

## 飯舘村での放射能汚染調査と初期被曝量評価

(京大原子炉、広大工学院<sup>1</sup>、金沢星稜大<sup>2</sup>、東北大医学<sup>3</sup>、國學院大<sup>4</sup>、エコロジー・アーキスケーブ<sup>5</sup>、オフィスブレン<sup>6</sup>)

○今中哲二、遠藤暁<sup>1</sup>、沢野伸浩<sup>2</sup>、林剛平<sup>3</sup>、菅井益郎<sup>4</sup>、小澤祥司<sup>5</sup>、市川克樹<sup>6</sup>

### 1. はじめに

飯舘村は、なだらかな阿武隈山地に乗っかるように位置している人口約 6000 人の農村である。いわゆる“平成の大合併”には加わず、“までいな（ゆっくりていねいな）暮らし”をスローガンとして独自の村興しを行っていた。福島第1原発からは北西 30~45km の距離にあるが、2011 年3月まで原子力とは無縁の村であった。その飯舘村の役場の傍らに可搬型の NaI モニタリングポスト (MP) が設置されたのは3月14日だった。福島第1原発では、14日の午後2号機の炉心崩壊が始まり、深夜には格納容器内圧が設計耐圧を越え、15日未明に格納容器破損が起きて今回の事故で最大の放射能放出に至ったと考えられている。15日午前中の放射能プルームは南の方向に流れ、東京都では午前10時から11時にかけて放射線量率のピーク (0.5-1.0 $\mu$ Sv/h) が観察された。午後になって風向きが北西方向に変わり、放射能プルームは浪江町、飯舘村、福島市の方向に向かった。15日午前中の飯舘村 MP は 0.12 $\mu$ Sv/h 程度の値が続いていたが、15時に 3.44 $\mu$ Sv/h と上昇しはじめ、18時20分に 44.7 $\mu$ Sv/h という最大値が記録された。放射能プルームの到着と降雪が重なり飯舘村で大量の放射能沈着が生じた。

我々が飯舘村の放射能汚染調査に入ったのは約2週間後の3月28日だった。その時の役場周辺の空間線量率は5~7 $\mu$ Sv/h であった。信じがたいようなレベルの放射能汚染が一面に広がっており、そうした中で人々が普通の暮らしを続けているのをみて、我々は啞然とするしかなかった。飯舘村のような福島原発から20km 圏外の高レベル汚染地域が(概ね1カ月を目途に避難を実施するという)『計画的避難区域』に指定されたのは4月22日のことだった。結局、飯舘村の人々は高濃度放射能汚染の中で数カ月間の生活を続けたため、3月12日の段階で避難指示が出た20km 圏内の人々に比べ大きな被曝を受けたと考えられる。昨年度、『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』という我々の申請が環境省公募研究として採択された。これまでに飯舘村全体のセシウム 137 沈着量マップを作成し、飯舘村内全戸位置において放射能沈着後の地上1mでの放射線量を推定する手法を開発した。現在、放射能汚染が起きてから避難するまでの間の飯舘村村民の具体的な“初期被曝量”を見積もるため、村民の当時の行動の聞き取り調査を実施している。

飯舘村で行ってきた放射能汚染調査と『初期被曝評価プロジェクト』の現状について報告しておく。

### 2. 放射能汚染状況調査

#### ➤ 空間線量率測定

飯舘村で大変な放射能汚染が起きているというニュースが流れはじめたのは3月20日頃であった。長年にわたって飯舘村の村興し活動に協力してきた日本大学グループの小澤から放射能汚染についての相談が今中にあり、広島大学の遠藤らと一緒に現地調査に入ったのが3月28日であった。放射線測定器としては、CsI ポケットサーベイメータ (アロカ PDR-101)、電離箱 (アロカ ICS-131) に個人用電

