

11. 堆肥肥料で栽培した農作物中の放射性セシウムの研究

○勝亦正明（神奈川県衛生研究所）

【研究目的】

福島第一原発事故により放射性セシウム（Cs）が広域に放出されたため、日本では一般食品の放射性 Cs 濃度の基準値を 100 Bq/kg と定め、海外諸国と比較して厳しい検査が行われている[1]。しかし厳しい基準値を満たしているにもかかわらず、わずかな放射性 Cs が検出されたことで、海外では日本からの食品の輸入禁止の措置が取られることがある[2, 3]。これらのことから、私は基準値を満たすだけでなく、検査で検出されないレベルまで放射性 Cs 濃度を低減する必要が求められていると考える。

土壌中の放射性 Cs の挙動に関する研究はチョルノービリ原子力発電所や福島第一原発の事故により進展しており、土壌から農作物への放射性 Cs の移行が低いことはすでに分かっている[4-6]。一方、2021 年度大同生命助成金「堆肥肥料中の放射性セシウムの農作物への影響に関する研究」により堆肥肥料中に放射性 Cs が含まれていて、堆肥肥料から農作物に吸収される可能性があることがわかってきた。そのため、農作物から放射性 Cs が検出される原因として、私は堆肥肥料からの放射性 Cs の移行がその原因の一端を担っている可能性があると考えている。そこで本研究では放射性 Cs が含まれる様々な堆肥肥料で農作物を栽培し、堆肥肥料から農作物へ放射性 Cs が移行するか調べ、堆肥肥料による農作物中の放射性 Cs 濃度の寄与を明らかにする。

【研究の必要性】

本研究によって堆肥肥料から農作物への放射性 Cs の移行の大きさが明らかになり、さらに堆肥肥料の種類によって移行の度合いが異なることが明らかになれば、移行の小さい堆肥肥料を優先的に使用する等、放射性 Cs 濃度の低減化対策の一助となる。

【研究計画】

1. 栽培用土壌の用意と栽培農作物の選択

堆肥肥料に販売されている土壌（真砂土と鹿沼土）を混ぜ、農作物栽培用の混合土壌を作る。堆肥肥料より放射性 Cs 濃度が低い土壌を使用することで、混合土壌から農作物中への放射性 Cs の移行は堆肥肥料のみに由来することになる。堆肥肥料には腐葉土（銘柄 A）、バーク堆肥（銘柄 B1-B3）、牛糞（銘柄 C）を用いる。腐葉土またはバーク堆肥と真砂土の生重量の混合比は 1:1、腐葉土またはバーク堆肥と鹿沼土の生重量の混合比は 1:2、牛糞と真砂土の生重量の混合比は 1:9 または 2:8 である。

さらに自ら採取した Cs-137 を含む環境中の土壌（比較用土壌）の移行を調べる。混合土壌と比較用土壌とを比較することで、堆肥肥料の農作物への寄与度の評価をする。土壌は粒子の大きさで砂、シルト、粘土に分類され、砂、シルト、粘土の混合割合で土性が決まる[7]。土性が違うと放射性 Cs の農作物への移行の大きさは変わる。本研究では比較用土壌として埴土（採取地点 P1）と砂壤土（採取地点 P2、P3）を用意する。比較用土壌

の土性は土性簡易判定法を用いて調べる[8]。

栽培する農作物にはコマツナを用いる。コマツナを採用する理由は栽培期間が 2 から 3 ヶ月と短い期間で採取でき、私の研究からすでにコマツナが放射性 Cs を吸収することは確認されているためである。

2. 土壌、堆肥肥料、混合土壌、比較用土壌の Cs-137 濃度の測定

土壌、堆肥肥料、混合土壌、比較用土壌の Cs-137 濃度を高純度ゲルマニウム半導体検出器 (HPGe) で測定した。これらの土壌の Cs-137 濃度は U8 容器 (80 ml の円柱形のプラスチック容器) またはマリネリ容器 (2 L の容量の容器であり同軸型 HPGe の形状に合わせた形状) に詰めて HPGe で測定する。Cs-137 濃度が低い土壌はマリネリ容器で測定する。マリネリ容器を使用することで Cs-137 濃度の検出下限値を下げるができる。

3. 栽培方法

プラスチックコンテナ (幅 30cm×奥行き 30cm×高さ 9cm) に土壌を入れコマツナを栽培する。栽培では LED を 1 日のうち 14 時間コマツナに照射する。

