

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 23 日現在

機関番号：82502

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24590775

研究課題名(和文)浄水発生土の有効利用は可能か？－放射性セシウムの野菜への移行と被ばく評価－

研究課題名(英文) Possibility of the reuse of drinking water treatment sludge contaminated with radiocesium

研究代表者

石井 伸昌 (Ishii, Nobuyoshi)

独立行政法人放射線医学総合研究所・放射線防護研究センター・主任研究員

研究者番号：50392212

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：水道水をつくる過程で発生する土(浄水発生土)は、家庭用の園芸用土等として有効に再利用されてきた。ところが2011年3月に発生した福島原子力発電所の事故により、関東および東北地方を中心に、浄水発生土は放射性セシウム(Cs-134およびCs-137)により汚染され再利用が難しい状況となった。そこで、放射性セシウムで汚染された浄水発生土を用いて葉菜類を栽培し、汚染浄水発生土が園芸用土として有効利用可能か判断するための基礎データを収集した。

研究成果の概要(英文)：Sludge from drinking water treatment plants has been effectively reused as materials for construction, playground soils, and potting mixes. After the 2011 accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, sludge in the Tohoku and Kanto regions has become contaminated with radiocesium (Cs-134 and Cs-137). Consequently, the storage amount of contaminated sludge in drinking water plants had temporarily increased. If the sludge is reused as a material for potting mixes of home gardens, vegetables grown in the mixes may take up the radiocesium. In the present study, leaf vegetables were grown in the potting mix containing contaminated sludge to obtain the soil-to-plant transfer factor of radiocesium. In addition, we studied suppression techniques for the transfer of radiocesium to leaf vegetables. These results provide initial data on the possibility of the reuse of radiocesium-contaminated-sludge.

研究分野：放射線生態学

キーワード：浄水発生土 放射性セシウム 園芸 移行係数

### 1. 研究開始当初の背景

浄水発生土は、浄水場において取水した河川水から水道水を得る過程で生じる。各浄水場における一日当たりの発生量は数トンから数十トンであるが、園芸用土やセメント材料として有効利用されていたために、保管に困ることはなかった。ところが平成 23 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より、浄水発生土は放射性セシウム ( $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) で汚染されたため、有効利用の目処が立たず、処分先も決まらず、浄水場での保管量が増大し続けた。例えば埼玉県における発生浄水土の保管量は平成 23 年 9 月の時点で  $1.7 \times 10^4$  トンを超えた。浄水場における保管許容量にも限りがあるため、汚染された浄水発生土の減量は、当時、喫緊の課題であった。

保管されている浄水発生土の汚染レベルも様々であるため、汚染度の低い浄水発生土だけでも有効利用できれば保管量が軽減できる。農林水産省は放射性セシウムの濃度が 200 Bq/kg 以下の汚泥であれば、これを肥料として利用することを許可している。一方で、平成 25 年 3 月以前まで厚生労働省は、例えば 100 Bq/kg 以下の汚染でも園芸用土として出荷することを自粛するよう事業者に対して求めていた。

### 2. 研究の目的

浄水発生土の有効利用を再開することは重要であるが、そのためには有効利用による人の被ばく線量を評価する必要がある。特に浄水発生土を園芸用土として有効利用した場合、野菜を栽培する可能性があり、浄水発生土から野菜への放射性セシウムの移行、そして収穫した野菜を食べることによる内部被ばくの評価は重要である。さらに、浄水発生土の有効利用を総合的に評価するためには、浄水発生土を再利用する利点、例えば野菜の栄養素的付加価値や、放射性セシウムの野菜への移行を抑制する方法などについても検討する必要がある。そこで、本研究は 1) 浄水発生土から葉菜類への放射性セシウムの移行、2) 移行の制御方法、3) 浄水発生土を利用して栽培した葉菜類の栄養価、4) 収穫した葉菜類による内部被ばく、および 5) 栽培期間中の外部被ばくの可能性についてデータを収集し、汚染発生浄水土が園芸用土として有効利用可能かどうか判断する基礎データを提供することを目的とする (図 1)。

