

特集論文 農林技術センター水田土壌および水稲における放射性物質のモニタリング（東京電力福島第一原子力発電所事故後の筑波大学農林技術センターにおける空間線量率と放射性物質のモニタリング）

著者	加藤 盛夫, 林 久喜, 菅原 慶子, 軽部 潔, 米川 和範, 松本 安広
著者別名	Kato Morio, Hayashi Hisayoshi, Sugawara Keiko, Karube Kiyoshi, Yonekawa Kazunori, Matsumoto Yasuhiro
雑誌名	筑波大学農林技術研究
号	3
ページ	11-16
発行年	2015-03-31
その他のタイトル	Monitoring of Radioactive Substances in the Paddy Soil and Rice at Agricultural and Forestry Research Center (Survey on the Air Dose Rate of Radiation and Radioactive Substances at Agricultural and Forestry Research Center, University of Tsukuba, after the Catastrophic Accident of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant)
URL	http://hdl.handle.net/2241/00124175

特集論文

農林技術センター水田土壌および水稲における 放射性物質のモニタリング

加藤盛夫^{1,2*}・林 久喜^{1,2}・菅原慶子²・軽部 潔²・米川和範²・松本安広²

¹ 筑波大学生命環境系

305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

² 筑波大学農林技術センター

305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1

要 旨

東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所の事故により放出された放射性物質は、広く環境中に拡散して農地に蓄積しており、茨城県のような低汚染地域でも食に対する不安に配慮するために土壌への放射性物質の蓄積および農作物への移行を明らかにする必要がある。農林技術センターで栽培した水稲品種コシヒカリについて土壌および植物体の放射性物質濃度を測定して土壌への蓄積と米への移行実態を調査した。2011年の耕起前土壌の放射性物質濃度は高かったが、耕起後は減少した。稲わらからは約半数の圃場で低濃度の¹³⁷Csが検出された。米については¹³⁷Csがぬかで検出される場合が多かったが、低レベルであった。2012年の稲わらおよびぬかから¹³⁷Csが検出されたが、濃度は非常に低かった。水田土壌表層における放射性セシウム濃度は耕うんにより減少するとともに年とともに低下し、水稲への移行も少ないことが明らかになった。

キーワード：耕起、米、水稲、放射性物質、土壌

緒 言

2011年東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所の事故により放出された放射性物質は、深刻な農地汚染を引き起こし、特に福島県では水田面積の約7%にあたる7300haで平成24年産米の作付けが制限された。その後も米の安全確保を目的として米の作付方針が定められている(農林水産省2013)。放射性物質は広く環境中に拡散し、茨城県でも農地に蓄積しており、長期にわたり半減期の長い放射性セシウムによる影響が懸念される。セシウムはアルカリ金属に分類され、土壌中ではCs⁺として存在し、K⁺と類似の挙動をして土壌粘土鉱物などに強く吸着されるといわれる(日本土壌肥料学会

2011、農林水産省・福島県ら2014)。しかし、米は毎日食べる主食であるため茨城県のような低汚染地域でも土壌への放射性物質の蓄積および米への移行を明らかにする必要がある。そこで本研究では農林技術センター水田において栽培時期および施肥条件の異なる圃場ごとに放射性物質の各核種の濃度を土壌および水稲地上部部位について測定し、放射性物質の水田土壌への蓄積および水稲への移行特性を調査した。

材料および方法

1. 圃場概要

農林技術センター水田面積は全体として2.3haで1区画20a～34aの9枚の均一栽培水田

*連絡者：筑波大学生命環境系

305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1

E-mail：kato.morio.fe@u.tsukuba.ac.jp

では水稲品種コシヒカリを栽培し、収穫した米を販売している。圃場により移植時期は4月下旬から5月下旬まで約1か月の差があるとともに、一部の圃場では有機質肥料を使用して窒素施肥のうち化学肥料由来窒素量を低減する特別栽培を実施している(表1)。

