表層土壌の比重の違いに着目した森林斜面の除染に関する研究

香川大学　学生会員　○松森大輔，　フェロー　吉田秀典
正会員　　松本直通，　学生会員　柴田慶一郎

1.　研究背景

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震にともなって発生した津波によって福島第一原子力発電所が被災し，重大事故が発生した．これにより，大量の放射性物質が放出され，除染が急務とされてきた．現在では，人の生活する地域での除染はほとんど完了している．しかし，人が立ち入らない森林においては，除染が進んでいるとは言い難い．除染する対象となる森林は，民家や道路等の接するところであり，その境界から 20m までであるからである．しかしながら，森林の除染を行わず，空間線量の低減を待つだけでは，多大な時間を要す．その間，森の手入れを行わない場合には，土砂災害を引き起こす可能性がある．一方で，表土の剥ぎ取りのような平地と同じ手法で森林の除染を行うと，重機が入れないことから人手とコストがかかるという問題点が生じる．平地と同じ手法で除染を行うことは困難であることから，本研究では，新しい除染手法の提案を行った．

2.　土壌中のセシウム

森林の除染を行うためには，常緑樹と落葉樹に分けて考える必要がある．事故当時，落葉樹の葉は幹から落ちており，常緑樹の葉は枝に付いた状態であった．このため，放射性セシウムは常緑樹付近では葉に付着し，落葉樹付近では落葉した葉の上に付着している．常緑樹の葉は年月を重ねるとその葉を落とすため，事故から約 7 年経過した現在では，ほとんどの葉が落葉し腐葉土となっている．ここにセシウムが付着していることが考えられる．調査によれば，地表から 5cm 以内に放射セシウムが 90%以上留まっており，降雨や風等では流出しないことが知られている．

3.　装置作製と分級方法の検討

上記のことから，表層土のみを効果的に除染する方法として，流水によって表層土壌を流す方法を検討することとした．押し流す方法（斜面実験）を行うために，ウレタンを 3D 造型装置で加工することで人工斜面を作製し，斜面下部にドレーン口を設けた．さらに，ウォーターポンプやチューブ，多孔質ホースを組み合わせて流水装置を作製した．これらの装置を用いて斜面上方から下方に向けて水を流下させ，斜面上に設置した標準砂を斜面下方に流すという斜面実験を行った．本実験より，流水装置を斜面上方に設置するだけでは，全ての標準砂を斜面下部に流すことが困難であることが判明した．そこで，斜面上部で一定量水を溜めてその後，溜まった水を流下させる装置を考案した．側面全体から流れる多孔質ホースを，部分的に穴を有する素材に変更した．この際，加工が容易である塩化ビニルパイプを用いた．塩化ビニルパイプの長軸に対する側面にスリットを設けた場合と，長軸に対してらせん状となるよう穴を開けた場合の装置を作製した．塩化ビニルパイプ内に水を入れると同時に，長軸方向を回転軸として回転させることで塩化ビニルパイプ内に水が溜まり，水を流出させた．まず，長軸に対する側面にスリットを設けた装置を用いて斜面実験を行った．この時，スリットの中央部分から水が流出し，両端からの流水はわずかであったことから，斜面上に設置した標準砂を全て斜面下方へ流下させることができなかった．次に，長軸に対する側面にらせん状に穴を開けた装置を用いて斜面実験を行った（**写真.1（左）**）．この時，らせん状に開けられた穴から時間差にて水が流出したことから，全ての標準砂を斜面下部へと流下させることが可能であった．このことから，らせん状に穴を開けた装置を用いることとした．人工斜面は，ドレーン口では斜面上に設置した標準砂を全て回収することができなかったことから不適であることが判明した．そのため，斜面下部の形状をスリットにした（**写真.1（右）**）．これを用いて斜面実験を行ったところ，全ての標準

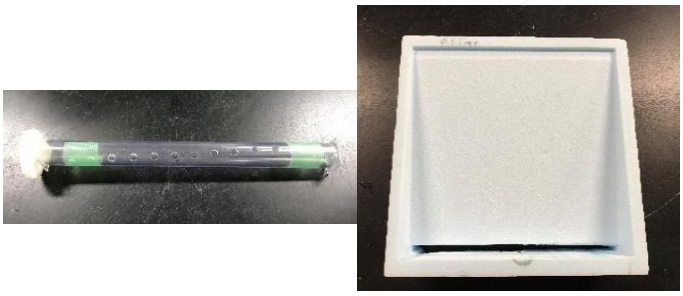

写真. 1　回転装置（左）と人工斜面（右）

砂を回収することが確認された．模擬汚染土譲と見立てて，標準砂 9.5g とバーミキュライト 0.5g を混ぜ合わせた混合砂を用いて斜面実験を行った．この混合砂を分級する方法の検討を行った．斜面実験後，人工斜面のスリットから回収した混合砂のうち，バーミキュライトは水に浮遊しており，標準砂は水に沈殿していることから，両者は分離可能である．しかし，本実験では分離した後，バーミキュライトへのセシウム吸着量を正確に測定することができない．そこで，定量評価を行うために，ふるいを用いてバーミキュライトとそれ以外土壌に分離をすることで分級を行った．

