

# 空間放射線量率基準に基づく避難モデル検討 －避難のタイミングによる被ばく線量への影響評価－

令和3年11月2日

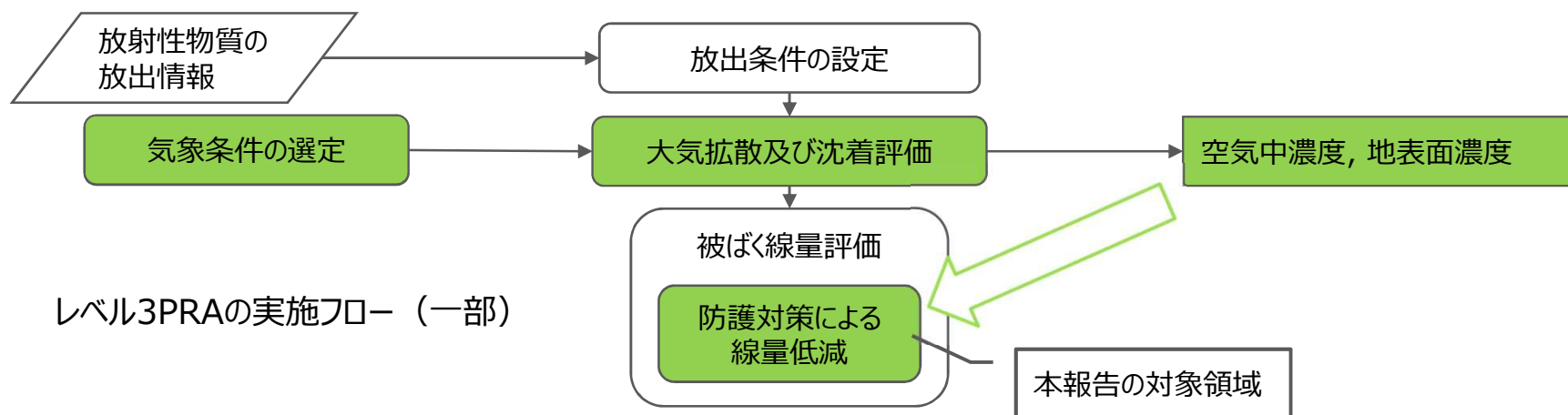
市川 竜平

原子力規制庁



# 報告概要

- 放射性物質の放出を伴う事故による原子力発電所周辺公衆のリスクを評価する手法として、レベル3PRAがある。
  - サイト特性を踏まえたレベル3PRAに必要な要素技術の検討を実施している。

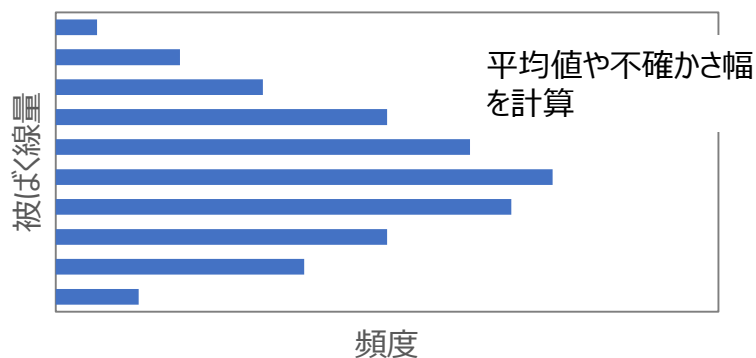
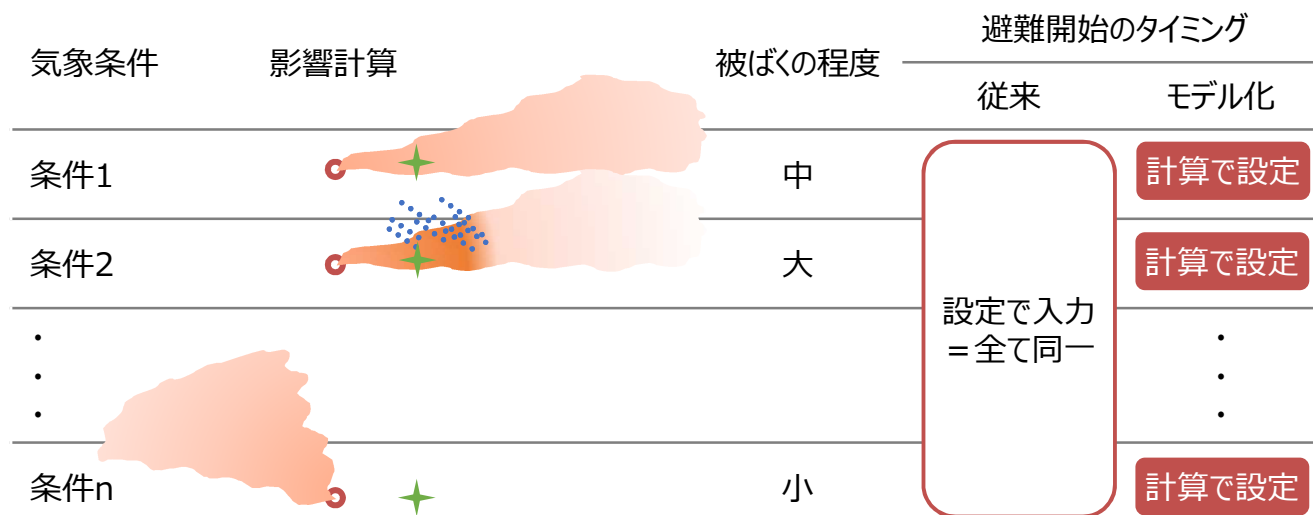


