

低線量率放射線長期連続照射によるマウス急性骨髄性白血病の起因となる PU.1 遺伝子変異の線量率依存性の解析

～放射線発がんの線量率効果の仕組みを考える～

甲斐倫明（大分県立看護科学大学看護学部 教授）

研究要旨

福島原発事故以来、関心の高い低線量率放射線の長期連続被ばくによる健康リスクを科学的に理解するためには、正常な細胞からがん細胞が発生するまでの種々の生物学的プロセスに対する放射線の影響を線量率および集積線量の違いによって明らかにしていかななくてはならない。我々はこれまでに C3H 系マウスの造血系細胞における細胞動態実験とその細胞動態の数値モデルによって rAML（放射線誘発急性骨髄性白血病）発症までの生物学的プロセスを考察してきた。その結果、rAML の起源となる細胞（HSC, MPP, CMP, CLP）が白血病幹細胞に変化するには、放射線によってこれらの細胞群の全体的な細胞動態の変化（細胞増殖、細胞死、細胞分化）が関与している可能性が示唆された。そこで本研究はこの可能性に基づき、rAML の起源となる細胞を対象に、低・中・高線量率で放射線を照射後、1) 細胞数、2) DNA 損傷を持つ細胞数、3) rAML に必須な *Sfp1* 遺伝子の変異 (2 番染色体異常) を持つ細胞の割合、4) *PU.1* の発現が抑制されている細胞の割合の経時的变化を検討し、低線量率放射線による発がんリスクの科学的評価を行うことを目標としている。本年度は高線量率での実験を開始した。現在、C3H 系マウスに 1 Gy/min の線量率で 200 mGy、1000 mGy、3000 mGy の γ 線を全身に照射し、24 時間後における末梢血レベル (WBC, RBC, PLT) および造血系レベル (ST-HSC, LT-HSC, CMP, CLP) の細胞数の変化を解析中である。今後、低・中線量率での実験も開始し、rAML に繋がる変異が線量率依存的に生じるのか明らかにする予定である。

キーワード：放射線、細胞動態、老化、活性酸素種、DNA 損傷、急性骨髄性白血病 (AML)

研究協力者：廣内篤久（環境科学技術研究所）

I. 研究目的

二動原体染色体は 1960 年代から放射線影響のエンドポイントとして最も調べられてきた。我々は本研究に先立ち、二動原体染色体発生頻度と集積線量、ならびに線量率の関係に着目して文献調査を行った。文献調査の対象は *in vitro* での人の抹消血リンパ球に X 線または γ 線を照射した実験である。二動原体染色体発生頻度と線量率の関係においては、集積線量が 1000 mGy 未満での線量率効果（同じ線量でも線量率の低い方の影響が小さい現象）は観察されないことが分かった¹⁾が、調査対象の文献での最小線量率は 0.5 mGy/min 以上で低線量率によるものはなかった。しかし *in vivo* では、最近マウスに 0.0007~0.14 mGy/min の低線量率 γ 線を集積線量 100~8,000 mGy まで照射し、脾細胞の二動原体染色体発生頻度に関する報告があった。この中で使用された最も低い線量率は自然放射線レベルの約 400 倍、現在の福島県内の立入制限区域の約 10 倍程度に相当する。この報告では、集積線量 250 mGy で、0.0007mGy/min と 0.014 mGy/min の低線量率で線量率効果が観察されている²⁾。従って、*in vivo* での極めて低い線量率領域での線量率効

果を発がんなどの疾患で解析することが重要であると考えられた。

放射線発がんの代表例として急性骨髄性白血病がある。これまでの研究で、放射線誘発急性骨髄性白血病 (rAML、radiation-induced acute myeloid leukemia) を発症したマウスの骨髄細胞には 2 番染色体上の *Sfpi1* 遺伝子領域を含む欠失型異常と、対立する 2 番染色体上の *Sfpi1* 遺伝子に点突然変異が生じていることが分かってきた²⁻⁹⁾。しかし、これらの異常が放射線照射後、いつ、どのようにして生じるのか未だ明らかではない。そこで、我々は rAML の発症機構として下記の仮説を立てた。「放射線の照射により抹消血球細胞数が減少し、これを補うために造血幹細胞 (HSC、hematopoietic stem cell) が平常時に比べて過剰に増殖する。また、放射線は同時に HSC の 2 番染色体上の *Sfpi1* 遺伝子座の片側を欠失させる。その後、HSC の過剰増殖により複製ストレスや早期老化が生じ、残存するもう一方の *Sfpi1* 遺伝子座に点突然変異を誘発する。これによって *Sfpi1* 遺伝子の転写因子である *PU.1* の発現が完全に抑制され HSC は白血病幹細胞に変異する。」この仮説のように放射線の間接的な細胞動態の変化によるがん化の促進は、甲状腺がんや胸腺リンパ腫等でも提言されている^{10, 11)}。そこで、我々は前回の環境省の事業 (研究課題名：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発がんリスクの描写、研究期間：2012 年 4 月～2015 年 3 月) で低線量率 (20 mGy/day)、中線量率 (200 mGy/day) および高線量率 (1,000 mGy/min) の γ 線を C3H 系マウスに 3 Gy まで照射し、HSC の細胞数の変化を調べた。その結果、中線量率と高線量率の γ 線では短期的な HSC の細胞数減少が観察されたが、低線量率 γ 線では細胞数の変化は認められなかった。しかし、分裂した HSC は分化と自己複製という 2 種類の細胞動態を示すが、前回事業ではこの HSC の非対称的な細胞動態を勘案しておらず、過剰増殖による影響の評価が一部十分ではなかった。

また、2010 年に Bondar らは 1Gy の放射線を照射した C57BL/6 マウスと非照射の C57BL/6 マウスの骨髄細胞を混合し、致死線量を照射した C57BL/6 マウスに移植する実験を行い、1Gy を照射したマウス由来の HSPC (Hematopoietic cells and progenitor cells) は、移植後、骨髄再建に寄与する割合が非照射マウス由来の HSPC に比べて低いことを報告した¹²⁾。この結果は、放射線によって、DNA 損傷を受けた HSPC は、細胞競合の結果、排除されてしまうことを意味している。この現象が一般的に生じるならば、放射線が HSC に 2 番染色体の欠失型異常を誘発したとしても、細胞集団の中で当該細胞の増殖・分化は抑制され、rAML の白血病幹細胞には発展しにくいことになる。この現象は rAML の線量率効果を考える上では非常に重要である。

これらのことより、本研究では高・中・低線量率で集積線量が 200 mGy、1 Gy、3 Gy になるまで γ 線をマウスに照射し、rAML の起源となる細胞 (長期造血幹細胞 (LT-HSC)、短期造血幹細胞 (ST-HSC)、多能性前駆細胞 (MPP)、リンパ球系共通前駆細胞 (CLP)、骨髄球系共通前駆細胞 (CMP)) を対象にして、1) 細胞数、2) DNA 損傷数、3) 2 番染色体上の *Sfpi1* 遺伝子の欠失型異常を持つ細胞の割合、4) *PU.1* の発現が抑制されている細胞の割合の経時的変化を検討し、低線量率放射線による rAML 発症リスクを評価することを目標とする。本年度は高線量率での実験を開始した。現在、照射 24 時間後における末梢血レベル (WBC、RBC、PLT) および造血系レベル (ST-HSC、LT-HSC、CMP、CLP) の細胞数の変化を解析中である。

II. 方法

<マウス>

本研究では 8 週齢の♂の C3H/HeNjcl マウスを用いた。マウスは最大 4 匹ずつケージに収容

し、温度、湿度、室内照明の明暗サイクルが管理された SPF 環境下の飼育室中で飼育した。固形飼料と水を自由に摂取させた。

< γ 線の照射 >

γ 線照射は環境科学技術研究所に設置してある Cs-137 低線量率 γ 線照射装置を用いた。マウスを非照射群 (0Gy)、1 Gy/min 群の 2 群に分け、集積線量が 200 mGy、1 Gy、3 Gy に到達するまで γ 線を全身に連続照射した。本研究では 1 群 5 匹のマウスを使用した。

< 血球数の測定 >

マウスをエーテルで麻酔後頸椎脱臼し、心臓採血を行なった。その後コールターカウンターを用いて、白血球 (WBC)、赤血球 (RBC)、血小板 (PLT) の数を計測した。

< フローサイトセルソーターによる造血幹/前駆細胞の単離 >

エーテル麻酔後頸椎脱臼したマウスの両側の大腿骨から骨髓細胞を摘出した。各分化段階の造血系細胞では細胞膜表面タンパク質の発現パターンが異なっていることが分かっている。その特性を利用してそれぞれのタンパク質の抗体処理を行ない、フローサイトセルソーターにて長期造血幹細胞 (LT-HSC) *1、短期造血幹細胞 (ST-HSC) *2、多能性前駆細胞 (MPP) *3、リンパ球系共通前駆細胞 (CLP) *4、骨髓球系共通前駆細胞 (CMP) *5 をそれぞれ単離した^{13, 14)}。この操作は全て環境科学技術研究所にて実施した。

*1LT-HSC : CD34 陰性、CD150 陽性、CD48 陰性、Lin 陰性、sca1 陽性、c-kit 陽性

*2ST-HSC : CD34 陽性、CD150 陽性、CD48 陰性、Lin 陰性、sca1 陽性、c-kit 陽性

*3MPP : CD150 陽/陰性、CD48 陽性、Lin 陰性、sca1 陽性、c-kit 陽性

*4CMP : CD34 陽性、CD48 陽性、Lin 陰性、sca1 陰性、c-kit 陽性

*5CLP : CD34 陽性、CD48 陽性、Lin 陰性、sca1 陽性、c-kit 陰性

(倫理面への配慮)

公益財団法人環境科学技術研究所動物実験委員会に実験計画書を提出し、苦痛の軽減、代替法の活用および動物数などの倫理面および計画の妥当性等の審査を受け、承認を得た(承認番号 27-26 号)。

III. 結果

< 血球数の変化 >

1 Gy/min の線量率で 200 mGy、1 Gy、3 Gy の γ 線を照射し、24 時間後における血球数を図 1~3 にそれぞれ示す。

WBC は線量に依存して減少していく傾向が見られたが、RBC および PLT はほとんど変化が見られなかった。詳細な分析を現在行なっている。

< 造血幹/前駆細胞数の変化 >

1 Gy/min の線量率で 200 mGy、1 Gy、3 Gy の γ 線を照射し、24 時間後における造血幹/前駆細胞数の変化を図 4~7 にそれぞれ示す。MPP は現在解析中である。

ST-および LT-HSC は照射後 24 時間の時点でいずれの線量でも非照射群と差は見られなかったが、CMP では線量依存的な減少が見られた。CLP は 1 Gy までは非照射群と差は見られなかったが、3 Gy では増加している傾向が観察された。詳細な分析を現在行なっている。

IV. 考察

本研究ではrAMLの起源となる細胞を対象に、1) 細胞数、2) DNA損傷を持つ細胞数、3) rAMLに必須な*Sfp1*遺伝子の変異(2番染色体異常)を持つ細胞の割合、4) *PU.1*の発現が抑制されている細胞の割合の経時的変化を検討し、低線量率放射線による発がんリスクの科学的評価を行うことを目標としている。本年度から高線量率による実験を開始し、現在、1 Gy/minの線量率で集積線量が200 mGy、1 Gy、3 Gyになるまで γ 線をマウスに照射し、24時間後における抹消血レベル(白血球(WBC)、赤血球(RBC)、血小板(PLT))および、造血系レベル(長期造血幹細胞(LT-HSC)、短期造血幹細胞(ST-HSC)、多能性前駆細胞(MPP)、リンパ球系共通前駆細胞(CLP)、骨髓球系共通前駆細胞(CMP))の細胞数の変化を解析中である。途中経過であるが、高線量率では照射後24時間で線量依存的に白血球数が減少しているのが観察された(図1~3)。造血系レベルの細胞ではSTおよびLT-HSCは変化が見られなかった(図4, 5)が、CMPは線量依存的な減少を示した(図6)。白血球は放射線感受性が比較的高いため、線量依存的に細胞死が生じていると考えられる。ではCMPの減少はどのように説明できるだろうか。白血球と同様に線量依存的な細胞死が生じたのか、それとも白血球を補うために分化したのか詳細な分析が必要である。後者だとWBC数が増加しているはずだが、そのような傾向が見られなかったため前者の可能性が考えられる。放射線による個体組織としての応答を明らかにするためにも今後検討が必要である。

今回解析をしている中で、CLPは他の細胞とは様相が異なり、1 Gyまでは非照射群と差は見られなかったが、3 Gyで増加する傾向が観察された(図7)。CLPの下流にあるリンパ球(今回解析していない)は放射線にもっとも感受性が高い細胞であるため、それを補うために増加している可能性が考えられる。近年、CLPは骨髓系にも分化する可能性が報告されている⁸⁾。白血球幹細胞のオリジンになりうる細胞を同定する上でも、CLPおよび、その上流のMPPがどのような挙動をしめしているのか明らかにする必要がある。

今後、DNA損傷を持つ細胞数、rAMLに必須な*Sfp1*遺伝子の変異(2番染色体異常)を持つ細胞の割合、*PU.1*の発現が抑制されている細胞の割合の経時的変化を継続して解析していくとともに、低・中線量率での実験も開始し、rAMLに繋がる変異が線量率依存的に生じるのか明らかにする予定である。

V. 結論

現時点において、高線量率では照射してから24時間までの間に末梢血レベルおよび造血系レベルの細胞の動態が著しく変化していることが分かった。この変化がrAMLにどのように結びつくのか今後の検討が必要である。

VI. 次年度以降の計画

昨年度に引き続き環境科学技術研究所に設置してある低線量率 γ 線照射装置を用いて、200 mGy/day(中線量率)および20 mGy/day(低線量率)での実験も開始する。観察項目は下記の通りである。

- 1) HSCにおける細胞競合の実態を明らかにするために、DNA損傷を γ -H2AXを指標として捉え、DNA損傷を持つ細胞数の経時的変化を調べる。
- 2) HSCは自己複製能力を持つ最も未熟な造血細胞で、LT-HSC(休止期の造血幹細胞)とST-HSC

(早く細胞分裂して MPP へ分化する HSC) に分類される。そこで、放射線による HSC の細胞動態を細胞死、分裂、分化を考慮して再考するために、LT-HSC と ST-HSC の細胞死の頻度ならびに細胞数の経時的変化を解析する。

- 3) rAML を発現した造血系細胞では *PU.1* の発現量が低下していることが報告されている。そこで、*PU.1* タンパク質の蛍光抗体染色を行ない、線量率ごとに *PU.1* を発現している細胞の割合の経時的変化を解析する。
- 4) rAML に必須な *PU.1* 遺伝子の欠失を調べるために、2 番染色体上の *Sfp1* 遺伝子領域に蛍光色素を取り込ませ、蛍光顕微鏡下で *Sfp1* 遺伝子欠失細胞数の割合の経時的変化を解析する。
- 5) 遺伝子変異を引き起こす原因を調べるために、酸化ストレスのマーカーである 8-OHdG の蛍光抗体染色を行い、8-OHdG 発現細胞数の経時的変化を解析する。

引用文献

1. 小嶋 光明, 甲斐 倫明 低線量域における線量率効果, 放射線生物研究, 2012; 47, 347-360.
2. Azumi J Sachs L. Chromosome mapping of the genes that control differentiation and malignancy in myeloid leukemic cells, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 1977; 77: 253-257.
3. Hayata I Seki M Yoshida K. et al. Chromosome aberrations observed in 52 mouse myeloid leukemias, Cancer Res 1983; 43: 367-373.
4. Trakhtenbrot L Krauthgamer R Resnitzky P et al. Deletion of chromosome 2 is an early event in the development of radiation-induced myeloid leukemia in SJL/J mice, Leukemia 1988; 2: 545-550.
5. Rithidech KN Bond VP Cronkite EP et al. A specific chromosomal deletion in murine leukemic cells induced by radiation with different qualities, Exp Hematol 1993; 21: 427-431.
6. 伴 信彦. マウスの急性骨髄性白血病と 2 番染色体の異常. 放射線生物研究 2000; 35: 115-126.
7. Cook WD McCaw BJ Herring C et al. PU.1 is a suppressor of myeloid leukemia, inactivated in mice by gene deletion and mutation of its DNA binding domain, Blood 2004; 104: 3437-3444.
8. Suraweera N Meijne E Moody J et al. Mutations of the PU.1 Ets domain are specifically associated with murine radiation-induced, but not human therapy-related, acute myeloid leukemia, Oncogene 2005; 24: 3678-3683.
9. Hirouchi T Takabatake T Yoshida K et al. Upregulation of c-myc gene accompanied by PU.1 deficiency in radiation-induced acute myeloid leukemia in mice, ExpHematol 2008; 36: 871-885.
10. Kominami R Niwa O. Radiation carcinogenesis in mouse thymic lymphomas, Cancer Sci 2006; 97: 575-581.
11. Suzuki K Yamashita S. Low-dose radiation exposure and carcinogenesis, Jpn J Clin Oncol 2012; 42: 563-568.
12. Bondar T Medzhitov R. p53-mediated hematopoietic stem and progenitor cell competition, Cell Stem Cell 2010; 6: 309-322.
13. Hirouchi T Akabane M Tanaka S et al. Cell surface marker phenotypes and gene expression profiles of murine radiation-induced acute myeloid leukemia stem cells are similar to those of common myeloid progenitors, Radiat Res 2011; 176: 311-22.
14. Shao L Wang Y Chang J et al. Hematopoietic stem cell senescence and cancer therapy-induced long-term bone marrow injury, Transl Cancer Res 2013; 2: 397-411.

