

II. 分担研究報告

厚生労働行政推進調査事業費補助金
(食品の安全確保推進研究事業)
分担研究報告

農作物中 Cs と長半減期核種の濃度測定に関する研究

分担研究者 塚田 祥文 (福島大学 環境放射能研究所)

研究要旨

東京電力福島第一原子力発電所(FDNPS)事故直後に設定された暫定規制値に代わり、2012 年4月以降の長期的な状況に対応するために新しい食品中の放射性物質の基準値が設けられた。その基準値は、放射性セシウム(Cs)について「一般食品」では 100 Bq/kg、「乳児用食品」および「牛乳」では、より安全側に 50 Bq/kg とすることが妥当であると示された。この基準値の導出には、食品への移行経路毎に放射性核種移行評価を実施して食品中の放射性核種濃度比を推定することにより、対象となる放射性セシウム(Cs)以外の核種(ストロンチウム-90 (^{90}Sr)、ルテニウム-106 (^{106}Ru)およびプルトニウム(Pu)同位体)の寄与も考慮されているが、ガンマ線測定によるモニタリングでは測定が困難なストロンチウム-90 (^{90}Sr)についての不安の声が大きい。また、ヨウ素-131 (^{131}I)については放出量も多く、暫定基準値として設定されたが、半減期 8 日と短半減期であるため、現行基準値において規制対象核種となっていない。一方、2011 年の事故時に放出が認められているヨウ素-129 (^{129}I)については、放出量がきわめて限定されていたため、規制対象外の放射性物質ではあるが、「食品の基準値の導出について」にもあるように、今後の測定によって確認する必要があるとされている。本研究では、2019 年度に福島県内で生産された作物(ジャガイモ)中の放射性 Cs 濃度及びストロンチウム-90 (^{90}Sr)濃度、並びに基準値の設定において影響が小さいとして規制対象核種に含まれなかった ^{129}I 濃度を測定し、周辺地域や 2011 年の事故による影響が限定的と考えられる対象地域において作物を採取し、それぞれの濃度を求めた。低減化対策により福島県内で採取された作物中放射性 Cs 濃度は基準値の百分の一(1 Bq/kg 生重量)以下まで減少していた。また、福島県内で採取した作物中 ^{90}Sr 濃度についても、0.01 Bq/kg 以下と極めて低い水準にあった。福島県内で採取した作物中 ^{129}I 濃度は、0.001 mBq/kg 以下と放射性 Cs 濃度の一万分の一以下の水準にあった。

A. 研究目的

2011 年 3 月に発生した東日本大震災に起因する東京電力福島第一原子力発電所(FDNPS)事故により、大量の放射性物質が大气及び海洋に放出された。この事故により放出された放射性核種による食品の

摂取による内部被ばくが懸念され、厚生労働省は平成 24 年 4 月以降、食品からの内部被ばくを年間線量 1 mSv として導出された基準値を適用している。この基準値は、対象となる放射性 Cs 以外の核種(ストロンチウム-90 (^{90}Sr)、ルテニウム-106 (^{106}Ru)およびプル

トニウム(Pu)同位体)については、 ^{137}Cs との放射能濃度比から、これらの核種の濃度を推定し、設定された。また、基準値の設定の際、規制対象核種以外の核種の影響に関しては、いずれも影響は小さいと結論づけられているが、このうちヨウ素-129 (^{129}I 、半減期 1600 万年)、テクネチウム-99 (^{99}Tc 、半減期 21 万年)等の長半減期核種については、「長期的には、今後の測定によって確認することが必要であるが、寄与は十分小さいと考えられる」としている。

これまでに、営農再開を予定している地域を含め福島県内で栽培された作物の放射性 Cs や ^{90}Sr 濃度を測定してきた。その結果、放射性 Cs 濃度は、避難指示解除準備区域、居住制限区域等での試験栽培によって得られた作物も含め福島県内の流通作物は全て基準値以下であった。また、作物中 ^{90}Sr 濃度は、福島県以外で生産されている作物中濃度の範囲にあり、大気圏核実験由来と考えられ、作物から放射性 Cs 以外には事故の影響は見られなかった。また、測定結果を用いて内部被ばくに対する寄与率の状況を確認し、食品摂取に伴う内部被ばくを計算したところ、保守的な条件であっても十分に 1 mSv/年を下回る結果が得られた。福島県内では徐々に営農再開する地域は拡大している。しかしながら、帰還した地域であってもすべての地域で営農再開を果たしたわけではなく、試験作付けによる作物中放射性核種濃度の検査を継続している地域も多く、食品摂取による内部被ばくに対する不安は未だに大きい。

現在環境中に存在する ^{129}I の起源は、主に大気圏核実験、核燃料再処理施設、チェルノブイリ原子力発電所事故などであるが、自然界でも大気中で宇宙線とキセノンの反応、ウランの自発核分裂などでも生成されている。2011 年の事故でも FDNPS から放出されたことが明らかになっている。そこで、食品中の放射性物質の基準値に対して、国民が安心・安全を得

