

5. 空間線量率及び放射性セシウム土壌沈着量の実効半減期の評価

5.1 目的

事故から 10 年が経過し、事故直後から実施してきた分布状況調査の測定データから環境中の空間線量率は放射性セシウムの物理的減衰よりも速いペースで減少してきていることが分かっている。そこで、空間線量率や放射性セシウム土壌沈着量の減少速度すなわち実効半減期を評価した。実効半減期 T_{eff} は以下の式 (9) で表される。

$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_{Cs}} + \frac{1}{T_{eco}} \quad (9)$$

ここで、 T_{Cs} は放射性セシウムの壊変による半減期及び T_{eco} は環境半減期である。環境半減期は、天候等の環境要因による減少率として定義される。

環境中における放射性物質の変化は、核実験場での継続的なモニタリングやチェルノービリ原子力発電所事故のモニタリングから、多項の指数関数で近似できることが知られている。ここでは、これまでの測定データの変化傾向を定量的に把握するため、測定データの指数関数近似について検討した。その結果として求められる実効半減期は、測定データ間の数値の推定や将来の空間線量率の推定に重要なパラメータとなる。

5.2 測定結果の変化傾向

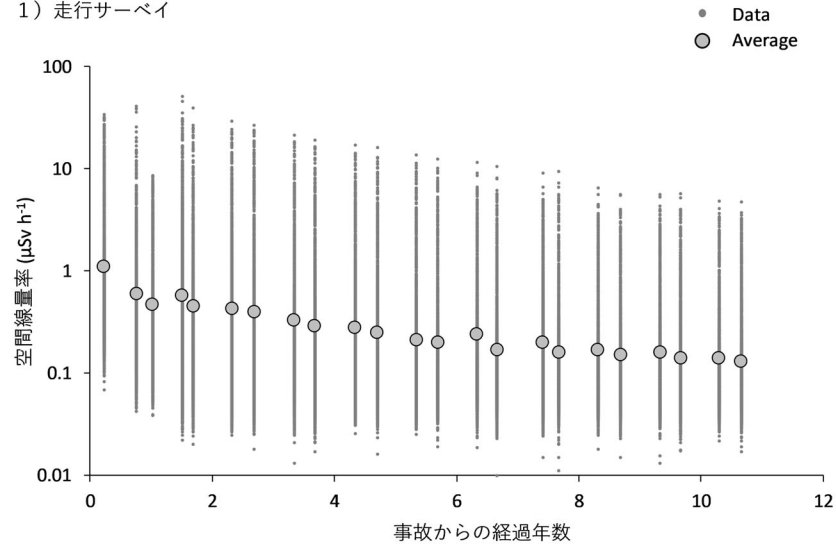
平成 23 年度から令和 3 年度までを対象に、走行サーベイ、定点サーベイ、歩行サーベイ及び無人ヘリサーベイで得られた空間線量率について図 5-1 に、可搬型 Ge 検出器を用いた in-situ 測定による土壌中放射性セシウム沈着量について図 5-2 にそれぞれ示す。各データは、80 km 圏内を政府の推奨する基準地域メッシュ（全 10,168 メッシュ）で分割し測定値があるメッシュについて各々のメッシュ内の線量率（又は沈着量）（●シンボル；各測定回で多数存在）と、各サーベイ手法において全メッシュ内の数値を測定回ごとに算術平均した数値（○シンボル；各測定回の一つ）をプロットした。

走行サーベイは、第 1 回から 4,000 メッシュ以上の場所について測定が行われている。他の測定と比較すると網羅的に 80 km 圏内の地域を測定している。しかしながら、走行ルートについては、避難指示区域の解除等の理由から毎回異なること、測定対象が舗装された車道上であることに注意が必要である。定点サーベイは、住宅地内にある公共施設など開けた舗装されていない平坦地及び空間線量率が狭い範囲で急激に変化しない場所を選定しているため、他の測定結果と比較して、エリアを代表する数値として使用しやすい。ただし、第 1 回及び第 2 回において、迅速な汚染範囲の調査を目的としたため、測定点数が他の測定に比べて極端に少ない。歩行サーベイについては、定点サーベイで選定された測定点の周辺車道や歩道を測定対象としており、第 3 回以降では一定の場所での測定データが得られている。可搬型 Ge 検出器を用いた in-situ 測定については一定程度開けた舗装されていない平坦地を測定場所とし、ガンマ線スペクトルを利用しバックグラウンドの影響なしに測定でき、直接的に放射性セシウムの半減期との比較が可能である。一方、測定時間がかかるため測定点数は多くない。なお、図 5-2 の 1) 及び 2) のグラフには無人ヘリサーベイの校正のために地上で行った可搬型 Ge 検出器を用い

た in-situ 測定の数値も含まれている。特に第 4 回のデータには沈着量の大きな福島第一原発から 5 km 圏内の 15 箇所で取得したデータが含まれているため平均値が上昇している。

このように過去の地上で得られたデータは、空間線量率や放射性物質の沈着状況を面的に把握することを目的としていた。さらに測定法の特徴を整理すると、定点サーベイでは測定点における線量率、歩行サーベイでは歩行経路に沿った線量率、走行サーベイでは道路上の線量率と、それぞれの測定手法に応じて限定的な条件下での線量率情報が得られる。このため、沈着量分布の全体像及びその減衰傾向を考察するにあたっては面的及び時間的に不連続なデータの取り扱いが課題となる。また、近年では、放射性セシウムによる空間線量率が減少し、天然放射性核種によるバックグラウンドの空間線量率が無視できない状況となっている。よって、それぞれの課題を解決し、現状の放射線分布の変化量について定量的に表すには、バックグラウンド減算及びデータの測定場所等の条件をそろえ、かつデータ点数を考慮する必要がある。これらを考慮し、次節以降において最適なデータセットの検討及び実効半減期の算出を試みた。

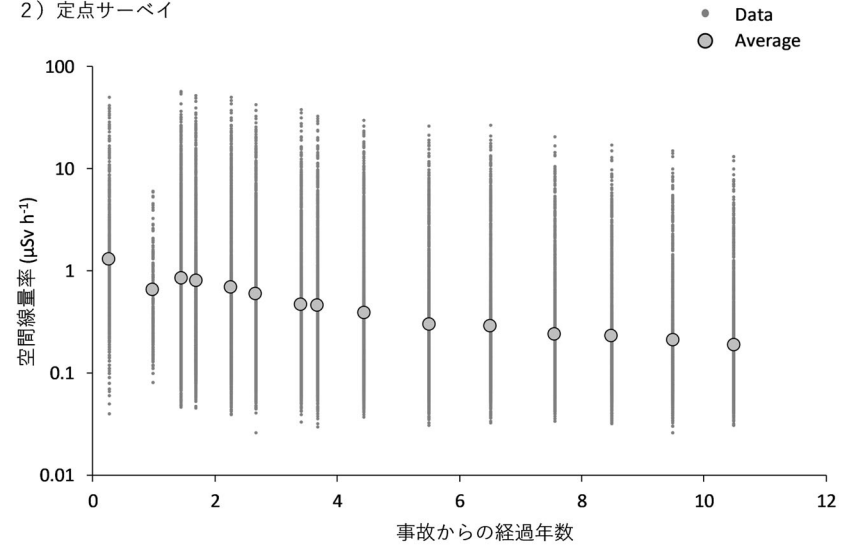
1) 走行サーベイ



測定回	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	第9回	第10回	第11回	第12回	第13回
事故からの経過年数(年)	0.23	0.76	1.02	1.51	1.69	2.32	2.69	3.34	3.68	4.34	4.70	5.34	5.69
平均空間線量率(μSv h ⁻¹)	1.1	0.60	0.47	0.58	0.45	0.43	0.40	0.33	0.29	0.28	0.25	0.21	0.20
標準偏差	2.6	1.8	0.87	2.0	1.5	1.5	1.4	1.1	0.95	0.89	0.77	0.66	0.61
測定エリア数	4536	3518	2908	6149	4994	6160	5746	5312	5496	5156	5224	5481	5100
初回からの平均値の割合	100	55	43	53	41	39	36	30	26	25	23	19	18

測定回	第14回	第15回	第16回	第17回	第18回	第19回	第20回	第21回	第22回	第23回
事故からの経過年数(年)	6.33	6.66	7.41	7.67	8.31	8.68	9.33	9.67	10.3	10.7
平均空間線量率(μSv h ⁻¹)	0.24	0.17	0.20	0.16	0.17	0.15	0.16	0.14	0.14	0.13
標準偏差	0.61	0.45	0.46	0.40	0.39	0.31	0.37	0.29	0.31	0.26
測定エリア数	4044	5510	3874	5204	3883	4966	3943	4990	3955	4904
初回からの平均値の割合	22	15	18	15	15	14	15	13	13	12

2) 定点サーベイ

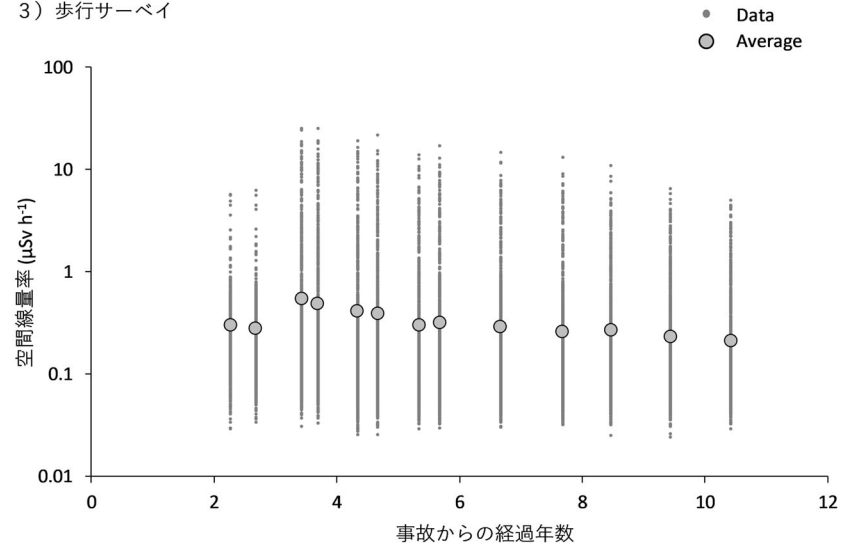


測定回	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	第9回	第10回	第11回	第12回	第13回
事故からの経過年数(年)	0.27	0.98	1.45	1.69	2.26	2.67	3.41	3.68	4.44	5.50	6.51	7.56	8.49
平均空間線量率(μSv h ⁻¹)	1.3	0.65	0.85	0.80	0.69	0.60	0.47	0.46	0.39	0.30	0.29	0.24	0.23
標準偏差	3.6	0.86	2.7	2.5	2.3	1.9	1.6	1.6	1.3	1.0	1.0	0.77	0.70
測定エリア数	1998	354	6419	6403	6406	6404	6422	6415	6424	6407	6414	6399	5024
初回からの平均値の割合	100	50	65	62	53	46	36	35	30	23	22	18	18

測定回	第14回	第15回
事故からの経過年数(年)	9.49	10.5
平均空間線量率(μSv h ⁻¹)	0.21	0.19
標準偏差	0.62	0.57
測定エリア数	5018	5013
初回からの平均値の割合	16	15

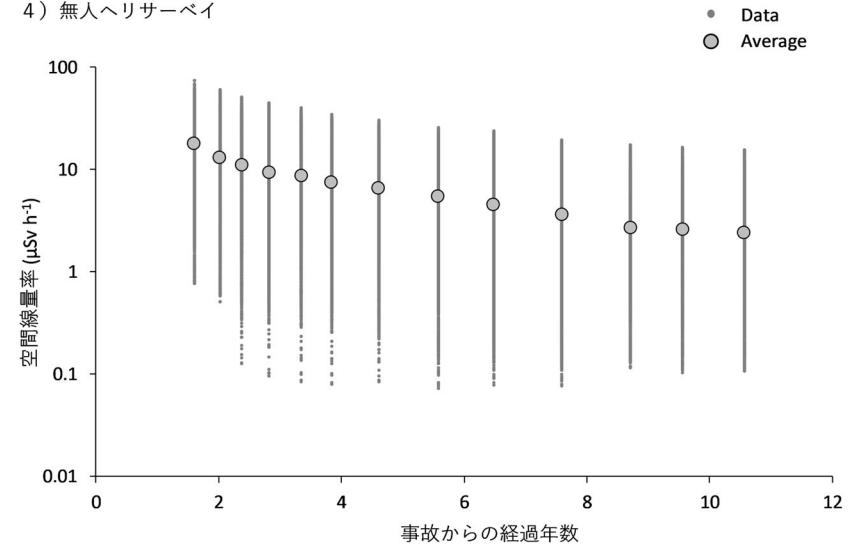
図 5-1 分布状況調査で得られた空間線量率の変化傾向 (1/2)
(天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

3) 歩行サーベイ



測定回	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	第9回	第10回	第11回	第12回	第13回
事故からの経過年数(年)	2.27	2.68	3.43	3.69	4.34	4.67	5.34	5.68	6.67	7.68	8.47	9.44	10.4
平均空間線量率(μSv h ⁻¹)	0.30	0.28	0.54	0.49	0.41	0.39	0.30	0.32	0.29	0.26	0.27	0.23	0.21
標準偏差	0.46	0.41	1.8	1.6	1.4	1.3	0.88	1.0	0.84	0.71	0.65	0.48	0.43
測定エリア数	739	878	1960	1977	1964	1946	2000	1976	2118	2117	1766	1729	1748
初回からの平均値の割合	100	93	180	163	137	130	100	107	97	87	90	77	70

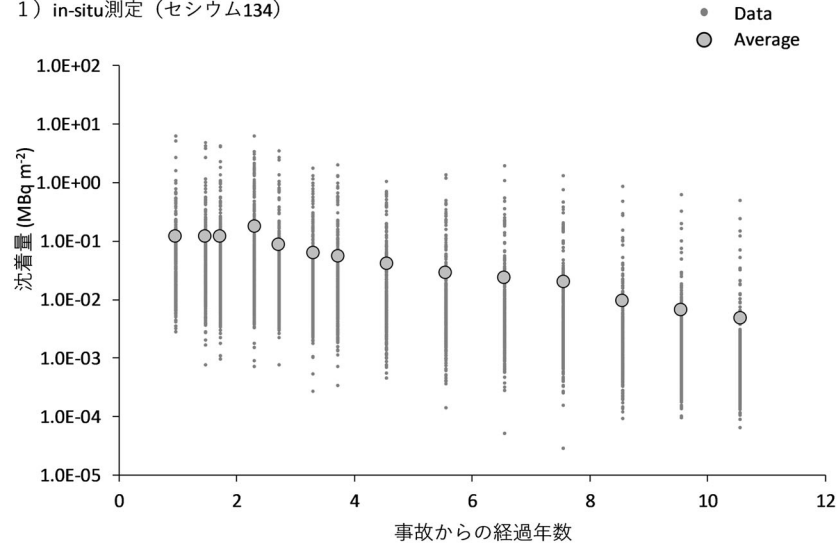
4) 無人ヘリサーベイ



測定回	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	第9回	第10回	第11回	第12回	第13回
事故からの経過年数(年)	1.6	2.02	2.38	2.82	3.35	3.84	4.61	5.58	6.48	7.59	8.71	9.56	10.6
平均空間線量率(μSv h ⁻¹)	18	13	11	9.4	8.6	7.4	6.6	5.4	4.5	3.6	2.7	2.6	2.4
標準偏差	15	12	9.4	8.2	7.4	6.3	5.6	4.7	4.2	3.3	2.5	2.4	2.3
測定エリア数 (100mメッシュ)	1761	4624	5377	5382	5382	5376	5385	5385	6139	6139	7420	7119	7119
初回からの平均値の割合	100	72	61	52	48	41	37	30	25	20	15	14	13

図 5-1 分布状況調査で得られた空間線量率の変化傾向 (2/2)
(天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

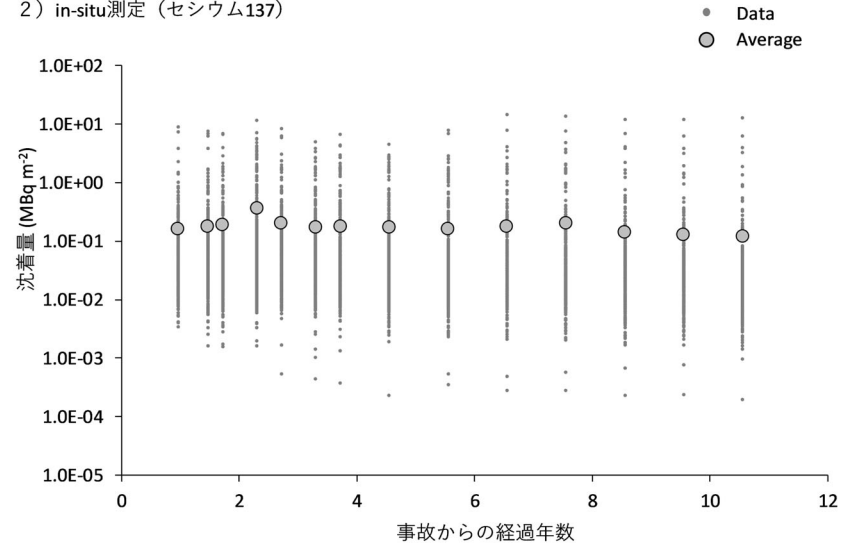
1) in-situ測定 (セシウム134)



測定回	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	第9回	第10回	第11回	第12回	第13回
事故からの経過年数(年)	0.96	1.47	1.72	2.30	2.72	3.30	3.72	4.55	5.55	6.55	7.55	8.55	9.55
平均セシウム沈着量(MBq m ⁻²)	0.12	0.12	0.12	0.18	0.088	0.062	0.056	0.041	0.029	0.024	0.020	0.010	0.007
標準偏差	0.46	0.42	0.42	0.53	0.29	0.17	0.18	0.11	0.11	0.12	0.089	0.056	0.040
測定エリア数	374	386	392	425	401	403	402	402	402	400	400	382	378
初回からの平均値の割合	100	100	100	150	73	52	47	34	24	20	17	8.1	5.6

測定回	第14回
事故からの経過年数(年)	10.6
平均セシウム沈着量(MBq m ⁻²)	0.005
標準偏差	0.031
測定エリア数	368
初回からの平均値の割合	4.0

2) in-situ測定 (セシウム137)



測定回	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	第9回	第10回	第11回	第12回	第13回
事故からの経過年数(年)	0.96	1.47	1.72	2.30	2.72	3.30	3.72	4.55	5.55	6.55	7.55	8.55	9.55
平均セシウム沈着量(MBq m ⁻²)	0.16	0.18	0.19	0.36	0.20	0.17	0.18	0.17	0.16	0.18	0.20	0.14	0.13
標準偏差	0.66	0.67	0.68	1.0	0.69	0.49	0.57	0.47	0.62	0.90	0.91	0.79	0.75
測定エリア数	374	386	392	425	402	404	403	404	404	404	385	385	
初回からの平均値の割合	100	113	119	225	125	106	113	106	100	113	125	88	81

測定回	第14回
事故からの経過年数(年)	10.6
平均セシウム沈着量(MBq m ⁻²)	0.12
標準偏差	0.78
測定エリア数	384
初回からの平均値の割合	75

図 5-2 分布状況調査で得られた放射性セシウム沈着量の変化傾向

5.3 バックグラウンドの設定

令和3年度に実施した空間線量率測定においては、事故から10年が経過しているため、天然放射性核種によるバックグラウンドに比較的近い空間線量率を示す場所が多くなってきている。空間線量率の変化傾向を定量化する場合、天然放射性核種による空間線量率を正確に減算する必要がある。広域での天然放射性核種による空間線量率の評価例として、事故後実施された複数回の航空機サーベいのデータを活用し、250 mメッシュの位置分解能で天然放射性核種由来の線量率マップが報告されている²¹⁾。また、分布状況調査におけるKURAMA-IIによる走行サーベイ結果を基に、東日本の市町村別のバックグラウンド線量率が評価されている²²⁾。図5-3にそれぞれの天然放射性核種由来の線量率マップを示す。航空機サーベいの結果から作成したバックグラウンド線量率データ(図5-3(a))は、走行サーベいの結果から作成したバックグラウンド線量率データ(図5-3(b))より位置分解能が細かく、土壌を含めた代表的な天然の放射性核種由来の線量率を評価できているといえる。走行サーベいの結果から作成したバックグラウンド線量率データは、アスファルト上での測定となるため周辺の土壌上よりもアスファルト混合物に含まれる天然の放射性核種による影響を受けやすく、全体的に航空機サーベイによるバックグラウンド線量率より高めに評価されている²¹⁾。ここでは、走行サーベいのデータについては図5-3(b)に示したデータを差し引くこととし、その他のサーベイデータについては図5-3(a)に示したバックグラウンド線量率を差し引くこととした。

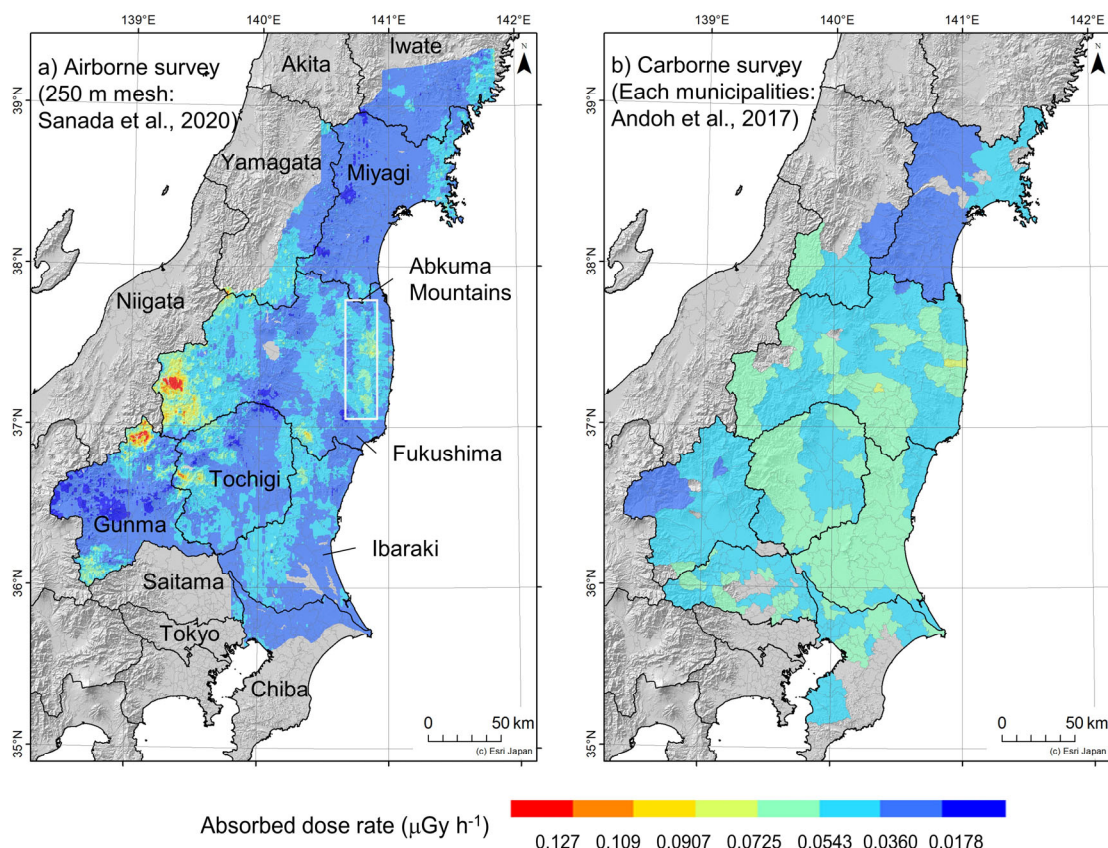


図 5-3 天然放射性核種由来の線量率マップ²¹⁾

5.4 実効半減期算出方法

走行サーベイ、定点サーベイ及び歩行サーベイによる空間線量率並びに可搬型 Ge 検出器による放射性セシウムの沈着量のデータを用いて実効半減期を算出した。また、地上での測定結果との比較のため、無人ヘリサーベイ及び航空機サーベイ²³⁾のデータについても実効半減期を算出した。測定データを取得した 80 km 圏内を基準地域メッシュで分割し、同一メッシュ内のデータを平均化し集計した。ただし、無人ヘリサーベイの結果については、測定範囲が狭いため基準地域メッシュに基づく 50 m メッシュを作成し、メッシュ内の平均値を集計した。指数関数近似に用いたデータは、それぞれの測定手法ごとに、全調査期間においてデータが存在しているメッシュのみ抽出した。5.3 節に示したとおりバックグラウンド線量率を差し引いた。

本解析には、80 km 圏内全域のデータ、及び人為的なく乱など環境変化の影響や高空間線量率エリアでの影響を考察するため、避難指示区域（令和元年 4 月時点）のデータを対象とした。測定期間については、データ数を考慮し、走行サーベイについては第 4 回（平成 24 年度の 1 回目）以降、定点サーベイについては第 3 回（平成 24 年度調査の 1 回目）以降、歩行サーベイについては第 3 回（平成 26 年度 1 回目）以降、無人ヘリサーベイ、航空機サーベイ及び可搬型 Ge 検出器による in-situ 測定については全期間のデータをそれぞれ使用した。

抽出したデータについて、走行サーベイ、無人ヘリサーベイ及び航空機サーベイについては、式 (10) に示した二項（二成分）の指数関数近似を行い、実効半減期を算出した。ここで、 D は空間線量率、 t_{short} は実効半減期の速い成分、 t_{long} は同遅い成分、 t は事故からの経過時間（年）を表す。なお、ここで切片である $a+b+c$ は事故直後の空間線量率を表す。定数項である c は本解析期間では減衰傾向が確認できないような長期の期間の第 3 成分（超長期成分）を表している。実効半減期及び定数項である a, b, c については最小二乗法により推定値の 95% の信頼区間を計算した。これらのパラメータの信頼区間の計算値に対して 95% 下限信頼区間が負数となる場合には、定数成分のない式(11)を適用した。さらに、式(11)でもパラメータの信頼区間の計算値に対して 95% 下限信頼区間が負数となる場合には、一項の指数関数の式(12)を適用した（以下「1 成分モデル」という。）。ここで t_{eff} は 1 成分モデルの実効半減期である。式(12)における f は式 (10) の c （第 3 成分）に相当する定数項である。なお、今回は実効半減期 t_{short} 及び t_{long} の導出が主目的であり、事故初期の数値を表す係数 a, b, d, e については参考値とする。

$$D = a \exp\left(-\frac{0.693}{t_{short}} \times t\right) + b \exp\left(-\frac{0.693}{t_{long}} \times t\right) + c \quad (10)$$

$$D = c \exp\left(-\frac{0.693}{t_{short}} \times t\right) + d \exp\left(-\frac{0.693}{t_{long}} \times t\right) \quad (11)$$

$$D = e \exp\left(-\frac{0.693}{t_{eff}} \times t\right) + f \quad (12)$$

可搬型 Ge 検出器を用いた in-situ 測定による沈着量の実効半減期評価については、放射性セシウムの半減期と直接的に比較できるため、セシウム 134 とセシウム 137 の沈着量の結果に分けて、式(13)を適用した。ここで t_{eff} は 1 成分モデルの実効半減期である。

$$D = g \exp\left(-\frac{0.693}{t_{eff}} \times t\right) \quad (13)$$

5.5 空間線量率の実効半減期

それぞれの測定手法について二項又は一項の指数関数近似により評価した実効半減期について表 5-1 にまとめる。走行サーベイの空間線量率変化傾向及び指数関数近似を行った結果を図 5-4 に示す。走行サーベイについては、式(10)で近似したところ、パラメータは収束しなかった。式(11)では、図のように数値は導出できたものの、表 5-1 のように t_{long} の 95% の信頼区間を見ると信頼性が担保されているとはいえない。一方、式(12)については、パラメータが収束したため、走行サーベイについては、式(12)の結果を基に考察する。走行サーベイのデータでは、1 成分モデルの実効半減期は 1.9 年となった。近年においても、セシウム 134 とセシウム 137 の半減期と比較して速い速度で減少していることが分かる。この要因の一部としては道路上のセシウムの洗い流し効果や、4.1 節で示した放射性セシウムの土壌の深度方向への移動が考えられる。また、第 3 成分として、 $0.077 \mu\text{Sv/h}$ と計算できた。この成分については、現時点では、傾きを計算できる条件が整っていないが、今後のデータを加えることで計算が可能になると考えられる。

定点サーベイについて指数関数近似を行った結果を図 5-5 a) に示す。データ数が少ない事故直後の測定データを除外したため、式(12)のみパラメータが収束した。1 成分モデルの実効半減期は 1.7 年となった。定点サーベイの測定対象は、開けた土壌上としており、4.1 節で示した放射性セシウムの土壌の深度方向への移動の影響を受けていると考えられる。第 3 成分として、 $0.15 \mu\text{Sv/h}$ と計算できた。この成分については、現時点では、傾きを計算できる条件が整っていないが、今後のデータを加えることで計算が可能になると考えられる。

歩行サーベイについて指数関数近似を行った結果を図 5-5 b) に示す。歩行サーベイは、平成 25 年度に調査を開始したため、速い成分の分析はできなかったが、1 成分モデルの実効半減期は 1.3 年となった。歩行サーベイの測定対象は歩道上であり、走行サーベイと同じく道路上のセシウムの洗い流し効果により比較的速い半減期となっていると推定される。第 3 成分として、 $0.19 \mu\text{Sv/h}$ と計算できた。この成分については、現時点では、傾きを計算できる条件が整っていないが、今後のデータを加えることで計算が可能になると考えられる。

無人ヘリサーベイについては、測定範囲が福島第一原発から 5 km 圏内と限られている。1 成分モデルの実効半減期は、図 5-5 c) に示すように 2.1 年となった。第 3 成分として、比較的高い $2.3 \mu\text{Sv/h}$ と計算できた。この成分については、現時点では、傾きを計算できる条件が整っていないが、今後のデータを加えることで計算が可能になると考えられるとともに、速い成分が計算できていないことも要因として考えられる。今後のデータ追加時の評価に速い成分の抽出について考慮が必要と考えられる。

航空機サーベイについては、式(10)での計算が可能であった (図 5-6)。航空機サーベイについては、初期のデータがあることと、地理的な測定密度が比較的均一であるため、計算が可能になったと考えられる。実効半減期は、速い成分で 0.52 年、遅い成分で 2.3 年及び第 3 成分が $0.19 \mu\text{Sv/h}$ であった。また、避難指示区域のみを抽出したところ、図 5-6 b) に示すように式(11)での近似が可能であり、速い成分が 0.61 年、遅い成分が 4.8 年であった。避難指示区域のみの遅い成分の減少速度が遅いのは、人為的な除染の開始時期に関係があると考えられる。他の測定手法に比べて、航空機モニタリングの結果は地域の平均的な状況を表していると考えられる。

表 5-1 評価された実効半減期の一覧

項目	対象	測定手法	パラメータ							
			80 km圏内			避難指示区域（平成31年4月時点）				
			適用モデル	速い成分 (y)	遅い成分 (y)	第3成分 (μSv/h)	適用モデル	速い成分 (y)	遅い成分 (y)	第3成分 (μSv/h)
空間線量率	車道上	走行サーベイ	式 (11)	1.9 ^a (1.1 - 2.7)	37.6 ^a (-598 - 673)	-	データ不足	-	-	-
			式 (12)	1.9 (1.7 - 2.1)	0.077 (0.053 - 0.10)	データ不足	-	-	-	
	平たん 土壌上	定点サーベイ	式 (12)	1.7 (1.5 - 1.9)	0.15 (0.12 - 0.17)	データ不足	-	-	-	
			式 (12)	1.3 (0.87 - 1.7)	0.19 (0.15 - 0.22)	データ不足	-	-	-	
	平均値	無人ヘリサーベイ	範囲外	-	-	-	式 (12)	2.1 (2.0 - 2.3)	2.3 (2.0 - 2.6)	
	平均値	航空機サーベイ	式 (10)	0.52 (0.25 - 0.78)	2.3 (1.3 - 3.2)	0.19 (0.13 - 0.25)	式 (11)	0.61 (0.44 - 0.79)	4.8 (4.0 - 5.6)	-
放射性セシウム沈着量	Cs-134	In-situ	式 (13)	1.8 (1.4 - 2.2)			データ不足	-		
	Cs-137			22 (-6.9 - 51)				-		

a) 参考データ

() 内は95%信頼区間を示している。

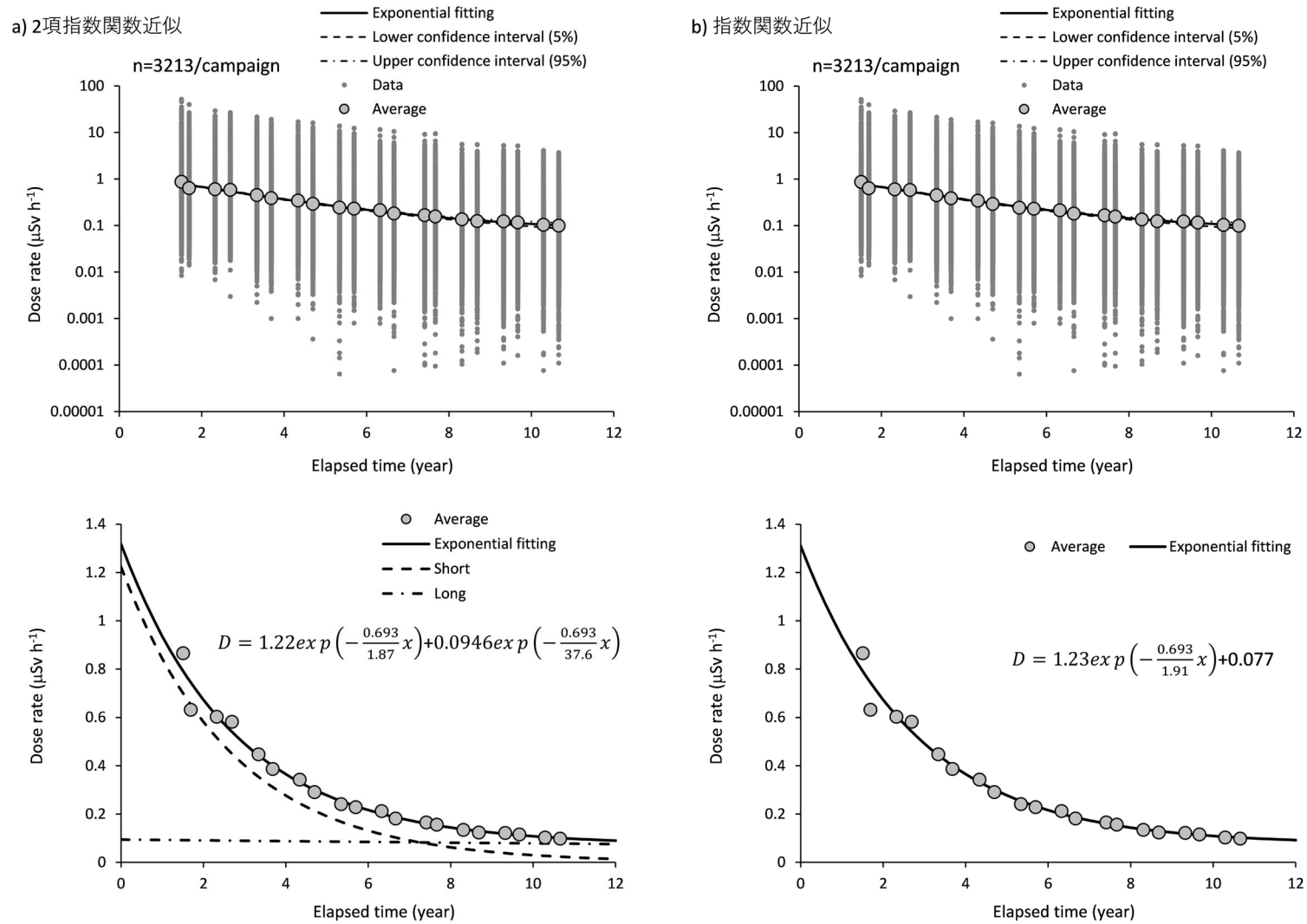


図 5-4 走行サーベイ結果（80 km 圏内）における空間線量率変化傾向及び指数関数の近似
 （Short：速い成分、Long：遅い成分、n：データ数）

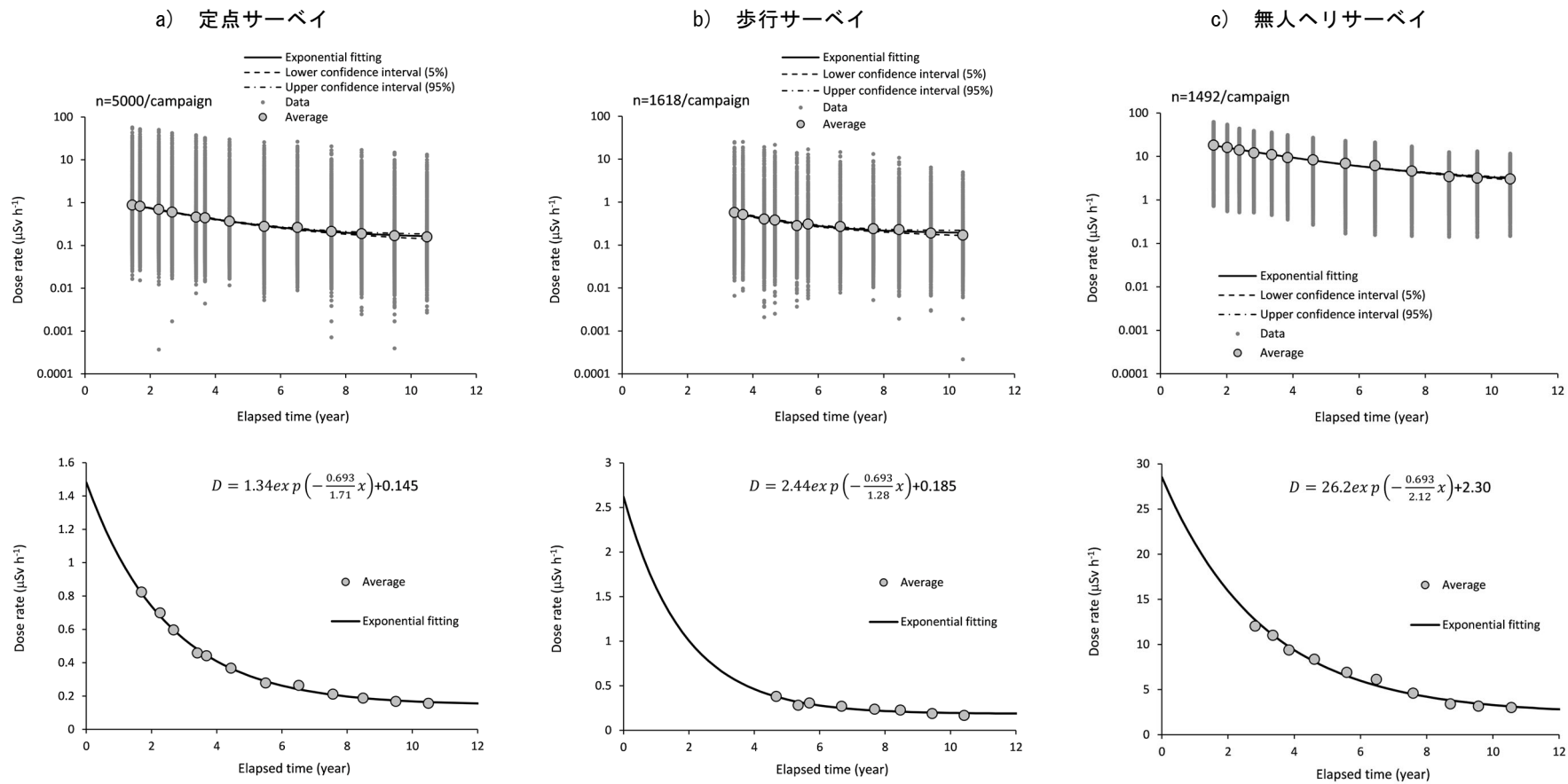


図 5-5 定点サーベイ、歩行サーベイ及び無人ヘリサーベイ結果における空間線量率変化傾向及び指数関数の近似
(n: データ数)

