

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自然環境中における 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した。

平成 24 年度までの調査の結果から、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。

2. 調査内容

(1) 調査期間

前期調査： 平成 25 年 6 月 10 日～7 月 5 日

後期調査： 平成 25 年 11 月 5 日～12 月 4 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メッシュを選んだ。前期、後期ともに調査箇所数の合計は 261 である。後期に調査したメッシュ数の 39% は前期調査と同一メッシュであり、主に空間線量率の経時変化を調査する目的で選定した。歩行サーベイの調査と、走行サーベイ及び平坦地上定点の空間線量率の調査は、メッシュ単位で見れば同一メッシュ内で実施している。各メッシュでは、できるだけ走行サーベイの測定コース及び平坦地上定点の測定箇所の周辺において、歩行可能な箇所の測定を実施した。

(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。

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的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20m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

(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100mメッシュと、歩行サーベイの測定結果を平均する20m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。

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-1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1.09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1.28倍となった。

測定箇所（メッシュ）及び空間線量率の分布（図-2）について、調査箇所が、平成25年8月までに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（それぞれ全線量率領域と $1.0 \mu\text{Sv/h}$ 以下の線量率領域での相関の2種類を作図した。避難指示区域内の測定データに関する相関図を図-3に、避難指示区域外の測定データに関する相関図を図-4に示す）。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小さくなった。

また、前期調査及び後期調査についてそれぞれ比較した結果を図-5に示す。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において若干小さくなった（避難指示区域内の比較を図-6に、避難指示区域外の比較を図-7に示す）。

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-8に示す。回帰直線の傾きには土地利用状況による大きな差はなかった。

② 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図-9に示す。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-1に示す。累積頻度の割合が10%、50%及び90%となる比率は、全体的に後期調査の方が若干小さな値となった。

表-1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。累積頻度の割合が50%となる歩行サーベイ／走行サーベイの比率について見ると、避難指示区域内に係る比率の方

が区域外に係る比率より小さくなった。

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-2 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。

③ 空間線量率の平均値による比較

空間線量率の走行サーベイによる測定値の平均値及び歩行サーベイによる測定値の平均値の比率による比較を行った。平均値を算出する過程では、空間線量率の積算値を計算し測定箇所数で割ることによって平均値を得る。空間線量率積算値の比較結果を図-1 及び図-3～図-7 の上部に示す。

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、避難指示区域内では後期調査の比率が前期調査より小さくなったが、区域外では経時変化は顕著ではなかった。

(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

図-10～図-12 に、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示す。定点測定箇所との間の距離が 20 m、100 m 及び 200 m となる歩行サーベイの 20 m メッシュの平均空間線量率を平坦地上定点測定の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。

全線量率領域では、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 0.74～0.75、後期調査については 0.84～0.86 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 0.78～0.82、後期調査については 0.82～0.88 となった。

② 空間線量率の平均値による比較

平坦地上定点測定と歩行サーベイによる空間線量率の平均値（積算値）を比較した結果を図-10～図-12 の上部に示す。平坦地上定点測定箇所との間の距離が 20 m、100 m 及び 200 m となる歩行サーベイの 20 m メッシュの平均空間線量率積算値を平坦地上定点測定の空間線量率積算値と比較した。空間線量率積算値の比率（歩行サーベイ／平坦地上定点測定）は、前期調査については 0.79～0.87、後期調査については 0.87～0.97 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-3 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の 1.0～1.3 倍程度であった。また、表-4 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の 0.7～1.0 倍程度であった。

これらの比率は調査結果全体から得られた平均的な値であり、個々の測定値から得られ

た比率はこれら平均的な値の上下に大きく変動している。

表-1 空間線量率測定値の比率（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%	0.88	0.82	0.89	0.86
50%	1.17	1.10	1.27	1.24
90%	1.67	1.58	1.91	1.86

表-2 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=46,404)	都市 (n=15,894)	水田 (n=13,414)	畑地 (n=9,117)	草地 (n=1,918)	落葉樹 (n=3,846)	常緑樹 (n=1,726)
10%	0.89	0.87	0.91	0.91	0.95	0.89	0.88
50%	1.26	1.25	1.30	1.27	1.28	1.21	1.19
90%	1.91	1.87	1.95	1.95	1.93	1.79	1.69

<後期調査>

累積頻度	全体 (n=45,209)	都市 (n=15,143)	水田 (n=13,667)	畑地 (n=8,374)	草地 (n=1,913)	落葉樹 (n=4,136)	常緑樹 (n=1,533)
10%	0.86	0.83	0.86	0.90	0.92	0.87	0.82
50%	1.24	1.22	1.24	1.27	1.26	1.20	1.14
90%	1.86	1.84	1.86	1.95	1.92	1.69	1.68

