

歩行サーベイによる生活経路における空間線量率の測定

山本 英明、斎藤 公明（原子力機構）

1. 調査目的

福島第一原発から放出された放射性セシウムの環境中における 2 次元的な分布状況を詳細に調査し、この結果を空間線量率分布の予測モデル構築に役立てるため、KURAMA-II システムを背負って歩行しながら空間線量率を測定する。

平成 24 年度までの調査結果から、走行サーベイにより測定した道路上の空間線量率の経時的な減少傾向は、人為的なかく乱の少ない平坦な開かれた土地においてサーベイメータで測定した空間線量率（平坦地上定点における空間線量率）の減少傾向に比べて顕著に大きいことが明らかになっているが、この減少傾向の違いの原因を検討するとともに、人間が生活する環境の空間線量率は、走行サーベイの測定値あるいは平坦地上定点における測定値のどちらにより近いのかを検討することを目的とし、平成 25 年度から調査を開始した。

様々な土地利用状況が混在する平坦地と道路の間の地域においては、その状況に応じて空間線量率が様々に変化するため、自動車が走行できない地域も含めて広範囲の測定が可能な歩行サーベイにより走行サーベイや平坦地上定点における測定結果を補完して、生活経路における空間線量率分布の特徴を明らかにすることを目指した。今年度は平成 25 年度の測定結果との比較により空間線量率の経時変化の特徴を検討するとともに、非可住地域の森林地域において歩行サーベイを実施する。

2. 調査内容

(1) 調査期間

前期調査：平成 26 年 7 月 28 日～9 月 12 日

後期調査：平成 26 年 10 月 30 日～12 月 16 日

(2) 調査地域

福島第一原発から 80 km 圏の地域を 1 km×1 km に分割したメッシュで、走行サーベイの測定ルートが含まれていて平坦地上定点の空間線量率の測定が行われているものの中から、土地利用状況、空間線量率範囲、地域の代表性を考慮して調査対象のメッシュ（調査箇所）を選んだ。調査箇所数は 539 箇所であった。また、非可住区域の森林（ALOS 土地利用分類で落葉樹又は常緑樹に分類されている場所）24 箇所で行った。（図-1）

(3) 調査内容の詳細

KURAMA-II システムとバッテリーを測定者が背負い、歩きながら 3 秒毎に測定した空間線量率データと GPS による位置情報を、携帯電話回線を通してデータ収集用サーバに 30 秒毎に転送した。測定者が KURAMA-II システムを背負うことにより、空間線量率の測定高さは概ね地上 1 m 高さになる。（図-2）

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や、測定期間中の放射性セシウムの物理減衰に伴う空間線量率の減少は 3%程度と評価され測定機器の有する誤差よりも低いことを考慮して、空間線量率測定値を一定の日付に揃える減衰補正を行わず、測定した日の測定結果をそのまま使用した。また、測定値の統計的なばらつきを低減させると同時に、空間線量率の 2 次元的な分布が詳細に把握できるように、歩行地域を 20 m 四方のメッシュに分割し、そのメッシュ内に含まれる各測定箇所での空間線

量率の値を平均してメッシュの代表値とした。

3. 結果と考察

歩行サーベイにおいては、自動車の入り込めない住宅周辺や樹木の間、田畑の周辺などの場所、人の往来、清掃、農耕などの生活・産業活動の行われる場所において測定を行った。したがって、歩行サーベイによる空間線量率の測定は住民が生活時間の多くを費やす生活環境における空間線量率の様態に比較的近いと考えられる。このことを前提に、走行サーベイによる空間線量率の測定結果または平坦地上定点の空間線量率の測定結果と歩行サーベイによる測定結果とを比較して、これら3者の関係を把握し、生活環境における空間線量率推定のための基礎となる情報を得た。

(1) 走行サーベイの測定結果と歩行サーベイの測定結果との比較

道路上の空間線量率と歩行サーベイを行った場所の空間線量率の関係を調べるために、走行サーベイの測定結果と歩行サーベイの測定結果とを比較した。走行サーベイの測定結果を平均する100 mメッシュと、歩行サーベイの測定結果を平均する20 mメッシュとが重なる場合にそれらの空間線量率を比較した。なお、走行サーベイの結果は車外の地上1 mの値に換算した値である。

① 相関図・回帰直線による比較

走行サーベイと、同じ時期に行われた歩行サーベイの空間線量率の比較対象データ間の相関図を作成し、回帰直線の比較を行った。空間線量率測定データ点数の約90%以上は $1.0 \mu\text{Sv/h}$ 以下であったので、 $1.0 \mu\text{Sv/h}$ 以下のデータのみでも相関図を作成した。測定されたすべての線量率領域及び $1.0 \mu\text{Sv/h}$ 以下の線量率領域の相関図を図-3に示す。測定されたすべての線量率領域で比較すると、歩行サーベイでは、走行サーベイの値に対して回帰直線の傾きによる比較で1.07倍大きい値を示すことがわかる。一方、 $1.0 \mu\text{Sv/h}$ 以下の線量率領域での比較では1.21倍となった。

