

「福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の第二次分布状況等に関する調査研究」の報告書の概略版について

(独) 日本原子力研究開発機構 福島技術本部

1. 放射線量等分布マップの作成等に関する報告書 (報告書第1編)

1.1 放射線量等分布マップの作成等の目的

- 本調査は、平成 23 年 6 月から 11 月までの期間に総合科学技術会議の科学技術戦略推進費により実施した「放射性物質の分布状況等に関する調査研究」(第 1 次分布状況等調査)の後続の調査として位置づけられる第 2 次分布状況等調査である。第 1 次分布状況等調査においては、東京電力(株)福島第一原子力発電所(以下、「福島第一原発」という。)事故に伴い放出された放射性物質の福島第一原発周辺の状況把握に向け、福島第一原発から 100km 圏内及び残りの福島県内の土壌分布マップの作成、同じ地域の地上から 1m 高さの空間線量率マップの作成、走行サーベイによる詳細空間線量率マップの作成、対象地域を絞った放射性核種の移行状況を解明するための調査を実施し、その結果を公開してきた。調査の結果は、事故復旧対策の基礎データとして使用されるとともに、学術的にも高い評価を受けて広く参照されてきた。
- 第 2 次分布状況等調査においては、第 1 次分布状況等調査の結果や航空機サーベイの結果により、放射性物質の沈着が相当の広範囲にわたっていることが明らかになったことを受け、第 1 次分布状況等調査よりも調査範囲を拡大して実施することを第 1 の目的とした。また、将来の放射性物質の分布状況の変化傾向を予測するためのモデルの構築につなげることを目標に、森林、土壌、河川、田畑等様々な環境における放射性物質の移行状況解明のための調査研究を発展させた。さらに、ヨウ素 131、プルトニウム、放射性ストロンチウムに関しては、事故直後の線量評価上重要な核種であること、あるいは社会的に関心の高い核種であることを考慮し、調査結果をさらに加えることを目指した。データベースの開発も第 1 次分布状況等調査から継続し、第 2 次分布状況等調査で得られたデータを登録することを目指した。
- 本調査は、文部科学省からの委託事業として、(独)日本原子力研究開発機構(以下、「原子力機構」という。)を中心に多くの大学や研究機関の協力のもと実施された。調査内容の計画段階では、文部科学省「放射線量等分布マップの作成等に係る検討会」における有識者による議論に基づいて計画を策定するとともに、調査の実施段階では、原子力機構が設置した「福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の第 2 次分布状況等に関する調査研究技術検討会」において、調査の進め方、調査結果の解析方法、調査結果の妥当性について検討を行ないながら調査を進めた。

1.2 調査期間

○本調査は、積雪の影響を避けることを考慮しつつ、以下の期間で実施。

(1) 走行サーベイ

- a) 第2次走行サーベイ：平成23年12月5日から平成23年12月28日：KURAMA を使用して原子力機構が中心となり主要道路の測定を実施
- b) 第3次走行サーベイ：平成24年3月13日から平成24年3月30日：KURAMA-II を使用して地方自治体が主体となり細い道路を含めた調査を実施

(2) ガンマ線放出核種の土壤沈着量の測定

(ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定等)

平成23年12月13日から平成24年5月29日

(3) プルトニウム 238、239+240、241 の土壤沈着量の測定

プルトニウム 238、239+240 については、第1次分布状況等調査において採取した土壤試料（平成23年6月6日から平成23年7月8日）のうち、これまでに核種分析を実施していない土壤試料を分析

プルトニウム 241 については、プルトニウム 238、239+240 を分析した試料を再利用し分析

(4) ストロンチウム 89、90 の土壤沈着量の測定

平成23年12月17日から平成24年2月9日まで、福島第一原発から80km圏外の地域から土壤試料を採取（80km圏内の一部の地域における測定にあたっては第1次分布状況等調査で採取した土壤試料を使用）

1.3 調査対象範囲

○調査項目毎に、第1次分布状況等調査の結果（航空機サーベイ結果等）等、これまでのモニタリング結果を踏まえて、相当量の放射性物質が沈着していると考えられる調査範囲を設定した（詳細は表1参照）。この結果、北は岩手県から南は神奈川県にいたるまでの広い地域が測定対象となった。

表1：調査項目毎（第2次分布状況等調査）の調査範囲等について

調査項目	調査目的	調査範囲	備考
①空間線量率の測定			
・走行サーベイ (KURAMA システム*及び KURAMA-II システムを使用して測定)	道路上における詳細な空間線量率分布を把握する	空間線量率が0.2μSv/h以上の地域を中心(第2次走行サーベイ:1都10県、第3次走行サーベイ:1都9県)	道路上の1m高さの空間線量率測定結果を100mメッシュ内で平均した代表値として表示
②放射性物質の土壤沈着量の測定			
・ガンマ線放出核種の	広範囲における、全ての	東日本全域における空	○ 0.2 μSv/h以上の地

<p>土壌沈着量の測定（ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定）</p>	<p>ガンマ線放出核種の分布状況を把握する</p>	<p>間線量率が $0.2 \mu\text{Sv/h}$ 以上の地域を中心（福島県を含む 1 都 10 県） (1,016 箇所)</p>	<p>域は 5 km メッシュに 1 箇所、$0.2 \mu\text{Sv/h}$ 以下の地域は 10 km メッシュに 1 箇所の測定地点を選定 ○ 一部 (24 箇所) in-situ 測定が適さない地点においては土壌試料を U-8 容器で採取して分析</p>
<p>・プルトニウム 238、239+240、241 の土壌沈着量の測定</p>	<p>代表的なアルファ線放出核種であるプルトニウム 238、239+240 の詳細な分布状況を把握する（また、プルトニウム 241 は放射性物質の放出量推定値が高いことから追加調査）</p>	<p>福島第一原発から 100 km 圏内</p>	<p>プルトニウム 238、239+240 は第 1 次分布状況等調査においてプルトニウム 238、239+240 が検出された箇所の周辺 62 箇所、プルトニウム 241 は第 1 次分布状況等調査でプルトニウム 238、239+240 を分析した試料を再利用し 62 箇所 62 試料を分析</p>
<p>・ストロンチウム 89、90 の土壌沈着量の測定</p>	<p>①福島第一原発から 80km 圏外におけるストロンチウム 89、90 の分布状況を把握する ②第 1 次分布状況等調査でセシウム 137 に対するストロンチウム 89、90 の沈着量の比率が非常に大きかった箇所（相馬市）の周辺におけるストロンチウム 89、90 の沈着状況を把握する</p>	<p>①福島第一原発から 80km 圏外（東日本全域における空間線量率が $0.2 \mu\text{Sv/h}$ 以上の地域）（福島県を含む 1 都 9 県）（50 箇所） ②第 1 次分布状況等調査でセシウム 137 に対するストロンチウム 89、90 の沈着量の比率が非常に大きかった箇所（相馬市）の周辺の調査箇所（10 箇所）</p>	<p>① 調査箇所は $0.2 \mu\text{Sv/h}$ 以上の地域を 5 km メッシュに分割し、50 箇所選定</p>

* KURAMA システム：第 2 次走行サーベイではサーベイメータ、GPS 及び PC を組み合わせて構成した KURAMA システムを使用したのに対し、第 3 次走行サーベイでは小型で操作が容易な KURAMA-II システムを使用してサーベイを実施した。線源を用いた KURAMA-II システムの特性試験、KURAMA-II システムと KURAMA システムの比較により、KURAMA-II システムが適切な空間線量率測定精度及び特性を持つことを確認した後に測定を実施した。

1.4 調査協力者

① 空間線量率の測定

a) 走行サーベイ

- ・第2次走行サーベイ：(独)日本原子力研究開発機構(測定及び解析担当)、(独)放射線医学総合研究所(測定及び解析担当)
- ・第3次走行サーベイ：1都9県198市区町村(測定担当)、(独)日本原子力研究開発機構(解析担当)

② 放射性物質の土壌沈着量の測定

- ・ガンマ線放出核種の土壌沈着量の測定(in-situ測定、一部の箇所では土壌採取し、ゲルマニウム半導体検出器を用いて測定)：(独)日本原子力研究開発機構、(財)日本分析センター、(公財)原子力安全技術センター、(公財)放射線計測協会、(独)理化学研究所、フランスの放射線防護原子力安全研究所(IRSN)
- ・プルトニウム238、239+240、241の土壌沈着量の測定：(財)日本分析センター
- ・ストロンチウム89、90の土壌沈着量の測定：(財)日本分析センター

1.5 調査結果及び考察

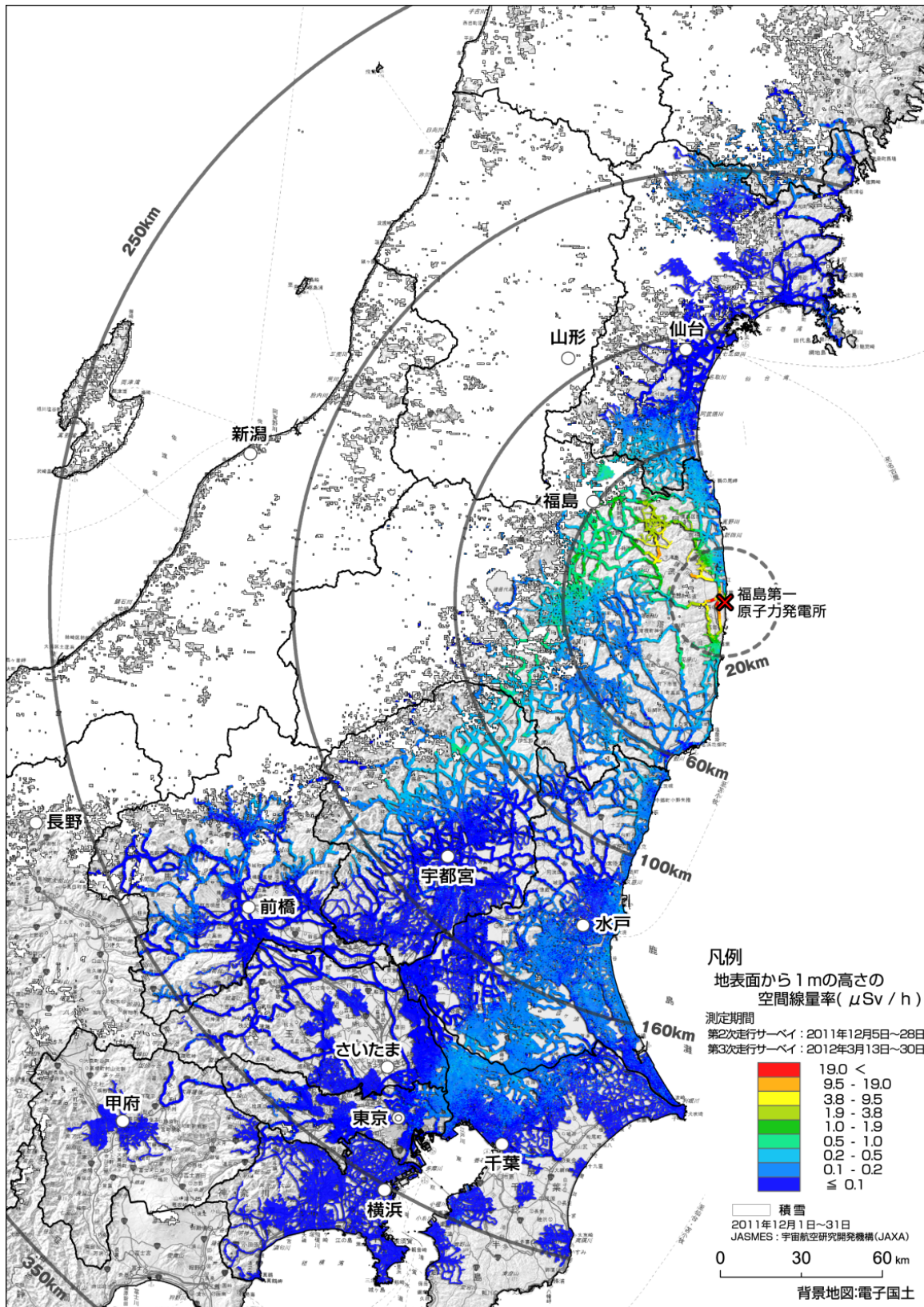
(1) 空間線量率の測定結果及び考察

1) 走行サーベイによる空間線量率マップの作成結果及び考察

- 第1次分布状況等調査のとりまとめにあたって、それまでのモニタリング結果等から放射性物質の沈着範囲が遠方まで及んでいることが明らかになった。そこで、「放射線量等分布マップの作成等に係る検討会」の中で調査範囲を拡張した調査の必要性が検討された。
- その結果、検討会における検討を踏まえ、空間線量率が $0.2\mu\text{Sv/h}$ 以上の地域を中心に広域な空間線量率の分布状況調査を実施することとなった。
- 空間線量率の詳細測定にあたっては、迅速かつ詳細な調査が可能な走行サーベイを用いた。走行サーベイは、平成23年12月期に第2次走行サーベイを、平成24年3月期に第3次走行サーベイを実施した。第3次走行サーベイでは、第2次走行サーベイ時に積雪が確認された箇所があったこと、市町村の要望があった道路を測定できなかったことから、市町村の協力を得て市町村各々の要望に沿った道路の測定を実施していただいた。なお、走行サーベイの実施にあたっては、緯度・経度情報と空間線量率の情報を同時に取得可能なKURAMAシステムを使用した。
- その結果、第2次走行サーベイ(延べ約40,000km走行して測定)及び第3次走行サーベイ(延べ約70,000km走行して測定)により、地表面から1mの高さの道路上における空間線量率の分布状況を地図上に記した空間線量率マップ(図1参照)を作成できた。測定結果は統計的な変動を小さくするため、100mメッシュ内で平均した値をそのメッシュの代表値として表した。また、低線量率域での空間線量率の測定精度をあげるため、第1次分布状況等調査時に使用した走行サーベイの結果を車外の1m高さの空間線量率へ補正するための補正関数を見直した。

- 第2次走行サーベイ（KURAMA）による道路上の測定結果と道路周辺の地表面における地上1m高さの空間線量率測定値との比較を、測定地点間の距離を50から500mまで変化させて行なった。いずれの場合にもKURAMA測定値と地上1m高さの測定値の間には相関がみられ、その平均的な比率（地上1m/KURAMA）が1.2程度となった。KURAMAの測定値は道路上の測定値ではあるものの、道路周囲の地表面の空間線量率の変化を反映した値が得られていることが確認された。
- 図1は、平成23年12月に実施されたKURAMAを用いた原子力機構による第2次走行サーベイと、平成24年3月に実施されたKURAMA-IIを用いた地方自治体による第3次走行サーベイの結果を統合して、減衰補正を加えて平成24年3月の結果として表したものである。広域にわたる詳細な空間線量率分布が明らかになった。
- KURAMA測定結果の自動修正プログラム等KURAMA関連技術（以下、「KURAMA測定・解析・データ提供システム」という。）の完成により、100台規模のKURAMAシステムを同時に使用して測定を実施し、短時間に測定結果を出力、提供することが可能となった。地方自治体における運用経験を踏まえて、KURAMA測定・解析・データ提供システム全体が適切に動作することを確認し、信頼のおける大量走行サーベイデータ取得、提供の仕組みを確立した。
- 一部地域については、自然放射線の空間線量率の寄与を測定するため、スペクトル測定が可能なラジプローブシステム¹による走行サーベイを実施した。放射性セシウムの沈着量と空間線量率に比例関係があること、自然放射線の空間線量率寄与が平均で25nGy/h程度と評価されること、評価されたセシウム134とセシウム137の比率がin-situ測定と同じ程度の値を示すこと等が確認された。

¹ ラジプローブシステム：ゲルマニウム半導体検出器、CsI(Tl)スペクトル検出器を搭載した走行サーベイシステム。放射性核種毎の放射線情報を取得することが可能である。



※1:本マップには天然核種による空間線量率を含む。

※2:本マップは、第2次走行サーベイ及び第3次走行サーベイの両者の測定結果を用いて作成した。なお、第2次及び第3次の両者の走行サーベイを実施した道路については、第3次走行サーベイの結果のみを記している。

※3:第2次走行サーベイの測定結果は、放射性セシウムの物理的減衰に伴う空間線量率の減少を考慮し、半減期補正している。

※4:実線で囲われた白色の領域は第2次走行サーベイ時に積雪のあった箇所を表しており、当該地域及びその周辺における地表面から1m高さの空間線量率は、雪による遮へいにより、雪が無い時に比べて減少している可能性がある。

図1 空間線量率マップ(第2次及び3次走行サーベイの統合結果)(平成24年3月時点)

(2) 土壌濃度マップの作成結果及び考察

1) ガンマ線放出核種の土壌濃度マップの作成結果及び考察

① ガンマ線放出核種の土壌濃度マップの作成結果

- 第1次分布状況等調査では半減期が短いヨウ素 131 を可能な限り測定するため短期間で調査を終える必要があった。このため1箇所では5個の試料を採取し据え置き型のゲルマニウム半導体検出器を用いて沈着量を評価した。他方で、本手法では試料間の濃度のばらつきが大きく、その場の平均的な放射性核種の沈着量を求めることができない場合もありうるため、今回の調査では、原則ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定により、ガンマ線放出核種の沈着量を求めた。
- in-situ 測定の測定時間は原則1時間とし、状況により適宜測定時間の短縮を行った。また、空間線量率が高いこと等から in-situ 測定が困難な測定箇所については、第1次分布状況等調査と同様に各調査箇所（3 m 四方内）で5試料の土壌試料を採取し、それらの試料について据え置き型のゲルマニウム半導体検出器で放射能濃度を測定した。
- その結果、第1次分布状況等調査より広範な地域の1,016地点の測定結果を基に、セシウム 134(図2参照)、セシウム 137(図3参照)、銀 110m(図4参照)の3つのガンマ線放出核種の沈着量（単位面積当たりの放射エネルギー）を地図上に記した土壌濃度マップを作成することができた。銀 110mについては、統計的に有意とされた測定値が得られた場合のみ地図上に丸を示した。第1次分布状況等調査でマップを作成したヨウ素 131、テルル 129mについては半減期が短いため不検出であった。
- これらの土壌濃度マップの完成により、北は岩手県から南は山梨県、神奈川県まで広域な地域についてのガンマ線放出核種の土壌沈着量の分布状況を確認することができた。

② ガンマ線放出核種の測定結果に関する考察

- 今回の調査では、半減期の短さもあり、第1次分布状況等調査で検出されたヨウ素 131、テルル 129mは検出されなかったほか、チェルノブイリ事故で確認されていたコバルト 60、ユーロピウム 154などのガンマ線放出核種も検出されなかった。
- 第1次分布状況等調査では、ヨウ素 131、テルル 129mの沈着状況に地域的な特徴があることが確認されたものの、放射性セシウムに対する銀 110mの沈着量の比率に関する地域的な特徴が観察されていなかった。今回の調査では、図5に示すように、福島県中通りから群馬県にかけてセシウム 137に対する銀 110mの沈着量の比率が同様の地域的特徴を示す箇所が確認された。また、福島第一原発から南側と北側の福島県沿岸において、福島県中通りから群馬県までの地域に比べて、セシウム 137に対する銀 110mの沈着量の比率が高い箇所が存在していることが確認された。このことは、地域により異なる起源のプルームにより沈着が起きたことを示唆するものである。
- なお、今回の調査で測定されたセシウム 137の沈着量と日本全国で測定された航空機モニタリングの測定結果を比較したところ、全体の傾向として同様の傾向を示していることを確認した。

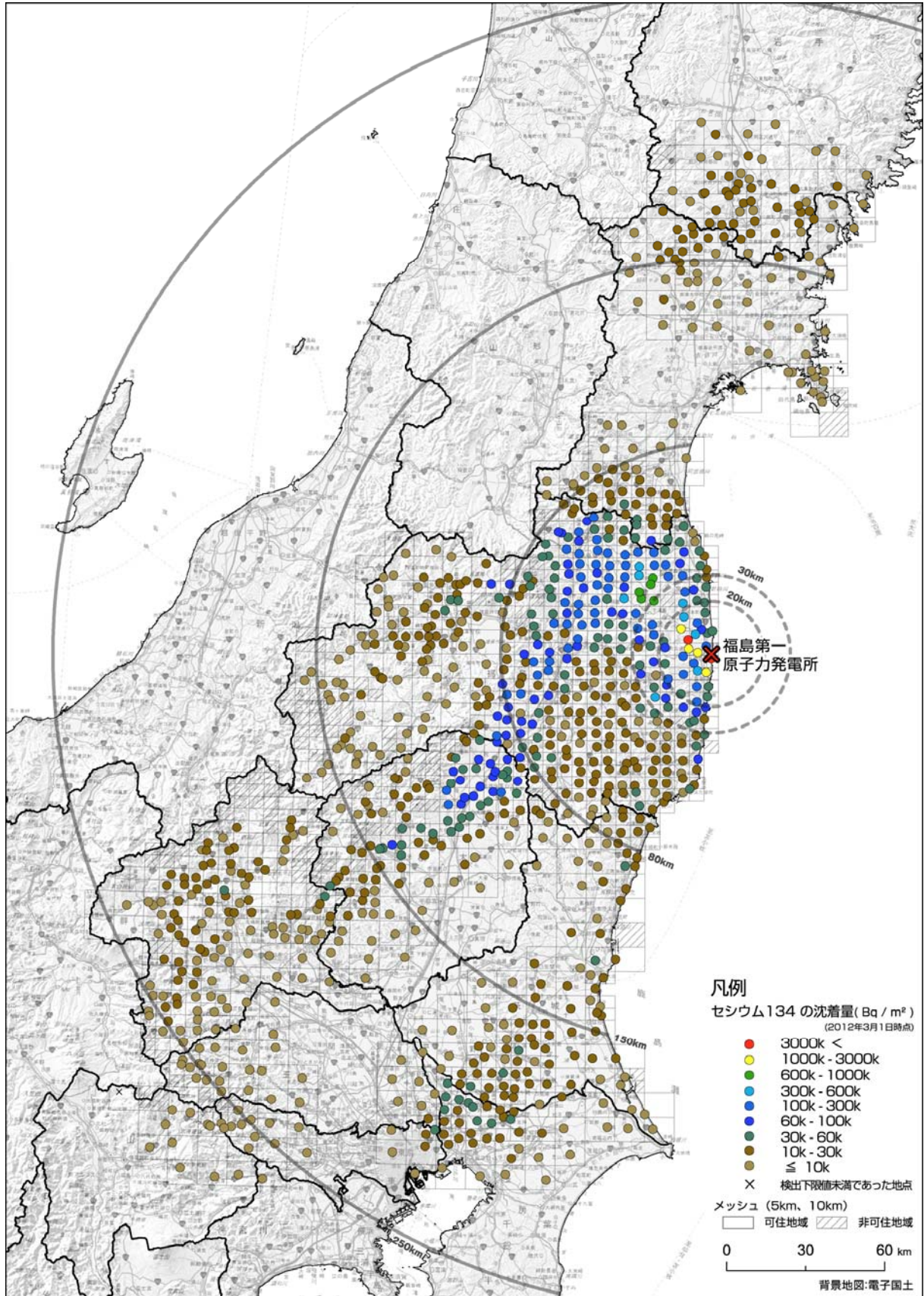


図2 セシウム134の土壌濃度マップ (平成24年3月1日時点に放射能濃度を換算)

