

2024.9.26 第13回創造的復興研究会

# 津島地区(旧津島村)の放射能汚染の状況 と住民参加型環境アセスメントを考える

国立研究開発法人国立環境研究所

福島地域協働研究拠点

研究グループ長

林 誠二



National  
Institute for  
Environmental  
Studies, Japan

- 福島原発事故による環境放射能汚染の実態と推移
- 森林における放射性物質(セシウム)の挙動
- 津島地区の汚染実態と推移
- 住民参加型の環境アセスメントの実施に向けて

# 福島原発事故による環境放射能汚染の 実態と推移

# 2011年3月11日：福島第一原子力発電所事故の発生

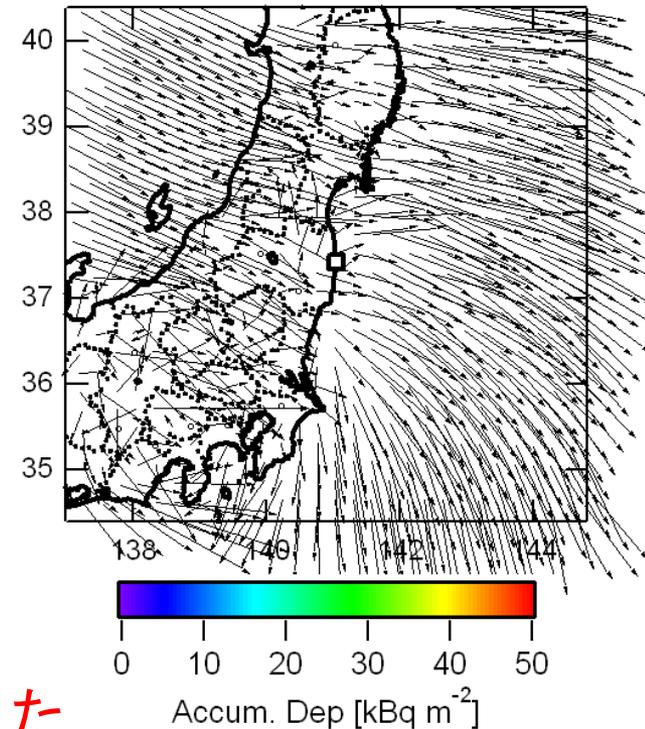


写真：15 DECEMBER 2011 | VOL 480 | NATURE | 313

## 国立環境研究所による 原発事故時セシウム137 沈着シミュレーション

DEP, 2011/03/12, 01JST

Cs-137



主な放射性物質の大気中への放出量（東京電力推計）

- ・ヨウ素131（半減期：8日）約 $500 \times 10^{15}$  Bq
- ・セシウム134（半減期：2年）約 $10 \times 10^{15}$  Bq
- ・セシウム137（半減期：30年）約 $10 \times 10^{15}$  Bq

約2割が陸域（日本国土）に降り積もった

# 福島第一原発事故による放射能汚染状況の推移

—航空機モニタリングによる地表面から1m高さの空間線量率—

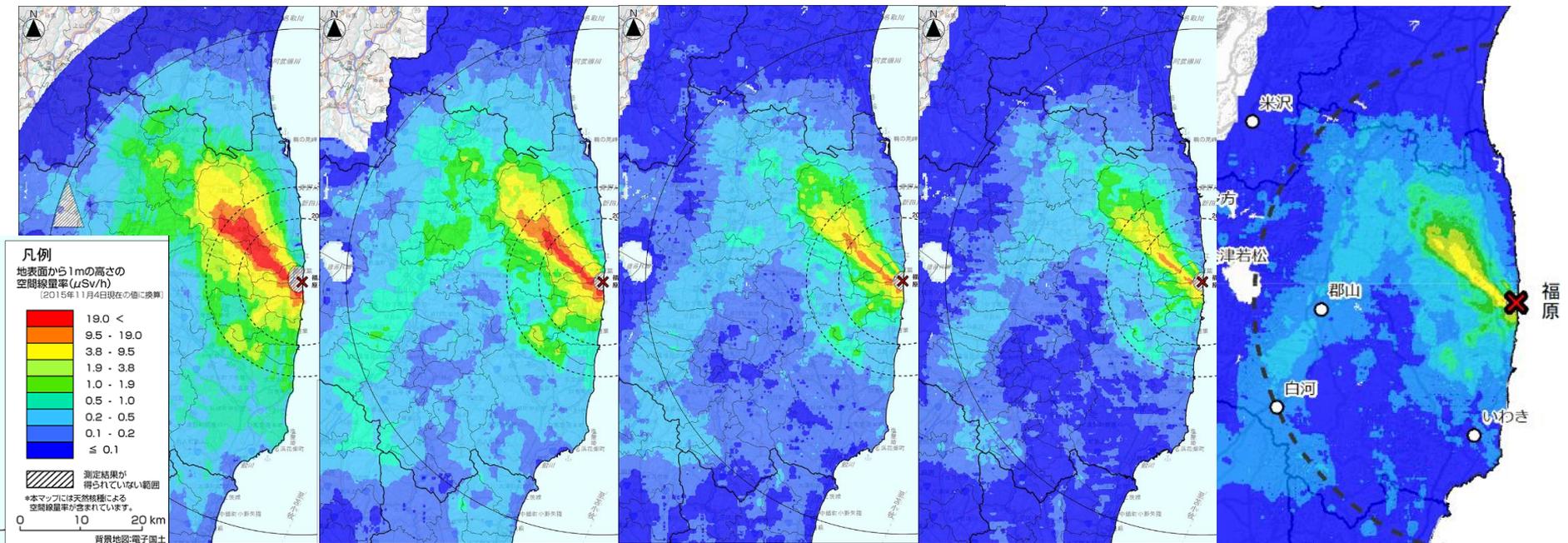
2011年5月

2012年6月

2015年11月

2017年11月

2021年10月



出典:放射性物質の分布状況等調査による航空機モニタリング(H23年度 - H29年度 文部科学省, 米国エネルギー省, 原子力規制庁)

- 汚染状況は明らかに改善→自然減衰やウエザリング、**面的除染**の影響
- 2017年4月1日までに帰還困難区域を除き、**避難指示は解除**
- 帰還困難区域内に**特定復興再生拠点区域**を設置し、2023年に避難指示は解除
- 同じく特定帰還居住区域を定め、除染を実施中

# 面的除染の実施

- 宅地：洗浄・表土剥取
- 農地：5cmの表土除去→客土
- 森林：堆積物除去・枝打（**生活圏近隣、林縁から20mまでの範囲**）  
（環境省：「除染関係ガイドライン」平成25年5月第2版（平成26年12月追補））

除染後の様子（福島県川俣町、飯館村）

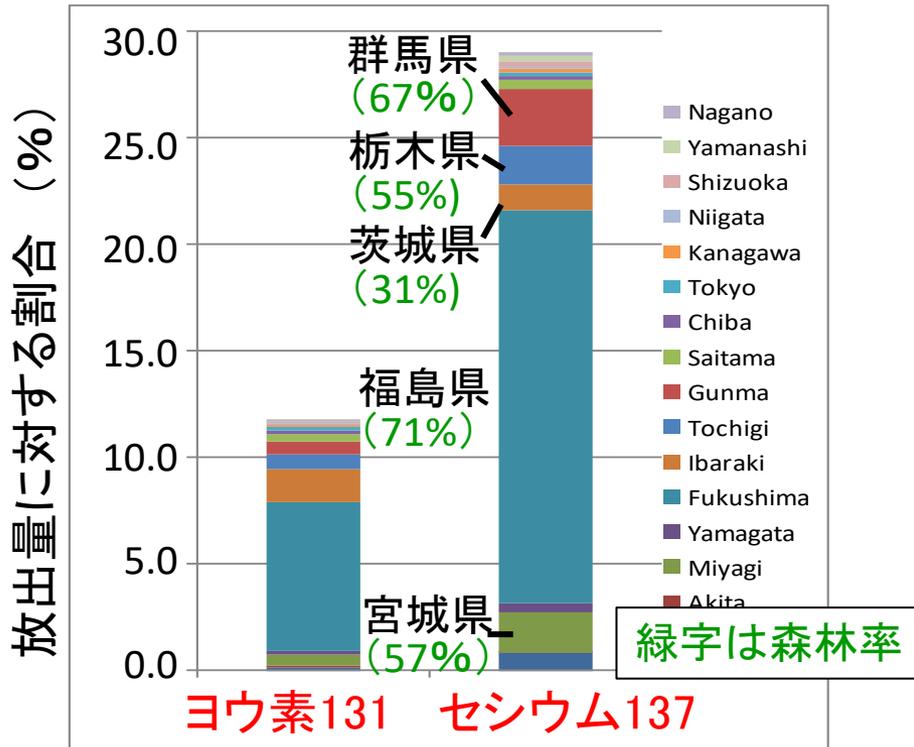


但し、県域の7割を占める**森林**については未だに未除染状態

# 森林における放射性物質 (放射性セシウム)の挙動

# 森林への放射性セシウム沈着状況

## 都県別沈着量



Morino et al.(2011), *Environ. Res. Let.*

## 福島県浜通り地方の土地利用



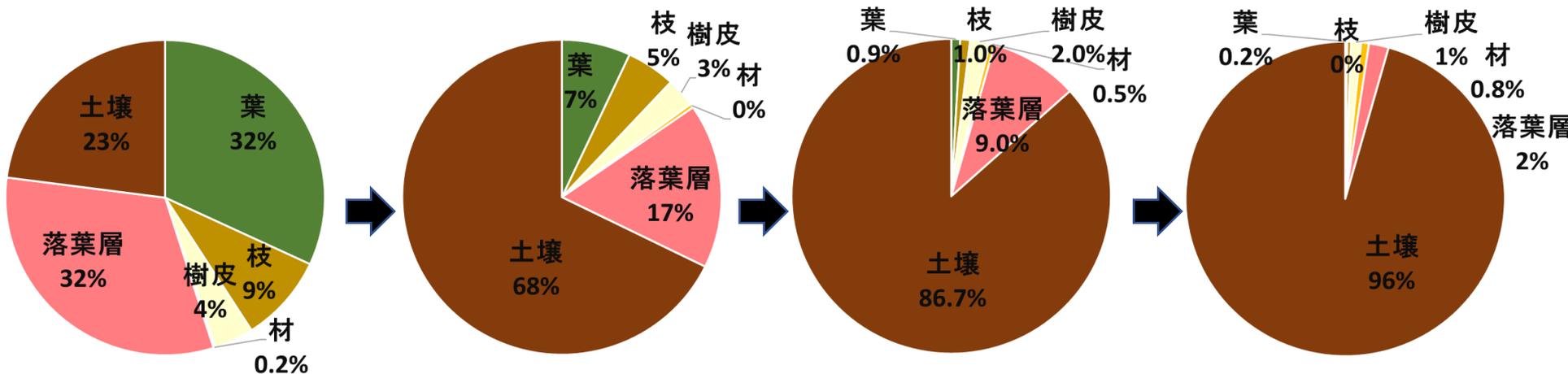
森林は、避難指示区域の84%を占めている

- セシウム137は長期的に森林に留まる可能性は極めて高い
- 森林での放射性セシウムの挙動を正しく理解することは、これまでもこれからも大きな課題 → 様々な観点から数多くの研究が実施

# 森林に沈着した放射性セシウムはどのように動いたのか

## 放射性セシウムの部位別分布割合の変化

### スギ(川内村)

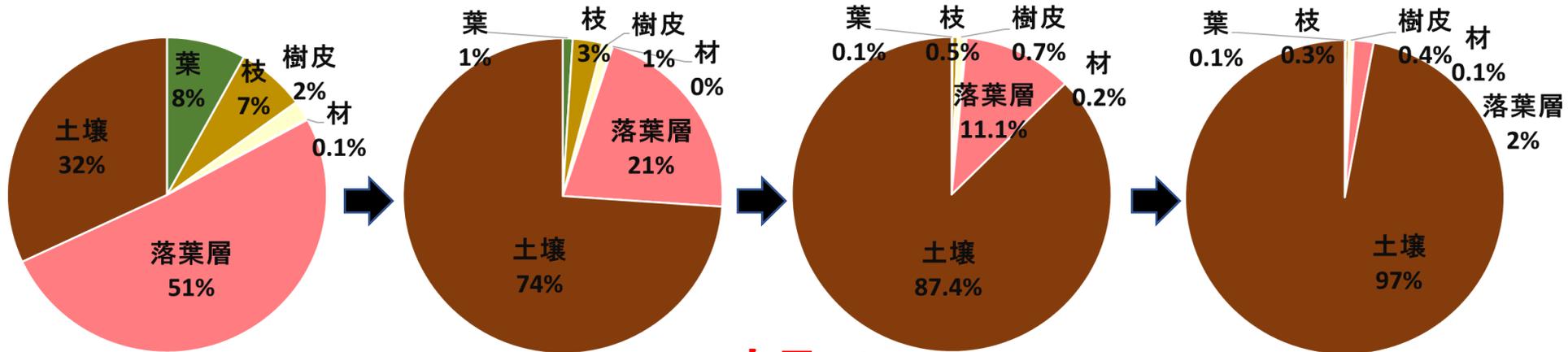


2011年8月

2012

2015

2019 or 2020



### コナラ(大玉町)

出典：令和2年度森林内の放射性物質の分布状況調査結果について（林野庁）



# 森林流域からの流出状況は？

Tsuji et al. (2016), JGR Biogeosci

## 森林溪流における土砂流出の様子



## 森林域を対象とした事故由来のセシウム137流出の実態

	太田川上流 (24か月間)	宇多川上流 (36か月間)
$^{137}\text{Cs}$ 沈着量 (kBq/m <sup>2</sup> )	1,900	170
流出土砂由来 $^{137}\text{Cs}$ 濃度 (kBq/kg)	61~130	6.8~9.3
流出土砂由来 $^{137}\text{Cs}$ 流出量 (kBq/m <sup>2</sup> )	8.8	0.51
年間流出率 (%)	0.08~0.38	0.04~0.16

観測期間:

宇多川上流:平成24年9月15日~平成27年9月15日

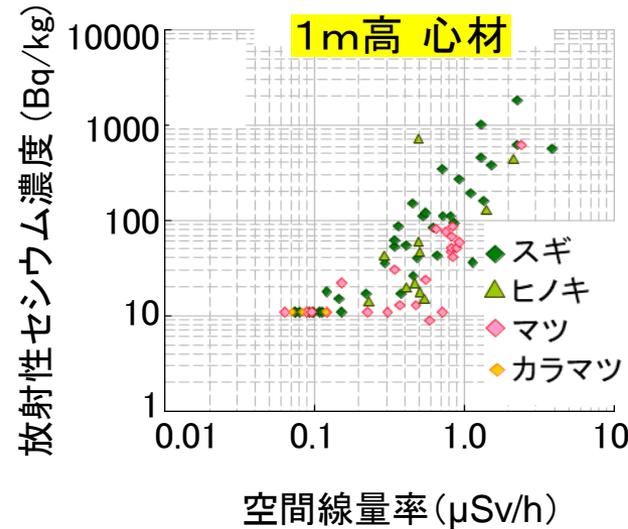
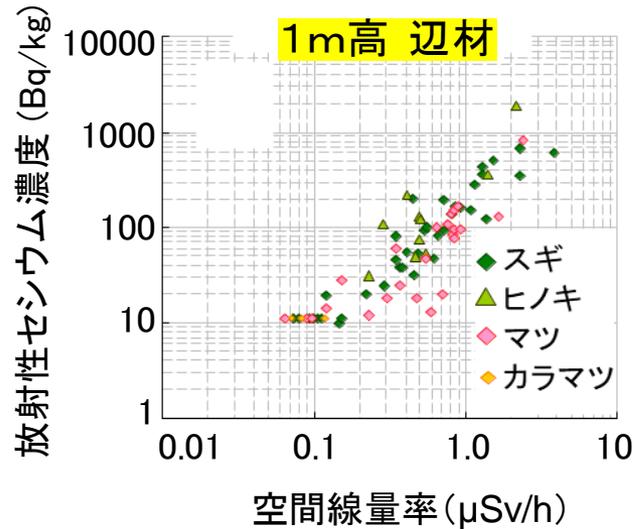
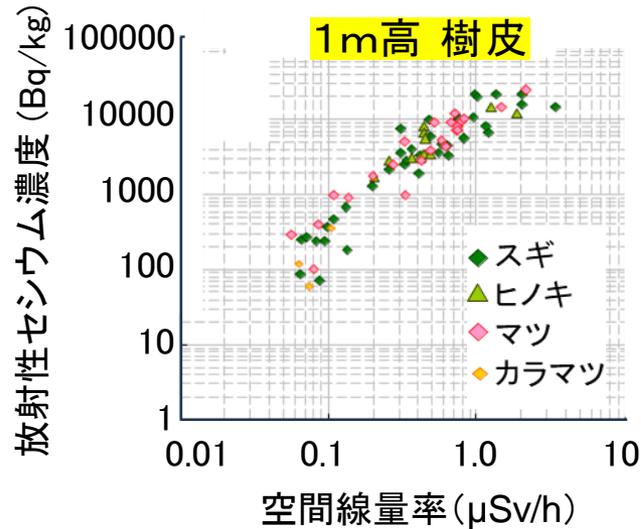
太田川上流:平成26年1月1日~平成27年12月31日

