

コメの放射能汚染

栽培学研究室
根本圭介

1 稲作の放射線被害と 農学部への支援研究

福島県の稲作

- 米は、福島県全体の農業生産額の4割を占める重要な作物
- 全国的にみても、福島県は生産量第4位を誇る米どころ
- 福島原発事故による放射性物質降下がイネに与えた影響の解明と対策技術の早急な確立が求められてきた。

イネと稲作の特殊性

- イネは水生植物として、養分吸収を含めた生理的な仕組みが特殊化している
- 水田生態系そのものが、物質循環に関して独自の特徴を持っている
- チェルノブイリ事故の類推だけでは解決できない独自の問題があるのではないか？

福島原発事故の経過

- 3月11日 福島原発1～3号機が自動停止
- 3月12日 1号機で水素爆発
- 3月14日 3号機で水素爆発
- 3月15日 2号機で爆発音、4号機で出火
- 3月16日 福島県**川俣町**の**原乳**に規制値を超える放射性ヨウ素
- 3月18日 茨城県**高萩市等**の**ホウレンソウ**に規制値を超える放射性ヨウ素



福島県農業総合センター

東京大学農学部における震災復興支援への取組み

東京大学

災害対策本部

東日本大震災に関する救援・復興支援室

生物生産工学研究センター

福島県農業総合センター

大学院農学生命科学研究科

座長：中西友子教授（放射線同位元素施設）

（1）高放射能の農畜水産物産業への影響についての研究開発

- ① 獣医・畜産学 ② 作物生産・土壌学 ③ 水産学
- ④ 放射線測定・放射化学 ⑤ 科学コミュニケーション他

（2）被災地農業回復についての研究開発

- ① 作物生産・土壌学 ② バイオマス生産

作物・土壌WGの取り組み

- イネにおける放射性セシウムの移行係数の種内変異（福島県農業総合研究センター）
- 作物における放射性セシウムの移行係数
- 果樹における放射性セシウムの体内移行（福島県果樹試験場）

など



4000ベクレルのセシウムを含む水田
で、世界各地のイネ110品種を栽培

第二回放射能の農畜水産物等への影響 についての研究報告会

—東日本大震災に関する救援・復興に係る農学生命科学研究科の取組み—

2012年2月18日(土) 13:00~17:00



プログラム

開会の辞 [\[動画\]](#)

長澤 寛道 (東京大学大学院農学生命科学研究科長)

農学生命科学研究科全体の取組について [\[要旨\]](#) [\[動画\]](#)

中西 友子 (東京大学大学院農学生命科学研究科・附属放射性同位元素施設・教授)

農産物に対する放射性物質の影響調査

荒川 市郎・二瓶 直登 (福島県農林水産部)

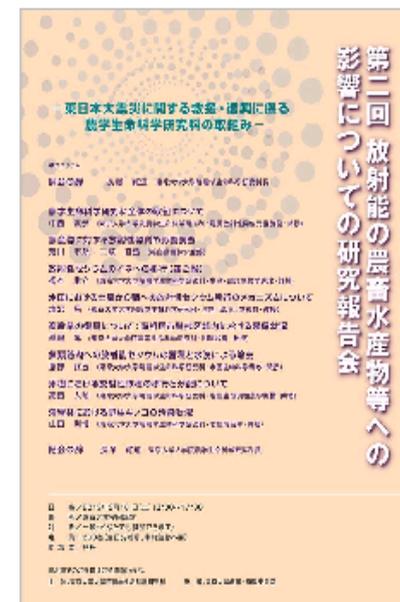
放射性セシウムのイネへの移行(第2報) [\[要旨\]](#) [\[動画\]](#) [\[資料\]](#)

根本 圭介 (東京大学大学院農学生命科学研究科・生産・環境生物学専攻・教授)

水田における土壌から稲への放射性セシウム移行のメカニズムについて [\[要旨\]](#)

[\[動画\]](#) [\[資料\]](#)

塩沢 昌 (東京大学大学院農学生命科学研究科・生物・環境工学専攻・教授)



詳細は農学部ホームページの動画で

●平成23年11月19日

放射性セシウムのイネへの移行(第1報)

●平成24年2月18日

放射性セシウムのイネへの移行(第2報)

●平成24年12月8日

放射性セシウムのイネへの移行(第3報)

●平成26年11月9日

放射性セシウムのイネへの移行(第4報)

2 放射性物質の作物への 移行経路

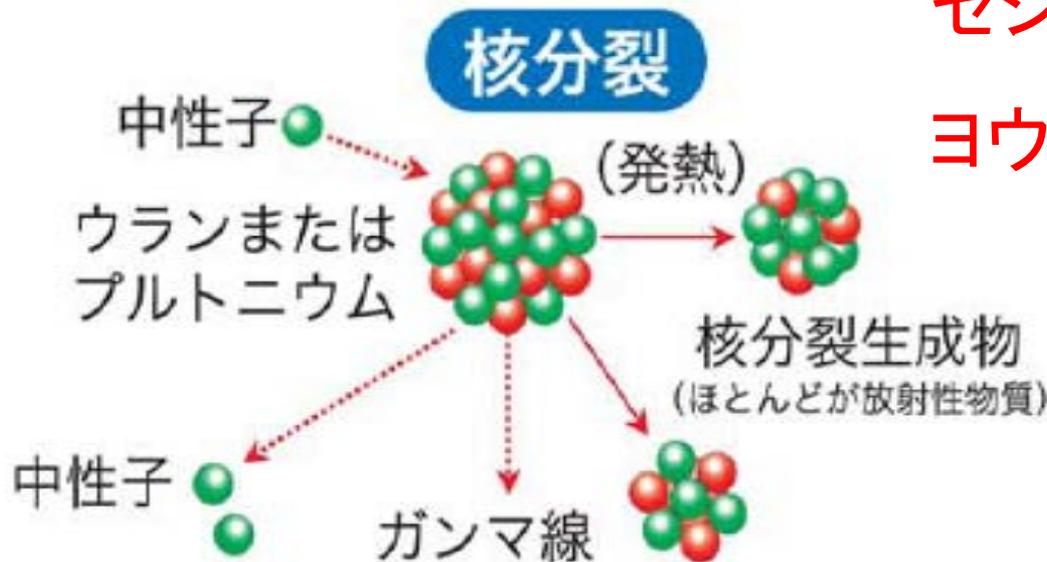
原発で生じている放射線と放射性物質

原発事故で大気中に放出された
主な核分裂生成物(放射性物質)

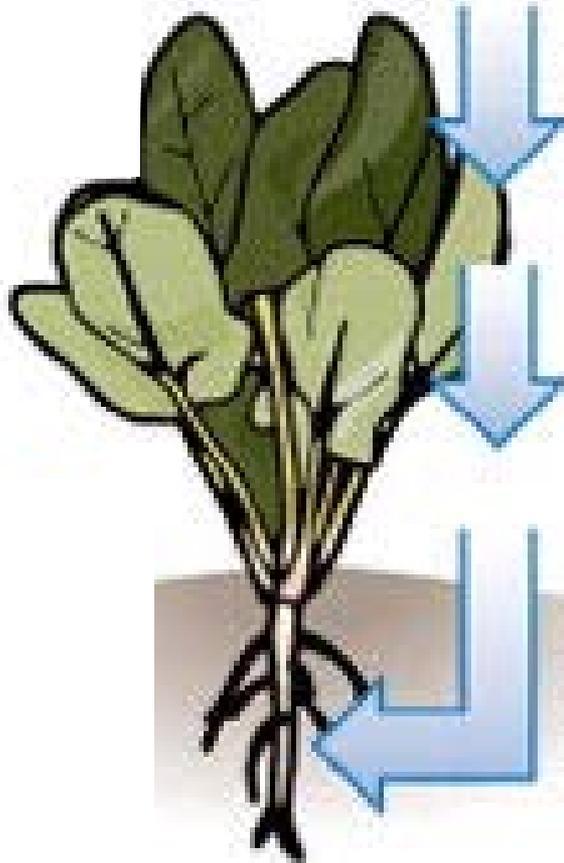
セシウム134

セシウム137

ヨウ素131



放射性物質の作物への吸収経路



直接経路

(大気中から直接葉面に)

大気への放出直後に重要な経路

経根吸収経路

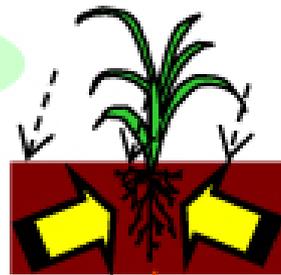
(土壌中から根へ)

事故後、中～長期にわたる移行経路

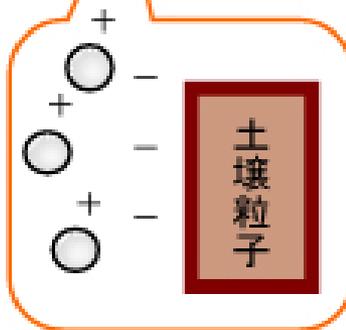
経根吸収には、放射性物質の土壌中での移動性が大きく関わる

土壌に沈着した直後の状態

植物に吸収されやすい

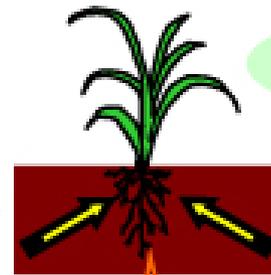


土壌中で動きやすい

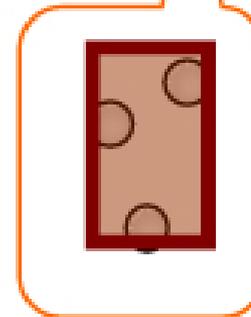


時間が経過した状態

植物に吸収されにくい



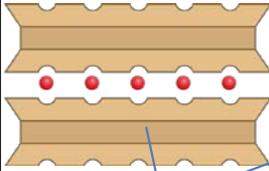
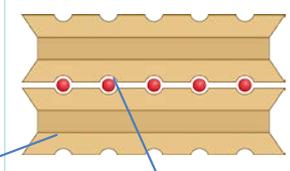
土壌中で動きにくい

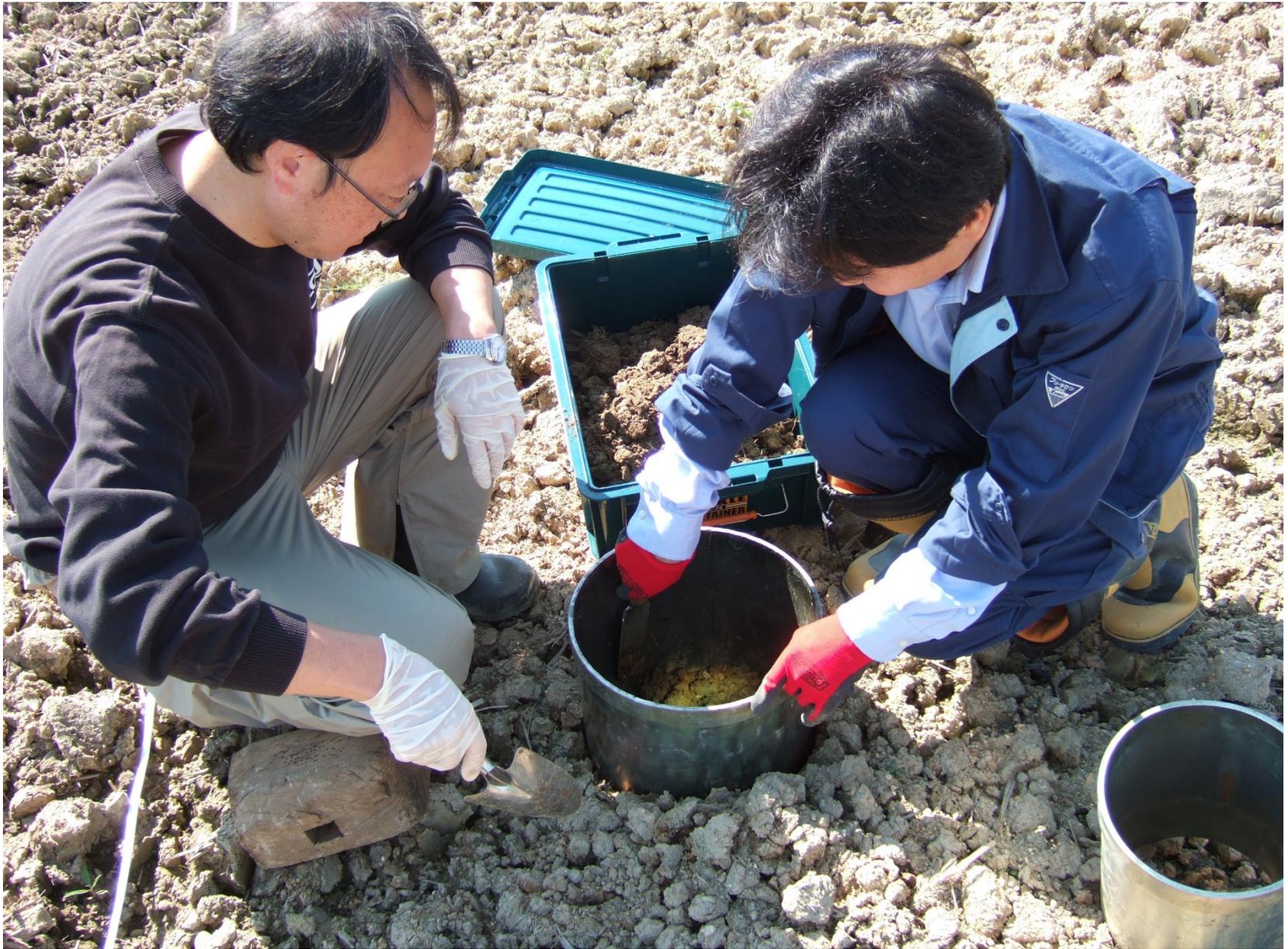


セシウム吸収における土壌の重要性

- 農耕地に降下した放射性セシウムは、時間の経過とともに土壌粒子に吸着されていく
- 降下直後は土壌粒子への吸着・固定は少ないが、時間が経つと多かれ少なかれ土壌粒子への吸着・固定が進み、根から吸収されにくくなる
- 土壌が違えば、こうした吸着・固定の進みも異なり、セシウム吸収も異なってくる。

土壌別にみたセシウムの吸着・固定

	砂	腐植	結晶性粘土鉱物 	
			非雲母	雲母風化物
Csの吸着 (クーロン力)	弱い	強い	強い	強い
Csの固定	なし	なし	弱い 	強い 
			結晶性粘土鉱物	セシウムイオン



