平成24年度環境省委託業務報告書

平成24年度

原子力災害影響調査等事業

(放射線の健康影響に係る研究調査事業)

平成25年3月

日本エヌ・ユー・エス株式会社

はじめに

本報告書は、環境省総合環境政策局環境保健部委託業務「平成24年度原子力災害影響調査等事業(放射線の健康影響に係る研究調査事業)」の結果を取りまとめたものである。

平成 25 年 3 月 日本エヌ・ユー・エス株式会社

平成24年度原子力災害影響調査等事業(放射線の健康影響に係る研究調査事業)

目 次

1	事業の	背景及び目的1
2	事業の	実施内容1
	2.1 新	規研究課題に関する公募の事務1
	2.2 委	員会の開催
	2.2.1	「推進委員会(新規研究課題の採択)」の開催
	2.2.2	「評価委員会(研究発表会)」の開催
	2.2.3	「推進・評価合同委員会(平成25年度事業の公募の検討等)」の開催…5
	2.2.4	「推進委員会(研究計画書の評価)」の開催
	23 研	究計画書の作成 7
	2.3 所	空報告書の作成 7
3	之中 多研究	2111日1011100111001110011111111111111111
5	·미····································	5月10月11日
	テーフI	お射線抽げく線帯評価に関する研究 の
	/ · · I	成初様似は、豚重町皿に因りる切り 一切の 一切の 一切の 一切の 一切の 一切の 一切の 一 の の の の の の の の の の の の の
	1 - 1	「小洗祛憩: 日本豕産にわけるしや、、「味致及い産内行衆に関わる調査研究
		諸師)
	I -2	研究課題: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
		今中 哲二(京都大字 原子炉実験所原子力基礎上字研究部門 助教)
	テーマⅡ	放射線による健康影響の解明に関する研究
	$\Pi - 1$	研究課題:階層的ゲノミクス解析を基盤とした放射性物質による健康影響の解明.37
		秋光 信佳(東京大学 アイソトープ総合センター 研究開発部 准教授)
	II - 2	研究課題:低線量率・低線量放射線被ばくによる組織幹細胞の放射線障害の蓄積に
		関する研究
		鈴木 啓司(長崎大字大字院医歯薬字総合研究科 放射線医療科字専攻原爆後障 実医癖研究施設放射線災実医療受研究分野准教授)
	П-3	研究課題:低線量率放射線被ばくの健康影響-インド・中国の高自然放射線被ばく
		地域住民の調査結果を中心として91
		秋葉 澄伯(鹿児島大学大学院医歯学総合研究科 健康科学専攻人間環境学講座
		疫学・予防医学 教授)

- Ⅱ-6 研究課題:放射線の非がん影響の解明......135
 近藤 隆(富山大学大学院医学薬学研究部・放射線基礎医学講座 教授)
- Ⅱ-7 研究課題:低線量率放射線長期被ばくによる生体影響の低減化......159 山内 一己(環境科学技術研究所生物影響研究部 研究員)

1 事業の背景及び目的

原子力災害からの福島の復興及び再生に関する施策の総合的な推進を図るための基本 的な方針として、先般、福島復興再生基本方針が閣議決定されたところであり、国内外 の叡智を結集した放射線の人体への影響等に関する調査の重要性等について指摘されて いるところである。また、先般公表された東京電力福島原子力発電所事故調査委員会(国 会事故調)報告書においても、継続的な健康影響に関する調査を行っていく必要がある 旨の提言を行っているところである。

本事業では、このような状況を踏まえて、放射線の健康影響に係る研究調査を行うことを目的とする。

2 事業の実施内容

2.1 新規研究課題に関する公募の事務

下記に記す、公募課題について、新規研究課題に関する公募の事務を行った。また、公 募時に提出された申請書を受け取り、記載事項を確認するとともに、必要に応じて申請者 に修正を依頼した。応募の件数を表 2.1-1 に示す。

<公募課題の内容>

テーマ I 放射線被ばく線量評価に関する研究

東京電力福島第一原子力発電所事故における被ばく線量評価として、 小児甲状腺スクリーニング調査、空間線量率及び行動調査からの外部被 ばく線量推計、ホールボディカウンターによる内部被ばく線量の測定等 が実施されている。これらの取組みを補完し、一般住民の被ばく線量評 価をより適切に実施することに資する研究を行う。

テーマⅡ 放射線による健康影響の解明に関する研究

放射線による健康影響については、広島・長崎の原爆被爆者に関する 調査を初めとする疫学調査、動物実験等による放射線生物学に係る研究 等により、これまで様々な科学的知見の集積が行われており、これらの 知見を踏まえて、一般住民の健康管理を行う必要性や健康管理の内容の 検討が行われている。こうした取り組みをより一層適切に行うことに資 する放射線による健康影響に関する科学的知見を集積する研究を行う。

テーマⅢ <u>放射線による健康不安対策の推進に関する研究</u>

放射線による健康影響、特に低線量被ばくの健康影響については、多 様な意見があることもあり、国民の方々は健康不安を抱えている。健康 不安に対応する上では、正確かつ迅速な情報提供を行うとともに、健康 相談等において、個々の住民が有する健康不安の内容に適切に対応する 必要がある。健康相談等をより一層適切に行うことに資する研究を行う。

課題	件数
テーマI	7件
テーマⅡ	24 件
テーマⅢ	13 件
	44 件

表 2.1-1 新規研究課題に関する応募件数

2.2 委員会の開催

2.2.1 「推進委員会(新規研究課題の採択)」の開催

第三者(委託者、主任研究者または研究者以外の有識者)7名で構成される推進委員会を 設置した。なお、推進委員会委員の構成は以下の通りである。

委員	所属・役職
稻葉次郎	(公財)放射線影響協会 研究参与
遠藤 啓吾	京都医療科学大学 学長
木下富雄	(財)国際高等研究所 フェロー (京都大学 名誉教授)
○佐々木 康人	医療法人日高病院 腫瘍センター 特別顧問
柴田義貞	福島県立医科大学 放射線医学県民健康管理センター 特命教授
鈴 木 元	国際医療福祉大学クリニック 院長
丹羽太貫	京都大学 名誉教授(福島県立医科大学 特任教授)

○:委員長

「第1回推進委員会」を平成24年10月2日に虎ノ門スクエアにて開催し、推進委員は 上記2.1「新規研究課題に関する公募の事務」で公募された研究課題について、今年度新規 で実施される以下の研究課題15課題を採択した。なお、採択された15課題の経費につい ては、受託者と研究課題の採択者の間で事務委任契約を締結した。推進委員会の出席者は 以下の通りである。

