

福島県内における住民の被ばく線量評価

高原 省五
日本原子力研究開発機構
安全研究センター サイクル施設等安全研究ユニット
リスク評価・防災研究グループ



- ◆ 背景と目的
- ◆ 住民の被ばく線量評価の考え方
- ◆ 評価モデルとデータ
 - 評価モデル
 - 入力データ(地表面汚染濃度、生活習慣など)
- ◆ 評価結果
 - 各避難ケースと定住シナリオの年間線量
 - 被ばく経路の寄与
 - 定住シナリオの生涯線量
- ◆ まとめ

研究の背景

【重点安全研究課題】

IV. 原子力防災分野

○原子力防災技術

- 防災指針見直しのための技術的支援研究
- 実効性向上のための地域防災計画策定の技術的支援研究

- 福島原発事故後、環境汚染や公衆の被ばく状況を分析し、これらの知見を反映して実効性の高い防護措置の検討をすすめている。
- 本年度は、事故後の汚染地域における被ばく管理手法に関する技術基盤の整備を目標に研究を展開してきた。

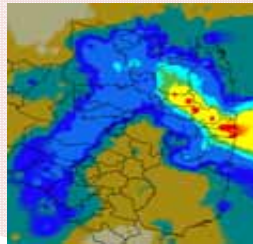
防災計画の策定や汚染地域での被ばく管理において
住民の被ばく線量評価は不可欠

- 住民一人ひとりの線量を評価したり、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)を評価する必要がある。
- そこで本研究では、代表的個人の線量の評価手法の一つである、**確率論的手法**の開発に着手。

- 
- 福島事故後に避難または計画的避難の対象となった住民、および福島県内主要都市に居住している住民の被ばく線量について予備的な評価結果を提供

環境測定

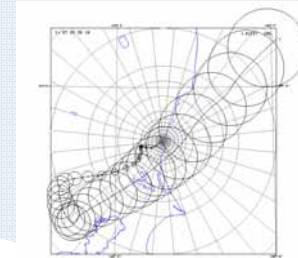
- 現実を反映した評価
- 空間的・時間的にあらゆる核種を網羅したデータ
 - 事故直後の大気中濃度
 - 沈着しない核種や短半減期核種の情報



MEXTによる地表面濃度測定データ

大気拡散・沈着解析

- 十分なデータを期待できる
- モデルやパラメータの不確実性
- 放出源の情報
 - 放出のタイミング、放出量など
(炉内における事故進展解析が必要)



流跡線ガウスパフモデルの概念図

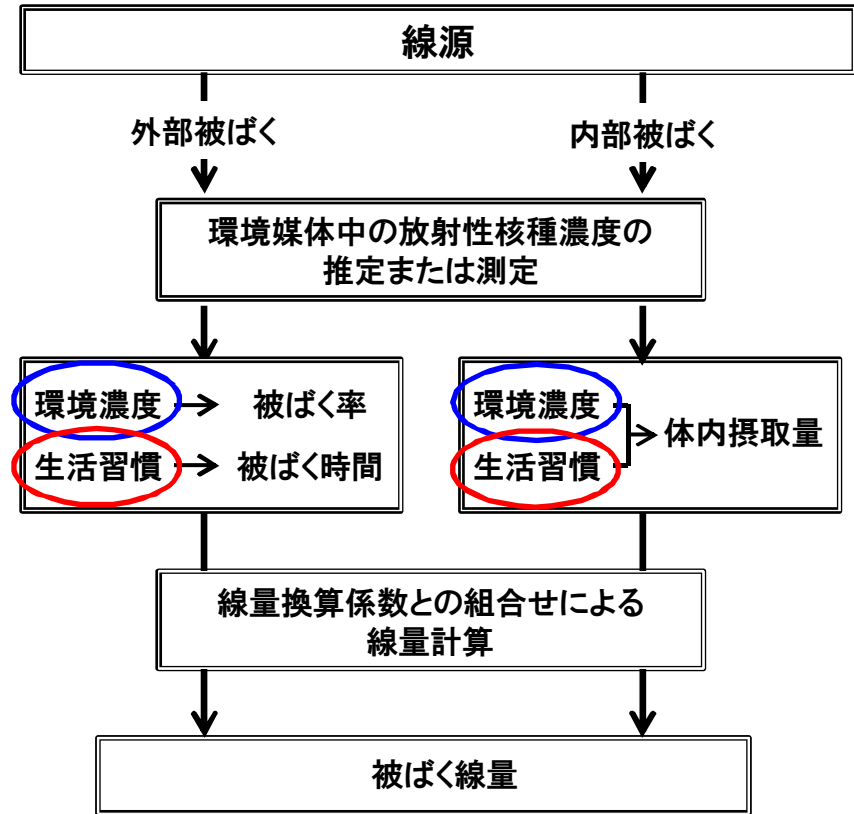
- すでに公開された環境測定データを利用して、住民の線量分布を評価。
- 複数の避難パターンについて評価を実施し、これらを相互に比較することで、被ばく低減効果の高い防護対策のあり方について知見を得ること。

代表的個人とは
「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)

	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、単一の値を利用する。 ✓ 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%値
代表的個人の線量	線量分布の95%値	保守的な点推定値

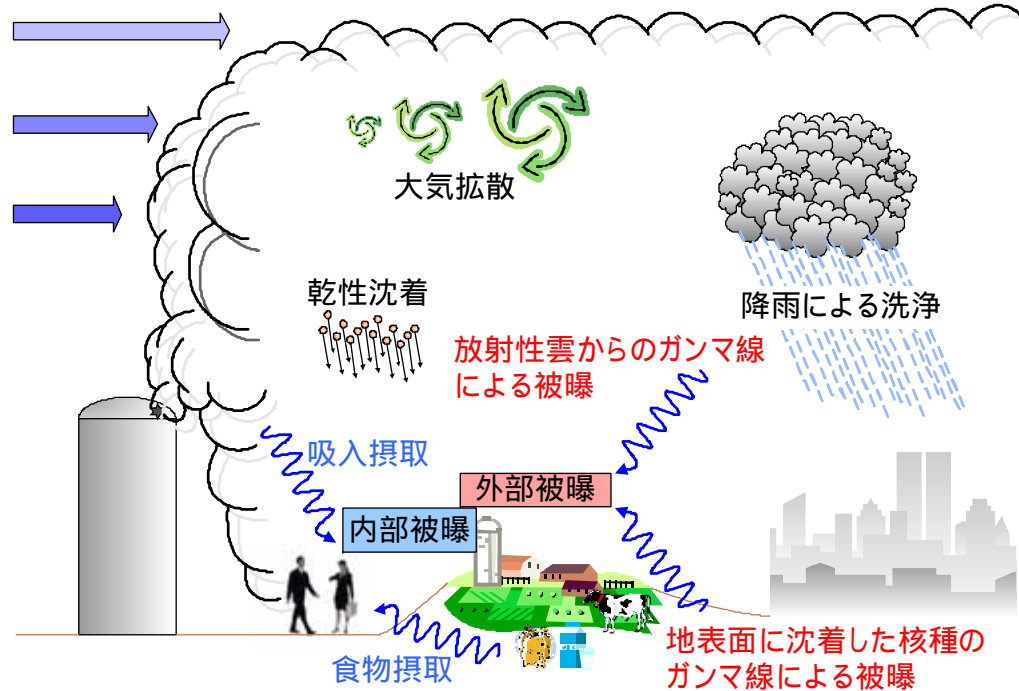
• 避難ケースや居住地域
 • 職業

に応じて環境濃度データと生活習慣データの違いを反映するとともに、これらのデータの分布を利用して、住民の線量分布を包括的に評価。



ICRP Publ.101 Fig.2.1をもとに作成

放射性物質の移行と被ばく経路



	外部被ばく	内部被ばく
被ばく経路	<ul style="list-style-type: none"> - 放射性雲からの外部被ばく(<u>クラウドシャイン*</u>) - 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 = <u>グランドシャイン</u>) 	<ul style="list-style-type: none"> - 放射性雲中の放射性物質の吸入による内部被ばく(<u>呼吸摂取*</u>) - 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

