

富岡町を基盤とした帰還住民とのコミュニケーションに資する

科学的エビデンスの創出

主任研究者

高村 昇（長崎大学原爆後障害医療研究所 教授）

研究協力者

大津留 晶（福島県立医科大学 教授）

前田 正治（福島県立医科大学 教授）

研究参加者

折田 真紀子（長崎大学原爆後障害医療研究所 助教）

平良 文亨（長崎大学原爆後障害医療研究所 助教）

浦田 秀子（長崎大学原爆後障害医療研究所 教授）

新川 哲子（長崎大学原爆後障害医療研究所 准教授）

吉田 浩二（長崎大学大学院医歯薬学総合研究科 准教授）

松尾 政彦（長崎大学原爆後障害医療研究所 大学院生）

松永 妃都美（長崎大学原爆後障害医療研究所 大学院生）

堀 裕子（長崎大学原爆後障害医療研究所 大学院生）

キーワード

リスクコミュニケーション	帰還企図	メンタルヘルス
外部被ばく	内部被ばく	環境モニタリング

研究要旨

福島県富岡町は平成 29 年 4 月に町役場機能を避難先の郡山から富岡町内に戻し、住民の帰還が開始したが、事故から長時間が経過し、住民の帰還には困難も多い。「帰還したい」住民が戻ることができる環境の整備のためには、インフラの整備や除染に加えて、地域の状況にマッチした、放射線に関する正しい情報へのアクセスが極めて重要である。本研究事業では、研究責任者らが福島県川内村で行ってきた研究事業、リスクミ事業を比較的被ばく線量が高いことも予想される富岡町において展開することで、環境保健行政に資する科学的エビデンスを構築することを目的とした。

今年度は、富岡町のうち特定復興再生拠点となっている夜ノ森地区の空間線量率を長期間にわたって面的に測定し、先行除染を実施した地域において低減化傾向がみられ、避難指示の解除が科学的にも妥当であることを示した。帰還困難区域の再生が町の真の

復興再生につながるため、継続的なフォローが重要である。

また、住民の帰還企図とメンタルストレスについての関連を調査し、「富岡町に帰還するかどうかを悩んでいる」住民は、「帰還した（すると決めた）」住民や「帰還しないと決めた」住民に比較して、メンタルストレスが高いことが示された。今後、「帰還するかどうか迷っている」住民に対する情報の提供や、リスクコミュニケーションが重要である。

1-1-1.避難指示解除後の環境放射能レベル及び被ばく線量評価

I. 研究目的

本研究では、平成 29 年度（2017 年度）以降に帰還した福島県富岡町において、役場と連携しながら住民帰還の促進をはじめ町の復興・再生を支援するために、研究責任者らが福島県川内村で実践してきた研究・リスク事業の経験と成果を活かしつつ、環境保健行政に資する科学的エビデンスの構築を目的としている。これまで研究責任者らは、同町における被ばくリスク評価（外部被ばく線量・内部被ばく線量）を避難指示解除前後からフォローしているが、現在も一部に帰還困難区域を有する富岡町において、環境放射能レベルの把握及び被ばくリスク評価は極めて重要である。今年度は、帰還住民の住居や町有施設（集会所）の建屋周辺の生活空間に着目した外部被ばく線量の継続評価、町内産の食品スクリーニング検査（自家栽培及び山菜等の野生食材の非破壊検査）に基づく放射性セシウムの分布及び内部被ばく線量の継続評価を行うとともに、帰還困難区域における除染・解体作業に伴う環境放射能レベルの把握（走行サーベイによる線量マッピング・放射性セシウムの再浮遊の動態把握）及び避難指示解除区域における未除染エリアである森林内の環境放射能レベルの把握（ハイキングコース内の歩行サーベイによる線量マッピング）を行い、除染効果の検証や里山の利活用に向けた課題抽出を行うなど、住民や労働者が同町で安心して長く生活するための科学的知見を集積し、住民等を対象とした身の回りの放射線に関する健康相談（放射線リスクコミュニケーション）の基礎的データの構築及び拡充を目指した。

II. 研究方法

外部被ばく線量評価については、帰還した住民の住居や町有施設である集会所を対象に、過去 3 ヶ年（2017 年度～2019 年度）で延べ 159 戸を調査してきたが、今年度は新型コロナウイルス（COVID-19）の感染拡大に伴い、例年並みの規模による現地調査が困難であったことから、対象を集会所に限定して実施した。具体的には、対象建屋の屋内外の空間線量率の測定及び表層土壌の核種分析を実施した。併せて、過去 3 ヶ年の結果と併せた経年変化を解析した。また、帰還困難区域内にある「特定復興再生拠点区域」では、平成 30 年（2018 年）7 月から先行除染が開始され、町の復興・再生に向けた動きが加速化している中で、同区域における除染・解体作業に伴う環境放射能レベルを把握するために走行サーベイを実施し、先行除染後の経時変化について解析した。さらに、余暇活動等の普段の生活空間以外における環

境放射能レベルを把握するために、里山再生（森林除染）に関連して森林公園のハイキングコースにおける歩行サーベイを実施し、ウェザリング効果（風雨などの自然要因による減衰）について解析した。

一方、内部被ばく線量評価については、平成 30 年（2018 年）1 月以降に富岡町役場内に設置・運用開始された「富岡町食品検査所」が実施している食品スクリーニングの測定結果を基に、同町内で栽培・採取された食品・食材の基準値超過の割合（検出率）や食品群に含まれる放射性セシウムの分布等について解析するとともに、今年度は新たに「特定復興再生拠点区域」にある建屋の解体作業による放射性セシウムの再浮遊・飛散性に関する調査も実施し、浮遊する放射性セシウムの吸入による内部被ばく線量についても解析した。

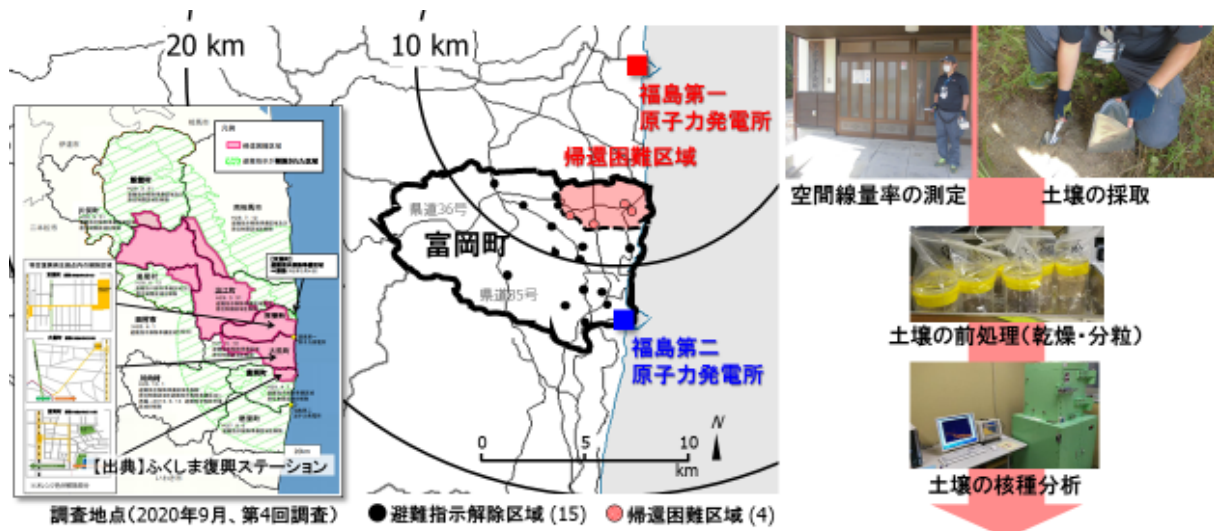
1. 外部被ばく線量評価（避難指示解除後 4 年）

① 空間線量率の測定（図II-1）

令和 2 年（2020 年）9 月、町有施設である集会所 19 戸を対象に屋内外の空間線量率を測定した。具体的には、サーベイメータ「TCS-172B」（日立アロカメディカル製）にて、各測定ポイントにおいて 30 秒ごとに 5 回（時定数 10）測定し、その平均値を空間場の代表値として、外部被ばく線量を評価した。測定ポイントは、屋内は玄関（地上 1m 高）及び大広間の中央（5cm 及び 1m 高）、屋外は玄関前（地上 1m 高）及び建屋裏（地上 1m 高）とした。

② 表層土壌に含まれる放射性セシウム（図II-1）

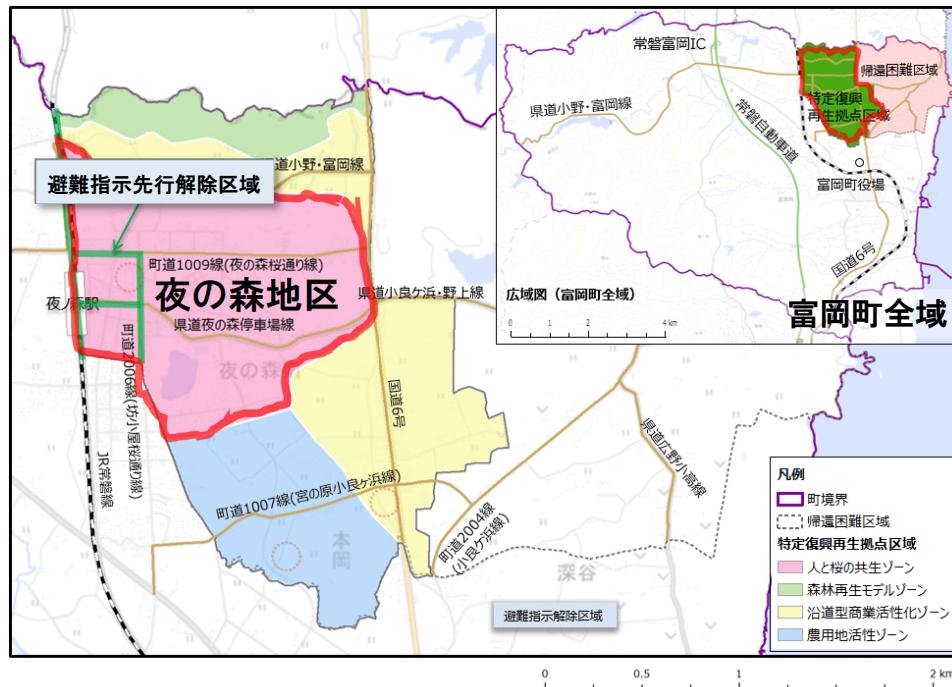
①と同様、令和 2 年（2020 年）9 月に、町有施設である集会所 19 戸を対象に、建屋敷地内の表土（0-5cm 及び 5-10cm の 2 層）を採土器で採取後、前処理操作（105℃、24 時間の雰囲気乾燥後、2mm メッシュの篩で夾雑物を除去）した試料（粒形<2mm）を専用容器（PP 製 U8 容器）に梱包し、ゲルマニウム半導体検出器「GMX Series」（相対効率 33.04%、オルテック製）及び「MCA7600」（セイコーイーザーアンドジー製）にて核種分析（ γ 線スペクトロメトリ）を行った（測定時間 3,600 秒）。



図II-1 空間線量率の測定地点（表層土壌の採取地点）及び測定・分析の様子

③ 帰還困難区域（特定復興再生拠点区域）の線量マッピング（図II-2）

富岡町では、令和 5 年（2023 年）春頃までに帰還困難区域全域の避難指示解除を目指しており、平成 30 年（2018 年）7 月以降「特定復興再生拠点区域」に指定されている「夜の森地区」を皮切りに除染・解体作業が加速化している。そこで、研究責任者らは、同区域における除染効果を検証するために、適宜走行サーベイによる線量マッピングを実施している。トピックスとして、令和 2 年（2020 年）3 月 14 日の JR 常磐線の全線再開に合わせて、令和 2 年（2020 年）3 月 10 日に JR 夜ノ森駅前の一部道路が先行解除された。今回、同区域における解体・除染作業に伴う環境放射能レベルについて、特に JR 夜ノ森駅再開前後の「夜の森地区」を中心に令和元年（2019 年）10 月及び令和 2 年（2020 年）10 月に走行サーベイを実施し、得られた線量マッピングから環境放射能の変動を調査した。具体的には、放射線モニタリングシステム「ラジプローブ」（㈱千代田テクノル製）を使用し、地上 1m 高に車載設置した検出器にて 5 秒ごとに空間線量率の測定及び事故由来と考えられる放射性セシウム等の定性分析（核種ごとの有意なエネルギーピークの同定）を同時に行い、経時変化を解析した。



図II-2 特定復興再生拠点区域（環境省「除染情報サイト」を一部改変）

④ 森林公園の線量マッピング（図II-3）

富岡町では、普段の生活空間以外に、国等と連携して住民の帰還に向けた環境づくりである「里山再生モデル事業」（平成28～31年度）（2016～2019年度）を実施し、モデル地区（グリーンフィールド富岡周辺（富岡町小浜、大字本岡地内））の除染、間伐材等の森林整備及び線量測定を実施し、快適な森林空間の創出に一定効果を示したと評価しているものの、事故以前のように管理が十分に行き届いていない森林公園も現存している。今回、事故以前はハイキング等の余暇活動の場として住民等に親しまれていた森林公園を有する大倉山（標高592.4m）において、ハイキングコース内を歩行サーベイし、空間線量率、放射性セシウムの検出率及び個人被ばく線量の測定を行い、秋季（令和元年（2019年）10月）に発生した勢力の強い台風や度重なる集中豪雨に伴う環境放射能の変動について、ウェザリング効果の有無及び外部被ばく線量を詳細に解析した。なお、測定には、放射線モニタリングシステム（③と同様）及び個人被ばく線量計「D-シャトル」（㈱千代田テクノル製）を使用し、里山の自然を享受するための基礎データをフォローするとともに、除染が困難なエリアにおける被ばく管理のあり方についても検討した。



