

クエン酸を用いて土壌から放射性物質を分離する方法

The Method of Separating Radioactive Substances from Soil by Using Citric Acid

千葉県立船橋高等学校理数科 3 年

渡邊 有希人

目的

2011 年の福島第一原子力発電所の放射能漏れによって、大量の汚染土の処理が問題となっている。そこで、クエン酸及びその塩を用いて土壌中の放射性物質を分離する方法について検証を行った。昨年度の研究で、カルボン酸の価数による放射線量の減少率について検証したところ、価数が多いほど放射線量の減少量が大きくなったため、3 価のカルボン酸であるクエン酸を用いた。

土壌中の放射性セシウムの状態とは

文献によると、放射性セシウムは、土壌中で固定態、交換態、水溶態として存在している。(図 1) 固定態は、土壌中の鉱物によって固定されており、かなり溶出しにくい。一方、イオン交換態及び、水溶態は溶出し得る。

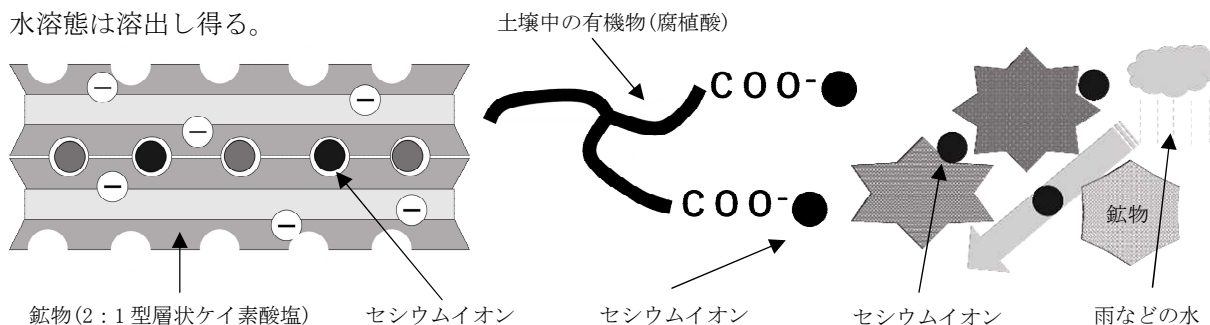


図 1 固定態(左), 交換態(中), 水溶態(右)の放射性セシウム

実験 I

クエン酸及びクエン酸アンモニウム水溶液の濃度と、放射線量の減少率との関係を検証した。

<方法>

- (1) クエン酸及びクエン酸アンモニウム水溶液 100mL (濃度 : 0.2, 0.4, ..., 1.0mol/L) を用意する。
- (2) 試料 (放射性物質を含む土) の放射線量を測定する。
- (3) 試料を水溶液に加え攪拌して、20 分間放置する。
- (4) 試料と水溶液の混合物を減圧濾過する。
- (5) 残渣 (ろ紙に残った固形物) を乾燥させて、その放射線量を測定する。

<放射線量の測定について>

測定器は、HORIBA Radi PA-1100 と、放射能簡易測定キットを用いた。(図 2) 自然界には放射線が常に飛んでおり、毎回の測定条件を揃えるために、鉛を用いて遮蔽することが望ましい。化学室の流しには薄い鉛が貼ってあり、空間放射線量を周囲のおよそ半分に下げることができるので、流しの中で実験を行った。

試料の放射線量を測定すると、図3のように測定値にばらつきが生じる。そこで10秒ごとに、試料の放射線量を20点測定し、その平均値を測定値(μSv/h)とした。また、以下の式で放射線量の減少率を求めた。

$$\text{放射線量の減少率 (\%)} = \frac{\text{試料の測定値} - \text{残渣の測定値}}{\text{試料の測定値} - \text{バックグラウンドの測定値}}$$



