

原子力環境影響評価論 II

7月13日1、2時限

自己紹介

東京育ち、北海道で生活、福島初心者

1981年 北大入学

1990年 農学部作物栄養学研究室助手

2002-2008年 創成科学共同研究機構兼任

2008年 農研機構・北海道農業研究センターに転職

2013年 農研機構・東北農業研究センター福島研究拠点 農業放射線研究センターに異動

2019年 北海道大学大学院農学研究院に転職

福島との関わり

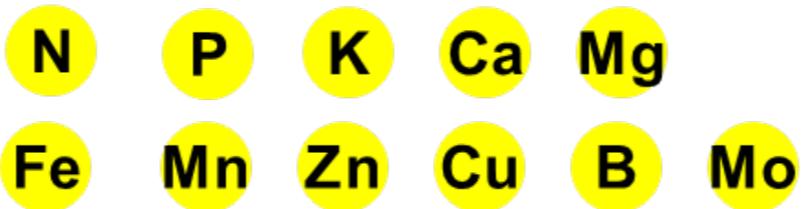
震災前 車で二回通り過ぎただけ

震災後 3月20日に植物科学者に声かけ。5月連休初来福、2011年は13回、2012年は12回訪問。2013年単身赴任、2014年家族+1で移住

対象元素

必須元素 (11)

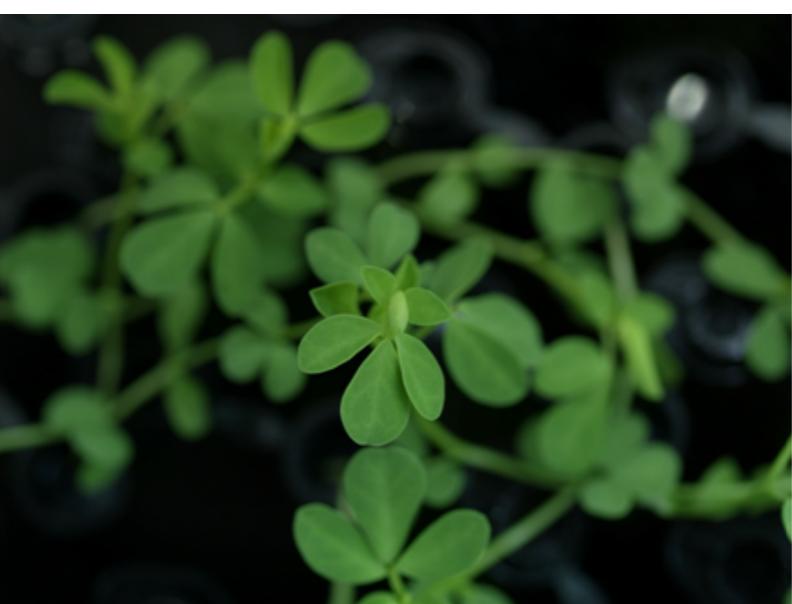
- * 多量元素:
- * 微量元素:



非必須元素 (10)

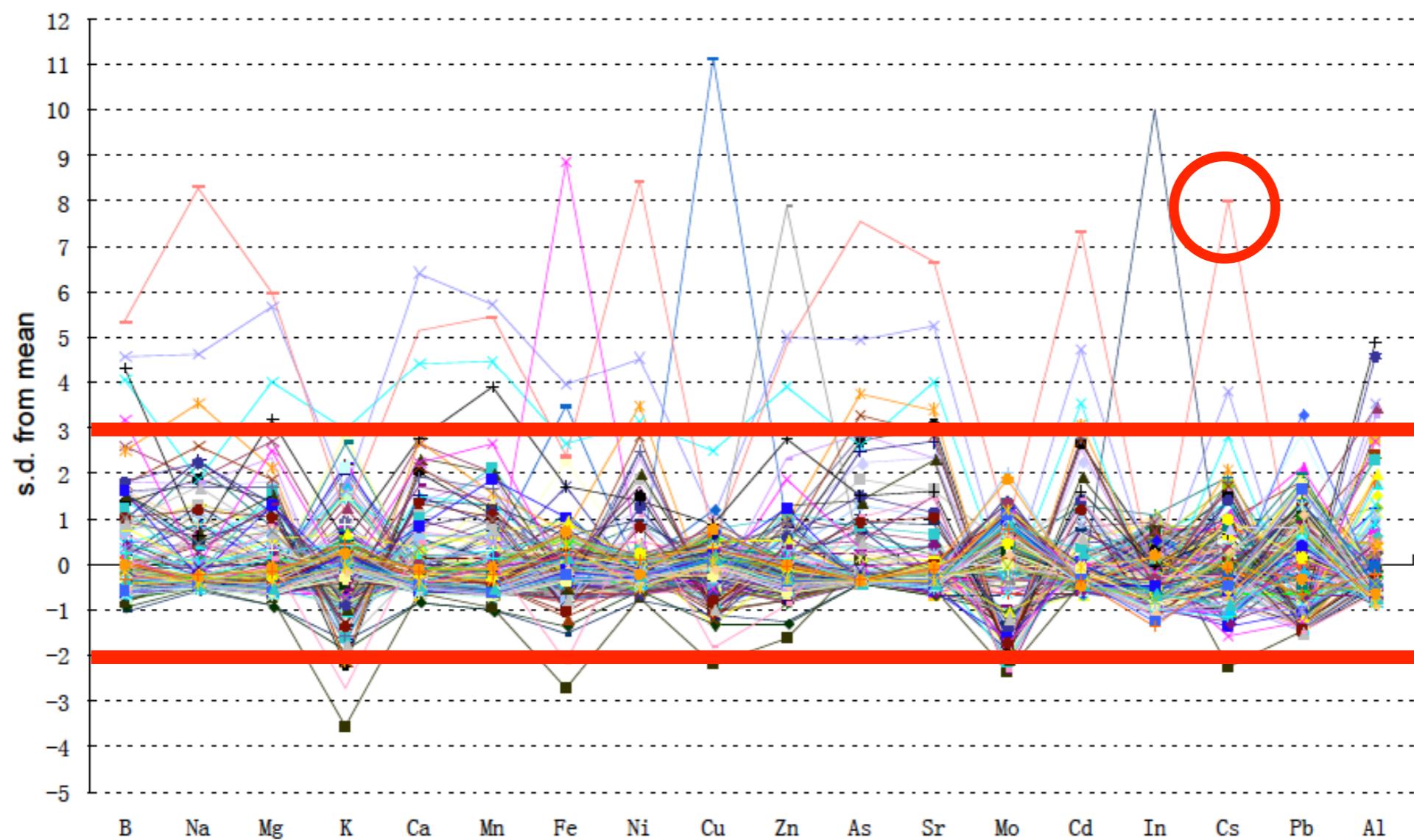
- * 農業における問題元素:
- * 環境における問題元素:

- * *Lotus japonicus* (Regel) Larsen, ecotype MG-20 (ミヤコグサ)



養分集積に関する変異体解析例

Figure 1, Mutant identification chart of 200 mutants from MG-20



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
B																															
Mo																															
Na																															
K																															
Cs																															
Mg																															
Ni																															
Ca																															
Mn																															
Sr																															
Fe																															
Cu																															
Zn																															
Cd																															
Pb																															

第三回日中植物栄養ワークショップは2011年3月27-29日に(倉敷)

17:25 - 17:40	Ji Xing XIA (Okayama University) A gene encoding a cysteine-rich peptide is involved in rice Al tolerance
17:40-18:05	Jian Feng MA (Okayama University) Aluminium transporters in rice
18:05-18:10	Concluding remark
18:20-	Workshop dinner at Ivy square hotel

March 29	Discussion (震災復興支援について)
----------	-------------------------

頑張れ 日本	頑張れ 東北
--------	--------

必須元素

有用元素

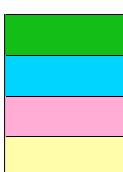
1	H	2																		18	
3	Li	Be																		2	
11	Na	Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	B	C	N	O	F	Ne		
19	K	Ca	21	Sc	22	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	31	Al	Si	P	S	Cl	Ar
37	Rb	Sr	39	Y	40	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	49	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	Cs	Ba	57	La	58-71	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	81	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	Fr	Ra	89	Ac	90-103	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	113	Uuq	115	Uuh	117		
						72	74	74	75	76	77	78	79	80	82	83	84	85			
						104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117		

Lanthanoide (58-71)

Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71

Actinoide (90-103)

Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103



Essential mineral elements

Essential non mineral elements

Beneficial

Well known toxic elements

2011年3月の事故の振り返り

少し振り返り

- ・東日本大震災一津波による 東電福島第一原発被害
(3.11)----- (ベント)
- ・福島第一原発 1号機爆発 (3.12)
- ・福島第一原発 3号機爆発(3.14)
- ・福島第一原発 2、 4号機爆発(3.15)
- ・厚生労働省より食品と水に関する暫定基準値 (3.17)
- ・水、牛乳、ほうれん草で暫定基準値超えの報告(3.17-3.19)
- ・汚染地域からの食品の出荷停止要請(3.21)

少し振り返り

緊急時における食品の放射能測定マニュアル

2002年厚生労働省

核種	簡便法 (NaI(Tl)シンチレーション サーベイメーター)	高精度分析 (ゲルマニウム半導体 測定器)
放射性ヨウ素	検出限界: 100 Bq/kg 牛乳, 1,000 Bq/kg 葉菜類	検出限界: 1 時間測定で約1 Bq/kg
放射性セシウム		検出限界: 1 時間測定で約1 Bq/kg

原発事故では特に ^{131}I による初期被ばくを抑制するこ

とが重要である。

4ヶ月で ^{131}I は [] まで減衰する。その後は中長半減期核種が問題となる。

少し振り返り

震災直後に利用が可能であった主要な機器

サーベイメータ



<http://www.rex-rental.jp/anz/tcs-172b.html>

初期対応

少し振り返り

- ・ゲルマニウム半導体測定器は限られた台数しかない。
 - ・放射性物質分析の が少ない。
 - ・発注しても納期に時間。重量があり設置場所に留意。バックグラウンドが高い場所での高精度分析が困難。
 - ・サーベイメータでは ができない。
- 正確な情報が迅速に得られないことは
- 1) 対策に必要な ができない。
 - 2) が拡散し、不安、不信を増長する。

^{131}I 測定簡便法の充実と ^{134}Cs , ^{137}Cs への拡充

少し振り返り

- ・サーベイメータを利用した場合の機器毎の変換効率が無い
- ・ ^{131}I 以外の簡易測定法が無い
- ・[]が高い(つくば市において室外で $0.2\mu\text{Sv}/\text{h}$ 、 室内で $0.1\mu\text{Sv}/\text{h}$).
- ・暫定基準値への対応

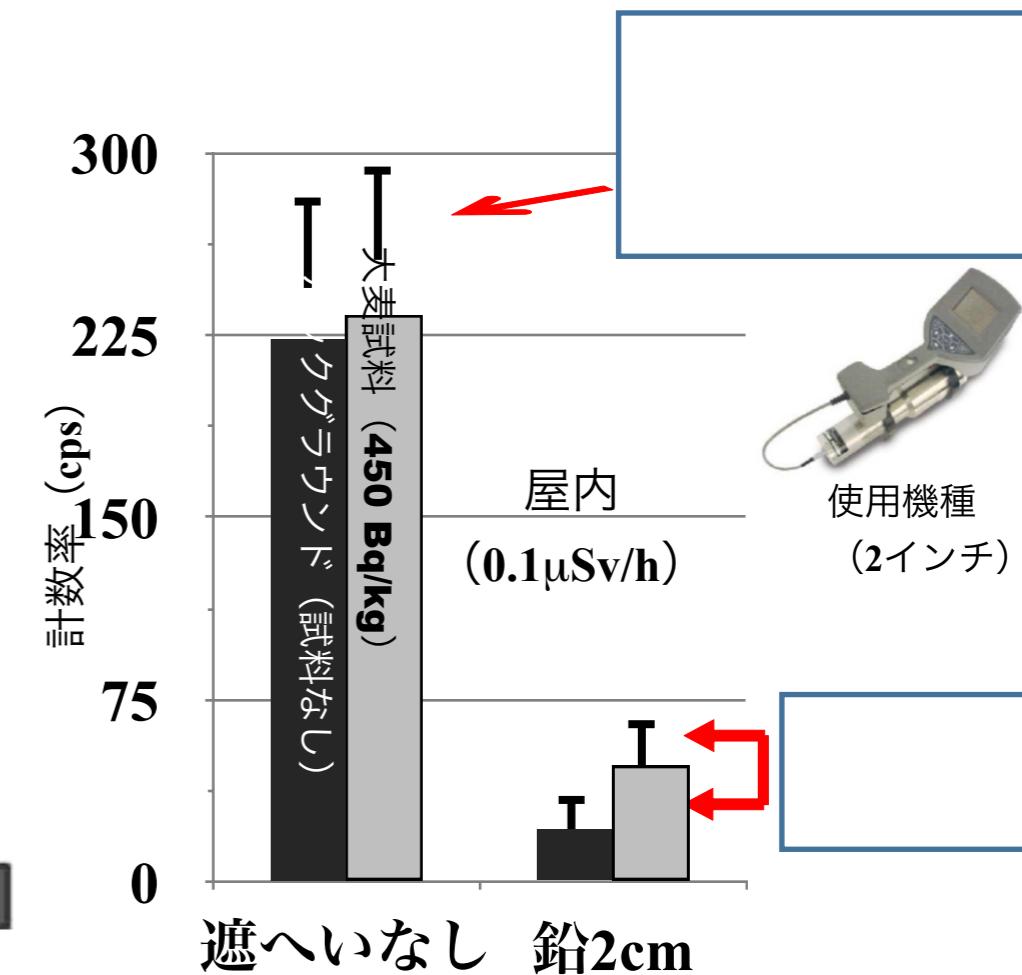
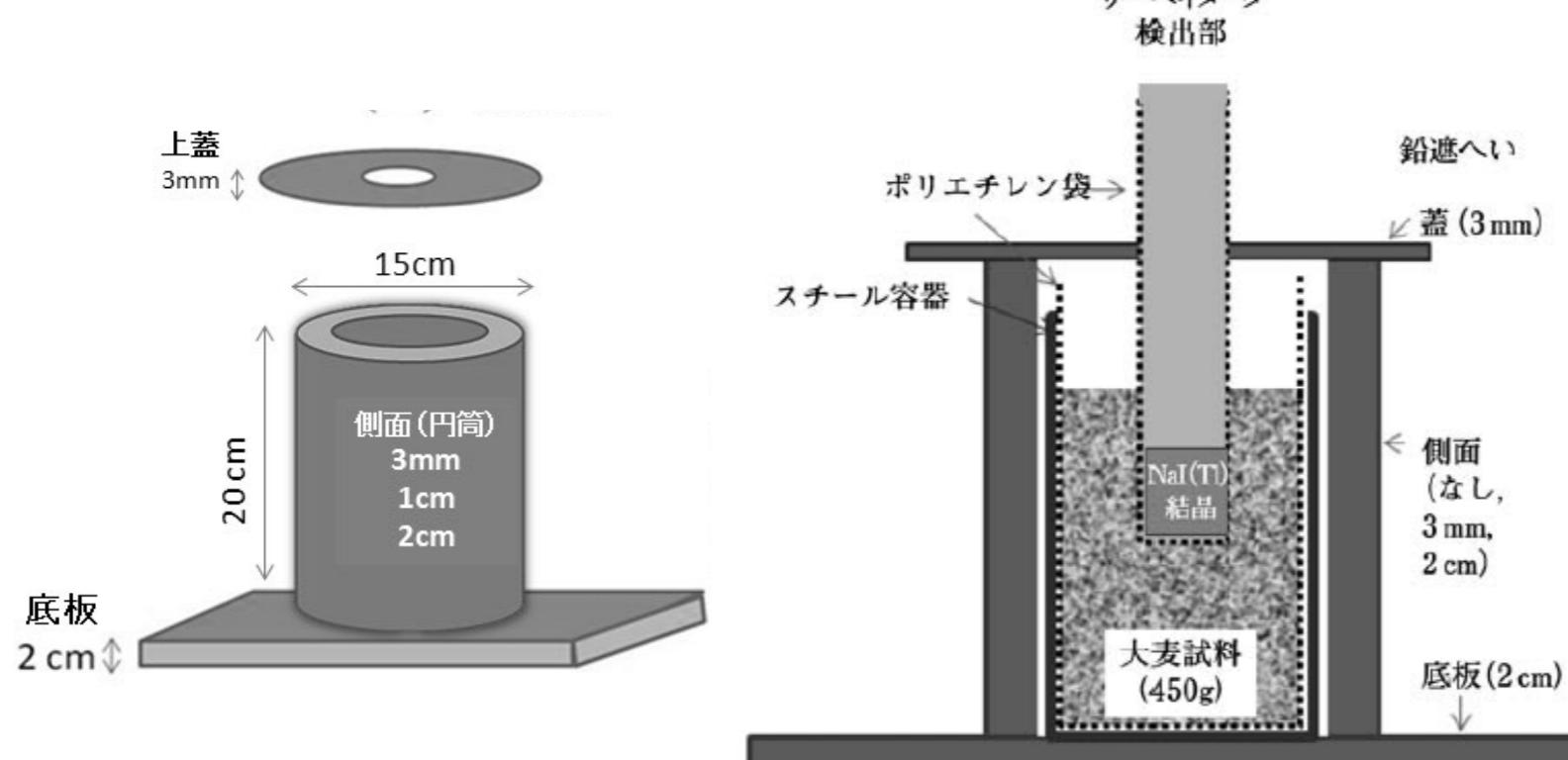
高いバックグラウンド

少し振り返り

緊急時における食品中の放射性ヨウ素測定に用いるNaI(Tl)シンチレーションサーバイメーターの機器校正(2011.4.20)

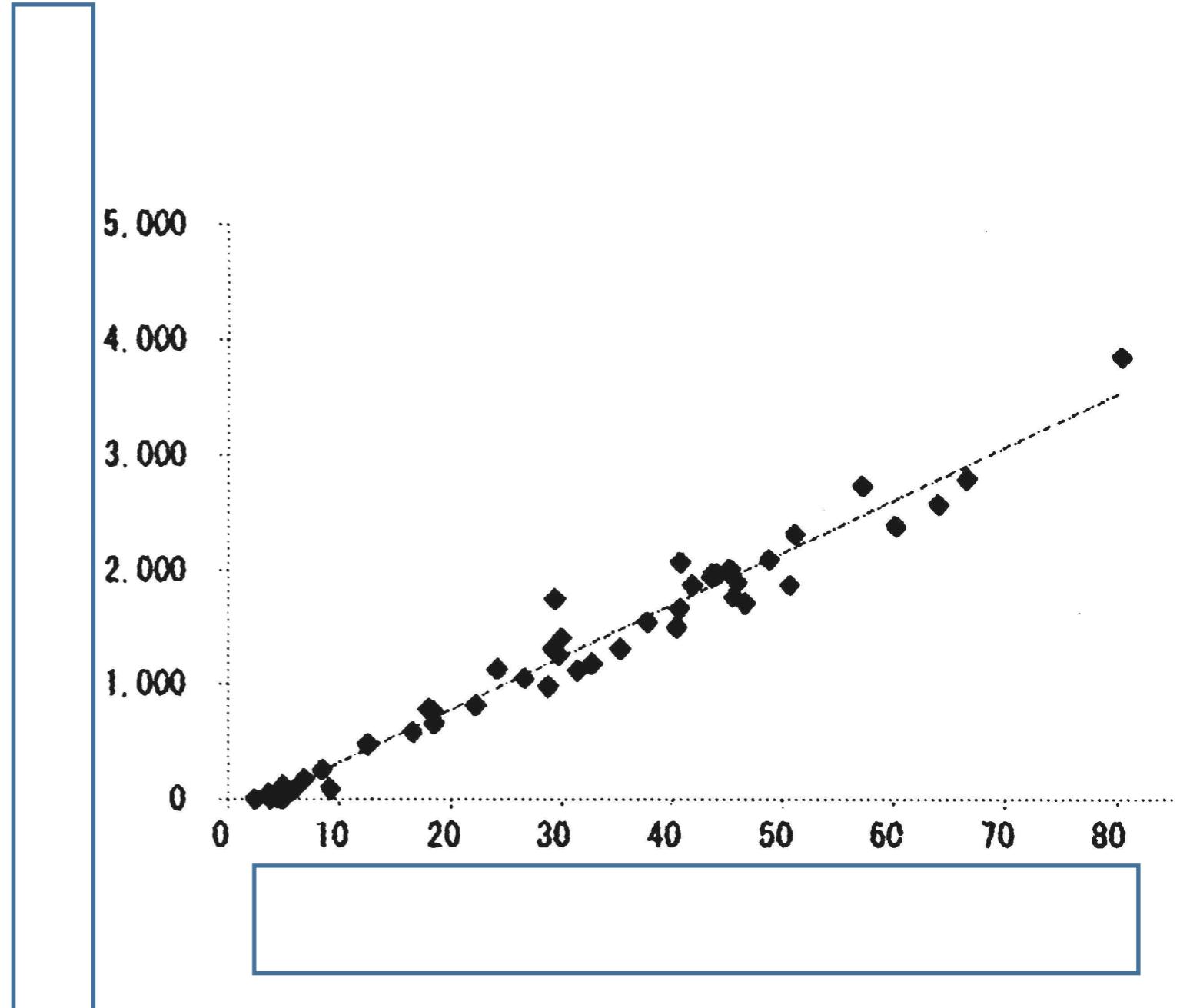
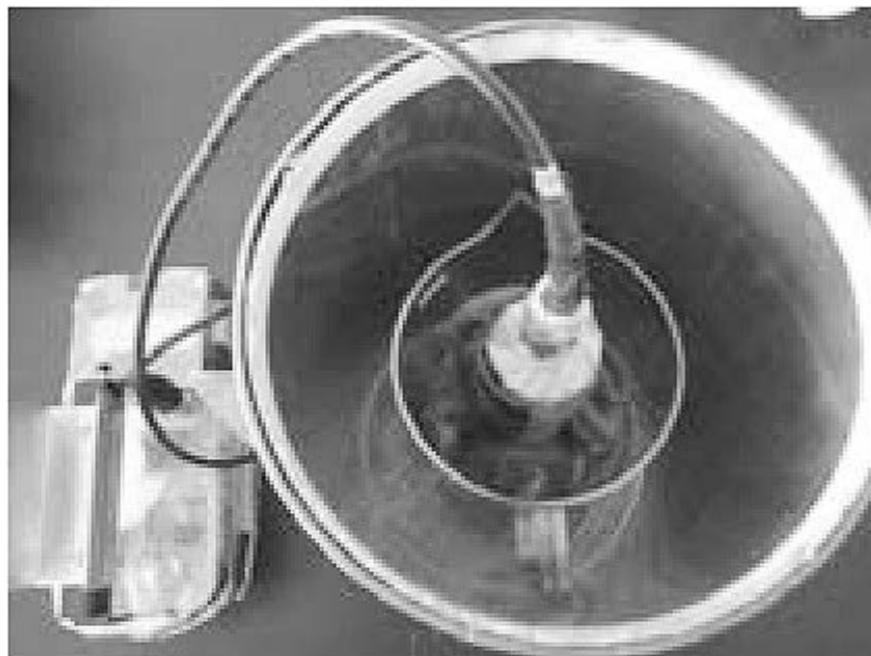
緊急時における食品中の放射性セシウム測定に用いるNaI(Tl)シンチレーションサーバイメーターの機器校正(2011.6.20)

日本アイソトープ協会 (2011)



土壤分析の簡便法

少し振り返り



福島県農総セ (2012)

次を想定する必要がある（国内、国外）

少し振り返り

- ・事故を想定して [] を整えておく（ゲルマニウム半導体測定器及びオペレーター）。
- ・ [] を活用した [] のための機器の整備、想定される放射性物質を測定するための機器校正。
- ・ [] の放射線レベルが高くなることに留意。測定には [] が重要。
- ・これらに基づいて放射性物質の核種、分布情報を元にした迅速な簡易スクリーニングの実施。（ [] への対応は残されていることに注意）

2011年3月の福島での風景

直接付着

放射性物質の飛散と降下が発生した
時点での [] が、その後の対
策を考える上で重要。



水田は代掻き前。苗の準備前。

http://www5b.biglobe.ne.jp/~jakot/hhy_3/

畑は牧草地、小麦畠、一部の野菜を
除けば播種前



2011年3月の広葉樹、常緑樹

直接付着



http://www5b.biglobe.ne.jp/~jakot/hhy_3/

柿
(福島、3月2日)



<http://www.city.iruma.saitama.jp/kankou/genkinairuma.html>

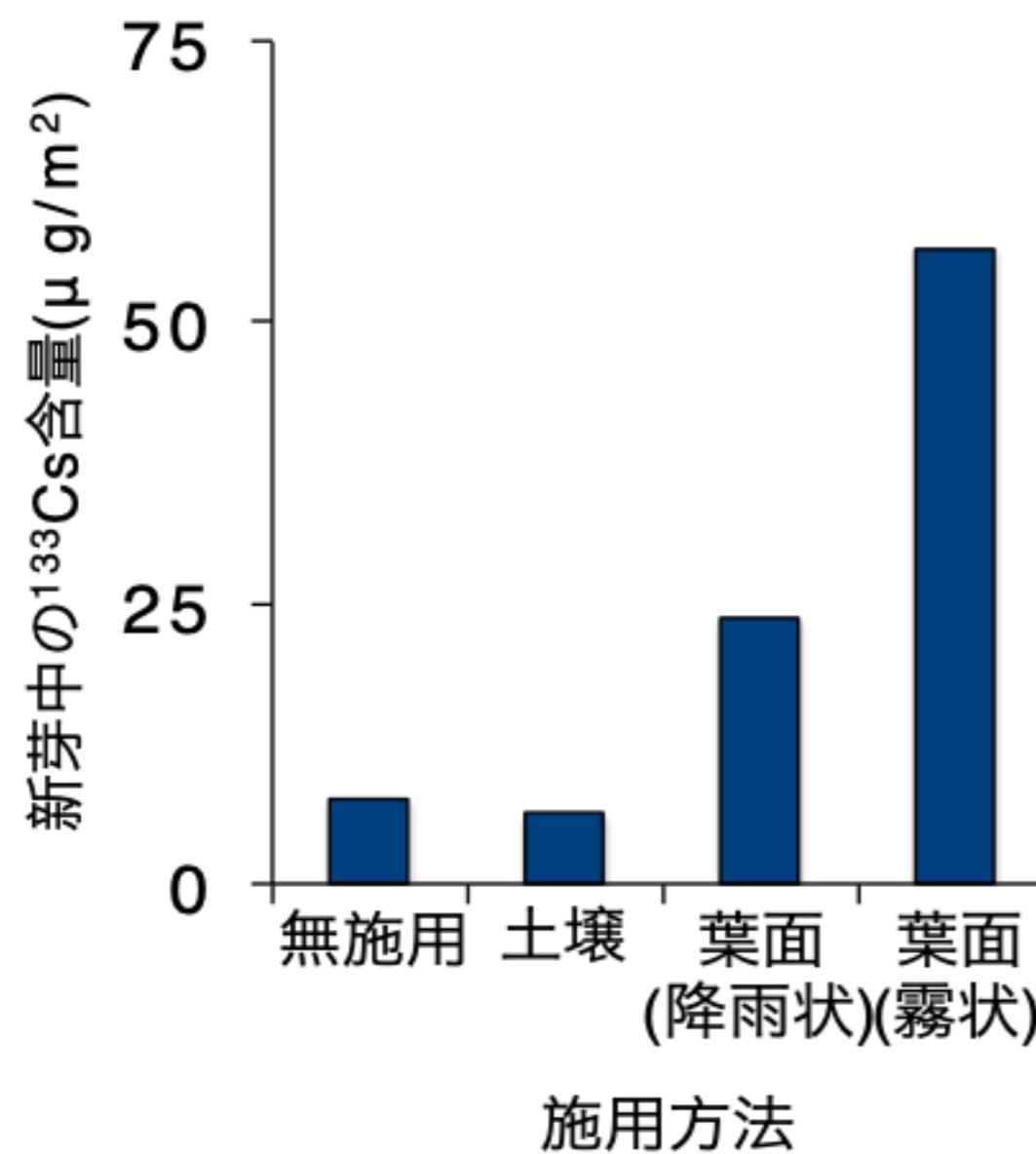
茶園
(東京、3月)

果樹、お茶などは植物体への [redacted] が認められた。

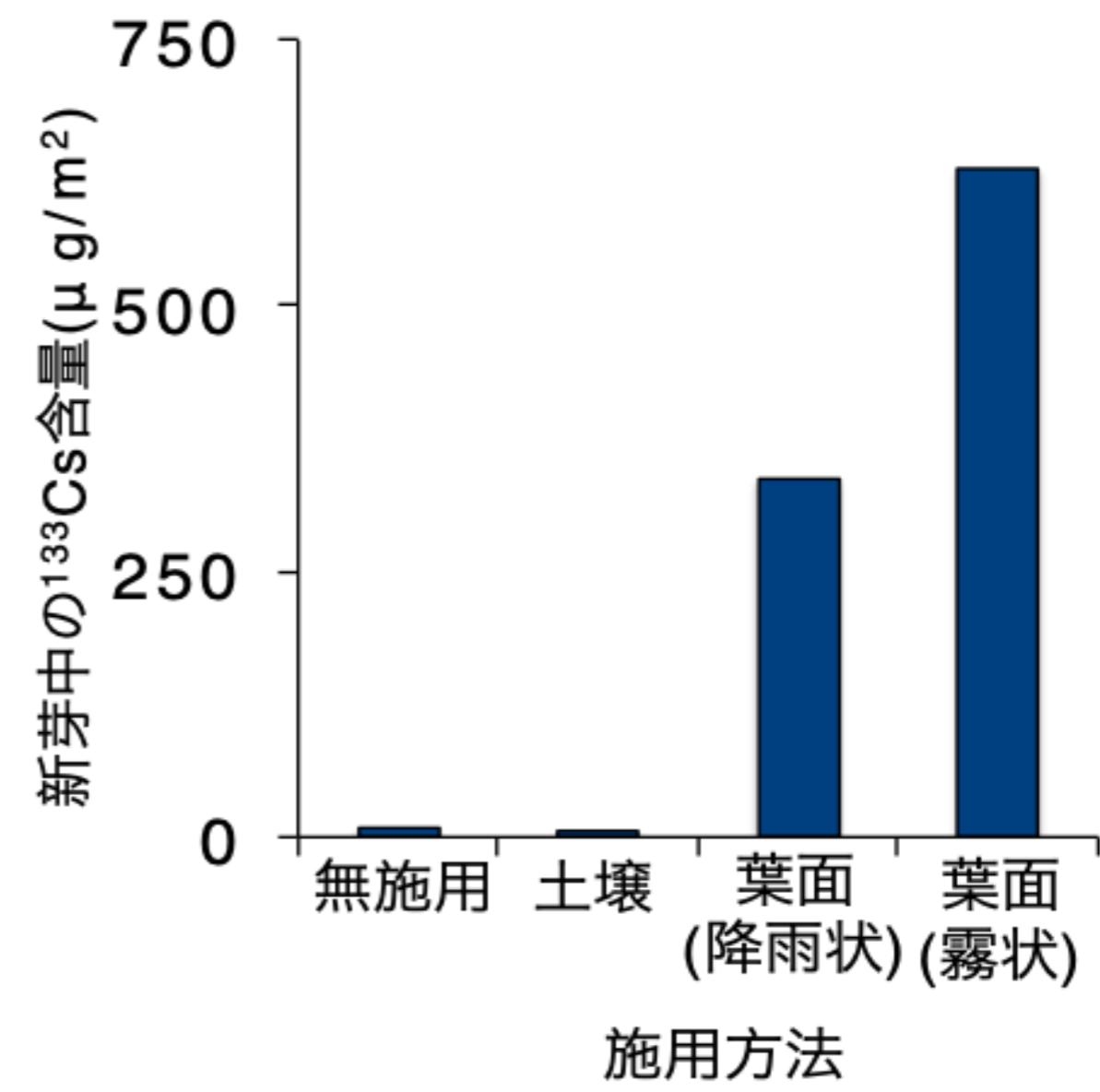
茶樹における放射性セシウムの分布と対策技術

直接付着

^{133}Cs 施用量：570 ($\mu\text{g/m}^2$)



