

テーマ I 放射線被ばく線量評価に関する研究

I-1 日本家屋におけるしゃへい係数及び

屋内汚染に関わる調査研究

## 日本家屋におけるしゃへい係数及び屋内汚染に関わる調査研究

主任研究者 吉田浩子(東北大学大学院薬学研究所 ラジオアイソトープ研究教育センター講師)

### 研究要旨

本研究では、住民の外部被ばく線量評価をより正確に行うために、しゃへい係数及び代表的範囲について特に東北地方の日本家屋での適正な数値を取得するとともに屋内汚染の実態を把握することを目的とする。空間線量率を用いて外部被ばく線量を評価する際に、屋内の空間線量は通常住家外の空間線量にしゃへい係数(住家内/外空間線量率比)を乗じて求める。滞在時間が長い屋内の空間線量の算出にあたっては、適切なしゃへい係数を用いて評価することが特に重要となる。国際原子力機関によるIAEA-TECDOC-1162「放射線緊急事態の評価および対応のための一般的手順」では、1階および2階建ての木造の家におけるしゃへい係数は0.4(代表的な範囲0.3-0.5)としている。しかし、この数値は屋内の沈着が無視できる場合にだけ適切である。本研究では、飯舘村を中心とした住家の内外のγ線スペクトルを取得し、セシウムによる直接線と散乱線成分とに分けた。住宅内の直接線は屋内汚染によると考え、しゃへい係数の評価を行った。その結果、真のしゃへい係数は約0.3と評価されたが、見かけのしゃへい係数は積雪のない時期、積雪のある時期とでそれぞれ0.39、0.54と大きな差が示され、屋内汚染が見かけのしゃへい係数に影響を与えていることがわかった。また、住家内のセシウム直接線線量率と外のセシウム全線量率とに弱い正の相関が観察されたことから、屋内汚染は放射性プルームが拡散したときのドライ沈着により生じたことが示唆された。

キーワード:日本家屋、しゃへい係数、屋内汚染、ガンマ線スペクトル、直接線、間接線

### 研究者協力者

細田 正洋・弘前大学医学部保健学科 助教

壽藤 紀道・長瀬ランダウア(株)技術室 技術顧問

小林 育夫・長瀬ランダウア(株)技術室 研究員

### I 研究目的

福島第一原発事故の発生後、福島県内では11市町村が計画的避難指示区域に指定された。これらの地域は、現在帰還困難区域、居住制限区域及び避難指示解除準備区域に順次再編中であり、平成25年9月までに子供の推定年間被ばく線量をおおむね60%減少した状態を実現することを目指し、除染等が行なわれている。住民の速やかな帰還を目指すには、帰還の判断材料、帰還後の生活の目安とするための正確な被ばく線量評価予想が必要であり、特に子供や若い住民にはより正確な情報が求められている。

空間線量率を用いて被ばく線量を評価する際に、屋内の空間線量は、通常住家外の空間線量にしゃへい係数(住家内/外空間線量率比)を乗じて求める。小さい子供ほど、住家内に滞在する時間が長く、屋内の空間線量の算出にあたっては、適切なしゃへい係数を用いて評価することが特に重要となる。国際原子力機関による「放射線緊急事態の評価および対応のための一般的手順」IAEA-TECDOC-1162<sup>1)</sup>におけるしゃへい係数は0.4(代表的な範囲0.3-0.5)であるが、この数値は室内の沈着が無視できる場合に適切であり、そうでない場合には室内汚染について別途考慮する必要がある。本研究では、正確な被ばく線量評価予想のために、日本家屋でのしゃへい係数及び代表的範囲について適正な数値を取得するとともに屋内汚染の実態を把握することを目的とす

る。住民が今後帰還することが予想される地域において、住家内外の詳細な実態調査を行い、これらのデータ收拾及び、屋内汚染と床材との関係等を解析する。

## II 研究方法

住民が今後帰還・居住することが予想される飯館村の避難指示解除準備区域の住家について主に調査を行なった。

2"φx2"NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ(TCS-172)及び3"φx3"NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータJSM-112B(いずれも日立アロカメディカル(株)社)を用いて住家の外及び内について地表または床から1mの地点で測定を行った。サーベイメータによる1cm線量当量率、 $\mu\text{Sv/h}$ (10)の測定は、住家外回り全体及び住家内では居間、寝室、子供部屋を中心として時定数30秒で3回行い、その平均をとった。スペクトロメータによる測定は住家外2箇所程度及び住家内では居間、寝室、子供部屋等数カ所について各900秒間行い、 $\gamma$ 線波高分布を得た。室内の測定は窓から離れた場所及び窓に近い場所双方で行なった。いずれの調査箇所でも放射線の入射はほぼ等方であったため、22x22行の応答行列法<sup>2-4)</sup>により、波高分布をunfoldingして入射 $\gamma$ 線のエネルギー・スペクトルを得た。Fig.1(a),(b)に波高分布とunfolding後の入射 $\gamma$ 線のエネルギー・スペクトル例をそれぞれ示す。unfoldingの対象は0.05~3.2MeVのエネルギー範囲であり、この範囲を22分割したエネルギー・ビンごとに線量率を算出した。Fig.1(b)では高エネルギー側に自然環境 $\gamma$ 線である $^{40}\text{K}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ( $^{238}\text{U}$ の娘核種),  $^{208}\text{Tl}$ ( $^{232}\text{Th}$ の娘核種)の顕著なピークが観察され、これらを利用してK,U,Th濃度を決定した。この方法はすでに確立された方法<sup>2-4)</sup>である。原発事故由来の $^{134}\text{Cs}$ は1.365MeVの $\gamma$ 線を放出する。これは $^{40}\text{K}$ の1.461MeVのピークの近傍であり、22x22行の応答行列法のエネルギー・ビン分けでは弁別しにくい。そこで、湊の方法<sup>5)</sup>により、 $^{40}\text{K}$ のビンに重畳している $^{134}\text{Cs}$ 成分を $^{40}\text{K}$ のビン近傍に振り分けて取り除き、 $^{40}\text{K}$ のみによる全線束を計算した。以上により、K,U,Thの各濃度を求め、自然環境 $\gamma$ 線と原発事故による放射性セシウムからの寄与分を分離した。次に、Fig.1(c)に示すように、0.4~0.9MeVの散乱線を直線で近似して散乱線成分とし、全体から散乱線成分を差し引いた残差を直接線成分とすることにより両者を分別し、それぞれの線量率( $\mu\text{Gy/h}$ )を取得した。<sup>6)</sup>

(倫理面への配慮)

本調査研究は個々の住家を調査するものであり、結果には個人情報が含まれるので開始前に当大学内に設けられた「ヒトを対象とする研究に関する倫理審査委員会」に調査内容と方法を申請し、承認を得た。調査の方法は承認を受けた以下の手順による。

説明会もしくは書面の通知により「調査の目的と方法の説明および調査へのご協力をお願い」を説明し、同意を書面で得た。住民が避難している場合は住民への通知及び測定時の立ち会いは自治体を通して行った。得られた結果について、住民に対し線量結果のお知らせを通知した。さらに、個人の人権への対策として、研究実施に際しては、人間の尊厳を尊重するとともに、個人の人権の保障が科学的又は社会的利益に対して優先することを基本とし、個人情報の保護の徹底をはかった。そのための具体的な配慮を以下に示す。

○住民は本人の自由意思で実験への同意、非同意を決定することができる。

○住民はいつでも本人の自由意思で実験の中止を決定できる。

○実験者は、住民の人権を尊重し、実験終了後も結果の利用等において、住民のプライバシーの保護を優先する。

- 個人情報実施責任者が厳格に管理及び取扱うこととし、研究目的以外には用いない。
- 個人情報利用の際は、個人の特定に至ることはないように配慮する。

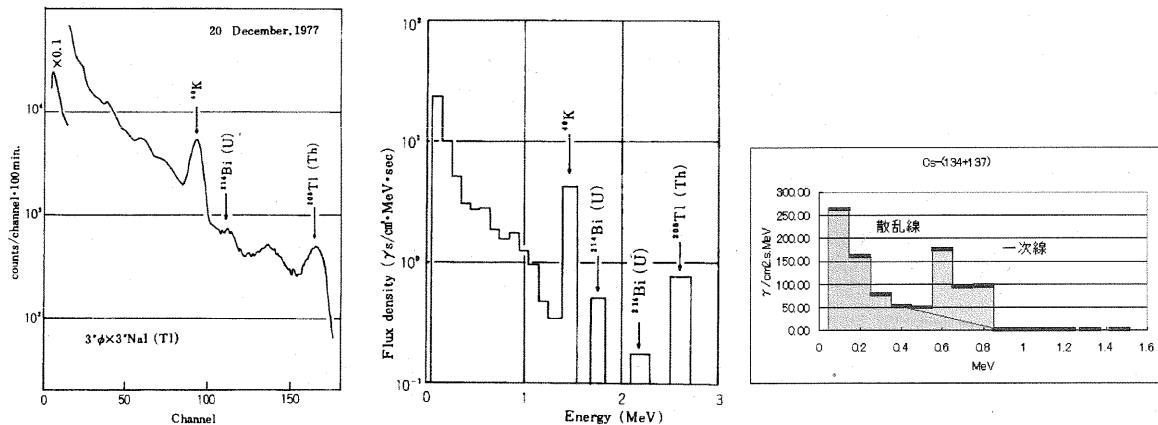


Fig.1 Examples of (a) a pulse height distribution obtained by a 3"φx3" NaI(Tl) scintillation spectrometer, (b) an unfolded energy spectrum, and (c) a result of separating scattered gamma rays from mixed radiations. The residual is considered as radiations due to uncollided gamma rays from Cs. Figs. (a) and (b) are cited from ref. 1) and Fig. (c) from ref. 5), respectively.

