

原著

福島県内のイネの放射性物質の分布状況と土壌からの移行率

新井 正一¹⁾・土居 亮介²⁾

純真学園大学 保健医療学部 放射線技術科学科¹⁾

久留米大学 医学部 放射性同位元素施設²⁾

The shift rate from distribution and soil of radioisotope in rice plants.

Shoichi ARAI¹⁾, Ryosuke DOI²⁾

Department of Radiological Science, Faculty of Health Sciences,
JUNSHIN GAKUEN UNIVERSITY¹⁾

Radioisotope Institute for Basic and Clinical Medicine, School of Medicine,
KURUME UNIVERSITY²⁾

要旨： 福島県は全国でも有数の農業県であった。しかし2011年3月の東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故により、放射性物質のイネへの影響の解明と土壌汚染の対策技術の早急な確立が求められている。

本研究は、汚染された田んぼの土壌中の放射性物質量と収穫期のイネの中に含まれる放射性セシウム濃度とその分布状況について解明した。

各地区の田んぼ内の土壌の放射性セシウム (Cs-134, Cs-137) の量は470~1120 (Bq/kg) であった。稲のうち最も多く放射性セシウムを含んでいた部分は茎で17.3~61.1 (Bq/kg) であった。

コメの部分に含まれる放射性セシウムは5.34~22.1 (Bq/kg) であった。これは、国の基準である100 (Bq/kg) を下回っていた。

土壌中に含まれる放射性セシウムから稲、特にコメへの移行率は0.57~1.97 (%) であり、国の原子力災害対策本部で提示された移行率10 (%) を下回っていた。

キーワード： 福島原発事故, 土壌汚染, 放射性セシウム, イネ, 移行率

Abstract: Fukushima was one of the largest agricultural prefectures in the nation.

But because of the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident due to the Great East Japan Earthquake of March 2011, as soon as possible establishment of countermeasure technology and elucidation of the effects of the rice has been required.

This study was to elucidate about the distribution and concentration of radioactive cesium contained in the rice harvest and the amount of radioactive material in the soil in agricultural land that has been contaminated.

Radioactive cesium content of the soil of rice fields in each district was 470 ~ 1120 (Bq/kg).

Radioactive cesium was 17.3 ~ 61.1 (Bq/kg) in the stems, spikelets of rice.

The radioactive cesium contained in rice was 5.34 - 22.1 (Bq/kg), it was less than 100 (Bq/kg) which is the standard of a country, and it was shown that the rice is made now not contaminated.

The extraction rates from soil to rice were 0.57 - 1.97(%).

I was greatly less than 10 (%) shown in Nuclear Emergency Response Headquarters of the country. The secure rice radioactive cesium is not needed but has been shown.

Keyword : Fukushima nuclear power plant, Soil contamination, Radioactive cesium, rice, transition rate

はじめに

福島県の農業就業人口は109,048人で茨城、北海道に次いで全国第3位、また、水稻は、主要農

産物収穫量、作付面積においても、ともに全国第4位、県全体の農業生産額においても40%を占める重要な作物である¹⁾。

このように福島県は全国でも有数の農業県として県内はもとより首都圏をはじめとした県外の消費地に重要な食料供給の役割を担ってきた。しかし2011年3月の東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故の発生により放射性物質が県内への降下が確認され、イネに与えた影響の解明と土壤汚染の対策技術の早急な確立が求められている^{2,4)}。

福島県双葉郡広野町は、原発より南へ20～30kmの地点にあり、原発事故後、国の原子力災害対策本部から緊急時避難準備区域に指定された。

本研究は、この地域における土壤中の放射性物質濃度と収穫期のイネの中に含まれる放射性セシウム濃度分布について解明し、放射性物質がイネ、特にコメに移行しているかを測定、土壤からコメへ移行する放射性物質濃度について検討した。また収穫されたイネにおいて放射性物質の分布状況を画像化し解析を行った。

方法

原発事故により汚染された田んぼの土壤中の放射性物質濃度と収穫期のイネの中に含まれる放射性セシウム濃度分布について解明するため、イネの各部位をゲルマニウム (Ge) 型半導体測定器を用いて測定を行った。また収穫されたイネにおいて、放射性物質の分布状況をコンピュータド・ラジオグラフィ (CR) を用いて画像化し解析を行った。



