



# 福島県内における住民の 被ばく線量評価手法の開発

---

宗像雅広、高原省五、飯島正史、渡辺正敏、  
森愛理、石崎梓、廣内淳

日本原子力研究開発機構 安全研究センター  
放射線安全・防災研究グループ

# 発表内容

---

1. 背景と目的
2. 確率論的評価手法の開発
  - 住民の個人線量調査
  - 1F事故後1年間の被ばく線量
3. 事故から5年経過後の被ばく線量推定
  - 推定結果からの考察
4. 評価パラメータの調査
  - 家屋内被ばく線量評価結果の比較
5. まとめ

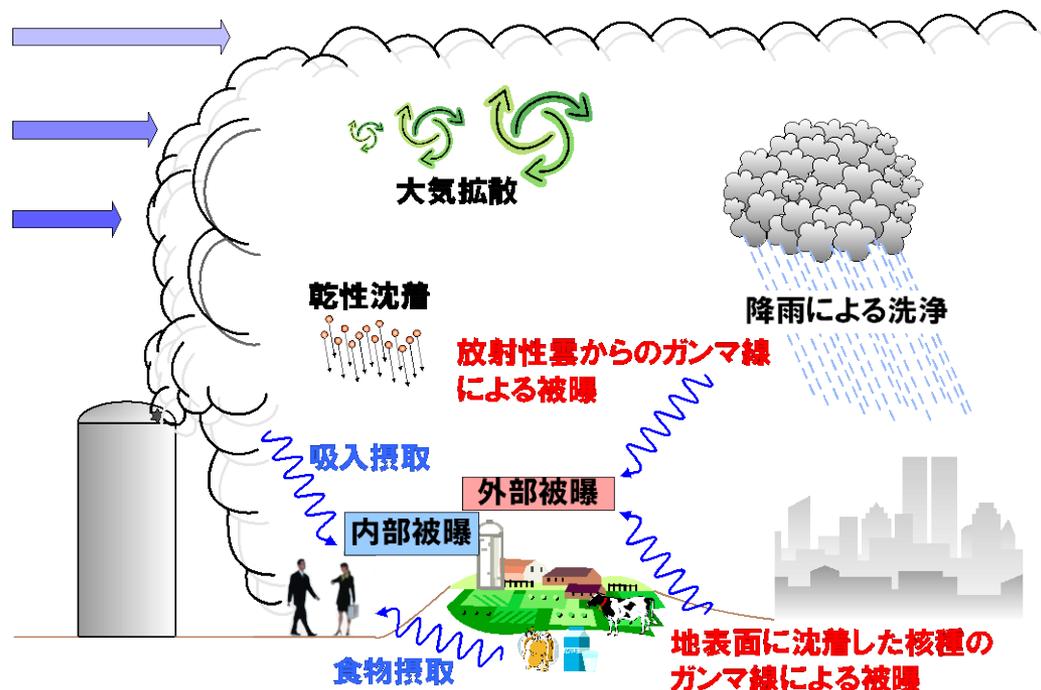
# 1. 背景と目的

- 安全研究センターにおける環境回復のための取り組み
  - 避難されている住民の方々の早期帰還に資する情報を発信
    - 放射線安全・防災研究グループでは合理的な被ばく線量の管理手法を検討
  - 1F事故後に放射性物質が沈着した地域における住民の被ばく線量評価手法の開発
    - 環境汚染や公衆の被ばくの状況を分析
    - 実効性の高い放射線防護措置の検討

研究成果の発信を通して、福島環境回復に寄与

# 原子力事故時における公衆の被ばく

## 放射性物質の移行と被ばく経路



### 外部被ばく

- 放射性雲からの外部被ばく(クラウドシャイン)
- 沈着した放射性物質からの外部被ばく(地表面に沈着した核種からの被ばく = グランドシャイン)

### 内部被ばく

- 放射性雲中の放射性物質の吸入による内部被ばく(呼吸摂取)
- 再浮遊核種の吸入による内部被ばく
- 汚染された水や農畜産物の経口摂取による内部被ばく(経口摂取)

■ 現在、地表に沈着した放射性セシウムからの外部被ばく(グランドシャイン)が支配的

# 目的

- 住民一人ひとりの線量を詳細に評価したり、汚染地域に居住するすべての住民の被ばく線量を測定することは、現実的に困難
- このため防護措置に関する意思決定においては、地域や集団を代表する線量(代表的個人の線量)を評価する必要

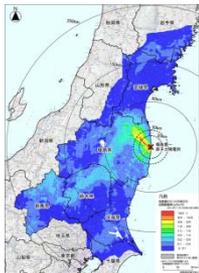
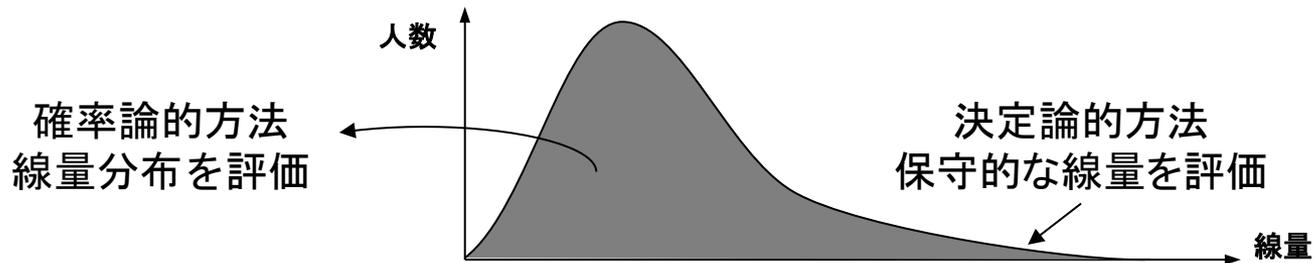
## 代表的個人