調査箇所が、原子力災害対策本部が設定した避難指示区域（避難指示解除準備区域、居住制限区域及び帰還困難区域）の内側に位置するか、あるいは、外側に位置するかによる回帰直線の傾きの特徴を解析した。表-1に示すように、全線量率域では避難指示区域内では回帰直線の傾きが避難指示区域外よりも10%程度小さくなった。

また、前期調査及び後期調査について比較した。表-1に示すように、回帰直線の傾きは、前期調査における傾きに比べて後期調査の方が10%程度大きくなった。

同様に、土地利用状況ごとの測定結果について、測定値の点数として約1,000点を超えるものが得られた土地利用状況（「水域」と「裸地」以外）のデータを対象に比較した。前期調査及び後期調査について、全線量率領域と $1.0 \mu\text{Sv/h}$ 以下の線量率領域での相関の回帰直線の傾きを図-4に示す。回帰直線の傾きには平成25年度調査の結果¹と同様に土地利用状況による大きな差はなかった。

② 空間線量率の合計値による比較

空間線量率の走行サーベイによる測定値の合計値及び歩行サーベイによる測定値の合計値の比率による比較を行った。解析の例として、測定されたすべての線量率領域についての空間線量率合計値の比較結果を図-3の上部に示す。

¹ 日本原子力研究開発機構, “平成25年度東京電力(株)福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の長期的影響把握手法の確立事業,” 成果報告書, page. 38, (平成26年3月)。

表-2に示すように、避難指示区域内外の差異に関しては、避難指示区域に含まれる調査箇所に係る比率の方が区域外に係る比率より小さく、避難指示区域内外どちらも後期調査の比率が前期調査の比率より大きかった。

③ 測定値の比率の頻度分布による比較

走行サーベイの測定結果に対する歩行サーベイの測定結果の比率の頻度分布を解析した。累積頻度は走行サーベイの測定値に対する歩行サーベイの測定値の比率の分布を低い方から積分した分布であり、比率がどのようにばらついているかを定量的に理解するための指標となる。比率の中央値(50%)に対するばらつきの程度を解析するために、累積頻度の割合が10%及び90%となる比率も求め、その結果を表-3に示す。また、表-3には避難指示区域内外の差異に関する解析結果も示した。

土地利用状況の区分ごとの差異に関しては、約1,000点を超える測定値が得られた土地利用区分(「水域」と「裸地」以外)について解析した。前期調査及び後期調査について得られた累積頻度の割合が10%、50%及び90%となる歩行サーベイ/走行サーベイの比率を表-4に示す。土地利用状況による差は大きくないが、50%値では、「常緑樹」に区分される土地利用状況において最低の値となった。

(2) 平坦地上定点の空間線量率測定結果と歩行サーベイの測定結果との比較

この比較においては、土地利用状況区分や避難指示区域内外による解析を行うのには十分なデータ数が得られていないので、これらの区分によらない解析のみを行った。

① 相関図・回帰直線による比較

平坦地上定点の空間線量率の測定結果と、同じ時期に行われた歩行サーベイの測定結果の相関図を作成し比較した。定点測定箇所との間の距離が20m以内、100m以内及び200m以内となる歩行サーベイの20mメッシュの平均空間線量率を平坦地上定点測定空間線量率測定値と比較した。空間線量率測定データ点数の約90%以上は $1.0 \mu\text{Sv/h}$ 以下であったので、 $1.0 \mu\text{Sv/h}$ 以下のデータのみでも相関図を作成した。相関図の例として、図-5に定点測定箇所との間の距離が20m以内のものを示す。

表-5に示すように、全線量率領域での回帰直線の傾きは、平坦地上定点測定の箇所との間の距離による差はほとんどなく、前期調査については最小0.67、最大0.68、後期調査については最小0.66、最大0.68となった。一方、 $1.0 \mu\text{Sv/h}$ 以下の線量率領域では、回帰直線の傾きは、前期調査については最初0.80、最大0.90、後期調査については最小0.83、最大0.97となった。

② 空間線量率の合計値による比較

平坦地上定点測定と歩行サーベイによる空間線量率の合計値を比較した。平坦地上定点測定箇所との間の距離が20m以内、100m以内及び200m以内となる歩行サーベイの20mメッシュの平均空間線量率合計値を平坦地上定点測定空間線量率合計値と比較した。比較の例として、図-5の上部に定点測定箇所との間の距離が20m以内のものを示す。