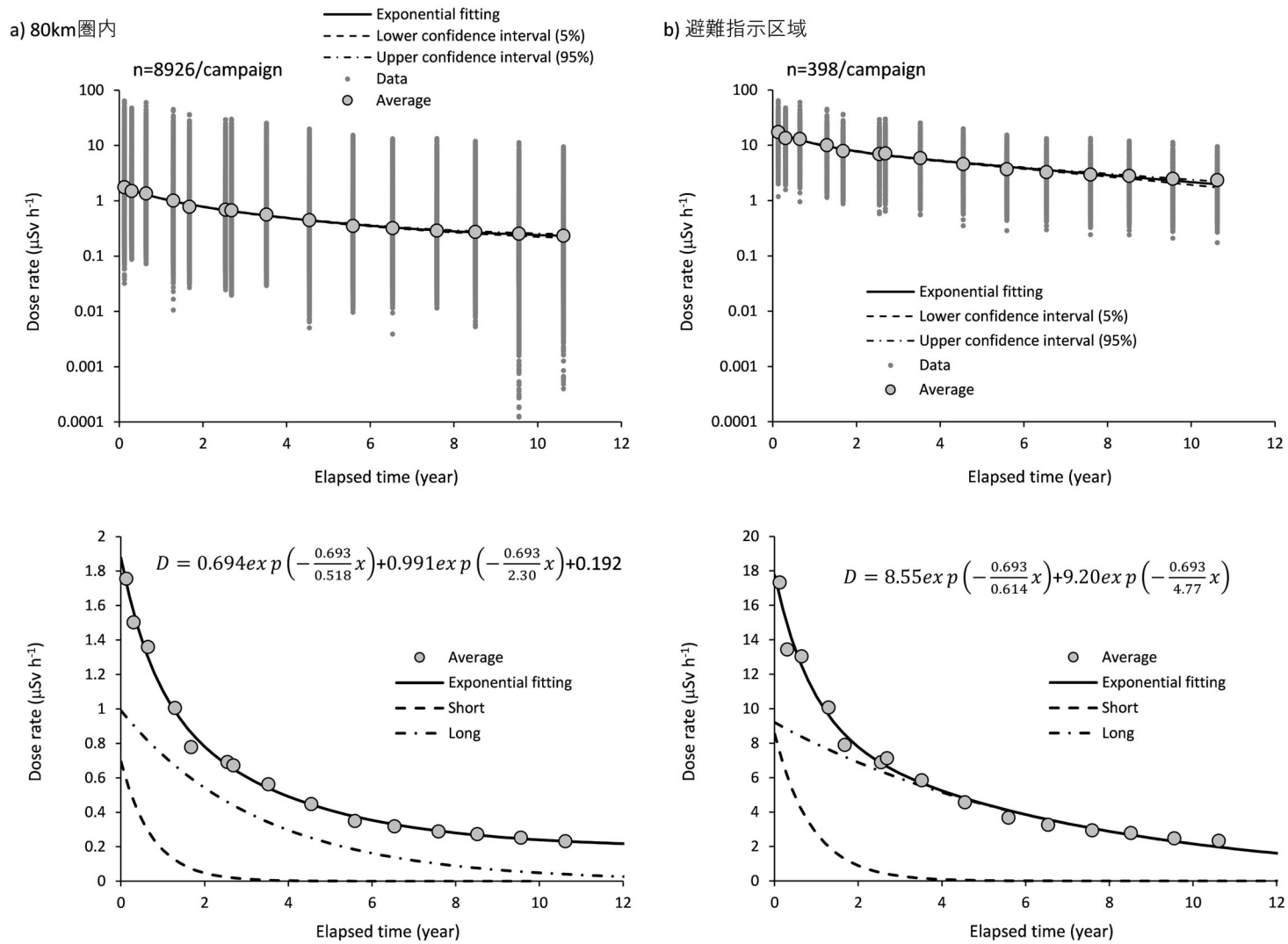


図 5-6 航空機サーベイ結果における空間線量率変化傾向及び指数関数の近似
 (Short : 速い成分、Long : 遅い成分、n : データ数)

5.6 放射性セシウム沈着量の実効半減期

可搬型 Ge 検出器を用いた in-situ 測定による放射性セシウム沈着量に対して指数関数フィッティングした結果を図 5-7 に示す。図に示すようにセシウム 134 は近似曲線と測定データ点の一致性が良いものの、セシウム 137 については、ばらつきが比較的大きい。また、平成 28 年度の結果以降、不連続になっているように見える。この理由として、in-situ 測定の測定誤差の影響、設定した重量緩衝深度の不確かさ及び測定場所の環境変化による影響等が考えられ、個別のデータを精査して検討をしているが、まだ原因は明らかではない。近似した実効半減期は、セシウム 134 については 1.8 年となった（表 5-1）が、セシウム 137 については有意な結果とはいえないためさらなる検討が必要と考える。

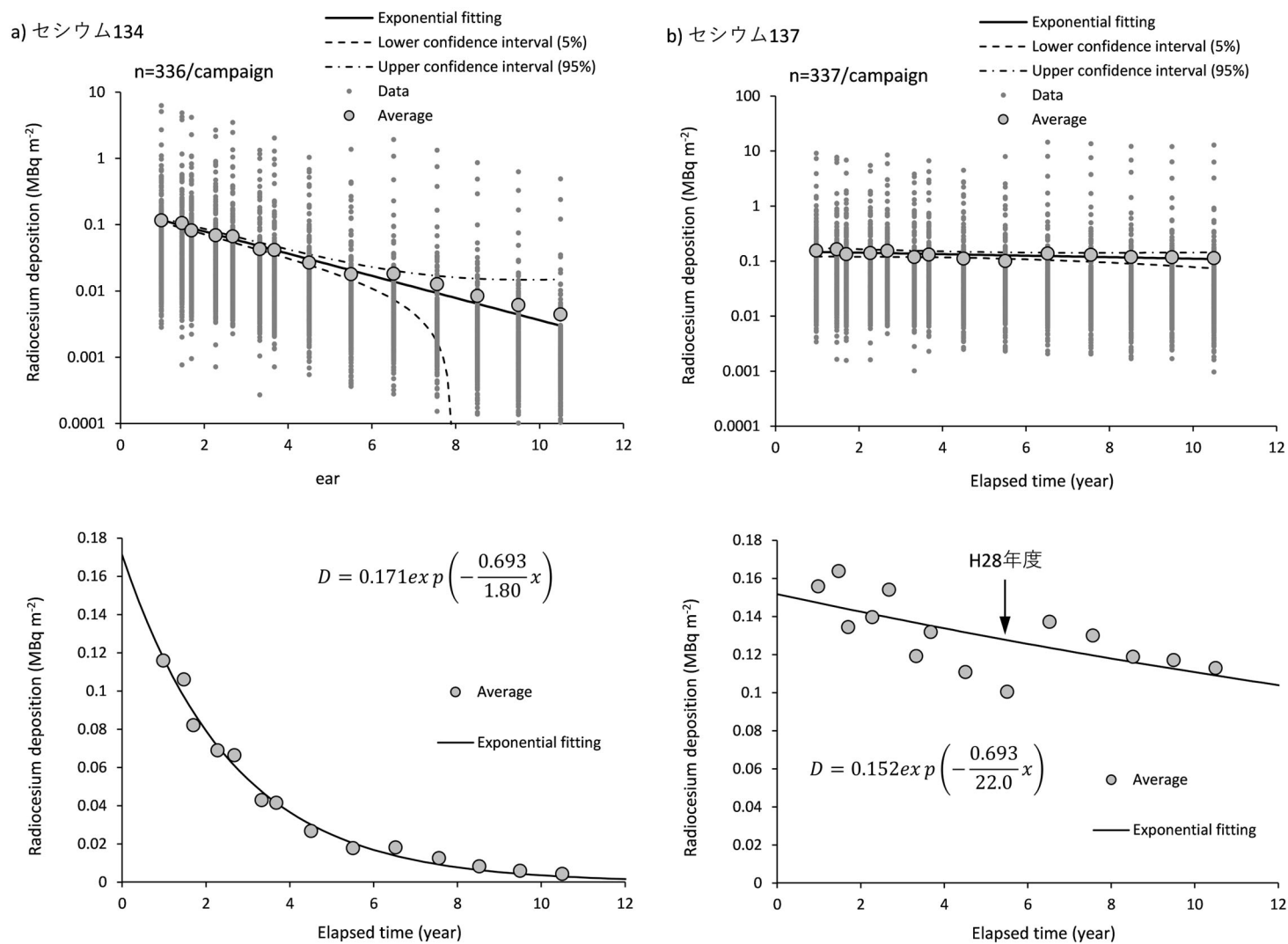


図 5-7 可搬型 Ge 検出器を用いた in-situ 測定結果における放射性セシウムの沈着量変化傾向及び指数関数の近似 (n: データ数)

5.7 同一メッシュにおける空間線量率の変化傾向

前節までの実効半減期の評価は、測定手法ごとに評価した結果であり、測定場所が必ずしも全て一致しないため、近似曲線の傾きでは比較できても線量率の高低での比較は難しい。そこで、空間線量率の変化傾向を考察するため、走行サーベイ、歩行サーベイ、定点サーベイ及び航空機サーベイ全ての測定手法による空間線量率データがそろっている基準地域メッシュを抽出することによって、測定場所をできる限り統一し、各測定手法特徴とその変化傾向の考察を試みた。図 5-8 に抽出メッシュの場所を示す。図に示すように、可住地域を中心に約 1,340 箇所抽出できた。それぞれの測定手法の対象は以下のような特徴があり、図 5-9 にはそれぞれの測定手法のイメージと測定場所の状況について示す。

- ・ 走行サーベイ：舗装された道路上で移動しながら測定し、100 m メッシュ内のデータを平均化
- ・ 歩行サーベイ：道路又は歩道上で移動しながら測定し、20 m メッシュ内のデータを平均化
- ・ 定点サーベイ：未舗装の土壌面の 1 点で測定
- ・ 航空機サーベイ：エリアの平均値：対地高度 300 m の上空を移動しながら測定し、250 m メッシュ内のデータを地上高さ 1 m の数値に換算し平均化²³⁾

図 5-8 に示した 1,340 箇所における各測定手法による空間線量率の平均値について平成 23 年以降の経時変化及び式 (10) に示した二項の指数関数近似曲線を図 5-10 に示す（ただし、定点サーベイ及び歩行サーベイについては一項の指数関数近似とした）。このように、空間線量率は航空機サーベイ、定点サーベイ、歩行サーベイ及び走行サーベイの順に大きい傾向にあることが分かる。航空機サーベイと定点サーベイの傾向を見ると、事故後 2 年目までは減少傾向が似通っていたが、3 年目以降両者の差が開き定点サーベイの方が低くなっている。これは、3 年目以降に本格化した除染作業の時期や、航空機サーベイは 300 m 上空から測定しているため、直下の半径 300 m の円内に入る地域の放射線の平均値を計測していることから局所的な線量の勾配がトレースできないことを考えると、除染による線量の減少が、各測定手法の測定値に与える影響の差異を反映している。また、歩行サーベイは定点サーベイや航空機サーベイに比べ低い傾向にある。これは、家屋周辺で重点的に行われた除染の影響や舗装道路上の放射性セシウムの雨水等による洗い流しが原因と考えられる。走行サーベイについては、他の 3 測定手法より低い傾向にある。これは、5.5 節でも考察したように、舗装道路上の放射性セシウムの洗い流しの影響を受けているものと考えられる。

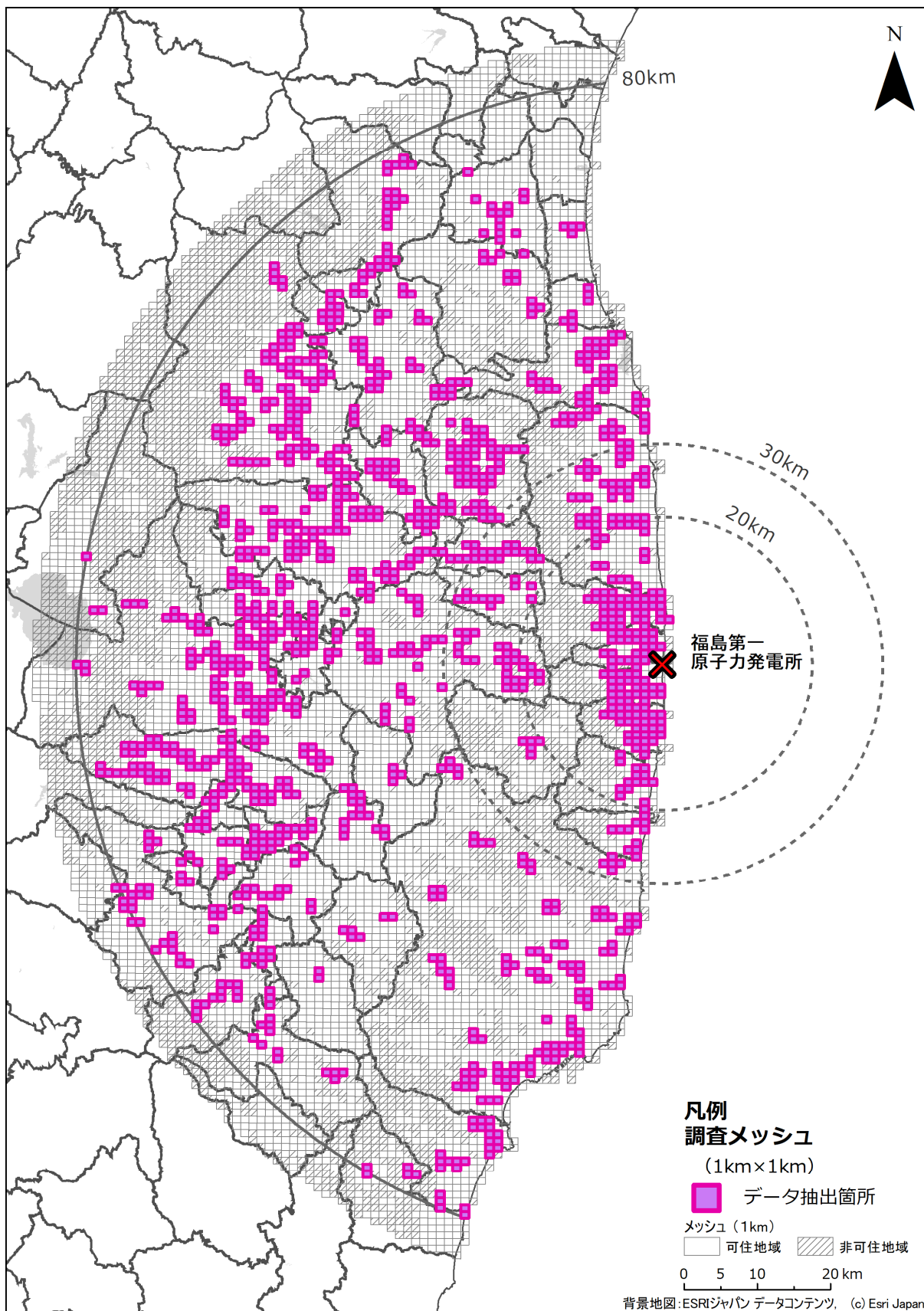


図 5-8 走行サーベイ、定点サーベイ、歩行サーベイ及び航空機サーベイの全測定手法によるデータセットが存在する調査メッシュ箇所（データ抽出箇所）



図 5-9 各モニタリングのイメージと測定対象

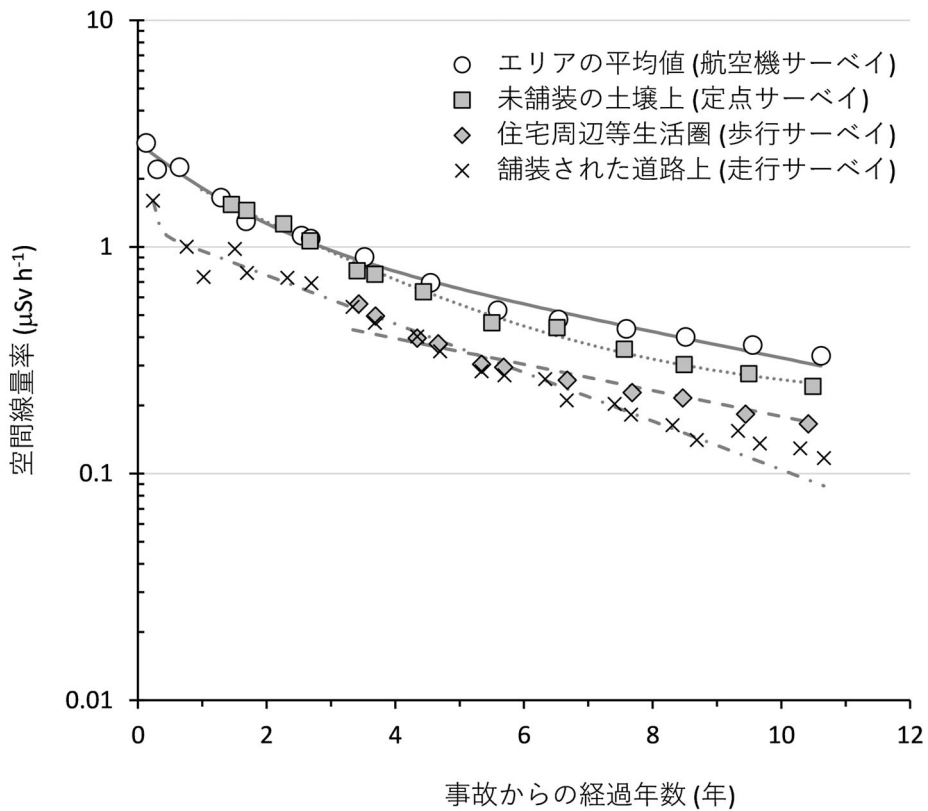


図 5-10 全測定手法によるデータセットがある調査メッシュにおける空間線量率の変化傾向 (図中の曲線は二項又は一項の指数関数近似曲線)

5.8 モニタリングポストによる空間線量率解析の試行

事故後、福島県内には多くのモニタリングポストと呼ばれる固定式の連続ガンマ線モニターが設置された。これらは、機能に合わせてリアルタイム線量測定システム及び可搬型モニタリングポストと分類されている。図 5-11 にモニタリングポストの概観を示す。これらのモニタリングポストは平成 30 年時点でリアルタイム線量測定システムが 2,974 台、可搬型モニタリングポストが 576 台設置されている。台数については、機器の故障や設置位置の状況により多少変動がある。

本章で述べたように、空間線量率の変動状況を評価することは、これまでの事故後の環境状況の推定や将来の空間線量率の状況予測に重要である。モニタリングポストは、一般的に電源の供給が必要であることから、生活圏に近いところのデータが取得されているという特徴がある。また、分布状況調査のような広域のモニタリングと比べて、地域の網羅性は劣るものの、1 分ごとのデータが自動的に蓄積されており、時間分解能が高いという特徴を有する。ここでは、これらのデータを利用し、変動傾向の解析を試行した。

モニタリングポストのデータについて、平成 23 年 4 月から平成 30 年 8 月までのデータを入力し、1 日ごとに平均化した。モニタリングポスト名や測定位置は設置場所の状況に応じて変化するため、位置情報で同じ設置場所であるデータは結合するとともに、期間中に場所が変更になったモニタリングポストデータは除外した。測定データのバックグラウンド減算には 5.3 章に記載した航空機モニタリングデータを利用して求めたバックグラウンドデータ²⁾を採用した。バックグラウンド減算後、 $0.01 \mu\text{Sv/h}$ 以下となったデータについては解析対象から除外した。除外後のデータについて、式 (11) に示した二項 (二成分) の指数関数近似を行い、実効半減期を算出した。

代表的なモニタリングポストのデータの一例を図 5-12 に示す。福島県は積雪地帯であるため、冬場はモニタリングポスト周辺の雪が遮蔽となり、空間線量率が低くなる傾向がある。したがって積雪期のデータを除外するなどのデータクレンジングが必要であるといえる。また、周辺の人為的な除染により生じた空間線量率のギャップも確認できる。加えて、モニタリングポストの種類によっては、測定値を Gy 単位に変換したものをそのまま Sv 単位表示にしているものもあり、絶対値の比較には注意が必要である。よって、ここでは、実効半減期のみについて述べる。

解析対象としたモニタリングポストは 2,142 台であり、採用したモニタリングポストの設置場所を図 5-13 に示す。モニタリングポスト毎に実効半減期の速い成分 t_{short} 及び遅い成分 t_{long} を求めた結果をヒストグラムにして図 5-14 に示す。速い成分は 1 年付近にピークをもつ分布を示した。この分布の統計的な情報を地域別に表 5-2 に示す。中央値である 50%タイル値は 1.0 ~ 1.2 付近を示し、地域差は見られなかった。県中地域以外は中央値と平均値の数値は近いことが分かる。県中地域は平均値が極端に大きい、うまく近似できない解析上問題のあるデータが含まれていることが推測される。一方、遅い成分については、図 5-14 のヒストグラムに示したように明確な数値の分布は見られず 40 年以上となる評価結果が多かった。表 5-3 に示した数値を見ても最大で百万年以上となるデータが多く、平均値と中央値には大きな乖離が見られた。これは、近年では空間線量率がバックグラウンドレベルとなり、明確な減少傾向とし

で数値に現れないことが原因と考えられる。一方、中央値を見ると 10-31 年の間の数値となっており、これが平均的な t_{long} の数値とも考えられる。

以上のように、モニタリングポストの解析を試行した。ほぼ全てのモニタリングポストに除染による空間線量率のギャップが記録されていたことから、このようなデータは除染効果の評価に活用できる可能性がある。解析の最適化や結果の考察の深化には、今後も最新のデータを追加し解析を継続していく必要があると考えられる。

表 5-2 モニタリングポストデータから求めた実効半減期（速い成分） 単位：年

	全域	浜通り	県北	県中	県南	会津
平均	5.1	1.4	1.3	18	1.2	1.4
データ数	2142	880	339	482	180	261
25%タイル値	0.63	0.53	0.58	0.78	0.65	0.62
50%タイル値	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0
75%タイル値	1.7	1.8	1.6	1.5	1.5	1.8

表 5-3 モニタリングポストデータから求めた実効半減期（遅い成分） 単位：年

	全域	浜通り	県北	県中	県南	会津
平均	2.6.E+06	2.5.E+06	2.3.E+06	3.9.E+06	3.4.E+06	5.2.E+05
データ数	2142	880	339	482	180	261
25%タイル値	5.1	4.5	5.0	6.5	6.3	4.6
50%タイル値	18	16	24	31	17	10
75%タイル値	1.5.E+06	1.5.E+06	2.5.E+06	4.6.E+06	2.0.E+06	1.0.E+05

(表中の E+06 は 10^6 を E+05 は 10^5 を意味する。)



リアルタイム線量測定システム	可搬型モニタリングポスト
	
測定範囲：BG～99.99 μ Sv/h 指示誤差： $\pm 20\%$ 以内	測定範囲：BG～100,000 μ Gy/h 指示誤差： $\pm 10\%$ 以内（BG～10 μ Gy/h） $\pm 20\%$ 以内（10 μ Gy/h～）

図 5-11 モニタリングポストの概観と基本性能

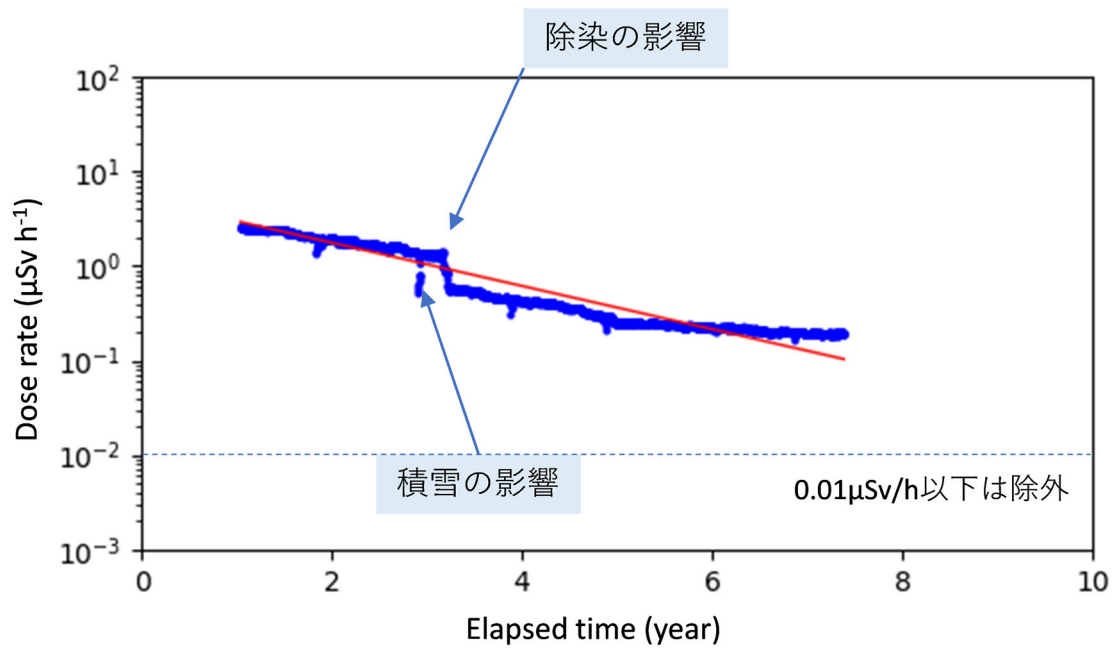


図 5-12 モニタリングポストの測定データ例
 (実線はフィッティング曲線)

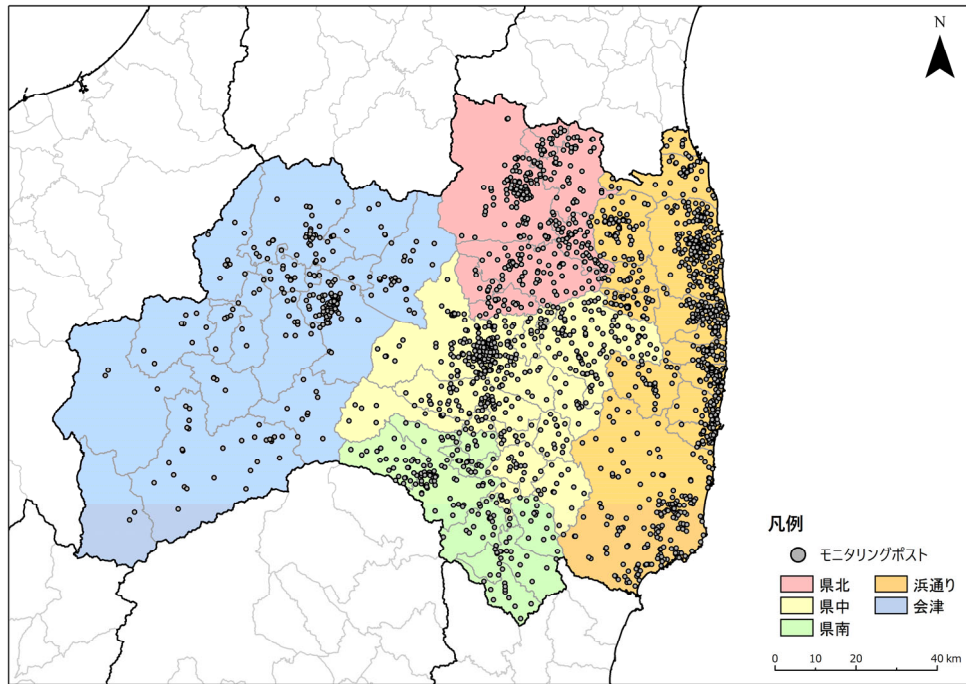


図 5-13 解析に使用したモニタリングポストの設置場所

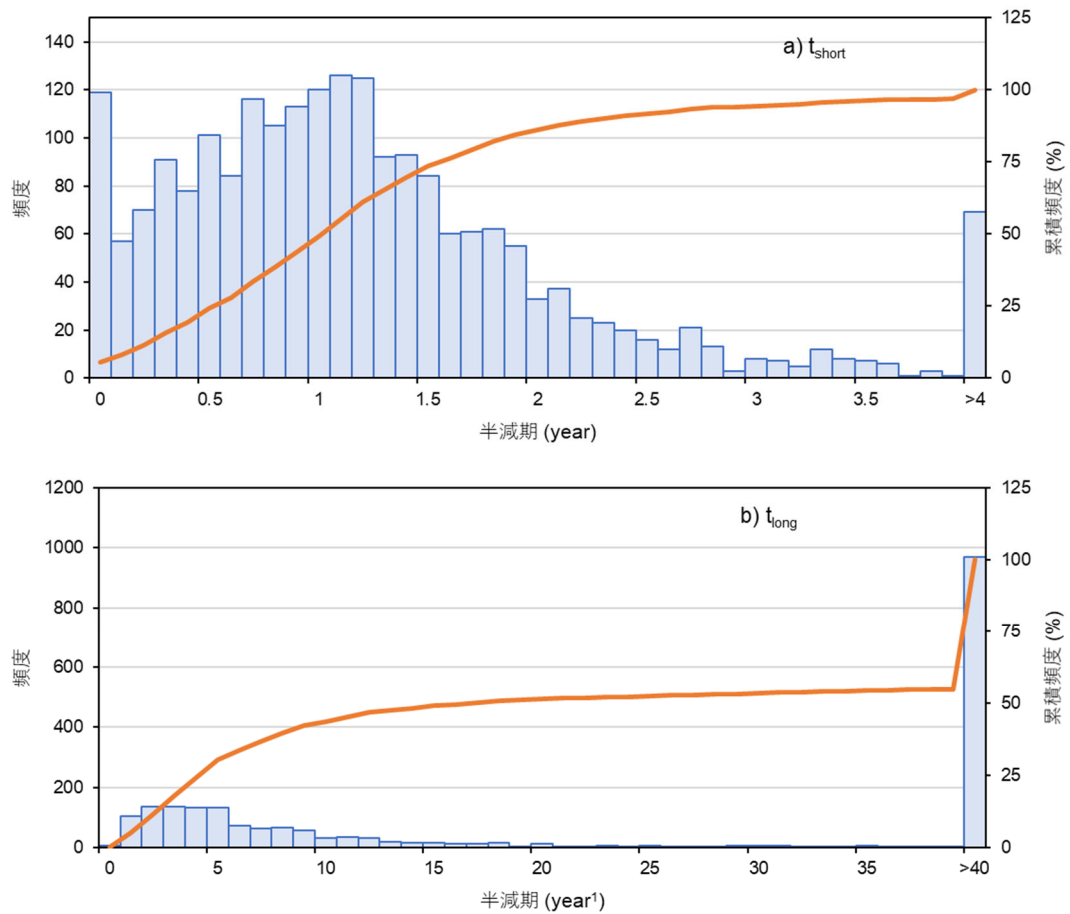


図 5-14 モニタリングポストデータから求めた実効半減期（上：速い成分、下：遅い成分）

6. 測定箇所の重要度分類のためのスコア化の検討

6.1 目的

政府は平成 27 年度から東日本大震災後 10 年となる令和 2 年度までを「復興・創生期間」と位置付けており、様々な復興のための事業、財源の見直し及び復興事業の整理を実施するとしている。そのような状況の中、放射性物質のモニタリングについてもこれまでの実績を総括し長期的視野に立って今後継続すべき環境放射線モニタリングの計画策定が求められている。事故後のモニタリングは、政府の決定する総合モニタリング計画（平成 23 年 8 月 2 日モニタリング調整会議制定）²⁴⁾ に則り、各省庁や関係機関が横断的に実施してきた。最適な測定箇所は、測定目的、測定方法及び測定点数等によって異なり、最終的な決定には行政判断が必要になると考えられる。その判断の一助として、地域ごとに住民数や現状の空間線量率などを根拠として、相対的にモニタリングの必要性の重要度分類をすることは、コストの削減やモニタリングすべき場所の欠落を防ぐためにも重要であると考えられる。

令和元年度は、分布状況調査で得られた放射線モニタリングデータや国勢調査などで提供されているデータ及び既存のモニタリングポストの設置位置情報などを考慮することにより、1 km×1 km で区切った場所のモニタリングの重要度を相対的に評価する「スコア」化手法を開発した。スコアの設定の目的は、線量の高低だけの尺度だけでなく、住民や従業者の被ばくに与える地域的な影響度合いの尺度を加えることによって、総合的に地域を評価するものであり、モニタリングデータの誤差、実施回数及び密度等によって大きく変化しない「普遍性」を持つことが望まれる。令和 3 年度は、令和 2 年度に引き続き、スコアの「普遍性」を評価するために、多年度におけるモニタリングデータを使用した場合のスコアとその変化要因について考察を行った。情報処理装置の高度化に伴い、GIS（地理情報システム：Geographic Information System）ソフトウェアは様々なデータを取り込んで階層別に比較できるようになっており、本章での検討に活用した。