図II-3 大倉山の位置及びハイキングコース

2. 内部被ばく線量評価（最近 3 ヶ年）

① 食品スクリーニング検査（図II-4）

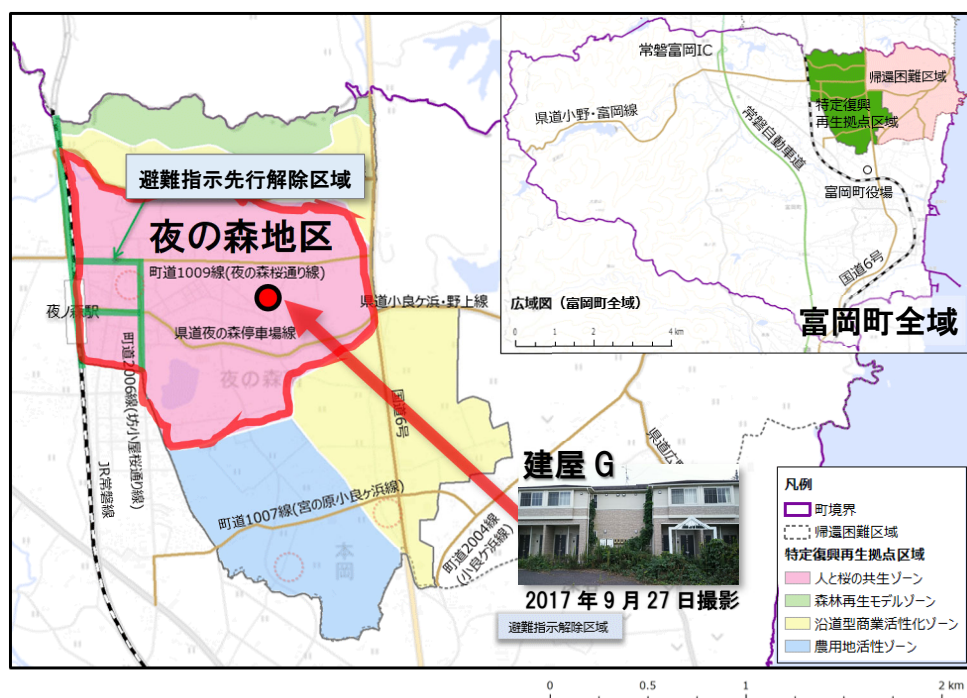
富岡町では、平成 30 年（2018 年）1 月から町内 2 ヶ所（役場等）に非破壊検査器（NaI スペクトロメータ）を設置し、町内で採取・栽培された食品を中心に簡便・迅速なスクリーニング検査（測定時間 600 秒）を行ってきた。現在は、役場内に新たに設置・運用開始した「富岡町食品検査所」（平成 31 年（2019 年）1 月～）において、食品スクリーニング検査を継続しているが、普段の生活の中で、安心して地元の食材を摂取するために不要な放射性セシウムの内部被ばくを回避する方策として、当該食品スクリーニングを活用する住民は非常に多く、内部被ばくリスクへの関心が高い。したがって、前述した外部被ばく線量評価に加え、富岡町役場からの情報提供を基に、同町内で栽培・採取された食品・食材の基準値超過の割合（検出率）や食品群に含まれる放射性セシウムの分布等について解析した。具体的には、令和 2 年（2020 年）1 月～12 月の期間にスクリーニングした 587 試料を対象に、食品別の内部被ばく線量評価を行った。



図 II-4 富岡町食品検査所（視察する学生）及びスクリーニング用の NaI スペクトロメータ

② 帰還困難区域（特定復興再生拠点区域）の解体作業に伴う放射性セシウムの再浮遊（図II-5～II-6）

令和2年（2020年）5月～8月の間、富岡町の「夜の森地区」（特定復興再生拠点区域）に位置する建屋G（地上2階木造アパート、カラーベスト葺、総戸数8戸）の敷地内にハイボリウムエアサンプラー「HV-1000R」（柴田科学㈱製）を1台設置し、除染・解体作業中の大気浮遊塵を1000L/minの吸引速度でガラス濾紙（203mm×254mm、ADVANTEC製）に捕集した。捕集時間は6時間程度で、捕集後、濾紙をベルトポンチで円形に12穴打ち抜き、U8容器に梱包し測定試料とした（図II-3）。測定試料は、ゲルマニウム半導体検出器（1.②と同様）で核種分析を行った（測定時間80,000秒）。



図II-5 特定復興再生拠点区域（環境省「除染情報サイト」を一部改変）



図II-6 解体作業及び大気浮遊塵の捕集・前処理の様子

III. 研究結果

1. 外部被ばく線量評価（避難指示解除後 4 年）

① 空間線量率の測定（表 III-1、図III-1）

避難指示解除区域における自然放射線を含む空間線量率（中央値）は、屋内で $0.15\mu\text{Sv/h}$ （正面玄関、1m 高）、 $0.15\mu\text{Sv/h}$ （大広間の中央、5cm 高）及び $0.18\mu\text{Sv/h}$ （大広間の中央、1m 高）、屋外で $0.17\mu\text{Sv/h}$ （正面玄関、1m 高）及び $0.21\mu\text{Sv/h}$ （建屋裏、1m 高）であった。また、これらの指示値から、環境省のガイドラインで示す行動時間（屋内 16 時間及び屋外 8 時間）に基づき推計した年間の追加被ばく線量は、 1.0mSv/y であった。一方、帰還困難区域における自然放射線を含む空間線量率（中央値）は、屋内で $0.39\mu\text{Sv/h}$ （正面玄関、1m 高）、 $0.23\mu\text{Sv/h}$ （大広間の中央、5cm 高）及び $0.26\mu\text{Sv/h}$ （大広間の中央、1m 高）、屋外で $0.70\mu\text{Sv/h}$ （正面玄関、1m 高）及び $0.93\mu\text{Sv/h}$ （建屋裏、1m 高）であった。また、避難指示解除区域と同様に、これらの指示値から推計した年間の被ばく線量は、 3.0mSv/y （参考値）であった。避難指示解除区域では、事故後の被ばく線量の目安である「現存被ばく状況」（放射線防護委員会、 $1\text{--}20\text{mSv/y}$ ）の下限域で推移していることが確認された。さらに、これまで放射線量が一定程度高い状態が継続していた帰還困難区域においても、過去 3 ヶ年（2017～2019 年）に比べて低値を示し、環境放射能レベルの低減化が示唆された。これらの結果から、過去 3 ヶ年（2017～2019 年）の空間線量率の推移と併せ、町内全域で概ね低減化の傾向が維持されていることが明らかとなった。

表 III-1 建屋周辺の生活空間における空間線量率の推移

測定場所 ^a		測定年 ^b	範 囲	中央値	年間被ばく 線量推計値	備考 (遮へい率)
			μSv/h	μSv/h	mSv/y	
避難指示解除区域	玄関（内）	2017	0.086-0.37	0.20 (0.28) ^c	1.7 ^d	0.77 ^e
		2018	0.098-0.30	0.13 (0.21)	1.1	0.52
		2019	0.11-0.27	0.14 (0.26)	1.2	0.64
		2020	0.064-0.25	0.15 (0.21)	1.3	0.68
	玄関（外）	2017	0.088-0.68	0.26 (0.43)	2.3	
		2018	0.088-0.48	0.25 (0.37)	2.2	
		2019	0.084-0.44	0.22 (0.32)	1.9	
		2020	0.080-0.30	0.17 (0.34)	1.5	
	建屋裏	2017	0.14-1.3	0.34 (0.63)	3.0	
		2018	0.12-1.2	0.29 (0.51)	2.6	
		2019	0.13-0.68	0.24 (0.53)	2.1	
		2020	0.10-0.49	0.21 (0.28)	1.8	
帰還困難区域	玄関（外）	2017	1.1-2.9	2.3 (2.8)	20	
		2018	0.30-2.4	1.2 (2.1)	11	
		2019	0.32-2.2	1.8 (2.1)	16	
		2020	0.24-0.94	0.70 (0.90)	6.1	
	建屋裏	2017	1.8-2.4	2.1 (2.4)	19	
		2018	0.36-2.8	2.2 (2.6)	19	
		2019	0.27-2.0	1.6 (1.9)	14	
		2020	0.23-1.9	0.93 (1.7)	8.1	

^a1m高の線量率 ^b2017年7-10月、2018年7-12月、2019年6-12月、2020年9月（集会所のみ） ^c中央値（90%タイル） ^d中央値×24時間×365日 ^e建屋内の線量率/建屋外の線量率
⇒ 自然放射線を除いた追加被ばく線量（推定）：**1.6mSv/y（2017年）、1.1mSv/y（2018-2019年）、1.0mSv/y（2020年）**
例：2020年 （**0.15μSv/時**-**0.04μSv/時**）×16時間+（**0.17μSv/時**-**0.04μSv/時**）×8時間）×365日=1.0mSv/年（環境省ガイドライン）

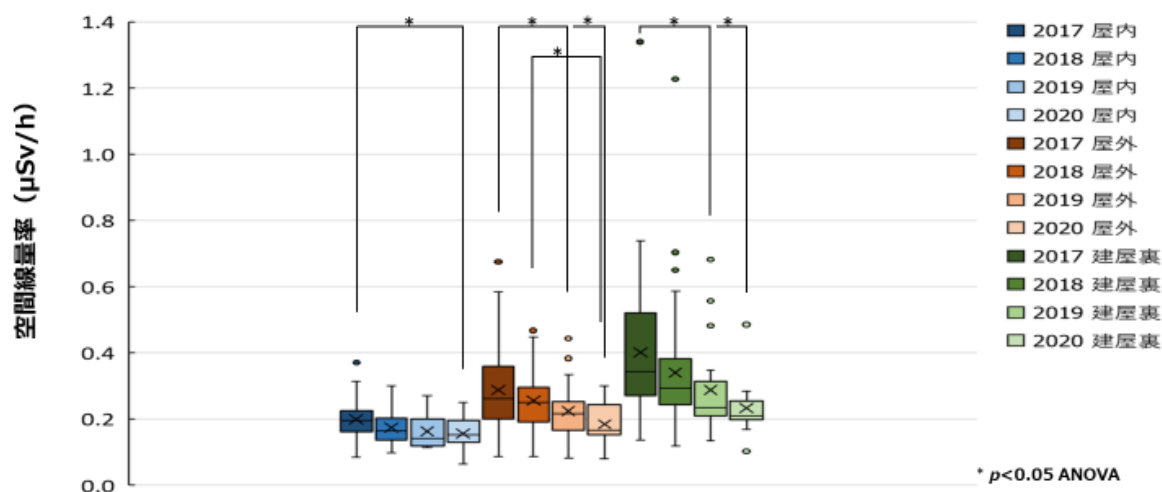


図 III-1 建屋周辺における空間線量率の分布推移

② 表層土壌に含まれる放射性セシウム（表 III-2、図III-2）

すべての採取地点において、表層土壌中にセシウム 137 (^{137}Cs) が検出されたものの、物理学的半減期が約 2 年のセシウム 134 (^{134}Cs) は、2 地点 (11%) で不検出 (2017 年 3 地点 (4.9%)、2018 年 8 地点 (14%) 及び 2019 年 2 地点 (6.7%)) であったが、放射性セシウム比 ($^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$) の経年変化から、事故由来の放射性セシウムであることが示唆された。また、土壌中の放射性セシウムの分布は、避難指示解除区域では、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs （いずれも深度 0-5cm の中央

値）が、それぞれ 49Bq/kg 及び 677Bq/kg であり、これらの2核種による外部被ばく線量は、それぞれ 0.18mSv/y と推定された。一方、帰還困難区域では、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs （いずれも深度 0-5cm の中央値）は、それぞれ 1,504Bq/kg 及び 29,845Bq/kg であり、これらの2核種による外部被ばく線量は 7.8 mSv/y と推定された。これらのことから、富岡町では、事故由来の放射性セシウムが現存した状況が継続し、帰還困難区域における環境放射能レベルは一定程度高いことが推察されるものの、特に避難指示解除区域では、地表面からの外部被ばく線量が現存被ばく状況（20mSv/y 以下）を大きく下回っており、外部被ばく線量は極めて限定的であることが確認された。さらに、これまでの結果から、過去3ヶ年（2017～2019年）の表層土壌に含まれる放射性セシウムの推移と併せ、町内全域で概ね低減化の傾向が維持されていることが明らかとなった。

表 III-2 表層土壌に含まれる放射性セシウム濃度の推移

測定場所	測定年	深度 cm	範 囲		中央値		年間被ばく 線量推計値	備 考
			Bq/kg-dry		Bq/kg-dry		mSv/y	セシウム比 (¹³⁴ Cs/ ¹³⁷ Cs)
			¹³⁴ Cs (2.1y)	¹³⁷ Cs (30y)	¹³⁴ Cs (2.1y)	¹³⁷ Cs (30y)	¹³⁴ + ¹³⁷ Cs	
避難指示解除区域	2017	0-5	8.0-6,063 ^a	34-45,331	238 (1,950) ^b	1,784 (12,966)	0.17 ^c	0.13
		5-10	3.7-5,803	28-48,911	334 (2,016)	2,093 (15,209)		0.13
	2018	0-5	7.4-4,352	13-44,676	301 (1,035)	2,635 (11,054)	0.37	0.093
		5-10	8.4-2,410	12-24,715	318 (1,545)	2,913 (14,354)		0.092
	2019	0-5	10-2,406	19-32,061	126 (709)	1,656 (8,976)	0.18	0.071
		5-10	13-1,344	25-18,246	134 (422)	1,502 (5,965)		0.072
	2020	0-5	6.2-2,294	13-45,818	49 (139)	677 (2,685)	0.18	0.052
		5-10	8.0-2,324	19-45,480	68 (325)	627 (5,364)		0.052
帰還困難区域	2017	0-5	3,317-18,552	25,559-141,209	8,025 (15,906)	62,131 (121,336)	6.4	0.13
		5-10	4,654-9,034	36,317-69,377	6,633 (8,893)	51,840 (68,551)		0.13
	2018	0-5	19-5,720	243-58,719	2,992 (5,157)	31,479 (53,730)	3.2	0.094
		5-10	254-2,716	2,596-28,443	335 (2,047)	3,522 (21,498)		0.10
	2019	0-5	20-5,873	223-83,001	469 (4,430)	6,892 (62,785)	1.4	0.070
		5-10	80-2,889	157-41,171	786 (2,461)	1,650 (33,153)		0.070
	2020	0-5	13-2,805	334-55,172	1,504 (2,590)	29,845 (51,114)	7.8	0.051
		5-10	49-1,086	1,152-22,043	464 (975)	9,210 (19,680)		0.049

^a表土（0-5cm）^b中央値（90％タイル）^c2017年＝表土濃度（kBq/m²（放射能Bq/kgから換算））×実効線量係数（μGy/h）/（kBq/m²）（地表1m・空気カーマからの周辺線量当量10、ICRU1994）×単位換算係数0.7 Sv/Gy（UNSCEAR2000）×0.7（遮蔽係数、IAEA-TECDOC-1162）×24時間×365日×10⁻³、2018-2019年＝表土濃度（kBq/m²（放射能Bq/kgから換算））×実効線量係数（μSv/h）/（kBq/m²）（地表1m・空気カーマからの周辺線量当量5.0、ICRU1994）×0.36（遮蔽係数、UNSCEAR2000）×24時間×365日×10⁻³

