

原発事故後 12 年間の飯舘村放射線量調査とセシウム 137 汚染の 今後の見通し

今中哲二¹、遠藤暁²、菅井益郎³、市川克樹³、林剛平^{3,4}、豊田直巳³、伊藤延由³、小澤祥司³

¹京大複合研、² 広大院先進理工、³ 飯舘村放射能エコロジー研究会、⁴ 東京外大 ASC

1. はじめに

飯舘村は、福島第1原発からは北西 30~45km に位置し、阿武隈山地にぽっかり乗ったような平均高度約 500m、面積 230km² で、原発事故前は人口 6000 余り、約 1700 戸の農業を中心とする村であった (Fig.1)。それまで原発とは関係のなかった飯舘村の村役場近くに可搬式モニタリングポストが設置されたのは、地震・津波をきっかけに原発事故がはじまってから 3 日目の 2011 年 3 月 13 日だった。役場の担当者が定期的に値を読み取って福島県の事故対策本部に連絡するというやり方で測定が始まった。放射線量が上がり始めたのは 3 月 15 日の午後からで、それまで 0.1 μ Sv h⁻¹ 余りだったのが、15 時に 3.44 μ Sv h⁻¹、17 時に 29.3 μ Sv h⁻¹、18 時 20 分に 44.7 μ Sv h⁻¹ の最大値を記録した[1]。この放射線量の上昇は、14 日にメルトダウン・メルトスルーに至りベントが不成功で 15 日早朝に格納容器破損を起こして放射能放出が始まった 2 号機から放出された放射性プルームが到達したものであろう。飯舘村では、放射性プルームの到達と折からの雪が重なり、15 日夕刻から翌朝にかけて大規模な放射能沈着が発生した。



Fig.1 Location of Iitate village.

福島第1原発周辺で大変な事態が生じているのは確実ながら、汚染に関する具体的なデータはほとんど発表されなかった。1986 年のチェルノブイリ原発事故や 1999 年の東海村 JCO 臨界事故の調査経験から、短半減期核種を含む事故直後の汚染データを記録しておくことの重要性を考えていた今中らは、3 月 20 日頃から自分たちで福島原発周辺の汚染調査に出かける準備に取りかかった。たまたま、原発事故以前から飯舘村の村興しに関与し村の事情を周知している小澤らのグループとコンタクトができ、一緒に飯舘村の汚染調査に出かけることになった。最初に飯舘村に入ったのは 3 月 28 日だった。翌 29 日、ワゴン車で主要道路を走行しながら村内全域の放射線量分布を把握するための走行サーベイを実施した[2]。以来定期的に走行サーベイを実施し、2023 年 4 月 1 日に事故からまる 12 年の調査を行った。本発表では、これまでの走行サーベイ調査結果、ならびに原発事故によるセシウム 137 汚染の現状と今後の見通しについて、規制庁が実施している航空機モニタリングデータと比較しながら報告する。

2. 走行サーベイ

◇調査方法：ワゴン車（日産エルグランド、2023 年は日産セレナ）で飯舘村の主要道路を走行しながら、適宜に車を道路上で停止、ポケット型 CsI シンチレーションサーベメータ（日立アロカ PDR-101/PDR-111）2 つを用いて、2 列目左側座席の測定担当者の膝上での放射線量を測定し、位置座標を GPS で記録した。また、毎回車カ所でワゴン車の前後左右の放射線量を測定し、車内測定値と比較して車の遮蔽係数を求めて、道路上での空間線量率に換算した。

◇調査結果：表 1 は、これまでに実施した 11 回の走行サーベイ調査結果である。2020 年からの 3 年間はコロナ禍のため中止を余儀なくされ、2019 年の調査で日付が 2 つあるのは、帰還困難区域である長泥地区のみ後日に実施したためである。

Table 1. Results of our car-borne survey in Iitate village.

