

I. 総括研究報告

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)

食品中の放射性物質濃度の基準値に対する放射性核種濃度比の検証と
その影響評価に関する研究 主任研究報告書

研究代表者 明石 真言 (東京医療保健大学)

研究要旨

東京電力福島第一原子力発電所(FDNPS)事故により食品の摂取による内部被ばくの影響が懸念され、厚生労働省は平成24年4月以降、食品からの内部被ばく線量(食品の安全性に十分に配慮した放射線量の目安)を1 mSv/年として、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)及びプルトニウム(Pu)同位体については、セシウム-137 (^{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。当該事業では、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、そして国内の食品の安全に関する根拠を示すことを目的に、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なうことを目的とした。令和3年度は福島市周辺地域、令和4年度はいわき市周辺地域、及び令和5年度には南相馬市と相馬市周辺地域で栽培している様々な作物を網羅的に採取し、平成23年のFDNPS事故から10年以上を経過した作物中放射性Cs濃度を測定した結果、全て基準値以下(^{137}Cs の平均濃度:0.57 Bq/kg-生重量、n=117)であり、平成24年度から実施している本課題でこれまでに得られた作物中放射性Cs濃度と比較し、芋類、葉菜類、根菜類と果菜類で ^{137}Cs 濃度の減少傾向を確認した。また、安定Sr濃度から予測した ^{90}Sr 平均濃度は、0.16 Bq/kg-生重量(n=40)であった。本評価において設定した年齢性別区分の中で、農作物摂取による放射性Cs(^{134}Cs と ^{137}Cs の合計値)による被ばく線量の推定結果が最も高かった年齢性別区分は【19歳以上男子】で、その推定値は0.0010 mSv/年であった。本研究では、測定結果から得られた放射性物質濃度の食品を安全側に評価しており、実際に摂取する放射性Cs濃度は本評価より減少すると考えられる。また、 ^{90}Sr による被ばく線量の推定結果が最も高かった年齢性別区分は【13 - 18歳男子】で、その推定値は0.0040 mSv/年であった。なお、この線量の大部分が大気圏核実験由来の ^{90}Sr によるものと考えられる。令和5年11月に福島相双海域で採取され、市場流通する水産物食品として魚類2種を入手し、個体ごとに部位別の測定を行った。魚類可食部中の ^{134}Cs 濃度は検出下限値以下で、 ^{137}Cs 濃度は、0.19 - 0.50 Bq/kg-生重量であった。同種個体間による濃度のばらつきも認められなかった。海水魚中の ^{90}Sr や $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度は検出下限値以下またはそれに近い濃度であった。魚類の生息環境の海水中放射性物質濃度とその濃縮比を用いて魚類中の ^{90}Sr 濃度や $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度を推定したところ、いずれも検出下限値以下の濃度であり、魚類中の放射性物質濃度はその生息環境の海水濃度を反映していることが明らかとなった。魚類中の ^{137}Cs 濃度に対する ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の総濃度の割合は、5%以下であり、食品の放射性物質の基準値の算出基準の考え方に対して ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度が放射性物質の基準値に影響を与えないことが確認できた。さらに放射線防護や食品安全等に関連する国際機関および諸外国から公表されている資料や論文等の文献を調査し、放射性Csに対する基準値・規制値のみを抜粋し、基準値設定の基礎となった汚染率や消費量の少ない食品の設定等についてまとめた。

