

採水箇所の上流域の土壌のセシウム137の放射能濃度(平均値)が大きいと、河川水中のセシウム137の放射能濃度の測定結果も大きい

図 31. 河川中の放射性セシウムの放射能濃度 (Bq/m<sup>3</sup>) と河川採水箇所の上流域の土壌への放射性セシウムの沈着量 (Bq/m<sup>2</sup>) (平均値) との関係 (セシウム 137 の例)

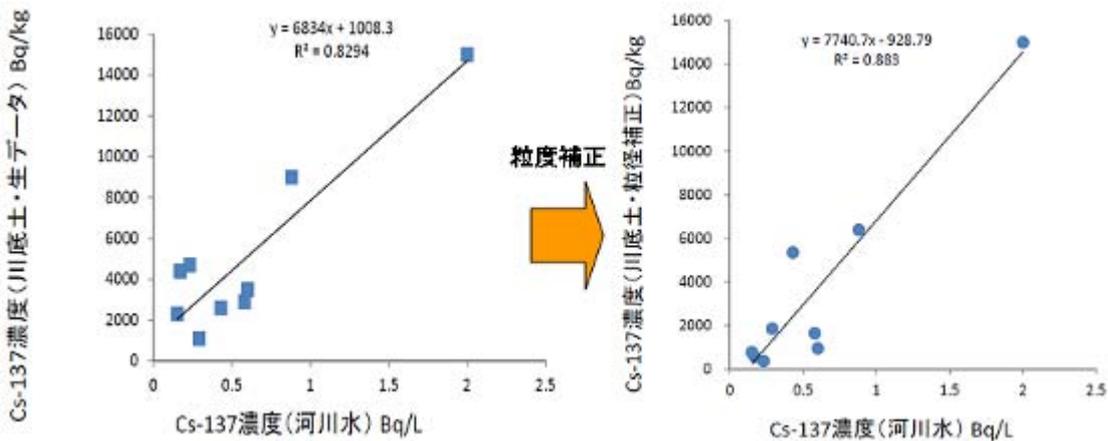


図 32. 河川中の放射性セシウムの放射能濃度 (Bq/L) と河底土中の放射性セシウムの沈着量 (Bq/kg) との関係 (セシウム 137 の例)

#### (4) モデル地域における放射性物質の包括的な移行状況の確認

##### 1) 調査概要

- これまでのチェルノブリ原発事故等の経験から、地表面に降り積もった放射性物質は、その後、土壌や河川等の自然環境を通じて移行することが確認されている。
- そこで、今後の放射性物質の蓄積量の変化を予測するため、モデル地域を設けて、森林、土壌、地下水、河川水における放射性物質の移行状況、及び樹木や土壌からの巻き上げ状況等による放射性物質の移行状況について包括的な調査を実施(図 33 参照)。

##### 2) 調査期間

6月6日より計測機器の設置を行い、8月31日まで現地調査を実施。

##### 3) 調査場所(図 34 参照)

- 調査結果が今後の住民帰還のための基礎データとして重要となることも考慮し、比較的、放射性物質の沈着量が高く、計画的避難区域内である、阿武隈川水系口太川上流地域である伊達郡川俣町山木屋地区を調査対象地域とした。
- 河川調査箇所として、山木屋地区からの水・土砂の流出口となっている口太川に加え、口太川下流の阿武隈川本川を選定。
- 湖沼及び貯水池調査箇所として、阿武隈川本川の貯水池に加え、比較的、放射性物質の沈着量が多いことが確認されていた二本松市内の貯水池も調査箇所も含めることとした。

##### 4) 調査結果及び考察

- 本調査では、福島県伊達郡川俣町山木屋地区を主な調査対象地域として、福島第一原発の事故後の短期間の間に、土壌、地下水、河川水等のそれぞれの自然環境における放射性物質の移行状況、及び樹木や土壌からの巻き上げ状況等についてモニタリングを実施した結果、包括的な移行状況の確認までは至らなかったが、それぞれの自然環境における、初期の放射性物質の移行状況について、一定の理解を得ることができた。(図 35 参照)
- 調査結果のうち、土壌水、渓流水、地下水への放射線セシウムの移行については、現時点では少ないことが確認された。
- いずれの貯水池についても、底泥における放射性セシウムの深度分布は、底泥表層で放射性セシウムの放射能濃度が最も高く、底泥表層から深さが深くなるにつれて、急激に放射能濃度が減少することが確認された。  
他方で、ダム湖(蓬萊ダム湖)については、最大の調査深さである底泥表層から 20 cm 程度の底泥下層でも高い放射能濃度の放射性セシウムが検出されており、河川から流入した放射性セシウムが付着した土壌粒子が、大量に沈降していること、もしくは底泥の混合が非常に激しいことを示唆された。
- 河川中を輸送される放射性セシウムの輸送状況について調査したところ、河底を流れる

