

5 放射線量等分布状況調査(空間線量率、土壌濃度マップの作成)に関連した研究

5.1 放射線量等分布状況調査(空間線量率、土壌濃度マップの作成)に関連した研究を実施する背景

事故直後の被ばく線量評価の観点からは、事故直後の被ばく線量に大きく寄与したと予想されるヨウ素 131 に関する十分な情報が必要であるが、第 1 次分布状況等調査で実施した土壌採取・分析においてヨウ素 131 が検出されたのは、約 2,200 の調査箇所のうち約 400 箇所であった。特に、データが必要とされる 30km 圏内で採取した試料でも、放射性セシウムの濃度が高いことが原因で、ヨウ素 131 が検出されない箇所が多数存在しており、ヨウ素 131 の土壌濃度マップの精緻化が必要である。

また、第 1 次分布状況等調査では、放射線量等分布マップ作成に係る土壌試料の採取、空間線量率の測定や、森林、土壌、地下水、河川水等自然環境中の包括的移行状況の調査が実施されてきた。一方で、人の生活域における線量率の分布は住居の立地条件や住人の日常生活によっても変化を受けることが考えられるため、屋外でのホットスポットが屋内にどのような影響があるか等について一日のうちで多くの時間を過ごす居住環境（ここでは、居住施設（屋内）とその周辺を指す。）にも注目する必要がある。

そこで、ヨウ素 131 の土壌濃度マップの精緻化及び居住環境における空間線量率の分布状況の特徴を把握するため、今回の調査では、以下の放射線量等分布状況調査(空間線量率、土壌濃度マップの作成)に関連した研究を実施することとした。

5.2 ヨウ素 129 の定量を通じた土壌中のヨウ素 131 の放射能濃度の推定

5.2.1 目的

福島第一原発の事故により大量のヨウ素 131 が放出されたことが経済産業省原子力安全・保安院の放出量の試算値において確認されている。放射性ヨウ素は甲状腺に濃縮され被ばくをもたらすため、住民への初期被ばく線量を評価する上でその広がりや各箇所での沈着量を評価することが大変重要である。しかし、ヨウ素 131 の半減期は約 8 日と短いため、平成 23 年 6 月期の放射性物質の第 1 次分布状況等調査においては全調査箇所（約 2,200）のうち約 400 箇所でしか、検出下限値以上の放射能濃度のヨウ素 131 が検出できなかった。

福島第一原発の事故時にはヨウ素 131 と同時にヨウ素 129（半減期：約 1,600 万年）も放出されている。これら 2 つの放射性核種の比はほぼ一定であったと考えると、土壌中のヨウ素 129 を分析することで、現時点では物理的減衰により測定できないヨウ素 131 の放射能濃度を推定することが可能と考える。

そこで、今回の調査では、第 1 次分布状況等調査において採取した試料のうちヨウ素 131 が測定されている土壌試料を使用し、それらに含まれるヨウ素 129 の放射能濃度を測定する。そして、ヨウ素 129 とヨウ素 131 の放射能濃度の相関があるかを調べ、この相関関係を基に、ヨウ素 129 の放射能濃度からヨウ素 131 の放射能濃度を推定することができるか検討することを目的とした。ヨウ素 129 とヨウ素 131 の放射能濃度の相関があることが確認できれば、ヨウ素 131 の放射能濃

度に対するヨウ素 129 の放射能濃度の比率（以下、「ヨウ素 129/ヨウ素 131 比」という。）を求め、ヨウ素 131 が検出できなかった土壤試料中のヨウ素 129 の測定値から、現在では測定が困難なヨウ素 131 の土壤中の放射能濃度を推定することが可能となる。それにより、データの不足を補い、ヨウ素 131 の土壤濃度マップの精緻化を目指す。

なお、ヨウ素 129 の濃度は非常に低いため、これの定量のために試料から放射性ヨウ素を化学分離し、測定感度に優れた高度な分析法である加速器質量分析法（以下、「AMS」という。）を用いることとした。

5.2.2 ヨウ素 129 の定量を通じた土壤中のヨウ素 131 の放射能濃度の測定手法の背景

ヨウ素 129 は半減期が 1,600 万年と非常に長い核種であり、自然界ではウランの自発核分裂や宇宙線と大気との核反応で生成されている。核実験が行われる以前におけるヨウ素 127（安定ヨウ素）との原子数比（ヨウ素 129/ヨウ素 127 比）は 1.5×10^{-12} 程度であった。また、ヨウ素 129 はヨウ素 131 と同様に核分裂によっても生成されるので、核実験や再処理施設からも放出されており現在の表層土壤中でのバックグラウンドは、 10^{-9} 程度と考えられている (Muramatsu et al., 1986; Muramatsu et al., 2008)。

また、チェルノブイリ原子力発電所の事故においてもヨウ素 129 は放出された。しかし、事故当時のヨウ素 129 とヨウ素 131 を同一試料から測った例はごく限られたものしかない (Paul et al., 1987)。また、ヨウ素 129 を測定しチェルノブイリ事故当時のヨウ素 131 を推定し被ばく線量評価を行ったポーランドの例が報告されている (Pietrzak-Flis et al., 2003) が、当時は放射化分析法を用いており測定に手間と時間がかかり、測定数は少ない。その後、加速器質量分析法 (AMS) を用いたヨウ素 129 の分析法が日本においても開発され (Matsuzaki et al., 2007; Muramatsu et al., 2008)、感度も飛躍的に向上し、処理時間も改善された。そこで、今回の調査では、ヨウ素 129 の定量を通じて、ヨウ素 131 の放射能濃度を推定する手法を利用することとした。

5.2.3 ヨウ素 129 の定量を通じた土壤中のヨウ素 131 の放射能濃度の測定手法の内容

① ヨウ素 129 の定量に用いた土壤試料の詳細

ヨウ素 129 の定量に用いた土壤試料としては、平成 23 年 6 月期の第 1 次分布状況等調査で採取され、ゲルマニウム半導体検出器による測定時に放射性セシウムだけでなくヨウ素 131 が検出されている土壤試料の中から 82 試料を分析に供した (図 5.2.3-1)。

② ヨウ素 129 の定量のための土壤試料の前処理

上記の土壤試料を U-8 容器から取り出し、ビニール袋中で良く混ぜ合わせ、均一にした。これより一部を取り、乾燥させメノウ製のボールミルにかけ粉碎し、分析用の粉末試料を作った。なお、U-8 容器中の試料は十分に均一に混ざっていないものも見受けられ、最初の均一化する作業に時間を要した。

その後、上記の粉末試料を 1000 度で加熱し、揮発した放射性ヨウ素をアルカリ性の溶液に捕集した。回収した溶液の一部を学習院大において ICP-MS (Agilent 7700) により、ヨウ素 127 (安定ヨウ素) を測定した。また、残りのトラップ溶液を用い溶媒抽出・逆抽出を行

い、放射性ヨウ素を分離・精製し、それに硝酸銀を加えてヨウ化銀 (AgI) を作成した。この AgI をターゲットとし、東京大学の AMS (加速器質量分析器) (図 5.2.3-2) により、ヨウ素 127 の原子数に対するヨウ素 129 の原子数の比率 (以下、「ヨウ素 129/ヨウ素 127 比」という。) を測定した。なお、ヨウ素の化学分離法は、Muramatsu et al. (2008) によった。ヨウ素の化学分離法の概念図を図 5.2.3-3 に示す。また、AMS の測定条件等は、Matsuzaki et al. (2007) に従った。

③ ヨウ素 129 の定量

ヨウ素 129 の定量にあたっては、東京大学大学院工学系研究科タンデム加速器研究施設を用いて、②で用意した AgI をターゲットにし、ヨウ素 129/ヨウ素 127 比を測定した。次に、②で測定したヨウ素 127 の放射能濃度の測定結果を基に、試料に含まれるヨウ素 129 の放射能濃度 (Bq/kg) を算出した。その後、予め求めておいた測定試料の重量と体積を考慮し、単位面積あたりのヨウ素 129 の沈着量 (Bq/m²) を算出した。検出下限値は、約 0.001Bq/m² である。

④ ヨウ素 129 の放射能濃度とヨウ素 131 の放射能濃度との相関

ヨウ素 127 及びヨウ素 129 は今回の調査で使用した、いずれの試料においても十分に検出できた。そこで、得られた土壤中のヨウ素 129 の放射能濃度と第 1 次分布状況等調査で既に測定されているヨウ素 131 の放射能濃度とを比較し、両者の相関を求めた。なお、ヨウ素 129 の定量を通じた土壤中のヨウ素 131 の放射能濃度の推定の詳細は Appendix 4.1 参照のこと。