6.2 総合モニタリング計画

総合モニタリング計画は、平成 23 年 8 月 2 日に政府が原子力災害対策本部の下にモニタリング調整会議を設置し策定したもので、この計画に基づき、関係府省、地方公共団体、原子力事業者等が連携してモニタリングを実施することとなっている。表 6-1 に総合モニタリング計画で定められている測定種別と担当省庁について示す。計画はおよそ 1 年ごとに見直されており、最新は令和 2 年 4 月 1 日に改定されたものである。総合モニタリング計画には、モニタリングの目的として、下記の内容が示されている。

- ① 人が居住している地域や場所を中心とした放射線量、放射性物質の分布状況の中長期的な把握
- ② 現在の周辺住民の被ばく（外部被ばく及び内部被ばく）線量及び今後予想される被ばく線量の推定
- ③ さまざまな被ばく状況に応じた、被ばく線量を低減させるために講じる除染をはじめとする方策の検討立案・評価

- ④ 将来の被ばくを可能な限り現実的に予測することによる、避難区域の変更・見直しに係る検討及び判断
- ⑤ 住民の健康管理や健康影響評価等の基礎資料の蓄積
- ⑥ 環境中に放出された放射性物質の拡散、沈着、移動・移行の状況の把握

ここで示されたそれぞれの目的は、環境モニタリングを実施する上での基本的な目標というべきものであり、総合モニタリング計画において計画されている全てのモニタリングはこの目的の下に実施されている。

表 6-1 総合モニタリング計画における測定種別及び担当省庁

項目	担当省庁	項目	担当省庁
○福島県全域の環境一般モニタリング ・福島県及び福島近隣県に設置した可搬型モニタリングポスト等の測定結果をインターネットを通じて公開 ・原子力発電所周辺の空間線量率、大気浮遊じん(ダスト)等の継続的測定 ・空間線量率の分布、地表面への様々な放射性物質の沈着状況を確認 ・原子力発電所 80km 圏内における航空機モニタリングを定期的実施 ・避難指示区域等における詳細モニタリングの実施	原子力規制委員会 原子力災害対策本部 福島県 原子力事業者等	○学校、保育所等のモニタリング ・福島県内の学校等における空間線量率の測定結果をインターネットを通じて公開 ・屋外プールの水の放射性物質の濃度の測定 ・学校等の給食について、放射性物質を測定するための検査を実施	原子力規制委員会 文部科学省 福島県 地方公共団体等
		○港湾、空港、公園、下水道等のモニタリング ・下水汚泥中の放射性物質の濃度の測定 ・港湾、空港、都市公園等の空間線量率の測定	国土交通省 福島県 地方公共団体等
○水環境 ・福島県並びに近隣県の河川、湖沼・水源地、地下水、沿岸等における水質、底質、環境試料の放射性物質の濃度及び空間線量率の測定	環境省 福島県	○野生動植物、廃棄物のモニタリング ・自然生態系への放射線影響の把握に資するために、野生動植物の採取・分析を実施 ・放射性物質汚染対処特措法等に基づき、廃棄物処理施設等の放流水中の放射性物質濃度、敷地境界における空間線量率等の測定を実施	環境省 福島県 地方公共団体 事業者等
○海域モニタリング ・東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所の周辺の(1)近傍海域、(2)沿岸海域、(3)沖合海域、(4)外洋海域及び(5)東京湾について、海水、海底土及び海洋生物の放射性物質の濃度を測定	原子力規制委員会 水産庁 国土交通省 海上保安庁 環境省 福島県 東京電力等	○農地土壌、林野、牧草等のモニタリング ・福島県等において、農地土壌の放射性物質の濃度の推移の把握や移行特性の解明を行う ・福島県内の試験地において、森林土壌、枝、葉、樹皮及び木材中の放射性物質の濃度を測定 ・関係県の牧草等について放射性物質の濃度を測定 ・福島県内において、ため池等の放射性物質の濃度を測定	農林水産庁 林野庁 地方公共団体等
○全国的な環境一般のモニタリング ・各都道府県におけるモニタリングポストによる空間線量率の測定結果をインターネットを通じて公開 ・月間降水物(雨やほこり等)は月に1回、上水(蛇口)は年に1回の頻度で測定し、放射性物質の濃度を測定 ・福島県隣県の比較的放射性物質の沈着量の高い地域について、航空機モニタリングを実施		○水道のモニタリング ・関係都県ごとに、浄水場の浄水及び取水地域の原水、福島県内については水源別に水道水における放射性物質の濃度を測定	厚生労働省 原子力災害対策本部 地方公共団体等
		○食品のモニタリング ・食品に含まれる放射性物質の濃度を測定 ・食品摂取を通じた実際の被ばく線量の推計調査を実施	厚生労働省 原子力災害対策本部 農林水産省 水産庁 福島県 関係地方公共団体等

6.3 空間線量率等モニタリングを取り巻く状況

6.3.1 空間線量率の分布の状況

これまで、多くの政府機関、研究機関、関係自治体等により継続的に空間線量率のモニタリングが行われてきた結果、空間線量率の分布状況等については、概ね明らかになりつつある。図 6-1 に平成 29 年度から令和 2 年度の 4 年間に取得された空間線量率の測定結果を基に福島県及び 80 km 圏内について基準地域メッシュごとの空間線量率（最大値）を抽出した結果を示す。最大値としたのは、メッシュごとに測定の点数にばらつきがあること及び空間線量率の数値から被ばく線量への換算時に過小評価となることを避けるためである。また、年度内で測定時期が異なる各測定結果について半減期補正等を実施していない。図 6-1 から、空間線量率の分布は、福島第一原発から北西方向に比較的高い地域が広がっており、福島市や郡山市のある中通り地域の空間線量率は令和元年時点で最大でも 1 $\mu\text{Sv/h}$ 程度となっていることが分かる。一方、会津地方については、事故の影響は小さかったことが分かる。なお、新潟県との県境の山地にはカリウム 40 等の天然の放射性核種由来の放射線が高い地域があることが知られている²⁵⁾。表 6-2 に、本図に使用したモニタリング情報の出典を示す。

表 6-2 図 6-1 の作成に使用したモニタリング情報一覧

モニタリング情報	実施主体	文献
福島県及びその近隣県における航空機モニタリングの測定結果について	原子力規制委員会	26)
放射性物質の分布状況等調査による走行サーベイ (KURAMA)	原子力規制委員会	27)
放射性物質の分布状況等調査による空間線量率測定	原子力規制委員会	28)
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	原子力規制委員会	29)
東京電力株式会社福島第一原子力発電所の 20 km 以遠の空間線量率の測定結果	原子力規制委員会	30)
環境放射線モニタリング・メッシュ調査結果情報	福島県	31)
森林におけるモニタリング調査結果について	福島県	32)
福島県環境放射線モニタリング調査 (観光地第 13 回) 結果	福島県	33)

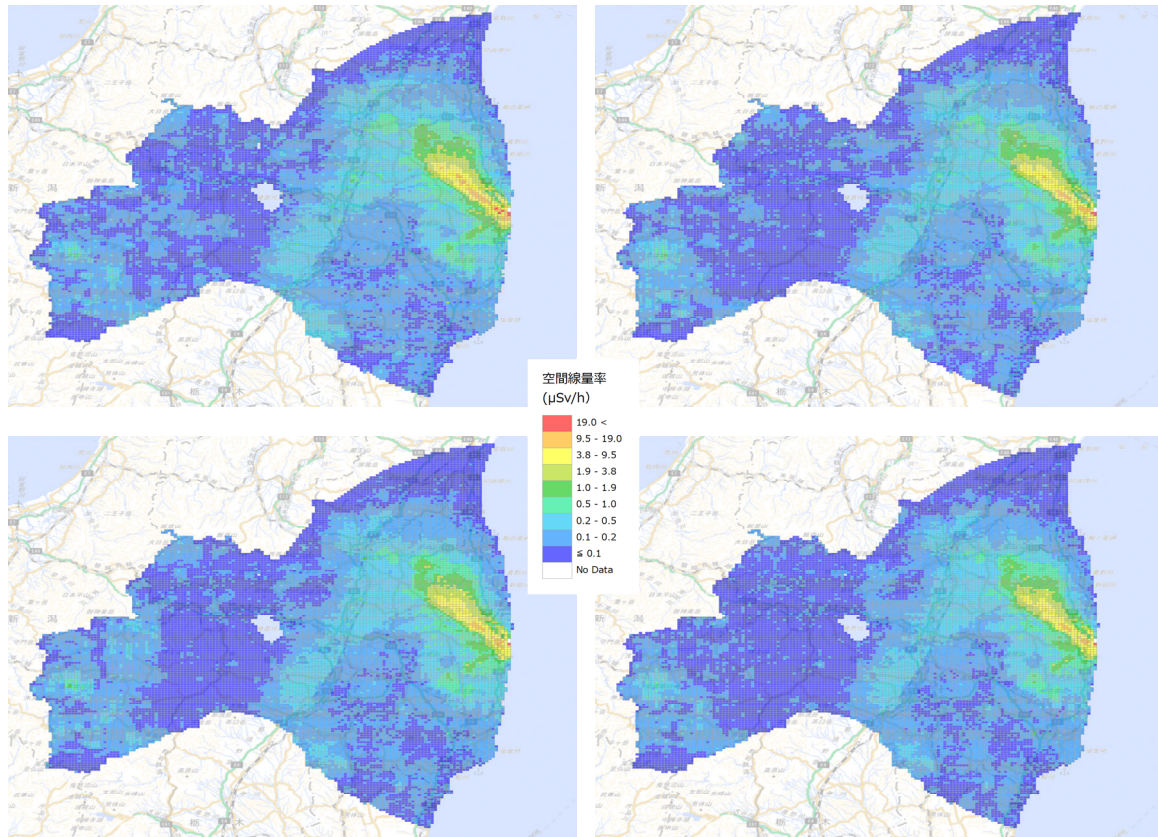


図 6-1 基準地域メッシュ内の最大空間線量率マップ

(左上：平成 29 年度、右上：平成 30 年度、左下：令和元年度、右下：令和 2 年度。天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。背景地図：国土地理院発行 2.5 万分 1 地形図。)

6.3.2 これまでの測定ポイントの設定方法

総合モニタリング計画における空間線量率の測定ポイントについては、空間的な評価を考慮して系統的に決定したものほか、科学的な分析によらず、別の観点から測定ポイントを決定したのではないかと考えられるものも散見される。また、採取ポイントの選定に関する基準を明示したものは見当たらないものの、現状の測定ポイントを見ると、生活圏に近い場所が重点的に選定されていることが分かる。図 6-2 に福島市と富岡町における空間線量率の測定状況を示す。本データには、表 6-2 で示した情報の他、市町村が独自に測定して公開しているデータを含めている^{34, 35)}。

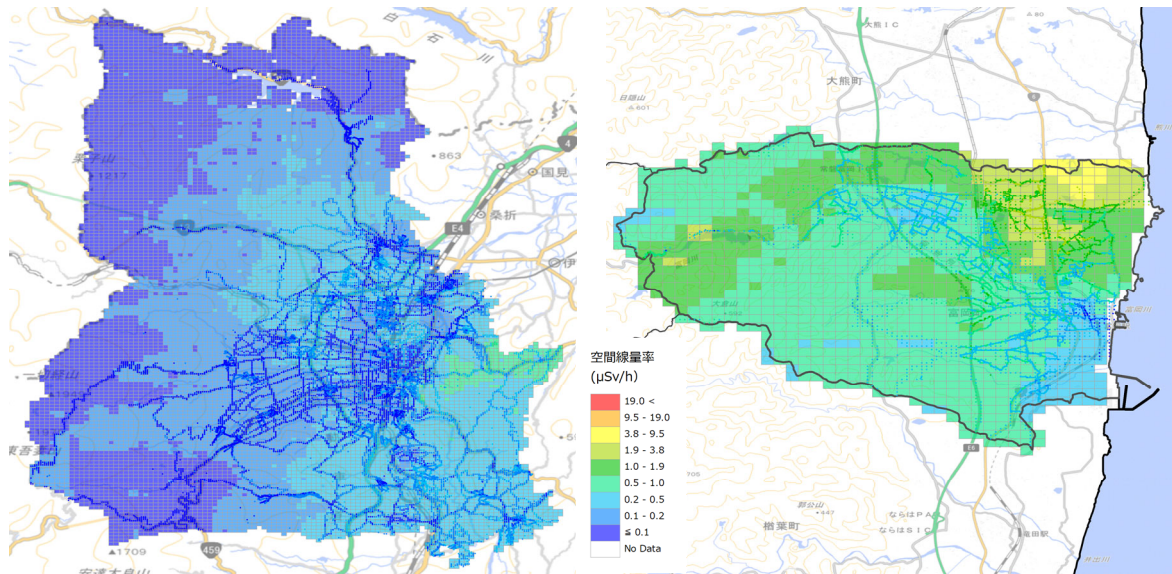


図 6-2 福島市及び富岡町における空間線量率の測定状況（平成 29 年度測定例）
 （左：福島市、右：富岡町。天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。背景地図：
 国土地理院発行 2.5 万分 1 地形図）

6.3.3 重点化・最適化の方向性

事故から 10 年が経過した現在、事故後に測定ポイントを選定した状況から空間線量率は顕著に減少している。この状況を踏まえ、これまでに得られたモニタリングの結果を元に今後の測定ポイントの重点化・最適化について検討することが一般的と考えられる。ただし、空間線量率の測定の目的は「住民の安全・安心のための基礎データ」という一面もあり、モニタリングデータの科学的な評価結果だけでは測定ポイントの重点化・最適化に対して住民の理解が得られない可能性があることに留意が必要である。

国（政府）が行うモニタリングにおいては、代表性の高い地域を重点的にかつ不足がないように計画されなければならない。空間線量率のモニタリングに関しては、被ばく評価に直接かかわるため、空間線量率が比較的高い場所だけでなく、人口密度や住民が多く集まる場所等が代表性の高い場所となる。次節以降、「モニタリングの代表性」をキーワードにし、そのために必要なパラメータの設定例について示す。

6.4 モニタリング代表性の高い場所を選定するための評価方法案

6.4.1 地域スコア化手法

測定ポイントの選定には、住民などのステークホルダーとの共通理解の醸成が必要である。ここでは、そのための基礎資料として、地域の特徴を加味し、相対的に代表性について議論する基礎情報となるスコア化による評価手法について検討例を示す。また、スコアに使用するパラメータや数値の重みづけ方法について令和元年度に技術検討会で検討した結果を紹介する。

スコア化とは、医療分野の疫学研究などで用いられる「傾向スコア」の考え方に代表されるように、まったく単位の異なる関連する数値情報を相互比較するために数値集団ごとに一定の評価値（スコア）を与える手法と定義する。ここでは、地域の代表性を相互比較するため、空間線量率や人口密度などの性質が異なる情報を統合する方法を検討した。

6.4.2 スコア評価例

評価の対象範囲としては、福島県及び 80 km 圏内とし、対象範囲を図 6-1 に示した基準地域メッシュに区切った（全 15,646 メッシュ）。スコアのパラメータ例として以下の項目を選定した。

- ①空間線量率：図 6-1 で作成したメッシュ内の最大空間線量率
- ②事故前の人口密度：平成 22 年度の国勢調査結果³⁶⁾
- ③避難指示区域：令和元年 11 月における避難指示区域
- ④ランドマーク：平成 26 年度におけるランドマークの個数

*ランドマーク：幼稚園/児童館/保育所/小学校/中学校/高等学校/高等専門学校/短期大学/大学/特別支援学校/市町村役場/公的集会施設/医療機関/駅/保護施設/身体障害者更生援護施設/知的障害者援護施設/精神障害者社会復帰施設/商業施設（売り場面積 500 m² 以上）：データの詳細参照先については表 6-3 に示す。

①～④の情報に対し、設定したスコアについて表 6-4 に示す。スコアは、順位により 0～5 までの 6 段階でパラメータごとに付与した。空間線量率については、全体の分布傾向を考慮するとともに、0.23 μSv/h（追加被ばく線量年間 1 mSv 相当）³⁷⁾ 付近を中央の階級とした。図 6-3 に全体の空間線量率の分布傾向と閾値について示す。人口密度については、全体の分布傾向を考慮し、100 人 km⁻² 付近を中央の階級とした。図 6-4 に全体の人口密度の分布傾向と閾値について示す。避難指示区域については、該当する場所をスコア 5 とし、避難指示区域以外の場所はスコア 0 とした。ランドマークについては、メッシュ内に 1 箇所でもあれば 3 以上、5 箇所以上でスコア 4 及び 10 箇所以上でスコア 5 とした。

評価したスコアのマップを図 6-5～6-8 に示す。マップには便宜上、5 段階の色分けで示している。図 6-5 には、①空間線量率のスコアマップを図 6-6 には①+②の空間線量率及び事故前の人口密度を合計したスコアマップを、図 6-7 には①+②+③の空間線量率、事故前の人口密度及び令和元年時点の避難指示区域を合計したスコアマップを示している。さらに、4 つのパラメータによるスコアを合計した結果について図 6-8 に示している。図 6-8 を見ると、17 以上のスコアを示した場所は、令和元年時点で避難指示区域となっている大熊町、双葉町や富岡町となっている。スコア 13～16 を示した地点は、大熊町、双葉町や富岡町の中心部周辺や比較的空間線量率は低いながら人口の多い中通り地域の福島市や郡山市の市街地となっている。

表 6-3 ランドマークデータの詳細情報

データ項目	年度	引用先
幼稚園/児童館/保育所	平成 18 年	国土交通省国土数値情報 ³⁸⁾ 公共施設データ
小学校/中学校/高等学校 高等専門学校/短期大学 大学/ 特別支援学校	平成 25 年	国土交通省国土数値情報 学校データ
市町村役場	平成 26 年	国土交通省国土数値情報 市区町村役場データ
公的集会施設	平成 22 年	国土交通省国土数値情報 市町村役場等及び公的集会施設データ
医療機関	平成 26 年	国土交通省国土数値情報 医療機関データ
駅	平成 29 年	国土交通省国土数値情報 鉄道時系列データ
保護施設/身体障害者更生援 護施設/知的障害者援護施設/ 精神障害者社会復帰施設/ その他	平成 18 年	国土交通省国土数値情報 公共施設データ
商業施設	平成 26 年	経済産業省 商業統計メッシュデータ ³⁹⁾

表 6-4 スコア付与例

パラメータ	スコア					
	5	4	3	2	1	0
①空間線量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)	> 0.4 (1- 1600 位)	0.4-0.26 (1601- 3200 位)	0.26-0.18 (3201- 4800 位)	0.18-0.15 (4801- 6637 位)	<0.15 (6638- 15428 位)	測定情報 がない (216 箇所)
②人口密度	>294 人 (1- 1601 位)	294-129 人 (1602- 3213 位)	129-57 人 (3214- 4804 位)	57-19 人 (4805- 6438 位)	<19 人 (6439- 7418 位)	0 (8227 箇所)
③避難指示 区域	避難指示区 域	-	-	-	-	避難指示区 域以外
④ランドマ ーク	>10 箇所 (1-29 位)	9-5 箇所 (30-234 位)	4-1 箇所 (235- 2280 位)	-	-	ランドマー クなし

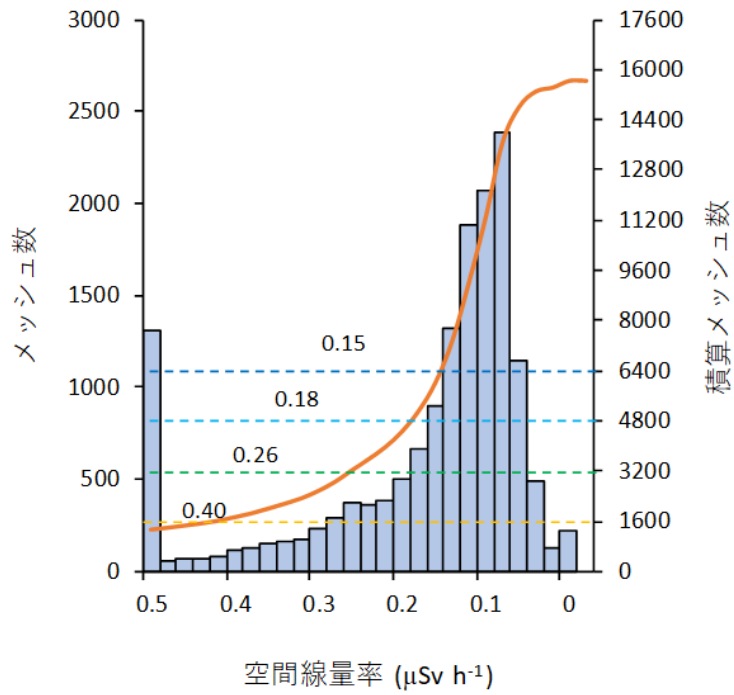


図 6-3 空間線量率の分布傾向と閾値

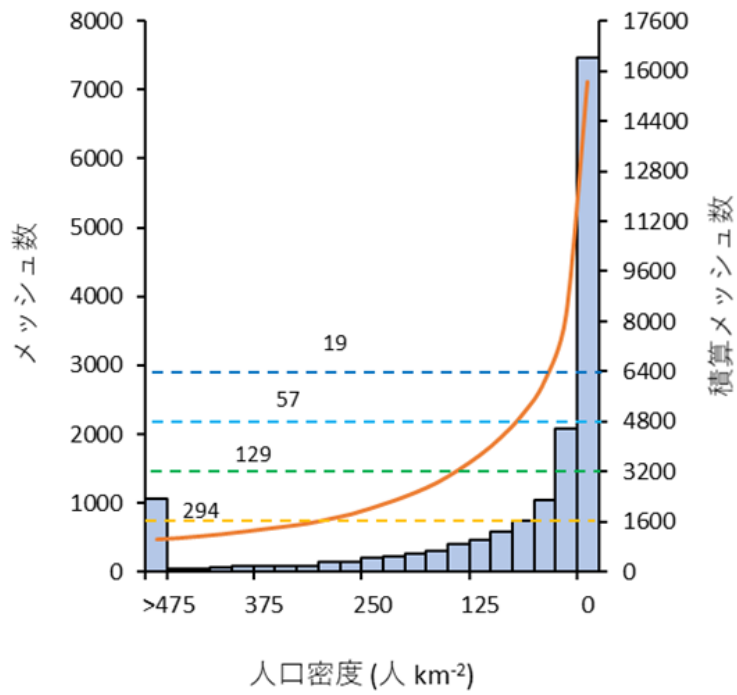


図 6-4 人口密度の分布傾向と閾値

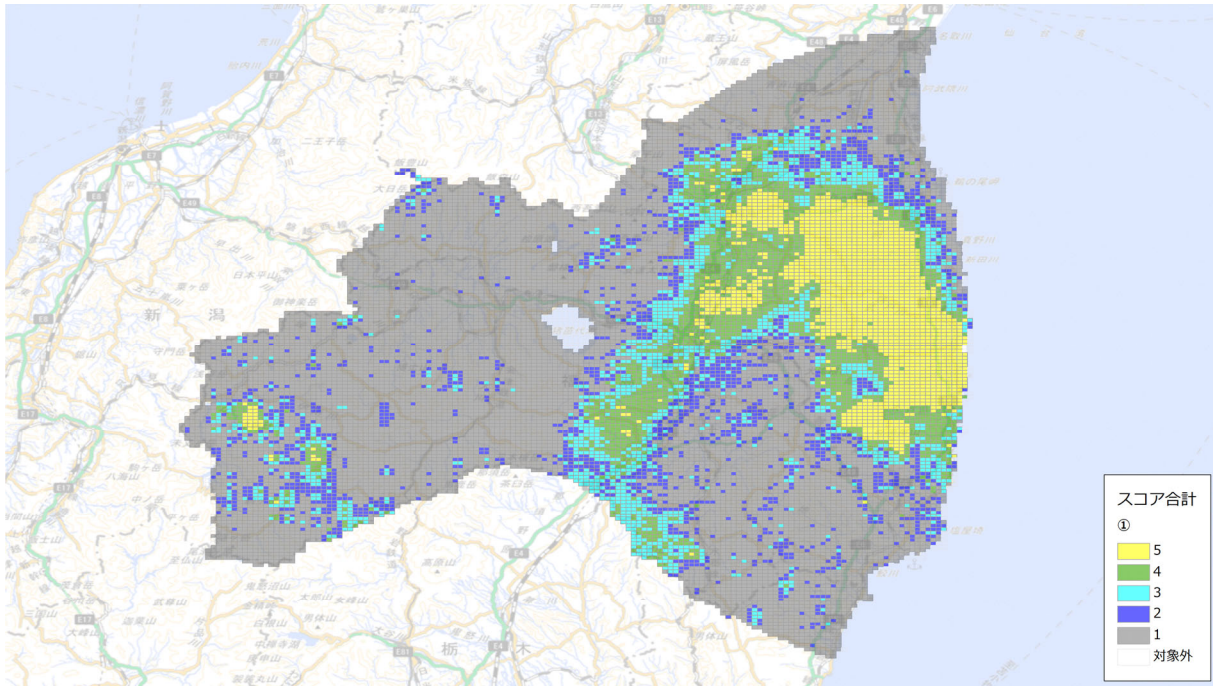


図 6-5 平成 29 年度に測定された空間線量率のスコアマップ例
 (背景地図：国土地理院発行 2.5 万分 1 地形図)

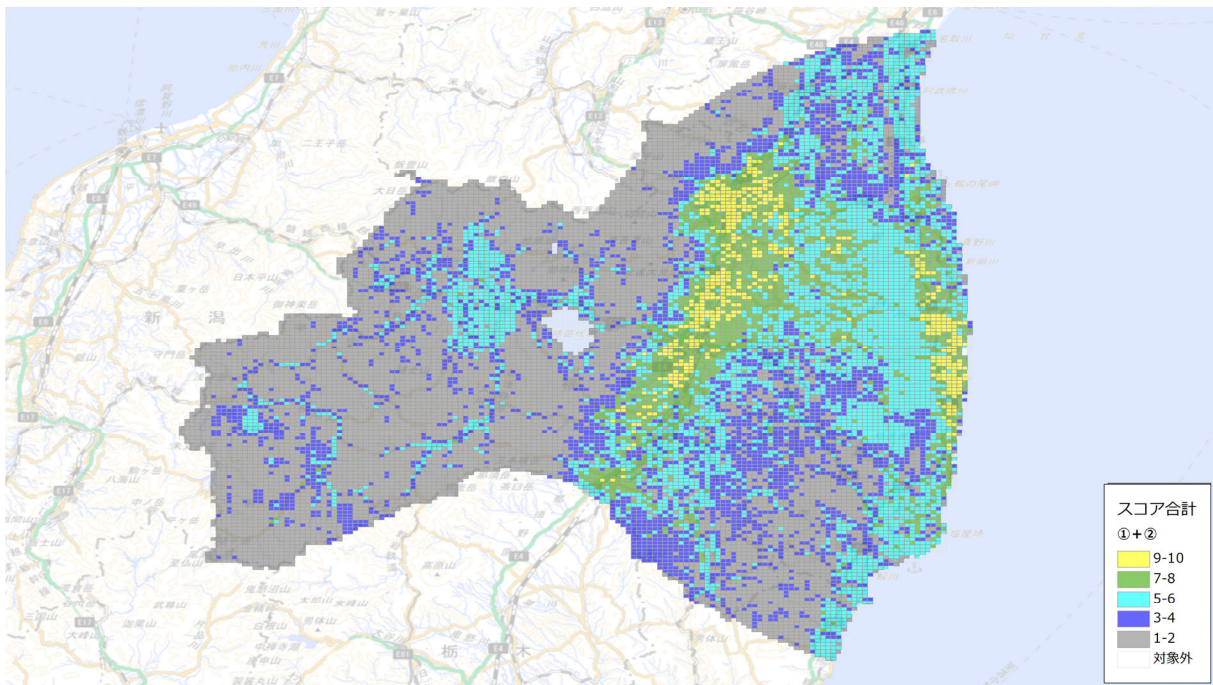


図 6-6 平成 29 年時点における空間線量率及び事故前の人口密度を合計したスコアマップ例
 (背景地図：国土地理院発行 2.5 万分 1 地形図)

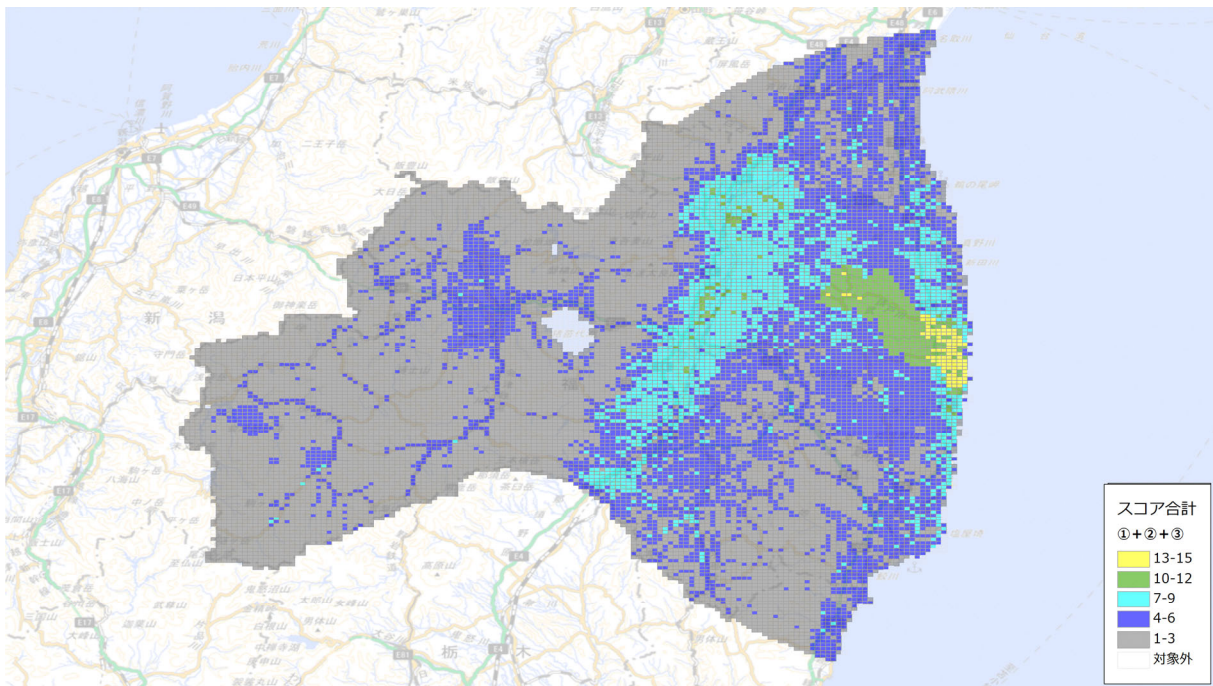


図 6-7 平成 29 年時点における空間線量率、事故前の人口密度及び避難指示区域を合計したスコアマップ例

(背景地図：国土地理院発行 2.5 万分 1 地形図)

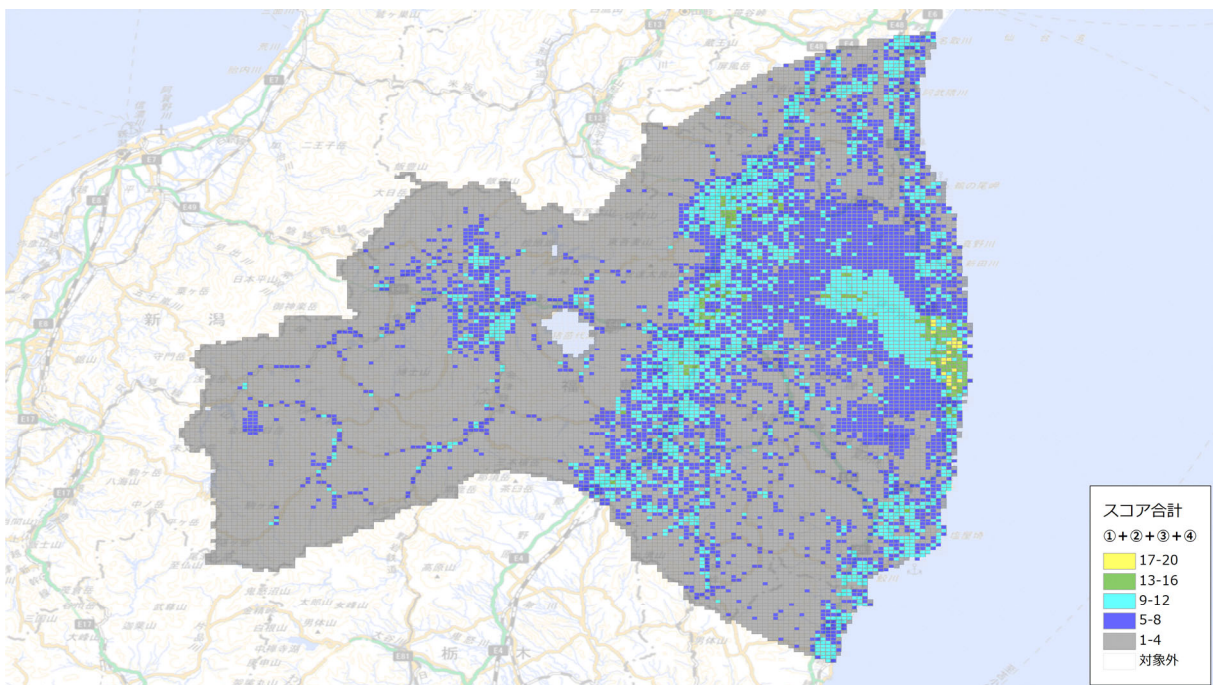


図 6-8 平成 29 年時点における空間線量率、事故前の人口密度、避難指示区域及びブランドマークを合計したスコアマップ例

(背景地図：国土地理院発行 2.5 万分 1 地形図)

6.4.3 年度別の評価例

スコアの普遍性について評価するため、平成 30 年度から令和 2 年度の 3 年間ににおける放射線モニタリングデータを用いてスコア評価と平成 29 年度に実施したスコア評価の結果の比較を行った。前述の通り、スコア評価は実際に除染等で線量率が下がった場合にスコアの変動があることは許容されるが、線量率の測定条件や測定場所の増減で大きく変動しないことが望ましい。そのような、測定条件や測定ポイントによる影響の程度について本項では考察する。

平成 30 年度から令和 2 年度に得られたモニタリングデータを加味したスコアマップについて、それぞれ図 6-9～図 6-11 に示す。このように、平成 29 年度のスコアマップと全体的な傾向については一致している。スコアの差をそれぞれヒストグラムとして図 6-12 に示す。また、変動したメッシュ数について、表 6-5～表 6-7 に示す。スコアが±2 となるメッシュは高スコア（13 以上）では確認されなかった。また、スコア 12 以下で±2 を超える箇所は、山間部や海岸線沿いのデータの位置情報の若干の違いにより、メッシュ内に測定箇所が年度により測定結果がある場合とない場合があるようなデータ集計上の誤差が大きくなる場所のみであることが分かった。この結果から、本手法は、継続的なモニタリングデータを使用することによって、一定の「普遍性」を提示することができるものと考えられる。一方、メッシュ内に測定データの有無が年度によってばらつきがあるような場所では、スコアの変動がありうるため、注意が必要である。

表 6-5 平成 30 年度/平成 29 年度のスコア差

スコア	+5	+4	+3	+2	+1	+0	-1	-2	-3	-4	-5
17-20	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0
13-16	0	0	0	0	4	128	14	0	0	0	0
9-12	0	0	2	12	176	1586	240	12	1	0	0
5-8	0	0	2	24	244	3091	435	35	4	0	0
1-4	0	1	28	202	787	7448	825	110	8	0	0
0	0	0	0	0	0	204	0	0	0	0	0

表 6-6 令和元年度/平成 29 年度のスコア差

スコア	+5	+4	+3	+2	+1	+0	-1	-2	-3	-4	-5
17-20	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0
13-16	0	0	0	0	4	129	13	0	0	0	0
9-12	0	0	1	7	137	1643	233	7	1	0	0
5-8	0	1	7	27	249	3065	441	43	0	1	1
1-4	0	0	35	319	1034	7260	690	66	5	0	0
0	0	0	0	0	0	204	0	0	0	0	0

表 6-7 令和 2 年度/平成 29 年度のスコア差

スコア	+5	+4	+3	+2	+1	+0	-1	-2	-3	-4	-5
17-20	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0
13-16	0	0	0	0	1	127	18	0	0	0	0
9-12	0	0	0	13	159	1598	247	10	2	0	0
5-8	0	0	1	7	287	3051	445	39	3	1	1
1-4	0	3	30	168	875	7510	734	81	8	0	0
0	0	0	0	0	0	204	0	0	0	0	0

