

## 個人線量と空間線量， 行動パターンとの関係 —実測データから解析すると—

内藤 航, 上坂 元紀  
Naito Wataru Uesaka Motoki

### 1. はじめに

放射性物質による健康リスクの評価や管理において必要な個人の外部被ばく線量（以下，“被ばく線量”とする）を知る手段には、モデルによる推定あるいは計測器による実測がある。どちらを使用するかは、目的や状況により異なる。東京電力(株)福島第一原子力発電所事故の後、政府による除染や避難指示区域の設定には、空間線量率からモデル推定された被ばく線量（以下，“政府推定式による被ばく線量”とする）が使われた。政府推定式による被ばく線量は、住民の1日の屋内外の滞在時間や家屋の遮蔽効果を一律で仮定し計算しており、個人線量計のような計測器を携帯することで把握できる個人の生活様式を反映した実測の被ばく線量とは異なる。

事故後数年が経過し個人線量の実測データが蓄積されるようになる中、原子力規制委員会は2013年11月、「帰還に向けた安全・安心対策に関する基本的考え方」を取りまとめ、帰還後の住民の被ばく線量の評価は、空間線量率からの推定ではなく、個人線量計を用いて測定する個人の被ばく線量を基本とすべきという考えを示した<sup>1)</sup>。「除染・復興の加速化に向けた国と4市の取り組み」の中間報告では、個人線量計により把握される個人の被ばく線量に着目した放射線防護の充実や除染の実施に言及している<sup>2)</sup>。すなわち、現存被ばく状況にある現在の福島における住民の被ばく線量の評価や管理

は、一律の仮定に基づく推定値ではなく、個人の生活様式の違いを反映した個人線量計による計測値など実態に合う被ばく線量をベースに考えていこうということである。

除染等の放射線防護対策や避難地域における住民の帰還に対する意思決定の基礎は、個人の被ばく線量である。誤った情報により誤った判断を下さないためにも、個人の被ばく線量に対する正しい理解と実態の把握は、自治体による効果的な被ばく線量低減対策の検討や、個人の放射線に対する不安解消にとって必要不可欠である。特に、これから避難地域への帰還の意思決定を行う自治体や住民、自主的に避難をしている住民にとって、帰還後に自分や家族の被ばく線量がどれくらいになるのか、帰還後の被ばく線量を低減させるためにはどうすればよいのかなどは、大きな関心事である。このような背景を受けて筆者らは、福島県において地元住民や自治体と協力し、1時間ごとの線量を知ることができる個人線量計（D-シャトル）を用いて、個人被ばく線量の実態把握と、個人の被ばく線量と航空機モニタリング等による空間線量や行動パターンとの関係を解析し、利用可能な計測データに応じて、個人の生活パターンを考慮し将来の被ばく線量を推定する手法に関する研究を実施している。本稿では、筆者らの研究の特徴とこれまでの取り組みで得られた知見を紹介する。

## 2. 調査研究の方法

筆者らは、図1に示す、1時間ごとに被ばく線量が分かる小型個人線量計（D-シャトル）と全地球測位システム（GPS）などの行動記録とを組み合わせ、個人がいつ・どこで・どれくらい被ばくしているかを把握する調査研究を福島県内で実施している。D-シャトルは、産業技術総合研究所が開発し（株）千代田テクノが製品化した小型の半導体式の個人線量計で、日々時間ごとの被ばく記録をパソコンに読み出すことができ、1年以上電池交換をせずに使用できるという特徴がある。D-シャトルの詳細や活用例は大口<sup>3)</sup>や宮崎・早野<sup>4)</sup>を参照されたい。本調査では、1週間～10日程度の調査期間中、主に福島県中通り地区在住の住民、2015年8月末時点で延べ数150人程度に、D-シャトルとGPSロガーを携帯し日常生活を送りながら、同時に簡単な行動記録を行動調査票に記載いただいた。調査終了後、D-シャトルの1時間ごとの個人線量を読み出し、その個人線量に対応する行動と場所をGPSロガーの記録と行動調査票より把握した。個人線量との関係を解析するための空間線量データは、網羅性や公的利用性を重視し、原子力規制庁がWeb上で公開している航空機モニタリングと走行サーベイのポイントデータ<sup>5)</sup>をGISにより面的に内挿したデータを使用した。被ばく線量が相対的に高かった住民については、その原因を検討するため、現地での詳細な線量測定も複数の地点で行った。データの取得やその利用について、あらかじめ協力者の同意を得て実施した。