Date	Number of measurements	Radiation dose rate on main roads, $\mu\text{Sv h}^{-1}$				Car shielding factor
		Average \pm SD	Median	Min	Max	
Mar 29, 2011	130	10.8 ± 7.2	9.2	2.4	24	0.62
Oct 5, 2011	122	2.8 ± 1.4	2.6	0.65	7.6	0.70
Mar 27, 2012	139	2.6 ± 1.6	2.3	0.42	8.0	0.68
Mar 17, 2013	170	2.2 ± 1.3	2.0	0.44	7.6	0.61
Apr 26, 2014	238	1.7 ± 1.1	1.5	0.31	7.2	0.61
Mar 26, 2015	257	1.2 ± 0.89	1.0	0.21	5.9	0.62
Mar 26, 2016	236	0.82 ± 0.61	0.65	0.14	4.4	0.67
Apr 1, 2017	249	0.59 ± 0.47	0.43	0.13	3.2	0.72
Mar 31, 2018	261	0.55 ± 0.41	0.44	0.12	3.1	0.71
Mar 30, 2019	264	0.49 ± 0.41	0.35	0.07	2.9	0.69
Apr 1, 2023	276	0.31 ± 0.25	0.23	0.04	2.1	0.75

Table 1 の平均放射線量の推移をプロットしたものが Fig.2 である。走行サーベイの平均放射線量は、2011 年 3 月 29 日の $10.8\mu\text{Sv h}^{-1}$ から 2023 年 4 月 1 日の $0.31\mu\text{Sv h}^{-1}$ へと、この 12 年間に 35 分の 1 に減少した[3]。実線は、短半減期核種の寄与がなくなった 2011 年 10 月と 2012 年 3 月の走行サーベイ結果に合わせて、セシウム 137 初期沈着量を 41万 Bq m^{-2} とし、(土壌サンプル測定結果[2]を基に) 主要核種の沈着比を 2011 年 3 月 15 日 18 時換算で $\text{Cs137}:\text{Cs134}:\text{I131}:\text{Te132}/\text{I132}=1:1:7:8$ として物理的減衰のみを考慮して放射線量率の推移をプロットした曲線である。2013 年と 2014 年は測定値と減衰曲線はよい一致を示したが、2015 年からは測定値の方が小さくなっている。これは、2015 年から 2017 年にかけて実施された、宅地、農地、道路周辺の大規模除染の効果と思われる。しかし、飯舘村の 75% を占める山林は未除染であるため、除染による放射線量低減効果は限定的で、主要道路路上ではファクター 2 程度に留まったと言えよう。

Fig.3 は、2011 年の最初の調査のときに $30\mu\text{Sv h}^{-1}$ という最大放射線量を記録した長泥地区曲田の田んぼでの放射線量の推移である。長泥地区は帰還困難区域であったため大規模除染の対象外で、2019 年まで測定値と減衰曲線はよく一致していたが、3 年間のブランクの後の 2023 年の測定値は減衰曲線の約半分だった。これは、長泥地区が特定再生復興拠点に指定され、曲田の田んぼにおいても追加除染が実施されたためと考えている。

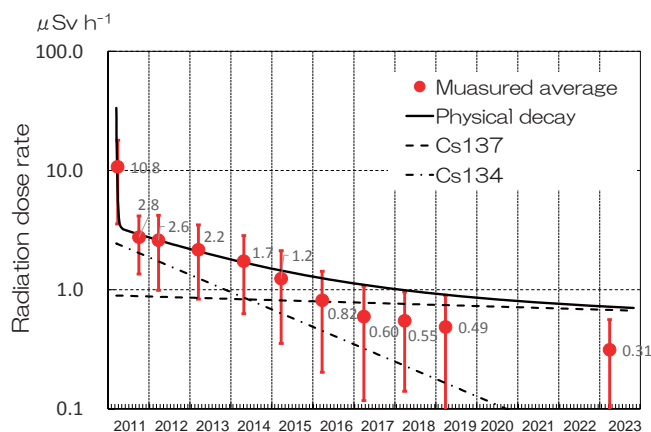


Fig.2 Temporal change of the average dose rate of our car-borne survey in Iitate village.

