

## 福島原発事故後の除染活動に関する研究

徳田 陽明<sup>\*,\*\*</sup>・上田 義勝<sup>\*\*</sup>  
二瓶 直登<sup>\*\*\*</sup>・藤村 恵人<sup>\*\*\*\*</sup>

緒言（この節は主に徳田の主観による）

2011年3月11日に起きた東日本大震災とその後の福島第一原発の事故はまだ記憶に新しい。当時の状況を改めて思い起こしてみると、あまりにも情報が少なく、またあまりにも混乱していたように思う。事故の報に接したとき、日本の将来は一体どうになってしまうのだろう、将来の世代への大きな負債となるのではないだろうか、と暗澹たる気持ちになったことを思い出す。

その一方でこれまで科学を学んできたものとして、また現に国立大学法人の教員として、何か自分にできることはないだろうか、いや何かしなければならぬという焦りも感じていた。しかし、その一方でセシウムの挙動について何も知らないことや、土壌とどのような相互作用をするのか知らないことにも気がつき、なんとも自分は浅学なのかと愕然とした。

非常に混乱していた状況が落ち着きつつあった時、本稿の共著者である上田と二瓶が旧知の仲であり、さらに二瓶が福島県農業総合センター（その後、福島県庁にて放射線測定器の導入に関わった）に勤務していたという縁から除染に向けた連携が進み始めた。これを契機として、藤村、小野らとも連携し、急速に研究が進んでいった。思うに共著者全員のなんとかせねばという強い思いが連携の原動力になったのだろう。

当初、測定方法の検討を行いつつ洗浄方法も模索するという手探りの状態だったが、偶然にもファインバブル水と非界面活性剤洗浄剤と出会うことができた。これらの洗浄剤は、そのみで完全にセシウムを除去できるというものではないが、除染において一定の効果を示すということを見いだした。本論文では、それぞれの洗浄剤の特徴や洗浄力について概説することとする。

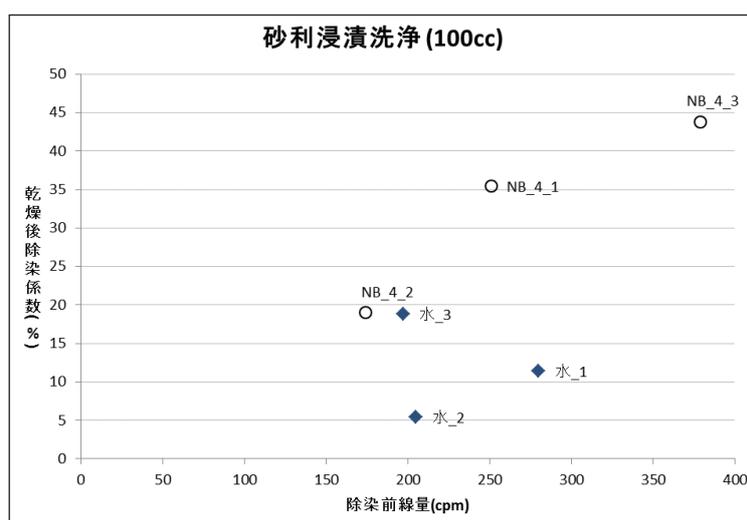


図 1. 砂利 (100 cc) の浸漬 (静置) による除染率 (乾燥後). ◆は水, ○はFB水 (FB\_4 (生成 15 日後)) を用いて除染を行った結果である. FB 水は原水より高い洗浄効果を示す.