表-3 歩行サーベイ／走行サーベイの比率

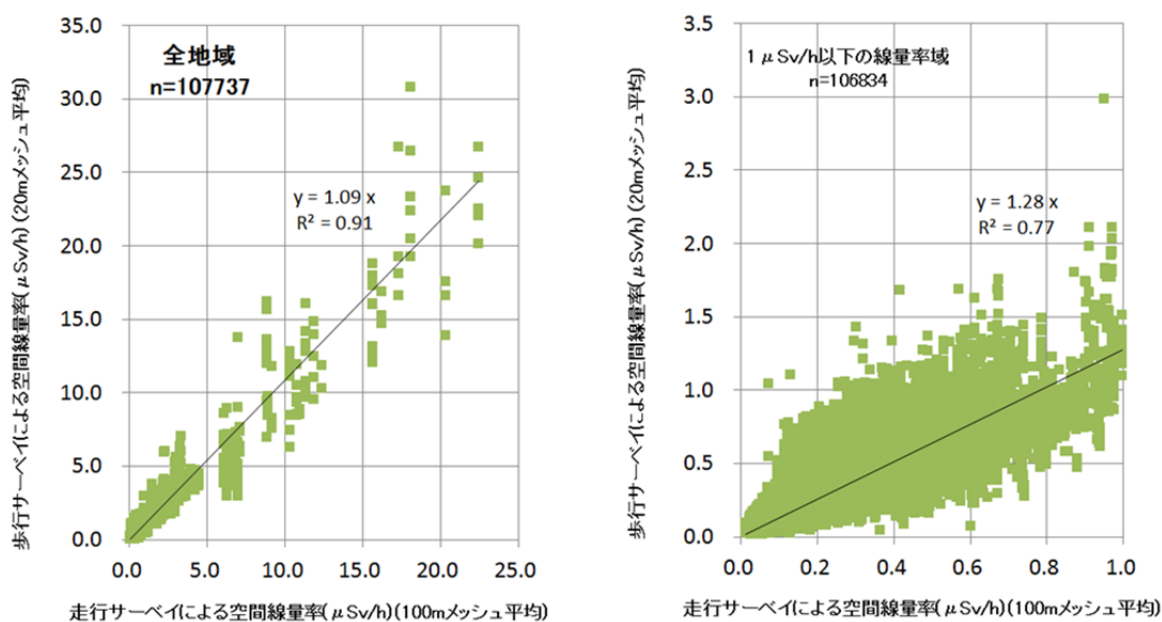
比較の方法		避難指示区域内		避難指示区域外	
		前期	後期	前期	後期
① 相関図 ・ 回帰直線	全線量率域	1.14	0.97	1.29	1.25
	1.0 $\mu\text{Sv/h}$ 以下	1.24	1.16	1.30	1.26
②測定値の比率（累積頻度 50%）		1.17	1.10	1.27	1.24
③平均値（積算値）		1.16	1.04	1.33	1.29

表-4 歩行サーベイ／平坦地上定点測定 of 比率

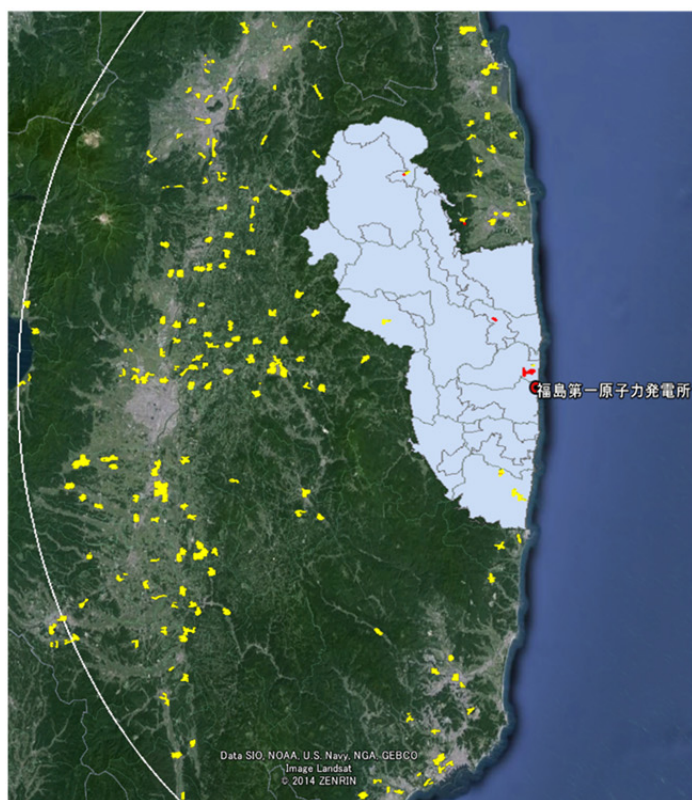
比較の方法		定点から 20 m 以内の歩行		定点から 100 m 以内の歩行		定点から 200 m 以内の歩行	
		前期	後期	前期	後期	前期	後期
①相関図 ・ 回帰直線	全線量率域	0.75	0.85	0.75	0.86	0.74	0.84
	1.0 $\mu\text{Sv/h}$ 以下	0.80	0.82	0.78	0.85	0.82	0.88
②平均値 (積算値)		0.79	0.87	0.83	0.94	0.87	0.97

空間線量率の積算値

歩行	走行	歩行/走行
28329	22220	1.27

図-1 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)

【前期調査】



【後期調査】

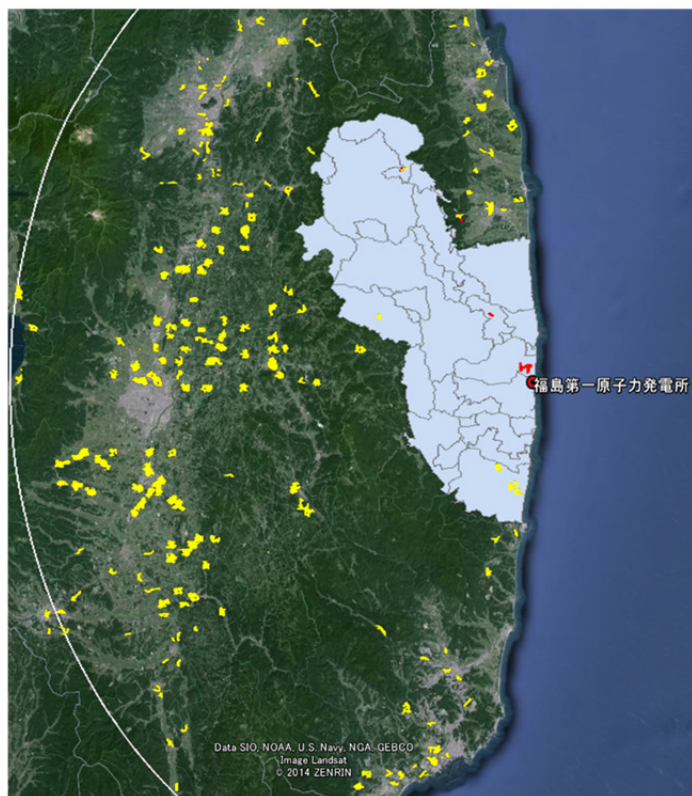


図-2 測定箇所及び空間線量率を記したマップ
(空間線量率が $1.0 \mu\text{Sv/h}$ 以上の測定箇所を赤で示す)