- リスク評価の過程で被ばく線量を計算するための、防護対策による線量低減の影響：
  - 防護措置のタイミング及びその効果を分析することが重要となる。
  - 防護措置の手段として、避難、屋内退避、安定ヨウ素剤服用が考えられる。
- 本報告においては、**避難タイミング**のモデル化をレベル3PRA手法の枠組みで検討した内容について、報告を行う。



# 目的

- レベル3PRA手法を用いて、被ばくの低減効果分析に必要な防護対策について、避難開始のタイミングのモデル化を検討する。

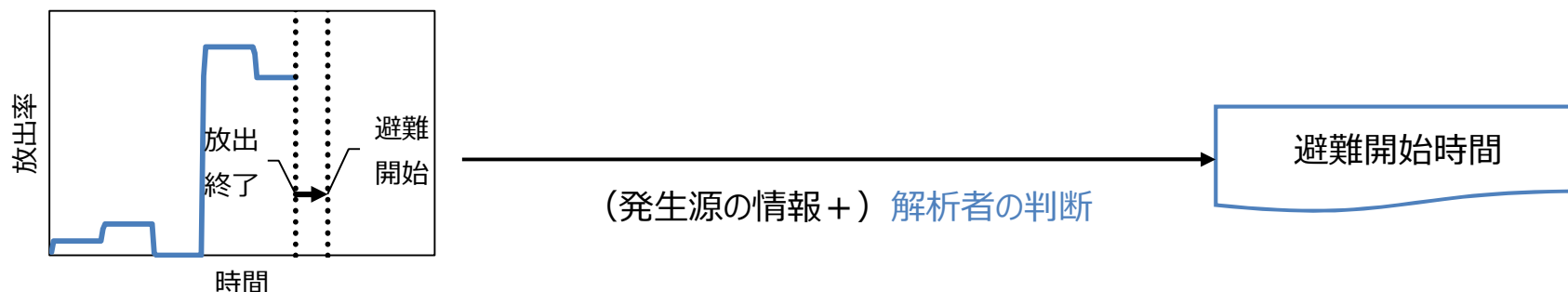


- 気象条件ごとに、避難開始のタイミングが異なる。
  - 条件ごとに入力で設定することが困難なため、計算で設定する方法を考える必要がある。
  - 避難開始のタイミングが結果に及ぼす影響を分析する。

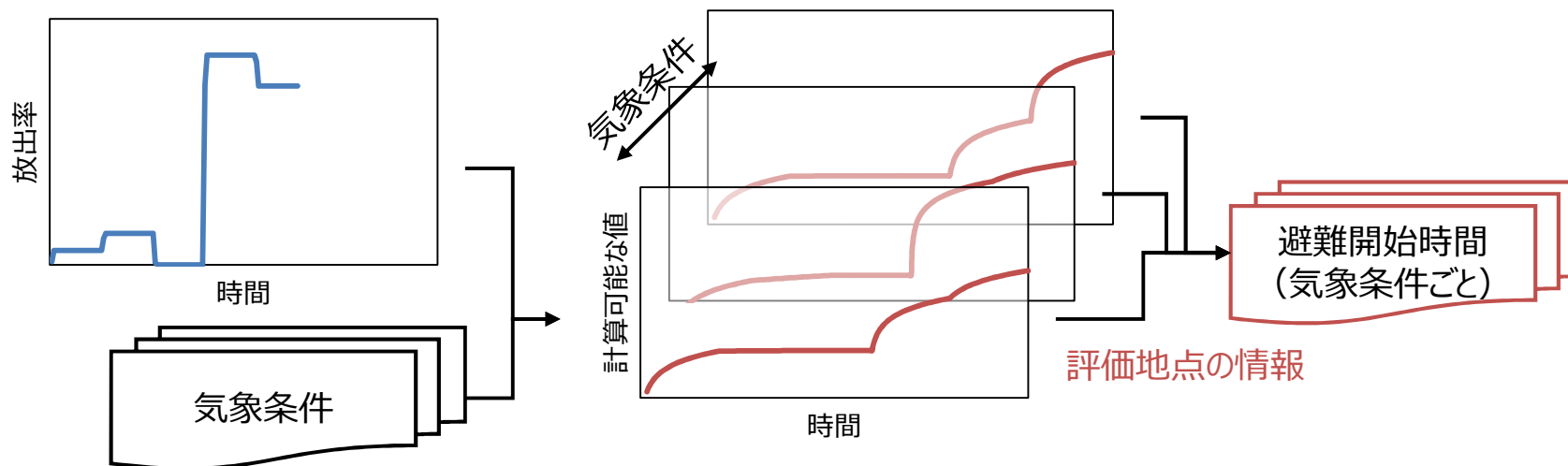


# 避難タイミングのモデル化

- 従来解析モデルでは、事故時には知り得ない情報に基づいて、解析者の判断で避難タイミングを設定している。
  - 米国NRCの開発するレベル3PRAコードMACCS\*に計算機能がないため。



- MACCS2-NRAで計算可能な値との比較に基づいて避難する、「基準値超過時避難モデル」を導入する。(以下「検討モデル」とする。)



