

レベル3PRA手法を用いた 防護措置の被ばく低減効果の分析

放射線安全・防災研究グループ
木村 仁宣

- 研究の背景
- レベル3PRAコードOSCAARによる防護措置範囲の検討
 - 予防的防護措置範囲(PAZ)のめやす範囲
 - 事故シナリオでの防護措置の被ばく低減効果
- まとめ

● 緊急事態の初期対応段階における考え方

- 施設の状態に基づき、放射性物質の放出前に予防的防護措置を実施し、確定的影響を防止
 - 施設の状態に応じて緊急事態を区分
(警戒事態、施設敷地緊急事態、全面緊急事態)
 - 区分の判断基準として、施設における設備の状態等に基づく緊急時活動レベル(EAL)を設定
 - 区分に応じてPAZ、UPZ内で予防的防護措置を準備、実施
- 放射性物質の放出後、緊急時モニタリングを実施し、確率的影響のリスクを低減
 - 空間線量率や環境試料中濃度等、観測可能な値で示される運用上の介入レベル(OIL)を設定し、UPZ内で緊急防護措置を迅速に実施

● 防護措置の範囲

- PAZ (予防的防護措置を準備する区域)

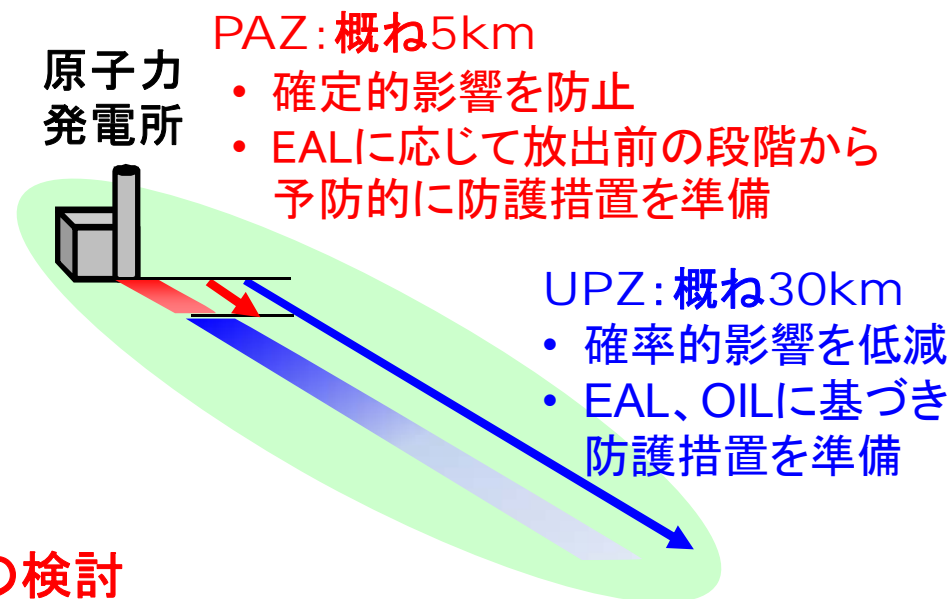
↓ 具体的な設定方法の検討

我が国への導入に備え、**めやす範囲**の評価が必要

- UPZ (緊急時防護措置を準備する区域)

