

高吸収植物による放射性セシウム除去の可能性

小林浩幸¹・高橋義彦¹

Removal of radiocesium from soil by plant absorption

Hiroyuki KOBAYASHI¹ and Yoshihiko TAKAHASHI¹

1. はじめに

平成 23 年度 (2011 年度), 東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴って生じた土壌などの汚染への対処のため, 科学技術戦略推進費「農地土壌等における放射性物質除去技術の開発」(総合科学技術会議, 2011) などにより, 農地からの放射性物質の除去や農作物への移行低減技術の開発が緊急に実施された. 参画機関は福島県農業総合センターのほか, 東北・関東地域の公設試験研究機関や農研機構などの独立行政法人, 大学など広範囲にわたった. こうした取り組みの一貫として, 福島県農業総合センターと東北農業研究センターは, 現に放射性物質による汚染が生じた圃場を用いた栽培試験において, ヒマワリなどの植物の吸収によって放射性物質を除去できるかどうかを調べるとともに, 効率的な栽培方法を検討した.

ヒマワリによる放射性物質の吸収については, 1986 年に発生したチェルノブイリ原発事故後にも調べられており, それらの結果から, 吸収量は必ずしも多くないことは当初からわかっていたが, ウクライナとは土壌など様々な条件が異なっており, また, 放出された放射性物質の組成や性状も異なる可能性が想定された. 関係自治体からヒマワリなどによる土壌浄化に対して大きな期待が寄せられたことも, こうした実験を行う動機となった. 本稿では, 関連する既往成果をレビューしつつ, 私たちの取り組みを紹介する.

なお, 原子力発電所の事故では放射性セシウム 134, 137 のほかヨウ素 131 が大量に放出されたとされているが, 本稿では半減期が長いセシウムを議論の対象とする. このうち, セシウム 134 の半減期は相対的に短い, 2011 年度の栽培試験の時点ではセシウム 134 と 137 が概ね同量検出されていることから, 「放射性セシウム」をセシウム 134 と 137 の総称として用いる.

2. 高吸収植物種の探索

植物による放射性セシウム除去の議論では, その吸収

能がどれほどであるかが最初に問題にされる. 植物の吸収能は, 移行係数 (植物体の放射性セシウム濃度を土壌 (乾土) の放射性セシウム濃度で除した値) で評価されるのが普通である. 水稻の移行係数は多く見積もっても 0.1 程度 (原子力災害対策本部, 2011) と考えられていたことは広く知られているし, 事故後まもなくの頃, 多くの人に期待されていたヒマワリも 0.2 程度とされている (Dushenkov et al., 1999). 一般に, 多くの植物種の移行係数はその程度かそれよりも低く, せいぜい生重ベースで 10^{-2} , 乾物重ベースで 10^{-1} 程度である (IAEA, 2010; 落合ら, 2009; 財団法人原子力環境整備センター, 1988). 仮に移行係数が乾物ベースで 1, すなわち植物体と土壌の放射性セシウム濃度が同じで, 乾物収量が 1kg m^{-2} であったとしても 1 作で除去できる量は作土中の放射性セシウムの 1% にも満たない (放射性セシウム濃度を $X\text{ Bq kg}^{-1}$, 作土深を 15 cm, 仮比重を 1 とすれば作土中の放射性セシウム含量は $150X\text{ Bq m}^{-2}$ で, 収穫される植物体の放射性セシウム含量 $X\text{ Bq m}^{-2}$ は作土中の含量の約 0.7% と試算される). セシウム 134 と 137 の半減期がそれぞれ約 2 年, 約 30 年であることを考慮すればなおのこと, 意味のある数字とは思えない. しかし, 移行係数が 5, 乾物収量が 3kg gm^{-2} 確保できるとすれば 1 作での除去割合は約 10% となる. 植物を使った除去技術が, 既に深い土層まで放射性セシウムが分布しているなどの理由で表土の剥ぎとりなどの対応が困難な圃場に適応する技術と考えれば, 相応に意味のある数字といえよう. 現時点では効果は極めて低いと言わざるを得ないが, 何らかの方途で吸収量を飛躍的に高められれば, 現実的な技術になるかもしれない. 植物の吸収による除去への期待はおそらくそこにある.

