

7. 実測データの統合的解析

7.1. 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調査（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、それぞれの測定データは個別に蓄積されている。もしこれらの空間線量率情報を統合することが出来れば、対象領域全域に対して精度と空間分解能の高いマップを作成することが出来る。すなわち、統合的解析の目的は、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ことである。

本目的のために、平成 28 年度においては、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²⁰⁾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を作成した²¹⁾。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空間線量率マップを作成した。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 圏内の統合空間線量率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、統合空間線量率マップを作成した。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 圏内の統合空間線量率マップを作成するとともに、解析対象を福島県全県に広げ、平成 29 年度、平成 30 年度及び令和元年度について統合空間線量率マップを作成した。

7.2. 調査内容

7.2.1. 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、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有用に用いられるが、調査領域が車道上に限定される。航空機サーベイは 300m 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大きな特徴を有している。本調査では、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した。具体的には、高い位置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、位置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統合した。

7.2.2. 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用いて、歩行サーベイ、走行サーベイ及び航空機サーベイで得られた空間線量率分布を統合したマップを作成するとともに、統合された空間線量率マップの信頼区間を明らかにした。統合に際しては、原子力機構と米国ローレンス・バークレー国立研究所 (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手法²⁰⁾を応用した。

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。

$$p(y|z_w, z_c, z_A) \propto p(z_A|y) p(z_c|y) p(y|z_w) \quad (8)$$

$p(z_A|y)$: 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

ここで、 $p(y|z_w)$ 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 (8) 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。

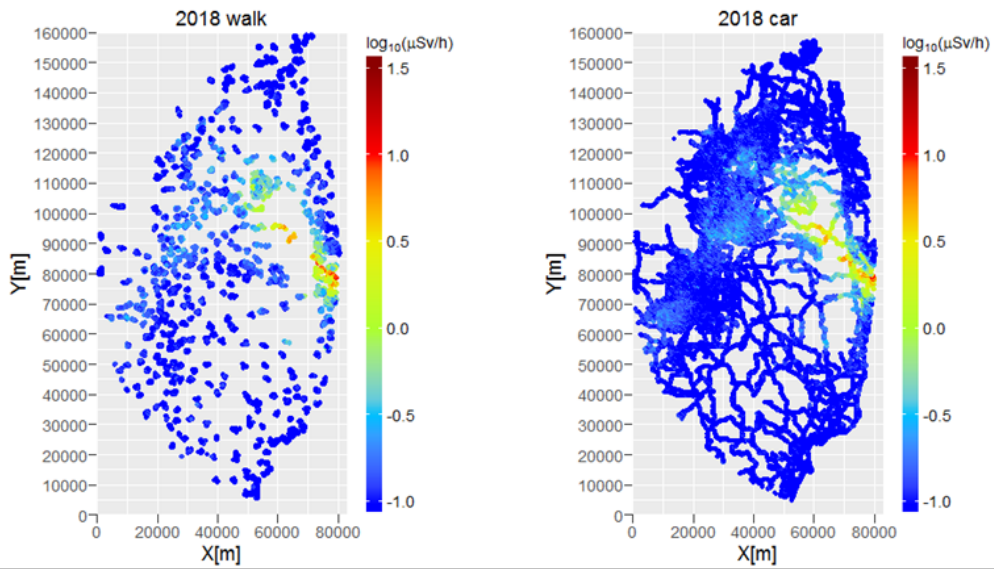
$p(y|z_w)$ と関連したプロセスモデルは、歩行サーベイ結果の空間パターンの解析から得られる。具体的には歩行サーベイにおいて、離れた2メッシュ間の空間線量率が距離によりどのように変化するかを解析した。データモデル及びプロセスモデルの基となる環境モニタリング測定データ間の相関関係は土地利用状況により異なることがわかっているので、土地利用状況別に統計解析を実施しその結果を用いた。これらの関係を利用しながら確率が最大となる y とその信頼区間(分散)を推定した。

7.3. 80 km 圏内を対象とした統合マップの作成

7.3.1. 対象とした測定データ

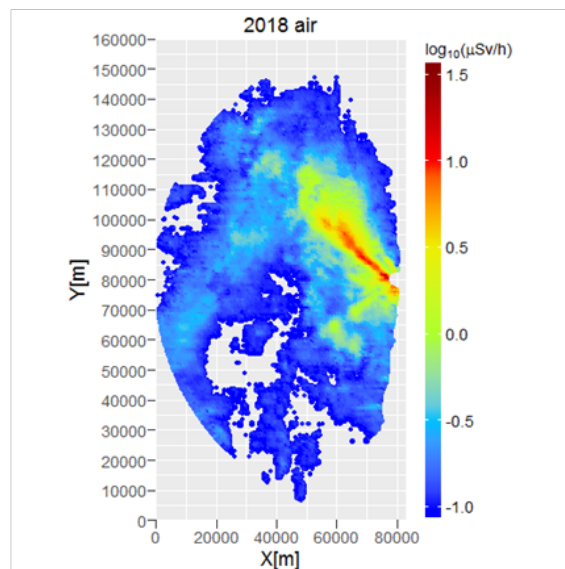
80 km 圏内を対象として、平成 30 年 11 月及び令和元年 11 月に測定された各種データを年度ごとに統合した統合空間線量率マップの作成を行った。

統合に用いた歩行サーベイ、走行サーベイ及び航空機サーベイの測定結果を図 7-1 及び図 7-2 に示す。なお、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、JAXA より公開されている高解像度土地利用データ²²⁾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 80 km 圏内における避難指示区域の境界及び土地利用状況を図 7-3 に示す。



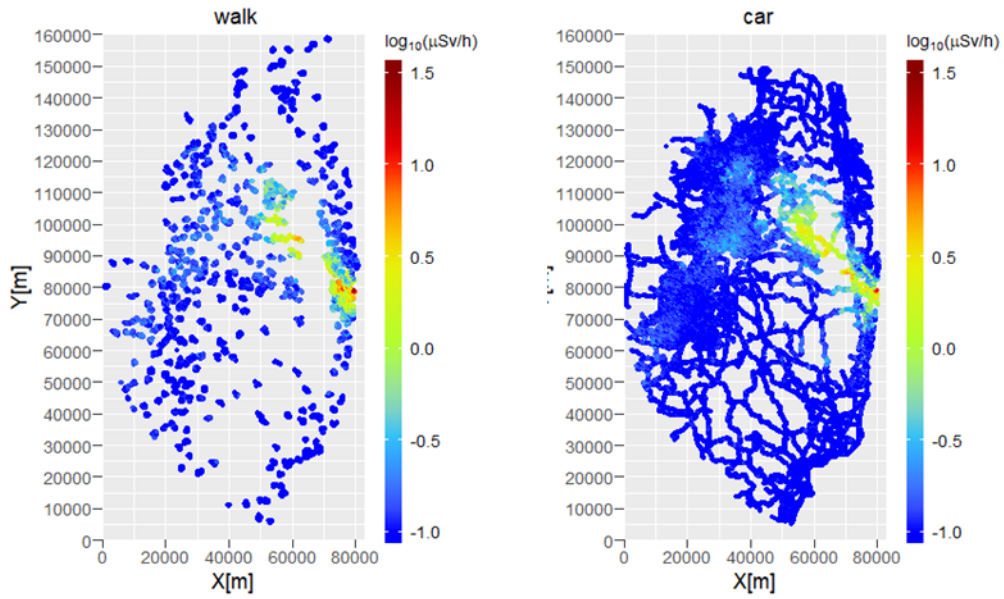
歩行サーベイ結果

走行サーベイ結果



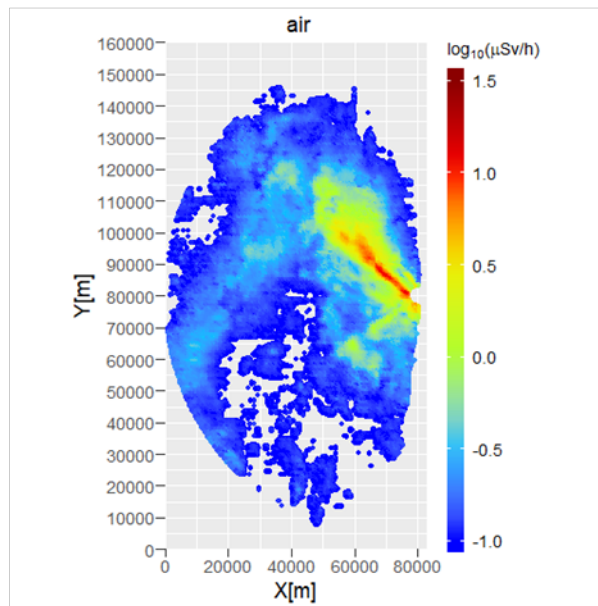
航空機サーベイ結果

図 7-1 平成 30 年度 11 月期に実施された歩行、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。)



歩行サーベイ結果

走行サーベイ結果



航空機サーベイ結果

図 7-2 令和元年度 11 月期に実施された歩行、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。)

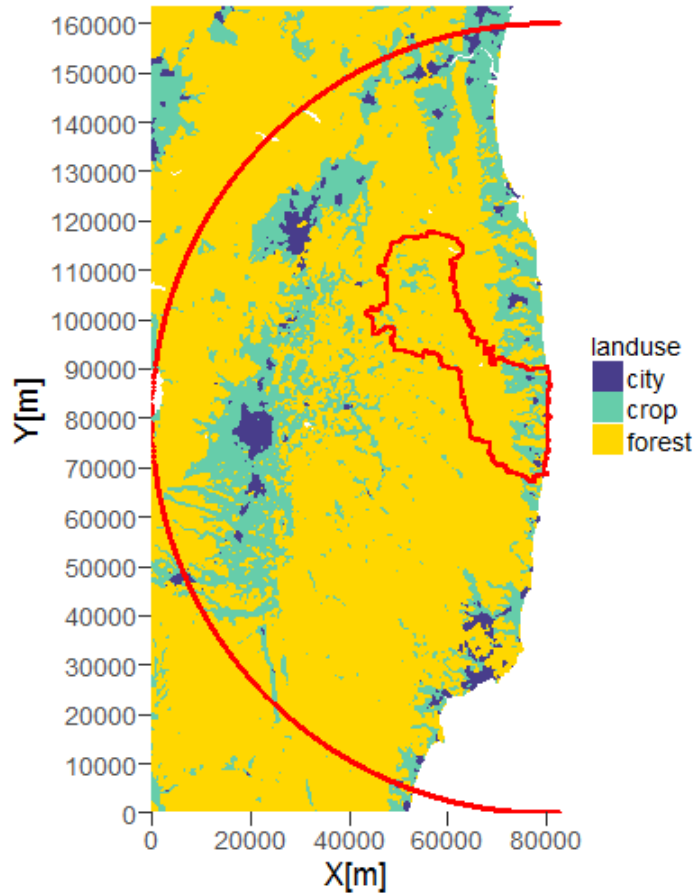


図 7-3 80 km 圏内における土地利用状況
 (青:市街地、緑:農地、黄色:森林、赤線:避難指示区域境界及び 80 km 境界)
 (背景図は、高解像度土地利用図²²⁾(c)JAXA)を使用)

7.3.2. 歩行サーベイ結果の空間パターンの解析

$p(y/z_w)$ のプロセスモデルを決めるために、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。避難指示区域内及び同区域外 (ただし 80km 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。平成 30 年度及び令和元年度についてのバリオグラム解析結果を図 7-4 及び図 7-5 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 (9) に示す。

$$\gamma(h) = \frac{1}{2|N(h)|} \sum_{N(h)} (z_i - z_j)^2 \quad (9)$$

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。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、セミバリエンスの値をシルと呼ぶ。シルは空間線量率のばらつきの大きさ（分散）を表す。

統合マップ作成において、歩行サーベイの測定データは局所的なスケールの空間線量率の分布特性を分析するために用いられ、広域的なスケールの空間線量率の分布特性の分析には航空機サーベイの測定データが用いられることから、本バリオグラムの解析においては、最も細かなスケールの相関を示すシル及びレンジの値を採用した。

平成 30 年度及び令和元年度における空間線量率測定結果を各々式(8)の z_w として用い、本分析において採用したシルやレンジの値をプロセスモデルとして用いることで、事前分布 y を作成した。

