

土壌・天然ゼオライト・植物中におけるセシウムの挙動

| | |
|-------|--|
| 誌名 | 農業および園芸 = Agriculture and horticulture |
| ISSN | 03695247 |
| 著者名 | 後藤,逸男 橋本,大 近藤,綾子 |
| 発行元 | 養賢堂 |
| 巻/号 | 86巻10号 |
| 掲載ページ | p. 976-979 |
| 発行年月 | 2011年10月 |

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



土壌・天然ゼオライト・植物中におけるセシウムの挙動

後藤 逸男*・橋本 大*・近藤 綾子*

〔キーワード〕: 東日本大震災, 放射能汚染農地, セシウム, 天然ゼオライト, 植物へのセシウム吸収抑制効果

1. はじめに

福島第一原子力発電所の事故に伴う農地の放射能汚染対策が緊急課題となっている。その対策資材のひとつとして、ゼオライトに対する関心が高まっている。ゼオライトのセシウム特異捕捉性を利用して、原発での高濃度放射能汚染水の処理には利用されているようである。また、福島県内の放射能汚染農地ではゼオライトを施用した現地対策試験が実施されつつあるが、具体的なデータは報告されていない。

ゼオライトとは 1984 年の地力増進法制定当初より保肥力を改善する土壌改良資材として政令指定された資材であり、これまでもさまざまな方法で農業利用されてきた(後藤 2009)が、放射性セシウムにより放射能汚染した農地における対策資材としての効果は明らかになっていない。

そこで、筆者らは通常の研究室内でも取り扱いやすい安定同位体であるセシウム 133 (^{133}Cs) を用いて、土壌とゼオライト中におけるセシウムの挙動に関する実験と、ゼオライトの施用が植物へのセシウム吸収におよぼす影響を明らかにするためのポット栽培試験を実施したので、それらの結果を速報として報告する。

2. 土壌とゼオライト中のセシウムの挙動

(1) ゼオライトによる水中のセシウムの特異捕捉性

100mL ポリ容器にセシウム (^{133}Cs) として 1, 50, 100mg/L を含む塩化セシウム溶液 100mL とゼオライトを 1g 加え, 24 時間静置した。その後ろ過を行い, そのろ液中の ^{133}Cs を四重極型 ICP 質量分析装置(島津 ICPM-8500, 以後 ICP-MS) により測定した。なお, セシウムの対照イオンとして同濃度のナトリウムイオンとカリウムイオンについても同様の実験を行った。供試ゼオライトは山形県米沢市板谷鉾山産のクリノプチロライトを主体とする天然ゼオライトで, 粒径 1~2mm の砂状品である。

その結果, 表 1 のようにカリウムと同族元素であるセシウムもゼオライトに特異捕捉したが, その捕捉能力はカリウムをはるかに上回り, わずか 1g のゼオライトが 100mg/L のセシウム溶液 100mL 中のセシウムのほぼ全てを捕捉した。

(2) ゼオライトによるセシウム捕捉速度

100mL ポリ容器に ^{133}Cs として 100mg/L を含む塩化セシウム溶液 100mL にゼオライトを 1g 加え, 5 時間振とう機で振とうした。最初は 30 分後に, それ以降は 1 時間毎に容器を振とう機から取り外して, ろ過を行い, そのろ液中の ^{133}Cs を測定した。なお, ゼオライトには実験 (1) と同様の砂状ゼオライトと, それを粉砕して粉末状にした粉末ゼオライトの

表 1 ゼオライトのアルカリ金属イオン捕捉率 (%) の相違

| 陽イオン濃度 | ナトリウム | | カリウム | | セシウム | |
|---------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|
| | 残存濃度 (mg/L) | 捕捉率 (%) | 残存濃度 (mg/L) | 捕捉率 (%) | 残存濃度 (mg/L) | 捕捉率 (%) |
| 1mg/L | 0.54 | 45.8 | 0.25 | 74.9 | 0.00 | 99.7 |
| 50mg/L | 38.7 | 22.5 | 1.72 | 96.6 | 0.02 | 99.9 |
| 100mg/L | 88.1 | 11.9 | 3.82 | 96.2 | 0.06 | 99.9 |

*東京農業大学応用生物科学部 (Itsuo Goto, Masaru Hashimoto, Ayako Kondo)