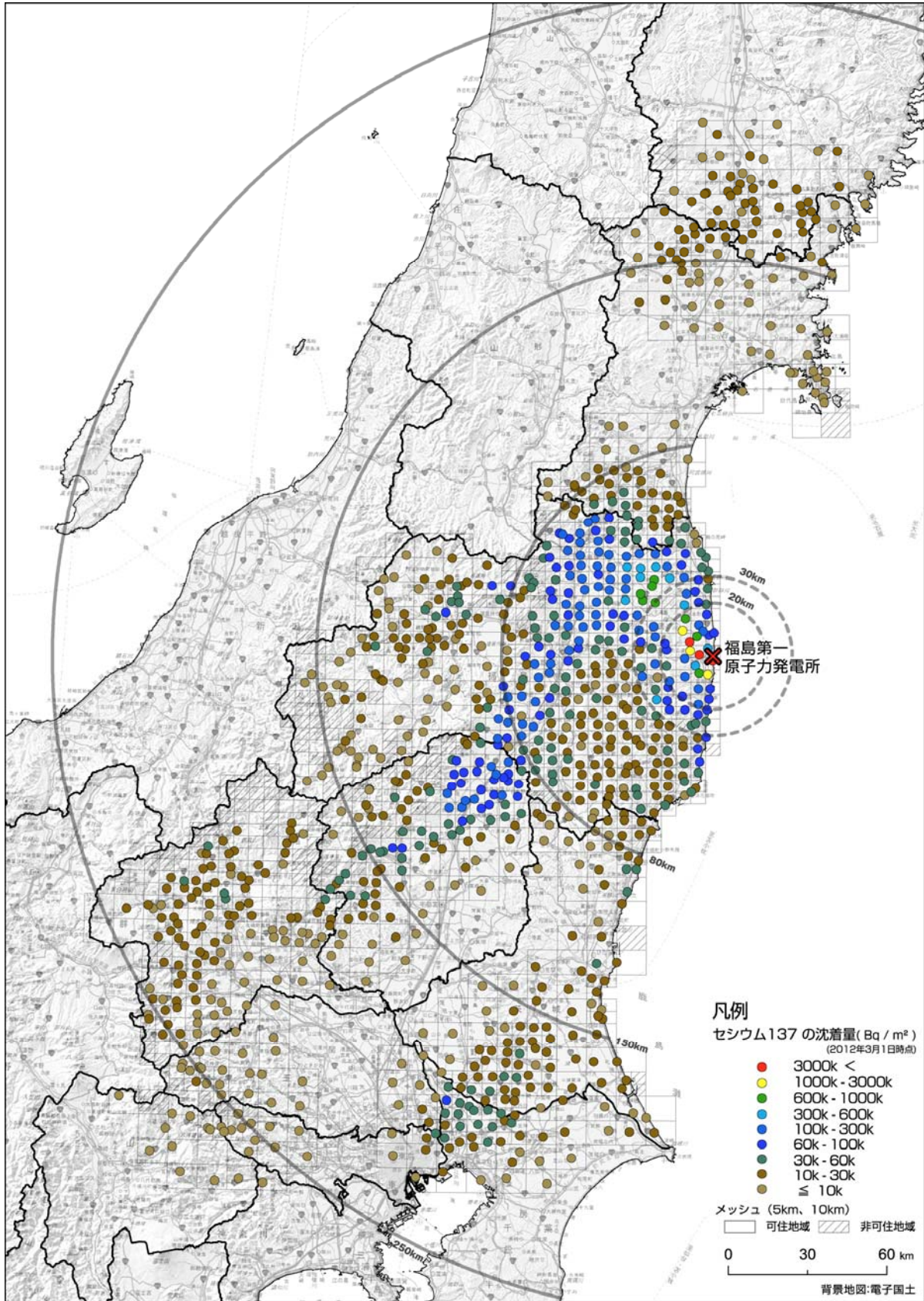


図3 セシウム137の土壤濃度マップ(平成24年3月1日時点に放射能濃度を換算)

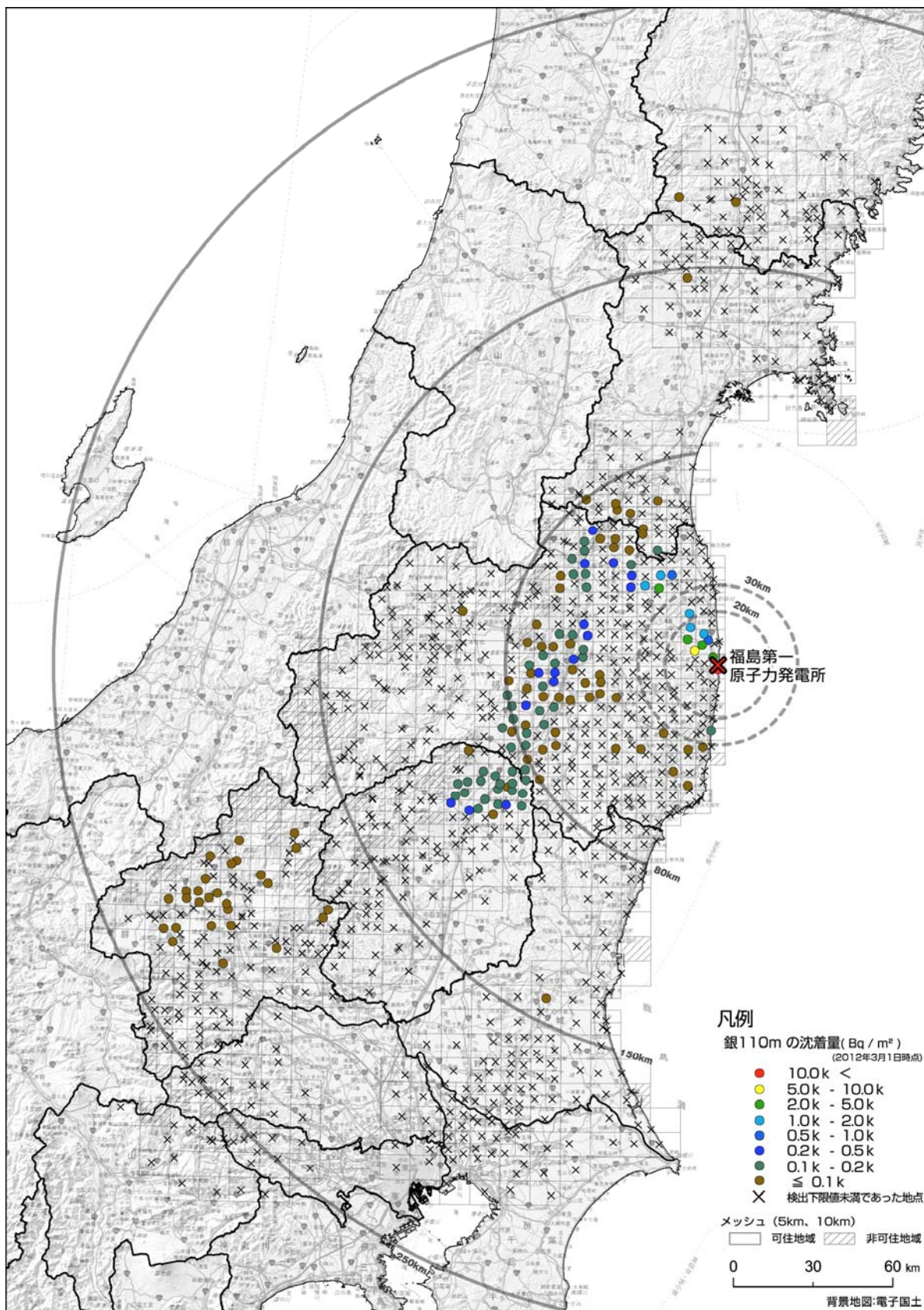


図4 銀110mの土壤濃度マップ(平成24年3月1日時点に放射能濃度を換算)

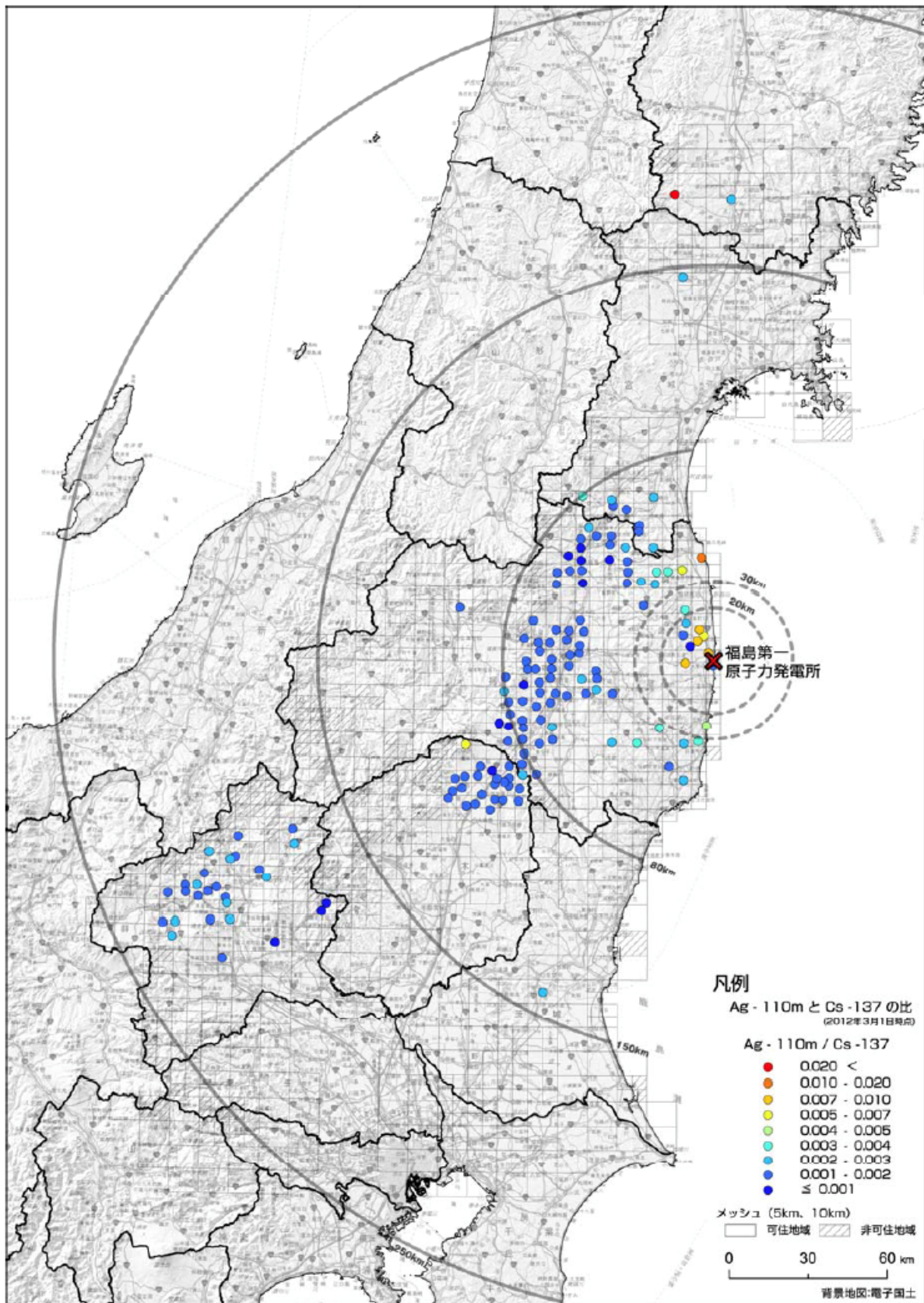


図5 銀110mとセシウム137の沈着量の比率を記したマップ
(平成24年3月1日時点に放射能濃度を換算)

2) プルトニウム 238、239+240、241 の土壌濃度マップの作成結果及び考察

① プルトニウム 238、239+240 の土壌濃度マップの作成結果

- 平成 23 年 6 月期の放射性物質の第 1 次分布状況等調査では、福島第一原発から 80 km の 100 箇所についてプルトニウム 238、239+240 を分析し、6 箇所では事故由来のプルトニウムを確認した。
- 今回の調査では、プルトニウムの分布状況をさらに把握するため、平成 23 年 12 月 6 日から、第 1 次分布状況等調査で調査対象としなかった福島第一原発から 80～100km 圏内及び第 1 次分布状況等調査においてプルトニウム 238、239+240 が検出された調査箇所の周辺で採取された土壌試料についてプルトニウム 238、239+240 の追加調査(62 箇所)を実施した。
- その結果、今回の調査では、図 7 に示すように、10 箇所(全て、福島第一原発から 45km 圏内であり、主に北西方向)で、福島第一原発の事故に伴いプルトニウム 238、239+240 が沈着したと考えられる箇所を確認した。なお、上記 10 箇所中 9 箇所では検出されたプルトニウム 238、239+240 の沈着量は事故前 11 年間(平成 11～21 年度)の全国の観測値(福島第一原発の事故前の大気圏内核実験等により土壌に沈着したプルトニウム 238、239+240)の範囲であった。残り 1 箇所(浪江町)で検出されたプルトニウム 238 の値のみ、過去 11 年間の最大値の約 1.4 倍であった。なお、事故前 11 年間の値は、平成 11～21 年度までの全国調査で観測された値で、プルトニウム 238 は検出限界値～8.0Bq/m²、プルトニウム 239+240 は検出限界値～220 Bq/m²である。
- 第 1 次分布状況等調査の結果に加えて、今回の調査結果により、地点数は限られるものの、福島第一原発から 100km 圏内におけるプルトニウム 238、239+240 の分布状況の概況を確認することができた。

② プルトニウム 238、239+240 の測定結果に関する考察

- 今回の調査結果においてプルトニウム 239+240 に対するプルトニウム 238 の沈着量の比率を計算したところ、これらの比率は 0.030～2.5 程度であり、いくつかの箇所で、事故前の平成 11～21 年度までの全国調査で観測されているプルトニウム 239+240 に対するプルトニウム 238 の沈着量の比率(平均値：0.031、最小値：0.012、最大値：0.120)に比べ、大きな比率を有する箇所が確認された。
- そこで、今回の調査結果について、福島第一原発の事故に伴い、新たにプルトニウム 238、239+240 が沈着したか確認するため、福島第一原発の事故前の大気圏内核実験等により土壌に沈着したプルトニウム 239+240 に対するプルトニウム 238 の沈着量の比率(以下、「事故前の Pu-238/Pu-239+240」という。)について調査を行った。
- その結果、図 8 に示すように、事故前の Pu-238/Pu-239+240 (平成 11～21 年度)は、対数正規分布に近い分布をしていることが確認された。
- また、福島第一原発の事故に伴い、新たにプルトニウム 238、239+240 が沈着したと考えられる箇所における Pu-238/Pu-239+240 は、第 1 次分布状況等調査の結果から、事故前の Pu-238/Pu-239+240 よりも大きいことが確認されている。

○そこで、本調査においては、事故前の Pu-238/Pu-239+240 が対数正規分布に従って分布すると仮定し、事故前の Pu-238/Pu-239+240 から外れる比率 (Pu-238/ Pu-239+240 > 0.053 : 平均値から標準偏差の 2 倍以上外れる場合) を有する箇所は、福島第一原発の事故に伴い、新たにプルトニウム 238、239+240 が沈着した可能性が高いと判断することとした。

③ プルトニウム 241 の測定結果に関する考察

○被ばく線量評価の観点からは、プルトニウム 241 の線量換算係数はプルトニウム 238、239+240 と比べて 1 桁程度小さいものの、経済産業省原子力安全・保安院が公表している福島第一原発からの放射性物質の放出量試算値 (平成 23 年 10 月 20 日公表) では、プルトニウム 238 の約 60 倍のプルトニウム 241 が放出されていると推定されている。そこで、今回の調査では、新たにプルトニウム 241 について分析することとした。

○プルトニウム 241 は低エネルギーのベータ線しか放出しないため、検出下限値を下げるのが難しく、精度の良い測定が困難である。そこで、今回の調査では、第 1 次分布状況等調査でプルトニウム 238、239+240 が検出された試料を再利用してプルトニウム 241 を分析し、プルトニウム 238、239+240、241 の沈着量の比率を求めることで、この比率を基にプルトニウム 241 を分析していない箇所におけるプルトニウム 241 の沈着量を推定可能か検討することとした。そこで、調査試料としては、プルトニウム 238、239+240 を分析した後の試料 (第 1 次分布状況等調査時にプルトニウムを測定した試料及び今回の調査で新たにプルトニウムを測定した後の試料) とした。

○その結果、今回の調査では、

- ・プルトニウム 238、239+240 を測定した試料を再利用してプルトニウム 241 を分析する手法を用いたこと

- ・プルトニウム 238、239+240 の測定で使用した土壌試料量 (50g) は、プルトニウム 241 を有意に検出するためには少なかったこと

から、プルトニウム 241 の検出下限値が下がらず、検出下限値以上のプルトニウム 241 を測定できた試料は 3 試料であった (表 2 参照)。

○このため、本調査で目的とした、プルトニウム 238、239+240、241 の沈着量の比率について、より明確に確認することはできなかった。今後、分析に供する土壌試料量を倍の 100g にし、プルトニウム 238、239+240 とプルトニウム 241 の分析を最初から別々に行うことで、検出下限値を下げることを検討している。

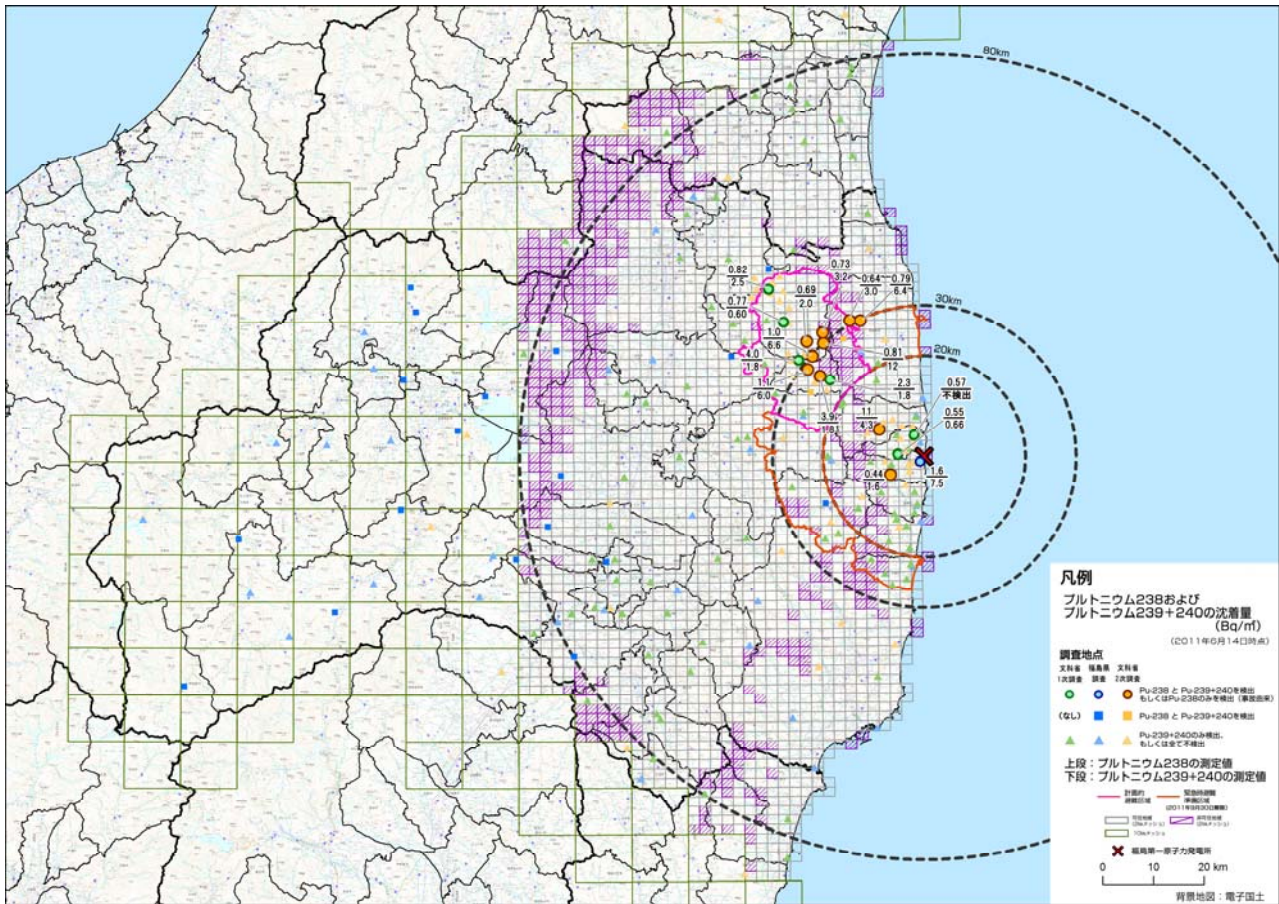


図7 プルトニウム238、239+240の土壌濃度マップ
 (平成23年6月14日時点に放射能濃度を換算)