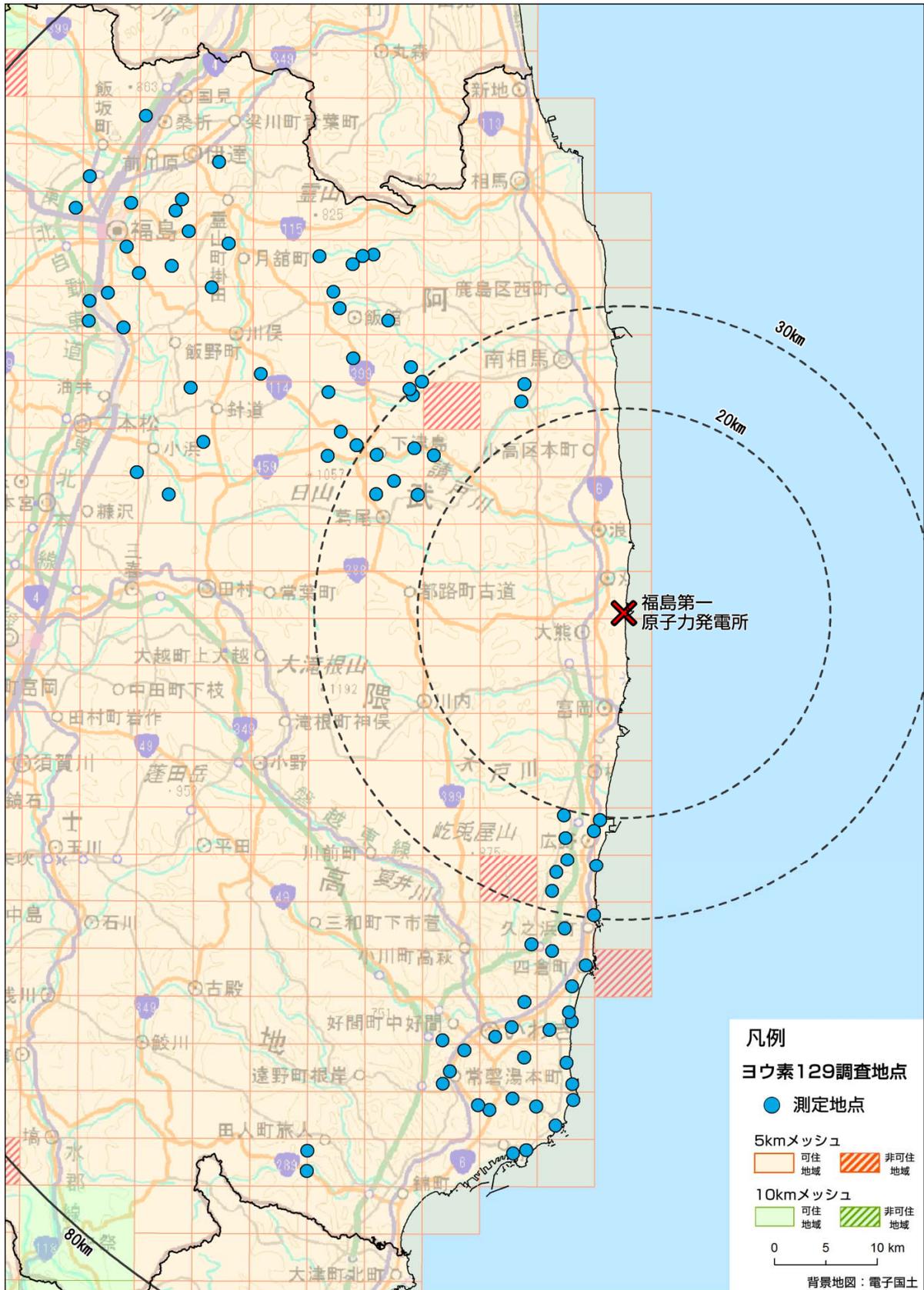


図 5.2.3-1 ヨウ素 129 の分析に供したサンプルの採取地点（平成 23 年 6 月 14 日時点のヨウ素 131 の土壌濃度マップにおいて、各箇所 5 地点のヨウ素 131 の放射能濃度が全て検出限界値以上であった調査箇所）

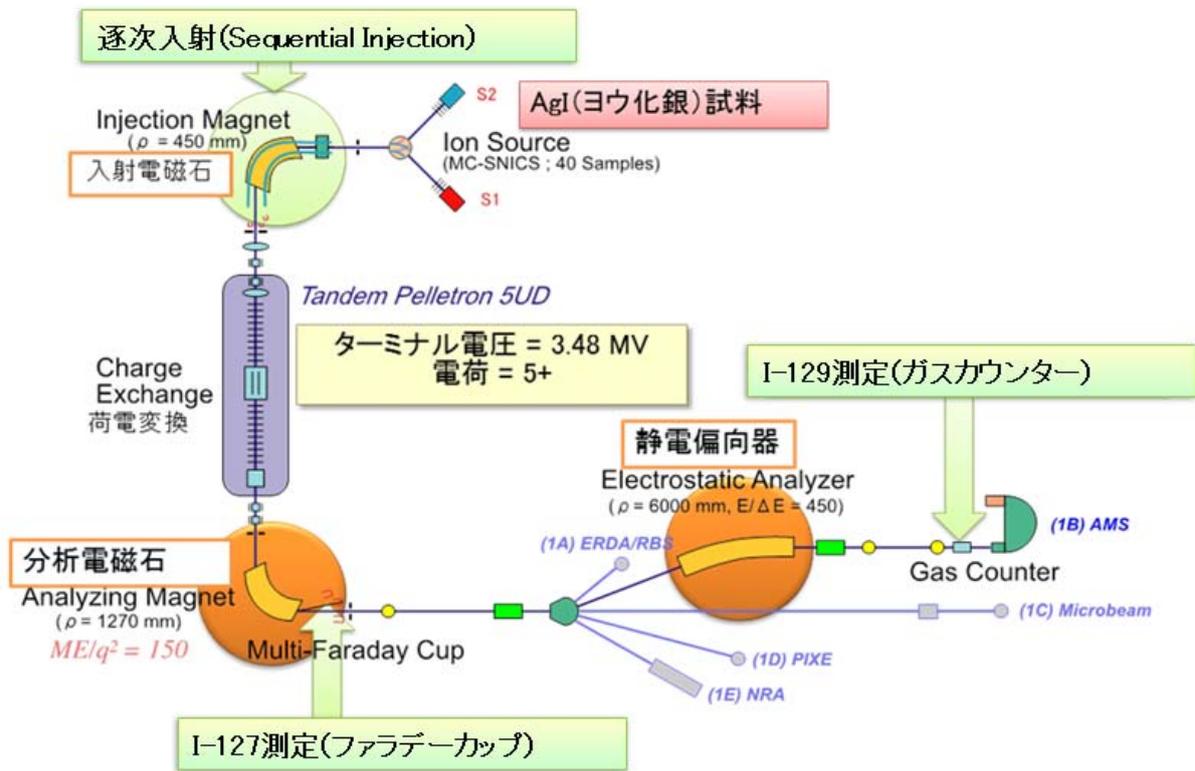


図 5. 2. 3-2 東京大学タンデム加速器研究施設におけるヨウ素 129 加速器質量分析 (AMS) システムの概要

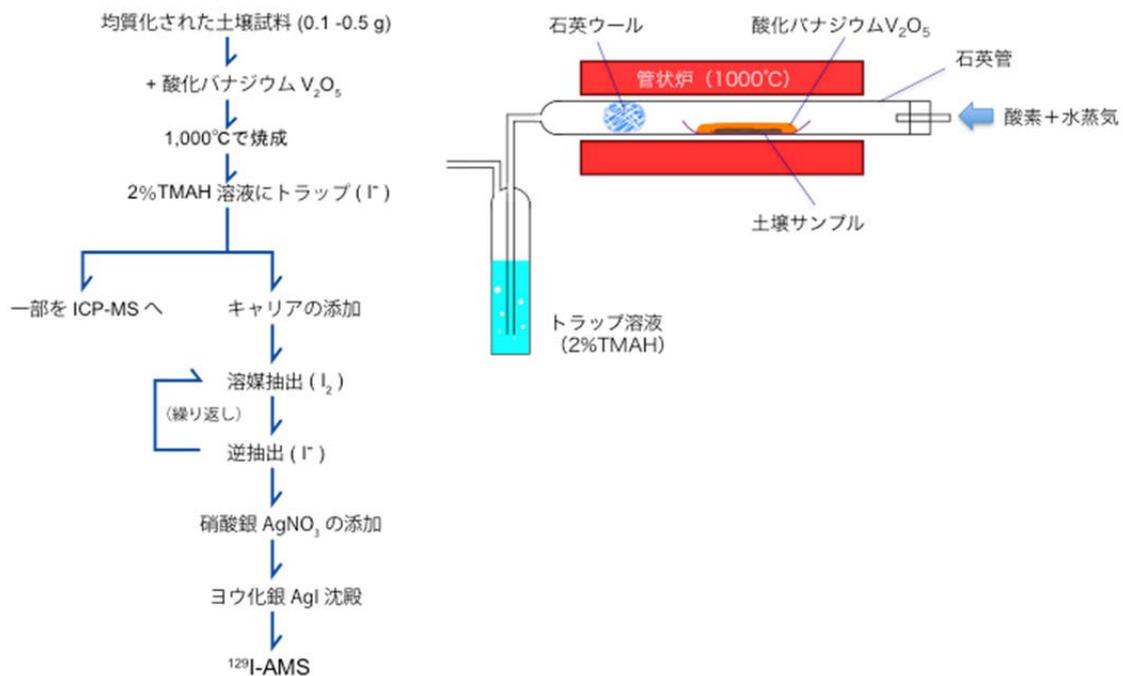


図 5. 2. 3-3 土壌試料の前処理（加熱により土壌試料からヨウ素 129 を分離する）の流れと土壌試料の焼成のイメージ

5.2.4 ヨウ素 129 の定量を通じた土壌へのヨウ素 131 の沈着量の推定に関する検討

(1) ヨウ素 129 の放射能濃度の測定結果、及びヨウ素 129 とヨウ素 131 の放射能濃度の相関関係の確認結果

今回の調査では、合計 82 試料 (82 箇所) についてヨウ素 129 の分析データが得られた。また、ヨウ素 129 の測定結果の精度の検証を行うために、幾つかの試料において再分析も行った。その結果、値はほぼ±10%以内におさまっていることが確認された。更に、スタンダード試料やブランク試料の分析を行い、測定データの信頼性を担保した。