ることができること、そして国内の食品の安全に関する根拠を示すため、食品中の放射性物質の基準値の妥当性について検証を行うことを目的とし、福島県内と周辺地域、並びに比較対象地域から作物を採取し、放射性 Cs、 ^{90}Sr 及び ^{129}I 濃度を測定し、2011 年の事故由来による作物中濃度への寄与を明らかにした。

B. 研究方法

1. 土壌及び作物採取

土壌及び作物(ジャガイモ)は、表 1 及び表 2 に示す福島県の浜通り、中通り(2 地点)、会津の 4 地点、周辺地域として宮城県と栃木県、並びに FDNPS 事故の影響が限定されている愛知県の計 7 地点で採取した。

土壌は、5 点法によって ϕ 50 mm のコアサンプラーで表層 0~20cm を採取した。作物中 ^{90}Sr の分析結果を得るには、作物を灰化・減容し、大量の試料を用いる必要から、作物は土壌を採取した圃場から非可食部の歩留まりが 5 kg となるように考慮して採取した。土壌及び作物の採取重量は、それぞれ表 1 及び表 2 に示した。

2. 試料の前処理

採取した作物は、水で洗浄し土壌を除去し、根、皮、腐敗部等の非可食部の除去等を行い可食部とした。処理した可食部の一部(500 g)は、1 週間凍結乾燥した後、ステンレススチール製カッターブレンダーで粉碎混合し、 ^{129}I 分析用試料とした。その他の試料は、70°C で 3 日間以上乾燥した後 450°C で灰化した後、粉碎混合し、放射性 Cs 及び ^{90}Sr 分析試料とした。新鮮重量に対する乾燥重量の割合と新鮮重量に対する灰重量を表 2 に示した。

3. 放射性 Cs 濃度の測定

灰化試料をプラスチック容器 (U-8) に詰め、Canberra 社製の Ge 半導体検出器 (GC2020、GC3020 および GC4020) で、放射性 Cs 濃度を測定した。セシウム-134 (^{134}Cs) およびセシウム-137 (^{137}Cs) の定量には、それぞれ 604.7 keV および 661.7 keV の γ 線を用い、土壌は 650~428,698 秒、作物は 11,216~609,841 秒測定した。また、同時にカリウム-40 (^{40}K) (1,460 keV) も定量した。日本アイソトープ協会製の 5 種類 (5~50 mm、9.5~95.0 g) の標準試料を用いて効率曲線を作成した。なお、作物試料の一部は、7 日間以上測定したが、検出できなかった。

4. ^{90}Sr 濃度の測定

灰化した作物試料 30~42 g (3,540~4,190 g 生重量相当) に安定 Sr キャリアを添加し、硝酸、過酸化水素水で溶液に分解後、水酸化ナトリウム溶液で pH 10 以上とし、炭酸 Sr 沈殿を作製し、分離した。炭酸 Sr 沈殿を塩酸で溶解し、シュウ酸塩沈殿を生成させた。沈殿を灰化後、塩酸に溶解し、陽イオン交換樹脂でカルシウム (Ca) を除去した。更に、ラジウム (Ra) を除去するためイットリウム-90 (^{90}Y) をミルクングし、低バックグラウンドガスフローカウンターで 100 分間の計測をした。 ^{90}Sr 濃度の測定方法は、原則文部科学省放射能測定シリーズ 2「放射性ストロンチウム分析法」(平成 15 年改定) 等に拠った。

5. ^{129}I 濃度の測定

5.1 土壌試料

土壌試料 5 g と五酸化バナジウムを同量秤量後に混合した。この混合試料を乗せた石膏ボートを石英管内に設置し、石英管内に水蒸気を含んだ酸素気流下にて 1000°C で加熱し試料からヨウ素を揮発させ

た。揮発したヨウ素は、アルカリ吸収溶液 (TMAH 25% (TAMAPURE-AA, 多摩化学) 0.4 mL、5000 ppm の亜硫酸ナトリウム 0.2 mL 及び超純水 7 mL) 30 mL を使用した。 ^{129}I 測定試料と ^{127}I 測定試料にそれぞれ分取し、 ^{129}I 測定試料にはキャリア 2 mg を添加した。

トルエン 20 mL とアルカリ吸収溶液試料を分液ロート内で混合し、濃硝酸を滴下し pH を 1 に調整、10%亜硝酸ナトリウム水溶液 1 mL を入れ 2 分間振とう、ヨウ素イオンをヨウ素としてトルエンに抽出した。分離した水相をトルエン 10 mL が入った別の分液ロートに分取し再度 2 分間振とうした。2 つの有機相を分液ロート内で混合、超純水 10 mL を加え 2 分間振とうし、有機相の洗浄を行った。洗浄した水相を除き、超純水 20 mL、5000 ppm 亜硫酸ナトリウム 0.8 mL を添加し 2 分間振とう、ヨウ素をヨウ素イオンとして水相側に逆抽出した。水相を回収、残った有機相に超純水 10 mL を加え 2 分間振とうし、先に回収した水相と混合しヨウ素イオン水溶液 30 mL を得た。