2. 土壌サンプリング

2011年は事故直後における放射性物質の土壌への蓄積と栽培後の変化を見るために、移植時期が早い3号圃(4月26日移植)と最も遅い9号圃(5月24日移植)から水田の表層土壌を採取した。両圃場とも春の耕起前と耕起後に対角線上の3地点から表層約5cmの土壌を採取し、混ぜ合わせて測定試料とした。耕起後の土壌については同様に1、2および4号圃の土壌を採取した。2012年には春の耕起後に1、2、3および4号圃から同様に表層土壌を採取して分析試料とした。

3. 水稲サンプリング

2011年は栽培時期の異なる2、4、6および8号圃において収穫前に数株の地上部を刈取り、穂と茎葉部に分け、細断して分析試料とした。また、収穫後の収穫物については、全圃場で玄米、ぬか、精米およびわらを分析に供した。2012年は1、3、6、7および8号圃において前年同様に地上部の分析を行うとともに、収穫物については玄米、精米、ぬかおよび籾殻の分析を行った。2013年は2、4および6号圃について籾と茎葉を分析した。

4. 放射性物質濃度の測定

放射性物質核種として¹³¹I、¹³⁷Csおよび¹³⁴Cs濃度を筑波大学アイソトープ環境動態研究センターにおいてゲルマニウム半導体検出器(米国ORTEC社、セイコー・イージーアンドジー(株))により計測した。

結 果

1. 水田表層土壌における放射性物質濃度

2011年の事故後の土壌における放射性物質各核種の濃度は、事故約1ヶ月後の4月上旬に採取した耕起前の3号圃では¹³¹Iが2810 Bq/kgFW、¹³⁷Csが96 Bq/kgFW、¹³⁴Csが614 Bq/kgFWと高かったが、耕起後はそれぞれ145、82、90 Bq/kgFWに低下した。事故約2ヶ月後に採取した9号圃では¹³¹Iは検出されず、¹³⁷Cs、¹³⁴Csの濃度はそれぞれ耕起前88、74 Bq/kgFW、耕起後29、25 Bq/kgFWであった(表2)。1号圃、2号圃および4号圃の耕起後の土壌の濃度は¹³¹I、¹³⁷Cs、¹³⁴Csそれぞれ121~181、52~138、70~105 Bq/kgFWの範囲で栽培時期が遅くなると低下する傾向にあった(表3)。2012年は半減期が8日程度の¹³¹Iは検出されず、1~4号圃で¹³⁷Cs、¹³⁴Csそれぞれ42~61、27~36 Bq/kgFWで2011年から大きく低下した。

2. 放射性物質のイネへの移行

2011年の栽培時期の異なる2、4、6および8号圃から収穫前に刈り取ったイネ地上部については、6号圃の穂のみから¹³⁷Csが検出された(表4)。米については1号圃以外の玄米で¹³⁷Cs

表1 農林技術センター水田栽培概要(2011年 品種:コシヒカリ)

圃場	面積 a	移植日	収穫日	窒素施肥量 [#] kg/10a	施肥法
1	19.6	5月2日	9月9日	6.3 (0)	全層
2	19.6	5月2日	9月9日	6.3 (3.15)	全層
3	19.6	4月26日	9月5日	6.3 (3.15)	全層
4	19.6	4月25日	9月5日	6.3 (3.15)	全層
5	21.1	5月9日	9月14日	8.0 (5.6)	側条
6	22.2	5月10日	9月14日	8.0 (5.6)	側条
7	23.3	5月17日	9月21日	6.3 (3.15)	側条
8	24.4	5月17日	9月21日	6.3 (3.15)	側条
9	34.3	5月24日	9月27日	6.3 (3.15)	側条

: ()内の数値は窒素施肥量のうち化学肥料由来の量

表2 2011年水田土壌の耕起前後における放射物質濃度

圃場		核種 Bq/kgFW		
		¹³¹ I	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs
3号圃	耕起前	2810	96	614
	耕起後	145	82	90
9号圃	耕起前	ND	88	74
	耕起後	ND	29	25

注1) NDは検出限界以下を示す。

注2) 土壌採取日：3号圃 耕起前 4月8日
 耕起後 4月13日
 9号圃 耕起前 5月9日
 耕起後 5月16日

表3 水田土壌における放射性物質濃度の年次推移

圃場	年	核種 Bq/kgFW		
		¹³¹ I	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs
1号圃	2011	181	138	105
	2012	ND	54	36
2号圃	2011	181	74	55
	2012	ND	54	27
3号圃	2011	145	82	90
	2012	ND	61	32
4号圃	2011	121	52	72
	2012	ND	42	27
	2013	—	46	27

