

福島第一原発事故後の丘陵地林縁部法面における放射性物質移動防止試験

小林達明^{*1)}・木村絵里¹⁾・飯塚和弘¹⁾・山本理恵¹⁾・鈴木弘行²⁾
星澤保弘³⁾・小竹守敏彦³⁾・関崎益夫³⁾・谷口伸二³⁾

1) 千葉大学大学院園芸学研究科 Graduate School of Horticulture, Chiba University

2) 千葉大学大学院薬学研究科 Graduate School of Pharmacy, Chiba University

3) 日本植生株式会社 Nihon-Shokusei Co. Ltd.

摘要: 福島県川俣町山木屋地区の丘陵地落葉広葉樹林林縁部法面において、放射性物質の移動防止試験を2012年6月～11月に行った。植生とリターを取り除き、浸食防止工法等を組み合わせた6つの除染処理区を設定した。処理区では、当初、放射性物質が次第に減少したが、植生の発達によって減少が止まった。4か月半の間に、処理区面積あたり1.5～8.6kBq/m²の放射性セシウムの下方移動が観察された。放射性物質はリターと土砂の形で大部分が下方移動し、その阻止には柵と不織布シートの組み合わせが効果的だった。

キーワード: 原子力災害, 除染, 林縁, 法面, 放射性セシウム, 里山

KOBAYASHI, Tatsuaki, KIMURA, Eri, IIZUKA, Kazuhiro, YAMAMOTO, Rie, SUZUKI, Hiroyuki, HOSHIZAWA, Yasuhiro, KOTAKEMORI, Toshihiko, SEKIZAKI, Masuo and TANIGUCHI, Shinji: **Control test of radioactive transport on the cut slope at the edge of hill forest after the Fukushima Daiichi nuclear disaster**

Abstract: Control test of radioactive transport was done from June to November in 2012 on the cut slope at the edge of deciduous broadleaf hill forest in Yamakiya District of Kawamata Town, Fukushima Prefecture. After removing vegetation and litter, 6 decontamination and erosion control treatment plots were set. Though radioactive substance as decreased in the treatment plots at first, it became stopped later due to the development of vegetation. The downward movement of 1.5～8.6kBq/m² of radiocesium was observed in the test plots during 4 and half months. Almost radioactive substance moved downwards as the form of sediment and litter. It was effectively controlled by the combination of fence and permeable mat.

Key words: atomic disaster, decontamination, forest edge, cut slope, radiocesium, satoyama

1. はじめに

2011年3月の福島第一原子力発電所事故によって拡散した放射性物質によって、東日本地域は広く汚染された。この事態に対して、国は2011年8月に特別措置法を成立させ、環境の汚染が人の健康または生活環境に及ぼす影響を低減させるべく除染等の対策が進められてきた。その際、森林の取扱いについては、住宅地や農地の境界から20mの範囲を目安に、草木の刈り払いとリター除去を行なう方針となっている²⁾。しかしながら、住宅地・農地の除染後も、周囲の山林からの汚染物質の移動によって再汚染が進んでいるとする声も聞かれ、実証的な研究をもとに効果的な対策が行われることが望まれている²⁾。

林縁に注目した放射性物質の移動に関する研究はこれまでがないが、森林の放射性物質の移動に関する研究は若干行われ

ている。1986年のチェルノブイリ原子力発電所事故後の調査では、森林の放射性物質の自然減少はきわめてゆっくりとしか進んでおらず、森林生態系からのセシウム137 (Cs-137)の正味の年流出率は1%未満である¹⁾。放射性セシウム (rCs)は、粘土鉱物と強く結合する性質があることから、外部流出は一般に制限される。土壌中のrCsの存在形態には、イオン態と交換態のほか、土壌中の永久的な負荷電に吸着された、または粘土鉱物中に存在する特異部位に固定された固定態があるためである⁸⁾。

