

# 水田生態系における 放射性セシウムの動態

栽培学研究室 根本圭介

# 福島第一原発事故の経過

3月

- 11日 福島第一原発1～3号機が自動停止
- 12日 1号機で水素爆発
- 14日 3号機で水素爆発
- 15日 2号機で爆発音、4号機で出火
- 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
- 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

# これまでに行った報告

●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)



# 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

ー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ー

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)

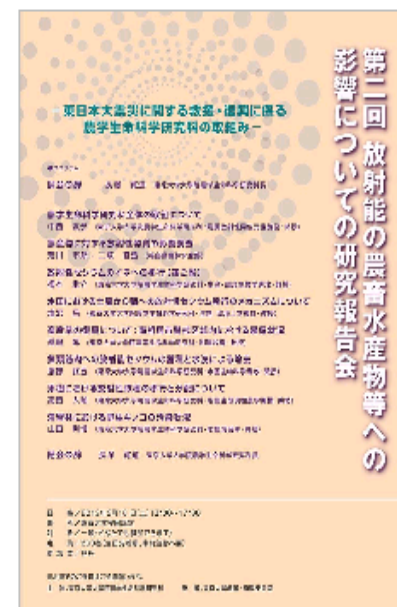
### 放射性セシウムのイネへの移行(第2報) [\[要旨\]](#) [\[動画\]](#) [\[資料\]](#)

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 [\[要旨\]](#)

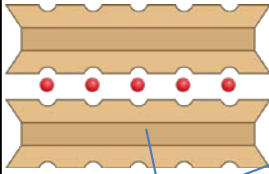
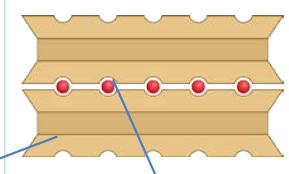
[\[動画\]](#) [\[資料\]](#)

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)

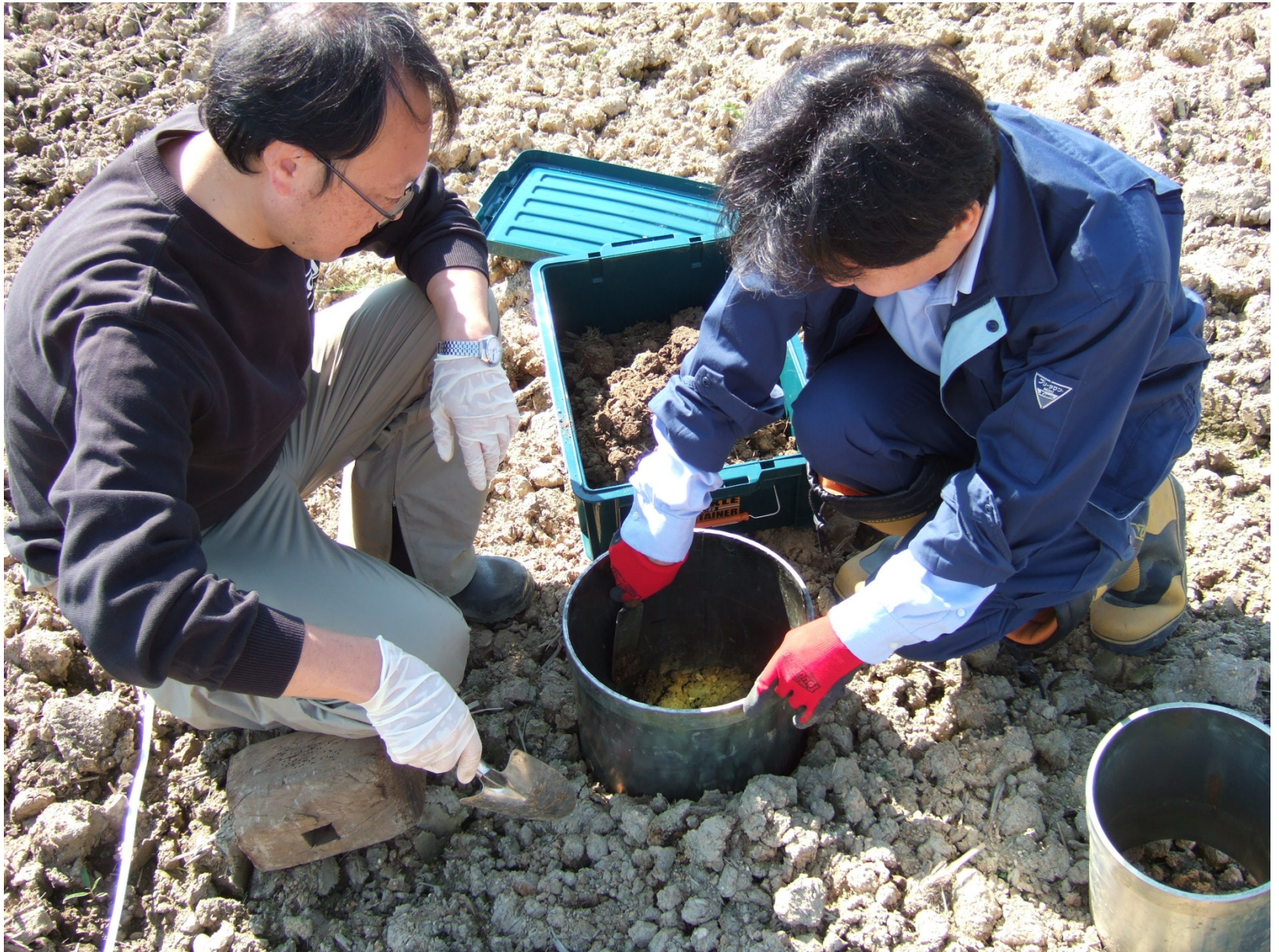


# 詳細は農学部ホームページの動画で

# 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<br>(クーロン力) | 弱い | 強い | 強い                                                                                          | 強い                                                                                         |
| Csの固定            | なし | なし | 弱い<br>  | 強い<br> |
|                  |    |    | 結晶性粘土鉱物                                                                                     | セシウムイオン                                                                                    |





# 昨年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。

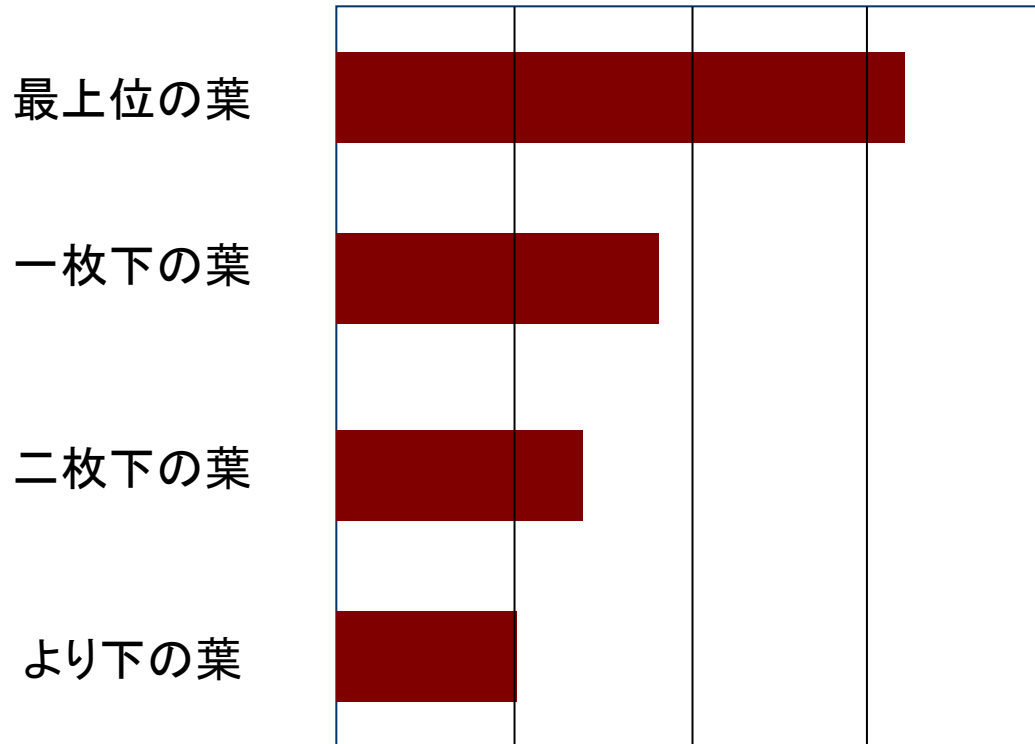


# 二本松市で玄米500ベクレルを検出

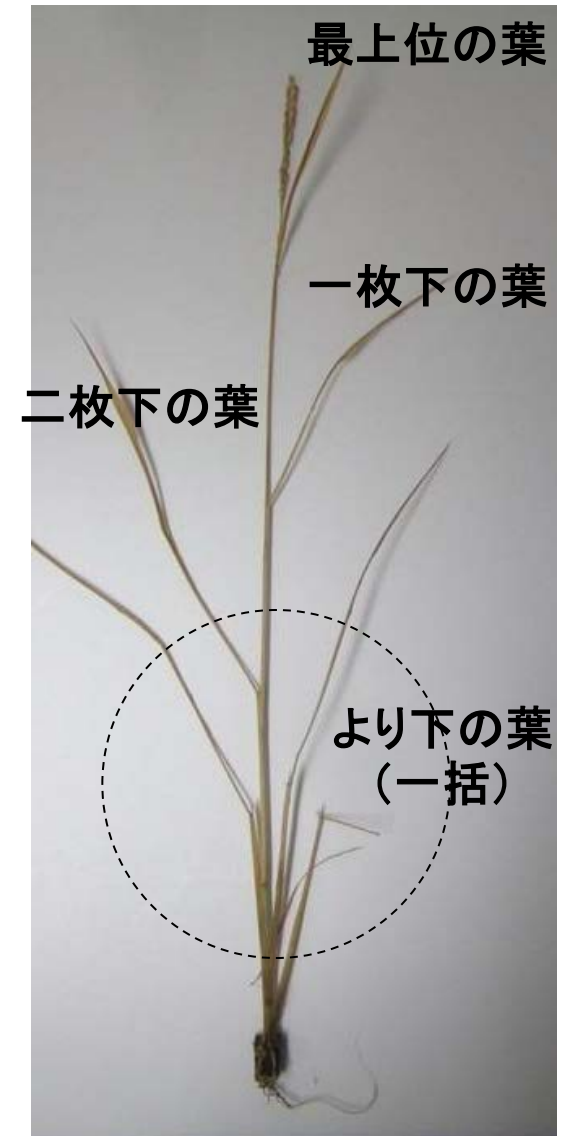
- 当該の水田は山間地の谷地田
- こうした環境のイネを対象に、セシウムの蓄積パターンを調査

