

## 2.4 放射性物質の分布状況変化モデルの関連研究

### 2.4.1 道路周辺の地表面における空間線量率の変化傾向の確認結果

木名瀬 栄（原子力機構）

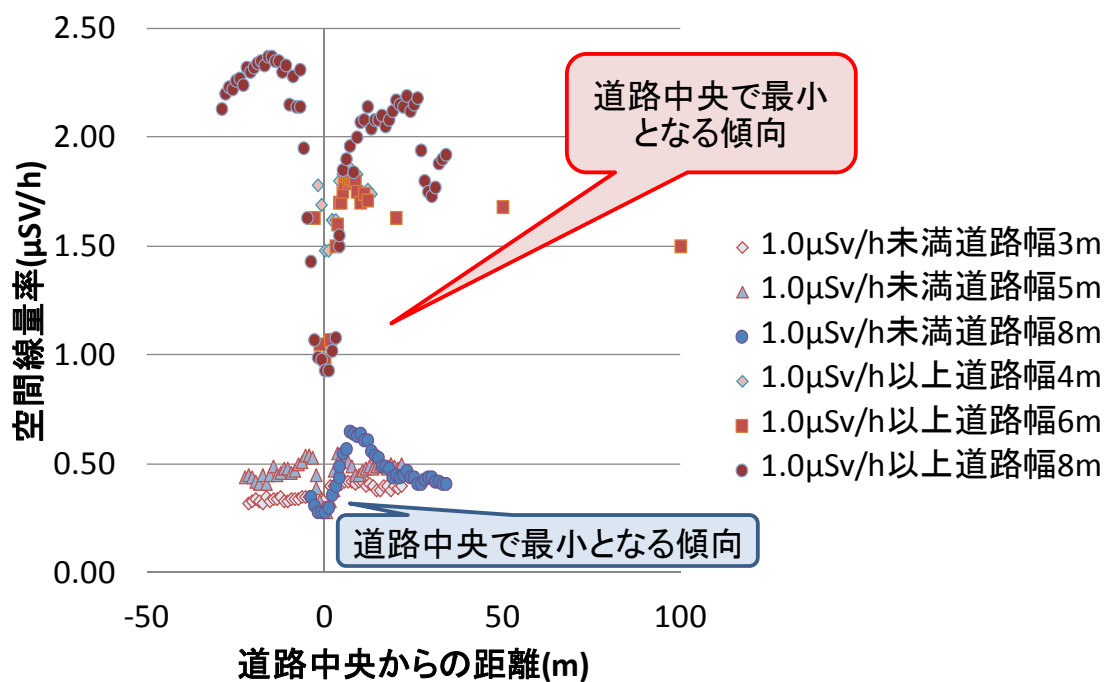
放射性セシウムの長期的影響の把握を行うことを目的とした分布状況変化モデルは、住民帰還等の目安の基礎情報として役立つよう、住民の生活圏の空間線量率、放射性セシウムの放射能濃度の変化傾向を予測できることが望まれる。本調査では、福島第一原発から 80 km 圏内を対象とするため、前述したように、分布状況変化モデル作成の基盤として、広域にわたって実施された走行サーベイや地上 1 m 高さの空間線量率の測定データ等を用いている。今後の空間線量率の主因のセシウム 137 の空気中平均自由行程（ガンマ線が空気中の分子と衝突せずに飛行する平均距離）は約 108 m であることを考慮すると、住民の生活圏を横断する道路の上の空間線量率や地上 1 m 高さの空間線量率は、生活圏をよく反映する測定データになると考えられる。

しかし、これまで得られた空間線量率測定データは、時間的、空間的に限られたものである。特に、分布状況変化モデル作成の基盤である住民の生活圏での空間線量率測定データは、自然環境のみならず人的活動によって擾乱される対象であるため、必ずしも量的に十分ではない。こうした状況を踏まえて、福島県伊達郡川俣町（生活の基盤が整っている地域がある一方、山木屋地区等の避難地区を有している）を対象に、NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータを用いて、住民の主な生活圏である道路周辺一道路と道路直交方向の空間線量率を測定した。

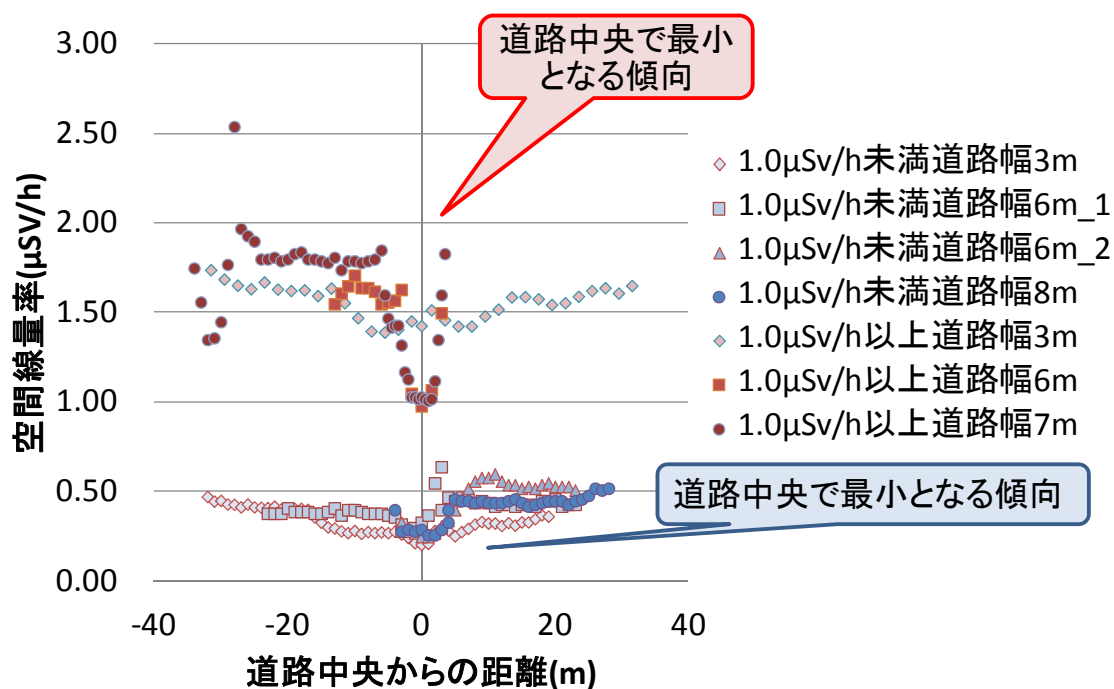
道路と道路直交方向の空間線量率測定は、以下の分類で実施した。

- 1) 測定地点：周辺の土地利用（土地利用細分メッシュの土地利用種別）
  - 田
  - その他農用地
  - 森林
  - 建物用地
- 2) 道路幅
  - 道路幅 4.0 m 以下
  - 道路幅 4.0 m 超 6.0 m 以下
  - 道路幅 6.0 m 超
- 3) 周辺の空間線量率の状況
  - 1.0  $\mu$  Sv/h 未満
  - 1.0  $\mu$  Sv/h 以上