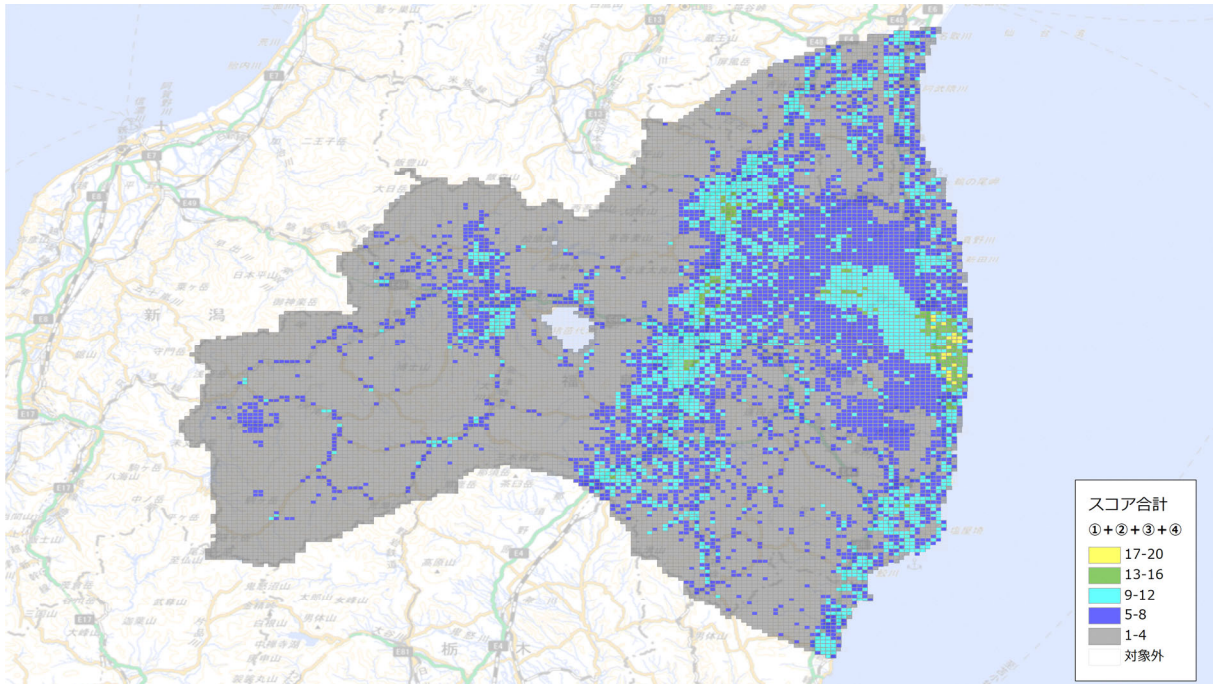


図 6-9 平成 30 年時点における空間線量率、事故前の人口密度、避難指示区域及びランドマークを合計したスコアマップ

(背景地図：国土地理院発行 2.5 万分 1 地形図)

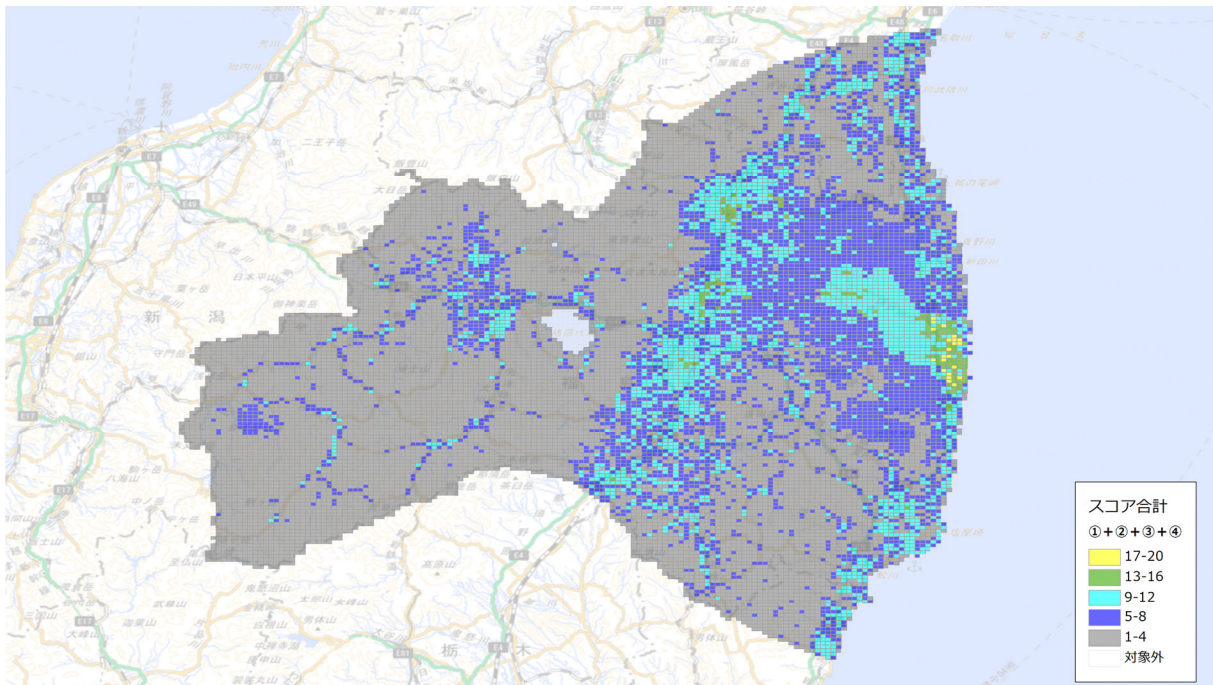


図 6-10 令和元年時点における空間線量率、事故前の人口密度、避難指示区域及びランドマークを合計したスコアマップ

(背景地図：国土地理院発行 2.5 万分 1 地形図)

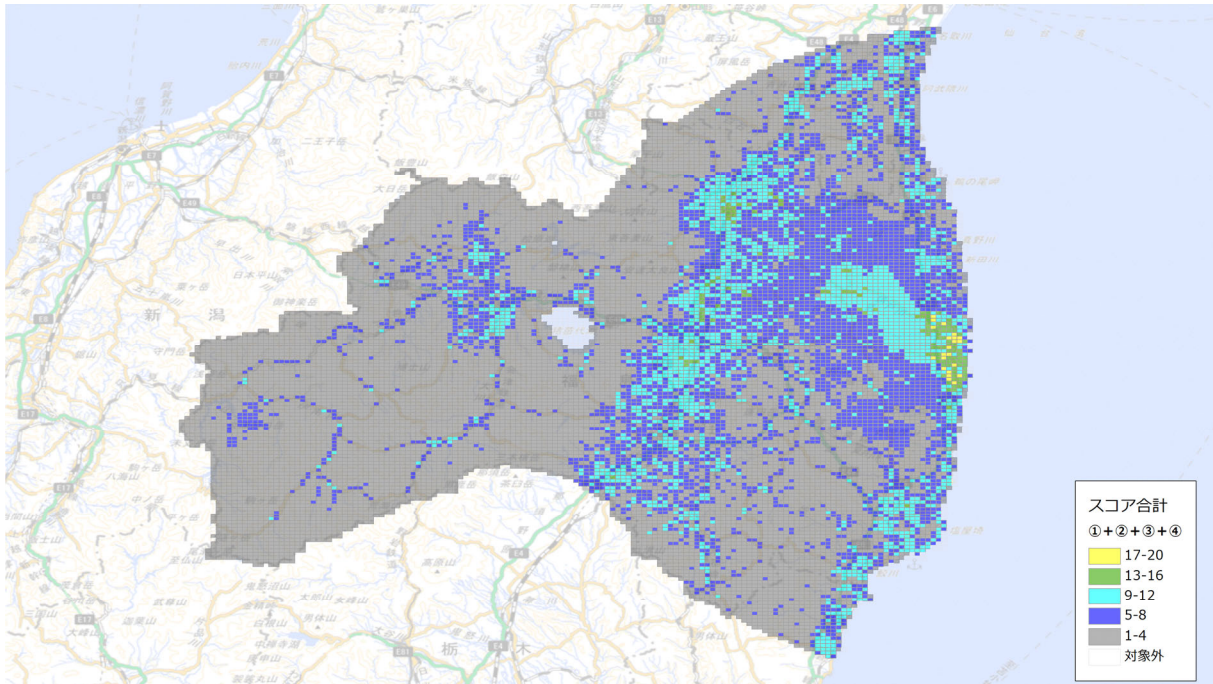


図 6-11 令和 2 年時点における空間線量率、事故前の人口密度、避難指示区域及びランドマークを合計したスコアマップ

(背景地図：国土地理院発行 2.5 万分 1 地形図)

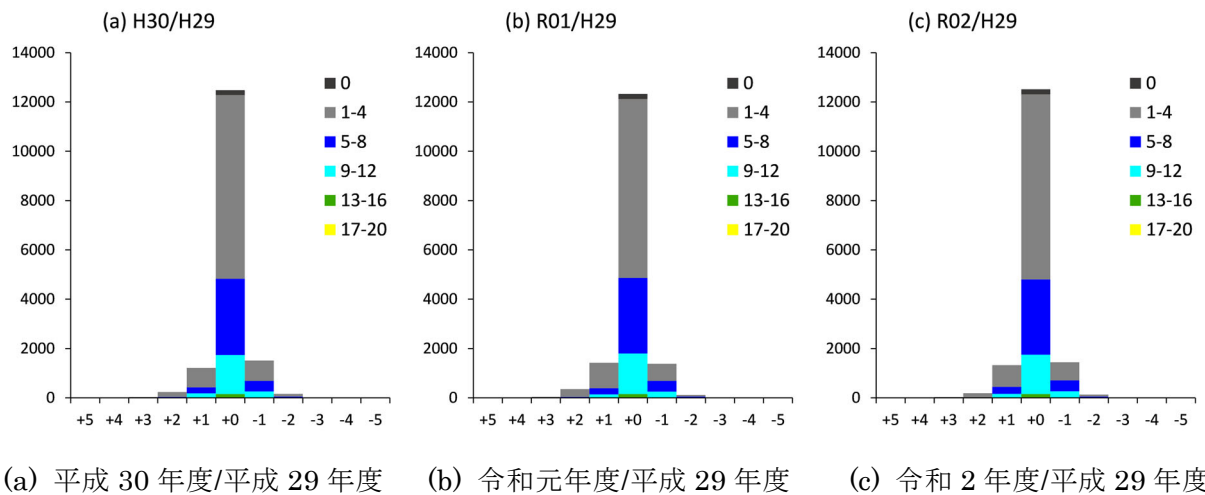


図 6-12 各年度のスコアの差異

6.5 評価結果のまとめ

本検討では、現在実施されている空間線量率の測定の状況を整理するとともに、測定に際しエリアの代表性を評価する方法案を提示した。事故から10年経過し、政府機関、研究機関、関係自治体により陸域のモニタリングが実施されたことにより、大量のデータが蓄積されている。現状の空間線量率の測定は、有人ヘリコプターを用いた航空機サーベイや車両を用いた走行サーベイ等様々な手法が採用されているが、手法の特徴を加味して、それぞれの地域に適材適所で適用するモニタリング手法を選定すべきと考える。現状の空間線量率の数値は、避難指示区域を除いて、全体としては低い水準であることが確認されている。このような状況を踏まえると、6.4節で示したような評価手法を元に測定頻度とポイント数と配置の見直しを行うことは有効と考えられる。令和元年度に提言したモニタリングの変更方針⁴⁰⁾を以下に再掲する。

「今後の陸域における空間線量率モニタリングの計画策定に当たっては、データの連続性や科学的根拠に立脚した上で、空間線量率の数値に加えて、現存被ばく状況における一般住民の被ばく線量を長期的に把握するため、人口密度や避難指示区域及び学校などの人が集まりやすい施設の位置などを相対的に比較し、地点の代表性を考慮すべきである。」

このような、測定ポイントを選定する基礎となる評価は空間線量率だけでなく土壤中の放射性物質濃度などの測定対象ごとに継続的に検討すべきであると考えられる。令和3年度はそのような観点から過去4年度分のデータでスコア評価を実施し、その影響について調査した。また、各測定ポイントの分布状況について整理・評価した際、近傍に同スコアに分類されるポイントが存在する測定ポイントが複数確認された。これらの測定ポイントについては、相互の過去のデータを比較し線量の水準が同一レベルであれば、実施機関の間で十分な調整を行った上で、測定ポイントの集約による効率化を検討することが考えられる。ただし、空間線量率の測定の目的は「住民の安全・安心のための基礎データ」という一面もあり、モニタリングデータの科学的な評価結果だけでは測定ポイントの重点化・最適化に対して住民の理解が得られない可能性があることに留意が必要である。

7. 海洋のモニタリングデータの評価

7.1 調査目的

総合モニタリング計画は、平成 23 年 8 月 2 日に政府が原子力災害対策本部の下にモニタリング調整会議を設置し策定したもので、この計画に基づき、関係府省、地方公共団体、原子力事業者等が連携してモニタリングを実施することとなっている。海域に関するモニタリングの実施項目については、別紙「海域モニタリングの進め方」にまとめられている。本計画はおよそ 1 年毎に見直されており、最新は令和 3 年 4 月 1 日に改定されている。事故から 11 年を経過した現在、海域環境中での放射性物質の分布状況は概ね明らかとなりつつあり、効率的かつ効果的な海域モニタリングの在り方について改めて検討する時期に差し掛かっている。

令和 3 年度調査では、令和 2 年度までに総合モニタリング計画で実施された海域モニタリングの測定結果について集約するとともに、過去からの変動や濃度などの測定結果の評価を行なった。なお、評価方法については、平成 31 年度及び令和 2 年度放射性物質測定調査委託費（福島県近沿岸海域等における放射性物質等の状況調査）事業（以下これらを「平成 31 年度海域事業」及び「令和 2 年度海域事業」という。）の報告書で用いた方法を適用した。本報告書では、海洋のモニタリング（海水・海底土）について、事故による影響が大きかったセシウム 137 に関する詳細な解析結果を示す。

7.2 調査内容

総合モニタリング計画に記載された、放射性セシウム濃度を測定している海水モニタリング地点全 351 地点及び海底土モニタリング地点全 200 地点における令和 3 年 3 月期までの測定結果を、令和 2 年 3 月期までのデータを解析した令和 2 年度海域事業に倣い、以下の 3 項目について解析を実施した。

- ① 事故から 6 年後以降（平成 29 年 4 月から令和 3 年 3 月まで）の平均放射性物質濃度（以下、現状の濃度）の算出。
- ② 事故から 2 年目以降の放射性物質濃度の変動ファクター（以下、変動ファクター）の算出：事故後 2 年目以降のモニタリングデータについて経過時間に対する対数線形回帰分析を行った。実測値と回帰関数から得られた予測値との相対誤差を求め、得られた誤差の標本標準偏差（標準誤差）の 2 倍を変動ファクター（90-95%信頼限界値）と定義した。
- ③ 事故から 2 年目以降の実効半減期（以下、実効半減期）の算出：上記の対数線形回帰直線の傾きから実効半減期を求めた。

評価例として、福島第一原発 5 及び 6 号機放水口北側に位置する T-1 地点における海底土のセシウム 137 の測定結果と近似直線を図 7-1 に示す。

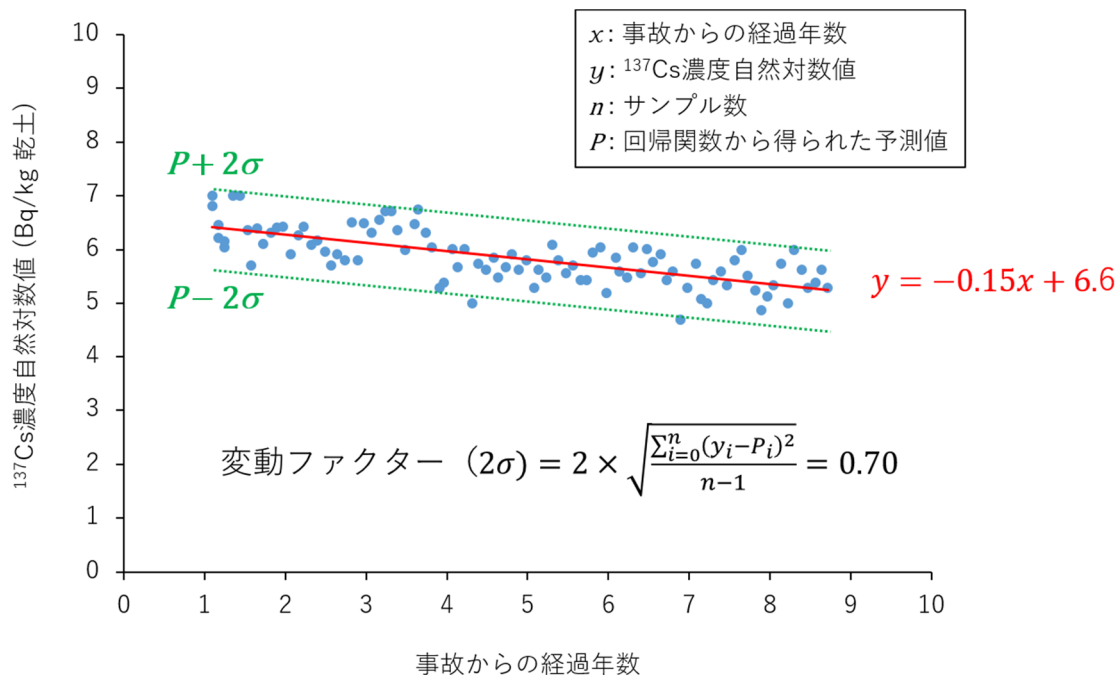


図 7-1 海底土のセシウム 137 濃度の測定結果例
 (実線は近似曲線、点線は標本標準偏差 (標準誤差) の 2 倍を意味する。)

7.3 調査結果

7.3.1 海水モニタリングの解析

全 351 地点のセシウム 137 のモニタリング結果について 7.2.1 項に示した 3 項目の解析を行った。採取ポイントの重要度について相互比較を行うため、以下の 2 段階の判定基準を設定し、6 ランクに分類した。

- 第 1 段階

「現状の濃度」及び「変動ファクターから推測される 95 パーセンタイル値^a (現状の濃度×変動ファクター、以下、95 パーセンタイル値)」の 2 つの数値を用いて以下のように判定する。

ランク A: 現状の濃度が 0.5 Bq/L 以上

ランク B: 現状の濃度は 0.5 Bq/L 未満だが、95 パーセンタイル値が 0.5 Bq/L を超過する可能性がある

ランク C: 0.5 Bq/L 超過の可能性は低いが、現状の濃度が 0.01 Bq/L 以上、または 95 パーセンタイル値が 0.01 Bq/L 超過の可能性がある

ランク D: 現状の濃度が平常の変動上限値 0.01 Bq/L を下回り、95 パーセンタイル値も 0.01 Bq/L を超過する可能性が低い

^a 試料数により 95-97.5 パーセンタイル値となるが、本報告書では保守的に 95 パーセンタイル値と標記する。

判定基準である 0.5 Bq/L は、濃縮係数を 100⁴¹⁾ とした場合の水産物の基準値 (100 Bq/kg 湿潤) に相当する海水濃度値 (1 Bq/L) に濃度値の誤差やバラつきを考慮した安全係数 2 で除した数値として設定した。もう一つの判定基準となる平常の変動上限値 0.01 Bq/L については、事故前の放射性セシウム濃度レベル (2006~2010 年 (平成 18~22 年)) 度の「海洋環境放射能総合評価事業」におけるモニタリング結果⁴²⁾ の最大値 (0.004 Bq/L) 及び「平常時モニタリングについて」(平成 30 年 4 月 4 日付原子力災害対策指針補足参考資料) の陸水セシウム 137 濃度測定目標値 (0.008 Bq/L) を参考として設定した。

- 第 2 段階

第 1 段階においてランク B 及び C に該当した採取ポイントについて、実効半減期がセシウム 137 の物理的半減期相当である 30 年を超えた場合、新たな流入影響の可能性が考えられるため、それぞれランク B*及び C*として区別した。表 7-1 に各海域のランク分け結果について示す。

表 7-1 各海域の海水ランク分け結果

	A	B*	B	C*	C	D	計
岩手県	0	0	0	0	0	4	4
宮城県	0	0	0	0	1	37	38
福島県	0	0	3	0	49	68	120
茨城県	0	0	0	0	0	22	22
沖合	0	0	0	0	0	84	84
外洋海域	0	0	0	1	0	57	58
東京湾	0	0	0	0	1	24	25
計	0	0	3	1	51	296	351

7.3.2 海底土モニタリングの解析

全 200 地点のセシウム 137 のモニタリング結果について 7.2.1 項に示した 3 項目の解析を行った。海水と同様、採取ポイントの重要度について相互比較を行うため、以下の 2 段階の判定基準を設定し、6 ランクに分類した。

- 第 1 段階

「現状の濃度」及び「変動ファクターから推測される 95 パーセンタイル値 (現状の濃度×変動ファクター、以下、95 パーセンタイル値)」の 2 つの数値を用いて以下のように

判定する。

ランク A: 現状の濃度が 50 Bq/kg 乾土以上

ランク B: 現状の濃度は 50 Bq/kg 乾土未満だが、95 パーセンタイル値が 50 Bq/kg 乾土を超過する可能性がある

ランク C: 50 Bq/kg 乾土超過の可能性は低い、現状の濃度が 10 Bq/kg 乾土以上、または 95 パーセンタイル値が 10 Bq/kg 乾土超過の可能性はある

ランク D: 現状の濃度が平常の変動上限値 10 Bq/kg 乾土を下回り、95 パーセンタイル値も 10 Bq/kg 乾土を超過する可能性が低い

判定基準である 50 Bq/kg 乾土は、原子炉等規制法に定められる放射性セシウムのクリアランスレベル (100 Bq/kg) を参考とし、濃度値の誤差やバラつきを考慮した安全係数 2 で除した数値を設定した。もう一つの判定基準となる平常の変動上限値 10 Bq/kg 乾土については、事故前の放射性セシウム濃度レベル (2006~2010 年 (平成 18~22 年) 度の「海洋環境放射能総合評価事業」におけるモニタリング結果⁴²⁾ の最大値 (9.5 Bq/kg 乾土) 及び「平常時モニタリングについて」(平成 30 年 4 月 4 日付原子力災害対策指針補足参考資料) の陸水セシウム 137 濃度測定目標値 (3 Bq/kg 乾土) を参考として設定した。

• 第 2 段階

第 1 段階においてランク B 及び C に該当した採取ポイントについて、実効半減期がセシウム 137 の物理的半減期相当である 30 年を超えた場合、新たな流入影響の可能性が考えられるため、それぞれランク B*及び C*として区別した。表 7-2 に各海域のランク分け結果について示す。

表 7-2 各海域の海底土ランク分け結果

	A	B*	B	C*	C	D	計
岩手県	0	1	0	0	0	5	6
宮城県	9	0	4	0	5	2	20
福島県	47	3	34	0	18	9	111
茨城県	0	0	2	0	2	1	5
沖合	4	0	1	0	18	9	32
東京湾	4	3	1	1	12	5	26
計	64	7	42	1	55	31	200

7.3.3 過年度評価結果との比較

7.3.1 項及び 7.3.2 項で評価したランク分け結果について、令和 2 年度海域事業の結果から変化した地点を表 7-3 及び表 7-4 に整理した。令和 2 年度評価結果からランクが上昇した採取ポイントは、海水で 2 地点（全採取ポイントの 0.6%）、海底土で 15 地点（7.5%）であった。また、令和 2 年度評価結果からランクが下降した採取ポイントは、海水で 2 地点（0.6%）、海底土で 14 地点（7.0%）であった。すなわち、海水の採取ポイントの 99%、海底土の採取ポイントの 86%で、1 年分（令和 2 年 4 月期～令和 3 年 3 月期）のモニタリングデータを追加しても、評価ランクが変動しなかったことになる。このことから、平成 31 年度及び令和 2 年度海域事業で策定したモニタリングデータの解析方法は、効率的かつ効果的な海域モニタリングの在り方について検討するにあたり、長期的な変動傾向の評価に一定の有効性があると考えられる。

本年度にランクが上昇した採取ポイント（表 7-3 及び表 7-4、図 7-2 及び図 7-3）のうち、海水の M-20 地点、海底土の M-J1 地点及び M-MI4 地点を除く 14 地点は河口から 5 km 以内の沿岸域に位置している。これらの地点は、令和 2 年度海域事業報告書で言及（「河口近傍 5 km 以内の地点においては、台風のような出水等の事象により海底土の放射性セシウム濃度が上昇する事象が明らかになっており、当面は季節的な変動を評価しうる頻度でのモニタリングを継続することが望ましい。」）されているように、陸域から輸送される放射性セシウムの影響を強く受けていると考えられる。河口から 10 km 程度離れた M-J1 地点及び M-MI4 地点においても、記録的な大出水であった令和元年東日本台風後に、上記地点と同様な海底土中のセシウム 137 濃度の上昇が観察された（図 7-3）。これらの結果を考慮すると、河口周辺における出水期及び出水後のモニタリングについては今後も継続的に実施する必要があると考えられる。一方、M-20 地点については、1 度だけの高い海水中セシウム 137 濃度の観測によってランクが上昇したものであった（図 7-2）。今回適用した評価方法では、一時的な濃度変化によってもランクが変化しうるため、ランクの変更にあたっては、濃度変化が継続的なものであるか、十分に検討すべきと考えられる。例えば、平成 31 年度海域事業の評価結果から、令和 2 年度海域事業の結果でランクが変化したにもかかわらず、令和 3 年度に再び平成 31 年度のランクに戻っている地点が複数存在した（表 7-5）。また、令和 2 年度海域事業からランクが上昇した地点においても、その濃度変動が令和 2 年度海域事業で評価した変動幅の範囲内である地点も複数存在した。したがって、都度ランクを変更するのではなく、複数年の結果を踏まえて評価を実施することによって、海域モニタリングの効率化・重点化をより適切に進めることができると考えられる。

表 7-3 令和2年度海域事業評価結果からランクが変化した地点（海水）

		令和2年度海域事業の評価ランク（令和2年3月までのデータを使用）				
		A	B*	B	C*	C
本年度のランク （令和3年3月までのデータを使用）	A					
	B*					
	B					(福島県) T-2
	C*					(外洋) M-20
	C					
	D					(宮城県) T-MG4 (福島県) T-22

表 7-4 令和 2 年度海域事業評価結果からランクが変化した地点（海底土）

		令和 2 年度海域事業の評価ランク（令和 2 年 3 月までのデータを使用）					
		A	B*	B	C*	C	D
本年度のランク（令和 3 年 3 月までのデータを使用）	A		(福島県) T-S8, T-13-1	(福島県) T-11, T-18, 沿岸13, 沿岸14			
	B*			(岩手県) E-31 (東京湾) E-T6		(福島県) E-7C	
	B	(宮城県) E-4G, E-44 (福島県) T-4, T-⑧, T-7, E-79	(茨城県) E-81			(岩手県) E-4F (福島県) T-S1, 沿岸12, 沿岸19 (沖合) M-J1	
	C*						
	C		(東京湾) E-T4	(宮城県) E-45 (福島県) 沿岸35 (沖合) M-C3, M-E1 (東京湾) M-C8	(茨城県) E-84		(沖合) M-MI4
	D						

表 7-5 平成 31 年度海域事業から令和 3 年度調査にかけてのランク変化状況

R1年度からR3年度までランクが変化しなかった地点	153地点		
R2年度にランクが変化した が、R3年度はR1年度 ランクに戻った地点	10地点	R2年度に上昇した地点	4地点
		R2年度に下降した地点	6地点
ランクが1回変化した地点	34地点	R3年度に上昇した地点	7地点
		R3年度に下降した地点	8地点
		R2年度に上昇した地点	10地点
		R2年度に下降した地点	9地点
ランクが2回変化した地点	3地点	2回上昇した地点	2地点
		2回下降した地点	1地点

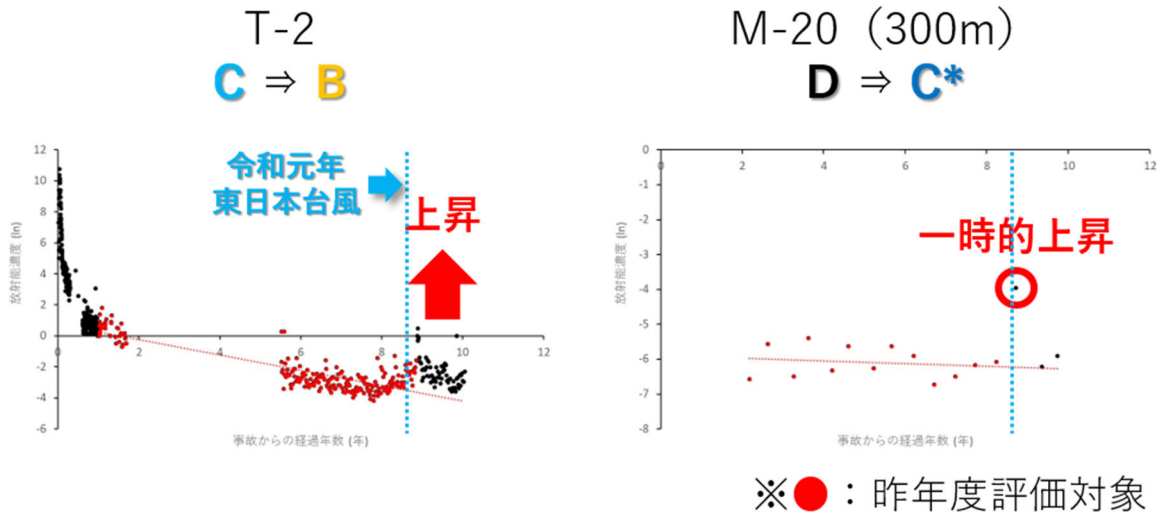


図 7-2 令和 2 年度海域事業評価結果からランクが上昇した地点（海水）

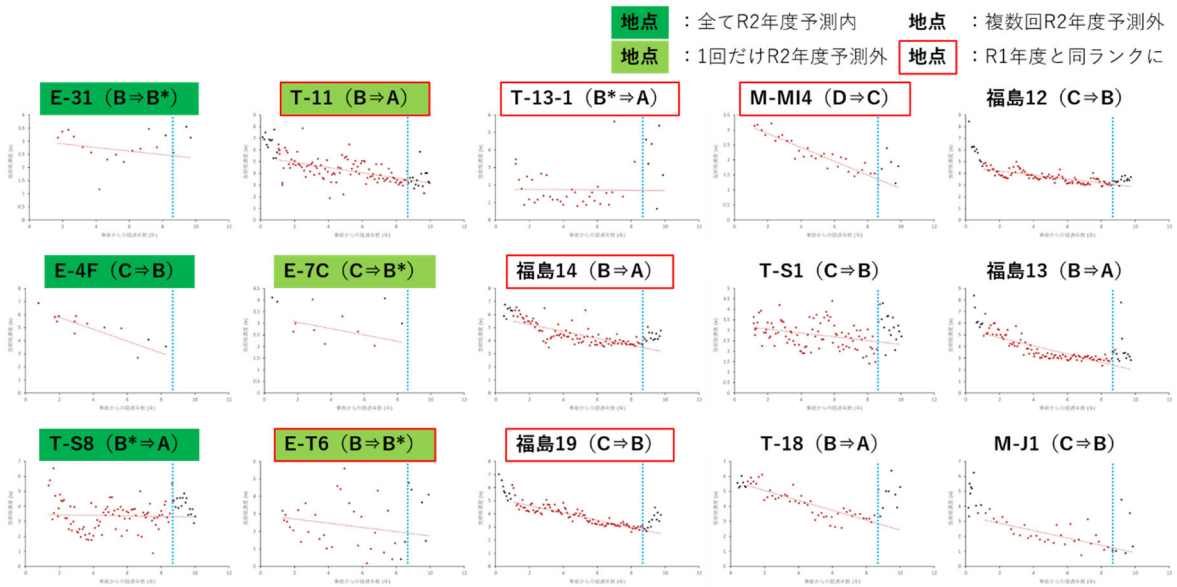


図 7-3 令和 2 年度海域事業評価結果からランクが上昇した地点（海底土）

8. 実測データの統合的解析

8.1 調査目的

分布状況調査においては、平成 23 年度より、80 km 圏内を中心に数種類の異なる測定方法を用いて空間線量率分布に関する大規模な調査を行ってきた。また、分布状況調査と並行して、人が立ち入れない場所を含むより広域を対象とした航空機サーベイが継続的に行われ、広域の空間線量率分布マップが作成されている。しかし、空間線量率の各測定方法にはそれぞれ固有の特性があることから、測定データは個別に評価・考察がされている。これらの異なった測定手法の特性を考慮して空間線量率情報を統合することは、統一的なわかりやすい情報の提供を可能とし、政策上や被ばく評価上有益であると考えられる。ここでは、精度と空間分解能の異なる多様な空間線量率情報を地図上で統合表示する手法を適用した。

分布状況調査ではこれまで、平成 28 年度に、異なる方法で測定された空間線量率の分布マップを階層ベイズ統計により統合する手法⁴³⁾を適用し、平成 27 年度に測定された歩行サーベイ、走行サーベイ及び航空機サーベイの結果を統合して、人間の生活する場を対象とする歩行サーベイを避難指示区域全域で行ったことを想定した統合空間線量率マップ（以下、統合マップ）を作成した⁴⁴⁾。また、平成 29 年度は 80 km 圏内全域に解析対象を広げ、平成 28 年度に測定された歩行サーベイ、走行サーベイ及び航空機サーベイの結果を統合した統合マップを作成した⁴⁵⁾。平成 30 年度は、平成 29 年度に測定された各種測定データを統合して 80 km 圏内の統合マップを作成するとともに、平成 25 年度、平成 26 年度及び平成 27 年度に実施された測定データを対象に、統合のための基本的な情報である各測定データ間の相関関係を解析し、統合マップを作成した⁴⁶⁾。令和元年度は、平成 30 年度及び令和元年度について、歩行サーベイ、走行サーベイ及び航空機サーベイの結果を統合した 80 km 圏内の統合マップを作成するとともに、解析対象を福島県全域に広げ、平成 29 年度、平成 30 年度及び令和元年度について統合マップを作成した⁴⁷⁾。福島県全域の解析においては、80 km 圏外の歩行サーベイの不足を補うために、福島県が実施した「モニタリングメッシュ調査」^{b)}の結果を歩行サーベイ相当データとして利用した。令和 2 年度は、令和 2 年度に測定された歩行サーベイ、走行サーベイ及び航空機サーベイの結果を統合して 80 km 圏内の統合マップを作成するとともに、モニタリングメッシュ調査の結果を加えて福島県全域の統合マップを作成した⁴⁸⁾。また、令和元年度の福島県全域の統合マップに対して、定点サーベイ及び林野庁による「福島県内に所在するレクリエーションの森等における空間線量率調査」⁴⁹⁾及び「旧避難指示区域等国有林内におけるモニタリ

^{b)} 福島県内を 2 km メッシュに分け、福島県内（帰還困難区域を除く）の主な生活道路等を対象として、原則としてメッシュごとに 1 調査地点を選定し、サーベイメータを用いた定点測定により地表面から高さ 1 m の空間線量率を測定している³¹⁾。測定地点は約 2,900 点である。福島県内全域を測定した代表的な測定結果であり、他の測定結果と比較して 80 km 圏外のデータが多いことから、歩行サーベイデータを補足するデータとして有用であると考えられる。

ング調査事業」⁵⁰⁾(以下、林野庁調査[○])の測定データとの比較による精度検証を行うとともに、林野庁調査データを歩行サーベイ相当データとして加えた統合マップを作成し、統合マップに与える影響について検討した。令和2年度の検討により、林野庁調査等の定点サーベイを加えることで統合マップの精度が向上することが確認できたため、令和3年度は、令和3年度に測定された歩行サーベイ、定点サーベイ、モニタリングメッシュ調査、走行サーベイ及び航空機サーベイに加え、令和2年度に測定された林野庁調査の結果を減衰補正のうえ統合し80 km圏内及び福島県全域の統合マップを作成した。

8.2 調査内容

8.2.1 異なる測定方法による空間線量率の特徴

統合マップの作成においては、統計解析を行うのに十分なデータ量を有する歩行サーベイ、走行サーベイ及び航空機サーベイの結果を対象とするが、これらはそれぞれ異なる特徴を有する。歩行サーベイは人間が生活する様々な環境における空間線量率を取得できる及び空間線量率の場所による変化を詳細に捉えた測定が可能である等の特徴を持つが、人間の歩行によるため80 km圏内あるいは福島県の全てをカバーした測定は不可能である。走行サーベイでは、広範囲を対象に膨大な量のデータを取得することが可能であり、得られた大量データは統計解析による空間線量率分布の特徴解明に用いることができるが、調査領域が車道上に限定される。航空機サーベイは300 m高度での測定を行うため地上の細かな空間線量率の変化を捉えることはできないが、測定を行いたい地域全域をカバーできるという他にない特徴を有している。