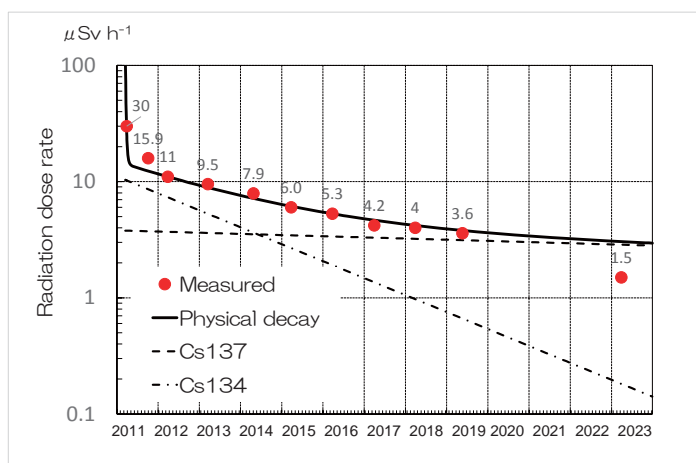


Fig.3 Temporal change of radiation dose rate at the Magata point where the maximum dose rate of $30 \mu\text{Sv h}^{-1}$ was recorded at rice field during our first visit to Iitate on March 29, 2011.

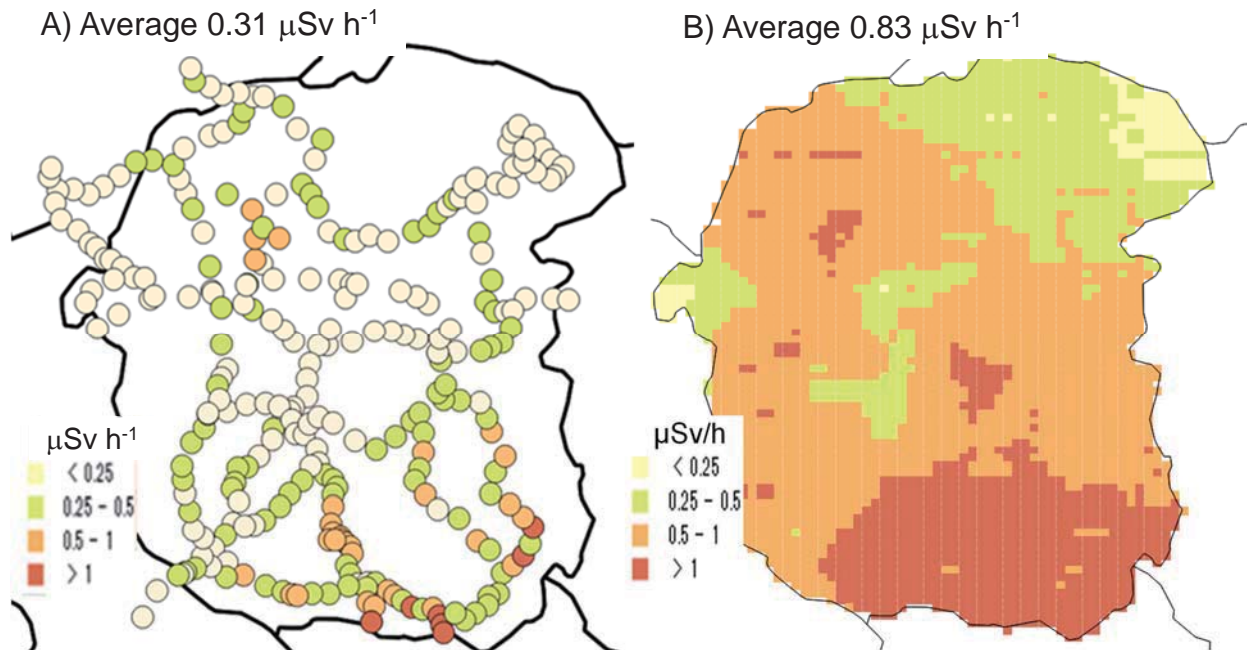


Fig. 4. Current situation of radiation dose rate distribution in Iitate village.

A) Our car-borne survey at 276 points on April 1, 2023. B) Aerial helicopter monitoring data by NRA assigned to 3,623 meshes within Iitate village on October 21, 2022.