では、福島の土壤のセシウムの吸着・固定能力は？

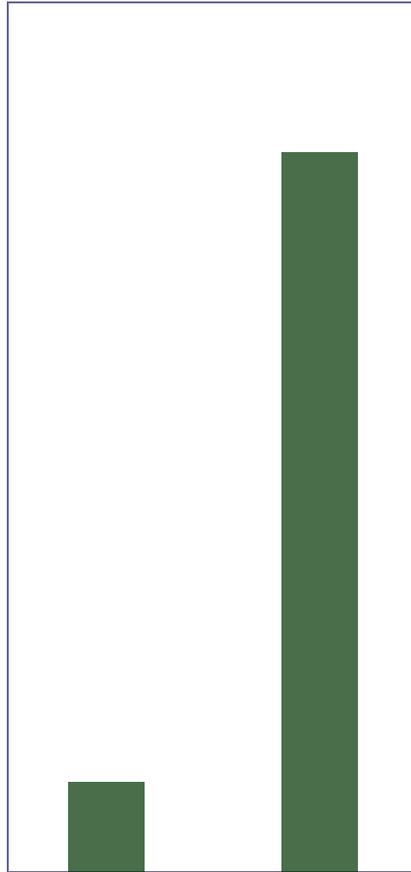
実験：イネのセシウム吸収に対する 土壌の違いの影響

- 福島 of 異なる2種類の水田土壌に、放射性セシウム(セシウム137、試薬)を添加
 - 灰色低地土(粘土が多い。平坦地で採取)
 - 褐色森林土(粘土が少ない。山間地で採取)
- これらの土壌にイネを栽培して、セシウムの濃度を測定

(実験者:放射性同位元素施設 小林博士・田野井博士・中西教授)

結果

吸収後のイネの放射性セシウム濃度(相対値)



灰色低地土 褐色森林土

- セシウム添加した褐色森林土で育てたイネは、同じくセシウム添加した灰色低地土のイネの8倍から10倍のセシウムを吸収した。
- 灰色低地土はセシウムを強く吸着し、その結果、イネがセシウムを吸収しにくくなっていることを示している。



4000ベクレルのセシウムを含む水田で、
世界各地のイネ110品種を栽培

↓

茎葉を調査したところ、セシウム濃度はどれも低く、通常の測定方法では測定が困難。

表土のみを用いたポット実験



耕起していない水田土
壤の表土だけを集め、
ポット栽培

土壌のセシウム濃度：
約20000ベクレル/kg

3 事故当年におけるコメ へのセシウム移行

事故当年の秋までに分かったこと

- 福島県の水田土壌の多くは灰色低地土であり、セシウムを強く吸着する
- そのため、福島県におけるイネのセシウム吸収は、概して低めであると予想した
- 米の放射性物質調査(予備調査)が半分終了した9月中旬の時点で、大半の地点で検出限界以下。最高でも暫定基準値の四分の一。

二本松市で玄米500ベクレルを検出



- 当該の水田は山間の谷地田

平成23年9月24日 毎日新聞(オンライン版)







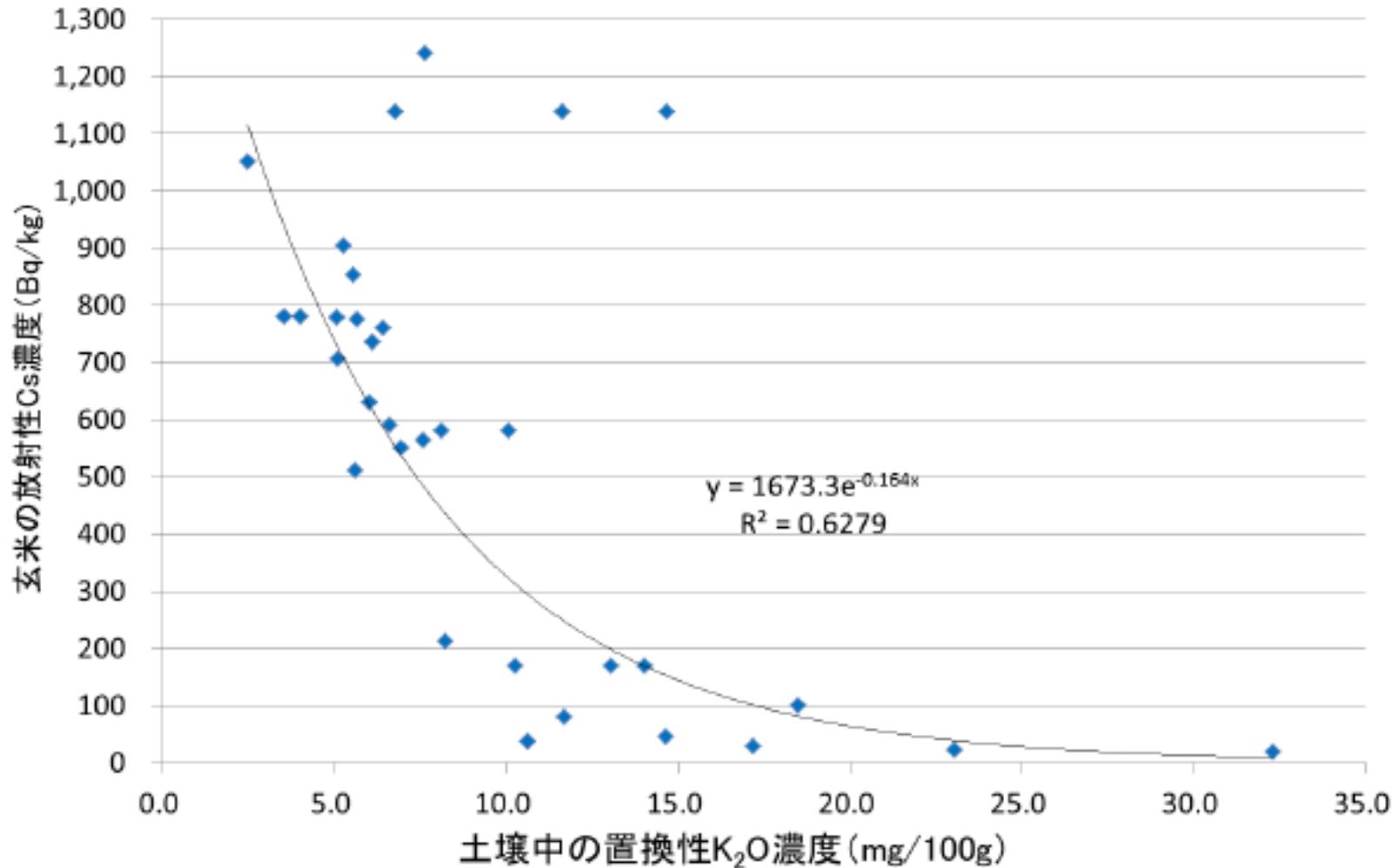


その後の状況

- 福島市大波、伊達市小国を中心に、数多くの規制値(500ベクレル)越え
- 福島県と農林水産省による原因究明の試み

高い空間線量率、浅い作土、低いカリウム濃度 など

土壌のカリウム濃度とコメのセシウム 吸収との関係（渡利・大波）



4 土壌のカリウム濃度とセシウム吸収との関係

セシウム吸収とカリウムとの関係

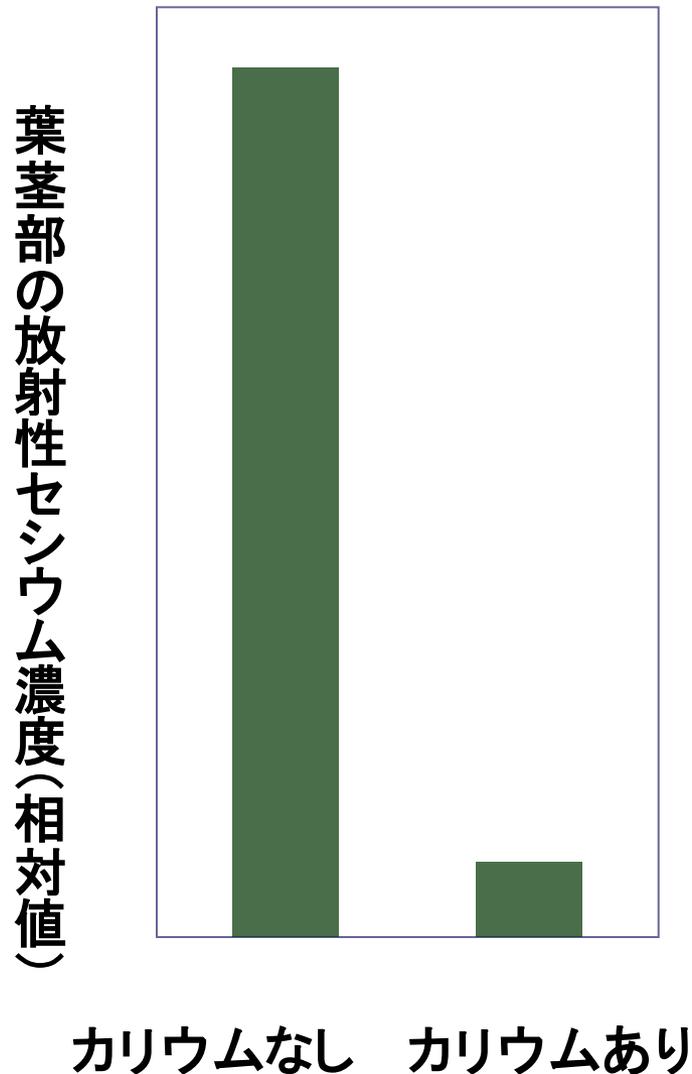
- 土壌中のカリウム濃度が低いと、植物はセシウムを吸いやすくなることが、実験的に明らかにされてきた。
- 福島市大波地区を対象とした調査でも、放射性セシウム濃度の高い玄米が穫れた水田は、交換性カリウムの濃度が低い。(福島県・農林水産省による)
- 規制値レベルの放射性セシウム吸収が起こった水田の土壌で、セシウム施用の効果を確認したい。

実験：カリウムの有無がセシウムの 吸収に与える影響



- 放射性セシウム濃度の高い玄米が穫れた水田の土壌を使って、イネの苗を土耕
- 一方にはカリウムを与え、他方にはカリウムを与えずに栽培

結果



- カリウムを与えると、セシウムの吸収は十分の1程度に低下した。
- 実験に用いた土壌では、カリウムの施用が放射性セシウム吸収を大きく抑制する。

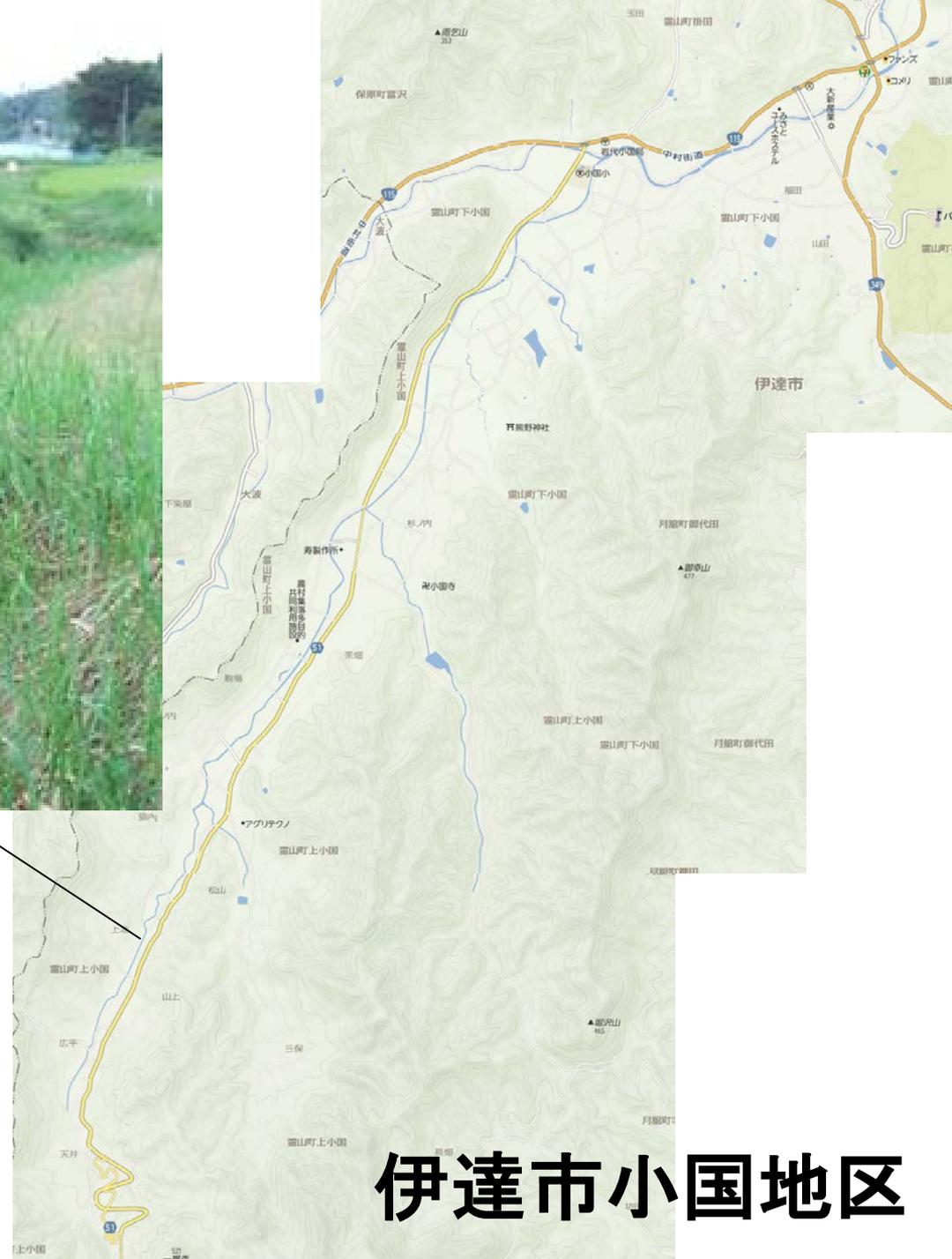
5 事故翌年（一昨年）の 取り組み：試験栽培

規制値越え地域での稲の試験栽培

- 事故当年にコメが規制値越え(>500ベクレル)をした地区の多くで、自治体による「試験栽培」が実施された。
- 「試験作付」はカリウムやゼオライトによるセシウム吸収の低減効果をみるのが主目的。
- 伊達市は低減対策の実証試験と並んで、東京大学・福島大学・東京農業大学等と連携し、**あるがままの水田生態系における稲のセシウム吸収のメカニズム解明**を試みた。



小国地区の中央を流れる
小国川(上小国川)