- 森林からのセシウム流出は、主に**土粒子に付着した状態**(懸濁態)で発生。
- セシウムの流出は**雨の降り方に強く依存**
- ただし、汚染レベルに関わらず、**台風等の大規模降雨時を考慮しても流出は限定的**



# 樹木における放射性セシウム汚染状況

地上1mにおける空間線量率と樹木部位の放射性セシウム濃度との関係  
(福島県森林計画課:2013年度調査)



空間線量率が高いほど、  
材等に含まれる放射性Cs濃度も高い。



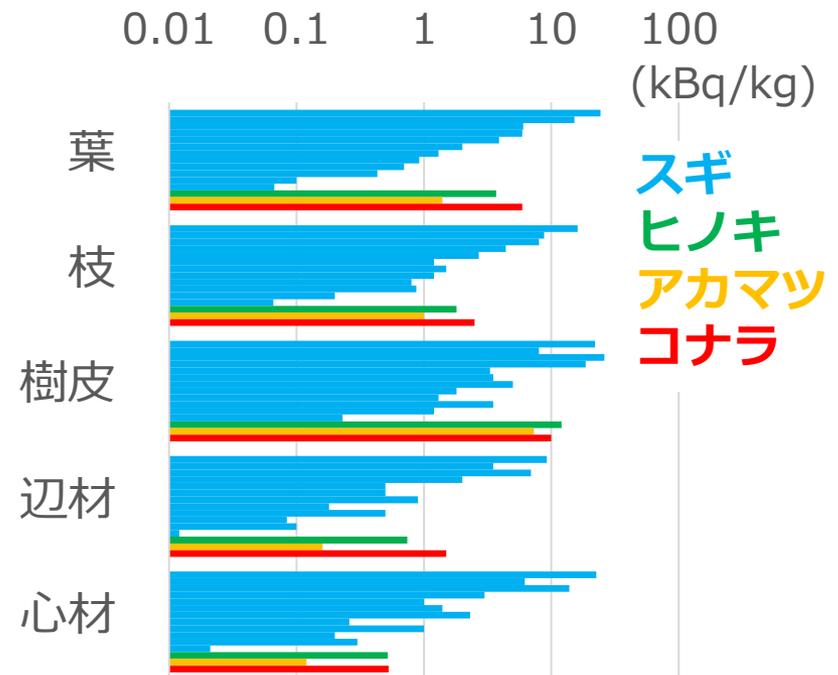
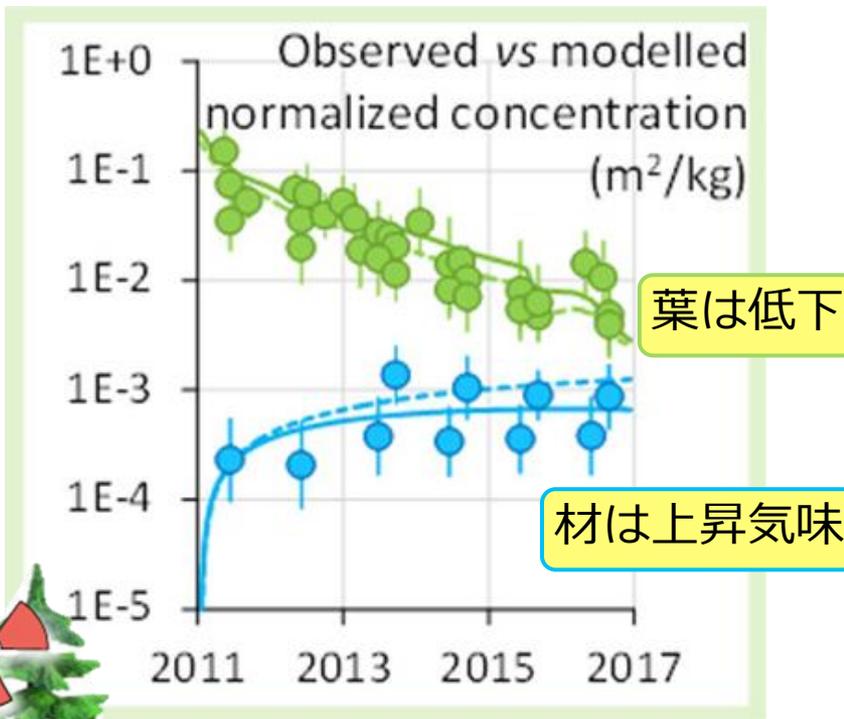
林業生産活動等の判断は、  
空間線量率の把握が重要。



# 樹木における放射性セシウム汚染状況

スギやヒノキでの濃度の推移  
(福島含む6県での測定結果)

2020年の放射性セシウム濃度  
(福島県15地点のデータ)