### III 研究結果

#### 1 調査場所等

飯舘村の避難指示解除準備区域である八木沢・芦原 (5戸)・大倉 (5戸)・佐須 (5戸)・二枚橋・須萱 (4戸) 及び居住制限区域白石 (1戸)・深谷 (1戸) の計 21 戸について調査を行なった。住家は全て木造であり、2 階建て (2 階部分は一部) が 20 戸、1 階建ては 1 戸のみであった。築年数は、～1 年 (1 戸)・1～20 年 (5 戸)・20～40 年 (7 戸)・40～年 (10 戸) であった。複数の築年数の複合住宅は各 1 戸と数えた。

平成 24 年 12 月 17～21 日に佐須 (5 戸)・二枚橋・須萱 (4 戸) 及び白石 (1 戸)・深谷 (1 戸) の 11 戸を、平成 25 年 1 月 22～26 日に八木沢・芦原 (5 戸)・大倉 (5 戸) の調査を行った。後者の日程では調査したいずれの住家でも周囲に積雪があった。

#### 2 地区、住家における線量率分布の傾向

同じ地区の中でも住家の立地によって線量率の差が大きい (～3 倍) ことがわかった。線量率の高い住家の共通点は、水はけが悪い窪地に立地していることである。このような住家では家の裏表に関係なく全体的に線量率が高い。表層水による粘土が流れ込み、たまりやすくなっていることが原因であると考えられ、このような住家では水はけを改善しなければ除染後再び線量が高くなる可能性がある。住宅敷地内で放射線の分布は不均一であり、ホットスポットなど線量率が高い共通する箇所としては、雨樋の周辺、山ののり面に面している箇所や山を背負い水はけが悪い箇所 (暗渠や U 字溝を設けていない) があり、家の裏側が線量率が高い傾向がある。スギなどのイグネで囲まれている住家では、葉が覆いかぶさっている箇所、特に 2 階の部屋でその影響が顕著に認められた。また、2 階の部屋で屋根の直下では、線量率が高い傾向が観察され、屋根に付着した放射性物質の影響と考えられる。この傾向は、スレートやトタン屋根より瓦屋根で顕著であった。すでに事故から 1 年 9 ヶ月が経過し、屋根に付着した放射性物質のほとんどは風雨や雪に

より飛ばされたり、洗い流されていると考えられるが、瓦屋根の隙間に入り込んだ放射性物質が残っていることが原因ではないかと疑われる。

### 3 住家内セシウム直接線線量率及び住家外のセシウム全線量率との相関

住家内のセシウム全線量率に占めるセシウム直接線線量率の割合は全住家（21戸）について平均30%であった。積雪のない時期に測定した住家（11戸）、積雪のあった中で測定を行なった住家（10戸）についての平均はそれぞれ31%、28%とほぼ同じ数値であった。積雪のない時期に測定した（201212調査）11戸及び積雪のあった中で測定を行なった（201301調査）10戸について、住家内のセシウム直接線線量率と住家外のセシウム全線量率（左軸）またはサーベイメータによる1cm線量当量率、 $H^*(10)$ （右軸）との相関を調べた結果をFig. 2に示す。いずれの軸でも全体的に弱い正の相関が観察された。しかし、築年数との相関関係は観察されなかった。

### 4 住家内汚染と床材質との関係

全住家（21戸）についての住家内の床材と住家内セシウム直接線線量率（左軸）との相関をFig. 3に示す。住家内セシウム直接線線量率は畳よりフローリング床材で少ない傾向があるようである。床材と住家内セシウム直接線線量率/住家外セシウム全線量率比（右軸）の相関についてみると比が高い箇所は畳であり、低い箇所はフローリング床材であることが多かった。

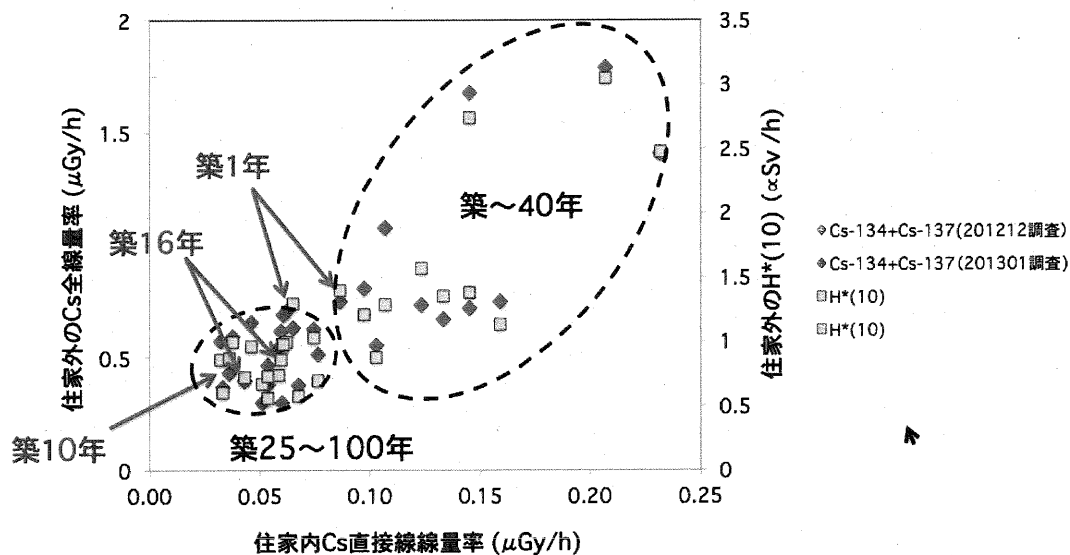


Fig.2 Relationships between the indoor dose rates due to uncollided Cs radiations ( $\mu\text{Gy/h}$ ) and the outdoor total dose rates due to Cs ( $\mu\text{Gy/h}$ ) (the left y-axis) or outdoor ambient equivalent dose rates,  $H^*(10)$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) (the right y-axis) for 21 wooden houses in Iitate village.

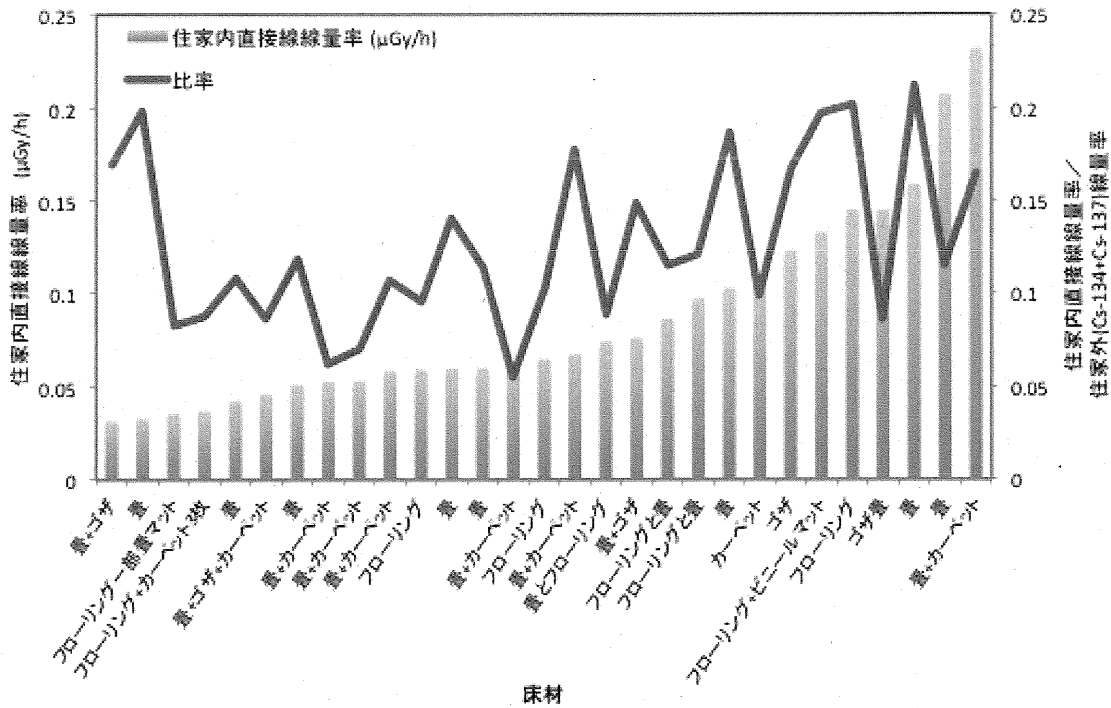


Fig.3 Relationships between the floor material and the indoor dose rates due to uncollided Cs radiations ( $\mu\text{Gy/h}$ ) (the left y-axis) or the ratio of the indoor dose rates due to uncollided Cs radiations to the outdoor total dose rates due to Cs (the right y-axis) for 21 wooden houses in Iitate village.

