

キャノングローバル戦略研究所セミナー (5/21/2026)

原子力分野におけるリスク分析の展望： 確率論的手法の最前線と課題

櫻原 達也

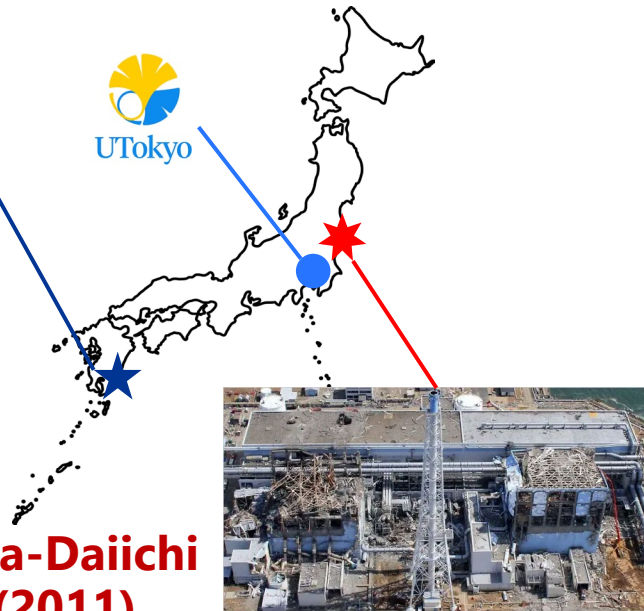
*Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering & Materials Science
Associate Director, Stephen R. Tritch Nuclear Engineering Program
Swanson School of Engineering
University of Pittsburgh*

tsakurahara@pitt.edu

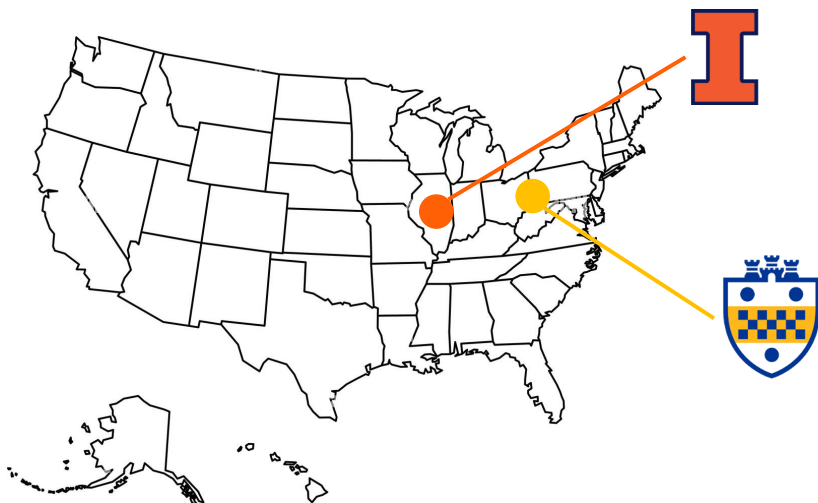
About Tatsuya



Miyazaki



**Fukushima-Daiichi
Accident (2011)**



BS (2011)
Environment & Energy Systems

MS (2013)
Nuclear Engineering &
Management

Nuclear Fuel Materials

Ph.D. (2018)
Nuclear Engineering

Nuclear Safety and Risk Analysis

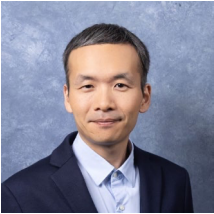
Postdoc (2018 - 2020)
Research Assistant Professor (2020 - 2024)

Assistant Professor
(Sept. 2024 - present)



Risk Analysis & Reliability Engineering (RARE) Laboratory

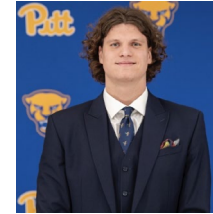
Advancing the understanding and management of *rare events* through risk analysis to enhance the safety, productivity, and resilience of nuclear energy systems.