「集団の中で比較的高く被ばくする複数の個人を代表する線量を受ける」個人

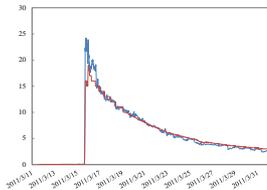
(ICRP Publication 101, 57項)

- 代表的個人の被ばく線量の評価手法の一つである、**確率論的手法**を開発

# 2. 確率論的評価手法の開発



核種分布の空間的変動



放射性崩壊  
ウェザリング  
季節的変動など

時間的変動



生活環境等の個体差

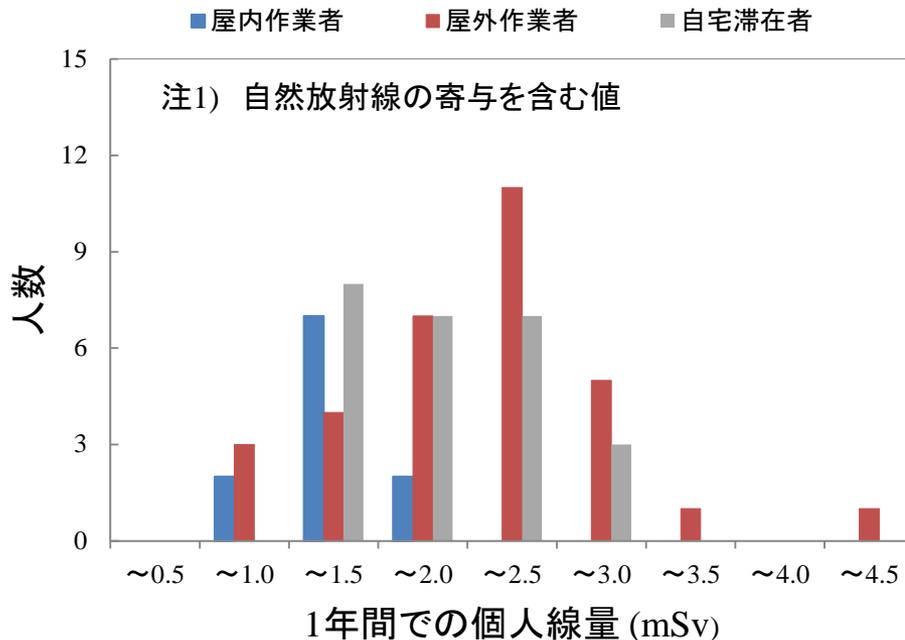


確率論的方法  
パラメータ・  
データの  
分布を考慮

	確率論的評価	決定論的評価
評価の考え方	環境濃度データまたは生活習慣データに、測定値や推定値の分布を利用する。	環境濃度データまたは生活習慣データに、保守的な仮定の下で、 <u>単一の値</u> を利用する。 ✓ 比較的高く被ばくしたグループの平均値 ✓ 集団や地域データの95パーセンタイル値
代表的個人の線量	線量分布の95パーセンタイル値	保守的な点推定値

# 住民の個人線量調査

- 確率論的評価手法のベースデータ
  - 自宅内外の放射線量率、個人線量、生活行動時間 等
- H24年2月から開始(継続中)
  - 福島市、伊達市等の住民を対象に、屋内作業者、屋外作業者、自宅滞在者に分類し、ポケット線量計の値を記録



■ 1年間(H24年2月~H25年1月の個人線量の測定結果(平均値))

分類	線量(mSv)
屋内作業者	1.26
屋外作業者	2.02
自宅滞在者	1.84

最大値は4.23mSv(農業従事者)