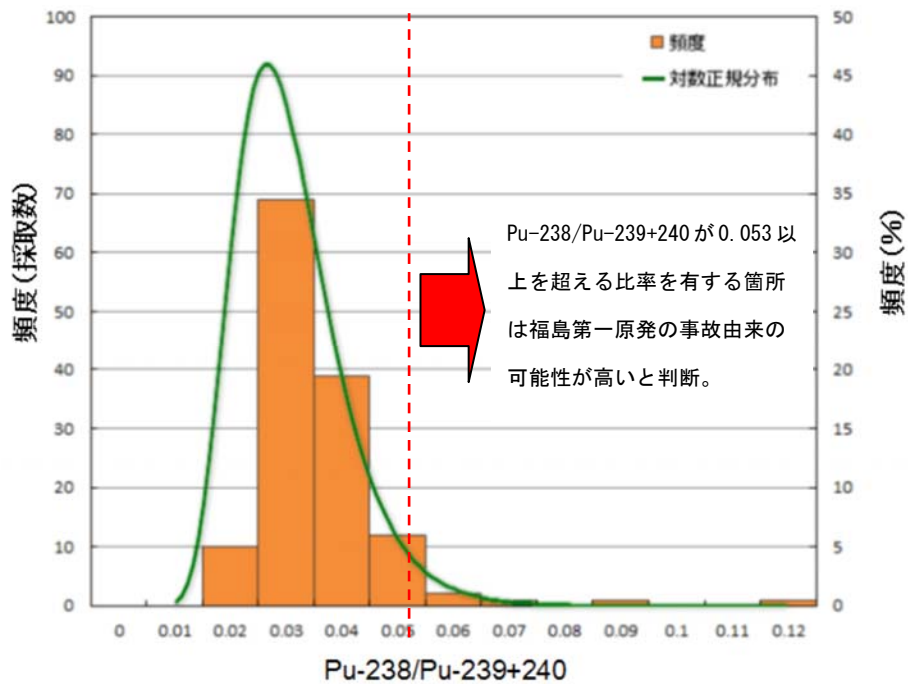


図8 平成11~21年度までの環境放射能水準調査で得られた
 プルトニウム238/プルトニウム239+240濃度比率の頻度分布

**表 2 プルトニウム 241 の放射能濃度に対する
プルトニウム 238 及びプルトニウム 239+240 放射能濃度の比率**

	今回の調査で検出されたプルトニウム 241 の放射能濃度 (Bq/m ²)	試料あたりのプルトニウム 241 に対するプルトニウム 238 の放射能濃度の比率	試料あたりのプルトニウム 241 に対するプルトニウム 239+240 の放射能濃度の比率	(参考 1) 当該試料について、第 1 次分布状況等調査で検出されたプルトニウム 238 の放射能濃度 (Bq/m ²)	(参考 2) 当該試料について、第 1 次分布状況等調査で検出されたプルトニウム 239+240 の放射能濃度 (Bq/m ²)
試料①	130.0	1.8%	1.4%	2.3	1.8
試料②	150.0	2.7%	1.2%	4.0	1.8
試料③	44.0	1.3%	—*	0.57	—*

*: プルトニウム 239+240 の放射能濃度が ND のため

3) ストロンチウム 89、90 の土壌濃度マップの作成結果及び考察

① ストロンチウム 89、90 の土壌濃度マップの作成結果

- 第 1 次分布状況等調査の結果から、ストロンチウム 89、90 の沈着範囲が福島第一原発の 80 km 圏内に留まらないほか、一部の調査箇所ではセシウム 137 に対するストロンチウム 89、90 の沈着量の比率が他の箇所に比べて大きいことが確認されており、その周辺においても同様の傾向にある可能性が示唆された。
- そこで、広範な地域における福島第一原発の事故由来のストロンチウム 89、90 の分布範囲を確認するため、東日本の空間線量率が高い地域を中心に新たに土壌試料を採取し、ストロンチウム 89、90 の沈着量を測定した。また、第 1 次分布状況等調査においてセシウム 137 に対するストロンチウム 89、90 の沈着量の比率が他の箇所に比べて大きいことが確認された調査箇所の周辺においても同様の傾向にあるか確認するため、第 1 次分布状況等調査においてストロンチウム 89、90 の沈着量の比率が大きいことが確認された調査箇所（以下、「相馬市（第 1 地点）」という。）の周辺の調査箇所第 1 次分布状況等調査時に採取された土壌試料を用いて、ストロンチウム 89、90 の沈着量を測定した。
- その結果、今回の調査におけるストロンチウム 89、90 の核種分析の結果は図 9 のとおりであり、第 1 次分布状況等調査では、調査対象とした福島第一原発から 80km の境界付近までストロンチウム 89 が検出されたが、今回の調査ではストロンチウム 89 の物理的半減期（50.53 日）が短いことから、全ての調査箇所では検出されなかった。
- また、今回の調査で新たに測定した相馬市（第 1 地点）周辺の 13 試料（10 箇所）については、ストロンチウム 89 の測定結果は不検出であったほか、ストロンチウム 90 の測定結果は、第 1 次分布状況等調査で相馬市（第 1 地点）において検出されたストロンチウム 90 の沈着量の値の約 50 分の 1 から 25 分の 1 程度と非常に小さい値であることが確認された。

② ストロンチウム 89、90 の測定結果に関する考察

○今回の調査では検出下限値を第1次分布状況等調査時の約3分の1にしてストロンチウム 89、90 の沈着量の測定を実施したが、ストロンチウム 89 については、ストロンチウム 89 の物理的半減期が短いことから、いずれの箇所においても検出されなかった。また、ストロンチウム 90 については検出されたものの、福島第一原発の事故前の平成 11～21 年度の全国調査の観測値と比較したところ、いずれの調査箇所でも過去の大気圏内核実験の影響による範囲内（検出下限値 $<950\text{Bq/m}^2$ ）にあった。

これらのことから、今回の調査結果からは、福島第一原発から 80km 圏外においては、明らかに福島第一原発の事故由来と判断される放射性ストロンチウムは確認されなかった。

○また、今回の調査では、相馬市（第1地点）周辺における放射性ストロンチウムの沈着状況を確認するため、平成 23 年 6 月に採取した土壌試料 13 試料について、今回、新たにストロンチウム 89、90 の沈着量を測定したが、これらの箇所ではストロンチウム 89 は不検出であり、検出されたストロンチウム 90 の沈着量についても、第1次分布状況等調査において相馬市（第1地点）で測定されたストロンチウム 90 の沈着量に対して、約 50 分の1から約 25 分の1程度と非常に小さい値であった。このことから、相馬市（第1地点）周辺の地域的な特徴として、放射性セシウムに対する放射性ストロンチウムの沈着量の比率が特別に高いということはなく、放射性ストロンチウムの土壌への沈着の状況が、放射性セシウムよりもバラツキが大きいことが確認された。なお、第1次分布状況等調査で相馬市（第1地点）のストロンチウム 89、90 の沈着量を測定するために使用した土壌試料のうち、残りの 30g の土壌試料を用いてストロンチウム 89、90 の沈着量を再測定したところ、ストロンチウム 89、ストロンチウム 90 双方とも不検出であり、同一の調査地点（相馬市（第1地点））で採取された 100g の土壌試料内においても放射性ストロンチウムの沈着量が変動することが確認された。

そこで、ストロンチウム 90 の沈着量の変動要因の確認のため、第1次分布状況等調査の結果について、セシウム 137 に対するストロンチウム 90 の沈着量の比率の変動状況を確認したところ、図 10 に示すように、多くの調査箇所におけるストロンチウム 90 の沈着量はセシウム 137 の沈着量の 1,000 分の1程度であることが確認された。ただし、相馬市（第1地点）における測定結果（第1次分布状況等調査で測定）のように、ごくまれにストロンチウム 90 の沈着量がセシウム 137 の沈着量の 10 分の1程度まで変動している場合があることが確認された。

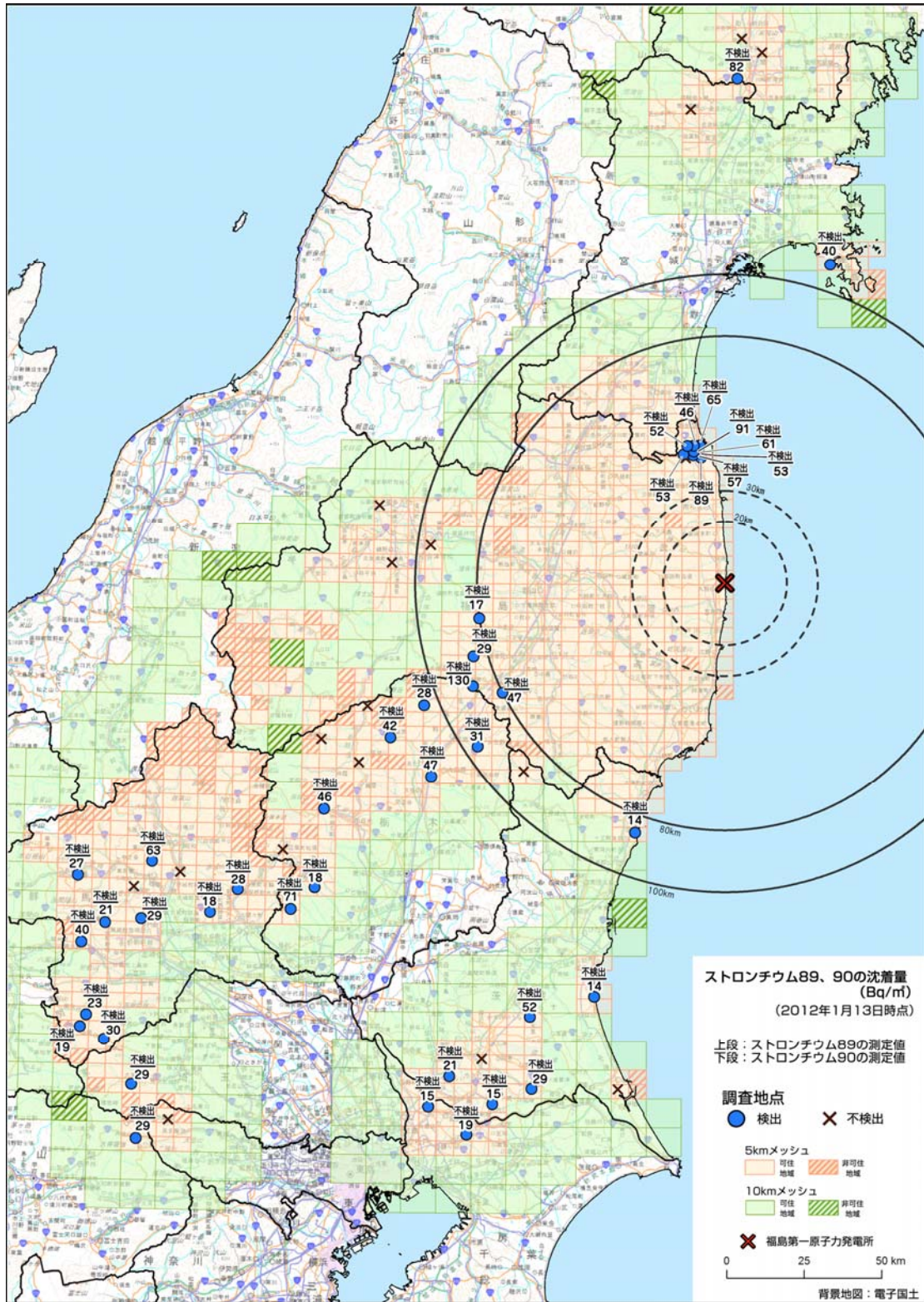


図9 ストロンチウム89、90の土壤濃度マップ
(平成24年1月13日時点に放射能濃度を換算)

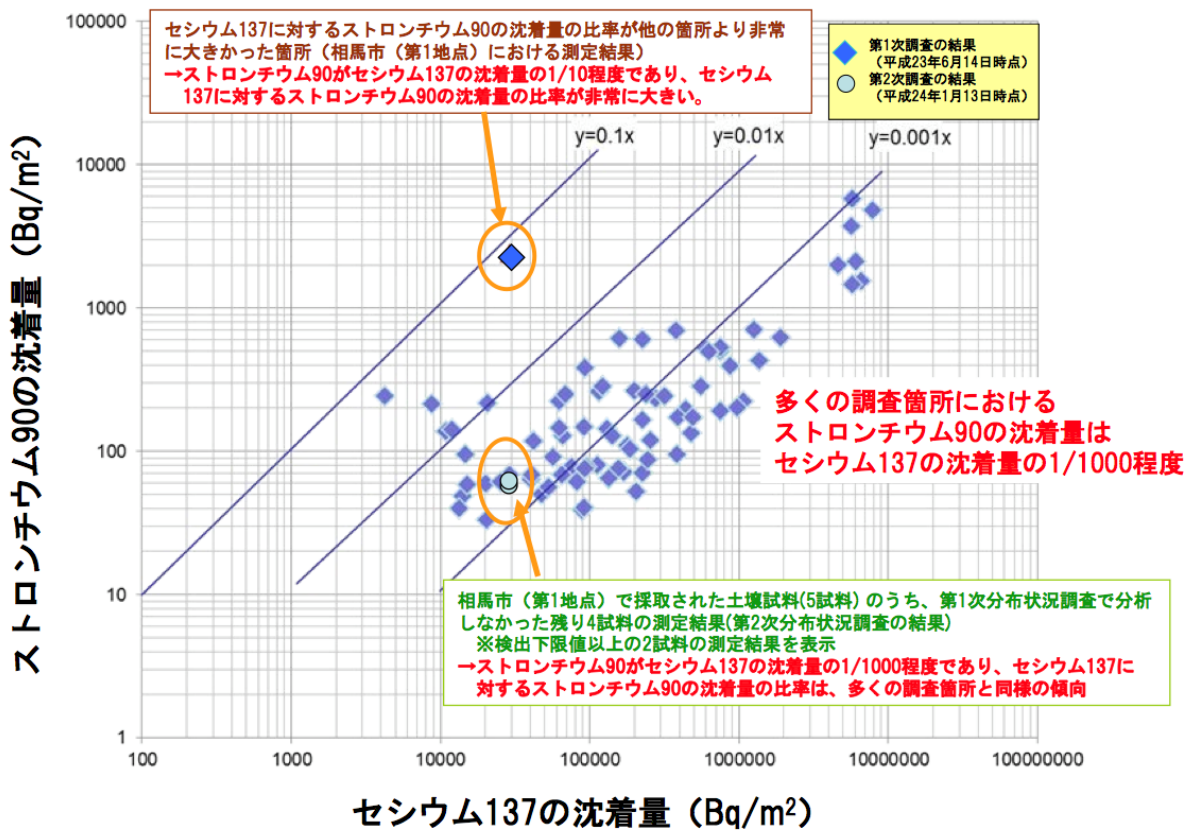


図10 第1次分布状況等調査におけるセシウム137に対するストロンチウム90の沈着量の比率

4) ヨウ素129の分析を通じたヨウ素131の沈着量の再構築の検証

今回の調査では、上記のような放射性物質の分布状況等調査に加えて、半減期の関係から現状では測定が困難なヨウ素131の沈着量の再構築に向けた検討を行った。

① ヨウ素129の分析を通じたヨウ素131の沈着量の再構築の目的

○第1次分布状況等調査では、主要な放射性核種の沈着量を把握することを目的に調査したものの、測定が実施された平成23年6月時点ではヨウ素131がかなり減衰しており、福島第一原発から100km圏内で採取した2,200箇所の土壌試料のうち、ヨウ素131の検出下限値以上の測定結果を得ることができたのは415箇所であった。

○他方で、ヨウ素131の沈着量は初期の住民の被ばく評価に必要不可欠なものであり、詳細な分布状況の把握が必要である。

○そこで、今回の調査では福島第一原発の事故に伴い、ヨウ素131と同時に放出されている半減期が長い（半減期：1,600万年）放射性同位体であるヨウ素129に着目し、ヨウ素129の放射能濃度の測定を通じてヨウ素131の沈着量を再現する手法について検討を行った。

②ヨウ素 129 の分析を通じたヨウ素 131 の沈着量の再構築の検討結果

- 第 1 次分布状況等調査で採取した土壌試料のうち、ヨウ素 131 が検出されている土壌試料についてヨウ素 129 の放射能濃度を測定し、ヨウ素 129 とヨウ素 131 の沈着量の相関を確認した。
- その結果、ヨウ素 131 に関して検出下限値以上の測定結果が得られた土壌試料 (82 試料) について、ヨウ素 129 とヨウ素 131 の沈着量の相関を確認したところ、幾つかの測定地点にはばらつきはあるものの、図 11 に示すように、ヨウ素 129 とヨウ素 131 の沈着量の間には正の相関が確認された。
- なお、ヨウ素 131 の放射能濃度に対するヨウ素 129 の放射能濃度の傾きを基に、ヨウ素 131 を再構築した結果と第 1 次分布状況等調査で測定されたヨウ素 131 の放射能濃度とを比較したところ、9 割以上の試料は 3 割以内の濃度差に収まり、ヨウ素 129 の測定結果を基に、平成 23 年 6 月 14 日時点のヨウ素 131 の沈着量を再構築することができることが確認された。
- 今後、平成 23 年 6 月 14 日時点のヨウ素 131 の土壌濃度マップについて、検出下限値以上の測定結果を得られなかった箇所を中心にヨウ素 129 の測定結果を基にヨウ素 131 の沈着量を再構築し、ヨウ素 131 の土壌濃度マップの精緻化を目指す。

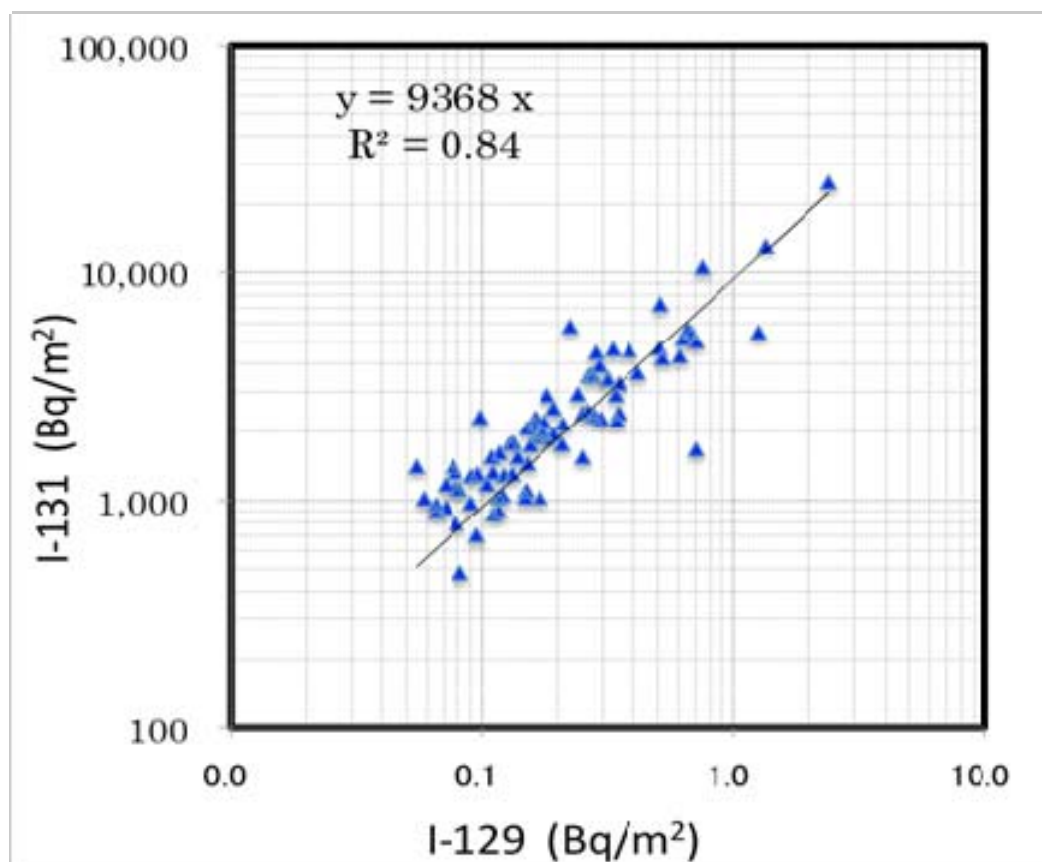


図 11 ヨウ素 129 (I-129) とヨウ素 131 (I-131) の放射能濃度の相関関係
(ヨウ素 129 の放射能濃度は平成 23 年 6 月 14 日時点に放射能濃度を換算。ヨウ素 131 の放射能濃度は平成 23 年 6 月 14 日時点の第 1 次分布状況等調査の結果を使用。)

(3) 現時点の外部被ばく実効線量への各放射性核種の寄与

- 現時点における、外部被ばく線量への各放射性核種の寄与を評価するために、各放射性核種の沈着量を基に実効線量換算係数²を用いて、現時点の外部被ばく実効線量率の評価を行なった。ここでは、空間線量率の異なる50の地点をランダムに選定し、各地点の放射性核種沈着量を全体で平均して用いた。その結果を表3に示す。セシウム134による外部被ばく実効線量への寄与が70%程度、セシウム137による寄与が30%程度であることが確認された。

表3 外部被ばく実効線量への各放射性核種の寄与割合

放射性核種	外部被ばく実効線量への寄与 (%)	
	平成23年6月	平成24年3月
Cs-134	70.9	68.0
Cs-137	28.1	32.0
Ag-110m	0.3	0.04
Te-129m	0.6	—
I-131	0.1	—

(4) 第1次分布状況等調査の結果と今回の調査結果との比較

① 第1次分布状況等調査の結果と今回の調査結果との比較（セシウム137の沈着量）

- 半減期が長く、物理的減衰による放射能濃度の変化量が少ないセシウム137の沈着量について、第1次分布状況等調査の結果と第2次分布状況等調査の結果を比較した。比較にあたっては、第1次分布状況等調査の調査箇所と第2次分布状況等調査の調査箇所の距離が10m以内である場合、同一箇所として扱った。
- 比較の結果を図12に示す。第2次分布状況等調査ではゲルマニウム半導体検出器を用いたin-situ測定により、測定箇所付近の平均的な放射性セシウムの沈着量を求めている。一方、第1次分布状況等調査では3m四方内の5地点で土壌試料を採取し得られた放射能濃度の平均値を求めたが、5試料間の変動が大きかった。また、一部については除染や整地作業により土壌表層の状態が変わっていることも予想される。そのため、第1次及び第2次分布状況等調査の相関にも調査箇所毎に比較的大きな変動が見られるが、セシウム137の濃度は全体として減少した傾向が見られた。

② 第1次分布状況等調査の結果と今回の調査結果との比較（空間線量率）

- 空間線量率の変化傾向を確認するため、第1次分布状況等調査で実施した第1次走行サーベイ（平成23年6月期）と今回の調査で実施した第2次走行サーベイ（平成23年12月期）、第3次走行サーベイ（平成24年3月期）との測定結果を比較した。比較にあたっては、第1次走行サーベイ、第2次走行サーベイ及び第3次走行サーベイで共通して走行した道路における測定結果を比較した。

² Saito et al., Radiat. Environ. Biophys. (2012) 51:411-423.