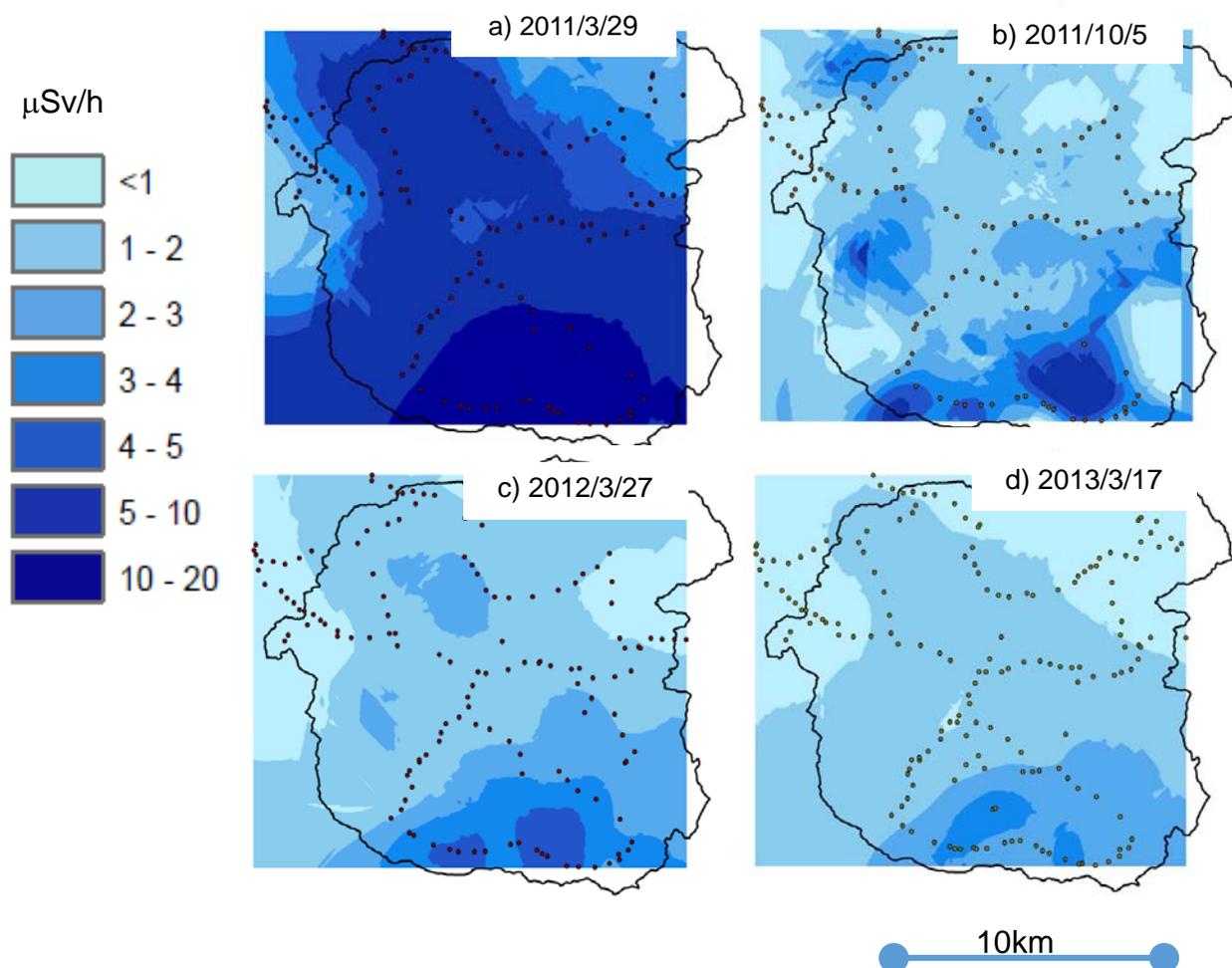


図1. 飯舘村内の放射線量率分布の推移（2011年3月、10月、2012年3月、2013年3月）。村内主要道路をワゴン車（日産エルグランド）で走行し、約130カ所の定点（図中の点）で停車して車内放射線量率をポケットサーベイメータで測定した。ArcGISを用いて測定値を内挿マップに変換した。