統合マップの作成思想は、これら異なる測定手法により得られたデータの特徴を活かしつつ、各々のデータを統合することで、精度と空間分解能が高い空間線量率マップを作成することである。具体的には、高い空間分解能と精度を持つがカバーできる範囲が限られる歩行サーベイ、空間分解能と精度は劣るが対象領域全域をカバーできる航空機サーベイ、その中間的な性質を持つ走行サーベイの各データを、上述の作成思想に基づいて統合した。なお、定点サーベイ、福島県によるモニタリングメッシュ調査及び林野庁調査の結果の統合においては、これらが1 m高さの空間線量率を測定していることから、歩行サーベイと同等とみなし解析を行った(このように歩行サーベイと同等とみなし得るデータを「歩行サーベイ相当データ」と呼ぶ)。

8.2.2 統合手法の概要

空間統計学の分野で用いられてきた階層ベイズモデルを、空間線量率分布を統合したマップへ応用するためのアルゴリズムは、原子力機構と米国ローレンス・バークレー国立研究所

○ 「福島県内に所在するレクリエーションの森等における空間線量率調査」⁴⁹⁾は福島県内に所在する国有林野のうちレクリエーションの森等の約200地点において、「旧避難指示区域等国有林内におけるモニタリング調査事業」⁵⁰⁾は旧避難指示区域等国有林内の約1,400地点において、サーベイメータを用いた定点測定により地表面から高さ1 mの空間線量率を測定している。

(LBNL)との共同研究により開発され、福島市周辺の狭い地域を対象に検証済みである⁴³⁾。ここでは、統合マップ作成の理論について概説する。

上記手法は、同じ地域を対象とした同時期の測定により歩行サーベイの測定データセット z_w 、走行サーベイの測定データセット z_c 、航空機サーベイの測定データセット z_A が得られた時に、最も信頼のおける空間線量率分布 y を統計手法により推定するものである。具体的には以下の式 (14) で表した条件確率 $p(y|z_w, z_c, z_A)$ が最大になるような y 及びその分散を求める。 $p(y|z_w, z_c, z_A)$ は、 z_w, z_c, z_A が観測されたという条件で空間線量率分布が y である確率を意味する。 $p(y|z_w, z_c, z_A)$ はベイズの定理により以下のように分けて書くことができる。

$$p(y|z_w, z_c, z_A) \propto p(z_A|y) p(z_c|y) p(y|z_w) \quad (14)$$

ここで、

$p(z_A|y)$: 空間線量率分布が y の時に z_A が観測される確率

$p(z_c|y)$: 空間線量率分布が y の時に z_c が観測される確率

$p(y|z_w)$: z_w が観測された時に空間線量率分布が y である確率とする。

$p(y|z_w)$ を事前確率と呼び、観測値 z_w に基づき得られた空間線量率分布 y を事前分布と呼ぶ。また、 $p(y|z_w, z_c, z_A)$ を事後確率と呼び、得られた空間線量率分布 y を事後分布と呼ぶ。前項で述べたように、歩行サーベイでは人間の生活に密着した空間線量率が得られるので、歩行サーベイにより得られた空間線量率が実際の空間線量率(統合により得たい空間線量率)であると仮定する。すなわち、歩行サーベイの測定データがある地点の空間線量率はその値を用い、測定データがない地点に対しては、仮に歩行サーベイをその地点で実施した時にどのような値が得られるかを推定する。

式 (14) の条件を満たした y を求めるために、右辺の 3 つの確率関数の基礎データを測定データの統計解析により取得することになる。 $p(z_A|y)$ 及び $p(z_c|y)$ と関連するデータモデルは、航空機サーベイと歩行サーベイの相関関係、走行サーベイと歩行サーベイの相関関係の解析により得られる。

$p(y|z_w)$ と関連したプロセスモデルは、歩行サーベイ結果の空間パターンの解析から得られる。具体的には歩行サーベイにおいて、離れた 2 メッシュ間の空間線量率が距離によりどのように変化するかを解析した。データモデル及びプロセスモデルの基となる環境モニタリング測定データ間の相関関係は土地利用状況により異なることがわかっているので、土地利用状況別に統計解析を実施しその結果を用いた。これらの関係を利用しながら確率が最大となる y とその信頼区間(標準偏差)を推定した。

なお、上記において空間線量率は全て対数変換し解析を実施している。

8.3 80 km 圏内を対象とした令和 2 年度統合マップの作成

8.3.1 対象とした測定データ

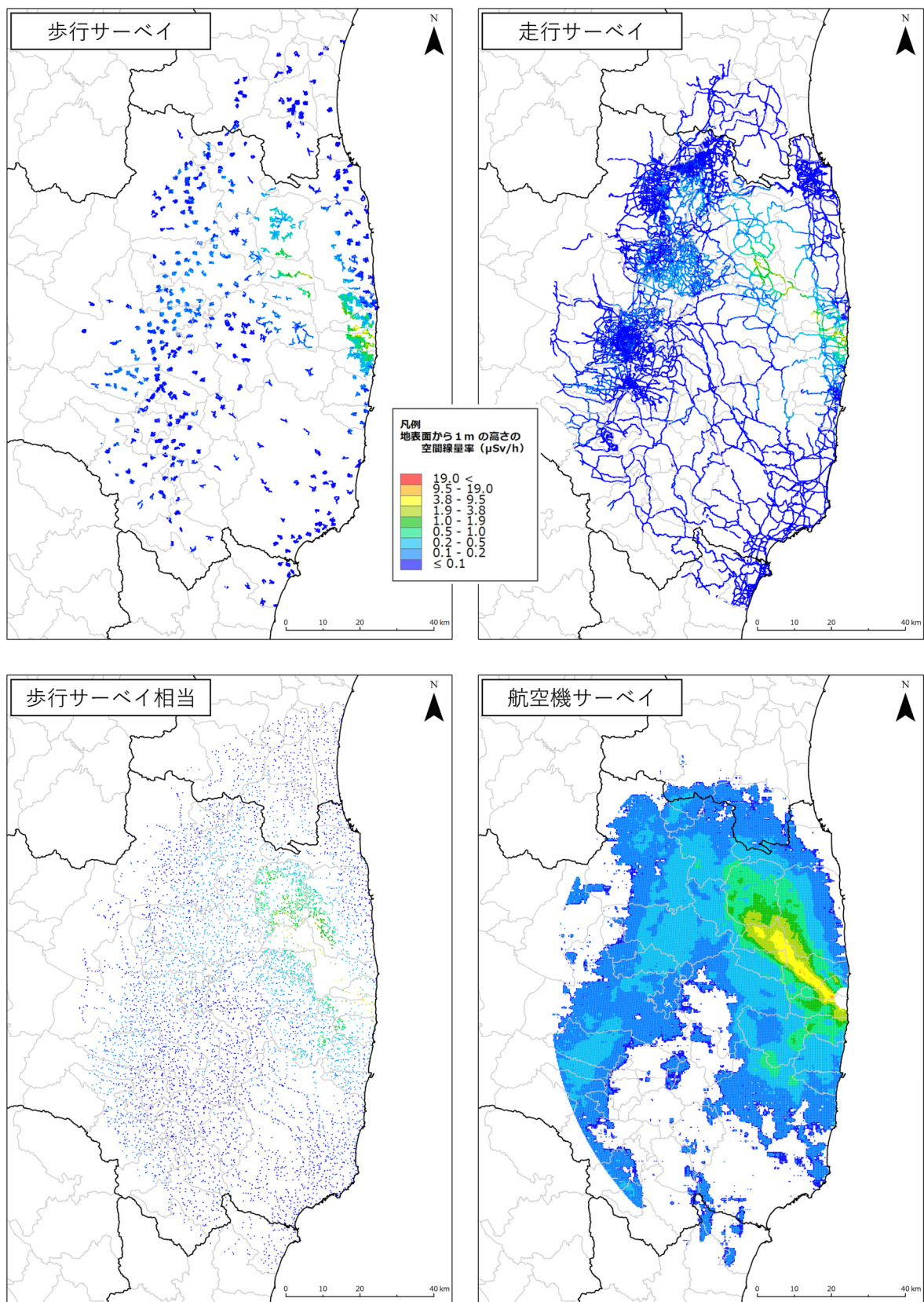
まず、80 km 圏内を対象として、令和 3 年度に測定された各種データを統合した統合マップの作成を行った。

使用したデータの一覧を表 8-1 に示す。令和 2 年度の検討により、林野庁調査等の定点サーベイを加えることで統合マップの精度が向上することが確認できたことから、歩行サーベイ相当データとして、定点サーベイ及び林野庁調査結果を含んでいる。ただし、林野庁調査の結果は令和 2 年度の測定結果を利用した。測定された全ての空間線量率を放射性セシウムの物理減衰のみを考慮して令和 3 年 10 月 25 日（航空機サーベイの補正基準日）での値となるように補正した。なお、後述の歩行サーベイの空間分布パターン解析を円滑に行うため、歩行サーベイ相当データのうち歩行サーベイの測定点に近すぎるもの、および歩行サーベイ相当データ内で測定点間距離が近すぎるデータ対の片方を取り除いた。データ対の片方を取り除く距離の基準は 18 m 未満とした。また、航空機サーベイについては過年度と同様に補正後に 0.1 $\mu\text{Sv/h}$ 未満のデータを削除した（以下、同様）。統合化を行う歩行サーベイ、走行サーベイ及び航空機サーベイの測定結果を歩行サーベイ相当データとともに図 8-1 に示す。以下では、統合化に使用する歩行サーベイデータには、断らない限り歩行サーベイ相当データを含んでいる。なお、歩行サーベイ相当データは、歩行サーベイのような連続測定ではないため、20 m メッシュでの平均化は行っていない。

過去に実施した解析により、各測定結果間の関係が平成 28 年 7 月 12 日時点における避難指示区域内と区域外で異なることが明らかになっていることから、今回の解析においても旧避難指示区域内外を分割した解析を行った。また、対象領域における土地利用状況によっても放射性物質の分布状況及び変化傾向が異なることが明らかになっていることから、宇宙航空研究開発機構（JAXA）より公開されている高解像度土地利用土地被覆図⁵⁾（ver.21.03）に基づき測定データを分類して解析を実施した。今回の解析に使用した土地利用状況を図 8-2 に示す。

表 8-1 使用データ一覧

種別	実施者	測定年度	備考
航空機サーベイ	原子力規制庁	令和 3	
走行サーベイ	原子力規制庁	令和 3	2 回目（通算第 23 回）
歩行サーベイ	原子力規制庁	令和 3	
歩行サーベイ 相当データ	原子力規制庁	令和 3	定点サーベイ
	福島県	令和 3	モニタリングメッシュ調査
	林野庁	令和 2	旧避難指示区域等国有林内におけるモニタリング調査事業
	林野庁	令和 2	福島県内に所在するレクリエーションの森等における空間線量率調査



背景地図: ESRIジャパンデータコンテンツ, (c) Esri Japan

図 8-1 令和3年度に実施された歩行、走行及び航空機サーベイ結果 (80 km 圏内)
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

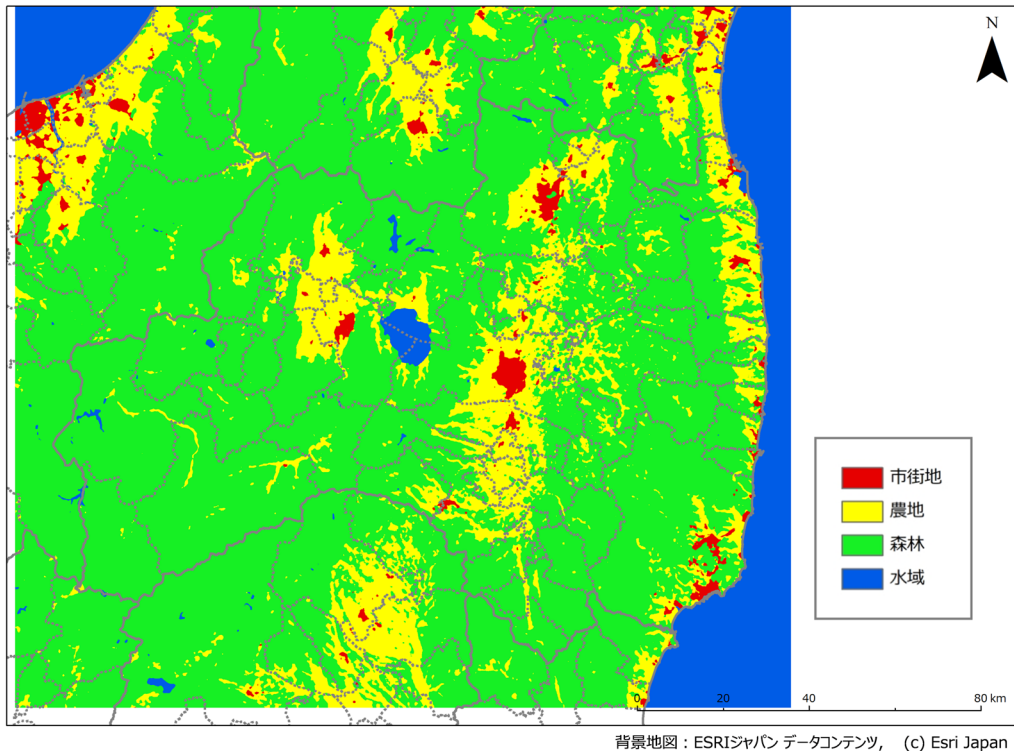


図 8-2 JAXA の高解像度土地利用土地被覆図に基づく土地利用状況

8.3.2 歩行サーベイ結果の空間分布パターンの解析

$p(y|z_w)$ のプロセスモデルを決めるために、旧避難指示区域内外の歩行サーベイデータに関する空間分布パターンの解析（バリオグラム解析）を行った。旧避難指示区域内及び同区域外（ただし 80 km 圏内。以下、本節において同様とする。）におけるバリオグラム解析を、市街地、農地、森林の 3 種の土地利用状況ごとに実施した。バリオグラム解析結果を図 8-3 に示す。縦軸の値はセミバリエンスと呼ばれる量を表しており、2 点間で観測される空間線量率の差と距離の相関を示す指標である。セミバリエンスの定義を式 (15) に示す。

$$\Gamma(h) = \frac{1}{2|N(h)|} \sum_{N(h)} (z_i - z_j)^2 \quad (15)$$

ここで、 $N(h)$ は 2 点間の距離が h となる測定値の集合である。一般に、一定の距離を越えるとセミバリエンスはほぼ一定値になり、それ以遠の空間線量率は距離との相関を持たなくなる。バリオグラムのフィッティング関数は、式 (16) に示す指数関数型を採用した。

$$f(h) = n + (s - n) \left[1 - \exp\left(-\frac{d}{r}\right) \right] \quad (16)$$

距離とセミバリエンスの相関が無くなる時点での距離の値をレンジ r 、セミバリエンスの値をシル s と呼ぶ。シルは空間線量率のばらつきの大きさ（分散）を表す。距離 d がゼロのときの値をナゲット n と呼び、ランダムノイズの効果の大きさを表している。

各パラメータの初期値を複数設定し、最小二乗フィッティングを行ったうえで、最適なパラメータセットを決定した。図から認められるように、旧避難指示区域内のシルが区域外のシルよりも大きい値となっている。これは、区域内の方が空間線量率のばらつきが大きい

めである。

歩行サーベイによる空間線量率測定結果を式 (14) の z_w として用い、本分析において旧避難区域内外及び土地利用ごとに採用したシルやレンジ、ナゲットの値を用いてグラフの形状を上記の指数関数で近似しプロセスモデルとして用いることで、空間線量率の事前分布 y を作成した。

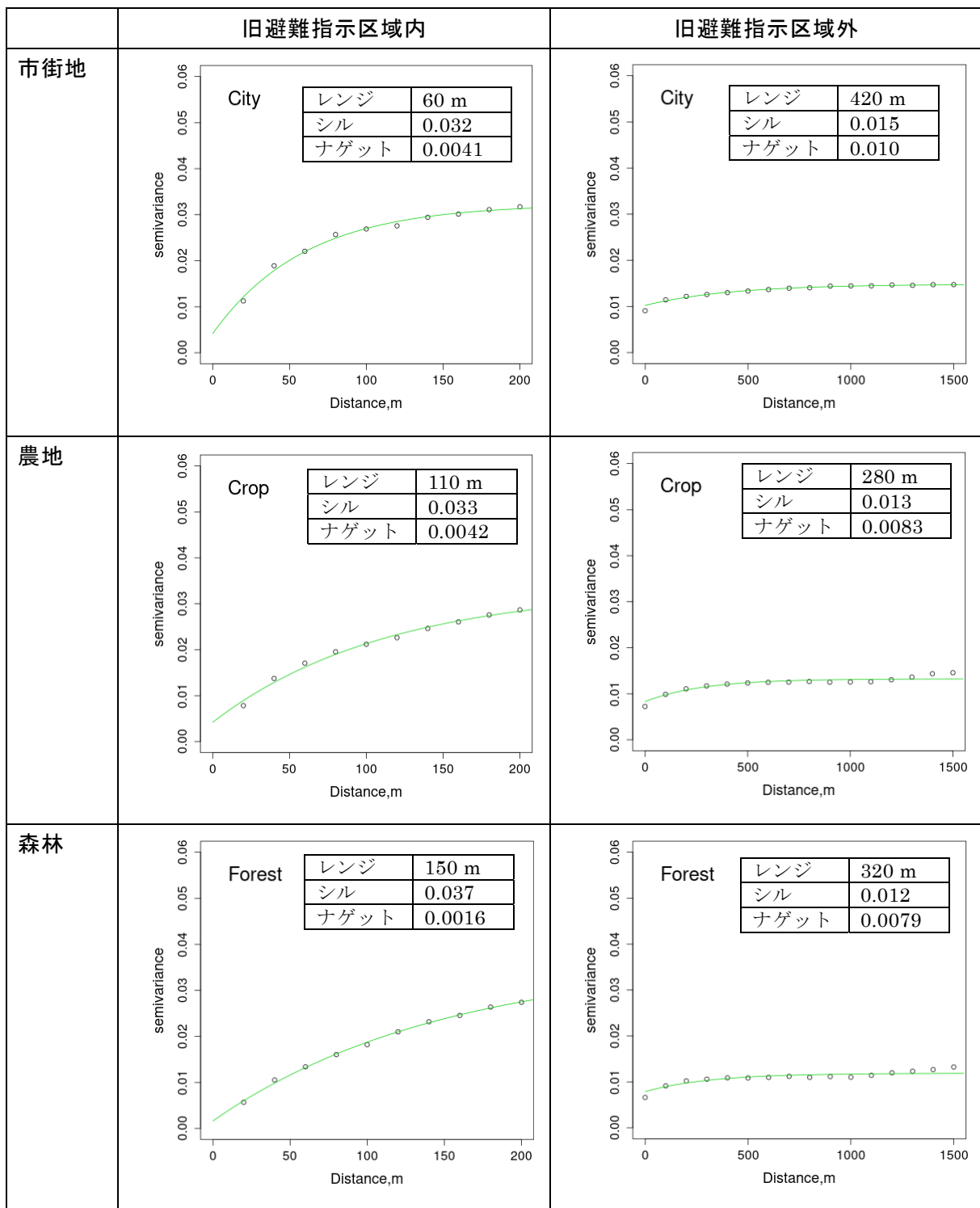


図 8-3 令和 3 年度に実施された旧避難指示区域内外における歩行サーベイによる空間線量率のバリオグラム解析結果

8.3.3 走行サーベイと歩行サーベイの比較

$p(z_c|y)$ のデータモデルを決めるために、走行サーベイと歩行サーベイの旧避難指示区域内及び同区域外での空間線量率を土地利用別に比較した。比較結果を図 8-4 に示す。平成 29 年度の解析により、歩行サーベイのデータを走行サーベイの 100 m メッシュごとに平均化したものと比較した方が、相関が改善されるという知見が得られたことから、今回の解析においても平均化した歩行サーベイ結果と走行サーベイ結果の相関を分析した。この相関分析結果を基に、走行サーベイによる空間線量率と 100 m メッシュ内で平均化した歩行サーベイの空間線量率が対数軸上で線形関係にあるとしたデータモデルを用いて走行サーベイデータを補正し、式 (14) における z_c として用いた。得られた相関分析結果に関し、森林及び農地における相関分析結果においては 0.6 を超える相関係数が得られている。市街地については、0.5 程度と相関は低いものとなっている。なお、旧避難指示区域外の相関係数が区域内の値に比べ小さい理由として、区域外の方が空間線量率の値が小さくバックグラウンドや測定精度の影響をより強く受けているものと推察される。

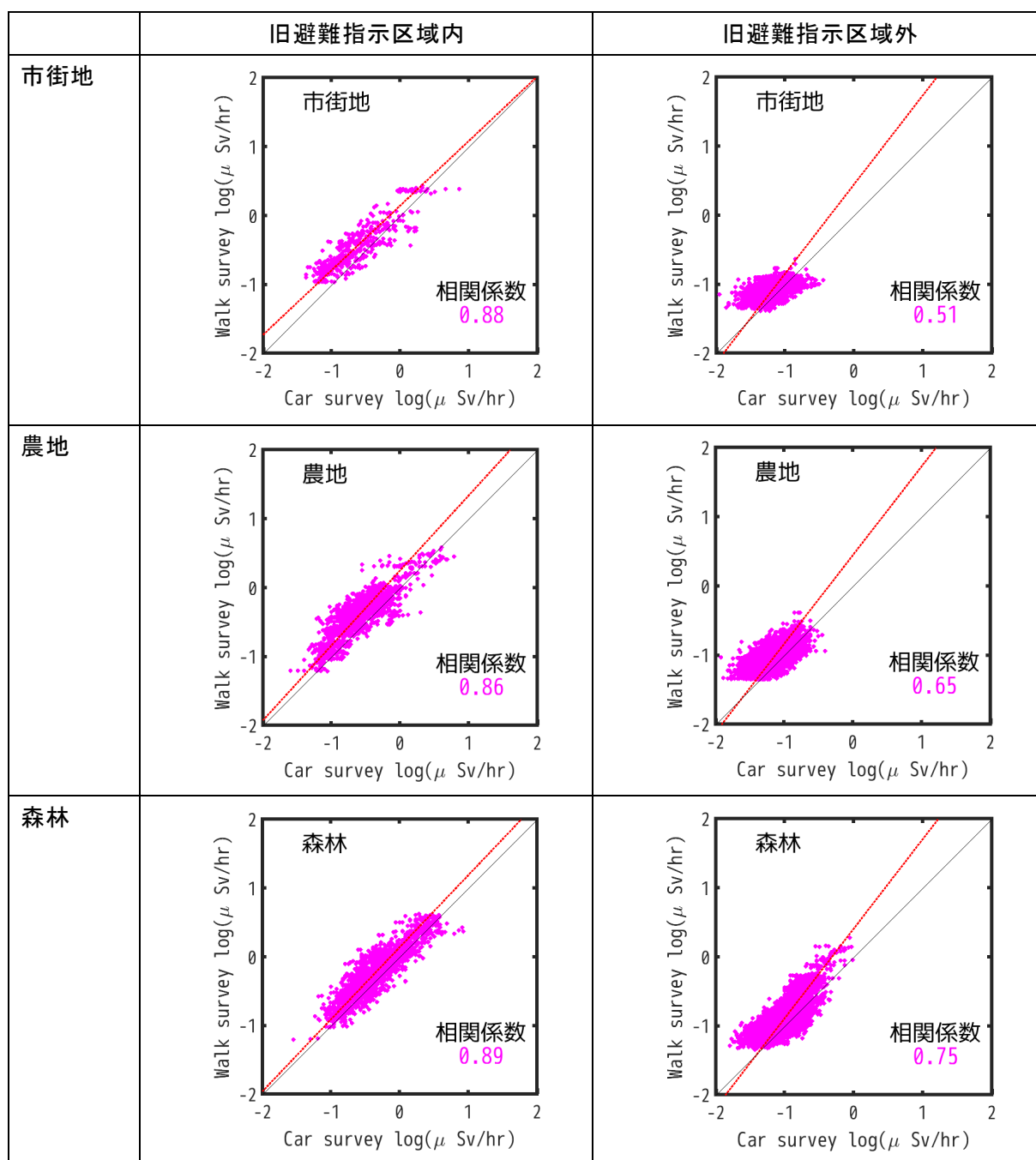


図 8-4 令和 3 年度に実施された旧避難指示区域内外における走行サーベイ（Car survey）と歩行サーベイ（Walk survey）による空間線量率の相関分析結果

（図中の破線は最小二乗法による回帰直線、実線は $y=x$ の直線。天然放射核種による空間線量率寄与を含んでいる。）

8.3.4 航空機サーベイと歩行サーベイの比較

$p(z_A|y)$ のデータモデルを決めるために、旧避難指示区域内外の航空機サーベイと歩行サーベイの空間線量率を土地利用状況ごとに比較した。比較結果を図 8-5 に示す。平成 29 年度の解析により、歩行サーベイのデータを航空機サーベイの距離に応じて加重平均化したもの（参考文献 43）の inverse-distance weighted (IDW) averaging) と比較することで、相関が改善されるという知見が得られたことから、今回の解析においても航空機サーベイ結果と距離に応じて加重平均した歩行サーベイ結果の相関を分析した。この相関分析結果を基に、加重平均した歩行サーベイ結果と航空機サーベイ結果が対数軸上で線形関係にあるとしたデータモデルを用いて航空機サーベイデータを補正し、式 (14) における z_A として用いた。表 8-2 に前項および本項における相関パラメーター一覧を示す。

表 8-2 相関のパラメータ

($\log_{10}(\text{走行})=a \times \log_{10}(\text{歩行})+b$ で最小二乗フィットしたときの傾き、切片および分散)

		走行サーベイ		航空機サーベイ	
		避難指示区 域内	避難指示区 域外	避難指示区 域内	避難指示区 域外
市街地	傾き a	1.07	0.77	0.92	0.42
	切片 b	-0.16	-0.35	0.25	-0.44
	分散	0.039	0.017	0.010	0.007
農地	傾き a	0.92	0.78	0.92	0.82
	切片 b	-0.23	-0.35	0.22	0.00
	分散	0.030	0.017	0.014	0.011
森林	傾き a	0.95	0.77	0.81	0.82
	切片 b	-0.14	-0.32	0.16	0.00
	分散	0.028	0.018	0.027	0.014

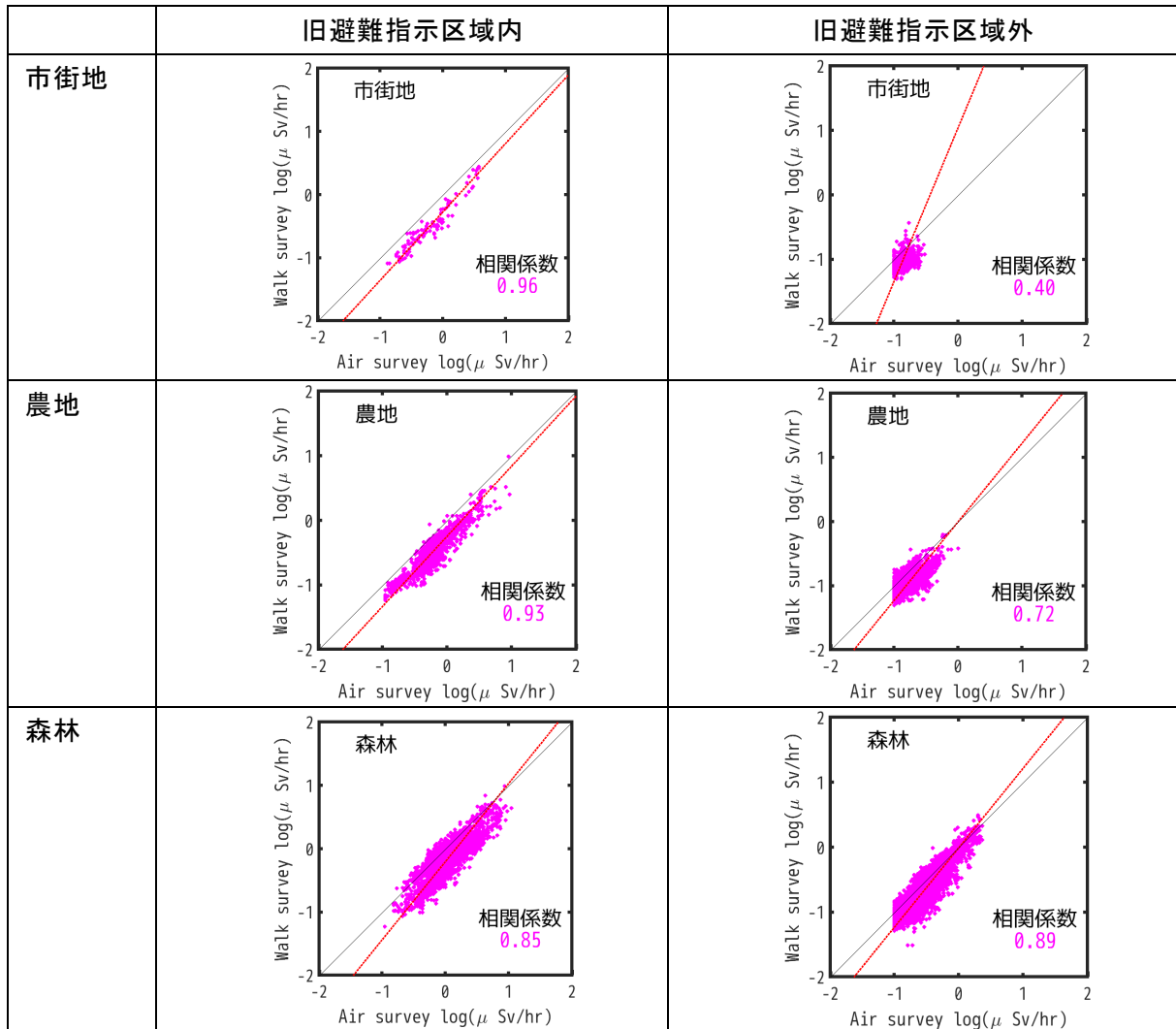


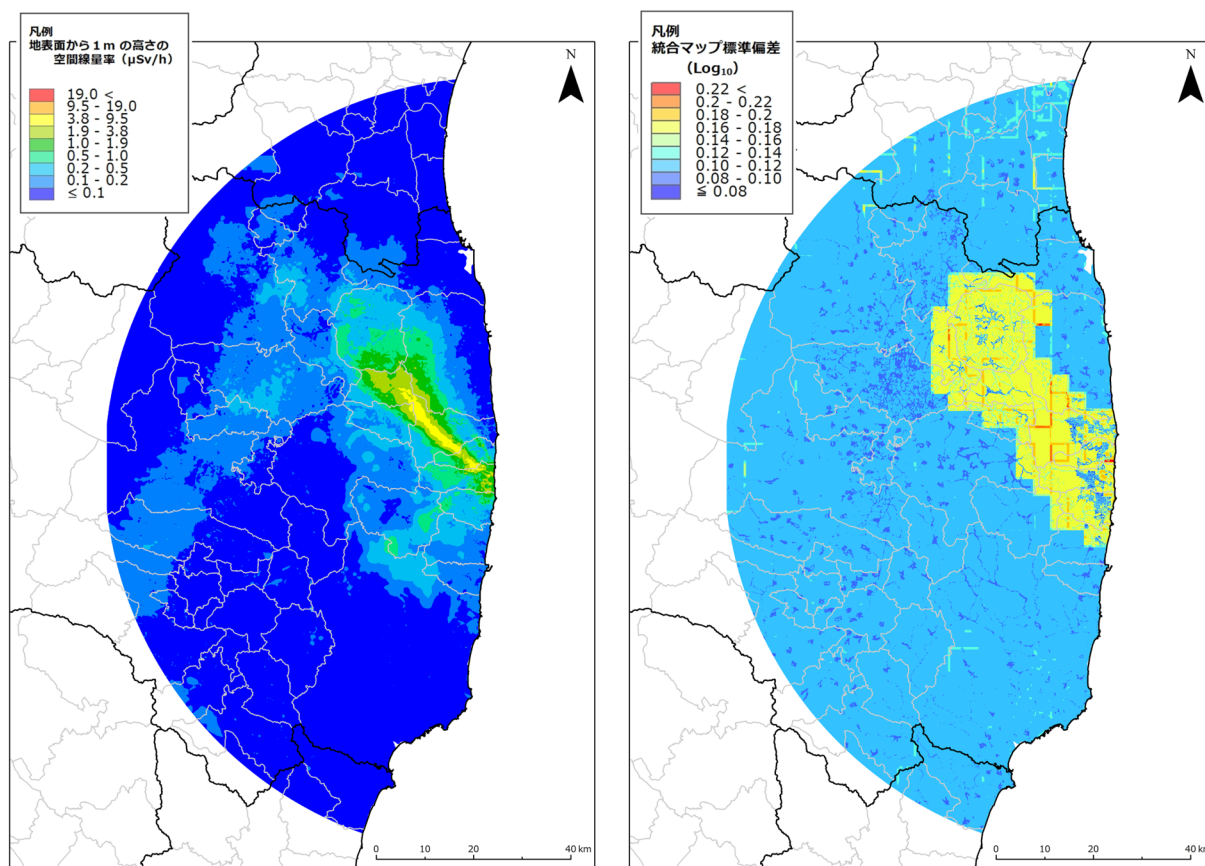
図 8-5 令和 3 年度に実施された旧避難指示区域内外における航空機サーベイ（Air survey）と歩行サーベイ（Walk survey）による空間線量率の相関分析結果

（図中の破線は最小二乗法による回帰直線、実線は $y=x$ の直線。天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。）

8.3.5 統合結果

令和 3 年度に実施された歩行サーベイ、走行サーベイ及び航空機サーベイによる測定データを統合した 80 km 圏内の統合マップを図 8-6 に示す。旧避難指示区域内外それぞれに対して解析した結果により得られたモデルパラメータを用いて統合を行い、その結果を合成したものである。図 8-1 に示した歩行、走行及び航空機サーベイ結果と比較すると、空間線量率分布が航空機サーベイ結果よりも全体的に低くなっており、また歩行サーベイや走行サーベイ結果と同等の詳細かつ連続的な空間線量率分布が得られている。標準偏差分布については、歩行サーベイ、走行サーベイが実施されている地点で小さい値となっており、これらの測定によってマップの精度が高まっていることがわかる。旧避難指示区域内外において値のギャップが見られるが、これはバリオグラム解析における旧避難指示区域内外のシルの値の

違いに依存している。シルは空間線量率分布のコントラストの大きさを反映していることから、旧避難指示区域内ではシルが大きい値となり（図 8-3）、標準偏差も大きい値となっている。なお、統合マップは空間線量率を対数で扱うことから、標準偏差は空間線量率分布の倍率を示すこととなる。図中の標準偏差は常用対数で表示しているため、0.1 は $10^{\pm 0.1}$ すなわち平均値から 0.79~1.26 倍の範囲を、0.2 は $10^{\pm 0.2}$ すなわち平均値から 0.63~1.58 倍の範囲を意味する。