空間線量率の積算値

歩行	走行	歩行/走行
4452	4068	1.09

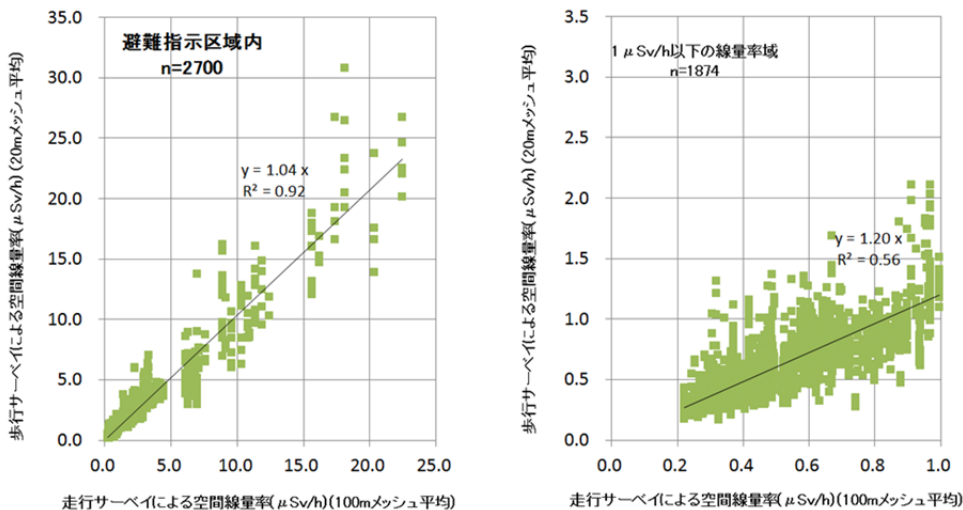


図-3 空間線量率測定結果の比較：歩行サーベイと走行サーベイ
(全期間・避難指示区域内)

空間線量率の積算値

歩行	走行	歩行/走行
29881	22833	1.31

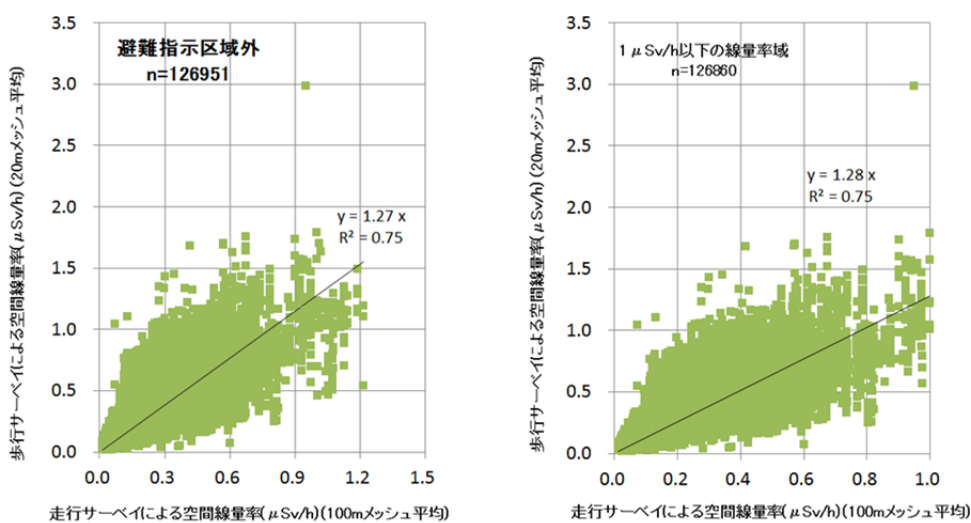
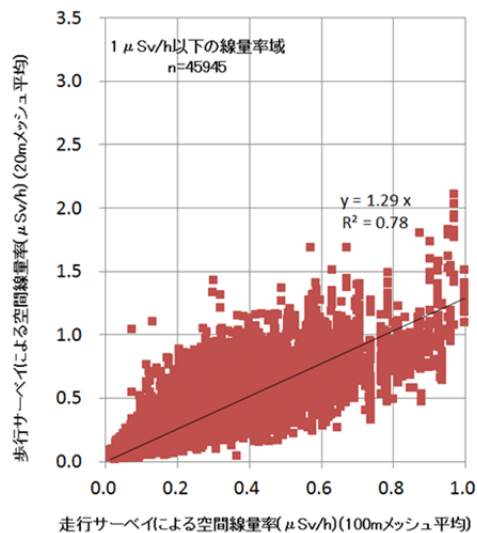
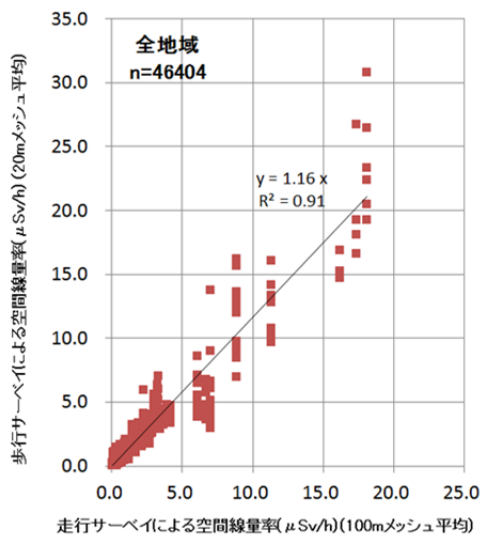


図-4 空間線量率測定結果の比較：歩行サーベイと走行サーベイ
(全期間・避難指示区域外)