子線量計（アロカマイドーズミニ）を持参した。翌3月29日、村当局の協力を得て村内主要道路を公用ワゴン車で走りながら村内約130カ所での放射線量率を測定した<sup>1, 2)</sup>。図1aは2011年3月29日の飯舘村の放射線量率（車内測定値：車の低減率は約0.6）の分布である。5μSv/h以上の線量率が飯舘村のほぼ全域に拡がっており、ホットスポットのような汚染ではなく地域全体が丸ごと汚染され、それも福島第1原発に近い南の方ほど強かった。この日に測定した野外空間線量率の最大値は南部の長泥曲田地区のたんぼの中で30μSv/h（地上1m）であった。図1のb、c、dは、それぞれ半年後、1年後、2年後の線量率分布の測定結果である。大ざっぱに言えば、初回（2011/3/29）に比べ、線量率は半年で約半分、1年後に約3分の1、2年後に約4分の1に減少した。

#### ➤ 土壌汚染核種

2011年3月末の調査の際に、村内5カ所で土壌サンプリング（深さ5cm）を行い、広島大学に持ち帰ってGe測定を行った。図2にガンマ線スペクトルの一例を示す。Te-129m/Te-129、Te-132/I-132、I-131、Cs-134、-136、-137、La-140といった核種が同定された。Mo-99/Tc-99やBa-140らしきピークも認められた。表1に主なガンマ線核種の沈着密度を示す。

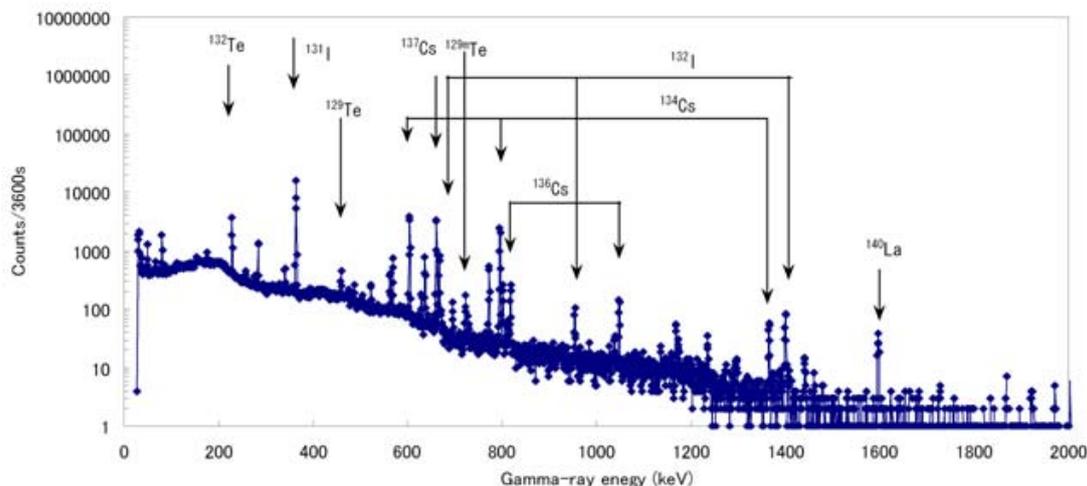


図2. 飯館村白石地区土壌のガンマ線スペクトル. 測定日: 2011年3月31日.

表1. 飯館村土壌サンプルの汚染密度. 2011年3月31日午前8時換算値.

核種	半減期	放射能汚染密度 (kBq/m <sup>2</sup> )													
		白石		佐須		山津見神社		村役場		曲田					
Te-129m	33.6 日	570	± 20	570	± 10	550	± 10	540	± 7	1600	± 20				
Te-129	69.6 分	440	± 9	460	± 9	340	± 8	370	± 4	1200	± 10				
I-131	8.04 日	2400	± 6	2300	± 4	1900	± 3	1600	± 2	3600	± 5				
Te-132	3.20 日	150	± 20	230	± 10	170	± 8	150	± 6	490	± 20				
I-132	2.28 時	140	± 19	150	± 9	120	± 7	140	± 6	520	± 20				
Cs-134	2.06 年	890	± 1	710	± 1	510	± 1	590	± 5	2100	± 2				
Cs-136	13.2 日	59	± 1	47	± 1	35	± 1	44	± 1	150	± 1				
Cs-137	30.0 年	1000	± 2	840	± 2	590	± 1	740	± 1	2200	± 2				