Tatsuya Sakurahara
Director, Assistant Professor
*(Mechanical Engineering,
Nuclear Engineering)*



Amir Kalantari
PhD Student
(Computer Modeling & Simulation)



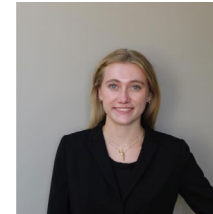
Krzysztof Radziszewski
PhD Student
*(Mechanical Engineering,
Nuclear Engineering)*



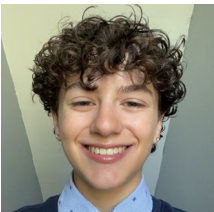
Emmie Stouffer
Undergraduate Researcher
(Mechanical Engineering)



Carson Hertrick
Undergraduate Researcher
(Mechanical Engineering)



Andela Dozier
Undergraduate Researcher
(Mechanical Engineering)



Isabella Keller
Undergraduate Researcher
(Materials Science)

確率論的リスク評価

Probabilistic Risk Assessment (PRA)

リスクとは何か？ — リスク科学における定義

「リスクの三要素」による定義

- What can go wrong? (シナリオ)
- How likely is it that that will happen? (発生確率・頻度)
- If it happens, what are the consequences? (影響・結果)

数学的には、トリプレットで表される：

$$R = \{\langle s_i, p_i, x_i \rangle\}, \quad i = 1, 2, \dots, N,$$

s_i : シナリオ（事象の集合）

p_i : s_i の発生確率・頻度

x_i : s_i の影響・結果

N : シナリオの総数

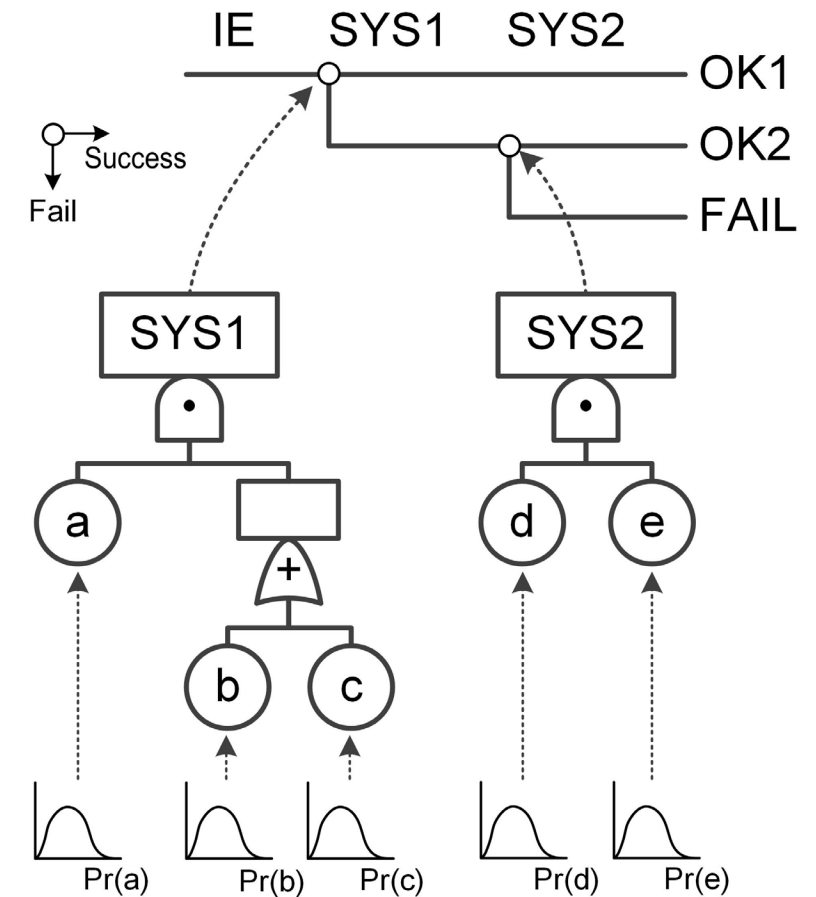
確率論的リスク評価 (PRA)