<推進委員会への出席委員>

推進委員:稲葉次郎、遠藤啓吾、木下冨雄、佐々木康人、柴田義貞、鈴木元 (敬称略、五十音順) <新規に採択された研究課題及び主任研究者>

- テーマ I 放射線被ばく線量評価に関する研究
 - I-1 研究課題: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 吉田 浩子(東北大学大学院 薬学研究科 ラジオアイソトープ研究教育 センター 講師)
 - I-2 研究課題: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
 今中 哲二(京都大学 原子炉実験所原子力基礎工学研究部門 助教)
- テーマⅡ 放射線による健康影響の解明に関する研究
 - Ⅱ-1 研究課題:階層的ゲノミクス解析を基盤とした放射性物質による健康影響の 解明 秋光 信佳(東京大学 アイソトープ総合センター 研究開発部 准教授)
 - Ⅱ-2 研究課題:低線量率・低線量放射線被ばくによる組織幹細胞の放射線障害の 蓄積に関する研究
 - 鈴木 啓司(長崎大学大学院医歯薬学総合研究科 放射線医療科学専攻 原爆後障害医療研究施設放射線災害医療学研究分野 准教授)
 - Ⅱ-3 研究課題:低線量率放射線被ばくの健康影響-インド・中国の高自然放射線 被ばく地域住民の調査結果を中心として
 - 秋葉 澄伯(鹿児島大学大学院医歯学総合研究科 健康科学専攻人間環 境学講座疫学・予防医学 教授)
 - Ⅱ-4 研究課題:細胞動態のシステマティックレビューと実験データ解析による低 線量・低線量率における放射線がんリスクの描写
 - 甲斐 倫明(大分県立看護科学大学看護学部看護学科人間科学講座環境 保健学研究室 教授)
 - Ⅱ-5 研究課題:低線量被曝の血液動態への影響の解析(東電検診データをマウス 実験を通して)
 岡崎 龍史(産業医科大学医学部 放射線衛生学講座 講師)
 - Ⅱ-6 研究課題:放射線の非がん影響の解明 近藤 隆(富山大学大学院医学薬学研究部・放射線基礎医学講座 教授)
 - Ⅱ-7 研究課題:低線量率放射線長期被ばくによる生体影響の低減化 山内 一己(環境科学技術研究所生物影響研究部 研究員)

- Ⅱ-8 研究課題:低線量放射線は心血管疾患発症の原因と成りうるか?-動物実験に よる検証
 - 丹羽 保晴(放射線影響研究所放射線生物学/分子疫学部 副主任研究 員)
- テーマⅢ 放射線による健康不安対策の推進に関する研究
 - Ⅲ-1 研究課題:福島県における放射線健康不安の実態と効果的な対策手法の開発 に関する研究
 - 川上 憲人 (東京大学大学院医学系研究科 精神保健学分野 教授)

Ⅲ-2 研究課題:保健師による実際的な放射線防護文化のモデル開発・普及と検
 証:放射線防護専門家との協働によるアクションリサーチ

- 麻原 きよみ (聖路加看護大学看護学部看護学科地域看護学分野教授)
- Ⅲ-3 研究課題:自治体と研究機関で進める効果的な放射線教育活動の模索と効果の検討
 - 中山 信太郎 (徳島大学大学院ソシオ・アーツ・アンド・サイエンス 研究部教授)
- Ⅲ-4 研究課題:地域特性を生かしたリスクコミュニケーターによる放射線健康不 安対策の推進
 - 大野 和子(京都医療科学大学医療科学部・放射線技術学科教授)
- Ⅲ-5 研究課題:まるごと線量評価に基づく詳細なリスク分析に伴ったリスクコミ ュニケーションの確立
 - 宮崎 真(福島県立医科大学医学部 放射線健康管理学講座助手)

2.2.2 「評価委員会(研究発表会)」の開催

第三者(委託者、主任研究者又は研究者以外の有識者)5名で構成される評価委員会を設置した。なお、評価委員会委員の構成は以下の通りである。

委員	所属・役職		
遠藤啓吾	京都医療科学大学 学長		
小田啓二	神戸大学大学院 海事科学研究科 教授		
酒井 一夫	放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター センター長		
竹西亜古	兵庫教育大学大学院 学校教育研究科 教授		
〇丹羽 太貫	京都大学 名誉教授(福島県立医科大学 特任教授)		

〇:委員長

「研究発表会」を平成25年2月6日に東京国際交流館プラザ平成にて開催し、研究採択者 の主任研究者が年度途中までの研究成果を発表した。評価委員はこの発表会に参加(評価 委員に対して旅費及び謝金を支給した。)し、評価委員は各研究成果を評価した。研究発表 会の出席者は以下の通りである。

<研究発表会への出席委員>

評価委員:遠藤啓吾、小田啓二、酒井一夫、竹西亜古、丹羽太貫(敬称略、五十音順) 推進委員:稲葉次郎、遠藤啓吾、木下富雄、佐々木康人、鈴木元、丹羽太貫

(敬称略、五十音順)

2.2.3 「推進・評価合同委員会(平成 25 年度事業の公募の検討等」の開催

「推進・評価合同委員会」を平成25年2月6日に東京国際交流館プラザ平成にて開催し、 研究発表会における各研究の発表内容を受けて、個々の研究成果についての評価を評価委 員会から推進委員会に報告するほか、平成25年度新規に公募する研究課題について検討し た。なお、推進委員会は、当該報告を受けて、今後の研究の方向性等について2.2.4「推進 委員会(研究計画書の評価)」にて取りまとめた。

評価委員:小田啓二、酒井一夫、竹西亜古、丹羽太貫(敬称略、五十音順) 推進委員:稲葉次郎、木下冨雄、佐々木康人、鈴木元、丹羽太貫(敬称略、五十音順)

2.2.4 「推進委員会(研究計画書の評価)」の開催

「第2回推進委員会」を平成25年3月12日に日本エヌ・ユー・エス(株)大会議室に て開催し、評価委員が評価を行った研究採択者から提出された平成25年度の研究計画書の 評価結果の報告を受けた。また、平成25年度新規に公募する研究課題についても検討し、 今後の研究の方向性等について、基本的な方針が以下のとおり決められた。さらには、来 年度の継続研究課題における経費の配分額を決めるにあたり、以下の基本的方針について 合意が得られた。

①本年度の研究計画書に示された来年度予算から増額を希望する研究課題については、

その予算額をベースに上限を設ける。

- ②来年度評価の低かった研究課題については①の上限額から10~20%程度減額する。
 ③本年度の研究計画書に示された来年度予算から減額を希望する研究課題については、
 ほぼ申請額どおりとする。
- なお、推進委員会の出席者は以下の通りであった。

<推進委員会への出席委員>

推進委員: 稲葉次郎、遠藤啓吾、木下富雄、佐々木康人、柴田義貞、鈴木元、丹羽太貫 (敬称略、五十音順)