出典: 林野庁

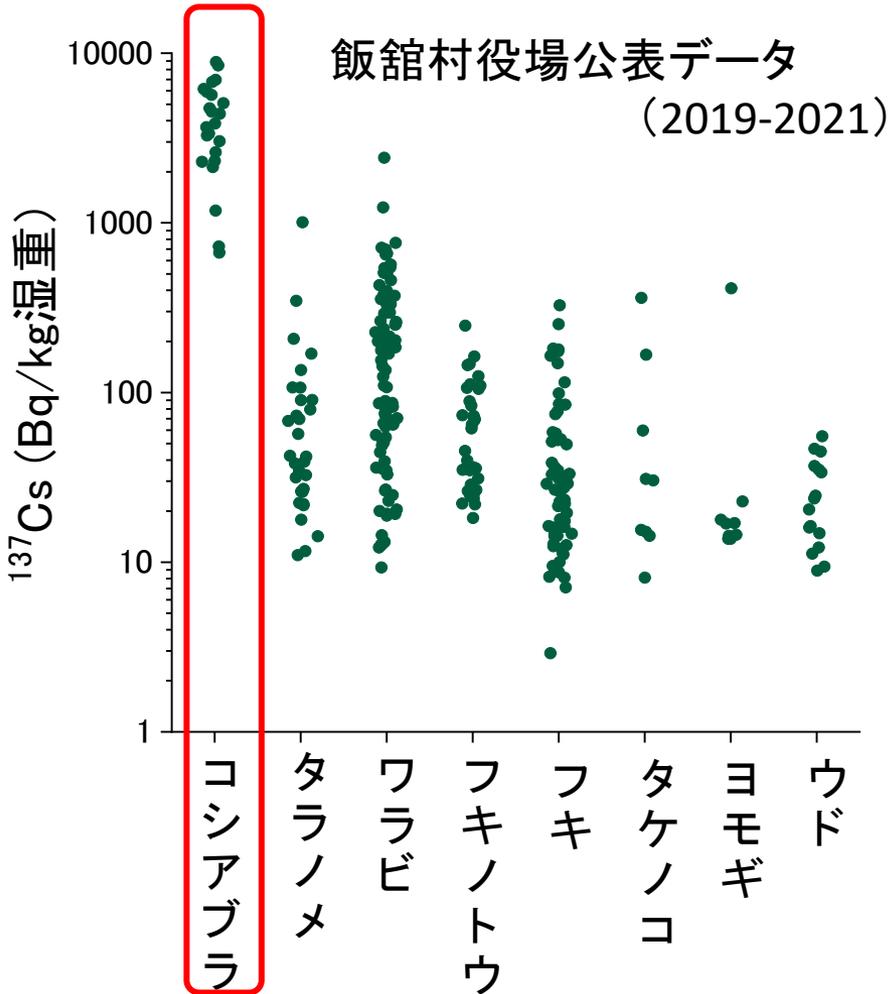
出典: Gonze et al. (2020) を改訂

- 濃度は低下傾向にあるが、帰還困難区域は未だに高い
- 汚染の実態と推移を明らかにするためには、セシウムの吸収経路を理解することが重要



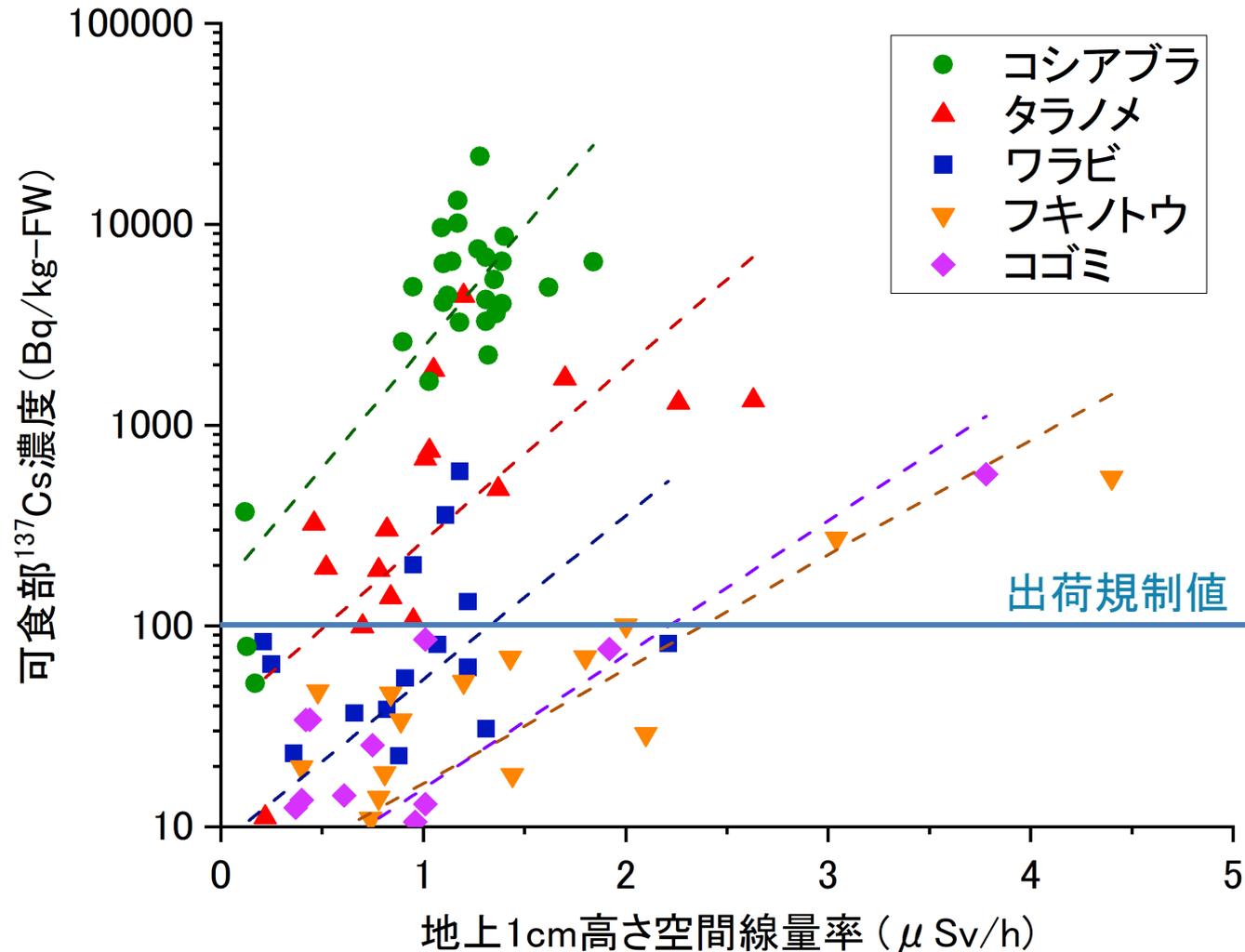
# 山菜の放射性セシウム汚染状況

## コシアブラ新芽



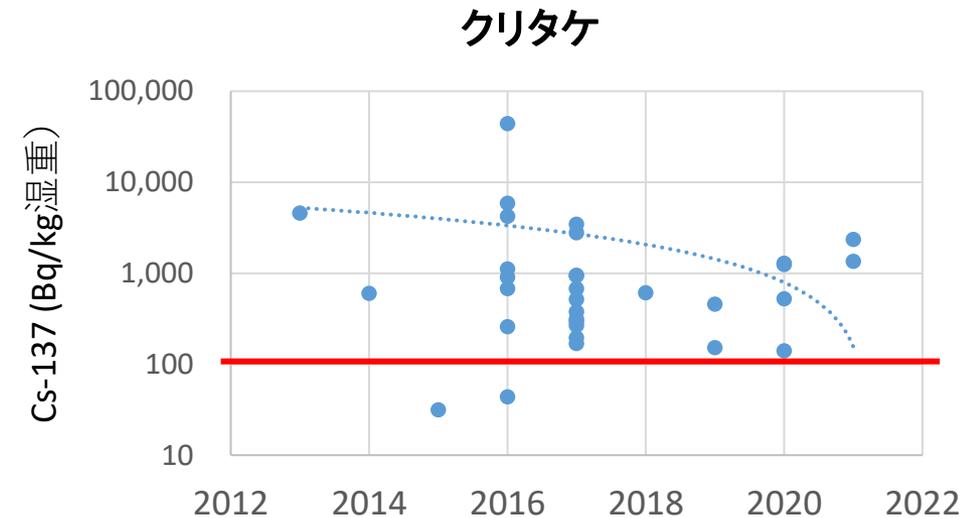
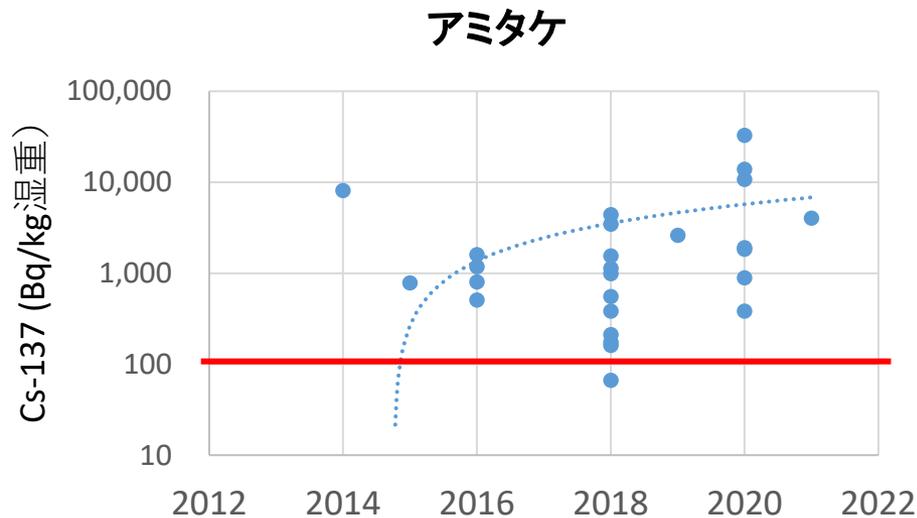
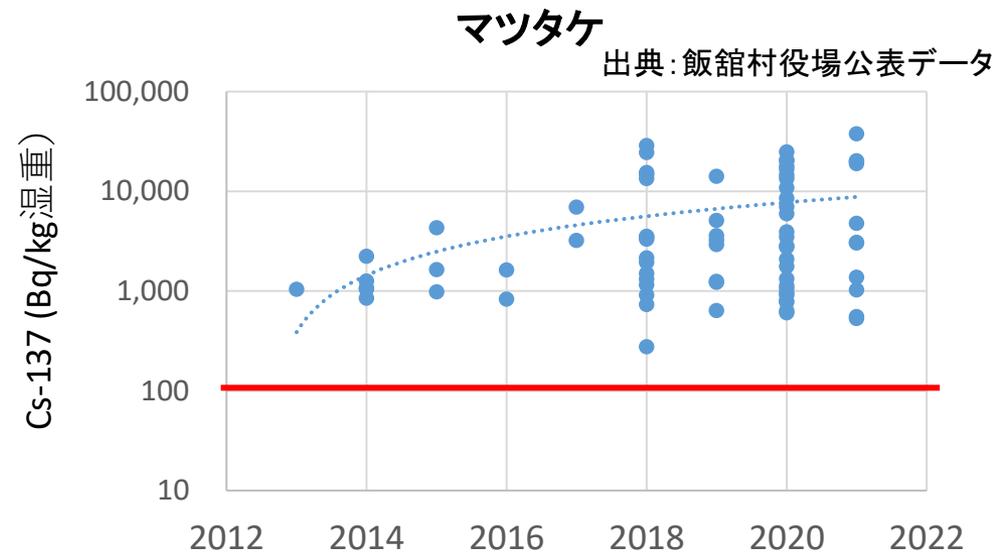
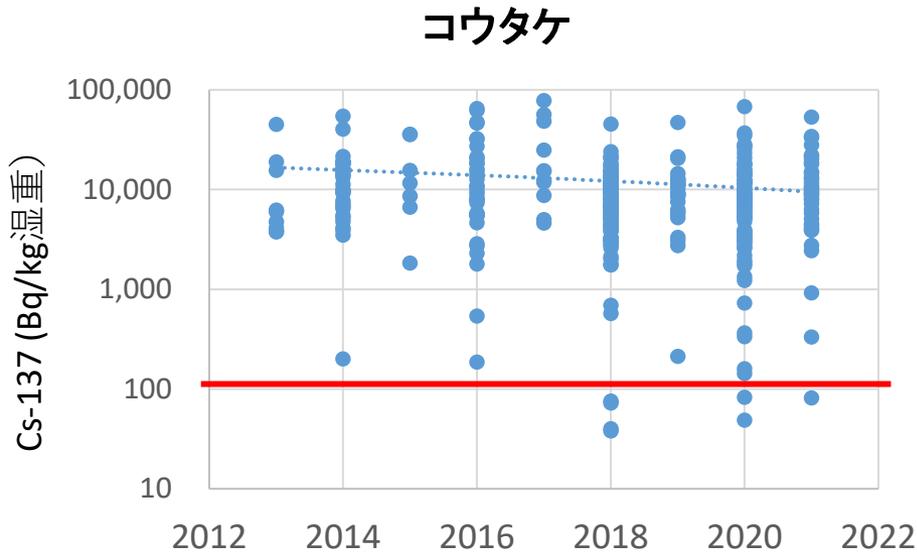
- 種類によって汚染レベルは大きく異なる。**コシアブラ**が突出して高い。
- **落葉の汚染状況がコシアブラ新芽濃度に強く影響**
- **根を浅く広く張る性質が影響か？**

# 山菜の放射性セシウム汚染状況



- 土壌汚染状況が同程度でも種間だけでなく種内でも濃度は大きくばらつく
- 先行して避難指示解除された地域では、幾つかの山菜は安心して食べられる(販売も可能な)状況へ移行しつつある

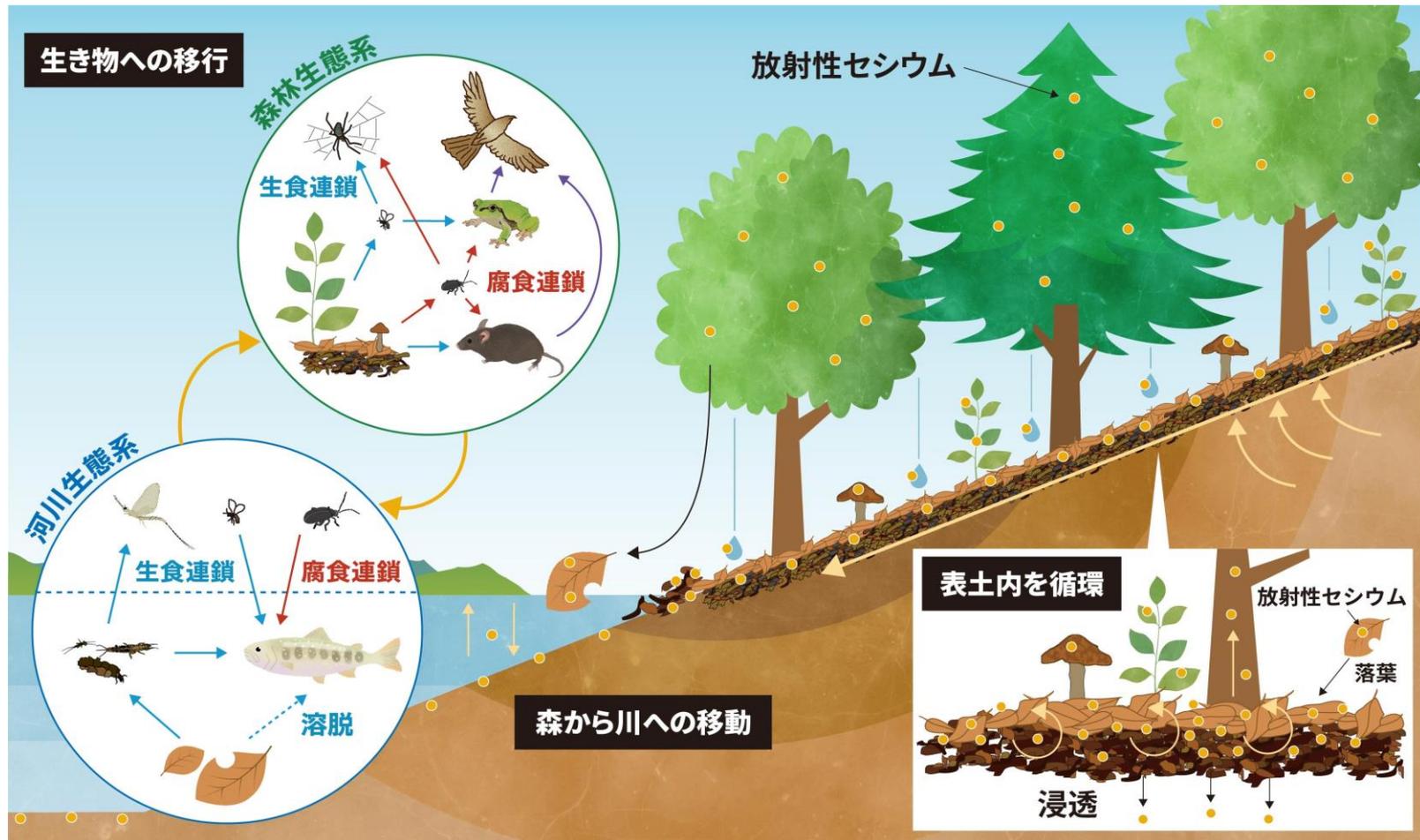
# 野生食用キノコ類の放射性セシウム汚染状況



- 汚染の増減傾向は不明。種類によって濃度は大きく異なる
- 同じ種でも生息する場所（汚染状況？）によって濃度は大きく異なる

# 林産物の汚染が長期化してしまう原因は？

落葉を介した生物・生態系への放射性セシウムの移行が生じている？



- 植物を含む表土内の循環による落葉の汚染の長期化
- 落葉の分解とその利用過程での放射性セシウムの取り込み

# 津島地区の汚染実態と推移

# 浪江町津島地区の概要

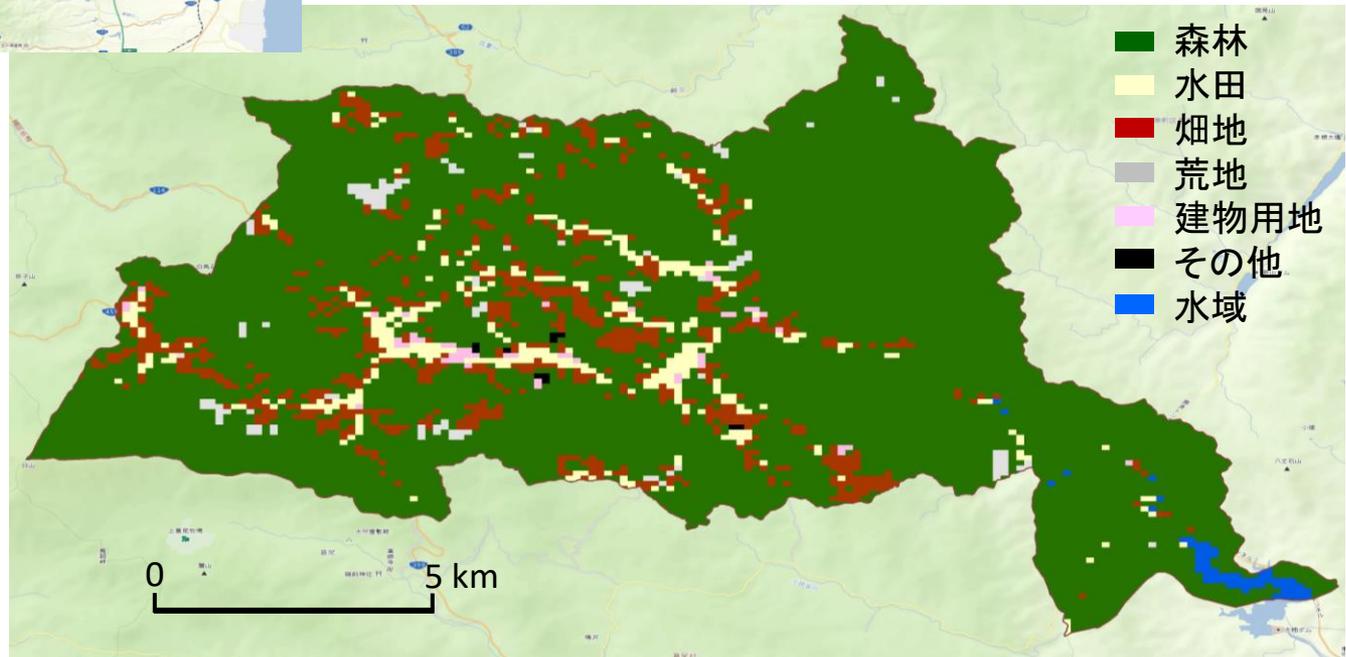
## 浪江町



## 沿革

- 1889年(明治22年)津島村・下津島村・南津島村・赤字木村・羽附村・昼曽根村の計6か村が合併して津島村が発足。
- 1956年(昭和31年)浪江町・大堀村・苅野村と合併し、浪江町となる。

## 津島(旧津島村):土地被覆図

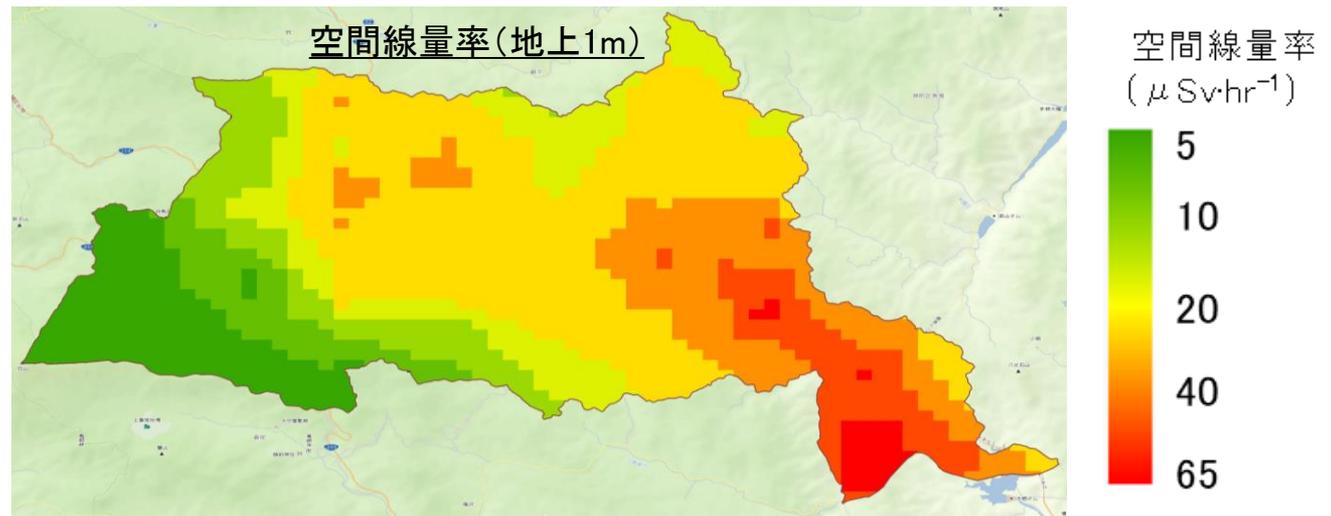
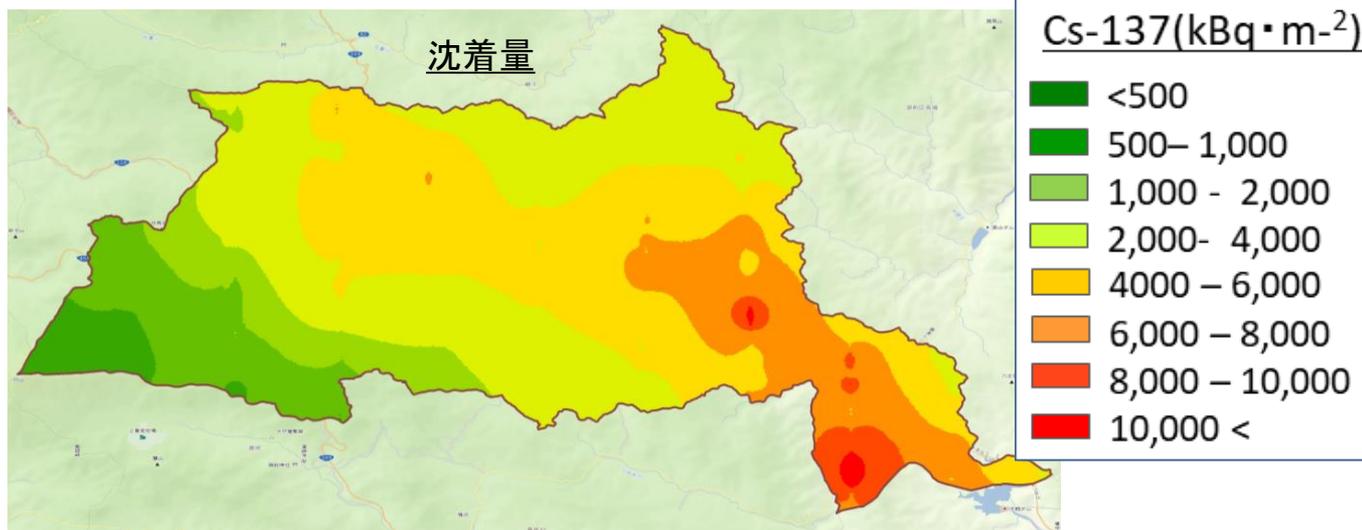


面積: 約95km<sup>2</sup>

主な土地利用(原発事故以前): 森林(84%)、農地(13%)

