

平成 24 年 12 月 10 日

第3次分布状況等調査進捗状況説明資料

「福島第一原子力発電所から 80km 圏内を対象とした、空間線量率、放射性セシウムの沈着量の詳細な分布状況の把握、及びその変化傾向の確認について」

代表研究者：斎藤 公明（日本原子力研究開発機構）

1. 背景

（独）日本原子力研究開発機構は、文部科学省からの委託により、昨年 6 月期及び 12 月期に放射性物質の分布状況調査を実施し、広範な地域における空間線量率及び放射性セシウムの沈着量の詳細な分布状況を把握してきた。

他方で、福島第一原子力発電所の事故前の経験から、各地域における空間線量率及び放射性セシウムの沈着量の分布状況は、放射性セシウムの物理的減衰や降雨等の影響により、時間の経過とともに変化することが確認されている。

そこで、平成 24 年度から、福島第一原子力発電所から 80km 圏内を対象に、空間線量率及び放射性セシウムの沈着量の変化傾向を把握するための調査研究を実施し、自然環境中における放射性物質の分布状況の変化モデルの作成を目指す。

2. 本調査研究の目的

本調査研究は、空間線量率及び放射性セシウムの沈着量の変化傾向の把握に向けた調査研究の一つ。本調査研究では、台風期前後に以下の測定及び評価を行うことで、放射性物質の移行に大きな影響を与える可能性がある台風による空間線量率及び放射性セシウムの沈着量の変化の影響を確認するとともに、これまでのモニタリング結果を用いて福島第一原子力発電所から 80km 圏内の空間線量率及び放射性セシウムの沈着量の変化傾向を確認することを目的としている。

- (1) サーベイメータによって地上 1m 高さの空間線量率を測定し、空間線量率の測定結果を地図上に記した空間線量率マップを作成する。
- (2) 可搬型ゲルマニウム (Ge) 半導体検出器による in-situ 測定等により放射性セシウムの土壌への沈着量（土壌面積あたりの放射線核種毎の放射エネルギー。単位は Bq/m²）を測定し、放射性セシウムの沈着量を地図上に記した土壌濃度マップを作成する。
- (3) 放射性セシウムの沈着量と空間線量率の相関関係を基に、放射性セシウムの土壌濃度マップの詳細化を図る。
- (4) これまでに実施したモニタリング結果（昨年 6 月期の放射性物質の第 1 次分布状況等調査、昨年 12 月期の放射性物質の第 2 次分布状況等調査の結果）及び今回の調査（第 3 次分布状況等調査）の結果を基に、各地域における空間線量率、放射性セシウムの沈着量の

変化傾向を確認する。

なお、今回の報告は、台風期前(本年 8 月中旬から 9 月上旬)における空間線量率、放射性セシウムの沈着量の分布状況調査の結果をまとめたものである。

3. 今回の調査の期間

- ①空間線量率の測定:平成 24 年 8 月 14 日～9 月 7 日
- ②放射性セシウムの沈着量の測定:平成 24 年 8 月 13 日～9 月 19 日

4. 測定機関

- ①空間線量率の測定:(独)日本原子力研究開発機構、(財)日本分析センター、(公財)放射線計測協会、(公財)原子力安全技術センター
- ②放射性セシウムの沈着量の測定:(独)日本原子力研究開発機構、(財)日本分析センター、(公財)放射線計測協会、(公財)原子力安全技術センター

5. 調査箇所

今回の調査における空間線量率、放射性セシウムの沈着量の測定箇所は図1のとおりである。また、それぞれの測定箇所の詳細は以下のとおり。

- (1) サーベイメータによる地上 1m 高さの空間線量率の測定箇所
 - 福島第一原子力発電所から 80km 圏内の地域を 1km×1km のメッシュに分割し、非可住区域を除いて、各メッシュ内で測定に適した 1 箇所を選定した。その後、測定箇所までの道路が通行止め等により測定が困難であった箇所を除き、合計で 6,551 箇所において測定を実施した。
- (2) 可搬型ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定等による放射性セシウムの沈着量の測定箇所
 - 福島第一原子力発電所から 80km 圏内の地域を 5km×5km のメッシュに分割し、非可住区域を除いて、各メッシュ内で測定に適した 1 箇所を選定した。その後、測定箇所までの道路が通行止め等により測定が困難であった箇所を除き、合計で 381 箇所において測定を実施した。