土砂（掃流砂）による輸送状況について調査していないが、水中に溶存している放射性物質と浮遊砂に含まれる放射性セシウムの放射能濃度を比較したところ、いずれの観測地点でも 90%以上が浮遊砂の形で、放射性セシウムが流下していることが確認された。

- 浮遊土砂を構成する粒径の小さな土砂の起源は、土壌侵食による河川への細粒な土壌粒子の流下によると考えられるため、様々な土地利用区画からの土砂侵食に伴う放射性セシウムの流出状況を確認したところ、植生が多い調査箇所では放射性核種の流出量が少ないことが確認された。他方で、スギ若齢林では、下層植生が少ないものの、土壌がリターで覆われているため、雨水による土砂の流出が防止され、放射性セシウムの流出量が少ないものと示唆される。
- スギ林及び広葉樹林にタワーを設置し、放射性セシウムの分布状況を確認したところ、針葉樹林においては、樹冠に多くの放射性セシウムが存在していることが確認された。また、葉や樹木の幹に付着した放射性セシウムは、森林内に降雨した雨が樹冠を通過する過程で樹冠にトラップされている放射性セシウムを洗い流し、徐々に林床に移行しているものと考えられる。なお、樹幹を流れる雨より森林内に降雨する雨に含まれる放射性セシウムの放射能濃度が高いことから、森林内の地表面の放射性セシウムの存在量の増加要因は、葉に付着した放射性セシウムの降雨を通じた移行の寄与が大きいものと考えられる。
- 土壌・森林からの放射性物質の飛散（再浮遊）状況について確認したところ、大気浮遊塵中の放射性セシウムの放射能濃度は、土壌表面に沈着した放射性セシウムの沈着量と相関があり、土壌表面に沈着した放射性セシウムが大気へ飛散していることが確認された。

他方で、スギ若齢林、及び広葉樹混合林は、その他の土地利用区画と土壌における放射性セシウムの沈着量は変わらないものの、大気浮遊塵中に含まれる放射性セシウムの放射能濃度が高い傾向が確認された。このことは、樹冠からの放射性セシウムの飛散は、土壌からの飛散とは異なるメカニズムであることを示唆している。

さらに水田では、周囲の地点に比べて、飛散する放射性セシウムの放射能濃度が低いことが確認されており、放射性物質の飛散は、土壌水分により妨げられていることが示唆された。





**(5) それぞれの調査研究のまとめ（様々な自然環境中での放射性物質の移行状況等に関する調査結果及び考察）**

○放射線量等分布マップ関連研究では、全体を通じて、様々な自然環境中での放射性物質の移行状況等について調査結果が得られており、いくつかの調査研究では、共通して確認された事項がある。そこで調査内容ごとに整理・集約した。

**1) 土壌深さ方向における放射性セシウムの分布状況**

○本調査を実施した6月から8月の期間における、福島第一原発から100 km圏内の様々な土地利用（畑、森林（スギ林、広葉樹混合林）、水田、草地）の土壌中における放射性セシウムの深度分布は、いずれの土壌においても、土壌表層から深さ5 cm以内に概ね存在していることが確認された。

○他方で、以下に示すように、土地利用により深度分布の状況が異なることが確認された。

**① 森林**

○いずれの森林土壌においても土壌表層から深さ2 cm以内に放射性セシウムの全存在量の8割程度が沈着していることが確認された。

○いずれの森林においても、地表面に沈着した放射性セシウムの総存在量の5割以上（山木屋地区の広葉樹混合林では9割）がリター層（堆積した落ち葉層）に沈着していることが確認された。