# 1 規制値レベルのセシウムを 吸収したイネの特徴

## セシウム137の濃度

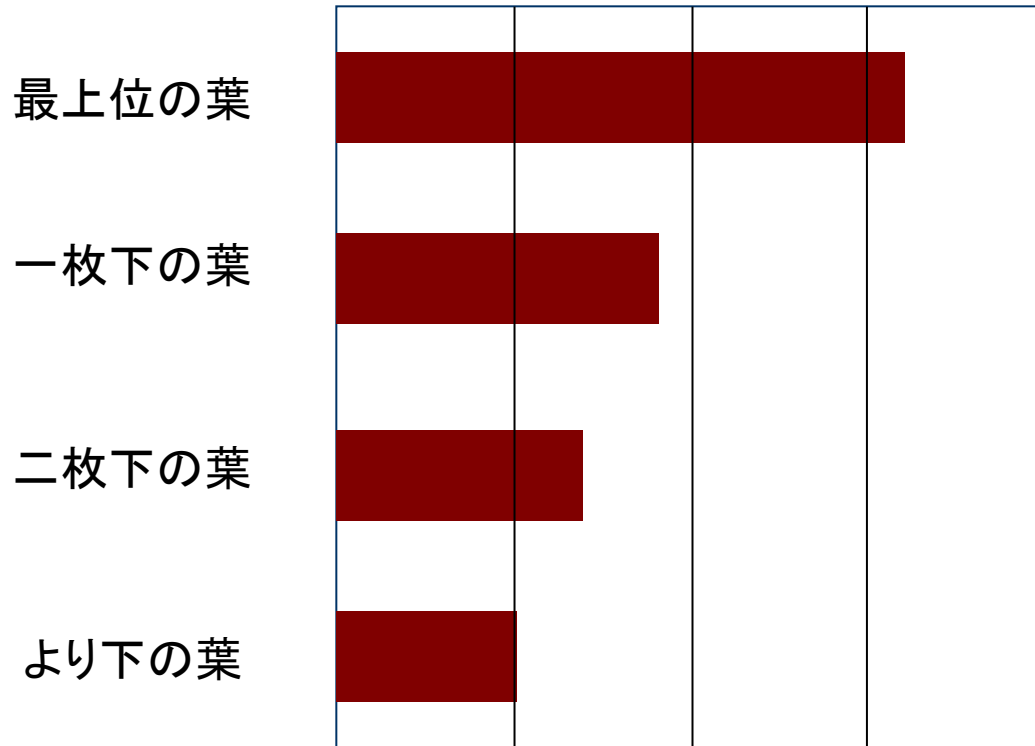


穂に近い葉でセシウムが  
高濃度に蓄積

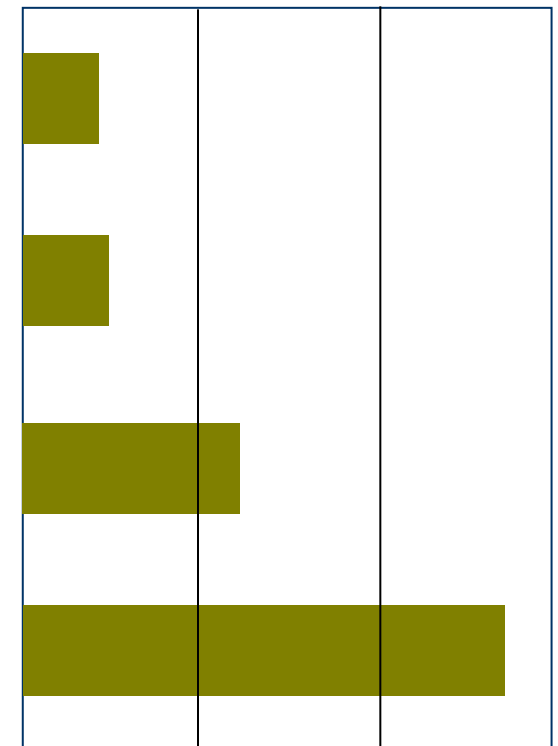




## セシウム137の濃度



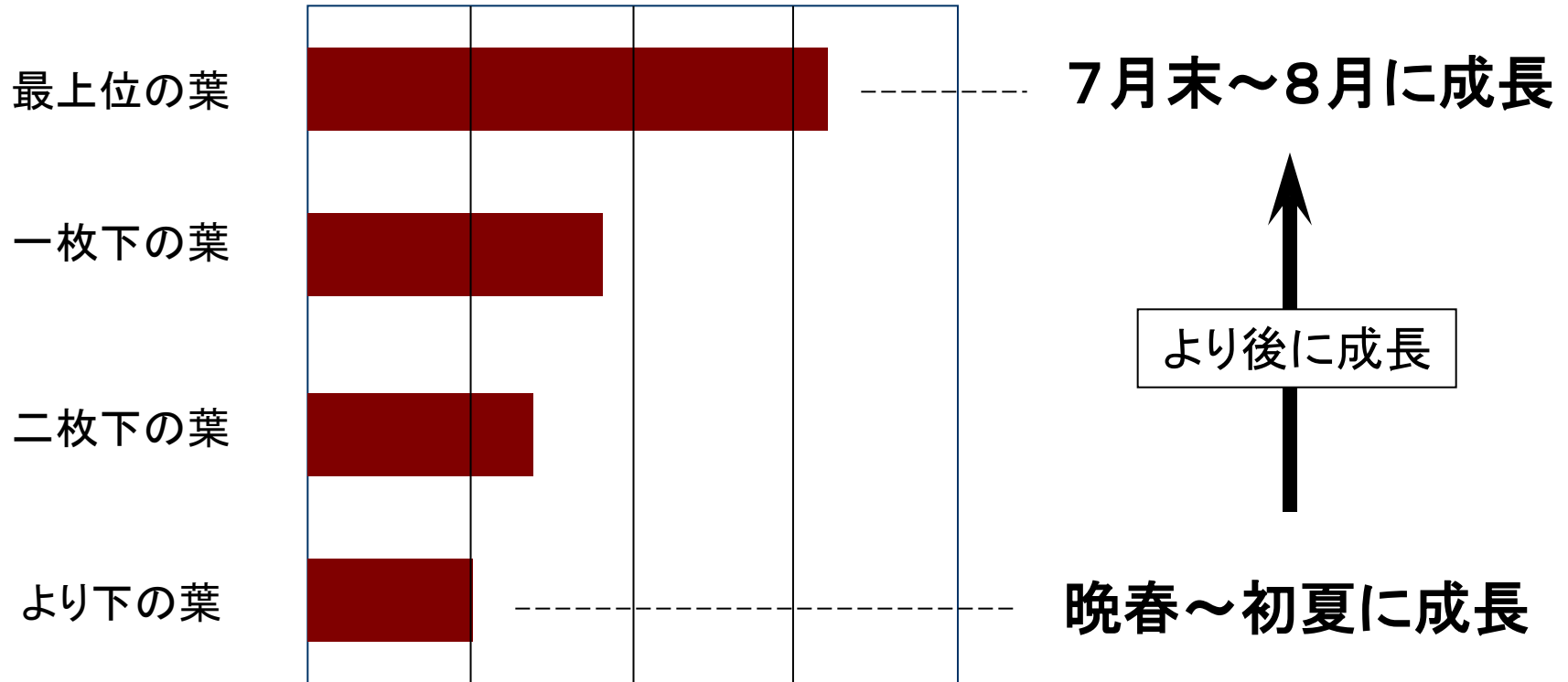
山間地の谷地田



農業総合センター水田

谷地田のイネは、体内のセシウムの蓄積パターンが特異

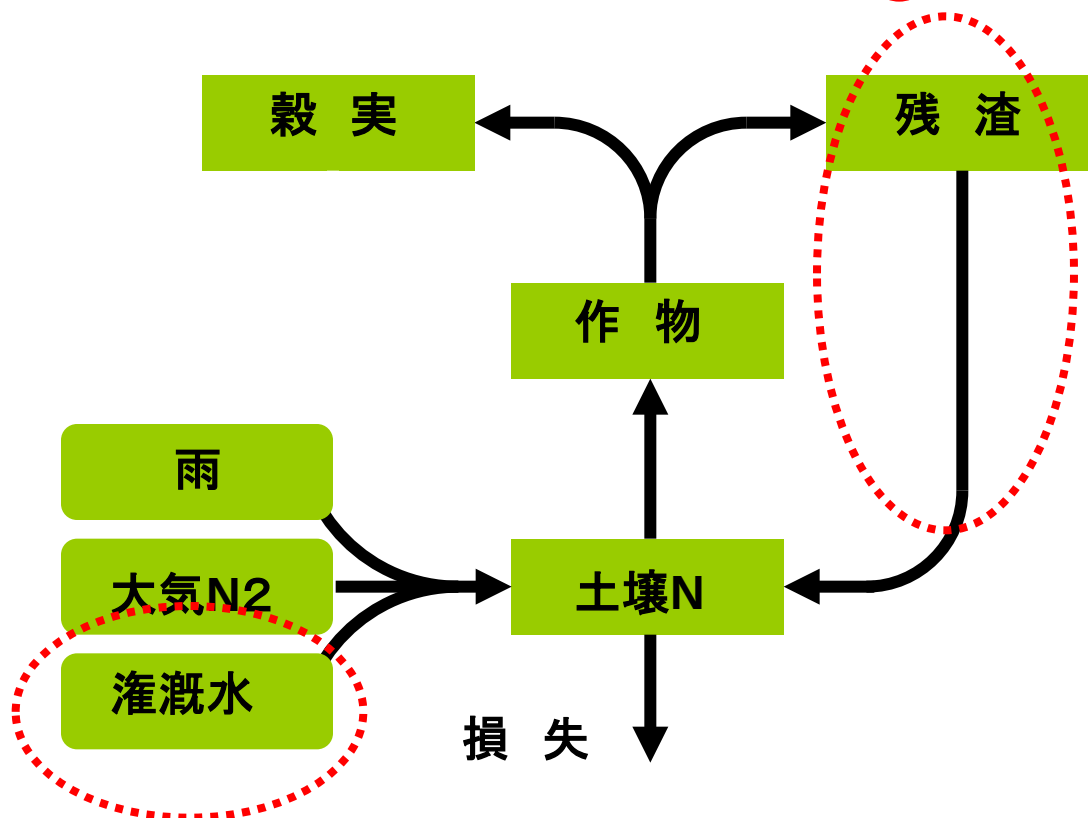
## セシウム137の濃度



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。



# 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

# 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？



## 2 土壌からのセシウム吸収と 水からのセシウム吸収

# 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

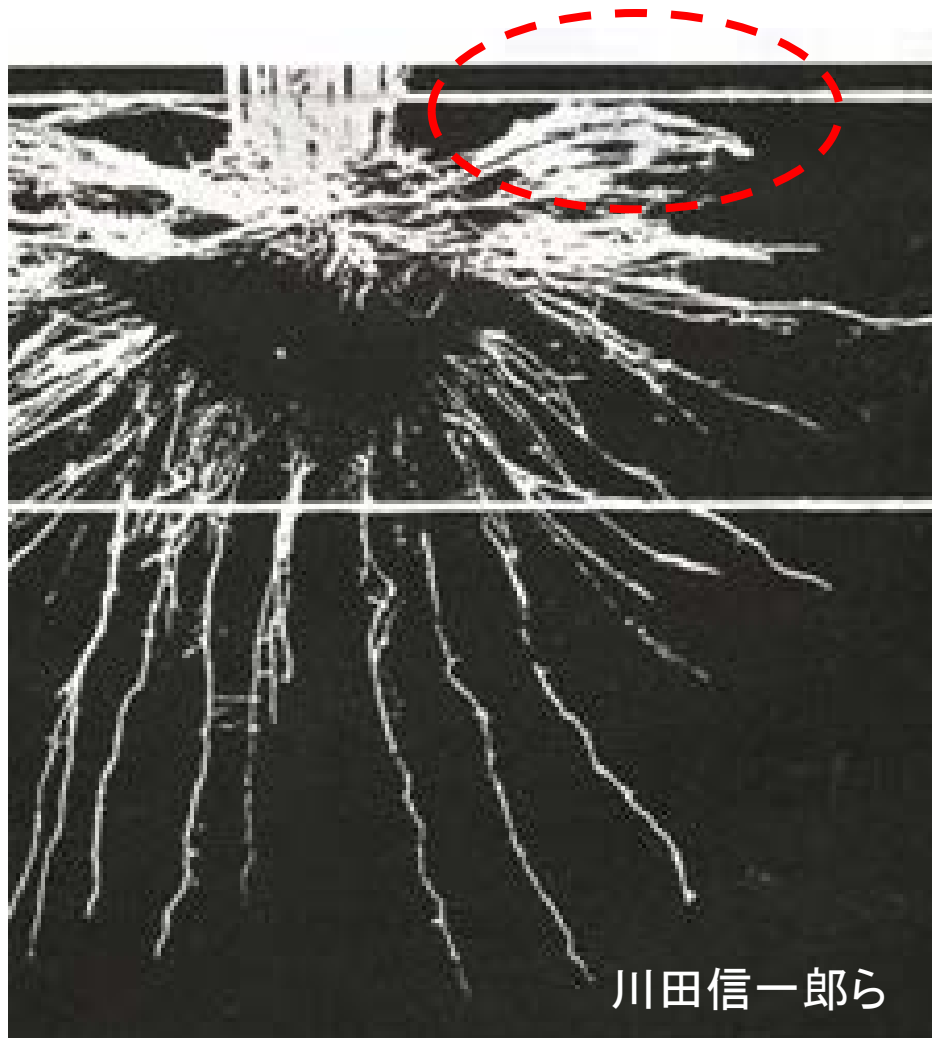