↓ 必要な防護措置とその範囲の設定方法の検討

実施すべき**防護措置の組み合わせと範囲**の評価が必要



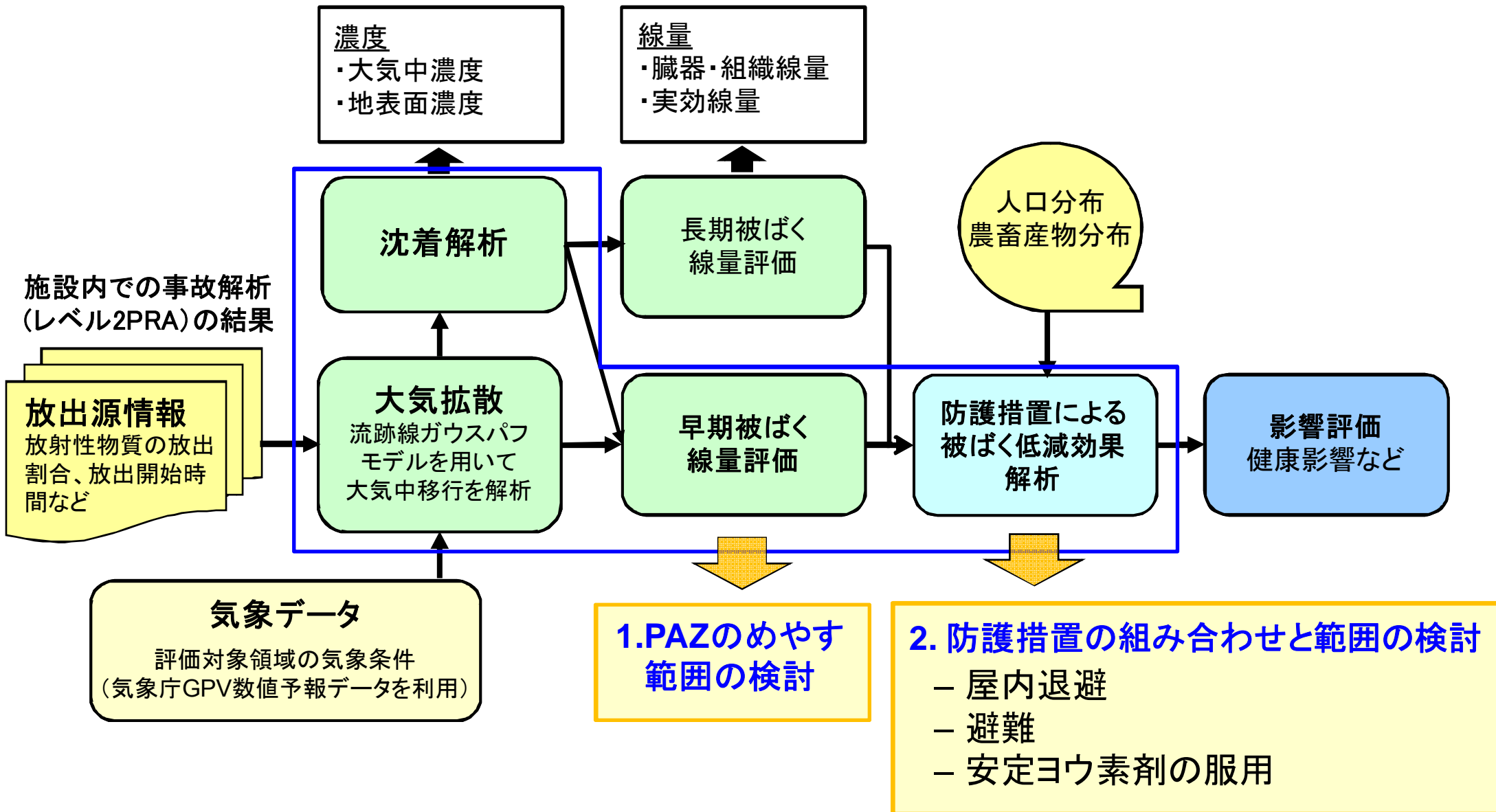
● 評価方法の検討

広範な事故シナリオ及び気象変動を考慮することが重要

↓ 確率論的リスク評価(PRA)手法を適用

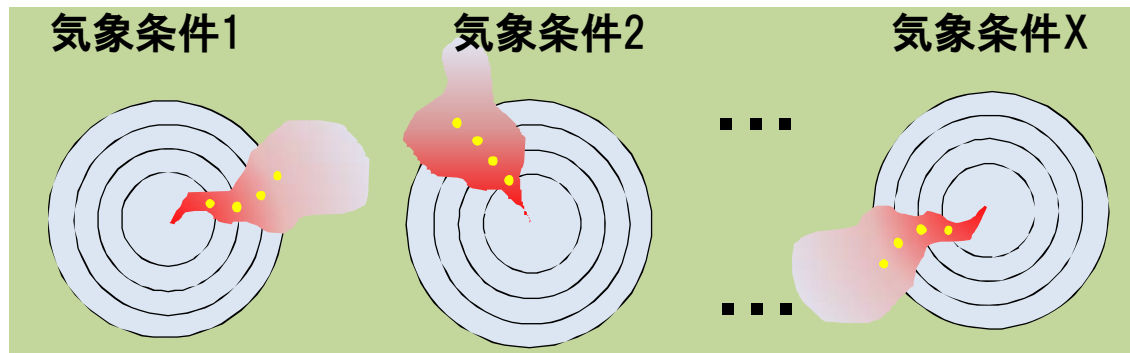
- 確率論的事故影響評価コードOSCAARを用いて、様々な事故シナリオで被ばく線量と防護措置による被ばく低減効果を評価
- PAZのめやす範囲、UPZ内での防護措置の組み合わせと範囲を検討

事故時に大気中に放出された放射性物質の環境中移行、それに続く公衆の被ばく線量、防護措置による被ばく低減、被ばく集団の健康影響等を推定



- OSCAARコードを用いて、事故シナリオ（放出源情報）を基に、気象条件毎に全方位・距離の線量を計算

気象の季節変動を考慮し、1年分の気象条件を用いて評価



距離毎に全方位のうち最大となる線量値を抽出

	気象条件1	気象条件2	...	気象条件X
距離1	51 mSv	103 mSv	...	98 mSv
距離2	21 mSv	55 mSv	...	61 mSv
⋮	⋮	⋮		⋮
距離n	31 mSv	23 mSv		11 mSv