**② 畑（耕作・未耕作）**

○未耕作の畑においては、土壌表層から深さ5 cm以内に放射性セシウムの全存在量の大部分が沈着していることが確認された。

○植生量の多い一部の畑では、植生への放射性セシウムの沈着が著しかったものの、植生量が少ない畑では大部分が土壌に沈着していることが確認された。なお、事故後に耕している畑については土壌表層から5 cm程度まで、放射性セシウム濃度が高いことが確認された。

**③ 草地**

○事故発生後においても放牧等により土壌がかく乱されていた箇所（川俣町水境放牧地）は土壌表層から深さ5 cm以上に放射性セシウムが存在していたものの、草地の多くは、土壌表層から深さ5 cm以内に放射性セシウムの大部分が沈着していることが確認された。

○植生量の多い草地では、地表面の植生への放射性セシウムの沈着が著しかったものの、多くの草地では、植生への沈着は全体の約2~3割であることが確認された。なお、一部の放牧草地では、放牧家畜による表土のかく乱により、土壌表層から4 cm程度まで、放射性セシウム濃度が高いことが確認された。

#### ④ 水田(耕作、未耕作)

- 事故後に耕作を行っていない水田は、土壌表層から深さ 0.5~1.0cm 程度に放射性セシウムの全存在量のほとんどが存在しているが、事故後に耕作した水田は、特に放射性セシウムが土壌深くまで存在していることが確認された。
- 事故後に耕作した土壌は、土壌表層から 5 cm程度の範囲まで放射性セシウム濃度が高いことが確認された。

#### 2) 河川中に含まれる放射性核種の状況

- 本調査を実施した 6 月下旬及び 10 月中旬までの期間における、福島県内の河川水、河底土、及び浮遊砂中の放射性セシウム濃度は、梅雨前後で増加、減少は見られるものの、採取箇所に共通した傾向は確認できなかった。ヨウ素 131 はいずれの調査地点でも検出されなかった。
- 河川から河口に輸送される放射性セシウムは、調査箇所によって、放射性セシウムの総輸送量に対する河川水及び浮遊砂による放射性セシウムの輸送量の比率は異なるものの、河川水に比べて浮遊砂による輸送量の方がはるかに大きいことが確認された。  
なお、7 月中旬から 8 月中旬までの河口付近の流域を流れセシウム 137 の輸送量を概算したところ、20 日間で  $7.4 \times 10^{11}$ Bq 程度輸送されており、原子力安全保安院や原子力安全委員会が推定したセシウム 137 放出量推計値 ( $1.5 \times 10^{16}$ Bq もしくは  $1.1 \times 10^{16}$ Bq) の 2 万分の 1 もしくは 1 万 5 千分の 1 程度であった。
- そのほか、本調査期間においては、福島県内の河川調査箇所のいくつかの箇所において、放射性セシウムに比べると非常に微量であるものの、放射性ストロンチウムが検出され、河川水に移行していることが確認された。
- 放射性ストロンチウムを分析した河川水については、プルトニウム 238、プルトニウム 239+240 も分析したが、全て検出下限値以下であった。

#### 3) 土壌水、地下水(井戸水)、渓流水、湧水を通じた放射性核種の移行状況

- 福島県伊達郡川俣町山木屋地区を中心に、7 月初旬から 8 月中旬までの期間における、土壌水、地下水(井戸水)、渓流水、湧水に含まれる放射性セシウム濃度を測定したところ、ほとんどの試料が検出下限値以下であり、本期間では、これらの水循環プロセスに伴う放射性セシウムの移行状況は確認できなかった。
- この状況は、福島県内の 50 箇所で採取した井戸水試料についても同様の結果であった。

そのほか、調査地点は福島県伊達郡川俣町山木屋地区周辺に限定されるものの、森林内の放射性セシウムの分布状況、土壌侵食に伴う放射性物質の移行状況、水田から河川への浮遊砂を通じた放射性セシウムの移行状況、湖沼・貯水池の放射性セシウムの分布状況、及び森林・土壌等の自然環境からの放射性物質の飛散状況について確認したところ、以下のような結果が確認された。

