

## 東京電力福島第一原子力発電所から 80 km 圏内の 空間線量率の変化傾向

### 1. 背景

本事業では、空間線量率の測定に3つの手法を使用している。

- 1) サーベイメータによる空間線量率測定（定点サーベイ）
- 2) KURAMA-II を搭載した車両による空間線量率測定（走行サーベイ）
- 3) KURAMA-II を用いた人手による空間線量率測定（歩行サーベイ）

本事業で測定されてきたそれぞれの手法による過去の測定結果は、手法毎に空間線量率の変化傾向に関し有用な知見を提供してきたものの、測定手法間の変化傾向の差について詳細な議論はされていなかった。ここでは、異なる手法で取得した測定結果の変化傾向を統一的に解析することによって、東京電力福島第一原子力発電所（以下、発電所）から 80 km 圏内における空間線量率の変化傾向の特徴及び空間線量率の減衰定数について考察する。

### 2. 評価手法

#### (1) 対象データ

2011 年から実施している定点サーベイ、走行サーベイ及び 2013 年から開始した歩行サーベイを対象とする。2012 年以降、定点サーベイは 1km メッシュごとに決定した 1 点の測定場所を継続的に測定している。走行サーベイ及び歩行サーベイは、年度ごとに若干測定場所が異なるため、1 km メッシュごとに測定結果を平均し比較した。図-1 に各測定地点のイメージについて示す。なお、各測定手法の詳細については、走行サーベイについては 1.1 章、歩行サーベイについては 1.2 章、定点サーベイについては 1.3 章に詳しい。

#### (2) 各測定手法の変化傾向の評価方法

メッシュごとにまとめた測定結果は、同地点における最も古い測定結果との比を計算し、全メッシュの平均値及び標準偏差を求めた。測定結果はなるべく放射性セシウムによる空間線量率の変化のみを評価できるように、平均的な天然の放射線核種からの線量率として  $0.05 \mu\text{Sv/h}$  を差し引いた後、比の分母となる測定データ（最も古いデータ）が  $0.2 \mu\text{Sv/h}$  以上となる数値のみを採用した。

図-2 に定点サーベイ結果を例に、1 次モニタリングと各次モニタリングの比のヒストグラムを示す。なお、ヒストグラムの広がりから各モニタリング結果のばらつきが評価可能となる。

#### (3) 測定手法間の相互比較方法と減衰定数

各測定手法間の相互比較を可能とするためには基準を決める必要がある。基準には、事故直後からデータを取得しており、各メッシュの平均的な測定場所（人為的なく乱の少ない平坦地（土壌上））が選定されている定点サーベイの 1 次モニタリングのデータを使用することとした。異なった測定手法間の相互比較においても、天然の放射性核種による線量率の大小の影響をなるべく小さくするため、定点サーベイの 1 次モニタリングのデータが  $0.2 \mu\text{Sv/h}$  以上の測定場所のみを選定した。なお、走行サーベイの 1 次モニタリングの結果については事故直後の混乱期に KURAMA-I と呼ばれるサーベイメータに GPS を組み合わせた簡便なシステムが用いられた。2 次モニタリング以降は、専用の KURAMA-II が開発され、車両の遮蔽や線量率やエネルギーの依存性が実験的に調査され、調査結果から複数の補正係数により KURAMA-I と比較すると高精度化されている。特に、KURAMA-I は  $1 \mu\text{Sv/h}$  未満の線量率で

は天然の放射線の影響を受けて、KURAMA-II と比較すると数値の信頼性が低くなる<sup>1</sup>。そこで、走行サーベイの 1 次モニタリングのデータについては、1.0  $\mu\text{Sv/h}$  以上のデータのみで評価を行った。

上記のように計算した 1 次モニタリングの定点サーベイ結果を分母とした各測定手法の測定結果の比を事故からの経過年数を X 軸としてプロットした。プロットされたデータを元に指数関数近似を行い、近似式の傾きを減衰定数 ( $\lambda^{-1}$ ) として定義した。また、減衰定数の逆数は時定数 ( $\tau$ ) として定義できる。ここでの時定数は、線量率が  $1/e$  となる年数と定義できる。

