

OIL該当地域と甲状腺被ばく線量 との関係

令和3年2月18日

原子力規制庁
放射線防護企画課

検討の方針

- 原子力災害対策指針では、全面緊急事態発生後、基本的にPAZ内の住民等を対象に避難や安定ヨウ素剤の服用等の予防的防護措置が講じられ、UPZ内においては、屋内退避が実施される。
- 放射性物質の放出後は、継続的に高い空間線量率が計測された地域において運用上の介入レベル(OIL1及びOIL2)に基づく避難あるいは一時移転等の防護措置が講じられる。
- 放射性物質の地表面沈着に起因して継続的に高い空間線量率が計測された地域は、比較的濃度の高い放射性雲が通過したと考えられるので、地表面沈着に起因する空間線量率と通過した放射性雲中の放射性物質の吸入から生じ得る甲状腺被ばく線量との関係を検討する。

空間線量率と甲状腺等価線量との関係

- 地表面沈着濃度(乾性沈着及び湿性沈着) → 空間線量率: A
- 放射性物質の時間積算濃度 → 吸入による甲状腺等価線量: $H_{i,th}^{inh}$
- 地表面沈着濃度 (Bq/m^2) \propto 時間積算濃度 ($\text{Bq}\cdot\text{s}/\text{m}^3$)
- この比: $H_{i,th}^{inh}/A$ (甲状腺等価線量 (mSv)/空間線量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)) は、

$$\frac{H_{i,th}^{inh}}{A} = \frac{10^3 \cdot \sum_m h_{i,m}^{inh} \cdot B_i \cdot Q_m \cdot \left(\frac{C}{Q}\right)_{\Delta T,m}}{\sum_m a_m \cdot CF_{gr} \cdot V_m \cdot Q_m \cdot \left(\frac{C}{Q}\right)_{\Delta T,m}}$$



降雨のない場合に
大きな値

Q_m : 核種mの放出量 ($= I_m \cdot RF_m \cdot e^{-\lambda_m \cdot T_r}$), I_m : 炉内内蔵量, RF_m : 放出割合, T_r : 放出開始時間,

$h_{i,m}^{inh}$: 核種mの吸入によるグループiの甲状腺等価線量係数 (Sv/Bq), B_i : グループiの呼吸率 (m^3/s) (ICRP Publication 71, 1995),

a_m : 核種mの沈着密度から地上1mにおける周辺線量当量換算係数 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$ per Bq/m^2) (Saito and Petoussi-Henss, 2014), CF_{gr} : 地表面粗度による低減係数

V_m : 核種mのバルクの沈着速度 (m/s), $\left(\frac{C}{Q}\right)_{\Delta T,m}$: 核種mの放射性雲通過中 ΔT の拡散因子 (s/m^3)

基本シナリオと変動要因

- 「緊急時の被ばく線量及び防護措置の効果の試算について(H26第9回原子力規制委員会)」(別紙)等で議論された事故シナリオ(Cs-137の100テラベクレル放出相当)を基に分析する。
 - 炉心内蔵量:80万kWe級加圧水型軽水炉
 - 環境への放出割合(別紙参照)
 - 炉停止から放出開始までの時間:24時間*
 - 放出高さ:50 m
 - 放射性ヨウ素の化学組成(無機:95%,有機:5%)
- 空間線量率と甲状腺等価線量の関係に影響を及ぼす主たる要因としては、以下が考えられる:
 - 環境への放出核種の核種組成
 - 放出核種の沈着挙動
 - 放射性ヨウ素の物理化学的組成(粒子状、元素状、有機)
 - 他の核種は粒子状
 - 吸入による甲状腺等価線量の年齢依存

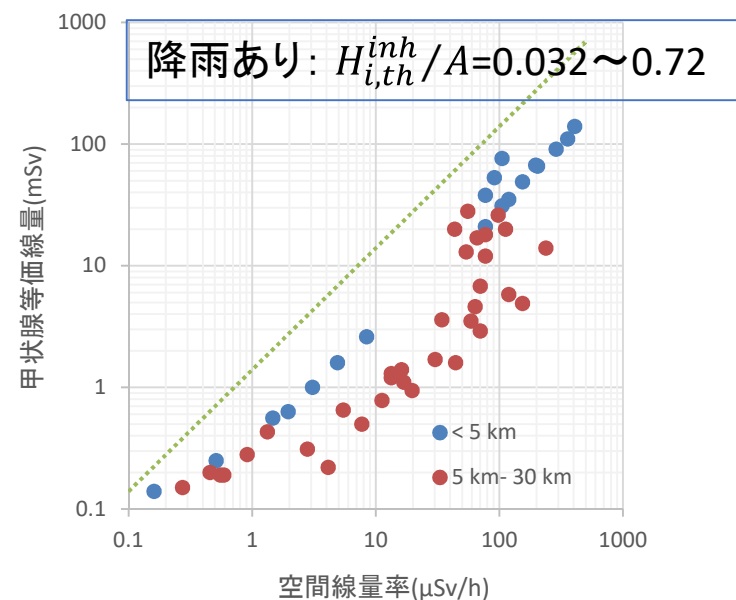
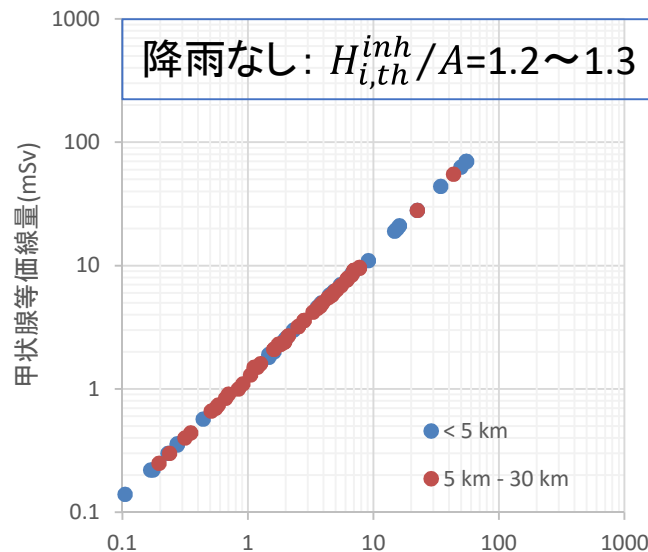
* H30第36回原子力規制委員会 資料2:原子力災害事前対策の策定において参照すべき線量のめやすについて 4

