

南相馬市における玄米の 基準値超過の発生要因調査

平成27年5月26日

農林水産省
福島県
東北農業研究センター
農業環境技術研究所

目次

1. 稲やダストフィルタへの付着物等の物性調査
 - (1) 放射性物質を含む粒子の元素組成
 - 放射性セシウムを含む粒子の単離
 - 電子顕微鏡及びスプリング8を用いた元素組成分析
 - (2) 放射性物質を含む粒子の水溶解性
 - (3) 放射性セシウム(134及び137)の存在比
2. 放射性物質の吸収抑制対策に関する試験研究
 - (1) 用水由来の放射性セシウムの動態調査
 - (2) カリ肥料、吸収抑制資材施用による放射性セシウム吸収抑制効果の検証(ポット試験)
 - (3) カリ肥料、吸収抑制資材施用による放射性セシウム吸収抑制対策の検証(現地試験)
 - (4) 現行対策技術のほ場間における効果の検証
 - (5) ゼオライト施用に関する現地試験
 - (6) 放射性物質の稲への直接付着に関する試験(大熊町)
3. 大気浮遊じん等のモニタリング及び米の検査結果
4. 総括

(参考1) 27年度のモニタリング項目(大気浮遊じん・降下物、用水、稲体のIP)

(参考2) 「基準値超過の想定される要因及びその対策」(2月12日説明資料)

1 稲やダストフィルタへの付着物等の物性調査

【目的】 南相馬市の25年産米で基準値超過がみられた米の葉に付着していた放射性セシウムを含む粒子と福島第1原発等を含む様々な環境中の放射性セシウムを含む粒子の物性を比較し、米に付着していた粒子の由来を検証。

【調査項目】

調査項目	調査内容
• 元素組成分析	スプリング8と呼ばれる大型放射光施設の装置等を用いて、単離したダスト粒子に含まれる化学元素の組成を分析。
• 水溶解性等の試験	ダスト粒子中の放射性セシウムが水やアルコールなどの液体にどの程度溶けるか調査。

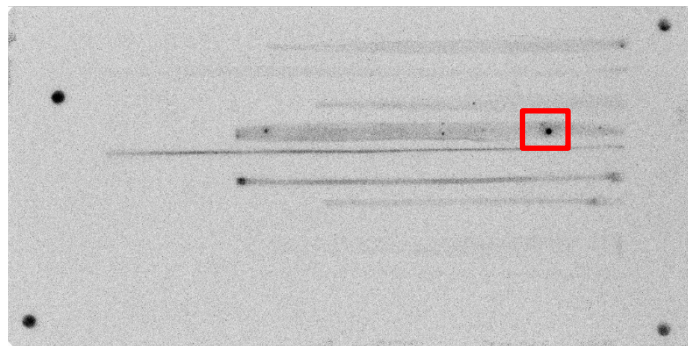
【追加して行うこととなった調査項目】

調査項目	調査内容
• 放射性セシウム 134/137の存在比	基準値超過のあった25年産米及び当該玄米が生産された農地土壌について、各々の放射性セシウム(134及び137)の濃度の違い(存在比)を比較。

【調査対象】

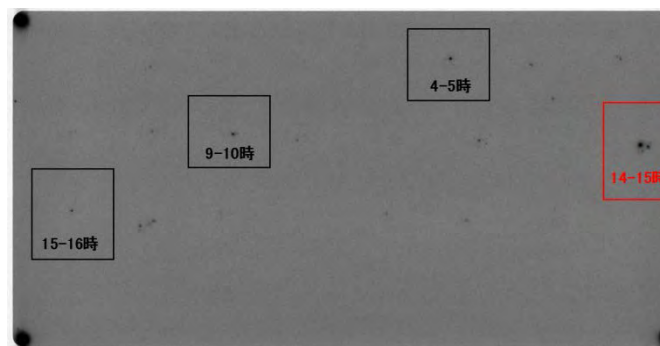
図1 放射性セシウムが検出された稲の葉やダストフィルタのイメージングプレート

稲の葉



- 放射性物質の直接付着が認められた南相馬市内で生産された25年産米の稲の葉
- 粒子単離・元素組成分析は赤の部分を使用

小高局のダスト



- 南相馬市小高区の大気観測測定局
- 平成25年8月19日午前0時から8月20日午前0時の間、1時間毎に採取したダストフィルター(計24個)を並べ、イメージングプレートを作成
- 粒子単離・物性調査は14-15時、水溶性試験は4-5、9-10、14-15、15-16時のフィルターを使用

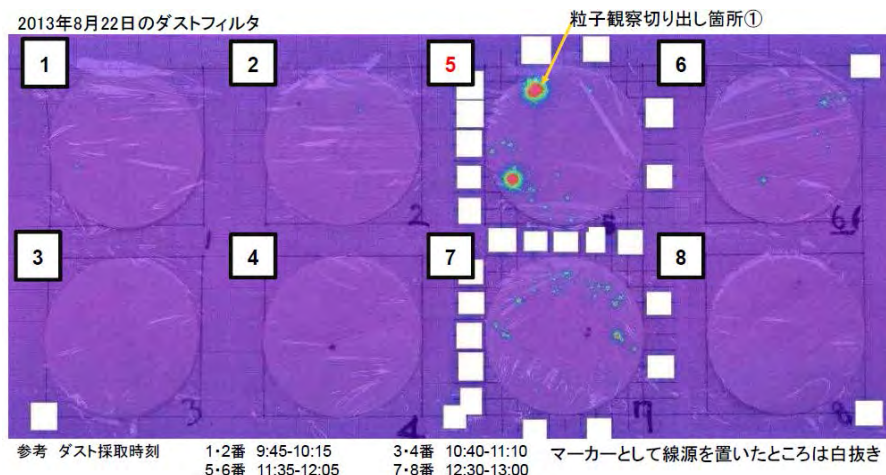
郡山局のダスト



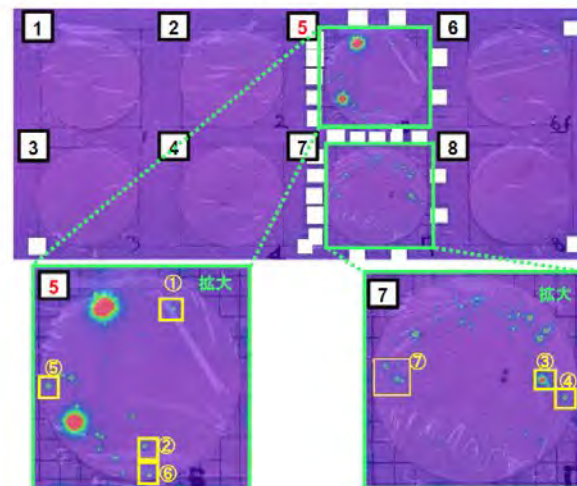
- 双葉町郡山のモニタリングポスト
- 平成25年8月19日午前6時から同日午後6時の間、6時間毎に採取したダストフィルター(計2個)を並べ、イメージングプレートを作成
- 物性調査、水溶性試験は12-18時のフィルターを使用

8月22日の3号機ダスト

2013年8月22日のダストフィルタ



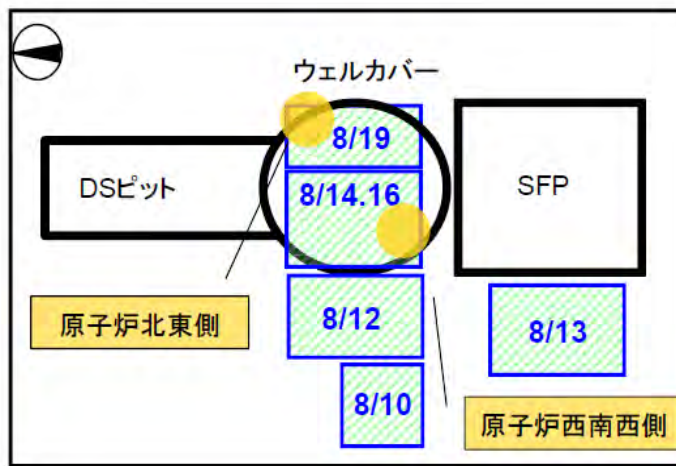
■ P3の5番・7番のフィルタから7試料（以下の黄色①～⑦）を切り出し、雨水を添加し1週間放置



- 東京電力福島第一原子力発電所3号機建屋の最上階(オペフロ)
- 平成25年8月22日にオペフロ上の2箇所(下図参照)において採取したダストフィルター(計8個)を並べ、イメージングプレートを作成
- 物性調査は5番フィルターを使用

- 水溶解性試験への供試資料として、5・7番フィルターを使用

3号機ダストの採取場所



瓦礫集積もしくは撤去作業範囲
(2013.9.12 公表資料より)

8月22日のダスト採取箇所

場所	向き	フィルタ番号 (P3のフィルタ番号)
原子炉 北東側	下方向 横方向	1・3 2・4
原子炉 西南西側	下方向 横方向	5・7 6・8

注:8月22日の3号機ダストの調査結果については、東京電力(株)発表資料より転載。

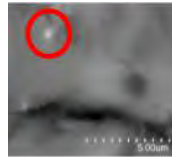
1 稲やダストフィルタへの付着物等の物性調査

(1) 放射性物質の元素組成 (粒子の単離)