本研究は、個人被ばくの実態を把握することに留まらず、個人線量に対する住民の正しい理解の促進や行政における意思決定での活用という側面も重視し、調査の計画段階より地元住民や自治体関係者と協議しながら実施した。筆者らは、調査後、協力者一人一人に被ばく線量の経時変化や年間追加被ばく線量の推定値を簡単にまとめた報告書を配布した。一方で、住民が自ら個人線量のグラフを読み取ったり、被ばく



図1 調査に使用した個人線量計（D-シャトル）と管理機（手前左）とパソコン上に読み出した1時間ごとの線量（上）とGPSロガー（手前右）

量の多寡を評価したりするのは困難な場合がある。そのため、調査結果の誤った解釈に繋がらぬように、結果が記載された報告書を調査協力者に送付するだけでなく、できる限り対面してグラフを示しながら結果を説明することを心掛けた。そのようなプロセスを繰り返すことにより、地元住民や自治体が何を求めているのか、現場ニーズを知ることができ、このことは問題解決志向の研究を行う筆者らにとって、今後の方針を検討する上で非常に有益であった。

さらに、比較的高い被ばく線量が観察された場所については、現場で住民と一緒に線量計測を行った。このことは、筆者らにとって現場の特徴や規模感を知る良い機会となり、住民にとっては被ばく環境の実態を即座に実感できるという利点があった。図2は地元住民と一緒に山菜を採りながら個人線量と周辺線量当量を計測した例である。山菜やキノコ採りなど里山での活動は、福島県の特に山村の住民にとって生活の一部を構成するものであり、そこに居住することに対しての大きなインセンティブとなっている。飯舘村や川俣町山木屋地区など中山間地域を抱える避難区域にとって、これまでの自分の生活範囲における日常的な活動における被ばくがどの程度かを知ることは、住民が自分自身で現実と向き合い、帰還の意思決定をしていくための重要な要素となるだろう。

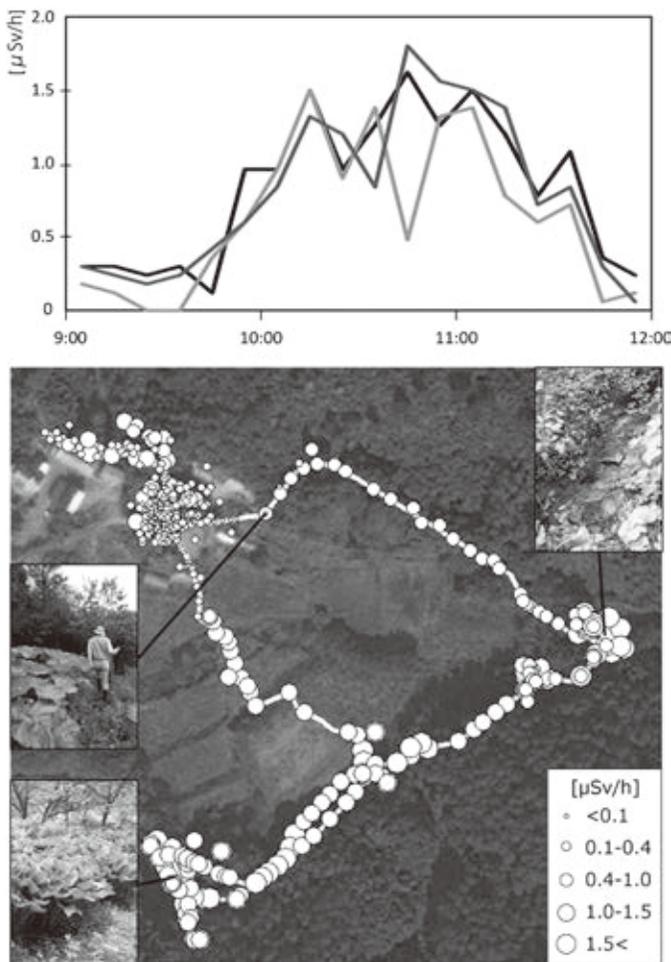


図2 地元住民と一緒に山菜を採りながら計測した3名分の個人線量の推移(上)と行動軌跡(下)