福島第一原子力発電所事故後汚染された各地の森林の調査では、常緑針葉樹林に沈着した放射性物質は林冠と林床におよそ1:1の比率で分布しているが、事故当時落葉期だった落葉広葉樹林では、その80%以上は林床にあると報告されている⁷⁾。また、林床の放射性物質の多くはリター層にあるとする報告が多い^{6,7)}。上述したように、鉱質土壌に浸透した

* 連絡先著者 (Corresponding author) : E-mail: ktatsu@faculty.chiba-u.jp

〒271-8510 千葉県松戸市松戸 648 Faculty of Horticulture, Chiba University, 648 Matsudo, Matsudo, Chiba 271-8510, Japan

rCs の多くは粘土鉱物に固定されると考えられるが、リター層ではイオン態や交換態のものも多いであろう。森林から外部へ、rCs がどのような形態でどんな量流出するか知る必要がある。

林縁でリター除去による除染が行われるとすると、それによる浸食の効果も知る必要がある。著者らの試験と同じ川俣町山木屋地区で調査地を設定して浸食試験を行っている恩田ら⁶⁾の結果によれば、夏期1か月半のスギ若齢林の土壤浸食によるCs-137の流出率は0.058%と低かったのに対して、緩傾斜タバコ畑では流出土砂量が15倍と多く、それに応じて、Cs-137の流出率も0.263%と高かった。

林野庁が2012年度末にスギ人工林で行った試験によると、リター除去によって、rCsの流出が増えた調査地と変わらない調査地があった⁷⁾。どちらも浸食土砂量は増えていたが、後者では除染作業によって土壤表層のrCs濃度が減少したために、流出rCs量は変らなかった。除染作業を行っても土壤表層に残るrCs量の違いがその後のrCs流出量に影響を及ぼすと言えそうである。

本研究では、放射性物質が沈着した丘陵地落葉広葉樹林の林縁をリター除去除染した場合、放射性物質がどのような形態と量で流出するか調べた。また各種の浸食防止工、rCs吸着法を試験し、その効果について検討した。

2. 方法

本研究は計画的避難区域内の福島県伊達郡川俣町山木屋地区にて行った。山木屋地区は全体が阿武隈高地に位置する。試験区はK氏所有地内のたばこ畑を囲う谷戸地形の南東側斜面下端林縁部(標高560m)に設置した。斜面林はコナラ(*Quercus serrata* Murray)が優占し、部分的にアカマツ(*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.)が混交する。いわゆる里山であり、しいたけの原木栽培や畑作用堆肥のための落ち葉かきなどの森林利用が原発事故発生まで継続的に行われていた。

試験区を設置した林縁部は丘陵地の下部谷壁斜面に相当するが、畑地造成等のために下端5m強の幅で森林表土層が削られ、その後崩積斜面が形成された場所である。畑地に接しているため作物の障害となる高木は定期的に刈り払われ、低木とササおよびススキ等の高茎草本が優占していた。

2012年6月末に林縁部法面に長さ5.2m×幅14.5mの試験区を設定し、その範囲の植物を刈り取り、リター層除去した。また、法面の下に位置する畑について法面下端に沿って地面表面を幅3m厚さ5cmで表土剥ぎ取りを行った。このとき条件を合わせるため、表面汚染測定用サーベイメーターによる測定値が3Bq/cm²を標準値とし、それ以上の場合は、標準値以下になるようさらに表土を剥ぎ取った。

リター除去した法面の上端と下端に高さ40cmの人工編柵を設置し、斜面上から法面へ、法面から農地への落葉落枝の移動阻止をそれぞれ図った。下端柵の斜面側から斜面にかけ

て幅80cm厚さ8mmのポリエステル製不織布の透水マットを敷き、法面から下方への土砂移動の阻止を図った。透水マット下端下に遮水シートを敷き、透水マットを浸透した地表流水を柵の下方に設置した雨樋に導き、末端に設置した2LのPETボトルに集水採集した。