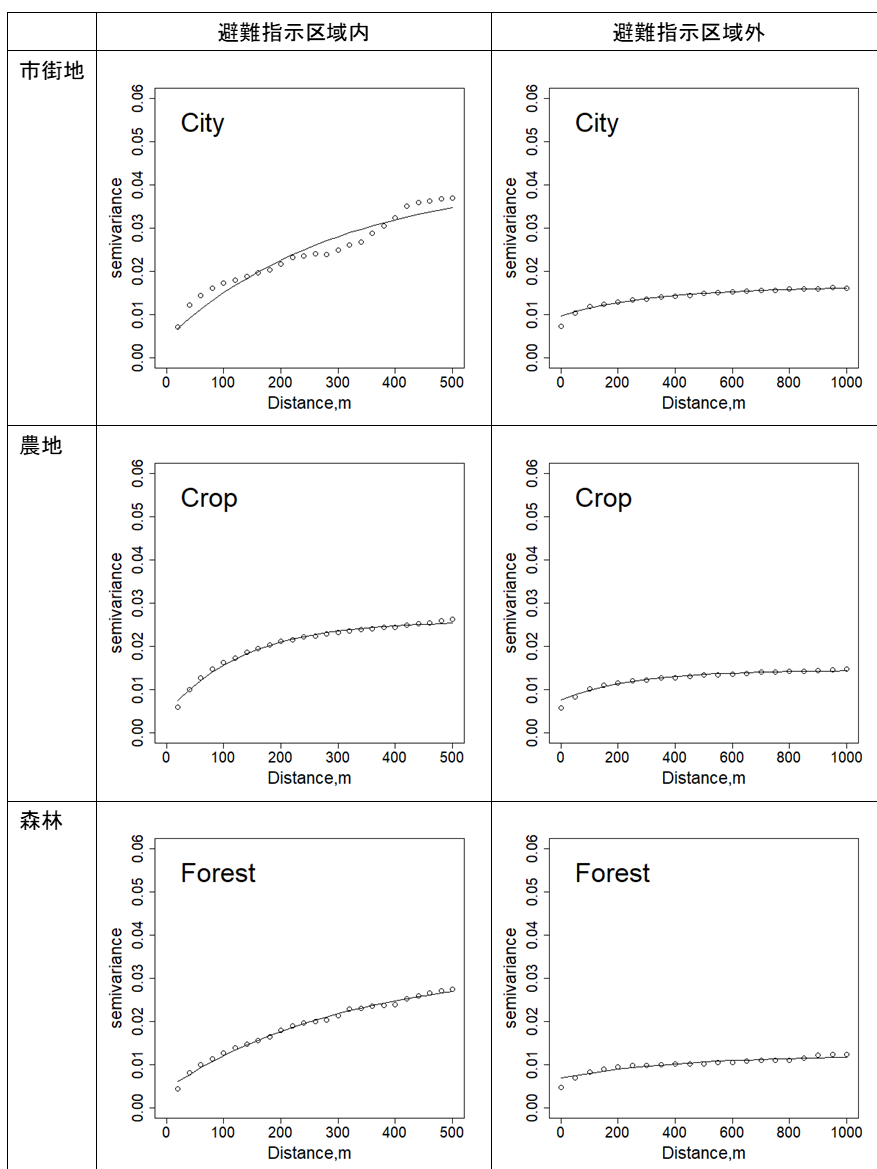


図 7-4 平成 30 年度 11 月期に実施された避難指示区域内外における歩行サーベイによる空間線量率のバリオグラム解析結果

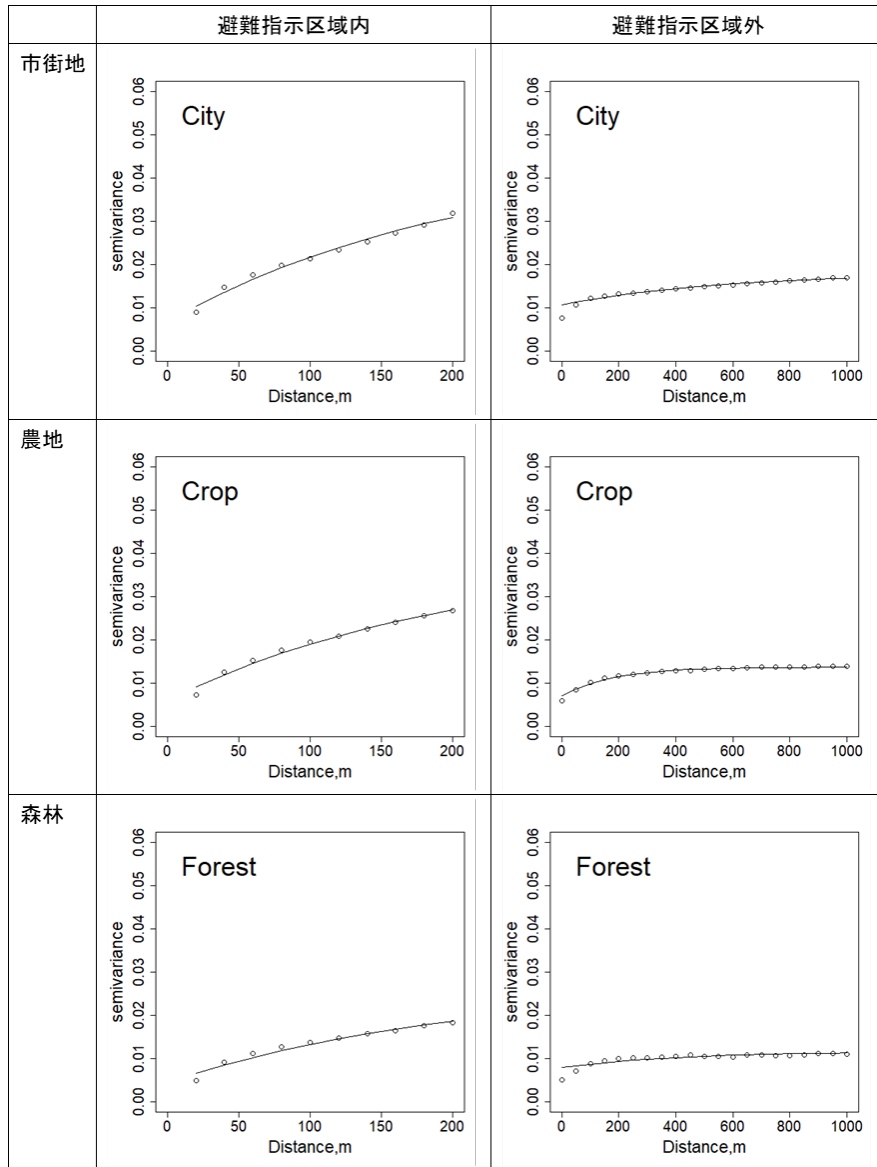


図 7-5 令和元年度 11 月期に実施された避難指示区域内外における歩行サーベイによる空間線量率のパリオグラム解析結果

7.3.3. 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。平成 30 年度及び令和元年度についての比較結果を図 7-6 及び図 7-7 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 100m 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 100m 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 (8) における z_c として用いた。

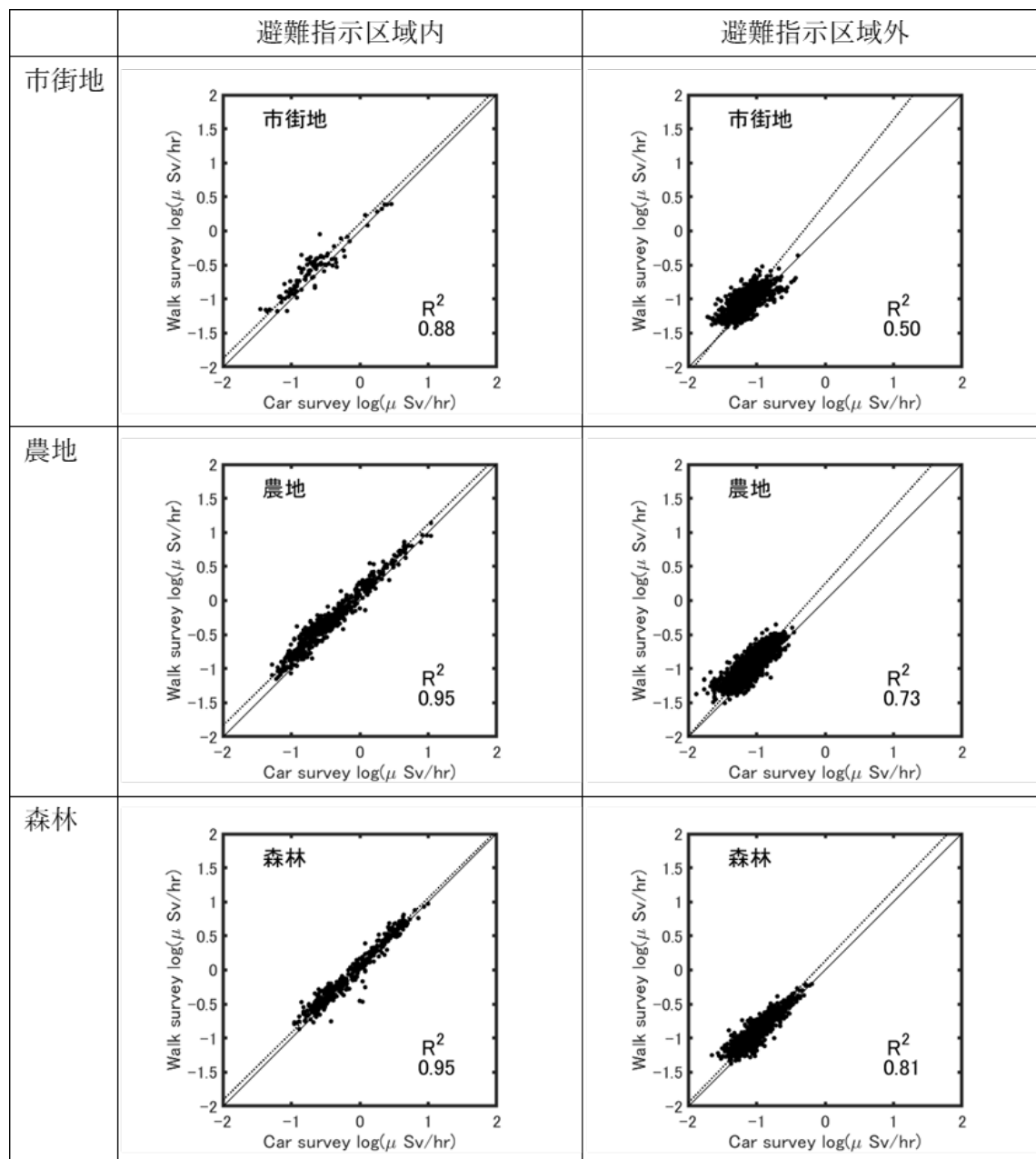


図 7-6 平成 30 年度 11 月期に実施された避難指示区域内及び避難指示区域外における走行サーベイと歩行サーベイによる空間線量率の相関分析
 (図中の R^2 は決定係数、破線は最小二乗法による回帰直線、実線は $Y=X$ の直線)
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