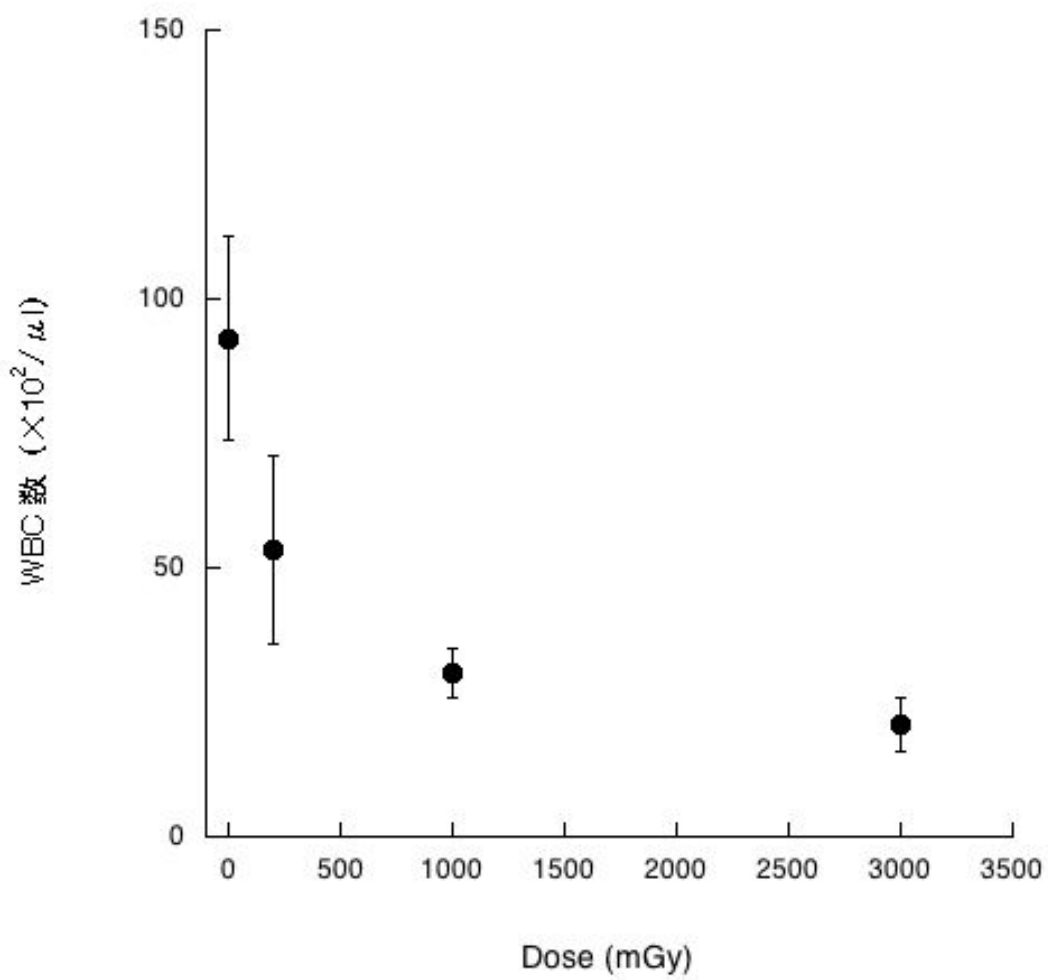


図 1. 1 Gy/min の線量率で照射後 24 時間における WBC 数の線量反応関係

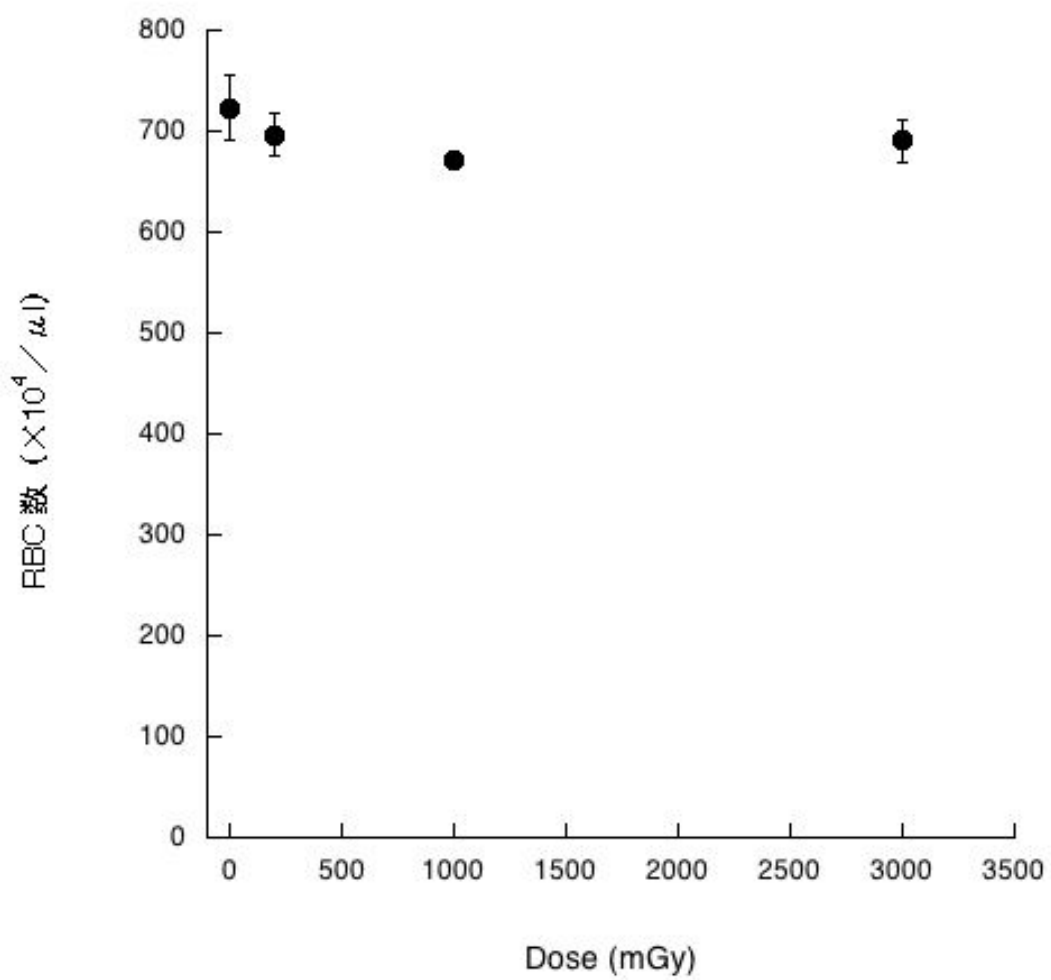


図 2. 1 Gy/min の線量率で照射後 24 時間における RBC 数の線量反応関係

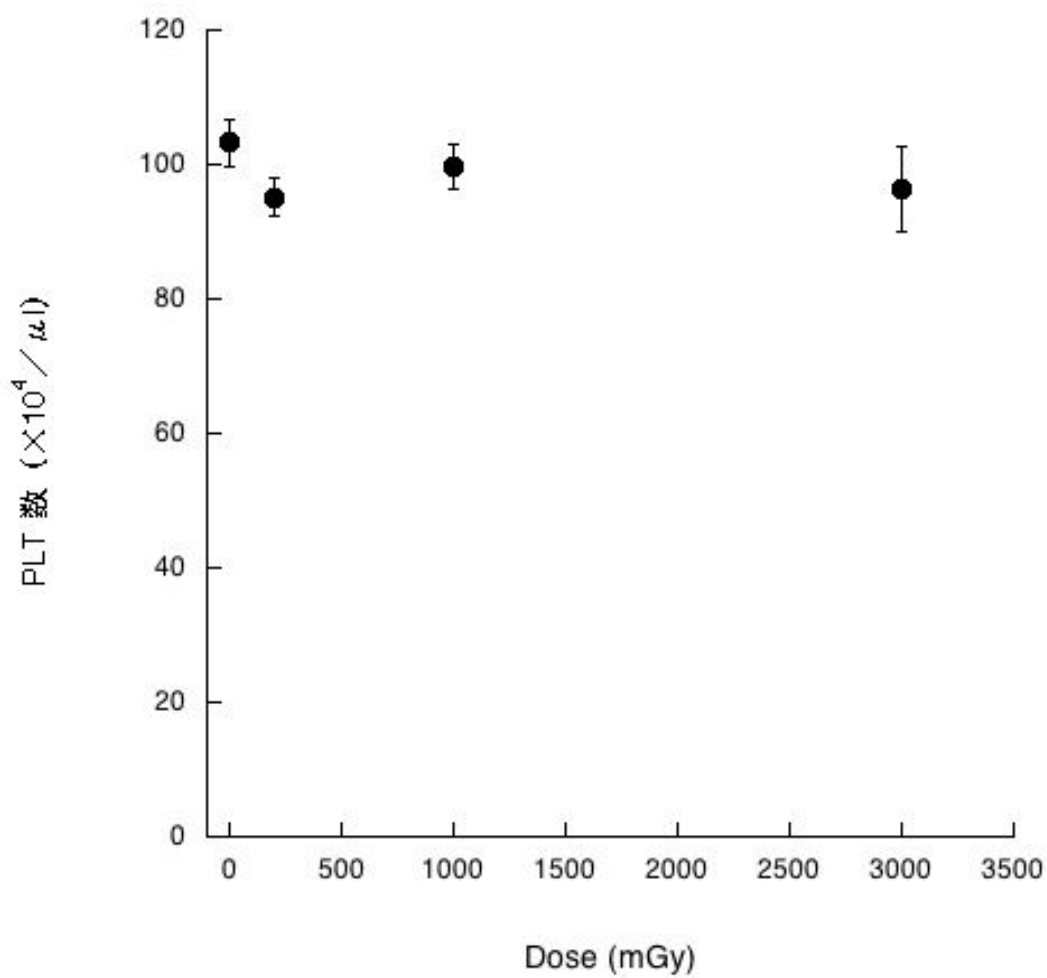


図 3. 1 Gy/min の線量率で照射後 24 時間における PLT 数の線量反応関係

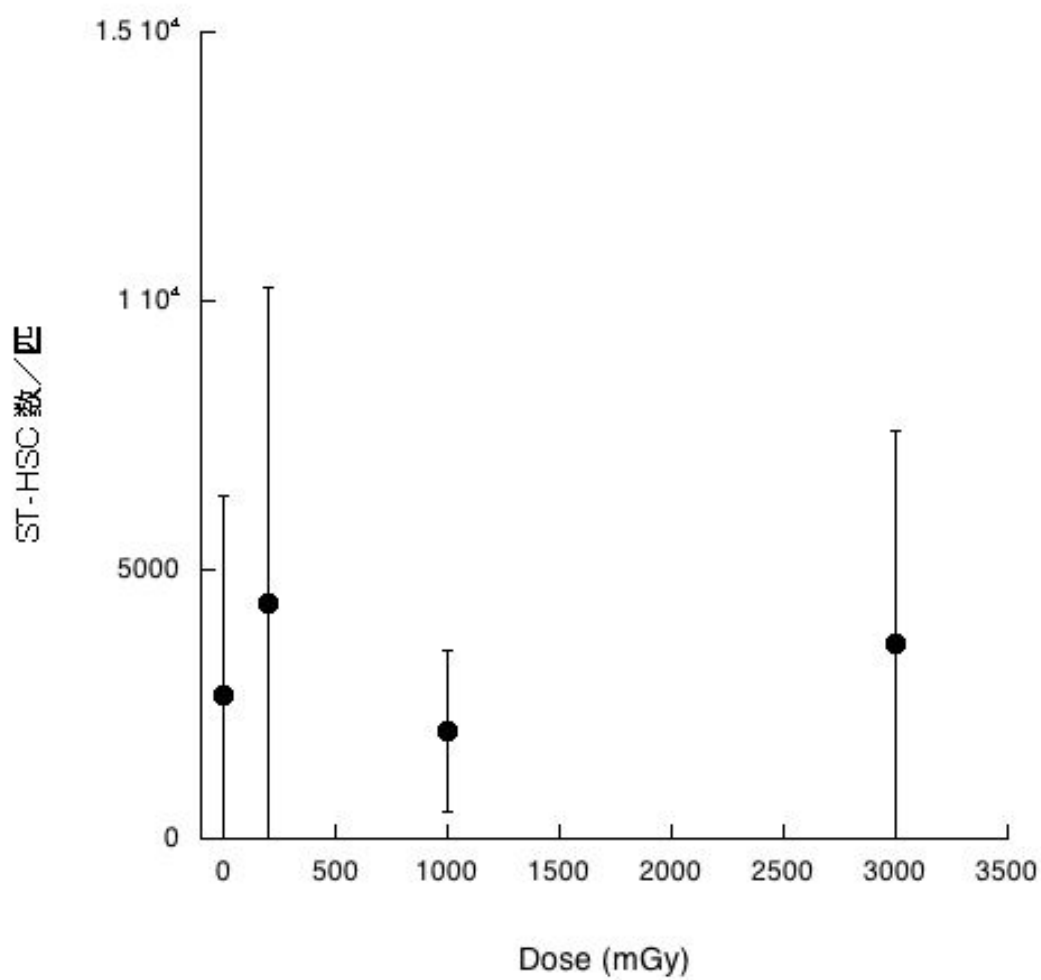


図 4. 1 Gy/min の線量率で照射後 24 時間における ST-HSC 数の線量反応関係

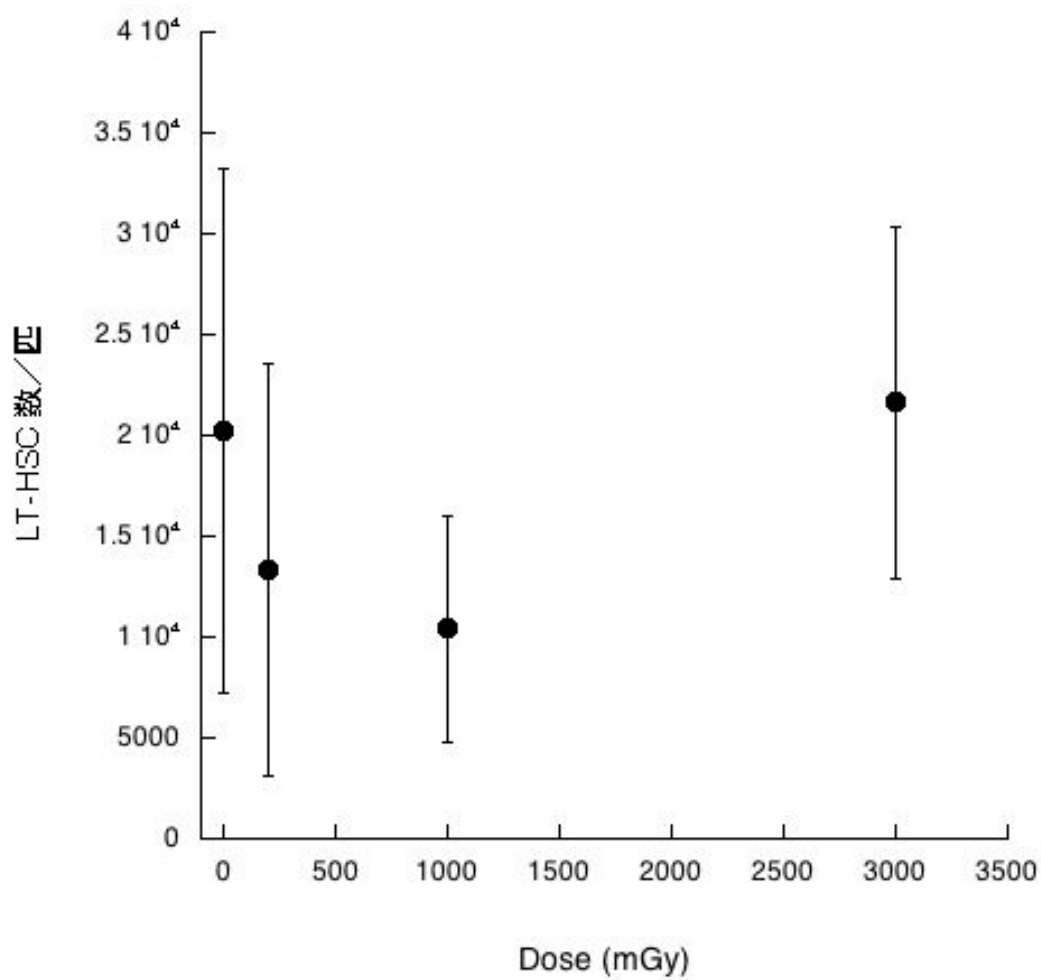


図 5. 1 Gy/min の線量率で照射後 24 時間における LT-HSC 数の線量反応関係

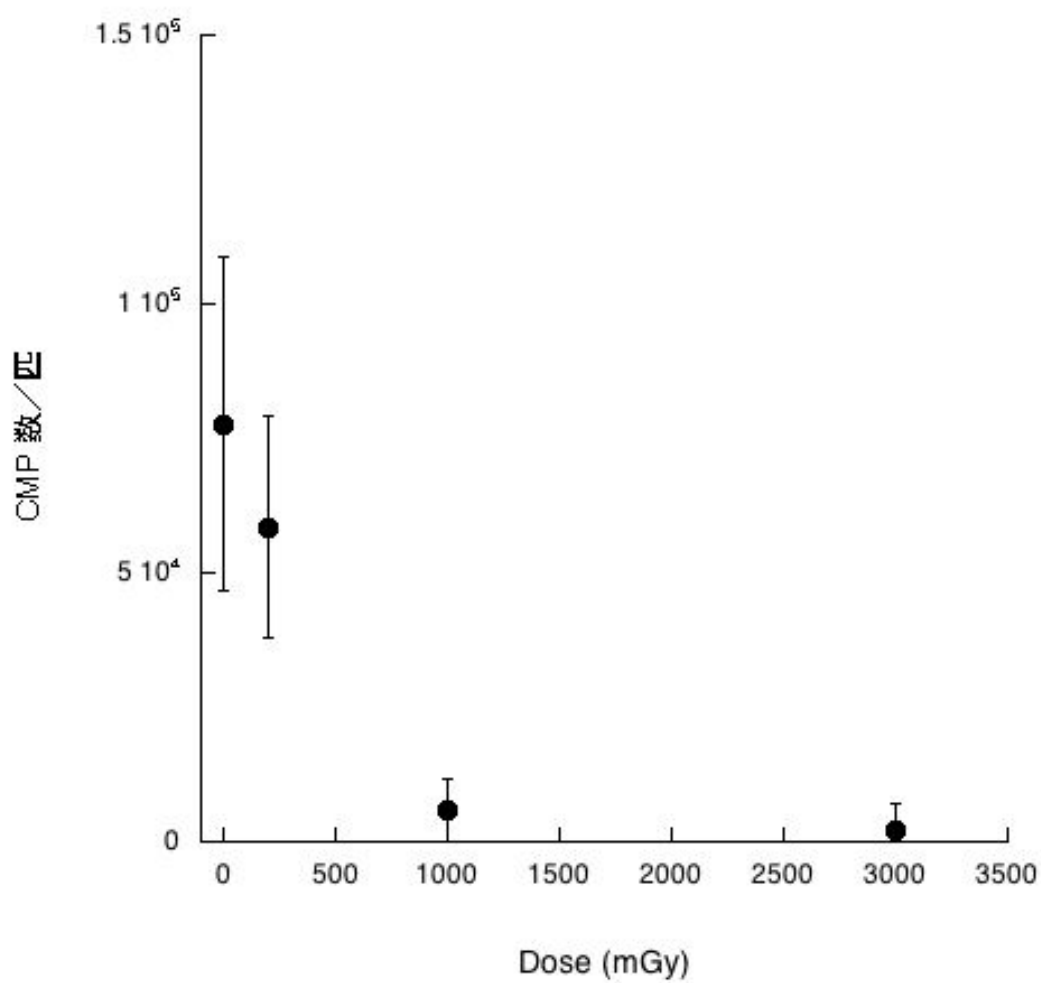


図 6. 1 Gy/min の線量率で照射後 24 時間における CMP 数の線量反応関係

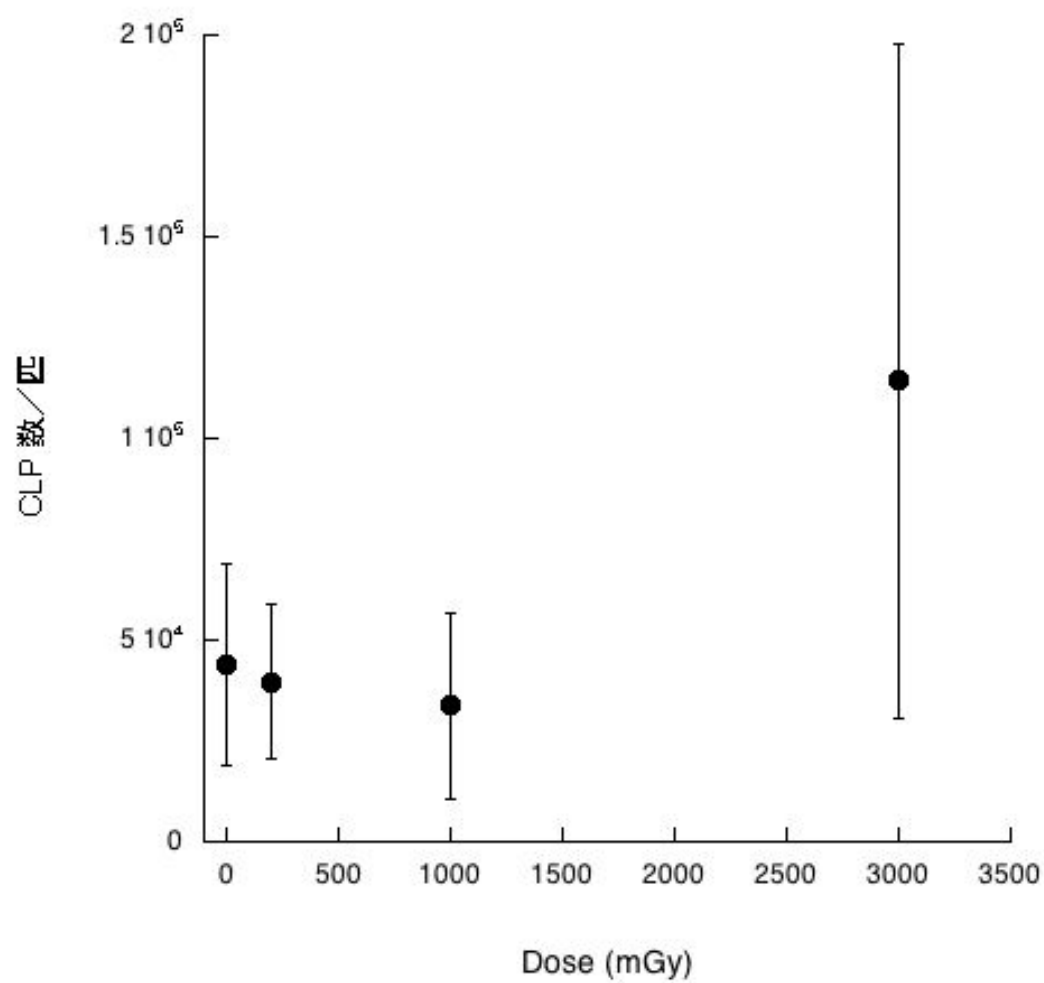


図 7. 1 Gy/min の線量率で照射後 24 時間における CLP 数の線量反応関係

A dose-rate effect on chromosome 2 aberrations and *Sfpil*/PU.1 loss
leading to radiation-induced murine acute myeloid leukemia
- Aiming at clarifying radiation cancer risk at low doses and dose
rates

Michiaki Kai^{*1}, Mitsuaki Ojima^{*1}, Junya Ishikawa^{*1}, Atsuhisa Hirouch^{*2}

^{*1}*Oita University of Nursing and Health Sciences*

^{*2}*Institute for Environmental Sciences*

Keywords: radiation, dose-rate, C3H mice, chromosome 2, *Sfpil*/PU.1, rAML (radiation-induced acute myeloid leukemia)

Abstract

The dose-rate effect (DRE) is a critical phenomenon that should be considered to estimate the low-dose radiation cancer risk for human health. However, the DRE has so far been reported in the high-dose region. As a pilot study, we reviewed the DRE on radiation-induced dicentrics in the recent reports and found that DRE would be existed in the low dose-rate region *in vivo* system. Therefore, it is very important to analyze the DRE at low-dose rates by experimental study on radiation cancer *in vivo* system. It is well known that exposure to radiation leads to rAML (radiation-induced acute myeloid leukemia) in C3H mice after an incubation period of 1 to 2 years. In murine studies, it has been reported that decrease of PU.1, encoded by the murine *Sfpil* gene, expression in hematopoietic progenitors (ST-HSC: short term hematopoietic stem cell, LT-HSC: Long term hematopoietic stem cell, MPP: Multipotent progenitor, CMP: Common myeloid progenitor, CLP: Common lymphoid progenitor) by radiation-induced chromosome 2 deletions and subsequent *Sfpil* point mutation in the remaining allele leads to rAML. In our previous study, we observed that cell turnover of hematopoietic progenitors was activated depending on dose rates, and hypothesized that aging through radiation-induced cell turnover can induce rAML-related mutations. To clarify our hypothesis in this study, we examine the dose-rate response of cell turnover, DNA damage, chromosome 2 deletions, and PU.1 loss in hematopoietic progenitors of γ -irradiated C3H mice, and aim at clarifying DRE of radiation cancer. The preliminary results suggested promotion of cell turnover in CLP of 3 Gy-irradiated C3H mice at 1 Gy/min. Katsura et al reported that CLP might be differentiated myeloid series of cells (International immunology, 22, 65-70, 2010). Detailed examination will be necessary to clarify the origin of the rAML stem cell. In the next year, we will start the experiment of the 200 mGy/day and 20 mGy/day, and will construct a risk model for murine rAML based on dose rates.