### 3. 個人線量と空間線量の関係—経時変化で比較してみると—

D-シャトルより得た個人の被ばく線量(以下、個人線量)と空間線量の推定値の関係を経時的に1時間ごとに表現した例を図3に示す。ここで実線が個人線量、点線が空間線量の推定値を、色の白い帯は昼を、灰色は夜の時間帯を表している。Aさんは果樹農業者で、昼の作業中に線量が高くなる典型例である。Aさんの個人線量は、日中果樹園で作業している時に相対的に高く、自宅にいる夜間は低い。昼食のため

に自宅に戻る正午ごろに個人線量が下がっているのが見て取れる。Bさんは、夜間の方が昼間よりも相対的に個人線量が高い傾向がある。これは、空間線量の値からも分かるように、自宅のある場所の空間線量が相対的に高く、それが個人線量に反映されているからと考えられる。Cさん(事務職)のグラフを見てみると空間線量変動しているのに比べて、個人線量のばらつきは少なく、大部分が $0.2 \mu\text{Sv/h}$ 以下である。これはCさんの勤務先が遮蔽効果の高い鉄筋コンクリートであることに加え、自宅、勤務先ともに空間線量が比較的低い地域にあるためと推察される。これらの例から分かるように、1時間ごとの個人線量は、主な活動場所や自宅等の構造、行動様式などの要因によって様々である。図3下方にある円グラフは、それぞれの調査対象者の積算被ばく線量に対する滞在場所や活動の寄与割合を示したものである。Aさんは屋外での活動時間が相対的に長く、被ばく線量も高いため、積算線量全体に占める屋外活動の寄与が大きい。一方、BさんやCさんは滞在時間の長い自宅や勤務先での被ばくが積算線量に

大きく寄与している。A、BとCさんが調査期間と同様の生活パターンを1年継続すると仮定した場合、調査期間の中間日から1年間の追加積算線量は、それぞれ1.52、1.80、0.76 mSvと推定される。個人線量の積算値の把握が目的であれば、ガラスバッジによる計測値は有効であるが、効果的な被ばく線量の低減対策を具体的に検討するためには、いつ・どこで・どれだけの被ばくを受けているのか、すなわち個々の被ばくの実態を把握することが不可欠となる。このような目的においては、D-シャトルのように

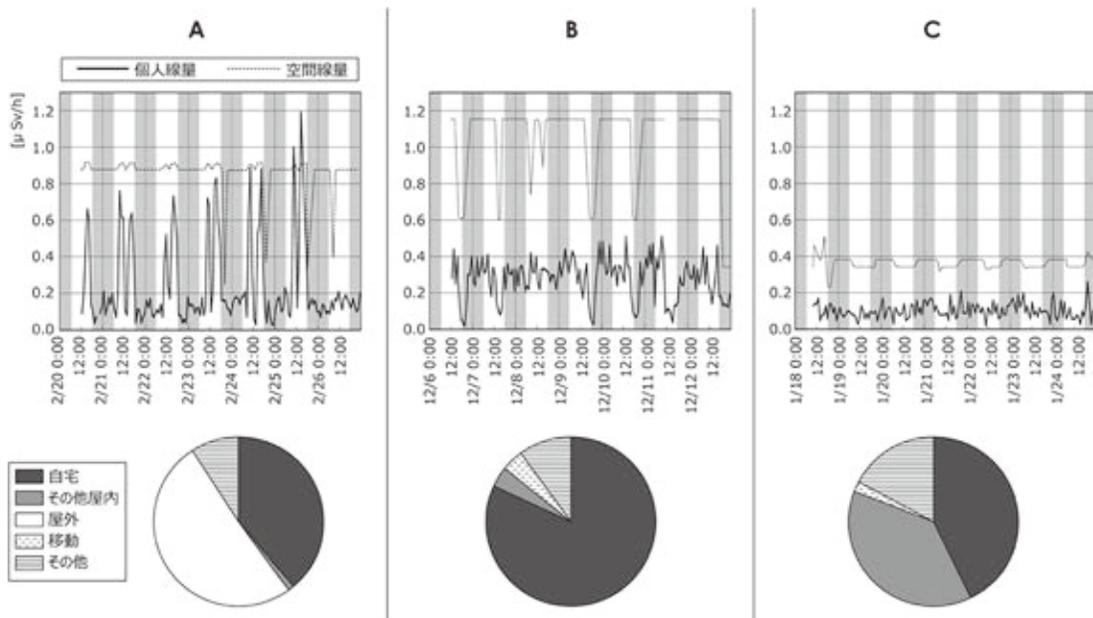


図3 個人線量の経時変化と積算被ばく線量に対する場所別の寄与割合の例

時間ごとに被ばく線量を知ることができるツールと筆者らの解析手法は有効であろう。ただし個人のプライバシーを扱うことになるので、その点については十分注意する必要がある。