表-5に示すように、空間線量率合計値の比率(歩行サーベイ/平坦地上定点測定)は、前期調査については最小0.80、最大0.82、後期調査については最小0.77、最大0.82となった。

(3) 走行サーベイ、平坦地上定点、歩行サーベイによる空間線量率の測定結果の比較

歩行サーベイによる生活経路の空間線量率測定値は、表-6に示すように、走行サーベイ

による道路上の空間線量率測定値に比べて最大で 1.3 倍程度であった。また、表-5 に示すように、平坦地上定点において行ったサーベイメータによる空間線量率測定値に比べて最小で 0.7 倍程度であった。

(4) 歩行サーベイによる空間線量率の測定結果の経時変化

平成 25 年度から 4 回実施した歩行サーベイの調査結果を基に、空間線量率の経時変化を調査した。4 回を通じて測定を行った 114 箇所における空間線量率の合計値を計算し、平成 25 年 6 月調査の値に対する比を計算した（表-7）。平成 25 年 6 月の調査から平成 26 年 11 月の調査まで、約 17 ヶ月が経過する間に、歩行サーベイを行った場所の空間線量率は、平成 25 年 6 月に比べて約 72% に減衰した。この間、放射性セシウムの物理減衰によって空間線量率は約 70% になると計算されるので、観測された減衰は、物理減衰によるものと同程度であった。

(5) 非可住区域の森林の空間線量率の測定結果

非可住区域の森林（ALOS 土地利用分類で落葉樹及び常緑樹に分類されている箇所）について空間線量率の累積頻度を調べた。累積頻度が 10%、50% 及び 90% となる空間線量率を表-8 に示す。表-8 には併せて、歩行サーベイを実施した非可住区域には属さない森林（土地利用分類で落葉樹又は常緑樹に分類されている箇所）のデータも示した。

非可住区域の森林の空間線量率の測定結果は、可住区域の森林の測定結果より概して高い値を示した。本報告書において森林中の空間線量率が樹種によって異なる傾向を示すことが示されている² が、このことと森林における人間活動が空間線量率に与える影響を併せて考察することにより森林部の空間線量率の状況が推定できると考えられる。

4. まとめ

福島第一原発から 80 km 圏内を中心に平成 26 年 7 月から 9 月及び 11 月から 12 月の 2 回にわたり KURAMA-II システムを用いて空間線量率の測定を行い、生活経路における空間線量率分布の特徴を検討した。

本調査全体を通じては、3 つの異なる手法でそれぞれ異なる環境の空間線量率を測定している。サーベイメータでは人為的なかく乱の少ない平坦な開かれた土地（平坦地上定点）において、また、走行サーベイでは道路上の空間線量率を測定した。これら 2 つの測定環境の近傍で行った歩行サーベイは、生活経路に沿ったものであり、平坦地上定点や道路上の測定値よりも住民の生活環境における空間線量率をより良く代表していると考えられる。3 つの測定方法による広域で平均した空間線量率測定値の大小関係は、大きい順に、平坦地上定点測定、歩行サーベイ、走行サーベイとなった。歩行サーベイの空間線量率測定値は走行サーベイによる道路上の空間線量率測定値の 1.0 ないし 1.3 倍程度であった。また、平坦地上定点において行ったサーベイメータによる空間線量率測定値の 0.7 ないし 1.0 倍程度であった。それぞれ異なる手法によって得られた測定値による比較であり、統計的な観点からの考察が必要ではあるが、これまでのところ、これらの比率から見て、走行サーベイ結果と平坦地上定点測定結果はともに歩行サーベイ結果、すなわち生活環境における空間線量率と、最大およそ 30% の開きを持っているとの結果が得られた。この関係は走行サーベイ又は平坦地上定点測定から生活環境の空間線量率を推定する際に利用できる。

² 本報告書（“平成 26 年度放射性物質測定調査委託費（東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の分布データの集約及び移行モデルの開発）事業” 成果報告書）の「森林環境中等における放射性セシウムの移行調査」を参照のこと。

平成 25 年度の測定結果との比較により空間線量率の経時変化の特徴を調べた。平成 25 年 6 月の調査から平成 26 年 11 月の調査までの約 17 ヶ月間に、歩行サーベイを行った場所の空間線量率は、平成 25 年 6 月に比べて約 72%に減衰し、放射性セシウムの物理減衰によるものと同程度であった。

表-1 空間線量率回帰直線の傾き（歩行サーベイ／走行サーベイ）

区域	避難指示区域内		避難指示区域外	
	前期	後期	前期	後期
調査時期				
全線量率域	1.03	1.12	1.14	1.25
1 μ Sv/h 以下の線量率領域	1.19	1.29	1.14	1.26