テーマ（３） 放射線による健康不安対策の推進に関する研究

- 3-1 福島県川内村の帰村促進のための取り組み
浦田 秀子（長崎大学原爆後障害医療研究所教授）
- 3-2 放射線測定と行動調査による子どもの線量低減化と健康不安の軽減に関する研究
細野 眞（近畿大学医学部附属病院教授）
- 3-3 里山地域の生活・生産活動を支える放射線被ばくと里山資源汚染の実態調査と動向予測研究
原田 浩二（京都大学大学院医学研究科環境衛生学分野准教授）
- 3-4 放射線による健康不安対策を実践する保健師・養護教諭のための教育プログラムの検討
川崎 裕美（広島大学大学院医歯薬保健学研究院教授）
- 3-5 リスクの多元性を考慮したリスクコミュニケーションの実施とそのあり方に関する研究
中川 恵一（東京大学医学部附属病院放射線科准教授）
- 3-6 福島の乳幼児を原発事故の影響から守るための統合的支援システムの開発
氏家 達夫（名古屋大学大学院教育発達科学研究科教授）
- 3-7 原子力災害事故後の中長期的にわたる放射線ヘルスプロモーションの確立に向けて～なみえまちからはじめよう。～
西沢 義子（弘前大学教育研究院医学系教授）
- 3-8 福島県における放射線健康不安の経年変化の把握と対策の促進に関する研究
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）
- 3-9 イーラーニング（e-learning）を活用した、福島県、日本、アジアにおける包括的な放射線教育システムの確立
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）
- 3-10 放射線被ばく不安に関連した潜在的要因の解析によるオーダーメイドな放射線リスクコミュニケーションに向けて
長谷川 有史（福島県立医科大学医学部放射線災害医療学講座教授）

福島県川内村の帰村促進のための取り組み

浦田 秀子（長崎大学原爆後障害医療研究所・教授）

研究要旨

本研究では、帰村促進に向けた健康教育・健康相談等の支援活動に資するため、原発事故による放射線の心身の健康問題について集団及び個人に対して評価を行うことである。研究目的に基づき2つのプロジェクトを実施した。

I. 成人・高齢者の生活習慣病とこころの健康に関する集団比較調査

対象者は、福島県川内村と長崎県五島市の30歳以上の成人高齢者とした。調査内容は、①生活習慣病の評価、②こころの健康度とし、データ収集は、川内村は平成23年度の福島県県民健康調査、五島市は平成26年度の特設検診時の調査で回収出来たものを用いた。

川内村住民は、高血圧と診断された者が約5割、高脂血症と診断された者は約3割いた。生活習慣では、睡眠に不満足の方が6割、活動低下のあるものが7割いた。また、川内村と五島市の65歳以上の住民で比較すると、川内村住民が五島市住民よりK6の高い得点の人の割合がかなり多い結果であった。

本研究において、川内村住民は、震災1年後の状況や避難生活による不便さ、今後の生活に対する不安が考えられる。また、生活習慣と精神健康度は関連があると示唆される。

生活習慣病の悪化予防の取り組みとして、活動や睡眠の支援を中心に、ストレス軽減を図る関わりが必要であると考えられる。

II. 子どもと親の多重ストレスと心身健康

初年度は、被災の集団への影響調査として、福島県県民健康調査票を用い、川内村小学生68名、中学生31名、コントロール群として長崎市小学生62名、中学生56名を解析した。震災を体験した川内村の小・中学生は主観的健康の評価点、運動の頻度、睡眠時間の全てにおいて有意に低かった。SDQの平均点は川内村の小学生が情緒、仲間意識、向社会性の平均得点が有意に高く、川内村の中学生は総得点とすべての項目で有意に高かった。この結果から、被災直後の川内村の小中学生では健康状態の悪化が認められ、支援の必要性が示唆された。被災の個人への影響調査として、平成26・27年度に協力が得られた川内村小・中学生6名とその保護者13名に心身の健康状態（PHQ-9を用いた抑うつ調査も含む）、家族の問題、衣食住、家族、友人や地域住民との交流、将来への展望等の聞き取り調査を行った。インタビューは14家族に行い、①『日々の生活の安定』、②『生活の楽しみ』、③『教師との絆』、④『メンタルヘルスの問題』、⑤『村外で話を聞いてくれる存在』、⑥『学校生活での適応を困難』、⑦『村の不便さと期待』の7つのコアカテゴリーが抽出された。震災より3年半～4年が経過し、それぞれがどのように生活したいかということと向き合い、実現するための方法を模索している時期と考えられた。

キーワード：放射線被ばく、生活習慣病、多重ストレス、帰村促進

研究協力者：山下俊一（長崎大学原爆後障害医療研究所教授）、高村昇（長崎大学原爆後障害医療研究所教授）、松田尚樹（長崎大学先端生命科学研究所支援センター教授）、前田隆浩（長崎大学大学

院医薬学総合研究科医療科学専攻・教授),林田直美(長崎大学原爆後障害医療研究所・教授),矢部博興(福島県立医科大学医学部神経精神医学講座・教授),大津留晶(福島県立医科大学医学部放射線健康管理学・教授),前田正治(福島県立医科大学医学部災害こころの医学講座・教授),吉田浩二(福島県立医科大学災害医療総合学習センター・助手),今村圭子(鹿児島大学医学部保健学科・助教)松川京子(メディポリス国際陽子線治療センター),中島香菜美(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)

I 研究目的

川内村は放射線災害を受けた他の地域より空間線量率が比較的低い、全村避難を強いられた住民の放射線に対する不安は強い。帰村している住民は高齢者が多く、子供のいる若い世代はいまだ県外への移住や避難生活を続けている。

本研究では帰村促進に向けた健康教育・健康相談などの支援活動に資するため、成人・高齢者に対しては生活習慣とこころの健康との関係、子どもと親に対しては被災による心身の健康影響の評価を行う。本研究は研究目的に基づき2つのプロジェクトで実施する。

II 研究方法

I. 成人・高齢者の生活習慣病とこころの健康に関する集団比較調査

1. 対象

平成23年度福島県県民健康調査に回答のあった30歳以上の成人及び高齢者の川内村住民1,040名とした。また、高齢者の比較については長崎県五島市在住で住民健診の際にアンケートに回答のあった65歳以上の高齢者1,278名とした。五島市は、対象群の川内村同様に高齢化が進んでおり、2010年のデータでは、高齢化率が川内村32.4%、五島市35.2%であった^{1,2)}。

2. データ収集と調査項目

川内村住民：平成23年度福島県県民健康調査「こころの健康度・生活習慣に関する調査」(資料1)の内容を福島県県民健康管理センターのデータ利用の承認を得て収集した。その調査紙には、生活習慣や生活習慣病疾患についてと精神健康度の尺度であるK6、PCL及び放射線影響に関する認識等が含まれている。K6は、K6日本語版を用い、質問内容は、①神経過敏に感じましたか、②絶望的だと感じましたか、③そろそろ、落ち着かなく感じましたか、④気分が沈み込んで、何が起ころうとも気が晴れないように感じましたか、⑤何をしても骨折りだと感じましたか、⑥自分は価値のない人間だと感じましたかの6問であり、0点~4点のリッカート尺度を用いている。PCLはDSM-IV(PTSDの診断基準)の17症状により構成された自記式質問紙でありトラウマ体験を調査する指標である。福島県立医科大学の医師等が支援を行う基準をK6は17点以上、PCLは61点以上に設定している。

五島市住民：特定健診の間診とアンケート結果を収集した。内容には、福島県県民健康調査と同様に生活習慣、生活習慣病疾患の有無と精神健康度のK6が含まれている。

3. 調査の回答時期

川内村住民：平成24年1月20日~10月31日

五島市住民：平成26年6月

4. 統計解析

生活習慣についての問診項目については、「はい」「いいえ」の二件法で集計を行った。主観的

健康感については、健康状態できわめて良好、良好、普通を「良い」、悪い、きわめて悪いを「悪い」とした。男性、女性及び川内村、五島市の比較は χ^2 検定やロジスティック回帰分析を用いて分析を行った。K6 と PCL は中央値を求めた。尚、カットオフ値は厚生労働省の調査結果を基に、K6 は 13 点、PCL は 44 点とした。

II. 子どもと親の多重ストレスと心身健康

<被災の集団への影響調査>

1. 研究対象

ストレス体験群は川内村の小中学生の福島県県民健康管理調査「こころの健康度・生活習慣に関する調査」のデータを抽出して使用した。この調査票は、小学生を対象としたものは保護者が、中学生を対象としたものは本人が回答する問いと保護者が回答する問いがあった。コントロール群は実生活に東日本大震災の影響をほぼ受けていない長崎の小学校、中学校を各校ずつ選択し、そこに通う児童、生徒を対象とした。

2. データ収集

ストレス体験群のデータは平成 23 年に実施された福島県県民健康管理調査「こころの健康度・生活習慣に関する調査」(資料 2、3)のデータを使用した。データの使用は、福島県立医科大学に申請を行い許可を得て行った。

コントロール群は長崎市の小中学校 1 校ずつで、福島県県民健康管理調査「こころの健康度・生活習慣に関する調査」で使用された調査票と同じ内容のものを使用した。小・中学校にて調査の説明を行い、学校長らの承諾を得て調査を行った。質問票はあらかじめ返信先が記載された封筒にいれ、学校にて教員からすべての児童・生徒に配布してもらった。質問票は個人で返送できるようにしており、アンケートの回収をもって調査への同意とみなした。コントロール群の調査期間は 2014 年 1 月～3 月であった。

ストレス体験群、コントロール群ともに長崎大学大学院医歯薬学総合研究科にてデータ分析を行った。

3. 調査内容

調査票は福島県県民健康調査「こころの健康度・生活習慣に関する調査」で用いられた調査票を使用した。

調査票は、子どもの性別・学年等の情報に加え、今回の分析で使用された「健康状態」「睡眠」「運動」「子どもの強さと困難さアンケート (Strengths and Difficulties Questionnaire : SDQ)」等の項目によって構成されている。

「健康状態」は 5 段階評価で 1 : きわめて良好、2 : 良好、3 : ふつう、4 : 悪い、5 : きわめて悪いから選択を行う。「睡眠」は就寝時間、起床時間を記載していただき、何時間睡眠があるかを調査者らが計算した。「運動」は体育の授業をのぞいた運動の頻度で、1 : ほとんど毎日している、2 : 週に 2~4 回している、3 : 週 1 回程度している、4 : ほとんどしていない、の 4 段階で評価を行った。

SDQ は Goodman によって開発された信頼性、妥当性ともに確認された子どもの行動スクリーニングのための質問紙である。「行為」「多動」「情緒」「仲間関係」「向社会性」の 5 つのサブスケールの 25 項目からなっている。サブスケールのそれぞれの合計点からその領域における支援の必

要性を明らかにすることが出来る。SDQには保護者用(3~4歳、4~16歳)、教師用(4~16歳)、自己評価用(11~17歳)の4種類がある。評価方法は、各項目について「あてはまる」2点、「ややあてはまる」1点、「あてはまらない」0点と3段階で評価をつける。それぞれのサブスケールスコアの合計点を集計し、基準をもとに、その領域における支援の必要性について「Low Need:ほとんどない」「Some Need:ややある」「High Need:おおいにある」を判定する。また「向社会性」をのぞいた4つのサブスケールスコアの合計点からTDS(Total Difficulties Score)を算出し、全体的な支援の必要性を判定する。

<被災の個人的影響調査>

1. 研究対象

- (1) 震災当時川内村の小学校および中学校に通学していた児童・生徒
- (2) (1)の保護者
- (3) (1)(2)ともに調査時の生活状況は仮設住まい、避難中、帰村を問わないこととした。

2. 調査期間

調査期間は震災から3年4ヶ月~4年を経過した2014年7月12日~2015年3月5日であった。

3. データ収集方法

2人のインタビュアーによる半構成的面接を行い、インタビューガイド(表1)に沿ってインタビュアーが質問した項目について対象者に自由に語っていただいた。対象者の語りは同意のもとICレコーダーに録音した。

4. 分析方法

分析方法は、SCQRAM^{4,5)}をメタ研究法として、モデル構築に適した修正版グランデット・セオリー・アプローチ法を用いた。SCQRAMは構造構成的質的研究法の略で、対象者の視点で見たこと感じたことを分析すること、少数事例に対するに分析に適しているとされ、今回の分析方法に採用した。分析は、SCQRAMおよび修正版グランデット・セオリー・アプローチ法について習得した熟練した複数のメンバーによって以下の手順で行った。

- (1) 録音データを文字おこしし、逐語録を作成。
- (2) (1)を研究者間で読み合わせし、研究目的に照らして、関心相関的にデータを抽出する。
- (3) 抽出したデータから、似たような内容をあつめ、バリエーションとする。
- (4) 分析ワークシートを作成する。(3)であつめたバリエーションの集まりを「概念」として名称をつけ、定義づける。
- (5) 類似する意味づけができる概念を集め、「サブカテゴリー」として名称をつける。
- (6) 類似するサブカテゴリーを集め、「カテゴリー」として名称をつける。
- (7) 類似するカテゴリーを集め、「コアカテゴリー」として名称をつける。
- (8) 研究者間で読み合わせを行い、上記(3)~(7)を繰り返し行い、内容や表現を精選した。
- (9) 震災後の時間の経過や情報の流れを考慮しながら、コアカテゴリーおよびカテゴリーの影響や関連を検討し、関連図を作成した。

なお、子どもの分析については、対象者が少数でインタビュー時間も短いため、(5)のステップを削除することで抽象度を上げ、発言の内容で個人が特定されないことがないように配慮した。

表1 インタビューガイド

<p>I. 保護者に対するインタビュー項目</p> <ol style="list-style-type: none">1. 心身の健康について2. 衣食住について3. 家族状況について4. コミュニケーションについて5. 対人ストレスについて6. ソーシャルサポートについて7. 川内村について8. ポジティブまたはネガティブな変化について9. 将来について10. 医療者や制度について <p>II. 子どもに対するインタビュー項目</p> <ol style="list-style-type: none">1. 川内村について2. 学校生活について3. 放課後の過ごし方について4. 休日の過ごし方について5. 将来の夢や希望について

(倫理面への配慮)

本研究は、長崎大学大学院医歯薬総合研究科保健学専攻及び福島県立医科大学の倫理委員会の承認を受け、個人情報保護等の倫理的配慮を行い、実施した。また、子どもと親の場合は、個別面接を行うが、対象者に対して、文書および口頭で研究目的および協力依頼を説明し、同意書を作成した。インタビューは対象者の望む場所で行った。特に子どもに対しては、研究への参加およびインタビューの方法については、本人の希望と合わせて現在の子どもの精神状態を情報収集し、保護者の意見も取り入れ、安心して発言できる環境を作るように配慮した。

III 研究結果

I. 成人・高齢者の生活習慣病とこころの健康に関する集団比較調査

対象者の内、調査票に未回答の者を除外した。解析対象者は、川内村住民 542 名（男性 264 名、女性 278 名）だった。川内村住民の結果は、平均年齢は、58.42±14.90 歳、男性 58.39±14.06 歳、女 58.45±15.65 歳であった。年代別では、50 歳代が 147 名と最も多く、60 歳代が 114 名で次に多い。疾患については、高血圧有の者が 47.4%で、男性が 48.9%、女性が 46.0%だった。糖尿病有の者は 18.6%で、男性が 23.9%、女性が 13.7%で男性が女性より有意に高い結果だった ($p<0.01$)。高脂血症有の者は 34.5%で、男性が 37.1%、女性が 32.0%だった。こころの健康度では、K6 の中央値が 5 点で、男性が 4 点、女性が 6 点だった。K6 の 13 点以上の者は 12.5%で、男性が 10.6%、女性が 14.4%だった。PCL の中央値は 28 点で、男性が 25 点、女性が 30.5 点だった。PCL の 44 点以上の者は 21.2%で、男性が 16.7%、女性が 25.5%で女性が男性より有意に高い結果だった ($p<0.05$ 、表 2)。

表2 川内村住民の属性(疾患の有無・こころの健康度)

	男性(n=264)	女性 (n=278)	全体 (n=542)	P 値
平均年齢	58.39±14.06	58.45±15.65	58.42±14.90	0.94
年代別人数				
30-39 歳	29	41	70	0.19
40-49 歳	36	40	76	0.80
50-59 歳	80	67	147	0.10
60-69 歳	61	53	114	0.25
70-79 歳	35	50	85	0.13
80 歳以上	23	67	50	0.69
高血圧	129/135	128/150	257/285	0.51
有/無 (%)	(48.9/51.1)	(46.0/54.0)	(47.4/52.6)	
糖尿病	63/201	38/240	101/441	<0.01**
有/無 (%)	(23.9/76.1)	(13.7/86.3)	(18.6/81.4)	
高脂血症	98/166	89/189	187/355	0.21
有/無 (%)	(37.1/62.9)	(32.0/68.0)	(34.5/65.5)	
K6 中央値	4(0-24)	6(0-24)	5(0-24)	0.18
12 点以下	236/28	238/40	474/68	
/13 点以上(%)	(89.4/10.6)	(85.6/14.4)	(87.5/12.5)	
PCL 中央値	25(17-85)	30.5(17-77)	28(17-85)	<0.05*
43 点以下	220/44	207/71	427/115	
/44 点以上(%)	(83.3/16.7)	(74.5/25.5)	(78.8/21.2)	

*p<0.05, **p<0.01

生活習慣については、喫煙する者は 22.3%で、男性が 37.5%、女性が 7.9%だった。飲酒する者は 45.0%で、男性が 65.2%、女性が 25.9%でいずれも男性が女性より有意に高い結果だった (p<0.001)。活動低下のある者は 67.5%で、男性が 71.2%、女性が 64.0%で男性が女性より有意に高かった (p=0.07)。主観的健康感の悪い者は 20.1%で、男性が 15.5%、女性が 24.5%で女性が有意に高い結果であった (p<0.01)。睡眠満足感の悪い者は 61.1%で、男性が 54.9%、女性が 66.9%で、女性が男性より有意に高かった (p<0.01)。

転職した者は、全体で 60.1%であり、震災で死別した者は全体で 10.5%だった (表 3)。年代別の K6 と PCL の割合の結果では、K6 の 13 点以上の者は、20 代~30 代が 13%、40 代~50 代が 12%、60 代以上は 14%だった。PCL の 44 点以上の者は、20 代~30 代が 23%、40 代~50 代が 18%、60 代以上が 27%だった (図 1)。

表3 川内村住民の属性（生活習慣）

	男性(n=264)	女性 (n=278)	全体 (n=542)	P 値
喫煙 吸う/吸わない	99/105 (37.5/39.8)	22/256 (7.9/92.1)	121/421 (22.3/77.7)	<0.001***
飲酒 飲む/飲まない	172/92 (65.2/34.8)	72/206 (25.9/74.1)	244/298 (45.0/55.0)	<0.001***
活動低下 なし/あり	76/188 (28.8/71.2)	100/178 (36.0/64.0)	176/366 (32.5/67.5)	0.07
主観的健康 良い/悪い	223/41 (84.5/15.5)	210/68 (75.5/24.5)	433/109 (79.9/20.1)	<0.01**
睡眠満足感 良い/悪い	119/145 (45.1/54.9)	92/186 (33.1/66.9)	211/331 (38.9/61.1)	<0.01**
転職 あり/なし	116/103 (43.9/39.0)	165/113 (59.4/44.1)	326/216 (60.1/39.9)	0.70
震災死別 あり/なし	26/238 (9.8/90.2)	31/247 (11.2/88.8)	57/485 (10.5/89.5)	0.62

p<0.01, *p<0.001

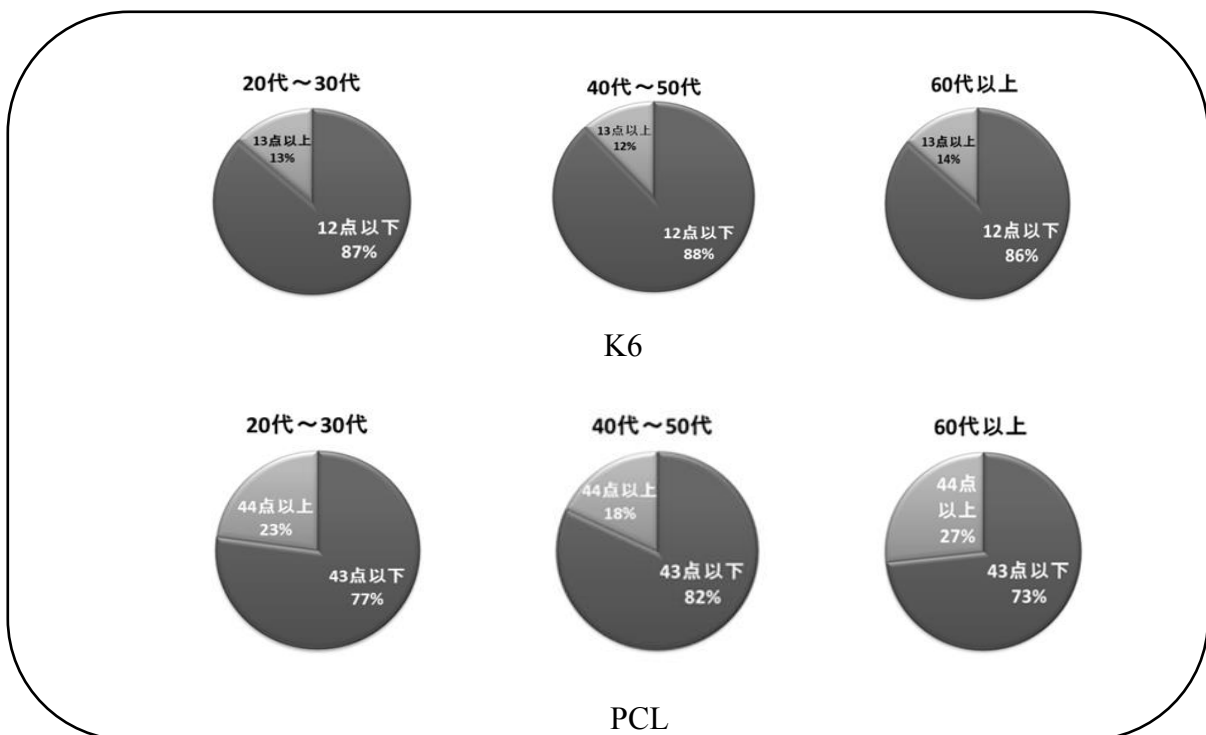


図1 年代別 K6 及び PCL

また、ロジスティック回帰分析の結果によると、K6 の高い得点(13 点以上)と、活動低下 (OR: 0.292, p<0.001)、主観的健康感の悪い者 (OR: 3.245, p=0.001)、そして睡眠満足感の悪い者 (OR: 3.860, p=0.009) で関連があった (表 4)。

表4 川内村住民の K6(13点以上)と生活習慣との関連(ロジスティック回帰分析の結果)(n=542)

項目	構成	オッズ比	95% 信頼区間	P 値
年齢	30-64 歳/ 65 歳以上	1.427	0.747-2.726	0.281
性別	男性/ 女性	1.135	0.597-2.157	0.700
喫煙	吸う/ 吸わない	0.544	0.240-1.235	0.146
飲酒	飲む/ 飲まない	1.116	0.635-1.960	0.703
食欲不振	ある/ ない	0.483	0.213-1.096	0.082
活動低下	ある/ ない	0.292	0.146-0.583	<0.001***
主観的健康度	良い/ 悪い	3.245	1.663-6.330	0.001**
睡眠満足感	ある/ ない	3.860	1.410-10.565	0.009**

p<0.01, *p<0.001

上記の結果から、生活習慣、特に活動と睡眠が精神面に影響を及ぼしていることが考えられるため、川内村保健師と共同で「運動不足を感じていませんか?」「ぐっすり眠れていますか?」のリーフレットを作成し、役場を通して全家庭に郵送した。リーフレットにはそれぞれ、習慣をチェックする項目を設定し、よりよい生活にむけての方法も示した。また、リーフレットを配布しただけではなく、リーフレットの活用法や住民相談窓口を川内村内に引き続き設けている。

放射線影響に関する認識に関する結果では、急性の健康障害が起こると思うかについては、やや思うが 8.6%、思うが 8.4%だった。後年に生じる健康影響(がんなど)が起こると思うかについては、やや思うが 30.1%、思うが 25.3%だった。次世代以降への健康影響が起こると思うかについては、やや思うが 25.4%、思うが 18.1%だった(表5)。

表5 放射線影響に関する認識

	思わない	あまり思わない	やや思う	思う
急性の健康障害が 起こると思うか	566 (61.7%)	195 (21.3%)	79 (8.6%)	77 (8.4%)
後年に生じる健康 影響（がんなど） が起こると思うか	232 (21.9%)	276 (22.7%)	208 (30.1%)	201 (25.3%)
次世代以降への健 康影響が起こると 思うか	116 (31.0%)	233 (25.5%)	234 (25.4%)	284 (18.1%)

さらに、65歳以上の住民における川内村と五島市の比較を行った。年齢は、川内村が75.51±7.01歳、五島市は74.29±6.43歳だった（ $p<0.05$ ）。性別は、川内村は、男性45.8%、女性54.2%で、五島市は、男性36.6%、女性63.4%だった（ $p<0.05$ ）。K6の中央値は、川内村が5点、五島市0点だった。K6の13点以上の者は、川内村16.9%、五島市0.07%で川内村が五島市より有意に高い結果であった（ $p<0.001$ ）（表6）。

