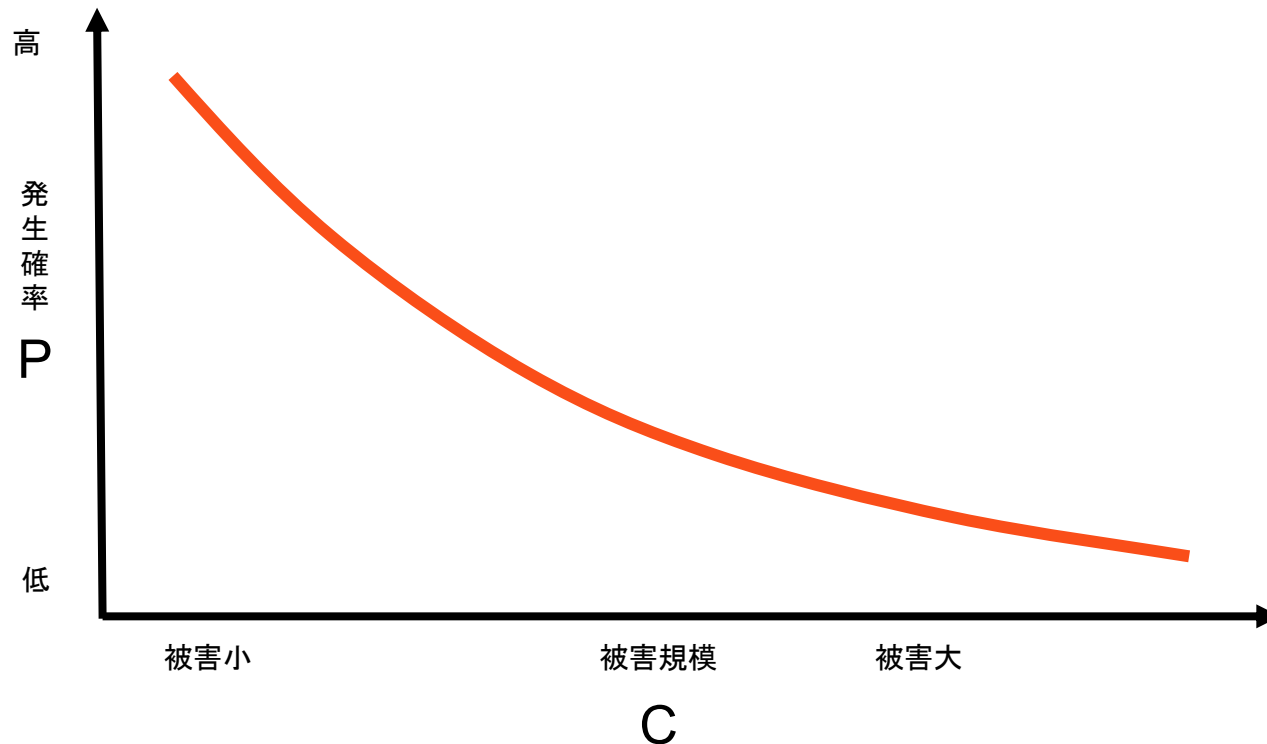
地震PRA実施基準  
(原子力学会、2007, 2015, 2024)