<今後の研究の方向性等に関する基本的方針>

- 今般の東京電力福島第一原子力発電所事故(以下、「今般の事故」という。)後、福島県の行う県民健康管理調査を始めとした健康管理や、健康不安への対応が行われてきたが、特に子どもの健康に対する幅広い影響が注目されているなかで、依然として放射性物質の汚染による健康影響への不安の存在が推測されるところ。
- こうした状況を踏まえ、「平成25年度放射線の健康影響に関する研究調査事業」においては、住民の健康管理や健康不安解消の取組に関する提案を収集することを主目的に、以下の3つの研究を推進する。特に子どもに対する健康影響に関連する研究を重視する。
- (1) 放射線被ばく線量の再構築・評価に関する研究

今般の事故における被ばく線量評価として、小児甲状腺スクリーニング調査、空間 線量率及び行動調査からの外部被ばく線量推計、ホールボディカウンターによる内部 被ばく線量の測定等が実施されている。これらの取組みを補完し、一般住民の被ばく 線量の再構築・評価に資する研究を採択する。

(2) 放射線による健康影響の解明に関する研究

放射線による健康影響については、広島・長崎の原爆被爆者に関する調査を初めと する疫学調査、動物実験等による放射線生物学に係る研究等により、これまで様々な 科学的知見の集積が行われており、これらの知見を踏まえて、一般住民の健康管理を 行う必要性や健康管理の内容の検討が行われている。こうした取組に資する極低線量 (10mGy 未満)及び低線量(10~100mGy)の放射線被ばくによる分子レベルの変化が 個体レベルでの発がんにつながるのか否かを明らかにする研究や、福島県民健康管理 調査等の既存の取組で指摘されている課題の解決に資する研究を優先的に採択する。 (3) 放射線による健康不安対策の推進に関する研究

放射線による健康影響、特に低線量被ばくの健康影響については、多様な意見があ ることもあり、国民の方々は健康不安を抱えている。健康不安に対応する上では、正 確かつ迅速な情報提供を行うとともに、個々の住民が有する健康不安の内容に適切に 対応する必要があることから、これらの取組をより一層適切に行うことに資する研究 を推進する。特に、放射線に対する健康不安の背景や内実に対し、一定の妥当性を有 するアプローチで対話を試みる研究や、健康に関する正確な情報に基づき、職種横断 的に取り組む健康不安対策について、福島県内の自治体と連携して住民の参加を促し ながら、総合的かつ客観的に評価する研究を優先的に採択する。

2.3 研究計画書の作成

推進・評価合同委員会において取りまとめられた研究の方向性等の方針に基づき、平成 25年度も研究の継続を希望する15の研究課題の主任研究者に指示し、平成25年度の研究 計画書を作成した。

2.4 研究報告書の作成

推進・評価合同委員会の意見を受け、各研究班に対して研究報告書の作成と電子媒体に よる提出を求め、すべての研究班から研究報告書(英文サマリーを含む)を受取った。

3 各研究班の報告

各研究班の報告を以下に示す。

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科 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ヶ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-1162¹¹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 れらのデータ収拾及び、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舘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" φ x2"NaI(T1)シンチレーションサーベイメータ(TCS-172)及び 3" φ x3" NaI(T1)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, H*(10) (µSv/h)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、γ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²⁻⁴⁾により、波高分布を unfolding して入 射γ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γ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 y 線である⁴⁰K,²¹⁴Bi (²³⁸U の娘核種),²⁰⁸Tl (²³²Th 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 ²⁻⁴である。 原発事故由来の¹³⁴Cs は 1.365 MeV のγ線を放出する。これは⁴⁰K の 1.461 MeV 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 ⁵⁾ により、⁴⁰K のビンに重畳している¹³⁴Cs 成分を⁴⁰K のビン近傍に振り分けて取り除き、⁴⁰K 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 y 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(µGy/h)を取得した。⁶⁾

(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った。

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のお願い」 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。 ○個人情報は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 $3^{\circ}\phi x3^{\circ}$ 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)及び居住制限区域臼石(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)及び臼石(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上が 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, *I**(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 (μ Gy/h) and the outdoor total dose rates due to Cs (μ Gy/h) (the left y-axis) or outdoor ambient equivalent dose rates, H*(10) (μ Sv/h) (the right y-axis) for 21 wooden houses in litate village.



Fig.3 Relationships between the floor material and the indoor dose rates due to uncollided Cs radiations $(\mu Gy/h)$ (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 しゃへい係数の評価

見かけのしゃへい係数, 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} = 住家内 1cm 線量当量率/住家外 1cm 線量当量率 (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。

真のしゃへい係数, 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} = 住家内のセシウム散乱線による線量率/住家外のセシウム全線量率 (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、真のしゃへい係数は約 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, か(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 かにより家の中は、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エット沈着を生じた。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。畳の目にい ったん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)

18

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。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 dosemeters 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" φx3" Nal(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 unfoding. Radioisotopes. 2001; 50: 463-471.

5) 湊進.セシウム混在場での 22x22 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^{*1}, Masahiro Hosoda^{*2}, Norimichi Juto^{*3}, Ikuo Kobayashi^{*3}

*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 litate 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。同日午後に放出された放射能は、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 µ 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 等による空気中放射能濃度 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1m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1m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気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 曝量と積算空気中濃度の 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。

24

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。

ROG	B	S P 35-90 X <u>U</u> -	• 11 • ⊞• <u>ð</u> • <u>A</u> •		= ≫·· ■ 课课	事折り返して 目 セルを結合	全体を表示する して中央増え・	文字列 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	条件付き テーブルとして セル
5197	R-F a		7x25	9	0	200	14	数值 4	2910
_	D1 05	*	(* Jr	-		1		1	
	A (#2210	日 住宅地図	0 81:61	D BT-S-2	E	F	G (53457-02	H	WIDSRA W SE
1	u-cao	~	-7-01	-702	80.00	Trevez at 1	116/465/10	TRUDUTAGAS	TRASUTINGE
2	1	1	蔚田	. 素宏	106	19	煎用	37 7291 0038	140.68416591
3			厨田		110	19	PULL	37,73028086	140.68581.021
4			馬岚		120			37.73089193	140.68628793
5			<u> </u>		127	19	机用	37.73217782	140.68677118
0			別山	二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二	142	19	別田	37.73344170	140.68707110
1			形田	東杰	210	19	1000 ·····	3//33/5000	140,66814324
2			周辺	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	230	13	<u>//:::::::::::::::::::::::::::::::::::</u>	37.7343000	140.68900427
-			府 (田)	幕穴	25U	18	11/100	07 705 40040	140.08554030
			<u>於闲</u>	AC.	1699		10:00	07 705 05004	140.00045000
10			1000 C		270	10	10000	97 70556000	140.00230075
12	10		<u>約</u> 四	- <u>-</u>	De.	10	前田	37 72746704	14067700416
14	13		前田		LAR.	19	1000	37 73046671	140 67669968
15	14	1	前 第 日	2200	118	19	10.000	37 721 74294	140.69073251
16	15	1	前田	2里田	126	19	1004	37 721 26520	140,69049255
17	16	1	前田	7品田	155	19	前田	37 72275666	140.68850482
18	17	1	前田	福田	160	19	前田	37.72287331	140.68818261
19	18	1	前田	福田	165	19	前田	37 721 67342	140.68822433
20	19	1	前田	福田	38	19	前田	37 721 25983	140.69641552
21	20	2	66	菅田	102	18	白石	37,70645289	140.69568561
22	21	2	白石	菅田	137-2	18	白石	37 70549188	140.69611339
23	22	2	86	莆田	147-3	18	臼石	37.70655009	140.69528007
24	23	2	白石	菅田	183	18	自石	37.70294494	140.69723286
25	24	2	8石	黄田	3	18	白石	37 70821 647	140.69152190
26	25	2	臼石	常田	44	18	EIT	37,70385306	140.69319419
27	26		白石	常田	79	18	印石	37.70481.421	140.69743834
28	27	2	臼石	(常田)	87	18	白石	37.70522516	140.69348301
29	28	2	85	常田	88	18	日石	37 70535571	140.69380798

