

【最終報告書】

内閣府 原子力被災者生活支援チーム

個人線量と空間線量の定量把握のための測定事業

(独)放射線医学総合研究所

(独)日本原子力研究開発機構

目次

概要

第1章 事業の背景と経緯

1. 目的
2. 背景
 - (1) 理論的背景
 - (2) 地理的背景
 - (3) 政策的背景

第2章 調査

1. 事前調査
2. 本調査
3. 調査方法
4. 測定方法
 - (1) 空間線量率測定
 - (2) 個人線量測定
 - 1) 人が装着した個人線量計による測定
 - 2) ファントムに取り付けた個人線量計による測定
 - (3) ガンマ線エネルギースペクトル測定
 - (4) 走行サーベイ・歩行サーベイ
 - (5) ^{137}Cs ガンマ線標準照射場を用いた個人線量計の特性試験

第3章 結果

1. 空間線量率の区分別平均値
2. 本調査における代表的な波高分布
 - (1) 飯舘村蕨平公民館の前庭における波高分布
 - (2) 川内村中学校校庭中央で測定した波高分布
 - (3) 飯舘村飯樋地区の個人家屋で測定した波高分布
 - (4) 川内村熊ノ坪地区の個人家屋内で測定した波高分布
3. 個人線量計による測定結果
 - (1) 調査員が装着した個人線量計による個人線量の測定結果
 - (2) ファントムに装着した個人線量計による被ばく線量測定結果
 - 1) 実際の環境放射線場における個人線量計の特性
 - 2) 個人線量計の読み取り値と測定したガンマ線エネルギースペクトルから

推定した実効線量 $E(ROT)$ の関係

3) ^{137}Cs ガンマ線標準照射場を用いた個人線量計の特性試験

- 4. 建屋等による遮蔽効果
 - (1) 建屋等による低減効果
 - (2) 車両による低減効果

第4章 考察

- 1. 個人被ばく線量
 - (1) 個人線量計の特徴
 - (2) 個人被ばく線量測定値と空間線量との関係
 - (3) 個人被ばく線量測定値と実効線量との関係
- 2. 建屋等による低減効果
 - (1) 低減係数－線量率モデル
 - (2) モデルと実測値の比較
- 3. モデルケースにおける年間被ばく線量
 - (1) 線量推計の詳細
 - (2) 推計結果
- 4. 航空機サーベイデータとの比較

第5章 結論

- 1. 個人線量計測定値の妥当性
- 2. 空間線量から個人被ばく線量を推計することの妥当性
- 3. 個人被ばく線量の推定の可能性
- 4. 航空機サーベイデータの個人被ばく線量推定への活用の可能性

第6章 今後に向けた課題

- 1. 空間線量率から個人線量の推定
- 2. 事故以前の空間線量率（バックグラウンド）の評価
- 3. エネルギースペクトルデータの活用
- 4. 生活時間の推定

謝辞

概要

東京電力(株)福島第一原子力発電所における事故に係る避難指示区域の見直しが完了するとともに、平成 26 年度から避難指示区域の解除が始まる予定である。

避難住民の帰還後に想定される個人被ばく線量の把握に資するために、(独)放射線医学総合研究所と(独)日本原子力研究開発機構は共同で、避難指示解除準備区域・居住制限区域内の代表的な生活場所において個人線量計を用いた実測・評価を行い、空間線量と個人線量当量の関係について実測・実験的に実証するとともに、帰還後想定される社会生活パターンにおける個人線量の推定を試みたので、その結果について報告する。

第 1 章 事業の背景と経緯

1. 目的

国は、平成 25 年 8 月にはすべての避難指示対象市町村において、避難指示区域の見直しを完了した。また、避難指示解除に向けて、原子力規制委員会は線量水準に応じた防護措置の在り方に関して、同年 11 月に取りまとめを行い、「帰還に向けた安全・安心対策に関する基本的考え方（線量水準に応じた防護措置の具体化のために）」（平成 25 年 11 月 20 日原子力規制委員会提言）を提言した。その中で、個人が受ける被ばく線量に着目することの重要性について述べ、「帰還後の住民の被ばく線量の評価は、空間線量率から推定される被ばく線量ではなく、個人線量を用いることを基本とすべきある。」としている。しかしながら、同時に「帰還する前から、帰還後に想定される住民の個人線量の水準について把握しておくことが重要である。」ことにも言及している。平成 26 年 4 月には田村市都路地区の避難指示解除が決定されたところであり、他地域においてもインフラや生活関連サービスの復旧、除染の進捗等の条件が整い次第、避難指示が解除され、住民の帰還が進むことが想定される。本事業では、今後進んでいくと思われる避難指示解除に向け、住民が帰還した際の被ばく線量を適切に把握するため、個人被ばく線量の空間線量率からの推計、及び個人線量計による個人線量の測定を適切に実施できるよう、空間線量と個人線量の関係等について実証調査等を行う。具体的目的を以下に示す。

1. 福島県内の避難地域で、住民が着けた個人線量計により個人被ばく線量が正しく評価できることの調査
2. 空間線量率と個人線量との関係
3. 建屋等による遮蔽効果
4. 生活パターンの変化による個人線量の変化の把握

2. 調査の背景

(1) 理論的背景

放射線の線量を表す量には、1. 物理量、2. 防護量、3. 実用量の三種類がある。物理量

は、物理学的に定義され、実際に測定可能な量で、代表的なものに、照射線量・吸収線量・空気カーマがある（単位はそれぞれ C/kg、Gy、Gy）。防護量は、防護（管理・規制）のために用いられる量で、放射線影響の疫学的・生物学的知見に基づいており、等価線量と実効線量の二種類がある（共に同じ単位の Sv）。しかしながら、等価線量と実効線量は、人体各部の組織・臓器の吸収線量に基づいて定義されているため、測定による直接的な評価が不可能である。そこで、防護量の代替として定義され、測定対象となるのが実用量である。実用量には、周辺線量当量と個人線量当量がある。

周辺線量当量は、ICRU 球（ICRU によって計算上定義された直径 30cm、密度 1g/cm³、元素組成が生体等価な球体ファントム）を用いて定義される。同球の表面から 1cm の深さの点の吸収線量を 1cm 線量当量とよび、実効線量の代わりに用いる。70 μm の深さの線量は 70 μm 線量当量とよび、皮膚の等価線量の代わりに用いる。個人線量当量は、ICRU スラブファントム（30cm×30cm×15cm、密度、元素組成は ICRU 球と同じ）の深さ 1cm 及び 70 μm の点の線量として定義される。定義上、周辺線量当量は、対象とする放射線が一方から入射するとした場合の線量であり、個人線量当量は、前面 2π 方向から入射する放射線により生じる線量である。通常想定される放射線のエネルギー分布、方向分布の条件下では、実用量の方が防護量よりも大きな値を示す。すなわち、保守的な評価が行われるようになっている。外部被ばくの管理には、環境モニタリングに周辺線量当量が、個人モニタリングに個人線量当量が測定される（共に同じ単位の Sv）。サーベイメータなどで測定される量で Sv 表示のものは周辺線量当量、個人線量計で測定される量は個人線量当量である。実際、サーベイメータは、周辺線量当量のレスポンスに合うように設定され、校正されているものがあり、そのまま直読することで、実効線量の代わりの周辺線量当量を評価することができる。個人線量計は、個人線量当量をそのまま評価可能なように設計されている。これらの外部被ばくの防護に係る諸量の関係を図 1-1 に示す。

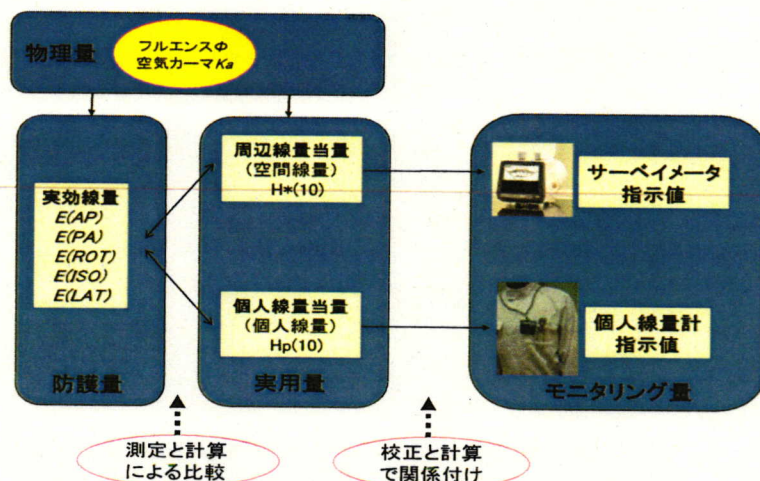


図 1-1. 外部被ばくの防護に係る諸量の関係図

法令上の線量限度は、防護量の等価線量と実効線量で定められている（公衆は、1mSv/年）。最適化における参考レベル（20mSv など）も、本来は実効線量が用いられるべきであるが、福島原子力発電所事故後の参考レベル設定には、周辺線量当量の値が使われている。これは、法令では実効線量の測定には、1cm 線量当量（周辺線量当量及び個人線量当量）を測定することが定められているからと思われる。一方、住民に配布されている個人線量計の表示値は個人線量当量である。上記の通り、これらは定義が異なることから、放射線を取り扱う施設における防護には十分な実用性があるが、被ばく線量の評価という意味では、同一放射線場における評価（測定）値にも違いが出ることに留意しなければならない。相互に換算するためには、対象となる放射線の種類・エネルギー・入射方向の情報が必要である。それぞれの条件下における各線量当量の値は、ICRP Publ. 74 に MIRD ファントムのモンテカルロシミュレーション結果として示されている。今回の福島県のような、実際の放射線場における線量は、照射条件が複雑になっているため、測定により確認することが望ましい。

（２）地理的背景

本事業では、当初、避難指示解除準備区域として 6 か所（田村市、川内村、檜葉町、葛尾村、南相馬市、川俣町）が候補として挙げられた。調査対象としてはまず、具体的に早期帰還が検討されている田村市と川内村を選んだ。しかし、これら地域では空間線量率が低いことから、十分な精度で積算線量測定をする場合、長時間測定が必要であり、有意な個人線量被ばく量进行评估する、また、ファントム測定を実施する観点から、比較的、空間線量率の高い地域も含め、より統計的精度の高いデータを得ることも重要であった。以上の観点から、田村市都路町、川内村、飯舘村を対象地域とした。但し、後者 2 つの地域については範囲が広いため、具体的にどの地区を選定するかは、自治体に判断をお願いした。

測定を実施する場所としては、最終的に帰還住民の生活パターンによる年間実効線量の推計を行うために、典型的な生活空間として ①屋内、②家屋周辺、③学校等の公共施設内とその周辺、④田畑、⑤山林、⑥広場（駐車場等） を定めた。家屋については個人の家屋をお借りする観点から、自治体を通じて調査対象とすること願いいれた。

今回の測定対象地区はいずれも山間部であり、山が比較的近くまで迫っているという特徴がある。一方で、片側が海に面している広い平野部のある南相馬市や檜葉町とは地理的な条件が異なっている。従って、檜葉町等、比較的近い将来避難指示解除の可能性のある、地理的に異なる特徴を持つ地域については、今後検討する必要がある。

（３）政策的背景

これまで避難指示区域の設定においては、航空機モニタリングにより測定された地上 1m 空間線量率の値から推定された年間積算線量をもとに行われてきたが、この年間積算線量は当該地域にいる人の年間被ばく線量（実効線量）と同じように扱われてきた。多くの自治

体で住民に個人線量計を配布し、実際に個人線量を測ったところ、実測値は推定値に比べ3分の1から7分の1という低い値であることが分かった（第1回帰還に向けた安全・安心対策に関する検討チーム関係省庁持ち込み資料）。当初、航空機モニタリング結果と個人被ばく線量実測値との差を系統的に説明できるのではないかと期待があり、それが本事業を開始するに当たっての、行政側の大きなモチベーションとなっていた。しかし、実際には人の生活様式の多様性があり、行動パターンまで考慮に入れなければ両者の差は説明できないだろうことは明白であった。結局、航空機モニタリング結果から個人被ばく線量実測値を推定しようとする観点は本事業の主な目的からは外された。

発災後3年目を迎え、避難指示の解除が政策的観点から検討され始めた。その際、避難住民の帰還に向けた準備として2つの懸念が出された。まず、避難指示解除の下に故郷に帰還した後、各個人は行政が配布する個人線量計を装着し、実際の測定値で自己管理することを進めることになるが、個人線量計の指示値は正しく“実効線量”を示すのか、ということ。そして、帰還した住民の被ばく線量がどれくらいなのかということである。その値を把握し、その水準を明確にすることが必要とされ、この水準が明確に示されることが帰還事業の促進に繋がると期待された。

このような行政的な観点からは、今後、近い将来避難指示が解除される可能性の自治体を調査対象にすることが、より説得力があると考えられた。今回対象とした地域はいずれも避難指示解除準備区域を有しており、優先的に除染が進展することが期待され、そう遠くない時期に避難指示解除される可能性のある地域であった。特に田村市都路地区の20km圏内は、その全域が避難指示解除準備区域であり、平成25年6月には除染は終了し、8月から長期の特例宿泊が許可された。そして平成26年4月からは避難指示が解除されることが決まっている。川内村は避難指示解除準備区域（134世帯276人）、居住制限区域（18世帯54人）、そのほかに20km圏外の旧緊急時避難準備区域（988世帯2475人）を有している。目下、避難指示解除に向けた意見交換等が行われており、避難指示解除は比較的早いと思われる。対象地域の中で飯舘村は帰宅困難区域と居住制限区域を広い範囲に持ち、避難指示解除準備区域は4行政区に過ぎず、避難指示解除に向けて住民との話し合いは進んでおらず、まだ時間はかかりそうである。除染は住宅とその周辺が平成26年中に終わる見込みであるが、農地がすべて終わるのは平成28年中の見込みである。

第2章 調査

調査は原子力被災者生活支援チームから指示のあった自治体（田村市、川内村）並びに調査実施主体から要望した自治体（飯舘村）に対して行った。各自治体から指定若しくは推奨された地区を具体的な対象地区として、空間線量率、その放射線場のエネルギースペクトル、並びに個人に装着した個人線量計で個人線量を測定すると共に、必要に応じて個人線量計校正用ファントム（以下「ファントム」という）を1～2日間設置して、人が長時間そこに居たことを模擬し、それに装着した個人線量計にて個人線量を測定した。

調査実施に際しては各自治体の対象区域の事前調査を行い、その上で本調査を行った。
事前調査と本調査の概要は以下の通りである。

1. 事前調査

- ① 8月7日 田村市 都路町古道地区
- ② 8月21日 川内村 貝ノ坂地区
- ③ 8月29日 飯舘村 飯樋地区、小宮地区、蕨平地区、飯舘中学校

2. 本調査

- ① 9月2～5日 飯舘村の以下の地区
(a)飯樋地区、(b)小宮地区、(c)飯舘中学校と近隣の運動施設、(d)蕨平公民館、
(e)飯舘村公民館
を対象に調査を実施した。
(a)～(e)の地区は、何れも居住制限区域である。
- ② 9月5, 6日 田村市都路町の以下の地区
(a)都路行政局、(b)都路中学校、(c)合子集落農事集会所、(d)地見城多目的研修
集会施設、(e)個人所有の農地(2箇所)
を対象に調査を実施した。
(a)、(b)は20km圏外で居住地域にあるが、それ以外は避難指示解除準備区域で
ある古道地区にある。同地区は100%除染が完了したとされている。
- ③ 9月17, 18日 川内村の以下の地区
(a)貝ノ坂地区、(b)五枚沢地区、(c)川内中学校、(d)北川原地区、(e)熊ノ坪地区、
(f)荻地区(荻集会所)、(g)貝ノ坂地区山林(村有林)
を対象に調査を実施した。
(a)、(f)、(g)は居住制限区域であり、(b)は避難指示解除準備区域とされてい
る。その他の地区は20km圏外で居住地域である。

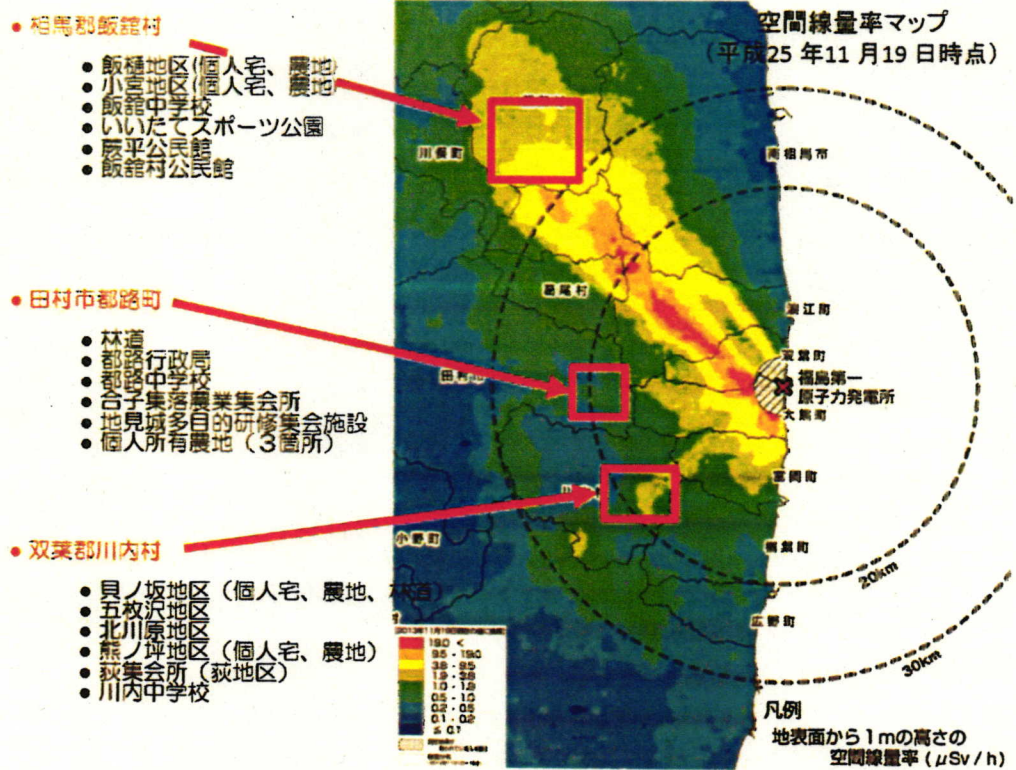


図2-1. 調査対象地区全体図 (航空機サーベイ結果を示す地図に記入。航空機サーベイ結果の地図は原子力規制委員会モニタリング情報のウェブページから転載。)

URL : http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/9000/8909/24/362_20140307.pdf