# リスク概念による安全の捉え方

「安全である状態」を言い表すために、

$$R(P, C) = P \times C < R_0$$

リスクが一定程度小さいことをもって、「安全である状態」を定義

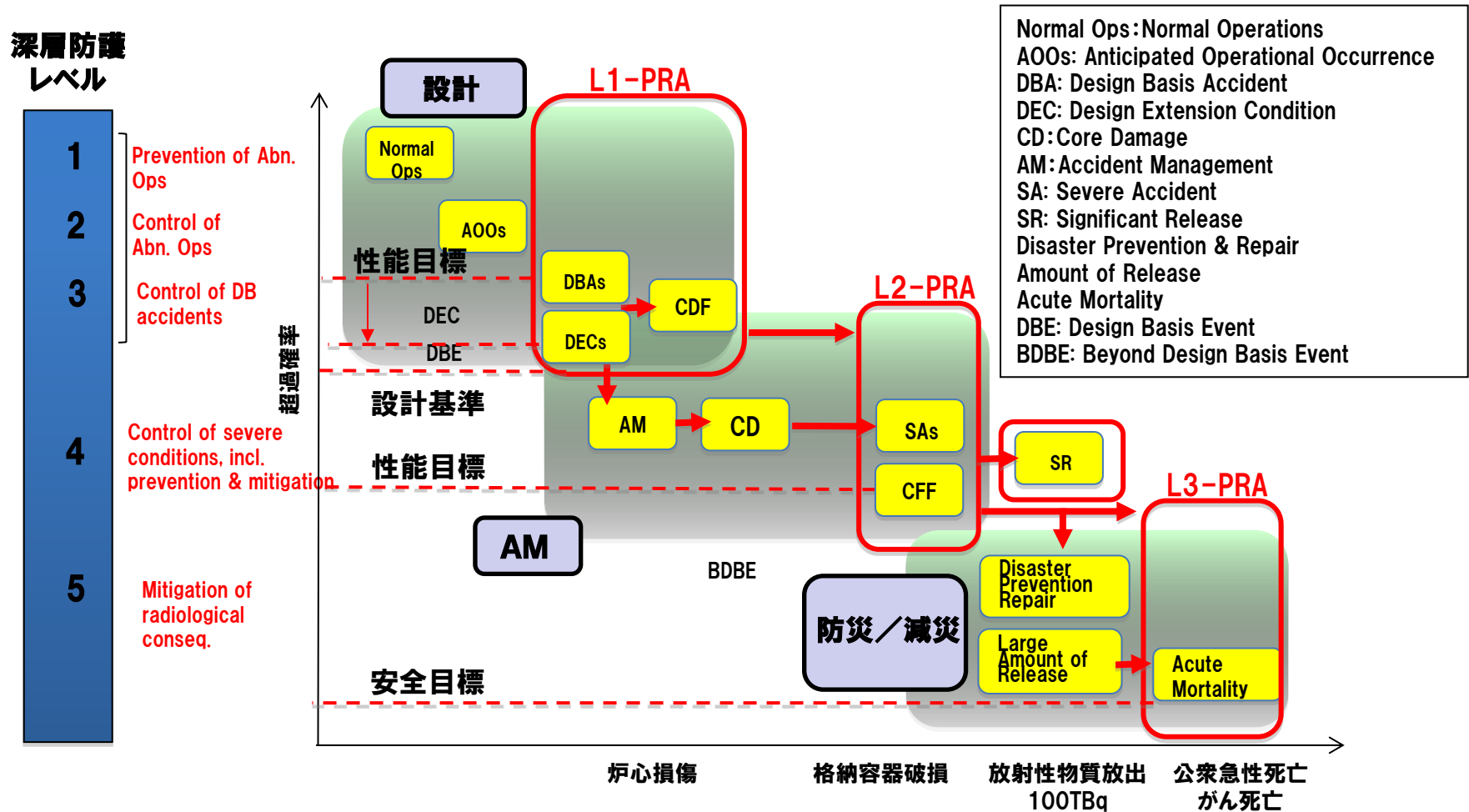


# IAEAの深層防護の考え方

IAEAの深層防護の防護レベル(INSAG-10,1966)

	防護 レベル	目的	目的達成に 不可欠な手段
当初設計 プラントの	レベル 1	異常運転や故障の防止	保守的設計及び建設・運転 における高い品質
	レベル 2	異常運転の制御及び故障の検知	制御, 制限及び防護系, 並びに その他のサーバランス特性
	レベル 3	設計基準内への事故の制御	工学的安全施設及び事故時手順
設計基準外	レベル 4	事故の進展防止及びシビアアク シデントの影響緩和を含む, 過 酷なプラント状態の制御	補完的手段及び格納容器の防護 を含めたアクシデントマネジメ ント
計画 緊急時	レベル 5	放射性物質の大規模な放出によ る放射線影響の緩和	サイト外の緊急時対応

