

## 農地における土壌中の放射性セシウム濃度及び空間線量率の推移\*

八代沙絵子・湯田美菜子<sup>1</sup>・大越聡・齋藤正明・渡邊善仁<sup>2</sup>  
 中村フチ子<sup>3</sup>・井倉将人<sup>4</sup>・木方展治<sup>4</sup>

## Changes in radiocesium concentrations and air dose rates on agricultural land\*

Saeko YASHIRO, Minako YUDA<sup>1</sup>, Satoru OHKOSHI, Masaaki SAITOU, Yoshihito WATANABE<sup>2</sup>,  
 Fuchiko NAKAMURA<sup>3</sup>, Masato IGURA<sup>4</sup> and Nobuharu KIHOU<sup>4</sup>

## Abstract

Changes in radiocesium (RCs) concentrations in soils and in air dose rates were investigated from 2012 to 2020 at approximately 80 to 100 points on agricultural land in Fukushima. Soil RCs concentrations and air dose rates continued to decrease in non-decontaminated rice paddies and fields until 2016; after 2017, both showed a more gradual downward trend than before 2016. In non-decontaminated orchards and grasslands, there was a decreasing trend, although the values increased or decreased from year to year. In most of the decontaminated fields, the RCs concentrations and air dose rates in the soil were lower than in the non-decontaminated fields. In particular, topsoil removal and inverted tillage had a significant effect on reducing top 15cm of soil RCs concentrations and air dose rates. We expect that the RCs concentrations and air dose rates in the soil of non-decontaminated fields, excluding orchards and grasslands, will continue to decrease by about the same amount to 10% lower than that predicted from physical decay.

(Received October 1, 2021 ; Accepted March 9, 2022)

Key words : agricultural lands, soil, radiocesium concentration, air dose rate

キーワード : 農地、土壌、放射性セシウム濃度、空間線量率

## 1 緒言

東京電力福島第一原子力発電所事故に伴い大気中に放出された放射性セシウムは、風により運ばれ、降雨等により海面や地表面に降下した。放出された放射性セシウム全体の約 20%が陸域に沈着したと

推定されており (Morino *et al.* 2011、Koo *et al.* 2014)、現在も農地などに残存している。<sup>134</sup>Cs と <sup>137</sup>Cs の半減期はそれぞれ約 2 年、約 30 年であり、特に <sup>137</sup>Cs は長期間の影響が懸念されている。この放射性セシウムによる農地の汚染実態を把握するため、事故翌

受付日 2021 年 10 月 1 日、受理日 2022 年 3 月 9 日

\* 本研究は 農林水産省「放射性物質測定調査委託事業」で実施した。

1 現県中農林事務所農業振興普及部

2 現農業総合センター会津地域研究所

3 現県北農林事務所安達農業普及所

4 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境研究部門

年の2012年以降、避難指示区域を除く福島県内の農地に調査地点を設定し、土壌と作物の放射性セシウム濃度及び空間線量率を継続して調査している。本報では、土壌中の放射性セシウム濃度と空間線量率について2012年から2020年までの経年変化の実態を報告する。

## 2 試験方法

2012年に生産者が作付けを実施するほ場を調査地点として選定し、同一ほ場について、2020年まで9年間にわたり、土壌中の放射性セシウム濃度と空間線量率を年1回調査した。調査対象ほ場は、水田、畑地、樹園地及び草地とし、調査ほ場は試験委託元との協議により選定した。2016年まではほ場約100地点、2017年から2019年は前回より20地点減らした約80地点、2020年は樹園地20地点を新たに追加した約100地点を調査地点とした(表1)。また、調査地点の位置を図1に示した。

表1 調査地点数

調査回	調査年度	調査地点数				計
		水田	畑地	樹園地	草地	
1	2012	50 (9)	30 (5)	16 (4)	11 (2)	107
2	2013	50 (9)	30 (9)	16 (4)	11 (5)	107
3	2014	50 (9)	30 (10)	16 (4)	11 (5)	107
4	2015	50 (11)	30 (11)	16 (4)	11 (5)	107
5	2016	50 (13)	30 (11)	16 (4)	11 (5)	107
6	2017	41 (6)	22 (8)	14 (3)	9 (5)	86
7	2018	41 (6)	22 (10)	14 (3)	9 (5)	86
8	2019	39 (6)	22 (10)	14 (4)	9 (5)	84
9	2020	39 (9)	22 (10)	34 (9)	9 (5)	104