図2-2. 飯館村における調査対象地域

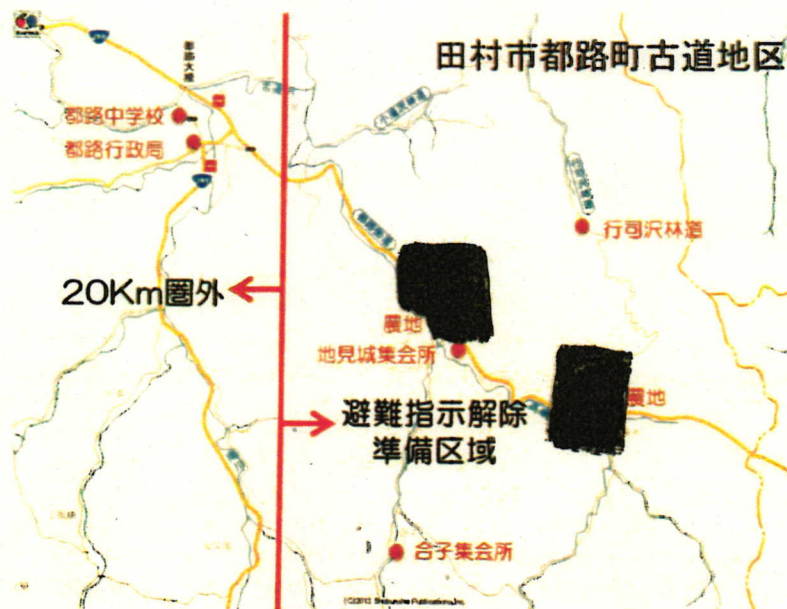


図 2 - 3. 田村市都路町古道地区における調査対象地域

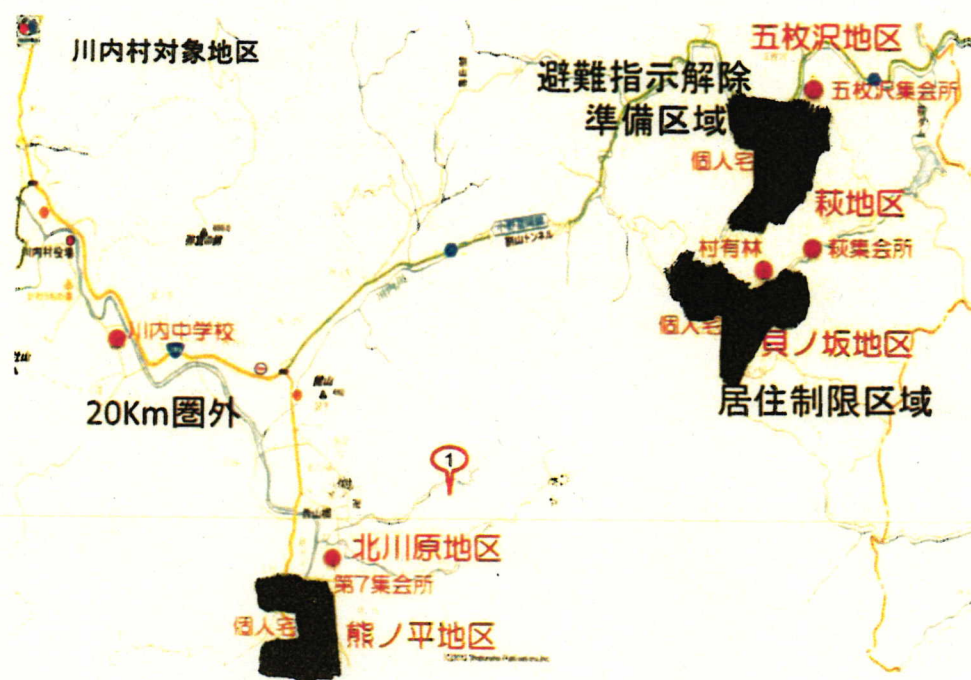


図 2 - 4. 川内村における調査対象地域

3. 調査方法

以下の場所において空間線量率、ガンマ線エネルギースペクトル、個人線量を測定し

た。これらの測定により、木造家屋などにおける個人線量の推定、空間線量率の高い場所、屋内と屋外の空間線量率の関係などに関する知見が得られる。

① 民家：各自治体より推薦戴いた個人の住宅において、

- ・屋内と屋外の詳細な空間線量率を測定
 - ・最も滞在時間が長いと思われる場所（例えば居間）や寝室等にファントムを設置し、個人線量を測定（24 時間以上）
 - ・場合によっては家屋の庭にもファントムを設置して、個人線量を測定
- これにより木造家屋における個人線量の推定、また、家屋内の空間線量率の高い所等、屋外との関係に関する知見が得られると期待できる。

② 学校：

- ・校舎内、校舎周辺及び校庭の詳細な空間線量率を測定
- ・教室等の校舎内の代表的な部屋を開放して戴き、ファントムを設置し、個人線量を測定（24 時間以上）
- ・校庭にもファントムを設置し、個人線量を測定

③ 公民館等：

- ・内部に立ち入りが可能な場合は屋内と屋外の詳細な空間線量率を測定
- ・内部に立ち入りができない場合は屋外の空間線量率を測定

④ 農地：

- ・各自治体より推薦された個人所有の農地において、詳細な空間線量率を測定
- ・状況に応じてファントムを設置し、個人線量を測定（24 時間以上）

⑤ 山林：

- ・自治体や個人所有の山林、若しくは営林署などから許可を受けた山林において、詳細な空間線量率を測定
- ・状況に応じてファントムを設置し、人体を模擬した個人線量を測定（24 時間以上）

⑥ その他：

調査対象場所周辺の道路等のサーベイを実施。

4. 測定方法

(1) 空間線量率測定

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製 TCS-172B）を用いた。時定数を 10 秒とし、測定開始から 30 秒経過後、5 秒間隔で 5 回計測し、その平均値を空間線量率とした。計測向きも記録した。測定に際しては、身体によるガンマ線の遮蔽を考慮して、サーベイメータはできるだけ体から離れた。



図 2 - 5. 山林内での放射線波高分布の測定風景

屋内：個人家屋では居室を中心に数部屋を対象とした。各室内の中心、四方において高さ 1m で測定した。部屋の中心では、方向分布を調べるために、体の向きを変えて四方向に向いて空間線量率を測定した。個人の姿勢が個人線量へ及ぼす影響を調べるために、高さを変えて空間線量率を測定した。

公共の建物（公民館、学校等）内部でも、基本的には個人家屋と同様に測定したが、一般にこれらの建物では窓が広いことから、窓のある部分と窓のない部分での差異にも注目した測定を行った。

屋外：家の周囲を壁から 1～3m ほど離れて、4～5m 間隔で屋内と同様に、高さ 1m で空間線量率を測定した。校庭などの広いエリアも同様の方法で、4～5m の間隔で 1 m の高さで空間線量率を測定した。特に校庭など広い場所では、歩行サーベイの方法を利用した。

（2）個人線量測定

以下の 2 つの方法で、個人線量計を用いて個人線量を測定した。

（ア）実際に人体に装着する方法

（イ）個人線量計校正用ファントムに装着する方法

1）人が装着した個人線量計による測定

個人線量計は、以下の 4 種類を装着し、作業開始前に測定を開始し、作業終了時に内部メモリーに蓄積されたデータを読み出した。後日、各個人の行動記録と GPS の位置情報を組み合わせ、屋内と屋外のさまざまな滞在場所での個人線量を、個人線量計（ ）の読み値から導出した。

（ア）（ ） 1 分毎、0.001 ・ Sv 単位でデータ取得。特別に個人線量計測用に改良したものを使用。

（イ）（ ） 1 分毎、1 ・ Sv 単位でデータ取得

(ウ) () 1 時間毎、0.01 ・ Sv 単位でデータ取得

(エ) () 1 ・ Sv 増加ごとにデータ取得

2) ファントムに取り付けた個人線量計による測定

個人線量計は以下の 5 種類を用いた。

(ア) () 特別に、個人線量計測用に改良したものを使用。

(イ) ()

(ウ) ()

(エ) ()

(オ) ()

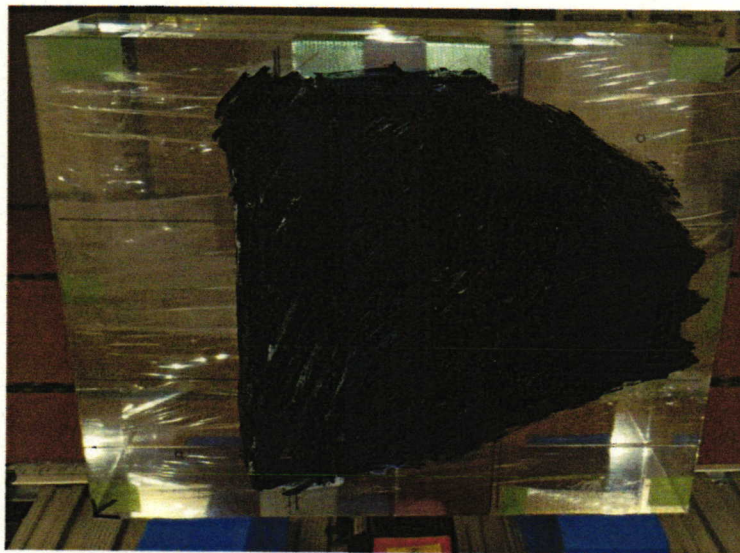


図 2-6. 測定に使用した個人線量計

(左から順に (), (), (), (), ())

人体における放射線の散乱、遮蔽を模擬するためのファントムとして、日本工業規格 JIS Z 4331 に定める個人線量計校正用ファントム (30cm×30cm×15cm メタクリル樹脂板 (P-30) または 40cm×40cm×15cm メタクリル樹脂板 (P-40)) を用いた。ファントムの設置位置は、原則としてファントムの中心が地面または床面から高さ 1m の位置になるようにした。但し、個人宅の一箇所では、人の就寝時の姿勢を模擬するために床に直接設置した。

個人線量計は、ファントムの両面に 1 種類毎に 1 個または 2 個ずつ、線量計のセンサー部分が P-30 では中央の 10cm×10cm、P-40 では 20cm×20cm の範囲内に入るように設置した。

ファントムを設置した場所の空間線量率の測定にはガンマ線用 NaI (Tl) シンチレー

シヨンサーバイメータ（日立アロカメディカル製 TCS-172B）を用いた。同場所の空間線量率分布を確認するため、ファントム中心及び中心から前後、左右それぞれ1mと2m、上下0.5mの位置で空間線量率を測定した。さらに NaI(Tl)シンチレーション検出器（2インチ直径、2インチ長さ）を組み込んだガンマ線スペクトロメーター（BNC社製 SAM-940 スペクトロサーバイメーター）を用いて、エネルギースペクトルを測定した。なお、アンフォールディングに使用したスペクトロメーターの応答関数は、MCNP-4C コードによる計算結果を用いて作成されており、スペクトロメーターの校正は原子力機構の原子力科学研究所放射線標準施設の校正用 ^{137}Cs 及び ^{60}Co 線源を用いて行われている。

表 2-1. 実験に用いた電子式個人線量計の仕様

製品名					
型式					
メーカー					
検出器	シリコン半導体検出器				
測定線種	γ (X) 線	γ (X) 線	γ (X) 線	γ 線	γ (X) 線
測定範囲	積算線量 0.000mSv～ 99.99mSv 線量率 0.00 μ Sv～ 999.9 μ Sv	積算線量 0.001mSv～ 999.9mSv 線量率 0.001mSv/h～ 999.9mSv/h	積算線量 1 μ ～10Sv (表示は 0.1 μ Sv～) 線量率 0 μ Sv/h ～1.000Sv/h	積算線量 0.1 μ Sv～ 99.9999mSv 線量率 0.1 μ Sv～ 1000 μ Sv	積算線量 1 μ Sv～ 10Sv 線量率 0.1 μ Sv/h～ 20Sv/h
測定精度	積算線量 $\leq \pm 10\%$ 線量率 $\leq \pm 15\%$	線量当量 $\leq \pm 10\%$ 線量当量率 $\leq \pm 10\%$ ($\sim 100\text{mSv/h}$)	積算線量 $\leq \pm 10\%$ 線量率 $\leq \pm 20\%$	線量率 $\leq \pm 10\%$ (2 μ Sv/h～ 1000 μ Sv/h)	積算線量 $\leq \pm 10\%$ (^{137}Cs) $\leq \pm 19\%$ (X線16KeV) 積算線量 $\leq \pm 20\%$ ($\sim 10\text{Sv/h}$ 、 ^{60}Co 及び X線20KeV)
測定エネルギー 範囲	60KeV～ 1.5MeV	35KeV～3MeV	50KeV～ 1.5MeV	JIS Z 4312の G2型を満足 約50KeV～	15KeV～7MeV
エネルギー 依存性	$\leq \pm 30\%$	$\leq \pm 20\%$ (60KeV～ 1.5MeV)	$\leq \pm 30\%$	^{60}Co γ 線で $\leq \pm 30\%$	$\leq \pm 20\%$
方向特性	$\leq \pm 25\%$ 垂直 $\pm 180^\circ$ 水平 $-60^\circ \sim$ $+240^\circ$	$\leq \pm 15\%$ 水平垂直 $\pm 60^\circ$	$\leq \pm 20\%$ 水平垂直 $\pm 75^\circ$	$\leq \pm 30\%$ 水平垂直 $\pm 60^\circ$ G2型を満足	-29% $\sim +67\%$ $\pm 60^\circ$

(3) ガンマ線エネルギースペクトル測定

NaI(Tl)シンチレーション検出器（3インチ直径、3インチ長さ）を用いて、建屋内部と屋外の代表的なポイントの高さ1mで、10分間、エネルギースペクトルを測定した。必要に応じて高さを変えた測定も実施した。身体による散乱吸収を減らすために、測定器は三脚に固定し、測定者はできるだけ離れた。

(4) 走行サーベイ・歩行サーベイ

移動時の空間線量率を測定するために、放医研で開発したラジプローブシステムを用いた。これは、検出器として CsI (TI) シンチレーション式スペクトロサーバイメータ（ミリオンテクノロジーズ社製 HDS-100G）を用い空間線量率を測定すると共に、GPS と組み合わせて測定位置も同時に記録した。測定は 5 秒間隔で行い、電波時計を基にした時刻もデータとして記録される。また、これらデータは衛星通信を経由しリアルタイムで放医研のサーバーにも記録された。

走行サーベイは主に事前調査で行った。自動車のダッシュボードに検出器を置き、走行中の車内の空間線量率を連続測定した。

歩行サーベイでは校庭等の広い場所の空間線量率分布を測定する際に、測定者が手持ちし、歩行しつつ測定した。手持ちに際しては体幹部から 50 cm 以上離れた。

(5) ^{137}Cs ガンマ線標準照射場を用いた個人線量計の特性試験

ファントムに装着した個人線量計の応答を実験的に検証するため、JAEA核燃料サイクル工学研究所計測機器校正施設に設置されている ^{137}Cs ガンマ線照射装置を用いて照射試験を実施した。この実験では、放射性物質が地表に広く沈着した状況における個人線量計の照射ジオメトリを模擬するため、線量計を装着したファントムを回転させ（回転照射ジオメトリ）、照射の基準点における周辺線量当量 $H^*(10)$ 等と個人線量計の指示値との関係を調査した。実験に用いた個人線量計は、福島県内で住民の個人線量測定に用いられている電子式個人線量計5種類とした。実験に用いた線量計の仕様は表 2-1 の通りである。

また、ファントムの大きさ及び形状の違いによる影響を確認するため、実験には表 2-2 に示す P-30、P-40 及び RANDO の3種類のファントムを使用した。照射の基準点となるファントムの回転軸の位置は、個人線量計の実効中心（P-30、P-40 の場合）あるいは、ファントムの中心（RANDO ファントムの場合）として、後者の場合には、照射の基準点と線量計の実効中心の違いに関する補正を行った。

表 2-2. 実験室で用いた個人線量計校正用ファントム

名称	形状・寸法	材質	準拠規格
P-30	直方体 300W×300H×150D mm	メタクリル樹脂	JIS Z 4331
P-40	直方体 400W×400H×150D mm	メタクリル樹脂	JIS Z 4331
RANDO	人体形状 胸囲95cm、全長（頭部～大腿部上側） 97.5cm	生体等価プラスチック	

第3章 結果

1. 空間線量率の区分別平均値

屋内の各部屋を中心とそれ以外、屋外の周囲の多数点を実測し、その平均値と標準偏差を表3-1に示した。その横の括弧内の数値は、それぞれの測定場所で測定したポイント数を示す。例えば民家1の家屋内の場合、35点の異なる場所で測定した空間線量率の平均値と標準偏差を示している。また、歩行サーベイで示した値は、歩行しつつ5秒毎に測定した値の平均値とその標準偏差を示す。

屋外の空間線量率は、落ち葉、樹木、裏山の放射能汚染が寄与する線量率が高い場所が見られ、その放射能汚染により、屋内の不均一な線量分布が確認された。測定結果の標準偏差が大きい測定地点（例えば、25. 学校の周囲）では、住宅、学校の裏側の除染が未実施の山林の影響により、線量率分布に勾配があった。山林に近い方で空間線量率が高く、その反対側などでは建屋のガンマ線遮蔽により空間線量率が低くなっている。

屋内の空間線量率の測定結果は2階の方が1階よりも高い傾向、床面に近い方で線量率が低くなる傾向を示した。ベランダと窓際は線量率が高い傾向を示す。屋外は逆に、地面に近いほど線量率が高い傾向を示した。田村市都路町と川内村の学校校舎内（表3-1の26. 学校2と27. 学校3）の空間線量率は、校庭や校舎の周辺の除染が進んでいるため、バックグラウンドレベルまで下がっている。また校舎内の場所ごとの線量率分布に大きな差は見られなかった。

しかし一般的には、屋内の放射線環境と一口に言っても、かなり複雑な空間線量率分布を示しており、この複雑な分布により個人線量評価が難しくなると考えられる。

表 3-1. 空間線量当量率の実測値 (単位 $\mu\text{Sv/h}$)