^{133}Cs 施用量：5360 ($\mu\text{g/m}^2$)

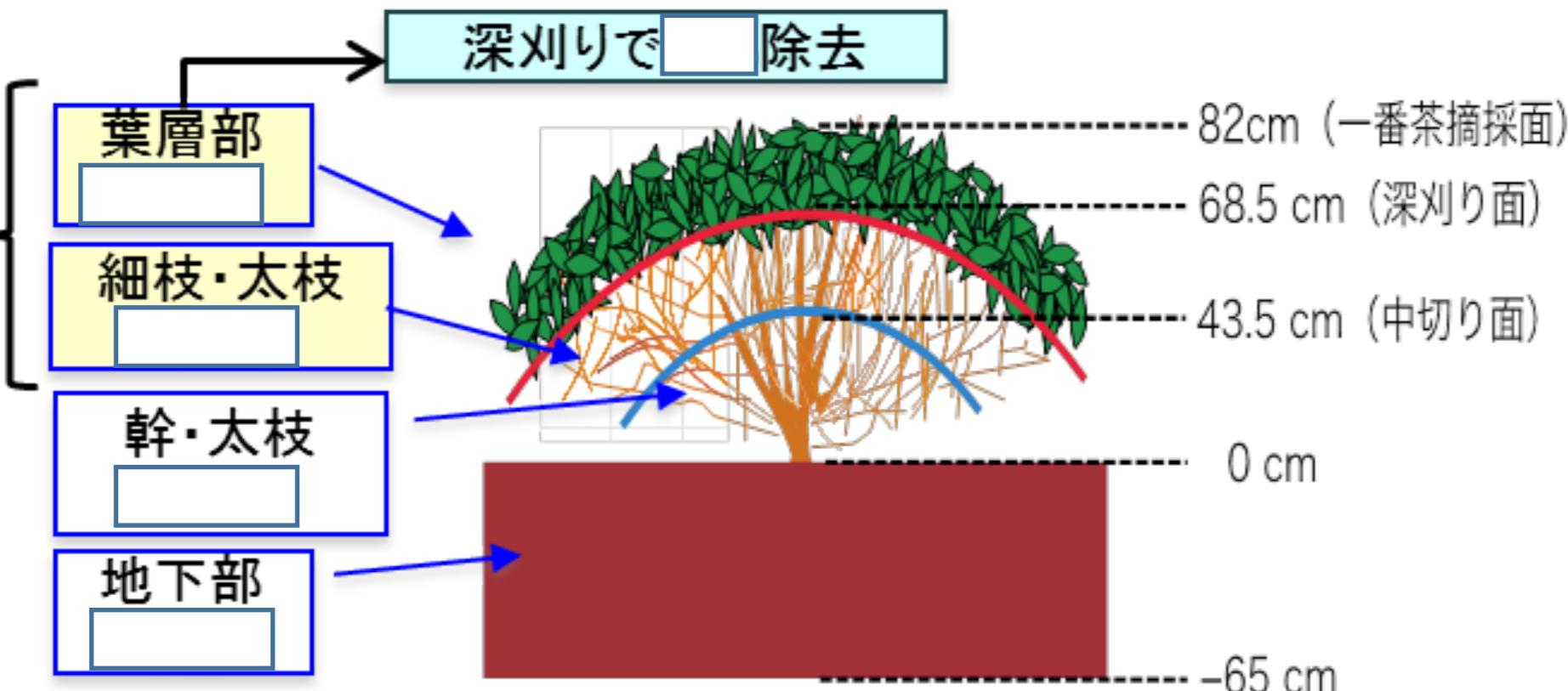


- 安定同位体セシウム (^{133}Cs) を土壤あるいはチャの葉面に施用すると、施用
[] は、[] で多くなり、[] からはほとんど移行
しない。

茶樹における放射性セシウムの分布と対策技術

直接付着

中切りで
■除去



http://www.naro.affrc.go.jp/training/files/reformation_txt2012_c40.pdf

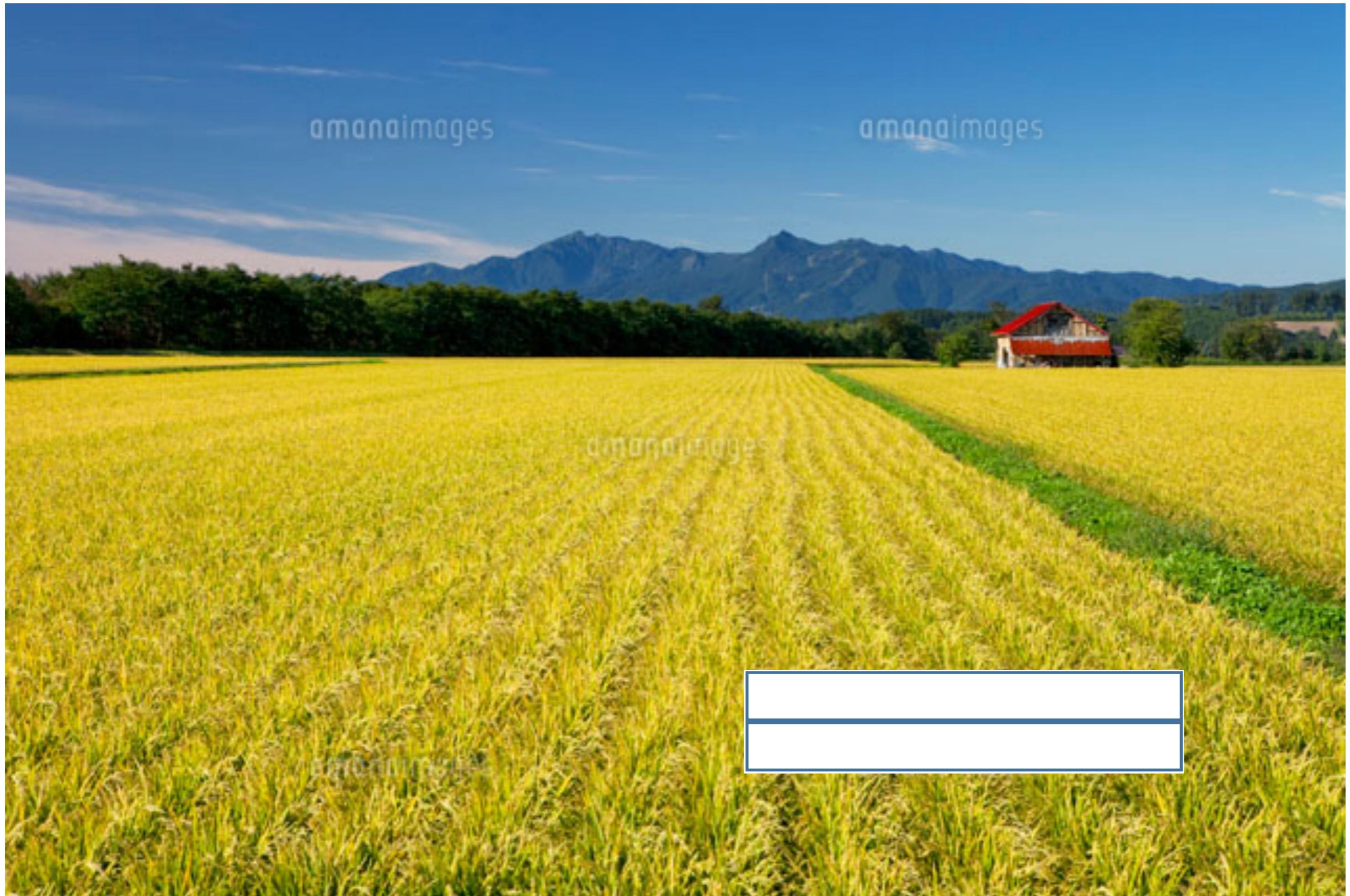


(Kanagawa Pref.)

- これらのせん枝処理で樹体から放射性セシウムを除去できる。

H23年のお茶生産は多くの地域で中止。
約2万 ■
茶園で実施 H24年度からは超過事例なし。

もし。。。



土壤と放射性セシウム

汚れた土壤

土壤に降下した放射性セシウムは粘土鉱物や有機物と吸着、結合して下層には降雨によってはほとんど移動しない。（植物にはわずかであるが移行する）

待っていても影響はなくなる（ はある）。耕作をすると に広がり移動しない。

表層にあることの弊害

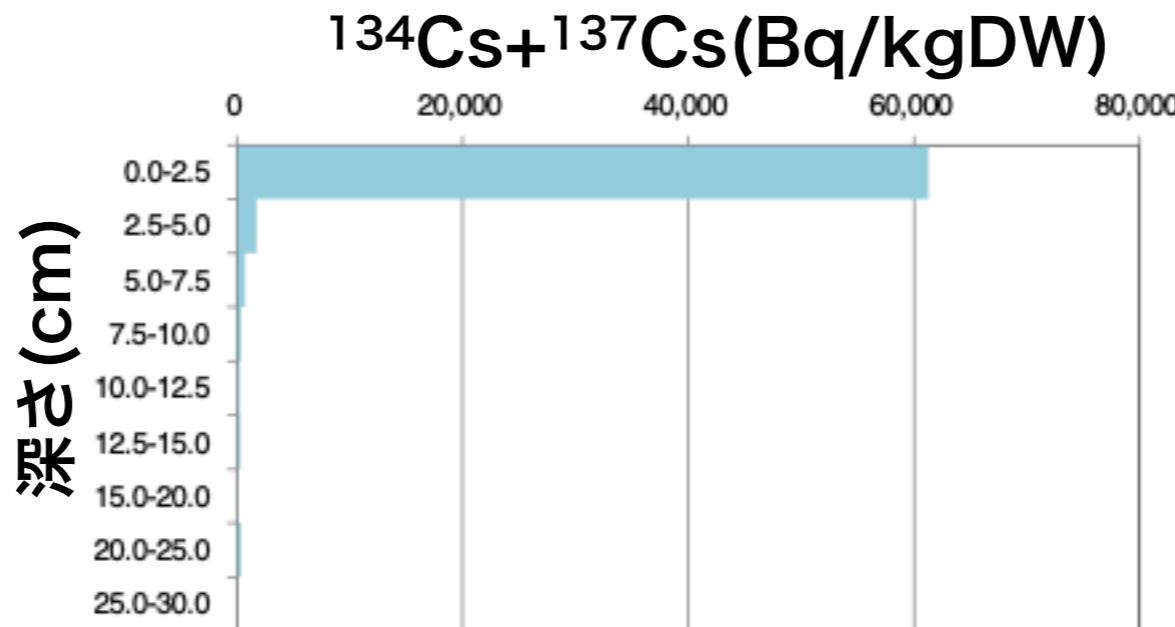
空間線量を高める→農作業者の につながる

作物が吸収をする→消費者の につながる

土壤表面の放射性セシウム分布

農地除染：空間線量を下げる農業従事者および関連の人々の外部被ばくの低減

生産物の放射線量を下げる消費者の内部被曝の低減



3ヶ月経過。ほとんど
下方への移動は無い。

飯館村伊丹沢の水田土壤の放射性セシウム濃度

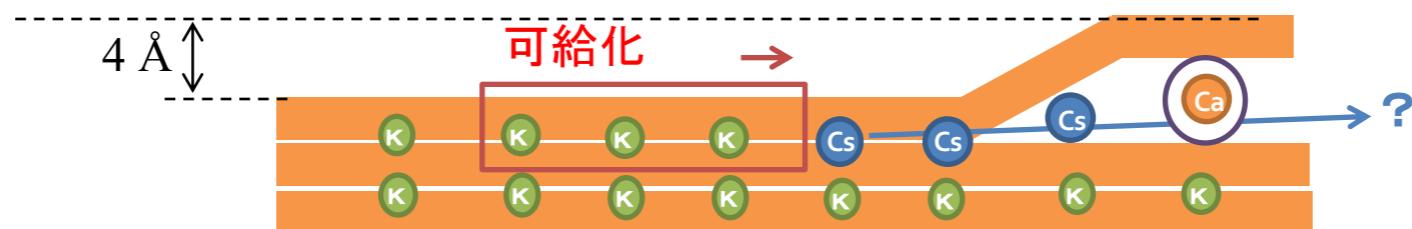
事前サンプリング土壤表層(0-2.5cm)の粒径別の放射性セシウム濃度

試料深さ	国際土壤学会法による 粒径区分		組成割合 (%)	Bq/ kg 各 組成)	Bq/ 試料 全体	Bq 割合 (%)
0-2.5cm	粘土	~2μm			8,600	12
	シルト	20~2μm			31,500	42
	細砂	200~20μm			30,100	40
	粗砂	2mm~200μm			4,500	6

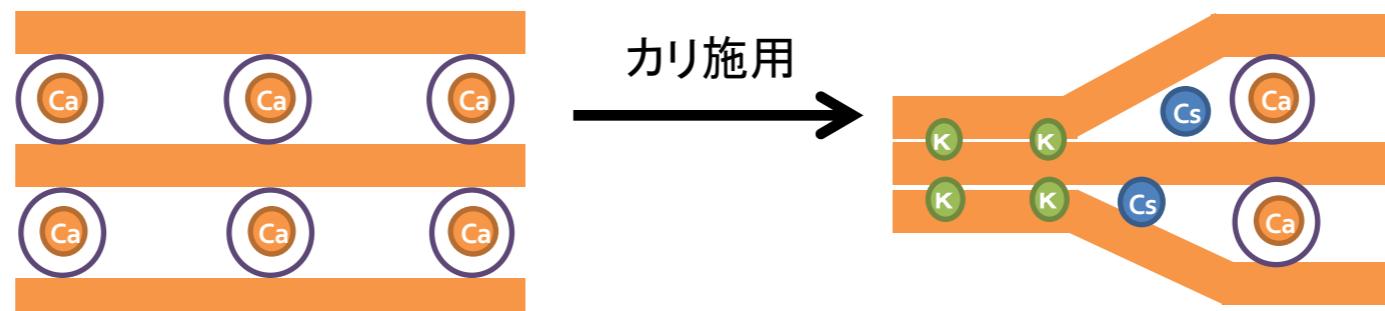
注)0-2.5cm 表層全体の放射線濃度は、74,700 Bq/ kg である。採土は平成 23 年 6 月。

www.saffrc.go.jp/docs/press/110914.htm

土壤へのセシウム吸着メカニズム



2:1型粘土鉱物のFES(様サイト)はカリを多量に施用すると増える
(Vandenhove et al., 2003; 中尾2011)



放射性セシウムは次第に粘土鉱物の層間に固定されていき、移行係数は低下する(のでは。。。ヨーロッパの研究からはそれを支持する報告もある。

土壤の物理的除染（表土はぎとり）

汚れた土壤



福島県農業総合センター

環境省除染ガイドラインに採用

表土はぎ取りの問題点

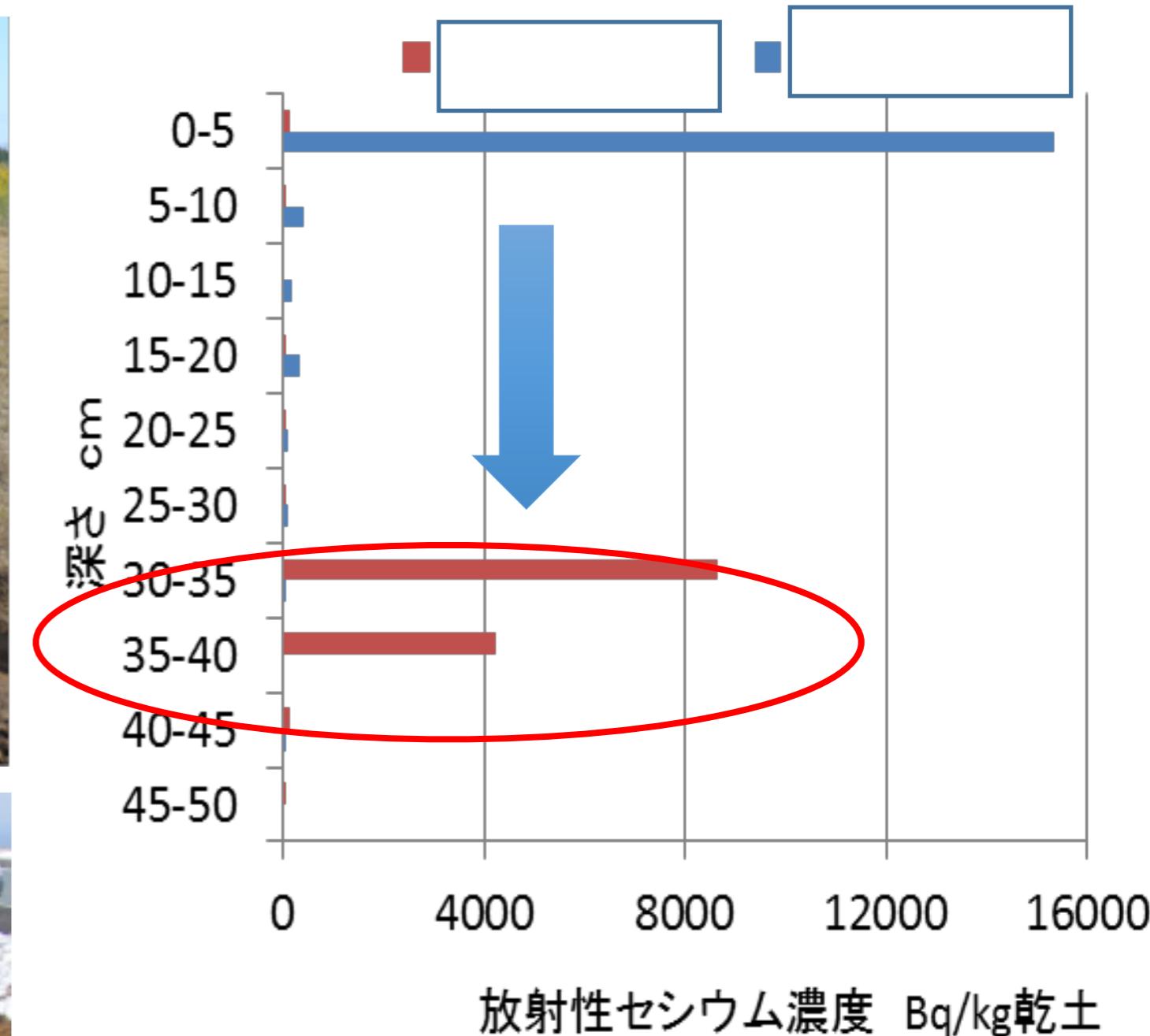
汚れた土壤



2000万袋以上 汚染した土壤を遮蔽するために周囲には未除染土壤を詰めたフレコン（これも廃棄予定） 移動に?年、元の場所に修復するのにさらに?年。移動した後はどうするのか。。。 ([] があるが。。。)

二段耕プラウによる表層土の埋却

汚れた土壤



下層土の赤土が
表面を覆っている

牧草の根の分布図－ルートマットを形成する（例）



<http://www.nemuro.pref.hokkaido.lg.jp/ss/nkc/wadai/habomaikou03.jpg>

深いところに根は分布しない。養分の吸収は表層土壤を中心として。

広範な草地で利用された。。。。

ファイトトレメディエーション

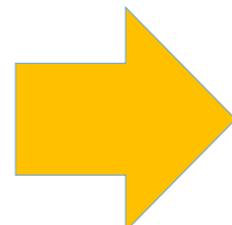
汚れた土壤

うまくいかなかった成果も成果。

しか回収できなかった。（その後の様々な研究例でも特殊な条件下で最大 1 %）

回収した後の の処理。

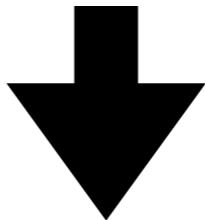
耕作により土壤が攪拌されることにより放射性物質が表層から に広がる問題。



降下したセシウムを植物に回収させるよりも半減期を待ったほうが良いのでは。

農地の除染

農用地土壤汚染防止法(1969年)－農用地土壤汚染対策地域の指定、農用地土壤汚染対策計画の策定、汚染状況の常時監視など－**放射性物質による汚染については適用除外**（第2条3項）



法律に則った汚染対策が行えない

事故を基本的には想定していなかったため、広範囲に放出された放射性物質に対処するための法的整備が存在しなかった。→「放射性物質汚染対処特措法」－（平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法）2011年8月26日に成立、30日に公布と一部施行、2012年1月1日に全面施行

農地の除染

農水省：農産物の安全性の観点

2011年9月14日 農地土壤の放射性物質除去技術（除染技術）について

（表土が10,000-25,000Bq/kgでは耕作をすると耕作土濃度が5,000Bq/kgを超える可能性があるので表土剥ぎ取り）

（25,000Bq/kg以上の農地は土壤飛散防止を行なった上で5cm以上表土剥ぎ取り→薄く剥ぎ取ると剥ぎ取った土壤の濃度が**100,000Bq/kg**を超える可能性がある）

法令上放射性同位元素として取り扱われるもの：

濃度が74,000Bq/kgを超えるか（自然で固体ならば340,000/kg）
密封されているかどうか

放射性Csの場合はまとまった状態で**総量37,000Bq**を超過すると放射性同位元素となる
(74,000Bq/kgであるときには500gを超えると)

→取り扱いが厄介になる（実際には特殊なコンクリートに封入して廃棄）

放射能の規制の歩み

1895 放射線（X線）の発見 レントゲン

1896 放射性物質（放射能を持つ物質-ウラン）の発見 ベクレル

ポロニウムの発見、放射性物質の量と放射線の関係 キューリー夫妻

再生不良性貧血で死亡

1910頃 ラジウム塗料の夜行時計 骨ガンの多発（5年後頃から）

1928 国際X線及びラジウム防護委員会(IIXRPC)の発足

1934 X線作業者の耐容線量(tolerable dose)を約2mSv/day(0.2レントゲン/day)

皮膚に紅斑ができる被曝量-600レントゲン→一ヶ月に1/100の6レントゲンなら大丈夫)

第二次世界大戦 傷病者のX線写真解像度向上のためにトロトラスト（トリウムの酸化物）

肝臓ガン、白血病（日本の調査では20%が肝臓ガン、5%が肝硬変で死亡）

1950 国際放射線防護委員会(ICRP)発足 1950勧告

X線作業者の許容線量 (permissible dose)を約5mSv/week) と引き下げ

（1927のX線によるショウジョウバエの突然変異誘発と後代への遺伝の報告）

（被曝の影響に貧血、白血病、固形ガン、白内障、遺伝的影響を加味）

放射能の規制の歩み（2）

1949-各国による原爆実験

1954 オブニンスク原子力発電所稼働

1955 原始放射線の影響に関する国連科学委員会(UNSCEAR)の設置

1956 コールダーホール原子力発電所稼働

1958 シッピングポート原子力発電所稼働

1958 ICRP勧告

職業人：年齢Nまでの集積線量Dが $50 \times (N-18)$ mSvを超えないこと、かつ、
30mSv/三ヶ月を超えないこと→18歳以下は職業として不適。60歳まで継続して職業とする場合に約1mSv/week (1950勧告の1/5)

公衆：年間5mSv (職業人の約1/10)

1950勧告では"to the lowest level"、1958勧告では"as low as practicable"に変更→リスクベネフィットの考え方の導入

放射能の規制の歩み（3）

1965 ICRP勧告

放射線防護の目的：急性効果の防止かつ

　　晚発性効果のリスクを容認できるレベルに制限

職業人（許容線量）：年間50mSv

妊娠中の女性 10mSv以下

公衆（dose limite 線量限度）：年間5mSv（職業人の約1/10）

原爆被曝生存者の追跡データ、妊婦の腹部X線検査の影響調査のデータの蓄積によって
制限の強化

1950勧告では”to the lowest level”、1958勧告では”as low as practicable”
に変更→リスクベネフィットの考え方の導入、1965勧告では”as low as readily
achievable”

直線・しきい値なし(LNT)モデルにより低線量被曝も評価 10mSv/yの被曝で
0.004%の白血病、固形ガン死を予測（注：低線量被曝の影響は議論が分かれる）

放射能の規制の歩み（4）

1977 ICRP勧告

職業人（線量限度）：年間50mSv

妊娠中の女性 10mSv以下

公衆（線量限度）：年間5mSv（職業人の約1/10）

リスクの容認レベルの考え方

職業人：年平均死亡率が 10^{-4} を超えない職業と比較

年間50mSvを連續して被曝した場合は $3.4 \times 10^{-4}/\text{年の致死率}$ に該当する

建設業、炭鉱労働者に匹敵（参考：日本2017農作業での死亡率 1.7×10^{-4} ,
林業での死亡率 6.4×10^{-4} ）

公衆：公共輸送機関利用によるリスクと比較

線量限度年間5mSvであれば 5×10^{-5} （参考：日本交通事故2018 2.79×10^{-5} ）

As low as reasonably achievable(ALARA)に変更

放射能の規制の歩み（5）

1985 ICRPパリ声明

職業人（線量限度）：年間50mSv

妊娠中の女性 2mSv以下

公衆（線量限度）：年間1 mSv

疫学データから被曝リスクの増大が原因と推定

1990 ICRP勧告

職業人（線量限度）：年間50mSvかつ100mSv/5years → 5年平均20mSv/year

妊娠中の女性 10mSv以下

公衆（線量限度）：年間1 mSv（職業人の約1/50）

1mSvあたりのガン死リスクは 6.0×10^{-5} （1977勧告の5倍）

ただし、高線量被曝に比べて低線量被曝はガン死リスクは半分と評価して算出

出生から1mSv/yearの被曝の連続での生涯ガン死率は0.4%と推定された

$$(6 \times 10^{-5} \times 1\text{mSv/year} \times 65\text{year} = 0.4\%)$$

放射能の規制の歩み（6）

2007 ICRP勧告

核事故への対応

緊急時被曝状況：住民の避難への基準として20-100mSv/yearで行政当局が参考レベルを設定して対策をとる

現存被曝状況：1-20mSv/yearで参考レベルを設定する。

計画被曝状況（事故が起きていない状況）

：職業人

：公衆

1990 ICRP勧告

職業人（線量限度）：年間50mSvかつ100mSv/5years → 5年平均20mSv/year

妊娠中の女性 10mSv以下（妊娠期間）

公衆（線量限度）：年間1mSv → 5年間の平均が1mSvを超えないという意味

1mSvあたりのガン死リスクは 5.5×10^{-5} （1990勧告より0.5低下）

でも、低線量での影響が不確実であり、長期間の低線量被曝の影響を予想することは不適切（わからないということ。安全側にも記載ができない？）

しかし、放射線防護体制についていかなる基本的な変更の必要性を示さなかった。1991年以降に決められた現存の数値的勧告は有効である。

事故による放射線管理の目安(ICRP)

事故後の対応段階	事故による年間被曝量の目安
緊急事態期	20～100mSv
事故収束後の復旧期	1～20mSv
平常時	1mSv以下



対策:モニタリング、避難、食品流通管理、作付け制限、除染、農作物低減対策など

20mSv/year。。。。

ICRP 1990年勧告による線量限度

公衆被曝 実効線量 1mSv/y

職業被曝（被曝によるベネフィットがある） 実効線量 50mSv/y 及び100mSv/5y

内部被曝との合計：内部被曝に係る摂取限度は20mSv/y

妊娠女性従事者：申告後の妊娠期間一腹部表面において2mSv

追加被ばく線量年間1ミリシーベルト (mSv) を、一時間当たりに換算すると、毎時0.19マイクロシーベルト (μ Sv) と考えられます。 (1日のうち屋外に8時間、屋内（遮へい効果 (0.4 倍) のある木造家屋）に16 時間滞在するという生活パターンを仮定)

$$\text{毎時 } 0.19 \text{ マイクロシーベルト } (\mu\text{Sv}) \times (8 \text{ 時間} + 0.4 \times 16 \text{ 時間}) \times 365 \text{ 日} = \text{年間 } 1 \text{ ミリシーベルト } (m\text{Sv})$$

測定器で測定される放射線には、事故由来の放射性物質による放射線に加え、大地からの放射線(毎時0.04マイクロシーベルト (μ Sv))が含まれます。このため、測定器による測定値としては、

$$0.19 \text{ (事故由来分)} + 0.04 \text{ (自然放射線分)} = \text{毎時 } 0.23 \text{ マイクロシーベルト } (\mu\text{Sv})$$

である場合、年間の追加被ばく線量が1ミリシーベルト (mSv) になります。

ICRP 2007勧告
100mSvでガン死が0.5%増加

被曝がなくても30%-50%はガンで死亡

野菜不足 0.4-0.7%

果物不足 0.7-0.9%

単純に比較して良いのか？
利益のない被曝によるガン発生率の上昇

1万人が100mSv被曝すると50件のガン死
1億人では。。。。

放射能と生活習慣によって癌になるリスク

要因	癌になるリスク
2Svを浴びた場合	
喫煙	1.6倍
毎日3合以上飲酒	
1-2Svを浴びた場合	
毎日2合以上飲酒	1.4倍
やせすぎ	1.29倍
肥満	1.22倍
運動不足	1.15-1.19倍
200-500mSvを浴びた場合	1.16倍
塩分の取りすぎ	1.11-1.15倍
100-200mSvを浴びた場合	1.08倍
野菜不足	1.06倍
受動喫煙	1.02-1.03倍