Wiley et al. (2005) が行った幅広い分類群を対象とした分析では, 植物体の放射性セシウム濃度の全分散の 42% が種よりも上, 15% 以上が目よりも上のランクに帰結された. このことから, 分類群間の傾向は確かにあることがわかる. Broadley et al. (1999) によれば, 離弁花類 (古い植物分類の考え方で, 双子葉植物のうち, 花弁が相互に合着しない分類群) で高いという. なかでもヒユ科のアマランサス属の移行係数は極めて高いとの報告が多数ある (Broadley et al., 1999; Wiley et al., 2005; Fuhrmann et al., 2002; Dushenkov 1999). アカザやキノアの移行係数が高いとする報告 (Broadley

¹Fukushima Research Station, NARO Tohoku Agricultural Research Center, 50 Harajuku-minami, Arai, Fukushima 960-2156, Japan. Corresponding author: 小林浩幸, 農研機構 東北農業研究センター福島研究拠点

2012 年 5 月 8 日受稿, 2012 年 6 月 13 日受理
土壌の物理性 121 号, 49-53 (2012)

and Willey, 1997; Broadley et al., 1999; Willey et al., 2005) も見られるが, これらが属するアカザ科は APG 植物分類体系 (DNA 解析に基づく新しい分類体系) ではヒユ科にまとめられていることを考えると, 理解しやす。一方で, Willey et al. (2005) による分析は, 全分散の半分以上は種以下のランクに割りつけられることを示しており, 近縁種・品種間の相違も相当大きいことがわかる。実際, 吸収能が高いとされるアマランサス属でも, *A. retroflexus* L. (アオゲイトウ; Clemants, 2006) や *A. caudatus* L. は移行係数が 2, あるいはそれ以上であったという報告があるが (Dushenkov, 1999; Fuhrmann et al., 2002), その一方で, *A. retroflexus* L. と近縁の *A. hybridus* L. (ホソアオゲイトウ) についてはそれほど高いという報告はみあたらない。また, 系統分類上の位置ではなく, 生態学的特性によっても傾向があって, Grime (1977) が提唱する C (競争戦略), S (ストレス耐性戦略), R (攪乱依存戦略) の 3 つの生活史戦略のうち, S と R の中間的な戦略をとる植物で放射性セシウム濃度が高い傾向が認められるという (Willey et al., 2005)。ただし, この傾向は必ずしも明瞭なものではない。

高吸収植物の探索においては, こうした系統分類上あるいは生態学的特性に基づく一定の傾向と, 近縁種・品種間の大きな違いの両方が存在することを考慮して, 特定の分類群にターゲットを絞った上で, そこから有望な系統をスクリーニングすることが考えられる。その候補となるグループの一つとして, 上述のアマランサス属草本があげられる。こうした適切な分類群の選択に加え, 交配などの育種学的なアプローチも追求されるべきとする意見もある (White et al., 2003)。

3. 福島研究拠点におけるヒマワリ等の栽培

私たちは, 原子力発電所の事故のあった 2011 年に, 福島市にある東北農業研究センター福島研究拠点 (37° 43' N, 140° 23' E) の試験圃場 (淡色黒ボク土; 作土の放射性セシウム濃度は 1,400 Bq kg⁻¹ 程度) でヒマワリ 2 品種, アマランサス 4 品種, キノア, ケナフ, ソルガム, キビ, 栽培ヒエの各 1 品種の計 11 品種をカリウム施肥 (K₂O として 10 gm⁻²) および無施肥条件下で栽培し, 乾物生産量と放射性セシウム濃度を調べた。カリウム無施肥区を設定したのは, 土壌中のカリウム含量が低い場合にセシウムの移行が多くなる可能性を考慮したためである。