	区 分	地 域		平均値 (測定点の数)	備考
1	民家 1	飯舘村飯樋地区	家屋内	0.78±0.21 (23)	居住制限区域、未除染
			周辺	2.02±0.47 (24)	
2	民家 2	飯舘村小宮地区	家屋内	1.23±0.22 (13)	居住制限区域、未除染。 家屋裏は山林。
			周辺	2.91±0.99 (17)	
3	民家 3	川内村貝ノ坂地区	家屋内	0.39±0.07 (19)	居住制限区域、除染済み
			周辺	0.75±0.12 (24)	
4	民家 4	川内村五枚沢地区	家屋内	0.27±0.04 (14)	解除準備区域、除染済み
			周辺	0.58±0.10 (25)	
5	民家 5	川内村熊ノ坪地区	家屋内	0.22±0.02 (18)	居住区域、除染対象外地区
			周辺	0.30±0.08 (9)	
6	公民館 1	飯舘村蕨平	家屋内	2.62±0.61 (8)	居住制限区域、未除染
			周辺	5.64±0.40 (18)	
7	公民館 2	田村市都路町	家屋内	0.17±0.01 (5)	解除準備区域、除染済み
			周辺	0.21±0.02 (6)	
8	公民館 3	田村市都路町	家屋内	0.14±0.01 (6)	解除準備区域、除染済み
			周辺	0.20±0.05 (6)	
9	公民館 4	川内村北川原地区	家屋内	0.12±0.01 (5)	居住区域、除染対象外地区
			周辺	0.16±0.01 (5)	
10	公民館 5	川内村五枚沢地区	周辺	0.43±0.13 (12)	解除準備区域、除染済み
11	公民館 6	川内村荻地区	周辺	1.40±0.23 (10)	居住制限区域、除染済み
12	農地 1	飯舘村飯樋地区		2.37±0.04 (5)	居住制限区域、除染済み
13	農地 2	飯舘村小宮地区		3.28±0.03 (4)	居住制限区域、未除染
14	農地 3	川内村貝ノ坂地区		1.22±0.35 (9)	居住制限区域、除染済み
15	農地 4	川内村五枚沢地区		1.25±0.05 (6)	解除準備区域、除染済み
16	農地 5	川内村熊ノ坪地区		0.62±0.05 (45)	除染対象外
17	農地 6	田村市都路町		0.42±0.02 (5)	解除準備区域、除染済み
18	農地 7	田村市都路町	あぜ道	0.27±0.08 (12)	解除準備区域、除染済み。
19	山林 1	飯舘村小宮地区		3.42±0.17 (4)	居住制限区域、未除染

20	山林 2	川内村貝ノ坂地区		1.96 ± 0.45 (4)	居住制限区域、未除染
21	広場 1	飯舘村草野地区		1.20 ± 0.13 (14)	解除準備区域、除染済み
22	広場 2	飯舘村運動施設		2.68 ± 0.13 (9)	居住制限区域、除染済み
23	広場 3	飯舘村運動施設		2.98 ± 0.26 (10)	居住制限区域、除染済み
24	公共機関	田村市都路町	建屋内	0.13 ± 0.01 (5)	居住区域、除染済み
			周辺	0.19 ± 0.04 (9)	
25	学校 1	飯舘村	校舎	0.27 ± 0.0 (25)	居住制限区域、除染済み 但し、周辺の山林は未除染
			周辺	2.22 ± 0.38 (歩行サ)	
			校庭	2.63 ± 0.05 (歩行サ)	
26	学校 2	田村市都路町	校舎	0.10 ± 0.0 (41)	居住区域、除染済み 但し、中庭の樹木は未除染
			周辺	0.22 ± 0.05 (30)	
			校庭	0.14 ± 0.01 (歩行サ)	
27	学校 3	川内村	校舎	0.08 ± 0.0 (25)	居住区域、除染済み
			周辺	0.15 ± 0.02 (15)	
			校庭	0.13 ± 0.02 (歩行サ)	

注記：(歩行サ) は歩行サーベイを示す。

2. 本調査における代表的な波高分布

ここでは、計測した波高分布を図 3-1～3-4 に示すと共に、測定場所の放射線場（どのような放射線がどのように分布しているか等）の特徴を示す。最終的には波高分布から測定器の応答関数を使用して、ガンマ線エネルギースペクトルを導出する。これにより、個人の被ばく線量をより詳しく解析することが可能となる。

(1) 飯舘村蕨平公民館の前庭における波高分布

最も空間線量率が高い場所で測定した波高分布の例として、結果を図 3-1 に示す。明確な Cs-134 と Cs-137 ピークは林や樹木に近いほど大きくなることから、未除染の林や樹木からのガンマ線が空間線量に大きく寄与していると考えられる。またセシウム後方散乱ピーク (188keV) を確認できることから、林などからのガンマ線が周囲の土壌、空気で散乱して、飛来していると考えられる。建屋の入口で計測されたセシウムピークは、他の場所よりも小さくなっていることから、建屋入口のコンクリート敷きなどからのガンマ線は少ないと考えられる。2MeV 以上のタリウム成分は、セシウムピークの大きさに関係なく一定であることから、これらの場所の自然放射線成分は一定であると考えられる。

(2) 川内中学校校庭中央で測定した波高分布

十分に除染された場所で測定された波高分布の例として、結果を図 3-2 に示す。明確なセシウムピークを確認できず、K-40 と Tl-208 の自然放射線による明確なピークを確認できることから、校庭、校舎の周囲が十分に除染されていると考えられる。僅かながら確認できる小さなセシウムピークは遠方の山林などに付着しているセシウムから飛来するガンマ線によると考えられる。

(3) 飯舘村飯樋地区の個人家屋内で測定した波高分布

比較的空間線量率の高い個人家屋内で計測した波高分布の例として、結果を図 3-3 に示す。計測対象の家屋は隣家に近づいており、計測した場所は本家屋と隣の家屋の間の通路である。屋外の顕著なセシウムピークは、家屋周辺の未除染の植込みなどによると考えられる。家屋内は屋外と比較してセシウムピークは小さくなっており、家屋建屋による遮蔽効果と考えられる。アスファルト道路上で計測されたセシウムピークは、屋内のピークの高さとほぼ同じであることから、周囲の樹木からの放射線が家屋で遮蔽され、減衰しているためと考えられる。家屋より約 150m 離れた田畑は、除染が実施されているにも関わらず、高いセシウムピークが計測されている。またセシウムの後方散乱ピークと 500keV 以下の低エネルギー成分の増加から、この田畑の放射線環境は、遠方の周辺山林から飛来しているガンマ線によるものと考えられる。ガンマ線エネルギー 1.5MeV 以上の成分に変化が無いことから、自然放射線成分は場所による変化はないと考えられる。

(4) 川内村熊ノ坪地区の個人家屋内で測定した波高分布

家屋周辺は除染されているが、周囲の田畑が除染されていない家屋で計測した波高分布の例として、結果を資料図 3-4 に示す。家屋内の 1 階と 2 階の 1MeV 以下のガンマ線波高分布の形状には変化が見られないが、屋外の玄関前の駐車場の波高成分は、ガンマ線エネルギー 200keV 以下で傾斜が急峻になっている。これは、家屋内に除染が済んでいない周辺の田畑からのガンマ線が飛来しているが、駐車場は、田畑からのガンマ線が建屋で遮蔽されており、遠方の山林からガンマ線が散乱しながら飛来しているためと考えられる。このように家屋の遮蔽の影響により、屋内のセシウム成分が屋外より高くなることもあり、屋内の空間線量と低減係数を評価する場合、周囲の放射線環境、除染状況の把握が重要であることを示唆している。屋外の Tl-208 と K-40 のピークが、屋内と比較して少し高くなっていることから、駐車場の土壌成分が、他の計測場所と異なることが考えられる。

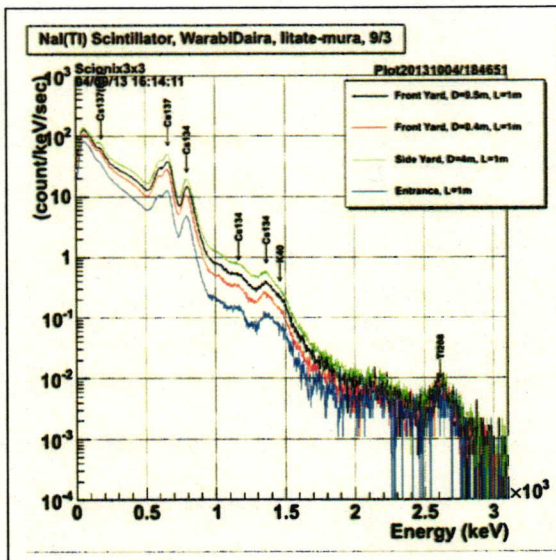


図 3-1. 飯館村蕨平公民館の前庭の波高分布

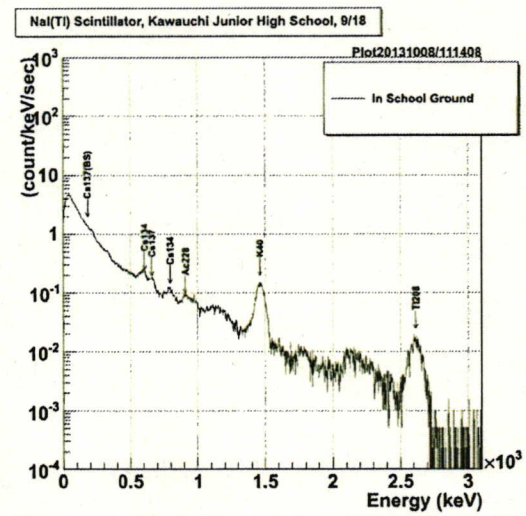


図 3-2. 川内中学校校庭の波高分布

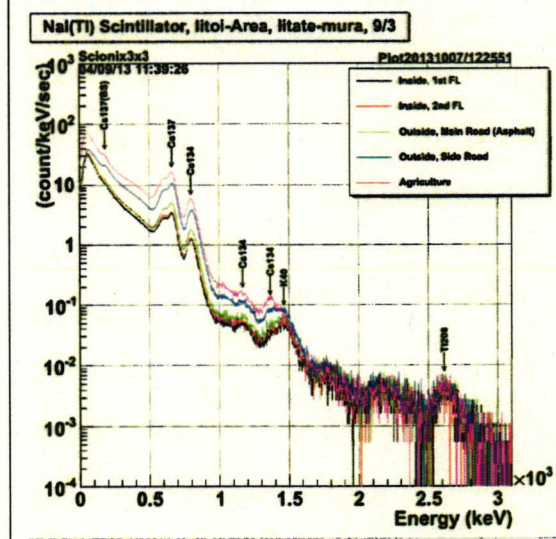


図 3-3. 飯館村飯樋地区の個人家屋内の波高分布

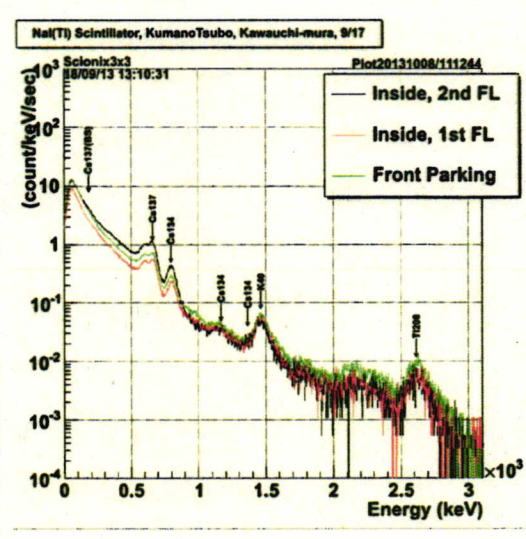


図 3-4. 川内村熊ノ坪地区の個人家屋内の波高分布

3. 個人線量計による測定結果

個人線量計による測定は、実際に人体に装着する方法と個人線量計の校正用のファントムに装着する方法の2通りの方法で実施した。

(1) 調査員が装着した個人線量計による個人線量の測定結果

調査員が、飯館村、田村市都路町および川内村の調査時に装着した個人線量計のうち、XXXXXXXXXX製のXXXXXXXXXX(特別に個人線量当量測定用に校正された製品)で測定された値から算出した個人線量の積算値(縦軸)と、空間線量率から算出される推定積算空間線

量（横軸）の相関を図 3－5 に示す。積算個人線量を算出するために必要な滞在時間は、行動記録を基にしている。測定データ点は、住居屋内と屋外、学校、山林、集会所など、さまざまな場所、異なる空間線量率で取得したもので構成されている。個人線量計が示す積算個人線量は、矢印で示したデータ E の 1 例を除き、空間線量率から推定される積算空間線量よりも低くなる結果となった。推定積算空間線量に対する実測積算個人線量の比は調査員 (B) を除き、0.7 となり、行動パターン、場所による変化によるばらつきも含め、良い相関を示しており、両者の関係は以下の様に表すことができる。

（人に装着した個人線量計で実測した積算個人線量）＝0.7×（空間線量率から推定される積算空間線量）

調査員 (B) は他の調査員に比べ体格が良く、その個人線量計の実測値は、空間線量率から推定される値の 0.6 倍になっている。これは、調査員 (B) の場合、背後から飛来するガンマ線の体による遮蔽効果が他の調査員よりも大きいため、個人線量計の読み値が約 10% 小さくなったと考えられる。

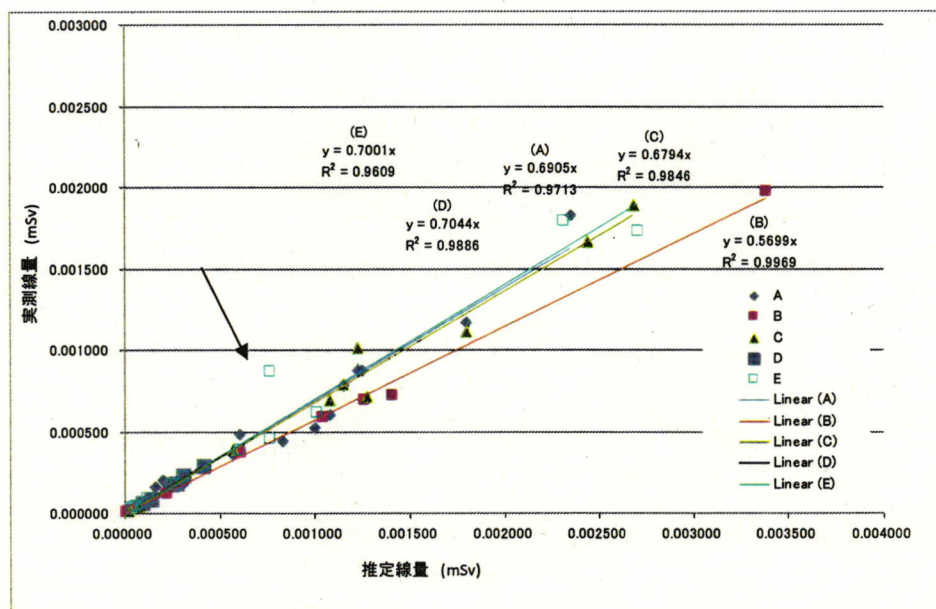


図 3－5. 各個人 (A-E) が装着した個人線量計から求めた個人線量（縦軸）と、行動記録と実測した空間線量率から推測した空間線量（横軸）との相関
調査員 (E) の矢印で示したデータを除き、個人線量は空間線量よりも低い値であった。

(2) ファントムに装着した個人線量計による被ばく線量測定結果

1) 実際の環境放射線場における個人線量計の特性調査

ファントム両面に装着した個人線量計の指示値の平均値と、シンチレーションサーベイメータを用いて測定したファントム設置場所の空間線量率から推定した空間線量の積算値

の相関を図3-6に示す。屋内と屋外、異なる除染実施状況などのデータを含むため、放射線状況の違いによるばらつきはあるが、概ね一次式で近似が可能である。またその傾きは線量計の種類により、0.6~0.7の間で差異が見られた。上記(1)の人に装着した線量計と同じ $\square$ の指示値は、空間線量の積算値の0.7倍であった。これは、人に装着して実測した個人線量と空間線量の積算値との比0.7と良く一致している。従って(1)と同様、以下の様に表すことができる。

(ファントムに装着した個人線量計で実測した積算個人線量($\square$) = $0.7 \times$ (空間線量率から推定される積算空間線量)

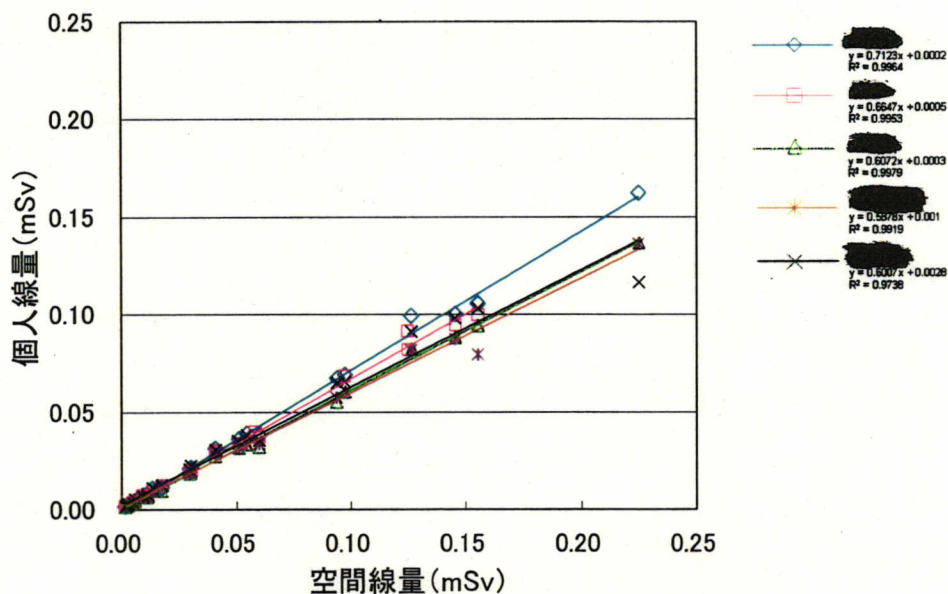


図3-6. 空間線量率から推定した積算空間線量とファントムに装着した個人線量計の指示値(個人線量)の相関

- 空間線量率はファントムの中心および中心から前後左右1mの点及び上下0.5mの点合計7地点の位置でシンチレーションサーベイメータによって測定したものの平均値
- 個人線量計の値はファントム両面に装着した個人線量計の指示値の平均値

2) 個人線量計の読取値と測定したガンマ線エネルギースペクトルから推定した実効線量 $E(ROT)$ の関係

ガンマ線エネルギースペクトロメータの波高分布からアンフォールディングによって求めたガンマ線エネルギースペクトルに基づき、測定を行った放射線の入射方向の分布が回転照射(ROT)ジオメトリと仮定して実効線量 $E(ROT)$ を推定した。この値とファントム上の

個人線量計の読取値との比をガンマ線のエネルギーの相関図として図3-7に示す。ガンマ線スペクトル測定を実施したすべての地点のうち、一地点を除き個人線量計読取値/実効線量 E (ROT) 比は概ね1を超えており、個人線量計の読取値が実効線量を過小評価することなく適切に評価していることが確認された。比が1を下回った1地点に関しては除染が行われていない比較的線量の高い区域での測定結果で、ファントム直下の地表面や周囲の立木等からファントムが不均一な照射を受けていた可能性があり、実験室及び他の測定地点における個人線量計の種類毎の傾向とは明らかに異なるなど検討の余地があるため、再実験等による検証が必要である。また、除染が進んでいる地域ではK-40などの天然放射性核種から放出されるガンマ線の割合が増加し、平均エネルギーが大きくなる傾向があるが、そのような状況では、個人線量計の読取値は実効線量を過大評価する傾向が見受けられた。