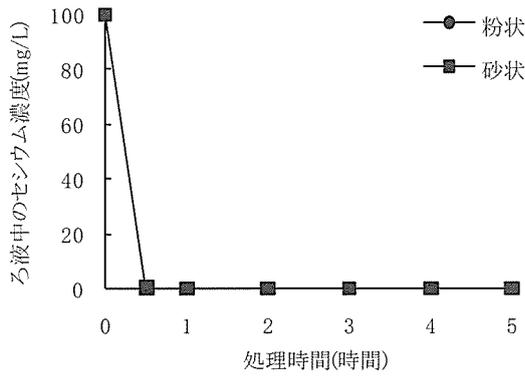


図1 ゼオライトに対するセシウムイオン捕捉性の経時変化

二種類を供試した。

その結果、図1のように、ゼオライトの粒径の違いにかかわらず、わずか30分後には¹³³Csのほぼ全てが捕捉された。すなわち、放射性セシウムで汚染された水の処理にはきわめて有効な資材であることが理解できる。その一方、土壌中の放射性セシウムの対策資材としての有効性については、ゼオライトに捕捉されたセシウムがどのように挙動するかを土壌と比較しながら明らかにする必要がある。

(3) 土壌とゼオライトのセシウム捕捉力の比較

上記の実験より、セシウム汚染土壌にゼオライト

を施用すると、カリウム以上に特異的に捕捉されると考えられる。ただし、ゼオライトに捕捉されたセシウムが植物に移行するか否かは明らかではない。植物による浄化処理（ファイトレメディエーション）による対策を実行する場合、ゼオライトに捕捉されたセシウムが植物に移行しにくいのであれば、ゼオライトを施用すべきではない。

これらの点を判断するには、ゼオライトに捕捉された後のセシウムの挙動を明らかにしなければならない。そこで、1mg/Lの¹³³Csを含む水溶液50mLに産地の異なる国内産天然ゼオライト3種類（山形県産クリノプチロライト系・福島県産モルデナイト系・北海道産クリノプチロライト系）と、各地から集めた土壌22点を各0.5gずつ添加して、1時間振とう処理後のセシウム捕捉率を測定した。次に、このゼオライトあるいは土壌にpHを7に調整した1M/L酢酸アンモニウムを50mL加えて、1時間振とう処理した後に、ろ液中の¹³³Cs濃度を測定し、アンモニウムイオンにより交換放出されたセシウムの割合（放出率）を算出した。

その結果、図2のように3種類のゼオライトの捕捉率はいずれも99.8%以上であった。土壌についてもセシウム捕捉率は94~99%と高かった。しかし、放出率はゼオライトの26~33%に対して、土壌では

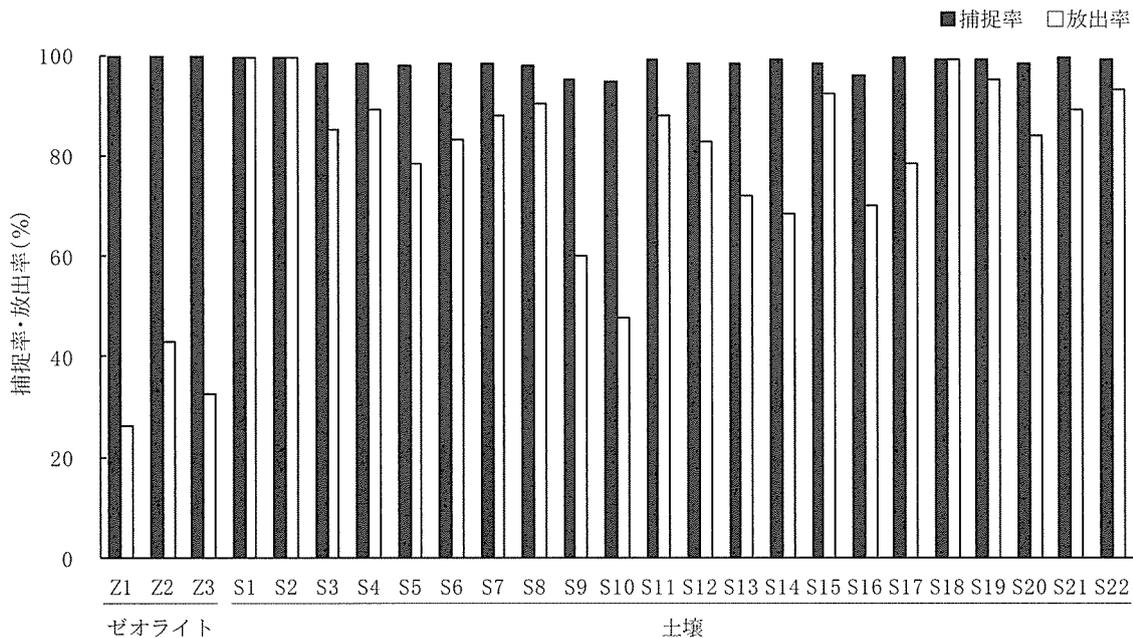


図2 ゼオライトと土壌のセシウム捕捉率・放出率の相違

48～99%とゼオライトよりセシウム放出率が高かった。すなわち、土壌もゼオライトに匹敵する程度のセシウム捕捉性を有するが、ゼオライトよりセシウムを放出しやすいと考えられる。