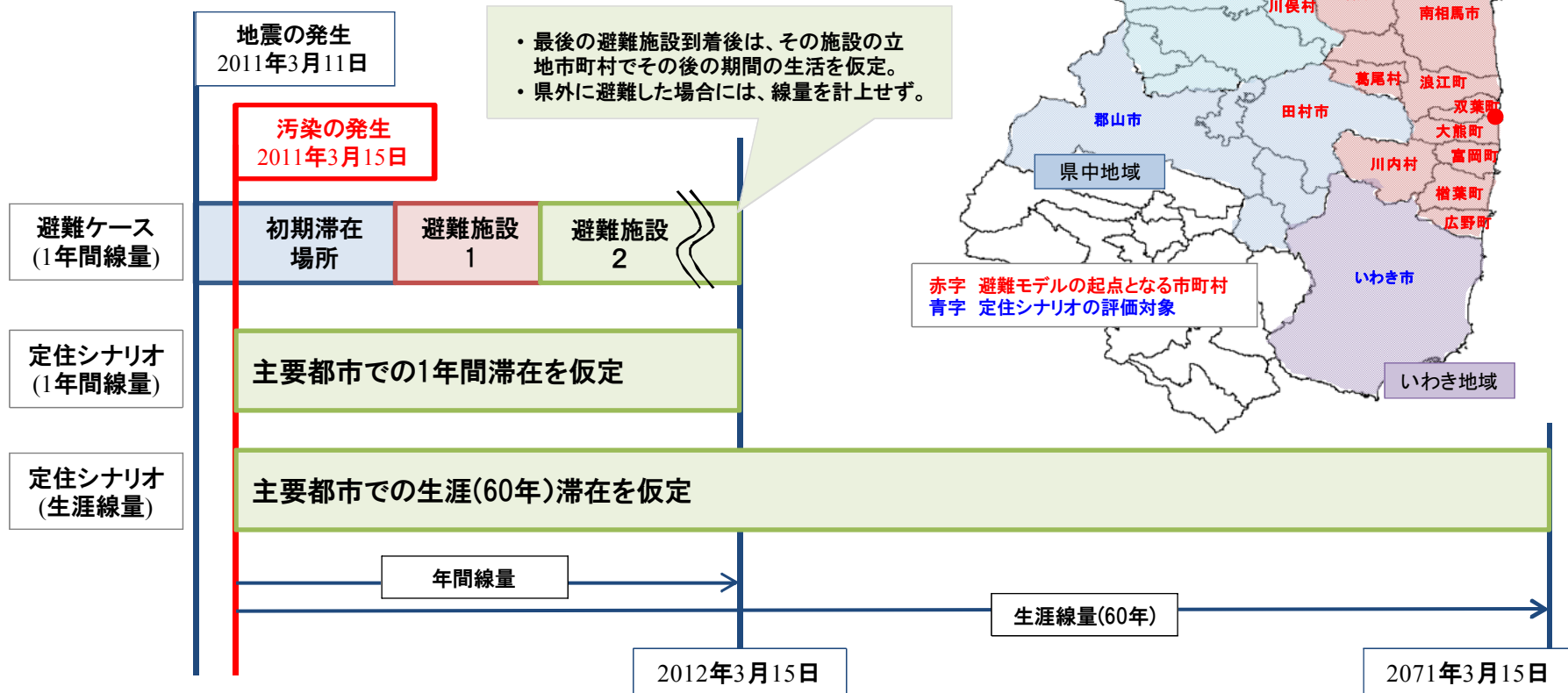
* クラウドシャインと呼吸摂取に希ガスの寄与は含まれない

■ 対象住民

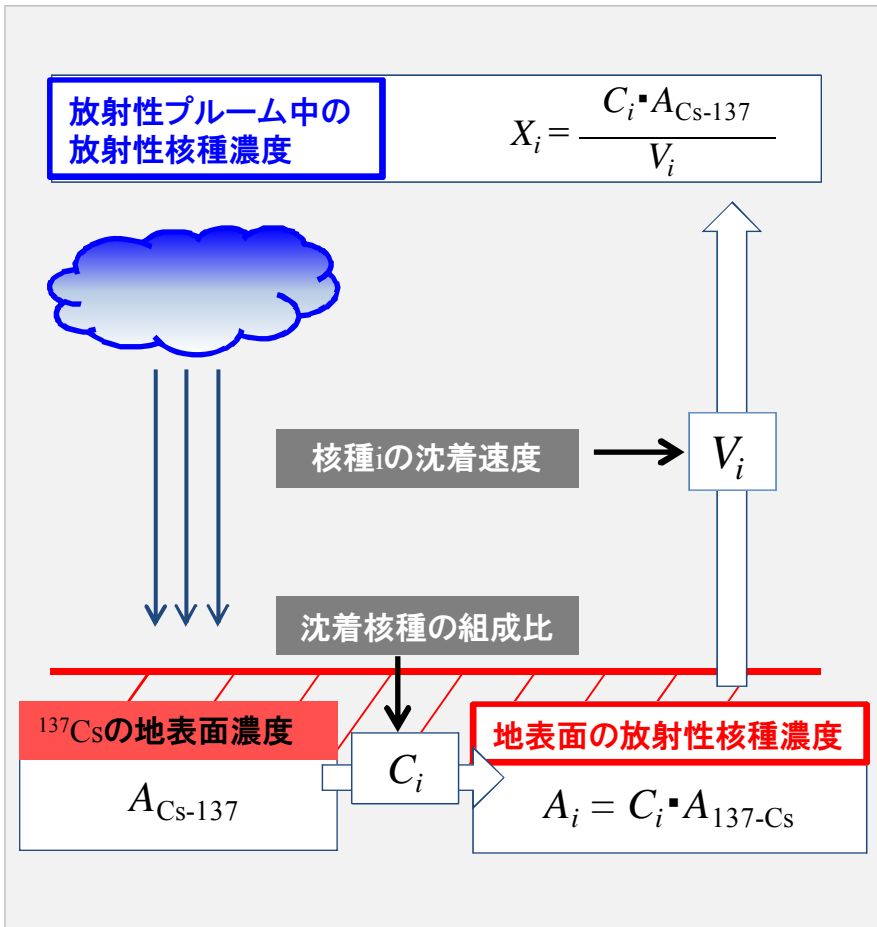
- 福島県県民健康管理調査に基づく避難行動モデルパターン18ケース
 - 20 km 圏内からの避難モデル12ケース
 - 計画的避難区域からの避難モデル6ケース
- 福島県内の主要3都市での定住シナリオ
 - 福島市、郡山市、いわき市

■ 評価期間

- 3月15日~16日の主要な放出の発生から1年間
- 事故発生後の生涯(60年)



- 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**
- ^{137}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)