図2 放射性物質を含む粒子の電子顕微鏡写真

稲の葉

稲の葉に付着した粒子。
直径0.5 μm 程度の大きさ。



小高局のダスト

小高局(8月19日14-15時)
直径1.5 μm 程度の大きさ。

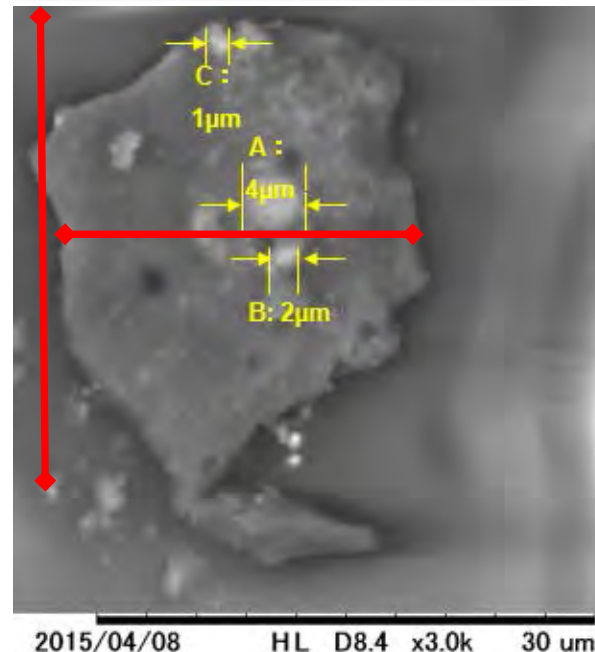


郡山局のダスト



郡山局(8月19日12-18時)
直径2 μm 程度の大きさ。

8月22日の3号機ダスト



直径1-4 μm の大きさ

注: 8月22日の3号機ダストの調査結果については,
東京電力(株)発表資料より転載。

【解説】

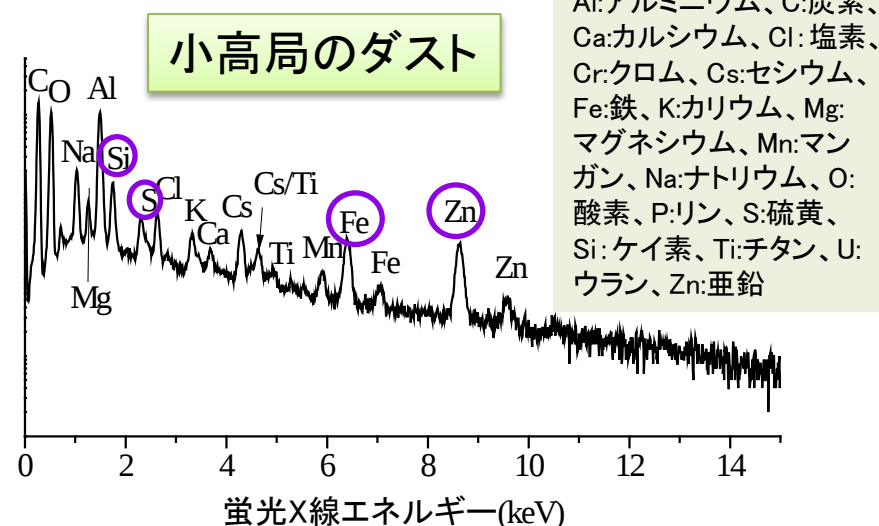
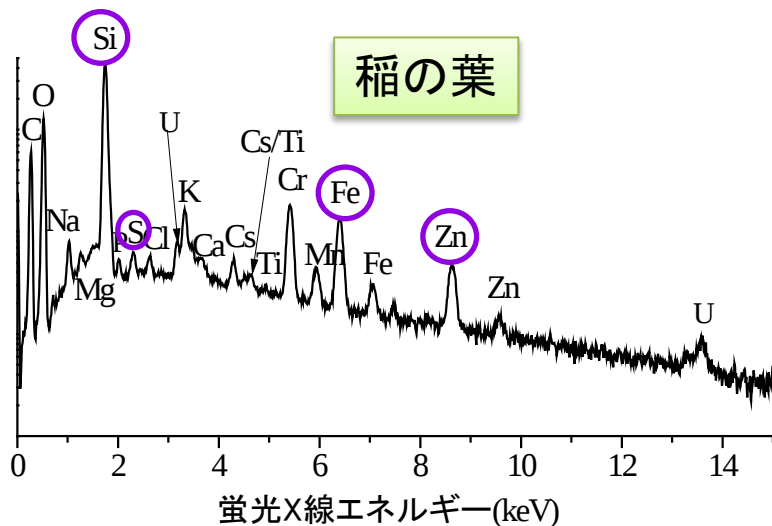
- ・ イメージングプレートで放射性セシウムが検出されたサンプルについて、電子顕微鏡を用いて観察を行った。
 - ① 南相馬市小高区で生産された25年産稲の葉
 - ② 南相馬市小高区の大気観測測定局（小高局）
 - ③ 双葉町のモニタリングポスト（郡山局）で採取された大気中ダスト
 - ④ 平成25年8月22日に3号機付近で採取されたダスト
- ・ その結果、高濃度の放射性セシウムを含む粒子として次のものが確認された。
 - ① 稲の葉 約0.5マイクロメートルの粒子
 - ② 小高局 約1.5マイクロメートルの粒子
 - ③ 郡山局 約2マイクロメートルの粒子
 - ④ 3号機のダスト粒子
1～2マイクロメートルの粒子と、大きな塊（25×34マイクロメートル）の上に1～4マイクロメートルの粒子

1 稲やダストフィルタへの付着物等の物性調査

(1) 放射性物質の元素組成

注:8月22日の3号機ダストの調査結果については、東京電力(株)発表資料より転載。

図3 放射性セシウムを含む粒子の元素組成 分析法①



Al:アルミニウム、C:炭素、
Ca:カルシウム、Cl:塩素、
Cr:クロム、Cs:セシウム、
Fe:鉄、K:カリウム、Mg:
マグネシウム、Mn:マン
ガン、Na:ナトリウム、O:
酸素、P:リン、S:硫黄、
Si:ケイ素、Ti:チタン、U:
ウラン、Zn:亜鉛

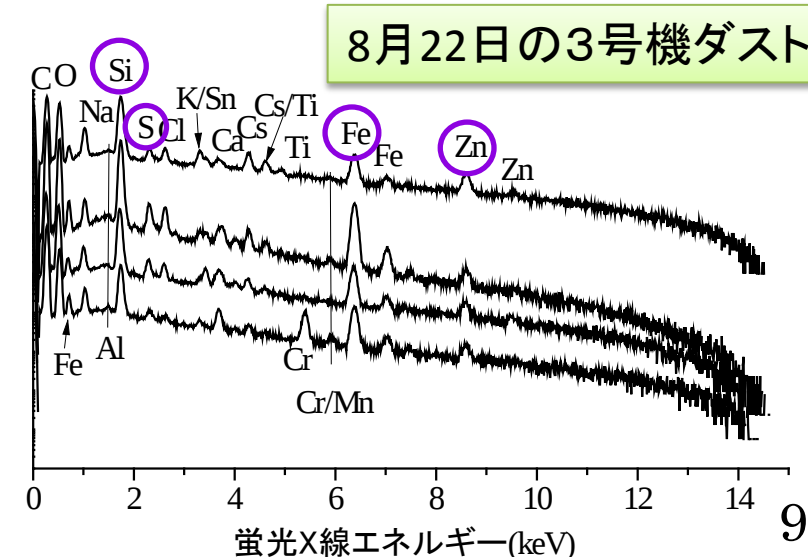
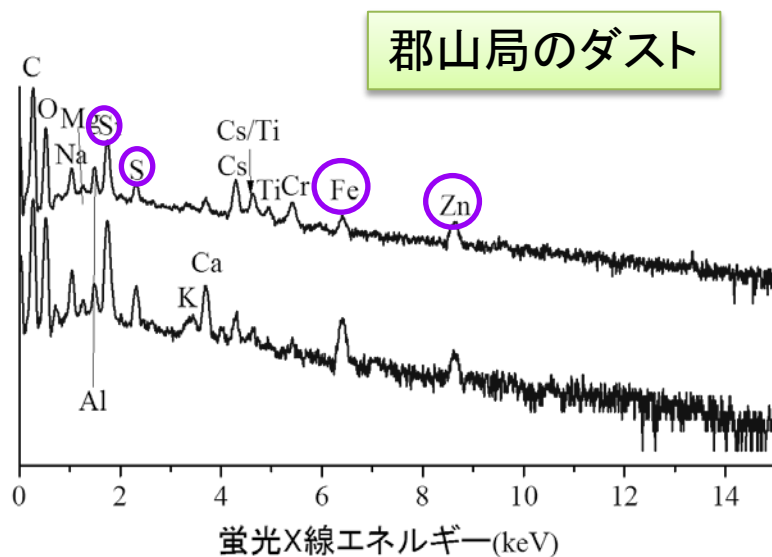
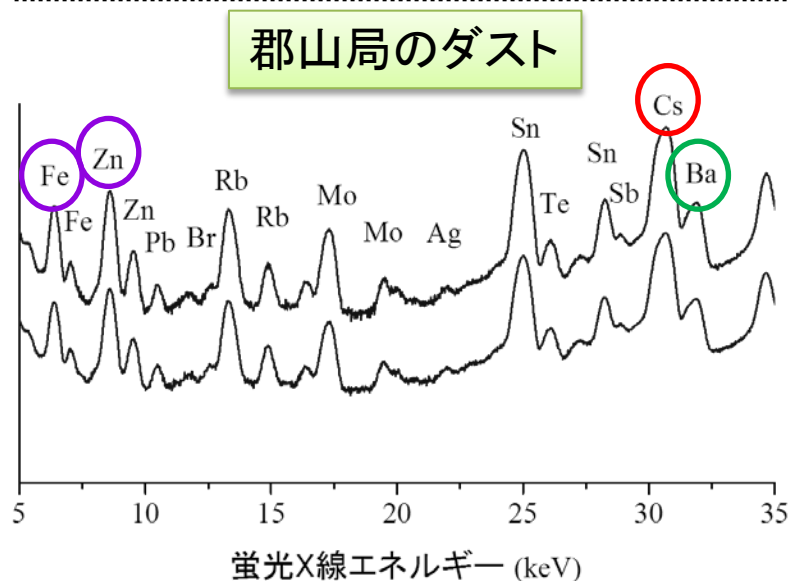
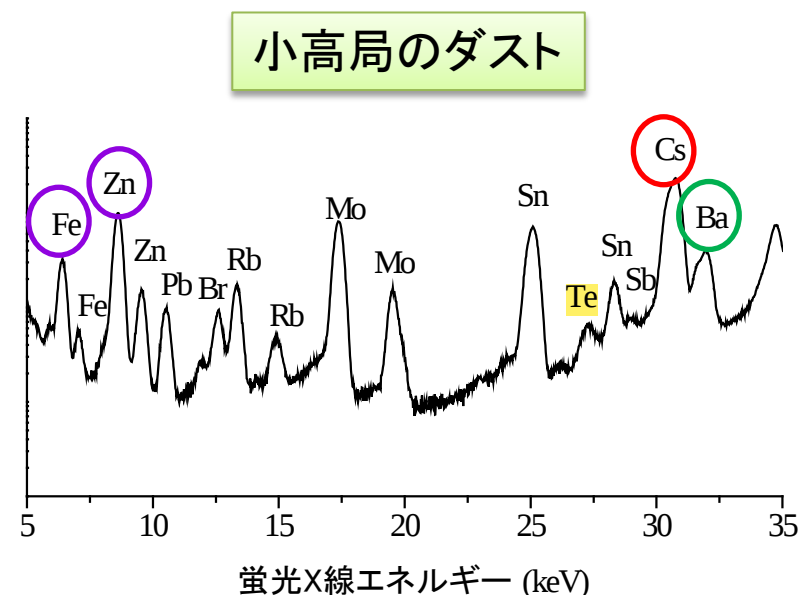
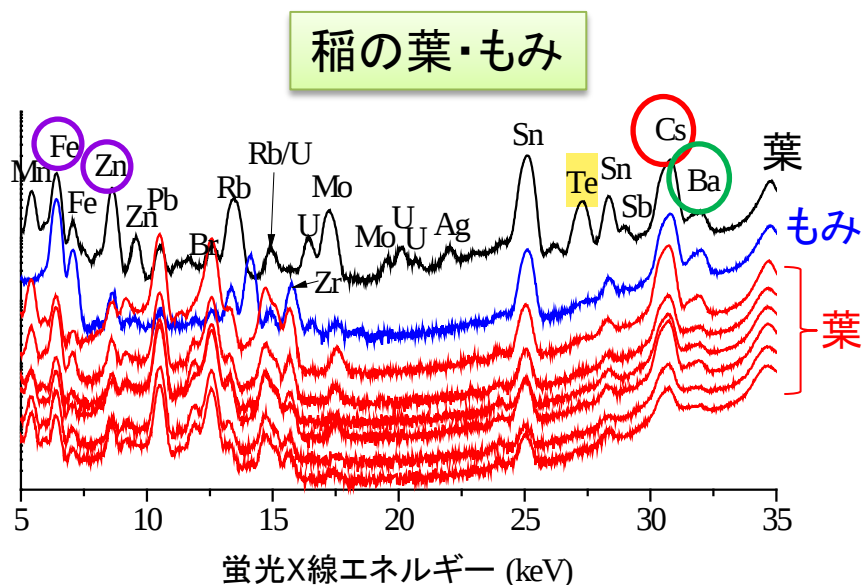