表6 65歳以上の川内村と五島市の比較

	川内村 (n=177)	五島 (n=943)	P 値
年齢	75.51±7.01	74.29±6.43	0.05*
性別 男/女(%)	81/96 (45.8/54.2)	345/598 (36.6/63.4)	0.05*
K6 中央値	5(0-24)	0(0-17)	
12点以下 /13点以上(%)	147/30 (83.1/16.9)	936/7 (99.2/0.07)	<0.001***

* $p<0.05$, *** $p<0.001$

II. 子どもと親の多重ストレスと心身健康

<被災の集団への影響調査>

本調査では、福島県県民健康調査「こころの健康度・生活習慣に関する調査」で用いられた調査票を使用した。解析は一部のみを実施した。

調査に参加したのは、コントロール群として長崎市の小学生62名（男児36名、女児26名）とその保護者と、中学生56名（男児26名、女児30名）とその保護者であった。ストレス体験群としては、川内村のデータは福島県県民健康調査「こころの健康度・生活習慣に関する調査」で用いられたデータを利用した。

1. 川内村と長崎の解析対象者の比較

小中学生ごとにストレス体験群、コントロール群の性別の割合についてカイ二乗検定、年齢についてt検定を行った。その結果、性別について小中学生におけるストレス体験群、コントロール群間で有意な差はみられなかった（表7）が、平均年齢について中学生において有意差がみられた（表8）。小学生においては年齢について有意差はみられなかった。

表7 ストレス体験群とコントロール群の性別の割合 (%)

	性別	ストレス体験群	コントロール群	
小学生	男	55.88	58.06	P=.802
	女	54.12	41.94	
中学生	男	64.52	46.43	P=.106
	女	35.48	53.75	

表8 ストレス体験群とコントロール群の平均年齢

	ストレス体験群		コントロール群		
	M	SD	M	SD	
小学生	9.44	1.62	9.35	1.8	p=.775
中学生	13.55	0.72	14.14	0.92	p=.001**

2. 生活状況の比較

小学生ではストレス体験群とコントロール群の間で「健康状態」、「運動量」、「睡眠時間」について有意差が認められた (表9)。中学生では有意な差がみられた項目は「健康状態」、「運動量」であった (表10)。

表9 小学生の生活習慣

	健康状態 (点)		運動量 (点)		睡眠時間 (時間)	
	平均値	有意確率	平均値	有意確率	平均値	有意確率
川内村	2.58	.000**	3.35	.003**	8.43	.000**
長崎市	1.63		2.78		9.15	

表10 中学生の生活習慣

	健康状態 (点)		運動量 (点)		睡眠時間 (時間)	
	平均値	有意確率	平均値	有意確率	平均値	有意確率
川内村	2.53	.000**	3.19	.014*	7.19	.293
長崎市	1.82		2.46		6.91	

3. SDQ の比較

SDQ に関して、小学生、中学生に分けて、ストレス体験群とコントロール群について比較した。小学生において SDQ の総合点、下位項目得点について t 検定を行った。その結果、下位項目の「情緒」(p=.044)、「仲間関係」(p=.000)、「向社会性」(p=.010) において有意差がみられた。また、これらの項目の平均得点はストレス体験群の方が支援の必要性が有意に高い結果となっていた (表11)。

表 1 1 小学生におけるストレス体験群とコントロール群の SDQ 平均値

	ストレス体験群		コントロール群		t 値
	M	SD	M	SD	
総合点	11.56	6.73	10.45	5.44	1.04
情緒	2.99	2.62	2.14	2.07	2.04*
行為	3.04	1.54	2.5	1.6	1.97
多動・不注意	3.78	1.78	3.58	2.4	0.53
仲間関係	4.31	1.6	2.23	1.65	7.3**
向社会性	5.51	2.06	6.45	2.05	-2.60*

さらに、SDQ の総合点から支援の必要度を「Low Need」「Some Need」「High Need」の 3 つにわけ、ストレス体験群とコントロール群に関してカイ二乗検定を実施した。その結果、SDQ の下位項目の「仲間関係」(p=.000) のみに有意差がみられた (表 1 2)。

表 1 2 小学生における支援の必要度

		ストレス体験群			コントロール群			
		Low Need	Some Need	High Need	Low Need	Some Need	High Need	
SDQ	人数	42	10	16	41	11	10	p=.557
	割合	61.76	14.71	23.53	66.13	17.74	16.13	
情緒	人数	42	10	16	48	7	7	p=.123
	割合	61.76	14.71	23.53	77.42	11.29	11.29	
行為	人数	46	10	12	46	7	9	p=.711
	割合	67.65	14.71	17.65	74.19	11.29	14.52	
多動・不注意	人数	58	4	6	50	4	8	p=.740
	割合	85.29	5.88	8.82	80.65	6.45	12.9	
仲間関係	人数	16	32	20	48	8	6	p=.000 **
	割合	23.53	47.06	29.41	77.42	12.9	9.68	
向社会性	人数	33	20	15	43	10	9	p=.053
	割合	48.53	29.41	22.06	69.35	16.13	14.52	

中学生において SDQ の総合点、下位項目得点について t 検定を行った。その結果、総合点(p=.000)、下位項目のすべての項目(「情緒」(p=.006)、「行為」(p=.000)「多動・不注意」(p=.006)「仲間関係」(p=.000)「向社会性」(p=.007))において有意差がみられた (表 1 3)。

表 1 3 中学生におけるストレス体験群とコントロール群の SDQ 平均値

	ストレス体験群		コントロール群		t 値
	M	SD	M	SD	
総合点	14.6	5.75	6.84	4.84	6.30**
情緒	2.77	2.31	1.38	1.81	2.86**
行為	3.40	1.69	1.43	1.36	5.50**
多動・不注意	3.73	1.95	2.46	2.07	2.82**
仲間関係	4.70	1.56	1.57	1.62	8.76**
向社会性	5.20	1.83	6.41	2.12	-2.77**

さらに、SDQ の総合点から支援の必要度を「Low Need」「Some Need」「High Need」の 3 つにわけて、ストレス体験群とコントロール群に関してカイ二乗検定を実施した。その結果、SDQ の総合点 (p=.000)、下位項目の「行為」(p=.003)「仲間関係」(p=.000)「向社会性」(p=.002)において有意差がみられた (表 1 4)。

表 1 4 中学生における支援の必要度

		ストレス体験群			コントロール群			
		Low Need	Some Need	High Need	Low Need	Some Need	High Need	
SDQ	人数	14	5	12	47	4	4	p=.000**
	割合	45.16	16.13	38.71	85.45	7.27	7.27	
情緒	人数	22	3	6	48	4	3	p=.108
	割合	70.97	9.68	19.35	87.27	7.27	5.45	
行為	人数	18	6	7	49	4	2	p=.003**
	割合	58.06	19.35	22.58	89.09	7.27	3.64	
多動・不注意	人数	26	2	3	51	0	4	p=.145
	割合	83.87	6.45	9.68	92.73	0	7.27	
仲間関係	人数	6	9	16	48	3	4	p=.000**
	割合	19.35	29.03	51.61	87.27	5.45	7.27	
向社会性	人数	8	8	15	36	7	12	p=.002**
	割合	25.81	25.81	48.39	65.45	12.73	21.82	

<被災の個人的影響調査>

1. 研究参加者

インタビューは 14 家族に行った。うち、保護者 16 名、うち子どもの参加があったのは 5 家族 (6 名) であった。生活の状況は、帰村 10 家族、未帰村 4 家族であった。

インタビュー時間は保護者が 1 人あたり 1~2 時間、子どもは 20 分~1 時間であった。

2. 保護者の分析結果について

(1) 抽出された『コアカテゴリー』について

Ⅱ. 4. の手順に沿って分析を行い、最終的に6つの『コアカテゴリー』が抽出された。以下『コアカテゴリー』、「カテゴリー」「サブカテゴリー」で表現する。

①『生活基盤の変化』は、「快適な住居を見つける難しさ」、「働き方の選択・変化」、「医療環境の変化」、「生活環境の変化」の4カテゴリーからなる。川内村からの避難によって、少しでも快適な住居と、生活を安定させるための仕事を探す努力の中で、困難や新たなチャンスをつかむなどの内容を含んだ。

②『震災後の家族の変化』は「家族成員が減る」、「家族の再編」、「関係性の保持」、「変化への思い」の4カテゴリーからなる。震災に関連する離別や死別だけでなく、仕事や学校の都合による別居の選択、子どもの独立などが含まれる。家族形態が変化しても、家族なりの方法で関係性を保持するための努力をしてきたことが語られていた。

③『身体とところの変化』は「体調の変化」、「避難中の思い」、「人との交流の変化」、「こころの変化」の4カテゴリーを含んだ。身体面では、震災後一時的な体調悪化があった人でも3~4年が経過し、多くは“体調は良い”あるいは“改善したと認識した”と認識していたが、“体調が悪化した”、“仕事に影響する程の変化”もあった。こころの面では、人との交流が変わり“新たな人間関係が必要”であること、“もともとの気質”が影響している、物事の捉え方に対して“震災後に変化したとを感じる”という内容を含んだ。

④『子育ての責任』は3カテゴリーからなる。「学校の問題」では、震災から3~4年が経過し、現在の教育よりも、今後の進路に関する内容が多く含まれた。「避難中の子どもの変化」では、震災後に様々な制限や変化によって子どもの行動や心に起こった変化の振り返りと、厳しい状況下でも、“子どもの成長を感じ”、今後子どもをどのように育てたいのかという「子育てに対する思い」について語られた内容を含んだ。

⑤『放射線に対する不安と対応』は「放射線の捉え方」と「子どもへの対応」の2カテゴリーから構成される。「放射線の捉え方」では保護者自身の捉え方と対応についてで、正しい知識が得られても“不安はゼロにはならない”ことや“自己管理ができていないこと”が含まれる一方、「子どもへの対応」は長期的な影響も考慮して、保護者自身より厳しく食事の管理や健診を頻回に受けるなどの健康管理に気を使っていることを語った内容を含んだ。

⑥『村の暮らしを見直す』は3カテゴリーからなる。帰村の有無に関わらず、「村が存続してほしい」という願いを持っていた。一方で、一般的に不便な生活を強いられるはずの避難場所は震災前の川内村よりも便利な環境で、その生活に慣れてしまったこと、震災前と今の川内村の環境の変化などを含む「帰村することへの葛藤」、その時の家族の状況を考慮した「帰村の選択」が繰り返されることを含む内容とした。

(2) 『コアカテゴリー』および「カテゴリー」間の関連について

以上、6の『コアカテゴリー』と20「カテゴリー」間の関連図を図2に示す。

川内村住民の避難生活のきっかけは地震と原発事故による放射線災害であり、これにより生活全体が大きく変化した。『家族の変化』と『身体とところの変化』による危機的状況が、住居や仕事の選択に影響したと考えられる。また、保護者の『身体とところの変化』、放射線による「子どもへの対応」は「避難中の子どもの変化」にも影響していた。住居や仕事の変更に伴い、医療機関、買い物等の生活環境も新たに開拓する必要があり、子どもにとっては学校の選択にも影響していた。このような環境の変化の中で、子どもの行動の変化から保護者が気づいたことが、子ど

もをどのように育てたいかという「子育てへの思い」に繋がっていると考えられた。

このような家族生活全体の変化経験とその思いが、「村の暮らしを見直す」ための判断基準に影響している。すなわち、「帰村することへの葛藤」は現在の生活と子どもの将来が大きく影響しており、「村に存続してほしいという願い」との間で揺れる思いがあることが推察される。

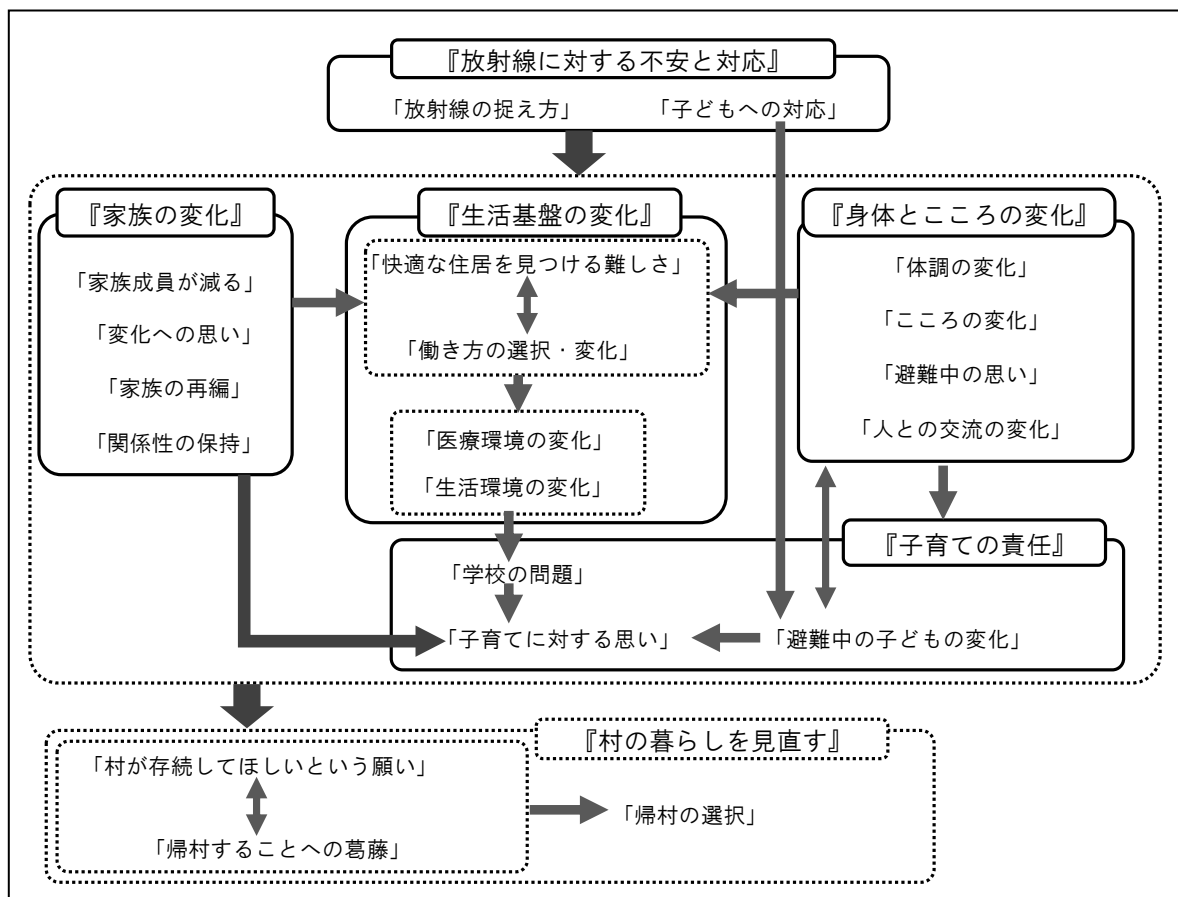


図2 震災後の生活の変化の捉え方：保護者の関連図

『 』はコアカテゴリー、「 」はカテゴリーを示している。

3. 子どもの分析結果について

(1) 抽出された『コアカテゴリー』について、7つの『コアカテゴリー』が抽出された。

- ①『日々の生活の安定』は「良好な家族関係」、「規則正しい生活」、「震災のことは思い出さない」、「将来の夢」の4カテゴリーから構成された。
- ②『生活の楽しみ』は「仮設住宅内の友人とのつながり」、「村でできる日常的な楽しみ」、「ペットによる癒し」の3カテゴリーから構成された。
- ③『教師との絆』は2カテゴリー、「教師との信頼関係」、「先生は話ができる存在」より抽出され、教師との良好な関係が表現されていた。
- ④『メンタルヘルスの問題』では生活環境の変化や転校などにより不安定な心理状況を表す「不眠傾向」、「気力の低下」、「不安定な気分」、「いじめ」の4カテゴリーを含んだ。
- ⑤『村外で話を聞いてくれる存在』では、「村外の人に話を聞いてほしい」、「知り合いばかりで話せない」の2カテゴリーを含んだ。

- ⑥『学校生活での適応と困難』は6カテゴリより構成された。「避難先の学校への不安・安心」、「転校先での能力の発見」など避難生活に伴う経験を含むものと「少人数クラスでのトラブル」、「学校での役割の負担」の川内村の少人数制クラスに関する内容を含んだ。いずれも、「学校は楽しい」と感じていた。
- ⑦『村の不便さと期待』は、4カテゴリより構成された。「今の村は行くところがない」、「仲良しがいなくなった」という震災後の川内村の変化に関する認識と、「村が活性化してほしい」、「自然は大切にしてほしい」という今後の川内村に期待する内容を含んだ。
- (2)『コアカテゴリ』および「カテゴリ」間の関連について、7の『コアカテゴリ』と25「カテゴリ」間の関連図を図3に示す。

子どもの生活の中心である『学校生活での適応を困難』と『村の不便さと期待』の支えとなるものは、『日々の生活の安定』、『生活の楽しみ』、『教師との絆』と考えられる。それでも大きな環境の変化により『メンタルヘルスの問題』が生じることもあり、学校生活が影響されることもある。心理的な距離が近く、少人数である村ではその気持ちを表現することが難しく、『村外で話を聞いてくれる存在』ができると何かが変わるかも知れないという期待があるのではないかと考えられた。

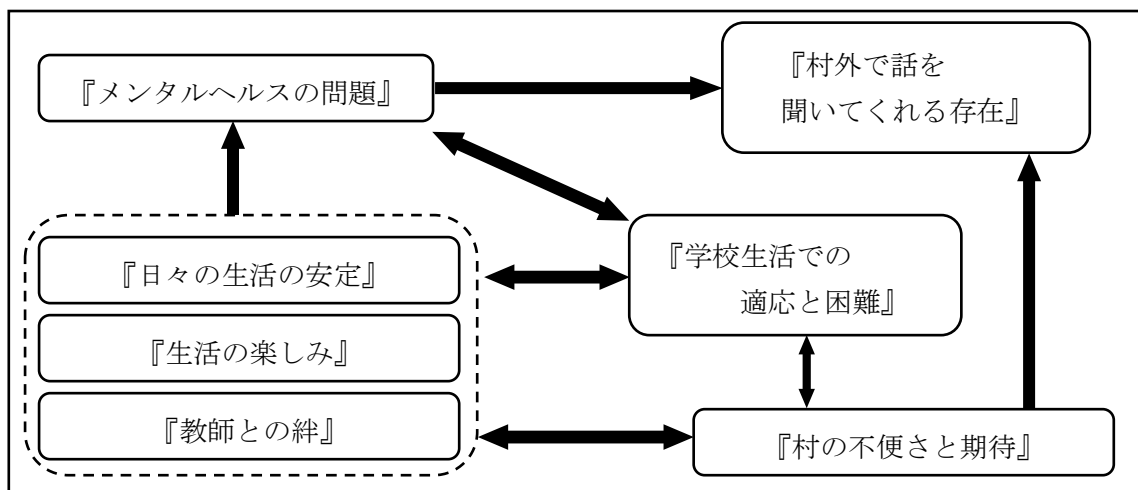


図3 震災後の生活の変化の捉え方：子どもの関連図

インタビューにもとづく結果について役場関係者と研究者間で意見交換会を実施した。子どもの「メンタルヘルスの問題」、親子とも「村外で話を聞いてくれる存在」について、具体的な方向性を検討し、学校と役場のさらなる連携の重要性を確認した。これまで実施してきた「復興子ども教室」での長崎大学学生との交流は安心して話すことができる場であり、支援の継続が重要である。

2つの研究プロジェクトの結果の要約を冊子にして、役場の職員に配布した。結果を解説し、それに基づく住民への対応を提言としてまとめた。これまで行ってきた「高齢者サロン」での個別での対応に活用でき、復興再生に向けた支援につながる。

平成27年度は研究の最終年にあたり、テーマを「福島県川内村復興・再生に向けて」として川内村で報告会を開催した。2つのプロジェクトからの成果報告、基調講演、特別講演、シンポジウムを企画した。当日は、川内村関係者、長崎大学、福島県立医科大学、放射線関連の教育・研究者等約50名が参加した。川内村の現状と今後の活動の方向性を共有できた。

IV 考察

I. 成人・高齢者の生活習慣病とこころの健康に関する集団比較調査

本研究の川内村住民の調査は、福島県県民健康調査の「こころの健康度・生活習慣に関する調査」より行った。福島県では、震災で困難な状況にある県民のこころやからだの健康度(問題)を正しく把握し、保健・医療・福祉に係る適切なケアを提供するとともに、将来の子どもたちの世代に向けて、自然災害時や緊急時における「こころのケア」のより良いあり方を受け継ぐことである。福島県民が放射線への不安や避難生活等により精神的な苦痛を受けていること、大震災により、近親者が亡くなったり、家屋などの財産を喪失したり、恐怖体験をすることにより、心的外傷(トラウマ)を負った県民も多いと予想されることから、県民のこころの健康度や生活習慣を把握し、適切なケアを提供するために実施されている⁹⁾。

川内村住民の結果では、対象者 542 名中、60 歳以上の者は 45.9%で約半数の割合であった。疾患については、高血圧の者が約半数、糖尿病が 2 割弱、高脂血症が約 3 割いた。福島県全体では、高血圧は 42.5%、糖尿病 19.8%、高脂血症 35%であり川内村とほぼ同様の結果である。川内村住民の年代構成が、60 歳以上が約半数であり、生活習慣病に罹患している者が多い。年代構成、罹患率の面からも生活習慣病についての予防対策が重要だと考える。生活習慣については、健康状態は、福島県全体で、悪いと答えた者は 18.5%であり川内村の 20.1%が高い。飲酒は福島県全体では 44.1%であり、川内村の 45.0%とほぼ同じである。一方で、福島県全体の震災前の飲酒では 42.0%であり震災後に約 3%増加している。小西らの研究によると、主観的健康感と飲酒習慣は生活満足度に関連することを明らかにした⁷⁾。約 2 割の者は主観的健康感が悪いと答えており生活に対する満足度も低いと予想できる。活動低下の者が福島県全体では 50.9%であり、川内村は 67.5%とさらに多い結果である。活動低下は男性が有意に高い結果であり、震災による失職なども原因と考えられる。高齢者の健康には適度な運動や食事内容が大きく関与することが報告されている⁸⁾⁹⁾。活動低下により骨粗鬆症や寝たきりを引き起こす恐れがあるため、適切な運動プログラムを取り入れた予防教室などが必要である。睡眠の満足感について福島県全体では、不満の者が 66.7%だった。川内村は 61.1%で福島県全体より低い結果ではあるが、6 割を超えている。厚生労働省が出した平成 26 年度の健康づくりのための睡眠指針の中では、うつ病の者は 9 割近くの人が何らかの不眠症状を伴い、睡眠による休養が得られない場合はこころの SOS の場合があると述べている。ロジスティック解析の結果からも、川内村では低い睡眠満足感や活動低下がこころの健康度に影響している状態にあると考えられ、川内村住民のこころの SOS を十分に受け止める必要がある。