- ※ ()内は調査時点での除染ほ場数  
 ※ 樹園地の除染ほ場の内、2012~2018年の数値は樹体洗浄及び粗皮削りを行ったほ場数

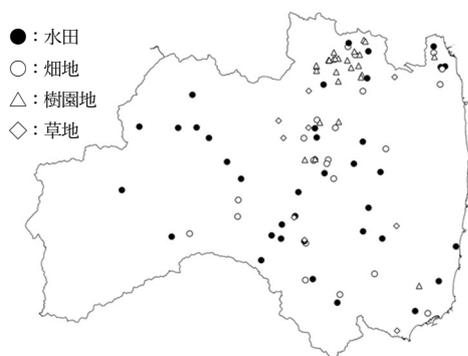


図1 調査地点 (2020年度、全104地点)

### (1) 土壌採取及び調製方法

土壌採取は、水田では収穫後に、畑地、樹園地及び草地(1番刈り又は2番刈り)では収穫時に行った。土壌採取方法は、ほ場の対角線の交点及び対角線の交点と各頂点との midpoint の計5カ所について、水田と畑地では採土器(ハンドサンプラーHS-25M; 藤原製作所)を用い、直径8cm、深さ15cmまでの土壌を採取した。また、樹園地と草地はほ場が固く、礫が多いため、直径5cmの採土器(ハンドサンプラーHS-25S; 藤原製作所)を用い、深さ15cmまでの土壌を採取した。採取した土壌は混合し40°Cで風乾後、篩(2mm)を用いて、砂礫や植物体残渣を取り除き、均質に調整し、放射性セシウム濃度の測定に供した。

### (2) 土壌分析及び空間線量率測定方法

土壌中の放射性セシウム濃度は、NaIシンチレーション検出器(応用光研工業株式会社製、FNF-401)を用いて測定した。測定時間は2,000秒とし、乾土1kg当たりのBqで表示した。土壌試料採取日がそれぞれ異なることから、毎年12月1日を基準日として測定値を減衰補正した。なお、本報告では $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ を合わせて放射性セシウムと記す。

空間線量率は、シンチレーションサーベイメータ(日立アロカメディカル製、TCS-172B)を用いて、ほ場内の土壌採取地点5カ所を1mの高さで測定し、平均値を求めた。

### (3) ほ場の管理状況等

生産者聞き取りにより除染の実施状況や耕耘方法の確認をした。

## 3 試験結果

除染は、一部の調査ほ場において2012年の調査開始前から調査期間中にかけて、ほ場ごとに異なった年度で実施された。除染方法は、水田では深耕、畑地では深耕や反転耕、樹園地では表土除去や樹体洗浄や粗皮削り、草地では反転耕が行われた。

未除染と除染済ほ場の集計方法については、2012年度と2020年度の比較では、2012年の調査開始以降に除染が行われたものを除染済とした。また、経

年的実態では、調査時点で除染が行われたほ場は、新たに除染済ほ場として集計した。なお、樹園地で2012年から2018年に行われた樹体洗浄及び粗皮削りは、樹体表面の放射線量が大きく低下するため(阿部ら 2014)、本報での空間線量率のデータにおいては除染ほ場、土壤中の放射性セシウム濃度のデータにおいては未除染ほ場として整理した。

(1) 土壤中の放射性セシウム濃度

2012年度と2020年度の土壤中の放射性セシウム濃度について、物理的減衰から予測される値(以下「予測値」という)及び予測値から求められる減少率(以下「予測減少率」という)と比較した。予

測値は原子力災害対策本部(2011)の資料を参考に<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csの減衰割合を考慮し合算値から算出し、予測減少率は予測値のグラフの傾きから算出した。その結果、各地目における未除染ほ場の回帰式で比較すると、減少率は水田で53%、樹園地で45%と予測減少率49%とほぼ同等であった。一方、畑地では57%、草地では61%と予測減少率よりもやや大きく低下していた。除染ほ場の回帰式で比較すると減少率は水田で55%と予測減少率よりもやや低かったが、他の地目については、畑地で67%、樹園地で78%、草地で85%と予測減少率よりも大きく低下していた(図2、表2)。