図1 福島県双葉郡広野町亀ヶ崎地区 試験作付け田んぼ (2012年9月撮影)

1. 対象

本研究は、福島第一原発より南に20-30km離れた福島県浜通りにある福島県双葉郡広野町を対象とした。この地域は東に太平洋、西に阿武隈山系で囲まれており、気候は冬でも雪の少ない温暖な地域である。基幹産業は農業で、水稻作を中心に、シイタケ、小麦、そば、みかんなどが栽培されている。

2. 田んぼの土壤中の放射性物質濃度の測定

対象地域内の田んぼ3か所 (鶴ヶ崎地区、亀ヶ崎地区、上浅見川地区) において、田んぼ内の土壤を採取し、その後、24時間自然乾燥をさせたのち、U8容器に入れた。土壤の採取の方法については恩田らによる「試料採取法の確定」に基づき行った⁵⁾。

採取した土壤はゲルマニウム型半導体測定器 (GMX-23195)、ガンマスタジオ (SEIKO EG & G MCA7700) を使用し、エネルギースペクトルの解析、放射性物質濃度の算出を行った。

なお、半導体検出器の校正は、「放射能標準ガンマ体積線源 (日本アイソトープ協会製, MX033U8PP)」を用いて、2011年12月にエネルギー校正、効率校正を行っている。

測定条件は、測定時間: 86,400 sec (リアルタイム)、ピークサーチ方法: 平滑化2次微分法ピークサーチ、ピーク中心計算方法: 2次微係数の3点放物線近似法を用いた。

3. イネの放射性物質の分布状況

イネの中の放射性物質の分布状況を CR 装置 (Konica REGIUS190) で画像化し、確認した。

イネの採取は、田んぼ土壤を採取した同一の地域で、採取日は、鶴ヶ崎地区、亀ヶ崎地区が2012年、2013年は上浅見川地区で行った。

時期が異なっている理由は、2012年、この地域では事故の影響を考慮し、本研究で採取した2か所の田んぼ (鶴ヶ崎、亀ヶ崎) 以外ではイネの作付けが全く行われておらず、稲作の自粛要請を行っていたためである。その後、2013年は約半数の田んぼで作付けが再開されたが、イネの採取許可が得られた上浅見川地区のイネを採取となった。どの田んぼ、イネも、事故後、初めての作付けで



図2 鶴ヶ崎地区におけるイネ採取の様子(2012年9月撮影)

採取されたものである。

なおこれらの田んぼでは、放射性セシウムを吸着するとされる土壌改良剤(ゼオライト)を散布したのち、作付けを行った。

採取したイネは2週間程度、自然乾燥させ、その後、イメージング・プレート(IP)とイネが直接接触することがないように、イネをラップで包み、暗室内でIP上に15日間、露光を行った。その後、読み取り装置を使って画像化し、イネの中の放射性物質の分布状況を確認した。得られた画像は、Image J (NIH)で画像処理を行い、画像表示を行った。

4. イネの部位別の放射性物質量の測定

イネは、図に示す各部位ごとに小穂(米)、穂首、葉身・止葉、穂軸、茎に分類し、U8容器に詰めた。容器ごとに総重量、風袋よりそれぞれの重量を計測した。各部位ごとに前出のゲルマニウム型半導体測定器(GMX-23195)で86,400sec(24

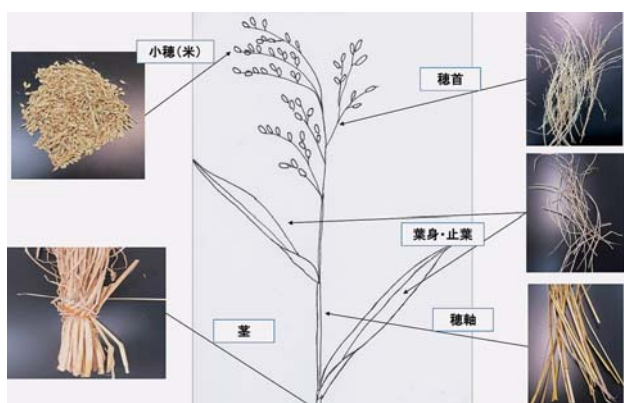


図3 イネの部位名称



図4 U8容器に詰めた各部位ごとのイネ(左より穂首、小穂、穂軸)

