



農産物における放射能汚染対策12年の総括 と科学的知見の蓄積

福島大学 二瓶直登

福島県での農産物安全性取組み

低減対策



生産



モニタリング



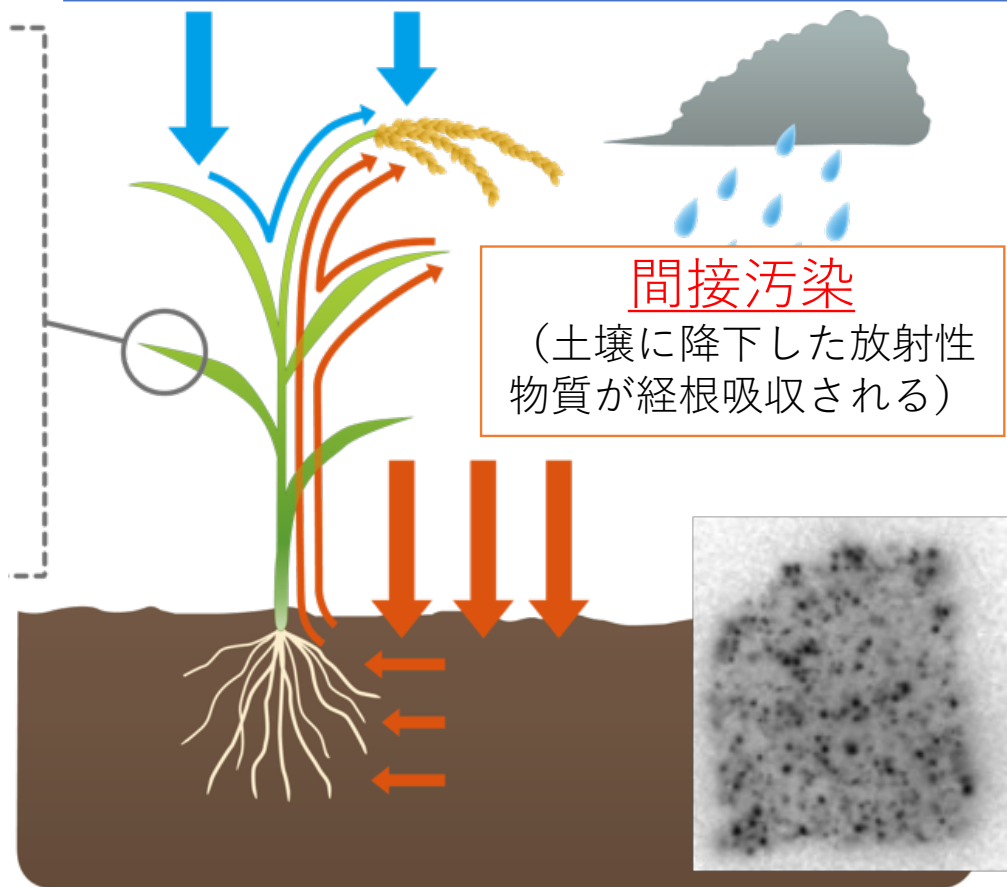
公表



直接汚染

直接汚染

(実や花に放射性物質が降下し、付着・吸収される)



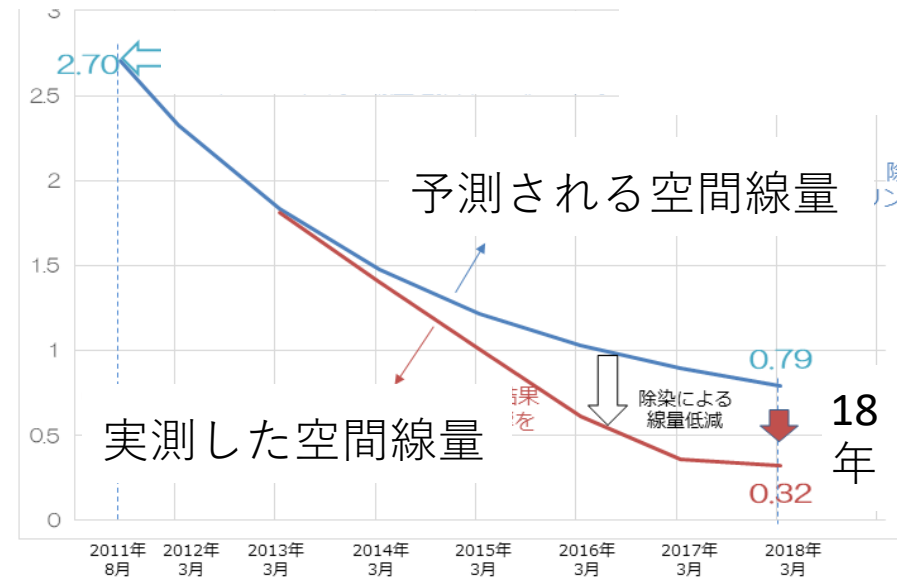
間接汚染

(土壌に降下した放射性物質が経根吸収される)

表土剥取り

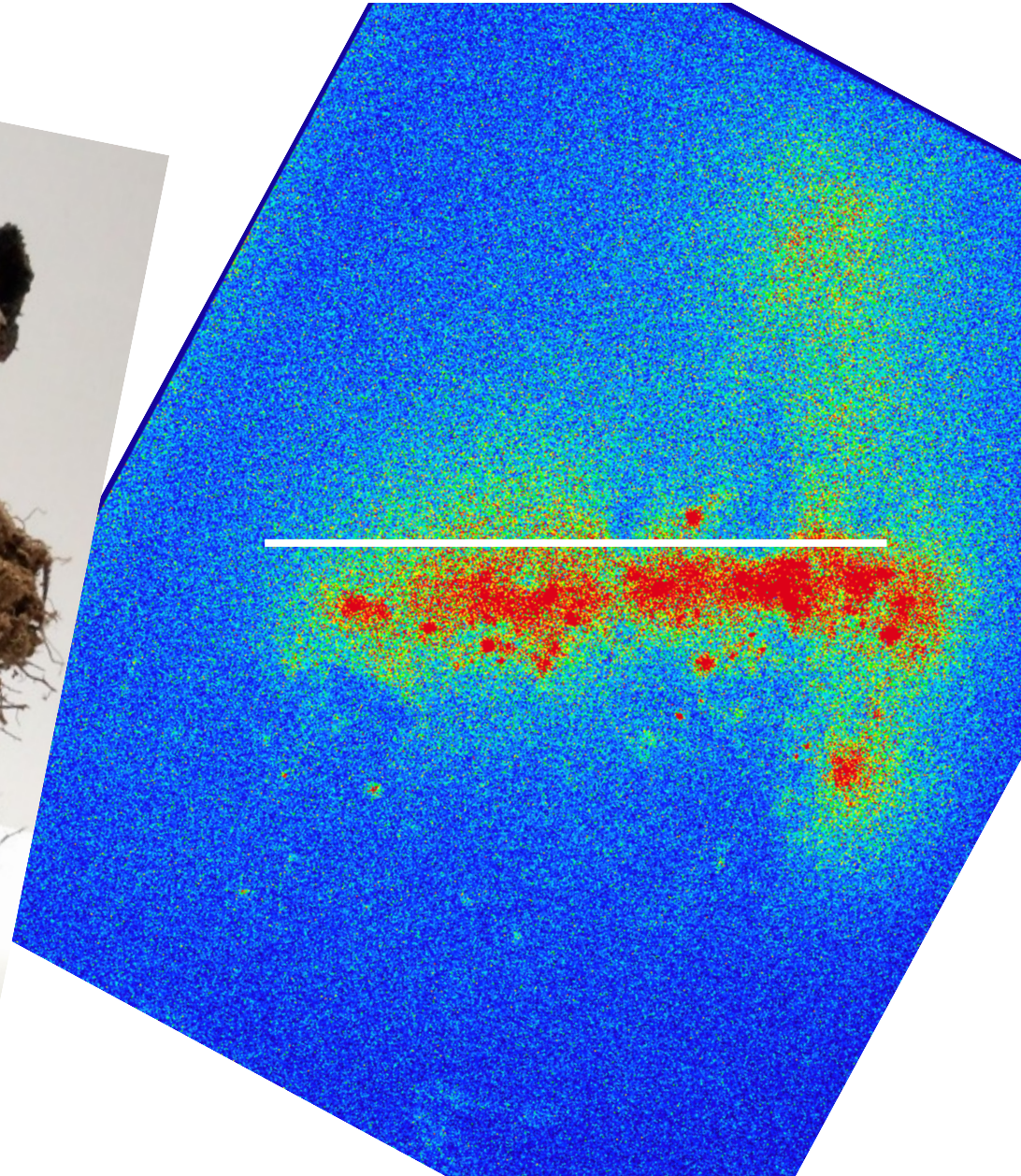
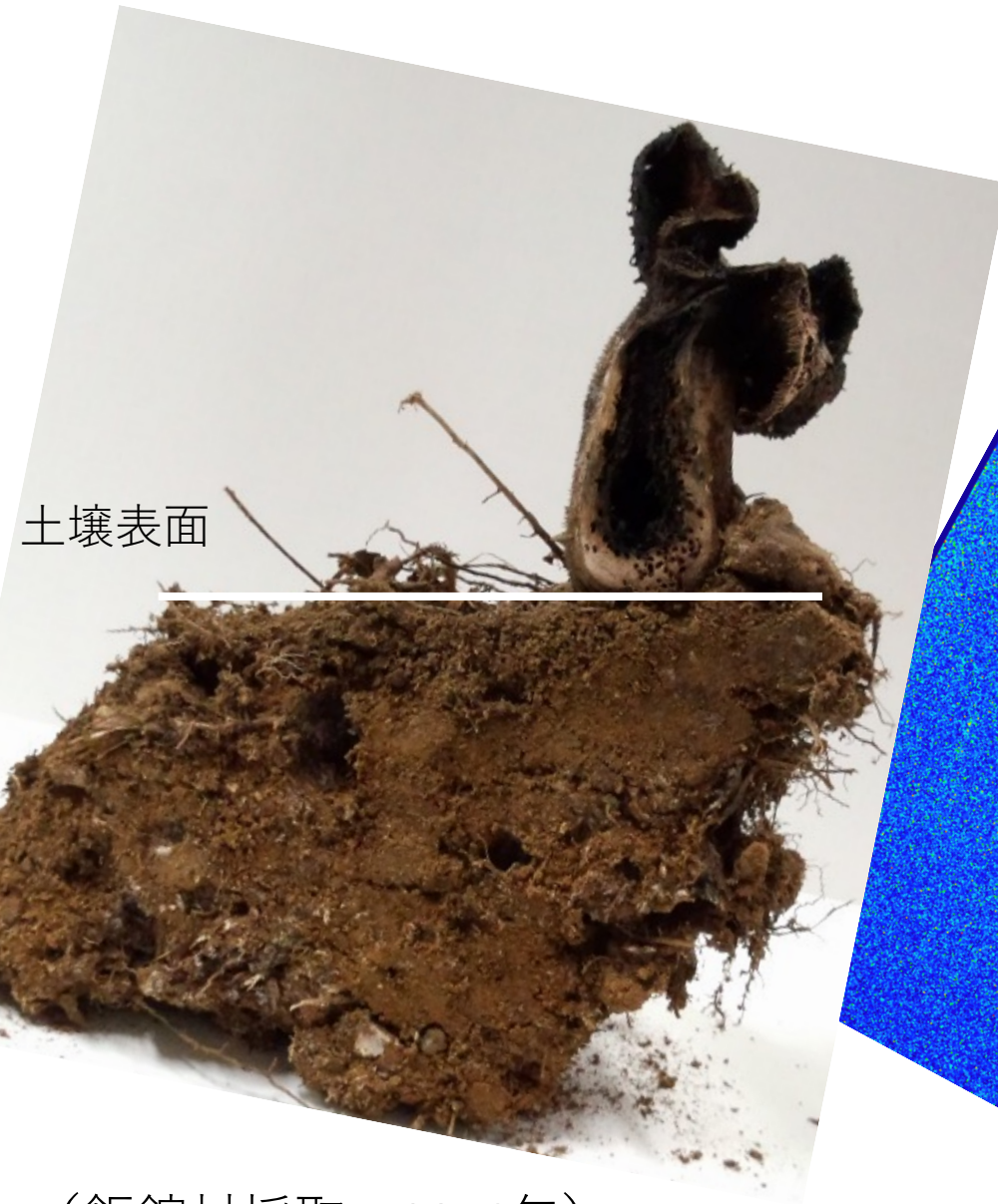