AMS(加速器質量分析器)で得られたヨウ素 129/ヨウ素 127 比のデータと、ICP-MS 測定で得られたヨウ素 127 の放射能濃度の値から、試料に含まれるヨウ素 129 の濃度 (Bq/kg) を求めた。その後、それぞれの測定試料の重量と体積を考慮し、AMS(加速器質量分析器)で得られたヨウ素 129 の放射能濃度 (Bq/kg) からヨウ素 129 の土壌への単位面積当たりの沈着量 (Bq/m²) を計算した。但し、試料重量が 50g 程度しかないものや、石が多い試料もあり、それらの値から面積あたりの沈着量を計算する場合、誤差が大きい可能性もある。U-8 容器内の試料の均一性に関しては、必ずしも良くないことが考えられたので、容器からとりだし、かなり均一にしてから、メノウのボールミルを用いて粉末試料とした。このため、ヨウ素 129 の分析用の粉末試料に関しては均一性が良いと考える。

ヨウ素 129 とヨウ素 131 の沈着量の間に相関関係があるか調べるため、これらを図 5.2.4-1 にプロットした (単位はともに「Bq/m²」である)。これらの結果から、幾つかのばらつく点はあるが、ヨウ素 129 とヨウ素 131 の放射能濃度の間に正の相関が見られた。全試料 (82 試料) で相関を計算した場合の傾き (ヨウ素 131/ヨウ素 129 比) と相関係数 (R^2) は 9368 ($R^2=0.84$) であった。なお、ヨウ素 129 及びヨウ素 131 の放射能濃度の関係を求める場合、上述した相関を調べる方法以外に、試料それぞれについてヨウ素 131/ヨウ素 129 比を求めそれらの平均を取る方法が考えられる。しかし、ヨウ素 129 及びヨウ素 131 の濃度が低い試料では誤差が大きくなりがちであり、また、遅い時期に測定が行われた試料ではヨウ素 131 がかなり減衰しており測定誤差等も大きいと考えられ、放射能濃度が低い試料のヨウ素 131/ヨウ素 129 比は変動が大きい傾向が見られた。そこで、今回の調査では上述した図 5.2.4-1 から求められた回帰直線の傾き「9368」を換算係数として用いることとした。既に述べたが、ヨウ素 129 とヨウ素 131 の放射能濃度の相関は R^2 をみても 0.84 と良い相関を示している。

今回の調査では、ヨウ素 131/ヨウ素 129 比に関しては上述の傾きを使うことが妥当と考えられるが、データのばらつきもあるので、今後、もう少しヨウ素 131 測定済みの試料を分析し、データ数を増やしていくことが望まれる。なお、誤差の原因として考えられるのは、試料の不均一性 (ヨウ素 131 測定では U-8 容器に入った全量を測るが、ヨウ素 129 分析ではその一部を均一にし測定)、ヨウ素 131 の放射能濃度の測定は 1 箇所でなく複数の機関で測定していることによる測定機関の違いによる差、ヨウ素 129 の分析過程における誤差の可能性、等が考えられる。

ヨウ素 131/ヨウ素 129 比に地域差があるか否かは、バラツキがある程度あるため、誤差範囲を越えた有意な差は現状では認められなかった。このことは、仮に放出源においてヨウ素 131/ヨウ素 129 に差があったとしてもそれほど大きなものではないと考える。この点も今後データを増や

し調べることで評価できると考える。また、核燃料の燃焼計算コード ORIGEN 等の計算コードを用い炉内で生成した様々な核種の量を計算しているグループもあるので、今後それが発表されれば、参考になる。

(2) ヨウ素 129 の測定結果からヨウ素 131 の沈着量の推定

ヨウ素 129 の定量結果に上述のヨウ素 131/ヨウ素 129 比 (9368) を掛け合わせ、82 試料についてヨウ素 131 の推定値を得た。得られたデータをマップにプロットした (図 5. 2. 4-2)。図 5. 2. 4-2 は今回のヨウ素 129 の分析値を用いマップ化したものである。この結果からも、北西方向に高い値の地域があり、また、南方向にも高い地域が見られた。なお、ヨウ素 129 の沈着量から求めたヨウ素 131 の沈着量は上述したように各箇所での平均値を考慮して換算してある。その結果、この図から分かるように、すでに公表済みのマップと同様な傾向が見られた。このことから、ヨウ素 131 が検出されていない地域においてもヨウ素 129 の分析をすることで、今後、ヨウ素 131 の土壌濃度マップの精緻化に貢献できると考える。

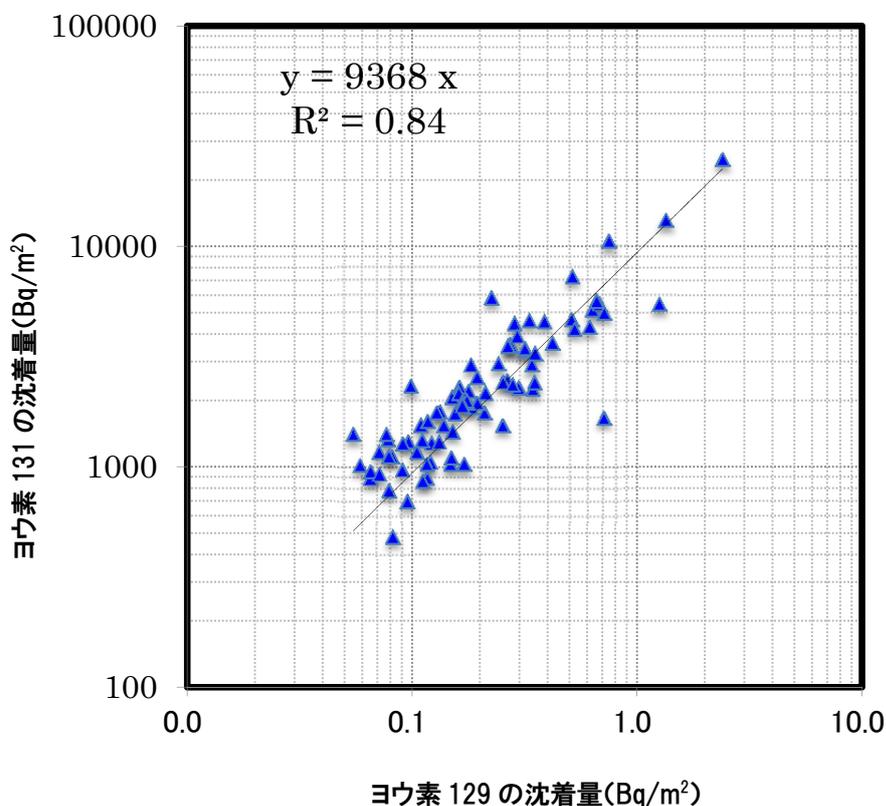


図 5. 2. 4-1 ヨウ素 129 の沈着量とヨウ素 131 の沈着量の相関図
(平成 23 年 6 月 14 日時点に沈着量を換算)

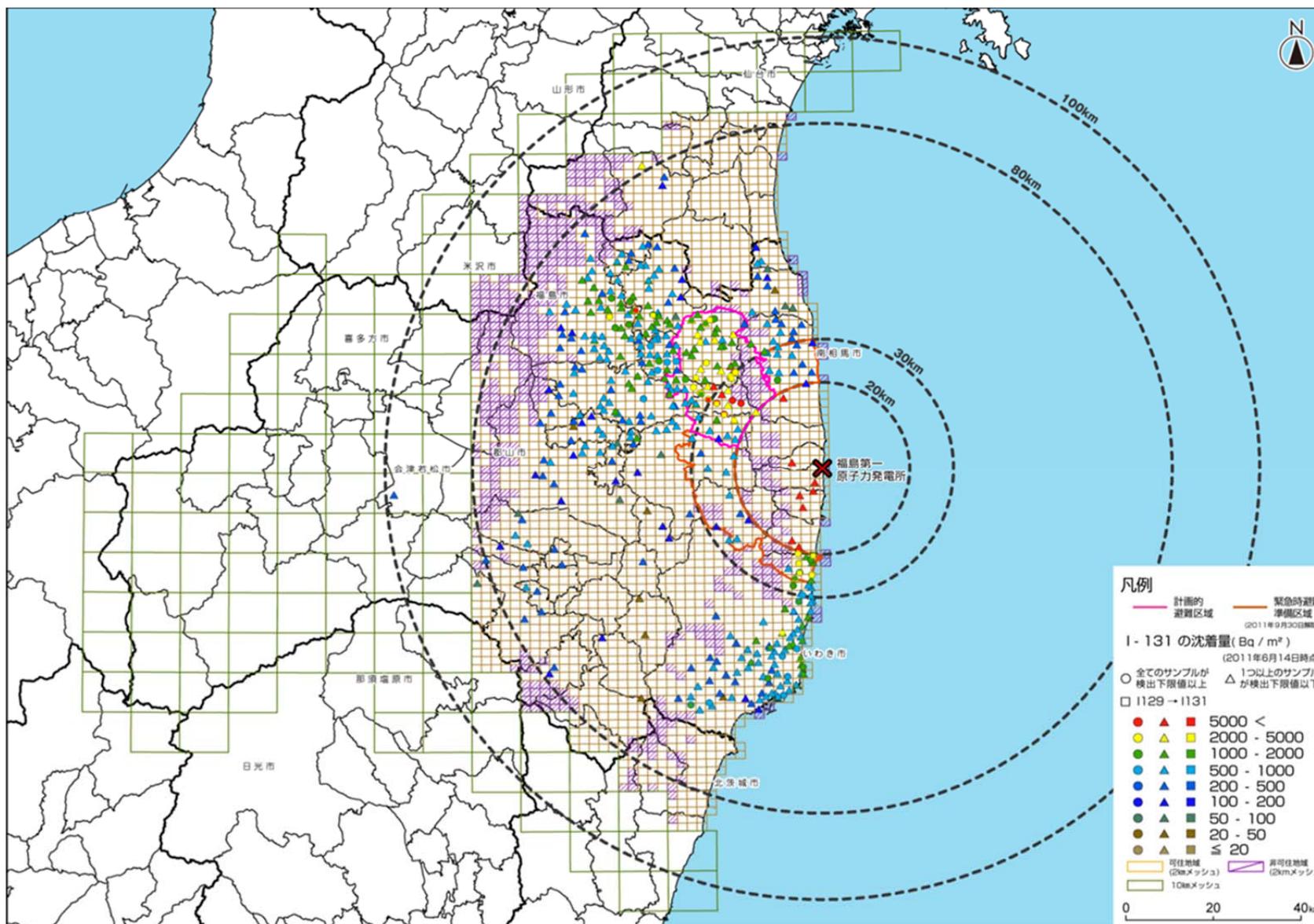


図 5.2.4-2 ヨウ素 131 の土壤濃度マップ (基準日 : 6 月 14 日)

