

4 空間線量率マップ及び土壤濃度マップの作成結果と考察

4.1 空間線量率マップ及び土壤濃度マップの作成方針

今回の調査では、マップ検討会での議論を踏まえ、以下の方針で各放射性核種の土壤濃度マップ及び空間線量率マップを作成することとした。

4.1.1 各放射性核種の土壤濃度マップの作成方針の全体像

実測で得られた離散的なデータ間の内挿や外挿を行い、等値線図の形でマップを表すことが広く行われている。等値線図は任意の箇所での情報が得られるために便利なデータ表示方法である。一方、等値線図の作成では、データが存在しない箇所のデータを内挿等により推定することが必要であり、ホットスポット等局所的に濃度に変化する場所が存在する場合には、推定された値が実際の値と大きく乖離することがあり得る。また、等値線図では実際にどの箇所で測定が行われたのかも明確でない。このような観点から、今回作成する土壤濃度マップにおいては、第1次分布状況等調査と同様に測定結果が得られた調査箇所に測定値をそのままプロットし、内挿等の処理を行わないこととした。

調査箇所においてGPSにより取得した緯度・経度の情報から特定されるポイントを、国内の正確な地理情報を持つと考えられる国土地理院の地図上にプロットし、その上に面積あたりの核種濃度の大きさを色で示すこととした。

4.1.2 空間線量率マップの作成方針

(1) KURAMAシステムを用いた走行サーベイ（第2次走行サーベイ）による空間線量率マップの作成方針

KURAMAシステムを用いた走行サーベイ（第2次走行サーベイ）については、土壤濃度マップと同様に内挿等の処理を行わずに、測定箇所のGPSデータを基に地図上のポイントに空間線量率の範囲を色で示すこととした。結果的に、地図の道路上に色の付されたポイントが連続的に存在するマップが得られた。

(2) KURAMA-IIシステムを用いた走行サーベイ（第3次走行サーベイ）による空間線量率マップの作成方針

KURAMA-IIシステムを用いた走行サーベイ（第3次走行サーベイ）については、KURAMA-IIシステムが体積の小さなCsI検出器を用いてガンマ線を検出しているため、検出効率が小さく、空間線量率の低い地域での測定においては、測定値が統計的に大きなばらつきを示す。今回、 $0.2 \mu\text{Sv/h}$ 以下の空間線量率の地域で行なった走行サーベイにおいては、統計的なばらつきが顕著に現れる現象が時折観察された。そこで、測定結果における統計的なばらつきを抑えるために、走行地域をメッシュに分割しそのメッシュ内に含まれる測定点での空間線量率値を平均してメッシュの代表値として表した。放射性セシウムが地表面へ沈着して線源となっている場合、半径60mの範囲からやってくるガンマ線の寄与が地上1m高さの空間線量率の約90%を占めるこ

とを考慮し、100m メッシュで測定対象地域を区切りその中の平均値を測定結果とすることとした。

4.2 各放射性核種の土壌濃度マップの作成結果

4.2.1 ガンマ線放出核種の土壌濃度マップの作成結果

ガンマ線放出核種の沈着量の測定は、平成 23 年 12 月より調査を開始したが、in-situ 測定に使用した可搬型ゲルマニウム半導体検出器並びに操作員の数を想定通りに集められなかったこと、また、例年のない大きな積雪があり測定が遅延したこと等により、一連の測定の開始から終了までに長い期間を必要とした。最終的に 5 月 29 日までに 1016 箇所での測定を行なって今期の測定を終了した。

本測定に関しては、地中での放射性核種の土壌深度方向の分布が、緩衝深さ（土壌表層の放射性核種の濃度が $1/e$ （ $\approx 1/2.7$ ）になる深度） $\beta=1 \text{ g/cm}^2$ に沿って指数関数分布をしていると仮定して、放射性核種の定量と空間線量率の評価を行なった。なお、平成 23 年 12 月に実施したスクレーパープレートを用いた土壌中の放射性セシウムの深度分布の調査結果によると、 β の平均値は 1.17 であり、 $\beta=1$ の仮定は適切であったことを裏付けている。この調査では、 β のほとんどは、0.5 から 2.5 の範囲に収まることが分かった。ICRU 53 に記されている in-situ 測定評価用の基礎データをもとに、 β の変動に起因する測定値の不確かさを評価すると、単位面積当たりの沈着量については最大 25%、空間線量率で 10%であることが確認された。

今回の調査で検出下限値以上の値が検出されたガンマ線放出核種は、セシウム 137、セシウム 134、銀 110m の 3 核種であった。セシウム 137、セシウム 134、銀 110m の単位面積当たりの沈着量を、図 4.2.1-1、図 4.2.1-2、図 4.2.1-3 にそれぞれ示す。可搬型ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定を実施せずに土壌試料を採取し分析した箇所があるが、その場合においても土壌試料の分析結果を同じ地図上に示した。これらの結果は各放射性核種の物理的半減期を考慮した減衰補正を行い、今回の調査期間（平成 23 年 12 月 13 日～平成 24 年 5 月 29 日）の中間の期日である平成 24 年の 3 月 1 日の値として表した。セシウム 137 とセシウム 134 については、調査を行なった全箇所での測定結果が得られた。銀 110m については、測定結果が得られたのは一部の地域に限られた。チェルノブイリ事故後における in-situ 測定においては、コバルト 60、ユウロピウム 154 等からのガンマ線も明らかに観察されたため、福島第一原発周辺の測定においてもこれらの核種が観察される可能性を考えたが、結果として上記 3 核種以外に多くの箇所での検出された核種はなかった。今回の事故においては、半減期が短く今回の調査では検出されなかったヨウ素 131 やテルル 129m を加え、放射性セシウム、銀 110m 以外の他のガンマ線放出核種の放出量が小さかったことを裏付ける結果となった。

また、今回の調査で作成したガンマ線放出核種の土壌濃度マップから、ガンマ線放出核種の沈着量の比較的高い領域が福島県の中通りから群馬県まで達していること、海岸沿いでは千葉県を経て東京まで達していること、宮城県北部に一部高濃度の地域があること、福島県の北部から会津にかけてやや土壌濃度が高い領域があること、等が確認された。今回観察された最大濃度の箇所は、大熊町でその濃度はセシウム 137 について 9.1 MBq/m^2 、セシウム 134 について 6.5 MBq/m^2 であった。ちなみに銀 110m の最大濃度も同箇所を観測されその値は 13 kBq/m^2 であった。

in-situ 測定箇所でのサーベイメータを用いて行なった空間線量率 ($\mu\text{Gy/h}$) の分布を図 4.2.1-4

に、in-situ 測定により定量した放射性核種濃度から評価した空間線量率を図 4.2.1-5 に示す。in-situ 測定による空間線量率の評価においては、天然放射性核種も含んだ合計の空間線量率を考えている。図 4.2.1-6 で、サーベイメータで測定した空間線量率と in-situ 測定による空間線量率評価値を比較している。全体に良い相関が得られているが、これは in-situ 測定が適切に実施されたことを示唆している。

セシウム 137 とセシウム 134 の沈着量の相関を図 4.2.1-7 に示す。高い相関が見られているが、セシウム 137 とセシウム 134 の挙動が本質的に同様であること並びに定量が適切に行なわれていることを示唆する結果となっている。一方、第 1 次分布状況等調査の結果によれば、銀 110m の濃度は他の核種の濃度とは相関性が低く、挙動が他の核種と異なることが示唆されていた。これに対し、第 2 次分布状況等調査で得られたデータを解析したところ、銀 110m とセシウム 137 の土壌沈着量に相関が認められた。セシウム 137 と銀 110m との相関を、また、銀 110m とセシウム 137 の比の分布状況をそれぞれ図 4.2.1-8、図 4.2.1-9 に示す。今回の調査では、第 1 次分布状況等調査より調査対象地域を拡げて調査を実施した結果、図 4.2.1-9 に見られるように、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箇所が連続的に存在していることが確認された。また、福島第一原発から南側及び北側の福島県沿岸部において、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。

4.2.2 アルファ線放出核種及びベータ線放出核種の土壌濃度マップ

(1) プルトニウム 238、239+240 の土壌濃度マップの作成概要

福島第一原発から 80~100 km 圏内で採取された土壌試料 (8 試料)、及び第 1 次分布状況等調査において福島第一原発の事故由来と考えられるプルトニウム 238、239+240 が検出されたメッシュに隣接するメッシュ内で採取された土壌試料 (54 試料) の合計 62 試料について代表的なアルファ線放出核種であるプルトニウム 238、プルトニウム 239+240 の放射能濃度を測定した。また、第 1 次分布状況等調査においてプルトニウム 238 もしくはプルトニウム 239+240 が検出された、プルトニウム 238、239+240 の分析した後の試料 (54 試料)、及び今回の調査で新たにプルトニウム 238、239+240 を分析した土壌試料のうち、福島第一原発から 80~100km 圏内で採取された土壌試料についてプルトニウム 238、239+240 を分析した後の試料 (8 試料) の合計 62 試料について、プルトニウム 241 の放射能濃度を測定した。

その後、プルトニウム 238、プルトニウム 239+240 土壌濃度マップを作成した。なお、プルトニウム 241 (半減期 14.4 年) については、3 試料しか検出されなかったのでマップは作成しなかった。プルトニウムの土壌濃度マップの作成にあたっては、プルトニウム 238、239+240 の分布状況について確認するため、今回の測定結果に加えて、第 1 次分布状況等調査の測定結果、及び福島県が核種分析した結果を加えて、地図上に記した。また、プルトニウムの土壌濃度マップの作成にあたっては、以下の条件の下で作成した。

- ① 第 1 次分布状況等調査の測定結果は、同調査において、ある程度の広さを持った攪乱のない土地を選んで、文部科学省が 6 月 6 日から 7 月 8 日までの間に採取した土壌試料について核種分析した結果を用いた。

- ②福島県による調査結果は、福島県が福島第一原発の事故発生前後における県内の土壌中のプルトニウムの沈着量の変化を把握するため、過去の調査結果があり、沈着量を比較可能な地点(55 地点)について、平成 23 年 7 月 13 日～14 日、平成 23 年 8 月 10 日～10 月 13 日に土壌を採取し、核種分析した結果（プルトニウム 238、239+240 の沈着量）を用いた。
- ③また、今回の調査の結果、及び福島県による調査結果を第 1 次分布状況等調査で作成したプルトニウム 238、239+240 の土壌濃度マップの基準日である平成 23 年 6 月 14 日時点の放射能濃度に半減期（プルトニウム 238：87.7 年、プルトニウム 239： 2.411×10^4 年、プルトニウム 240：6564 年）を考慮して補正した値をマップ上に記した。

(2) スロンチウム 89、90 の土壌濃度マップの作成概要

福島第一原発から 80 km 圏外の地域の調査箇所(50 試料)、及び第 1 次分布状況等調査においてセシウム 137 に対するスロンチウム 89、90 の沈着量の比率が、他の箇所に比べて非常に大きいことが確認された、相馬市及びその周辺の調査箇所(13 試料)で採取された土壌試料の合計 63 試料について代表的なベータ線放出核種であるスロンチウム 89、90 の放射能濃度を測定した。

その後、スロンチウム 89、90 の土壌濃度マップを作成した。放射性スロンチウムの土壌濃度マップの作成にあたっては、各調査箇所のスロンチウム 89、90 の沈着量の値は、それぞれの物理的半減期（スロンチウム 89：50.53 日、スロンチウム 90：28.79 年）を考慮して、今回の調査における土壌採取期間（平成 23 年 12 月 17 日～平成 24 年 2 月 9 日）の中間の期日である平成 24 年 1 月 13 日時点の値に補正を行った。

(3) プルトニウム及び放射性スロンチウムの土壌濃度マップの作成及び考察

① プルトニウム 238、239+240 の土壌濃度マップの作成結果及び考察

図 4.2.2-1 にプルトニウム 238、プルトニウム 239+240 が検出された箇所の沈着量をマップ化して示す。第 1 次分布状況等調査と同様に、放射性セシウムの沈着量が高かった福島第一原発から北西方向においてプルトニウム 238、プルトニウム 239+240 双方が検出された箇所が存在することが確認された。

一方、第 1 次分布状況等調査においては、平成 11～21 年度までの全国調査において観測されているプルトニウム 239+240（プルトニウム 239 の半減期： 2.411×10^4 年、プルトニウム 240 の半減期：6564 年）に対するプルトニウム 238（半減期：87.7 年）の沈着量の比率が全国平均で 0.031 程度であるのに対して、第 1 次分布状況等調査でプルトニウム 238、239+240 の双方が検出された 5 箇所の沈着量の比率は 0.33～2.2 程度と大きいことから、これらの箇所は、福島第一原発の事故に伴い、新たに沈着したものと考えた。また、第 1 次分布状況等調査において、プルトニウム 239+240 は検出されていないものの、プルトニウム 238 が検出された 1 箇所についても、プルトニウム 239+240 の検出下限値（約 0.5 Bq/m^2 ）に対してプルトニウム 238 の沈着量（ 0.57 Bq/m^2 ）が大きいことから、同様に、福島第一原発の事故に伴い、新たに沈着したものと考えた。

他方で、今回の調査結果について、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、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 の沈着量の比率が対数正規分布となると仮定して、統計的に事故前のプルトニウム 239+240 に対するプルトニウム 238 の沈着量の比率から外れる比率を有する箇所（10 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あるかと判断することとした。（図 4.2.2-2 参照）

なお、今回の調査で検出されたプルトニウム 238、プルトニウム 239+240 の沈着量の最大値は、プルトニウム 238 で 11Bq/m^2 （浪江町）、プルトニウム 239+240 で 16Bq/m^2 （飯館村及び埴町）で、いずれも福島第一原発に比較的近い箇所で観測された値である。なお、プルトニウム 238、プルトニウム 239+240 の最大濃度は、文部科学省の「環境放射能水準調査」において、福島第一原発事故の発生前（平成 11～21 年度）に全国 47 都道府県において観測されている土壌表層（0～5cm）における測定値の範囲（過去の大気圏内核実験の影響の範囲：過去のプルトニウム 238 の最大濃度 8.0Bq/m^2 、過去のプルトニウム 239+240 の最大濃度： 220Bq/m^2 ）と比べると、本調査のプルトニウム 238 の最大値は若干上回っているが、プルトニウム 239+240 は事故前のレベルであった。

②プルトニウム 241 とプルトニウム 238、プルトニウム 239+240 の沈着量の比率に関する考察

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（50 グラム）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。これら試料のプルトニウム 239+240 に対するプルトニウム 241 の沈着量の比（プルトニウム 241/プルトニウム 239+240）の平均は 78 であった。また、これらの試料はいずれも第 1 次分布状況等調査の試料であった。文献によると、福島第一原発の事故前の環境中のプルトニウム 239+240 に対するプルトニウム 241 の沈着量の比率が 2.4～10 であることから、これらの試料は、プルトニウム 238、プルトニウム 239+240 に対するプルトニウム 241 の沈着量の比率が大きく、福島第一原発の事故由来であると考えられた。

ただし、プルトニウム 241 の沈着量が測定された試料は 3 試料のみだったことから、プルトニウム 238、プルトニウム 239+240 及びプルトニウム 241 が検出された 3 箇所の試料について、沈着量の比率については明確に確認するには至らなかった。しかしながら、プルトニウム 238、プルトニウム 239+240 に対するプルトニウム 241 の沈着量の比率が大きいことは、原子力安全・保安院が試算した放出量推計値と同様の傾向（原子力安全・保安院が試算したプルトニウム 241 の放出量推計値はプルトニウム 238、プルトニウム 239+240 に比べて 1 桁以上大きい）を示すものと言える（表 4.2.2-1 参照）。

表 4.2.2-1 環境中におけるプルトニウム同位体の比率

プルトニウム 241 の沈着量/プルトニウム 238 の沈着量 (3 試料)	38~76 (平均 57)
プルトニウム 241 の沈着量/プルトニウム 239+240 の沈着量 (3 試料)	71~85 (平均 78)
プルトニウム 241 の放出量推計値/プルトニウム 238 の放出量推計値 原子力安全・保安院試算 (平成 23 年 10 月 20 日)	63
プルトニウム 241 の放出量推計値/プルトニウム 239+240 の放出量推計値 原子力安全・保安院試算 (平成 23 年 10 月 20 日)	188
プルトニウム 241 の沈着量/福島第一原発の事故前 (2002) (JAEA 東海近傍) のプルトニウム 239+240 沈着量	2.4~10

今後、プルトニウム 238、239+240、241 の沈着量の比率を引き続き求めていくため、第 1 次分布状況等調査、及び今回の調査でプルトニウム 238、239+240 が検出された箇所の周辺で、今回の調査で使用した土壌試料量 (50g) の倍の 100g 程度の土壌試料を新たに採取し、プルトニウム 241 の分析供試料量を増やして検出下限値を下げた上で、プルトニウム 238、プルトニウム 239+240 に対するプルトニウム 241 の放出量推計値の比率とプルトニウム 241 とプルトニウム 238、プルトニウム 239+240 の沈着量の比率との関係について検証することとする。なお、第 1 次分布状況等調査でプルトニウム 238 とプルトニウム 239+240 の比から事故由来とした 6 試料のプルトニウム 239+240 は 5 試料が 0.04Bq/kg 程度、1 試料が検出限界値以下であった。事故由来であれば、プルトニウム 239+240 の 50 倍程度がプルトニウム 241 となる。ちょうど 2Bq/kg 程度となり、プルトニウム 241 の検出限界値となる。プルトニウム 241 の分析供試料量を倍の 100g とし、プルトニウム 238、プルトニウム 239+240 とは別に、最初から分析し、検出限界値を 0.5Bq/kg 程度とすると、プルトニウム 241 とプルトニウム 239+240 の比が求められると考えられる。