■ 個人線量の測定結果は国、自治体等に結果を提供、検証委員会等において活用

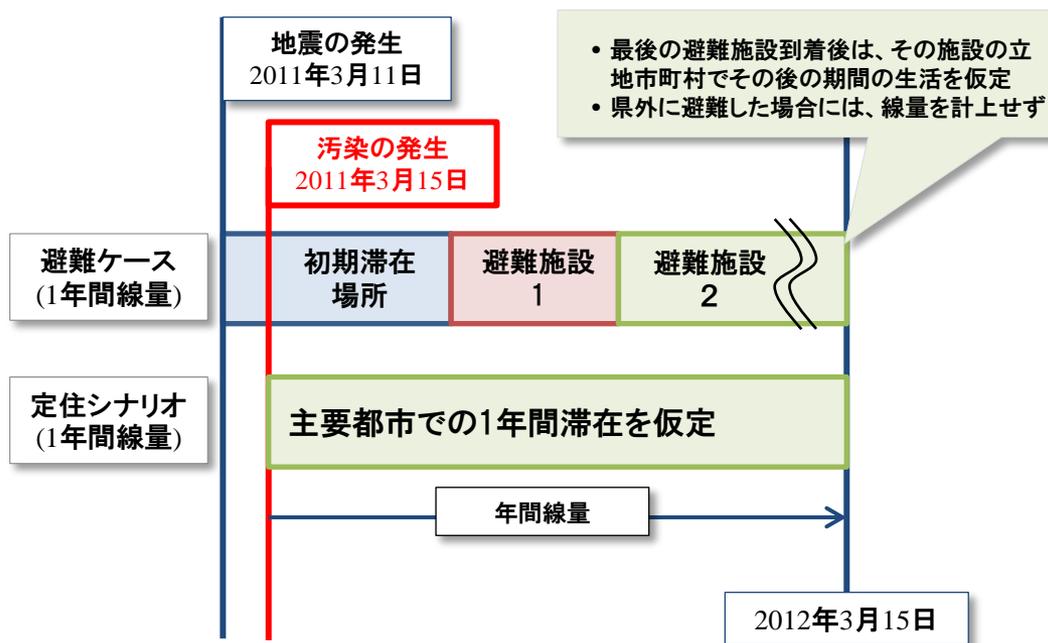
# 1F事故後の被ばく線量評価(対象、範囲)

## 対象住民

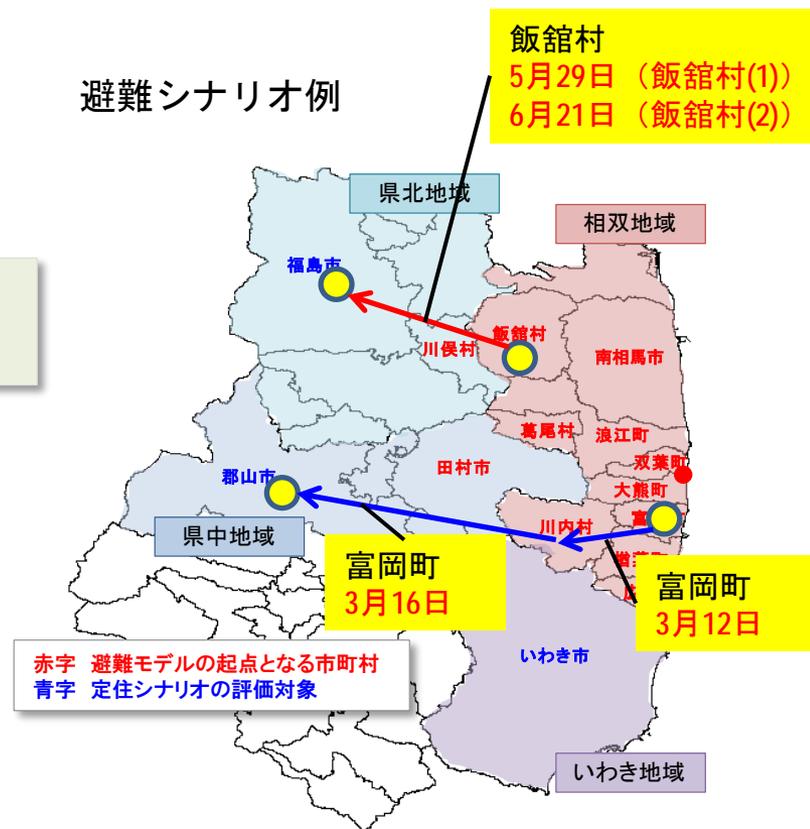
- 福島県県民健康管理調査に基づく避難モデルと主要都市に居住したケース
- 20km圏内から(12ケース)
- 計画的避難区域から(6ケース)