研究分担者

塚田 祥文 福島大学環境放射能研究所

青野 辰雄 福島国際研究教育機構

福谷 哲 京都大学複合原子力科学研究所

研究協力者

鍋師 裕美 国立医薬品食品衛生研究所

高田 兵衛 福島大学環境放射能研究所

A. 研究目的

東京電力福島第一原子力発電所 (FDNPS) 事故により食品の摂取による内部被ばくの影響が懸念された。厚生労働省は平成 24 年 4 月以降、介入線量レベル(食品の安全性に十分に配慮した放射線量の目安)を 1 mSv/年として導出された新たな基準値を適用した。新たな基準値の導出においては、放射性セシウム(Cs)濃度について基準値(「一般食品」では 100 Bq/kg、「乳児用食品」及び「牛乳」では、50 Bq/kg)を設定し、その他の核種については、原子力安全・保安院(当時)が平成 23 年 6 月に公表した放出量試算値のリストに掲載された核種のうち、半減期が 1 年以上であるストロンチウム-90 (^{90}Sr)、ルテニウム-106 (^{106}Ru)、プルトニウム(Pu)を規制対象核種として、放射性 Cs との濃度比を推定することにより、その線量を考慮している。また、これらの規制対象核種以外は、モニタリング結果や核分裂収率、物理的半減期等から、放射性 Cs に比べて線量の寄与が無視し得る程十分に小さいと考えられ、規制対象核種には含まれていない。

内部被ばく線量に対する放射性 Cs 及びその他の放射性物質濃度の割合は、環境モニタリングによる土壤中放射性物質濃度や、これまでの環境移行パラメータによって推定されており、その評価は十分安全側と考えられるが、実際に食品中濃度を測定した結果に基づくものではない。そのため、食品について測定及び評価を行い、内部被ばくに対する主要放射性物質の割合の状況を把握する必要がある。

また国際機関や諸外国等における食品中の放射性物質の規制値や食品摂取に伴う内部被ばく線量の評価等に関する基礎的な資料の作成を目的に調査を行った。

本研究では食品(農水産物等)中の放射性 Cs 及び長半減期放射性核種等の濃度変化について調査を行い、基準値作成に用いられた濃度比との比較や食品の摂取

に起因する放射性 Cs の内部被ばく線量の推定から、介入線量レベルを 1 mSv/年とした食品中の放射性 Cs 濃度基準値の妥当性の検証及び食品中に含まれる放射性物質の濃度等に関する科学的知見の集約を行うことを目的とした。

B. 研究方法

1. 農作物中 Cs と長半減期核種の濃度測定に関する研究

南相馬市、相馬市及び新地町の産地直売場において 117 試料の作物を、令和 5 年 4 月 24 日から令和 5 年 11 月 28 日に採取した。穀類、豆類などを除く作物は、原則水洗いした後、傷んでいる部分、皮などの非可食部を取り除いた。その後、賽の目状にカットし、玄米、葉菜類、豆類などは 70°C で 1 週間ほど熱乾燥、比較的糖分の多い果実類、果菜類などは 2 週間ほど凍結乾燥した後、粉碎・混合した。ハチミツは、前処理せずそのままの状態で測定した。乾燥粉碎試料をプラスチック容器(U-8)に詰め測定した。玄米は、2 L マリネリ容器に詰めて測定した。Ge 半導体検出器を用いてセシウム-134 (^{134}Cs)、セシウム-137 (^{137}Cs) 及びカリウム-40 (^{40}K) 濃度を求めた。また、一部試料の ^{90}Sr 濃度は、安定 Sr 濃度を測定した後、平成 27 年から令和元年までに本課題で得られている浜通りで採取された作物中 $^{90}\text{Sr}/\text{Sr}$ 濃度比から類推した。

2. 水産物食品中の放射性物質濃度等に関する研究

福島県水産海洋研究センターと相馬双葉漁業協同組合の協力を得て、令和 5 年 11 月に福島相双海域で採取し、市場に流通する魚類 2 種(スズキ及びヒラメ)を本研究の対象とした。魚類の灰試料を作成し、Ge 半導体検出器(GX2019)を用いて、 γ 線放出核種の測定を行った。またこれまでに収集した魚類灰試料を用いて、 ^{90}Sr や $^{239+240}\text{Pu}$ の定量を行い、放射性 Cs に対する濃度比について調査を行った。トリチウムは食品中放射性物質の基準値の対象核種ではないが、東京電力ホールディングス ALPS 処理水の海洋放出を受けて、魚類中のトリチウムの定量も行った。

3. 食品中放射性 Cs 濃度基準値の妥当性検証及び被ばく線量評価

農作物の摂取に起因する放射性 Cs 及び ^{90}Sr による内部被ばく線量をそれぞれ推定し、比較検討するところを目的としている。今回の研究では、農作物中 ^{90}Sr 濃度の推定のために安定 Sr 濃度を測定するとともに、分担研究 1.において測定された放射性 Cs 濃度及び推定された ^{90}Sr 濃度を用いて、農作物の種類ごとの被ばく線量を推定した。なお、内部被ばく線量評価のための線量係数は、ICRP Publication No.72 に記載されている経口摂取に係る内部被ばく線量係数を用いた。

