

ゼオライトスラリーによる植栽土壌改良の試み ～放射能汚染土の除染対策とその効果～

池田 穰^{*1}・秋田宏行^{*1}・木川田一弥^{*2}

東日本大震災の津波被害による福島第一原子力発電所からの放射能汚染への対策が福島県を中心に課題となっている。ここでは汚染された土壌へゼオライトを添加することによる作物への放射性物質の移行抑制の効果を粒子状、スラリー状それぞれのゼオライトについて調べた。また表土剥ぎ取り・反転耕による農地の除染効果も確認した。ゼオライトの放射性物質移行抑制効果については室内試験にて野菜類への、福島県の農地にて米への放射性セシウムの移行係数をそれぞれ調べた。その結果、野菜類については移行率が45～60%低減し抑制効果が確認できたが、米についてはその移行係数自体が低いため抑制効果は確認できなかった。

キーワード：ゼオライト，ゼオライトスラリー，放射性セシウム，移行係数，空間線量率，表面汚染密度

1. はじめに

東日本大震災により発生した津波が福島第一原子力発電所を襲ったことにより、発電所の機能が損なわれるとともに、放射能汚染が福島県を中心に広域に拡散した。こうした放射能汚染土の除染対策として農地の場合、農業機械を利用し表面汚染土を除去する方法（表土剥ぎ取り）、表層土壌と土壌深層とを混合させ（反転耕）放射能濃度を縮減させる方法がある。さらにゼオライトを放射性物質の吸着材として土に散布し、植栽した作物へ土壌中の放射性セシウムが移行することを抑制する方法もある。これら対策の有効性を確認するため、実際の汚染された耕地での表土剥ぎ取り・反転耕・ゼオライト散布それぞれの効果を検証した。特にゼオライトについては、通常の粒子状だけでなくスラリー状のゼオライトも使用し、屋外実験だけでなく室内実験においてもその効果を調べた。

2. ゼオライト



ゼオライトをスラリー化したゼオライトスラリーと一般に土壌改良資材として使用されている粒子状ゼオライトの比較を表-1に示す。このゼオライトは、土壌中に添加されることによりその土壌に植栽した作物への放射性セシウムの移行を抑制することが知られている¹⁾。ゼオライトをスラリー化することで比表面積が大きくなり吸着性能が高まることが期待される。ここでは初めに室内植栽実験にて、ゼオライトスラリーの効果を確かめた。次に圃場実験にて粒子状ゼオライトとゼオライトスラリーの効果を比較した。

3. 室内植栽実験

3.1 実験方法

茨城県内の民家の庭等から採取した放射性セシウム濃度5,000-7,000Bq/kgの土壌に保水・排水性改良剤や鹿沼

表-1 粒子状ゼオライトとゼオライトスラリー

	農業資材用粒子状ゼオライト	ゼオライトスラリー
概観		
粒径	1～2mm	5μm
セシウム吸着に必要な散布量	1000kg/10a以上(福島県農林水産部指針 ²⁾)	
特徴	土壌改良資材として、保水性・保肥性を高めるために従来より使用されている(散布量200～500kg/10a)。	スラリー状なのでハンドリングがよい。また比表面積が大きいので吸着性能に優れる。水溶液中のセシウムは、pHに関らずほぼ100%除去できる。

*1 環境開発部 *2 先端技術研究部

表-2 コマツナ植栽実験のまとめ

	プランタ①	プランタ②	備考
土壌の放射性Ci(134,137)濃度(a)	6669.7Bq/kg (検出限界17.7Bq/kg)	7029.1Bq/kg (検出限界19.8Bq/kg)	原土は、茨城県南部の住宅の庭土や側溝に堆積した土
土壌の体積	3.24L(26.5cm×34cm×3.6cm)		土壌改良後の体積
土壌改良の方法	「イーージーソート」(保水・排水性改良剤)・鹿沼土各10%(V/V)		「イーージーソート」:クレアテラ製
土壌水分	33.7%	29.5%	飽和透水係数 1.0×10^{-9} m/s, 有効水分134L/m ³ , pH(H ₂ O)6.2, EC 0.20dS/m, CEC 21.1cmol(+)/kg
ゼオライトスラリー添加濃度	1%(W/W)	0	
コマツナ栽培環境条件	温度:22度 湿度:50%(なりゆき) 光:100μE/m ² /s, 18時間明:6時間暗 元肥:「ハイボネックス」(NPK他含有肥料)500倍希釈, 各プランタに500ml 追肥:10日に1回元肥の1/10の濃度の液肥を適量添加		深さ2cm, 3列で各列15個の植穴を両プランタに設けコマツナの種を各植穴に2種ずつ蒔種 「ハイボネックス」:ハイボネックジャパン製 家庭園芸用肥料
育成期間	2011年12月5日~2012年1月26日(52日間)		12/8発芽, 12/23間引き
育成52日後のコマツナ茎・葉の放射性Ci(134,137)濃度(b)	20.97 (検出限界3.2Bq/kg)	38.89 (検出限界3.1Bq/kg)	
移行係数(b/a)	0.0031	0.0055	コマツナの放射性セシウム移行係数としては、黒ボク土での栽培で0.0026 ³⁾ などの値が報告されている。