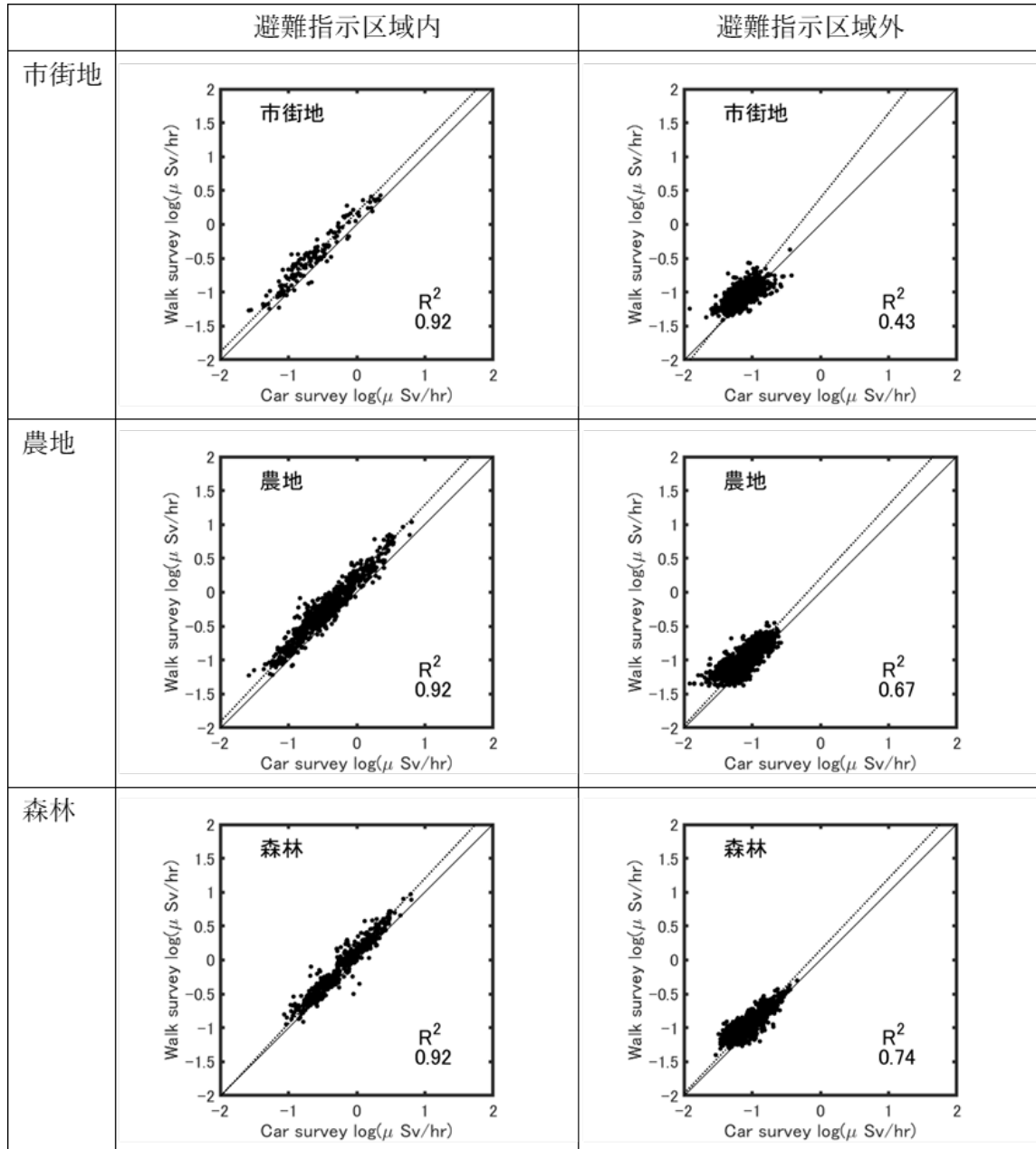


図 7-7 令和元年度 11 月期に実施された避難指示区域内及び避難指示区域外における走行サーベイと歩行サーベイによる空間線量率の相関分析
 (図中の R^2 は決定係数、破線は最小二乗法による回帰直線、実線は $Y=X$ の直線)
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

7.3.4. 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、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。平成 30 年度及び令和元年度についての比較結果を図 7-8 及び図 7-9 にそれぞれ示す。平成 29 年度の解析により、航空機サーベイの結果を距離

に応じて加重平均化したものと比較したデータと歩行サーベイのデータを比較することで、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距離に応じて加重平均した航空機サーベイ結果と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、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(8)における z_A として用いた。

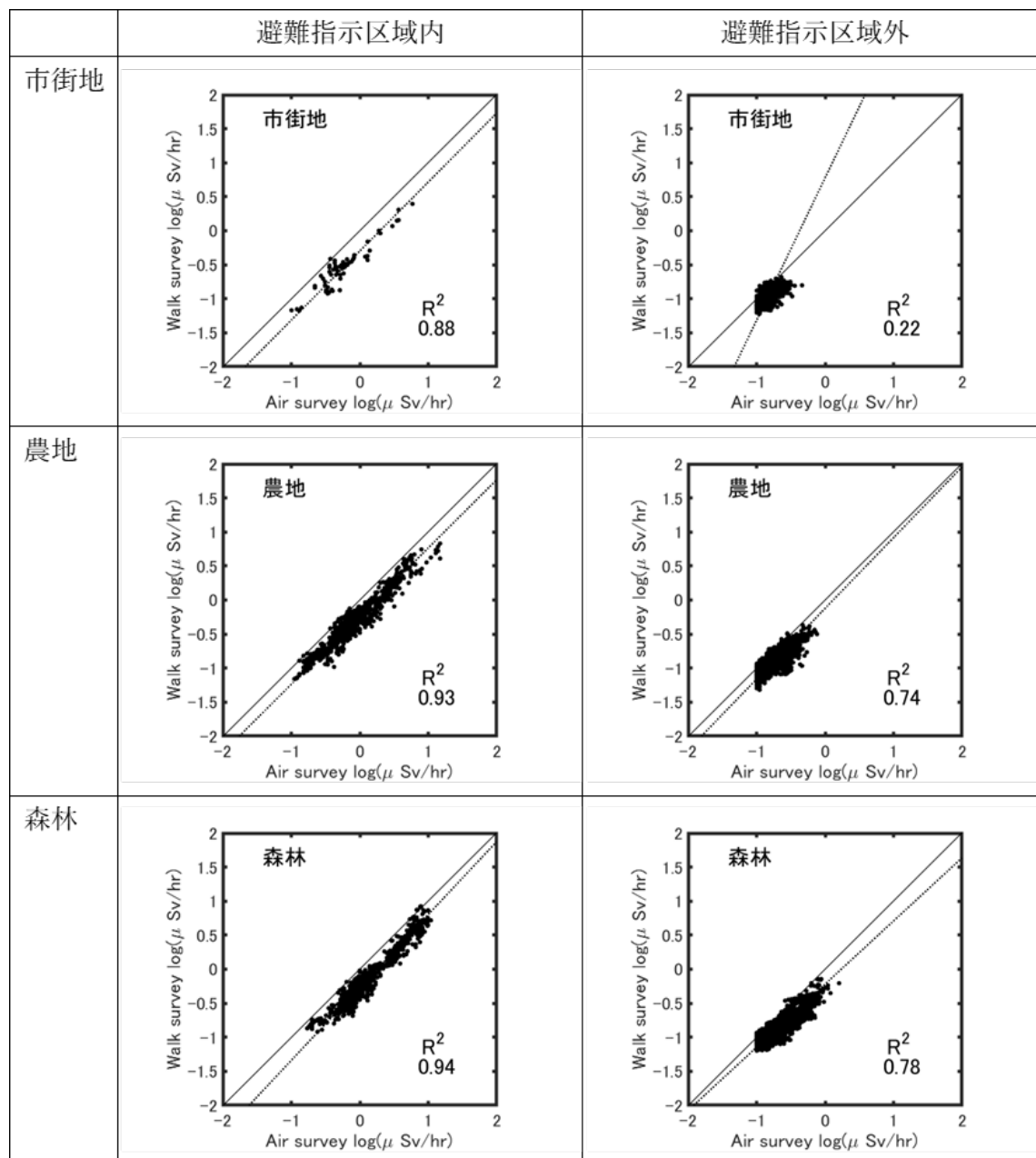


図 7-8 平成 30 年度に実施された航空機サーベイと歩行サーベイによる空間線量率の相関分析
 (図中の R^2 は決定係数、破線は最小二乗法による回帰直線、実線は $Y=X$ の直線)
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

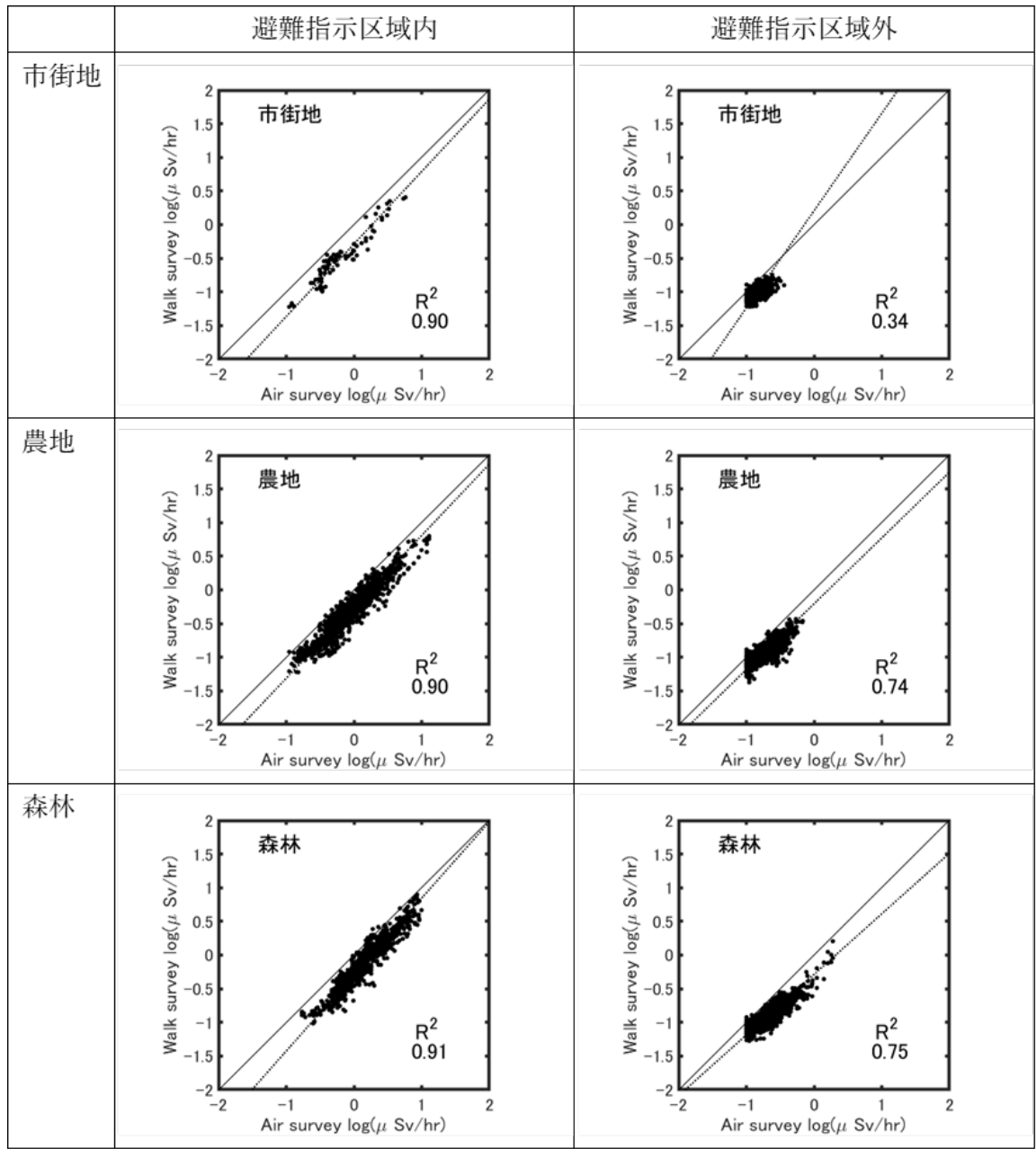


図 7-9 令和元年度に実施された航空機サーベイと歩行サーベイによる空間線量率の相関分析
 (図中の R^2 は決定係数、破線は最小二乗法による回帰直線、実線は $Y=X$ の直線)
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

7.3.5. 統合結果

平成 30 年度及び令和元年度に実施された航空機サーベイ、走行サーベイ及び歩行サーベイによる測定データを統合した 80 km 圏内の統合空間線量率マップを図 7-10 に示す。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 7-1、図 7-2 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、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等分布が得られている。