各距離での線量を昇順に並べ、線量の50%値（平均的な気象条件）と95%値（厳しい気象条件）で整理

1.PAZのめやす範囲の検討 - 評価方法 -

● 事故シナリオの選定

レベル2PRA結果に基づく
様々な事故シナリオ
- BWR:52種類
- PWR:27種類

リスク上の重要性の観点

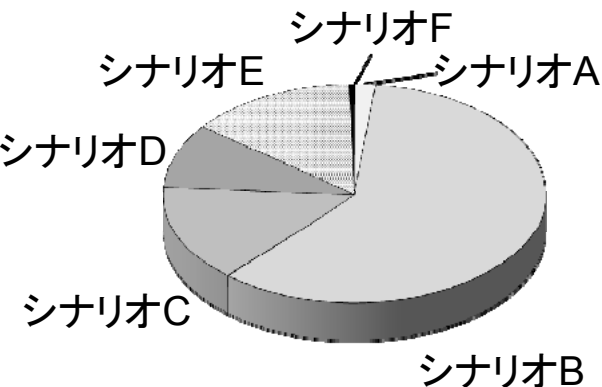
- 格納容器破損頻度
- 環境への放出割合

防災の実効性の観点

- 放出開始までの時間

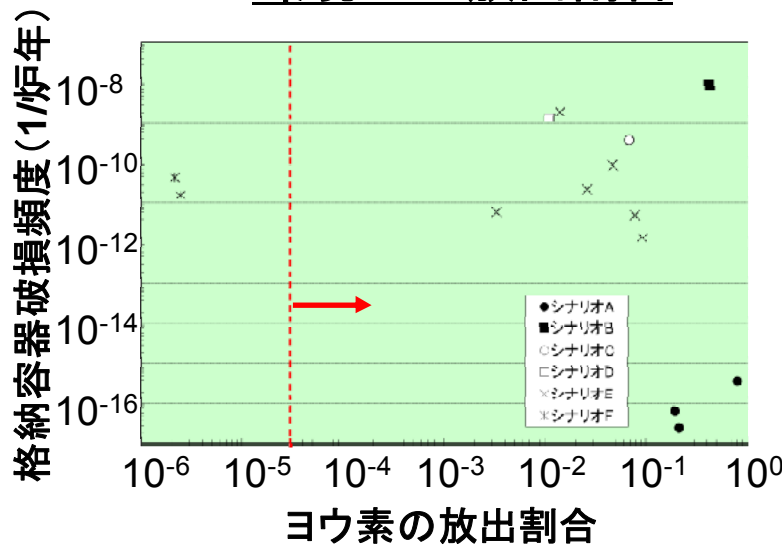
**BWR:5種類、
PWR:3種類
の事故シナリオ
を対象に評価**

格納容器破損頻度



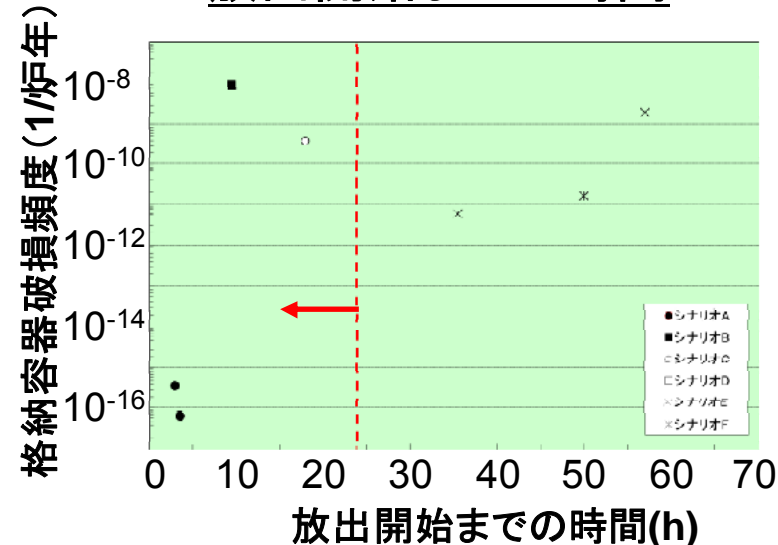
極端に破損頻度の
小さい事故シナリオを除外

環境への放出割合



仮想事故での放出割合より
大きい事故シナリオを選定

放出開始までの時間



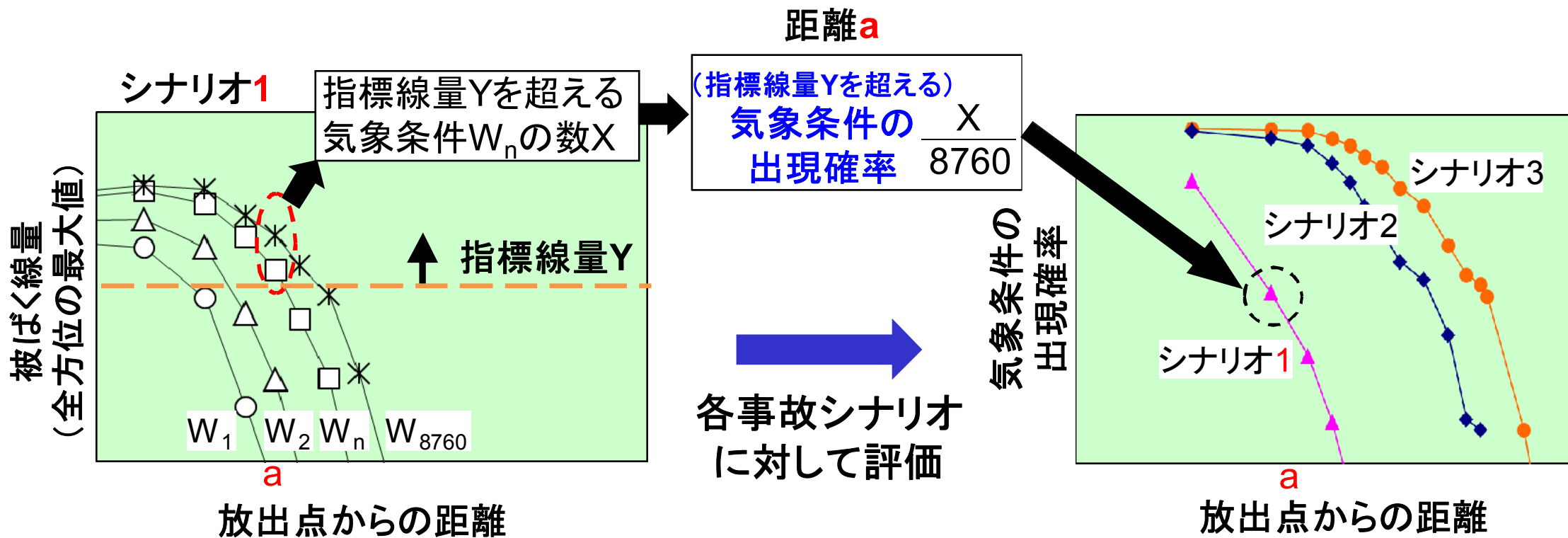
事故発生から放出開始まで
1日以内の事故シナリオを選定

1.PAZのめやす範囲の検討

- 評価方法 -

- 評価対象とした全ての事故シナリオに対し、気象条件の出現確率の観点からPAZのめやす範囲を検討

事故シナリオ毎に、1時間毎の1年分の気象条件(8760通り)を用いて評価

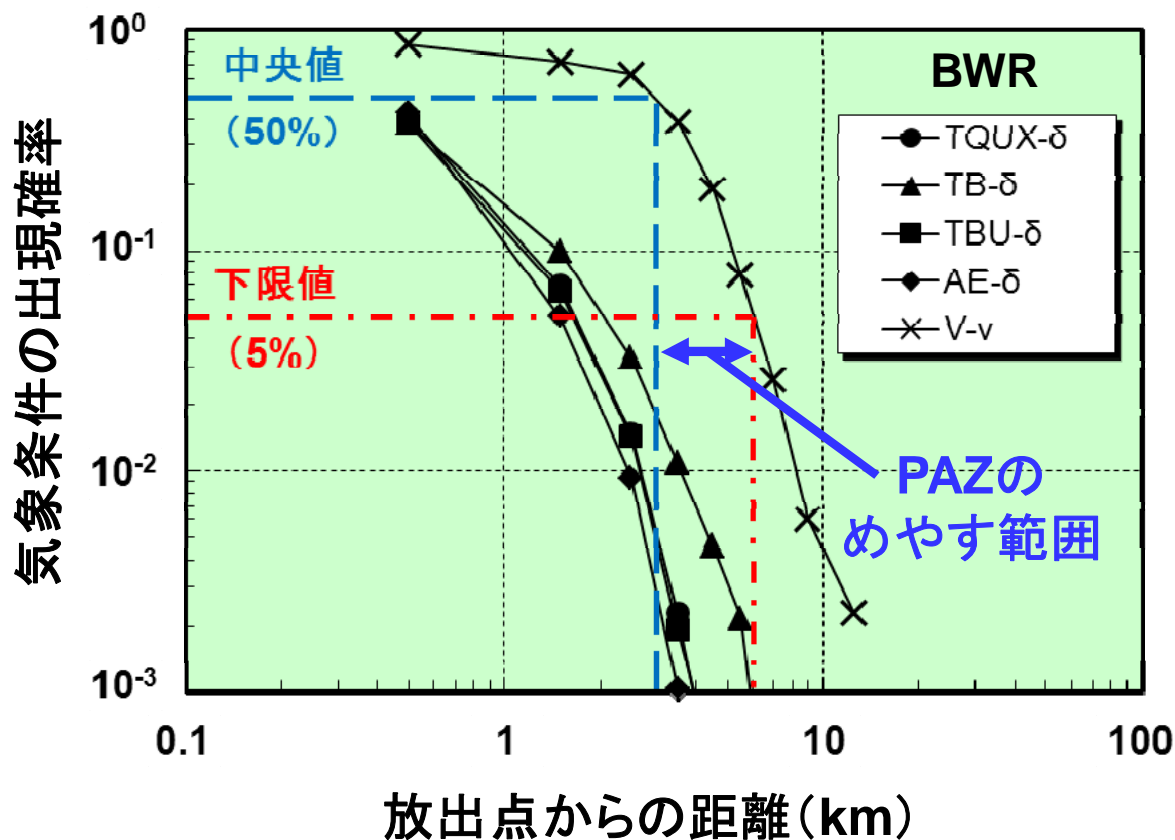


1.PAZのめやす範囲の検討

- 評価結果 -

- IAEAの国際基本安全基準(BSS)による線量指標(骨髄線量(1日間): 1Gy)に基づき、PAZの範囲を評価