2. 航空機モニタリングとの比較

Fig.4は、我々の最近の飯舘村走行サーベイ結果（2023年4月1日）(A)と原子力規制庁による第17次航空機モニタリング結果(2022年10月21日換算)[4]から抜き出した飯舘村の放射線量分布(B)の比較である。我々の走行サーベイ平均値 $0.31\mu\text{Sv h}^{-1}$ に比べ、航空機モニタリング平均値は $0.83\mu\text{Sv h}^{-1}$ と 2.7 倍である。走行サーベイは、除染された農地に囲まれた、除染された道路上の測定が主であり、飯舘村内で放射線量の低いところを選んで測っていると見えよう。一方、航空機モニタリングでは、上空約 300m から NaI 測定器を使って地表面全域を平行スキャンしながら測定している。飯舘村面積の 75% は除染されていない山林であり、Fig.4 の 2 つの図の違いは山林の汚染が大きいことを示している。

12 年前に比べ放射線量は下がったとはいえ、飯舘村では原発事故前に比べると大きな放射線量が続けている。今後の汚染はセシウム 137 が主体であること、セシウムは土壌に強く吸着され移動が少ないことを考えると、放射線量の将来予測が容易である。Fig.5 は、飯舘村の自然放射線量を $0.05\mu\text{Sv h}^{-1}$ とし、セシウム 137 の物理的減衰のみを考慮してたときの走行サーベイ平均値と航空機モニタリング平均値の今後の予測である。日本の自然放射線量の変動幅の上限レベルであろう $0.1\mu\text{Sv h}^{-1}$ まで下がるのは、これから 70~120 年後であることを Fig.5 は示している。

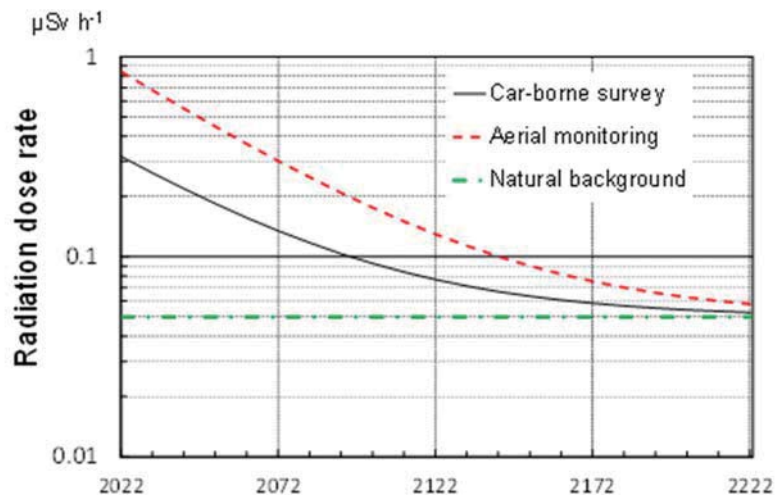


Fig. 5. Perspective of radiation dose rate in Iitate village taking into consideration the physical decay of Cs137 and the natural background of $0.05\mu\text{Sv h}^{-1}$. Solid line begins our car-borne of $0.31\mu\text{Sv h}^{-1}$ in April 2023 and red broken line does $0.83\mu\text{Sv h}^{-1}$ of NRA aerial survey in October 2022.

2. 今後のセシウム 137 汚染面積

規制庁の航空機モニタリングでは、東日本8県の汚染地域のセシウム 137 沈着密度が、約 250mメッシュ区画に対する内挿値として JAEA のホームページで公開されている[5]。Fig.6 は、そのデータを基にしたセシウム 137 汚染密度の将来予測マップで、Table 2 にその面積を示した。色付けの境界値である 50 万 Bq m⁻²は、チェルノブイリ事故での住民移住基準の 15Ci km⁻² (55.5 万 Bq m⁻²)に相当し、4 万 Bq m⁻²は放射性物質取扱施設における放射線管理区域設定基準である。今後 60 年は、無視できない面積で注意すべき汚染が残っているが、100 年たてば 50 万 Bq m⁻² 以上はほぼ消滅し、200 年経てば 4 万 Bq m⁻² 以上もほぼ消滅する。

おわりに：この 12 年間の飯舘村調査にあたって、多くの村民、また飯舘村放射能エコロジー研究会 (IISORA) の仲間に協力して頂いた。改めて感謝したい。

- ・ IISORA の活動については、IISORA の HP : <https://www.iitate-sora.net/>
- ・ 走行サーベイ以外の飯舘村調査については原子力安全研究グループ HP : <http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/> を参照頂きたい。