表-2 空間線量率合計値の比率（歩行サーベイ／走行サーベイ）

	避難指示区域内	避難指示区域外
前期	1.07	1.20
後期	1.14	1.30

表-3 空間線量率測定値の比較（歩行サーベイ／走行サーベイの頻度分布）

累積頻度	避難指示区域内		避難指示区域外	
	前期	後期	前期	後期
10%	0.81	0.87	0.81	0.88
50%	1.06	1.15	1.18	1.27
90%	1.49	1.63	1.80	1.89

表-4 土地利用状況ごとの空間線量率測定値の比率（歩行サーベイ／走行サーベイ）

<前期調査>

累積頻度	全体 (n=111,956)	都市 (n=36,331)	水田 (n=29,720)	畑地 (n=21,898)	草地 (n=4,724)	落葉樹 (n=12,704)	常緑樹 (n=5,681)
10%	0.81	0.80	0.83	0.81	0.79	0.78	0.80
50%	1.17	1.18	1.20	1.17	1.12	1.09	1.09
90%	1.76	1.82	1.83	1.78	1.67	1.56	1.53

<後期調査>

累積頻度	全体 (n=116,839)	都市 (n=38,346)	水田 (n=30,984)	畑地 (n=22,710)	草地 (n=4,616)	落葉樹 (n=13,235)	常緑樹 (n=5,985)
10%	0.88	0.86	0.89	0.91	0.92	0.87	0.86
50%	1.25	1.27	1.28	1.26	1.26	1.18	1.17
90%	1.87	1.92	1.92	1.89	1.79	1.70	1.66

表-5 歩行サーベイ／平坦地上定点測定 of 比率

比較の方法		定点から 20 m 以内の歩行		定点から 100 m 以内の歩行		定点から 200 m 以内の歩行	
		前期	後期	前期	後期	前期	後期
①相関図 ・回帰直線	全線量率域	0.68	0.67	0.67	0.66	0.67	0.68
	1.0 μ Sv/h 以下	0.80	0.83	0.88	0.96	0.90	0.97
②合計値		0.80	0.77	0.80	0.79	0.82	0.82

表-6 歩行サーベイ／走行サーベイの比率

比較の方法		避難指示区域内		避難指示区域外	
		前期	後期	前期	後期
① 相関図 ・回帰直線	全線量率域	1.03	1.12	1.14	1.25
	1.0 μ Sv/h 以下	1.19	1.29	1.14	1.26
②合計値		1.07	1.14	1.20	1.30
③測定値の比率(累積頻度 50%)		1.06	1.15	1.18	1.27

表-7 歩行サーベイによる空間線量率測定結果の経時変化

測定時期	平均空間線量率 μ Sv/h *	比率
平成 25 年 6 月調査	0.32	100%
平成 25 年 11 月調査	0.31	96%
平成 26 年 8 月調査	0.24	75%
平成 26 年 11 月調査	0.23	72%