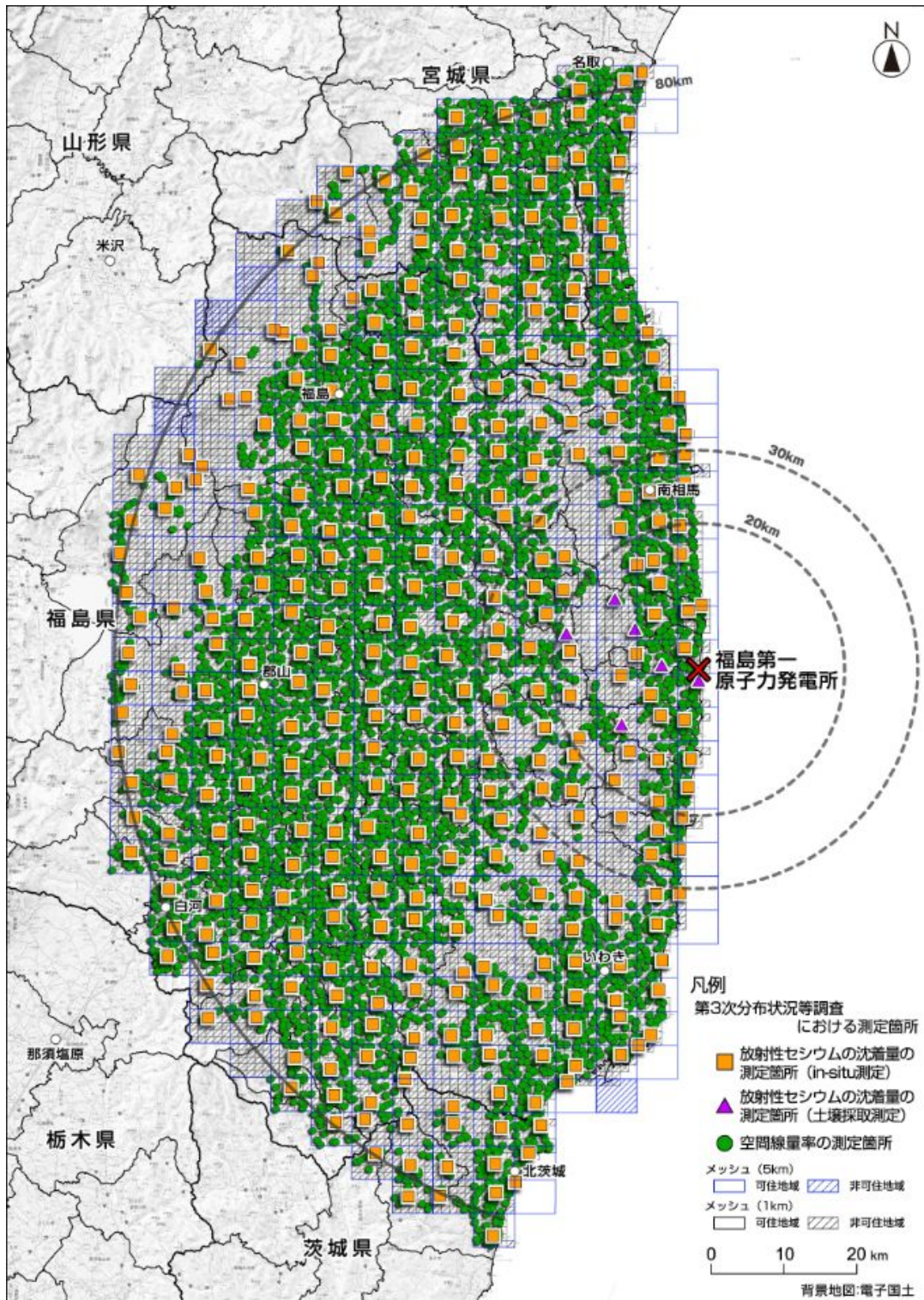


図 1 : 今回の調査(第 3 次分布状況等調査)における空間線量率の測定箇所、及び放射性セシウムの沈着量の測定箇所

6. 今回の調査内容の詳細

(1) サーベイメータによる地上 1m 高さの空間線量率測定

- 校正履歴の明確な信頼のおけるサーベイメータを使用して地上 1m 高さの空間線量率 (μ Sv/h)を測定した。
- 空間線量率が 30μ Sv/h 以下の地域では NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータを用い、空間線量率が 30μ Sv/h 以上の地域では電離箱式サーベイメータを使用して測定を実施した。
- GPSを用いて測定箇所の位置情報を取得し、これらの情報を基に福島第一原子力発電所から 80km 圏内の詳細な空間線量率マップを作成した。

(2) 可搬型ゲルマニウム半導体検出器等を用いた放射性セシウムの沈着量の測定

- 放射性セシウムの沈着量の測定にあたっては、可能な限り、可搬型ゲルマニウム(Ge)半導体検出器を使用した。可搬型ゲルマニウム(Ge)半導体検出器を地上 1m 高さに設置してガンマ線スペクトル測定を実施し、スペクトル解析により放射性セシウムの土壌への沈着量を測定^{※1}した。

また、空間線量率等が非常に高いこと等により可搬型ゲルマニウム(Ge)半導体検出器を用いた in-situ 測定が適切に行えないと判断された調査箇所においては、第 1 次分布状況等調査と同様に、各箇所 5 地点で表層 5cm の土壌を採取し、それらを良く攪拌した上で、土壌試料について固定式ゲルマニウム半導体検出器を用いて核種分析を実施した。なお、in-situ 測定が適切に行われているか確認するため、in-situ 測定を実施した箇所で空間線量率を同時に測定し、in-situ 測定の結果を基に評価した空間線量率と比較・評価した。

※1: In-situ測定は、文部科学省の放射能測定法シリーズ「ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定法」(平成 20 年 3 月)に基づき実施し、解析の基礎データは国際放射線単位測定委員会(ICRU)のレポート 53(1994)に示された値を使用した。また、現在、取りまとめ中の第 2 次分布状況等調査における放射性セシウムの深度分布の結果を基に、in-situ 測定に使用する緩衝深度(土壌表層の放射性セシウムの放射能濃度が $1/e$ になる深さ)は 1.2 g/cm^2 であることを仮定して全データの解析を実施。

- GPSを用いて測定箇所の位置情報を取得し、これらの情報を基に福島第一原子力発電所から 80km 圏内の放射性セシウムの土壌への沈着量を記した土壌濃度マップを作成した。なお、空間線量率マップの作成にあたっては、これまでの調査で空間線量率マップを作成した際と同様に

- ・現在の空間線量率への寄与の大部分が放射性セシウムによるものであること
- ・測定期間中の放射性セシウムの減衰に伴う空間線量率の減少を計算した結果、1%程度であること

から、測定機器の有する誤差よりも低いことを考慮して、一定の日付に揃えて減衰補正せず、測定した日の測定結果をそのまま使用している。

(3) 放射性セシウムの土壌濃度マップの詳細化

- 現在、空間線量率に寄与している人工放射性核種のほとんどが放射性セシウムであり、昨年6月期に実施した第1次分布状況等調査においても、土壌への放射性セシウムの沈着量と空間線量率が正の相関を示すことが確認されている。

そこで、いくつかの空間線量率の測定箇所での放射性セシウムの沈着量を同時期に測定し、調査時点における空間線量率と放射性セシウムの沈着量との相関関係を求めることで、空間線量率の測定結果を基に、放射性セシウムの沈着量を測定していない箇所における放射性セシウムの沈着量を評価した。

- 上記の放射性セシウムの沈着量の評価結果及び実際に測定した放射性セシウムの沈着量の測定結果を基に、(2)で作成した放射性セシウムの土壌濃度マップを詳細化した。なお、放射性セシウムの沈着量を地図上に記した土壌濃度マップの作成にあたっては、放射性セシウムの物理的半減期を考慮し、今回の調査期間(平成24年8月13日～9月19日)の中間の期日である平成24年9月1日時点の値に補正を行った。

7. 今回の調査の結果及び考察

- (1)サーベイメータによる地上1m高さの空間線量率、及び可搬型ゲルマニウム半導体検出器等を用いた放射性セシウムの沈着量の測定結果

今回の調査結果を基に作成した空間線量率マップ、及び放射性セシウムの沈着量を記した土壌濃度マップを図2、3に示す。(測定結果の一覧は参考1参照。また、ガンマ線放出核種の測定にあたって、放射性セシウムと同時に検出された銀110mの沈着量を記した土壌濃度マップは参考2参照。)