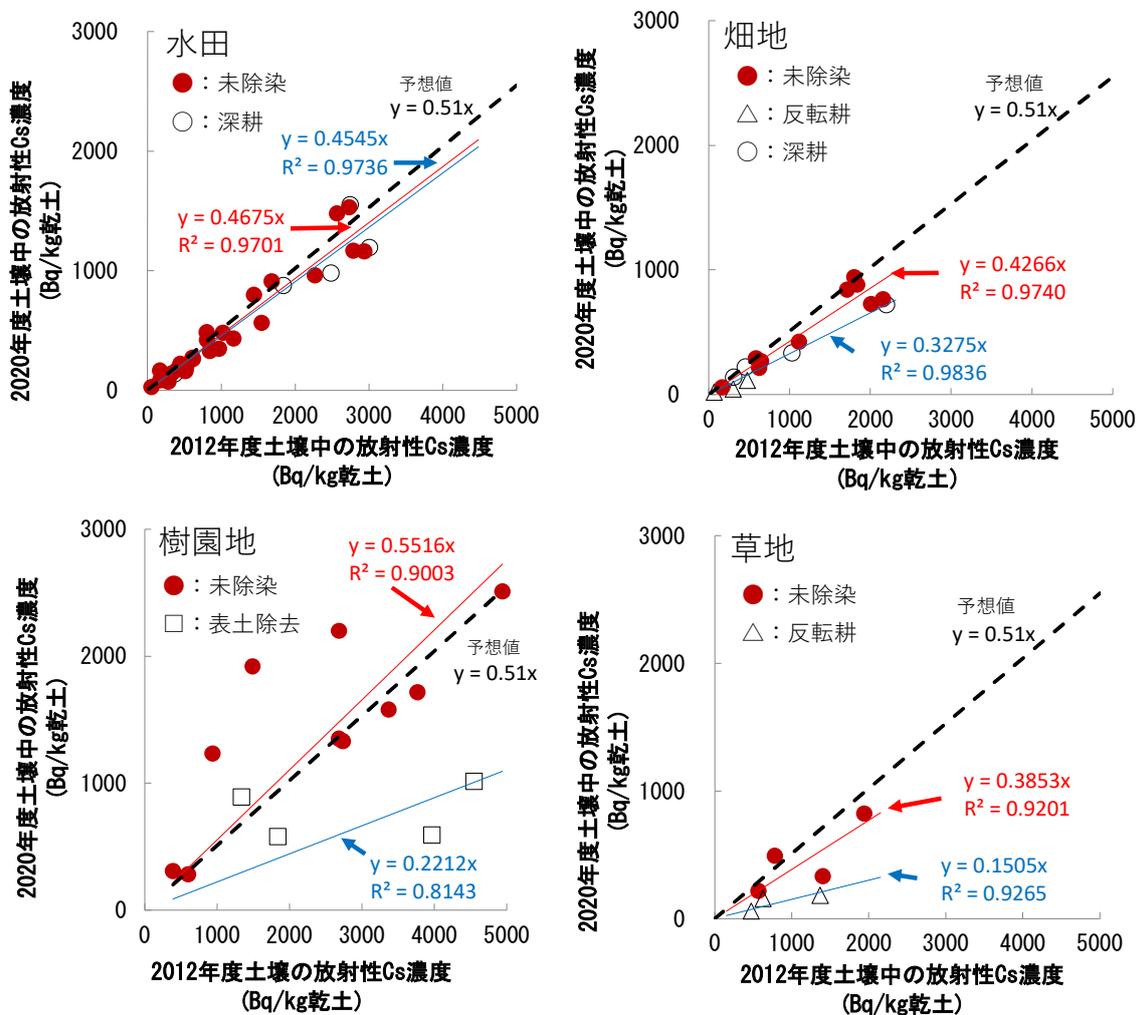


図2 土壤中の放射性セシウム濃度(2012、2020年度)と物理的減衰による2020年度の予測値との比較

※本調査開始前に除染を実施済のほ場は除く。  
 ※2012年~2020年の9年間継続して調査したほ場データを記載した。  
 ※図中の赤線は未除染ほ場の回帰直線、青線は除染ほ場の回帰直線を示す。  
 ※図中の破線は物理的減衰から予測される値を示す。