基本シナリオにおける $H_{i,th}^{inh} / A$ (mSv per Bq/m²)

- 空間線量率: Te-132/I-132(32%), Ba-140/La-140(17%), I-133(16%), I-131(10%) 甲状腺等価線量: I-131(76%), I-133(15%)

| 放出シナリオ | 条件 | $H_{i,th}^{inh} / A$ |
|--------|--|----------------------|
| 基本シナリオ | 放出開始時間: 24 時間 降雨なし, $V = 0.2$ cm/s | 1.6 |
| | 放出開始時間: 12 時間 降雨なし, $V = 0.2$ cm/s | 1.4 |
| | 放出開始時間: 24 時間, 安定度 D 降雨あり(1 mm/h): $\Lambda = 1.6E-4$ | 0.40 |

- H26のOSCAARコードによる計算(放出開始時間:12時間)の特定気象シーケンスの結果(1.5km~30km評価点)*



*JAEAの協力による。 空間線量率(μSv/h)

放出の核種組成とヨウ素の化学組成

- IAEAのOIL導出文書(EPR-NPPOILs, 2017)を参考に、様々な事故シナリオにおける放出核種の放出割合の違いを検討。

| 放出シナリオ | 核種の放出割合 | $H_{i,th}^{inh}/A$ |
|---|---------------------------------------|--------------------|
| BWRの長期全電源喪失による溶融貫通からの大気放出、放出開始22時間で、格納容器損傷後2時間で主要な放出(NUREG/CR-7110) | Te: 2.2E-3 I: 4.0E-3 Ba: 4.5E-3 | 0.79 |
| BWRの長期全電源喪失による溶融貫通からの大気放出、放出開始24時間でその後、施設内沈着物の再放出(NUREG/CR-7110) | Te: 1.0E-2 I: 1.0E-2 Ba: 5.0E-3 | 1.0 |
| PWRの長期全電源喪失による溶融貫通からの大気放出、放出開始1.5日の通常漏洩(NUREG/CR-7110) | Te: 4.0E-5 I: 6.0E-5 Ba: 3.0E-6 | 1.8 |
| PWRの長期全電源喪失による溶融貫通からの大気放出、放出開始4日の格納容器損傷(NUREG/CR-7110) | Te: 2.0E-2 I: 5.0E-3 Ba: 7.5E-4 | 0.81 |

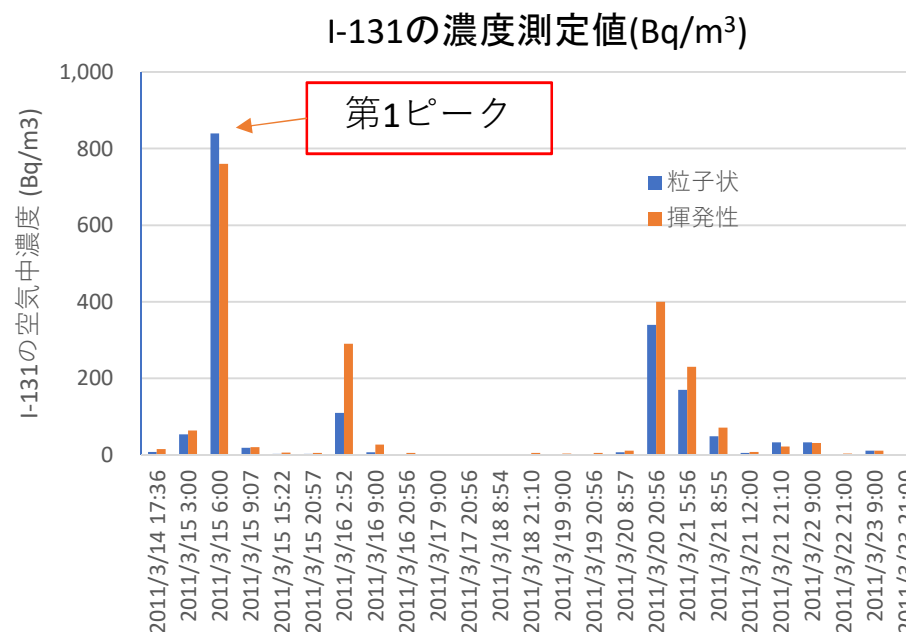
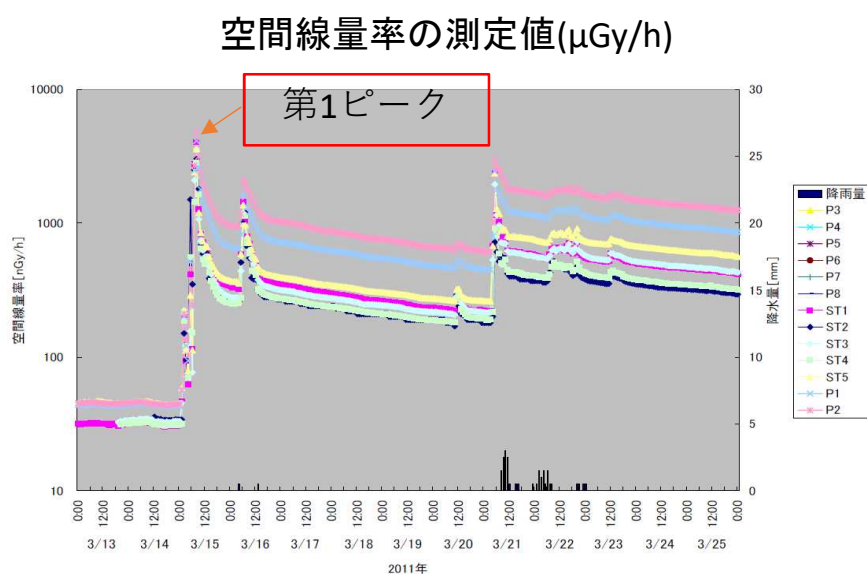
- 福島第一事故に関するUNSCEAR2013報告書を参考に、ヨウ素の物理化学的組成の違いを検討。