**5700**ベクレル  
／ Kg乾物重

**0.1**

**1**

**10**ベクレル  
／リットル

# 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？



- 沢より引いた水に含まれる放射性セシウムを“**うわ根**”が吸収？
- 水田土壌中の有機物の分解に伴って放出された放射性セシウムを、粘土に吸着される前に**土中の根**が吸収？

### 3 カリウムによるセシウム 吸収の抑制効果

# 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。



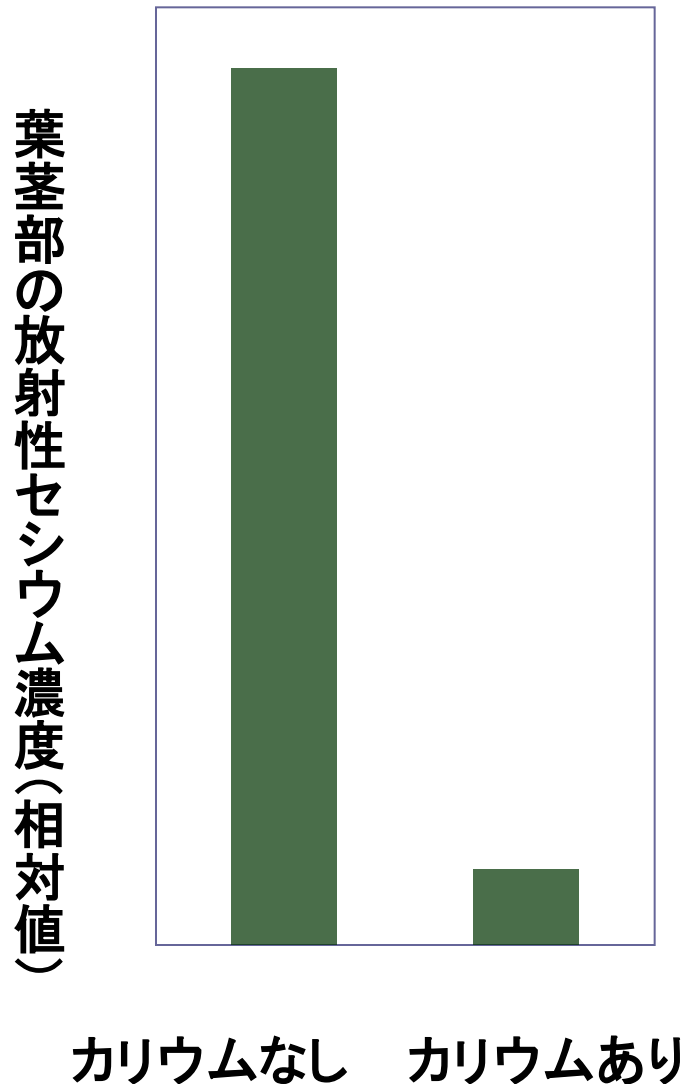
# 実験：カリウムの有無がセシウムの吸収に与える影響



- 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。

# カリウム問題の意味



- 今回、規制値越えした水田の多くは、元来、山林からの灌漑水により、カリウムが潤沢に供給されている水田であると考えられる。
- 今回の被害は、水田生態系のもつ物質循環の長所が、逆に弱点となったといえる。