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。



25

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/m²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/m2当り32.6mGy となった。



図4. セシウム 137 の初期沈着 100 万 Bq/m2 当りの地上1 m 積算空間線量

③飯舘村での初期外部被曝の分布

以下の仮定の基に、飯舘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:飯舘村の放射能沈着は、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、飯舘村全域の平均で約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.飯舘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、飯舘村への大気拡散シミュレーションを行った。



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 0.31m³/h、ヨウ素 131 の甲 状腺等価換算係数 1.4×10⁻³ mSv/Bq)を示す。飯舘村全域の平均で 24mSv、最大 55mSv、最小 14mSv 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3mSv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 10~50mSv の甲状腺等価線量は、 JAEA 等の研究者に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 12mSv で、ずっと野外に居 た場合の小児甲状腺等価線量は24mSv 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 Fulushima-1 NPP Accident

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

Tetsuji Imanaka^{*1}, Noriyuki Kawano^{*2}, Satoru Endo^{*3}, Shojiro Akashi^{*4}, Shoji Ozawa^{*5}, Masuro Sugai^{*6}, Gohey Hayashi^{*7}

*¹Research Reactor Institute, Kyoto University
 *²Institute for Peace Sciences, Hiroshima University
 *³Graduate school for Engineering, Hiroshima University
 *⁴Reportage Institute
 *⁵NPO Ecology Archiscape
 *⁶Fucalty of Economy, Kokugakuin University
 *⁷Graduate 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、土壌汚染データ、エアーフィルタ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って 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/m².

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.飯舘村上空の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^{*1}, Takayuki Obata^{*2}

^{*1}Kanazawa Seiryo University Women's Junior College ^{*2}Institute for Spatial Information Infrastructure

Keywords: Fukushima-1 NPP accident, litate 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 god 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.

テーマⅡ 放射線による健康影響の解明に関する研究

Ⅱ-1 階層的ゲノミクス解析を基盤とした放射性物質による

健康影響の解明

階層的ゲノミクス解析を基盤とした放射性物質による健康影響の解明

研究者:

秋光信佳(東京大学アイソトープ総合センター、准教授)

研究要旨:

本研究では、放射線によるヒト細胞への影響を分子レベルで明らかにすることを目的に、 エピジェネティック制御レベルと RNA 発現パターンレベルに着目し、放射線による細胞影 響を網羅的に解析した。具体的には、東京大学アイソトープ総合センターで確立した外部 照射及び内部照射ヒト細胞モデルに対する新型シーケンサー解析を実施した。さらに、 100mSv 以下の低線量の放射線照射での DNA2本鎖切断の形成を細胞生物学的に調べた。そ の結果、未照射細胞に比べて、100mSv 以下の低線量の放射線照射でも 53BP1 と gammaH2AX の核内フォーカスの形成が有為に増加することを見いだした。さらに、100mSv 未満の低線 量被ばくでも発現レベルの変動する遺伝子候補として複数の遺伝子を見いだした。

分担研究者氏名: 曽根秀子(独立行政法人 国立環境研究所、主任研究員) 研究協力者氏名: 桂真理(東京大学アイソトープ総合センター、特任助教)

キーワード:

放射性セシウム、低線量被ばく、新型シーケンサー、エピゲノム、トランスクリプトーム

I. 研究目的:

2011年3月11日に発生した地震と津波による壊滅的破壊によって引き起こされた福島原 子力発電所事故では、大量の放射性物質が東日本の広範囲の地域に飛散した。当初は放射 性ヨウ素による健康被害が懸念されたが、物理的半減期の短い放射性ヨウ素は速やかに消 失し、事故後2年を経過しようとする現在、環境中に飛散した放射性物質の中で、特に健 康影響の観点から問題視されるのはセシウム 134 やセシウム 137 といった放射性セシウム である。

環境中に放出された放射性セシウムによる健康影響を考える上では、外部被ばくと内部 被ばくに分けて考える必要がある。これまでの研究から、放射性セシウムによる外部被ば く影響についてはある程度判明している部分があるが、放射性セシウムによる内部被ばく 影響については不明な点が多い。特に、100mSv以下の低線量被ばくによる健康影響につい ては、外部被ばく影響についても不明な点が多いが、内部被ばく影響についてはさらに良 く分っていない。 従来の放射線によるヒトへの健康影響は、主に広島・長崎の被ばく者に対する疫学調査 結果を基盤に見積もられてきた。しかしながら、低線量被ばくによる健康影響については、 疫学調査ではバックグラウンドとの区別をするための統計的解析の検出感度が低下するた め、不明な点が多い。このような疫学調査の限界を埋めるため、放射線による健康影響を ゲノミクス解析によって分子レベルで解析することが社会的に求められている(「提言 放 射能対策の新たな一歩を踏み出すために」、平成24年度4月9日、日本学術会議)。

放射線を被ばくさせたときの影響として、例えば、低線量ガンマ線照射によりゲノム中 の 7q11 領域の重複頻度が高くなる例 (Hess et al., Proc Natl Acad Sci U S A., 108, 9595-9600 (2011)) や、DNA 障害修復複合体の新たな構成分子としてノンコーディング RNA が重要であることが報告されている (Francia S. et al. Nature, 488, 231-235 (2012))。 研究代表者らも DNA 損傷応答等に関与するノンコーディング RNA を報告してきた (Mizutani et al. PLoS ONE, 7, e34949 (2012))。放射性セシウムの内部被ばくのゲノムレベル影響 についてはよくわかっていない。さらに、外部被ばくも、低線量域の生物影響は不明な点 が多い。