文献・資料

- [1] 福島県 HP. https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec_file/monitoring/m-3/20-50km0312-0331.pdf
- [2] 原子力安全研究グループ HP. <http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/seminar/No110/iitatereport11-4-4.pdf>
- [3] 原子力安全研究グループ HP. <http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/temp/2023/Iitate23-4-16.pdf>
- [4] 原子力規制庁 HP. <https://radioactivity.nra.go.jp/ja/results/airborne/air-dose>
- [5] JAEA モニタリング情報公開サイト. <https://emdb.jaea.go.jp/emdb/download/>

Radiation Survey in Iitate Village for Twelve Years after the Fukushima Daiichi NPP Accident and Future Perspective of Cs137 Contamination

T. Imanaka¹, S. Endo², M. Sugai³, K. Ichikawa³, G. Hayashi^{3,4}, N. Toyoda³, N. Ito³, S. Ozawa³

¹ Kyoto University, ² Hiroshima University, ³ IISORA, ⁴ Tokyo University of Foreign Studies

Our first car-borne radiation survey in Iitate village was March 29, 2011, two weeks after the serious contamination occurred due to the FDNPP accident. Then our survey activities periodically continue until now. The recent average dose rate by car-borne survey on April 1, 2023 was 0.31 μSv h⁻¹, which was 1/35 of the first value of 10.8 μSv h⁻¹. Judging from the analysis of the aerial monitoring data using helicopters by NRA, it is certain that significant Cs137 contamination continues up to 100 years later.

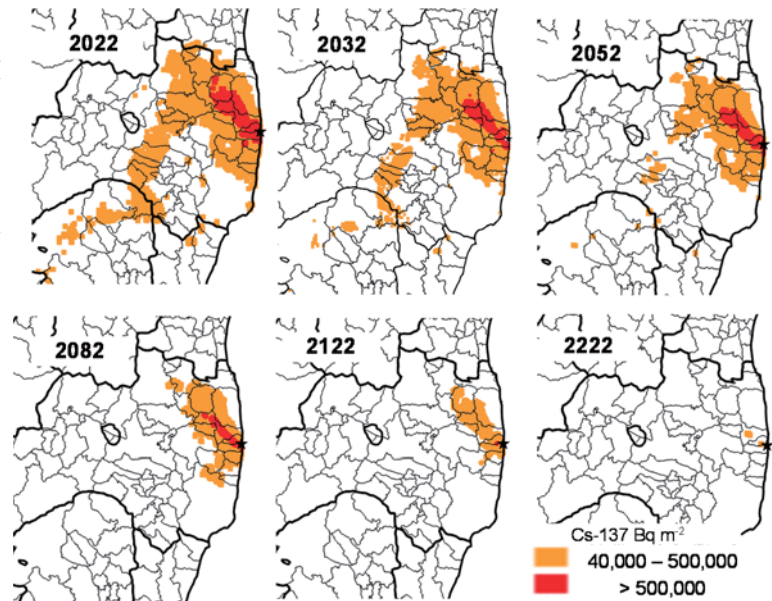


Fig. 6. Perspective map of future level of Cs137 contamination density: current (2022), 10yr (2032), 30yr (3052), 60yr (2082), 100yr (2122) and 200yr (2222) later.

Table 2. Perspective of Cs137 contamination area due to the FDNPP accident up to 2222: total area and Iitate village.

Year	Total		Iitate village	
	40k – 500k Bq m ⁻²	> 500k Bq m ⁻²	40k – 500k Bq m ⁻²	> 500k Bq m ⁻²
2022	2873 km ²	277 km ²	189 km ²	42 km ²
2032	2298 km ²	230 km ²	204 km ²	26 km ²
2052	1402 km ²	143 km ²	222 km ²	4.1 km ²
2082	811 km ²	48 km ²	202 km ²	0 km ²
2122	349 km ²	0.1 km ²	74 km ²	0 km ²
2222	2 km ²	0 km ²	0 km ²	0 km ²