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

今回の調査におけるストロンチウム 89、90 の測定結果を地図上に記したマップを図 4.2.2-3 に示す。第 1 次分布状況等調査では、福島第一原発から北西方向に高い濃度の箇所が存在している一方、福島県の中通り並びに福島第一原発から南方向にもストロンチウム 89、90 が検出された箇所が存在することが確認されていた。今回の調査においては、第 1 次分布状況等調査から時間が経過していたこともあり、物理的半減期 50 日のストロンチウム 89 は、どの試料にも検出されなかった。ストロンチウム 90 の沈着量の最大値は、129Bq/m²(西郷村)であったが、ストロンチウム 90 の沈着量は第 1 次分布状況等調査の結果と比較して、特段に高い箇所は確認されなかった。

また、今回の調査では全ての調査箇所ですトロンチウム 89 は検出されなかったものの、検出されたストロンチウム 90 の詳細な分布状況を把握するため、今回の調査結果に加えて、第 1 次分布

状況等調査の測定結果を減衰補正した値を記した土壌濃度マップを作成した（図 4.2.2-4 参照）。第 1 次分布状況等調査の結果は、第 1 次分布状況等調査時（平成 23 年 6 月 14 日時点）から今回の調査までの放射性核種の沈着量の変化が物理的減衰のみであると仮定して、第 1 次分布状況等調査で得られた各調査箇所におけるストロンチウム 90 の沈着量の値をストロンチウム 90 の物理的半減期（28.79 年）を考慮して、平成 24 年 1 月 13 日時点の値に補正を行った。検出されたストロンチウム 90 の沈着量について、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～950Bq/m²（検出された値の平均値：79Bq/m²））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、福島第一原発の事故由来の放射性ストロンチウムは確認されなかった。

その他、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 の沈着量の比率が最も大きかった調査箇所である相馬市（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に今回の調査で新たに相馬市（第 1 地点）周辺の 13 試料（10 箇所）について放射性ストロンチウムの沈着状況を測定した。その結果、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 1～25 分の 1 程度と非常に小さい値（46～91（Bq/m²）、第 1 次分布状況等調査：2,400（Bq/m²））であることが確認された。このことから、相馬市（第 1 地点）周辺では、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。

また、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 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、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 4.2.2-5 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。

この要因は、放射性ストロンチウムが、粒子状で試料に偏在していたためと考えられる。これを確認するため、直径 90 mm のペトリ皿中に土壌試料を全量移し、ラップで蓋をし、このラップ面を下にした状態でイメージングプレートの撮像面に密着させて、放射性物質の分布状況を撮像した。その結果、放射性物質が粒子状で偏在していることが確認できた（図 4.2.2-6 参照）。特に、ストロンチウム 90 の壊変生成物であるイットリウム 90 のベータ線のエネルギーは 2.28MeV とセシウム 134、137 よりかなり大きいことから、イメージングプレートによる確認の結果、撮像された放射性物質は高い計数率であるストロンチウム 90 の存在によるものと考えられ、土壌中におい

てストロンチウムが偏在した結果、相馬市（第1地点）のように、セシウム 137 に対するストロンチウム 90 の沈着量の比率が大きくなったものと考えられる。

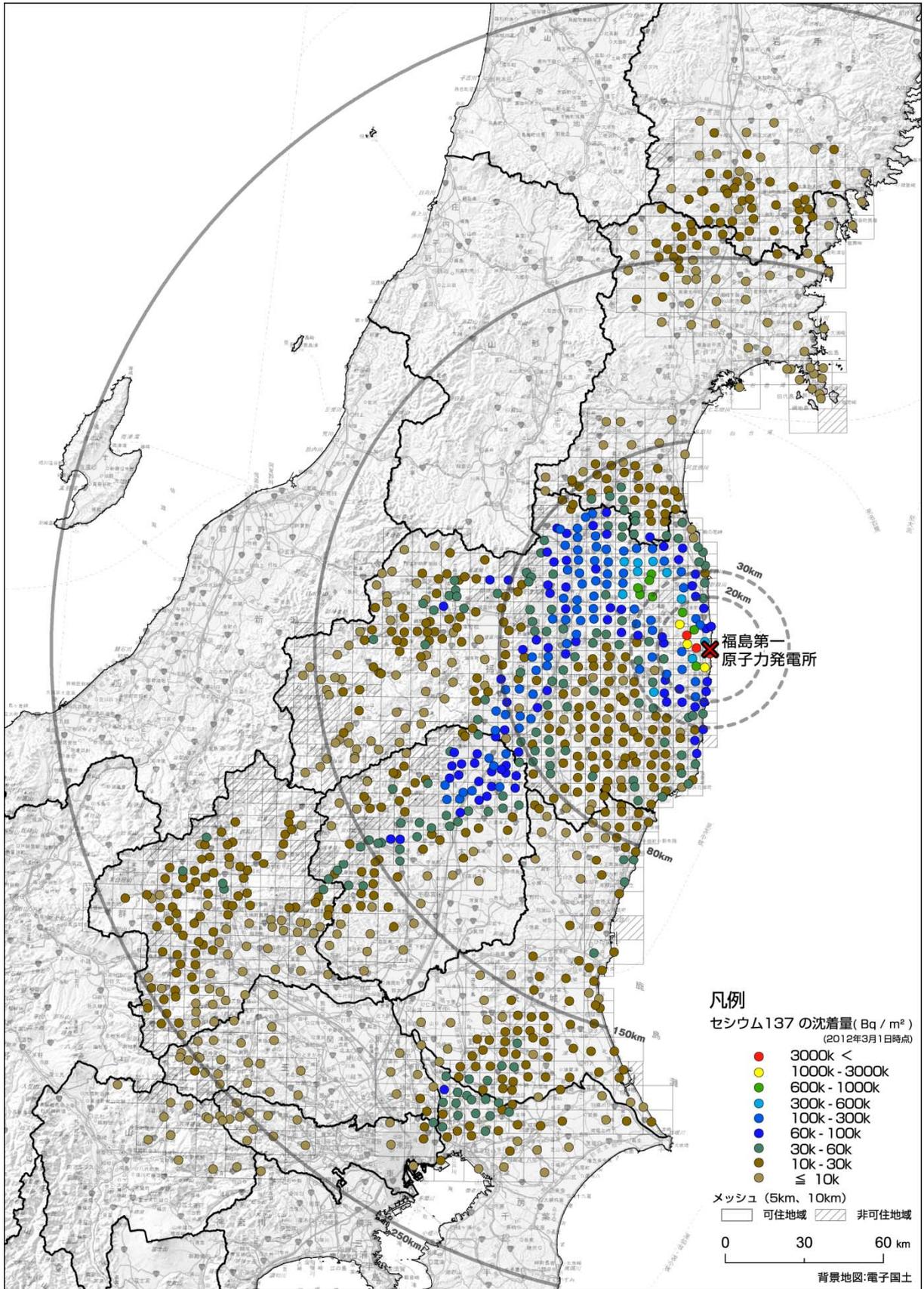


図 4. 2. 1-1 セシウム 137 の土壌濃度マップ
(平成 24 年 3 月 1 日時点に沈着量を換算)

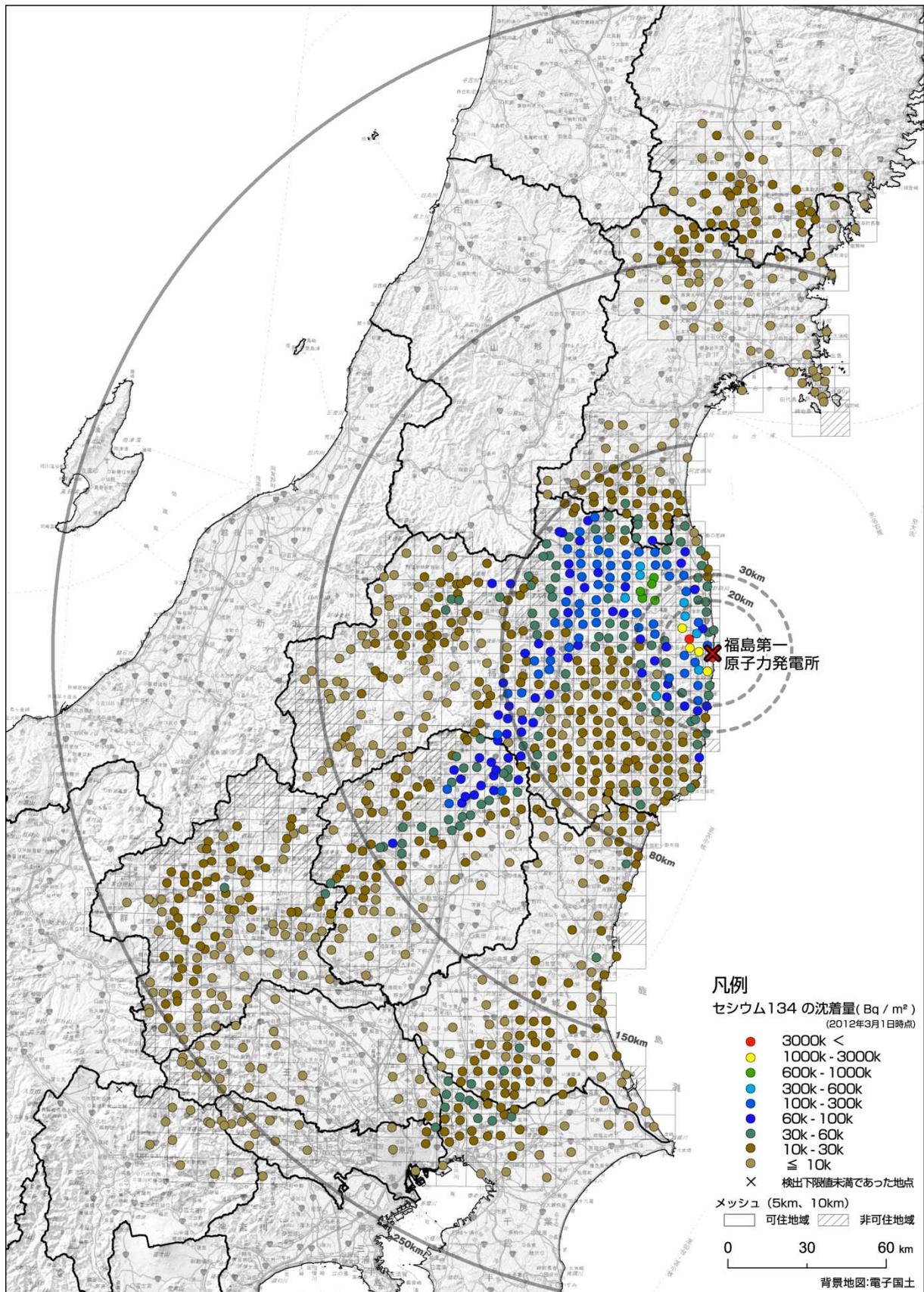


図 4. 2. 1-2 セシウム 134 の土壌濃度マップ
(平成 24 年 3 月 1 日時点に沈着量を換算)

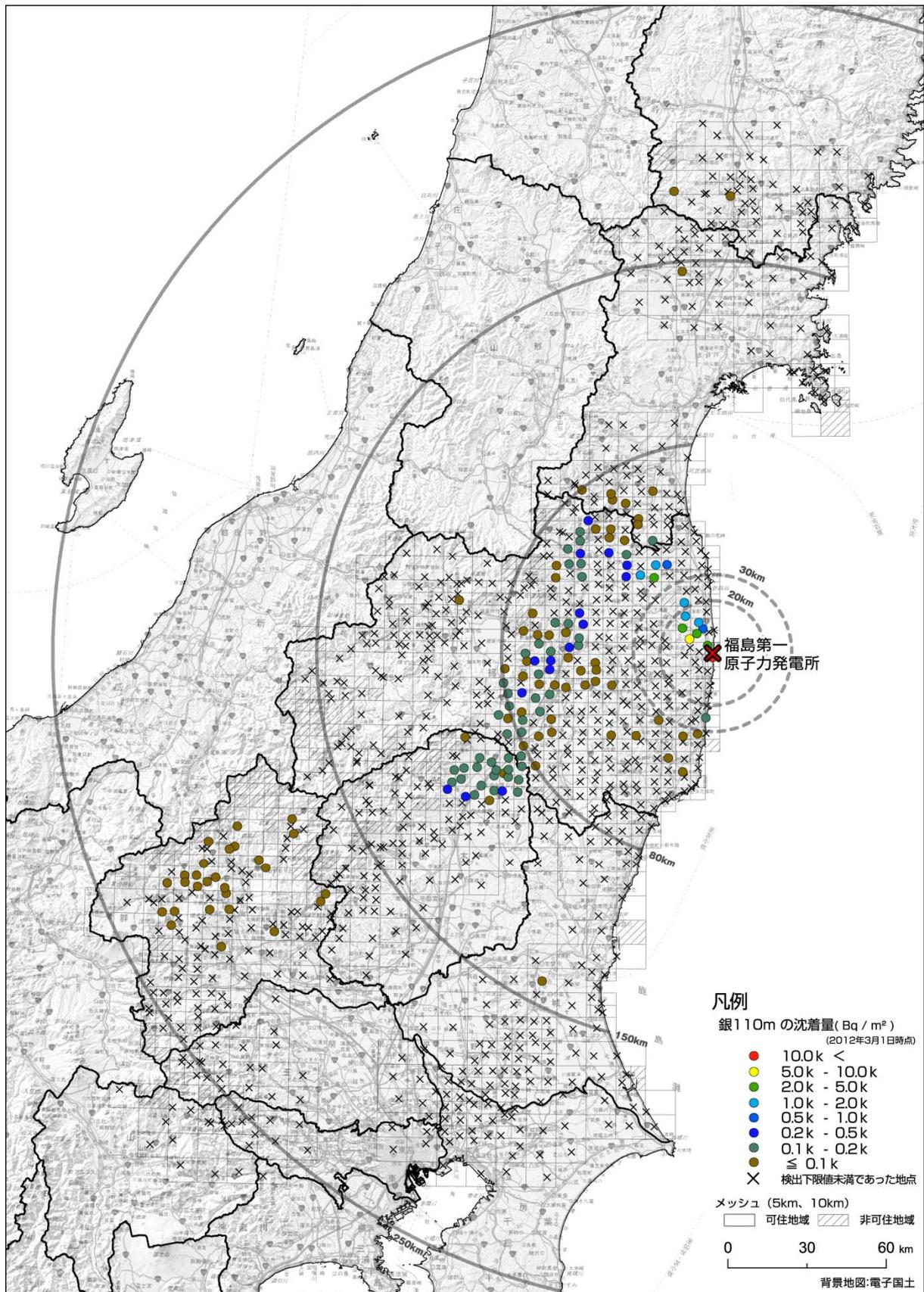


図 4. 2. 1-3 銀 110m の土壤濃度マップ
(平成 24 年 3 月 1 日時点に沈着量を換算)

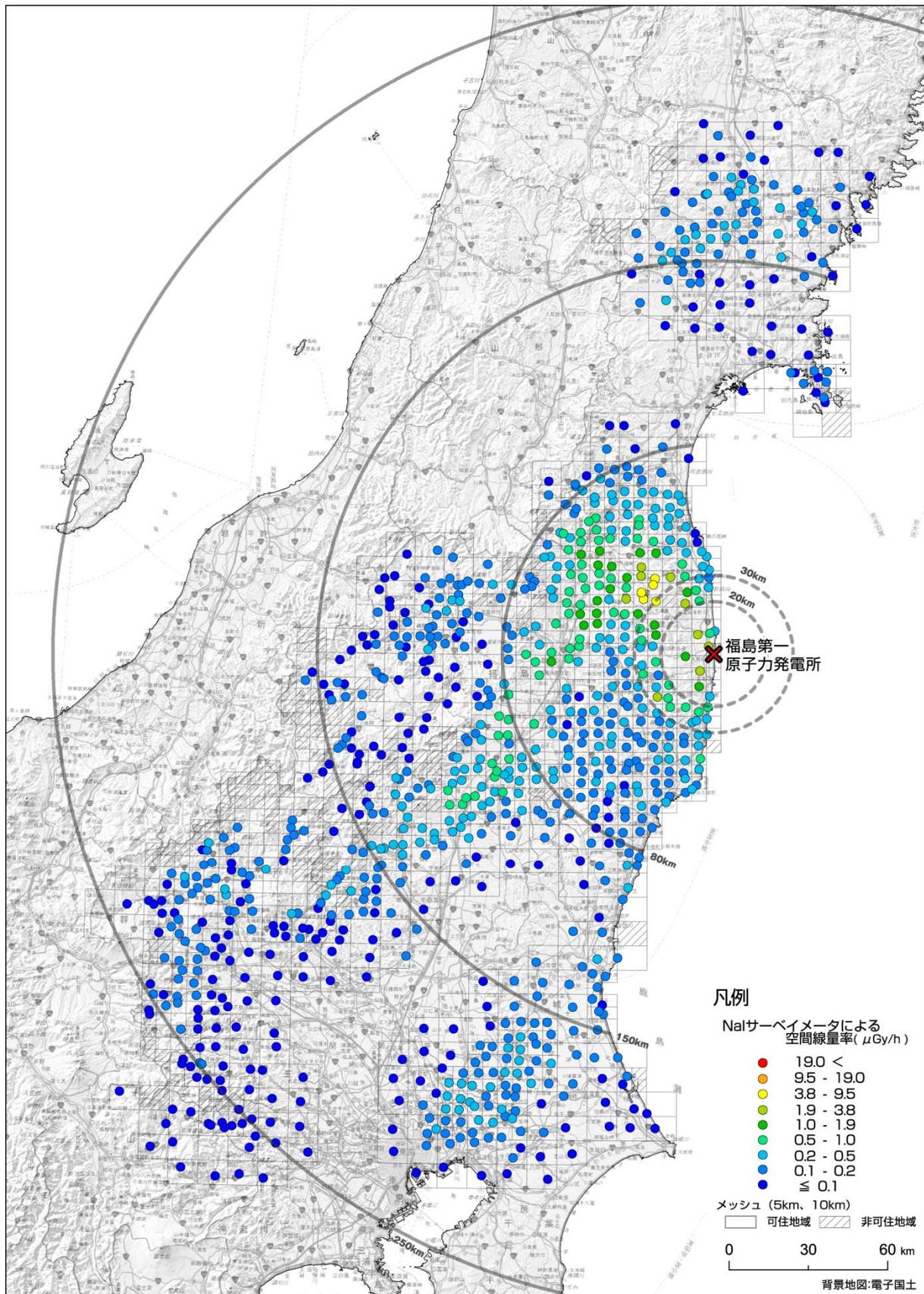


図 4.2.1-4 NaI サーベイメータにより測定した空間線量率マップ
(平成 23 年 12 月から平成 24 年 5 月まで測定)

