

農用地における放射能汚染対策の成果と今後の課題

－福島県の水稲栽培と農業用水を中心に－

福島大学 申文浩

東北地方太平洋沖地震に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故から、復旧や除染作業が進み、帰還困難区域を除く避難指示の解除とともに営農が再開されつつある。本稿では、農用地における農地除染、吸収抑制対策、放射性セシウムの動態解明など、震災後からこれまでの放射能汚染対策とその成果を紹介するとともに、震災復興、営農再開のために継続的に必要な取り組み、課題について報告する。

KEYWORDS: *Radioactive cesium, Fukushima, Decontamination, Paddy field, Irrigation water, Radionuclide*

I. はじめに

平成23年3月に発生した東北地方太平洋沖地震によって、福島県内の農地、堤防、排水ポンプ場や水路など、約4,300箇所被害を受けており、その被害額は農地・農業用施設のみでも約2,300億円にのぼる¹⁾。

さらに、東京電力福島第一原子力発電所（以下、第一原発）の事故で、放射性物質の影響が大きかった地域では、放出された放射性核種の農産物への移行が懸念され、作付け制限とともに避難指示が発令された。

震災から9年が経過した令和2年5月時点で、第一原発事故の影響で一部の帰還困難区域では、被害調査もできない状況であるが、農業水利施設などの復旧工事や、住宅、農地、森林（生活圏）等の除染作業が行われ、農地においては、平成30年3月時点で福島県内の国直轄除染対象地区農地（延べ面積：31,061ha）の除染が完了した。

令和2年3月まで帰還困難区域以外の旧避難指示区域の避難指示が順次解除され²⁾（図1）、住民の帰還も段階的に進められている。

第一原発の事故後、土壌中の放射性セシウム濃度と作物への移行係数の解析や農業用水中の放射性セシウムの水稲への影響分析など、さまざまな研究活動が行われ、その成果に基づくカリウム施用による放射性セシウム吸収抑制対策が実施された結果、基準値を超える作物の割合は減少した。

震災直後からこれまでさまざまな分野の多くの技術者や研究者が福島の復旧・復興のために活躍した結果であるに違いない。

本稿では、巨大地震と原子力災害による深刻なダメージから、農用地における政府や研究機関等の放射能汚染対策や震災復興に係わる取り組みを紹介するとともに、その成果に基づく今後の課題等を報告する。

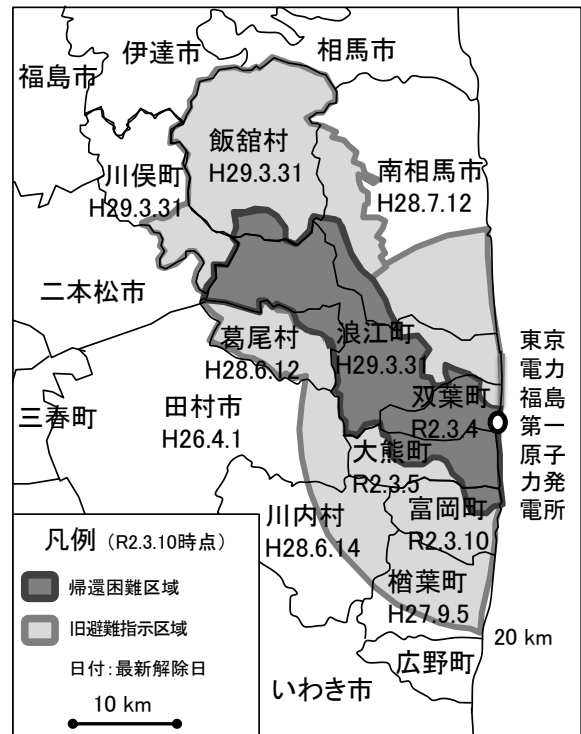


図1 避難指示区域と解除

（出所）経済産業省、避難指示区域の概念図より作成

Achievements of measures against radioactive contamination and future tasks in agricultural land in Fukushima : Moono Shin