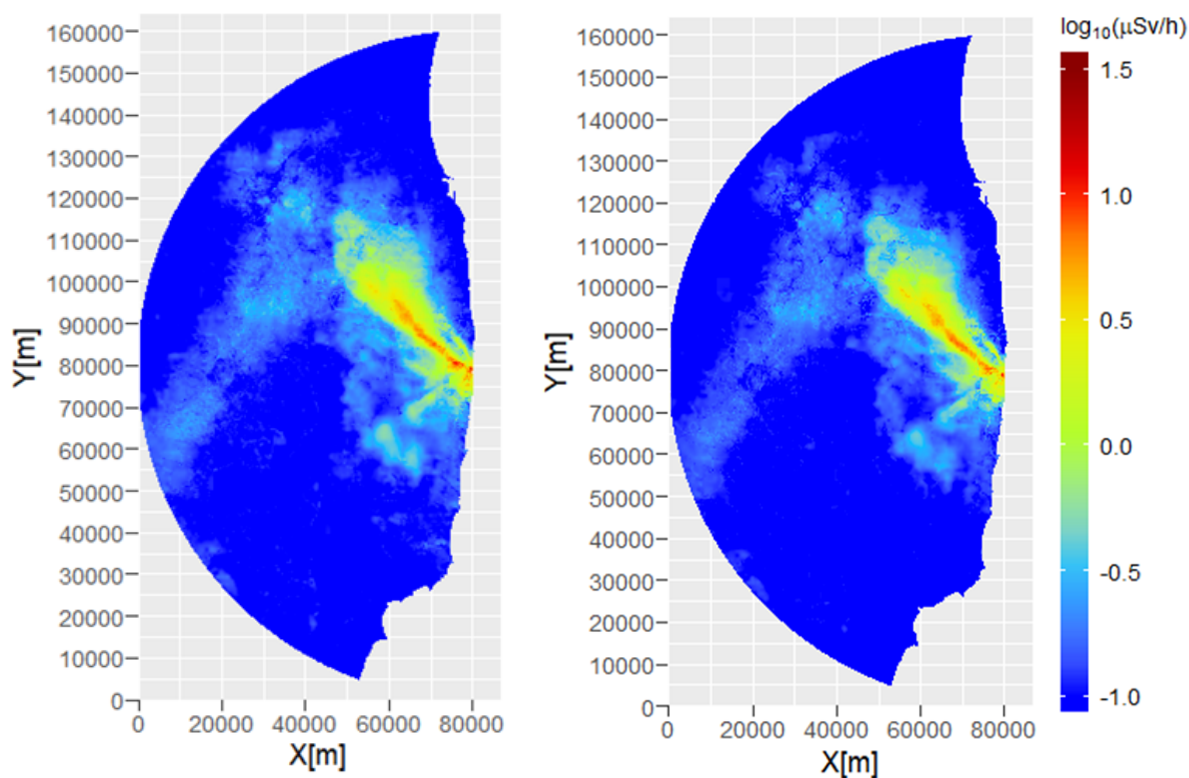


図 7-10 各種測定結果を統合した統合空間線量率マップ（80 km 圏内）

（左：平成 30 年度、右：令和元年度）

（天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。）

7.3.6. 妥当性検証

作成した統合マップの妥当性を検証するために、以下の手順で分析を行った。

- (1) 両年度に実施された歩行サーベイデータを各々避難指示区域内外に分類し、土地利用種ごとに 100 点をランダムに抽出する。
- (2) 抽出点を除外した歩行サーベイデータを用いて統合空間線量率マップを作成するとともに、階層ベイズ統計手法に基づき 99%信頼区間を算出する。
- (3) 各抽出点に対し、抽出点で測定された空間線量率の値が算出した 99%信頼区間に含まれるかどうかを確認する。

確認結果を図 7-11 及び図 7-12 に示す。これら図において、横軸は統合空間線量率マップにおいて計算された空間線量率の値を示し、縦軸は抽出点で測定された空間線量率の値を示している。青線は階層ベイズ統計手法に基づき算出された 99%信頼区間を示す。

信頼区間に含まれなかった抽出データ（外れ値）の比率は、両年度において 1～2%程度に抑え

られていること、系統的な歪みがなく高い相関性が得られている（回帰直線の傾きが～1.0 であり、切片の値が～0.0 となっている。また、決定係数（ R^2 ）も 0.6 を超えている）ことから、信頼性の高い統合マップが作成されたと考えられる。

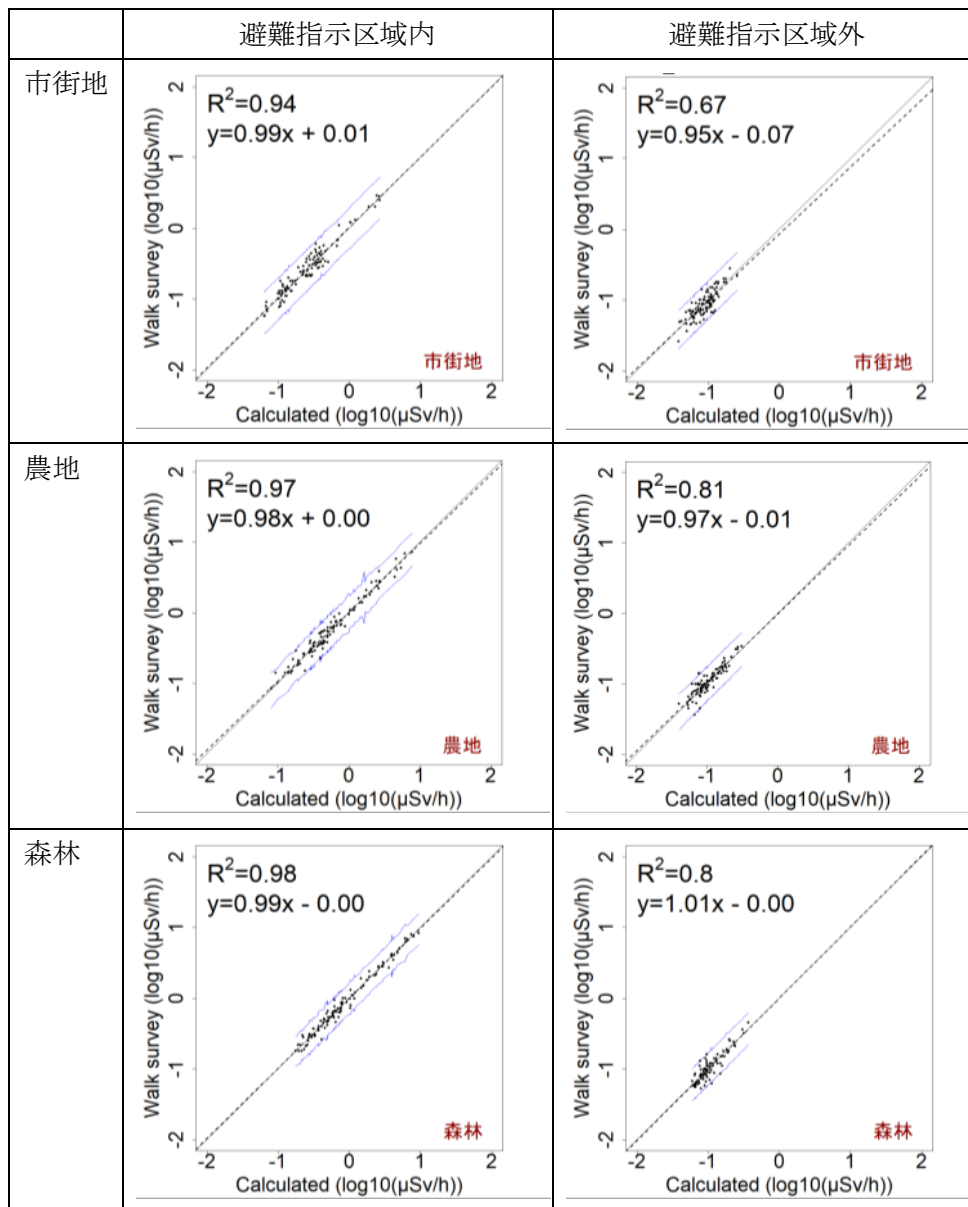


図 7-11 平成 30 年度統合空間線量率マップと計算から除外した歩行サーベイデータの相関
 （図中の R^2 は決定係数、破線と数式は最小二乗法による回帰直線、青色の線は 99%信頼区間）
 （天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。）

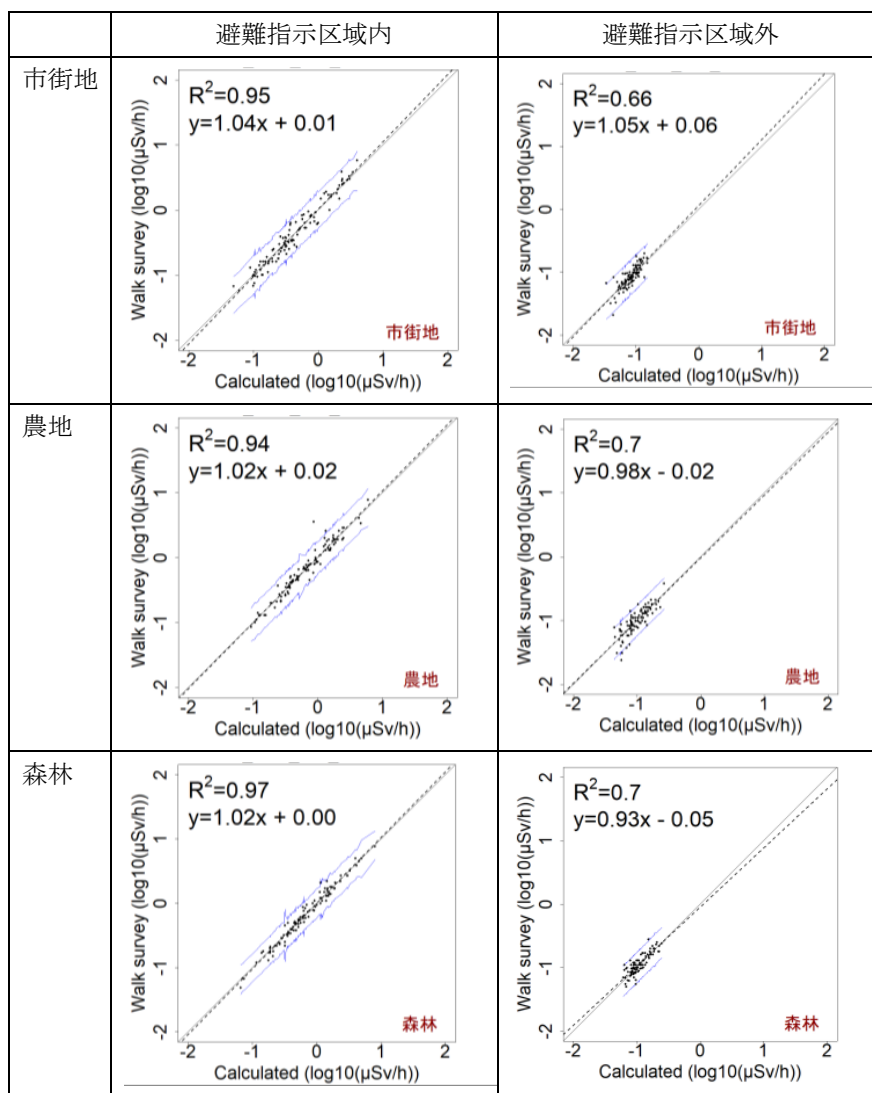


図 7-12 令和元年度統合空間線量率マップと計算から除外した歩行サーバイデータの相関
 (図中の R^2 は決定係数、破線と数式は最小二乗法による回帰直線、青色の線は 99%信頼区間)
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

7.4. 福島県全域を対象とした統合マップの作成

7.4.1. 対象とした測定データ

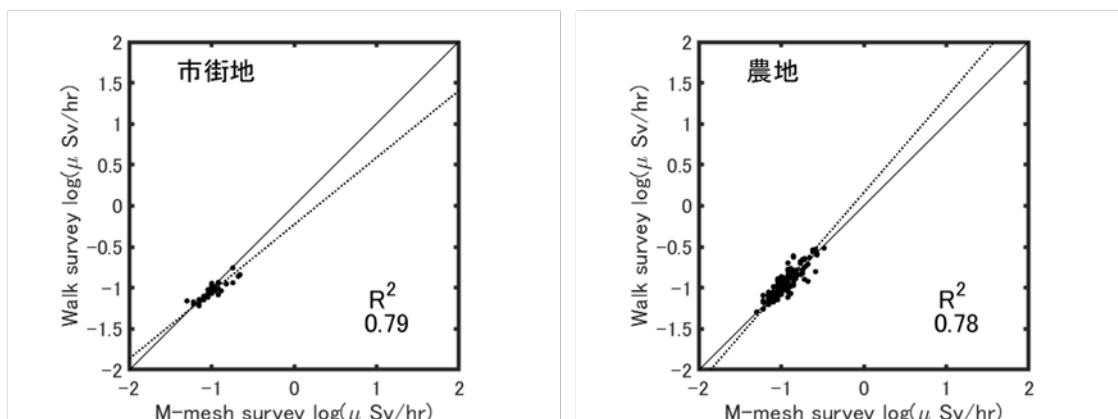
福島県全域を対象として、平成 29 年度、平成 30 年度及び令和元年度に測定された各種データを用い空間線量率の統合化を行なった。