## 評価期間

- 3月15日~16日の主要な核種放出の発生から1年間



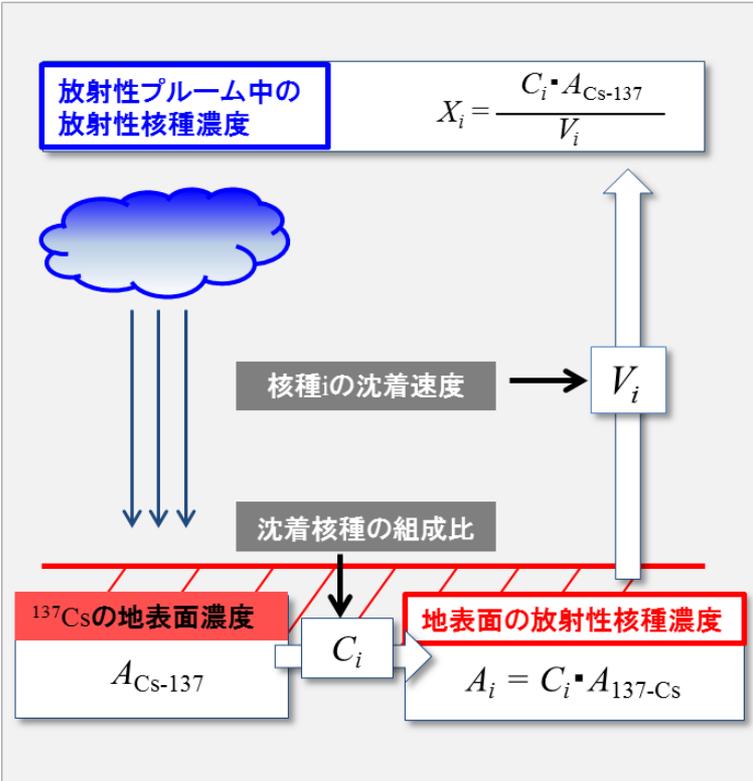
避難シナリオ例



# 1F事故後の線量評価モデル

- 被ばく経路別寄与、段階的避難の各滞在場所の線量を評価

- グランドシャイン → 放射性核種の**地表面濃度**  
 クラウドシャイン、呼吸摂取 → 放射性核種の**大気中濃度** } <sup>137</sup>Csの地表面濃度を  
 もとに推定
- 生活習慣の違いや環境の違いを考慮(社会調査の結果、チェルノブイリ事故時の経験)



### 生活習慣を反映

- 職業に応じた滞在場所
  - 職種に応じて作業場所が異なることを考慮
- 屋内外における滞在時間
  - 屋内に滞在した場合、建屋による**遮へい効果**や**フィルタリング効果**を考慮

### 環境の差異を反映

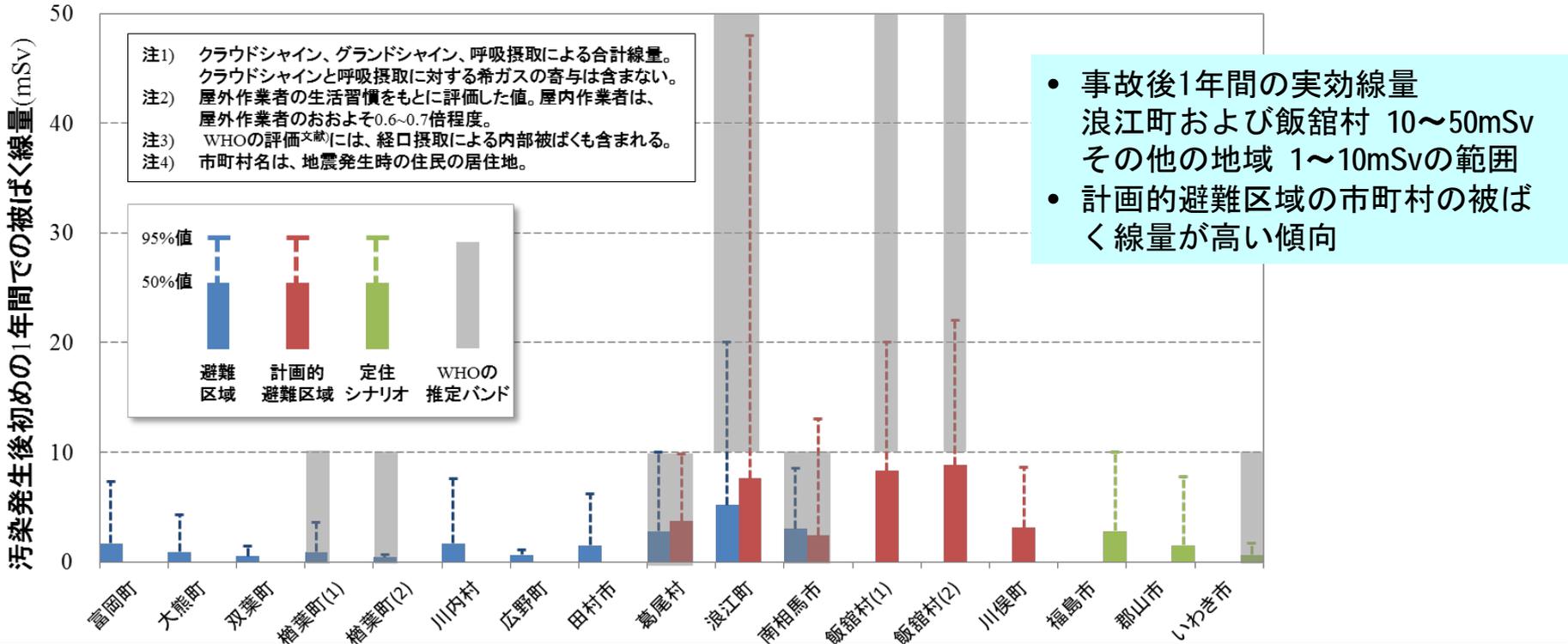
都市部

農村部

- 各環境での放射線量の減衰
  - 地表面への沈着の程度の違い、ウエザリングによる洗浄効果の違い(**ロケーションファクター**)
  - 地中への移行による減衰(**減衰関数**)

# 1F事故後1年間の被ばく線量

- 事故後の住民(屋外作業)への影響を評価
- 避難・定住シナリオによる被ばく線量の違いを定量化



■ 1F事故の影響評価に関する国際機関の報告書(UNSCEAR、IAEA)、環境省専門家会議とりまとめ等で成果が活用

文献) WHO, "Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami," (2012)

### 3. 事故から5年経過後の被ばく線量推定

- 環境中に放出された放射性物質により事故から4年以上経過した現在においても日常生活の中で被ばく
- 避難した住民の早期帰還と環境の回復を目的として、各所で除染活動
  - 長期的目標：追加被ばく線量 1 mSv/年<sup>(1)</sup>
  - 1 mSv/年は周辺線量等量率で0.23  $\mu$ Sv/hに該当<sup>(2)</sup>
  - 除染は周辺線量等量率で0.23  $\mu$ Sv/hが目安値<sup>(3)</sup>
    - 住民が1日のうち屋外で8時間、屋内で16時間過ごすとの仮定に基づく評価