| 放出シナリオ | ヨウ素の物理化学的性状* | $H_{i,th}^{inh}/A$ |
|--------|--|--------------------|
| 基本シナリオ | 粒子状: 95%, $V = 0.2 \text{ cm/s}$ 有機: 5%, $V = 0.02 \text{ cm/s}$ | 1.6 |
| | 粒子状: 50%, $V = 0.2 \text{ cm/s}$ 元素状: 50%, $V = 4.0 \text{ cm/s}$ | 0.48 |

* 沈着パラメータ(IAEA Safety series No.57, 1982)。

環境モニタリングデータによる検証

- 福島第一事故の際に、JAEA(東海)で測定された空間線量率と放射性核種の空气中濃度データを用いる(JAEA-Review 2011-035)



- 3月15日の夜半から空間線量率が上昇。早朝にI-131空气中濃度の最大値(1.6kBq/m^3)を測定。降雨のないこの第1ピーク時の成人の甲状腺等価線量推定値(1.6mSv)と空間線量率測定値($0.94\mu\text{Gy/h}^*$)から、 $H_{i,th}^{inh}/A$ は、約1.3となった。

* Saito and Petoussi-Henss (2014)から、周辺線量当量への換算係数1.33を適用。

甲状腺等価線量の年齢依存性

- 放射性ヨウ素の吸入による甲状腺等価線量換算係数及び呼吸率の年齢依存について、I-131を例に下表に示す。
- 表から換算係数と呼吸率の積を比較すると、成人に対して1歳児の場合が最大で、1.9～2.2倍となる。

| 対象 (年齢) | 1日呼吸量 (m ³) | 線量係数(Sv/Bq) 粒子状 (1 μm, F) | 成人に 対する比 | 線量係数(Sv/Bq) 元素状 | 成人に 対する比 |
|------------|----------------------------|------------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| 3ヶ月児 | 2.86 | 1.4×10^{-6} | 1.2 | 3.3×10^{-6} | 1.1 |
| 1歳児 | 5.16 | 1.4×10^{-6} | 2.2 | 3.2×10^{-6} | 1.9 |
| 5歳児 | 8.72 | 7.3×10^{-7} | 1.9 | 1.9×10^{-6} | 1.9 |
| 10歳児 | 15.3 | 3.7×10^{-7} | 1.7 | 9.5×10^{-7} | 1.7 |
| 15歳児 | 20.1 | 2.2×10^{-7} | 1.3 | 6.2×10^{-7} | 1.4 |
| 成人 | 22.2 | 1.5×10^{-7} | 1 | 3.9×10^{-7} | 1 |

対象者が居住する地域の要件

- $H_{i,th}^{inh}/A$ (甲状腺等価線量(mSv)/空間線量率($\mu\text{Sv/h}$))は、基本シナリオの場合、防護措置を講じない成人に対して1.6、変動要因を考慮すると、この比はおおよそ0.79~1.8倍となった。
- さらに、被ばくの年齢依存性を考慮すると、OIL2(20 $\mu\text{Sv/h}$)に相当する地域では、防護措置を講じない場合、1歳児の甲状腺等価線量が最大で、約70数mSvと推定される。
- 緊急事態宣言後、UPZ内の住民は基本的に屋内退避を実施していることを考慮すると、甲状腺等価線量は安定ヨウ素剤配布の国際基準(最初の7日間、50mSv)を下回ると考えられる。
- 国際がん研究機関(IARC, 2018)の提言によれば、原子炉事故後の甲状腺健康モニタリングの提供を推奨する「よりリスクの高い個人」として、胎児期、小児期または思春期(19歳未満)に100~500mGy以上の甲状腺線量を被ばくしたものと定義している。
- 以上から、甲状腺被ばく線量モニタリングの対象とする住民としては、国際基準を踏まえ、まずはOIL1及びOIL2該当地域の住民を基本とすべきではないか。

緊急時の被ばく線量及び防護措置の効果の試算について

平成26年5月28日
原子力規制委員会

1. 趣旨・目的

原子力災害対策指針では、放射性物質の放出前に予防的防護措置を実施するための枠組や、事故の進展に応じて段階的避難等の追加的防護措置を実施するための枠組等、原子力防災体制の基本的考え方を示している。