4. 食品中放射性物質濃度と食品摂取に伴う内部被ばく線量の評価等に関する知見の評価検討

放射線防護や食品安全等に関連する国際機関および諸外国から公表されている資料や行政機関のウェブサイト、論文等の資料を調査することにより、本年度は中国、香港、台湾、韓国、フィンランドおよびスウェーデンについて食品中の放射性物質に係わる規制および規制値設定の際に用いられた汚染率や摂取量の少ない食品の取り扱いについて調査し、アジア地域および北欧地域に分けて表にまとめた。

C. 研究成果

1. 農作物中 Cs と長半減期核種の濃度測定に関する研究

一部試料について、 ^{137}Cs とカリウム-40 (^{40}K)濃度を外部機関による測定値とクロスチェックした結果、両者の値はよく一致した。玄米、芋類、葉菜類、根菜類、豆類、果菜類（果実類を含む）、穀類、種実類及びその他作物の ^{137}Cs 濃度は、それぞれ 0.22 ± 0.11 ($n=3$)、 0.30 ± 0.15 ($n=6$)、 0.35 ± 0.55 ($n=40$)、 0.75 ± 1.51 ($n=10$)、 0.50 ± 0.20 ($n=4$)、 0.55 ± 1.24 ($n=42$)、 3.39 ($n=1$)、 0.84 ± 0.39 ($n=3$)及び 1.37 ± 1.03 ($n=8$) Bq/kg-生重量であった。基準値を超える作物はなく、トウガラシ (2023-P50) の ^{137}Cs 濃度で 6.3 Bq/kg-生重量が最も高い値であった。

作物中 Sr 濃度から類推した ^{90}Sr 濃度は、全て 1.0 Bq/kg-生重量以下 ($0.021 - 0.52$ Bq/kg-生重量、 $n=40$)と低い濃度であった。

2. 水産物食品中の放射性物質濃度等に関する研究

令和 5 年 11 月に入手した魚類中の放射性 Cs 濃度測定の結果、 ^{134}Cs は検出下限値 (0.002 Bq/kg-生重量) 以下であった。スズキ及びヒラメの可食部の ^{137}Cs 平均濃度は、それぞれ 0.42 Bq/kg-生重量及び 0.24 Bq/kg-生重量であった。海水中の ^{134}Cs 濃度は検出下限値 (0.001 Bq/kg-生重量以下)で、 ^{137}Cs 濃度範囲は 0.0008 - 0.0022 Bq/L であった。海水中の ^{90}Sr 濃度は 0.002 Bq/L 以下であった。採取した魚類アラ部中の ^{90}Sr 濃度は、スズキでは 0.07 Bq/kg-生重量であったが、ブリやヒラメでは検出下限値 (0.02 Bq/kg-生重量) 以下であった。令和 4 年 12 月に採取した魚類アラ部中の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度は検出下限値 (0.001 Bq/kg-生重量) 以下であった。また令和 5 年 11 月に採取したスズキとヒラメ中のトリチウム濃度は検出下限値 (0.6 Bq/L) 以下であった。

3. 食品中放射性 Cs 濃度基準値の妥当性検証及び被ばく線量評価

本評価において設定した年齢性別区分の中で、農作物摂取による ^{134}Cs による被ばく線量の推定結果が最も高かったのは【19 歳以上男子】で、その推定値は 0.000028 mSv/年であった。 ^{137}Cs による被ばく線量の推定結果が最も高かった年齢性別区分は【19 歳以上男子】で、その推定値は 0.00098 mSv/年であった。放射性 Cs による被ばく線量 (^{134}Cs と ^{137}Cs の合計値) の推定結果が最も高かった年齢性別区分は【19 歳以上男子】で、その推定値は 0.0010 mSv/年であった。また、 ^{90}Sr による被ばく線量の推定結果が最も高かった年齢性別区分は【13 - 18 歳男子】で、その推定値は 0.0040 mSv/年であった。いずれについても、介入線量レベルである 1 mSv/年を大幅に下回っていた。