こころの健康度である K6、PCL の結果より、福島県全体では、K6 の点数については 13 点以上が 14.6%で、男性が 11.9%、女性が 16.7%であり、男女の比率は川内村と類似していた。K6 は、先行研究より 13 点以上で重症精神疾患の割合が上がり示されている。また平常時で 3%程度とされ、今回の状況が極めて悪いことが考えられる。また、K6 が 13 点以上の住民では、食欲不振や活動低下の者が多かったことから、生活習慣と精神健康度は関連があると示唆される¹⁰⁻¹²⁾。PCL の点数については 44 点以上が 21.6%で、男性が 18.2%、女性が 24.3 であり、有意に女性が高い結果は川内村と同じである。一方で、川内村の PCL の結果は、災害後の男女比、年齢構成や調査時期は異なるが、9.11 のテロ攻撃による世界貿易センター後の救助と労働者に関する研究結果とほぼ等しい結果となっている¹³⁾。これらの結果から、川内村住民は心的外傷の問題が存在することを示す。また、PCL の結果を年代別に見ると、60 代以上の者が若い年代より高い結果であ

った。このことより、高齢者は若い世代より、心理的苦痛を受けたと示唆できる。

放射線影響に関する認識については、住民のリスク認知を理解するための調査である。福島県全体では、後年に生じる健康障害（がんなど）が起これると思う者が25.0%と川内村の25.3%とほぼ同じ結果であった。次世代への健康影響が起これると思う者は、34.9%であり川内村の18.1%よりかなり高い結果であった。我々は、平成26年度に川内村住民を対象に放射線による健康影響の認識について調査を行った¹⁴⁾。その結果では、後年の健康障害（がんなど）の影響があると思う者は15%、次世代への健康影響について思う者は21%であり、次世代への影響については上昇しており、子孫への影響についての不安が根強いことが理解できる。今後も、放射線に対する正しい知識の普及を行う必要があると考える。

65歳以上の川内村と五島市の比較について、川内村住民は精神健康尺度であるK6得点の13点以上の割合が五島市の住民より多かった。このことは、震災1年後の状況や避難生活による不便さ、今後の生活に対する不安が考えられる。さらには、放射線の影響について、約半数の者が可能性は高いと認識していたことから、当時の放射線に関する恐怖や不安などのストレスも一部影響しているのではないかと伺える。大震災以後、放射線被ばくと健康影響についての誤解を避けるために、放射線健康リスクコミュニケーションは不可欠である。チェルノブイリ事故後の研究報告によると、復興のための効果的な方法は、住民や地元の専門家の直接的な関与によるものであると述べられている¹⁵⁾。

II. 子どもと親の多重ストレスと心身健康

<被災の集団への影響調査>

生活状況の結果より、被災直後のストレス体験群ではコントロール群と比較して、健康上、生活上、行動上に困難を抱えやすい傾向があり、特に行動上に関して支援の必要性が示唆された。「健康状態」については、川内村の小中学生ともに長崎市と比較して健康状態は悪いとはいえないものの有意差がみられた。

SDQにおいてストレス体験群とコントロール群で有意な差がみられることが分かった。これは、被災によって子どもたちになんらかの違いが表れたことを示しており、ストレス体験群がSDQで測定される行動上の内容に困難を抱えている可能性があることを示唆している。

特に、SDQの「仲間関係」の得点がストレス体験群とコントロール群において大きく差があることがわかった。「仲間関係」に含まれる項目は、「一人でいるのが好きで、一人で遊ぶことが多い」、「仲の良い友達が少なくとも一人はいる」、「他の子どもたちから、だいたいはおかれているようだ」、「他の子から、いじめの対象にされたり、からかわれたりする」、「他の子どもたちより、大人という方がうまくいくようだ」の5つである。伊藤の調査¹⁶⁾では、津波被害にあった子どもたちは「この震災を忘れたくない」「この震災のことを伝えて行きたい」、原発被害にあった子どもは「元の生活に戻りたい」「早く元のような街に戻ってほしい」と、原発被害のため避難生活を続ける中、離れ離れになった「友達に会いたい」「遊びたい」という現在の願望が述べられていたと表している。今回の調査を行ったストレス体験群の子ども達は、原発被害を受けている。そのため、伊藤らの調査のように、元通りの生活に戻り、もとの友達との関係を望んでいる可能性がある。そのような思いが、今回の調査のSDQの結果に表れているのかもしれない。一方、SDQの仲間関係の項目は、単純に「良好な関係で一緒に遊べる友達がいるか」という内容をたずねているともとることが出来る。そのため、アンケートの回答者によっては、「震災によって、そ

れまで一緒に遊んでいた友達がいなくなってしまう」という意図での回答になってしまっている可能性も考えられる。

中学生においてストレス体験群とコントロール群で SDQ のすべての項目において有意差がみられていたことについては、ストレス体験群が、行動上の問題に対する支援をより必要としている可能性が示唆される。先行研究で、PTSS10 をもとに作成された PTSSC15 による、震災後の PTSD のスクリーニングテストの結果について述べたものがある¹⁷⁾。震災 8 カ月後と 20 カ月後を比較した際に中学生は PTSD 因子に関して有意な改善が認められず、さらに抑うつ因子に関する点数が悪化していたことが報告されている。しかし、震災の再体験症状を示すと思われる質問に関しては有意な点数の改善がみられたことから、中学生においては被災による影響ではなく、発達過程による抑うつ感の悪化が結果に影響をしているのではないかと推察されていた。本研究では直接 PTSD を調査したわけではなかったが、震災による PTSD が背景にあり、それが子どもの健康や行動に影響している可能性は否定できない。また、Fujiwara¹⁸⁾らは、90%を超える子どもたちが震災に関するトラウマ体験をしており、CBCL で臨床域に該当する子どもたちが、内向的問題行動 27.7%、外交的問題行動 21.2%、総合 25.9%に上っていることを明らかにした。この研究から、震災のトラウマ体験が子どもの行動上の問題と関連する可能性があることがわかる。また、MacLaughlin¹⁹⁾らが行った、SDQ の 6 項目を使用した研究ではハリケーンによる 4 歳から 16 歳までの子どもたちの深刻な情緒障害について調査していた。その結果、情緒障害の子どもは割合はベースライン期、36 から 39 カ月後の間で 15.1%から 11.5%と有意に下がっていたが、それでもなおハリケーンの前と比べると高い割合であることが述べられていた。これらより、今回の研究で明らかになったストレス体験群の子どもたちの行動上の問題は震災のトラウマ体験の影響を受けている可能性があるかと推察される。今後は、長期的に中学生の健康状態を追跡し、時間経過に伴う変化を調べることも重要であると考えられる。

今回の調査では複数の研究の限界がある。一つ目はサンプルサイズに関してである。今回の調査では、ストレス体験群、コントロール群ともに 100 名に足らず、サンプルサイズが小さいまま分析をしてしまっている。二つ目は調査時期の違いである。ストレス体験群のデータは震災が発生した当時である平成 23 年に収集した。一方、コントロール群のデータは平成 26 年に収集した。そのため、このデータをそのまま比較することは適切ではない可能性がある。

<被災の個人的影響調査>

震災より 3 年半～4 年が経過し、それぞれがどのように生活したいかということと向き合い、実現するための方法を模索している時期といえる。震災前の生活を取り戻すことは現実的に難しく、今ある環境のなかで最優先されることを選択していると考えられた。関連図より、今後必要と考えられる支援について考察した。

1. 生活基盤の安定を図る支援

震災後、避難生活等に伴う家族形態や住環境の変化によって、身体的、精神的に大きな苦痛を感じながら、家族の健康を保ち、少しでも快適に過ごすための努力をしていた。家族の生活の安定が子どもの心に影響することは、保護者、子ども双方の関連図からもわかる。さらに、子どもは将来の夢について語ることができており、保護者は避難生活を経験することで、親として子どもをどのように育てたいかを強く意識するようになったと認識している。子どもの健やかな成長発達を促すためには、保護者支援が重要である。特に今回、最も多く語られた内容は教育環境に関する

る内容であった。義務教育では少人数のメリットを感じている内容が含まれる一方、高校進学に関して、震災前まで慣例化されていた方法では対応できない。高校進学に関するモデルケースを呈示するなど、具体的なイメージを持つことができる支援が必要だと考える。

2. 情報提供方法の工夫

震災後の経験の中で放射線に関する知識は定着しており、生活の中で自分なりの対処方法を獲得していた。震災および原発事故後の混乱の中で、丁寧に説明してきた効果であると考えられた。

3 年半経過した調査時点で、それぞれの生活のペースも確立しつつあり、今後の人生をどのように過ごすかということを考えていた。今後、国中心の支援から、徐々に川内村独自の支援へ方向転換していくことになることになると、より個別的な対応が求められる。村内はインターネット環境がかなり整備されており、インターネット、スマートフォンなどの活用は有効である。しかし、それらを有効に活用し、アクセスしなければ情報は得られない。環境のみならず、情報の受け手側の協力が必要であろう。特に未帰村の方には、定期的なアクセスを促すだけでなく、「見なくなる工夫」も必要かもしれない。

3. 相談窓口のバリエーション

保護者の語りの中には、身近だから言いやすいこと、身近な人だからこそ話せないこと、どちらもあることが含まれており、子どもの関連図でも『村外で話を聞いてくれる存在』に期待する内容が抽出された。プライバシーが保たれることはもちろんのこと、対面での相談、電話など顔を合わせず匿名でも相談できるなど、利用者が選択できる多様な相談方法が必要である。特に、今後はさらに個別の対応が重要になってくると考えられる。個人のニーズに応じた情報収集を支援するために、村役場や関連する施設のどこで必要な情報が得られるかをコーディネートし、さらにそこで得られた情報を相談者とともに整理して、家族の決定を支援するような役割を持った部門が必要かもしれない。

4. 心のよりどころである「ふるさと」

それぞれに表現は異なっていたが、保護者、子ども双方とも川内村を大事に思う気持ちについて語られていた。今後の村づくりに関して、住民との対話を続けることが重要だと考える。帰村につなげる大きな要因として仕事が挙げられる。今回のインタビューには国や村の支援を受けて、資格を取得することで、震災前よりも満足できる仕事につながった例が含まれており、帰村によって自己実現できる可能性がある。また、避難生活で得た経験は、ずっと川内村に住んでいたら気がつくことが難しい新たな視点を得た経験とも捉えられる。昔ながらの良さを残しつつ新しい形をつくっていくことも大事なのではないかと考える。

V 結論

I. 成人・高齢者の生活習慣病とこころの健康に関する集団比較調査

川内村住民の大震災直後の精神健康度や生活習慣に関する調査を行った。災害の経験や避難生活は、生活習慣の変化をもたらし、健康問題を生じ、それらは同時に精神面にも影響を及ぼした。五島市住民と精神健康度の尺度である K6 の値を比較したところ、川内村住民の方が高いという結果が得られた。K6 の値が低い方が精神状態が安定していることを示すため、川内村住民に対する心身両面の継続した復興支援が必要であると考えられる。

II. 子どもと親の多重ストレスと心身健康

被災の集団への影響調査では、東日本大震災による多重ストレスの急性期の子供の健康状態について知ることができた。被災1年後の状態にて、震災による生活や健康への多大な影響から、多くの子どもが支援を必要としていた。特に同年代とのコミュニケーションの不足は、子どもたちの求めるところであり、今後の震災等の災害時にどのようにケアするかを考える上で重要な視点と言える。

また、被災の個人への影響調査においては、保護者と子どもが震災直後から現在に至る過程の中で感じた健康問題のみならず、社会・経済・教育問題が明らかとなった。震災によって、住み慣れた環境を一旦離れなければならない状況から、生活を再構築していくために必要な支援として、生活基盤の安定を図る支援、情報提供方法の工夫などの需要があることが指摘された。また一方で、心のよりどころとしての「ふるさと」は変わらず続いていることも併せて確認され、今後の帰村への取り組みにも期待が感じられた。

本研究に関する現在までの研究状況、業績

- 1) 土壌等の放射性物質測定を通じた、除染効果の評価に関して、外部被ばく線量対策として、空間線量と個人被ばく線量との比較を行った。その成果は第55回原子爆弾後障害研究会で発表した。折田真紀子、林田直美、松田直樹、高村昇、川内村の避難指示区域における空間線量と個人被ばく線量評価。2014
- 2) 川内村常駐の保健師と長崎大学スタッフにより、健康相談、講演活動、健診を震災直後より継続し、住民の思いを傾聴してきた。その活動の中で、住民の放射線の健康影響に対する認識について、個別相談をしながら調査を行った。その成果は以下の学会で発表した。
 - ① 折田真紀子、林田直美、浦田秀子、新川哲子、高村昇。長崎大学川内村サテライトの設置とその活動について。第54回原子爆弾後障害研究会。2013.
 - ② 折田真紀子、林田直美、浦田秀子、新川哲子、高村昇。長崎大学・川内村復興推進拠点での実践活動について。第2回日本放射線看護学会学術集会。2013
 - ③ 相川智菜満、小野綾奈、杉本加奈子、田崎杏奈、折田真紀子、浦田秀子、新川哲子、林田直美、高村昇 他。大学生による川内村の子ども達に対する「子ども教室」の開講を行って。第3回日本放射線看護学会学術集会。2014
 - ④ 田中祐大、折田真紀子、新川哲子、浦田秀子、高村昇。大学生による「川内村復興子ども教室」活動の現状と課題。第4回日本放射線看護学会学術集会。2015
- 3) Makiko Orita Naomi Hayashida Hideko Urata et al. Determination of the return to hometowns after the accident at FUKUSHIMA dai-ichi nuclear power plant: a case study for the village of KAWAUCHI. Radiation Protection Dosimetry 2013; 156: 383-385.
- 4) Orita M, Hayashida N, Nakayama Y, Shinkawawa T, Urata H, Fukushima Y, Endo Y, Yamashita S, Takamura N. Bipolarization of Risk Perception about the Health Effects of Radiation in Residents after the Accident at Fukushima Nuclear Power Plant. PLOS ONE 10(6): e0129227, 2015.
- 5) 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. PeerJ 3:e2417, 2015

6) Yoshida K, Sinkawa T, Urata H, Nakashima K, Orita M, Yasui K, Kumagai A, Ohtsuru A, Yabe Y, Maeda M, Hayashida N, Kudo T, Yamashita S, Takamura N.

Psychological Distress of Residents in Kawauchi Village, Fukushima Prefecture After the Accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: The Fukushima Health Management Survey. Peer J in press

7) 吉田浩二, 新川哲子, 浦田秀子, 林田直美, 矢部博興, 前田正治, 大津留晶, 高村昇: 東日本大震災後の福島県川内村住民の生活習慣と精神的健康度評価: 福島県県民健康調査. 原子爆弾後障害研究会講演集. 2016, in press

引用文献

- 1) 川内村ホームページ「第四次川内村総合計画」
www.kawauchimura.jp/outline/synthesis_plan/plan3_4.pdf 閲覧日 2015.9.15
- 2) 五島市ホームページ「老人福祉計画・介護保険事業計画(第5期:平成24年度～平成26年度)」
http://www.city.goto.nagasaki.jp/contents/city_ad/index126.php 閲覧日 2015.9.15
- 3) 湯川晴美. 在宅高齢者の食と健康に関する長期縦断研究. 日本食生活学会誌. 2006; 16: 100-103.
- 4) 西條剛央: ライブ講義・質的研究とは何か SCQRM ベーシック編, 初版第4刷, 新曜社, 東京, 2008年
- 5) 西條剛央: ライブ講義・質的研究とは何か SCQRM アドバンス編, 初版第1刷, 新曜社, 東京, 2008年
- 6) Yabe H, Suzuki Y, Mashiko H, et al. Psychological distress after the Great East Japan Earthquake and Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident: results of a mental health and lifestyle survey through the Fukushima Health Management Survey in FY2011 and FY2012. Fukushima J Med Sci. 2014; 60(1): 57-67.
- 7) 小西文子, 孫琳琳, 木村靖夫. 高齢者の身体状況、体力、生活習慣、食生活状況および主観的健康感と生活満足度の関連. 日本健康教育学会誌, 2009; 17(1): 14-23.
- 8) 湯川晴美. 在宅高齢者の食と健康に関する長期縦断研究. 日本食生活学会誌. 2006; 16: 100-103.
- 9) 熊谷修, 榮田博, 須山靖男. 在宅中高年者の食品摂取パターンとその関連因子. 老年社会科学, 1992; 14: 24-33.
- 10) Kessler RC, Barker PR, Colpe LJ, et al. Screening for serious mental illness in the general population. Arch Gen Psychiatry 2003; 60: 184-189.
- 11) Blanchard EB, Jones-Alexander J, Buckley TC, et al. Psychometric properties of the PTSD Checklist (PCL). Behav Res Ther 1996; 34: 669-673.
- 12) Furukawa TA, Kessler RC, Slade T, et al. The performance of the K6 and K10 screening scales for psychological distress in the Australian National Survey of Mental Health and Well-Being. Psychol Med 2003; 33: 357-362.
- 13) Kawakami, N. National survey of mental health measured by K6 and factors affecting mental health status (in Japanese) in Research on Applied Use of Statistics and Information, Health Labour Sciences

Research Grant 2006/2007.

- 14) Orita M, Hayashida N, Nakayama Y, et al. Bipolarization of Risk Perception about the Health Effects of Radiation in Residents after the Accident at Fukushima Nuclear Power Plant. PLOS ONE 2015; 10. e01292279.
- 15) Lochard, J. Rehabilitation of living conditions in territories contaminated by the Chernobyl accident: the ETHOS Project. Health Phys 2007; 93(5): 522–526.
- 16) 伊藤武彦. 津波と原発の子どもたちの時間的展望への影響. Journal of International Society of Life Information Science: 32(1): 47-49, 2014
- 17) 岩垂喜貴. 追跡調査からみる被災児童の特徴：日本社会精神医学会雑誌. 22 : 340-345, 2013
- 18) Fujiwara T, Yagi J, Homma H, Masahiko H, Nagao K, Okuyama M, GEJE-FC study team. Clinically significant behavior problems among young children 2 years after the Great East Japan Earthquake. PLoS One 2014;9(10): e109342.
- 19) McLaughlin KA1, Fairbank JA, Gruber MJ, Jones RT, Osofsky JD, Pfefferbaum B, Sampson NA, Kessler RC. Trends in serious emotional disturbance among youths exposed to Hurricane Katrina. Journal of American Academy of Child & Adolescent Psychiatry: 49(10):990-1000, 2010

資料1 平成23年度「こころの健康度・生活習慣に関する調査（一般用）」

	項目
性別	男性
	女性
震災時年齢 (平均年齢 59.3 歳)	20 歳未満
	20 歳代
	30 歳代
	40 歳代
	50 歳代
	60 歳代
	70 歳代
	80 歳以上
健康状態	きわめて良好
	良好
	普通
	悪い
	きわめて悪い
疾患	
高血圧	ある
	ない
糖尿病	ある
	ない
高脂血症	ある
	ない
がん	ある
	ない
脳卒中	ある
	ない
心臓病	ある
	ない
慢性肝炎	ある
	ない
肺炎	ある
	ない
骨折	ある
	ない
甲状腺疾患	ある
	ない

精神疾患	ある ない
病気やけがの有無	はい いいえ
検査	
CT	ある ない わからない
透視	ある ない わからない
その他の検査	ある ない わからない
放射線療法	ある ない わからない
日常生活機能	
食事	ひとりでできる ひとりではできない
着替え	ひとりでできる ひとりではできない
トイレ	ひとりでできる ひとりではできない
買い物	ひとりでできる ひとりではできない
レクリエーション	参加しない 時々参加する 参加する
睡眠満足度	満足している 少し不満 かなり不満 非常に不満
生活習慣	
喫煙	吸ったことがない やめた 吸っている

副流煙	毎日 週 4-5 日程度 時々 めったにない
震災以前喫煙	吸っていなかった 吸っていた
飲酒	飲まない やめた 飲む
震災以前飲酒	飲んでいなかった 飲んでいた
運動量	ほとんど毎日 週 2-4 回 週 1 回程度 ほとんどしない
地震	非該当 該当
津波	非該当 該当
原発事故	非該当 該当
いずれもなし	非該当 該当
家屋被害	被害無し 一部損壊 半壊 大規模半壊 全壊
震災死別	はい いいえ
避難所	非該当 該当
仮設住宅	非該当 該当
借家アパート	非該当 該当
親戚宅	非該当 該当

持家	非該当 該当
その他	非該当 該当
現住まい	避難所 仮設住宅 借家アパート 親戚宅 持ち家 その他
仕事変化	変わった 変わらない
新仕事開始	非該当 該当
失業	非該当 該当
転職	非該当 該当
増収	非該当 該当
減収	非該当 該当
その他	非該当 該当
最終学歴	小中学校 高校 専門学校 大学
出産有無	ある ない
K 6	13 点未満 13 点以上
P C L	44 点未満 44 点以上

資料2 平成23年度「こころの健康度・生活習慣に関する調査（小学生）」

	項目	
性別	男性	
	女性	
震災時年齢 (平均年齢 9.4 歳)	6 歳	
	7 歳	
	8 歳	
	9 歳	
	10 歳	
	11 歳	
	12 歳	
健康状態	きわめて良好	
	良好	
	普通	
	悪い	
	きわめて悪い	
治療中	あり	
	ない	
入院	あり	
	ない	
検査		
	CT	ある ない わからない
	X線	ある ない わからない
透視	ある	
	ない	
血管	ある	
	ない	
核医学	ある	
	ない	
放射線治療	ある	
	ない	
	わからない	
睡眠時間 (平均睡眠 8.4 時間)	5 時間	
	6 時間	

	7 時間
	8 時間
	9 時間
	10 時間
運動量	ほとんど毎日 週 2-4 回 週 1 回程度 ほとんどしない
地震	非該当 該当
津波	非該当 該当
原発事故	非該当 該当
いずれもなし	非該当 該当
SDQall	16 点未満 16 点以上

資料 3 平成 23 年度「こころの健康度・生活習慣に関する調査（中学生）」

	項目
性別	男性
	女性
震災時年齢 (平均年齢 13.6 歳)	12 歳
	13 歳
	14 歳
	15 歳
健康状態	きわめて良好
	良好
	普通
	悪い
	きわめて悪い
病気が有無	はい
	いいえ
治療中	あり
	ない
入院	あり
	ない

検査	
CT	ある ない わからない
X線	ある ない わからない
透視	ある ない
血管	ある ない
核医学	ある ない
放射線治療	ある ない わからない
睡眠時間 (平均睡眠 6.9 時間)	5 時間 6 時間 7 時間 8 時間 9 時間
睡眠満足感	十分だと思う やや足りない 足りない
運動量	ほとんど毎日 週 2-4 回 週 1 回程度 ほとんどしない
地震	非該当 該当
津波	非該当 該当
原発事故	非該当 該当
いずれもなし	非該当 該当
SDQall	16 点未満 16 点以上

Efforts to Promote Returns to Kawauchi Village, Fukushima Prefecture

Hideko Urata^{*1}, Shunichi Yamashita^{*1}, Noboru Takamura^{*1}, Naoki Matsuda^{*3}, Takahiro Maeda^{*2}, Naomi Hayashida^{*1}, Hirooki Yabe^{*4}, Akira Ohtsuru^{*4}, Masaharu Maeda^{*4}, Koji Yoshida^{*4}, Keiko Imamura^{*5}, Kanami Nakashima^{*1}, Kyoko Matsukawa^{*6}, Tetsuko Shinkawa^{*2}, Nobuo Matsusaka^{*2}, Hideyuki Nakane^{*2}, Kazuyo Oishi^{*2}, Hiroko Hanada^{*2}, Shigeru Inokuchi^{*2}, Ryoichirou Iwanaga^{*2}, Akiko Tokunaga^{*2}, Yumiko Kanamaru^{*2}, Naoko Yamamoto^{*2}, Kanako Morifuji^{*2}, Junichi Tanaka^{*2}

^{*1} Atomic Bomb Disease Institute, Nagasaki University

^{*2} Health Sciences Graduate School of Biomedical Sciences, Nagasaki University

^{*3} Nagasaki University Center for Frontier Life Sciences

^{*4} Fukushima Medical University

^{*5} Kagoshima University

^{*6} Medipolis Proton Therapy and Research Center

Keywords: radiation exposure; lifestyle-related diseases; multiple stress; return-to- village promotion

Abstract

To contribute to activities that support health education and counseling, which promote returns to Kawauchi village, the present study evaluated group and individual mental and physical health problems caused by the nuclear accident. Two projects were conducted based on the purpose of the research.