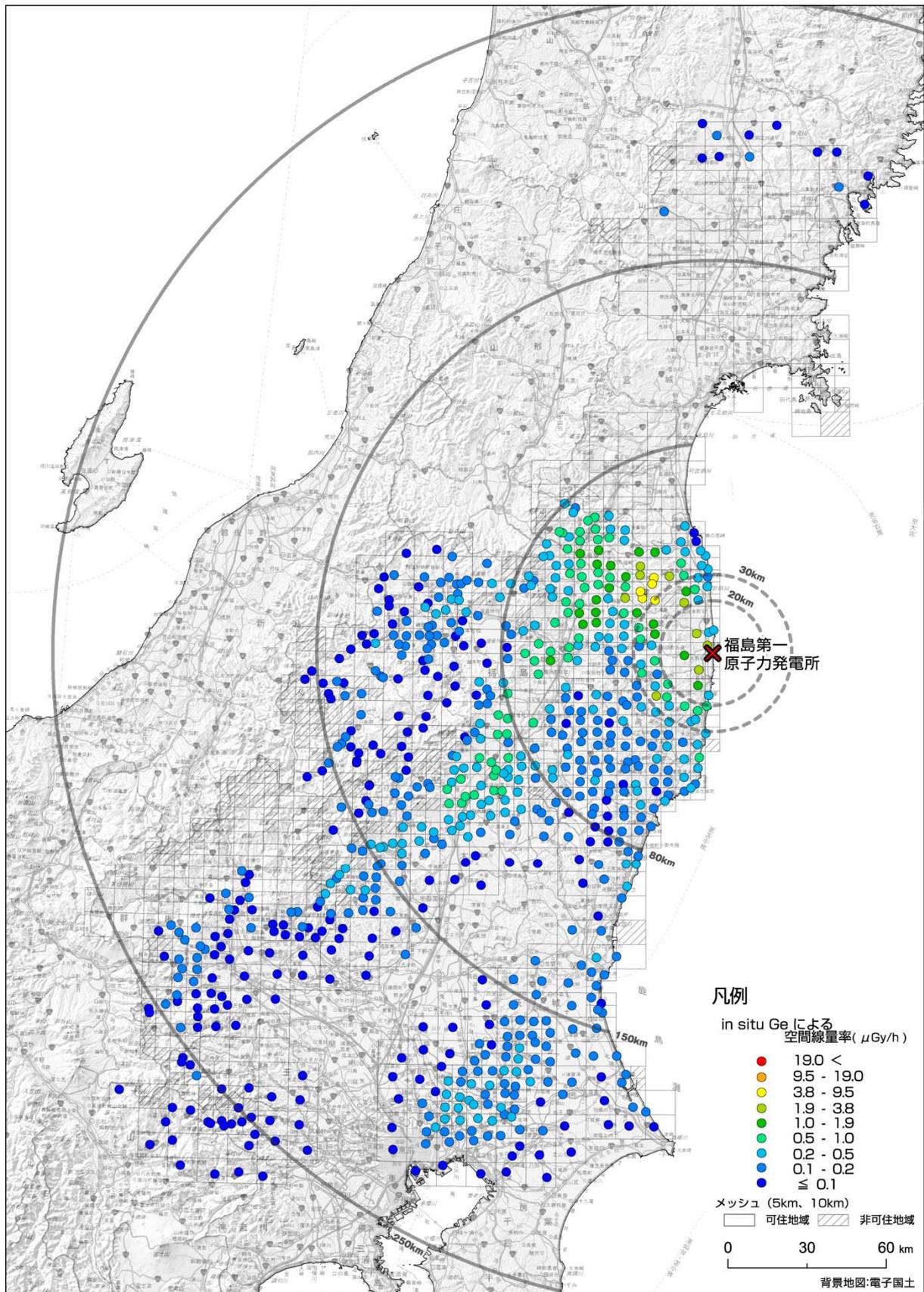


図 4.2.1-5 ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定 (平成 23 年 12 月から平成 24 年 5 月まで測定) の線量から評価した空間線量率マップ

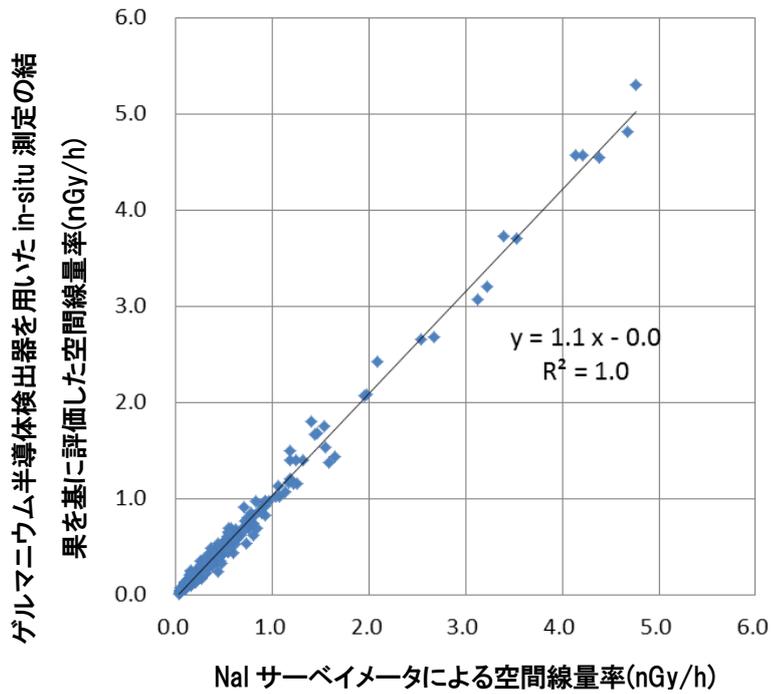


図 4.2.1-6 NaI サーベイメータにより測定された空間線量率とゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定の結果を基に評価した空間線量率の相関関係
(平成 23 年 12 月から平成 24 年 5 月まで測定)

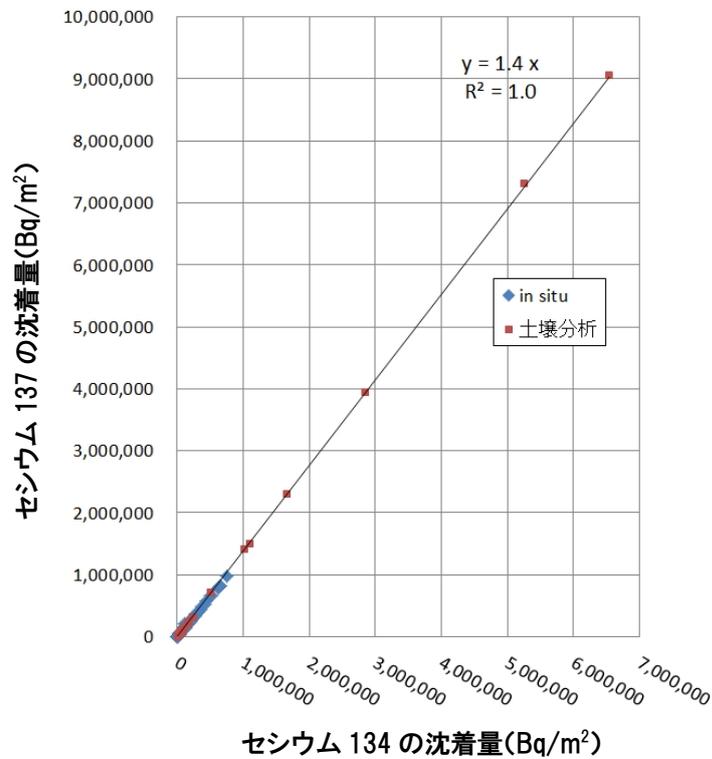


図 4.2.1-7 セシウム 134 の沈着量とセシウム 137 の沈着量の相関関係
(ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定の結果及び採取土壌の分析結果)
(平成 24 年 3 月 1 日の時点で沈着量は換算)

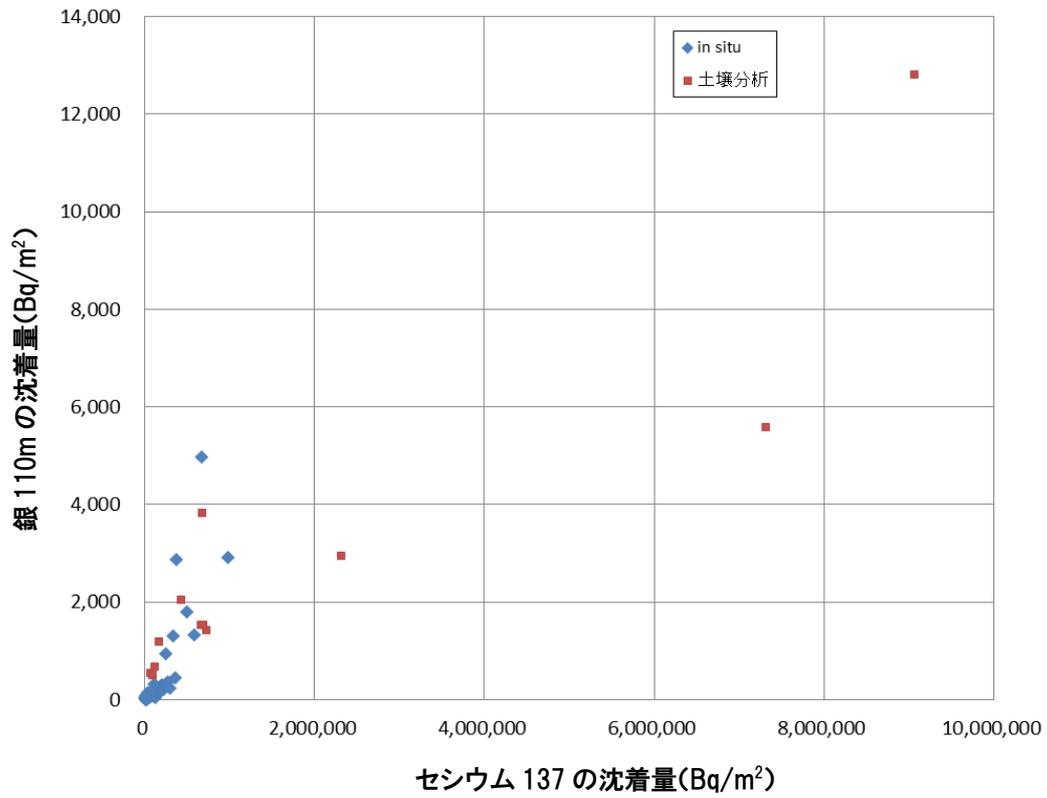


図 4.2.1-8 セシウム 137 の沈着量と銀 110m の沈着量の相関関係
 (平成 24 年 3 月 1 日の時点に沈着量は換算)

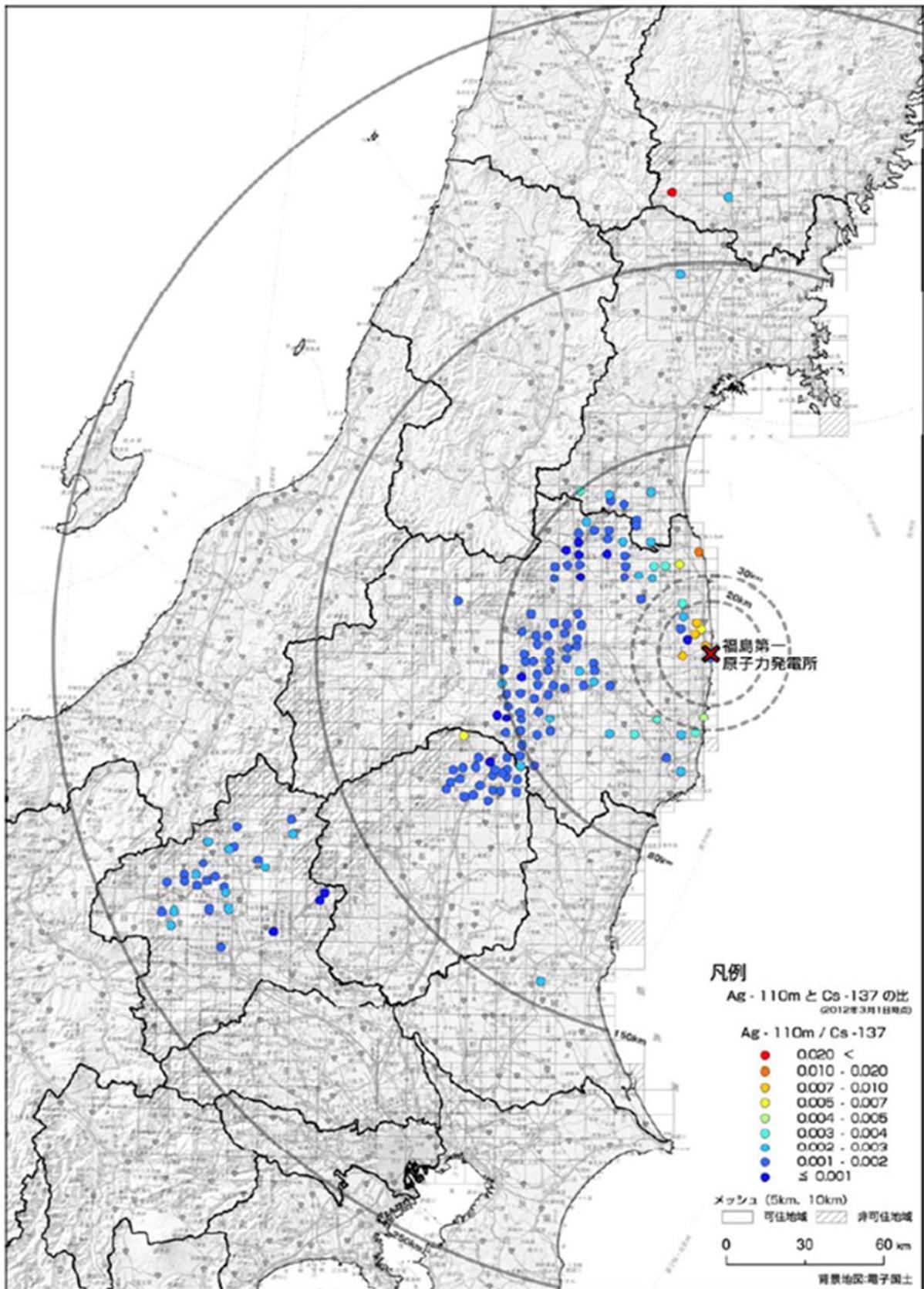
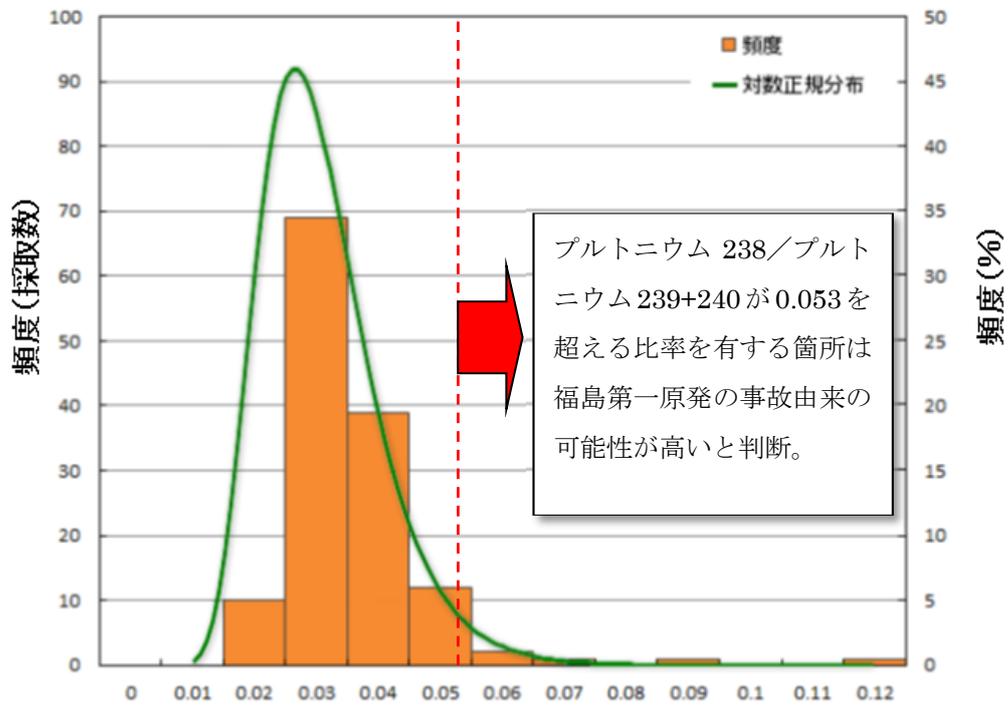