### 3. 研究の方法

#### (1) 葉菜類の栽培

浄水発生土から葉菜類への放射性セシウムの移行を調べるために、浄水発生土の含量が異なる 3 種類の土壌でコマツナを栽培した。ベースとなる土壌は、赤玉土、腐葉土、黒土を 5 : 3 : 2 の容積比で混合したのち、この混合土壌 30 L に対し化成肥料を 200 g 加え

浄水発生土は園芸用土として有効利用可能か総合的に判断

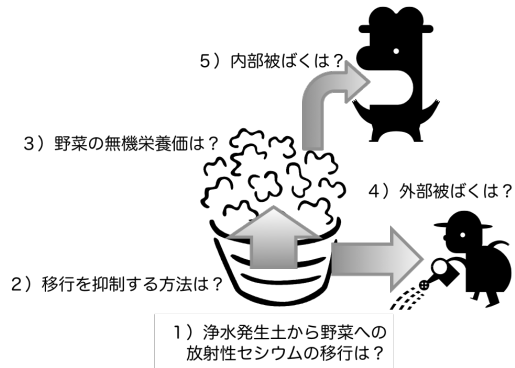


図1 実験計画の概要

た。これをベースに、浄水発生土を体積率で 10% および 30% 加えた土壌を準備した。ベースの土壌を含む 3 種類の土壌はそれぞれ 0% 土壌、10% 土壌、および 30% 土壌とする。

準備したそれぞれの土壌にコマツナを播種し、33 日間の栽培後、収穫した。収穫したコマツナについて、水分含量、乾燥重量、および放射性セシウム量を求めた。収穫後の土壌についても放射性セシウム量を求めた。

放射性セシウムの植物への移行を制御する園芸資材についても調査した。始めに、赤玉土、黒土、腐葉土、牛糞堆肥、および化成肥料を混合した土壌を作成し、この混合土壌をベースに 5 種類の土壌を準備した。各土壌の構成要素は次の通り：1) 2 L ベース土壌に対し 0.5 L の未処理浄水発生土を添加 (土壌 S)、2) 土壌 S と構成要素は同じであるが粉碎した浄水発生土を添加 (土壌 PS)、3) 1.5 L ベース土壌に対し 0.5 L の未処理浄水発生土と 0.5 L のパーミキュライトを添加 (土壌 V)、4) 土壌 V と構成要素は同じであるが粉碎したパーミキュライトを添加 (土壌 PV)、そして 5) 1.5 L ベース土壌に対し 0.5 L の未処理浄水発生土と 0.5 L のパーライトを添加 (土壌 P)。

準備したそれぞれの土壌にコマツナおよびチンゲンサイを播種し、コマツナは 28 日間、チンゲンサイは 32 日間栽培し、収穫した。そして収穫物の水分含量、乾燥重量、および放射性セシウム量を求めた。

#### (2) 土壌-植物移行係数

土壌から葉菜類への  $^{137}\text{Cs}$  移行パラメータとして移行係数 (TF) を次式より求めた：  
 移行係数 (TF) = 葉菜類可食部中  $^{137}\text{Cs}$  濃度 (Bq/kg-dry) / 土壌中  $^{137}\text{Cs}$  濃度 (Bq/kg-dry)

#### (3) 分析

放射性セシウム測定試料は、いずれも乾燥・粉碎した後、Ge 半導体検出器で分析した。Ge 半導体検出器の効率校正は放射能標準ガンマ体積線源 (MX033U8PP; 日本アイソトープ協会) で行い、測定の精度は放射能分析用土壌認証標準物質 (JSAC0471; 日本分析化学

会)で確認した。半減期補正は収穫時を基準に行った。

収穫したコマツナの無機成分は ICP-OES で測定した。コマツナは収穫後、乾燥粉碎し酸で溶解した、これをドライアップし、希硝酸液に溶解し、測定試料とした。

Chlorophyll *a* は、分光光度計を用いて測定した。*N,N*-dimethylformamide で収穫した葉菜類から Chlorophyll *a* を抽出し、750 nm、663.8 nm、および 646.8 nm の波長の吸光度を測定した。Chlorophyll *a* 濃度は Porra *et al.* (1989) の方法で求めた。