I. A comparative group health survey on lifestyle disease and mental health among adults and the elderly.

The survey subjects were adults over 30 years old from Kawauchi village and Goto. The research included the following activities:

- 1) Evaluation of lifestyle-related diseases
- 2) Mental health investigation and data collection using a 2011 Prefectural Health Survey for Kawauchi village inhabitants and a 2014 Special Medical Survey for Goto city inhabitants.

Half of Kawauchi residents were diagnosed with high blood pressure, and 30% were diagnosed with hyperlipidemia. Concerning lifestyle, 60% of villagers had insufficient sleep while 70% were underactive. In addition, the K6 results obtained from people over 65 years old were higher from Kawauchi village inhabitants than those from Goto.

In this study, Kawauchi village residents considered that, one year after the earthquake, their living

situation in evacuation shelters was dissatisfactory. They were also worried about their future. This suggests a connection between lifestyle and mental health. We recommend efforts to should be done to prevent their lifestyle-related diseases from intensifying. These efforts should focus on supporting daily life and improving sleep quality—factors that will reduce stress levels.

II. Multiple stresses suffered by children and their parents, along with mental and physical health.

In the first year, to study the impact of the disaster on the affected population, the Fukushima Prefectural Health Survey evaluated 68 elementary school students and 31 junior high students from Kawauchi village. The control group consisted of 62 elementary school students and 56 junior high students children from Nagasaki. The elementary school and junior high school students from Kawauchi village had significantly poor health, physical conditions, and sleep quality. The average SDQ scores obtained from elementary school students from Kawauchi village were exceptionally high in emotion, camaraderie, and pro-social categories, while the general scores obtained by junior high school students from Kawauchi village were significantly high in all areas. This result shows that elementary and junior high school students from Kawauchi village suffered a deterioration in their general health immediately after the disaster. This suggests that assistance is necessary.

The following year, a new study was conducted on how the disaster affected individual victims. Interviews were collected from 6 elementary and junior high school students from Kawauchi village who cooperated in this study, along with their 13 tutors. The interview mainly consisted of questions about their mental and physical health conditions (including depression research, which uses PHQ-9), domestic problems, necessities of life, relations with their family, friends, and local residents, and their future outlook. The interviews included 14 families, and 7 main categories were extracted:

- 1) "A balanced daily life"
- 2) "The pleasure of life"
- 3) "Ties with teachers"
- 4) "Mental health problems"
- 5) "Live and listen to tales told outside the village"
- 6) "Difficulties in adapting to school life"
- 7) "Dissatisfactions and expectations from your village"

It has been over three years since the disaster. This was a time for everybody affected to reassess the kind of life they want. It was a time to search for a solution, and a chance to realize their needs.

放射線測定と行動調査による子どもの線量低減化と健康不安の軽減に関する研究

細野 眞 (近畿大学医学部附属病院 教授)

研究要旨

福島県川俣町(かわまたまち)において本研究者らは2011年の震災直後から子ども全員の線量評価の実施を含めた町の放射線への対応について支援してきた。本研究において、その実績をもとに子どもの線量評価を継続して実施して除染の進行や時間の経過と共に線量が減少している推移を確認するとともに、特に比較的線量の高い地区において個別のきめ細かな対応によって、個人の行動調査と関連づけて線量の要因を解析して線量低減につなげる手法を検討した。内部被ばく線量への関心に対処するために簡易型体内放射能測定装置を開発した。また、心理状態に関して調査を実施し、本研究と並行して本研究者らが実施している健康相談会や講演会の開催を通じて心理ケアを行った。このような線量低減への取り組みとそれを踏まえた心理ケアの実施により、住民の心身の健康の向上に寄与することを図った。

キーワード：個人線量、線量測定、子ども、心理ケア、心身の健康

研究協力者

人見一彦(近畿大学臨床心理センター 教授)、伊藤哲夫(近畿大学原子力研究所 教授)、山西弘城(近畿大学原子力研究所 教授)、荒川 剛(近畿大学産業理工学部 教授)、岡嶋 馨(近畿大学医学部奈良病院 教授)、松田外志朗(近畿大学原子力研究所 准教授)、若林源一郎(近畿大学原子力研究所 准教授)、金井啓子(近畿大学総合社会学部 准教授)、奥村博司(近畿大学農学部 准教授)、花田一志(近畿大学医学部 講師)、奥野洋子(近畿大学臨床心理センター 講師)、芳原新也(近畿大学原子力研究所 講師)、稲垣昌代(近畿大学原子力研究所 技術課長)、人見佳枝(近畿大学臨床心理センター 医師)、薬師寺優子(近畿大学医学部附属病院 看護長)、高原尚美(近畿大学医学部附属病院 看護師)、坂口健太(近畿大学医学部附属病院 診療放射線技師)、井上 亮(近畿大学医学部附属病院 診療放射線技師)、黒川敏昭(近畿大学医学部附属病院 診療放射線技師)、吉田修平(近畿大学医学部附属病院 診療放射線技師)、渡邊翔太(近畿大学医学部附属病院 診療放射線技師)、上田いづみ(近畿大学医学部放射線医学教室 秘書)

I 研究目的

本研究者は、福島県川俣町（かわまたまち）の要望に応じて、2011年6月からガラスバッジ等を用いて町の子どもの外部被ばく線量の評価を支援してきた^{1) 2)}。本研究では、その実績をもとに平成25-26年度（2013-14年度）において、子どもの線量評価を継続して実施し、線量低減と住民の心身の健康の向上を図るための手法を検討した。本年度平成27年度（2015年度）においては、前年度から引き続いてD-シャトルとGPSロガー（記録機）を組み合わせたよりきめ細かな線量の評価を行い、また並行して生活活動の記録や心理のスコア化を用いて不安についての客観的評価を実施した。さらにジャーナリズムの観点から住民のストレス軽減に役立つ情報伝達について検討を加えた。

川俣町は環境中の放射性セシウムの影響を強く受けている自治体のひとつであり、震災直後、子どもへの放射線の影響を危惧して、子ども一人ひとりの線量測定を要望していた。本研究者の所属する近畿大学はそれに応じて、近畿大学教職員の寄付を原資として川俣町にガラスバッジを寄贈し、これを受けて町は、2011年6月から現在に至るまで子ども一人ひとりにガラスバッジを配布し、個人線量の測定を実施し、除染の進行や時間の経過と共に線量が減少している推移を確認している。この外部被ばく線量測定は、開始時点で先駆的であったという点と、全員を継続的に測定したという点で意義が大きい。このガラスバッジを用いて測定した川俣町の全児童・生徒の個人線量の解析から、2011年6月下旬からの1年間の積算した外部被ばく線量は平均1.14 mSvであり健康に影響のないレベルであることを示してきた。また、2012年4月から2013年3月の1年間では平均0.65 mSvであった。しかし全体として線量は低いものの比較的高い地区もあり、そのような地区では重点的に測定を継続し、高線量の要因を明らかにして除染重点場所を確定したり、対象者の行動様式を変えたりすることにより、きめ細やかな対応によってさらに線量を低減することも可能であると考えられた³⁾。また線量測定と並行して、放射線に関する情報共有活動や健康相談などの心のケアを行うことも重要と考えられた。

そこで本研究では、平成25年度（2013年度）には川俣町の実施するガラスバッジによる子どもの個人線量の評価を支援するとともに、特に比較的高い線量の地区において個人の行動調査と関連づけて線量の要因を解析する手法を試験的に実施した。またアクティグラフという生活活動の記録装置を用いた客観的な行動の記録や質問票等の心理尺度を用いた評価の基礎的検討を行った。大人においても心理尺度を用いた評価を実施した。

平成26年度（2014年度）においては、それらの検討を進めて、ガラスバッジによる子どもの個人線量の評価を継続するとともに、希望者にD-シャトルとGPSロガー（記録機）を組み合わせた個別的な線量評価も行い、個人の生活行動パターンに合わせたよりきめ細やかな対応を実施した。

平成27年度（2015年度）においては、この詳細な線量評価を継続して高い線量の要因を明確化し、線量の低減につなげて不安を軽減し、心身の健康の向上を図った。内部被ばくを考慮して簡易型体内放射能測定の試作機の検証を行った。またアクティグラフと質問票による客観的な行動の記録を子どもにおいて実施した。さらにこれらの検討を通じて得た知見から住民のストレス軽減に役立つ情報伝達についてジャーナリズムに携わる研究者の観点からも検討を加えた。

本研究の検討結果を通じて、原子力災害が住民に及ぼしている甚大な影響の現状の一端を明らかにし、今後の環境中放射線への対応に具体的な方策を示すことを目的とした。

II 研究方法

1. 子どもの個人線量の測定

ガラスバッジによる子どもの線量測定は町を通じて川俣町在住の幼稚園・保育所・小学生・中学生・高校生の希望者について平成27年7月-9月の3か月間の積算線量の測定として実施した。これは本研究者らが2011年6月から支援して川俣町が実施している子どもの線量測定を踏襲したものである。

2. 生活パターンの中でのきめ細かな線量評価

線量計とGPSロガー（記録機）を組み合わせた生活パターンの中でのきめ細かな線量評価は川俣町在住の小学生・中学生・高校生に町を通じて広報していただいて希望者を募り、平成27年11月の2日間に測定器を装着していただいて実施した。用いた線量計とGPSロガー（記録機）は下記の通りである。

線量計：D-シャトル（千代田テクノル社、東京）、専用の読取装置で1時間毎の線量を読み出す

GPSロガー（記録機）：QTravel（QStarz International社、台北）、パソコンに接続して時刻毎の位置情報を読み出す

これらは本研究者が川俣町の調査対象者に郵送し、調査対象者が装着して記録したのちに装置ごと近畿大学に返送した。本研究者がこの返送された機器に記録された内容を読み出してデータとした。

3. 簡易型体内放射能測定

これまでの個人線量測定の中で、住民の間で外部被ばく線量のみならず、内部被ばく線量への関心も高いことがわかってきた。全身検出器（Whole Body Counter、WBC）により体内に取り込まれているセシウム量を測定しているが、WBCによる測定は被測定者に対する精神的圧迫感が大きいし、設置場所が少ないことから頻回に行えるものではない。そこで体の一部をシンチレータ検出器によって簡易的に測定して体全体の内部放射能を推定する手法を開発した。これは被測定者の精神的圧迫感を解消することを目的として、体の一部のみを覆うPartial Body Counter（PBC）による手法である。これにより内部被ばく線量が気懸かりな住民は望むときに容易に測定できる。前々年度から前年度に試作した装置を本年度において検証した。

4. 心理面の評価とサポート

住民の方々は放射線に対して不安・ストレスを感じているが、不安・ストレスを指標化して記録し、近畿大学が川俣町への支援活動の一環として行っている健康相談や講演会等の心理面へのサポートと関連づけて評価することが重要と考えられる。そこで、不安・ストレスを指標化する一手法として、アクティグラフ（マイクロミニ型、AMI社、米国）を用いて子どもの生活活動の記録を行った。アクティグラフは、腕時計型の超小型加速度センサーで、連続約3週間、生活活動数の自動測定・記録を行うことができる。川俣町住民の方々に募って12名の子どもに被験者となっていただき、アクティグラフを非利き腕に装着し、2~3 Hzの加速度変化を閾値0.01Gで検知し、0をまたぐ回数を数え（zero crossing method）、毎分の加速度変化回数を記録した。得られた1分ごとの活動量時系列データで、活動と休息、睡眠の判定を行った。

このアクティグラフによる記録とともに、心理症状に関する自己記入式のチェックリストである SDQ (Strengths and Difficulties Questionnaire) を使用して、心理症状と行動の調査を実施した。SDQ は、英国を中心に北欧やドイツなどヨーロッパで広く用いられている行動評価法で、25 項目の質問について、保護者または保育者・教師が「あてはまる」、「まああてはまる」、「あてはまらない」の 3 段階で回答するものである。5 つのサブスケール (向社会性、多動性、情緒面、行為面、仲間関係) から構成されている。

また心理面へのサポートとしては、本研究者らが本研究と並行して取り組んでいる健康相談、講演、川俣町と近畿大学の交流イベントを通じた活動を行った。

5. ジャーナリズムの観点からの情報伝達の手法

住民に対する心身ケアにおける情報伝達の重要性を、ジャーナリズムの観点から研究・考察することによって、住民にとってできるだけストレスの少ない状態をどう生み出すかを検討した。

川俣町を訪問した際に放射線の生活への影響について住民に対して聞き取りを行うほか、メディア (マスメディアのみならずソーシャルメディアも含む) で伝えられている情報の内容、質と量、伝え方などを観察・分析した。さらに、聞き取りや観察・分析によって得られた結果を、新聞のコラム執筆、ソーシャルメディアでの書き込み、コメンテーターとしてのテレビ出演を通じて発信した。

(倫理面への配慮)

本研究においては、個人情報扱うことから個人線量や心理データについて、対象者の同意を得たうえで線量測定や心理データ収集を実施し、データを個人識別番号にて匿名化し、研究者は対象者の氏名等の個人情報を一切持たないで集計・解析個人情報保護の手順を踏んで、関係法令を順守し、個人情報が外部に漏れいしないよう配慮した。また個人線量や心理データの評価がいかなる形においても対象者の不利益・危険性につながらないよう個人情報は漏れいさせない。得られた結果は川俣町の同意無しには公表しない。これらについて近畿大学倫理委員会に申請して承認を受けたうえ研究を実施した。

III 研究結果

1. 子どもの個人線量の測定

川俣町在住の幼稚園・保育所・小学生・中学生・高校生の希望者を対象としたガラスバッジによる個人線量測定を実施し、平成 27 年 (2015 年) 7 月-9 月の 3 か月の 282 名の線量を取りまとめ、平成 26 年 (2014 年) 7 月-9 月の 3 か月間の 482 名の線量と比較した。平成 27 年 (2015 年) 7 月-9 月の線量の平均値は 0.08 mSv で、最大値で 0.3 mSv であった。仮に 4 倍して年間に換算すると平均値 0.32 mSv、最大値 1.2 mSv となる。前年の平成 26 年 (2014 年) 7 月-9 月線量の平均値は 0.11 mSv で、最大値で 0.4 mSv であった。度数分布を以下のグラフで示す (図 1)。

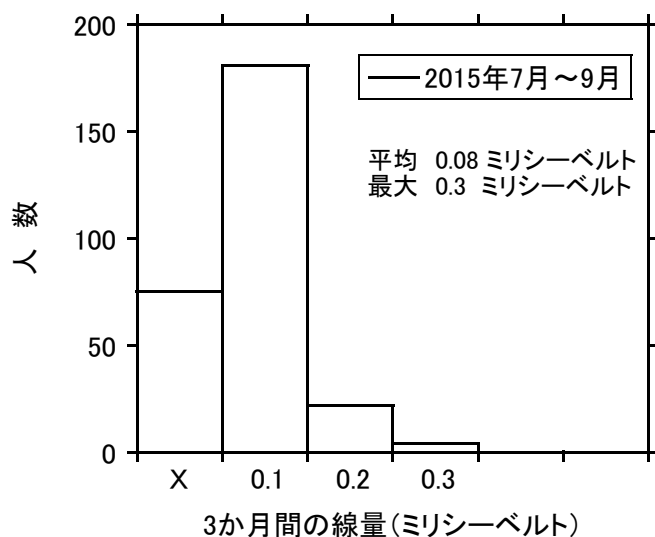
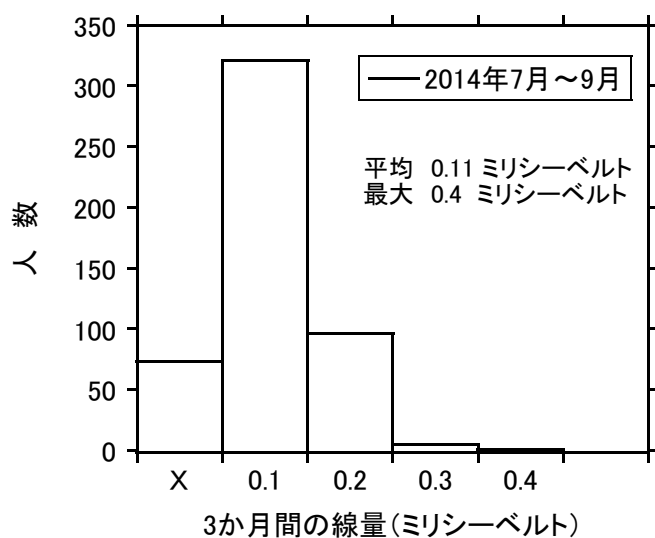


図1 平成26年（2014年）7月-9月の482名、平成27年（2015年）7月-9月の282名の線量分布

2. 生活パターンの中でのきめ細かな線量評価

D-シャトルとGPSロガー（記録機）を組み合わせた詳細な線量評価は21名の希望者があって、その全員を対象に測定を実施した。結果は着用した平成27年11月の2日間の平均線量率として $0.10 \pm 0.08 \mu\text{Sv/h}$ （1日目）、 $0.09 \pm 0.04 \mu\text{Sv/h}$ （2日目）であった。ただしこれはバックグラウンドを差し引いていない値である。本年度は10名の方に自宅内にもD-シャトルを置いていただいて身につけたD-シャトルの測定値と比較した。線量評価の例を図2に示す。

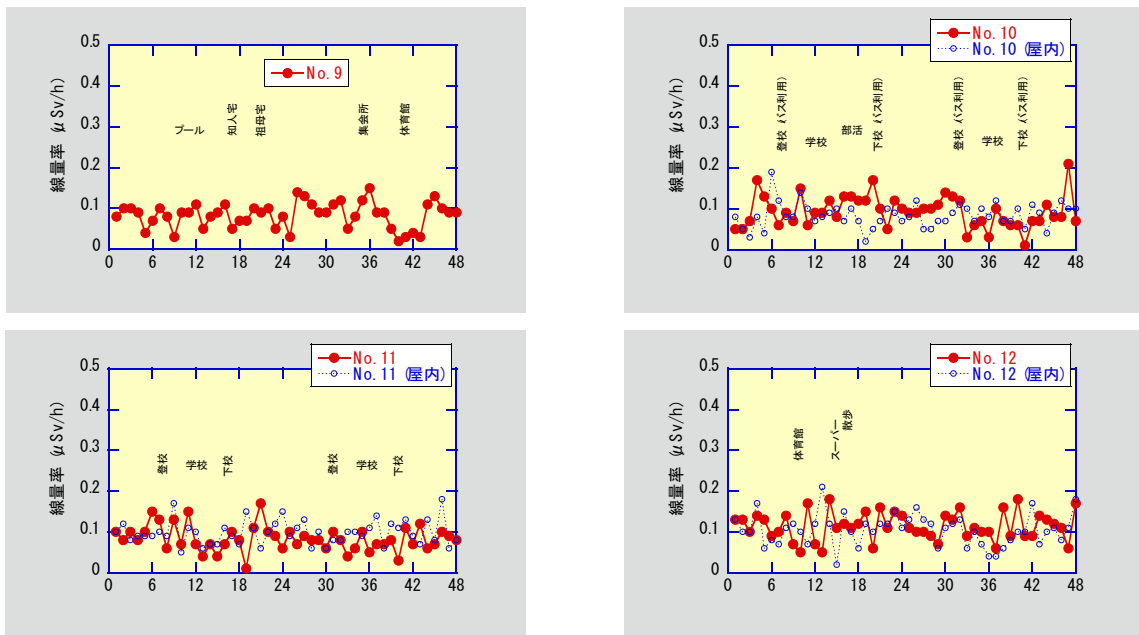


図2 D-シャトルと GPS ロガー（記録機）を組み合わせた詳細な線量評価の例（横軸の単位は時間）

3. 簡易型体内放射能測定

3.1 設計方針

3.1.1 人体における放射能測定

人体内に存在する放射性物質からの放射線放出方向は基本的に無偏向である。この人体内からの放射線照射を効率的に計測する為には、検出器の設計において以下の2点を考慮する必要がある。

設計考慮点1

- ・測定対象放射線量の測定精度を向上するために、検出効率を高くする。

設計考慮点2

- ・測定対象放射線量の測定限界を低くするために、背景放射線量を低減させる。

WBCにおいては、設計考慮点1を満足するために大面積有感体積を持つ検出器を選択し、設計考慮点2を満足するために前述の大面積検出器を覆う大体積遮蔽体を組み合わせた設計となっている。この大面積検出器と大体積遮蔽体による構造が、被検者への精神的圧迫感を喚起する原因となっていると考えられるため、PBCでは次節に示す通り被検者への精神的負担を軽減させる設計方針とした。

3.1.2 PBCの基本設計方針

前述した通り、被検者の計測時に滞在する箇所の閉塞感が精神的負担の原因となっていると考えられる。このため、PBCの基本設計方針として、被検者の開放感を重視する設計とする。被検者の開放感を実現するため、以下に示す方針を満足する設計とする。

被検者開放感確保のための設計方針1

- ・被検者の視野角内には、検出器・遮蔽体による被検者に対する包囲空間を構築しない。

被検者開放感確保のための設計方針2

- ・被検者の身体の全部または一部を検出器・遮蔽体等により拘束しない。

このために、PBC は、検出器の有感体積の表面のうち被検者に向いた方向以外を遮蔽体により覆う設計とする。また遮蔽体の開放方向については、被検者自身により背景放射線の遮蔽を行う設計とする。これより、PBC による被検者の測定については、人体厚が可能な限り大きくなる方向からの測定を行う必要がある。このため、PBC による測定は、椅子に座った被検者の臀部下方から上半身を対象に行う形式とする。PBC のジオメトリ及び測定視野の概要を図 3-1 に示す。