注) NDは検出限界以下を示す。

表4 2011年産水稲(品種コシヒカリ)の部位別放射性物質濃度(Bq/kgFW)

圃場	籾		枝梗		茎葉	
	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs
2号圃	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4号圃	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6号圃	4.92	ND	22.40	ND	ND	ND
8号圃	ND	ND	ND	ND	ND	ND

注1) NDは検出限界以下を示す。

注2) 収穫期に各圃場から地上部を刈取り、籾、枝梗、その他(茎葉)に分別して測定した。

と¹³⁴Csが検出されたが、その量は微量であった。精米からも1、5、9号圃以外で微量ながら¹³⁷Csと¹³⁴Csが検出された。1、2、3、4および8号圃ではぬかで¹³⁷Csあるいは¹³⁴Csが検出される場合が多く、その値は玄米および精米に比べて高かった。稲わらからは4、5号圃以外で¹³⁷Csが検出された(表5)。

2012年の稲わらは1、7～9号圃で¹³⁷Csが検出されたが、その値は1.2～2.0 Bq/kgFWと前年に比べてさらに低下した。籾での検出も1、

6、8号圃で0.8～1.9 Bq/kgFWとわずかであった(表6)。収穫物の米についても玄米で検出されたのは2、3、5、8、9号圃で0.34～0.47 Bq/kgFWと微量であり、精米からは6号圃のみ¹³⁴Csが0.37 Bq/kgFW検出された(表7)。また、収穫後の副産物としてぬかからは1、2号圃と9号圃で¹³⁷Cs、¹³⁴Csが検出された(表8)。2013年は2号圃の籾(¹³⁴Cs 0.4 Bq/kgFW)で検出されたのみであった。

表5 2011年産米(品種コシヒカリ)および稲わらの放射性物質濃度(Bq/kgFW)

部位 圃場	玄米		ぬか		精米		わら	
	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs
1号圃	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5.10	ND
1号圃	—	—	5.28	3.95	—	—	ND	ND
2号圃	0.78	0.56	7.38	ND	0.24	ND	4.53	ND
3号圃	0.98	0.57	7.35	ND	0.52	ND	3.50	ND
4号圃	1.01	0.82	ND	9.30	0.32	ND	ND	ND
5号圃	1.03	0.46	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6号圃	0.85	0.63	ND	ND	0.32	0.43	5.30	ND
7号圃	0.90	0.49	ND	ND	0.32	0.25	5.20	ND
8号圃	0.72	0.50	6.93	5.82	0.42	0.31	14.80	ND
9号圃	0.90	0.51	ND	ND	ND	ND	6.20	ND

注1) NDは検出限界以下を示す。

注2) 各圃場から収穫調整後の玄米、精米後のぬか、精米、わらについては収量調査後の稲わらを測定した。

表6 2012年産水稻(品種コシヒカリ)の部位別放射性物質濃度(Bq/kgFW)

部位 圃場	籾		茎葉	
	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs
1号圃	0.88	ND	2.00	ND
3号圃	ND	ND	ND	ND
6号圃	1.90	ND	ND	ND
7号圃	ND	ND	1.90	1.20
8号圃	0.82	ND	1.20	1.20
9号圃	—	—	1.60	ND

注)NDは検出限界以下を示す。

表7 2012年産米(品種コシヒカリ)の放射性物質濃度(Bq/kgFW)

部位 圃場	玄米		精米	
	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs
1号圃	ND	ND	ND	ND
2号圃	0.44	ND	ND	ND
3号圃	ND	0.34	ND	ND
5号圃	0.41	ND	ND	ND
6号圃	ND	ND	ND	0.37
7号圃	ND	ND	ND	ND
8号圃	0.47	ND	ND	ND
9号圃	0.44	ND	ND	ND

注)NDは検出限界以下を示す。

表8 2012年産副産物の放射性物質濃度(Bq/kgFW)