アスコルビン酸は RQflex 10 reflectometer を用いて測定した。収穫した葉菜類を metaphosphate 中で均質化し、遠心分離の後、得られた上清を測定試料とした。

糖分含量は refractometer を用いて測定した。圧縮により収穫した葉菜類から水分を抽出し、これを測定試料とした。

#### (4) 被ばく線量

30%土壌で栽培したコマツナをベースに預託実効線量を求めた。プランター当たり 500 g のコマツナが収穫できるとし、収穫は年 3 回行い、収穫したコマツナは一人で消費することとした。また、市場希釈および調理等による減衰は無いものとして計算した。

外部被ばく線量を求めるために、プランター近傍に NaI scintillation survey meter を設置し、1cm 線量当量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) を測定した。そして、得られた値とバックグランドとの差分を追加外部被ばく線量率とした。

### 4. 研究成果

#### (1) 浄水発生土利用の利点

放射性セシウムで汚染された可能性のある浄水発生土を再利用する場合、浄水発生土を利用する利点を明確にすることは重要である。そこで、葉菜類の生長および収穫したコマツナ可食部中の無機成分から浄水発生土の利用に関する利点について整理した。

まず成長速度であるが、収穫直前に 0%土壌、10%土壌、および 30%土壌で栽培したコマツナを比較したところ、浄水発生土を含む土壌で草丈が高くなった(図 1)。また、収穫重量であるが、0%土壌で 164 g、10%土壌で 234 g、そして 30%土壌で 207 g であった。

次に無機成分について比較した。浄水発生土の添加がコマツナの生理障害を与えるならば、植物中の無機元素濃度バランスが変動すると考えられる。浄水発生土含量の増加に伴い Al と Mn の濃度は上昇したが、その他の元素濃度については明確な差は無かった(図 2)。両元素の濃度上昇は生理障害ではなく別の要因が影響していると考えられる。浄水発生土と栽培に使用した土壌の主構成土である赤玉土中の Mn 濃度を比較したところ、浄水発生土で約 2.8 倍高いことが分かった。したがって、Mn が多く含まれる浄水発生土の添加量が、コマツナ中の Mn 濃度に影響し

たとえられる。一方、浄水発生土の Al 濃度は  $95.24 \pm 5.4 \text{ mg/g}$  で、赤玉土の濃度  $128.8 \pm 14.9 \text{ mg/g}$  よりも低かった。浄水発生土中の Al は主に凝集剤として添加されたポリ塩化アルミニウムに由来すると考えられる。この Al は赤玉土の Al と比較して植物が利用しやすい化学形態なのかもしれない。

以上の結果をまとめると、園芸用土として浄水発生土を添加した場合、少なくとも体積率 30%までの添加であれば、特に生理障害を引き起こすこともなく、むしろ生長が促進され、さらに Al と Mn をより多く含むコマツナが収穫できることが分かった。



図 1 収穫前のコマツナ。左から 10%土壌, 0%土壌, および 30%土壌。

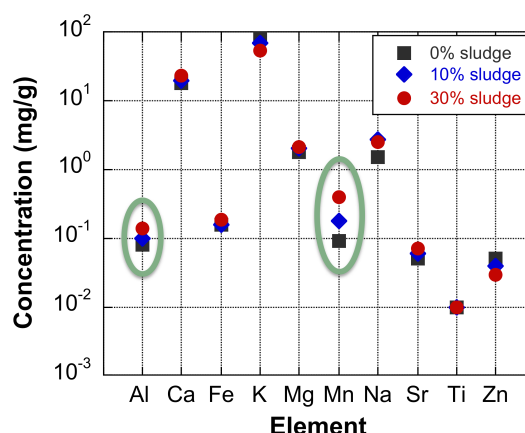


図 2 収穫したコマツナ可食部中の元素濃度

#### (2) 放射性セシウムの経根吸収

0%、10%、および 30%土壌で栽培したコマツナの乾燥重量当たりの放射性セシウム濃度と収穫後の土壌中放射性セシウム濃度を表 1 に示す。浄水発生土を含まない 0%土壌においても放射性セシウムが検出されたが、これは構成土壌である赤玉土が放射性セシウムにより汚染されていたことが原因であった。