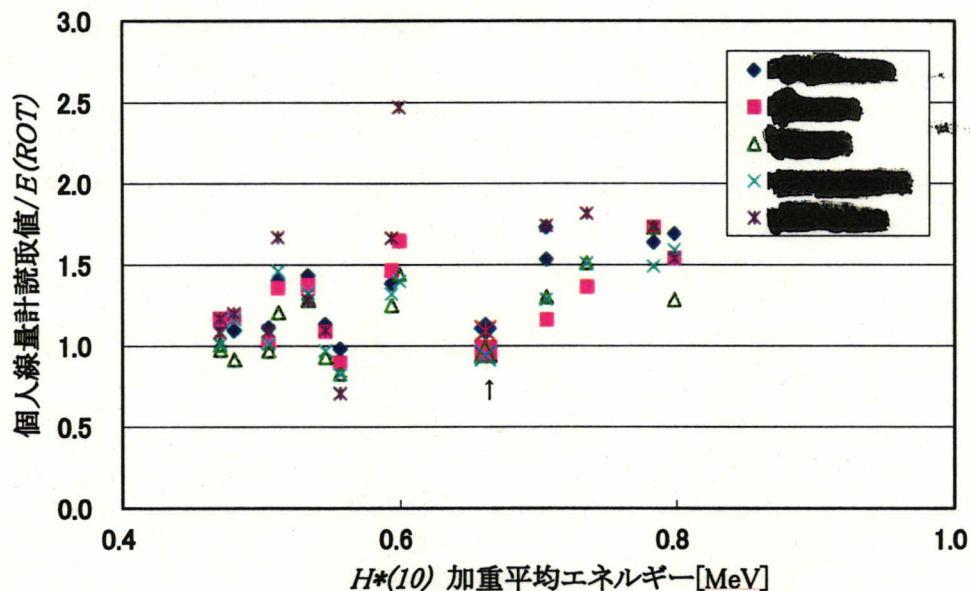


図3-7. ガンマ線エネルギースペクトル測定結果に基づいて推定したガンマ線平均エネルギーと個人線量計読取値/実効線量 E (ROT) 比の相関図

a) 飯舘村、田村市都路地区、川内村における測定結果

b) 図中矢印は ^{137}Cs ガンマ線照射装置で照射したときの値を示している

3) ^{137}Cs ガンマ線標準照射場を用いた個人線量計の特性試験

^{137}Cs ガンマ線標準照射場を用いた個人線量計の特性試験の結果を図3-8に示す。個人線量計の読取値と照射の基準点における周辺線量当量 $H^*(10)$ の関係は、一般に個人線量計の感度のエネルギー特性、方向特性など個人線量計固有の応答特性とファントムの形状や密度等の組み合わせによって決まると考えられるが、実験の結果から、個人線量計読取値/周辺線量当量 $H^*(10)$ には線量計の種類毎に系統的な差があり、 ^{137}Cs については0.73

～0.75、[REDACTED]については0.64～0.60と個人線量計の種類によって14%～25%の違いがあることがわかった。一方、実験に用いたファントムの違いによる影響は、最大でも[REDACTED]の6%程度と比較的小さく、それぞれファントム別に平均するとP30 で0.69、P40 で0.67、RANDO で0.67 とほぼ等しくなる。

^{137}Cs から放出されるガンマ線が662keVの単一のエネルギーであると仮定した場合、ICRP Publication 74で定義された成人人体形状計算モデルに回転照射 (ROT) ジオメトリで入射した光子の実効線量 $E(ROT)$ と周辺線量当量 $H^*(10)$ の比 $E(ROT)/H^*(10)$ は、表 3-2に示す通り0.679であり、今回の実験結果はその値と良く一致している。このことから、実験に用いた個人線量計とファントムの組み合わせの範囲内ではあるが、全体として個人線量計の読取値は実効線量の良い尺度となることが実験的に確認された。

図3-9に、個人線量計の種類毎及びファントムの種類毎の線量計読取値と基準点における実効線量 $E(ROT)$ の推定値との比を示す。線量計の読取値が実効線量を下回るケースもあることから、線量計の種類によっては適切な補正を行うなどの考慮が必要な場合があると考えられる。

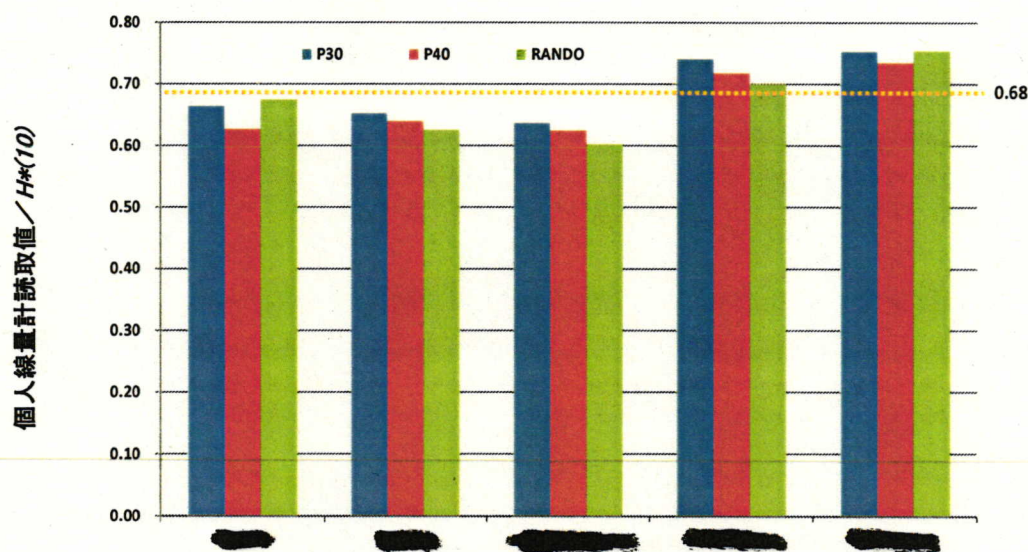


図3-8. 個人線量計読取値/周辺線量当量 $H^*(10)$ の比較

表 3-2. 回転照射ジオメトリにおいて成人人体形状計算モデルに入射する単一エネルギー光子に対する自由空气中単位カーマあたりの実効線量(E/Ka)と周辺線量当量($H^*(10)/Ka$)及び両者の比(ICRP74に基づく)

光子エネルギー(Mev)	$E(ROT)/Ka$ (Sv/Gy)	$H^*(10)/Ka$ (Sv/Gy)	$E(ROT)/H^*(10)$
0.600	0.814	1.21	0.673
0.662 (注)	0.816	1.20	0.679
0.800	0.821	1.19	0.690

(注) 0.662keVのデータについては、ラグランジェ4点補間法によって算出

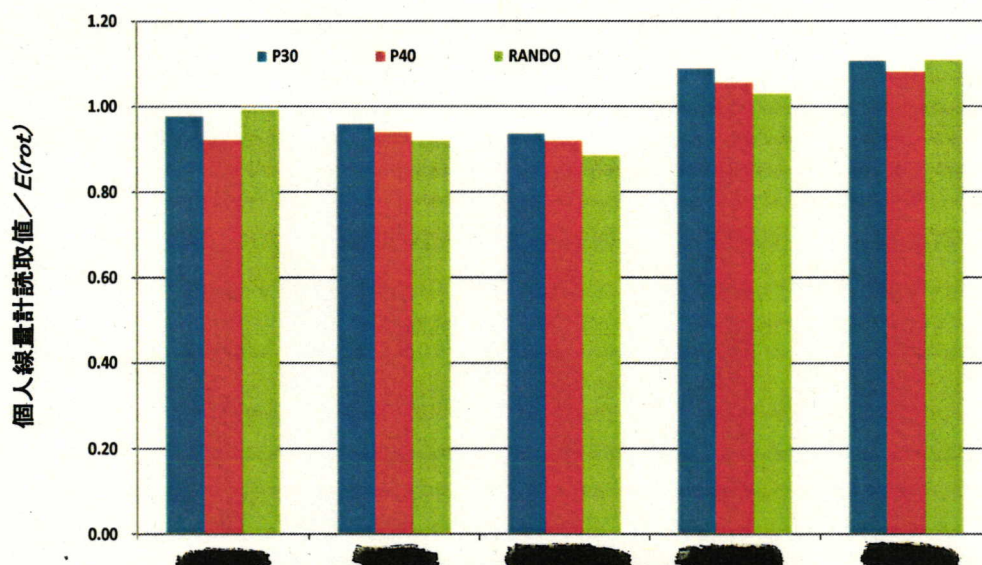


図 3-9. 個人線量計読取值／実効線量 E(ROT)の比較

4. 建屋等による遮蔽効果

(1) 建屋等による低減効果

地表に沈着した放射性物質からのガンマ線による被ばくは建屋内部では建材による放射線遮へい等のため低減される。建屋の屋内外空間線量率比として定義した低減係数を求めて低減効果の目安とする。低減係数の値が小さいほど低減効果が大きい。

$$\text{低減係数} = (\text{屋内空間線量率}) / (\text{屋外空間線量率})$$

本調査における屋内外空間線量率実測値(表 3-1)から算出した低減係数を図 3-10 に示す。ここで、四角印は表 3-1 中の民家 1~5、同じくひし形印は公民館 1~4、三角印

は公共機関と学校 1～3 の低減係数を表す。民家及び公民館は、規模、築年数、建材構成など詳細は様々ではあるが、いずれも木造であった。屋外空間線量率が 2～6 $\mu\text{Sv/h}$ の領域における民家及び公民館の低減係数は 0.39～0.46 であったが、これらは国際原子力機関 (IAEA) の文書 (IAEA-TECDOC-225) に示されている沈着した放射性物質からのガンマ線に対する平屋及び 2 階建て木造家屋の低減係数代表値 0.4 に近い値である。屋外空間線量率が 2～6 $\mu\text{Sv/h}$ の領域における公共機関・学校の低減係数は 0.12 であったが、この値は IAEA-TECDOC-225 で示されている沈着した放射性物質からのガンマ線に対する 1～2 階建てブロックあるいは煉瓦造家屋の低減係数代表値 0.2 と、各階床面積が 5,000～10,000 ft^2 (約 460～930 m^2) の 3～4 階建て建築物の 1～2 階の低減係数代表値 0.05 の間にある。公共機関と学校は 3～4 階建てコンクリート造りであり、IAEA-TECDOC-225 における構造あるいは場所の分類に直接は当てはまらない。民家及び公民館、公共機関・学校のどの場合も屋外空間線量率が 1 $\mu\text{Sv/h}$ 以下では線量率が小さくなるほど低減係数が増大する傾向が見られた。

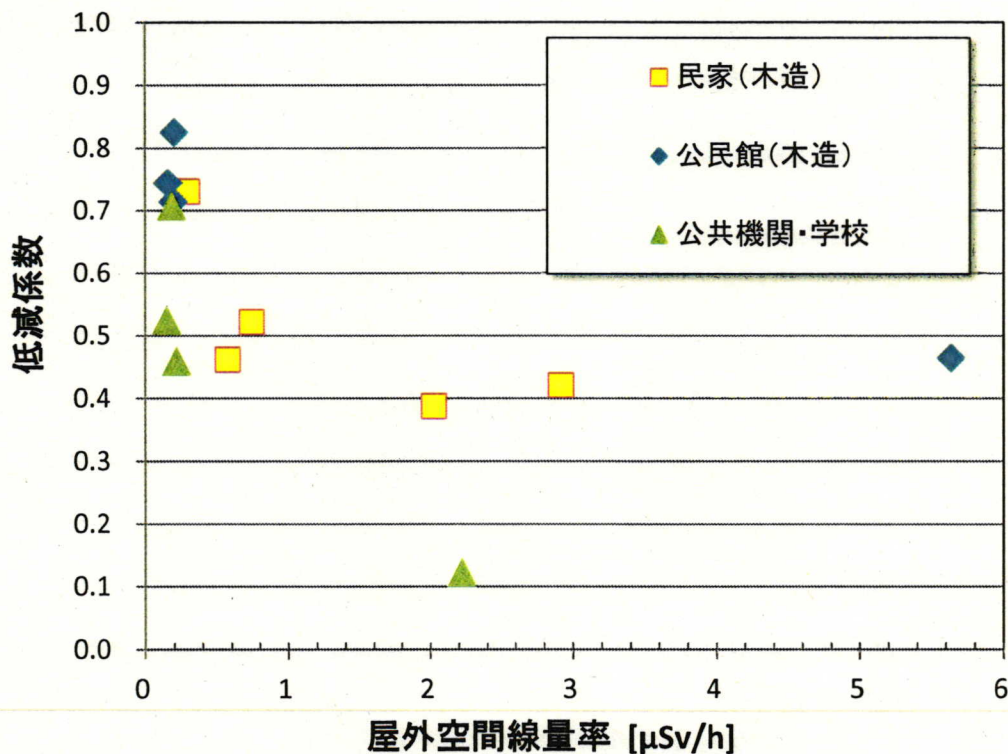


図 3-10. 屋内外空間線量率実測値 (表 3-1) から算出した低減係数

(2) 車両による低減効果

自動車等の車両内の空間線量率も車外の空間線量率に比べて低減されると考えられる。表 3-3 に田村市都路町における事前調査時及び本調査後に福島市内で別途実施した車両による低減効果に関する予備測定の結果を示す。

車両による低減係数 = (車内空間線量率) / (車外空間線量率)

3つの測定から得られた低減係数は0.6～0.8の範囲となった。福島市内の舗装された駐車場で実施した軽自動車タイプの同一車両による2つの測定では、車外空間線量率が比較的低い場所(0.25 μ Sv/h)における低減係数は、空間線量率が高い場所(0.37 μ Sv/h)における低減係数よりも総じて大きな値となったが、その度合いは一律ではなかった。車外空間線量率が低いほど低減係数が大きくなる傾向は、図3-10で見られた建屋等における屋外空間線量率と低減係数が示す傾向と同じである。車両による低減効果には、車両の構造、材料、搭載荷物、乗車人数、乗車位置、空間線量率(線源)分布など様々な要因が影響すると考えられる。しかしながら、本予備測定の実験数はそれら要因に関する系統的議論には残念ながら十分ではなく、本結果については参考値であることに留意されたい。

表3-3. 車両による低減効果に関する予備測定結果

測定ID	測定場所	車両タイプ		測定点	空間線量率 ^{b)} [μ Sv/h]	低減係数 = (車内空間線量率) /(車外空間線量率)
1	田村市都路町 駐車場(地面)	ステーション ワゴン	車外	助手席ドア外	0.36 $\pm$ 0.01	—
			車内	助手席ダッシュボード	0.22 $\pm$ 0.01	0.61 $\pm$ 0.05
2	福島市 ① 駐車場(舗装)	軽自動車 ^{a)}	車外	周囲平均	0.37 $\pm$ 0.05	—
			車内	助手席ダッシュボード	0.24 $\pm$ 0.01	0.64 $\pm$ 0.09
				運転席	0.25 $\pm$ 0.01	0.66 $\pm$ 0.09
				後部左席	0.28 $\pm$ 0.02	0.74 $\pm$ 0.11
3	福島市 ② 駐車場(舗装)	軽自動車 ^{a)}	車外	周囲平均	0.25 $\pm$ 0.04	—
			車内	助手席ダッシュボード	0.16 $\pm$ 0.01	0.66 $\pm$ 0.12
				助手席	0.18 $\pm$ 0.01	0.73 $\pm$ 0.11
				運転席	0.20 $\pm$ 0.01	0.81 $\pm$ 0.13
				後部左席	0.19 $\pm$ 0.01	0.76 $\pm$ 0.12

a) 同一車両を使用

b) 測定1ではCsI (Tl) シンチレーション式スペクトロサベイメータ(ミリオンテクノロジー社製 HDS-100G)を測定に使用した。測定2及び3ではNaI (Tl) シンチレーション式サベイメータ(日立アロカメディカル社製 TCS-172B)を測定に使用した。空間線量率測定値には自然放射線の寄与を含む。

第4章 考察

1. 個人被ばく線量

(1) 個人線量計の特徴

個人線量計によって測定される値は、先述の通り個人線量当量(1cm 線量当量および70 μ m 線量当量)である。福島における個人線量測定では、1cm 線量当量の測定により、実効

線量相当の被ばく線量を評価している。特別な場合を除き、ここでは $70\mu\text{m}$ 線量当量すなわち皮膚の等価線量は議論しない。

一般的な個人線量計測定サービスで用いられるガラス線量計および OSL 線量計は、各業者の設定した事故前のバックグラウンドが差し引かれ、事故由来のネットの線量がユーザに報告される。一方、半導体式個人線量計などは、バックグラウンドを含む値が直接表示される。本調査研究では、後者の事故前バックグラウンドを含む値の測定を行い、事故前バックグラウンドは一つの値を設定し、測定後に差し引いている。

定義から、個人線量当量は前面 2π 方向からの放射線入射を想定している。しかしながら、福島県の生活環境中では、 4π 方向から入射があるため、後方 2π からの入射は人体による減衰を受けて個人線量計に到達する。その影響により、定義に合致した個人線量当量の測定にはなっていない。

(2) 個人被ばく線量測定値と空間線量との関係

空間線量は、一般的に周辺線量当量 (率)・空気吸収線量 (率)・空気カーマ (率) のいずれかで示される。単位が Sv または Sv/h の場合は周辺線量当量 (率)、単位が Gy または Gy/h の場合は空気吸収線量 (率) あるいは空気カーマ (率) である。空気吸収線量 (率) と空気カーマ (率) は、条件 (光子のエネルギー、荷電粒子平衡) により、同レベルとみなすことができる。

ICRP Publication 74「外部放射線に対する放射線防護に用いるための換算係数」には、各線量指標間の換算係数が示されている (Publ. 74 の改訂版として、Publ. 116 "Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures" が既に出ているが、ここでは現行法令及び福島県「県民健康管理調査」の外部被ばく線量推計方法との整合性を鑑み、Publ. 74 を引用する)。この中では、5 種類の照射ジオメトリーにおける値が示されている (前方-後方: AP、後方-前方: PA、側方: LAT、回転: ROT、等方: ISO)。福島県民健康管理調査における外部被ばく線量推計では、ISO ジオメトリーを想定した計算を行っているが、除染が行われた生活環境の場合は上下方向からの照射は少ないことから、本調査研究では ROT ジオメトリーを想定した。