抽出を行ったヨウ素イオン水溶液 30 mL に濃アンモニア水 1.5 mL と 1M 硝酸銀水溶液 1 mL を添加し、ヨウ化銀の沈殿を生成した。この沈殿を暗所にて一晩放置後、上澄みを除去し回収した沈殿に対して 3000rpm で 5 分間の遠心分離を行った。遠心分離後の上澄みを除いた試料に超純水を加え、良く攪拌した試料を再び遠心分離した。上澄みを除去し、60°C に設定した乾燥機に 3 時間入れヨウ化銀試料を乾燥させた。乾燥したヨウ化銀試料の重量を測定し、回収量を求めた。

ヨウ化銀試料 (^{129}I 照射試料であるヨウ化銀ターゲット) を米国パデュー大学プライムラボ (Purdue university Purdue Rare Isotope Measurement Laboratory) に送り加速器質量分析装置 (AMS) で ^{129}I と ^{127}I の原子数比の測定を行った。 ^{129}I の定量は、

ICP-MS (Agilent7500cx) で行い、 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比と ^{127}I 濃度から試料の ^{129}I 濃度を求めた。

5.2 作物試料

農作物試料 2 g を秤量し石膏ボードに載せ石英管内に設置した。燃焼によって発生するタール等を完全燃焼させるための酸化銅 10 g を試料よりも下流側の石英管内に設置した。石英管内に酸素を流し 800°C で加熱、試料からヨウ素を揮発した。揮発したヨウ素は、アルカリ吸収溶液 (TMAH 25% (TAMAPUREAA, 多摩化学) 30 mL、5000 ppm の亜硫酸ナトリウム 1.0 mL で調整したアルカリ吸収溶液 31 mL) で回収した。アルカリ吸収溶液は、 ^{129}I 測定試料と ^{127}I 測定試料にそれぞれ分取し、 ^{129}I 測定試料にはキャリア 2 mg を添加した。化学分離以降の工程は、土壌試料と同様である。

C. 研究結果

1. 土壌

土壌中放射性核種濃度の測定結果を表 3 に示す。2011 年の事故からの経過時間に伴い、 ^{134}Cs 濃度は、 ^{137}Cs 濃度の約 10% まで減少した。福島県浜通り、中通りの圃場土壌中 ^{137}Cs 濃度は、除染により大きく減少していることが確認された。また、福島県会津の土壌中 ^{137}Cs 濃度は、宮城県や栃木県と同程度のレベルにあった。愛知県の土壌では 2018 年度に採取した試料と同様に ^{134}Cs が検出されなかったことから、大気圏核実験由来による ^{137}Cs であることが明らかになった。南相馬市の圃場土壌中 ^{129}I 濃度は、 ^{137}Cs 濃度に比べ一万分の一以下の 0.84 mBq/kg であったが、他の地点より明らかに高く、2011 年の事故由来であると考えられる。愛知県を除き他地点の土壌中 ^{129}I 濃度は、同程度のレベルにあった。

2. 作物

ジャガイモ中放射性核種濃度を表 4 に示す。福島県産の作物中 ^{137}Cs 濃度は会津を除き他の地点よりも約 1 桁高い濃度にあるが、1 Bq/kg 生重量以下と基準値の百分の一以下まで減少し、通常の食品検査などでの測定では検出が難しい状況であることが確認された。また、福島県内を含め全ての試料で、長時間測定にもかかわらず 2011 年度の事故から 8 年以上が経過したため、半減期が 2.06 年の ^{134}Cs が検出されなかった。福島県内で採取した全ての作物中 ^{90}Sr 濃度は、0.1 Bq/kg 生重量を大きく下回る 0.006~0.011 Bq/kg 生重量で、福島県以外での範囲にあり、これまで同様に大気圏核実験由来と考えられる。 ^{129}I 濃度が、最も高い値でも 0.001 mBq/kg 生重量を下回ったが、南相馬市の試料では他の地域より明らかに高い値を示し、FDNPS 由来であると考えられた。

D. 考察

土壌中 ^{137}Cs 濃度とジャガイモ中 ^{137}Cs 濃度の相関を図 1 に示す。両者は正の相関を示し、FDNPS から放出された放射性セシウムの作物への移行は、作物種が同様であれば、土壌中濃度に対する作物中濃度の比で示される「移行係数」で類推できることを示唆している。しかしながら、本課題で得られた ^{137}Cs 移行係数の幾何平均値は、青森県で採取した試料から求めた文献値より約 1 桁低い値にあり、有意差が見られた ($p < 0.05$)。これは、青森県の土壌は、Cs の強固結合性が比較的低い火山灰土壌が卓越しているためではないかと考えられる。