図4 放射性セシウムを含む粒子の元素組成 分析法②



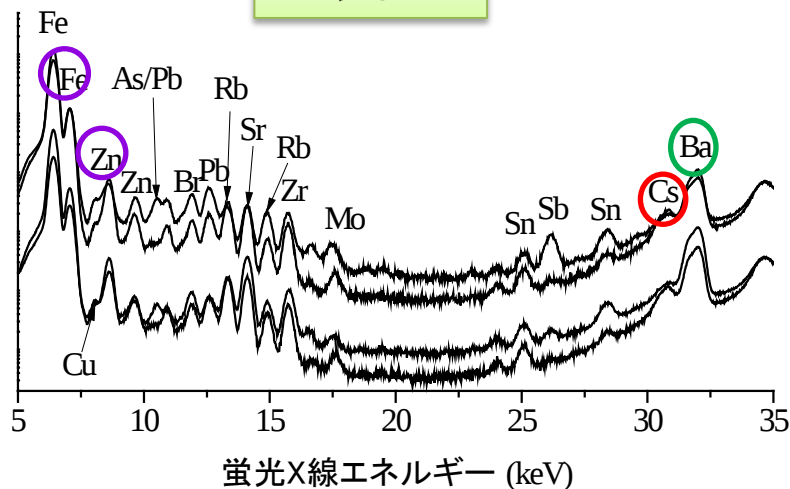
Ag: 銀、Ba: バリウム、Br: シュウ素 Cs: セシウム、Cu: 銅、Fe: 鉄、
Mo: モリブデン Mn: マンガン、Rb: ルビジウム、Sn: スズ、Sb: アンチ
モン、Te: テルル、U: ウラン、Zn: 亜鉛、Zr: ジルコニウム

分析法①: 電子顕微鏡を用いた元素組成分析
ケイ素、硫黄、カリウムなどの元素の測定が可能。

分析法②: スプリング8を用いた元素組成分析
分析法①より多くの元素を高感度に測定することが可能。

(参考)

土壌粒子



南相馬市よりも土壌中
放射性Cs濃度の高い
大熊土壌より選別した
土壌粒子

【解説】

・放射性セシウムを含む粒子の存在が確認された、稲の葉や粃、郡山・小高局の大気ダスト及び8月22日の3号機ダスト粒子について、由来の特定に繋がるような特徴的な元素が存在するかを確認するため、電子顕微鏡及びスプリング8を用いた元素組成分析を行った。

・分析の結果、稲の葉、郡山局・小高局から採取したダスト粒子、8月22日の3号機ダスト粒子から選別した放射性物質を含む粒子には、共通してセシウムの他に鉄、亜鉛、ケイ素、硫黄(紫囲みの元素)を含む特徴があったが、セシウム以外はコンクリートや土壌などさまざまな物質からも検出される元素であるため、元素組成のみからこれら粒子の相同性を確認することはできなかった。

・一方、セシウム(赤囲み)とバリウム(緑囲み)の濃度について、土壌中ではバリウムの濃度が高いことが知られているが、稲の葉やもみ、ダスト粒子から選別した放射性物質を含む粒子は、いずれもバリウムよりセシウムの濃度が高く、土壌由来の粒子とは異なるものであった。

1 稲やダストフィルタへの付着物等の物性調査

(2) 水溶解性試験

表1 水溶解性試験の結果

小高局ダストフィルター (8/19)

ダストフィルター	試験前 ¹³⁷ Cs (Bq)	溶出量 ¹³⁷ Cs (Bq)	溶出率
4ー5時	0.06	0.05	89.5 %
9ー10時	0.07	0.07	102.7 %
14ー15時	0.07	0.01	17.3 %
15ー16時	0.02	0.03	122.0 %

郡山局ダストフィルター (8/19)

ダストフィルター	試験前 ¹³⁷ Cs (Bq)	溶出量 ¹³⁷ Cs (Bq)	溶出率
12-18時 ①	0.74	0.28	37.8 %
12-18時 ②	1.19	0.47	39.4 %
12-18時 ③	0.43	0.22	50.3 %

3号機ダストフィルター(8/22)

ダストフィルター	試験前 ¹³⁷ Cs (Bq)	溶出量 ¹³⁷ Cs (Bq)	溶出率
①	1.21	0.16	12.8 %
②	1.01	0.11未満	11%未満
③	9.77	0.11未満	1.2 %未満
④	2.17	1.22	56.2 %
⑤	2.03	0.48	23.5 %
⑥	1.37	1.08	78.8 %
⑦	0.74	0.15	20.3 %

注:8月22日の3号機ダストの調査結果については、東京電力(株)発表資料より転載。

(参考)農地土壌中の放射性セシウムの溶解性試験

土壌	酢酸アンモニウム 溶液による抽出率
南相馬市土壌	0.8 %
浪江町土壌	0.5 %

※ 水よりも抽出力の高い酢酸アンモニウム溶液で農地土壌中の放射性セシウムを抽出したところ、抽出率は1%を下回る水準。

【解説】

- 水溶解性が高く植物体に吸収される可能性のあるダストの浮遊実態を調べるとともに、農地土壌の巻上げによる再飛散の可能性を調べるため、小高・郡山局及び8月22日の3号機のダストフィルタについて放射性セシウムの溶出試験を行った。
- 調査結果から、
 - 土壌に含まれる放射性セシウムでは見られない高い水溶解性が認められた
 - 時間帯により、水溶解性の程度が異なっていたことから、同一の場所でも水溶解性の異なる様々な粒子が飛散していた可能性があることが認められた

1 稲やダストフィルタへの付着物等の物性調査

(3) 放射性セシウム134及び137の存在比

栽培年度	玄米 (存在比(平均値)注3)	栽培した農地土壌 (存在比(平均値)注3)
25年産米(注1,2)	1.013	0.916
26年産米(注2)	0.928	0.910

注1: 直接付着が認められた玄米

注2: 南相馬市の南部エリア

注3: 存在比は、平成23年3月11日時点に換算

【解説】

- 福島原発の事故により大気中に拡散した放射性セシウムとして、半減期の短いセシウム134と半減期の長いセシウム137の2種類が存在する。
- 玄米中のこれら2種類の放射性セシウムの存在比が、茎根吸収や土壌巻き上げによる影響であれば土壌と同じになることに着目し、直接付着が認められた南相馬市南部地域の25年産米と当該米が栽培された農地土壌の存在比を分析した。
- その結果、直接付着の認められた玄米中の放射性セシウムの存在比は1.0程度であるのに対して、農地土壌中の放射性セシウムの存在比は0.9程度であり、農地土壌以外からの影響を受けていたと考えられる。
- 他方、上記直接付着の認められた地域で栽培された26年産米については、玄米中及び農地土壌中の放射性セシウムの存在比がともに0.9程度であり、玄米中の放射性セシウムは土壌由来であったと考えられる。
- なお、東京大学の研究グループによれば、福島第一原子力発電所1号機及び2・3号機の放射性セシウムの存在比は、平成23年の事故当時に換算して、それぞれ0.9程度と1.0程度と報告されているところであるが、東京大学の研究グループに今回の分析値について評価を依頼したところ、分析可能なサンプル数が少ないことなどから、直接付着の由来について、どの号機からいつどのような経路であったかを断定することはできなかった。

2 放射性物質の吸収抑制対策に関する試験研究

(1) 用水由来の放射性セシウム動態調査

試験① 用水由来放射性Csのモニタリング

供試水田で利用される用水中放射性Cs濃度を測定

- ・ 採取水田数 1カ所(太田地区)
- ・ 採取頻度 2週間に1回程度(水稻生育期)

試験② 用水利用による玄米中への放射性Cs移行程度の検証

太田川由来の用水を用い、種類の異なる土壌を用いた
ポット栽培試験を行い、玄米への移行程度を調査

- ・ 試験場所 農業総合センター
- ・ 区の構成

$$\left[\begin{array}{l} \text{南相馬(小高区耳谷)土壌} \\ \text{A土壌(稲が比較的Csを吸収しやすい)} \\ \text{B土壌(稲が比較的Csを吸収しにくい)} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{l} \text{交換性カリ } 15\text{mg}/100\text{g} \\ \text{交換性カリ } 30\text{mg}/100\text{g} \end{array} \right]$$

※ 土壌の放射性Cs濃度は、下層土を用い各土壌とも1,500Bq/kgに調整

【調査の結果】

① 用水由来の放射性Csのモニタリング

図5 中太田用水中の溶存態放射性セシウム濃度の推移

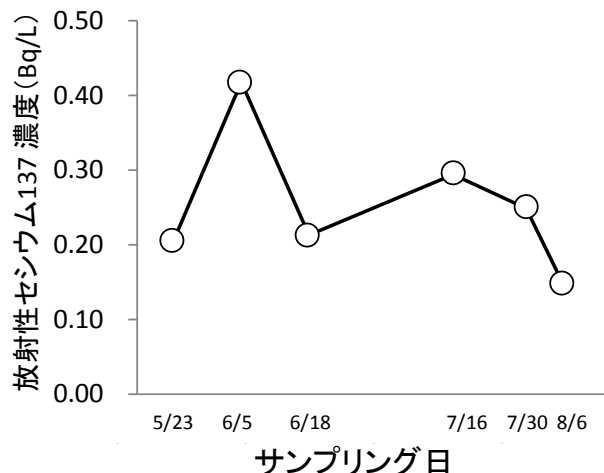
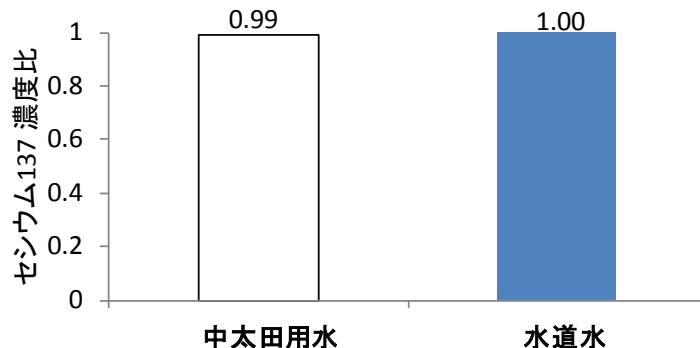