図 4.2.1-9 各調査箇所におけるセシウム 137 と銀 110m の沈着量の比(銀 110m/セシウム 137)
 (平成 24 年 3 月 1 日時点に沈着量は換算)



プルトニウム 238 の沈着量/プルトニウム 239+240 の沈着量

図 4.2.2-2 平成 11~21 年度までの環境放射能水準調査の結果
(プルトニウム 238 の沈着量/プルトニウム 239+240 の沈着量)

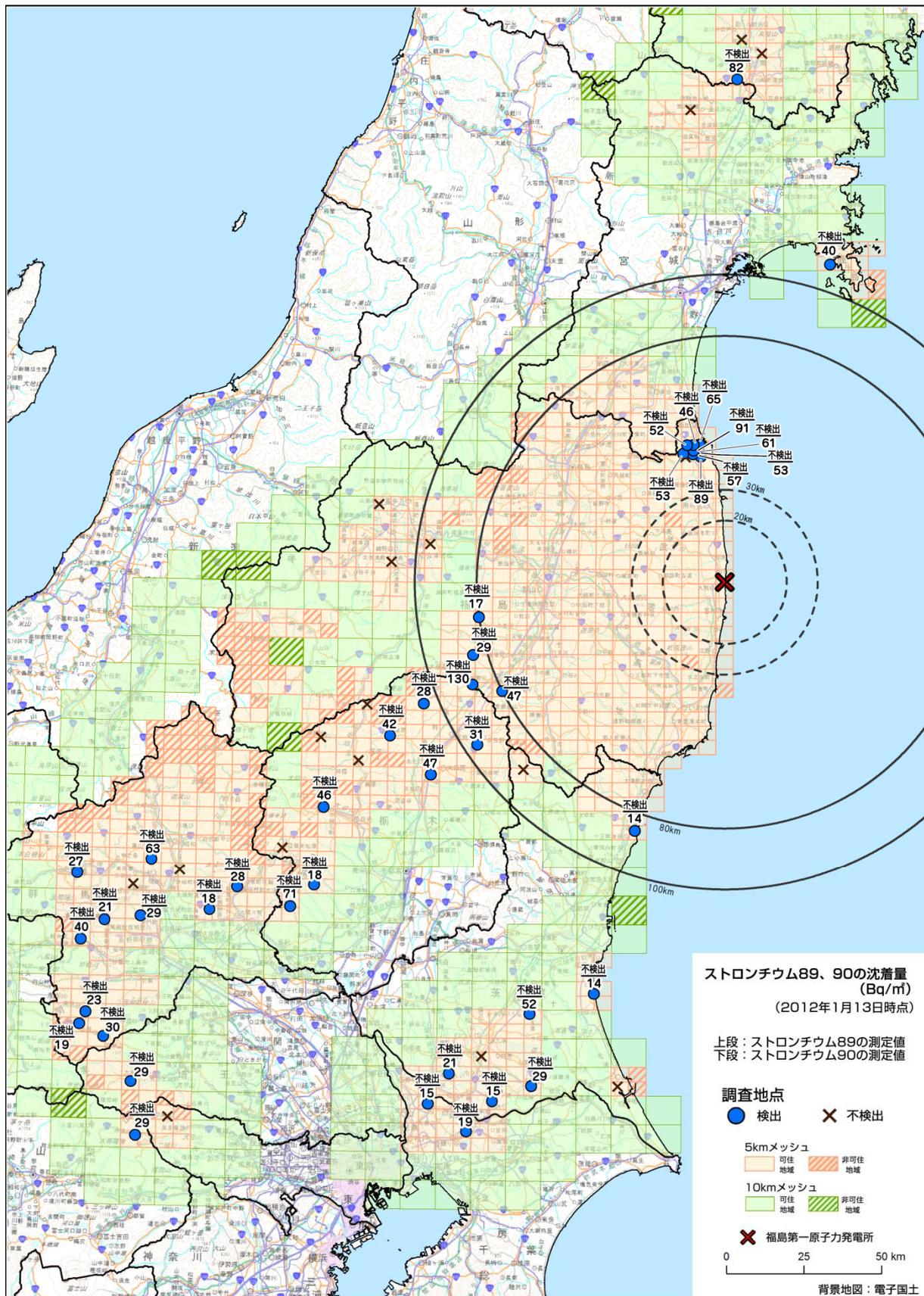


図 4.2.2-3 ストロンチウム 89、90 の沈着量の測定結果について (第 2 次分布状況等調査)
(地図中の×印は今回の調査結果 (第 2 次分布状況等調査) のうち、ストロンチウム 89、90 の測定結果が検出下限値未満であった箇所)

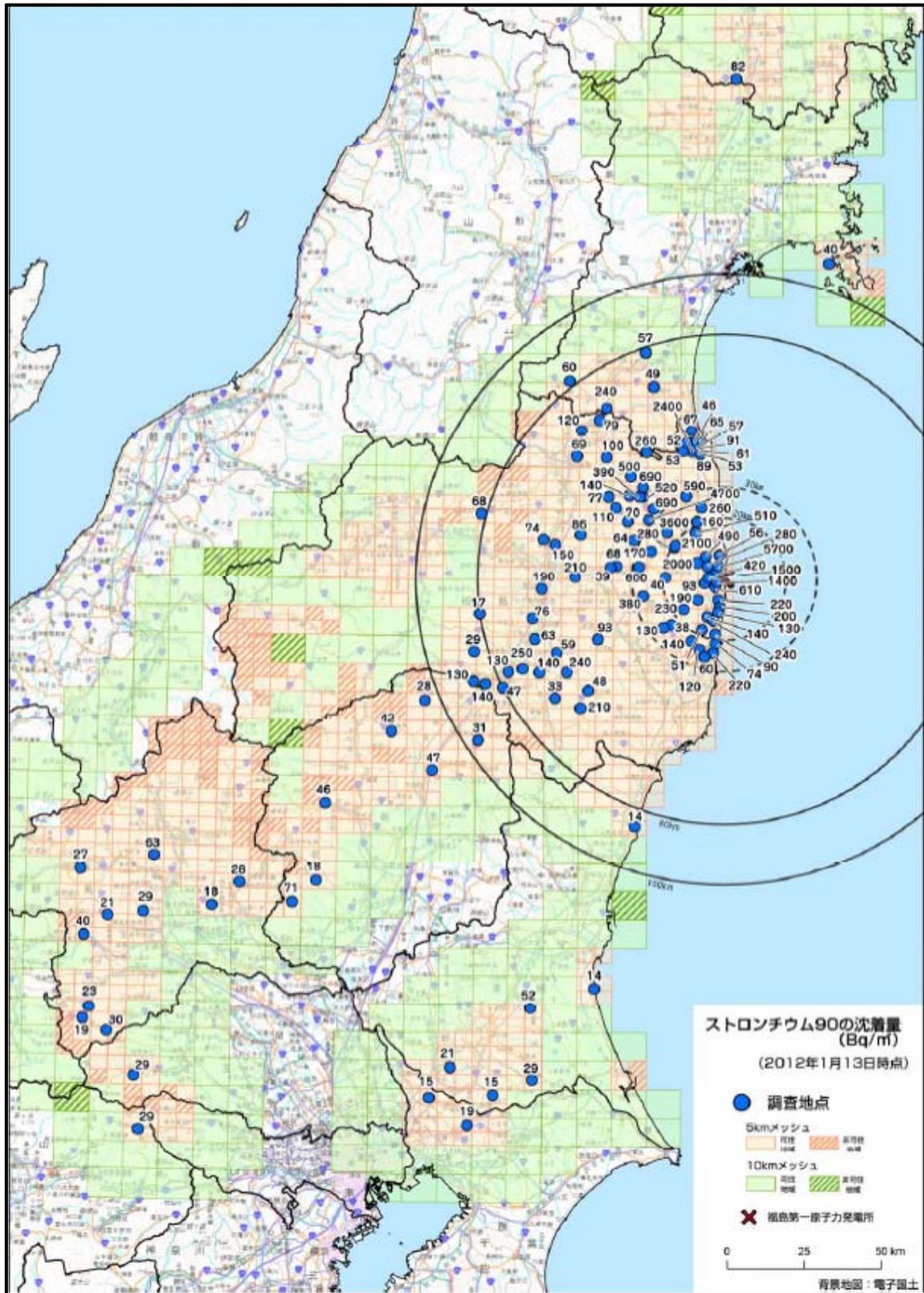


図 4.2.2-4 ストロンチウム 90 の測定結果

(第2次分布状況等調査の結果に第1次分布状況等調査^{※1}の結果を追加)

※1: 第1次分布状況等調査の結果は、ストロンチウム90の物理的半減期(28.79年)を考慮して、平成24年1月13日時点の値に放射能濃度を換算

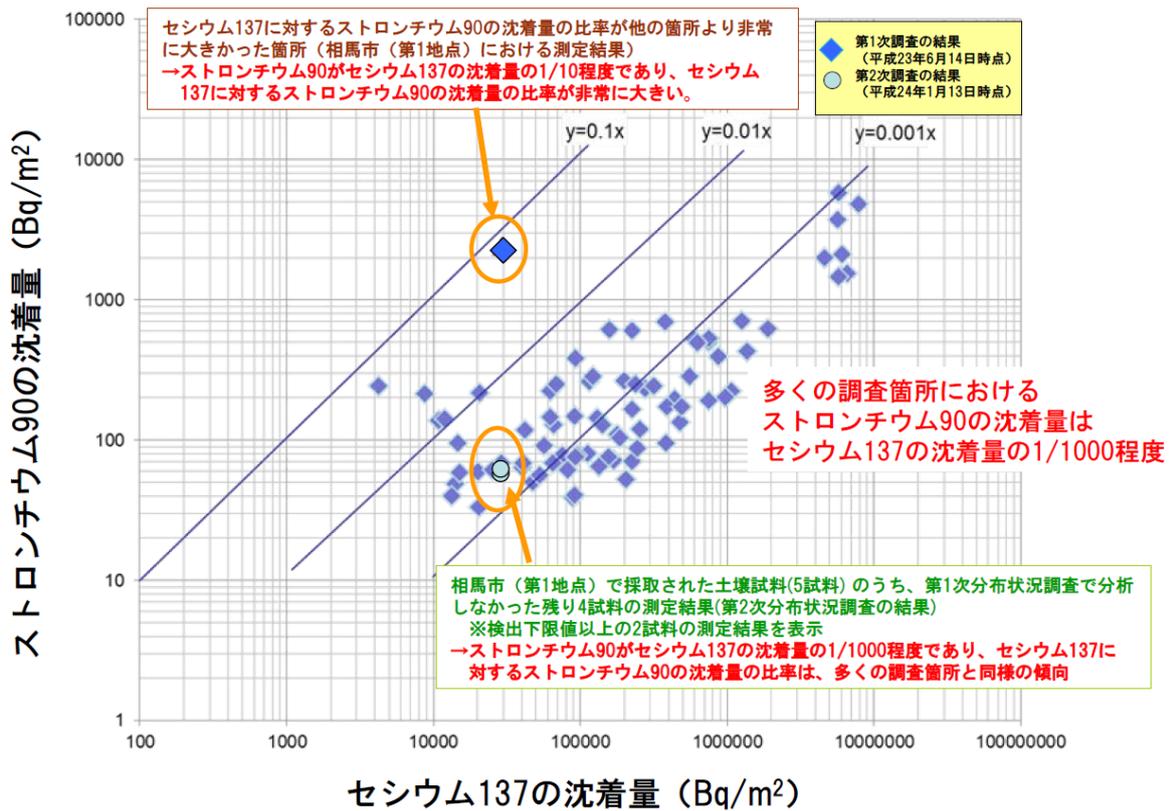


図 4. 2. 2-5 第 1 次分布状況等調査におけるセシウム 137 に対するストロンチウム 90 の沈着量の比率

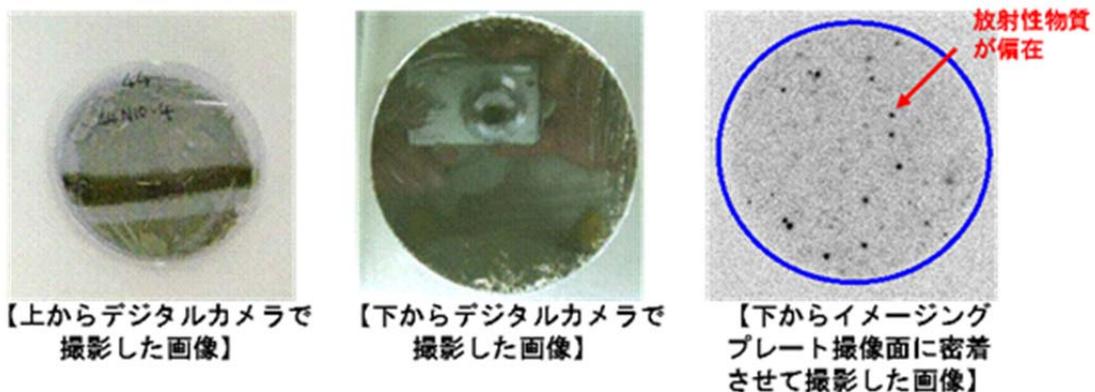


図 4. 2. 2-6 イメージングプレートによる土壌試料中の放射性物質の分布状況の確認

4.2.3 走行サーベイによる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の測定結果（空間線量率マップの作成結果）及び考察

平成23年12月に実施したKURAMAシステムを用いた走行サーベイ（第2次走行サーベイ）の結果を図4.2.3-1に、平成24年3月に実施したKURAMA-IIシステムを用いた走行サーベイ（第3次走行サーベイ）の結果を図4.2.3-2に示す。

平成23年までは、車内で測定した線量率値を車外の地上1m高さの値に換算するために、一律に1.3という補正係数を用いた。一方、空間線量率の低い箇所では、エネルギーの高い自然由来のガンマ線の寄与割合が相対的に高くなる等の理由で、補正係数が1.3よりも低くなる傾向にあることが示唆された。そこで、平成24年度は、低い空間線量率の地域（以下、「低線量率地域」という。）まで測定対象地域を上げたことを考慮し、低線量率地域における補正係数に関する検討を行い、空間線量率が $1\mu\text{Sv/h}$ 以下では空間線量率依存性のある補正係数を用いることとした（図4.2.3-4）。また、KURAMA-IIシステムを用いた走行サーベイの結果は、低線量率地域では統計的なばらつきが大きくなることを考慮し、100mメッシュで測定対象地域を分割してメッシュ内の平均値を測定結果として示すこととした。これに対応してKURAMAシステムを用いた走行サーベイによる測定値も100mメッシュ平均値でも表すこととした。KURAMAシステムを用いた走行サーベイ（第2次走行サーベイ）の測定値とKURAMA-IIシステムを用いた走行サーベイ（第3次走行サーベイ）の測定値を合成して作成したマップを図4.2.3-3に示す。本マップの作成にあたっては、KURAMAシステムを用いた走行サーベイ（第2次走行サーベイ）及びKURAMA-IIシステムを用いた走行サーベイ（第3次走行サーベイ）の両者の走行サーベイを行っ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た。また、KURAMAシステムを用いた走行サーベイ（第2次走行サーベイ）で測定した道路については、第2次走行サーベイ時における道路及び道路周辺における積雪の影響から、空間線量率が低く測定されている傾向が予想される。そこで、積雪箇所を区別するため、（独）宇宙航空研究開発機構（以下、「JAXA」という。）が公開を行なっている地球環境モニター（JASMES）上の、NASAの地球観測衛星Terra及びAquaの観測結果を活用し、積雪箇所を実線で囲われた白色の領域で表示した。また、平成23年12月期に実施した第2次走行サーベイと第3次走行サーベイとの間の期間（3ヶ月間）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6%程度あり、積雪による空間線量率の低下の程度に比べて大きいことから、第2次走行サーベイの測定結果の値を6%程度減少させる補正を行った。その結果、図4.2.1-1及び図4.2.1-2で示した放射性セシウムの広域分布状況に対応し、さらに詳細な空間線量率データが得られている。

また、道路上の空間線量率とその地域における空間線量率との関係を確認するため、KURAMAシステムによる走行サーベイ（第2次走行サーベイ）で得られた道路上の空間線量率の測定値と、道路周辺における地上1m高さにおいて、NaIサーベイメータで測定した空間線量率との比較を実施した。その結果、道路上の測定箇所と道路周辺における地上の測定箇所間の距離を50mから500mまで変化させて比率を計算したが、いずれのケースにおいてもKURAMAシステムを活用した道路上の空間線量率の測定値と地上1m高さでの空間線量率の測定値には相関があり、その平均的比率は1.2となった（図4.2.3-5）。このことは、KURAMAシステムを用いた道