#### 個人の線量

- 生活パターンの違い
- 汚染の分布



除染を実施した後、帰還した住民の被ばく線量を確率論的に評価

(1)原子力安全委員会(2011), 今後の避難解除、復興に向けた放射線防護に関する基本的な考え方について

(2)環境省(2011), 追加被ばく線量年間1ミリシーベルトの考え方

(3)環境省(2013), 除染関係ガイドライン

# 評価のためのモデルおよびデータ

## 被ばく線量評価モデル

$$E = \int_T^{T+1} \sum_{r,l} \{A_l(t) \times C_r(t) \times k_r \times p_l \times s_l\} dt$$

$E$  : 年間実効線量 ( $\mu\text{Sv/y}$ )

$A_l(t)$  : 場所  $l$ , 時間  $t$  におけるCs-137地表面濃度 ( $\text{Bq/m}^2$ )

$C_r(t)$  : 時間  $t$  におけるCs-137に対する核種  $r$  の放射能の割合

$k_r$  : 核種  $r$  の地表面濃度から実効線量への換算係数 ( $(\mu\text{Sv/h})/(\text{Bq/m}^2)$ )

$p_l$  : 場所  $l$  で過ごす時間の割合

$s_l$  : 場所  $l$  における放射線低減係数

## 評価用データ

汚染分布: Cs-137地表面濃度

生活パターン: 各場所で過ごす時間

住民グループ	場所	Mean (hours)	SD
屋内作業員	職場	5.86	1.46
	その他	1.28	1.04
屋外作業員	職場	7.28	5.61
	その他	1.54	1.80
自宅滞在者	職場	0	-
	その他	1.89	2.15

住民が各場所で過ごす時間

▶ 実測値に基づいて平均とSDを算出

自宅滞在時間 = 24 - 職場 - その他

$s_l$  の値: 自宅 0.4

職場: 屋内作業員0.05、屋外作業員1、

その他: 木造0.4, コンクリート造0.05, 屋外1

県内全自治体のCs-137の幾何平均(幾何標準偏差GSD)

▶ 航空機モニタリング(2012年6月)のデータを使用

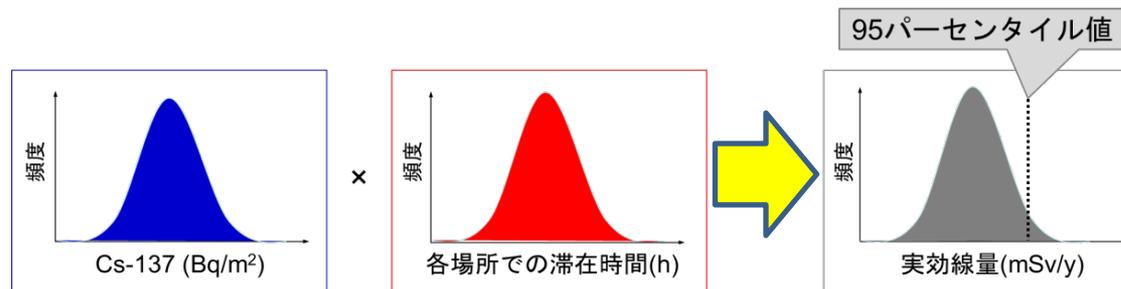
# 評価手法および計算条件

## ● 計算条件

- 屋外作業者の職場は全地目のCs-137濃度データ  
それ以外の場所は土地利用が建物用地の場所のCs-137濃度データを使用
- 自宅のCs-137濃度が周辺線量当量率で $0.23 \mu\text{Sv/h}$ 以上に相当する場合は除染を実施したものとして、地表面濃度入力値を $0.23 \mu\text{Sv/h}$ に相当する値に設定
- 職場およびその他の場所は除染しない、住民は同一自治体内で生活と仮定

## ● 確率論的評価の方法

- 汚染分布と生活パターンの平均と標準偏差に基づき入力データを発生させ、モンテカルロ解析を10,000回実施
- 計算結果の95パーセンタイル値を代表的個人の線量として、目標値である $1 \text{ mSv/y}$ と比較



# 事故から5年後の1年間の被ばく線量推定

- 95パーセンタイル値の住民グループごとの評価

屋内作業者

屋外作業者

95%値

屋内作業者の95パーセンタイル値が最も低く、屋外作業者が最も高い傾向  
屋内作業者および自宅滞在者は、5つの自治体で1 mSv/y以上  
屋外作業者は避難指示区域以外を含む約1/3の自治体で1 mSv/y以上

Type 1: 全住民グループの95%ile値 < 1 mSv/y  
Type 2: 屋外作業者の95%ile値 > 1 mSv/y  
Type 3: 全住民グループの95%ile値 > 1 mSv/y