4. 乾燥重量当たりのコマツナの Cs-137 濃度の測定方法

栽培したコマツナを 105℃で乾燥後、450 度 24 時間加熱し灰化した。灰化したコマツナの Cs-137 濃度 A_{Kash} を HPGe で測定する。乾燥重量当たりのコマツナの Cs-137 濃度 A_{Kdry} は以下のとおり計算する。

$$A_{Kfresh} = A_{Kash} \times \text{灰化率} \quad (1)$$

$$A_{Kdry} = A_{Kfresh} / \text{乾物率} \quad (2)$$

A_{Kfresh} は生重量あたりの Cs-137 濃度、灰化率は灰重量を生重量で割った値、乾物率は乾物重量を生重量で割った値である。(1)(2)より次の式が得られる。

$$A_{Kdry} = A_{Kash} \times \text{灰化率} / \text{乾物率} \quad (3)$$

5. 移行係数の計算

土壌からコマツナへの Cs-137 の移行係数(Transfer factor:TF)は以下の式で計算する。

$$TF = A_{Kdry} / A_{Soil} \quad (4)$$

A_{Soil} はコマツナを栽培した乾燥土壌の重量あたりの Cs-137 濃度である。

【実施内容・結果】

混合土壌に使用した土壌と堆肥肥料の Cs-137 濃度は表 1、2 のとおりであった。Cs-137 濃度が Cs-137 濃度の誤差の 3 倍未満の時、不検出とした。表 3、4、5 に真砂土と堆肥肥料の混合土壌 (真砂土混合土壌)、鹿沼土と堆肥肥料の混合土壌 (鹿沼土混合土壌)、比較用土壌の A_{Soil} 、 A_{Kdry} 、TF を示した。TF が TF の誤差の 3 倍未満の時、Cs-137 の移行はなしと判定した。

1. 真砂土混合土壌

表 3 に示されるように、真砂土混合土壌の TF

表 1 混合土壌に使用された土壌の乾燥重量当たりの Cs-137 濃度。誤差は HPGe の測定誤差。

混合土壌に使用した土壌の種類	Cs-137濃度 (Bq/kg)	Cs-137の検出判定
真砂土	0.08±0.03	不検出
鹿沼土	0.02±0.02	不検出

表 2 堆肥肥料の乾燥重量あたりの Cs-137 濃度。誤差は HPGe の測定誤差。

堆肥肥料の種類	堆肥肥料の銘柄	Cs-137濃度 (Bq/kg)	Cs-137の検出判定
腐葉土	A	20.8±0.7	検出
バーク堆肥	B1	47.1±0.9	検出
バーク堆肥	B2	25.9±0.9	検出
バーク堆肥	B3	105.2±0.9	検出
牛糞	C	9.4±0.4	検出

は銘柄 B3 に関して 0.098 であり、他の銘柄は移行が確認されなかった。銘柄 C の牛糞は Cs-137 の濃度が低いため他の銘柄に比べ TF の誤差が大きくなった。

2. 鹿沼土混合土壌

表 4 に示されるように、鹿沼土混合土壌の TF は 0.069-0.134 であった。

3. 比較用土壌

表 5 に示されるように、砂壤土の TF は 0.104 から 0.449 であり、埴壤土の TF は 0.049 から 0.052 であった。埴壤土に比べて砂壤土の TF は高かった。

【考察と今後の課題】

● 考察

1. 真砂土と鹿沼土のコマツナへの Cs-137 の寄与について

表 1 に示されるように、真砂土と鹿沼土の両土壌の A_{soil} は 0.1 Bq/kg 未満である。表 3-4 の移行判定があった試料の内、もっとも低い A_{Kdry} は 1.6 Bq/kg であった。両土壌の A_{Kdry} が 0.1 Bq/kg と仮定した場合、両土壌からのみコマツナへの Cs-137 が移行すると仮定すると、TF は低くても 160 と推定される。表 3-4 から TF が 0.14 を超えることがなかった。よって両土壌からコマツナへの移行の寄与度は堆肥肥料に比べ低いと考えられる。

表 3 真砂土混合土壌の Cs-137 濃度、混合土壌で栽培したコマツナの Cs-137 濃度、TF。誤差は HPGe の測定誤差。銘柄 C についてはコマツナの栽培を 3 回行った。

堆肥肥料の種類	堆肥肥料の銘柄	試料番号	A_{Soil} (Bq/kg)	A_{Kdry} (Bq/kg)	TF	移行の判定
腐葉土	A	1	8.4±0.3	0.0±0.2	0.00±0.02	なし
バーク堆肥	B1	1	15.5±0.4	0.2±0.2	0.01±0.01	なし
バーク堆肥	B2	1	6.4±0.3	0.4±0.2	0.07±0.03	なし
バーク堆肥	B3	1	25.5±0.4	2.5±0.1	0.098±0.006	あり
牛糞	C	1	0.61±0.03	0.1±0.1	0.14±0.23	なし
	C	2	1.29±0.05	-0.1±0.2	-0.05±0.18	なし
	C	3	1.29±0.05	0.1±0.2	0.08±0.12	なし