(ヨウ素 129 とヨウ素 131 の比率の平均値から算出したヨウ素 131 の推計値 (■で表示) 含む)

(各箇所にて採取した複数試料の沈着量の平均値に対する当該試料のヨウ素 131 の沈着量の比率を考慮)

5.2.5 まとめ及び今後の予定

今回の調査結果から、ヨウ素 131/ヨウ素 129 比は良い相関を示すことが確認された。これより、ヨウ素 129 の放射能濃度の測定を通じたヨウ素 131 の沈着量の推定の可能性が示唆された。

また、今回の調査では、82 試料の分析結果で得られた、ヨウ素 131/ヨウ素 129 放射能比（ヨウ素 129 とヨウ素 131 の関係を直線近似した回帰直線の傾き）は 6 月 14 日の時点で、9368 ($R^2=0.84$) であった。推定したヨウ素 131 の沈着量の値を第 1 次分布状況等調査で得られたヨウ素 131 のマップに重ねてプロットしたところ、同様な傾向が見られた。このことから、今後、ヨウ素 131 が測られていなかった地域においてもヨウ素 129 の分析をすることで、ヨウ素 131 のマップの精緻化に貢献できると考える。

なお、ヨウ素の土壌への吸着力は強いことが知られており、土壌-溶液間の分配係数 (Kd) は通常、数百～数千である (Muramatsu et al. 1990, Yoshida et al. 1992) ことが確認されている。このことから地面に沈着した放射性ヨウ素のほとんどが表層土壌に吸着されて留まっていると推定される。その為、第 1 次分布状況等調査のヨウ素 131 の土壌濃度マップの作成時点である平成 23 年 6 月 14 日の表層 5cm のヨウ素 131 の沈着量のデータからヨウ素 131 が沈着した平成 23 年 3 月後半の値に戻すには、物理的減衰を補正することである程度評価できると考えられる。

以上のことから、平成 23 年 6 月 14 日時点のヨウ素 129 に対するヨウ素 131 の沈着量の比率を物理的減衰を考慮して平成 23 年 3 月後半の時点の値を算出することで、事故発生初期のヨウ素 131 の土壌濃度マップの作成がある程度可能であると考えられる。他方でヨウ素 131 がいつの時点で土壌に沈着したのかわからないため、基準日の設定には検討が必要である。また、ヨウ素の土壌への吸着力は強いと考えられるが、平成 23 年 6 月 14 日までの時点で 5cm 以深に移行したヨウ素 129 がどの程度あるか、深度分布を調べ、評価することも今後の検討課題の一つである。

今後、土壌中のヨウ素 129 濃度が低い試料の分析をすることも出てくるので、事故以前に核実験や再処理の影響で蓄積していたヨウ素 129 の寄与を評価することも大切である。事故以前に福島県で採取された土壌が保管されていれば、それらも分析することが望ましい。

現在、日本でヨウ素 129 の分析ができる AMS 施設は、東京大学と日本原子力研究開発機構むつ事務所の 2 か所であり、海外でも限られた施設しかヨウ素 129 の分析を行っていないため、たくさんの試料の分析を行う場合は幾つかのグループが異なる AMS 施設を使うことを考慮し、試料の前処理法、分析法、スタンダード、データの処理法を統一する等しっかりと計画を立てネットワークを組んで実施していく必要がある。

また、新しいヨウ素 129 の分析法の試みとしてコリジョンタイプの ICP-MS を用いてヨウ素 129 の濃度が高い試料については測定ができる可能性もある。試料の前処理法の改良や分析条件を最適化することで、濃度が高い警戒区域の試料等については対応可能になることが期待される。

なお、試験方法や考察の詳細については、Appendix 4.1 に示す。

5.3 居住環境における空間線量率等の測定

5.3.1 居住環境における空間線量率等の測定調査の目的

第1次分布状況等調査では、放射線量等分布マップ作成に係る土壌試料の採取、空間線量率の測定や、森林、土壌、地下水、河川水等自然環境中の包括的移行状況の調査が実施され、広域エリアにおける空間線量率及び放射性核種の沈着量を把握することができた。一方で、人の生活域における住居空間での空間線量率の状況は、未だ調査が不足している。住居空間における空間線量率は、居住施設の立地条件、狭い場所（屋根の雨どい等）での放射性物質の移行に伴う屋外での局所的な高線量域箇所（以下、「放射性物質の蓄積箇所」という。）、さらに住人の生活行動等を考慮しなければならない。

そこで、本調査では実際の居住環境において、放射性物質の蓄積箇所や居住施設内の空間線量率の分布等の測定を実施し、その空間線量率の分布の特徴とそのような特徴を示す原因を明らかにする。これにより、居住環境、ここでは特に居住施設の住居空間における空間線量率の分布の形成要因を特定することを目的とした。

5.3.2 居住環境における空間線量率等の測定方法

(1) 居住環境における空間線量率等の測定実施箇所の状況

居住環境における空間線量率等の測定は、福島県伊達郡川俣町の家屋、文教施設、商工施設の計9軒で実施した。調査を実施した居住施設の場所を図5.3.2-1に示す。今回の調査では調査実施地域を大きく2つに分けており、川俣町役場を中心とした地域を「中心地区」、山木屋地区を「山木屋地区」とする。調査実施地域のうち、中心地区は、地表面から1m高さの空間線量率が1.0～1.9 ($\mu\text{Sv/h}$)、放射性セシウムの沈着量が300k～600k (Bq/m^2)、山木屋地区は、地表面から1m高さの空間線量率が1.9～3.8 ($\mu\text{Sv/h}$)、放射性セシウムの沈着量が600k～1,000k (Bq/m^2) のような状況にある（図5.3.2-2、及び図5.3.2-3参照）。

空間線量率と放射性セシウムの沈着量は、中心地区と山木屋地区で2～4倍の範囲で異なる。このように、居住環境における空間線量率等の測定調査は、空間線量率及び放射性セシウムの沈着量が異なる2地区の居住施設を対象に実施した。

(2) 居住環境における空間線量率等の測定を実施した居住施設の概要

今回の調査では、居住施設内と居住施設周辺の空間線量率の関係を調べるため、居住施設及びその周辺環境について空間線量率等の測定を実施した。調査を実施した居住環境の概要を表5.3.2-1にまとめる。居住施設は、その大きさ、構造、構造材、付属設備によって多種多様であり、立地・周辺環境もまた地域によって様々である。調査を実施した居住環境の特徴として、丘陵を切り拓いた土地に立地している環境（施設の裏側に斜面がある）、居住施設に隣接して田・畑が広がっている環境及び居住環境に隣接して森林が広がっている環境が挙げられ、この特徴は、福島県伊達郡川俣町の地域特性を反映したものと言える。なお、中心地区は居住中での調査実施であったが、山木屋地区は現在計画的避難区域に指定されているため、所有者立会いのもと調査を実施した。