複雑な技術システムに対し「**リスクの三要素**」を分析する:

- 1) What can go wrong? (**シナリオ**)
- 2) How likely is it? (**発生頻度・確率**)
- 3) What are the consequences? (**影響**)

複数のモデリング手法と解析手法を組み合わせる:

- イベントツリー解析
- フォールトツリー解析
- 信頼性モデル (機器信頼性, 人的パフォーマンス)
- 機械論的・現象論的シミュレーション (火災モデル、溢水モデル、etc.)

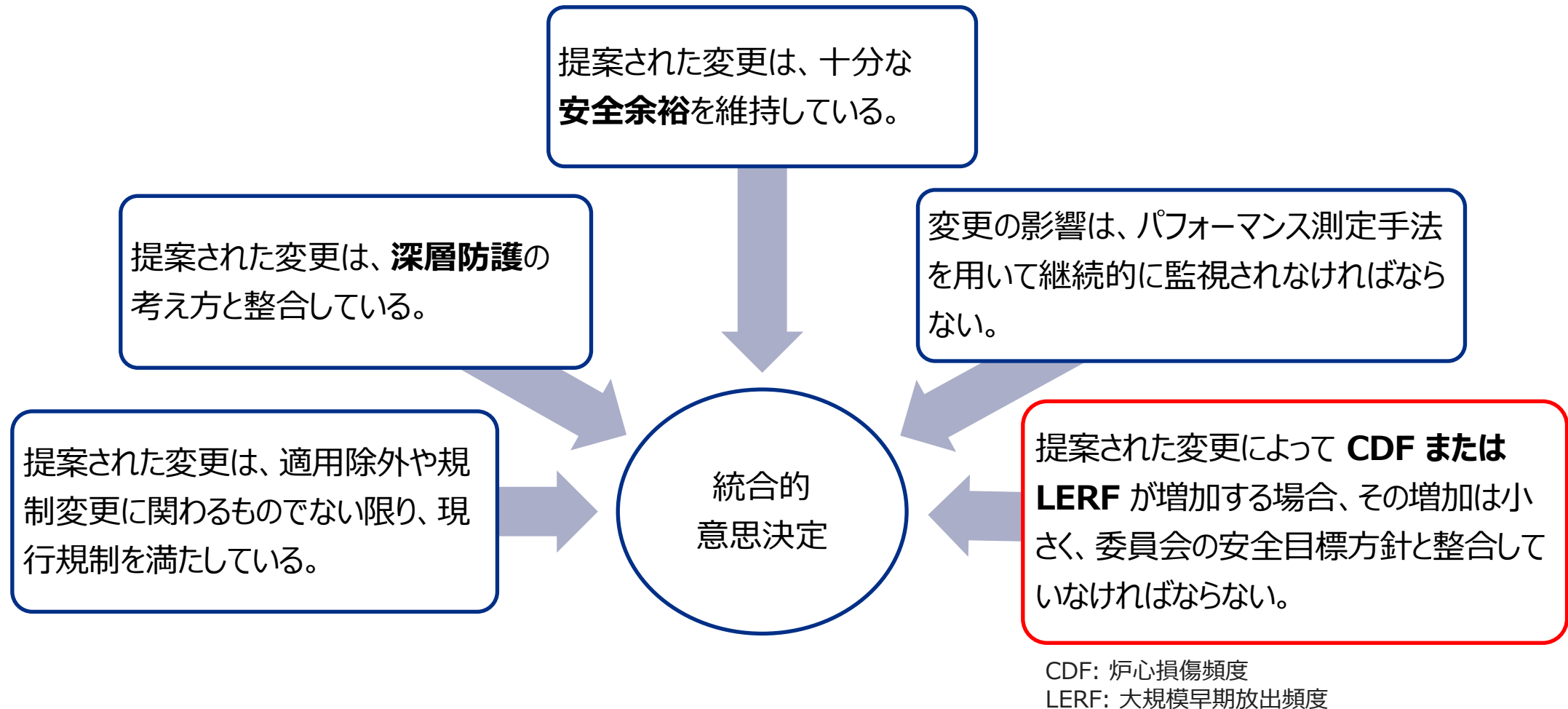


Probabilistic Risk Assessment (PRA)

米国における歴史的背景

- 1975年: Reactor Safety Study (WASH-1400)
 - 世界初の包括的な確率論的リスク評価
 - PRAの中心となる手法を確立（フォールトツリーとイベントツリーの連結、不確かさ伝播など）
- 1979年: スリーマイルアイランド（TMI）事故
- 1980-1988年: 商業用原子力発電所を対象としたPRAが産業界のイニシアチブで拡大
- 1988-2000年: 米国内の全商業用原子力発電所を対象に、PRAに基づく個別プラント評価（IPE）、外的事象評価（IPEEE）を要求.
- 1998年: NRCがリスク情報活用による規制アプローチ（Risk-Informed Regulatory Framework）を採用