【前期】

空間線量率の積算値

歩行	走行	歩行/走行
12817	9911	1.29



【後期】

空間線量率の積算値

歩行	走行	歩行/走行
11903	9632	1.24

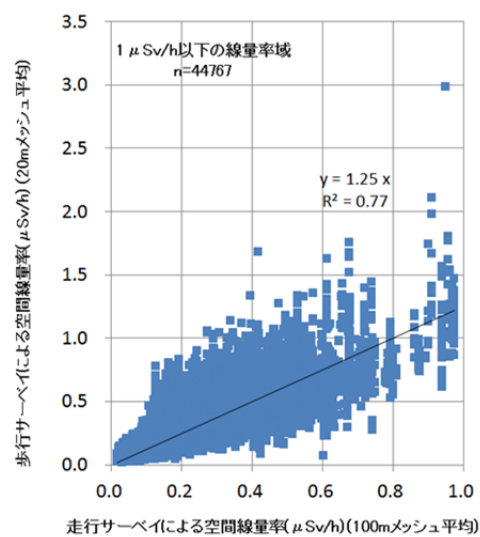
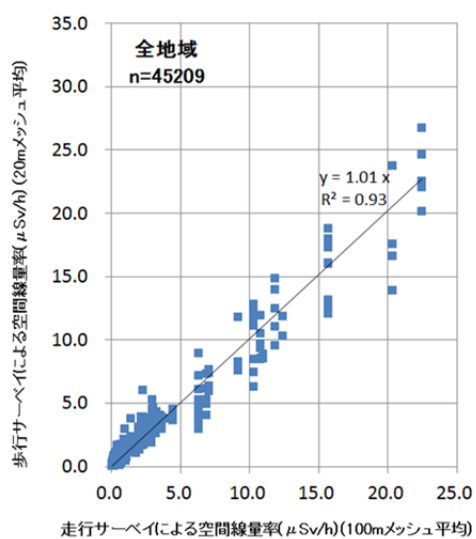
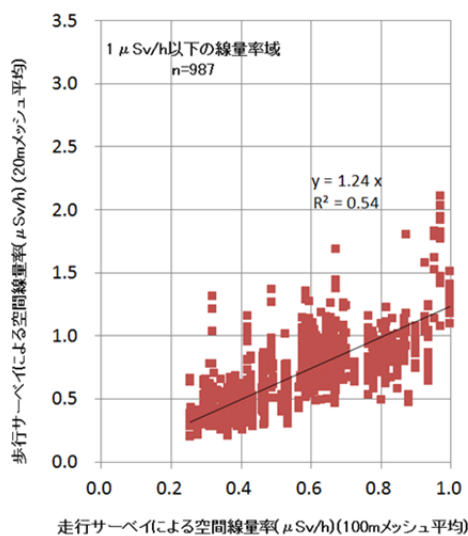
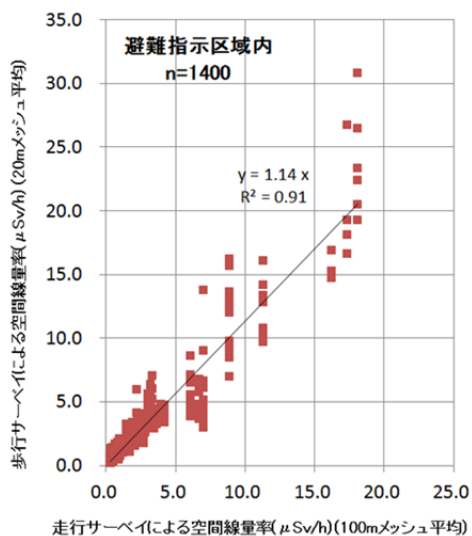


図-5 空間線量率測定結果の比較：歩行サーベイと走行サーベイ
(経時変化・全地域)

【前期】

空間線量率の積算値

歩行	走行	歩行/走行
2300	1983	1.16



【後期】

空間線量率の積算値

歩行	走行	歩行/走行
2053	1957	1.04

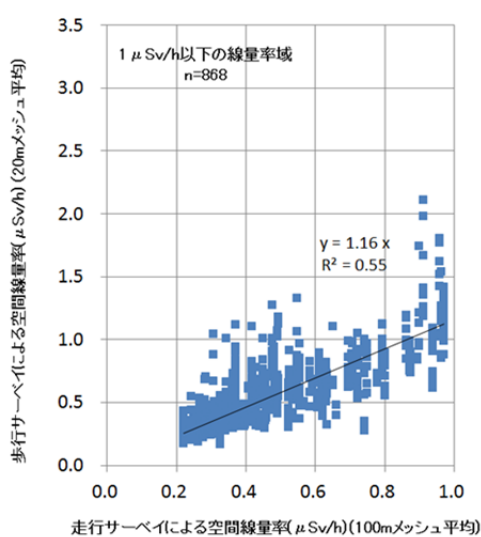
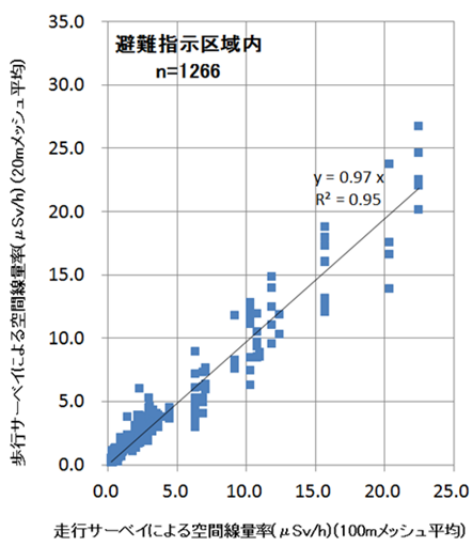
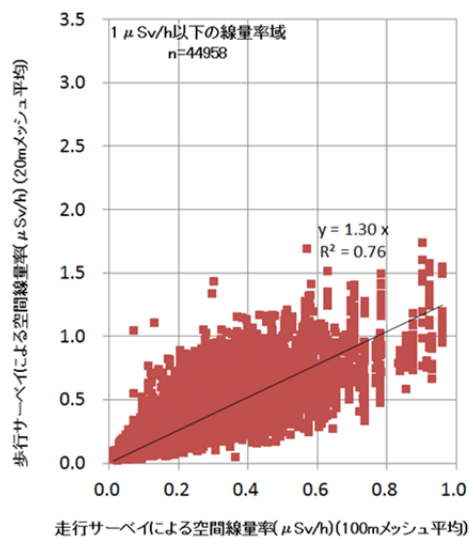
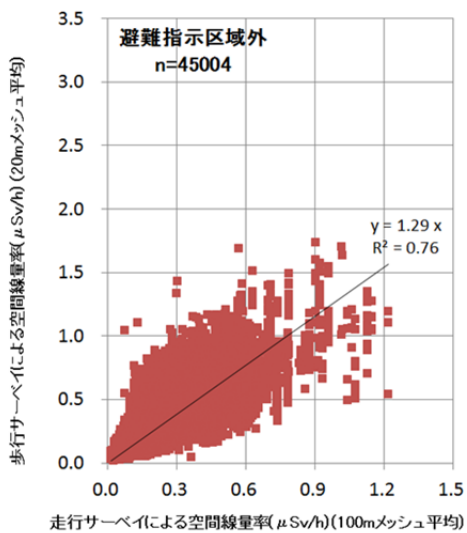