* 調査箇所 114 箇所において歩行サーベイ測定値を平均する 20 m メッシュ当りの平均値

表-8 森林(落葉樹又は常緑樹)の歩行サーベイによる空間線量率測定結果

単位: μ Sv/h

累積頻度	非可住区域の森林	可住区域の森林
10%	0.12	0.088
50%	0.39	0.17
90%	1.0	0.86

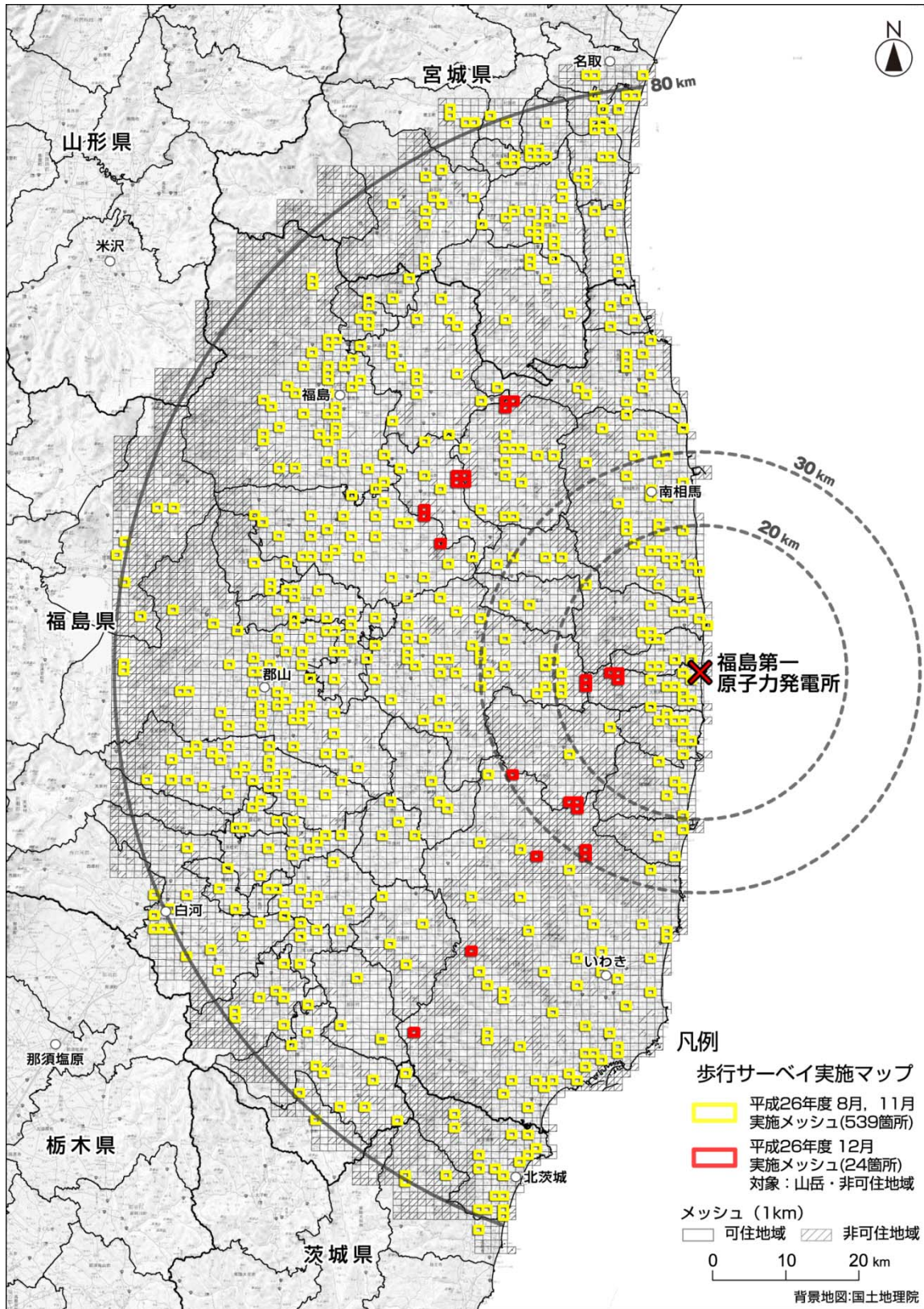


図-1 平成26年度調査における歩行サーベイによる空間線量率の測定箇所(メッシュ)
(赤枠は非可住区域の測定箇所(メッシュ))



図-2 歩行サーベイ測定の様子

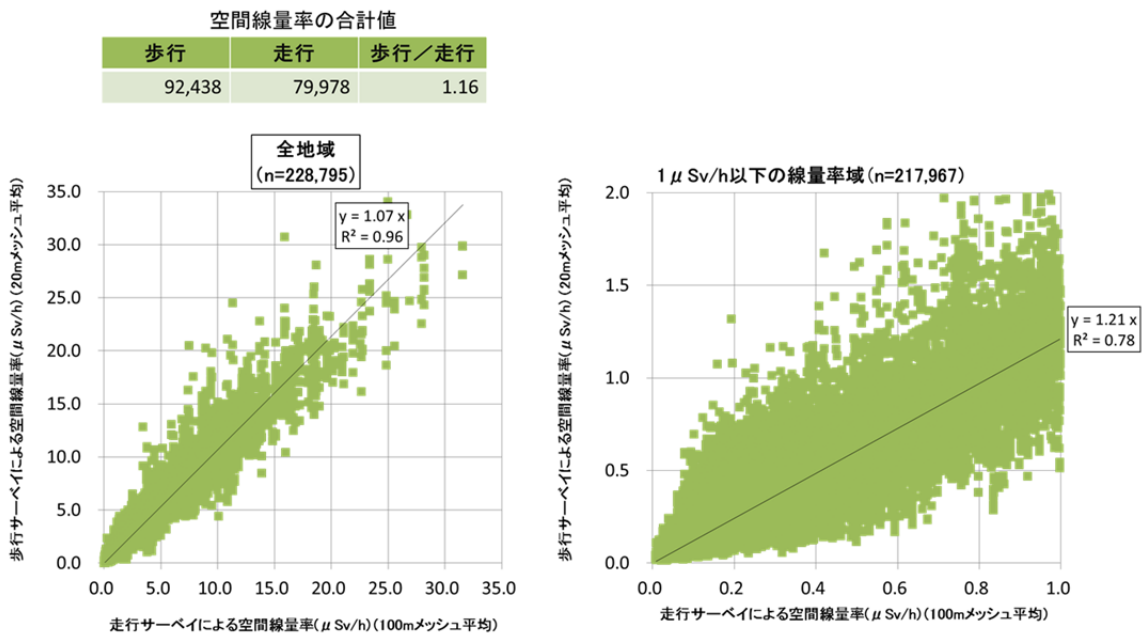


図-3 空間線量率測定結果の比較：歩行サーベイと走行サーベイ
(全期間・全地域)

