福島の環境回復と比放射能を用いた農作物中 放射性セシウムの高精度予測について



福島大学環境放射能研究所

冢田 祥文

チョルノービリ



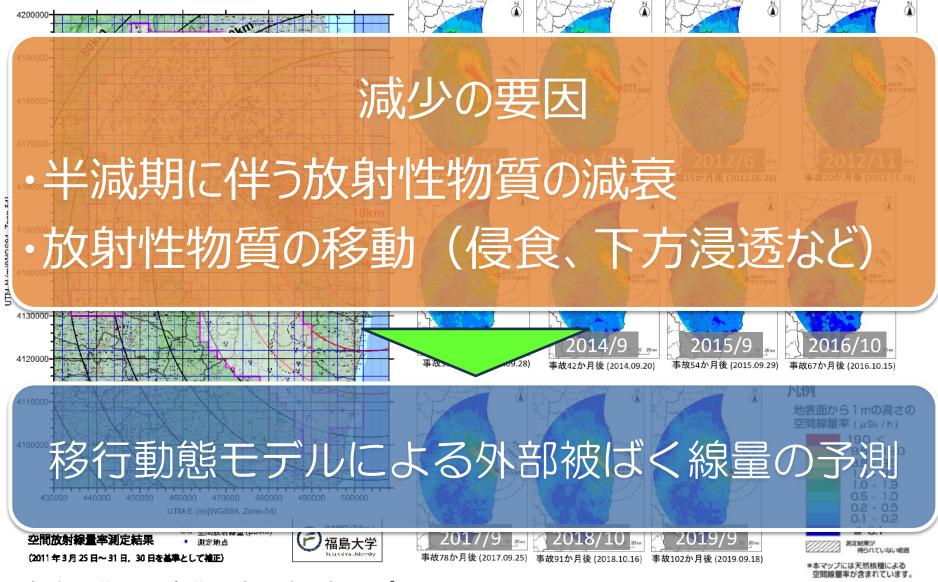
- ・事故後の素早い状況把握と環境回復への取り組み(空間線量率、土壌沈着と吸着、作物移行など) 200 km (n=26)
- ・被ばく線量の変遷
- 存在形態別比放射能を用いた高精度な作物 中放射性Cs濃度の予測

Eukushima

(n=4)

・今後の取り組みに向けて

福島県における事故初期と2011年~2019年の空間線量率の変遷



福島大学による初期の空間線量率マップ (2011年3月)

JAEAによる継続的な空間線量率マップの変遷

土壌中の動態や土壌から作物への放射性核種の移行を知るため には、先ず土壌における存在形態を理解する必要がある

主に1950年代~1960年代(1980年 に中国が最後の大気圏核実験)に 行われた大気圏核実験により日本 に降ってきた放射性セシウム

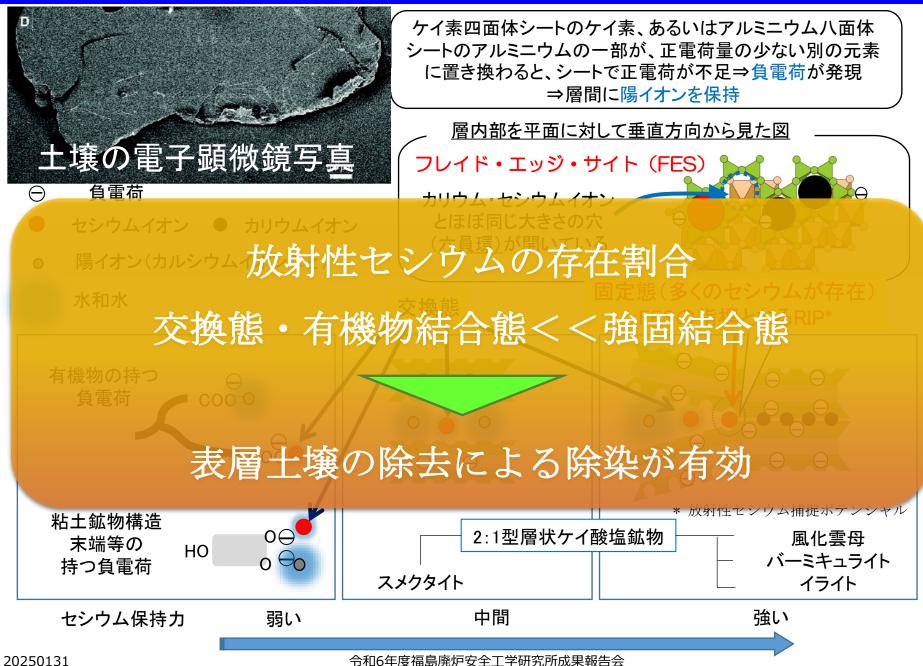
未攪乱土壌における大気圏核実験由来の¹³⁷Csの深度分布 (2003年採取)