# 安全確保のための領域と俯瞰的視点



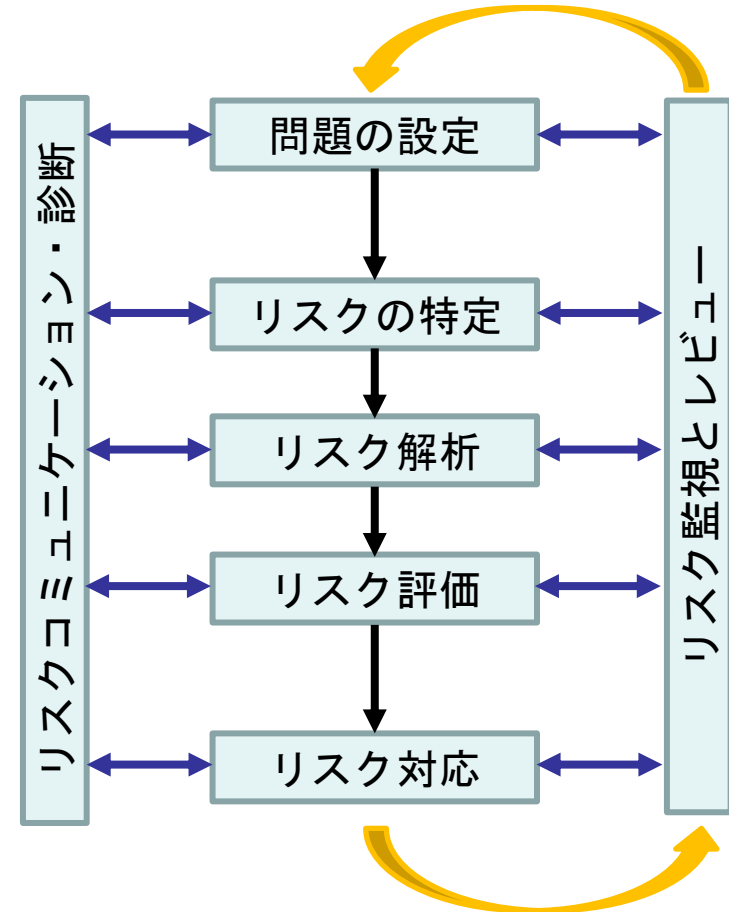
日本地震工学会(2015)、「原子力安全のための耐津波工学」報告書より

# リスクマネジメントの展開

リスクマネジメントとは、リスクを組織的に管理し、損失などの回避または低減をはかる一連のプロセス

リスクマネジメント		
<b>リスク評価</b>		
	リスク解析	
	ハザード特定	
	リスク算定	
	リスク評価	
<b>リスク対応</b>		
	リスク回避	
	リスク最適化	
	リスク移転	
	リスク保有	
<b>リスク受容</b>		
<b>リスクコミュニケーション</b>		

リスクマネジメントプロセス  
(AS/NZS 4360:2004)



リスクマネジメント(ISO31000)

# 敦賀2号機の不許可事案について

- 1) IAEAの地震ハザード評価ガイドとの適合は？
- 2) 不確定な対象に多様な知見を活用したか？
- 3) リスク概念に基づいた安全確保
- 4) 地震安全確保という総合的視点は？
- 5) 審査基準・審査ガイドの改定の必要性は？
- 6) バックフィットルールの運用について

# IAEA安全基準ガイド（SSG-9）

安全基準ガイド9 原子力施設のサイト評価における地震ハザード  
(SSG-9 (Rev.1)

Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, 2022)

## 7章 敷地での断層変位の可能性評価

(Evaluation of the potential for fault displacement at the site)

7.1, 7.2 一般事項(General)

7.3-7.9 活動可能な断層 (Capable faults)

7.10, 7.11 新規サイトにおける活断層問題

(Capable fault issues for proposed new sites)

7.12-7.18 既存サイトにおける活断層問題

(Capable fault issues for sites with existing nuclear installations)

# 既設サイトでは断層変位PRAを推奨

新規サイトであれば、主断層、副断層の調査をしたうえで敷地の適否を判断

既設サイトであれば、詳細な調査を実施したうえで判断。それでも判断が難しい場合は、全情報を利用して**確率論的な方法を用いて断層変位の年超過確率で判断することを推奨**。その際、認識論的不確定性と偶然的な不確定性の適切な評価を前提。

7.15. If no sufficient basis is provided to decide conclusively that the fault is not capable, and if the identified fault has the potential to affect the foundations of items important to safety of the nuclear installation, then, using all the available data compiled as recommended in Section 3, **probabilistic methods should be used** to estimate the annual frequency of exceedance of various amounts of displacement at or near the surface.