試験地は各幅2mの7列に分け、以下のように除染・浸食防止・セシウム吸着処理区を設定した。セシウム吸着材として、ゼオライトを長さ2m直径5cmの不織布の袋に充填して透水性パイプに入れたゼオライト管を適用した。

A: 対照区 リター除去のみ実施。傾斜30°。

B: ゼオライト管区 ゼオライト管を下端柵斜面側の透水マット上に設置。傾斜30°。

C: 植生土嚢-ゼオライト管区 植生土嚢を4個×3列設置。この植生土嚢1袋には培養土とバーミキュライトを容積1:1で計5kgとした基材に肥料と種子が含まれている。傾斜31°。

D: 種子帯-ゼオライト管区 土壤改良資材(バーミキュライトとベントナイト)と種子と肥料が入ったテープ(種子帯)を8列張り付けた。傾斜35°。



写真1 試験区の全景。左からA~F区。中央の長さの短い斜面は下端の地盤が崩れていたため、試験区より除外。

Photo 1 Overall view of test site.



写真2 試験区下端の柵周辺の設備状況。柵の内側に透水性マットが敷かれ、セシウム吸着材が置かれた。柵の下方に雨樋を利用した集水設備を設けた。雨樋に直接雨が降り込まないように、常時、樋上方は遮水シートで覆った。

Photo 2 View of the equipment around the fence on the end of test slope.

E: 金網付きヤシマット-ゼオライト管区 ヤシ繊維を使用した不織布と金網で法面を一部被覆した。マットに種子と土壤改良資材(ベントナイト)と肥料が含まれる。傾斜 35°。
 F: 浸食防止シート-ゼオライト管区 ポリエチレン性浸食防止シートで法面を一部被覆した。このシートは土壤凝集剤を接着しており泥水の発生を抑制する。傾斜 36°。

試験は、2012年6月30日から11月18日まで行った。試験期間の降水量は、最も近接したアメダス飯館観測所のデータで、7月147mm, 8月37mm, 9月198mm, 10月120mm, 11月42mmである。植生発達状況は毎月写真撮影し、達観調査で植被率を把握した。なお、C~E区には緑化工が施されたが、結果的に植物は残存した根茎より旺盛に再生し、種子導入の効果は少なかったため、その内容の詳細説明は割愛する。

試験開始時と終了時の土壤の汚染状況を定量的に比較するため、土壤表層5cmの放射能を測定した。なお、放射能の土壤深度分布については、予備調査にて把握し、その大部分が表層5cm以内にあることを確認している。法面上、法面、除染農地で各5個ずつ100cc採土円筒を用いて土壤を採取し、実験室に持ち帰り、乾燥重量を測定した後に、U8管に充填してゲルマニウム半導体検出器(ORTEC社, GEM20-70)にて、Cs-134とCs-137の放射能を測定した。

放射線当量線量率(γ 線、以下では単に空間線量と呼ぶ)と表面汚染密度(β 線)は、月に一回、それぞれシンチレーションサーベイメータ(日立アロカメディカル株式会社, TRCS-171B)と表面汚染測定用サーベイメータ(富士電機株式会社, NHJ-2)を用いて測定した。空間線量は地上1m高で5点、表面汚染密度は地表面に接しない程度に近づけて5点、それぞれ測定した。処理区と隣接した除染を行っていない無施工区でも測定した。柵と透水マットや樋に堆積した土砂とリターも月に一回回収し、実験室に持ち帰ってそれぞれ乾燥重量を測定してU8管に充填し、ゲルマニウム半導体検出器を用いて、Cs-134とCs-137の放射能を測定した。

