

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)

農作物中 Cs と長半減期核種の濃度測定に関する研究 分担研究報告

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、平成 24 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、放射性 Cs 以外の ^{90}Sr 、 ^{106}Ru 及び Pu 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、平成 30 年度に福島県内で生産された作物(ホウレンソウ)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、0.1 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、0.1 mBq/kg 以下と放射性 Cs 濃度の千分の一の水準にあった。

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気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(^{90}Sr 、 ^{106}Ru 、Pu)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 1mSv/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、核燃料廃処理施設、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(ホウレンソウ)は、表 1 及び表 2 に示す福島県の浜通り、中通り、会津から 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 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。 ^{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、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 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、Cannberra 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、作物は 260,000 ~ 780,000 秒、土壌は 12,000 ~ 85,000 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、9 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 61 ~ 111 g (3,300 ~ 5,100 g 生重量) 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) をミルキングし、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。 ^{127}I の定量は、ICP-MS (Agilent 7500cx) 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 で過熱、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 2mg 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、宮城県や栃木県より低かったが、愛知県よりは高い濃度にあり ^{134}Cs も検出されたことから、2011 年の事故由来による ^{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 濃度に比べ千分の一以下の 0.40 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。他地点の土壌中 ^{129}I 濃度は、愛知県の値と同様であった。

2. 作物

作物中放射性核種濃度を表 4 に示す。全ての

作物中放射性 Cs 濃度は、1 Bq/kg 生重量以下で、基準値の百分の一以下まで下がり、通常の食品検査などで行われている生試料を用いた測定での検出は難しい状況となっていることがわかった。南相馬市の試料のみ ^{134}Cs を検出したが、他の試料では長時間測定にもかかわらず ^{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 生重量以下であった。 ^{129}I 濃度は、最も高い値でも 0.1 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 由来であることが考えられた。

D. 考察

土壌中 ^{137}Cs 濃度と作物中 ^{137}Cs 濃度の相関を図 1 に示す。両者は相関を示し、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あらためて示している。現在では作物中濃度がきわめて低い濃度にあり測定が困難であっても、土壌中放射性 Cs 濃度を求めれば、作物中濃度を予測できることを示している。

福島県内で採取した作物中 ^{90}Sr 濃度は、福島県外の作物から得られている値と同様であり、大気圏核実験由来と考えられる。

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 の半減期はきわめて長く、環境中では安定 ^{127}I と類似した移行を示すと考えられることから、 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比を使って示される場合が多い。これまでに報告されている土壌中 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比を表 5 に示す。南相馬市の土壌中 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 濃度比は、大気圏核実験後の値と同程度であり、チェルノブイリや核燃料際処理工場周辺土壌に比べると低い値を示した。また、本調査で得られた福島県内における $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$

原子数比を、これまでに得られている福島県内土壌の値(表6)と比較すると、低い値であることから、除染の効果が予想される。土壌中 ^{129}I 濃度と作物中 ^{129}I 濃度の相関を図2に示す。比較的相関を示すように見えるが、最も高い値を除くと有意な相関はなかった。葉菜類は、土壌からの経根吸収のみならず大気経路による葉面吸収も考えられる。今後予定している作物データと照合し、検討が必要である。

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。採取した作物中放射性 Cs 濃度は全て基準値を大きく下回り、一般的なモニタリングでは測定も困難なレベルになってきている。作物中 ^{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。作物中 ^{129}I 濃度は、浜通りで他の地点より高い傾向にあるが、その由来は明らかではなかった。

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/nou-san-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) 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)
- 5) 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.
- 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) 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.
- 11) 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.

- 12) 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.