交通戦争

農作業事故死

林作業事故死

これらの低減のためへの大々的な関心

土壤から植物への移行-移行係数による評価

内部被曝抑制

$$\boxed{\text{ }} = \frac{\boxed{\text{ }} \text{の放射性核種の放射能濃度 (Bq/kg)}}{\boxed{\text{ }} \text{の放射性核種の放射能濃度 (Bq/kg)}}$$

土壤中の放射性物質の濃度から植物への放射性物質の濃度を推定するための係数
(Transfer Factor : TF) あるいは(Concentration Ratio : CR)

TF計算例 :

暫定基準値 (2011年)

可食部の放射性Cs濃度 500 Bq/kg

→ **TF ≤ 0.1**と考えて、**2011年4月、≥5000 Bq/kg**の農地での作付け制限区域設定へ

$$\boxed{\text{ }} \text{ 移行係数 } 500/5000 = 0.1$$

土壤中の放射性Cs濃度 5000 Bq/kg

Aggregated transfer factor

$$T_{agg}(m^2kg^{-1}) = \frac{Bq\ kg^{-1} \text{ (plant dry weight)}}{Bq\ m^{-2} \text{ (deposited on soil)}}$$

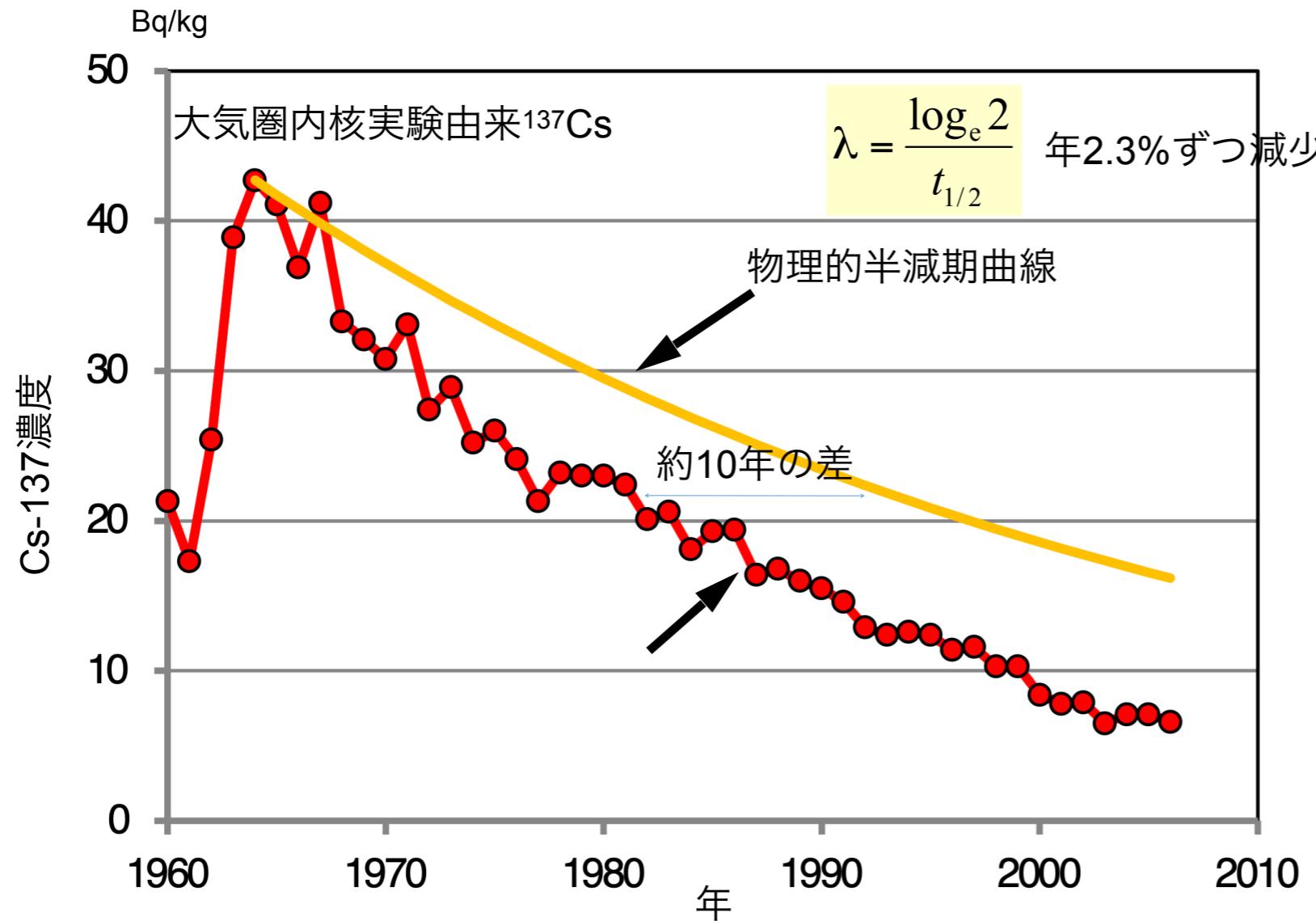
農作物以外で。ただし、栽培期間中のフォールアウトによる汚染ではこちらを利用すべき

Geochemical transfer factor

$$T_{geo} = \frac{Bq\ m^{-2} \text{ (in plant biomass)}}{Bq\ m^{-2} \text{ (deposited on soil)}}$$

グローバルフォールアウト由来 ^{137}Cs 濃度の推移

内部被曝抑制

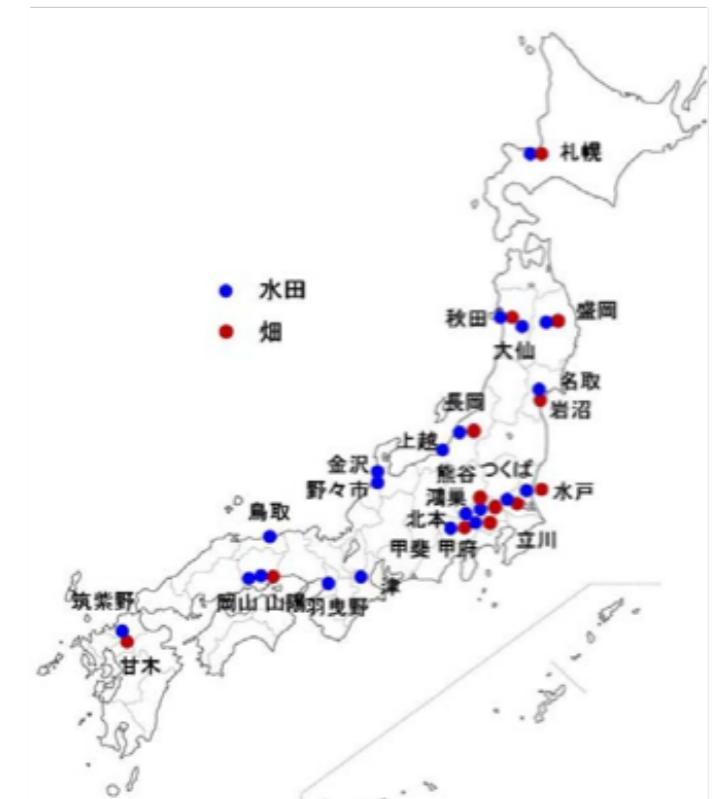


水田作土

→

は、

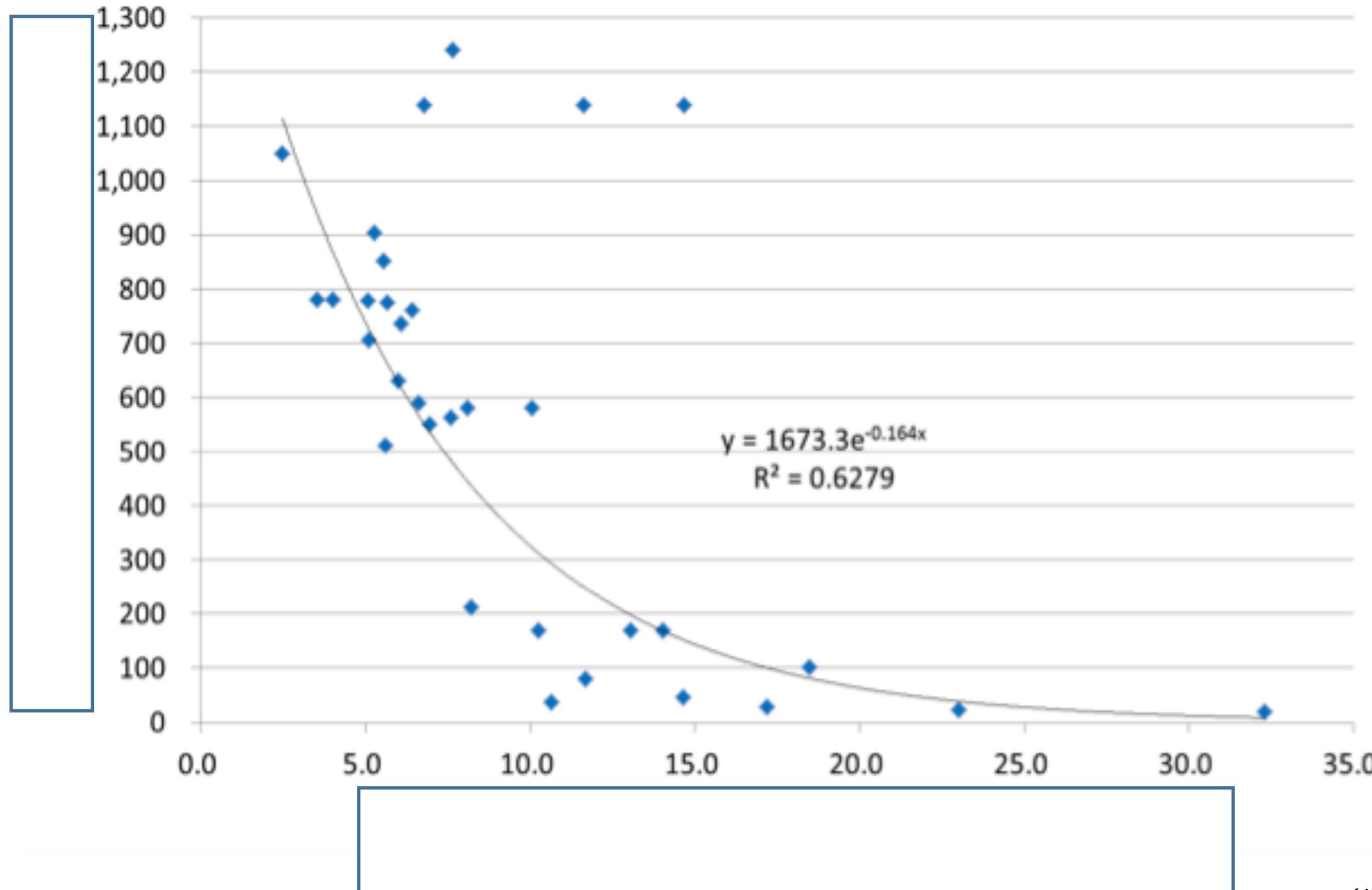
よりも短い



2011年の交換性カリと玄米放射性Cs濃度

内部被曝抑制

福島県の水稻の慣行的なカリの施肥基準は15-20mgK₂O/100g

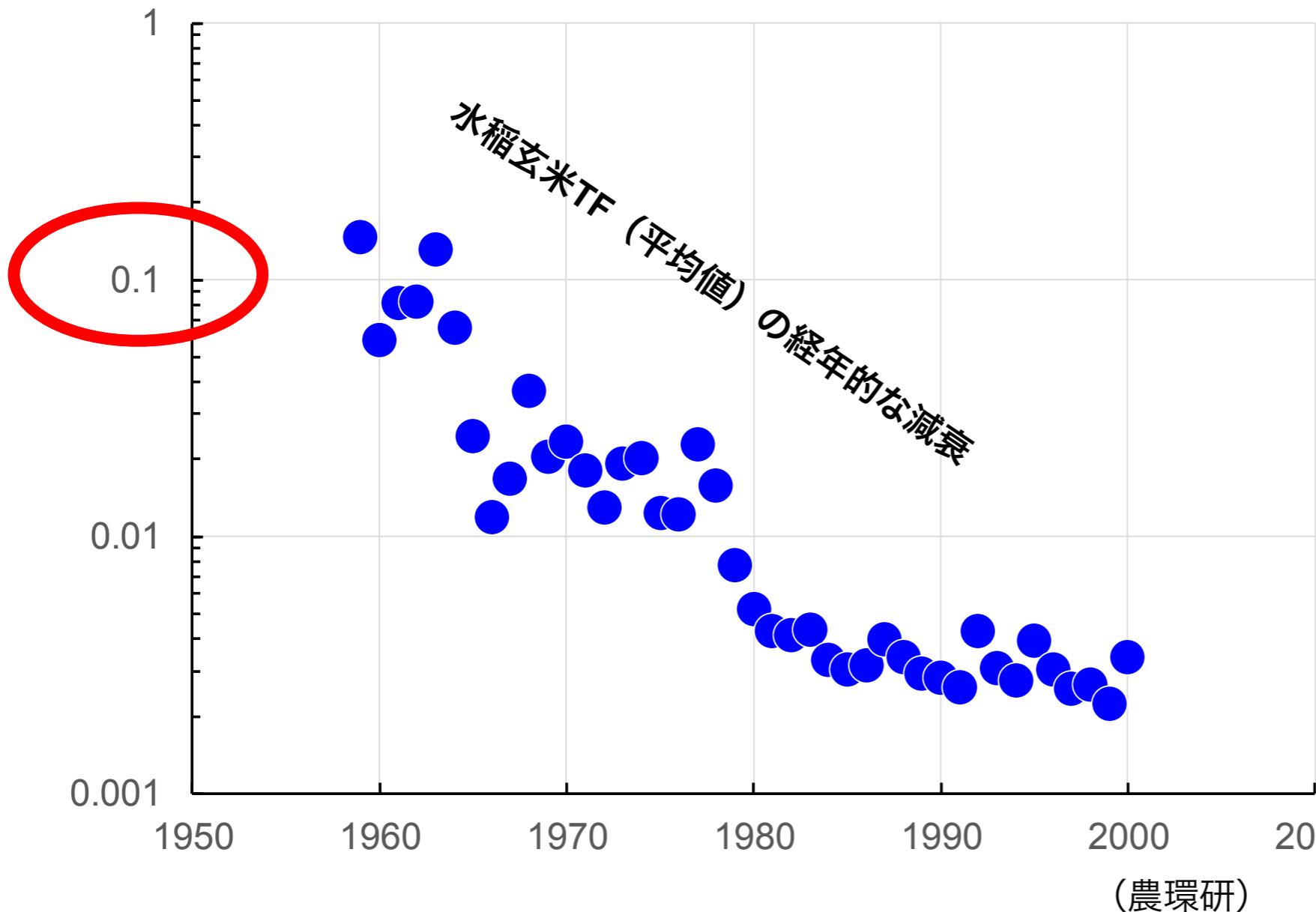


(福島県等, 2011)

1960年～、全国各地でのTF長期モニタリングデータ

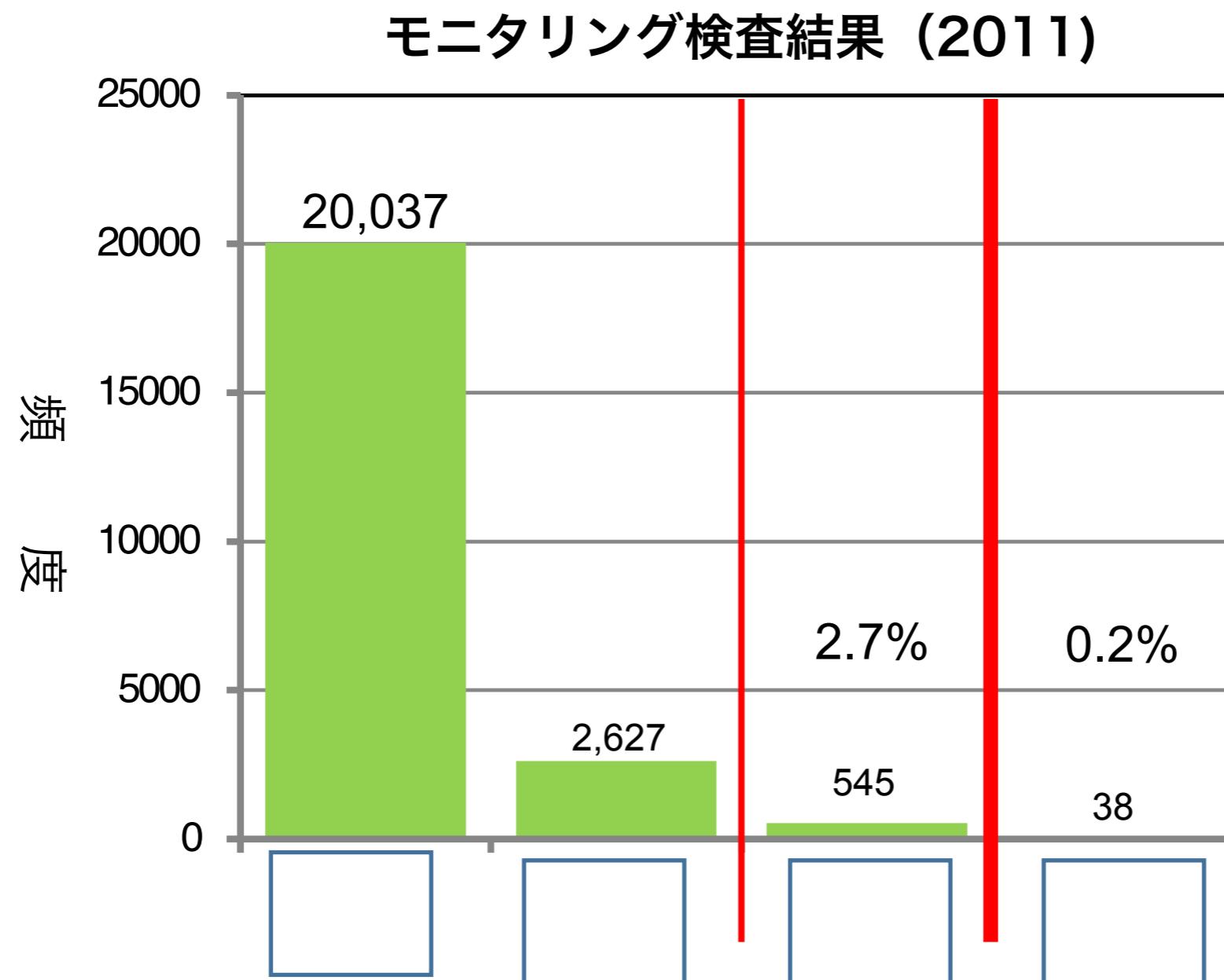
内部被曝抑制

グローバルフォールアウトの影響



2011年度産の暫定基準値超過事例の発生

内部被曝抑制

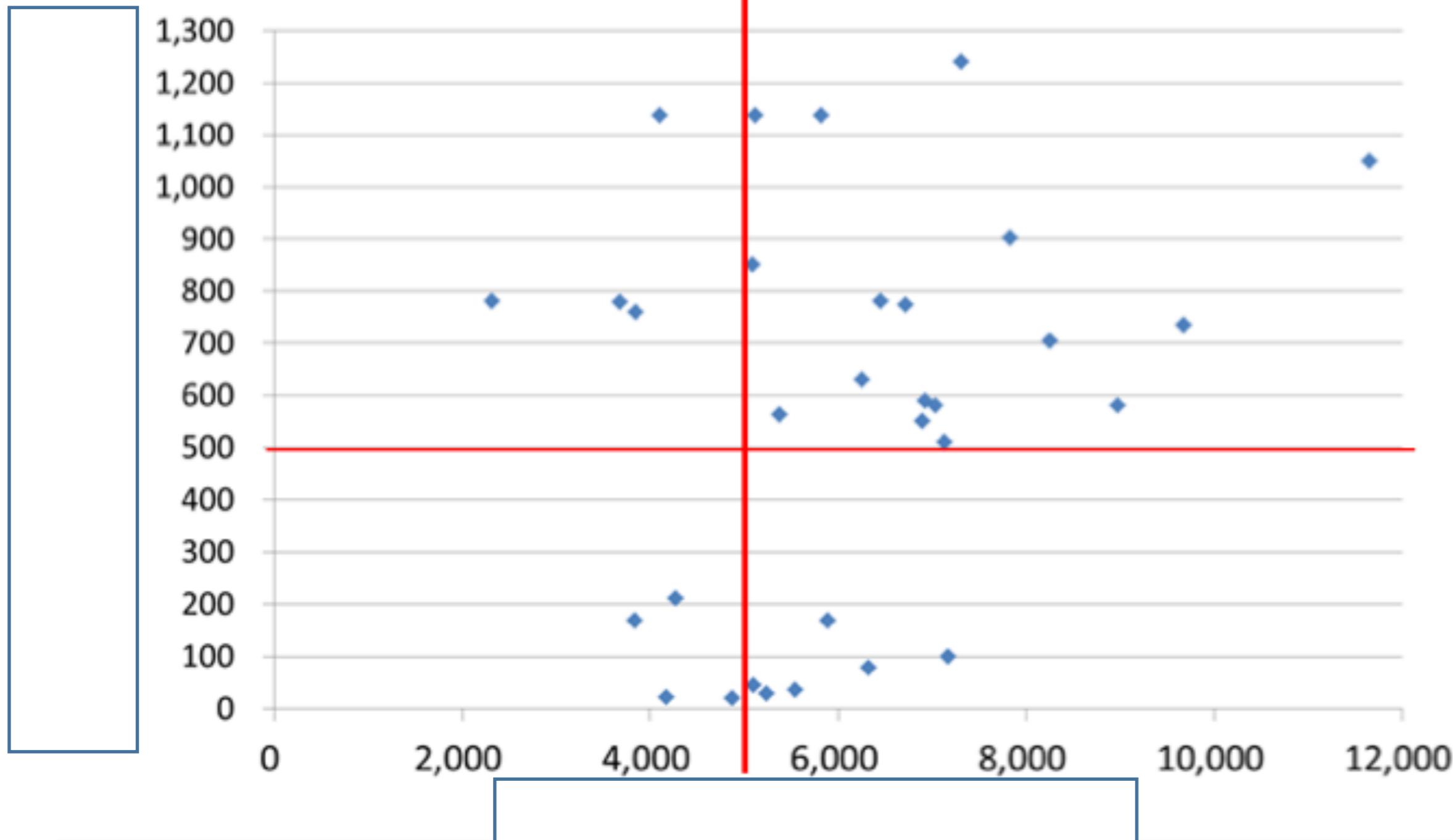


5000 Bq/kg未満
の水田でも、限ら
れた農地において
500 Bq/kg超えの玄
米が生産された

福島県における2011年産玄米の放射性Cs濃度（農林水産省, 2012）

2011年の玄米生産における土壤と玄米の関係

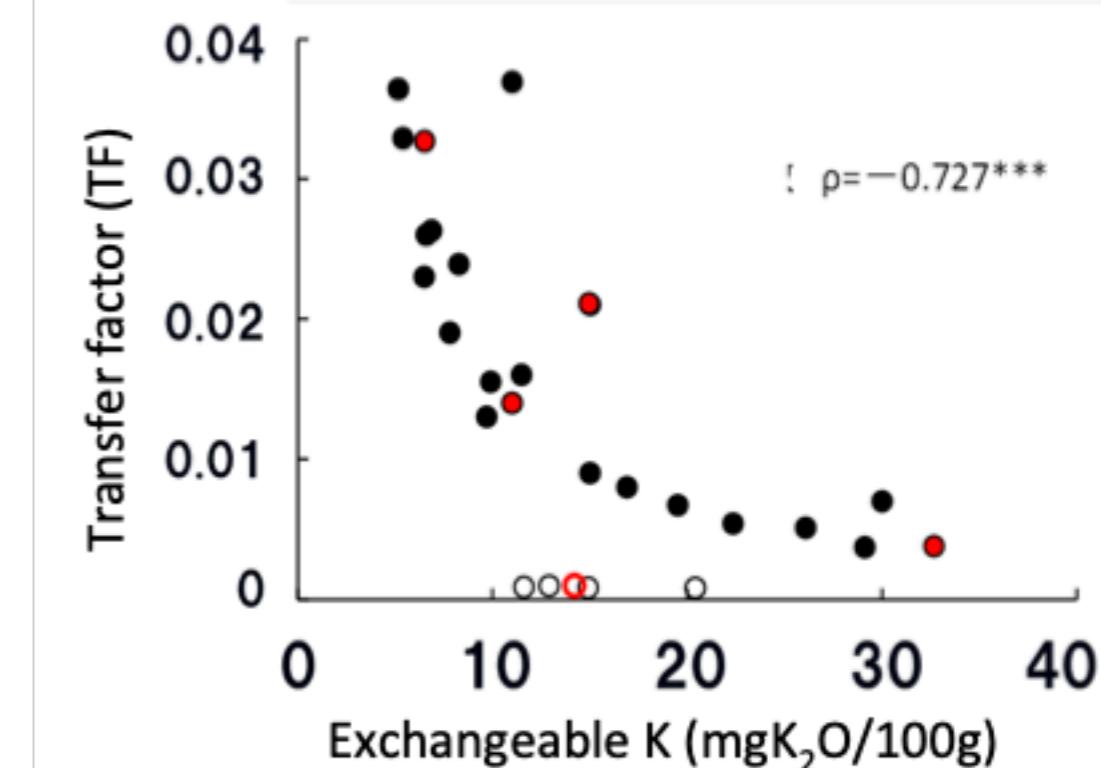
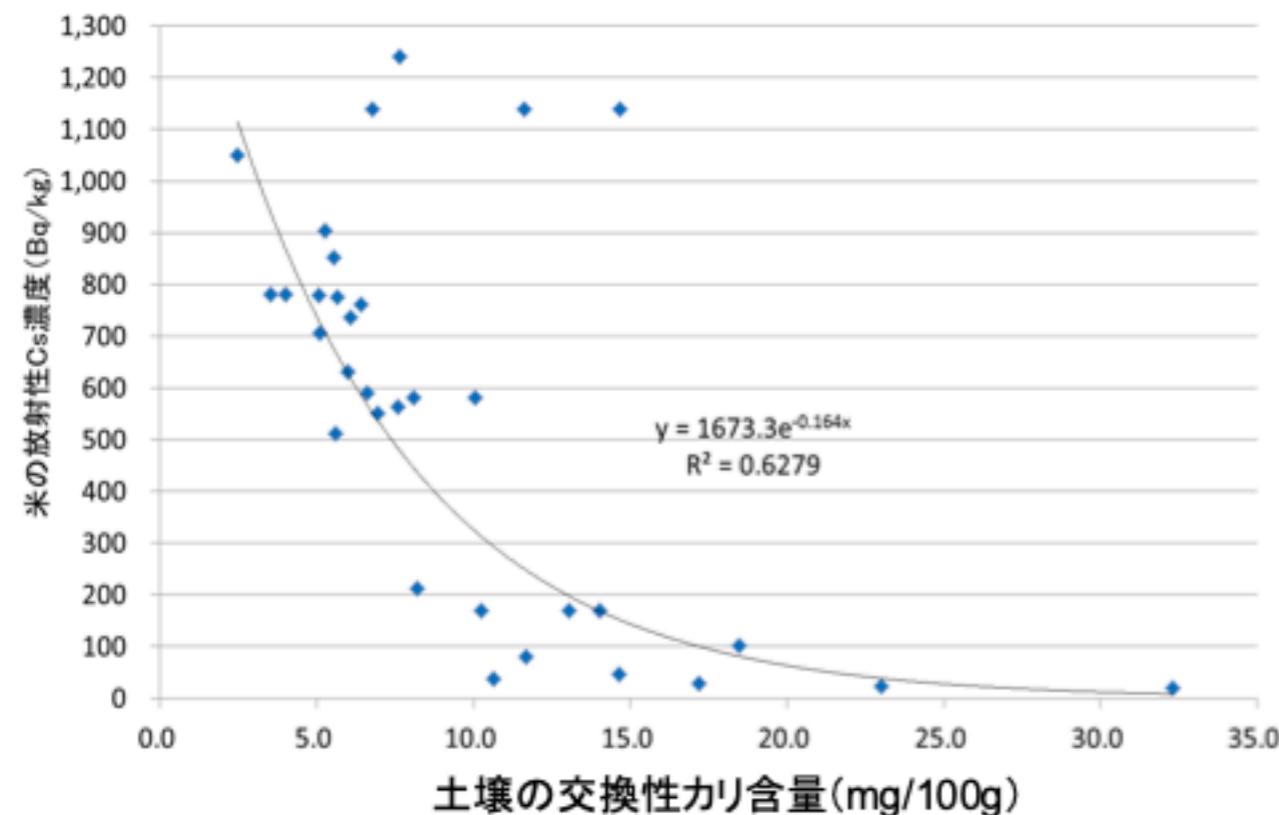
内部被曝抑制



土壤及び米の放射性セシウム濃度の関係（福島県等, 2011）

栽培後土壤中交換性カリ含量と玄米放射性Cs移行係数

内部被曝抑制



(Fukushima Prefecture)