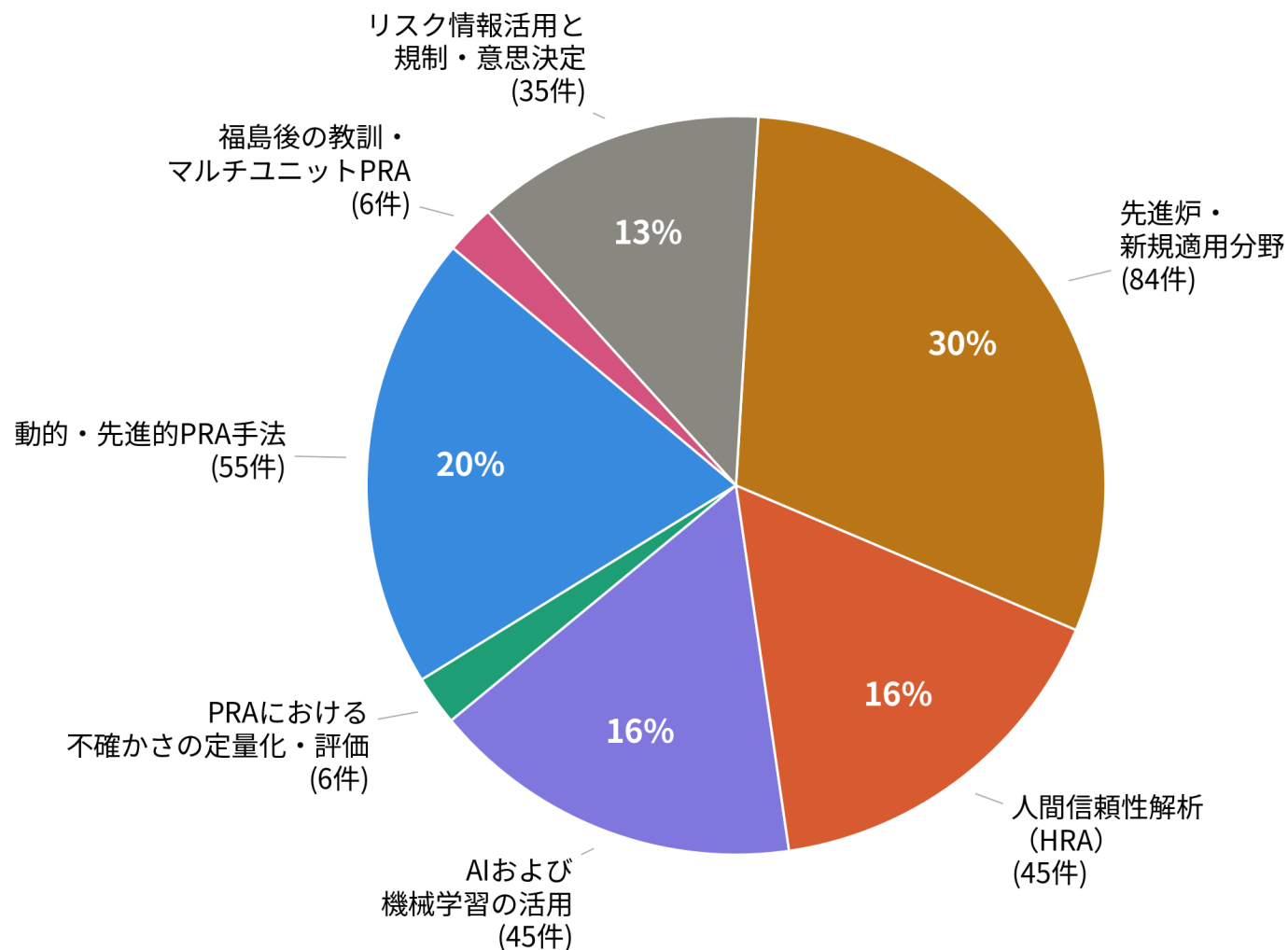
米国原子力規制委員会（NRC）の リスク情報活用規制の枠組み



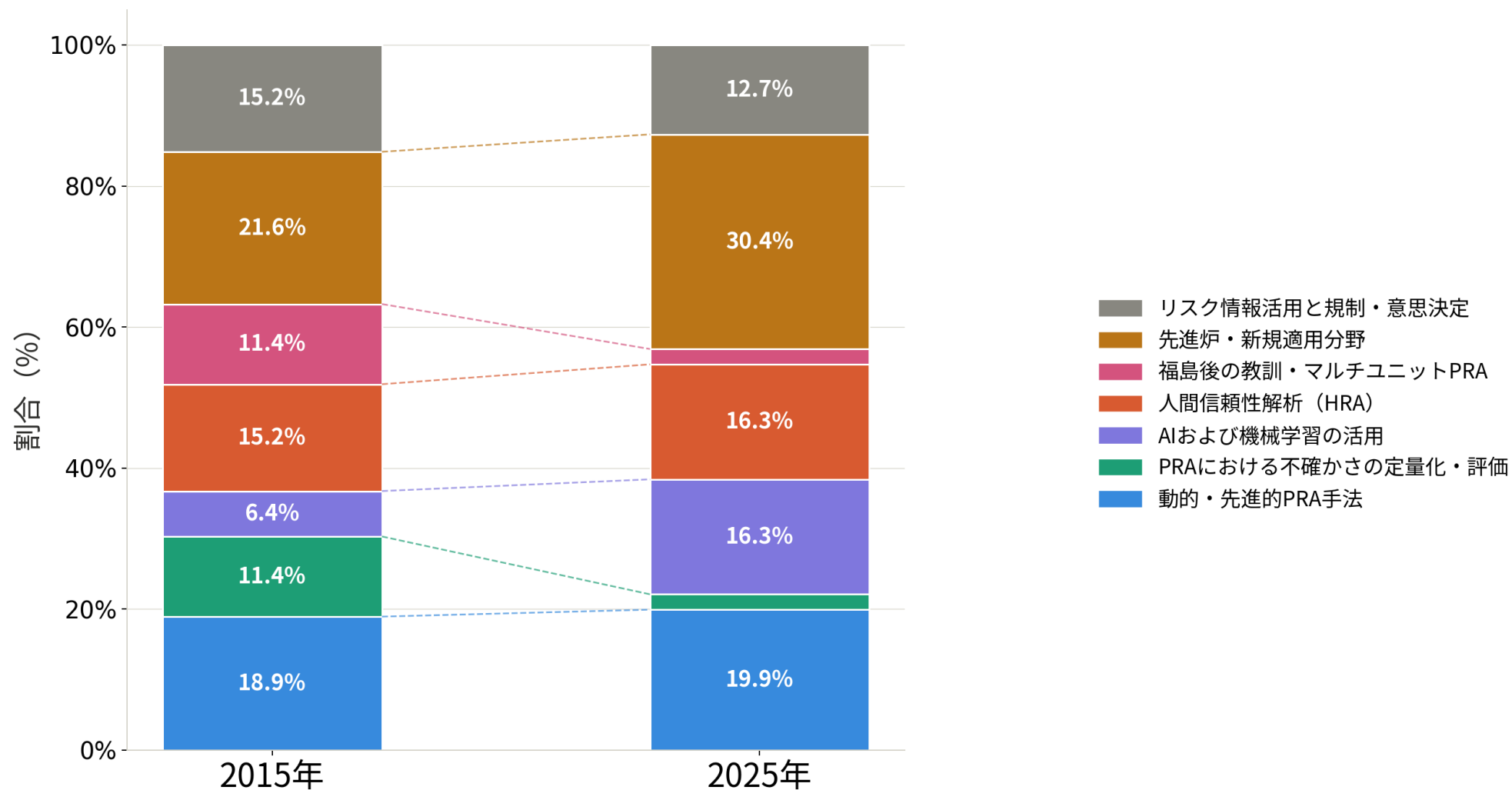