- 図 13 に示すように個々の地点における測定結果のばらつきはあるものの、全体の傾向として、第 1 次走行サーベイに比べて第 2 次走行サーベイで得られた道路上の空間線量率は 30%程度、第 3 次走行サーベイは 40%程度減少していることが明らかになった。この期間における放射性セシウムの物理的減衰に伴う空間線量率の減少は第 1 次から第 2 次走行サーベイまでの期間（6 ヶ月）で 12%、第 1 次から第 3 次走行サーベイまでの期間（9 ヶ月）で 17%であることから、道路上における空間線量率では放射性セシウムの物理的減衰以上に減少していることが確認された。また、ALOS(だいち)データを用いた JAXA の高解像度土地利用土地被覆図の結果を活用し、道路周辺の土地利用の状態を判別した上で、第 1 次走行サーベイで測定された空間線量率と第 2 次及び第 3 次走行サーベイで測定された空間線量率との相関関係について、道路周辺の土地利用の形態ごとに比較した。
- その結果、都市部や裸地（都市部以外の非植生地域）周辺の道路における空間線量率の減少傾向は、それ以外の土地利用区画に面した道路における空間線量率の減少傾向より統計的に大きいことが確認された（図 13 参照）。この要因の一つとしては、都市部では交通量が多いため、道路上を車が走行することに伴い、道路上に沈着した放射性物質が除去されやすい環境にあること、また都市部の道路周辺にアスファルトやコンクリートでできた構造物が多く、風雨による除染効果が現れやすい環境にあることが考えられる。
- なお、裸地（都市部以外の非植生地域）について測定箇所数が少ないことから、空間線量率の減少傾向の要因の確認のためには今後の継続調査が必要である。

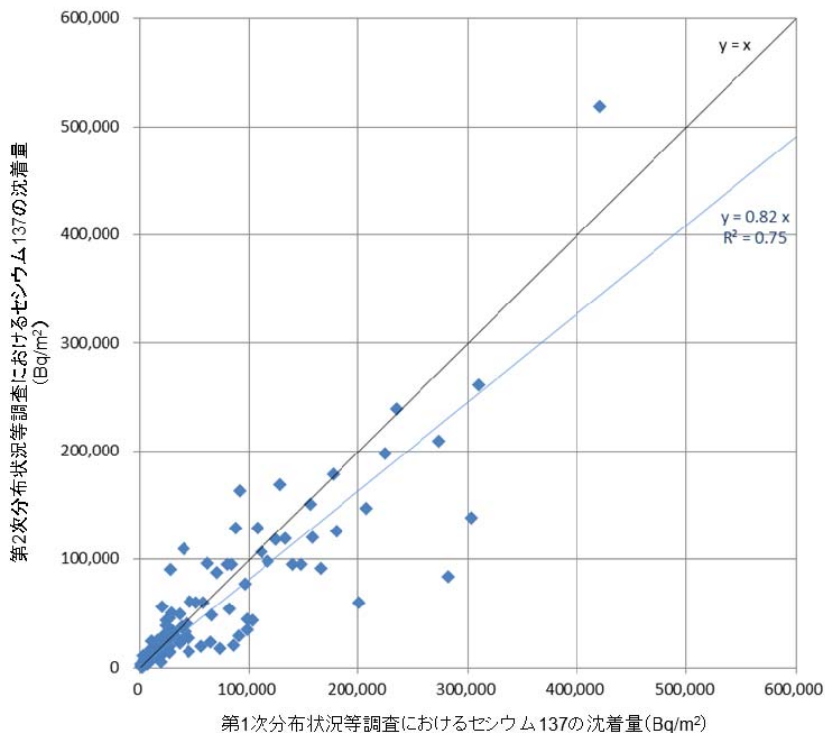


図 12 第 1 次分布状況等調査（平成 23 年 6 月 14 日時点に沈着量を換算）と第 2 次分布状況等調査（平成 24 年 3 月 1 日時点に沈着量を換算）におけるセシウム 137 沈着量の比較

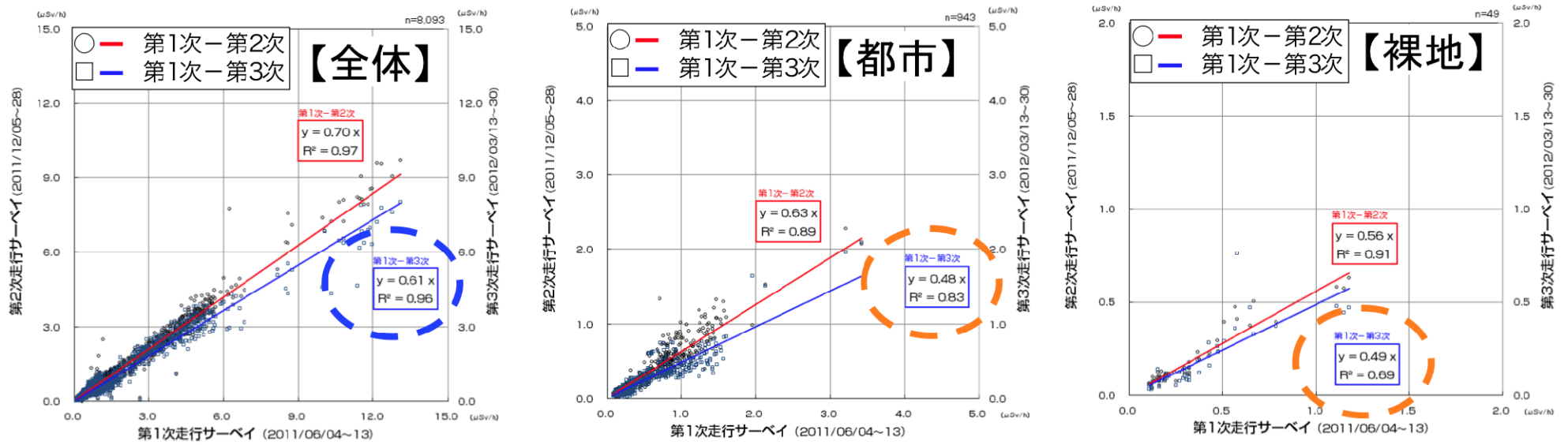


図 13 土地利用区画別に分類した第1次走行サーベイ、第2次走行サーベイ、第3次走行サーベイの空間線量率測定結果の変化

(5) 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将来的な影響

- 今後、セシウム 134、137 の物理的減衰に伴い、放射性セシウムの沈着量と空間線量率は減少していく。また、福島第一原発の事故前の経験から、ウェザリングの効果による放射性セシウムの沈着量の減少、空間線量率の減少が考えられる。
- そこで、ウェザリングの効果を確認するため、単位面積あたりの放射性セシウムの放射能(沈着量)の積算値を第1次分布状況等調査及び第2次分布状況等調査について比較した。ここでは汚染が高いところの特異性を除くために、0~200,000 Bq/m²の地域を対象とした。この地域で観測された沈着量を合計して第1次分布状況等調査に対する第2次分布状況等調査の比率を計算した結果、セシウム 134 に関する比率が 0.76、セシウム 137 に関する比率が 0.92 という値が得られた。この第1次分布状況等調査から第2次分布状況等調査までの期間(平成23年6月から平成24年3月:9か月間)における放射性セシウムの物理的半減期により予想される放射性セシウムの沈着量の減衰はそれぞれ 0.77 と 0.98 であるため、この期間におけるウェザリングによる効果はこの期間では数%程度と評価された。
- また、放射性セシウムの沈着量と同様に、第1次分布状況等調査と第2次分布状況等調査における空間線量率の積算値について比較を行ったところ、0~2.0 μSv/h の範囲の積算値の比は 0.83、全体の積算値の比は 0.78 であった。物理的半減期により予想される空間線量率の比率は 0.83 であり、平成23年6月から9か月間でのウェザリング等による減少は 5%以内と確認された。

(6) 放射線量等分布マップ拡大サイトの公開

- 文部科学省は、平成23年10月18日から福島第一原発事故に伴い放出された放射性物質の分布状況を詳細に確認することを目的として、放射線量等分布マップ(空間線量率マップや放射性セシウム等の土壌濃度マップ)、及び文部科学省がこれまでに実施してきた様々なモニタリングの結果(空間線量率や放射能濃度の分布状況)を示した地図について自在に拡大して表示できる「文部科学省放射線量等分布マップ拡大サイト」(<http://ramap.jaea.go.jp/map/>)を公開した。
- 本サイトは、平成23年11月から24年6月の8ヶ月における1日あたりの平均アクセス数は 2,400 件となっている。

(7) 放射線量等データベースの公開

- 原子力機構は、第1次分布状況等調査の結果について、行政関係者あるいは関係市町村の住民等を含む一般の人々が容易に確認可能であり、世界中の研究者においても福島第一原発事故の検証等に活用できるようにするため、測定結果のほか、測定手法、分析手法及び測定精度等の付帯情報を付加し、高いセキュリティで管理・運用可能なデータベース「文部科学省放射線量等データベース」を開発した。本データベースはその後、平成24年9月12日に「文部科学省放射性物質の分布状況等調査データベース」(<http://radb.jaea.go.jp/mapdb/>)として公開された。

○今後、第2次分布状況等調査の結果を順次公開するとともに、利用者のニーズに応じた改良をしていく予定である。

2. 放射線量等分布マップ関連研究に関する報告書（報告書第2編）

2.1 放射線量等分布マップ関連研究の目的

○平成23年6月から11月までの期間に実施した第1次分布状況等調査では、福島第一原発の事故により環境中に放出され土壌に沈着した放射性核種は概ね地表面から5cm程度の深さまで指数関数的に分布していることが確認された。

また、第1次分布状況等調査では、平成23年6月から11月の様々な自然環境中における放射性核種の移行状況について確認し、河川中の放射性物質の移行状況や針葉樹林、広葉樹林における放射性セシウムの分布状況の変化、土壌・森林からの放射性物質の飛散状況等に関する調査結果をまとめた。

○降水量等の条件により様々な自然環境中における放射性物質の移行状況は変化することが確認されている。放射性セシウムも土壌中でゆっくりであるが移動することがチェルノブイリ原発事故の観測例等により確認されている。我が国のように季節によって降水量等が大きく変わるような環境では、第1次分布状況等調査を実施した平成23年6月から11月と今回の調査を実施する冬季を含む時期（平成23年11月から平成24年5月）においては、放射性物質の分布状況及び移行状況が異なる可能性がある。

○そこで、報告書第1編においては、1都10県に及ぶ広範な地域における空間線量率マップやガンマ線放出核種の土壌濃度マップ等を作成したが、報告書第2編では、福島第一原発から80km圏内を中心に、冬期から春にかけての放射性物質の分布状況・移行状況の変化を確認するため、放射線量等分布マップ関連研究として、以下の重要な個別研究テーマについて調査研究を実施した。

○なお、報告書第2編はそれぞれの研究テーマに関する専門の研究者がまとめた研究結果を基に編纂し、原子力機構内に設置した「福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の第2次分布状況等に関する調査研究技術検討会」の委員により妥当性確認を経た上で取りまとめた。

① 土壌中における放射性セシウムの深度分布の確認

【スクレーパープレート及び鉄パイプを用いた土壌中の放射性セシウムの深度分布の確認：斎藤公明（日本原子力研究開発機構）、谷畑勇夫（大阪大学）他】

【土壌中における放射性セシウムの深度分布状況の違いの確認及び土壌中における放射性セシウムの移行要因の検討：青木和弘（日本原子力研究開発機構）他】

② 河川中（河川水、河底土、および浮遊砂）における放射性物質の濃度の変化傾向の確認

【池内嘉宏（日本分析センター）他】

③ モデル地域（福島県伊達郡川俣町山木屋地区）における放射性物質の包括的な移行状況の調査

【恩田裕一（筑波大学）他】

2.2 調査の内容及び結果

(1) 土壌中における放射性セシウムの深度分布の確認

【スクレーパープレート及び鉄パイプを用いた土壌中の放射性セシウムの深度分布の確認】

1) 調査概要

- 第1次分布状況等調査では、概ね地表面から5cm以内に土壌中における放射性セシウムの存在量の約90%以上が含まれることが確認された。
- セシウムは、一般に土壌粒子に吸着しやすいことが確認されているが、土壌中をゆっくりではあるが移動することが知られている。
- そこで、現状における福島第一原発により放出された放射性セシウムの土壌浸透の状況を確認するため、土壌採取器として国際原子力機関（IAEA）において標準的な測定手法とされているスクレーパープレートと、第1次分布状況等調査において土壌のコア試料の採取に使用した鉄パイプの双方を用いて、土壌中の放射性セシウムの深度分布を調査するとともに、放射性セシウムの深度分布の特徴とその要因について検討を行った（図14参照）。

2) 調査期間

- 平成23年12月中旬から平成24年4月中旬（現地調査等を実施）

3) 調査場所及び方法

- 放射性核種の沈着量が比較的大きい福島第一原発から80km圏内を中心として、5kmメッシュに区切りその5箇所に1箇所の割合で土地の利用状況区分等を考慮の上、調査箇所を選定した。なお、土壌採取方法の選択にあたっては、調査箇所の空間線量率の情報を考慮し、主に20～80km圏内についてはスクレーパープレートを、20km圏内については、より短時間で土壌試料採取が可能な鉄パイプを用いた採取方法を主に採用した（図15参照）。スクレーパープレートを用いた採取は84箇所で、鉄パイプを用いた採取は51箇所で実施した。

4) 調査結果及び考察

- 深度別の土壌試料は、スクレーパープレートでは地表面から0～0.5、0.5～1、1～1.5、1.5～2.0、2.0～3.0、3.0～4.0、4.0～5.0、5.0～8.0cmの8層に分けて採取し、各層から採取された土壌試料をよく攪拌した後U-8容器に封入して、ゲルマニウム半導体検出器を用いて放射性セシウムの放射能の測定を行なった。また、鉄パイプでは、長さ（深さ）30cmの土壌コア試料を採取し、鉛コリメータ付きのゲルマニウム半導体検出器で、深度別のガンマ線強度を測定した。
- 第1次分布状況等調査と同様に、多くの試料で、地表面からの深度に応じて指数関数的に放射性セシウムの放射能濃度が減少していることが確認された（図16の例1参照）。なお、一部の土壌試料では、土壌が攪乱されたことで、深い部分までほぼ同一濃度となる分布が確認された（図16の例2参照）。

- 測定箇所ごとに放射性セシウムの深度分布状況（深度特性）の違いを確認するため、未攪乱土壌と考えられる調査箇所の土壌試料について、土壌表層の放射性セシウムの放射能濃度が $1/e$ ($\cong 1/2.7$) になる深さ（以下、「緩衝深度」という。）をマップ上に表記した（図 17）。
- この結果をもとに放射性セシウムの 90% 深度（土壌に浸透した放射性セシウムの 9 割が含まれる深度）を求めた。その結果、概ねいずれの土壌試料についても、土壌に浸透した放射性セシウムの 9 割が地表面から 5cm の深さまでに存在していることが確認された（図 18 参照）。
- また、図 17 に示すように調査箇所によって緩衝深度の違いが見られたため、この要因を確認するため、放射性セシウムが粒径の小さな土壌粒子に吸着しやすいことに着目し、土壌最表層試料（地表面から 0~0.5cm）における粘土の含有率を土壌の粒径測定結果に基づき評価し、緩衝深度との関係を調査した。その結果、図 19 に示すように、粘土の含有率が増えるにつれ、緩衝深度が増加する傾向にあることが確認された。通常、粘土に放射性セシウムが吸着しやすいことが知られているが、今回の調査結果では土壌最表層（地表面から 0~0.5cm）の粘土の含有率が高いほど、放射性セシウムが浸透し易いという結果が得られた。今後、土壌の粒径や存在状態と放射性セシウムの浸透しやすさとの関係、空隙率、土壌密度、有機物含有量等の条件との関係について調査が必要である。



図 14 深度別の土壌試料の採取状況
（左は、スクレーパープレート、右は鉄パイプを用いた採取状況）

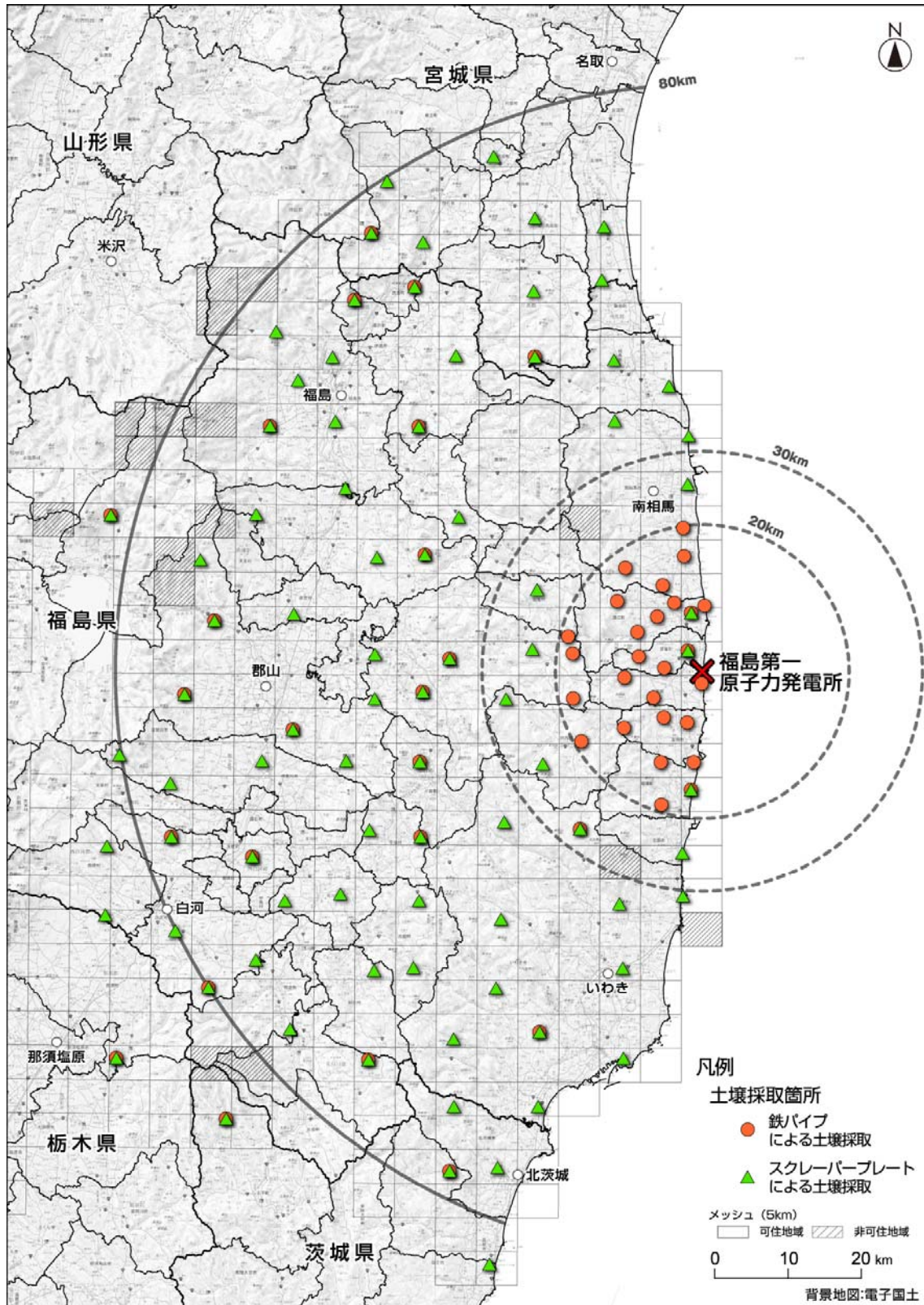


図 15 放射性セシウムの土壤深度分布測定における土壤試料採取箇所
(20km 圏外は平成 23 年 12 月に 20km 圏内は平成 24 年 4 月に試料を採取)

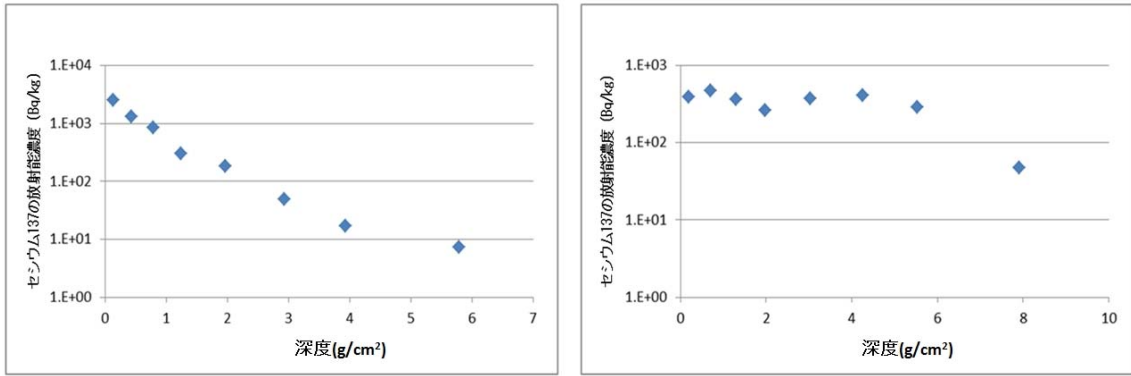


図 16 土壌中におけるセシウム 137 の深度分布事例（例 1 は地表面からの深度に応じて指数関数的に放射性セシウムの放射能濃度が減少している。例 2 は土壌が攪乱されたことで、深い部分までほぼ同一濃度に分布している。）

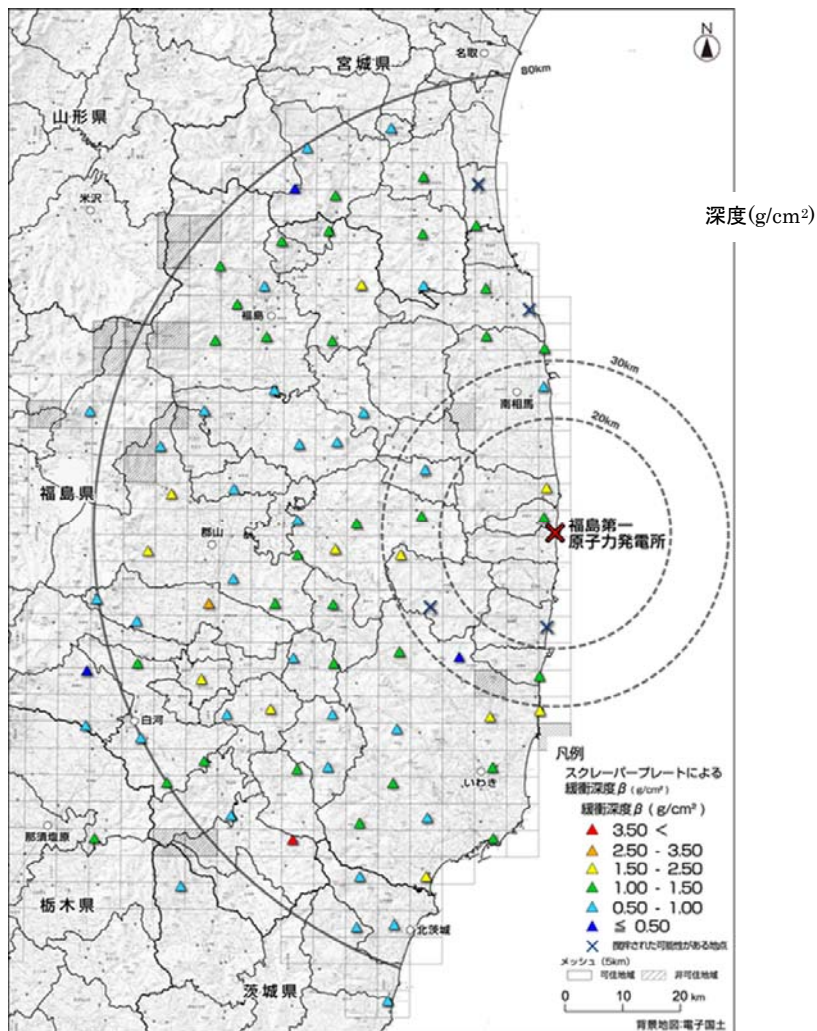


図 17 福島第一原子力発電所から 80km 圏内の放射性セシウムの緩衝深度（ β ：土壌表層の放射性セシウムの濃度が約 $1/2.7$ になる深さ）の分布状況（スクレーパープレートで採取した深度別の土壌試料を分析した結果：20km 圏外は平成 23 年 12 月に、20km 圏内は平成 24 年 4 月に試料を採取）