伊達市小国地区

小国の多様な水田環境



小国川沿いの水田

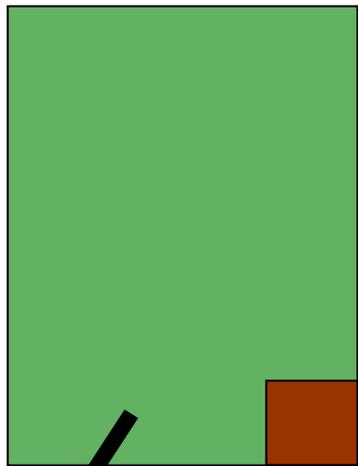


小国川支流の棚田



夏の渇水期には溜池の水が利用される

60枚の水田の試験設計



低減資材は入れず
通常の施肥管理



試験田の一角(二坪)を波板
で囲って、**珪酸加里**を施肥

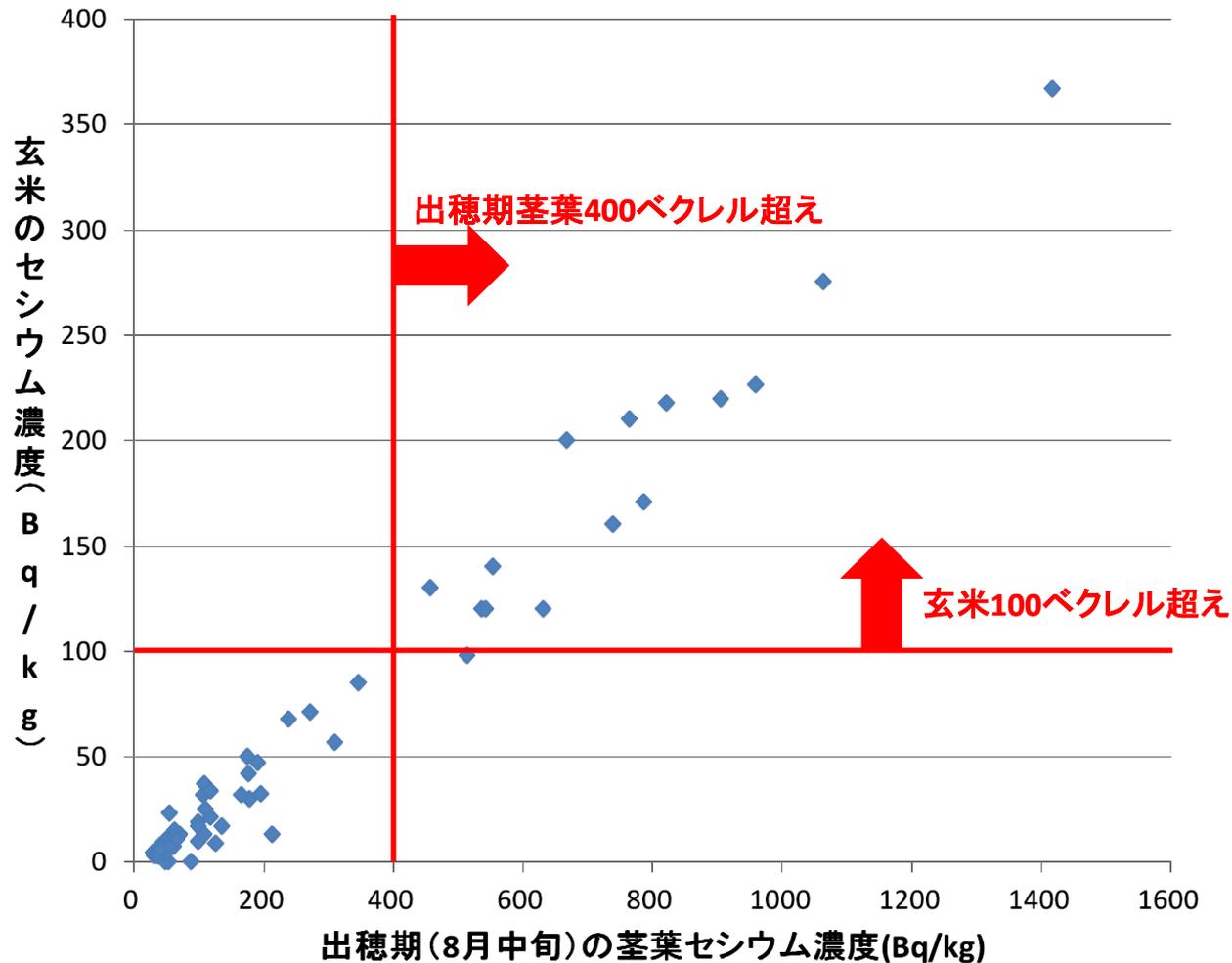
調査項目

- 土壌調査
代かき前に採取
- イネ茎葉
7月中旬
8月中旬(出穂期)
- 玄米
- 用水



試験栽培の結果

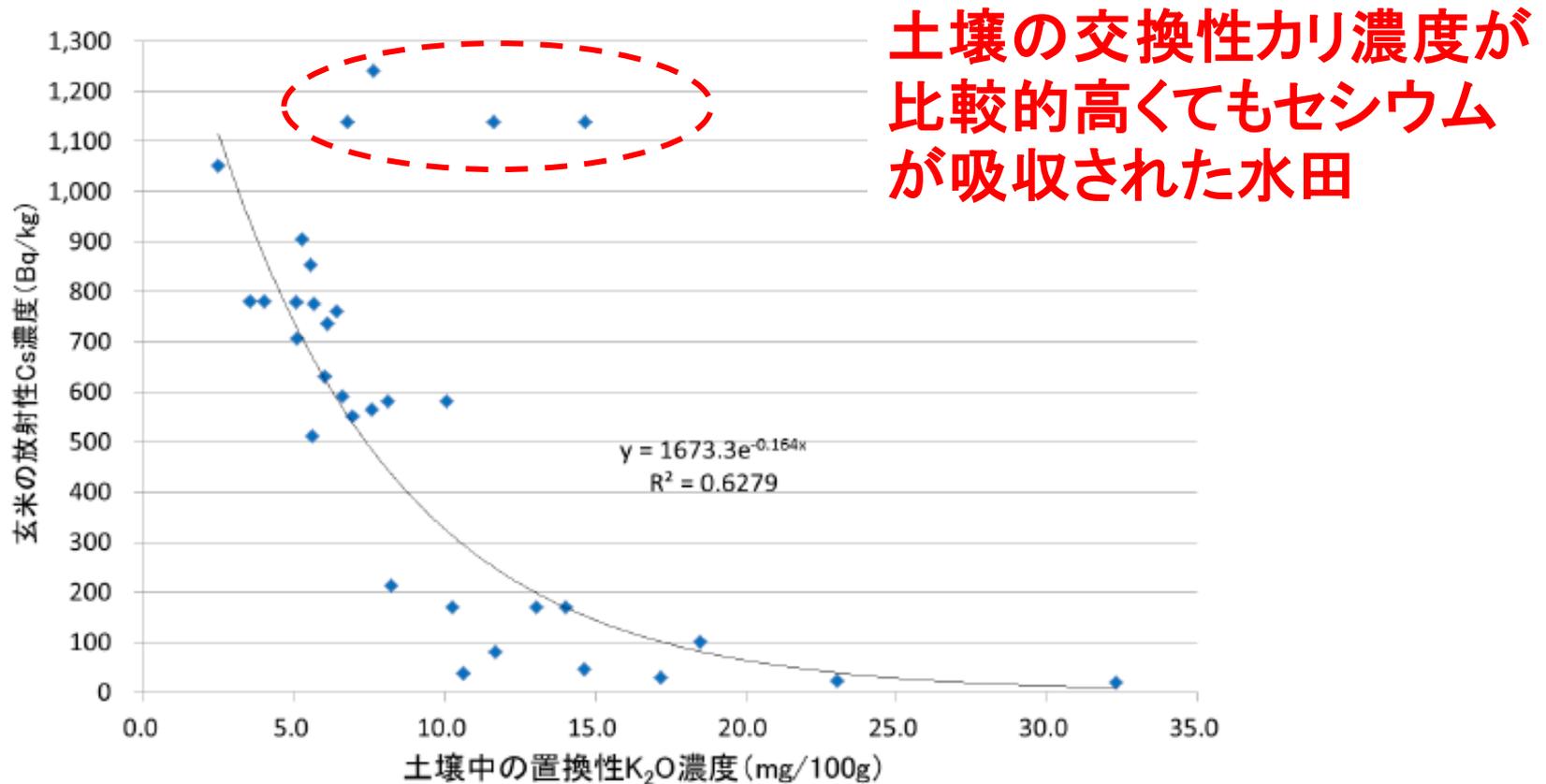
- 全体の4分の1に当たる水田において玄米が100ベクレルを越えた。しかし、100ベクレルを越えた水田の分布は非常に偏っていた。
- 土壌の放射性セシウム濃度との関連は見出されなかった。
- 珪酸加里を施用した区では、玄米の100ベクレル越えは皆無だった(カリウムの効果)。



8月中旬の茎葉の放射性セシウム濃度と玄米のセシウム濃度との関係(低減対策を行わなかった55水田のデータ)。

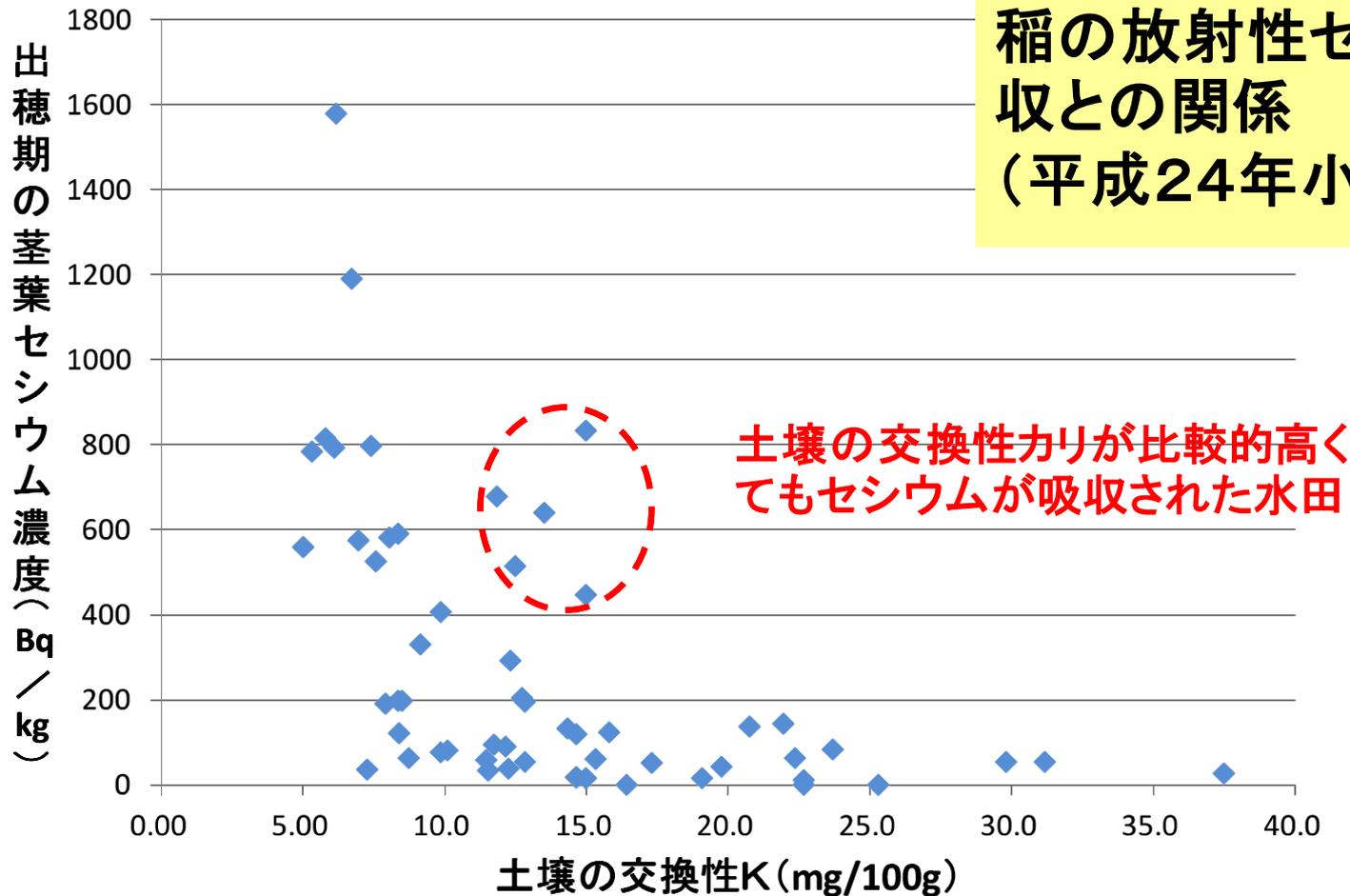
6 それでも残る“例外的なセシウム吸収”の謎

カリウムの未解決問題（渡利・大波）



- 玄米のセシウム濃度と土壤の交換性カリウム濃度との関係には、「はずれ値」が見られる。

土壌の交換性カリ濃度と
稲の放射性セシウム吸
収との関係
(平成24年小国地区)