時間)データ収集を行い、波高分析器、解析装置ガンマスタジオ(SEIKO EG & G MCA7700)にて核種の同定、放射性物質量の算出を行った。

なお、イネの各部位ごとの重量については、採取後、2週間の自然乾燥後の重量表記とした。

5. コメへの放射性物質移行率の算出

1. 各田んぼの土壌中の放射性物質量の解析結果と3. イネの部位別の放射性物質量の測定結果より、土壌からコメへ放射性物質の移行率を求めた。

植物への移行率の式に関しては、「国際原子力機関 IAEA2010技術レポート」⁶⁾で定義が示されている。本研究では当該式を利用した。

$$\text{コメへの放射性物質移行率(\%)} = \frac{\text{コメの放射線物質量(Bq/kg)}}{\text{土壌中の放射線物質量(Bq/kg)}} \times 100$$

農作物への放射性物質の移行経路は、大気中の放射性降下物(フォールアウト)が植物の葉面に沈着して吸収されるものと、土壌から根を經由して吸収されるものがある。しかしイネの場合、毎年、新たに作付けが行われ、今回使用したイネも、事故当時に栽培されていたものではなく、原発事故後、2年以上が経過している現在、放射性降下物(フォールアウト)による葉面吸収は少なく経根吸収のみによる移行率として算出した。

結果

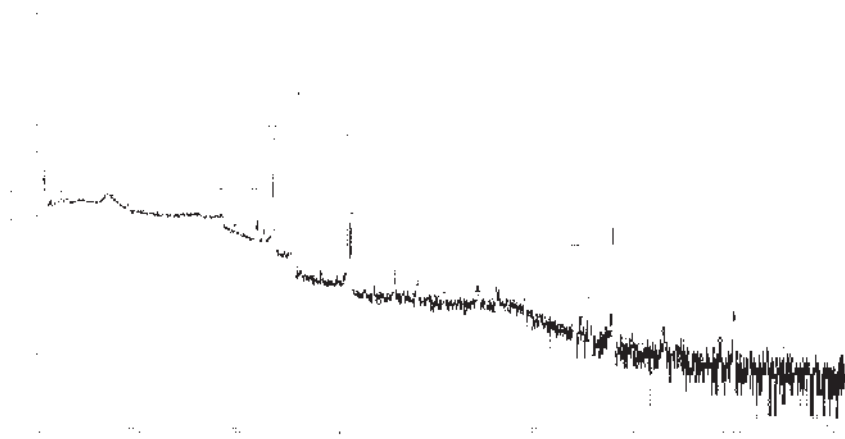
1. 田んぼの土壌中の放射性物質量の測定

広野町内の田んぼ3か所(鶴ヶ崎地区、亀ヶ崎地区、上浅見川地区)で田んぼ内の土壌の重量、ならびにそれぞれの放射性物質量の結果を示す。

表1 各地区田んぼの土壤中の放射性物質質量

No.	採取場所	採取日時	重量 (g)	放射能濃度 (Bq/kg) (補正済み)			
				Cs-134	Cs-137	Total Cs	K-40
1	亀ヶ崎地区 田んぼ	2012.09.06	154.6	408±4.28	712±6.34	1120±7.65	487±8.60
2	鶴ヶ崎地区 田んぼ	2012.09.06	167.2	344±2.74	598±5.74	943±6.36	407±8.43
3	上浅見川地区 田んぼ	2013.09.05	121.2	139±2.32	331±2.99	470±3.78	520±11.4

測定時間：86,400秒（24時間）

図5 土壤中の放射性エネルギースペクトル
亀ヶ崎地区田んぼの土壌2013/12/08 24時間測定

また、エネルギースペクトルを示す。エネルギースペクトルを解析した結果、各土壌ともにCs-134、Cs-137の存在が確認できた。また田んぼ土壌中には、肥料として蒔かれたK（カリウム）中に、天然で存在するK-40（天然存在比0.0117%）も確認できた。これら存在している放射性物質核種については量の違いはあるが、各地区田んぼとも、同様の結果が得られた。