部位 圃場	ぬか		籾殻	
	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs
1・2号圃	1.40	1.60	ND	ND
5・6号圃	ND	ND	ND	ND
7・8号圃	ND	ND	ND	ND
9号圃	2.1	1.6	2.60	ND

注)NDは検出限界以下を示す。

考 察

福島第一原子力発電所の事故による放射性物質の飛散は広範囲に及び、筑波大学を含む茨城県南部の一部地域でも比較的高い空中放射線量が観測された(筑波大学アイソトープ環境動態研究センター2012)。このような放射性物質降下地域における食と生活の安全・安心を担保するために、主食である米を生産する農林技術センター水田における放射性物質の蓄積と水稻への移行を調査した。

2011年の事故発生約1ヶ月後に採取した耕起前の3号圃土壌には降下した放射性物質の¹³¹I、

¹³⁷Cs、¹³⁴Csがそれぞれ2810、96、614 Bq/kgFWと高い濃度で蓄積していたが、耕起後はそれぞれ145、82、90 Bq/kgFWに減少した。事故発生約2ヶ月後に採取した9号圃土壌では耕起前でも半減期が8日程度の¹³¹Iは検出されず、¹³⁷Cs、¹³⁴Csの濃度はそれぞれ耕起前88、74 Bq/kgFW、耕起後29、25 Bq/kgFWであった(表2)。採取時期が3号圃と9号圃の間になる1号圃、2号圃、4号圃の耕起後の濃度は時間の経過につれて低下する傾向にあった。なお、かんがい水の水源である兵太郎池の水からは放射性セシウムは検出されておらず、土壌から検出された放射性セシウムは水田に直接降下したものと考えられた。以上のことから水田表層土壌の放射性物質濃度は時間の経過につれて低下するとともに、耕うん作業により下層土に移動して大きく低下することがわかった。2012年は¹³¹Iは検出されず、1～4号圃で¹³⁷Cs、¹³⁴Csそれぞれ42～61、27～36 Bq/kgFWで2011年から大きく低下したが、その低下程度は圃場により異なった。

水稻では土壌から白米への移行係数(白米1kg当たりの放射性物質濃度/土壌1kg当たりの放射性物質濃度の比)は0.00021～0.012との報告があり(Tsukuda et al.2002)、本調査でも土壌に比べて植物体の放射性物質濃度はかなり低かった。農林技術センター水田ではコシヒカリを栽培している1～9号圃ごとに50株を刈取り、収量調査を実施しているが、2011年はその収量調査終了後の稲わらについて放射性物質濃度を測定した。その結果、9圃場のうち7圃場のわらから¹³⁷Csが検出されたが、その値は3.5～14.8 Bq/kgFWの範囲で、9号圃のみが高かったが、稲わらの場合には水稻が吸収した分だけでなく、表面に付着した表土の影響も考えられる。

収穫物の玄米からは1号圃を除いて¹³⁷Csと¹³⁴Csが検出され、精米は6圃場から¹³⁷Csが検出されたが、いずれも検出限界に近い値であった。一方、ぬかは4圃場から¹³⁷Csが検出されたが、その値は玄米よりは高い値であった。以上のことから、放射性セシウムの水稻植物体への移行は少なく、さらに可食部である穂、特に精米への移行は極めて少ないことが明らかとなった。茨城県産米の調査でも平成23年産米については359点中356点は検出せず(限界値:放射性セシウム20 Bq/kgFW)と報告されている(茨城県2011)。2012年の玄米・精米からも一部圃場から¹³⁷Csあるいは¹³⁴Csが検出されたが、その値は小

数点以下であった。平成24年産茨城米については検査1334点中検出せずが1220点、50 Bq/kgFW未満が114点と報告されている(茨城県2012)。

以上の調査から、水田圃場の土壌中の放射性セシウム濃度は年とともに低下し、特に耕うんにより土壌表層の濃度は顕著に低下することが明らかとなった。土壌中の放射性物質の水稲への移行は少なく、穂へ移行してもぬか層に吸着するので精米への移行はわずかであることが明らかとなった。しかし、水田や農林技術センターのような黒ボク土における放射性セシウムの振舞いについては化学的な理解が十分に進んでいない(塚田・武田2011)。土壌中には放射性セシウムは依然として吸着されているので、収穫部への移行を防ぎ、食の安全を確保するために土壌管理と組み合わせた総合的対策が必要である。