上記のような状況を踏まえ、本研究では、放射性セシウムによる低線量外部被ばく及び 内部被ばくがどのような健康影響を引き起こすかをゲノムミクス解析から明らかにする。 具体的には、放射性セシウムに被ばくしたヒト細胞について、①エピジェネティック制御 変化の有無、②RNA 発現パターン変化の有無、を調べる。また、大量のシーケンスデータを バイオインフォマティックス解析して系統的に解析する(図 1)。東京大学アイソトープ総 合センターでは、放射性セシウムによる内部被ばく影響を分子レベルで解析するために、 培養細胞に直接放射性セシウムを添加してその影響を外部照射と比較するシステム(内部 照射影響の細胞レベル評価系)を確立してきた。本研究では、この独自のシステムを活用 した。さらに、新しく見いだされた放射線応答遺伝子については、その機能を分子生物学 的・細胞生物学的・生化学的に調べる。これらのデータを統合解析して、これまで不可能 であった低線領域ならびに内部被ばくにより起こりうる健康影響を予測可能とし、住民の 健康保持へ活用できる基盤的データを作成する。この作業により、低線量放射線被ばくの 影響を評価する基盤を構築する。



図1:研究フローの概略図

II. 研究方法

東京大学アイソトープ総合センターでは、放射性セシウムによる内部被ばく影響を分子 レベルで解析するために、培養細胞に直接放射性セシウムを添加してその影響を外部照射 と比較するシステム(内部照射影響の細胞レベル評価系)を確立してきた。本研究では、 この独自のシステムを活用し、最新技術である新型シーケンサー解析を利用して、低線量 の放射線照射による生物影響をエピゲノム変化とトランスクリプトーム変化の観点から解 析した。さらに、放射線被ばくでは DNA 障害に対する細胞レベル応答としての DNA 損傷応 答が重要であるが、100mSv 以下の低線量被ばくでも有為に核内フォーカスの形成数が増加 するかを細胞生物学的手法で調べた。

【1】培養細胞を用いたセシウム 137 の外部照射と内部照射の細胞レベル影響解析

正常ヒト培養細胞株 TIG3 を用い、①セシウム 137 のガンマ線外部照射により、細胞を外 部照射する系(セシウム-137 密封線源を用いたガンマ線照射)、②細胞培地中にセシウム 137 を添加して内部照射する系(被ばく線量は、モンテカルロ方式で算定)、の2つの系に ついて、線量率と照射期間を系統的に変化させた被ばく実験(積算線量は 100mSv 以下に設 定する)を実施した。

次に、新型シーケンサーを用いて、上記2種類の条件で被ばくした細胞における RNA 発 現パターンの変動(メッセンジャーRNA とノンコーディング RNA の両方を解析)を系統的か つ網羅的に調べた(図2)。



図2: 培養細胞を用いたセシウム137の外部照射と内部照射の細胞レベル影響解 析の実験フロー DNA 損傷応答に関与する蛋白質の画像解析(主に免疫染色、蛍光蛋白発現等を利用)、染色体解析によって外部照射と内部照射の差の有無を検討する。具体的には、γ H2AX、53BP1の核内フォーカス形成(DNA 二本鎖切断のマーカー)変化を調べ、外部照射条件と内部照射条件の違いが引き起こす細胞レベル影響の違いを明らかにする(図 3)。



図3:放射性セシウムの低線量外部照射と内部照射が引き起こす核内DNA修復複合体の形成

【3】ES 細胞の分化系を用いた、放射性セシウムの内部照射による胎児期・小児期の発生 に対する影響評価 分担研究者は、ES 細胞から作出したヒト胚様体細胞を用いて、細胞に対するストレス影響を評価するシステムを構築している(図 4)。本研究では、この分化システムを活用して、細胞培地中にセシウム137を添加して内部被ばくを模倣した条件で放射線被ばくさせつつ、 1週間~1ヶ月の間分化培養する。DNA 及び RNA の損傷、細胞形態変化及びリアルタイム PCR 解析を実施する。また、免疫蛍光染色を施したサンプルについてマルチチャンネル 細胞画像解析装置で組織化学的に解析する。

Benz[a]pyrene3日間曝露による形態変化の観察: 最終曝露後1日目(神経分化開始1日目)



Benzo[a]pyrene 10-7M

Benzo[a]pyrene 10⁻⁶M

Benzo[a]pyrene 10⁻⁵M

図4:ES細胞分化系を用いた、神経細胞分化影響のアッセイ系

III. 研究結果

TIG-3 培養細胞に対して、セシウム 137 を内部照射してトランスクリプトーム解析した結

果、100mSv以下の放射線照射でも発現変動している遺伝子の候補を複数発見した(図 5)。 また、3種類のヒト初代培養細胞に対して放射性セシウムを外部照射と内部照射したとき に形成される核内構造体の数を調べた結果、外部照射と内部照射との間に明瞭な違いは無 かった(図 6)。



図5:低線量の放射性セシウムの内部照射によって発現変動したノンコーディングRNA



図6:外部照射条件と内部照射条件で形成される核内フォーカス数 IV. 考察 核内フォーカス形成を指標にすると、100mSv 未満でも放射性セシウムによる細胞レベル の被ばく影響は定量化できた。一方、内部照射条件と外部照射条件で核内フォーカス形成 数に違いは認められなかったため、線量を一定にした場合、その DNA 障害影響は同程度と 考えられる結果を得た。

また、低線量照射では、一群の遺伝子発現の起きている可能性が考えられた。

V. 結論

今回の低線量域における放射線の細胞レベル影響解析から、100mSv以下でも細胞にたい する放射線影響が考えられた。今後は、今回の解析で認められた変化が細胞に対してどの ような影響があるかを詳細に解析して行く必要があると思われる。特に、慢性炎症などの 持続的刺激が細胞にエピジェネティックな変化を引き起こす例が知られているため、エピ ゲノム変化との対応の解析は極めて重要と考えられる。平成25年度は、この点を特に解析 する必要があると考えられる。

VI. 次年度以降の計画

平成25年度では、ノンコーディングRNAの機能も解析する(研究分担者と協力して実施 する)。同時に、低線量の外部照射と内部照射の間でDNA損傷応答に違いがあるか否かも調 べる。また、本研究の実施に当たっては放射線量の計算が極めて重要である。そのため、 新たに石崎梓博士(東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻先進原子核工学講 座石井研究室・助教)が研究協力者として被ばく線量計算を実施する。

この研究を通じて、放射線による健康影響に関する科学的知見の高度集積を行い、健康 リスクの試算のための資料を提示し、原子力災害からの福島の復興・再生に貢献する。

文献

- Mizutani R., Wakamatsu A., Tanaka N., Yoshida H., Tochigi N., Suzuki Y., Oonishi T., Tani H., Tano K., Ijiri K., Isogai T. and <u>Akimitsu N</u>., (2012) Identification and characterization of novel genotoxic stress-inducible nuclear long noncoding RNAs in mammalian cells., PLoS ONE, 7, e34949.
- Julia Heß, Gerry Thomas, Herbert Braselmann, Verena Bauer, Tatjana Bogdanova, Johannes Wienberg, Horst Zitzelsberger, and Kristian Unger, (2011) Gain of chromosome band 7q11 in papillary thyroid carcinomas of young patients is associated with exposure to low-dose irradiation. Proc Natl Acad Sci U S A., 108, 9595-600
- Francia S, Michelini F, Saxena A, Tang D, de Hoon M, Anelli V, Mione M, Carninci P, d'Adda di Fagagna F. (2012) Site-specific DICER and DROSHA RNA products control the DNA-damage response. Nature., 488, 231-235.