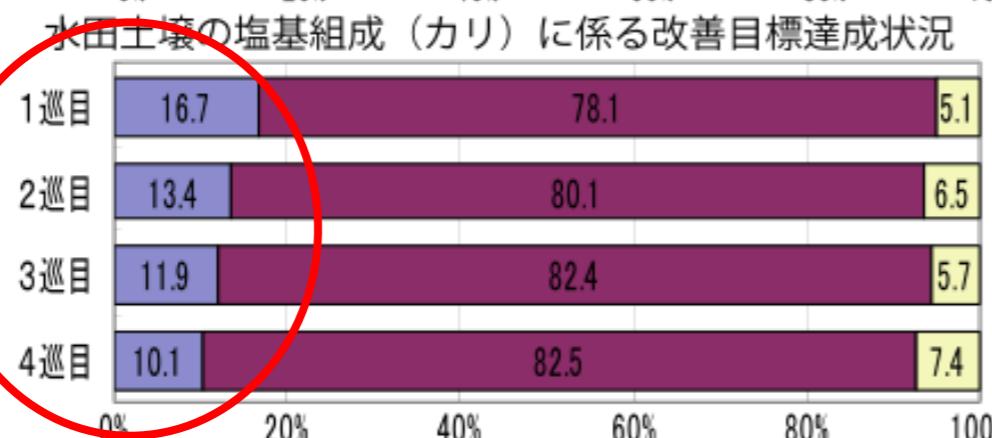
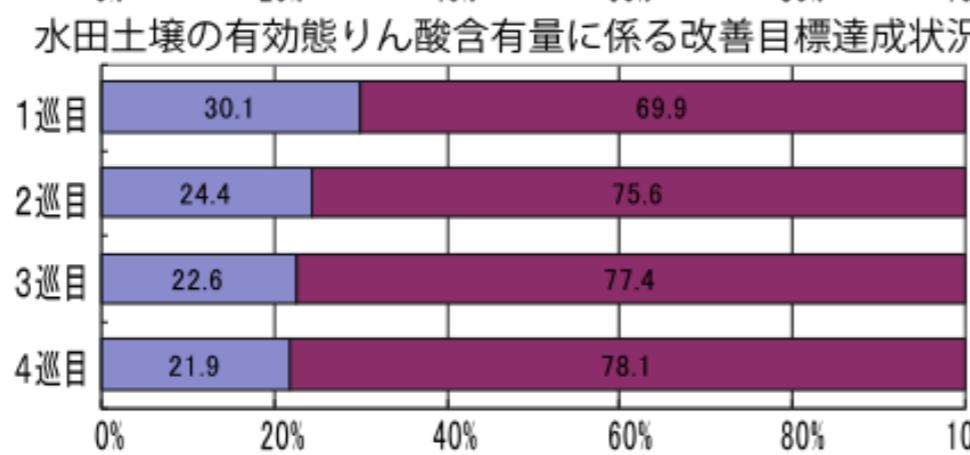
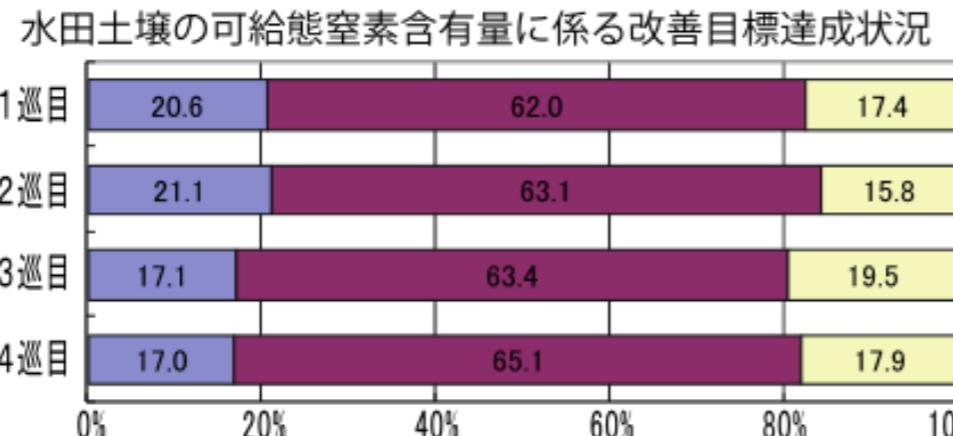
図

と玄米放射性Cs, 移行係数

カリは不足していたのか？

内部被曝抑制

従来15-20mg/100gの交換性カリが推奨されてきた（福島県）。1999-2003のモニタリング結果の平均値は21.5mg/100g



■ 不足域 ■ 適正域 □ 過剰域

(農林水産省環境保全型農業対策室、平成20年)

放射性セシウム吸収抑制対策

H24、25、26、27、28年、
29年、30年、31年

改善目標：25mgK₂O/100gとする。

速効性の塩化カリウムを利用する。

慣行法に基づく基肥に嵩上げする。

「ふくしまからはじめよう。」農業技術情報

第24号：水稻の放射性セシウム対策としてのカリ施用

(H24.4.10)

第34号：水稻次年度放射性セシウム吸収抑制対策（カリ）

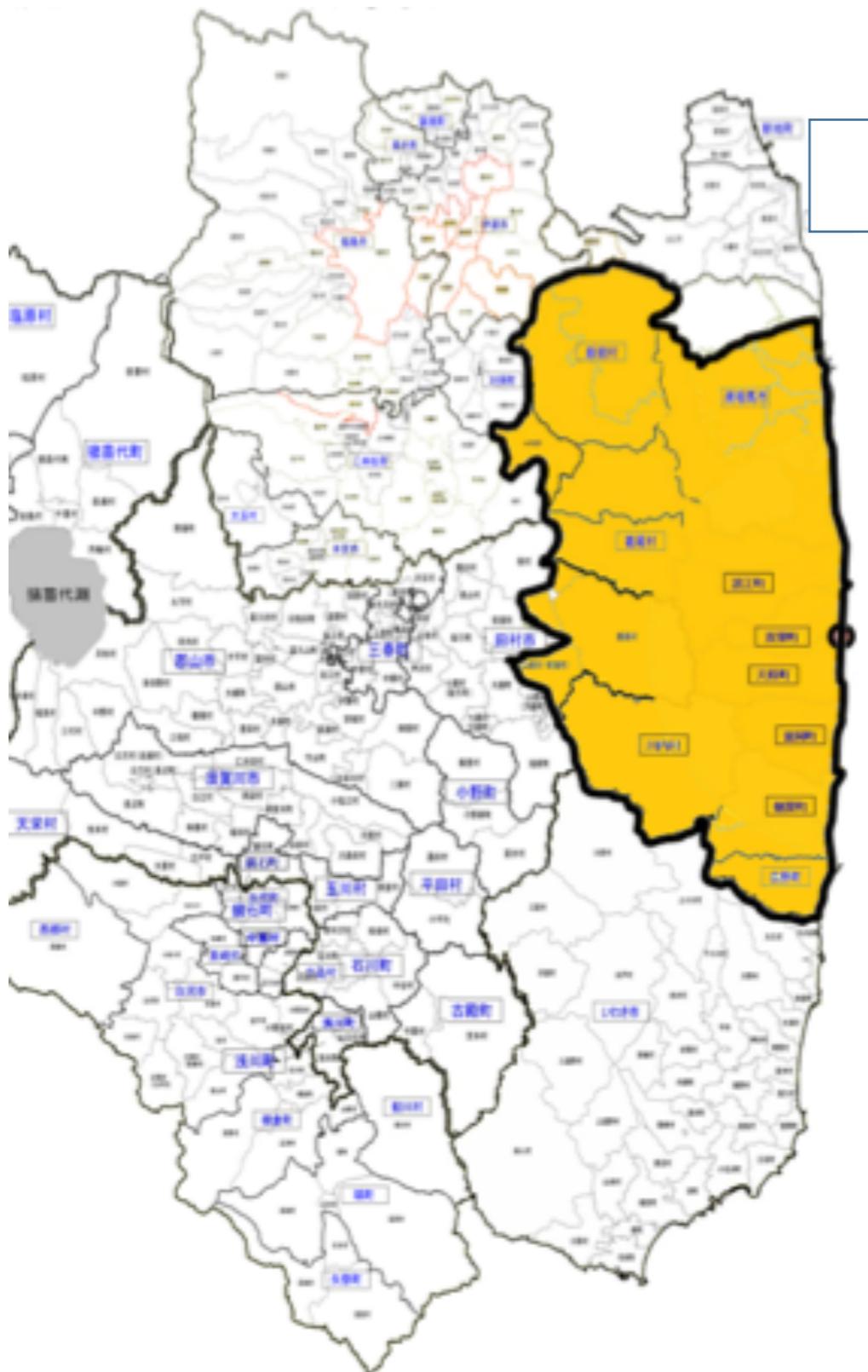
(H24.12.14)

第44号：26年度産米の放射性セシウム吸収抑制対策

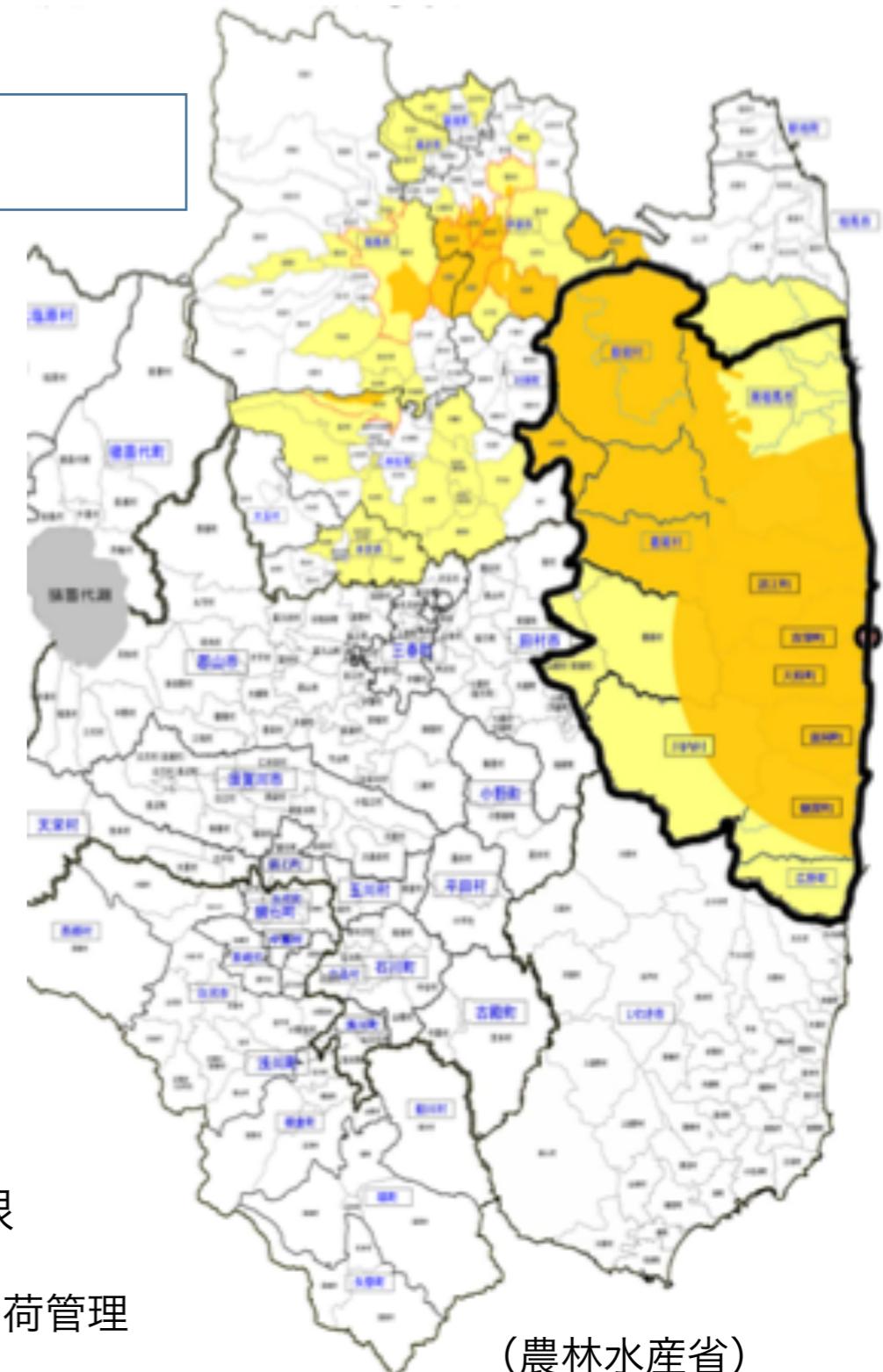
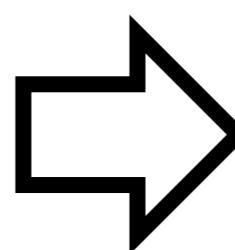
(H26.2.7)

米作付け制限区域 (平成23、24年)

23年産米



24年産米



■ 作付け制限

■ 全量生産出荷管理



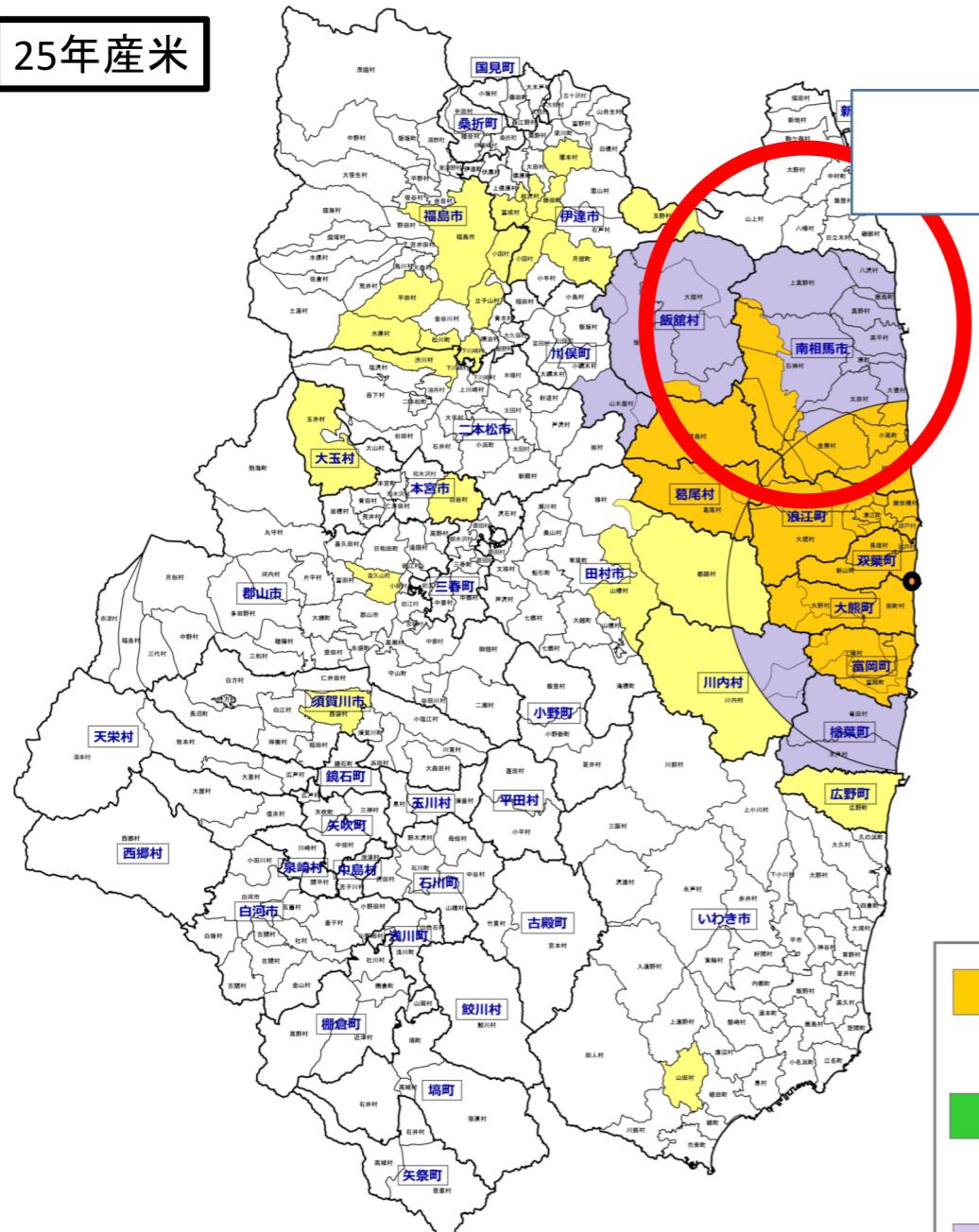
FDNPP

(農林水産省)

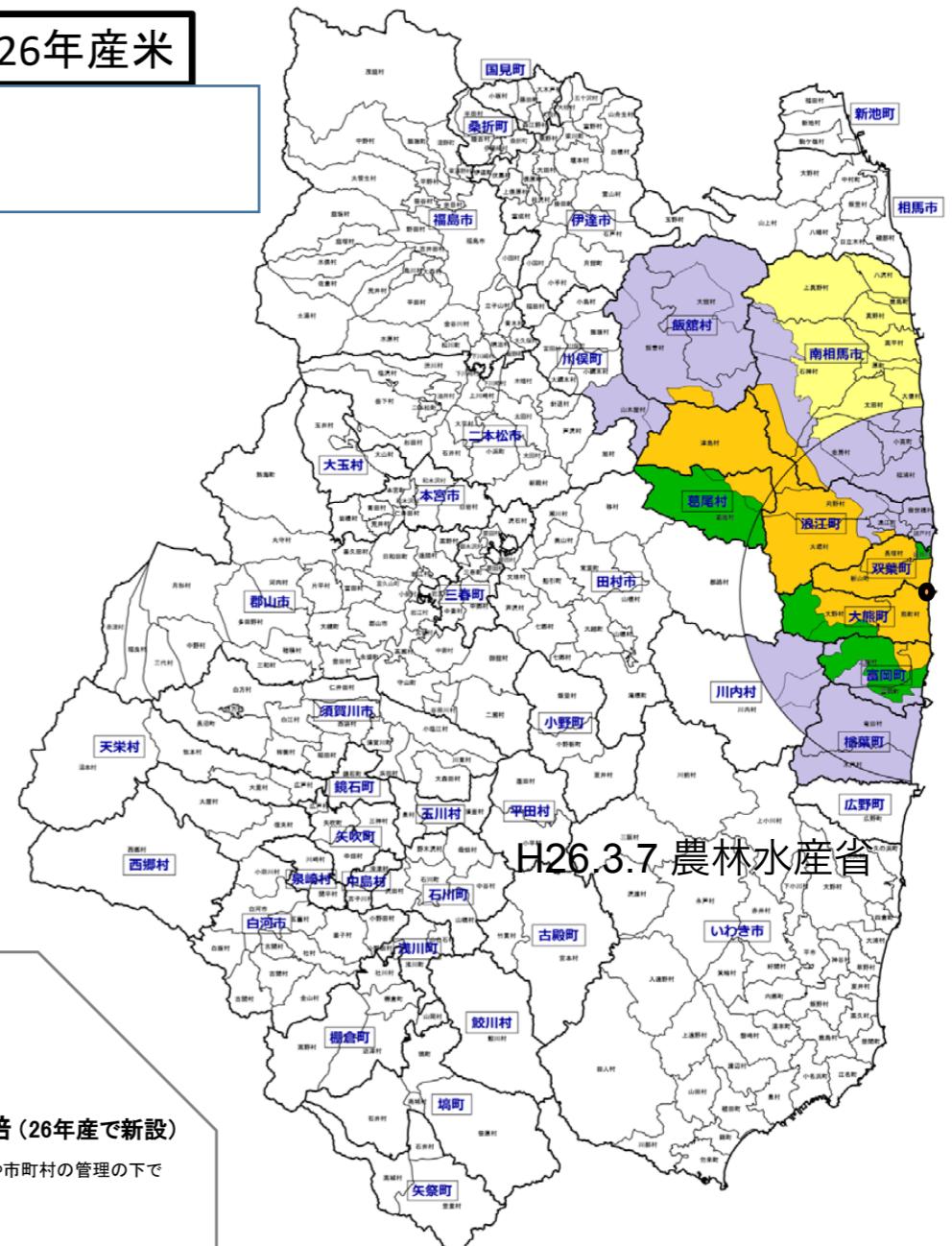
26年産米の作付制限等の対象地域（25年産との比較）

内部被曝抑制

25年産米



26年産米



作付制限

作付・営農は不可。

農地保全・試験栽培 (26年産で新設)

除染後農地の保全管理や市町村の管理の下で試験栽培を実施。

作付再開準備

管理計画を策定し、作付再開に向けた実証栽培等を実施。

全量生産出荷管理

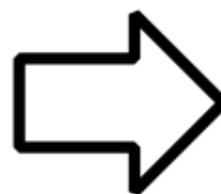
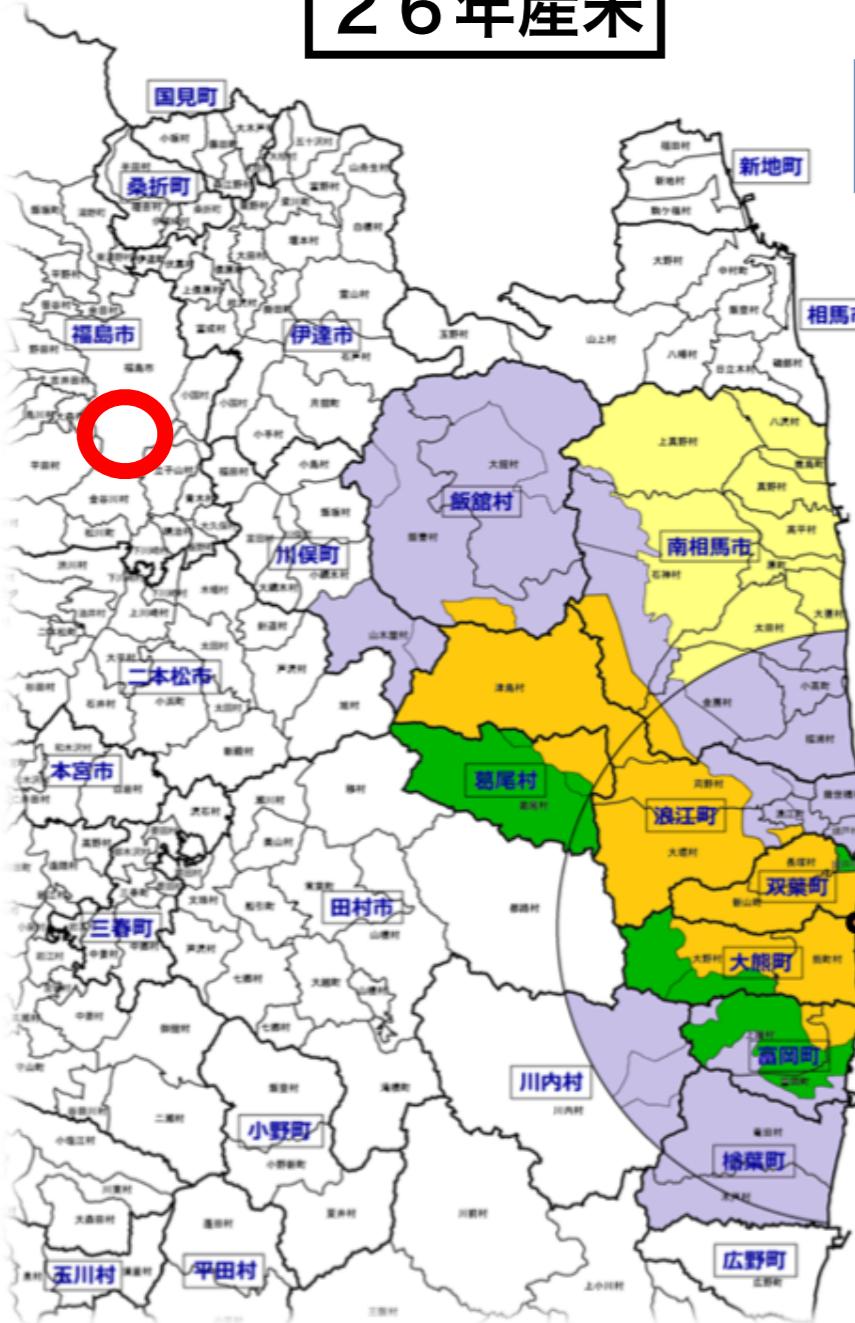
管理計画を策定し、全ての場所で吸収抑制対策を実施、もれなく検査(全量管理・全袋検査)し、順次出荷。

福島第一原子力発電所

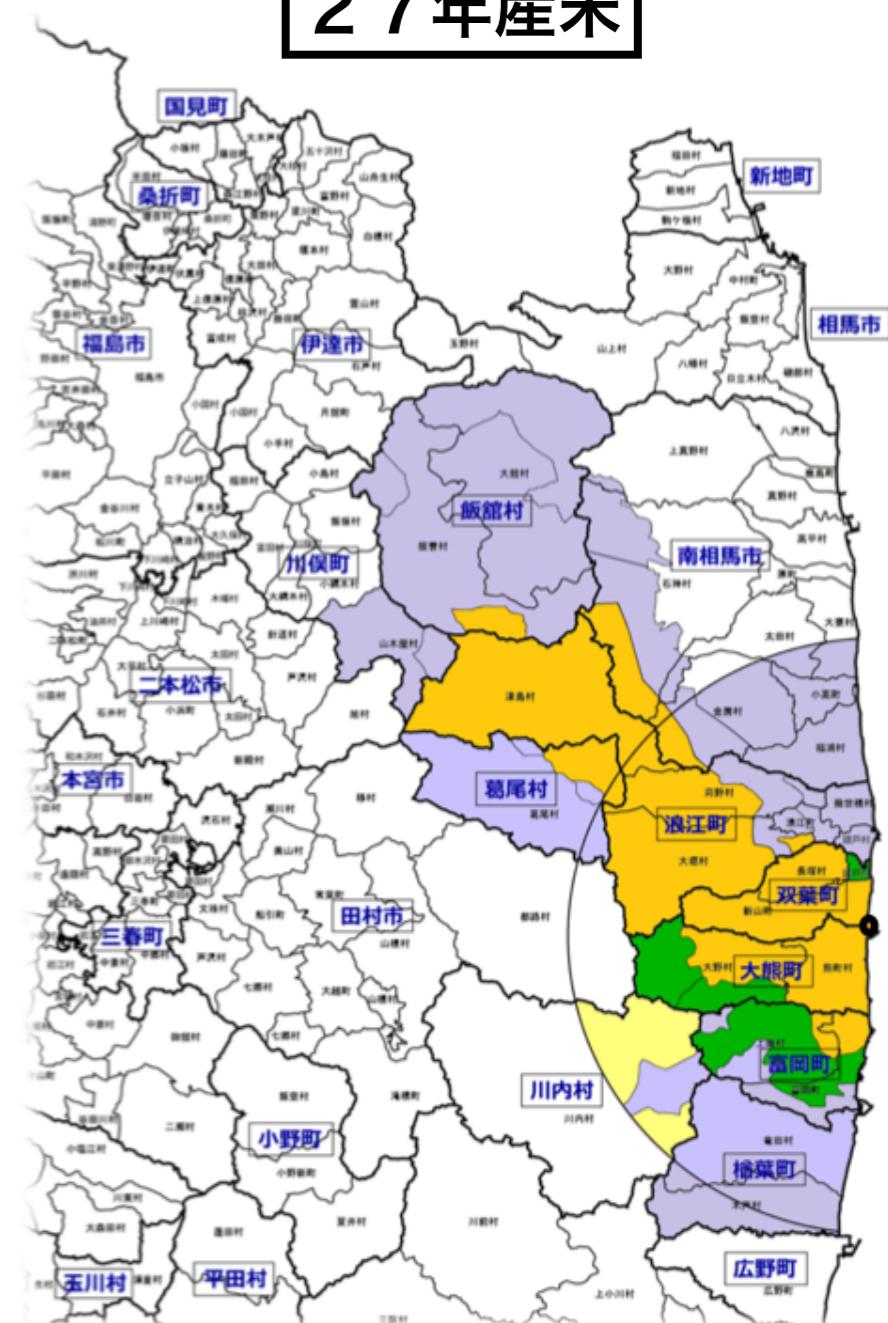
27年産米の作付制限等の対象地域（26年産との比較）

内部被曝抑制

26年産米



27年産米



作付制限

作付 賞農は不可

農地保全 試驗栽培

除染後農地の保全管轄や市馬村の管轄の下で試験栽培を実施。

作付再開準備

管轄計画を策定し、作付再開に向けた実証栽培等を実施。

全量生產出荷管理

管罐計画を策定し、全ての場所で吸収抑制対策を実施、もれなく検査（重量管罐・全袋検査）し、順次出荷。



拡大

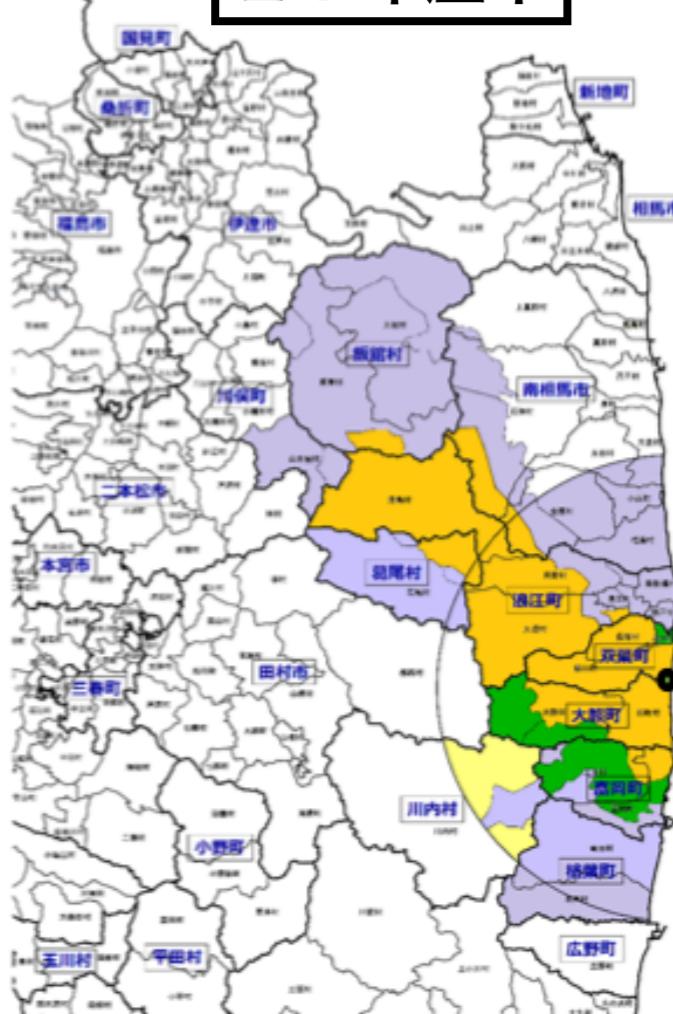
福島第一原子力発電所

(農林水産省)