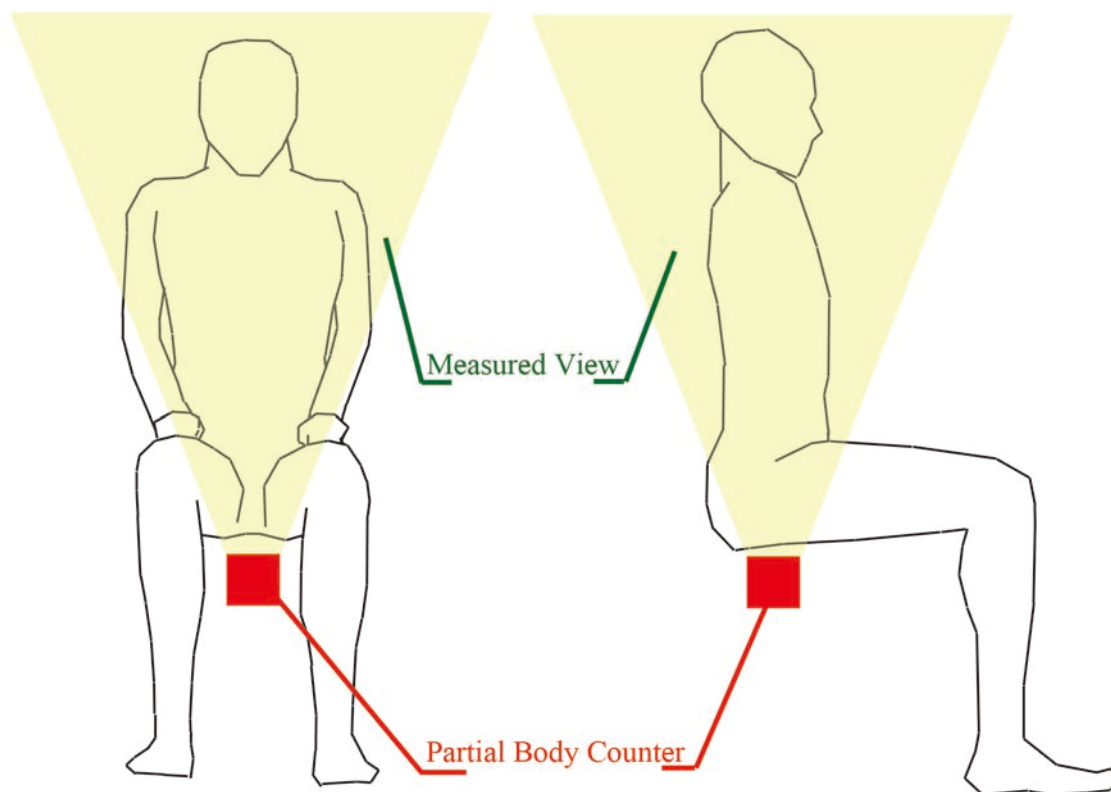


図 3-1 PBC のジオメトリ及び測定視野の概要

3.1.3 PBC による測定値の処理に関する基本方針

PBC により観測される放射線量は、人体から放出される放射線のうちの一部のみである。このため、PBC の測定結果から体内放射能濃度を推定する為には、換算係数 ε を用いる必要がある。

$$A_n = \varepsilon_n \cdot N_n$$

ここで、 A_n は観測対象体型の放射能、 ε_n は観測対象体型に対する計数効率、 N_n は PBC により観測された対象核種の計数（観測範囲については ε_n と連動）である。この時、校正対象体型を $n = \text{STD}$ とおくと、校

正対象体型における換算係数 ε_{STD} は、校正線源の放射能 A_{STD} と PBC による実測値 N_{STD} から求めることが出来る。

$$\varepsilon_{STD} = \frac{A_{STD}}{N_{STD}}$$

一方、異なる体型間の相対的な換算係数比 k_n は、モンテカルロシミュレーションコード (MCNP) 等により算定可能である。

$$k_n = \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_{STD}} : \text{MCNP 等で算定可能}$$

以上より、任意の体型における観測値 N_n からの対象体型の放射能 A_n への換算は、校正用の標準線源による校正体型換算係数 ε_{STD} と、対象体型に対する相対的な換算係数比 k_n により可能となる。

$$A_n = k_n \cdot \varepsilon_{STD} \cdot N_n = \left(k_n \cdot \frac{A_{STD}}{N_{STD}} \right) \cdot N_n$$

なお、本報告に係る開発においては、日本人の平均座高及び平均胸囲を用いた単純化体型モデルにより PBC 検出限界推定等を行った。

3.2.1 PBC 試作機の構造

PBC の有感体積部には、価格・検出効率等を基に検討した結果、 $\phi 3 \times 3$ インチの NaI(Tl) シンチレータを採用した。また、背景放射線の軽減を目的として、NaI(Tl) シンチレータを覆う形状の円筒型鉛遮蔽 (遮蔽厚 : 5 cm) を採用した。製作した PBC の試作機を図 3-2 に示す。

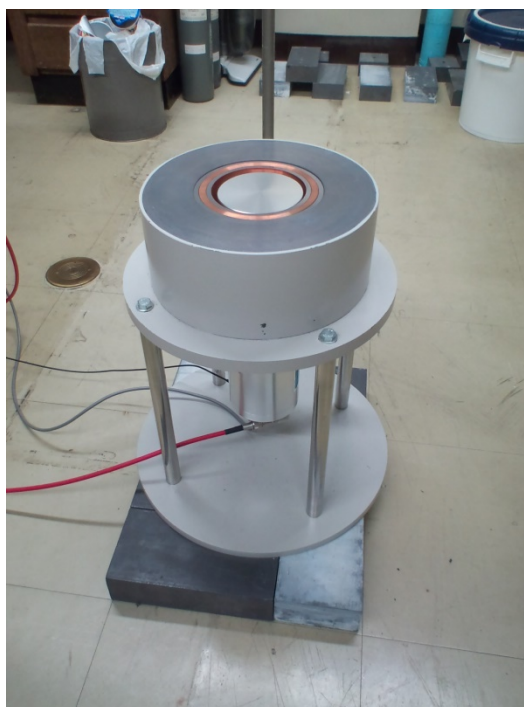


図 3-2 製作した PBC 試作機

3.2.2 PBC 試作機の検出効率

PBC の検出効率をモンテカルロシミュレーションコード (MCNP) により算定する。以下に、算定の手順及び結果を示す。

3.2.2.1 線源モデル

算定対象の放射線源として、校正用の点線源と人体を模した体積線源を選定する。校正用点線源については、PBC 試験機の性能試験との比較を行うために用い、人体を模した体積線源については、測定対象放射性物質が一様に分布した円柱状の水柱を用いる。

体積線源の設定としては、臀部から上部部分を測定対象とするため、日本人の平均胸囲及び平均座高を用いて、円柱状体積線源を設定する。円柱状体積線源の高さに平均座高、円柱状体積線源の円周に平均胸囲を適用して体積線源寸法を決定する。

日本人の平均座高及び平均胸囲については、18 歳未満に対して文部科学省が実施している学校保健統計調査の結果を基に決定する。日本人の平均座高の年齢別推移 (平成 6 年度調査結果) を図 3-3 に、平均胸囲の推移 (平成 6 年度調査結果) を図 3-4 に示す。

図 3-3、図 3-4 に示す通り、15 歳程度までは年齢ごとに座高が大きく異なるのに対し、16 歳以降では座高の伸びが緩やかになっている。また、平均胸囲についても同様である。以上より、検出効率の算定については、6 歳体型、12 歳体型、17 歳体型の 3 ケースを選定対象とし、男女合わせて 6 モデル及び校正用体型として 1 ケースの計 7 ケースを算定対象とする。検出効率算定モデルを表 1 に示す。

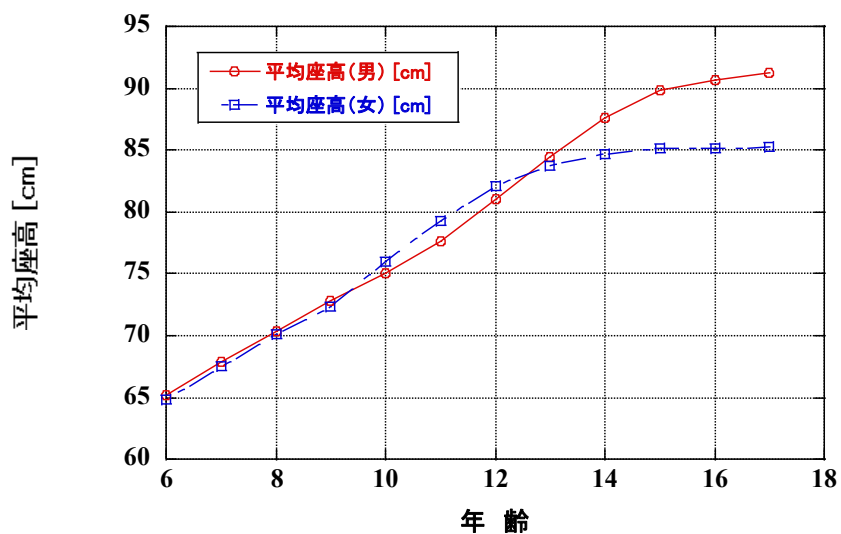


図 3-3 日本人の年齢別平均座高 (平成 6 年度文部科学省学校保健統計調査)

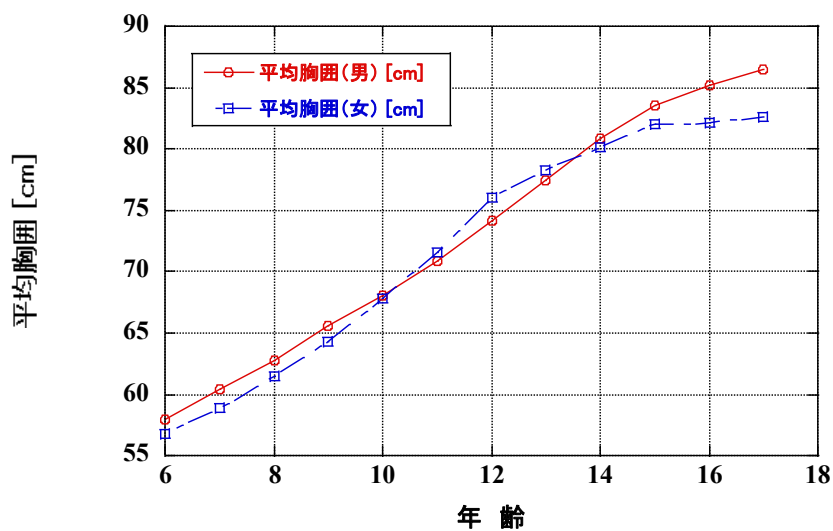


図 3-4 日本人の年齢別平均胸囲 (平成 6 年度文部科学省学校保健統計調査)

表 1 検出効率算定のための体積線源モデル

	男	女
6 歳体型	ϕ : 18.5 cm 高 : 65.2 cm	ϕ : 18.1 cm 高 : 64.8 cm
12 歳体型	ϕ : 23.6 cm 高 : 81.0 cm	ϕ : 24.2 cm 高 : 82.1 cm
17 歳体型	ϕ : 27.5 cm 高 : 91.2 cm	ϕ : 26.3 cm 高 : 85.3 cm
校正用点線源	ϕ : 30 cm、高 : 26 cm の水柱の上面中央に点線源を設定 点線源は検出器表面から 28 cm 位置に設置	

3.2.2.2 計算体型

検出効率の算定においては、線源と検出器及び遮蔽体のみを設定して、算定を行う。算定を行う対象線種としては、 ^{137}Cs から放出される 662 keV のガンマ線とし、効率としては全エネルギーピークの相対計数効率とする。

計算体型としては、NaI(Tl)シンチレータの軸中心を Z 軸上に設定し、 $Z < 0$ の空間に NaI(Tl)シンチレータ及び円筒型鉛遮蔽体を設置し、水柱及び線源は $Z > 0$ の空間に設置する体型を採用する。計算体型の概要を図 3-5 に、NaI(Tl)シンチレータ、鉛遮蔽体の概要を表 2 に示す。

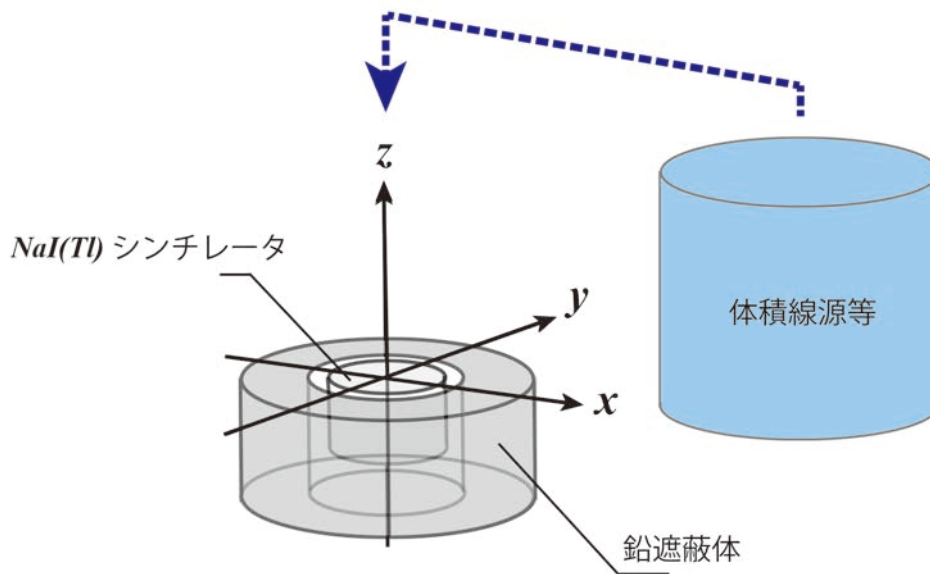


図 3-5 検出効率算定のための計算体型の概要

表 2 PBC 試作機の概要

機器等	項目	寸法 [cm]
NaI(Tl)シンチレータ	直径	7.62
	高さ	7.62
鉛遮蔽体	直径	23.2
	高さ	9.5
	シンチレータ用孔直径	13.0

なお、鉛遮蔽体のシンチレータ用孔内には、制動放射等の影響を低減させる為、内面に厚さ 5mm のアクリル板、厚さ 7mm の銅板及び厚さ 5mm のアクリル板が順番に配置されている。鉛遮蔽体を上面から見た写真を図 3-6 に示す。

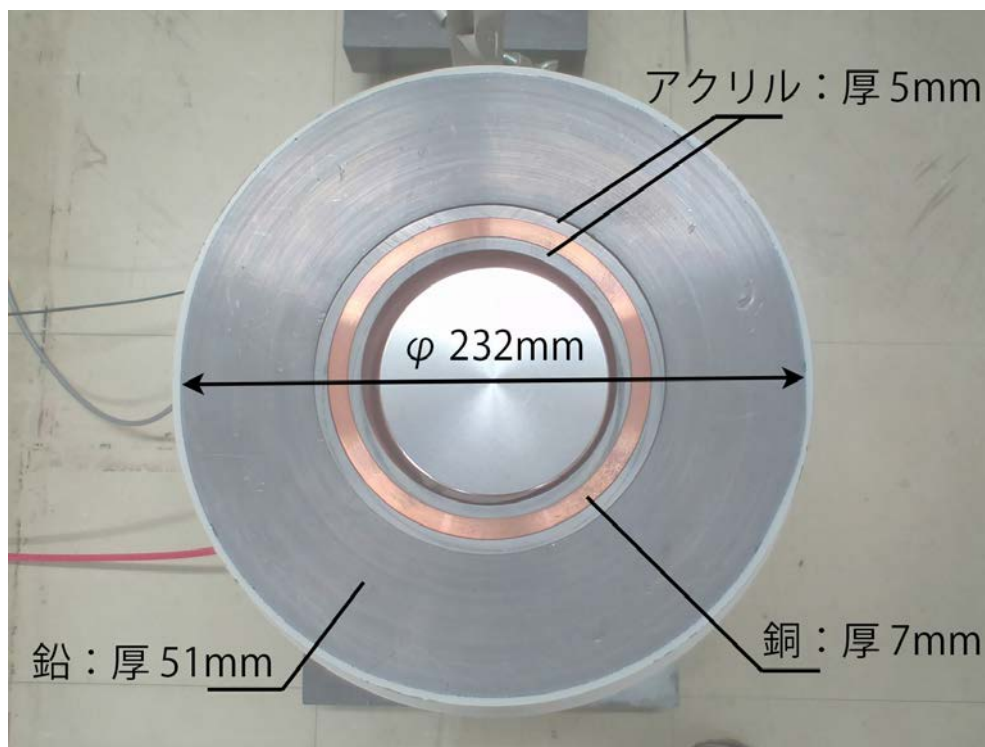


図3-6 鉛遮蔽体を上面から見た写真

3.2.2.3 算定結果

MCNP による ^{137}Cs : 662keV-ガンマ線の全エネルギーピークに対する相対計数効率の算定結果を表3に示す。

表3 算定体型における 662keV ガンマ線に対する全エネルギーピーク計数効率

		全エネルギーピークに対する相対計数効率
6 歳体型	男	2.83
	女	2.85
12 歳体型	男	2.58
	女	2.57
17 歳体型	男	2.49
	女	2.60
校正用体型 (点線源体型)		1.00

校正用体型における計数効率で規格化線源の放射能は全算定体型において同一である

3.3 性能評価

3.3.1 PBC 試作機により試験測定

PBC 試作機による試験測定を下記の通り実施した。

3.3.1.1 測定条件

PBC 試験機のベンチマーク測定として、密封標準線源による測定を実施した。測定の際の遮蔽水柱として、水を満たしたφ30 cm、高さ28 cmの容器上面に¹³⁷Cs密封標準線源を設置し測定を行った。測定条件を表4に、密封標準線源の数量を表5に示す。

表4 ベンチマーク測定条件

バックグラウンド測定時間	12 hour (遮蔽水柱有)
ベンチマーク測定時間	12 hour
遮蔽水柱	φ30cm、高さ26cm
Nal(Tl)－線源間距離	28 cm

表5 使用した¹³⁷Cs密封標準線源の数量等

線源形状	点線源 (プラスチックコイン封入型)
数量	37.0 [kBq]
校正標準日時	2007年1月1日 12:00 GMT

Nal(Tl)シンチレータからの信号は、増幅器により増幅・整形し、MCAにより測定する。増幅器にはORTEC/EG&G社製の520Aを、MCAにはAMPTek社製のMCA-8000Dを用いて測定を行う。測定回路系の概要を図3-7に示す。

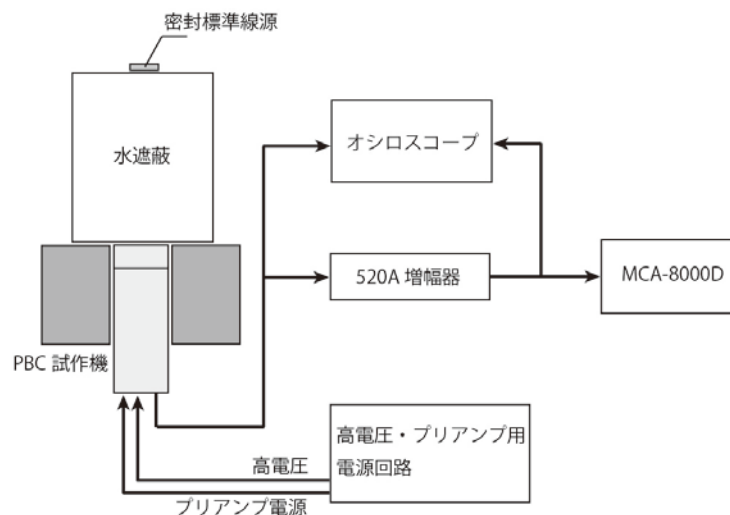


図3-7 PBC 試作機ベンチマーク測定回路の概要

3.3.1.2 測定結果

PBC 試験機により測定された γ 線スペクトルを図 3-8 に示す。ベンチマーク測定により密封標準線源からの 662 keV ガンマ線を観測することが出来た。図 3-8 中の 662keV 全エネルギーピーク領域の積算値等を表 6 に示す。

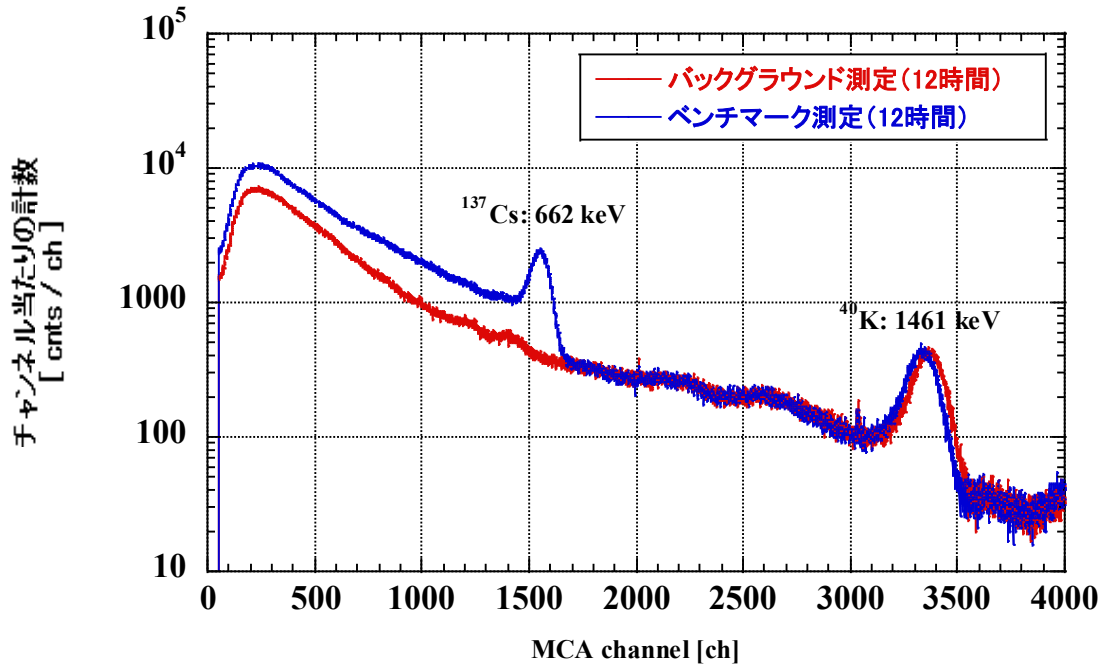


図 3-8 PBC 試験機のベンチマーク測定結果

表 6 PBC 試験機ベンチマーク測定の測定結果

662keV 全エネルギーピーク領域 [ch]	1,400 ~ 1,700
測定時間 [sec]	43,200
バックグラウンド計数 [cnts]	1.2717 E 5
ベンチマーク測定の計数 [cnts]	3.8293 E 5
バックグラウンド計数率 [cnts/sec]	2.944 ± 0.008
ベンチマーク測定の計数率 [cnts/sec]	8.864 ± 0.014
正味の計数値 [cnts/sec]	5.920 ± 0.017
光電ピーク計数効率 [cps/kBq]	0.197 ± 0.001