指標線量を超える気象条件の出現確率と放出点からの距離との関係



格納容器バイパスシナリオ (V-v) が他の事故シナリオを包絡

中央値と下限値で評価
(中央値:平均的な気象条件、
下限値:厳しい気象条件)

PAZのめやす範囲
3*~6kmと評価

事故シナリオの種類

TQUX: 高圧注水・減圧失敗、TB: 電源喪失(短期)、TBU: 電源喪失(長期)、
AE: LOCA時注水失敗、V-v: インターフェイスシステムLOCA

* 旧原子力安全委員会からの受託事業による成果

2.防護措置の組み合わせと範囲の検討 - 放出源情報 -

- OSCAARコードにより、事故シナリオでの防護措置の被ばく低減効果を評価し、主にUPZ内での防護措置の組み合わせと範囲を検討
- 事故シナリオの放出源情報*
 - 核種の放出割合（原子炉停止時の炉内内蔵量に対する割合）

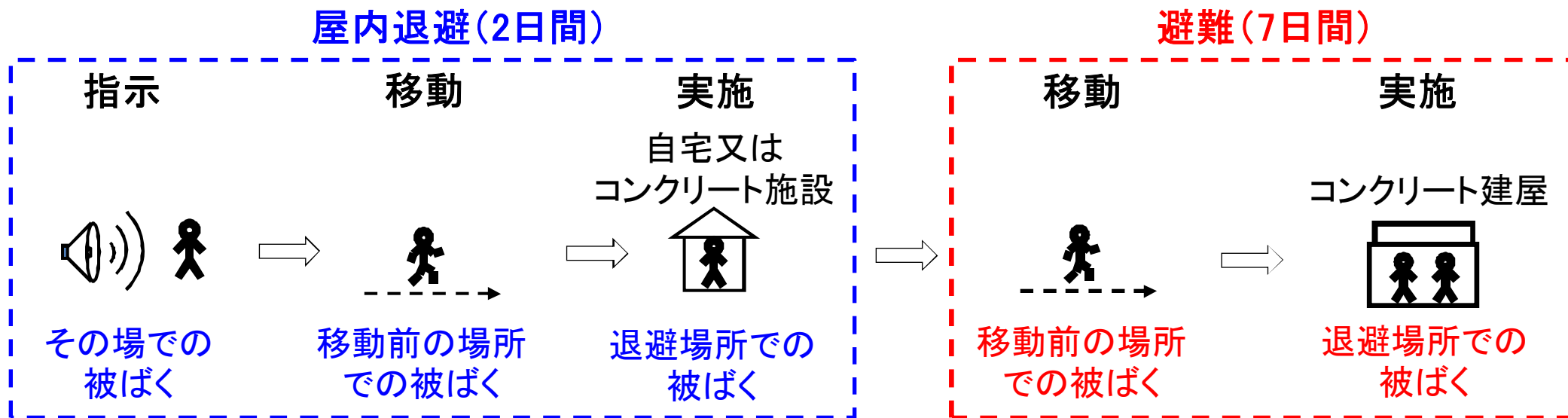
事故シナリオ	希ガス	有機 ヨウ素	無機 ヨウ素	Cs類	Te類	Ba類	Ru類	La類
非凝縮性ガス及び 水蒸気による格納 容器の過圧破損	9.5E-01	1.6E-03	3.1E-02	2.8E-02	2.8E-04	1.2E-08	2.4E-11	5.2E-12

- 放射性物質の環境中への放出に関わる情報
 - 放出開始までの時間：27時間
 - 放出継続時間：7時間
 - 放出高さ：40m

* 本間他, “軽水炉モデルプラントの広範な事故シナリオに対する環境影響評価,” JAERI-Research 2000-60 (2000).