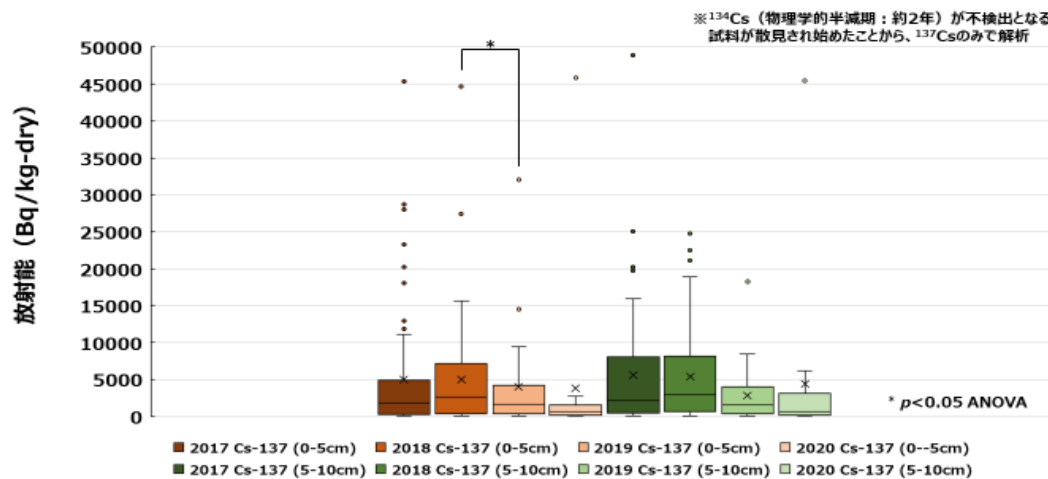
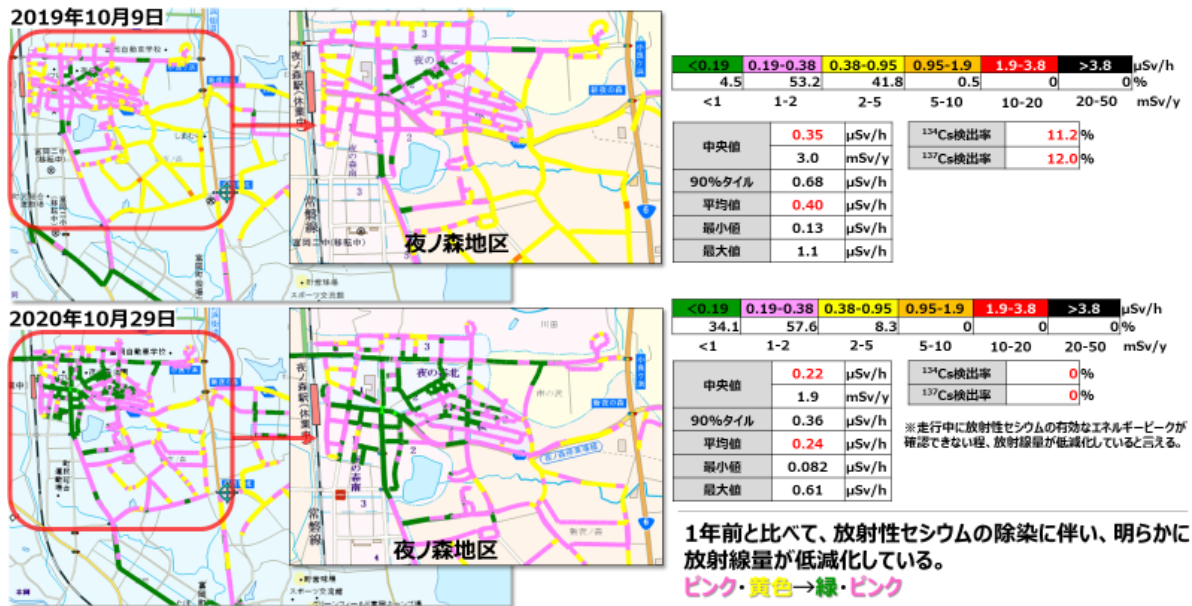


図 III-2 表層土壤に含まれる放射性セシウム濃度の分布推移

③ 帰還困難区域（特定復興再生拠点区域）の線量マッピング（図III-3）

JR 夜ノ森駅が再開される約半年前の令和元年（2019 年）10 月、「夜の森地区」では空間線量率（中央値（平均値））は $0.35\mu\text{Sv/h}$ ($0.40\mu\text{Sv/h}$) で、測定ポイントの約半数強にあたる 57.7% が $0.38\mu\text{Sv/h}$ 以下（環境省ガイドラインで示される 2mSv/y 以下に相当）を示した。また、事故由来と考えられる放射性セシウムの検出率は、それぞれ ¹³⁴Cs が 11.2%及び ¹³⁷Cs が 12.0% であった。その後、JR 夜ノ森駅の再開から約半年後の令和 2 年（2020 年）10 月、同地区の空間線量率（中央値（平均値））は $0.22\mu\text{Sv/h}$ ($0.24\mu\text{Sv/h}$) であったが、測定ポイントの大半にあたる 91.7%が $0.38\mu\text{Sv/h}$ 以下を示し、事故由来と考えられる放射性セシウムは不検出（0%）であったことから、この 1 年間の環境放射能レベルは大きく低減化し、それが線量マッピングからも明らかとなった。



図III-3 夜の森地区の線量マッピング（走行サーベイによる空間線量率の変化）

④ 森林公園の線量マッピング（図III-4～図III-6、表III-3）

富岡町と川内村の間に位置する大倉山は、生活空間（居住区域）と異なり除染されていない。時に、令和元年（2019年）10月、台風19号は強い勢力を保持したまま日本を縦断した。当該台風の上陸に伴い、大雨・暴風による河川の氾濫など大きな災害が各地で発生し、福島県内においても大きな被害を受けた。この月は、台風通過後に、度重なる豪雨にも見舞われたが、大倉山のハイキングコース内の空間放射線率や放射性セシウムのインベントリーについて調査・解析した結果、台風等の気象前後における空間線量率は0.45-0.48μSv/h（中央値）

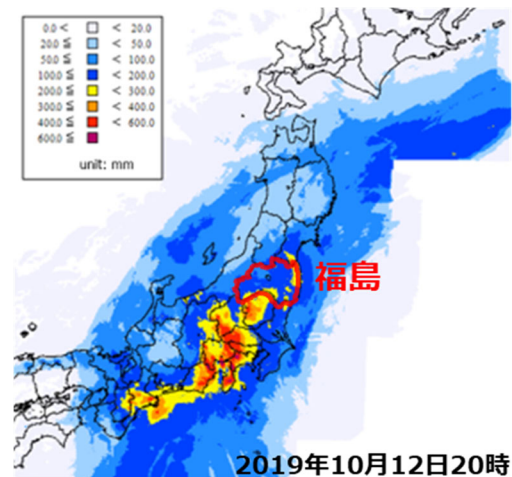


図 III-4 大雨特別警報後の48時間降水量

の範囲で推移し、¹³⁷Csの検出率は1.1-4.7%と限定的で、森林内の環境放射能レベルに大きな変動は認められなかった。また、個人被ばく線量は、0.21-0.34μSv/h（中央値）の範囲で推移した。

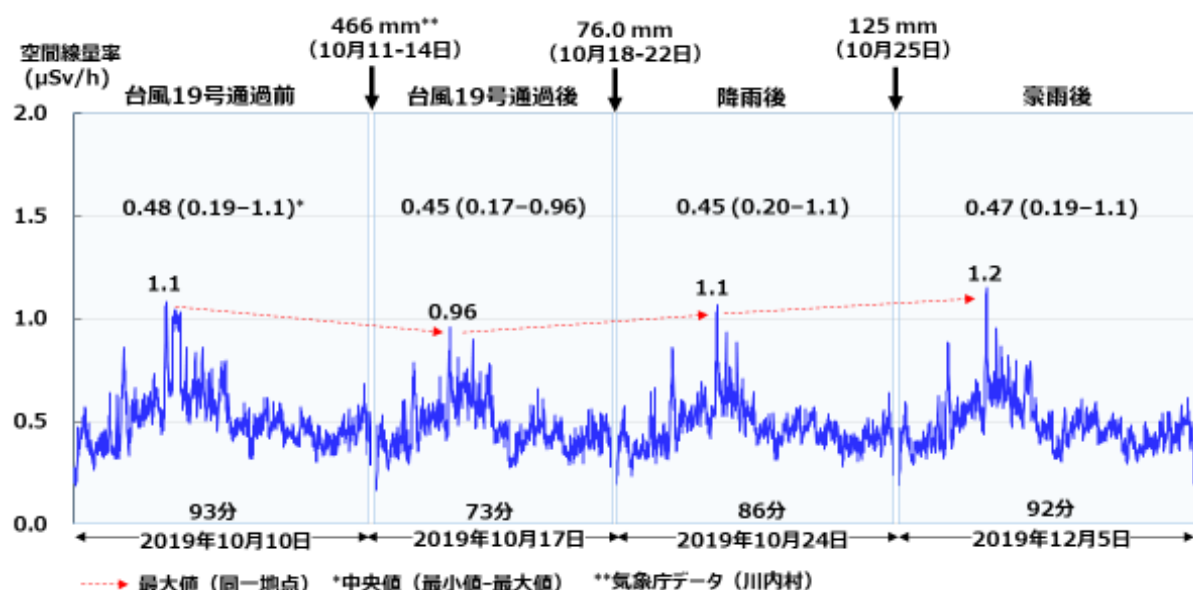


図 III-5 大倉山ハイキングコース内の空間線量率の変化

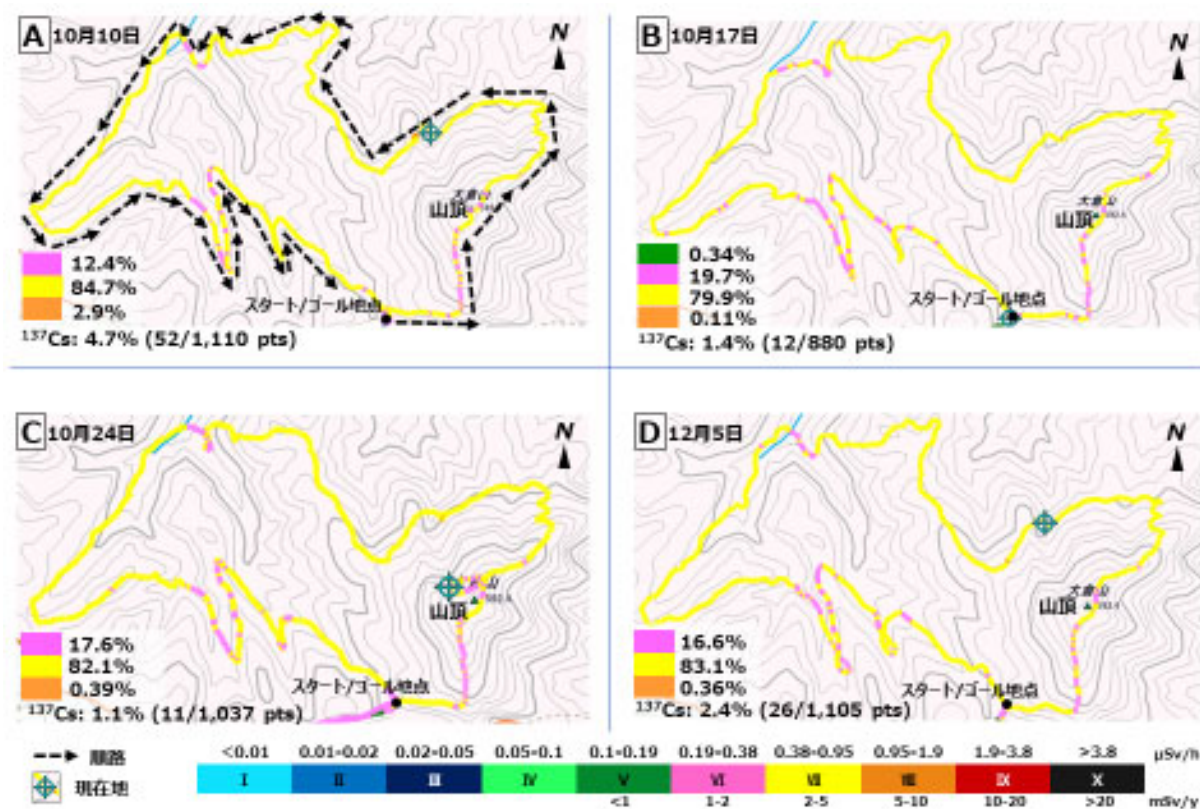


図 III-6 大倉山ハイキングコース内の空間線量率及び ^{137}Cs の分布

表III-3 大倉山ハイキングコース内の空間線量率と個人被ばく線量の変化

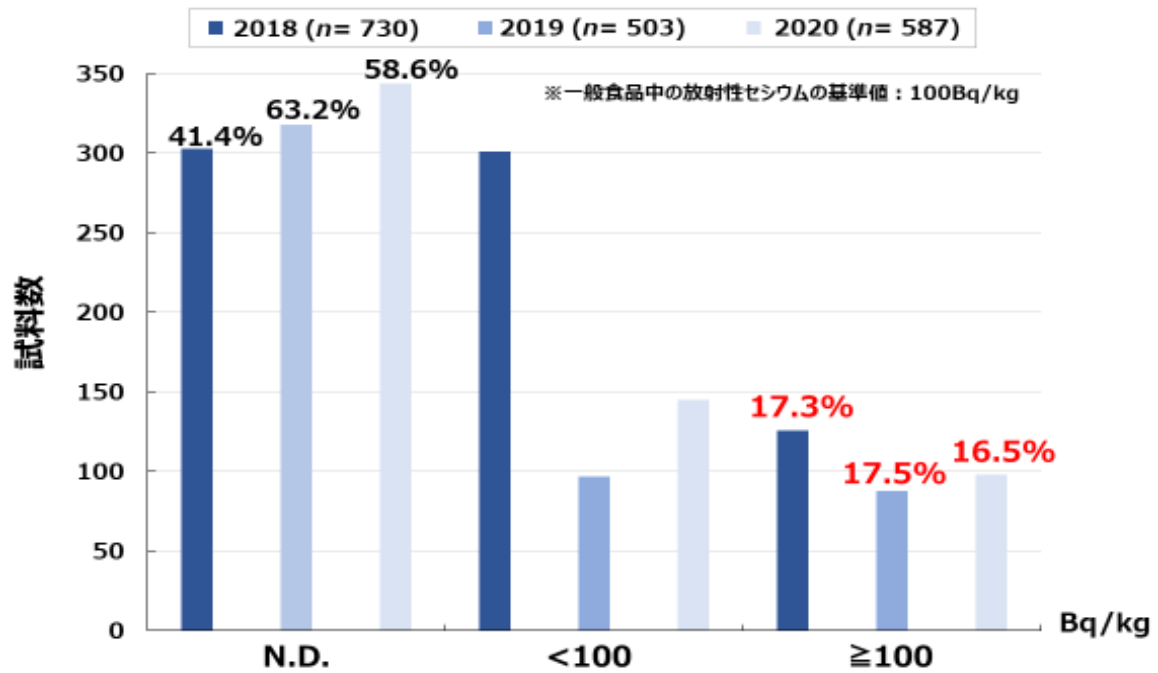
測定日	測定器	平均値 ($\mu\text{Sv/h}$)	範囲 ($\mu\text{Sv/h}$)	中央値 ($\mu\text{Sv/h}$)	外部被ばく線量	
					(mSv/y)	^{137}Cs の検出率 (%)
10/10	ラジプローブ	0.51	0.19-1.1 ^a	0.48 (0.67) ^b	4.2 ^c	4.7 (52/1,110) ^d
	D-シャトル	0.34 ^e			0.16 ^f	-
10/17	ラジプローブ	0.47	0.17-0.96	0.45 (0.63)	3.9	1.4 (12/880)
	D-シャトル	0.21			0.10	-
10/24	ラジプローブ	0.47	0.20-1.1	0.45 (0.60)	3.9	1.1 (11/1,037)
	D-シャトル	N/A			N/A	-
12/5	ラジプローブ	0.49	0.19-1.1	0.47 (0.64)	4.1	2.4 (26/1,105)
	D-シャトル	0.23			0.11	-