4. 食品中放射性物質濃度と食品摂取に伴う内部被ばく線量の評価等に関する知見の評価検討

アジア地域および北欧地域における食品中の放射性物質の規制に関する調査結果をまとめた資料を作成した。

D. 考察

1. 農作物中 Cs と長半減期核種の濃度測定に関する研究

平成24年度から実施している本課題で得られた年度別作物種毎の ^{137}Cs 濃度を比較した。有意差($P < 0.05$)となったのは、芋類では平成29年度と令和3年度、平成29年度と令和4年度、葉菜類では平成27年度と平成28年度、平成28年度と平成29年度、果菜類(果実類を含む)では令和3年度と令和4年度であった。しかしながら、平成24年度から令和5年度までの長年に亘って福島県内で採取した ^{137}Cs 濃度の変化をヨンクヒール=タブストラ検定した結果、芋類、葉菜類、根菜類、豆類及び果菜類(果実類を含む)で減少傾向が認められた。作物中放射性Cs濃度が減少している要因としては、表土の剥ぎ取り除染やK施用による低減化対策が十分に実施され、また、放射性Csの物理的減衰により、作物中放射性Cs濃度は基準値を十分に下回っていると言える。令和5年度の調査では、表土剥ぎ取りなどの十分な除染が実施されていない地点から採取される山菜などの自生植物は見られなかったが、今後も注視していく必要がある。また、作物中 ^{90}Sr 濃度は低い濃度であることが確認された。

2. 水産物食品中の放射性物質濃度等に関する研究

令和5年に福島相双海域のスズキ及びヒラメから ^{134}Cs は検出されなかった。福島原発事故時に環境へ放出された $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比は概ね1であったことが報告されている¹⁰⁾が、令和5年1月の時点では、理論上の $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比は約0.02となる。試料中の放射性Cs濃度は低いことが予想されたため、可食部、内臓部やアラ部の試料を灰に減容した。検出された ^{137}Cs 濃度に、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比を用いて計算した福島原発事故由来の ^{134}Cs の推定濃度は検出下限値(0.01 Bq/kg-生重量)に相当した。つまり、 ^{137}Cs 濃度(1 Bq/kg-生重量以下)の傾向が続く場合、 ^{134}Cs を検出することは難しいことが考えられる。

魚全身に対する部位ごとの ^{137}Cs 存在量比は、可食部が54-70%、アラ部が25-41%で、内臓部が3-14%であった。つまりアラ部は体液など水分量が他の2つの組織に比べて低いために、 ^{137}Cs 濃度が低いことが考えられる。魚全身中の ^{137}Cs 濃度は、可食部中の濃度に比べて20-30%ほど低い値であった。これらの傾向は ^{40}K の場合も同じで、体液等に影響していることが考えられる。

魚類を採取した海域に近い沿岸における海水中の放

射性Cs濃度は、 ^{134}Cs 濃度は検出下限値以下、 ^{137}Cs 濃度は0.0018 - 0.0021 Bq/Lであった。海産魚類のCsの濃縮比(CR)100¹¹⁾を用いて、海水中の ^{137}Cs 濃度から魚類中の ^{137}Cs 濃度を推定すると、0.08 - 0.2 Bq/kg-生重量と推定される。今回、分析した魚類中の ^{137}Cs 濃度範囲以下であり、概ね魚類中の放射性Cs濃度は生息環境の海水濃度を反映していたことが明らかとなった。アラ部中の ^{90}Sr 濃度の分析を行ったが、検出下限値(0.02 Bq/Kg-生重量)以下であった。また海水中の ^{90}Sr 濃度は0.0005 - 0.0009 Bq/Lであった。海産魚類のSr濃縮比(CR)5^{11, 12)}を用いて、海水中の ^{90}Sr 濃度から魚類可食部中の ^{90}Sr 濃度を推定すると、0.0025 - 0.0005 Bq/kg-生重量と推定される。この推定値は、検出下限値の0.0002 Bq/kg-生重量以下となり、魚類中の ^{90}Sr が検出されない理由は、魚類の生息環境の海水中の ^{90}Sr 濃度を反映していたことが考えられる。 $^{239+240}\text{Pu}$ は生物の内蔵に濃縮されやすいことから内蔵部中の分析を行ったところ、検出下限値(0.0008 Bq/kg-生重量)以下であった。海水中の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度と海産魚類のPu濃縮比(CR)40^{11, 13)}を用いて、魚類可食部中の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度を推定すると、0.0002 Bq/kg-生重量と推定され、検出下限値(0.0008 Bq/kg-生重量)以下であることから、概ね魚類中の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度も生息環境の海水中の濃度を反映していたことが考えられる。ALPS処理水の海洋放出に伴う魚類へのトリチウムの影響も認められなかった。