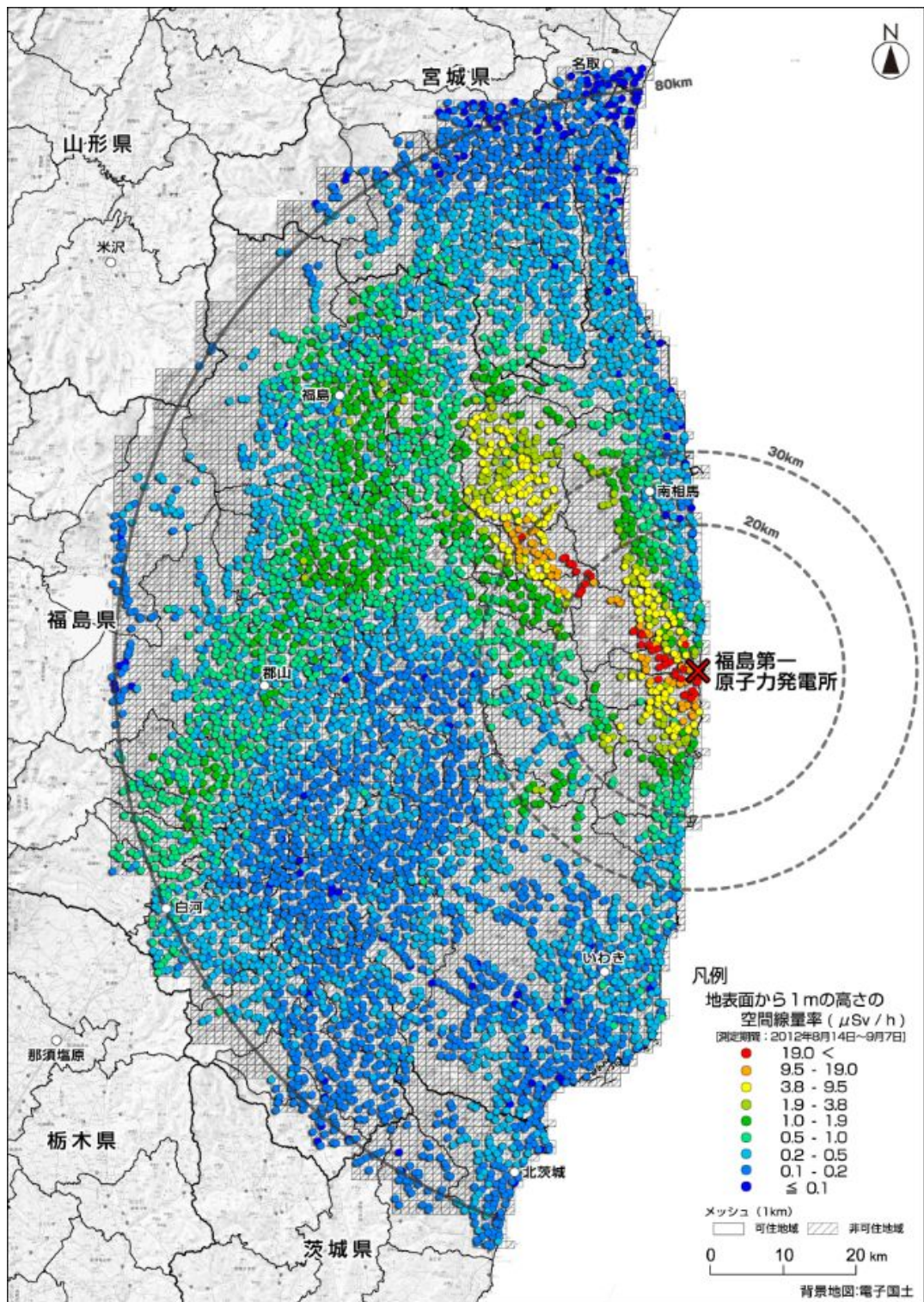


図 2: サーベイメータによる地表面から1m高さの空間線量率の測定結果(平成24年8月14日～9月7日に測定)(福島第一原子力発電所から80km圏内の空間線量率マップ)

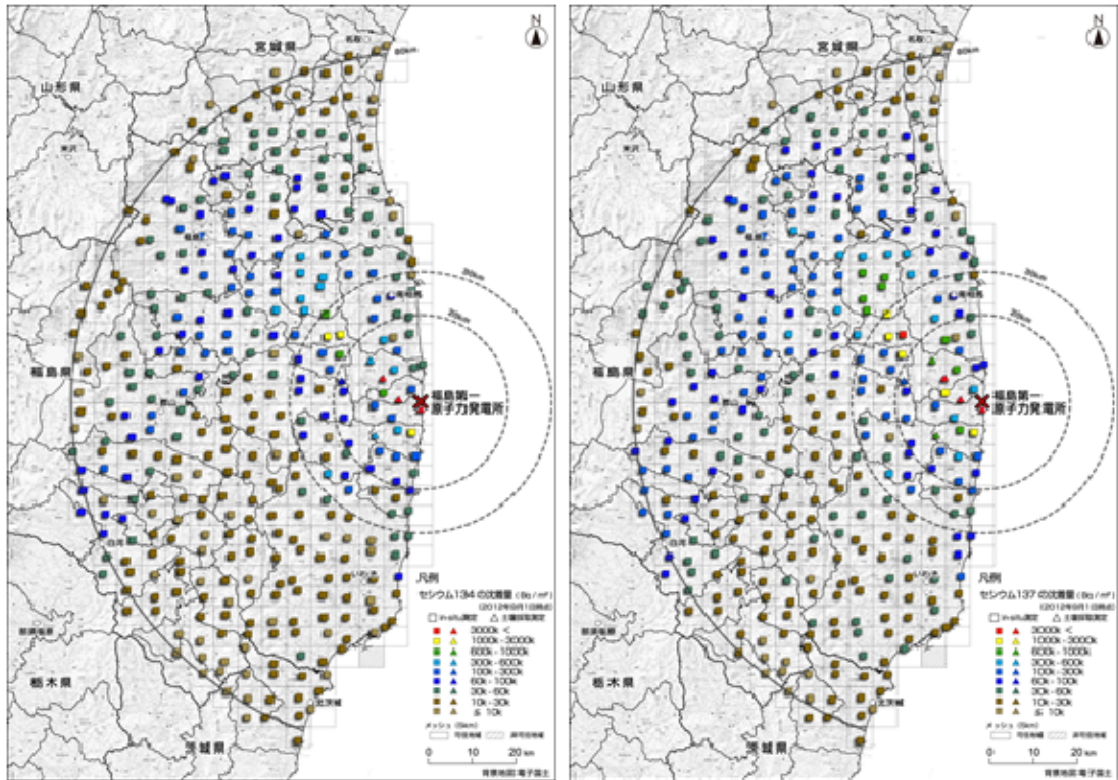


図 3: 可搬型ゲルマニウム半導体検出器等を用いたセシウム 134、セシウム 137 の沈着量の測定結果を記したマップ(放射性セシウムの土壌濃度マップ)(平成 24 年 9 月 1 日時点)

(2)放射性セシウムの土壌濃度マップの詳細化

放射性セシウムの土壌濃度マップの詳細化に向け、今回の調査において同一箇所でも空間線量率及び放射性セシウムの沈着量を測定している箇所における空間線量率、放射性セシウムの沈着量の測定結果について相関関係を確認した。

その結果、図 4、5 に示すように、空間線量率とセシウム 134、セシウム 137 の沈着量との間に、非常に良い正の相関関係が確認された。

そこで、今回の調査において実際に測定された放射性セシウムの沈着量の測定結果に加えて、空間線量率と放射性セシウムの沈着量の相関関係を基に評価された放射性セシウムの沈着量の評価値を記した土壌濃度マップを作成した(図 6、7 参照)。

