

## 水稻及び玄米における放射性セシウムの分布と 炊飯による放射性セシウム濃度変化

佐藤誠<sup>1</sup>・藤村恵人<sup>1</sup>・藤田智博<sup>1</sup>・鈴木幸雄<sup>1</sup>  
佐久間祐樹<sup>1</sup>・大和田正幸<sup>2</sup>

Distributions of Radiocesium in Rice Plant and Brown Rice, and Change  
in Radiocesium Concentration in Rice Grain by Cooking

Makoto SATO<sup>1</sup>, Shigeto FUJIMURA<sup>1</sup>, Satohiro FUJITA<sup>1</sup>, Yukio SUZUKI<sup>1</sup>  
Yuki SAKUMA<sup>1</sup> and Masayuki OWADA<sup>2</sup>

### Abstract

This research investigated the distribution in rice plant of the radiocesium released from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant by the accident. In paddy field rice, the radiocesium concentration was the lowest in brown rice, followed by hull. Concentration of radiocesium was higher in the upper stem. The distributions of radiocesium in husk, stem and leaf are 18.2%-30.5%, 41.5%-43.1% and 28.0%-38.6% respectively. The correlations of radiocesium concentration between brown rice and rice straw, hull and the fifth internode were high. The radiocesium concentration in polished rice and cooked rice were 40% and 11% respectively compared to the brown rice. It was clarified that radiocesium in brown rice is reduced by the cleansed rice method in the cooking rice process.

Key words : radiocesium, rice, rice boiling

キーワード : 放射性セシウム、水稻、炊飯

## 1 緒言

2011年3月11日のマグニチュード9.0の東北太平洋沖地震とそれに伴う巨大な津波により、東京電力福島第一原子力発電所事故が発生し大量の放射性物質が拡散した。

今回の事故により同原子力発電所近郊の市町村では水稻の作付け制限が行われた。また、水稻が作付けされたその他の市町村の中から、平成23年産玄米で放射性セシウム濃度の暫定規制値（500Bq/kg）を超える玄米が福島市、伊達市及び二本松市の一部の地域で検出され、米の出荷規制や稲わら及びもみ殻の飼料やたい肥等としての使用規制が行われる等の甚大な被害を及ぼした。

水稻栽培における放射性セシウムの土壌からの移行や、玄米、稲わら、もみ殻等における放射性セシウム濃度等については天正ら<sup>8) 9)</sup> や塚田ら<sup>4) 6)</sup> 等によって報告されているが、高濃度の放射性セシウムを含む一般水田での報告はない。

そこで、今回の事故により放出された放射性セシウムが水稻栽培等に及ぼす影響について、特に現地水田で生産された水稻を中心として以下の調査を行った。

- (1) 福島県内の土壌中の放射性セシウム濃度が3,000Bq/kgを超える水田で栽培された水稻について、放射性セシウムの部位別濃度を調査し、蓄積性の差異について検討した。
- (2) 「玄米と稲わら」及び「玄米ともみ殻」の放射性セシウム濃度の相関関係を検討した。
- (3) 玄米と土壌の放射性セシウム濃度の相関関係は低く、土壌中の放射性セシウム濃度から玄米を生産した水田を特定することは困難であるため<sup>10)</sup>、水稻収穫後の水田にある稲株の第5節間と玄米の放射性セシウム濃度との関係について検討した。
- (4) 粒厚別、精米歩合別、胚芽の有無等による米粒の放射性セシウム濃度について検討した。
- (5) 炊飯米やとぎ水の放射性セシウム濃度を調査し、炊飯過程での放射性セシウムの変化について検討した。

## 2 試験方法

以下のすべての試験において、放射性セシウム濃度の測定はゲルマニウム半導体検出器（キャンベラ製、型式GC3020-7500SL-2002CsL）を使用して放射性セシウム134及び137について行った。なお、測定値の減衰補正は行わなかった。

### (1) 水稻の部位別放射性セシウム解析

玄米の放射性セシウム濃度が108～379Bq/kgの高濃度稲4地点、2.8～5.3Bq/kgの低濃度稲3地点について、収穫時期の玄米、もみ殻、上部茎（第1節間と葉鞘）、中部茎（第2節間と葉鞘）、下部茎（第3節間と葉鞘）、止葉（葉身のみ、以下同様）、次葉、第3葉、第4葉の各部位に分け放射性セシウム濃度を測定した。放射性セシウムの分布割合については部位ごとの重量と放射性セシウム濃度から算出した。土壌組成等は、(株)クレアテラが分析した。

### (2) 「玄米と稲わら」、「玄米ともみ殻」の放射性セシウム濃度の関係

同一の稲株について、玄米、もみ殻、稲わらに分け、放射性セシウム濃度を部位ごとに測定した。「玄米と稲わら」については玄米の放射性セシウム濃度が43～999Bq/kgの52地点、「玄米ともみ殻」については43～731Bq/kgの48地点で相関関係を検討した。