F. 健康危険情報
なし

G. 研究業績
(論文)

1. K. Tagami, H. Tsukada, S. Uchida and B. J. Howard (2018) Changes in the soil to brown rice concentration ratio of radiocaesium before and after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident in 2011, *Environmental Science and Technology* 52, 8339-8345.
2. Y. Ni, Z. Wang, J. Zheng, K. Tagami, Q. Guo, S. Uchida and H. Tsukada (2019) The transfer of fallout plutonium from paddy soil to rice: a field study in Japan, *J. Environ. Radioactivity* 196, 22-28.
3. S. Ogasawara, T. Eguchi, A. Nakao, S. Fujimura, Y. Takahashi, H. Matsunami, H. Tsukada, J. Yanai and T. Shinano (2019) Phytoavailability of ^{137}Cs and stable Cs in soils from different parent materials in Fukushima, Japan, *J. Environ. Radioactivity* 198, 117-125.
4. 塚田祥文 (2018) 福島県の農業環境における放射性セシウムと内部被ばく線量, 第 31 回環境工学連合講演会講演論文集, pp5-8.
(学会発表)
5. A. Takeda, H. Tsukada, D. Yamada, Y. Unno, H. Harada, Y. Takaku and S. Hisamatsu (2018) Mobility of radiocesium from specific sorption sites in agricultural soils in northeastern Japan (21st World Congress of Soil Science, Rio de Janeiro, Brazil)
6. H. Tsukada, K. Nanba and T. Hinton (2018) Transfer of ^{137}Cs and stable ^{133}Cs in plants and animals collected from a forest observatory site in Yamakiya, Fukushima, Japan (The 7th International Conference on Radioactivity in the Arctic and other vulnerable areas, Oslo, Norway)
7. 塚田祥文、高橋知之、福谷哲、青野辰雄、明石 真言 (2018) 福島県浜通りにおける作物中放射性セシウムおよび ^{90}Sr 濃度と作物摂取による内部被ばく線量(第 51 回日本保健物理学会, 札幌)
8. 塚田祥文、難波謙二、トーマス・ヒントン (2018) 福島県山木屋の森林観測所で採取した植物と動物における ^{137}Cs と安定 ^{133}Cs の移行(第 55 回アイソトープ・放射線研究発表会, 東京)
9. 塚田祥文、久保田富次郎 (2018) カラム試験による福島県大柿ダム底質からの ^{137}Cs 溶出(日本土壌肥料学会 2018 年度神奈川大会、藤沢)
10. A. Takeda, Y. Unno, H. Tsukada, Y. Takaku and S. Hisamatsu (2018) Speciation of iodine in soil solution in forest and grassland soils in Rokkasho, Japan (9th International Conference on High Level Environmental Radiation Areas - For Understanding Chronic Low-Dose-Rate Radiation Exposure Health Effects and Social

- Impacts, ICHLERA 2018, Hirosaki, Japan)
11. 久保田富次郎、塚田祥文、申文浩、李相潤、万福裕造、濱松潮香、八戸真弓 (2018) ため池の流入／流出における放射性 Cs の存在形態の変化(農業農村工学会 2018 年全国講演会)
 12. M. M. Rahman, Z. A. Begum, B. Ahmmad, H. Tsukada and H. Hasegawa (2018) Effect of extraction variables for the chelator-assisted washing remediation of strontium and geochemically-related elements from soils (日本分析化学会、東京)
 13. G. Yang, H. Tazoe, H. Tsukada and M. Yamada (2018) Distribution of I-129 in forest soil from the boundary of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant(放射化学会、京都)
 14. H. Tsukada, T. Hayasaka and T. Kubota (2018) Desorption of ^{137}Cs from contaminated sediment collected from irrigated Oogaki-dam in Fukushima by column experiment (The 15th Biennial Conference of the South Pacific Environmental Radioactivity Association, SPERA2018, Perth, Australia).
 15. R. Saito, Y. Nemoto, R. Kumada, H. Oomachi, M. Tamaoki, M. Nakamura and H. Tsukada (2018) Test of food habitat analysis using DNA analysis in wild boar to reveal relations between food habits and Caesium-137 activity concentration in the body (The 15th Biennial Conference of the South Pacific Environmental Radioactivity Association, SPERA2018, Perth, Australia).
 16. Y. Wakiyama, Y. Igarashi, Y. Onda, J. Takahashi, S. Obrizan, G. Lisovy, G. Laptev, A. Konoplev, H. Tsukada and K. Nanba (2019) Hydrological response and ^{137}Cs wash-off evaluated by continuous observation with USLE plots in Chernobyl exclusion zone (EGU Spring Meeting 2019, Vienna).
 17. G. Yang, H. Tazoe, H. Tsukada and M. Yamada (2019) The I-129 situation in land surface soil and forest soil systems after the FDNPP accident (5th Fukushima University IER Annual Symposium)
 18. K. Tagami, H. Tsukada and S. Uchida (2019) Comparison of internationally available soil to rice grain transfer data of radiocaesium -the effect of soil types on the transfer data differences- (5th Fukushima University IER Annual Symposium)
 19. R. Saito, Y. Nemoto, R. Kumada, H. Oomachi, M. Tamaoki, M. Nakamura and H. Tsukada (2019) Relations between Wild Boar Food Habits and ^{137}Cs Activity Concentration in the Body and its Seasonal Variation (5th Fukushima University IER Annual Symposium)
 20. Y. Wakiyama, A. Konoplev, N. Thoa, H. Tsukada, K. Nanba, V. Golosov, M. Zheleznyak (2019) Variations in dissolved and particulate ^{137}Cs concentrations in the Abukuma river water during a freshet (5th Fukushima University IER Annual Symposium)
 21. Y. Wakiyama, Y. Igarashi, Y. Onda, J. Takahashi, D. Samoilov, S. Obrizan, G. Lisovy, G. Laptev, A. Konoplev, H. Tsukada, K. Nanba (2019) Hydrological response and ^{137}Cs wash-off evaluated by continuous observation with USLE plots in Chernobyl exclusion zone (5th Fukushima University IER Annual Symposium)
 22. A. Konoplev, Y. Wakiyama, T. Wada, K. Nanba,