\*滋賀大学, \*\*京都大学, \*\*\*東京大学, \*\*\*\*農業・食品産業技術総合研究機構,

## ファインバブル水の利用<sup>1)</sup>

ファインバブルとはおよそ1 μm以下の気泡のことであり、これを含む水のことをファインバブル水と呼ぶ。通常の泡(バブル)は、浮力のために短時間で浮上して消失するが、極微細化したバブルに働く浮力は小さく、比較的長時間水中に留まることが知られている<sup>2)</sup>。実際、数日間の貯蔵ではバブルの数はあまり変化しない<sup>2)</sup>。このようなファインバブルを含む水は、種子の発芽を促進する<sup>3)</sup>、無機材料合成の際の反応場となる<sup>4)</sup>、といった特徴を有する。

本研究では、気液せん断方式(Ligaric社製BUVITAS HYK-32-D)によりファインバブルを発生した。原水として福島県農業総合センターの水道水を用いた。ファインバブルの粒度分布測定には、粒子トラッキング法(ナノサイト社製LM-10)により行った。放射線測定は、GMサーベイメータ(日立アロカメディカル製TGS-146B)、ゲルマニウム半導体検出器(EG&G ORTEC製GMX-18200-S、京都大学環境安全保健機構放射性同位元素総合センター所有)により行った。

除染対象から所定の高さ(2 cm, 5 cm)から、7.5 MPaの水圧で試験水を吐出し(2 cm: 20秒, 5 cm: 1分)、洗浄試験を実施した。放射線量の測

定は洗浄前、洗浄後の乾燥後に行った。また、福島県で採取した砂100 ccに対して水500 ccを加え、12時間(砂100 cc × 3個に対して各5リットル)および3時間(砂500 ccに対して水1リットル)保持して洗浄した(静置)。砂を自然乾燥した前後の除染率を評価した。また、比較のため市販の家庭用中性洗剤(濃度0.15 wt%)を原水、FB水のそれぞれに添加したものについての洗浄評価を行った。

砂利の浸漬洗浄試験(12時間及び3時間の静置)では、除染率が50-60%であり、原水と比較して20%以上高くなることがわかった(図2, 3)。また、中性洗剤を原水、FB水に加えて同様の浸漬洗浄試験(静置)を行ったところ、中性洗剤の添加効果はほとんどなく、原水とFB水単体での試験結果と同様となった(図2, 3)。この試験においては振とうを加えていないため、この結果はFB水そのものの除染作用を示しており、中性洗剤以上の洗浄効果を示したことは特筆に値する。さらに、生成後2週間経過したFB水を用いて砂利の浸漬洗浄試験(静置)を行った結果でも同様の傾向を示しており、原水と比較して20%以上の除染率を示すことが明らかとなった。この結果は、FB水が洗浄液としての保存時間が長いこと

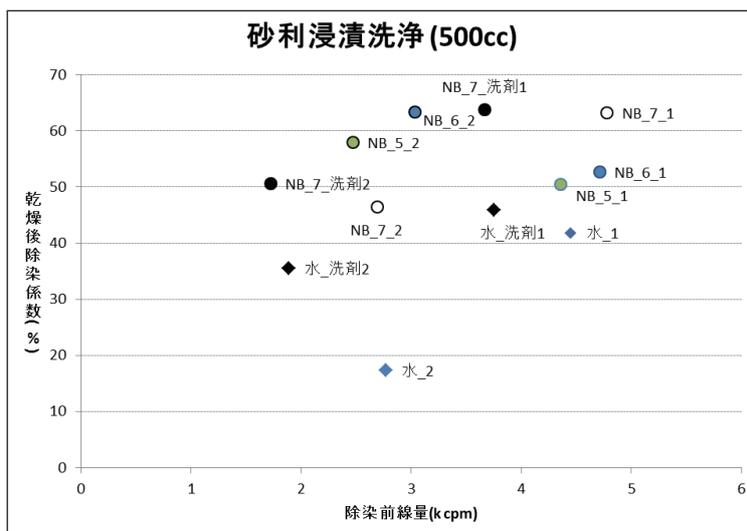


図2. 砂利(500 cc)の浸漬(静置)による除染率(乾燥後)。◆は水、○はFB水(FB\_5, 6, 7(生成直後と生成24時間後))を用いて除染を行った結果である。比較のため中性洗剤(濃度0.15%)を用いた洗浄試験も行った。ナノバブル水は原水、中性洗剤を含む原水より高い除染率を示すことがわかる。