栽培は温室内で行ったため、コマツナを汚染した放射性セシウムは大気からの降下物とは考えにくい。また、浄水発生土量の増加に伴い放射性セシウム濃度が高くなったことは、浄水発生土中の放射性セシウムが経根吸収により取り込まれたことを示唆している。

表1 収穫したコマツナと収穫後の土壌放射性セシウム濃度

土壌	<sup>134</sup> Cs (Bq/kg-dry)		<sup>137</sup> Cs (Bq/kg-dry)	
	コマツナ	土壌	コマツナ	土壌
0%土壌	7±2	29±2	19±2	39±3
10%土壌	105±2	1020±9	153±3	1470±11
30%土壌	286±3	2830±15	400±4	4060±18

2014年4月1日より施行された食品中の放射性物質の新しい基準値は、一般食品の場合、生重量換算で100 Bq/kg-wetである。そこで、乾燥重量当たりの放射性セシウム濃度を生重量当たりに換算した。まず始めに0%, 10%, および30%土壌で栽培したコマツナの含水率を求めたところ、それぞれ93.0%, 93.5%, および92.8%であった。この含水率から換算された生重量当たりの<sup>137</sup>Cs濃度は、 $1.3 \pm 0.2$  Bq/kg-wet,  $9.9 \pm 0.2$  Bq/kg-wet, および $28.7 \pm 0.3$  Bq/kg-wetであった。同様に<sup>134</sup>Cs濃度は $0.5 \pm 0.1$  Bq/kg-wet,  $6.8 \pm 0.2$  Bq/kg-wet, および $20.5 \pm 0.2$  Bq/kg-wetであった。30%土壌で収穫したコマツナにおいても放射セシウム濃度は49.2 Bq/kg-wetと基準値を超えないことが分かった。つまり、流通可能なコマツナが収穫できたことが分かった。

事故以降、厚生労働省は浄水発生土の再利用の自粛を要請してきたが、2013年3月、浄水場からの搬出時点において放射性セシウムの濃度が400 Bq/kg以下であれば出荷可能とした(厚生労働省健康局長, 2013)。通常、浄水発生土は園芸用土に約20%程度混合されるため、出荷時において400 Bq/kgであれば製品として販売される時点で放射性セシウムの濃度は80 Bq/kg程度になる。30%土壌中の放射性セシウム濃度が6,890 Bq/kg-dryであったことから、この値以下の放射性セシウム濃度であれば、収穫したコマツナは基準値を超えないと推測されるため、たとえ最大値の80 Bq/kgの放射性セシウムが含まれる園芸用土が出荷されたとしても、この土壌で栽培したコマツナは基準値を超えないといえる。

### (3) 内部被ばくと外部被ばく

30%土壌で収穫したコマツナの値を基に、預託実効線量を求めた。実際の収穫量は207 gであったが、500 gを年3回収穫し、それを一人の大人が全て食べたとして仮定し計算を行った。その結果、預託実効線量は約1.1 μSvであった。実際には年3回収穫する期間中に物理学的半減期およびエイジング効果によりコマツナの放射性セシウム濃度が下がることが予想されるので、内部被ばく線量はより小さくなると推測される。

一方、プランターの側での作業期間における外部被ばく線量であるが、プランター横にサーベイメータを置き、1cm線量当量率(μSv/h)を測定した。結果を表2に示す。追加の外部被ばく線量は、プランターの数、プランターから作業場所までの距離、作業時間

等、様々な要因に依存するため、単純に計算で求めることはできない。しかしながら、本試験の結果はこれらの要因を考慮して外部被ばく線量を求めるときの参考値として役立つ。

表2 線量率と追加被ばく

土壌	線量率 (μSv/h)	追加被ばく (μSv/h)
バックグラウンド	0.11	-
0%土壌	0.11	0
10%土壌	0.14	0.03
30%土壌	0.17	0.06