### 5 シャーヘイ係数の評価

見かけのシャーヘイ係数,  $FS_{app}$  を下記の式で算出した。住家内 1cm 線量当量率は窓から離れた部屋の中心部での数値を、住家外 1cm 線量当量率は家の構造体から離れた場所で下が地面である場所での数値を用いた。

$$FS_{app} = \text{住家内 1cm 線量当量率} / \text{住家外 1cm 線量当量率} \quad (1)$$

$FS_{app}$  は全住家 (21 戸) について平均 0.44 (最大 0.75、最小 0.22) であった。積雪のない時期に測定した住家 (11 戸)、積雪のあった中で測定を行なった住家 (10 戸) についての平均はそれぞれ 0.39、0.54 と大きな差があることがわかった。

真のシャーヘイ係数,  $FS_{net}$  を下記の式で算出した。住家内での線量率は窓から離れた部屋の中心部での数値を、住家外の線量率は家の構造体から離れた場所で下が地面である場所での数値を用いた。

$$FS_{net} = \text{住家内のセシウム散乱線による線量率} / \text{住家外のセシウム全線量率} \quad (2)$$

$FS_{net}$  は積雪のない時期に測定した住家 (11 戸) について、居間、子供部屋及び寝室を含む全室で平均 0.28 (最大 0.48、最小 0.12)、積雪のあった中で測定を行なった住家 (10 戸) について全室での平均 0.32 (最大 0.54、最小 0.16) であり、真のシャーヘイ係数は約 0.3 と評価された。

## IV 考察

住家内のセシウム全線量率に占めるセシウム直接線線量率の割合は全住家（21戸）について平均30%であった。ただし、定量的に直接線＝屋内汚染と考えて良いかどうか、今後検証する必要がある。

住家内のセシウム直接線線量率と外のセシウム全線量率（左軸）またはサーベイメータによる1cm線量当量率、 $\mu\text{Sv}(10)$ （右軸）との関係について、Fig.2に示すようにいずれの軸でも全体的に弱い正の相関が観察された。住家内のセシウム直接線線量率は屋内に入り込んだセシウムからの寄与によると考えられるため、外の沈着レベルとの相関から、屋内汚染は放射性プルームが拡散したときのドライ沈着により生じたことが示唆された。この地域に放射性プルームが流れて来たのは3月15-16日にかけてであったが、このとき住民は普段通りに生活しており、人の出入りほかに家の中は、外の濃度に対してある低減係数を乗じた状態になっていたと推定される。古い住宅では風力、温度差などで非選択的に換気され、新しい高気密性住宅ではレンジフードなどで選択的に換気されるため、低減係数は家によって変動するものの基本的にどの住家でも外とある程度換気されていたと考えて良い。時間をかけて、最終的には家の中の濃度と外の濃度は平衡状態になっていくが、その途中、15日夜から16日夜半にかけてみぞれまじりの雪が降ったため大半は地面等に落ちてウェット沈着を生じた。従って、屋内汚染は放射性プルームが拡散したときの放射性物質の濃度に依存して生じている可能性が大きく、人の出入りや家の構造等による換気量の差が二次的に影響を及ぼしていると考えられる。この推論は、今後沈着レベルの異なる地域での調査を行ったうえで検討する必要がある。なお、積雪のあった中で測定を行なった（201301調査）10戸は、八木沢・芦原（5戸）・大倉（5戸）地区であり、飯舘村の中でもっとも周縁部のセシウムの沈着レベルが低い地域である。雪によるしゃへい効果のために住宅外のセシウム全線量率及び1cm線量当量率は数十%程度下がっていたが、一方、屋内の汚染を表す住家内のセシウム直接線線量率は雪の影響をほとんど受けていなかったと考えられ、雪の影響を補正すると測定値はもっと上側にスライドするはずである。そうすると、単純な正の相関ではない可能性もある。今後、積雪のない時期とある時期との比較を行ない、さらに検討を加える必要がある。

住家内汚染と床材質との関係については、畳よりフローリング床材で直接線量率が少ない傾向があるようである。住家内セシウム直接線線量率／住家外セシウム全線量率の比が高い箇所は畳であり、低い箇所はフローリング床材であることが多かったことは、フローリング床材ではセシウム汚染は遊離しやすく除去しやすいのに比べ、畳はそうではないことを示唆する。畳の目に入ったセシウムが入り込んだ場合に遊離しにくく、掃除機では吸い込みにくくなるのではないかと推察される。

見かけのしゃへい係数、 $FS_{app}$ は全住家（21戸）について平均0.44（最大0.75、最小0.22）であった。この数値は、IAEA-TECDOC-1162におけるしゃへい係数0.4とほぼ同じである。しかし、積雪のない時期に測定した住家（11戸）、積雪のあった中で測定を行なった住家（10戸）についての平均はそれぞれ0.39、0.54と1.4倍の大きな差が示された。この差は、分母の住家外1cm線量当量率が積雪のしゃへい効果により小さくなり、それとともに住家外からの散乱線も小さくなるものの、屋内汚染による線量率は積雪の影響を受けずそのままであるために比が大きくなったものと考えられる。この地域では積雪の期間が4ヶ月近くあるがその期間は、IAEA-TECDOC-1162のしゃへい係数では過小評価になる。一方、真のしゃへい係数、 $FS_{net}$ は積雪のない時期に測定した住家（11戸）について、全室での平均0.28（最大0.48、最小0.12）、積雪のあった中で測定を行なった住家（10戸）について全室での平均0.32（最大0.54、最小0.16）



であった。積雪による差は若干見られるもののさほど大きくなく、およそ0.3が真のしゃへい係数として適切であることがわかった。

## V 結論

平成24年度に飯舘村の避難指示解除準備区域を中心に住家21戸について内外の線量率を調査した。その結果、住家内のCs全線量率に占める直接線の割合は平均30%であった。住家内のセシウム直接線線量率と外のセシウム全線量率とに全体的に弱い正の相関が観察されたことから、屋内汚染は放射性ブルームが拡散したときのドライ沈着により生じたことが示唆された。真のしゃへい係数は約0.3と評価されたが、見かけのしゃへい係数は積雪のない時期、積雪のある時期とでそれぞれ0.39、0.54と1.4倍の大きな差が示され、屋内汚染が見かけのしゃへい係数に影響を与えていることがわかった。

## VI 次年度以降の計画

避難指示解除準備区域だけでなく、居住制限区域及び帰還困難区域の沈着レベルの異なる地域に対象を拡大し調査戸数を増やすとともに、建築年数や木造、鉄筋コンクリートなどの建物構造、材質との違いを考慮してデータ収集と解析を図る。また、前年度調査した家屋も一部含め、経時変化を調べる。

この研究に関する現在までの研究状況、業績

- 1) Hiroko Yoshida-Ohuchi, Noriyasu Hirasawa, Ikuo Kobayashi and Takeshi Yoshizawa. Evaluation of personal dose equivalent using optically stimulated luminescent dosimeters in Marumori after the Fukushima Nuclear Accident. *Rad. Protec. Dosim.* 2012 doi:10.1093/rpd/ncs245
- 2) 吉田 浩子. 日本家屋における屋内汚染の実態について～飯舘村での調査結果～. 第46回日本保健物理学会研究発表会にて口頭発表予定. 2013