7.16. In the probabilistic fault displacement hazard analysis, the following two types of possible displacement (**primary and secondary faults**) should be considered, with careful and appropriate treatment of the uncertainties involved (both epistemic and aleatory):

# 不確定な対象に多様な知見を活用したか？

理学の世界では「真実は唯一」という考え方が一般的であるが、対象が不確定であれば「真実是不確定性を含む」ことになり、何が不確定でどの程度不確定であるのかといった情報も真実の一部という認識が必要である。

- ⇒ SSHACの精神（解釈の幅、多様な意見分布）を反映した、幅広い専門家の意見収集が必要で、まずは、バイアスや保守性を排除した評価の必要性が求められる。
- ⇒ 事実認定（不確定性の評価も含む）と意思決定（価値判断）とは区別した対応が必要
- ⇒ 審査ガイドの記載「〇〇の場合は、安全側に判断すること」よりも、対象の不確定性を定量的に評価した結果等に基づき、総合的に判断すべき

# リスク概念に基づいた安全確保の必要性

安全の状態とは、リスク（結果と頻度）が一定程度小さい状態（不具合状態となる頻度が許容範囲以内）であり、リスク概念に基づく安全確保の様々な方策が実施されなければならない。

- ⇒ 安全側の判断として、不確定な部分を断ち切る（考慮外とする）行為は適切か？
- ⇒ 部分部分においてリスク概念の活用がなされるべき
- ⇒ 深層防護の考え方に従って、段階的な確率論的リスク評価（レベル1～3 PRA）が実施される必要がある。

# 地震安全確保という総合的視点は？

PRAは、様々不確定性を考慮して、原子力プラント全体の安全性を総合的・俯瞰的に評価できる利点があり、総合的な意思決定を可能とする。原子力安全の問題は、直下断層の有無でも、断層変位の問題でもない。

「深層防護の考え方」は、原子力安全に影響を与える様々な不確定性に対抗する必須の概念である。

⇒ 部分的議論から全体的・俯瞰的な議論の展開が必要

(司法においても物事の簡略化は危険、深層防護を踏まえた議論が必要)

⇒ PRA結果の積極的な活用（性能目標、安全目標の利用）

⇒ IAEAの安全ガイド(SSG-9)では確率論的評価の実施を推奨

# 審査基準・ガイドの改定の必要性は？

規制は、現行審査基準・ガイドに照らして実施されることから、これらの不具合は審査の不具合につながる。現行基準・ガイドの見直し・改定など、短中期的な対応が必要である。

⇒ 短期的には、断層変位に関わる記述の部分

中期的には、リスク情報を考慮した基準へ

⇒ IAEAの安全ガイド(SSG-9)では、既存炉の場合、根拠があいまいな場合は確率論的評価の実施を推奨

# バックフィットルールの適用について

1F事故後、バックチェックからバックフィットルールが適用され、既設炉も新設炉同様の適合性審査が実施されている。

新設炉ならともかく、既設炉であるがために設備の追加、改良には限界がある。また、改変による新たな課題も発生している。バックフィットルールの既設炉への適用も再考の余地がある。

- ⇒ 既設炉（過去のある時点で規制適合性があると判定された炉）に対するバックフィットルールの運用に関して柔軟な考え方が必要
- ⇒ IAEAの安全ガイド(SSG-9)では、既存炉にはPRAを実施して総合的に判断する方法が推奨されている