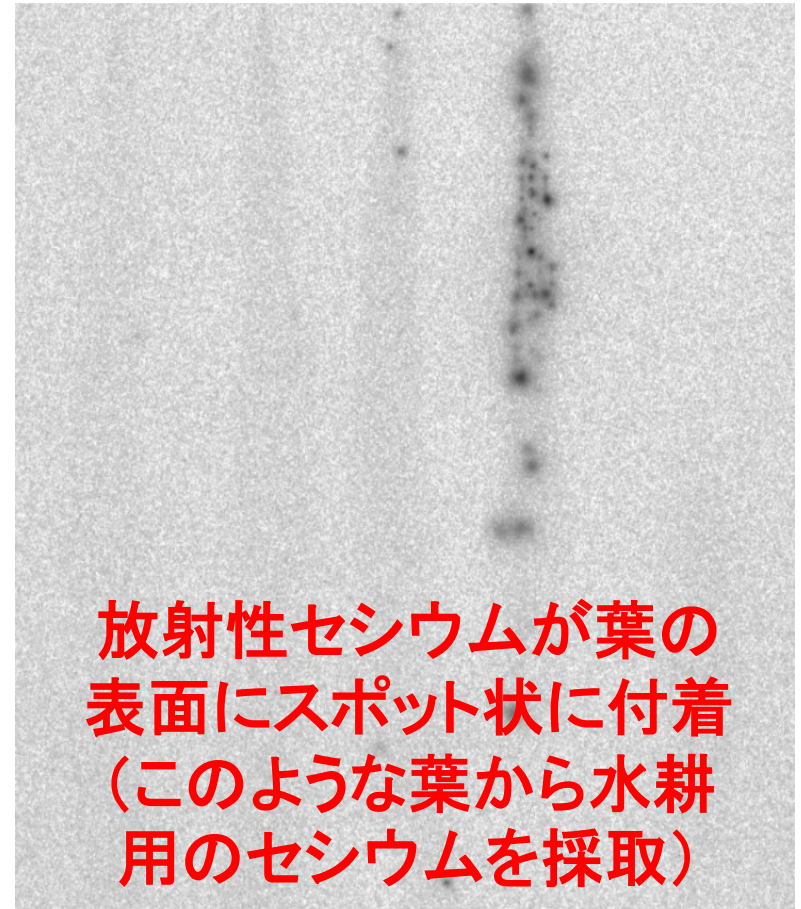
# 4 農業生態系の中の 放射性セシウム

# 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





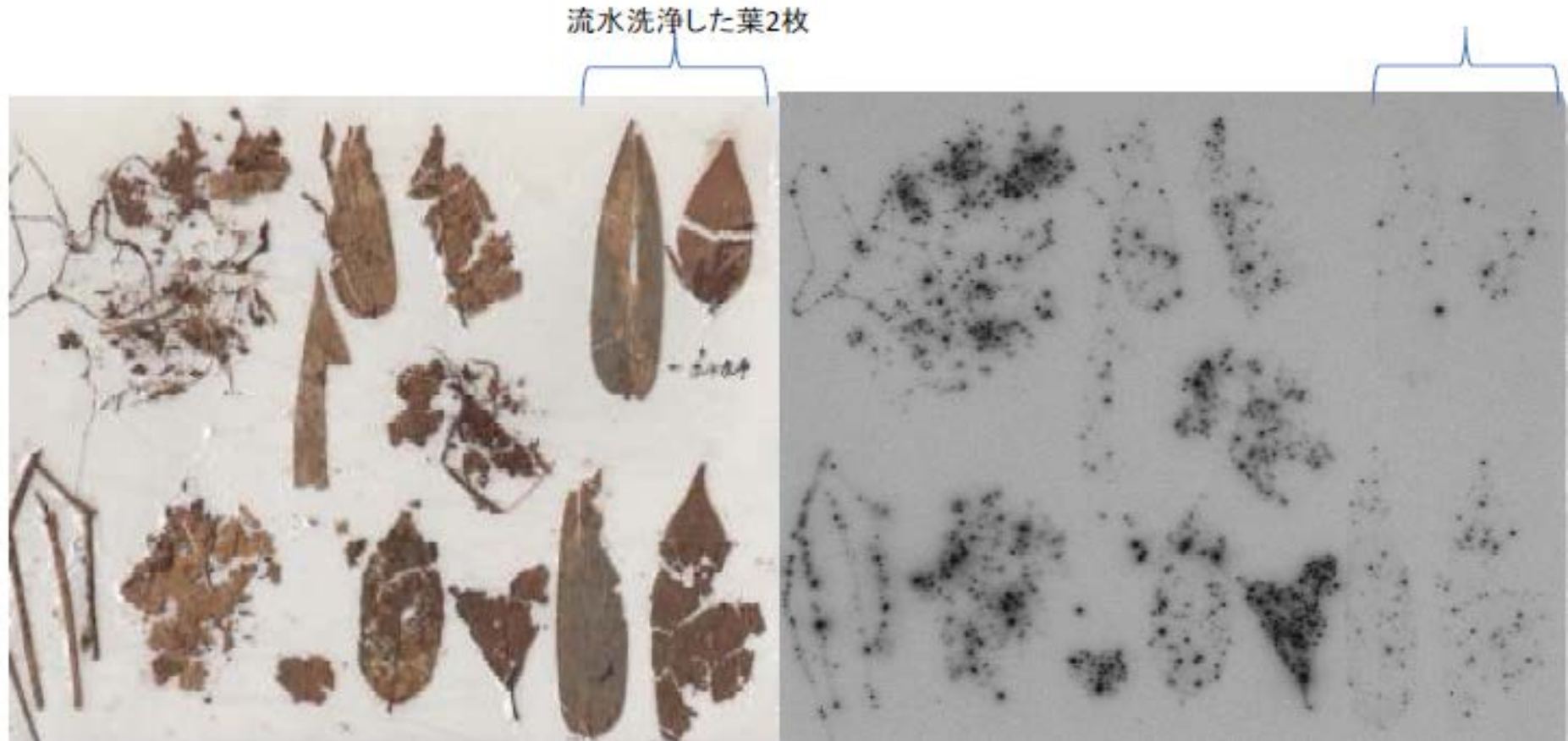
# セシウムが降下したコムギの葉 (平成23年5月に郡山で採取)



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

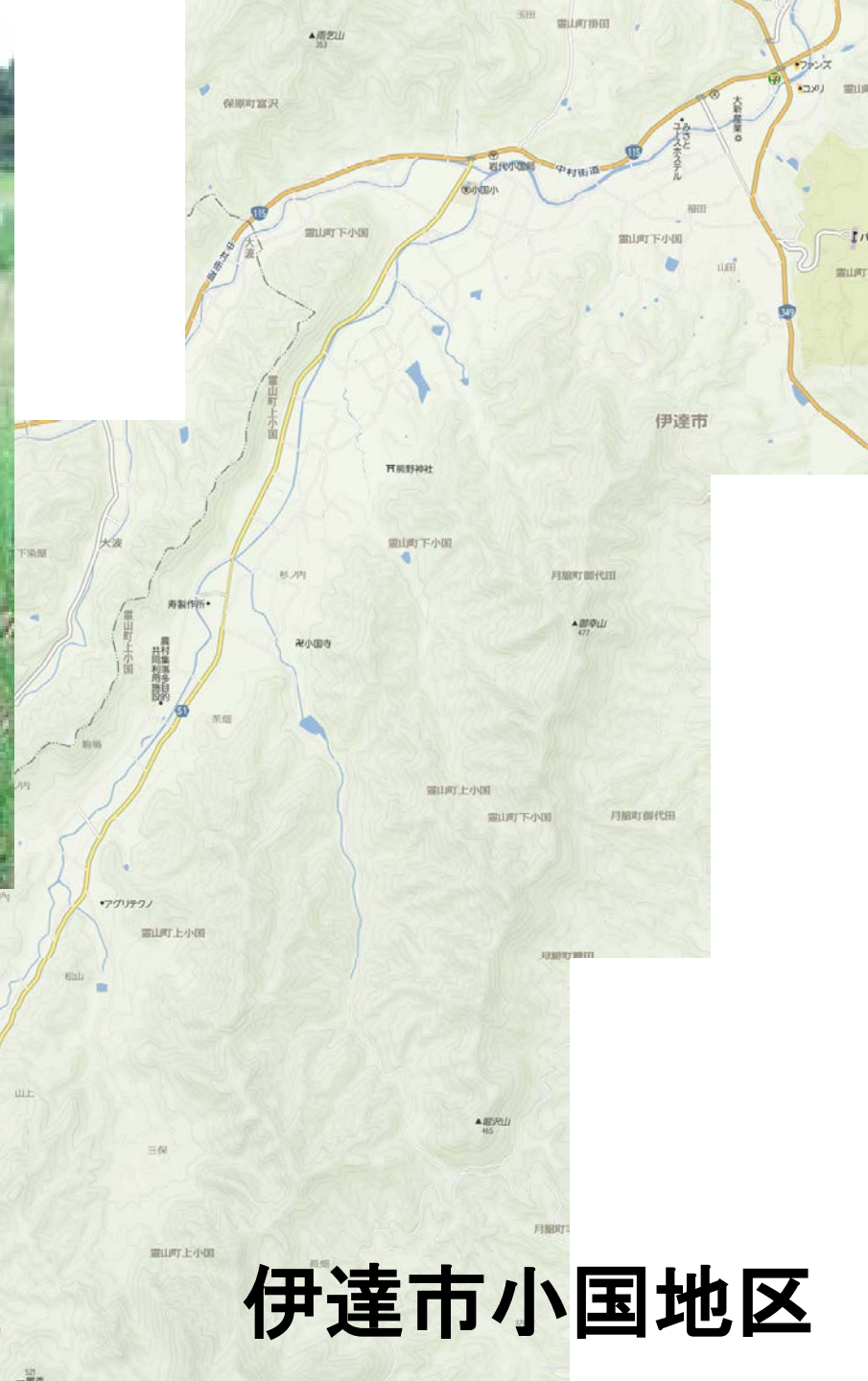
# 5 伊達市小国地区の 試験栽培

# 規制値越え地域での稲の試験作付

- 一昨年、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「試験作付」を実施。
- 「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**に取り組んでいる。



