

【5ZB-1202】

# 福島原発近隣における里山生態系を含めた 除染効果の評価と住民の中期曝露評価

研究実施期間：平成24年7月－平成26年3月

累積予算額：112,710千円

研究機関：国立大学法人 京都大学

研究代表者：小泉 昭夫

研究キーワード：

放射性物質、福島第一原子力発電所事故、  
個人被ばく、里山、除染

# 研究開発目的

- 住民の被ばく量の評価にあたり、空間線量率が高い森林での活動量や、自給自足のライフスタイルに注目する必要がある。
  - ◆ 自給自足をするライフスタイルはハイリスク集団と考えられ、曝露評価と影響評価を行う必要がある。
  - ◆ 生態系における里山内のセシウム137の動態は、チェルノブイリ原発事故以降に開発されたモデルが適用できない。
    - 今後、長期にわたる土壌・根からの吸収・木質化等のリサイクル動態の評価と耕作地を含めた里山モデルが必要となる。
- 本研究の目的は、福島第一原発20km－50km圏内における森林生態系を含めた住民の中期被ばく量の予測と除染効果の評価
  - a. 種々のライフスタイルにおける住民の曝露評価と影響評価
  - b. 里山での動態解析
  - c. 里山動態モデリング

# 平成24－25年度のプロジェクト

## (1) 里山住民の曝露評価 ……京都大学：小泉 昭夫、原田 浩二、土生 敏行

- ① 大気調査および陰膳食事調査を実施し、外部および内部被ばくの基礎データを確立
- ② 地産地消の内部被ばくに与える重要性を評価
- ③ 影響評価として末梢血でDNA損傷を鋭敏に捉えることのできるp53-p21系および甲状腺へのヨードの取り込みの多い個体の識別方法の開発

## (2) 里山生態系におけるセシウム137の動態把握と将来予測 ……京都大学：岡田 直紀

- ① 試験地の設定を行い、農作物の栽培試験を開始
- ② 森林におけるリター・水質の放射性物質モニタリングの開始
- ③ 土壌－植物系の放射能測定と評価
- ④ 森林における植生－菌相調査と放射能測定と評価

## (3) 里山動態モデリング ……京都大学：石川 裕彦、新添 多聞

- ① 1次元コンパートメントモデル・フレームワークの作成と評価
- ② 分布モデル作成に向けた、データ収集
- ③ 線量計算モジュールの作成

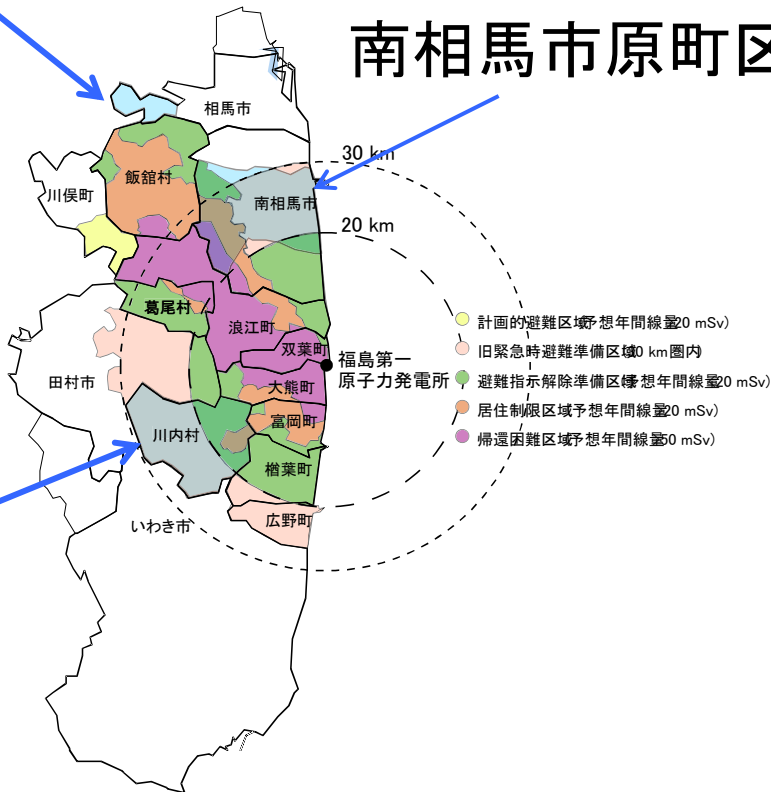
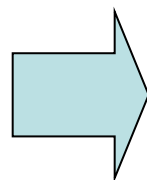
# (1) 里山住民の曝露評価

- ① 個人線量計調査、および大気調査・陰膳食事調査を実施し、外部および内部被ばくの基礎データを確立した。



## 相馬市玉野地区

## 南相馬市原町区

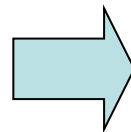


## 川内村

# 個人外部被ばくの調査

## 調査の実施方法

- 調査地域の住民に線量計を配布し、各調査期間着用の後に返送されたものを測定。
- 各期間中の1週間の行動記録を記入。除染状況の聞き取りなども実施。

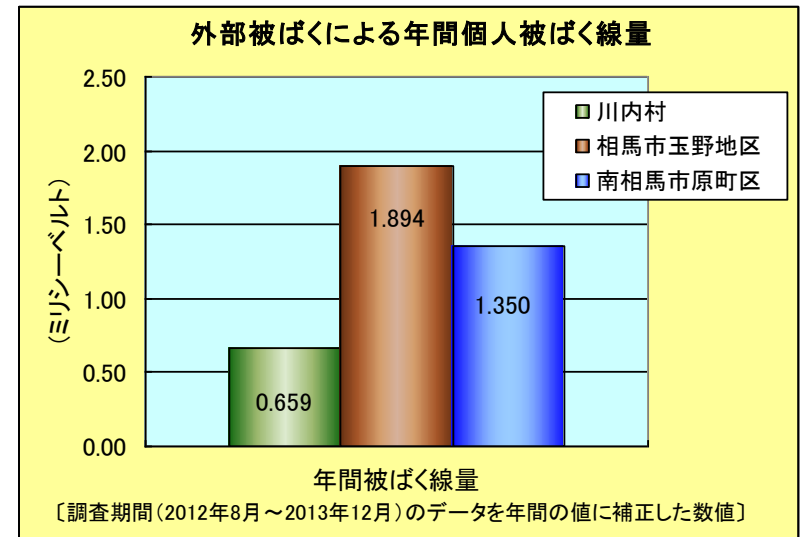
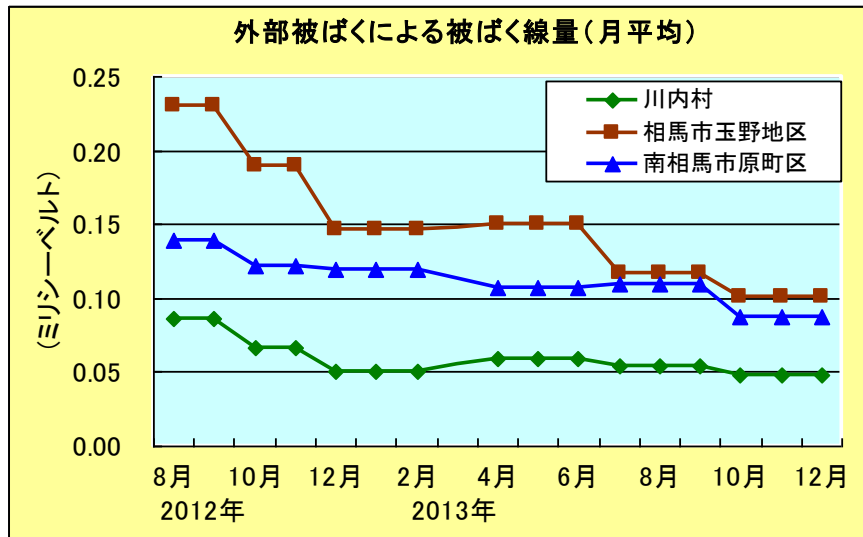


## 外部被ばく調査の実施期間と参加者

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目
実施期間	2012年 8-9月	2012年 10-11月	2012年12月 -2013年2月	2013年 4-6月	2013年 7-9月	2013年 10-12月
川内村	386名	319名	352名	272名	286名	188名
相馬市	50名	55名	45名	47名	40名	32名
南相馬市	27名	26名	23名	23名	21名	18名

対象人口：川内村(2012年4月 666名、同12月 808名、2013年4月902)、相馬市(182世帯461名)、南相馬市(婦人会30名)  
6回目は2014年1月末時点で返送された件数

# 個人外部被ばく調査の結果概要



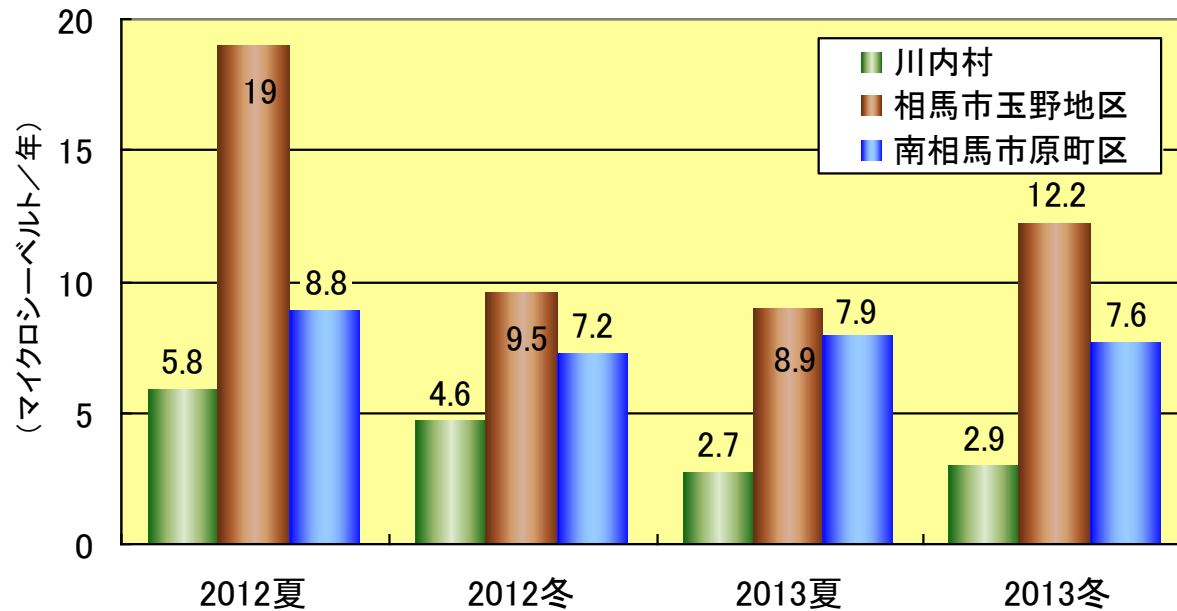
## 《 結 論 》

- 外部被ばくによる年間被ばく量の各地域の平均は、川内村では0.659ミリシーベルト、相馬市玉野地区では1.894ミリシーベルト、南相馬市原町区では1.350ミリシーベルトであった。
- 調査開始の2012年8月以降、外部被ばくは減少傾向にある。
- 除染の終了している住宅周りや田畑などでの活動は、概ね安心といえる。
- 山や森林には、放射線量の高い場所があるため、山林内での作業には注意が必要。