# まとめ

(1) 地震PRAの意義

(2) リスクに基づく意思決定の重要性

(3) 敦賀2号機の不適合判断事案に関する課題抽出

- ・ IAEAの安全ガイド(SSG-9)の推奨事項
- ・ 不確定な対象に多様な知見の活用
- ・ リスク概念に基づいた安全確保
- ・ 地震安全確保という総合的視点
- ・ 審査基準・審査ガイドの改定の必要性？
- ・ バックフィットルールの運用について

---

**ご清聴ありがとうございます。**

---

# 補足資料

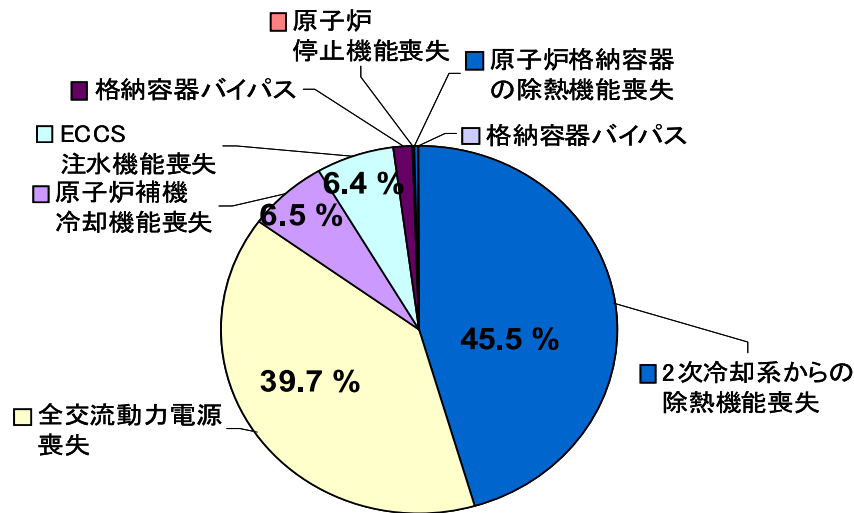
# 地震PRA実施例（原子力規制委員会ホームページより、大飯3，4号炉評価結果抜粋、関電資料）

## 4. 2. 2 地震レベル1PRAの評価結果（1 / 2）

### ＜評価結果＞

地震レベル1PRAでは全炉心損傷頻度(CDF)は $2.8 \times 10^{-6}$ /炉年と評価された。

事故シーケンスグループ毎の寄与割合としては「2次冷却系からの除熱機能喪失」、「全交流動力電源喪失」からの炉心損傷頻度の寄与割合がそれぞれ約40%前後と大きく、次いで「原子炉補機冷却機能喪失」、「ECCS注水機能喪失」となった。



地震PRA 事故シーケンスグループ別  
炉心損傷頻度寄与割合

地震PRA 事故シーケンスグループ別炉心損傷頻度

事故シーケンスグループ	炉心損傷頻度	寄与割合
2次冷却系からの除熱機能喪失	1.3E-06	45.5%
全交流動力電源喪失	1.1E-06	39.7%
原子炉補機冷却機能喪失	1.8E-07	6.5%
ECCS注水機能喪失	1.8E-07	6.4%
格納容器バイパス	3.9E-08	1.4%
ECCS再循環機能喪失	8.5E-09	0.3%
原子炉停止機能喪失	8.3E-09	0.3%
原子炉格納容器の除熱機能喪失	3.5E-10	0.0%
合計	2.8E-06	100.0%

# 四電伊方SSHACプロジェクト

伊方SSHACプロジェクトは、四国電力の伊方発電所の更なる安全性向上に向けた取り組みの一環として、伊方発電所において将来生じる可能性のある地震動を、国際的なガイドラインに準じて確率論的に評価した日本初の取り組み。

評価にあたっては、伊方発電所周辺で発生しうる地震に対し、震源特性を評価するチーム、地震動特性を評価するチームに分かれて議論が行われました。また、これらのチームがSSHACガイドラインが定めたプロセスに従い、技術的に妥当性のある評価を行っていることを確認するため、監査の役割を果たすピアレビューチームも設置されました。

SSHACの手法(1997,2018)  
SSHAC (Senior Seismic Hazard  
Analysis Committee)

複数の専門家意見の違いに関する認識論的不確定性の評価方法

NUREG-2117 (2012)  
NUREG-2213 (2018)