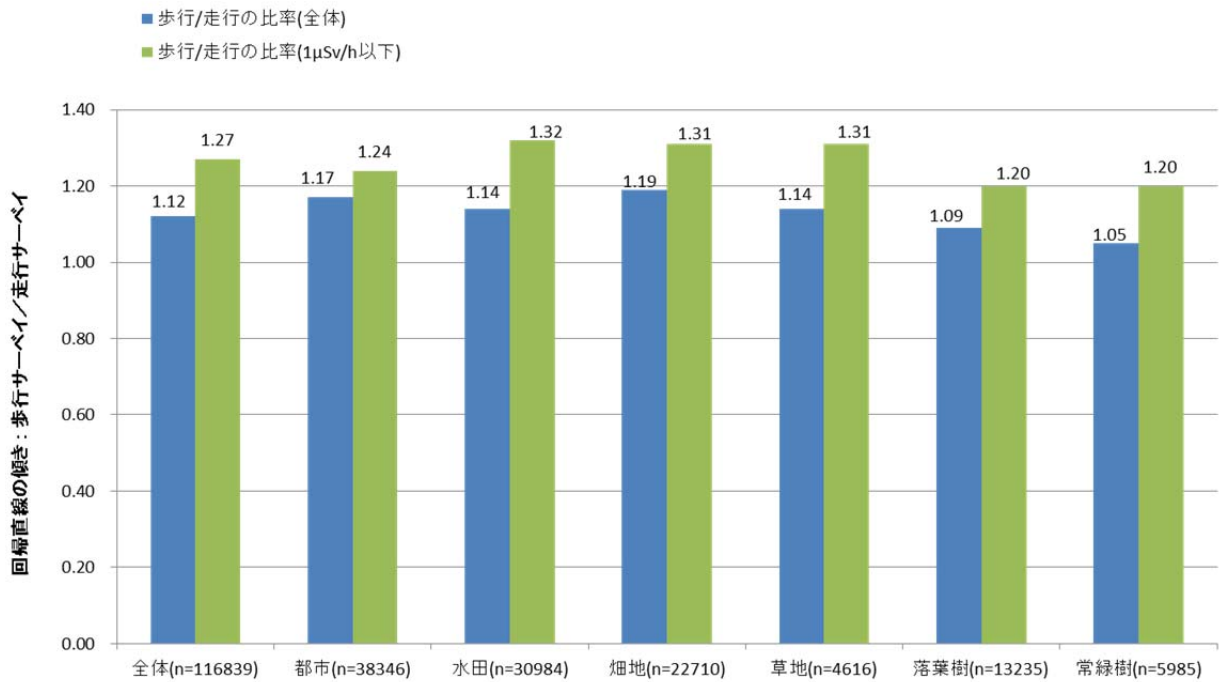
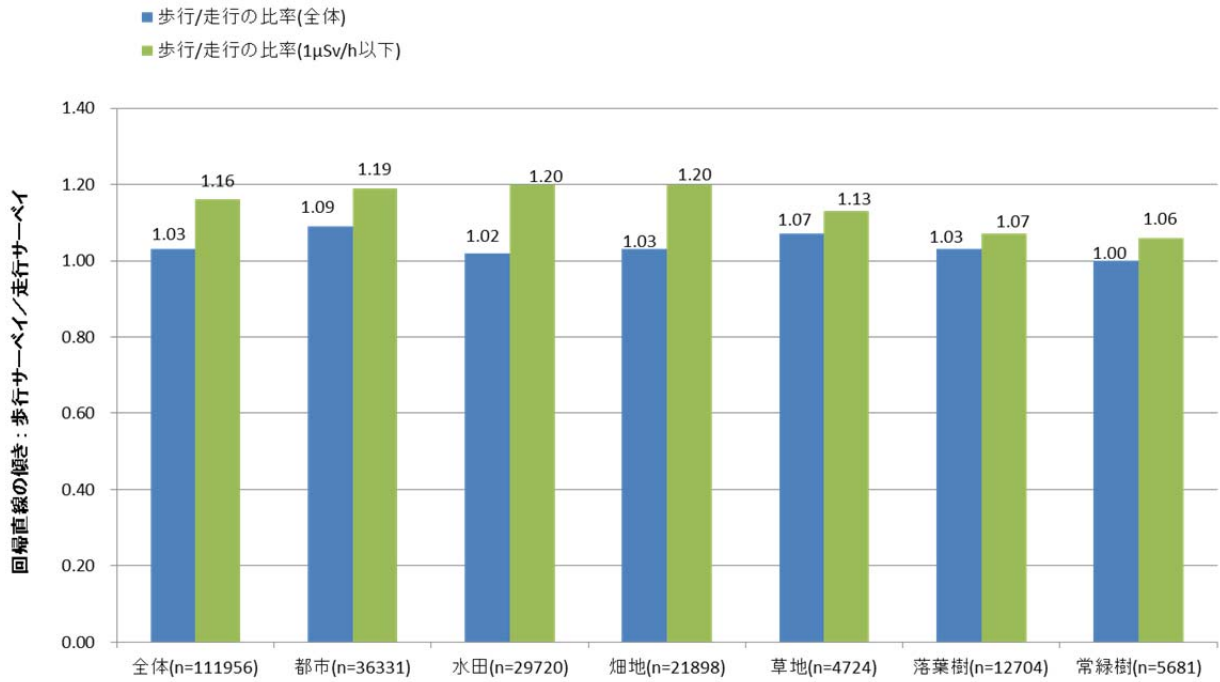
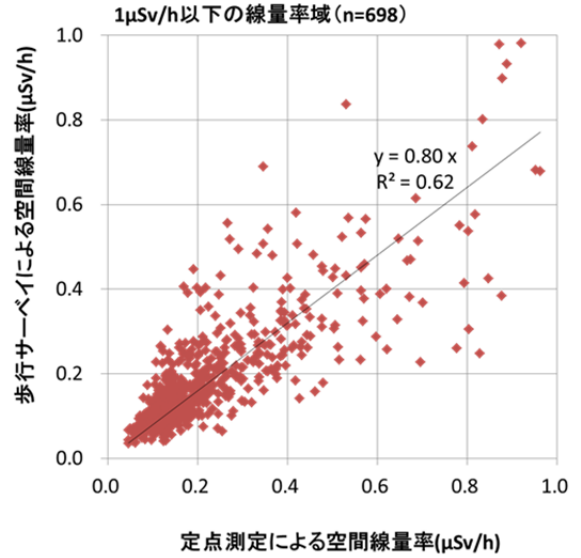
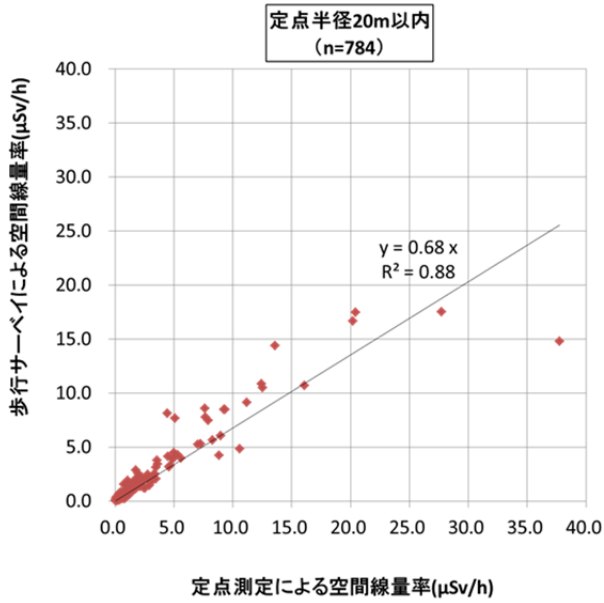