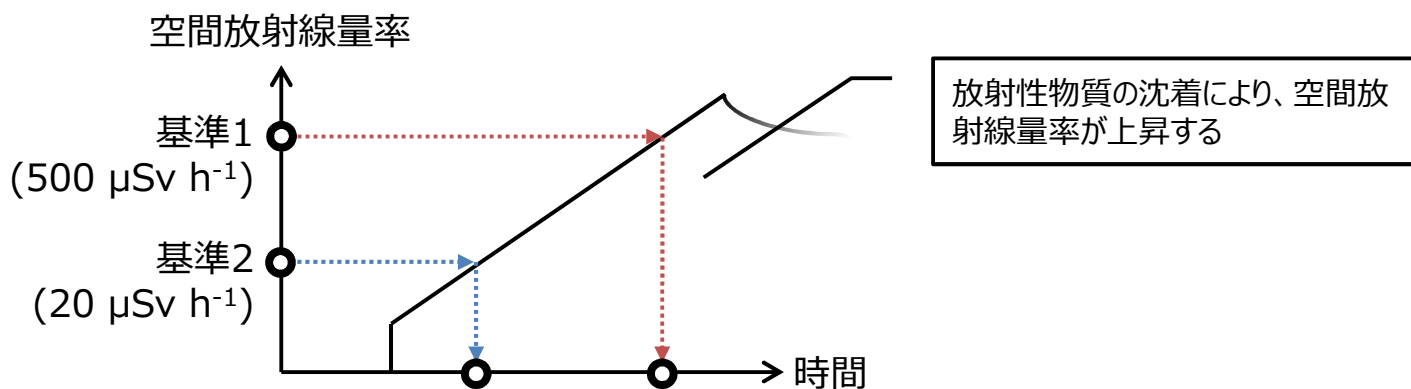
\*Jow et al, MELCOR Accident Consequence Code System (MACCS), NUREG/CR-4691 Vol.2, 1990



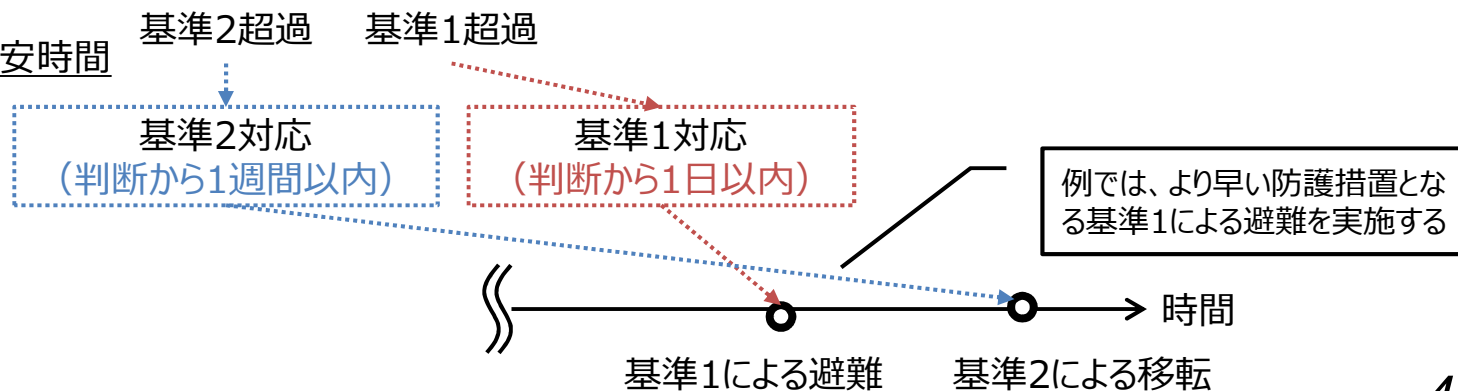
## 判断基準と防護措置実施の対応

- 判断基準として、空間放射線量率を採用した。
- 基準のレベル及び防護措置を実施するまでの目安時間が異なる複数の判断基準を考慮する。
  - 基準の超過時間と防護措置を実施する時間の関係を、Step1, 2の2段階で処理することとした。