^a最小値-最大値 ^b中央値 (90%タイル) ^c中央値に基づく年推定値 ^d全測定地点に対する ^{137}Cs 検出地点の割合 ^eハイキングに伴う個人被ばく線量 ^f得られた個人被ばく線量に基づく年推定値 (日本人が週末に過ごす平均余暇時間 10時間/週 (480時間/年))

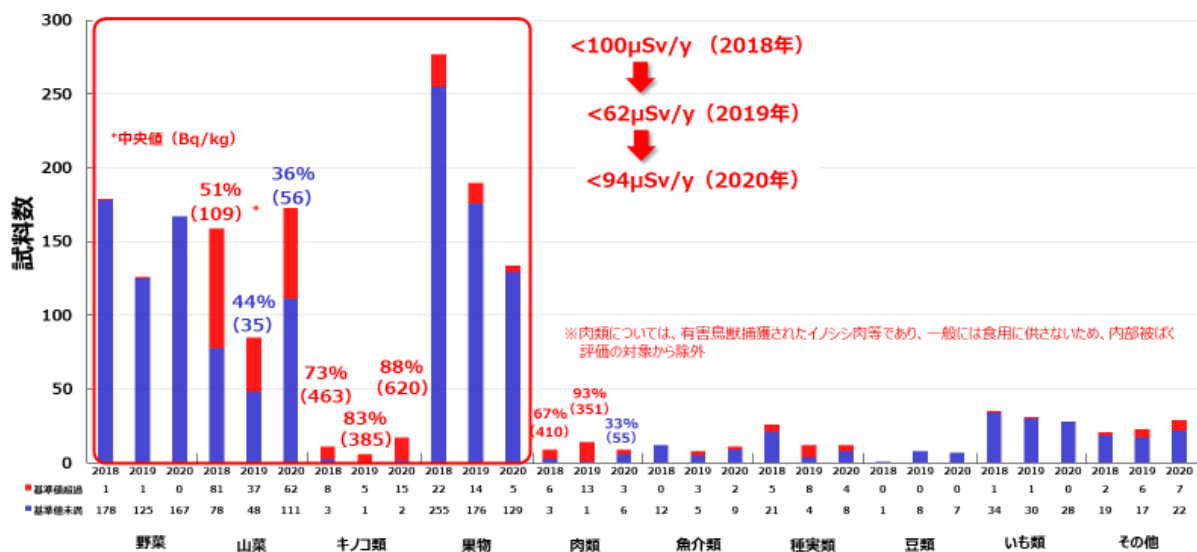
2. 内部被ばく線量評価（最近 3 ヶ年）

① 食品スクリーニング検査（図III-7～III-9）

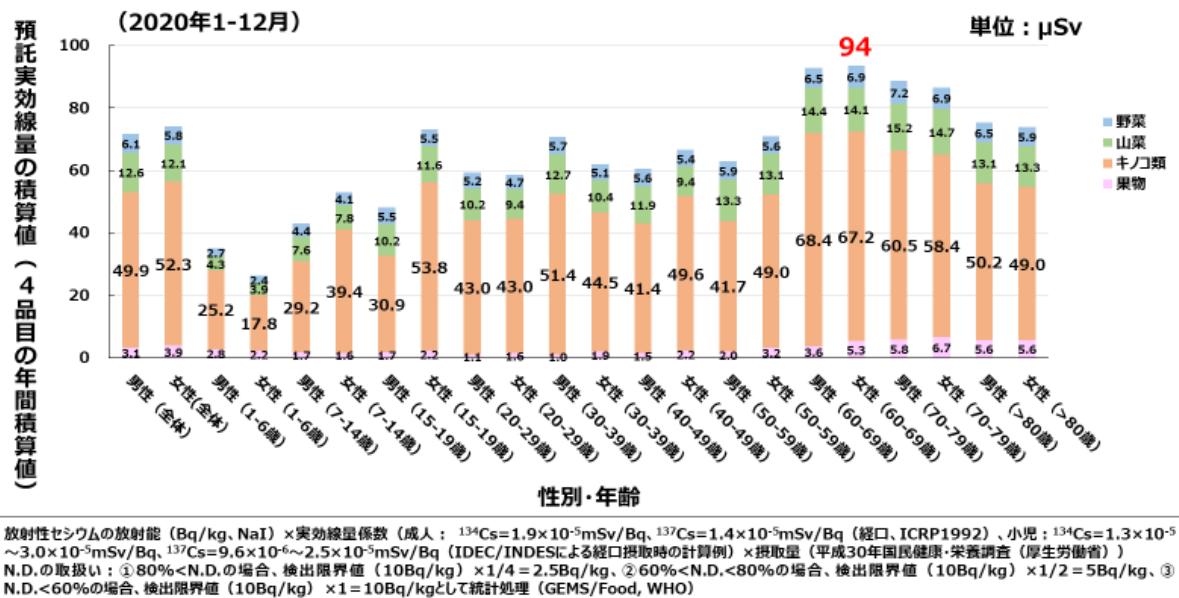
普段の生活において、安心して地元の食材を摂取するために、スクリーニング検査の住民ニーズは高く、富岡町食品検査所が役場内に設置されてからも、その傾向は強い。今回、令和 2 年（2020 年）1 月から同年 12 月にスクリーニングした食品群 587 試料を対象に、解析を行った。その結果、多くの食品（83.5%）は、一般食品における放射性セシウムの基準値である 100Bq/kg 未満であったものの、一部の食品（16.5%）では基準値を超過した。食品別の基準値超過の割合（検出率）では、主な食品群で野菜（0%）、山菜（35.8%）、キノコ類（88.2%）、果物（3.0%）及び種実類（33.3%）であった。放射性セシウム濃度の中央値が基準値以上を示した食品はキノコ類（620Bq/kg）のみで、他の主要食品群では野菜（5.0Bq/kg）、山菜（56Bq/kg）、果物（7.5Bq/kg）及び種実類（50Bq/kg）であった。これらの結果のうち、主要 4 品目（野菜、山菜、キノコ類及び果物）を摂取した際の年間預託実効線量は、全体で 72-74 μSv であり、最大で 94 μSv （60 代女性）であった。この結果に明確な性差は認められなかったものの、摂取量の違いから 60 代以上の世代が若年層に比べて預託実効線量が高い傾向を示した。なお、肉類については、有害鳥獣捕獲されたイノシシ肉等であり一般には食用に供さないため、今回の内部被ばく評価の対象からは除外した。また、魚介類については、事故以前のように溪流釣りをして食すような住民は皆無であることから、今回の内部被ばく評価の対象からは除外した。なお、今回の結果は、過去 2 ヶ年（2018 年 1-12 月及び 2019 年 1-12 月）の結果と同様の放射性セシウムの分布傾向を示した。以上の結果から、調査期間において、食品に含まれる事故由来と考えられる放射性セシウムによる内部被ばく線量は、極めて限定的であると示唆された。



図III-7 食品群の放射性セシウム分布（最近3ヶ年）



図III-8 食品別の放射性セシウム分布（最近3ヶ年）



図III-9 食品摂取による内部被ばく線量の推定値 (2020年)

② 帰還困難区域 (特定復興再生拠点区域) の解体作業に伴う放射性セシウムの再浮遊 (表III-4)

今回検出された人工放射性核種はいずれの地点も ^{137}Cs のみで、建屋 G では $0.10\text{--}0.62 \text{mBq/m}^3$ 以下、対照建屋の富岡町役場 (避難指示解除地区) では、 0.15mBq/m^3 以下であった。これらの結果から、解体作業中に浮遊している ^{137}Cs の吸入による内部被ばく線量は、最大 $3.2 \times 10^{-6} \text{mSv/y}$ と推定された。今回の建屋 G の解体作業の内訳としては、主に重機の搬入、屋根の片づけ、建屋周辺のアスファルト解体、内装・屋根の解体、窓 (サッシ) 外し、外壁・屋根材外し、重機による家屋解体、解体廃材のフレコン袋詰め及び重機による基礎コンクリート解体撤去であった。なお、分析結果については、解体作業前の現地調査及び福島県が実施しているモニタリング調査の結果と併せて下表に示す。

表III-4 大気浮遊塵の核種分析結果（ ^{137}Cs ）

採取地点	調査期間 (採取期間)	^{137}Cs (mBq/m ³)	内部被ばくリスク (mSv/y)	特記事項
建屋G ^a	2019.8～2020.2	<0.11-0.73	<0.0000037 ^b	解体作業前
	2020.5～8	<0.10-0.62	<0.0000032	解体作業中 ^c
富岡町役場	2019.8～2020.2	<0.034	<0.00000017	対照地点
	2020.2～5	<0.15	<0.00000079	
夜の森地区	2019.8～2020.2	0.054-0.39	—	福島県原子力発電所周辺 環境放射能測定結果
	2020.5～8	0.035-0.071		

^a空間線量率（建屋周辺の23地点、環境省）：除染前 0.70-2.04μSv/h（2/29）、除染後 0.27-0.56μSv/h（8/28、9/1）、低減率：44-83%

^b屋外呼吸率：3.6m³/day（日本人男女平均）、実効線量係数 3.9×10^{-6} mSv/Bq（ICRP Publ. 72, 1996）

^c期間：5/27～8/18、大気浮遊塵の採取時間：5時間50分～6時間45分、採取量（吸引量）：349.8～403.9m³

IV. 考 察

富岡町では、避難指示解除後の4ヶ年経過したものの、事故由来と考えられる放射性セシウム（ $^{134+137}\text{Cs}$ ）が現存し、帰還困難区域における環境放射能レベルは一定程度高い状況が保持されていることが推察された。しかしながら、避難指示解除区域では、事故後の追加被ばく線量が現存被ばく状況（20mSv/y 以下）の下限域で推移していることがあらためて確認され、特に避難指示解除区域では、2017年以降、建屋周辺の屋内・屋外ともに空間線量率が有意に低下していることが明らかとなり、さらに土壌表面から受ける外部被ばく線量は極めて限定的であったことから、当該エリアにおける着実な除染・解体作業の結果が反映され、環境改善（環境放射能レベルの低減化）につながったものと推察される。したがって、帰町した住民等の生活空間における外部被ばくリスクは限定的であると示唆される（図 III-1～III-2 及び表III-1～III-2）。

また、帰還困難区域においても、特定復興再生拠点区域にある「夜の森地区」における空間線量率及び空間線量率に占める放射性セシウムの割合が、調査開始時以降漸減していることが明らかとなっている。具体的には、当該エリアの空間線量率（中央値）は、先行除染が開始された最初の半年余りで1.0μSv/h から0.51μSv/h に半減しているが、その理由としては、富岡町では2023年春頃までに帰還困難区域全域の避難指示解除を目指し、2018年7月以降、当該地区を皮切りに除染・解体作業が進んでいることが挙げられ、事故由来と考えられる放射性セシウムの強制除去が主因と示唆される（Cui et al., *Sci Rep* **10** (1): 10165, 2020）。令和2年（2020年）10月現在、当該地区の空間線量率は0.22μSv/h まで低減化していることから、令和2年（2020年）3月のJR常磐線の全線再開に伴う除染・解体作業の効果によるものと示唆される（図 III-3）。

しかしながら、除染・解体作業に伴う ^{137}Cs の再浮遊（舞い上がり）も懸念されることから、作業員の被ばく管理をはじめ周辺環境や住民への影響等についても検証するために、「夜の森地区」の解体建屋に着目して分析した結果、採取した大気浮遊塵に ^7Be が散見され、大気圏

内の気塊の移流が確認されたものの（結果省略）、除染・解体作業に伴う建屋由来の粉塵量と建屋敷地内の ^{137}Cs 濃度との関連性は、明確には認められなかった。つまり、大気流に比べ、個別の解体作業に伴う ^{137}Cs の再浮遊・飛散性は限定的であると示唆される。現在、対象建屋を拡大したフォローアップ調査を進めており、 $\text{PM}_{2.5}$ の解析と併せて詳細に分析している（表 III-4）。

一方、生活空間以外の森林等の環境放射能については、令和元年（2019 年）10 月に福島県を通過した台風 19 号や度重なる大雨に伴う自然災害に伴う気象の前後において、空間線量率、放射性セシウムの検出率及び個人被ばく線量に大きな変化は確認できなかったことから、ウェザリング効果（風雨などの自然要因による減衰）は認められなかった。つまり、事故由来と考えられる放射性セシウムは、森林内では容易に移動せず、系内に保持されることが示唆された（Taira Y et al., *Sci Rep* **10** (1), 19215, 2020）。したがって、除染が困難な森林公園では、個人被ばく線量計を携帯しながら余暇を過ごすことが有効な方策の 1 つであるとする。今回対象とした大倉山においては、外部被ばくリスクは限定的であるものの、里山再生に向けてゾーニングによる除染や環境放射能レベルを把握しながら不要な被ばくを回避するなどの新たな取り組みによって、ハイキング等を楽しむことが可能となるものとする（図 III-4～図 III-6、表 III-3）。

また、富岡町内で自家栽培や野生の山菜・キノコ類等を採取した食品群のスクリーニング検査から、放射性セシウムの基準値超過率は 2 割弱（16.5%）で、過去 3 ヶ年で同様の分布傾向を示した。食品別の解析結果についても、概ね過去 3 か年で同様の分布傾向で推移していることが明らかとなり、普段の生活の中で摂取した場合の内部被ばく線量は極めて限定的（ $94\mu\text{Sv/y}$ 以下）であることがあらためて示唆された。特に今回の結果では、基準値超過率はこれまでと同等であったものの、基準値未満（不検出を含む）の範囲において、経年的に不検出の割合が増える傾向を示し、食品内に含まれる放射性セシウムの低減化が示唆された。特に、家庭菜園等で自家栽培するような野菜・果物類では放射性セシウムの検出率は極めて少ない傾向であった一方、里山や沿道の未除染エリアで採取する山菜やキノコ類では、他の食品類に比べて放射性セシウムの検出率が高い傾向にあり、今後特に摂取に留意すべき食品群としては、野生のキノコ類であることをあらためて確認するとともに、一部の食品群では放射性セシウムの検出が高いものもあることなどから、今後も食品群に含まれる放射性セシウムの分布について継続して調査する必要がある（図 III-7～III-9）。なお、結果には示さなかったが、地区別の解析では栽培・採取地点による地域特性は認められず、特定の食品群（山菜及びキノコ類）の放射性セシウムの蓄積傾向が反映され、基準値超過の山菜等が一定程度の頻度（20%程度）で町内に散見されていることが確認された。

また、前述した除染・解体作業に伴い建屋から周辺に拡散する粉塵量について、明らかな増加などの特異事項を確認できず、大気浮遊塵に含まれる ^{137}Cs はトレーサーレベルで推移し、吸入による内部被ばく線量は極めて限定的であると推察された（表 III-4）。しかしながら、今回の対象範囲は 1 戸と小さいことから、当該調査の対象を拡大し、より精度の高い検証を進める予定である。