2. 真砂土混合土壌と鹿沼土混合土壌の影響について

表 3-5 のデータを用いて図 1 に示すように真砂土混合土壌、鹿沼土混合土壌、砂壤土の TF の比較をした。ここで、牛糞と埴壤土の TF は除いた。牛糞の TF を除いた理由は牛糞の Cs-137 濃度は低く、牛糞の TF の誤差が大きくなったためである。埴壤土の TF を除いた理由は埴壤土は粘土の割合が多いため水はけが悪く、一般的に農作物の栽培に適していないためである。

腐葉土やバーク堆肥の真砂土

表 4 鹿沼土混合土壌の Cs-137 濃度、鹿沼土混合土壌で栽培したコマツナの Cs-137 濃度、TF。誤差は HPGe の測定誤差。銘柄 B1 でコマツナの栽培を 2 回行った。

堆肥肥料の種類	堆肥肥料の銘柄	試料番号	A_{Soil} (Bq/kg)	A_{Kdry} (Bq/kg)	TF	移行の判定
バーク堆肥	B1	1	23.8±0.5	1.6±0.2	0.069±0.009	あり
バーク堆肥	B1	2	38.9±0.6	5.2±0.2	0.134±0.006	あり
バーク堆肥	B2	1	16.7±0.5	2.0±0.2	0.118±0.011	あり

表 5 比較用土壌の Cs-137 濃度、比較用土壌で栽培したコマツナの Cs-137 濃度、TF。誤差は HPGe の測定誤差。P1-P3 のそれぞれで 2 回コマツナの栽培を行なった。

サンプル地点	土性	試料番号	A_{Soil} (Bq/kg)	A_{Kdry} (Bq/kg)	TF	移行の判定
P1	埴壤土	1	104.0±0.8	5.1±0.3	0.049±0.003	あり
P1	埴壤土	2	104.0±0.8	5.4±0.3	0.052±0.003	あり
P2	砂壤土	1	102.7±0.8	46.2±0.5	0.449±0.006	あり
P2	砂壤土	2	102.7±0.8	29.2±0.4	0.284±0.004	あり
P3	砂壤土	1	108.3±0.8	11.2±0.3	0.104±0.003	あり
P3	砂壤土	2	108.3±0.8	25.2±0.4	0.233±0.004	あり

混合土壌と鹿沼土混合土壌の TF は砂壤土のものより低い傾向であった。よって砂壤土と比較すると、堆肥肥料の種類によらず TF は高くないため、堆肥肥料からのコマツナへの Cs-137 の移行の寄与度は大きくないことが分かった。堆肥肥料の影響を抑える対策として、砂壤土のような一般的な土壌より堆肥肥料の TF の方が低いので、環境中の土壌より低い Cs-137 濃度の堆肥肥料を使用することであると考えられた。

3. 真砂土混合土壌と鹿沼土混合土壌の TF の比較について

表 3-4 のデータを用いて図 2 に示すように真砂土混合土壌と鹿沼土混合土壌の TF の比較をした。鹿沼土混合土壌の銘柄 B1 と B2 の TF は真砂土混合土壌のそれぞれの銘柄のものと比較すると高かった。

以下の 2 条件が成り立つと仮定し鹿沼土混合土壌の TF が高い原因を推測した。

- I. 堆肥肥料から溶出した Cs-137 が土壌に吸着される。
- II. 土壌に吸着した Cs-137 はコマツナに移行しない。一方で土壌に吸着されない Cs-137 はコマツナに移行する。

真砂土が Cs-137 を吸着しやすいとすると、この 2 条件によりコマツナに Cs-137 は吸収されづらい。一方鹿沼土が Cs-137 を吸着しにくいとすると、Cs-137 はコマツナに吸収されやすいと推測される。よって真砂土混合土壌に比べ鹿沼土混合土壌で栽培したコマツナの Cs-137 の TF は高くなると考えられた。

埴壤土と砂壤土の TF の比較をすることで、上記の仮定が成り立つことを示すデータが得られた。表 5 のデータを用いて図 3 に示すように埴壤土と砂壤土の比較をした。埴壤土に比べて砂壤土の TF は高かった。Cs-137 は粘土鉱物に吸着され易いことが知られている。砂壤土に比べ埴壤土は粘土の割合が多いため、Cs-137 を吸着する粘土鉱物も多く含んでいると考えられる。粘土鉱物に吸着した Cs-137 はコマツナへ移行しづらい。よって埴壤土に比べて粘土の割合が少ない砂壤土の TF は高くなったと推定される。粘土鉱物からコマツナへ Cs-137 が移行しづらいのと同じように、真砂土に吸着した Cs-137 がコマツナに移行