Study of Health Effects by radiation based on hierarchical genomic analysis

Mari Katsura¹, Hideko Sone² and Nobuyoshi Akimitsu¹

¹ Radioisotope Center, The University of Tokyo, 2-11-16 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-0032, Japan.

² Health Risk Research Section, Center for Environmental Risk Research, National Institute for Environmental Studies Tsukuba, Ibaraki, Japan.

Keywords: radioactive cesium, low dose exposure, next generation sequencer, epigenome, transcriptome

Abstract

In this research, we analyzed cellular effect in response to radiation by focusing epigenome and transcriptome revel. To this end, we employed a novel cell-based approach that enable to estimate the external and internal exposures. In addition, we examined the formation of DNA repair complex, such as 53BP1 foci and gammaH2AX foci, in the cell exposed with 100mSv radiation. We found that the formation of DNA repair complex was significantly increased within 100mSv radiation. Moreover, we identified several novel transcripts induced by low dose radiation.

階層的ゲノミクス解析を基盤とした放射性物質による健康影響の解明

胎児影響モデルの胚様体細胞アッセイを活用した影響閾値限界の推定

曽根 秀子(独立行政法人国立環境研究所 環境リスク研究センター・主任研究員)

研究要旨

放射性セシウムの内部被ばくによる胎児への健康影響レベルを明らかにすることは重要課題の 一つである。しかし、疫学調査では、因果関係を明確にすることは困難であり、実験動物では、 ヒトとの種差が存在する。両者のギャップを埋める施策が必要である。

そこで、本研究では、胎児細胞モデルであるヒト多能性幹細胞(ES/iPS)由来の胚様体を活用 して、神経細胞への分化に対する内部照射の影響を調べる。そのため、今年度は、陽性対照とし て用いるベンツ[a]ピレンの影響とパイロット実験として 200 mSv 及び 400 mSv の Cs 137 の外部 照射による影響を検討した。

キーワード:胎児影響、胚様体、細胞アッセイ、閾値、神経細胞

研究協力者氏名:桂真理(東京大学アイソトープ総合センター、特任助教)
 福田智一(東北大学大学院農学研究科,准教授)
 大追誠一郎(東京大学大学院医学研究科,准教授)
 研究代表者 秋光信佳(東京大学アイソトープ総合センター、准教授)

I 研究目的

本研究の目的は、小児など、放射線に対する脆弱な集団を対象とする内部被ばく基準の設定な ど、放射線の健康リスク評価に貢献できる基礎データの集積である。その必要性は、低線量内部 被ばくの科学的根拠が極めて少ない状況であるために正確な健康リスク評価ができないことにあ る。提案者は、これまでに、ヒト胚様体からの神経分化アッセイを用いて環境化学物質の健康リ スク評価を実施してきた。具体的には、ヒトにおいて神経毒性が認められているメチル水銀及び サリドマイドをヒト胚様体から神経細胞に分化する過程に曝露し、神経突起長や、細胞数に影響 を及ぼしていることを確認している(下記文献7,9,11)。また、同様のヒトES由来胚様体から神経 細胞の分化時期における発達神経毒性物質ならびに発ガン性物質の曝露実験から得た遺伝子発現 変動情報を基に、最大エントロピーカーネルを利用したサポートベクターマシン(SVM)による 判別予測を実施し、神経毒性物質に対しては86.6%、発ガン性物質で93.3%の確率で判別可能であ る結果を得ている(平成23年度厚生労働化学物質リスク事業最終報告書課題代表者大迫誠一郎)。 従って、本アッセイ系は十分に発達神経毒性物質ならびに発ガン性物質の検出に有用であること を確認している。本分担課題では、ヒト細胞における放射線(セシウム137)の影響について、細胞 レベルで量・反応関係を把握することにより、今後の曝露閾値推定の基礎データを取得する。ま た、そのための健康リスク評価に利用可能な影響指標を同定する。さらに、どのライフステージ を考慮して安全性を確保することが重要なのか等、人の発達段階における感受性の変化を考慮し たリスク評価・管理の実現に資するデータを取得する。このことにより、精神発達遅滞、発癌性、 催奇形性など、放射線内部被ばくによる関連疾患の発症機序解明に貢献することを目的とする。

Ⅱ 研究方法

細胞は、市販のヒトES H9 細胞株由来の神経前駆細胞 (H9NPC、ミリポア)を用いた。凍結 H9NPC は、温浴融解後、細胞懸濁液を 15 ml 遠心管に回収し、1000 rpm で 5 分間遠心後、上清を吸引除 去する。細胞は神経増殖培に懸濁後、bFGF を添加したヒト神経増殖培地を満たしたオルニチン・ ラミニンコートしたディッシュに播種し、37 °C/3% CO₂ 条件下で培養した。培養には、ヒトES 維持培地に類似した神経増殖培地 (DMEM/F12, 20% (vol/vol) Knockout Serum Reolacement (KSR), 5ng/ml recombinant human bFGF, 0.1mM 2-mercaptoethanol (2-ME), 2mM glutamine, 0.1mM nonessential amino acids (NEAA))を用い、5% CO2 濃度で維持培養を行った。一定期間継代・ 増殖後、ヒトES 細胞乖離液 (0.25% trypsin, 0.1mg/ml collagenase IV, 20% KSR, 1mM CaC12) で 37°C、7 分間反応させた。その後、96 穴 Nunc プレートに 3000 個の細胞をまいてニューロスフ ィア胚様体 (nEB)を形成させた。セシウム 137 の 400mSv 及び 200mSv を 3 日間外部照射した。 別に 0.1% DMSO に溶かしたベンツ[a] ピレンを同じ期間曝露した。nEB 形成 5 日後に、DMEM/F12 培地に N-2, B-27, bFGF, Noggin などの神経誘導試薬を添加した神経分化培地を満たした LN511 コート-プレートに播種し、nEB からの神経の進展を一週間観察した。

(倫理面への配慮)

組み換え DNA 実験では、「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律」を遵守し、かつ国立環境研究所内規定に従って安全面に十分注意して実施した。