福島県内で採取した作物中 ^{90}Sr 濃度の平均値は 0.008 ± 0.002 Bq/kg 生重量であり、また、地域による差が見られず、福島県以外で範囲内にあり、大気圏核実験由来と考えられる。更に、環境放射線デー

データベースによる全国調査結果から得られる福島県外産の根菜類から得られた値(ダイコン、0.051 ± 0.027、ND~0.15 Bq/kg 生重量、n=53)と比較しても十分に低い値であることを確認できた。

FDNPS 事故によって環境中に放出された ^{129}I は、1.2~8.1 GBq であると評価されている。 ^{129}I の半減期は約 1600 万年ときわめて長く、環境中ではやがて安定 ^{127}I と類似した移行を示すと考えられる。そのため、 ^{129}I 濃度のみならず、 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比を使って示されることがある。令和元年に報告した大気圏核実験後の土壤中 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比の値と比較すると、愛知県を除き若干高い値にあり、その中でも南相馬市で高い値であったが、チェルノブイリや核燃料再処理工場周辺土壤(10^{-6} ~ 10^{-4})に比べると低い値であった。更に、除染前の福島県における圃場土壤中 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比(10^{-8} ~ 10^{-6})と比較しても、低い値にあり、除染による ^{129}I の低減と考えられる。

土壤中 ^{129}I 濃度とジャガイモ中 ^{129}I 濃度の相関を図 2 に示す。両者は正の相関を示し、ジャガイモ中 ^{129}I 濃度の推定に移行係数が有効であることが確認できた。一方で、 ^{129}I の移行係数は、これまでに得られた文献値による ^{127}I の移行係数より約 1 桁高く、有意差が認められた ($p < 0.05$)。チェルノブイリをフィールドとした調査研究でも、事故後 29 年を経過した土壤であっても移動しやすい ^{129}I の割合が ^{127}I より高いことが報告されており、2011 年の東電福島第一原発事故由来の ^{129}I の移行係数が、安定 ^{127}I より高い移行係数であると類推される。

E. 結論

本研究では、福島県内、周辺地域と比較対象地域における作物中放射性 Cs、 ^{90}Sr 及び ^{129}I 濃度を調査した。採取したジャガイモ中放射性 Cs 濃度は全て基準値を大きく下回り、福島県内であっても一般的な

モニタリングでは検出が困難なレベル (0.1 Bq/kg-生重量) にまで低下している。ジャガイモ中 ^{90}Sr 濃度は、福島県を除く全国調査の範囲内にあり、事故由来による ^{90}Sr 濃度の増加は認められなかった。浜通りの土壤中 ^{129}I 濃度が中通りよりも高く、作物中 ^{129}I 濃度も浜通りで他の地点より高い値にあった。作物中 ^{129}I 濃度は、土壤中 ^{129}I 濃度と正の相関を示し、土壤濃度から類推が可能であることが示された。福島県産作物の $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比は、 6.1×10^{-9} ~ 6.2×10^{-10} にあり、チェルノブイリ(10^{-6})や核燃料再処理施設周辺(10^{-6} ~ 10^{-4})に比べ、きわめて低いであることが確認された。

引用文献

- 1) 福島県農産物等の放射性物質モニタリング Q&A, <http://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/nousan-qa.html>
- 2) 環境放射線データベース, <http://search.kankyo-hoshano.go.jp/>
- 3) M. Honda, H. Matsuzaki, H. Nagai and K. Sueki: Depth profiles and mobility of ^{129}I originating from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant disaster under different land uses, *Applied Geochemistry* 85, 169-179, 2017.
- 4) Y. Miyake, H. Matsuzaki, T. Fujiwara, T. Saito, T. Yamagata, M. Honda and Y. Muramatsu: Isotopic ratio of radioactive iodine ($^{129}\text{I}/^{131}\text{I}$) released from Fukushima Daiichi NPP accident, *Geochemical Journal* 46, 327-333, 2012.
- 5) 文部科学省放射能測定シリーズ2「放射性ストロンチウム分析法」(平成 15 年改定)
- 6) Y. Muramatsu, H. Matsuzaki, C. Toyama, T. Ohno: Analysis of ^{129}I in the soils of Fukushima Prefecture: preliminary reconstruction of ^{131}I