道路と道路直交方向の空間線量率の変化を図 2.4.1-1（土地利用種別において、田とその他農用地に分類された地域に存在する道路とその周辺）と図 2.4.1-2（土地利用種別において、森林と建物に分類された地域に存在する道路とその周辺）に示す。図に示されるように、周辺の空間線量率が低い（1.0  $\mu$  Sv/h 未満）建物用地を除き、ほとんどの測定地点において、道路中央部の空間線量率が最も小さくなること、道路の路肩や路側帯部の空間線量率が高くなることが確認できる。すでに生活のある地域（1.0  $\mu$  Sv/h 未満の地域）では、道路と道路周辺の空間線量率に大きな変化が見られなかった。避難の対象地域であり、空間線量率が 1.0  $\mu$  Sv/h を超える地域においても、道路に隣接した水田の道路直交方向 100 m 地点の空間線量率は、道路中央と道路路肩の中間程度の値となった。これらの結果は、道路中央付近を測定する走行サーベイを考慮すると、道路上の空間線量率が道路周辺の空間線量率を良く反映すると考える。

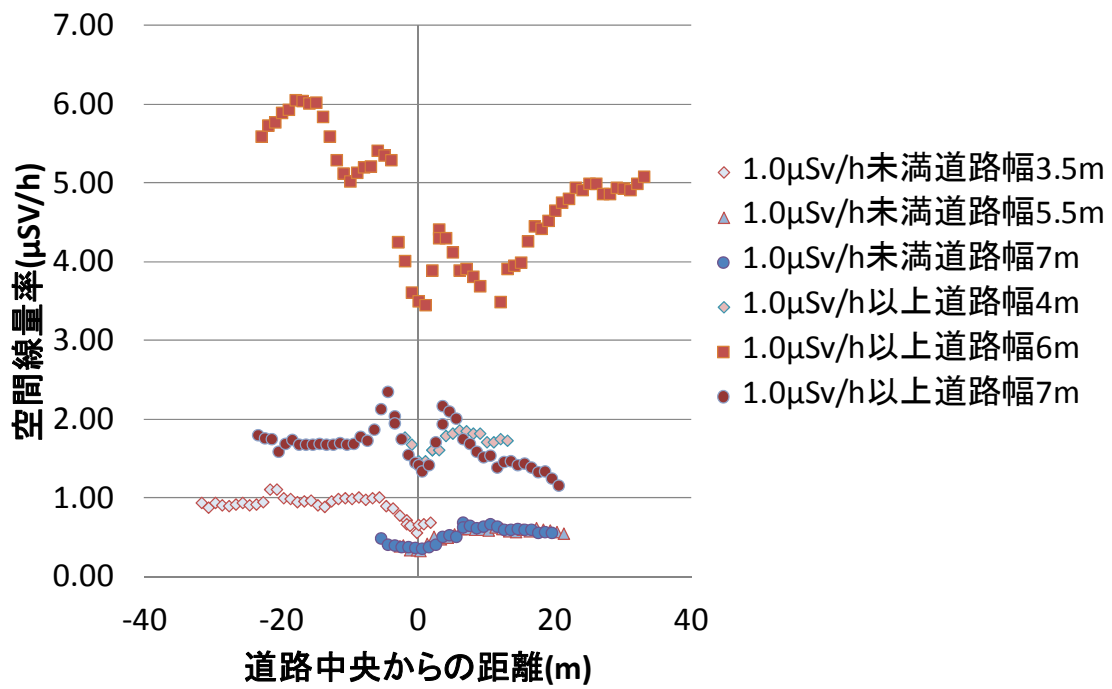


(a) 田

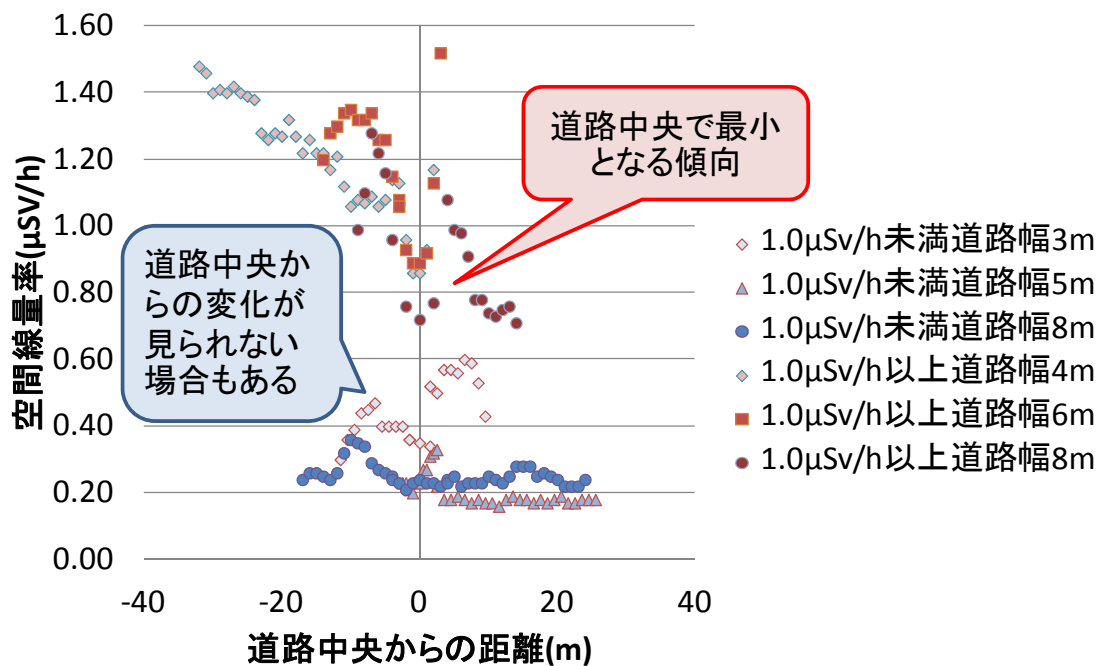


(b) その他農用地

図 2.4.1-1 道路直交方向の空間線量率変化 (田とその他農用地)



(a) 森林



(b) 建物用地

図 2.4.1-2 道路直交方向の空間線量率変化 (森林と建物用地)

## 2.4.2 家屋内の空間線量率の測定

斎藤 公明（原子力機構）

### (1) 調査目的

本事業における放射性物質の分布状況の変化モデルの作成及び放射性物質の分布状況の詳細調査では、自然環境中（屋外）の空間線量率等を明らかにすることを目的としている。それに対し、本調査では、屋外の空間線量率を基にした福島県の多種多様な居住環境（家屋内）での空間線量率の減少傾向を把握するため、積算線量計を用いた空間線量率の測定による統計的な調査を実施した。

