

放射能汚染土埋設における安全性の実証的検証

はじめに

福島第一原子力発電所事故による避難者は、地震・津波による被災者を含めて、2012年5月のピーク時には約16万5千人にも達した。事故から約8年が経過した2018年12月時点でも、ピーク時と比べて減ったとはいえ、いまだ4万3千人を超える避難者がいる。また、避難が長引くことにより、災害関連死者数が2018年2月時点で2,200人を超えている。

避難者や災害関連死者数がこのように多くなった理由については、各方面から様々な指摘がなされているが、危険学プロジェクトでは、大幅な除染作業の遅れによって適切な帰還時期を失ってしまったことが一番大きいと考えている。

我が国は、一度決めてしまうと、例え不都合があってもそれを容易に変更できないという事例があまりに多い。変更したくても、変更を妨げる抵抗が大きすぎるのである。そこで当事者は、多少の不都合には目をつむり、決めた通りにムリヤリ事を進めていこうとする。そのことが結果としてどうにも後戻りのできない、最悪の事態を招くことになる。

福島第一原子力発電所事故直後の8月30に公布された「放射性物質汚染対処特措法」がまさにその典型例と言える。

危険学プロジェクトが2018年7月に被災地である福島県飯舘村の現状調査を行ったが、村のあちらこちらにある仮置場に、除染作業によって発生した大量の放射能汚染土を入れたフレコンバッグが野積みされていた。中間貯蔵施設がようやく動き出したとはいえまだまだ不十分な状態であり、最終処分場は候補地すら検討できない状態である。そのような状況を考え合せると、すべての放射能汚染土を福島県外に持ち出すことは、どう考えても不可能である。

危険学プロジェクトでは、そのような事態になることを見越し、2013年暮れから被災地である福島県飯舘村で、住民の協力を得て「その場処理の深穴埋め」方式除染実験を行った。

上述のような八方ふさがりの現況に鑑み、その実験の経緯や結果を危険学プロジェクトのホームページに掲載し、改めて関係各方面に問いかけることにした。

なお、地盤が悪く、土砂災害などで汚染土が流されてしまう等の自然災害に関する問題や埋めたことを知らない人が誤って掘り出す等の人為的問題もあるが、これらは別途適切に調査・検討されるべき重要なテーマであると考え、本実証試験では検討対象外とした。

1. 除染実験に至る経緯

(1) 実証的検証実験を行うことになったキッカケ

2011年に東京電力福島原子力発電所で事故が起こった後、危険学プロジェクトでは、避難、放射性物質による汚染、除染、帰還などについて考えてきた。図1は福島原発事故で起こったことを描いたものである。事故当時は、発電所の中で何が起こったかということばかりに注目が集まったが、本当に大変なのは発電所の外で起こったことだった。原子力発電分野の最大の問題点の一つが、事故が起こることを想定しなかったために、事故後必要になることについて何も準備をしていないし、まして考えてもいなかったことである。結局、事故への備えが不十分だったために8年経った今もまだ多くの人が帰還できずに苦しんでいるのは前述したとおりである。

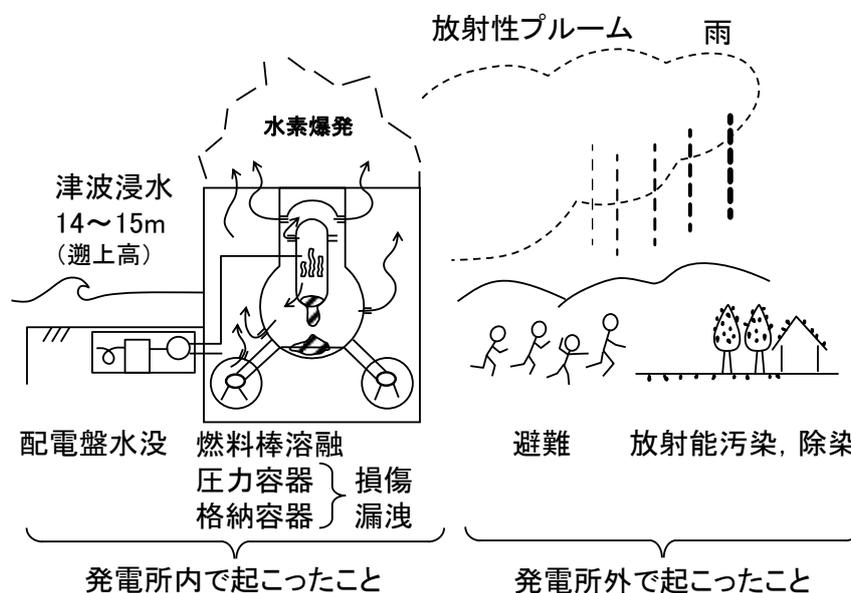


図1 福島原発事故で起こったこと

危険学プロジェクトでは、事故後被災者が一日も早く帰還するためには、速やかに除染を終えることが必要だと考えた。事故後に実際に行われている除染では、汚染土等を取り除いて、中間貯蔵施設で保管するという国の方針があり、被災地域の住民も自分たちの周囲から汚染物質が撤去されることを求めている。しかし、そのような方針では汚染土等の受け入れ先が見つからず、除染がなかなか進まないことが次第に明らかになった。

そこで、危険学プロジェクトでは、「その場処理の深穴埋め」だけが実行可能な除染ではないかと考え、そのような提言を行った。しかし、その方法を提案しても誰も耳を貸そうとはしなかった。そこで、被災地域で「その場処理の深穴埋め」実験を行い、その結果を被災地域の人に伝えることを計画した。

写真1は除染実験場のある福島県飯舘村比曽地区の2015年10月時点の状況である。地区中心部の水田には汚染物質の詰まったフレコンバッグが山積みされていた。中間貯蔵施設が決まらないために、除染作業で集めた汚染土等を仮置場と称してそこに保管しているのである。仮置場さえ決まらないため、被災地のいたるところでこのような光景が見られる。それぞれの場所に汚染物質を埋設して処理することを考えていけば、このようなことにはならなかったと考えられる。



写真1 危険学プロジェクトの除染実験場所
近くの比曽仮置場

(2) 除染・帰還の遅れが災害関連死を増やしている

2013年の暮れから始めた除染実験について、約1年後の2014年6月15日に、危険学プロジェクト主催による中間報告会を除染実験場所のある飯舘村比曽地区集会場で行った。これには地元住民25名、マスコミ9社が参加した。また、2013年から2014年にかけて、「その場処理の深穴埋め」方式除染について、関係する政財界トップに働きかけを行い、それなりの手ごたえを感じることができた。

ただ、その後、残念ながら世の中に目に見えた変化の動きはなく、国の直轄除染は既定路線に沿って行われた。その結果、除染の遅れが住民帰還の遅れにつながり、災害関連死を増加させる原因となっている。

(3) 避難の肉体的・精神的苦痛が寿命を短くすることは研究成果でも明らか

避難そのものが人間に与える影響については、1986年のチェルノブイリ原発事故での避難に実例がある。当時のソビエト連邦政府が行った強制的な避難措置の結果、避難させられた人の平均寿命は、避難しなかった同じ地区の住民に比べて7年も短くなったという最近の研究成果がある（ロシア政府報告書『チェルノブイリ事故25年 ロシアにおける影響と後遺症の克服についての総括および展望 1986～2011』2011年。中川恵一『放射線医が語る被ばくと発がんの真実』ベスト新書、2012年）。避難しなかった住民は、放射線の影響を受け続けていたかもしれないが、結果的にそれによる健康被害より、避難がもたらす肉体的・精神的な影響の方が大きかったと考えられる。

この例は、長期間の避難を判断する際、人間の健康を総合的に考えなければならないことを示している。放射能汚染物の域外への完全持ち出しや年間の追加放射線量1mSvに固執するあまりに帰還が遅れ、災害関連死や病気療養者をいたずらに増やしている除染の在り方は、その視点・観点からの検討が欠落した偏ったものであるといわざるを得ない。

(4) 追加除染の安全性の実証にもなる

除染対象から外れる屋敷林（いぐね）などの追加除染は、国が請け負う場合を除いては、地方自治体や行政区または個人が補助金などを利用しながら自ら行わざるを得ない。さらに、除染で出る汚染土は保管先の確保が困難な場合がある。この汚染土壌を地中の深い場所に保管することは、置場を新たに確保しなくても自主除染を遂行できるメリットがある。郷土に放射性汚染物を埋設する際に懸念される日々の暮らしへの影響について、問題はないという見解はこれまでの知見や現地での小規模実証から十分に予測されることではある。しかし、この汚染土埋設の安全性について、現地で大規模かつ長い時間にわたり実証しておくことは、すでに天地返しなどを行った地域住民のみならず、これから埋設を実施する者にとっても有益な知見になると考えられる。

上述の諸々の状況に鑑み、危険学プロジェクトが行った除染実験の結果を自らのホームページに掲載して、改めて関係各方面に問いかけることにした。

2. 「その場処理の深穴埋め」除染実験のねらい

危険学プロジェクトが行った「その場処理の深穴埋め」実験の具体的方法を図2に示す。

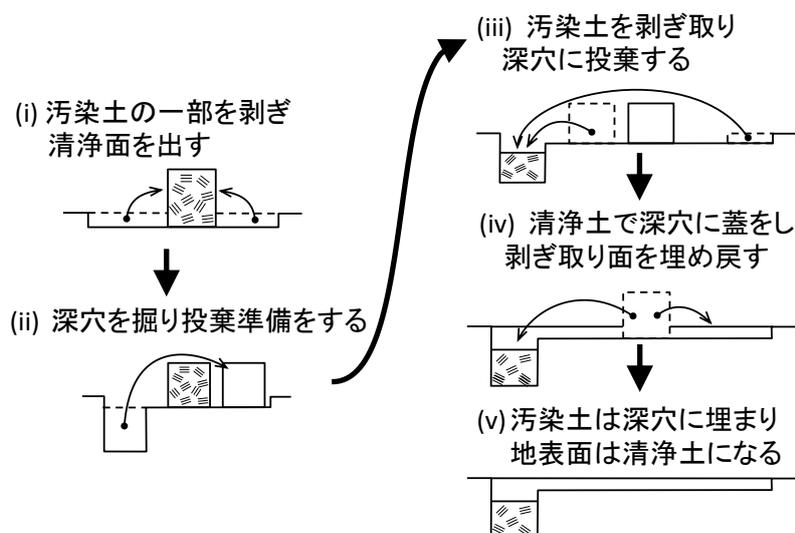


図2 その場処理の深穴埋め除染実験の手順～土を動かす順序～

簡単に述べると、汚染した表土を厚さ数 cm 剥ぎ取って、その場に深く掘った穴に投入し、最後に掘った穴から出た清浄土で穴に蓋をするというものである。この方法によれば、地上の放射線量が下がるだけでなく、地中に埋められた放射性物質（主にセシウム 137）はその性質から、外に出てくることは全くないと言ってよい。また、セシウム 137 の放射能は 30 年で半減し、100 年経てば 1/10 になる。すると、実際の汚染の区域は非常に狭い範囲に縮小される。そのことを実証しようと試みたのがこの除染実験である。

これにより、放射能汚染物を「集めなくてよい」、「運ばなくてよい」、「積まなくてよい」ため、「保管場所の心配がなく、除染作業が停滞しない」、「除染作業が楽で、作業者の被ばくも少ない」、「景観を損なわない」など、現行の除染方法と比べて多くの利点がある。

除染にかかる時間もコストも大幅低減できると考えられる。現状では、除染作業そのものよりも、その他の作業、すなわち、袋詰め、運送、「仮」や「仮 仮」置場への積み上げなどに多大な時間やコストを費やしている。現行の方法による除染は、これらのことがすべて組み合わさって完了が遅れ、それが帰還の遅れをも引き起こしているといえる。

3. 実証試験の概要

(1) 検証項目

放射能汚染土埋設の安全性について、本実証試験では生活に最も関りの深いA.「地下水の汚染」とB.「汚染土の地中内移動」の2点に絞って検証することにした。

A.「地下水の汚染」が起こると、汚染水が下流域へ渡るなど汚染が拡散したり、生活用水や農業用水が汚染される等生活圏への汚染の再侵入の心配がある。同じように、B.「汚染土の地中内移動」が起こると、地中内での汚染拡散の心配がある。

本実証試験は、地上より数メートルから10メートル程度の深穴に汚染土を埋設することを想定している。

なお、「はじめに」で述べたように、自然災害が原因で生じる汚染土流失問題や埋めたことを知らない人が誤って掘り出す等の人為的問題については、別途適切に調査・検討されるべき重要なテーマであると考え、本実証試験では検討対象外とした。

(2) 試験方法

A.「地下水の汚染」、B.「汚染土の地中内移動」のそれぞれについて、以下のように試験した。詳細な実験の方法については、後述する。

【A. 地下水の汚染】：

汚染土壌直下などいくつかの条件で地下水を採取し、水中のセシウム濃度を測定する。

【B. 汚染土の地中内移動】：

埋設した土壌内部の放射線量分布を地上から地下の垂直線上に測定し、それが経時変化するかどうか調べる。

(3) 実験場所及び実験の方法

1) 実験場所

測定は福島県相馬郡飯舘村比曾地区のある屋敷林（いぐね）の一角で、森林の除染実験を兼ねる形で行った（写真2）。すなわち地面（落ち葉や表土）の汚染された部分を十分除

去できるはぎ取り厚を事前測定から求め、実際にその厚み分の除染を施して排出された汚染土をその場に埋設している。実験の規模はおおよそ 300m^2 (～18m 四方) である。



(a) 実験対象の屋敷林(いぐね)

(b) 除染直後の実験現場

写真 2 実験を行った屋敷林と除染直後の様子

2) 実験の方法

以下、「A. 地下水の汚染」に関する実験と「B. 汚染土の地中内移動」に関する実験に分けて具体的実験の方法を述べる。

【A. 地下水の汚染】

地下水の汚染に関する実験は、「本試験」と「比較試験」に分けて行った。

図 3(a)に、実験場所のレイアウトを示す。

「本試験」は同図上部に示す地下水採取管①～③、「比較試験」は同図右側中段に示す汚染土水採取管④と下部に示す汚染土水採取管⑤で行っている。

「本試験」の地下水採取管①～③は、図 3(b)の「A-A 矢視」「A'-A' 矢視」に示すように、放射能汚染水の土壌による濾過効果を調べるため、飯舘村で一般的な土壌である砂質土壌による被覆(採取管①)、または黒ぼく土による被覆(採取管②&③)を行った。

「比較試験」のうち汚染土水採取管④は、「B-B 矢視」に示すように、土壌による濾過効果が全く期待できない汚染土直下に採取管④を設置した。一方採取管⑤は、「C-C 矢視」に示すように、粘土層中に一種の水槽を作り、汚染土がその水槽に溜まった地下水に常に浸かっている状態にした最下部の位置に採取管⑤を設置した。

これらの試験内容を、図 4 に模式的に示す。

【B. 汚染土の地中内移動】

汚染土の地中内移動に関する実験は、図 3(a)及び(b)の「A'-A' 矢視」に示すように、地下水採取管②の横に鉛直に設置した塩ビ管「K」の中を、アロカエネルギー補償シンチレーションサーベイメータ TCS-172B を上下に移動させ、空間線量を 10cm 間隔で、深さ 120cm まで計測した。

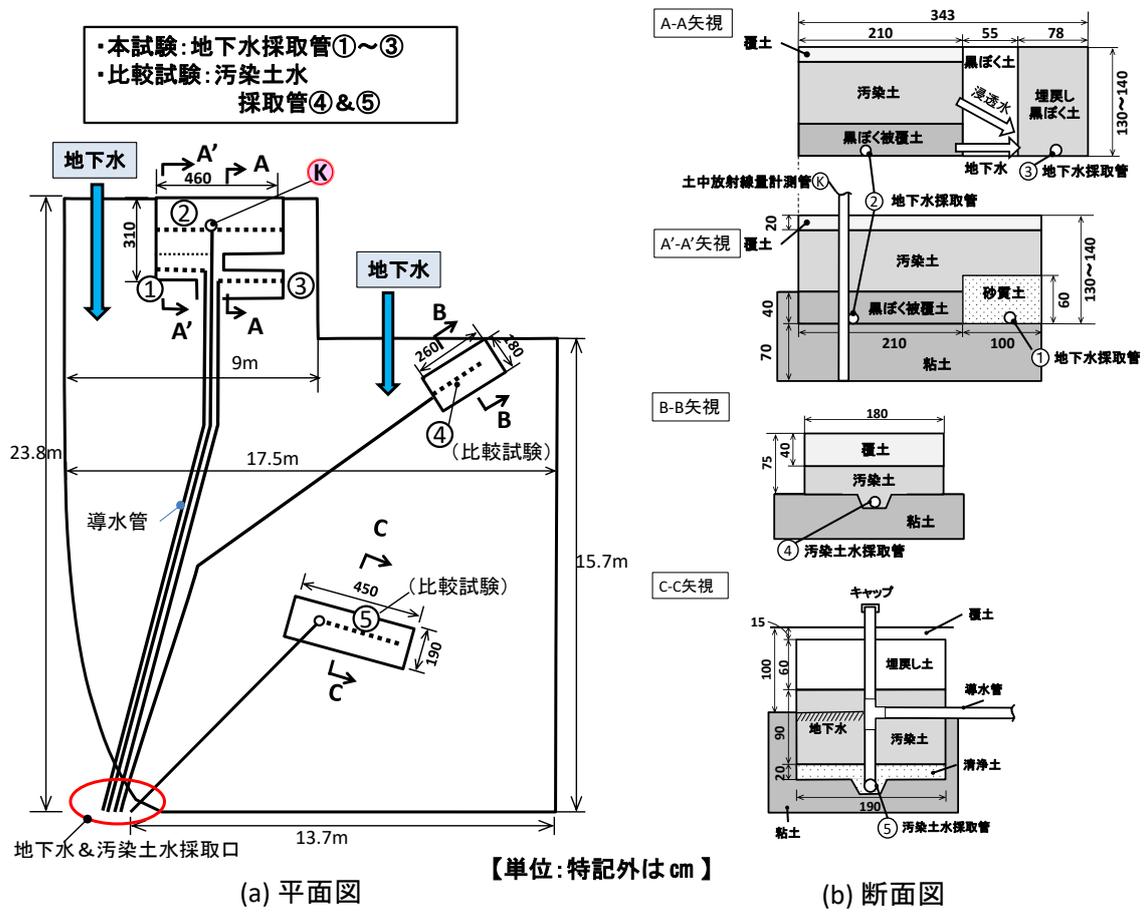


図3 実験場所平面図及び断面図

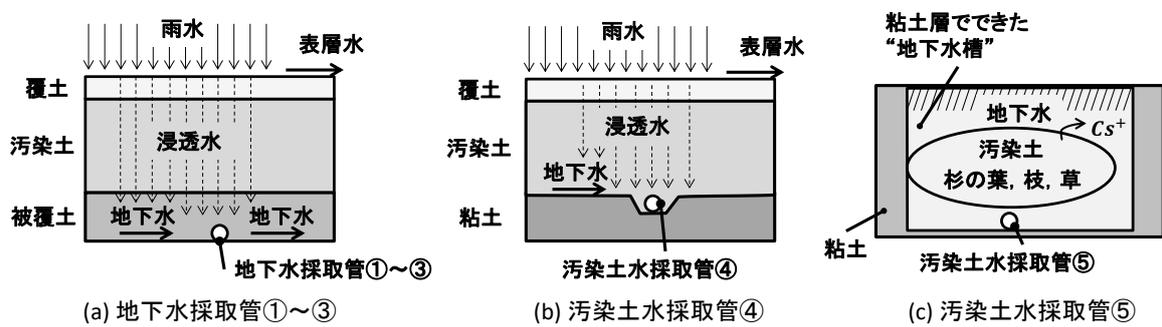


図4 雨水、浸透水、地下水と採取管の位置関係

(4) 除染実験の手順と実際の作業内容

図2に「その場処理の深穴埋め」除染方式の基本的な手順を示しているのので、これに従って、以下に写真や計測値等を使って実際に行った作業手順とその内容を説明する。

ステップ(i)「汚染土の一部を剥ぎ清浄面を出す」:

- ・剥ぎ取り厚さの決定:

ミニパワーショベルで厚みを5cmずつ変えて表土を剥ぎ、その都度アロカ表面汚染測定器 TGS146B で地表面におけるガンマ線数及びベータ線数を計測した。その結果、除染前の林床土表面の放射線量が6400cpmであったが、5cm剥ぎ取り後に2100cpm、10cm剥ぎ取り後に1800cpm、15cm剥ぎ取り後に1200cpmとなったので、15cm剥ぎ取りることとした。

(注) 実験の途中から、地表面からのベータ線数のみを計測するために“鉛遮蔽付き”アロカ表面汚染測定器 TGS-121 による地表面線量計測を行った。その値を、上述の鉛遮蔽ナシの計測値と比べると1/5~1/7になる。中間をとって1/6と仮定すると、“鉛遮蔽付き”地表面線量測定器で計測したときの除染前の放射線計数率約1070cpm、15cm剥ぎ取り後の放射線計数率が200cpmであったことになる。

- ・表土除染効果の確認:

除染実験前と除染直後(表土15cm剥ぎ取り後)に、深さ2cm刻みで土壌を採取し、それぞれU8100ml容器に詰めた試料とし、後日NaIシンチレータで土壌中セシウム放射能濃度を計測した。表面から深さ2cmの土壌で比較すると、除染前は15万ベクレル/kg近くあったが、除染後は3千数百ベクレル/kgまで低下していた。

セシウム134とセシウム137の放射能濃度測定は、IMS/IEC 17025 認定分析機関へ委託して行った。測定には、セイコー・イージーアンドジー製SEG-EMSゲルマニウム測定器を使用した。

ステップ(ii) 深穴を掘り投棄準備をする:

- ・土中放射線量計測管、地下水採取管、並びに汚染土水採取管の敷設:

ミニパワーショベルで深穴を掘った後、土中の放射線量を計測する鉛直管と地下水採取管①~③及び汚染土水採取管④、⑤を敷設した。写真3に作業の一部を示す。



写真3 土中放射線量計測管と地下水採取管敷設作業の様子

- 地下水及び汚染水導水管の敷設：

上述の地下水採取管及び汚染水採取管に塩ビ製導水管をつないで1か所に集め、サンプル水を同一箇所でもとめて採取できるようにした（写真4）。



写真4 地下水&汚染土水サンプル採取口

- 地下水採取管の土壤被覆：

汚染土を穴埋めする前に、土壤による濾過効果を確認するため、図3(b)のA-A矢視～B-B矢視に示すように地下水採取管①～③を砂質土壤と黒ぼく土で被覆した。

ステップ（iii）汚染土を剥ぎ取り深穴に投棄する：

ミニパワーショベルで、深穴に汚染土を投棄した（写真5）。



写真5 汚染土の深穴への投棄

ステップ (iv) 清浄土で深穴に蓋をし、剥ぎ取り面を埋め戻す：

ミニパワーショベルで、汚染土の上を清浄土により厚さ 20~60cm の覆土をした
(図 3(b) A-A 矢視~C-C 矢視)。

ただ、地下水採取管①~③を埋設した「本試験」の場所が地下水の上流部に位置していたため、地下水導水管に傾斜をつけるには、汚染土を埋める穴を浅くせざるを得なかった。そのような実験場所の物理的制約から、計画では「本試験」の覆土厚さを 30cm にしていたが、実際は最低限の 20cm の厚さしかとれなかった。

ステップ (v) 汚染土は深穴に埋まり地表面は清浄土になる：

清浄土による覆土後にアロカ表面汚染測定器 TGS-146B により地表面の放射線量を計測したところ、平均で 840cpm であった。除染前が平均で 6060cpm だったので、地表面の放射線量が除染によって約 7 分の 1 に低下したことになる。

(注) 実験の途中から、地表面からのベータ線数のみを計測するために“鉛遮蔽付き”アロカ表面汚染測定器 TGS-121 による地表面線量計測を行った。その値を、上述の鉛遮蔽なしの計測値と比べると 1/5~1/7 になる。中間をとって 1/6 と仮定すると、“鉛遮蔽付き”地表面線量測定器で計測したときの覆土後の平均放射線量が 140cpm、除染前の平均放射線量が 1010cpm であったことになる。

4. 実証実験の結果

除染の実証実験は 2013 年 11~12 月に行い、以後定期的に地下水や汚染土水の分析、並びに土中の放射線量の計測を行った。

(1) 地下水の安全性実証実験

1) 採水

採水は、写真 4 に示すサンプル水採取口から排出される地下水または汚染土水を、採取時期に数時間~数日かけて、約 2 リットル採取した。汚染土水④は設置場所の関係で地下水流が少ないため、時期によっては採取量が十分確保できなかった。

2) 放射能濃度測定

採取した地下水及び汚染土水中のセシウム 134 とセシウム 137 の放射能濃度測定は、IMS/IEC 17025 認定分析機関へ委託して行った。測定にはセイコー・イージーアンドジー製 SEG-EMS ゲルマニウム測定器を使った。分析精度(検出限界)は 1Bq/kg 以下であり、飲用水の目標上限値 10Bq/kg と比べても十分低い値である。

3) 測定結果

表 1 に、測定結果をセシウム 134 とセシウム 137 の合計値で示す。

結果は、地下水①、②、③のいずれも、すべての採取日において、セシウム不検出となった。このことは、放射能汚染土の周囲が砂や黒ぼく土で囲われている場合、地下水が汚染されないということを示している。

一方で、汚染土水④の測定では、若干汚染のあったものが1年足らずでセシウム不検出となった。

汚染土水⑤は継続して微量のセシウムが検出されている。しかも、1回だけではあるが、飲用水の目標上限値 10Bq/kg をわずかに超えている。

そこで、汚染土水⑤のセシウムがどのような状態で存在しているかを調べるため、汚染土水⑤を0.4 μ m及び0.1 μ mフィルターで濾過し、原液（濾過無し）のセシウム濃度と比べたところ、両フィルターともに濾過前後で有意な差はみられなかった。このことは、水中のセシウムは0.1 μ mより小さい状態で存在していることを示していて、汚染土壌が粒子状で浮遊していることで無いことがわかった。

さらに、写真6に示すように、アクリル製円筒管に黒ぼく土を充填した濾過器を使い、表2に示す条件で原液を濾過したところ、濾過水からセシウムが検出されなくなった。

なお、濾過に使った黒ぼく土は、飯舘村の除染実験を行った同じ場所から採取している。

表1 地下水安全性実証試験結果(セシウム 134 とセシウム 137 の合計値;注参照)

採取年月日	地下水①	地下水②	地下水③	汚染水④	汚染水⑤
2013/12/11	不検出	不検出	不検出	採水できず	2.9 Bq/kg
2013/12/18	不検出	不検出	不検出	採水できず	9.8 Bq/kg
2013/12/25	不検出	不検出	不検出	1.5 Bq/kg	13.7 Bq/kg
2014/1/7	不検出	不検出	不検出	採水できず	1.5 Bq/kg
2014/4/12	不検出	不検出	不検出	0.9 Bq/kg	5.2 Bq/kg
2014/12/12	不検出	不検出	不検出	不検出	1.9 Bq/kg
2015/6/7	不検出	不検出	不検出	採水できず	4.8 Bq/kg
2016/1/22	不検出	不検出	不検出	不検出	7.3 Bq/kg
2016/8/12	不検出	不検出	不検出	不検出	1.6 Bq/kg

(注) 例として、2013年12月18日に採取した汚染水⑤のセシウム134と137の各計測値(有効数字3桁)と合計値(有効数字2桁)を以下に示す。

○個別の計測値

・セシウム134 : 2.33 Bq/kg

・セシウム137 : 7.45 Bq/kg

○セシウム134と137の合計値 : 9.8 Bq/kg

表 2 汚染土水⑤の濾過条件

○濾過器
・ 円筒管内径：50mm,
・ 充填高さ：約 300mm
・ 充填密度：約 1g/cm ³
○前処理
・ 充填した黒ぼく土の空隙部を 下記の天然水で飽和させた。
【空隙部飽和用天然水】
ナチュラルミネラルウォーター, 硬度約 30mg/L (軟水)
○注水
・ 汚染土水⑤の注水総量：2L
・ 汚染土水⑤の注水スピード： 円筒管に対し、30mm/h (土砂降りの雨に相当)

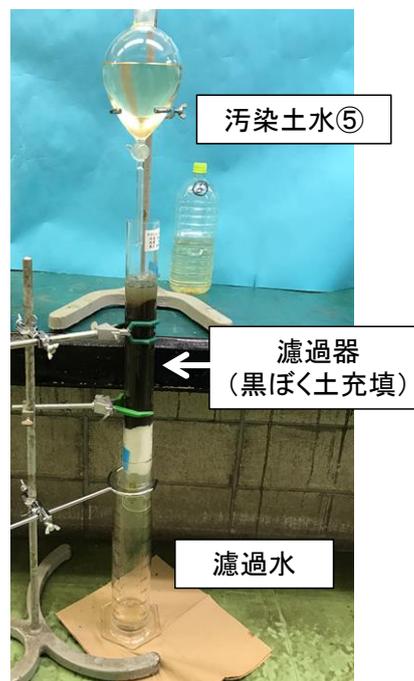


写真 6 汚染土水⑤の黒ぼく土による濾過試験

4) 考察

以上の結果から、地下水採取管①～③のエリアで地下水が汚染されない仕組みについて考察する。

汚染土は、林床土 15cm を剥ぎ取ったものであり落ち葉などの有機物を有意に含んでいる。セシウム的大部分は土壌鉱物中に取り込まれて固定されているが、一部は有機物に付着した状態である。試験結果から、汚染土水⑤中のセシウムは、後者の有機物に付着していたセシウムが溶け出したことに起因すると考えられる。

汚染土水④の場合は、有機物に付着していたセシウムが雨水や地下水に溶け出しても、自身の土壌に吸着されやすく、汚染土水⑤では、汚染土が常に水に浸かっているため土壌に吸着されにくいと考えられる。しかし、写真 6 に示すように、汚染土水⑤を土壌中を通過させてやれば、水中に溶け出したセシウムがその土壌に再吸着される。

これらのことから、地下水採取管①～③のように、汚染土の周囲に適度の厚さの被覆土があれば、汚染土壌を通過中に例え地下水中にセシウムが溶け出したとしても、それが被覆土に再吸着される。このため、実証試験で採取された地下水のいずれにも有意な汚染はなく、地下水の安全性が実証されたといえる。

図 5 に、上述のセシウムの水中への溶出及び土壌への再吸着のプロセスを示す。

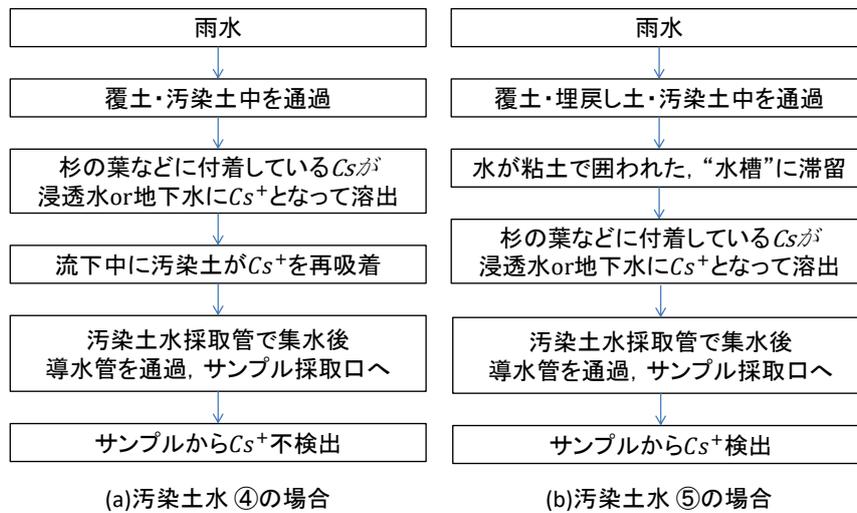


図5 水中へのセシウム溶出と再吸着のプロセス

(2) 埋設放射性物質の地下への移行状況

汚染土を含む土中の放射線量分布を, 実証実験を開始した2013年11月から2016年11月まで定期的に測定した(図6)。放射能汚染土を深穴埋めした当日と5か月後の2014年4月末にも計測したが, 計測器の固定法に問題があって精度良い計測ができていなかったもので, 図には掲載していない。

放射線量が最も高くなる測定位置は地表からの深さが約54cmであった。これは, 埋設した汚染土の中心位置とほぼ一致している。また, 地表面から深さ20cmまでは覆土部分にあたるので, 地上と汚染土からの放射線の両方の影響を受けた数値になっている。

表3に, 汚染土埋設部分にあたる地表面から深さ20cmより深い部分の放射線量の実測値を示す。

地表から深さ約54cmのピーク位置から地表面方向へ, あるいは地下方向へほぼ対称な形状で線量が減少しており, 埋設土の汚染がほぼ均一になっていることが推察される。

なお, 地表から約90cmのところは深穴の底になるが, それより深いところでも, 埋設された放射能汚染土からの影響を受けて微量の放射線が計測されている。

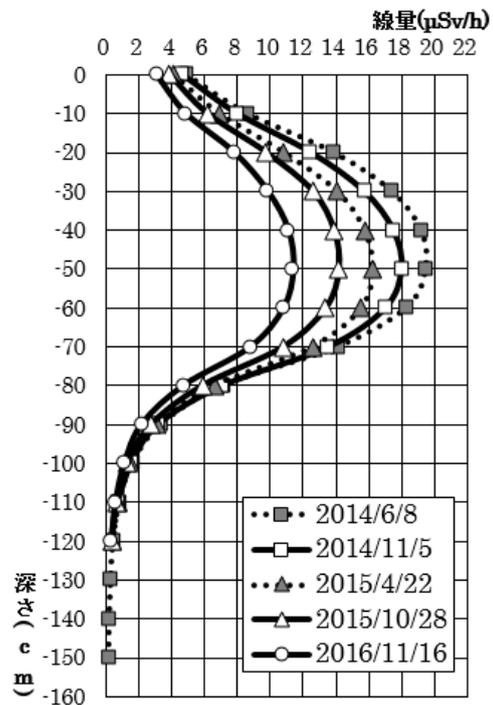


図6 土中放射線量時間変化

表 3 土中放射線量計測データ

(単位：μSv/h)

深さ (cm)	計 測 日				
	2014/6/8	2014/11/5	2015/4/22	2015/10/28	2016/11/16
20	13.86	12.47	10.79	9.73	7.78
30	17.42	15.74	14.06	12.57	9.83
40	19.21	17.52	15.74	13.86	11.09
50	19.50	18.02	16.24	14.16	11.39
60	18.32	17.03	15.54	13.37	10.8
70	14.16	13.56	12.57	10.79	8.79
80	7.13	7.11	6.61	5.88	4.70
90	3.35	3.18	3.07	2.76	2.16
100	1.61	1.56	1.47	1.30	1.11
110	0.82	0.73	0.74	0.66	0.58
120	0.44	0.39	0.40	0.36	0.33

ただ、放射線量の減少は汚染土（セシウム）の半減期によるものであるのに、減衰率が半減期から求めた予測値である理論値より若干速い。

そこで、厳密さには欠けるが、表3の土中放射線量計測値を、ごく近傍の均一放射線源から得られたものと仮定し、2014年6月8日以降の各計測点の放射線量の減少率を理論減衰率と比較した結果、図7のグラフが得られた。この結果を要約すると以下ようになる。

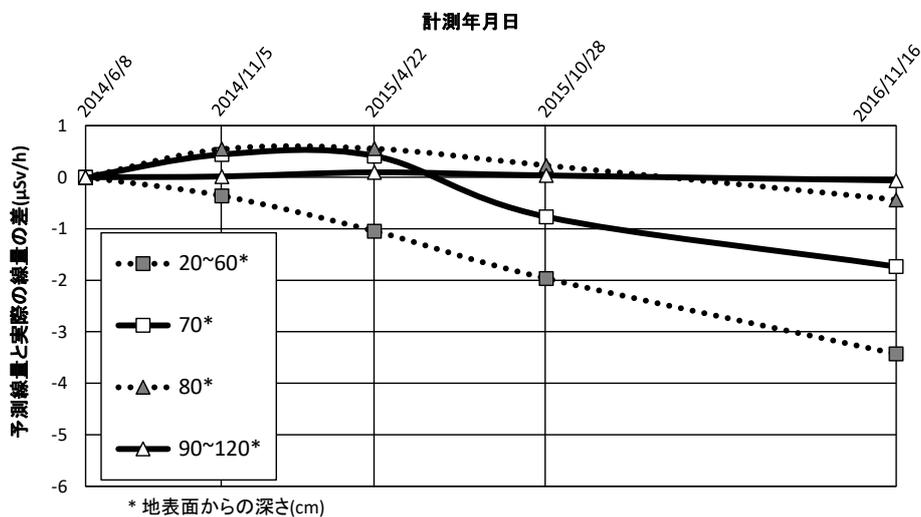


図 7 予測と実際の線量差の時間変化

- ・地表から深さ 20~60cm の放射線量の減少率が一貫して理論減衰率より大きい
- ・深さ 70cm と 80cm では、2014 年 11 月と 2015 年 4 月だけは上層部からのセシウム降下の影響を受けて一旦放射線量の減少率が理論減衰率を下回るが、その後は理論減衰率より大きくなる

・深さ 90～120cm では、放射線の減少率が理論減衰率とほぼ等しくなっている

これは、埋設汚染土、覆土などの埋め戻し土が時間の経過とともに徐々に締め固まり、汚染土集団の重心位置が若干下がったために生じた現象と考えられる。この重心位置の下方移動の影響は、深穴の底約 90cm より深いところの放射線量実測値にも、ごくわずかではあるが及んでいる。

以上の結果から、放射性セシウムは、土粒子に捕捉されるとほとんど遊離せず、深穴内での移動に限られることを示している。

5. まとめ

表 1 に示すように、地下水採取管①～③から採取された地下水はすべてセシウム不検出となった。この結果から、放射能汚染土の周囲が適切な厚さの土壌で囲われている場合、地下水がセシウムにより汚染されないことが実証された。

これに対し、比較試験で明らかのように、地下水流のあるところに放射能汚染土が埋設されたり、放射能汚染土が常に地下水に浸漬されるような状況にあると、微量ではあるが地下水中にセシウムが溶け出し始めるので、このような放射能汚染土の埋設は絶対に避けなければならない。

さらに、もう一つの実証試験である埋設放射性物質の土中移動についても、図 6&図 7 で示すように、深穴内での移動に限られることがわかった。

以上の結果から、放射能汚染土の周囲が適切な厚さの土壌で囲われている場合、長期間にわたっても地下水の汚染や放射性物質の深穴外への土中移動はなく、この面での安全性が実証されたといえる。

なお、危険学プロジェクトの実証実験とほぼ同じ時期に、環境省除染チームが放射能汚染土の埋設実験を行い、同じような結果を出している。平成 26 年 3 月に「除去土壌の埋設に係る放射性セシウムの挙動の把握」という表題の報告書を出しているので参考にされたい（下記 URL 参照）。

【環境省汚染チーム発行の報告書の URL】

<https://www.env.go.jp/jishin/rmp/conf/11/mat04.pdf>

謝辞

本実証実験では、福島県相馬郡飯舘村の菅野啓一氏と菅野義人氏には実験場所の提供だけでなく、重機による表土剥ぎ取りや深穴の掘削、地下水採取管や導水管の敷設、さらには地下水や汚染土水の採取など、実に様々な作業に協力してもらった。また、高エネルギー加速器研究機構の岩瀬広氏には、実験に係る各種の放射能計測について、一から指導してもらった。この方々の協力がなかったら、本実証実験は到底なしえなかった。ここに、改めて深く謝意を表す。