図6

水道水と用水を灌水した場合の玄米中の放射性セシウム濃度の比較



※ 水道水を1とした場合のセシウム濃度の比
作付前の交換性カリは15mg/100g乾土
収穫後の交換性カリは5.2mg/100g乾土
中太田用水および水道水中のカリウムイオン濃度は、それぞれ0.8, 1.5mg/Lであった。

【解説】

・ 南相馬市小高区耳谷の土壌を用いて、灌漑水として中太田地区の用水と水道水をそれぞれ与えてポット試験を実施。

（中太田の用水：溶存態0.15～0.42Bq/L）

（水道水：溶存態0.02Bq/L）

・ 中太田地区の用水を灌水しても、玄米の放射性セシウム濃度には水道水と有意な差はみられなかった。

なお、玄米中の放射性セシウム137濃度は、中太田地区の用水のポットで105 Bq/kg、水道水で106 Bq/kgであった。これは、

- ① 一般的にポット試験では、ほ場より一株あたりの土壌の量が少ないため、玄米中の放射性セシウム濃度が高くなる傾向があること、
 - ② ポット土壌中の交換性カリ濃度が栽培中に低下したこと、
- が影響したものと考えられる。

② 用水利用による玄米中への放射性Cs移行程度の検証

図7

ポット試験による土壌から水稻への放射性セシウム移行係数の比較

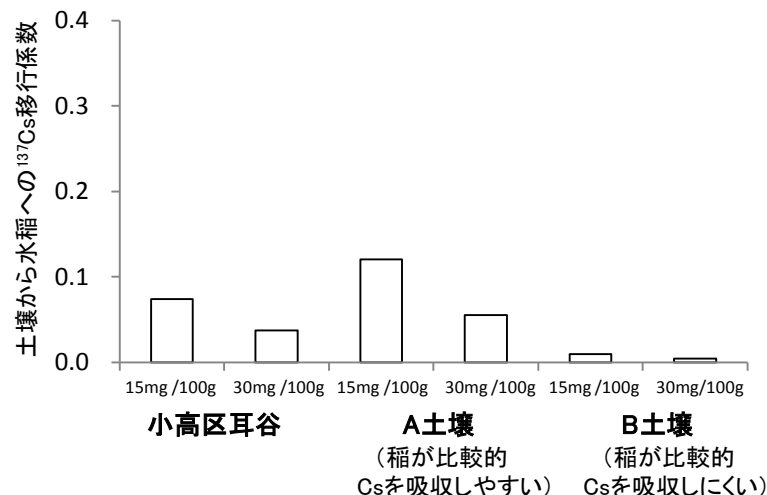


表2

土壌による玄米中の放射性セシウム濃度の比較

	土壌中の交換性カリ濃度 (mg/100g)		玄米中の放射性Cs137濃度 (Bq/kg)
	作付前	収穫後	
小高区耳谷	15	4.2	105
	30	6.3	54
A土壌 (稲が比較的Csを吸収しやすい)	15	1.9	206
	30	5.6	94
B土壌 (稲が比較的Csを吸収しにくい)	15	6.8	16
	30	9.5	6

【解説】

- ・ 南相馬市小高区耳谷の土壌と、平成23年度に基準値超過が見られた地域の土壌(A土壌)及びこれまで基準値超過が見られていない土壌(B土壌) (いずれも中通りで採取)を用いて、土壌中の放射性セシウム濃度(1,500 Bq/kg程度)と交換性カリ濃度(15 mg/100g又は30 mg/100g)を揃えてポット試験を行った。
- ・ 小高区耳谷の土壌は、B土壌よりも玄米への放射性セシウムの移行が高いことが確認されたが、交換性カリ濃度を高めることで移行を低減できることが示された。

なお、小高区耳谷の玄米中の放射性セシウム濃度が比較的高い値となったが、これは、

- ① 一般的にポット試験では、ほ場での栽培に比べ、一株あたりの土壌の量が少ないため、玄米中の放射性セシウム濃度が高くなる傾向があること、
- ② 土壌中の交換性カリ濃度が栽培中に低下したこと、
が影響したものと考えられる。

また、このポット試験で用いた土壌を採取したほ場において、26年産米で試験を実施した結果、放射性セシウム吸収抑制対策の実施により、基準値を大幅に下回る米が生産できることが確認されている(23ページ参照)。

2 放射性物質の吸収抑制対策に関する試験研究

(2) カリ肥料、吸収抑制資材施用による玄米中放射性セシウム吸収抑制効果の検証(ポット試験)

現地で適応可能な、塩化カリ、ゼオライト、バーミキュライト施用による放射性セシウム吸収抑制対策技術確立のための試験を実施

- ・ 供試土壌 南相馬市小高区耳谷(水田土壌)
- ・ 区の構成(10区設定) (単位:/10a)
 - ①無カリ
 - ②無カリ＋ゼオライト1000kg
 - ③無カリ＋バーミキュライト1000kg
 - ④慣行施肥
 - ⑤慣行の半量カリ施肥
 - ⑥慣行施肥＋ゼオライト1000kg
 - ⑦慣行施肥＋バーミキュライト1000kg
 - ⑧慣行施肥＋塩化カリ50kg
 - ⑨慣行施肥＋塩化カリ50kg＋ゼオライト1000kg
 - ⑩慣行施肥＋塩化カリ50kg＋ゼオライト1000kg当量分の塩化カリ

【調査の結果】

表3 南相馬市小高区耳谷の土壌を用いたポット試験の結果

		施用量(／10a)			土壌中 放射性 Cs濃度 (Bq/kg)	土壌中交換性カリ濃度 (mg/100g)			玄米中 放射性 Cs濃度 (Bq/kg)
		塩化カリ(カリ成分量)		ゼオライトまたは バーミキュライト(現物量)		施用前	収穫後	増減	
耳谷 (小高区)	1区	無施肥	－	－	2,397	15.0	3.9	－11.1	56
	2区	無施肥	－	ゼオライト 1,000kg (カリ約30kg相当)	1,931	15.0	8.5	－6.5	22
	3区	無施肥	－	バーミキュライト 1,000kg (カリ約50kg相当)	2,572	15.0	4.1	－10.9	56
	4区	慣行半量	4kg	－	2,638	15.0	3.9	－11.1	56
	5区	慣行	8kg	－	1,559	15.0	4.1	－10.9	37
	6区	慣行	8kg	ゼオライト 1,000kg (カリ約30kg相当)	2,215	15.0	10.1	－4.9	15
	7区	慣行	8kg	バーミキュライト 1,000kg (カリ約50kg相当)	1,831	15.0	4.7	－10.3	35
	8区	慣行＋30kg	38kg	－	1,828	15.0	8.3	－6.7	12
	9区	慣行＋30kg	38kg	ゼオライト 1,000kg (カリ約30kg相当)	2,084	15.0	17.7	2.7	5.0
	10区	慣行＋30kg＋ ゼオライト1,000kg相当	68kg	－	2,102	15.0	18.0	3.0	4.6

※ 放射性セシウムはCs134とCs137の合計値。

【解説】

- ・ 南相馬市小高区耳谷の土壌を用いて、カリ、ゼオライト及びバーミキュライトの吸収抑制効果を確認するため、カリを増肥した区、カリを増肥した上でゼオライト又はバーミキュライトを施用した区、カリを増肥した上でさらにゼオライト1t相当のカリを加算した区を設定し、ポット試験を行った。
- ・ その結果、カリ増肥及びゼオライトを施用した区で玄米中の放射性セシウム濃度の低下が認められたが、バーミキュライトの施用による玄米への放射性セシウムの明確な吸収抑制効果は認められなかった。

(なお、一般的にポット試験では、ほ場より一株あたりの土壌の量が少ないため、玄米中の放射性セシウム濃度が高くなる傾向がある。)

2 放射性物質の吸収抑制対策に関する試験研究

(3) カリ肥料、吸収抑制資材施用による玄米中放射性セシウム 吸収抑制効果の検証(現地詳細試験)

現地で適応可能な、塩化カリ、ゼオライト、バーミキュライト施用による放射性セシウム吸収抑制対策技術確立のための現地試験を実施

- ・ 試験実施場所 南相馬市小高区耳谷
- ・ 移植期 5/22
- ・ 品種 天のつぶ
- ・ 区の構成(8区設定) (単位:/10a)
 - ①無カリ
 - ②慣行カリの半量
 - ③慣行施肥
 - ④慣行施肥＋ゼオライト1000kg
 - ⑤慣行施肥＋バーミキュライト1000kg
 - ⑥慣行施肥＋土壌交換性カリ25mg/100g補正
 - ⑦慣行施肥＋土壌交換性カリ25mg/100g補正＋ゼオライト1000kg
 - ⑧慣行施肥＋塩化カリ50kg

【調査の結果】

表4 南相馬市小高区における現地ほ場試験の結果

		施用量(/10a)			土壌中 放射性 Cs濃度 (Bq/kg)	土壌中交換性カリ濃度 (mg/100g)			玄米中 放射性 Cs濃度 (Bq/kg)
		塩化カリ(カリ成分量)		ゼオライトまたは バーミキュライト(現物量)		施用前	収穫後	増減	
耳谷 (小高区)	1区	無施肥	-	-	1,765	15.0	7.5	-7.5	18
	2区	慣行半量	4kg	-	1,551	15.0	8.0	-7.0	9.2
	3区	慣行	8kg	-	1,746	15.0	9.2	-5.8	6.2
	4区	慣行	8kg	ゼオライト 1,000kg (カリ約30kg相当)	1,758	15.0	19.3	4.3	1.7
	5区	慣行	8kg	バーミキュライト 1,000kg (カリ約50kg相当)	1,593	15.0	9.6	-5.4	4.4
	6区	慣行＋ 25mg/100g補正	15kg	-	1,655	15.0	9.8	-5.2	3.4
	7区	慣行＋ 25mg/100g補正	15kg	ゼオライト 1,000kg (カリ約30kg相当)	1,677	15.0	19.0	4.0	1.8
	8区	慣行＋30kg	38kg	-	1,826	15.0	17.1	2.1	1.7