## 引用文献

- 1) IAEA. Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency IAEA-TECDOC-1162. Vienna : IAEA, 2000 ; 101.
- 2) 湊進. 環境γ線解析用3" φ x3" NaI(Tl)シンチレータのレスポンス行列. 名古屋工業技術試験所報告. 1978 ; 27(12) : 384-397.
- 3) 湊進. 応答行列法による環境ガンマ線波高分布の解析. *JCAC.* 1998 ; 32 : 2-13.
- 4) Susumu Minato. Diagonal elements fitting technique to improve response matrixes for environmental gamma ray spectrum unfolding. *Radioisotopes.* 2001 ; 50 : 463-471.
- 5) 湊進. セシウム混在場での<sup>22</sup>X<sup>22</sup> 応答行列による自然放射線弁別法.  
<http://www1.s3.starcat.ne.jp/reslnote/lsc.pdf>
- 6) 湊進. 私信

# Research and Study of Shielding Factors and Indoor Deposition for Japanese Houses

Hiroko Yoshida<sup>\*1</sup>, Masahiro Hosoda<sup>\*2</sup>, Norimichi Juto<sup>\*3</sup>, Ikuo Kobayashi<sup>\*3</sup>

*\*1Graduate School of Pharmaceutical Sciences, Tohoku University*

*\*2Graduate School of Health Sciences, Hirosaki University*

*\*3Nagase Landauer Ltd.*

*Keywords: Japanese house; Shielding factor; Indoor deposition; Uncollided dose rate; Scattered dose rate*

## **Abstract**

The object of this research and study is to practically obtain representative shielding factors with representative range for Japanese houses especially in Tohoku area and examine actual status of indoor deposition, aiming for appropriate evaluation of external doses for residents.

When external doses are estimated by using air doses, indoor air doses are usually obtained by multiplying outdoor doses with a shielding factor, SF, for plume radiation defined as the ratio of the interior to the exterior doses. It is very important to use an appropriate SF for an estimation of indoor air doses because residents spend longer time indoors than outdoors. In the manual of "generic procedures for assessment and response during a radiological emergency" published by IAEA (IAEA-TECDOC-1162), a representative shielding factor for one and two story wood-frame house is shown as 0.4 with representative range of 0.2 -0.5. However, these values are appropriate if indoor deposition is negligible. For 21 wooden houses in Iitate village, the indoor and outdoor incident gamma ray unfolded energy spectra were obtained. Estimated dose rates due to radiocaesium were divided into uncollided and scattered dose rates. Considering that the indoor uncollided dose rates are attributed to indoor deposition, shielding factors were evaluated. Net shielding factor was estimated as approximately 0.3 and apparent shielding factors were estimated as 0.39 and 0.54, respectively for the time without and with snow, resulting in a big difference. This result meant that indoor deposition affects the value of apparent shielding factors. A weak positive correlation was observed between the indoor dose rates due to uncollided radiocaesium radiations and the outdoor total dose rates due to radiocaesium or outdoor ambient equivalent dose rates. It indicates that indoor deposition was caused by dry deposition when the radioactive plumes spread towards this area.

I-2 福島第1原発事故による飯舘村住民の  
初期被曝放射線量評価に関する研究

# 福島第1原発事故による飯舘村住民の初期被曝放射線量評価に関する研究

飯舘村全域に対する初期放射能沈着量と積算放射能濃度の評価ならびに集落別の初期被曝量分布の評価

今中哲二（京都大学原子炉実験所・助教）

## 研究要旨

福島第1原発事故によって放射能汚染を蒙った飯舘村の住民は、計画的避難区域に指定され村から避難するまでの数ヶ月間、高放射能汚染の中での生活を余儀なくされたが、避難するまでの初期放射線被曝量の評価はいまだに不十分な状況にある。本研究では、米国NNSAによる空中サーベイデータを用いて飯舘村の放射能汚染詳細地図を作成し、それに基づいて飯舘村住民が村から避難するまでの初期外部被曝量を評価した。また、福島第1原発から放出された放射能について飯舘村への大気拡散シミュレーション計算を行い、放射能プルームが村に到達したときの大気中放射能濃度を求めて吸入内部被曝を評価した。

キーワード： 福島第1原発事故、飯舘村、放射能汚染、初期被曝、セシウム137、ヨウ素131

## 研究協力者：

川野 徳幸（広島大学平和科学研究センター・准教授）

遠藤 暁（広島大学大学院工学研究院・准教授）

明石 昇二郎（ルポルタージュ研究所・代表）

小澤 祥司（NPO法人エコロジー・アーキスケープ、会員）

菅井 益郎（國學院大學経済学部・教授）

## 研究参加者：

林 剛平（京都大学農学部・修士課程2年）

## I 研究目的

飯舘村は、福島第1原発から北西方向30～45kmに位置する、人口約6200人（約1800戸）の農業を主体とする村である。2011年3月11日、地震・津波をきっかけとして福島第1原発事故が発生した。事故期間中に最大の放射能放出が起きたのは、2号機の格納容器が破壊された3月15日であった。同日午後に出された放射能は、北西へ向かう風により飯舘村から福島市の方向へ流れ、飯舘村へさしかかった際に折からの降雪により放射能の大量の地表沈着が生じた。飯舘村役場傍に急遽設置されていたモニタリングポストは、3月15日18:00に44.7 $\mu$ Sv/hの空間線量率を記録している。政府原子力災害対策本部は、昨年4月22日飯舘村を計画的避難区域に指定したが、ほぼ全員の村民が避難を済ませたのは7月末であった。原発周辺20km圏の住民が3月12日の避難指示で避難したのに比べ、飯舘村の村民は自宅に長くとどまっていたため、警戒区域の住民より大きな初期被曝を受けたと考えられている。

本研究では、米国公表の空中サーベイデータを利用したGIS（地理情報システム）技術による放射能沈着量の評価結果と大気輸送シミュレーションコードHYPACT等による空气中放射能濃度

の計算結果とを組み合わせて、飯舘村における放射能汚染の発生時から避難までの住民の初期放射線被曝について、各戸および各集落単位での独自の評価を試みる。

## II 研究方法

飯舘村全戸（約 1700 戸）に対して、初期放射能沈着量と大気中放射能積算濃度の割り振りを行う。

### <初期放射能沈着量と外部被曝量の割り振り>

・まず、分担研究者の沢野が、米国 NNSA（核安全保障局）が公開している空中サーベイデータを GIS によって解析し、飯舘村全域のセシウム 137 汚染について下記左のような詳細汚染マップを作成する。次に、下記右に示すような住宅地図（左図の点線内）を用いて、飯舘村全戸（約 1800）の家屋位置におけるセシウム 137 沈着量の割り振りを行う（割り振り作業は外注）。汚染マップの確かさは、これまで公表されている土壌測定データと照合して確認するが、必要に応じて土壌サンプリングと測定を行う。

・セシウム 137 以外のガンマ線放出放射能（セシウム 134、セシウム 136、ヨウ素 131、テルル 132・ヨウ素 132、テルル 129m）の初期沈着量は、以下の 2 つの仮定を用いて算出する。

◇仮定 1：飯舘村での放射能沈着は、3 月 15 日夜の放射能プルーム到達時に一度に発生した。

◇仮定 2：セシウム 137 以外の沈着量のセシウム 137 沈着量に対する比は、飯舘村内一定であり、今中らの 5 つの土壌サンプル測定の平均値を適用できる。

以上のデータと仮定に基づいて、飯舘村全戸の家屋位置について、Excel VBA を用いて、下記左のような地表 1 m での空間線量率変化と、下記右のような積算空間線量を計算する。

・セシウム 137 以外のガンマ線放出放射能（セシウム 134、セシウム 136、ヨウ素 131、テルル 132・ヨウ素 132、テルル 129m）の初期沈着量は、以下の 2 つの仮定を用いて算出する。

◇仮定 1：飯舘村での放射能沈着は、3 月 15 日夜の放射能プルーム到達時に一度に発生した。

◇仮定 2：セシウム 137 以外の沈着量のセシウム 137 沈着量に対する比は、飯舘村内一定であり、今中らの 5 つの土壌サンプル測定の平均値を適用できる。

以上のデータと仮定に基づいて、飯舘村全戸の家屋位置について、Excel VBA を用いて、下記左のような地表 1 m での空間線量率変化と、下記右のような積算空間線量を計算する。

### <大気中積算放射能濃度とサブマージョン外部被曝量の割り振り>

JAEA の茅野らが報告している大気中への放射能放出量時間変化（ヨウ素 131 とセシウム 137）にキセノン 133 やテルル 132 といった核種を加えたものをソースタームとして大気拡散シミュレーション計算（外注予定）を実施し、3 月 11 日以降の飯舘村全域での空气中放射能濃度分布の変化を計算し、上記のセシウム 137 沈着量分布と同等な積算放射能濃度マップを作成する。次に、地表沈着の場合と同様のやり方で、飯舘村全戸に値を割り振って、各戸ごとのサブマージョン被曝量と積算空气中濃度の Excel データを作成する。