# 評価手法の特徴（認識論的不確定性の扱い）

## CBR of TDI

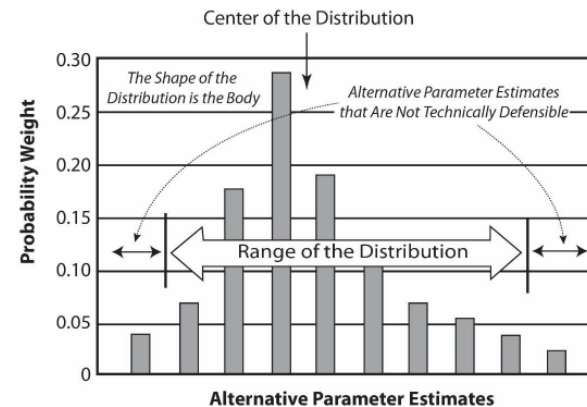
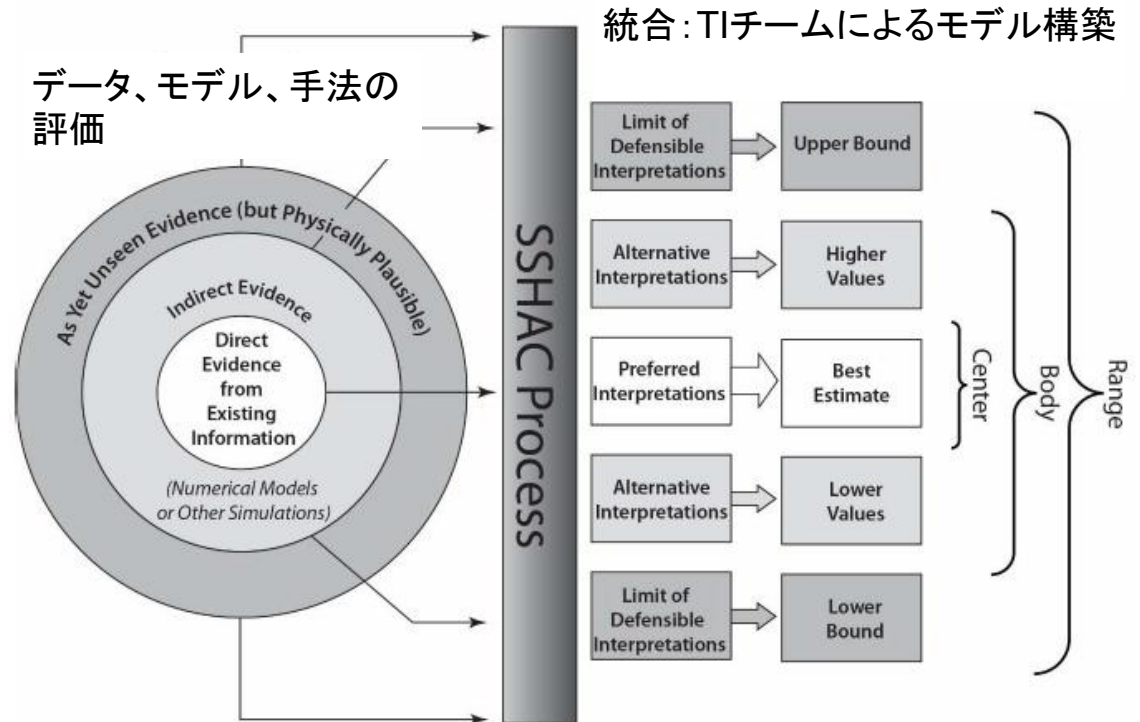
CBR (Center, Body and Range)