### Step.1 基準の超過時間



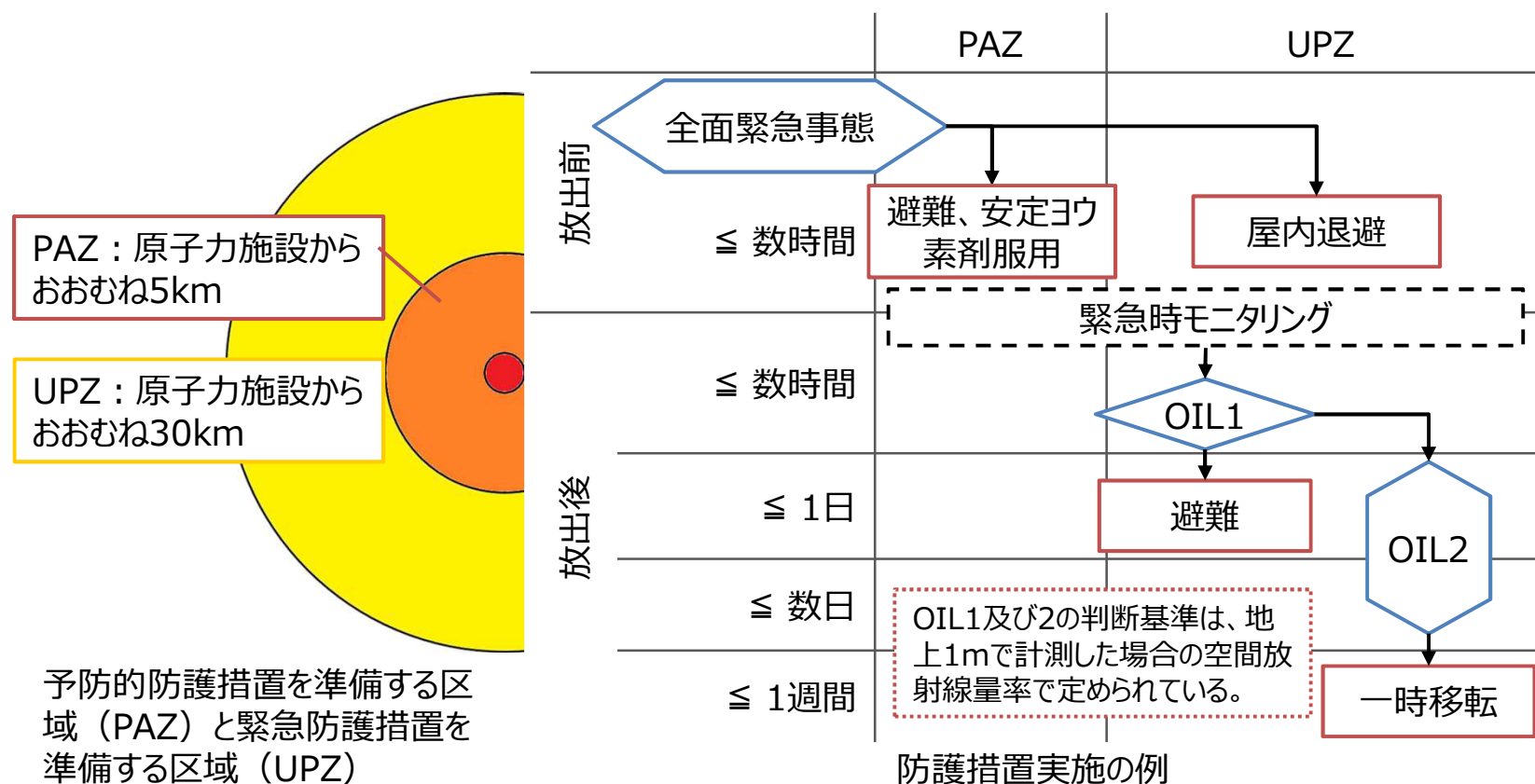
### Step.2 対応の目安時間





## 判断基準の選定

- 原子力災害対策指針では、原子力施設からの目安距離に応じて定められている防護措置の基準として、空間放射線量率が示されている。



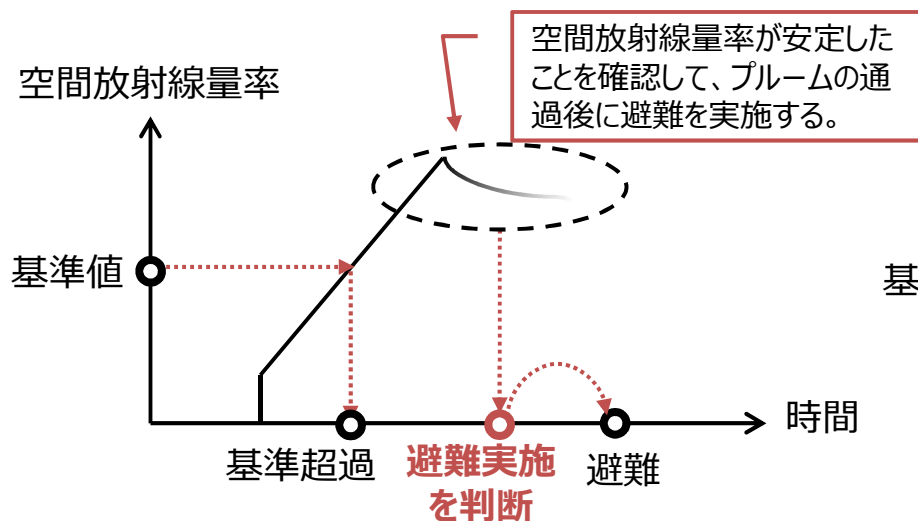
- 緊急時モニタリングに基づく防護措置をモデル化するため、空間放射線量率を防護措置実施の指標として採用した。



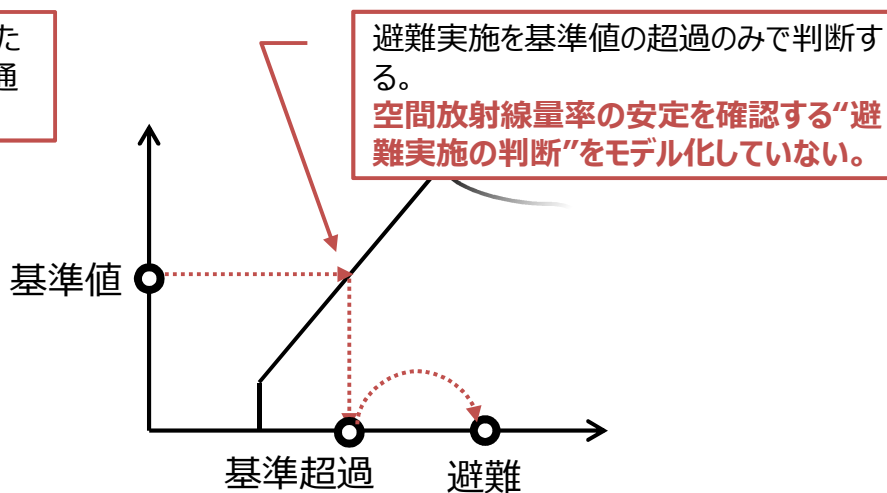
## 原子力災害対策指針で想定している判断との差異

- OIL超過の有無は、モニタリングポストの指示値が安定したことを確認した上で判断することとなっている
- ⇕
- レベル3PRAでは多数の気象条件を用いるため、空間放射線量率の時系列推移を、全ての気象条件及び評価地点で取り扱う場合にはデータ量が膨大となる。
- ↓
- 検討モデルでは簡易的に避難の実施を判断する方法として、基準値を超過してから一定時間経過後に避難を開始することとした。