ชบ

土壌粒子におけるセシウムの存在形態



人体への放射線の影響(被ばく)

被ばく経路

①外部被ばく

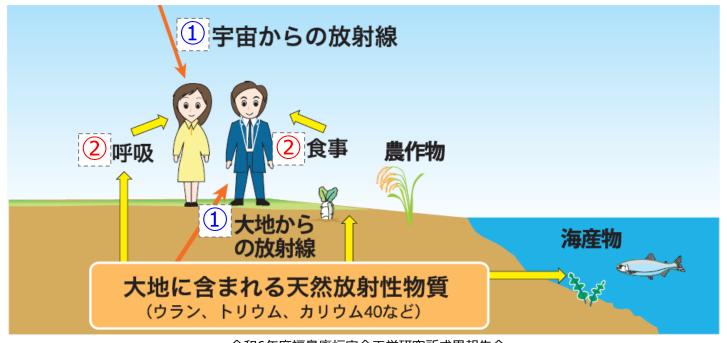
人外からの放射線による被 ばく

②内部被ばく

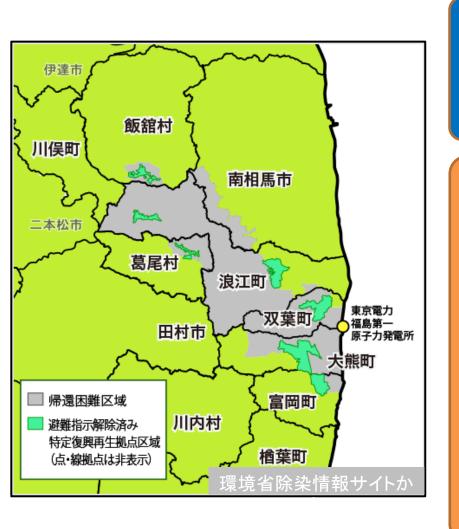
人体内部に取り込まれた放射性 物質からの放射線による被ばく

飲食物摂取

吸入



浪江町における外部・内部被ばく線量について



帰還困難区域

2023年3月:福島県全体の2.4% (約337 km²)

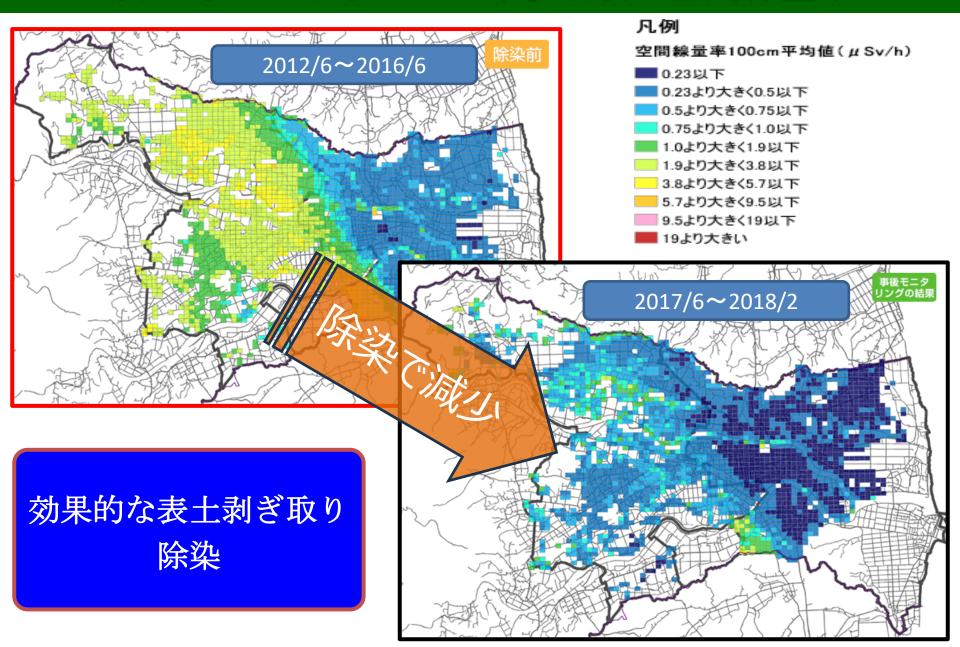
浪江町

FDNPSからの距離(km): 浪江町役場(約8 km) 津島支所(約30 km) 2023年3月:

> 帰還困難区域(181 km² 81%)を除く避難指示の解除

居住者:約2200人(住民登録者の 約10%)

浪江町における2011年事故後の空間線量率

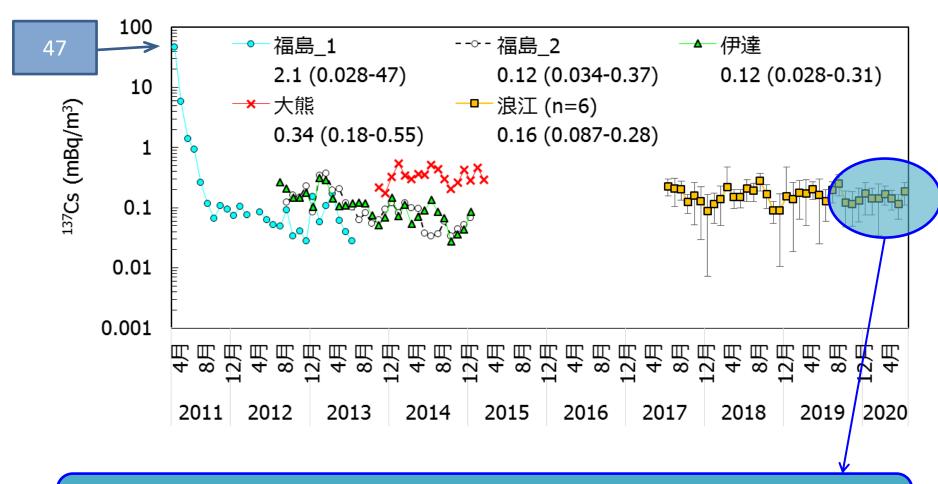


浪江町における追加となる外部被ばく線量の算出条件

- ・浪江町帰還区域内の16地点に設置されたモニタリングポストの空間線量 率の平均値 ; 1.10 mSv/y
- ・バックグラウンドの線量率(0.19 mSv/y; Ogura et al., 2021)を除去 自然界に存在する天然放射性核種から受ける外部被ばく線量
- •滞在時間:8時間を野外;16時間を室内
- ·木造家屋の低減係数:0.4