2. イネの放射性物質の分布状況

各田んぼで採取したイネの放射性物質の分布状況を画像化したものを図6に示す。

図6 イネの放射性物質の分布状況
(左：IP上のイネ 右：CR画像)

植物内に吸収された放射性物質（おもにCs-134、Cs-137）から放出されたβ線やγ線が、CR（コンピュータド・ラジオグラフィ）のIP（イメージング・プレート）に照射され、画像処理より、赤が強い部分が、放射線によって多く照射された、つまり（植物内で）放射性物質を多く含んでいることを表している。

茎、穂軸、葉身、止葉の付近で放射性物質が多く含まれていることが確認できた。穂軸や茎の部分に多くの放射性物質の集積が見られた。それに対し、穂首、小穂（コメ）の部分では放射性物質が少ないことが画像上、確認できた。

3. イネの部位別の放射性物質量の測定

イネの各部位（小穂（米）、穂首、葉身・止葉、穂軸、茎）をU8容器に詰めて、ゲルマニウム型半導体測定器（GMX-23195）で86,400sec（24時間）測定を行った結果を表2に示す。

亀ヶ崎地区、鶴ヶ崎地区では小穂（コメ）は2株、上浅見川地区は1株の測定を行った。結果は、地面表土に近づくにつれ、放射性セシウムの量が多くなり、穂首が最も少なく、次いで小穂（コ

表2 各地区で採取されたイネの部位別放射性物質質量

採取場所	採取物	サンプルデータ				採取日時での放射能濃度 (Bq/kg)				検出限界値 (Bq/kg)			
		サンプル	採取日時	重量 (g)	測定開始日時	Cs-134	Cs-137	Cs-total	K-40	Cs-134	Cs-137	Cs-total	K-40
亀ヶ崎地区	稲-1	茎	2012/09/06 10:45	11.9	2013/12/17 08:48	2.10 ± 3.92	40.1 ± 3.17	61.1 ± 5.04	1440 ± 47.7	1.12E+01	9.87E+00	2.10E+01	9.16E+01
		穂軸	2012/09/06 10:45	14.8	2013/12/20 14:08	19.3 ± 3.36	34.7 ± 2.34	54.0 ± 4.10	1320 ± 30.7	9.16E+00	8.49E+00	1.77E+01	7.36E+01
	稲-1	葉身・止葉	2012/09/06 10:45	14.5	2013/12/14 17:56	16.9 ± 3.18	27.6 ± 2.34	44.5 ± 3.95	1080 ± 37.2	8.87E+00	8.24E+00	1.71E+01	7.86E+01
		穂首	2012/09/06 10:45	3.0	2013/12/25 08:27	LTD	LTD	LTD	3670 ± 175	ND	ND	ND	3.67E+02
	稲-2	小穂	2012/09/06 10:45	41.2	2013/12/04 16:31	4.94 ± 1.58	7.49 ± 0.99	12.4 ± 1.86	318 ± 11.8	4.57E+00	2.90E+00	7.45E+00	2.57E+01
		小穂	2012/09/06 10:45	18.8	2013/12/09 16:25	LTD	22.1 ± 2.33	22.1 ± 2.33	654 ± 31.8	1.10E+01	6.35E+00	1.73E+01	5.85E+01
茎		2012/09/06 10:00	13.3	2013/12/18 09:15	LTD	19.7 ± 2.52	19.7 ± 2.52	1710 ± 71.1	1.05E+01	9.14E+00	1.97E+01	8.27E+01	
穂軸		2012/09/06 10:00	12.4	2013/12/21 14:26	LTD	18.8 ± 2.71	18.8 ± 2.71	1640 ± 61.1	ND	9.72E+00	9.72E+00	8.87E+01	
鶴ヶ崎地区	稲-1	葉身・止葉	2012/09/06 10:00	14.3	2013/12/16 08:02	LTD	14.4 ± 2.48	14.4 ± 2.48	986 ± 39.8	1.44E+01	8.50E+00	2.29E+01	7.48E+01
		穂首	2012/09/06 10:00	3.2	2013/12/26 14:00	LTD	LTD	LTD	3280 ± 114	ND	ND	ND	3.12E+02
	稲-2	小穂	2012/09/06 10:00	42.4	2013/12/01 21:40	LTD	5.34 ± 0.82	5.34 ± 0.82	366 ± 13.2	ND	2.82E+00	2.82E+00	2.45E+01
		小穂	2012/09/06 10:00	41.3	2013/12/10 17:21	LTD	6.23 ± 1.01	6.23 ± 1.01	358 ± 10.2	3.85E+00	2.89E+00	6.74E+00	2.66E+01
	稲-1	茎	2013/09/05 10:00	11.5	2013/12/11 18:21	LTD	17.3 ± 2.94	17.3 ± 2.94	1450 ± 56.2	1.16E+01	1.03E+01	2.19E+01	9.13E+01
		穂軸	2013/09/05 10:00	6.2	2013/12/19 09:28	LTD	LTD	LTD	2790 ± 91.8	ND	1.85E+01	1.85E+01	1.73E+02
上浅見川地区	稲-1	葉身・止葉	2013/09/05 10:00	11.2	2013/12/13 17:38	LTD	LTD	LTD	1360 ± 60.3	ND	1.11E+01	1.11E+01	9.82E+01
		穂首	2013/09/05 10:00	1.4	2013/12/24 08:12	LTD	LTD	LTD	7640 ± 322	ND	ND	ND	7.29E+02
		小穂	2013/09/05 10:00	28.6	2013/11/22 18:58	LTD	LTD	LTD	521 ± 20.0	ND	3.05E+00	3.05E+00	3.64E+01