※ 放射性セシウムはCs134とCs137の合計値。

【解説】

- ・ 南相馬市小高区耳谷のほ場において、カリ、ゼオライト及びバーミキュライトを施用し、吸収抑制効果の検討を行った。
 - ー 試験ほ場は、震災後初めて作付けされたほ場で、やや砂質な土壌で透水性も比較的高かった。
 - ー 6区及び7区は、作付前の土壌分析結果(交換性カリ濃度15mg/100g)に基づき、移植時に、土壌中の交換性カリ濃度が25mg/100gとなるよう、不足分を施用することにより行った。
- ・ 3区及び4区、6区及び7区の結果をそれぞれ比較すると、いずれにおいてもゼオライトを施用した区(4区及び7区)で玄米中の放射性セシウム濃度の低下が見られた。

2 放射性物質の吸収抑制対策に関する試験研究

(4) 現行対策技術のほ場間における効果の検証

塩化カリ及びゼオライトを用いた現行吸収抑制対策における玄米への放射性セシウム移行程度のほ場間差を検証

- ・ 試験実施場所 南相馬市3地区(原町区矢川原、中太田、小高区蛸沢)
- ・ 移植期 5/16, 17, 22
- ・ 品種 天のつぶ
- ・ 区の構成(4区設定) (単位:/10a)
 - ①慣行施肥＋塩化カリ50kg
 - ②慣行施肥＋塩化カリ50kg＋ゼオライト500kg
 - ③慣行施肥＋塩化カリ50kg＋ゼオライト1000kg
 - ④慣行施肥＋塩化カリ50kg＋ゼオライト1000kg当量の塩化カリ

【調査の結果】

表5 南相馬市旧太田村及び小高区における現地ほ場試験の結果

		施用量(/10a)			土壌中 放射性 Cs濃度 (Bq/kg)	土壌中交換性カリ濃度 (mg/100g)			玄米中 放射性 Cs濃度 (Bq/kg)
		塩化カリ(カリ成分量)		ゼオライト(現物量)		施用前	収穫後	増減	
中太田 (原町区)	1区	慣行+30kg	36kg	—	1,248	31.3	18.4	-12.9	3.5
	2区	慣行+30kg	36kg	500kg(カリ約15kg相当)	1,248	31.3	27.0	-4.3	2.6
	3区	慣行+30kg	36kg	1,000kg(カリ約30kg相当)	1,248	31.3	34.4	3.1	1.7
	4区	慣行+30kg+ ゼオライト1,000kg相当	66kg	—	1,248	31.3	25.9	-5.4	1.9
矢川原 (原町区)	1区	慣行+30kg	36kg	—	2,348	42.9	23.1	-19.8	6.9
	2区	慣行+30kg	36kg	500kg(カリ約15kg相当)	2,348	42.9	26.3	-16.6	5.8
	3区	慣行+30kg	36kg	1,000kg(カリ約30kg相当)	2,348	42.9	32.4	-10.5	7.3
	4区	慣行+30kg+ ゼオライト1,000kg相当	66kg	—	2,348	42.9	32.2	-10.7	4.6
蛸沢 (小高区)	1区	慣行+30kg	35kg	—	198	38.2	30.2	-8.0	1.3
	2区	慣行+30kg	35kg	500kg(カリ約15kg相当)	198	38.2	38.0	-0.2	1.1
	3区	慣行+30kg	35kg	1,000kg(カリ約30kg相当)	198	38.2	59.2	21.0	1.1
	4区	慣行+30kg+ ゼオライト1,000kg相当	64kg	—	198	38.2	43.7	5.5	1.2

※ 放射性セシウムはCs134とCs137の合計値。

【解説】

- ・ 南相馬市旧太田村(中太田及び矢川原)及び小高区(蛸沢)において、カリ及びゼオライトの吸収抑制効果を確認するため、カリを増肥した区、カリを増肥した上でゼオライトを施用した区、カリを増肥した上でさらにゼオライト1t相当のカリを加算した区を設定し、ほ場試験を行った。
- ・ その結果、カリ増肥により、基準値を大幅に下回る玄米を生産できることが確認された。
- ・ ゼオライトを施用した区では、収穫後の土壌中の交換性カリ含量がカリだけを施用した区より高くなる傾向が確認された。特に、ゼオライトを1 t施用した区では、ゼオライトを500kg施用した区や、ゼオライト1t相当のカリを加算した区よりも、収穫後の土壌中の交換性カリ含量がより高くなる傾向が示された。

2 放射性物質の吸収抑制対策に関する試験研究

(5) ゼオライト施用に関する試験

南相馬市鹿島区、原町区においてゼオライトを施用しない以下の現地ほ場を設置し、ゼオライトの効果を確認

設置地区	吸収抑制対策施肥設計(kg/10a)	摘要(kg/10a)
上真野 (鹿島区浮田 字浮田)	試験:ゼオライト 0+塩化カリ50 対照:ゼオライト200+塩化カリ50	天のつぶ 25年度:ゼオライト200 +塩化カリ50施用
石神 (原町区北長野 字北原田)	試験:ゼオライト 0+粒状パームアッシュエム32 対照:ゼオライト500+粒状パームアッシュエム32	天のつぶ 25年度:ゼオライト200 +粒状パームアッシュエム基肥60 +追肥10施用
太田 (原町区牛来 字島崎)	試験:ゼオライト 0+塩化カリ50 対照:ゼオライト1000+塩化カリ50	天のつぶ、対照ほ隣接 25年度:ゼオライト200 +塩化カリ50施用

【調査の結果】

表6 南相馬市旧太田村、旧石神村及び旧上真野村における現地ほ場試験の結果

		施用量(/10a)			土壌中 放射性 Cs濃度 (Bq/kg)	土壌中交換性カリ濃度 (mg/100g)			玄米中 放射性 Cs濃度 (Bq/kg)
		塩化カリ (カリ成分量)	パームアッシュ (カリ成分量)	ゼオライト (現物量)		施用前	収穫後	増減	
上真野 (鹿島区)	1区	30kg	—	—	1,236	29.5	36.6	7.1	2.4
	2区	30kg	—	200kg (カリ約6kg相当)	1,162	51.7	71.0	19.3	1.0
石神 (原町区)	3区	—	8kg	—	1,498	26.2	24.2	-2.0	3.5
	4区	—	8kg	500kg (カリ約15kg相当)	2,030	29.9	26.0	-3.9	2.8
太田 (原町区)	5区	30kg	—	—	1,053	39.0	48.1	9.1	0.9
	6区	30kg	—	1,000kg (カリ約30kg相当)	1,198	34.0	95.3	61.3	1.3

※ 放射性セシウムはCs134とCs137の合計値。

【解説】

- ・ 南相馬市旧太田村、旧石神村及び旧上真野村において、カリを増肥した区、カリを増肥した上でゼオライトを施用した区を設定し、ほ場試験を行った。
- ・ その結果、カリ増肥により、基準値を大幅に下回る玄米を生産できることが確認された。また、塩化カリを施用した区において、ゼオライトにより収穫後の土壌中の交換性カリ含量が高くなる傾向が確認された。

2 放射性物質の吸収抑制対策に関する試験研究

(6) 放射性物質の稲への直接付着に関する試験

・ 試験内容

- ① 稲への直接付着状況に関する調査
- ② ポットを用いて、放射性物質の稲への移行を抑制する技術を検証

(区の構成)

ポット設置期間		移行抑制資材
7 / 9 ~ 7 / 23	×	無処理
7 / 23 ~ 8 / 6		塩化カリウム
8 / 6 ~ 8 / 20		塩化セシウム
7 / 9 ~ 8 / 20		塩化ルビジウム
未設置		

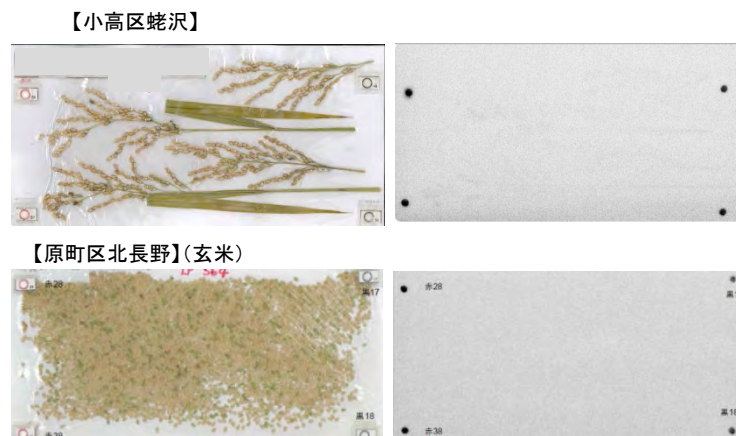
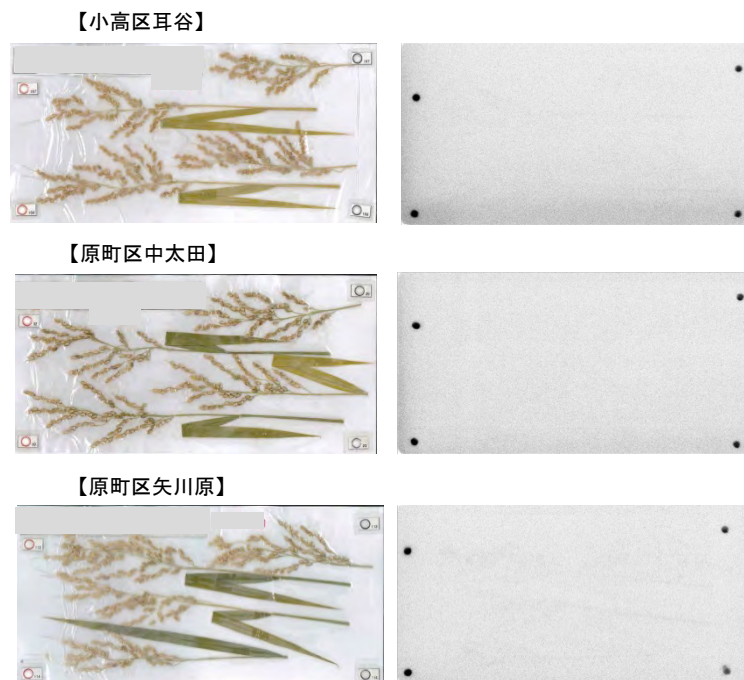
・ 試験実施場所

- 南相馬市(試験内容の①)
(現地試験(2.(3)~(5))のほ場)
 - ・ 小高区耳谷
 - ・ 原町区中太田
 - ・ 原町区矢川原
 - ・ 小高区蛸沢
 - ・ 原町区北長野
- 農業総合センター
(試験内容の①及び②)
- 大熊町(旧県水産種苗研究所内)
(試験内容の①及び②)