### 3. 結果と考察

#### (1) 各測定手法の変化傾向

定点サーベイ、走行サーベイ及び歩行サーベイの時間変化傾向について、図-3、図-4 及び図-5 に示す。図には、各測定メッシュの最も古いモニタリングとの比の平均値について測定日時を X 軸にとりプロットし誤差棒として比の標準偏差を記載した。また、図には比較のため放射性セシウムの物理的半減期から計算した空間線量率について示した。赤線が重量緩衝深度  $\beta$  を一定とした計算値（図のキャプションには放射性セシウムの物理減衰（ $\beta$  を一定と仮定）と表記）で、青線が 2.2 章に示したスクレーパプレートによる土壌の深度分布調査から得られている平均的な重量緩衝深度の変化を考慮した線量率の計算値（図のキャプションには放射性セシウムの物理減衰（ $\beta$  の変化を考慮）と表記）である。

図-3 に示した定点サーベイの変化傾向を見ると、平成 24 年 8 月に行ったモニタリング以降、平均的な重量緩衝深度の変化を考慮した線量率の計算値よりも小さな数値となっている。これは、第 1 次モニタリング時と比較して測定点の変化がなかった場所は 1382 地点中 956 地点であったことから、1 次モニタリングのために選定した測定場所の中で、除染や建物の建設のための変化により空間線量率が顕著に減少したと考えられる。

図-4 に示した走行サーベイの結果からは、図-3 の定点サーベイの結果と比較して顕著に変化が大きいことが確認できる。これは、走行サーベイの測定対象が主要な車道上であり、降雨や車両の往来により舗装道路上に沈着した放射性セシウムが洗い流された効果と考えることができる。

図-5 に示した歩行サーベイでは、第 5 回のモニタリング結果以降、重量緩衝深度の変化を考慮した空間線量率よりも若干低い数値を示している。歩行サーベイは走行サーベイで対象とした主要な車道よりも交通量の少ない生活道路を対象としており、降雨や車両の往来により道路上に沈着した放射性セシウムが洗い流された効果と考えることができる。走行サーベイとの差は、道路上で洗い流された放射性セシウムが蓄積しやすい道路端付近を歩行（測定）していること及び道路端を歩くため道路以外の周辺環境からの放射線の影響を受けやすいことや交通量の違いが影響していると考えられる。

#### (2) 測定手法間の相互比較と減衰定数

図-3 から図-5 に示した変化傾向を合わせて考察するために定点サーベイの 1 次モニタリングの結果を 1 に規格化し、すべての結果を同じグラフ上にプロットした結果を図-6 に示す。定点サーベイの結果に対し、歩行及び走行は線量率が小さくなる傾向にある。また、歩行サーベイは走行サーベイと比べて若干高い傾向にある。この結果は、前章で考察した結果とも矛盾していない。

これらの測定結果を指数関数で近似し、その傾きから減衰定数と時定数の算出を試みた結

<sup>1</sup> 津田修一ら、走行サーベイシステム KURAMA-II を用いた測定の基盤整備と実測への適用, JAEA-technology 2013-037, 2013.