### (3) 「玄米と稲体の第5節間」の放射性セシウム濃度の関係

水稻の第5節間（写真1）と玄米の放射性セシウム濃度の関係を調査した。玄米の放射性セシウム濃度が3.9～201Bq/kgである収穫後の水田8地点において、ほ場の水口から水尻へ対角線上に3か所、1か所当たり15株の稲株を採取し、水道水でよく洗浄後、第5節間部分の葉鞘を剥ぎ取り、節の内側をはさみで切断して第5節間の試料を調整した。なお、稲体の第5節間は株が腐敗していない試料を使用した。



写真1 水稻茎の第5節間

(4) 粒厚、精米歩合及び胚芽の有無と米粒の放射性セシウム濃度の関係

試料は、いずれも福島県農業総合センター及び現地ほ場で生産された「ひとめぼれ」及び「コシヒカリ」で、粒厚別試験以外は粒厚1.8mm以上の玄米を使用した。

粒厚の違いと玄米の放射性セシウム濃度の関係については、放射性セシウム濃度が256～553Bq/kgの玄米3点を供試し、大屋式縦目段篩機（大屋丹蔵製作所）により1.8mm未満、1.8mm以上～2.1mm未満、2.1mm以上の3段階に分類し、放射性セシウム濃度を測定した。

精米歩合と玄米の放射性セシウム濃度の関係については、放射性セシウム濃度が71～483Bq/kgの玄米4点を供試し、家庭用精米機（サタケ製マジックミル、型式SRM5B）により精米歩合97.5%～80%の範囲で2.5%ごとに精米し、精米歩合ごとの放射性セシウム濃度を測定した。

胚芽の有無と精白米の放射性セシウム濃度の関係については、放射性セシウム濃度が71～483Bq/kgの玄米3点を供試し、前記の家庭用精米機で胚芽精米し、胚芽ありを胚芽米、胚芽なしを白米として放射性セシウム濃度を測定した。

(5) 炊飯及び洗米方法と炊飯米の放射性セシウム濃度の関係

炊飯が米の放射性セシウム濃度に及ぼす影響について、放射性セシウム濃度が71～483Bq/kgの玄米4点を供試し、精米歩合90%とした精白米150gを使用した。洗米は、とぎ3回、すすぎ1回で1回当たり150mL、計600mLの水で行い、精白米の重量比で吸水量を含めて1.33倍量となるように水を加え、1時間後に家庭用炊飯器（東芝製かまど炊き風黒釜、RCK-A10A。炊飯はすべて同機種で行った）で炊飯した。放射性セシウム濃度の測定は玄米、精白米、炊飯米、とぎ水について行った。

洗米方法が炊飯米の放射性セシウム濃度に及ぼす影響について、とぎ回数及びすすぎ回数を表1のとおりとして調査した。洗米方法以外の試験方法は前出の炊飯試験と同じである。

すすぎ水の処理方法が炊飯米の放射性セシウム濃度に及ぼす影響については、すすぎ後にすすぎ水をすぐに廃棄した場合と、洗米後すすぎ水に1時間浸漬してから廃棄した場合について調査した。

表1 洗米（とぎ及びすすぎ）の回数

区 分	内 容
0 + 0	とぎ0回+すすぎ0回
1 + 1	とぎ1回+すすぎ1回
3 + 1	とぎ3回+すすぎ1回
5 + 1	とぎ5回+すすぎ1回

とぎ、すすぎともに1回当たりの使用水量は150mL。

表2 水稻部位別放射性セシウム調査を実施した水田の土壌特性（代表地点）

項 目	玄米の放射性セシウム濃度	
	高濃度稲	低濃度稲
放射性セシウム濃度 (Bq/kg)	3,832	3,700
土壌統群	細粒グライ土	灰色低地土
土性	砂質埴壤土	軽埴土
粒径組成 (%)	粗・細砂	70.5
	シルト	14.2
	粘土	15.3
pH (H2O)	5.4	5.2
陽イオン交換容量 (cmolc/kg)	8.1	12.8
交換性カリ含量 (mg/100g)	3.3	12.2

玄米の放射性セシウム濃度 (Bq/kg) は、高濃度稲 (4ほ場) では108～379、低濃度稲 (3ほ場) では28～53。

### 3 試験結果及び考察

#### (1) 水稻の部位別放射性セシウム解析

水稻の部位別放射性セシウム解析を行った水田土壌の特性を表2に示す。土壌の放射性セシウム濃度が同等であっても、玄米の放射性セシウム濃度が高いほ場では低濃度のほ場と比較して交換性カリ含量が少なく、粒径組成に占める粘土及びシルトの割合が少ないことが特徴的であった<sup>4) 11)</sup>。