謝 辞

放射性物質濃度は筑波大学アイソトープ環境動態研究センターのゲルマニウム半導体検出器により計測した。種々便宜を図っていただいた松本宏センター長(筑波大学生命環境系教授)はじめ同センター職員の皆様に感謝申し上げます。なお、本調査は筑波大学東日本大震災復興・再生支援プログラムの支援を受けて実施された。

引用文献

- 茨城県(2011)平成23年産米の放射性物質検査結果。
<http://www.pref.ibaraki.jp/20110311eq/index33.html>(参照2014年12月13日)
- 茨城県(2012)平成24年産米の放射性物質検査結果。
<http://www.pref.ibaraki.jp/nourin/sansin/kome/info/komekensa.html>(参照2014年12月13日)
- (一社)日本土壌肥料学会(2011)土壌・農作物等への原発事故影響WG 原発事故・津波関連情報 原発事故関連情報(1):放射性核種(セシウム)の土壌-作物(特に水稲)系での動きに関する基礎的知見
<http://jssspn.jp/info/nuclear/post-15.html>
 (参照2011年5月13日)
- 農林水産省(2013)25年産米の作付等に関する方針。
<http://www.maff.go.jp/i/kanbo/joho/saigai/pdf/25houshin.pdf>(参照2014年12月13日)
- 農林水産省、福島県、(独)農業・食品産業技術総合研究機構、(独)農業環境技術研究所(2014)放射性セシウム濃度の高い米が発生する要因とその対策について～要因解析調査と試験栽培等の結果のとりまとめ～(概要 第2版)。
http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/pdf/youin_kome2.pdf(参照2014年12月13日)
- Tsukada, H., Hasegawa H., Hisamatsu S. and Yamasaki S. (2002) Rice uptake and distributions of radioactive ¹³⁷Cs, stable ¹³³Cs and K from soil. Environ. Poll. 117: 403-409.
- 塚田祥文・武田晃(2011)放射性核種の作物への移行。最新農業技術 土壌施肥vol.4. 農文協、東京. pp1-6.
- 筑波大学アイソトープ環境動態研究センター(2012)2012.03.31まで放射線量モニタリングデータ
http://www.tsukuba.ac.jp/disaster0311/images/monitor_2011.png(参照2015年2月3日)

Monitoring of Radioactive Substances in the Paddy Soil and Rice at Agricultural and Forestry Research Center

Morio KATO^{1,2*}, Hisayoshi HAYASHI^{1,2}, Keiko SUGAWARA²

Kiyoshi KARUBE², Kazunori YONEKAWA² and Yasuhiro MATSUMOTO²

¹ Faculty of life and environmental Sciences, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki,305-8572, Japan

² Agricultural and Forestry research center, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577, Japan

Abstract

The radioactive substances, which was emitted by the accident of the first nuclear power plant of Tokyo Electric Power Fukushima in 2011, has spread in environment widely and accumulated in farmland. The pollution in Ibaraki prefecture is slight compared to Fukushima. But it is necessary to clear the accumulation of the radioactive substances to soil, and the shift to agricultural products in such lower contaminated area for making consumers being relieved. The radioactive substances concentrations of paddy soil and rice were measured for every paddy field plot in Agricultural and Forestry Research center, University of Tsukuba. In 2011 the radioactive substances concentration of the soil was high, but the concentration decreased after plowing. Low-concentration ¹³⁷Cs was detected from the straw in more than half plots in 2011. ¹³⁷Cs was also detected in rice grain. In 2012 ¹³⁷Cs of very low concentration was detected in straw and rice bran. The concentration of radioactive cesium of a paddy soil surface decreased with the year while it decreased by plowing.

Key words: Paddy rice, Plowing, Radioactive substance, Rice, Soil

*Corresponding Author: Morio KATO Faculty of life and environmental Sciences, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8572, Japan
E-mail: kato.morio.fe@u.tsukuba.ac.jp