路上の空間線量率の測定値は道路上の測定値ではあるものの、道路周囲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。道路上の放射性核種が車両の走行等により道路周囲よりも早く除去される傾向にあるため、道路上の空間線量率が周囲に比べて低くなると理解される。KURAMAシステムを用いた走行サーベイによる道路上の空間線量率の測定値から道路周囲の地上における空間線量率値を推定するためには、調査当時であれば、走行サーベイの測定値に1.2を乗ずる方法を用いることができると考えられる。一方、基本的にはKURAMAシステムは道路上の空間線量率値を評価するためのシステムであり、本報告書においても道路上の測定値を最終結果として示すこととする。

(2) KURAMAシステム、KURAMA-IIシステムにより取得された測定結果の自動修正プログラムの完成

今回の調査では、KURAMAシステムにより取得された測定結果の自動修正プログラムの完成等により、多数のシステムを同時に使用して測定を実施し、即時に測定結果を出力、提供することが可能となった。実際に、10都県にKURAMA-IIシステム100台を貸与して行なった走行サーベイ（第3次走行サーベイ）の測定では、走行サーベイで得られた測定値をデータ解析サーバを介してリアルタイムで地方自治体のパソコンに提供するとともに、自動処理を行なったデータを翌日には各地方自治体へ提供した。これらの実地試験を通して、KURAMAシステムを用いた測定・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の取得、提供のしくみを確立した。

(3) ラジプローブによる走行サーベイの計測を通じた自然由来の空間線量率の評価結果

今回、走行サーベイを実施した範囲における自然由来の影響を確認するため、ラジプローブを用いた走行サーベイにより取得された道路上の空間線量率とセシウム137の沈着量との関係を基に、自然由来の空間線量率の影響を評価した。セシウム134とセシウム137の土壌への沈着量の算出にあたっては、停止箇所における長時間計測を通じて求めた。その結果、図4.2.3-6に示すように、セシウム137による沈着が確認されない、自然由来のガンマ線による空間線量率の平均値は $0.025 \mu\text{Sv/h}$ と推測された。また、今回の第2次走行サーベイ（平成23年12月）の計測において、セシウム137の土壌への沈着量に対するセシウム134のその比は、図4.2.3-7に示すように、 0.82 ± 0.06 となり、第1次分布状況等調査の結果で得られた放射性セシウムの測定結果（平成23年6月14日時点）におけるセシウム134とセシウム137の土壌への沈着量の比について、ラジプローブを用いた走行サーベイを実施した平成23年12月15日時点に換算した値(0.78)とラジプローブによる求めたセシウム134とセシウム137の沈着量の比率の平均値(0.82)とを比較すると、誤差の範囲内で一致しており、ラジプローブによる測定が適切に実施されたことを確認した。なお、図4.2.3-8に、カリウム40の放射能濃度を示すが、文部科学省の平成22年の環境放射能水準調査(環境放射線データベース、<http://search.kankyo-hoshano.go.jp/servlet/search.top>)により測定された全国の土壌の放射能濃度(0.048~1.1Bq/g; 全国平均値0.42Bq/g)の範囲内となっており、ここでもラジプローブによる測定が適切に実施されたことを確認した。

(4) トポロジー解析法を用いた走行サーベイで取得された空間線量率の分布状況の評価法の検討結果

KURAMAシステム、KURAMA-IIシステムにより計測された道路上の空間線量率データを用いて、各地域の空間線量率（放射性セシウム）の地理的な分布状況に関する特徴を抽出するため、トポロジー解析を行なった。トポロジー解析とは、メッシュ状に定義された物理量（今回の調査では空間線量率）に対し、隣接8メッシュの値との比較を行って、物理量の変化状況ごとにピーク、ピット、サドルポイント、尾根、谷等の分布に関する特徴を抽出するデータ処理技術である。ここで、ピークとは、隣接8メッシュに定義された物理量（空間線量率）よりも高い値を持つメッシュであり、ピットとは、逆に隣接8メッシュに定義された物理量（空間線量率）よりも低い値を持つメッシュが該当する。また、サドルポイントとは、隣接8メッシュに定義された物理量と対象メッシュに定義された物理量を比較する際、隣接8メッシュ内に対象メッシュと比較して物理量が高いメッシュ領域と低いメッシュ領域が混在し、馬の鞍のように高いメッシュ領域と低いメッシュ領域が交互に2領域以上分布するものを指す。このサドルポイントからピークに対して物理量（空間線量率）が最も上昇する方向（最急上昇方向）を結んで得られる線が尾根線となり、サドルポイントからピットに対して物理量（空間線量率）が最も下降する方向（最急下降方向）を結んで得られる線が谷線となる。トポロジー解析をKURAMAシステム、KURAMA-IIシステムにより計測された道路上の空間線量率データに対して適用することにより、ホットスポットの存在、プルームの移動方向等に関する情報が得られることが期待される。

解析にあたっては、広域における分布の特徴抽出と狭域における分布の詳細な特徴抽出を行った。広域における分布の特徴を抽出するために、測定地域を5kmメッシュ及び10kmメッシュという比較的大きなメッシュ単位で分割し、メッシュ毎に平均化したデータを用いた。トポロジー解析により抽出できた分布の特徴は、以下のとおりである。

- (1) 東北北部（宮城県北部及び岩手県南部）には、内陸部を南北方向に延びる尾根領域と牡鹿半島部分に存在する短い尾根領域の2つの大きな構造が存在する（図4.2.3-9）。
- (2) 東北南部（宮城県南部及び福島県北部）には、飯館、南相馬から北部に延びる尾根領域と、福島から喜多方に向けて西方に延びる尾根領域の2つの構造が存在する（図4.2.3-10）。
- (3) 福島県南部から関東地方北部には、浜通り沿いに南に延びる尾根領域と、中通りに沿って南部に延びる尾根領域が存在する。中通りの西に南方に延びる尾根領域と、浜通りと中通を東西方向に結ぶ尾根領域も認められるが、明瞭ではない。（図4.2.3-11）。
- (4) 関東地方では、千葉県北西部を中心に広範囲に広がる尾根領域と秩父市近郊を中心に広がる尾根領域の2つの構造が存在する（図4.2.3-12）。

これらの構造は、メッシュサイズを10kmから5kmに細かくすることで、より詳細に捉えられている。

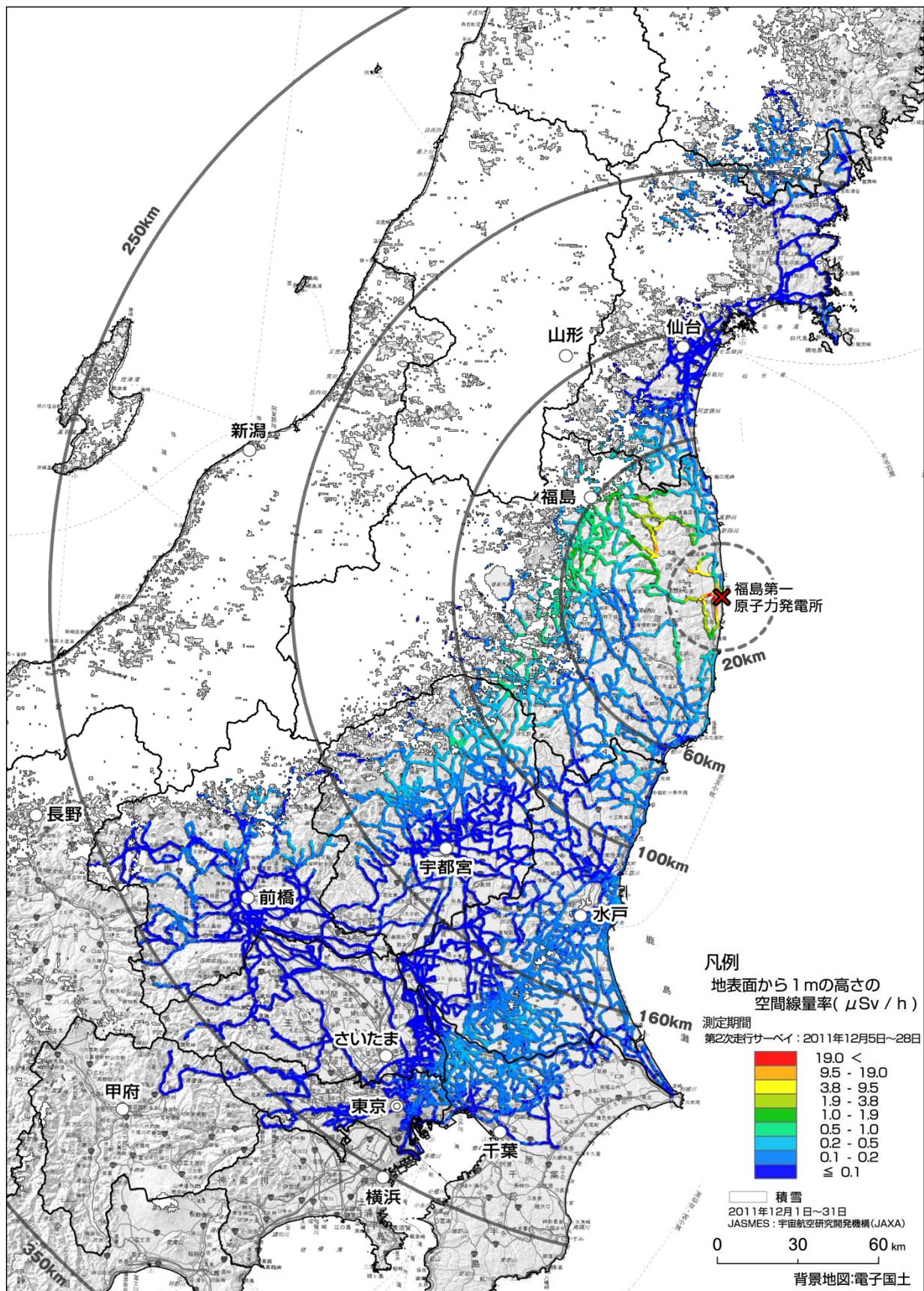


図 4.2.3-1 KURAMAシステムを用いた走行サーベイ (第2次走行サーベイ) による道路上の空間線量率マップ (平成23年12月5日~28日)
 (本マップには天然核種による空間線量率が含まれている。)

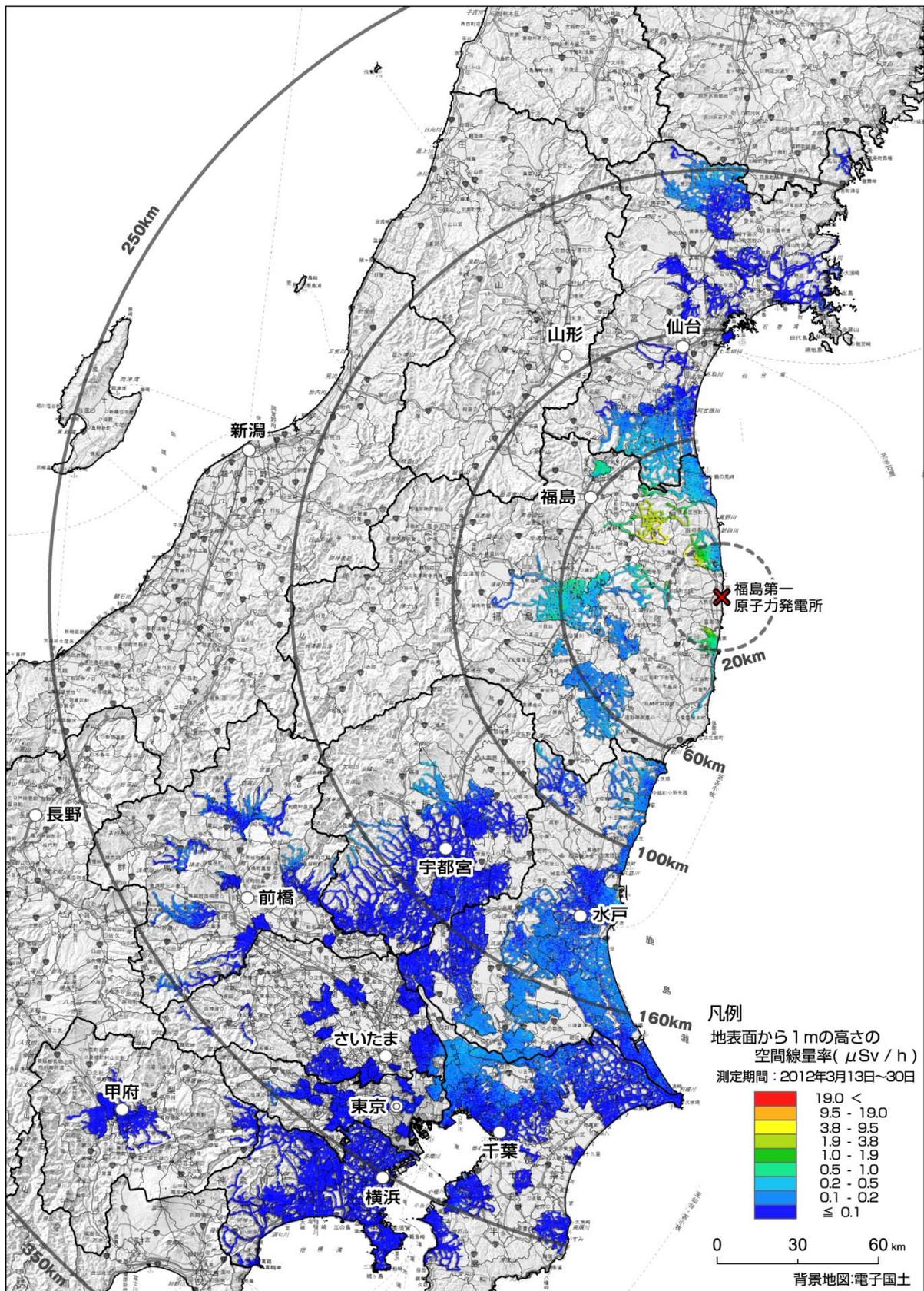


図 4.2.3-2 KURAMA-IIシステムを用いた走行サーベイ(第3次走行サーベイ)による空間線量率マップ(平成24年3月13日~30日)の結果
 (本マップには天然核種による空間線量率が含まれている。)