水稻の放射性セシウム濃度を部位別に比較すると、

可食部である玄米が最も低く次いで籾殻であり、茎及び葉身は稲体全体の放射性セシウム濃度よりも高かった(図1)。また、茎においては高濃度稲と低濃度稲とも放射性セシウム濃度は上部茎が高く下部ほど低かった。これに対して、葉身は止葉・次葉において低く下部において高かった。

放射性セシウム濃度が暫定規制値500Bq/kg付近の玄米を産出した水田において、収穫期における水稻の放射性セシウム濃度は最上位の葉が高く、下葉になるほど低くなることを田野井ら<sup>2)</sup>が報告しており、その

表3 水稻の部位別放射性セシウム含有割合(%)

器官	部位	玄米の放射性セシウム濃度			
		高濃度稲		低濃度稲	
もみ	玄米		21.9±2.2		8.3±3.3
	もみ殻	30.5±3.1	8.6±1.0	18.2±5.9	9.9±2.8
茎	上部		19.5±3.7		18.2±5.3
	中部	41.5±4.0	14.4±2.9	43.1±6.8	15.3±3.2
	下部		7.6±3.5		9.6±2.4
葉身	止葉		3.7±1.0		6.2±1.4
	次葉	28.0±7.0	4.6±1.1	38.6±1.5	6.4±1.3
	第3葉		4.8±1.8		9.0±5.5
	第4葉		14.9±7.4		17.1±5.0
稲株全体		100		100	

収穫期における稲株全体の放射性セシウム含量(Cs134及び137)に対する部位別の含有割合。玄米の放射性セシウム濃度(Bq/kg)は、高濃度稲(4ほ場)では108~379、低濃度稲(3ほ場)では2.8~5.3。

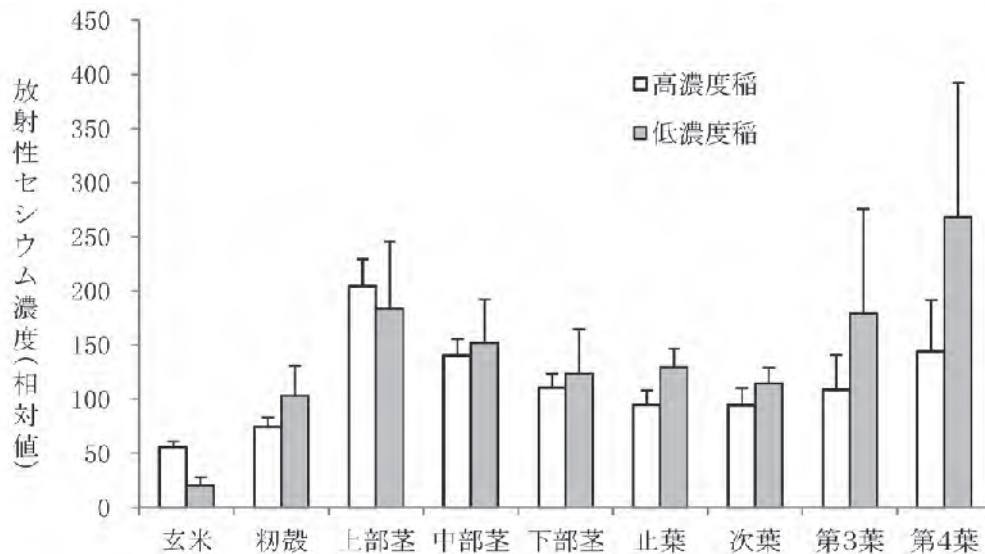


図1 水稻の部位別放射性セシウム濃度

稲株全体の放射性セシウム濃度(Cs134及び137)を100とした場合の相対値。玄米の放射性セシウム濃度(Bq/kg)は、高濃度稲(4ほ場)では108~379、低濃度稲(3ほ場)では2.8~5.3。バーは標準偏差を示す。

理由として夏以降に土壤中の可給態放射性セシウム量が増加したと考察している。葉位と葉身の放射性セシウム濃度の関係が本稿の結果と異なる傾向を示したのは、土壤中の可給態放射性セシウム濃度の差による可能性がある。

水稲部位別の放射性セシウムの含有割合について、玄米では高濃度稲が21.9%、低濃度稲が8.3%であり濃度同様に2.5倍以上の差が認められた(表3)。茎では上部ほど含有割合が高く、高濃度稲が41.5%、低濃度稲が43.1%であり差がなかった。葉身では下部ほど含有割合が高い傾向が認められ、高濃度稲が28.0%、低

濃度稲が38.6%であった。

天正ら<sup>8) 9)</sup>及び津村ら<sup>7)</sup>は、ポット試験において、放射性セシウム濃度は可食部である玄米において最も低いこと、また、塚田ら<sup>4)</sup>は、ほ場試験で玄米の放射性セシウム濃度がもみ殻や稲わらより低いことを報告している。今回の試験では、土壤中の放射性セシウム濃度が3,000Bq/kgを超える一般水田で栽培された水稲において、玄米の放射性セシウム濃度が葉身や茎より低く、高濃度稲及び低濃度ともに天正らや塚田らの結果と同様の傾向を示した。