(4) カリウム共存下でのゼオライトと土壌のセシウム捕捉性

上記の実験で土壌のセシウム捕捉性がゼオライト並に強いことが明らかになったが、農地土壌では、カリウムやカルシウムイオンなどが多量に共存している。そこで、カリウムイオン共存下でのゼオライトと土壌のセシウム捕捉性を比較した。なお、土壌として栃木県鹿沼市の未耕地から採取した多腐植質黒ボク土、ウクライナのコムギ畑から採取したチェルノーゼム、鹿沼土を供試した。

1mg/L ^{133}Cs 単独溶液と 1mg/L ^{133}Cs と 100mg/L K を含む混合水溶液 50mL にゼオライトあるいは上記の土壌 0.5g を添加し、1時間振とう処理後にろ液中の ^{133}Cs を測定した。

その結果、図3のように土壌ではカリウムイオンの共存によりセシウム捕捉率が低下したのに対して、ゼオライトでは全く変化しなかった。すなわち、農耕地のようにカリウムイオン濃度が高い土壌中でも、ゼオライトはセシウムを捕捉しやすいといえる。

3. ゼオライトの施用が植物へのセシウム吸収におよぼす影響

ゼオライトの施用が植物へのセシウム吸収におよぼす影響を明らかにする目的で、ノイバウエルポットによるチンゲンサイの栽培試験を行った。

長野県北安曇郡松川村の水田から採取した灰色

低地土と栃木県鹿沼市の未耕地から採取した多腐植質黒ボク土に ^{133}Cs として 0, 1mg/kg の塩化セシウムを添加混合した。水分を畑状態として 7 日間放置後、土壌にゼオライトを 0 (無施用), あるいは 10% (W/W) 混合した。なお、ゼオライトとして上記と同じクリノブチロライト主体の砂状ゼオライトと福島県伊達郡桑折町飯坂鉾山産のモルデナイトを主体とする砂状 (1～2mm) 天然ゼオライトを供試した。全区に窒素肥料として硝酸カルシウムを N 100mg/pot, リン酸肥料としてリン酸二水素カルシウムを P_2O_5 100mg/pot 施用した。カリウム肥料施用量は、塩化カリウムを K_2O として 0g/pot (無カリ区) と 1.0g/pot (カリ過剰区) の 2 水準とした。

6月22日にチンゲンサイ (品種:夏賞味) 20粒を播種し、7月5日に5株に間引いた。7月22日に刈り取り、地上部中の ^{133}Cs を分析した。なお、チンゲンサイ中の ^{133}Cs の分析は、乾物粉碎試料を硝酸分解した後、ICP-MS によった。また、栽培についてはガラス温室内において各区3連で行った。

栽培試験結果を表2に示す。セシウム無添加区のチンゲンサイからも低地土無処理区で乾物当たり 1830, 黒ボク土無処理区で 1540 $\mu\text{g}/\text{kg}$ の ^{133}Cs が検出された。これらは土壌中のバックグラウンドとして自然界に存在するセシウムと考えられる。セシウム 1mg/kg 添加区では低地土無処理区で 4800, 黒ボク土無処理区で 11600 $\mu\text{g}/\text{kg}$ の ^{133}Cs が検出され、低地土より黒ボク土で栽培したチンゲンサイの方が外部より添加されたセシウムを2倍程度吸収しやすいといえる。