年間実効線量の95パーセンタイル値より、福島県の各自治体を3分類

# 推定結果からの考察

- 年間実効線量の95パーセンタイル値より、福島県の各自治体を下記の3タイプに分類

## ◆ Type 1

本評価の範囲では自宅の除染により被ばく線量が十分に低減

## ◆ Type 2

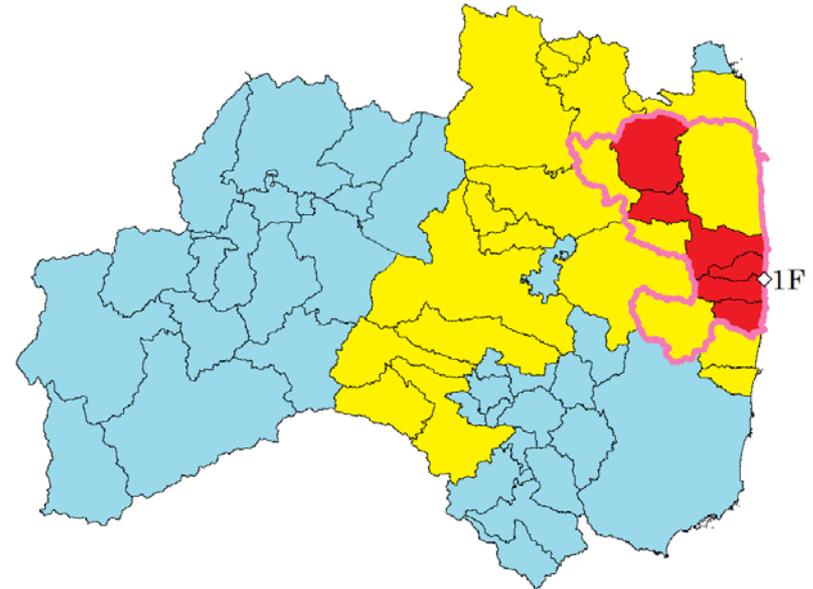
屋外からの線量の寄与が大

➡ 被ばく線量を1mS/y以下にするためには屋外作業者の被ばく管理および作業時間と作業場所の管理が必要

## ◆ Type 3

自宅以外からの線量の寄与が大きく自宅のみの除染では不十分

➡ 全生活圏の除染により被ばく低減が期待されるが、除染にかかるコストや廃棄物の問題、除染範囲の問題を考慮した除染戦略が必要



Type 1: 全住民グループの95%ile値 < 1 mSv/y

Type 2: 屋外作業者の95%ile値 > 1 mSv/y

Type 3: 全住民グループの95%ile値 > 1 mSv/y

## 現状での課題

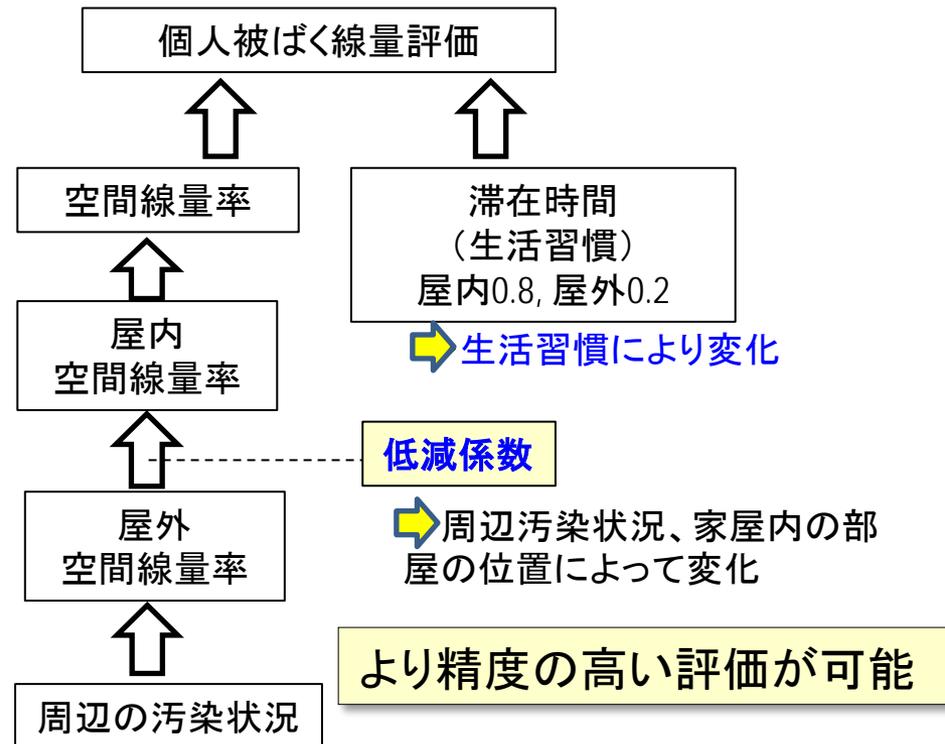
- 保守的な評価(屋外作業者の職場(全地目)には実際に人が立ち入らない場所等も含めて計算)
- 屋外での活動範囲、生活パターン、**評価パラメータ**をより詳細に調査する必要

# 4. 評価パラメータの調査

- 被ばく線量評価において評価に用いるパラメータの把握が重要
  - 家屋の線量低減係数、生活行動時間、など
- **家屋の線量低減係数**に関する調査
  - 屋内における年間の被ばく線量への影響を把握