# 放射性セシウムの食事による摂取

食事による年間被ばく線量の推移



## 《 結 論 》

- 3地域とも食事中の放射性セシウムは減少あるいは横ばいで推移しており、**内部被ばくへの影響は非常に少ない**と言える。
- 店舗に流通している食材は概ね安心。田畑で採れた自家野菜なども**概ね安心**といえるが、念のために**検査で安全を確認**してから食べることが望ましい。
- 山や森林には、放射線量の高い場所があるため、**山林内で採れた山菜・きのこ、イノシシなどの野生の動物**については注意が必要。**検査による線量の確認**が求められる。

# 大気粉じん調査

## 調査の実施方法

- 設置場所**(大容量空気捕集装置、アンダーセン式空気捕集装置)  
 川内村コミュニティセンター  
 相馬市玉野地区(住民宅)  
 南相馬市原町区(住民宅)
- 年間を通じて1週間単位で観測
- 分粒装置による粒径別評価(およそ1か月単位)
- 全粒子  $< 5\mu\text{m}$ (細気管支)  $< 1\mu\text{m}$ (肺胞)



南相馬市の設置状況



相馬市の設置状況

## 大気粉じんによる予想年間被ばく線量

(単位:人、1年当たりのマイクロシーベルト)

2012年8月－2013年12月の測定結果に基づく予想

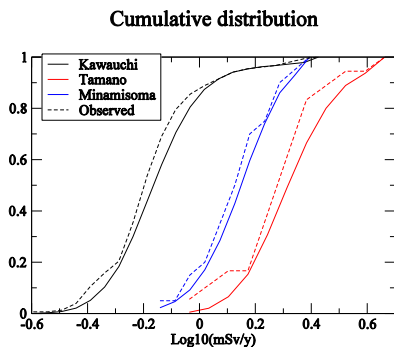
地域	測定数	子ども(3-7歳)					大人				
		平均	SD	最小	中央	最大	平均	SD	最小	中央	最大
川内村	71	<b>0.049</b>	0.058	0.005	0.027	0.274	<b>0.041</b>	0.049	0.004	0.023	0.228
相馬市	71	<b>0.059</b>	0.048	0.016	0.040	0.281	<b>0.050</b>	0.040	0.013	0.034	0.237
南相馬市	71	<b>0.239</b>	0.715	0.005	0.100	5.807	<b>0.201</b>	0.603	0.004	0.084	4.900



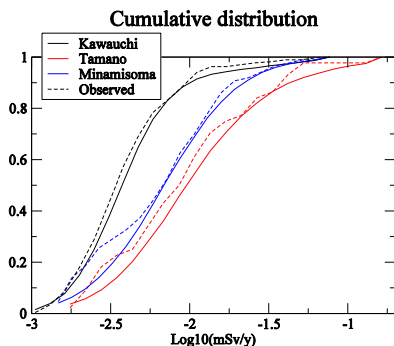
# 年間被ばく量

## 測定データに基づく モンテカルロシミュレーション

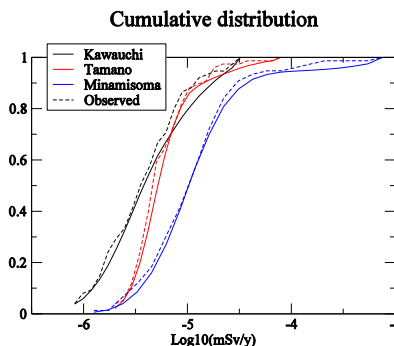
外部被ばく



食事由来  
内部被ばく

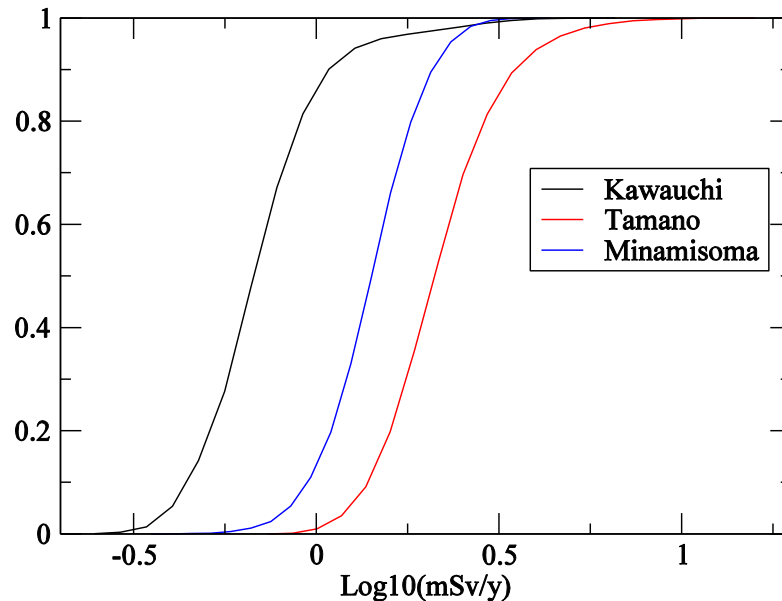


呼吸由来  
内部被ばく



(破線: 測定データの分布)

Cumulative distribution



(mSv/y)	平均	95 <sup>th</sup> %値
川内村	0.76	1.46
相馬市玉野地区	2.34	4.56
南相馬市	1.50	2.46

# 発がんリスクの評価

2012年8月から9月の2か月間の被ばく線量、食事調査、大気粉塵中濃度のデータを用いて評価した。

# 年間被ばく線量の長期予測

表1 年間平均総被ばく線量の推移<sup>\$</sup>

	平均年間総被ばく線量* (ミリシーベルト)		
	2012年	2022年	2062年
川内村	0.89	0.31	0.12
相馬市玉野地区	2.51	0.87	0.33
南相馬市原町区	1.51	0.53	0.20

<sup>\$</sup> 放射性セシウムの物理的半減期を考慮して線量を計算した。

\*外部被ばく、食事および大気粉じんによる内部被ばくの合計

**今後10年、50年にわたる放射性セシウムの減衰により、3地域の年間の平均被ばく量は、平常時の自然放射線や医療被ばく以外の被ばく限度である年間1ミリシーベルトを超えることはほとんどないと予測される。**

# 被ばくによる発がんの生涯リスク

表2 調査地点での発がんに関する2012年時点から89歳までの生涯リスク

(土壤中放射性セシウムは、物理的半減期以外の影響を受けないと仮定)

2012年時点 の年齢	地域	固形がん			白血病			乳がん	
		生涯被ばく線量 (mSv)	生涯リスク		生涯被ばく線量 (mSv)	生涯リスク		生涯被ばく線量 (mSv)	生涯リスク 女性
			男性	女性		男性	女性		
1歳	川内村	15.1	0.25%	0.38%	15.5	0.01%	0.01%	17.2	0.10%
	玉野地区	42.8	0.71%	1.06%	43.8	0.03%	0.02%	48.5	0.28%
	原町区	25.7	0.43%	0.64%	26.3	0.02%	0.01%	29.2	0.17%
	自然発生 割合		43.92%	31.76%		0.71%	0.51%		6.29%
10歳	川内村	14.6	0.20%	0.29%	14.9	0.01%	0.01%	16.8	0.07%
	玉野地区	41.4	0.56%	0.82%	42.1	0.02%	0.02%	47.4	0.19%
	原町区	24.9	0.34%	0.49%	25.3	0.01%	0.01%	28.5	0.11%
	自然発生 割合		43.96%	31.76%		0.67%	0.48%		6.28%
20歳	川内村	13.9	0.15%	0.21%	13.9	0.01%	0.00%	15.9	0.04%
	玉野地区	39.3	0.41%	0.59%	39.2	0.02%	0.01%	45	0.11%
	原町区	23.6	0.25%	0.36%	23.6	0.01%	0.01%	27.1	0.07%
	自然発生 割合		44.02%	31.75%		0.63%	0.45%		6.29%

生涯被ばく線量は各調査地点の2012年の平均と放射性セシウムの物理的半減期から計算された(表1)