（〇〇〇〇年〇〇月〇〇日受理）

II. 事故後の放射能汚染対策

1. 作付け制限と農地除染

第一原発事故による放射性物質の大气放出と拡散から農地や農産物への汚染が懸念され、厚生労働省は平成23年3月17日に玄米などの穀類中の放射性セシウム濃度の暫定規制値を500Bq/kgと定めた。

食品安全基本法では、食品の安全性の確保に関する施策の策定に当たっては、食品健康影響評価が行われなければならないとされているが、この暫定規制値は、「人の健康に悪影響が及ぶことを防止し、又は抑制するため緊急を要する場合、あらかじめ食品健康影響評価を行ういとまがないとき」に該当するとして、食品安全委員会による食品健康影響評価を受けずに定められた³⁾。

また、同年4月8日に原子力災害対策本部では、水田の土壌から玄米への放射性セシウムの移行の指標（移行係数：最大0.1）を前提として、玄米中の放射性セシウム濃度が暫定規制値（500Bq/kg）以下となる土壌中の放射性セシウム濃度が5000Bq/kg以下であれば、暫定規制値超えは発生しないと判断し、稲の作付け制限についての考え方を公表した⁴⁾。

なお、土壌中の放射性セシウム濃度は、作土層（表面から15cm）の平均濃度であり、平成24年4月1日より一般食品の新しい基準値（100Bq/kg）が設定された。

土壌中の放射性セシウム濃度が5000Bq/kgを超える農地は、除染が必要となり、平成23年6月から農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）、産業技術総合研究所、日本原子力研究開発機構、福島県農業総合センターなど、7独立行政法人、11大学、6県の農業試験場、1財団法人、3民間企業が参画し、農地除染技術開発を行い、表土削り取りや反転耕などの物理的手法や土壌洗浄などの科学的手法、生物学的手法であるファイトレメディエーションが検討された⁵⁾。主に採用された農地除染工法⁶⁾を図2に示す。

表土削り取りは、表層付近に高濃度に集積している放射性セシウムを効率よく除去するために、バックホウ等の機械を用いて表土を物理的に削り取る工法であり、第一原発の事故後に耕起していない農地に適している。

反転耕は、トラクタに取り付けたプラウにより土壌中の放射性セシウム濃度が高い表層と濃度が低い下層土を反転させ、放射性セシウムを地中に隔離する方法であり、廃棄土壌が生じないが、工事後に反転深さ以上に耕起すると放射性セシウムが再露出する可能性がある。

水による土壌攪拌・除去は、あらかじめ水質を測定し安全を確認した用水を農地に導水し、代かきに準じて農業用機械で表層土壌を攪拌（浅代かき）した後、濁水を排水し放射性セシウムを多量に含有する土壌中の粘土を主体とする細粒子のみを排出する工法であり、原発事故

後耕起した農地に適している。

表土削り取りは、作土層の表層部分を削り取る工法であり、水による土壌攪拌・除去は、土壌中の粘土を主体とする細粒子を排出させる工法であることから、これらの工法を採用した農地では、地力低下が想定されるため、各地区の土壌の状況に応じて客土（主に、真砂土）するとともに、1,000㎡あたりにゼオライト1t、ケイ酸カリ80kg、熔リン100kgを用いて地力向上を図った。

一方、ファイトレメディエーションの効果が期待されたヒマワリ、アマランサス、ソルガム、ナタネなどを用いた試験結果では、ほとんど効果が認められなかった。

当時、チェルノブイリ事故で効果があったと多くのメディアに取り上げられ、平成23年に複数の地域でヒマワリを栽培したが、ヒマワリを一作栽培した際に除去できる放射性セシウムは、土壌に含まれる量の約1700分の1であり、ヒマワリの除去率に経年変化がなく放射性セシウムが自然壊変しないと仮定した条件で10年間栽培しても除去できるのはわずか0.6%であった⁷⁾。