- 交換性カリとセシウム吸収の関係には、一昨年の大波の場合と似たような「はずれ値」水田が存在する。

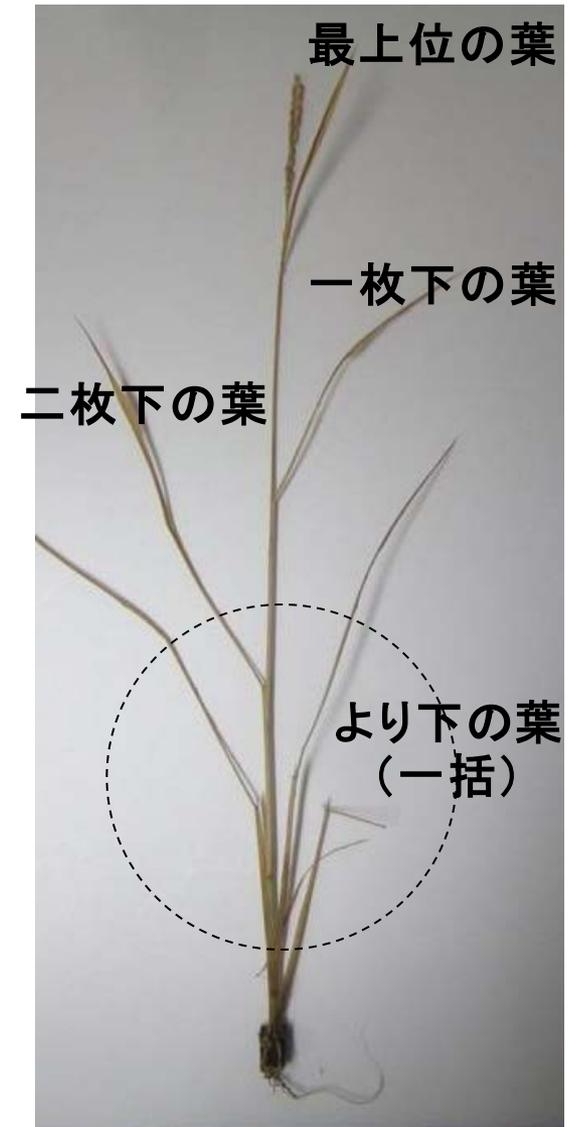
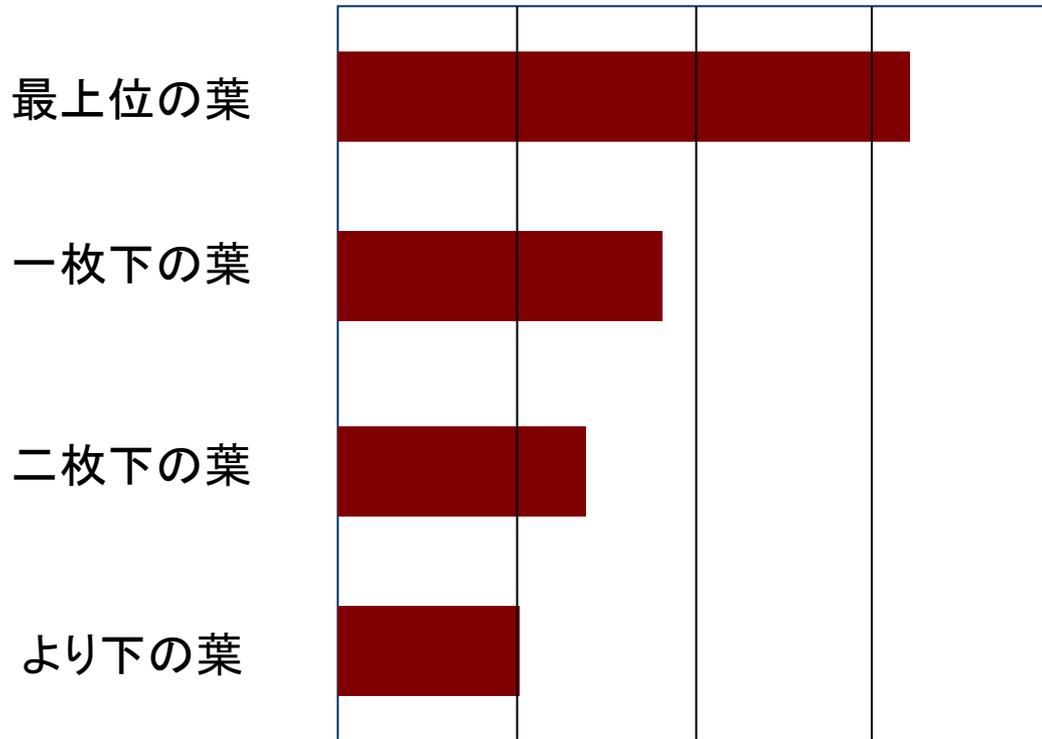
二本松市で玄米500ベクレルを検出 (事故当年)



- 当該の水田は山間地の谷地田
- こうした環境のイネを対象に、セシウムの蓄積パターンを調査

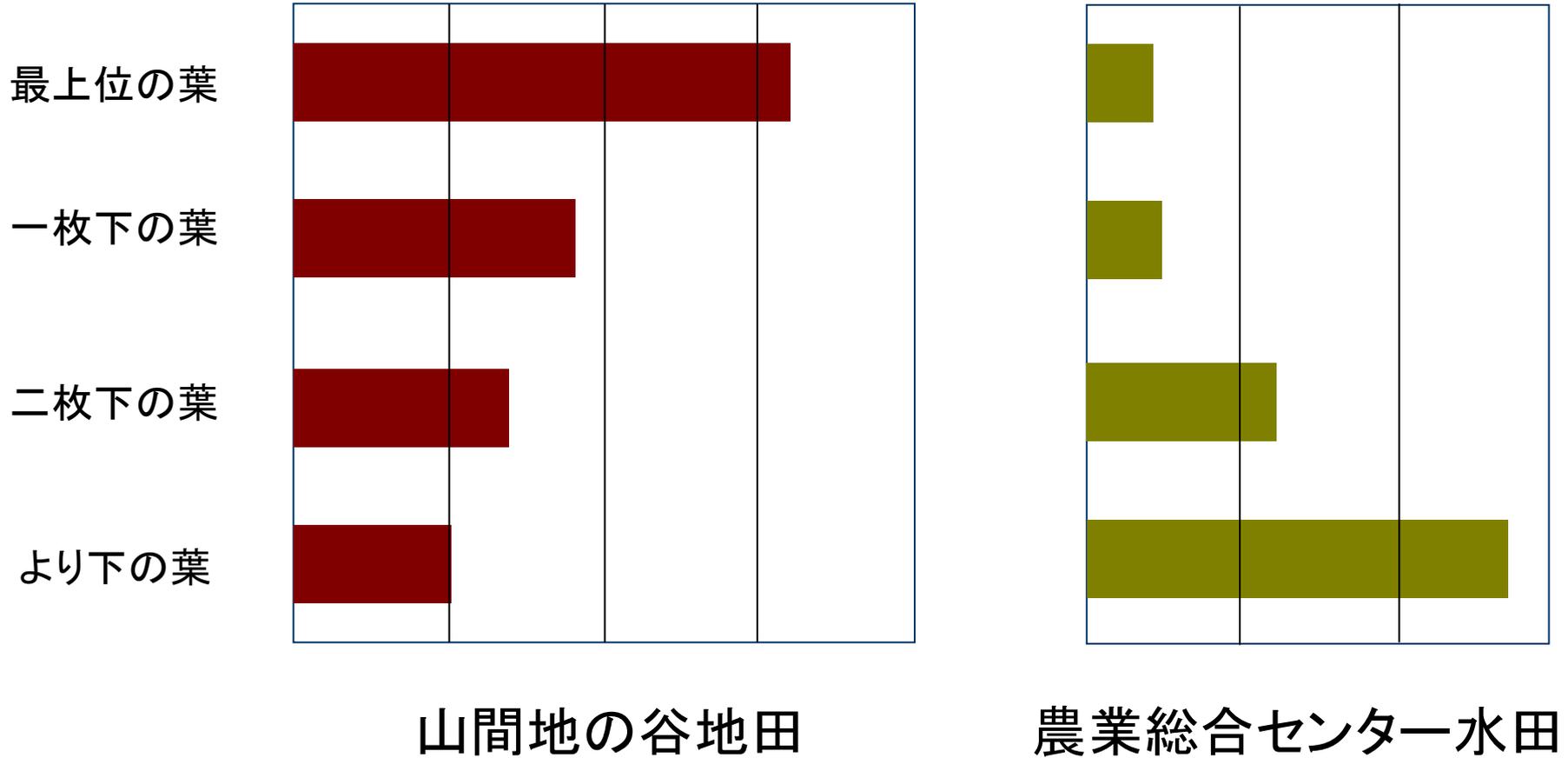
平成23年9月24日 毎日新聞(オンライン版)

セシウム137の濃度



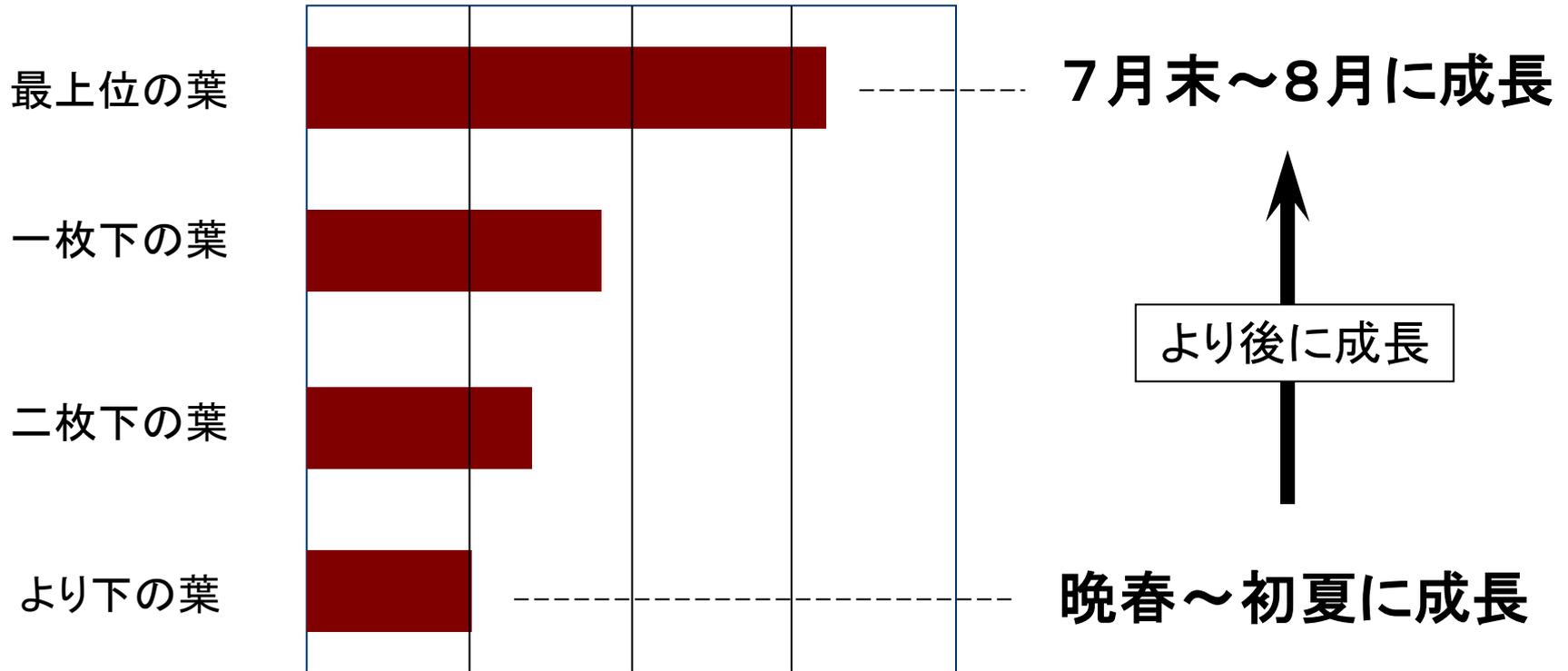
穂に近い葉でセシウムが
高濃度に蓄積

セシウム137の濃度



谷地田のイネは、体内のセシウムの蓄積パターンが特異

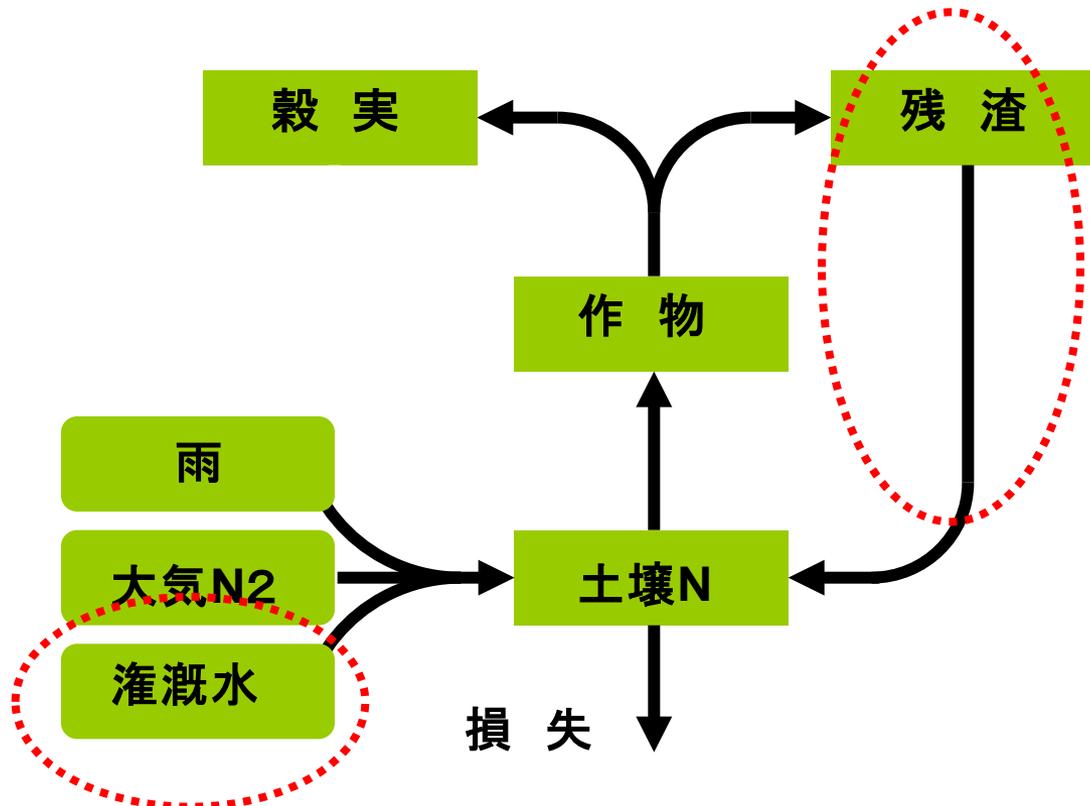
セシウム137の濃度



谷地田のイネは、7月から8月にかけて集中的にセシウムを吸収したと推定される

水田生態系における循環・収支の特徴 (例 無施肥水田における窒素の流れ)

特徴① 有機物の蓄積と循環



特徴② 灌漑水とともに多量の養分が水田に流入

盛夏にセシウムを集中的に吸収した原因として、次のような可能性が考えられる

- ① 夏季に**水田土壌中の有機物の分解**が進み、多量の放射性セシウムが放出された。これをイネが吸収した。
- ② 夏季に**山林の落葉の分解**が進み、多量の放射性セシウムが放出され、灌漑水とともに水田に流入した。これをイネが吸収した。

セシウム吸収における水の問題

- セシウムは、本来、イネに吸収され易い物質であるが、粘土に吸着されることにより、吸われにくくなっている。
- 粘土に邪魔されずに直接水から吸収されれば、効率よく吸収されると考えられる。
- 実際、土壌からの吸収では説明できないような事例がある。