図2 測定装置

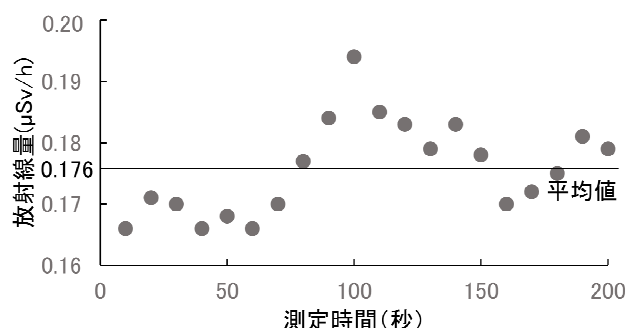


図3 試料の測定値

<結果>

0.40mol/L のクエン酸水溶液を除いて、どちらの試薬もその水溶液の濃度と放射線量の減少率は、正の相関がみられた。

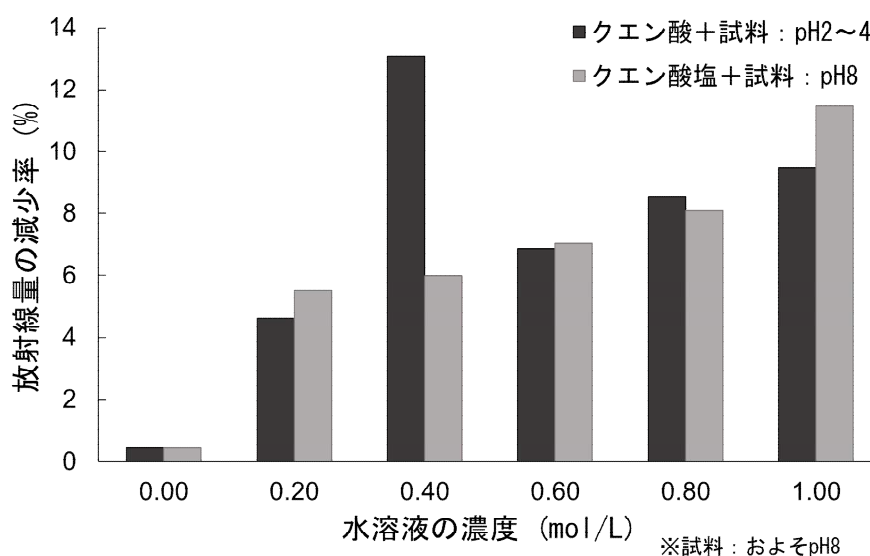


図4 クエン酸・クエン酸アンモニウム水溶液の濃度と放射線量の減少率

<考察>

試料と水溶液の混合物中において、電離したクエン酸は試料中の放射性セシウムを含む様々な金属イオンと結びつくことによって、試料の放射線量が減少したと考えられる。

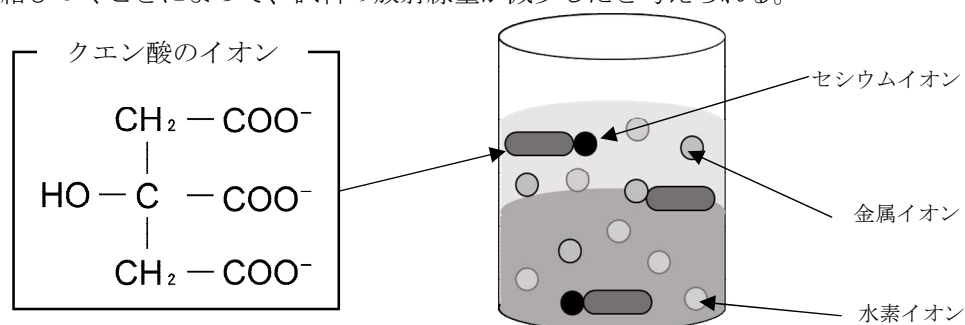


図5 混合物中のイオンのイメージ

実験Ⅱ

クエン酸アンモニウム水溶液と塩酸を用いたときの土壌の放射線量の減少率との関係を検証した。

<方法>

- (1) 塩酸及びクエン酸アンモニウムの水溶液 100mL(濃度：1.0mol/L)を用意する。
- (2) 実験Ⅰの(2)～(5)と同様の方法で試料を処理する。
- (3) 処理を複数回繰り返す。