#### 4) 森林内の放射性セシウムの分布状況・移行状況

- 森林内の土壌中における放射性セシウムの蓄積量は、落葉の堆積や、葉に付着した放射性セシウムが降雨により森林内の地表面に移行することなどに伴い、現状でも徐々に増加してきているものと考えられる。
- 広葉樹混合林では、最表層（特にリター層）に堆積していた放射性セシウムが、雨水の浸透や有機物の分解により下方浸透を始めていることが示唆された。
- 現状において森林内の空間線量率の低減化を図るためには、広葉樹混合林では、落葉等のリター層における放射性セシウムの蓄積量が多いことから、生態系への影響を考慮しつつ、表面に堆積しているリター層を除去することが効果的であることが示唆された。
- スギ林では、樹冠付近の生葉や枯葉に付着した放射性セシウムの濃度が高いことから、生葉や枯葉を除去することが効果的であることが示唆された。なお、スギ壮齢林では、スギ若齢林や広葉樹混合林に比べて、地表面への放射性セシウムの蓄積量が多いことから、リター層の除去も効果的である。

#### 5) 土壌侵食に伴う放射性物質の移行状況

- 植生量が多い箇所では、植生が土砂の流出および放射性物質の移動を妨げているため、放射性核種の流出量が少ないことが確認された。
- 他方で、スギ若齢林では、下層植生が少ないものの、土壌がリターで覆われているため、雨水による土砂の流出及び放射性物質の移動が妨げられているものと考えられる。
- 本調査期間内（1.5 ヶ月間）での土砂侵食に伴う放射性物質の移行量は各調査箇所の放射性セシウム存在量の最大でも約0.3%未満であった。

#### 6) 湖沼・貯水池における放射性セシウムの分布状況

- 貯水池底泥での放射性セシウム濃度は、表層の放射性セシウム濃度が高く、深くなるにつれて、急激に下がることが確認された。なお、貯水池に堆積した放射性セシウムの存在量は、周辺土壌で測定された放射性セシウムの存在量と概ね同水準であった。
- 他方で、ダム湖（蓬萊ダム湖）では、調査を行った底泥表層から深さ20cmまでに、高濃度の放射性セシウムが存在していることが確認され、他の貯水池で計測された放射性セシウムの存在量（一部の貯水池を除いて、200~400kBq/m<sup>2</sup>）の約10倍程度（3MBq/m<sup>2</sup>以上）が堆積していた。この理由としては、放射性セシウムが付着した土壌粒子が河川から大量に流入・沈降しているほか、河川からの連続的な流入や底泥の激しい攪拌等が要因として考えられる。

#### 7) 土壌・森林等の自然環境からの放射性物質の飛散状況

- 土壌・森林からの放射性物質の飛散（再浮遊）状況について確認したところ、大気浮遊塵中の放射性セシウムの放射能濃度は、土壌表面に沈着した放射性セシウムの沈着量と相関があり、土壌表面に沈着した放射性セシウムが大気へ飛散していることが確認され

た。

- 他方で、スギ若齢林、及び広葉樹混合林は、その他の土地利用区画と土壌における放射性セシウムの沈着量は変わらないものの、大気浮遊塵中に含まれる放射性セシウムの放射能濃度が高い傾向が確認された。

(まとめ)

- 本調査では、様々な土地利用の土壌や針葉樹林、広葉樹林における放射性核種の分布状況の違いが確認されたほか、土壌侵食による放射性核種の移行状況、及び土壌・森林等からの放射性物質の移行状況、河川並びに土壌水、地下水、湖沼等の水循環系を通じた放射性物質の移行状況等について、事故発生初期の梅雨前後の期間における、非常に有意な調査結果が得られた。そのため、本調査で得られた知見が除染活動や今後のモニタリングに活用されることを期待する。
- 他方で、本調査は、平成23年6月～9月頃までの一定期間における、限られた調査箇所における調査結果であり、放射性物質の移行状況について一般化することや本調査過程で新たに発生した課題の解決のためには、調査範囲の拡大、調査方法の工夫、及び調査項目の追加が必要である。
- そこで、今後、本調査で課題となったコンタミネーションの影響を排除した上で、放射性物質の深度分布調査を継続的に実施するとともに、河川・井戸水中の放射性物質の放射能濃度の状況、放射性物質の包括的な移行状況について継続的に調査し、放射性物質の動態挙動に関する測定結果を取得していく必要がある。(平成23年12月から、本調査の課題を踏まえ、追加調査を実施しているところ。)
- また、放射性物質の移行状況を確認していく上では、除染活動に伴う放射性物質の沈着状況の変化や人の生活に伴う放射性核種の移行も無視できない。そこで、今後の調査にあたっては、居住区域における放射性核種の移行状況の確認も実施していくことが必要である。(平成23年12月からの調査では、居住区域における放射性物質の移行状況調査について新たに実施しているところ)