空間放射線量率基準に基づく避難の考え方



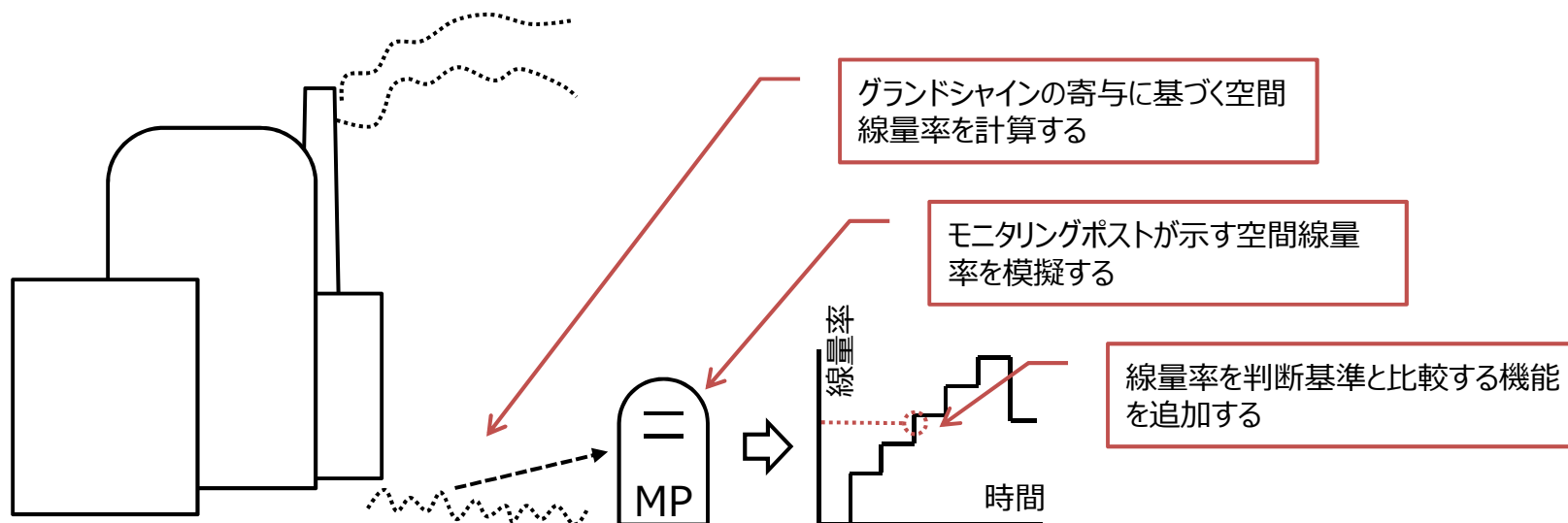
検討モデルの考え方





## 判断基準到達時間の計算機能追加

- 基準の超過時間
  - 解析で設定する判断基準と空間放射線量率を比較する機能を追加した。
- 空間放射線量率
  - 地表面に沈着した放射性物質に起因するグランドシャインによる線量率を計算することとした。
  - モニタリングポストの線量率（周辺線量当量率）を模擬するため、空間放射線量率を計算するための線量換算係数を作成した。
    - ✓ MACCSでは、人への積算の被ばく線量（実効線量など）を計算する線量換算係数が提供されている。





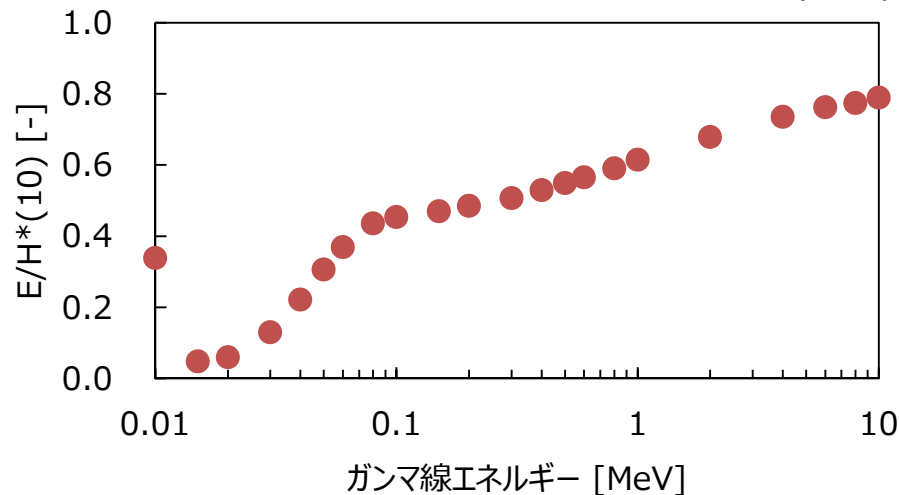


## 線量換算係数の作成

- 放射性物質濃度から被ばく線量を計算するための線量換算係数の項目として、“空間線量”を追加した。
  - 空間線量の線量換算係数 ( $DCF_{MP}$ ) は、グランドシャイン起因の実効線量の線量換算係数 ( $DCF_{ED\_GCF}$ ) \*<sup>1</sup>を元に、核種の崩壊エネルギー\*<sup>2</sup>別に、実効線量と周辺線量当量の係数比を用いて計算した。\*<sup>3</sup>

$$DCF_{MP} = DCF_{ED\_GCF} \times \frac{H^*(10)/K_a}{E/K_a}$$

$H^*(10)/K_a$ : 自由空気中空気カーマから周辺線量当量への換算係数 ( $\text{Sv Gy}^{-1}$ )\*<sup>4</sup>  
 $E/K_a$ : 自由空気中空気カーマあたりの実効線量 ( $\text{Sv Gy}^{-1}$ )\*<sup>4</sup>



ガンマ線エネルギーごとの実効線量-周辺線量当量換算係数 (ISO照射条件)

\*1 Young and Chanin, DOSFAC2 User's Guide, NUREG/CR-6547, 1997

\*2 ICRP, Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations, ICRP Publication 107, Ann. ICRP 38 (3), 2008