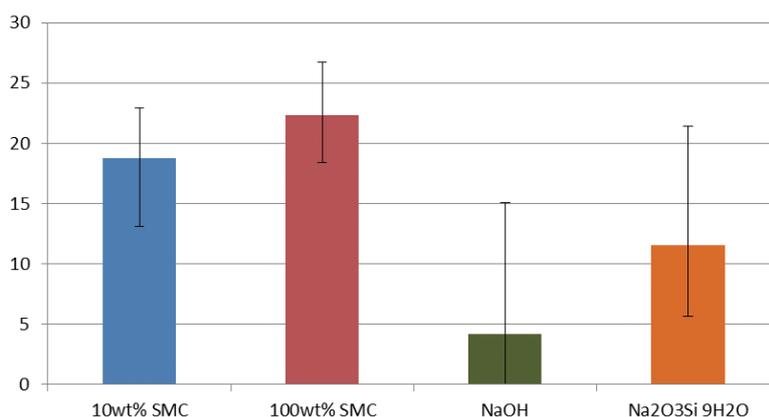


図 3. 砂利の浸漬による除染率. 圧壊処理したメタケイ酸ナトリウム水溶液からなる非界面活性剤系洗浄剤を用いて洗浄を行った.

を示している.

また、アスファルト舗装面とコンクリート舗装面に対して高圧洗浄した結果、FB水を用いると原水よりも除染率が最大 20% (約 5-20%) 向上することがわかった。また、生成後 6 日間経過した FB 水を用いた場合でも、アスファルト舗装面を除染することができた。コンクリート舗装面の高圧洗浄の場合、FB 水の除染率は原水と比較して、最大 10% (約 5-10%) 向上することがわかった。アスファルト舗装面ならびにコンクリート舗装面の高圧洗浄にナノバブル水を併用することにより洗浄効果が高まることが明らかとなった。

樹木 (ポプラ) 表皮の高圧洗浄を行った。なお、除染は樹皮表面に苔や粉塵等の付着が無い状態で行った。FB 水による除染率は 25% であったが、原水よりも 20% 以上も高いことがわかった。また、樹木の洗浄後の状態も良好であることを確認した。森林の除染方法は一般的に難しいとされているが、ナノバブル水を用いた高圧洗浄は、森林汚染の低減に有効な技術だといえる。

本試験より、多くの試験対象に対して FB 水が原水よりも高い除染率を示すことが明らかとなった。特に市販の洗浄機と FB 水の組み合わせによる除染が舗装面や樹木に対して有効であるという結果は、他の手法との組み合わせによる低環境負荷の除染の実現に寄与するものである。

### 非界面活性剤系洗浄剤の利用<sup>5)</sup>

次に除染と除染廃棄物の両者を達成する方法として、メタケイ酸ナトリウム水溶液に着目した。メタケイ酸ナトリウムは、pH を高く保つことができ、洗浄に有効な化学物質の候補である。また、界面活性剤を含まないため、泡立ちが無いという特長を有する。さらに、メタケイ酸ナトリウム水溶液を酸によって中和することでゲル化することが知られている。ゲル化に伴う共沈によって、セシウムをゲル内に取り込んで固液分離し、洗浄液として再利用することを考えた。

メタケイ酸ナトリウム九水和物を濾過水 (オルガノ社製の G-20B により製造) に溶解し、0.47 mol/kg の溶液を調製した。水への溶解性の向上を目的とし、協和エンジニアリング社製のマイクロバブル発生装置 (1 ml 当たり 2 万個以上のマイクロバブル発生装置) を用いて微細気泡を溶液中に混入させ、超音波照射 (40 kHz, シャープ社製の超音波発振機 UT-1204U, 超音波振動子 UI-12R3) により気泡を圧壊処理し、洗浄剤を調製した。このようにして得られたものを SMC と呼ぶこととする<sup>6)</sup>。比較のため SMC を 10 倍 (10 wt%) 希釈したもの、ならびに pH (13.1) の水酸化ナトリウム水溶液、圧壊処理していないメタケイ酸ナトリウム九水和物水溶液 (SMC と同濃度) を調製した。