図-6 空間線量率測定結果の比較：歩行サーベイと走行サーベイ
(経時変化・避難指示区域内)

【前期】

空間線量率の積算値

歩行	走行	歩行/走行
10518	7928	1.33



【後期】

空間線量率の積算値

歩行	走行	歩行/走行
9868	7675	1.29

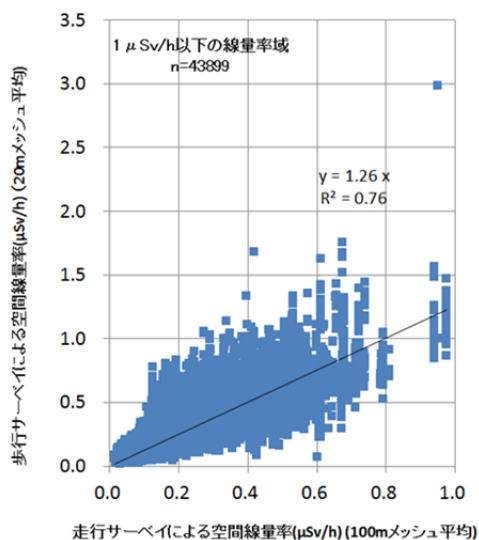
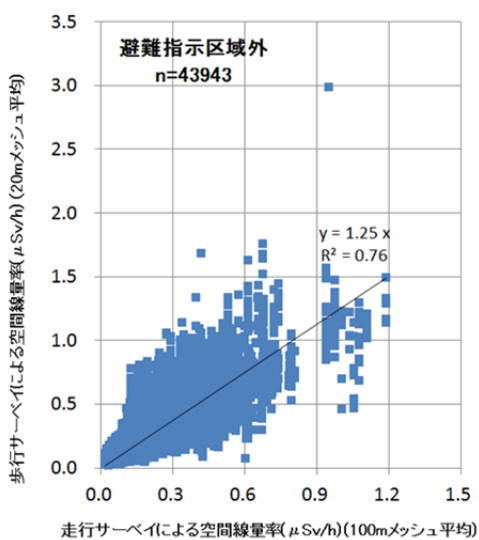
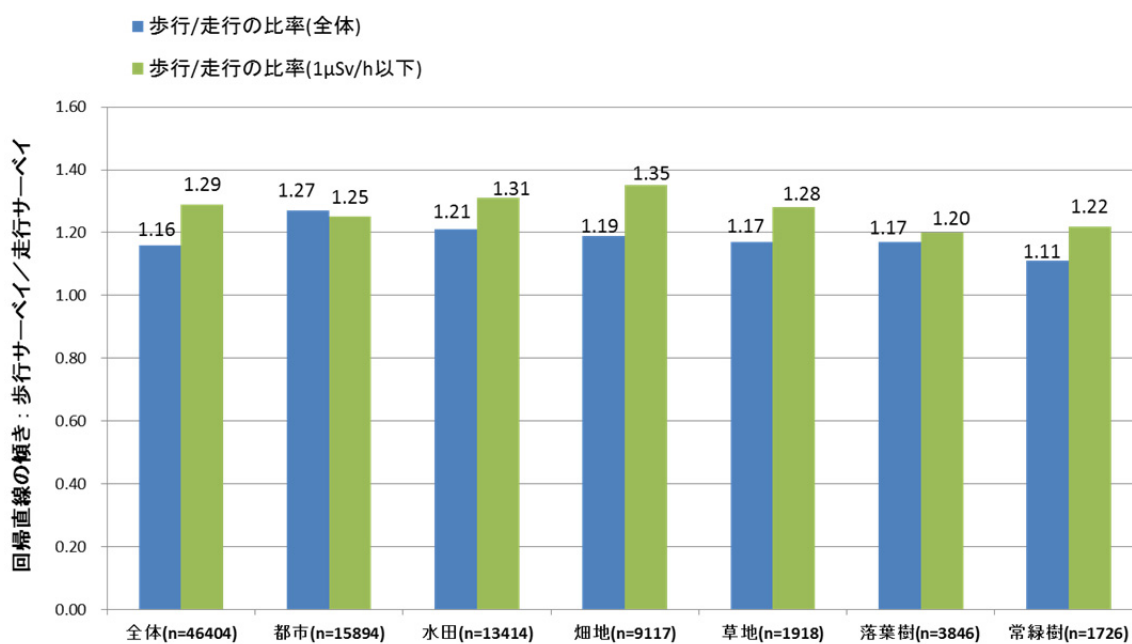
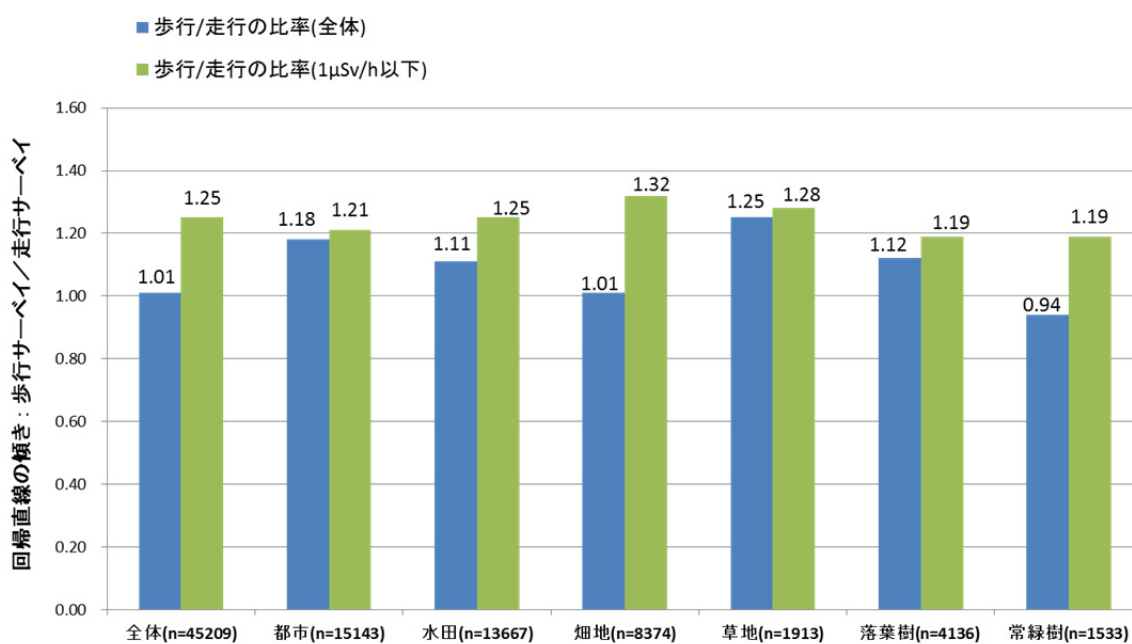