原子力リスク研究の情勢と展望

PRA研究の直近の動向（2025年）

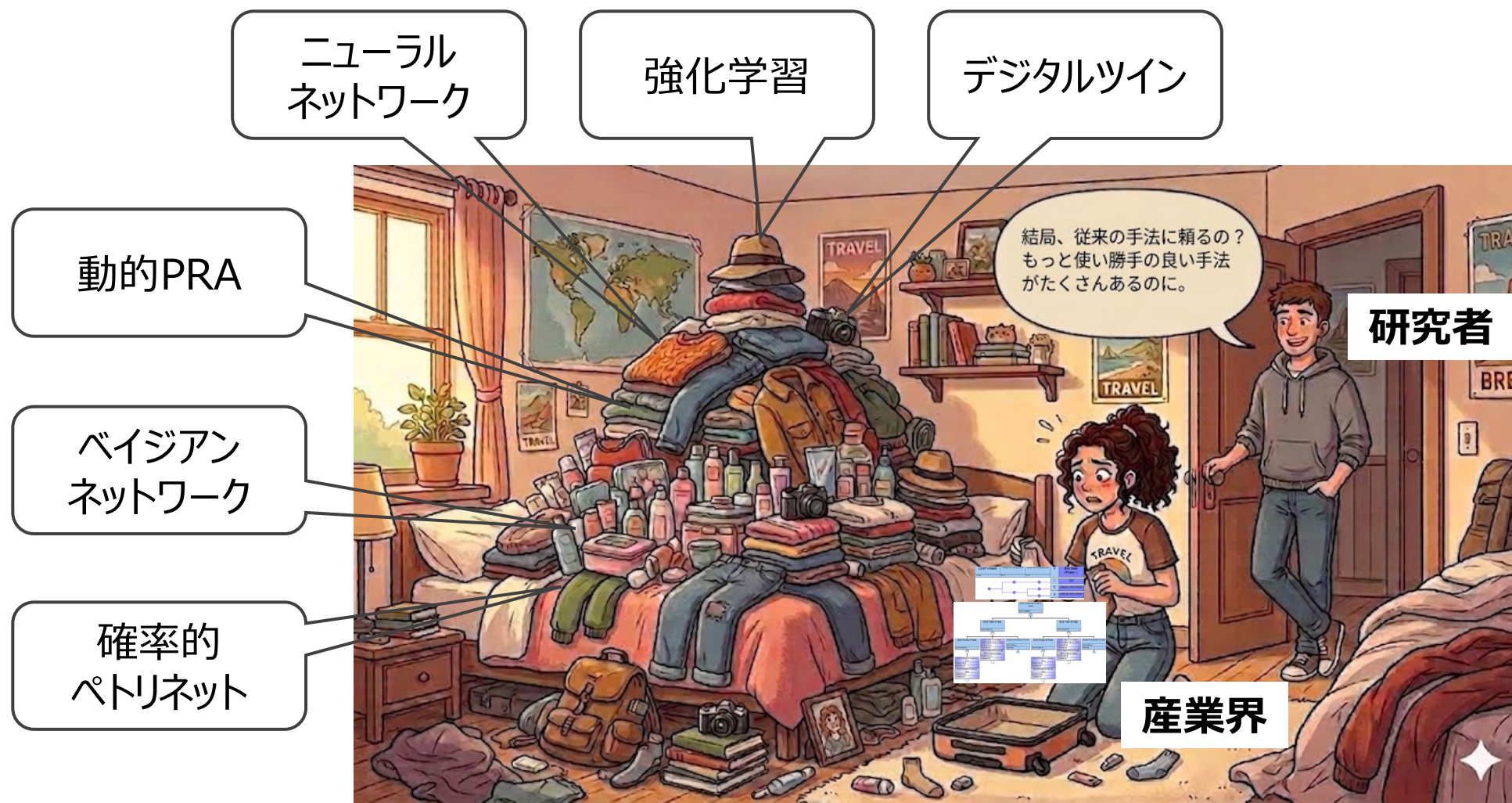
- 検索対象：2025年に発表された論文・報告書
- 検索データベース：Google Scholar
- 対象トピック：原子力施設を対象とした確率論的リスク評価（PRA）および確率論的安全評価（PSA）
- 収集件数：約500件
- 関連する論文数：約300件（スクリーニング後）