### **3. 農地土壌の放射性物質濃度分布マップ関連調査研究報告書（報告書第3編）**

#### **3.1 農地土壌の放射性物質濃度分布マップ関連調査研究の概要**

○本調査は、平成23年度科学技術戦略推進費によるプロジェクト「放射性物質による環境影響への対策基盤の確立」の一環として、福島第一原子力発電所事故により放出された放射性物質の農地土壌への影響を明らかにするとともに、その面的な分布を把握するため、宮城県、福島県、栃木県、群馬県、茨城県および千葉県の農地土壌における放射性セシウム<sup>※</sup>濃度を測定し、その結果をまとめた「農地土壌における放射性物質濃度分布図」および、空間線量率との関係を基にした、福島県における農地土壌の放射性物質濃度の推定図を作成した。

○また、農地土壌中の放射性セシウムの深度分布について調査した。本事業は、農林水産省からの委託事業として、独立行政法人農業環境技術研究所や大学、各県関係者の協力のもと実施された。それぞれの調査は、文部科学省に設置した「放射線量等分布マップの作成等に係る検討会」の委員による妥当性確認を経た上で実施された。

※ 本報告書ではセシウム134とセシウム137を合わせて放射性セシウムと記している。

#### **3.2 調査研究者**

##### **(1) 農地土壌における放射性セシウム濃度の面的分布の把握と推定図の作成**

高田裕介・神山和則・小原 洋・前島勇治・平舘俊太郎・木方展治・谷山一郎（農業環境技術研究所）、鷺尾英樹（宮城県古川農業試験場）、齋藤 隆（福島農業総合センター）  
池羽正晴（茨城県農業総合センター）、鈴木 聡（栃木県農業試験場）  
庄司 正（群馬県農業技術センター）、斉藤研二（千葉県農林総合研究センター）

##### **(2) 農地土壌における放射性セシウムの深度分布と動態**

村松康行（学習院大学）

#### **3.3 調査期間及び調査場所**

##### **(1) 農地土壌における放射性セシウム濃度の面的分布の把握と推定図の作成**

○宮城県においては平成23年7月15～22日に51地点で、福島県においては5月23日～8月5日に201地点、茨城県においては7月1～15日に44地点、栃木県においては6月20～24日に34地点、群馬県においては7月29日に5地点、千葉県においては7月1～13日に20地点で調査を行った。

○また、これらの地点に加えて、宮城県で4月1日に調査した14地点、福島県で4月1日に調査した134地点および4月15日に調査した26地点、茨城県で4月1～5日に調査した18地点、栃木県で3月31日～4月1日に調査した14地点、群馬県で4月2日に調査した8地点、千葉県で4月2日に調査した10地点の結果も濃度分布図の作成に用いた。これら調査地点の合計は579地点である。なお、農地の放射能濃度分布図は平成23年6月14日の基準日の濃度を地図上にプロットすることで作成した。

## (2) 農地土壌における放射性セシウムの深度分布と動態

○福島県農業総合センター内の水田、畑、果樹園、森林において平成23年4月23日から9月9日まで、福島県農業総合センター果樹研究所内の果樹園において、平成23年6月1日から6月22日まで、二本松市小浜地区の水田において、平成23年9月19日および10月2日に調査を行った。

### 3.4 調査結果及び考察

#### (1) 農地土壌における放射性セシウム濃度の面的分布の把握と推定図の作成

##### ① 農地における土壌中の放射性セシウムの濃度分布

○今回の調査結果を踏まえた、農地土壌における放射性セシウムの濃度分布図を図36に示す。

○各県別にみると、宮城県では、土壌中の放射性セシウム濃度は24~2,215Bq/kg 乾土の範囲であった。福島県では、検出限界以下の値から28,041Bq/kg 乾土の範囲であった。茨城県では、検出限界以下の値から632Bq/kg 乾土の範囲であった。栃木県では、検出限界以下の値から3,971Bq/kg 乾土の範囲であった。群馬県では、55~688Bq/kg 乾土の範囲であった。千葉県では、19~777Bq/kg 乾土の範囲であった。なお、本報告書では、セシウム134とセシウム137の合計値については、どちらか一方の測定値が検出限界以下の場合には検出された測定値を、どちらも検出限界以下の場合には検出せずと記載した。