28年産米の作付制限等の対象地域（27年産との比較）

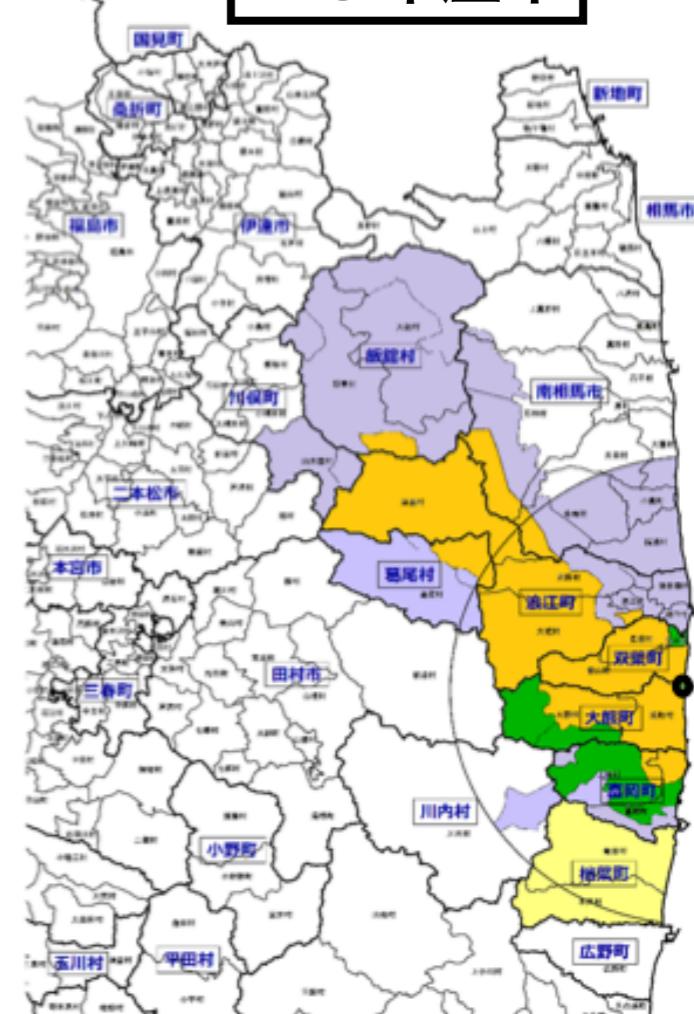
内部被曝抑制

27年産米



(作
付け制限)

28年産米



作付制限

作付 営農は不可。

農地保全 試験栽培

除染後農地の保全管轄や市町村の管轄の下で試験栽培を実施。

作付再開準備

管轄計画を策定し、作付再開に向けた実証栽培等を実施。

全量併出し荷管轄

管轄計画を策定し、全ての出荷場で吸収抑制対策を実施、もれなく検査（全量管轄・全袋検査）し、順次出荷。

福島第一原子力発電所

福島県

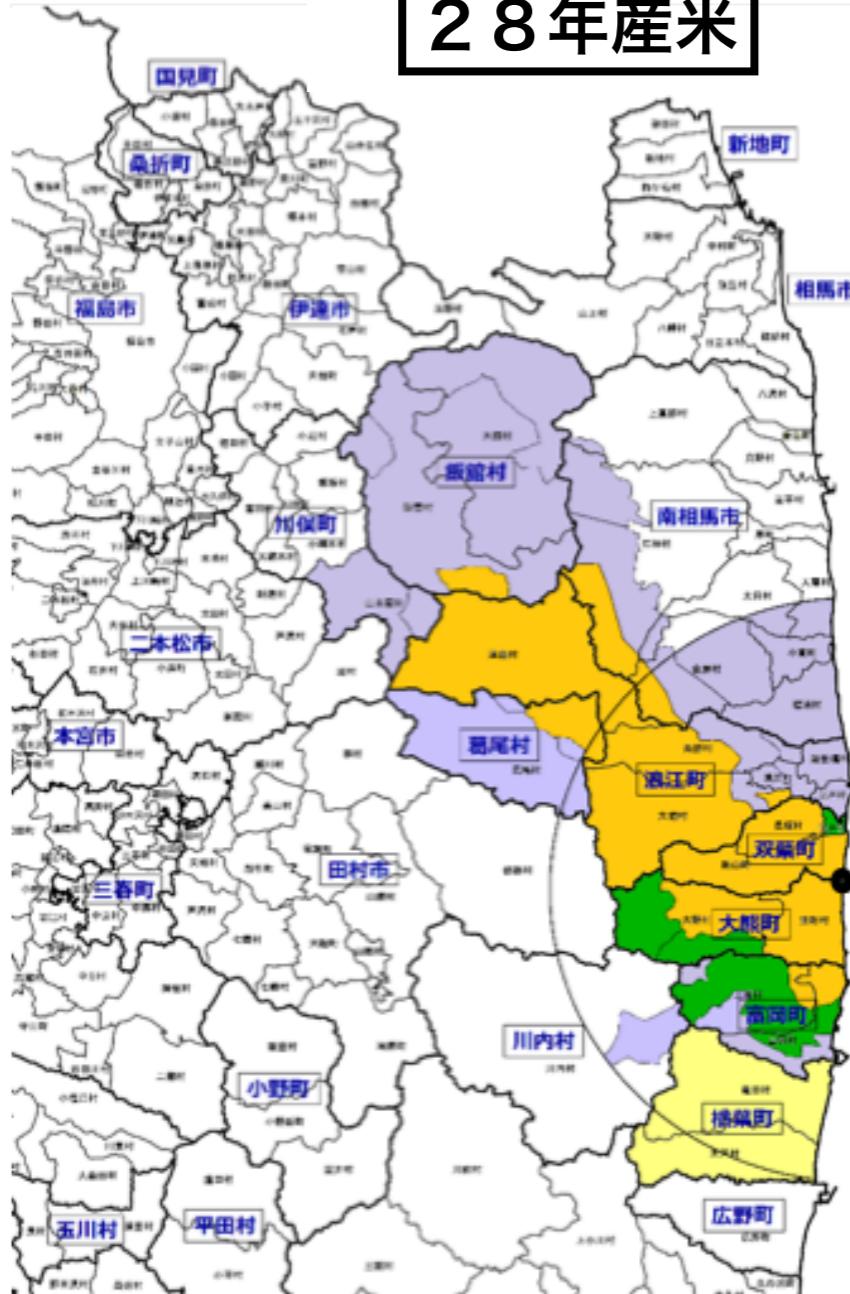
拡大

（農林水産省）

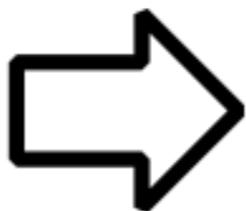
内部被曝抑制

29年産米の作付制限等の対象地域（28年産との比較）

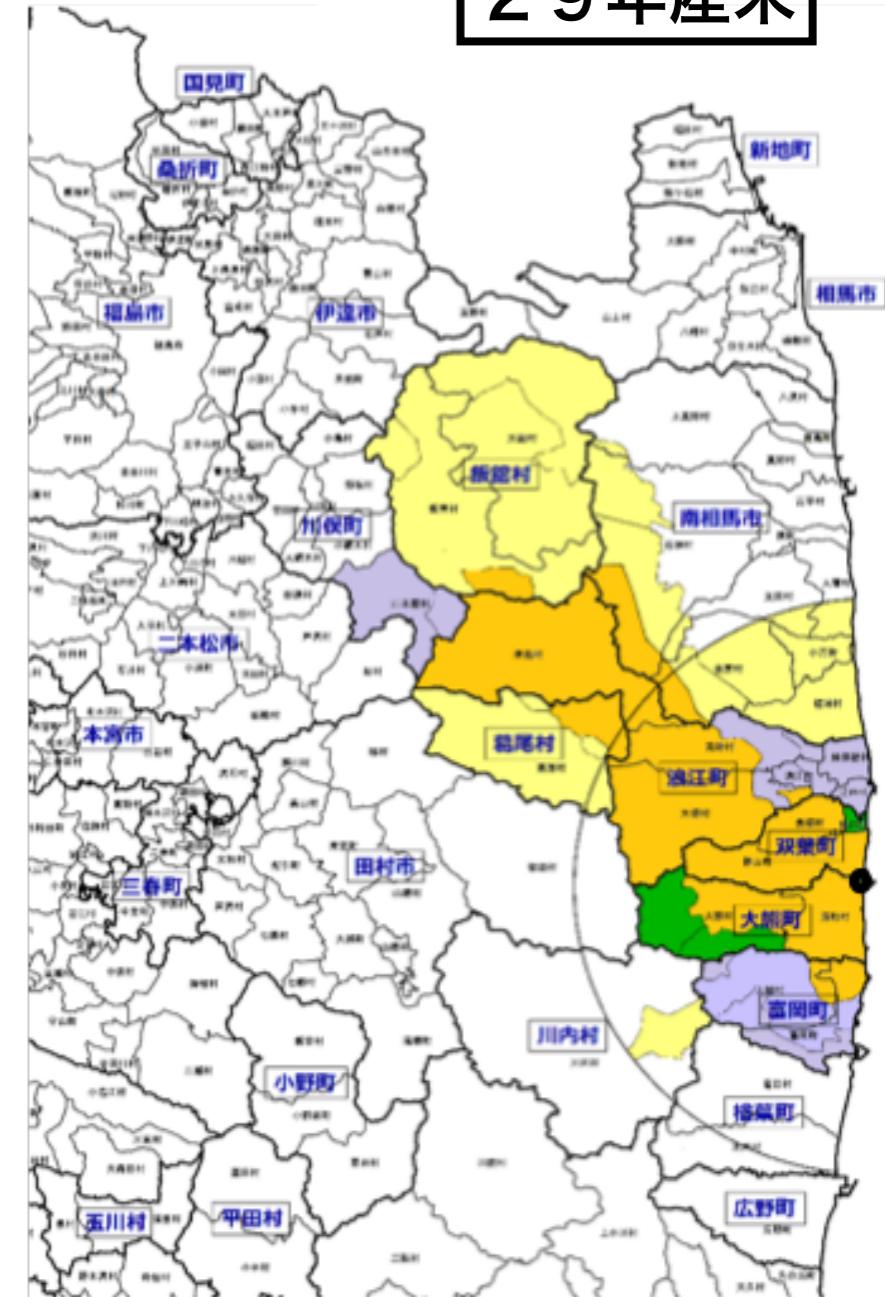
28年産米



(作
付け制限)



29年産米



作付制限

作付 営農は不可。

農地保全 試験栽培

除染後農地の保全管轄や市町村の管轄の下で試験栽培を実施。

作付再開準備

管轄計画を策定し、作付再開に向けた実証栽培等を実施。

全量併出し荷管轄

管轄計画を策定し、全ての場所で吸収抑制対策を実施、もれなく検査（全量管轄・全袋検査）し、順次出荷。

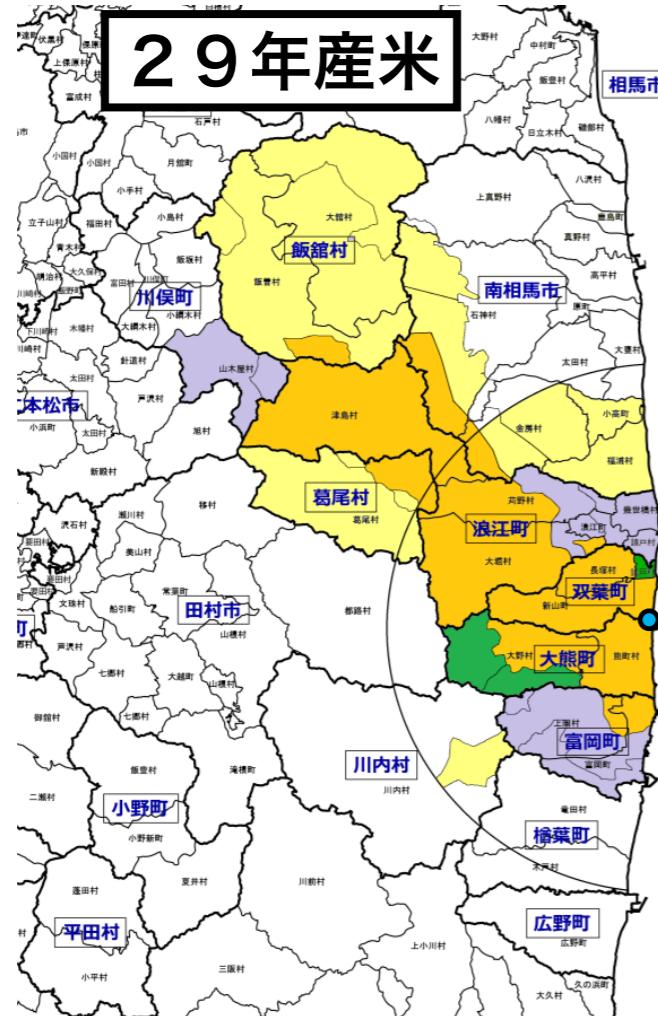
福島第一原子力発電所

福島県

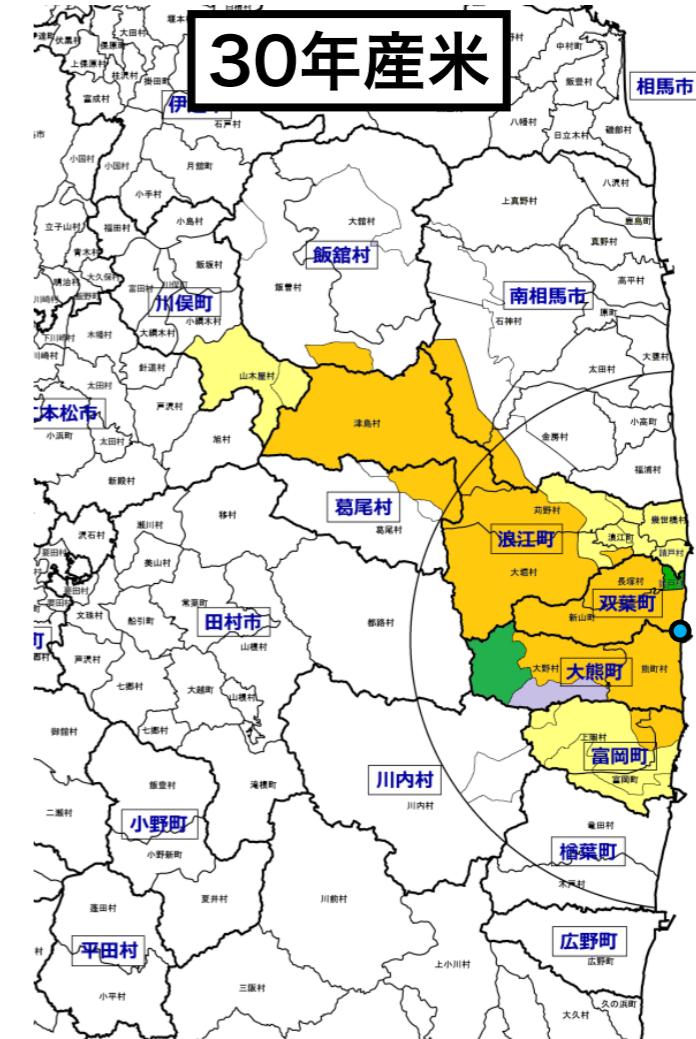
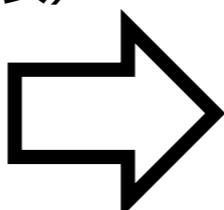


拡大

30年産米の作付制限等の対象地域（29年産との比較）



(作
付け制限)



作付制限

作付・営農は不可。

農地保全・試験栽培

除染後農地の保全管理や市町村の管理の下で試験栽培を実施。

作付再開準備

管理計画を策定し、作付再開に向けた実証栽培等を実施。

全量生産出荷管理

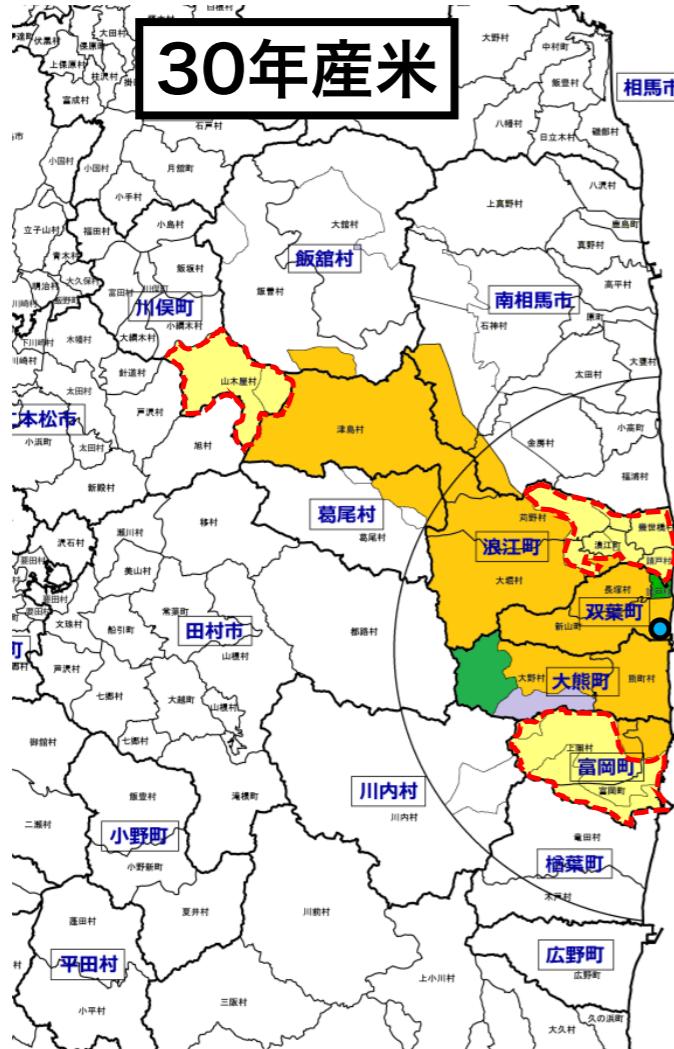
管理計画を策定し、全ての場所で吸収抑制対策を実施、もれなく検査(全量管理・全袋検査)し、順次出荷。

福島第一原子力発電所



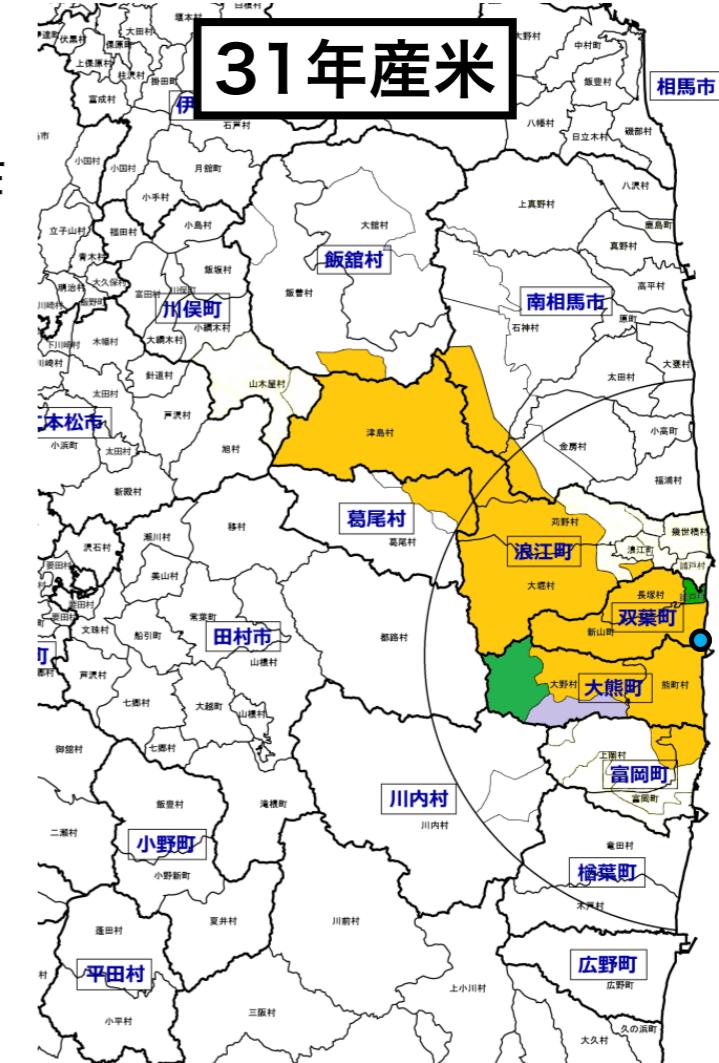
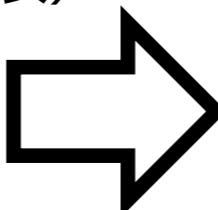
内部被曝抑制

31年産米の作付制限等の対象地域（30年産との比較）



30年産米

(作
付け制限)



31年産米

作付制限

作付・営農は不可。

農地保全・試験栽培

除染後農地の保全管理や市町村の管理の下で試験栽培を実施。

作付再開準備

管理計画を策定し、作付再開に向けた実証栽培等を実施。

全量生産出荷管理

管理計画を策定し、全ての場所で吸収抑制対策を実施、もれなく検査（全量管理・全袋検査）し、順次出荷。

福島第一原子力発電所



除染と移行抑制対策によって

内部被曝抑制

Changes of the radioactive Cs concentration of **brown rice** after 2011.3.11 (30kg bag) (Fukushima prefecture)

		≤ 50 Bq/kg	51-75 Bq/kg	76-100 Bq/kg	100 Bq/kg <	Monitored number
FY 2011	actual no.	20,295	364	219	311	21,189
	(%)	95.78%	1.7179%	1.0336%	1.4677%	100%
FY 2012	actual no.	10,343,548	1678	389	71	10,345,686
	(%)	99.98%	0.0162%	0.0038%	0.0007%	100%
FY 2013	actual no.	10,951,351	492	323		10,952,194
	(%)	99.99%	0.0045%	0.0029%		100%
Fy 2014	actual no.	11,014,636	1	1		11,014,640
	(%)	100%	0.00001%	0.00001%		100%
Fy 2015	actual no.	10,496,518	4	0	0	10,439,072
	(%)	100%	0.00004%	0	0%	100%
Fy 2016	actual no.	10,264,859	0	0	0	10,264.859
	(%)	100%	0%	0%	0%	100%
Fy 2017	actual no.	9,976,522	0	0	0	9,997,652
	(%)	100%	0%	0%	0%	100%
Fy 2018	actual no.	9,251,056	0	0	0	9,251,056
	(%)	100%	0%	0%	0%	100%
FY 2019 (2020.6.17)	actual no.	9,466,562	0	1	0	9,466,563
	(%)	100%	0%	0%	0%	100%

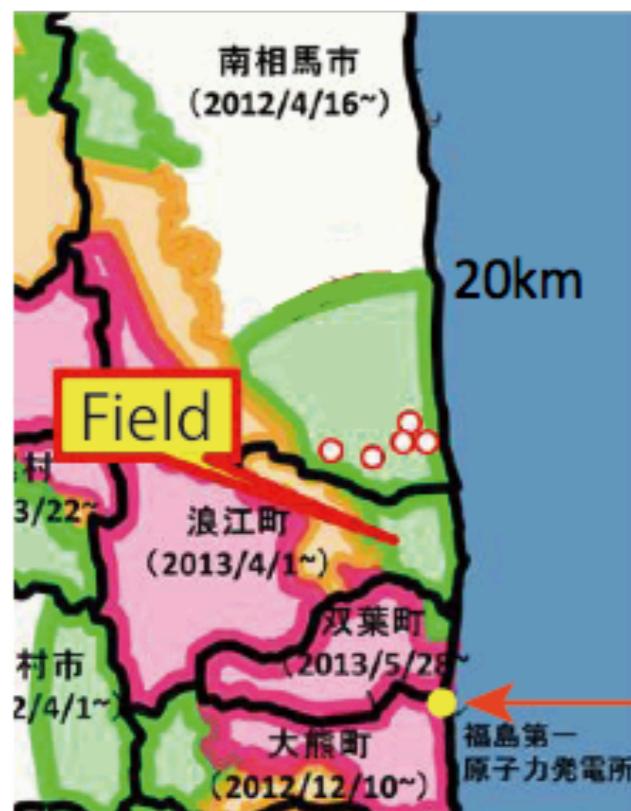
営農再開をしている水田の集計

福島県浜通りで観察された放射性セシウムの二次汚染一大豆（2013）

Soybean exceeded the standard value in Namie town in 2013, two years after the accident.

除染圃場

Radioactive Cs behavior in the experimental fields in Namie town (ca. 10km from FDNPP) and Nakadori district (ca. 60km from FDNPP) in 2013.



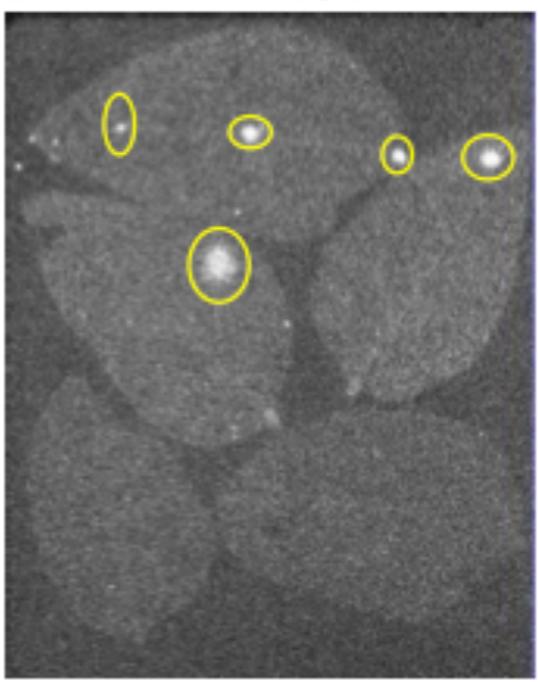
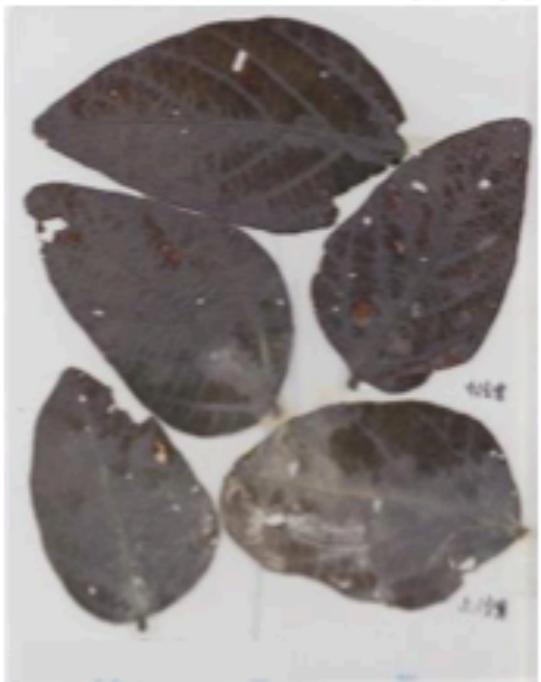
	大豆子実の放射性セシウム濃度(Bq/kg)	土壤の放射性セシウム濃度(Bq/kg)	移行係数
除染した圃場 (浪江)			
未除染の圃場 (中通り)			

(MAFF, 2015)

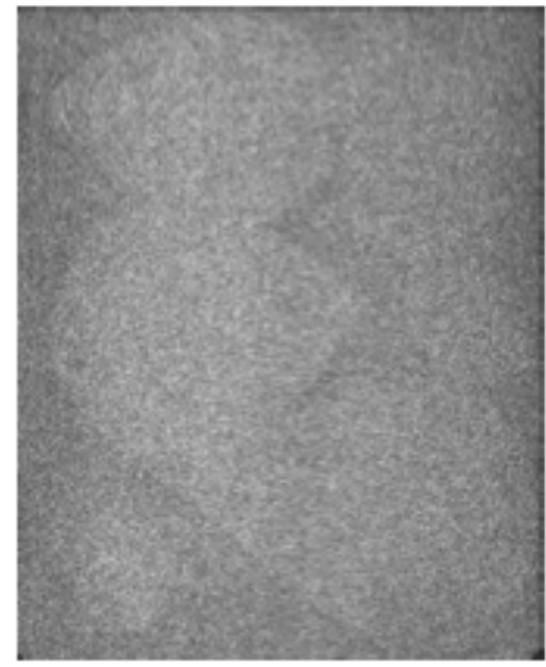
$$\text{Transfer factor (TF)} = \frac{\text{radioactive Cs content of Brown rice}}{\text{radioactive Cs content of soil}}$$

Imaging plate of soybean leaves

Samples form Namie town (2013)



Samples form Nakadori district (ca. 60 km from FDNPP) (2013)

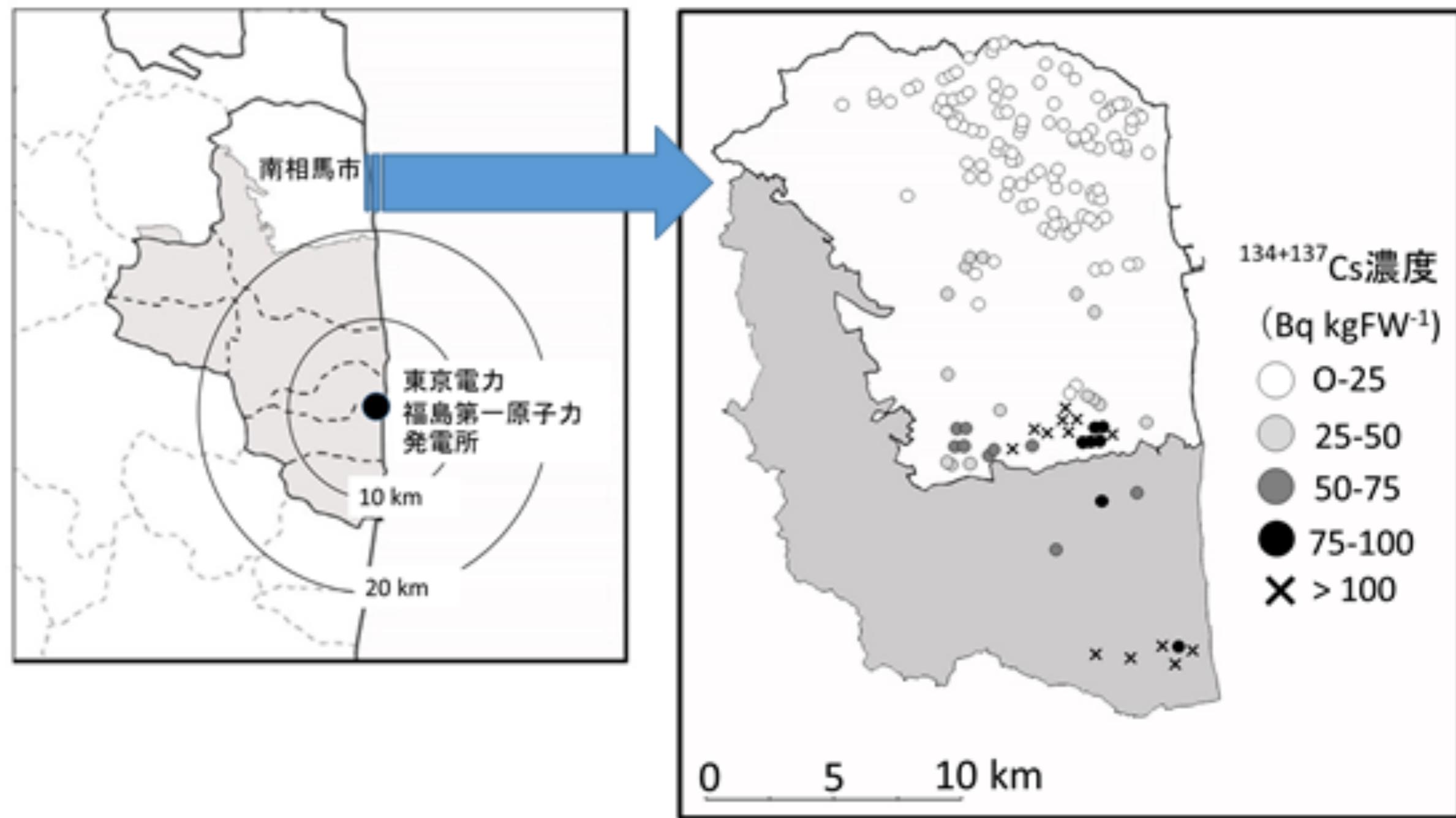


(MAFF, 2015)

Fig. Visible image (Left) and radioactivity image (Right).