PETボトルに集められた表面流水は、降雨の度ごとに回収して農家の納屋で保管し、月に一回実験室に持ち帰って、0.45 μm のメンブレンフィルターで濾過し、浮遊物質(SS)と溶解態セシウムを含む試水に分けた⁵⁾。納屋で保管中にプランクトンが発生しないように、PETボトルには予めサリチル酸を添加した。SSは、メンブレンフィルターごと乾燥重量を測定し、U8管におさめた。試水は、その容積を計測した後、蒸留水を加えて2Lに調整してマリネリ容器におさめた。ゲルマニウム半導体検出器を用いて、それぞれのCs-134とCs-137の放射能を測定した。

試験終了時には、法面下部を被覆していた透水マットを各処理区毎に回収し、乾燥させた後に、直径47mmのディスク試料を各処理区毎9点採取して、面積あたりのCs-134とCs-137の放射能を測定し、その平均値に透水マットの面積をかけて各処理区の透水マットのrCs吸収量を推定した。

同時にD区に3段設置された植生土嚢から、各段から約

100ccの試料を1点採取し、乾燥重量を測定して、重量あたりのCs-134とCs-137の放射能を測定した。土嚢一つあたり内容量は5kgで製作されているので、設置された土嚢の個数分の重量をかけて、D区全体の植生土嚢によるセシウム吸収量を推定した。吸着材についても、試験終了時に回収して、袋からは100ccの試料を採取し、乾燥重量を測定した後に、ゲルマニウム半導体検出器を用いて、Cs-134とCs-137の放射能を測定した。

以下の分析では、放射性物質の空間移行動態を把握するために、2012年12月31日を標準日として半減期補正を行い、核崩壊による減少を考慮せずすむようにした。原子炉の爆発事故が起きセシウムが放出された時点では、Cs-134とCs-137は1:1だったと仮定した。Cs-134とCs-137の半減期はそれぞれ2.0648年、30.1671年として放射能の減衰を評価した⁹⁾。これらの仮定に基づく、2012年12月31日時点でのCs-134:137比は、0.570:1となる。

表面汚染密度や空間線量の補正では、放射性物質はCs-134とCs-137だけと仮定し、カリウム40などの自然放射性物質の存在は無視した。また、Cs-134の実効線量率定数は0.211、Cs-137のそれは0.0779とし放射能の減衰を空間線量率に反映させた⁹⁾。

3. 結果と考察

3.1 試験期間中の表面汚染密度と空間線量の変化

試験開始時の除染によって、草木刈り払いとリター除去を行った法面では表面汚染密度が変らなかったが、表土除去した下方の農地では著しく低下した(図-1)。空間線量も法面では変らなかったが、農地ではやや低下した。法面では植生・リター除去を行ったが、放射性物質が土壤中にまだ多く存在していたと考えられる。

法面の表面汚染密度の変化においては、全体に9月末まで値が減少しその後変化が小さくなった(図-2)。このことは、法面表面の浸食が当初進行して、放射性物質の下方移動が起きたが、9月末以降は浸食がおさまったことを示唆する。現地状況を見ると、試験開始時に植被を刈り払った法面が、

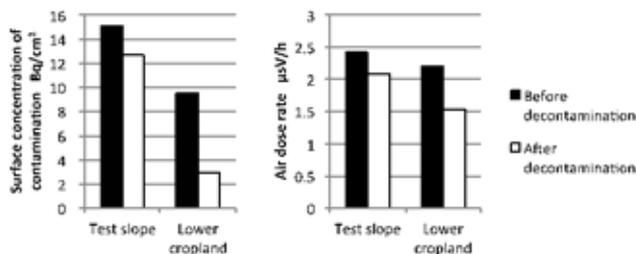


図-1 試験区の除染による表面汚染密度と空間線量の変化
 Fig.1 Changes of surface contamination and air dose rate caused by decontamination practice.

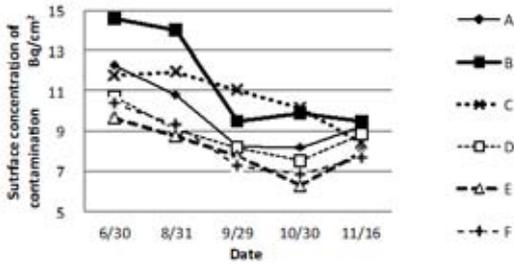


図-2 法面の表面汚染密度の変化
Fig.2 Changes of surface contamination of test slope.