表-3 カラシナ植栽実験まとめ

	プランタ①	プランタ②	備考
土壌の放射性Ci濃度(a)	4954Bq/kg(検出限界15.6Bq/kg)		原土は、千葉県住宅の庭土
土壌の体積	7.42L(35cm×26.5cm×8cm)		土壌改良後の体積
土壌改良の方法	「イーージーソート」(保水・排水性改良剤)・鹿沼土各10%(V/V)		「イーージーソート」:クレアテラ製
ゼオライトスラリー添加濃度	1%(W/W)	0	
カラシナ栽培環境条件	温度:22度湿度:50%(なりゆき) 光:130μE/m ² /s, 18時間明:6時間暗 元肥:硝酸カルシウム N100mg/500g, リン酸二水素カルシウム P ₂ O ₅ 100mg/500g 追肥:10日に1回元肥の1/10の濃度の液肥を適量添加		・深さ2cm, 3列で各列11個の植穴を両プランタに設けカラシナの種を各植穴に2種ずつ蒔種
育成期間	2012年1月27日~2012年3月16日(49日間)		1/31発芽, 2/8, 2/28, 3/5間引き
育成38日後のカラシナ茎・葉の放射性Ci(134,137)濃度(b)	287.45Bq/kg (検出限界8.0Bq/kg)	764.05Bq/kg (検出限界7.65Bq/kg)	
移行係数(b/a)	0.058	0.15	資料 ⁴⁾ ではカラシナの移行係数2.2が報告されている。土壌は不明。

土を添加した土を用意した。これをプランターにいれ、ゼオライトを濃度1%(W/W)で添加したものと添加しないものにそれぞれコマツナ、カラシナの種子を植栽した。温度22度、光量約100μE/m²/hour、明暗周期18:6の人工気象下で38-52日栽培した。途中追肥を行い、適宜間引きを行った。蒔種前の土壌の放射性セシウム(134,137)濃度(a)と栽培後の茎・葉に含まれる放射性セシウム

(134,137)濃度(b)をそれぞれ測定し、移行係数(b/a)をもとめた。

3.2 結果と考察

表-2にコマツナ、表-3にカラシナそれぞれの実験条件と結果を示す。また写真-1にプランタ内でのコマツナ、カラシナの状況をそれぞれ示す。栽培後のコマツ



写真-1 蒔種後47日のコマツナ（左）と蒔種後49日のカラシナ（右）

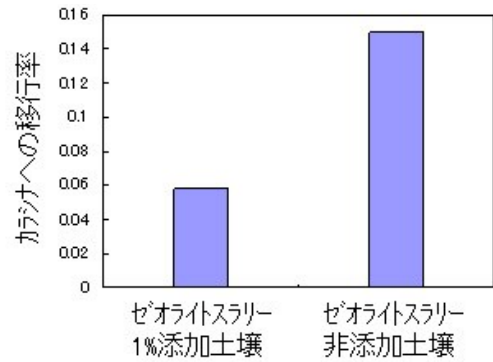
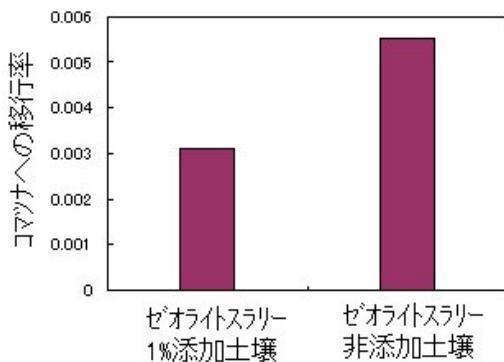


図-1 コマツナ（左）とカラシナ（右）の移行率

ナ、カラシナの茎・葉への放射性セシウム (134, 137) の移行係数はそれぞれ 0.0031 ~ 0.0055, 0.058 ~ 0.15 であった。従来の値では、黒土に植栽したコマツナで 0.0026 が報告³⁾されており今回の実験の値とオーダーは等しい。またカラシナで 2.2 という値が報告⁴⁾されているが、この植栽土壌の性状は不明であるため、参考にはならないと思われる。いずれにせよゼオライトスラリーを植栽土壌へ添加することにより、図-1 に示すように放射性セシウムの移行率が 45 ~ 60% 低減することが確認できた。