LTD : limit of detection (検出限界)

ND : Not Detected (不検出)

測定時間 : 86,400秒 (24時間)

表3 コメへの放射性物質移行率

採取場所	採取物	採取日時での放射能濃度 (Bq/kg)		移行率 (%)
		土壌	イネ	
亀ヶ崎地区	稲 -1	1120	12.4	1.11 ± 0.02
	稲 -2	1120	22.1	1.97 ± 0.06
鶴ヶ崎地区	稲 -1	943	5.34	0.57 ± 0.01
	稲 -2	943	6.23	0.66 ± 0.03
上浅見川地区	稲 -1	470	LTD	—

メ)の部分が少なかった。

それぞれの量は、茎の部分で17.3~61.1 (Bq/kg)、穂軸でLTD (検出限界) ~54.0 (Bq/kg)、葉身・止葉でLTD ~45.5 (Bq/kg)、穂首でLTD、小穂でLTD ~12.4 (Bq/kg)であった。

LTD (検出限界)も表2にそれぞれ示した。

4. コメへの放射性物質移行率の算出

方法4. で示した式を使い、それぞれの地区におけるコメへの放射性セシウムの移行率の結果を表3に示した。

採取した場所により移行率は異なり、0.57~1.97 (%)となった。

考察

1. 田んぼの土壌中の放射性物質質量

結果で示す通り、亀ヶ崎地区、鶴ヶ崎地区でCs-134, Cs-137を合わせてそれぞれ943 (Bq/kg)、1120 (Bq/kg)であったのに対して、上浅見川地区では約半分の470 (Bq/kg)であり、地域によって放射性降下物 (フォールアウト) の量に差があったことがわかる。

それに対して、土壌中のK-40の量では、各地域に大差はなく鶴ヶ崎地区407 (Bq/kg)、亀ヶ崎地区487 (Bq/kg)、上浅見川地区520 (Bq/kg)であった。

これらの地域では「農地の除染ガイドライン」⁸⁾によると、反転耕、移行低減栽培 (放射性セシウムの吸着を抑制するため、カリウムや吸着資材を施用する栽培方法) を行うことが推奨されている。

2. イネの放射性物質の分布状況

結果でも示した通り、CR画像上で、茎、穂軸、

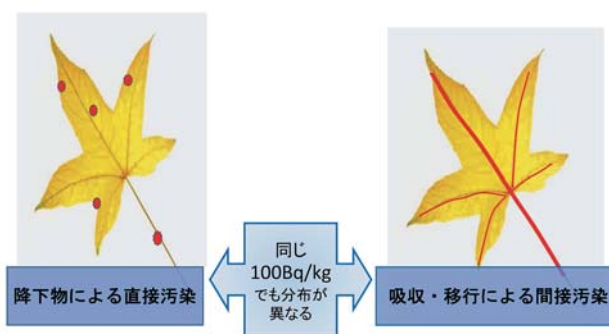


図7 直接汚染と間接汚染

- ①葉面吸収 (直接汚染) : Csの作物への吸収経路は、大気から作物体に沈着し、葉面から吸収される
- ②経根吸収 (間接汚染) : 一度土壌に降下した放射性物質が根を通じて吸収される