原子力災害対策指針の考え方にに基づき、関係自治体において、各地域の実情を踏まえて、地域防災計画の策定等が進められているが、原子力災害の様態は、事故の規模や進展の状況等によって多様であり、実際の原子力災害時には、状況等に応じて、柔軟かつ適切な対応が求められる。

このため、関係自治体において、リスクに応じた合理的な準備や対応を行うための参考としていただくことを目的として、仮想的な事故における放出源からの距離に応じた被ばく線量と予防的防護措置による低減効果について、全体的な傾向を捉えていただくための試算を行った。

本試算では、セシウム137が100テラベクレル、その他核種がセシウム137と同じ割合で換算された量、さらに希ガス類が全量、環境中に放出されるような仮想的な事故を想定した。この想定は、東電福島第一原発事故を踏まえて強化された新規規制基準への適合性を審査する上で「想定する格納容器破損モードに対して、Cs-137の放出量が100TBqを下回っていることを確認する」(注)とされていることを踏まえて設定したものである。

なお、本試算はこれ以上の規模の事故が起こらないことを意味しているものではない。

(注)『実用発電用原子炉に係る炉心損傷防止対策及び格納容器破損防止対策の有効性評価に関する審査ガイド』より抜粋

2. 計算条件及び評価方法

- 想定する事故：放射性物質が環境に放出されるが、具体的な事故のシーケンスは設定せず、以下の条件で計算。
- 炉心内蔵量：80万kWe級加圧水型軽水炉(PWR)をモデル。
(事故直前まで定格熱出力(2,652MWt)比102%の熱出力で40,000時間運転を継続したものと算出。)
- 格納容器への放出割合：米国NRCのNUREG-1465から引用。
- 環境への放出割合：セシウム137の環境への放出量が100テラベクレルとなるように求めた係数を、NUREG-1465から得られた各核種グループ(ヨウ素類等)の格納容器への放出割合に乗算して算出。
ただし、希ガス類については、全量が放出されると仮定。

- 炉停止から放出開始までの時間：12時間
- 環境中への放出継続時間：5時間（一定の割合で放出されると仮定。）
- 放出高さ：50m
- 大気中拡散・被ばく線量評価に使用した計算コード：OSCAAR
（独立行政法人日本原子力研究開発機構（JAEA）安全研究センターの協力を得て実施。）
- 気象条件：年間における1時間毎の気象データ（8,760通り）から248通りをサンプリング（茨城県東海地区）。
- 被ばく経路：外部被ばく（放射性プルーム、地表沈着によるもの）及び内部被ばく（吸入によるもの）
- 評価方法：環境中に放出された放射性物質の挙動は、放出後の気象条件によって影響を受けるため一定ではない。このため、本試算では、年間の気象データからサンプリングされた気象条件に対して得られた結果（放射性物質の濃度）を昇順に並べたものの中間値及び95パーセント値（百分位数）を代表値として評価。換言すれば、95%値は、特殊な気象条件を除いた最大値といえる。

3. 試算結果から得られる示唆

今回の試算結果から得られる示唆は以下のとおり。（試算結果については別紙参照。）

（1）PAZにおける防護措置

- PAZでは、放射性物質の放出前に、予防的に避難を行うことが基本。
- ただし、予防的な避難を行うことによって、かえって健康リスクが高まるような要援護者については、無理な避難を行わず、屋内退避を行うとともに、適切に安定ヨウ素剤を服用することが合理的。
- なお、コンクリート構造物は、木造家屋よりも被ばく線量を低減させる効果があることが知られている。また、病院等のコンクリート建物に対して放射線防護機能を付加することで、より一層の低減効果を期待できる。

（2）UPZにおける防護措置

- UPZでは、放射性物質の放出前に、予防的に屋内退避を中心に行うことが合理的。

（3）放射性プルーム通過時の防護措置

- 放射性プルームが通過する時に屋外で行動するとかえって被ばくが増すおそれがあるので、屋内に退避することにより、放射性プルームの通過時に受ける線量を相当程度低減することができる。