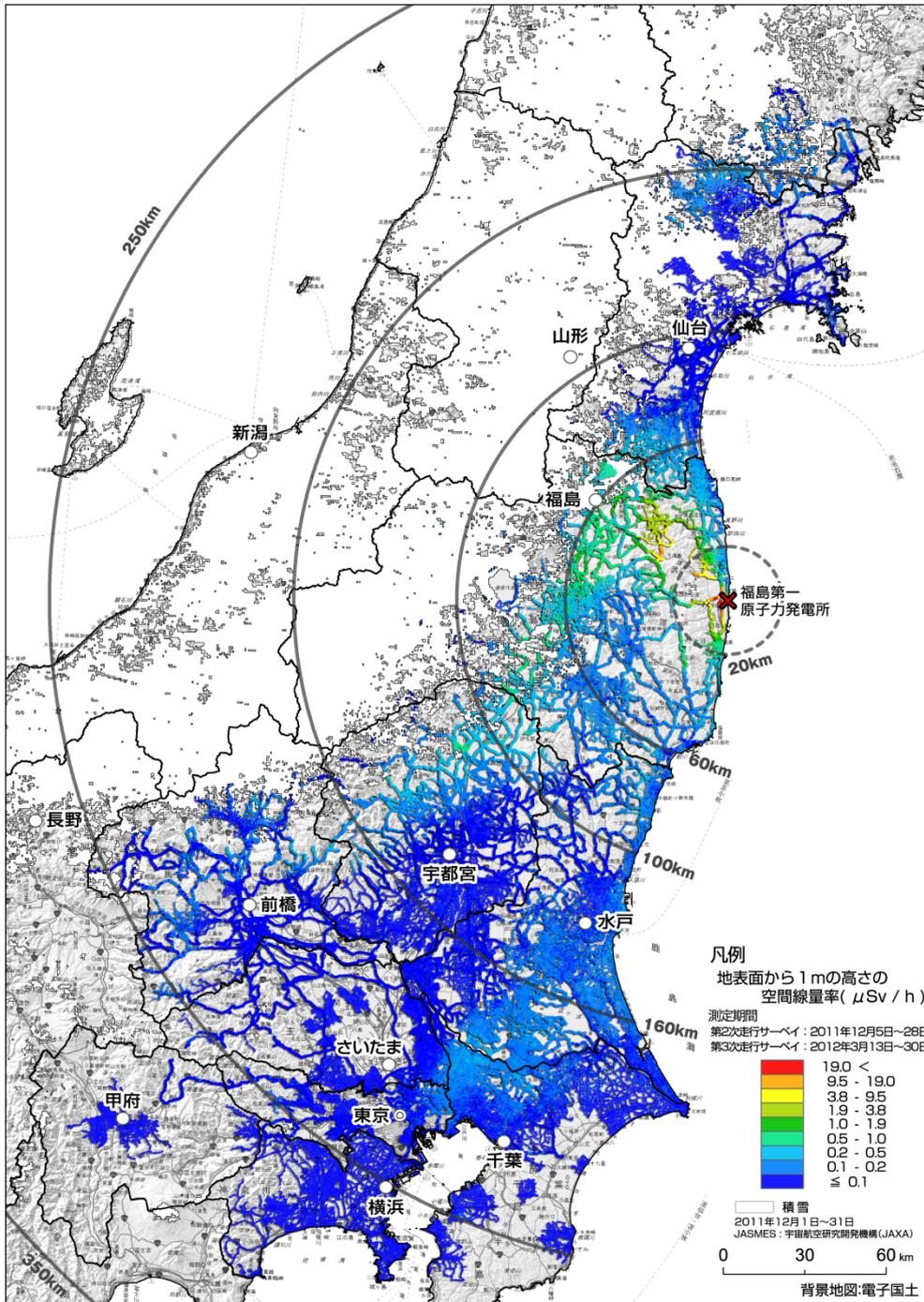


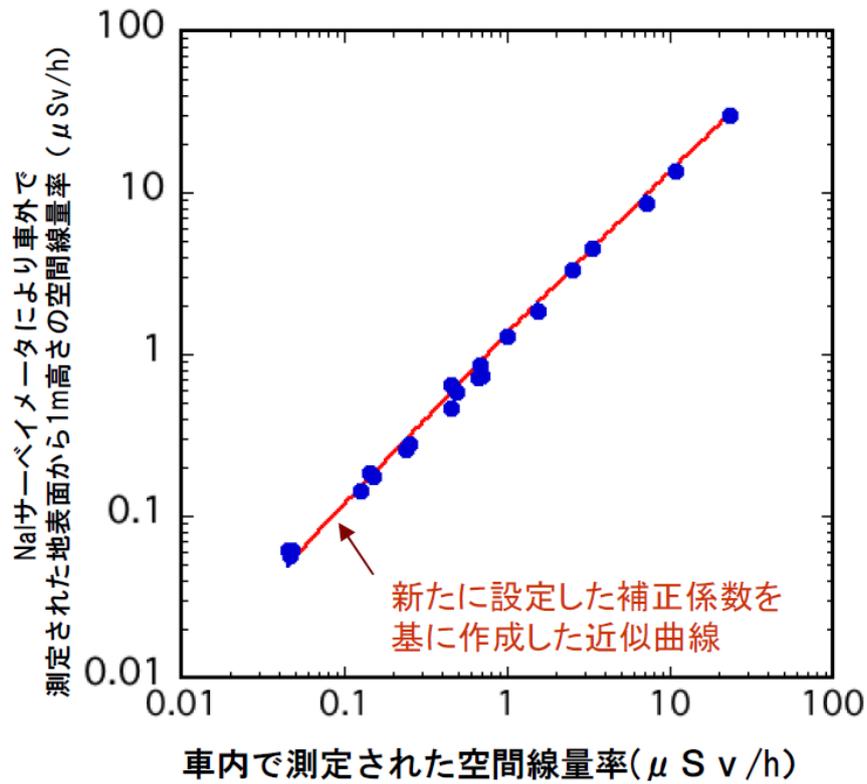
図 4.2.3-3 KURAMAとKURAMA-IIシステムによる結果を合成した空間線量分布
 走行サーベイによる道路上の空間線量率マップ(第3次走行サーベイ(平成24年3月実施)に第
 2次走行サーベイの測定結果(平成23年12月実施を追加))

※1: 本マップには天然核種による空間線量率が含まれている。

※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。なお、第2次及び第3次の両者の走行サーベイを行った道路については、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、第2次走行サーベイと今回の調査との間の期間(3ヶ月)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を考慮し、補正。風雨等の自然環境による放射性物質の移行の影響は考慮していない。

※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、雪の遮蔽により、雪が無い時に比べて減少している可能性がある。



- ①測定値が $1.0 \mu\text{Sv/h}$ 以上の場合：補正係数=1.3（一定）
- ②測定値が $0.01 \sim 1.0 \mu\text{Sv/h}$ の場合：補正係数= $0.06515 \times \ln(\text{車内における空間線量率}) + 1.3$
- ③測定値が $0.01 \mu\text{Sv/h}$ 以下の場合：補正係数=1.0（一定）

図 4.2.3-4 車内で測定された空間線量率を車外における地表面から 1m高さの空間線量率に補正するための係数

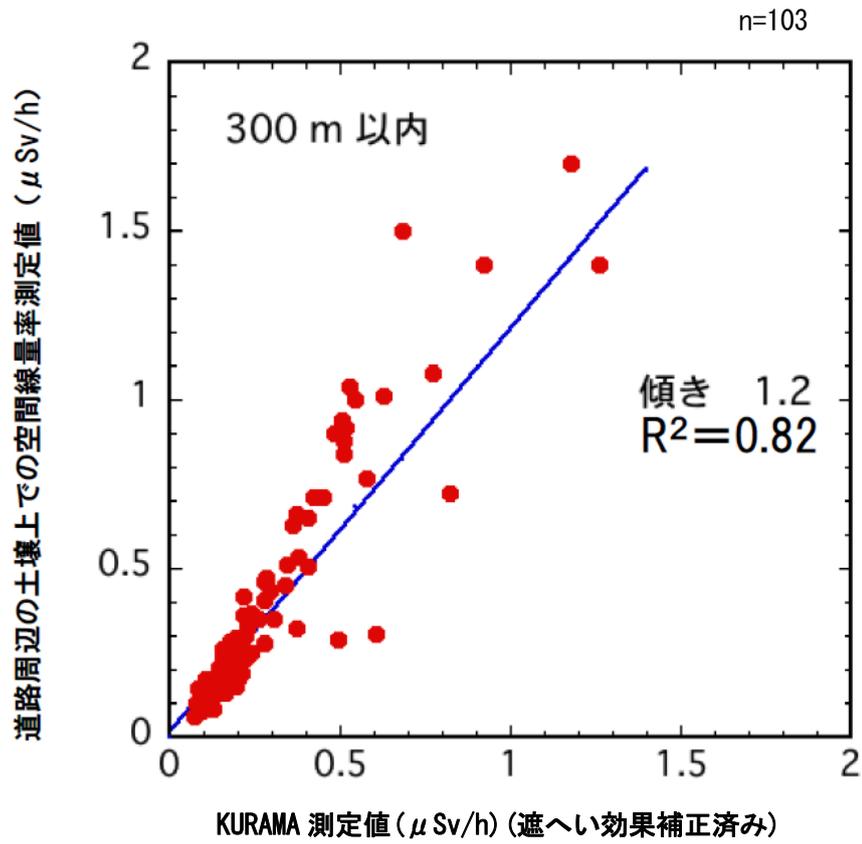


図 4.2.3-5 走行した状態での走行サーベリの測定値 (KURAMA 測定値) と道路周辺の土壌上での空間線量率との比較

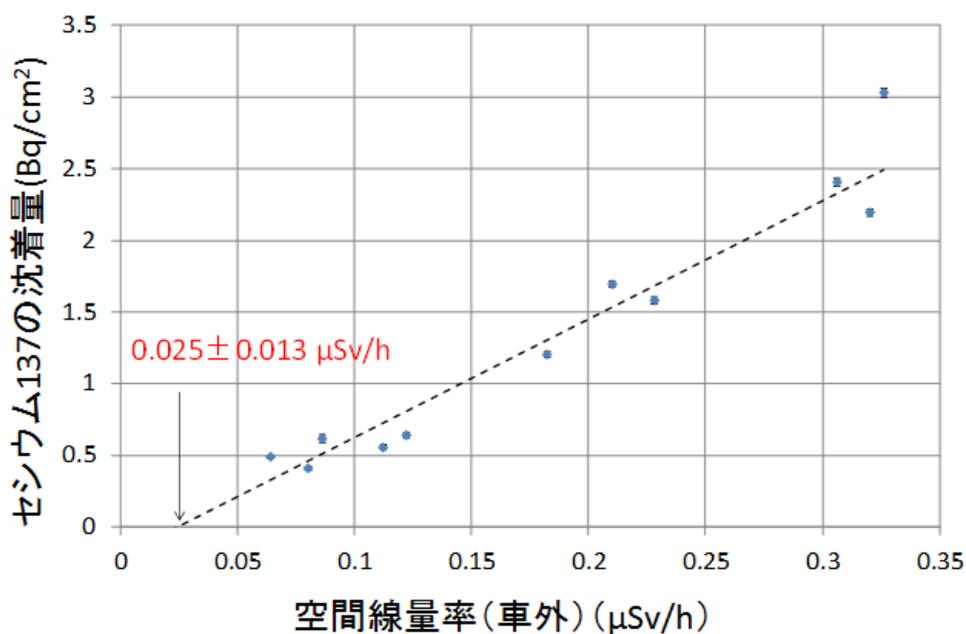


図 4.2.3-6 ラジプローブに測定された道路上の空間線量率とセシウム 137 の沈着量との関係
(セシウム 137 の沈着量の統計誤差は+32%、-0%である)

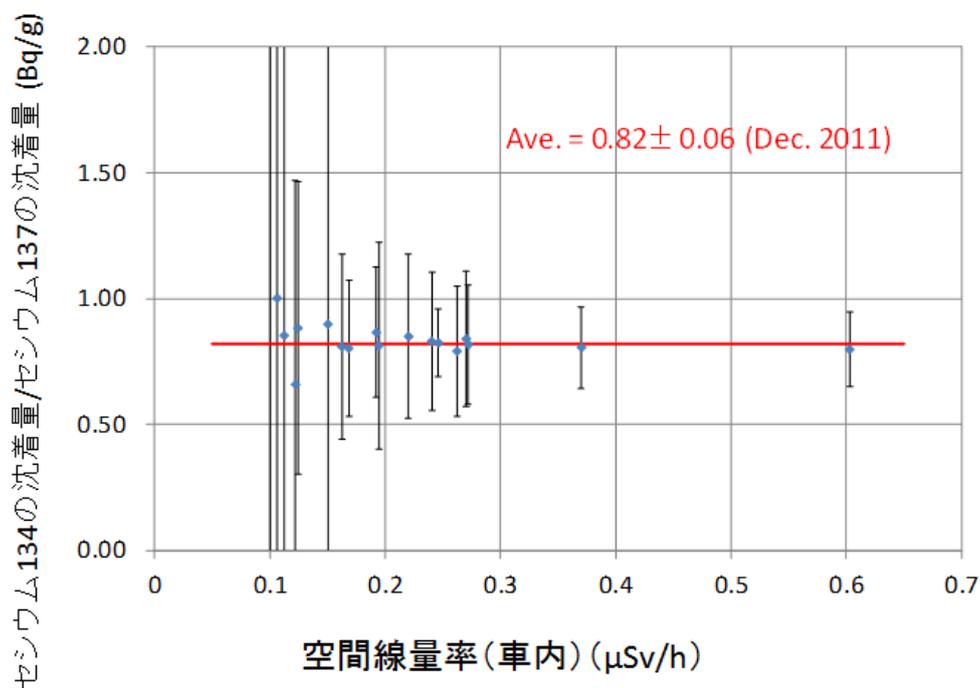


図 4.2.3-7 ラジプローブを活用した道路上のセシウム 134 とセシウム 137 の沈着量の比率と
空間線量率の関係

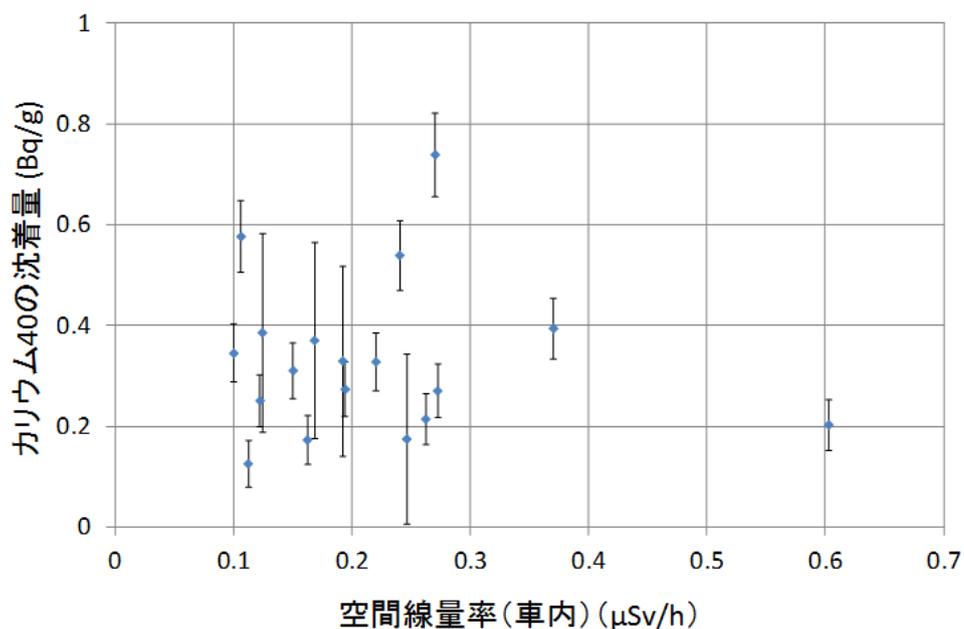


図 4.2.3-8 空間線量率に対する天然核種（カリウム 40）の放射能濃度値の関係
 （カリウム 40 の沈着量の系統誤差は+25%、-0%である）

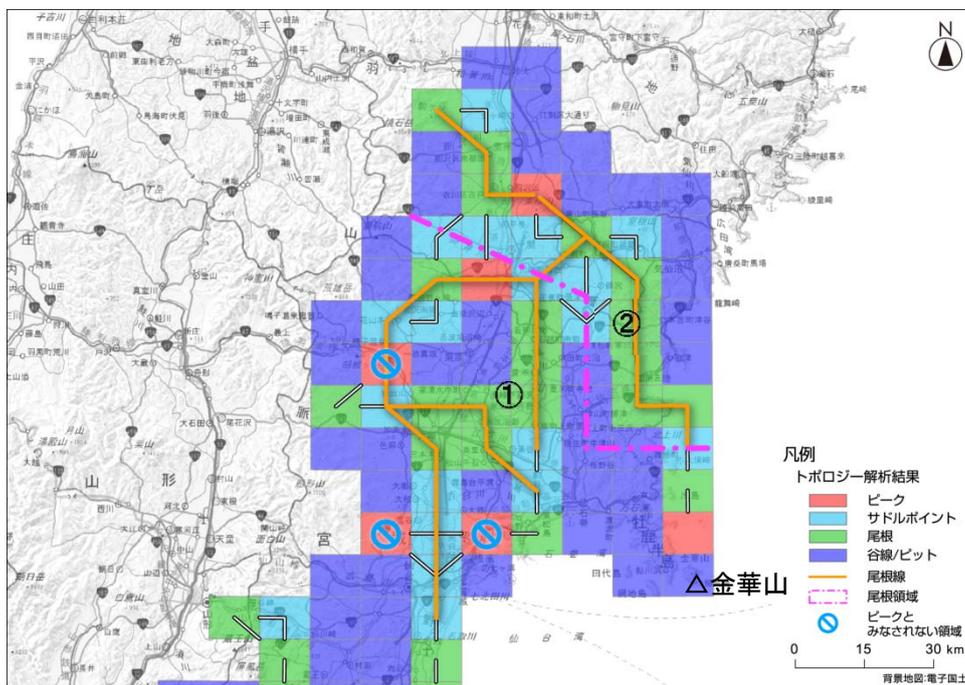


図 4.2.3-9 東北北部領域（宮城県北部、岩手県南部）を対象としたトポロジー解析結果（10kmメッシュ）。赤い領域がピーク、黄線が尾根線を表す。水色のマークは、ピークとして抽出されたが、閾値以下（サドルポイントとピークの値の差が10%以下）であったためピークとみなされない領域を示す。解析の結果、内陸を南北に延びる尾根線（①）と金華山に向けて南北に延びる尾根線（②）の2つの構造が抽出されている。

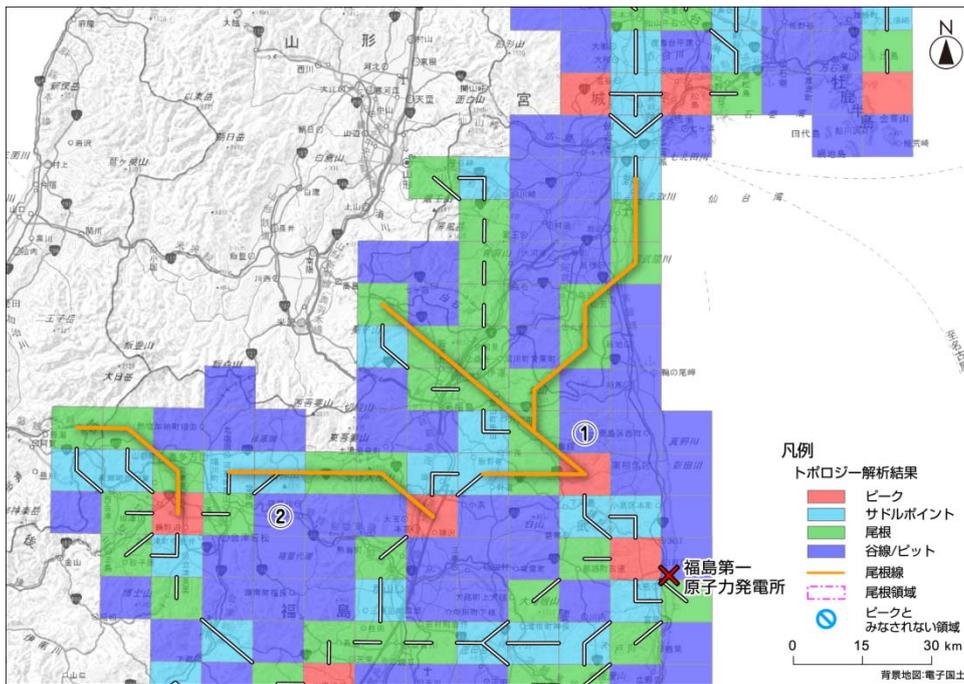


図 4.2.3-10 宮城県南部を対象としたトポロジー解析結果(10km メッシュ)。飯館、南相馬から北部に延びる尾根領域 (①) と、福島から喜多方に向けて西方に延びる尾根領域 (②) の2つの構造が存在する