福島県全域を対象とした場合、80 km 圏外において歩行サーベイがほとんど実施されていないという問題点が存在する。歩行サーベイのデータは事前分布の作成に必須であることから、歩行サーバイデータの欠如は精度の高い統合マップの作成に大きな影響を与える。この問題を解決す

るために、福島県が県全域を対象に毎年実施している「モニタリングメッシュ調査」^{b)}の結果を使用することにした。具体的には、100 m 以内の距離で測定されたモニタリングメッシュ調査結果と歩行サーベイ測定結果を抽出し、それらのデータの相関分析を土地利用状況ごとに実施した。相関分析結果を図 7-16～図 7-18 に示す。全ての比較結果において決定係数が 0.6 を超えており、明らかな相関性が見られる。その相関分析結果に基づいてモニタリングメッシュ調査結果を補正し、歩行サーベイ相当のデータであると見做して歩行サーベイデータに加え、福島県全域（ただし避難指示区域外）を対象とした事前分布を作成した。以下、補正したモニタリングメッシュ調査結果を付加した歩行サーベイデータを「歩行サーベイ相当データ」とする。

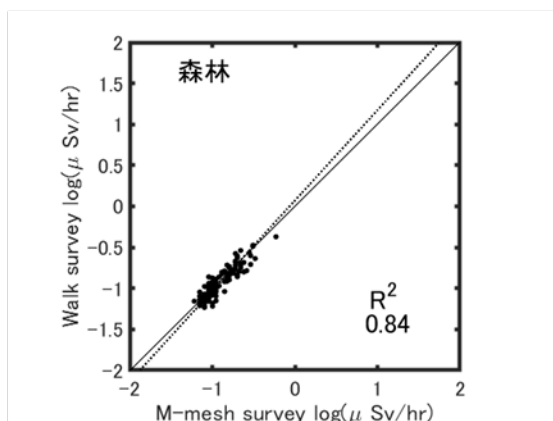
空間線量率の統合に用いた走行サーベイ、航空機サーベイ及び歩行サーベイ相当の各データを平成 29 年度～令和元年度の各年度について図 7-16～図 7-18 に示す。

^{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毎に 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²³⁾。この調査は福島県内全域を対象とした代表的な測定であり、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。



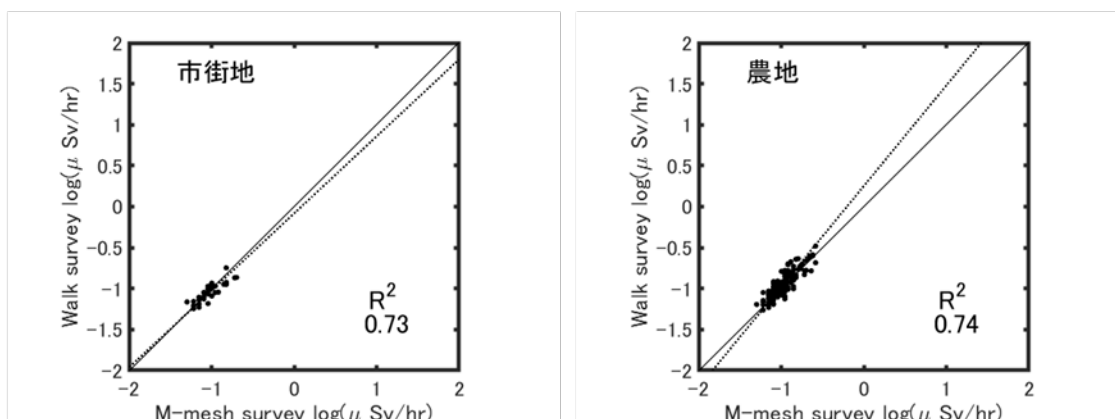
市街地域を対象とした相関分析結果

農地域を対象とした相関分析結果



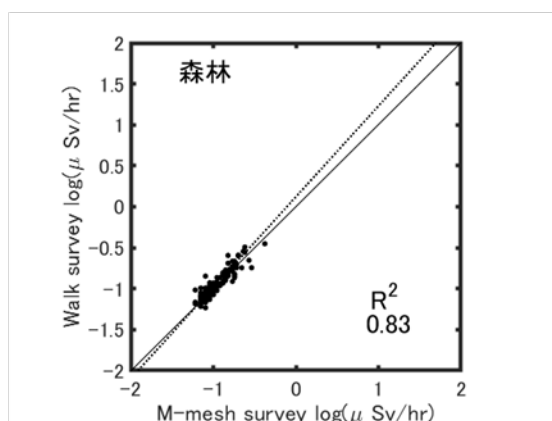
森林域を対象とした相関分析結果

図 7-13 平成 29 年度に実施されたモニタリングメッシュ調査と歩行サーベイによる空間線量率の相関分析
 (横軸の M-mesh survey はモニタリングメッシュ調査による空間線量率の意。図中の R^2 は決定係数、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。)



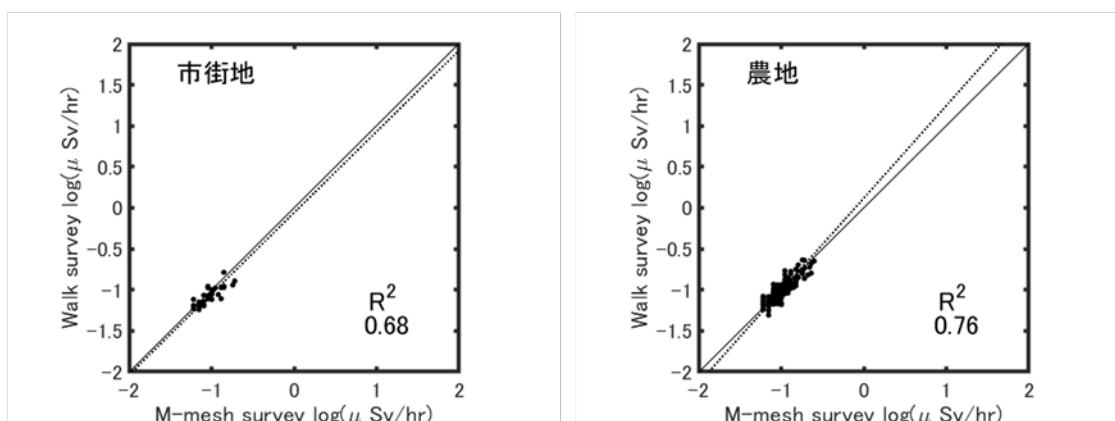
市街地域を対象とした相関分析結果

農地域を対象とした相関分析結果



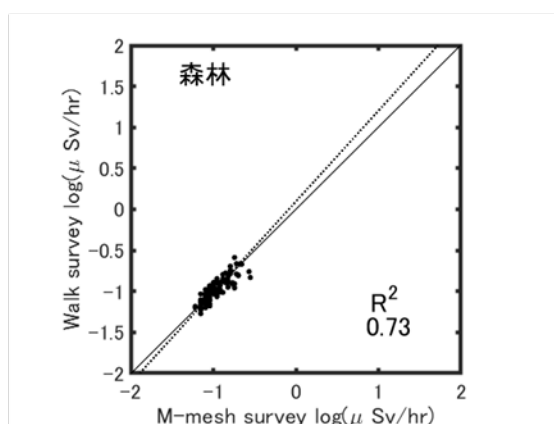
森林域を対象とした相関分析結果

図 7-14 平成 30 年度に実施されたモニタリングメッシュ調査と歩行サーベイによる空間線量率の相関分析
 (横軸の M-mesh survey はモニタリングメッシュ調査による空間線量率の意。図中の R^2 は決定係数、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。)



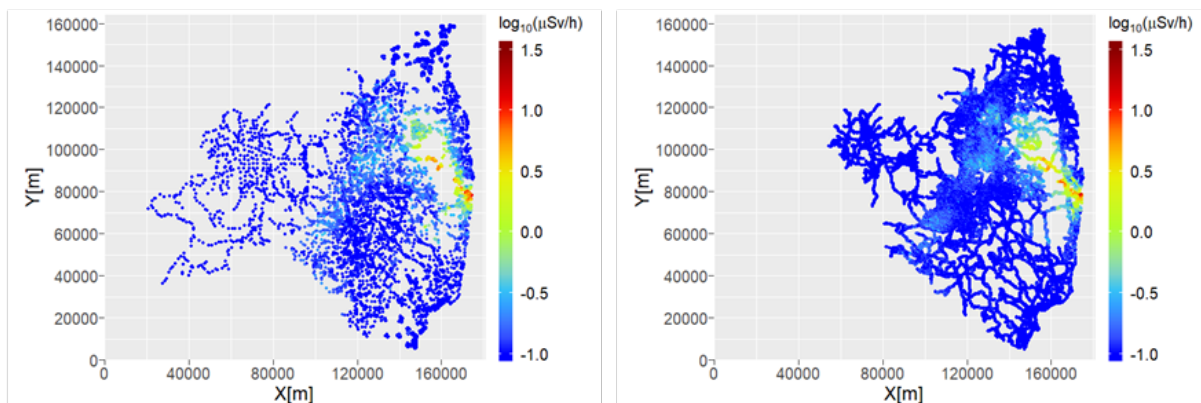
市街地を対象とした相関分析結果

農地を対象とした相関分析結果



森林域を対象とした相関分析結果

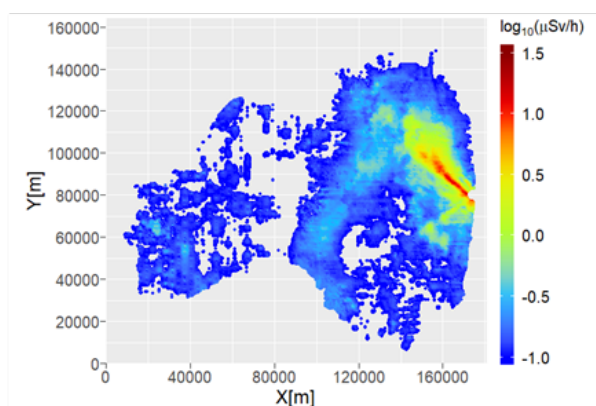
図 7-15 令和元年度に実施された福島県モニタリングメッシュ調査と歩行サーベイによる空間線量率の相関分析
 (横軸の M-mesh survey はモニタリングメッシュ調査による空間線量率の意。図中の R^2 は決定係数、破線は最小二乗法による回帰直線、実線は $Y=X$ の直線)
 (天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)



歩行サーベイ結果+

走行サーベイ結果

モニタリングメッシュ調査結果



航空機サーベイ結果

図 7-16 空間線量率の統合(福島県全域)に用いた平成 29 年度の歩行サーベイ相当データ、走行サーベイ及び航空機サーベイ結果
(歩行サーベイ結果+モニタリングメッシュ調査結果:歩行サーベイ相当データ。天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

