

特集 東日本大震災がもたらした食料問題 —福島県の現状と課題—**農産物における放射能汚染対策 12 年の総括と科学的知見の蓄積**

福島大学食農学類教授

二瓶直登

2011 年 3 月 11 日の東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故（以下、原発事故）により、福島県を中心とする東日本広域で放射性物質（主に放射性セシウム）が広がった。農産物における放射性セシウムの取り込みを低減する吸収低減対策が実施され、作物の放射性セシウム吸収、農業環境中の放射性セシウムの挙動などの観点から研究が行われた。

本稿では、農地における放射性セシウム吸収低減対策、福島県産農産物の現状と課題、作物のセシウム吸収に関する原発事故後の取り組みと知見について概要を説明する。

1 放射性セシウム吸収低減対策

福島県は全国第 3 位の広大な面積を有しており、冬期温暖で日照時間が長い地方から気温の日較差が大きい内陸の地方まで多様な気象に加え、雄大な山地を有していることから豊富な水があり、それぞれの特徴を生かした地域性豊かな農林水産業が営まれてきた。消費地の首都圏にも近く、米を始め、モモ、なし、キュウリ、トマト、アスパラガスなど全国上位の産地を形成しており、農業生産額は 1913 億円（2021 年）で全国 17 位である。2011 年 3 月に起きた原発事故では、住宅地、農地、森林に放射性物質（主に放射性セシウム）が沈澱し、安全な農産物生産への懸念から農業生産が危ぶまれた。農地に堆積した放射性セシウムによる外部被ばくを可能な限り引き下げ、安全な農作物の提供が図られ農業生産を再開できるように、年間被ばく線量が 1 mSv 以下になる程度に空間線量率を引き下げることが目標として、原発事故後に農地の除染が行われた。除染方法については、土壌中の放射性セシウム濃度が 5000 Bq/kg 以下の農地では廃棄土壌が発生しない反転耕等を実施し、5000 Bq/kg を超えている農地では表層 5 cm を目安に作土を剥ぎ取る表土削り取り等が実施された（[福島県 HP](#)）。農地除染のほか、栽培方法の工夫による放射性セシウム濃度の吸収抑制対策も行われた。チェルノブイリ事故以降の研究および福島県内の調査により、土壌のカリウム濃度が低い土壌で栽培した農作物は放射性セシウム濃度が高くなる傾向がみられるため、特に水稻では作付け後の交換性カリ（ K_2O ）が 25 mg/100 g 以上となるように積極的なカリウム施肥が指導された。果樹は土壌表層からの放射性セシウム吸収に加え、樹皮に付着した放射性セシウムが植物体内で可食部に移行する。そのため、原発事故直後には樹体内への移行を抑制するため樹体表面の粗皮削り、高圧水による樹体洗浄等、樹体表面の放射性物質の除去が進められた。

2 農産物のモニタリング検査

農林水産物の安全を確認するために、農林水産物に係る緊急時放射線モニタリング(以下、モニタリング検査)が原子力災害対策特別措置法に基づき、福島県では2011年3月から実施している。モニタリング検査は福島県内で生産・販売される農林水産物のうち、出荷が始まる直前から出荷期にかけ生産量や出荷額、摂取量が多い品目等に留意して検査計画が策定される。検査の結果、放射性セシウムの基準値(100 Bq/kg)を超過した食品は回収、廃棄され、超過する食品に地域的な広がり認められる場合には、原子力災害対策本部長(内閣総理大臣)が地域や品目を指定して出荷制限の指示を行う。福島県では、2023年3月までの12年間で、モニタリング検査を約500品目、約23万点(米除く、穀類:6%、野菜:16%、果樹:4%、畜産物:27%、林産物:8%、水産・海水:33%、水産・淡水:4%)実施し、現在も検査品目を絞りながら継続して実施している。検査結果については全て公表されており、品目、年次、地域などで検索可能である([福島県農林水産物・加工食品モニタリング情報HP](#))。