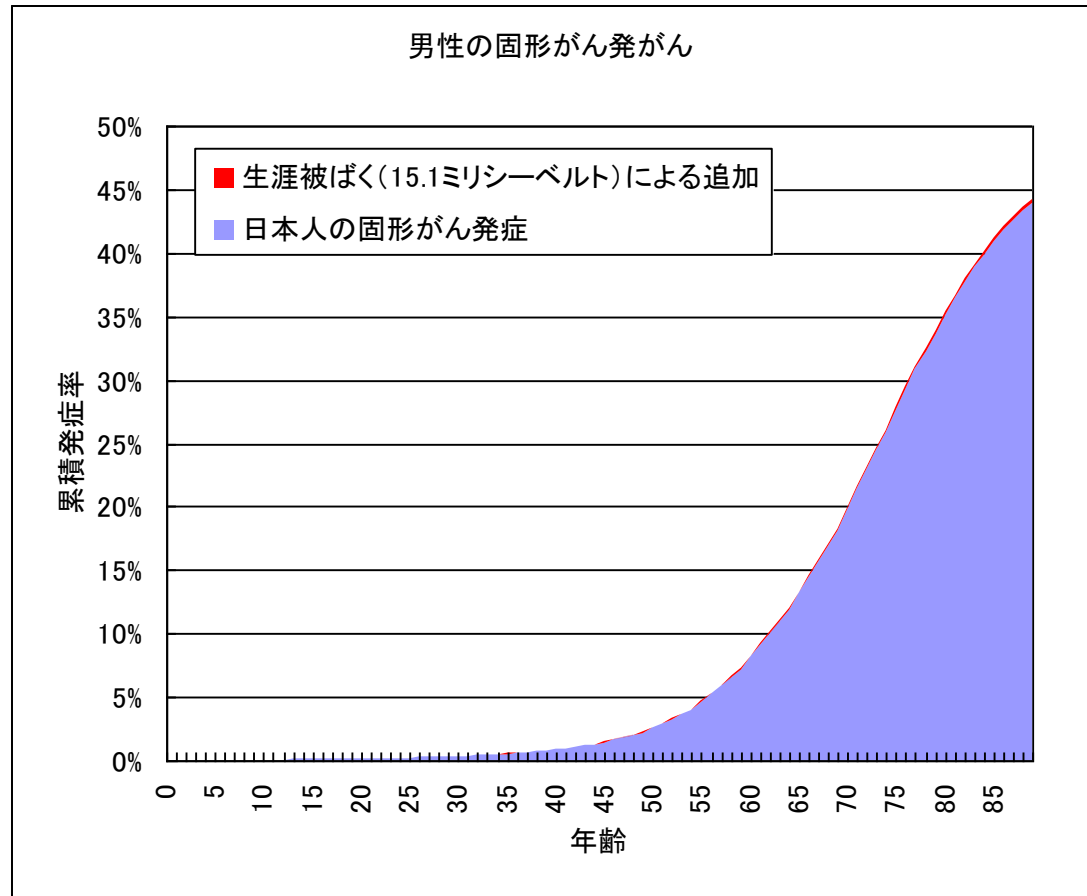
# 発がんのリスク評価①

## 仮定

原爆被爆者の発がんリスクに基づいて、被ばく線量に比例して発症する

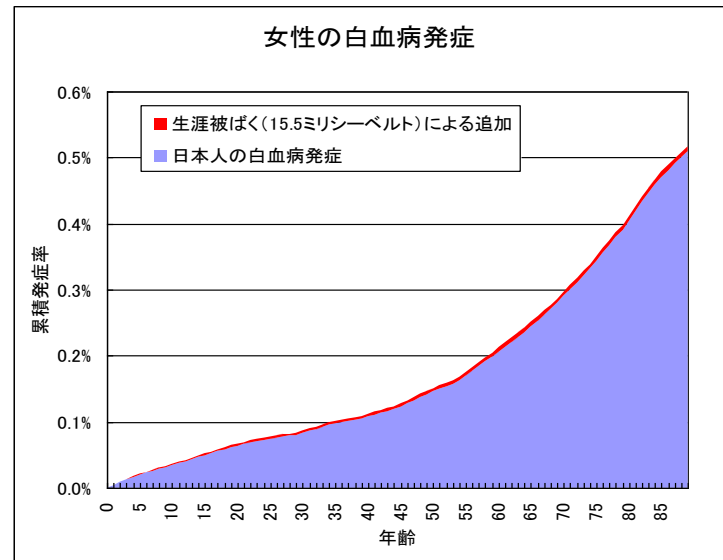
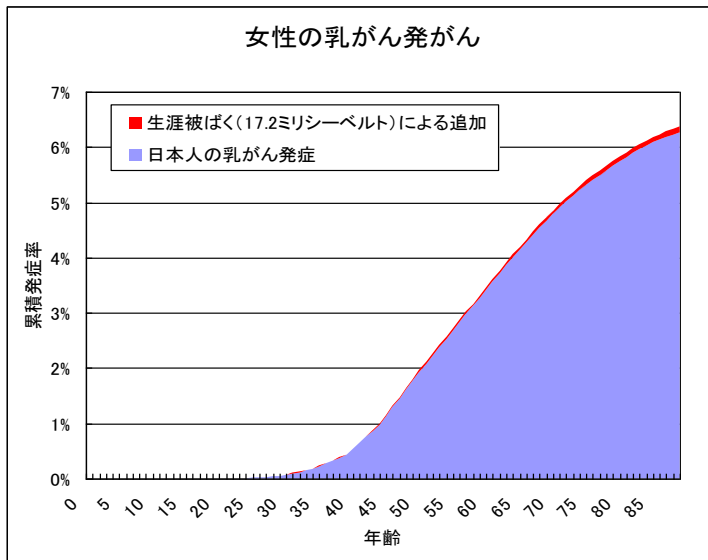
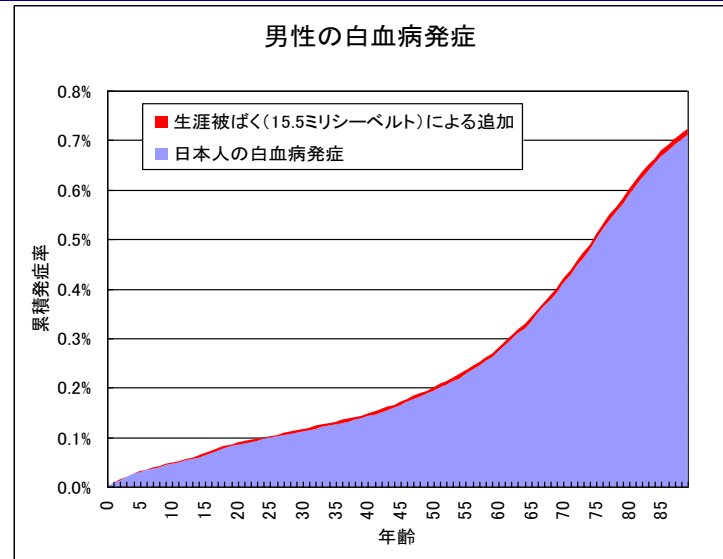
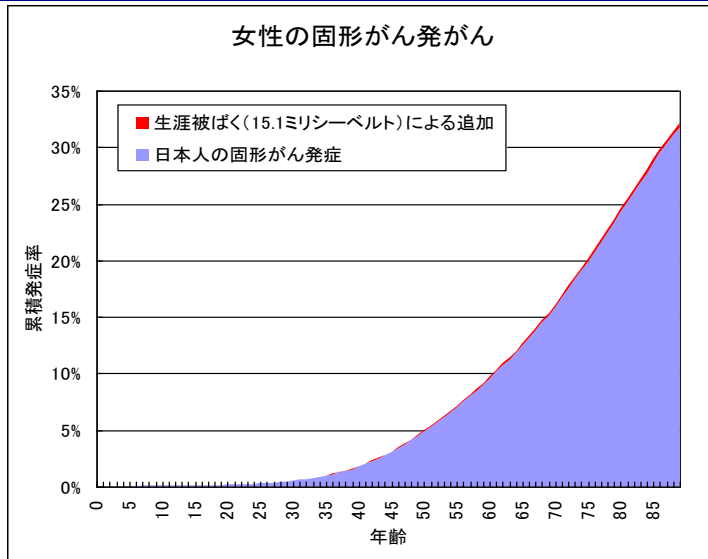
## 実際

予測される追加発症があってもごくわずかで、生活習慣の違いや地域差より小さくて見つからない



- 日本人男性では1歳から89歳までのがん発症確率は年齢とともに上昇し、事故後の放射線被ばくがなくても累積で44パーセントの方ががんになる。放射線に生涯で15.1ミリシーベルト被ばくした場合の追加発症率は0.25パーセントと予測される。
- 生活習慣(肥満、運動不足、塩分過剰、野菜不足など)による追加がんリスクは2パーセントから9パーセントとされている。

# 発がんのリスク評価②



- 表7に基づく放射線に生涯で被ばくした場合の追加発症率
 

女性の固形がん	0.37パーセント	女性の乳がん	0.1パーセント
男性の白血病	0.01パーセント	女性の白血病	0.008パーセント



## 発がんリスクの評価についての小括

現状では、通常的生活であれば放射線被ばくによる健康リスクは低いと考えられる。さらに、今後の減衰を考えると、10年後には年間被ばく線量の平均は概ね1ミリシーベルト以下となる。

しかし、今後も引き続き、①キノコなど食物の汚染への注意を怠らないことや、②森林への立ち入りや、③汚染地域への立ち入りは、注意が必要である。

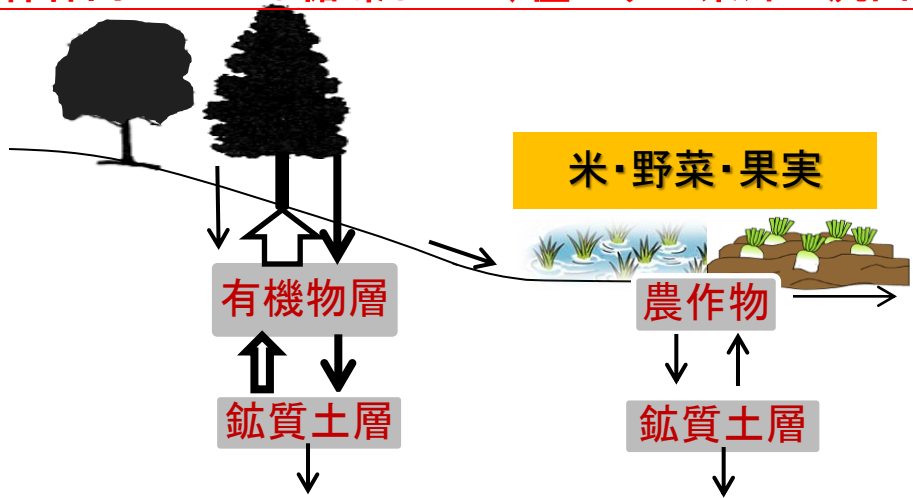
**以上、PNAS(米国科学アカデミー紀要)に  
2014年2月24日公表されました。**