2.防護措置の組み合わせと範囲の検討 - OSCAARコードの防護措置モデル(1/2) -

● 屋内退避と避難



● 被ばく低減効果の評価に用いるパラメータ

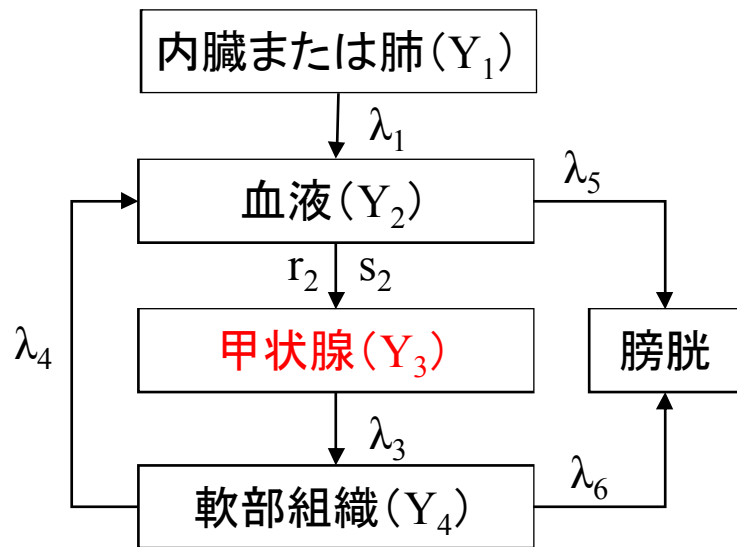
防護措置	遮へい機能*	密封機能*	実施位置	実施に要する時間
屋内退避	放射性雲:0.9 沈着核種:0.4	除去効率 0.25	その場	1時間
コンクリート 屋内退避	放射性雲:0.6 沈着核種:0.2	除去効率 0.05	その場	1時間
避難	—	—	30 km地点の施設	~5kmからの移動:8時間 5~10 kmからの移動:6時間

* 原子力安全委員会「原子力施設等の防災対策について」

2.防護措置の組み合わせと範囲の検討 - OSCAARコードの防護措置モデル(2/2) -

● 安定ヨウ素剤の服用

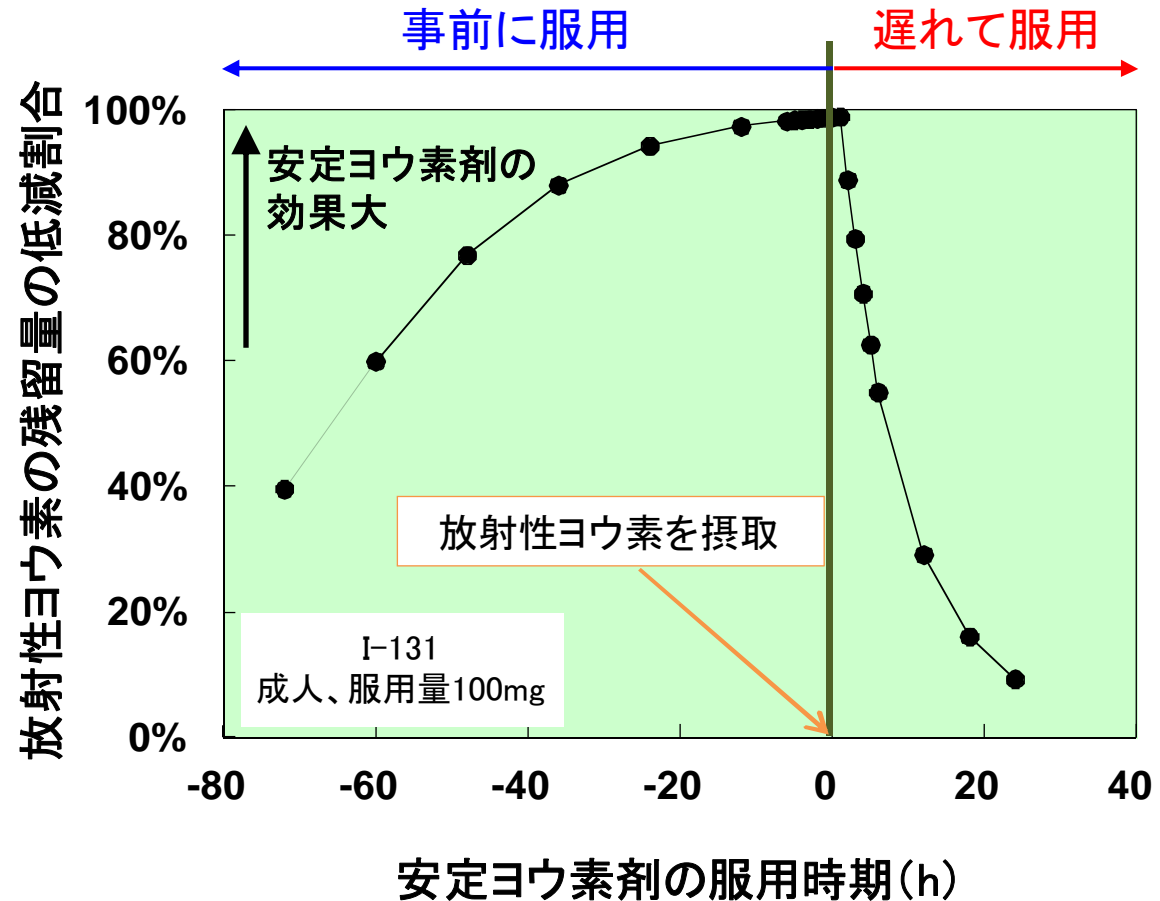
服用時期によって被ばく低減効果は異なる ➡ 体内動態モデル*を用い、安定ヨウ素剤の服用時期に対する放射性ヨウ素の甲状腺残留割合を評価