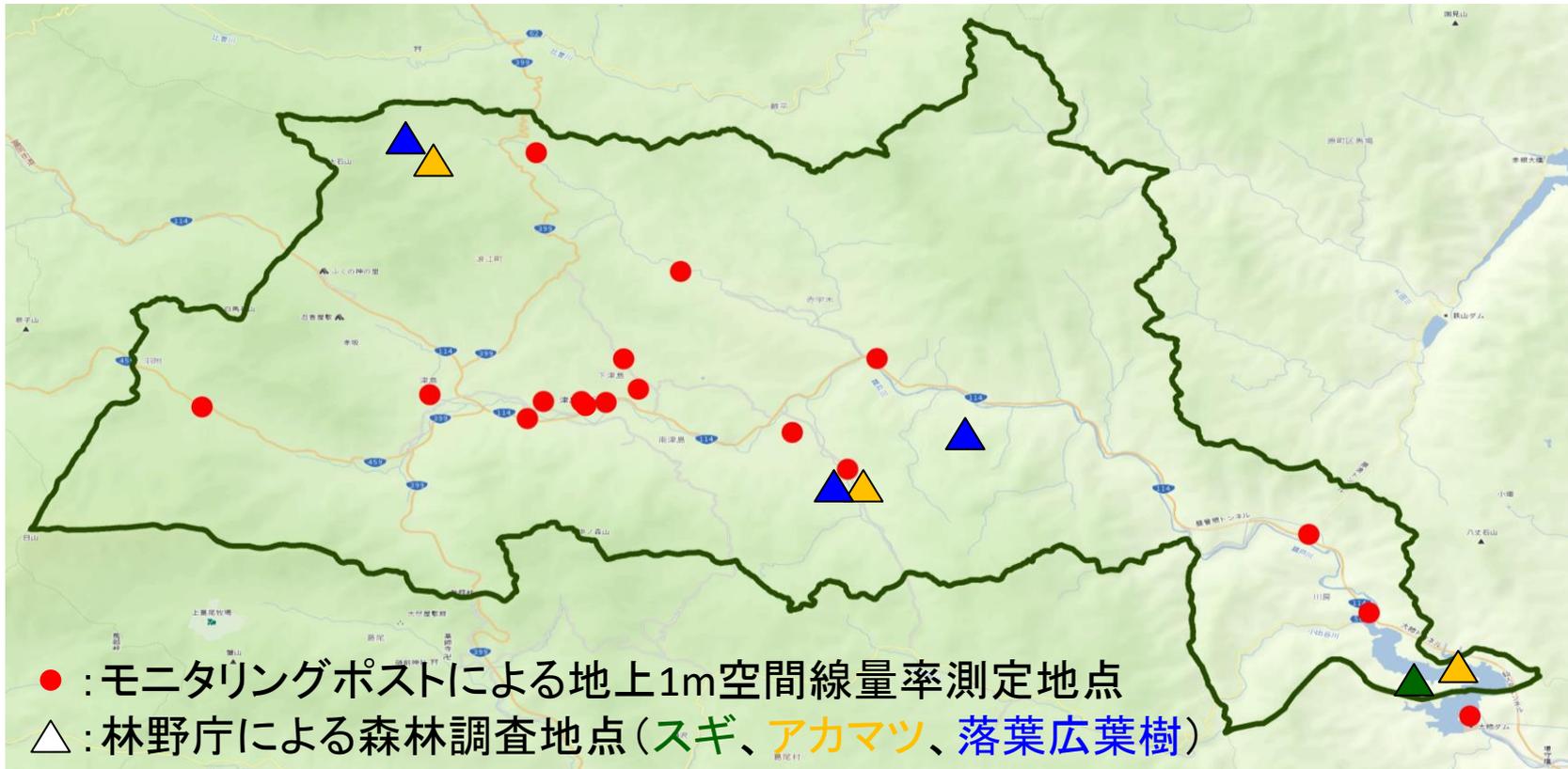
# 福島原発事故直後の汚染状況

航空機モニタリング測定による福島原発事故後初期の放射性セシウム沈着量と空間線量率(地上1m) (測定:2011年4月)



# 放射能汚染実態の把握に向けた取組

多地点における空間線量率の常時測定と森林調査(帰還困難区域等の森林における放射性物質分布調査)の実施



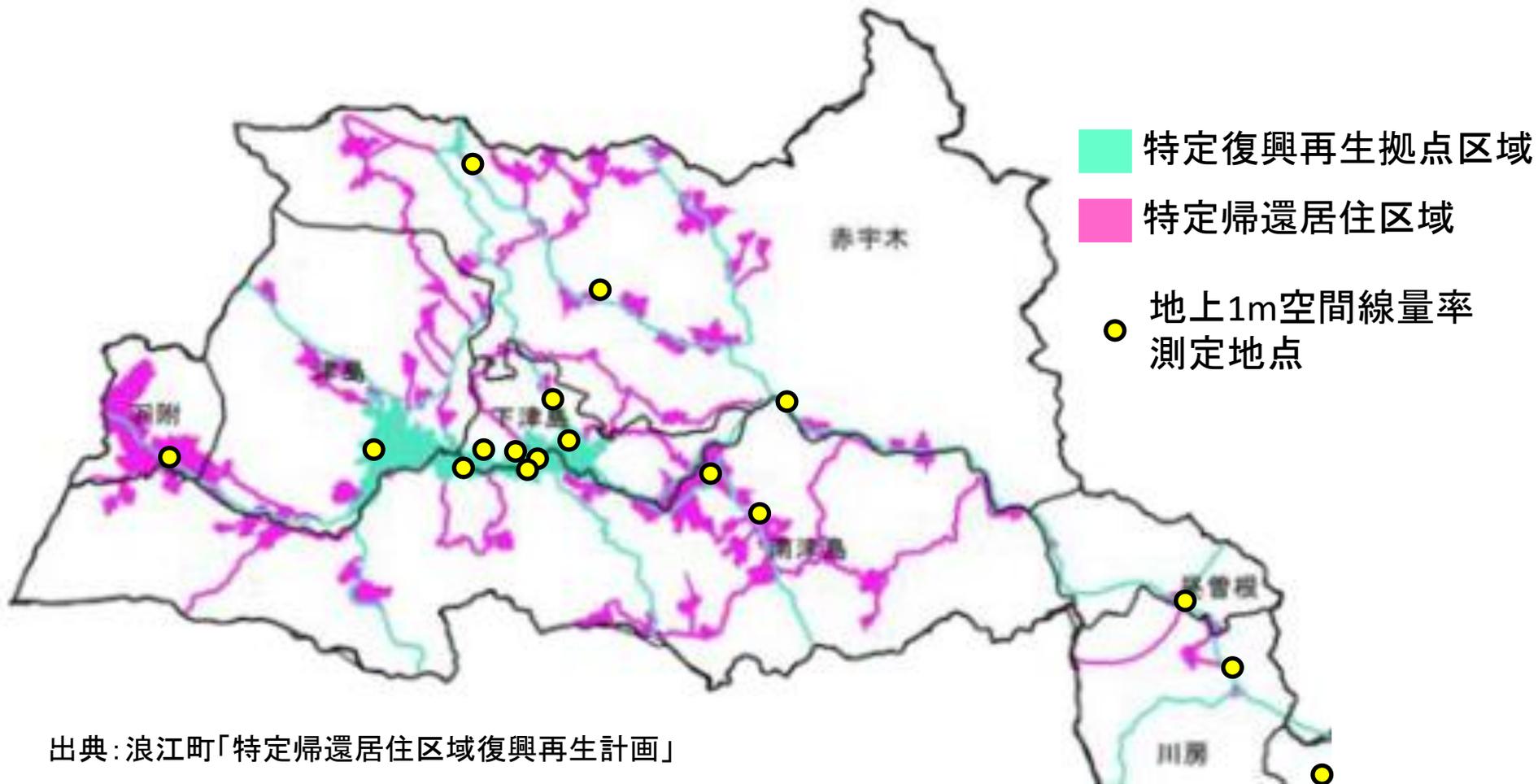
モニタリングポスト測定値公開サイト情報

- ・放射線モニタリング情報放射線測定マップ(旧システム) : <https://radioactivity.nra.go.jp/ja/results/old-system>
- ・放射線モニタリング情報共有・公表システム 放射線測定マップ : <https://www.irms.nsr.go.jp/nra-ramis-web/>
- ・福島県放射能測定マップ : <http://fukushima-radioactivity.jp/pc/>

林野庁による森林調査結果公開サイト情報

- ・帰還困難区域等の森林内の放射性セシウムの分布状況調査 : [https://www.rinya.maff.go.jp/j/kaihatu/jyosen/attach/pdf/r5\\_surveys\\_on\\_radioactive\\_cesium-2.pdf](https://www.rinya.maff.go.jp/j/kaihatu/jyosen/attach/pdf/r5_surveys_on_radioactive_cesium-2.pdf)

# 津島地区における面的除染の取組



出典：浪江町「特定帰還居住区域復興再生計画」

- 特定復興再生拠点区域：津島地区（約153ha）＋基幹道路や関連する町道（2018年5月に 除染開始、2023年3月までに完了）
- 特定帰還居住区域：2020年代をかけて、帰還意向のある住民全員が帰還することができる環境を整える（本年6月除染開始）

# 除染による放射線量の低減効果

出典:令和4年11月21日 浪江町除染検証委員会における  
検証結果報告

## 【空間線量率 地表から100cm】

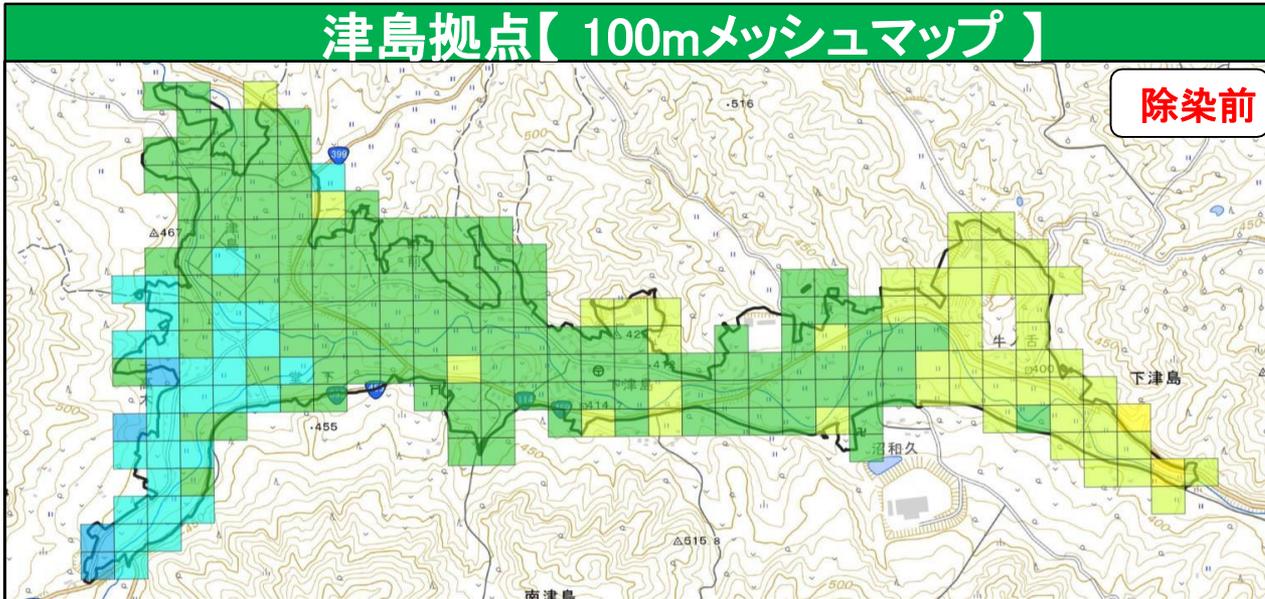
全地目平均では空間線量率が**2.03 $\mu$ Sv/h**から**0.72 $\mu$ Sv/h**に低減（低減率64%）しました。

※白文字の数値は空間線量率の平均値を表す。



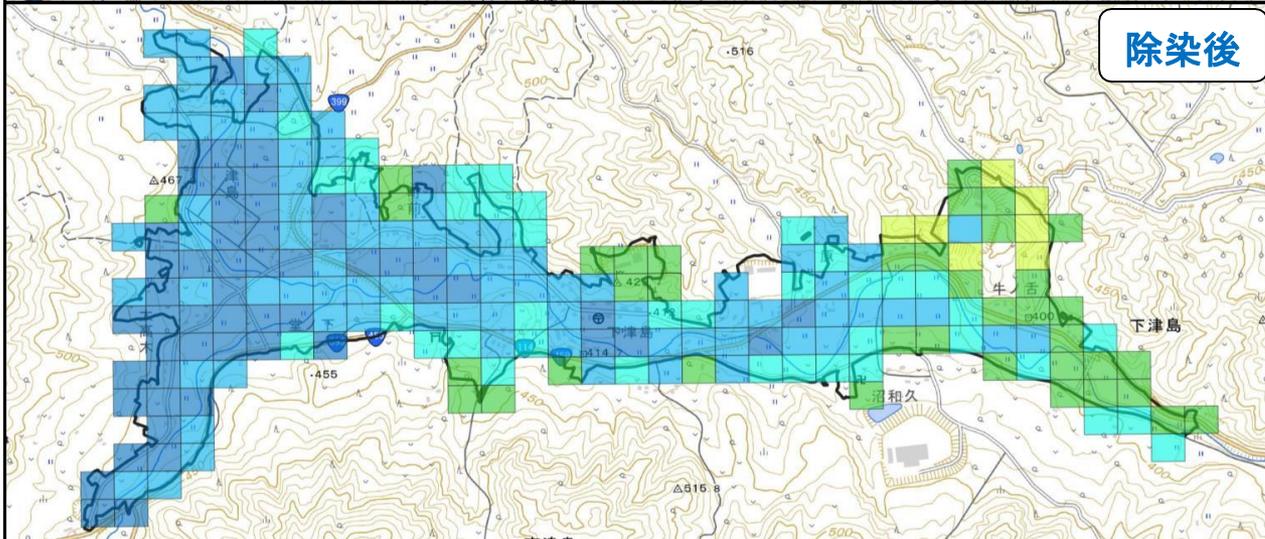
# 除染による放射線量の低減効果

## 津島拠点【100mメッシュマップ】

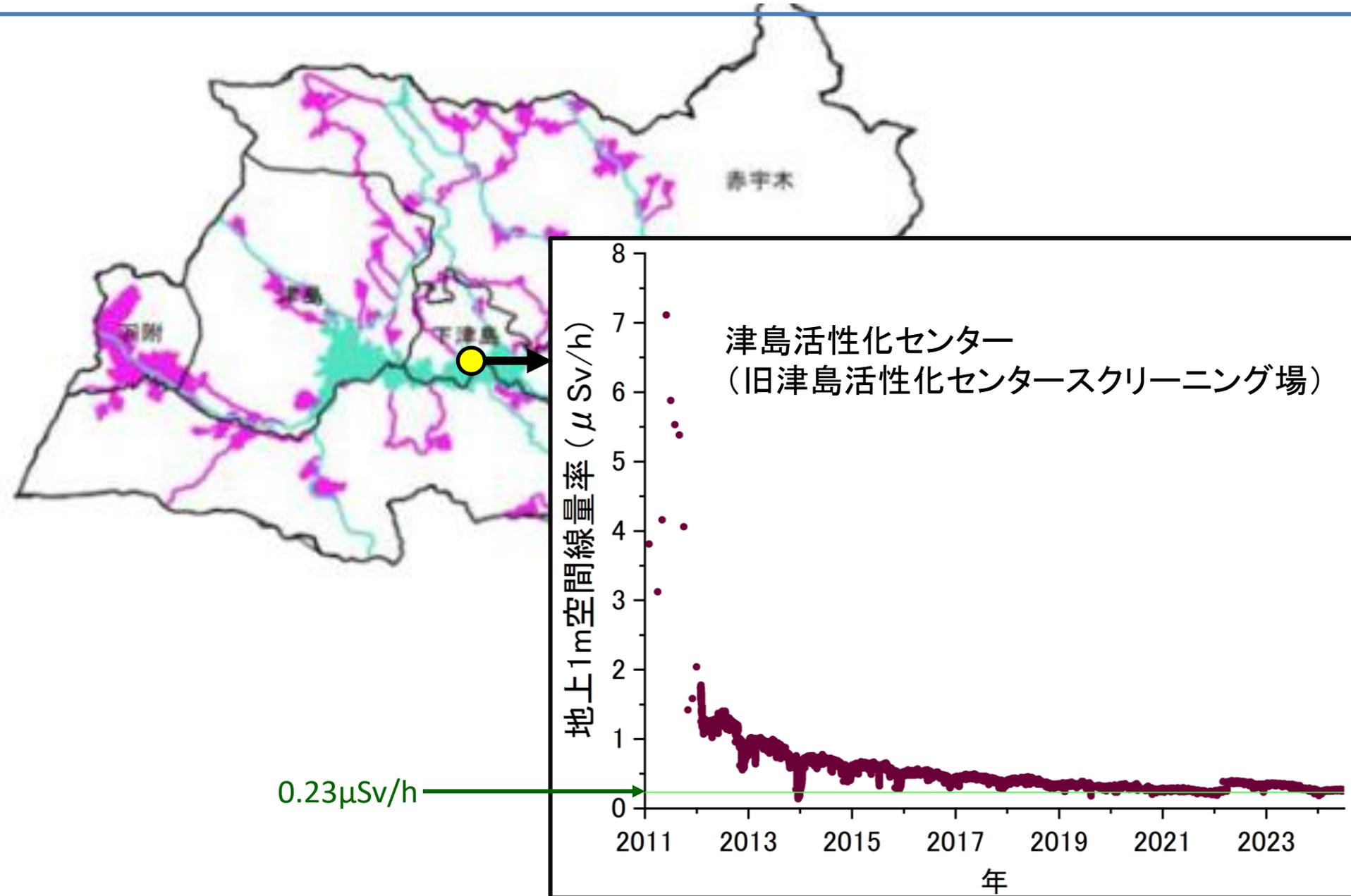


空間線量率100cm平均値 ( $\mu\text{Sv/h}$ )