T. Takase, V. Kanivets, H. Tsukada, T. Takahashi, I. M. Rahman, M. Zheleznyakl (2019) Long-term dynamics of radiocesium in aquatic ecosystems of Fukushima and Chernobyl contaminated areas (5th Fukushima University IER Annual Symposium)

23. 塚田祥文 (2019) 被災地域における環境中の放射性セシウム濃度と内部被ばく線量(第 5 回福島大学環境放射能研究所成果報告会)
24. 武田晃、向井康太、藤森崇、山崎慎一、土屋範芳、塚田祥文、矢内純太 (2019) XANES および抽出法による土壤中塩素の存在形態の評価手法の検討(第 20 回「環境放射能」研究会、つくば)
25. 斎藤梨絵、根本唯、大町仁志、玉置雅紀、中村匡聡、白子智康、塚田祥文 (2019) DNA 解析によるイノシシの食性調査および食性と体内のセシウム 137 濃度の関係 (第 66 回日本生態学会、神戸)
(招待講演)
26. 塚田祥文 (2018) 福島県の農業環境における放射性セシウムと内部被ばく線量の状況、第 31 回環境工学連合講演会日本学術会議(東京)
27. 塚田祥文 (2018) 農業環境における放射性セシウムと作物摂取による被ばく線量、放射能測定分析技術研究会セミナー(東京)
28. 塚田祥文 (2018) 2011 年原発事故後の農業環境における放射性セシウム、藤沢市放射能測定器運営協議会学習会(藤沢)
29. 塚田祥文 (2018) 福島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線量、公開シンポジウム「東日本大震災に係る食料問題フォーラム 2018」(東京)
30. 塚田祥文 (2019) 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、長崎大学・川内村/富岡町復興推進拠点活動報告会(川内村)

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
2018S-1	宮城県大崎市	泥炭土	2018年5月11日	2115	1733
2018S-2	栃木県日光市	黒ボク土	2018年6月20日	1485	1128
2018S-3	愛知県知多郡武豊町	黄色土	2018年4月27日	2142	1721
2018S-4	福島県南相馬市	灰色低地土	2018年8月1日	1956	1671
2018S-5	福島県二本松市	グライ低地土	2018年7月31日	2250	1898
2018S-6	福島県三春町	褐色森林土	2018年6月28日	2121	1891
2018S-7	福島県南会津郡下郷町	黒ボク土	2018年10月2日	1603	1187