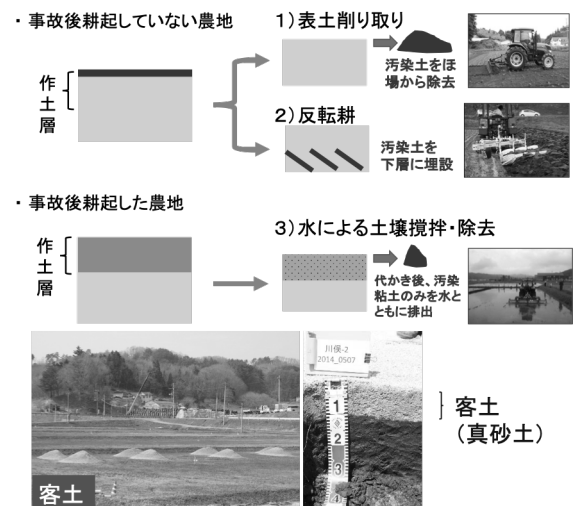


図2 農地除染工法と客土の例

(出所) 農林水産省、農地除染対策実証事業の結果より作成

2. カリウム施用による吸収抑制対策

平成24年に福島県内432地点で玄米及び土壌中の放射性セシウム濃度を調査した結果（¹³⁴Csと¹³⁷Csの合計値）、土壌中の放射性セシウム濃度は高いが、玄米中の濃度が低い検体がある一方、土壌中の濃度は低い、玄米中の濃度が高い検体もあり、土壌と玄米の放射性セシウム濃度に明確な関係は見られず、土壌から玄米への移行については、土壌中の放射性セシウム濃度だけでなく、土壌中の交換性カリ含量や土壌のセシウム固定力が重要であることが明らかになった⁸⁾。

その対策として、放射性セシウムの吸収抑制の観点からは生育初期の交換性カリ含量を確保することが重要であり、速効性の塩化カリを施用することが基本となり、水稻、大豆、そば、牧草等、土壌中の交換性カリ含量の目標値を確保した上で、慣行の基肥（窒素・リン酸・カ

り)を行うこととなった(表1)。

その結果、基準値(100Bq/kg)を超える作物の割合は減少し、水稻の場合、全量全袋検査において、年間検査対象の約1,100万袋の内、平成26年産からは基準値を超える玄米2袋が検出されたが、平成27年産以降は確認されていない。

なお、日本ではカリウム肥料をカリ(加里)と呼び、交換性カリ(K₂O)含量は、mg・K₂O/100gの単位を用いる。たとえば、水稻の目標値25mg・K₂O/100g(約208mg・K/kg)の場合、1㎡あたりの作土層の重さを100kgとみなして施肥すると、25kg・K₂O/1,000㎡となり、カリウム(K)60%の塩化カリ(KCl)40kgを施肥することになる。

また、収穫後の水田への稲わらのすきこみは土壌中の交換性カリ含量を高め、玄米中の放射性セシウム濃度を低減する効果があること、カリウム施用による吸収抑制対策を行っても玄米の食味等には影響がないこと、などが報告されており⁸⁾、各作物の目標値は、平成24年度の調査に基づいて設定したことから、農林水産省等では吸収抑制対策地域や、施肥量の見直しを検討している。

表1 慣行施肥前の土壌中の交換性カリ含量の目標値

単位：mg・K₂O/100g

区分 \ 作物	水稻	大豆 ^{注1}	そば ^{注1}	牧草 ^{注2}
目標値	25	25	30	30~40

注1 大豆、そばの放射性セシウム濃度が高くなる可能性のある地域では50mg・K₂O/100gを目標としている。

注2 牧草は茎葉が対象とする。

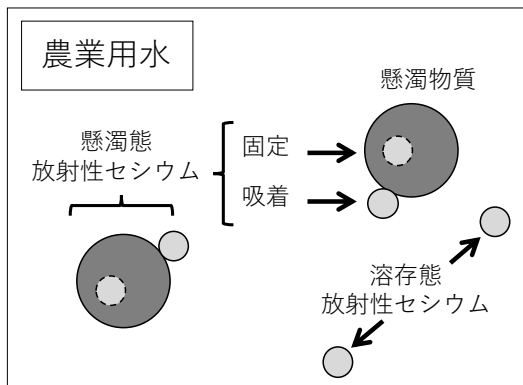


図3 農業用水中の放射性セシウムの存在形態の概略

3. 農業用水由来の影響分析

第一原発の事故後、帰還困難区域など、除染されていないため池等に水源を持つ地域では、水稻などの栽培が開始されているものの、一部では比較的高い濃度の放射性セシウムを含む用水が地区内水田に流入することが懸念され、特に土地改良区などの農業用水管理者や農業者からは、用水中の放射性セシウムによって、除染後水田の再汚染や、玄米への影響、風評被害などが懸念されて