現代人の生活は居住環境を中心としており、家屋は、一日のうちで最も多くの時間を過ごす空間である。自然環境に対して居住環境は人の利便性を考えて手が加えられたものであり、放射性物質の分布及び移行の様相が異なり、さらに家屋による遮へい効果もあるため、放射線による住民の健康への影響を評価するうえでは、家屋内の空間線量率を把握しておくことが重要である。過去の文献[1]では、海外の木造家屋やブロックまたはレンガ造家屋等における測定が実施されているものの、日本の家屋については、自然放射線に対する測定[2]を除き調査されてこなかった。福島第一原発事故に伴い放出され、環境中に沈着した放射性物質からのガンマ線による屋外（家屋近隣の自然環境）の空間線量率と比べて家屋内の空間線量率が基本的に低くなるが、その低減率は家屋周辺における放射性物質の分布及び家屋の大きさ、構造、構造材、立地等、それぞれの家屋が有する多種多様な条件による。そのため、本調査は多くの家屋で実施する必要がある。したがって、福島県の家屋において家屋内での空間線量率と屋外の空間線量率との関係を把握するため、積算線量計を用いた家屋内の空間線量測定による統計的な調査を実施した。

### (2) 調査内容

調査対象は、福島第一原発から 80 km 圏内にある福島県内の家屋とした。調査を実施した家屋の福島市を中心とした地域分布を図 2.4.2-1 に示す。積算線量計には長瀬ランダウア株式会社の環境用クイクセルバジ[3]を使用した。調査に使用した積算線量計の外観を図 2.4.2-2 に示す。積算線量計の設置期間は、通常期と積雪期における家屋内の空間線量率の変化を把握するため、平成 24 年 10 月から及び平成 25 年 1 月からの 1 ヶ月間程度とした。本調査は家屋の主要な部屋を対象とし居住中の家屋で実施したため、小型な積算線量計ではあるものの、居住者の生活の邪魔にならないよう配慮して設置した。積算線量計の設置高さは、基本的に部屋の床面から 50 cm とした。家屋内における積算線量計の設置例を図 2.4.2-3 に示す。本来の調査目的からすると、積算線量計を家屋内と屋外に設置することが理想ではあるが、屋外に設置した積算線量計は管理が難しく、また、設置場所の制約により屋外に設置した積算線量計が的確に家屋近隣の自然環境での空間線量率を表しているとは限らないため、適切に管理できることを最優先とし、家屋内の空間線量率を測定するための積算線量計を設置した部屋の窓際に、屋外での空間線量率を推定するための積算線量計を設置した。つまり、家屋の主要な部屋 1 つに対し積算線量計は 2 つ設置した。本調査で得られた測定結果から家屋内での空間線量率と屋外の空間線量率との関係を把握するための道筋は、以下の通りである。

$$\text{家屋内の空間線量率/屋外の空間線量率} = \text{家屋内の空間線量率/窓際の空間線量率} \times \text{窓際の空間線量率/屋外の空間線量率}$$

平成 24 年 10 月からの調査にご協力いただいた家屋数は 105 軒、そのうち、家屋内の空間線量率/

窓際の空間線量率の関係が得られたデータ数は169点であった。また、平成25年1月からの調査にご協力いただいた家屋数は105軒、そのうち、家屋内の空間線量率/窓際の空間線量率の関係が得られたデータ数は163点であった。

### (3) 結果と考察

平成24年10月からの調査で得られた家屋内の空間線量率と窓際の空間線量率のデータの分布を図2.4.2-4に示す。第2次分布状況等調査において、家屋の1階より2階の方が施設周辺に分布する放射性物質を見込む有効寄与範囲（立体角）が大きくなるため、第2次分布状況等調査の結果から家屋内の空間線量率は2階 > 1階 の関係にあることがわかっており、図中の最小二乗法によるフィッティング関数の傾きはその関係を顕著に表している。図中の赤い破線は家屋内の空間線量率と窓際の空間線量率が同じ場合の関数であり、数点存在するこの赤い破線を大きく超える（赤い破線の左上の領域にある）データは、第2次分布状況等調査において得られた 屋外 > 家屋近傍 > 窓際 > 屋内 の関係に従わないものであり、家屋2階での測定結果に比較的多く見られた。このようなデータは、積算線量計による測定が有する固有の誤差を含め、放射性物質が家屋の周辺で不均一に分布していること、または家屋内へも分布していることによる影響も考えられ、注意深く選別していく必要がある。

平成24年10月からの調査及び平成25年1月からの調査で得られた空間線量率の減少比（家屋内の空間線量率/窓際の空間線量率）の頻度分布を図2.4.2-5に示す。窓際の空間線量率に対する家屋内の空間線量率の減少比の平均値は、平成24年10月からの調査では1階で  $0.82 \pm 0.12$ 、2階で  $0.91 \pm 0.12$  が、平成25年1月からの調査では1階で  $0.88 \pm 0.13$ 、2階で  $0.91 \pm 0.09$  が得られた。第2次分布状況等調査にて実施した居住環境における空間線量率等の測定では、NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータ：日立アロカメディカル株式会社製を用いて、家屋（5軒）の各部屋を対象とし、部屋の中心、部屋の窓際、屋外の同窓際、居住施設の近傍（窓際から1m離れた場所）などで空間線量率を測定しており、この調査結果から窓際の空間線量率/屋外の空間線量率を求めたところ、 $0.49 \pm 0.10$  が得られた。これらの結果をまとめると、

$$\begin{aligned} \text{家屋内の空間線量率/屋外の空間線量率} &= \\ & \text{家屋内の空間線量率/窓際の空間線量率} \times \text{窓際の空間線量率/屋外の空間線量率} \\ &= 0.82 \pm 0.12 \text{ (平成24年10月からの調査@1階)} \times 0.49 \pm 0.10 \\ &= 0.40 \pm 0.10 \text{ (平成24年10月からの調査@1階)} \end{aligned}$$

となった。

家屋内の空間線量率と窓際の空間線量率の比による空間線量率の減少比（家屋内の空間線量率/屋外の空間線量率）は、平成24年10月からの調査では1階で  $0.40 \pm 0.10$ 、2階で  $0.45 \pm 0.11$ 、平成25年1月からの調査では1階で  $0.43 \pm 0.11$ 、2階で  $0.45 \pm 0.10$  が得られた。

### (4) まとめ

福島第一原発の事故に伴い放出され環境中に沈着した放射性物質からのガンマ線による福島県の多種多様な家屋内での空間線量率と屋外の空間線量率との関係を統計的に把握するため、積算線量計を用いた空間線量率の測定による調査を実施した。本調査では、家屋の主要な部屋のうち家屋の中心寄りと窓際の2箇所に積算線量計を設置した。この2つの積算線量計による測定結果からは家屋内の空間線量率/窓際の空間線量率を求めることができ、さらに、この結果を用いることで家屋内での空間線量率と、屋外の空間線量率との関係を把握することが可能となる。平成24年10月から