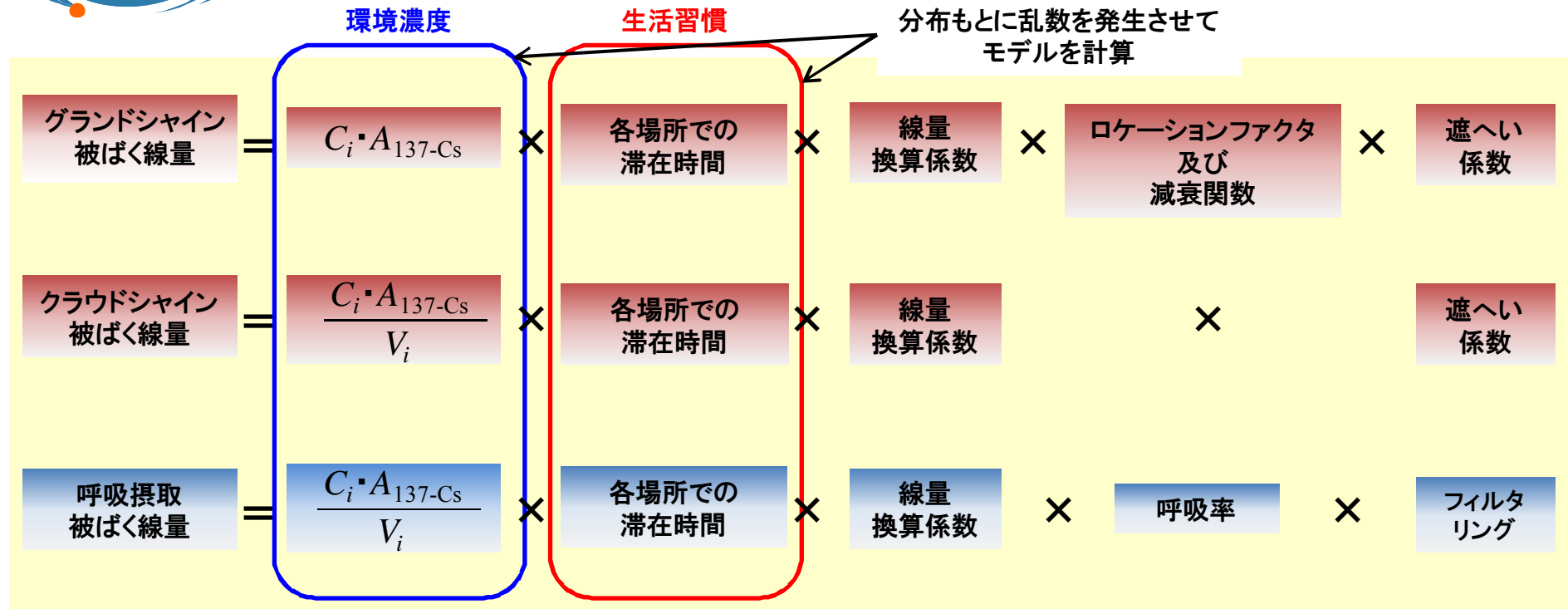


生活習慣を反映

- 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

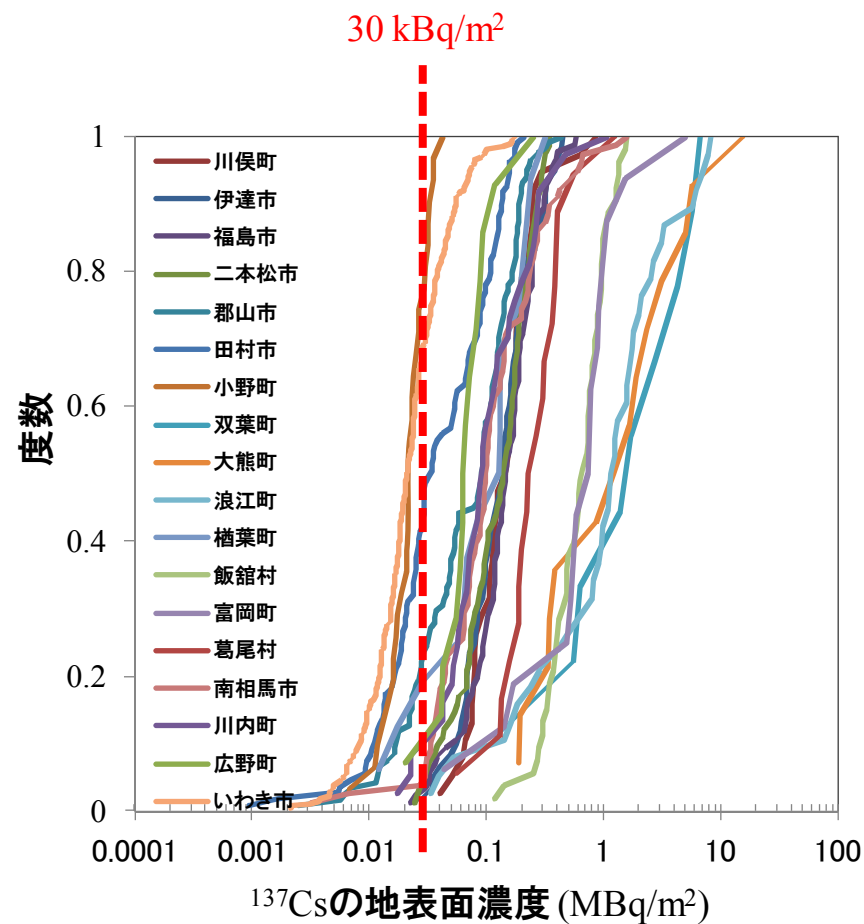
- 各環境での放射線量の減衰
 - 地表面への沈着の程度の違い、ウェザリングによる洗浄効果の違い(**ロケーションファクター**)
 - 地中への移行による減衰(**減衰関数**)



- ロケーションファクター**
 - 地表面を未開墾土壌、土壌およびアスファルトに分類し、それぞれに対して1.4年、2.2年および0.9年の半減期を仮定。
- 土壌鉛直方向への移行による地表面における放射線強度の減衰**
 - 2成分による減衰モデル(遅い成分と早い成分)を用いて、それぞれ1.5年および50年の半減期を仮定。それぞれ約35%および65%の寄与とする。
- 沈着速度 V_i に関する仮定**
 - 地表面の汚染濃度に応じて湿性沈着または乾性沈着のいずれかを仮定。

30 kBq/m ² 以上→	湿性沈着を仮定	ヨウ素 0.07 m s ⁻¹	他の核種 0.01 m s ⁻¹
30 kBq/m ² 未満→	乾性沈着を仮定	ヨウ素 0.01 m s ⁻¹	他の核種 0.001 m s ⁻¹

地域名	市町村名	サンプル数	GM (MBq m ⁻²)	GSD	
県北	川俣町	38	0.14	1.87	
	伊達市	60	0.13	1.94	
	福島市	94	0.13	2.13	
	二本松市	82	0.12	2.00	
県中	郡山市	118	0.07	2.71	
	田村市	109	0.04	2.81	
	小野町	31	0.02	1.48	
相双	双葉町	9	1.53	3.67	
	大熊町	14	1.23	3.90	
	浪江町	38	0.95	4.02	
	楢葉町	16	0.92	2.61	
	飯館村	53	0.61	1.77	
	富岡町	16	0.60	2.90	
	葛尾村	18	0.26	1.94	
	南相馬市	78	0.11	2.81	
	川内村	37	0.10	2.42	
	広野町	14	0.07	1.77	
	会津	会津美里町	2	0.01	1.34
	いわき	いわき市	266	0.02	2.14



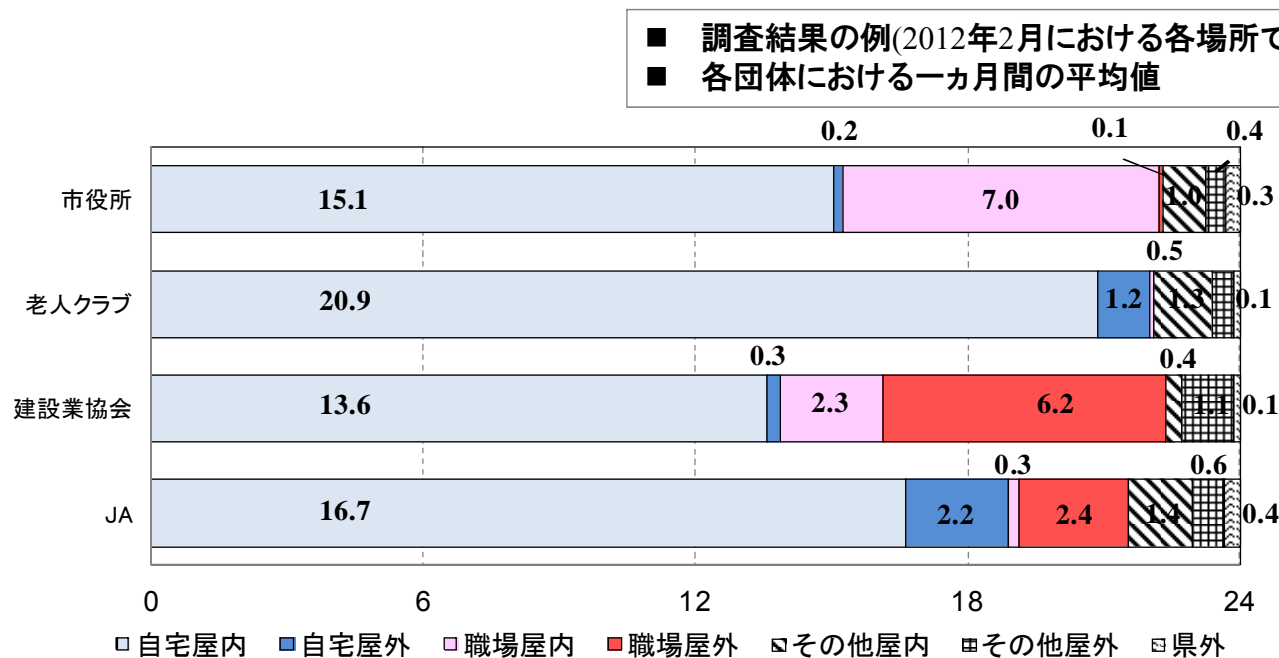
「文部科学省, “土壤の核種分析結果(セシウム134, 137)について,” 放射線量等分布マップの作成等に係る検討会 第7回配布資料, 資料第7-1号 (2011)”をもとに作成