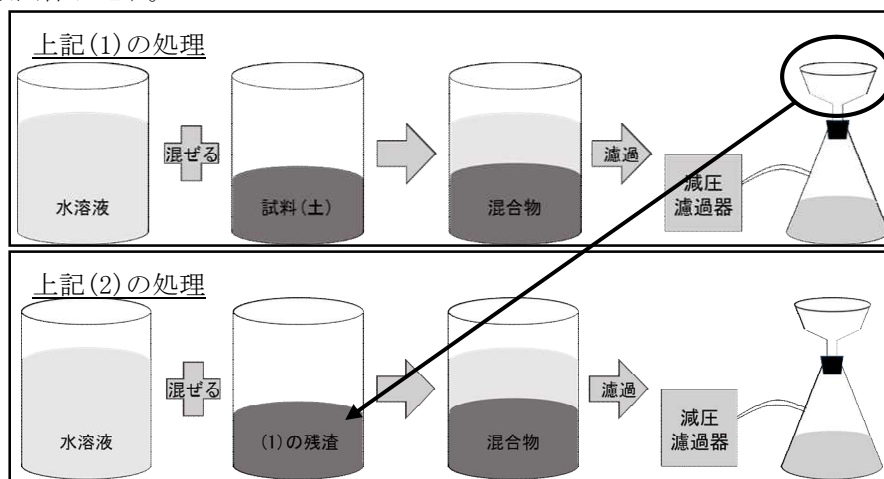


図6 実験Ⅱの方法

<結果>

塩酸及びクエン酸塩を入れる順番を変えても効果はあまり変わらなかった。また、クエン酸アンモニウムで複数回処理しても分離効果はあまり増加しなかった。

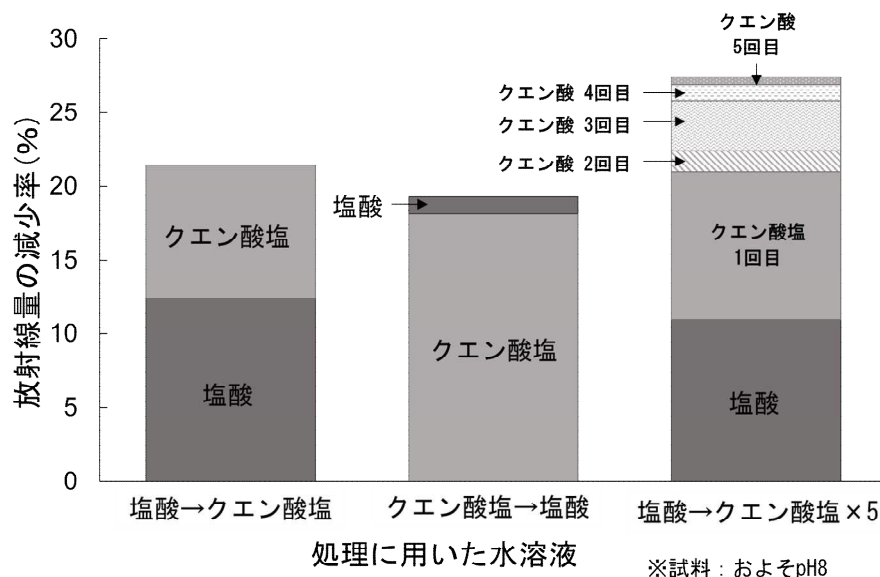


図7 クエン酸アンモニウム水溶液と塩酸を用いたときの放射線量の減少率

<考察>

試料に塩酸を加えると水素イオンと塩化物イオンに電離する。交換態の放射性セシウムを含む金属イオンと、水素イオンが交換される。そして、クエン酸アンモニウム水溶液を加えることで、陽イオ

ン交換された金属イオンと結びつくと考えられる。(図8) また、クエン酸アンモニウムで繰り返し洗浄することによって徐々ではあるが、試料の放射線量を減少させられる。

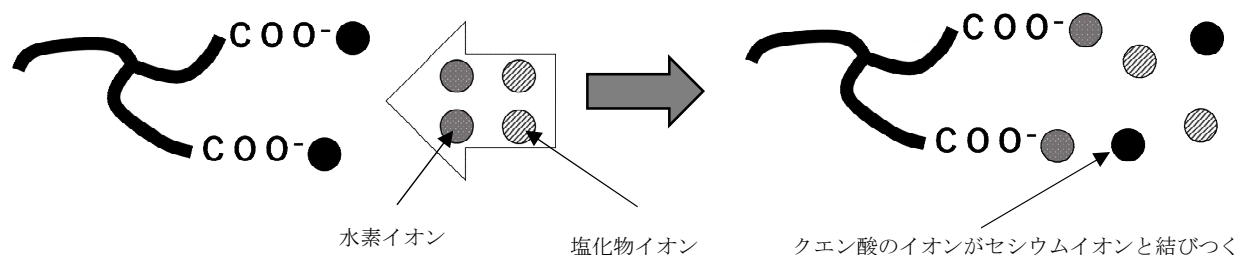


図8 イオン交換態の放射性セシウムに塩酸を加えたときの変化

結論

クエン酸及び、その塩の水溶液を用いて放射性物質を分離することは可能である。クエン酸アンモニウムなどのクエン酸塩を利用すると、土壌の pH に影響されにくいことから様々な種類の土壌に利用できるのではないかと考えたが、実際はクエン酸と効果はあまり変わらなかった。

また、多くの土壌において、放射性セシウムの 90%以上が固定態，10%以下がイオン交換態または、水溶態で存在している。(文献より) 実験Ⅱの「塩酸→クエン酸塩×5」のように繰り返し処理しても放射線量の減少率はおよそ 27%にとどまっている。つまり、固定態の放射性セシウムを溶出させるような方法を見つけない限り、化学的処理によって土壌中の放射性物質の多くを分離することは難しい。

今後の課題

土壌中の鉱物の間に挟まっている固定態のセシウムを分離させることが課題である。

謝辞

東邦大学名誉教授 桂川秀嗣先生にご協力いただきましたことに対して、感謝申し上げます。

参考文献

公益財団法人 地盤工学会「土壌中の放射性セシウムの挙動に関するレビュー」

野口祐樹，木田敏之，加藤栄一，清水喜久雄，明石満（2014）「汚染土壌からの放射性セシウム抽出技術の開発」

中尾 淳（2012）「セシウムの土壌吸着と固定」

三好弘一（2012）「土壌からの放射性セシウムの分離」