本研究で使用するヒトES細胞由来の胚様体は、分化細胞であるため、ヒトES細胞利用研究 指針の規制外にある。尚、国立環境研究所におけるヒト ES細胞の使用の研究は、文部科学省の ヒト ES細胞使用実験倫理審査委員会において、ES細胞使用を承認されている。また、実験を始 める前に基本的な技術の習得、及び倫理的な認識を向上させるための教育研修を樹立機関である 京都大学再生医学研究所付属幹細胞医学研究センターで受講した。国立環境研究所内でヒト ES 細胞を巡る法律、社会的位置づけ、ヒト ES細胞の樹立及び使用に関する指針の内容理解、法令 遵守、倫理や法律の勉強会等を年に1回実施した。研究倫理上の問題は研究遂行上全てクリアさ れている。定められた規制に従ってヒト ES細胞を取扱い、ヒト ES細胞をヒトとしての生命の 萌芽としての尊厳を守るように心がけた。

(当該研究を行った際に実施した倫理面への配慮の内容及び方法について、記入すること。また、 倫理面の問題がないと判断した場合には、その旨を記入するとともに必ず理由を明記すること。)

Ⅲ 研究結果

図1には今回用いた H9NPC の標準プロトコルを示した。従来の標準プロトコルでは少なくとも 神経分化には 46 日以上の日数がかかる。そこで、今回①EB 形成デバイス、②各分化誘導期間の 検討、③神経分化誘導試薬の検討の3点について検討し、最終的に図1A のような2週間以内で 終了する手法に改変した。この条件で、発がん物質として知られているベンツ[a]ピレン(BaP) 10⁻⁸~10⁻⁵M と Cs137 200mSv, 400mSv を添加し、神経分化の影響を調べた。実験は、合計4回行っ た。その内訳を図1B に示した。すなわち、実験1は EB 形成5日後に 10⁻⁸~10⁻⁵M の4種類の濃 度の BaP を曝露し、3日間培養後分化培地中に EB を移し8日間培養し形態を観察した。実験2は EB 形成2日後に 10⁻⁸~10⁻⁶M の3種類の濃度の BaP を曝露し、3日間培養後分化培地中に EB を移 し8日間培養し形態を観察した。これを2プレート実施した。実験3はEB 形成2日後に 10⁻⁷~10⁻⁵M の3種類の濃度の BaP を曝露し、3日間培養後分化培地中に EB を移し8日間培養し形態を観察し た。実験4は EB 形成2日後に 200 mSv 及び 400 mSv の2種類の線量率の Cs 137を曝露し、3日 間培養後分化培地中に EB を移し8日間培養し形態を観察した。

その結果、実験1では、分化培地に移植直後は、10⁻⁶M から nEB からの神経の伸展が阻害され、10⁻⁵M では、ほとんど見られなかった(図 2)。移植7日後でも10⁻⁶M 及び10⁻⁵M で神経の伸展の抑制が観察された。一方、実験2では、最高濃度の10⁻⁵Mを行わなかった。10⁻⁶M では、抑制がほとんど認められなかったプレート(図 3)とよく抑制したプレート2(図 3-2)とプレートによって、影響の度合いがまちまちであった。また、プレート2では、免疫蛍光化学的染色のために、PFA 固定をすると、神経細胞や線維が洗浄の段階で剥がれ落ちてしまった。そこで、再度、実験3として曝露を実施した(図 4)。実験1及び2とも10⁻⁶MのBaPでは、nEB からの伸展の抑制が認められていなかったので、今回は、BaP の濃度を10⁻⁷~10⁻⁵M に設定し曝露を実施した。その結果、用量依存的に nEB からの神経細胞の伸展が認められた。そこで、実験4の200 mSv 及び400 mSv の2種類の線量率のCs 137を曝露した(図 5)。その結果、コントロールに比べ、nEB からの神経細胞の伸展が認められた。そこで、実験4の200 mSv 及び400 mSv の

IV 考察

以上の結果より、BaP 曝露により nEB からの神経細胞の伸展が濃度依存的に抑制されることが わかった。この結果は、通常汎用されている神経細胞の PC12 細胞でも 10⁻⁵M BaP で神経突起長が 抑制されるという報告(Slotkin TA and Seidler FJ, Brain Res Bull. 2009)があり、それと一 致した。したがって、BaP の毒性作用は発がん性であることが古くから知られているが、神経分 化にも影響を及ぼすことが再確認できた。この細胞アッセイプロトコルを用いて 200 mSv 及び 400 mSv の 2 種類の線量率の Cs 137 を曝露した。200 mSv 及び 400 mSv の Cs 137 による影響は、10⁻⁵M の BaP より小さいものと考えられた。今後、さらに、神経線維の蛍光染色を施して、定量計測を 実施し、精度の高い量反応関係を求めて行く予定である。またプレート間のばらつきなどの原因 を追究して、精度の高いアッセイに改善する。

この研究に関する現在までの研究状況、業績

(原著論文等(和文・英文)を学術雑誌等で発表している場合には次の書式にて記入すること。)

 Qin XY, Sone H, Kojima Y, Mizuno K, Ueoka K, Muroya K, Miyado M, Hisada A, Zaha H, Fukuda T, Yoshinaga J, Yonemoto J, Kohri K, Hayashi Y, Fukami M, Ogata T. (2012) Individual variation of the genetic response to bisphenol A in human foreskin fibroblast cells derived from cryptorchidism and hypospadias patients. PLoS One. 2012;7(12):e52756.