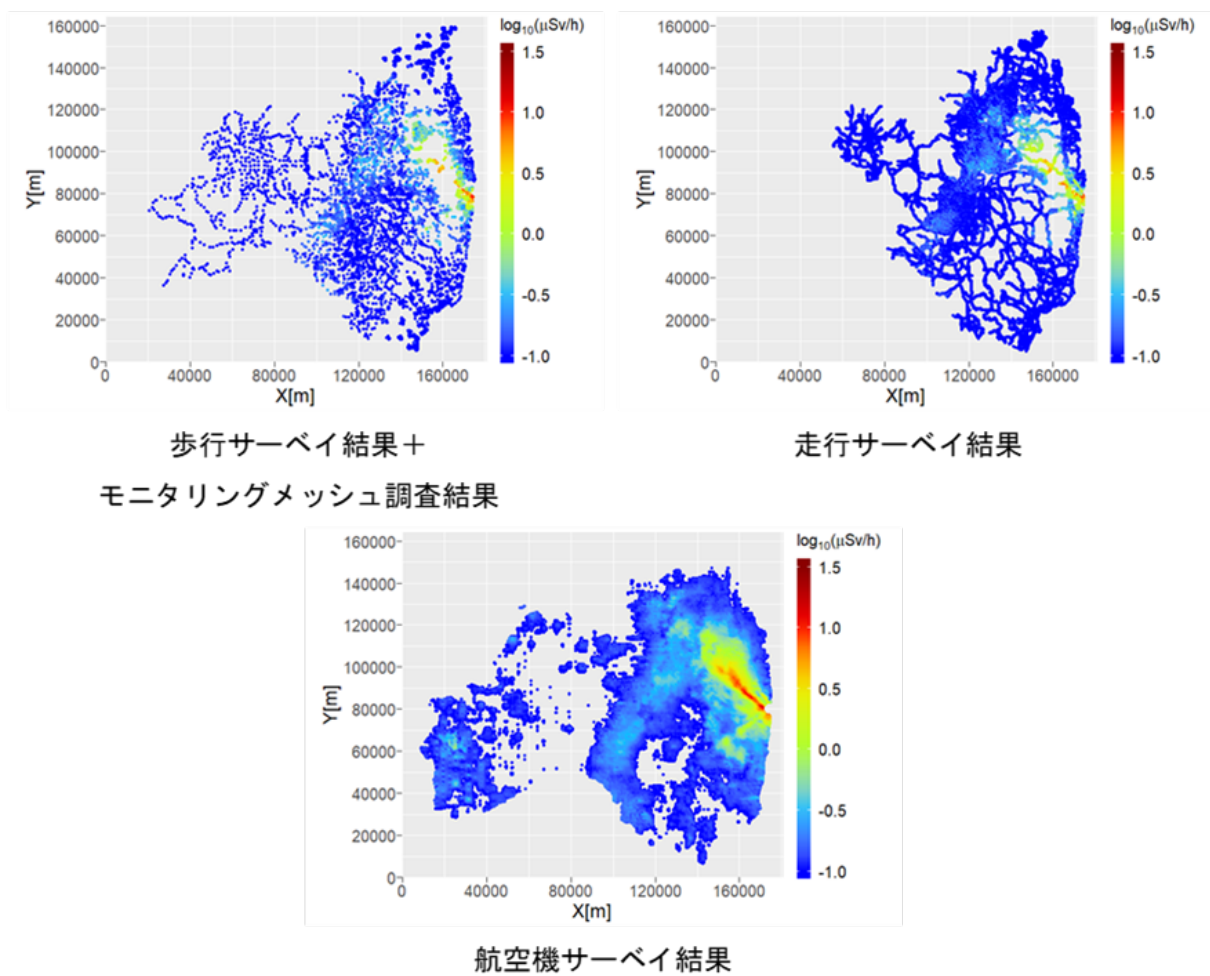


図 7-17 空間線量率の統合(福島県全域)に用いた平成 30 年度の歩行サーベイ相当データ、走行サーベイ及び航空機サーベイ結果
(歩行サーベイ結果+モニタリングメッシュ調査結果:歩行サーベイ相当データ。天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

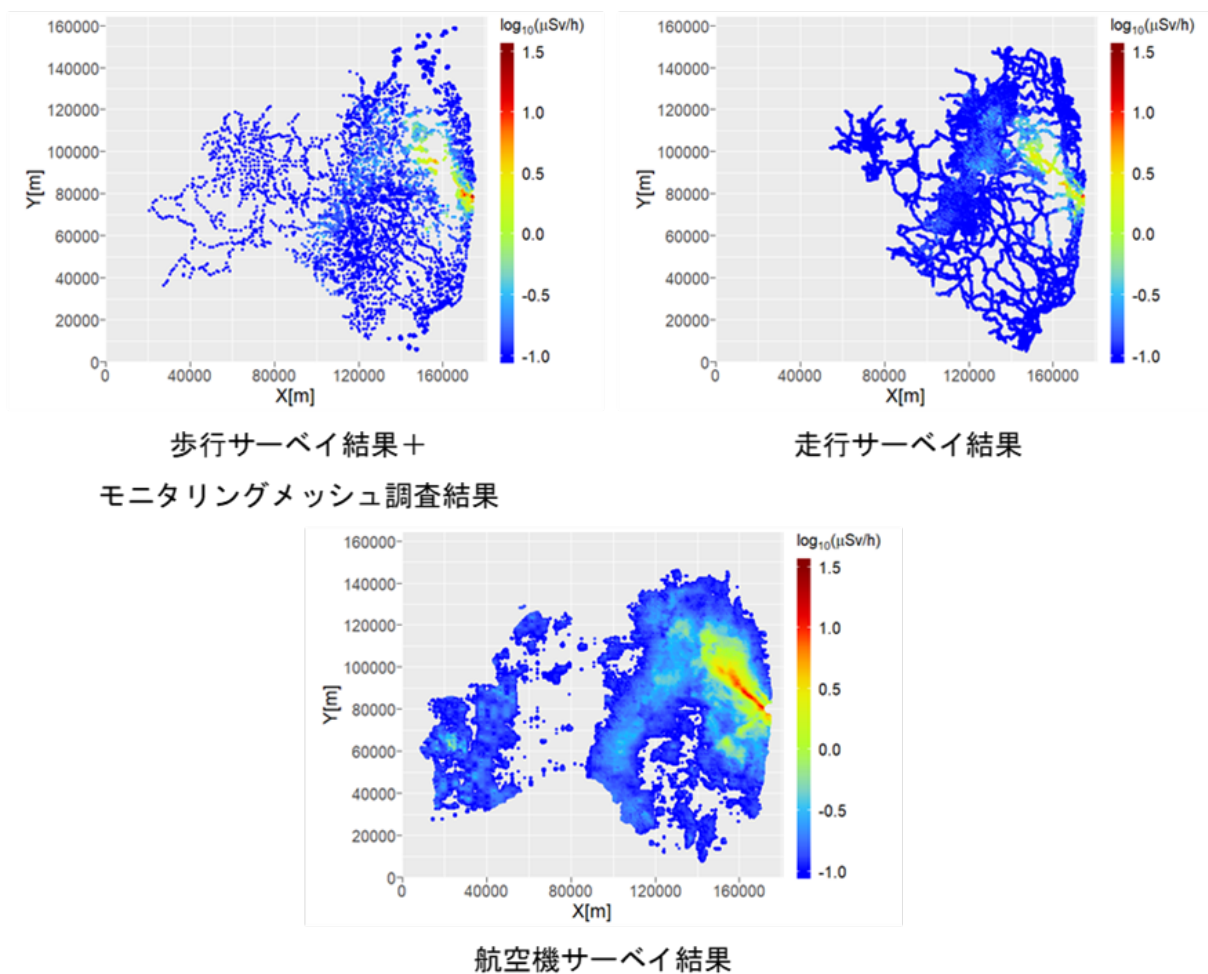
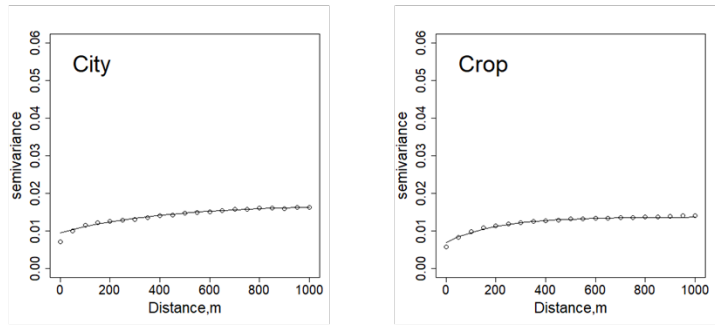


図 7-18 空間線量率の統合(福島県全域)に用いた令和元年度の歩行サーベイ相当データ、走行サーベイ及び航空機サーベイ結果
 (歩行サーベイ結果+モニタリングメッシュ調査結果:歩行サーベイ相当データ。天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。)

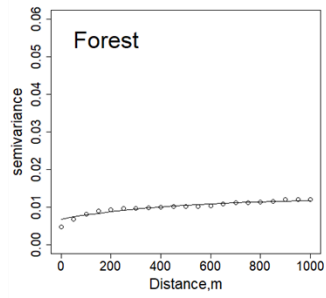
7.4.2. 歩行サーベイ相当データを対象とした空間パターンの解析

歩行サーベイ相当データを対象に、福島県全域(ただし避難指示区域外)についてバリオグラム解析を行った結果を各年度について図 7-19～図 7-21 に示す。得られた各年度のバリオグラムを比較すると、年度によらず各土地利用区域において同様のセミバリオグラム(曲線)が得られており、年度によらない均質な測定が実施されたと考えられる。

本分析において採用したシルやレンジ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を作成した。

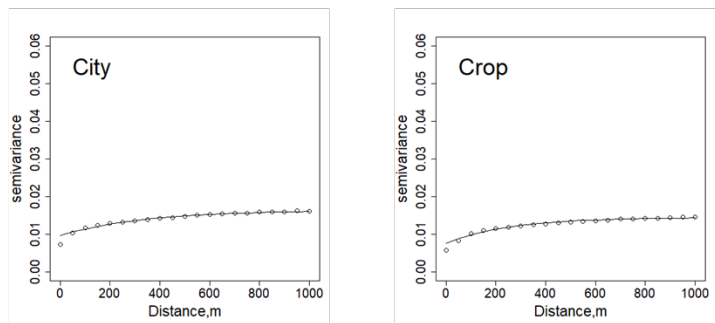


市街地域を対象としたバリオグラム解析結果 農地域を対象としたバリオグラム解析結果

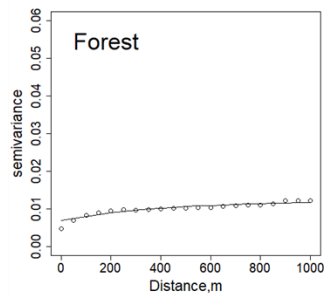


森林域を対象としたバリオグラム解析結果

図 7-19 平成 29 年度 11 月期に実施された福島県全域(避難指示区域外)における歩行サーベイ相当データによる空間線量率のバリオグラム



市街地域を対象としたバリオグラム解析結果 農地域を対象としたバリオグラム解析結果



森林域を対象としたバリオグラム解析結果

図 7-20 平成 30 年度 11 月期に実施された福島県全域(避難指示区域外)における歩行サーベイ相当データによる空間線量率のバリオグラム

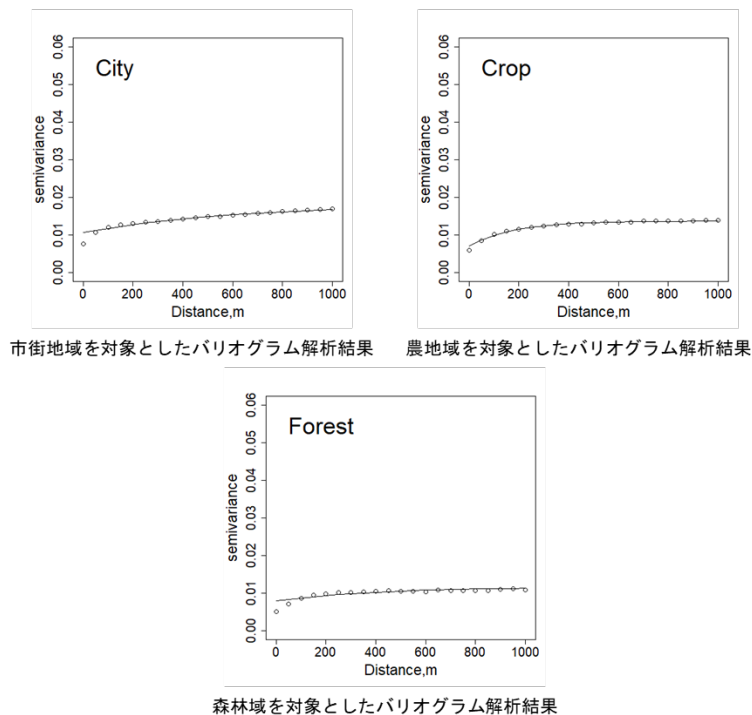
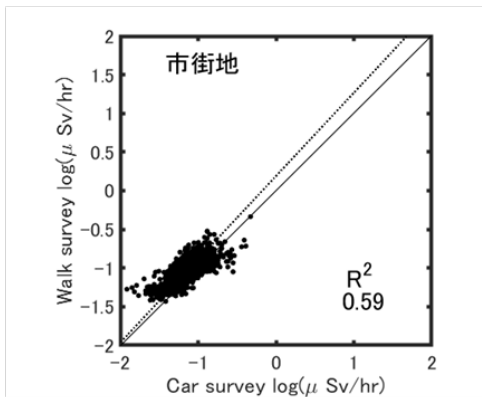