主に地下の根茎より再生した植物によって再度おおわれるようになり、9月末時点では、植被率は全体に40%程度に回復した。そのため9月末以降は浸食が減少したと考えられる。

3.2 土砂・リター中の放射性物質の移動量の変化

4か月半の試験期間中、明瞭な土砂移動はD・E・F区のみで生じていたが、その多くは試験区設置時に、処理区間の仕切りのために波板をさしこむ作業中に攪乱した土砂が流れたものだった(図-3)。また、この3区の斜面傾斜は35°あり、盛土の安定勾配とされる33°³⁾より急なため、浸食が起きやすかったと言える。明瞭な土砂移動は7月と8月に限られた。

リター移動は7月にやや多かったが、8月は減少し、9月以降は落葉の増加に従って増加した。7月はリター層除去で残っていたものが移動したと考えられる(図-4)。

土砂の放射能は一定だったのに対し、移動リターの放射能は、7月が最も高く、9月までに急激に低下して、その後はゆっくり低下した(図-5,6)。7月、8月は放射能が高いリター層が残っていたのに対し、秋には放射能の低い新鮮な落ち葉が増えていき、全体の濃度は減少したと考えられる。

3.3 地表流中の放射性物質濃度の変化

透水シートを通過して流出した地表流中の放射性rCs濃度は試験初期の7月に高く、いずれの処理区でも飲料水のrCs放射能基準値である10Bq/Lを越えていた。9月、10月は全体に濃度が低く、ほとんどが5Bq/L以下だった。7月は除染直後で、浸食量が多かったため、地表流中のrCs濃度が高かったと考えられる(図-7)。

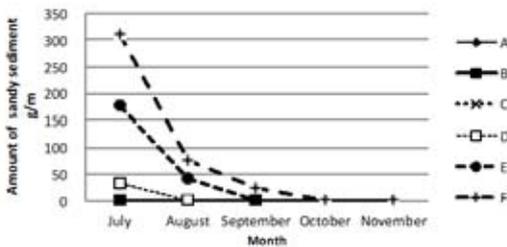


図-3 法面末端における法面幅あたりの土砂堆積量の変化
Fig.3 Changes of sandy sediment accumulated on the end of slope.

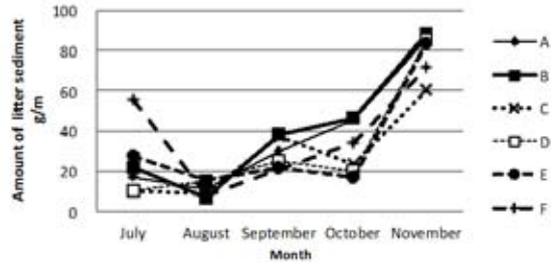


図-4 法面末端における法面幅あたりのリター堆積量の変化
Fig.4 Changes of litter sediment accumulated on the end of slope.

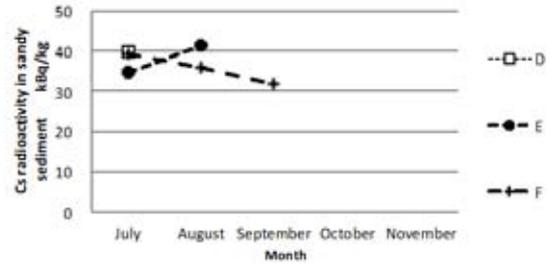


図-5 堆積土砂のrCs濃度の変化
Fig.5 Changes of the concentration of radiocesium in sandy sediment.