Leaves were washed by ultrasonic cleansing (5min).

福島県浜通りで観察された放射性セシウムの二次汚染－水稲（2013）



福島県浜通りで観察された放射性セシウムの二次汚染－水稻（2013）



Effect of secondary attachment on rice TF (2013)

Year	Sample ID	$^{134+137}\text{Cs}$ conc. (Bq kg^{-1}) ^{*1}			Transfer factor	
		Brown rice				
		HG ^{*2}	LG ^{*2}	Average		
2013	MSG1	1,628.2 \pm 7.8	59.5 \pm 0.3	152	315.3 \pm 1.9	0.4824
	MSG4	2,220.4 \pm 11.4	49.3 \pm 0.2	167	290.4 \pm 1.8	0.5767
	MSG7	1,271.3 \pm 6.9	68.4 \pm 0.4	161	427.8 \pm 2.0	0.3754
	MSG8	1,380.4 \pm 6.0	79.7 \pm 0.5	172	1,792.1 \pm 8.3	0.0960
	MSG11	1,345.6 \pm 6.0	36.7 \pm 0.2	80	449.9 \pm 2.1	0.1788
	MSG14	843.2 \pm 3.9	40.0 \pm 0.4	76	510.9 \pm 2.4	0.1481
	MSG17	1,197.2 \pm 6.2	55.5 \pm 0.3	106	1,054.8 \pm 5.7	0.1001
	MSG18	1,590.5 \pm 2.1	33.2 \pm 0.7	72	1,222.5 \pm 5.8	0.0590
	MSG19	938.3 \pm 3.2	29.9 \pm 0.6	50	619.8 \pm 2.9	0.0805
	MSG20	1,319.1 \pm 2.0	47.6 \pm 1.0	115	369.4 \pm 1.7	0.3111
2014	MSG38	—	—	18.5 \pm 0.1	1,590.7 \pm 7.2	0.0116
	MSG39	—	—	3.7 \pm 0.0	2,144.9 \pm 9.5	0.0017
	MSG41	—	—	24.2 \pm 0.1	1,860.7 \pm 8.4	0.0130

Table 1. Radiocaesium concentrations in brown rice and paddy field soil in the southern area of Minamisoma City. ^{*1}Measured value \pm counting error. The radionuclide concentrations were corrected to the values on 1 October of each year. ^{*2}HG: highly contaminated grains. LG: less contaminated grains.

The origin of contaminant was not the surrounding soil.

土壤と付着した放射性セシウムの

Year	Sample ID	Brown rice		Paddy field soil
		HG ^{*2}	Average	
2013	MSG1	0.996±0.010	—	0.912±0.011
	MSG4	0.990±0.011	—	0.923±0.012
	MSG7	0.999±0.011	—	0.914±0.009
	MSG8	1.017±0.009	—	0.908±0.009
	MSG11	1.004±0.009	—	0.940±0.009
	MSG14	1.007±0.010	—	0.926±0.009
	MSG17	1.004±0.011	—	0.921±0.010
2014	MSG38	—	0.938±0.009	0.919±0.009
	MSG39	—	0.910±0.011	0.885±0.008
	MSG41	—	0.937±0.009	0.936±0.009

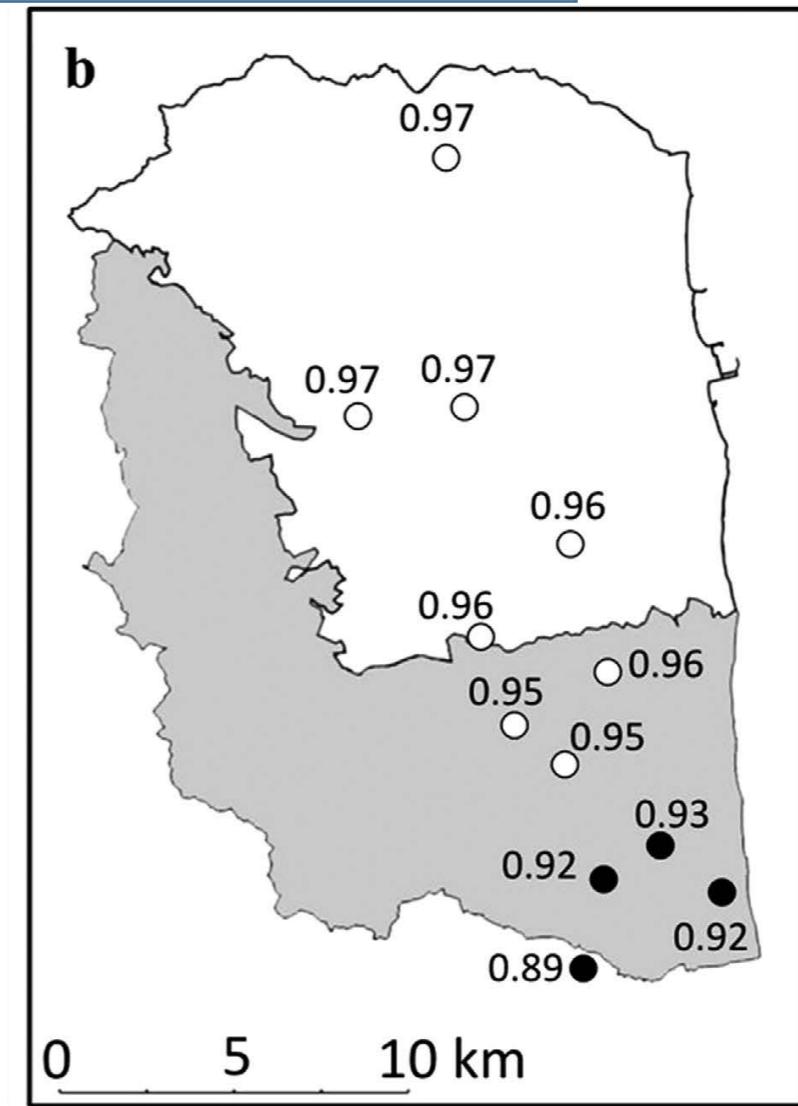


Table 3. $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ radioactivity ratio in brown rice and paddy field soil in the southernmost section of Minamisoma City^{*1}. ^{*1}Ratio value ± uncertainties calculated by means of propagation of counting errors. The $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ radioactivity ratios of the samples were corrected to the values on 11 March 2011. ^{*2}HG: highly contaminated grains.

福島県中通りで玄米の基準値超過2件は。。。 (2014)

きちんと
対策を
取ってよ

福島民報 27年 7月10日(朝・夕) (2面)

福島の自家米基準超

対策せず作付け 市が全量回収

26年産

県は九日、福島市飯野町青木の農家が栽培した平成二十六年産のコシヒカリの玄米から食品衛生活の基準値(一キ当たり100㏃)を超える一キ当たり最大で130㏃の放射性セシウムが検出されたと発表した。セシウムの吸収抑制対策となるカリウム肥料を散布していなかったのが原因。農家が収穫した玄米計四十五㌧は市場に流通していない。市は既に全量を回収しており、焼却処分する。

県が生産者確認徹底へ

県によると、玄米は持参した簡易測定で基準値を超過、報告を受けた結果、市飯野支所の測定所に

れ一キ当たり110㏃と170㏃の値が出た。

水田は農災前からほぼ耕作されておらず、農家は市の意向調査に

対しても、二十六年産米を「作付けしない」と回答した。しかし、知人から苗をもらったため、自家用として水田一・五㌶に作付けしたという。

県は来週にも、意向調査で「作付けをしない」と回答した県内の生産者の事後確認を徹底するよう各市町村に文書で求める。国の指針には、作付けしていない場合の確認作業が含まれていなかつた。

県内では平成二十四年から県内で収穫されたコメの放射性物質を測定する全袋検査を実施している。二十六年産はこれまでに約99%に当たる一千万袋以上を検査し、初の基準値超となっ

た。

記者会見し、「(基準値超えは) 大変残念だ。しっかり気を引き締め、市町村やJAと連携を強化し安全確保に努めたい」と話した。

内部被曝抑制

➤ 2011年（移行抑制対策実施前のカリ施用基準）

- ・ 収穫時交換性カリ含量が5mg/100gを下回る水田が存在した
- ・ 農家が散見された
- ・ 稲わらすき込みにより交換性カリ含量が高まることが示唆された

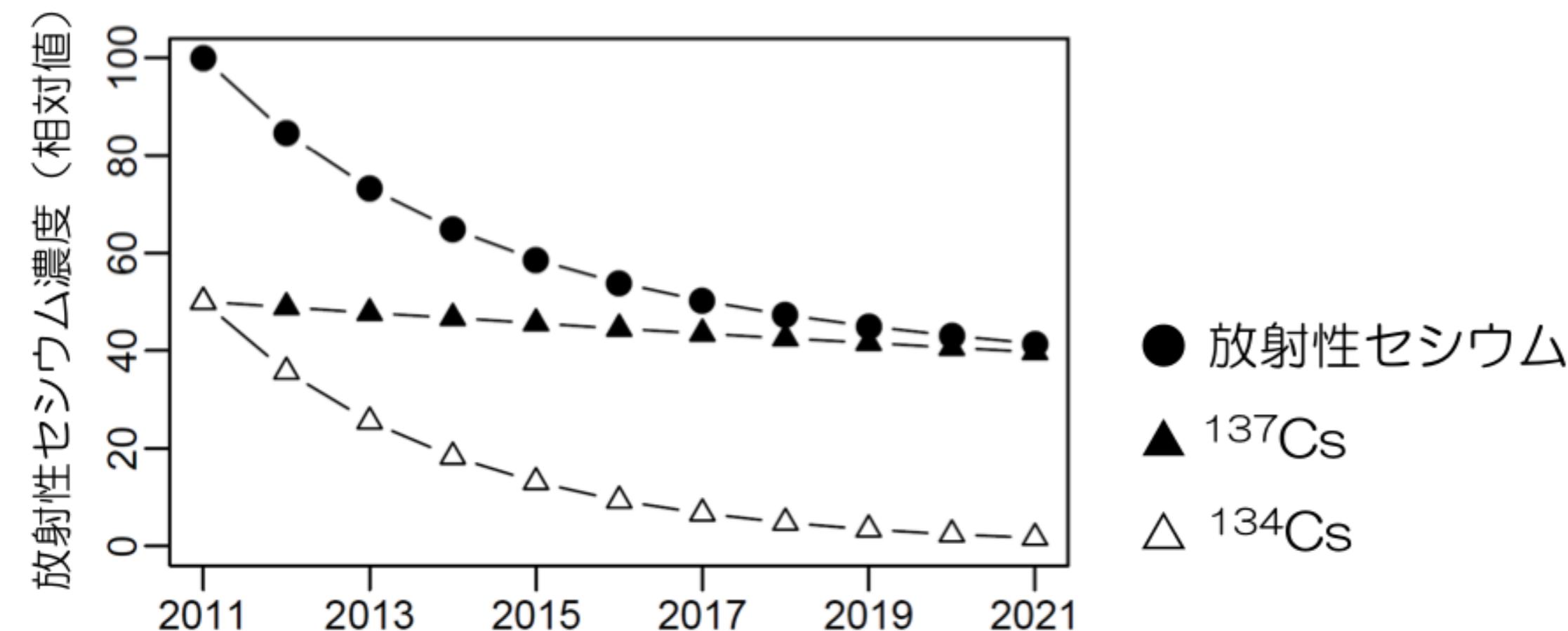
➤ 今後も土壤の放射性セシウムは

- ・ 収穫時が適切に維持される必要がある
- ・ 施用基準を守る。積極的に土壤診断を
- ・ 有機物還元（稻わらすき込み、堆肥施用）が有効

土壤の放射性セシウムの動態

土壤中の放射性セシウム

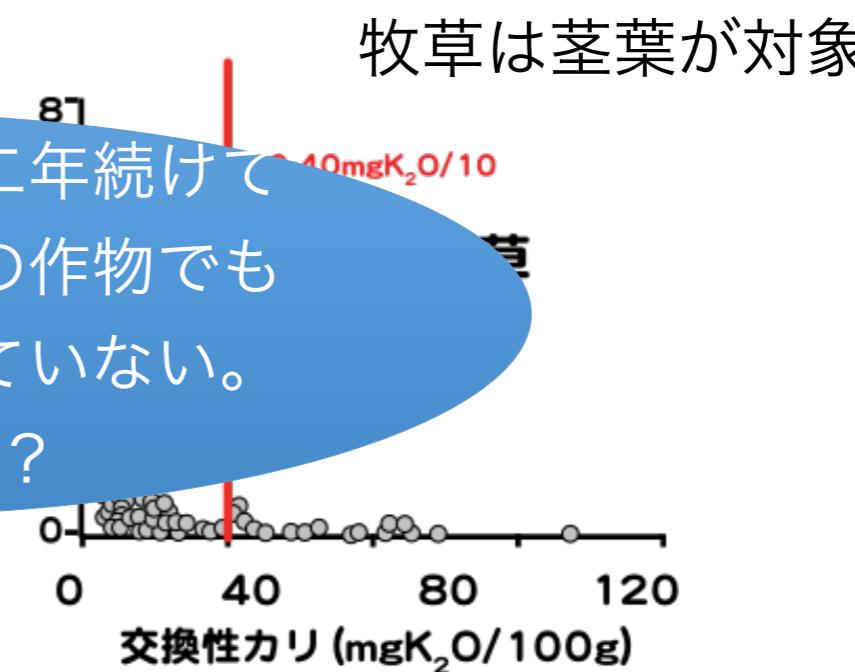
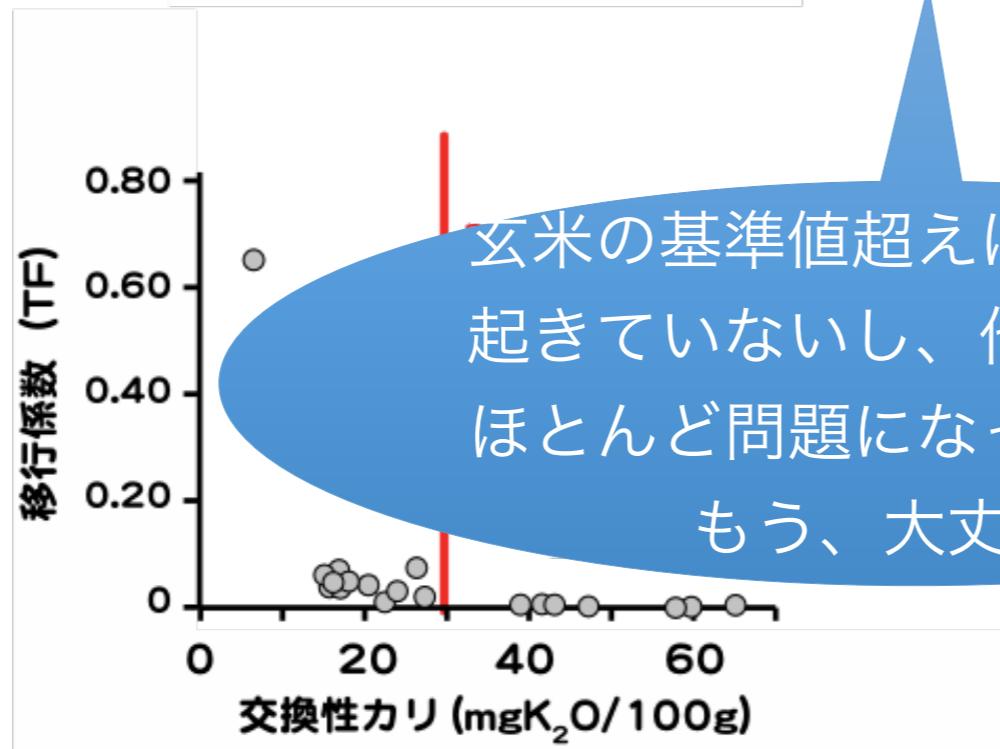
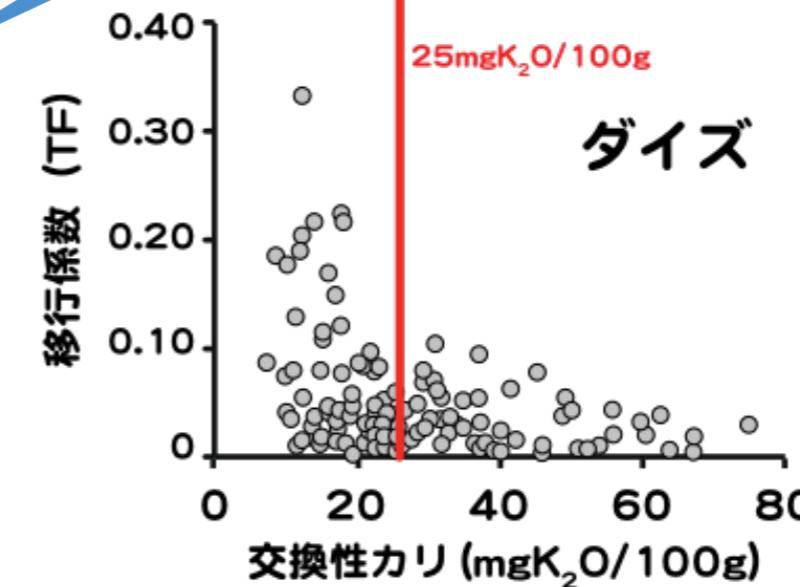
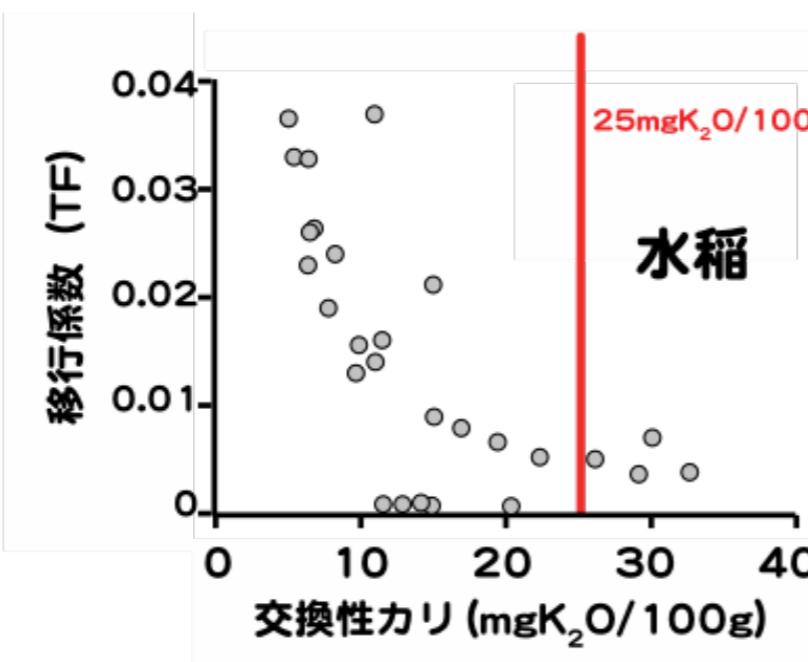
- 放射性セシウムの自然度減衰により、2017年の放射性セシウム濃度 (^{134}Cs と ^{137}Cs の合計値) は、2011年の半分程度にまで減少する
- ただし、今後の減少速度は小さい



移行係数の作物間差

水稻以外

とにかくカリをまいておこう

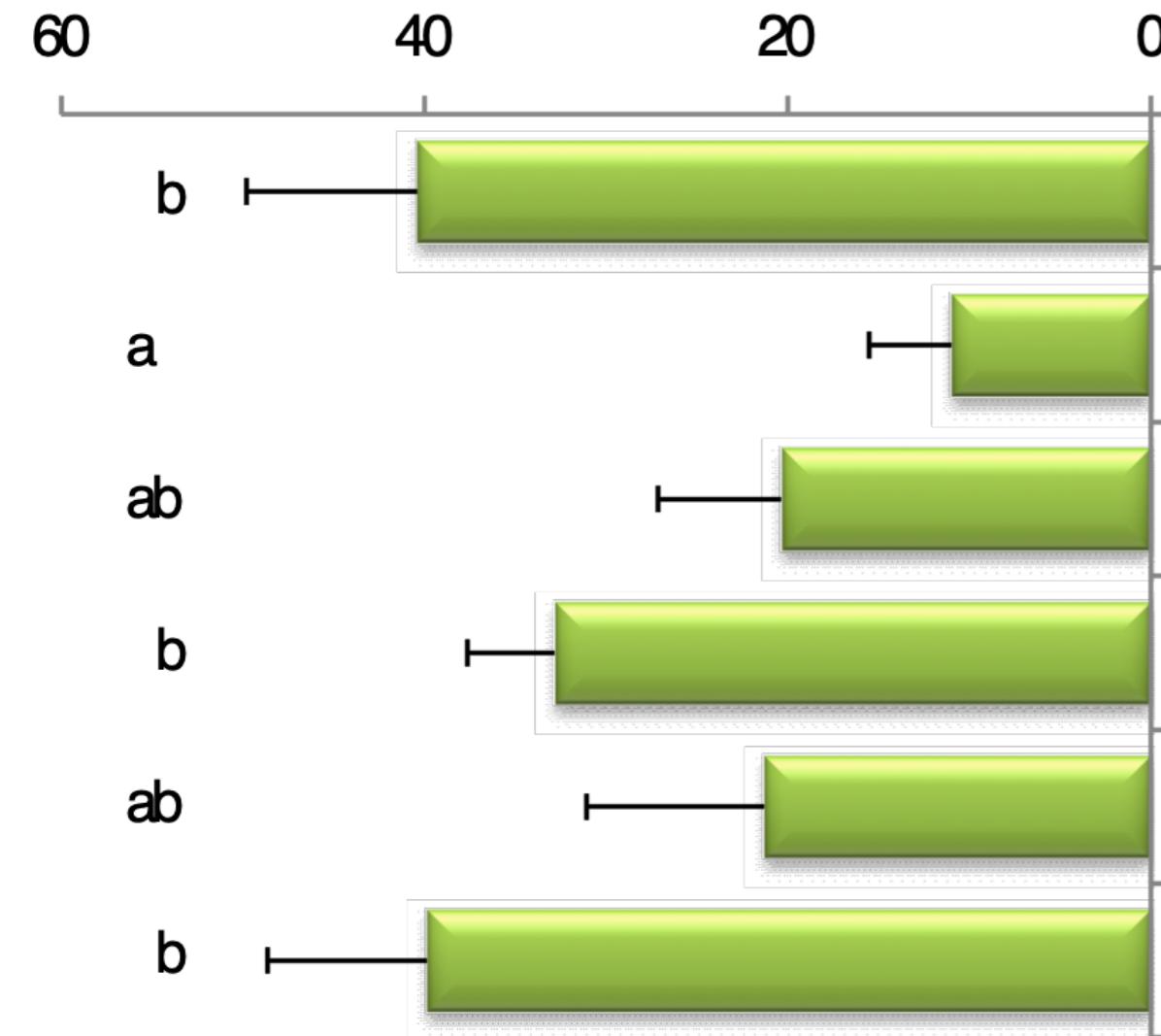


(ダイズ、ソバの放射性セシウム濃度が高くなる可能性のある地域では50mgK₂O/100gを目標とする)