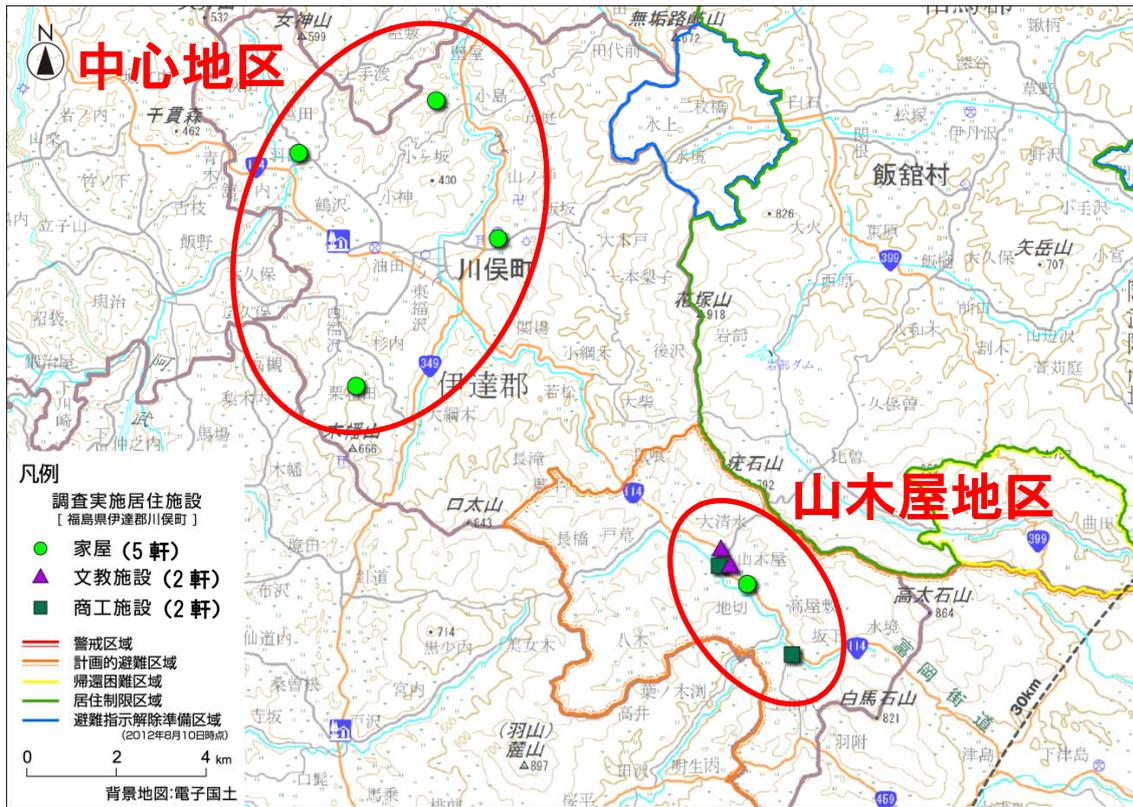


図 5.3.2-1 居住環境における空間線量率等の測定調査を実施した居住施設の位置（福島県伊達郡川俣町）

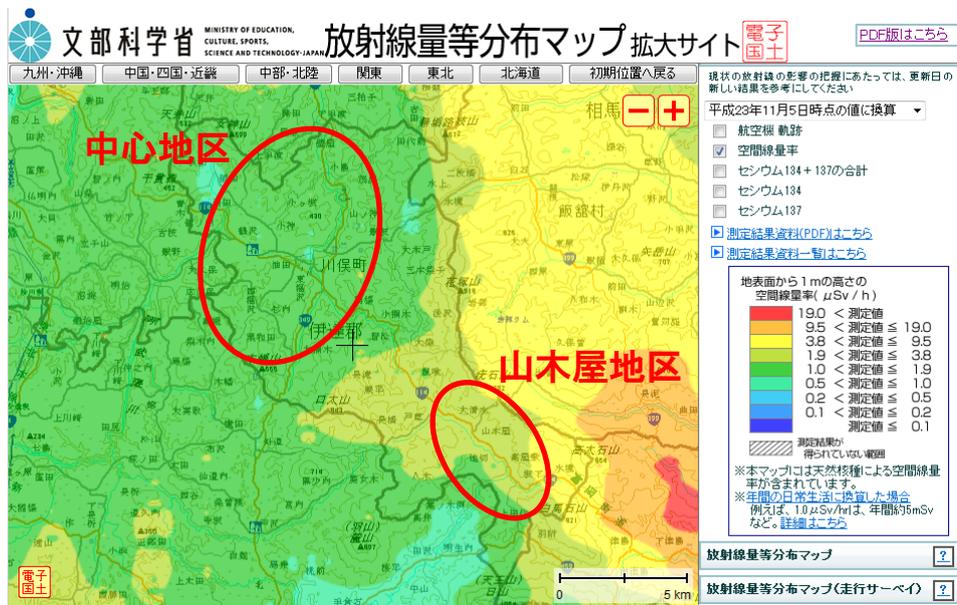


図 5.3.2-2 居住環境における空間線量率等の測定調査を実施した地域（福島県伊達郡川俣町）の地表面から 1 m の高さの空間線量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）の分布マップ
 ※航空機モニタリング結果（平成 23 年 11 月 5 日時点の値に換算）を使用

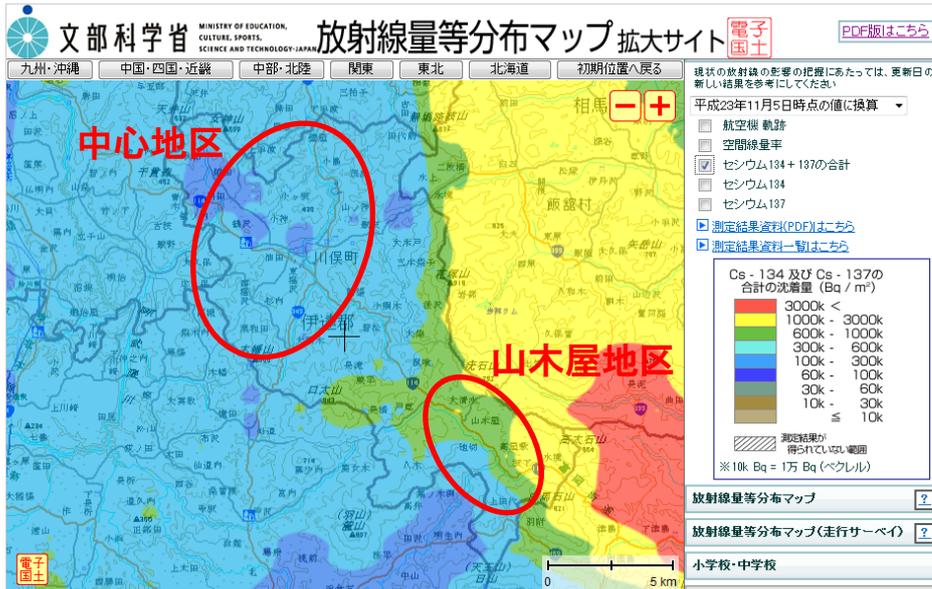


図 5.3.2-3 居住環境における空間線量率等の測定調査を実施した地域(福島県伊達郡川俣町)のセシウム 134 及びセシウム 137 の合計の沈着量 (Bq/m²) の分布マップ ※航空機モニタリング結果(平成 23 年 11 月 5 日時点の値に換算)を使用

表 5.3.2-1 居住環境における空間線量率等の測定調査を実施した居住環境の概要

No.	名称	居住施設		立地・周辺環境			
		施設分類	階数	斜面	森林	田・畑	備考
1	家屋 A	木造	2	○	○	○	丘陵開拓地
2	家屋 B	プレハブ	2	---	---	○	
3	家屋 C	木造	2	○	○	○	丘陵開拓地
4	家屋 D	木造	2	○	○	---	丘陵開拓地
5	家屋 E	木造	1	○	○	○	丘陵開拓地
6	文教施設 A	プレハブ	1	○	○	---	丘陵開拓地
7	文教施設 B	コンクリート	2	---	---	---	丘の上
8	商工施設 A	コンクリート	2	---	---	○	道路沿い
9	商工施設 B	プレハブ	2	○	○	---	丘陵開拓地

(3) 居住環境における空間線量率等の測定方法

① 調査に使用した測定機器

空間線量率の測定には、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 TCS-171 (S/N：R06824) を使用した。また、居住環境で、明らかに放射性物質が蓄積している箇所については、ベータ（ガンマ）線用GMサーベイメータ：日立アロカメディカル株式会社製 TGS-136 (S/N：R04623)、TGS-133 (S/N：R05823) も使用した。ただし、本測定器は表面に付着した放射性物質の濃度を測定するための機器であり、深度分布を持った放射性物質の濃度評価には適さない。したがって、ベータ（ガンマ）線用GMサーベイメータを使用した測定は計数率の測定までにとどめた。また、in-situ の空間線量率及び放射性セシウムの沈着量等を調査するため、可搬型ゲルマニウム半導体検出器：ORTEC 社製 GEM20P4-70 (S/N：51-TP23105B) を使用した。ただし、可搬型ゲルマニウム半導体検出器による in-situ 測定には数 10 分～1 時間の時間がかかることから、1 つの居住施設に対して屋内（居住施設の中央）、屋外（周りに障害物のない開けた場所）各 1 点での測定とした。

② 測定箇所の選定基準と測定高さ

空間線量率の測定箇所及び測定高さは、居住施設の各部屋における人の行動を考慮して表 5.3.2-2 のように選定した。

③ 空間線量率等の測定方法

各測定器による測定方法を以下に示す。

a) NaI (Tl) シンチレーション式サーベイメータによる空間線量率の測定

測定器の時定数を 30 秒に設定し、測定器の検出素子部を前項で定めた測定箇所及び測定高さに 90 秒以上静置した後、空間線量率の指示値を読んだ。NaI (Tl) シンチレーション式サーベイメータによる空間線量率測定の様子を図 5.3.2-4 に示す。

b) 放射性物質の蓄積箇所での探索方法

NaI (Tl) シンチレーション式サーベイメータの時定数を 3 秒に設定し、測定器の指示値が他所より大きく振れる箇所を探索した。放射性物質の蓄積箇所を特定した後、測定器の時定数は 30 秒に設定し直す。NaI (Tl) シンチレーション式サーベイメータの検出素子部を前項で定めた測定高さに 90 秒以上静置した後、空間線量率の指示値を読んだ。また、場合によってはベータ（ガンマ）線用GMサーベイメータを用いた計数率測定を行った。測定は、ベータ（ガンマ）線用GMサーベイメータの時定数を 30 秒に設定し、放射性物質の蓄積箇所から 2～3 cm 高さに 90 秒以上静置した後、計数率の指示値を読んだ。NaI (Tl) シンチレーション式サーベイメータによる空間線量率測定及びベータ（ガンマ）線用GMサーベイメータによる計数率測定の様子を図 5.3.2-5 に示す。

c) ゲルマニウム半導体検出器による in-situ 測定

屋内（居住施設の中央）では、可搬型ゲルマニウム半導体検出器の検出素子部が居住施設 1 階

の床から1 mの高さとなるように設置し、測定を原則1時間実施する。また、屋外（周りに障害物のない開けた場所）では、可搬型ゲルマニウム半導体検出器の検出素子部が地表から1 mの高さとなるように設置し、測定を1時間実施した。なお、可搬型ゲルマニウム半導体検出器によるin-situ測定で得られたガンマ線のスペクトル解析には、解析ソフトウェア：SEIKO EG&G社製Gamma Studioを使用した。