3. 食品中放射性Cs濃度基準値の妥当性検証及び被ばく線量評価

食品摂取に伴う ^{134}Cs による被ばく線量は、 ^{137}Cs に比べて1/10以下であり、十分に低いレベルになっている。

^{137}Cs による被ばく線量は、「穀類」と「コメ」の合計が全般的に高くなっているが、「穀類」と「コメ」について、「穀類」の多くは輸入された小麦と考えられ、また国内産の麦類に占める福島県産の割合は極めて小さい。このため事故に起因する穀類の摂取による被ばく線量は極めて低いと考えられる。また、本評価では玄米中濃度を使用しているが、精米により放射性Cs濃度は減少するため、白米を摂取した場合には被ばく線量は本評価よりも低くなる。したがって、「穀類」と「コメ」による実際の線量は本推計値よりも低いことが考えられる。また、実際に消費される食品は

より広範囲の産地から購入されるため、被ばく線量は本評価値より低くなっていると考えられる。

本評価では調理加工に伴う放射性 Cs 濃度の減少は考慮していないが、調理加工によって実際に摂取する放射性 Cs 濃度は減少する影響も考えられる。

^{90}Sr による被ばく線量について、今回検出された ^{90}Sr の多くは大気圏核実験由来と考えられる。よって、事故由来の ^{90}Sr による被ばく線量はこの評価結果よりも十分に低いと考えられる。

4. 食品中放射性物質濃度と食品摂取に伴う内部被ばく線量の評価等に関する知見の評価検討

中国、韓国等のアジア地域およびスウェーデン等の北欧地域における食品中の放射性物質の規制に関連する情報を調査し、整理した。中国では、汚染率のパラメータは含まれていなかった。一方、香港、台湾、韓国については、Codexのガイドラインレベルの導出に用いられた計算式およびパラメータが用いられており、汚染率についても考慮されていた。

チェルノブイリ原発事故の影響を強く受けたと考えられた北欧地域では、スウェーデン、フィンランドにおいては、食品中の放射性物質の濃度と摂取頻度についての助言や野生きのこや野生淡水魚等の摂取についての様々な助言が行政機関のホームページ等で行われていることが確認できた。

E. 結論

1. 農作物中 Cs と長半減期核種の濃度測定に関する研究

南相馬市及び相馬市周辺で栽培されている作物(117試料)を直売場で採取し、放射性 Cs 濃度を測定した結果、基準値を超える作物はなかった。作物種毎の ^{137}Cs 平均濃度は、ハチミツ等を含むその他作物を除き 1 Bq/kg -生重量以下であり、表土剥ぎ取り除染やカリウムの施用により、作物中放射性 Cs 濃度は十分に低い値であることが再確認された。また、 ^{90}Sr の平均濃度は、 0.16 Bq/kg -生重量であった。