葉身、止葉の付近で放射性物質が集積しているのが確認できた。特に穂軸が最も多く、次いで茎の部分が多いことが確認できた。

イネなど水生植物へのセシウムの吸収経路には、次の2系統が考えられる⁹⁾。

イネの放射性物質の分布には図7に示すように直接汚染と間接汚染に分類される。同じ放射性物質質量 (Bq/kg) であっても、直接汚染の場合、放射性降下物がイネに付着する。もう一方の間接汚染は根や葉から放射性物質がいったん吸収されて茎や葉脈に放射性物質が分布するものである。このため、両者の汚染状況は異なる。本研究では、これらを確認するため放射性物質の分布状況を、CR (コンピュータド・ラジオグラフィ) を使って画像化し、その分布状況を確認した。

今回、本実験で使用したイネは、事故後2~3年後に栽培され、収穫されたものを使用している。つまり①で示す、放射性降下物 (フォールアウト) により降下した放射性Cs (セシウム) が、イネの葉に付着して吸収されたとは考えづらく、②の経根吸収による汚染が考えられる。

また、今後の放射性セシウムの経根吸着と土壌

への吸着について考察すると、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¹⁰⁾。降下直後は土壌粒子への吸着は多くはないが、時間の経過とともに、土壌粒子への吸着が進むため¹¹⁾、根から吸収されにくくなることが考えられる。

当然、このような吸着の進行は土壌の種類によって異なるであろうが、福島県内の田んぼの土壌の場合、多くは灰色低地土であり、一般的な褐色森林土に比べて、8~10倍ものセシウムを吸収したとの報告^{9,11-14)}もある。福島県内の田んぼの土壌は放射性セシウムを強く吸着することが考えられ、イネのセシウム経根吸収は、予想よりも概して多くないことが考えられる。

3. 土壌中の放射性セシウムからのコメへの移行について

採取した地区によってコメへの移行率は表3で示すように0.57~1.97 (%)と、値に差があった。この理由としてはいくつかの原因が考えられる。土壌成分の違い、水のpH、土壌中に含まれるK(カリウム)の量、土壌中の放射性Cs(セシウム)の量、Cs(セシウム)吸着材(ゼオライト)の量などである。

これらが本地域で有効な効果を上げるかは、本研究結果からは裏付けするにはさらなる追実験が必要となるが、他の論文結果、報告より、効果が期待できるものと推論できる^{9, 14-15)}。

土壌中に含まれるK(カリウム)の量が多い場合、植物内に放射性Cs(セシウム)が取り込まれるのを妨げる働きがあると考えられている。カリウムはセシウムと同族の第1族元素(アルカリ金属)に属し、この2つの元素は植物内ではほぼ同じ動きをすると考えられている。

また、吸着材であるゼオライトは、土壌中に存在する放射性セシウムを吸着し、イネへのCsの移行を阻害する働きを持っていると考えられる。

今回の結果、移行率0.57~1.97 (%)は、国の原子力災害対策本部が発表している「農地土壌から玄米等への移行の見地」の中で示される、移行の指標は0.1 (10%)⁵⁾よりも十分に小さい値であった。

結論

汚染された田んぼの土壌中の放射性物質と収穫期のイネの中に含まれる放射性セシウム濃度とその分布状況について解明した。

3地区の田んぼ内の土壌の放射性セシウム(Cs-134, Cs-137)の量は470~1,120 (Bq/kg)であった。イネのうち最も多く放射性セシウムを含んでいた部分は茎で17.3~61.1 (Bq/kg)であった。