表1に明らかなように、飯館村の放射能汚染は、セシウム、テルル、ヨウ素といった揮発性の核種が主体である。一方、チェルノブイリ事故の場合の原発周辺汚染では、Zr-95/Nb-95、Ce-141、Ba-140/La-140といった核種の汚染がCs-137を越えている。このことは、出力暴走により炉心そのものが爆発炎上したチェルノブイリでは、炉心に近い組成で放射能放出が起きたが、福島では冷却能力の喪失によってメルトダウンした炉心からセシウムやヨウ素が揮発し気相経由で放出されたことを示している。表2は、表1のサンプルのうち3つについてSr-90とPu同位体を測定し、チェルノブイリの文献値<sup>3)</sup>と比較したものである。Sr-90の測定は(財)九州環境管理協会に、Puの測定や金沢大学の山本<sup>4)</sup>に依頼した。飯館村土壌のSr-90とPuの汚染レベルは、Cs-137に比べそれぞれ1000分の1以下と100万分の1以下である。

表2. 土壌中のCs-137、Sr-90、Pu-239,240汚染: 飯館村とキエフ市

	土壌の汚染密度, Bq/m <sup>2</sup>		
	Cs-137	Sr-90*	Pu-239, 240**
＜飯館村: 福島第1原発北西 30-45km＞			
白石	1,000,000	390	0.01
山津見神社	590,000	300	0.07
長泥曲田	2,200,000	790	0.2
＜キエフ市: チェルノブイリ原発南 110km＞			
市内6カ所平均	25,000	5,800	160

\*Global fallout を含む値. \*\*Pu-238 との比から、Global の寄与を差し引いた値.

る。一方、キエフの場合はそれぞれ Cs-137 の 23% と 0.6% であり被曝評価において無視できない。

### 3. 初期外部被曝量評価

#### ➤ 空間線量率の再現計算

図 3 は、役場横にある“まていな家”の花壇の土壌測定データを用いて、放射能沈着が起きた 3 月 15 日 18 時以降の地表 1 m での空間線量率の推移を計算し、測定値と比較したものである。単位沈着量から線量率への換算には Beck の値<sup>5)</sup>を用いた。沈着 14 日後の測定値 (◆) と計算値 Total (太線) はよい一致を示した。また、MP reading と計算値 Total の減衰傾向がほぼ平行していることは、沈着時の組成が分かれば、その後の空間線量率変化が計算可能なことを示している。

#### ➤ 積算外部被曝量の計算

図 3 を眺めると、空間線量に寄与している汚染放射能は、実質的に Te-132/I-132、I-131、Cs-134、Cs-137 の 5 核種であることが分かる。一方、表 1 の汚染密度データを分析してみると、Cs-137 の沈着密度では長泥曲田と山津見神社で 3.8 倍の違いがあるものの、Te-132/Cs-137 沈着比や I-131/Cs-137 沈着比には大きなバラツキはなく、沈着比の平均は、3 月 15 日 18 時換算でそれぞれ  $8.3 \pm 1.2$ 、 $9.2 \pm 1.5$  となった。この沈着比を村内全域に適用できると仮定すると、Cs-137 の初期沈着量さえわかれば、飯館村のどんな場所でも空間放射線量を計算できることになる (Cs-134 と Cs-137 の沈着比は 1 である)。図 4 は、Cs-137 の初期沈着量が 100 万 Bq/m<sup>2</sup> の場合について、3 月 15 日 18 時以降の地上 1 m での積算空間線量を計算したものである。6 月 30 日 12 時までの積算空間線量は 32.6 mGy となった。この値は、四六時中野外のその場所にいたという仮想的被曝に対応するもので、具体的な個人の被曝に適用するには、家屋での遮蔽や個人の行動パターンなどを考慮する必要がある。