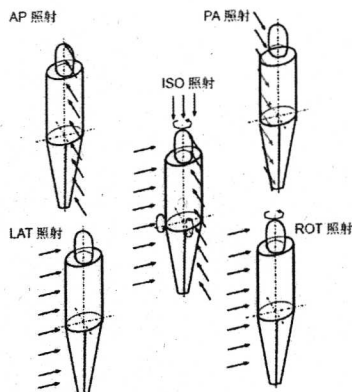


図 4-1. 5 種類の照射ジオメトリを模式的に示す。(ICRP74 より転載)

表 4-1 に示す Publ. 74 の Table A. 24. に「自由空気中空気カーマから ICRU スラブ中の $H_p(10, 0^\circ)$ への換算係数と角度依存係数 $R(10, \alpha)$ 」がある。光子では Sv/Gy の最大値は 0.06MeV のときの 1.903 で、セシウムガンマ線に近いエネルギーレベルでは、0.600MeV で 1.226、0.800MeV で 1.190 である。すなわち、正面から放射線が入射したときの計算上個人線量計の値は、空気カーマよりも 2 割程度高い値になる。換算係数は入射角度によって異なり、例えば 45° と 0° のときの比は、0.600MeV で 1.007、0.800MeV で 1.009 となっているが、 75° と 0° では、比は 0.600MeV で 0.868、0.800MeV で 0.892MeV である。横から入射するほど、線量は低くなっていく傾向があることがわかる。

環境モニタリングや航空機モニタリングでは、測定値が周辺線量当量（率）として表されることが多い。しかし、ICRP Publ. 74 には、周辺線量当量と個人線量当量を直接換算する係数は掲載されていない。従って、間接的に比較する必要がある。図 4-2 に転載する Publ. 74 の Fig. 64 に、 $E(ROT)$ 、 $H_{p,slab}(10, ROT)$ 、 $H^*(10)$ 、 $H'(10, ROT)$ に対する換算係数(Sv/Gy) が示されている。それによると、セシウムのガンマ線エネルギーレベルでは、 $H^*(10)$ が約 1.2、 $H_{p,slab}(10, ROT)$ が約 0.9 であり、同じ放射線（ガンマ線）場では、周辺線量当量の方が個人線量当量よりも 3 割ほど高い値を示すことがわかる。逆に言えば、周辺線量当量を 1 としたとき、個人線量当量はおおよそ 0.75 となる。

以上のことから、モニタリングポストやサーベイメータ、航空機モニタリングの値よりも、個人線量計が示す値の方が小さいことがわかる。本研究の測定結果も、このことを支持するものになっている。

(3) 個人被ばく線量測定値と実効線量との関係

図 4-3 に転載する ICRP Publ. 74 の Fig. 65 に、ROT 照射ジオメトリにおける光子エネルギーの関数として表した、実効線量 E と個人線量当量 $H_{p,slab}(10, ROT)$ 及び $H'(10, ROT)$ との関係が示されている。また、ICRP Publ. 74 中には「このジオメトリでは、 $H_p(d)$ は実効

線量の非常に良い尺度になりそうなのが見られる。」「約 40keV 以上の光子エネルギーでこの一致の良さがよくわかる。」との記述がある。すなわち、計算上は ROT ジオメトリでは、個人線量当量が実効線量の値に近くなる。先述の図 4-2 (ICRP Publ. 74Fig.64) でも、 $E(ROT)$ と $H_{p,slab}(10,ROT)$ は、近い値を示している。

これらのことから、ROT ジオメトリでは、個人線量計が示す値 ($H_{p,slab}(10,ROT)$) と実効線量 E は、ほぼ同様の値になることがわかる。本調査研究の測定でも、同様の結果となっている。

体型・体格が異なれば、同じ放射線場でも被ばく線量は異なり、成人に比べて小さな子どもの方が線量は高くなる。これについては、モンテカルロシミュレーションの値が報告されており、福島県「県民健康管理調査」基本調査の外部被ばく線量評価でも考慮されている。日本原子力学会放射線工学部会線量概念 WG が、関連する内容を報告書として出している。

Table A.24. Conversion coefficients from air kerma free-in-air to $H_p(10,0^\circ)$ in an ICRU slab and angular dependence factors $R(10,\alpha)$ (Grosswendt *et al.*, nd).

Photon energy (MeV)	$H_p(10,0^\circ)/K_a$ (Sv/Gy)	Ratio $H_p(10,\alpha)/H_p(10,0^\circ)$					
		0°	15°	30°	45°	60°	75°
0.010	0.009	1.000	0.889	0.556	0.222	0.000	0.000
0.0125	0.098	1.000	0.929	0.704	0.388	0.102	0.000
0.015	0.264	1.000	0.966	0.822	0.576	0.261	0.030
0.0175	0.445	1.000	0.971	0.879	0.701	0.416	0.092
0.020	0.611	1.000	0.982	0.913	0.763	0.520	0.167
0.025	0.883	1.000	0.980	0.937	0.832	0.650	0.319
0.030	1.112	1.000	0.984	0.950	0.868	0.716	0.411
0.040	1.490	1.000	0.986	0.959	0.894	0.760	0.494
0.050	1.766	1.000	0.988	0.963	0.891	0.779	0.526
0.060	1.892	1.000	0.988	0.969	0.911	0.793	0.561
0.080	1.903	1.000	0.997	0.970	0.919	0.809	0.594
0.100	1.811	1.000	0.992	0.972	0.927	0.834	0.612
0.125	1.696	1.000	0.998	0.980	0.938	0.857	0.647
0.150	1.607	1.000	0.997	0.984	0.947	0.871	0.677
0.200	1.492	1.000	0.997	0.991	0.959	0.900	0.724
0.300	1.369	1.000	1.000	0.996	0.984	0.931	0.771
0.400	1.300	1.000	1.004	1.001	0.993	0.955	0.814
0.500	1.256	1.000	1.005	1.002	1.001	0.968	0.846
0.600	1.226	1.000	1.005	1.004	1.003	0.975	0.868
0.800	1.190	1.000	1.001	1.003	1.007	0.987	0.892
1	1.167	1.000	1.000	0.996	1.009	0.990	0.910
1.5	1.139	1.000	1.002	1.003	1.006	0.997	0.934
3	1.117	1.000	1.005	1.010	0.998	0.998	0.958
6	1.109	1.000	1.003	1.003	0.992	0.997	0.995
10	1.111	1.000	0.998	0.995	0.989	0.992	0.966

表 4-1. ICRP Publ. 74 の Table A. 24 を参考のために転載

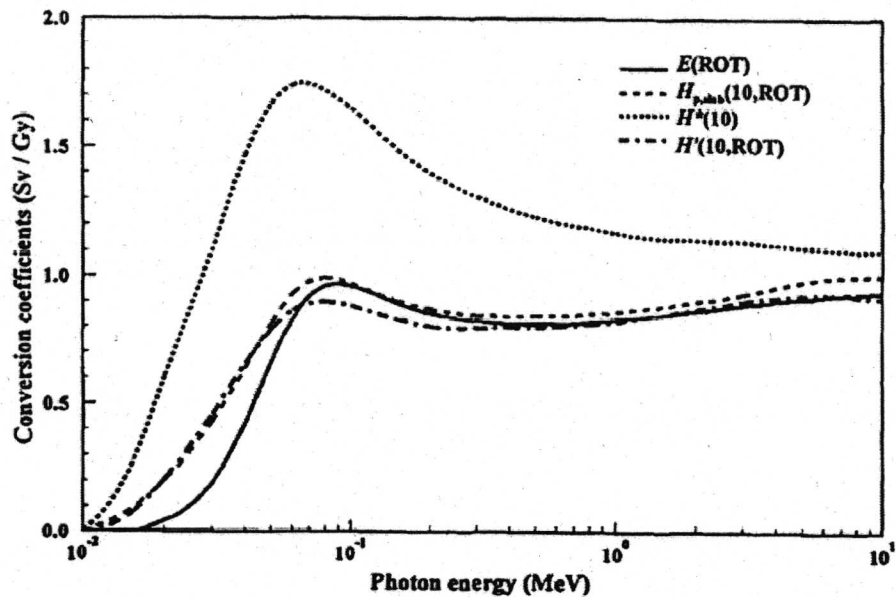


Fig. 64. Conversion coefficients for operational quantities and effective dose as a function of photon energy in ROT irradiation geometry.

図 4 - 2. ICPR Publ. 74 Fig. 64 を参考のために転載

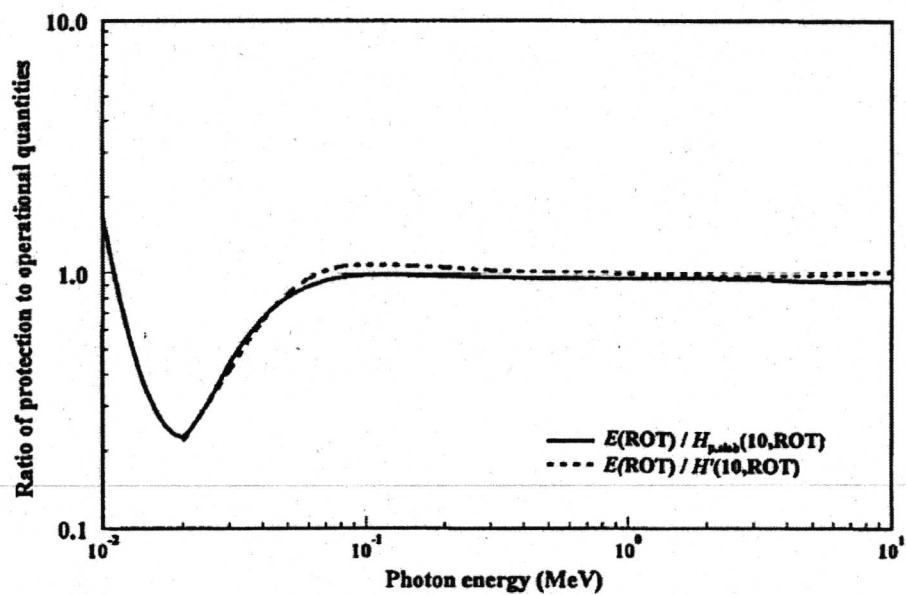


Fig. 65. The ratios $E/H_{p,stab}(ROT)$ and $E/H(10,ROT)$ as a function of photon energy.

図 4 - 3. ICPR Publ. 74 Fig. 65 を参考のために転載

2. 建屋等による低減効果

図 3 - 10 では屋外空間線量率が低いほど低減係数が増大する傾向が見られた。この傾

向があらわれる主な要因は屋内外空間線量率への自然放射線の寄与の扱いにあると考えられる。そこで、簡略化した低減係数の屋外空間線量率依存性考察モデル（以後、低減係数－線量率モデル）を導入し考察を進める。

（１）低減係数－線量率モデル

$$A = (\text{屋外空間線量率} - BG) \times R / (\text{屋外空間線量率})$$

$$B = BG \times 1.0 / (\text{屋外空間線量率})$$

$$A+B = \{ (\text{屋外空間線量率}) \times R + (1.0 - R) \times BG \} / (\text{屋外空間線量率})$$

ここで、

BG：自然放射線の空間線量率への寄与。簡単のため屋内外で同じ値（屋外 BG は建屋で低減されない）と仮定し、定数として扱う。ここでは、政府が福島住民の追加被ばく線量推定に用いている値である、 $BG = 0.04 \mu\text{Sv/h}$ を用いた

R：IAEA-TECDOC-225 における低減係数代表値

平屋あるいは 2 階建の木造家屋 0.4

1～2 階建てブロックあるいは煉瓦造家屋 0.2*

*本調査の対象となった公共機関・学校は比較的大規模な 3～4 階建てコンクリート造りであり、IAEA-TECDOC-225 における構造あるいは場所の分類に直接は当てはまらない。ここでは公共機関・学校（コンクリート造り）に対し IAEA の 1～2 階建てブロックあるいは煉瓦造家屋 の低減係数 0.2 を参照して保守的な評価を行う

(屋外空間線量率－BG) × R： ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 由来ガンマ線による屋内空間線量率。現在、追加被ばく線量は環境中に沈着した ^{134}Cs 、 ^{137}Cs からのガンマ線による外部被ばく線量が中心となっている

A+B： ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 由来のガンマ線及び自然放射線 (BG) を考慮した場合の低減係数

（２）モデルと実測値の比較

図 4－4 に民家及び公民館に対する低減係数－線量率モデル曲線と実測から求めた低減係数を、図 4－5 に公共機関・学校に対する低減係数－線量率モデル曲線と実測から求めた低減係数を示す（図 3－10 参照）。A+B のモデル曲線は、低線量率側に向かうほど大きくなり、屋外空間線量率が BG に等しい（環境中の放射能汚染がない）場合に $A+B=1$ となる。高線量率側において、A+B のモデル曲線は図 4－4 では 0.4 に、図 4－5 では 0.2 に近づく。図 4－4、図 4－5 とも A+B のモデル曲線は実測値から求めた低減係数を再現しており、導入した低減係数－線量率モデルにより屋外空間線量率が低い場合に低減係数が IAEA-TECDOC-225 が示す値（木造家屋：0.4、ブロック・煉瓦造家屋（コンクリート造りに参照）：0.2）を大きく上回る事実を半定量的にも説明することができたと言える。

低減係数は屋外空間線量率から屋内空間線量率を推定し、屋内滞在時の外部被ばく線量を評価する場合に重要となる。より厳密な議論のためには、建屋の構造や建材、自然放射線の評価、地表に沈着した放射性物質の分布（線源分布）、屋内の放射性物質汚染状況、屋

内外の空間線量率を測定する位置など、様々な情報を把握あるいは条件を決定する必要がある。本調査の考察結果をより広い範囲で実証するためにも、屋外空間線量率が $1 \sim 6 \mu\text{Sv/h}$ またはそれ以上の場所における実測データの追加取得が望まれ、今後の課題の一つである。

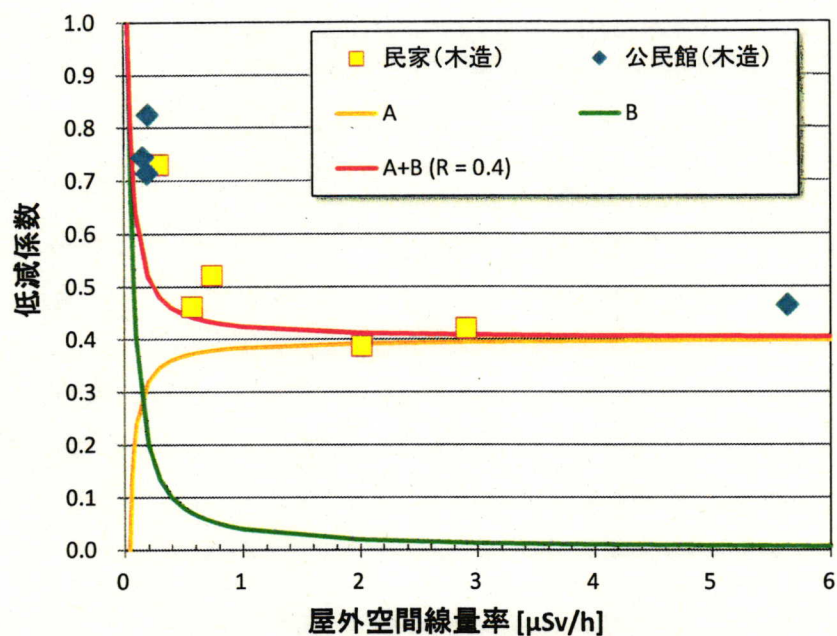


図 4-4. 民家及び公民館に対する低減係数-線量率モデルと実測から求めた低減係数

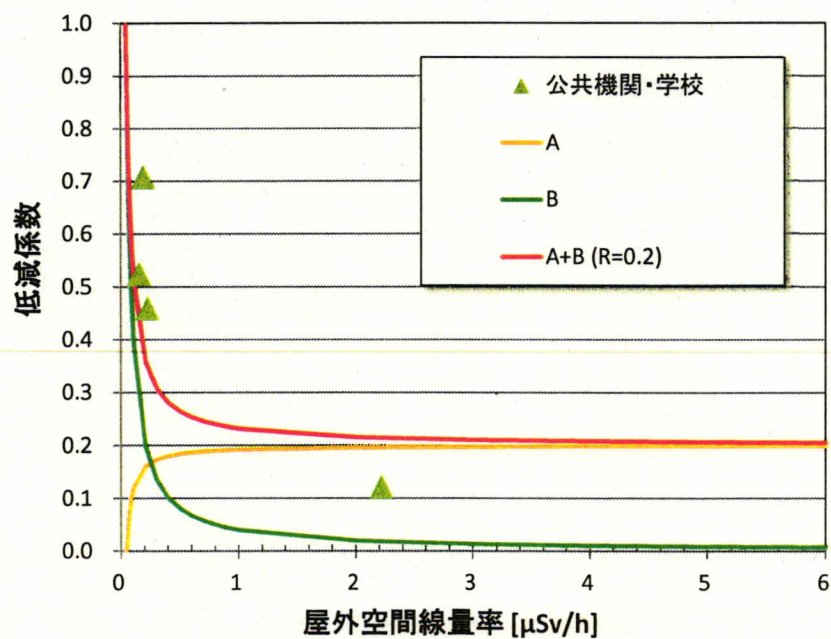


図 4-5. 公共機関・学校に対する低減係数-線量率モデルと実測から求めた低減係数

3. モデルケースにおける年間被ばく線量

福島原発事故により避難した方々が、避難指示解除準備区域（田村市都路地区）並びに居住制限区域（双葉郡川内村：貝ノ坂、五枚沢地区他、相馬郡飯舘村：飯樋地区、小宮地区、蕨平地区他）に帰還した場合に、残存した放射性物質により追加被ばくする年間の個人被ばく線量を、以下の仮定のもと推定した。以下に具体的な被ばく線量推定方法を示す。推定の対象とした地区や移動経路を図4-6～4-8に示す。