この段階での初期被曝は家屋位置において 24 時間ずっと野外にいたときに相当する。

### （倫理面への配慮）

本研究は医学的調査ではないので“疫学倫理”が要求される研究には該当しない。本研究を通じて得られる個人情報に関しては、個人情報の保護に関する法律に従って、本研究の目的以外に用いないことはもちろん、本人の事前承諾を得ることなしに、個人が特定されるような発表は行わない。

### III 研究結果

#### ①飯舘村各戸に対する緯度経度とセシウム 137 汚染密度の割り振り

市販の住宅地図や国土地理院 2 万分の 1 地図などを用いて、飯舘村の全戸位置に対する緯度経度の割り振りを行い、表計算ソフト・エクセルに入力した。図 1 に、エクセルの入力例を示す。

A	B	C	D	E	F	G	H	I
住宅ID	住宅地図ページ	町名1	町名2	緯度	経度	行路名	WGSR84北緯	WGSR84東経
1	1	前田	農学	596	19	前田	37.72910038	140.68416591
2	2	1	前田	597	19	前田	37.73028086	140.68501021
3	3	1	前田	598	19	前田	37.73088193	140.68628793
4	4	1	前田	599	19	前田	37.73217762	140.68771118
5	5	1	前田	600	19	前田	37.73344170	140.68907110
6	6	1	前田	601	19	前田	37.73475003	140.69043247
7	7	1	前田	602	19	前田	37.73605000	140.69180421
8	8	1	前田	603	19	前田	37.73739049	140.69318633
9	9	1	前田	604	19	前田	37.73873049	140.69456890
10	10	1	前田	605	19	前田	37.74005926	140.69595276
11	11	1	前田	606	19	前田	37.74138803	140.69733685
12	12	1	前田	607	19	前田	37.74271680	140.69872116
13	13	1	前田	608	19	前田	37.74404557	140.69999999
14	14	1	前田	609	19	前田	37.74537434	140.70127928
15	15	1	前田	610	19	前田	37.74670311	140.70255897
16	16	1	前田	611	19	前田	37.74803188	140.70383926
17	17	1	前田	612	19	前田	37.74936065	140.70511955
18	18	1	前田	613	19	前田	37.75068942	140.70640004
19	19	1	前田	614	19	前田	37.75201819	140.70768073
20	20	1	前田	615	19	前田	37.75334696	140.70896162
21	21	2	白石	616	18	白石	37.75467573	140.71024271
22	22	2	白石	617	18	白石	37.75600450	140.71152400
23	23	2	白石	618	18	白石	37.75733327	140.71280549
24	24	2	白石	619	18	白石	37.75866204	140.71408718
25	25	2	白石	620	18	白石	37.76000081	140.71536907
26	26	2	白石	621	18	白石	37.76133958	140.71665116
27	27	2	白石	622	18	白石	37.76267835	140.71793345
28	28	2	白石	623	18	白石	37.76401712	140.71921594
29	29	2	白石	624	18	白石	37.76535589	140.72049863

図 1. 飯舘村各戸の緯度経度入力例

図 1 の緯度経度を用いて飯舘村の住居位置をプロットしたものに、研究分担者・沢野が作成した飯舘村のセシウム 137 汚染コンタマップを重ねたものが図 2 である。点々が住宅位置を示しており、各戸位置におけるセシウム沈着量を求めることができる。

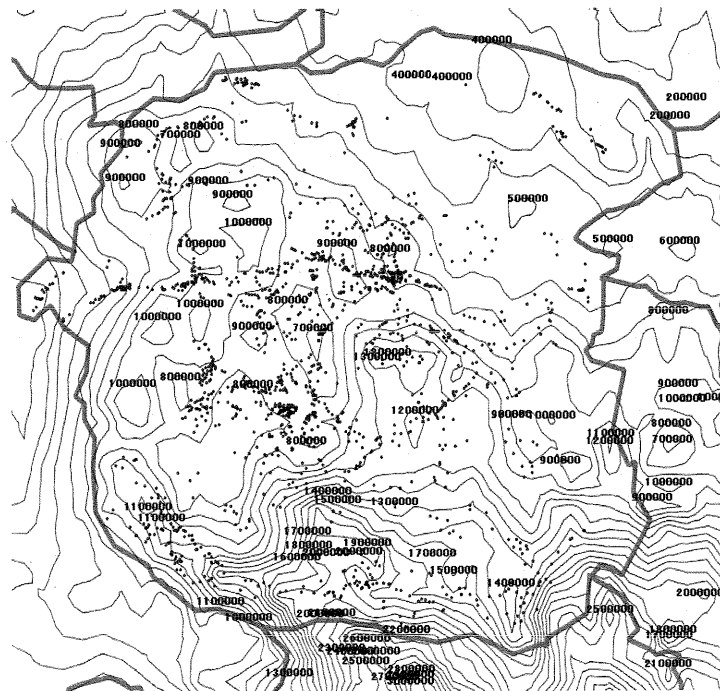


図 2. セシウム 137 汚染コンタマップと各戸位置

図3の上の図は飯舘村全戸位置に対するセシウム137沈着密度のヒストグラムである。図3の下の図は、飯舘村内20地区のうち、汚染の大きかった曲田地区、少なかった大倉地区、平均的な汚染であった伊丹沢地区のヒストグラムで、飯舘村内においても約5倍の汚染レベルの違いが認められている。

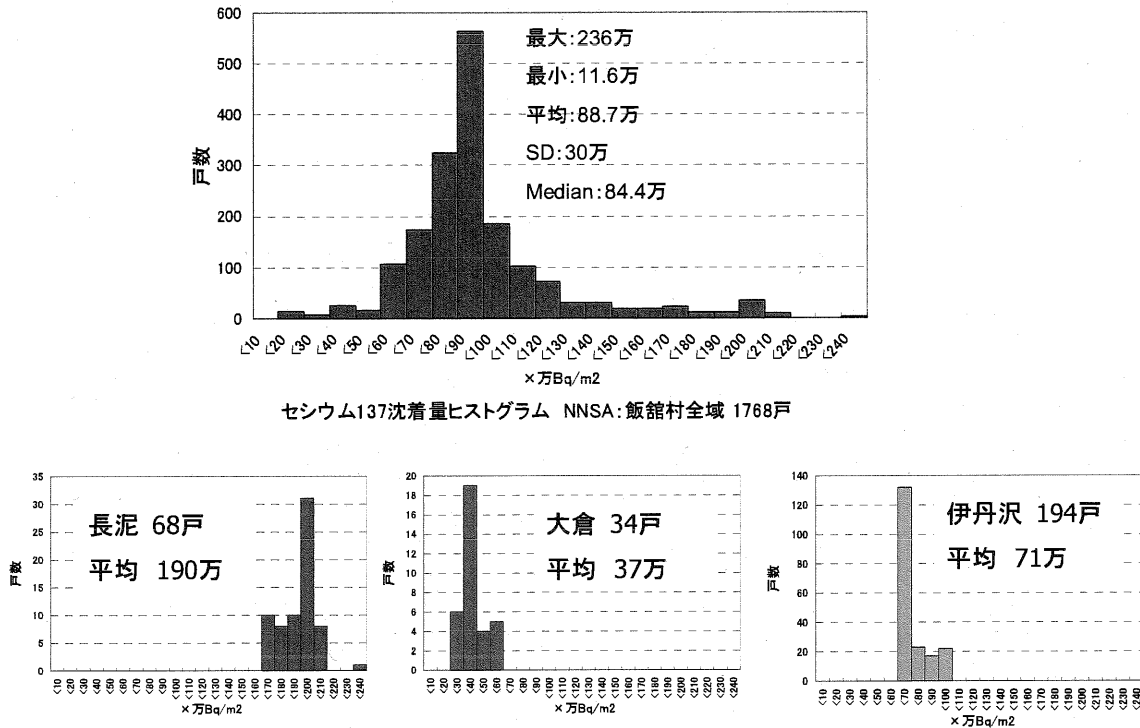


図3. 飯舘村全域、長泥地区、大倉地区、伊丹沢地区に対するセシウム137沈着量ヒストグラム

②セシウム137単位沈着量当りの積算空間線量

図4は、3月15日18時に放射能の地表沈着が起きたとして、ずっと野外に存在したと仮定したときの、セシウム137沈着100万Bq/m<sup>2</sup>当りの地上1mでの積算空間線量である。飯舘村の人々は6月30日に避難したと仮定すると、100万Bq/m<sup>2</sup>当り32.6mGyとなった。