の調査では169点、また、平成25年1月からの調査では163点（調査にご協力いただいた家屋の総数は105軒）のデータが得られた。本調査で得られた家屋内の空間線量率と窓際の空間線量率による空間線量率の減少比は、第2次分布状況等調査において得られた2階 > 1階 の関係を裏付けるものであり、その平均値は、平成24年10月からの調査において1階で  $0.82 \pm 0.12$ 、2階で  $0.91 \pm 0.12$ 、平成25年1月からの調査において1階で  $0.88 \pm 0.13$ 、2階で  $0.91 \pm 0.09$  となった。この結果をもとに、屋外の空間線量率に対する家屋内の空間線量率の減少比を求めたところ、家屋の1階で  $0.40 \pm 0.10$  が得られた。第2次分布状況等調査において、部屋の中央における空間線量率は1 m > 50 cm > 10 cm（床面からの高さで、1 mは立ち仕事、50 cmはベッドによる就寝、椅子等への着座、1 cmは布団による就寝を想定した高さ）の関係にあることから、日本のようにこたつで暖をとり、布団で就寝すること等の生活習慣を勘案すると、部屋の床面から50 cmの位置に積算線量計を設置した今回の調査で得られた数値は現実的かつ保守的なものと考えられる。

今回、調査を実施した家屋の地域分布（図 2.4.2-1）は福島市内に偏っているため、福島第一原発から80 km圏内にある福島県内の家屋をバランスよく調査することを検討している。

#### 参考文献：

- [1] Zolin G. Burson and A. Edward Profio, “Structure Shielding in Reactor Accidents,” Health Physics Pergamon Press 1977. Vol. 33, 287-299, (1977).
- [2] K. Saito, R. Sakamoto, T. Nagaoka, M. Tsutsumi and S. Moriuchi, “Measurements of Gamma Dose Rates in Dwellings in the Tokyo Metropolitan Area,” Radiation Protection Dosimetry, Vol. 69, No. 1, 61-67 (1997).
- [3] 長瀬ランダウア株式会社・製品紹介  
[http://www.nagase-landauer.co.jp/product/radiation\\_pers/index.html](http://www.nagase-landauer.co.jp/product/radiation_pers/index.html)