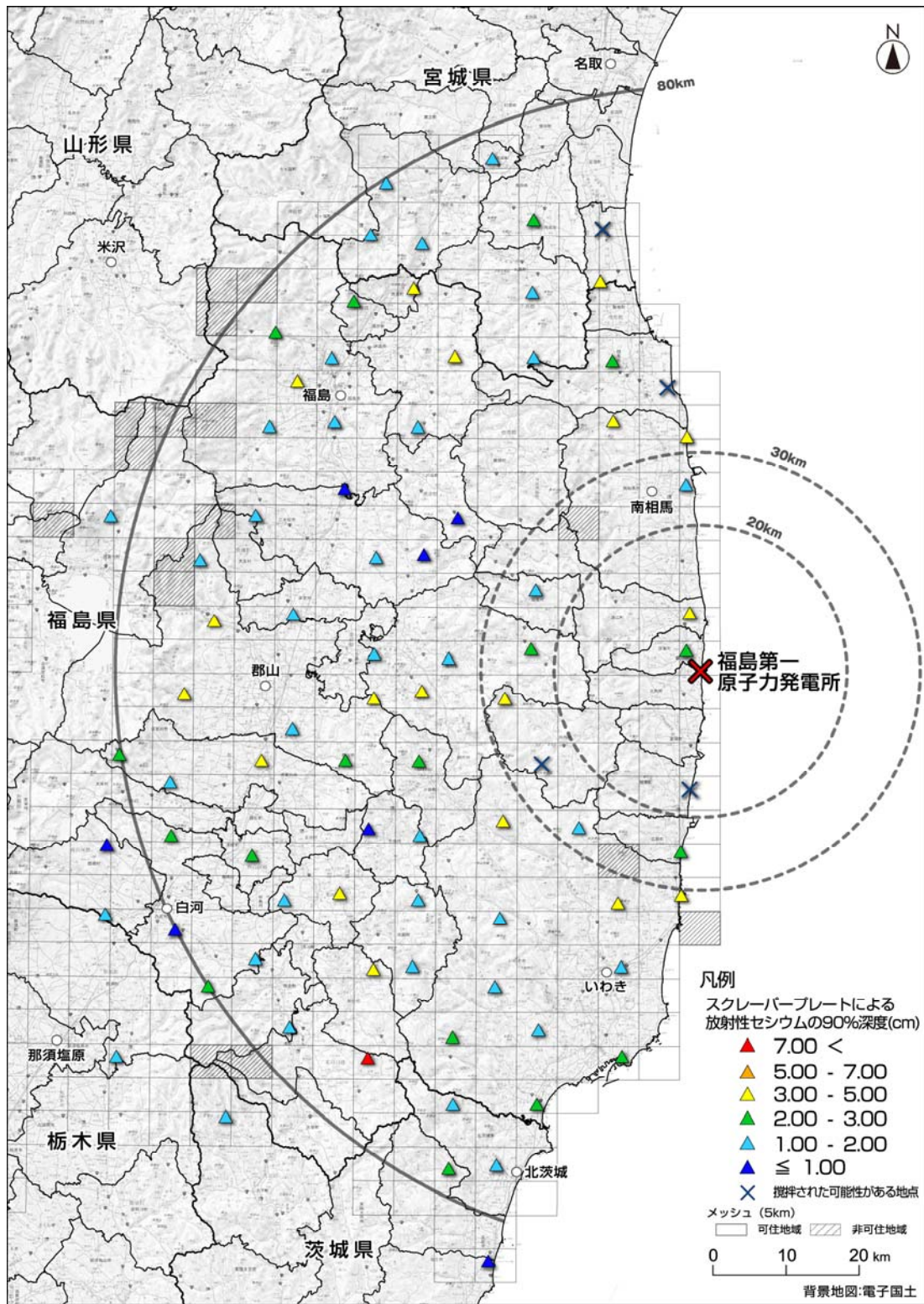


図 18 福島第一原子力発電所から 80km 圏内の放射性セシウムの 90% 深度(土壤に浸透した放射性セシウムの 9 割が含まれる深度)
 (スクレーパープレートで採取した深度別の土壤試料を分析した結果:20km 圏外は平成 23 年 12 月に、20km 圏内は平成 24 年 4 月に試料を採取)

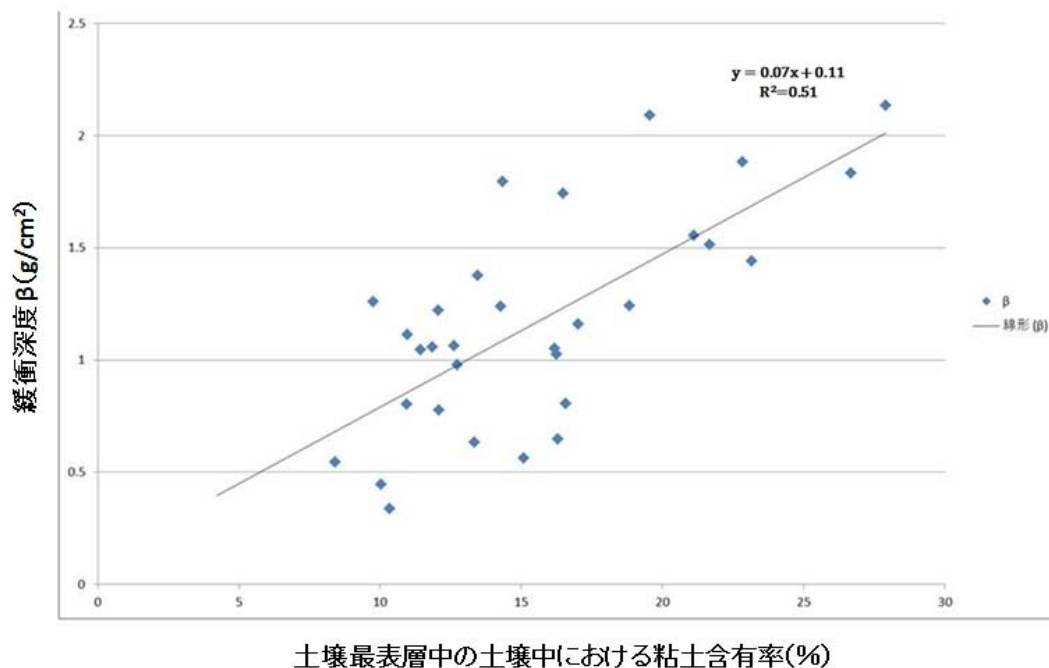


図 19 土壤最表層中（地表面から 0～0.5cm）の粘土含有率と緩和深度（ β ：土壤表層の放射性セシウムの濃度が約 $1/2.7$ になる深さ）の相関図

【土壌中における放射性セシウムの深度分布状況の違いの確認及び土壌中における放射性セシウムの移行要因の検討】

1) 調査概要

- 平成 23 年 6 月から 11 月に実施した第 1 次分布状況等調査及び今回実施した福島第一原発から 80km 圏内における深度分布状況等調査の双方において、調査箇所によって放射性セシウムの深度分布に違いが生じている箇所が確認された。
- 土壌中の放射性セシウムの深度分布のばらつきの要因について詳細な確認を行うため、土壌構成鉱物の種類やその含有率、土壌の粒径分布の違いに伴う放射性セシウムの深度分布特性を評価し、放射性セシウムと土壌粒子との吸着、脱離しやすさについて検討を行った。
- なお、第 1 次分布状況等調査時からの放射性セシウムの深度分布の変化状況を確認するため、第 1 次分布状況等調査で土壌試料を採取した箇所で採土器（大口径土壌サンプラー）を用いて土壌をコア試料として採取し（図 20 参照）、ゲルマニウム半導体検出器を用いて深度別の放射性セシウムの放射能濃度の測定を行った。

2) 調査期間

○平成 24 年 2 月下旬から 3 月上旬（現地調査等を実施）

3) 調査場所

○第 1 次分布状況等調査における放射性セシウムの深度分布と今回の調査結果とを比較するため、今回の調査では第 1 次分布状況等調査を行った調査箇所（11 箇所）のうち 8 箇所で土壌試料を採取した。なお、第 1 次分布状況等調査では、放射性セシウムの沈着量及び空間線量率が比較的高い地域（浪江町、川俣町等）を主な調査対象地域として選定した（図 21 参照）。

4) 調査結果及び考察

○土壌中の放射性セシウムの深度分布について確認したところ、前述したスクレーパープレートによる調査と同様に、通常的地表面土壌では土壌表面から 5 cm 以内にほとんどの放射性セシウムがまだ存在しており、放射性セシウムの地中への移行は全般に遅いことが確認された（図 22 参照）。他方で、元農地と推定される土壌については、いずれの箇所でも深度 16cm 以内に土壌中の放射性セシウムの 95%以上が存在していることが確認された（図 23 参照）。元農地と推定される土壌は、第 1 次分布状況等調査時に地表面から 14cm 以内にほぼ全ての放射性物質が存在していたことを考慮すると、時間の経過に伴い一部の放射性セシウムがわずかに深部に浸透しているが、その量はわずかであることが確認された。

○続いて、放射性セシウムの深度分布と土壌構成との関係について調査するため、今回の調査箇所を土壌分類（砂質、粘土質、有機質）に従って分類し、それぞれの土壌分類ごとの放射性セシウムの深度分布の状況の違いについて確認した。その結果、調査箇所によるばらつきはあるものの、土壌攪乱の影響のない地表面土壌について比べると、褐色ないし黒色土壌を支持層とする有機質土壌では、砂質土壌や粘土質土壌に比べて、90%深度（土中の放射性セシウムの全存在量の 90%が含まれる深さ）、及び 99%深度（土中の放射性セシウムの全存在量の 99%が含まれる深さ）が大きくなる傾向が確認され、有機質土壌、つまり有機物が多い土壌では放射性セシウムが深くまで浸透している傾向にあることが確認された（表 4 参照）。

○また、粘土質土壌、有機質土壌、砂質土壌について、放射性セシウムの収着しやすさ及び脱離しやすさについて評価を行った。収着分配係数が高い程、土壌に放射性セシウムが収着しやすく、脱離試験における固相への残存割合が低い程、土壌から放射性セシウムが脱離しやすいことを示す。その結果、有機質土壌は砂質土壌や粘土質土壌に比べて放射性セシウムが吸着しづらいこと、土壌粒子から脱離しやすく浸透しやすいことが確認された。（図 24 及び図 25 参照）

○今回の調査では有機物の定量を行っていないため、定量的な議論は今後の課題である。しかし、一般的には有機質土壌の分布は地表浅部に限られることが多く、今回の調査でも有機質土壌は、数 cm から数十 cm 程度の深さまでしか分布していない。



図 20 大口径土壌サンプラーを用いた土壌中深さ方向の放射性物質の分布状況調査の状況

(a) ポータブルドリルと大口径サンプラー（内径 15cm）による掘削作業（左写真：地中への押し込み状況）と (b) 採取された土壌コアの例（右写真：開口した状態のロッド）

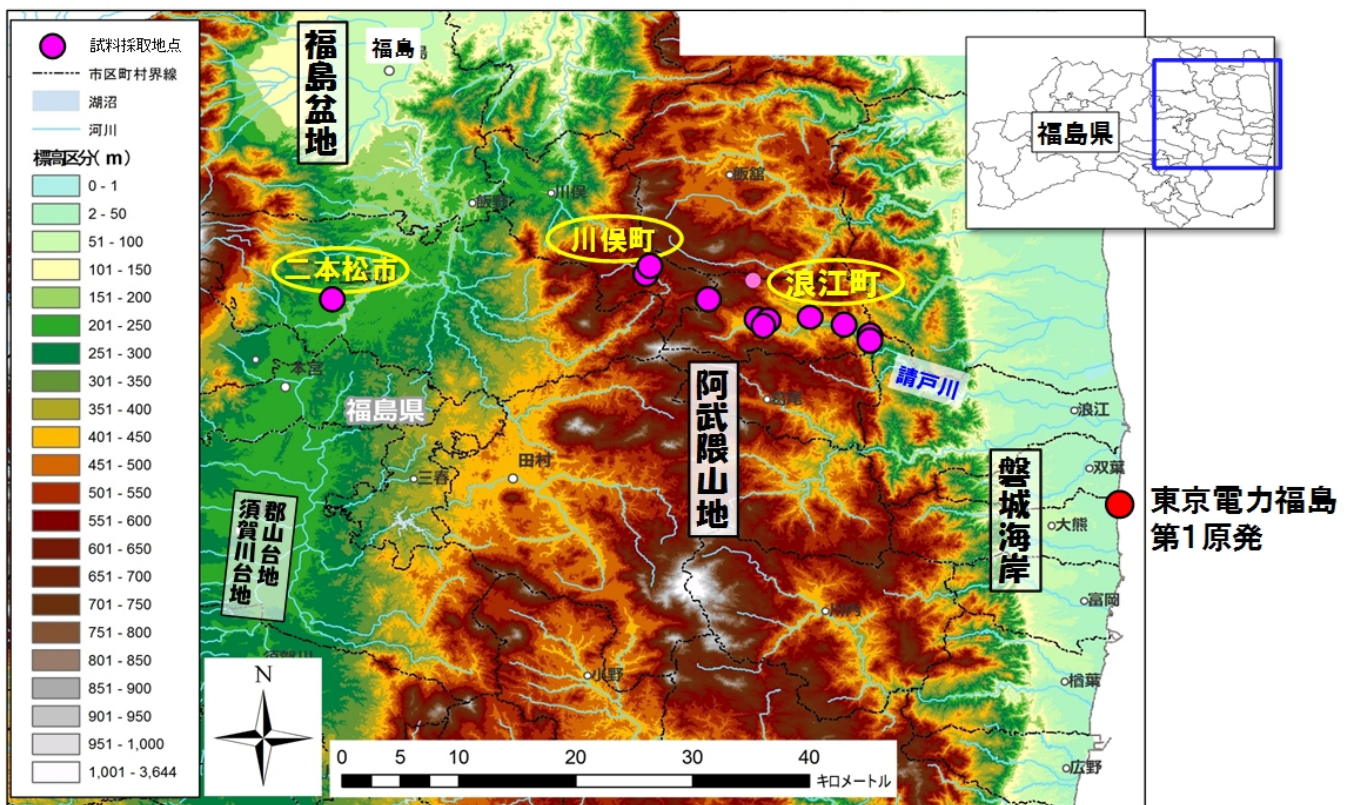
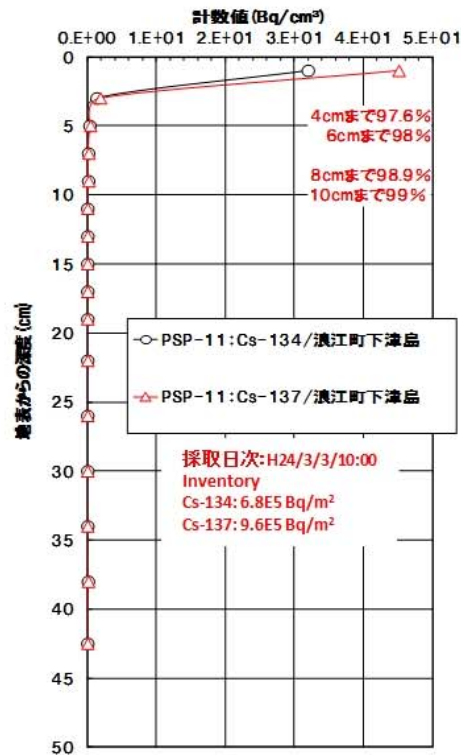
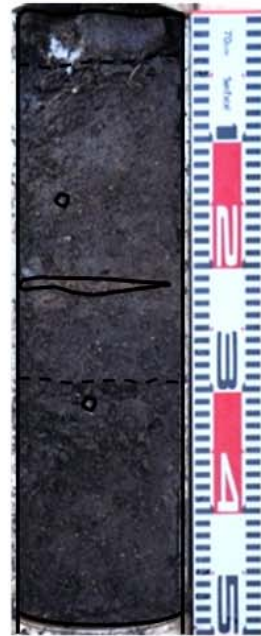


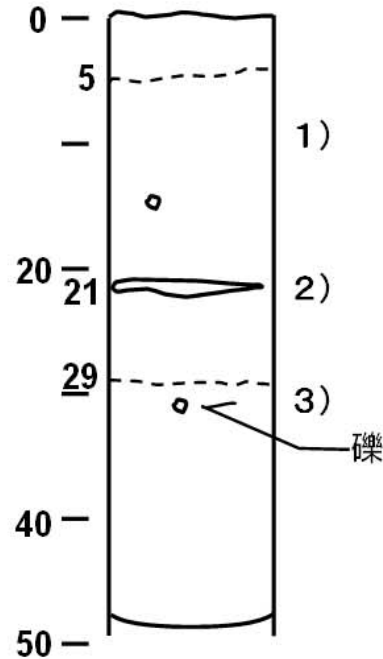
図 21 第 2 次分布状況等調査における調査箇所と試料採取地点の位置図と標高



第2次分布状況等調査の
放射性セシウムの分布状況



地表面からの
深度 (cm)



0) 地表面: 枯草あり、4cm程度まで凍結

1) 黒色土壌

- ・黒ボク土のA層に相当する土壌
- ・やや褐色味を帯びる
- ・φ5mmの礫をごく稀に含む
- ・ごく稀に黒雲母(風化)、長石片を含む
- ・深度5cmまで草本類の細根多い

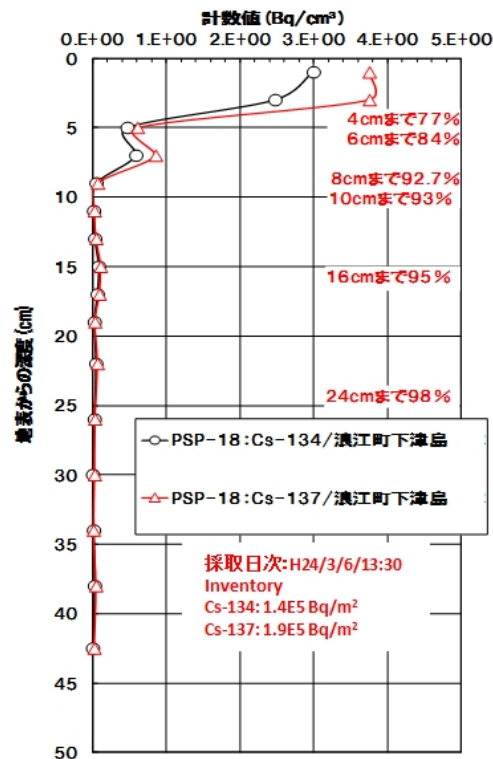
2) 赤色粘土

- ・レンズ状の外形をなし、厚さ5mm

3) 黒色土壌

- ・黒ボク土のA層に相当する土壌
- ・ごく稀に黒雲母(風化)、長石片を含む
- ・粒状の土壌構造をもつ
- ・深度29cm以深は、やや乾燥

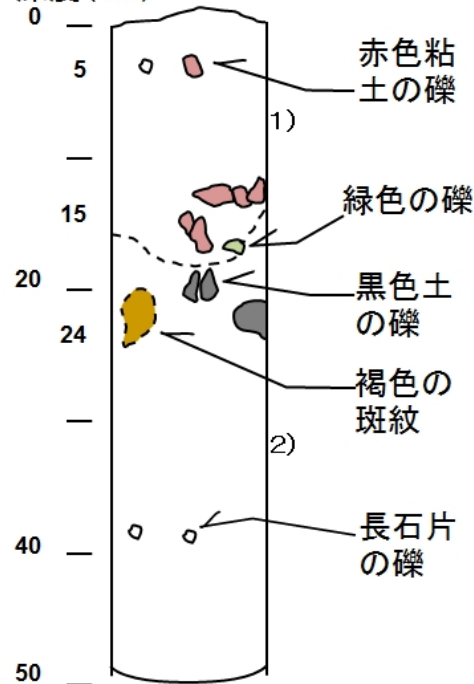
図 22 地表面土壌中の放射性セシウムの深度分布調査の結果 (調査結果の一例)
(通常の地表面土壌では、放射性セシウムの地中への移行は全般に遅く、
土壌表面から 5 cm 以内にほとんどの放射性セシウムがまだ存在していた)



第2次分布状況等調査の放射性セシウムの分布状況



地表面からの深度 (cm)



0) 地表面：枯草や草本類の細根なし

1) 砂混じり粘土質褐色土壌

- ・深度5cm程度にφ5～1cmの礫を多く含む
- ・下位の2)粘土質赤色土壌に由来する礫を、下部に含む
- ・φ0.5～1cm程度の団粒状の土壌構造が発達

2) 粘土質赤色土壌

- ・黒雲母（風化），長石片を多く含む
- ・褐色、黒色土の礫を上部に含む
- ・深度35cmにφ5～1cmの長石片の礫を層状に含む
- ・上位の1)褐色土壌との境界部は不明瞭であり，褐色土壌と赤色土壌が混在
- ・φ2～5cm程度の塊状の土壌構造が発達

図 23 元農地と推定される土壌中の放射性セシウムの深度分布調査の結果（調査結果の一例）
（元農地と推定される土壌については、いずれの箇所でも深度 16cm 以内に土壌中の放射性セシウムの 95%以上が存在していた）

表4 大口径土壌サンプラーを用いた土壌中の放射性セシウムの深度分布調査の結果
(砂質、粘土質、有機質土壌に分類して評価した結果)

		90%深度 (土中の放射性セシウムの全存在量の90%が含まれる深さ)	99%深度 (土中の放射性セシウムの全存在量の99%が含まれる深さ)	備考 (土壌分類ごとに該当する調査箇所)
砂質土壌	地表面土壌	2cm以下～4cm程度	2cm程度～10cm程度	PSP-1,PSP-3,PSP-9
	元農地と推定される土壌	～8cm程度	～16cm程度	PSP-5
粘土質土壌	地表面土壌	7cm程度	10cm程度～12cm程度	PSP-13
	元農地と推定される土壌	7cm程度～14cm程度	10cm程度～40cm程度	PSP-11,PSP-16,PSP-18
有機質土壌	地表面土壌	～13cm程度	～16cm程度	PSP-15
	元農地と推定される土壌	4cm程度～9cm程度	18cm程度～20cm程度	PSP-8,PSP-17