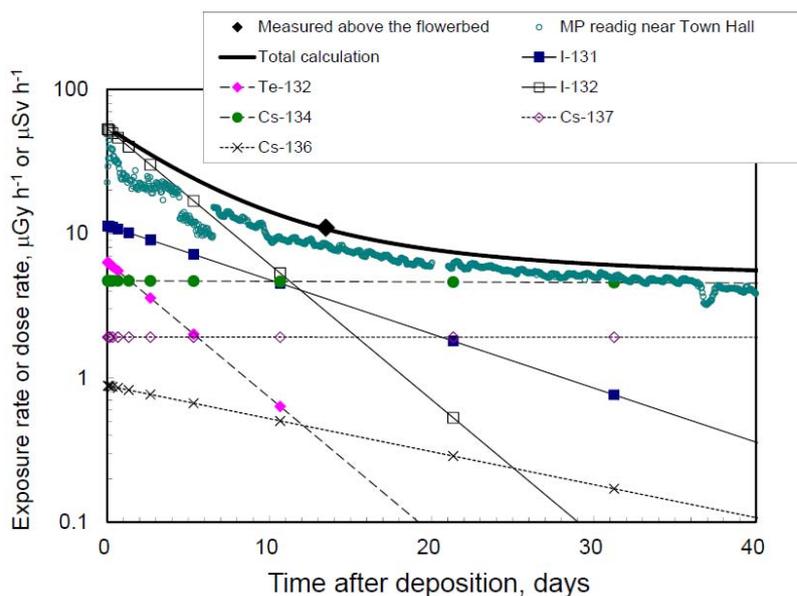


図 3. “まていな家”の花壇土壌測定データに基づく地上 1 m 空間線量率の計算値 (点線、実線、 $\mu\text{Gy/h}$ ) と測定値 (◆、 $\mu\text{Sv/h}$ )。MP reading は約 100m 離れたモニタリングポストの記録、 $\mu\text{Sv/h}$ 。

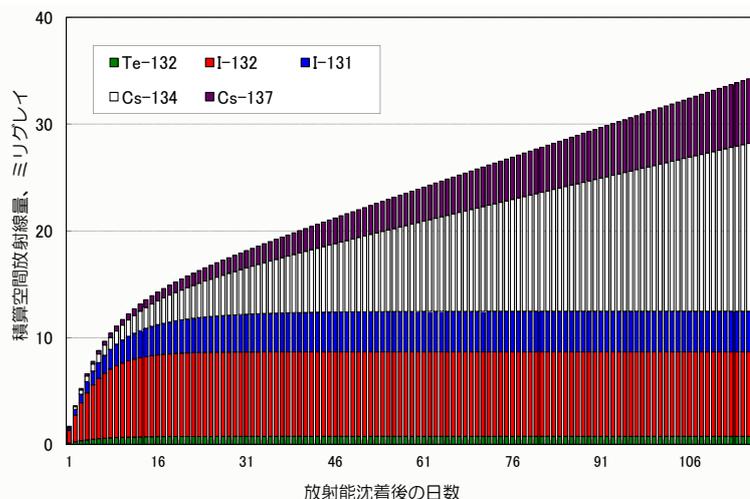


図 4. Cs-137 の初期沈着量が 100 万 Bq/m<sup>2</sup> の場合の地上 1m での積算空間線量。

➤ Cs-137 汚染マップの作成と飯舘村全戸位置の初期沈着量

米国 NNSA (核安全保障局) の放射能モニタリングチーム 33 人が大量の機材とともに輸送機で米軍横田基地に到着したのは 3 月 16 日未明だった。翌 17 日からヘリコプターや飛行機で福島県上空の放射能測定を開始し、NNSA の測定結果は生データの形で WEB に公開されている<sup>6)</sup>。金沢星稜大の沢野は、そのデータを使って汚染地域の詳細な Cs-137 沈着量マップを作成した<sup>7)</sup>。国土地理院地図や市販住宅地図などを併用して飯舘村全戸位置の緯度経度を割り出し、Cs137 汚染の等高線マップにプロットしたものが図 5 である<sup>8)</sup>。図 6 は全戸位置での Cs137 初期沈着量推定値のヒストグラムである。