■ 職業別に住民の生活習慣を調査

- 屋内作業者 福島市役所(60人)、老人クラブ(65人)
- 屋外作業者 福島県建設業協会(53人)、JA新ふくしま(60人)

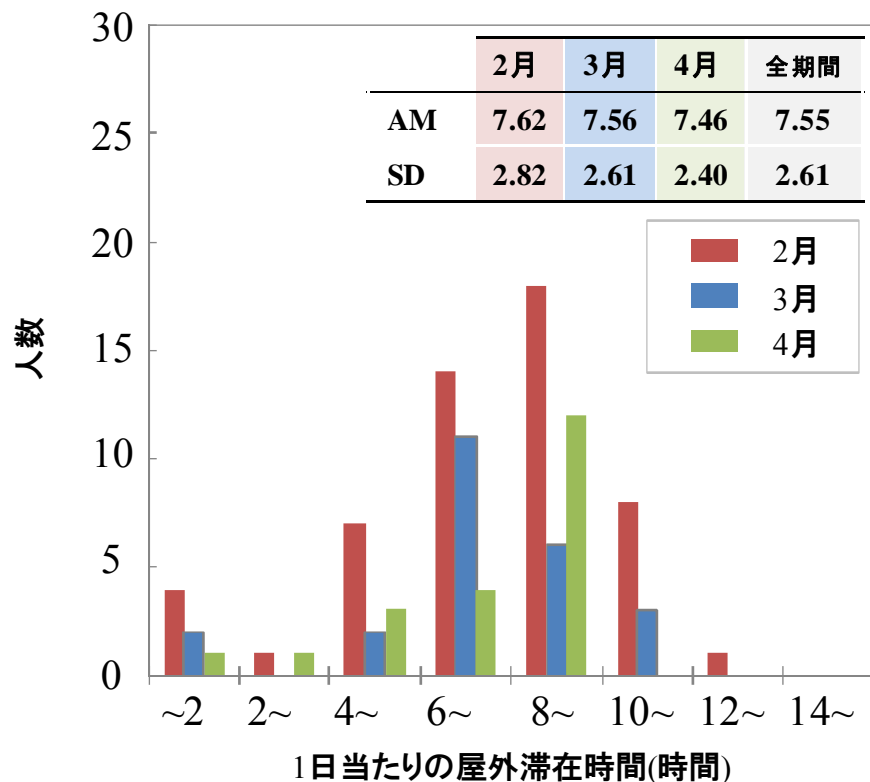
■ 2012年2月から調査を継続中(本解析では、2012年2月~4月のデータを利用)