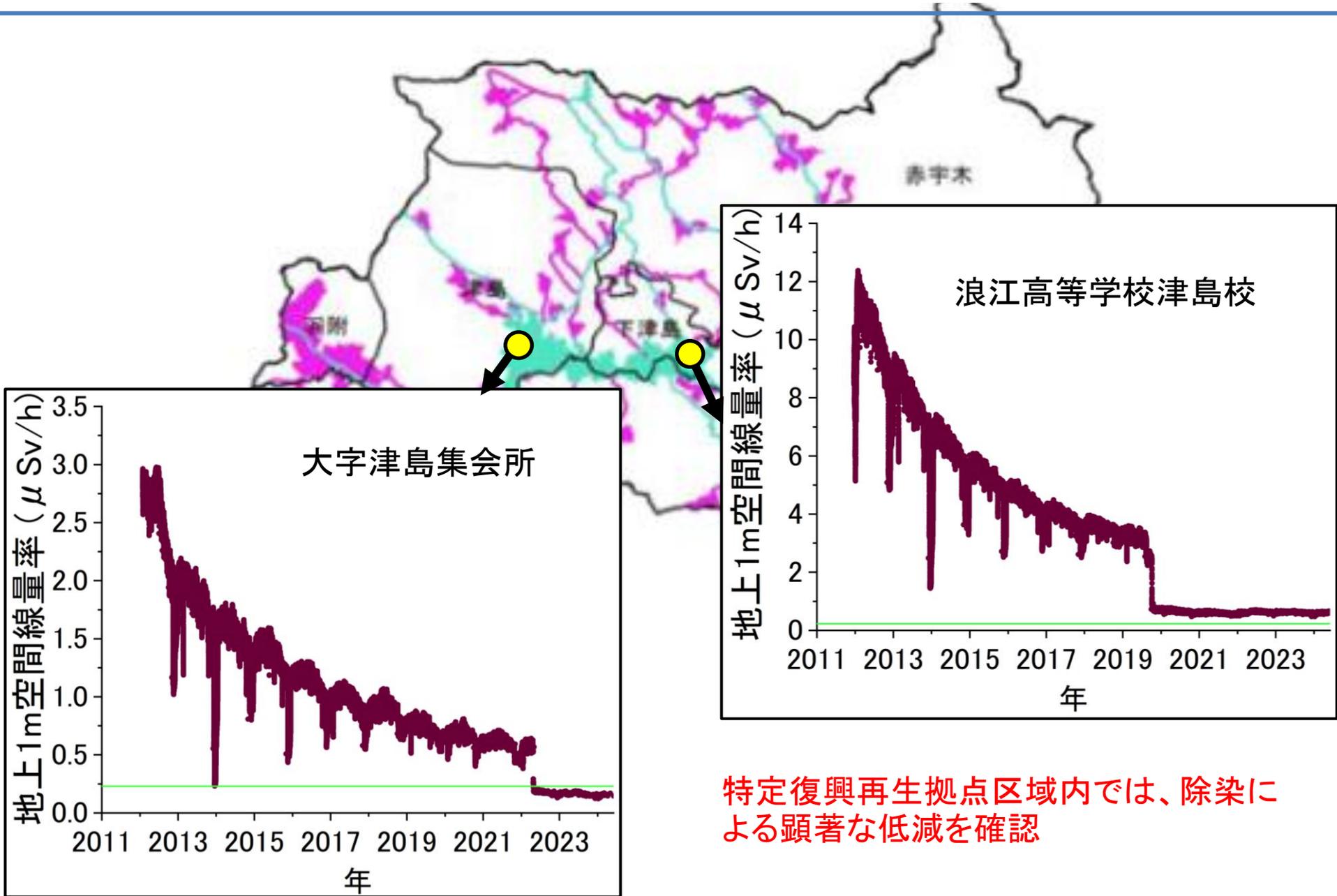
- 0.23以下
- 0.23より大きく0.5以下
- 0.5より大きく0.75以下
- 0.75より大きく1.0以下
- 1.0より大きく1.9以下
- 1.9より大きく3.8以下
- 3.8より大きく5.7以下
- 5.7より大きく9.5以下