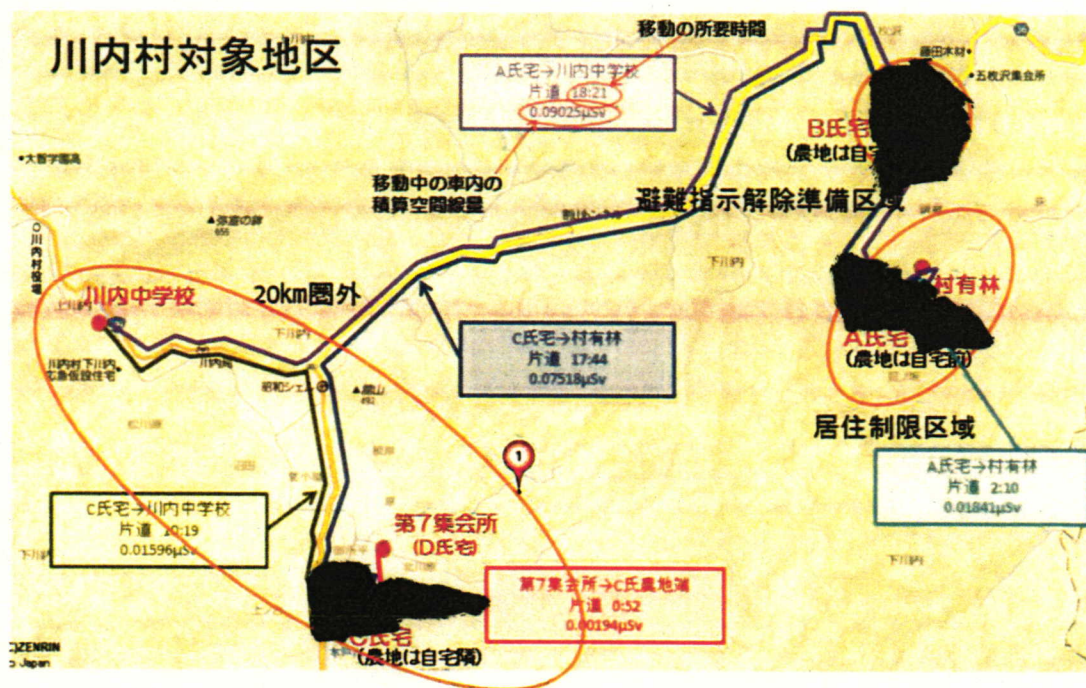


図4-6. 川内村における個人被ばく線量推計のための、自宅並びに職場(農地、山林、学校等)の位置

(1) 線量推計の詳細

1) NaI サーベイメータを用いて実測した屋内と屋外の空間線量率(1cm 周辺線量当量率)

$H^*(10, l)$ を使用

(ア)誤差は、各屋内外の場所内の測定場所による測定値のばらつきから導出

2) 通勤時の自家用車内の空間線量率は、車内での実測値を用いた。

一部の想定した経路で、車内実測値がないものがあったため、当該経路での積算線量は、JAEA が別途実施した走行サーベイの結果（車外の空間線量率として公表されている）を採用し、その値を 0.6 倍して車内の空間線量率として評価した。

JAEA の走行サーベイは第 4 次走行サーベイによる空間線量率の測定結果(平成 24 年 8 月 20 日～平成 24 年 10 月 12 日)の結果を用いた。(原子力規制委員会 「東京電力福島第一原子力発電所事故による環境モニタリング等データベース」から入手した。 URL :

https://mapdb.jaea.go.jp/mapdb/portals/102005/?prefectures=07&category_b=b102&year=2011%2C2012)

3) 行動パターンは、データブック国民生活時間調査 2010 年 (NHK 放送文化研究所編) を使用, T(1)

(ア)上記調査における生活行動様式 : NHK の上記調査では、国民の生活における行動様式を以下のように分類している。

- (a) 睡眠
- (b) 食事
- (c) 身の回りの用事
- (d) 療養・静養
- (e) 仕事関係 : 仕事、仕事の付き合い
- (f) 学業 : 授業・学内の活動、学校外の学習
- (g) 家事 : 炊事・掃除・洗濯、買い物、子供の世話、家庭雑事
- (h) 通勤
- (i) 通学
- (j) 社会参加
- (k) 会話・交際
- (l) レジャー活動 : スポーツ、行楽・散策、趣味娯楽(ネット)、同(以外)
- (m) マスメディア接触 : テレビ、ラジオ、新聞、雑誌・マンガ・本、CD、テープ、ビデオ
- (n) 休息
- (o) その他・不明

(イ)農林魚業者の滞在時間を以下とした

- ① 家屋内（自宅）：(a)睡眠、(b)食事、(c)身の回りの用事、(d)療養、静養、(g)家事（炊事・掃除・洗濯、子供の世話、家庭雑事）、(l)レジャー活動（趣味娯楽（ネット）、同（以外））、(m)マスメディア
- ② 屋外作業：(e)仕事関連、(l)レジャー活動（スポーツ、行楽・散策）、(n)休息
- ③ 屋内作業（自宅外）：(f)学業、(g)家事（買い物）、(j)社会参加、(k)会話・交際
- ④ 通勤：(h)通勤

(ウ)事務職・技術職

- ① 家屋内（自宅）：(a)睡眠、(b)食事、(c)身の回りの用事、(d)療養、静養、(g)家事（炊事・掃除・洗濯、子供の世話、家庭雑事）、(l)レジャー活動（趣味娯楽（ネット）、同（以外））、(m)マスメディア
- ② 屋外作業：(l)レジャー活動（スポーツ、行楽・散策）
- ③ 屋内作業（自宅外）：(e)仕事関連、(f)学業、(g)家事（買い物）、(j)社会参加、(k)会話・交際、(n)休息
- ④ 通勤：(h)通勤

(エ)無職者(高齢者等)

- ① 家屋内（自宅）：(a)睡眠、(b)食事、(c)身の回りの用事、(d)療養、静養、(e)仕事関連、(g)家事（炊事・掃除・洗濯、子供の世話、家庭雑事）、(h)通勤、(l)レジャー活動（趣味娯楽（ネット）、同（以外））、(m)マスメディア、(n)休息
- ② 屋外作業：(l)レジャー活動（スポーツ、行楽・散策）
- ③ 屋内作業（自宅外）：(f)学業、(g)家事（買い物）、(j)社会参加、(k)会話・交際

(オ)基本評価のための時間算定上の留意点

- ① 行動の分類で(i)通学は、この検討では対象外として除くこととした。またその時間は短いため、影響は小さい。

(o)その他・不明 はアンケート調査時に未記入等に該当しており、行動には入れなかった。

- ② 一般的に（ア）(a)～(o)までの総時間は24時間を超える。評価に用いる時間として、全体が24時間となるように規格化した。但し、①で示した通り、(i)と(o)は対象外として、これらを除いた時間で規格化した。
- ③ 通勤時間(h)として、本調査における行動に基づく実際の時間を用いることとした。

その際、実際の時間が(h)の値に比べ増減がある場合は、(h)との差を自宅

滞在時間に繰り入れた。(h)に比べ長い場合は、自宅滞在時間から差し引く等。)同様に(エ)無職者の通勤時間は自宅滞在時間に加算した。

④ 屋外作業

1. 農林業については作業場所(農地や山林)とした。しかし、レジャー活動は本来違う場所で行われると思われることから、積算線量の不確定要因となる。
2. 事務職に就いてはレジャー活動がその主な内容となっているが、活動場所を職場周辺とした。これも上記同様、本来は不確定要因である。

⑤ 屋内作業

1. 農林業についてはすべて自宅内を想定した。例えば家事の「買い物」は外出を伴い、自宅以外の場所に滞在するため、厳密には空間線量は異なるはずである。また(j)社会参加は必ずしも屋内とは限らないため不確定要因である。
2. 事務職では、屋内作業は全て職場を想定した。

(カ)各作業分類における具体的な時間割

- ① 無職者：高齢者
- ② 農林漁業者：農作業従事者、林業従事者
- ③ 事務職、技術職：学校職員、事務職員

	家屋内	屋外作業	屋内作業	通勤
無職者	21.67 hr	1.07 hr	1.23 hr	0.02 hr
農林漁業者	16.93 hr	6.27 hr	0.58 hr	0.18 hr
事務職、技術職	15.31 hr	0.48 hr	7.28 hr	0.85 hr



下記6) (イ) ①、④を考慮した、実際に計算に用いた時間を示す。

	家屋内*	屋外作業	屋内作業	通勤*
無職者	22.93 hr	1.07 hr	0 hr	0 hr
農林漁業者	17.52 hr	6.27 hr	0 hr	0.18 hr
事務職、技術職	15.35 hr	0.48 hr	7.28 hr	0.85 hr

(*) 6) (イ) ③に記載する通り、この2つの時間は実際の通勤時間に応じて変化するものとする。

4) 空間線量率から個人被ばく線量率への換算は、以下のデータを使用、 $F(\text{amb} \rightarrow \text{person})$

(ア)各場所における、放医研スタッフが携帯した XXXXXXXXXX 線量計と空間線量率の実測値の数分間の積分値の比率 $[F(\text{amb} \rightarrow \text{person}) = (\text{XXXXXXXXXX} \times T) / (H^*(10) \times T)] = 0.7$

5) 自然放射線 (事故前から存在), $BG = 0.04 \mu\text{Sv/h}$

(ア) これまで多くの公開データの中で利用されている自然放射線の空間線量率を採用する

6) 以下の式から一日あたりの追加個人被ばく線量を計算する

(ア) $H_p(10)/\text{day} = \sum l(H^*(10, l) \times T(l) \times F(\text{amb} \rightarrow \text{person})) - BG$

$H_p(10)/\text{year} = H_p(10)/\text{day} \times 365 \text{ (d/y)}$

(イ) 計算上の注意点

- ① 行動時間は3) (カ)の表からわかる通り、時間の1日の合計が24時間と異なることがある。(無職者の場合は1日合計時間 24.48hr。)この場合は、合計時間が24時間になるように各項目の時間を規格化した。
- ② 通勤時の被ばく線量評価に就いて、通勤時間はデータブックの値ではなく、調査委の際に走行した時間を用いた。
- ③ 通勤時間がデータブックの値と異なる場合は、その差分を自宅滞在時間に加算差引して調整し、作業時間は調査結果のままとした。
- ④ 農林水産業並びに無職者の屋内作業の場所は自宅とした。
教職員の場合の屋内作業の場所は自宅とした。

7) 不確定さの評価

(ア) 周辺線量当量率: 当該地域の平均値とし、不確定さは標準偏差とする

(イ) 空間線量率から個人被ばく線量率への換算係数の不確定さ: 10%とする

(ウ) BG: 定数として扱った。

(エ) 行動時間: 最も寄与が大きいと思われる行動パターンとそれに付随する滞在時間に就いては、誤差の評価が困難であることから、ここではばらつきなしの定数として扱った。

(オ) 通勤時の被ばく線量: 車内の通勤時の積算空間線量とし、不確定さはないとして扱った。

(2) 推計結果

川内村に関する推計結果を表4-2、田村市都路地区に関して表4-3、飯舘村に関しては表4-4に示す。それぞれの推計に用いた空間線量率は地区毎に表4-5~4-7に示した。

職業は大きく、農業、林業、事務職(教員、行政職員)、高齢者(無職)を想定した。表の中で農業A、林業A等と分類して記述しているが、これらは同一人物Aが農業や林業等を営むことを想定しており、同一人物が異なる行動(職業)の場合、どの程度の線量を受けるか、

いわば行動と線量の比較が可能としている。例えば川内村のA氏が農業、林業、教員、高齢者という代表的な行動をとる場合の年間被ばく線量の推計値は 1.8～5.5mSv にばらつくことが分かる。これらを表4-2～4-4から抜き出して自治体別に整理すると

川内村

A氏	1.8～5.5mSv	(農業、林業、教職員、高齢者)
C氏	1.1～4.8mSv	(農業、林業、教職員、高齢者)

田村市都路地区

A氏	0.6～2.3mSv	(農業、林業、事務職員、高齢者)
B氏	0.7～1.2mSv	(農業、教職員、高齢者)

飯舘村

A氏	3.6～8.6mSv	(農業、林業、教職員、高齢者)
B氏	5.8～10.9mSv	(農業、林業、教職員、高齢者)
C氏	10.7～16.8mSv	(農業、林業、教職員、高齢者)

先ず特徴的に言えることは、いずれの場合も林業のケースが最も高い被ばく線量を示す。最も低い値は教職員または事務職員である。

川内村のA氏は居住制限区域に居住していることを想定した。教職員を想定した場合の被ばく線量が一番低いことが分かった。すなわち、20km圏外で職業を持つことが被ばく線量低減の方法の一つである。一方、C氏は20km圏外に居住していることを想定しており、教職員と高齢者という想定が一番低く、1.1mSvであった。

田村市都路地区は、林業を想定した場合であっても、いずれも低い値であり、値に大きな広がりはない。A氏、B氏共に1mSvを超える値を示すのは、山林部に入った場合であった。

それに比べて対象地区がすべて居住制限区域であった飯舘村での推計値は、職業(行動)によって値に相当の開きがあることが分かる。C氏の場合は調査対象地区で最も高い蕨平公民館を自宅に想定しており、殆どの時間を屋内で過ごす高齢者であっても、他のケースの農業や林業に匹敵する値を推計した。

以上より、田村市都路のように十分に除染され全体の放射線レベルの低い地区では、年間被ばく線量は行動によって大きく変わることはないと思われる。これらの地区では山林部への立ち入りであっても、総計で短時間であればそれ程影響は小さいと思われる。

一方、飯舘村の様に除染が十分に進んでおらず、全体にレベルの高い地区では、どのような行動をとるかで、年間被ばく線量に影響がある。逆に言えば、行動に十分注意することで被ばく線量の低減効果も大きいと考えることができる。

表 4-2. 川内村を対象とした住民の年間被ばく線量の推計

職業	本検討結果				(参) 支援 T 提出結果	
	区域種別	居住地区と職場	mSv/y	滞在時間	mSv/y	滞在時間
農業 A	居住制限区域	貝ノ坂地区 宅→同農地	<u>3.6</u> (3.0-4.1)	農地：6.27 時間 自宅：17.69 時間	<u>3.9</u> (3.4-4.5)	繁忙期 農地：9 時間 自宅：15 時間 閑散期 農地：4 時間 自宅：20 時間
農業 B	避難指示解除準備区域	五枚沢地区 宅→同農地	<u>3.1</u> (2.6-3.3)		<u>3.4</u> (3.0-3.7)	
農業 C	20 km 圏外	熊ノ坪地区 宅→同農地	<u>1.7</u> (1.5-1.9)		<u>1.9</u> (1.7-2.1)	
農業 D	20 km 圏外	北川原地区第 7 集会所→ 所有農地	<u>1.3</u> (1.1-1.5)	農地：6.27 時間 自宅：17.66 時間 通勤：0.03 時間	<u>2.0</u> (1.3-1.7)	
林業 A	居住制限区域	宅→貝ノ坂地区村有林	<u>5.5</u> (5.0-6.2)	山林：6.27 時間 自宅：17.62 時間 通勤：0.07 時間	<u>6.5</u> (5.8-7.2)	山林：8 時間 自宅：16 時間
林業 C	20 km 圏外→居住制限区域	宅→貝ノ坂地区村有林	<u>4.8</u> (4.3-5.3)	山林：6.27 時間 自宅：17.10 時間 通勤：0.59 時間	<u>5.9</u> (5.3-6.5)	
教職員 A	居住制限区域→20 km 圏外	宅→川内中学校	<u>1.8</u> (1.5-2.0)	自宅：15.51 時間 校舎：7.28 時間 校庭：0.48 時間 通勤：0.61 時間	<u>1.6</u> (1.4-1.9)	自宅：14 時間 校舎内：8 時間 校舎外：2 時間
教職員 C	20 km 圏外	宅→川内中学校	<u>1.1</u> (1.0-1.2)	自宅：15.82 時間 校舎：7.28 時間 校庭：0.5 時間 通勤：0.34 時間	<u>1.0</u> (0.9-1.2)	
高齢者 A	居住制限区域	宅	<u>2.1</u> (1.7-2.6)	自宅：22.93 時間 屋外：1.07 時間	<u>2.1</u> (1.7-2.6)	自宅：23 時間 屋外：1 時間
高齢者 C	20 km 圏外	宅	<u>1.1</u> (0.9-1.3)		<u>1.1</u> (0.9-1.3)	

表 4－3．田村市都路町を対象とした住民の年間被ばく線量の推計

本検討結果					(参)支援 T 提出結果	
職業	区域種別	居住地区と職場	mSv/y	滞在時間	mSv/y	滞在時間
農業 A	避難指示 解除準備 区域	古道地区地見城 集会所→  所有農地	<u>0.9</u> (0.7-1.0)	農地：6.27 時間 自宅：17.69 時間	<u>0.9</u> (0.8-1.0)	繁忙期 農地：9 時間 自宅：15 時間
農業 B		古道地区合子集 会所→  所有農地	<u>1.2</u> (1.1-1.4)	農地：6.27 時間 自宅：17.25 時間 通勤：0.44 時間	<u>1.3</u> (1.2-1.4)	閑散期 農地：4 時間 自宅：20 時間
林業		古道地区地見城 集会所→行司沢 林道	<u>2.3</u> (2.0-2.7)	山林：6.27 時間 自宅：16.34 時間 通勤：1.35 時間	<u>2.6</u> (2.1-3.0)	山林：8 時間 自宅：16 時間
教職 員	避難指示 解除準備	古道地区合子集 会所→都路中 学校	<u>0.7</u> (0.6-0.7)	自宅：15.87 時間 職場内：7.28 時間 戸外：0.48 時間 通勤：0.29 時間	<u>0.6</u> (0.6-0.7)	自宅：14 時間 職場内：8 時間 職場外：2 時間
事務 職員	区域→20 km圏外	古道地区地見城 集会所→都路行 政局	<u>0.6</u> (0.5-0.7)	自宅：15.98 時間 職場内：7.28 時間 戸外：0.48 時間 通勤：0.18 時間	<u>0.6</u> (0.5-0.7)	
高齢 者 A	避難指示 解除準備 区域	古道地区地見城 集会所	<u>0.6</u> (0.5-0.7)	自宅：22.93 時間	<u>0.6</u> (0.5-0.7)	自宅：23 時間
高齢 者 B		古道地区合子集 会所	<u>0.8</u> (0.7-0.9)	屋外：1.07 時間	<u>0.8</u> (0.7-0.9)	屋外：1 時間

