

福島県における農業可能用地の土壤汚染調査とその対策について*

上田 義勝**

1. はじめに

3月11日の東日本大震災によって発生した原発事故の影響は非常に大きく、福島県の放射性物質による土壌・水質汚染は、6ヶ月以上たつ今もその解決の道筋が見えていない状況である。放射能汚染は現在報道等で報告されている様に、現地の人々の生活に未だに大きな不安を与えているだけでなく、福島県産の農作物・水産物にも影響が出ている為、至急にその対策を考える必要がある。

我々の研究グループは京都大学として一致団結し、早期から福島県農業総合センターと連携研究を開始する事で、福島県現地の土壌汚染の調査とその対策方法について検討を行ってきた。農業用地を主な対象として、種別毎の土壌サンプルがもつ放射性核種の解析や強度測定、また水や薬品等による洗浄効果等についての初期調査を行いつつ、汚染除去の最適手法の検討状況を報告する。

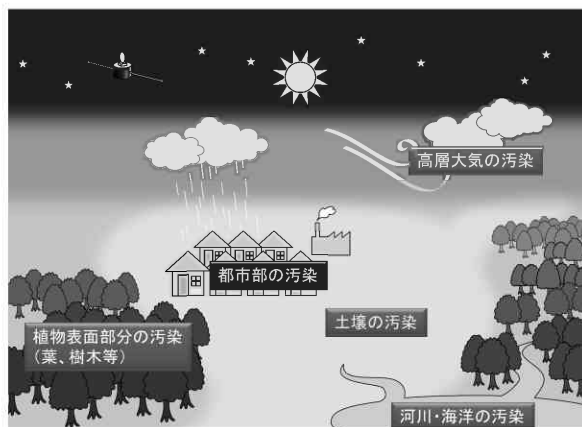


図1：放射能汚染の状況

2. 連携研究と研究支援体制について

福島県農業総合センターとの連携研究に関する概要と、京都大学側の研究支援体制について紹介する。私自身、4月から福島県農業総合センターと農業用地の除染に関する研究課題の模索を開始し、5月には何度か直接現地に赴いて実際の状況と対策について調査を行った。放射能汚染を実際現場で目の当たりにすると、その深刻さと、地震被害からの復興も含めた暗中模索な状況に対して愕然となった。しかしながら、現地センターの研究員の方々の冷静な

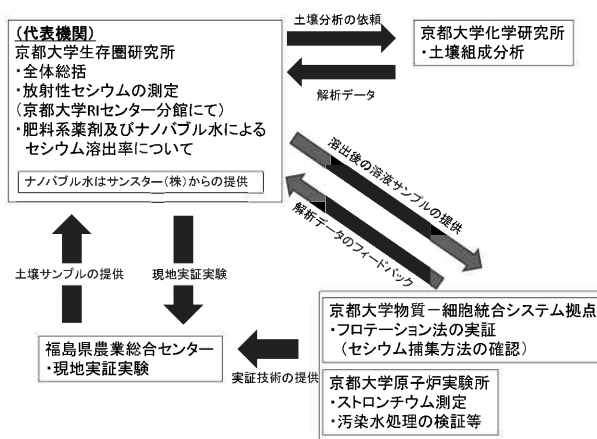


図2：研究支援体制

* 2012年7月12日作成 本稿は第8回生存圏研究所公開講演会(2011年10月23日開催)講演要旨に加筆・修正を行ったものである。

** 〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京都大学生存圏研究所宇宙圏航行システム工学分野
E-mail:ueda.yoshikatsu.4e@kyoto-u.ac.jp

対応や、放射線対策を新たに研究テーマとして開始するため精力的に情報収集を行う姿に感銘を受け、京都大学が持つ様々な研究設備や技術を研究支援として使えないか、自分自身の研究協力も含めてその可能性を探る事となった。4 月当初の時点では京都大学物質－細胞統合システム拠点の古屋准教授が持つ放射性廃液処理技術（浮選処理、フロテーション法）を現地対応させる事を中心課題としたが、実際問題として放射性物質を扱う為の場所が確保出来ていなかった事もあり、同じく京都大学原子炉実験所の福谷助教の協力を得て、原子炉実験所での福島県土壌の解析を一緒に行う事となった。また、化学的側面からの検討として、土壌の組成解析や処理手法について化学研究所の徳田准教授にも協力を依頼し、共同で作業を行う体制を整えてきた。