果を図-7 に示す。定点サーベイと走行サーベイについては、事故から 2 年後以前と以後で明らかに傾向が異なるため、それぞれ指数関数による近似を行った。歩行サーベイについては全期間で実施した。このようにそれぞれ指数関数により精度よく近似される。これらの近似曲線から求めた減衰定数及び時定数を表 1 に示す。事故後 2 年以前における定点サーベイと走行サーベイの時定数は 2.4 年及び 1.4 年となった、これは、走行サーベイの測定対象である車道上の空間線量率の減少が周辺環境に比べて早いことを示している。事故後 2 年後以後の定点サーベイと走行サーベイの時定数は、4.2 年及び 3.8 年であり、現在でも車道上の早い空間線量率の減少は続いているが、差が小さくなってきていることから、走行サーベイによる空間線量率は道路上よりも周辺からの放射線の影響の寄与割合が大きくなってきていることが推察される。歩行サーベイの結果をみると、定点サーベイと車両サーベイの間にプロットされる。これは、歩行サーベイの主な測定場所が生活道路上であり、車道ほどではないが周辺環境と比較すると空間線量率が早く減少していることが示唆される。歩行サーベイの時定数を見ると走行サーベイとほぼ等価となっており、事故 2 年後以降の車道と生活道路の空間線量率の減少率は道路上の放射性セシウムからの影響よりは周辺からの影響が大きくなってきていることが示唆される。今回、異なった測定手法の相互評価を行うことにより、より詳細な空間線量率の変化傾向の特徴について考察することができた。今後とも本手法を用いて空間線量率を相互比較の上変化傾向を確認していくことが望ましい。

#### 4. まとめ

- 各モニタリング結果の空間線量率の経時変化傾向について相互比較を行った。
- 定点サーベイ、歩行サーベイ、走行サーベイの結果の順に空間線量率の減少率は高くなっている。
- 各変化傾向から、それぞれの減衰定数を求めたところ、事故後 2 年以前の車両サーベイによる測定結果は定点サーベイ比較して減少割合が大きく、車道上の放射性セシウムの洗い流しの効果が示唆される。
- 近年の傾向見ると時定数は各サーベイで同等になってきており、道路上の洗い流しによる効果は小さくなってきていると考えられる。