表-1 環境への放出割合

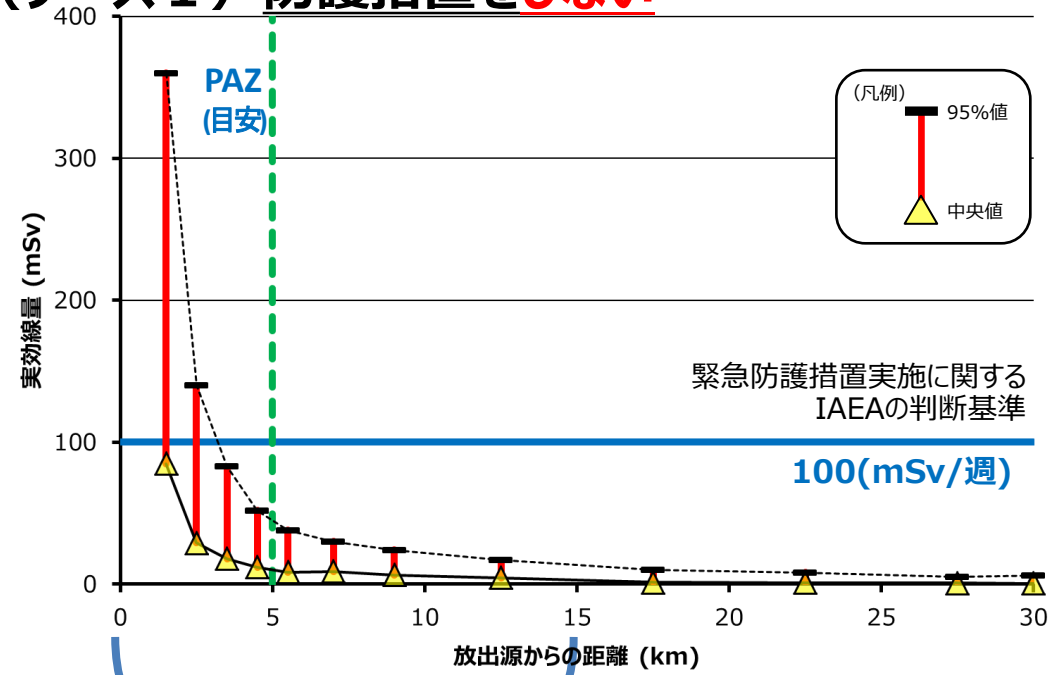
| 核種G | 核種 | 環境への放出割合 (炉心内蔵量 に対して) |
|----------|---|-----------------------------|
| 希ガス類 | Kr-85, Kr-85m, Kr-87, Kr-88, Xe-133, Xe-135 | 1 |
| ヨウ素類 | I-131, I-132, I-133, I-134, I-135 | 3.00E-4 ^{*1} |
| Cs類 | Rb-86, Cs-134, Cs-136, Cs-137 | 3.00E-4 |
| Te類 | Sb-127, Sb-129, Te-127, Te-127m, Te-129, Te-129m, Te-131m, Te-132 | 1.22E-4 |
| Sr類 | Sr-89, Sr-90, Sr-91, Ba-140 | 4.80E-5 |
| Ru類 | Co-58, Co-60, Mo-99, Tc-99m, Ru-103, Ru-105, Ru-106, Rh-105 | 2.00E-6 |
| Ce類及びLa類 | Y-90, Y-91, Zr-95, Zr-97, Nb-95, La-140, Ce-141, Ce-143, Ce-144, Pr-143, Nd-147, Np-239, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Am-241, Cm-242, Cm-244 | 2.20E-6 ^{*2} |

*1:ヨウ素については、3.00E-04の放出割合のうち、5%が有機ヨウ素として、95%が無機ヨウ素として環境に放出されると仮定。

*2:OSCAARコードではCe類とLa類の環境への放出割合を区別していないため、今回の計算では、放出割合の大きいCe類の値を双方に用いると仮定した(Ce類;2.20E-6、La類;2.08E-6)。

防護措置をしない場合の被ばく線量（全身） 実効線量

(ケース 1) 防護措置をしない



緊急防護措置実施に関する IAEAの判断基準
100(mSv/週)

PAZ (目安)