京都大学原子炉実験所は大阪府泉南郡熊取町にあり、私自身が所属する生存圏研究所（宇治キャンパス）からは片道 2 時間半ほどかかる。5 月半ば頃から農業総合センターの農場の土壌サンプルを厳重保管して持ち帰って来ていたが、そのサンプルをまた原子炉実験所に持ち込む事は、時間もかかる上に扱いにさらに慎重さが求められる事となる。そのため、同様の研究設備がある京都大学 環境安全保健機構 放射性同位元素総合センター（以下 RI センター）の設備を自身で利用する為、設備利用の講習会を受けつつ、RI センターの戸崎准教授の協力の下、放射線強度解析を自身で行える体制を整えた。

ここまでの活動は全ての教員のボランティア的な支援が多かったが、6 月に入り我々の研究体制は京都大学としての活動として認められ、福島県農業総合センター側との関係も、「放射性物質の除去・低減技術の開発状況について」という連携研究課題の一つとして正式に認められ、現在まで様々な測定や研究を行ってきている。

3. 放射性物質の除去・低減技術の開発状況について

先に述べた連携研究課題である放射性物質の除去・低減技術の開発状況について現状を述べる。京都大学側の支援体制を整えつつ、福島県農業総合センターから様々な土壌をサンプルとして持ち帰り、その組成や放射線強度分布を測定した。また、土壌の除染技術の確認のため、強酸・塩基処理によるセシウム溶出率の確認と、肥料系薬剤を使つての溶出率の確認も行っている。また、薬品処理とは別に、水と空気ナノバブルを使った砂礫に関する洗浄確認も試験的にを行い、その結果についても別途報告する。

3-1. 土壌汚染の状況

福島県下の土壌汚染状況の確認もあり、5 月 17 日に福島県農業総合センターにて採取した 5 種の土

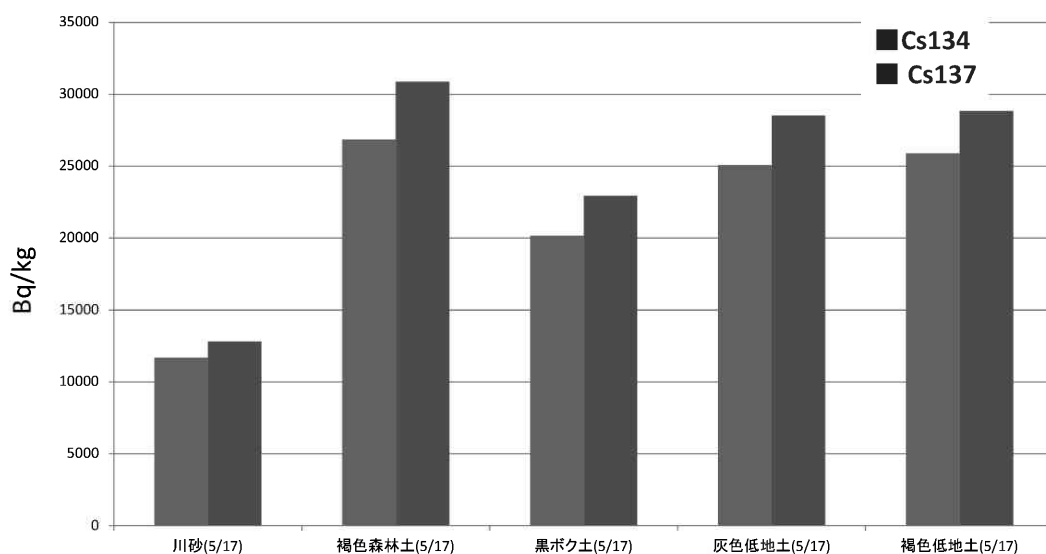


図3：表層 5cm サンプルの各種土壌の放射性セシウム強度

壤（川砂、褐色森林土、黒ボク土、灰色低地土、褐色低地土）についての放射性セシウムの強度測定を行った。測定には RI センター分館のゲルマニウム半導体検出器を用い、各サンプル（100g）の測定時間は 10 分とした。

土壌サンプルは全て表層 5cm の強度が非常に高いと思われる部分を採用しているため、強度が低い

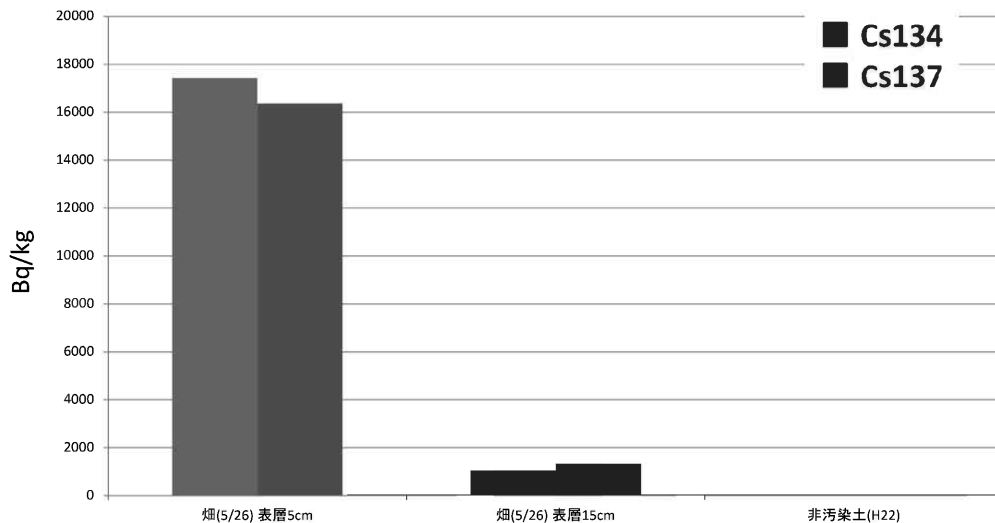


図 4：灰色低地土の表層高さ方向と過去の土壌の放射性強度の違い

と思われた川砂でも 10000Bq/kg 以上の値を示している。また、高さ方向と過去の土壌の比較として、灰色低地土の表層 5cm 採取のサンプル、表層 15cm 採取のサンプル、また室内保管されていた被汚染土壌についての放射線強度の比較も行った。既に様々な研究機関・大学で報告されている様に、原発フォールアウトで降り積もったセシウムは表層 5cm 辺りに 90%以上含まれている事がわかる。

3-2. 除染技術と実験結果について

除染技術に関しては、過去の事例としてスリーマイル島やチェルノブイリ原発の事故における放射性核種（セシウム、ストロンチウム）による土壌汚染に対する研究は多々行われているが、特にセシウムの土壌固定に関する報告は多く、汚染された地域の除染に対する画期的な技術報告は未だ無いの

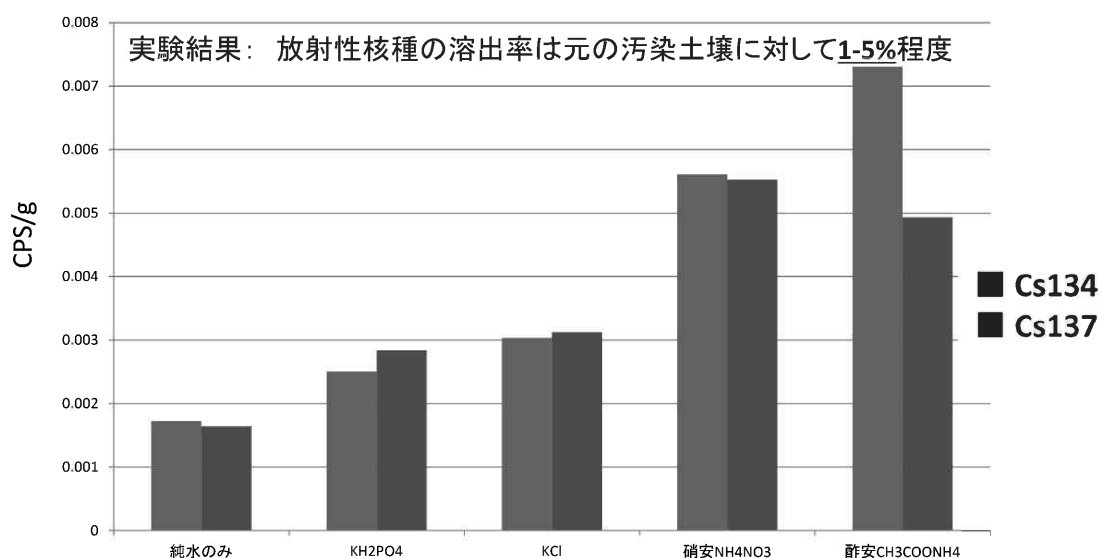


図 5：肥料系薬剤によるセシウム抽出率（上澄み）

が現状である。土壌からその核種を取り出す手法としては、強酸（塩酸等）や強塩基（水酸化カリウム等）を用いての強制的な溶出実験も存在するが、実験後の土壌が今度は酸・塩基で汚染されてしまい、もはや農作物を育てる事の出来る「土壌」とは別の物になってしまう。福島県の土壌においても強酸・強塩基による洗浄試験を行ったが、洗浄により溶液中に抽出されたセシウムは最大でも 5%程度であり、その効果は薄い。そのため、別の薬剤として土壌中に固定化されたセシウムとの交換効果があると言われているカリウム、アンモニウム系の肥料系薬剤を使つての溶出率を確認した。その結果、強酸・強塩基と比較してもほぼ遜色の無いセシウムの抽出効果が見られた。この肥料系薬剤については農用地に対する効果としては比較的效果がある為有効な手段として利用出来るが、溶出率をあげる為にはさらに別の手法も含めた複合的な処理が必要である。

3-3. ナノバブル水を用いた砂礫の洗浄

先に述べた肥料系薬剤を用いた土壌からのセシウム抽出には一定の効果が見られるものの、抽出率をもっと上げる必要がある。また福島県下の除染対象は農用地以外にも一般の住宅や学校等、生活圏における除染技術の確立も必須となつてきている。生活圏の除染には高压洗浄等の主に水を使って行う事が多いが、現地でも確認されているが放射線強度がゼロになることは非常に難しく、台風等の天候により放射性セシウムの移行がみられ、せっかく下がっていた放射線強度がまた上がってしまう事例もある。我々は除染技術の一環として、通常の水の中に非常に細かい空気微粒子（ナノメートルサイズ）を高濃度を含んだ水（ナノバブル水）を使って、放射能汚染された砂礫の洗浄実験を試験的に開始している。ナノバブル水は協和機設（株）の装置を使って生成された物を用い、サンスター（株）からの協力の下、サンプルとして使用



目に見えないナノ(nm)粒径の空気が水に含まれる事で、
表面張力低下機能
浸透性&濡れ性向上機能
が見込まれる。

図6：ナノバブル水

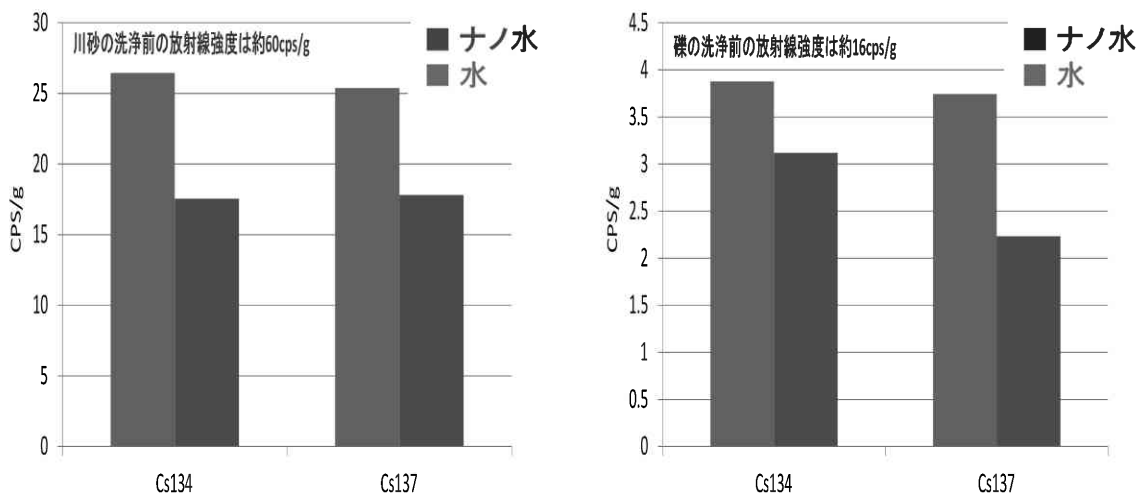


図7：ナノ水による土壌洗浄効果（減少率を cps/g として表記）（左：川砂、右：礫）

している。このナノバブル水は空気微粒子が安定して水中に存在する事が知られているため、1 ヶ月程度安定した濃度のナノバブル水として利用できる。また、ナノバブルの効果として界面活性作用と衝撃圧力作用があるので、鉱石中に固定化された放射性セシウムに対して、高い浸透性とその洗浄効果が期待出来る。初期実験結果を示すが、実験手法がまだ手探りの状態であるにも関わらず、通常の水と比較してその洗浄効果は 10%以上高い結果が出ている。この有意な差については今後精査して、最適な洗浄手法を確立しつつ、現地実験に生かす事が出来る様対策していく予定である。

尚、本研究は震災対応研究としてスタートし、京都大学総長裁量経費を使って研究を進めてきた結果、その研究実績を認められ、日本原子力研究開発機構 平成 23 年度除染技術実証試験事業「ナノバブル水を用いた放射性セシウムの直接洗浄効果の実証」として実際の除染実証を行い、実際の成果を挙げた。また、国立大学協会震災復興・日本再生支援事業としても採択され、平成 23 年度に引き続き、平成 24 年度も研究を進め、放射能汚染に関する研究だけでなく、現地の農業関連の研究分野に対する応用技術としての研究も開始している。

参考文献

- 1) Phytoremediation: Methods And Reviews (Methods in Biotechnology) - Neil Willey
- 2) Phytoremediation: Transformation and Control of Contaminants (Environmental Science and Technology: A Wiley-Interscience Series of Texts and Monographs)
- 3) Plants That Hyperaccumulate Heavy Metals: Their Role in Phytoremediation, Microbiology, Archaeology, Mineral Exploration and Phytomining, Robert R. Brooks
- 4) Phytoremediation of Toxic Metals, Wiley Interscience
- 5) 土壌学概論, 朝倉書店
- 6) M. アイゼンバッド (阪上 正信 監訳): 環境放射能 (第2版) - 環境科学特論一、産業図書

平成23年度主催したシンポジウム

第191回生存圏シンポジウム 東日本大震災以後の福島県の状況及び支援の取り組みについて (代表: 生存圏研究所 上田義勝)

国内発表等

1. 上田 義勝, 徳田 陽明, ナノバブル水を用いた放射性セシウムの直接洗浄効果の実証, 除染モデル実証事業等の成果報告会, 内閣府原子力被災者生活支援チーム 環境省 独立行政法人日本原子力研究開発機構, 2012. 3. 26
2. 上田 義勝, 徳田 陽明, 藤村 恵人, 二瓶 直登, ナノバブル水を用いた砂礫中の放射性セシウムの除染効果について, 日本原子力学会 2012年春の年会, 福井, 2012. 3. 20
3. 上田 義勝, 京都大学アカデミックデイ:お茶を片手に座談会「トークライブ」, 「震災からの1年: 知の拠点たる「大学」がすべきこれからの仕事とは」, 京都, 2012. 3. 10
4. 上田 義勝, 福島県農業総合センターの土壌等に関する放射能汚染状況とその除染手法に関する検討, 平成23年度放射性同位元素センター実験室利用成果発表会, 京都, 2012. 2. 20
5. 藤村 恵人, 上田 義勝, 水田における放射性物質の動態 (2) 排水のトラップによる放射性物質の除去技術, 第5回放射性物質試験研究課題に関する検討会, 福島, 2012. 1. 13
6. 上田 義勝, 徳田 陽明, 農業総合センターとの連携研究 (土壌・森林の除染について), 第191回生存圏シンポジウム 東日本大震災以後の福島県の状況及び支援の取り組みについて,

2012. 1. 6

7. 上田 義勝, 農業総合センター内のホットスポットとその洗浄についての検討, 第4回放射性物質試験研究課題に関する検討会, 福島, 2011.11
8. 藤村 恵人, 上田 義勝, 稲ワラ焼却による放射性セシウム量の変化について, 第4回放射性物質試験研究課題に関する検討会, 福島, 2011.11
9. 上田 義勝, 福島県における農業可能用地の土壤汚染調査とその対策について, 第8回京都大学生存圏研究所公開講演会, 2011.10.23
10. 上田 義勝, 福島県下における土壤・水質汚染の実地調査と放射性核種の高速除去技術の実証研究, 生存圏研究所第134回定例オープンセミナー, 2011.9.14
11. 古屋仲 秀樹, 上田 義勝, 福谷 哲, 徳田 陽明, 放射性廃液の浮選法による処理技術、ならびに防腐処理木材の安全なリサイクル技術, 環境資源工学会シンポジウム「リサイクル設計と分離精製技術 第23回 震災廃棄物のリサイクルのための分離精製技術, 2011.9
12. 上田 義勝, 徳田 陽明, 古屋仲 秀樹, 福谷 哲, 福島県下の土壤汚染の現地調査と合理的な放射性核種除染手法の検討 - 総長裁量経費による活動報告 -, 第187回生存圏シンポジウム 東日本大震災復興に向けた生存圏科学, 2011.8.30
13. 上田 義勝, 福島県下の土壤汚染の現地調査と合理的な放射性核種除染手法の検討, 京都大学シンポジウムシリーズI -II「大震災後を考える」 京都大学発・新技術セミナー「土壤・水質汚染の実態と放射性核種の高速除去」, 東京, 2011.8 (招待講演)
14. 上田 義勝, 放射性物質の除去・低減技術の開発状況について, 農業分野における放射性物質試験研究課題成果説明会(第1回), 福島, 2011.8
15. 上田 義勝, 福島県下における土壤・水質汚染の実地調査と放射性核種の高速除去技術の実証研究, 第1回放射性物質試験研究課題に関する検討会, 福島, 2011.7
16. 上田 義勝, 汚染土壤から長寿命放射性核種の高速除去を目的としたフロテーション法および吸着法の有効性を調査・実証するための実装活動, 緊急に取り組む試験研究課題検討会, 福島, 2011.5

新聞報道等

- 1) 朝日新聞 2012.3.30 「専門離れて研究 除染の技術」
- 2) 京都新聞 2012.3.11 「震災復興へ大学の役割は? 京大で研究者と市民交流」
- 3) 産経新聞 2012.2.21 「放射性物質除染に期待の「水」」
- 4) 化学工業日報 2012.2.14 「環境負荷少ない水系洗浄剤」
- 5) 朝日新聞 2012.1.19 「「ナノバブル」水で除染 京大助教ら、実証例を報告」
- 6) 毎日新聞 2012.1.7 「セシウム除染 ナノバブル水で効果」
- 7) 京都新聞 2012.1.7 「「農地の除染、効果探る」京大宇治キャンパスシンポ、支援も報告」
- 8) 朝日新聞イベント欄 2012.1.6 「シンポジウム「東日本大震災以後の福島県の現状及び支援の取り組みについて」」
- 9) NHK総合 2012.1.5 「親子でナットク イチから、Q!」取材協力

- 10) 京都新聞 2011.12.28 「原発汚染 解決糸口探る」
- 11) 日刊工業新聞 2011.12.23 「実証 除染技術 9 「ナノバブル水」の効果検討」
- 12) 産経新聞 2011.11.16 「宮津高校で京大から出前授業」
- 13) Nature 2011.11.11 「Japan funds projects to clean up Fukushima」 doi:10.1038/nature.2011.935
- 14) ブルームバーグ 2011.11.11 「原子力機構：東芝、大林組、熊谷組などに除染の実証試験を委託」
- 15) 共同通信 2011.11.11 「除染技術公募で25件選定 原子力機構、年度内に試験」
- 16) 環境ビジネス 2011.11.11 「原子力機構、平成23年度「除染技術実証試験事業」公募結果を発表」
- 17) 建設通信新聞 2011.11.11 「効率、減容化技術を確立/除染実証試験に25件採択/原子力機構」
- 18) KFB福島放送 2011.11.10 「除染技術募集結果発表 原子力開発機構」
- 19) 日本経済新聞 2011.11.10 「原研機構、除染実証事業25件を採択」
- 20) 読売新聞 2011.11.10 「超微細気泡で洗浄」
- 21) 朝日新聞 2011.10.22 「ナノバブル水 川砂除染に大役」