構造または配置	代表的な低減係数	代表的な範囲
無限平面上1m	1.0	-
通常的地面上1m	0.7	0.47-0.85
一階および二階建ての木造家屋	0.4	0.2-0.5
一階および二階建てのブロック、レンガ造	0.2	0.04-0.4

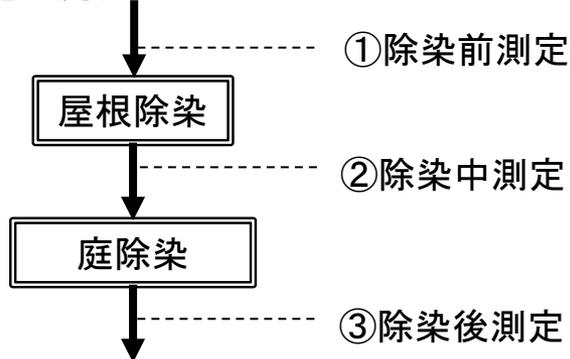
(IAEA-TECDOC-1162)



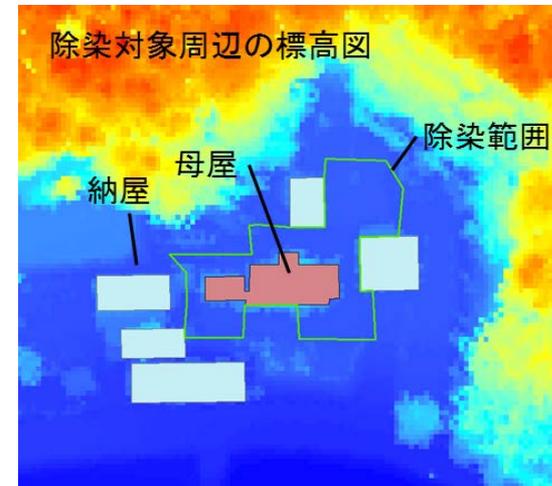
# 家屋における線量低減の効果

- 除染作業前後における空間線量率の変化
  - － 対象：南相馬市の一般家屋（木造他4件を調査中）
  - － 測定内容：家屋内外の1m空間線量率
  - － 測定器：NaIサーベイメータ
  - － 除染範囲：屋根、庭

<測定の流れ>



家屋例

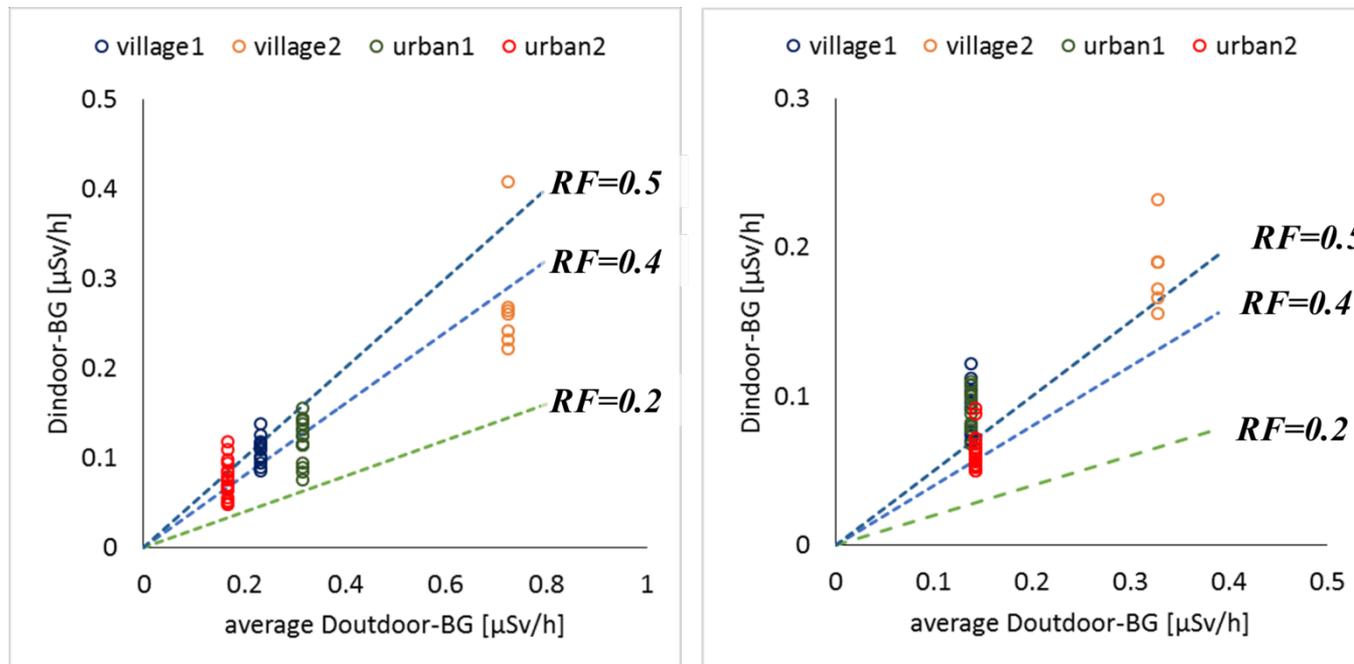


ガンマプロッタでの  
家屋周辺測定例



# 家屋の線量低減係数の変化

- 除染作業の前後で、家屋周辺の空間線量率の平均値と家屋内の各部屋における線量率から線量低減係数RFを算出



- 除染後は除染前に比べRFが上昇(家屋周辺の屋外・屋内線量率分布が変化)
- 除染後の空間線量率を推計する場合、0.4より大きい値が必要である可能性が示唆
- 基準となる屋外の空間線量率を測定する場所およびその周辺の汚染状況によってRFは異なる可能性があり、評価の際に考慮する必要