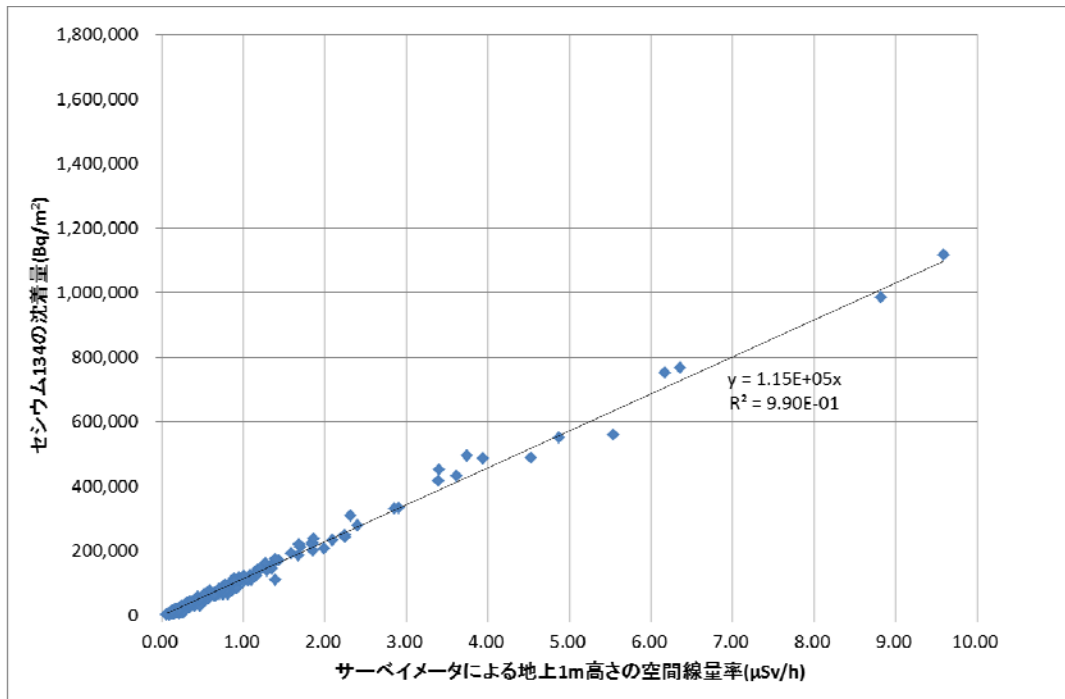


図 4: サーベイメータによる地上 1m 高さの空間線量率とセシウム 134 の沈着量の相関 (n=373)

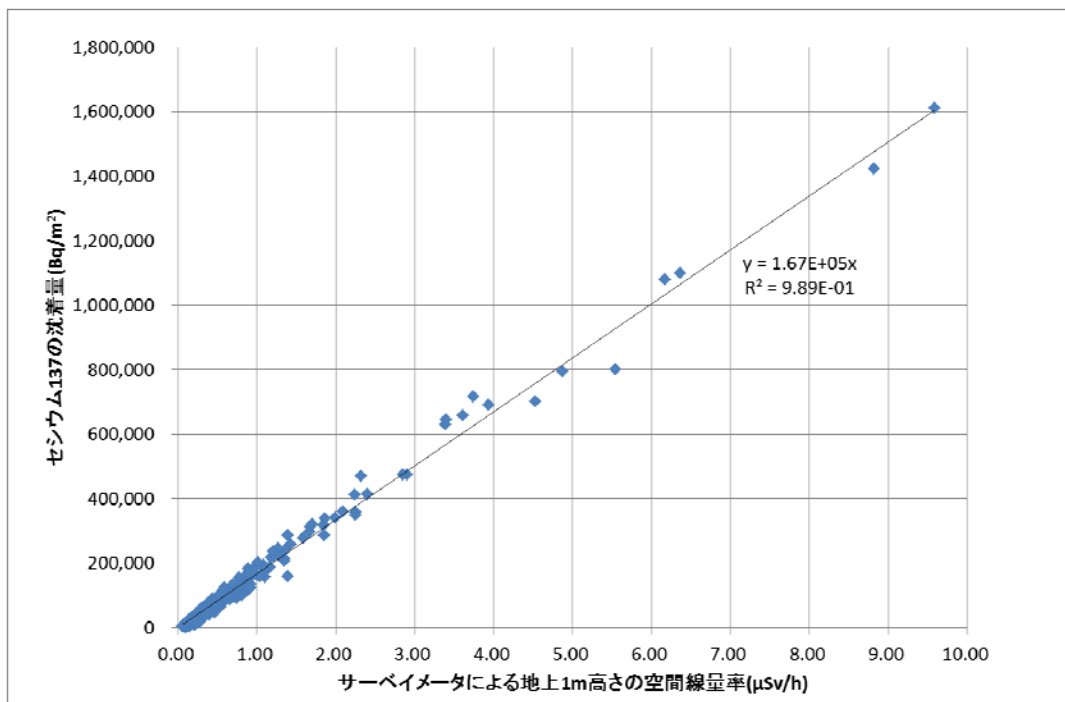


図 5: サーベイメータによる地上 1m 高さの空間線量率とセシウム 137 の沈着量の相関 (n=373)