4. 圃場実験

4.1 実験方法

ゼオライトスラリーの効果を実際の圃場で確認するため福島県郡山市の水田において圃場実験を行なった。ゼオライトによる放射性セシウム吸収抑制実験のほか、福島県農林水産部の指針²⁾に沿い農業機械を用いた表土剥ぎ取り・反転耕という農地除染実験も含め以下の手順で行った。

- 1) 表土剥ぎ取り：ターフストリッパー（写真-2 ①）

により表土剥ぎ取りを行ない、土壌が乾燥した場合と湿潤である場合の施工性を比較するとともに、表土剥ぎ取り前後の農地の放射能濃度を測定した。

- 2) ゼオライト散布：バックホウによる整地後、ゼオライトスラリーと粒子状ゼオライト（径 2mm と 5mm）をそれぞれ散布した区域および散布しない区域に分けた（写真-2 ②, ③）。

- 3) 反転耕：プラウにより反転耕（耕深 15cm と 30cm）を行い土壌が乾燥した場合と湿潤である場合、それぞれの施工性を確認するとともに、反転耕前後の農地の放射能濃度を測定した。その後ブルドーザー、ロータリーにより整地した（写真-2 ④）。

- 4) 稲の作付・収穫：整地後田植えを行い、稲を生育させ秋にゼオライト添加の有無などにより分けけたそれぞれの区域で稲を一部収穫し放射性セシウム濃度を分析した。図-2 に圃場でのゼオライト散布と反転耕による農地の区割りを示す。

4.2 結果と考察

農地除染実験における圃場の平均的な空間線量率と表

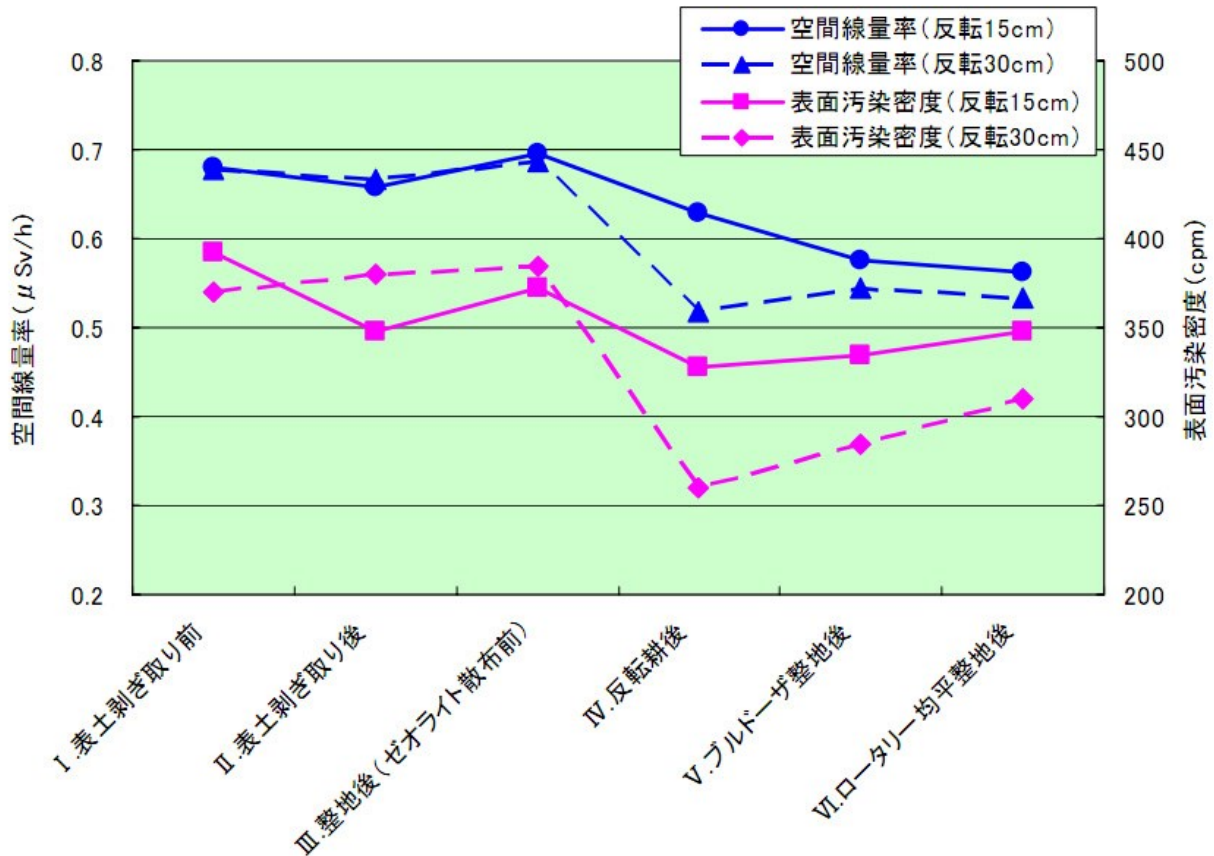


図-3 各作業ステップにおける空間線量率と表面汚染密度の変化 (測定8点の平均値)