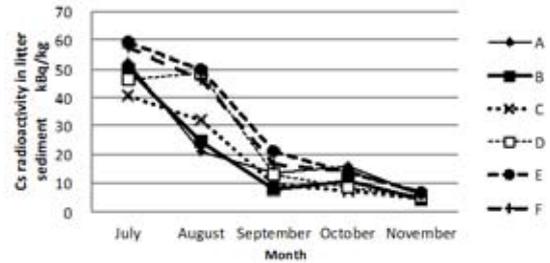


図-6 堆積リターのrCs濃度の変化
Fig.6 Changes of the concentration of radiocesium in litter sediment.

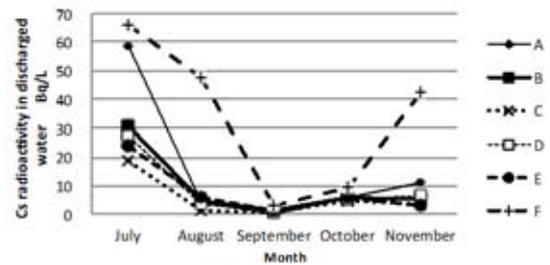


図-7 透水マットを透過した水の全rCs濃度の変化
Fig.7 Changes of the concentration of radiocesium in discharged water.

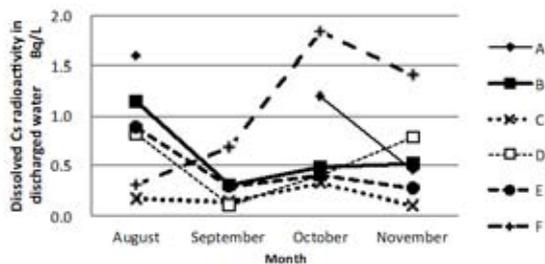


図-8 透水マットを通過した水の溶存態 rCs 濃度の変化
 Fig. 8 Changes of the concentration of dissolved radiocesium in discharged water.

溶存態 rCs は 8 月から測定を始めた。その濃度を見ると、いずれも 3Bq/L 以下で、多くは 1Bq/L 以下だった (図-8)。流出水全体の濃度と比べると、溶存態 rCs の割合は 20%前後であり、rCs の多くは浮遊物質に吸着した形で含まれていたと言える。土砂流出量が多かった F 区で全体の放射性 rCs 量が多く、溶存態 rCs 濃度も F 区で高かった。一方、C 区では、溶存態 rCs 濃度が常に低かった。

3.4 資材や土壌中の放射性物質

試験開始時にリター除去除染を行なった試験法面表層土中の rCs 存在量は、試験地上方の法面よりやや少ない傾向があったが、有意な違いではなかった。表土剥ぎ取り除染を行った試験法面下方の農地では著しく減少した (図-9)。

試験開始時と終了時を比較するといずれの場所でも統計上有意な差は検出できなかったが、法面上方と法面では若干低下する傾向があった。法面下方の除染農地では微増していたが、大きな変化はなかった。

試験終了時に、柵に付設した透水マット、同じくセシウム吸着材、C 区の植生土嚢の放射能を測定した (表-1)。

透水マットの放射性セシウム濃度は、平均 30.7kBq/m² と著しく高かった。その値はばらつきが大きく、特に土砂移動が多い E 区、F 区で高かった。一方、植生土嚢を備えた C 区では、もともと rCs 濃度が低かった。

吸着材に吸着された rCs 濃度は 170Bq/kg 以下であり、吸着材の量も少なかったため、放射性物質移動の阻止効果はわずかなものだった。管状の吸着材では、接地性などに問題があったと考えられる。

C 区の植生土嚢は 1kg あたり 682Bq の rCs を吸着しており、比較的高い濃度であった。基材全体の量が 60kg あるので、同区の植生土嚢全体では 40kBq の rCs を吸着していると考えられる。2013 年 5 月 5 日に残置された土嚢に対して追加調査を行ったが、調べた 6 個の試料の Cs 放射能の平均値は 785Bq/kg とさらに増加していた。