表 5.3.2-2： 居住環境における空間線量率等の測定箇所と測定高さ及びその選定基準

	測定箇所と測定高さ	選定基準	備考
屋 内	○居住施設の中央 ・居住施設の床から1 m高さ	居住施設の代表点	1階 in-situ測定を実施
	○部屋の中央 ・居住施設の床から1 m高さ ・居住施設の床から50 cm高さ ・居住施設の床から10 cm高さ	人の生活行動を考慮 ・立ち仕事を想定 ・ベッドによる就寝、椅子等への着座を想定 ・布団による就寝を想定	流し場から1m離れた点 浴室の中央
	○台所 ・居住施設の床から1 m高さ ○浴室 ・居住施設の床から50 cm高さ	・家事を想定 ・入浴を想定	
	○部屋の端（窓際） ・居住施設の床から50 cm高さ ・居住施設の床から10 cm高さ	・ベッドによる就寝、椅子等への着座を想定 ・布団による就寝を想定	
屋 外	○窓際 ・居住施設の床から50 cm高さ ・居住施設の床から10 cm高さ	屋内部屋の端（窓際）での測定結果と比較するため	
	○居住施設近傍 ・地表面から1 m高さ	屋外での測定結果と比較するため	居住施設の壁から1 m離れた点
	○屋外（周りに障害物のない開けた場所） ・地表面から1 m高さ	屋外の代表点	in-situ測定を実施
	○放射性物質の蓄積箇所 ・蓄積箇所から1 m高さ ・蓄積箇所から1 cm高さ ・蓄積箇所から2~3 cm高さ	蓄積量の概算把握 ・屋外での測定結果と比較するため	ベータ（ガンマ）線用GMサーベイメータを使用



図 5.3.2-4 居住施設における空間線量率の測定の様子（部屋の端（窓際）床から 10 cm 高さ）



図 5.3.2-5 居住施設における計数率測定の様子（左）及び空間線量率測定の様子（右）
（放射性物質の蓄積箇所の状況の確認）

5.3.3 居住環境における空間線量率等の測定結果及び考察

(1) NaI (Tl) シンチレーション式サーベイメータによる空間線量率の測定結果

福島県伊達郡川俣町の家屋、文教施設、商工施設の計9軒について、居住施設及びその周辺でNaI (Tl) シンチレーション式サーベイメータによる空間線量率の測定を実施した。測定結果の詳細はAppendix 4.2に示す。屋外の空間線量率は、屋外の in-situ 測定実施箇所での測定結果とした。得られた空間線量率は、図5.3.2-2の値より全般的に若干低くなる傾向にあった。これは、調査実施時の積雪による影響、つまり積雪が放射線の遮蔽として機能したものと考えられる。測定結果の一例として家屋Aの結果を図5.3.3-1に示す。空間線量率は全般的に、屋外 > 家屋近傍（家屋の壁から1 m離れた場所 > 窓際 > 部屋の中央（居住施設の中央））の関係にあり、部屋の中央での空間線量率は屋外の空間線量率（ $0.88 \mu\text{Sv/h}$ ）と比べて1/3程度と十分低いものであった。また、部屋の中央での高さを変えた測定結果は、全般的に、1 m > 50 cm > 10 cm の関係にあった。これらの傾向は、居住施設の構造材・家具等によるガンマ線の遮蔽効果及び居住施設に設けられた雨どい等付随設備により居住施設自体（屋根・壁）への放射性物質の沈着量が居住施設周辺と比べて少ないことに起因する。また、図5.3.3-1の家屋近傍及び窓際での測定結果で、下方（以下、家屋の「正面」という。）より上方（以下、家屋の「裏手」という。）の方が空間線量率は高い。これは、家屋の裏手側に斜面があるために、放射性物質の分布が立体的になっていることに加え、森林の葉に付着した放射性物質が落ち葉とともに家屋近傍へと移行して地面へ堆積したことに起因するものと考えられる。

(2) 放射性物質の蓄積箇所での測定結果

放射性物質の蓄積箇所では、NaI (Tl) シンチレーション式サーベイメータによる空間線量率またはベータ（ガンマ）線用GMサーベイメータによる計数率の測定を実施した。測定結果の詳細はAppendix 4.2に示す。放射性物質の蓄積箇所は、居住施設に設けられた雨どい等付随設備を含む生活環境によるものと、落ち葉に付着した放射性物質による居住環境への移行に伴うものが確認できた。全般的に生活環境による放射性物質の蓄積は、屋根、雨どいを経た先に設けられた雨水マス、浸透マスなど局所的であり、1 cm 高さの空間線量率が比較的高い数値（屋外での空間線量率の2倍以上）を示す箇所であっても、直上1 m高さではおよそ1/1.6~1/10（平均1/5.1）と空間線量率が低くなっており、放射性物質の蓄積箇所の影響は小さいことが確認された。測定結果の一例として家屋Eの結果を図5.3.3-2に示す。また、放射性物質の蓄積箇所の1 cm 高さ並びに直上1 m高さにおける空間線量率及び1 cm 高さとして直上1 m高さの測定結果の比を表5.3.3-1に示す。家屋Eでは、1 cm 高さとして直上1 m高さの比が1/6.6~1/10（平均1/8.2）とばらついており、放射性物質の蓄積箇所の1 cm 高さとして直上1 m高さの比のばらつきは、雨水マス等の担当する屋根面積（放射性物質の流入量）の違いや、雨水マス等の大きさ（大きさに応じた面線源になる）によると考えられる。

(3) 可搬型ゲルマニウム半導体検出器による in-situ 測定の結果

可搬型ゲルマニウム半導体検出器による in-situ 測定は、居住施設の中央（高さ1 m）及び屋

外の周りに障害物がない開けた場所で実施した。測定結果の詳細は Appendix 4.2 に示す。in-situ 測定によるガンマ線のスペクトルピーク情報をもとに空間線量率への換算を行った。家屋 B 屋外での in-situ 測定による天然核種及び放射性セシウムの結果はそれぞれ $0.041 \mu\text{Gy/h}$ 、 $0.478 \mu\text{Gy/h}$ で合計 $0.52 \mu\text{Gy/h}$ に対し、NaI (Tl) シンチレーション式サーベイメータによる測定結果は $0.55 \mu\text{Gy/h}$ であり、全般的に、屋外の結果は NaI (Tl) シンチレーション式サーベイメータによる空間線量率の測定結果とよく一致した。

(4) まとめ

① 居住施設による空間線量率の減少比

Appendix 4.2 の空間線量率の測定結果をもとに、屋外の空間線量率に対する居住施設内（部屋の中央）での空間線量率の減少比をまとめた。この居住施設による減少比は、第 1 次及び第 2 次分布状況等調査による放射線量等分布マップの空間線量率を住民の被ばくに直接関係する屋内の空間線量率に変換するための重要な基礎データとなるものである。ただし、居住環境と放射性核種の沈着量の分布状況との組み合わせは多種多様であり定量的評価は難しいため、以下の条件により居住施設による空間線量率の減少比の状況をまとめた。今回のこの条件は、測定結果をそれぞれの居住環境に応じて補正することで、丘陵開拓地に立地した家屋の測定結果を平坦地立地の測定結果として取り扱うためのものである。

- 1) 居住施設の大きさが施設分類により異なるため家屋（計 5 軒）を解析対象とする。
- 2) 減少比の分母となる屋外の空間線量率には in-situ 測定実施箇所における測定結果を使用する。
- 3) 屋内（1 階）の空間線量率には部屋の中央における空間線量率を使用する。
- 4) ただし、2)、3) の条件は居住施設の正面の部屋に適用する。
- 5) 居住施設の裏手及び放射性物質の蓄積箇所に面した部屋（1 階）については、それぞれ屋外の空間線量率の補正を行った。5 軒のうち 4 軒の家屋の裏手には斜面があり、放射性物質の分布は立体的になっており、たとえ放射性物質の沈着量が同じであっても屋外が平坦な調査箇所の測定結果より屋外が斜面となっている調査箇所の空間線量率は若干高められることがある。また、放射性物質の蓄積箇所では落ち葉による空間線量率の上昇が見られ、この居住環境への放射性核種の移行はもともとの沈着量に対して増分と考えることができる。そこで、屋外の空間線量率を補正することとし、正面と裏手における居住施設近傍での各測定結果の平均を用いた比により屋外の空間線量率から屋外裏手の空間線量率を求めた。落ち葉による空間線量率の上昇に対しては、放射性物質の蓄積箇所に面した部屋から最も近くにある居住施設近傍での測定結果を屋外空間線量率の補正に使用した。
- 6) 2 階正面の部屋については、2) を、裏手に面した部屋には 5) を適用する。ただし、5) による補正は主に立体的な放射性核種の分布等による狭い範囲を対象としたものであるため、居住施設の裏手に面した 2 階の部屋にまで適用することは不適切な場合もある。

測定結果の一例として家屋 C の結果を図 5.3.3-3 に示す。また、家屋（計 5 軒）を対象とした空間線量率の減少比の頻度分布を図 5.3.3-4 に示す。その結果、屋外の空間線量率に補正を行わない空間線量率の減少比は広がり大きな分布となった（図 5.3.3-4 の上段参照）。これは、居住