チンゲンサイの生育に影響するほど多量のカリウムを施用したカリウム過剰区では、 ^{133}Cs 含有量が

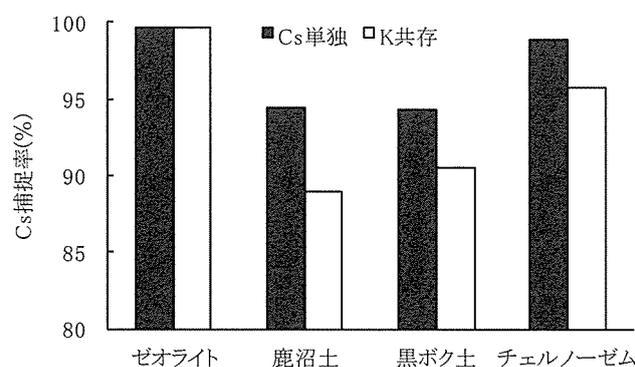


図3 ゼオライトと土壌のセシウム捕捉性の相違

表2 ゼオライトとカリウムの施用がチンゲンサイへのセシウム吸収におよぼす影響

| 試験区 | 褐色低地土 | | | | 黒ボク土 | | | |
|----------------------|-------|------------------|-------|-----|-------|------------------|-------|-----|
| | 生育量 | K ₂ O | Cs | | 生育量 | K ₂ O | Cs | |
| | g/pot | % | μg/kg | 比率 | g/pot | % | μg/kg | 比率 |
| Cs 0mg/kg | 31.9 | 1.8 | 1830 | 100 | 7.4 | 1.4 | 1540 | 100 |
| Cs 0mg/kg+K | 14.9 | 13.6 | 294 | 16 | 3.3 | 10.5 | 71 | 5 |
| Cs 0mg/kg+ゼオライト(C) | 27.5 | 6.0 | 26 | 1 | 4.2 | 3.8 | 4 | 0 |
| Cs 0mg/kg+K+ゼオライト(C) | 17.0 | 9.8 | 31 | 2 | 4.7 | 6.1 | 18 | 1 |
| Cs 0mg/kg+ゼオライト(M) | 27.2 | 6.7 | 8 | 0 | 10.3 | 5.2 | 4 | 0 |
| Cs 0mg/kg+K+ゼオライト(M) | 14.0 | 9.2 | 11 | 1 | 4.9 | 6.1 | 4 | 0 |
| Cs 1mg/kg | 28.5 | 2.1 | 4800 | 100 | 10.8 | 1.0 | 11600 | 100 |
| Cs 1mg/kg+K | 15.7 | 13.2 | 1040 | 22 | 2.5 | 11.5 | 1820 | 16 |
| Cs 1mg/kg+ゼオライト(C) | 28.4 | 6.2 | 55 | 1 | 14.4 | 5.6 | 101 | 1 |
| Cs 1mg/kg+K+ゼオライト(C) | 18.3 | 10.0 | 118 | 2 | 2.4 | 5.6 | 60 | 1 |
| Cs 1mg/kg+ゼオライト(M) | 26.2 | 6.2 | 101 | 2 | 9.9 | 5.4 | 25 | 0 |
| Cs 1mg/kg+K+ゼオライト(M) | 24.4 | 10.7 | 62 | 1 | 3.3 | 5.9 | 47 | 0 |

ゼオライト(C)：クリノプチロライト系天然ゼオライト

ゼオライト(M)：モルデナイト系天然ゼオライト

無処理区に対して5～20%に減少した。この現象は同族元素であるカリウムとセシウムが競合することにより生じる現象であり、これまでも多くの知見が認められている。

ゼオライト施用区では、カリウム施用量の違いにかかわらず、顕著な¹³³Csの吸収抑制効果が認められ、無処理区の2%以下にまで低下した。また、2種類のゼオライト間でのセシウム吸収抑制効果の違いは認められなかった。

4. まとめ

今回の室内実験とポット栽培試験結果より、次のことが明らかになった。

- (1) 天然ゼオライトは水溶液中のセシウムイオンをきわめて迅速に捕捉し、その捕捉力は共存するカリウムイオンの影響を受けにくい。
- (2) 土壌もゼオライトに匹敵するセシウムイオン捕捉性を有するが、ゼオライトよりセシウムイオンを放出しやすい。
- (3) チンゲンサイのポット栽培試験において；
 - ①カリウムの過剰施用が植物へのセシウム(¹³³Cs)吸収抑制に有効であることが確認され

た。

②ゼオライトの施用による植物への顕著なセシウム吸収抑制効果が認められた。

③ゼオライト鉱物の違いによるセシウム吸収抑制効果の相違は認められなかった。

非放射性¹³³Csと原子炉内で生成した放射性¹³⁴Csおよび¹³⁷Csはお互いに同位体であるため、土壌・ゼオライト・植物中では同様の挙動を示すと見なすことができる。

以上の結果より、放射性セシウム(¹³⁴Csおよび¹³⁷Cs)汚染土壌にゼオライトを施用すると、セシウムイオンを捕捉して拡散を防止すると共に、植物へのセシウム吸収を抑制することが期待できる。

参考文献

- 後藤逸男 2009. 肥料と土づくりの助っ人！天然ゼオライトを上手に使おう(その1). タキイ最前線 夏号：58-62. タキイ種苗(株). <https://shop.takii.co.jp/tsk/bn/pdf/20090658.pdf>
- 後藤逸男 2009. 肥料と土づくりの助っ人！天然ゼオライトを上手に使おう(その2). タキイ最前線 秋号：64-68. タキイ種苗(株). <https://shop.takii.co.jp/tsk/bn/pdf/20090864.pdf>