2. 水産物食品中の放射性物質濃度等に関する研究

福島相双海域で採取し、市場流通する水産物食品とし

て魚類中の部位別の放射性 Cs と ^{40}K を定量した結果、魚類可食部で ^{134}Cs は検出下限値以下で、 ^{137}Cs 濃度範囲は $0.24 - 0.42\text{ Bq/kg}$ -生重量であった。アラ部中 ^{90}Sr 濃度や内蔵部中 $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度から推定する魚類中の ^{90}Sr 濃度や $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度は、検出下限値以下あるいはそれに近い値であった。魚類が生息する福島沿岸における海水中の放射性 Cs、 ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度から海洋生物への濃縮比を用いて魚類中の放射性 Cs、 ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度の推定を行った。魚類中の放射性 Cs は実測値と概ね同じ濃度範囲で、 ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ は検出下限値以下であった。つまり魚類中のこれら放射性物質濃度は生息環境の海水中濃度を反映していることが確認された。魚類中の ^{137}Cs 濃度に対する ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度の割合は、5%以下であり、食品の基準値の算出基準の考え方¹³⁾に対して影響を与えないものであることが確認できた。

3. 食品中放射性 Cs 濃度基準値の妥当性検証及び被ばく線量評価

農作物の摂取に起因する放射性 Cs 及び ^{90}Sr による内部被ばく線量をそれぞれ推定し、比較検討を実施した。いずれについても、介入線量レベルである 1 mSv/年 を大幅に下回っており、また、事故に起因する ^{90}Sr の寄与は極めて小さく、放射性 Cs 以外の放射性核種の割合を安全側に考慮して算出した放射性 Cs の基準値は、妥当であったと考えられる。

なお、採取される山菜などの自生植物中放射性 Cs 濃度については、 ^{137}Cs 濃度が比較的高い可能性があるが、このような食品については、濃度の平均化や摂取量の取り扱いによって被ばく線量評価結果が大きく変動することに留意する必要がある。

4. 食品中放射性物質濃度と食品摂取に伴う内部被ばく線量の評価等に関する知見の評価検討

これまでの調査から、各国の食品中の放射性物質の規制値は、それぞれの国の考え方や状況に応じて決定されていることが確認された。一方で、規制値の設定に係わる前提や情報がすべて開示されている訳ではないため、汚染率、スパイス等の少量消費食品の取り扱い等については不明な点も多かった。諸外国の規制状況や規制値の変遷等の調査で得られた情報は非常に有用であるものの、

規制値の設定は、各国の考え方や、規制値設定時の国内の食料事情等が大きく影響するため、異なるタイミングで設定された各国の規制値を一律に比較することは困難であると考えられた。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究業績

(論文)

1. S. Ueno, Y. Hasegawa, S. Kato, H. Mori, H. Tsukada, H. Ohira, S. Kaneko (2023) Rapid survey of de novo mutations in naturally growing tree species following the March 2011 disaster in Fukushima: the effect of low-dose-rate radiation, *Environmental International* 174, 107893.
2. T. Kubota, H. Tsukada, M. Shin, Y. Mampuku, M. Hachinohe (2023) Dynamics of suspended and dissolved radiocaesium in a small irrigation pond based on vertical profiles of water quality, *Agricultural Water Management* 286, 108387.
3. H. Tsukada, A. Takeda, T. Takahashi, S. Fukutani, M. Akashi, J. Takahashi, S. Uematsu, I. Chyzhevskiy, S. Kirieiev, V. Kashparov, M. Zheleznyak (2023) Transfer of ^{137}Cs and ^{90}Sr from soil-to-potato: Interpretation of the association from global fallout in Aomori to accidental release in Fukushima and Chornobyl, *Science of the Total Environment* 899, 165467.
4. M. Suzuki, K. Kubo, M. Hachinohe, T. Sato, H. Tsukada, N. Yamaguchi, T. Watanabe, H. Maruyama, T. Shinano (2024) Effects of cattle manure compost application on crop growth and soil-to-crop transfer of cesium in a physically radionuclide-decontaminated field, *Science of the Total Environment* 908, 167939.
5. 信濃卓也、塚田祥文 (2023) 放射性セシウム研究の進展と土壤肥料科学の貢献 6. 残された課題, *日本土壤肥料科学雑誌* 94, 196-202.
6. 塚田祥文 (分担) (2024) 環境放射能学入門. 第 6 章 土壤の放射性セシウムと作物への移行, 福島大学環境放射能研究所, pp 110-126.
(学会発表)
7. 柳川賢斗、辰野宇大、塚田祥文 (2023) 2011 年に福島県から採取した土壌アーカイブ試料の ^{137}Cs 存在形態に関する研究 (第 60 回アイソトープ・放射線研究発表会, 東京)
8. H. Tsukada, A. Takeda, T. Takahashi, S. Fukutani, M. Akashi, J. Takahashi, S. Uematsu, I. Chyzhevskiy, S. Kirieiev, V. Kashparov, M. Zheleznyak (2023) Transfer of ^{137}Cs and ^{90}Sr from soil to potato: Interpretation of association from global fallout in Aomori to accidental released in Fukushima and Chornobyl (International Conference on Environmental Radioactivity, ENVIRA 2023, Seville)
9. K. Hirose, Y. Onda, H. Tsukada, Y. Hiroshima, Y. Okada, Y. Kikawada (2023) Chemical implication of partition coefficient of ^{137}Cs between aqueous and suspended and phases in natural water (International Conference on Environmental Radioactivity, ENVIRA 2023, Seville)
10. 塚田祥文、齋藤隆、平山孝、松岡宏明、中尾淳 (2023) 田面水および間隙水中 ^{137}Cs 濃度の変化とイネへの移行 (日本土壤肥料学会 2023 年度愛媛大会、松山)
11. 武田晃、海野佑介、塚田祥文、高久雄一、久松俊一 (2023) 放射性ヨウ素の土壌固相—液相間分配係数の変動要因 (日本土壤肥料学会 2023 年度愛媛大会、松山)
12. N. Yamaguchi, H. Tsukada, D. Yamada (2023) Radiocaesium aggregated with a plant-derived organic matter in soils affected by nuclear accident (2023 ASA, CSSA, SSSA International Annual Meeting, St. Louis, Missouri)
13. 柳川賢斗、辰野宇大、塚田祥文 (2023) 2011 年に東京電力福島第一原子力発電所の 20 km 圏内から採取した土壌アーカイブ試料の ^{137}Cs 存在形態について (日本原子力学会秋の大会, 名古屋)