## (2) 里山生態系におけるセシウム137の動態把握と将来予測

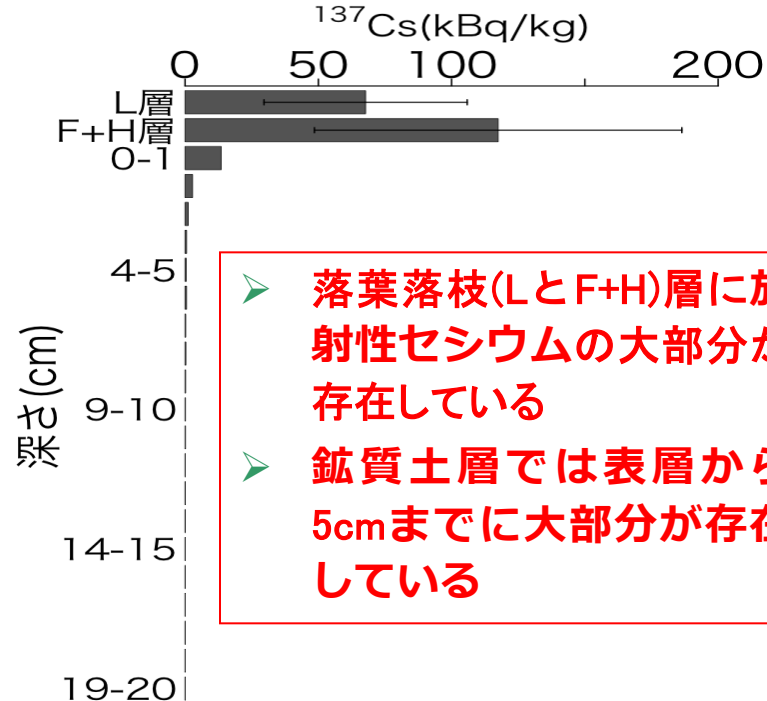
- ① 試験地の設定を行い、農作物の栽培試験を開始
- ② 森林におけるリター・水質の放射性物質モニタリングを開始
- ③ 土壌－植物系の放射能測定と評価
- ④ 森林における植生－菌相調査と放射能測定と評価



森林内で<sup>137</sup>Csは循環しつつ、僅かずつ系外へ流出

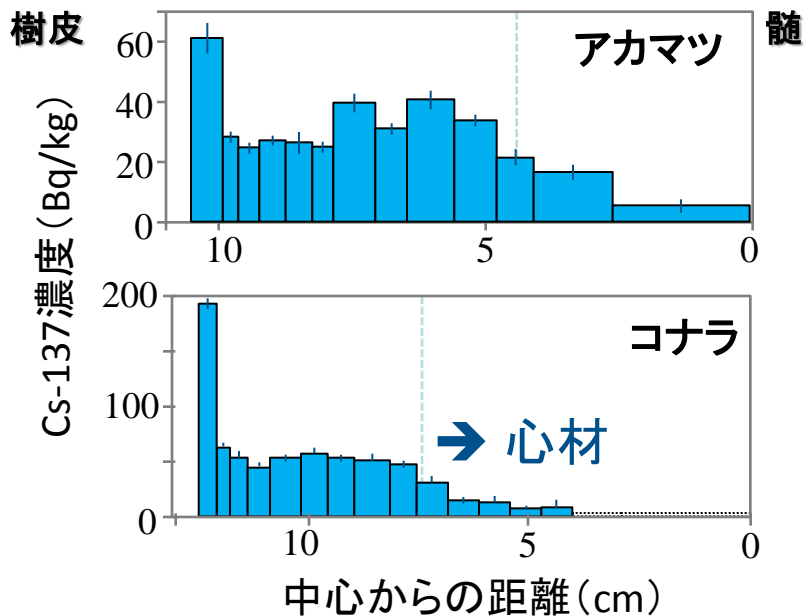


里山生態系における<sup>137</sup>Csの主要なプールとフラックス



- 落葉落枝(LとF+H)層に放射性セシウムの大部分が存在している
- 鉱質土層では表層から5cmまでに大部分が存在している

樹木内部への<sup>137</sup>Csの移動は継続している



ホットスポットのヤマメは<sup>137</sup>Cs濃度が高い



福島第一原発



ヤマメに含まれる<sup>137</sup>Cs

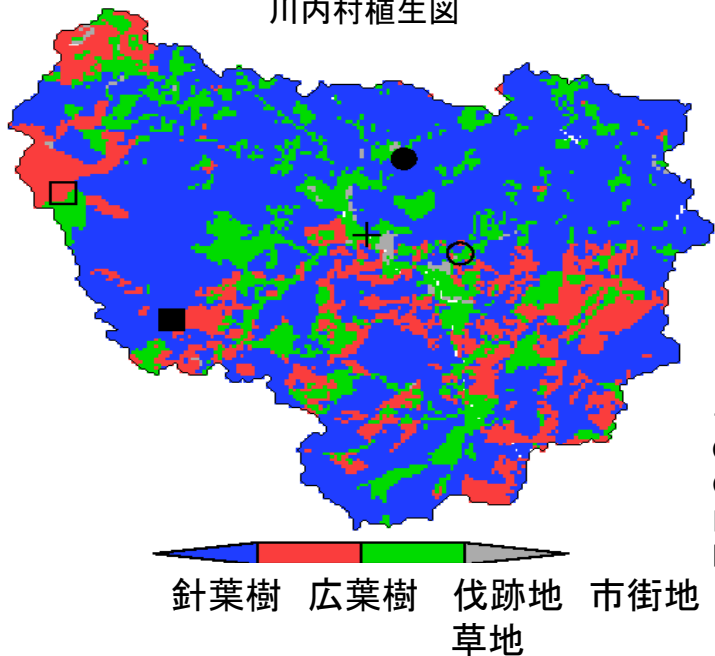
採取地点	検出数 / 検査数	<sup>137</sup> Cs (Bq/kg)
1	1 / 8	22
2	0 / 5	不検出
3	0 / 2	不検出
4	7 / 7	32
5	8 / 8	93
6	0 / 2	不検出
7	7 / 7	64

# (3) 里山動態モデリング

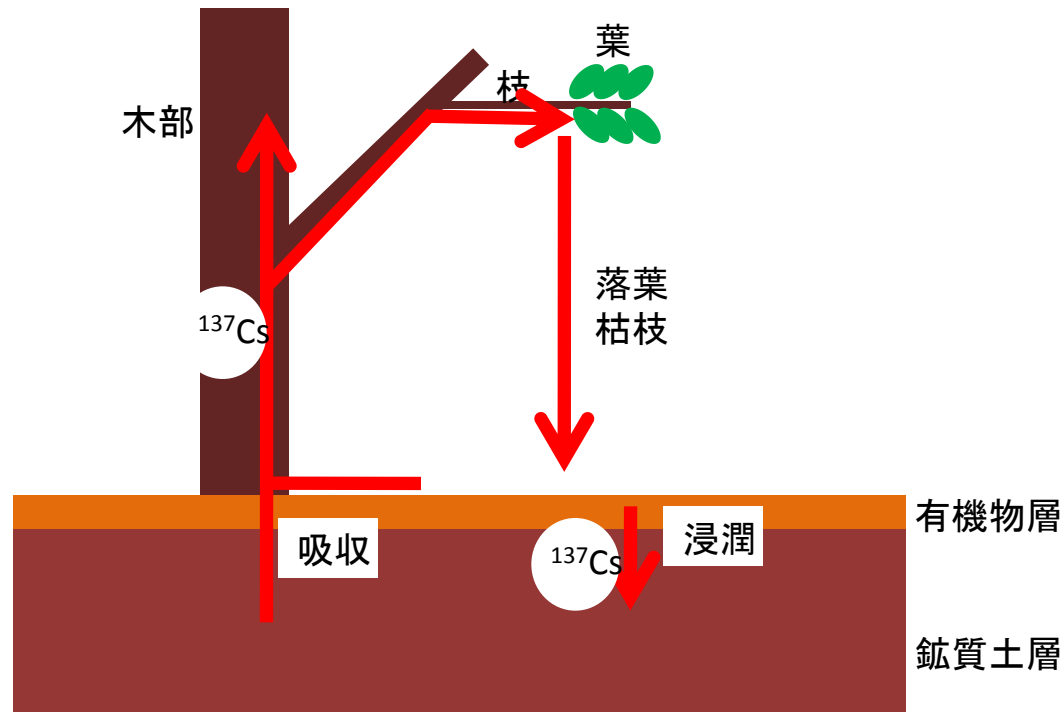
- ① 1次元コンパートメントモデル・フレームワークの作成と評価
- ② 分布モデル作成に向けたデータ収集
- ③ 線量計算モジュールの作成

## 2. 植生を考慮した $^{137}\text{Cs}$ 動態シミュレーション

川内村植生図



## 1. セシウム137の環境中動態



期間: 2011年4月～2018年11月

落葉期:

針葉樹: 10月～3月

広葉樹: 10月～12月

針葉樹、広葉樹  
 枝、葉、木部、有機物層、鈹質土層  
 草地  
 有機物層、鈹質土層  
 市街地  
 鈹質土層



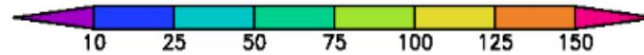
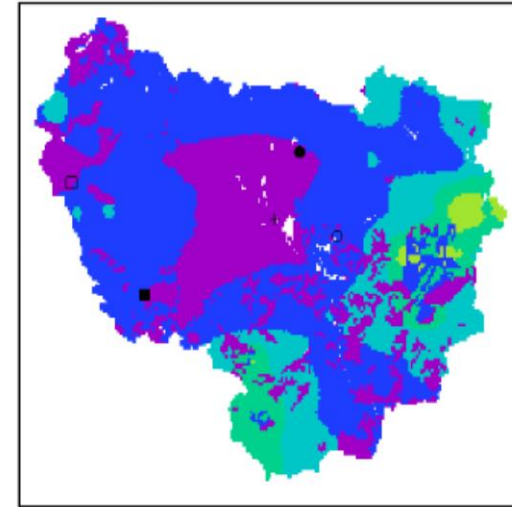
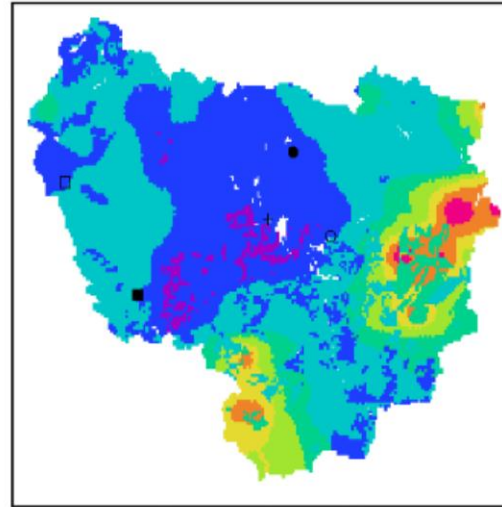
# 環境中のセシウム137動態