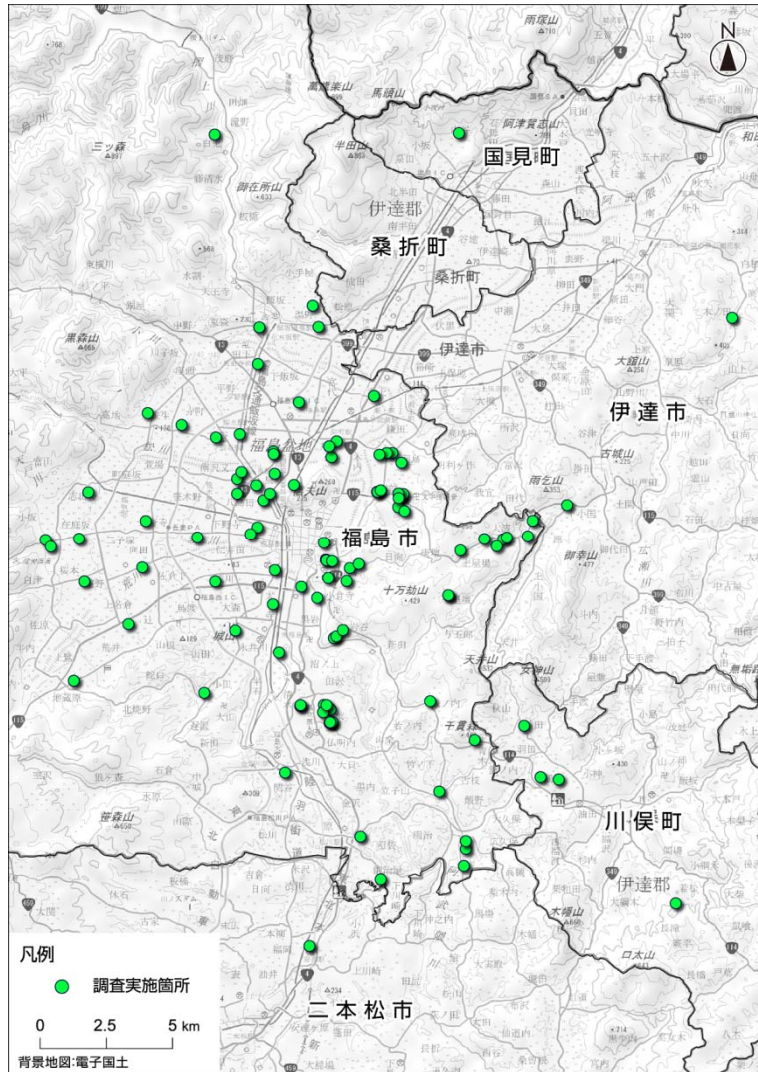


図 2.4.2-1 調査を実施した家屋の地域分布



図 2.4.2-2 積算線量計の外観

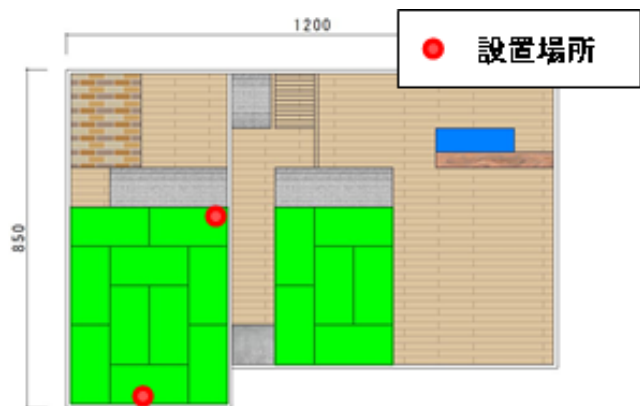


図 2.4.2-3 積算線量計の設置例

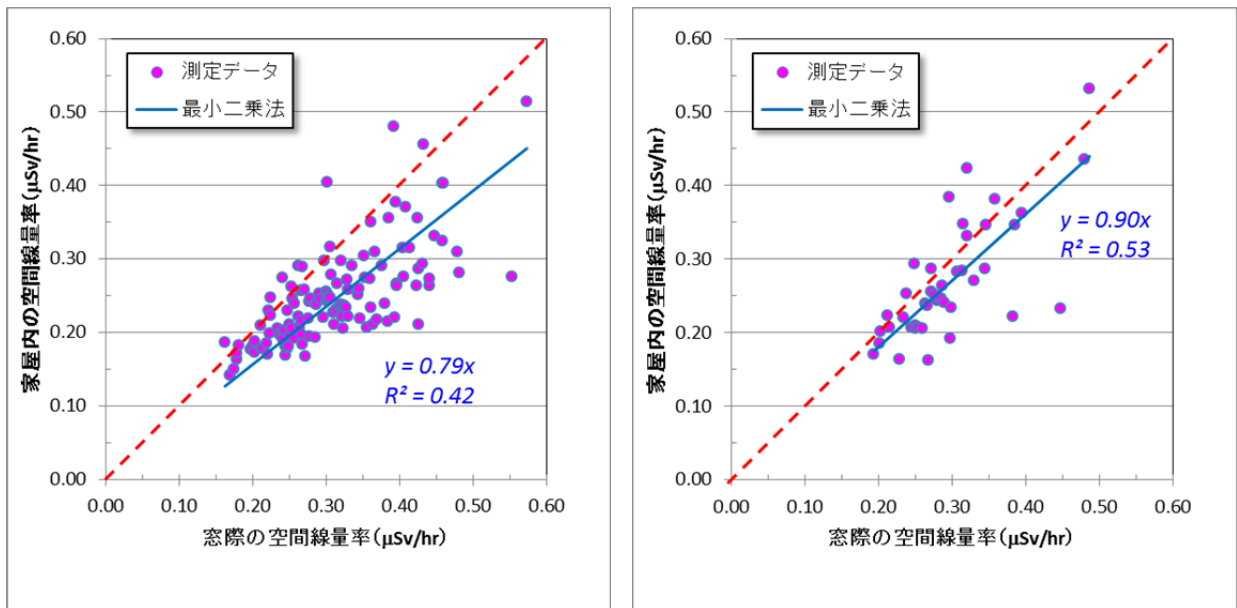


図 2. 4. 2-4 家屋内の空間線量率と窓際の空間線量率のデータの分布 (左 : 1 階、右 : 2 階)  
 ※ 図中の赤い破線は家屋内の空間線量率と窓際の空間線量率が同じ場合の関数

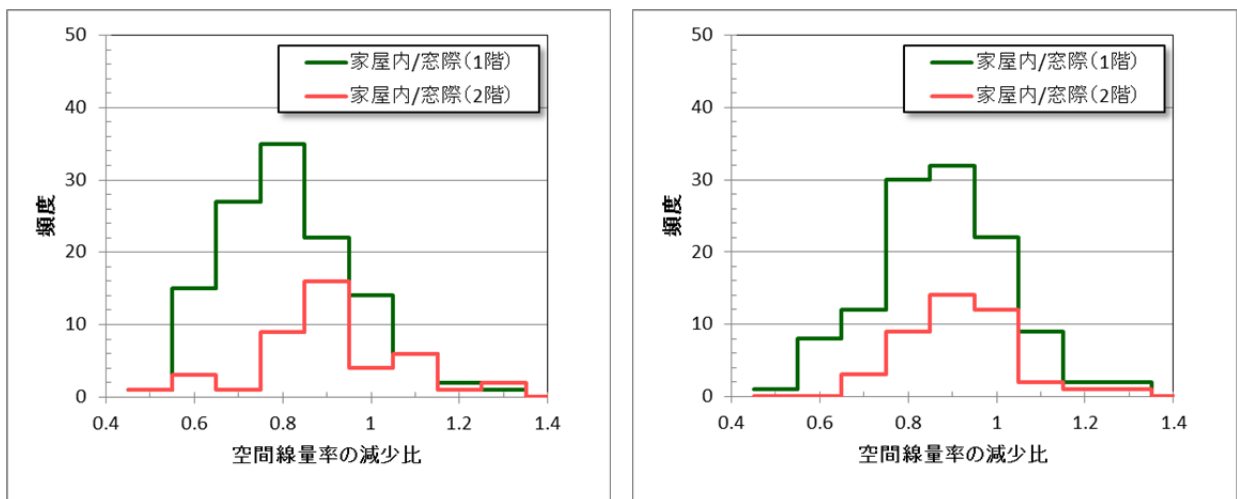


図 2. 4. 2-5 空間線量率の減少比 (家屋内の空間線量率/窓際の空間線量率) の頻度分布  
 ( 左 : 通常期(平成 24 年 10 月～)、右 : 積雪期(平成 25 年 1 月～) )



## 2.4.3 無人ヘリコプターを活用した河岸における空間線量率、放射性セシウムの沈着量の分布状況の確認

鳥居 建男（原子力機構）

### (1) 調査目的

河岸周辺においては、降雨等の増水の影響により土砂が流出又は蓄積することにより、比較的狭い範囲で空間線量率及び放射性セシウムの沈着量の分布状況が変化することが推察されている。現在、福島第一原発周辺で実施されている航空機モニタリングは、地上の直径 600 m 程度の円形の範囲からの平均的なガンマ線計数率を測定しているため、河岸周辺の詳細な空間線量率及び放射性セシウムの沈着量の分布状況の詳細は確認できていなかった。本調査研究では、空間線量率及び放射性セシウムの沈着量の変化傾向の詳細把握に向け、航空機モニタリングによる面的な測定データを精緻化することを目的に、無人ヘリコプターを活用して、河岸に沿ってモニタリングを実施し、河岸周辺における地上 1 m 高さの空間線量率及び放射性セシウムの詳細な分布状況を記したマップを作成した。

### (2) 調査内容

#### 1) 調査箇所と調査期間

本事業で、詳細に環境モニタリングを実施している 2 河川の河川敷における空間線量率の測定及びマッピングを行う。

- 阿武隈川流域（宮城県）の河川敷  
平成 25 年 1 月 8 日から 1 月 31 日
  - 宇多川流域（福島県相馬市）の河川敷  
平成 24 年 10 月 31 日から 11 月 7 日
- 本調査における測線を図 2.4.3-1 に示す。

#### 2) 調査機器

測定にあたっては、ヤマハ発動機(株)自律飛行型無人ヘリコプターRMAX G1 を使用し、飛行高度は 50～80 m 程度、測線間隔は 80 m（一部 50 m で実施）程度で飛行しながら、地上からのガンマ線及び直達線や散乱線によるガンマ線（計数率）とエネルギースペクトルを 1 秒間に 1 回連続測定した。また、放射線検出器は LaBr<sub>3</sub>(Ce)（ランタンブロマイド）シンチレーション検出器(1.5" Φ×1.5" ×3 本)を用いた。(2.2.3 章 図 2.2.3-2 参照)

### (3) 結果と考察

#### 1) 阿武隈川

阿武隈川における空間線量率マップを図 2.4.3-2 に示す。全体の空間線量率は概ね 1.0 μSv/h 以下であった。下流側(A)においては、河川の彎曲部において、比較的空間線量率が高い部分(0.5 μSv/h 程度)が局材化していることが明確に示された。上流側(B 及び C)は、傾向として、下流側よりも空間線量率が高い傾向にある。(C)においては、河川の彎曲部を中心に最大 0.8 μSv/h となる個所があった。

本結果を、第 6 次航空機モニタリング[1]の結果と比較した。図 2.4.3-3 に比較結果を示す。航空機モニタリングでは、河川の上流で比較的高く、下流に行くに従い低くなっていることが大まかにわかる程度であったが、無人ヘリでの測定では河岸付近の細かい空間線量率