背景地図: ESRIジャパンデータコンテンツ, (c) Esri Japan

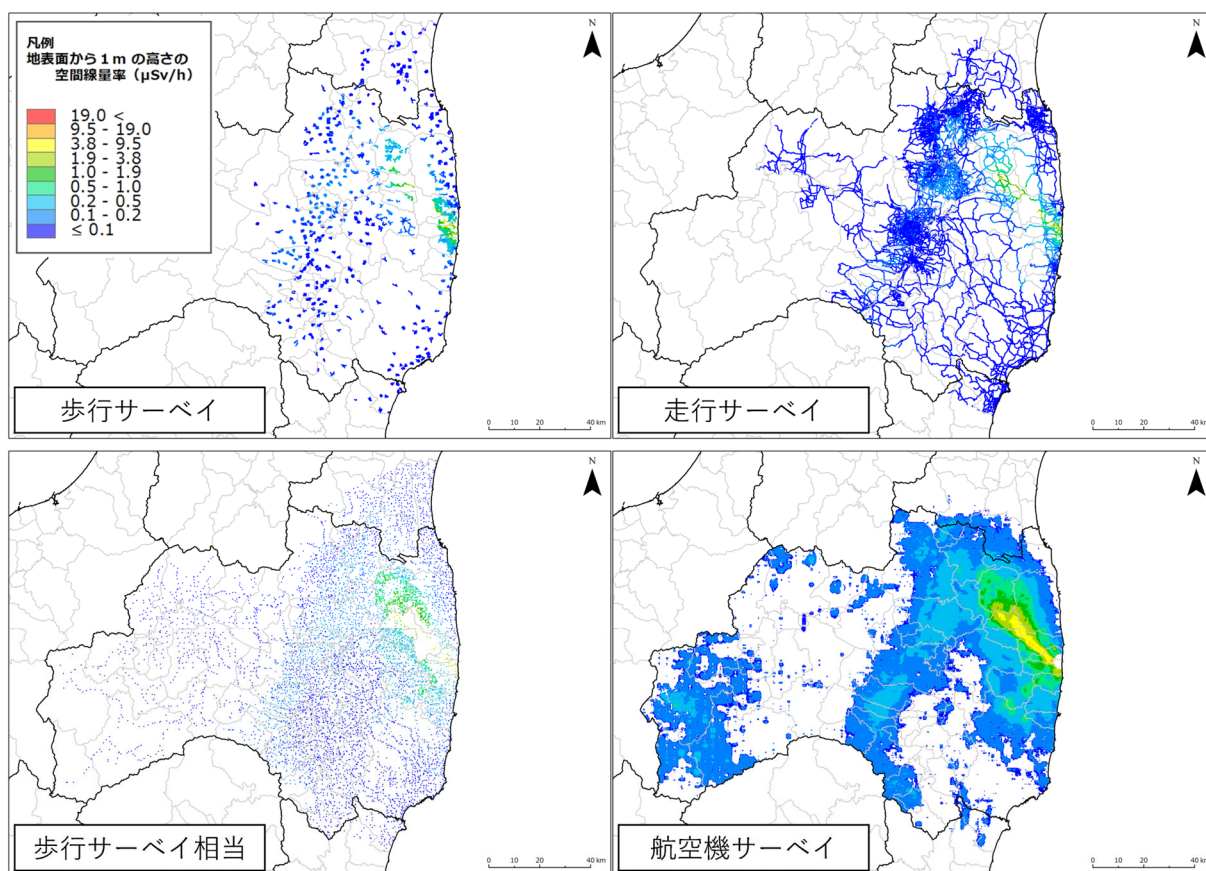
図 8-6 各種測定結果を統合した統合マップ（80 km 圏内）
 （左：確率が最大となる空間線量率分布、右：標準偏差分布）
 （天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。）

8.4 福島県全域を対象とした統合マップの作成

8.4.1 対象とした測定データ

福島県全域を対象として、令和 3 年度に測定された各種データを用い空間線量率の統合化を行った。使用したデータは表 8-1 に示した 80km 圏内と同一であり、データの処理方法も抽出範囲を福島県全域に広げた点を除いて同一である。空間線量率の統合に用いた各データを図 8-7 に示す。土地利用状況データには図 8-2 に示したものを使用した。福島県全域を対

象とした統合マップ作成においては、80 km 圏内を対象とした統合マップと同様、旧避難指示区域内外を分割して解析を実施した。



背景地図: ESRIジャパンデータコンテンツ, (c) Esri Japan

図 8-7 令和 3 年度に実施された歩行、走行及び航空機サーベイ結果（福島県全域）
（天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。）

8.4.2 歩行サーベイを対象とした空間パターンの解析

歩行サーベイを対象にバリオグラム解析を行った結果を図 8-8 に示す。これらの結果は、図 8-3 で示した 80 km 圏内の旧避難指示区域外の結果とほぼ同等であった。本分析において採用したシルやレンジ、ナゲットの値を用いてグラフの形状を指数関数で近似しプロセスモデルとして用いることで、空間線量率の事前分布 y を作成した。

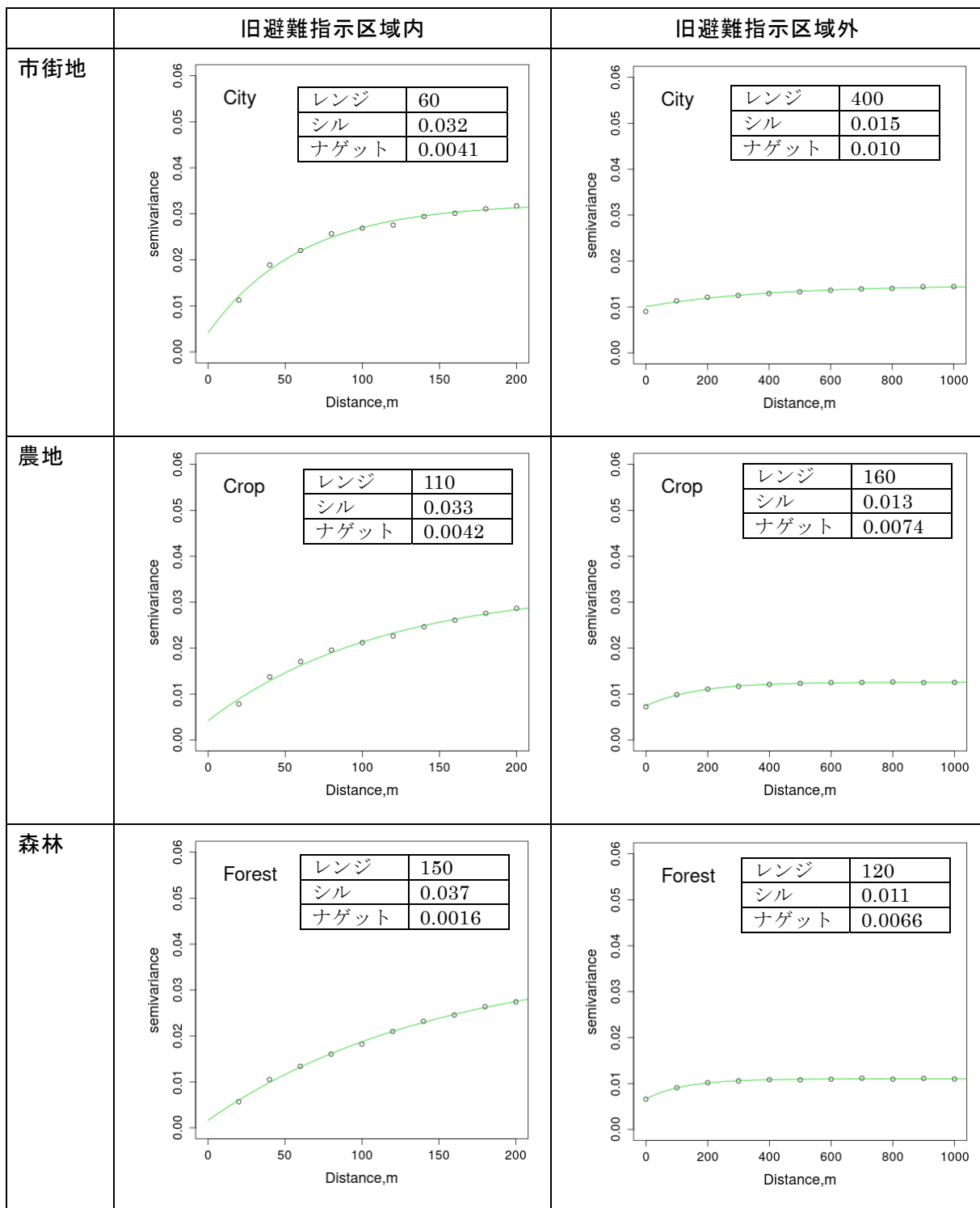


図 8-8 令和 3 年度に実施された福島県全域における歩行サーベイによる空間線量率のバリオグラム解析結果

8.4.3 走行サーベイデータと歩行サーベイデータの比較

歩行サーベイと走行サーベイに対して土地利用別に相関分析を実施した。福島県全域を対象とした分析結果を図 8-9 に示す。これらの結果は、図 8-4 で示した 80 km 圏内の結果とほぼ同等であり、解析領域を広げることによる相関への影響はないことを示している。この相関分析結果をもとに、走行サーベイによる空間線量率と 100 m メッシュ内で平均化した歩行サーベイの空間線量率に対数軸上で線形関係にあるとしたデータモデルを用いて走行サーベイデータを補正し、式 (14) における zc として用いた。

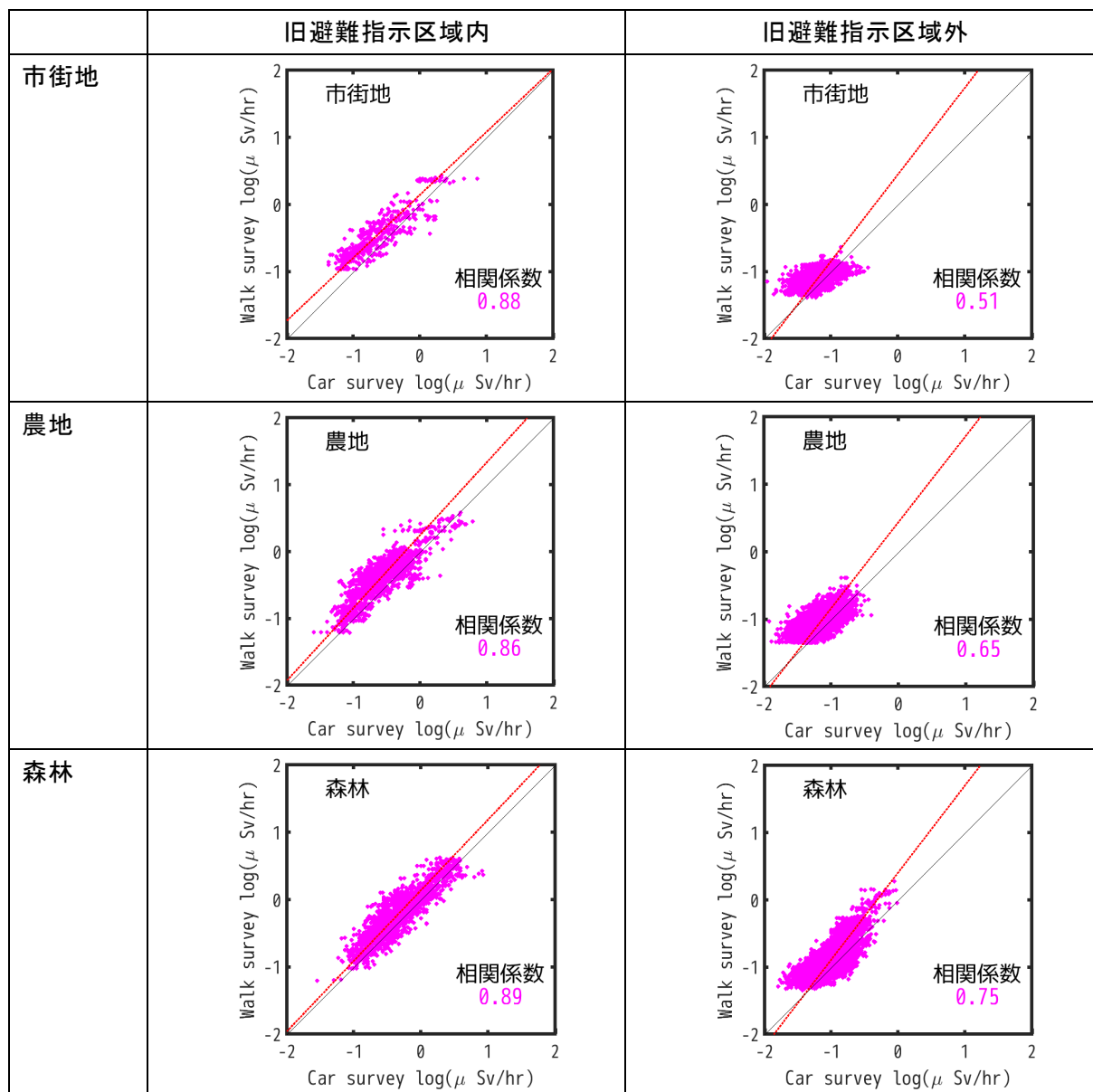


図 8-9 令和 3 年度に実施された走行サーベイデータ (Car survey) と歩行サーベイ (Walk survey) との相関分析結果 (福島県全域)

(図中の破線は最小二乗法による回帰直線、実線は $y=x$ の直線。天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

8.4.4 航空機サーベイデータと歩行サーベイデータの比較

歩行サーベイと航空機サーベイのデータを土地利用別に比較した。福島県全域を対象とした分析結果を図 8-10 に示す。これらの結果は、やはり図 8-5 で示した 80 km 圏内の結果とほぼ同等であり、相関パラメータも表 8-2 で示したものと同一であった。この相関分析結果をもとに、歩行サーベイ結果と加重平均した航空機サーベイ結果が対数軸上で線形関係にあるとしたデータモデルを用いて航空機サーベイデータを補正し、式 (14) における z_A として用いた。

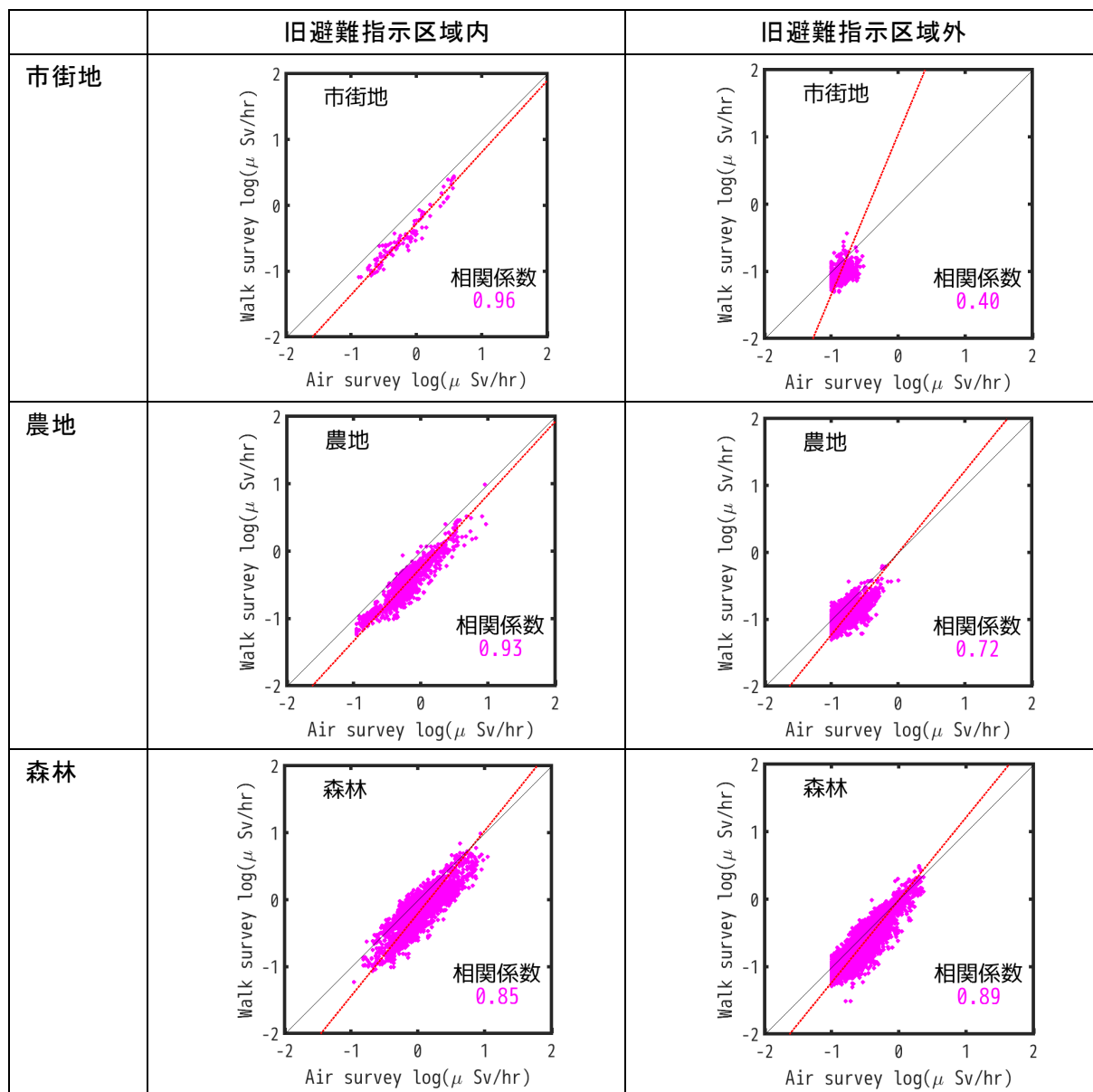
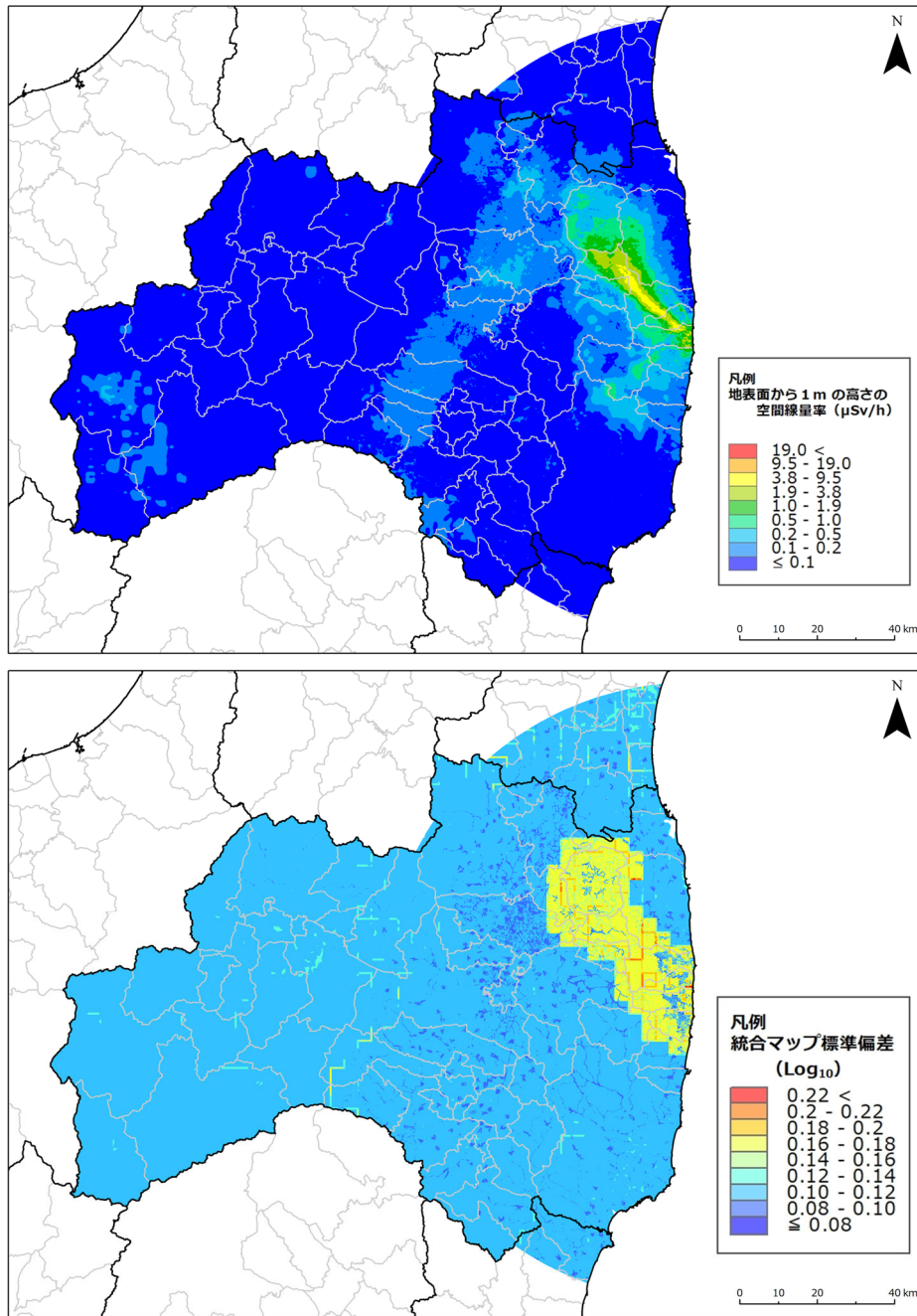


図 8-10 令和 3 年度に実施された航空機サーベイ (Air survey) と歩行サーベイ (Walk survey) との相関分析結果 (福島県全域)

(図中の破線は最小二乗法による回帰直線、実線は $y=x$ の直線。天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

8.4.5 統合結果

令和3年度に実施された歩行サーベイ、走行サーベイ、航空機サーベイ及びモニタリングメッシュ調査の結果を用いた、福島県全域の統合マップを図8-11に示す。80 km圏外については、歩行、走行、航空機の各種データが少ないものの、空間線量率、標準偏差とも80 km圏内を対象とした統合マップ(図8-6)と相違ない結果が得られている。



背景地図: ESRIジャパンデータコンテンツ, (c) Esri Japan

図 8-11 令和3年度に実施された各種測定結果を統合した統合マップ(福島県全域及び80 km圏内)

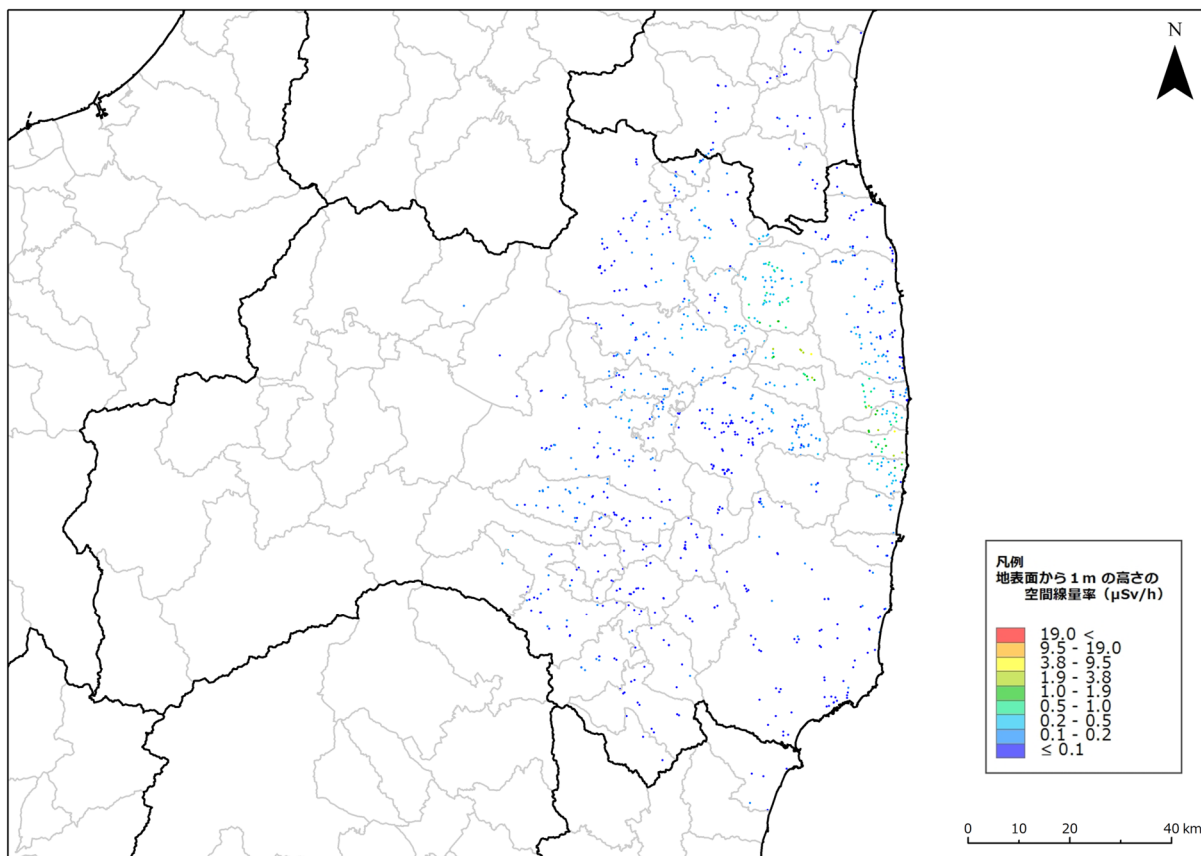
(a) : 確率が最大となる空間線量率分布、b) : 標準偏差分布。天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。

8.5 統合マップの精度検証

統合マップでは標準偏差分布が得られるが、この標準偏差分布は使用するデータや相関分析手法に依存する。そのため、ここでは実態の精度を評価することを目的として、統合マップ作成時に歩行サーベイからの距離が近い等の理由で除外された歩行サーベイ相当データ（全データ数の10%程度）との比較を試みた。比較した歩行サーベイ相当データの場所について、図8-12に示す。このように除外された歩行サーベイ相当データは福島県80 kmの全域に位置しており、不確かさ評価の対象データとして使用可能と考えられる。

比較には、令和3年度の統合マップと歩行サーベイ相当データの位置を重ね、同位置にあるデータを抽出し、歩行サーベイ相当データを横軸とした散布図及び相対偏差（（統合マップの空間線量率－歩行サーベイ相当データの空間線量率）／歩行サーベイ相当データの空間線量率）のヒストグラムとして比較した。比較結果を図8-13に示す。ヒストグラムの平均値を見ると0.098となり、歩行サーベイ相当データと比較して統合マップは10%ほど低くなっている傾向にあることが分かった。統合マップの空間線量率が低い傾向を示すのは、歩行サーベイと定点サーベイなど歩行サーベイ相当データが近い場合に、歩行サーベイを優先して採用しており、歩行<定点という関係に影響を受けるためである。散布図を見ると両者の差の傾向に線量率の依存性は確認できない。また、ヒストグラムは正規分布に近い釣鐘型となっている。この結果から、統合マップは、利用しなかった歩行サーベイ相当データを再現しており、測定データのない箇所の空間線量率を良く推定していると言える。

なお、令和3年度の統合マップは令和2年度の統合マップと作成条件が異なる。令和2年度は航空機サーベイ、走行サーベイ、歩行サーベイ、モニタリングメッシュ調査を統合していたが、令和3年度はこれに森林内で実施した定点サーベイや分布状況調査で実施した定点サーベイの結果も統合の条件として加えた。令和3年度の統合マップは令和2年度の統合マップの比較について図8-14に示す。ヒストグラムの平均値を見ると、令和3年度の統合マップの空間線量率は令和2年度の統合マップに比べて12%程高い傾向にある。これは、森林サーベイを加えたことによる地域の70%占める森林地域のデータが上昇したことを反映しており、令和2年度に評価した結果⁴⁸⁾と概ね整合する。



背景地図: ESRIジャパンデータコンテンツ, (c) Esri Japan

図 8-12 統合マップに除外された歩行サーベイ相当データの箇所

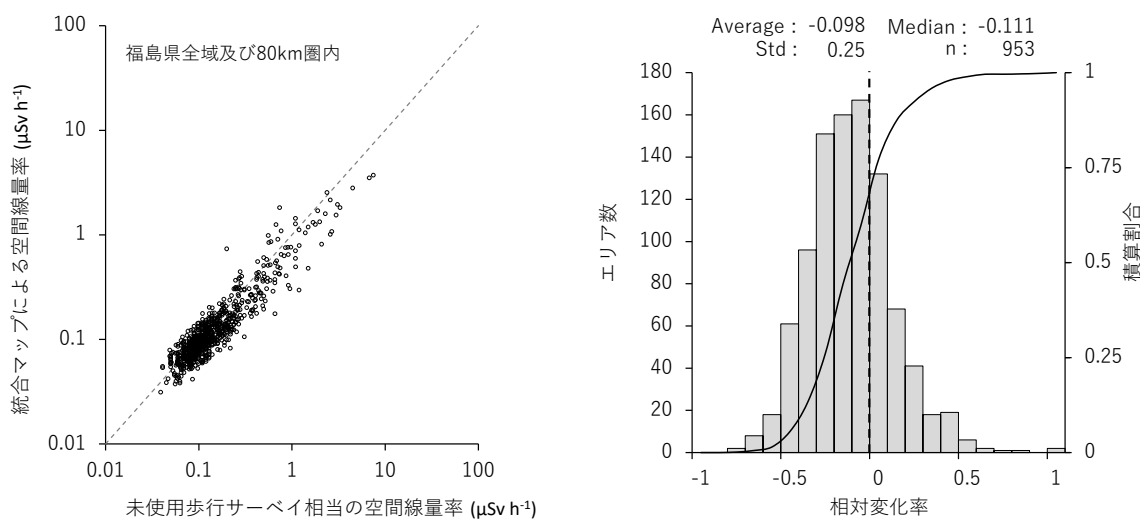


図 8-13 統合マップ作成時に除外された歩行サーベイ相当データの結果との比較

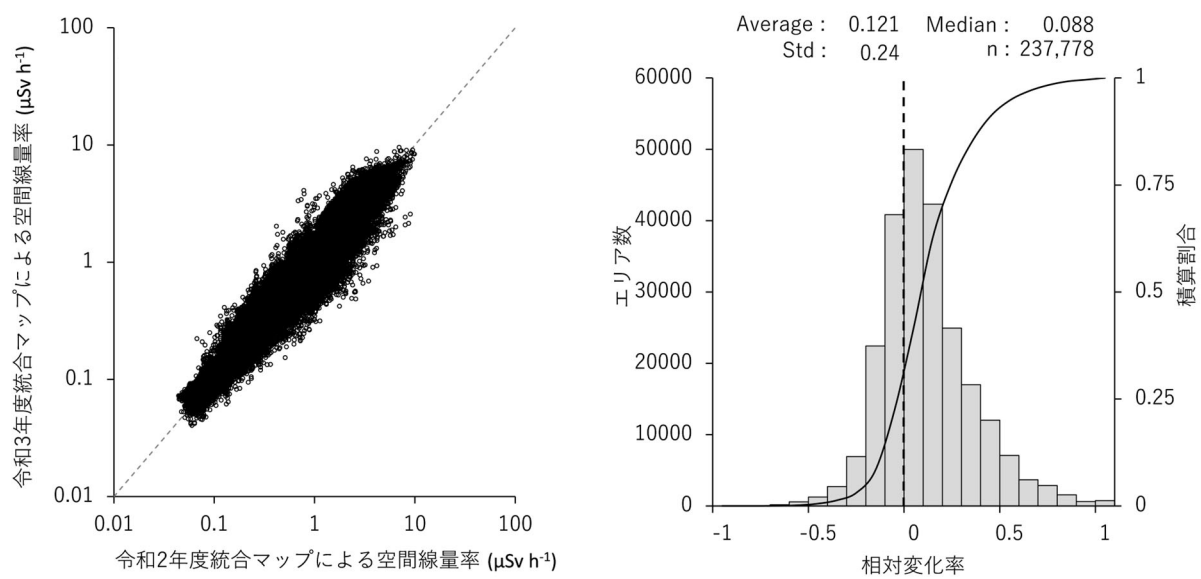


図 8-14 令和 2 年度統合マップとの比較

9. 空間線量率等分布マップの作成と公開

9.1 目的

分布状況調査で取得したデータ（走行サーベイ、定点サーベイ及び無人ヘリサーベイ等による空間線量率、並びに可搬型 Ge 検出器を用いた in-situ 測定による放射性セシウムの土壌沈着量）を基に国土地理院の地図上に掲載する分布マップを作成した。さらに、地方自治体や住民に広く公開し各種対策の基礎資料として提供するため、放射線量等の分布マップ閲覧用 Web サイト「放射線量等分布マップ拡大サイト」⁵²⁾（以下「拡大サイト」という。）の構築・運用作業を行った。

9.2 空間線量率等分布マップの作成と公開

過去 10 年継続している拡大サイトでは、測定データを国土地理院の地図上に掲載する分布マップを作成し公開している。すでに公開中の平成 23 年度～令和 2 年度調査のデータに令和 3 年度に実施した調査による空間線量率測定データ・放射性セシウム沈着量測定データ等を加えた。これにより、放射線量等の最新情報や経年変化を同一マップシステム上で閲覧可能とした。

本調査で測定したデータを公開するにあたって、以下のような手順で行った。まず、関係者のみが閲覧できる制限付き分布マップシステムに登録し、マップデータの齟齬がないか関係者の確認を経てから、一般公開用の分布マップシステムに登録を行った。

令和 3 年度に拡大サイトに追加掲載した内容は以下のとおりである。一例として、令和 3 年度走行サーベイ測定データを表示させた画面を図 9-1 に示す。

- Web 地図（電子国土）版、スマートフォン版

- 走行サーベイ（第 22 回及び第 23 回）

- 定点サーベイ（第 15 回）

- 無人ヘリサーベイ（第 13 回）

- 放射性セシウム土壌沈着量（in-situ 測定）（第 14 回）

- 避難指示区域（令和 2 年 3 月 10 日現在）

- PDF 版

- Web 地図（電子国土）版と同様の内容を A4 サイズの地図上にプロットした日本語版、英語版の PDF ファイル（約 200 枚）を作成し公開した。

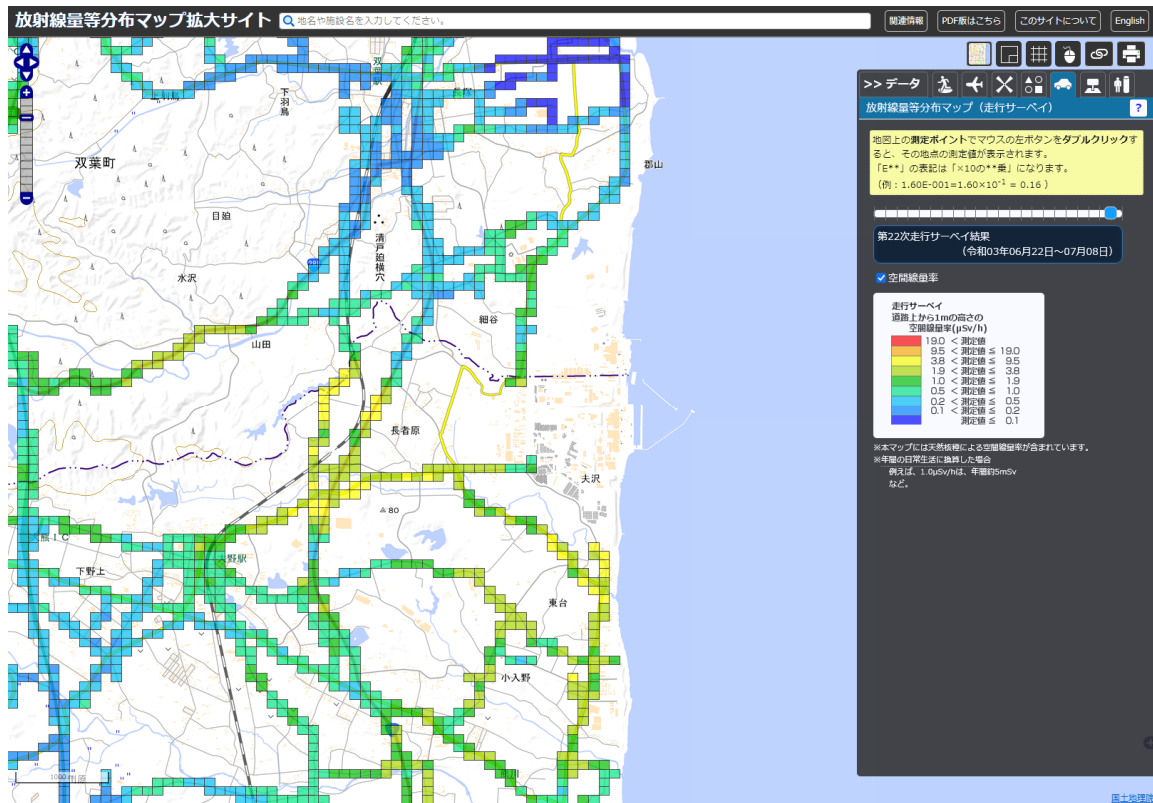


図 9-1 拡大サイト⁵²⁾における測定データ（第 22 回走行サーベイ）表示例

9.3 空間線量率等分布マップの運用管理

拡大サイトを安定して運用するため、登録データの遺失防止のためのバックアップ作業や分布マップシステムへのアクセス管理を実施した。令和 3 年 4 月 1 日～令和 4 年 2 月 28 日現在までの 334 日間において、システムサーバ等に障害は生じなかった。サイト運営管理において、日々のアクセス数の動向を記録し、ユニークユーザ及びページビュー^{d)}の管理を行った（図 9-2）。

拡大サイトは令和 4 年 3 月 31 日をもって閉鎖するため、令和 3 年 10 月 1 日に原子力機構が本格運用を開始した「放射性物質モニタリングデータの情報公開サイト」にその機能を移行する予定であることを移行後の URL とともに初期画面に表示し、サイト閲覧者への周知を図った。

^{d)} ユニークユーザは、日々アクセスされた IP アドレスを集計したものであり、同一アドレスについては重複して数えず 1 件としてカウントする。ページビューは、サイトを閲覧した全アクセスをカウントする集計値。同一 IP アドレスも重複してカウントする。