○農地土壌中の放射性セシウム濃度の実測値は福島県浜通り地方や中通り地方で高く、その空間的な分布状況は文部科学省が行っている空間線量率の地上モニタリングの結果や航空機サーベイの結果と類似の傾向が認められた。特に、福島第一原発から北西方向の警戒区域、計画的避難区域に10,000Bq/kg 乾土を超える高い放射性セシウム濃度を示す場所が認められた。

##### ② 土壌中の放射性セシウム濃度と空間線量率との関係

○土壌中の放射性セシウム濃度と農地土壌調査の際に測定した1m高さでの空間線量率との関係を図37に示す。

○土壌中の放射性セシウム濃度と空間線量率は正の相関関係 ( $R^2=0.86$ , サンプル数325) が認められ、土壌中の放射性セシウム濃度が増加すると空間線量率が増加することが明らかとなった。

○この関係性を詳細に検討した結果、福島第一原発事故以降に農地を耕起した地点と未耕起であった地点とを比較した際に、同等の土壌中の放射性セシウム濃度であっても空間線量率は耕起した地点の方が未耕起であった地点よりも低くなった。本結果は、主として耕起土壌と未耕起土壌では放射性セシウムの深度分布が異なるため、空間線量率と土壌中濃度との関係性が異なったためと考えられた。また、土壌の仮比重が異なるため同等の土壌中の放射性セシウム濃度であっても空間線量率は非黒ボク土壌群グループの方が黒ボク土壌群グループに比べて高いと考えられた。

○さらに、樹園地では他の地目に比べて同等の土壤中のセシウム濃度であっても空間線量率は高い傾向がみられた。樹園地では樹木の樹冠などに付着している放射性セシウムの間接的な影響を受けていることや耕起されていないことによって他の地目よりも同等の土壤中のセシウム濃度であっても空間線量率は高くなったと考えられた。

### ③ 農地土壤中の放射性セシウム濃度推定図

- 空間線量率のデータと上記②で明らかとなった回帰式を用いて、調査地全域の農地土壤中の放射性セシウム濃度推定図を作成した（図 38 参照）。
- 結果としては、福島第一原発が立地する福島県浜通りで農地土壤中の放射性セシウム濃度は最も高く、次いで中通りおよび会津地方の順であった。とくに警戒区域および計画的避難区域において農地土壤中の放射性セシウム濃度は高かった。
- なお、福島県農地土壤中の放射性セシウム濃度区分ごとに分布面積を推計したところ、土壤中の放射性セシウム濃度が 5,000Bq/kg 乾土を超えると推定される農地の分布面積は 8,300 ヘクタールであり、福島県の田畑の総面積の約 6%を占めた。

### (2) 農地土壤における放射性セシウムの深度分布と動態

- 耕耘していない水田における深度分布については、表層における放射性セシウムの濃度が高く、多くが 0~4cm のところに溜まっていた。濃度と深度分布を測定し比べたところ、採取場所によって 10 倍近く変動があった。これは、汚染時には水田に水がはられていなかったため、放射性セシウムが水田の窪地など水が溜まりやすいところに蓄積する傾向にあったためと考えられた。
- また、耕耘していない畑地における深度分布については、水田と同様に、0~4cm のところに放射性セシウムの多くが溜まっていた。濃度と深度分布を測定し比べたところ、採取地点によるバラツキは水田に比較して大きくなかった。水田と異なり、水が溜まることがなかったためと考えられた。
- 果樹園および森林においては、同様に表層に放射性セシウムの多くが溜まっていた。森林では、表層のリター層に多くが蓄積していた。
- また、福島県二本松市の耕耘した水田における放射性セシウムの深度分布については、耕耘してあるにもかかわらず、深度分布は不均一で、表層 0~2.5cm で特に高い値が見られた。深くなると濃度が下がる傾向にあった。これは、調査地域の土壤は砂の割合が多く、耕耘・代掻き後、重い砂分（セシウムの濃度が低い）が先に沈み、上層にセシウムの濃度が高い軽く細かい成分が溜まったと考えられた。