- PAZでは、放出源に近い地点でIAEA基準を上回る。
- UPZでは、全地点でIAEA基準を下回る。

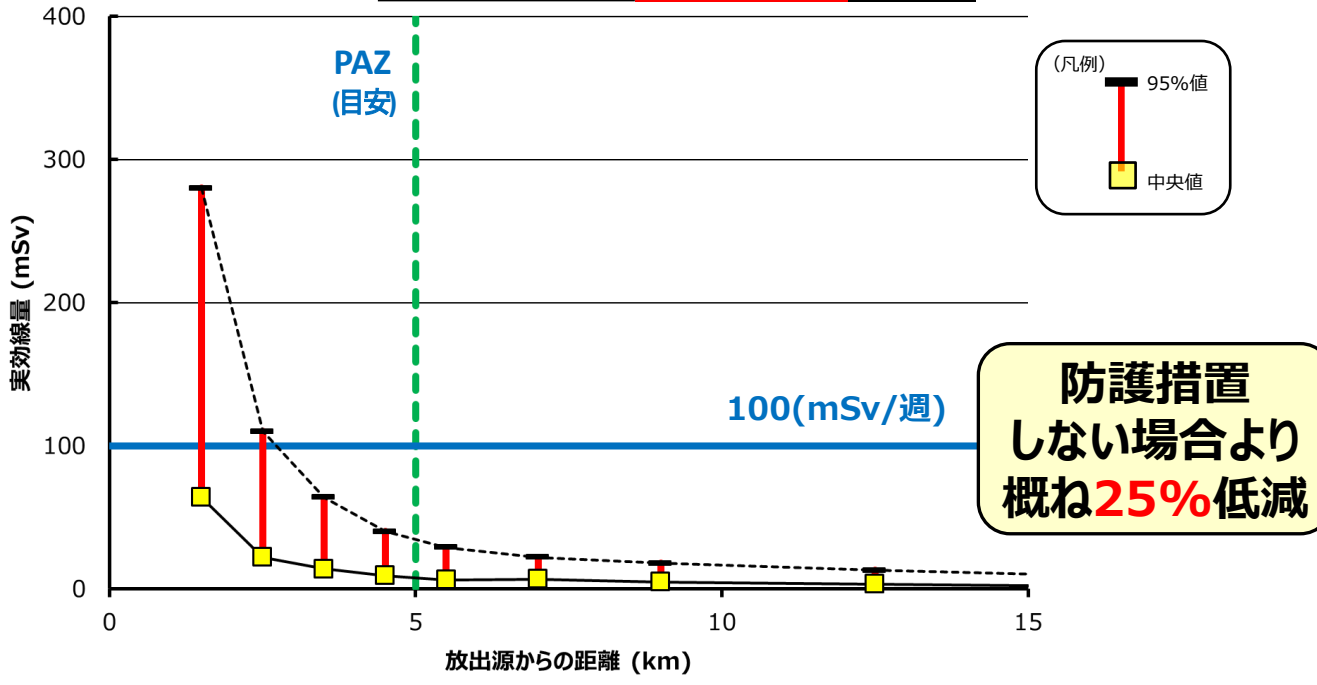
(参考) 屋内退避の効果

| 防護措置 | 遮へい効果 * 1 | 密閉効果 * 2 |
|------------|---|--------------------------------------|
| 木造家屋への退避 | ○放射性プルームからのγ線等の影響に対して10%低減 ○周辺環境中の沈着核種からのγ線等の影響に対して60%低減 | ○放射性プルーム中の放射性物質を呼吸により摂取する影響に対して75%低減 |
| 石造りの建物への退避 | ○放射性プルームからのγ線等の影響に対して40%低減 ○周辺環境中の沈着核種からのγ線等の影響に対して80%低減 | ○放射性プルーム中の放射性物質を呼吸により摂取する影響に対して95%低減 |

* 1 出典: Planning For Off-site Response to Radiation Accidents in Nuclear Facilities (IAEA-TECDOC-225)
* 2 参考: 米国環境保護庁
※ 病院等のコンクリート構造物は、石造りの建物よりもさらに高い効果が期待できる。本試算では、石造りの低減効果を用いて、保守的に計算を行った。

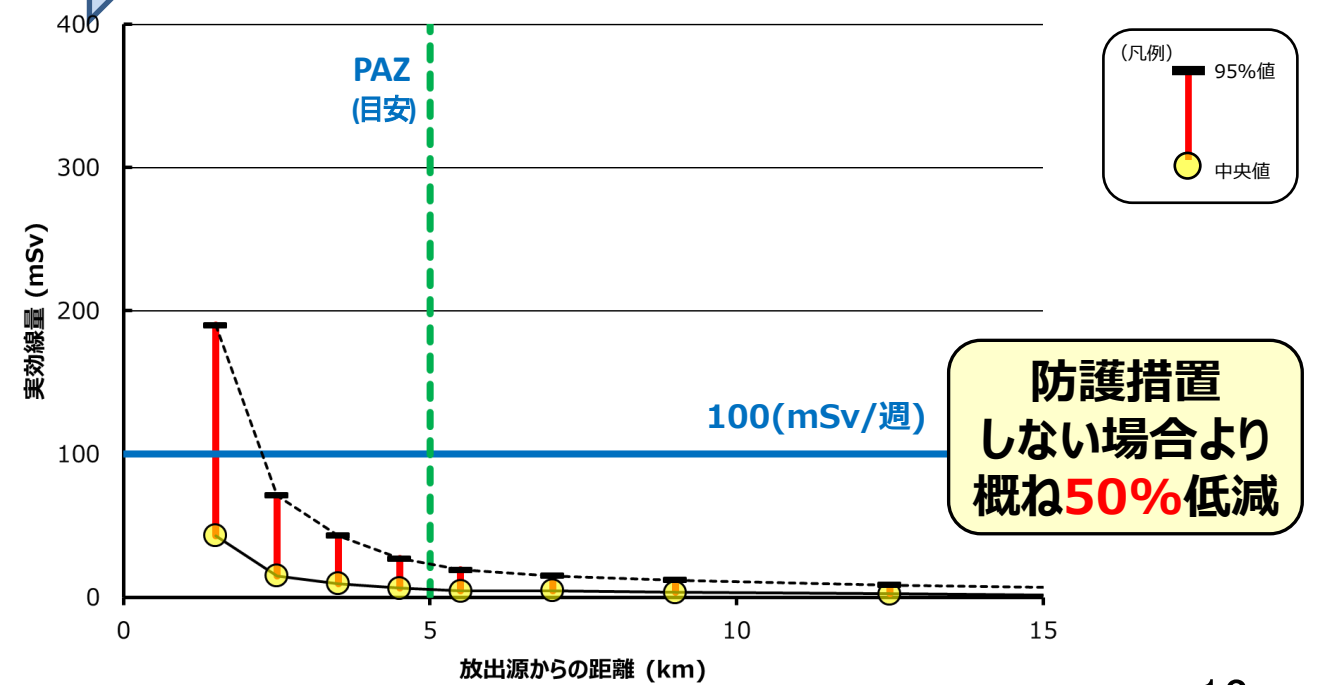
防護措置をする場合の被ばく線量（全身）

(ケース 1-1) 木造家屋に屋内退避(2日間)