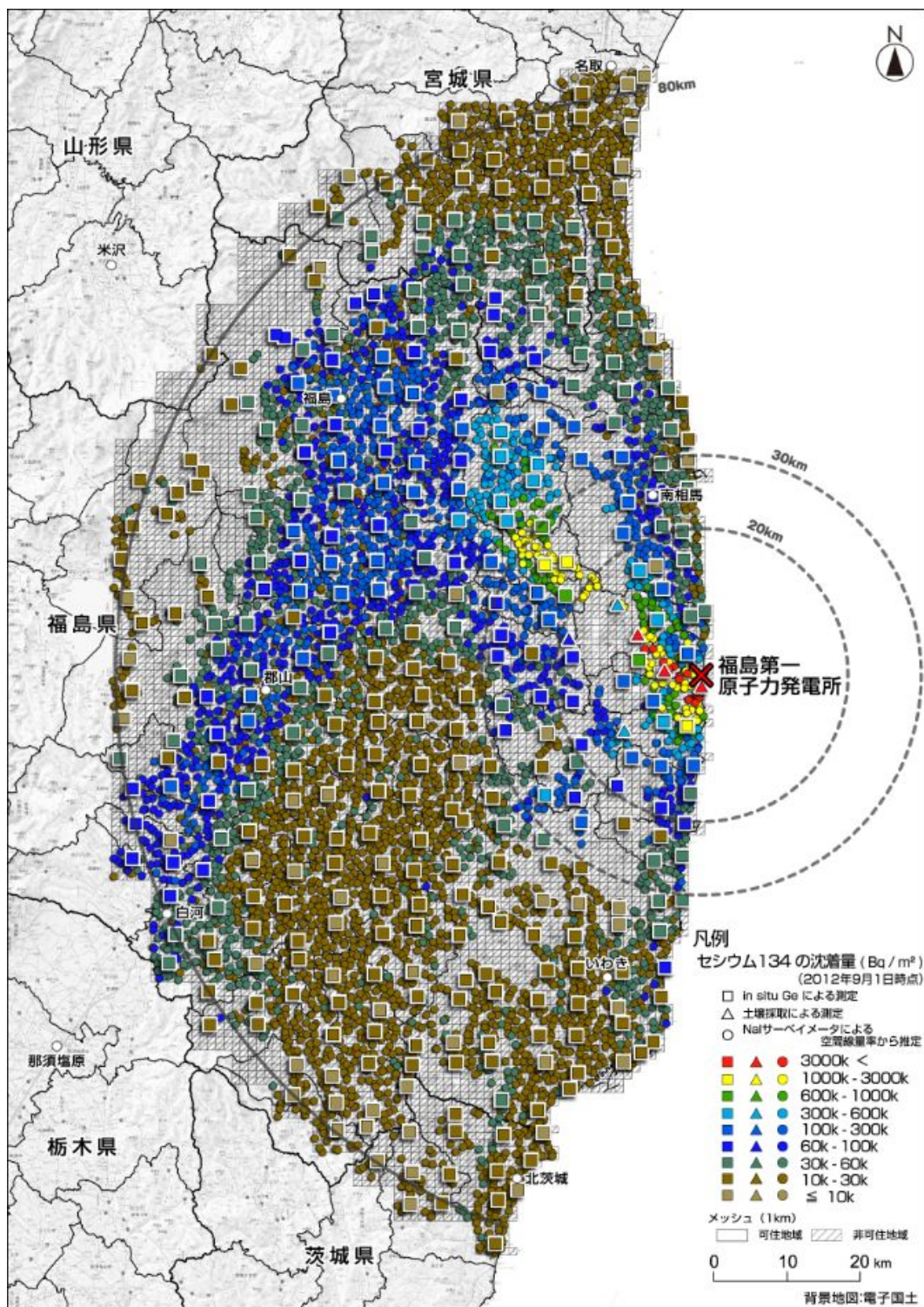


図 6: セシウム 134 の沈着量を記した土壌濃度マップ(今回の調査で実際に測定した結果(□、△)に空間線量率と放射性セシウムの沈着量の測定結果の相関関係を基に評価したセシウム 134 の沈着量の評価値(○)を追加)(平成 24 年 9 月 1 日時点)

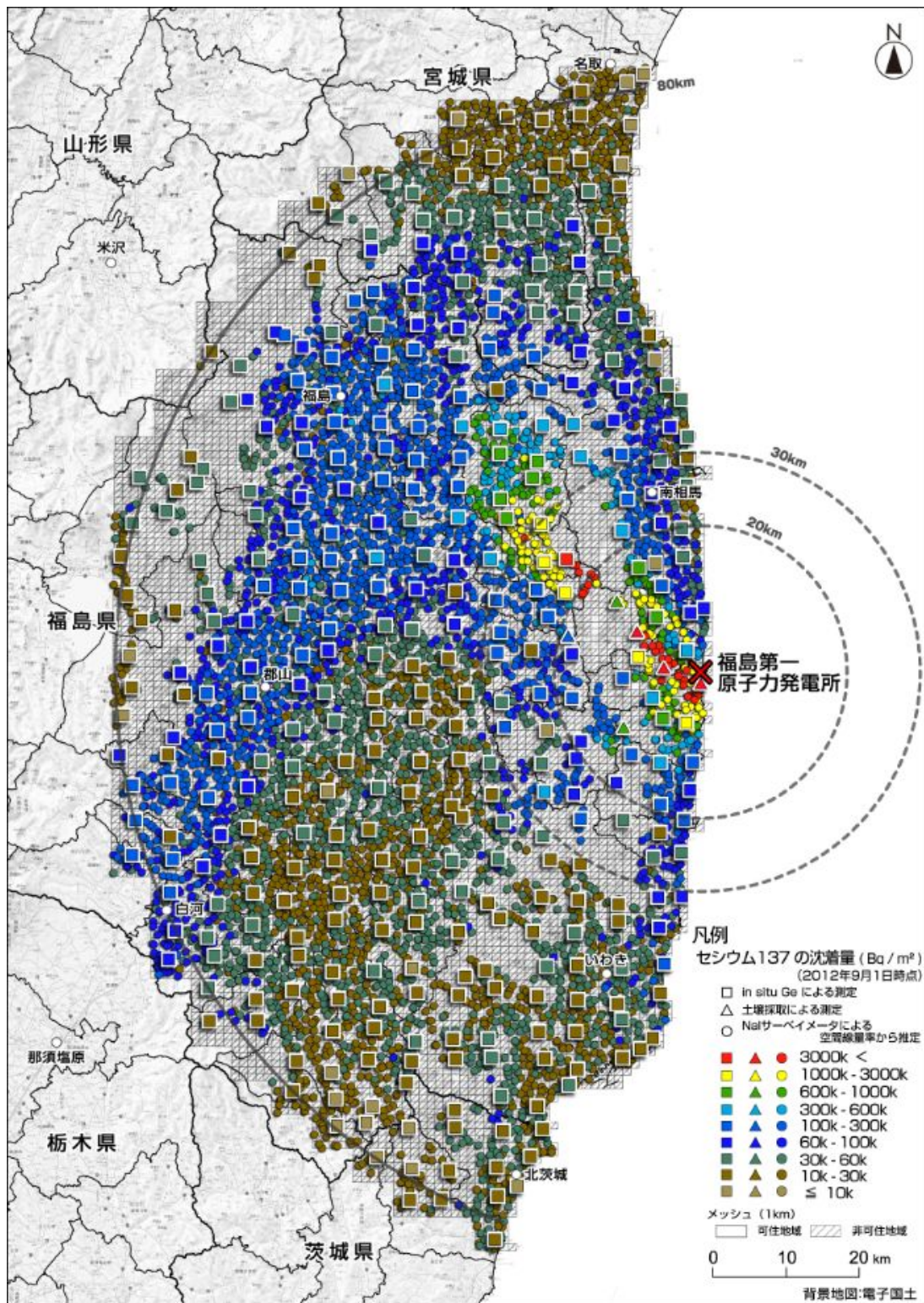


図 7: セシウム 137 の沈着量を記した土壌濃度マップ(今回の測定結果(□、△)に空間線量率と放射性セシウムの沈着量の測定結果の相関関係を基に評価したセシウム 137 の沈着量の評価値(○)を追加)(平成 24 年 9 月 1 日時点)

8. 空間線量率、放射性セシウムの沈着量の測定結果の解析結果

(1) 空間線量率、放射性セシウムの沈着量の測定結果の信頼性の確認

空間線量率の測定結果については、校正履歴の明らかなサーベイメータを用いて測定しさらに、測定時の写真等を基に適切な測定が行われていることを確認した。

また、放射性セシウムの沈着量の測定結果については、可搬型ゲルマニウム(Ge)半導体検出器による in-situ 測定が適切に行われているか確認するため、in-situ 測定の結果から求められた空間線量率の評価値と同一箇所でグレイ表示のサーベイメータにより測定した地上 1m 高さの空間線量率の測定結果とを比較したところ、図 8 に示すように全体に非常に良く一致しており、in-situ 測定の信頼性が確認された。なお、ここでは、ICRU のレポート 53 に従って $\mu\text{Gy/h}$ で表した空気吸収線量率について比較を行なった。