- deposition related to the accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP). *Journal of Environmental Radioactivity* 139, 344–350, 2015.
- 7) T. Ohno, Y. Muramatsu, Y. Shikamori, C. Toyama, K. Nakano and H. Matsuzaki: Determination of ^{129}I in Fukushima soil samples by ICP-MS with an Octopole reaction system, *Analytical Sciences* 29, 271–274, 2013.
- 8) T. Ohno, Y. Muramatsu, Y. Shikamori, C. Toyama, N. Okabe and H. Matsuzaki: Determination of ultratrace ^{129}I in soil samples by Triple Quadrupole ICP-MS and its application to Fukushima soil samples, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 28, 1283–1287, 2013.
- 9) 大野 剛, 村松康行: 誘導結合プラズマ質量分析法を用いた福島環境放射能研究. *地球科学* 49, 239–246, 2015.
- 10) G. Shaw, E. Bailey, N. Crout, L. Field, S. Freeman, S. Gaschek, X. Hou, M. Izquierdo, C. Wells, S. Xu, and S. Young: Analysis of ^{129}I and ^{127}I in soils of the Chernobyl Exclusion Zone, 29 years after the deposition of ^{129}I , *Science of the Total Environment* 966–974, 2019.
- 11) H. Tsukada, and Y. Nakamura: Transfer of ^{137}Cs and stable Cs from soil to potato in agricultural fields. *The Science of the Total Environment* 228, 111–120, 1999.
- 12) H. Tsukada, A. Takeda, T. Takahashi, H. Hasegawa, S. Hisamatsu and J. Inaba: Uptake and distribution of ^{90}Sr and stable Sr in rice plants. *Journal of Environmental Radioactivity* 81, 221–231, 2005.
- 13) H. Tsukada, A. Takeda and H. Hasegawa: Uptake and distributions of ^{90}Sr and ^{137}Cs in rice plants, 16th Pacific Basin Nuclear Conference, Aomori, Japan, P16 P1121, 2008.
- 14) G. Yang, J. Hu, H. Tsukada, H. Tazoe, Y. Shao and M. Yamada: Vertical distribution of ^{129}I and radiocesium in forest soil collected near the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant boundary. *Environmental Pollution* 250, 578–585, 2019.
- 15) H. Tsukada, and Y. Nakamura: Transfer factors of 31 elements in several agricultural plants collected from 150 farm fields in Aomori, Japan. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 236, 123–131, 1998.
- F. 健康危険情報
なし
- G. 研究業績
(論文)
1. G. Yang, H. Tazoe, H. Tsukada, J. Hu, Y. Shao and M. Yamada (2019) Vertical distribution of I-129 in forest soil collected near the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant boundary, *Environmental Pollution* 250, 578–585.
 2. K. Tagami, H. Tsukada and S. Uchida (2019) Quantifying spatial distribution of ^{137}Cs in reference site soil in Asia, *Catena* 180, 341–345.
 3. K. Kurokawa, A. Nakao, H. Tsukada, Y. Mampuku and J. Yanai (2019) Exchangeability of ^{137}Cs and K in agricultural soils after decontamination in the eastern coastal area of Fukushima, *Soil Science and*

- Plant Nutrition 65, 401-408.
4. M. Kurihara, T. Yasutaka, T. Aono, N. Ashikawa, H. Ebina, T. Iijima, K. Ishimaru, R. Kanai, Z. Karube, Y. Konnai, T. Kubota, Y. Maehara, T. Maeyama, Y. Okizawa, H. Ota, S. Ootosaka, A. Sakaguchi, H. Tagomori, K. Taniguchi, M. Tomita, H. Tsukada, S. Hayashi, S. Lee, S. Miyazu, M. Shin, T. Nakanishi, T. Nishikiori, Y. Onda, T. Shinano, H. Tsuji (2019) Repeatability and reproducibility of measurements of low dissolved radiocesium concentrations in freshwater using different pre-concentration methods, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 322, 477-485.
 5. A. Takeda, Y. Unno, H. Tsukada, Y. Takaku and S. Hisamatsu (2019) Speciation of iodine in soil solution in forest and grassland soils in Rokkasho, Japan, *Radiation Protection Dosimetry* 184, 368-371.
 6. Z. A. Begum, I. M. M. Rahman, K. Ishii, H. Tsukada and H. Hasegawa (2020) Dynamics of Strontium and Geochemically Correlated Elements in Soil during Washing Remediation with Eco-Complaint Chelators, *Journal of Environmental Management* 259, 110018. (解説書)
 7. 塚田祥文 (2019) 放射能環境動態・影響評価 ネットワーク共同研究拠点と今後の環境放射能研究. *NIES レターふくしま* 6, 1-5.
 8. 塚田祥文 (2019) 福島 of 農業環境における放射性セシウムと作物摂取による内部被ばく線量, *学術の動向* 24, 18-25.
 9. 斎藤梨絵, 塚田祥文 (2019) 被災地の野生動物はいま(中) イノシシに蓄積する放射性 Cs, *グリーン・パワー* 2019 .12, 10-11. (学会発表)
 10. H. Kurikami, A. Malins, T. Niizato, K. Iijima, H. Tsukada (2019) Numerical study on sorption kinetics of radiocesium in forest soil (Migration 2019, 京都)
 11. 武田晃, 塚田祥文, 海野佑介, 高久雄一, 久松俊一 (2019) 交換性カリ含量が高い牧草地土壤に添加した ^{137}Cs の植物への移行に及ぼす有機物施用の影響(日本土壤肥料学会 2019 年東北支部会、南相馬)
 12. N. P. Thoa, H. Ohira, S. Kaneko, H. Tsukada (2019) Internal and external radiation doses of Japanese cedar in Okuma(第 56 回アイントープ・放射線研究発表会, 東京)
 13. 塚田祥文, 齋藤 隆 (2019) 試験水田における灌漑水・間隙水中 ^{137}Cs 濃度と変動要因 (日本土壤肥料学会 2019 年度静岡大会、静岡)
 14. 武田晃, 海野佑介, 塚田祥文, 高久雄一, 久松俊一 (2019) 青森県六ヶ所村の森林及び草地土壤における土壤溶液中ヨウ素の存在形態(日本土壤肥料学会 2019 年度静岡大会、静岡)
 15. 山田大吾, 塚田祥文, 山口紀子, 渋谷岳, 梅村恭子 (2019) 牧草中放射性セシウム濃度の経時変化と土壤の放射性セシウム存在画分からの移行推定(日本土壤肥料学会 2019 年度静岡大会、静岡)
 16. H. Tsukada, N. Yamaguchi, T. Saito (2019) Role of organic matter associated with temporal change of radiocaesium forms in soil (ESAFS2019, Taipei)