防護措置
しない場合より
概ね25%低減

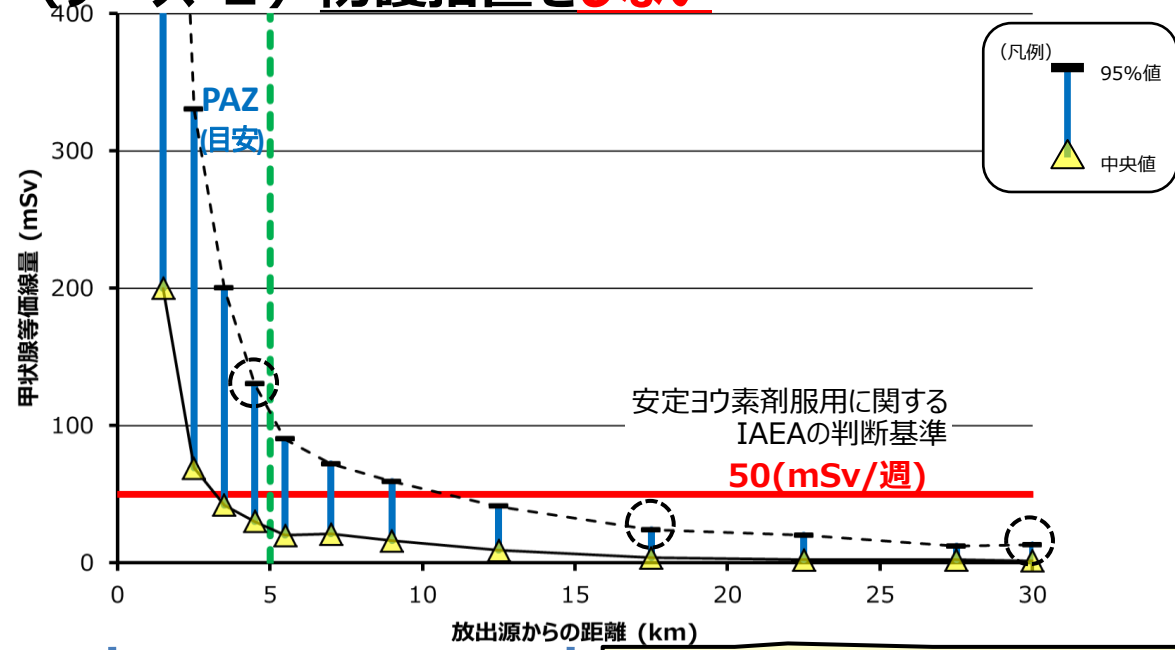
(ケース 1-2) コンクリート構造物に屋内退避(2日間)



防護措置
しない場合より
概ね50%低減

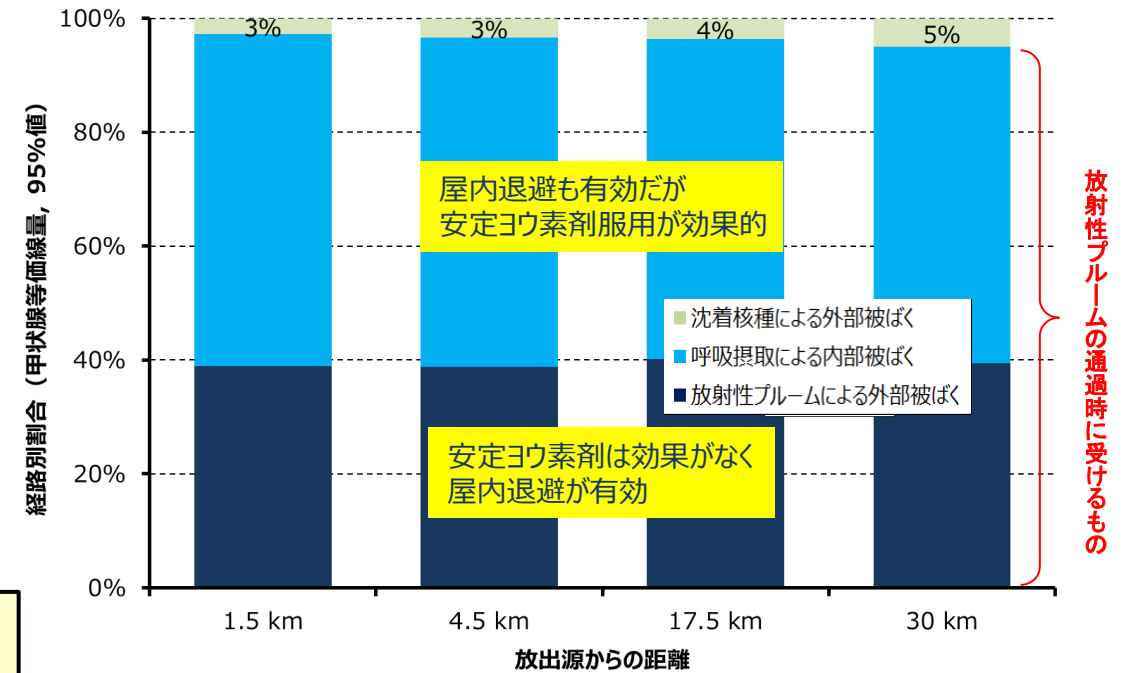
屋内退避は、被ばく線量を低減する。
木造家屋より、コンクリート構造物の方が低減効果が高い。