表 2 ホウレンソウ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		
2018P-1	宮城県大崎市	2018年5月11日	5448	305	5142	0.0678	0.0168
2018P-2	栃木県日光市	2018年6月20日	4846	38	4809	0.0628	0.0170
2018P-3	愛知県知多郡武豊町	2018年4月27日	5119	161	4957	0.0652	0.0166
2018P-4	福島県南相馬市	2018年8月1日	5009	291	4719	0.0754	0.0210
2018P-5	福島県二本松市	2018年7月31日	5205	125	5080	0.0930	0.0198
2018P-6	福島県三春町	2018年6月6日	6542	234	6308	0.0843	0.0216
2018P-7	福島県南会津郡下郷町	2018年10月2日	4749	169	4581	0.0728	0.0186

表 3 土壤中 ^{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(乾燥重量)					$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比
		$^{134}\text{Cs}^*$		^{137}Cs		^{40}K	
		Bq/kg 乾燥	Bq/kg 乾燥	Bq/kg 乾燥	Bq/kg 乾燥	mBq/kg 乾燥	
2018S-1	宮城県大崎市	15 ± 0.9	155 ± 2.6	320 ± 15	0.052 ± 0.008	± 0.008	3.5E-09
2018S-2	栃木県日光市	22 ± 1.7	197 ± 4.9	168 ± 20	0.035 ± 0.006	± 0.006	1.0E-09
2018S-3	愛知県知多郡武豊町	< 0.7	2.8 ± 0.2	353 ± 6	0.034 ± 0.005	± 0.005	7.8E-10
2018S-4	福島県南相馬市	77 ± 2.4	831 ± 7.6	433 ± 23	0.40 ± 0.05	± 0.05	9.7E-09
2018S-5	福島県二本松市	31 ± 1.7	310 ± 5.1	328 ± 21	0.062 ± 0.010	± 0.010	4.2E-09
2018S-6	福島県三春町	11 ± 1.4	123 ± 3.5	690 ± 33	0.023 ± 0.004	± 0.004	1.7E-09
2018S-7	福島県南会津郡下郷町	2.2 ± 0.1	24.0 ± 0.3	257 ± 3	0.029 ± 0.004	± 0.004	2.6E-10

* 604.7 keVの定量結果

表 4 ホウレンソウ中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							¹²⁹ I/ ¹²⁷ I原子数比		
		¹³⁴ 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	mBq/kg 生			
2018S-1	宮城県大崎市	< 0.037	0.091 ± 0.008	-	217 ± 0.7	0.00086 ± 0.00006	1.5E-08				
2018S-2	栃木県日光市	< 0.011	0.059 ± 0.002	-	216 ± 0.3	0.00021 ± 0.00002	1.1E-09				
2018S-3	愛知県知多郡武豊町	< 0.013	< 0.012	-	220 ± 0.3	0.00026 ± 0.00003	3.7E-09				
2018S-4	福島県南相馬市	0.076 ± 0.006	0.873 ± 0.013	0.068 ± 0.004	324 ± 0.8	0.062 ± 0.011	3.8E-07				
2018S-5	福島県二本松市	< 0.017	0.155 ± 0.005	0.060 ± 0.003	253 ± 0.4	0.0074 ± 0.0014	5.9E-08				
2018S-6	福島県三春町	< 0.014	0.047 ± 0.003	0.019 ± 0.002	230 ± 0.4	0.0012 ± 0.0001	7.9E-09				
2018S-7	福島県南会津郡下郷町	< 0.013	0.013 ± 0.002	0.018 ± 0.002	246 ± 0.3	0.00064 ± 0.00031	3.0E-09				