3.5 移動した rCs の総量とその移動を阻止した資材の内訳

以上の結果を総合して、試験期間中に移動した放射性セシウムの総量とその移動を阻止した資材について検討した。図-10 はそれを処理区全体で積算し、処理区面積でわって積み

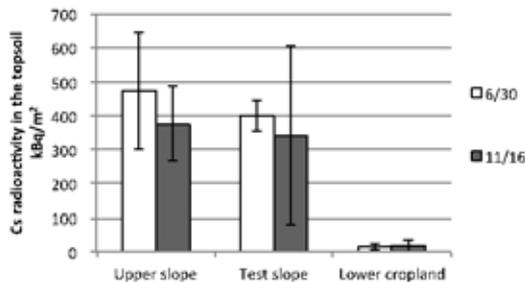


図-9 表層土中の rCs 濃度の試験前後の平均値と標準偏差. n=5.
 Fig. 9 Mean and SD of the concentration of radiocesium in the topsoil at the start and end of test

表-1 試験終了時の透水マットや吸着材等の Cs 放射能. 透水マットの値は斜面に接した底面のもの。

Table 1 Cs radioactivity of the permeable mat and adsorbent material at the end of test

処理区	透水マット kBq/m ²	吸着管 Bq/kg	植生土嚢 Bq/kg
A	14.8	-	-
B	17.9	169	-
C	10.3	85	682
D	17.5	125	-
E	44.6	116	-
F	67.4	108	-

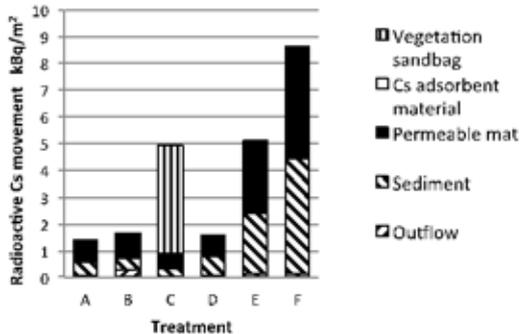


図-10 rCs の推定移動量と阻止箇所の内訳
 Fig. 10 Estimated movement of radiocesium and the items of checked part.

上げたものである。このうち流出水中の rCs 量については、降雨時一回に採水可能な量が 2L と限られているため、水量を全体把握できている訳ではないが、ここでは採水量をかけて積算した。そのため流出水による rCs 移動量は過小評価されている。しかし、これまでの知見から、地表流中の rCs 濃度は降雨初期が高く、後に低下することが報告されており⁴⁾、主要な量はカバーされているのではないかと考えられる。

その結果、土砂移動があった E 区、F 区における rCs の移動量が多くなった。C 区は全体としては比較的多く見えるが、移動した rCs の 2/3 は植生土嚢に吸着されており、それ以外

の資材に阻止されたセシウム移動量は最も小さかった。土嚢は rCs 吸着目的に設置されたものではないが、斜面等高線上に密着設置されていたので、流水の阻止能力が高く、rCs を吸着した土粒子を効率よく吸収したと考えられる。また、菌類の活動が活発な培養土と rCs 固定能力が高いパーミキュライトの混合が、rCs の効果的吸着を促したとも考えられる。こうしたことから当区流出水中の溶存態 rCs 量は少なかったと推察される。

図-9 より、試験開始時の法面土壌の rCs 存在量が 400kBq/m² だったとして、資材等に吸着された rCs がすべて処理区内から流出したと仮定すると、計算される流出率は F 区で最も高く 2.9%、次が C・E 区で約 1.9%、少ないのが A・B・D 区で 0.5% 強となった。最も小さい A・B・D 区の値でも、その値は恩田ら⁶⁾が報告したタバコ畑の値 0.263% よりも大きかった。処理区の上方を閉鎖していないため、斜面上方からの流入の影響が実際には大きいと考えられる。実際、2012 年 8 月に、試験地に隣接する林縁に地表流の集水施設を設置し、地表流の発生を観察するとともに、水試料中の rCs の存在を確認している。丘陵地林縁の放射性物質流出対策では、その位置からの流出ばかりでなく、上部の森林からの流入に十分配慮する必要がある。