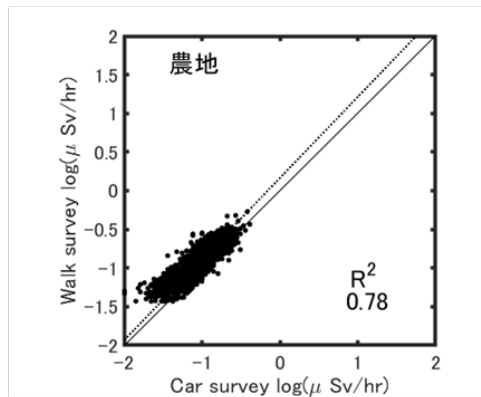
図 7-21 令和元年度 11 月期に実施された福島県全域(避難指示区域外)における歩行サーベイ相当データによる空間線量率のバリオグラム

7.4.3. 走行サーベイデータと歩行サーベイ相当データの比較

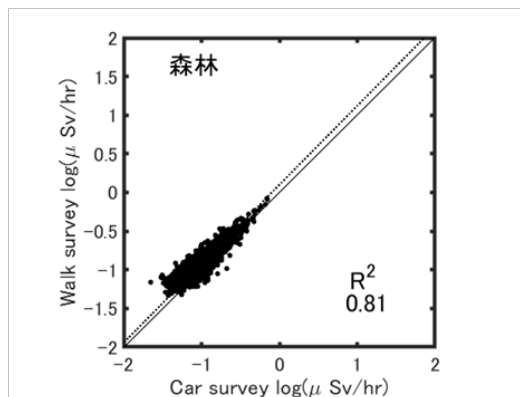
歩行サーベイ相当データと走行サーベイデータに対して土地利用別に相関分析を実施した。福島県全域(ただし避難指示区域内を除く)を対象とした分析結果を各年度について図 7-22～図 7-24 に示す。この相関分析結果をもとに、走行サーベイによる空間線量率と 100m メッシュ内で平均化した歩行サーベイの空間線量率に対数軸上で線形関係にあるとしたデータモデルを用いて走行サーベイデータを補正し、式 (8) における z_c として用いた。得られた相関分析結果に関し、森林および農地における相関分析結果においては 0.6 を超える高い決定係数が得られている。市街地については、農地や森林より値は低いが 0.4 程度の決定係数が得られており、土地利用状況によらず、両測定結果の間には相関性があると考えられる。



市街地を対象とした相関分析結果



農地を対象とした相関分析結果

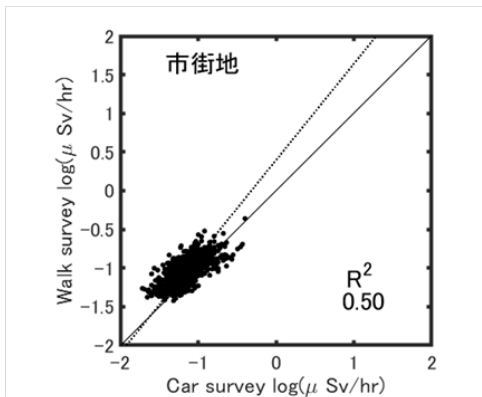


森林域を対象とした相関分析結果

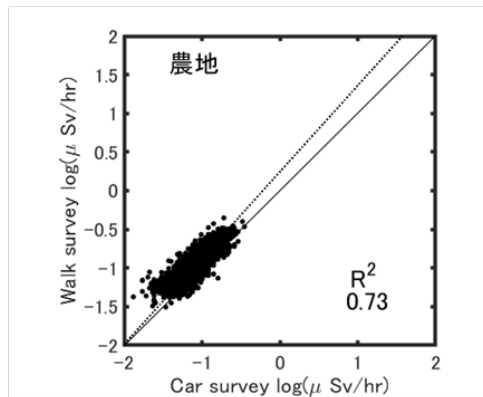
図 7-22 平成 29 年度に実施された走行サーベイデータと歩行サーベイ相当データとの相関分析結果（避難指示区域内を除いた福島県全域）

（図中の R^2 は決定係数、破線は最小二乗法による回帰直線、実線は $Y=X$ の直線）

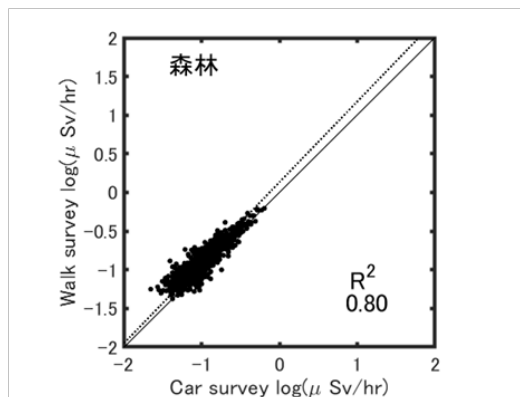
（天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。）



市街地を対象とした相関分析結果



農地を対象とした相関分析結果

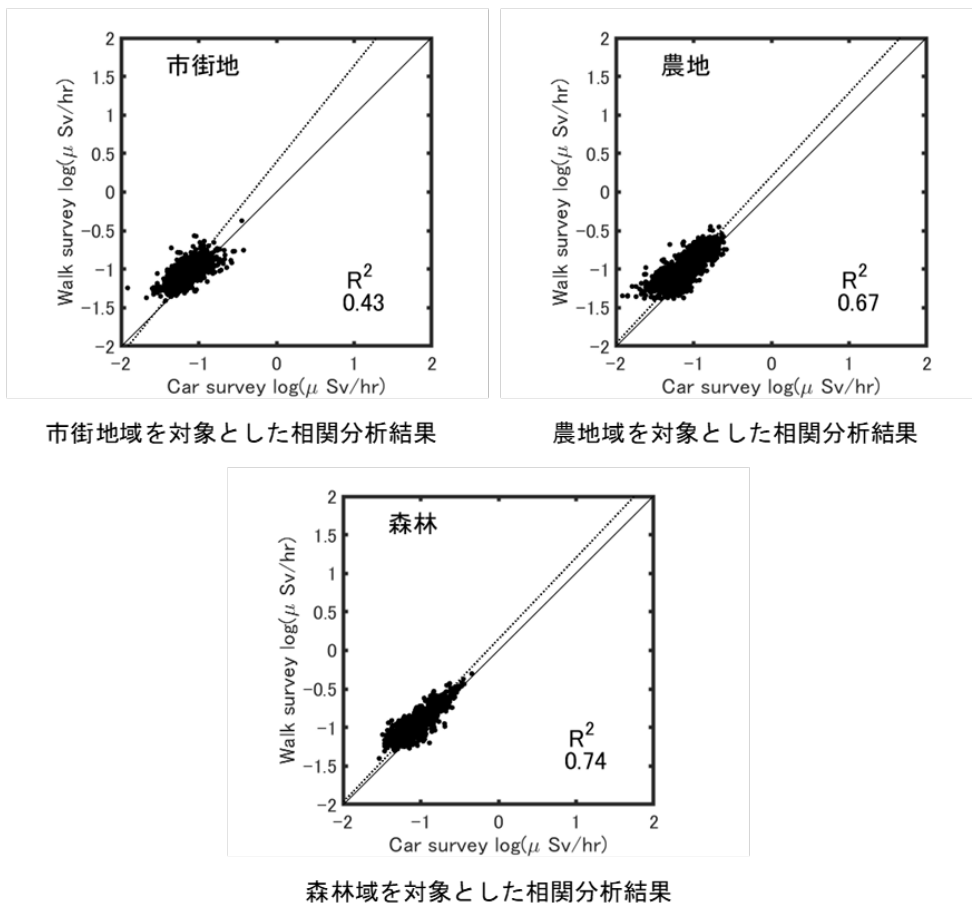


森林域を対象とした相関分析結果

図 7-23 平成 30 年度に実施された走行サーベイデータと歩行サーベイ相当データとの相関分析結果（避難指示区域内を除いた福島県全域）

（図中の R^2 は決定係数、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。）



市街地を対象とした相関分析結果

農地を対象とした相関分析結果

森林域を対象とした相関分析結果

図 7-24 令和元年度に実施された走行サーベイデータと歩行サーベイ相当データとの相関分析結果（避難指示区域内を除いた福島県全域）

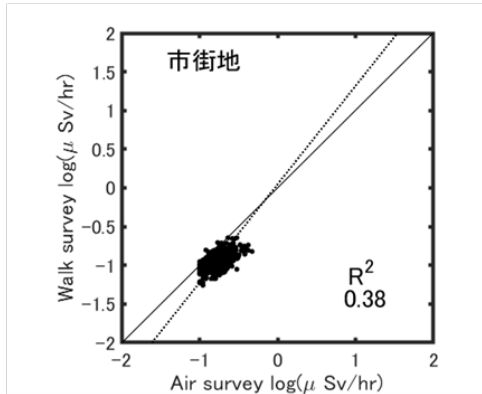
（図中の R^2 は決定係数、破線は最小二乗法による回帰直線、実線は $Y=X$ の直線）

（天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。）

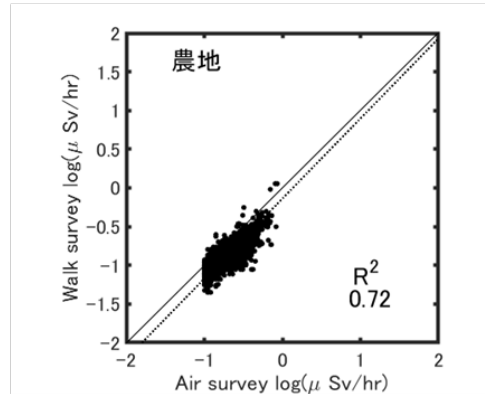
7.4.4. 航空機サーベイデータと歩行サーベイ相当データの比較

7.4.3 と同様に、歩行サーベイ相当データと航空機サーベイデータを土地利用別に比較した。福島県全域（ただし避難指示区域内を除く）を対象とした分析結果を各年度について図 7-25～図 7-27 に示す。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 (8) における z_A として用いた。得られた相関分析結果については、走行サーベイデータと歩行サーベイ相当データとの相関分析結果と同様、森林および農地における相関分析結果においては 0.6 を超える高い決定係数が得られている。その一方で、市街地においては年々決定係数の値が小さくなってきている。これは、市街地における空間線量率の値が低くなる反面、航空機サーベイにおいては $0.1\mu\text{Sv/h}$ 未満の測定結果については削除されることから、航空機サーベイデータの値域が徐々に小さくなってきたことが原因である。特に、市街地においては除染等により空間

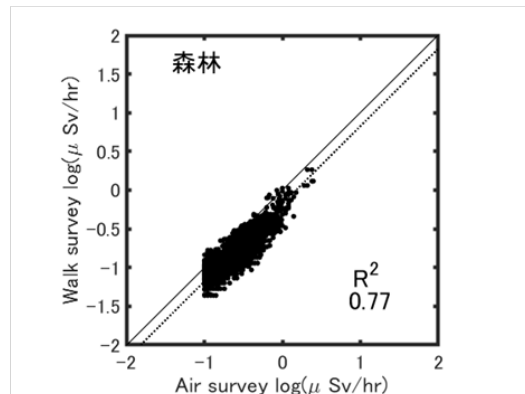
線量率の値が高い領域が少なくなっていることから、この傾向が顕著になっている。この傾向は今後も継続すると考えられることから、航空機サーベイデータと歩行サーベイデータの相関分析における精度維持は今後の課題となる。



市街地を対象とした相関分析結果



農地を対象とした相関分析結果

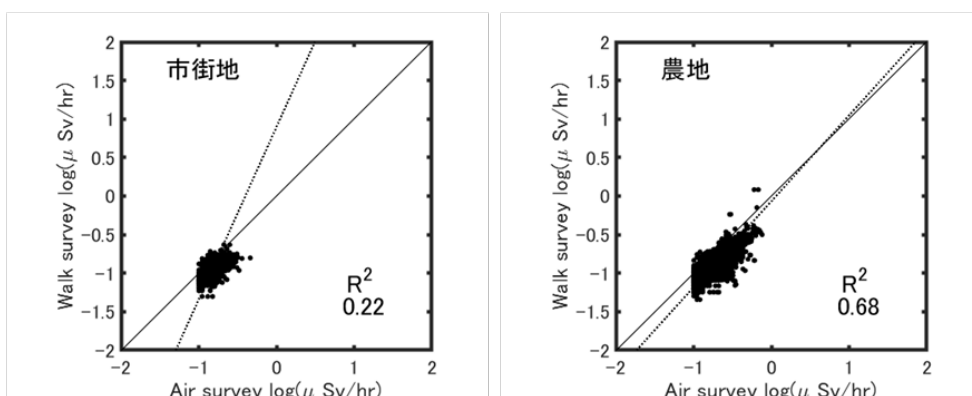


森林域を対象とした相関分析結果

図 7-25 平成 29 年度に実施された航空機サーベイデータと歩行サーベイ相当データとの相関分析結果（避難指示区域内を除いた福島県全域）

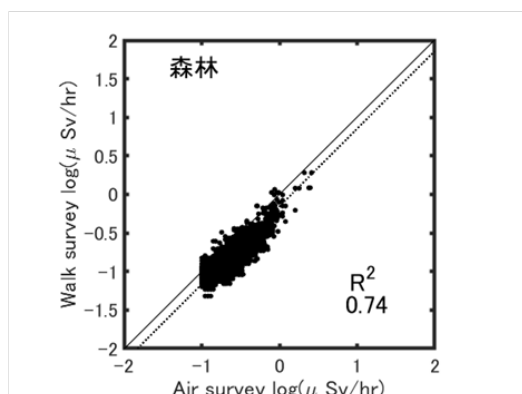
（図中の R^2 は決定係数、破線は最小二乗法による回帰直線、実線は $Y=X$ の直線）