いた。

これを受け、農林水産省、農研機構等は、作付けが制限されている地域に位置する除染後の水田を対象に、営農再開に向けた水稻栽培試験を行い、農業用水に含まれる放射性セシウム濃度を形態別に調べるとともに、水田への出入りの定量化を図り、水田内における放射性セシウムの動態分析が行われた⁵⁾。

農業用水中の放射性セシウムは、浮遊する土壌粒子や有機物など不溶性の懸濁物質に固定・吸着されている懸濁態放射性セシウムと水中にイオン等で溶けている溶存態放射性セシウムに区別される(図3)。

懸濁態放射性セシウムは直接水稻の茎や根から吸収され難いものであり、溶存態放射性セシウムは茎や根を通じて移行しやすいと言われているが、用水中の放射性セシウム濃度は、懸濁物質(SS)の移動が多い降雨時に高くなり、ほとんど懸濁態放射性セシウムとして存在する。

水田に流入した用水中の放射性セシウムは、水尻に向かって減少傾向にあり、水口付近を中心に蓄積される可能性が高いが、除染後930Bq/kgの土壌中の放射性セシウムの平均濃度をもつ水田を対象に調べた結果、用水から水田に流入した放射性セシウム総量は、既に水田に存在する土壌中の放射性セシウム総量の0.076%であり、再汚染の可能性は低いと報告されている⁸⁾。

営農が行われている地域においては、カリウム施用を適切に行えば、農業用水を通じて流入した放射性セシウムによる基準値を超える米への影響は認められず、その影響は限定的であると考えられている。

4. 水中の放射性セシウム濃度の監視技術

前述のように吸収抑制対策が成功し、農業用水中の放射性セシウムによる再汚染や玄米中の放射性セシウム濃度への影響は認められないことが明らかになったが、営農再開後の安全安心への材料の一つとして、特に降雨時における農業用水中の放射性物質の見える化が求められている。

農業用水中の懸濁物質(SS)濃度と懸濁態放射性セシウム濃度には、濁度と同様に、地点毎に強い相関が認められ、これらの関係を用いた用水中の放射性セシウム濃度の推定値、水質、取水量などの情報を、ICTを活用してリアルタイムで農用水管理者や農業者に共有できる技術が開発された⁹⁾。

本技術は、帰還困難区域に位置する大柿ダムの取水施設や、一部の幹線水路に導入され、濁度センサーを用いて、農業用水中の放射性セシウム濃度の推定値をモニタリングしている。

III. 営農再開の特徴と今後の課題

第一原発の事故後、さまざまな研究活動や公的支援によって、短時間で復旧作業や除染が進み、避難指示が解除さ

れ、一部営農再開の開始は評価すべきである。しかし、震災復興は完了ではなく、継続的な取り組みが必要である。

筆者はこれまで、作付け制限区域で避難中の農業者とともに営農再開に向けた実証栽培試験を行い、多くの農業者と出会った。地域を従来どおり取り戻したい意欲を持つ農業者が存在する一方で、営農意欲を失い、各種の補償のみ求める農業者も少なくなかった。令和3年度以降、復興支援策の転換に伴い、政府等による公的支援が減少あるいは廃止されても、農業者が自立できる持続可能な農業政策が今後の大きな課題である。

特に、福島県の農業農村は担い手不足、耕作放棄地の増加などの全国的な課題が加速しており、日本の将来の姿でもあると言える。令和2年3月時点での避難指示解除後の帰村率から(表1)、少ない帰村者で営農が再開されると、従来の手法では対応できない様々な問題が生じてくると思われる。

営農再開における稲作の特徴は、一挙に少人数による経営という環境条件が与えられたこと、政府等の特別な公的支援が行われる環境にあること、中山間地域を含む過酷な特別条件を持ち、農村地域の将来の姿の先取りの可能性が、などである。