【調査の結果】

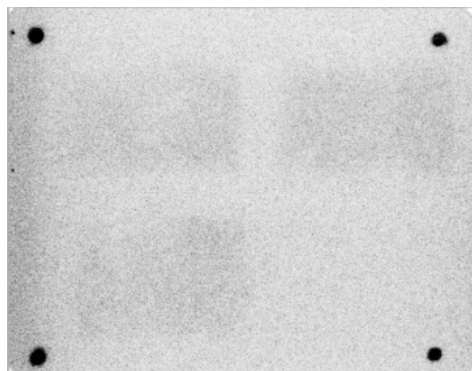
① 稲への直接付着状況に関する調査

図8 IP写真(南相馬市)



※ 画像四隅の黒点は塩化カリウムによるマーカ(0.15~0.45Bq)

図9 IP写真(農業総合センター)



※ 収穫後、茎葉を粉碎した状態で調査

図10 IP写真(大熊町(旧県水産種苗研究所内))

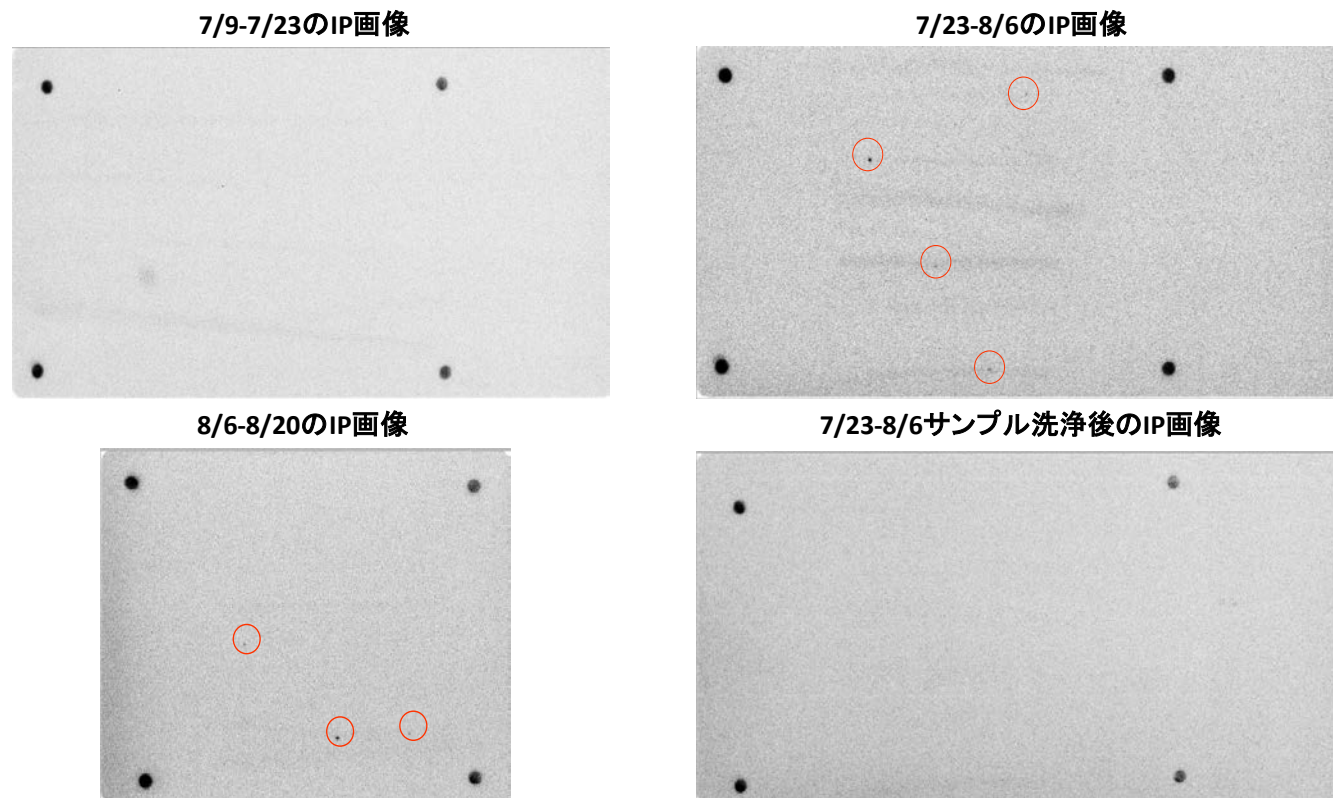


表7 大熊町(旧県水産種苗研究所内)で一定期間ポット栽培した稲の玄米及び茎葉中の放射性セシウム137濃度

放射性 Cs137濃度 (Bq/kg)	福島県農業 総合センターに 常置	7/9～8/20 設置	7/9～7/23 設置	7/23～8/6 設置	8/6～8/20 設置
玄米	3.6	18	5.7	9.7	10
(茎葉)	(12)	(89)	(19)	(46)	(68)

②ポットを用いた放射性物質の稲への移行を抑制する技術の検証

表8

塩化カリウム等の茎葉散布による放射性セシウムの移行低減割合

葉面散布処理	7/9-8/20 設置	7/9-7/23 設置	7/23-8/6 設置	8/6-8/20 設置
無処理	0.20	0.30	0.21	0.15
塩化カリウム	0.25	0.18	0.21	0.22
塩化セシウム	0.18	0.35	0.16	0.13
塩化ルビジウム	0.19	0.54	0.18	0.14

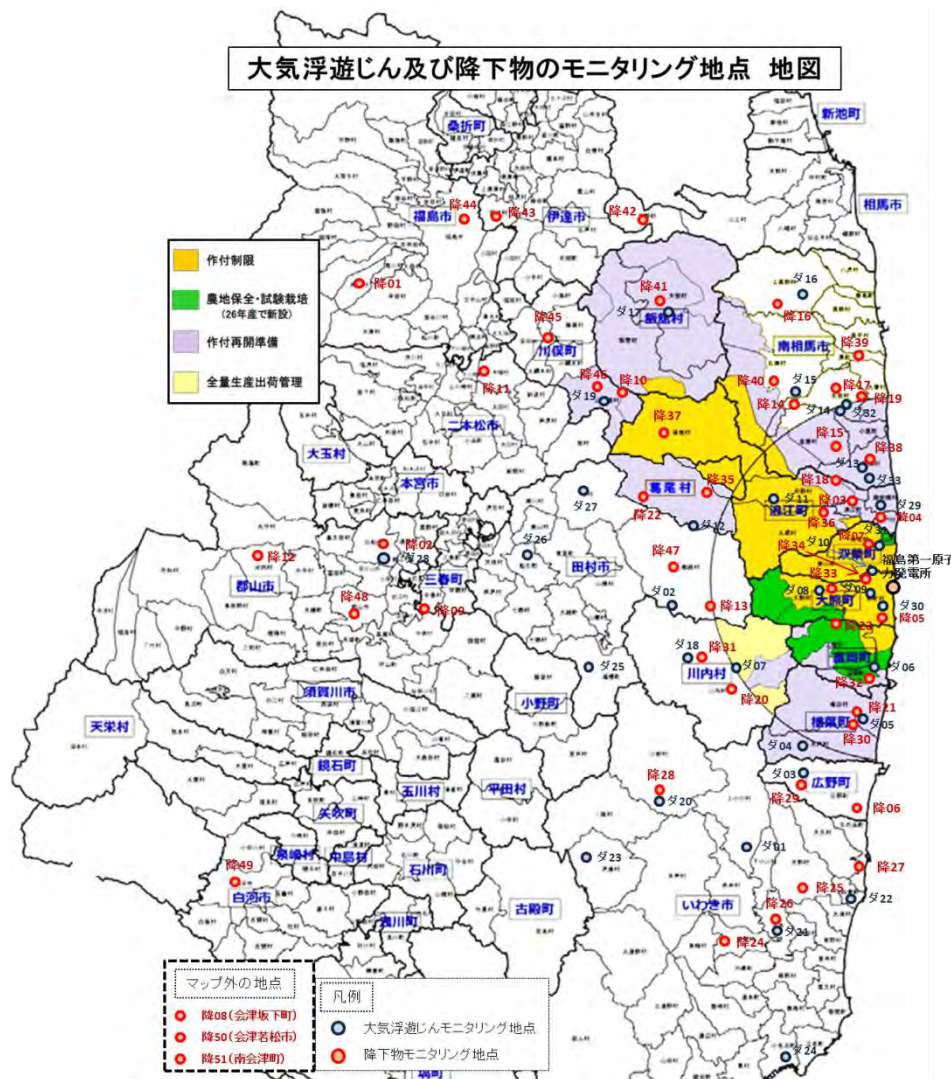
※ 塩化カリウム等の施用後、大熊町(旧県水産種苗研究所内)で、一定期間ポット栽培した稲の玄米及び茎葉中の放射性セシウム¹³⁷濃度の移行割合
(数値は玄米中放射性セシウム濃度/茎葉中放射性セシウム濃度)

【解説】

- ・福島農総センター(郡山)と大熊町で、同じ土壌、同じ水を灌水したポットで水稻を栽培し、放射性セシウム(Cs137)の直接付着による影響を検討した。
- ・放射性セシウムをほとんど含まない土壌(Cs137 濃度: 34 Bq/kg)を用いたポットを準備し、大熊町内(福島第一原発の南側境界に隣接する「旧県水産種苗研究所」内)で一定期間栽培した場合の玄米中放射性セシウム濃度を調査した(灌漑水は水道水を使用し、土壌中の交換性カリはすべてのポットを $25\text{mg}/100\text{g}$ に調整)。
- ・平成26年6月9日に福島農総センター内でポット試験を開始し、同年7/9～8/20、7/9～7/23、7/23～8/6、8/6～8/20の期間でそれぞれ大熊町内(旧県水産種苗研究所内)で栽培した後、再び農業総合センター内で9/26まで栽培した結果、大熊町内での栽培期間に応じてわずかな差がみられたものの、玄米中の放射性セシウム濃度への影響はわずかでいずれも基準値を下回っていた。
- ・水稻へ塩化カリ等を葉面散布することにより、茎葉から玄米への移行を低減できるか調べた結果、玄米中の放射性セシウム低減効果は、必ずしもみられなかった。
- ・水稻の放射性セシウム濃度は、開花期前の7月下旬から高くなる傾向が見られた。放射性セシウムが高くなった時期の葉のIP画像には粒状の感光が見られた。
- ・粒状の感光が見られた葉を水で洗浄した後のIP画像では、粒状の感光が見られなくなっており、葉に付着していた粒子は、水溶性のものであると考えられた。