4.　セシウム添加による斜面実験

まず，標準砂に塩化セシウム（1mg）を添加し，斜面上に設置した後，斜面実験を行った．この実験では，再現性のある標準砂のみを用いて斜面実験を行うことで，セシウムの量にどのような差が生じるのかを調査した．**図.1** は，斜面実験後のセシウムの量を示している．斜面実験により標準砂中からは，約 60%抽出され，斜面実験後に攪拌試験を行うと，合計で約 85%は抽出できるという結果を得た．次に，混合砂に対しても同様の実験を行った．ただし，一定期間養生させた後，斜面実験を行った．そして，溶液を回収することでセシウムの量を測定した．ここでは同時に，養生期間を設けることで，セシウムの量がどのように変化するか検証した．これらの結果を**図.2** に示す．溶液からのセシウムの量は，養生期間に関係なく 0.1mg 以下と約 95%のセシウムが土壌中から出てこないことが確認された．このことから，たとえ添加直後でも，セシウムがバーミキュライトに取り込まれた場合，すぐに流下させて分析をしても約 5%しかセシウムを取り出すことができないことが確認された．バーミキュライトからのセシウム抽出量は養生期間を長くするにつれ減少していることが確認される．同様に，バーミキュライトと溶液以外の標準砂からのセシウム抽出量も養生期間を長くするにつれ減少傾向にある．しかしながら，養生期間が 2 週間と 4 週間では，セシウムの抽出量にほとんど差が無いことが確認できる．

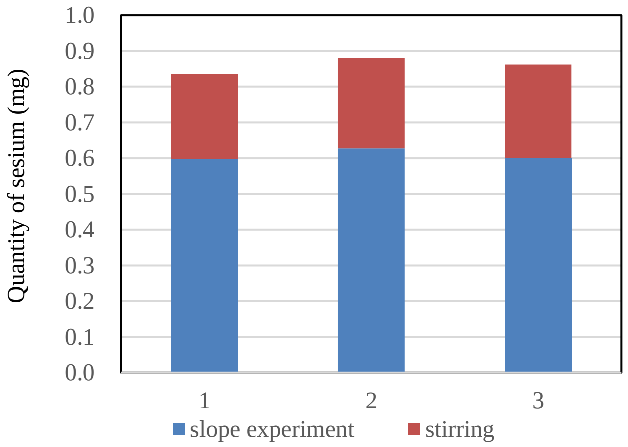

図.1 上澄み溶液ならびに土壌のセシウム量（攪拌後）

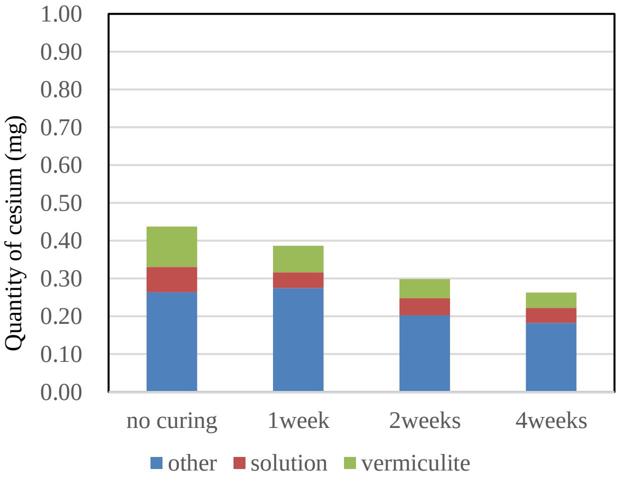

図. 2　土壌からのセシウム抽出量（混合砂・養生後）

5.　まとめ・今後の課題

養生期間を延ばすにつれ全体のセシウム抽出量が減少していることから，セシウムがバーミキュライトに固着していることが考えられる．また，バーミキュライトからのセシウム抽出量から，養生期間を延ばすにつれ，バーミキュライトからのセシウム抽出が難しくなっていることが確認できる．つまり，土壌中のセシウムが，バーミキュライトに含まれるフレイド･エッジに固定された可能性が高いことを示している．大部分のセシウムを吸着しているバーミキュライトのみを中間貯蔵施設に移し，洗い出しを行った際に出てくる汚染水は，セシウムを特異的に吸着するゼオライトを用いて除染する．バーミキュライトと溶液以外の部分は，洗浄を行うことである程度のセシウムを回収することができる．このことから，セシウムの濃度を低下させるだけでなく，空間線量の低下も見込むことができ，大幅な土壌の減量化が見込める．本研究では，標準砂とバーミキュライトのみで構成された人工の混合砂を用いた．しかし，実際はより多くの鉱物で構成されているため，多種多様な土壌で構成されている，例えばまさ土のような土壌を用いて実験を行い，さらに，この土壌がバーミキュライトのように水に浮遊することで分離をすることができるかどうかの検討を行う必要がある．