穀類(米を除く)の結果をみると、100 Bq/kgを超えた割合は原発事故直後の2011年度は7.2%、2012年度は0.5%、2013年度は1.2%であり、2016年度以降は100 Bq/kgを超えるサンプルは検出されていない(図1)。農産物の放射能汚染は、原発事故により降下した放射性物質の農作物への沈着による直接汚染と、土壌に沈着した放射性物質が根を通して吸収される間接汚染に分けられる。直接汚染は、放射性物質が農作物に直接沈着するため、一般的に土壌から根を通じて放射性物質を吸収する間接汚染より汚染の影響は大きい。間接汚染が主な要因となる2012年以降は、放射性セシウムの濃度はどの分類でも著しく低下傾向を示している。福島第一原発から放出された ^{134}Cs と ^{137}Cs の割合はほぼ1:1であり、 ^{134}Cs と ^{137}Cs の半減期を2年と30年とすると、一年後の物理的な放射能濃度減少は約15%見込まれる。この物理的半減期による放射能濃度の低下に加え、粘土鉱物への放射性セシウムの固定、カリウム施肥の徹底、表土剥ぎや反転耕などによる除染の効果により、農林水産物の放射能濃度が減少したものと推察される。さらに、穀類間で比較すると、間接汚染が主要な吸収経路となった2012年以降、ダイズの放射性セシウム濃度が他の穀類より高い。ダイズの放射性セシウム濃度が他の穀類より高い理由については、子実(玄米)内の放射性セシウムの分布が玄米では胚と糊粉層など局所的な蓄積する一方、ダイズでは子実全体に均一に分布する(図2)。玄米はデンプンやタンパク質を蓄積する胚乳が多くを占め、カリウムなどの栄養成分を貯める胚はわずか一部である。これに対し、ダイズ子実は胚乳を持たず(無胚乳種子といわれている)、子葉にデンプンやタンパク質とともに栄養成分も蓄積する。子葉はダイズ子実の大部分を占め、セシウムは栄養成分、特にカリウムと同じ組織に蓄積すると考えられる。このため、吸収したセシウムを子実(玄米)に蓄積する割合は、イネではわずか10%程度であるがダイズでは40%以上であり、ダイズのセシウムを子実に蓄積する割合は高い。従って、モニタリング検査でダイズの放射性セシウム濃度がダイズ以外の穀類より高いのは、無胚乳種子で子実内のセシウムを蓄積する容量が他の穀類より多いために、単位重量当たりの放射性セシウム濃度が高くなることが主な要因である。