福島県農業総合センターにて採取した砂利を洗浄物とした。砂利を洗浄水 100 cc 中に 20 時間浸

漬した。洗浄後の洗浄液に、塩酸を加えて中和し、沈殿させた。沈殿と上澄み液を分離し、それぞれの放射線強度を評価した。

背景放射線強度の測定は、京都大学放射性同位元素センター分館所蔵のゲルマニウム半導体検出器を用いた。検出器は高純度ゲルマニウム検出器(EG&G ORTEC 社, GMX-18200-S)でゲルマニウム結晶の大きさは $10^2 \text{ cm}^3$ 、相対効率( $^{137}\text{Cs}$  662 keV g 線に対して NaI (Tl) (76 × 76 mm) 結晶の効率との相対比)は22.3%である。プラスチック製の容器に試料を入れて洗浄前後のCPS値により洗浄率の評価を行った。

SMC (10 wt%), SMC (10 wt%), 水酸化ナトリウム水溶液を洗浄剤とした場合の洗浄前後の放射線強度を測定し、除染率を求めた。その結果、水酸化ナトリウム水溶液ではセシウムがほとんど落ちなかったのに対して、JPALでは除染率が平均値で22%であることがわかった。また、JPAL (10 wt%)を用いた場合の除去率は、19%となった。

減容化の検討のために、cps 値が2,600~2,800であった廃液の中和を行った。その結果、上澄みのcpsは1/10以下になることがわかった。これより、沈殿に放射性セシウムが取り込まれることがわかり、廃棄物の減容化が可能であることがわかった。さらに、ケイ酸ナトリウムを再度溶解させることにより、溶媒として再利用することも可能であり、廃液を生じないという利点がある。

## まとめ

本研究では種々の洗浄剤を用いて放射性セシウムにより汚染された砂利の洗浄を行った。水のみでの洗浄より効果があることがわかった。セシウム

を完全に除去できるというものではないが、他の方法と組み合わせることにより除去率を向上させるという効果が期待できる。またファインバブル水は水と空気のみから生成できること、非界面活性剤洗浄剤は中和して再利用ができることから比較的環境負荷が小さいという点が特長である。

## 謝辞

本研究で用いた洗浄水の生成は、サンスター株式会社の岡徹氏、株式会社クレハトレーディングの後藤裕氏らと行った。また、本研究の研究費の一部は、京都大学、同化学研究所、同生存圏研究所、日本原子力研究開発機構、国立大学協会、日本再生支援事業によるものである。ゲルマニウム半導体検出器による測定は京都大学放射性同位元素総合センターにて行った。実施にあたっては、福島県農業総合センター果樹研究所の小野勇治らの協力を得た。

## 参考文献

- 1) Ueda Y, Tokuda Y, Fujimura S, Nihei N, and Oka T, Water Sci. Technol., 67.5 (2013)
- 2) 微細気泡の最新技術, NTS (2006)
- 3) Liu, S., Kawagoe, Y., Makino, Y., \*Oshita, S., Chem Eng Sci 93, 250-256 (2013).
- 4) Tokuda Y, Matsuki H, Ueda Y, Masai H, and Yoko T, New J. Glass Ceram., 4, 49-54. (2014)
- 5) Ueda Y, Tokuda Y, Goto H, Kobayashi T, Ono Y, J. Soc. Remed. Radioact. Contam. Environ., pp.191-195, Voll (2013)
- 6) <http://www.kureha-trading.co.jp/division/chemicals-dept/jpal01.html>