環境中<sup>137</sup>Cs 有機物層 (kBq/m<sup>2</sup>)

5年後には有機層から鉍質土層へ移行する。

現在

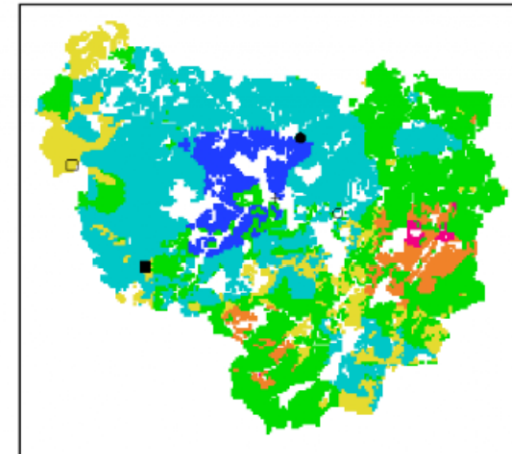
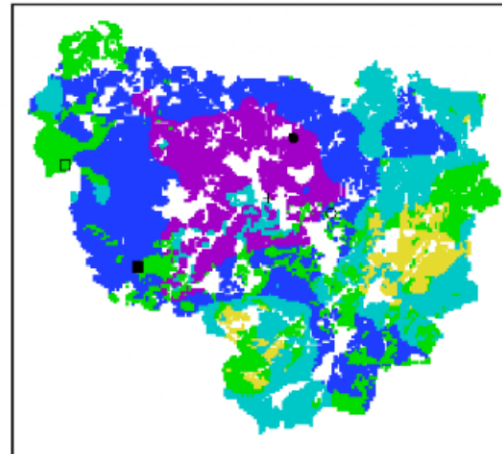
5年後



- + 村役場
- ゆふね
- いわなの郷
- 平伏沼
- 高塚山

環境中<sup>137</sup>Cs 木部 (kBq/kg)

5年後には、木部への移行が進行する。村の北部山林で顕著



# まとめ

## A. 空間線量率と外部被ばく量

- 高汚染地域は東部山林地区（鬼太郎山～県道）および黒佛木周辺
- 居住地域の大部分では

	現在	5年後
空間線量率( $\mu\text{Sv/h}$ )	1.0以下	0.5以下
外部被ばく量( $\text{mSv/y}$ )	2.0以下	1.0以下

より低くなる可能性大

## B. 環境中セシウム137

- 土壤中濃度
- 枝葉中濃度は減少傾向
- 木部中濃度は増加傾向。高汚染地域を除く大部分で

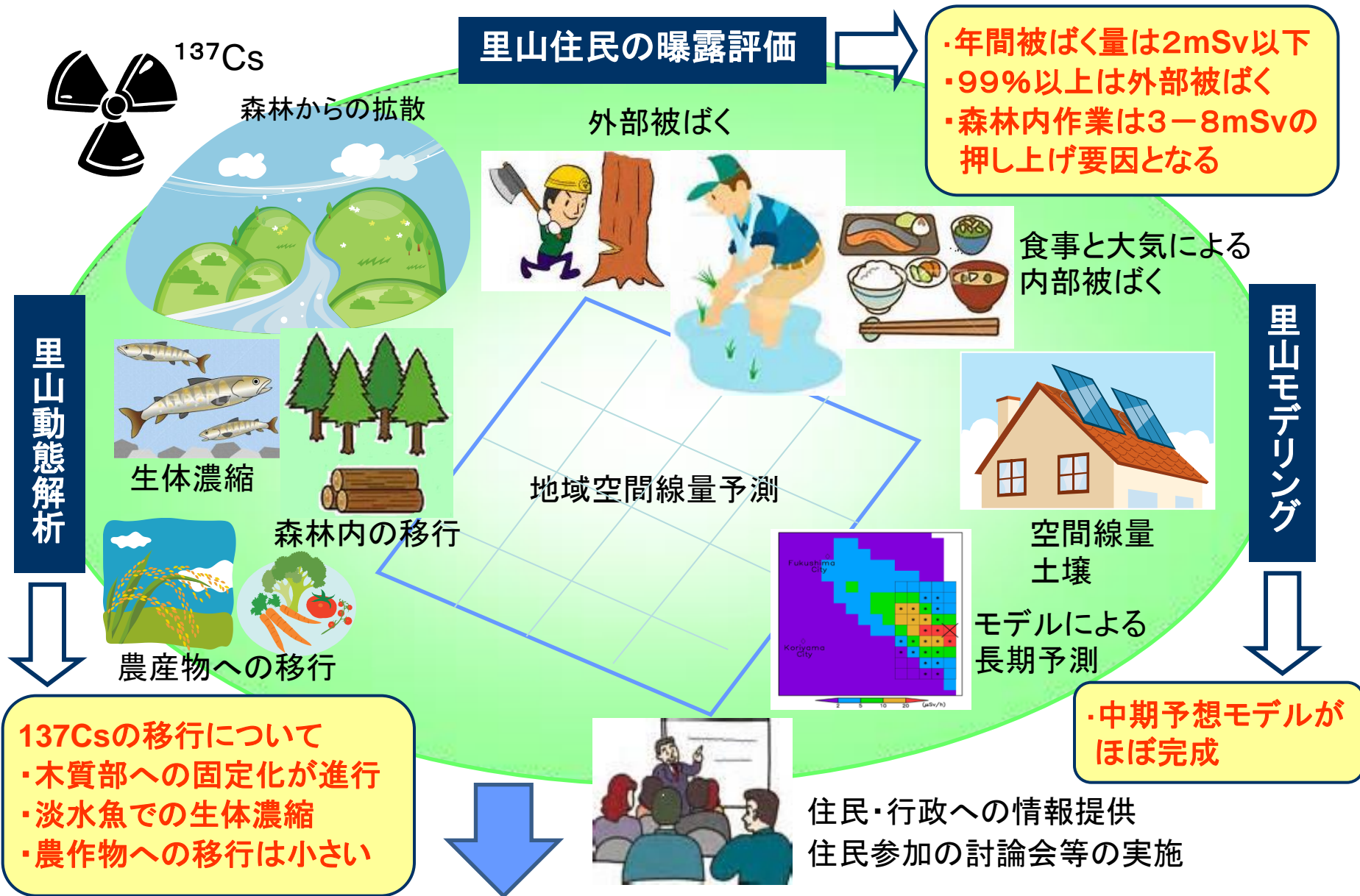
	現在	5年後
針葉樹	有機物層 > 鈷質土層	有機物層 < 鈷質土層
広葉樹	有機物層 < 鈷質土層	有機物層 < 鈷質土層



# 総括

- 調査地域においては概ね年間の被ばく線量は2ミリシーベルト以下である。被ばくの決定要因は、外部被ばくである。
- 森林においては、木質部に固定が進んでいる。また、淡水魚において $^{137}\text{Cs}$ の生物濃縮が生じている。
- 中期予想モデルがほぼ完成した。今後はこのモデルのValidationが必要となる。

# 福島原発近隣における里山生態系を含めた除染効果の評価と住民の中期曝露評価



**137Csの移行について**

- ・木質部への固定化が進行
- ・淡水魚での生体濃縮
- ・農作物への移行は小さい

**・中期予想モデルがほぼ完成**

里山再生に向けての復興支援策策定への情報提供

# 追加資料

# 森林内部の高度汚染地域



川内村三ツ石



川内村村内



大倉山登山口



川内小学校敷地内

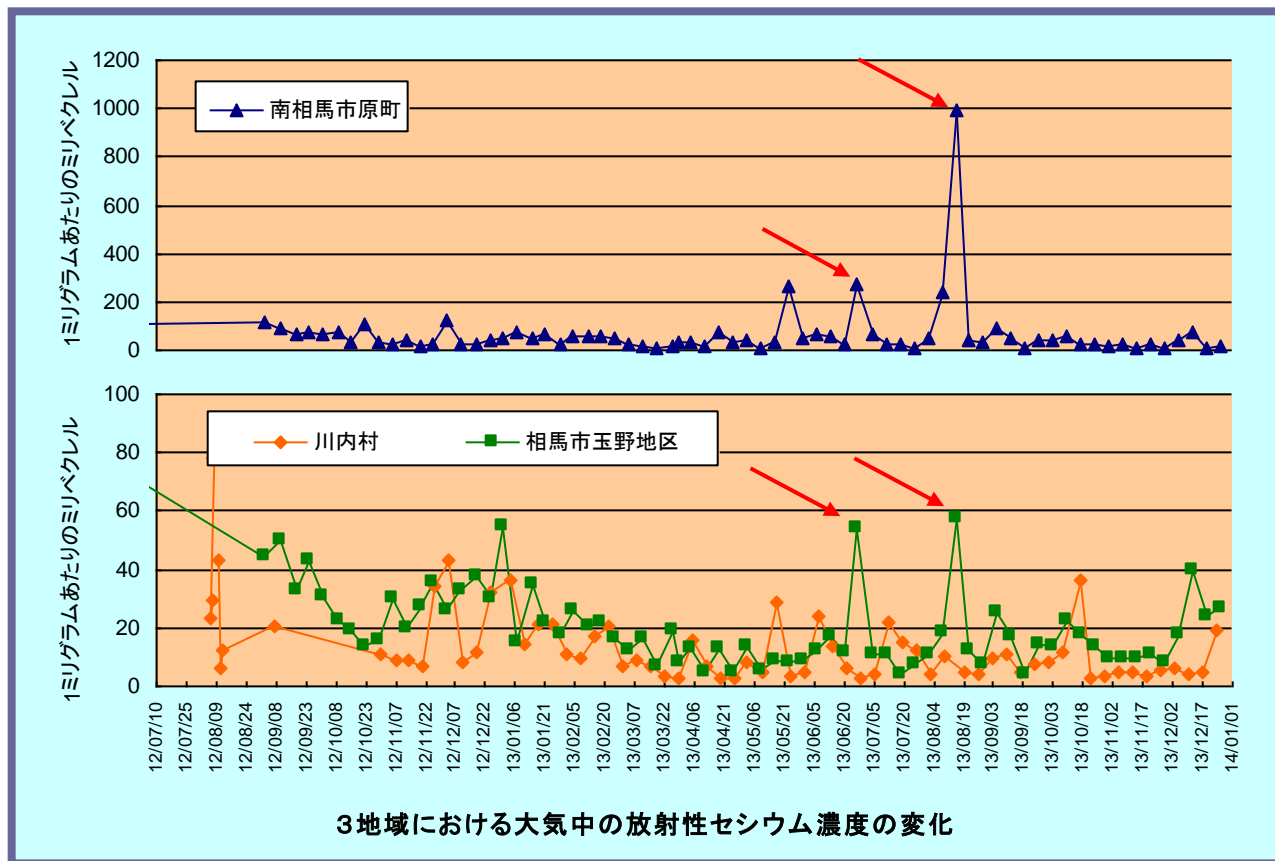
# 個人外部被ばく調査の結果

## 外部被ばくの個人線量

(単位:ミリシーベルト)