rCs の移動をもっとも阻止した資材は、C 区を除くと、柵とそれに付設した透水マットだった。それらにより、林縁における rCs の移動の大部分が阻止された。

4. まとめ

林縁法面の土壌の放射能は比較的高いので、森林と同じように草木刈り・リター除去による除染を行っても、空間線量低減効果は限定的である場合がある。その結果によって除染方法を変える必要があるため、鉍質土壌に放射性物質が浸透しているかどうか予め調べる必要がある。

林縁法面の草木刈り・リター除去後、放射性物質は大部分がリターおよび土砂に吸着した形で移動するため、柵と透水マットでほとんどの rCs 含有物の移動が阻止され、浸食防止対策が有効であった。また、植生の発達も浸食を抑えた。

パーミキュライトをつめた植生土嚢の rCs の吸着効果は高かった。土壌に放射性物質の浸透がすすんだ斜面では、その設置により除染を進めるという方法もあり得るだろう。

柵と透水マットを透過する rCs 濃度は、通常飲料水基準である 10Bq/L 以下だったが、施工初期 1 か月は基準値をこえていた。したがって、柵・透水性マットによる対策を行っても、林縁法面からの排水には配慮が必要である。農地周りには排水路系統を整備し、系統的に汚染物質処理をはかるのが望ま

しいと言える。

謝辞：調査の実施にあたっては、菅野朝夫氏の多大なるご助力をいただいた。橋本隆秀氏、菅野源勝氏には、宿舎の提供、川俣町役場との連絡、同農業団体との連絡などをお世話いただいた。近藤昭彦氏、松岡延浩氏には物心両面でご支援いただいた。ここに記して、感謝申し上げます。

引用文献

- 1) International Atomic Energy Agency (2006) Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation : Twenty Years of Experience / Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment', Vienna : IAEA, 165pp.
- 2) 環境回復検討会 (2012) 今後の森林除染の在り方に関する当面の整理について、http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=20719&hou_id=15731
- 3) 小橋澄治 (1982) 斜面緑化をめぐる基礎的諸問題、小橋澄治・吉田博宣・森本幸裕共著、斜面緑化、鹿島出版会、pp.1-25.
- 4) Nakamura K., Yasutaka T. and Hatakeyama M. (2012) Concentration of radiocesium in stream water from a mountainous catchment area during rainfall events, Proceedings of International Symposium on Environmental monitoring and dose estimation of residents after accident of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station.
- 5) 日本分析化学会北海道支部編 (2005) 水の分析 第 5 版、化学同人。
- 6) 恩田裕一・田村憲司・辻村真貴・若原妙子・福島武彦・谷田貝亜紀代・北和之・山敷庸亮・吉田尚弘・高橋嘉夫 (2012) 放射性物質の包括的移行状況調査、文部科学省原子力災害対策支援本部編、放射線量等分布マップ関連研究に関する報告書、2-118-214.
- 7) 林野庁 (2012) 森林における放射性物質の除去及び拡散抑制等に関する技術的な指針 参考資料、<http://www.rinya.maff.go.jp/j/press/kenho/pdf/120427-03.pdf>
- 8) 山口紀子・高田裕介・林健太郎・石川 覚・倉俣正人・江口定夫・吉川省子・坂口 敦・朝田 景・和穎朗太・牧野知之・赤羽幾子・平館俊太郎 (2012) 土壌-植物系における放射性セシウムの挙動とその変動要因、農環研報 31 : 75-129.
- 9) 社団法人日本アイソトープ協会 (2011) アイソトープ手帳 11 版机上版、丸善出版株式会社。

(2013. 7. 1 受理)