V. 結 論

住民がより安心して長く生活するための支援策として、環境放射能調査による放射線モニタリングによって、外部被ばく線量及び内部被ばく線量を評価し、不要な被ばくを回避することが重要であり、地元自治体である富岡町役場と緊密に連携しながら帰町住民等に対する戸別訪問、役場や食品検査所に訪れた住民等への個別対応など、放射線リスクコミュニケーション活動における基礎データとして本結果を活用し、放射線に関する不安の解消あるいは不安の軽減を図るとともに、これらの活動を拡充していくことが、富岡町の再生・復興により一層繋がるものと考えられる。また、富岡町役場では「放射線情報まとめサイト」（ウェブサイト）や広報誌「ライフとみおか」による情報発信に加え、SNS（ツイッター）を活用などコロナ禍においてもタイムリーな情報発信に努めており、我々もこの取り組みに連動しながら活動を拡充し、科学的エビデンスを積み上げていきたいと考えている。

VI. 次年度以降の計画

外部被ばく線量評価については、引き続き対象地域の空間線量率の測定（屋内外）、表層土壌の核種分析、帰還困難区域の線量マッピング及び森林公園の線量マッピング等について検討するとともに、内部被ばく線量評価については、食品スクリーニング検査及び建屋解体に伴う放射性セシウムの再浮遊の確認等についてさらに詳細に検討する。

VII. この研究に関する現在までの研究状況、業績

ア) -1 論文：査読あり

- 1) Tsuchiya R, Taira Y, Orita M, Fukushima Y, Endo Y, Yamashita S, Takamura N. Radiocesium contamination and estimated internal exposure doses in edible wild plants in Kawauchi Village following the Fukushima nuclear disaster. Radiocesium contamination and estimated internal exposure doses in edible wild plants in Kawauchi Village following the Fukushima Nuclear Disaster. *PLoS One*. **12** (12): e0189398, 2017.
- 2) Tsukazaki A, Taira Y, Orita M, Takamura N. Seven years post-Fukushima: Long term measurement of exposure doses in Tomioka Town. *J Rad Res*. **60** (1): 159-160, 2019.
- 3) Matsuo M, Taira Y, Orita M, Yamada Y, Ide J, Yamashita S, Takamura N. Evaluation of environmental contamination and estimated radiation exposure dose rates among residents immediately after returning home to Tomioka Town, Fukushima Prefecture. *Int J Environ Res Public Health*. **16** (9). pii: E1481, 2019.
- 4) Taira Y, Inadomi Y, Hirajou S, Fukumoto Y, Orita M, Yamada Y1 Takamura N. Eight years post-Fukushima: is forest decontamination still necessary? *J Radiat Res*. **60** (5):705-707, 2019. doi: 10.1093/jrr/rrz047.
- 5) Cui L, Taira Y, Matsuo M, Orita M, Yamada Y, Takamura N. Environmental Remediation of the difficult-to-return zone in Tomioka Town, Fukushima Prefecture. *Sci Rep* **10** (1): 10165, 2020.

- 6) Taira Y, Matsuo M, Yamaguchi T, Yamada Y, Orita M, Takamura N. Radiocesium levels in contaminated forests has remained stable, even after heavy rains due to typhoons and localized downpours. *Sci Rep* **10** (1): 19215, 2020.
- 7) Yamaguchi T, Taira Y, Matsuo M, Orita M, Yamada Y, Takamura N. Local Levels of Radiation Exposure Doses due to Radiocesium for Returned Residents in Tomioka Town, Fukushima Prefecture. *Radiat Prot Dosimetry* in press.

ア) -2 論文：査読なし

なし

イ) -1 国内学会発表

- 1) 富岡町における避難指示解除後の環境放射能について（外部被ばく評価）（第 59 回原子爆弾後障害研究会、平成 30 年 6 月 3 日、長崎県長崎市）
- 2) 福島県富岡町における住居周辺の表層土壌の除染効果（第 7 回環境放射能除染研究発表会、平成 30 年 7 月 3 日、東京都江戸川区）
- 3) 富岡町における避難指示解除後の環境放射能について（外部被ばく線量評価）（日本放射線影響学会第 61 回大会、平成 30 年 11 月 9 日、長崎県長崎市）
- 4) イメージングプレートを用いた帰還困難区域及び避難指示解除区域における環境試料中の放射性セシウムの分布解明（第 5 回福島大学環境放射能研究所成果報告会、平成 31 年 3 月 15 日、福島県福島市）
- 5) 福島県富岡町における避難指示解除後の外部被ばく線量評価（第 60 回原子爆弾後障害研究会、令和元年 6 月 2 日、広島県広島市）
- 6) 福島県富岡町内で採取した食品による内部被ばく線量評価第 60 回原子爆弾後障害研究会、令和元年 6 月 2 日、広島県広島市）
- 7) 福島県富岡町における特定復興再生拠点区域の除染効果（第 8 回環境放射能除染研究発表会、令和元年 7 月 11 日、福島県郡山市）
- 8) Distribution of radiocesium in the environmental samples in difficult-to-return zone and areas where evacuation orders have been lifted by Imaging Plate（日本放射線影響学会第 62 回大会、令和元年 11 月 14 日、京都府京都市）
- 9) Environmental Remediation of a Restricted Area in Tomioka Town, Fukushima Prefecture（日本放射線影響学会第 62 回大会、令和元年 11 月 14 日、京都府京都市）
- 10) 福島県富岡町における特定復興再生拠点区域の除染効果の検証（第 9 回環境放射能除染研究発表会、令和 2 年 9 月 4 日、WEB 開催）
- 11) Evaluation of environmental contamination and estimated external and internal exposure dose rates among residents after returning home to Tomioka Town, Fukushima Prefecture（日本放射線影響学会第 63 回大会、令和 2 年 10 月 15-16 日、WEB 開催）

イ) -2 国際学会発表

- 1) Environmental radioactivity levels and estimated radiation exposure dose rates among residents before and after returning home to areas near Fukushima Daiichi Nuclear Power Station

(Fukushima 10 Years, Special Workshop between KARP and JHPS, 11 March 2021, WEB)

イ) -3 講演

- 1) 放射線被ばくと健康影響～車座集会～（平成 30 年度東日本国際大学・いわき短期大学 川内村セミナー、平成 30 年 8 月 23 日、福島県川内村）
- 2) 放射線被ばくと健康影響（伊方原子力発電所健康セミナー、平成 30 年 9 月 2 日、愛媛県伊方町）
- 3) 富岡町における生活空間の環境放射能（外部被ばく線量評価）（第 3 回ふくしま県民公開大学、平成 31 年 2 月 23 日、福島県福島市）
- 4) 放射線被ばくと健康影響（伊方原子力発電所健康セミナー、令和元年 9 月 1 日、愛媛県伊方町）
- 5) 放射線被ばくと健康影響～車座集会～（令和元年度東日本国際大学・いわき短期大学 川内村セミナー、令和元年 9 月 13 日、福島県川内村）
- 6) 震災から間もなく 9 年 福島の実状（福島への教育旅行に関する説明会、令和 2 年 1 月 29 日、京都府京都市）
- 7) 里山再生に向けた取り組み：山道モニタリング（第 4 回ふくしま県民公開大学、令和 2 年 2 月 9 日、福島県福島市）
- 8) 放射線被ばくと環境影響：放射線の基礎・モニタリングの実践（放射線災害復興学セミナー、令和 2 年 9 月 8 日、WEB 開催）

ウ) 書籍・総説

なし

エ) 受賞

なし

オ) 特許

なし

カ) 環境行政への活用・貢献実績

第 19 回・第 20 回富岡町除染検証委員会における報告

VIII. 引用文献（掲載論文の引用文献を転記のため、一部重複）

- 1) UNSCEAR. Sources, effects and risks of ionizing radiation: United nations scientific committee on the effects of atomic radiation 2013 report. I, (2013).
- 2) Fukushima Prefecture. Fukushima revitalization station. (Accessed August 23, 2019). <http://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal-english/list385.html> (Accessed July 31, 2019)
- 3) Nuclear Regulation Authority, Japan. Monitoring information of environmental radioactivity level. (Accessed August 23, 2019). <https://radioactivity.nsr.go.jp/en/> (Accessed July 31, 2019)
- 4) Ramzaev, V. et al. A backpack γ -spectrometer for measurements of ambient dose equivalent rate, $H^*(10)$, from ^{137}Cs and from naturally occurring radiation: The importance of operator related attenuation. Radiat. Meas. 107, 14–22 (2017).

- 5) Cresswell, A. J. et al. Demonstration of lightweight gamma spectrometry systems in urban environments. *J. Environ. Radioact.* 124, 22–28 (2013).
- 6) Kobayashi, S. et al. Radioactive contamination mapping of northeastern and eastern Japan by a car-borne survey system, Radi-Probe. *J. Environ. Radioact.* 139, 281–293 (2015).
- 7) Varley, A. et al. Reconstructing the deposition environment and long-term fate of Chernobyl ^{137}Cs at the floodplain scale through mobile gamma spectrometry. *Environ. Pollut.* 240, 191–199 (2018).
- 8) Sanada, Y., Urabe, Y., Sasaki, M., Ochi, K. & Torii, T. Evaluation of ecological half-life of dose rate based on airborne radiation monitoring following the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. *J. Environ. Radioact.* 192, 417–425 (2018).
- 9) Sanada, Y., Orita, T. & Torii, T. Temporal variation of dose rate distribution around the Fukushima Daiichi nuclear power station using unmanned helicopter. *Appl. Radiat. Isot.* 118, 308–316 (2016).
- 10) Ministry of the Environment of Japan. Environmental remediation in affected areas in Japan. (Accessed August 23, 2019). http://josen.env.go.jp/en/pdf/environmental_remediation_1905.pdf (2019).
- 11) Tomioka town office. The reproduction plan in difficult-to-return zone of Tomioka town (in Japanese) (Accessed August 23, 2019). <http://www.tomioka-town.jp/material/files/group/3/> (2017).
- 12) Tomioka Town Office. Tomioka radiation information summary site. <https://tomioka-radiation.jp/> (Accessed August 23, 2019). <https://tomioka-radiation.jp/>
- 13) JAEA. Database for Radioactive Substance Monitoring Data. (Accessed August 23, 2019). <https://emdb.jaea.go.jp/emdb/en/>
- 14) Nakama, S., Yoshimura, K., Fujiwara, K., Ishikawa, H. & Iijima, K. Temporal decrease in air dose rate in the sub-urban area affected by the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident during four years after decontamination works. *J. Environ. Radioact.* 208–209: 106013 (2019).
- 15) Yamaguchi, M. et al. Changes of absorbed dose rate in air by car-borne survey in namie town, Fukushima prefecture after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *Radiat. Prot. Dosimetry* 1–4 (2019). doi:10.1093/rpd/ncz023
- 16) Matsuo, M., Taira, Y., Orita, M., Yamada, Y. & Ide, J. Evaluation of environmental contamination and estimated radiation exposure dose rates among residents immediately after returning Home to Tomioka Town, Fukushima Prefecture. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 16, 1481 (2019).
- 17) Ministry of the Environment of Japan. Decontamination Guidelines. (2013).
- 18) Ministry of the Environment. Environmental Remediation in Japan (Accessed January 7, 2020). http://josen.env.go.jp/en/pdf/progressseet_progress_on_cleanup_efforts.pdf (2018). Available at: http://josen.env.go.jp/en/pdf/progressseet_progress_on_cleanup_efforts.pdf.
- 19) Kurokawa, K., Nakao, A., Tsukada, H., Mampuku, Y. & Yanai, J. Exchangeability of ^{137}Cs and K in soils of agricultural fields after decontamination in the eastern coastal area of Fukushima. *Soil Sci. Plant Nutr.* 65, 401–408 (2019).
- 20) Ministry of the Environment of Japan. Decontamination projects for radioactive contamination discharged by Tokyo Electric Power Company Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident:

Chapter 5: Effects, verification, and risk communication of decontamination.
<http://josen.env.go.jp/en/poli>.

http://josen.env.go.jp/en/policy_document/pdf/decontamination_projects_1902_05.pdf 290 (2019).

21) Saito, K. et al. Summary of temporal changes in air dose rates and radionuclide deposition densities in the 80 km zone over five years after the Fukushima Nuclear Power Plant accident. *J. Environ. Radioact.* 0–1 (2019). doi:10.1016/j.jenvrad.2018.12.020

22) Saito, K. & Petoussi-Henss, N. Ambient dose equivalent conversion coefficients for radionuclides exponentially distributed in the ground. *J. Nucl. Sci. Technol.* 51, 1274–1287 (2014).

23) Andoh, M. et al. Measurement of air dose rates over a wide area around the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant through a series of car-borne surveys. *J. Environ. Radioact.* 139, 266–280 (2015).

24) Kato, H., Onda, Y. & Yamaguchi, T. Temporal changes of the ambient dose rate in the forest environments of Fukushima Prefecture following the Fukushima reactor accident. *J. Environ. Radioact.* 193–194, 20–26 (2018).

25) Nishikiori, T. et al. ¹³⁷Cs transfer from canopies onto forest floors at Mount Tsukuba in the four years following the Fukushima nuclear accident. *Sci. Total Environ.* 659, 783–789 (2019).

26) Manaka, T. et al. Six-year trends in exchangeable radiocesium in Fukushima forest soils. *J. Environ. Radioact.* 203, 84–92 (2019).

27) Mikami, S. et al. The air dose rate around the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant: Its spatial characteristics and temporal changes until December 2012. *J. Environ. Radioact.* 139, 250–259 (2015).

28) Saito, K. Temporal change of environmental contamination conditions in five years after the Fukushima accident. in *EPJ Web of Conferences* 153, 4 (2017).

29) Nakanishi, T., Matsunaga, T., Koarashi, J. & Atarashi-Andoh, M. ¹³⁷Cs vertical migration in a deciduous forest soil following the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *J. Environ. Radioact.* 128, 9–14 (2014).

30) Teramage, M. T., Onda, Y., Kato, H. & Sun, X. Impact of forest thinning on the dynamics of litterfall derived ¹³⁷Cs deposits in coniferous forest floor after Fukushima accident. *Chemosphere* 239, 124777 (2020).

31) Burger, A. & Lichtscheidl, I. Stable and radioactive cesium: A review about distribution in the environment, uptake and translocation in plants, plant reactions and plants' potential for bioremediation. *Sci. Total Environ.* 618, 1459–1485 (2018).

32) Orita, M., Fukushima, Y., Yamashita, S. & Takamura, N. The need for forest decontamination: For the recovery of Fukushima. *Radiat. Prot. Dosimetry* 175, 295–296 (2017).

33) Konoplev, A. et al. Natural attenuation of Fukushima-derived radiocesium in soils due to its vertical and lateral migration. *J. Environ. Radioact.* 186, 23–33 (2018).

34) Akimoto, K. Annual and weekly cycles of radioactivity concentration observed in Fukushima city. *Health Phys.* 108, 32–38 (2015).