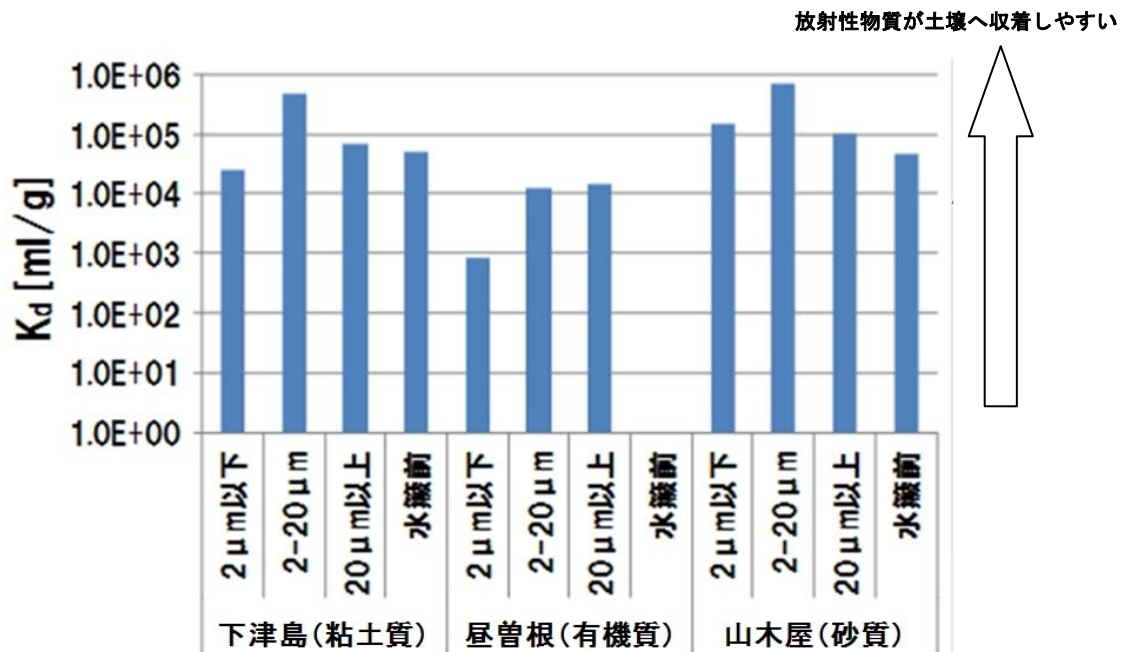


図24 土壌及び土壌構成成分(粘土質、有機質、砂質)に対する放射性セシウムの収着分配係数(kd)(土壌への放射性セシウムの収着しやすさ)の測定結果

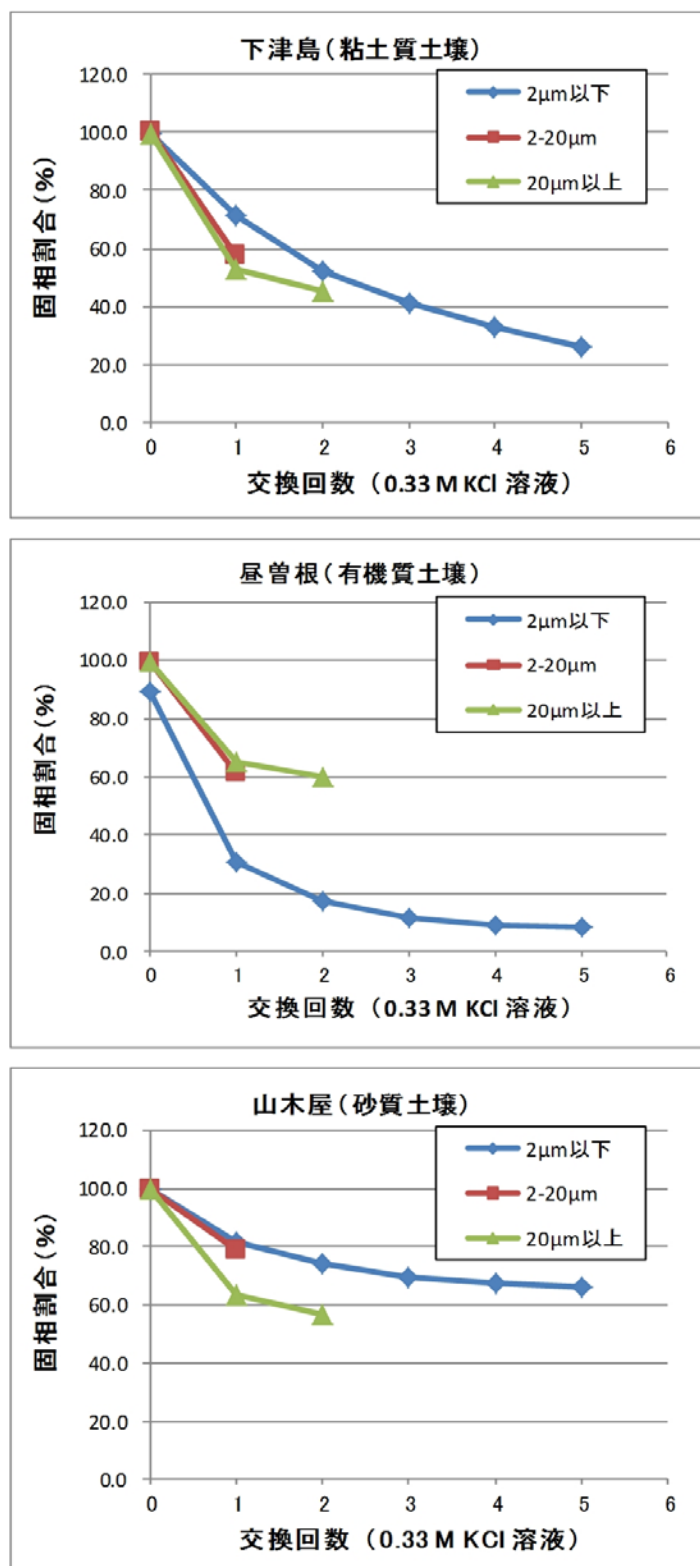


図 25 土壌及び土壌構成成分（粘土質、有機質、砂質）に対する放射性セシウムの脱離試験結果（0.33MKCl 溶液による脱離試験の結果、固相に放射性セシウムが残る割合（固相割合）が小さいほど土壌から放射性セシウムが脱離しやすいことを示す）

(2) 河川中（河川水、河底土、及び浮遊砂）における放射性物質の濃度の変化傾向の確認

1) 調査概要

○平成 23 年 6 月から 11 月の第 1 次分布状況等調査では、多くの調査地点で採取された河川試料から福島第一原発から放出された放射性セシウム等の放射性核種が検出された。

○そこで、今回の調査では、平成 23 年 12 月下旬から平成 24 年 2 月下旬における河川中の放射性核種の放射能濃度の現状や第 1 次分布状況等調査時からの放射能濃度の変化状況を確認するため、第 1 次分布状況等調査と同一箇所、河川水、河底土及び浮遊砂の放射性セシウム等の放射性物質の放射能濃度を測定した。

- ・河川水：放射性セシウム、ヨウ素 131、及びストロンチウム 89、ストロンチウム 90 の放射能濃度の測定（放射性ストロンチウム測定は、放射性セシウムの測定箇所から空間線量率の高い箇所等を考慮して 10 箇所を選定）
- ・河底土：放射性セシウム、ヨウ素 131 の放射能濃度の測定
- ・浮遊砂：放射性セシウム、ヨウ素 131 の放射能濃度の測定

2) 調査期間

○平成 23 年 12 月下旬から平成 24 年 2 月下旬

3) 調査場所

○第 1 次分布状況等調査時に測定された河川水、河底土及び浮遊砂中の放射性核種の放射能濃度の変化状況を確認するため、調査箇所は第 1 次分布状況等調査と同一箇所（福島県内の 50 箇所）とした（図 26 参照）。また、この調査箇所から 10 箇所を選定し、河底土、浮遊砂を採取した。なお、第 1 次分布状況等調査の調査箇所は、地表面への放射性セシウムの沈着量が比較的高い箇所から選定している。

4) 調査結果及び考察

○第 1 次分布状況等調査では、放射性セシウム及び放射性ストロンチウムの他、少数の試料からテルル 129m、銀 110m が検出されたが、今回の調査では、河川試料（河川水、河底土及び浮遊砂）から検出された放射性核種は放射性セシウム及びストロンチウム 90 の他、それぞれ 1 箇所ではあるものの、河底土及び浮遊砂から銀 110m が検出された。

なお、河川水中のセシウム 134、セシウム 137 の放射能濃度の最大値はそれぞれ 3.3Bq/kg、4.2Bq/kg であり、いずれも厚生労働省告示第 370 号「食品、添加物等の規格基準」による新たな基準値 10Bq/kg よりも低いことが確認された。また、本調査において、河川試料から検出下限値以上のストロンチウム 90 が検出された。なお、このストロンチウム 90 について影響を確認するため、直接、河川水を飲用することは考えられないが、仮に、この検出されたストロンチウム 90 の最高放射能濃度の河川水を 1 年間飲み続けた場合に生じる内部被ばくについて計算[※]したところ、放射性セシウムの放射能濃度

の最高値が検出された河川水を1年間飲み続けた場合に生じる内部被ばく線量と比べて、非常に低いことが確認された。

※：計算条件

原子力安全委員会 原子力発電所等周辺防災対策専門部会 環境ワーキンググループ「飲用物摂取制限に関する指標について」より1日の水分の摂取量は1.65リットル（成人の1日当たり摂取量）を、また、同指標より単位経口摂取当たりの線量（mSv/Bq）には次の成人の数値（ストロンチウム90： 2.8×10^{-5} mSv/Bq、セシウム134： 1.9×10^{-5} mSv/Bq、セシウム137： 1.3×10^{-5} mSv/Bq）を用いて計算した。

- 第1次分布状況等調査時の測定結果と今回の調査結果を比較したところ、半年しか時間が経過していないが、ほとんどの調査箇所では河川水、河底土及び浮遊砂に含まれるセシウム134及び137の放射能濃度が減少傾向にあることが確認された（図27及び図28）。
- 平成23年6月から11月の第1次分布状況等調査では、各調査箇所の上流域を起源とする土砂が河川に流入することで、各調査箇所の河川試料の放射性セシウムの放射能濃度が決定されていることを示唆する結果が得られた。

そこで、今回の調査においても各調査箇所の上流域からの土砂流入の影響を確認するため、河川試料中の放射性セシウムの放射能濃度と各調査箇所の上流域の放射性セシウムの沈着量との相関関係を確認した。その結果、今回の調査では、第1次分布状況等調査に比べて河川水、河底土の放射能濃度と上流域の放射性セシウムの沈着量との相関関係の傾きが低下していることが確認された（図29(a)、(b)）。また、今回の調査における浮遊砂中の放射性セシウムの放射能濃度と各調査箇所の上流域の放射性セシウムの沈着量との相関関係を確認したところ、第1次分布状況等調査（1回目、2回目）では相関関係があったものの、今回の調査では明確な相関関係が確認できなかった（図29(c)）。このことから、平成23年6月から11月の調査と今回の調査では、河川内に流入する浮遊砂の土砂の起源が異なる、あるいは濃度の高い浮遊砂がすでに流出してしまっている等の可能性が示唆された。

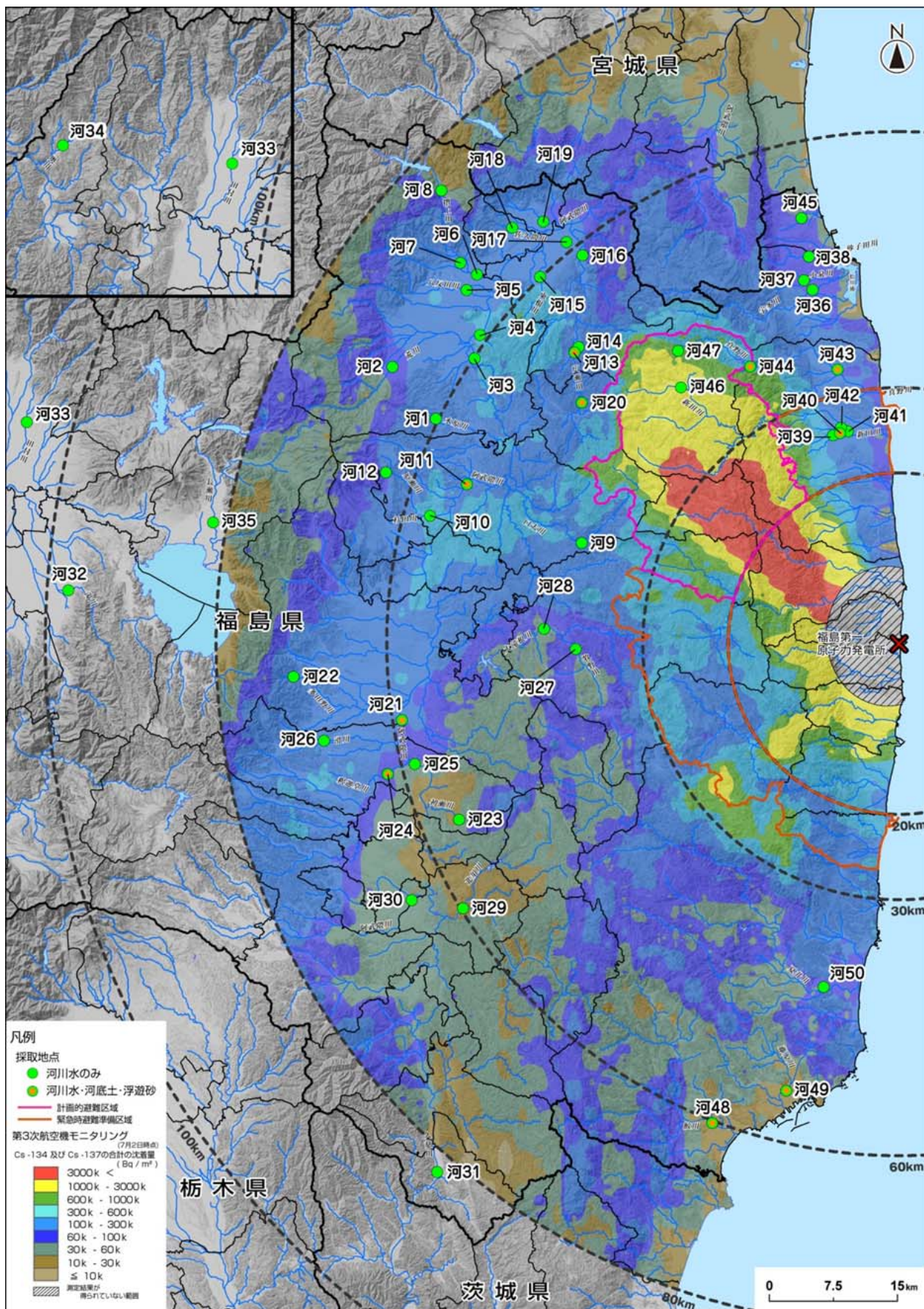


図 26 河川試料（河川水、河底土及び浮遊砂）の採取箇所

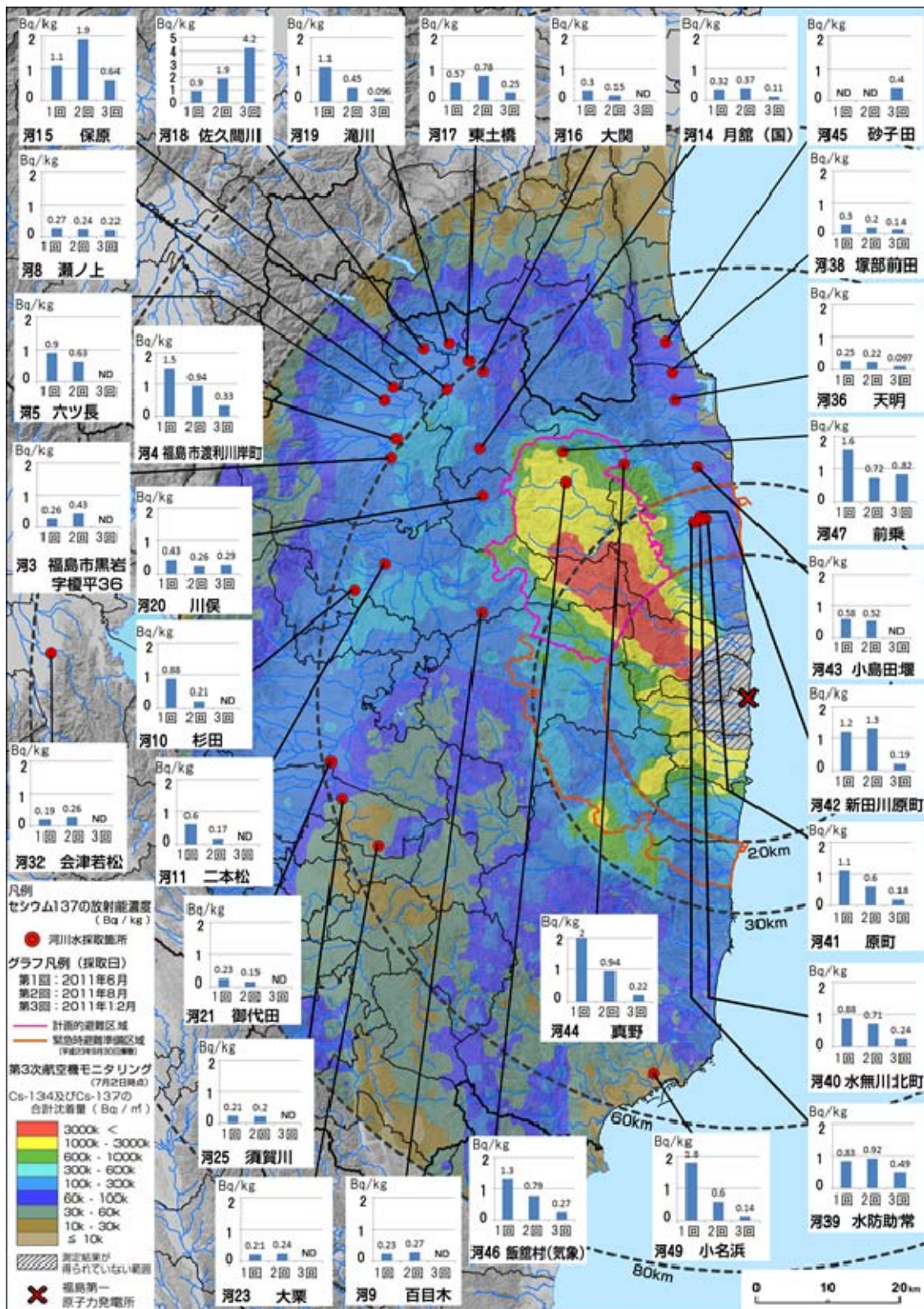


図 27 河川水試料中の放射性物質 (セシウム 137 の例) の放射能濃度の変化 (第 1 次分布状況等調査 (第 1 回): H23. 6. 29~7. 1 採取、第 1 次分布状況等調査 (第 2 回): H23. 8. 1~2 採取、第 2 次分布状況等調査 (第 3 回): H23. 12. 21~22 採取)

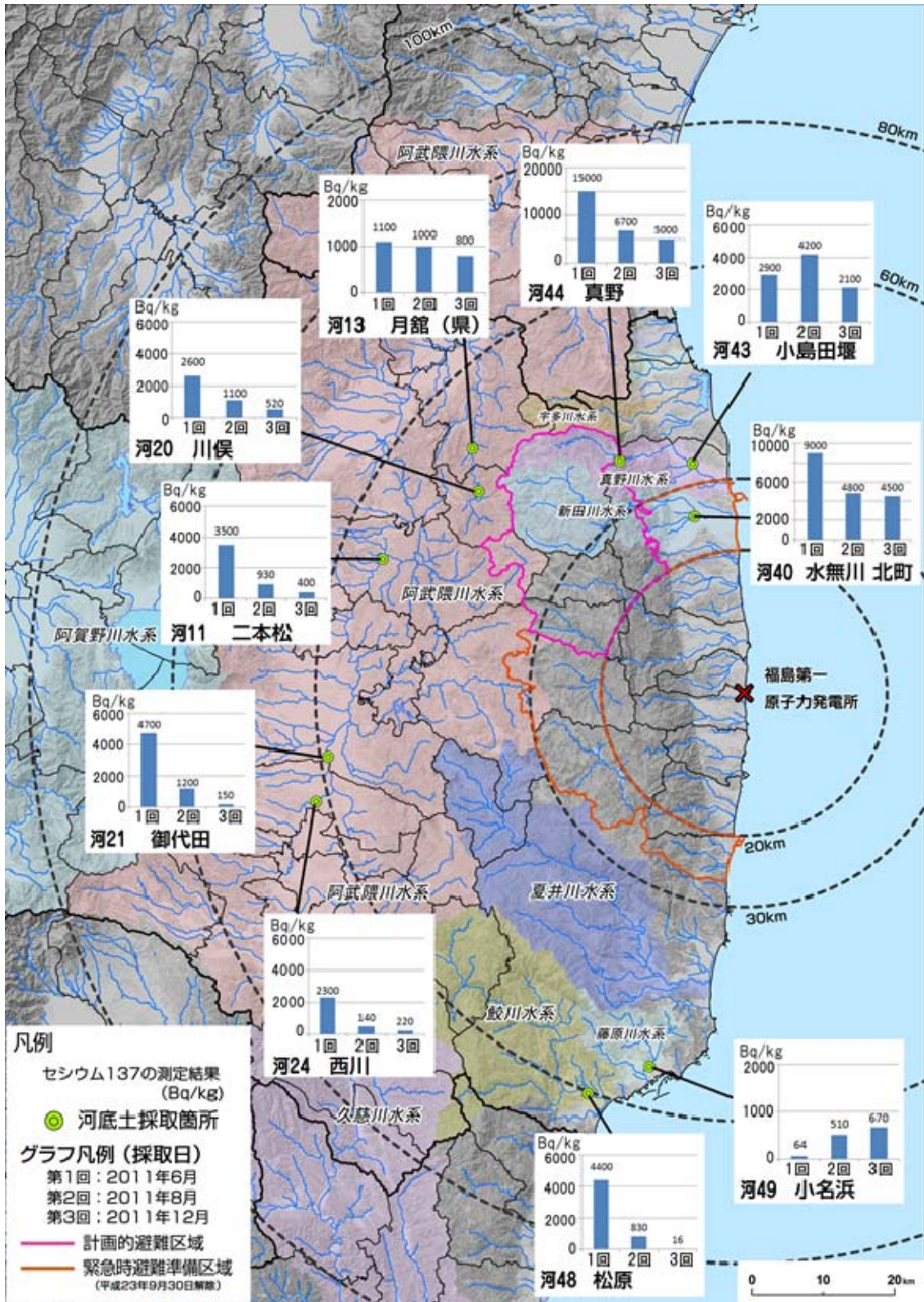


図 28 河底土試料中の放射性物質（セシウム 137 の例）の放射能濃度の変化
 (第 1 次分布状況等調査 (第 1 回) : H23. 6. 29~30 採取、第 1 次分布状況等調査 (第 2 回) :
 H23. 8. 1~2 採取、第 2 次分布状況等調査 (第 3 回) : H23. 12. 21~22 採取)