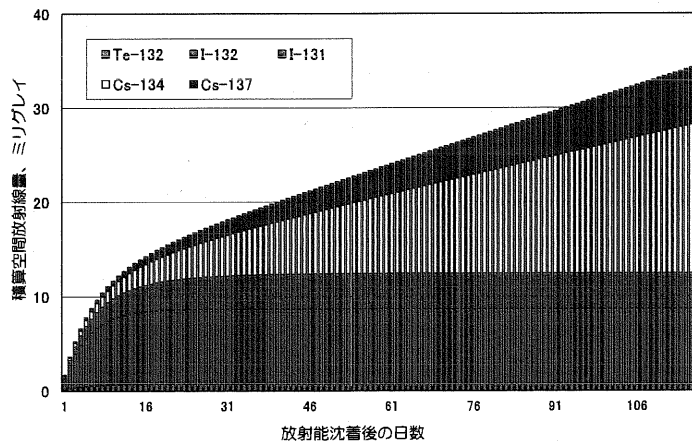


図4. セシウム137の初期沈着100万Bq/m<sup>2</sup>当りの地上1m積算空間線量

### ③飯館村での初期外部被曝の分布

以下の仮定の基に、飯館村村民の初期外部被曝分布を見積もると、図5のような結果が得られた。

- 仮定1：飯館村の放射能沈着は、2011年3月15日18:00に一挙に発生。
- 仮定2：セシウム137に対する沈着組成比は村の全域で同じ。Cs134/Cs137=1、I131/Cs137=9.2、Te132 (I132) /Cs137=8.3。
- 仮定3：沈着放射能は移行せず、じっとしている。地表1mへの空間線量率換算係数はBeckの値 (EML-378, 1980) を使用。
- 仮定4：Sv/Gy換算係数は0.8。家屋遮蔽など行動遮蔽係数は0.5。

図5が示すように、飯館村全域の平均で約12mSv、汚染の大きかった長泥地区で25mSv、汚染の少なかった大倉地区で4.8mSvとなった。

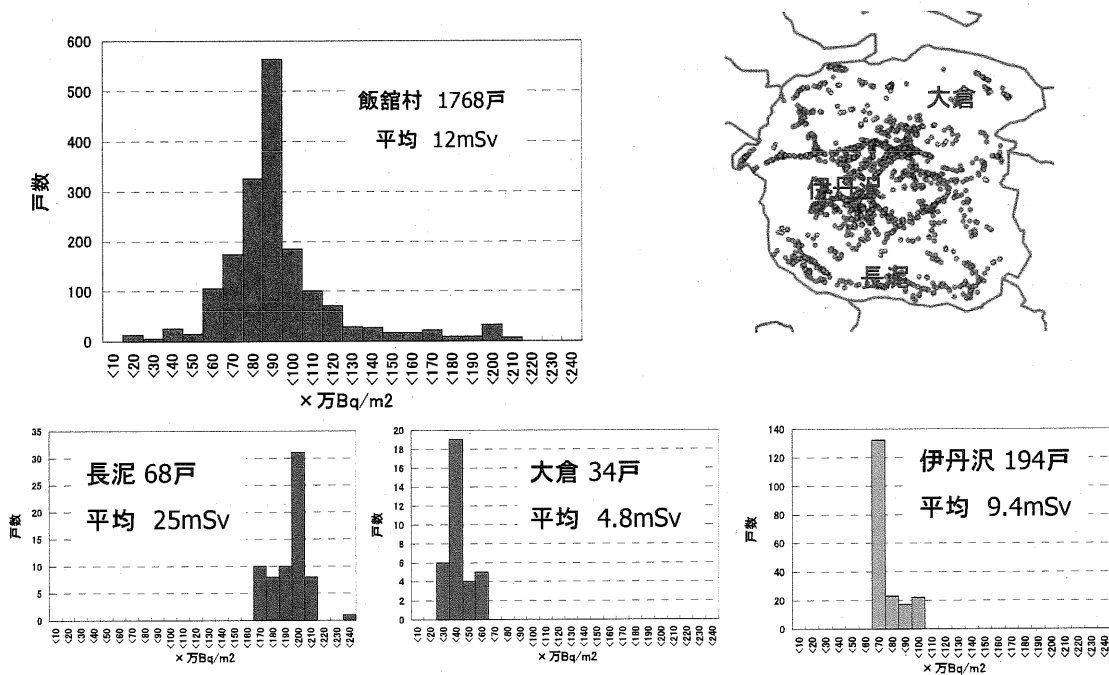


図5. 飯館村における沈着放射能からの積算外部被曝分布

### ④大気拡散シミュレーション

原子力安全委員会が発表している、図6に示すような福島第1原発事故からの放射能放出ソースタームを用いて、飯館村への大気拡散シミュレーションを行った。

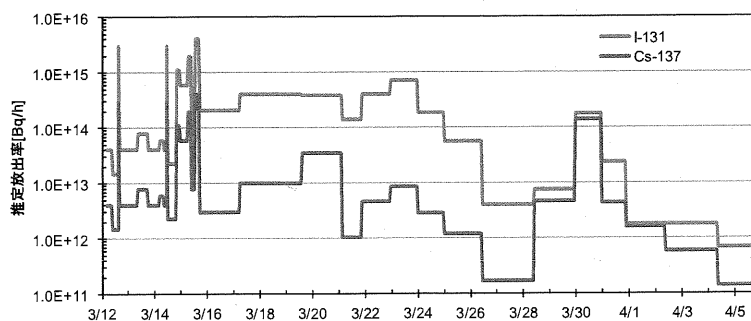


図6. 大気拡散シミュレーションに用いたソースターム



図7に、大気輸送シミュレーションによって得られた、飯舘村内でのヨウ素 131 積算空気中濃度と、ずっと野外にいた場合の小児甲状腺等価線量（1歳児、呼吸量  $0.31\text{m}^3/\text{h}$ 、ヨウ素 131 の甲状腺等価換算係数  $1.4 \times 10^{-3} \text{mSv/Bq}$ ）を示す。飯舘村全域の平均で  $24\text{mSv}$ 、最大  $55\text{mSv}$ 、最小  $14\text{mSv}$  となった。

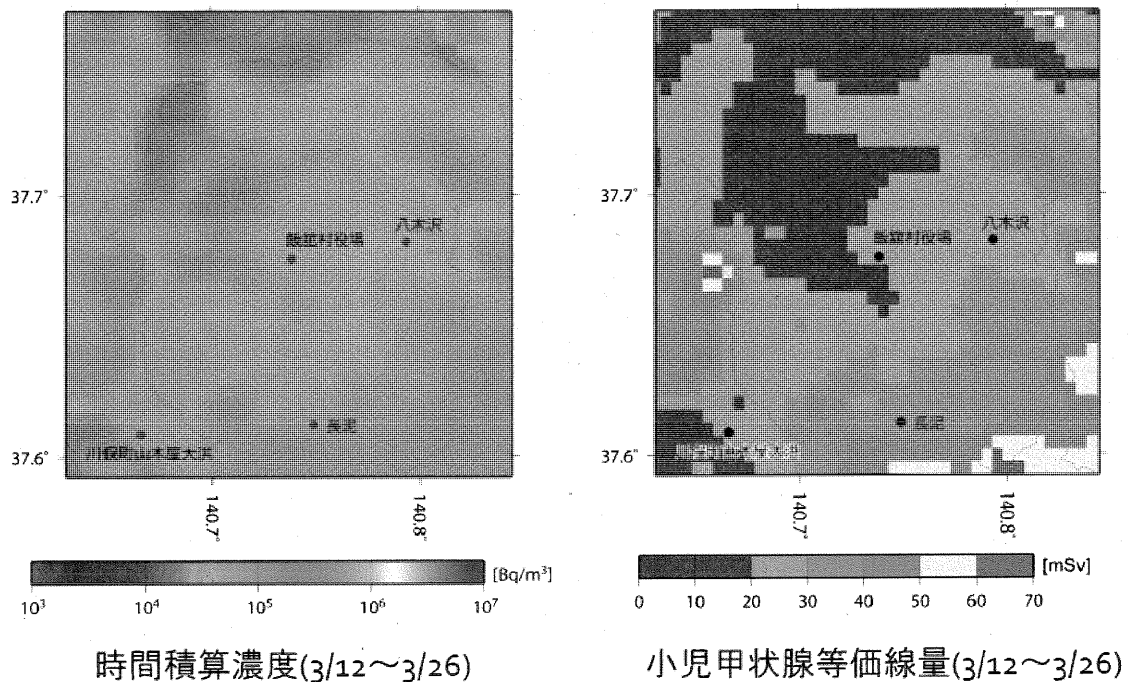


図7. 大気輸送シミュレーション結果

#### IV 考察

福島原発周辺住民に対する初期被曝のうち外部被曝については、福島県が実施している県民健康管理調査の一環として被曝量評価が実施されている。平成 25 年 1 月末の報告に基づくと、飯舘村住民に対する平均外部被曝は約  $3\text{mSv}$  であり、本研究結果の約 4 分の 1 である。この違いについては今後の検討が必要である。