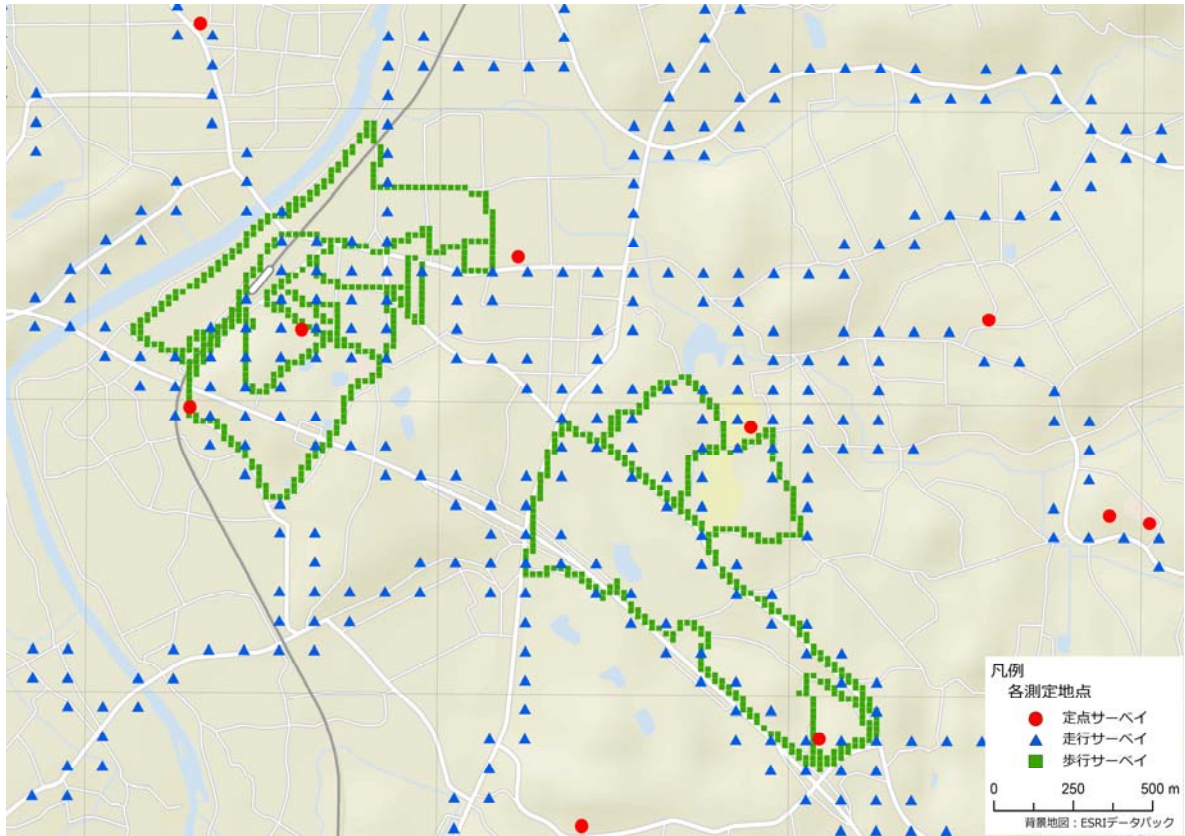


図-1 各測定場所のイメージ