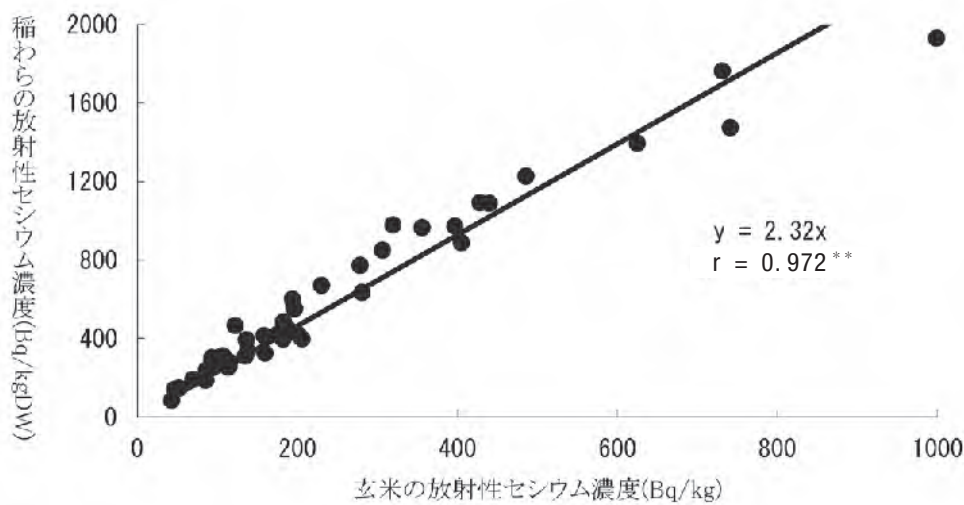


図2 玄米と稲わらの放射性セシウム濃度 (Cs134及び137) の関係  
玄米水分15%換算値。n=52。\*\*1%水準で有意。

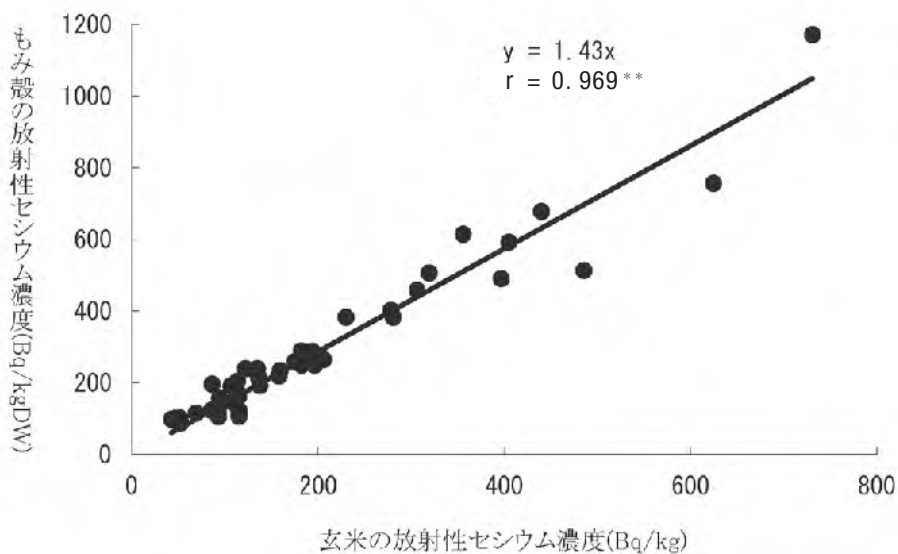


図3 玄米ともみ殻の放射性セシウム濃度 (Cs134及び137) の関係  
玄米水分15%換算値。n=48。\*\*1%水準で有意。



(2) 「玄米と稲わら」、「玄米ともみ殻」の放射性セシウム濃度の関係

成熟期における「玄米と稲わら」、「玄米ともみ殻」の放射性セシウム濃度は、有意な正の相関関係を示した(図2、3)。これらのことから、成熟期における玄米の放射性セシウム濃度から稲わら及びもみ殻のおよその放射性セシウム濃度を推定することが可能であり、飼料やたい肥等に利用する際の目安になり得ると考えられた。なお、本試験では玄米の放射性セシウム濃度が100Bq/kgを超えるデータが多いことから、今後は玄米の放射性セシウム濃度が100Bq/kg以下の範囲での相関関係について検討する必要がある。

(3) 「玄米と稲体の第5節間」の放射性セシウム濃度の関係

収穫後の稲株における第5節間(写真1)と玄米の放射性セシウム濃度は、有意な正の相関関係を示した(図4)。このことにより、収穫後の稲株における第5節間の放射性セシウム濃度から、生産された玄米の放射性セシウム濃度を推定できることが示唆された。