# 家屋内被ばく線量評価結果の比較

## 調査家屋を例に異なる設定で評価結果を比較

### □年間被ばく線量

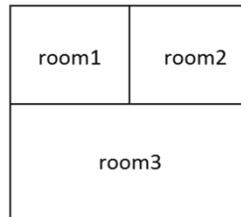
$$E = 0.7 \times (D_{outdoor} \cdot T_{outdoor} + RF \cdot D_{indoor} \cdot T_{indoor}) \quad 1)$$

$D_{outdoor}$ : 屋外空間線量率、 $D_{indoor}$ : 屋内空間線量率  
 $T_{outdoor}$ : 屋外滞在時間、 $T_{indoor}$ : 屋内滞在時間、 $RF$ : 線量低減係数0.4

$$E_{indoor} = 0.7 \times RF \times D_{indoor} \times T_{indoor}$$

より詳細に

$$E_{indoor} = 0.7 \times \sum_{i=1}^N (RF_i \cdot D_i \cdot T_i)$$



$D_i$ : i番目の部屋における空間線量率

$T_i$ : i番目の部屋における滞在時間

$RF_i$ : i番目の部屋における線量低減係数

### 屋内積算線量計算:

居間: 6.6h、台所: 1.67h、寝室: 7.7h、屋内合計滞在時間: 16hとして計算

- Case1: 各部屋考慮

$$E = 0.7 \cdot \sum_{i=0}^3 ((D_{indoor,i} - BG) \cdot T_{indoor,i})$$

- Case2: 屋外×0.4

$$E = 0.7 \cdot (D_{outdoor} - BG) \cdot T_{indoor}$$

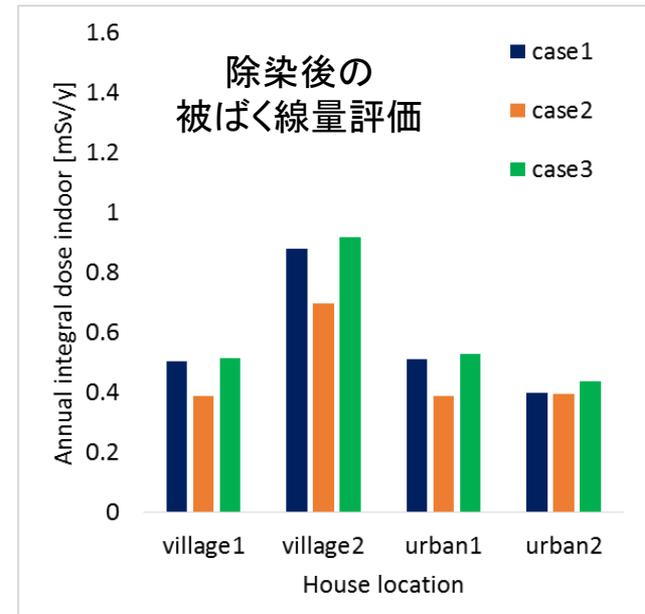
- Case3: 屋内平均

$$E = 0.7 \cdot (D_{indoor} - BG)_{average} \cdot T_{indoor}$$

$D_{indoor}$ : 屋内空間線量測定値、 $D_{outdoor}$ : 屋外空間線量測定値

$BG=0.04[\mu\text{Sv/h}]$

\* 屋外空間線量率は外壁から2m以上離れた場所で測定結果の平均値



- 除染後は部屋ごとに考慮した場合 (Case1) と屋内平均を使用した場合 (Case3) とは、ほぼ同等
- 屋外×0.4を使用した場合 (Case2) は他の条件の場合と比較して過小評価の可能性

1) 日本原子力学会放射線工学会線量概念検討 WG.

2) IAEA-TECDOC-225、3) IAEA-TECDOC-1162

# 5. まとめ

1. 福島県内住民の個人線量調査
  - 福島県内の住民を対象に、個人線量の統計的特徴を調査
    - 国、自治体等に結果を提供、検証委員会等において活用
2. 福島における住民の被ばく線量評価手法を開発
  - 1F事故後1年間の被ばく線量を確率論的手法を用いて評価
    - 国際機関の報告書(UNSCEAR、IAEA)、環境省専門家会議とりまとめ等で成果が活用
3. 事故から5年経過後の被ばく線量の推定
  - 環境の回復や帰還する住民に対する科学的情報の発信
4. 評価パラメータの調査

## ■ ポスター発表

- ・汚染土壌の経口摂取に関する被ばく線量評価モデルの開発、高原ら
- ・放射性プルームの吸入に関する被ばく線量評価モデルの開発、飯島ら
- ・汚染分布および生活パターンを考慮した被ばく線量評価モデルの開発、森ら
- ・家屋内における被ばく線量評価の高度化に関する研究、石崎ら 等