分布を把握できていることがわかる。また、空間線量率の値は、概ね一致することが分かった。

## 2) 宇多川

宇多川における空間線量率マップを図 2.4.3-4 に示す。全体の空間線量率は概ね  $1.0 \mu\text{Sv/h}$  以下であった。下流側(A)においては、河川の河口域において、 $0.4 \mu\text{Sv/h}$  程度となる部分が散見された。また、(A)では、国道 6 号線周辺でやや空間線量率が高い場所が見られた。上流側(B 及び C)は、傾向として、上流側に行くにつれて空間線量率が高い傾向にある。阿武隈川と同様に、航空機モニタリングの結果と比較した結果を図 2.4.3-5 に示す。阿武隈川における結果と同様に、無人ヘリによる測定では航空機モニタリングよりも詳細な分布を把握することができている。特に、河口域では、航空機モニタリングよりも線量が高い傾向があることが分かった。

## (4) まとめ

阿武隈川、宇多川の河川敷について無人ヘリコプターを用いて放射線測定を行った。測定の結果、両河川とも、空間線量率は  $1 \mu\text{Sv/h}$  以下であった。河川敷には、周辺の空間線量率よりも高い場所が複数存在していることが分かった。本データは、地上測定の結果と比較検討することにより、河川を介した放射性物質の移行解明の一助となると考えられる。

## 参考文献：

- [1] 文部科学省，①第 6 次航空機モニタリングの測定結果、及び②福島第一原子力発電所から 80 km 圏外の航空機モニタリングの測定結果について，原子力規制委員会ホームページ，2013 年 3 月，<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/7000/6749/view.html>