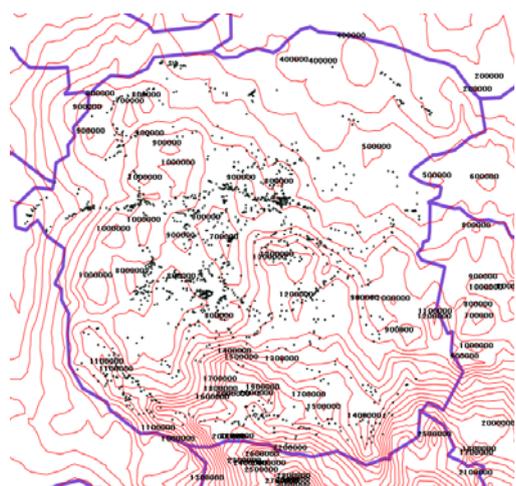


図 5. NNSA データから作成した Cs-137 初期沈着量マップと全戸の位置 (黒点)。

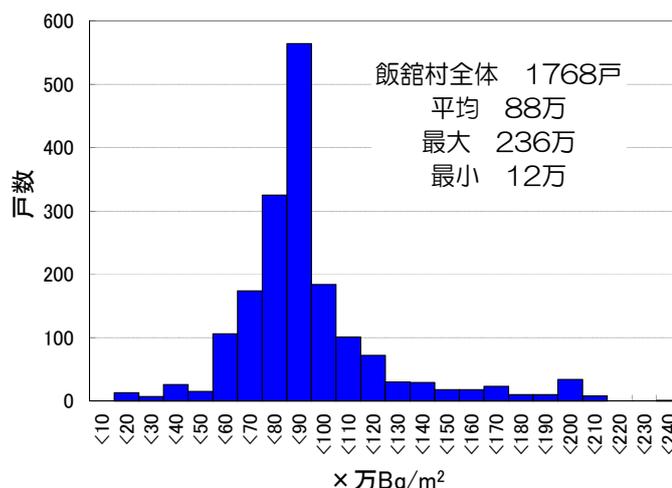


図 6. 飯舘村全戸位置での Cs-137 初期沈着雨量分布。

➤ 避難までの行動パターン聞き取り調査

飯舘村の人たちが受けた具体的な初期外部被曝量を推定するため、計画的避難区域に指定され村から実際に避難するまでの行動パターンについての村民聞き取り調査『飯舘村初期被曝評価プロジェクト』を 2013 年 7 月から開始した。プロジェクトのメンバーが家族の一員に面接し家族全員の行動を聞き取るという形で作業をすすめ、10 月 31 までに 498 家族 1812 人分の行動パターンデータが入手できた。現在、以下の仮定の下に 7 月 31 日までの外部被曝量を推定している：①生活スタイルは屋内 16 時間・屋外 8 時間とし、家屋の放射線低減係数は 0.4 とする。②被曝計算は飯舘村内に滞在していた時のみを対

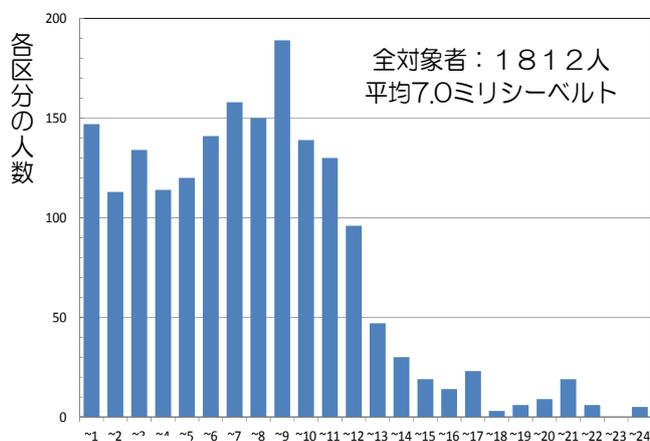


図 7. 7 月 31 日までの外部被曝量、ミリシーベルト

表 3. 年齢区分別の平均初期外部被曝量

年齢区分	人数	平均初期外部被曝量 mSv
10 歳未満	155	3.8
10 歳代	128	5.1
20 歳代	139	6.3
30 歳代	171	5.5
40 歳代	151	7.6
50 歳代	315	8.1
60 歳代	262	8.5
70 歳代	292	7.5
80 歳以上	194	7.3