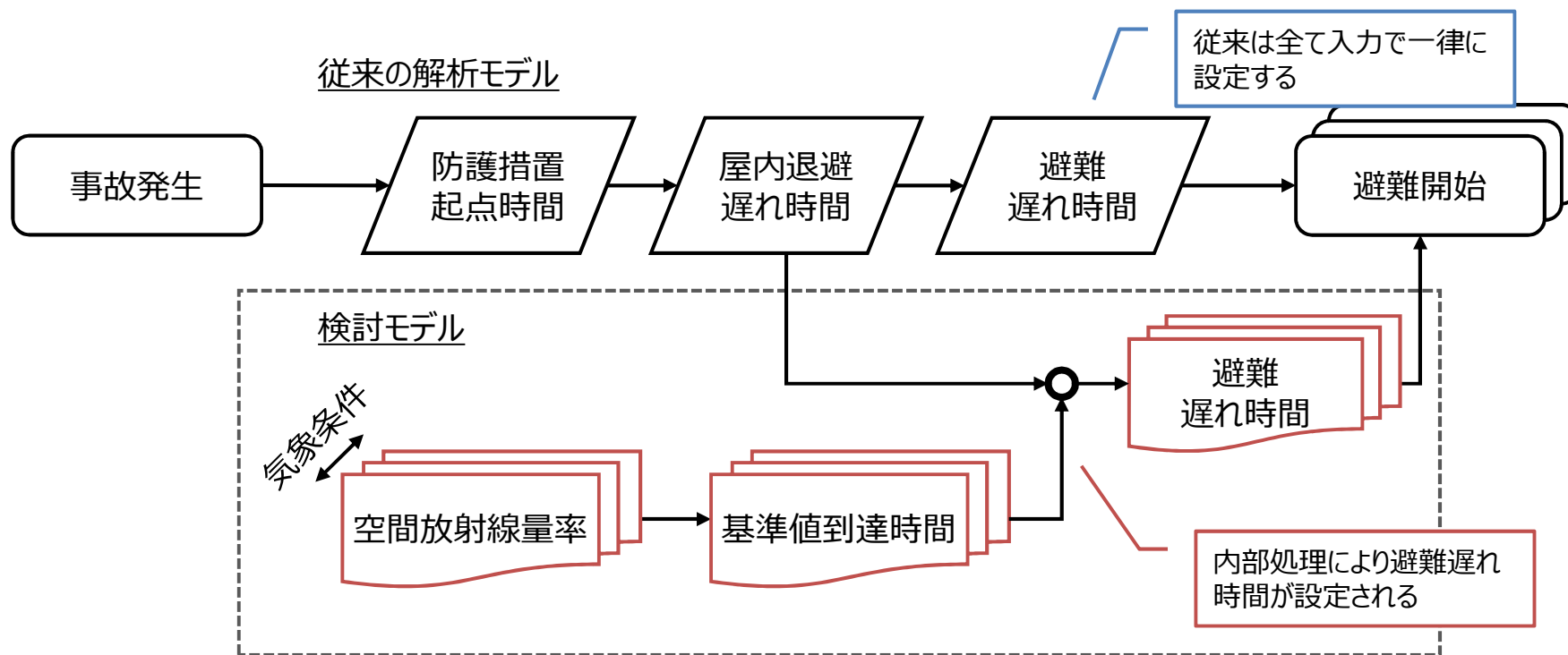
\*3 一般社団法人日本原子力学会放射線工学部会, 測定値 (空気中放射線線量) と実効線量, 2012 を参考に計算した

\*4 社団法人日本アイソトープ協会, 外部放射線に対する放射線防護に用いるための換算係数, ICRP Publication 74 (邦訳), 2001



## 解析コードによる避難の処理

- 解析においては、防護措置の流れについて、起点時間から屋内退避、屋内退避から避難への遅れ時間を設定する。
- 検討モデルでは、判断基準到達時間に遅れ時間を考慮し、気象条件ごとに異なる避難遅れ時間を設定することとした。



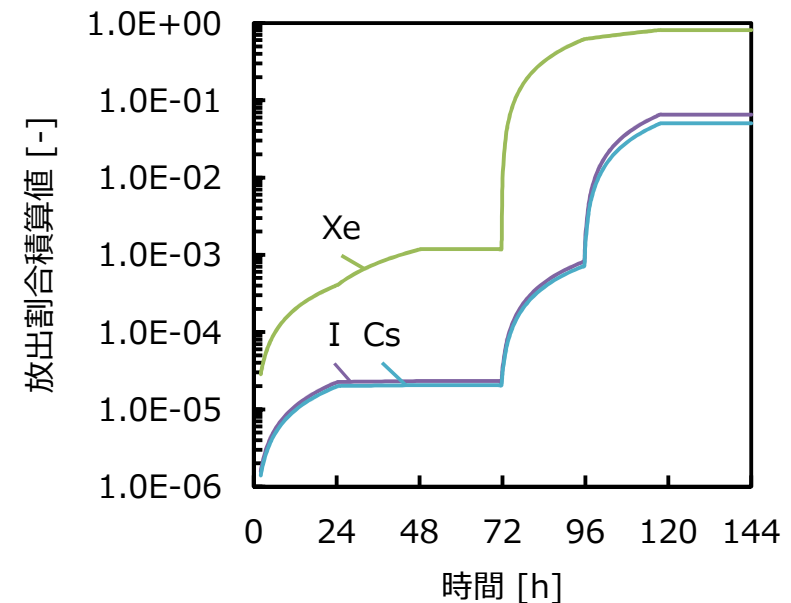


# 検討モデルの機能確認解析

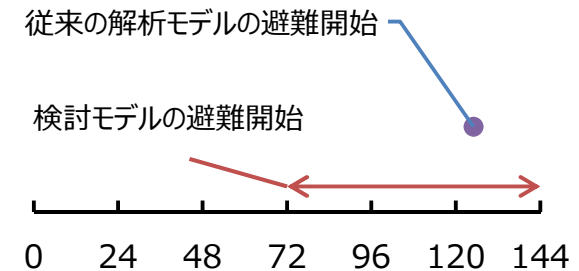
- 機能確認のため、従来の解析モデルと比較した試解析を例として実施した。

| 項目     | 従来の解析モデル  | 検討モデル                     |
|--------|---|---------------------------|
| 想定事故   | 3ループ加圧水型軽水炉における中破断冷却材喪失事故時のECCS注水失敗による過圧破損*<br>(事故20分後に格納容器からの漏えい開始、72時間後に破損) |                           |
| 防護措置   | PAZ   | 全面緊急事態の発令により避難            |
|        | UPZ   | 屋内退避後、放射性物質放出終了の5時間後に避難開始 |
| 気象条件   | 24時間*365日分（8760シーケンス）の計算開始条件  |                           |
| 解析対象期間 | 1週間   |                           |
| その他    | 比較のため、全て同条件   |                           |