(ケース 2) 防護措置をしない



- PAZでは、**全地点**でIAEA基準を上回る。
- UPZでは、**遠方の地域**でIAEA基準を下回る。

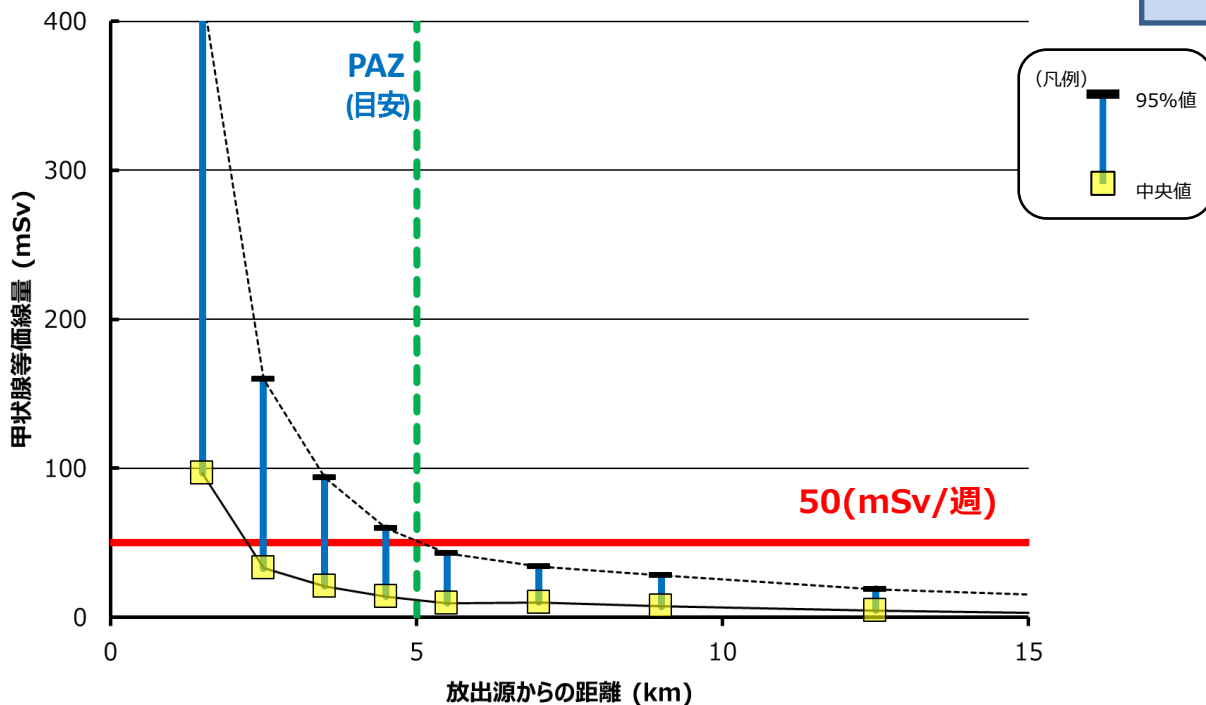
図 1. 被ばく線量の経路別割合 [95%値で比較]



- 甲状腺が受ける被ばく線量は、放射性プルームの通過時に受けるものが大半。
- 主な被ばく経路は「呼吸摂取による内部被ばく」及び「放射性プルームによる外部被ばく」。「沈着核種による外部被ばく」の影響は小さい。

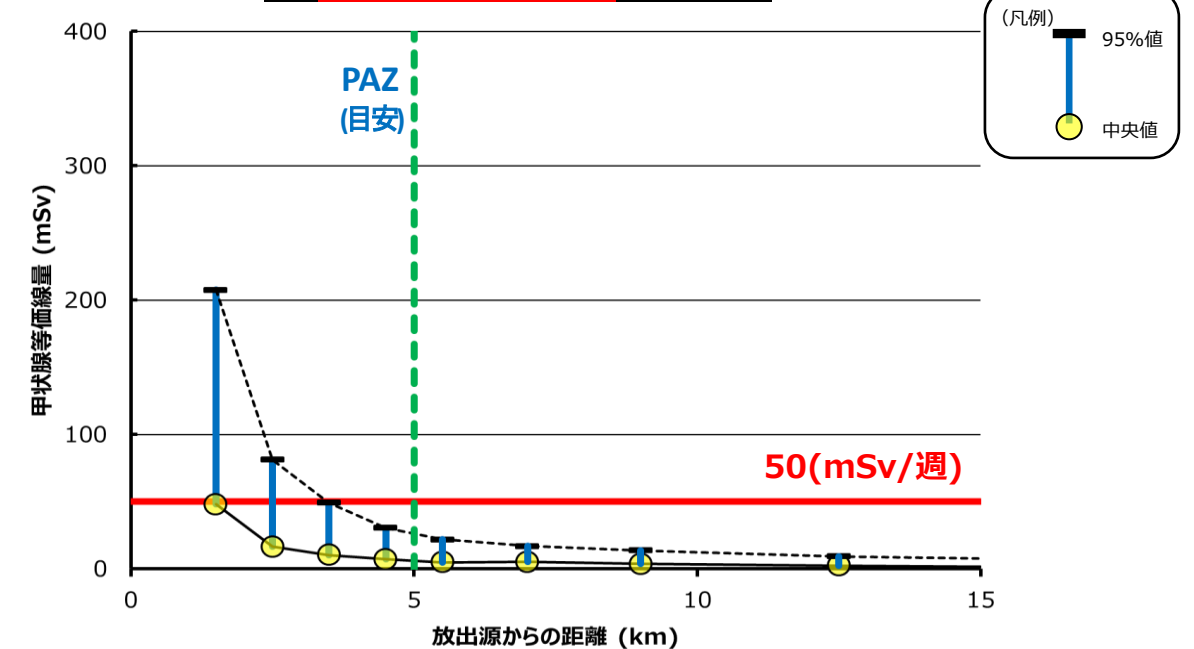
防護措置をする場合の被ばく線量（甲状腺）

(ケース 2-1) 木造家屋に**屋内退避**(2日間)



- PAZでは、屋内退避だけでは、**依然として**、IAEA基準を上回る地点がある。
- UPZでは、屋内退避により、**全地点**でIAEA基準を下回る。

(ケース 2-2) **コンクリート構造物に屋内退避**(2日間) + **安定ヨウ素剤の場合**



- PAZでは、屋内退避と安定ヨウ素剤の併用で、IAEA基準を下回る。(放出源に近い地点以外。)