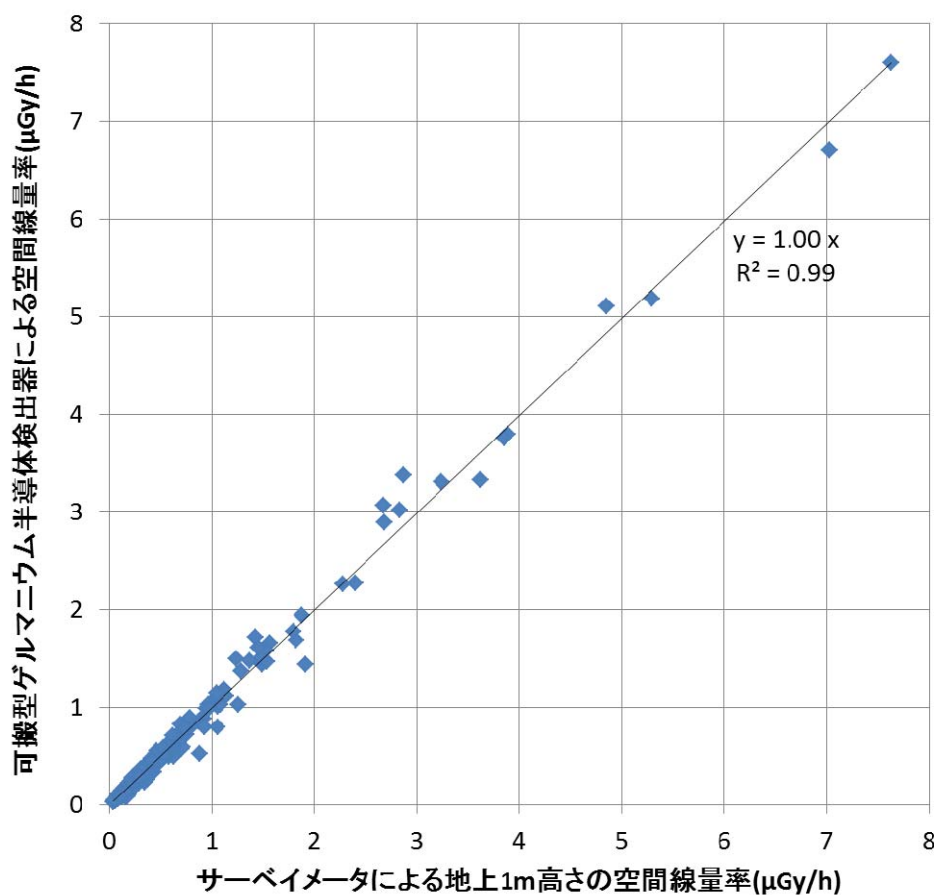


図 8: サーベイメータによる地上 1m 高さの空間線量率($\mu\text{Gy/h}$)と可搬型ゲルマニウム半導体検出器による in-situ 測定の結果を基に求められた空間線量率($\mu\text{Gy/h}$)の相関

(n=373)

(2)空間線量率の変化状況の評価

- 福島第一原子力発電所から80 km圏内の空間線量率の変化状況を確認するため、今回の測定結果と放射性物質の第1次分布状況等調査(平成23年6月6日～7月8日に実施。以下、「第1次調査」と略す。)の測定結果との比較を行った。なお、今回の調査と第1次調査との測定結果の比較にあたっては、GPSデータに基づき、第1次調査で測定した箇所から20mの範囲内にある箇所を同一箇所として扱った。

その結果、図9に示す相関図の傾きから判断すると、第1次調査から今回の調査までに約14ヶ月の時間が経過することで、空間線量率は約33%程度減衰していることが確認された。

セシウムの物理的減衰に伴う空間線量率の減少は14ヶ月間で25%弱程度であるので、除染や降雨等の影響により8%程度、空間線量率が減少していることが確認された。

- また、相関図の傾きは空間線量率の高い部分のデータに大きく影響を受け、全体の空間線量率の減衰傾向を適切に表現できない場合があるため、今回の調査及び第1次調査で測定された空間線量率の値を積算し、この積算値の変化率を比較した。

その結果、表1に示すように、第1次調査から今回の調査までに空間線量率が約35%減衰していることが確認された。また、この期間(約14ヶ月)の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(約25%)よりも大きく減少していることが確認され、空間線量率の10%弱程度が物理的減衰以外の要因(ウエザリングと除染等)による空間線量率の減少と評価された。

- 他方で、図9を見ると、第1次調査に比べて大幅に空間線量率が減少している傾向を示す複数の箇所が確認され、第1次調査に比べて、空間線量率が55%以上減少している箇所は全部で45箇所あった。

そこで、この大幅に空間線量率が減少している箇所について除染状況を地元市町村等に確認したところ、現時点までにこれらの箇所の22箇所を除染されていることが確認された。また、第1次調査と今回の調査の測定箇所の写真とを比較して、整地や砂利敷き等により明らかに第1次調査から地面の状況が変わっている17箇所を抽出した。図9(右側)において、除染が実施されたことを確認できた22箇所を緑色のポイントで、地面の状況が変化していると判断された17箇所を赤色のポイントで示す。なお、赤色のポイントについては地元市町村等が除染を実施しているか確認を進めている。

- 次に、緑色及び赤色で示したポイントが全て除染あるいは土地利用状況の変化により区間線量率が大きく変化したと想定し、除染等の影響以外すなわち純粋にウエザリング効果により、どの程度、空間線量率が減少したかを評価した。評価にあたっては、緑色と赤色で示されたポイント以外の調査箇所を対象に、今回の調査及び第1次調査で測定された空間線量率の相関図を作成するとともに、それぞれの調査における空間線量率を積算し、この積算値の変化率を比較した。

その結果、図10と表2に示すように、第1次調査から今回の調査までに空間線量率が約32%減衰していることが確認された。この期間(約14ヶ月)の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(約 25%)であるので、物理的減衰及び除染(一部除染と推定される箇所を含む)以外の要因により空間線量率が 7%程度減衰していることが確認された。

- また、空間線量率の詳細な変化状況を確認するため、上述した除染された箇所(緑色の箇所)ならびに土地の利用状況が変化すると判断される箇所(赤色の箇所)を除き、第 1 次調査と今回の調査の空間線量率の変化率を計算して、空間線量率の大きさごとに比較した(図 11 参照)。ここでは、個々のケースにおける統計的な空間線量率の変動の影響を抑えるために、空間線量率の範囲を設定し、その範囲に含まれる空間線量率を積算した上で、空間線量率の積算値の変化率を計算した。

その結果、図 11 に見られるように、第 1 次調査と今回の調査における空間線量率の変化率は、第 1 次調査の空間線量率に依存して異なる傾向があることが確認された。特に、第 1 次調査における空間線量率が $0.25 \mu\text{Sv/h}$ 以下の部分では、空間線量率の変化率が小さいことが確認された。放射性セシウムの物理的減衰の効果は、いずれの空間線量率域でも効いていると考えられるものの、この原因としては、1)何らかの原因で放射性セシウムが移動してきたことで空間線量率の減少を阻害していること、2)自然放射線核種の空間線量率の寄与により、低線量率の変化率が低めに見積もられていること等が考えられる。現時点では、この原因については明らかになっていないことから、この現象の詳細解析のため、今後も継続的な調査を通じて空間線量率、放射性セシウムの沈着量の変化率を確認していくことが必要である。