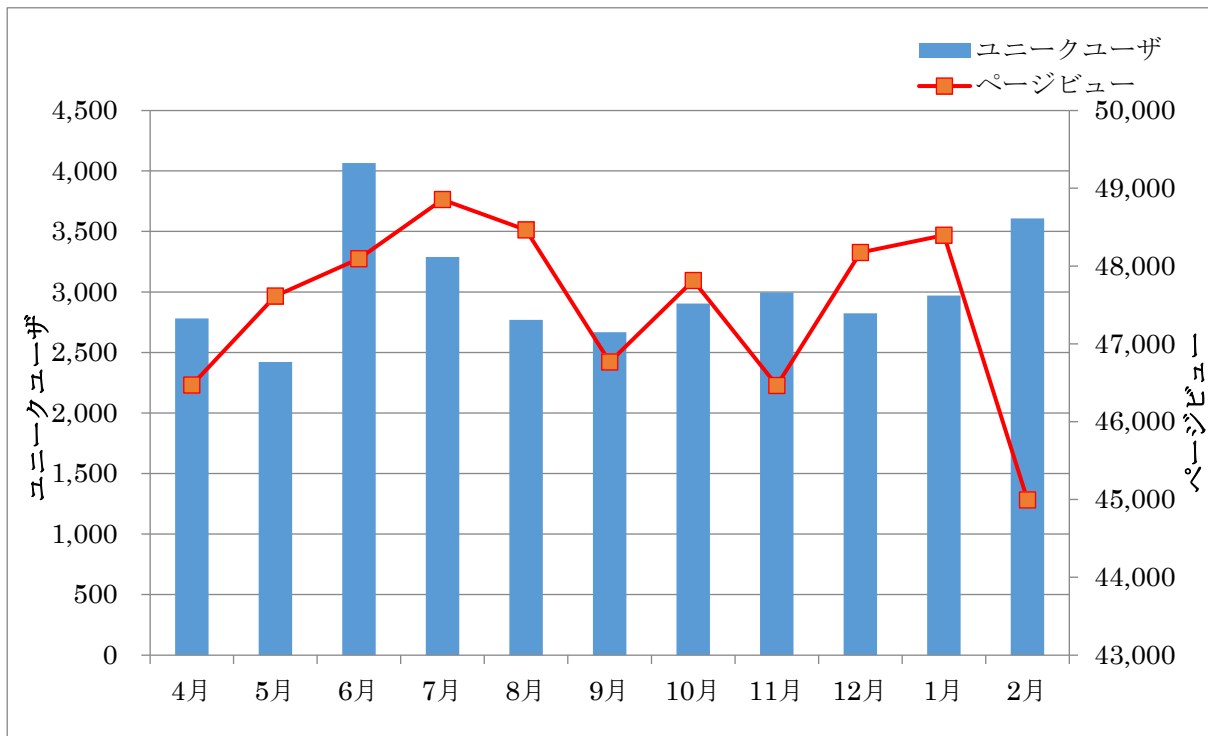


図 9-2 拡大サイトへの令和 3 年度アクセス状況

10. 総合モニタリング計画に基づく放射線モニタリング及び環境試料分析

10.1 測定方法及び測定結果

総合モニタリング計画（平成 23 年 8 月 2 日モニタリング調整会議制定、平成 26 年 4 月 1 日改訂）に基づき、福島第一原子力発電所の 20 km 以遠において空間線量率、積算線量、大気浮遊じん中放射性物質濃度、土壌並びに指標植物（松葉）中放射性物質濃度を測定ないし分析した。各項目の測定地点数及び測定頻度を表 10-1 に、各項目の測定地点を図 10-1 にそれぞれ示した。測定及び分析は原子力規制庁福島第一原子力規制事務所の担当者と連携して実施した。また、測定場所の手配や試料採取に関しては各自治体職員と調整を図りながら実施した。測定結果については逐次、原子力規制庁及び原子力規制庁福島第一原子力規制事務所の担当者に遅滞なく報告した。

10.1.1 空間線量率

空間線量率は NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータを用いて測定した。測定結果を図 10-2 に示す。

10.1.2 積算線量

積算線量は、ガラス式積算線量計を設置することにより測定した。3 ヶ月間設置し、その後回収することにより 3 ヶ月間の積算線量を測定した。それを繰り返すことにより、四半期ごとの積算線量を測定した。測定結果の経時変化を図 10-3 に示す。図には検出下限値以上のデータについてプロットした。積算線量計の設置期間が 1 ヶ月から 3 ヶ月に変わる時期に測定地点番号 76 や 38 等の測定結果が不連続になっているが、その主な原因として、暴露時間の延長に伴う検出下限値の低下が考えられる。また、そのほかに測定場所の除染や場所の移設が行われた場合も不連続となっている（測定地点番号 79、31 及び 1）。

10.1.3 大気浮遊じん中放射性物質濃度

大気浮遊じん中放射性物質濃度は、ハイボリュームダストサンプラーを用いて大気浮遊じんをダストろ紙上に採取することにより測定した。大気浮遊じんは 800 L/min で 2 日間採取した。ダストろ紙をゲルマニウム半導体検出器により測定することにより、セシウム 134 及びセシウム 137 を定量した。この作業を毎月繰り返すことにより、毎月の大気浮遊じん中放射性物質濃度を測定した。測定結果の経時変化を図 10-4 に示す。図には検出下限値以上のデータについてプロットした。

10.1.4 環境試料（土壌及び松葉）中放射性物質濃度

土壌及び指標植物（松葉）の試料を採取しゲルマニウム半導体検出器によりセシウム 134 及びセシウム 137 濃度を測定した。土壌試料は、規制庁放射能測定法シリーズ No.35 緊急時における環境試料採取法⁵³⁾に基づき U8 容器で直接表層から 5cm 程度のサンプルを採取した。土壌中セシウム 137 濃度の経時変化及び松葉中セシウム 137 濃度の経時変化を図 10-5

及び図 10-6 に示す。

10.2 測定結果の公開

本測定結果は以下の原子力規制庁の Web サイト上に公開されている。

- ・空間線量率

<https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/207/list-1.html>（参照：2021 年 9 月 1 日）。

- ・積算線量

<https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/216/list-1.html>（参照：2021 年 9 月 1 日）。

- ・大気浮遊じん中放射性物質濃度

<https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/222/list-1.html>（参照：2021 年 9 月 1 日）。

- ・土壌及び松葉中放射性物質濃度

<https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/482/list-1.html>（参照：2021 年 9 月 1 日）。

<https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/483/list-1.html>（参照：2021 年 9 月 1 日）。

表 10-1 総合モニタリング計画に基づく放射線モニタリング及び環境試料分析の実施項目ごとの測定地点数及び測定（採取）頻度

測定項目	測定地点数	測定（採取）頻度
空間線量率の測定	134	1 回／年
積算線量の測定	14	1 回／3 ヶ月
大気浮遊じん中放射性物質濃度	4	1 回／月
土壌中放射性物質濃度	5	1 回／年
指標植物（松葉）中放射性物質濃度	14	1 回／年

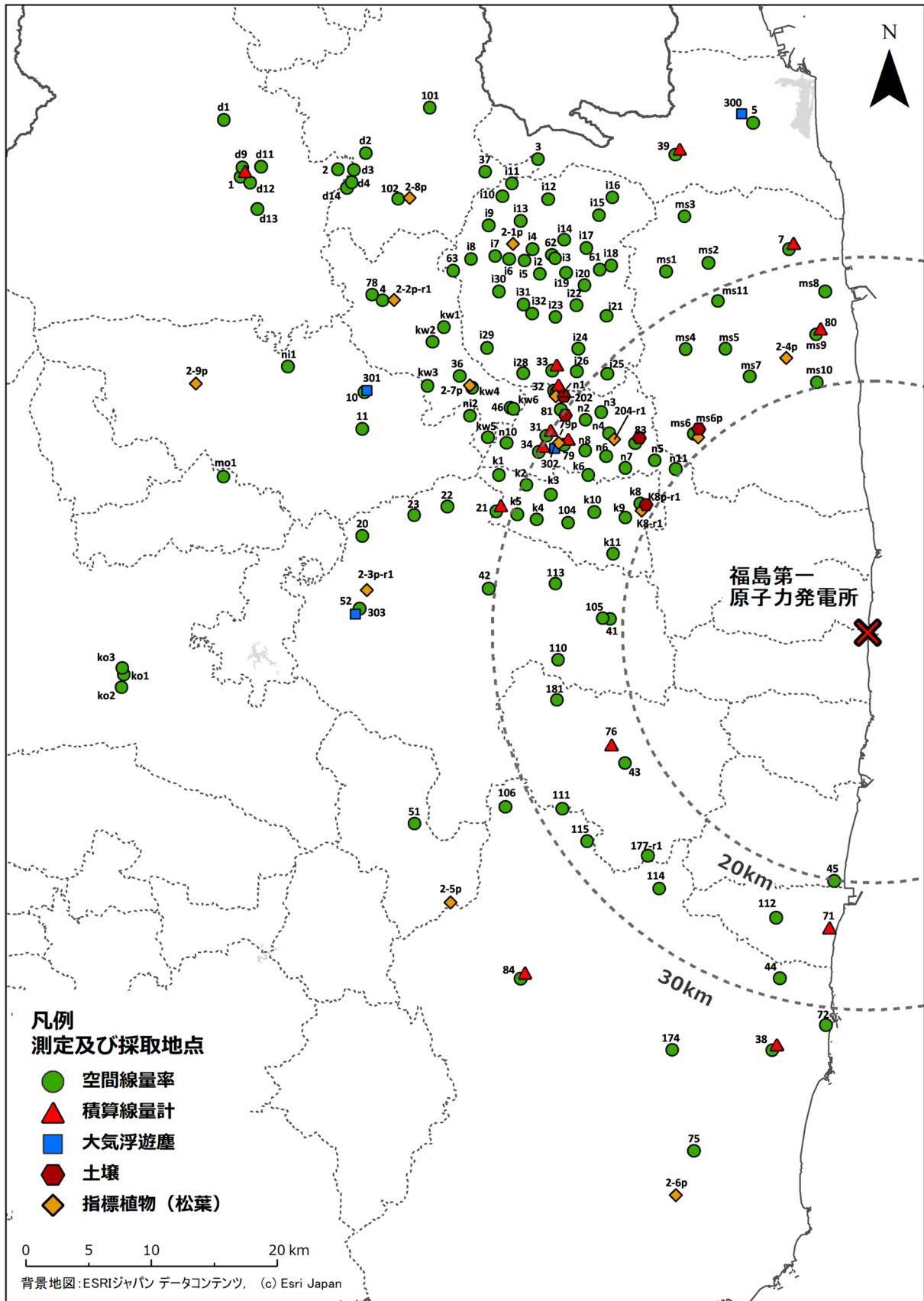


図 10-1 測定及び採取地点

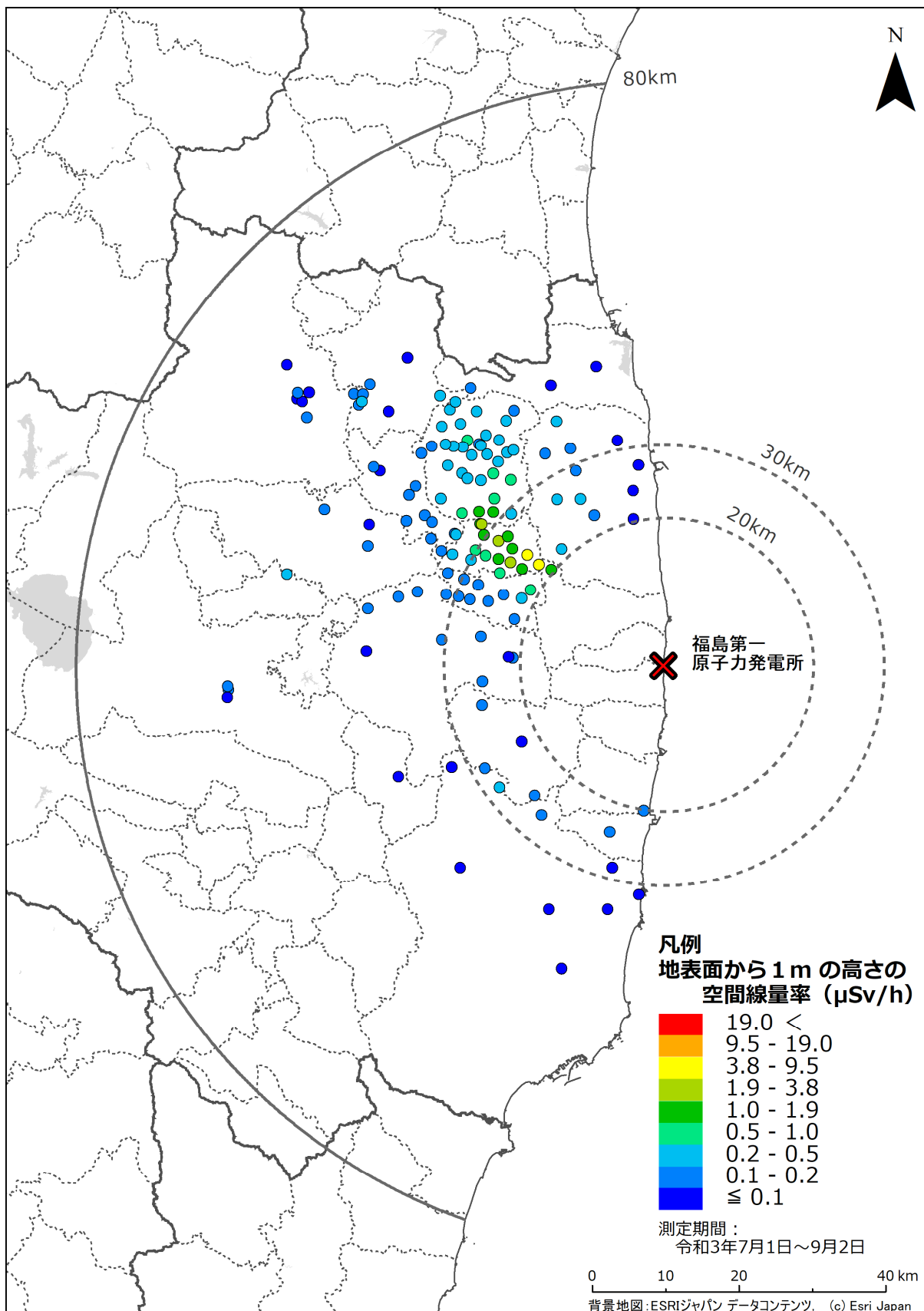


図 10-2 総合モニタリング計画に基づく空間線量率の測定結果

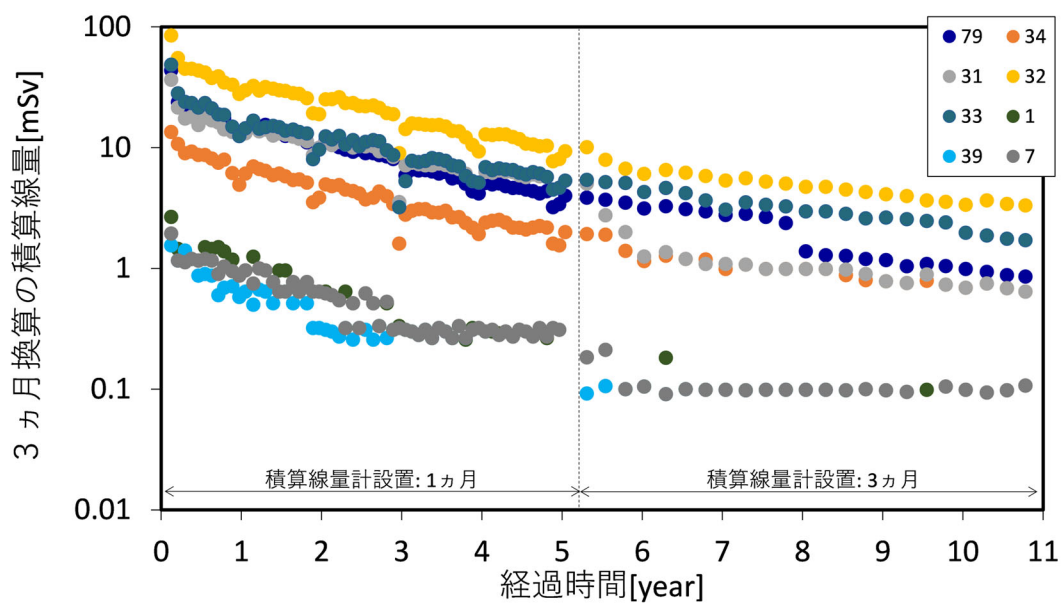
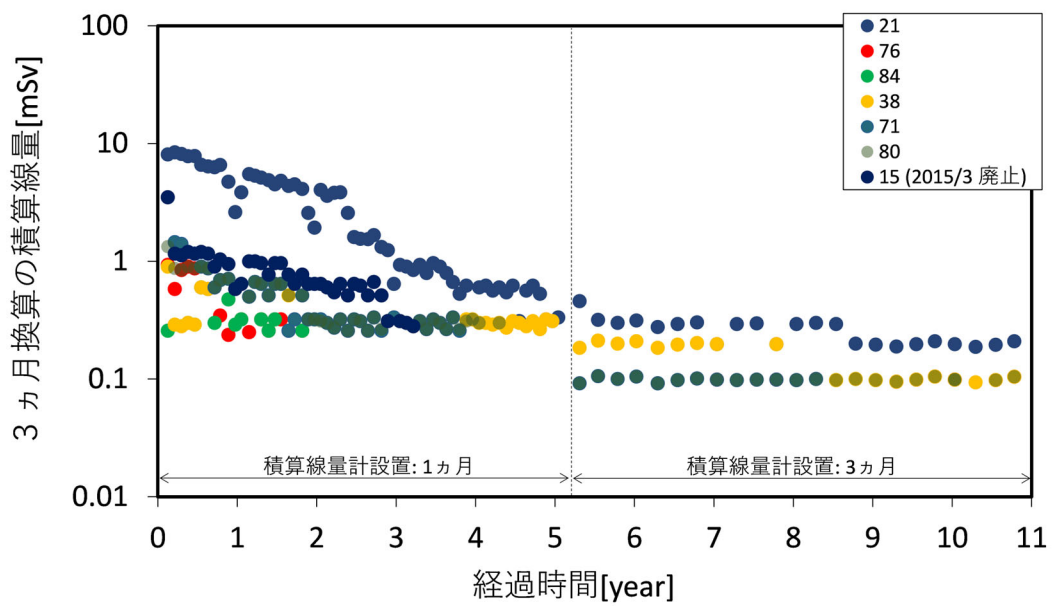


図 10-3 積算線量の経時変化
(凡例の数字は測定地点番号 (図 10-1 参照))

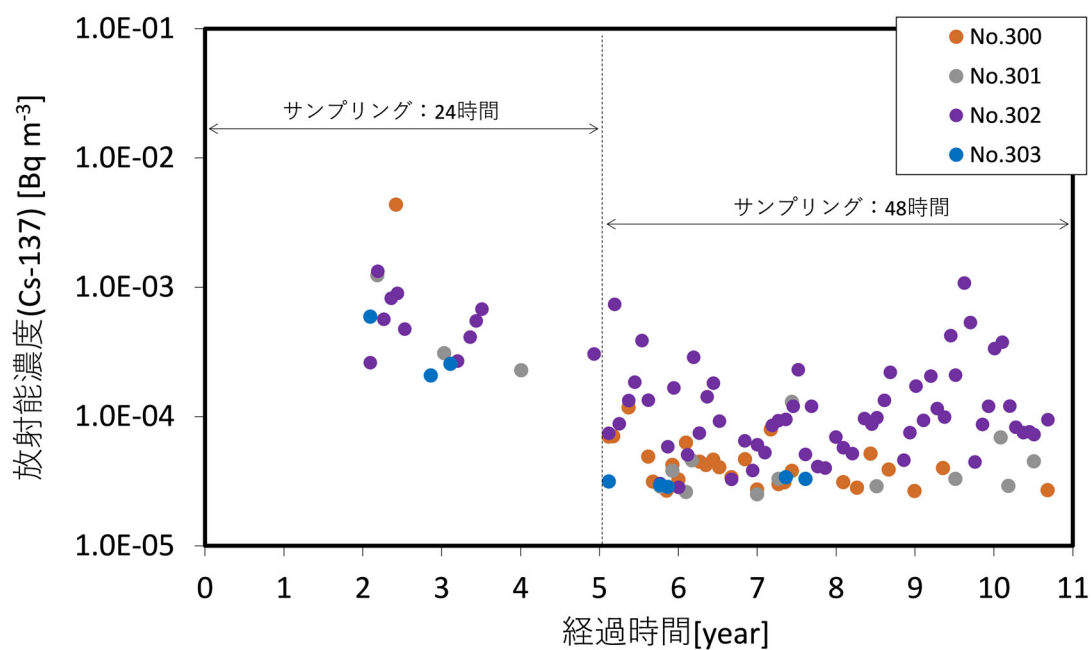


図 10-4 大気浮遊じん中セシウム 137 濃度の経時変化
(凡例の数字は測定地点番号 (図 10-1 参照))

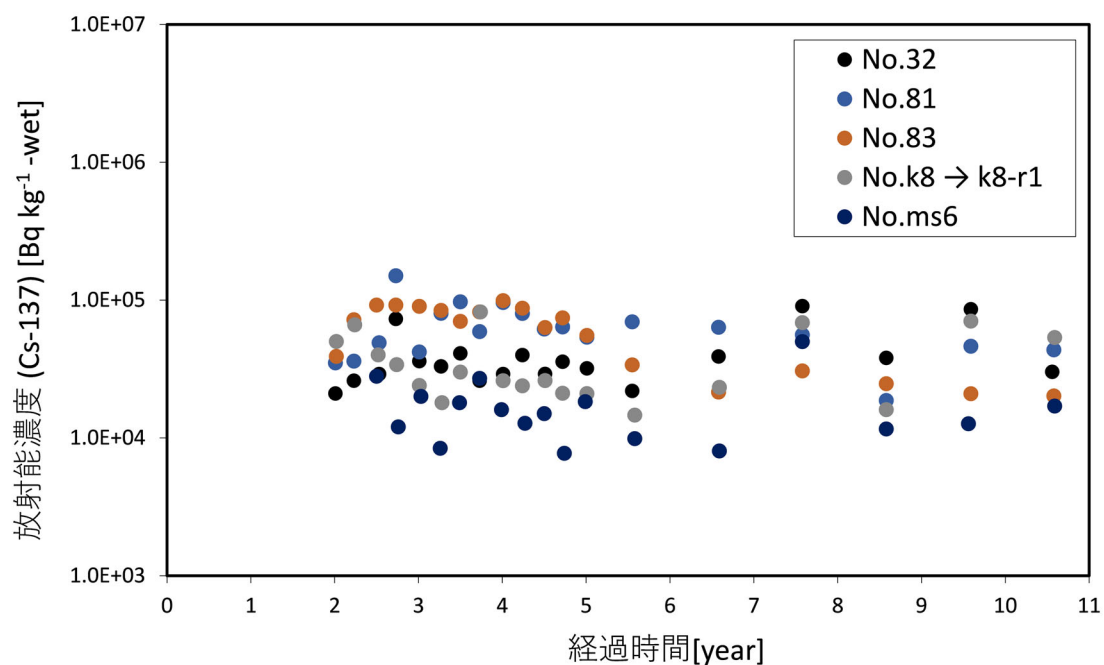


図 10-5 土壌中セシウム 137 濃度の経時変化
(凡例の数字は測定地点番号 (図 10-1 参照))

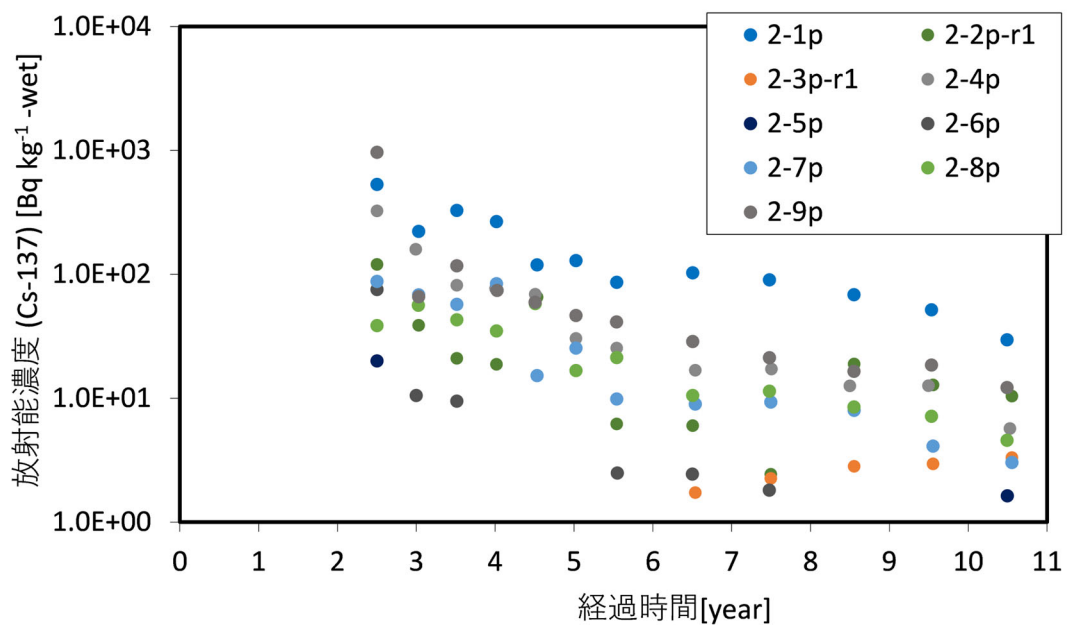
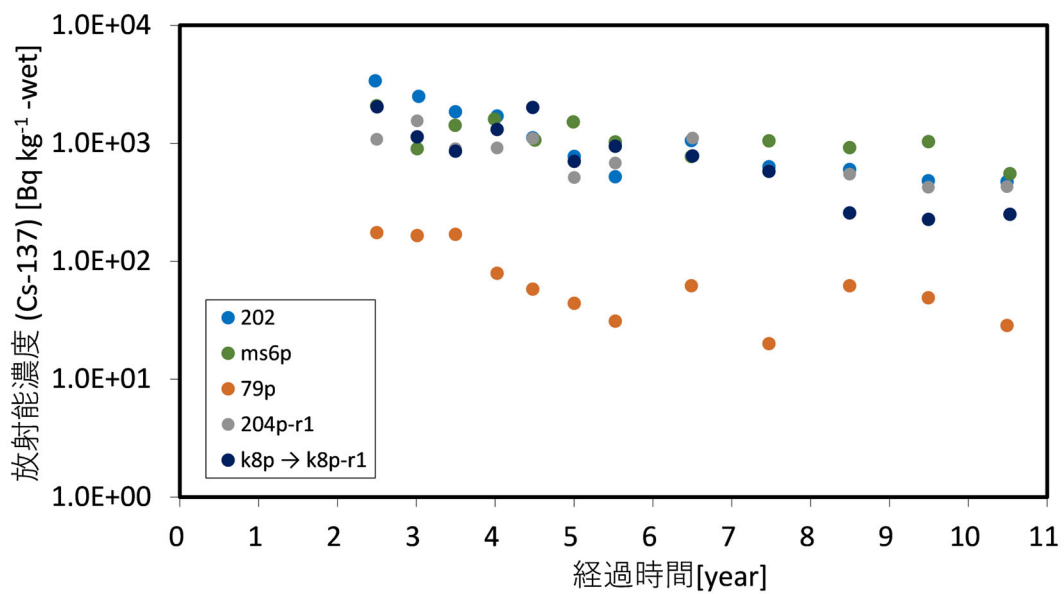


図 10-6 松葉中セシウム 137 濃度の経時変化
(凡例の数字は測定地点番号 (図 10-1 参照))

11.測定データの CSV 化

11.1 CSV 等の形式で保存した測定データ

(1) 分布状況調査で取得した測定データ

分布状況調査で実施した環境モニタリングについて、今後の調査等に活用するため、測定データを CSV（場合によっては Excel®、KMZ）の形式で保存した。測定データは、測定実施者が解析を行い、原子力規制庁に報告された後のデータから抽出している。対象となった測定データは全 6 項目であり、各項目におけるレコード数を表 11-1 にまとめる。

(2) 原子力規制庁が保有する測定データ

原子力規制庁が実施し、Web サイト上で公開している環境モニタリングの測定データ⁵⁴⁾の一部について、今後の調査等に活用するため、データを CSV 等の形式で保存した。保存した測定データは、令和 3 年 2 月から令和 4 年 1 月までに原子力規制庁が公開した資料（PDF）から抽出している。対象となった測定データは全 21 項目であり、各項目におけるレコード数を表 11-2（#1 から#21 まで）にまとめる。

(3) 環境省が保有する測定データ

環境省が実施し、Web サイト上で公開している環境モニタリングの測定データ⁵⁵⁾の一部について、今後の調査等に活用するため、データを CSV 等の形式で保存した。保存した測定データは、令和 3 年 2 月から令和 4 年 1 月までに環境省が公開した資料（PDF、Excel®）から抽出している。対象となった測定データは全 3 項目であり、各項目におけるレコード数を表 11-2（#22 から#24 まで）にまとめる。

(4) 地方自治体が保有する測定データ

地方自治体が実施した環境モニタリングの測定データの一部について、今後の調査等に活用するため、データベースに登録するための統一フォーマットに変換し、Excel®等の形式で保存した。変換した自治体を表 11-3 にまとめる。

11.2 保存した測定データの公開

CSV 等の形式で保存した測定データの一部は、以下の原子力規制庁の Web サイトにて公開される。

- ・分布状況調査で取得した測定データ：<https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/338/list-1.html>
（参照：2021 年 9 月 1 日）。
- ・原子力規制庁が保有する測定データ：<https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/512/list-1.html>
（参照：2021 年 9 月 1 日）。

表 11-1 分布状況調査で取得した測定データの項目とレコード数

データ項目	レコード数
広域の空間線量率（走行サーベイ）	第 22 回： 354,993 第 23 回： 1,467,105
広域の空間線量率（定点サーベイ）	5,026
広域の空間線量率（歩行サーベイ）	1,238,604
発電所周辺の空間線量率（無人ヘリサーベイ）	空間線量率： 2,807,358 セシウム沈着量： 2,807,358
土壌中の放射性セシウムの深度分布	85
放射性セシウムの沈着量	383

表 11-2 原子力規制庁・環境省が保有する測定データの項目とレコード数

#	データ項目	レコード数		
		作業開始時点	作業終了時点	新規測定データ
1	福島第一原子力発電所近傍の海水のモニタリング	13,021	14,525	1,504
2	福島県・宮城県・茨城県周辺の海水のモニタリング	20,915	22,581	1,666
3	福島県周辺の海水のモニタリング	1,773	2,039	266
4	宮城県・福島県・茨城県・千葉県沖における海域モニタリング結果	3,380	3,794	414
5	宮城県・福島県・茨城県・千葉県外洋における海域モニタリング結果	752	852	100
6	東京湾における海域モニタリング結果	162	179	17
7	東京電力による海底土のモニタリング結果	4,440	4,889	449
8	宮城県・福島県・茨城県・千葉県沖における海域モニタリング結果（海底土）	1,592	1,771	179
9	東京湾における海域モニタリング結果（海底土）	615	690	75
10	東京電力株式会社福島第一原子力発電所の20km圏内の測定結果（空間線量率）	12,895	12,995	100
11	東京電力株式会社福島第一原子力発電所の20km以遠の空間線量率の測定結果	35,267	35,403	136
12	緊急時環境放射線等モニタリング実施結果（福島県による測定）	10,833	10,833	0
13	簡易型線量計を用いた固定測定点における積算線量の測定結果	1,075	1,131	56
14	東京電力株式会社福島第一原子力発電所の20km以遠の積算線量の測定結果	3,535	3,553	18
15	東京電力株式会社福島第一原子力発電所の20km圏内の空气中放射性物質濃度の測定結果	956	1,028	72
16	原子力規制庁及び福島県による大気浮遊じんの測定結果	4,195	4,255	60
17	東京電力株式会社福島第一原子力発電所の20km圏内の土壌中放射性物質濃度の測定結果	102	112	10
18	原子力規制庁及び福島県による土壌試料の測定結果	1,879	1,884	5
19	原子力規制庁及び福島県による環境試料の測定結果	3,448	3,642	194
20	上水（蛇口水）（環境放射能水準調査）	13,807	13,807	0
21	定時降下物のモニタリング（環境放射能水準調査）	18,512	19,076	564
22	環境省による公共用水域放射性物質モニタリング調査結果（水質）	33,995	37,128	3,133
23	環境省による公共用水域放射性物質モニタリング調査結果（底質）	26,078	28,441	2,363
24	環境省による公共用水域放射性物質モニタリング調査結果（周辺環境）	23,040	25,129	2,089

表 11-3 測定データを統一フォーマットに変換した自治体リスト

広域圏	市町村
浜通り	いわき市、相馬市、南相馬市、檜葉町、富岡町、大熊町、双葉町、新地町、飯舘村
中通り	福島市、郡山市、白河市、須賀川市、二本松市、伊達市、桑折町、国見町、川俣町、大玉村、鏡石町、天栄村、西郷村、中島村、矢吹町、棚倉町、塙町、石川町、玉川村、平田村、浅川町、三春町、小野町
会津	会津若松市、喜多方市、只見町、南会津町、北塩原市、西会津町、磐梯町、猪苗代町、会津坂下町、湯川村、金山町、昭和村

12.まとめ

本報告書では、「令和 3 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）事業」で得られた結果について報告した。

空間線量率に関しては走行サーベイ（80 km 圏内及び広域について 1 回ずつ）、定点サーベイ（80 km 圏内で 1 回）、歩行サーベイ（80 km 圏内で 1 回）、無人ヘリサーベイ（福島第一原発周辺で 1 回）を実施し、測定結果から空間線量率分布マップを作成するとともに空間線量率の経時変化を分析した。令和 2 年度との比較の結果、いずれの測定も放射性セシウムの物理半減期による理論値よりも減少が小さく（または微増）、空間線量率が減少し多くの地点でバックグラウンドレベルに近づきつつあることを示唆する結果であった。

土壌における放射性セシウムの分布調査に関しては、スクレーパープレート法で採取（80 km 圏内で 1 回）した土壌試料の分析による土壌中深度分布調査及び可搬型 Ge 検出器を用いた in-situ 測定による放射性セシウム沈着量の面的調査（80 km 圏内で 1 回）をそれぞれ実施した。深度分布調査の結果、令和 3 年度に得られた実効的な重量緩衝深度 β_{eff} （幾何平均値）は、4.11 g/cm²であった。放射性セシウム沈着量の面的調査を行い土壌沈着量分布マップ（in-situ 測定の結果 383 箇所及び空間線量率から評価した沈着量を追加した詳細マップ）を作成した。また、測定したガンマ線スペクトルから天然放射性核種による空間線量率を評価した（平均値 0.05 μ Sv/h）。

これまで蓄積した 80 km 圏内の測定結果を基に空間線量率及び土壌沈着量の実効半減期を評価した。走行サーベイ、定点サーベイ及び歩行サーベイについては、二項指数関数によるフィッティングが良好ではなく、指数関数及び定数項による近似を採用し、それぞれの実効半減期は 1.9 年、1.7 年及び 1.3 年であった。また、in-situ 測定による土壌中放射性セシウムの沈着量については、セシウム 134 及びセシウム 137 の実効半減期を評価した。

測定箇所の重要度分類のためのスコア化の検討においては、平成 30 年度に開発した「スコア」化手法を基に福島県及び 80 km 圏内でのスコアマップを作成するとともに、そのスコアの「普遍性」を評価するために、多年度におけるモニタリングデータを使用した場合のスコアをその変化要因について考察した。

海洋のモニタリングデータについて、令和 2 年度までに総合モニタリング計画で実施された海域モニタリングの測定結果を集約するとともに、事故による影響が大きかったセシウム 137 について過去からの変動や濃度などの測定結果の詳細な解析評価を行なった。

階層ベイズ統計手法を用いて、令和 3 年度に測定された走行サーベイ、定点サーベイ及び歩行サーベイの測定結果に福島県によるモニタリングメッシュ調査及び規制庁による航空機サーベイの測定結果を加えるとともに、令和 2 年度に測定された林野庁調査の結果を減衰補正のうえ統合し 80 km 圏内及び福島県全域の空間線量率分布統合マップを作成した。

空間線量率等分布マップの作成と公開では、「放射線量等分布マップ拡大サイト」に令和 3 年度の走行サーベイ、定点サーベイ及び無人ヘリサーベイによる空間線量率及び in-situ 測定による土壌中放射性セシウムの沈着量の測定結果を公開した。

総合モニタリング計画に基づく放射線モニタリング及び環境試料分析として、福島第一原発

の 20 km 以遠において空間線量率、積算線量、大気浮遊じん中放射性物質濃度、並びに環境試料（土壌及び松葉）中放射性物質濃度を測定した。

分布状況調査で取得した測定データを CSV（場合によっては Excel[®]、KMZ）形式にて保存した。又、当該分野の今後の調査等に活用するため、原子力規制庁や環境省が保有する測定データの一部を公開資料から抽出し CSV（場合によっては Excel[®]、KMZ）形式にて保存した。これらのデータの一部は原子力規制庁の Web サイトにて公開される。

令和 3 年度調査実施期間中、有識者からの助言を得るための技術検討会を 3 回開催した。各技術検討会の開催日時、出席者、議題等の概要を付録 2 に示す。

参考文献

- 1) 原子力規制庁, 放射性物質の分布状況等に関する調査,
<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/338/list-1.html>, (参照 : 2022 年 2 月 28 日) .
- 2) 津田修一ほか, 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, 54p.(2013).
- 3) Y. Sanada and T. Torii, Aerial radiation monitoring around the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant using an unmanned helicopter, J. Environ. Radioact., 139, pp.294-299(2015).
- 4) Y. Sanada et al., Radiation monitoring using an unmanned helicopter in the evacuation zone around the Fukushima Daiichi nuclear power plant, Explor. Geophys., 45, pp.3-7(2014).
- 5) 眞田幸尚ほか, 原子力発電所事故後の無人ヘリコプターを用いた放射線測定, JAEA-Research 2013-049, 129p.(2014).
- 6) Y. Sanada, et al., Temporal variation of dose rate distribution around the Fukushima Daiichi nuclear power station using unmanned helicopter, Appl. Radiat. Isot., 118, pp.308-316(2016).
- 7) 眞田幸尚ほか, 平成 26 年度福島第一原子力発電所周辺における航空機モニタリング(受託研究), JAEA-Research 2015-006, 81p.(2015).
- 8) 原子力規制庁,平成 27 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) 事業成果報告書, 無人ヘリによる東京電力福島第一原子力発電所から 5km 圏内の空間線量率分布の測定 Appendix-1, 無人ヘリによる測定結果の高精度化のための γ 線スペクトルから天然の放射性核種の影響を除去する方法の検討, pp.48-52, (2016),
<https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/12000/11995/29/part1-3.pdf>, (参照 : 2022 年 2 月 28 日) .
- 9) 国土地理院, 地理院地図, <https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>, (参照 : 2022 年 2 月 28 日) .
- 10) R.J. Loughran, et al., Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation Using Environmental Radionuclides (Chapter 3 Sampling methods), pp. 41-57 (2002).
- 11) Chernobyl forum expert group 'environment', Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience, Report of the Chernobyl forum expert group 'environment', International Atomic Energy Agency (IAEA), Radiological assessment reports series, STI/PUB/1239, 166p.(2006).
- 12) ICRU, Gamma-ray spectrometry in the environment, International Commission on Radiation Units and measurements (ICRU) report: 53, 84p.(1994).
- 13) N. Matsuda, et al., Depth profiles of radioactive cesium in soil using a scraper plate over a wide area surrounding the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant, Japan, J.