### (4) 土壌-植物移行係数

土壌-植物移行係数(TF)は、放射性物質が人体へ移行する量を予測するために必要なパラメータの一つである。そこで、放射性セシウムで汚染された浄水発生土からコマツナへのTFを、10%土壌および30%土壌で栽培したコマツナを用いて求めた。ただし、<sup>134</sup>Csは物理学的半減期が約2年と比較的短く、今後問題となるのは<sup>134</sup>Csよりもむしろ<sup>137</sup>Csと考えられるため、<sup>137</sup>CsについてTFを求めた。いずれの土壌においてもTFは0.1であり、この結果はコマツナの<sup>137</sup>Cs濃度が土壌中の<sup>137</sup>Cs濃度に依存していることを意味している。

浄水発生土は特殊な土壌ではあるが、このTFは過去に日本の農耕地で取得された<sup>137</sup>Csの葉菜への移行係数(Uchida and Tagami 2007)の範囲内であった。土壌中のCsは時間の経過と共に水溶性から難溶性へと変化することが知られており、さらに難溶性のCsは植物に移行しにくいことが知られている。つまり、<sup>137</sup>Csが収着平衡状態に達するまでには時間を要する。本試験は原子力発電所事故から1年後に開始されており、したがって、十分収着平衡に達したとは言いがたく、収着平衡におけるTFはより小さな値となると考えられる。言い換えれば、移行しやすい状態であるにも係わらず、過去に取得された移行係数の範囲内であるということは、<sup>137</sup>Csは浄水発生土からコマツナへ比較的移行しにくいと考えられる。

### (5) 移行抑制資材

これまでの試験において、厚生労働省の考え方に従えば、浄水発生土が原因で栽培した葉菜類の放射性セシウム濃度が基準値を超えることは無いと考えられる。しかしながら、放射線防護の基本的な考えである「合理的に達成できる限り低く(As Low As Reasonably Achievable; ALARA)」を尊重すれば、できる限り無駄な被ばくを防ぐことが重要である。そこで、葉菜類への放射性セシウムの移行を抑制する園芸資材について検討した。土壌と混合する資材としてパーミキュライトとパーライトについて検討を行い、パーミキュラ



イトと浄水発生土については物理的形態（粒子サイズ）の効果についても検討した。

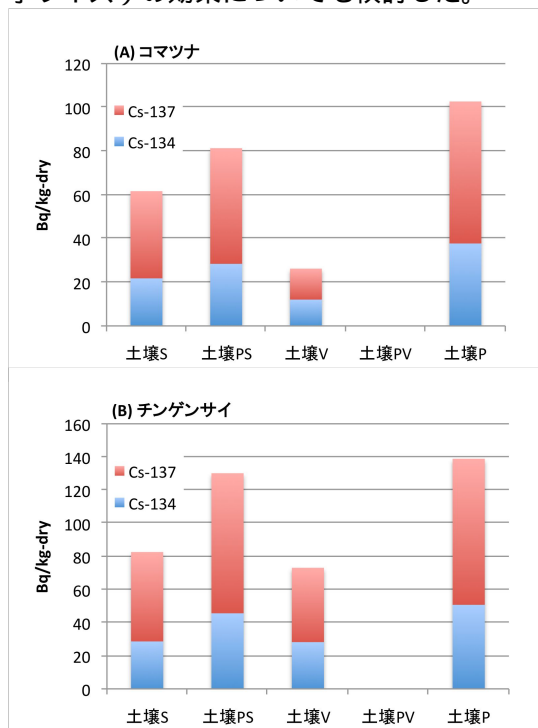


図3 収穫した(A)コマツナと(B)チンゲンサイの放射性セシウム濃度

各土壌で栽培したコマツナとチンゲンサイの放射性セシウム濃度を図3に示す。土壌PVで栽培したコマツナとチンゲンサイを除き、放射性セシウムが検出された。この結果は土壌PVに添加した園芸資材、つまり粉碎したパーミキュライトが植物体への放射性セシウムの移行抑制において最も効果的であることを意味している。同様に、未処理のパーミキュライトも土壌Sで栽培した葉菜類と比較すると、放射性セシウム濃度は低下したが、その低下率は粉碎パーミキュライトと比較すると小さかった。パーミキュライトによるセシウムの吸着はよく知られており (Motokawa et al. 2014), 本試験における葉菜類中の放射性セシウム濃度の低下は、パーミキュライトのセシウム吸着効果によるものと考えられる。つまり、植物根が放射性セシウムを吸収する前にパーミキュライトがそれを吸着し、その結果、移行量が減少したと考えられる。