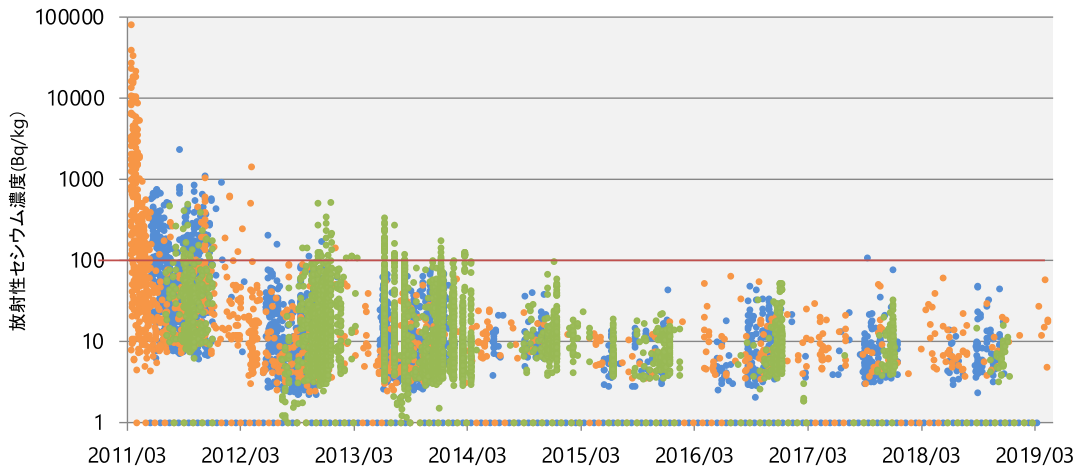


図 1 穀類（青）、野菜（オレンジ）、果樹（緑）のモニタリング検査結果

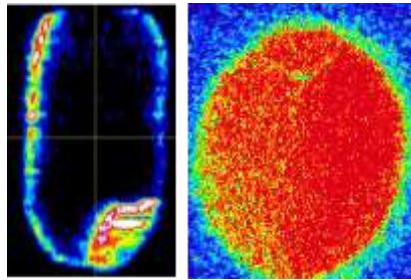


図 2 イネ（左）とダイズ（右）の放射性セシウム分布

野菜では、2011 年度に 100 Bq/kg を超えた割合は 4.7%であった（図 1）。品目別ではホウレンソウ、コマツナ、クキタチナ等、原発事故当時に圃場で栽培されていた葉物野菜で高い濃度のサンプルがみられた（測定された最大値はクキタチナの 84000 Bq/kg）。一方、同時期に露地で栽培されていたキュウリは、果実（いわゆるキュウリ）が葉に隠れていたため放射性セシウムの降下物が直接付着することが少なく、100 Bq/kg を超えるものはなかった。2012 年には一部の野菜で 100 Bq/kg を超過したが、それらは土壌から野菜へ放射性セシウムが吸収、移行したのではなく、栽培時に使用した不織布などの資材が放射性セシウムに汚染していたことが原因であると判明している。このような事例が認識された後は原発事故時に圃場に放置されていた資材の使用禁止、農機具の使用前の十分な洗浄などの指導が徹底され、また、除染作業等も実施され 2013 年度以降 100 Bq/kg を超えるサンプルは検出されていない。

果実では、100 Bq/kg を超えた割合は 2011 年度に 11.2%、2012 年に 0.2%であった（図 1）。果樹は穀類や野菜と異なり永年性作物であり、継続的な影響も懸念されたが、事故直後に表皮の洗浄、表皮剥ぎなどの対策が実施され、100 Bq/kg を超過するサンプルは 2013 年以降ほとんど検出されていない（2017 年度にクリで 1 点が 100 Bq/kg を超過）。100 Bq/kg を超

えていないため食品流通上問題ないが、モニタリング検査の結果からあえて 10 Bq/kg を超えている品目に着目すると、ユズ、クリ、ギンナンが継続的に検出される。ユズは常緑樹であるため、原発事故時に葉が展開しており放射性セシウムの降下物の付着が他の落葉果樹に比べると多かったと想定される。また、クリは先述したダイズと同様な種子構造（無胚乳種子）をとるため、わずかではあるが放射性セシウムの蓄積が検出されると想定される。ギンナンが検出される理由は判然とせず、今後の検討の余地がある。

畜産物については、2011 年度に 100 Bq/kg を超えた割合は 0.8% であった。牛肉は 2011 年 3 月から 2011 年 6 月までに 500 Bq/kg（当時の暫定規制値）を超えるサンプルが検出された。牛肉や豚肉で放射性物質が検出されたのは、放射性物質に汚染された飼料を給餌したことが要因と考えられたため、事故時に外にあった稲ワラや牧草を牛や豚に与えないように、飼育農家への注意喚起が行われ、肉への汚染が広がらないように行政上の指導が図られた。このような行政上の指導の効果もあり、2012 年度以降は 100 Bq/kg を超過するサンプルは検出されていない。

林産物のうち山菜で 100 Bq/kg を超えた割合は、2011 年度は 35.5%、2012 年度は 18.2%、2013 年度は 11.6%、2014 年度は 3.4% であった。キノコについては、2011 年度は 19.4%、2012 年度は 12.5%、2013 年度は 4.5%、2014 年度は 4.4% であった。山菜やキノコが自生する森林は住宅地から 20 m の範囲以外は未除染であり、放射性セシウムの吸収抑制に効果的なカリウム施肥も行われなため、林産物では放射性セシウム濃度が 100 Bq/kg を超える割合は穀類や野菜に比べると高い傾向となっている。山菜については品目間で差がみられ、コシアブラやタラの芽など、若葉を食する山菜で高い傾向がみられた。なお、モニタリング検査では出荷、流通を前提とした対象を測定しており、森林内に生息する山菜、キノコについての全体的な傾向については出荷、流通を前提としていないサンプルについての継続的な調査も必要である。