図-7 空間線量率測定結果の比較：歩行サーベイと走行サーベイ
(経時変化・避難指示区域外)



(前期調査)



(後期調査)

図-8 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）

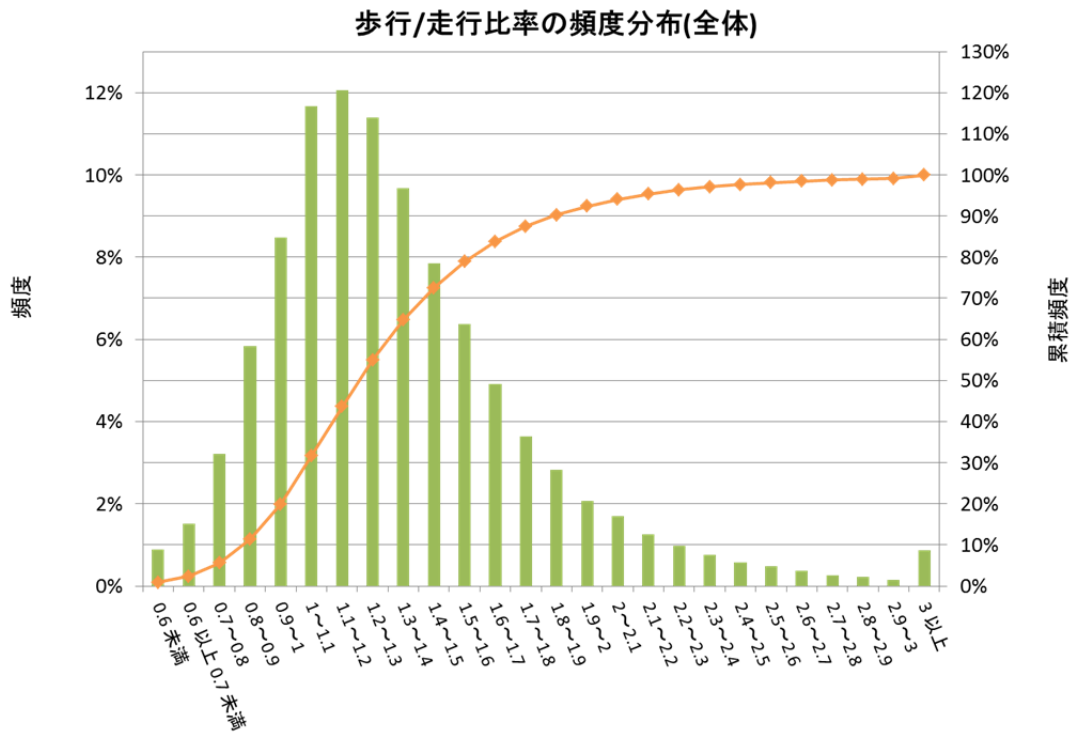
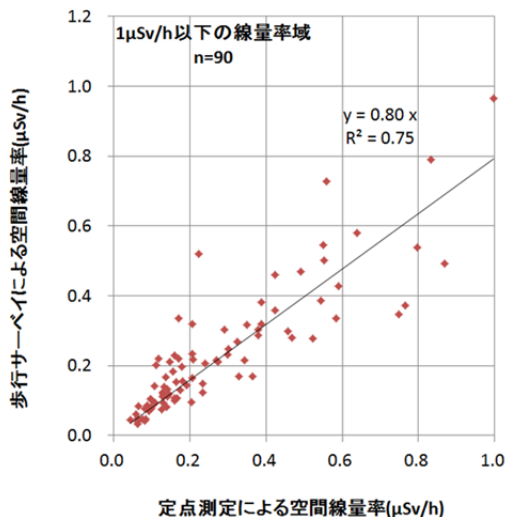
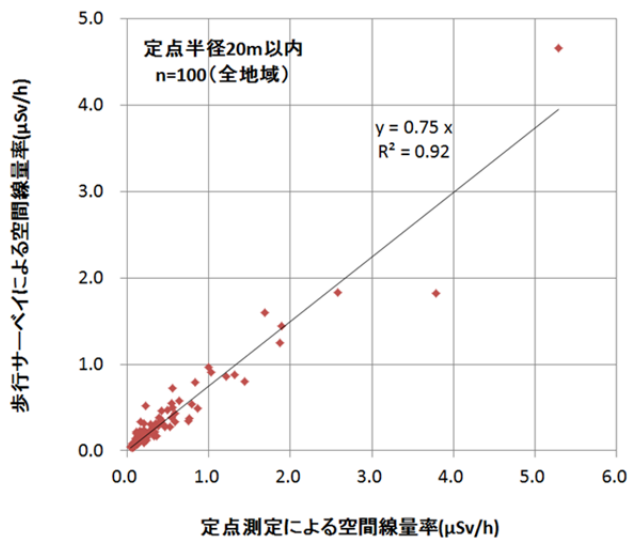