線量の低い水田でのセシウム吸収の例

- 福島原発からかなり離れた地域にある棚田、沢水から用水を引いている。
- 玄米のセシウム濃度の平均値は、キログラムあたり約80ベクレル。いっぽう、**土壌**は、キログラムあたり**約160ベクレル**。
- 郡山の水田土壌を用いた試験では、**60000ベクレルの土壌**で栽培して80ベクレルの玄米（福島県農業総合センター）。

実験：水耕における放射性セシウム吸収



- イネ用の水耕液(イネに必要な肥料成分を溶かした水)に、昨年春に降下した放射性セシウムを溶かして、イネを26日間栽培
- 水耕液の放射性セシウム濃度は、0.1、1、10ベクレル／リットルの3段階とした

参考 水における放射性セシウムの検出限界は、1ベクレル／リットル程度

結 果

76ベクレル
／ Kg乾物重

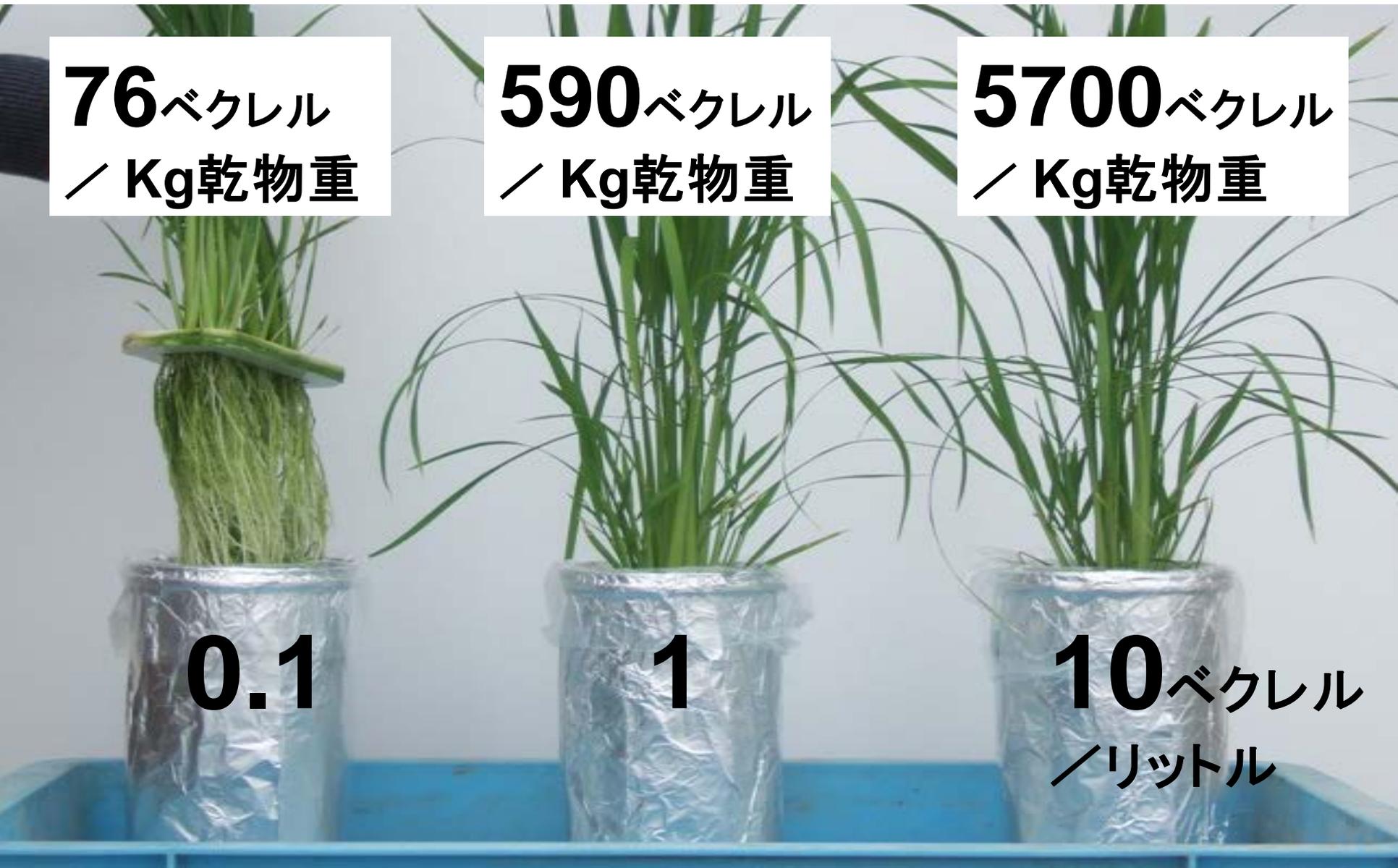
590ベクレル
／ Kg乾物重

5700ベクレル
／ Kg乾物重

0.1

1

10ベクレル
／リットル



セシウム吸収における水の重要性

- 規制値越えした水田に多く見られる、類似した環境

沢水の流入

極度の排水不良

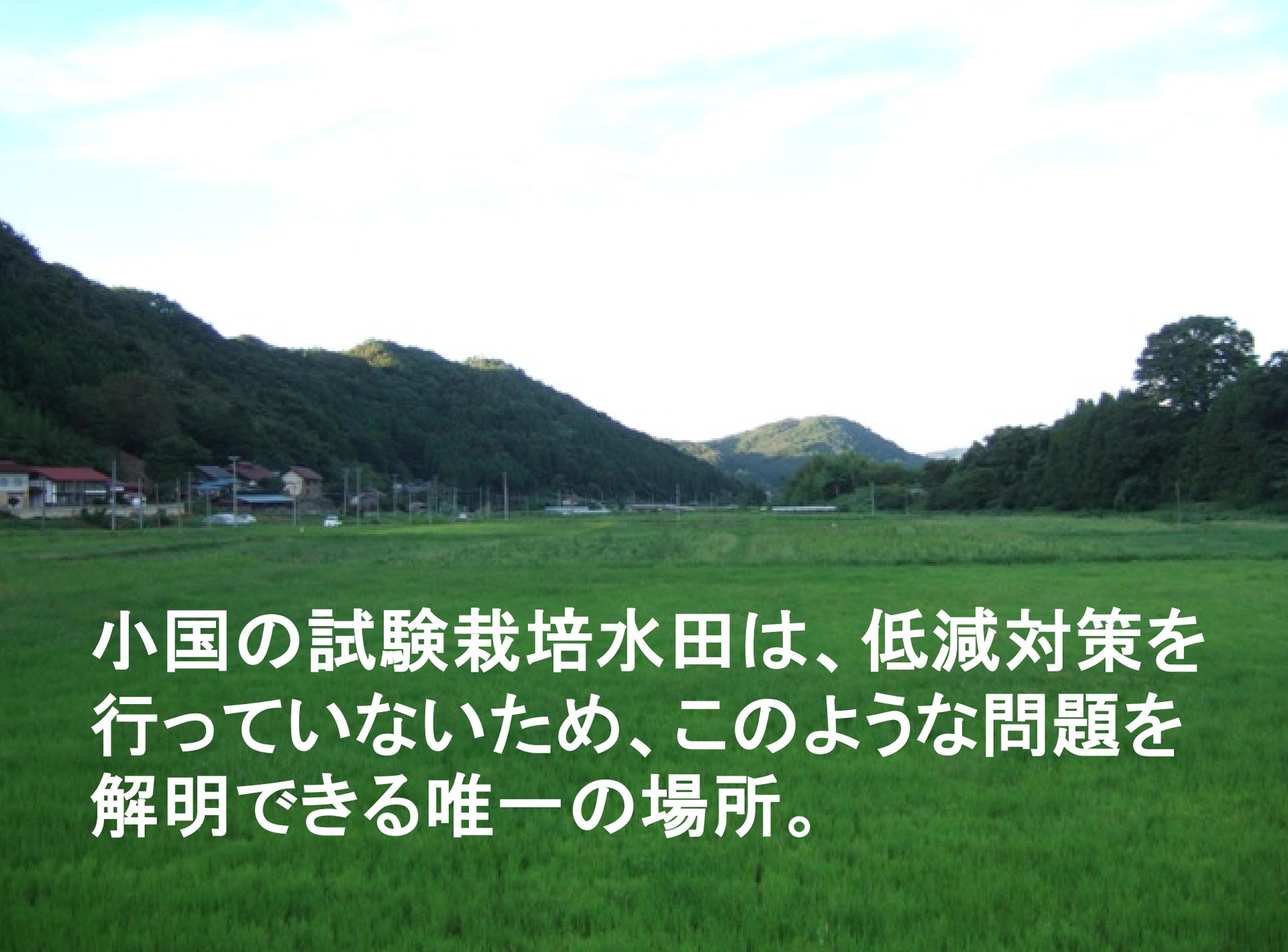
(塩沢教授による)

など

- 「水」の関与の可能性？

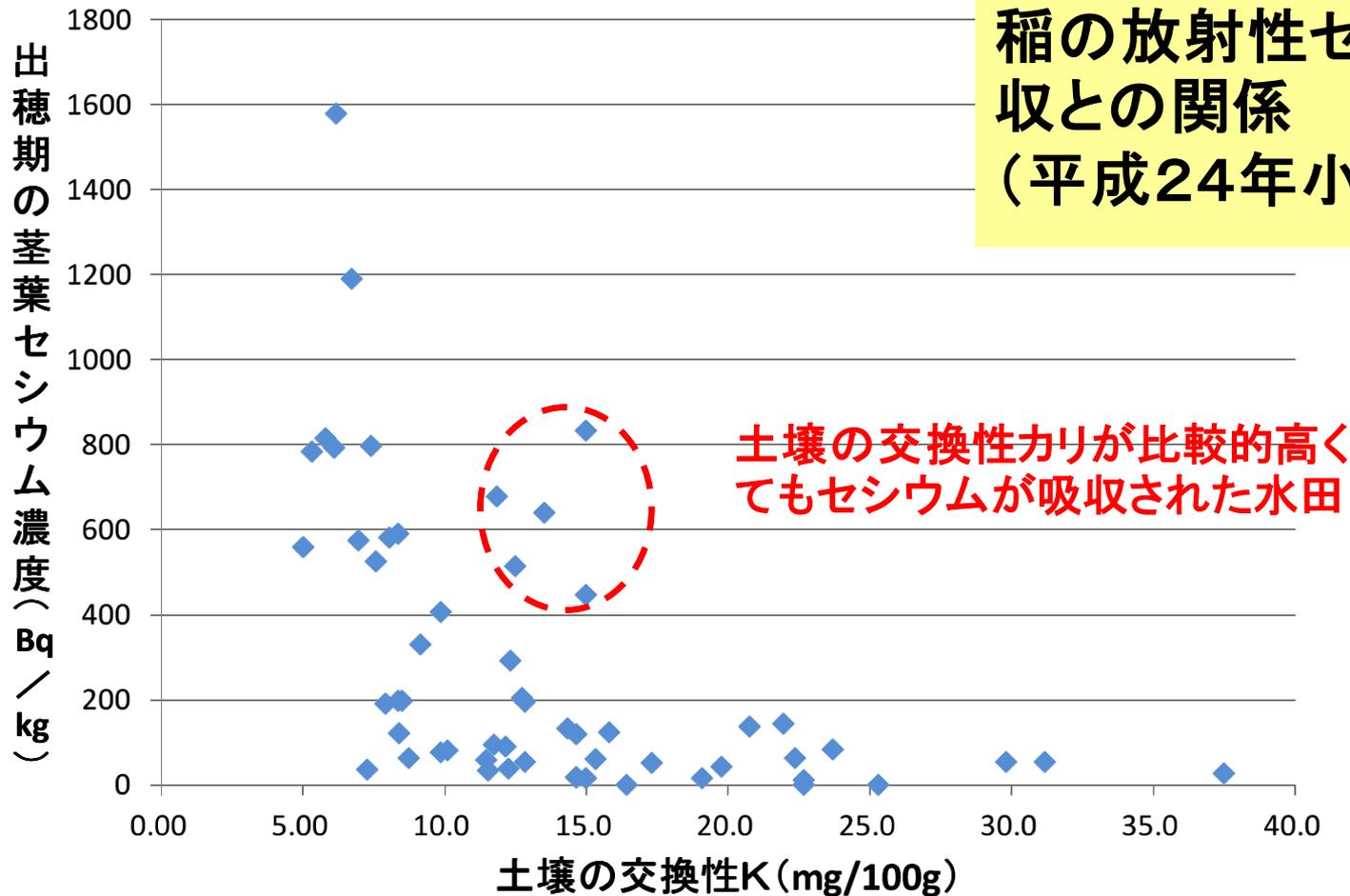


7 用水からのセシウム 吸収の可能性



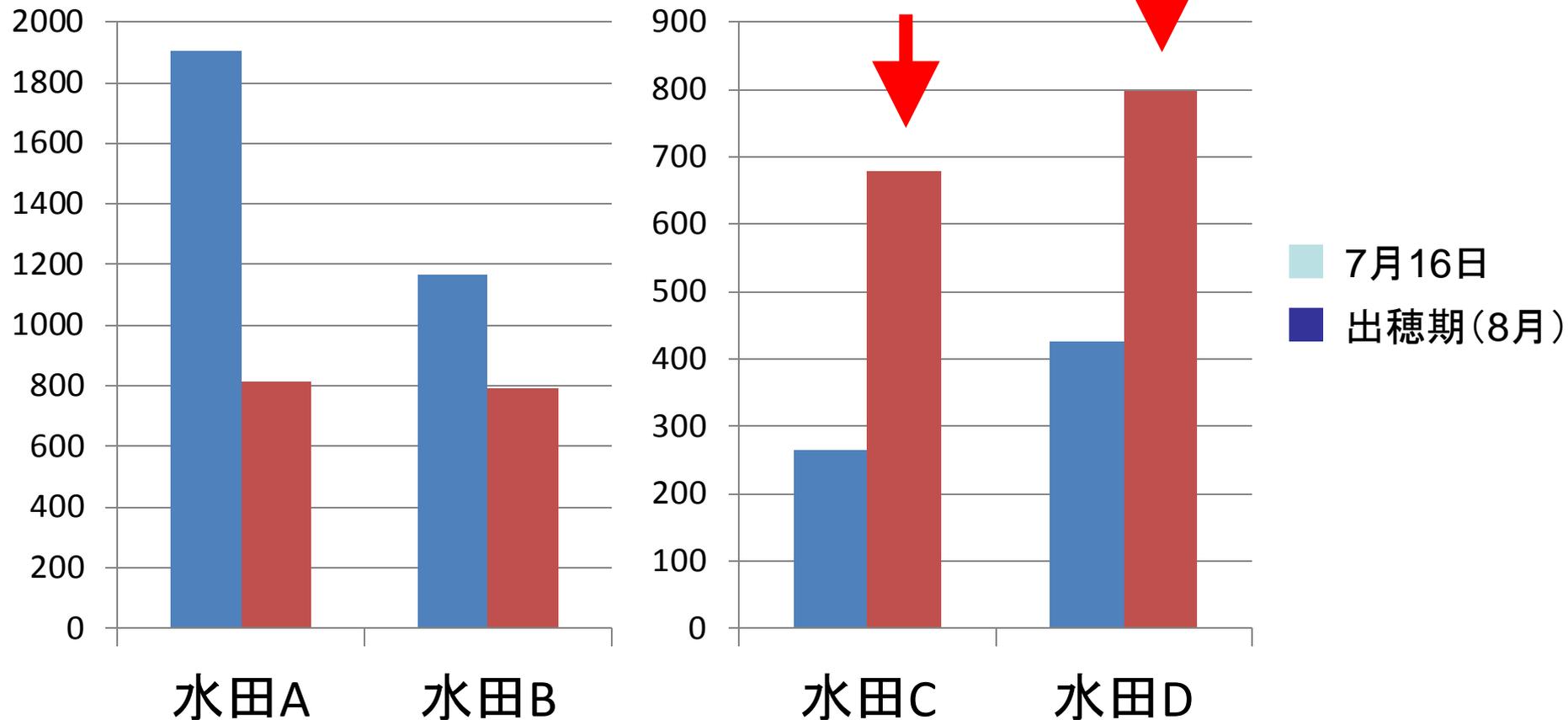
小国の試験栽培水田は、低減対策を行っていないため、このような問題を解明できる唯一の場所。