主な核種グループごとの放出割合積算値



避難開始時間の差異

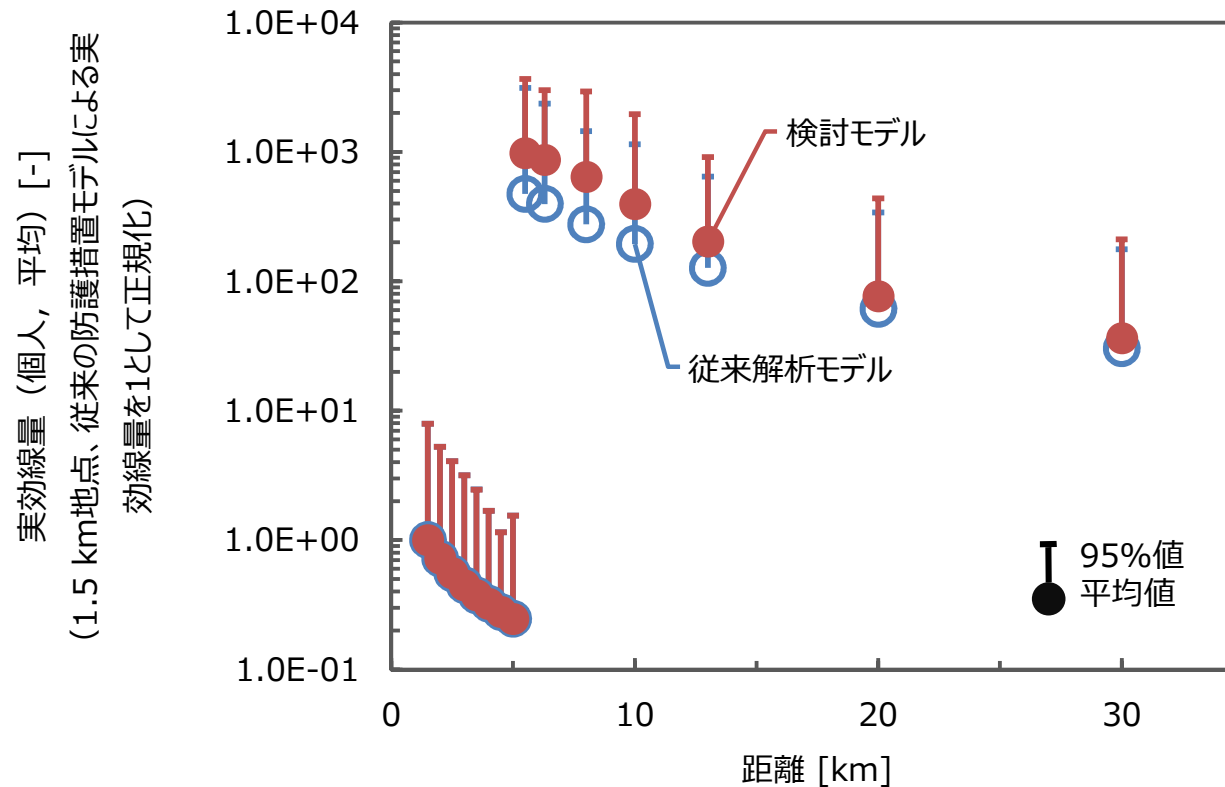


\*独立行政法人原子力安全基盤機構, 予防的防護措置範囲検討のためのレベル2PSAの解析, 2012



## 解析結果

- 従来解析モデルと検討モデルの機能確認解析結果を比較した。

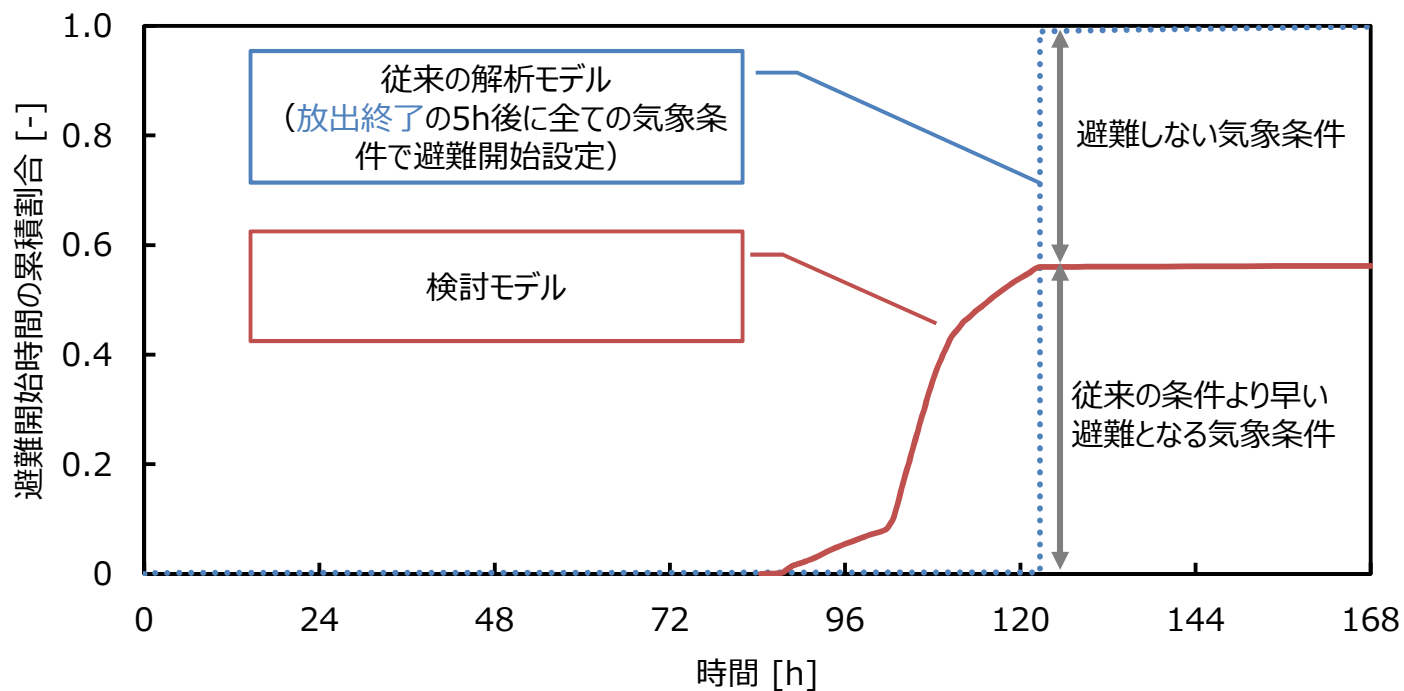


- 空間放射線量率避難を設定したUPZ圏内において、計算結果の差異を確認した。
  - 空間放射線量率の安定を確認する“避難実施の判断”をモデル化していなかったため、従来の解析モデル（放出終了の確認を前提とした避難）に比べて、実効線量が大きくなった。
    - ✓ 機能確認解析の条件では、プルーム通過中に避難を開始する場合があった。



## 避難開始時間

- 気象条件の差異による避難開始時間の差異を示す。
  - 縦軸は、横軸の時間までに避難を開始することとなった気象条件の割合を表す。



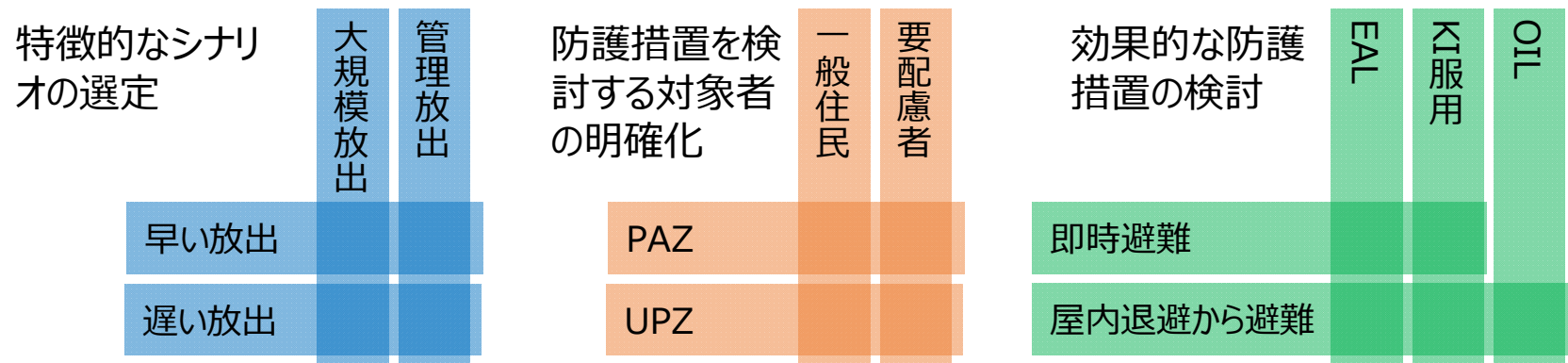
避難開始時間の累積分布関数 (プラントから5.2~5.8km区域)

- 検討モデルでは、気象条件ごとに、避難の開始タイミングが異なる。
  - 避難開始タイミングと被ばくの関係について分析を行っていくことが可能となる。



# 防災研究への適用の検討

- 防護措置の見直しを検討する防災研究\*では、原子力災害対策指針の防護措置を見直す参考情報として活用するための分析を実施する。