(4) 粒厚、精米歩合及び胚芽の有無と米粒の放射性セシウム濃度の関係

玄米粒厚別の放射性セシウム濃度では、玄米粒厚1.8mm未満が、玄米粒厚1.8mm以上~2.1mm未満及び

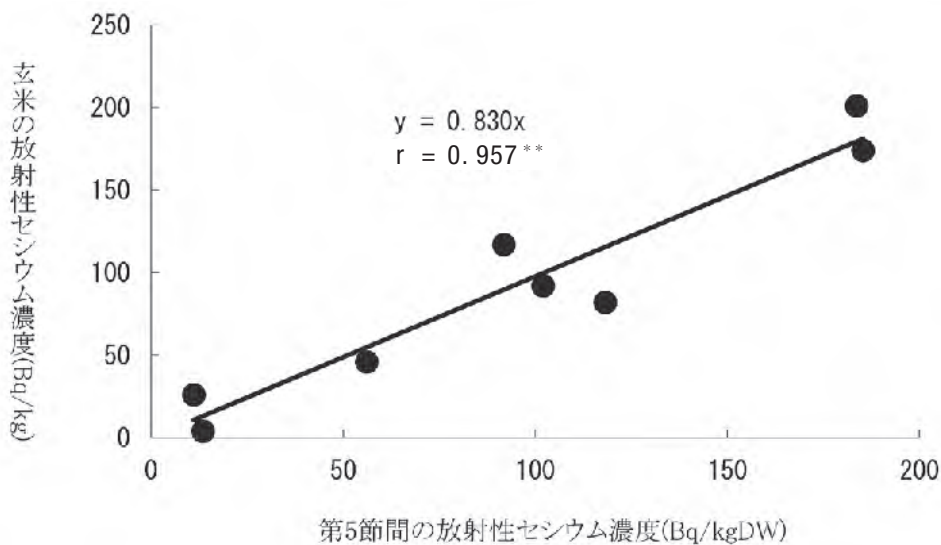


図4 茎(第5節間)と玄米の放射性セシウム濃度(Cs134及び137)の関係  
玄米水分15%換算値。n=8。\*1%水準で有意。

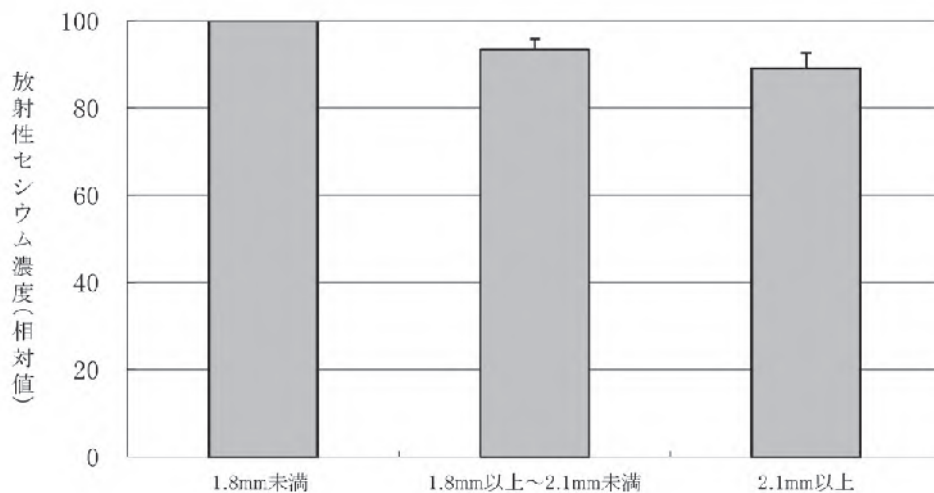


図5 玄米の粒厚と放射性セシウム濃度の関係

粒厚1.8mm未満における玄米の放射性セシウム濃度(Cs134及び137)を100とした場合の相対値。n=3。バーは標準偏差を示す。

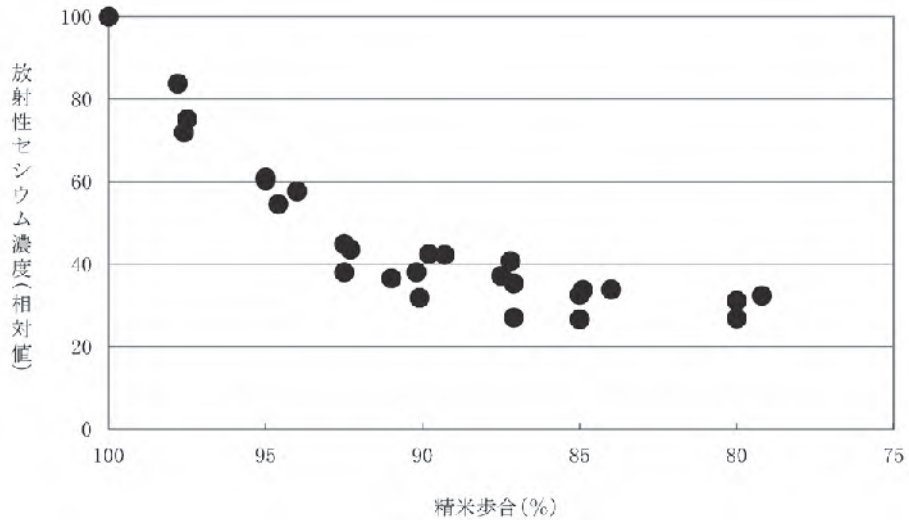


図6 精米歩合と精米の放射性セシウム濃度の関係  
 玄米の放射性セシウム濃度 (Cs134及び137) を100とした場合の相対値。

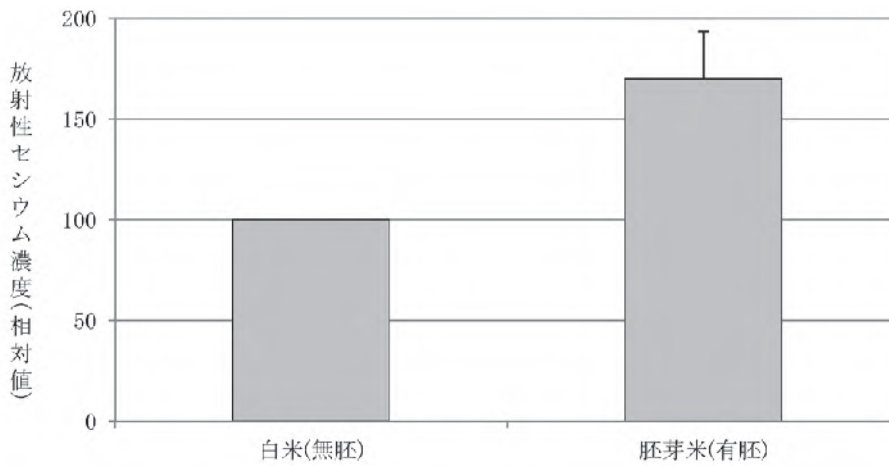


図7 胚芽の有無と精米の放射性セシウム濃度の関係  
 白米 (無胚) の放射性セシウム濃度 (Cs134及び137) を100とした場合の相対値。n=3。バーは標準偏差を示す。