17. 塚田祥文 (2019) 福島県大柿ダム灌漑水の溶存態および懸濁態 ^{137}Cs の経時変化 (第 52 回日本保健物理学会, 仙台)
18. Konoplev, Y. Wakiyama, V. Golosov, M. Ivanov, M. Komissarov, V. Kanivets, C. Udy, T. Niida, Sh. Moritaka, M. Usuki, K. Watanabe, A. Goto, H. Tsukada and K. Nanba (2020) Radiocesium wash-off, river transport and redistribution in soil-water environment after the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident (EGU, Vienna)
19. 難波謙二, ヴァシル ヨシエンコ, 石庭寛子, ドノヴァン アンダーソン, 兼子伸吾, 和田敏裕, 金指努, 塚田祥文 (2020) 福島大学環境放射能研究所の放射生態学研究 2019 年度(環境省主催野生動物の放射線影響調査報告、東京)
20. 武田晃、塚田祥文、中尾淳、海野佑介、山崎慎一、土屋範芳、高久雄一、久松俊一 (2020) 六ヶ所村再処理施設周辺土壌における安定ヨウ素の存在形態 (第 21 回「環境放射能」研究会、つくば)
21. 塚田祥文 (2020) 福島県上小国川と大柿ダムにおける ^{137}Cs 濃度の経時変化 (第 6 回福島大学環境放射能研究所成果報告会)
22. 大槻知恵子、塚田祥文 (2020) 蘚苔類への放射性セシウムの蓄積 (第 6 回福島大学環境放射能研究所成果報告会)
23. 高橋純子、佐々木拓哉、日原大智、恩田裕一、塚田祥文 (2020) ゼロテンションライシメータを用いた土壌中放射性セシウムの下方移行量の評価 (第 6 回福島大学環境放射能研究所成果報告会)
24. 折田真紀子、高村昇、崔力萌、平良文亨、山田裕美子、塚田祥文 (2020) 富岡町におけるイノシシ中の放射性物質濃度評価 (第 6 回福島大学環境放射能研究所成果報告会)
25. 菊池美保子、塚田祥文 (2020) 避難指示解除後の自家消費作物の放射性セシウム濃度 (第 6 回福島大学環境放射能研究所成果報告会)
26. 沖澤悠輔、塚田祥文 (2020) 東京電力福島第一原子力発電所事故による ^{60}Co 飛散の検証 (第 6 回福島大学環境放射能研究所成果報告会)
27. 遠藤佑哉、山口克彦、高瀬つぎ子、植頭康裕、塚田祥文 (2020) 空間線量率を用いた実効線量推定手法の高精度化 (第 6 回福島大学環境放射能研究所成果報告会)
28. 久保田富次郎、塚田祥文 (2020) 帰還困難区域内のため池における形態別放射性 Cs の分画分析 (第 6 回福島大学環境放射能研究所成果報告会)
29. 塚田祥文 (2019) 「農業環境における放射性セシウム等について」(浪江町)
30. 塚田祥文 (2019) 北海道大学大学院水産科学院セミナー「福島大学環境放射能研究所の概要・被ばく線量の考え方について」(北海道大学)
31. 塚田祥文 (2019) 福島の森里川海の今～放射能問題からウナギ・カレイの新発見まで～(公開シンポジウム)福島大学創立 70 周年記念事業・福島大学環境放射能研究所研究活動懇談会 IER 研究懇談会「農業環境における放射性セシウム・ストロンチウムと作物摂取による被ばく線量」(京都) (招待講演)
32. 塚田祥文 (2020) 環境科学技術研究所成

果報告会「福島県の農業環境における放射性セシウムと作物摂取による内部被ばく」(基調講演 弘前)