表2 2012年と比較した2020年における土壤中の放射性セシウム濃度の減少率(%)

	未除染	除染
水田	53	55
畑地	57	67
樹園地	45	78
草地	61	85

※ 予測減少率は49%

土壤中の放射性セシウム濃度を経年で比較すると、未除染ほ場の水田及び畑地は2016年までは継続的に低下し、2017年以降は2016年までと比較すると緩やかな低下傾向を示した。これは、2017年以降に半減期の短い<sup>134</sup>Csがほぼ検出されなくなり、半減期の長い<sup>137</sup>Csが主となったためであると推測される。樹園地と草地は年次間で増減が見られるものの低下の傾向が見られた(図3)。

(2)空間線量率

空間線量率の予測値及び予測減少率についても土壤中の放射性セシウム濃度と同様に<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csの減衰割合及び<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csが空間線量率に与える寄与率から算出した。

2012年度と2020年度の空間線量率を比較した結果、各地目における未除染ほ場の回帰式から求めた減少率で比較すると、水田で70%、畑地で71%と予測減少率の68%とほぼ同等であった。一方、樹園地では81%、草地では79%と予測減少率よりもやや大きく低下していた。除染ほ場の回帰式から求めた減少率で比較すると、水田で70%、畑地で71%と予測減少率とほぼ同等であったが、草地では87%と予測減少率よりも大きく低下していた(図4、表3)。草地の除染ほ場では、未除染ほ場よりも空間線量率が大きく低下していた。一方で水田、畑地では除染