その結果, 乾物ベースの移行係数はヒマワリの品種が最大で 0.040, ケナフが 0.020, アマランサスの品種が最大で 0.048, キノアが 0.022, 栽培ヒエが 0.029, キビが 0.035, ソルガムが 0.022 と極めて低い値しか得られず, 種・品種間差もわずかだった (高橋ら, 2012)。また, カリ施肥の有無で違いは認められなかった。これは, 供試した品種が, 放射性セシウムをあまり吸収しないものばかりであったことだけでなく, 試験を行った圃場の交換性カリウム (K₂O) 含量が 760 mg kg⁻¹ と高いレベル

であったことにも大きく依存していると考えられる。

アマランサスの栽培品種は, 種・品種間差はあるものの総じて植物体が大きく育つ。この試験でも乾物収量は最大で 3 kg m⁻² と極めて高かったため, 吸収量としては他種の 2~3 倍と試算されたが, 放射性セシウム濃度は他種と大きな違いは認められなかった。実は供試した品種はいずれも *Amaranthus hypochondriacus* L. で, 多収 (財団法人農業振興奨励会, 1990) ではあるがセシウム吸収能はアマランサス属の中では必ずしも高い種ではない (Willey et al., 2005)。

ヒマワリの 2 品種については, 隣接する転作田 (淡色黒ボク土; 作土の放射性セシウム濃度は 1,300 Bq kg⁻¹ 程度; 交換性カリウム (K₂O) 含量 540 mg kg⁻¹) でも栽培試験を行った。移行係数は 0.047~0.074 と, 上述の品種比較試験で得られた値よりも若干大きいものの, 土壌から放射性セシウムを除去するには低すぎる (高橋ら, 2012)。ヒマワリの栽培試験は, 福島県農業総合センターでも郡山市の試験圃場 (灰色低地土; 作土の放射性セシウム濃度は 3,000 Bq kg⁻¹ 程度) と計画的避難地域内の (褐色森林土; 作土の放射性セシウム濃度は 7,000 Bq kg⁻¹ 程度) の農家圃場で行われた。その結果, 移行係数は私たちの結果と大きな違いがないと判断された (平山ら, 2012)。この農家圃場の土壌は上述の福島研究拠点の試験圃場と同様, 交換性カリウム含量が高めで (平山ら, 2012), 福島県農業総合センターの試験圃場は, 交換性カリウム濃度は東北農研福島研究拠点より低いが, セシウムをよく固定するバーミキュライト含量が高い (平山, 私信)。後述するように, こうした土壌の特性が, 移行係数が低めに試算された原因だった可能性がある。

4. 土壌要因とその制御の可能性

福島市の一部の地域などで生産された玄米から暫定規制値 (500 Bq kg⁻¹) を超過する放射性セシウムが検出されたという報道 (2011 年 11 月) は, 安全側と考えられた移行係数 0.1 から逆算して超過の危険性がある圃場での作付が制限され, また福島県が県内の 1000 地点以上で行った本検査で問題がないことが確認された矢先のできごとだっただけに, 大きな驚きをもって受け止められた。このことは, 同じ作目や品種でも, 圃場の条件によって移行係数が大きく変動するというを意味している。特にカリウムなど, 土壌中での挙動や根からの吸収が類似した物質の影響が大きい (塚田, 2011)。今回の原発事故後の調査研究で明らかにされた放射性セシウムの吸収に影響を与える土壌要因としては, 第一に交換性カリウム含量があげられる。特に, 水稲では土壌の交換性カリウム含量と玄米への移行係数には強い負の相関があって, 交換性カリウム (K₂O) 含量が目標値 (200~300 mg kg⁻¹ 程度) を下回ると移行係数は急激に高まった (中央農研, 2012)。このような交換性カリウムの効果は大豆栽培でも認められるが (島田ら, 2012), 水稲ほど明確ではない。水田では湛水によってカリウムが流