- 例：
  - 早い避難を実施する場合の危険の度合いの定量評価を提示する。
  - 屋内退避の持続可能時間とのバランスを検討した評価を提示する。



防護措置効果分析の検討要素イメージ

- シナリオごとに、誰が、どのような防護措置で、どの程度被ばくするか分析し、効果的な防護措置を検討する。

\*原子力規制庁, 令和3年度安全研究計画, 22. 特定重大事故等対処施設等を考慮した緊急時活動レベル (EAL) 見直しに関する研究, 2021



## まとめ

---

サイト特性を踏まえたリスク評価のため、レベル3PRA手法の検討を実施している。

- レベル3PRAコードMACCS2-NRAに、簡易的な避難開始モデルを導入し、客観的な情報に基づいて被ばく線量への影響を定量評価する方法を構築した。
- 機能確認解析により、気象条件の違いによる避難開始タイミングの影響を分析できることを確認した。
- 検討モデルの導入に当たり、避難実施の判断のモデル化に係る課題が浮き彫りになった。
  - 検討の結果を、レベル3PRAのリスク評価に活用していく。

### 【参考文献】

- 原子力規制庁, “安全研究成果報告 (中間) (案) 軽水炉の重大事故における格納容器機能損失及び確率論的リスク評価に係る解析手法の整備,” 第6回シビアアクシデント技術評価検討会資料5-2, 2019.
- 市川ほか, “サイト特性を踏まえたレベル3PRA手法の検討 (2)空間放射線量率基準に基づく避難モデル検討”, 日本原子力学会2020年春の年会予稿, 2020