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



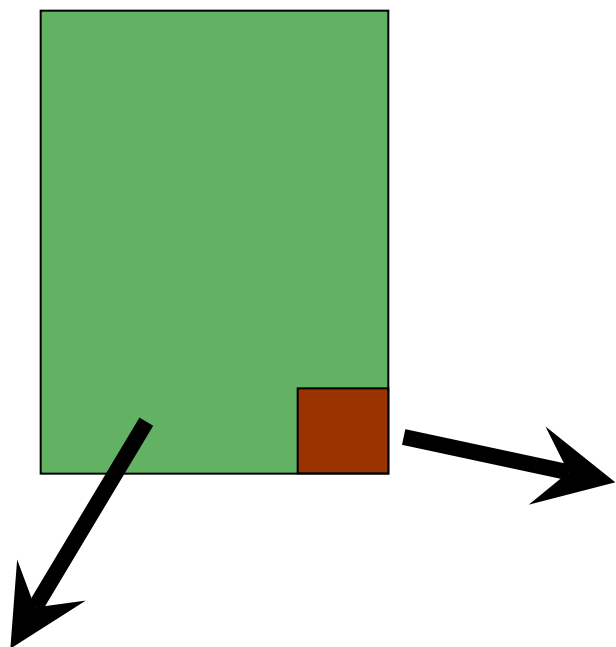
小国川支流の棚田





支流地域では、夏の渇水期には溜池の水が利用される

# 41筆60枚の水田の試験設計



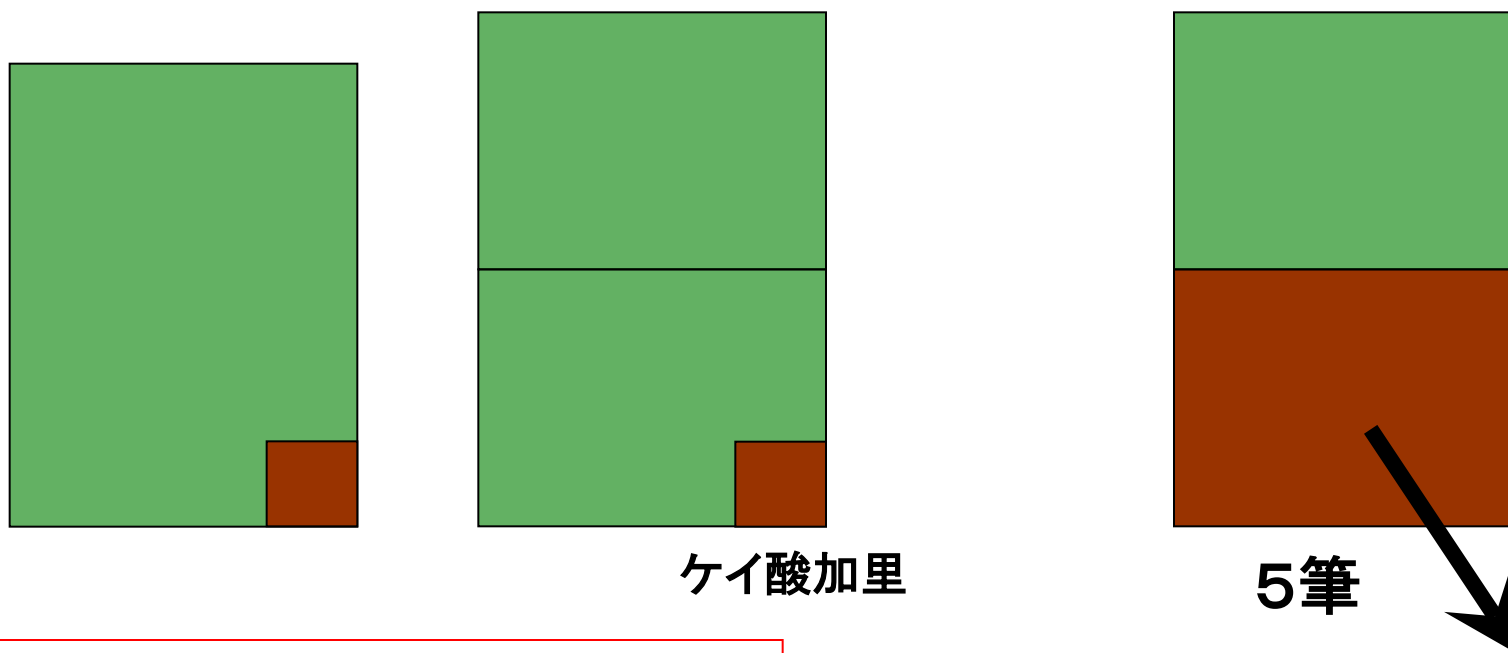
低減資材は入れず  
通常の施肥管理



試験田の一角(二坪)を波板  
で囲って、**ケイ酸加里**を施肥

# 41筆60枚の水田の試験設計

一筆が複数枚に分かれている場合



|         |     |
|---------|-----|
| 通常の施肥管理 | 55枚 |
| 二坪ケイ酸加里 | 39枚 |
| 低減対策水田  | 5枚  |

全面にケイ酸加里と  
ゼオライトを施用  
(低減対策水田)

# 調査項目

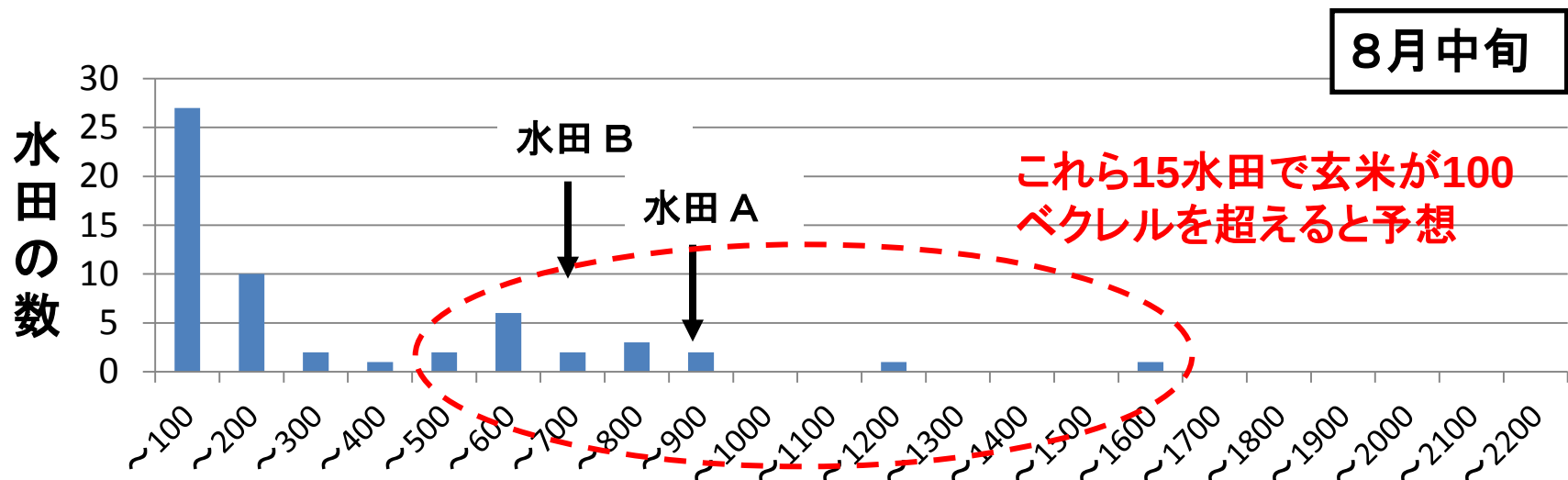
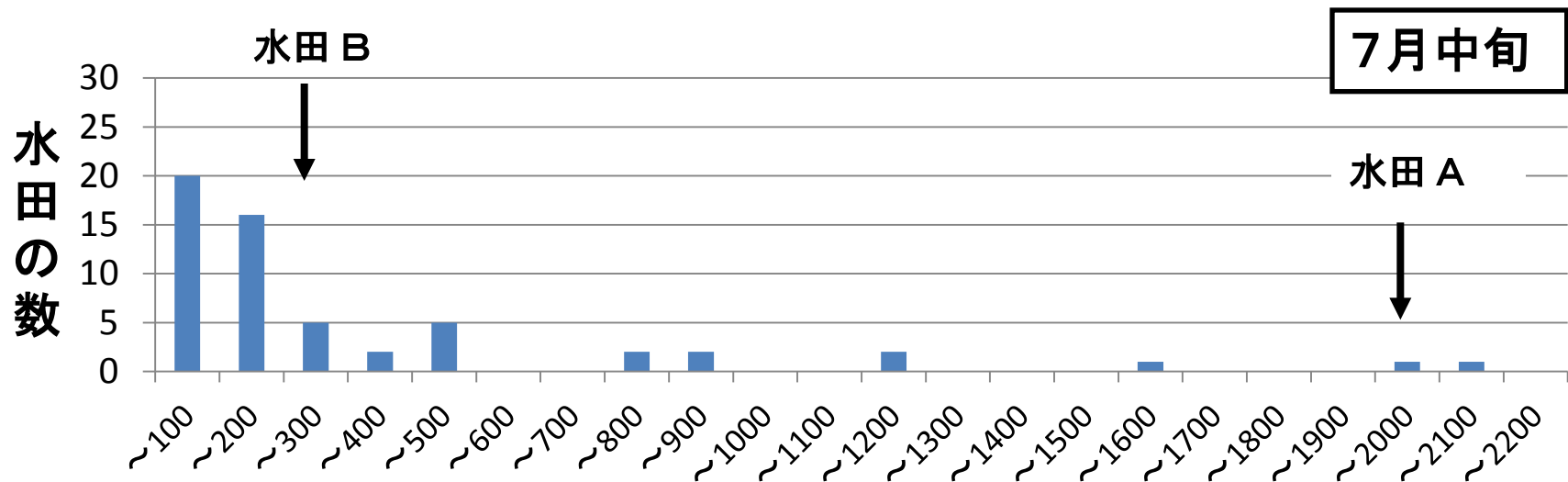
- 土壌調査  
代かき前に採取
- イネ茎葉  
7月中旬  
8月中旬(出穂期)
- 玄米
- 用水