水産物（海産）については、2011 年度に 100 Bq/kg を超えた割合は 24.5%、2012 年度は 12.7%、2013 年度は 2.3%、2014 年度は 0.6% で 2015 年度以降 100 Bq/kg を超えるものはほとんど検出されていない（2019 年 1 月と 2021 年 2 月に各 1 点が 100 Bq/kg 超）。水産物（河川・内水面）は、2011 年度に 100 Bq/kg を超えた割合は 30.8%、2012 年度は 12.9%、2013 年度は 8.0%、2014 年度は 2.8% であった。水産物（河川・内水面）も着実に放射性セシウム濃度は低下しているが、2019 年度でも 0.3% が 100 Bq/kg を超えている。河川・内水面に生息する淡水魚は森林内の溪流で生息するため汚染した餌（落ち葉や昆虫）や、体内の塩分濃度を維持しようとして体内に取り込んだ放射性セシウムを排出しにくい等、生理的な点も理由として挙げられる。

3 米の全量全袋検査

米は日本人の主食であり、福島県の農業産出額の 4 割を占め、生産面積も最も多い品目でもある。そのため、他の品目より細やかな対策と徹底した検査が実施され、2011 年は土壤の

放射性セシウム濃度が 5000 Bq/kg 以上の地域では作付けできないとの判断が下された。秋には福島県知事が米の安全宣言を出した後、500 Bq/kg 近い米が散見されたことから、2012 年からは福島県内で生産された全ての米（年間約 36 万トン）を対象とした検査（以下、全量全袋検査）の実施が決められた。イネが収穫される 10 月から数か月で検査を終了する必要があるため、一次スクリーニングとして 30 kg の米袋単位で放射性セシウム濃度がおおよそ基準値以下かどうかを数十秒で判断する測定機器（通称、ベルトコンベア式検査器）が開発された（正確な米の放射性セシウム濃度は、その後ゲルマニウム半導体検出器を用いて数十分かけて明らかにする）。空港の手荷物検査のように米袋をベルトコンベアに載せ、鉛や鉄で覆った検出部に通過させ測定が行われる。国内外 5 社が開発したこのような機器が福島県内に約 200 台設置され、生産者の出荷に合わせて検査を実施した。検査終了時には、検査済を記したシールとともに各米袋に個別の識別番号が付加され、ホームページ上で個別の結果について確認できる（[ふくしまの恵み安全対策協議会 HP](#)）。

米の放射性セシウム濃度が 100 Bq/kg を超える割合は、抽出検査であった 2011 年には福島県全体で 0.8%、全量全袋検査が行われた 2012 年には 1034 万袋中 71 袋で 0.0007%、2013 年は 1101 万袋中 28 袋で 0.0003% であり、2014 年は 1049 万袋中 2 袋で 0.00002% であり 2015 年以降は検出されていない。100 Bq/kg を超える米の割合が 2012 年以降大幅に減少した理由として、放射性セシウムの崩壊による物理的な減少、土壌への固定の他、除染作業の進捗、積極的なカリウム施肥などが挙げられる。なお、2013 年に 100 Bq/kg を超えた要因として、2012 年および 2014 年においてこの地域では玄米の放射性セシウム濃度は 100 Bq/kg を超えていないこと、2013 年産の玄米に放射性セシウムによる汚染スポットが確認されたこと、100 Bq/kg を超えた玄米の ^{134}Cs と ^{137}Cs の比は福島第一原子力発電所第 2 号機および第 3 号機由来に対し、栽培した土壌の ^{134}Cs と ^{137}Cs の比は第 1 号機由来であることから、2013 年に観測された同地域の放射性セシウム汚染の主たる原因は、土壌からイネへの移行ではなく、玄米への放射性物質の直接付着であると推定されている (Matsunami et al. 2016)。なお、2015 年以降は 100 Bq/kg を超過するコメが検出されていない状況を踏まえ、2020 年からは福島県 59 市町村のうち原発事故による避難指示が出た 12 市町村を除き、ベルトコンベア式検査器を用いた全量全袋検査から野菜などと同様の抽出によるモニタリング検査となっている。