3. 大気浮遊じん等のモニタリング及び米の検査結果

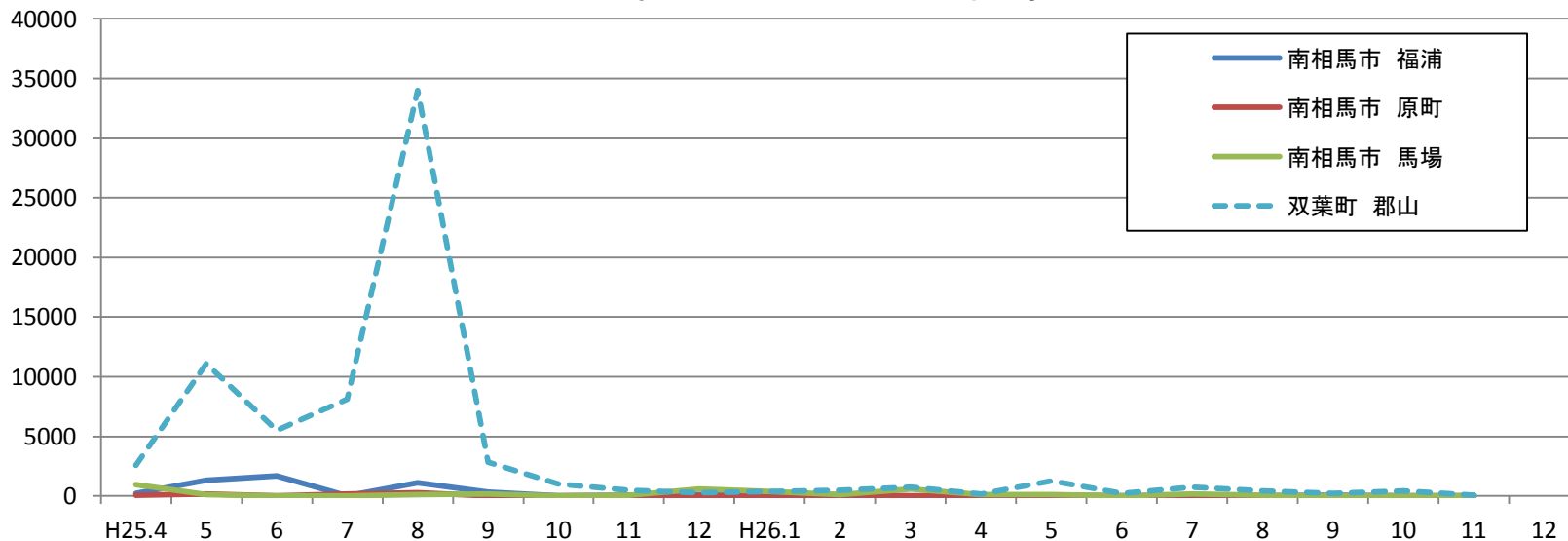
(1) 大気浮遊じん・降下物のモニタリング結果



環境試料	地点数	採取・測定頻度
大気浮遊じん	13	毎月
	20	毎週(19点)、月1回程度(1点)
降下物	51	毎週(5点)、2週に1回(15点)、月1回程度(31地点)

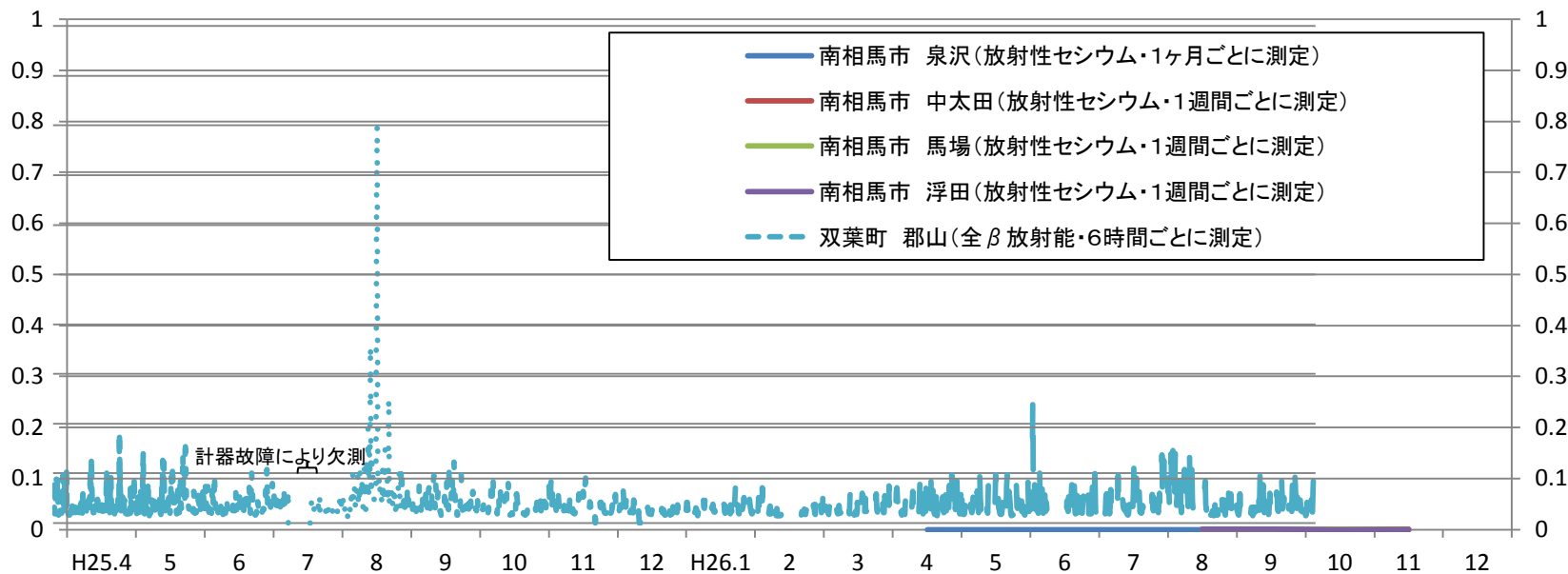
降下物中の放射性セシウム濃度 (Bq/m²)

降下物のモニタリング結果



大気浮遊じん中の放射性セシウム濃度 (Bq/m³)

大気中浮遊じんのモニタリング結果



大気浮遊じん中の全β放射能 (Bq/m³)

3. 大気浮遊じん等のモニタリング及び米の検査結果

(2) 南相馬市における農業用水の水質調査結果(平成26年度)

No.	水系	種類	濁度 (度)				放射性Cs (¹³⁴ Cs+ ¹³⁷ Cs)								備考
							水質(ろ過前) (Bq/L)				水質(ろ過後) (Bq/L)				
			H26.5	H26.6	H26.7	H26.8	H26.5	H26.6	H26.7	H26.8	H26.5	H26.6	H26.7	H26.8	
1	真野川	用水路	0.7	0.8	3.7	1.6	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	—	—	—	—	
2	真野川	用水路	0.4	0.9	1.1	1.3	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	—	—	—	—	
3	新田川	貯水池	1.9	1.8	0.7	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.1	
4	新田川	取水堰	1.8	2.6	4.5	5.1	0.1	0.2	0.2	0.4	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	
5	新田川	取水堰	2.2	3.1	3.9	4.3	<0.2	0.2	0.2	0.3	—	<0.2	<0.2	<0.2	
6	新田川	ため池	0.8	1.3	1.5	1.7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	<0.2	<0.2	
7	新田川	用水路	0.7	1.2	1.6	1.3	0.3	<0.2	<0.2	0.3	0.1	—	—	<0.2	
8	太田川	河川	0.6	0.9	0.5	0.6	0.8	0.7	0.6	0.8	0.4	0.4	0.3	0.4	
9	太田川	貯水池	1.1	3.6	0.8	7.5	0.8	3.9	0.8	5.5	0.3	0.3	0.3	0.4	
10	太田川	貯水池	1.2	1.0	0.8	1.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.1	0.3	0.3	0.2	
11	太田川	取水堰	0.7	0.6	0.9	0.9	0.3	0.5	0.4	0.4	0.2	0.3	0.3	0.3	
12	太田川	取水堰	0.8	0.7	0.8	1.1	0.4	0.5	0.4	0.4	0.2	0.3	0.3	0.3	
13	太田川	取水堰	1.0	1.2	1.0	1.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.3	0.3	0.3	
14	太田川	取水堰	1.1	1.0	1.3	1.5	0.4	0.6	0.5	0.6	0.2	0.2	0.3	0.3	
15	太田川	取水堰	1.3	1.4	1.6	2.1	0.4	0.5	0.5	0.6	0.2	0.2	0.2	0.2	
16	太田川	取水堰	1.0	0.9	1.5	1.6	0.3	0.4	0.5	0.6	0.2	0.2	0.3	0.3	
17	太田川	用水路	1.2	0.9	0.9	1.2	0.4	0.5	0.4	0.5	0.2	0.3	0.3	0.3	
18	太田川	用水路	1.8	1.5	1.6	2.0	0.5	0.5	0.3	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	
19	太田川	用水路	1.5	2.6	1.8	2.3	0.3	0.4	0.6	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	
20	太田川	用水路	2.9	—	—	—	<0.2	—	—	—	—	—	—	—	※6～8月は水路に水なし
21	小高川	用水路	2.2	1.3	1.5	7.5	0.2	0.2	0.2	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.1	
22	小高川	用水路	6.3	21.0	7.8	9.3	0.2	0.2	0.2	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	
23	小高川	用水路	1.2	1.1	1.4	2.5	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	—	—	—	—	
24	宮田川	用水路	2.1	2.1	1.7	3.5	<0.2	<0.2	<0.2	0.2	—	—	—	<0.2	

表9

南相馬市内作付水田の
用水の水質調査結果(平
成26年5～8月採水)

【解説】

- ・南相馬市内の真野川、新田川、太田川及び小高川の各水系を水源とする農業用水について、平成26年5～8月にかけて毎月1回採水し、水質(^{134}Cs 及び ^{137}Cs)を調査。
- ・真野川水系以外の用水から放射性セシウムを確認。ろ過後のろ液からも溶存態とみられる放射性セシウムが確認されたが、新田川水系及び小高川水系ではほとんど検出下限値未満。
- ・高い濁度が認められた地点で、ろ過前の濃度が高くなる傾向がみられたが、ろ過後の濃度は昨年と同程度。

3. 大気浮遊じん等のモニタリング及び米の検査結果

(3) 南相馬市の平成26年産米の検査結果(全袋検査結果)

- 南相馬市における26年産米の全袋検査の結果、平成27年5月22日現在、11,142点のうち100 Bq/kgを超えた玄米は無し。
- 25年産米で基準値超過があった生産者7名の26年産米の検査結果は、全て50Bq/kg未満(基準値超過はなかった)。