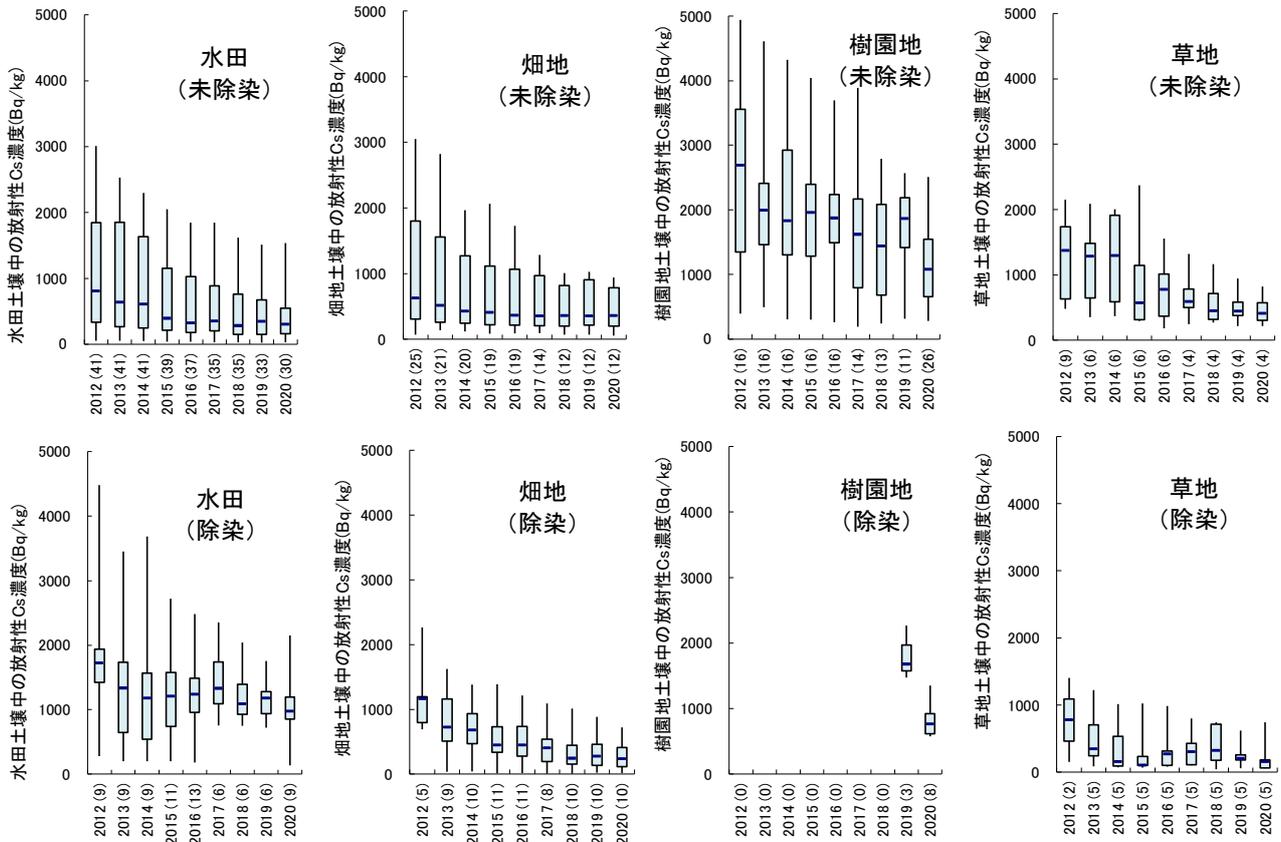


図3 土壤中の放射性セシウム濃度の経年的実態

※調査時点で除染が行われたほ場は新たに除染ほ場として集計した。

※横軸( )内は調査ほ場数

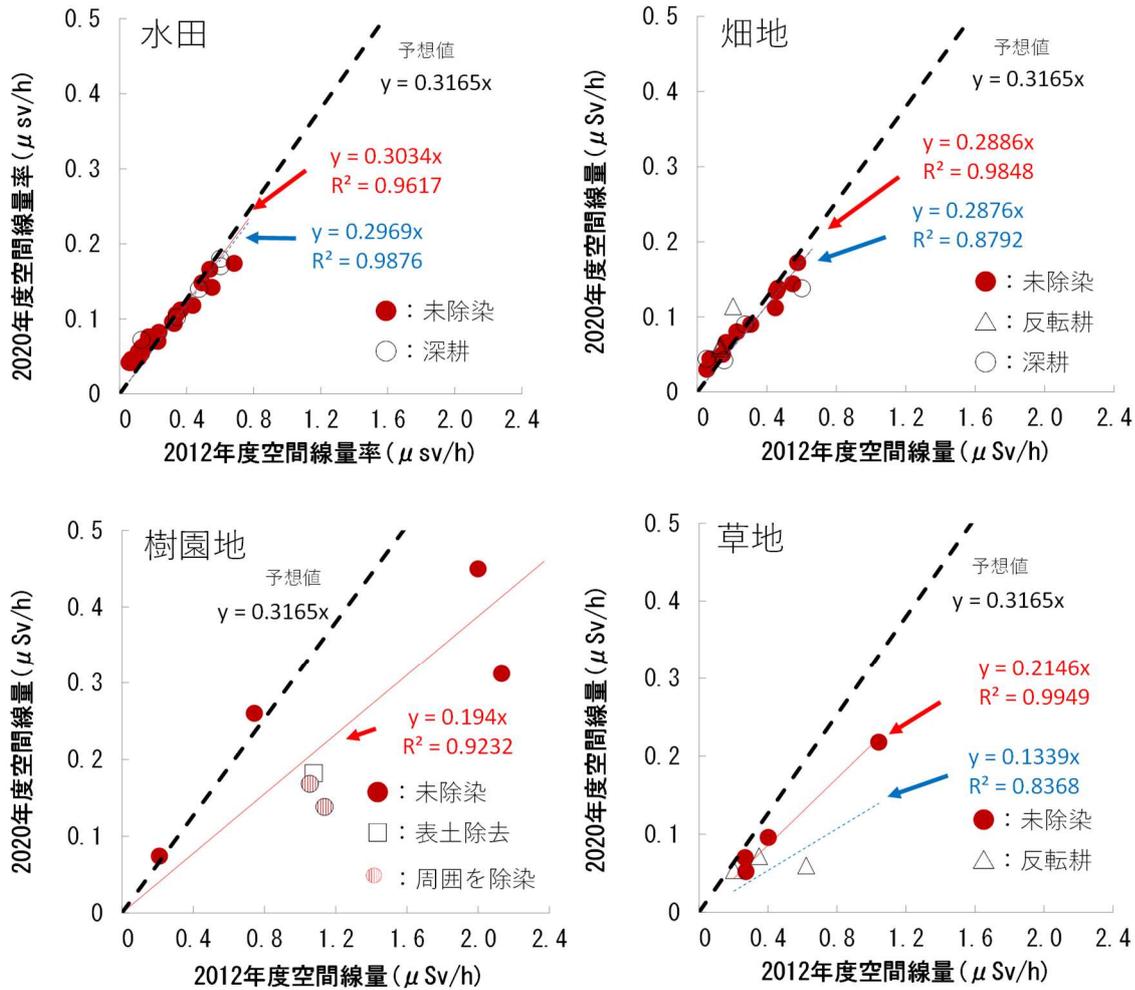


図4 空間線量率（2012、2020年度）と物理的減衰による2020年度の予測値との比較

※本調査開始前に除染を実施済みのほ場は除いた。

※2012年～2020年の9年間継続して調査したほ場データを記載した。

※表中の赤線は未除染ほ場の回帰直線、青線は除染ほ場の回帰直線を示す。

※空間線量率に影響がある可能性があるため、調査樹の樹冠の周囲の表土のみを除染した2ほ場のデータは外した。

表3 2012年と比較した2020年における空間線量率の減少率（%）

	未除染	除染
水田	70	70
畑地	71	71
樹園地	81	—
草地	79	87

※ 予測減少率は68%

の有無による空間線量率の違いは見られなかった。また、樹園地で調査樹の樹冠の周囲の表土のみを除染した2ほ場では、空間線量率が予測値よりも低い値を示した。空間線量率を経年で比較すると、未除染ほ場の水田及び畑地は2016年まで継続的に低下し、その後は緩やかな低下傾向を示した。これは、

土壤中の放射性セシウム濃度が2017年以降半減期の長い<sup>137</sup>Csが主となったことにより減少の程度が緩やかになったためであると推測される。樹園地と草地は年次間で増減が見られるものの低下の傾向が見られた（図5）。