一方、浄水発生土を粉碎すると、逆に葉菜類中の放射性セシウム濃度が高くなった。パーミキュライトと浄水発生土の結果から、粒子サイズは移行抑制に影響する重要な要因であることが分かった。一般に粒子サイズが小さくなれば、その物質の表面積が増加する。浄水発生土の場合、粉碎することで表面積が増し、根と放射性セシウムのソースである浄水発生土が接触する機会が増えたために放射性セシウム濃度が高くなったと考えられる。逆に、パーミキュライトは粉碎による表面積の増加が放射性セシウムとの接触の機

会を増やし、より多くの放射性セシウムがこの鉱物に取り込まれ、そのため根から吸収量が低下し葉菜類中の濃度が低くなったと考えられる。

興味深いことに、土壌Pで栽培した葉菜類は共に放射性セシウム濃度が最も高くなった。これは、パーライトによる浄水発生土からの放射性セシウム遊離の促進効果によると考えられたため、浄水発生土とパーライトを混合し、放射性セシウムの抽出を試みた。しかしながら、パーライトによる放射性セシウム抽出促進効果は確認できなかった。パーライトの効果については、今後詳細に検討する必要がある。

本試験において、基準値である 100 Bq/kg を超える試料があったが、これは単位乾燥重量当たりの放射能を求めたためである。乾燥重量当たりを生重量当りに換算すると、いずれも 100 Bq/kg 以下となった。例えば、土壌Pで栽培したチンゲンサイの場合、含水率は 95.8%であり、生重当りに換算した放射性セシウムの濃度は、<sup>134</sup>Cs が 2.0 Bq/kg-wet であり、<sup>137</sup>Cs が 3.7Bq/kg-wet であった。

パーミキュライトが植物の生長の点においても有効な資材であれば、放射性セシウムの移行抑制において理想的な資材といえる。そこで、植物の生長に対するパーミキュライトの影響を確認するために、コマツナに関して収穫重量、糖度、アスコルビン酸濃度、Chlorophyll a 濃度を測定し、これらの値を土壌Sで収穫されたコマツナの値と比較した (表3)。パーミキュライトの添加により、収穫重量および糖度が減少した。その他の測定値については明確な差は得られなかった。土壌PVでは給水後の水はけが悪かった。土壌間隙に粉碎したパーミキュライトが入り込み、根が生長しにくかった、あるいは根に十分な酸素が行き渡らなかったために収穫量や糖度が減少したのかもしれない。粉碎したパーミキュライトを放射性セシウム移行抑制資材として利用する場合、添加する量によっては植物の生長を阻害する可能性があることに留意することが必要である。

表3 土壌Sおよび土壌PVで栽培したコマツナの生長および栄養価の比較

	土壌S	土壌PV
収穫量 (g)	187 ± 23	147 ± 14
糖度 (Brix%)	2.9 ± 0.6	2.2 ± 0.0
アスコルビン酸 (mg/100mg)	26.8 ± 5.1	30.8 ± 5.1
Chl-a (µg/cm <sup>2</sup> )	43.2 ± 0.9	42.3 ± 1.4

#### < 引用文献 >

Porra et al., (1989). Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by

atomic absorption spectroscopy. Biochim. Biophys. Acta., 975 (3), 384-394.

厚生労働省健康局長, (2013). 放射性物質が検出された浄水発生土の園芸用土又はグラウンド土への有効利用に関する考え方について,

<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/hourei/jimuren/dl/130313-4.pdf>.