亡しやすい一方、畑圃場では蓄積されやすく、カリウム欠乏の効果が顕在化しにくいこともその原因の一つと推定される。

土壌中の交換性カリウム含量や、後述するようにパーミキュライトなどの2:1型の粘土鉱物が少なければ放射性セシウムの吸収量が高まる可能性があるものの、こうした条件を人為的に作り出すのは難しい。したがって、植物が放射性セシウムを吸収しやすい条件の土壌を高吸収植物による除去技術の適用対象とするのが多くの場合、妥当だろう。土壌の汚染レベルだけでなく、粘土鉱物の組成など、セシウムを吸収しやすいかどうかの判断材料となるマップの整備が進められているが（谷山、私信）、その情報は、作物への移行低減のためだけではなく、植物による放射性セシウム除去技術の実用化のためにも有効と考えられる。

5. 土壌および植物体における移行動態

一年生の作物への放射性セシウムの移行は毎年減少するとされ（Alexakhim, 1993）、それは原子核の崩壊に加えてウェザリングによって加速する土壌中の放射性物質の減少だけでなく、土壌中の放射性セシウムの固定化の進行にもよっていると考えられている。このことは、作物への移行低減という点では望ましいが、同時に、植物を利用した除去は年々難しくなることも意味する。私は前項で、移行係数が5、乾物生産量が 3kg m^{-2} の場合の土壌からの除去率10%と試算した。しかし、放射性セシウムの90%以上が粘土鉱物に固定されていて、かつ、そのように固定された放射性セシウムを植物が吸収できないとするなら、除去率10%はあり得ないし、仮に除去できたとしても翌年からは全く除去できないことになる。

植物が固定されたセシウムを幾らかでも吸収しているとする報告（小島ら, 1979）はあるが、どれだけ吸収できるのかは明らかでない。そのメカニズムについては、植物の根から分泌される有機酸が粘土鉱物に固定されたセシウムを遊離させるとされる（小島ら, 1979）。植物による土壌からの放射性セシウム除去技術の実用化のためには、セシウム吸収の全体量ではなく、固定されたセシウムの吸収能に着眼すべきかもしれない。

ただ、土壌からの放射性セシウム除去の目的を作物への移行低減に限定するなら、水溶性および交換性セシウムを効率よく吸収する植物を栽培することで、後作の作物への移行を効率よく低減できる可能性がある。固定されたセシウムとそれ以外のセシウムは土壌中で平衡状態にあって、固定されていないセシウムを除去しても、いずれ以前と同じ程度の量が遊離してくる可能性はあるが、その場合でもセシウム除去のための作物を作付体系の中に位置づけ、繰り返し栽培することで主作物への移行を持続的に低いレベルに維持できる可能性は否定できない。

いずれにしても、土壌中の放射性セシウムの存在形態とそれを前提とした植物の吸収メカニズムの解明がな

より重要である。それなくしてはどのような技術開発の試みも徒労に終わる可能性が高い。

なお、放射性セシウムの器官ごとの蓄積程度に関する知見は、植物の吸収メカニズム解明のみならず、栽培技術の体系化にあたって重要な知見となる。例えば水稲では古い葉やモミガラ、米ぬかに多いが白米には少ない（Tsukada et al., 2002）。一方、水耕栽培のヒマワリでは若い葉、根に多く蓄積するという報告（Hornik et al., 2005）や、茎の節間や葉脈に多く根に少ないとする報告（Soudek et al., 2006）があって、評価が定まらない。私たちが行った上述の品種比較試験では、ヒマワリの放射性セシウム濃度は茎が概ね $20\sim 40\text{Bq kg}^{-1}$ 、葉が $160\sim 170\text{Bq kg}^{-1}$ 、種子が $7\sim 9\text{Bq kg}^{-1}$ 、花床など、頭花を構成する種子以外の器官が $40\sim 60\text{Bq kg}^{-1}$ で、植物体全体としての放射性セシウム含量の約50%が葉に分布していると試算された。この場合、乾物収量が確保されさえすれば開花結実を待たず、葉が脱落する前に収穫すれば良いことになる。ただし、圃場では土壌粒子の地表面からの舞い上がりがあり、表面積の大きい葉ではその影響を受けやすかった可能性がある。経根的な吸収以外による植物体の汚染は屋外での栽培では回避が難しく、さりとて時間をかけていねいに洗えば吸収された放射性セシウムが溶け出す懸念もある。実験上の工夫が必要である。