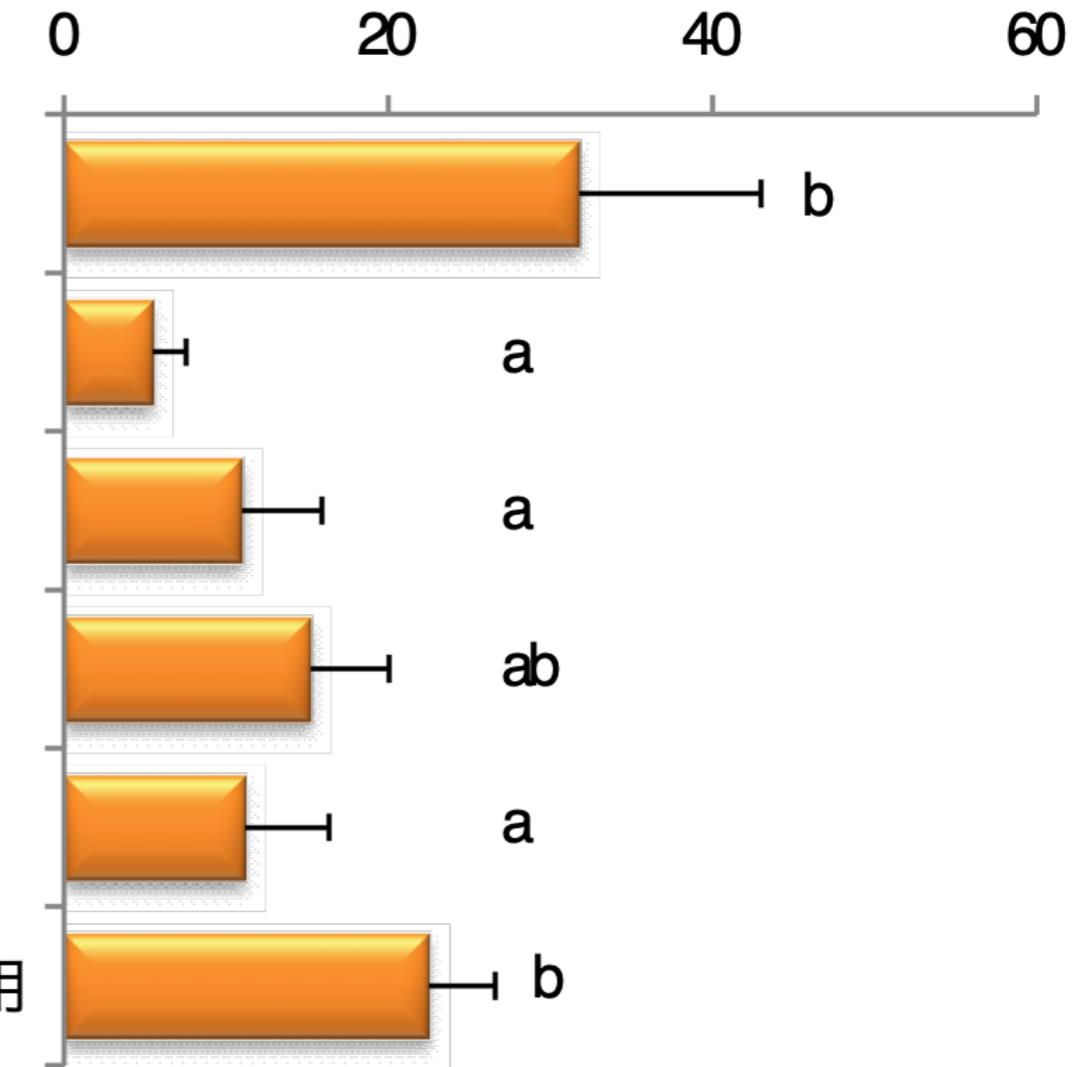
ダイズにおいてもカリは基肥施用が最も効果が高い

水稻以外

最大繁茂期の茎葉のセシウム137濃度 Bq/kg DW



子実のセシウム137濃度 Bq/kg DW

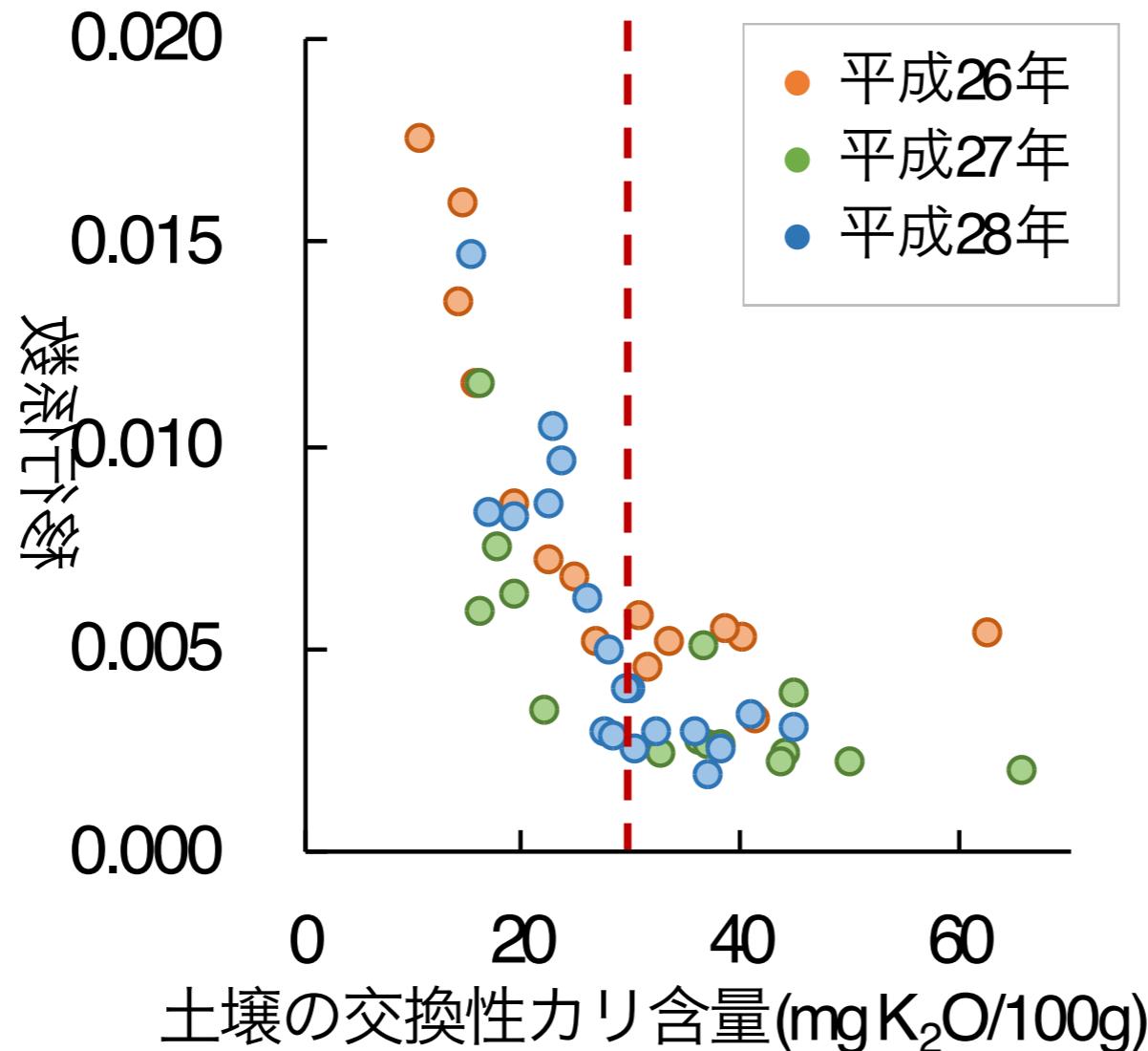


播種前施用が最も放射性セシウム吸収抑制効果が高い

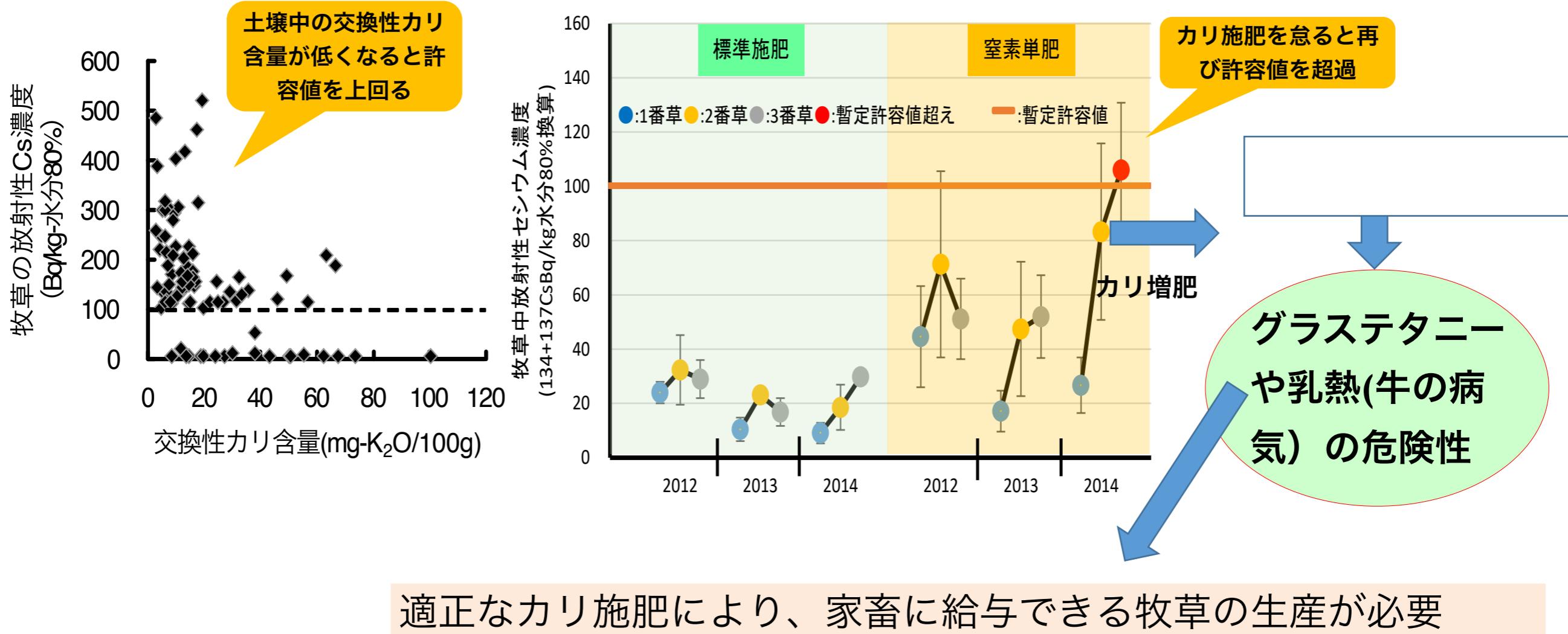
(平成27年度放射線関連技術支援情報)

そばでも土壤の交換性カリを増やすと放射性セシウム濃度は低下する

水稻以外



問題が多い牧草



農研機構(2015):牧草中放射性セシウム濃度低減のために、草地更新後もカリ施肥継続は必要
https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2014/14_079.html

[対策]

土壤の交換性カリ濃度を迅速に評価し、移行抑制をさせつつカリ過剰にならないようにする技術開発が求められている

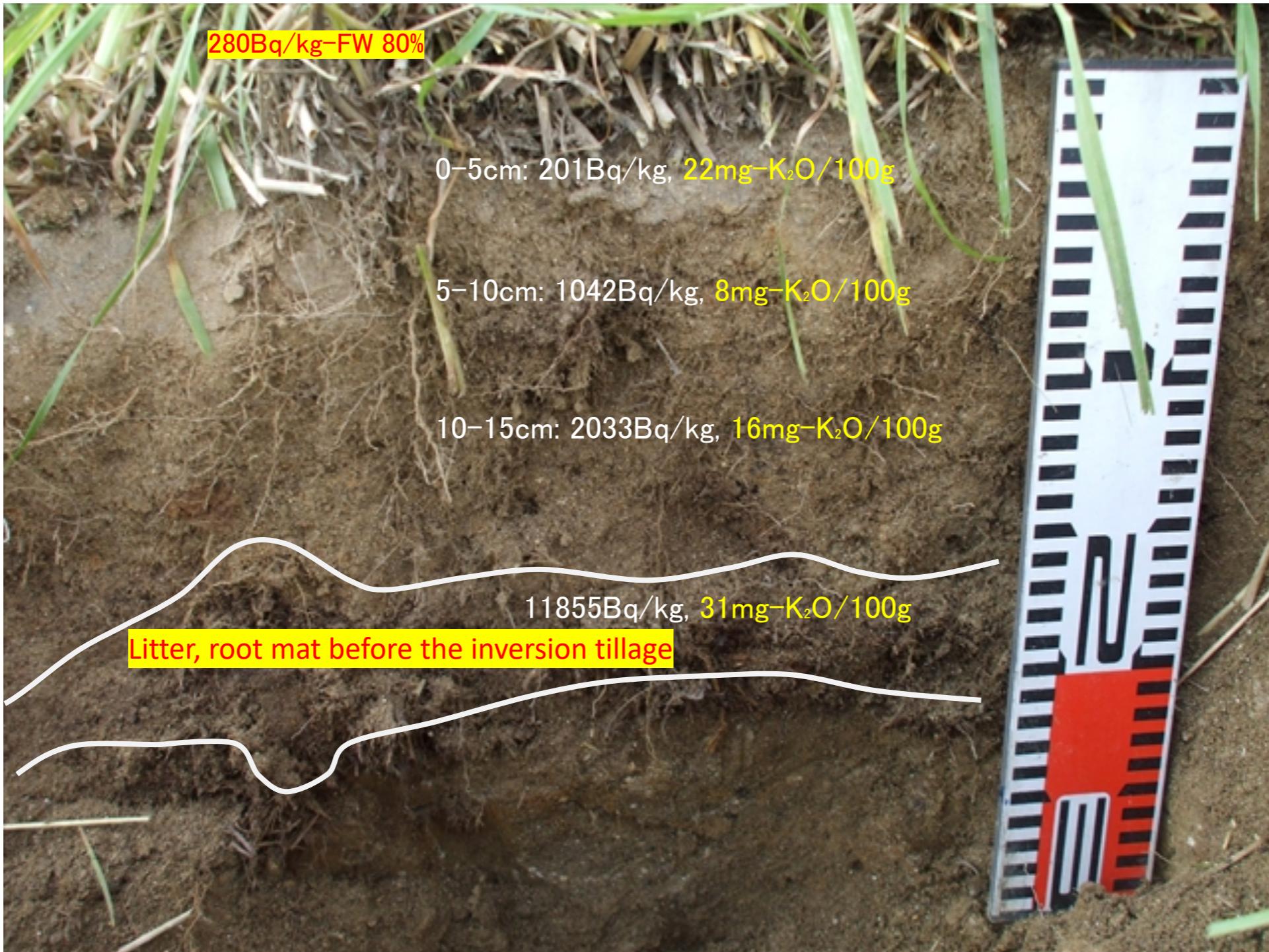
統く基準値超え (牧草)

調査年度	調査点数	50 Bq/kg以下	50 - 100Bq/kg	100 Bq/kg超
平成24年度	1,893 (100%)	1,578 (83.4%)	161 (8.5%)	154 (8.1%)
平成25年度	18,158 (100%)	17,081 (94.1%)	725 (4.0%)	352 (1.9%)
平成26年度	10,319 (100%)	9,999 (96.9%)	230 (2.2%)	90 (0.9%)
平成27年度	10,999 (100%)	10,678 (97.1%)	176 (1.6%)	145 (1.3%)
平成28年度	4,066 (100%)	3,898 (98.0%)	57 (1.4%)	25 (0.6%)

http://www.maff.go.jp/mobile/kinkyu/tohoku_saigai/03/siryo/einen.html
から作成

反転耕により下層土に移動した高濃度の層
対応策：十分なカリ、よく攪拌して反転耕





二段耕プラウによる表層土の埋却（反転耕）



写真 土壌断面調査の一例

※プラウによる土壤反転状況の確認

※土壤の硬さは、埋没リター・ルートマット層では161キロハスカルと柔らかく、それ以外では617～838キロハスカルと硬い状態が確認された。

草地での観察から根は10cm程度にルートマットを形成して30cmまでは達しない。はず。。。

草地更新後の基準値超えの要因？

その後：良く攪拌して表層の有機物層は土壤と接触させてから、反転耕あるいは深耕をすることが推奨されている。

「ふくしまから始めよう。」農業技術情報(48号) 2015.3.7

後から考えれば当たり前だったことの一つ

過剰の問題

穀物、豆や根菜類では通常は問題にならない。

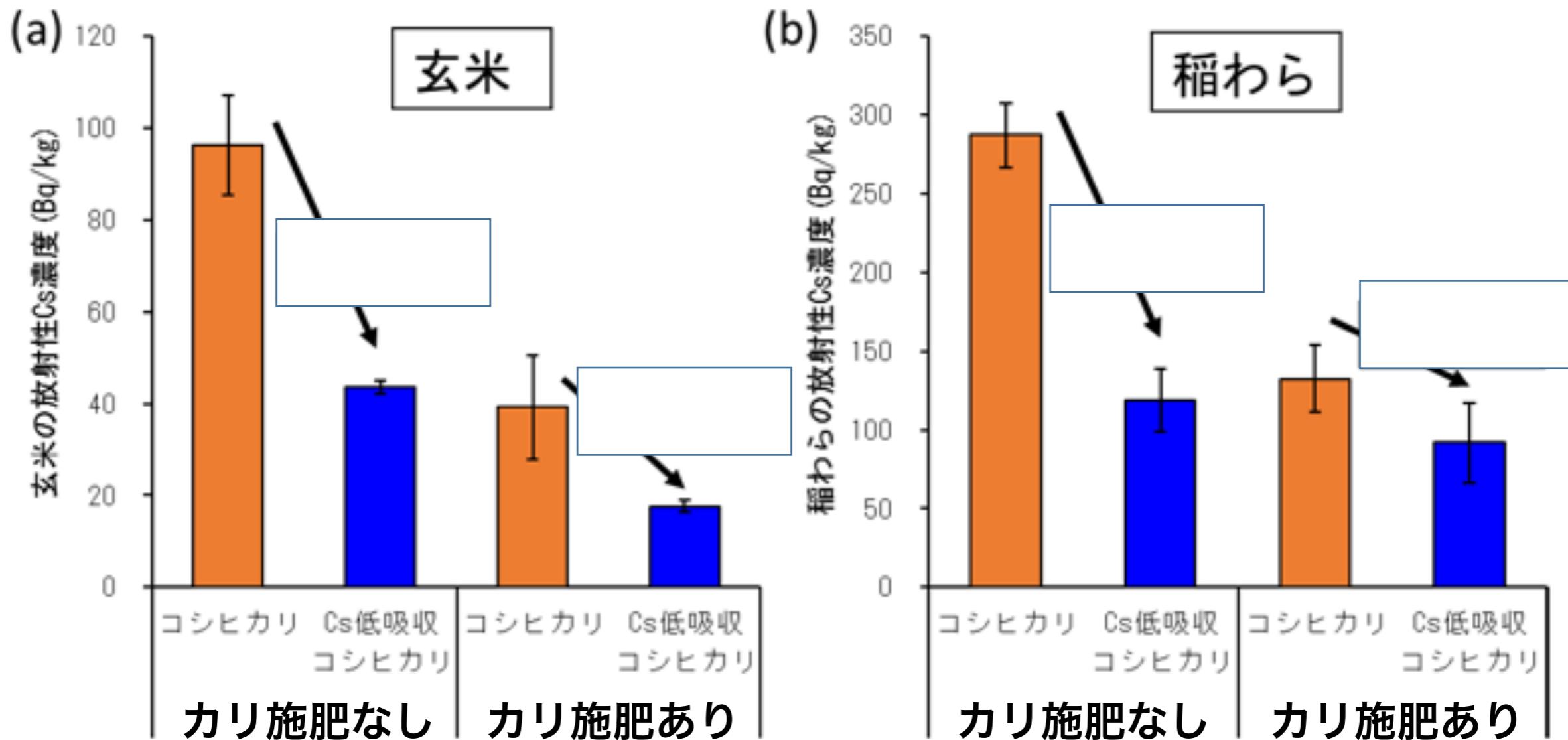
大量にカリウムを散布すると茎葉には多く蓄積するが、収穫部位のカリ含有率にはほとんど影響をしない → イネの食味が低下するとの意見が多くあったが、食味試験でことどころく否定されている。

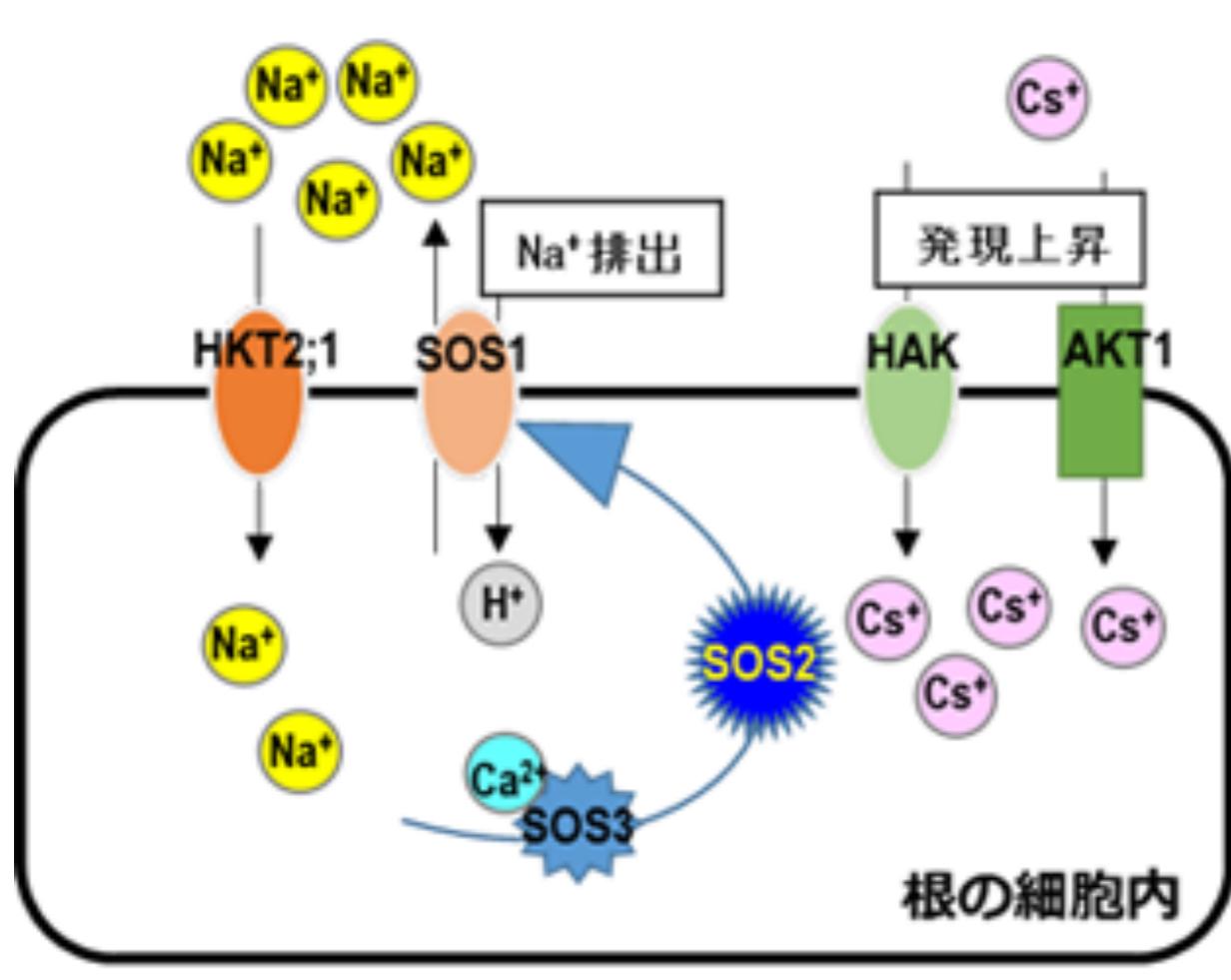
茎葉が収穫物である場合には。

見逃していた牧草の問題。

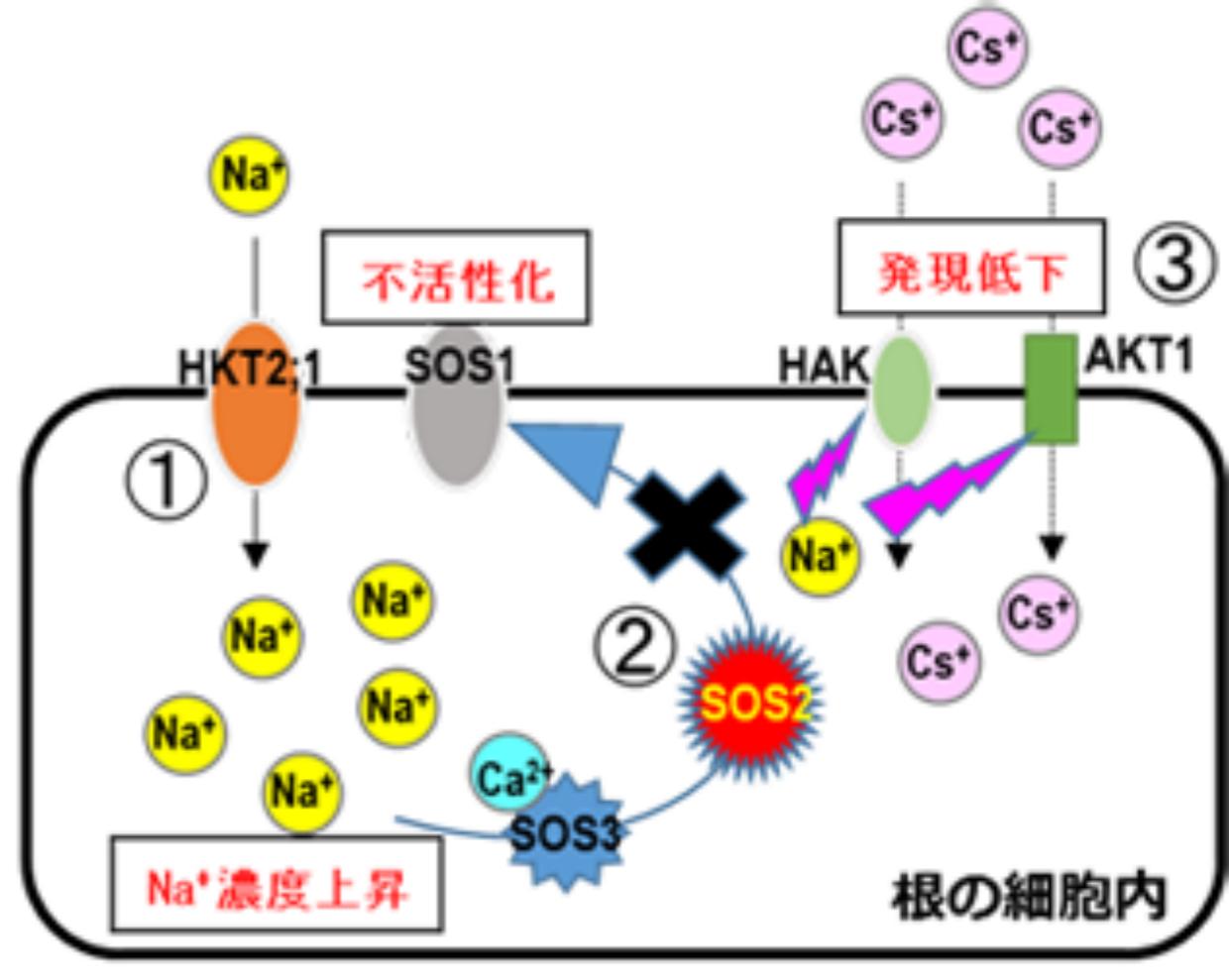
牧草中のカリウム濃度がカルシウムとマグネシウムの濃度に対して高くなると、牛がマグネシウム吸収が十分にできなくなり死に至る。震災前から知られていることであり、牧草の世界ではカリウムはあまりやらないことで徹底されていた。

- により、放射性セシウムを吸収しにくいコシヒカリ(Cs低吸収コシヒカリ)の開発に成功。





コシヒカリ



Cs低吸収コシヒカリ

細胞内の [] 機能の変異が原因

複数存在するカリウムの輸送体

Table 1. Potassium (K^+) transporters identified in root cells from their gene expression pattern and/or presence in root cell cDNA libraries, or electrophysiologically

Identification method	Transporter	Mechanism	Function	Expression	Cs^+ permeability	Reference
Pattern/presence	AKT1	Channel	K^+ uptake	Epidermis, cortex, endodermis	Probably?	Gaymard <i>et al.</i> (1996); Lagarde <i>et al.</i> (1996); Bertl <i>et al.</i> (1997); Hirsch <i>et al.</i> (1998)
	SKT1	Channel	K^+ uptake	Root	Not known	Zimmermann <i>et al.</i> (1998)
	SKT2			Vasculature	Not known	Czempinski <i>et al.</i> (1999)
	SKT3			Root	Not known	"
	KAT1	Channel	K^+ uptake	Vasculature	Yes	Schachtman <i>et al.</i> (1992); Nakamura <i>et al.</i> (1995)
	AtKC1	Channel	K^+ uptake	Root	Not known	Dreyer <i>et al.</i> (1997)
	SKOR1	Channel	K^+ efflux to xylem	Stele	$P_{Cs}/P_K = 0.15$	Gaymard <i>et al.</i> (1998)
	KCO1	Channel	K^+ efflux	Root	Not known	Czempinski <i>et al.</i> (1997, 1999)
	AtKUP1	K^+/H^+ symport?	K^+ uptake	Root	Probably?	Fu & Luan (1998); Kim <i>et al.</i> (1998)
	AtKUP2	K^+/H^+ symport?	K^+ uptake	Root	Probably?	"
	AtKUP3	K^+/H^+ symport?	K^+ uptake	Root	Probably?	"
	AtKUP4	K^+/H^+ symport?	K^+ uptake	Root	Probably?	"
	HvHAK1	K^+/H^+ symport?	K^+ uptake	Root	Probably?	Santa-Maria <i>et al.</i> (1997)
	HKT1	K^+/Na^+ symport	K^+ uptake	Cortex	No	Schachtman & Schroeder (1994); Gassmann <i>et al.</i> (1996)
Electrophysiology	KEA1	K^+/H^+ antiport?	K^+ efflux?	Root	Not known	Yao <i>et al.</i> (1997)
	LCT1	Not known	Not known	Root	Probably?	Schachtman <i>et al.</i> (1997)
	K^+/H^+ symport		K^+ uptake		Not known	Maathuis & Sanders (1994)
	KIR	Channel	K^+ uptake		$P_{Cs}/P_K = 0.39\text{--}0.43$	Wegner & Raschke (1994)
	KORC	Channel	K^+ efflux		$P_{Cs}/P_K = 0.07$	Maathuis & Sanders (1995)
	NORC	Channel	Cation efflux		$P_{Cs}/P_K = 0.12$	"
	VIC	Channel	Cation uptake		$P_{Cs}/P_K = 0.31$	Roberts & Tester (1997b)
	DACC	Channel	Ca^{2+} influx		$P_{Cs}/P_K = 0.85$	Wegner & Raschke (1994)
	HACC	Channel	Ca^{2+} influx		$P_{Cs}/P_K = 0.85$	White & Tester (1992); White (1997, 1999)
					Not known	White (1998, 2000)

K⁺チャネル系、HAK系、KUP系、VICCs 系

High affinity potassium transporter
Potassium uptake permease
Voltage-insensitive cation channels

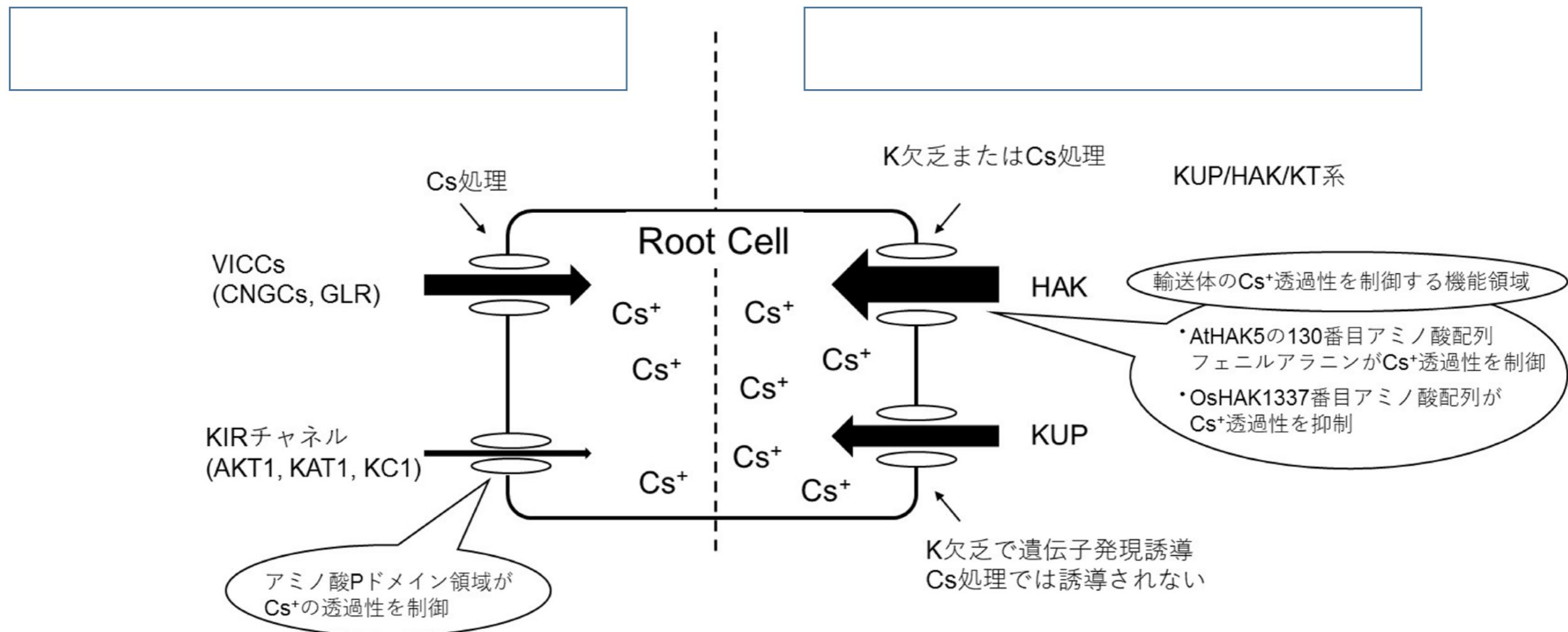
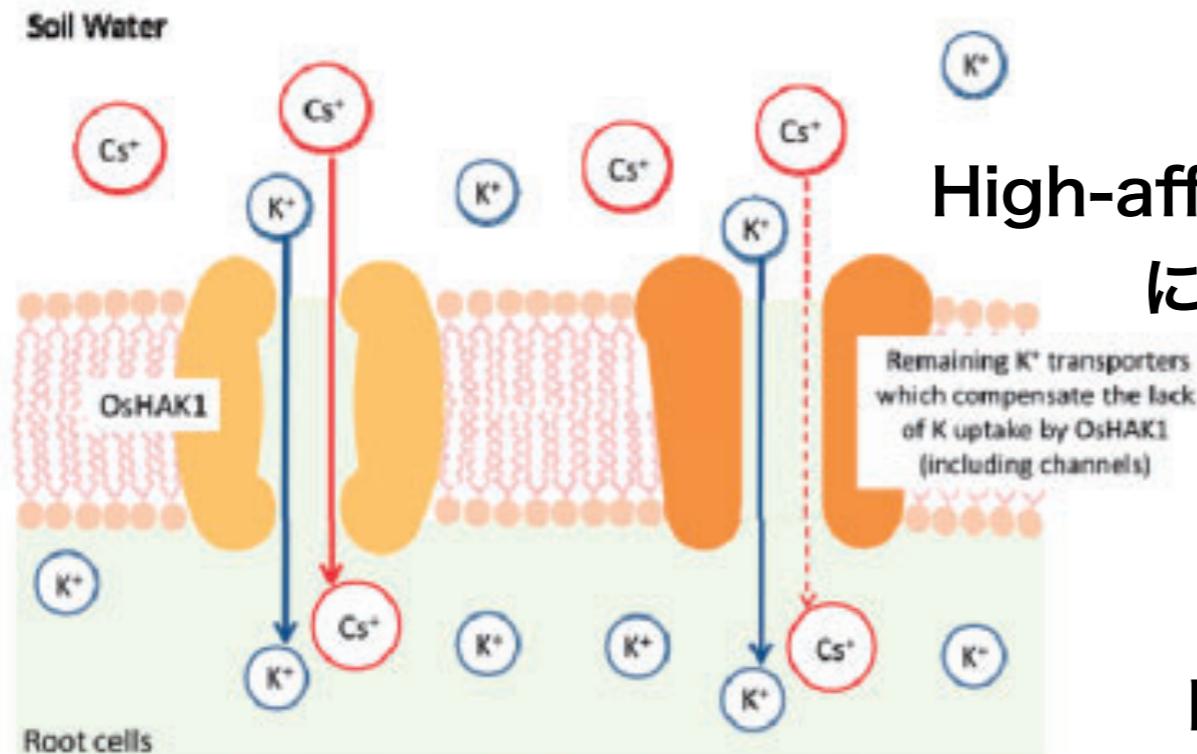