4 福島県農業の復興に向けて

原発事故から 13 年が経ち、多くの地域で避難指示は解除された。鉄道は再開し、高速道路も整備され、原発のある福島県浜通りの復興は今後益々進むだろう。ただし、避難指示が解除された後も帰還率が 10% 程度を超えない地域も多く、福島県内の耕地利用率は 76%（全国 46 位、2018 年）と低く、全国 (92%) 及び東北 (84%) の数値を大きく割り込んでいる。帰還率や耕地利用率が上がらない理由としては、原発に対する恐れ、インフラ整備の遅れ、原発事故から時間が経ち、避難先での生活が確立したこと等が挙げられる。農家にとっては、除染のために作土層を剥いだ農地での一からの土づくりや、生産物が風評被害にあわずに本当に

売れるかとの不安もある。漁業分野では処理水や、森林に残る放射性セシウムに対する不安も大きい。原発事故で一気に高齢化した地域もあり担い手不足の問題も表面化している。さらに、中山間地で暮らす人々にとって自分で米を作り、裏山などで山菜やキノコを採取し、それらを近所の人々と共有することが生活の一部であったため、農地の除染が進み水田で稲作ができるようになって、山菜やキノコの採取を控えなければならない状況では、里山の生活の楽しみが半減している。自家消費による山菜やキノコの経済性は低いかもしれないが、そこで生活する住民にとっては重要な問題であり、今後の課題の一つである。

一方、モニタリング検査では先に記載したように、現在では基準値を超過するサンプルはほとんどない。さらに福島県では、「福島県 GAP(農業生産工程管理)推進基本方針」のもと「ふくしま県 GAP (FGAP) 認証制度」を 2017 年 7 月に創設するなど、農業生産上で放射性セシウムの混入がないように細心の注意が払われて生産が続いている。放射性セシウムの半減期 (^{137}Cs ; 30 年) を考えると農業環境には長い時間存在するため、今後も継続的なモニタリングは必要であるが、セシウムは時間と共に土壌へ固定し作物は吸収しにくくなるため、作物によるセシウム吸収の可能性は時間とともに低下していく。

原発事故直後は 54 の国、地域で福島県産農産物の輸入規制があったが、徐々に撤廃・緩和されてきている。2012 年度からタイへモモ等が輸出されたほか、2013 年度からはマレーシア、2014 年度からはインドネシア、シンガポールへの輸出も開始された。2017 年度には総輸出量が原発事故前を超え過去最高を記録し、2018 年度はマレーシアへの日本産米輸出量における福島県産米の占有率(市場シェア)が一位となり、今後の成長も期待されている。そして、福島県内ではワインの醸造所を併設したブドウ畑の新設、サツマイモや花卉の新たな産地形成、ドローンや IoT を活用したスマート農業による効率化など、新しい形で農業に取り組む動きもある。避難区域内でも特定復興再生拠点が設けられ、少しずつではあるが農業再生へ向けた取り組みも始まっている。福島県で生産した農産物が正しく評価され、被災地での農業復興をすすめるために、福島県の農家は奮闘している。

参考文献

福島県 HP「農用地の除染」

<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/61229.pdf>

福島県農林水産物・加工食品モニタリング情報 HP

<https://www.new-fukushima.jp>

ふくしまの恵み安全対策協議会 HP

<https://fukumegu.org/ok/contentsV2/>

Matsunami H., Murakami T., Fujiwara H., Shinano T., Evaluation of the cause of unexplained radiocaesium contamination of brown rice in Fukushima in 2013 using autoradiography and gamma-ray spectrometry. Scientific reports, 2016. 6. 20386.