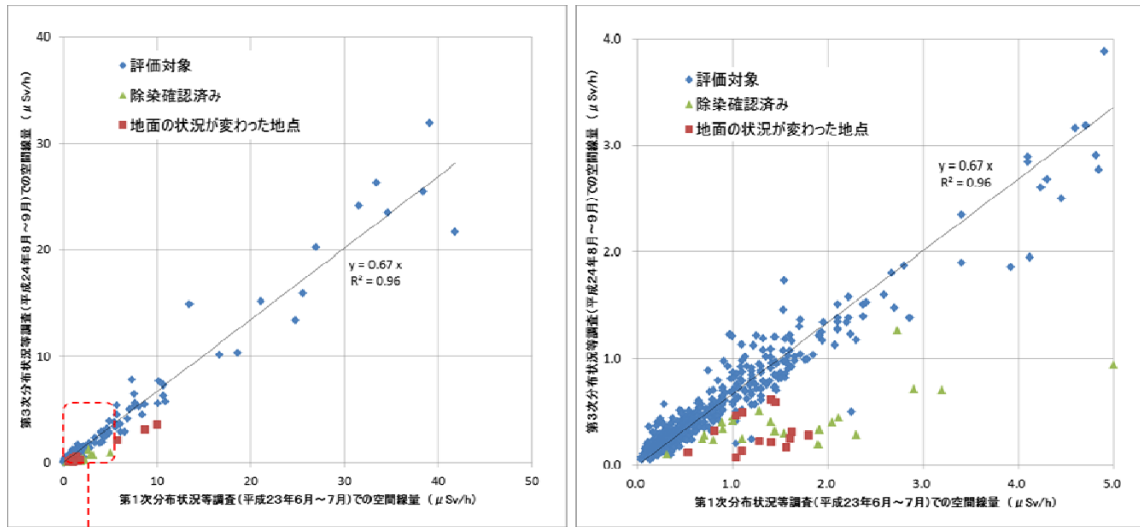


図 9: 放射性物質の第 1 次分布状況等調査(平成 23 年 6 月 6 日～7 月 8 日に測定)と今回の調査(第 3 次分布状況等調査)(平成 24 年 8 月 14 日～9 月 7 日に測定)の空間線量率の測定結果の比較(上のグラフ(左側)は個々の調査箇所にて測定された空間線量率の値を直接比較。また、上のグラフ(右側)は、低線量率の箇所を拡大したもの。第 1 次分布状況等調査以降に除染した箇所(緑色のポイント)及び地面の状況が変化していると判断された箇所(赤色のポイント)を抽出した。)(n=741)

表1：放射性物質の第1次分布状況等調査(平成23年6月6日～7月8日に測定)と今回の調査(第3次分布状況等調査)(平成24年8月14日～9月7日に測定)の空間線量率の積算値の比較(第1次分布状況等調査と今回の調査の空間線量率の測定結果をそれぞれ積算し、その積算値を比較し、空間線量率の積算値の変化率を算出。)

空間線量率の積算値

第1次分布状況等調査	第3次分布状況等調査	変化率
1044	683	34.6%

※放射性セシウムの物理的減衰に伴う空間線量率の減衰は25%程度

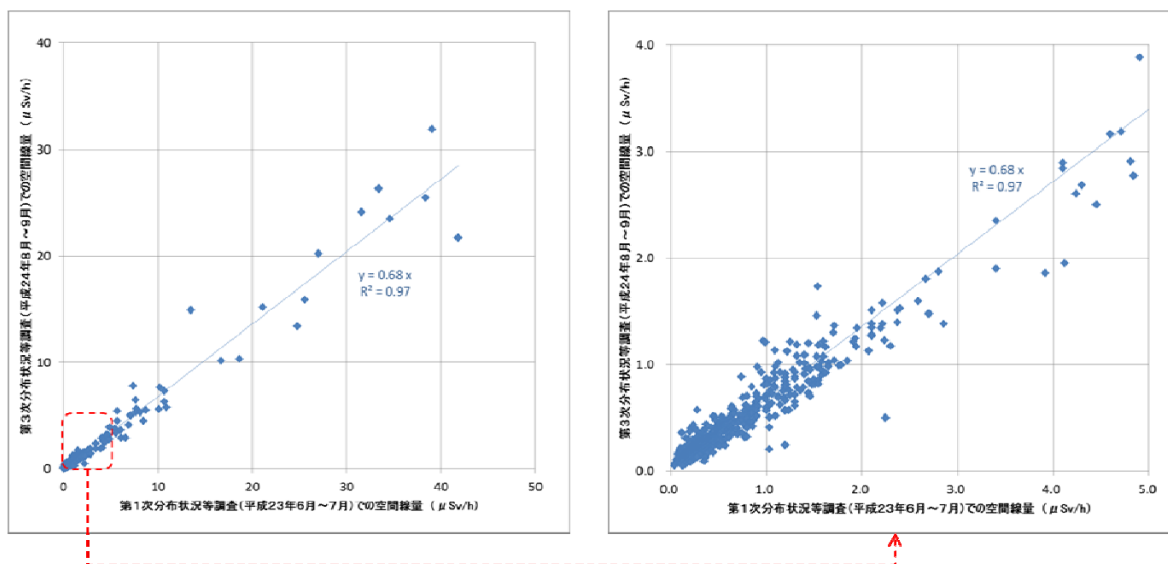


図10: 除染箇所等を除いた、放射性物質の第1次分布状況等調査(平成23年6月6日～7月8日に測定)と今回の調査(第3次分布状況等調査)(平成24年8月14日～9月7日に測定)の空間線量率の比較(図9に示したデータから緑色と赤色のポイントを除外)(n=702)

表 2: 除染箇所等を除いた、放射性物質の第 1 次分布状況等調査(平成 23 年 6 月 6 日～7 月 8 日に測定)と今回の調査(第 3 次分布状況等調査)(平成 24 年 8 月 14 日～9 月 7 日に測定)の空間線量率の積算値の比較(第 1 次分布状況等調査と今回の調査の空間線量率の測定結果をそれぞれ積算し、その積算値を比較し、空間線量率の積算値の変化率を算出。)