（天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。）



市街地を対象とした相関分析結果

農地を対象とした相関分析結果

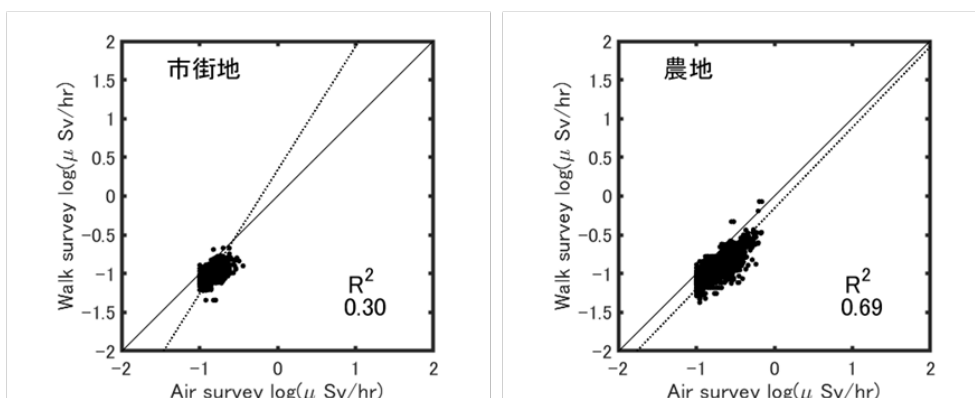


森林域を対象とした相関分析結果

図 7-26 平成 30 年度に実施された航空機サーベイデータと歩行サーベイ相当データとの相関分析結果（避難指示区域内を除いた福島県全域）

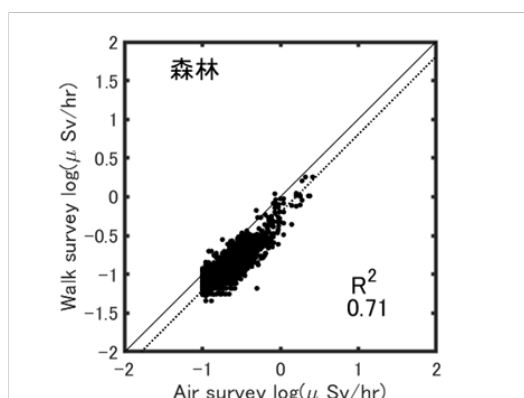
（图中的 R^2 は決定係数、破線は最小二乗法による回帰直線、実線は $Y=X$ の直線）

（天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。）



市街地域を対象とした相関分析結果

農地域を対象とした相関分析結果



森林域を対象とした相関分析結果

図 7-27 令和元年度に実施された航空機サーベイデータと歩行サーベイ相当データとの相関分析結果（避難指示区域内を除いた福島県全域）

（图中的 R^2 は決定係数、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。）

7.4.5. 統合結果

平成 29 年度、平成 30 年度および令和元年度に実施された航空機サーベイ、走行サーベイ、歩行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、福島県全域の統合空間線量率マップを図 7-28～図 7-30 に示す。福島県全域の統合マップ作成に際しては、福島県を 3 つの領域、すなわち、1) 避難指示区域内、2) 避難指示区域外の 80km 圏内、3) 80km 圏外に分け、1)及び 2) の領域については、7.3 で述べた 80km 圏内を対象とした統合マップ作成結果を用いた。3)の領域については、本節(7.4)で述べた解析結果に基づき作成した。

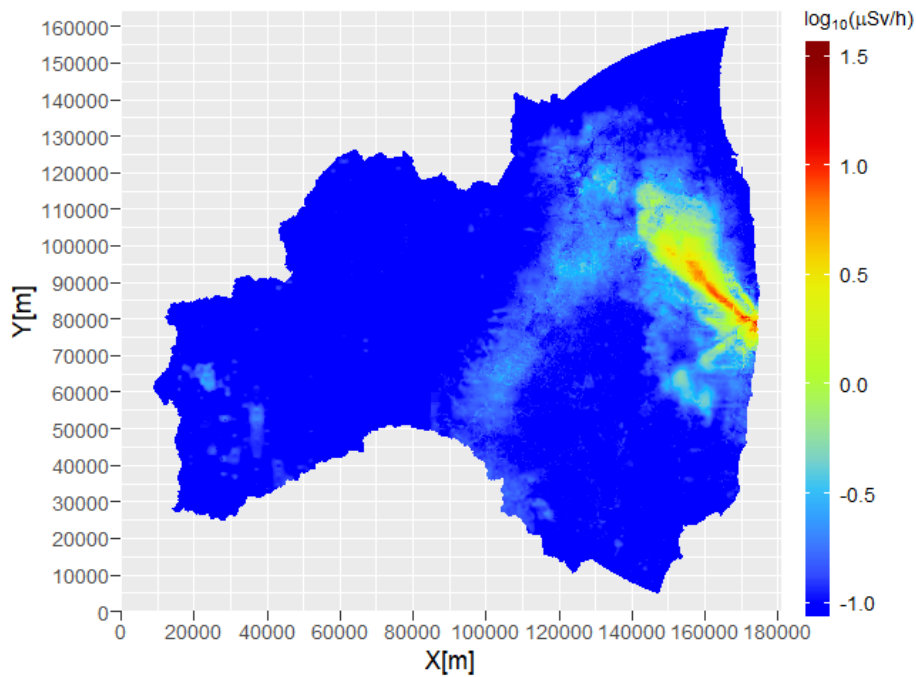


図 7-28 平成 29 年度に実施された各種測定結果を統合した統合空間線量率マップ（福島県全域及び 80km 圏内）
 （天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。）

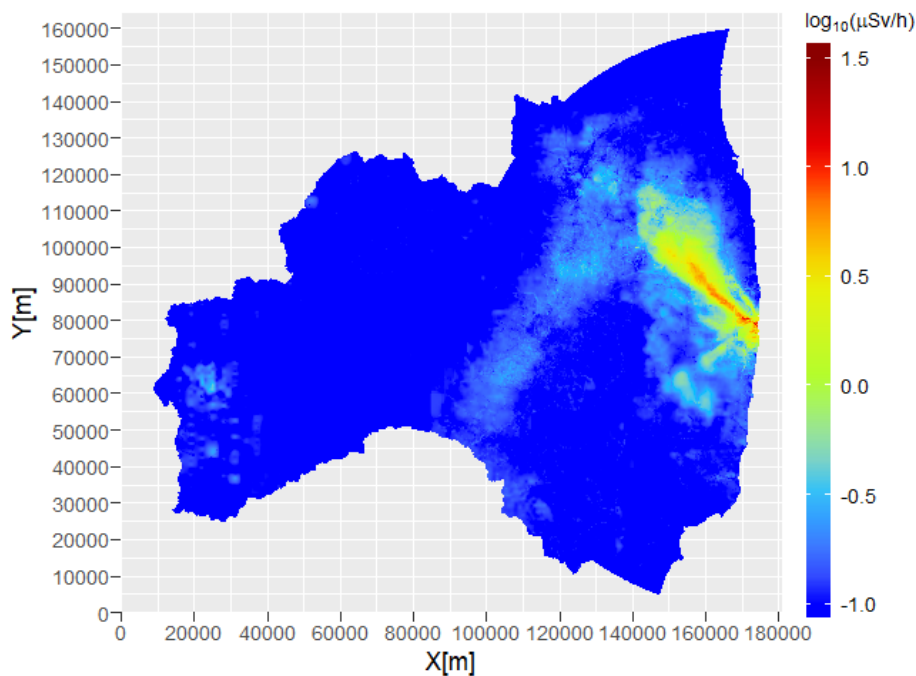


図 7-29 平成 30 年度に実施された各種測定結果を統合した統合空間線量率マップ（福島県全域及び 80km 圏内）
 （天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。）

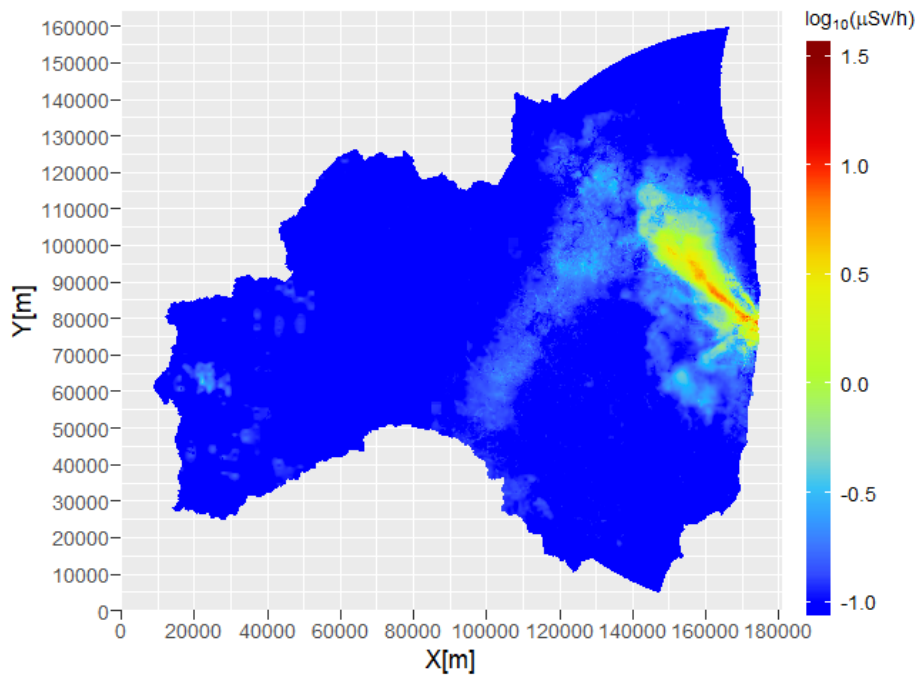


図 7-30 令和元年度に実施された各種測定結果を統合した統合空間線量率マップ（福島県全域及び 80km 圏内）
 （天然放射性核種による空間線量率寄与を含んでいる。）

7.4.6. 妥当性検証

既に 80 km 圏内を対象とした統合空間線量率マップの妥当性検証が別途実施されていることから、福島県全域を対象とした統合空間線量率マップの妥当性検証においては、80 km 圏外の地域を対象とした検証を行った。

80 km 圏内の統合空間線量率マップの妥当性検証においては、土地利用種ごとに 100 点をランダムに抽出し、抽出点を除外した歩行サーベイデータを用いて作成した統合空間線量率マップと抽出データを比較した。しかし、80 km 圏外の統合空間線量率マップの妥当性検証においては、モニタリングメッシュ調査結果のデータ数が多くないことから、上記の手法を用いることができない。そこで、モニタリングメッシュ調査結果のデータ数に応じて数十個の測定データをランダムに抽出し、統合空間線量率マップと比較する試行を繰り返し、統計的に有意に外れ値が 1%以上存在するかどうかを検定した。

平成 29 年度、平成 30 年度及び令和元年度の統合空間線量率マップを対象に各々検定を実施した結果、全ての年度の統合空間線量率マップについて、階層ベイズ統計手法に基づき算出された 99%信頼区間に含まれなかった抽出データ（外れ値）の存在割合が 1%よりも有意に高いとは言えないという統計的な結果が得られたことから、80 km 圏外の統合マップについても、信頼性の高い統合マップとなっていると考えられる。