PRA研究の直近の動向: 2015年 vs. 2025年



PRA研究の現状に対する問題意識



米国原子力産業界でのPRA懐疑論 1/2

*§ 53.450(e) mandates comprehensive analyses, prescribing the identification, evaluation, and risk categorization of LBEs using specific methodologies. ... **the highly prescriptive nature of this section creates several concerns, such as over-reliance on PRA, unnecessary regulatory burdens, and limiting the use of risk evaluation methodologies.***

Breakthrough Instituteの10 CFR Part 53素案に対するパブリックコメント（2025）

<https://thebreakthrough.institute.net/Breakthrough-Institute-Comment-on-Proposed-Part-53-NRC-2019-0062-RIN-3150-AK31.pdf>

米国原子力産業界でのPRA懷疑論 2/2

Other stakeholders expressed the desire to have PRA required for licensing in a “confirmatory” or “trailing” fashion as is currently the case for reactors licensed under Part 52 or without the requirement to use PRA to support any formal licensing requirements, as is currently the case for reactors licensed under Part 50. There was a wide range of stakeholder perspectives on the role of PRA during the Part 53 development process.

Nuclear Innovation Alliance (NIA) の10 CFR Part 53素案に対するパブリックコメント（2025）

<https://nuclearinnovationalliance.org/sites/default/files/2025-03/February%202025%20NIA%20Part%2053%20Comment.pdf>

10 CFR Part 53 Final Rule (March 2026)

§ 53.450 Analysis requirements.

(a) Requirement to have **a probabilistic risk assessment (PRA), or other systematic risk evaluations (SREs), or a combination thereof**. A PRA, other SREs, or a combination thereof for each commercial nuclear plant must be performed and used together with other generally accepted approaches for systematically evaluating engineered systems to identify potential failures, susceptibility to internal and external hazards, and other contributing factors to event sequences that might challenge the safety functions identified in § 53.230 and to support demonstrating that each commercial nuclear plant meets the safety criteria of § 53.220.