■ 自宅、職場、その他の場所における屋内外での滞在時間を収集

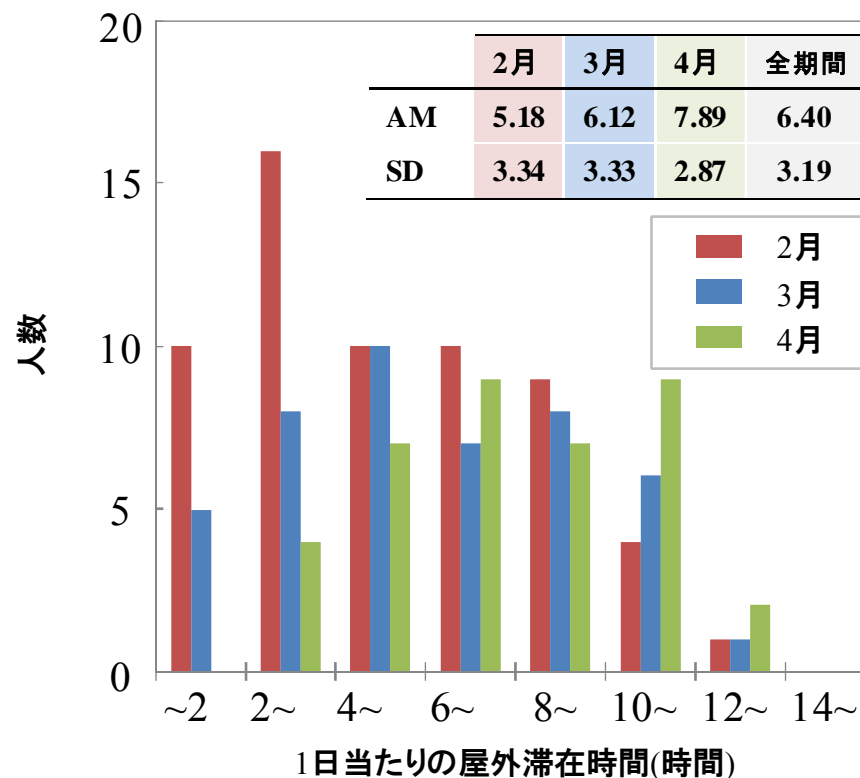


■ 職業等に応じて、屋外での滞在時間が明確に異なる。

■ 屋外滞在時間は、屋外作業者がもっとも長く、自宅滞在者(老人クラブ)と屋内作業者は短い(特に屋内作業者は極めて短い)。



福島県建設業協会



JA新ふくしま

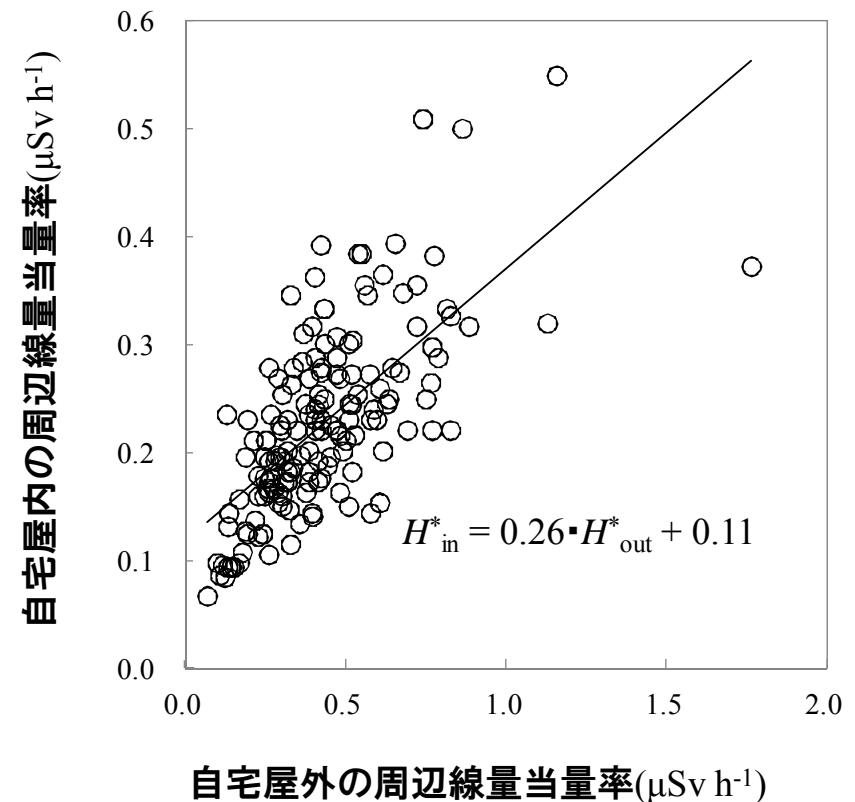
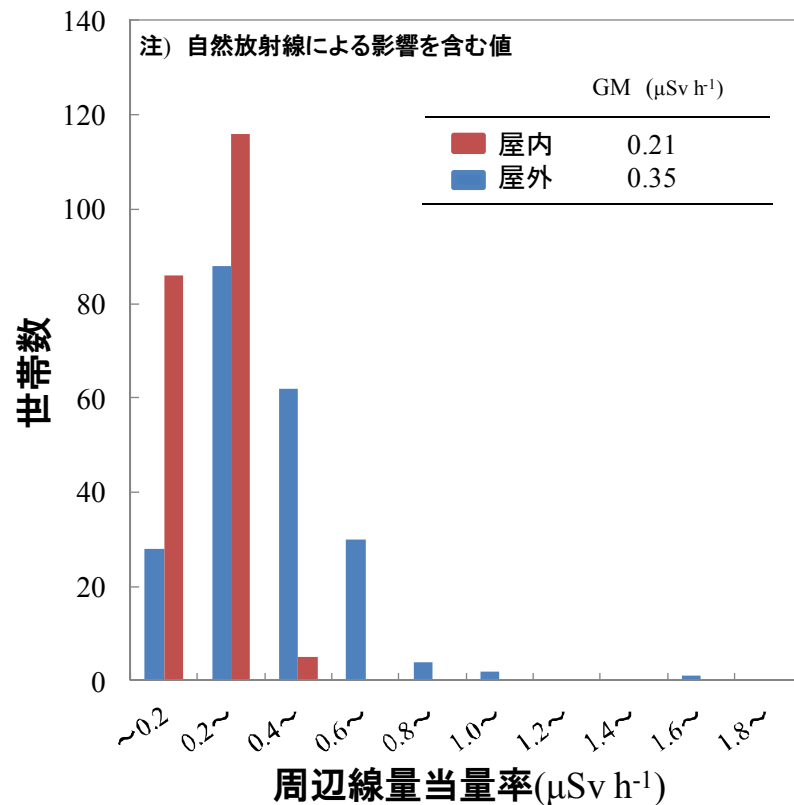
- 就業が屋内中心となる場合に屋外滞在時間は対数正規分布、屋外中心となる場合には正規分布となる。
- 農業従事者の屋外滞在時間はばらつきが大きく、また、平均値も時期によって変動していた。

■ 自宅屋内外における周辺線量当量率を実測

- 屋内 在宅時に最も滞在時間の長い場所の線量を測定(床面から1 mの高さ)
- 屋外 玄関から外へ1.2 m離れた場所で測定(地表から1 mの高さ)

■ 測定装置 Na(Tl)シンチレーションサーベイメータTCS171Bを利用

■ 測定対象家屋 木造家屋194世帯、コンクリート造平屋5世帯、コンクリート造多層16世帯

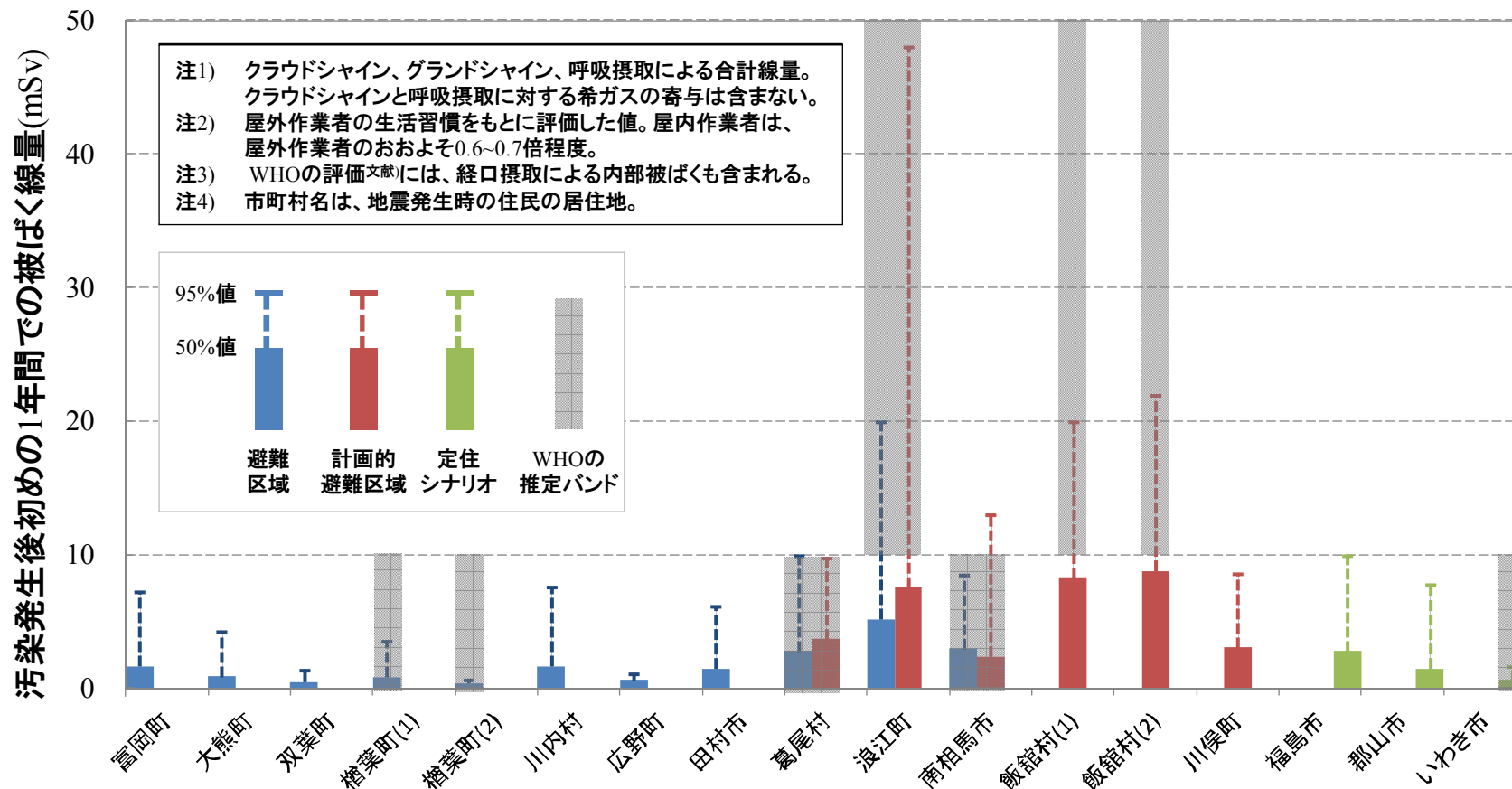


環境濃度データ	
地表面 ¹³⁷ Cs濃度 ⁽¹⁾	各市町村における測定データ
地表面核種組成 ⁽²⁾	右表参照
減衰関数 ^(2,3)	チェルノブイリ事故時の経験式(半減期1.5年および50年の2成分モデル)
ロケーションファクタ ⁽³⁾	チェルノブイリ事故時の経験式(未開墾土壌、土壌およびアスファルトに対して、それぞれ半減期1.4年、2.2年及び0.9年)
沈着速度 ⁽²⁾	30kBq/m ² で湿性沈着と乾性沈着を区別 湿性: $V_{I-131}=0.07$ m/s, $V_{other}=0.01$ m/s、 乾性: $V_{I-131}=0.01$ m/s, $V_{other}=0.001$ m/s
生活習慣データ	
屋外滞在時間	福島県内での社会調査の結果を利用 屋内作業: GM = 0.57 h, GSD = 3.28 屋外作業: AM = 6.97 h, SD = 2.90 自宅滞在: GM = 1.27 h, GSD = 3.37
呼吸率 ⁽⁴⁾	成人に対する文献値を利用: 22.2 L/d
その他	
遮へい係数	グランドシャイン: 0.3(線量調査の結果を利用) クラウドシャイン: 0.6 ⁽⁵⁾
フィルタリング係数	保守的に1を仮定
線量換算係数	グランドシャイン, クラウドシャイン: EPA report ⁽⁶⁾ 呼吸摂取: ICRP Publ. 71 ⁽⁴⁾