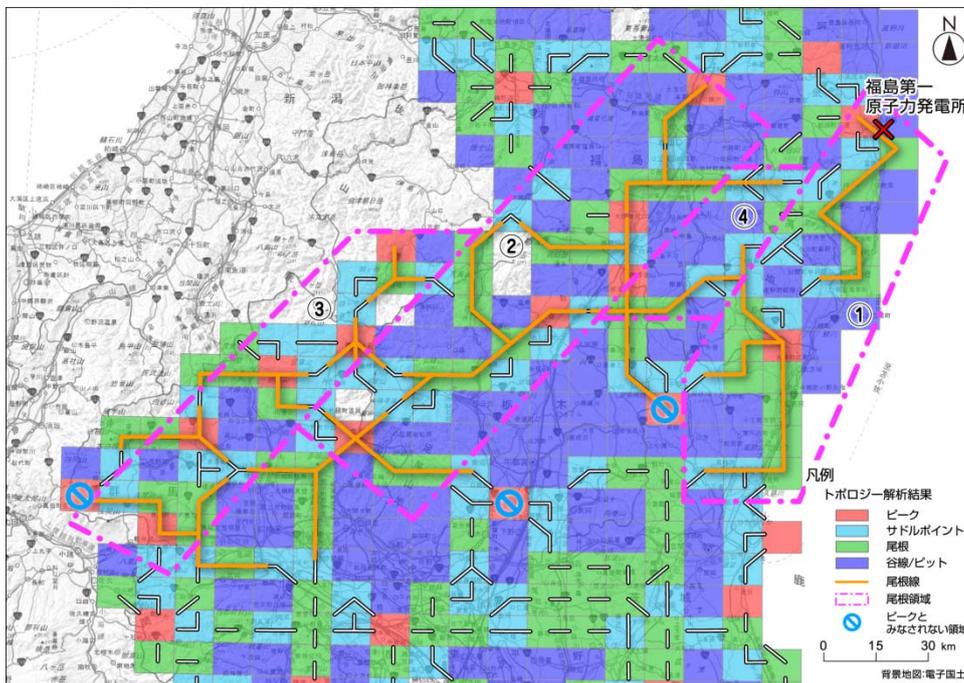


図 4.2.3-11 福島県南部から関東北部を対象としたトポロジー解析結果(10km メッシュ)。浜通り沿いに南に延びる尾根領域 (①) と、中通りに沿って北東から南西に延びる尾根領域 (②) が存在する。また、中通りの西に南方に延びる尾根領域 (③) と、浜通りと中通を東西方向に結ぶ尾根領域 (④) も認められる。

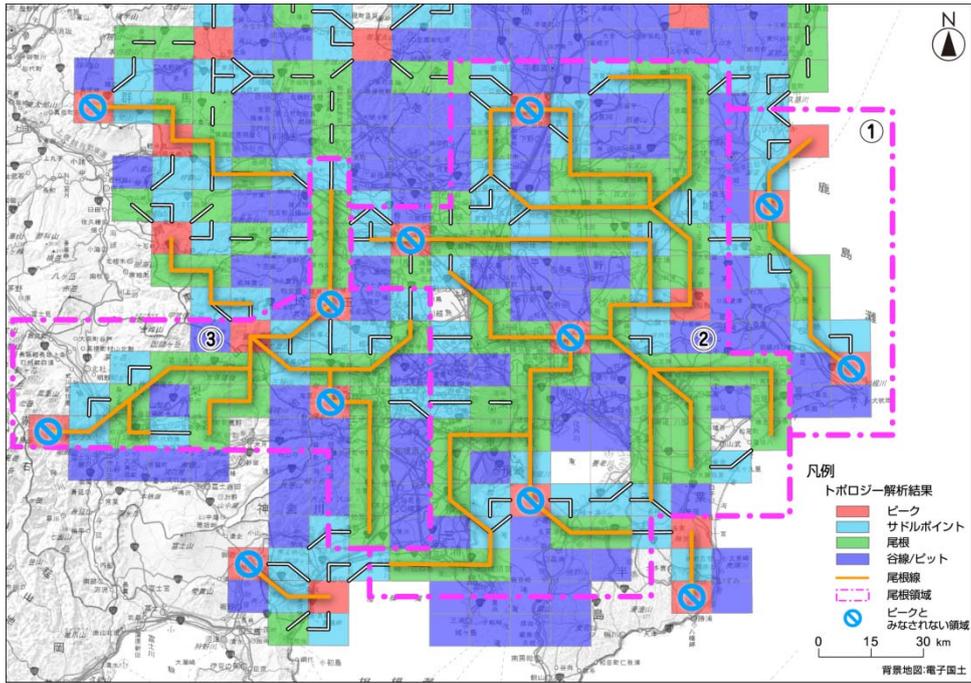


図 4.2.3-12 関東地方を対象としたトポロジー解析結果（10km メッシュ）。福島県南部から浜通り沿いに続く尾根領域(①)のほか、千葉県北西部を中心に広範囲に広がる尾根領域(②)と秩父市近郊を中心に広がる尾根領域(③)の2つの構造が存在する

4.3 総合的な考察

4.3.1 外部被ばく実効線量への各放射性核種の寄与

平成24年の3月1日の時点での、外部被ばく実効線量に対する核種別の寄与割合を評価した。ここでは、空間線量率の異なる50箇所をランダムに選び、各地点の放射性核種沈着量の平均値及び実効線量換算係数[§]を用いて実効線量を評価した。その結果を表4.3.1-1に示す。

これらの結果から、これまでの第1次分布状況等調査と同様に、放射性セシウムが被ばくの観点から重要なことが確認された。

事故直後の被ばく線量評価の観点からは、事故直後の被ばく線量に大きく寄与したと予想されるヨウ素131に関する十分な情報が必要である。第1次分布状況等調査で実施した土壌採取・分析においてヨウ素131が検出されたのは、約2,200の調査箇所のうち約400箇所であった。特に、データが必要とされる30km圏内で採取した試料でも、放射性セシウムの濃度が高いことが原因で、ヨウ素131が検出されない箇所が多数存在した。そこで、後述するが、今回の調査では、加速器質量分析で定量した、ヨウ素131の放射性同位体であり、半減期が長いヨウ素129の放射能濃度を測定し、ガンマ線スペクトル分析で定量したヨウ素131の放射能濃度との相関を確認することで、ヨウ素131の放射能濃度が再現可能か検討することとした。

表4.3.1-1 第2次分布状況等調査及び第1次分布状況等調査における外部被ばく実効線量への放射性核種別の寄与割合

放射性核種	外部被ばく実効線量への寄与 (%)	
	2011年6月	2012年3月
セシウム134	70.9	68.0
セシウム137	28.1	32.0
銀110m	0.3	0.04
テルル129m	0.6	—
ヨウ素131	0.1	—

4.3.2 今回の調査結果と第1次分布状況等調査の結果との比較

①放射性セシウムの沈着量の変化状況

放射性セシウムの沈着量の時間経過に伴う変化状況を確認するため、第1次分布状況等調査で測定されたセシウム134、セシウム137の沈着量の結果と今回（第2次分布状況等調査）測定されたセシウム134、セシウム137の沈着量とを比較した。比較にあたっては、第1次分布状況等調査から10mの範囲を同一箇所として、第1次分布状況等調査と第2次分布状況等調査との結果を比較した。セシウム137の沈着量に関する比較結果を図4.3.2-1に、セシウム134の沈着量に

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

関する比較結果を図 4.3.2-2 にそれぞれ示す。第 1 次分布状況等調査の結果は平成 23 年 6 月 14 日の時点の放射性セシウムの沈着量を、第 2 次分布状況等調査の結果は平成 24 年 3 月 1 日の時点の放射性セシウムの沈着量をそれぞれ示している。その結果、全体的に第 1 次分布状況等調査及び第 2 次分布状況等調査の結果には相関がみられる一方、箇所によるばらつきも見られる。第 1 次分布状況等調査では 1 箇所でも 5 つの土壌試料を採取したが、5 試料間の放射性セシウムの放射能濃度の変動が 2 倍程度と大きな箇所も存在した。これらの結果から、土壌試料 5 試料を採取し、それぞれの放射性セシウムの放射能濃度を算術平均して各調査箇所の放射性セシウムの放射能濃度を求めた第 1 次分布状況等調査の結果では、その箇所の平均的な濃度値を表現できない場合もあることが示唆された。

②道路上の空間線量率の変化状況

第 1 次分布状況等調査での KURAMA システムによる走行サーベイ（平成 23 年 6 月期）の結果と第 2 次分布状況等調査での同じく KURAMA システムによる走行サーベイ（第 2 次走行サーベイ：平成 23 年 12 月期）の結果を図 4.3.2-3 に示す。第 1 次分布状況等調査と第 2 次分布状況等調査での KURAMA システムによる走行サーベイの箇所間の距離が 30m 以内に入った場合にこの図上で比較を行なった。その結果、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は良い相関を示したが、第 2 次分布状況等調査の結果は第 1 次分布状況等調査時に比べて 30% 程度低い値を示した。物理的半減期による 6 ヶ月間の空間線量率の減少は 10 数% 程度であり、放射性セシウムの物理的半減期による減衰のみではこの減少は理解できないことが確認された。一般環境のウェザリング等による放射性セシウムの減少に加え、道路上の除染が早く進んだことが空間線量率の大きな減少につながっていると推定される。

また、ALOS（だいち）データを用いた JAXA の高解像度土地利用被覆図の結果を活用し、土地利用状況別に第 1 次分布状況等調査と第 2 次分布状況等調査の走行サーベイの測定結果とを比較した。ほとんどの土地利用状況に関しては、全体の傾向と大きな違いはないが、針葉樹林地域に関しては図 4.3.2-4 に示すように空間線量率の減少傾向が小さく、この減少傾向の他地域との違いは統計的にも有意であることが確認された。このことは、針葉樹林においては、放射性セシウムが森林系内にトラップされて系外に逃れ難い状態になっている可能性を示唆するものである。

次に、第 3 次走行サーベイの測定結果まで含めて、第 1 次走行サーベイが実施された平成 23 年 6 月期からの道路上における空間線量率の変化傾向を確認するため、第 1 次走行サーベイ、第 2 次走行サーベイ（平成 23 年 12 月期）、及び第 3 次走行サーベイ（平成 24 年 3 月期）で共通して測定している道路における各走行サーベイの測定結果（空間線量率）を比較した。その結果、図 4.3.2-3 に示すように、道路上における空間線量率は、個々の測定地点における測定結果のばらつきはあるものの、傾向として平成 23 年 6 月期からの 6 ヶ月間で 3 割程度減少し、9 ヶ月間で 4 割程度減少していることが確認された。

また、測定した走行地域全域にわたる地表面等に沈着した放射性物質の増減を把握するため、第 1 次走行サーベイ、第 2 次走行サーベイ、第 3 次走行サーベイで共通して測定している道路に沿って各走行サーベイで測定された空間線量率の値を積算し、それぞれの走行サーベイ毎の空間線量率の積算値の変化率と放射性セシウムの物理的減衰のみを考慮した空間線量率の変化率とを

比較した。その結果、図 4.3.2-4 に示すように、ここでも道路に沿って測定された空間線量率を積算した値は、放射性セシウムの物理的減衰のみを考慮した空間線量率よりも大きく減少していることが確認された。この事象の主たる要因としては、道路上に沈着した放射性物質が、降雨等の自然環境の要因や道路上を走行する車により移動したこと、さらには、道路周辺地域に沈着した放射性物質が、降雨等の影響で移動したことが考えられる。

なお、第3次走行サーベイの結果を含めて、土地利用ごとの空間線量率の変化傾向を確認するために、各土地利用周辺の道路における空間線量率の減少傾向について比較・確認をした。土地利用状況別の空間線量率の減少傾向の比較にあたっては、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（平成23年6月期）で測定された空間線量率と第3次走行サーベイ（平成24年3月期）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、図 4.3.2-5 に示すように、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学的に大きいことが確認された。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希釈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が、放射性セシウムの移行を阻害する植生等が少ないことが空間線量率の減少傾向が大きい要因の一つとして考えられる。

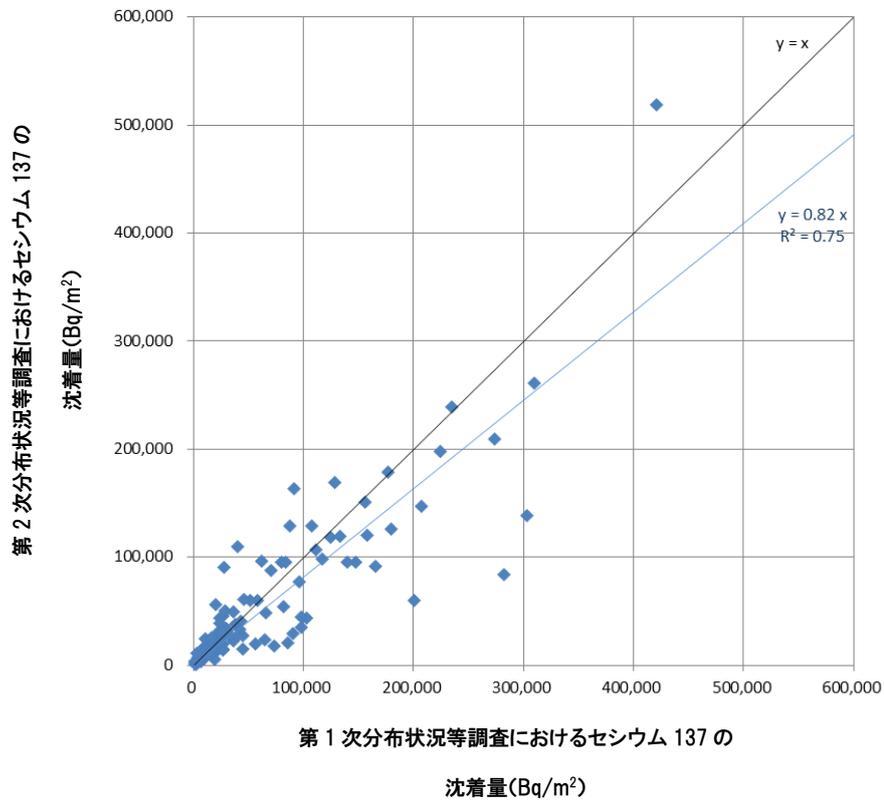


図 4.3.2-1 第1次分布状況等調査（平成23年6月14日時点に沈着量を換算）と第2次分布状況等調査（平成24年3月1日時点に沈着量を換算）におけるセシウム137の沈着量の関係

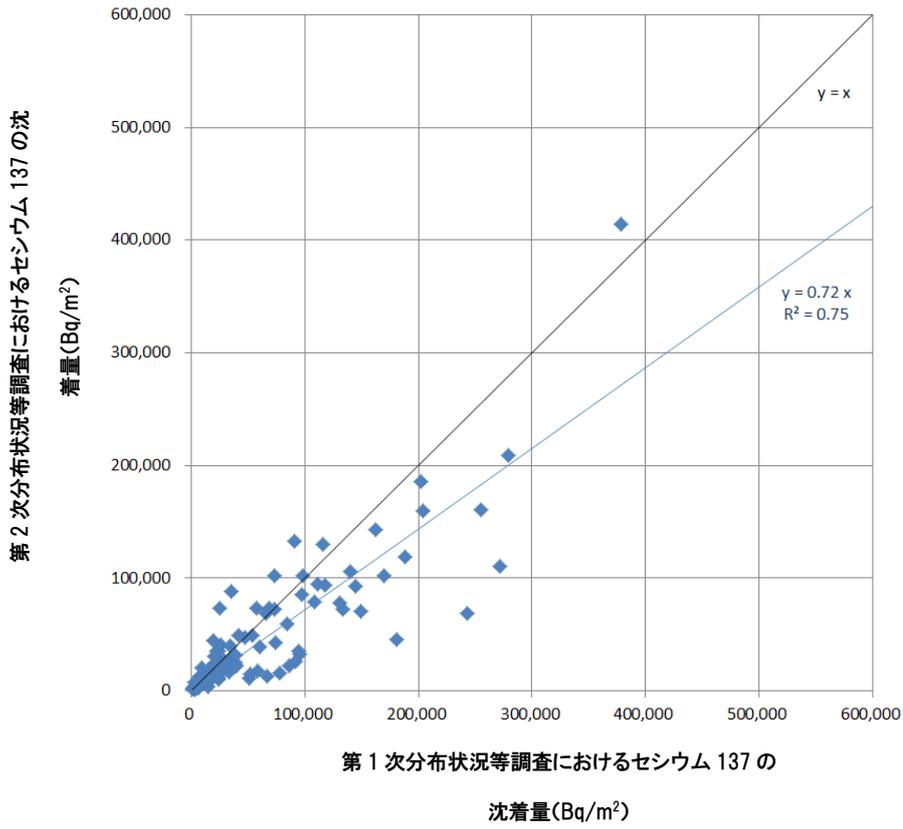


図 4.3.2-2 第1次分布状況等調査（平成23年6月14日時点に沈着量を換算）と第2次分布状況等調査（平成24年3月1日時点に沈着量を換算）におけるセシウム134の沈着量の比較