コメの部分に含まれる放射性セシウムは5.34~22.1 (Bq/kg)で、国の基準である100 (Bq/kg)を下回っていた。

土壌中に含まれる放射性セシウムから稲、特にコメへの移行率は0.57~1.97 (%)であり、国の原子力災害対策本部で提示された移行率10 (%)を下回っていた。

追記

町は2012年農家に対して、コメの作付けの自粛要請を行った。しかし、一部の田んぼで試験作付けの栽培を行い、収穫されたコメのすべての放射性物質を測定した。その結果は、収穫されたすべてのコメで、国の基準値である100Bq/kgを下回ることが確認された。この結果を受け、2013年春より作付けを再開し、秋に収穫されたコメは全袋で放射性物質を測定し²⁻³⁾、全国への出荷が開始されている。

謝辞

本研究の試料収集にあたり、福島県双葉郡広野町役場除染対策グループの皆さまにご協力をいただきました。画像解析にあたり、純真学園大学井手口忠光教授にご協力をいただきました。本論文作成にあたり、皆さまのご協力に深謝いたします。

文献

- 1) 福島県における農業の現状と課題 日本銀行経済レポート BOJ Report and Reserch Papers 2013.5
- 2) Makoto SATO, Shigeto FUJIMURA, Satohiro FUJITA, Yukio SUZUKI, Yuuki SAKUMA and Masayuki OOWADA. Correlation of Radiocesium Concentrations between Brown Rice and Rice Straw, Brown Rice and Hull, Brown Rice and Five Internode. The Tohoku Branch, The Crop Science Society of Japan. 55 65-66, 2012
- 3) 渡部 喜智. 福島県におけるコメ全袋検査による不

- 安払拭への対応. 調査と情報 32 (9) 22-23 2012
- 4) 寺田 宙, 山口 一郎. 放射性物質による食品汚染の概要と課題. 保健医療科学 60 (4) 300-305, 2011
 - 5) 恩田 裕一. 試料採取法の確定. Radioisotopes 62, 767-773 2013
 - 6) 塚田 祥文, 武田 晃. 放射性核種の作物への移行. 最新農業技術 土壤施肥 vol.4 1-6 2011
 - 7) アイソトープ手帳 10 版 社団法人日本アイソトープ協会. 丸善. 東京. 20 2001
 - 8) 原子力発電事故への対応, 原子力災害に関する農作物の技術対策 Q & A, 稲の作付に関する考え方 農林水産省ホームページ (2013.12.31)
http://www.maff.go.jp/j/kanbo/kihyo02/godo/pdf/3_bunkatu2.pdf
<http://www1.town.bandai.fukushima.jp/data/download/pdf/2011/ganba06H230607.pdf>
http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/ine_sakutuke.html
 - 9) 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. 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 (1), 27-31, 2013
 - 10) 鈴木 良典. 福島県における除染の現状と課題. 国立国会図書館調査及び立法考査局 現地調査 リファレンス 3 97-108, 2013
http://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_8098959_po_074605.pdf?contentNo=1
 - 11) 野川 憲夫, 橋本 健, 田野井慶太郎, 中西 友子, 二瓶 直登, 小野勇治. 福島県の水田および畑作土壌からの ^{137}Cs , ^{134}Cs ならびに ^{131}I の溶出実験. Radioisotopes 60, 311-315 2011
 - 12) 田野井慶太郎, 橋本 健, 桜井 健太, 二瓶 直登, 小野 勇治, 中西 友子. 福島県における降下した放射性物質のコムギ組織別イメージングとセシウム 134 およびセシウム 137 の定量. Radioisotopes 60, 317-322 2011
 - 13) 大下 誠一, 川越 義則, 安永 円理子, 高田 大輔, 中西 友子, 田野井慶太, 牧野 義雄, 佐々木治人. 福島第一原子力発電所事故による低濃度放射性降下物に起因した土壌および野菜の放射性核種濃度の測定. Radioisotopes 60, 329-333 2011
 - 14) 塩沢 昌, 田野井慶太郎, 根本 圭介, 吉田 修一朗, 西田 和弘, 橋本 健, 桜井 健太, 中西 友子, 二瓶 直登, 小野 勇治. 福島県の水田土壌における放射性セシウムの深度別濃度と移流速度. Radioisotopes 60, 323-328 2011
 - 15) 水田における除染のための「反転耕」作業技術マニュアル 福島県農林水産部 2013.3