核種名	組成比 (3月15日時点での ¹³⁷ Csに対する値)
¹³¹ I	11.7
¹³² I	—*
¹³² Te	8.0
¹³⁴ Cs	0.94
¹³⁶ Cs	0.2
¹³⁷ Cs	1.0
¹⁴⁰ Ba	0.1
¹⁴⁰ La	—*
^{110m} Ag	0.01
^{129m} Te	1.5

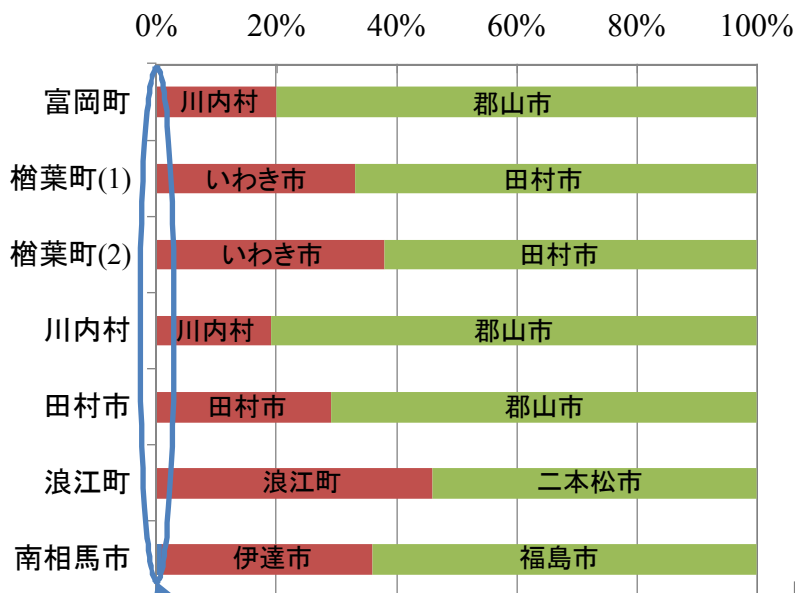
* ¹³²I と ¹⁴⁰La については、親核種との放射平衡を仮定。

- (1) 文部科学省, “土壌の核種分析結果(セシウム134、137)について,” 放射線量等分布マップの作成等に係る検討会 第7回配布資料, 資料第7-1号 (2012)
- (2) WHO, “Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami,” (2012)
- (3) Golikov V. Yu. et al., “External exposure of the population living in areas of Russia contaminated due to the Chernobyl accident,” Radiat and Environ Biophys. 41, pp 185-193(2002).
- (4) ICRP Publication 71 (1995)
- (5) 原子力安全委員会, “原子力施設の防災対策について”
- (6) EPA Federal Guidance Report No.12 (1993)



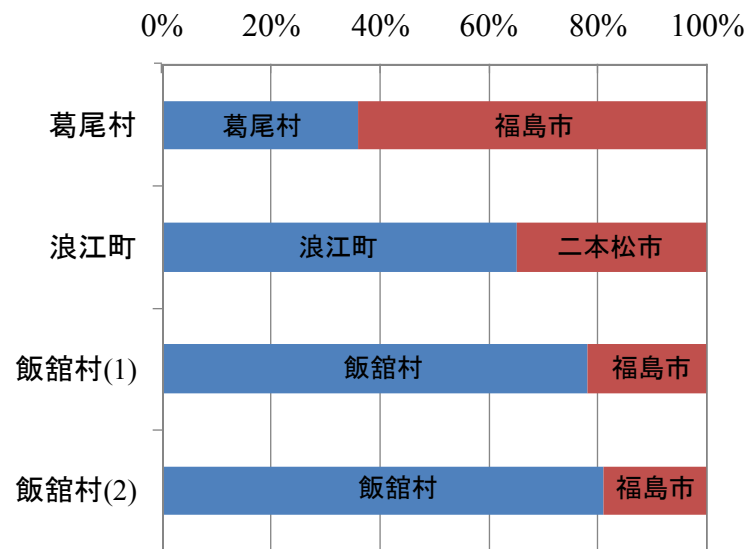
- 汚染発生後1年間の実効線量は、浪江町および飯館村で10~50mSv、その他の地域で1~10mSvの範囲に含まれる。
- 避難区域の市町村と比べて、計画的避難区域の市町村の被ばく線量の方が高い。
- 浪江町では、避難に比べて計画的避難の時間遅れが1週間にもかかわらず、被ばく線量が約1.5~2倍であった。