象とし、村外への避難後の被曝はゼロとする。③空気吸収線量から実効線量への換算係数 (Sv/Gy) は、10歳未満は0.8とし10歳以上は0.7とする。

1812人の初期外部被曝量推定値の分布を図7に示す。平均被曝量は7.0mSvで、最大値は長泥地区の60歳男性の23.5mSvである。福島県による県民健康管理調査結果(被曝は7月11日まで)の図を基に、飯館村3102人の初期外部被曝量の平均を求めると約3.6ミリシーベルトになるので、我々の見積もりはその2倍に相当している。表3は年齢別平均値で、10歳未満の被曝量が小さく、子ども達の避難が大人に比べて早かったことを反映している。図8は、3月11日以降の村民の村内残留割合の推移であるが、いち早く避難した村民が3月20日以降に一旦村に戻り、計画的避難区域に指定された後に再び避難したという興味深い傾向が認められる。避難した人々が一旦村に戻った理由としては、①避難先での生活が様々な意味で困難になった、②当局主催の放射能講演会で安心した、③村内の職場から帰村を要請されたことなどが聞き取りによって明らかになっている。

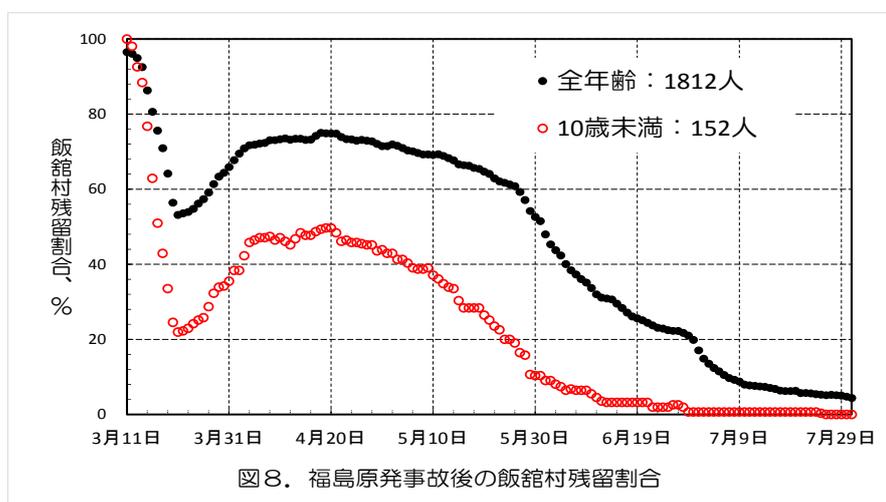


図8. 福島原発事故後の飯館村残留割合

調査対象1812人に対する集団線量は12.6人・Svとなった。この値を飯館村全体(6132人)に換算すると42.7人・Svとなる。被曝にともなうガン死リスク係数を、ICRP107に従って $0.055 \text{ Sv}^{-1}$ とすると2.3件、Gofman<sup>9)</sup>に従って $0.4 \text{ Sv}^{-1}$ とすると17件のガン死が飯館村の人々にもたらされるという評価になる。

#### 文献

- 1) 今中哲二ほか、科学、81、595-600、2011.
- 2) T. Imanaka, et al., Health Physics, 102, 680-682, 2012.
- 3) E. K. Garger, et al., Health Physics, 70, 18-24, 1996.
- 4) M. Yamamoto, et al., Geochemical Journal, 46, 341-353, 2012.
- 5) H. L. Beck, EML-378, 1980.
- 6) National Nuclear Security Administration, <http://nnsa.energy.gov/mediaroom/pressreleases/japandata>
- 7) 沢野伸浩ほか、Proc 14th Workshop on Environmental Radioactivity, 136-144、2013.
- 8) 今中哲二ほか、Proc 14th Workshop on Environmental Radioactivity, 145-150、2013.
- 9) ゴフマン、「人間と放射線」、明石書店、2011.

Dose Assessment of Residents in Iitate Village during the Initial Period after the Fukushima-1 NPP Accident

Tetsuji Imanaka, Satoru Endo, Nobuhiro Sawano, Gohei Hayashi, Masuro Sugai, Shoji Ozawa, Katsuki Ichikawa  
 imanaka@rri.kyoto-u.ac.jp