図-9 空間線量率測定値の比率（歩行サーベイ／走行サーベイ）の頻度分布

【前期】

空間線量率の積算値

歩行	定点	歩行/定点
36.5	46.4	0.79



【後期】

空間線量率の積算値

歩行	定点	歩行/定点
35.1	40.6	0.87

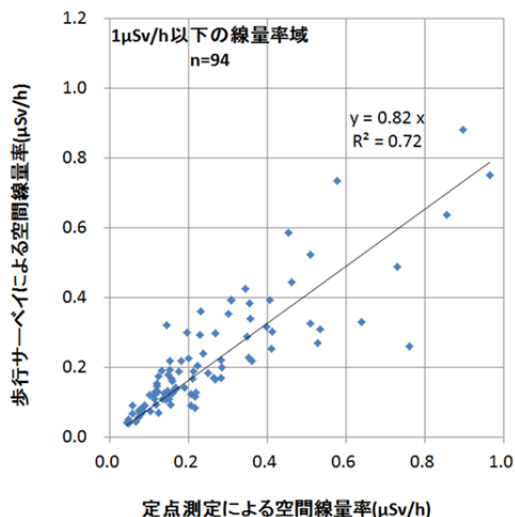
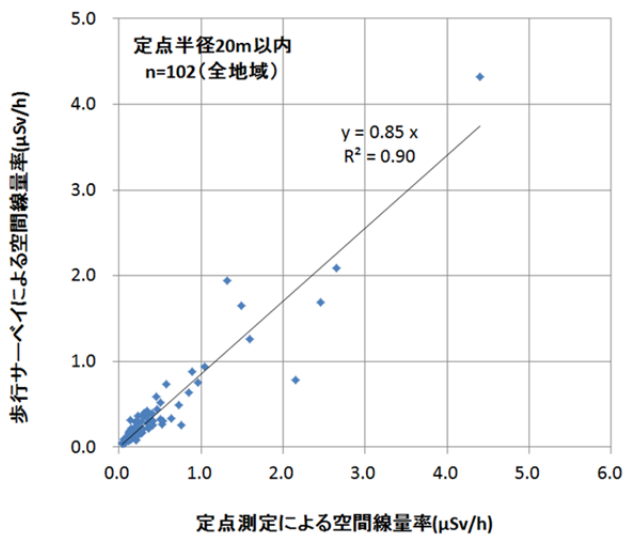
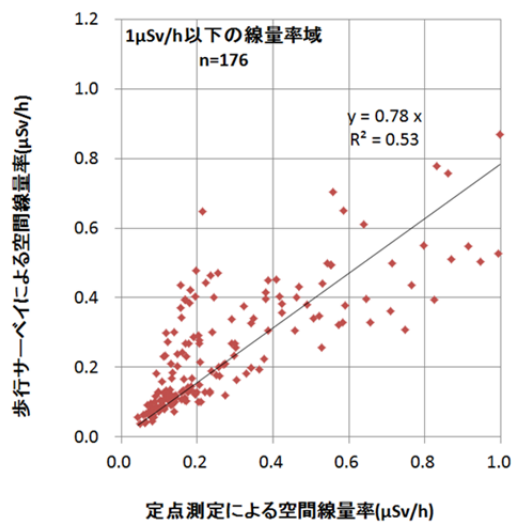
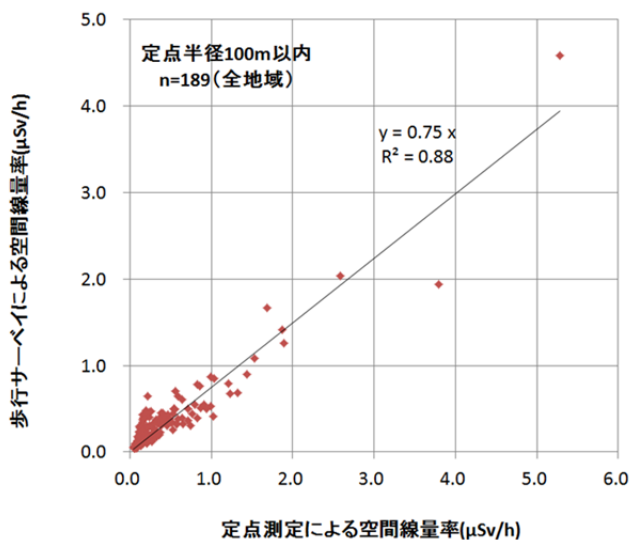


図-10 空間線量率測定結果の比較：歩行サーベイと定点測定
(経時変化・定点測定から半径 20 m 以内)