避難区域からの避難ケース



避難区域では3月15日以前に避難を実施しているため、初期滞在場所での被ばくの寄与は含まれていない。

計画的避難ケース

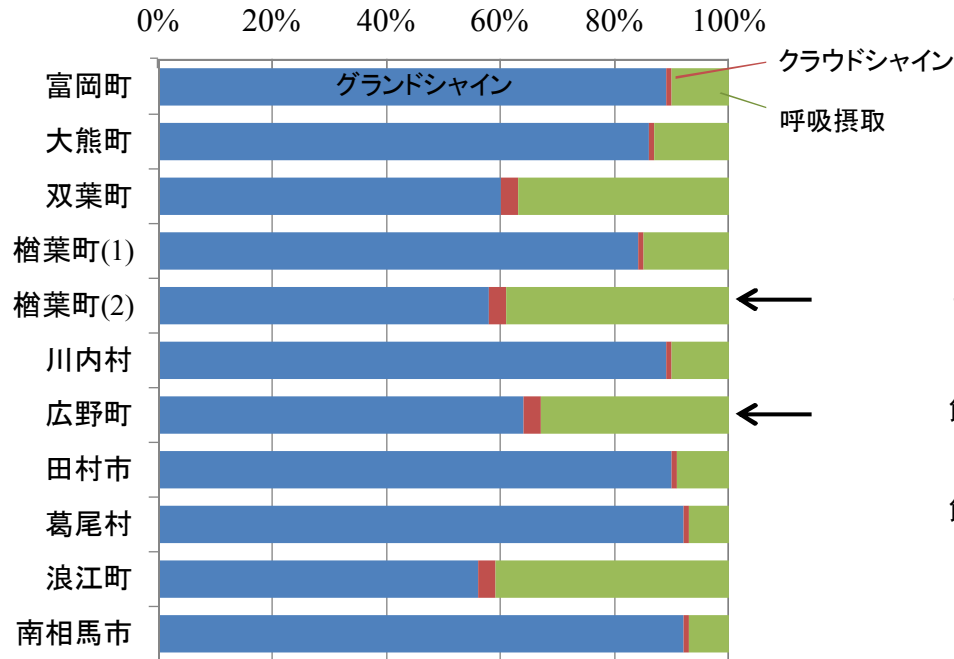


- 県外での滞在を除く
- 同一市町村内での避難施設の移動は、同じ避難施設として扱う

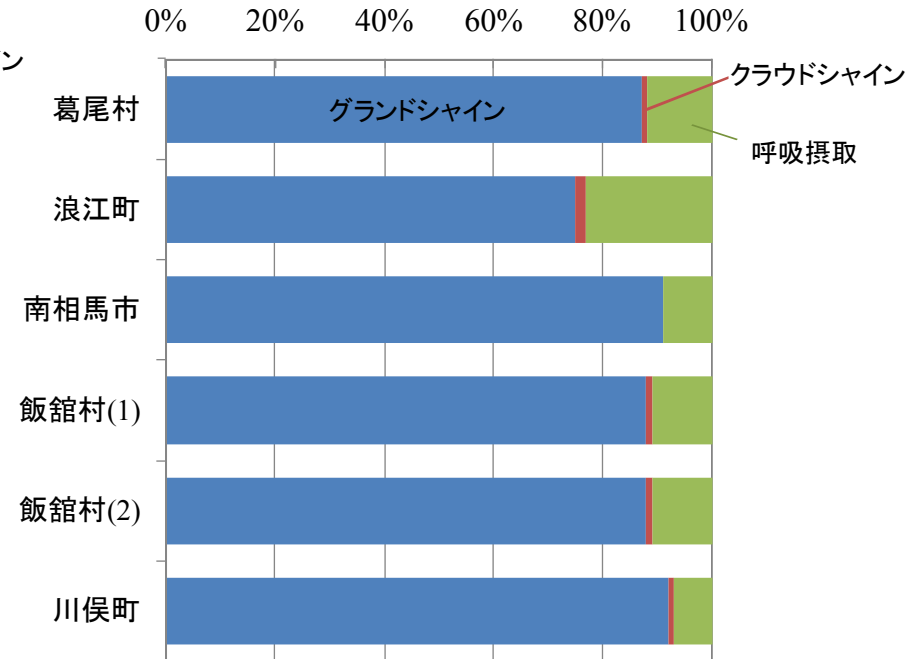
初期滞在場所
第一次避難施設
第二次避難施設

■ 避難区域からの避難の場合、1年間での被ばく線量の60%~80%が最終的に避難した場所で生じていた。一方、計画的避難区域の場合、1年間の被ばく線量のうち60%~80%が初期滞在場所で生じていた。

避難区域からの避難ケース

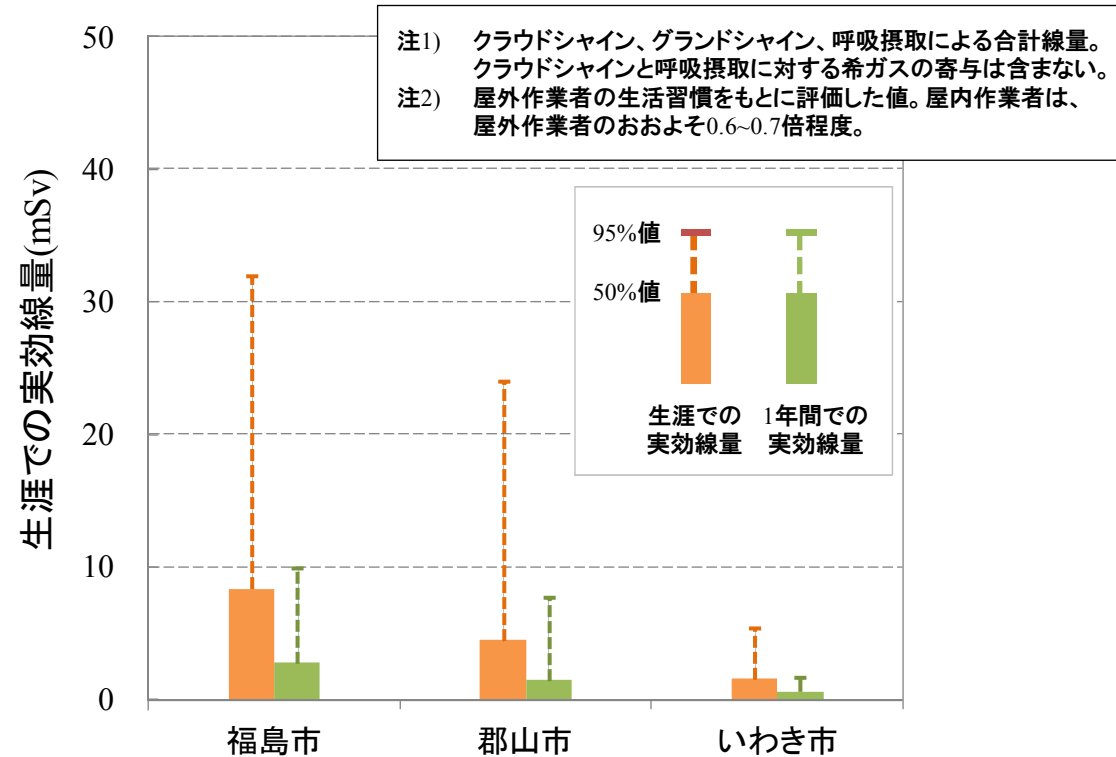


計画的避難ケース



- 各被ばく経路の年間線量への寄与は、避難ケースおよび計画的避難ケースの平均的な値として、グランドシャイン 約90%、クラウドシャイン 数%、呼吸摂取 約10%となった。
- 沈着時の気象条件、避難のタイミングと避難先に応じて、呼吸摂取の寄与が大きくなる場合がある。

定住シナリオの生涯線量



- 汚染発生時から60年滞在した場合の被ばく線量は、屋外での作業が中心になる人の95%値で、福島市 約30mSv、郡山市 約25mSv、いわき市 約5.5mSvであった。
- 生涯線量のおよそ3分の1程度は、事故発生後の1年間で生じていた。

福島事故後に避難または計画的避難の対象となった住民、および福島県内主要都市に居住している住民に対して、確率論的評価手法を用いて被ばく線量の予備的評価を実施。

- 汚染発生後1年間の実効線量は、浪江町および飯舘村で10~50mSv、その他の地域で1~10mSvの範囲に含まれる。
- 各被ばく経路の寄与は、グランドシャイン約90%、クラウドシャイン数%、呼吸摂取約10%であった。沈着時の気象条件、避難のタイミングと避難先に応じて異なる。
- 避難区域からの避難の場合には最終的避難場所、計画的避難区域の場合には初期滞在場所での被ばくが大きな割合を占める。
- 生涯線量のおよそ3分の1程度は、事故発生後の1年間で生じていた。

- 本研究の結果は、チェルノブイリ事故時の経験、特定の期間および団体の協力の生活習慣などをもとにすすめられた結果であり、あくまで予備的な評価結果である。
- 今後新たな知見を反映して、モデル、パラメータおよび入力データを更新しながら、評価プロセスを反復する必要がある。

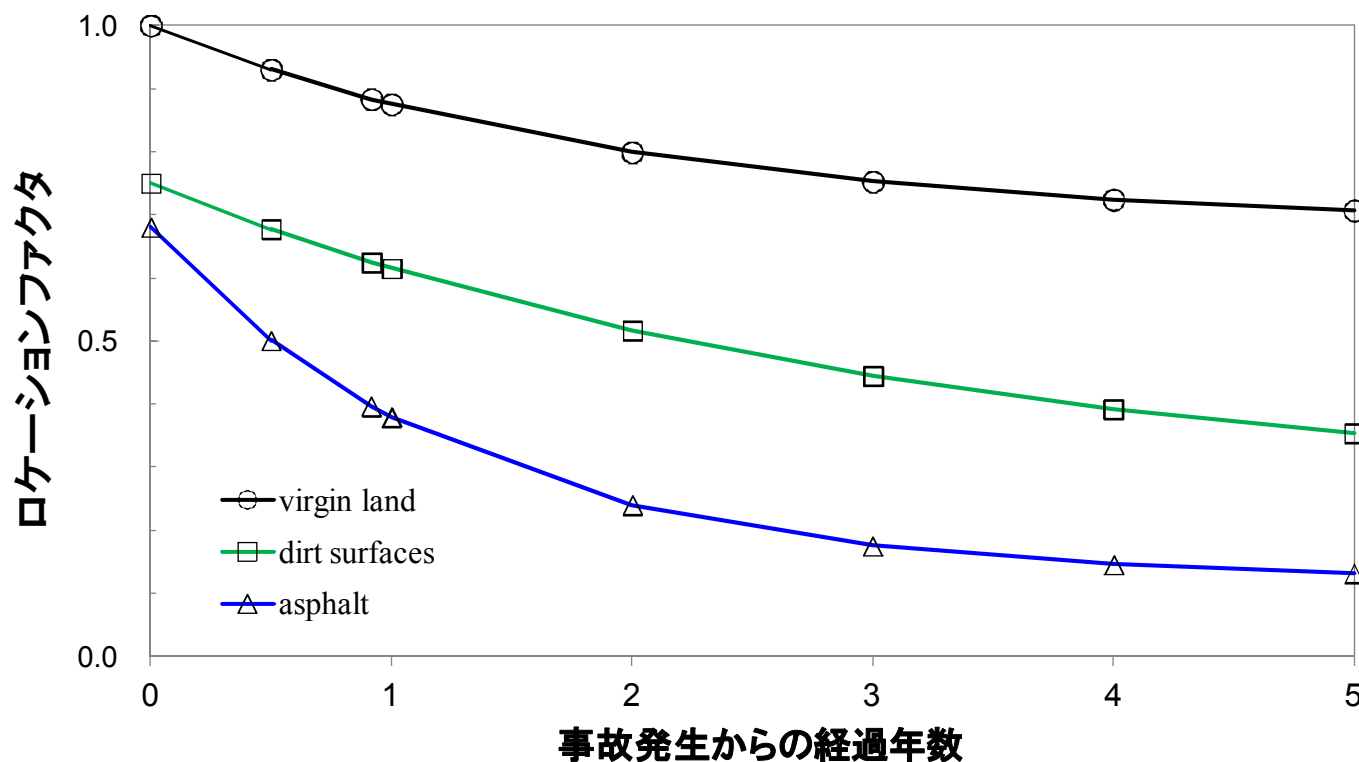
本研究の一部は内閣府受託事業「福島第一原子力発電所事故に係る福島県除染ガイドライン作成調査業務」の一環として実施されました。福島県内各団体の協力者と担当者の皆様に御礼を申し上げます。