# 小国地区の試験栽培

① 規制値越え玄米の出現状況と  
低減対策の効果





茎葉の放射性セシウム濃度 ( $^{137}\text{Cs}$ と $^{134}\text{Cs}$ の合計値、Bq/Kg乾物重)

# 試験田(水田41筆60枚)における玄米のセシウム濃度

| セシウム濃度<br>( $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ ) | 水田枚数   |          |        |
|-------------------------------------------------|--------|----------|--------|
|                                                 | 低減対策なし | 2坪ケイ酸カリ区 | 低減対策水田 |
| ～50ベクレル                                         | 35     | 36       | 5      |
| ～100ベクレル                                        | 6      | 3        | 0      |
| ～150ベクレル                                        | 5      | 0        | 0      |
| ～200ベクレル                                        | 2      | 0        | 0      |
| ～250ベクレル                                        | 5      | 0        | 0      |
| ～300ベクレル                                        | 1      | 0        | 0      |
| ～350ベクレル                                        | 0      | 0        | 0      |
| ～400ベクレル                                        | 1      | 0        | 0      |
| 合計                                              | 55     | 39       | 5      |

14枚の水田で100ベクレル越え ← 8月に400越えした15枚の水田

# 試験田(水田41筆60枚)における玄米のセシウム濃度

※低減対策・・・ケイ酸カリ、ゼオライト施肥

| セシウム濃度<br>( $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ ) | 水田枚数   |          |        |
|-------------------------------------------------|--------|----------|--------|
|                                                 | 低減対策なし | 2坪ケイ酸カリ区 | 低減対策水田 |
| ～50ベクレル                                         | 35     | 36       | 5      |
| ～100ベクレル                                        | 6      | 3        | 0      |
| ～150ベクレル                                        | 5      | 0        | 0      |
| ～200ベクレル                                        | 2      | 0        | 0      |
| ～250ベクレル                                        | 5      | 0        | 0      |
| ～300ベクレル                                        | 1      | 0        | 0      |
| ～350ベクレル                                        | 0      | 0        | 0      |
| ～400ベクレル                                        | 1      | 0        | 0      |
| 合計                                              | 55     | 39       | 5      |

2坪のケイ酸カリ区では、100ベクレル越え玄米は皆無だった

# 試験田(水田41筆60枚)における玄米のセシウム濃度

| セシウム濃度<br>( $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ ) | 水田枚数   |          |        |
|-------------------------------------------------|--------|----------|--------|
|                                                 | 低減対策なし | 2坪ケイ酸カリ区 | 低減対策水田 |
| ～50ベクレル                                         | 35     | 36       | 5      |
| ～100ベクレル                                        | 6      | 3        | 0      |
| ～150ベクレル                                        | 5      | 0        | 0      |
| ～200ベクレル                                        | 2      | 0        | 0      |
| ～250ベクレル                                        | 5      | 0        | 0      |
| ～300ベクレル                                        | 1      | 0        | 0      |
| ～350ベクレル                                        | 0      | 0        | 0      |
| ～400ベクレル                                        | 1      | 0        | 0      |
| 合計                                              | 55     | 39       | 5      |

低減対策水田(ケイ酸カリ・ゼオライト)でも100ベクレル越えは皆無

# 結果の重要ポイント ①

- 一昨年、数百ベクレルの玄米が収穫された水田の多くが、昨年は低減対策を施さなくても玄米100ベクレル以下となった。
- この事実から判断すると、小国地区における稲のセシウム吸収は、平均的な傾向としては確実に低下しつつあると見てよいだろう。



## 結果の重要ポイント ②

- 平均的には低下しているものの、低減対策をしないと4分の1の水田が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。
- それらの多くは、小国川の一部の支流に位置していた。逆に、小国川に沿った水田で50ベクレルを越えた水田は皆無であった。

## 結果の重要ポイント ③

- 8月に茎葉400ベクレルを越えていた水田（15水田）だけが、秋に玄米100ベクレルを越えた（14水田）。
- 出穂期における葉のセシウム濃度を測ることによって、秋に玄米が規制値を超えるかどうか予想できる。

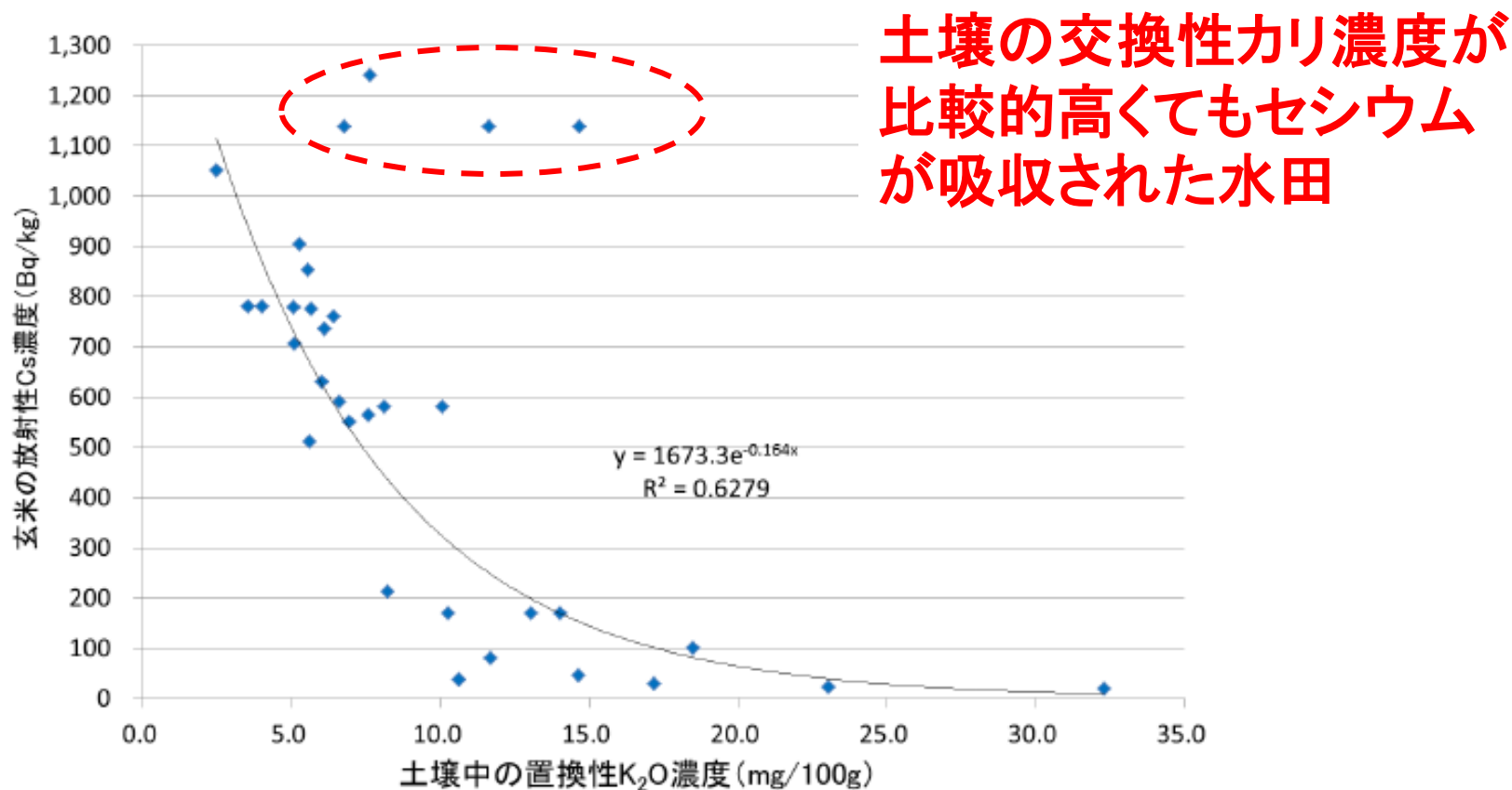
## 結果の重要ポイント ④

- ケイ酸カリ・ゼオライトによる低減対策水田（4筆5枚）および2坪ケイ酸カリ区（37筆39枚）についてみると、玄米が100ベクレルを越えた水田は皆無だった。
- 今回の試験田に関しては、**ケイ酸加里による低減効果は十分にあった**と見てよいだろう。