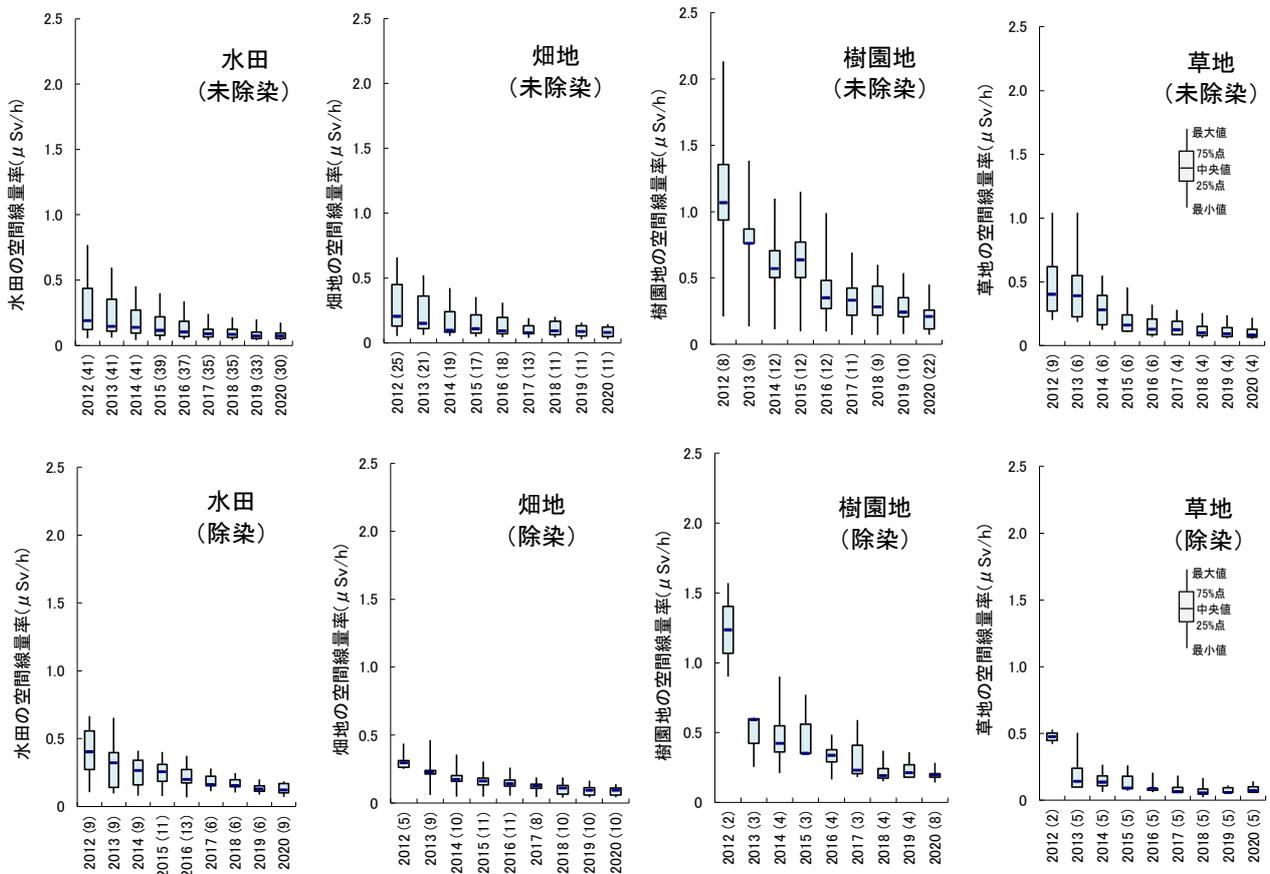


図5 空間線量率の経年的実態

※空間線量率に影響がある可能性があるため、調査樹の樹冠の周囲の表土のみを除染した2ほ場のデータは外した。

※樹園地の除染ほ場の2012年から2018年の値は樹体洗浄および粗皮削りを行ったほ場の空間線量率を示す。

※横軸 ( ) 内は調査ほ場数

#### 4 考察

##### (1) 土壌中の放射性セシウム濃度

未除染ほ場については、畑地が水田よりも放射性セシウム濃度が低下したが、農林水産省の調査(2016)においても、水田よりも畑地で放射性セシウムの顕著な下方移動が確認されており、これは高い排水性や孔隙率により水田と畑地で下層への移動量が異なることが影響していると推測されている。本調査において水田及び畑地の土壌中の放射性セシウム濃度は予測値よりも5~10%程度低く推移している傾向にあり、これは放射性セシウムの物理的減衰に加え、土壌中の水移動に伴った下方移動や表面流去等による放射性セシウムの作土外への移動(農林水産省2016)により減少していると考えられ、今後も予測

値よりも低く推移していくと予想される。樹園地及び草地では、2012年度と2020年度の比較で予測値よりも大きく増減したほ場が見られたが、これらのほ場では経年変化においても年次間で増減が見られた。農林水産省の調査(2013)においても、耕起をしていない除染前のほ場において同一ほ場内で放射性セシウム濃度の水平分布にばらつきが見られるほ場が確認されている。果樹園や草地では水田や畑地とは異なり、耕起等の土壌を攪拌する管理作業を行わないため、ほ場内で放射性セシウム濃度の分布にばらつきが存在し、このことにより年次間の増減が生じたと推測される。

除染ほ場については、地目別に見ると、水田では予測減少率よりも5%減程度にとどまったが、これ

は水田の除染方法が耕起深 20cm の深耕が多く、他の地目よりも耕起深が浅く、表層 15cm の土壤中の放射性セシウム濃度の低下への影響が小さかったためであると考えられる。畑地では、水田よりも土壤中の放射性セシウム濃度が低下しているが、除染方法が水田より深い深耕ロータリやプラウを用いた 30cm 程度の深耕又は反転耕で行われたため、除染により表層 15cm の放射性セシウム濃度が低下したものと考えられる。水田や畑地で行われた深耕は吸収抑制対策として行われており（福島県農林水産部 2014）、土壤中の放射性セシウム濃度の大幅な低下は見られないものの、根域の確保による植物体への放射性セシウムの吸収を抑制する効果が期待できる。樹園地では、表土除去によりほ場内の放射性セシウムが除去されたため、草地では、反転耕によりほ場表面から放射性セシウムが 15cm より深い位置に移動されたため、表層 15cm の土壤中の放射性セシウムの濃度が予測値よりも大きく低下したと考えられる。

## （2）空間線量率

樹園地及び草地の未除染ほ場において、2012 年度と 2020 年度の比較で予測値よりも低下したほ場が見られたが、経年での比較では年次間で増減が見られており、これは同一ほ場内での土壤中の放射性セシウム濃度が不均一であることに加え、水田や畑地と異なり土壌表面が放射性セシウムの汚染の少ない下草や牧草に不均一に被覆されることが影響していると考えられる。