浪江町の年間外部被ばく線量(2020年): **0.61** mSv/y

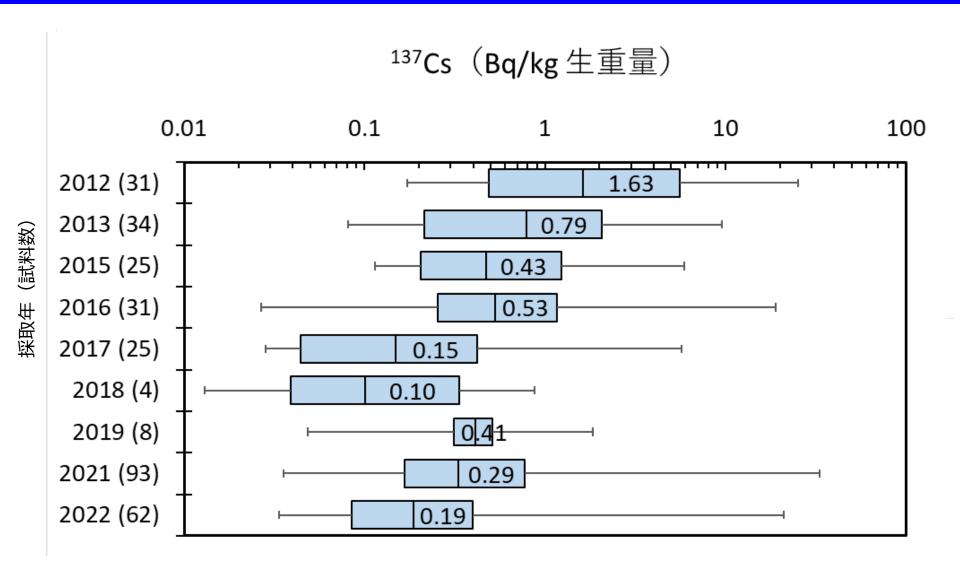
大気中¹³⁷Cs濃度の経時変化



浪江町における吸入による内部被ばく線量: 0.000050 mSv ⇒ 吸入による内部被ばくは限定的

Kitayama et al., (2014), Kitayama et al., (2016), 広報なみえ等

福島県産作物中137Cs濃度と作物摂取による内部被ばく線量の変遷



数値は中央値を示す。ボックスは25~75%、ひげは最小値~最大値を示す。

浪江で採取した自家栽培作物と自生植物(山菜)の例

採取試料数	2019	2020	計
自家栽培作物	65	94	159
自生植物(山菜など)	10	12	22

全181試料





137Cs濃度が10 Bq/kg 新鮮重量を超えた家庭菜園作物および自生植物

作物(2019年 n=13)		¹³⁷ Cs	作物(2020年 n=14)		¹³⁷ Cs
フキ	自生	98	タケノコ(真竹)	自生	175
ゆず	自生	85	たらの芽	自生	91
銀杏	自生	73	ゆず	自生	48
セリ	自生	69	わらび	自生	42
ふきのとう	自生	67	芋茎	家庭菜園	26
芋がら	家庭菜園	46	アズキ	家庭菜園	23
みょうが (茎)	自生	41	小梅	自生	19
フキ	自生	26	菊いもの葉	家庭菜園	17
わらび	自生	24	ふき	自生	13
親孝行豆	家庭菜園	19	青うめ	自生	12
アズキ	家庭菜園	19	サトイモ	家庭菜園	11
ちぢみホウレンソウ	家庭菜園	14	スナップエンドウ	家庭菜園	11
サツマイモ	家庭菜園	11	小松菜	家庭菜園	11
			エダマメ	家庭菜園	10

2020年の浪江町における内部および外部被ばくの比較

被ばく線量 (mSv)					
	内部	被ばく (INT)	外部被ばく (EXT)	全被ばく 線量	内部被ばくの割合
成人 (男性)		0.032	0.61	0.64	0.05
	吸入	食物摂取			
	0.000050	0.012 (自生植物なし)			
		<mark>0.032</mark> (自生植物含む)			

内部被ばくは、外部被ばくに比べきわめて小さい

福島県における作物中放射性Cs低減化の対策

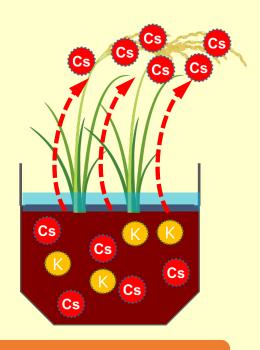




- 1. 表層土壌に蓄積した放射性Csの剥ぎ取り
- 2. カリウム肥料の追加散布 セシウムと性質が類似する同族元素であるカリウム(K)を土 壌管理に則して施用(拮抗作用による移行低減化)

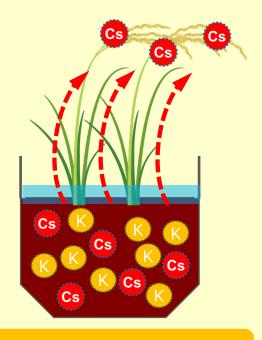
作物が吸収する放射性セシウム(Cs)とカリウム(K)の関係

Kが少ない場合



Csの吸収が多い

Kが多い場合



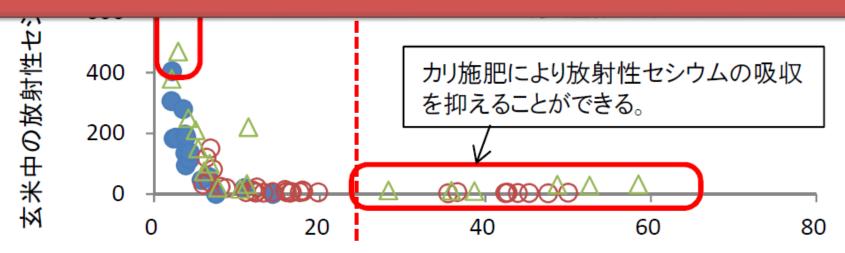
Csの吸収が少ない

CsとKの性質が類似しているため、土壌からイネに吸収される両者は 競合的な関係にある。

カリウム肥料施用(放射性Csとカリウムの拮抗作用)

これまでになかった世界で初めて示した作物に関する基準(25 mg $K_2O/100$ g)

確実な放射性セシウムの作物移行低減



土壌中の交換性カリ含量(mg K₂O/100g)

(作物に利用されるカリウム)

なぜ作物中放射能濃度の予測が必要か?