土壌の交換性カリ濃度と
稲の放射性セシウム吸
収との関係
(平成24年小国地区)



- 交換性カリとセシウム吸収の関係には、一昨年の大波の場合と似たような「はずれ値」水田が存在する。

茎葉の放射性Cs濃度 (Bq/kg)



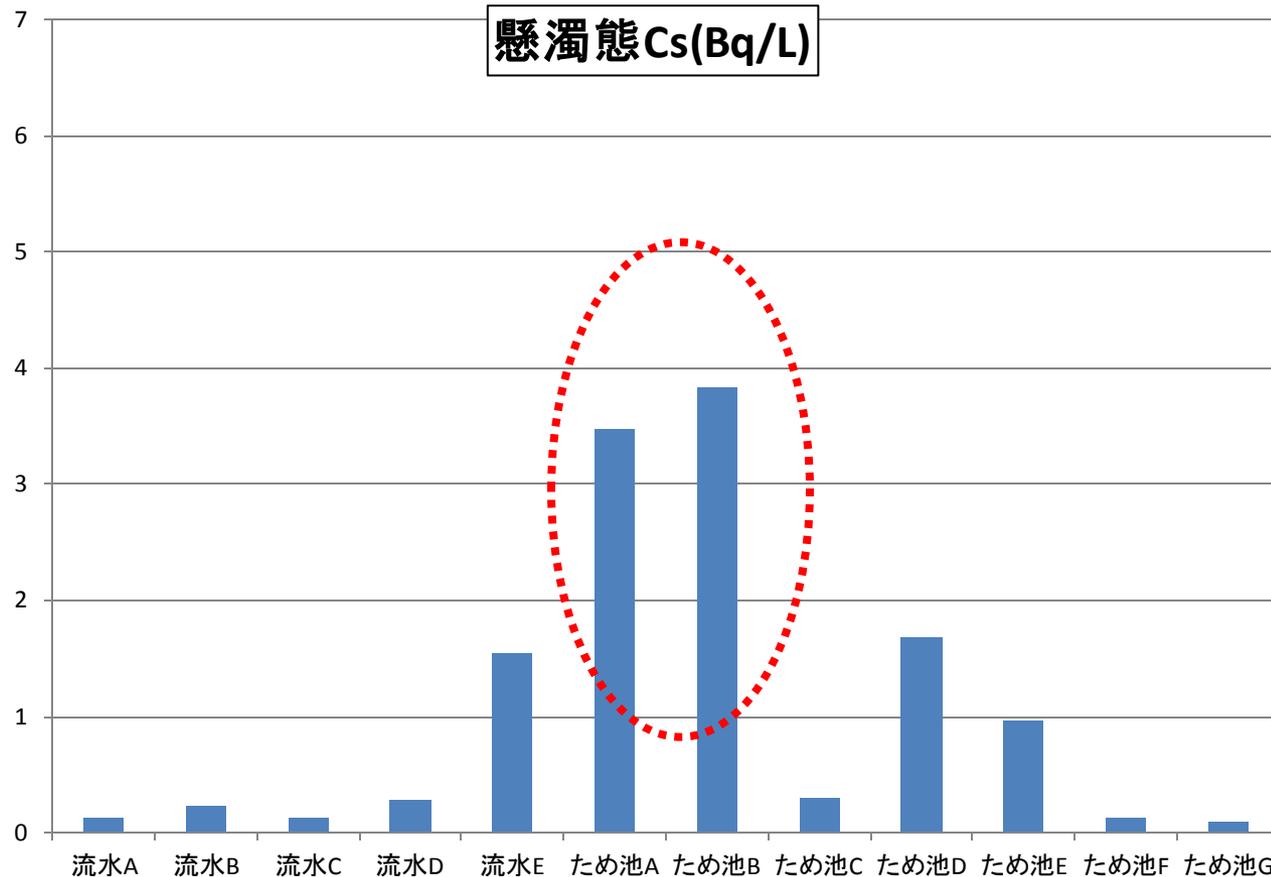
(^{137}Cs と ^{134}Cs の合計値)

「はずれ値」水田の多くが、8月に吸収が伸びた水田(↓)

「はずれ値」水田の謎

- 多くの水田では7月の吸収量が8月の吸収量を上回っているのに対して、「はずれ値」水田では8月に吸収が顕著に伸びていた。
- 「はずれ値」水田のイネは、**普通の水田とは異なる経路でセシウムを吸収しているのではないだろうか？**

各水田の用水の調査



水の中の放射性セシウムには懸濁態と溶存態がある。玄米のセシウム濃度が高かった「はずれ値」水田の用水には懸濁態が多く含まれていた。

用水中の懸濁態セシウムが稲にとっての放射性セシウム給源となるか？



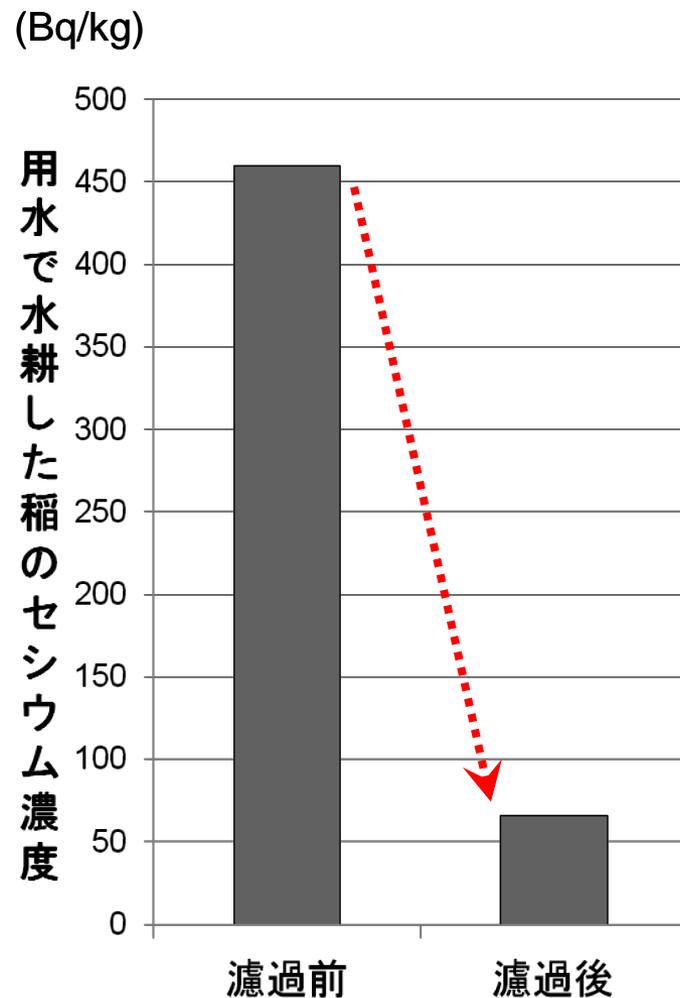
- 一般的には、懸濁態セシウムは粘土や有機物に保持・吸着されているので、溶存態セシウムに比べて吸収されにくいと考えられている。
- そのため、水耕栽培を行ったところ、**問題のため池の懸濁態セシウムは、イネによく吸収されることが分かった。**