Uchida, S., Tagami, K., (2007) Soil-to-plant transfer factors of fallout Cs-137 and native Cs-133 in various crops collected in Japan. J. Radioanal. Nucl. Chem., 273, 205-210.

Motokawa et al., (2014) Collective structural changes in vermiculite clay suspensions induced by cesium ions. Sci. Rep., 4, 6585.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3件)

1) Ishii, N., Tagami, K., Uchida, S. (2015). Effect of sludge particle size on uptake of Cs-137 by two leaf vegetables. Journal of Residuals Sciences & Technology, 12(2), 61-65. (査読あり)

[http://repo.nirs.go.jp/?action=pages\\_view\\_main&active\\_action=repository\\_view\\_main\\_item\\_detail&item\\_id=25135&item\\_no=1&page\\_id=13&block\\_id=8](http://repo.nirs.go.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=25135&item_no=1&page_id=13&block_id=8)

2) 石井伸昌, 田上恵子, 川口勇生, 内田滋夫. (2013). 浄水発生土に含まれる<sup>137</sup>Csのコマツナによる経根吸収. Radioisotopes, 62(7), 447-453. (査読あり)

[http://repo.nirs.go.jp/?action=pages\\_view\\_main&active\\_action=repository\\_view\\_main\\_item\\_detail&item\\_id=20990&item\\_no=1&page\\_id=13&block\\_id=8](http://repo.nirs.go.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=20990&item_no=1&page_id=13&block_id=8)

3) 石井伸昌, 田上恵子, 川口勇生, 内田滋夫. (2013). ミニキャベツによる栽培土壌から放射性セシウムの経根吸収. 保健物理, 48(3), 150-155. (査読あり)

[http://repo.nirs.go.jp/?action=pages\\_view\\_main&active\\_action=repository\\_view\\_main\\_item\\_detail&item\\_id=21575&item\\_no=1&page\\_id=13&block\\_id=8](http://repo.nirs.go.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=21575&item_no=1&page_id=13&block_id=8)

〔学会発表〕(計 6件)

1) 石井伸昌, 田上恵子, 内海弘美, 内田滋夫. 放射性セシウムで汚染された浄水発生土の再利用の可能性. 福島への復興に向けての放射線対策に関するこれからの課題. パルセイイざか, 福島市. 5月30-31日, 2015.

2) Ishii, N., Utsumi, H., Tagami, K., Uchida, S.

The Effect of Sludge Particle Size on the Uptake of Cs-137 by a Leaf Vegetable, Brassica rapa var. perviridis. The international water association International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries, Kochi, Japan. November 24-26, 2014.

3) 石井伸昌, 田上恵子, 内田滋夫. 浄水発生土から野菜への放射性セシウムの移行を抑制および促進する資材. 第51回 アイソトープ・放射線 研究発表会, 東京大学, 東京. 7月7-9日, 2014.

4) Ishii, N., Tagami, K., Uchida, S. Aging effects on transfer factor of Cs-137 from drinking water treatment sludge to a leaf vegetable. The 20th World Congress of Soil Science, Jeju, Korea. June 8-13, 2014.

5) 石井伸昌, 田上恵子, 川口勇生, 内田滋夫. 浄水発生土から葉菜類への放射性セシウムの移行. 第50回 アイソトープ・放射線 研究発表会. 東京大学, 東京. 7月3-5日, 2013.

6) Ishii, N., Tagami, K., Kawaguchi, I., Uchida, S. (2013). Transfer factors of radiocesium from drinking water sludge to leaf vegetables. The 7th International Symposium on Radiation Safety and Detection Technology, Sanya, China. July 15-18, 2013.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0件)

○取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等(計 0件)

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

石井 伸昌 (ISHII, Nobuyoshi)  
独立行政法人放射線医学総合研究所・放射線防護研究センター・主任研究員  
研究者番号: 50392212

##### (2)研究分担者

田上 恵子 (TAGAMI, Keiko)  
独立行政法人放射線医学総合研究所・放射線防護研究センター・主任研究員  
研究者番号: 10236375

##### (3)連携研究者

( )

研究者番号: