

## 放射性 Cs に汚染された裸地面運動場の天地返しによる改良

Improvement of a Bare Field Contaminated with Radioactive Cs  
by Turn-overed Subsoil to Replace Surface Soil鈴木 純<sup>†</sup> 松澤 義明<sup>††</sup>  
(SUZUKI Jun) (MATSUZAWA Yoshiaki)

## I. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震とこれに続く大津波は、東京電力福島第1原子力発電所(以下、「福島第1原発」という)事故を引き起こし、この原発事故によって放射性物質放出に伴う幾多の環境改変をもたらされた。このうち放射性セシウム(以下、「Cs」という)の広範への拡散は、生活環境の隅々にまで及び、東日本の広い範囲で「除染」と呼ばれる対応が行われている。従来、放射性物質は厳重に管理されていたが、現状では、一般市民が十分な知識や技術的な力量を得ないまま、日常これと接する状況となっている。除染の問題点は、現地から取り除かれた放射性物質あるいは放射性物質を含む土壌などをどこにおくのか、ということである。学校の校庭などで剥ぎ取られた表土などは、一般には校地内に不安定な状態で埋設仮置きされている。中間貯蔵施設の建設が進まない状況で、放射性物質のフォールアウト直後に表土剥取りなどを実施した学校などにあつては、さらに放射線量を低下させるために除染を行いたい状況でも、実施ができない場合が生じている。

「農地土壌の放射性物質除去技術(除染技術)作業の手引き 第1版」<sup>1)</sup>(以下、「農地作業手引き」という)には、Csにより汚染された表層土と下層土をプラウ耕より反転させる反転耕が示されている。ここで農地における反転耕は、掘起し、すなわち耕起や作物栽培などによって下層に置き換えた汚染土やCsが表面に再出現する可能性が指摘されている。そのため、将来にわたる管理が必要であるとされている。

土面で管理されている運動場などにおいては、農地と異なり耕起や植物による吸上げなどによるCsの地表面付近への再出現は考えにくい。したがって、放射性物質に汚染されていない清浄土が汚染土から発せられる放射線を遮蔽して、地表付近の放射線の低減をはかることができる天地返しは、被曝量の低減をはかる工法として有用であると考えられる。また、運動場で

は利用者が地表面の土に接触することが頻繁である。このような場所にあつてはたとえわずかとされる量の放射性物質ではあつても、可能な限りこれを取り除くことが好ましいと著者は考えている。

前出の農地における反転耕では、耕起や作物栽培によって、Csが再度地表に出現する可能性がある。しかしながら裸地面の運動場などでは、天地返しの後にCsが再度地表面に出現することはないと考えられる。一方、裸地面を対象とした放射線低減のための工法として天地返しが行われた例<sup>2)</sup>は、多くは報告されていない。その理由は、地域住民が抱く放射性物質が汚染土から地下水に溶出するのではないかと懸念や、地表下に放射性物質が存在することに対して抱く不安感のために、行政も踏み切れずにいるためと考えられる。

先の中間貯蔵施設が建設されたとしても、より放射性物質を多く含む事物の処理が優先されて、低線量といわれている箇所を除染などは進まない可能性がある。一方で現在は、多くの運動場などが一般に開放されている実状がある。このような状況を踏まえて本報では、裸地面運動場における天地返しについて試験施工を通じて検討し、運動場などの環境修復の効果について報告する。

## II. 天地返し

## 1. 天地返しによる裸地面放射線低減工法

ここで、地表面がCsなどの放射性物質に汚染された裸地面の運動場の改良を目的とした「裸地面放射線量低減工法」(以下、「本工法」という)を説明する。これは、放射性物質によって汚染された表土(以下、「汚染土」という)を剥ぎ取り、周辺に一時保管した後、その深部にある放射性物質に汚染されてない下層土(以下、「清浄土」という)を掘削したくぼ地に投入し、清浄土を覆土して地上の放射線量を低減させる天地返しによる工法である。前出の農地における反転耕とは異なり、明確に汚染土と清浄土は分離されて、汚染土は下層に移して等厚の清浄土で覆われる。なお農地作

<sup>†</sup>信州大学農学部<sup>††</sup>(一社)長野県林業コンサルタント協会

除染、天地返し、福島第一原子力発電所事故、放射性Cs、放射線量率、木炭

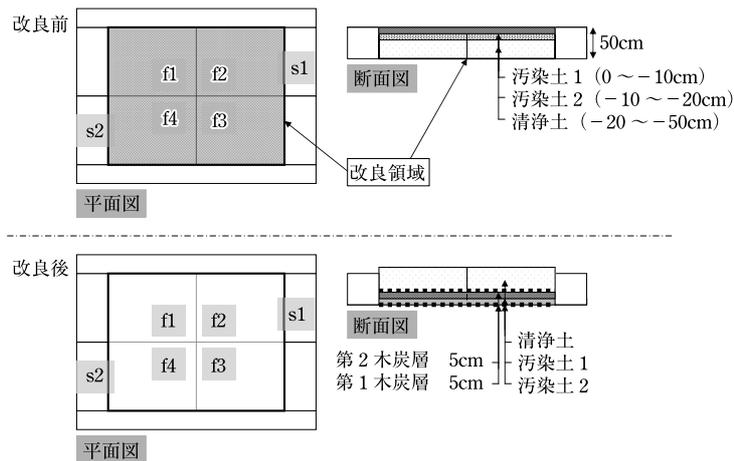


図-1 裸地面放射線低減工法の概要図

業手引きによれば、土壌のCs濃度 $y$  (Bq/kg) と地上1 mの空間放射線量率 $x$  ( $\mu$ Sv/h) の関係(非クロボク土の場合)として、

$$y = 1,710x$$

が与えられている。したがって、たとえば本工法が適用できる土壌(表土)のCs濃度 $y_{max}$ は、改良後の地上1 mの放射線量率を環境省の除染基準<sup>3)</sup>である0.23  $\mu$ Sv/hとおき、これが改良前の放射線量率を1/10に低減した結果とおけば、もとの空間放射線量率は2.3  $\mu$ Sv/hであるから、

$$y_{max} = 1,710 \times 2.3 = 3,933 \text{ Bq/kg (乾土)}$$

を得る。この放射能濃度は、農地作業手引きに記される反転耕の適用を当面5,000 Bq/kg以下とすることと合致している。そして宮崎<sup>4)</sup>は、<sup>137</sup>Csが発するガンマ線を1/10に低減させるために必要な体積含水率50%の火山灰土は厚さ28 cmとしているので、これを参考にして清浄土の覆土厚さは30 cmとする。

また、Csによって汚染された地表面下10 cmまでの汚染土1(図-1)の下に位置する深度10から20 cmの土壌を汚染土2(図-1)と名づける。汚染土2を設定・設置する目的は、清浄な地山(下層土)に最も汚染された汚染土1が接するより、Csに汚染されていないか、汚染土1より汚染の度合いが低い汚染土2を間に挟むことによって緩衝的な機能を期待してとる対応であり、汚染土1から地山へのCsの移動を遅らせることである。なお汚染土から下方(深層)への放射性物質の移動に何らかの機能を有しているかを確認するために、汚染土を挟む2層の木炭層を層状に設置する(図-1)。

図-1の改良前の状態から、改良後の状態への工事は次の図-2に示す手順による。これらの工程では、汚染土に含まれる放射性物質の拡散、汚染を防止する

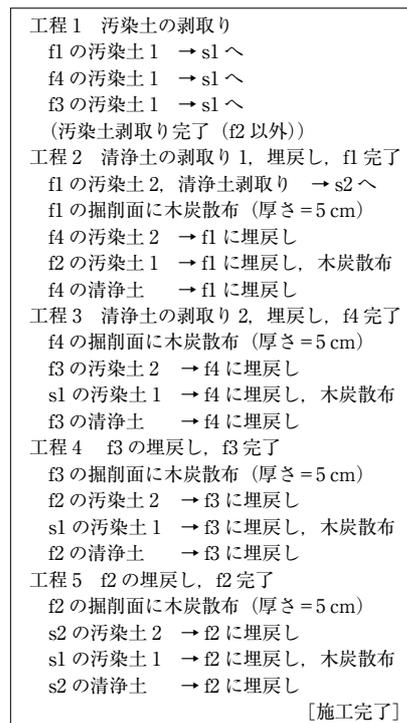


図-2 裸地面放射線低減工法の施工手順 (f: 改良区画, s: 一時保管場所, 数字は位置を表す)

ために、汚染土と清浄土は厳密に分離されなければならない。そのためには、剥ぎ取った土壌の一時保管場所は汚染土と清浄土で明確に離すことが肝腎である。

また、施工機械などの放射性物質による汚染は、適宜洗浄などにより管理されなければならない。さらに、剥ぎ取った表土が風や作業の際に飛散や飛遊することを防止する目的で、適宜散水などを実施する必要がある。

## 2. 試験施工

本工法の有効性ならびに安全性を確認するための試験施工は、福島県いわき市遠野地籍の遠野市民運動場で実施した(図-3)。ここで、事前調査として地上1,

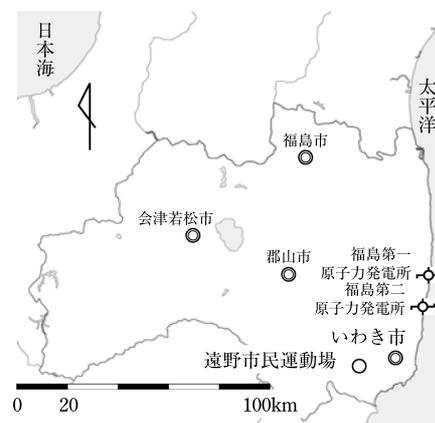


図-3 福島県図と試験施工地の位置

0.5 および 0.01 m の空間放射線量率（ガンマ線）、深度 10 cm と 30 cm の土壌の放射性物質の測定を実施した。2011 年 12 月 19 日に実施した現地調査によれば、地上高 1 m の放射線量率は 0.21~0.31  $\mu\text{Sv/h}$ 、地上高 0.01 m のそれは 0.35~0.52  $\mu\text{Sv/h}$  であった。この放射線量率は環境省の除染基準<sup>3)</sup>「地表から 50 センチ~1 メートルで 0.23  $\mu\text{Sv/h}$ 」に抵触する数値であるが、遠野市民運動場と同じ程度の放射線量率の運動場や公園は、立入りなどが規制されることなく利用されている箇所が少なくない。したがって、本工法によって地上の空間放射線量率が改善できれば、人々の生活環境の改善につながると考えて、この場所を試験施工箇所として選定した。本工法は、天地返しして新たに表土となる深度 20 cm 以深の土壌が Cs などの放射性物質に汚染されている場合は適用できない。しかし事前の試験によって、遠野市民運動場の深度 20 cm 以深の土壌は、福島第 1 原発の爆発事故に由来すると考えられる放射性物質には汚染されていないことが明らかとなったので、試験施工に適すると判断した。また深度 20 cm 以深の土質が、運動場などの表土として適さない場合には、本工法をそのまま適用することは困難である。しかし、下層土の土質は土性が運動場として良好であり、本工法の試験施工に問題はなかった。なお下層土の土性は細粒分混じり砂（礫（5~2 mm）：6%，砂（2~0.074 mm）：74%，0.074~0.005 mm（シルト）：12%，<0.005 mm（粘土）：8%）である。

試験施工に利用する木炭は、長野県伊那市で間伐されたカラマツ材を原料として、炭焼き職人の下で木炭化された。ここで製炭された木炭の密度（bulk density）は実験室において計測したところ 0.27 kg/L であった。カラマツ炭の性状は、粉状~長径 10 cm 短径 5 cm 程度のバラ炭である。これを施工時に踏圧で粉碎して締め固めた。

試験施工は 2012 年 2 月 10 日に実施した。試験施工の概要は次のとおりである。

- 施工面積 4 m<sup>2</sup> (2 m×2 m)
- 使用木炭量 50 kg×3 層、層厚各 5 cm
- 土層区分 汚染土 1 0~10 cm 深さ
- 汚染土 2 10~20 cm 深さ
- 清浄土 20~50 cm 深さ

土壌の掘削には 0.1 m<sup>3</sup> バックホウを用いた。掘削土は 3.5 m×5 m のシートに土層区分ごとにおいた。なお試験施工時の天候は晴れで土壌もよく乾燥していたので、バックホウのバケットに土壌が付着することはない。よって掘削ごとに洗浄や交換は行わなかった。施工面積が限られていたため、適宜人力で掘削や

- |   |
|---|
| ① 掘削完了、不陸整形は行わない  |
| ② 第 1 木炭層形成（カラマツ炭を厚さ約 5 cm、12.5 kg/m <sup>2</sup> 敷設、踏圧で粉碎） |
| ③ 汚染土 2 の埋戻し  |
| ④ 汚染土 1 の埋戻し  |
| ⑤ 第 2 木炭層形成（手順②に同じ）   |
| ⑥ 清浄土の埋戻し   |
| ⑦ 表面整形  |

図-4 試験施工の手順

埋戻しを行った。試験施工は図-4 に示す手順で実施した。

また試験施工では、図-1 の標準断面にはない木炭層を汚染土 2 と 1 の埋戻しの間に施工した。

### 3. 本工法の安全性の理論的根拠

福島第 1 原発の事故により、大気中に放出され、地上に降下したと考えられる放射性物質のうち、Cs に関して本工法の安全性をまとめる。Cs は粘土鉱物に特異に結びつき<sup>5),6)</sup>、土壌中での移動が緩慢である。Cs の土壌吸着性を表す指標として遅延係数  $R$  があるが、馬原<sup>7)</sup>はローム質土壌においては  $R$  が 4,000 程度としている。これは、降水浸透速度  $I$  を 250 cm/year としたとき、Cs の 1 年の移動距離は  $I$  の 1/4,000 の 0.063 cm/year となる。本工法においては、汚染土 1 は Cs には汚染されていない厚さ 10 cm の汚染土 2 を介して清浄な地山と接している。したがって厚さ 10 cm の汚染土 2 を通過して清浄な地山部まで移動するのに要する時間は、 $R=4,000$  とおくと約 158 年になる。したがってこの間に、半減期が 30.17 年の<sup>137</sup>Cs でも残存量は元の 3%にまで放射壊変して減少する。

以上のように Cs は土壌中の粘土に強く吸着するが、運動場の多くは、特にその地表面は土質が砂質であることが多い。砂質土には前述の Cs を強く吸着する働きを有する粘土分の含有量が少ないので、ローム質土と比較して遅延係数は小さいと考えられる。したがって Cs 汚染土が砂質土の場合、Cs に汚染されていない清浄な地山への Cs の移動は必要に応じて抑制の手立てが必要になることがある。この働きは、本工法に層状に組み込まれている木炭層に期待される。木炭の Cs 吸着特性に関しては「放射性物質の除去・回収技術のためのデータベース」<sup>8)</sup>に整理されており、活性炭とアカマツ炭の Cs 吸着率としてそれぞれ 27%、28%が示されている。活性炭は負の表面電荷を有しており<sup>9)</sup>、木炭も同様のメカニズムで陽イオン態の物質を吸着すると考えられる。また本工法で採用したカラマツ炭は、2  $\mu\text{m}$  程度の薄い壁で隔てられた多孔体であり、その平均的な細孔直径は 10  $\mu\text{m}$  程度<sup>10)</sup>、断面の有孔率は 71%以上とされる<sup>11)</sup>。このようにカラマツ炭の断面は Cs を強く吸着した粘土粒子を細孔に取り

込める構造を有している。各種の Cs 吸着材として利用されているゼオライトやパーミキュライトなどの鉱物は 100%に近い Cs 吸着率を示しており、木炭の Cs 吸着率と比較すればゼオライトなどが有利である。しかしながら本工法では鉛直下向きの降水浸透は、すべてが厚さ 5 cm の層状に配置されているバラ炭の木炭層を経て深層浸透することにより、木炭による Cs の移動抑制が期待できる。小林<sup>12)</sup>は、木炭によるセシウム吸着について総説しているが、この中でセシウムを吸着した木炭の取出しについて言及している。本報で著者らは、木炭にセシウムを吸着した土粒子を含む捕捉効果を期待し、<sup>137</sup>Cs、<sup>134</sup>Cs がともにβ崩壊の後に安定な Ba (バリウム) に放射壊変することを待つことを基本的な姿勢とした。<sup>137</sup>Cs、<sup>134</sup>Cs 両核種の半減期をそれぞれ 30.17 年、2.06 年、土壌表面における Cs 両核種の存在割合を 1:1 とすれば、70 年後の Cs の存在量は現状のほぼ 10%、100 年でほぼ 5% になる。無定形炭素に灰分が混じった木炭は一般に安定的で、有史以前の木炭が遺跡から出土<sup>13)</sup>している。木炭は熱(燃焼)以外の物理的要因に対しては分解することなく、きわめて安定的に推移する。したがって現在の Cs の存在量が 5% になる今後 100 年のうちに、木炭の分解に起因する捕捉された Cs の漏出などはないと考えられる。地中の Cs の挙動に関しては、砂質土壌においても上方移動は認められない<sup>14)</sup>。したがって地下水位が改良深さ(本工法の標準断面では 50 cm)より 50 cm 以上深い場合、汚染状況が 5,000 Bq/kg 以下で、汚染土 1 と清浄土が直接接しても差し支えない場合には、前出の農地作業手引きの反転耕の適用に際して留意すべき点を考え、第 2 木炭層は省略できる可能性がある。

### III. 本工法の試験施工の結果

#### 1. 空間放射線量率の改善

II.2. の試験施工の手順①～⑦の放射線量率を測定した結果を表-1 に示した。運動場の中央部で 2011 年 12 月 19 日に実施した現地調査においては、運動場中央付近での地表面上 1 m、0.01 m の放射線量率が 0.31、0.52 μSv/h であった。今回の施工地は運動場の東部分の山側にあり、掘削前の計測で地表面上 1 m、0.01 m の放射線量率は 0.23 および 0.28 μSv/h であった。これが、試験施工後には、0.21、0.15 μSv/h となった。なお、改良後の地表面上 1 m の空間放射線率が掘削前の 0.23 から 0.21 μSv/h への微減にとどまった理由は、試験施工による改良面積が 4 m<sup>2</sup> と狭いため、改良されていない試験施工地周りから発せられる放射線を放射線量計がカウントしたからであ

る。

地表面上 0.01 m の放射線量率が、施工前の 0.28 μSv/h から 0.15 μSv/h へと低減されたことは、汚染土が 30 cm の清浄土で覆土されることにより地表から隔絶された結果、地表面近くの放射線量率が低減され、また人々の活動に際して放射性物質を含む土砂が人体に付着することを防止する改良であると評価できる。また表-1 の「汚染土 1 埋戻し、第 3 木炭層設置」の放射線量率がいずれも 0.21 μSv/h であったので、施工厚さ 5 cm の木炭の放射線遮蔽効果は低いことも明らかとなった。

#### 2. 天地返しによる放射性物質を土層内にとどめおく効果

本工法に対する最大の関心は、天地返しによっても放射性物質が移動せず汚染土内にとどまっているかということである。これを確認するために、試験施工地の土壌と埋設した木炭の掘出しと放射能測定を実施した。土壌と木炭の掘出しは 2012 年 4 月 23 日(試験施工後 72 日)と同年 12 月 16 日(同 310 日)に 2 回行った。掘り出した木炭は、目視できる土壌を現地の水道で振り洗いした。試料の放射能測定は、NaI シンチレーションスペクトロメータ(CAN-OSP-NaI, (株)日立アロカメディカル)によって行った。

土壌ならびに木炭の試験施工前と 2 回の掘り出した試料の放射能測定結果を示す表-2 によれば、次の 3 点が確認される。

- ① 汚染土 1 と接している Cs を含まない汚染土 2 と清浄土に Cs は移動していない、

表-1 試験施工地で測定された放射線量率

月日	工程 (地表の深さ*1: m)	放射線量率 (μSv/h)			備考*3
		地表からの高さ(m)			
		0.01*2	0.5	1	
2011/12/19	事前測定	0.52	—	0.31	1
	掘削前	0.28	0.2	0.23	2
2012/2/10	汚染土 1 掘削 (0.1)	0.11	—	—	2
	汚染土 2 掘削 (0.2)	0.15	—	—	2
	清浄土掘削 (0.5)	0.14	—	—	2
	第 1 木炭層設置 (0.47)	0.17	—	—	2
	汚染土 2 埋戻し (0.35)	0.19	—	—	2
	第 2 木炭層設置 (0.3)	—	—	—	2
	汚染土 1 埋戻し (0.2)	0.21	—	—	2
	第 3 木炭層設置 (0.15)	0.21	—	—	2
2012/2/11	清浄土埋戻し (-0.2)	0.14	—	0.21*4	2
	地表面 (-0.2)	0.15	—	0.21	2
2012/4/12	地表面 (-0.2)	0.17	—	0.21	2

\*1 工程の地表の深さは、工事施工前の元の地表面からの深さをさす

\*2 地表から高さ 0.01 m は、工事中の地表面上の高さをさす

\*3 備考 1: 市民運動場の中央部付近, 2: 試験施工地

測定器: 放射線量計 (Eco Test, MKS-05) (\*4)は HORIBA, PA100-Radi による)

- ② 清浄な地山に Cs は移動していない、
- ③ 第 2 回に掘り出された木炭には Cs が検出されず、汚染土壌から木炭に Cs が移動していない。

天地返しによる土壌と土層をかく乱する作業によっても、約 1 年間の短期間のうちには、特段に Cs の移動が早くなったということは確認されず、土壌中の Cs の移動に関しては従来の研究結果と変わらなかった。第 1 回の掘出し時に木炭層 1 と 2 に 72.1, 36.3 Bq/kg の<sup>137</sup>Cs が検出された。木炭層 1 は、清浄な地山と Cs が検出されていない汚染土 2 には含まれた木炭であることから、試験施工地内部における Cs の移動に伴うものではないと推察される。その理由は次のような解釈による。

- ・第 1 回の掘出し時の天候は弱雨であり、木炭掘出し時に掘出し孔の断面は降水を直接受けて濁水が染み出ている状態であった。
- ・汚染土 1 の下位にある木炭層 2 と汚染土 2 は、これらの掘出し時に、汚染土 1 を含む濁水が掘出し孔断面を伝って下位の木炭層 2 と汚染土 2 に接した。
- ・この濁水に含まれていた Cs が、木炭層 2 を掘り出した際に取り込まれた。

掘り出した木炭は、水道で振り洗いして目視で視認できる土粒子を取り除いて供試体としている。また現地の土壌に 500~700 Bq/kg (風乾土) 程度含まれている放射性カリウム (<sup>40</sup>K) が供試体の木炭からは検出されていない。これは、供試体が一個当たり 200 g (風乾) 程度と軽量であり、検出限界が 800 Bq/kg 程度と大きくなってしまったためと考えられる。晴天のもとで行われた第 2 回の掘出しでは、汚染土 1 以外からは Cs が検出されていないことから、木炭が濁水と接してこれに含まれる微細な土粒子を木炭の孔隙に取り込まれたとする解釈は、妥当であると考えられる。

汚染土を挟む土層の清浄土と地山からは Cs が検出されず、このことは汚染土壌に Cs が強く吸着されており、雨水の浸透などによる Cs 単体での移動がなかったことを表している。そして天地返しは、ここで報告した試験施工地では Cs を汚染土内部にとどめおくことができたといえる。なお土壌試料の Cs 検出限

界 (<sup>134</sup>Cs と <sup>137</sup>Cs の合計) は 40 Bq/kg 未満であった。

#### IV. 本工法の適用に当たっての留意点

本工法は裸地面で管理されている運動場などの非農地の放射線量低減を目的とした工法である。なお、多くの運動場などの中には、切土や盛土の後に目的に応じた土質の資材を地表面に覆土して造成された運動場などがある。この場合、本工法で位置付ける下層土 (清浄土) が新たな表土として適さない土質である場合は、下層土の掘削深を 20 cm にとどめて、改良後の表面として適切な土質の資材を搬入して対応するなどの工夫が必要である。また、地下水位の把握も必要である。農地作業手引きには、地下水位が改良深さ (本工法の標準断面では 50 cm) より 50 cm 以上深く、表土の汚染状況が 5,000 Bq/kg 以下であれば、反転耕が適用できるとしている。福島県内の阿武隈山系と吾妻連峰に挟まれた中通り地方 (図-3 の郡山市、福島市を含む福島県を縦に 3 分した真ん中の地方) の吾妻連峰側の地区は、山岳地で積雪が多く、冬季は積雪下で湛水することがある。このような場所では、改良土層内で地下水位が上下する可能性があるため、本工法の適用には土層内の Cs の移動の観点から十分な調査などを行う必要がある。

#### V. おわりに

本報において放射性物質に汚染された裸地面の運動場における天地返しの効果として、次の 2 点が強調されている。

- ① 地表面からの放射性物質の除染、
- ② Cs は天地返しした汚染土内にとどめおかれる。

市民運動場のような裸地土壌面の放射線量低減を目的とした天地返し工法の効果について試験施工を通じて検討を行った。Cs は土壌の微細粒子との結びつきが強いことから、移動して地下水を汚染する危険性は薄いとされる。一方で、すでに市民生活に開放されている運動場も少なくはなく、人々が汚染された土壌と接触する機会が頻繁にある。著者は、極力人々の被曝量の低減と汚染土壌との接触の機会を減らすことが肝

表-2 試験施工地の土壌と木炭の放射能測定結果

採取日*1	汚染土 1			汚染土 2			清浄土			下層土			木炭層 1			木炭層 2			木炭層 3			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
<sup>134</sup> Cs (Bq/kg)	—	151	151	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<sup>137</sup> Cs (Bq/kg)	—	262	262	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	72.1	ND	ND	36.3	ND	ND	ND	ND	ND
<sup>40</sup> K*2 (Bq/kg)	—	776	776	541	670	639	735	565	644	663	660	700	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

\*1 採取日 1: 2012 年 1 月 12 日事前調査, 2: 同年 4 月 23 日, 3: 同年 12 月 16 日

\*2 <sup>40</sup>K (放射性カリウム) は天然の放射性元素で福島第一原子力発電所の爆発事故に由来する放射性物質ではない  
ND: Not Detected (不検出)

要と考え、清浄な土壌により汚染土を覆う天地返しをとりあげた。本工法は汚染土をその場に貯蔵し、これが発する放射線を清浄な下層土で遮蔽して低減させる。そして、汚染土壌を地表から下層に移して、清浄な土壌で隔てることにより、人々が汚染土壌に接することを防止することができる。さらに、土壌中での移動速度が遅いことが知られている Cs は、1年足らずの短期間ではあるが、厚さ 10 cm の汚染土 1 にとどめおかれていることを確認した。また汚染土を含んでいる濁水に接したと思われる木炭層 2 から Cs が検出されたことは、この木炭が水洗されたものであることから、Cs を吸着した微細な土粒子をその微細孔隙に取り込んだことを表していると推察された。そして、木炭の微細孔隙構造が Cs を含有した土壌の捕捉に役立つ可能性を示していると考えられる。なお本工法における木炭が果たす役割に関しては、試験施工後 2 年をめぐりに掘出しと放射能濃度の測定、ならびに Cs を含む濁水中に浸漬した木炭の孔隙内に、微細な土粒子が存在しているかなどを明らかにする実験を通じて、より詳細に評価したい。

福島県内のみならず、東日本各地に今なお、地表面の放射線量率が高い運動場や公園は少なくない。本工法が市民生活に密接した空間の環境を改善することに役立てられることがあれば幸いである。

**謝辞** 本報において紹介した試験施工は、福島県いわき市教育委員会保健体育課の協力によって実施され、同課國井政範氏、若松直哉氏には、試験施工地の選定、事前の土壌放射能調査、地元調整などに便宜を図っていただいた。試験施工の実施に当たっては、泰正建設(有)の全面的な協力を得た。いわき明星大学復興事業センター信田重成氏には、土壌の放射能測定に協力していただいた。東京都新宿区環境対策課には、長野県伊那市長谷のカラマツ原木を木炭原料として提供していただき、「伊那炭の会」にはカラマツ炭の製炭で協力していただいた。信州大学名誉教授木村和弘先生には草稿に目を通していただいた。本報の読者からは有意義な助言をいただいた。ここに記して、各位に厚くお礼を述べる。なお本研究の一部は、科学技術振興機構「A-STEP 探索タイプ」復興促進プログラム(研究代表者：鈴木 純)によって実施された。

#### 引用文献

- 1) 農林水産省：農地土壌の放射性物質除去技術(除染技術)作業の手引き 第1版(2012)
- 2) 流山市：公園で土の天地返しを実施、広報 ながれやま

1255 (2011)

- 3) 環境省：第2編 除染等の措置に係るガイドライン、除染関係ガイドライン平成25年5月第2版(2013)
- 4) 宮崎 毅：土壌物理からの除塩・除染の展望, ARDEC 45, pp.8~12 (2011)
- 5) Ritchie, J. C. and McHenry, J. R. : Application of Radioactive Fallout Cesium-137 for Measuring Soil Erosion and Sediment Accumulation Rates and Patterns, A Review, Jour. Environ. Qual. 19(2), pp. 215~233 (1990)
- 6) Galambos, M., Paucova, V., et al. : Cesium sorption on bentonites and montmorillonite K10, J. Radioanal Nucl. Chem. 284, pp.55~64 (2010)
- 7) 馬原保典：フォールアウトを利用したストロンチウム-90 とセシウム-137 の地中移動速度の検討, 電力中央研究所報告, 研究報告 385027 (1986)
- 8) 物質・材料研究機構：放射性物質の除去・回収技術のためのデータベース, <http://reads.nims.go.jp/PDF/Cs/other/IWATE-Cs-Corncob-charcoal.pdf>
- 9) 玉井久司, 佐々木雅彦, 安田 源：活性炭の表面電荷と吸着特性, 炭素 184, pp.219~224 (1998)
- 10) 松澤義明：木炭を用いた水土保全機能の考察, 平成15年度治山事業調査等業務委託第2号(設計監督費)長野市字浅川(ほか), 長野県林業コンサルタント協会(2003)
- 11) 谷田貝光克：表-5, 林業技術ハンドブック, 全国林業改良普及協会, p.1650 (1998)
- 12) 小林 真：木炭・竹炭を用いた土壌中からの放射性セシウムの除去の可能性, 大気環境学会誌 46(4), pp. 217~223 (2011)
- 13) 浜口 隆, 杉浦銀治, 岸本定吉：埋蔵木炭に関する研究(I), 芝谷遺跡出土木炭の性状, 日林誌 60(2), pp.49~55 (1978)
- 14) Sanford, W.E., Larsen, I.L., McConnell Jr., J.W. and Rogers, R.D. : Upward migration of radio-caesium and strontium in a sand-filled lysimeter, Journal of Environmental Radioactivity 41 (2), pp. 147~162 (1998)

[2012.5.2.受稿]

#### 鈴木 純 (正会員)



**略 歴**  
 1987年 信州大学農学部卒業  
 1989年 千葉大学大学院園芸学研究所研究科修了  
 長野県技術吏員(農業土木職)  
 1994年 信州大学農学部助手  
 1999年 信州大学助教授(准教授)  
 現在に至る

#### 松澤 義明



1988年 信州大学農学部卒業  
 測量会社勤務  
 1990年 (社)長野県林業コンサルタント協会(現(一社)長野県林業コンサルタント協会)  
 2000年 同調査研究課長, 長野工業高等専門学校非常勤講師  
 現在に至る