濾過前 → 濾過後

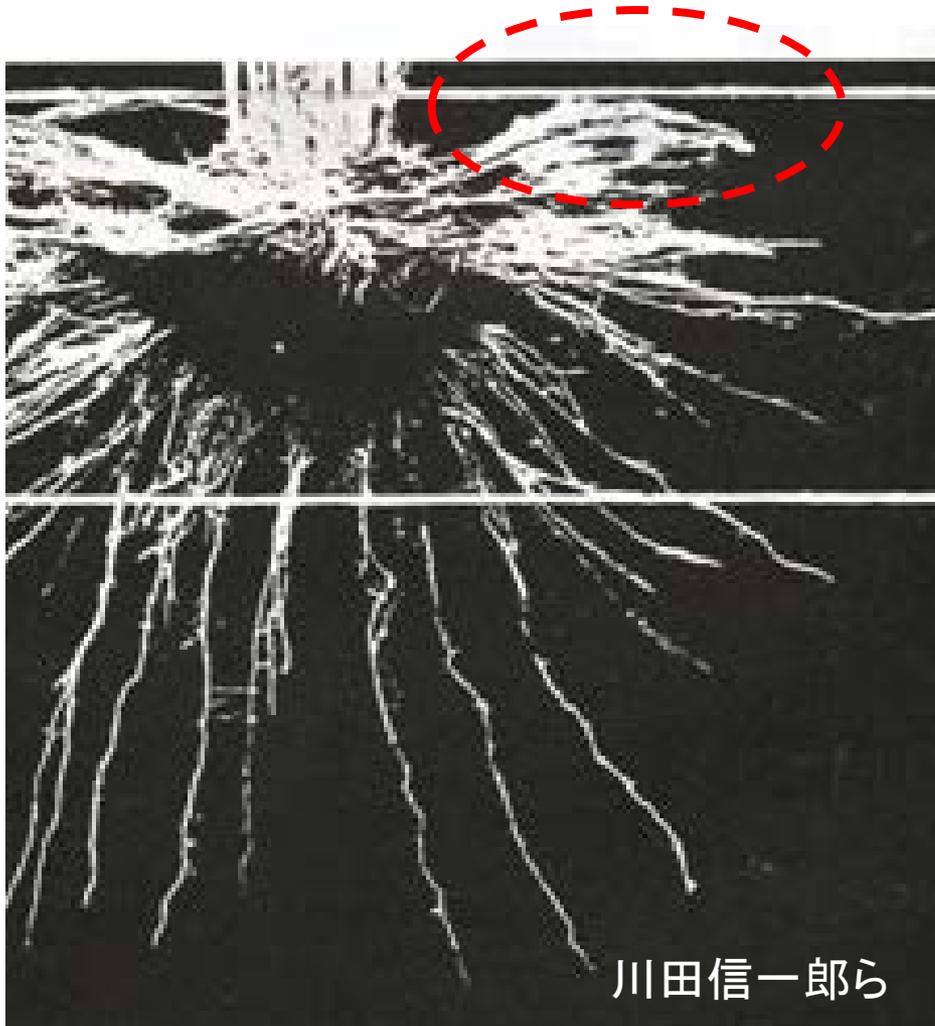
懸濁態 1.3 Bq/L
溶存態 0.4 Bq/L

懸濁態 なし
溶存態 0.4 Bq/L



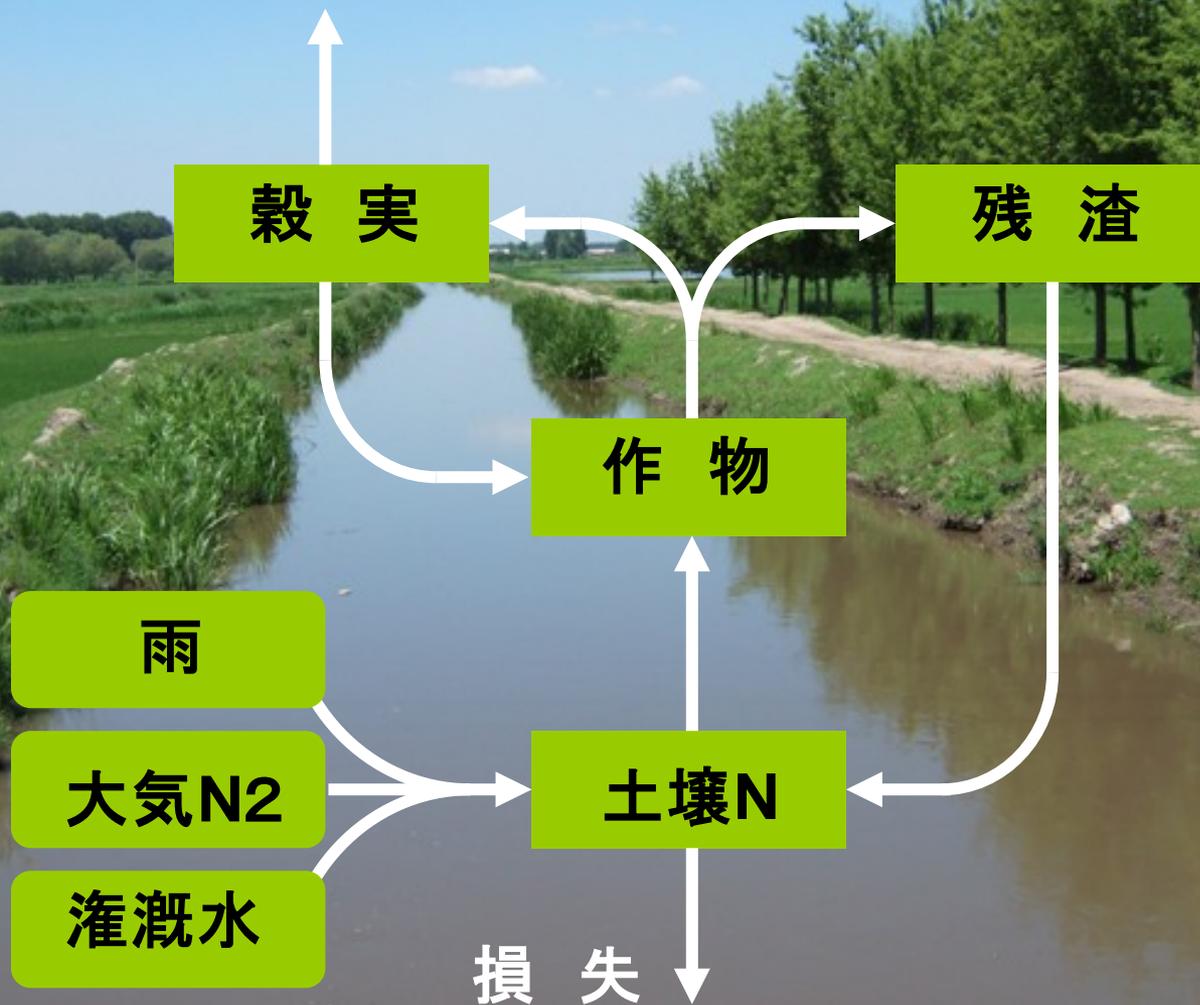
この用水の懸濁態セシウムは、水耕したイネに効率よく吸収される

水から直接セシウムを吸収する可能性があるとしたら、どの部位からか？

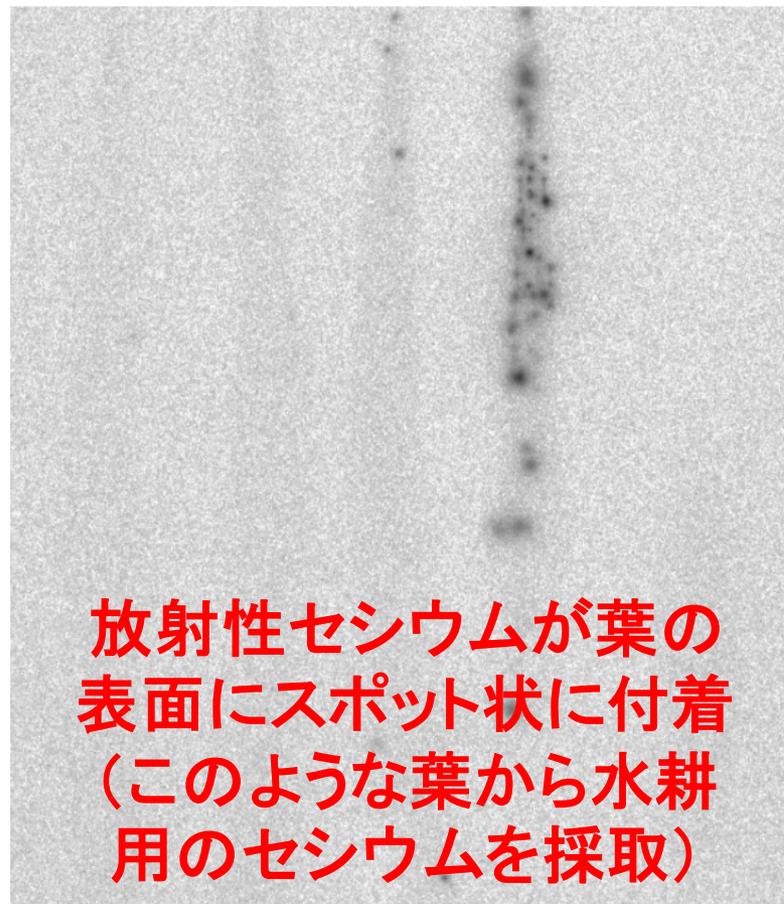


- 用水に含まれる放射性セシウムを“**うわ根**”が吸収？
- もう1つの可能性として、**懸濁態セシウム**が、土壤中を移動していき、根から吸収される？

山林と用水と水田を1つのシステムと捉えた放射性セシウムの循環・収支の解析が必要



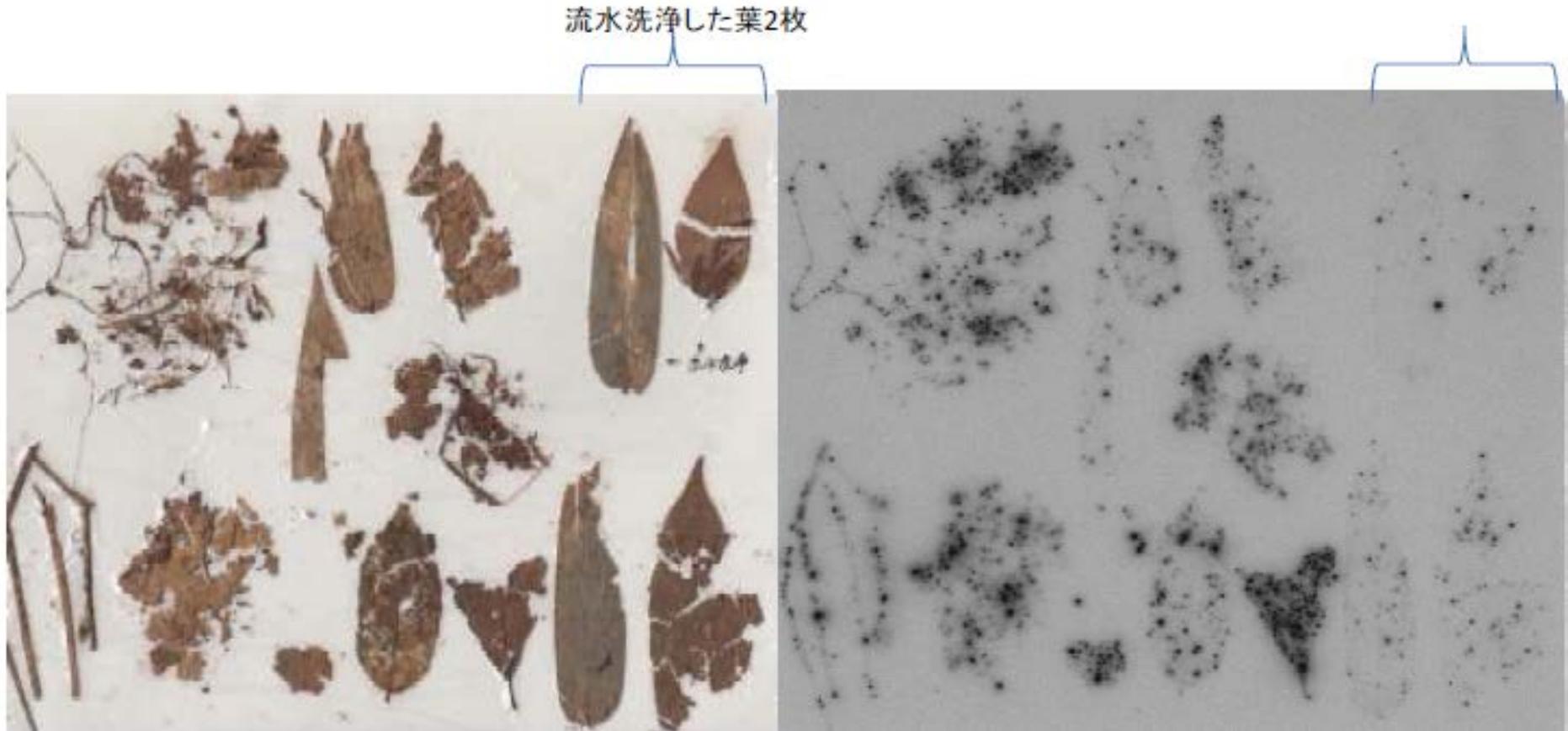
セシウムが降下したコムギの葉 (平成23年5月に郡山で採取)



放射性セシウムが葉の
表面にスポット状に付着
(このような葉から水耕
用のセシウムを採取)

これらを湯と硝酸で洗っても5%も溶出できなかった

山林の落ち葉にも、今なお多量の降下物が スポット状に残っている



昨年11月に二本松の山林で採取した落葉(一昨年の葉)の
イメージングプレート像

有機物に降下したセシウムの行方

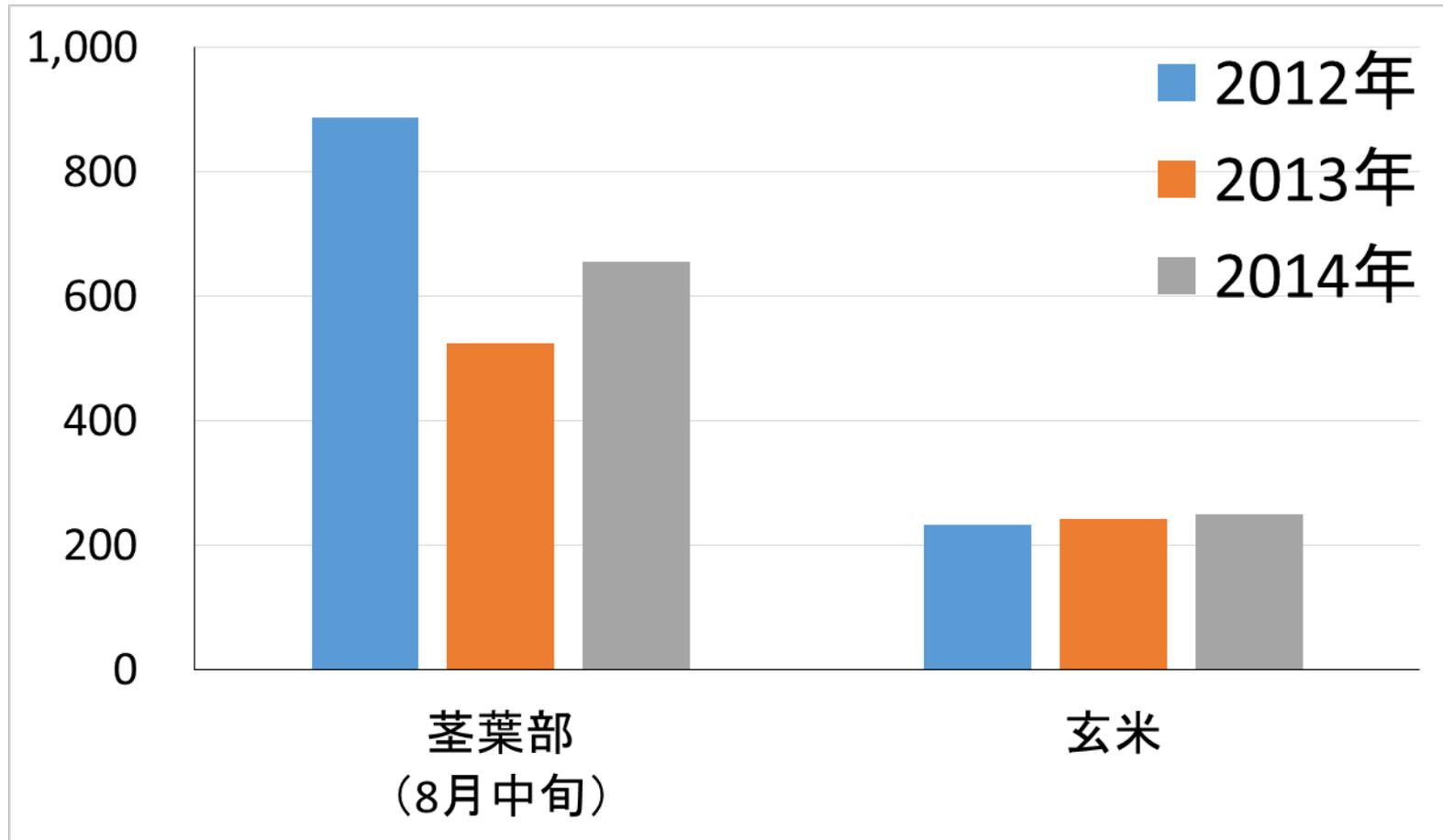
- 水田や山林の有機物に降下した放射性セシウムの多くは、今なお難溶性の塊として残っている。
- これらが溶出してくるのは、予想以上に長期に亘るかも知れない。
- 長期的視点に立ったモニタリングが必要

8 その後のモニタリング (2013－2014年)

小国の試験栽培：その後

- 吸収低減対策（カリウム施用）をしていない、通常の条件での、イネのセシウム吸収の経年変化を調査（試験栽培した60水田から5水田を選んで、事故翌々年より継続調査）。
- ため池を含む農業用水の、セシウム濃度の経年変化を調査。

セシウム137(ベクレル/kg)