飯舘村の小児甲状腺被曝についての本研究の見積もりである  $10\sim 50\text{mSv}$  の甲状腺等価線量は、JAEA 等の研究者による大気拡散シミュレーションと矛盾ない結果であるが、原子力安全委員会が報告している実測値よりは大きめであり、その違いについても今後の検討が必要である。

#### V 結論

本研究結果は、本研究の手法が飯舘村など福島原発周辺住民が受けた初期被曝量の評価に十分有効であることを示している。6 月末の飯舘村村民の外部被曝は平均  $12\text{mSv}$  で、ずっと野外に居た場合の小児甲状腺等価線量は  $24\text{mSv}$  となった。

#### VI 次年度以降の計画

次年度研究計画は、飯舘村の 3 割（約 500 戸）に対するインタビュー計画として、すでに提出済みである。

# Initial Radiation Dose to Inhabitants in Iitate Village Due to the Fukushima-1 NPP Accident

Evaluation of initial radioactivity deposition and cumulative radioactivity concentration for all settlements in Iitate village

Tetsuji Imanaka <sup>\*1</sup>, Noriyuki Kawano <sup>\*2</sup>, Satoru Endo <sup>\*3</sup>, Shojiro Akashi <sup>\*4</sup>,  
Shoji Ozawa <sup>\*5</sup>, Masuro Sugai <sup>\*6</sup>, Gohey Hayashi <sup>\*7</sup>

*<sup>\*1</sup>Research Reactor Institute, Kyoto University*

*<sup>\*2</sup>Institute for Peace Sciences, Hiroshima University*

*<sup>\*3</sup>Graduate school for Engineering, Hiroshima University*

*<sup>\*4</sup>Reportage Institute*

*<sup>\*5</sup>NPO Ecology Archiscape*

*<sup>\*6</sup>Faculty of Economy, Kokugakuin University*

*<sup>\*7</sup>Graduate school for Agriculture, Kyoto University*

*Keywords:* Fukushima-1 NPP accident, Iitate village, radioactive contamination, initial radiation dose, caesium-137, iodine-131

## **Abstract**

Even after the severe radioactive deposition occurred in the evening of March 15, 2011, most inhabitants in Iitate village remained at home until the end of June. Consequently they received higher radiation dose than the people within the 20-km zone around the Fukushima-1 NPP who evacuated on March 12 following the quick instruction by the Japanese government. In order to evaluate radiation dose delivered to inhabitants in Iitate village, we tried to reconstruct the radiation situation there during the initial stage after the Fukushima-1 NPP accident. External radiation exposure from the deposited radionuclides on the ground was estimated based on the Cs-137 deposition map elaborated from the aerial survey data released by US NNSA (National Nuclear Security Administration) as well as radionuclides ratios in soil samples collected by us at the end of March, 2011. A atmospheric transport simulation from the Fukushima-1 NPP site to Iitate village was also carried out to estimate radionuclides' concentrations and inhalation radiation dose after the accident. On the assumption that people continued to stay outside from the deposition until evacuation on June 30, 2011, average cumulative external effective dose of 12 mSv was obtained for the entire area of Iitate village. Regarding the equivalent dose for thyroid due to inhalation of I-131, an average dose of 24 mSv was estimated for one year old children.

# 福島第1原発事故による飯舘村住民の初期被曝放射線量評価に関する研究

初期被曝量評価のためのセシウム 137 沈着量マップの作成ならびに同評価システムの構築

沢野伸浩（金沢星稜大学女子短期大学部・准教授）

## 研究要旨

福島第1原発事故によって放射能汚染を蒙った飯舘村の住民は、計画的避難区域に指定され村から避難するまでの数ヶ月間、高放射能汚染の中での生活を余儀なくされたが、避難するまでの初期放射線被曝量の評価はいまだに不十分な状況にある。本研究では、飯舘村住民が村から避難するまでの初期外部被曝量を評価するため、米国 NNSA による空中サーベイデータを用いて飯舘村の放射能汚染詳細地図を作成した。

キーワード： 福島第1原発事故、飯舘村、放射能汚染、NNSA、GIS、セシウム 137

## 研究協力者：

小畑 貴之（NPO 法人基盤地図情報活用研究会・理事長）

## I 研究目的

飯舘村は、福島第1原発から北西方向 30～45km に位置する、人口約 6200 人（約 1800 戸）の農業を主体とする村である。2011 年 3 月 11 日、地震・津波をきっかけとして福島第1原発事故により飯舘村は高濃度の放射能汚染を蒙った。政府原子力災害対策本部は、昨年 4 月 22 日飯舘村を計画的避難区域に指定したが、ほぼ全員の村民が避難を済ませたのは 7 月末であった。原発周辺 20km 圏の住民が 3 月 12 日の避難指示で避難したのに比べ、飯舘村の村民は自宅に長くとどまっていたため、警戒区域の住民より大きな初期被曝を受けたと考えられている。

本研究では、放射能汚染の発生時から避難までの飯舘村各戸位置での初期放射線被曝を評価するため、米国公表の空中サーベイデータを利用した GIS（地理情報システム）技術により、飯舘村におけるセシウム 137 沈着量の詳細マップを作成する。

## II 研究方法

米国エネルギー省核安全保障局（NNSA）は、福島第一原子力発電所事故の発生後、日本政府と協力の下、飛散した放射性物質の測定を実施し、その測定結果を GIS（地理情報システム）データの形で 2011 年 10 月 21 日より同省のホームページにおいて公開を開始した。公開されているデータは、土壤汚染データ、エアフィルターによる大気中の放射性物質の測定など全部で 6 種類がある。

本研究においては、これらのデータの中から、主に航空機・ヘリコプターによって測定されたセシウム 134、セシウム 137 の地表面の沈着量データを用い、クリンギングにより詳細な汚染濃度マップの作成を行う。

マップの作成後、放射性物質の濃度分布をベクトルデータ化することで既存の緯度経度情報との重ねあわせを可能とする。さらに、調査対象の住民の居住地や滞在時間を空間データ化し、

ベクトル化した汚染マップとの重ね合わせ、GIS（地理情報システム）に内蔵された空間結合 (Spatial Join) 処理を行うことで、住民の初期被曝量の推定値を求める。

(倫理面への配慮)

本研究においては、米国により測定されたデータ解析を主体とするものであり、特に個人情報や倫理面への配慮は必要ないものと認識される。しかし、当該住民の初期被曝量の推定にあつてはその扱いに他の研究参画者を含めて十分な配慮を行うものとする。

### III 研究結果

図1に、米国 NNSA 公開データを用いて作成した福島原発周辺におけるセシウム 137 地図を示す。データの内挿方法としては Disjunctive Kriging 法を採用してある。