- 2) Fukuda T, Kurita J, Saito T, Yuasa K, Kurita M, Donai K, Nitto H, Soichi M, Nishimori K, Uchida T, Isogai E, Onuma M, Sone H, Oseko N, Inoue-Murayama M. (2012) Efficient establishment of primary fibroblast cultures from the hawksbill sea turtle (Eretmochelys imbricata). In Vitro Cell Dev Biol Anim. Dec;48(10):660-665.
- 3) Qin XY, Akanuma H, Wei F, Nagano R, Zeng Q, Imanishi S, Ohsako S, Yoshinaga J, Yonemoto J, Tanokura M, Sone H. (2012) Effect of low-dose thalidomide on dopaminergic neuronal differentiation of human neural progenitor cells: a combined study of metabolomics and morphological analysis. Neurotoxicology. Oct;33(5):1375-1380.
- Akanuma H, Qin XY, Nagano R, Win-Shwe TT, Imanishi S, Zaha H, Yoshinaga J, Fukuda T, Ohsako S, Sone H. (2012) Identification of Stage-Specific Gene Expression Signatures in Response to Retinoic Acid during the Neural Differentiation of Mouse Embryonic Stem Cells. Front Genet. 2012;3:141:1-12
- 5) Qin XY, Kojima Y, Mizuno K, Ueoka K, Massart F, Spinelli C, Zaha H, Okura M, Yoshinaga J, Yonemoto J, Kohri K, Hayashi Y, Ogata T, Sone H. (2012) Association of variants in genes involved in environmental chemical metabolism and risk of cryptorchidism and hypospadias. J Hum Genet. 57(7):434-441.
- 6) Qin XY, Kojima Y, Mizuno K, Ueoka K, Muroya K, Miyado M, Zaha H, Akanuma H, Zeng Q, Fukuda T, Yoshinaga J, Yonemoto J, Kohri K, Hayashi Y, Fukami M, Ogata T, Sone H. (2012) Identification of novel low-dose bisphenol a targets in human foreskin fibroblast cells derived from hypospadias patients. PLoS One. 7(5):e36711.
- 7) He X, Imanishi S, Sone H, Nagano R, Qin XY, Yoshinaga J, Akanuma H, Yamane J, Fujibuchi W, Ohsako S. (2012) Effects of methylmercury exposure on neuronal differentiation of mouse and human embryonic stem cells. Toxicol Lett. 7;212(1):1-10.
- Qin XY, Fukuda T, Yang L, Zaha H, Akanuma H, Zeng Q, Yoshinaga J, Sone H. Effects of bisphenol A exposure on the proliferation and senescence of normal human mammary epithelial cells. Cancer Biol Ther. 2012 Mar;13(5):296-306.
- 9) Nagano R., Akanuma H., Qin X.Y., Imanishi S., Toyoshiba H., Yoshinaga J, Ohsako S., Sone H. (2011) Multi-Parametric Profiling Network Based on Gene Expression and Phenotype Data: A Novel Approach to Developmental Neurotoxicity Testing. Int J Mol Sci 2;13(1):187-207.
- 10) Qin X.Y., Wei FF, Yoshinaga ., Yonemoto J, Tanokura M., Sone H. (2011) siRNA-mediated knockdown of aryl hydrocarbon receptor nuclear translocator 2 affects hypoxia-inducible factor-1 regulatory signaling and metabolism in human breast cancer cells. FEBS Lett 585(20):3310-3315.
- 11) Qin X.Y., Zaha H., Nagano R., Yoshinaga J., Yonemoto J., Sone H. (2011) Xenoestrogens down-regulate aryl-hydrocarbon receptor nuclear translocator 2 mRNA expression in human breast cancer cells via an estrogen receptor alpha-dependent mechanism. Toxicol Lett 206 (2): 152-157.
- 12) Imanishi S., Okura M., Zaha H., Yamamoto T., Akanuma H., Nagano R, Shiraishi H, Fujimaki H., Sone H. (2011) Prenatal Exposure to Permethrin Influences Vascular Development of Fetal Brain and Adult Behavior in Mice Offspring. Environ Tox http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/tox.20758/abstract).

- 13) Mitsuhashi T, Yonemoto J, Sone H, Kosuge Y, Kosaki K, Takahashi T. (2010) In utero exposure to dioxin causes neocortical dysgenesis through the actions of p27Kip1. Proc Natl Acad Sci U S A. 107(37):16331-5.
- 14) Sone H, Okura M, Zaha H, Fujibuchi W, Taniguchi T, Akanuma H, Nagano R, Ohsako S, Yonemoto J. (2010) Profiles of Chemical Effects on Cells (pCEC): a toxicogenomics database with a toxicoinformatics system for risk evaluation and toxicity prediction of environmental chemicals. J Toxicol Sci. 35(1):115-23.
- 15) Ohsako S, Fukuzawa N, Ishimura R, Kawakami T, Wu Q, Nagano R, Zaha H, Sone H, Yonemoto J, Tohyama C. (2010) Comparative contribution of the aryl hydrocarbon receptor gene to perinatal stage development and dioxin-induced toxicity between the urogenital complex and testis in the mouse. Biol Reprod. 82(3):636-43.
- 16) Sone H, Fukuda T, Toyoshiba H, Yamanaka T, Perham F, Portier C. (2010) Importance of CDK7 for G1 re-entry into the mammalian cell cycle and identification of new downstream networks using a computational method. The Open Cell Signaling Journal 2: 1-12. Alam MS, Ohsako S, Matsuwaki T, Zhu XB, Tsunekawa N, Kanai Y, Sone H, Tohyama C and Kurohmaru M. (2010) Induction of spermatogenic cell apoptosis in prepubertal rat testes irrespective of testicular steroidogenesis: A possible estrogenic effect of di (n-butyl) phthalate. Reproduction. 139: 427-437.
- 17) Fujibuchi W, Kim H, Okada Y, Taniguchi T, Sone H. (2009) High-performance gene expression module analysis tool and its application to chemical toxicity data. Methods Mol Biol 577:55-65.





В

実験 No	nEB形成期間	曝露の種類	濃度	曝露期間	分化期間
1	5日間	BaP	10 ⁻⁸ M - 10 ⁻⁶ M	3日間	8日間
2	2日間	BaP	10 ⁻⁸ M - 10 ^{-6M}	3日間	8日間
3	2日間	BaP	10 ⁻⁷ M - 10 ^{-5M}	3日間	8日間
4	2日間	Cs137	200mSv, 400mSv相当	3日間	8日間

図1. 胎児影響モデルの胚様体細胞アッセイの概略図

A)標準実験プロトコル

B)4回の実験内訳

図2 実験1 陽性対照BaP曝露



図3 実験2 陽性対照BaP (20130204)plate1

Bap-曝露day3

分化誘導day3

分化誘導day7





図4 実験3 陽性対照BaP曝露





図5-1 実験4 Cs 134/137曝露

X4 明視野観察



図5-2 実験4 Cs 134/137曝露

X 10 明視野観察

Prediction of dose-effects from low level radiation exposure in the embryoid body differentiation assay as a model of fetal effects

Hideko Sone¹, Mari Katsura², and Nobuyoshi Akimitsu²

¹ Health Risk Research Section, Center for Environmental Risk Research, National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki, 305-8506, Japan.

² Radioisotope Center, The University of Tokyo, 2-11-16 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-0032, Japan.

Keywords: radioactive cesium, fetal effect, neuropsphere, environmental health, embryonic body

Abstract

To clarify health effects on fetus due to the internal radiation exposure is one of the important issues for the radioactive cesium at low levels. Since species differences with human exist in the laboratory animals and the epidemiological study is difficult to make causation by the radiation exposure at low levels clear, an approach to fill the gap of both is necessary. In this study, we investigated that effects of the radiation on the differentiation to neuronal cells using the neuronal embryoid body (nEB) derived from human embryonic stem cells as a fetus development model *in vitro*. nEBs were exposed to external radioactive cesium-137 of 200mSv/h, 400mSv/h, or Benz[*a*]pyrene for three days during growing of nEBs. Then morphological analysis was examined at 1 week after exposures of radiations or chemicals. Potential effects of exposure to external radiation on neuronal differentiation of nEBs were compared with a chemical carcinogen.