空間線量率の積算値

第1次分布状況等調査	第3次分布状況等調査	変化率
965	660	31.6%

※放射性セシウムの物理的減衰に伴う空間線量率の減衰は25%程度

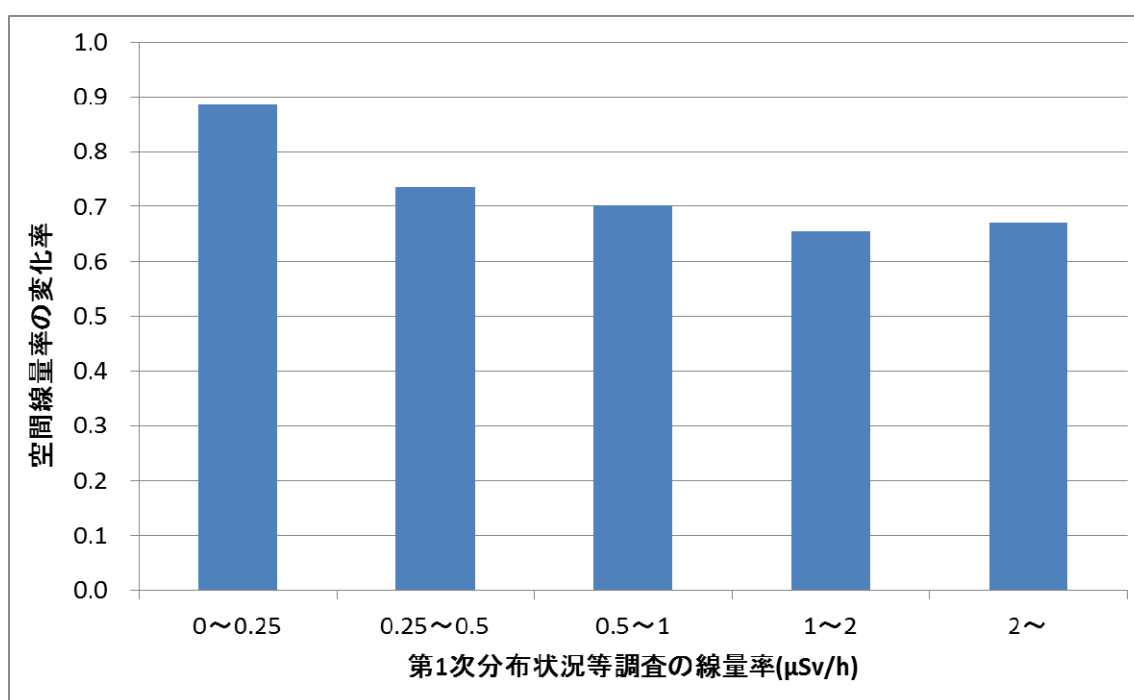


図 11: 第 1 次分布状況等調査で測定された空間線量率の範囲ごとの空間線量率の変化率(空間線量率の変化率は、第 1 次分布状況等調査で測定された空間線量率の積算値に対する今回の調査で測定された空間線量率の積算値の比率を指す。なお、第 3 次分布状況等調査の測定結果からは除染箇所及び土地利用状況が変化した箇所を除いている。)

(3)放射性セシウムの沈着量の変化状況の評価

- 第1次調査では、可能な限り、各調査箇所の放射性セシウムの平均的な沈着量を測定するため、各調査箇所の3m四方内から5地点の土壌を採取し、ゲルマニウム半導体検出器で測定した結果の平均値を求めた。他方で、3m四方内の非常に狭い範囲ですら、1箇所で採取した5試料の放射性セシウムの放射能濃度の変動係数が平均で36%と大きいことが確認されている。
- そこで、放射性セシウム沈着量の変化状況の確認にあたっては、各箇所の平均的な沈着量を測定可能な、可搬型ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定を実施した、放射性物質の第2次分布状況等調査(平成23年3月1日時点)及び今回の調査のセシウム137の沈着量の結果について比較を行った。なお、第2次調査の結果と今回の調査の比較にあたっては、空間線量測定と同様に、GPSデータを基に、第2次調査で測定した箇所から20mの範囲内にある箇所を同一箇所とした。

その結果、図12に示すように、セシウム137の沈着量に関しては、第2次調査から今回の調査までの半年間ではほとんど減少がみられなかった。ちなみにこの期間に予想される物理的減衰は1%程度であり、全体の傾向として、この期間におけるウェザリング等の効果はほとんど観察されなかった。

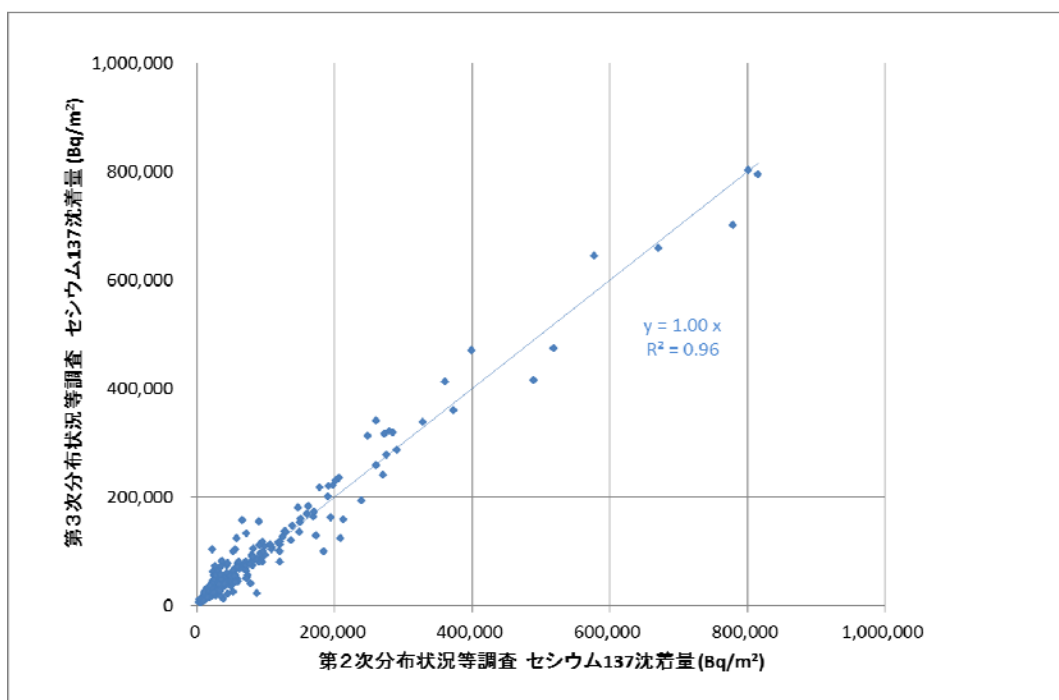


図12: 第2次分布状況等調査(平成24年3月1日時点)と今回の調査(第3次調査)(平成24年9月1日時点)におけるセシウム137の沈着量の比較(n=259)

他方で、先の(2)で示したように、空間線量率の変化率に空間線量率依存性の影響が観察されている。セシウム 137 の沈着量の変化状況を確認するにあたって、第 2 次分布状況等調査から第 3 次分布状況等調査までの期間では半年程度しかなく期間が短いこと、沈着量を比較する際の調査箇所数が少ないことから、今回調査ではセシウム 137 の沈着量の変化状況を詳細に確認できなかったことから、今後、継続的に調査を実施し、放射性セシウムの沈着量の変化状況を踏まえた上で、低線量率域で空間線量率が減少しづらい要因について確認していく。

8. 今後の予定

平成 24 年 11 月 5 日より、約 1 ヶ月かけて台風期後期の測定を実施している。第 1 次調査及び第 2 次調査結果との比較、さらに台風期後期の測定データとの空間線量率、放射性セシウムの沈着量の変化状況について比較評価を行い、その変化傾向を明らかにすることにより、結果を放射性物質の分布状況の変化モデルの作成に反映していく。

銀 110m の沈着量を記した土壤濃度マップ(平成 24 年 9 月 1 日時点)