表4-4. 飯舘村を対象とした住民の年間被ばく線量の推計

	本検討結果				(参)支援 T 提出結果	
職業	区域種別	居住地区と職場	mSv/y	滞在時間	mSv/y	滞在時間
農業 A	居住制限 区域	飯樋地区 〇〇〇〇 農地	<u>6.9</u> (6.0-7.8)	農地: 6.27 時間 自宅: 17.69 時間	<u>7.5</u> (6.7-8.4)	繁忙期 農地: 9 時間 自宅: 15 時間 閑散期 農地: 4 時間 自宅: 20 時間
農業 B		小宮地区 〇〇〇〇 農地 B	<u>10.7</u> (9.1-12.3)	農地: 6.27 時間 自宅: 17.69 時間	<u>11.5</u> (10.1-12.9)	
農業 C		蕨平地区蕨平公 民館→〇〇〇〇宅 農地	<u>16.8</u> (13.6-19.9)	農地: 6.27 時間 自宅: 17.29 時間 通勤: 0.40 時間	<u>15.4</u> (12.9-17.8)	
農業 D		蕨平公民館→〇〇〇〇 宅農地	<u>15.2</u> (12.2-18.3)	農地: 6.27 時間 自宅: 17.01 時間 通勤: 0.68 時間	<u>17.5</u> (14.9-20.1)	
林業 A		〇〇〇〇氏飯樋地区 自宅→〇〇〇〇裏 山の山林	<u>8.6</u> (7.5-9.6)	山林: 6.27 時間 自宅: 17.42 時間 通勤: 0.27 時間	<u>9.7</u> (8.7-10.9)	山林: 8 時間 自宅: 16 時間
林業 B		〇〇〇〇小宮地区 自宅→〇〇〇〇裏 山の山林	<u>10.9</u> (9.3-12.3)	山林: 6.27 時間 自宅: 17.69 時間	<u>11.9</u> (10.3-13.6)	
林業 C		蕨平公民館→〇〇〇〇 〇〇〇〇裏山の山林	<u>17.0</u> (13.8-20.2)	山林: 6.27 時間 自宅: 17.29 時間 通勤: 0.40 時間	<u>17.5</u> (14.4-20.5)	
教職 員 A		飯樋地区 〇〇〇〇 宅→飯舘中学校	<u>3.6</u> (3.6-4.2)	自宅: 16.02 時間 職場: 7.28 時間 戸外: 0.48 時間 通勤: 0.15 時間	<u>4.3</u> (3.7-4.9)	自宅: 14 時間 職場内: 8 時間 戸外: 2 時間
教職 員 B		小宮地区 〇〇〇〇 宅→飯舘中学校	<u>5.8</u> (4.6-7.0)	自宅: 16.10 時間 職場: 7.28 時間 戸外: 0.48 時間 通勤: 0.32 時間	<u>6.2</u> (5.0-7.3)	
教職 員 C		蕨平公民館→飯 舘中学校	<u>11.2</u> (8.6-13.9)	自宅: 15.51 時間 職場: 7.28 時間 戸外: 0.48 時間 通勤: 0.65 時間	<u>11.0</u> (8.6-13.5)	
高齢		飯樋地区 〇〇〇〇氏	<u>4.6</u>	自宅: 22.93 時間	<u>4.5</u>	

者 A		宅	(3. 8-5. 4)	屋外 : 1. 07 時間	(3. 7-5. 3)	屋外 : 1 時間
高齡 者 B		小宮地区 	<u>7. 9</u> (6. 2-9. 78)		<u>7. 9</u> (6. 2-9. 7)	
高齡 者 C		蕨平公民館	<u>16. 6</u> (12. 7-20. 6)		<u>16. 6</u> (12. 6-20. 5)	

表 4-5. 年間被ばく線量推計に使用したデータ (川内村)

川内村	Average	Standard Deviation	STD Percent	
木造家屋 A	0.37	0.07	0.18	貝ノ坂地区個人宅母屋 1 階と 2 階
	0.45	0.04	0.10	同 離れ 1 階
木造家屋 B	0.27	0.04	0.17	五枚沢地区個人宅母屋 1 階建て
木造家屋 D	0.12	0.01	0.06	第 7 集会所 1 階建て
木造家屋 C	0.22	0.02	0.09	熊沢地区個人宅母屋一階建て
	0.28	0.02	0.06	同 個人宅離れ 2 階
田畑 A	1.32	0.17	0.13	貝ノ坂地区個人所有農地
田畑 B	1.25	0.05	0.04	五枚沢地区個人所有農地
田畑 C	0.62	0.05	0.08	熊沢地区個人所有農地
山林	2.55	0.04	0.02	貝ノ坂地区村有林
学校	0.10	0.01	0.12	川内村中学校 食堂
学校校庭	0.13	0.01	0.11	グラウンド
事務職				
屋外 A	0.75	0.12	0.17	貝ノ坂地区個人宅母屋周囲
屋外 B	0.81	0.21	0.25	同 離れ周囲
屋外 C	0.58	0.10	0.17	五枚沢地区個人宅母屋周辺
屋外 D	0.49	0.11	0.22	五枚沢集会所周辺
屋外 E	0.16	0.02	0.12	第 7 集会所周辺
屋外 F	0.30	0.08	0.28	熊沢地区個人宅母屋周辺
屋外 G	0.36	0.12	0.32	同 離れ周辺
屋外 H	1.54	0.20	0.13	荻集会所
屋外 I	0.17	0.09	0.55	川内村中学校周辺

通勤経路 (片道相当)	積算線量 (μSv)	移動時間	
第 7 集会所→農地 C	0.00194	0:00:52	0.0144
自宅 A→村有林	0.01841	0:02:10	0.0361
自宅 C→村有林	0.07518	0:17:44	0.2956
自宅 A→中学校	0.090249	0:18:21	0.3058
自宅 C→中学校	0.01596	0:10:19	0.1719

表 4-6. 年間被ばく線量推計に使用したデータ (田村市都路地区)

田村市都路地区	Average	Standard Deviation	STD Percent	
木造家屋 A	0.14	0.01	0.09	地見城集会所
木造家屋 B	0.17	0.01	0.06	合子集会所
農地 A	0.29	0.02	0.08	個人所有農地 A
農地 B	0.42	0.02	0.06	個人所有農地 B
山林	1.09	0.18	0.16	行司沢林道
学校	0.10	0.01	0.11	都路中学校
学校校庭	0.14	0.00	0.04	グラウンド
事務職	0.13	0.01	0.04	都路行政局
屋外 A	0.19	0.04	0.20	都路行政局
屋外 B	0.17	0.02	0.13	都路中学校
屋外 C	0.19	0.04	0.23	地見城集会所
屋外 D	0.21	0.02	0.10	合子集会所

通勤経路(片道相当)	積算線量(μ Sv)	移動時間	
合子集会所→農地 A(*)	0.0632	0:12:54	0.2150
地見城集会所→行司沢林道	0.44755	0:40:30	0.6750
合子集会所→都路中学校	0.0195	0:08:40	0.1444
地見城集会所→都路行政局	0.008825	0:05:24	0.0900

(*)合子集会所~県道の農地入口：車移動、県道入口~農地：徒歩移動

表 4-7. 年間被ばく線量推計に使用したデータ（飯舘村）

飯舘村	Average	Standard Deviation	STD Percent	2014-01-20
木造家屋 A	0.73	0.11	0.15	飯樋地区自宅 A 1 階と 2 階
木造家屋 B	1.26	0.26	0.21	小宮地区自宅 B 一階建て
木造家屋 C	2.62	0.61	0.23	蕨平公民館一階建て
田畑 A	2.39	0.08	0.03	飯樋地区個人所有農地 A
田畑 B	3.28	0.03	0.01	小宮地区個人所有農地 B
田畑 C				
山林	3.42	0.17	0.05	自宅 B 裏山
学校	0.28	0.09	0.32	飯舘村中学校 1, 2, 3 階
学校	0.26	0.03	0.11	飯舘村中学校 体育館
学校	1.59	0.12	0.08	飯舘村中学校 体育館周辺
学校	2.22	0.38	0.17	飯舘村中学校校舎周辺
学校	2.63	0.05	0.02	飯舘村中学校グラウンド
学校校庭	2.68	0.13	0.05	スポーツ公園
学校校庭	2.98	0.26	0.09	野球場
屋外 A	1.90	0.56	0.30	自宅 A 周囲
屋外 B	2.91	1.02	0.35	自宅 B 周辺
屋外 C	5.63	0.39	0.07	蕨平公民館周辺
屋外 D	1.14	0.15	0.13	飯舘村公民館

通勤経路(片道相当)	積算線量 (μ Sv)	移動時間	
蕨平公民館→自宅 B	0.3602	0:12:08	0.2022
蕨平公民館→農地 A	0.5128	0:20:17	0.3381
自宅 A→自宅 B	0.1526	0:08:05	0.1347
自宅 A→飯舘中学校	0.0592	0:04:21	0.0725
自宅 B→飯舘中学校	0.1609	0:09:32	0.1589
蕨平公民館→飯舘中学校	0.4895	0:19:27	0.3242

4. 航空機サーベイデータとの比較

第7次航空機モニタリング調査で推計された空間線量率と実際に測定した地上1m空間線量率を対比し、航空機サーベイによる推定値の個人被ばく線量評価への応用に関して考察を行った。

具体的には、原子力規制委員会の東京電力福島第一原子力発電所事故による環境モニタリング等データベース (<http://radb.jaea.go.jp/mapdb/portals/670/>) より、「第7次航空機モニタリングの空間線量率の測定結果 (H25.9.28換算)」の田村市、双葉郡川内村、相馬郡飯舘村のそれぞれのCSVファイルをダウンロードし、それぞれグーグルアース上に表示を行った (図4-9参照)。そして、マップ上で実測地点の近傍における航空機モニタリングからの空間線量率の数値を拾い、実測データと比較を行った (表4-8、4-9。図4-10~4-12参照)。

表4-8及び図4-10に示す通り、全調査点を俯瞰すると、航空機モニタリング推計空間線量率と実測値とは概ね $3\mu\text{Sv/h}$ 以上の調査点では、空間線量率同士は直線的な関係がみられ、また推計空間線量率と実測値との比でも80%程度であることから、航空機モニタリングは概ね地上1mの空間線量率を評価できていると考えられた。しかし、 $3\mu\text{Sv/h}$ 以下では空間線量率同士の関係はばらつき、両者の比を見てみると、30から110%程度とばらついており一定の傾向は見られなかった。

同様の比較検討を、未除染エリア、除染済みエリアに分けて検討を行ったのが、表4-9、図4-11、4-12である。未除染エリアには、飯舘村の調査点と川内村の除染外エリアが含まれていたが、航空機モニタリング推計空間線量率と実測値の間には良好な直線関係が認められた。航空機モニタリング推計空間線量率と実測値の比についてみると、飯舘村の調査点では80%程度であったが、除染対象外の川内村の調査点では32、41、107%と、調査地点によりばらついていった。32%を示したのは、現在食品放射能分析場所として利用されている集会所であり、建屋周囲はコンクリート駐車場とアスファルト道路で囲まれていた。41%を示したのは、山に囲まれた中の個人宅であるが、庭や家屋周辺は破碎した花崗岩で敷き詰められており、除染がされていた。107%を示したのはこのお宅のすぐ裏手の田畑である。このエリアでは広大な田畑が広がり周囲を山々で囲まれた地形で、航空機モニタリング推計空間線量率はこれら山々・田畑がほぼ同程度の線量率 ($0.7\mu\text{Sv/h}$ 前後) であり、実測値も同様の値を示した。除染の手がついていない山々に囲まれたエリアにあっては、局所的に除染をしている、あるいは低い空間線量率を示す集落に関しては、航空機モニタリングでは正確に検出できていないものと推察された。

一方、除染済みエリアでは、航空機モニタリング推計空間線量率と実測値、両者の比いずれでもばらつきが大きく一定の傾向は認められなかった。航空機モニタリング推計空間線量率と実測値の比においても、多くの調査点が30~70%程度に分布していたものの、100%を超える調査点も複数認められた。これらの調査地点も基本的に山々に囲まれた中の集落・施設であり、実測値が航空機モニタリングと比べて30~70%と低くなったのは、航空

機モニタリング推計空間線量が除染の手がっていない山林につられて高めに出来ていることが原因の一つと推察された。なお、100%を超えた調査点は、飯館中学校周囲・校庭・野球場・競技場であるが、田村市や川内村の林道、家屋周辺における除染とは異なり砕いた花崗岩で表層はおおわれていなかった。そして、地表には苔が随所に生えていたが、そういった部分は計測装置を近づけると、地上1mの地点よりも数倍程度空間線量率が高くなることが多く、除染が十分でないために、地表の放射性セシウムを反映し、航空機モニタリング推計空間線量率より実測結果がやや高くなった可能性が考えられた。除染方法の詳細がどうであったなど情報収集を含め、これら調査地点で航空機モニタリングより実測値の方が高いことについてのさらなる考察は必要であろう。

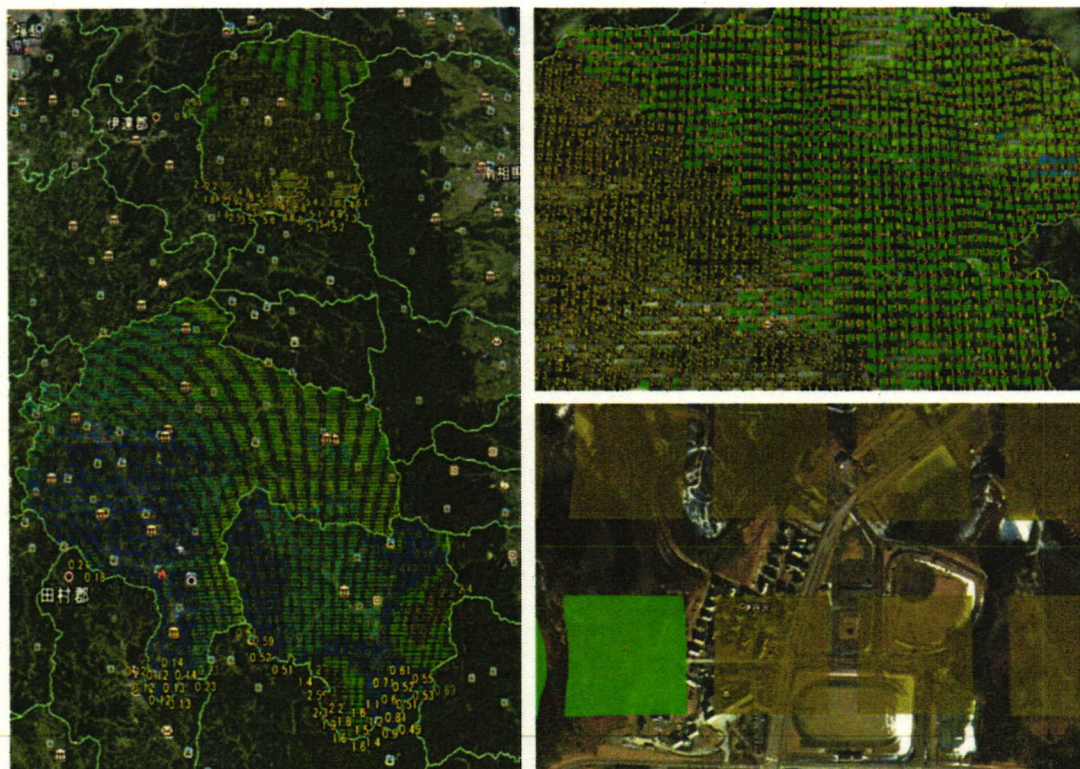


図4-9. Google Earth における航空機モニタリングデータの表示例

市町村	対象エリア	第7次航空機モニタリング結果(μ Sv/h) (H25.9.28)				平均値	1m 空間線量率(実地測定平均値)	実測/空モニ(%)	除染有無
飯館村	小宮曲田周辺	3.2	3	3.5	3.4	3.28	2.85 家屋周囲	87	未除染
						3.90	3.28 農地	84	未除染
						3.90	3.42 裏手山林	88	未除染
	藤平公民館周辺	5	5.3	5.3	5.9	5.38	5.64	105	未除染
	飯舘周辺	2.4	2.4	2.4	2.4	2.40	1.96 家屋周囲	82	未除染
						2.60	2.37 農地	91	除染済み
	飯舘中学校	2.2				2.20	2.22 校舎周囲	101	除染済み
		2				2.00	2.63 校庭	132	除染済み
	競技場	2.1	2.3			2.20	2.68	122	除染済み
	野球場周辺	2.3	2.2			2.25	2.98	132	除染済み
	飯舘公民館	1.5	1.5	2	1.9	1.73	1.20	70	除染済み
田村市	都路中学校	0.42	0.32			0.37	0.22	59	除染済み
	都路行政局	0.44	0.32			0.38	0.19	50	除染済み
	合子集会所	0.52	0.54	0.44	0.46	0.49	0.21	43	除染済み
	地見城集会所	0.55	0.54	0.57	0.57	0.56	0.20	36	除染済み
	農地(事前)	0.52	0.52	0.54	0.54	0.53	0.34	64	除染済み
	農地	0.65				0.65	0.42	65	除染済み
	農地	0.55	0.54	0.57	0.57	0.56	0.27	48	除染済み
	川内村	0.3	0.31			0.31	0.15 校舎周囲	49	除染済み
川内村	貝の坂地区(住宅・農地)					0.29	0.13 校庭	45	除染済み
		2.2				2.20	0.69 家屋周囲	31	除染済み
		2.2				2.20	1.22 農地	55	除染済み
	村有林(荻地区)	2.6	2.6			2.60	1.96	75	未除染
	荻集会所	2.6	2.6			2.60	1.40 公民館周囲	54	除染済み
	五枚沢集会所	1	1.3	1.5	1.7	1.38	0.43 公民館周囲	31	除染済み
	五枚沢地区(住宅)	1.8	1.8	2	2	1.90	0.52 家屋周囲	27	除染済み
	五枚沢地区(農地)	1.8				1.80	1.25 農地	69	除染済み
	第7区集会所	0.52				0.52	0.16 公民館周囲	31	未除染(除染対象外)
	熊ノ坪(住宅・農地)	0.49	0.64	0.53	0.65	0.58	0.24 家屋周囲	42	未除染(除染対象外)
		0.49	0.64	0.53	0.65	0.58	0.62 農地	107	未除染(除染対象外)

表4-8. 第7次航空機モニタリングにより推計された1m空間線量率と1m空間線量率実測値との比較

— 調査市町村別

市町村	対象エリア	第7次航空機モニタリング結果(μ Sv/h) (H25.9.28)				平均値	実測/空モニ(%)	除染有無	
飯館村	小宮曲田周辺	家屋周囲	3.2	3	3.5	3.4	3.28	87	未除染
		農地					3.90	84	未除染
		裏手山林					3.90	88	未除染
	藤平公民館周辺	5	5.3	5.3	5.9	5.38	105	未除染	
	飯舘周辺	家屋周囲	2.4	2.4	2.4	2.4	2.40	82	未除染
川内村	村有林(荻地区)	2.6	2.6			2.60	75	未除染	
	第7区集会所	公民館周囲	0.52				0.52	31	未除染(除染対象外)
	熊ノ坪(住宅・農地)	家屋周囲	0.49	0.64	0.53	0.65	0.58	42	未除染(除染対象外)
		農地	0.49	0.64	0.53	0.65	0.58	107	未除染(除染対象外)