- ✓ 表面（5cm）を除去
- ✓ 除染の効果は高い



環境省 放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料

土壌断面のオートラジオグラフィー



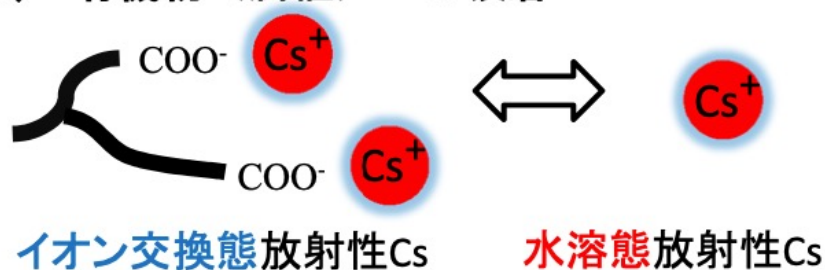
(飯舘村採取、2016年)

土壌中のセシウム形態

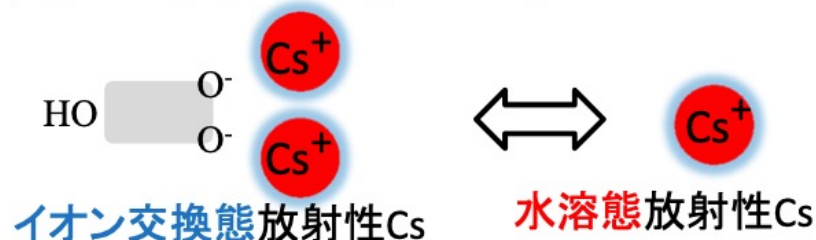


雲母（層状珪酸塩鉱物）

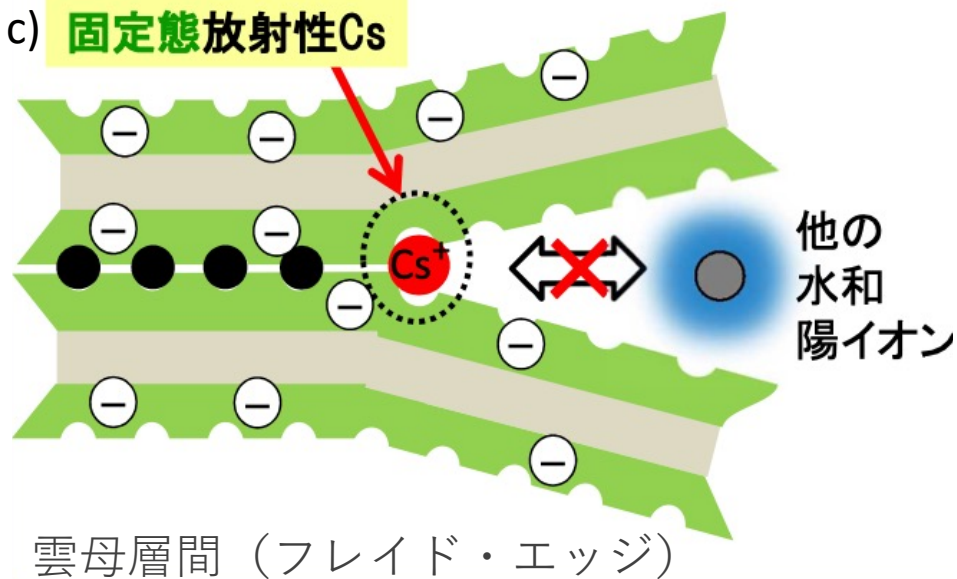
a) 有機物（腐植）への吸着



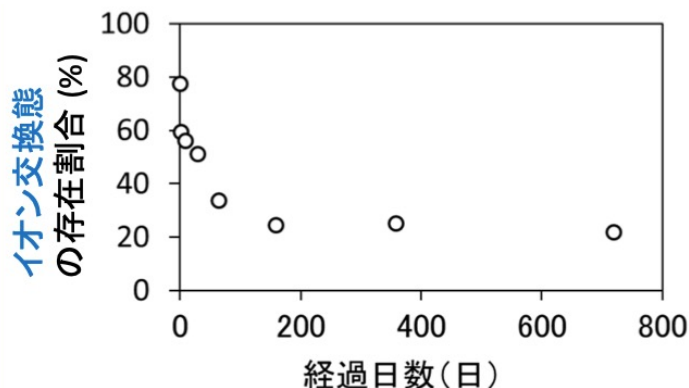
b) 粘土鉱物構造末端への吸着



c) 固定態放射性Cs



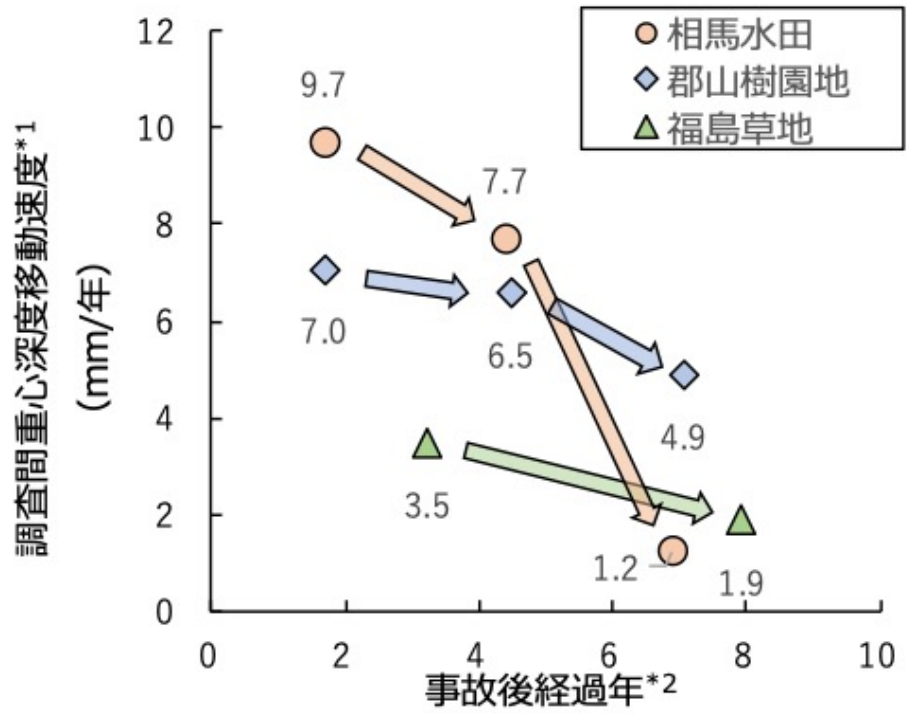
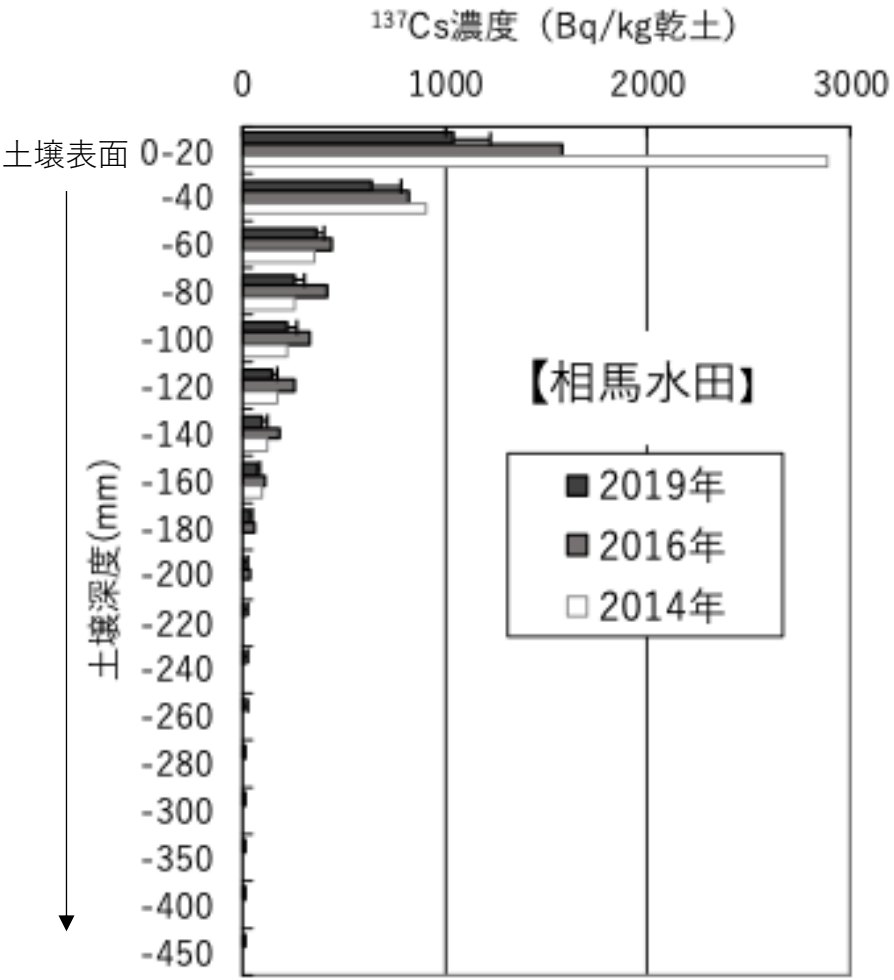
Nakao et al. 2015



エイジング
時間とともに土壌への固定が進む

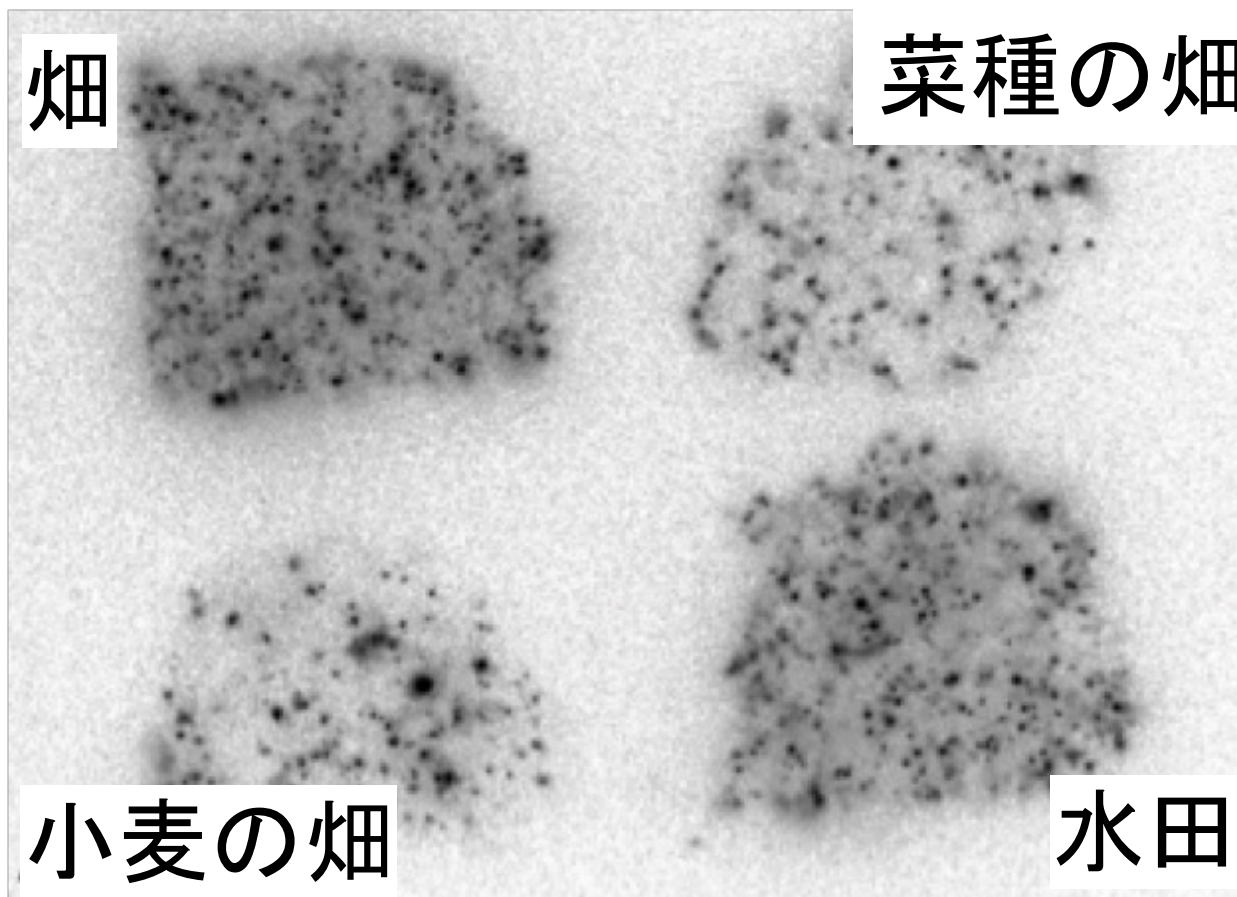
塚田ら 2014

土壤中のセシウム分布



放射性物質による土壤汚染

オートラジオグラフィ

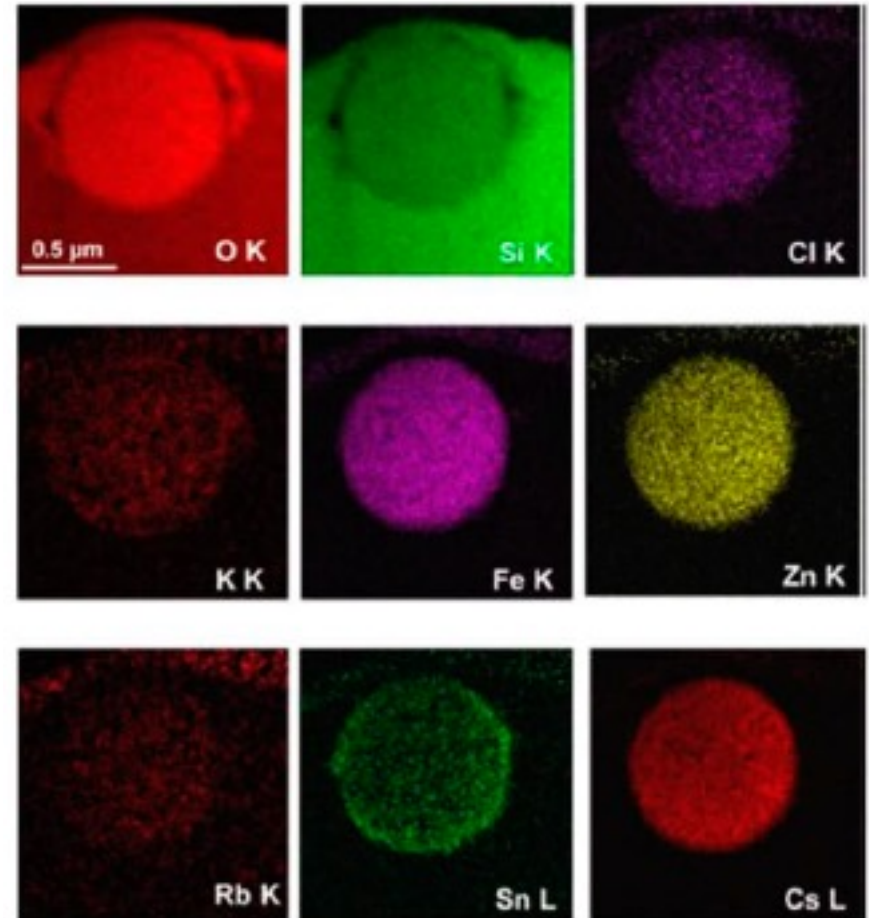
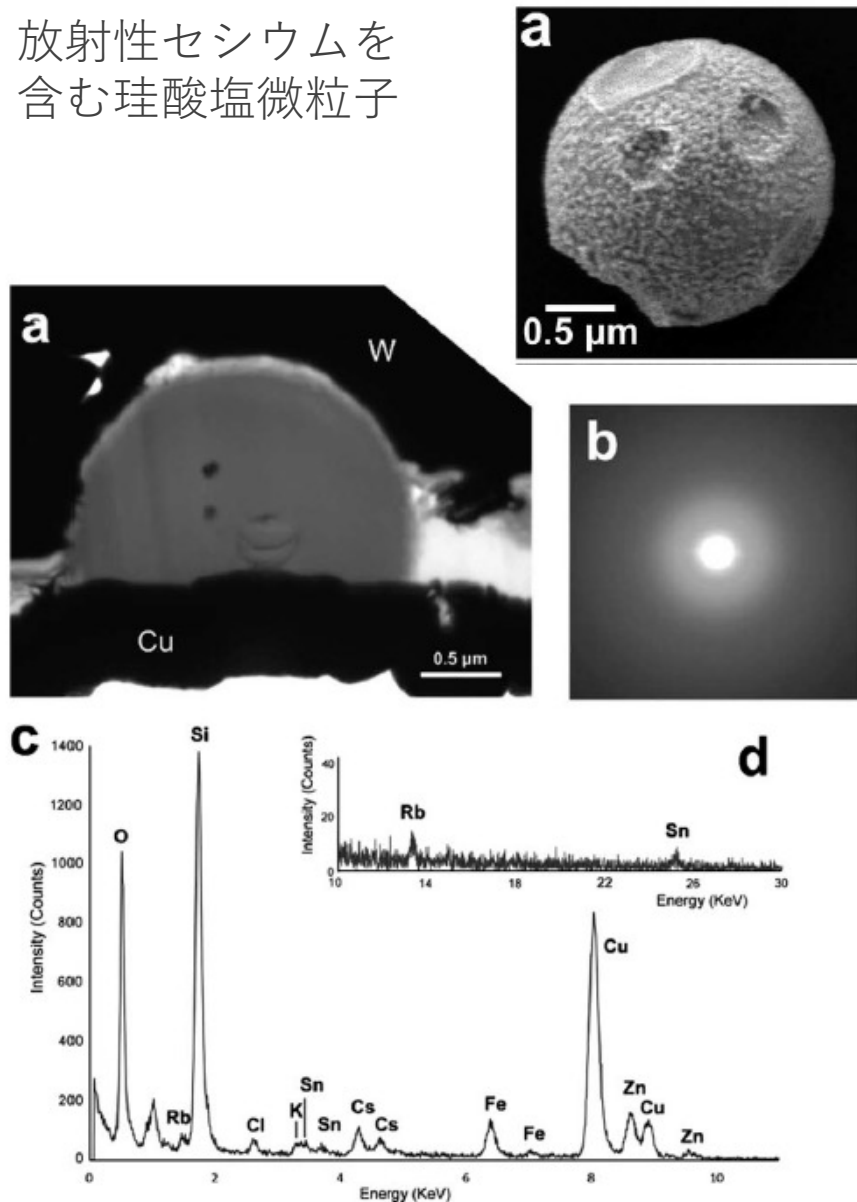


2011年4月（原発事故から約1ヶ月後）

セシウムボール CsMP (radiocesiumbearing microparticle)

(Adachi et al. 2013)

放射性セシウムを
含む珪酸塩微粒子



奥村 2021

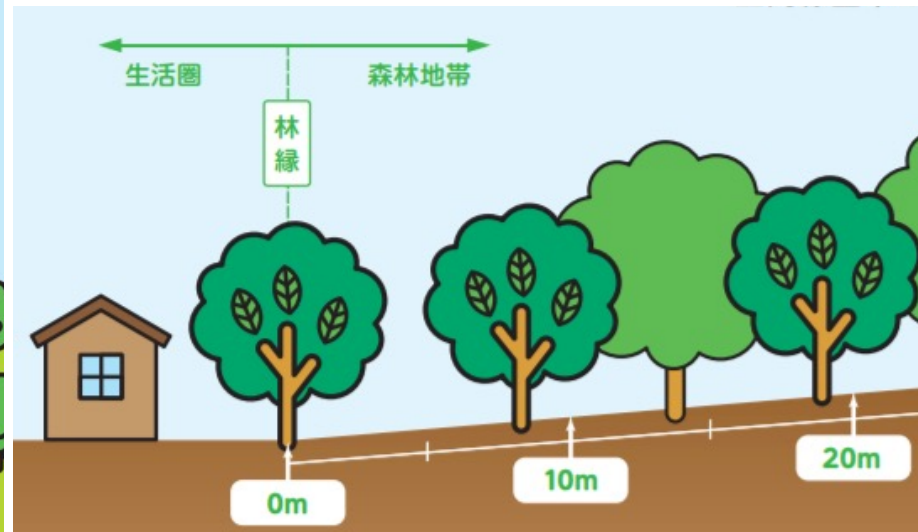
森林の放射性セシウム

家のそばの森林

(エリアA)



山の除染→林縁から20m
森林（面積の70%）は未除染



落ち葉を取りのぞく



落ちた枝を取りのぞく

(林野庁HP)

山からのセシウム流出

Hayashi 2016

Table 1 Migration rate of Cs-137 associated with soil erosion from experimental plots on forested hill slope.

Site	Forest type	Period	Migration rate (%)	Average deposition (kBq/m ²)	Plot size W. × S.L (m)	Slope (degree)	Source
Yamakiya, Fukushima	Deciduous broad-leaved	Jul. 2 – Dec. 1, 2013	0.08	490	9 × 35	31	Yamamoto <i>et al.</i> (2014)
Kawamata, Fukushima	Japanese cedar	Jul.17, 2011 – Nov. 18, 2012	0.07	442	5 × 22.1	27.5	Yoshimura <i>et al.</i> (2015a)
Hippo, Miyagi	Deciduous broad-leaved	May 24 – Oct. 16, 2013	1	110	1.5 × 2	37	Nishikiori <i>et al.</i> (2015)
	Japanese Red Pine		0.16	170		39	
	Japanese cedar		0.08	200		39	
	Japanese cypress		0.87	160		39	
Sakashita, Fukushima	Deciduous broad-leaved	Apr. 7 – Oct. 20, 2014	0.06	487	6 × 11	11 – 15	Niizato <i>et al.</i> (2016)
Ogi, Fukushima	Deciduous broad-leaved	Apr. 7 – Oct. 20, 2014	0.12	487	6 × 10	27 – 30	
	Japanese cedar	Apr. 11 – Oct. 8, 2014	0.04	497	4 × 11	28 – 31	



森林からの流出 約0.1%/年

福島県での農産物安全性取組み

低減対策



生産



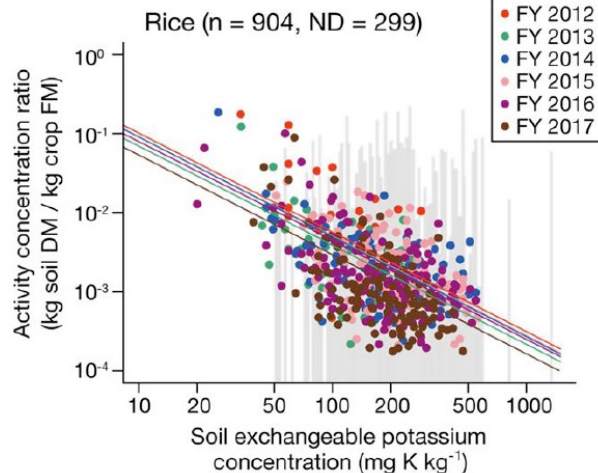
モニタリング



公表

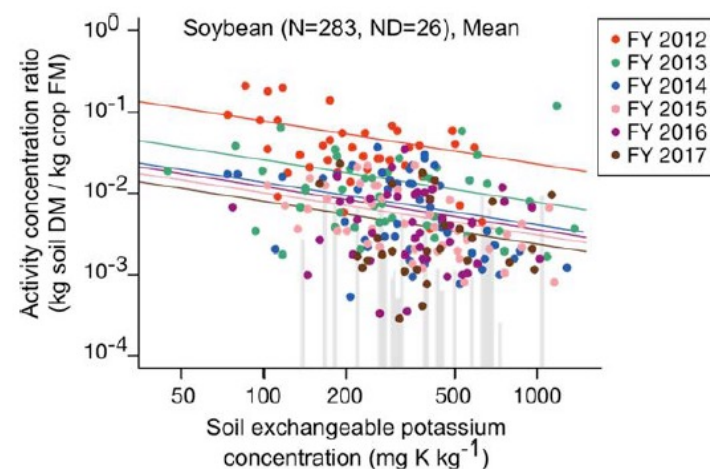


作物のCs濃度 (Bq/kg) / 土壌のCs濃度 (Bq/kg)



土壌中交換性カリウム

IAEA-TECDOC-1927,2020



土壌中交換性カリウム

土壌中のカリウム濃度が高いと土壌から作物へのCs移行が低減

カリ上乘せ施用

通常のカリ施肥に加え、播種時の交換性カリ濃度が25mg/100gを目標にカリ上乘せ施用を実施すること。

(1) 土壌分析に基づくカリ施用（放射性物質対策の基本的な考え方）

ア 水田土壌における交換性カリ（置換性カリと同義）の改善目標は、通常は15～20mg／乾土100gですが、放射性セシウム吸収抑制対策のためには、25mg／乾土100g以上を目標に土壌改良します（「がんばろう ふくしま！」農業技術情報第24号参照）。

http://www.pref.fukushima.jp/keieishien/kenkyuukaihatu/gijyutsufukyu/06ganba_joho/ganba24suitou-kariH240410.pdf

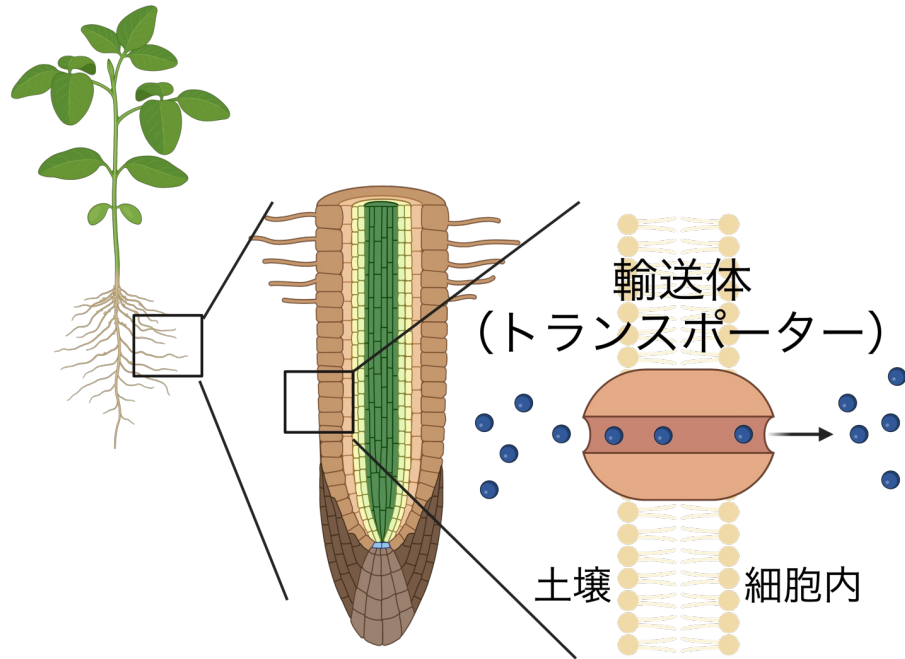
イ 作付前の水田土壌を分析し、①交換性カリ含量が 25mg／乾土100g となるようカリ施肥（【表－4】）した上で、②地域慣行の施肥（【表－5】）を行います。

【表－4】水田土壌における交換性カリ改善目標25mg／乾土100gを確保するためのカリ施肥量

交換性カリの土壌分析値 (mg／乾土100g)	①25mgを確保するために必要な カリ成分量 (成分量 kg／10a ※)	左に相当する 塩化カリ（加60%）施肥量 (現物量 kg／10a)
5	30	50
10	23	38
15	15	25
20	8	13
25	0	0

※作土層を15cm、土の仮比重を1と仮定した場合の試算値。

なぜカリウム施肥が効くか？

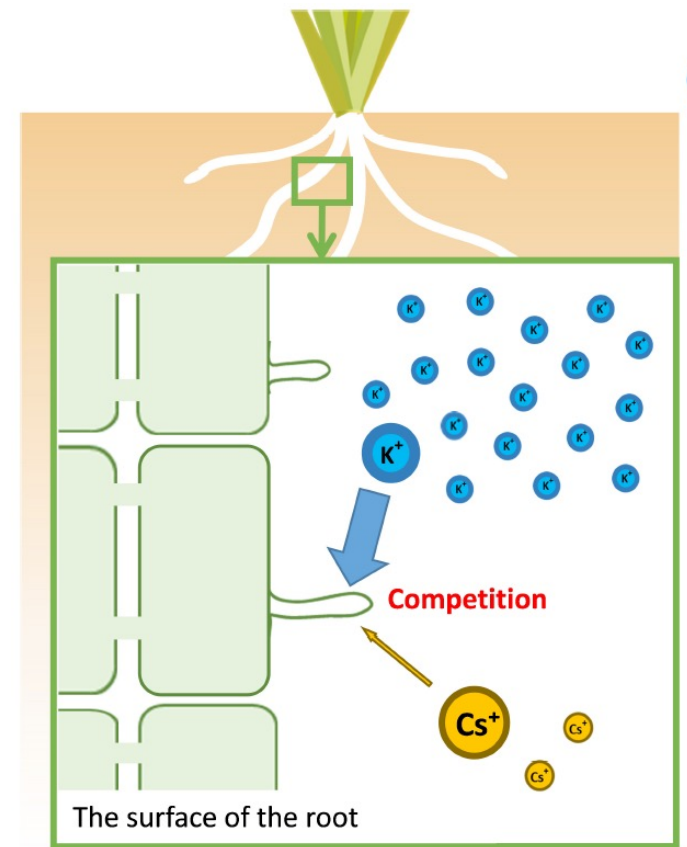


周期表

植物の必須元素

1	2	3	4	5	6
1 H					
2 Li	4 Be				
3 Na	12 Mg				
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg

セシウムとカリウムの競合



Rai 2020

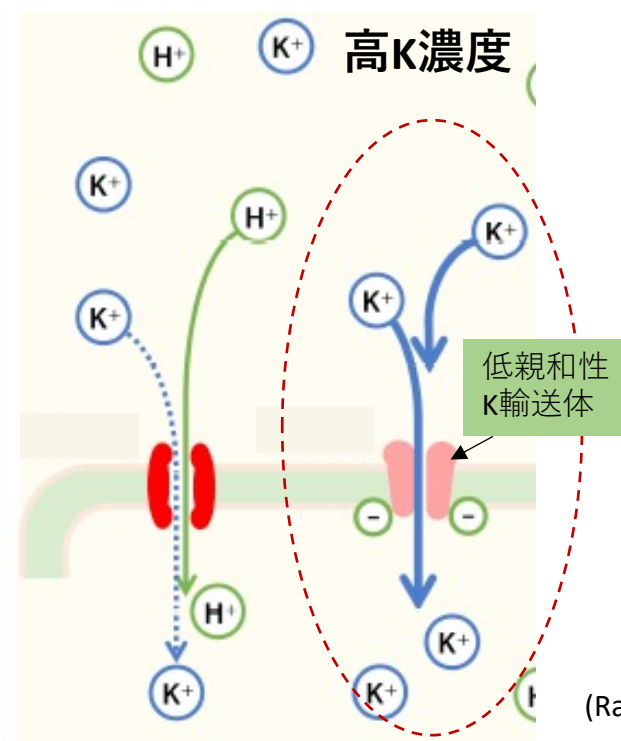
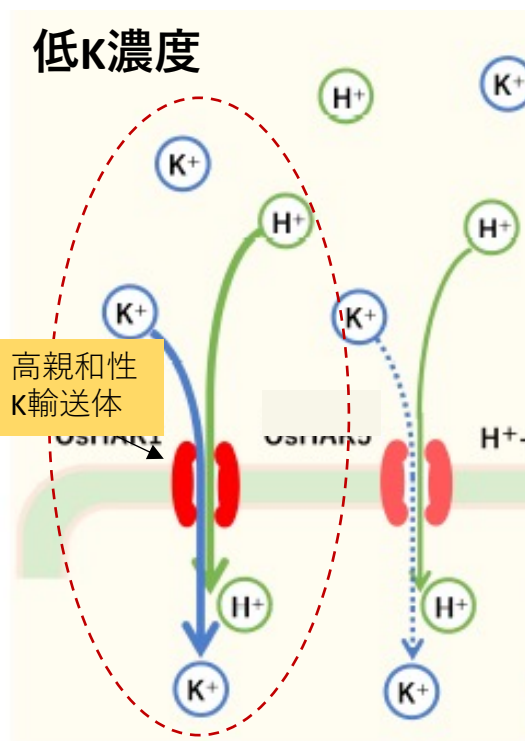
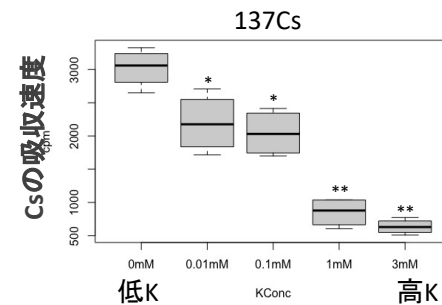
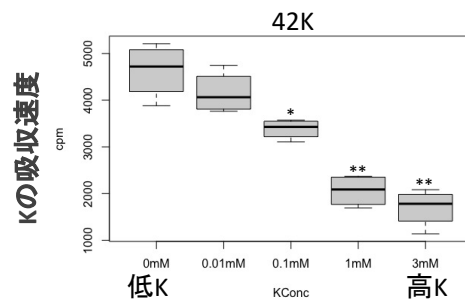
なぜカリウム施肥が効くか？



K濃度 低K ← → 高K

異なるK濃度溶液
で栽培

同K濃度
で吸収試験



(Rai and Kawabata 2020)

K濃度により輸送体が変化

低K濃度の時、Cs吸収が多い

セシウム吸収に関与する遺伝子

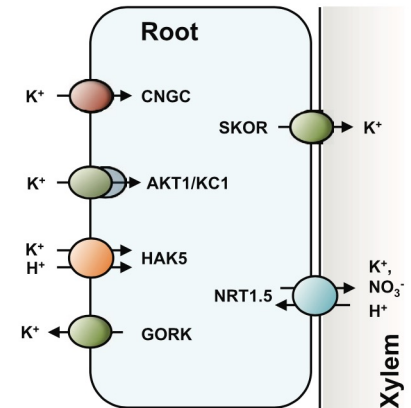
高親和性K輸送体 (White et al. 2000)

HAK : High Affinity K transporter

セシウムを吸収しない植物！？

シロイヌナズナ：AtHAK5 (Qi et al. 2008)

↓
イネ
トマト
(ダイズ)



Ragel et al. 2019

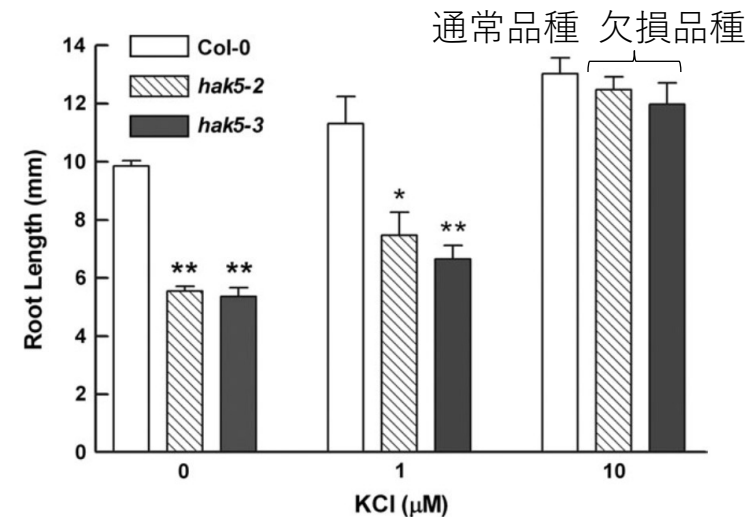


Fig. 2. K⁺-dependent root length of 6-d-old *athak5* knockout and wild-type seedlings as measured in agarose plate assays. Data represent means $\pm$ SD ($n=4$, each replicate was comprised of 18–20 plants). Significant differences are indicated with asterisks (* $P < 0.05$ and ** $P < 0.01$).

Journal of Experimental Botany, Vol. 59, No. 3, pp. 595–607, 2008
doi:10.1093/jxb/ern330 Advance Access publication 16 February, 2008

Journal of
Experimental
Botany
www.jxb.org/journal/jxb

RESEARCH PAPER

The high affinity K⁺ transporter AtHAK5 plays a physiological role *in planta* at very low K⁺ concentrations and provides a caesium uptake pathway in *Arabidopsis*

Zhi Qi¹, Corrina R. Hampton², Ryoung Shin¹, Bronwyn J. Barkla³, Phillip J. White⁴ and Daniel P. Schachtman^{1,*}

セシウムを吸いにくいイネ

突然変異集団（あきたこまち）6000系統

ゲノム編集

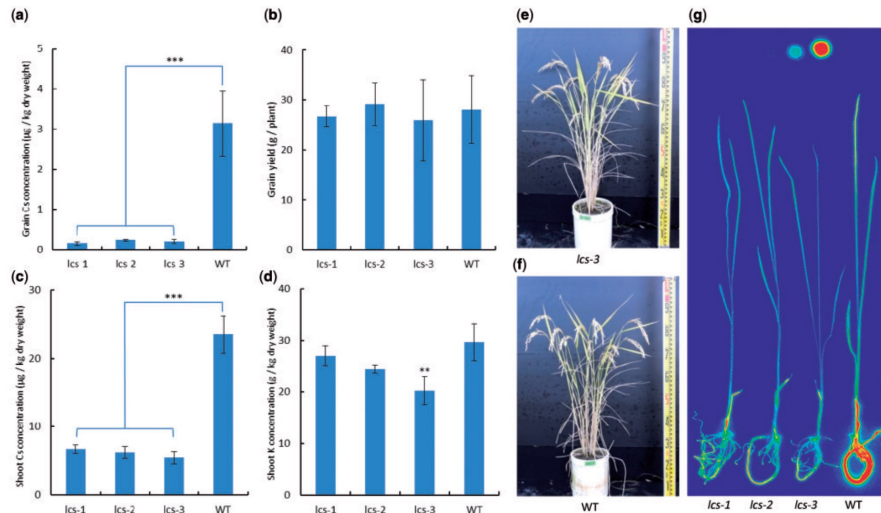


Fig. 1 Phenotype of *lcs* mutants and autoradiography image of ^{137}Cs . (a) Cs concentration in the grain of rice plants grown in 2015. (b) Grain yield as brown rice. (c, d) Cs (c) and K (d) concentrations in shoots of rice plants at seed maturing stage. Data are means $\pm$ SD (a, $n = 5$, b, $n = 10$; c, d, $n = 3$). Asterisks indicate a significant difference (Tukey's test). (e, f) Morphologies of the low Cs uptake mutant *lcs-3* (e) and the wild type (f). (g) Image of radiocesium (^{137}Cs) uptake by seedlings at 18 h after transplantation in 0.5 K^+ hydroponic solution containing 10 p.p.b. Cs and $100\text{ kBq l}^{-1}\text{ }^{137}\text{Cs}$.

Cesium Uptake by Rice Roots Largely Depends Upon a Single Gene, *HAK1*, Which Encodes a Potassium Transporter

Hiroki Rai^{1,*}, Saki Yokoyama¹, Namiko Satoh-Nagasawa¹, Jun Furukawa^{2,3}, Takiko Nomi¹, Yasuka Ito¹, Shigeto Fujimura⁴, Hidekazu Takahashi¹, Ryuichiro Suzuki¹, ELMannai Yousra¹, Akitoshi Goto⁵, Shinichi Fuji¹, Shin-ichi Nakamura⁶, Takuro Shinano³, Nobuhiro Nagasawa⁷, Hiroetsu Wabiko¹ and Hiroyuki Hattori¹

Plant Cell Physiol. 58(9): 1486–1493 (2017)

Production of low- Cs^+ rice plants by inactivation of the K^+ transporter *OsHAK1* with the CRISPR-Cas system

Manuel Nieves-Cordones^{1,*}, Sonia Mohamed^{1,2}, Keitaro Tanoi^{3,4}, Natsuko I. Kobayashi³, Keiko Takagi³, Aurore Vernet², Emmanuel Guiderdoni², Christophe Périn², Hervé Sentenac¹ and Anne-Aliénor Véry^{1,*}

The Plant Journal (2017) **92**, 43–56

イネのCs吸収関与遺伝子：OsHAK1

福島県での農産物安全性取組み

低減対策



生産



モニタリング



公表



抽出検査

米以外約500 品目



約 220,000 サンプル/12年
(2011~2022)



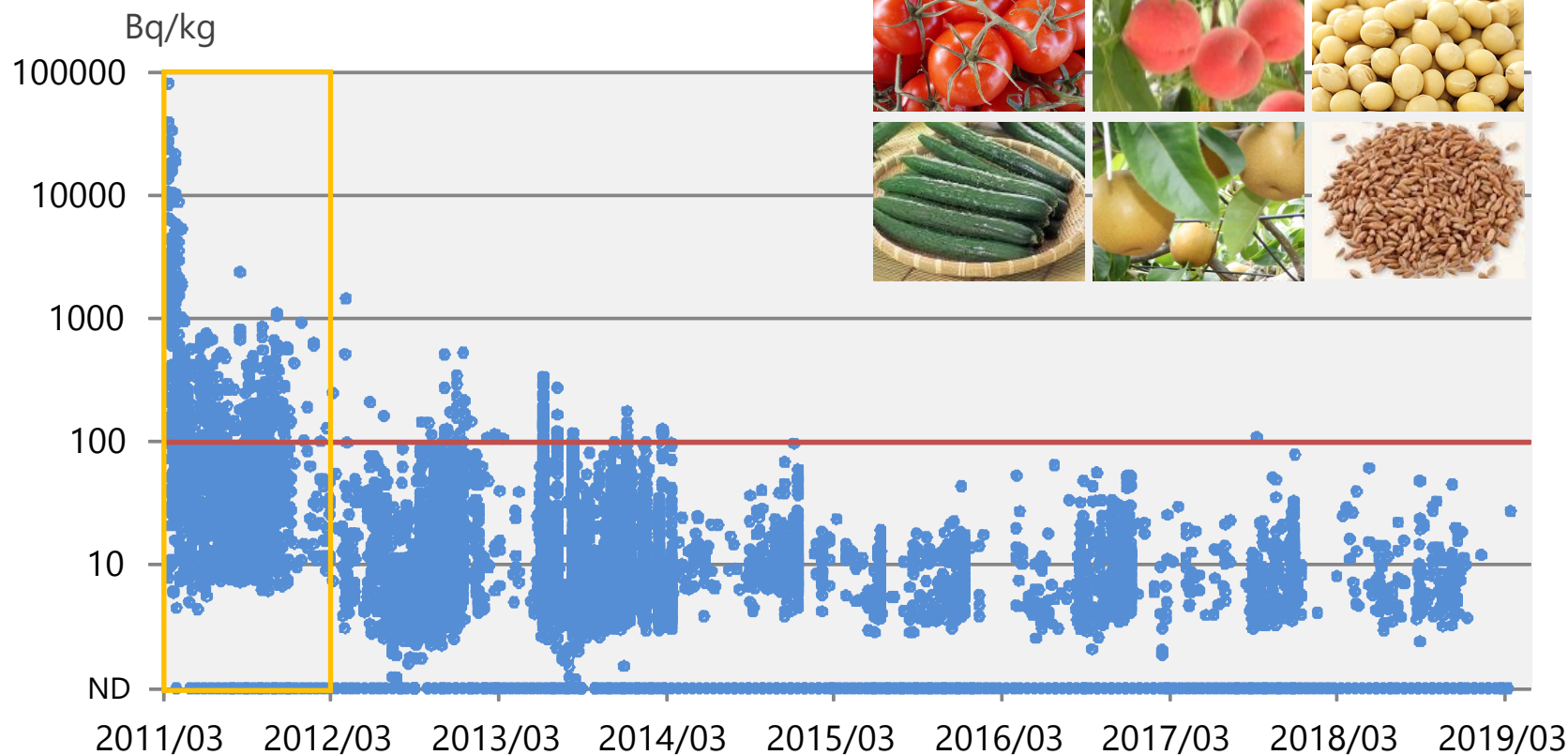
全量全袋
検査

米



約10,000,000 袋 / 年
(2011~2019)

農産物（米以外）



福島県HPより作成

100Bq/kg超過

- ・ 穀類(米以外) : 2011年**7.2%**、
- ・ 野菜 : 2011年**4.7%**、
- ・ 果実 : 2011年**11.2%**、

2015年以降なし

2013年以降なし

2013年以降殆どなし(2017年1点)

米の検査結果

100Bq/kg超過

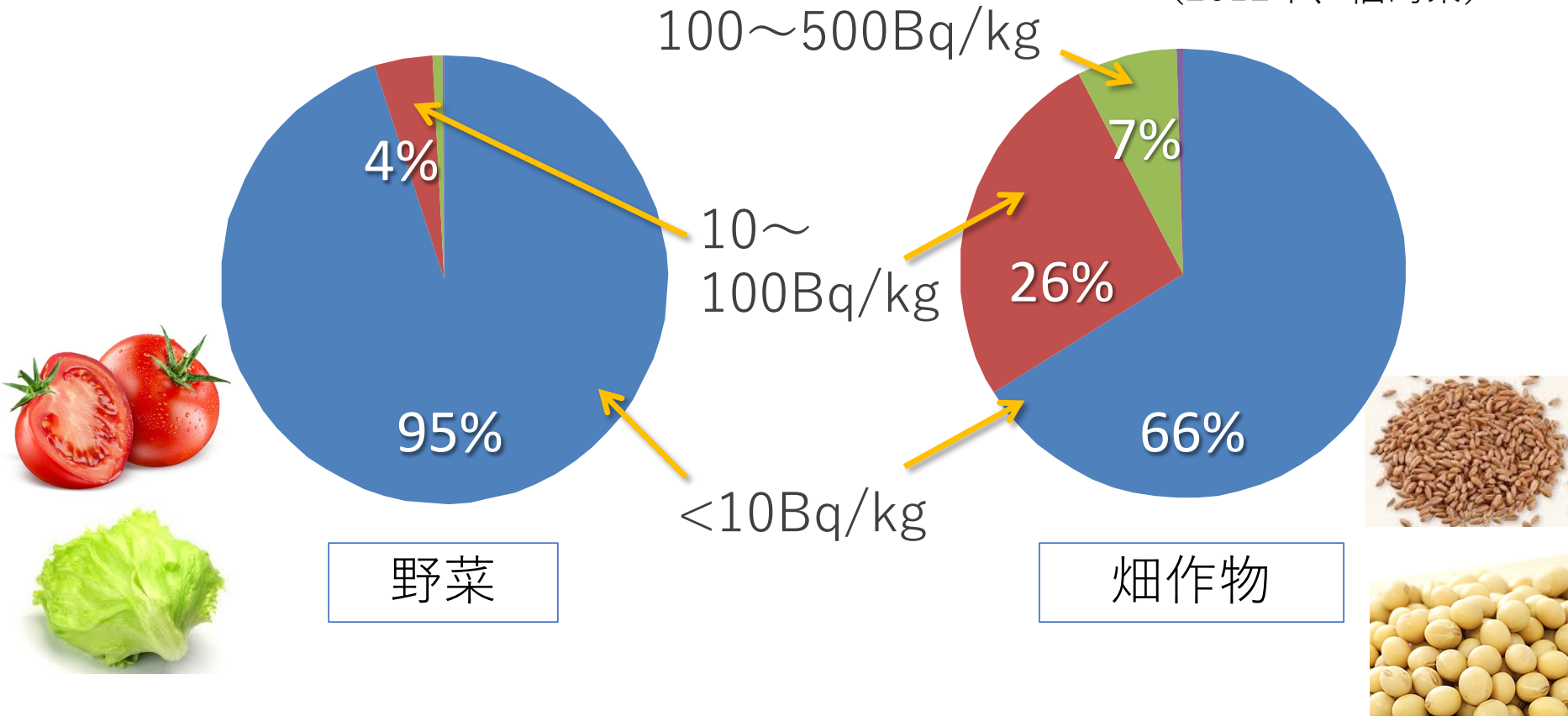
2012年度	10,346,000袋中	<u>71</u> 袋
2013年度	11,006,000袋中	<u>28</u> 袋
2014年度	11,014,000袋中	<u>2</u> 袋
2015年度	10,496,000袋中	<u>0</u> 袋
2016年度	10,098,204袋中	<u>0</u> 袋
2017年度	9,976,511袋中	<u>0</u> 袋
2018年度	9,202,080袋中	<u>0</u> 袋
2019年度	9,491,780袋中	<u>0</u> 袋



2020年度から旧避難指示区域以外は**抽出**検査

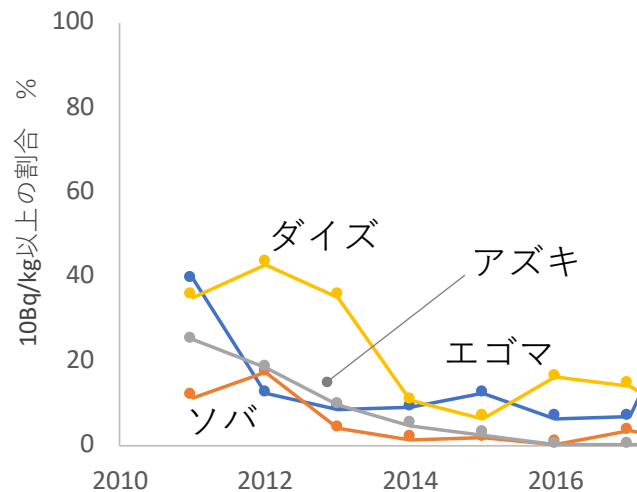
野菜 vs 穀類

(2012年、福島県)

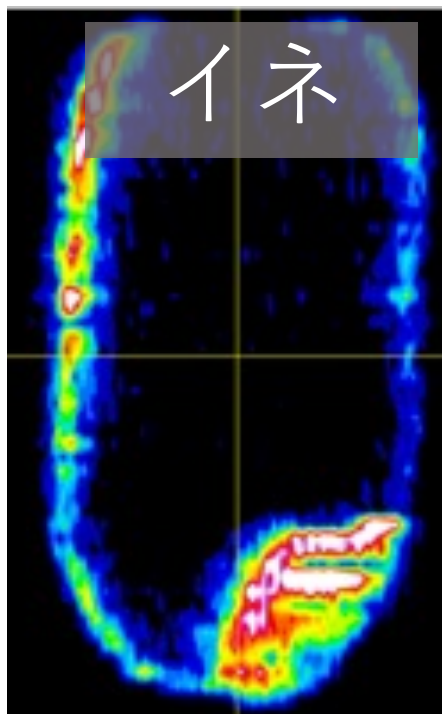
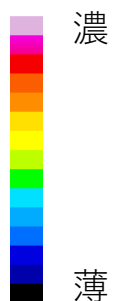
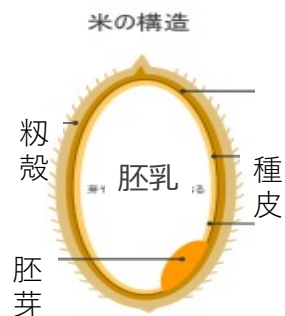


- ✓ 畑作物 > 野菜
- ✓ 測定値は単位重量(kg) あたりのBqで表示 (Bq/kg)
- ✓ 水分含量の違い：野菜水分 90 %以上、穀類 10 %程度

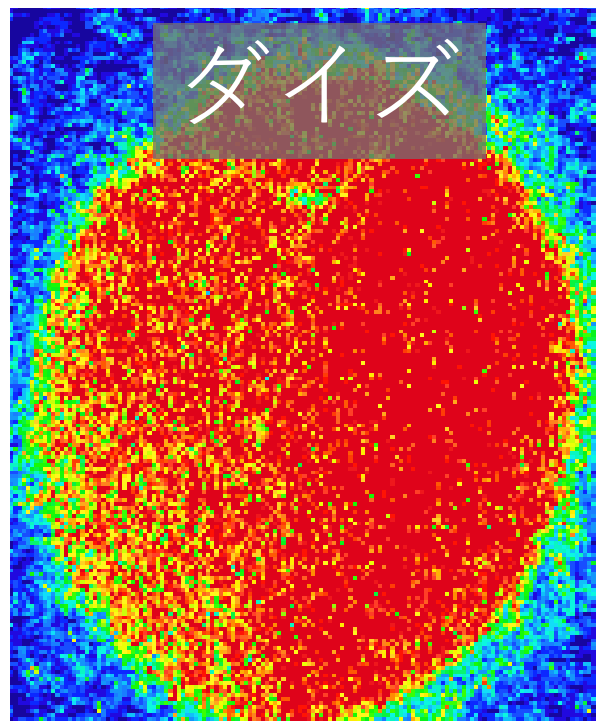
イネ vs ダイズ



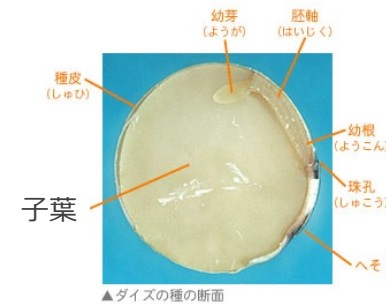
ダイズ：高い傾向



(広瀬博士撮影)



(Nihei et al. 2018)



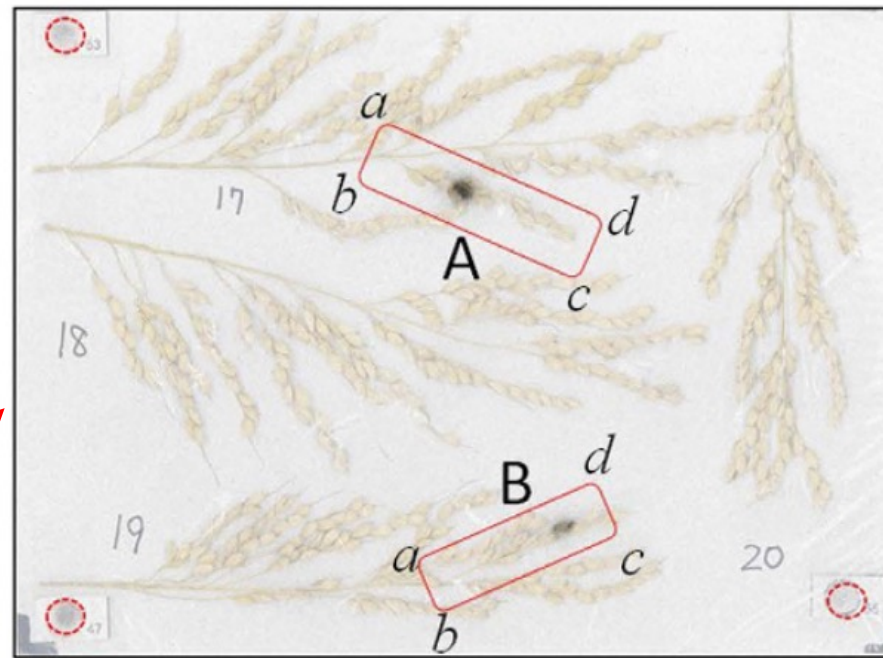
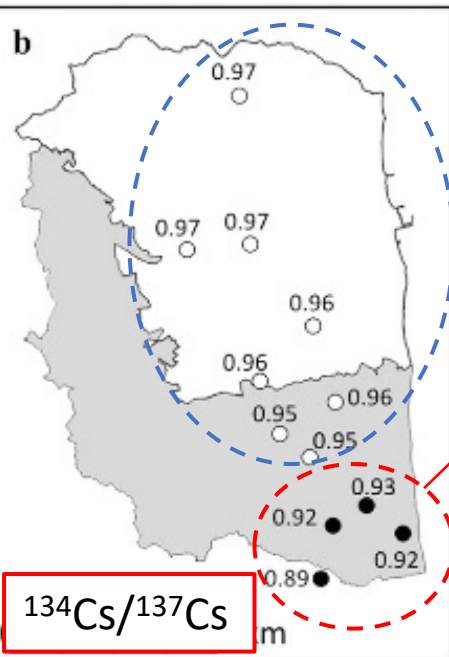
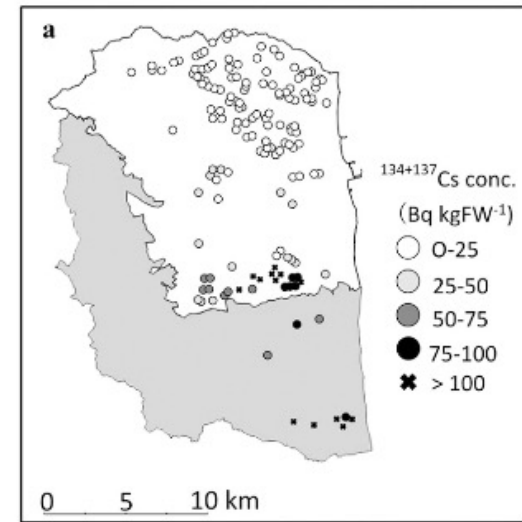
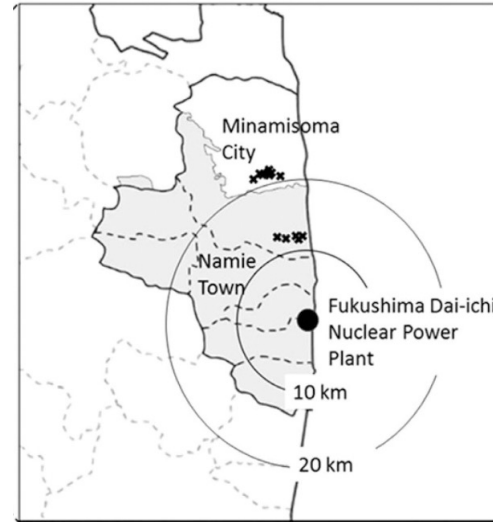
ダイズは無胚乳種子

2013年 100Bq/kg超米

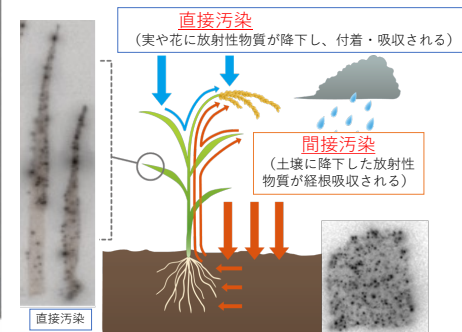
Matsunami et al. 2016

100Bq/kg超過

2012年度	10,346,000袋中	<u>71</u> 袋
2013年度	11,006,000袋中	<u>28</u> 袋
2014年度	11,014,000袋中	<u>2</u> 袋
2015年度	10,496,000袋中	<u>0</u> 袋
2016年度	10,098,204袋中	<u>0</u> 袋
2017年度	9,976,511袋中	<u>0</u> 袋
2018年度	9,202,080袋中	<u>0</u> 袋
2019年度	9,491,780袋中	<u>0</u> 袋

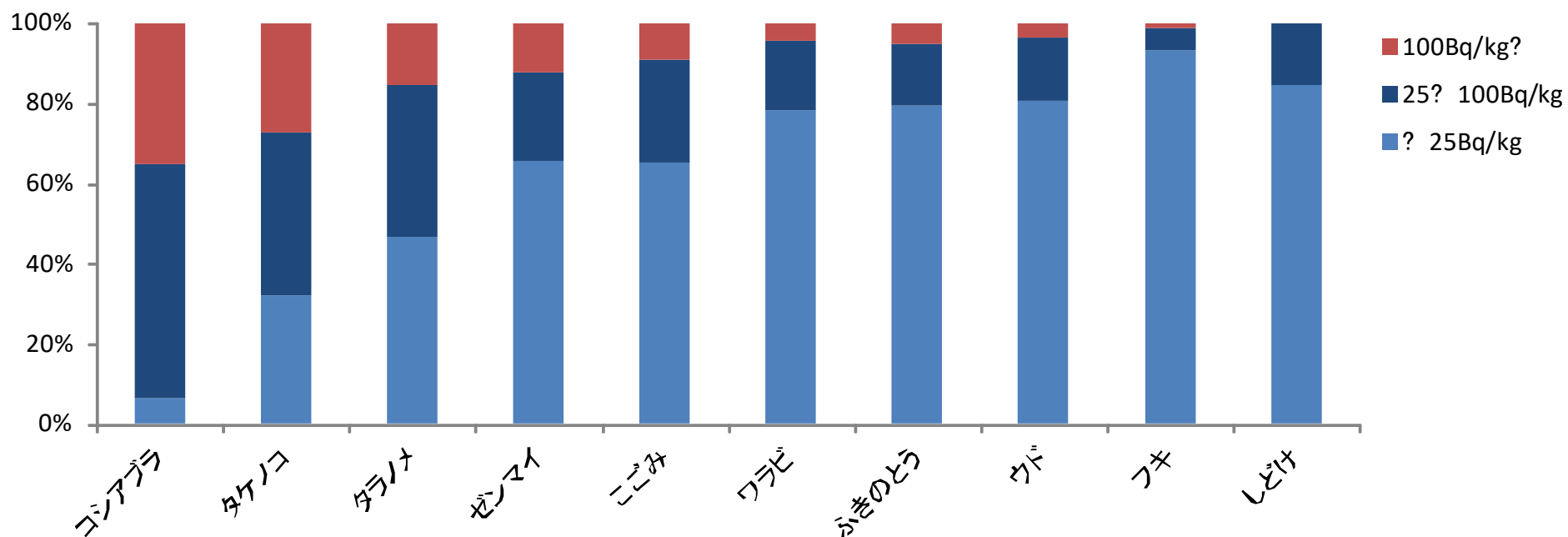


✓ $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比が相異
 ✓ 一部の粳が高い
 → イネのCs汚染は、
 経根ではなく、浮遊
 物が付着した（直接
 汚染）可能性



山菜

“ふくしま新発売”HPより作成 2011～2015年平均



今後の課題

福島県での農産物安全性取組み

低減対策



生産



モニタリング



公表



抽出
検査

米以外約500 品目



全量
全袋
検査

米



約 200,000 サンプル (2011~2020)

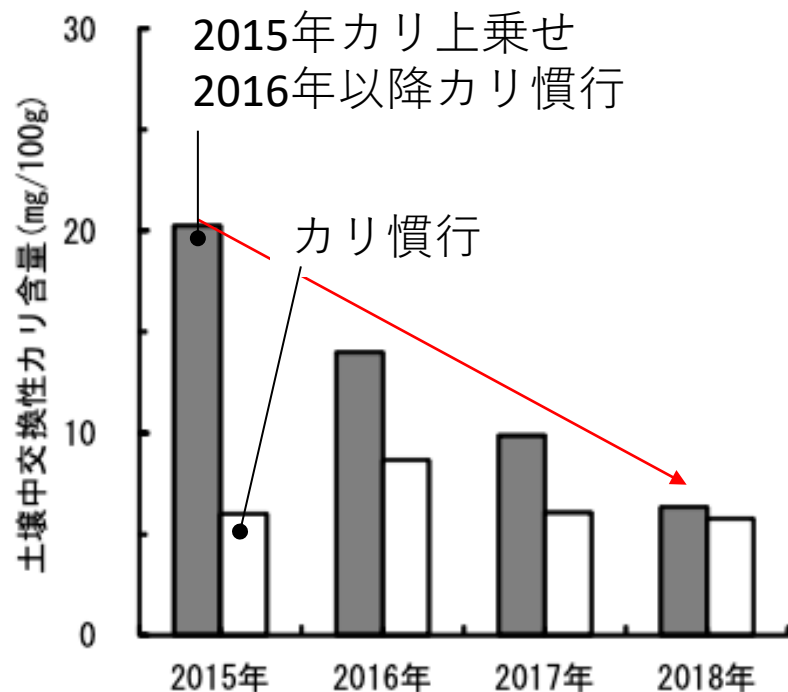


約10,000,000 袋 / 年
(2012-2019)

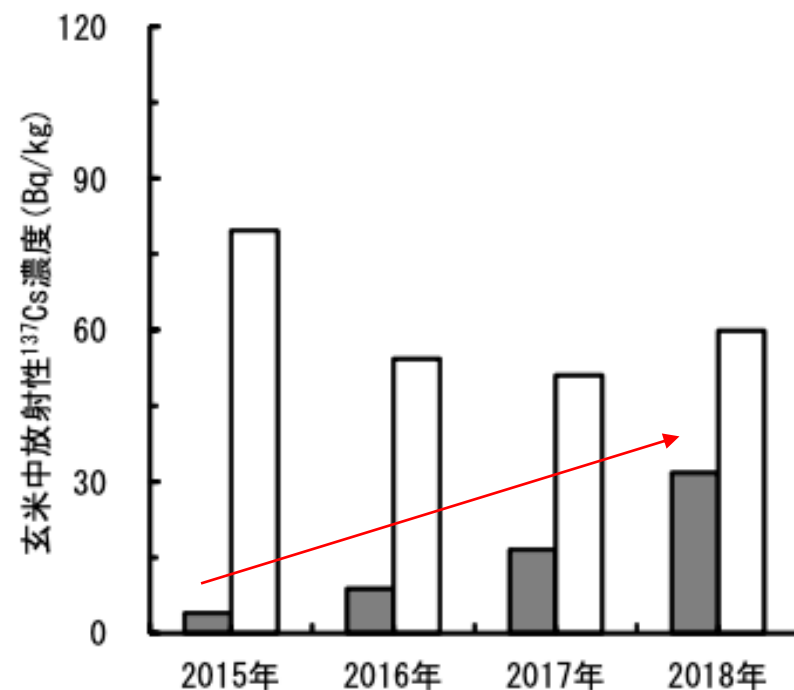
今後の課題 カリ卒*

*市町村が水稻の放射性セシウム吸収抑制対策に係る「福島県営農再開支援事業」の要件から外れ、カリ上乗せ施用を行わなくなること。カリ施用が不要になったことを意味することではない。

(福島県 農作物のセシウム対策に係る除染及び技術対策の指針第3版追補)



カリ卒後の土壤中交換性カリの推移



カリ卒後の玄米中放射性セシウムの推移

今後の課題 牧草の吸収低減対策



高K含量の牧草は乳牛の低Mg血症（グラステタニー）を誘引



牧草栽培で低減対策としてのK施肥が実施しにくい

今後の課題 果樹

果実への汚染経路

経根：放射性Csが土壌に降下→根から吸収し果実へ移動

転流：放射性Csが樹幹に付着→樹体に取り込まれ果実へ移動



これまで

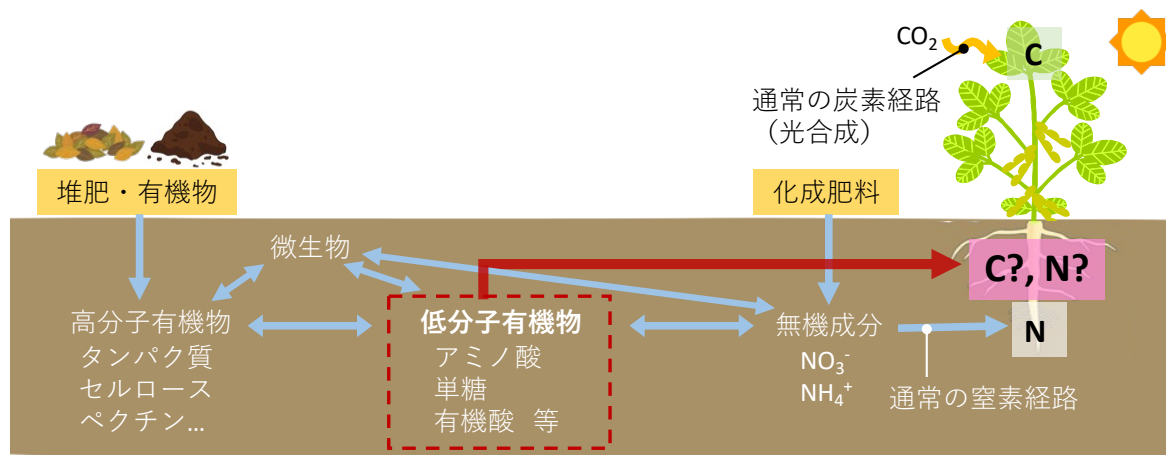
経根 << 転流

今後の懸念

経根 > 転流

今後の課題 作土層の回復

- ✓ 放射能汚染により福島県浜通りでは除染として**表土剥取り**を実施
 - ✓ 農家が作りあげてきた**貴重な土壌が一瞬で消失**
- 有機物投入、微生物活用**による作土層の回復（土づくり）が急務



まとめ

1. 表土剥ぎ

土壌中のCs挙動、CsMP、森林

2. カリウム施肥

Cs吸収メカニズム、他品目への展開

3. モニタリング検査

品目別の特徴、個別対応

4. 今後の課題

カリ卒、牧草、果樹、有機物、



ふくしまから
はじめよう。

Future From Fukushima.

ご清聴ありがとうございました