of

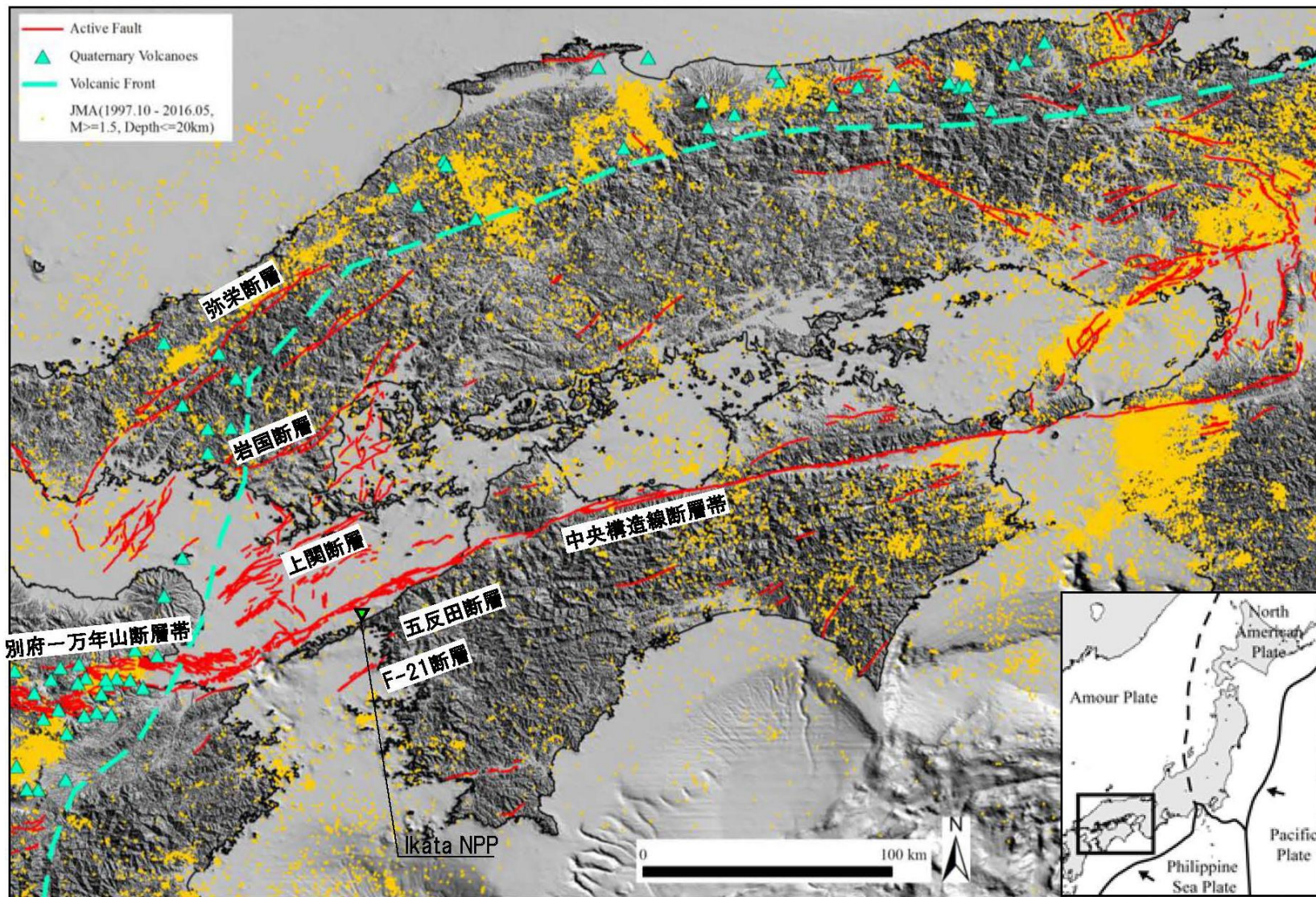
TDI (Technically Defensible Interpretations)