λ: 速度定数
 $r_2 \cdot s_2$: 放射性・安定ヨウ素の取り込み速度
 $Y_3^r \cdot Y_3^s$: 甲状腺中の放射性・安定ヨウ素の濃度

$$\frac{dY_3^r(t)}{dt} = r_2 - (\lambda_3 + \lambda_r)Y_3^r(t)$$

$$\frac{dY_3^s(t)}{dt} = s_2 - \lambda_3 Y_3^s(t)$$

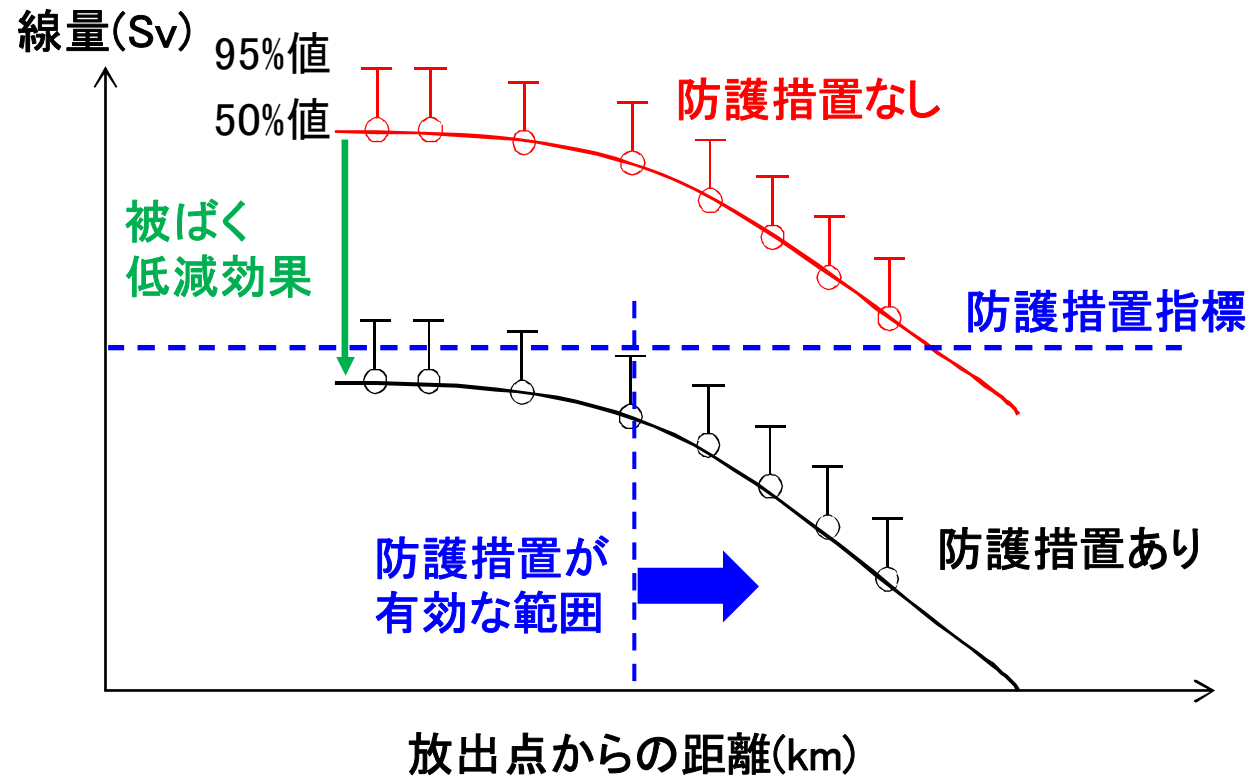


*J. R. Johnson (1981). "Radioiodine Dosimetry", Journal of Radioanalytical Chemistry, 65, 223-238.