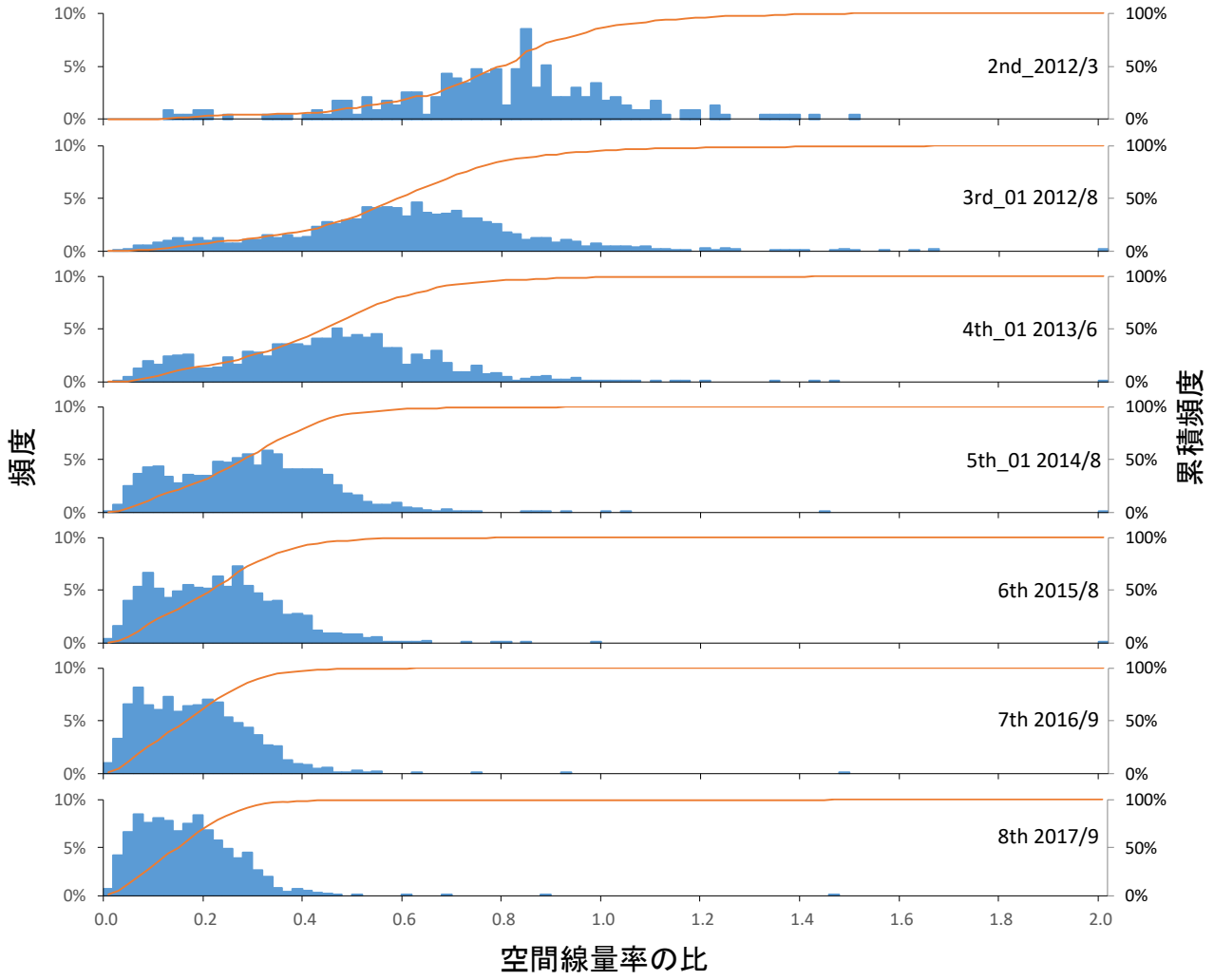


図-2 空間線量率の比のヒストグラム  
 (定点サーベイ結果における1次モニタリングとの比)