施設の大きさ、構造、構造材、付属施設が多種多様であり、また、立地・周辺環境も様々なことが要因である。図 5.3.3-4 の中段左図から、居住施設の裏手のデータが分布を広げていることがわかる。また、1 階より 2 階の方が空間線量率の減少比の分布は大きくなり、2 階の方が空間線量率の減少度合いが小さくなる傾向であることが確認された(図 5.3.3-4 の中段右図参照)。これは、居住施設自体(壁等)への放射性物質の沈着量は少ないものの、1 階より 2 階の方が施設周辺に分布する放射性物質の有効寄与範囲(面積)が大きくなるためと考えられる。

また、5.3.3(4)①5)の補正を行って空間線量率の減少率を評価した結果、居住施設による空間線量率の減少比は概ね 0.4 を下回ることが確認できた(図 5.3.3-4 の下段参照)。また、部屋の中央における空間線量率の測定結果は全般的に $1\text{ m} > 50\text{ cm} > 10\text{ cm}$ 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、今回の測定で得られた 0.4 という数値は若干過大な値であるものの、現実的な値であると考えられる。

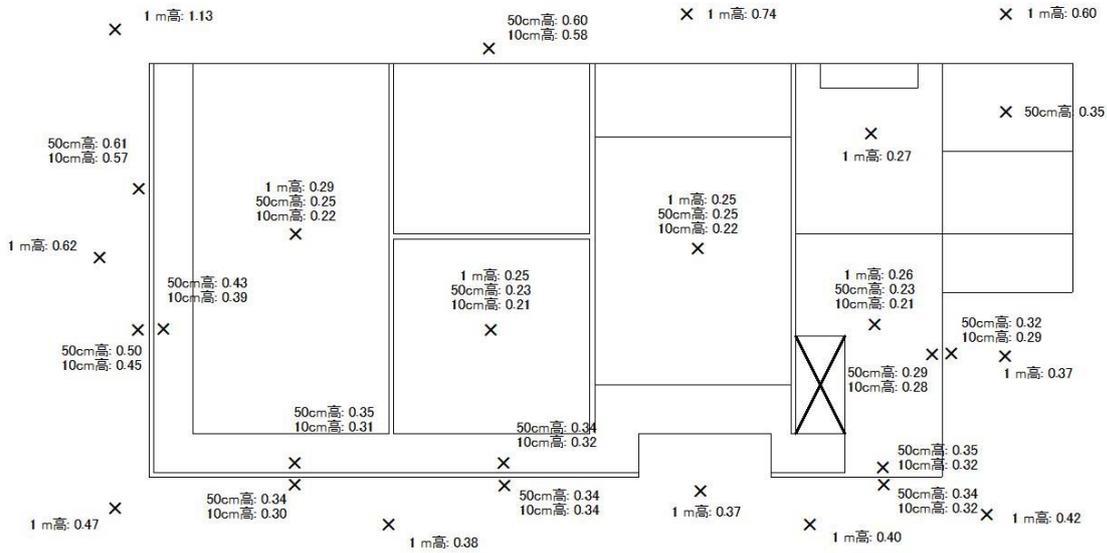
② 放射性物質の蓄積箇所が家屋内の空間線量率に与える影響

文教施設 A の測定結果をもとに、放射性物質の蓄積箇所が家屋内の空間線量率に与える影響についてまとめた(図 5.3.3-5 参照)。

今回の福島第一原発事故に伴う自然環境への放射性物質の初期沈着は、主に降雨等によるものであったと考えられるが、屋根に沈着した放射性物質は、その後の降雨で洗い流され、屋根、雨どい、雨水マス・浸透マスへと移行すると考えることができる。図 5.3.3-5 に示す文教施設 A の屋根の面積はおよそ $18\text{m} \times 33\text{m} = 594\text{m}^2$ である。文教施設 A に設けられた雨どい、雨水マス・浸透マス、側溝は 18 本であるとし(側溝は 5 本分と換算した。)、屋根の面積を集水設備の数で単純に割ると $594\text{m}^2 \div 18 = 33\text{m}^2$ となる。したがって、この居住施設では、1 つの雨水マス・浸透マスに、初期沈着で屋根に沈着した 33m^2 分の放射性物質が移行・蓄積する可能性があると考えられる。文教施設 A の屋外における空間線量率は $1.83\ \mu\text{Sv/h}$ (1 m 高さ) であるが、1 cm 高さでは $30\ \mu\text{Sv/h}$ を超える放射性物質の蓄積箇所が図 5.3.3-5 下段の中央下部に存在する。しかし、蓄積箇所の直上 1 m 高さでは空間線量率は $3.33\ \mu\text{Sv/h}$ となり、その周辺では $1.17\ \mu\text{Sv/h}$ にまで減少する。これは、雨水マスや側溝が地面に埋め込まれた構造となっているため、蓄積した放射性物質からのガンマ線の放出方向が制限される効果が大いことを示す。放射性物質の蓄積による局所的な空間線量率の増大は最大で $3.33\ \mu\text{Sv/h} \div 1.83\ \mu\text{Sv/h} = 1.8$ 倍となり、1 m 高さに対する 1 cm 高さの空間線量率の比は 1/10 程度となった。この結果は、居住施設に設けられた雨どい等付随設備を含む生活環境により居住施設のすぐ近くには放射性物質の蓄積箇所が存在するものの、蓄積の効率、マスや側溝に限定して放射性物質が集積することによって距離の減衰効果が効果的に得られること、マスや側溝の構造によってはガンマ線の放出方向が制限されることによって、サーベイメータで測定された 1 cm 高さの空間線量率の高い数値に比して、部屋の中央における空間線量率の上昇への寄与は小さいことを示唆している。

1階

(単位： μ Sv/h)



屋外の空間線量率：0.88 μ Sv/h

図 5.3.3-1 空間線量率の測定結果 (家屋 A の事例) (単位： μ Sv/h)

1階

(単位： μ Sv/h)

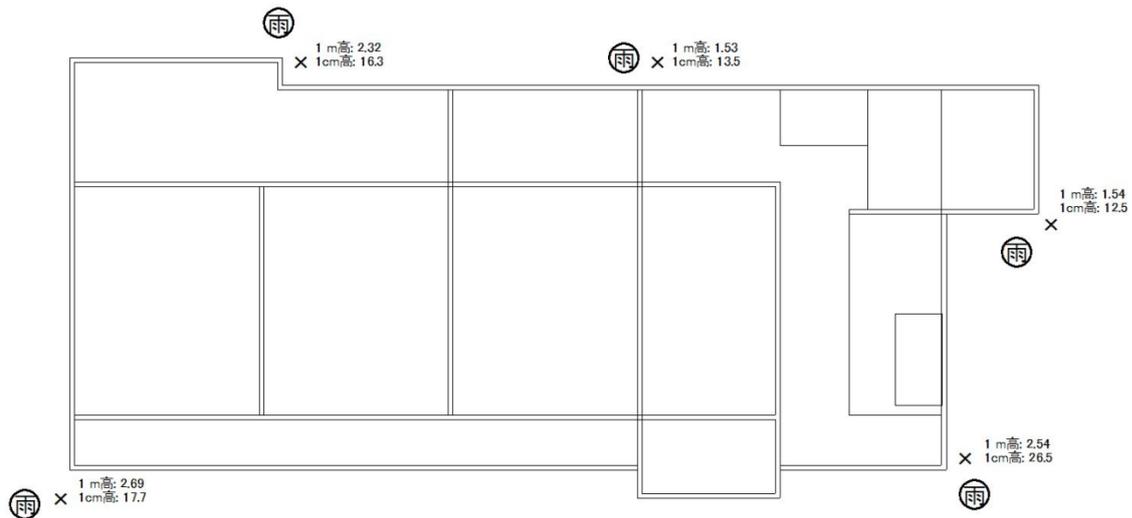


図 5.3.3-2 放射性物質の蓄積箇所の測定結果と蓄積経路による分類 (家屋 E の事例) (単位： μ Sv/h) (雨) は雨水マス、浸透マスを示す。

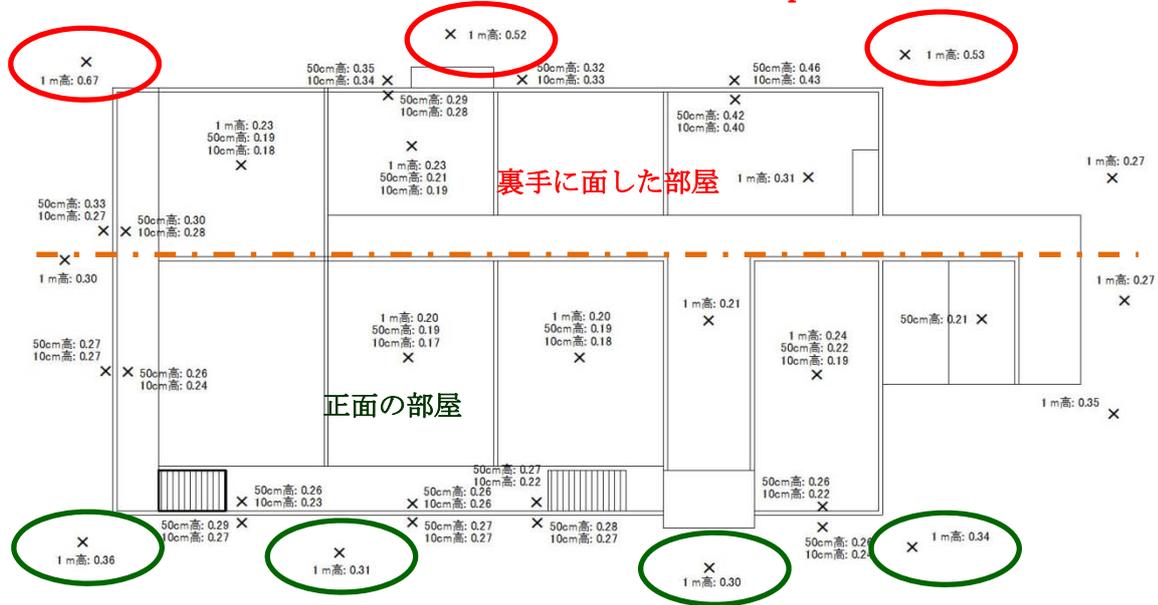
表 5.3.3-1 放射性物質の蓄積箇所での測定結果（家屋 E の事例）（単位： $\mu\text{Sv/h}$ ）