2.防護措置の組み合わせと範囲の検討

- 被ばく低減効果の評価 -

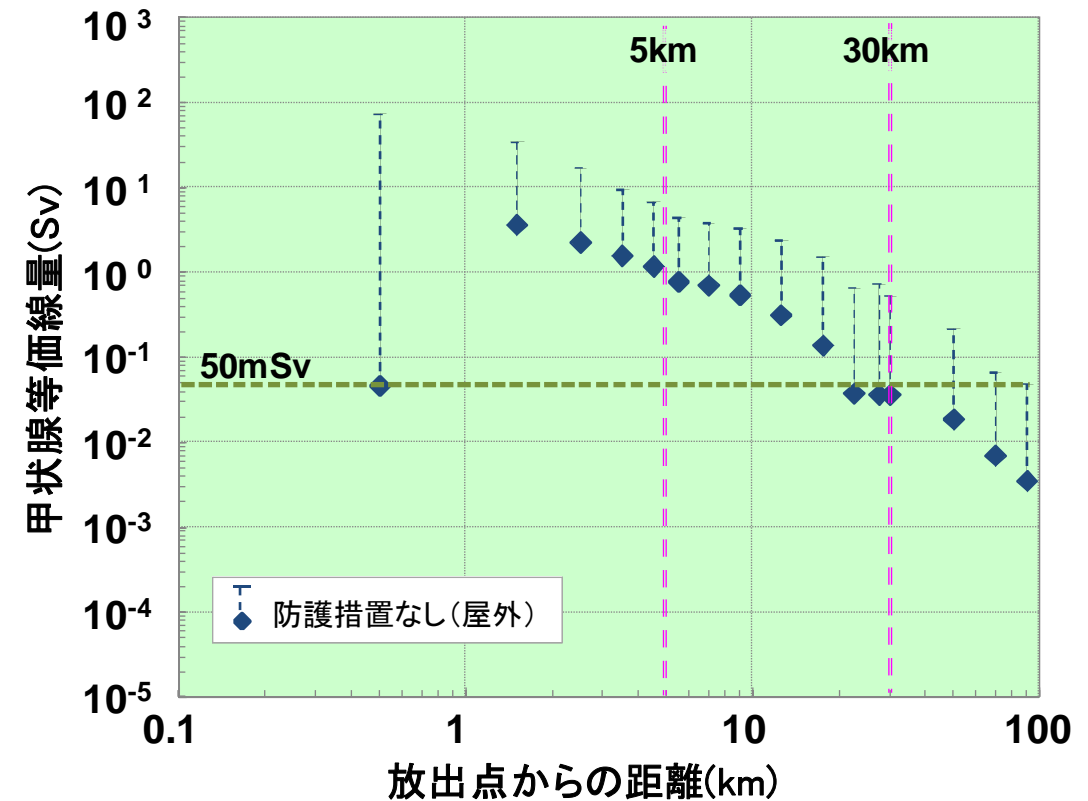
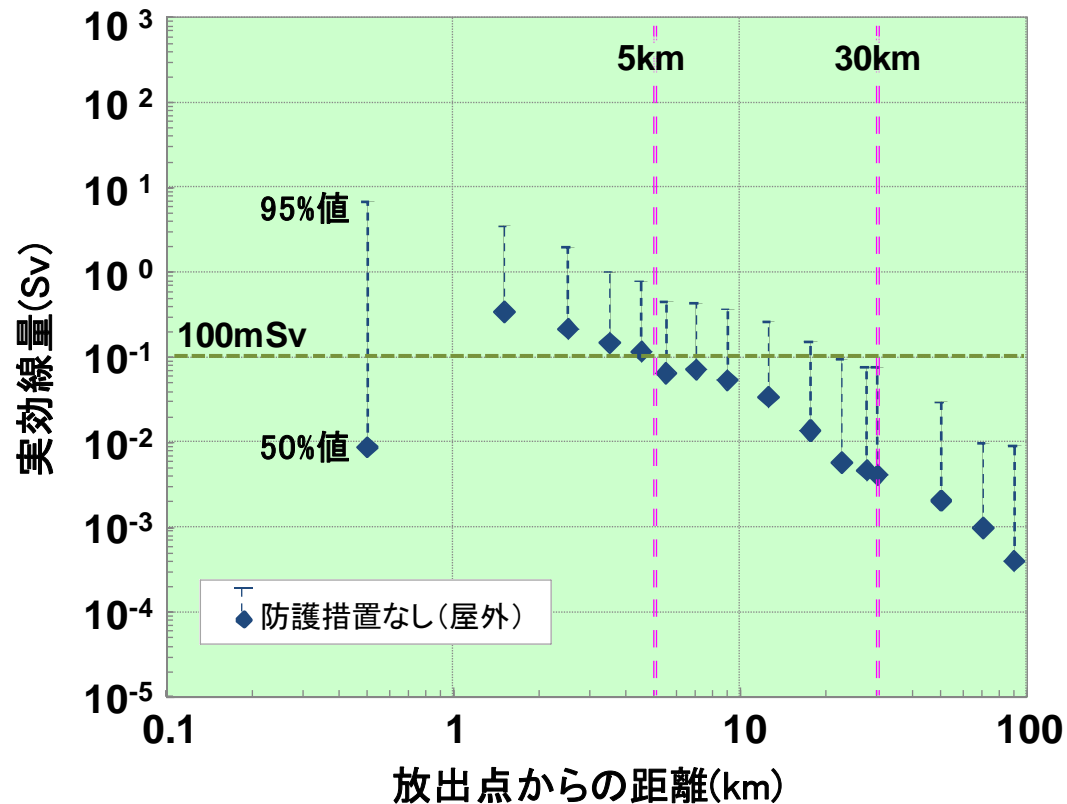
● 防護措置の実施方法と実施範囲の検討



- 被ばく低減効果は、防護措置の種類、対象範囲、実施期間により異なる。
- 効果的に被ばくを低減するためには、適切な範囲で防護措置を組み合わせることが重要。
 - 予防的避難
 - 屋内退避
 - コンクリート屋内退避後に避難