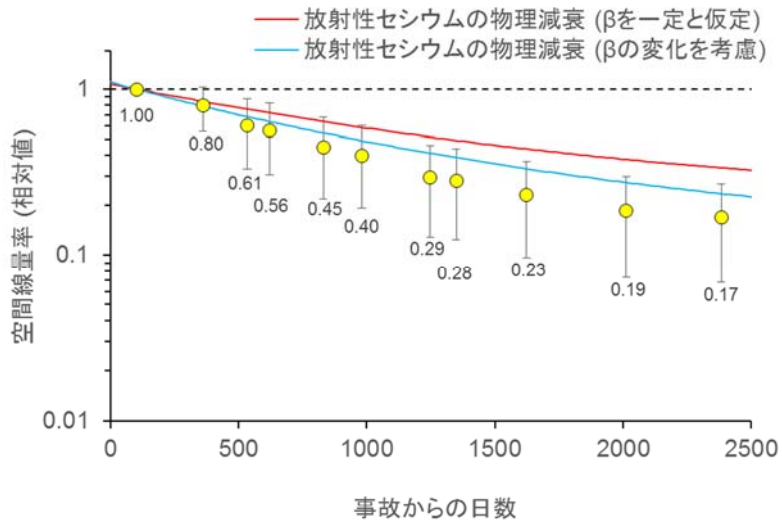


図-3 定点サーベイ結果の変化傾向

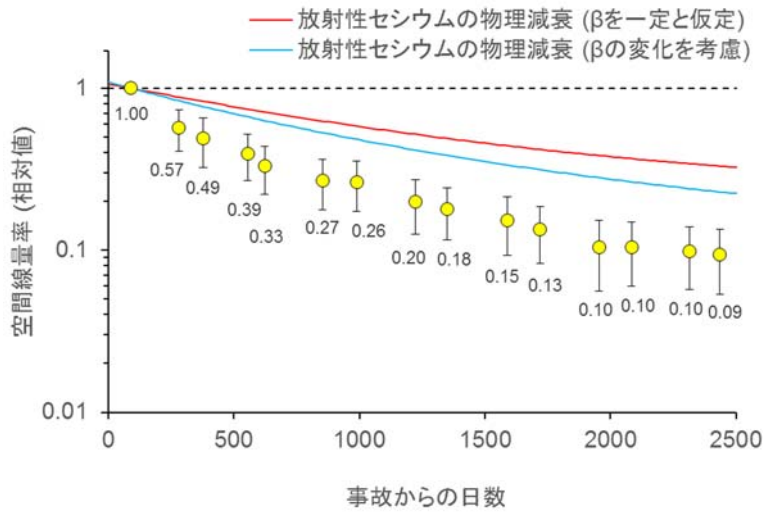


図-4 走行サーベイ結果の変化傾向

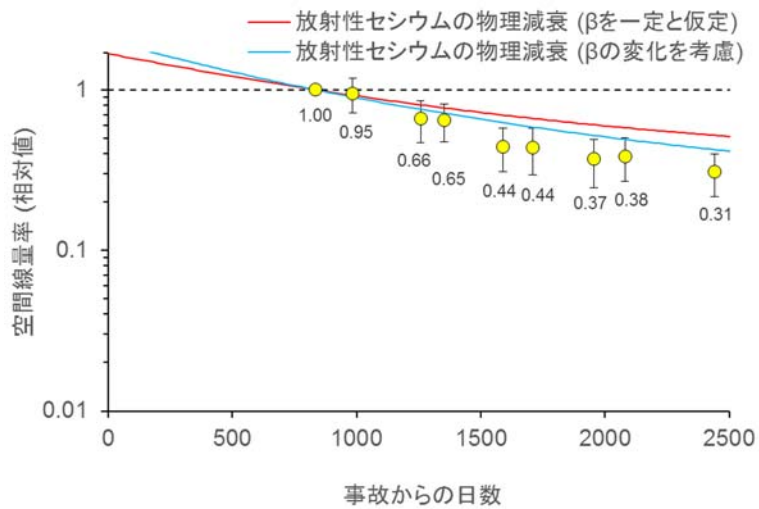


図-5 歩行サーベイ結果の変化傾向

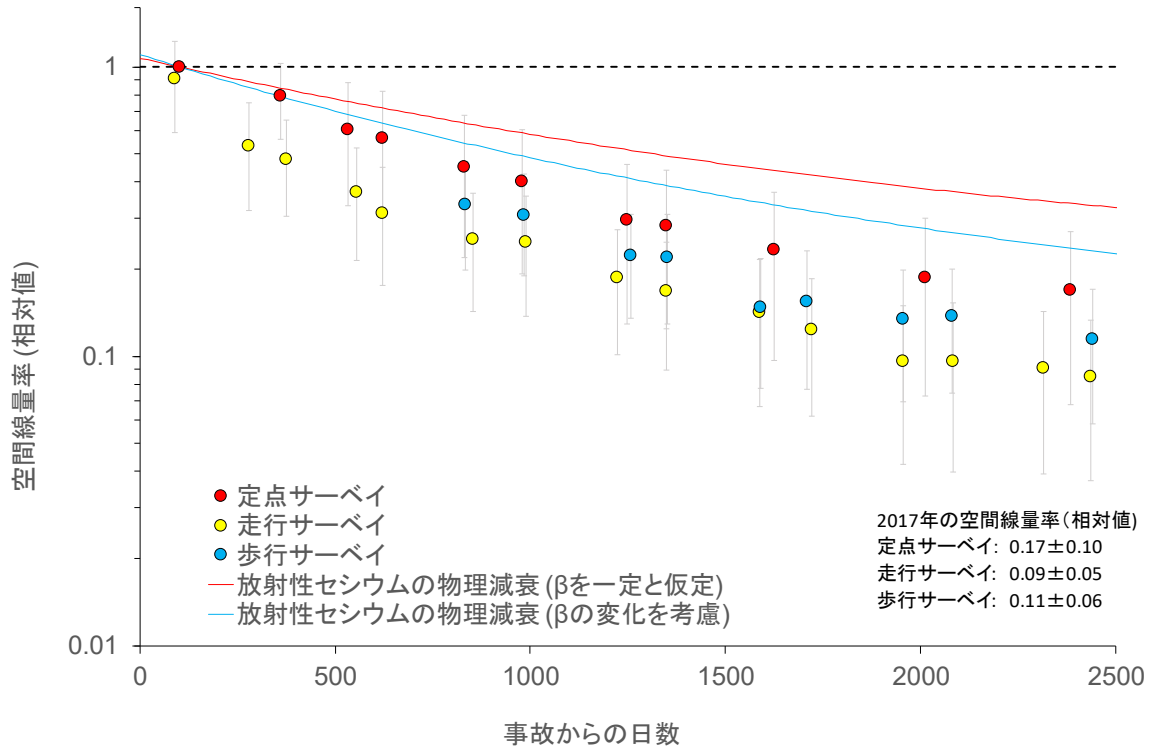


図-6 各モニタリングの時間変化の相互比較