# モニタリングポストにおける空間線量率の推移

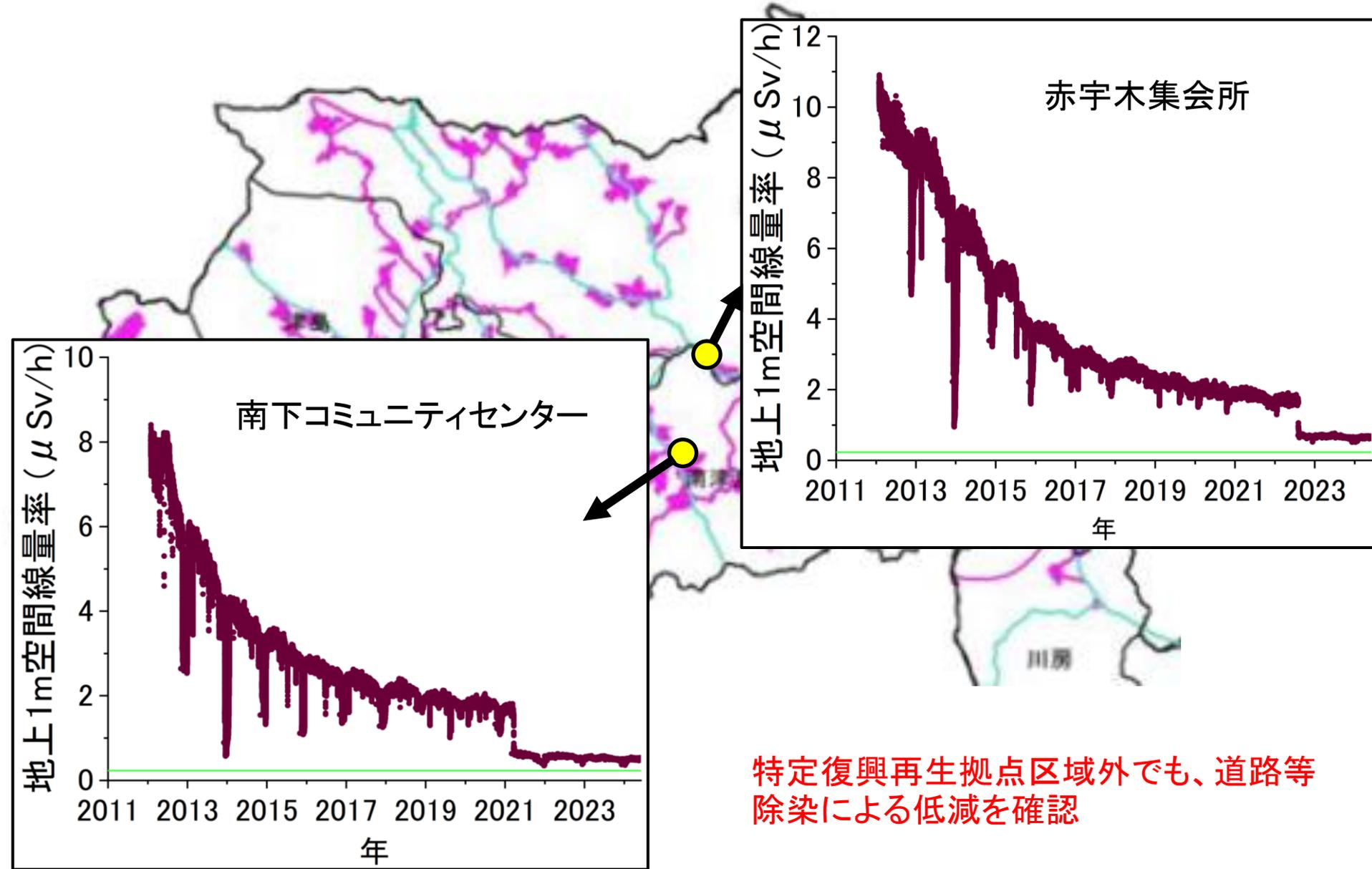


# モニタリングポストにおける空間線量率の推移

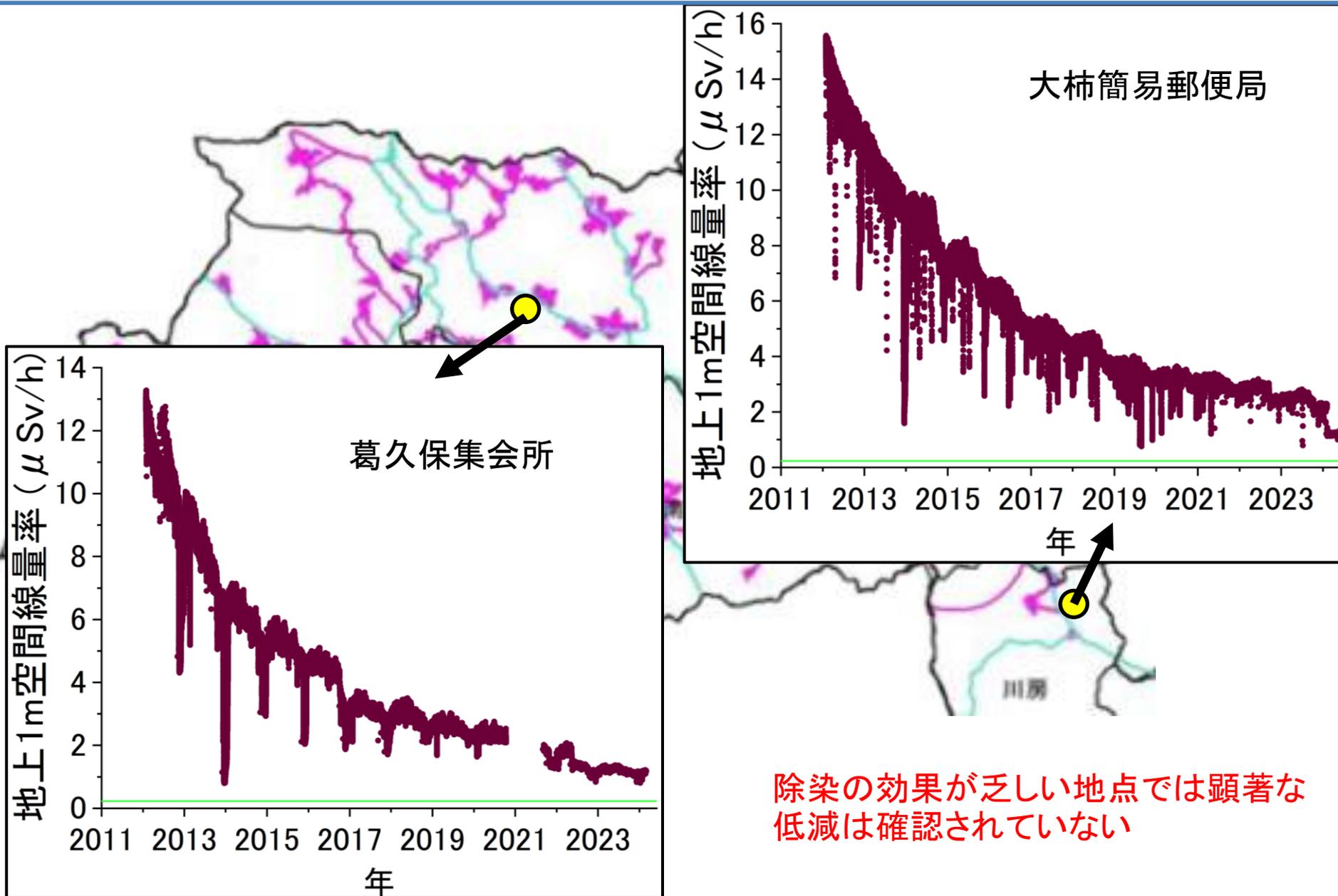


特定復興再生拠点区域内では、除染による顕著な低減を確認

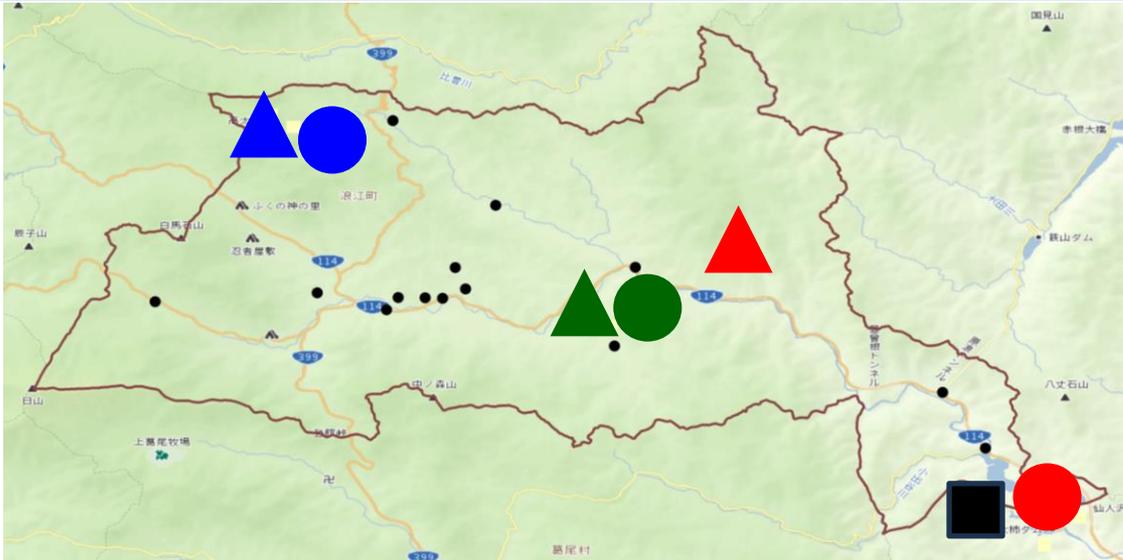
# モニタリングポストにおける空間線量率の推移



## モニタリングポストにおける空間線量率の推移

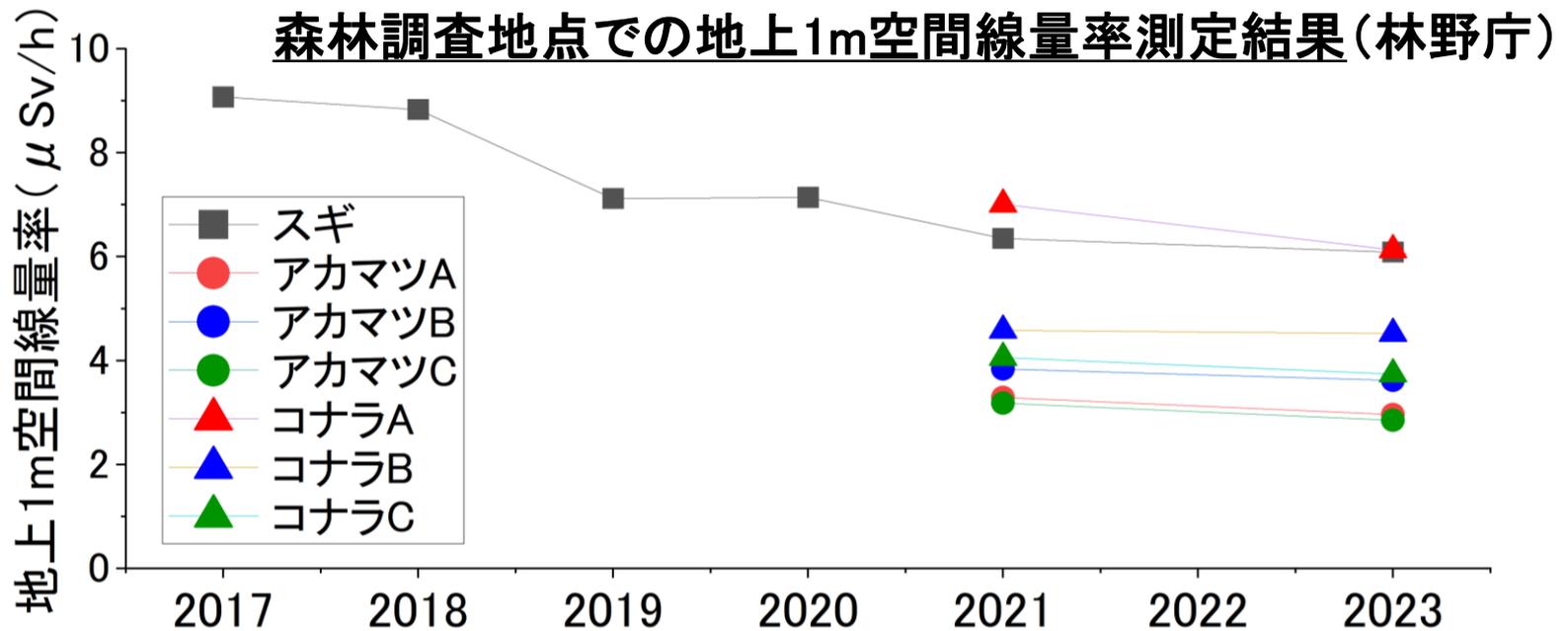


# 林内の空間線量率の推移



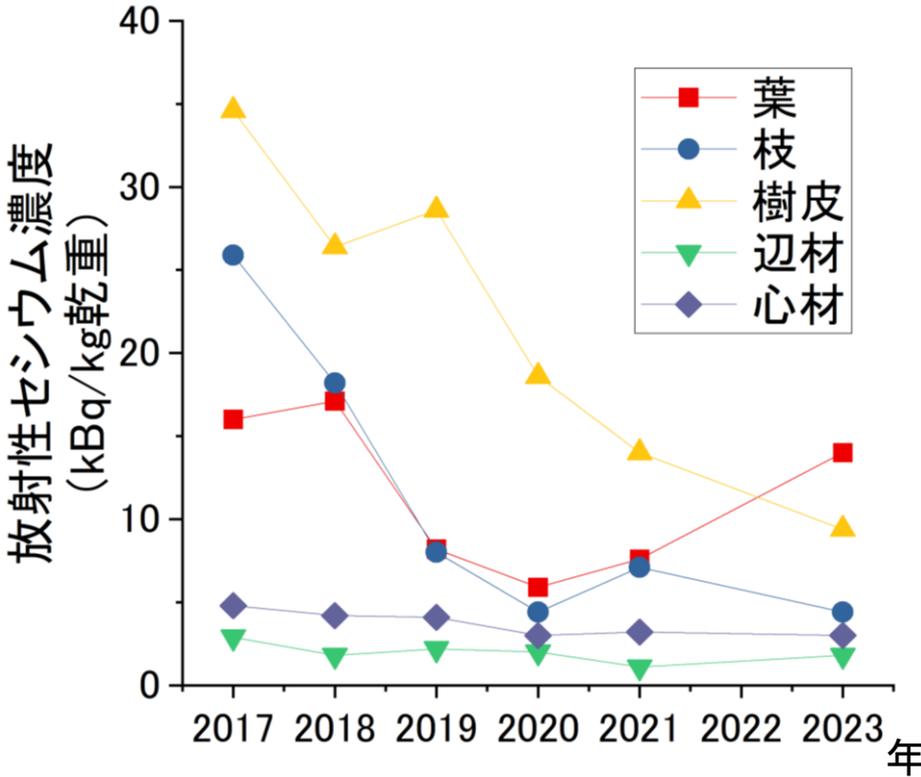
- 林内の線量率は初期沈着状況を反映
- 線量率の低減速度はほぼ自然減衰と同じ
- $0.23\mu\text{Sv/h}$ を下回るのに90～120年は要する

出典: 林野庁 令和5年度 森林内の放射性物質の分布調査結果について

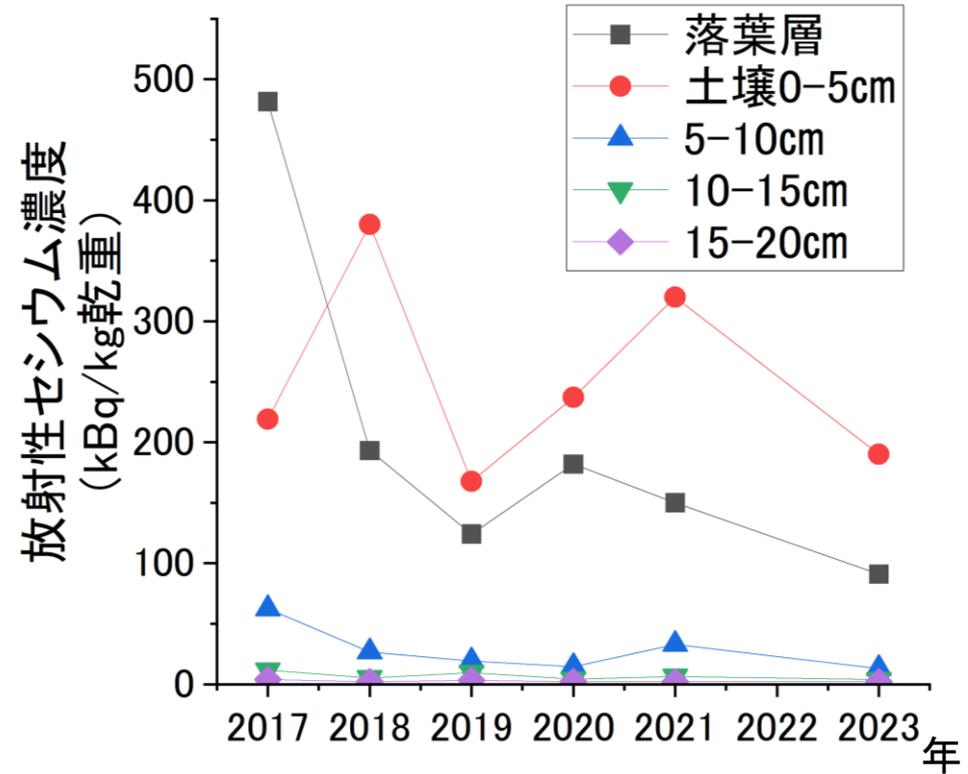


# スギ林地における放射性セシウムの分布

## 地上部(樹木)



## 地下部(林床)

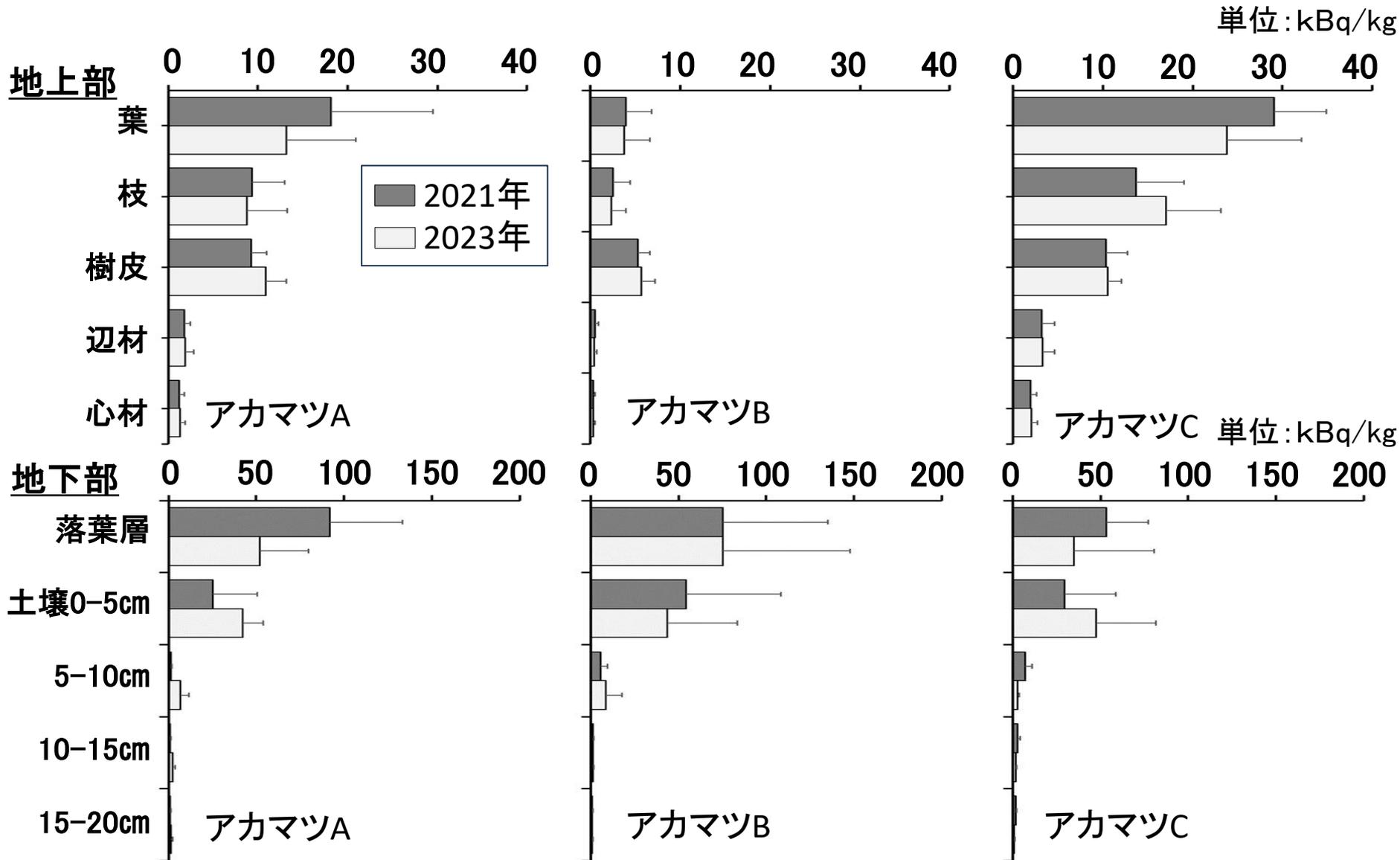


- 初期沈着の影響を受けた樹皮は明確な低減傾向
- 葉は増加傾向に転じている?
- 材(辺・心材)はともに横ばい
- 落葉は減少傾向だが、土壌0-5cmに明確な増加傾向は見られない
- 5cm以深での増加傾向も見られない



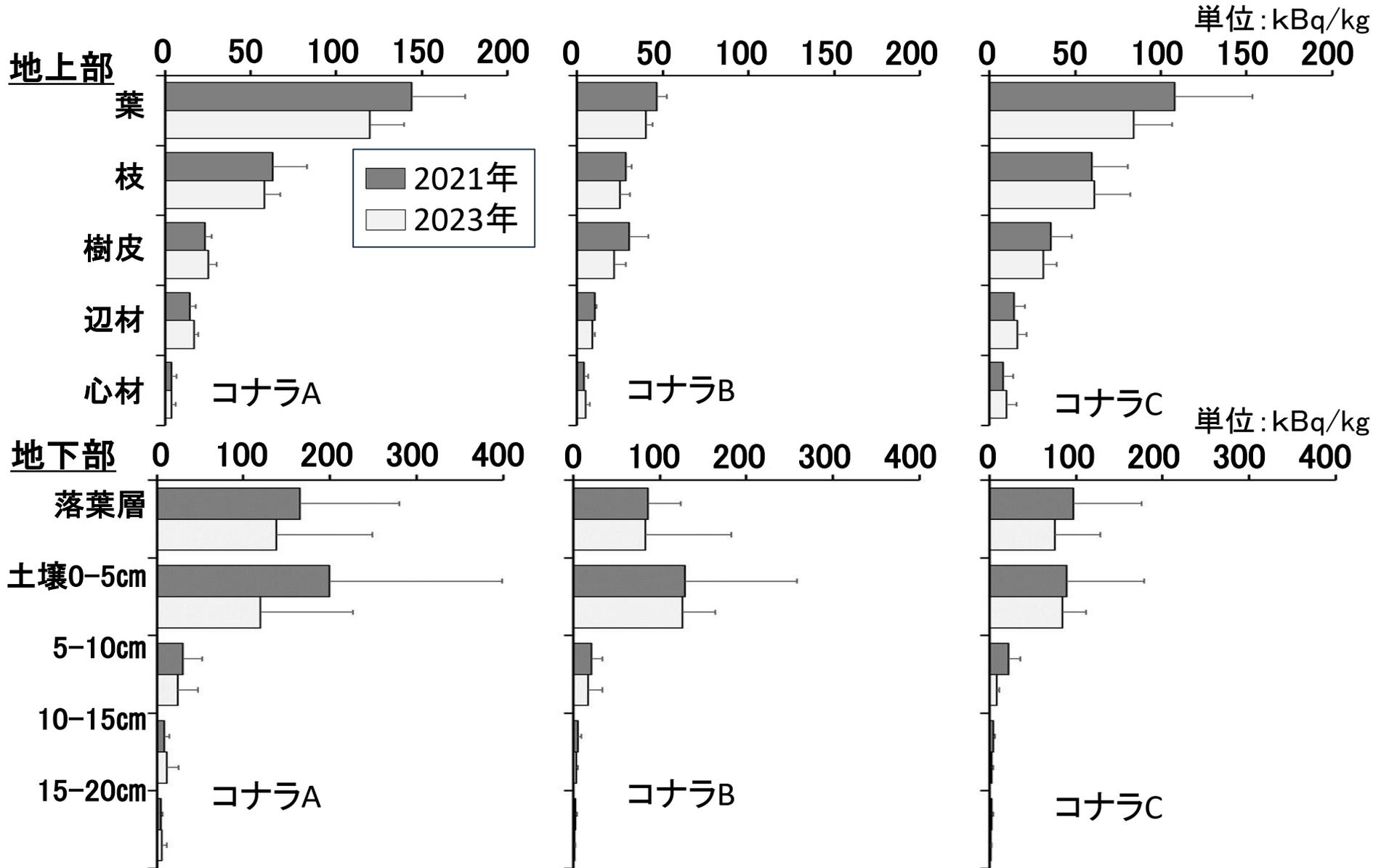
大部分のセシウムは土壌表層に留まっている  
ごく一部が経根吸収により樹木へ移行