ある不確定な対象に対して、

専門的に抗弁できる解釈の中心、全体分布と範囲

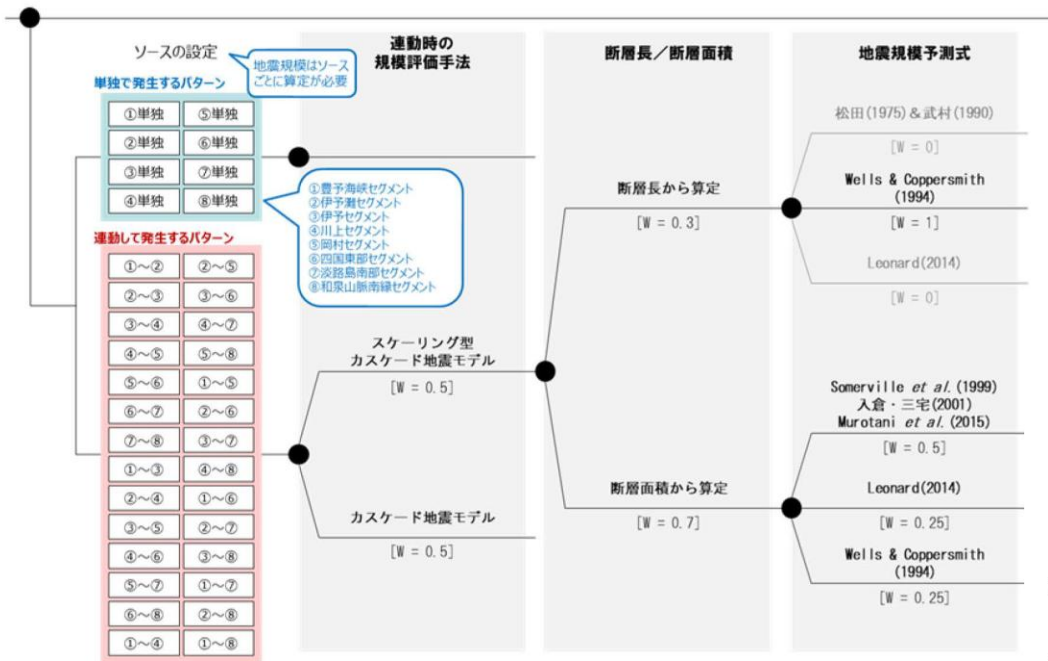


# 伊方サイト周辺の地震環境

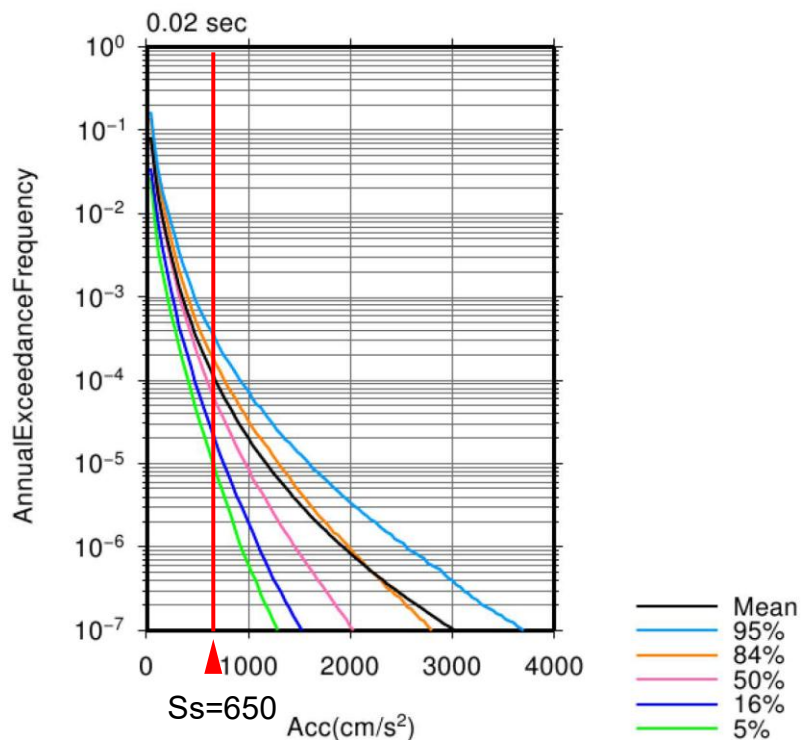


伊方サイト周辺の活断層分布

# 各種不確定性のロジックツリー表現



SCCモデルのロジックツリーの例  
 (中央構造線断層帯の規模)



第 11 図 最終ハザード曲線 (水平動/周期 0.02 秒)