図-4 土地利用状況ごとの回帰直線の傾き（歩行サーベイ／走行サーベイ）
（上図が前期調査の結果、下図が後期調査の結果）

【前期】

空間線量率の合計値

歩行	定点	歩行/定点
460	575	0.80



【後期】

空間線量率の合計値

歩行	定点	歩行/定点
455	591	0.77

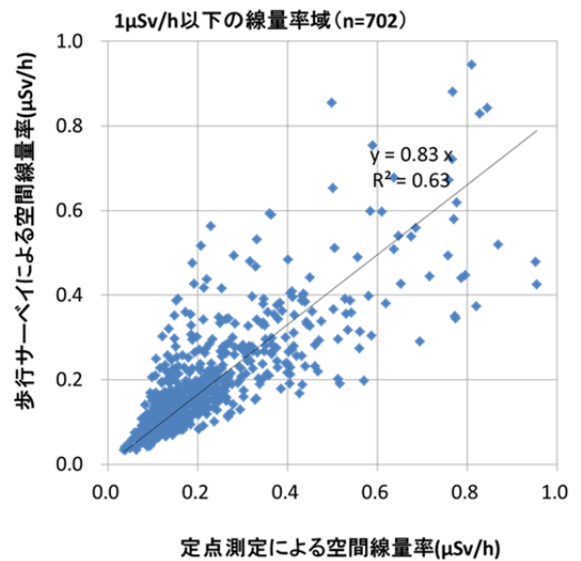
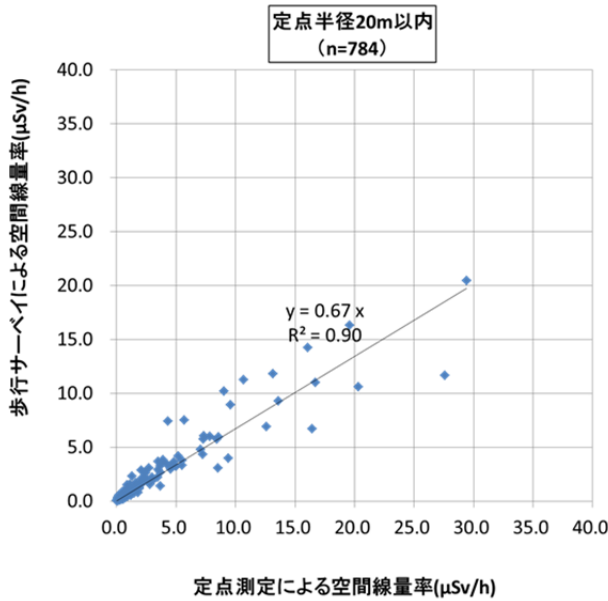