## アカマツ林地における放射性セシウムの分布



➤ 葉の濃度が高い傾向にあり、その影響で落葉層も高い状態

# コナラ林地における放射性セシウムの分布

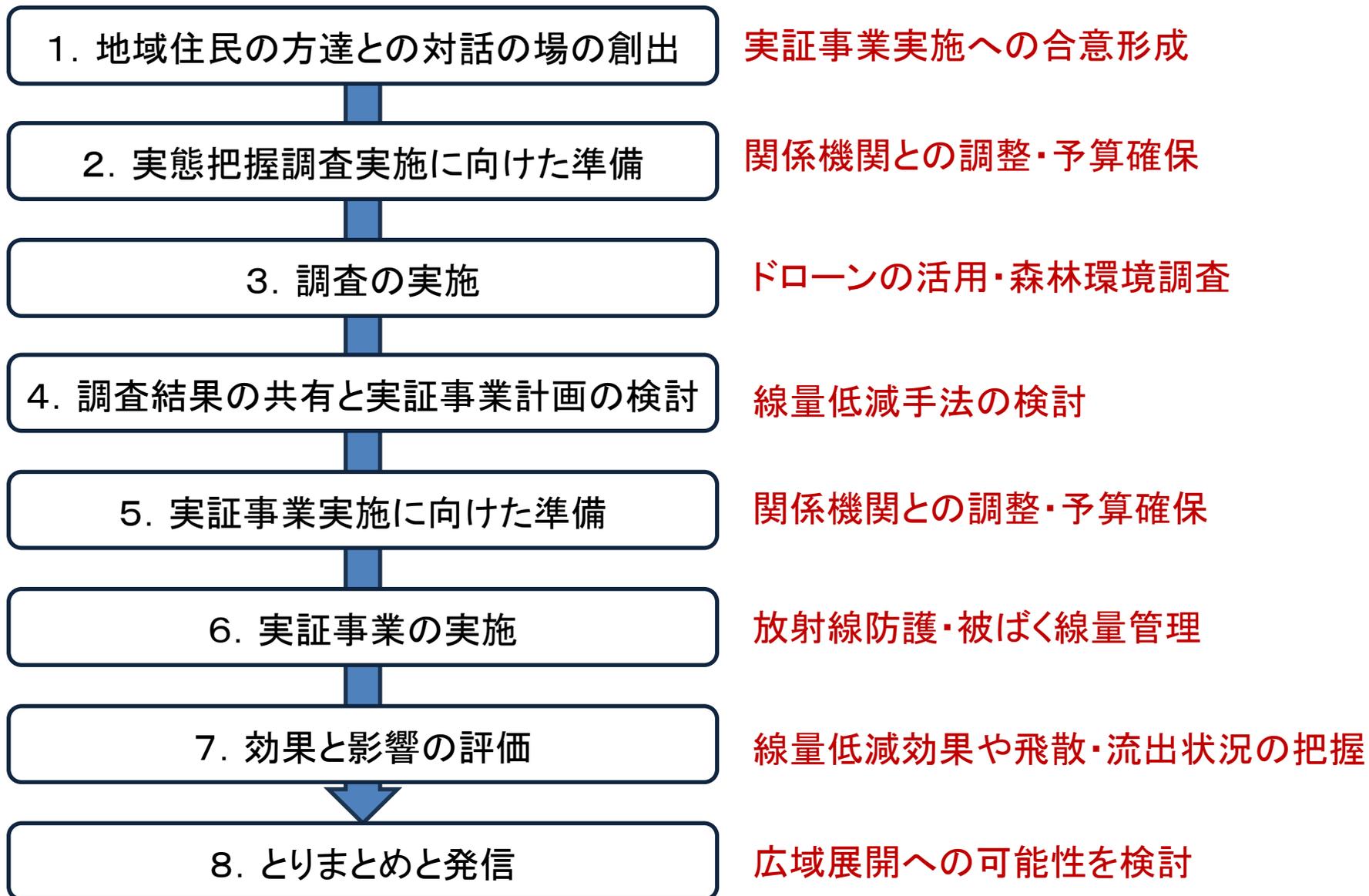


➤ アカマツ林地と同様の状況. 落葉の分解・経根吸収による循環が生じている?

# まとめ：津島地区の汚染状況について

- 除染実施地域では空間線量率は**顕著に低下**している(ただし、 $0.23 \mu\text{Sv/h}$ を下回るのには未だかなりの年月を要するのでは?)。
- 森林を含む未除染地域では空間線量率は**ほぼ自然減衰**によって低下。
- 森林生態系内でのセシウム循環による汚染の長期化が示唆。
- 材あるいは木質バイオマスとしての**利活用は当分難しい**見通し
  - ・材としての利用： $0.5 \mu\text{Sv/h}$ 以下の地域(指標値)
  - ・燃焼材としての利用：薪やホワイトペレット、全木ペレット  $40 \text{ Bq/kg}$ 、バーク(樹皮)ペレット  $300 \text{ Bq/kg}$ (いずれも指標値)
- 多くの森林は成熟あるいは荒廃状態にあり、これ以上の放置は森林の有する機能を大きく損なうことで、**生活圏へ深刻な影響**をもたらす可能性。(大規模豪雨時の土砂(セシウム)の流出、野生鳥獣の生息数の増加等)
- 林内の放射能汚染のみならず森林そのものについて詳細な調査を行い、**実態の把握とある種のゾーニング**が不可欠。

# 住民参加型の環境アセスメントの実施に向けて



# 住民参加型の環境アセスメントの実施に向けて

## 1. 地域住民の方達との対話の場の創出

- 津島地区の様々な時間スケールでの将来像に対する要望を傾聴する。
- 放射能汚染の現況について共有する。
- 環境改善に向けた事業全般の実施に対する合意形成を図る。
- 事前評価他のための調査計画を作成する(対象地域の選定、調査項目や方法等の決定)。

## 2. 実態把握調査実施に向けた準備

- 協力研究機関の確保
  - 予算の確保
- } まずは**研究ベースで実施**することが現実的であり、  
取組易いのでは？
- 関係行政機関との調整
    - ・ 少なくとも町役場との事前調整、許諾を得ることは不可欠。
    - ・ 帰還困難区域への公益を目的とした一時立入り扱いであれば、許可取得手続きは比較的容易か？
    - ・ 国有林地も対象とするなら、立ち入り許可申請等が必要。

# 住民参加型の環境アセスメントの実施に向けて

## 3. 調査の実施: ドローンを活用した面的な汚染状況の把握



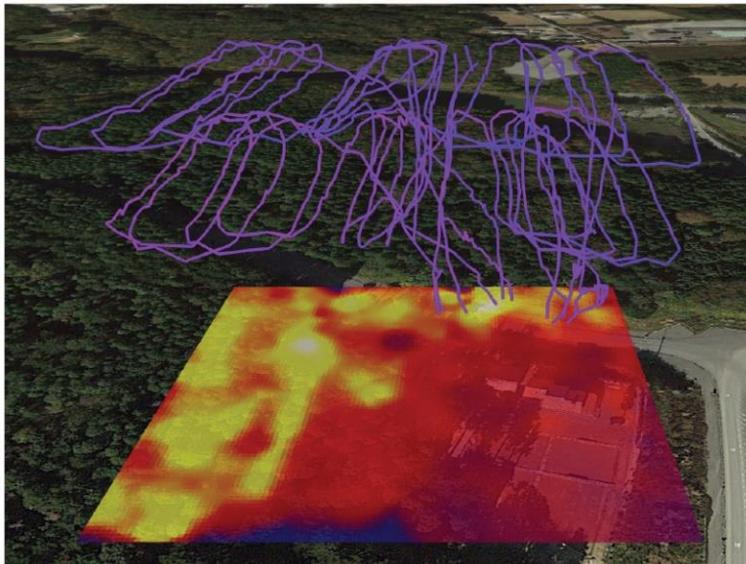
ニュース 農林水産

ふたば・国環研など5者、ドローンレーザとAI解析による森林資源推定・予測システムを開発

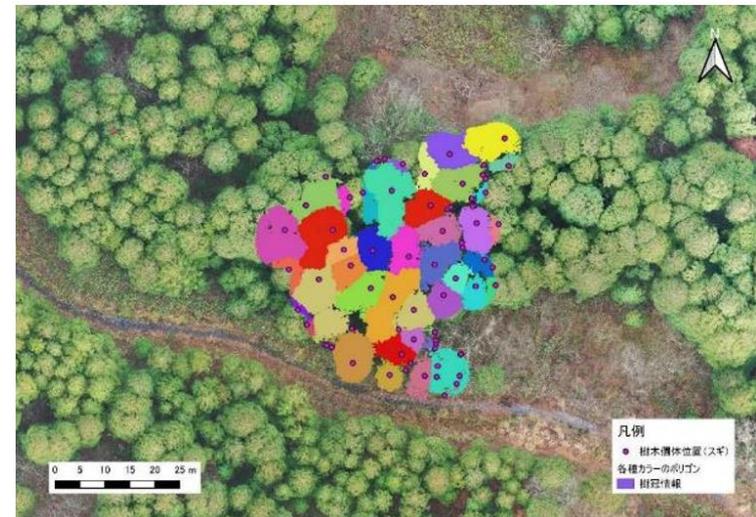
- 林内における高解像度の線量マップを作成
- 森林資源賦存量や微地形も把握  
→ 実証事業への活用

ドローンジャーナル編集部 2023年9月7日 10:44

＜上側:対地高度50mで計測したドローンの航跡、下側:地上1m高の空間線量率分布＞



＜解析から推定した樹冠計上及び樹頂点＞



# 住民参加型の環境アセスメントの実施に向けて

## 3. 調査の実施：森林環境調査

放射線防護や線量管理に基づき実施

- 林内での空間線量率測定の実施  
最新の技術も活用して、地点間における線量の詳細なばらつきを把握  
検証データとして線量マップの精度向上に活用
- 森林における放射性セシウム分布調査の実施



落葉層と土壌の採取



葉の採取



ノミを用いた樹皮の採取



成長錘を用いた木材の採取

## 4. 調査結果の共有と実証事業計画の検討

- 林内の汚染状況を詳らかに示す



- 改めて住民の方達からの要望を伺う



*空間線量率の低減、森林の整備、林産物の利用. . .*

- 要望を踏まえた具体的な手法とおおよその達成時期を示す



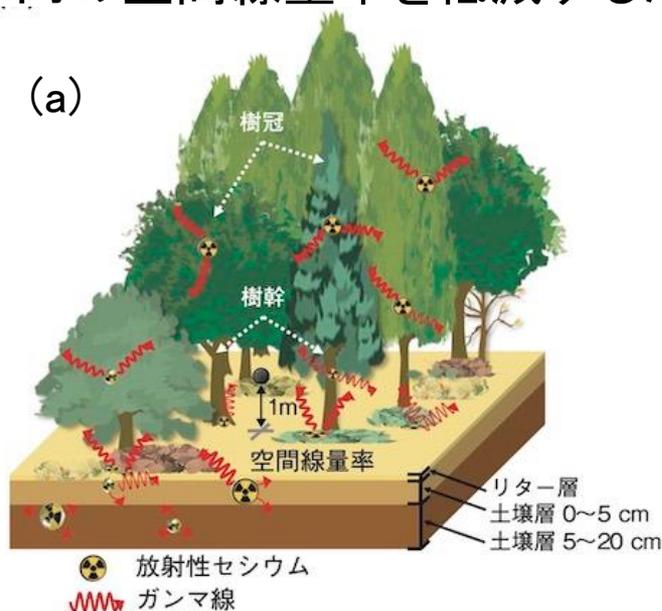
- 事業計画について協議し、合意を図る

# 住民参加型の環境アセスメントの実施に向けて

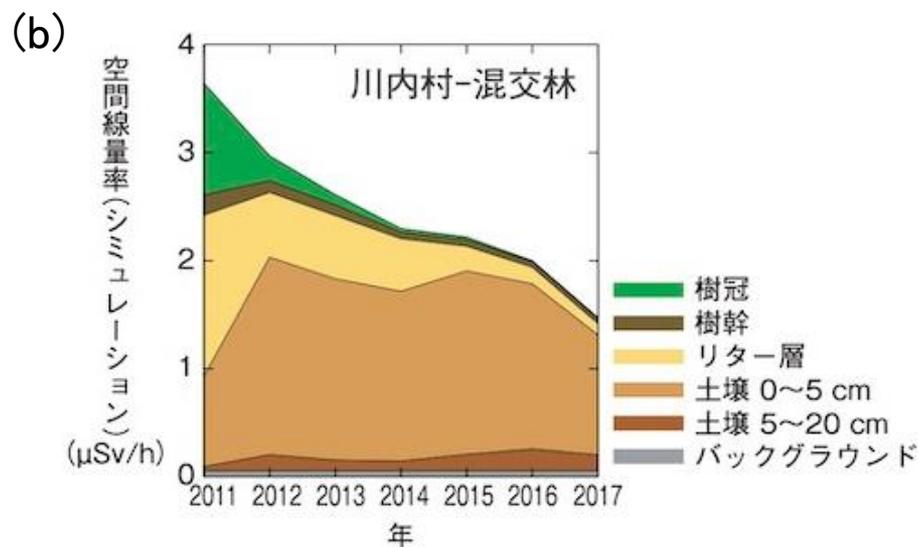
## 4. 調査結果の共有と実証事業計画の検討

### ➤ 最新の空間線量率シミュレーション技術の活用

- ・ドローン測量や森林環境調査結果を活用した林内の空間線量率シミュレーションの実施
- ・林内のどの位置にある放射性物質が、空間線量にどれくらい寄与しているのかを把握
- ・森林内の空間線量率を低減するための実効的な方法の事前テスト等も可能



森林内(樹木、リター層、土壌層)に分布し  
ガンマ線を発する概略図



空間線量率への寄与の内訳を示すシミュレーション結果と  
その経時変化(2011年~2017年)