14. S. Ueno, Y. Hasegawa, S. Kato, H. Mori, H. Tsukada, H. Ohira, S. Kaneko (2023) Rapid assessment of mutational risks in tree species exposed to low-dose-rate radiation following the nuclear disaster in 2011 (ICRP 2023, Tokyo)
15. H. Tsukada, S. Fukutani, T. Aono, M. Akashi (2023) Time-series analysis of ^{137}Cs activity concentrations and internal radiation doses from marketable crops cultivated and distributed in Fukushima Prefecture from 2012 to 2022 (ICRP 2023, Tokyo)
16. 上野真義、長谷川陽一、加藤珠理、森英樹、塚田祥文、大平創、兼子伸吾 (2024) 低線量率放射線による突然変異リスクの迅速評価法の開発 (第 135 回日本森林学会大会, 東京)
17. H. Tsukada, A. Takeda, N. Yamaguchi, T. Saito, N.P. Thoa (2024) Predicting ^{137}Cs and ^{90}Sr activity concentrations in brown rice using specific activity ratios of $^{137}\text{Cs}/\text{Cs}$ and $^{90}\text{Sr}/\text{Sr}$ in the exchangeable fraction of soil (The 16th International Conference of The East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies (ESAFS 2024), Thai Nguyen)
18. 塚田祥文、齋藤隆、平山孝、松岡宏明、中尾淳 (2024) 田面水および間隙水中 ^{137}Cs 濃度の変化とイネへの移行 (第 10 回福島大学環境放射能研究所成果報告会、福島)
19. 柳川賢斗、辰野宇大、塚田祥文 (2024) 2011 年に福島県から採取した土壌アーカイブ試料の ^{137}Cs 存在形態の経時変化に関する研究 (第 10 回福島大学環境放射能研究所成果報告会、福島)
20. 田中草太、伊藤陽日葵、森下祐樹、鳥居建男、塚田祥文 (2024) ミミズが土壌表層の放射性セシウム分布に与える影響の可視化 (第 71 回日本生態学会大会、横浜)
21. 食品検査結果に関するリスクコミュニケーション (2024) 「放射性物質に関する基礎知見と福島県の作物と被ばく線量」 (双葉町・福島修明高校・東京) (招待講演)

H. 知的財産権の出願・登録状況
なし