		2012年 8-9月	2012年 10-11月	2012年12月 -2013年2月	2013年 4-6月	2013年 7-9月	2013年 10-12月	2012年8月 -2013年9月
		2ヵ月間 累積	2ヵ月間 累積	3ヵ月間 累積	3ヵ月間 累積	3ヵ月間 累積	3ヵ月間 累積	期間補正による 年間累積
川内村	中央値	0.15	0.12	0.14	0.16	0.14	0.13	0.659
	平均	0.17	0.13	0.15	0.18	0.16	0.14	
	1ヵ月平均	0.086	0.067	0.051	0.059	0.054	0.048	
	標準偏差	0.10	0.07	0.10	0.08	0.09	0.09	
相馬市 玉野地区	中央値	0.45	0.35	0.40	0.45	0.33	0.33	1.894
	平均	0.46	0.38	0.44	0.45	0.35	0.30	
	1ヵ月平均	0.230	0.190	0.146	0.150	0.117	0.101	
	標準偏差	0.18	0.14	0.31	0.15	0.13	0.13	
南相馬市 原町区	中央値	0.26	0.24	0.33	0.31	0.27	0.24	1.350
	平均	0.28	0.24	0.36	0.32	0.33	0.26	
	1ヵ月平均	0.139	0.122	0.119	0.107	0.109	0.087	
	標準偏差	0.07	0.07	0.13	0.11	0.17	0.14	

# 放射能バーストの観測

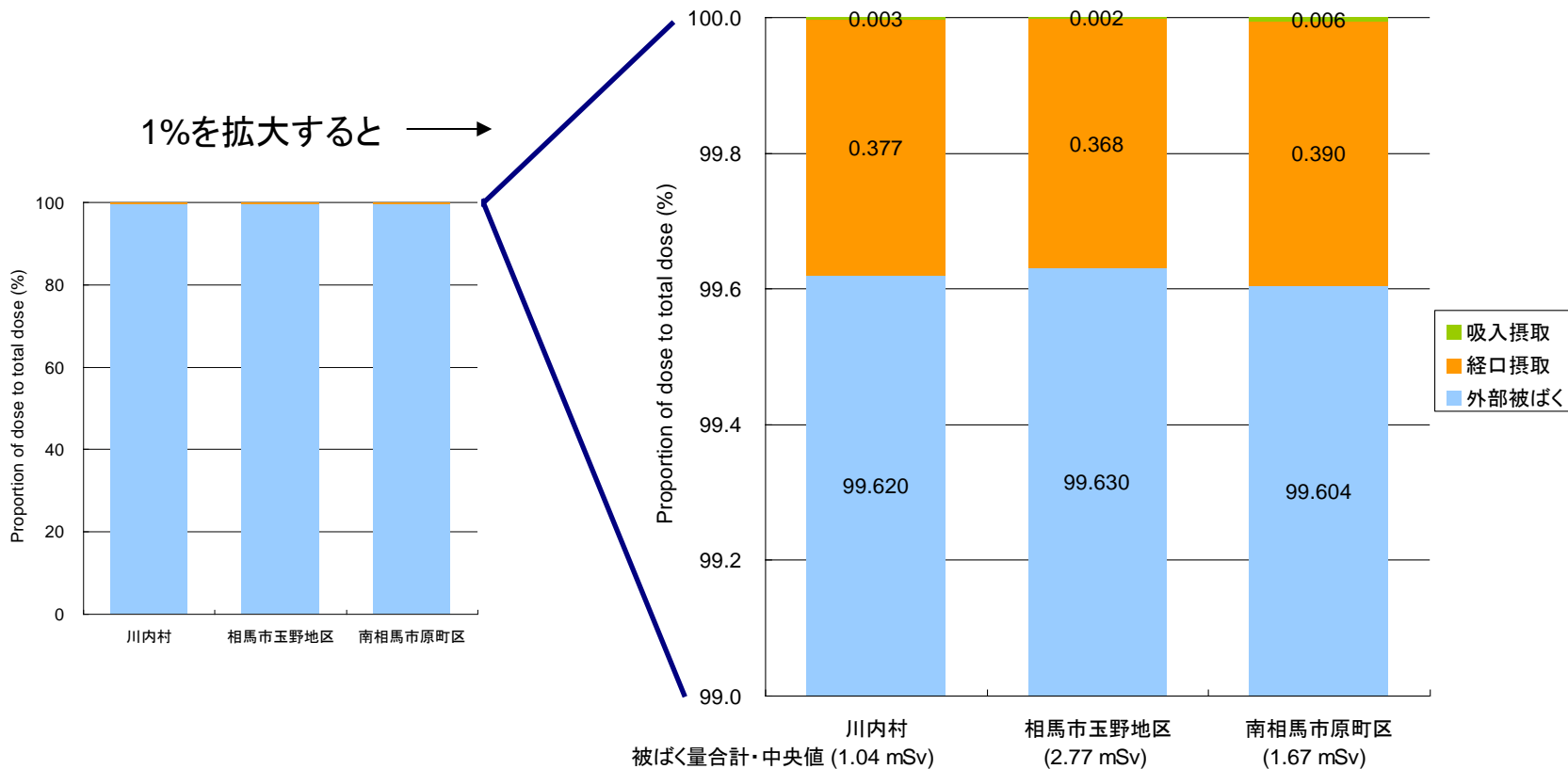


調査対象の3地域で数ヶ月に一回程度、同時期に、**放射性物質により汚染された粉じんの移動現象(放射能バースト)**が観測された。

福島第一原発のがれきが汚染源とも考えられる。←**汚染源の特定が必要。**



# 経路別の被ばく量(中央値)の比較



## 《 総 括 》

今回調査を行った3地域では、いずれも外部被ばくによる影響が99%を超えており、内部被ばくの影響は1%に満たないものであった。今後、外部被ばくの影響の推移に着目していくことが重要となる。

# 個人外部被ばく調査の結果概要(発がんリスク評価)

## 2ヵ月間での住民の個人線量当量(2012年8月から9月)

		深部線量当量*
		(深さ 10mm, ミリシーベルト/2ヵ月)
川内村 (人数 382名)	範囲(中央値)	0.04-1.2 (0.14)
	平均±標準偏差	0.17±0.10
	幾何平均(幾何標準偏差)	0.15 (1.6)
相馬市玉野地区 (人数 50名)	範囲(中央値)	0.17-1.1 (0.44)
	平均±標準偏差	0.46±0.18
	幾何平均(幾何標準偏差)	0.42 (1.5)
南相馬市原町区 (人数 27名)	範囲(中央値)	0.14-0.40 (0.26)
	平均±標準偏差	0.28±0.07
	幾何平均(幾何標準偏差)	0.27 (1.3)

\* 原発事故以前の自然放射線による外部被ばく線量率は差し引かれている  
(川内村・玉野地区:年間0.63ミリシーベルト; 原町区:年間0.61ミリシーベルト).

# 放射能セシウムの食事による摂取(発がんリスク評価)

## 食事中のセシウム134およびセシウム137

		ベクレル/日		マイクロシーベルト/年 合計
		セシウム134	セシウム137	
川内村 (n=79)	> 検出限界(%)	28 (35%)	48 (61%)	
	範囲(中央値)	<0.4-4.0 (<0.40)	<0.21-6.6(0.52)	<2.3-59 (3.8)
	平均±標準偏差	0.38±0.50	0.67±0.86	5.8±7.4
相馬市玉野地区 (n=16)	> 検出限界(%)	14 (88%)	14 (88%)	
	範囲(中央値)	<0.31-8.7 (0.54)	<0.38-13.0 (0.86)	<3.8-120 (7.7)
	平均±標準偏差	1.3±2.1	2.2±3.3	19±30
南相馬市原町区 (n=30)	> 検出限界(%)	19 (63%)	21 (70%)	
	範囲(中央値)	<0.21-3.9 (0.40)	<0.26-6.6 (0.63)	<2.7-58 (6.8)
	平均±標準偏差	0.60±0.71	0.98±1.26	8.8±10.7

\* 原発事故以前の自然放射線による外部被ばく線量率は差し引かれている  
(川内村・玉野地区:年間0.63ミリシーベルト; 原町区:年間0.61ミリシーベルト).