33. N. P. Thoa, S. Koya, H. Ohira, S. Kaneko, and H. Tsukada (2020) Radiation dose rate of Japanese cedar and plants collected from Okuma applying ERICA tool (第6回福島大学環境放射能研究所成果報告会)
34. 塚田祥文 (2019) 長崎大学大学院セミナー「福島大学環境放射能研究所における研究紹介・農業環境における放射性セシウムの動態と住民の被ばく線量」(長崎大学)
35. 塚田祥文 (2019) Mini-symposium Academia Sinica “ Radiocaesium in agricultural environment and internal radiation dose from foods in Fukushima after the nuclear accident of 2011” (Taipei)
36. 塚田祥文 (2019) 鹿児島県原子力安全・避難計画等防災専門委員会 講演会「放射線被ばくと“いちき串木野市”における緊急時の対応」(いちき串木野市)
37. 塚田祥文 (2019) 農業環境における存在形態別放射性セシウムの動態(日本原子力学会東北支部研究交流会 特別講演, 仙台)
38. 塚田祥文 (2019) NEA Workshop “Concentrations of radiocaesium, ^{90}Sr and ^{129}I in agricultural crops collected from Fukushima Prefecture and reference areas” (東京)

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

表 1 土壌の採取日及び処理重量

試料番号	採取地点	土壌分類	試料採取日	採取試料重量	乾燥後重量
				g	g
2019S-1	宮城県大崎市	灰色低地土	2019年7月23日	2366	1844
2019S-2	栃木県鹿沼市	灰色低地土	2019年7月17日	1948	1283
2019S-3	愛知県知多郡武豊町	黄色土	2019年7月4日	2308	1851
2019S-4	福島県南相馬市	灰色低地土	2019年7月27日	2025	1727
2019S-5	福島県福島市	褐色森林土	2019年8月1日	1781	1330
2019S-6	福島県郡山市	褐色森林土	2019年8月1日	2309	1843
2019S-7	福島県猪苗代町	黒ボク土	2019年8月1日	1797	1286

表 2 ジャガイモの採取日及び処理重量

試料番号	採取地点	試料採取日	採取試料重量	非可食部	可食部	乾燥割合	灰化割合
			g	g	g		
2019P-1	宮城県大崎市	2019年7月20日	5202	648	4554	0.201	0.0090
2019P-2	栃木県鹿沼市	2019年7月17日	5292	800	4492	0.221	0.0088
2019P-3	愛知県知多郡武豊町	2019年6月26日	5293	563	4730	0.234	0.0103
2019P-4	福島県南相馬市	2019年7月26日	5366	698	4668	0.228	0.0088
2019P-5	福島県福島市	2019年7月24日	5824	640	5184	0.219	0.0092
2019P-6	福島県郡山市	2019年7月15日	5161	668	4493	0.195	0.0085
2019P-7	福島県猪苗代町	2019年7月28日	5071	659	4412	0.190	0.0084

表3 土壤中¹³⁴Cs、¹³⁷Cs、⁴⁰K、¹²⁹I濃度及び¹²⁹I/¹²⁷I原子数比

試料番号	採取地点	放射性核種濃度(乾燥重量)					¹²⁹ I/ ¹²⁷ I原子数比
		¹³⁴ Cs*		¹³⁷ Cs		¹²⁹ I	
		Bq/kg 乾燥	Bq/kg 乾燥	Bq/kg 乾燥	Bq/kg 乾燥	mBq/kg 乾燥	
2019S-1	宮城県大崎市	2.7 ± 0.5	46.0 ± 0.8	224 ± 8	0.12 ± 0.008	7.4E-09	
2019S-2	栃木県鹿沼市	7.3 ± 1.4	63.9 ± 3.6	402 ± 35	0.25 ± 0.01	5.2E-09	
2019S-3	愛知県知多郡武豊町	< 0.4	2.4 ± 0.1	272 ± 3	0.046 ± 0.003	1.0E-09	
2019S-4	福島県南相馬市	45.3 ± 2.5	645.7 ± 8.4	442 ± 28	0.84 ± 0.05	9.9E-08	
2019S-5	福島県福島市	73.5 ± 3.2	981.4 ± 11.0	252 ± 23	0.40 ± 0.03	2.1E-09	
2019S-6	福島県郡山市	50.8 ± 8.3	530.2 ± 26.2	524 ± 104	0.17 ± 0.009	3.6E-09	
2019S-7	福島県猪苗代町	5.5 ± 0.7	74.5 ± 1.8	235 ± 13	0.20 ± 0.01	1.5E-09	

* 604.7 keVの定量結果

表 4 ジャガイモ中 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{40}K 、 ^{129}I 濃度及び $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比