【前期】

空間線量率の積算値

歩行	定点	歩行/定点
60.6	72.7	0.83



【後期】

空間線量率の積算値

歩行	定点	歩行/定点
58.4	62.5	0.94

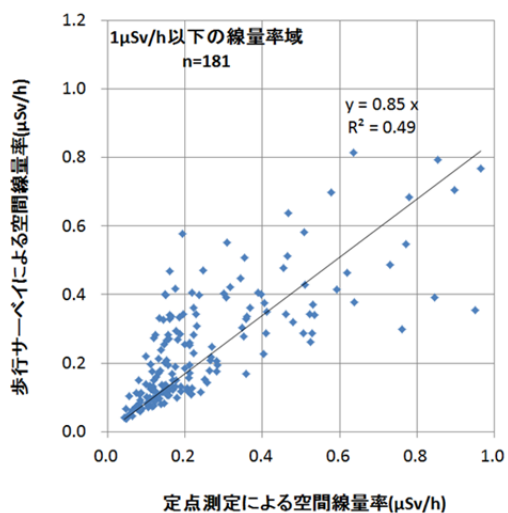
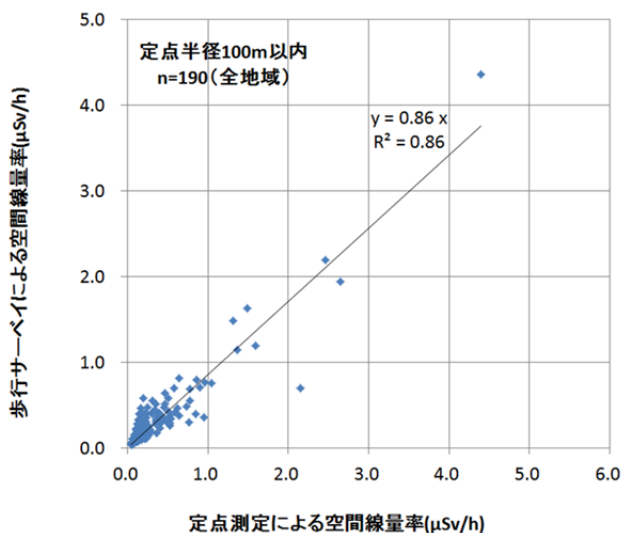
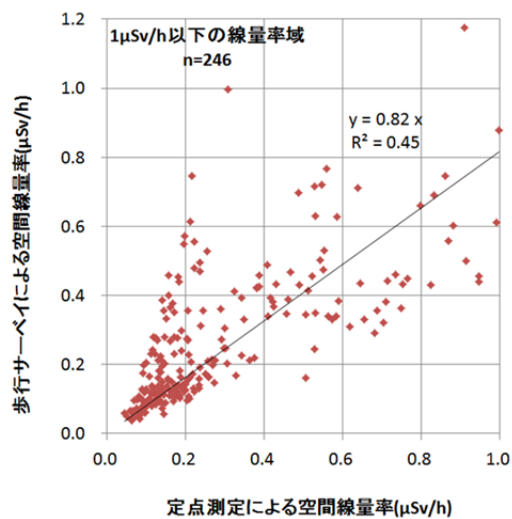
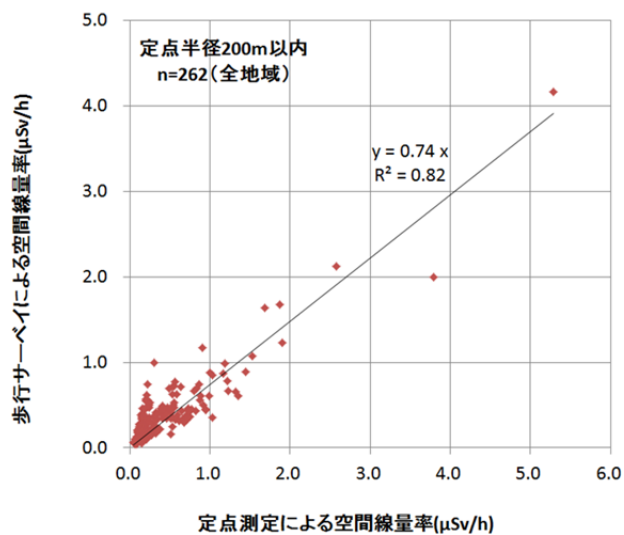


図-11 空間線量率測定結果の比較：歩行サーベイと定点測定
(経時変化・定点測定から半径 100 m 以内)

【前期】

空間線量率の積算値

歩行	定点	歩行/定点
83.2	96.1	0.87



【後期】

空間線量率の積算値

歩行	定点	歩行/定点
77.8	80.2	0.97

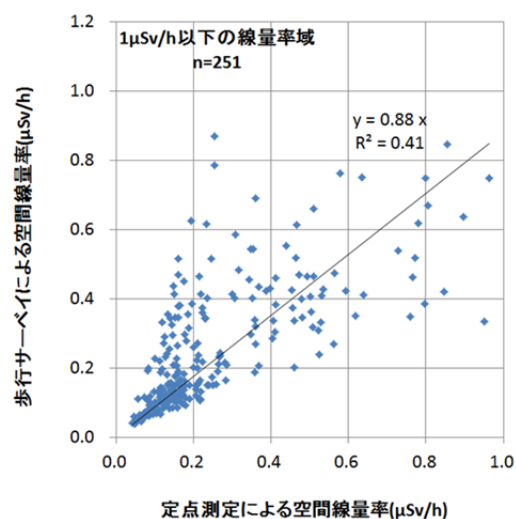
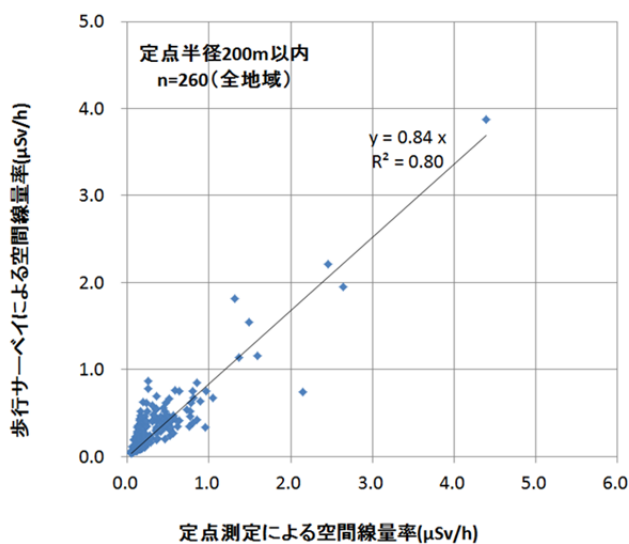


図-12 空間線量率測定結果の比較：歩行サーベイと定点測定
(経時変化・定点測定から半径 200 m 以内)