写真-3 圃場の状況 ; 2012年7月24日 (左), 2012年9月25日 (右)

30cmに設定した際に低減効果が著しい(空間線量25%減, 表面汚染密度32%減)ことから, 昨年の耕起が15cm以浅であったものと考えられる。

反転耕の後, ブルドーザによる整地(V), トラクタロータリーによる耕うん・均平化(VI)を行った。このとき空間線量率には大きな変化がないが, 表面汚染密度は徐々に高くなっている。これは反転して汚染のない土壌が表面に露出した後, 整地・耕うんにより徐々に汚染された部分の土壌と混合されたためと考えられる。この最終時点の土壌の放射性セシウム(134+137)濃度は, 4点の平均で1,719Bq/kgであった。

その後圃場には水を張り田植えを行ない, 2012年9月に図-2に示すA, B, C, Dの各地点において一部分稲刈りを行なった(写真-3)。

収穫した稲穂は脱穀後, 粃摺りを行い玄米にし玄米の放射性セシウムの分析を行った。その結果を表-4に示す。どの区画の玄米の濃度もN.D.(未検出)だった。ちなみに一般食品の放射性セシウム濃度の基準値は100Bq/kg(厚生労働省 2012年)であり, 玄米の放射性セシウム濃度は食品として問題ない。分析における検出限界は1.25~1.37Bq/kgであり, 土壌の放射性セシウム(134+137)濃度の平均が約1,700Bq/kgであることから, この場合玄

表-4 散布したゼオライトの種類と稲中のセシウム濃度

区画.	散布ゼオライト種類	玄米の放射性 Cs (134+137) 濃度 (Bq/kg)	検出限界 (Bq/kg)
A	ゼオライトスラリー	N.D.	1.25
B	ゼオライト 5 号	N.D.	1.32
C	ゼオライト 2 号	N.D.	1.29
D	無散布 (コントロール)	N.D.	1.37

米の移行係数は0.001以下であることが示唆される。水田の土壌から玄米への放射性セシウムの移行係数としては平均0.005（最大0.02，最小0.0005）という値が報告³⁾されており，今回の値と概ね整合性がある。

5. おわりに

ゼオライトによる野菜の放射性セシウム吸収抑制を室内植栽実験では，コマツナとカラシナを用いて確認することができた。また圃場実験では表土剥ぎ取り・反転耕による除染効果を検証することができた。しかしながら圃場へのゼオライト散布による稲の放射性セシウム移行抑制効果は検証できなかったものの移行係数は十分小さく食品として問題はなかった。

なお圃場実験においてご協力いただいた株式会社椎根建設の椎根和芳社長をはじめ関係者の方々に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 後藤逸男，橋本大，近藤綾子，土壌・天然ゼオライト・植物中におけるセシウムの挙動，農業及び園芸，Vol. 86，NO. 10，2011
- 2) 農作物の放射性セシウム対策に係る除染及び技術対策の指針 第1版，福島県農林水産部，2012
- 3) <http://www4.pref.fukushima.jp/nougyou-centre/>，福島県農業総合センター，2011
- 4) 原子力エネルギー関連施設安全評価研究ユニット，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，2009

Effect of Decontamination of Planting Soil Using Zeolite Slurry That Inhibits Transition of Radioactive Cesium from Soil to Plant Bodies

Yutaka IKEDA, Hiroyuki AKITA and Kazuya KIKAWADA

The accident of Fukushima Daiichi nuclear energy plant by the tsunami resulting from the Great Eastern Japan Earthquake in 2011 caused radiation contamination of cultivated fields in Fukushima Prefecture. Some decontamination techniques such as surface soil grab, deep cultivation, and adding zeolite to the soil were tested in the rice fields of Fukushima Prefecture. Zeolite is usually used in the form of particles. It inhibits the transition of radioactive cesium from soil to plant bodies. Here, zeolite slurry was also used. The inhibition effect of the zeolite slurry was checked not only in the field but also in a laboratory experiment using some vegetables. The laboratory test results proved the effect of decontamination for vegetables; however, the field test showed uncertainty owing to the low passage coefficient of rice.