表10 南相馬市の全袋検査結果(平成27年5月22日現在)

	旧市町村	検査数量	検査結果				
			25Bq未満	25～50Bq	51～75Bq	76～100Bq	100Bq超
合 計		11,142	11,125	16	1	0	0
小高区	小 計	480	480	0	0	0	0
	福浦村	346	346	0	0	0	0
	金房村	134	134	0	0	0	0
原町区	小 計	2,794	2,784	10	0	0	0
	原町	24	22	2	0	0	0
	高平村	0	0	0	0	0	0
	太田村	2,189	2,187	2	0	0	0
	大甕村	52	52	0	0	0	0
	石神村	529	523	6	0	0	0
鹿島区	小 計	6,636	6,629	6	1	0	0
	鹿島村	331	331	0	0	0	0
	八沢村	1,463	1,462	1	0	0	0
	真野村	140	140	0	0	0	0
	上真野村	4,702	4,696	5	1	0	0
カントリーエレベータ		1,232	1,232	0	0	0	0

表11

25年産で基準値超過のあった生産者の検査結果

	25年産基準値 超過数点数 (検査結果)	検査数量	検査結果				
			25Bq未満	25～50Bq	51～75Bq	76～ 100Bq	100Bq超
A	1点 (160Bq/kg)	440	440	0	0	0	0
B	2点 (110～120)	27	27	0	0	0	0
C	3点 (110～180)	55	55	0	0	0	0
D	2点 (110)	21	21	0	0	0	0
E	4点 (110～120)	37	37	0	0	0	0
F	2点 (110～130)	33	33	0	0	0	0
G	1点 (110)	289	288	1	0	0	0

3. 大気浮遊じん等のモニタリング及び米の検査結果

(4) 南相馬市の平成26年産米の検査結果

(鹿島カントリー搬入米のイメージングプレート検査結果)

- 鹿島カントリーエレベータに搬入された米の全てのサンプルで放射線による黒点は見られなかった。
- ガンマスペクトロメータによる簡易検査では、全サンプルND(50Bq/kg以下)であった。

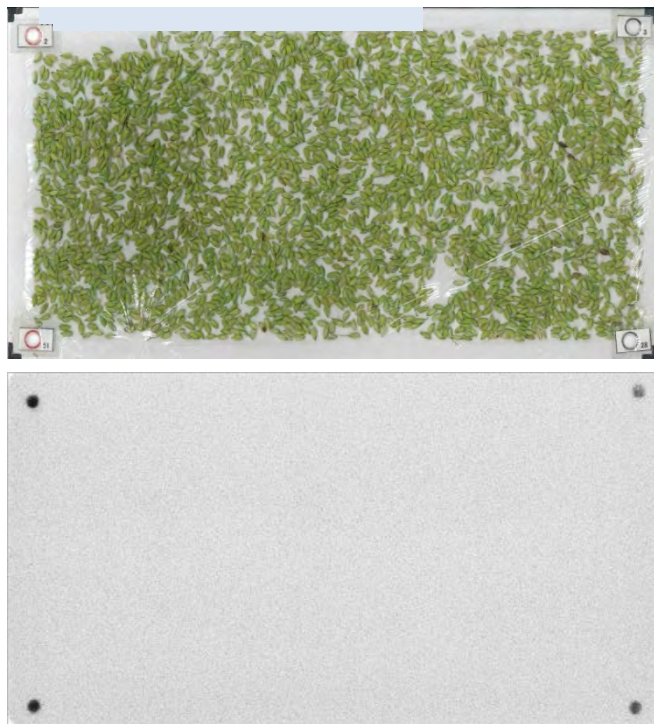


図11 調査地点

利用者全員のほ場から、品種(天のつぶ及びひとめぼれ)ごとに収穫直前に穂を採取。

(ほ場が複数の団地に分かれている場合は団地ごとに採取した。)

図12 馬場「天のつぶ」の調査結果



上がサンプルの元画像、下がイメージングプレート画像。

試料によって水分、登熟程度が異なるので正確な粒数は出ないが、粳500粒の平均重から計算すると、台紙1枚あたり、2600～2800粒である。

4. 総括

1. 26年産米の全袋検査結果

- 南相馬市における26年産米の全袋検査の結果、平成27年5月22日現在、11,142点の全てで基準値を超えた玄米はない。
- また、25年産米で基準値超過があった生産者7名の26年産米の検査結果は、全て50Bq/kg未満となっている。

2. 用水の影響

- 南相馬市小高区の土壌を用いて、太田川の用水と水道水をそれぞれ与えるポット試験を行ったところ、太田川の水と水道水の間には有意な差はみられなかった。

3. 土壌の影響

- 南相馬市小高区の土壌を用いてポット試験を行ったところ、福島県中通りのこれまで基準値超過がみられていない土壌よりも玄米への放射性セシウムの移行の割合が高いことが確認されたが、交換性カリ濃度を高めることで移行を低減できることが示された。

4. 放射性セシウムの吸収抑制対策の効果

- 南相馬市の25年産米で基準値超過がみられた旧太田村及び小高区のほ場でカリ施用の効果を確認したところ、カリ増肥により、基準値を大幅に下回る玄米を生産できることが確認された。
- また、小高区のほ場でゼオライトを施用した区では、収穫後の土壌中の交換性カリ濃度の低下が抑えられることが確認された。

5. 稲への直接付着による影響

- 南相馬市各地で採取された26年産水稻の葉や稲穂のイメージングプレートを確認したところ、25年産で見られたような放射性物質の付着は見られなかった。
- 放射性物質の直接付着の見られた稲体やダストフィルタで分析可能なサンプルについて、元素組成分析、水溶解性の程度及び放射性セシウムが存在比などを分析した結果、由来の特定に繋がるような特徴は発見できなかったものの、直接付着の由来として土壌の撒き上がりの可能性は低いと考えられる。

6. 27年度に行う調査について

- これまで、直接付着の由来を特定するため、分析可能な様々なサンプルについて様々な手法を用いて調査を行ってきたところだが、直接付着の由来の特定には至らなかった。
- 一方、南相馬市において安全な米を安心して生産できるよう、仮に飛散等の事象が再度発生した際に把握できるようにするとともに、より詳細な要因調査を行えるよう、福島県及び関係機関との協力の下、引き続き以下の調査を行い、情報提供を行う。
 - 大気浮遊じん、降下物のモニタリング
 - 作付から収穫までの間、南相馬市の複数地点においてイメージングプレートを作成し、直接付着の有無の確認。
 - 農業用水中の放射性物質の調査

27年度のモニタリング項目(大気浮遊じん・降水物、用水、稲体のIP)

モニタリング項目	測定内容・項目	測定箇所
大気浮遊じん・降水物	- 大気中に浮遊している「ちりやほこり(大気浮遊じん)」に含まれる放射性物質量を測定する。 - 水を充填した水盤を用いて、一定期間水盤に降下した放射性物質量を測定。	- 大気浮遊じん:33地点 - 降水物:51地点
農業用水	- 南相馬市内において作付を行っている水田の農業用水(真野川水系、新田川水系、太田川水系及び小高川水系)の水質を測定する。 - 測定項目: (用水中の懸濁態及び溶存態のCs134・137の濃度)	- 調査箇所:新田川及び太田川水系のダム、用水路等12地点程度 - 調査時期:中干し前後(6月、8月)に各1回 - 調査内容:134Cs及び137Cs (検出下限値は134Cs、137Csとも0.1Bq/L)
稲体の定期的なイメージングプレート	南相馬市内で生産される27年産米について、作付から収穫までの間で稲体の採取を定期的に行い、それらのイメージングプレートにより稲体への放射性物質の直接付着の有無を確認する。	南相馬市内で6箇所 (降水物調査地点と同一または近隣のほ場)

稲体の定期的なイメージングプレート

- 作付から収穫までの間で稲体の採取を定期的に行い、それらのイメージングプレートにより稲体への放射性物質の直接付着の有無を確認する。
- 市内6ヶ所(降下物調査地点と同じ又は近隣のほ場)で調査を実施する。

図13 調査地点



調査時期

- ① 分けつ期～幼穂形成期の間
(6月下旬～7月上旬頃)
- ② 幼穂形成期～出穂期の間
(7月下旬～8月上旬頃)
- ③ 成熟期(粃調査)
(9月上旬～中旬) 調査地点

調査地点

- 1 鹿島区 檜原
- 2 原町区 馬場
- 3 原町区 中太田
- 4 原町区 益田
- 5 小高区 飯崎
- 6 小高区 耳谷

基準値超過の想定される要因及びその対策

想定される要因	影響の程度・可能性 (これまでの試験結果、専門家の意見等)	対策
土壌からの吸収	これまでの試験で、土壌特性は一定程度影響しているものの、<u>カリ施用により基準値を大幅に下回る玄米を生産できることを確認。</u>	<u>カリ増肥</u>による吸収抑制対策を実施。
用水からの吸収	太田川水系では用水中の溶存態放射性セシウム濃度が他の河川よりわずかながら高い傾向にあるが、これまでの栽培試験で、<u>水道水と有意な差はみられないことを確認。</u>	現在のところ用水の影響は確認されていないが、27年産でも<u>用水のモニタリングを継続して実施。</u>
土壌からの再飛散	- セシウムは時間とともに土壌粒子に固定されるため、土壌粒子であれば<u>稲に付着しても稲体内に移行するとは考えにくい。</u> - 稲の葉に付着していた粒子は土壌粒子とは大きさや元素組成が異なり、<u>土壌由来とは考えにくい。</u> <u>他地域で同様の超過事例はみられておらず、汚染源とは考えにくい</u>（以下の森林及び燃焼生成物でも同様）。	<u>大気浮遊じん等のモニタリングを継続して実施</u>（※）（以下同様）。 - 定期的なIP分析により<u>植物体への付着の有無を確認</u>（以下同様）。
森林からの再飛散	<u>花粉は多量に稲に付着するとは考えにくく、落葉も分解され土壌に移行しており、汚染源とは考えにくい。</u> （土壌からの再飛散の項を参照）	（土壌からの再飛散の項を参照）
燃焼生成物の飛散	（土壌からの再飛散の項を参照）	（土壌からの再飛散の項を参照）
その他の飛散 (福島第一原発からの飛散等)	- 土壌などの環境からの再飛散では説明が難しいことから、<u>引き続き様々な可能性を検討すべき。</u> ※ <u>平成25年8月19日のがれき撤去に伴う飛散によるものではないことはほぼ明らか</u>（平成26年11月26日、原子力規制委員会）。	（土壌からの再飛散の項を参照） - 東京電力による<u>飛散防止対策の徹底。</u>

※ 福島県全体で大気浮遊じん32地点、降水物57地点。これに加え、平成26年11月からは、南相馬市独自で大気浮遊じんを5地点で測定。