米国産業界でのPRA懐疑論の理由

- 詳細なPRAを構築するための十分な統計的データが存在しない（特に新型炉）
- 全ての事故シナリオをシミュレーションで網羅的に分析するための時間・資源は現実的でない（動的PRAや先進的なPRA手法に対して）
- 仮にシミュレーションモデルが構築できたとしても、その検証・妥当性確認（V&V）に膨大な時間とコストを要する
- 新型炉のリスクは既設炉と比べて数桁低い（ $< 1\text{E}-7/\text{年}$ ）とされており、リスクの定量的評価に実用上の意義はあるかが疑問

PRA研究の現状に対する問題意識（私見）

- PRAモデリング手法そのものは、一定の成熟に達しつつある
- 不足しているのは、それらの手法と「使う側」との橋渡しの研究。最先端のPRA手法を、実社会の意思決定の場でいかに機能させるか？
 - 動的PRA手法は存在する → 実際の意思決定にどう活用するか？
 - AI/MLは存在する → 実践的適用へのパイプラインが確立されていない, etc.
- 実装・実践面にとどまらず、学術的研究として取り組むべき課題も多く残されている
 - 適用条件・限界・判断基準を明示化する研究（×手法の良し悪し → ○どの条件下でどの手法がベストかの選択基準）
 - 研究者→実務者への知識移転の手法

RARE Lab 研究事例:

Qualitative Probabilistic Network手法
+ ベイジアン・ネットワークで定量的データの欠如に対応する

※一部のページを省略しております。
概要を知りたい方はレポートをご覧ください。

研究意義と貢献

- データが乏しい状況でのPRAの実現：確率論的定量化に必要な定量モデルや運転データが不十分な場合への対応
 - 極低確率・高影響ハザードの理解とマネジメントの向上に寄与
- PRAにおける不要な複雑性の低減
 - 定性的知識を活用することで、高度な計算や多大なコストを要する実験・試験を必要とせずに、リスク情報を活用した意思決定の一部を解決できる
- 先進炉のリスク情報を活用した設計・許認可の支援
 - 統計データの不足はリスク評価を回避する理由にはならない
 - 例：より体系的な最大想定事故（MCA）解析を可能にすることで、10 CFR Part 57規則案のもとにおけるmicroreactorの許認可を支援

原子力学会誌ATOMOS記事 (2026年6月)

T. Sakurahara, "Rethinking the Treatment of Uncertainty in Probabilistic Risk Assessment and Risk-Informed Decision Making for Nuclear Facilities," *Journal of the Atomic Energy Society of Japan* (in press), June 2026.

解説

確率論での取り扱いが難しい不確かさにどう向き合うか

確率論的リスク評価・リスク情報活用においてロバスト性評価が果たしうる役割

ピッツバーグ大学 櫻原 達也

原子力施設の確率論的リスク評価(PRA)およびリスク情報活用による意思決定(RIDM)において、確率的手法による定量化が困難なモデルの不確かさと既知の不完全性の取り扱いに焦点を当てる。従来、これらは工学的判断に基づく特定条件での感度分析やスクリーニング解析で対応されてきたが、知識やデータが限られる場合、解析条件を十分な確信度をもって選定することは難しい。そこで、意思決定のロバスト性評価に重点を置いた逆解析へのパラダイムシフトを提言する。RIDMの判断基準を超過しうる不確かさシナリオを網羅的に探索し、決定論的手法と確率論的手法それぞれの適用範囲を明確化することで、PRA/RIDMの網羅性向上と効率化を図る。

KEYWORDS: Probabilistic Risk Assessment, Risk-Informed Decision-Making, Uncertainty Analysis, Epistemic Uncertainty

Thank you!

Tatsuya Sakurahara, Ph.D.

tsakurahara@pitt.edu

<https://www.engineering.pitt.edu/subsites/Labs/rare-lab/>