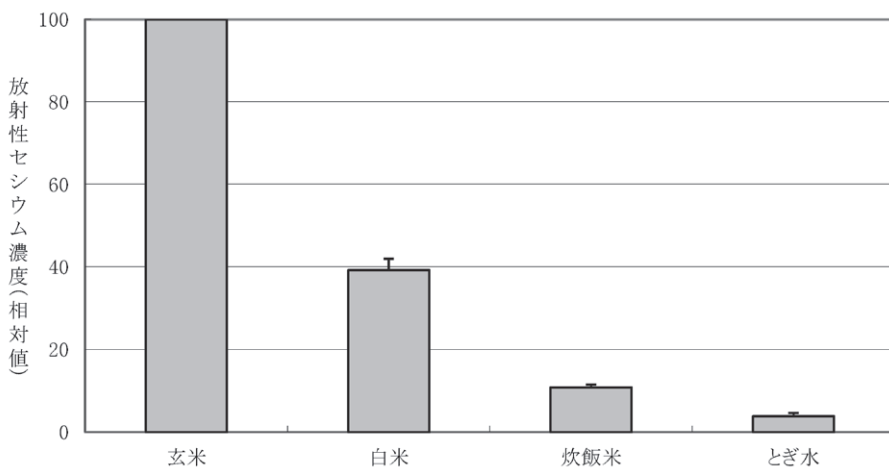


図8 精米及び炊飯が米の放射性セシウム濃度に及ぼす影響  
 玄米の放射性セシウム濃度 (Cs134及び137) を100とした場合の相対値。n=4。バーは標準偏差を示す。

玄米粒厚2.1mm以上より高い傾向を示した(図5)。粒厚が薄い小米(屑米)の利活用にあたっては、その点に留意すべきと考えられる。

精米に関しては、ぬかの部分が少なくなるに従って放射性セシウム濃度が低下し、精米歩合90%までは放射性セシウム濃度の低下度合いが大きく、玄米から精米歩合95%に至るまでは40ポイント程度、精米歩合95%から90%の範囲では20ポイント程度減少し、精米歩合90%の精白米の放射性セシウム濃度は玄米の39.2%まで低下した(図6)。精米歩合90%から85%の範囲では低下率が小さく、精米歩合が85%以下になると米粒の放射性セシウム濃度はほぼ平衡状態になっ

た。以上のことから、玄米の放射性セシウム濃度は、ぬか層の外側が高いと推察された。

胚芽の有無に関しては、胚芽米の放射性セシウム濃度は胚芽のない白米の約170%となった(図7)。胚芽部分は玄米の重量比で3%程度であることから<sup>1)</sup>、胚芽部分の放射性セシウム濃度は胚乳に比べ10~20倍程度高いものと推察された。