蓄積	1 cm 高さの空間 線量率	1 m 高さの空間 線量率	比(1m 高さの空間線量率/1cm 高さの空間線量率)
蓄積 1	16.3	2.32	1 / 7.0
蓄積 2	17.7	2.69	1 / 6.6
蓄積 3	26.5	2.54	1 / 10
蓄積 4	12.5	1.54	1 / 8.1
蓄積 5	13.5	1.53	1 / 8.8

1 階

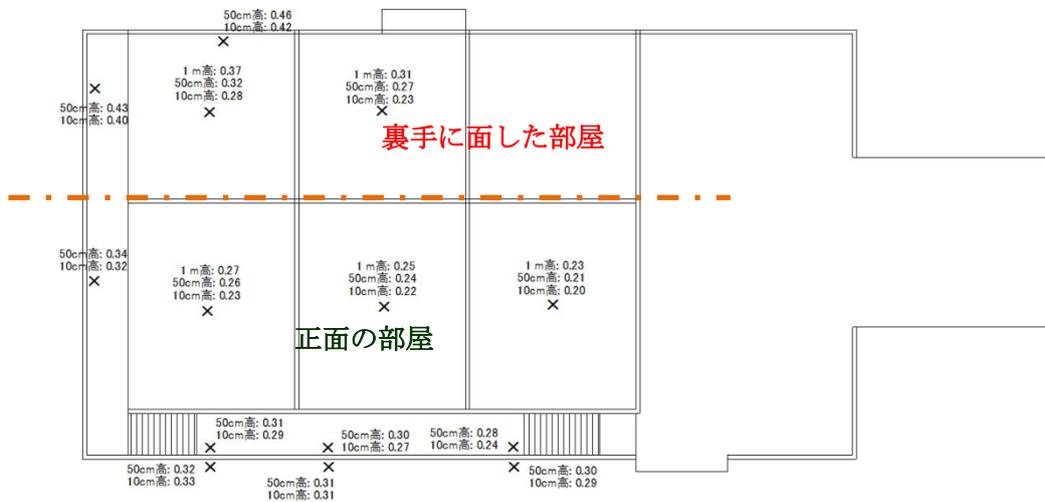
(単位：μSv/h)

屋外裏手居住施設近傍での測定結果
 平均値：0.573μSv/h



屋外正面居住施設近傍での測定結果
 平均値：0.328μSv/h

2 階



屋外の空間線量率：0.59 μSv/h

屋外裏手の空間線量率：1.03 μSv/h

(= 屋外の空間線量率 (0.59) × 屋外裏手居住施設近傍での空間線量率 (0.573) ÷
 (屋外正面居住施設近傍での空間線量率) 0.328)

屋外裏手と屋外の空間線量率の平均値：0.81 μSv/h (= (0.59+1.03) ÷ 2)

図 5.3.3-3 居住施設による空間線量率の減少比に使用した結果の分類 (家屋 C の事例)

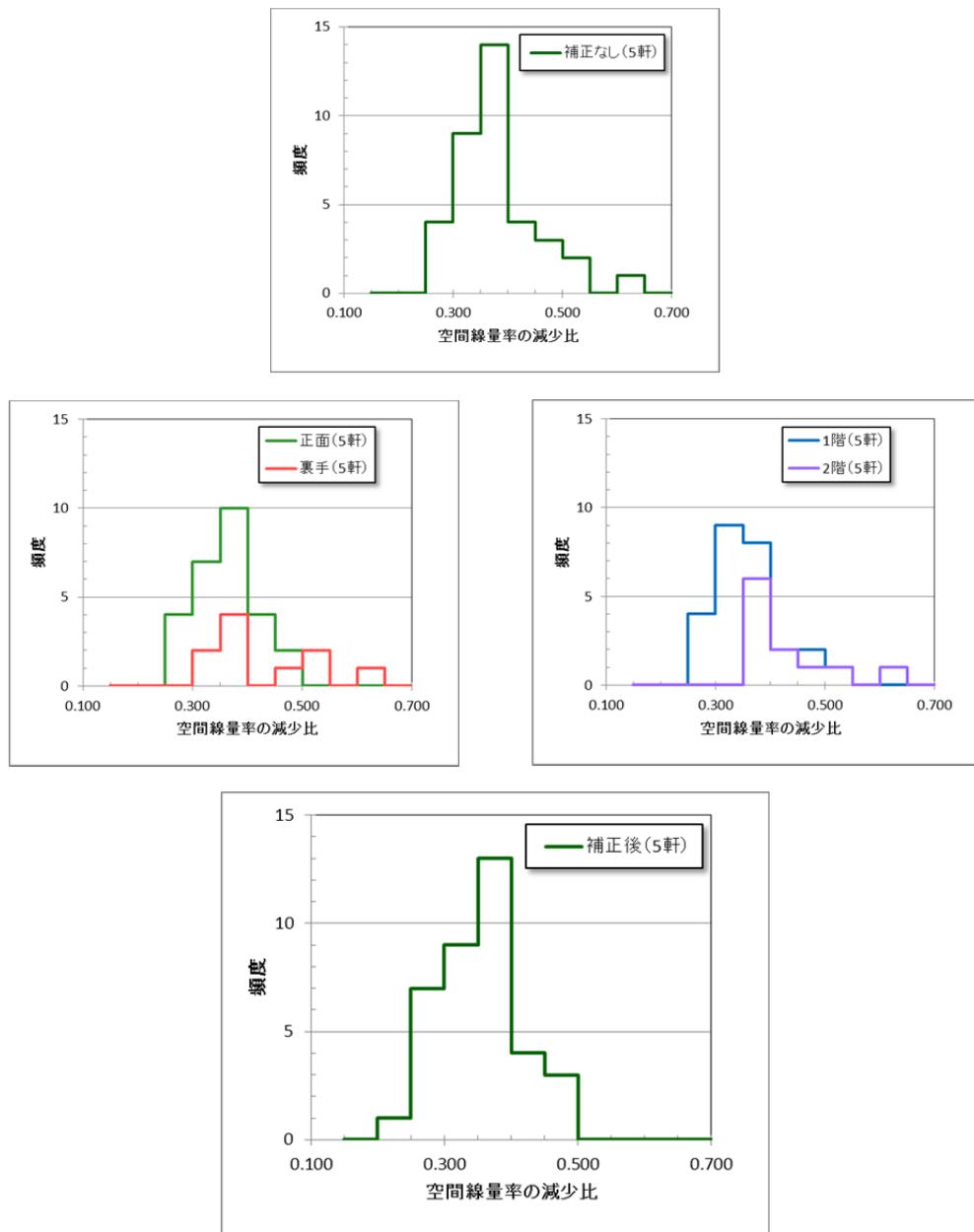
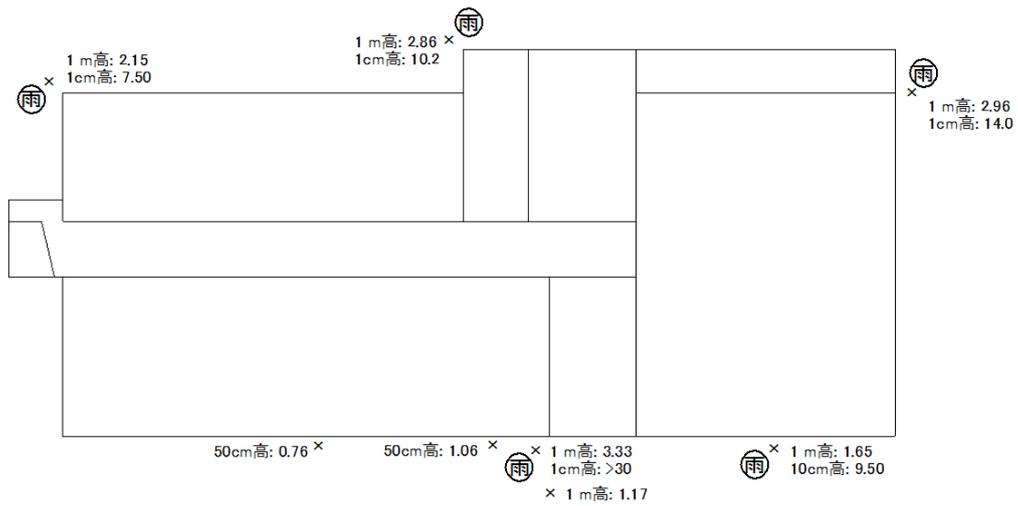


図 5.3.3-4 居住施設による空間線量率の減少比頻度分布 (家屋 5 軒の線量)
 上段：補正なし、中段左：正面と裏手 (補正なし)、
 中段右：1階と2階 (補正なし)、下段：補正後



(単位 : μ Sv/h)



屋外の空間線量率 : 1.83μ Sv/h (地上 1m 高さ)

図 5.3.3-5 放射性物質の蓄積箇所とその周辺の空間線量率の関係 (文教施設 A の事例)