35) Hosoda, M. et al. Evaluations of inventory and activity concentration of radiocesium in soil at a

- residential house 3 years after the Fukushima Nuclear accident. *Radiat. Prot. Dosimetry* (2019). doi:10.1093/rpd/ncz071
- 36) Ministry of health, labour and welfare, Japan. Guidelines on Prevention of Radiation Hazards for Workers Engaged in Decontamination Works. https://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/workers/ri/gn/gn_141118_a01.pdf (Accessed August 23, 2019).
- 37) Ministry of the Environment of Japan. The progress of decontamination in Tomioka town (in Japanese). <https://tomioka-radiation.jp/josen.html> (Accessed August 23, 2019). (2019).
- 38) Ministry of the Environment of Japan. Decontamination Projects for Radioactive Contamination Discharged by Tokyo Electric Power Company Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident: Chapter 1: History and Overview of Decontamination Projects. (2019).
- 39) Taira, Y. et al. Eight years post-Fukushima: is forest decontamination still necessary? *J. Radiat. Res.* 1–3 (2019). doi:10.1093/jrr/rrz051
- 40) Inoue, K. et al. Impact on ambient dose rate in metropolitan Tokyo from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *J. Environ. Radioact.* 158–159, 1–8 (2016).
- 41) Ministry of the Environment of Japan. Additional exposure doses after an accident (example of calculation). (Accessed August 23, 2019). <https://www.env.go.jp/en/chemi/rhm/basic-info/1st/02-04-09.html> (Accessed July 31, 2019) (2018).
- 42) Profes, E. et al. Nuclear power facilities such as disaster prevention measures consignment expenses (measurement of continuous air dose rate that simulated life action pattern) (in Japanese). (2017).
- 43) Ministry of the Environment of Japan. Shielding and reduction coefficient. (Accessed August 23, 2019). <https://www.env.go.jp/en/chemi/rhm/basic-info/1st/02-04-08.html> (Accessed July 31, 2019) (2018).
- 44) World Health Organization. The Great East Japan Earthquake. Manila, Philippines: WHO Regional Office for the Western Pacific. (Accessed April 24, 2020). https://iris.wpro.who.int/bitstream/handle/10665.1/5547/9789290615682_eng.pdf (2012).
- 45) United Nations: Vienna, Austria. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Developments since the 2013 UNSCEAR report on the levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident following the Great East-Japan Earthquake and tsunami. (Accessed April 24, 2020). https://www.unscear.org/docs/publications/2016/UNSCEAR_WP_2016.pdf (2016).
- 46) The Ministry of the Environment, Japan. Environmental Remediation in Affected Areas in Japan: March 2019. (Accessed April 24, 2020). http://josen.env.go.jp/en/pdf/environmental_remediation_1903.pdf (2019).
- 47) Koarashi, J., Atarashi-Andoh, M., Matsunaga, T. & Sanada, Y. Forest type effects on the retention of radiocesium in organic layers of forest ecosystems affected by the Fukushima nuclear accident. *Sci Rep.* 6, 38591 (2016).

- 48) Kato, H. & Onda, Y. Determining the initial Fukushima reactor accident-derived cesium-137 fallout in forested areas of municipalities in Fukushima Prefecture. *J For Res.* 23 (2): 73-84 (2017).
- 49) Portal Site of Official Statistics of Japan (e-Stat). Search result top page; System of Social and Demographic Statistics; Social Indicators by Prefecture 2019; Social Indicators by Prefecture; Natural Environment. (Accessed April 24, 2020). <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL32020101.do?method=extendTclass&refTarget=toukeihyo&listFormat=hierarchy&statCode=00200502&tstatCode=000001095536&tclass1=&tclass2=&tclass3=&tclass4=&tclass5=> (2019).
- 50) Cabinet Office Japan. Disaster Management in Japan, Flood and Sediment Disaster. (Accessed April 24, 2020). http://www.bousai.go.jp/kyoiku/pdf/h30_tebikisho_english.pdf (2018).
- 51) United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. Japan: Typhoon Hagibis - Information Bulletin. (Accessed April 24, 2020). <https://reliefweb.int/report/japan/japan-typhoon-hagibis-information-bulletin> (2018).
- 52) Japan Meteorological Agency. The Report of Typhoon 19 (in Japanese). (Accessed April 24, 2020). http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/jyun_sokuji20191020-1013.pdf (2019).
- 53) Cabinet Office Japan. Disaster Management Information (in Japanese). (Accessed April 24, 2020). http://www.bousai.go.jp/updates/r1typhoon19/pdf/r1typhoon19_44.pdf (2020).
- 54) Kirchner G. Use of reference biospheres for proving the long-term safety of radioactive waste repositories. *J Environ Radioact.* 100 (5): 435-7 (2009).
- 55) Yasutake, T. & Naito, W. Assessing cost and effectiveness of radiation decontamination in Fukushima Prefecture, Japan. *J Environ Radioact.* 151: 512–520 (2016).
- 56) Orita, M., Fukushima, Y., Yamashita, S. & Takamura, N. The Need for Forest Decontamination: For the Recovery of Fukushima. *Radiat Prot Dosimetry.* 175 (2): 295-6 (2017).
- 57) Fukushima Prefectural Government, Japan. Fukushima Revitalization Station, The Official Website for Fukushima's restoration. (Accessed April 24, 2020). <http://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal-english/list385.html>.
- 58) The Nuclear Regulation Authority, Japan. Monitoring Information of Environmental Radioactivity Level. (Accessed April 24, 2020). <http://radioactivity.nsr.go.jp/en/>.
- 59) Tomioka Town Local Government, Japan (in Japanese). (Accessed April 24, 2020). https://www.tomioka-town.jp/saigai_fukko/2201.html.
- 60) Reconstruction Agency, Japan. Basic Guidelines for Reconstruction in Response to the Great East Japan Earthquake in the “Reconstruction and Revitalization Period.” (Accessed April 24, 2020). http://www.reconstruction.go.jp/english/topics/Laws_etc/20160527_basic-guidelines.pdf (2016).
- 61) Matsunaga, H. et al. Intention to return to the town of Tomioka in residents 7 years after the accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: a cross-sectional study. *J Radiat Res.* 60 (1): 51-58 (2019).
- 62) Matsunaga, H., Orita, M., Taira, Y. & Takamura, N. Intention to Return in Residents of Tomioka, Fukushima Prefecture, Japan Stratified by Sex After the Accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power

Station. *Prehosp Disaster Med.* 35 (2): 235-236 (2020).

63) Matsuo, M. et al. Evaluation of Environmental Contamination and Estimated Radiation Exposure Dose Rates among Residents Immediately after Returning Home to Tomioka Town, Fukushima Prefecture. *Int J Environ Res Public Health.* 16 (9) (2019).

64) Taira, Y., Hayashida, N., Yamaguchi, H., Yamashita, S., Endo, Y. & Takamura, N. Evaluation of environmental contamination and estimated radiation doses for the return to residents' homes in Kawauchi Village, Fukushima Prefecture. *PLoS ONE.* 7 (9): e45816 (2012).

65) Taira, Y. et al. Evaluation of environmental contamination and estimated exposure doses after residents return home in Kawauchi Village, Fukushima Prefecture. *Environ Sci Technol.* 48 (8): 4556-63 (2014).

66) Orita, M. et al. Measurement of individual doses of radiation by personal dosimeter is important for the return of residents from evacuation order areas after nuclear disaster. *PLoS ONE.* 10 (3): e0121990 (2015).

67) Taira, Y. et al. Eight years post-Fukushima: is forest decontamination still necessary? *J Radiat Res.* 60 (5): 705-707 (2019).

68) Cui, L., Taira, Y., Matsuo, M., Orita, M., Yamada, Y. & Takamura, N. Environmental Remediation of the difficult-to-return zone in Tomioka Town, Fukushima Prefecture. *Sci Rep.* 10, 10165 (2020).

69) United Nations: Vienna, Austria. Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the general assembly, scientific annex A: levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great East-Japan earthquake and tsunami, Volume I; 2013. (Accessed June 9, 2020). https://www.unscear.org/docs/publications/2013/UNSCEAR_2013_Report_Vol.I.pdf (2014).

70) Saito, K. & Petoussi-Henss, N. Ambient dose equivalent conversion coefficients for radionuclides exponentially distributed in the ground. *J Nucl Sci Technol* 51, 1274–1287 (2014).

71) Taniguchi, K. et al. Transport and Redistribution of Radiocesium in Fukushima Fallout through Rivers. *Environ Sci Technol.* 53 (21): 12339-12347 (2019).

72) Yamashita, R. et al. Temporal Variation and Source Analysis of Radiocesium in an Urban River after the 2011 Nuclear Accident in Fukushima, Japan. *J Water Environ Technol.* 13 (2): 179-194 (2015).

73) Hagiwara, H., Konishi, H., Nakanishi, T., Fujiwara, K., Iijima, K. & Kitamura A. Mineral composition characteristics of radiocesium sorbed and transported sediments within the Tomioka river basin in Fukushima Prefecture. *J Environ Radioact.* 211:106042 (2020).

74) Konoplev, A. et al. Natural attenuation of Fukushima-derived radiocesium in soils due to its vertical and lateral migration. *J Environ Radioact.* 186: 23-33 (2018).

75) Ivanov, Y.A. et al., Migration of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr from Chernobyl fallout in Ukrainian, Belarussian and Russian soils. *J Environ Radioact.* 35 (1): 1-21 (1997)

76) Huang, Y. et al. Radiocesium immobilization to leaf litter by fungi during first-year decomposition in a deciduous forest in Fukushima. *J Environ Radioact.* 152: 28-34 (2016).

77) Laceby, JP., Huon, S., Onda, Y., Vaury, V. & Evrard, O. Do forests represent a long-term source of

- contaminated particulate matter in the Fukushima Prefecture? *J Environ Manage.* 183 (Pt 3): 742-753 (2016).
- 78) Teramage, MT., Carasco, L. & Coppin, F. Impact of drying and wetting cycles on ¹³⁷Cs ageing in forest soils contaminated with different input forms. *J Environ Radioact.* 203: 93-97 (2019).
- 79) Yoshihara, T. et al. Assessment of gamma radiation from a limited area of forest floor using a cumulative personal dosimeter. *J Environ Radioact.* 204: 95-103 (2019).
- 80) International Atomic Energy Agency. Applicability of Monitored Natural Attenuation at Radioactively Contaminated Sites. Technical Reports Series No. 445, pp. 105 (2006).
- 81) International Commission on Radiological Protection: The 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60; *Annals of the ICRP*; vol. 21, Nos. 1-3 (1991).
- 82) Yoshida, K., Hashiguchi, K., Taira, Y., Matsuda, N., Yamashita, S. & Takamura, N. Importance of personal dose equivalent evaluation in Fukushima in overcoming social panic. *Radiat Prot Dosimetry.* 151 (1): 144-146 (2012).
- 83) Chiyoda Technol Corporation. D-Shuttle. (Accessed April 24, 2020). <https://www.c-technol.co.jp/eng/e-dshuttle>.
- 84) ShahidulIslam, MD., Watanuki, S., Tashiro, M. & Watabe, H. Error evaluation of the D-shuttle dosimeter technique in positron emission tomography study. *Radiol Phys Technol.* 12 (4): 363-373 (2019).
- 85) Kobayashi, S. et al. Radioactive contamination mapping of northeastern and eastern Japan by a car-borne survey system, Radi-Probe. *J Environ Radioact.* 139: 281-293 (2015).
- 86) Portal Site of Official Statistics of Japan (e-Stat). Search result top page, System of Social and Demographic Statistics, Social Indicators by Prefecture 2018, Social Indicators by Prefecture, Natural Environment. (Accessed April 24, 2020). <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL32020101.do?method=extendTclass&refTarget=toukeihyo&listFormat=hierarchy&statCode=00200502&tstatCode=000001095536&tclass1=&tclass2=&tclass3=&tclass4=&tclass5=> (2018).
- 87) Shigematsu, Y., Sugimura, K. & Sakai, M. The trends in the outdoor recreation activities in Fukushima Prefecture: exploring the effects of the East Japan Earthquake. *Journal of environmental studies*, Nagasaki University. 21 (1): 43-54 (2018). (Accessed April 24, 2020). <http://naosite.lb.nagasaki-u.ac.jp/dspace/handle/10069/38720>.
- 88) Tsuchiya, R. et al. Radiocesium contamination and estimated internal exposure doses in edible wild plants in Kawauchi Village following the Fukushima nuclear disaster. *PLoS ONE.* 12 (12): e0189398 (2017).
- 89) Ayabe Y., Hijii, N. & Takenaka, C. Effects of local-scale decontamination in a secondary forest contaminated after the Fukushima nuclear power plant accident. *Environ Pollut.* 228: 344-353 (2017).
- 90) Portal Site of Official Statistics of Japan (e-Stat). Search result top page; 2016 Survey on Time Use and Leisure Activities; Average Time Spent for All Persons, for Participants and Participation Rate in

- Main Activities by Sex-Saturday and Sunday. (Accessed April 24, 2020). <https://www.e-stat.go.jp/en/stat-search/files?page=1&layout=dataset&toukei=00200533&tstat=000001095335> (2016).
- 91) The World Health Organization. Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44877/9789241503662_eng.pdf;jsessionid=C67A8A30873EA8EC37484D20942B760C?sequence=1 (27 February 2021 accessed).
- 92) The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2013 Report vol. 1. https://www.unscear.org/docs/publications/2013/UNSCEAR_2013_Report_Vol.I.pdf (27 February 2021 accessed).
- 93) Fukushima Prefectural Government, Japan. Fukushima Revitalization Station. The Official Website for Fukushima's Restoration. <http://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal-english/list385.html> (27 February 2021 accessed).
- 94) Fukushima Prefectural Government, Japan. Transition of Evacuation Designated Zones. <https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal-english/en03-08.html> (27 February 2021 accessed).
- 95) The Ministry of the Environment, Japan. Environmental Remediation in Affected Areas in Japan. http://josen.env.go.jp/en/pdf/environmental_remediation_1905.pdf#search=%27Whole+area+decontamination+based+on+the+Act+on+Special+Measures+was+completed+on+19+March+2018%2C+excluding+the+DifficulttoReturn+Zones%27 (27 February 2021 accessed).
- 96) The Nuclear Regulation Authority, Japan. Monitoring Information of Environmental Radioactivity Level. <http://radioactivity.nsr.go.jp/en/> (27 February 2021 accessed).
- 97) Tomioka Town Local Government, Japan. Number of Evacuees in Tomioka Town. https://www.tomioka-town.jp/soshiki/jumin/jumin/hinansya_ninzu/index.html (27 February 2021 accessed) (in Japanese).
- 98) Tsujiguchi, T., Shiroma, Y., Suzuki, T., Tamakuma, Y., Yamaguchi, M., Iwaoka, K., Hosoda, M., Tokonami, S., Kashiwakura, I. Investigation of external radiation doses during residents' temporal stay to Namie Town, Fukushima Prefecture. *Radiat Prot Dosim.* 184(3-4), 514-517 (2019).
- 99) Taira, Y., Hayashida, N., Yamaguchi, H., Tamashita, S., Endo, Y., Takamura, N. Evaluation of environmental contamination and estimated radiation doses for the return to residents' homes in Kawauchi Village, Fukushima Prefecture. *PLoS One.* 7(9), e45816 (2012).
- 100) Matsuo, M., Taira, Y., Orita, M., Yamada, Y., Ide, J., Yamashita, S., Takamura, N. Evaluation of environmental contamination and estimated radiation exposure dose rates among residents immediately after returning home to Tomioka Town, Fukushima Prefecture. *Int J Environ Res Public Health.* 16, 1481 (2019).
- 101) Nomura, S., Tsubokura, M., Murakami, M., Ono, K., Nishikawa, Y., Oikawa, T. Towards a long-term strategy for voluntary-based internal radiation contamination monitoring: Representativeness of

the monitoring results in Fukushima, Japan. *Int J Environ Res Public Health*. 14(6), 656 (2017).