塚田ら<sup>6)</sup>はX線分析顕微鏡の測定で玄米におけるカリが胚部分に多く存在することを報告している。また、五訂日本食品標準成分表による米粒のカリウム含有量は、玄米を100%とした場合に半つき米で65%、七分つき米で52%、精白米35%であり、精白米を

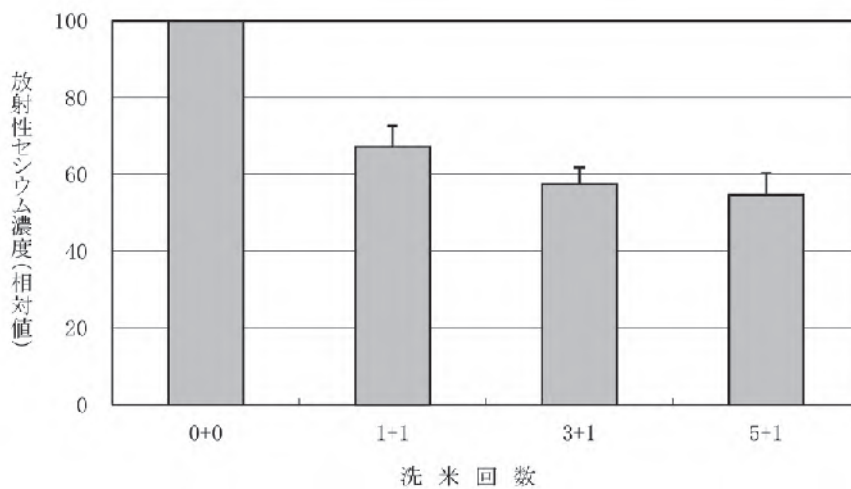


図9 洗米回数が炊飯米の放射性セシウム濃度に及ぼす影響

洗米回数は、とぎ回数+すすぎ回数で示す。数値はとぎ及びすすぎを行わないで炊飯した場合(0+0)の炊飯米の放射性セシウム濃度(Cs134及び137)を100とした相対値。n=4。バーは標準偏差を示す。

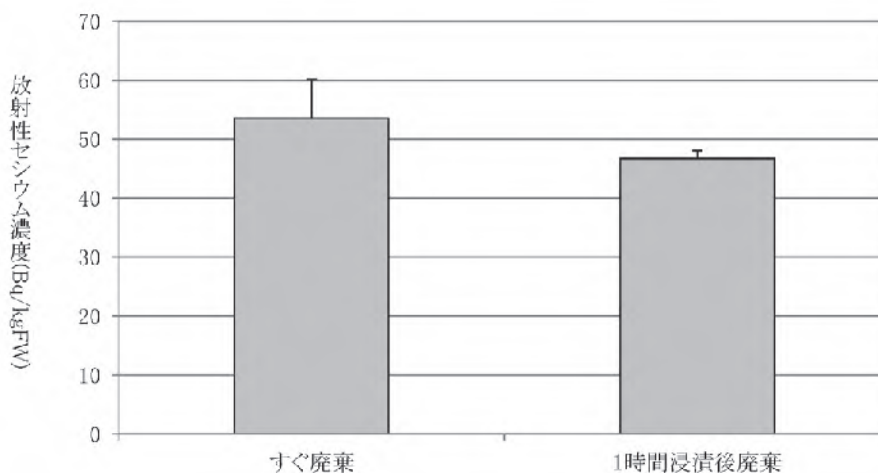


図10 すすぎ水の処理方法が炊飯米の放射性セシウム濃度に及ぼす影響

洗米は、とぎ3回及びすすぎ1回とし、1回当たりの使用水量は150mL。放射性セシウム濃度はCs134と137の合計。n=4。バーは標準偏差を示す。



100%とした場合には胚芽米が188%となる。今回の放射性セシウム濃度の推移は、それらのこととほぼ同じ傾向にあることから、玄米における放射性セシウムの蓄積傾向はカリウムと同様であることが示唆された。

#### (5) 炊飯及び洗米方法と炊飯米の放射性セシウム濃度の関係

炊飯米の放射性セシウム濃度は、洗米や加水の炊飯作業により玄米の10.8%まで低下した。また、洗米によるとき水の放射性セシウム濃度は玄米濃度の2.7%に相当した(図8)。

今回の試験では精白米の放射性セシウム濃度は玄米の39.2%であり、精白米重量の1.33倍量を加水して炊飯することにより、炊飯米の放射性セシウム濃度は計算上16.8%となる( $0.392/2.33=0.168$ )。このことから、炊飯米における放射性セシウム濃度は、洗米による流出等により2/3程度に低下したことが認められた。