帰村し営農を再開するには、放射能の問題、急激な生活の変化、各種の補償、被災による心理的な問題が存在し、農業水利施設の損傷、農業機械の故障など、様々な特別条件を持ち、一般の地区とは異なる諸条件を考慮しつつ、被災地に適した公的支援が必要である。

農学分野において大別して、①避難先からの帰村による営農再開や、地域コミュニティの再建、②農林業の生産物やその加工品の安全確保、③放射能汚染をめぐる風評被害の克服、④営農再開後、農業者自らが維持管理できる環境づくり、などの課題の解決が求められていることから、技術的、財政的な公的支援のあり方が重要な課題である。

表1 旧避難指示区域の住民登録人口と居住人口

単位：人、世帯

区分 市町村	震災前 人口	登録数 (a)	居住数 (b)	割合 (b/a×100)
飯舘村	6,177 (2,697)	5,394 (2,278)	1,452 (737)	26.9% (32.4%)
浪江町	21,434 (7,671)	16,950 (6,837)	1,332 (843)	7.9% (12.3%)
南相馬市 小高区	12,840 (3,791)	7,290 (2,716)	3,663 (1,608)	50.2% (59.2%)

※ () は世帯数、登録数と居住数は令和2年3月現在
(出所) 飯舘村、浪江町、南相馬市のホームページより作成

IV. おわりに

本稿では、東京電力福島第一原子力発電所の事故後、

農用地における放射能汚染対策とその成果、今後の課題について報告した。

避難指示が解除され今後営農再開が期待される地域において、カリウム施用を適切に行えば、農業用水等による玄米への影響は認められないとされているが、これは主に吸収抑制対策によるものであり、従来通り対策が不要で安全が確認されるまではモニタリング調査を継続し、農業者および消費者の理解を深める必要がある。また、農業者自らが実践できる営農システムづくりや、そのための公的支援のあり方が今後の大きな課題である。

— 参考資料 —

- 1) 福島県農林水産部, 農林水産分野における東日本大震災の記録, https://www.pref.fukushima.lg.jp/download/1/99_ikkatsu.pdf (参照 2020.4.30)
- 2) 経済産業省, 避難指示区域の概念図と各区域の人口及び世帯数について (令和2年3月10日), https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/hinan_history.html (参照 2020.4.30)
- 3) 高橋和之, 食品中の放射性核種濃度基準値の設定, 食品衛生学雑誌, 54(2)97-101, 2013
- 4) 原子力災害対策本部, 稲の作付けに関する考え方, https://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/ine_sakutuke.html (参照 2020.5.8)
- 5) 久保田富次郎, 申文浩, 宮津進, 錦織達啓, 農研機構の農業農村工学分野を中心とした原発事故対応研究, 農業農村工学会誌, 88(2)107-110, 2020
- 6) 農林水産省, 農地除染対策実証事業の結果, <https://www.maff.go.jp/j/nousin/seko/josen/pdf/kekka.pdf> (参照 2020.6.10)
- 7) 佐藤睦人, ファイトレメディエーションによる放射性セシウム除去効果の検証, 日本土壌肥科学雑誌, 85(2)136-137, 2014
- 8) 農林水産省, 放射性セシウム濃度の高い米が発生する要因とその対策について, https://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/pdf/youin_kome2.pdf (参照 2020.5.8)
- 9) Moono Shin, Tomijiro Kubota, Yuzo Manpuku, Yukio Suzuki, Tetsuo Yasutaka, Hisaya Matsunami, Takeshi Ota, Behavior of radiocesium in decontaminated paddy fields in Fukushima Prefecture, Japan, Paddy and Water Environment 17(4)703-714, 2020
- 10) 申文浩, 久保田富次郎, 宮津進, 引木信也, 李相潤, 被災地の農業用水の安全・安心へ向けた ICT 活用の取組み, 農業農村工学会誌, 86(4)281-284, 2018

著者紹介

申文浩 (しんむの)

(現職) 福島大学食農学類 准教授
(専門分野/関心分野) 農業土木学, 農業水利学, 水資源利用学