102) The Reconstruction Agency, Japan. Basic Guidelines for Reconstruction in Response to the Great East Japan Earthquake in the “Reconstruction and Revitalization Period”. https://www.reconstruction.go.jp/english/topics/Laws_etc/2019Dec_basic-guidelines_full-text.pdf (27 February 2021 accessed).

103) The Consumer Affairs Agency, Japan. White Paper on Consumer Affairs 2017. https://www.caa.go.jp/en/publication/annual_report/2017/ (27 February 2021 accessed).

104) Matsunaga, H., Orita, M., Iyama, K., Sato, N., Aso, S., Tateishi, F., Taira Y., Kudo, T., Yamashita, S., Takamura, N. Intention to return to the town of Tomioka in residents 7 years after the accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: a cross-sectional study. *J Radiat Res*. 60(1), 51-58 (2019).

105) Tsuchiya, R., Taira, Y., Orita, M., Fukushima, Y., Endo, Y., Yamashita, S., Takamura N. Radiocesium contamination and estimated internal exposure doses in edible wild plants in Kawauchi village following the Fukushima nuclear disaster. *PLoS One*. 12(12), e0189398 (2017).

106) Ikeda, Y. Cooking edible wild plants and herbs by Akira Ueno and Yoko Terada. *Kurashinosekkei* 157, Chuokoron-sha, Tokyo, Japan (1984) (in Japanese).

107) Kiyono Y, Akama A. Radioactive cesium contamination of edible wild plants after the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *Jpn J For Environ*. 55(2), 113-118 (2013).

108) The Japan Times. LIFE. Feast from the forest: foraging for edible plants in Japan. <https://www.japantimes.co.jp/life/2015/09/05/lifestyle/feast-forest-foraging-edible-plants-japan/#.XugttefgqUI> (27 February 2021 accessed).

109) Tomioka Town Local Government, Japan. Food monitoring for radioactive materials. <https://tomioka-radiation.jp/food/foods.html> (27 February 2021 accessed) (in Japanese).

110.) Orita, M., Nakashima, K., Hayashida, N., Endo, Y., Yamashita, S., Takamura, N. et al. Concentrations of radiocesium in local foods collected in Kawauchi Village after the accident at Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station. *Sci Rep*. 6, 28470 (2016).

111) Tomioka Town Local Government, Japan. Website for radiation information in Tomioka Town. <https://tomioka-radiation.jp/> (27 February 2021 accessed) (in Japanese).

112) The Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan. New Standard limits for Radionuclides in Foods. https://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/dl/new_standard.pdf (27 February 2021 accessed).

113) Terada, H., Yamaguchi, I., Shimura, T., Svendsen, E, R., Kunugita, N. Regulation values and current situation of radioactive materials in food. *J Natl Inst Public Health*. 67(1), 21-33 (2018).

114) The Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan. Environmental Radioactivity and Radiation in Japan. <https://www.kankyo-hoshano.go.jp/en/> (27 February 2021 accessed).

115) Japan Chemical Analysis Center. Radioactivity measurement method series. <http://translate.google.co.jp/translate?hl=ja&sl=ja&tl=en&u=http%3A%2F%2Fwww.jcac.or.jp%2F>

(27 February 2021 accessed).

116) The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008 REPORT vol. 1. https://www.unscear.org/docs/publications/2008/UNSCEAR_2008_Report_Vol.I-CORR.pdf (27 February 2021 accessed).

117) International Atomic Energy Agency. Determining the Suitability of Materials for Disposal at Sea under the London Convention 1972 and London Protocol 1996: A Radiological Assessment Procedure. http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1759_web.pdf (27 February 2021 accessed).

118.) The Ministry of the Environment, Japan. BOOKLET to Provide Basic Information Regarding Health Effects of Radiation (1st Edition). <https://www.env.go.jp/en/chemi/rhm/basic-info/1st/index.html> (27 February 2021 accessed).

119) Fukushima Prefecture. Report on the results of environmental radioactivity measurement around the nuclear power plant. <https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/42296.pdf> (27 February 2021 accessed) (in Japanese).

120) The International Commission on Radiological Protection (ICRP). The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Annals of the ICRP, (2007).

121) Beck, H. L., DeCampo, J., Gogolak, C. In Situ Ge (Li) and NaI (Tl) Gamma-Ray Spectrometry. United States (1972). <https://www.osti.gov/servlets/purl/4599415>

122) Saito K, Petoussi-Henss N. Ambient dose equivalent conversion coefficients for radionuclides exponentially distributed in the ground. J Nucl Sci Technol. 51(10), 1274-1287 (2014).

123) Sakamoto R, Saito K. Conversion factors for a mobile survey method by car in the Chernobyl area. Radiat Prot Dosimetry. 106(2), 165-175 (2003).

124) Nuclear Regulation Authority, Japan. Radioactivity measurement series; In-situ measurement method using a germanium semiconductor detector. <https://www.kankyo-hoshano.go.jp/series/lib/No33.pdf> (27 February 2021 accessed) (in Japanese).

125) The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2000 Report to General Assembly with Scientific Annexes; Annex A: Dose Assessment Methodologies. https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2000_1.html (27 February 2021 accessed).

126) The International Commission on Radiological Protection (ICRP). Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5 Ingestion Dose Coefficients, ICRP Publication 72, Annals of the ICRP. http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_26_1 (27 February 2021 accessed).

127) The Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan. The second term of National Health Promotion Movement in the twenty-first century, National Health and Nutrition Survey; Nutritional Intake Status Survey; Intake by Food Groups in Japan, 2018. https://www.nibiohn.go.jp/eiken/kenkounippon21/en/eiyouchousa/kekka_syokuhin_chousa_koumoku.html (27 February 2021 accessed).

- 128) The World Health Organization (WHO). Global Environmental Monitoring System - Food Contamination Monitoring and Assessment Programme (GEMS/Food). <http://toolbox.foodcomp.info/References/LOD/GEMS-Food-EURO%20%20-%20%20Reliable%20Evaluation%20of%20Low-Level%20Contamination%20of%20Food.pdf#search=%27GEMS%2FFood+ND+%E5%8E%9A%E5%8A%B4%E7%9C%81+60%25+80%25+%E4%B8%8D%E6%A4%9C%E5%87%BA%271995> (27 February 2021 accessed).
- 129) Taira, Y., Hayashida, N., Orita, M., Yamaguchi, H., Ide, J., Endo, Y., Yamashita, S., Takamura, N. Evaluation of environmental contamination and estimated exposure doses after residents return home in Kawauchi Village, Fukushima Prefecture. *Environ Sci Technol.* 48(8), 4556-4563 (2014).
- 130) The Ministry of the Environment, Japan. Countermeasures for the Great East Japan Earthquake. https://www.env.go.jp/en/focus/docs/01_cgeje/index.html (27 February 2021 accessed).
- 131) The Environmental Radioactivity Monitoring Center of Fukushima (Fukushima Prefectural Centre for Environmental Creation). Environmental radioactivity research. <http://www.atom-moc.pref.fukushima.jp/old/sokutei.html> (27 February 2021 accessed) (in Japanese).
- 132) Fukushima Prefecture and the Tokyo Electric Power Company. Annual report of the environmental radioactivity around the nuclear power plant in 2010. <https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/16025d/nenho-h22nendo.html> (27 February 2021 accessed) (in Japanese).
- 133) Tagami, K., Uchida, S., Uchihori, Y., Ishii, N., Kitamura, H., Shirakawa, Y. Specific activity and activity ratios of radionuclides in soil collected about 20 km from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant: Radionuclide release to the south and southwest. *Sci Total Environ.* 409, 4885-4888 (2011).
- 134) Mück, K., Pröhl, G., Likhtarev, I., Kovgan, L., Meckbach, R., Golikov, V. A consistent radionuclide vector after the Chernobyl accident. *Health Phys.* 82, 141-156 (2002).
- 135) Cui, L., Taira, Y., Matsuo, M., Orita, M., Yamada, Y., Takamura, N. Environmental Remediation of a Restricted Area in Tomioka Town, Fukushima Prefecture. *Sci Rep.* 10, 10165 (2020).
- 136) Nomura, S., Murakami, M., Naito, W., Yasutaka, T., Sawano, T., Tsubokura, M. Low dose of external exposure among returnees to former evacuation areas: a cross-sectional all-municipality joint study following the 2011 Fukushima Daiichi nuclear power plant incident. *J Radiol Prot.* 40, 1-18 (2020).
- 137) Suzuki, Y., Takebayashi, Y., Yasumura, S., Murakami, M., Harigane, M., Yabe, H., Ohira, T., Ohtsuru, A., Nakajima, S., Maeda, M. Changes in Risk Perception of the Health Effects of Radiation and Mental Health Status: The Fukushima Health Management Survey. *Int J Environ Res Public Health.* 15(6), 1219 (2018).
- 138) Taira, Y., Hayashida, N., Brahmanandhan, G, M., Nagayama, Y., Yamashita, S., Takahashi, J., Gutevite, A., Kazlovsky, A., Urazalin, M., Takamura, N. Current Concentration of Artificial Radionuclides and Estimated Radiation Doses From ¹³⁷Cs Around the Chernobyl Nuclear Power Plant, the Semipalatinsk Nuclear Testing Site, and in Nagasaki. *J Radiat Res.* 52(1), 88-95 (2011).

- 139) Nakashima, K., Orita, M., Fukuda, N., Taira, Y., Hayashida, N., Matsuda, N., Takamura, N. Radiocesium concentrations in wild mushrooms collected in Kawauchi Village after the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *Peer J.* 3, e1427 (2015).
- 140) The Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan. The Great East Japan Earthquake. <http://www.rinya.maff.go.jp/j/tokuyou/kinoko/sansai.html> (27 February 2021 accessed) (in Japanese).
- 141) Yamaguchi, N., Taniyama, I., Kimura, T., Yoshioka, K., Saito, M. Contamination of agricultural products and soils with radiocesium derived from the accident at TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: monitoring, case studies and countermeasures. *Soil Sci Plant Nutr.* 62(3), 303-314 (2016).
- 142) Sugiura, Y., Kanasashi, T., Ogata, Y., Ozawa, H., Takenaka, C. Radiocesium accumulation properties of *Chengiopanax sciadophylloides*. *J Environ Radioact.* 151(1), 250-257 (2016).
- 143) Seto, M., Uriu, K., Kawaguchi, I., Yokomizo, H. Assessment of instructions on protection against food contaminated radiocesium in Japan in 2011. *Risk Anal.* 38(6), 1154-1168 (2017).
- 144) Hosokawa, Y., Nomura, K., Tsushima, E., Kudo, K., Noto, Y., Nishizawa, Y. Whole-Body Counter (WBC) and food radiocesium contamination surveys in Namie, Fukushima Prefecture. *PLoS One.* 12(3), e0174549 (2017).
- 145) Yoshihara, T., Kurita, K., Matsumura, H., Yoschenko, V., Kawachi, N., Hashida, S, N., Konoplev, A., Yoshida, H. Assessment of gamma radiation from a limited area of forest floor using a cumulative personal dosimeter. *J Environ Radioact.* 204, 95-103 (2019).
- 146) Taira, Y., Inadomi, Y., Hirajou, S., Fukumoto, Y., Orita, M., Yamada, Y., Takamura, N. Eight years post-Fukushima: is forest decontamination still necessary? *J Radiat Res.* 60(5), 705-707 (2019).
- 147) Tsukazaki, A., Taira, Y., Orita, M., Takamura, N. Seven years post-Fukushima: long-term measurement of exposure doses in Tomioka Town. *J Radiat Res.* 60(1), 159-160 (2019).

1-1-2. 富岡町における帰還意向と生活の質との関連

I. 研究目的

これまでに実施していきた富岡町住民の帰還意向に影響を及ぼす要因の評価において、富岡町に帰還することによる被ばく健康影響への懸念が住民の帰還意向に関連することが明らかとなった。福島県で実施されている県民健康調査においては、放射線被ばくへの不安が、長期にわたる住民の軽度抑うつ、不安や身体的な影響と関連していることが明らかとなった。また、先行研究から帰還を希望する住民は、すでに帰還した人や帰還しないと決めた人と比較して、軽度抑うつ傾向が高いことが明らかとなった。帰還を希望する住民が感じている放射線被ばくに関する不安や精神的な健康へのニーズに寄り添ったリスクコミュニケーションの実施が求められていると考えられる。さらには、原子力災害によって避難を余儀なくされている住民の生活の質(Quality of life, QOL)の向上も重要であると考えられる。一方で、原発事故後の富岡町住民における生活の質と帰還意向との関連は明らかにされていない。そこで、本研究は、富岡町において、QOL と帰還意向との関連を明らかにすることを目的とする。

II. 研究方法

調査期間は 2019 年 12 月から 2020 年 3 月であった。対象者は富岡町に住民票があり、かつ研究に対し同意が得られた 20 歳以上の富岡町住民であった。対象者に対して自記式アンケート調査を実施した。基本的属性として性別、年代、同居の家族構成、18 歳以下の子(孫)と同居の有無、帰還意向、放射線リスク認知を調査した。帰還意向については「すでに帰還している・帰還したい・帰還に悩んでいる・たぶん帰還しない・戻らないと決めている」の 5 つからの選択とした。QOL の聴取には健康関連 QOL を測定する 8-Item Short-Form Health Survey (SF-8)を使用した。SF-8 の尺度は人の健康関連 QOL に関連する項目を「身体的な健康観」と「精神的な健康観」の 2 つの因子と 8 つの下位尺度から評価するものであり、得点が高いほど主観的健康観が優れていることを示す。また、住民のストレス対処能力を評価するために、尺度スケール SOC-13(sense of coherence13)を使用した。SOC-13 はストレス対処能力を評価する尺度であり、得点が高くなるほどストレス対処能力の応用力や実践力が高くなるとされている。

(倫理的配慮)

本研究は、事前に長崎大学大学院医歯薬学総合研究科倫理委員会にて承認(承認番号 19092702)を得て実施した。

III. 研究結果

対象者の回答が得られた人数の内、未回答者を除く 1,029 名を解析対象とした。138 人(13%)

はすでに帰還し(グループ 1)、223 人(22%)は帰還を希望し(グループ 2)、668 人(65%)は帰還しないと決めていた(グループ 3)(表III-1)。グループ 1 に比べて、グループ 2 と 3 は有意に富岡産の食材を摂取することに懸念を持つ人が多く、グループ 1 は、グループ 2 とグループ 3 と比べて、有意に放射線被ばくによる自身へのがんなどの健康影響が起これと懸念している人が少なかった。また、グループ 1 は、グループ 2 とグループ 3 と比べて、有意に放射線被ばくによる子孫への健康影響が起これと懸念している人が少なかった。

SF-8 の身体的な健康観、「身体能力」、「身体の痛み」、「全体的健康観」のスコアが、グループ 1 と 3 に比べて、グループ 2 において有意に低かった(表III-2)。また SF-8 の精神的な健康観の内、「社会生活機能」、「心の健康」のスコアが、グループ 1 と 3 に比べて、グループ 2 において有意に低かった。