図-5 空間線量率測定結果の比較：歩行サーベイと定点測定
(経時変化・定点測定から半径 20 m 以内)

Appendix-1

生活行動経路に沿った空間線量率測定に基づく被ばく線量の推定

佐藤 哲朗、斎藤 公明（原子力機構）

1. 調査目的

避難指示解除準備区域への帰還を検討している住民にとって、帰還後の生活における被ばく線量は帰還の重要な判断材料の一つであると言える。個人の被ばく線量を測定・評価する手法として1) 個人線量計による測定、及び2) 生活圏の中のある地点の空間線量率からの推定、の2つが挙げられる。1) では基本的に高い精度の測定が可能だが、住民が帰還していない場所での測定は不可能である。2) は簡単な手続きで線量を推定可能だが、精度は良くない。そこで、GPS 連動型放射線自動計測システムの KURAMA を用いて、被ばく線量を精度良く推定することを目的とした調査を行った。

2. 調査内容

避難指示解除準備区域に帰還予定の住民 7 名を対象として、帰還した後に予想される生活行動パターンと経路の詳細な聞き取り調査を行った。聞き取りしたそれぞれの生活行動パターンを対象にして、生活経路全域をカバーできるように、KURAMA システムを用いた空間線量率の連続測定を行なった。その後、生活行動データと空間線量率データを組合せて被ばく線量を評価した。具体的には、生活行動経路に沿って空間線量率とそこでの滞在時間を考慮して1日間の積算した被ばく線量を算出した。屋内の線量については、各部屋で測定した空間線量率にその部屋の滞在時間を掛けることで被ばく線量を算出した。屋外の線量については、KURAMAにより測定した空間線量率を約100m四方のメッシュ平均に換算し、移動経路と移動時間から各メッシュの滞在時間を算出した上で、各メッシュの平均線量率に滞在時間を掛けることで被ばく線量を算出した。

3. 結果と考察

今回の調査で推定された各生活パターンにおける被ばく線量について、場所ごとの被ばく線量への寄与割合の一覧を以下に示す。ほとんどの場合で自宅における被ばく線量が1日の被ばく線量の半分以上を占めているが、畑等における作業が長い場合には、屋外での被ばく線量のほうが高いケースもありうる事が確認された。

#	対象者	概要	場所ごとの線量の寄与割合 (%)					
			自宅	職場	田畑 竹林 裏山	移動 (徒歩)	移動 (車)	その他
01	A氏	職場に出勤	64.5	28.1	0.0	0.0	7.4	0.0
02		職場に出勤	62.8	22.9	0.0	0.0	14.2	0.0
03		畑仕事	44.5	0.0	52.4	3.1	0.0	0.0
04	B氏	畑仕事	57.6	0.0	34.1	3.6	1.0	3.7
05		職場に出勤	63.9	34.0	0.0	0.0	2.1	0.0
06	C氏	畑仕事	56.6	0.0	40.6	1.2	1.6	0.0
07		職場に出勤	53.4	31.8	0.0	0.0	15.0	0.0
08	D氏	職場に出勤	73.3	24.9	0.0	0.0	1.8	0.0
09		町内移動	25.9	0.0	0.0	0.0	62.9	11.2
10	E氏	畑仕事	56.8	0.0	41.6	1.6	0.0	0.0
11		畑仕事、散歩	49.1	0.0	42.6	8.3	0.0	0.0
12	F氏	畑仕事	51.1	0.0	46.4	0.0	2.5	0.0
13		竹林の手入れ	24.2	0.0	67.5	0.0	8.4	0.0
14	G氏	畑仕事	53.8	0.0	40.2	0.6	5.4	0.0
15		畑仕事	32.3	0.0	62.6	0.0	5.1	0.0