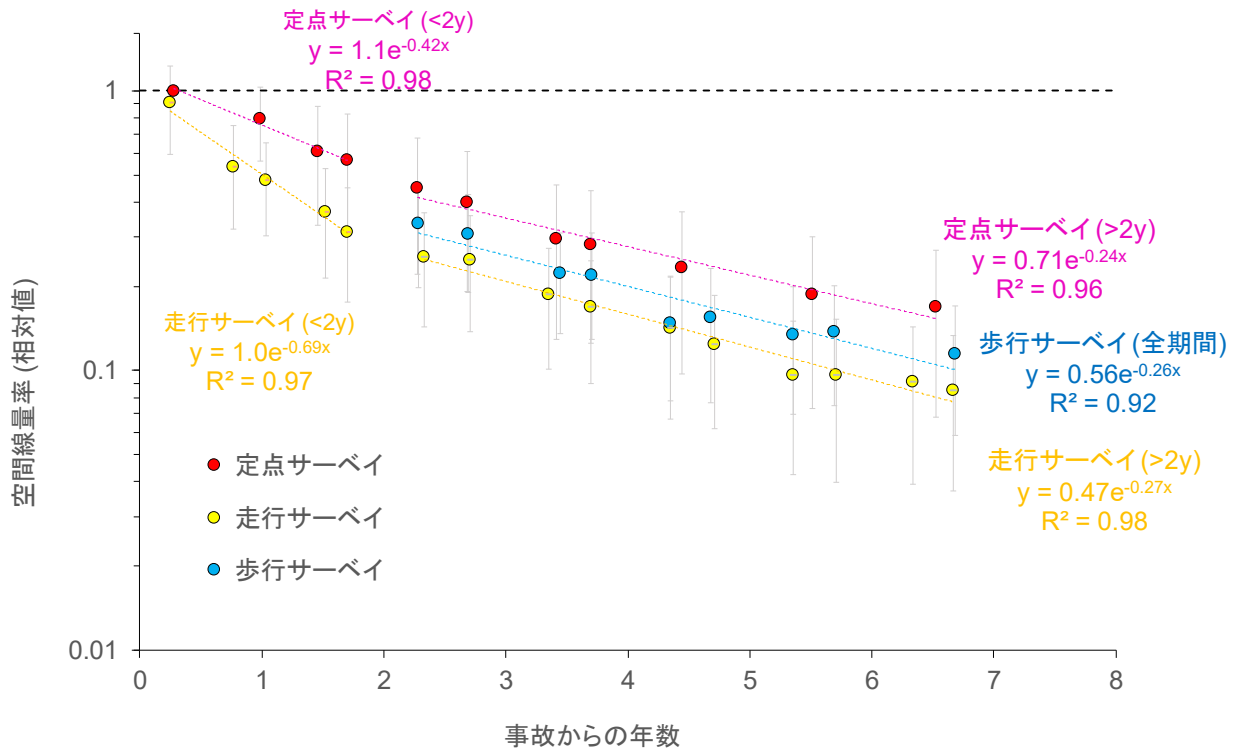


図-7 各モニタリング結果の変化傾向と指数近似曲線

表-1 各モニタリング結果から算出した減衰定数及び時定数

事故からの 経過年数	測定的手法	減衰定数 ( $y^{-1}$ )	時定数 (y)*
0-2 年	定点サーベイ	0.42	2.4
	走行サーベイ	0.69	1.4
2-7 年	定点サーベイ	0.24	4.2
	歩行サーベイ	0.26	3.8
	走行サーベイ	0.27	3.7

\*  $1/e$  (ネイピア数)となる時間