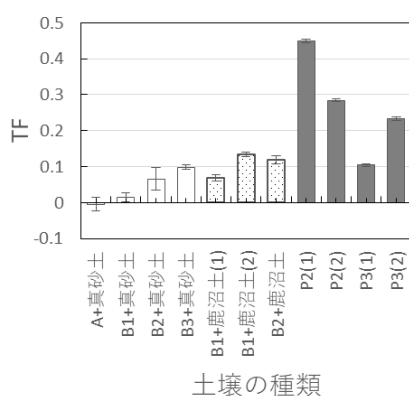


図 1 土壌からコマツナへの TF。誤差棒は HPGe の測定誤差。白色棒は真砂土混合土壌、点棒は鹿沼土混合土壌、灰色棒は 2 地点の砂壤土。カッコ内の数値は試料番号。

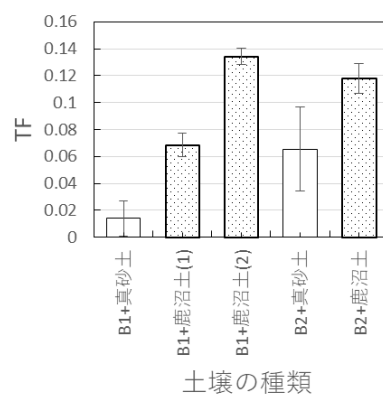


図 2 土壌からコマツナへの TF。誤差棒は HPGe の測定誤差。白色棒は真砂土混合土壌、点棒は鹿沼土混合土壌。カッコ内の数値は試料番号。

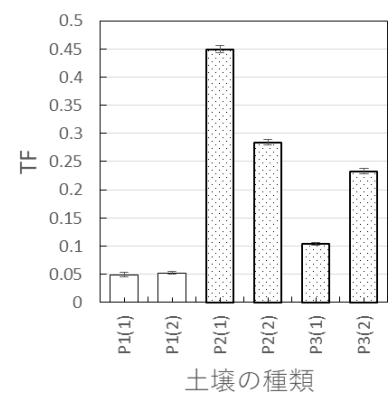


図 3 土壌からコマツナへの TF。誤差棒は HPGe の測定誤差。白色棒は埴壤土、点棒は砂壤土。カッコ内の数値は試料番号。

しづらいと考えられた。

本仮定が正しいとすると、混合土壌の TF は砂壤土で栽培したコマツナのものより低い
が、堆肥に混合した土壌の放射性 Cs の吸着の強さにより、その TF が変化すると考えれた。

● 今後の課題

真砂土混合土壌に比べ鹿沼土混合土壌の TF が高い傾向になったが、分析の試料数が少
ないため、本結果の再現性を調べる必要がある。さらに吸着されにくいと考えられる土壌
と堆肥肥料を混合した混合土壌を使うことで Cs -137 の TF が上がるか調べる必要がある。

【参考文献】

- [1] 第 8 章 食品中の放射性物質、8.1 食品中の放射性物質対策、改訂日：平成 28 年 1 月
18 日、<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/h29kisoshiryo/h29kiso-08-01-03.html>
- [2] 鹿児島産抹茶から微量の放射性物質 積み戻しを勧告／台湾 フォーカス台湾、2023/
07/25
- [3] 台湾に輸出のこんにゃく粉から微量の放射性物質、毎日新聞、2022/9/16
- [4] 中尾淳 学術の動向 2012 年 17 巻 10 号 p.10_40-10_45
- [5] 福島第一原子力発電所事故により放出された放射性セシウムの土壌中での動態と制御
因子地球化学 55, 96-109(2021) 中尾 淳 doi:10.14934/chikyukagaku.55.96
- [6] 村山徹 東北農業研究センターたより 37 (2012)
- [7] 土壌の基礎知識
https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/pdf/ntuti4.pdf
- [8] 前田正男, 松尾嘉郎. 図解 土壌の基礎知識. 農山漁村文化協会. 1974.

【経費使途明細】

用途		税込金額 (円)
器材	粉碎機	¥48,400
	強力スターラー	¥79,200
	汎用電荷増幅器	¥143,165
	コネクタ類	¥26,884
	プランター	¥398
その他	事務手数料	¥2,255
合計		¥300,302
大同生命厚生事業団助成金		¥300,000