図1 植物の根において低親和性K⁺輸送機構と高親和性K⁺輸送機構を構成する輸送体群

により、放射性セシウムを吸収しにくいコシヒカリ(Cs低吸収コシヒカリ)の開発に成功。

(e)

Oryza sativa (Wild Type)



K⁺の吸収を担う分子機構

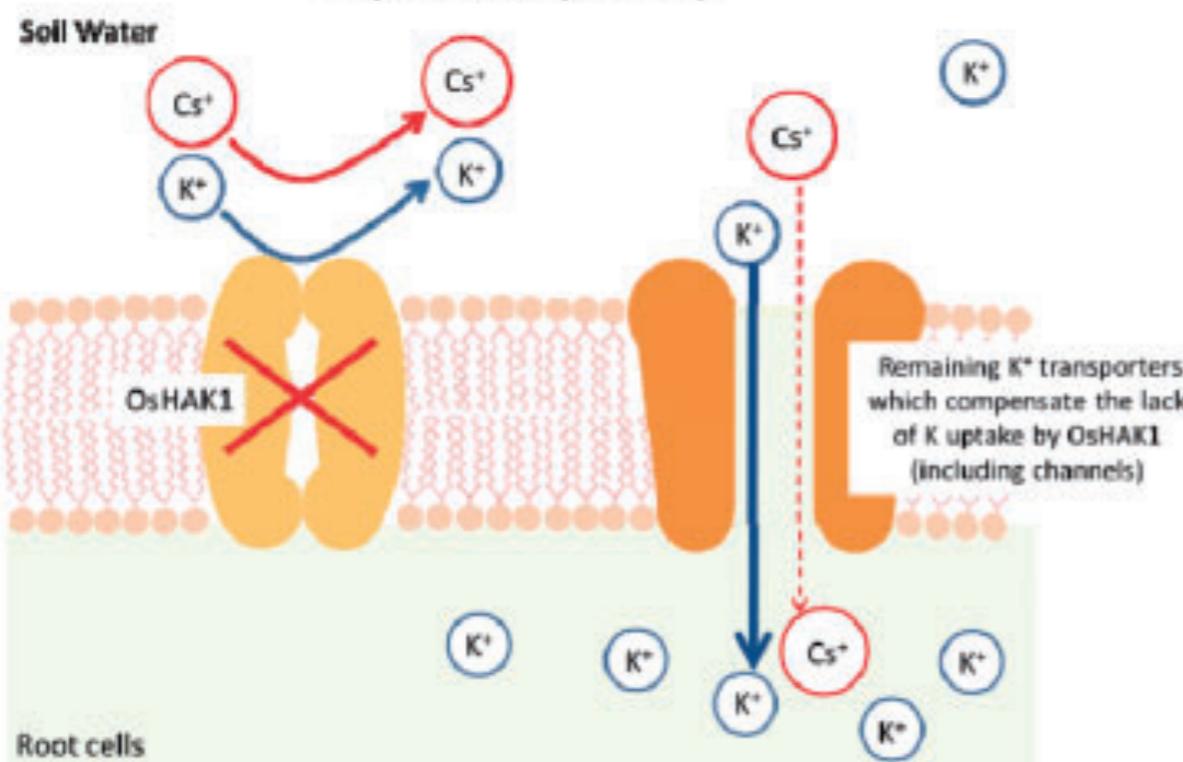
High-affinity potassium transporter(OsHAK) に変異

1. $K_M=6 \mu\text{M}$ for K⁺ (at pH 5.5)
2. $K_M=6 \mu\text{M}$ for Rb⁺ (at pH 5.5)
3. $K_M=11 \mu\text{M}$ for Cs⁺ (at pH 5.5)
4. $K_M=6000 \mu\text{M}$ for Na⁺ (at pH 5.5)

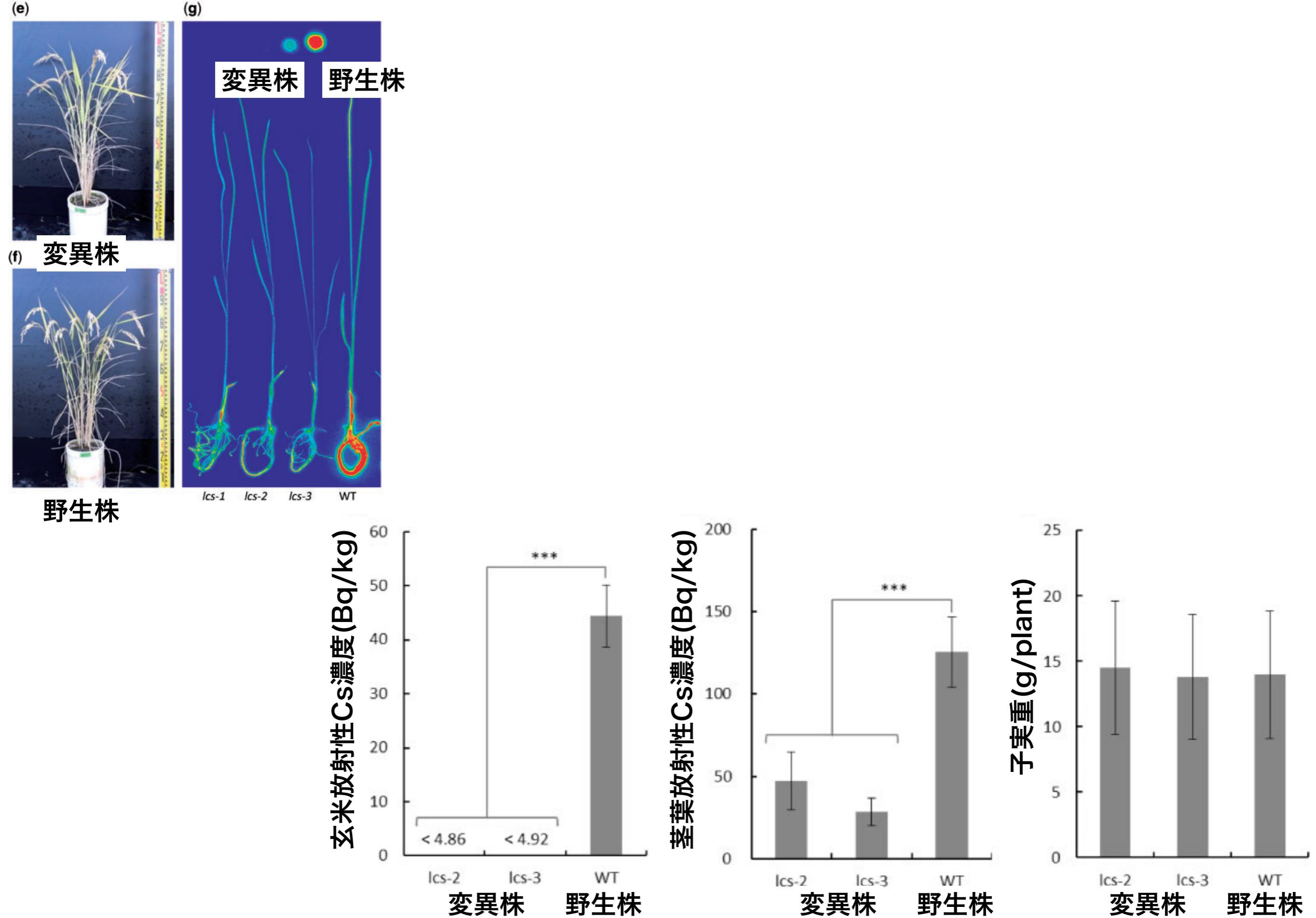
Na⁺に対しての選択性は著しく高
いが、Cs⁺に対しては低い

(f)

Oryza sativa (*oshak1*)



Rai, H., Shinano, T. et al. 2017 PCP



除染後農地の宮農再開に向けた対策

[] (肥沃度の低下)

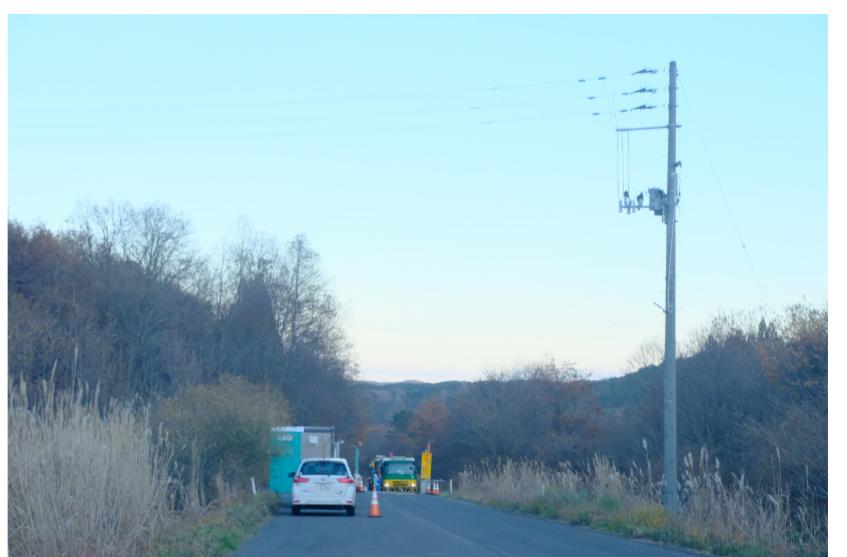
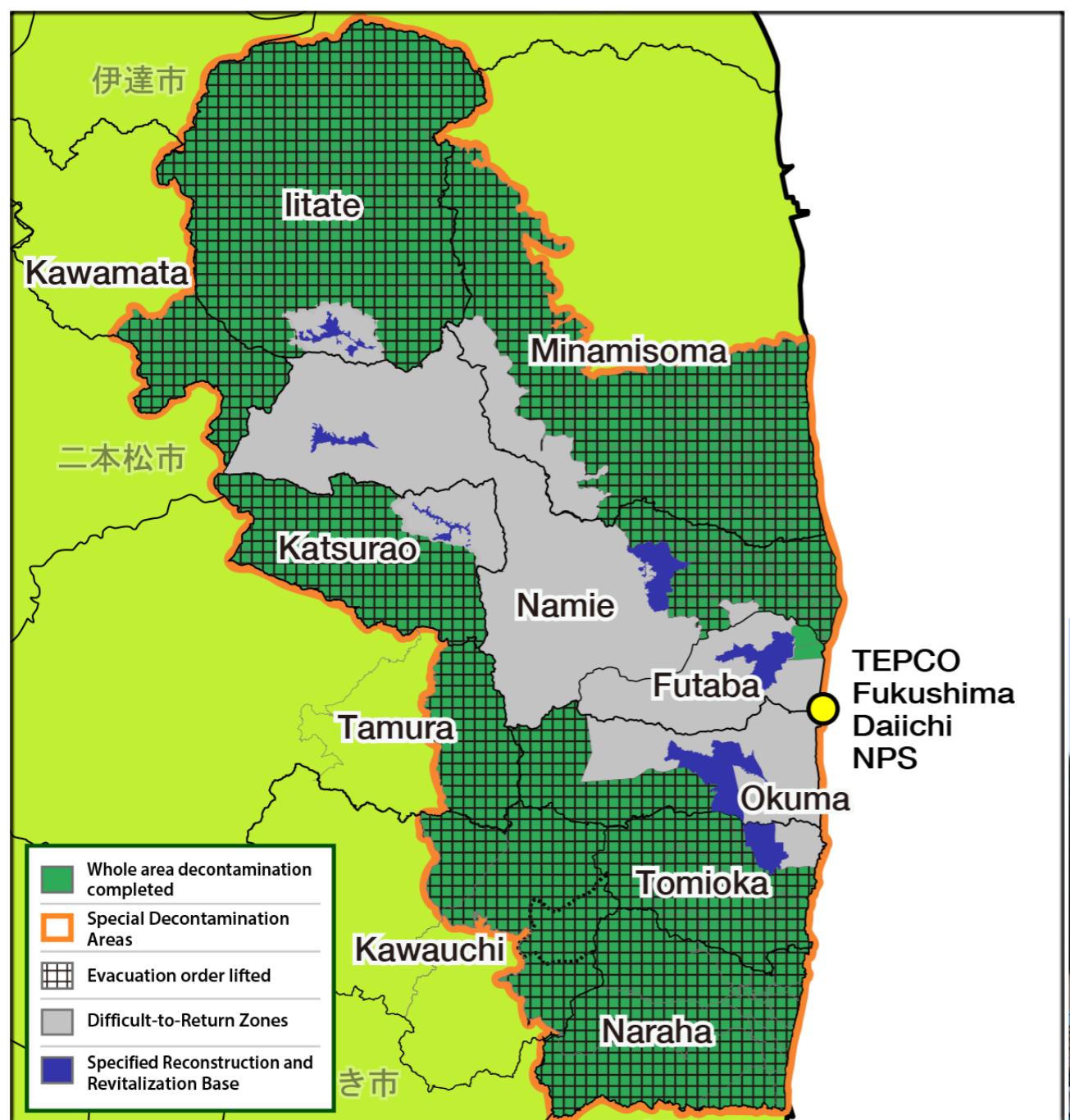
除染しても []

宮農再開までの []



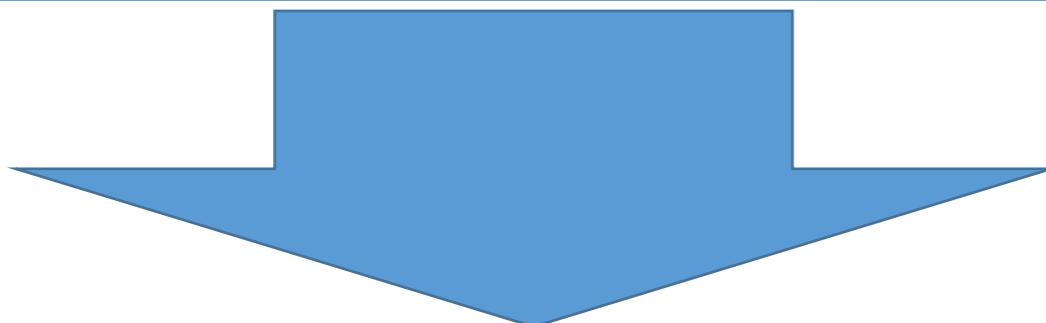
肥沃度
土壤保全
雑草管理
鳥獣害

-
-



今後の展開

- ① 移行抑制技術の高度化による負担軽減（農家及び行政？）
- ② 周辺環境での放射性物質動態が農産物に与える影響評価
- ③ 農業は農産物を生産するだけではない（山菜、ジビエも含めた地域の産物の活用は伝統文化と直結）→大規模化が地域再生の鍵になるのか？



➤ 核事故に対する農業面での対策の取りまとめ

基準値をすべての食品に一律に当てはめることは適正か？少量しか食べない食品。わずかな基準値超えを許容できないといつまでも全袋検査に依存する。

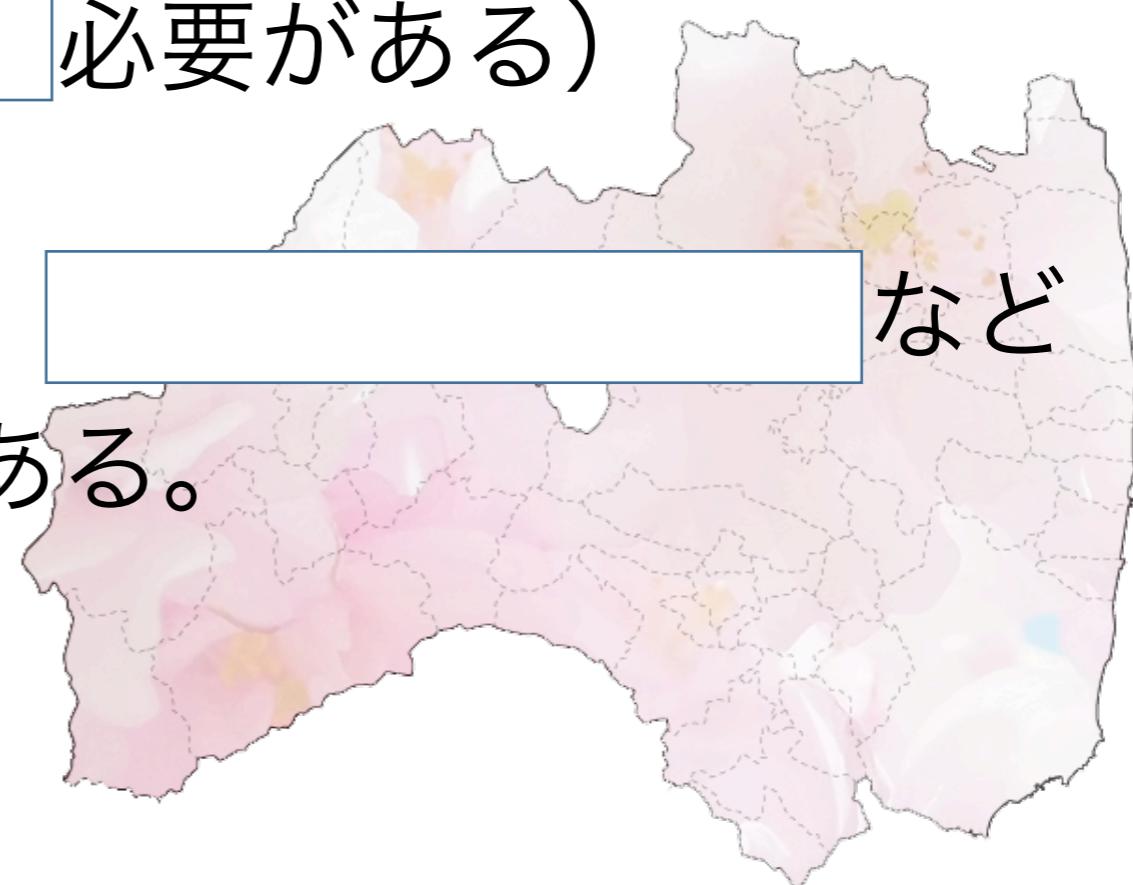
100Bq/kgが危険なのではなく、1年中100Bq/kgで全ての食品が汚染されいたら内部被曝が問題となる。

除染 震災によって飛散した放射性物質が完全に除去された。

交換性カリ濃度を一定水準以上に高めるという科学的手法でなんとか抑制している。

(必要がある)

リスクは複合的に発生する。 など
を総合的に判断する必要がある。



論文(放射能対策関連)

121. Kobayashi, D., Okouchi, T., Yamagami, M. and Shinano, T. Verification of radiocesium decontamination from farmlands by plants in Fukushima. *Journal of Plant Research* 127, 51-56 (2014).
125. Shinano, T.*, Watanabe, T., Chu, Q., Kobayashi, D., Okouchi, T., Matsunami, H., Nagata, O., Okazaki, K. and Nakamura, T. Varietal difference in radiocesium uptake and transfer from radiocesium deposited soils in the genus *Amaranthus*. *Soil Science and Plant Nutrition* 60, 809-817 (2014).
127. Eguchi, T., Ohta, T., Ishikawa, T., Matsunami, H., Takahashi, Y., Kubo, K., Yamaguchi, N., Kihou, N. and Shinano, T. Influence of the nonexchangeable potassium of mica on radio cesium uptake by paddy rice. *Journal of Environmental Radioactivity* 147, 33-42 (2015).
128. Kubo, K., Nemoto, K., Kobayashi, H., Kuriyama, Y., Harada, H., Matsunami, H., Eguchi, T., Kihou, N., Ota, T., Keitoku, S., Kimura, T. and Shinano, T. Analyses and countermeasures for decreasing radioactive cesium in buckwheat in areas affected by the nuclear accident in 2011. *Field Crops Research* 170, 40-46 (2015).
130. 信濃卓郎 農産物への放射性セシウムの移行抑制対策. *JATAFFジャーナル* 3, 24-29 (2015).
132. 松波寿弥, 申文浩, 高橋義彦, 北島枝織, 土屋貴史, 信濃卓郎 ゲル化法を用いた懸濁物質を含む農業関連水試料中の放射性セシウムの定量 *Radioisotopes* 64, 681-686 (2015).
133. Kubo, K., Kobayashi, H., Fujita, M., Ota, T., Minamiyama, Y., Watanabe, Y., Nakajima, T. and Shinano, T. Varietal differences in the absorption and partitioning of cadmium in common wheat (*Triticum aestivum L.*). *Environmental and Experimental Botany* 124, 79-88 (2016).
135. Matsunami, H., Murakami, T., Fujiwara, H. and Shinano, T. Evaluation of the cause of unexplained radiocaesium contamination of brown rice in Fukushima in 2013 using autoradiography and gamma-ray spectrometer. *Scientific Reports* 6, 20386 (2016).
136. Kubo, K., Kobayashi, H., Nemoto, K., Hirayama, T., Matsunami, H., Ichihashi, Y., Ota, T., Keitoku, S. and Shinano, T. Decreasing radioactive cesium in lodged buckwheat grain after harvest. *Plant Production Science* 19, 91-95 (2016).
139. 本間健一, 高野博幸, 小林航, 佐々木忠志, 高橋祐司, 信濃卓郎, 八田珠郎, 万福祐造, 碓井次郎 乾式Cs除去技術の概要と飯館村蕨平における仮設資材化実証調査委託業務について. *環境放射能除染学会誌* 4, 165-172 (2016).
141. Shinano, T.* Mitigation of radioactive contamination from farmland environment and agricultural products. *Modern Environmental Science and Engineering* 2, 454-461 (2016).
144. 保高徹生, 申文浩, 思田裕一, 信濃卓郎, 林誠二, 塚田祥文, 青野辰雄, 飯島和毅, 江口定夫, 大野浩一, 吉田幸弘, 上東浩, 北村清司, 久保田富次郎, 野川憲夫, 吉川夏樹, 山口裕顕, 末木啓介, 辻英樹, 宮津進, 岡田往子, 栗原モモ, Sandor Tarjan, 松波寿弥, 内田滋夫. 陸水中における微量溶存態放射性セシウムの濃縮法の比較. *分析化学* 66, 299-307 (2017).
146. Rai, H., Yokoyama, S., Satoh-Nagasawa, N., Furukawa, J., Nomi, T., Ito, Y., Fujimura, S., Takahashi, H., Suzuki, R., Yousra, E., Goto, A., Fuji, S., Nakamura, S., Shinano, T., Nagasawa, N., Wabiko, H. and Hattori, H. Caesium uptake by rice roots largely depends upon a single gene, HAK1, which encodes a potassium transporter. *Plant and Cell Physiology* 58(9), 1486-1493 (2017).
147. Kubo, K., Fujimura, S., Kobayashi, H., Ota, T. and Shinano, T. Effect of soil exchangeable potassium content on cesium absorption and partitioning in buckwheat grown in a radioactive cesium-contaminated field. *Plant Production Science* 20, 396-405 (2017).
148. Kubo, K., Hirayama, T., Fujimura, S., Eguchi, T., Nihei, N., Hamamoto, S., Takeuchi, M., Saito, T., Ota, T. and Shinano, T. Potassium behavior and clay mineral composition in the soil with low effectiveness of potassium application. *Soil Science and Plant Nutrition* 64, 265-271 (2018).
149. 好野奈美子, 堀井幸江, 村上敏文, 松波寿弥, 万福裕造, 信濃卓郎 野焼きを想定した雑草の燃焼による放射性セシウムの動態. *環境放射能除染学会誌* 6, 91-99 (2018).
150. Ishikawa, J., Fujimura, S., Kondo, M., Murai-Hatano, M., Goto, A. and Shinano, T. Dynamic changes in the Cs distribution throughout rice plants during ripening period, and effects of the soil-K level. *Plant and Soil* 429, 505-518 (2018).
151. Yamamura, K., Fujimura, S., Ota, T., Ishikawa, T., Saito, T., Arai, Y. and Shinano, T. A statistical model for estimating the radiocesium transfer factor from soil to brown rice using the soil exchangeable potassium content. *Journal of Environmental Radioactivity* 195, 114-125 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.04.026>
152. Ogasawara, S., Eguchi, T., Nakao, A., Fujimura, S., Takahashi, Y., Matsunami, H., Tsukada, H., Yanai, J. and Shinano, T. Phytoavailability of ^{137}Cs and stable Cs in soils from different parent materials in Fukushima, Japan. *Journal of Environmental Radioactivity* 198, 117-125 (2019).
153. Kubo, T., Kobayashi, H., Fujimoto, R., Ota, T. and Shinano, T. Towards the partial resumption of agriculture with buckwheat cultivation in fields physically decontaminated of radioactive cesium after the nuclear power plant accident in 2011: A case study in Yamakiya District, Fukushima. *Plant Production Science* 22(2), 159-167 (2019)

論文（続き）

155. Furukawa, M., Takagi, K., Matsunami, H., Komatsuzaki, Y., Kawasaki, T., Shinano, T. and Takagai, Y. Rapid Quantification of Radioactive Strontium-90 in Fresh Foods via Online Solid-Phase Extraction-Inductively Coupled Plasma-Dynamic Reaction Cell-Mass Spectrometry and Its Comparative Evaluation with Conventional Radiometry, ACS Omega (accepted for publication in 13 June, 2019)
156. Kurihara, M., Yasutaka, T., Aono, T., Ashikawa, N., Ebina, H., Iijima, K., Kanai, R., Karube, Z., Komai, Y., Kubota, T., Maehara, Y., Maeyama, T., Okizawa, Y., Ota, H., Otosaka, S., Sakaguchi, A., Tagomonri, H., Taniguchi, K., Tomita, M., Tsukada, H., Hayashi, S., Lee, S., Miyazu, S., Shin, M., Nakanikshi, T., Nishikiori, T., Onda, Y., Shinano, T. and Tsuji, H. Repeatability and reproducibility of measurements of low dissolved radiocesium concentrations in freshwater using different pre-concentration methods. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry **322(2)**, 477-485 (2019) DOI: 10.1007/s10967-019-06696-2
157. Tsuji, H., Shin, M., Taniguchi, K., Arai, H., Kurihara, M., Yasutaka, T., Kuramoto, T., Nakanishi, T., Lee, S., Shinano, T., Onda, Y. and Hayashi, S. Factors controlling dissolved ¹³⁷Cs concentrations in East Japanese rivers. The Science of the Total Environment **697**, (2019). DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134093
159. Tagami, K., Uchida, S., Shinano, T. and Pröehl, G. Comparisons of effective half-lives of radiocaesium in tea plants after two nuclear accidents, Fukushima and Chernobyl. Journal of Environmental Radioactivity **213**, (2020). DOI: 10.1016/j.jenvrad.2019.106109
160. Ogasawara, S., Nakao, A., Eguchi, T., Ota, T., Matsunami, H., Yanai, J. and Shinano, T. The extractability of potassium and radiocaesium in soils developed from granite and sedimentary rock in Fukushima, Japan. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry **323(1)**, 633-640 (2020). DOI: 10.1007/s10967-019-06971-2
161. Hachinohe, M., Fujimoto, R., Shinano, T., Kotake-Nara, E., Hamamatsu, S. and Kawamoto, S. Reduction in the radiocesium in meats of the sika deer and wild boar by cooking. Journal of Food Protection **83(3)**, 467-475 (2020). DOI: 10.4315/0362-028X.JFP-19-409
162. Kubo, K., Kobayashi, H., Nitta, M., Takenaka, S., Nasuda, S., Fujimura, S., Takagi, K., Nagata, O., Ota, T. and Shinano, T. Variations in radioactive cesium accumulation in wheat germplasm from fields affected by the 2011 Fukushima nuclear power plant accident. Scientific Reports **10**, 4 3744 (2020). DOI: 10.1038/s41598-020-60716-w
163. Hachinohe, M. and Shinano, T. Large-scale sampling and radioactivity analysis of agricultural soil and food during nuclear emergencies in Japan: Variations over time in foodstuffs inspection and sampling. Journal of Environmental Radioactivity 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106262>
164. Hachinohe, M. and Shinano, T. Large-scale agricultural soil and food sampling and radioactivity analysis during nuclear emergencies in Japan: Measurements for routine and emergency monitoring. Journal of Environmental Radioactivity. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106265>
166. Dercon, G., Blackburn, C., Onda, Y., Shinano, T., Sweeck, L., Lee Zhi Yi, A. and Fesenko, S. Sampling, analysis and modelling technologies for large-scale nuclear emergencies affecting food and agriculture. Journal of Environmental Radioactivity. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106174>

雑誌・書籍

14. 久保堅司, 信濃卓郎 農研機構東北農業研究センター 農業放射線研究センターの紹介. 根の研究, **22**, 167 (2013).
15. 信濃卓郎 農業再建への研究者としての取り組み. 科学技術コミュニケーション **17**, 85-91 (2015).
16. 早岡英介, 久保田直, 信濃卓郎, 本田紀生 パネルディスカッション～福島の再生と科学技術コミュニケーション～. 科学技術コミュニケーション **17**, 99-112 (2015).
17. Saito, T., Takahashi, K., Murakami, T. and Shinano, T. Analysis of Factors Causing High Radiocesium Concentrations in Brown Rice Grown in Minamisoma City. In Radiological issues for Fukushima's revitalized future, Springer, pp 189-198 (2016). ISBN 978-4-431-55848-4
18. 信濃卓郎 ICOBTE2017 Symposium "農地環境の放射性物質の長期動態と制御"主催報告. 日本土壤肥料学雑誌, **88**, 497 (2017).
19. 信濃卓郎 作物生産向上のための根圈環境制御に関する植物栄養学的研究, 日本土壤肥料学雑誌, **89**, 353-356 (2018).
20. 信濃卓郎 農業再建への道筋 カリウムで放射性物質移行抑制 農地ごとに適切な濃度管理を, グリーンパワー, 12, 10-11, (2018)
21. 信濃卓郎 農業現場における放射能対策の現状と今後 北海道士壤肥料研究レター 2号 29-35 (2019)