6. 高吸収植物の栽培技術

高吸収植物による除去技術を実用化するためには、その栽培技術の確立が必要で、それも効率良く大面積をこなせる技術であることが求められる。私たちは、当初期待されたヒマワリを省力的に栽培する技術を組み立て、その有効性を検証した。その結果、畑圃場用にはハローシーダー、排水性に問題のある転作田用には逆転ロータリによる畝立て同時播種機を用いて狭条間栽培とし、土壌処理除草剤と併用することでいずれも十分な抑草効果が得られ、普通条間と同程度の収量を確保できた。

しかし、残念ながら、結果としては上述のようにヒマワリに高吸収を期待するのは少なくとも福島では困難であることが判明した。栽培に限って言えば、ヒマワリに限らず、水稲やダイズなど、栽培技術が確立している作物のなかで高吸収系統が見出されれば、その活用が手取り早いわけだが、現時点でそのような品種・系統は見出されていないし、通常の品種を栽培する圃場での雑草化による種子のコンタミ、風評被害への備えなど、栽培技術以外の面で、解決しなければならない課題があまりにも多い。

今後さらに高吸収の品種・系統が見出される可能性のあるアマランサス属草本は種子が微細なため、直播の場合にはコーティングが必要で、播種には真空播種機が必須である（西山, 2001）。また、初期生育が緩慢なので雑草害を受けやすく、アシュラム乳剤やトリフルラリン粒剤が有効とされるが（西山, 2001）、現時点では登録外使用となる。播種技術と雑草防除技術が、高吸収植物

種の活用のための栽培技術確立の鍵といえる。

なお、アマランサス属の帰化雑草は東北のダイズ栽培では急速に分布を広げ、強害雑草となっている。その中には、セシウム吸収能が高いとされるアオゲイトウも含まれる。ダイズ畑におけるアマランサス属雑草の優占は、既存の除草剤が効きづらいことのほか、1個体が極めて多くの種子を生産し、種子休眠もやや深いため、大きな土壌シードバンクを形成しやすいことも原因の一つと想定される。とすれば、耕起の時期や方法を工夫し、適切な除草剤を組み合わせれば、播種をしなくてもアマランサス属雑草が優占する群落を仕立てることが可能かもしれない。

7. おわりに

冒頭で説明した科学技術戦略推進費（総合科学技術会議、2011）などの取り組みの成果として、農林水産省は土壌の放射性セシウム濃度や土壌条件に応じた農地土壌除染技術適用の考え方を公表した（農林水産省、2012）。ここでは表土削り取りを基本として、汚染レベルが $10,000 \text{ Bq kg}^{-1}$ 未満の場合には水による土壌攪拌・除去（水田の場合）や反転耕も適用可能とし、植物による放射性物質除去技術は現時点では技術化が困難として除外された。

植物による放射性物質除去の試みは、チェルノブイリ原発事故による土壌汚染に対してもさまざまに行われたが、結局現在に至るまで技術は実用化に至っていない。ウクライナではナタネ栽培のプロジェクトが進行しているが（戸村、2009）、それは油に放射性セシウムが移行しづらい（加藤ら、2012）ことに目をつけた地域振興の手だてとしての意味合いが強い。福島県でも、事故前から油糧作物としてのヒマワリやナタネ栽培の振興のため、栽培技術の開発が行われてきた（平山ら、2009）。そうして蓄積された知見は、今後、食用作物の栽培が難しい地域におけるこれらの作物の普及に役立つ可能性がある。

高吸収植物を利用した放射性セシウムの除去技術の方向性としては大きく2つが想定されよう。第一に、あくまでも固定態のセシウムも含めて強力に吸収する植物を用いて土壌中の絶対量を減らすことが想定される。第二に、植物に吸収されやすいセシウムだけを効率的に吸収することで、土壌中の絶対量は減らせなくても、次作以降の作物への移行や、圃場外への移動の低減を期待することが考えられる。後者については我が国ではまだ十分にデータが得られていないものの、除去対象となる絶対量が少ないので比較的早期に結論が得られよう。前者を達成するためには、土壌と植物体における放射性セシウムの移行動態に関して、今後何らかの大きな発見や技術的なブレイクスルーが必要である。努力の成果は、チェルノブイリ原発事故の時と同じく、結局、現場対応には間に合わないかもしれない。しかし、その過程で得られる知見が画期的な作物への移行低減技術の開発に結びつく可能性は否定できないし、次に世界のどこかで起こる