作物摂取に伴う、内部被ばく線量評価予測のために重要 ↓

IAEAなどによって作物中放射性核種濃度を予測するための多くの移行 パラメータが報告

土壌から作物中濃度を予測する移行係数(Transfer factor)

移行係数 = 作物中放射能濃度(Bq/kg)/土壤中放射能濃度(Bq/kg)



土壌の種類、土壌管理により移行係数の範囲は2桁を超える広い範囲にある。



137Csと90Srの汚染由来

調査地域	調査機関	試料地点	汚粱 ¹³⁷ Cs	き も ⁹⁰ Sr	汚染源からの 距離(km)	土壌の種類(試料数)
青森	1991- 1994	26	大気圏	核実験	-	Allophanic Andosols (9), Argic Red- Yellow soils (1), Brown Lowland soils (1), Gley Lowland soils (9), Lowland Paddy soils (1), Non-allophanic Andsols (2), Peat soils (3)
福島	2019	4	2011 FDNPS事故	大気圏核実験	12-84	Brown Lowland soils (1), Gley Lowland soils (2), Wet Andosols (1)
チョルノービリ	2018- 2019	4	1986ChNPP事故		2.4-14	Brown Forest soils (1), Sandy Regosols (3)



放射性核種の由来が異なる青森県、福島県とチョルノービリで調査と研究を実施

東電福島第一原子力発電所からチョルノービリ原子力発電所

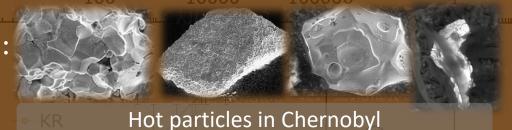


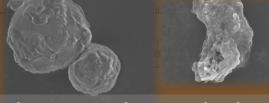
令和6年度福島廃炉安全工学研究所成果報告会

Vertical distributions of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in Chernobyl

それぞれの事故によって様々な存在形態の放射性Csが報告されている。

例えば:





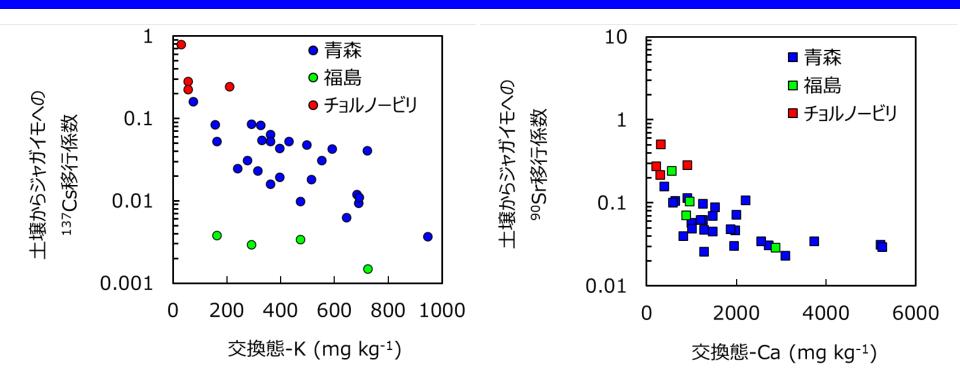
Glassy particles in Fukushima

- ・ホットパーティクル (チョルノービリ)10:原子炉燃料そのものや、メルトダウンした燃料の粒子で、極めて高い放射能濃度にある粒子

事故の状況によって、土壌中¹³⁷Csは様々な存在形態にあり、土壌中全濃度を用いて作物中濃度を高精度で予測するには限界がある。

Collecting date: August 29-30, 2017

ジャガイモにおける交換態Kと¹³⁷Cs移行係数および交換態Caと ⁹⁰Sr移行係数の関係



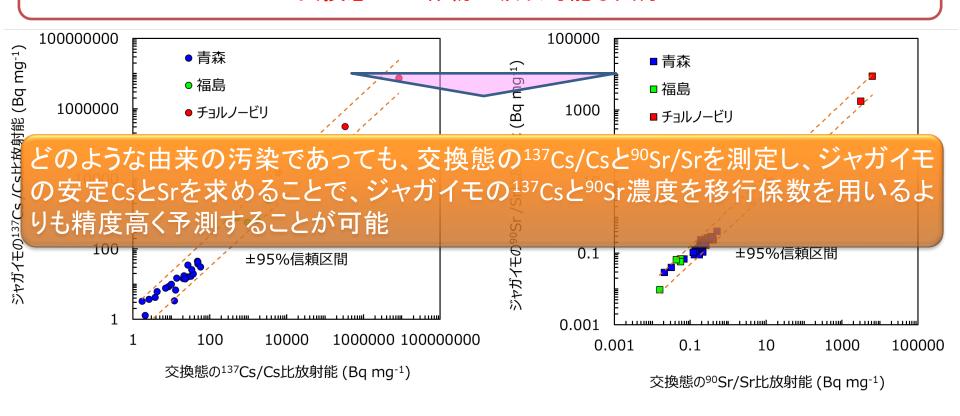
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
移行係数の範囲	0.0015 - 0.79	0.023 - 0.51