# 小国地区の試験栽培

## ②セシウム吸収要因の多様性

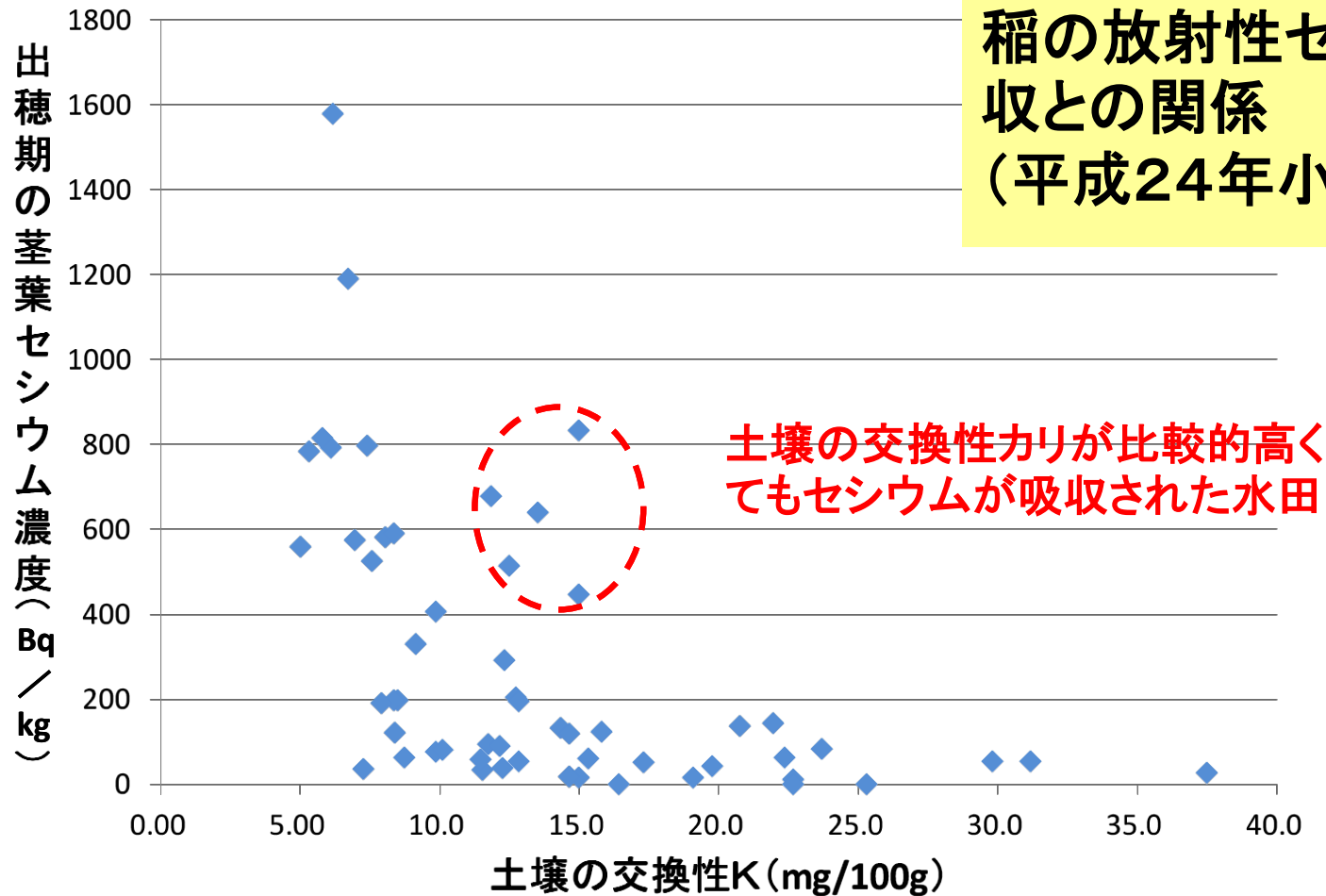
# 一昨年からの未解決問題（渡利・大波）



- 玄米のセシウム濃度と土壌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。

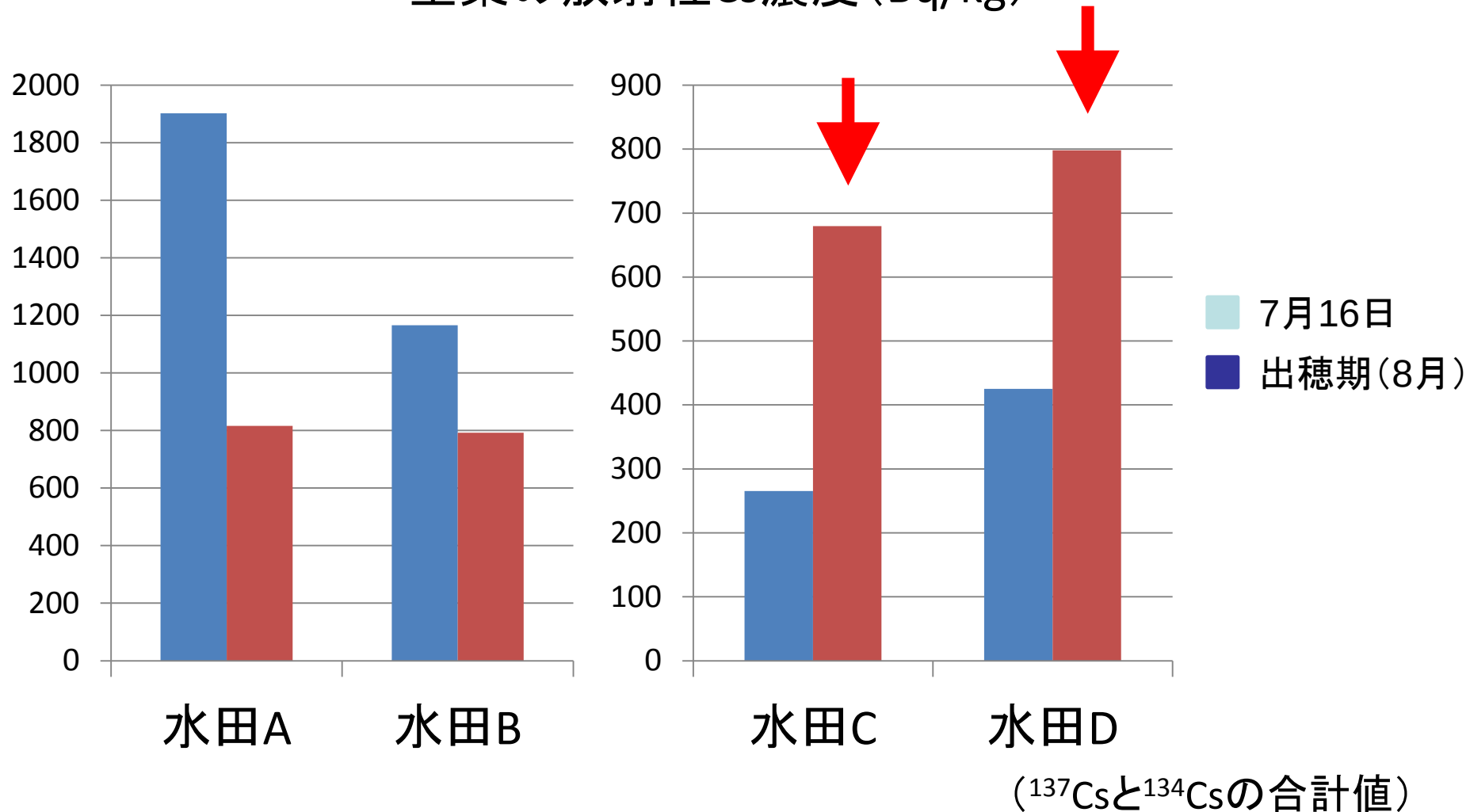


土壌の交換性カリ濃度と  
稲の放射性セシウム吸  
収との関係  
(平成24年小国地区)