2.防護措置の組み合わせと範囲の検討

－ 過圧破損シナリオにおける被ばく線量の評価例 －

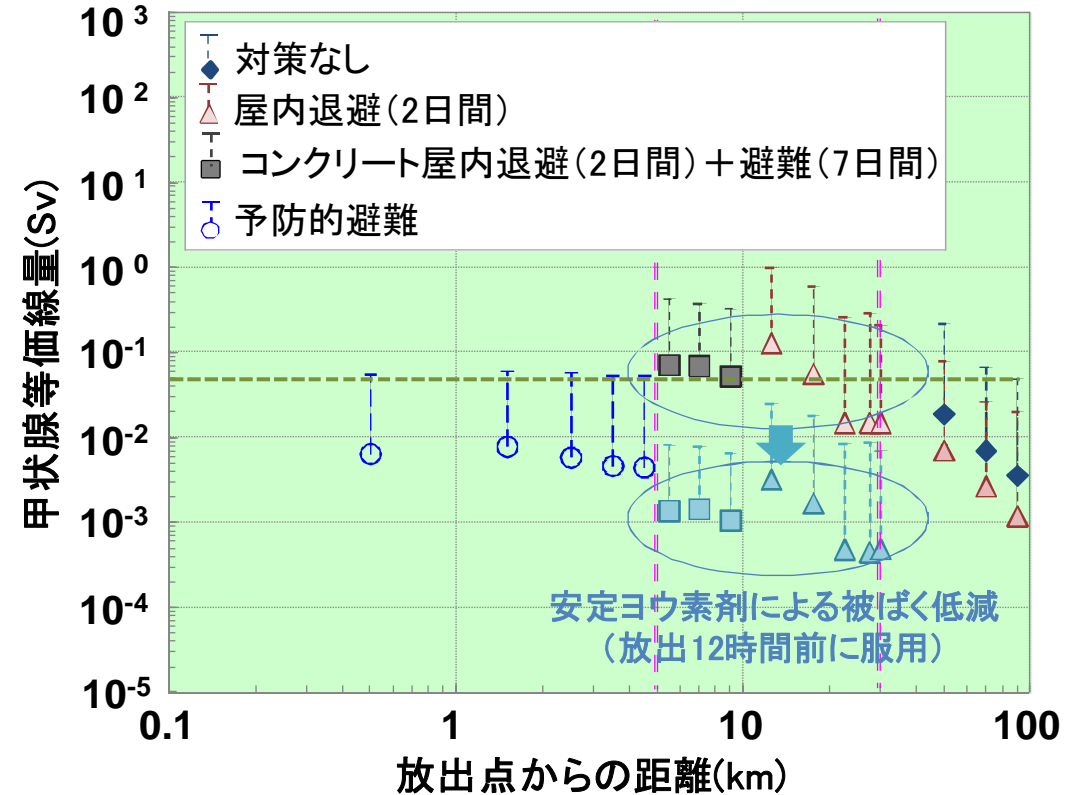
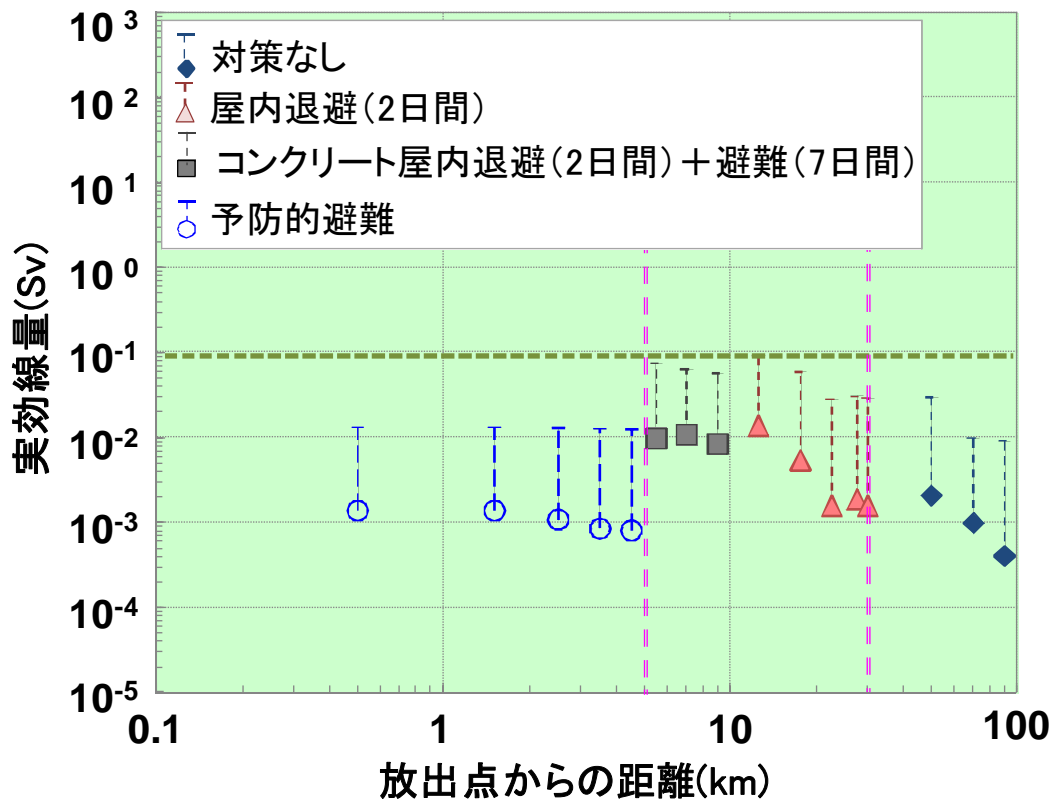


- 防護措置を実施しない場合、実効線量および甲状腺等価線量は、広い範囲でIAEAの包括的判断基準*を上回る。
- 防護措置の被ばく低減効果を評価し、実効線量、甲状腺等価線量が包括的判断基準を上回るような防護措置の種類と実施範囲を検討する。

*国際原子力機関 (IAEA) のGeneral Safety Guide (GSG-2)に示される線量の包括的判断基準として、実効線量に対し最初の7日間で100mSv、甲状腺等価線量に対し最初の7日間で50mSvが採用されている。

2.防護措置の組み合わせと範囲の検討

－ 過圧破損シナリオにおける複合的防護措置の検討例 －



● 実効線量

適切な範囲で防護措置を組み合わせることで(5km以内: 予防的避難、5-10km: コンクリート屋内退避後に避難、10-30km: 屋内退避)、100mSvを下回ることが可能。

● 甲状腺等価線量

- 5-30kmの範囲においては、避難や屋内退避のみでは、50 mSvを上回る可能性がある。
- ただし、屋内退避と安定ヨウ素剤の服用を組み合わせれば、50 mSvを下回る。

- レベル3PRAコードOSCAARを用いて被ばく線量の観点から、PAZのめやす範囲、UPZ内での防護措置の組み合わせと範囲を検討した。
 - PAZのめやす範囲
BWRの格納容器バイパスシナリオ(V-ν)の事故シナリオによる評価結果からめやす範囲として3-6 kmと設定できることを明らかにした。
 - 防護措置の範囲と種類(例:過圧破損に伴う放出)
 - PAZ(約5km)内では、放射性物質が環境中へ放出される前に予防的に避難することで高い被ばく低減効果を期待できる。
 - UPZ(約30km)内で、5-10kmでは屋内退避と避難、10km以遠は屋内退避によって、実効線量の十分な低減が見込まれる。
 - 放射性ヨウ素の吸入による甲状腺被ばくについては、UPZ内で安定ヨウ素剤を事前に服用することで、高い被ばく低減効果が見込まれる。
- 今後の方針
 - 様々な事故シナリオに対する防護措置の評価
 - 防護措置の計算パラメータの整備