除染ほ場については、地目別に見ると、水田では減少率が予測減少率並であったが、これは水田の除染方法が耕起深 20cm の深耕が多く、表層 15cm の放射性セシウム濃度が予測減少率の 5% 減程度とあまり低下しなかったことが影響したと考えられる。畑地でも 2012 年度と 2020 年度の比較で減少率が予測減少率並であったが、これは畑地で主に行われた深耕が空間線量率を下げることを目的の除染ではなく、吸収抑制対策として行われているため、空間線量率の大きな低下に繋がらなかったと推測される。

## 5 摘要

2012 年に生産者が作付けを実施するほ場を調査地点として選定し、同一ほ場について、2020 年まで 9 年間にわたり、土壤中の放射性セシウム濃度及び空間線量率を年 1 回調査した。

土壤中の放射性セシウム濃度を経年で比較すると未除染ほ場では水田及び畑地で 2016 年までは継続的に低下し、2017 年以降は 2016 年までと比較すると緩やかな低下傾向を示した。これは、2017 年以降に半減期の短い  $^{134}\text{Cs}$  がほぼ検出されなくなり、半減期の長い  $^{137}\text{Cs}$  の値が主となったためであると推測される。樹園地及び草地は年次間で増減にばらつきが見られるものの低下傾向が見られ、これは同一ほ場内で放射性セシウム濃度の水平分布にばらつきが存在することが要因として考えられた。

空間線量率を経年で比較すると未除染ほ場では水田及び畑地で 2016 年まで継続的に低下し、2017 年以降は 2016 年までと比較すると緩やかな低下傾向を示した。これは、土壤中の放射性セシウム濃度が 2017 年以降半減期の長い  $^{137}\text{Cs}$  が主となったことにより減少の程度が緩やかになったためであると推測される。樹園地及び草地は年次間で増減があるものの低下の傾向が見られ、これはほ場内の放射性セシウム濃度が不均一であることに加え、下草や牧草による被覆状況の不均一性が影響していると考えられた。

除染は一部調査ほ場において 2012 年の調査開始前から調査期間中にかけてほ場ごとに異なった年度で実施されており、除染ほ場の多くは未除染ほ場よりも土壤中の放射性セシウム濃度及び空間線量率が大きく低下していた。中でも、表土除去と反転耕には、表層 15cm の放射性セシウム濃度及び空間線量の低減に大きな効果が見られた。

未除染ほ場については、樹園地及び牧草地を除いて、今後も概ね物理的減衰から予測される値と同程度～10%程度低く土壤中の放射性セシウム濃度及び空間線量率が低下していくと予想される。

## 謝辞

本研究は、農林水産省「放射性物質測定調査委託

事業」により実施しました。また、現地ほ場の調査に協力いただいている農家の皆様をはじめ、農林事務所農業振興普及部・農業普及所、関係者各位に御礼申し上げます。

### 引用文献

- 1) Yu Morino, Toshimasa Ohara, Masato Nishizawa. 2011. Atmospheric behavior, deposition and budget of radioactive materials from the Fukushima Daiichi nuclear power plant in March 2011. Geophys. Res. Lett., Vol.38
- 2) Yang-Hyun Koo, Yong-Sik Yang, Kun-Woo Song. 2014. Radioactivity release from the Fukushima accident and its consequences: A review. Progress in Nuclear Energy 74 : 61-70.
- 3) 阿部和博・佐藤守・瀧田克典・湯田美菜子・味戸裕幸・大野剛・村松康行・菊永英・大槻勤. 2014. 2. 休眠期に汚染されたカキの葉中および果実中放射性セシウムの挙動および樹体除染処理効果の検証. 放射性物質対策特集号 : 74-77.
- 4) 原子力災害対策本部. 2011. 8 現在の空間線量率から将来の空間線量率を予測する考え方について. 第64回原子力安全委員会資料第1-1号
- 5) 農林水産省. 2016. 3. 農地等の放射性物質の除去・低減技術の開発. 553号 : 23-28, 57-63.
- 6) 農林水産省. 2013. 2. 農地除染対策の技術書(第4編 参考資料編) : 16-18.
- 7) 福島県農林水産部. 2014. 4. 農作物の放射性セシウム対策に係る除染及び技術対策の指針 第3版 : 39-78.