- 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。

## 茎葉の放射性Cs濃度 (Bq/kg)

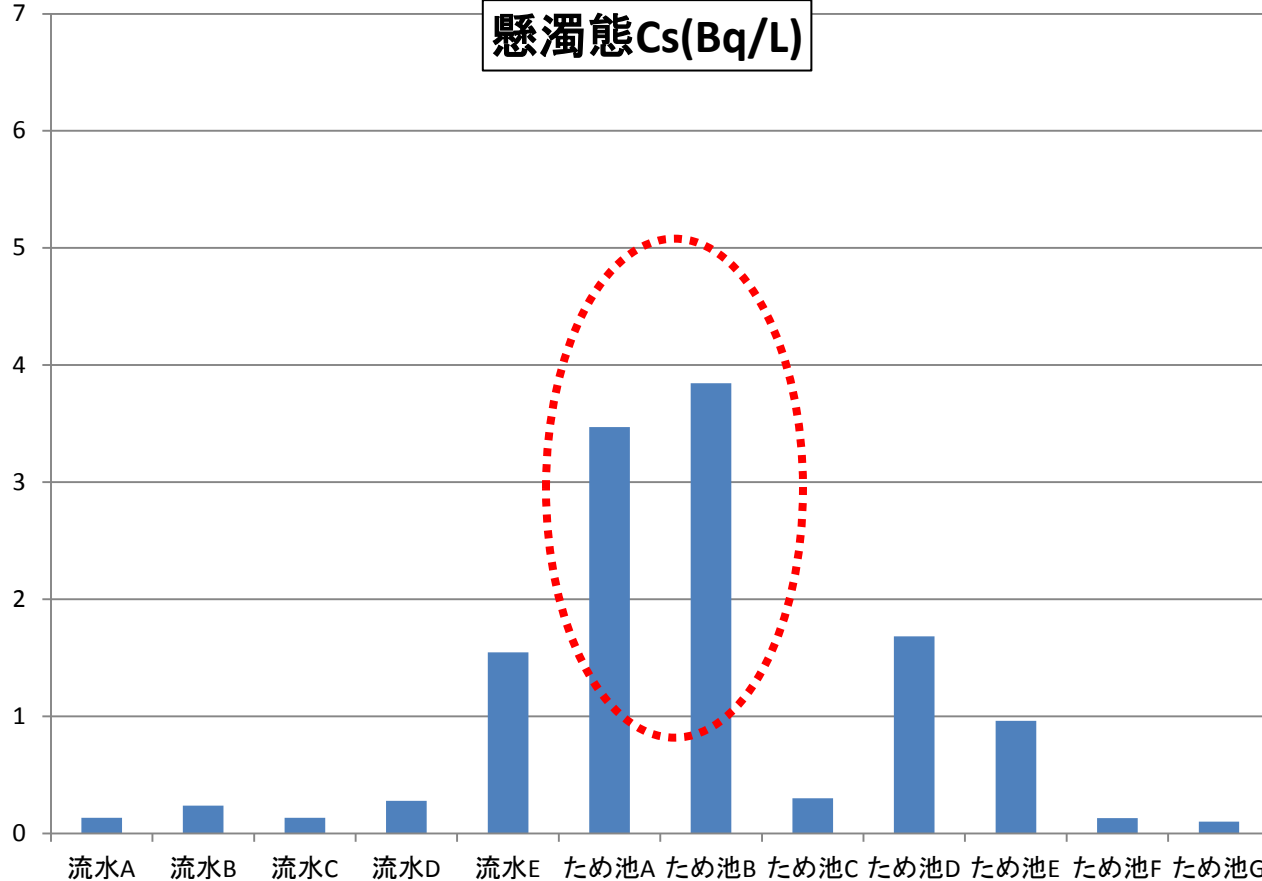


「はずれ値」水田の多くが、8月に吸収が伸びた水田(↓)

# 「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？



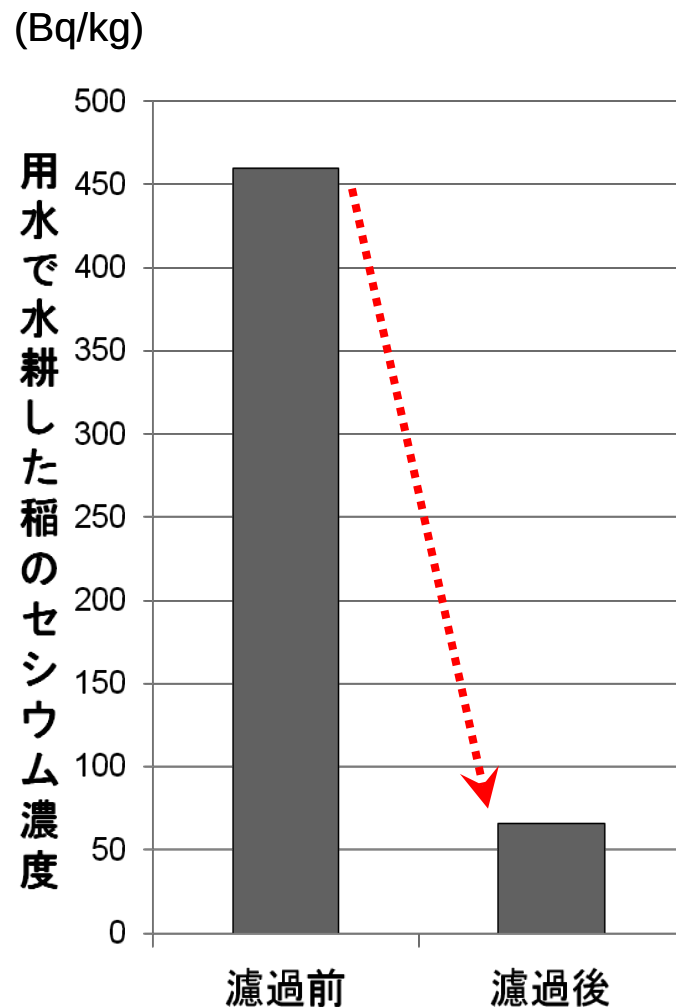
- 一般的には、懸濁態セシウムは粘土や有機物に保持・吸着されているので、溶存態セシウムに比べて吸収されにくいと考えられている。
- そのため、水耕栽培を行ったところ、**問題のため池の懸濁態セシウムは、イネによく吸収されることが分かった。**



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



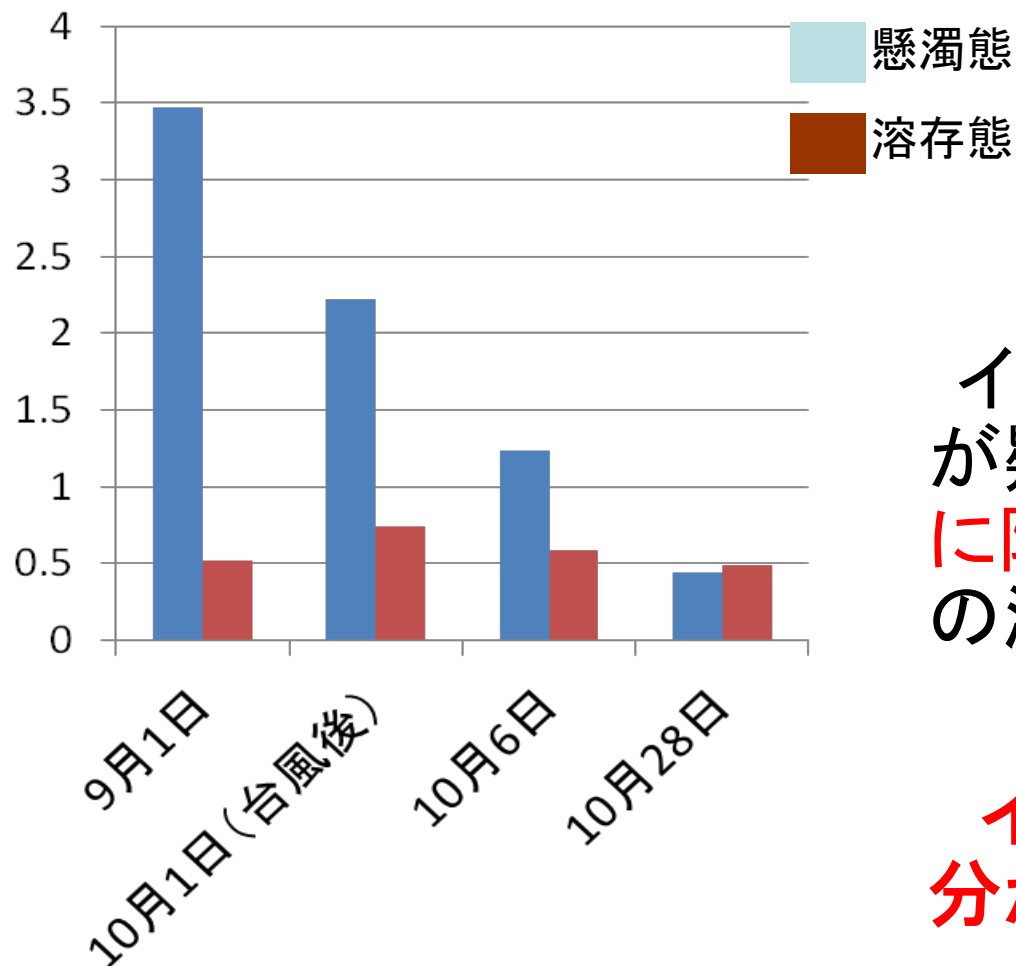
この用水の懸濁態セシウムは、水耕したイネに効率よく吸収される



# 用水のセシウムは季節変動する

ベクレル/リットル  
( $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ の合計)

ため池A



イネへのセシウム移行  
が疑われる用水では、**夏  
に限って**懸濁態セシウムの  
濃度が高かった。



**イネの育つ時期にしか  
分からないことがある。**

# まとめ

- 小国地区での稲のセシウム吸収は、すでに述べたように平均的な傾向としては確実に低下しつつあると見られる。
- 規制値越え玄米の出現はきわめて局所的であり、それに関わる固有の吸収要因についても或る程度候補が絞られつつあるように思われる。

- 今回調査した水田は地区全体の水田の1割にも満たないことから、仮に今年、地区の全ての水田に今回と同様の低減対策を施したときに秋に規制値越えが皆無となることを100パーセント保証することは科学的には難しい。
- しかし、万が一こうした事態が生じたとしても、全袋調査で水田を特定し、その水田固有の吸収要因に合った個別の対策をピンポイントで講じることによりセシウム吸収を押さえ込んでいくことは、技術的には十分に可能であろう。

## 調査・分析

### 東京大学

根本(圃場調査・試料分析)

阿部(圃場調査・試料分析)

山岸(試験区設計・生育調査)

野川(圃場調査・用水分析)

大手(水文測定)

田野井(放射線測定)

大山・登・関口(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)

## 事務局

福島大学 小山・小松