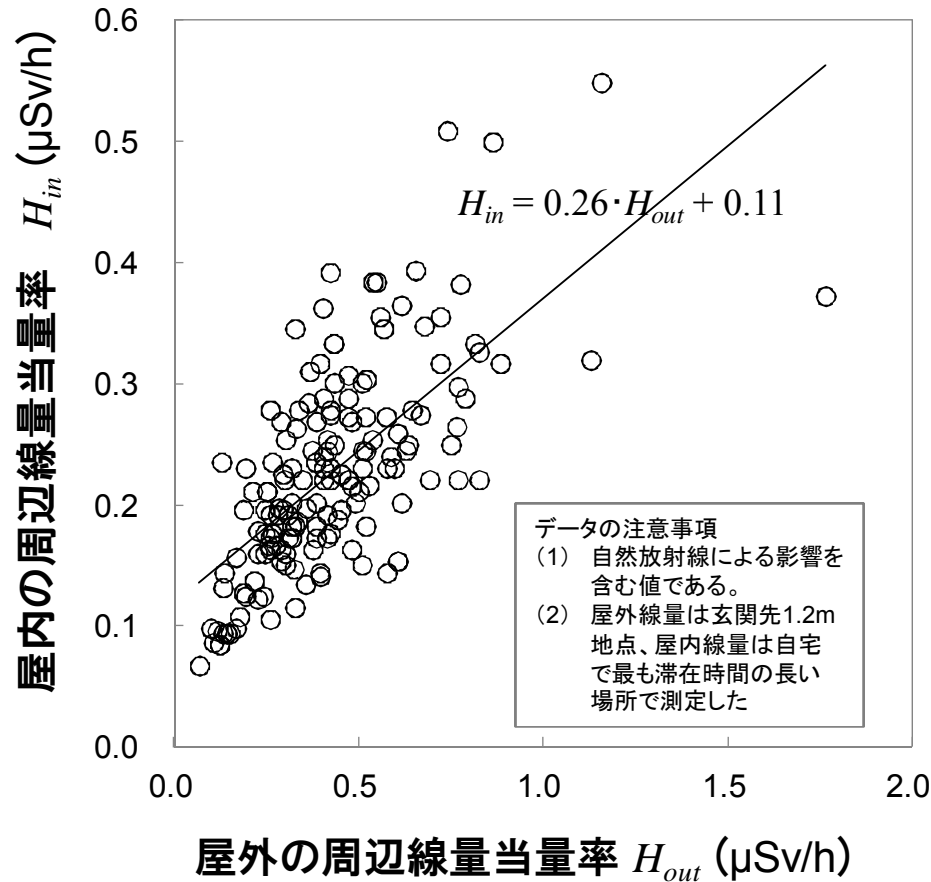
No.	初期滞在場所	避難施設1	避難施設2	避難施設3
1	富岡町役場 3月11日～3月12日6時	川内村役場等 (3月12日6時～3月16日10時)	ビックパレットふくしま(郡山市) (3月16日10時～)	
2	大熊町役場 3月11日～3月12日13時	船引就業改善センター(田村市) 3月12日13時～		
3	双葉町役場 3月11日～3月12日8時	川俣小学校 3月12日8時～3月19日10時	さいたまスーパーアリーナ 3月19日10時～3月31日10時	旧県立騎西高校 3月31日10時～
4	双葉町役場 3月11日～3月12日16時	川俣小学校 3月12日16時～3月19日10時	さいたまスーパーアリーナ 3月19日10時～3月31日10時	旧県立騎西高校 3月31日10時～
5	楢葉町役場 3月11日～3月12日13時	いわき市 3月12日13時～3月31日10時	船引就業改善センター(田村市) 3月16日10時～	
6	楢葉町役場 3月11日～3月12日13時	いわき市 3月12日13時～3月16日10時	会津美里町 3月11日～3月12日15時	
7	浪江町役場 3月11日～3月15日10時	津島活性化センター(浪江町) 3月15日10時～3月16日10時	安達体育館(二本松市) 3月16日10時～	
8	田村市 3月11日～3月12日8時	デンソー東日本(田村市) 3月12日8時～3月31日10時	ビックパレットふくしま 3月31日10時～	
9	南相馬市 3月11日～3月15日10時	伊達市役所 3月15日10時～3月31日10時	あづま総合体育館(福島市) 3月31日10時～	
10	広野町 3月11日～3月12日8時	小野町 3月12日8時～		
11	川内村 3月11日～3月13日10時	川内村小学校 3月13日10時～3月16日10時	ビックパレットふくしま(郡山市) 3月16日10時～	
12	葛尾村 3月11日～3月14日10時	あづま総合体育館(福島市) 3月14日10時～		

No.	初期滞在場所	避難施設1	避難施設2	避難施設3
13	津島活性化センター(浪江町) 3月11日～3月23日10時	安達体育館(二本松市) 3月23日10時～		
14	葛尾村役場 3月11日～3月21日10時	あづま総合体育館(福島市) 3月21日10時～		
15	飯舘村役場 3月11日～5月29日10時	福島市役所飯野支所 5月29日10時～		
16	飯舘村役場 3月11日～6月21日10時	福島市役所飯野支所 6月21日10時～		
17	南相馬市 3月11日～5月20日10時	南相馬市役所 5月20日10時～		
18	川俣町山木屋地区 3月11日～6月1日10時	川俣町役場 6月1日10時～		

職業に応じて屋外の空間線量率を補正 ロケーションファクタの利用
 市役所と老人クラブ : 舗装された屋外で活動
 建設業協会とJA : 土のうえでの活動

- チェルノブイリ事故時の経験に基づいて評価。
- Golikov et al., 2002, Radiat. Environ. Biophys. (41), pp 185~193.





$$\begin{cases} H_{out} = H_{a,out} + H_{n,out} \\ H_{in} = s \cdot H_{a,out} + H_{a,in} + H_{n,in} \end{cases}$$

- s : 建屋の遮へい係数
- $H_{a,out}$: 事故によって追加された屋外線量
- $H_{a,in}$: 事故によって追加された屋内線量
- $H_{n,out}$: 自然放射線源による屋外線量
- $H_{n,in}$: 自然放射線源による屋外線量

➡ 今回の測定結果等に基づく解析の結果 $H_{a,in}$ の値は負であった。

評価値と測定値

- 福島市(一部、他の市町村も数人程度含む)の住民を調査
- 建設業協会、JA新ふくしまの作業員113名~42名の測定値(月によって人数は変動)
- 個人線量計(日立アロカ社 PDM-122 SZ)にて測定

福島市における測定値と比較