表 5 由来別 ^{129}I 放出量及び $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比

	大気圏核実験前 (~1940) 宇宙線・自 核発分裂 (一定)	大気圏核実験 (1945-1975)	チェルノブイ リ原子力発 電所事故 (1986)	核燃料再処理施設 (La Hague)	核燃料再処理施設 (Sellafield)	核燃料再処理 施設(東海村)
^{129}I 積算放 出量(kg)				75 (大気, 1965-2007) 3800 (海洋, 1965-2007)	180 (大気, 1965-2007) 1400 (海洋, 1965-2007)	1.1 (1997- 2005)
^{129}I 生成・放 出量(kg/y)	180 (大気) 60 (海洋)	57	1.3-9	2 (大気) 50 (海洋, 1965-1990) 250 (海洋1990-)	4 (大気) 50 (海洋, 1965-1990) 80 (海洋, 1990-)	
$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$	10^{-13} - 10^{-12} (海洋) 10^{-15} - 10^{-14} (岩石圏)	10^{-11} - 10^{-10} (海洋) 10^{-11} - 10^{-10} (陸圏)	10^{-6} (汚染地 域)	10^{-8} - 10^{-5} (海洋) 10^{-6} - 10^{-4} (陸圏) 10^{-3} (周辺<50 km)	10^{-8} - 10^{-5} (海洋) 10^{-6} - 10^{-4} (陸圏) 10^{-3} (周辺<50 km)	10^{-6} - 10^{-4} (陸 圏)

表 6 2011 年の FDNPS 事故による土壌中 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比

事故前の日本における森林土壌	10^{-8}
FDNPS から 1 km 南の森林土壌 0~20 cm	$10^{-7} \sim 10^{-4}$
FDNPS から 5 km、大熊町の表層土壌	10^{-7}
FDNPS から 30 km、飯館村長泥の表層土壌	10^{-6}
FDNPS から 5~60 km の表層土壌	$10^{-7} \sim 10^{-6}$
FDNPS から 4~48 km の水田表層土壌	$10^{-8} \sim 10^{-6}$

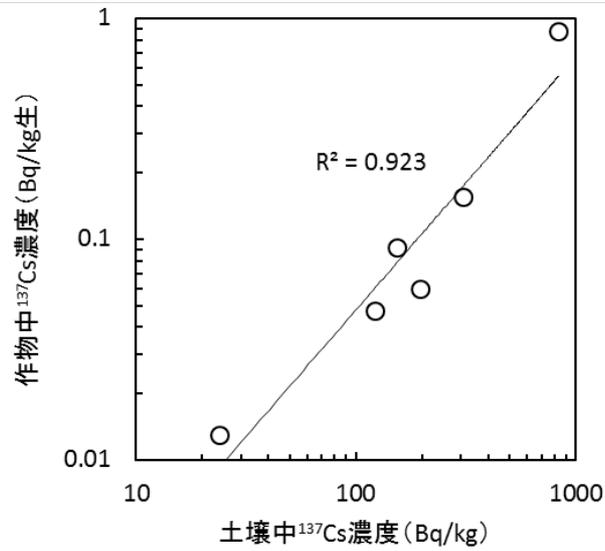


図 1 土壌中 ^{137}Cs 濃度と作物中 ^{137}Cs 濃度の関係

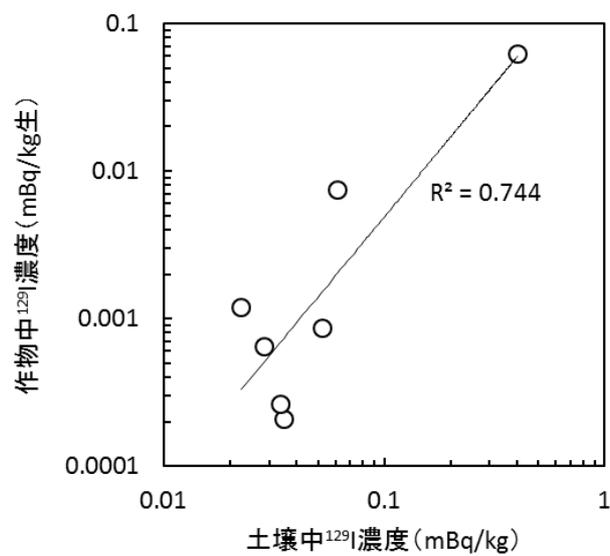


図 2 土壌中 ^{129}I 濃度と作物中 ^{129}I 濃度の関係