かもしれない不幸な原発事故への備えになる可能性もある。

ここまで約1年間の私たちの緊急の試みは、今思えば十分でなかった部分が多いと反省している。しかし、事故当初に、植物吸収による放射性セシウム除去の可能性を全否定する人はおらず、むしろ期待を寄せる人の方が大多数だった。やってみて初めて、ことの難しさ、そして、今後の方向性が少しだけわかった。本稿にながしかの意義があるとすれば、それを伝えることにある。

引用文献

- Alexakhim, R. M. (1993) : Countermeasures in agricultural production as an effective means of mitigating the radiological consequences of the Chernobyl accident. *The Science of the Total Environment*, 137 : 9-20
- Broadley, M.R., Willey, N. J. and Mead, A. (1999) : A method to assess taxonomic variation in shoot caesium concentration among flowering plants. *Environmental Pollution*, 106 : 341-349
- Broadley, M.R. and Willey, N. J. (1997) : Differences in root uptake of radiocaesium by 30 plant taxa. *Environmental Pollution*, 97 : 11-15
- 中央農業総合研究センター (2012) : 玄米の放射性セシウム低減のためのカリ施用
http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/press/laboratory/narc/027913.html
 (2012年4月17日に確認)
- Clemants, S. E. (2006) : *Amaranthaceae*. In "Flora of Japan IIa Angiospermae Dicotyledoneae Archichlamydeae (a)" ed. by K. Iwatsuki, D.E. Boufford, and H. Ohba, Kodansha Scientific, Tokyo, pp.222-230
- Dushenkov, S., Mikheev, A., Prokhnovsky, A., Ruchko, M. and Sorochinsky, B. (1999) : Phytoremediation of radiocesium-contaminated soil in the vicinity of Chernobyl, Ukraine. *Environ. Sci. Technol.*, 33, 469-475.
- Fuhrmann, M., Lasat, M.M., Ebbs, S. D., Kochian, L. V. and Cornish, J. (2002) : Uptake of cesium-137 and strontium-90 from contaminated soil by three plant species : application to phytoremediation. *J. Environ. Qual.* 31, 904-909
- 原子力災害対策本部 (2011) : 稲の作付に関する考え方. http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/ine_sakutuke.html
 (2011年7月24日に確認)
- Grime, J.P. (1977) : Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *American Naturalist*, 111, 1169-1194
- 平山孝 (2012) : ヒマワリ栽培によるファイトレメディエーション効果の検証, 農業及び土壌の放射能汚染対策技術 国際研究シンポジウム 要旨集, 178
- 平山孝, 松葉隆幸, 引地力男 (2009) : 油糧用ヒマワリの栽培と収益性, 東北農業研究, 62, 49-50
- Hornik, M., Pipiška, M., Vrtoch, L., Augustin, J. and Lesny, J. (2005) : Bioaccumulation of ^{137}Cs and ^{60}Co by *Helianthus annuus*. *Nukleonika*, 50 (Supplement 1), S49-S52.
- IAEA (2010) : Technical report series No. 472 Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments. IAEA, Vienna
- 加藤仁, 飯嶋渡, 薬師堂謙一 (2012) : ヒマワリバイオ燃料製造時の放射性セシウムの移行について, 農業及び土壌の放射能汚染対策技術 国際研究シンポジウム 要旨集, 154
- 小島懋, 藤本弘, 虎屋博一, 太田襄二 (1979) : 2:1型粘土鉱物に固定されたセシウムによる吸収. *土肥誌*, 51, 1-7
- 西山喜一 (2001) : アマランサスの栽培技術, 転作全書3 雑穀, 農文協, 東京
- 農林水産省 (2012) : 農地土壌の放射性物質除去技術 (除染技術) 作業の手引き 第1版, 農林水産省農林水産技術会議事務局研究開発官 (食料戦略) 室, 東京