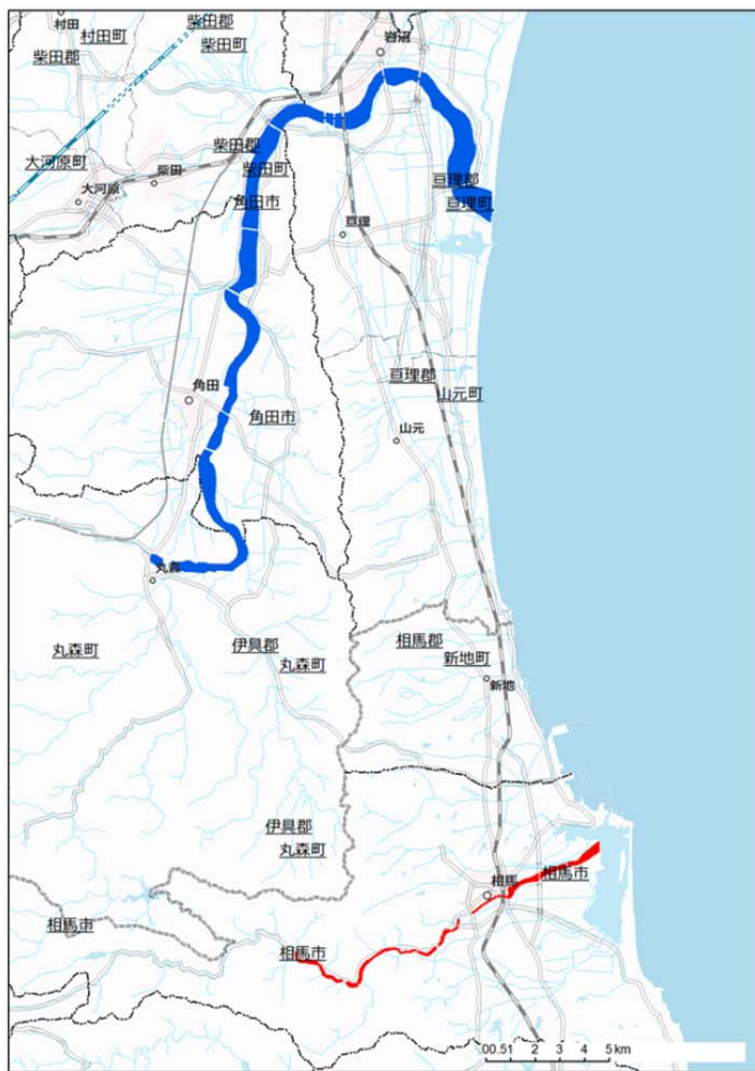


図 2.4.3-1 測線（青：阿武隈川、赤：宇多川）

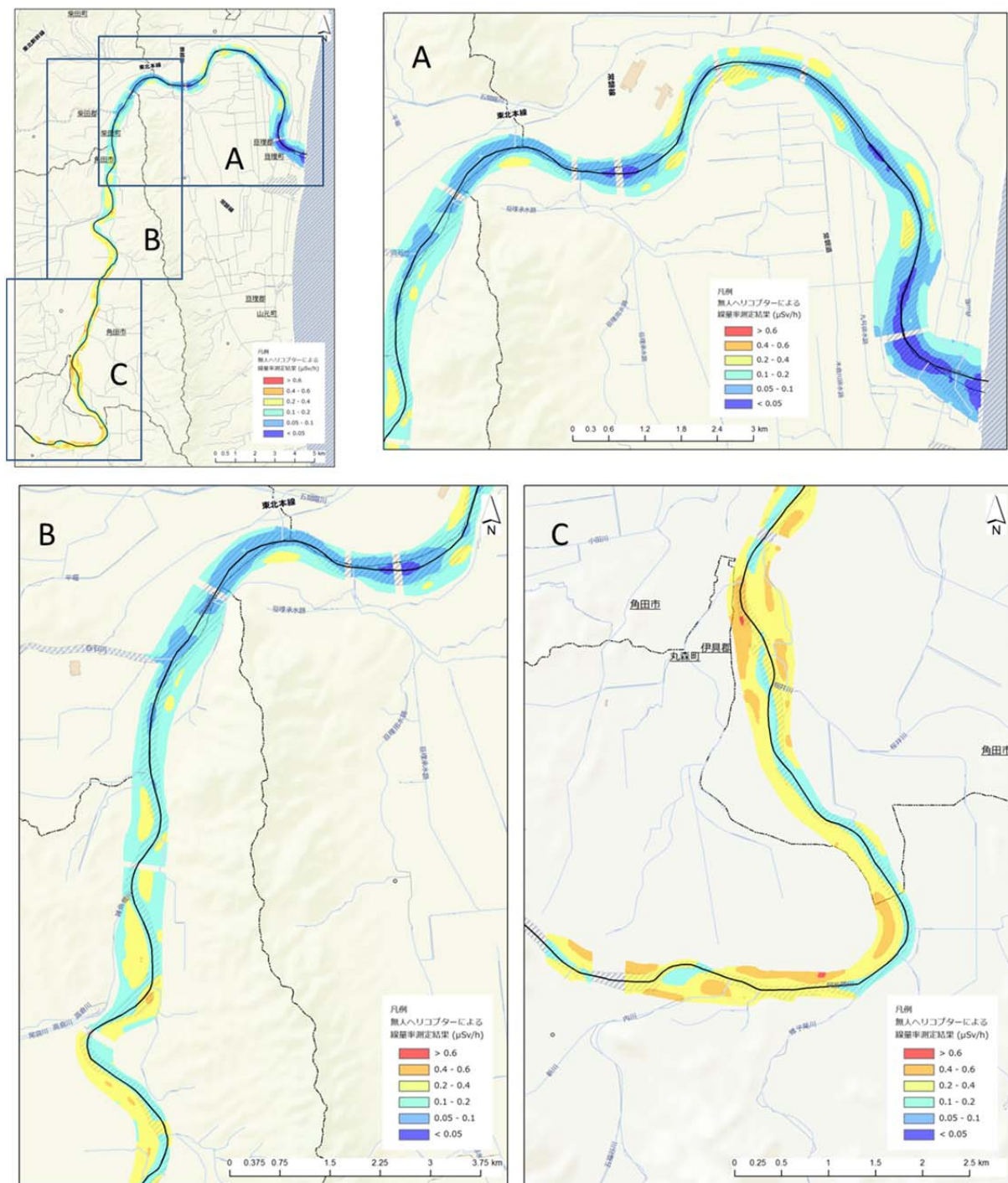


図 2.4.3-2 阿武隈川河川敷の空間線量率マップ



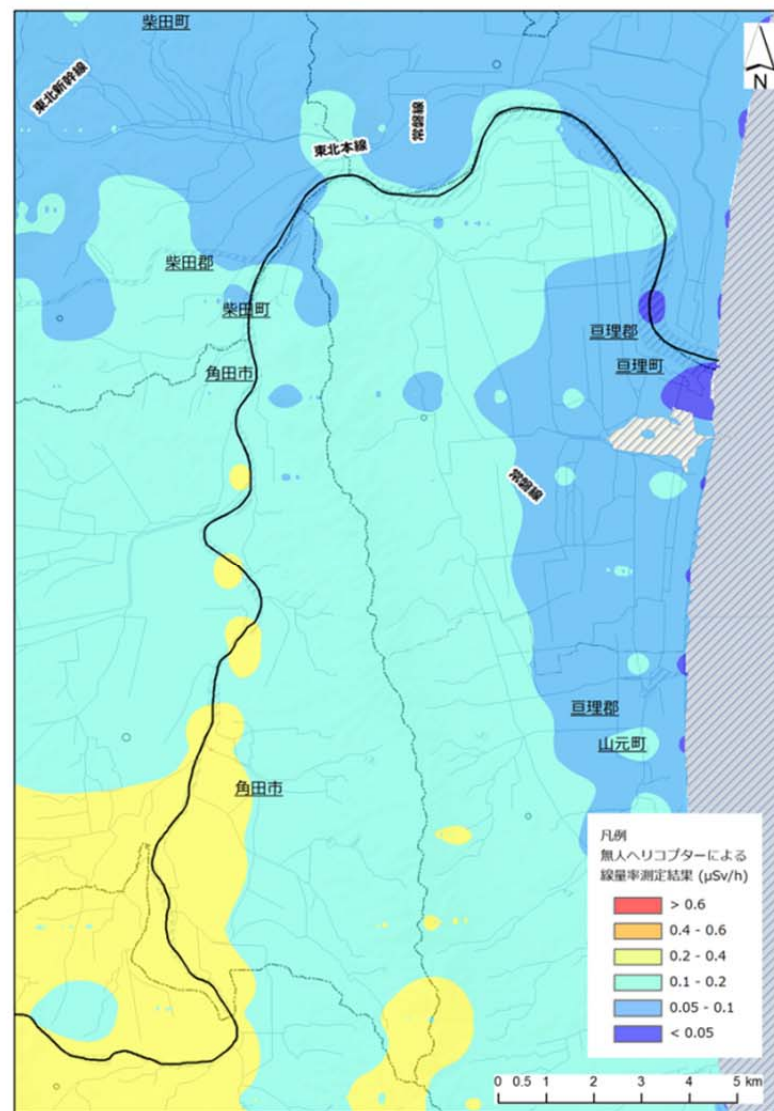


図 2.4.3-3 阿武隈川河川敷の空間線量率マップ  
(左：無人ヘリコプターによる測定結果、右：第6次航空機モニタリング結果)