土壌 – ジャガイモ間の 137 Csと 90 Srの移行係数は、それぞれ交換態KとCa濃度の増加に伴い減少

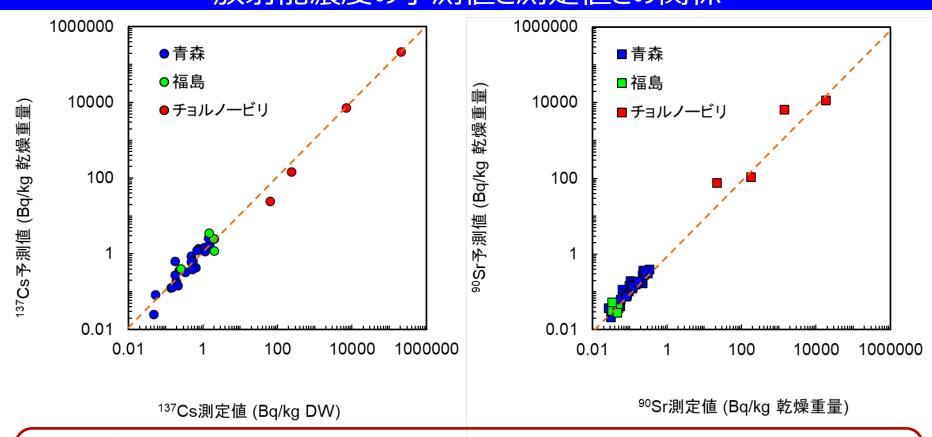
ジャガイモの¹³⁷Csと⁹⁰Sr濃度を高精度に予測するため、土壌の交換態画分中¹³⁷Cs/Csと⁹⁰Sr/Sr比放射能を適用する新たな方法

大気圏核実験や事故など様々な由来による137Csと90Sr降下物

交換態¹³⁷Cs/Csと⁹⁰Sr/Sr比放射能が、ジャガイモの比放射能と高い精度で一致 交換態とは:作物が吸収可能な画分



青森、福島およびチョルノービリで採取したジャガイモ中の¹³⁷Csおよび⁹⁰Sr 放射能濃度の予測値と測定値との関係



ジャガイモ中 137 Csまたは 90 Sr濃度 (Bq kg $^{-1}$ DW) = 交換態 137 Cs/Csまたは 90 Sr/Sr比放射能 (Bq mg $^{-1}$) × ジャガイモ中CsまたはSr濃度 (mg kg $^{-1}$ DW)

例年同様な土壌管理で栽培されているジャガイモであれば、不純物として混入するジャガイモ中CsとSr濃度に大きな変化はない ⇒ 一昨年以前のジャガイモ中濃度で予測可能!

まとめ

- ✓ 交換態画分の¹³⁷Cs/Csと⁹⁰Sr/Sr比放射能は、ジャガイモの比放射能と同様であった。
- ✓ KやCaなど施用などによる¹³⁷Csや⁹⁰Srの作物吸収への影響をキャンセルすることで、精度の高い予測が可能となった。
- ✓ ジャガイモの¹³⁷Csと⁹⁰Sr濃度を迅速かつ信頼性の高い予測が可能となった。

Activity concentration in potato (Bq kg⁻¹ DW)

- = Specific activity ratio in exchangeable fraction (Bq mg $^{-1}$)
 - \times Elemental concentration in potato (mg kg⁻¹ DW)



今後の取り組みに向けて(放射線に関する項目) -2011年の震災前と変わらぬ生活を送るために-

土地利用区分	考慮事項
・住宅地	・土砂の流入・家庭菜園・森林の隣接など
・農地	・灌漑水 ・森林の隣接による腐植や土砂の流入
・産業用地	・土砂の流入 ・物流による系外への放射性物質の移動
・その他	・野生鳥獣、山菜など



モデルを活用した線量予測による不安払拭