試料番号	採取地点	放射性核種濃度							$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比		
		$^{134}\text{Cs}^*$		^{137}Cs		^{90}Sr		^{40}K		^{129}I	
		Bq/kg 生	Bq/kg 生	Bq/kg 生	Bq/kg 生	Bq/kg 生	Bq/kg 生	Bq/kg 生		mBq/kg 生	
2019P-1	宮城県大崎市	< 0.019	0.065 ± 0.005	-	135 ± 0.5	0.000008 ± 0.000003	0.5	0.000008 ± 0.000003	7.5E-11		
2019P-2	栃木県鹿沼市	< 0.013	0.072 ± 0.004	-	133 ± 0.3	< 0.000012	0.3	< 0.000012	-		
2019P-3	愛知県知多郡武豊町	< 0.015	< 0.015	-	146 ± 0.4	< 0.000009	0.4	< 0.000009	-		
2019P-4	福島県南相馬市	< 0.035	0.435 ± 0.015	0.011 ± 0.002	139 ± 0.9	0.00036 ± 0.00001	0.9	0.00036 ± 0.00001	6.1E-09		
2019P-5	福島県福島市	< 0.018	0.322 ± 0.012	0.007 ± 0.001	136 ± 0.8	0.00007 ± 0.000007	0.8	0.00007 ± 0.000007	4.2E-10		
2019P-6	福島県郡山市	< 0.031	0.396 ± 0.025	0.006 ± 0.002	122 ± 1.4	0.00007 ± 0.000008	1.4	0.00007 ± 0.000008	6.2E-10		
2019P-7	福島県猪苗代町	< 0.017	0.048 ± 0.005	0.009 ± 0.002	121 ± 0.4	< 0.000009	0.4	< 0.000009	-		

表6 土壌から作物への¹³⁷Cs、¹²⁹I及び¹²⁷Iの移行係数

	幾何平均値	±95%信頼区間		試料数
¹³⁷ Cs	0.00074	0.00028	— 0.0020	n=6
¹²⁹ I	0.00021	0.000037	— 0.0012	n=4
¹²⁷ I	0.0029	0.00043	— 0.020	n=7
文献値				
¹³⁷ Cs	0.0058	0.00094	— 0.036	n=26
¹²⁷ I	0.00069	0.000036	— 0.013	n=26

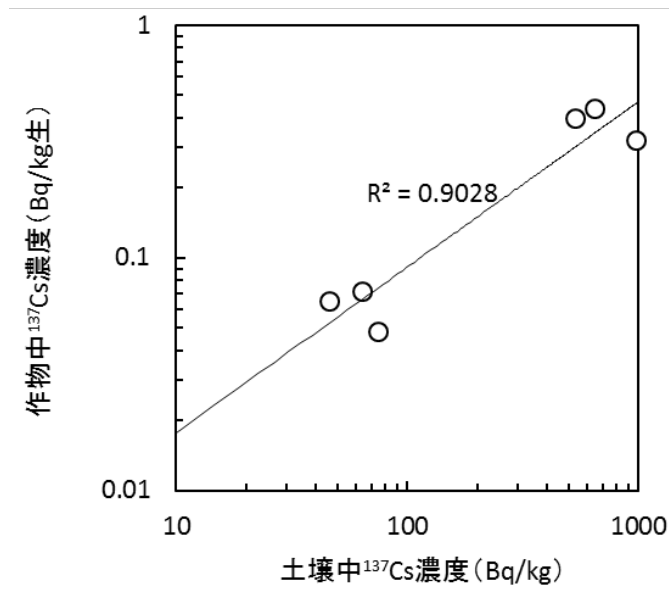


図1 土壌中¹³⁷Cs濃度と作物中¹³⁷Cs濃度の関係

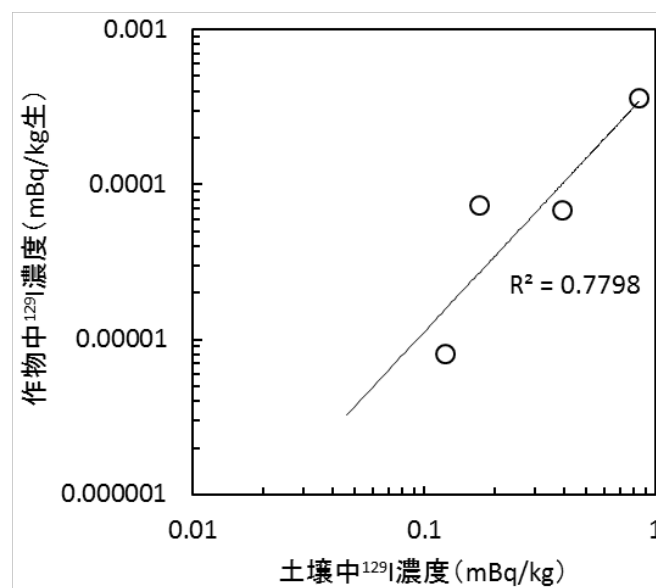


図2 土壌中¹²⁹I濃度と作物中¹²⁹I濃度の関係