- Environ. Radioact., 139, pp.427-434(2015).
- 14) K. Saito and P. Jacob, Fundamental data on environmental gamma-ray fields in the air due to source in the ground, JAERI-Data/Code 98-001, 93p.(1998).
 - 15) 原子力規制庁, 平成 29 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) 事業 成果報告書, 土壌中の放射性セシウムの深度分布調査, (2018),
https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/14000/13993/33/Part2-2_20181130.pdf, (参照 : 2022 年 2 月 28 日) .
 - 16) 原子力規制庁, 平成 28 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) 事業成果報告書, 土壌中の放射性セシウムの深度分布調査, (2017),
https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/14000/13159/35/Part1-6_放射性セシウムの深度分布調査.pdf, (参照 : 2022 年 2 月 28 日) .
 - 17) 原子力規制庁, ゲルマニウム半導体検出器を用いた *in-situ* 測定法, 放射能測定法シリーズ 33, 150p.(2017),
<https://www.kankyo-hoshano.go.jp/wp-content/uploads/2020/12/No33.pdf>, (参照 : 2022 年 2 月 28 日) .
 - 18) 三上智ほか, 可搬型ゲルマニウム半導体検出器を用いた in situ 測定による福島第一原子力発電所から 80km 圏内の土壌中天然放射性核種の空気カーマ率調査, 日本原子力学会誌和文論文誌, 20, pp.159-178(2021).
 - 19) 斎藤公明, 遠藤章, 福島周辺における空間線量率の測定と評価, III 環境 γ 線の特徴と被ばく線量との関係, RADIOISOTOPES, 63, pp.585-602(2014).
 - 20) 福島県, 東京電力株式会社, 平成 22 年度原子力発電所周辺環境放射能測定結果報告書, (2013), <https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/42296.pdf>, (参照 : 2022 年 2 月 28 日) .
 - 21) Y. Sanada, et al., Distribution map of natural gamma-ray dose rates for studies of the additional exposure dose after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station accident, J. Environ. Radioact., 223-224, pp.106397(2020).
 - 22) 安藤真樹ほか, KURAMA-II を用いた走行サーベイ測定による東日本での天然放射性核種の空間線量率評価, 日本原子力学会和文論文誌, 16, pp.63-80 (2017).
 - 23) 原子力規制庁, 航空機モニタリングによる空間線量率の測定結果,
<https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/362/list-1.html>, (参照 : 2022 年 2 月 28 日) .
 - 24) 原子力規制庁, 総合モニタリング計画, <https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/204/list-1.html>, (参照 : 2022 年 2 月 28 日) .
 - 25) 動力炉・核燃料開発事業団, 日本のウラン資源, PNC TN7420 94-006, 391p. (1994).
 - 26) 原子力規制委員会, 福島県及びその近隣県における航空機モニタリングの測定結果について, (2017),
https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/13000/12701/24/170213_11th_air.pdf, (参照 :

- 2022年2月28日)。
- 27) 日本原子力研究開発機構, 放射性物質モニタリングデータの情報公開サイト, 放射性物質の分布状況等調査による走行サーベイ(KURAMA),
https://emdb.jaea.go.jp/emdb_old/portals/b1010202/, (参照: 2022年2月28日)。
 - 28) 日本原子力研究開発機構, 放射性物質モニタリングデータの情報公開サイト, 放射性物質の分布状況等調査による空間線量率測定,
https://emdb.jaea.go.jp/emdb_old/portals/b1010116/, (参照: 2022年2月28日)。
 - 29) 原子力規制庁, 平成29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) 事業 成果報告書, 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, (2018),
https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/14000/13993/28/Part1-2_20181130.pdf, (参照: 2022年2月28日)。
 - 30) 原子力規制庁, 東京電力株式会社福島第一原子力発電所の20km以遠の空間線量率の測定結果(2017年11月), (2019), <https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/207/list-201711.html>, (参照: 2022年2月28日)。
 - 31) 福島県, 環境放射線モニタリング・メッシュ調査結果,
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/ps-monitoring-mesh.html>, (参照: 2022年2月28日)。
 - 32) 福島県, 平成29年度森林におけるモニタリング調査結果について, (森林における放射性物質の状況と今後の予測について),
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/267364.pdf>, (参照: 2022年2月28日)。
 - 33) 福島県, 福島県環境放射線モニタリング調査(観光地第13回)結果, (2017),
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/ps-kankouti-13.html>, (参照: 2022年2月28日)。
 - 34) 福島市, 全市放射線量測定マップ, (平成29年2月7日~3月7日実施),
<http://www.city.fukushima.fukushima.jp/kankyo-houshasen/bosai/bosaikiki/shinsai/hoshano/sokute/shiniaisokute/documents/map17040385000a2a4.pdf>, (参照: 2022年2月28日)。
 - 35) 富岡町, 町内の放射線量調査(町内142ヶ所の定点測定),
<https://tomioka-radiation.jp/air-dose/kukan.html>, (参照: 2022年2月28日)。
 - 36) 総務省統計局, 平成22年国勢調査, <http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2010/>, (参照: 2022年2月28日)。
 - 37) 環境省, 追加ばびく線量年間1ミリシーベルトの考え方, 平成23年10月10日災害廃棄物安全評価検討会・環境回復検討会第1回合同検討会資料, (2011),
http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=18437&hou_id=14327, (参照: 2022年2月28日)。
 - 38) 国土交通省, 国土数値情報ダウンロード, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>, (参照: 2022年2月

28日)。

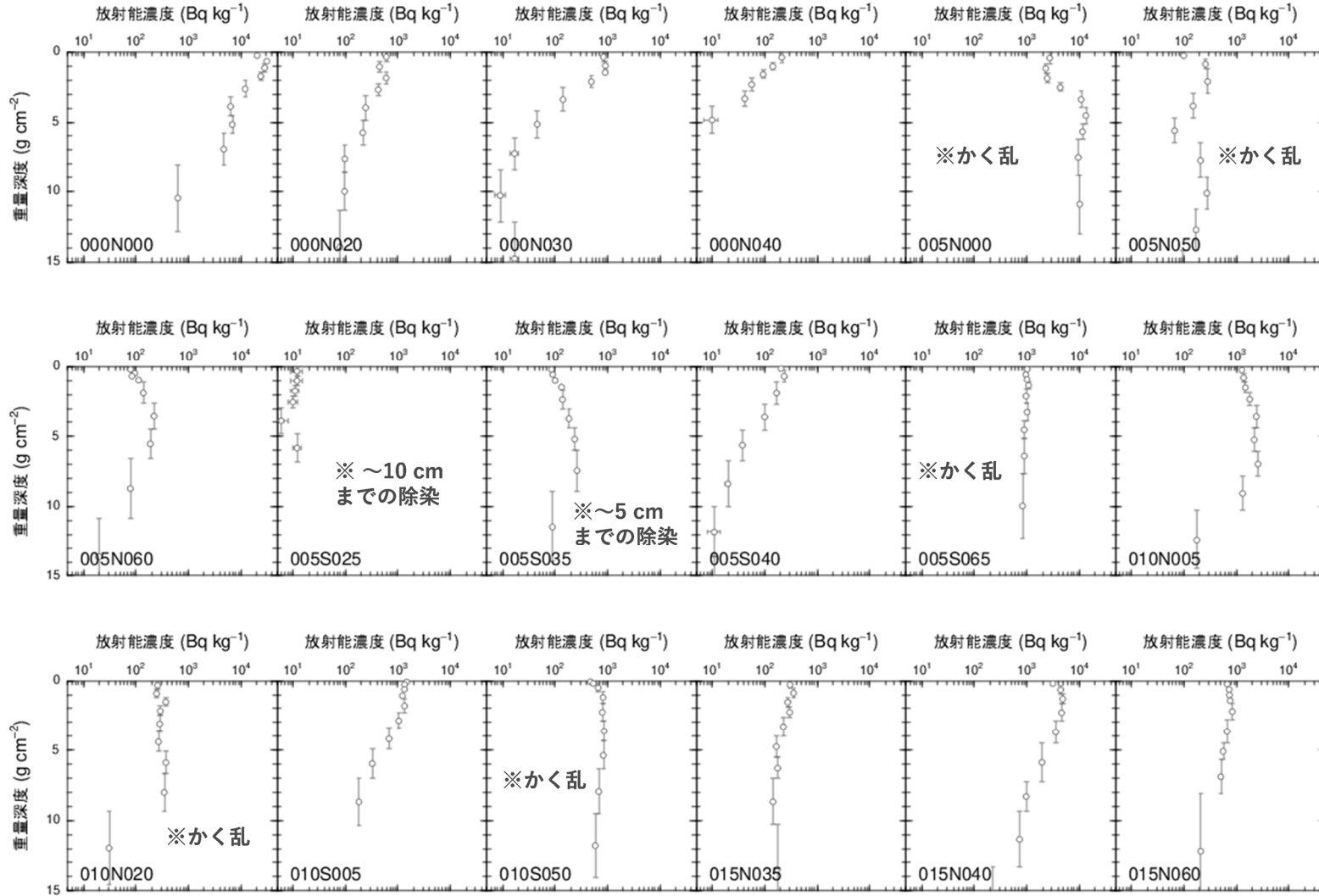
- 39) 経済産業省, 平成 26 年商業統計メッシュデータ・ダウンロード, 1 km メッシュデータ : 世界測地系 (2017),
<https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/syogyo/mesh/download.html#1km>, (参照 : 2022 年 2 月 28 日)。
- 40) 原子力規制庁, 平成 31 年度放射性物質測定調査委託費 (東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の分布データの集約) 事業 成果報告書, 6.測定箇所の重要度分類のためのスコア化の検討, (2020),
https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/16000/15217/31/JAEArep_MAPproject_H31_20200807_6.pdf, (参照 : 2022 年 2 月 28 日)。
- 41) IAEA, Sediment distribution coefficients and concentration factors for biota in the marine environment, IAEA-TECDOC 422 (2004).
- 42) 公益財団法人海洋生物環境研究所, 平成 30 年度海洋環境における放射能調査及び総合評価事業調査報告書 (2019).
- 43) H. M. Wainwright et al., A multiscale Bayesian data integration approach for mapping air dose rates around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, J. Environ. Radioact., 167, pp.62-69 (2017).
- 44) 原子力規制庁, 平成 28 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) 事業成果報告書, Part1-7_空間線量率の統合評価, (2017), <https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/14000/13159/36/空間線量率の統合評価.pdf>, (参照 : 2022 年 2 月 28 日)。
- 45) 原子力規制庁, 平成 29 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) 事業 成果報告書, Part3 空間線量率の統合評価, (2018),
https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/14000/13993/34/Part3_20181130.pdf, (参照 : 2022 年 2 月 28 日)。
- 46) 原子力規制庁, 平成 30 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) 事業 成果報告書, 7.実測データの統合的解析, (2019),
https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/15000/14765/31/JAEArep_MAPproject_H30_20200302_7.pdf, (参照 : 2022 年 2 月 28 日)。
- 47) 原子力規制庁, 平成 31 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) 事業 成果報告書, 7.実測データの統合的解析, (2020),
http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/16000/15217/32/JAEArep_MAPproject_H31_20200807_7.pdf, (参照 : 2022 年 2 月 28 日)。
- 48) 原子力規制庁, 令和 2 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) 事業 成果報告書, 7.実測データの統合

- 的解析, (2021),
https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/17000/16277/33/JAEA_MAPprojectR2_20210802_7-1.pdf, (参照 : 2022 年 2 月 28 日) .
- 49) 林野庁関東森林管理局, 福島県内に所在するレクリエーションの森等における空間線量率調査の実施結果について, <https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/press/kikaku/190712.html>.
(参照 : 2022 年 2 月 28 日)
- 50) 林野庁関東森林管理局, これまでの調査結果 1.旧避難指示区域等国有林内におけるモニタリング調査事業,
<https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/seibi/jyosensennta/chousakekka01.html>, (参照 : 2022 年 2 月 28 日) .
- 51) 宇宙航空研究開発機構, 高解像度土地利用土地被覆図,
https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/dataset/lulc_j.htm, (参照 : 2022 年 2 月 28 日) .
- 52) 放射線量等分布マップ拡大サイト, <https://ramap.jmc.or.jp/map/>, (参照 : 2022 年 2 月 28 日) .
- 53) 原子力規制庁, 緊急時における環境試料採取法, 放射能測定法シリーズ 35, 148p.(2021),
<https://www.kankyo-hoshano.go.jp/wp-content/uploads/2021/06/No35.pdf>, (参照 : 2022 年 3 月 29 日) .
- 54) 原子力規制庁, 放射線モニタリング情報, モニタリング結果,
<https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/512/list-1.html>, (参照 : 2022 年 2 月 28 日) .
- 55) 環境省, 東日本大震災の被災地における放射性物質関連の環境モニタリング調査 : 公共用水域, http://www.env.go.jp/jishin/monitoring/results_r-pw.html, (参照 : 2022 年 2 月 28 日) .

付録1 セシウム 137 の深度分布

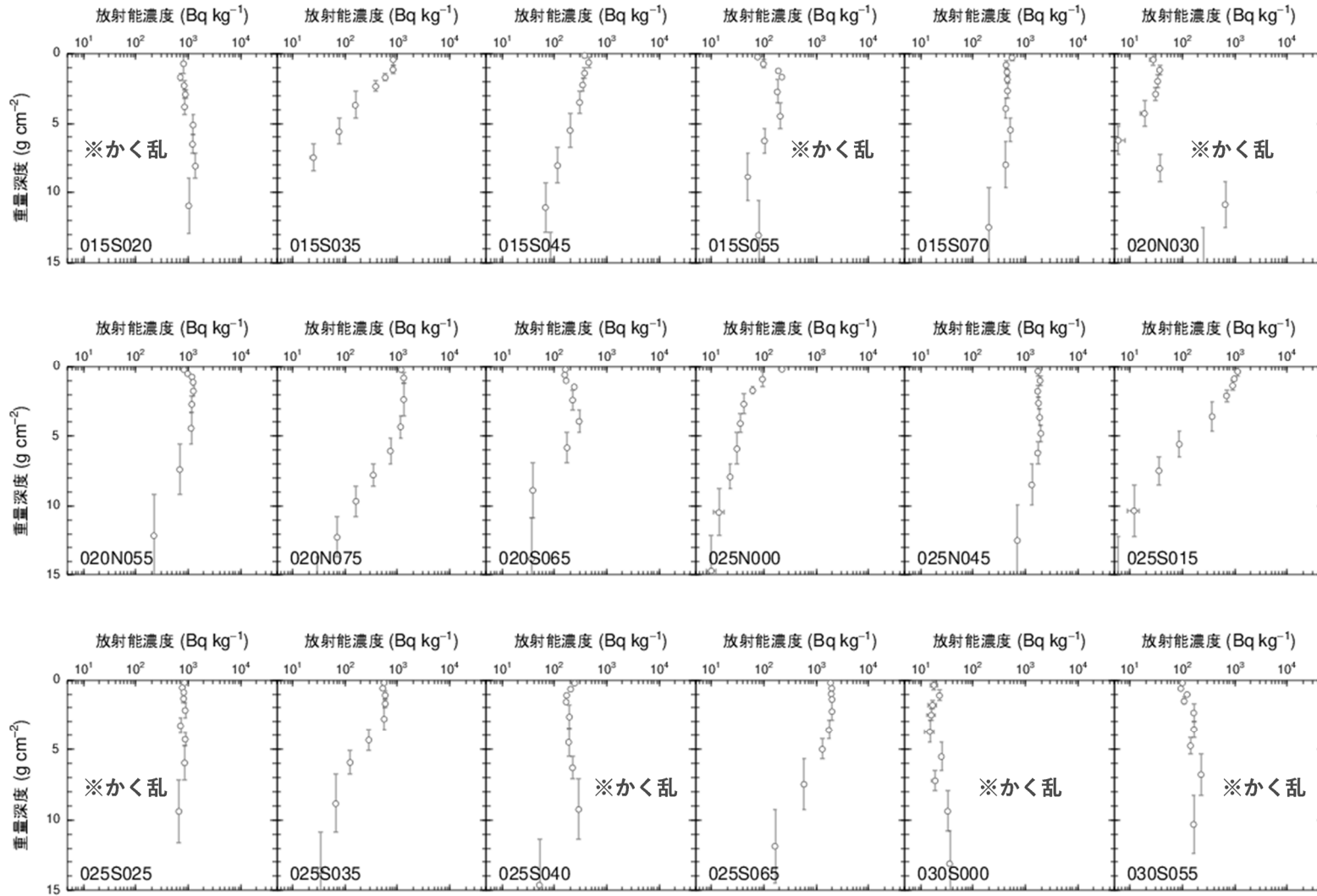
セシウム 137 の深度分布 (1/5)

※深度分布の変遷から読み取れる除染等の可能性



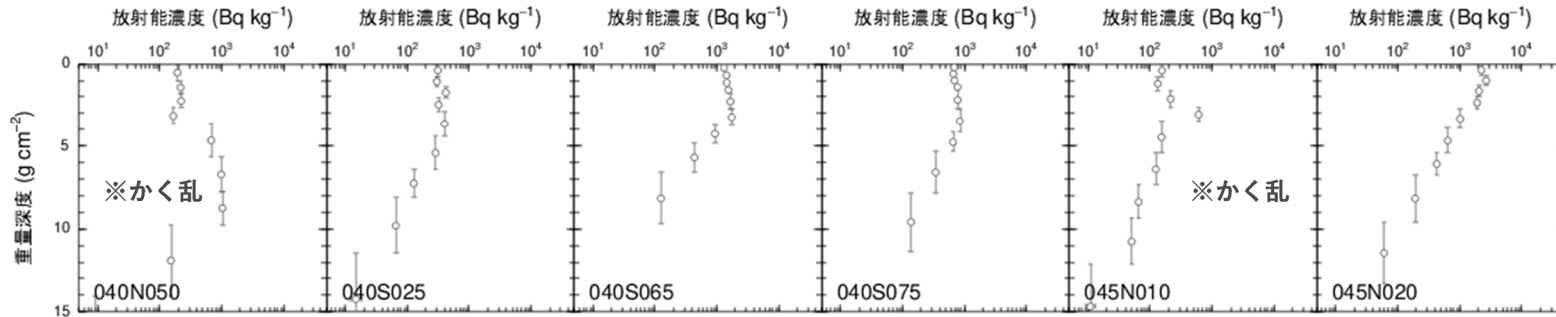
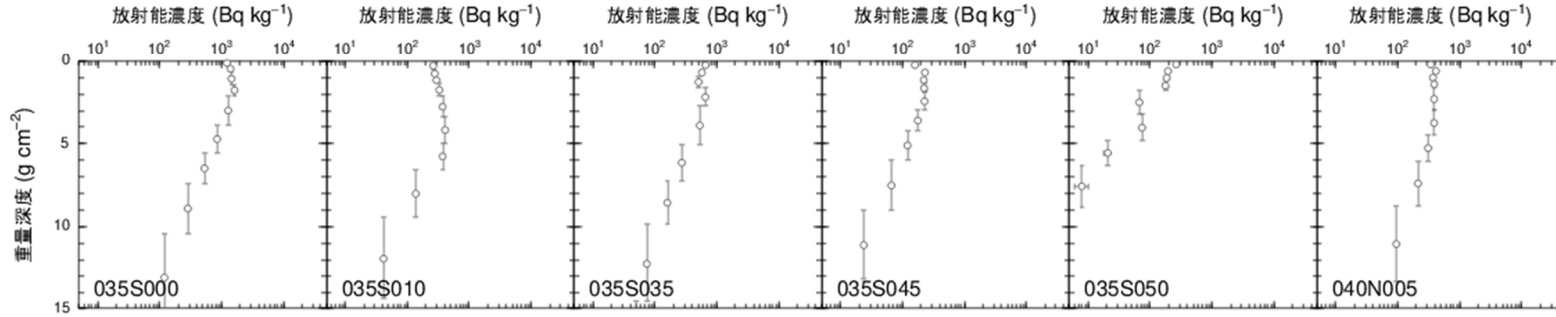
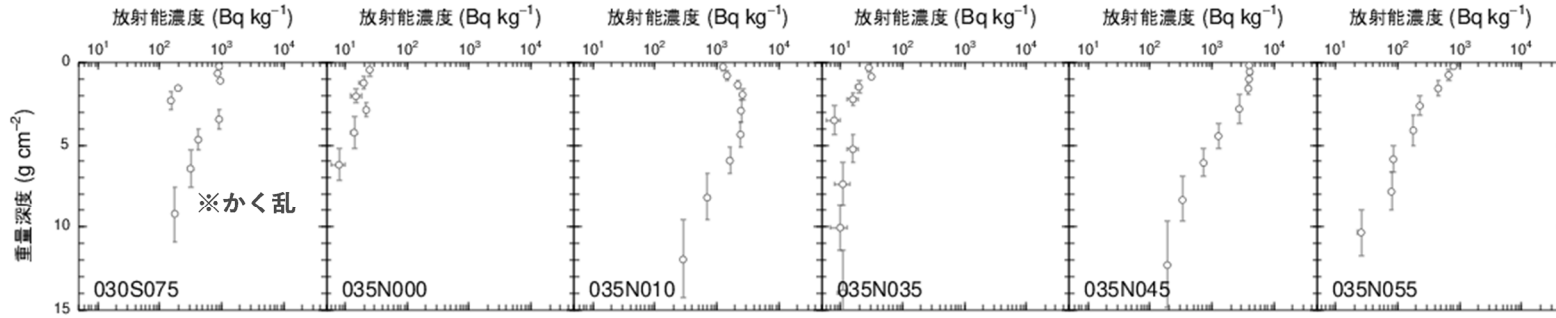
セシウム 137 の深度分布 (2/5)

※深度分布の変遷から読み取れる除染等の可能性



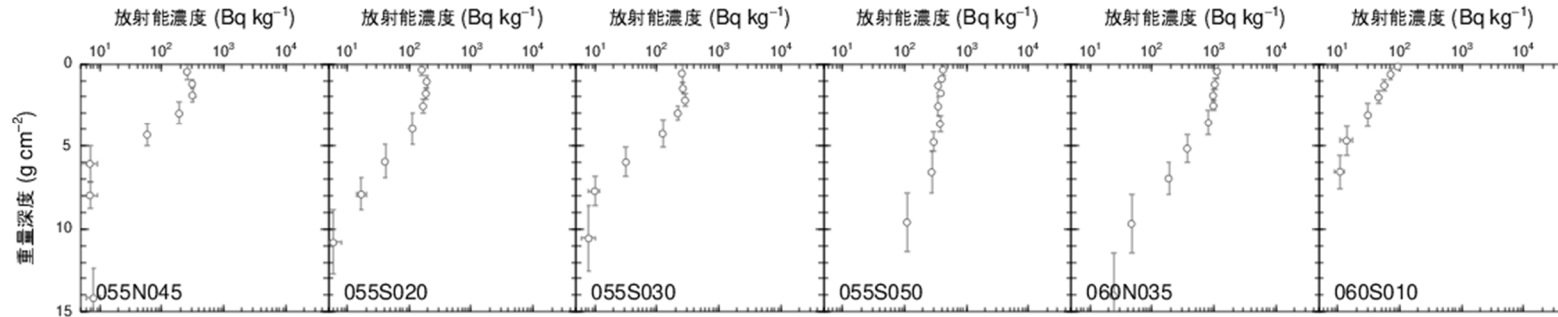
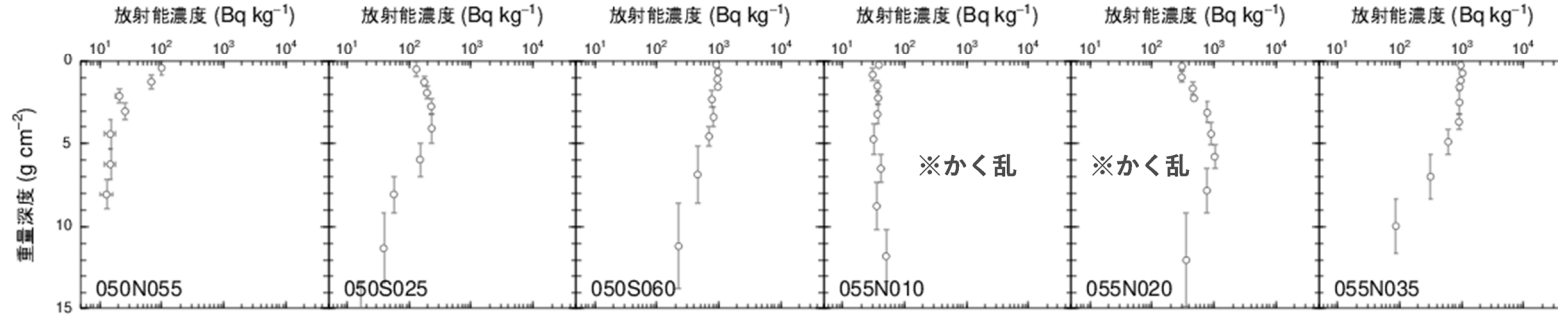
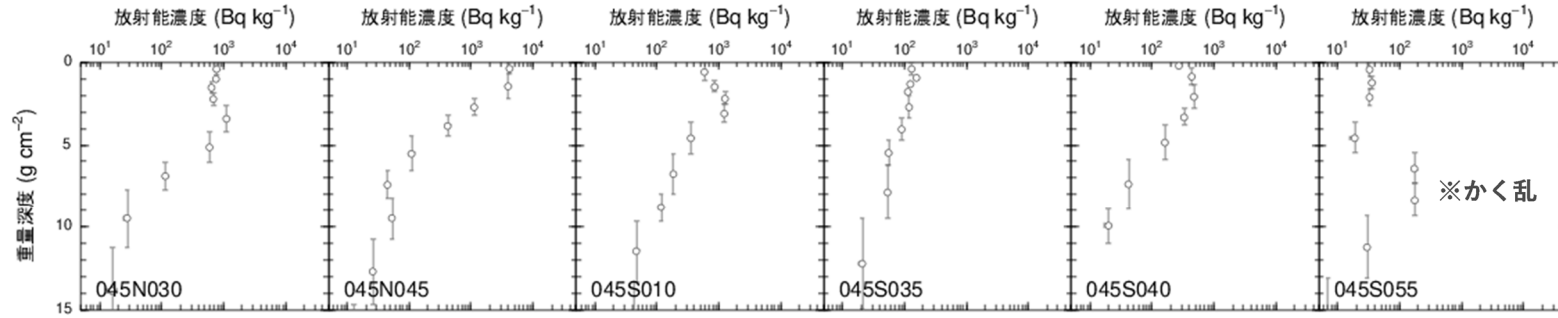
セシウム 137 の深度分布 (3/5)

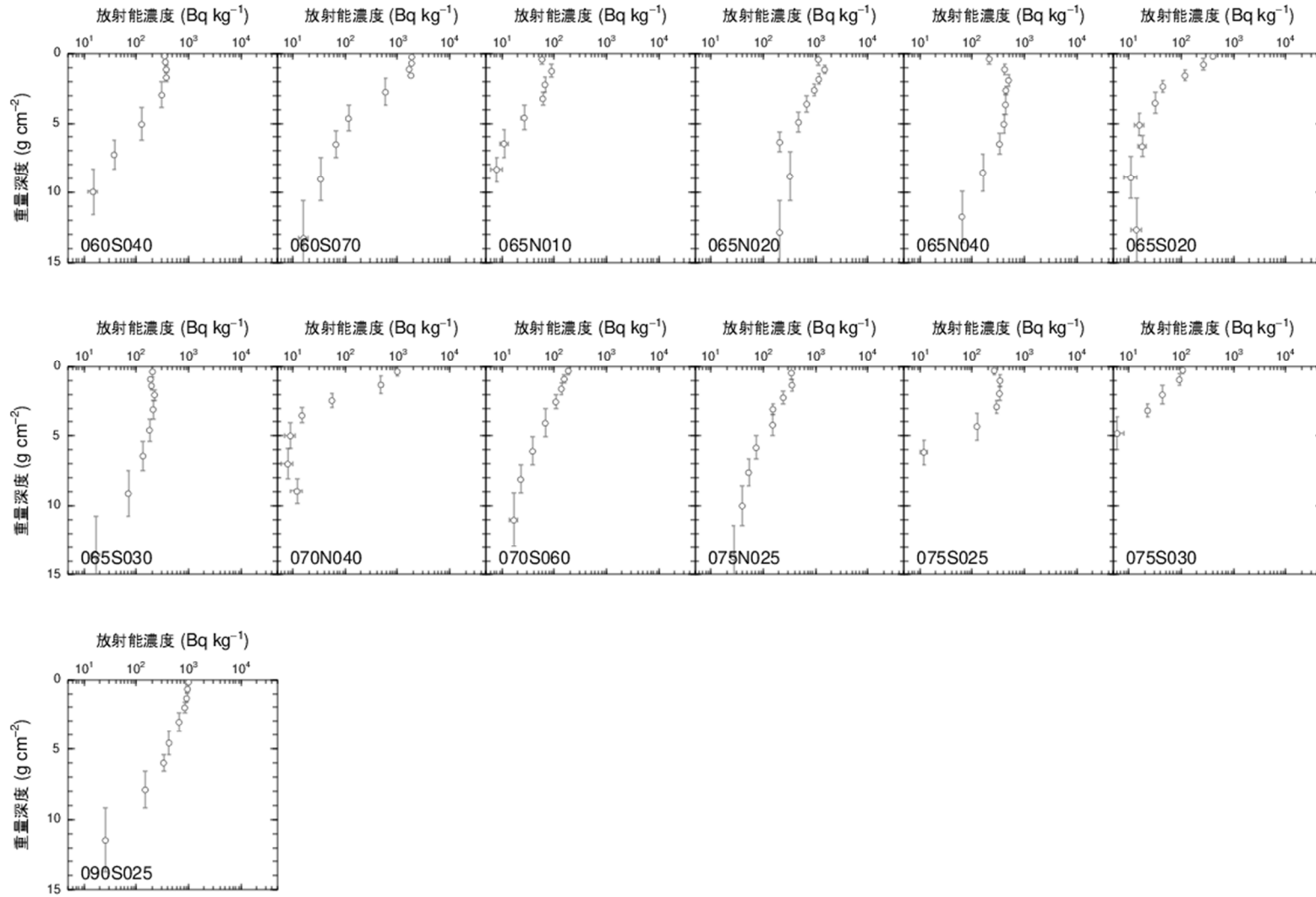
※深度分布の変遷から読み取れる除染等の可能性



セシウム 137 の深度分布 (4/5)

※深度分布の変遷から読み取れる除染等の可能性





付録 2 令和 3 年度技術検討会の概要

令和 3 年度の「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」に係る技術検討会の概要を以下にまとめる。

1) 第 1 回

- ・ 日時：令和 3 年 7 月 8 日（金） 13:30～16:00
- ・ 場所：オンライン会議による
- ・ 出席委員：百島則幸委員長（（一財）九州環境管理協会）、久松俊一委員長代理（（公財）環境科学技術研究所）、吉田浩子委員（東北大学大学院）、高橋知之委員（京都大学複合原子力科学研究所）、三浦俊二委員（福島県）
- ・ 規制庁出席者：村山綾介、池田隆文、加藤毅彦、東貴之、斎藤公明、川崎智
- ・ 議題：
 1. 「放射性物質の分布データの集約事業技術検討会」の開催について
 2. 「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」事業について
 3. その他
- ・ 配付資料：
 - 資料第 1-1 号：放射性物質の分布データの集約事業技術検討会の開催について
 - 資料第 1-2 号：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
- ・ 議事内容：
 - (1) 資料第 1-1 号に基づき、放射性物質の分布データの集約事業技術検討会の開催について、に関する説明が行われた。
 - (2) 資料第 1-2 号に基づき説明が行われ、空間線量率等の経時変化評価方法について（フィッティングに用いるデータ範囲（測定時期）を検討、モニタリングポストによる測定データの採用等）、海洋のモニタリングデータの評価、令和 3 年度の重点項目等について議論がなされた。また、参考資料として分布状況調査事業で得られた知見の国内外への影響について説明がなされた。

2) 第 2 回

- ・ 日時：令和 3 年 12 月 24 日（金） 13:30～15:00
- ・ 場所：オンライン会議による
- ・ 出席委員：百島則幸委員長（（一財）九州環境管理協会）、久松俊一委員長代理（（公財）環境科学技術研究所）、吉田浩子委員（東北大学大学院）、高橋知之委員（京都大学複合原子力科学研究所）、三浦俊二委員（福島県）
- ・ 規制庁出席者：池田隆文、加藤毅彦、斎藤公明、川崎智

・議題：

1. 「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」事業について
2. その他

・配付資料：

資料第 2-1 号：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

・議事内容：

- (1) 資料第 2-1 号により「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」について説明が行われ、各種測定の見捗状況・海洋のモニタリングデータの評価・スコア解析・空間線量率等の経時変化解析の中間評価について議論がなされた。

3) 第 3 回

・日時：令和 4 年 3 月 1 日（火） 10:00～11:30

・場所：オンライン会議による

・出席委員：百島則幸委員長（（一財）九州環境管理協会）、久松俊一委員長代理（（公財）環境科学技術研究所）、吉田浩子委員（東北大学大学院）、高橋知之委員（京都大学複合原子力科学研究所）、三浦俊二委員（福島県）

・規制庁出席者：池田隆文、加藤毅彦、斎藤公明、川崎智

・議題：

1. 「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」事業について
2. その他

・配付資料：

資料第 3-1 号：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

・議事内容：

- (1) 資料第 3-1 号により「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」に関する説明が行われ、空間線量率等の経時変化解析（フィッティングモデル等）、重量緩衝深度のデータ解析、統合マップの評価等について議論がなされた。