#### 4. 個人線量と空間線量の関係—積算線量平均値で比較してみると—

これまでの調査で得た120人分のデータについて、調査期間中における個人線量と空間線量の積算値を時間当たりの値と比較した結果を図4に示す。ここで個人線量（縦軸）と空間線量（横軸）は、自然バックグラウンド線量をそれぞれ0.06 μSv/hと0.04 μSv/hと仮定し、追加線量で表現した。図5において、回帰式の傾きは0.22である。これより、平均値で見ると、個人線量の積算値は空間線量の積算値のおよそ2割程度であることが分かる。約30人を対象に自然バックグラウンドを考慮せず解析した筆者らの報告では3割程度であった<sup>6)</sup>が、自然バ

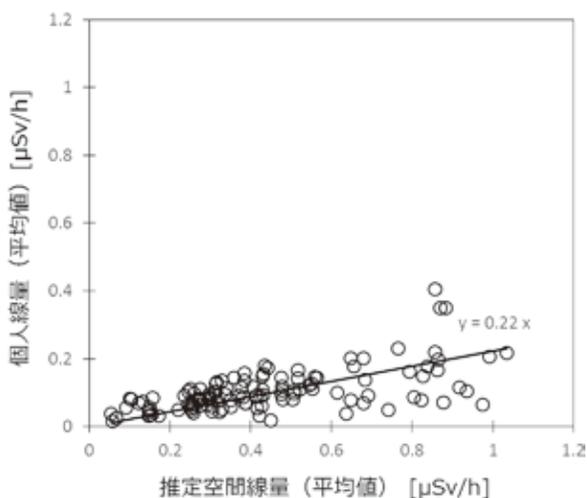


図4 個人線量と空間線量の関係

個人線量はD-シャトルによる計測値、空間線量は航空機モニタリングと走行サーベイの結果をGIS上で統合し推定した

ックグラウンドを考慮すると同程度となり整合する。政府の推定式は空間線量の6割が個人の追加被ばく線量と想定することになるので、本調査で対象とした集団の平均は、その1/3程度で

あった。つまり、個人線量計で実測される被ばく線量の値は、空間線量率から一律の仮定で推定される値より十分に低いことを示している。図4は調査期間全てを対象にしたものであるが、滞在場所を屋内と屋外に分けて同様の解析をしたところ、回帰式の傾きは、屋内では0.17、屋外では0.36となり、ばらつきは大きい、建物による遮蔽のない屋外の方が回帰式の傾きが大きい値を示した。本解析では航空機モニタリングと走行サーベイを組み合わせ推定した空間線量の値を用いた。この推定値はあくまでも面的な平均値であり、オンサイトで個人線量と空間線量（例えばサーベイメータによる周辺線量当量の計測）を同時に同じ場所で計測したわけでないことに注意が必要である。Csが広く屋外に分布する福島のような照射条件において、同じ場所で個人線量と空間線量（周辺線量当量）を測定した場合、個人線量は空間線量の7割程度であり、個人線量計による計測値は、リスク評価等で用いられる実効線量と同程度あるいはやや大きい値を示すと報告されている<sup>7)</sup>。筆者らがモニタリングポストにおける測定値と、航空機モニタリングと走行サーベイより推定した空間線量率の値を比較したところ、ばらつきは大きく、平均で見ると、モニタリングポストの値の方が4割程度小さい値であった。

### 5. 個人被ばく線量推定支援ツールの開発

D-シャトルは実態に合う外部被ばく線量を実際に計測し、知ることができる計測ツールであり効果的なコミュニケーションツールでもある。実際に計測ができる状況では個人線量計が非常に有用であるが、避難等で自宅から離れて