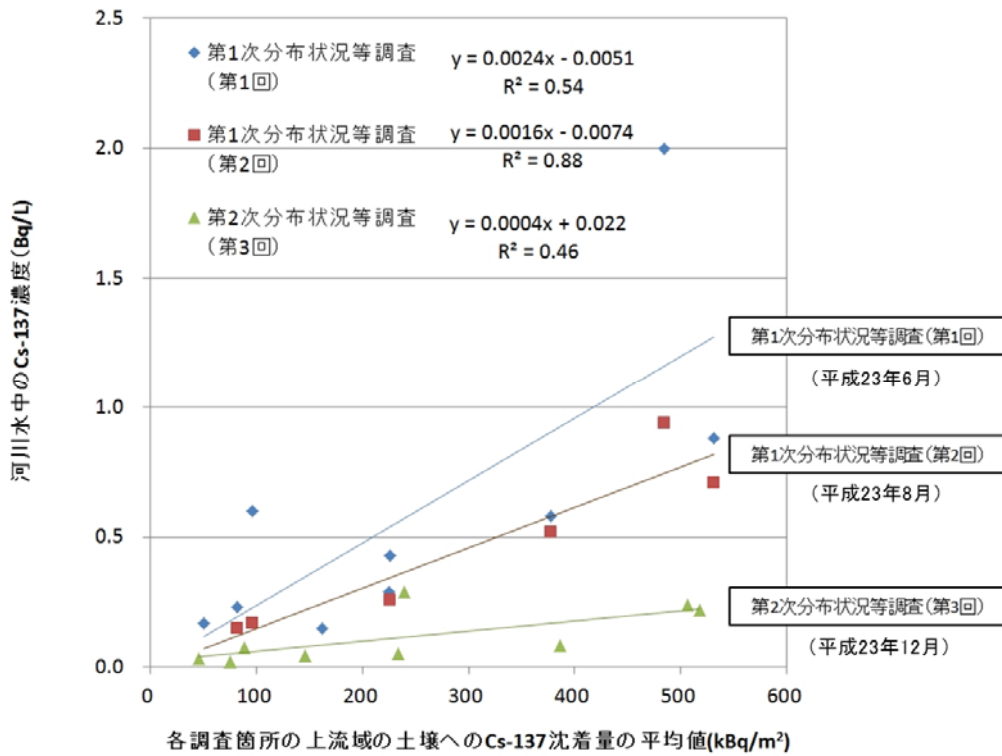


図 29 (a) 河川水試料中の放射性セシウムの放射能濃度 (Bq/L) と各調査箇所の上流域の土壌への放射性セシウムの沈着量 (kBq/m²) (平均値) との関係 (セシウム 137 の例) の変化状況 (セシウム 137 の沈着量は航空機モニタリングの測定結果を使用)

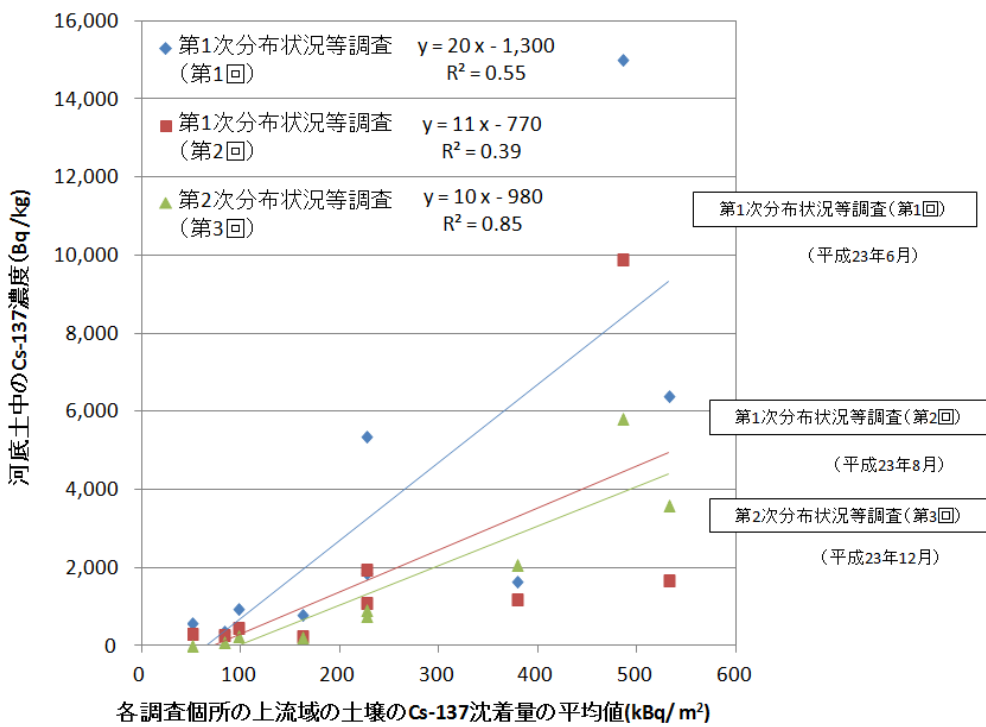


図 29 (b) 河底土試料中の放射性セシウムの放射能濃度 (Bq/kg) と各調査箇所の上流域の土壌への放射性セシウムの沈着量 (kBq/m²) (平均値) との関係 (セシウム 137 の例) の変化状況 (セシウム 137 の沈着量は航空機モニタリングの測定結果を使用)

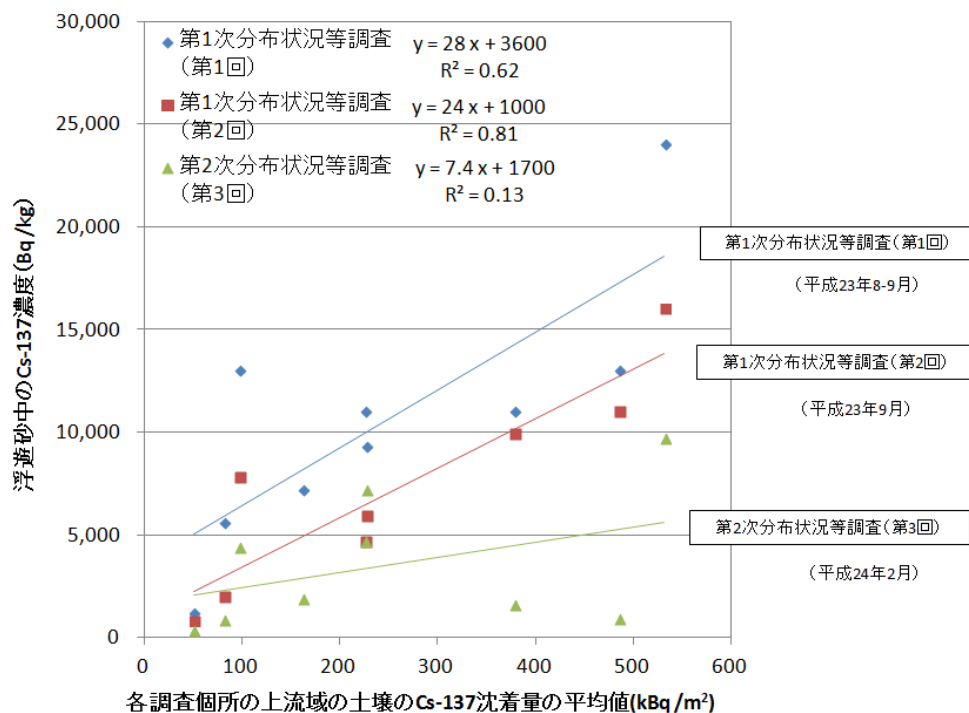


図 29(c) 浮遊砂試料中の放射性セシウムの放射能濃度 (Bq/kg) と各調査箇所の上流域の土壌への放射性セシウムの沈着量 (kBq/m²) (平均値) との関係 (セシウム 137 の例) の変化状況 (セシウム 137 の沈着量は航空機モニタリングの測定結果を使用)

(3) モデル地域における放射性物質の包括的な移行状況の調査

1) 調査概要

- 第1次分布状況等調査では、平成23年6月から11月までの地表面に降り積もった放射性物質の土壌や河川等の自然環境中での移行状況に関する調査結果が得られたが、放射性物質の移行状況は、福島第一原発の事故前の経験から降水量等、調査時期の違いに伴い、変化することが確認されている。
- そこで、今回の調査では、平成23年度冬季における様々な自然環境中の放射性物質の移行状況も含めて放射性物質の移行状況を確認するため、第1次分布状況等調査に引き続き、モデル地域において森林、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した (図 30 参照)。

2) 調査期間

- 第1次分布状況等調査時に設置した計測機器等を用いて、平成23年12月頃より現地調査を実施。

3) 調査場所

○今回の調査は第1次分布状況等調査時における放射性物質の移行状況との違いを確認することを目的としているため、調査箇所は第1次分布状況等調査と同一とした。なお、土壌調査箇所として阿武隈川水系口太川上流域である伊達郡川俣町山木屋地区を調査対象地域、河川調査箇所として、山木屋地区からの水・土砂の流出口である口太川に加え、口太川下流の阿武隈川本川、湖沼及び貯水池採取箇所として阿武隈川本川の貯水池、二本松市内の貯水池を選定している（図31(a)、(b)参照）。

4) 調査結果及び考察

- 本調査では、第1次分布状況等調査に引き続き、平成23年12月から平成24年5月までの土壌、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上げ状況等について、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モニタリングを実施した。
- その結果、様々な自然環境中における年間を通じた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出来た（図32参照）。

なお、それぞれの自然環境中における放射性物質の移行状況に関する結果・考察としては以下のとおりである。

【土壌水、渓流水、地下水への放射性セシウムの移行状況】

○土壌水、渓流水、地下水の放射性セシウムの放射能濃度は、第1次分布状況等調査でも非常に少ないことが確認されていたが、今回の調査では、いずれの試料でもさらに放射能濃度が低くなっている傾向が確認された。他方で、採草地における渓流水については、濃度は低いものの、降雨出水時において若干の放射性セシウムの放射能濃度が増加していることが確認された。

【ダム湖、貯水池における放射性セシウムの移行状況】

○ダム湖（蓬萊ダム湖）においては、平成23年6月から11月の調査に比べ、今回の調査では、いずれの調査箇所でも深度別の放射性セシウムの放射能濃度が減少していることが確認された。また、底泥中の放射性セシウムの積算量についても、今回の調査では大きく減少していた。このことは、ダム湖においては、洪水やダムからの放水のイベントにより、ダム湖から河川中へ放射性セシウムが流出したものと考えられる。一方、深度別の放射性セシウムの放射能濃度については、後述する貯水池と異なり底泥表層から20cm以上の深度で放射性セシウムの放射能濃度のピークが確認され、ダム湖中では、底泥中で不均一な分布を示していた。底泥の攪拌が生じた場合、攪拌された深度までの放射性セシウム濃度は均一になることから、堆積速度が速いことが確認された。

○貯水池においては、一部の調査箇所を除き、平成23年6月から11月の調査に比べ、今回の調査では各深度における放射性セシウムの放射能濃度は増加する傾向が確認された。また、底泥中の放射性セシウムの積算量についても増加傾向にあることが確認された。このことは、ダム湖に比べ、貯水池の場合、水の滞留時間が長く、台風による増水などの底泥を大きく攪拌・流出させるイベントの影響が小さいため、時間の経過とともに放射性セシウムの放射能濃度が増加してきたこと及び平成23年11月以降に放射性セシウムを含む土砂の流入等があったことが考えられる。一方、深度別の放射性セシウムの分布は、平成23年6月から11月の調査と同様に、底泥表層が最も高く、貯水池内では底泥の攪拌、流出が生じづらい状況であることが確認された。

【河川中の放射性セシウムの移行状況】

- 河川中を流れる放射性セシウムの輸送状況について確認したところ、今回の調査期間である冬季から平成24年5月までの期間では放射性セシウムの輸送量が非常に少ないことが確認された。この結果、年間を通じて放射性セシウムの輸送量を見てみると、平成23年9月の台風15号の出水時及び梅雨等の降雨が多い時期に非常に多くなり、融雪時期にわずかに増加することが確認された。なお、河口近くの調査地点において、平成23年8月から平成24年5月までの調査期間における河川中の放射性セシウムの輸送量の変化状況を確認したところ、この期間における放射性セシウムの輸送量の総量に占める台風通過時の放射性セシウムの輸送量の比率は7割程度と非常に大きいことが確認された。
- また、放射性セシウムの輸送形態について第1次分布状況等調査と同様に、今回の調査でも確認したところ、いずれの地点でも80%以上が浮遊砂の形で放射性セシウムが輸送されていることが確認された。なお、台風通過時期では、浮遊砂として流下する割合が上昇していることが確認された。

【土壌侵食に伴う放射性セシウムの流出状況】

- 河川中を流下する浮遊砂を構成する粒径の小さな土砂の起源は土壌侵食に伴うものと考えられる。そこで、第1次分布状況等調査に引き続き、今回の調査でも、平成23年11月から平成24年5月まで、様々な土地利用区画からの土壌侵食に伴う放射性セシウムの流出状況について確認した。その結果、土壌侵食に伴う放射性セシウムの流出量は、いずれの調査箇所でも台風15号が通過した平成23年9月下旬に多くなり、それ以降の時期では平成24年4月上旬の融雪期に若干増加するものの、冬季から平成24年5月下旬にかけて非常に少ないことが確認された。
- また、土地利用区画ごとの土壌侵食に伴う放射性セシウムの流出量の違いについて確認するため、各調査箇所の全体の面積に対する植生で覆われている面積の割合（以下、「被覆率」という。）と各調査箇所からの土壌侵食に伴う放射性セシウムの流出量との関係を調査したところ、調査箇所において植生による被覆率が大きいほど、流出土砂量及び放射性セシウムの流出量は指数関数的に低下することが確認された。

【森林内における放射性セシウムの移行状況】

- 森林内における放射性セシウムの移行状況を確認するため、第1次分布状況等調査に引き続き、針葉樹林（スギ若齢林、スギ壮齢林）及び広葉樹混合林を対象に放射性セシウムの分布状況の変化を確認した。
その結果、第1次分布状況等調査時に比べて、スギ林若齢林、壮齢林では樹冠上部の生葉の放射性セシウムの放射能濃度が著しく減少する一方、スギ林では、林床を構成する落葉等のリター表層で放射性セシウムの濃度が増加していることが確認された。また、広葉樹混合林では、第1次分布状況等調査時に比べて、林床も含めて全体的に放射性セシウムの放射能濃度が低下している状況が確認された。
- 針葉樹林（スギ林）において、林床における放射性セシウムの放射能濃度が増加する傾向が確認されたことから、針葉樹林（スギ若齢林、スギ壮齢林）及び広葉樹混合林の林床における放射性セシウムの分布状況の変化状況を確認した。その結果、針葉樹林では樹冠が重なっている箇所の直下でセシウム137の計数率が増加傾向であることが確認された。一方、広葉樹混合林では、平成23年夏季から冬季にかけて林床におけるセシウム137の計数率は減少する傾向が確認された。なお、広葉樹混合林内の土壌中における放射性セシウムの存在量を確認したところ、平成24年1月では、第1次分布状況等調査時に比べて増加していることが確認されている。このことは、広葉樹林ではリター層から深部土壌へ放射性セシウムが移行していることを示している。
- また、この林床における放射性セシウムの沈着量の変化要因を確認するため、林床における放射性セシウムの放射能濃度の増加要因である樹幹流、林内雨（林内雪含む）、落葉による放射性セシウムの移行状況についてそれぞれ年間を通じて確認したところ、針葉樹では落葉よりも樹幹流及び林内雨の効果が大きく、広葉樹混合林では落葉と樹幹流、林内雨による効果は同程度であった。また、林床における放射性セシウムの沈着量の増加傾向は針葉樹では顕著であるが、広葉樹混合林では緩やかであった。

【土壌・森林等からの放射性セシウムの再浮遊状況】

- 第1次分布状況等調査に引き続き、今回の調査において土壌・森林からの放射性セシウムの飛散（再浮遊）状況について調査したところ、今回の調査期間では、全体的に放射性セシウムの再浮遊量は減少している傾向にあることが確認された。
- また、森林からの放射性セシウムの再浮遊形態の一つとして、花粉を通じた放射性セシウムの飛散状況について調査した結果、地表面における放射性セシウムの沈着量とスギ雄花の放射能濃度は相関があることから、放射性セシウムの沈着量を基にスギ花粉を媒体とした放射性セシウムの移行量を予測できることが確認された。

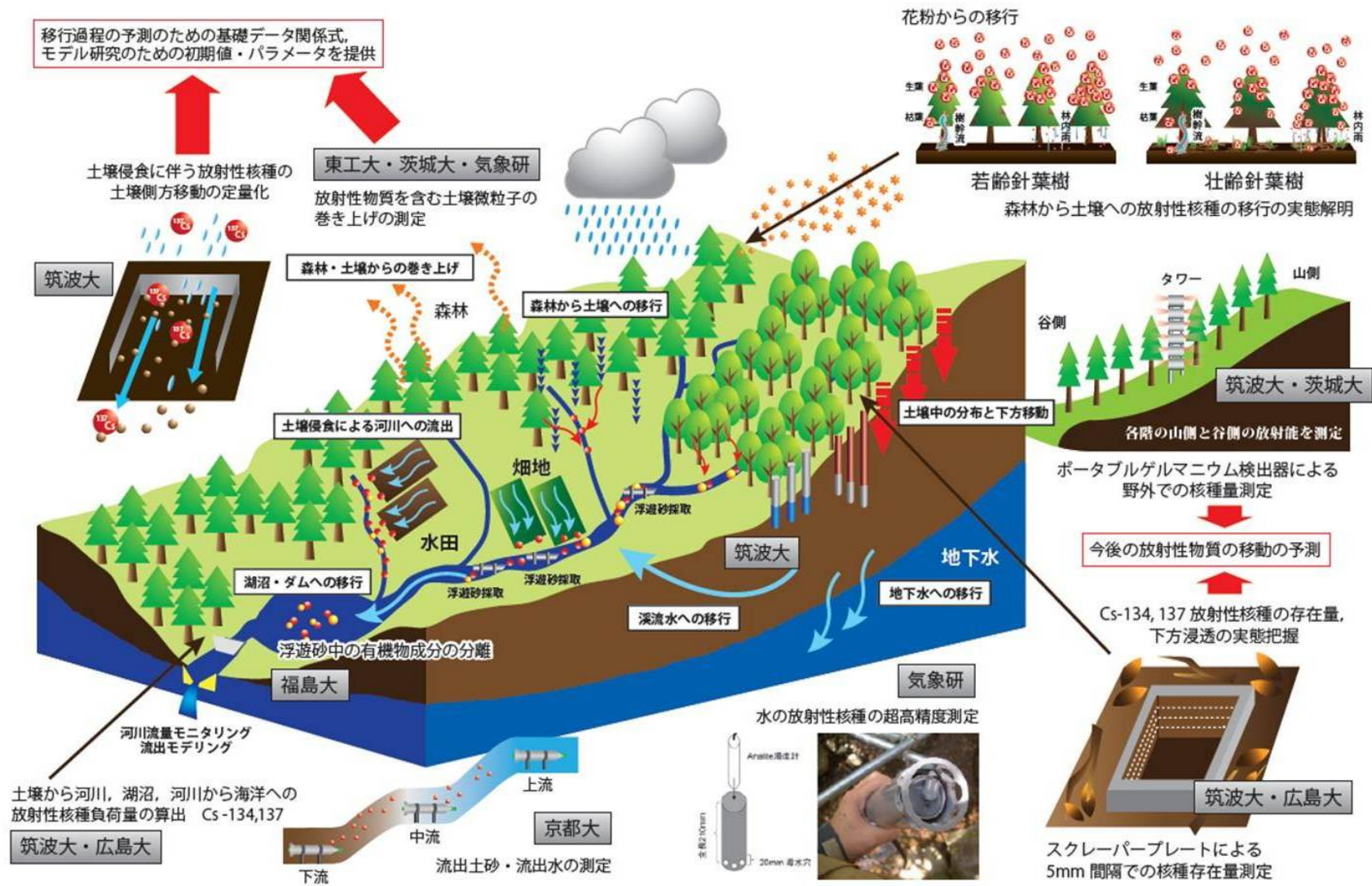


図 30 モデル地域における放射性物質の包括的移行状況調査の調査内容

川俣町 山木屋地区 (計画的避難区域)