ロジスティック回帰分析を用いて解析した結果、グループ 1 はグループ 2 と比較して、その他の因子に独立して有意に 60 歳以上の人が多く、SF-8 の身体的な健康観が高かった(表III-3)。また、グループ 1 はグループ 2 と比較して、性別と年代に独立して、有意に SOC-13 のスコアが高かった。グループ 2 は、グループ 3 と比較して、その他の因子に独立して有意に身体的な健康観と精神的な健康観が低かった(表III-4)。グループ 1 と 3 を比較した結果、身体的な健康観と精神的な健康観において、有意な差は見られなかったが、グループ 1 は、グループ 3 と比較して、性別と年代に独立して有意に SOC-13 のスコアが高かった(表III-5)。

表III-1 帰還意向と基本的な属性、放射線リスク認知との関連

		グループ 1 (n=138)	グループ 2 (n=223)	グループ 3 (n=668)	p 値
性別	男性/女性	82/56 (59.4%)	122/101 (54.7%)	350/318 (52.4%)	0.308
年齢	60 歳以上/以下	105/33 (76.1%)	148/75 (66.4%)	460/208 (68.9%)	0.139
18 歳以下の子どもとの同居	はい/いいえ	9/129 (6.5%)	39/184 (17.5%)	147/521 (22.0%)	<0.001 *
地元の食材を摂取することへの不安の有無	はい/いいえ	42/96 (30.4%)	125/98 (56.1%)	393/275 (58.8%)	<0.001 *
放射線被ばくによる自身への健康影響への不安の有無	はい/いいえ	35/103 (25.4%)	103/120 (46.2%)	362/306 (54.2%)	<0.001 *
放射線被ばくによる遺伝的な影響への不安の有無	はい/いいえ	57/81 (41.3%)	143/80 (64.1%)	413/255 (61.8%)	<0.001 *

表III-2 帰町意向と SF-8、SOC-13 との関連

		グループ 1 (n=138)	グループ 2 (n=223)	グループ 3 (n=668)	p 値
SF-8	身体機能	47.7 ± 6.9	46.4 ± 7.2	47.8 ± 7.2	0.043*
	日常役割機能(身体的)	46.6 ± 8.1	45.4 ± 8.5	46.9 ± 8.7	0.085
	体の痛み	46.9 ± 8.6	44.8 ± 8.8	46.4 ± 9.1	0.046*
	全体的健康観	49.3 ± 7.2	46.3 ± 7.3	48.5 ± 7.5	<0.001*
	活力	49.2 ± 5.9	48.2 ± 6.4	49.1 ± 6.5	0.173
	社会生活機能	47.0 ± 8.3	45.2 ± 8.0	46.6 ± 8.0	0.049*
	日常役割機能(精神的)	47.5 ± 6.6	45.8 ± 7.7	47.0 ± 7.7	0.069
	心の健康	48.3 ± 7.1	45.9 ± 7.0	47.6 ± 7.1	0.003*
SF-8 の要約	身体的な健康観	46.2 ± 7.7	44.8 ± 7.9	46.4 ± 8.1	0.044*
	精神的な健康観	47.8 ± 7.0	45.9 ± 6.8	47.1 ± 7.2	0.034*
SOC-13	-	60.3 ± 12.2	56.4 ± 12.3	58.1 ± 13.4	0.022*

表III-3 すでに帰還した住民と帰還を希望する住民に関連する因子;ロジスティック回帰分析

変数	単位	Model 1 オッズ比(95%信頼区間)	Model 2 オッズ比(95%信頼区間)
性別	男性/女性	1.12 (0.72-1.75)	1.08 (0.69-1.68)
年代	60 歳以上/未満	1.78 (1.08-2.94)	1.55 (0.95-2.52)
身体的な健康観	高い/低い	1.85 (1.15-2.98)	-
精神的な健康観	高い/低い	1.41 (0.88-2.24)	-
ストレス対処能力	高い/低い	-	1.82 (1.18-2.82)

表III-4 帰還を希望する住民と帰還しない住民に関連する因子;ロジスティック回帰分析

変数	単位	Model 1 オッズ比(95%信頼区間)	Model 2 オッズ比(95%信頼区間)
性別	男性/女性	1.14 (0.83-1.55)	1.12 (0.82-1.52)
年代	60 歳未満/以上	1.20 (0.86-1.68)	1.12 (0.81-1.55)
身体的な健康観	低い/高い	1.63 (1.15-2.30)	-
精神的な健康観	低い/高い	1.42 (1.01-1.99)	-
ストレス対処能力	低い/高い	-	1.13 (0.82-1.55)

表III-5 すでに帰還した住民と帰還しない住民に関連する因子;ロジスティック回帰分析

変数	単位	Model 1 オッズ比(95%信頼区間)	Model 2 オッズ比(95%信頼区間)
性別	男性/女性	1.30 (0.90-1.89)	1.27 (0.88-1.86)
年代	60 歳以上/未満	1.44 (0.93-2.23)	1.38 (0.90-2.11)
身体的な健康観	高い/低い	1.11 (0.75-1.64)	-
精神的な健康観	高い/低い	0.97 (0.66-1.44)	-
ストレス対処能力	高い/低い	-	1.62 (1.12-2.34)

IV. 考察

本研究の結果から、富岡町へ帰還した人と比較して帰還を悩んでいる人や帰還意向がない人は有意に子どもと同居している人が多く、放射線被ばくによるがんなどの自身や子や孫への健康影響を懸念している人が多く、富岡町産の食材を摂取することへ懸念している人が多いことが明らかとなった。「東日本大震災後の原子力事故による放射線被ばくのレベルと影響に関する UNSCEAR2013 年報告書」では、公衆および作業者における、福島第一原発事故によ

る被ばく線量は比較的に低いため、健康リスクは低いと予想されている。しかしながら、すでに帰還している群では放射線に関する不安が低い一方で、帰還に悩んでいる群と帰還意向のない群では放射線に対する不安は依然残っており、放射線被ばくへの不安が帰還意向に影響を及ぼしている可能性があると考えられる。

本研究の結果から、すでに富岡町へ帰還した人は帰還を悩んでいる人と比較して、その他の因子に独立して有意に 60 歳以上の人が多く、SF-8 の身体的な健康観が高かった。帰還を悩んでいる人は、帰還意向がない人と比較して、その他の因子に独立して有意に身体的な健康観と精神的な健康観が低かった。帰還した人と帰還意向がない人を比較した結果、身体的な健康観と精神的な健康観において有意な差は見られなかった。東日本大震災によって避難を経験した高齢者の精神的健康度に関する先行研究から、精神的健康度が高い人は、居住環境が「身体活動の実践に適している」と評価する傾向があったことが報告され、また、避難した高齢者の精神的健康観の向上には、居住地で運動を実践するなど具体的な方法を提示することが有効な方法である可能性が示唆された。これまで避難者は、避難先での生活再建や生活様式の変化を強いられてきた。帰還意向がない人は避難先で身体活動や社会参加の場を構築することができ、避難先での生活に適応できていることが身体的な健康観や精神的な健康観を維持につながっていると考えられる。

また、本研究の結果から、すでに帰還した人は帰還を悩んでいる人と比較して、性別と年代に独立して、有意に SOC-13 のスコアが高く、帰還意向がない人と比較しても、性別と年代に独立して有意に SOC-13 のスコアが高かった。村上らは、福島県県民健康調査におけるスケール尺度 K6 を用いて、避難者と帰還者における精神的な抑うつの評価を行った。その結果、帰還者の方が、避難者と比較して、抑うつ傾向が低いことが明らかとなった。村上らは、住み慣れた自分たちの自宅で生活することが、精神的によい状態を促進している可能性を示唆した。今回の調査からも、すでに帰還している人は、帰還意向のない人や帰還に悩んでいる人と比べて比較的にストレス対処能力が高かった。個々のストレス対処能力が向上することによって、生活の再建や個々の生活の質の促進につながると考えられ、住民の帰還を支援するために、個々の住民のニーズに応じた支援を実施していくことが必要であると考えられる。今後は、避難先で帰還するかどうか悩んでいる人に対して、放射線に対して正しい知識を知ってもらう事や富岡町で暮らしていく際に生活の質への満足感を促進できる取り組みが必要であると考えられる。

V. 結論

本研究の結果から、帰還に悩んでいる群はすでに帰還している群や帰還意向のない群と比べて生活の質、ストレス対処能力が低い傾向がみられた。また、すでに帰還している群と比べて帰還に悩んでいる群または帰還意向のない群は放射線への不安が高いことが明らかとなった。避難先で帰還するかどうか悩んでいる人達に対して、放射線に対して正しい知識を知ってもらう事や富岡町で暮らしていく際に生活の質への満足感を促進できる取り組みが必要

であると考えられる。

VI. 次年度以降の計画

得られた結果を住民や行政機関へ広く還元する。また今後は、復興の端緒についた大熊町の住民における帰還意向と放射線健康リスク認知や QOL との関連が明らかにし、より効果的なリスクコミュニケーションを通じて復興の加速に貢献する。

VII. この研究に関する現在までの研究状況、業績

ア) 論文・雑誌等

- 1) Orita M, Taira Y, Matsunaga H, Maeda M, Takamura N. Quality of Life and Intention to Return among Former Residents of Tomioka Town, Fukushima Prefecture 9 Years after the Fukushima Daiichi Nuclear Accident. *Int J Environ Res Public Health* 17, 6625, 2020.

イ) 学会発表等

- 1) なし

ウ) 書籍・総説

- 1) 放射線と放射性物質 Q&A 第 5 巻、福島民報社

エ) 受賞

- 1) なし

オ) 特許

- 1) なし

カ) 環境行政への活用・貢献実績

- 1) なし

VIII. 参考文献

1. Matsunaga, H.; Orita, M.; Iyama, K.; Sato, N.; Aso, S.; Tateishi, F.; Taira, Y.; Kudo, T.; Yamashita, S.; Takamura, N. Intention to return to the town of Tomioka in residents 7 years after the accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: a cross-sectional study. *J Radiat Res* **2019**, 60, 51–58.

2. Orita, M.; Mori, K.; Taira, Y.; Yamada, Y.; Maeda, M.; Takamura, N. Psychological health status among former residents of Tomioka, Fukushima Prefecture and their intention to return 8 years after the disaster at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *J Neural Transm (Vienna)* **2020**. PMID: 32072337, DOI: 10.1007/s00702-020-02160-8.
3. Ohtsuru, A.; Tanigawa, K.; Kumagai, A.; Niwa, O.; Takamura, N.; Midorikawa, S.; Nollet, K.; Yamashita, S.; Ohto, H.; Chhem, R. K.; Clarke, M. Nuclear disasters and health: lessons learned, challenges, and proposals. *Lancet* **2015**, 386, 489-497.
4. Murakami, M.; Takebayashi, Y.; Tsubokura, M. Lower psychological distress levels among returnees compared with evacuees after the Fukushima Nuclear accident. *Tohoku J Exp Med* **2019**, 247, 13-17.
5. Yasumura, S.; Hosoya, M.; Yamashita, S.; Kamiya, K.; Abe, M.; Akashi, M.; Kodama, K.; Ozasa, K.; Fukushima Health Management Survey Group. Study protocol for the Fukushima Health Management Survey. *J Epidemiol* **2012**, 22, 375-383.
6. Oe, M.; Fujii, S.; Maeda, M.; Nagai, M.; Harigane, M.; Miura, I.; Yabe, H.; Ohira, T.; Takahashi, H.; Suzuki, Y.; Yasumura, S.; Abe, M. Three-year trend survey of psychological distress, post-traumatic stress, and problem drinking among residents in the evacuation zone after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *Psychiatry Clin Neurosci* **2016**, 70.
7. Tokuda, Y.; Okubo, T.; Ohde, S.; Jacobs, J.; Takahashi, O.; Omata, F.; Yanai, H.; Hinohara, S.; Fukui, T. Assessing items on the SF-8 Japanese version for health-related quality of life: a psychometric analysis based on the nominal categories model of item response theory. *Value Health* **2009**, 12, 568-673.
8. Antonovsky, A. *Unraveling the Mystery of Health: How People Manage Stress and Stay Well*. Jossey-Bass Publishers. 1987.
9. Togari, T.; Yamazaki, Y.; Nakayama, K.; Yokoyama, Y.; Yonekura, Y.; Takeuchi, T. Nationally representative score of the Japanese language version of the 13-item 7-point sense of coherence scale. *Jpn J Public Health* **2015**, 62, 232-237.
10. Suzuki, Y.; Yabe, H.; Yasumura, S.; Ohira, T.; Niwa, S.; Ohtsuru, A.; Mashiko, H.; Maeda, M.; Abe, M. Mental Health Group of the Fukushima health management survey. 2015. Psychological distress and the perception of radiation risks: the Fukushima health management survey. *Bull World Health Organ* **2015**, 93, 598-605.
11. Bromet, E. J.; Havenaar, J. M.; Guey, L. T.; A 25 year retrospective review of the psychological consequences of the Chernobyl accident. *Clin Oncol (R Coll Radiol)* **2011**, 23, 297-305.
12. Bromet, E. J. Mental health consequences of the Chernobyl disaster. *J Radiol Prot* **2012**, 32, N71-N75.
13. Maeda M, Oe M. Mental Health Consequences and Social Issues After the Fukushima Disaster.

Asia Pac J Public Health **2017**, 29, 36S-46S.

14. Covello, V. T. Risk communication, radiation, and radiological emergencies: strategies, tools, and techniques. *Health Phys* **2011**, 101, 511-530.

Establishment of Scientific Evidence for the Risk Communication with residents of Tomioka Town

Noboru Takamura (*Professor, Atomic Bomb Disease Institute, Nagasaki University*)

Makiko Orita (*Assistant Professor, Atomic Bomb Disease Institute, Nagasaki University*)

Yasuyuki Taira (*Assistant Professor, Atomic Bomb Disease Institute, Nagasaki University*)

Hideko Urata (*Professor, Atomic Bomb Disease Institute, Nagasaki University*)

Tetsuko Shinkawa (*Professor, Atomic Bomb Disease Institute, Nagasaki University*)

Koji Yoshida (*Assistant Professor, Nagasaki University Graduate School of Biomedical Sciences*)

Masahiko Matsuo (*PhD student, Atomic Bomb Disease Institute, Nagasaki University*)

Hitomi Matsunaga (*PhD student, Atomic Bomb Disease Institute, Nagasaki University*)

Hiroko Hori (*PhD student, Atomic Bomb Disease Institute, Nagasaki University*)

Key Words: Risk communication; Intention to return; Mental health; External exposure; Internal exposure; Environmental monitoring

Tomioka town office returned its function to their hometown from Koriyama city, and residents started returning in April 2017, but there are many difficulties for its recovery from the nuclear disaster. In addition to the decommission and re-establishment of infrastructure, better access to information on radiation is essentially needed for residents who wish to return to Tomioka. In this research project, we aim to accumulate the scientific evidences for risk communication with residents of Tomioka, based on our experiences in Kawauchi village.

In this year, we continuously evaluated ambient dose rates of Yonomori area, and showed a decrease in the areas where the decontamination was implemented. It is important to continue the environmental monitoring to revitalize of difficult to return zone in Tomioka. Also, we evaluate the relationship between intention to return and mental stress in residents of Tomioka, and showed that residents who is wondering to return back to Tomioka had a higher mental stress. It is important to approach such residents to promote the recovery of the community.