表4-9-1). 第7次航空機モニタリングにより推計された1m空間線量率と1m空間線量率実測値との比較

— 除染の有無 1) 未除染エリア

市町村	対象エリア	第7次航空機モニタリング結果($\mu\text{Sv/h}$) (H25.9.28)				平均値	実測/空モニ(%)	除染有無
飯館村	飯館周辺	農地				2.60	91	除染済み
	飯館中学校	校舎周囲	2.2			2.20	101	除染済み
		校庭	2			2.00	132	除染済み
	競技場		2.1	2.3		2.20	122	除染済み
	野球場周辺		2.3	2.2		2.25	132	除染済み
	飯館公民館		1.5	1.5	2	1.73	70	除染済み
	飯館中学校		0.42	0.32		0.37	59	除染済み
田村市	都路行政局		0.44	0.32		0.38	50	除染済み
	合子集会所		0.52	0.54	0.44	0.46	43	除染済み
	地見城集会所施設		0.55	0.54	0.57	0.57	36	除染済み
	農地(事前)		0.52	0.52	0.54	0.54	64	除染済み
	農地		0.65			0.65	65	除染済み
	農地		0.55	0.54	0.57	0.57	48	除染済み
	川内中学校	校舎周囲	0.3	0.31		0.31	49	除染済み
川内村	川内中学校	校庭				0.29	45	除染済み
	貝の坂地区(宅・農地)	家屋周囲	2.2			2.20	31	除染済み
		農地	2.2			2.20	55	除染済み
	萩集会所	公民館周囲	2.6	2.6		2.60	54	除染済み
	五枚沢集会所	公民館周囲	1	1.3	1.5	1.7	31	除染済み
	五枚沢地区(宅)	家屋周囲	1.8	1.8	2	2	27	除染済み
五枚沢地区	農地	農地	1.8			1.80	69	除染済み

表 4-9-2) . 第7次航空機モニタリングにより推計された1m空間線量率と1m空間線量率実測値との比較

— 除染の有無 2) 除染済みエリア

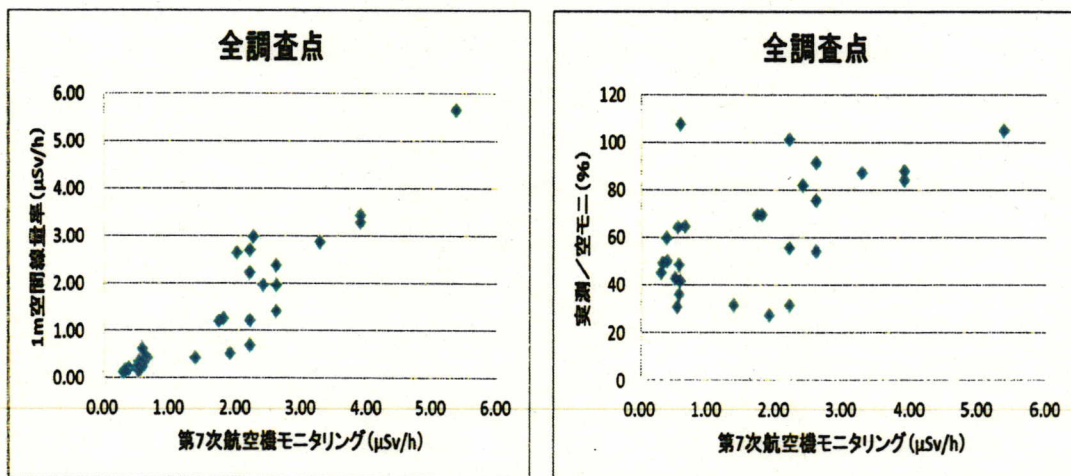


図 4-10. 航空機モニタリングより推計された空間線量率と実測空間線量率の関係

— 全調査点プロット図 空間線量率との比較 (左) 空間線量率比の比較 (右)

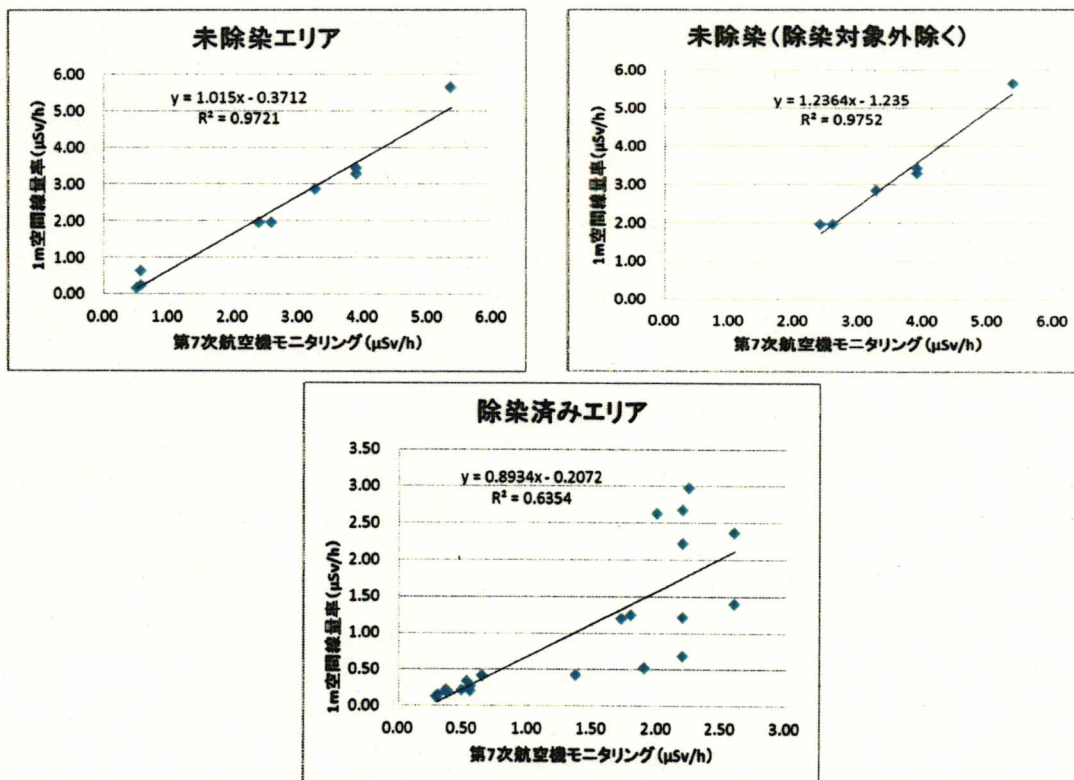


図4-11. 航空機モニタリングより推計された空間線量率と実測空間線量率の関係

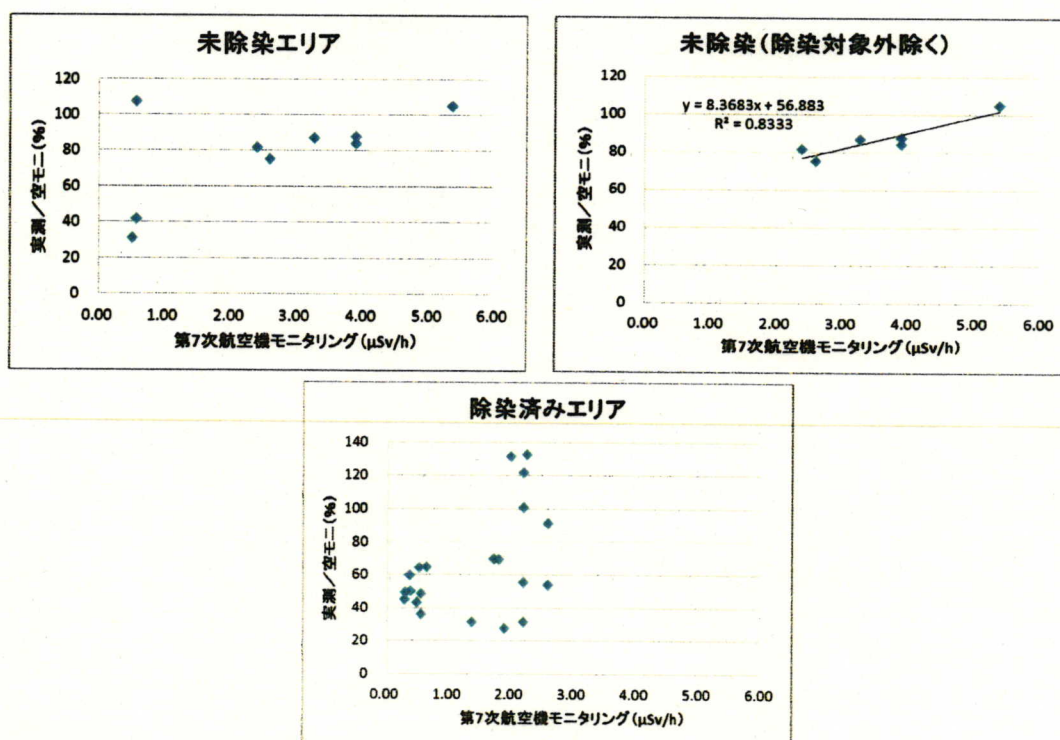


図4-12. 航空機モニタリングより推計された空間線量率と実測/航空機モニタリング空間線量率比の関係

第5章 結論

1. 個人線量計測定値の妥当性

住民の線量測定に用いられている電子式個人線量計について福島県内の実際の環境放射線場における照射試験及び ^{137}Cs ガンマ線標準照射場を用いた回転照射試験を行った。その結果、個人線量計読取值と空間線量との関係は、ICRP78によって報告されている個人線量Hp(10)と周辺線量H*(10)の関係と良く一致した。また個人線量計の指示値は実効線量の良い指標となっていることをガンマ線スペクトロメータの結果及び ^{137}Cs ガンマ線標準照射場を用いた回転照射試験によって実験的に確認した。これらのことから、個人線量計の校正の基準量である個人線量Hp(10)に対して適切に校正されている電子式個人線量計は、福島のような放射性物質が地表面に分布している放射線場においても実効線量を適切に評価できることを確認した。

2. 空間線量から個人被ばく線量を推計することの妥当性

帰還した住民の環境は、住宅及びその周辺、公共施設、道路、農地など基本的に除染が完了している場所であり、場合によっては森林など除染が行われない場所への立ち入りも想定される。このような場所での空間線量率の勾配は比較的小さいこと及び実際の人の向きは生活によって様々な方向を向くことから照射のジオメトリは等方照射ジオメトリあるいは回転照射ジオメトリあるいはその混在と考えると良い。放射線の入射の方向分布の傾向が同じならば、周辺線量当量（空間線量）に一定の定数を乗ずることによって個人線量を適切に推定することができる。今回の実験結果から、様々な場所においてファントム上の個人線量計の指示値とその場所における空間線量の関係は概ね直線関係にあることが確認されたため、空間線量に一定の定数を乗じて個人線量を推定することは妥当であると考えられる。

3. 個人被ばく線量の推定の可能性

調査対象地区での空間線量と個人線量との関係がほぼ明確になったことから、空間線量率分布と、そこでの生活における行動時間を知ること、ある程度の被ばく線量を推計することが可能になったと考えられる。その推計に際して、最も不確定差の大きい要因は行動時間と言える。しかし、十分に除染され、空間線量率の低い地域では、行動時間に多少の不確定さがあるにしても、例えば年間の被ばく線量という長いスパンで見れば、大きなばらつきは生じないと思われる。また、逆に、行動とその時間を仮定した際に、被ばく線量をある程度予測できることから、被ばく線量低減に向けた自己管理に結びつけることも可能となると考えられる。

4. 航空機サーベイデータの個人被ばく線量推定への活用の可能性

福島県下の複数の自治体で住民に個人線量計を配布し、実際に個人線量を測ったところ、その実測値は航空機モニタリングの空間線量率からの推定値の $1/3 \sim 1/7$ 倍であったことから、当初、航空機モニタリング結果と個人被ばく線量実測値との差を系統的に説明できるのではないかと期待があった。今回の調査結果をもとに解析したところ、飯舘村のような未除染で比較的空間線量率が高いエリアでは、航空機モニタリングで推計された地上 1m の空間線量率とサーベイメータで実測した地上 1m 空間線量率は概ね同様の値であり、両者の相関は大変良好であったが、除染済みエリアでは場所により大変大きくばらつくことがわかった。今回の個人線量計とサーベイメータを用いた調査結果から、実効線量が空間線量率の概ね 0.7 倍として評価できるということからすると、そして今後これまで以上に多くの避難指示解除準備区域で除染が進む状況を考えると、実効線量推計のもととなる空間線量率は航空機モニタリングの推計値ではなく、実測値を用いなければならないことが強く示唆される。

航空機モニタリングによる地上 1m 空間線量率の推計においては航空機モニタリング検討委員会において検討され、地上の測定結果推定精度を上げる努力がなされている（広域環境モニタリングのための航空機を用いた放射性物質拡散状況調査報告書、平成 24 年 6 月、（独）日本原子力研究開発機構）。しかしながら、広域環境モニタリングのための航空機を用いた放射性物質拡散状況調査報告書において「航空機モニタリングは、対地高度約 300m 上空で測定しているため、600m 程度の円内の平均値を求めているのに対し、地上の測定では、周辺 10m 程度の平均値を測定しているため、狭い範囲で線量の勾配が大きい場所や山裾等のヘリコプタの横から放射線を受ける場所および森林内等の上方に遮蔽がある場所等では、値が大きくずれる場合が考えられる」とあるように、地上の空間線量率を推定するに当たっての限界はあり、例えば今回の調査対象区域に見られたような、地表近くのホットスポットや、周りが山に囲まれている中の除染済みエリアの検出は困難であり、現時点ではやはり地上 1m 空間線量率の評価には、サーベイメータを用いて測定する必要があるだろう。避難指示解除準備区域では、国や自治体における 1m 空間線量率のデータも蓄積されていることから、帰還前に個人被ばく線量を推定する場合、それらデータの利用も合わせて検討することが効率的と思われる。

第 6 章 今後に向けた課題

第 1 章の 1. 目的で示した「1. 福島県内の避難地域で、住民が付けた個人線量計により個人被ばく線量が正しく評価できることの調査、2. 空間線量率と個人線量との関係、3. 建屋等による遮蔽効果、4. 成果パターンの変化による個人線量の変化の把握」について、実測と実験室系における調査を下に、いくつかの結論に達したと考えている。一方で、調査データの不足、調査条件が不十分、更には解析不足等のために、明確な結論として出せない

い、広い範囲で適応が難しい等の状態にあるものもあり、これらについては、今後の検討課題として残さざるを得ない。以下で、それらの幾つかを上げる。

1. 空間線量率から個人線量の推定

- ・ 体型差によるガンマ線の身体透過の違いが個人線量に及ぼす影響

今回の調査は成人を中心に行った。体格が個人線量に及ぼす影響を明確に示すためには、子供、特に身体的に成長過程にある児童、を対象にすることが重要である。今後、子供のランドファントムを用いる等、現実に応じたファントム測定を行うと共に、自治体の行っている個人線量測定結果を成人と比較する等の、既存データの解析も有効と考えられる。

- ・ 屋内と屋外で個人の姿勢が個人線量に及ぼす影響（屋内の空間線量率は、床面に近いほど低く、逆に屋外では地面に近いほど高い傾向にある）

個人線量に影響を及ぼす影響の要因の一つに姿勢が挙げられる。特に、職業上、長時間にわたって同じ姿勢を取り続ける場合等の影響は重要である。今回の調査では戸外では歩行するケースが大部分であったため、農作業の様に必要に応じ前屈姿勢等についても詳細な調査は行っていない。また屋内においては、多くの時間は座位が多いと思われる。姿勢への影響は空間線量分布と密接にかかわることから、空間線量分布の詳細な調査と姿勢の影響をケーススタディーとして行うことも、将来的に必要と思われる。

- ・ 個人線量計のエネルギー応答特性の影響

個人線量計はそれぞれ固有のエネルギー特性を持つことから、滞在する空間における放射線場の特性は、大なり小なり被ばく量に影響をもたらす。しかし、福島第一原発事故の影響のある場所では放射性 Cs からの放射線が主であることから、理論的な解析で或る程度の見通しは立てられると考えられる。これを行うためには、個人線量計の製作メーカーの協力が必要であり、国からの要請等が必要となる。

- ・ 空間線量分布の影響

屋内と屋外の放射線分布の不均一性の影響、建物の形状による屋内の放射線分布の変化の影響、周囲の建屋による放射線遮蔽状況の影響、積雪と降雨の気象条件の影響は個人線量に影響を及ぼし得る。しかし、実地測定の下でこれらすべての影響に関する知見を得ることは困難であり、シミュレーション等を援用した調査が有効である場合がある。これらの調査は、放射線の被ばく量の低減方法を検討する上で重要な知見を与えると思われる。

また、第 4 章（2）で述べたように、空間線量率の高い環境での建屋の低減係数に関する実測データが不足している。実測データは上記のシミュレーション等を裏付ける意味で重要であり、追加測定が望まれるところである。

- ・ 地理的影響

本調査における対象地域は山間部に存在した。その特徴は既に本文でも触れたように、周囲の森林等から飛来する放射線の影響であった。一方、檜葉町や南相馬市の海岸付近では、放射線場は相当異なることが予想される。代表的なケースとして例えば近い将来、避難指示解除が予想されるこういった地域を対象とした調査は重要と考える。

2. 事故以前の空間線量率（バックグラウンド）の評価

本調査結果の解析等においては、自然放射線（バックグラウンド）に由来する空間線量率は $0.04 \mu\text{Sv/h}$ とした。この値の妥当性については、調査地域の過去の実測データの有無の調査、地質学的観点からの推計など、もう少し検証する必要があると考える。

3. エネルギースペクトルデータの活用

建屋内外で計測された、図3-1から3-4に示す様な波高分布に対して、スペクトロメーターの応答関数マトリックスを用いて逆変換することで、ガンマ線エネルギースペクトルを得ることができる。得られたガンマ線スペクトルからは、セシウム汚染による線量率への寄与、事故とは無関係の K-40 等の自然放射線の線量率への寄与、実効線量換算係数を用いることで ROT, ISO 照射場における実効線量、また周辺線量当量などを導き出せると考える。これにより 2) の事故以前の放射線量率（バックグラウンド）の評価を検証することも可能となる。

今回の調査で、対象地域の各地点での照射場の波高分布データは取られているが、本解析には十分に反映されているとは言い難い。学術論文レベルでの発表に際しては、現データも活用し、より詳細な議論を可能にする必要がある。

4. 生活時間の推定

本調査を基にした年間被ばく線量の推定では NHK の国民生活時間調査 2010 のデータを用いたが、より現場に密着した推定を行うためには、住民の実際に近い行動の情報が得られることが望ましい。また、具体的な買い物場所や、戸外に出る場合の具体的な行き先や移動手段、移動時間等、地域に即した情報も重要である。但し、本文でも示したように、十分に除染の進んだ地域では大きな差を生ずることはないと思われる。

終わりに

本報告書は平成 25 年 10 月 11 日に提出した中間報告を基本として、より詳細なデータ解析に基づいて取りまとめた。4 月からは田村市都路地区の避難指示解除が実施されることになっており、これら結果が多少なりとも役立つことを願う。

今回の個人線量の実測調査に協力して戴いた田村市役所並びに都路行政局の方々、

また快く農地を測定対象として提供して戴いた方々、飯舘村役場の方々並びに測定のために自宅とその農地を提供して下さった方々、川内村役場の方々並びに測定のために自宅とその農地を提供して下さった方々に深く感謝する。