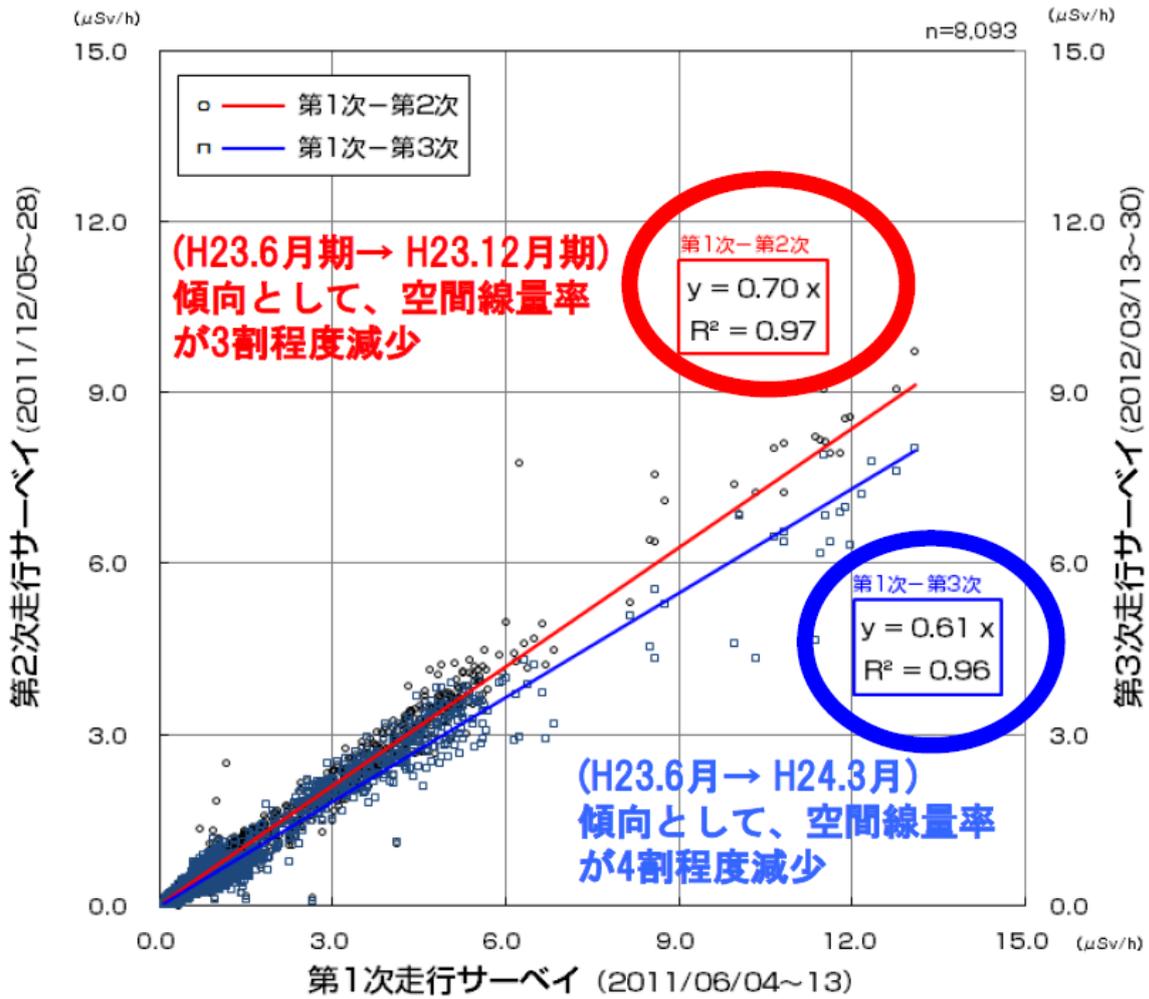


図 4.3.2-3 第1次走行サーベイの測定結果と第2次走行サーベイ、第3次走行サーベイの測定結果との関係

(各走行サーベイで測定された道路上の空間線量率の値の積算値の変化率)

第2次走行サーベイで測定された空間線量率を積算した値 第1次走行サーベイで測定された空間線量率を積算した値	第3次走行サーベイで測定された空間線量率を積算した値 第1次走行サーベイで測定された空間線量率を積算した値	第3次走行サーベイで測定された空間線量率を積算した値 第2次走行サーベイで測定された空間線量率を積算した値
0.65	0.57	0.89

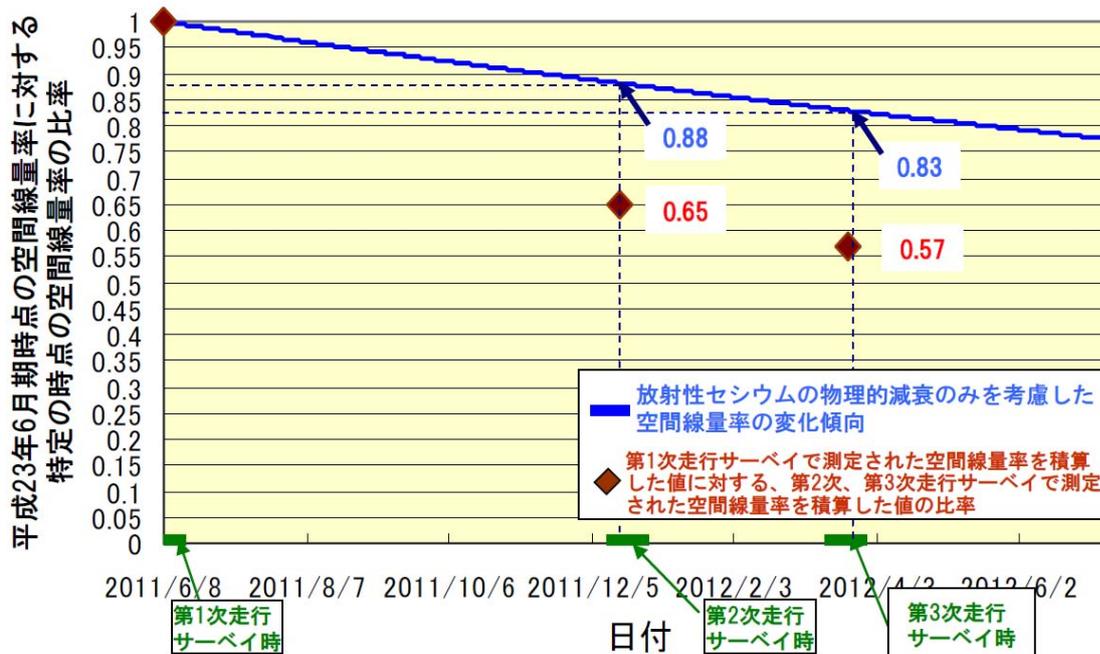


図 4.3.2-4 放射性セシウムの物理的減衰に伴う空間線量率の減少度合いと道路上における空間線量率の減少度合いとの比較

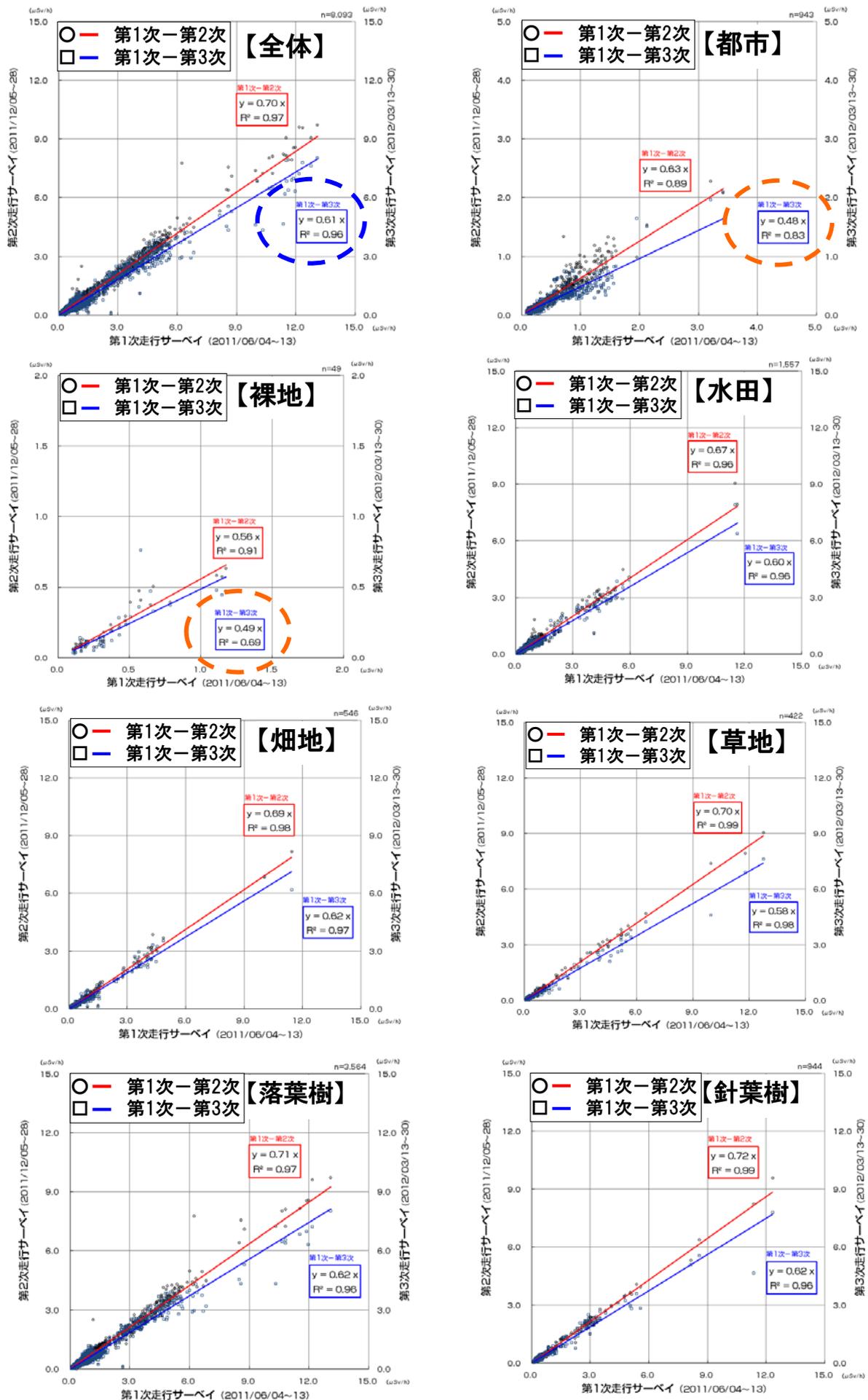


図 4.3.2-5 第 1 次走行サーベイと第 2 次、第 3 次走行サーベイの測定結果の比較

4.3.3 福島第一原子力発電所の事故により放出された放射性核種の将来的な影響

今後 50 年の被ばく線量に寄与する放射性核種はセシウム 134 とセシウム 137 であることが、これまでの測定結果の解析から明らかになっている。従って、放射性セシウムの環境中分布の変化並びに空間線量率の変化を正しく予測し、将来の適切な影響評価と住民の帰還等の対策に役立てていくことが必要である。放射性セシウムの将来の挙動を予測するのに、いくつか考慮すべき要因がある。これらは、a) セシウム 134 とセシウム 137 の比率、b) 土壌中への浸透やウェザリングに代表される狭域における放射性セシウムの移行、c) 空中への放射性セシウムの再浮遊や川の流れによる広域における移行、d) これらの結果として現れてくる放射性セシウムの分布と空間線量率の変化等である。報告書第 1 編における調査から得られる情報は主に a) と d) であり、報告書第 2 編の調査からは b) 及び c) の情報が得られる。

セシウム 134 と Cs137 の比率は、第 1 次分布状況等調査の土壌分析結果においても第 2 次分布状況等調査の in-situ 測定の結果においても良い相関を示した。このことは、放出されたセシウム 134 とセシウム 137 の比率が一定であったこと並びに放射性セシウムの環境中での挙動が良く似ていることを示すものである。第 1 次分布状況等調査の時点である平成 23 年 6 月 14 日におけるセシウム 137 に対するセシウム 134 の比率は 0.91、第 2 次分布状況等調査の時点である平成 24 年 3 月 1 日における比率は 0.72 であった。ちなみに、放射性セシウムの物理的半減期により平成 23 年 6 月 14 日の比率から平成 24 年 3 月 1 日の比率を予測した値は 0.73 となる。これは平成 24 年 3 月 1 日の測定値とほぼ一致することから、第 1 次及び第 2 次分布状況等調査それぞれでセシウム 134 とセシウム 137 の比率を正しく評価できており、これらの核種比率を用いてこれからも物理的半減期に従った減少を評価できることが考えられる。福島第一原発の事故では放出されたセシウム 134 とセシウム 137 の放射能の比は 1.2 (セシウム 134/セシウム 137) であり、半減期が比較的短いセシウム 134 の比率がチェルノブイリ原子力発電所の事故(セシウム 134/セシウム 137=0.55)に比べて大きいため、チェルノブイリ原子力発電所の事故時よりも早く放射性セシウムの総放射能及び空間線量率が減少していく事が予測される。

次に、セシウム 134 及びセシウム 137 の土壌への沈着量を第 1 次分布状況等調査と第 2 次分布状況等調査で比較する。図 4.3.2-1 と図 4.3.2-2 の相関図の傾きを参照するとセシウム 134 では 0.72、セシウム 137 では 0.82 であり、それぞれ物理的な半減期よりも大きく減衰していることになる。しかし、図 4.3.2-1 と図 4.3.2-2 を観察すると、放射性セシウムの濃度が大きくなるほど平成 24 年 3 月 1 日の値が相対的に小さくなっていることが分かる。この原因として考えられるのは、濃度の高い地域では除染が行われ、その結果が測定値に反映された可能性である。もう一つの解釈としては、ある一定の割合で水平方向の放射性セシウムの移動が起こるが、濃度の高い地域から周囲の低濃度の地域への移動と逆方向の移動の絶対値を比べた場合、周囲の低濃度の地域への放射性セシウムの移動が、周囲からの放射性セシウムの移動に比べて大きいため、高濃度地域では見かけ上大きく濃度が低下することになる可能性である。今後、除染の情報を得つつ、解析を行っていく必要がある。

図 4.3.2-1 及び図 4.3.2-2 で示された相関図の傾きを第 1 次分布状況等調査と第 2 次分布状況等調査の沈着量の比率として用いるのは、上記の議論から適切でないため、ここでは観察された濃度を積算した量を比較することとした。すなわち観測された単位面積当たりの濃度(Bq/m²)を第

1次分布状況等調査並びに第2次分布状況等調査それぞれで積算しその比を計算して、合計した沈着量の比を計算することとした。放射性セシウムの沈着量が高い濃度の箇所では第2次分布状況等調査の値が低めに出ることを考慮し、この現象が顕著でない0~200,000 Bq/m²の範囲での積算を基本的に用いることとした。その結果として、第1次分布状況等調査での沈着量に対する第2次分布状況等調査での沈着量の比は、セシウム137で0.92、セシウム134で0.76となった。ちなみに、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期待される減衰はそれぞれ0.98と0.77であり、この期間におけるウェザリング等によると考えられる減衰は数%程度と評価された。

次に、空間線量率を上記2期間で比較してみる。土壌への沈着率の評価と同様に積算した空間線量率値を比較すると、第1次分布状況等調査に比べて第2次分布状況等調査における空間線量率は0~2.0 μ Sv/hの範囲の積算値の比は0.83、全体の積算値の比は0.78である。物理的半減期による減衰から予想される空間線量率の比率は0.83程度であり、平成23年6月から平成24年3月までの9か月でのウェザリング等による減衰効果は5%以内と確認された。

以上をまとめると、広域全体の放射性核種の沈着量やそれによる空間線量率について考えた場合には、これらはほぼ物理的半減期により減衰し、ウェザリング等による減衰の効果はわずかであるとの観察結果が得られた。ただし、放射性セシウムの沈着量大きい箇所に着目すると、第1次分布状況等調査に比べて、第2次分布状況等調査では、空間線量率、放射性セシウムの沈着量がともに顕著に減衰している傾向が確かめられた。この原因については今後明らかにしていく必要がある。

さらに今後、調査を加えて、将来の土壌への放射性セシウムの沈着量の分布及び空間線量率の分布状況の変化を予測するモデルを構築していくことが今後必要となる。将来予測に関連して、本項の最初に述べたa)、b)、c)、d)の観点からこれまでに得られた知見をまとめる。まず、a)については、セシウム134とセシウム137の濃度比率については第1次分布状況等調査、第2次分布状況等調査ともよく一致する結果が得られており、得られた比率をもとに推測すると、空間線量率は物理的な半減期により、平成23年6月から2年後で63%に、5年後で38%に、10年後で25%に減衰することが推定される。b)とd)に関しては、少なくとも広域全体の平均で見た時にはウェザリングの効果は小さそうであるが、局所的な変化に差があるのか詳細に調べる必要がある。c)については、報告書第2編で実施している調査の知見を積み重ねる必要がある。

第1次分布状況等調査と第2次分布状況等調査では、対象とする地域が異なり、また使用した測定・分析手法が異なる箇所があったため、必ずしも直接的な比較ができない部分があった。第3次分布状況等調査においては、主要調査対象地域を80 km圏内に絞り、第2次分布状況等調査と同じ手法で経時的な調査を実施する予定であり、将来予測に必要なより詳細な基礎データの取得が期待される。