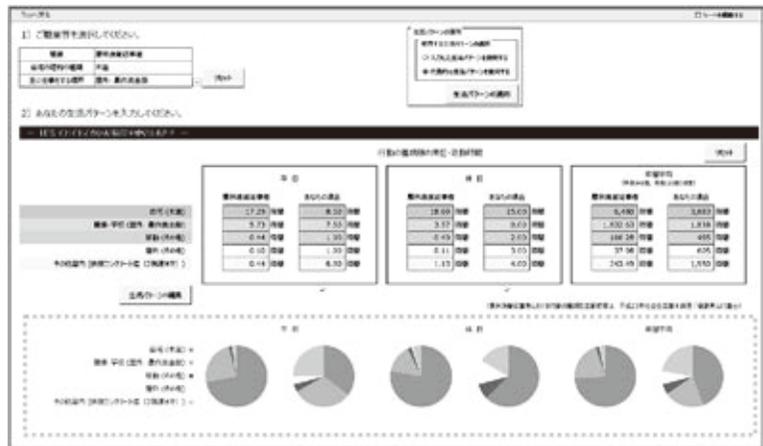


図5 外部被ばく推定支援ツール（暫定版）の画面のスナップショット

生活する住民にとって、帰還後の被ばく線量はどの程度か、将来の被ばくはどうか、効果的に被ばくをより低減させるためにはどうすればよいか、このような問いに答えるためには、様々な個人の生活様式が反映でき実態に合う被ばく線量の推定を可能にする手段が必要である。筆者らは、地元住民と協力して取得した個人線量データやモニタリングデータ等を活用し、将来の被ばく線量や滞在場所ごとの寄与率が推定できるツールの開発を行っている。そのツールでは、①生活様式（滞在場所や時間）、②滞在場所別の空間線量や個人線量の実測値やその範囲、③計算を始める年月日（例えば帰還予定日）を設定することにより、将来の積算追加外部被ばく線量が推定できる（図5）。本ツールを用いることで将来の個人の被ばく線量を様々なシナリオで分析することが可能となる。例えば、生活環境における行動を変えた場合やある場所の空間線量を除染などの低減策で低下させた場合に、年間追加被ばく線量の推定値がどのように変化するかを即座に知ることができる（図6）。一方、このようなツールは誰でも被ばく線量が計算できるという簡便さはあるが、数字が一人歩きをしたり住民の不安の原因になる恐れもあるので、地元住民や自治体



図 6 外部被ばく推定支援ツール（暫定版）を使用し個人線の被ばく線量をシナリオ別に解析した例

等でこのようなツールを使用する際には専門的知識を有する相談員等の確保など体制作りを同時に進めることが必要であろう。

## 6. まとめと今後

筆者らは、地元住民らと協働で実施した調査研究を通して、福島における外部被ばく線量は、航空機モニタリングと走行サーベイによる空間線量率から推定される被ばく線量よりも十分小さいことを示した。これまでの調査研究の協力者の多くは、被ばくの現状を受け入れ、自分の被ばく線量を知りたいことを望んでいるか、データを今後の放射線対策に役立ててほしいと願う住民であった。そのため調査結果の伝達は比較的スムーズに行われた。筆者らは今後、避難地域への帰還を検討している地域において、被ばくの現状を誤解なく理解し、納得のいく意思決定を支援するための科学的知見の蓄積を地元

住民や自治体と協働で進めたいと考えている。

最後に、これまでに浮き彫りになった問題点として、外部被ばく線量のリスク削減策を提示することの困難さを挙げておきたい。外部被ばく線量は内部被ばく線量を対照的に、その被ばく量を低減させるためには除染等の社会的支援が必要となるケースが多い。調査の結果が判明しても、その対応策を研究者だけでは提示できず、かえって住民に不満を抱かせてしまうこともある。住民の今後の生活の在り方の検討に繋がるような調査研究では、得られたデータをエビデンスとして正確に伝えるだけでなく、住民がどのようにそれを受け止め、それに対して適切な対応ができる、データの取得からその対応まで一貫して議論できるステークホルダーを巻き込んだ体制作りが必要である。

## 参考文献

- 1) 原子力規制委員会, <http://www.env.go.jp/jishin/rmp/conf/10/ref04.pdf> (2015年9月8日アクセス)
- 2) 復興庁, 環境省, 他, <https://www.env.go.jp/press/files/jp/24939.pdf> (2015年9月8日アクセス)
- 3) 大口裕之, 主任者ニュース, **20**, 6-9 (2014)
- 4) 宮崎真, 早野龍五, *Isotope News*, No.726, 28-32 (2014)
- 5) 原子力規制委員会, <http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/496/list-1.html> (2015年9月8日アクセス)
- 6) 内藤航, 他, 電子情報通信学会誌, **98**, 144-150 (2015)
- 7) Naito, W., et al., *Radiat Prot Dosimetry*, **163**(3), 353-361 (2015)
- 8) 放射線医学総合研究所・日本原子力研究開発機構, <http://www.nirs.go.jp/>

(産業技術総合研究所)