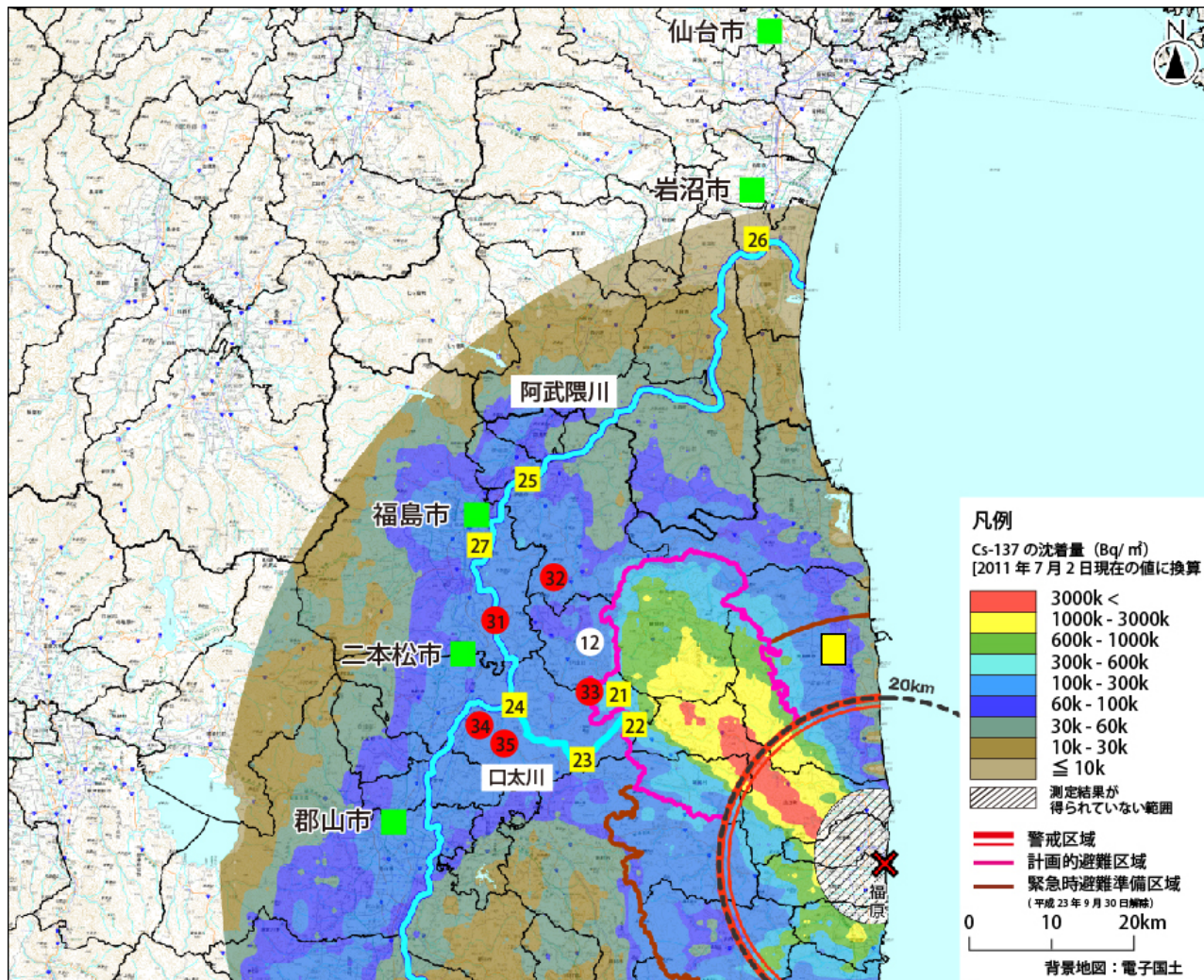
- | | |
|--|---|
|  ハイポリウムサンプラー：
沈積した放射性物質の巻き上げ測定
(高排気率) |  土壌水分採取装置：
三角フラスコ内を減圧し、
土壌中の水分を吸引・採取 |
|  ローポリウムサンプラー：
沈積した放射性物質の巻き上げ測定
(低排気率) |  自動気象観測装置：
風向・風速・気温・湿度・降水等を計測 |
|  土壌侵食プロット：
放射性物質の移動を観測 |  井戸：
土壌水分から地下水への移行を
モニタリング |
|  広葉樹林：
遮断・林内雨の観測
タワー・プロットの設置等 |  三角堰・河川水・湧水サンプリング：
土壌水>地下水>湧水>渓流水移行調査 |
|  針葉樹林：
遮断・林内雨の観測
タワー・プロットの設置等 |  水田：
上流からの放射性核種の流入と、水田
からの流出を定量的に明確にする調査 |
|  タワー：
気象観測・放射線測定・ダスト収集・
樹木からの放射能測定 |  草地：
土壌水・地下水・斜面プロット・
巻き上げの調査 |
| |  ガリーフィールド：
大型試験地における放射性物質の移動
を観測 |

図 31 (a) 放射性物質の包括的移行状況調査の調査箇所

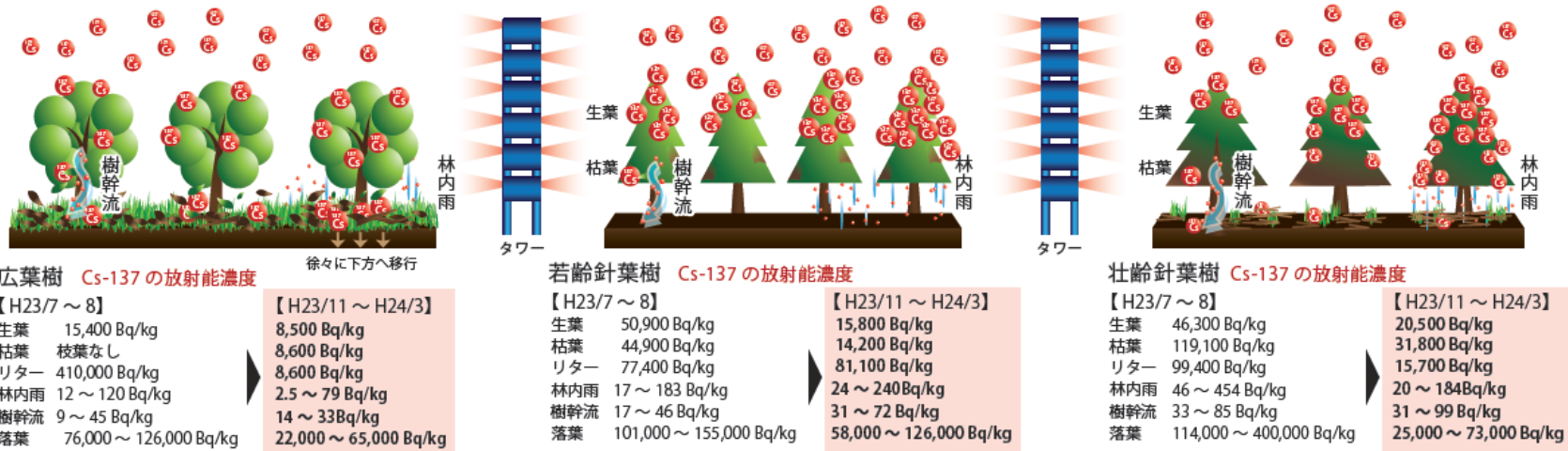


■ 河川調査箇所 (21~27)

● 貯水池調査箇所(32、33、34、35)、ダム湖 (31) 調査箇所

(※ ⑫については、本調査前(平成23年4月28日)に実施した土壌採取箇所)

図31(b) 放射性物質の包括的移行状況調査の調査箇所及び調査内容
(地図中の番号は河川、貯水池、及びダム湖の調査箇所の番号)



針葉樹林：空間線量は樹冠部で高い(H23/7)
樹冠の上部で減少が著しく、下部で変化が小さいか増加傾向。
※7月の林内の空間線量率を基準とすると、
スギ若齢林 -12.5% / 壮齢林 -5.3%(H23/10)
スギ若齢林 -18.2% / 壮齢林 -9.5%(H24/1)
スギ若齢林 -26.6% / 壮齢林 -15.6%(H24/5)

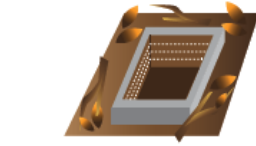
広葉樹林：空間線量はやや樹冠で高い(H23/7)
樹冠の上部で減少が著しく、下部で変化が小さいか増加傾向。
-3.2%(H23/10)
-11.5%(H24/1)
-16.9%(H24/5)

土壌侵食によるCs-137の除去 (H23/6～H24/5)
畑地 0.24～3.45% (浮遊砂含む)
草地 0.04～0.21% (浮遊砂含む)
スギ若齢林 0.2% (浮遊砂含む)

水田：H23/6～8 0.49% (うち約9割が代掻き時)

Cs-137巻き上げ量

【H23/6～8】	【H23/11～H24/3】
水田・畑 約1mBq/m ²	0.4mBq/m ²
若齢針葉樹林 1.8mBq/m ²	0.35mBq/m ²
広葉樹混交林 5.5mBq/m ²	0.2mBq/m ²
放牧草地 2.8mBq/m ²	



Cs-137は5cm以内ほぼ全量分布
林床ではリターに50～90%

(樹種：H23/6→H24/1)
針葉樹林：樹冠から地表へ移行
スギ若齢林：0.23g/c m²→0.23g/c m²
スギ若齢林：0.64g/c m²→0.21g/c m²
広葉樹林：落葉層から下層土壌へ移行
0.23g/c m²→0.52g/c m²

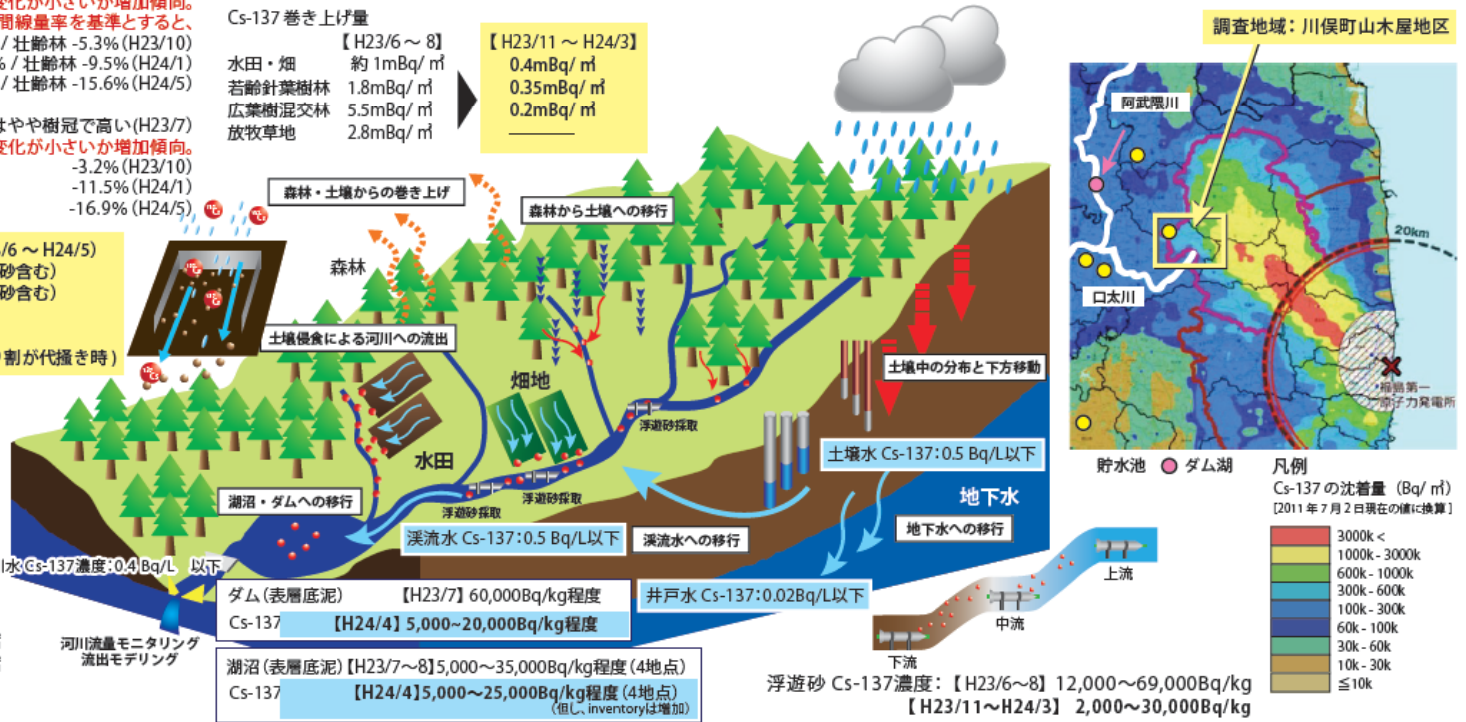


図 32 本調査箇所における放射性セシウムの放射能濃度の状況

(4) それぞれの調査結果のまとめ（様々な自然環境中での放射性物質の移行状況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、様々な自然環境中での放射性物質での分布状況、移行状況に関する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、以下では、調査内容ごとに今回の調査における結果を整理・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、移行状況

(総論)

- 今回の調査においてスクレーパープレートを用いて放射性セシウムの分布状況等調査を行った結果、放射性セシウムは表層土壌に吸着されており、ほとんどの調査箇所では土壌に浸透した放射性セシウムの約9割が地表から5cmの深さまでに存在していることが確認された。
- 第1次分布状況等調査及び今回の調査を基に土壌中の放射性セシウムの深度分布状況を比較したところ、耕作地および採草地では、草本及び枯れ草表層土壌の放射性セシウムが土壌深部へと下方浸透していることが確認された。
- 森林では地表のリター層に放射性セシウムが蓄積されており、特に広葉樹混合林では時間とともにリター層から土壌深部へ放射性セシウムが移行していることが確認された。

① 森林内土壌における放射性セシウムの分布状況・移行状況

- 広葉樹混合林では、リター層から土壌層への放射性セシウムが移行し、わずかではあるが10cm程度の深さまで達していることが確認された。
- スギ林では、林内雨や落葉等による樹冠から林床への放射性セシウムの移行に伴って、リター層の放射性セシウムの存在量は変わらないか、やや増加傾向にあることが確認された。

② 畑(耕作、未耕作)における放射性セシウムの分布状況・移行状況

- タバコ畑、畑地では、地表の植物体に含まれる放射性セシウムの存在量が減少し、土壌に含まれる割合が増大した。この理由は、地表の枯れ草や植物体が枯死・分解されたことで、それらに吸着していた放射性セシウムが土壌へ移行したと考えられる。

③ 草地における放射性セシウムの分布状況・移行状況

- 採草地、放牧草地では、第1次分布状況等調査には、地表植生に放射性セシウムが多く含まれていたが、今回の調査においては地表植生における放射性セシウムの放射能濃度が大きく減少し、代わりに、土壌中における放射性セシウムの存在量が増加した。この原因としては、地表の草本や枯れ草が枯死・分解されたことで、それらに吸着していた放射性セシウムが土壌へ移行したと見受けられる。

○なお、放牧草地では、放射性セシウム濃度が深度とともに指数関数的に減少する傾向は見られなかった。放射性物質の沈着後の放牧家畜による土壌攪乱が原因と考えられる。

④ 水田における放射性セシウムの分布状況・移行状況

○水田では、土壌深部への下方移動量が少ないことが確認されたが、存在量が増加していることから、空間的なバラツキの影響、もしくは落ち葉や水、土砂の流入によって表層土壌中の放射性セシウムの深度分布が影響を受けていることが示唆された。

2) 森林内における放射性セシウムの分布状況、移行状況

○広葉樹混合林では、第1次分布状況等調査時には、林床における放射性セシウムの放射能濃度が高かったが、その後の調査により、冬期にかけて、林床における放射性セシウムの放射能濃度が減少していることが確認された。また、スギ林では、林床における放射性セシウムの放射能濃度が増加していることが確認された。また、この林床における放射性セシウムの沈着量の変化要因について確認したところ、広葉樹混合林では、落葉と樹幹流、林内雨による効果が同程度であり、スギ林では、落葉より樹冠流及び林内雨の効果が大きいことが確認された。

3) 土壌侵食に伴う放射性セシウムの移行状況

○土壌侵食に伴う放射性セシウムの移行量は、各土地の植生の被覆状況に影響を受けることが確認され、植生が多いほど、放射性セシウムは移行しづらいことが確認された。なお、植生がほとんどない土地では、土壌侵食に伴い、地表面におけるセシウム137の沈着量が、平成23年6月から平成24年5月下旬までの約1年間で最大3.5%程度移行していることが確認された。

○また、各調査箇所における降雨あたりの放射性セシウムの流入量を確認したところ、台風や雪解けに伴い、土壌侵食が起り易くなっていることが確認された。

4) 河川中における放射性セシウムの分布状況・移行状況

○河川水中の放射性セシウム濃度は、経時的に減少した。

○各調査箇所における河川水、河底土の放射性セシウムの放射能濃度と各調査箇所の上流域における地表面への放射性セシウムの沈着量の関係を確認したところ、第1次分布状況等調査に比べて、今回の調査を実施した冬期では地表面から河川への放射性セシウムの流出量が少ないことが確認された。

○河川水中の放射性セシウムは、大半が浮遊砂の形状で流下しており、降雨による土砂流入が河川中における放射性セシウムの移行量の増加に寄与していることが確認された。また、台風時に大半の放射性セシウムが流下していると推測された。

5) 土壌水、地下水（井戸水）、渓流水、湧水を通じた放射性物質の移行状況

- 土壌水、渓流水、地下水への放射性セシウムの放射能濃度は、第1次分布状況等調査でも非常に少ないことが確認されていたが、今回の調査では、いずれの試料でもさらに放射能濃度が低くなっている傾向が確認された。他方で、採草地における渓流水については、濃度は低いものの、降雨出水時において若干の放射性セシウムの放射能濃度が増加していることが確認された。
- 地表面に沈着した放射性物質について、土壌水、地下水、渓流水、湧水を通じた環境中放射性セシウムの土壌から土壌水への移行は非常に小さいことが示唆された。

6) 湖沼（ダム湖）、貯水池における放射性セシウムの移行状況

- 湖沼（ダム湖）の底泥中の放射性セシウムは地表面と異なり、40cmほどの土壌深層においても一定量の濃度の放射性セシウムが検出された。この要因としては、ダム湖では放射性セシウムの堆積速度が速いことが確認された。
- 貯水池底泥中の放射性セシウムは、底泥表層（10 cm以浅）に蓄積することが確認された。他方で第1次分布状況等調査からの時間の経過とともに、貯水池の底泥中において放射性セシウムの存在量が減少した貯水池もあることから、貯水池の構造、地表流の流入などにより、放射性セシウムの捕集・蓄積能力が異なることが示唆された。

7) 土壌、森林等の自然環境からの放射性物質の飛散状況

- 土壌等からの大気再飛散が大気への放射性物質の主な供給源となっており、冬期特に積雪期では、積雪に伴い土壌、森林からの放射性セシウムの巻き上げは有意に抑制されることが示された。

（まとめ）

- 本調査では、平成23年6月から11月における第1次分布状況等調査に引き続き、様々な自然環境中における放射性セシウムの分布状況、移行状況の変化傾向を確認した。
- その結果、様々な土地利用区画におけるリター層及び土壌中の放射性セシウムの分布状況の違いが確認されたほか、土壌侵食に伴う放射性セシウムの移行量と植生の被覆状況との関係、広葉樹林、針葉樹林における林床への放射性セシウムの移行状況及びその要因となる降雨、落葉等との関係等が確認された。また、水系では、河川内を流下する放射性セシウムの主な輸送媒体として浮遊砂の寄与が最も大きく、台風等の大雨で放射性セシウムが流下しやすいこと、現状では、土壌水、地下水、渓流水等には、ほとんど放射性セシウムが移行していないこと、湖沼・貯水池においては、土壌の堆積速度の違いから、底泥における放射性セシウムの存在量の変化に影響を与えること等が確認された。そのほか、土壌や森林等からの冬季における放射性セシウムの巻き上げは積雪等の影響で少ないことが確認された（図33参照）。

- これらの知見は福島第一原発の事故に伴う放射性物質の様々な自然環境中における移行状況の基礎情報として有用であるほか、除染活動やモニタリング結果の解釈等に活用されることが期待される。
- 他方で、今後の放射性物質の分布状況の変化傾向を確認していくためには、継続的に様々な自然環境における放射性物質の移行状況を把握していくことが必要である。

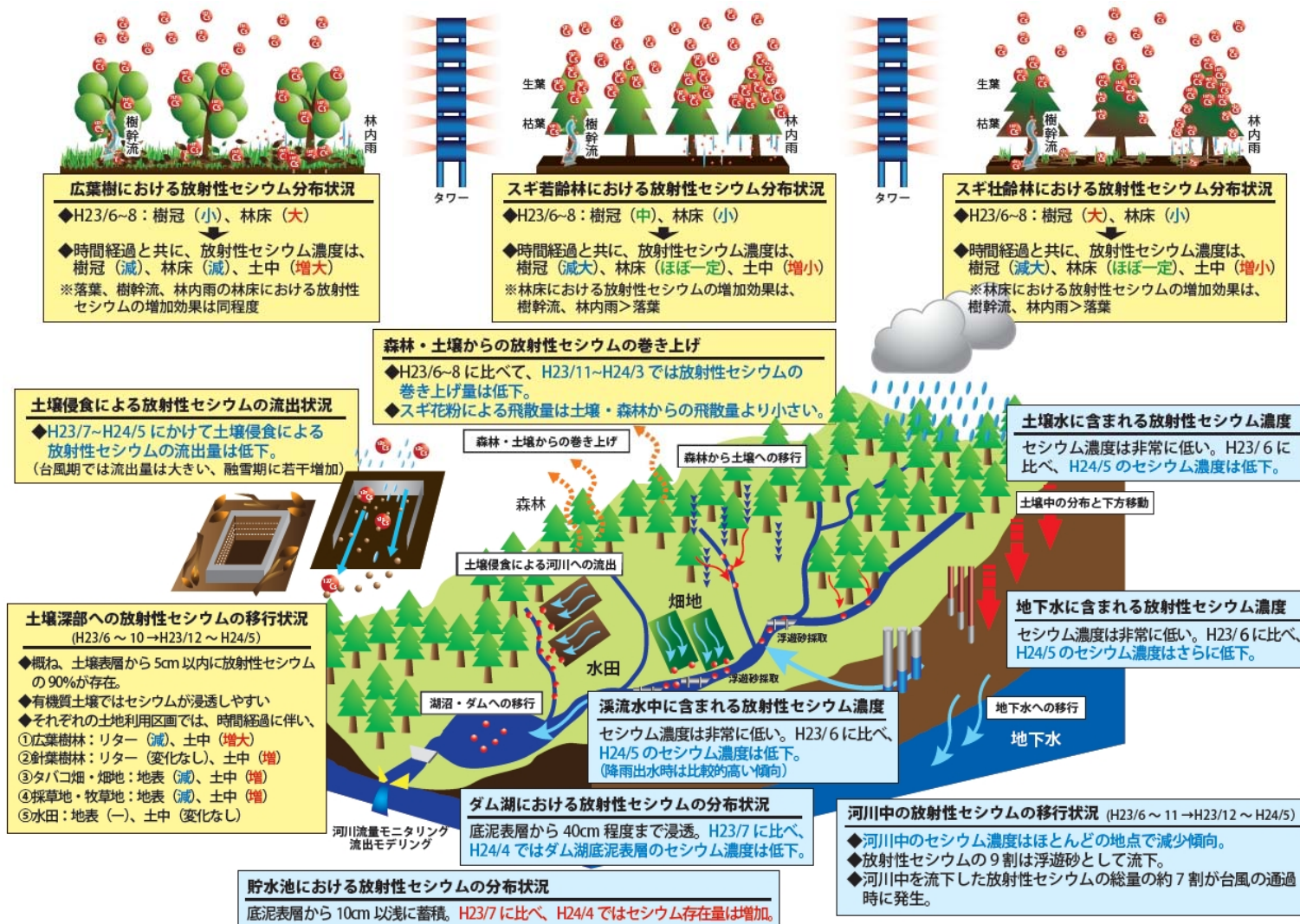


図33: 様々な自然環境中における放射性物質の移行状況の全体像について
 (平成23年6月から平成24年5月)