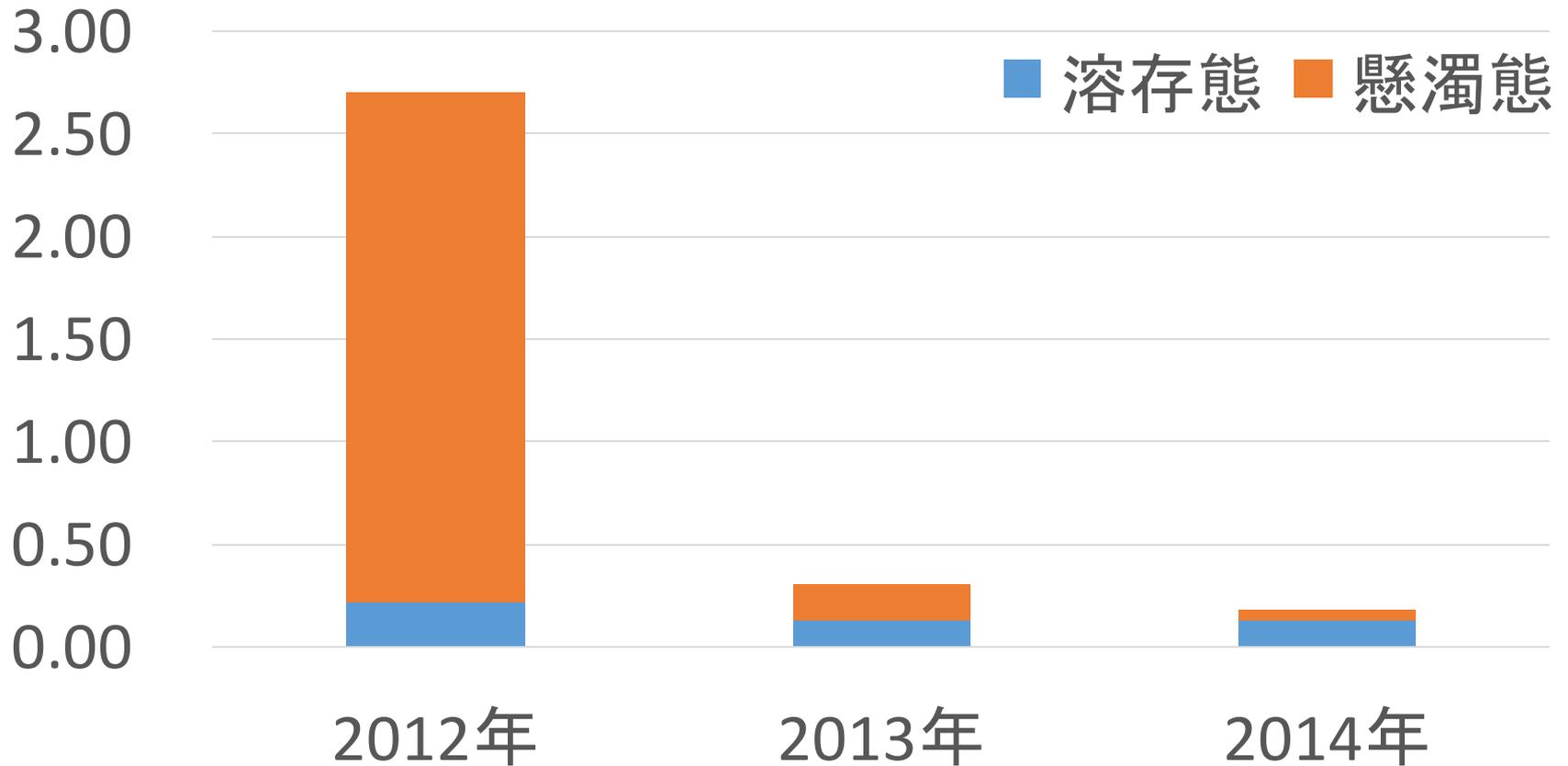


カリウムによる吸収抑制対策を施していない水田では、イネへのセシウム移行は3年間で余り低下していない。

一部、茎葉部(ワラ)の全量持ち出しによる土壌中のカリウム減少の影響

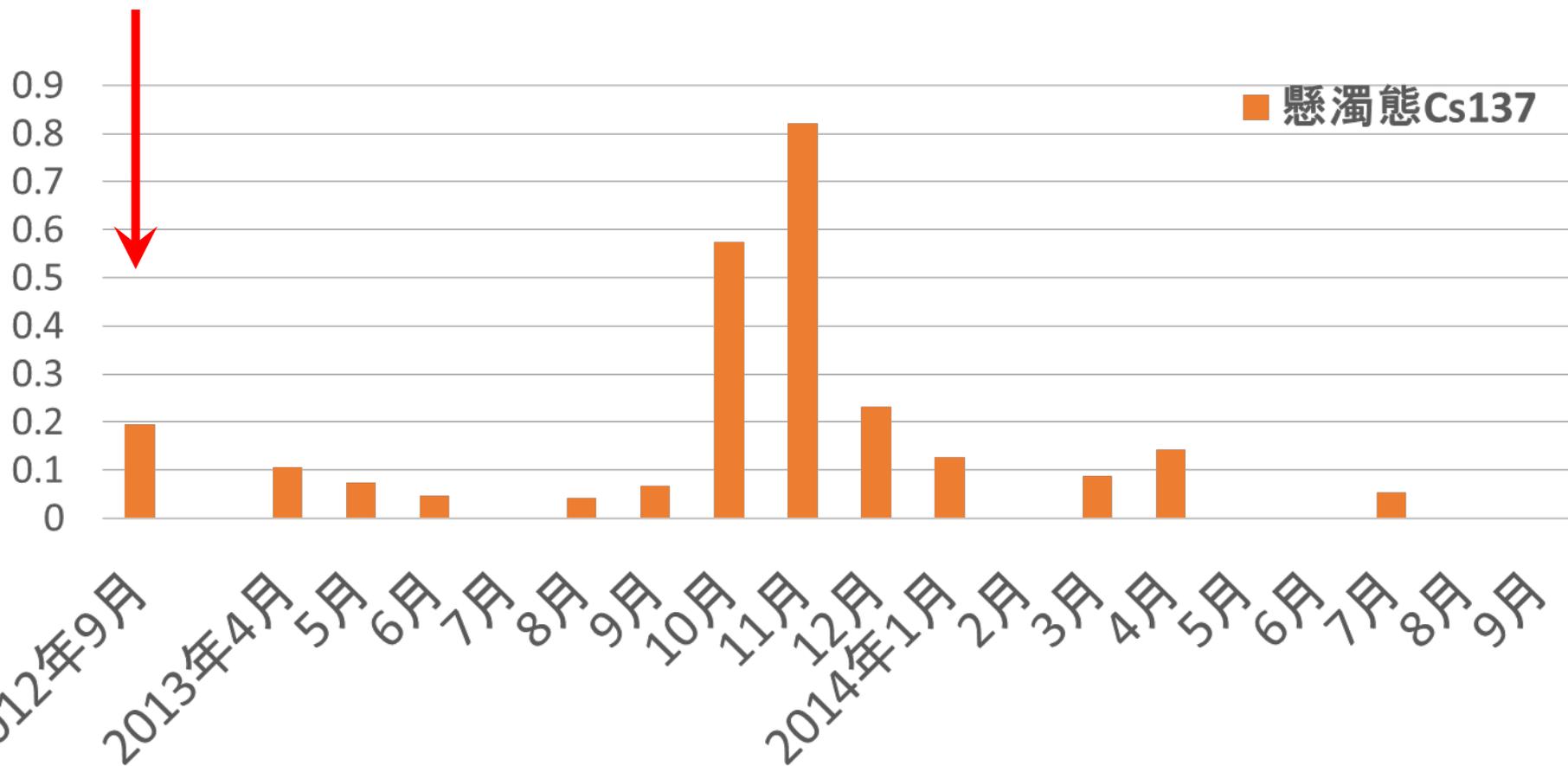
ため池の水のセシウム濃度は大幅に低下した(例:ため池B)

試験栽培＝事故翌年



季節的に、ため池のセシウム濃度が上昇する可能性がある(例:ため池C)

試験栽培
= 事故翌年



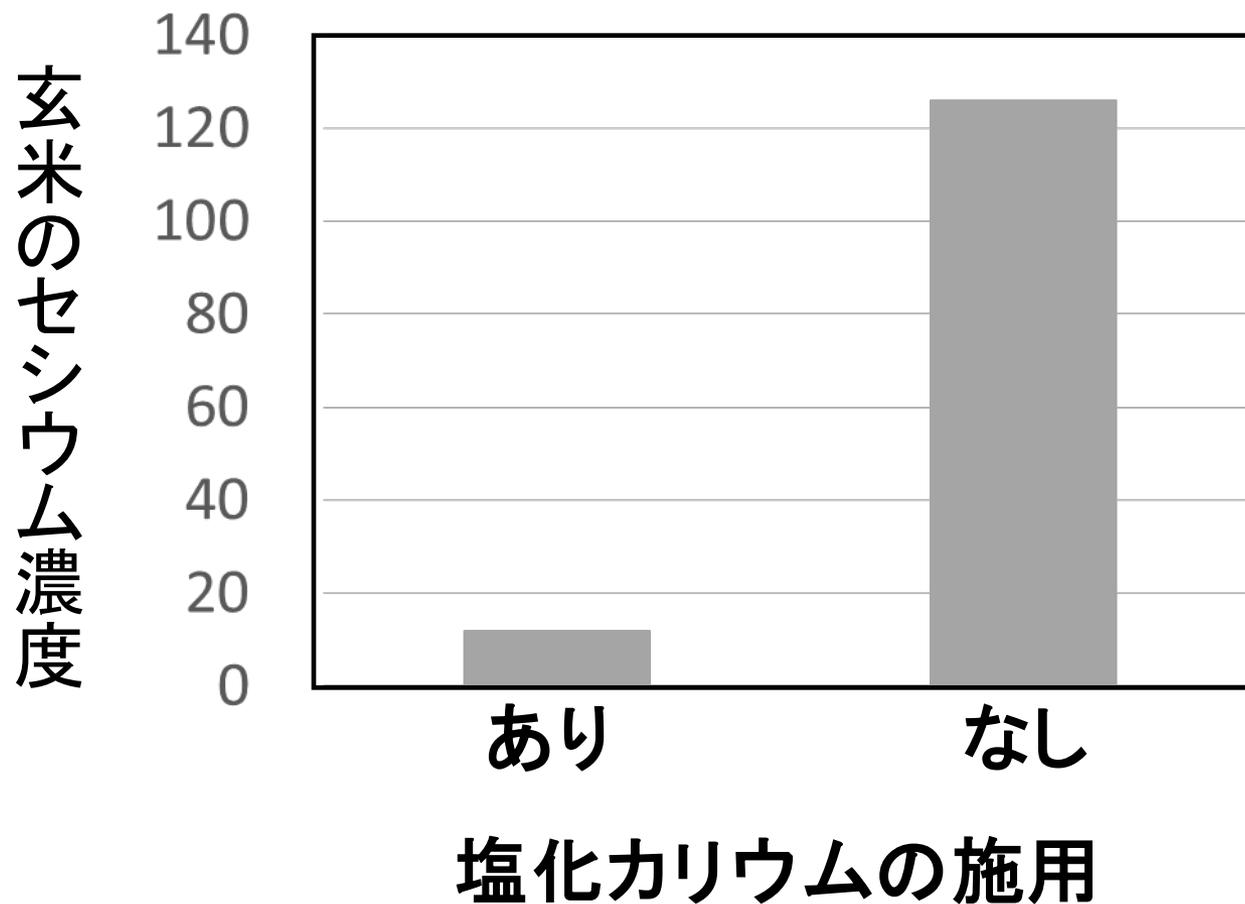
これからの課題①

カリウム施用を継続する必要性

- すでに作付け再開されている地域では、コメのセシウム濃度が規制値を超えることはほぼ皆無。
- しかし小国の調査結果は、カリウム施用によるセシウム吸収抑制対策を緩めると、再びコメの規制値越えが起こる可能性を示している。

セシウム137
(ベクレル/kg)

小国の試験田(平成26年)



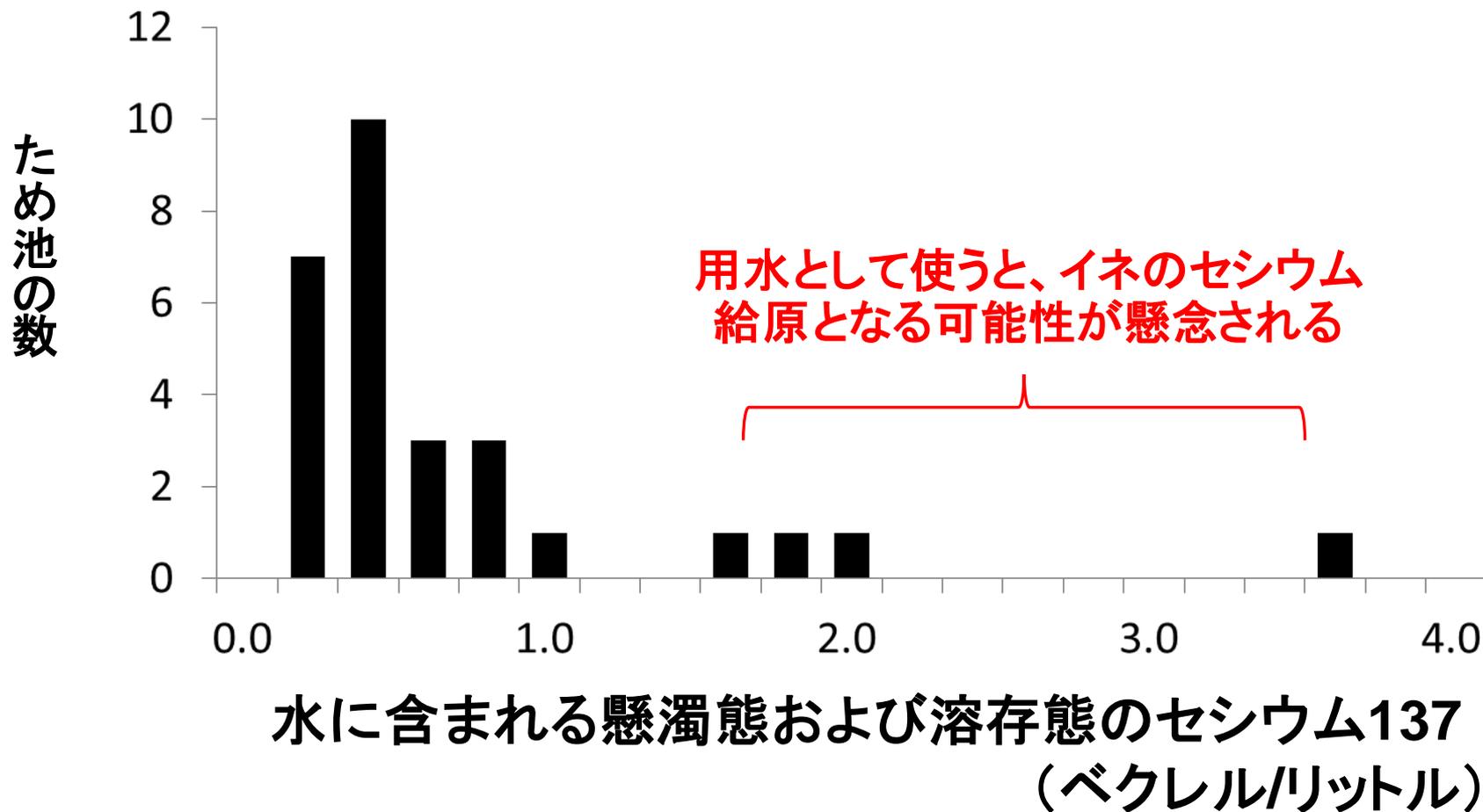
農家へのカリウムの無償提供は、今後も長く必要

これからの課題②

作付けを再開する地域への応用

- 福島全体をみると、飯舘をはじめとして、これからイネの作付けを再開していく地域が少なくない。
- これらの地域で作付けが再開されたときのイネのセシウム吸収のリスクを考えるうえで、小国の3カ年のデータはきわめて重要な判断材料となる。

飯館村のため池28カ所における水質調査 (平成26年4～5月)



現在の飯館のため池は、事故翌年の小国の状況と類似

最後に

- 継続調査はきわめて重要だが、**低減対策なしでモニタリングを続けてきた水田は、小国の試験田を含めて、ごく僅かしかない。**
- 小国の試験田の調査を続けてこられたのは、市と地権者（農家）の大変なご尽力あつてのこと。
- 原発事故による農業被害の継続調査は、今後、**社会全体の責務**として取り組んでいく必要がある。

調査・分析

東京大学

根本・阿部・二瓶・関谷(圃場
調査・データ分析)

山岸(生育調査)

野川(用水分析)

大手(水文測定)

田野井・小林・広瀬(RI測定)

大山・登・後藤(試料分析・
データ処理)

福島大学

石井(圃場調査)

東京農業大学

後藤(土壌分析)

現地との交渉・調整など

福島大学 小山・小松 伊達市