川内村で提供された食事の内、最もセシウムの高い5検体を用いて、ストロンチウム89 および90の測定を行ったが、すべて検出限界以下であった。

# 大気粉じん調査(発がんリスク評価)

## 大気粉じんの吸入による内部被ばく\*

	粉じん中の放射能 ミリベクレル/m <sup>3</sup>	内部被ばく	
		成人 マイクロシーベルト/年	小児 マイクロシーベルト/年
川内村	0.61±0.43	0.10±0.08	0.12±0.09
相馬市 玉野地区	0.60±0.26	0.11±0.05	0.13±0.06
南相馬市 原町区	0.92±0.26	0.17±0.05	0.20±0.06

\* 粒度に関わらず、総粉じん量を吸入すると仮定した。



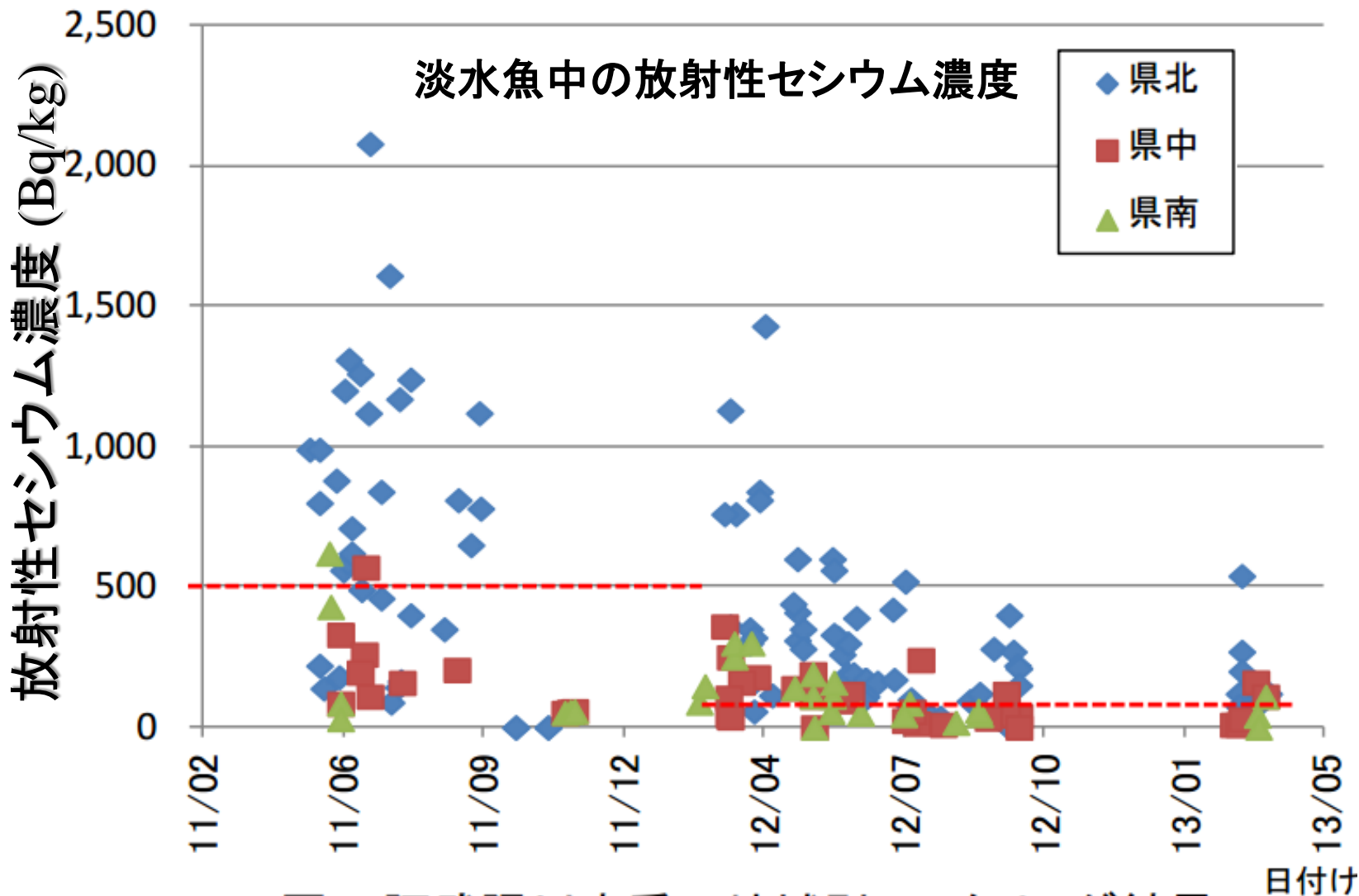


図6 阿武隈川水系の地域別モニタリング結果

県北 伊達市、桑折町、福島市、川俣町

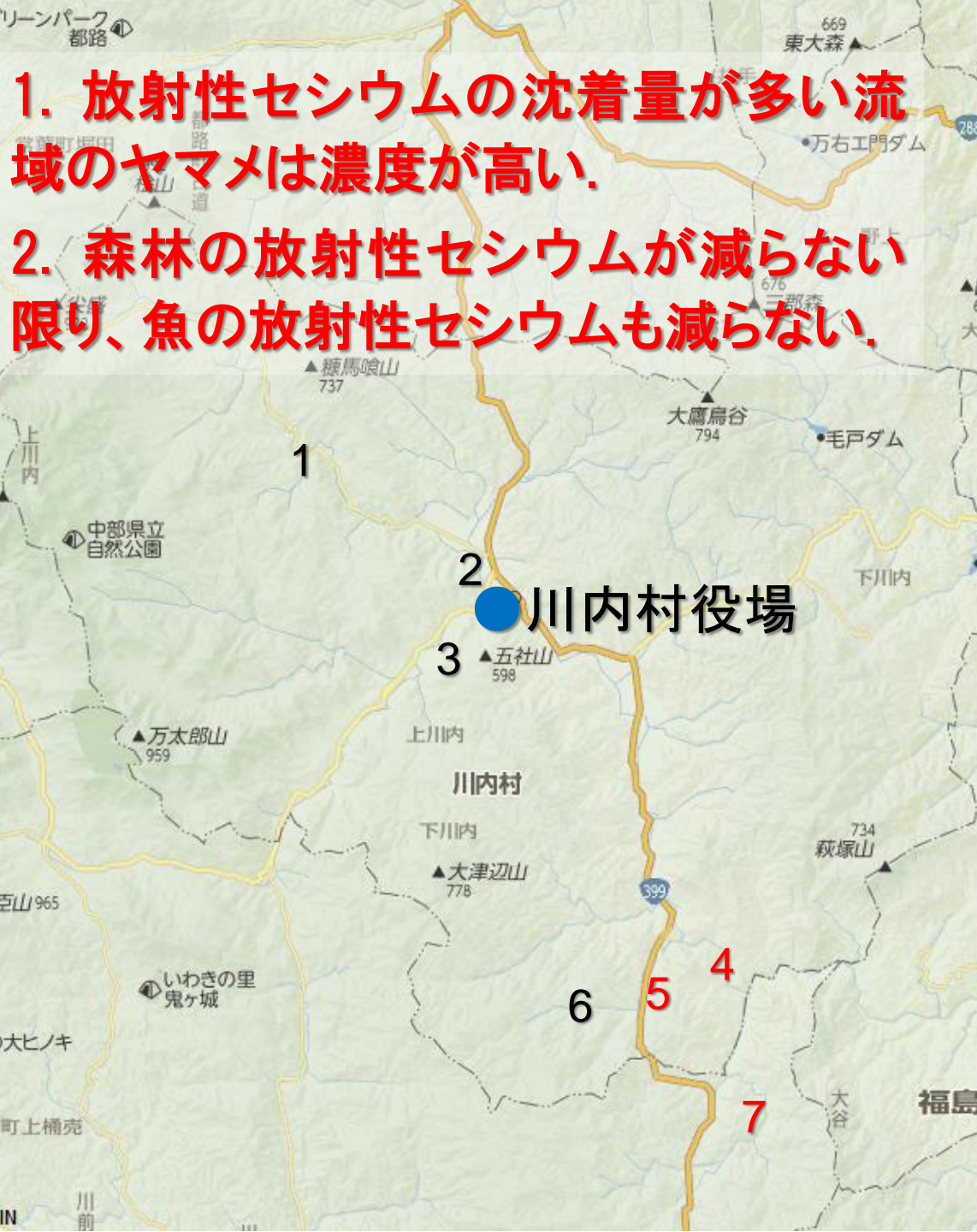
県中 二本松市、大玉村、本宮市、田村市、須賀川市、平田村

県南 石川市、白河市、西郷村



1. 放射性セシウムの沈着量が多い流域のヤマメは濃度が高い。

2. 森林の放射性セシウムが減らない限り、魚の放射性セシウムも減らない。



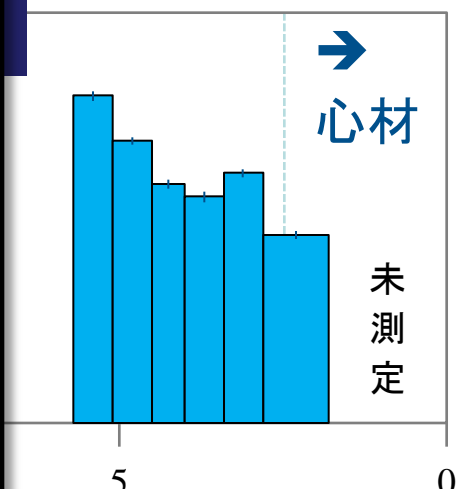
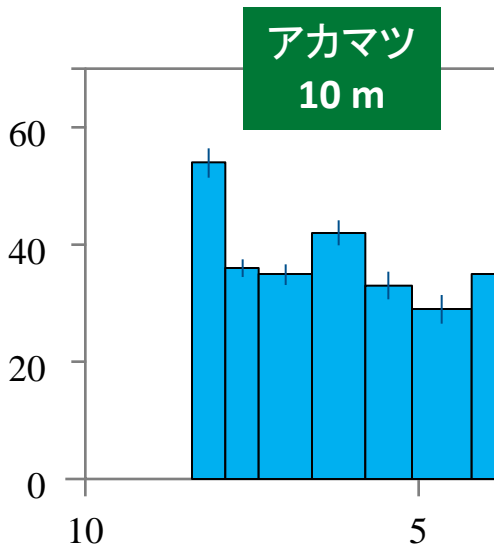
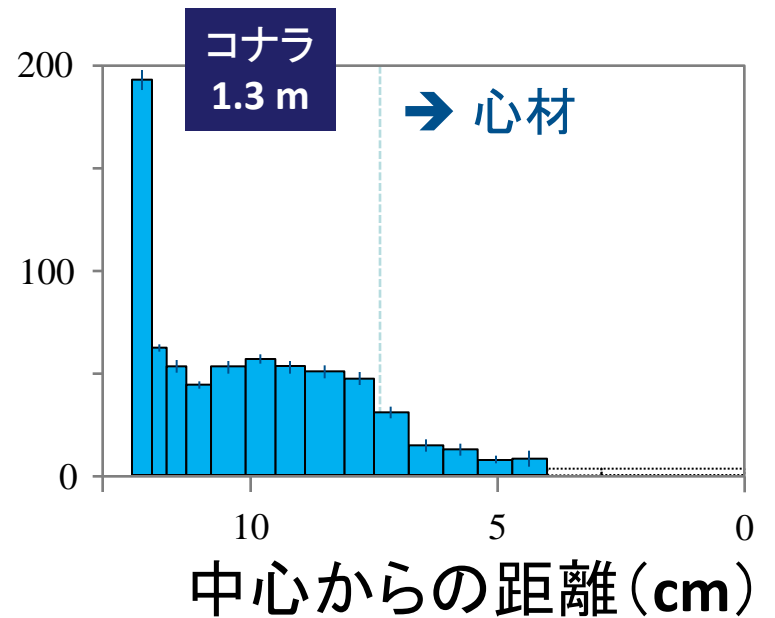
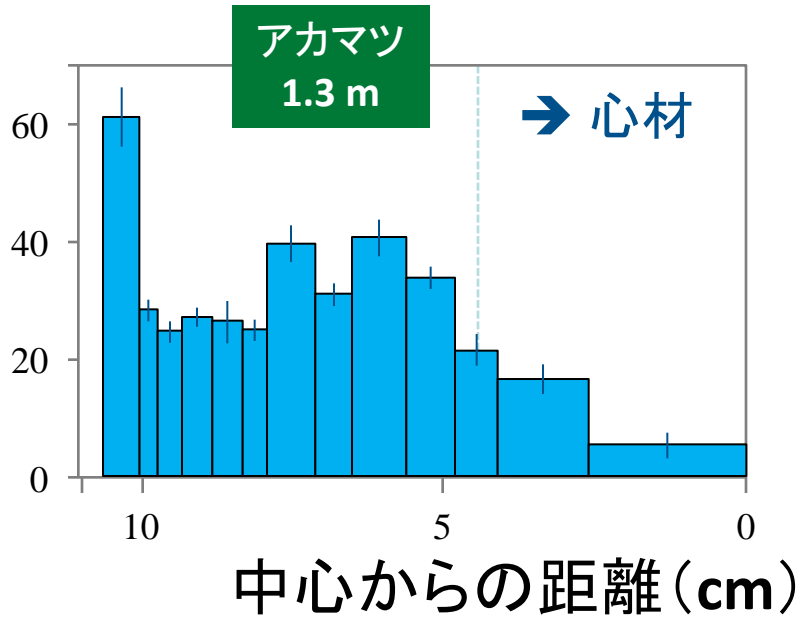
ヤマメに含まれる<sup>137</sup>Cs