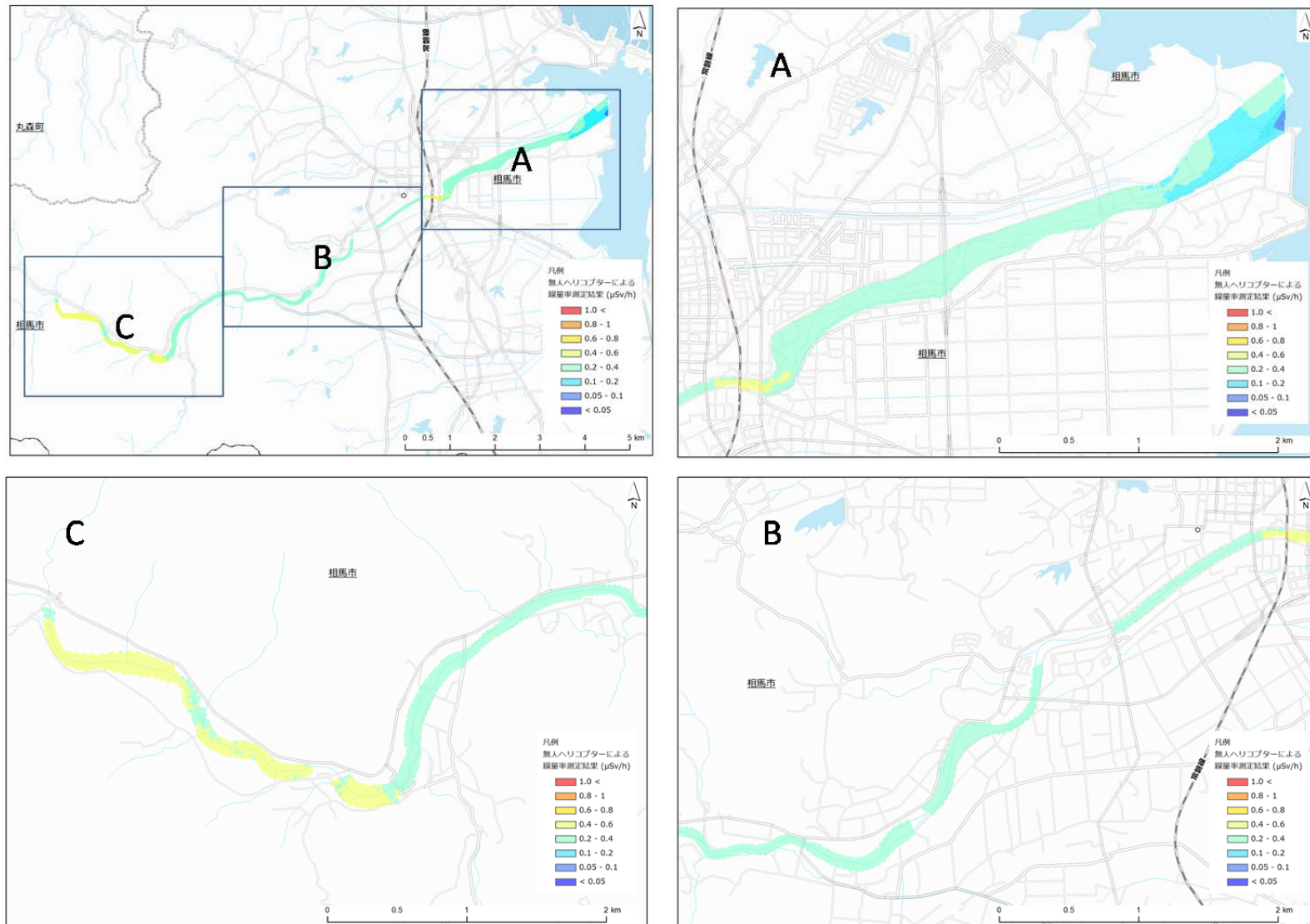


図 2.4.3-4 宇多川河川敷の空間線量率マップ  
 ( A:下流(河口域)、B:上流、C:上流(彎曲部) )

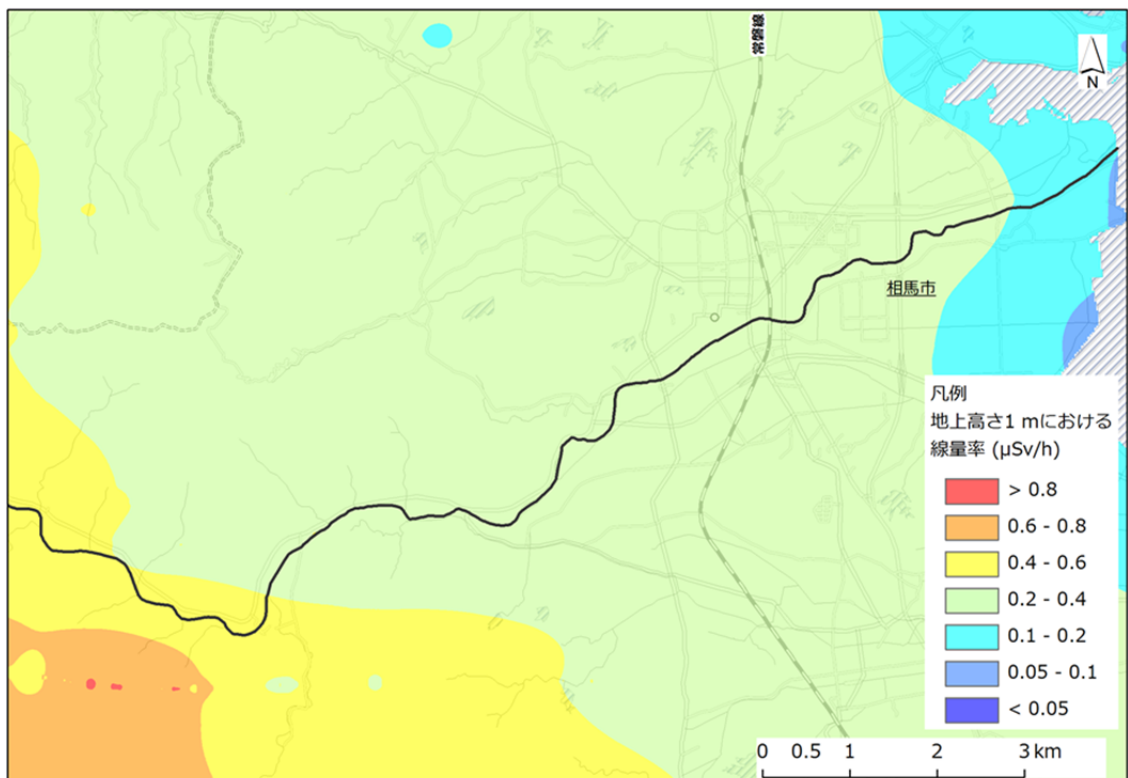
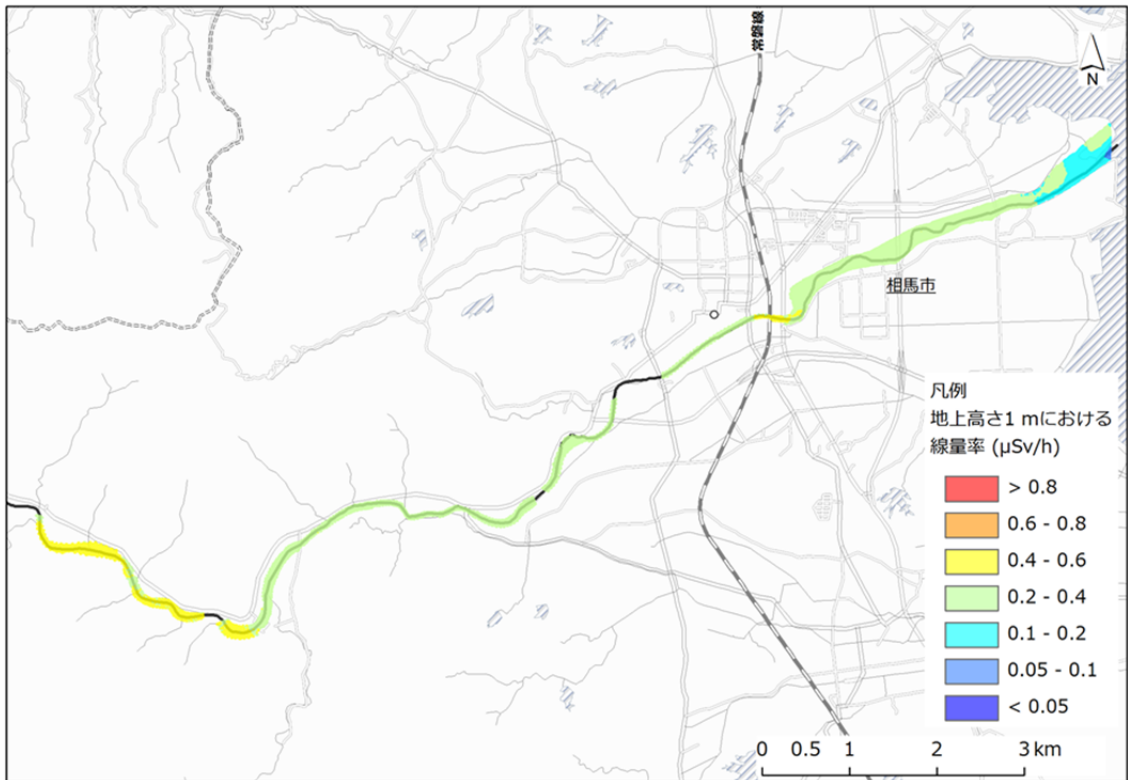


図 2.4.3-5 宇多川河川敷の空間線量率マップ  
(上: 無人ヘリコプターによる測定結果、下: 第6次航空機モニタリング結果)