- 落合透, 武田聖司, 木村英雄 (2009) : 生物圏評価のための土壌から農作物への移行係数に関するデータベース, 日本原子力研究開発機構, 東海村
- 島田信二, 関口哲生, 前川富也, 木方展治 (2012) : 低汚染地帯の大豆の移行係数に対するカリウム増肥およびパーミキュライト施用の効果, 農業及び土壌の放射能汚染対策技術 国際研究シンポジウム 要旨集, 152
- Soudek,P, Valenová, Š., Vavříková,Z. and Vaněk,T. (2006) : ^{137}Cs and ^{90}Sr uptake by sunflower cultivated under hydroponic conditions, *Journal of Environmental Radioactivity*, 88, 236-250
- 総合科学技術会議 (2011) : 平成 23 年度 科学技術戦略推進費「重要政策課題への機動的対応の推進及び総合科学技術会議における政策立案のための調査」によるプロジェクトに係る実施方針. http://www8.cao.go.jp/cstp/budget/h23kidou_housya.pdf (2011 年 7 月 24 日に確認)
- 高橋義彦, 飛奈宏幸, 小林浩幸, 木方展治 (2012) : 植物による土壌からの放射性セシウム回収の可能性. 農業及び土壌の放射能汚染対策技術 国際研究シンポジウム 要旨集, 153
- 戸村京子 (2009) : “バイオエネルギー村” (ドイツ) のエネルギー地域自給に学ぶ: チェルノブイリ被災地再生への手がかりを求めて. 龍谷大学経済学論集, 49, 349-355
- Tsukada,H, Hasegawaa, H., Hisamatsua,S. and Yamasaki, S. (2002) : Rice uptake and distributions of radioactive ^{137}Cs , stable ^{133}Cs and K from soil, *Environmental Pollution*, 117, 403-409
- 塚田祥文, 鳥山和伸, 山口紀子, 武田晃, 中尾淳, 原田久富美, 高橋知之, 山上睦, 小林大輔, 吉田聡, 杉山英男, 柴田尚 (2011) : 土壌 - 作物系における放射性核種の挙動, *日本土壤肥科学雑誌*, 82, 408-418.
- Wiley, N. J., Tang, S. and Watt, N. R. (2005) : Predicting inter-taxa differences in plant uptake of cesium-134/137. *J. Environ. Qual.*, 34, 1478-1489
- White,P.J., Swarup,K., Escobar-Gutiérrez, A. J., BowenI, H. C., Wiley, N. J. and Broadley, M.R. (2003) : Selecting plants to minimise radiocaesium in the food chain. *Plant and Soil*, 249 : 177-186
- 財団法人原子力環境整備センター (1988) : 環境パラメータシリーズ 1 土壌から農作物への放射性物質の移行係数, (財) 原子力環境整備センター, 東京
- 財団法人農産業振興奨励会 (1990) : 平成元年度新作物検索調査事業報告書 (アマランサス), 財団法人農産業振興奨励会, 東京

要 旨

2011 年 3 月に発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴って生じた汚染土壌にヒマワリ, アマランサスなどの植物を植えて放射性セシウムを吸収させることで除去できるかどうか緊急に試された。しかし, 除去量はごくわずかで, 試された品種, 条件の範囲では実用化は困難と判断された。一方で, 福島市などの一部の水田では当初の想定を大きく上回る放射性セシウム濃度の玄米が収穫されるなど, 条件によって植物体への移行量は大きく変化することがわかった。また, 高吸収とされている植物種・品種は他にも数多くあり, それらの能力は未検討のままである。植物の吸収による放射性物質除去技術の実用化のためには, 土壌からの吸収メカニズムの解明に基づいて, さらなる高吸収種・品種を探索し, 適切な栽培条件を明らかにすることが必要である。

キーワード: 放射性セシウム, 吸収, ヒマワリ, アマランサス