また、玄米の重量比で精白米は0.9、炊飯米は2.0程度であることから、玄米の放射性セシウム含量を100とした場合、精白米で約36%( $0.392 \times 0.9$ )、炊飯米で約24%( $0.36 \times 2/3$ )となり、玄米から炊飯米になる過程で放射性セシウム量は1/4程度に低下した。このことは田上ら<sup>3)</sup>の報告と同様の結果となった。

洗米過程における炊飯米の放射性セシウム濃度は、とき回数を多くするほど低下したが、回数が増えるに伴い低減率は小さくなった(図9)。とき3回後、すすぎ水を1時間吸水させてから廃棄した場合は、すぐにすすぎ水を廃棄した場合に比べ、放射性セシウム濃度が若干低下した(図10)。

これらのことから、とき回数を3回以上、すすぎ水の浸漬時間を1時間以上にすることで、炊飯米の放射性セシウム濃度を低減できることが示唆された。

## 4 摘要

- (1) 水稲の部位別放射性セシウム濃度は玄米で最も低く、次いでもみ殻であり、茎(節間+鞘葉)では上位において高いことが認められた。
- (2) 放射性セシウム濃度について玄米と稲わら、玄米ともみ殻の相関関係は高く、玄米の放射性セシウム濃度から稲わら、もみ殻の放射性セシウム濃度を推定できるものと考えられた。
- (3) 放射性セシウム濃度について玄米と第5節間の相関関係は高く、収穫後の稲株における第5節間の放射性セシウム濃度から生産された玄米の放射性セシウム濃度を推定できるものと考えられた。
- (4) 精米の強度が増すと米粒の放射性セシウム濃度は

低下し、精米歩合90%の精白米では玄米の放射性セシウム濃度の39.2%まで低下した。胚芽米は精白米に比べ放射性セシウム濃度が高く、胚芽に放射性セシウムが多く集積することが示唆された。

- (5) 炊飯米の放射性セシウム濃度は、精米や洗米により玄米の10.8%に低下した。洗米時のとき回数やすすぎ水の処理により、炊飯米の放射性セシウム濃度を低減できることが示唆された。

## 謝辞

福島県放射線アドバイザーの学習院大学 村松康行教授をはじめ、農林水産省(独)農業環境技術研究所、農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター、(独)放射線医学総合研究所などの多くの研究機関、大学の専門家の方々に、当センターでの成績検討会において本稿に示した成果について多くのご助言をいただきました。ここに感謝の意を表します。

## 引用文献

- 1) 遠藤貴司ら. 2006. 耐冷性の強い巨大胚水稲新品種「恋いあずさ」の育成. 東北農業研究報告. 105: 1-16.
- 2) 田野井慶太郎・小林奈通子・小野勇治・藤村恵人・中西友子・根本圭介. 2013. 2011年における福島県の汚染された農地における収穫期イネの放射性セシウム濃度分布. RADIOISOTOPES 62: 25-29.
- 3) 田上恵子・内田滋夫. 2012. 精米と米研ぎによる放射性セシウムの残存割合及び糠層中の濃度分布. RADIOISOTOPES 61: 231-241.
- 4) 塚田祥文・鳥山和伸・山口紀子・武田晃・中尾淳・原田久富美・高橋知之・山上睦・小林大輔・吉田聡・杉山英男・柴田尚. 土壌-作物系における放射性核種の挙動. 土肥誌 82: 408-418.
- 5) H Tsukada, A Takeda, H Hasegawa. 2008. Uptake and Distributions of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in Rice Plants. 16th Pacific Basin Nuclear Conference (16PBNC), Aomori, Japan, Oct :13-18.
- 6) H Tsukada, H Hasegawa, S Hisamatsu, S yamasaki. 2002. Rice uptake and distributions of radioactive  $^{137}\text{Cs}$ , stable  $^{133}\text{Cs}$  and  $\text{K}$  from soil. Environmental Pollution 117: 403-409.
- 7) 津村昭人・駒村美佐子・小林宏信. 1984. 土壌及び土壌-植物系における放射性ストロンチウムとセシウムの挙動に関する研究. 農技研報B 36: 57-113.
- 8) 天生清・葉可霖・三井進午. 1959. 水稲及び陸稲に

よる土壌よりの $^{134}\text{Cs}$ 及び $\text{K}$ の吸収と作物体内の分布. 土肥誌 30. 253-258.

- 9) 天生清・葉可霖・三井進午. 1961. 水稻による特異的セシウム吸収の機構. 土肥誌 32: 139-144.
- 10) 福島県・農林水産省. 2011. 暫定規制値を超過した放射性セシウムを含む米が生産された要因の解析(中間報告). 暫定規制値を超過した米の発生要因中間検討会資料(検討会開催日 2011/12/25).
- 11) 農研機構. 2012. 玄米の放射性セシウム低減のためのカリ施用. [http://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/press/laboratory/narc/027913.html](http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/press/laboratory/narc/027913.html) (情報公開日 2012/2/24).