# 住民参加型の環境アセスメントの実施に向けて

## 4. 調査結果の共有と実証事業計画の検討

### ➤ 線量低減のための主な手法(とその課題)

#### ① 表土の剥ぎ取り(面的除染)

・直接的かつ効果的だが、実施による森林生態系機能の低下、土壌侵食に対する強い懸念があり、なにより除去土壌の取り扱い(受け入れ先)に大きな課題を有する。

#### ② 天地返し

・根系が発達した林床では、通常のやり方(広範囲に面的に実施)では相当の労力を伴い、大幅な環境改変も生じる。

・例えば、直径10cm、長さ30cmの不攪乱柱状(コア)土壌を採取し、反転して原位置に戻す装置を開発し、分散的に適用することは検討の余地があるかも。

#### ③ 森林施業(間伐、皆伐)

#### ④ 土壌被覆

# 住民参加型の環境アセスメントの実施に向けて

## 4. 調査結果の共有と実証事業計画の検討

出典：福島県森林計画課  
「森林の放射性物質対策について  
～放射性物質モニタリングと実証の結果～」

### ➤ 森林施業(間伐)による放射線量の低減

#### ○ 間伐施業の手順



① 間伐前



② 作業道整備



③ 樹木伐採



④ 造材・枝払い



⑤ 枝葉集積



⑥ 丸太搬出



⑦ 間伐後



⑧ 間伐後3ヶ月

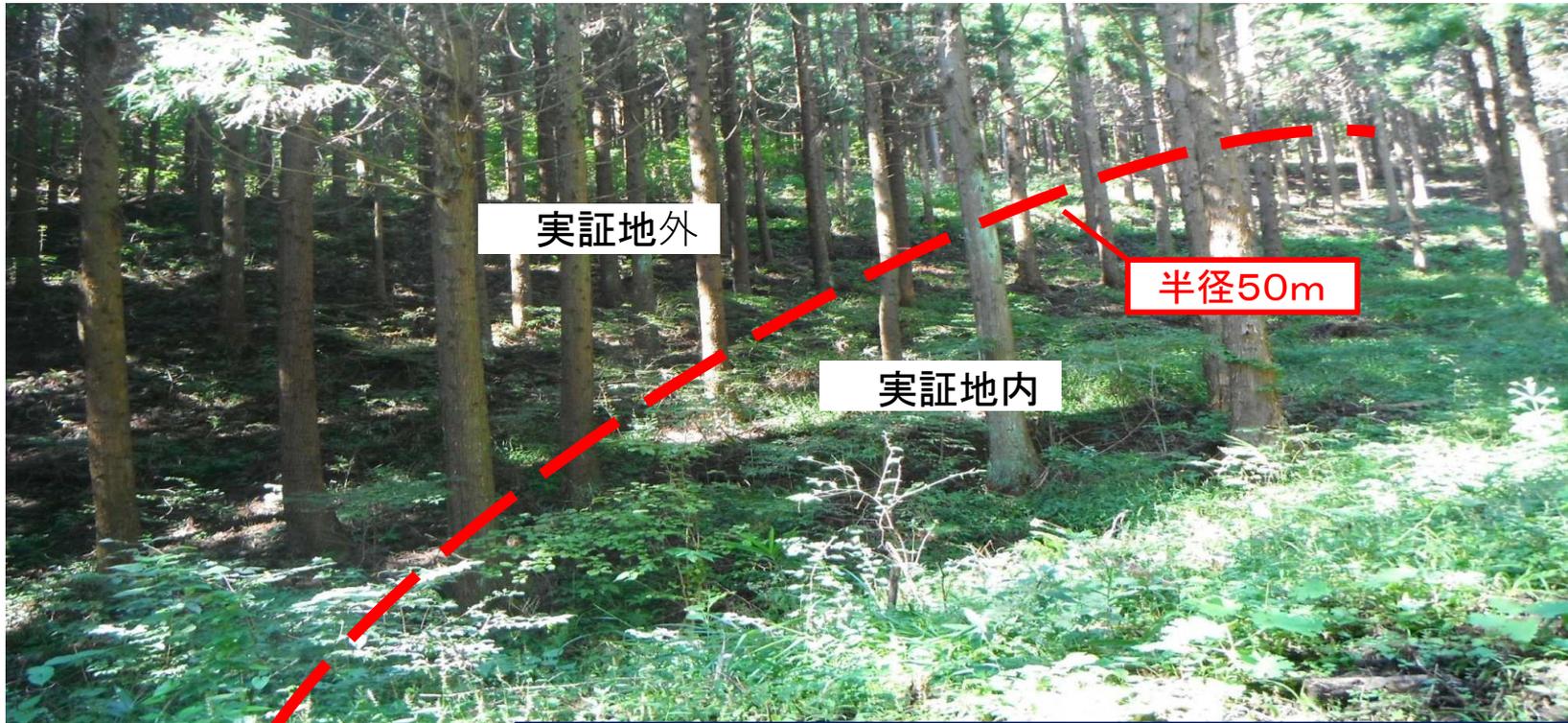
間伐後3ヶ月後には、林床に下層植生が繁茂。

# 住民参加型の環境アセスメントの実施に向けて

## 4. 調査結果の共有と実証事業計画の検討

出典：福島県森林計画課  
「森林の放射性物質対策について  
～放射性物質モニタリングと実証の結果～」

### ➤ 森林施業(間伐)による放射線量の低減



＜間伐施業の完了後、3ヶ月経過した状況＞

間伐の有無によって、林床の下層植生に大きな差を確認。  
(公益的機能が向上)

# 住民参加型の環境アセスメントの実施に向けて

## 4. 調査結果の共有と実証事業計画の検討

出典：福島県森林計画課  
「森林の放射性物質対策について  
～放射性物質モニタリングと実証の結果～」

### ➤ 森林施業(間伐)による放射線量の低減

#### □ 森林施業による線量低減効果(H24調査結果)

- 針葉樹の間伐によって8.7～12.5%程度の線量低減を確認。
- 間伐施業の完了後、線量は、概ね放射性物質の物理的減衰とほぼ同じく低減。  
なお、実証区域内において、表流水等の影響により、斜面上部から下部方向への放射性物質の移動が見られる。
- 森林施業の未実施区においても、放射性物質の移動を確認。

### 放射線量の測定結果の一例

所在地	樹種	施業内容	調査 点数	平均線量		平均低減率		平均線量 施業18月後 (C)	平均低減率	
				施業前	施業後	((A-B)/B)	物理的減衰 を考慮		((A-C)/C)	物理的減衰 を考慮
				(A)	(B)					
二本松市	スギ 0.80ha	間伐30%	41	0.74	0.66	( Δ 10.8% )	Δ 8.7%	0.45	( Δ 39.0% )	Δ 9.5%
		未施業	3	0.70				0.46	( Δ 34.0% )	Δ 3.6%

※ 1 本表は、間伐施業による線量低減効果を実証したもの。

※ 2 実証地は、半径50mの円、面積0.80haで実施。(森林整備の実施期間:H24.4.15～H24.4.27)

- 森林環境や機能の回復は図られるが、顕著な低減効果は期待できない。
- 汚染状態によっては間伐材の利活用は難しい。

# 住民参加型の環境アセスメントの実施に向けて

## 4. 調査結果の共有と実証事業計画の検討

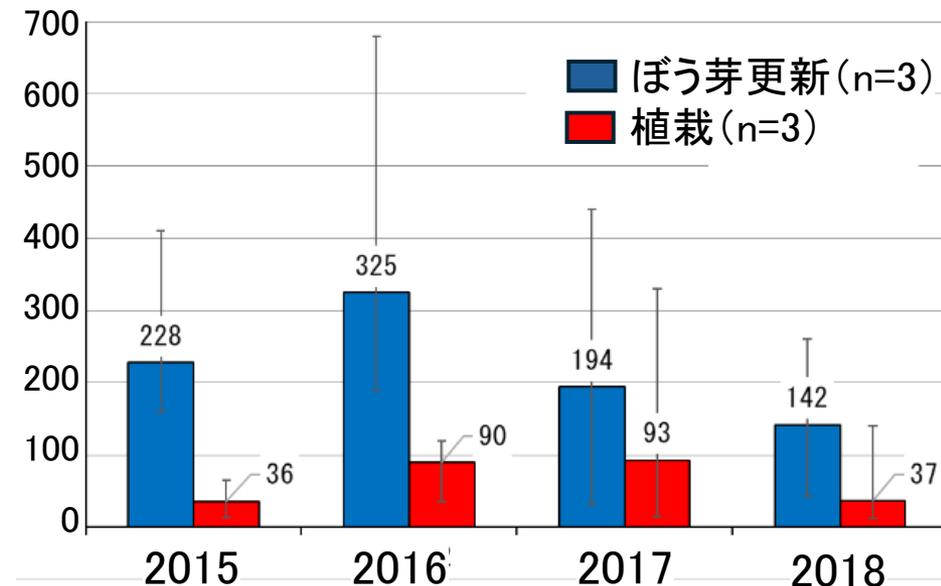
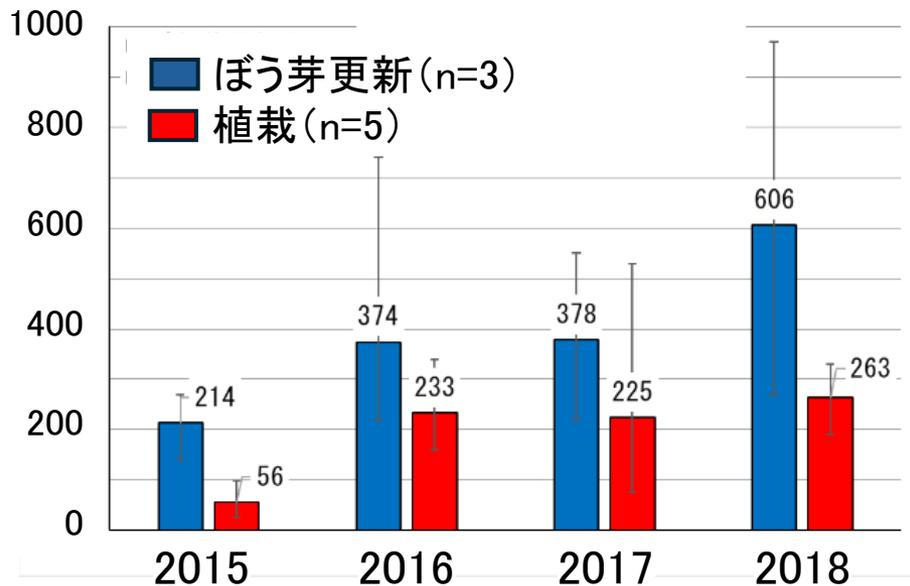
### ➤ 森林施業(皆伐・更新)による放射線量の低減

#### コナラのぼう芽更新木と植栽木におけるセシウム137濃度の違い

広野試験地

田村試験地

縦軸: セシウム137濃度(Bq/kg乾重)



- 天然更新ではなく植栽による材へのセシウムの移行抑制の可能性
- 循環を抑えることで生態系全体の汚染軽減にも繋がる?

# 住民参加型の環境アセスメントの実施に向けて

## 4. 調査結果の共有と実証事業計画の検討

出典：福島県森林計画課  
「森林の放射性物質対策について  
～放射性物質モニタリングと実証の結果～」

### ➤ 土壌被覆(木材チップ)による放射線量の低減

#### ○ 木材チップ散布工の施工手順



下刈  
(雑灌木は木柵背面に集積)



線量等測定



木材チップ散布工  
(厚3cm)



木材チップ散布工  
(厚6cm)

木柵は標高1.0mピッチで設置

#### 木材チップ散布工(厚3cm、6cm)



約17%の線量低減効果

(注) 落葉層の上に購入した木材チップ敷。

#### ○ 木材チップ散布工の線量低減効果

(単位:  $\mu\text{Sv/h}$ )

区分	空間放射線量率			低減率
	最低値	～最高値	平均値	
散布前	1.91	～ 3.13	2.43	
散布後(3cm)	1.53	～ 2.69	1.99	$\Delta$ 17.2%
散布後(6cm)	1.52	～ 2.59	1.94	$\Delta$ 18.5%

注 面積0.16ha(40m×40m)、25点を調査(10mメッシュ)

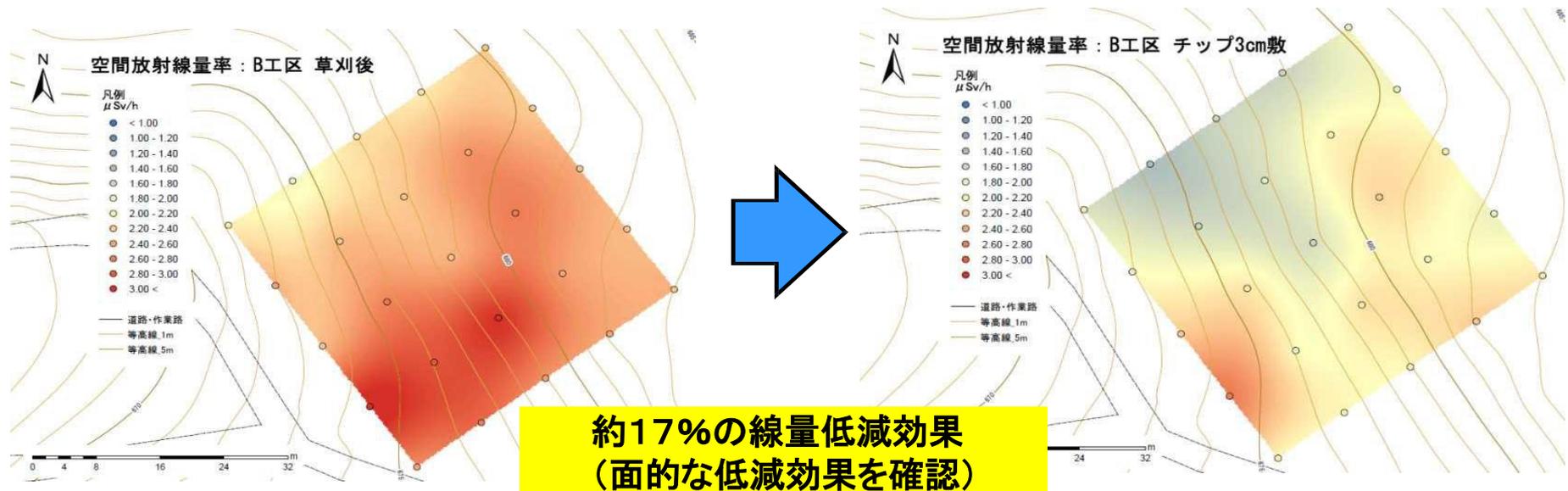
# 住民参加型の環境アセスメントの実施に向けて

## 4. 調査結果の共有と実証事業計画の検討

出典：福島県森林計画課  
「森林の放射性物質対策について  
～放射性物質モニタリングと実証の結果～」

### ➤ 土壌被覆(木材チップ)による放射線量の低減

#### □ 木材チップ散布工(厚3cm)による線量変化(実証面積:40m×40m)



- 森林施業と組み合わせた実施が有効では(間伐、皆伐材のチップや木柵利用)
- 全国の放置竹林問題(竹害)解決の一環として竹チップの被覆材利用も検討

# 住民参加型の環境アセスメントの実施に向けて

## 5. 実証事業実施に向けた準備

- 協力研究機関の確保
  - 予算の確保
- } まずは**研究ベースで実施**することが現実的であり、取組易いのでは？
- 関係行政機関との調整
    - ・公益を目的とした一時立入り扱いに相当するのか、事業実施とみなされるかで関係各署との調整は大きく異なる。事業の実施とみなされた場合は、以下の手順を要する。

〔 町役場への申請→町役場の承認→町役場から原子力災害現地対策本部及び内閣府原子力被災者生活支援チームへの確認→事業等実施の認可 〕

## 6. 実証事業の実施

- 適切な被ばく線量管理の下で極力安全に実施。
- やむを得ず**2.5  $\mu$  Sv/h**を超える森林等で作業を行う場合は、作業の内容に応じて以下の2つのガイドラインに定められた事項を遵守の上、作業を実施。

「除染等業務に従事する労働者の放射線障害防止のためのガイドライン」

「特定線量下業務に従事する労働者の放射線障害防止のためのガイドライン」

# 住民参加型の環境アセスメントの実施に向けて

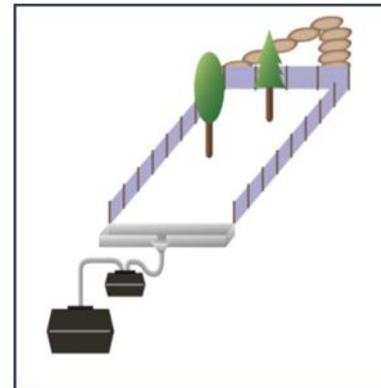
出典：福島県森林計画課  
「森林の放射性物質対策について  
～放射性物質モニタリングと実証の結果～」

## 7. 効果と影響の評価

- 実証地域(林内)とその周辺(生活圏を含む)を対象とした空間線量率の測定
  - ・ドローンの活用
  - ・歩行サーベイによる詳細調査
  - ・近傍のモニタリングポストによる測定結果も含めた事業実施前後での空間線量率の比較
- 実証事業実施による周辺環境への影響評価
  - ・事業実施時における大気サンプラーを用いた放射性セシウム飛散実態調査
  - ・事業実施後の放射性セシウム流出調査



大気サンプラー(ハイボリウムサンプラー)



斜面水・土砂流出調査枠

# 住民参加型の環境アセスメントの実施に向けて

## 8. とりまとめと発信

- とりまとめは**費用対効果**を重視した形で。ただし、効果の範囲をどこまでどのように扱うかは課題か？
- 線量低減効果の表示、説明は、出来るだけ**視覚的に分かり易い**形で
- 出来るだけ多くの**様々な境遇にある津島地区の住民の方達**や浪江町役場に対しての実施結果報告の場を創出
- 他地域(主に避難指示解除区域)でも結果報告の場を創出
- 国内外の学会であるいは学術論文として、実施結果を研究成果として発表(プレスリリースも)。

**研究ベースから実際の事業ベースへの展開をどのように図っていくのか？**