採取地点	検出数 / 検査数	<sup>137</sup> Cs (Bq/kg)
1	1 / 8	22
2	0 / 5	不検出
3	0 / 2	不検出
4	7 / 7	32
5	8 / 8	93
6	0 / 2	不検出
7	7 / 7	64

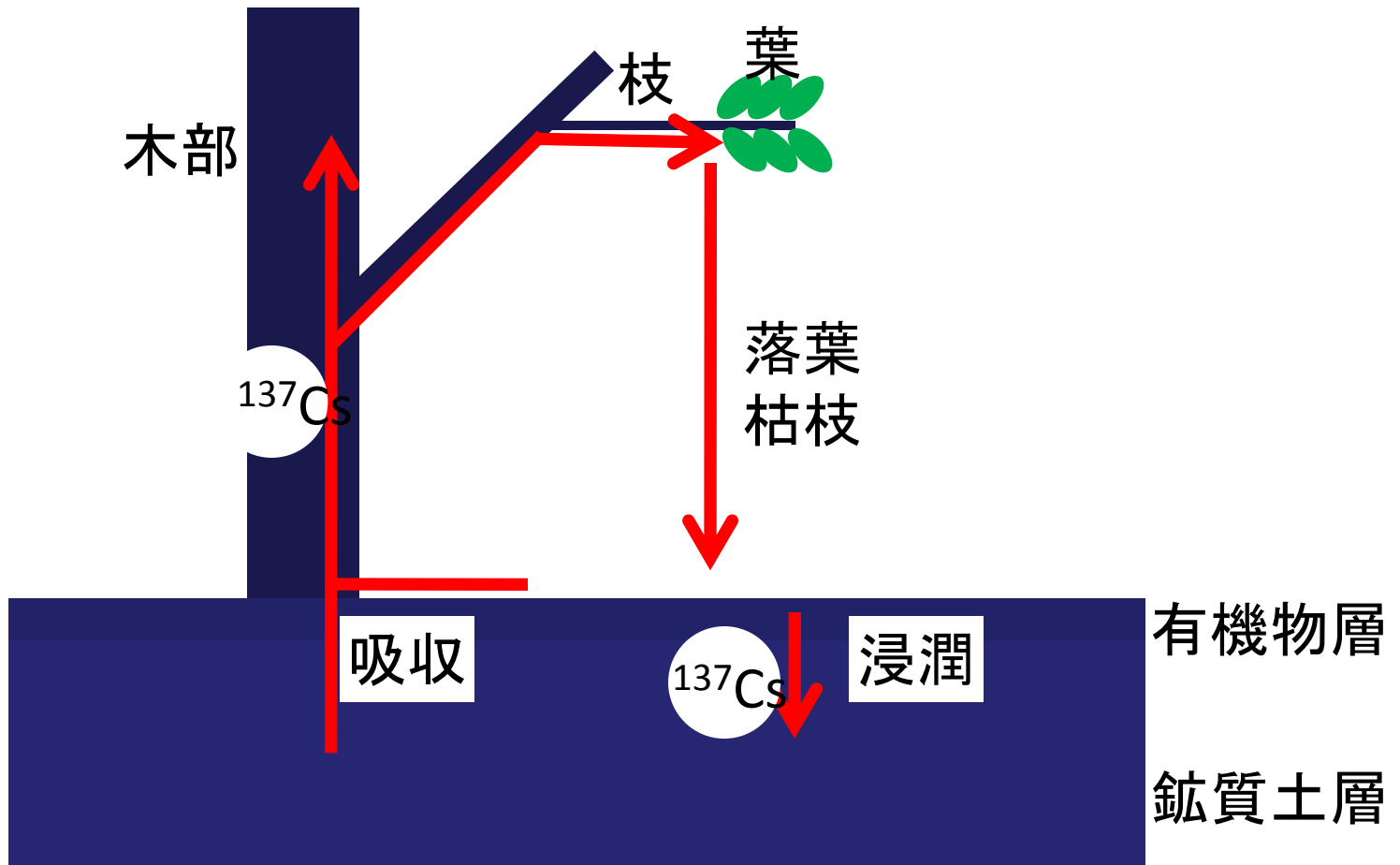


# 結果 | 材(2012年9月時点)

セシウム<sup>137</sup>の放射能濃度 (Bq/kg)

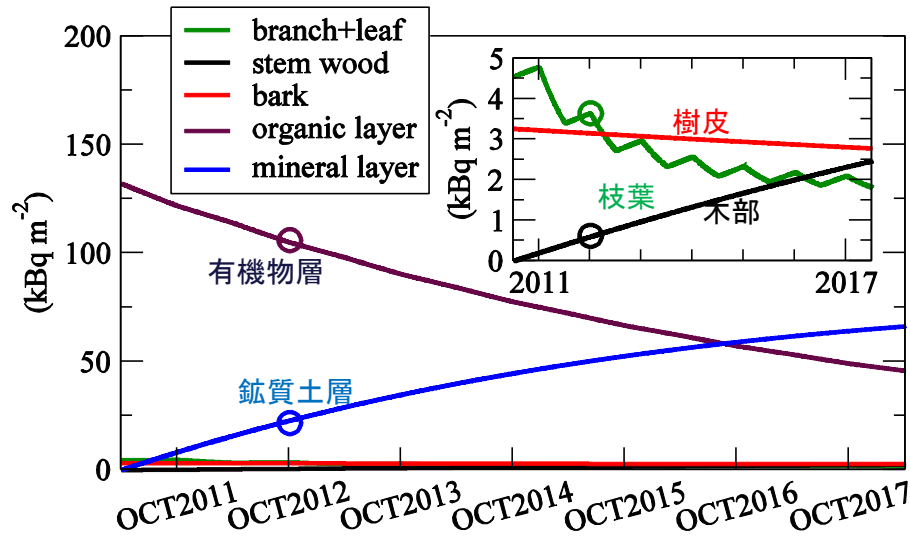


# セシウム137の環境中動態

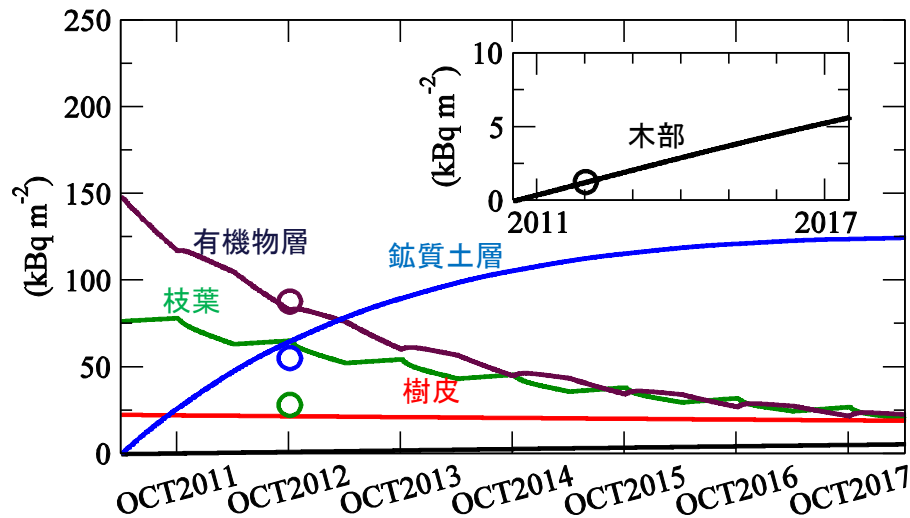


# 動作テスト

## Akamatsu



## Deciduous



アカマツ林および落葉広葉樹林におけるセシウム137量の推移。○は実測値を表す。

計算期間: 2011年4月  
~2018年3月

リターフォール:  
アカマツ 10月~3月  
落葉広葉樹 10月~12月

セシウム137量の使用データ  
(2012年秋測定、kBq/m<sup>2</sup>)

	アカマツ林	落葉広葉樹林
空間線量率 (uSv/h)	0.2	1.8
枝	0.60	25.7
葉	3.05	2.56
幹(木部)	0.62	1.29
幹(樹皮)	3.27	22.6
有機物層	106	88.0
鉱質土層	21.7	55.3