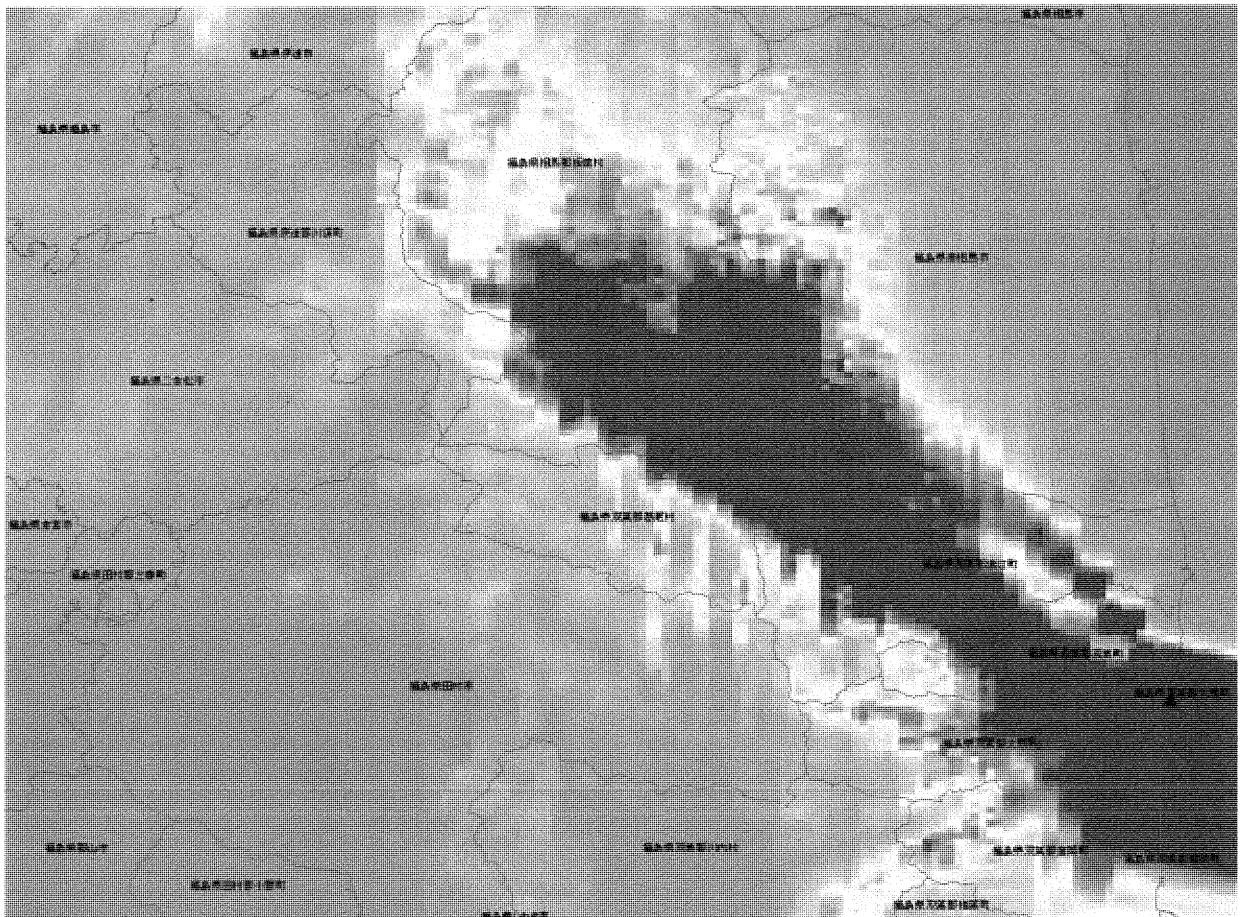


図1. 米国 NNSA データに基づいて作成した福島1原発周辺のセシウム 137 汚染地図. 色分けの単位は Bq/m<sup>2</sup>.

図2の左パネルは、NNSA による飯舘村上空サーベイで、右パネルは、飯舘村内のセシウム 137 沈着量コンタマップである。飯舘村内の汚染は 500m メッシュでの矩形に分割して、メッシュ毎にセシウム 137 沈着量を割り振って、各戸位置での汚染推定作業を行う主任研究者・今中に提供した。

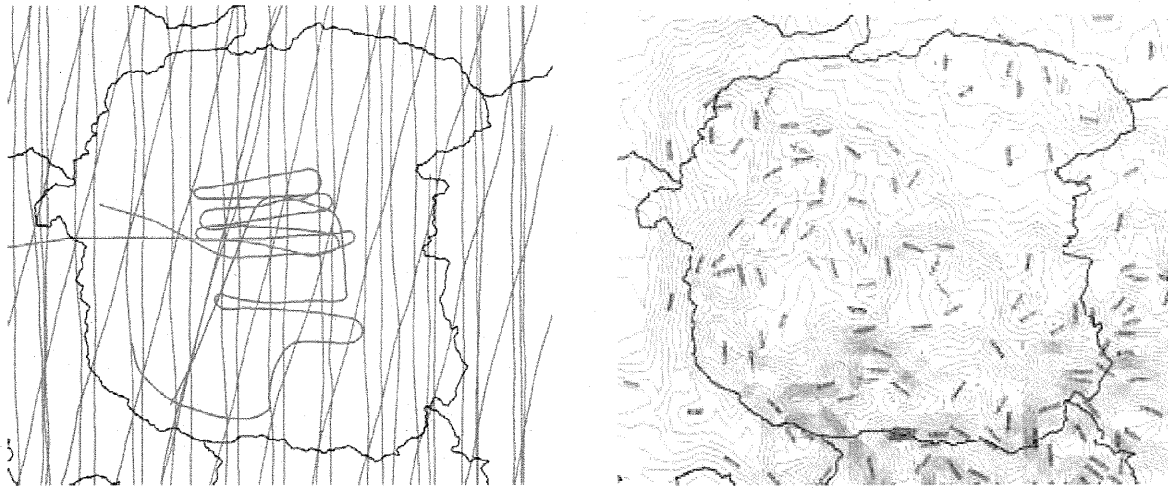


図2. 飯館村上空のNNSAサーベイ軌跡(左)とセシウム137コンタマップ(右)

#### IV 考察

##### 文科省ヘリコプターサーベイに基づくマップとの比較

図3は、我々が作成したセシウム137のコンタマップ(左)を文科省発表のヘリコプターサーベイデータに基づく汚染マップ(右)とを比較したものである。サーベイデータの内挿法としては、我々の場合はDisjunctive-Kriging法で文科省の場合はIDW法であるが、セシウム汚染に関する基本的な傾向は一致している。それぞれのマップを文科省発表の土壌汚染データと比較してみると、我々の図と比較した場合の相関係数は0.866で、文科省マップの場合の相関係数は0.819となり、我々のマップの方が若干良い相関を示した。

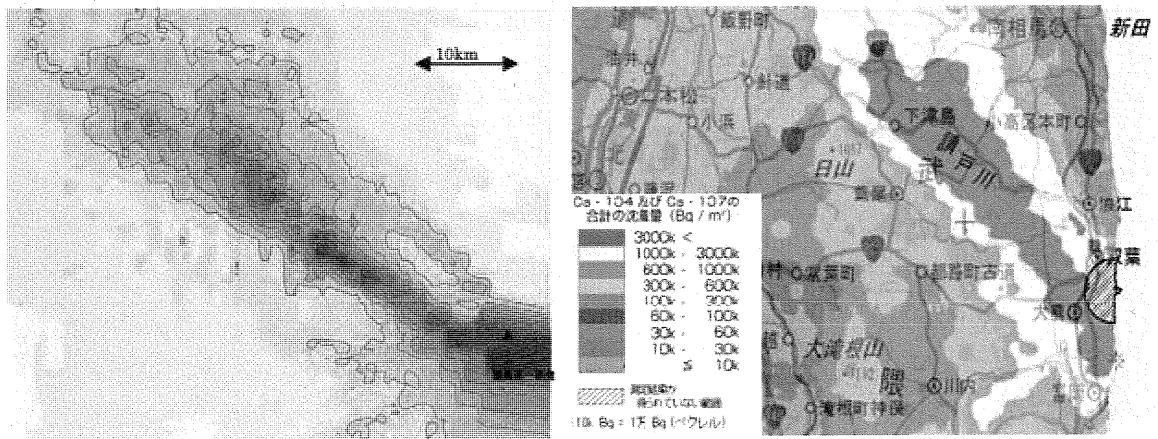


図3. NNSAデータに基づくセシウム137コンタマップ(左)と文科省発表のヘリコプターサーベイに基づくセシウム137汚染マップの比較。

## V 結論

米国 NNSA によって公開されている空中サーベイデータを用いて、福島第 1 原発周辺でのセシウム 137 汚染マップを作成した。飯舘村については、500m メッシュで数値化したデータセットを作り、主任研究者・今中らによる初期被曝評価の作業に供した。我々のセシウム 137 汚染マップは、文科省が発表している汚染地図と基本的に一致した。

## VI 次年度以降の計画

本研究項目は本年度で終了した。

# Initial Radiation Dose to Inhabitants in Iitate Village Due to the Fulushima-1 NPP Accident

Elaboration of caesium-137 deposition map for the initial dose estimation

Nobuhiro Sawano<sup>\*1</sup>, Takayuki Obata<sup>\*2</sup>

*\*1Kanazawa Seiryo University Women's Junior College*

*\*2Institute for Spatial Information Infrastructure*

*Keywords:* Fukushima-1 NPP accident, Iitate village, radioactive contamination, NNSA, GIS, caesium-137

## **Abstract**

In order to provide the information to evaluate radiation dose delivered to inhabitants in Iitate village during the initial stage after the Fukushima-1 NPP accident, a detailed contamination map for caesium-137 was elaborated using the aerial monitoring data taken by US NNSA (National Nuclear Security Administration) together with GIS (Geological Information System) technique. In the process making the detailed map, an interpolation method of Disjunctive Kriging was applied to the database provided from NNSA. The obtained caesium-137 map was compared with the map released from MEXT that was also based on the aerial radiation survey using helicopters. A good consistency was found between the maps although different interpolation methods were applied: Disjunctive Kriging by us and IDW (Inverse Distance Weight) by MEXT. Using the obtained map data, the level of caesium-137 contamination in Iitate village was assigned for every 500-m mesh area in Iitate village.