3.3.2 PBC 試作機の検出限界

3.3.2.1 バックグラウンドとの弁別可能な計数

任意の測定環境における放射線計数のバックグラウンドとの弁別について以下に述べる。ある測定環境におけるバックグラウンド計数を N_{BG} [cnts]、測定対象放射線の正味の計数を N_{target} [cnts] とおき、弁別判断基準を各々の計数の誤差範囲が被らないこととする。この時、各計数の誤差を n 倍の標準偏差とおくと、弁別可能な正味の計数は、以下の式により書ける。

$$N_{target} > n \cdot \left(\sqrt{N_{BG}} + \sqrt{N_{BG} + N_{target}} \right) \quad \dots\dots(1)$$

これより、弁別可能な正味の計数 N_{Limit} [cnts] は、その測定環境におけるバックグラウンド計数により以下の通りに記述できる。

$$N_{Limit} > n^2 + 2n\sqrt{N_{BG}} \quad \dots\dots(2)$$

ここで、 N_{Limit} の N_{BG} に対する変化を図 3-9 に示す。

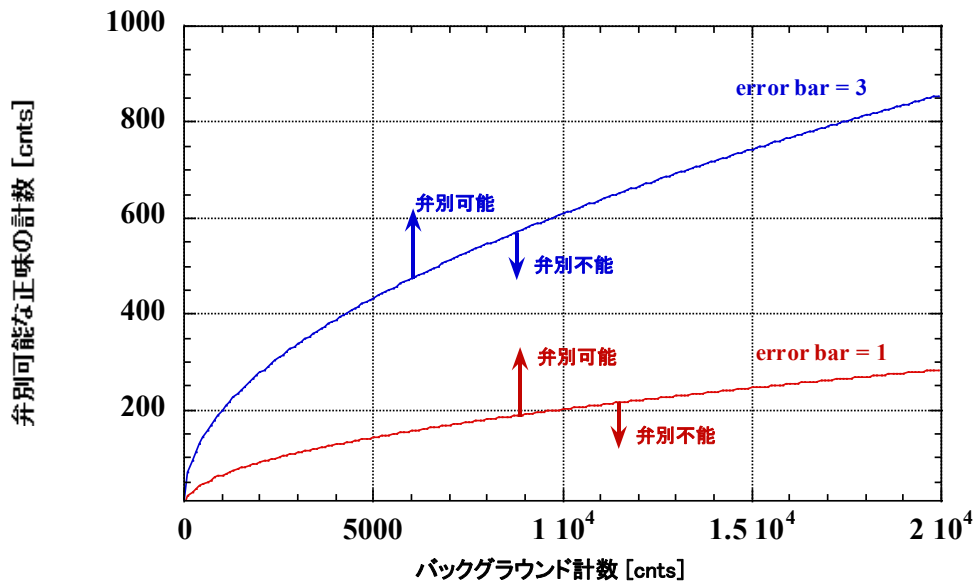


図 3-9 N_{Limit} と N_{BG} との関係

この時、任意の測定時間 T [sec] における正味の計数 N [cnts] は、測定対象の総放射能 A [Bq] と計数効率 ϵ [cps/Bq] により以下の通りに書ける。

$$N = A \cdot \epsilon \cdot T \quad \dots\dots(3)$$

これより、測定限界放射能 A_{Limit} [Bq]は以下に示す通りとなる。

$$A_{Limit} > \frac{n^2 + 2n\sqrt{N_{BG}}}{\varepsilon \cdot T} \dots\dots(4)$$

この式は、対象とする測定体型における計数効率と、校正用体型における計数効率との比 k を用いて、以下の通りに書き直せる。

$$A_{Limit} > \frac{n^2 + 2n\sqrt{N_{BG}}}{\varepsilon_{std} \cdot k \cdot T} \dots\dots(5)$$

3.3.2.2 PBC 試作機の検出限界

弁別用の誤差範囲として 1σ を用い、測定時間を 1 分及び 10 分と仮定した場合の PBC 試作機の検出限界は、表 3 及び(5)式より求めることができる。

$$A_{Limit} > \frac{1 + 2\sqrt{3 \times [60 \text{ or } 600]}}{0.197 \times 10^{-3} \times k \times [60 \text{ or } 600]} \dots\dots(6)$$

この時、バックグラウンド計数を表 6 より 3cps と仮定した場合の PBC 試作機の検出限界を表 7 に示す。

表 7 の算定より PBC 試作機は、測定時間 1 分で 820 ~ 950 [Bq]程度、測定時間 10 分で 250 ~ 290 [Bq]程度以上の放射能を測定出来ることがわかった。

表 7 通常時のバックグラウンドレベルにおける PBC 試作機の検出限界

		測定時間 1 分の場合	測定時間 10 分の場合
6 歳体型	男	833 (47.5)	257 (14.7)
	女	826 (49.5)	255 (15.3)
12 歳体型	男	913 (25.8)	282 (8.0)
	女	916 (24.3)	282 (7.5)
17 歳体型	男	946 (26.0)	292 (8.0)
	女	907 (19.6)	280 (6.0)

単位は[Bq]

() 内の数値は体積線源モデルから算出した体内放射能濃度[Bq/kg]

4. 心理面の評価とサポート

アクティグラフによる生活活動の記録については、12名の子どもの協力をいただいて実施した。

SDQ点数の合計で示されるTDS (Total Difficulties Score) が高い子どもと低い子どものアクティグラフ所見を比較したところ、TDSの高い子どもは落ち着きがなく、例えば休み時間と授業の切り替えがうまくいっていないと思われる所見などあった。例を図11に示す。

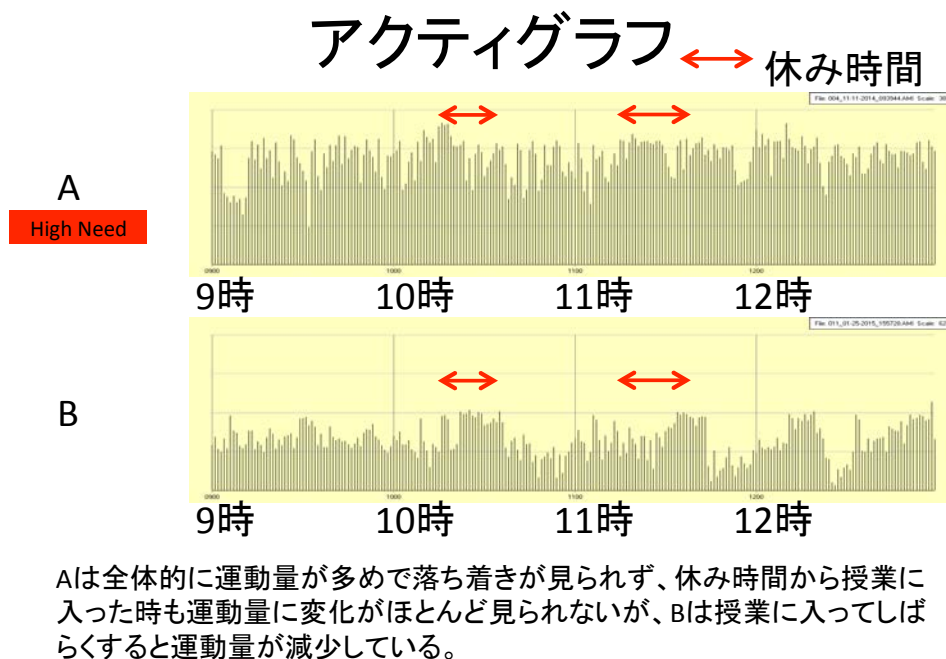


図11 アクティグラフによる運動量の記録の例

また、心理面へのサポートとしては、本研究者らが近畿大学の川俣町への支援活動の一環として本研究と並行して取り組んでいる健康相談、講演、川俣町と近畿大学の交流イベントを通じた活動を行った。

2015年4月12日の川俣町での報告会、2015年5月2日の近畿大学東大阪キャンパスでの報告会、2015年8月25日の川俣町での講演会、2015年8月29-30日の川俣町の川俣シャモ祭りへの参加、2015年11月28日の川俣町での講演会、等を実施した。

5. ジャーナリズムの観点から情報伝達の手法

2011年の東日本大震災発生当初は、津波による被害や福島第一原子力発電所の事故による影響に関する報道が多くなされていたが、時を経るごとに頻度、回数が少なくなっている。川俣町では、居住制限区域や避難指示解除準備区域の住民には補償金が支払われるが、そのすぐ外側に住む人々は放射線の懸念を感じながらも「被災者」と認定されないために経済的な補償がない状況がある。また補償を受けられる被災

者たち自身も遠慮する空気が生まれているという。こうした“溝”が住民間にあることを研究者に指摘したある住民からは、「境界の外側にいる人たちのことを、政府にもっと知ってほしいし、マスコミにも見て報道してほしい」と話した。

川俣町の学校や幼稚園などの教諭たちからは、東日本大震災直後しばらくは子どもたちの多くが放射線の影響を恐れ、外に出ることを怖がったり、給食の全てや一部を食べたがらなかったり、といった反応があったという報告があった。だが、ガラスバッジで放射線の数値をはっきりと把握し、放射線に関することを学ぶ時間を定期的に取り取るうちに、落ち着いていったという。これは、本人たちが状況を理解したことにもよるだろうが、保護者たちの精神的な落ち着きが子どもたちにも波及した可能性がある。

IV 考察

1. 子どもの個人線量の測定

子どもの個人線量が経時的に低下していることは従前の測定によっても明らかになっていたが、本年度もそれを確認することができた。ガラスバッジを用いて282名を対象にした2015年7-9月の3か月間の平均値は0.08 mSvであり、最大値は0.3 mSvであり、仮に4倍して年間に換算すると平均値0.32 mSv、最大値1.2 mSvとなる。これらの線量は前年同時期よりも2-3割低下している。これらの測定は希望者を対象にしているが、希望者数が年々減少しているのは、放射線量が比較的に低く安定しているとの認識が広がったり、放射線に対する慣れが生じたりしているためではないかと推測される。ガラスバッジを用いた子ども自身による測定、放射線教育、講演会への参加などは不安の軽減に役立っていると思われる。もちろん子どもにも保護者にも潜在的には放射線についての不安が存在していると考えるのが妥当であろう。また日常では放射線への不安は自覚されていなくても、進学や就職などの人生の節目、放射線とは必ずしも関係がなくても何らかの体調の不調が生じる際、あるいは様々の風評被害が生じる際には、不安が顕在化することも予想される。そのような事態に備えると言う意味でもリスク評価の基盤となる個人線量の記録は重要である。

2. 生活パターンの中でのきめ細かな線量評価

線量計D-シャトルとGPSロガー（記録機）を組み合わせた記録により、日常生活の行動の中で線量率の高い場所を容易に特定できることがわかった。測定者に適切に装置の取り扱いをご説明すれば、特に困難なく操作していただくことができた。この手法により、日常生活の中で線量率の高い場所を避けたり、重点的に除染等を進める場所を同定したりすることができる。もっとも本年度の検討では実際に積算した個人線量に大きな影響を与える場所は認められなかった。重要なのは、線量率が高くないことを確認できれば住民の方々が安心して行動範囲を広げることができるということであり、この観点からも今回の線量計D-シャトルとGPSロガー（記録機）の組み合わせが、住民の不安軽減のうえでも、また今後の山木屋地区への帰還を進めるうえでも有用なツールとなると考えられる。

3. 簡易型体内放射能測定

人体の一部のみを覆う構造の PBC を設計・試作し、その性能評価を行った。評価の結果、PBC 試作機の検出限界が、測定時間 1 分で 820 ～ 950 [Bq] 程度、測定時間 10 分で 250 ～ 290 [Bq] 程度であることがわかった。市販されている WBC の検出限界は、1 分測定時において 150 [Bq] (60Co 測定時：CANBERRA 社製 MODEL 2250 FASTSCAN) であるが、PBC で同程度の放射能を検出する為には 30 分程度の測定時間が必要となる。

試作した PBC が体内放射能測定を通じて住民の方の不安軽減に役立てることができると考えられた。なお現在では流通している食品の放射性物質モニタリング実施等があるため、体内放射能の不安は大きくないと考えられるが、簡易型体内放射能測定の手法を確立した意義は大きいと考えられる。

4. 心理面の評価とサポート

SDQ の結果では、多動性、情緒面、行為面、仲間関係のそれぞれで、点数の高い「High Need」(支援の必要性がある) ケースが見られ、保護者が何らかの「やりにくさ」を感じていると考えられた。点数の合計で示される TDS (Total Difficulties Score) が高いケースと低いケースをアクティグラフで比較したところ、高いケースは全体的に落ち着きがなく、休み時間と授業の切り替えもうまくいっていない事例があった。このような事例は震災とは関係なくても認められるものであり、必ずしも震災のストレスに起因するものかどうかは判断に至らないが、事例があることは認識する必要があると考えられる。このような事例に対して心理的サポートが必要か見極めるため、また必要な事例に心理的サポートを実施するためには、住民の方々とさまざまな交流の機会を通じて、率直な意見交換をして信頼関係を築いていくことが重要であると考えられる。

5. ジャーナリズムの観点から情報伝達の手法

東日本大震災後の復興を完全には遂げていないにもかかわらず、福島に関する報道の頻度が少なくなる中で、福島の状況が世間に知られなくなりつつあるという不満が住民の間からは感じられた。

一方で、住民が受け取る情報が充分にない中では疑心暗鬼の状態に陥りやすいが、本研究でも実施したガラスバッジによる個人線量の評価など数値化された明確なデータなど根拠のある情報が入手できる状況にあれば、心理的に落ち着きを見せることが推察された。

住民に対する心身ケアにおいては、1) 住民が置かれている状況に関する情報を外の世界に向けて十分に発信すること、2) 住民にとって歓迎すべき情報のみならず、ネガティブな情報も充分に入手できる状態を作り出すこと、3) 住民が何を求め不安に感じているのかを着実に聞き取って掘り上げる体制を作ること、が求められている。

東日本大震災発生から時間が経つにつれて、マスメディアとしては報道すべき新たな切り口を探すのが徐々に困難になりつつあるが、引き続いての取材努力が求められる。また、政府や東京電力などは、福島原子力発電所の現状や今後の見通しについて、隠蔽することなく情報公開を進めていくことが望ましい。さらに、住民の声を継続的に聞き取る体制を強化していかなければならない。

V 結論

子どもの個人線量の測定においては、ガラスバッジによる3か月の積算線量の測定により、子どもが受けている線量が年月の経過につれて低減していることが改めて示された。また生活パターンの中のきめこまやかな線量評価のための線量計D-シャトルとGPSロガー（記録機）を組み合わせた手法により、日常生活の行動の中で比較的に線量率の高い場所を容易に特定できることが実証された。D-シャトルとGPSロガー（記録機）を組み合わせることで、線量率を明示することにより不安を軽減し、放射線を懸念することなく行動範囲を広げることに於いて、有力な支援手段となることを示すことができた。また今後の山木屋地区への帰還を進めるうえでも活用できると考えられる。なお今回のD-シャトルの測定結果からは対象者の行動範囲で特記するほどの線量率の高い場所はないことがわかった。

放射線リスクの評価のうえで個人線量の測定は重要である。個人線量が不明であれば、過大な不安や根拠の無い風評被害につながりやすい。また長期的には、一生の間には誰もが、体調の不調をきたすことがあり得る。これは放射線との関係の有無を問わず、である。個人線量の記録を残し、リスクを客観的に評価することが、不用意な葛藤を防ぎ冷静な対応につながるようにと願わずにはいられない。

さて簡易型体内放射能測定を通じて住民の方の不安軽減に役立てることができると考えられた。現在では流通している食品の放射性物質モニタリング実施等があるため、体内放射能の不安は大きくないと考えられるが、簡易型体内放射能測定の手法を確立した意義は大きいと考えられる。

心理面の評価とサポートについては、アクティグラフによる生活活動の記録やSDQの行動評価で心理状態を検出できることが示され、これは今後心理面で支援の必要な子どもを把握するうえで有用である可能性がある。サポートを行うにあたっては、単に調査研究事業だけではなく、住民の方々とさまざまな交流の機会を通じて、率直な意見交換をして信頼関係を築いていくことが重要であると考えられる。

また今回の検討で、住民の心身ケアにおいて、ジャーナリズムの観点からの情報伝達が機能することが大事であると考えられ、住民に対して情報公開を進め、また関係者やマスメディアが住民の声を継続的に聞き取っていくという双方向の情報伝達が住民の心身ケアのうえでもさらに復興を進めるうえでも鍵となると考えられた。

今回提示した線量データは、健康に影響を及ぼすものではないと言ってよいのだと多くの人々に納得していただけるものであろう。しかしながら、住民にとっては、だからといって原子力災害を許せるものではない。それは、放射線が本研究の地元コミュニティをはじめ、被災地全体、さらに日本の社会に与えている影響は甚大であるからである。線量が低いからと繰り返し言ってもそれだけでは、その影響が解消されるものではない。原子力災害は単に物理的な影響を与えるだけではなく、膨大な社会的な影響を与えるものである。心身のケア、充実した医療の提供、産業振興など全方位的なサポートを継続して、住民が自ら震災からの復興を実感できるようになるまで、わが国全体が手を尽くすことが重要である。

この研究に関する現在までの研究状況、業績

- 1) 若林源一郎, 山西弘城, 芳原新也. 福島県川俣町における環境放射線調査と支援活動. 放射線=Ionizing radiation 2013; 38(4), 155-158.
- 2) 山西弘城, 芳原新也, 若林源一郎. 福島県川俣町における環境放射線調査: 土壌中放射性セシウム濃度. Radioisotopes 2013; 62(5), 259-268.

- 3) 稲垣昌代, 山西弘城, 若林源一郎, 芳原新也, 伊藤哲夫, 白坂憲章, 種坂英次, 奥村博司, 古川道郎. 福島県川俣町における環境放射線調査(2)--野生きのこに含まれる放射性セシウム濃度. 近畿大学原子力研究所年報 2013; 49, 7-17.
- 4) Sin-ya Hohara, Masayo Inagaki, Hirokuni Yamanishi, Genichiro Wakabayashi, Wataru Sugiyama, Tetsuo Itoh. Time Trend Change of Air Dose Rate on Paved Areas in Fukushima City After the Fukushima Daiichi NPP Accident. Radiation Monitoring and Dose Estimation of the Fukushima Nuclear Accident. Springer Open 2013; 103-113.
- 5) Hosono M. Chronological Documents on the Fukushima Accident-Nuclear Emergency at the Fukushima Nuclear Reactor Accident in March 2011. Invited lecture. Annual Meeting of Society of Nuclear Medicine, June 9-13, 2012, Miami, Florida, USA.
- 6) 伊藤哲夫, 古川道郎, 杉浦紳之, 山西弘城, 堀口哲男, 芳原新也, 若林源一郎, 稲垣昌代, 小島清, 野間宏. 福島県川俣町における環境放射線調査. 近畿大学原子力研究所年報 2011; 48, 3-9.
- 7) 金井啓子. 復興目指す福島県川俣町 “オール近大”の持つ力. 金井啓子のなにも現代考 大阪日日新聞 2014年1月24日
- 8) 金井啓子. 福島不安どう減らすか 根拠ある情報届く態勢を. 金井啓子のなにも現代考 大阪日日新聞 2014年2月21日
- 9) 金井啓子. “非被災者”の苦悩に目を 被災地との境界で. 金井啓子のなにも現代考 大阪日日新聞 2014年4月4日
- 10) 金井啓子. マグロも手伝う復興支援 必要なサポートを細く長く. 金井啓子のなにも現代考 大阪日日新聞 2015年4月20日
- 11) 金井啓子 『関西 TODAY』(J:COM) にコメンテーターとして隔週水曜日にレギュラー出演、防災等のニュースでは川俣町での研究成果を交えて発言. 2014年6月～現在

引用文献

- 1) オール近大で挑め. 近畿大学 by AERA 朝日新聞出版 36-37. 2013年7月22日発行 132 ページ ISBN : 9784022744630
- 2) 近畿大学 Website. <http://www.kindai.ac.jp/rd/social-activity/earthquake-east-japan/all-kindai.html>
- 3) 大津留晶, 宮崎真. 東京電力福島第一原子力発電所事故後の福島県内の状況と現在の取り組み. 保健医療科学 2013;62(2), 132-137.

Reduction of radiation dose and relief of health anxiety with radiation measurement and behavioral survey in children

Makoto Hosono^{*1}, Kazuhiko Hitomi^{*2}, Tetsuo Ito^{*3}, Hirokuni Yamanishi^{*3}, Tsuyoshi Arakawa^{*4}, Kaoru Okajima^{*5}, Toshio Matsuda^{*3}, Genichiro Wakabayashi^{*3}, Keiko Kanai^{*6}, Hiroshi Okumura^{*7}, Kazushi Hanada^{*5}, Yoko Okuno^{*2}, Shinya Hohara^{*3}, Masayo Inagaki^{*3}, Yoshie Hitomi^{*2}, Yuko Yakushiji^{*1}, Naomi Takahara^{*1}, Kenta Sakaguchi^{*1}, Toru Inoue^{*1}, Toshiaki Kurokawa^{*1}, Shuhei Yoshida^{*1}, Shota Watanabe^{*1}, Izumi Ueda^{*1}

^{*1}University Hospital, Faculty of Medicine, Kinki University

^{*2}Center for Clinical Psychology, Kinki University

^{*3}Atomic Energy Research Institute, Kinki University

^{*4}Faculty of Humanity-Oriented Science and Technology, Kinki University

^{*5}Nara Hospital, Kinki University

^{*6}Faculty of Applied Sociology, Kinki University

^{*7}Faculty of Agriculture, Kinki University

Key words: individual radiation dose; dose measurement; children; psychological care; physical and mental health

Abstract

In Kawamata-machi, Fukushima Prefecture, we have been supporting the residents by providing the countermeasures to radiation exposure, including the individual dose assessment of all children since immediately after the Earthquake in 2011. In the present study, by continuing the individual dose assessment of children, we confirmed the decreasing doses, which might have derived from the passage of time and the progress of decontamination. We also validated methods that would lead to dose reduction by analyzing the factors of dose in association with behavioral survey in a personalized way in the districts with relatively high radiation doses. In addition, we conducted a survey on the psychology state associated with disaster stress among the residents, and hold lectures and consultations on health. With such dose assessment and consequent dose reduction and mental care, we propose management plans that will contribute to the improvement of physical and mental health of the residents.

里山地域の生活・生産活動を支える 放射線被ばくと里山資源汚染の実態調査と動向予測研究

原田浩二(京都大学大学院医学研究科環境衛生学分野准教授)

研究要旨

復興途上において地域資源への放射性物質の移行の不安、地域資源に関わる作業者の被ばくに対する不安、焼却等の周辺地域への放射性物質飛散の不安への対策として、①川内村の林業従事者の放射線被ばく線量調査、②地域資源を中心とした森林生態系におけるセシウムの動態調査、③大気粉じんを通じた移行のモニタリングを実施した。

被ばく線量調査には村内の林業従事者12名(途中から11名)の協力を得て、半導体方式線量計とGPSロガーを組み合わせた装置で2015年4月から2016年1月までの線量を評価した。自然放射線を除いた外部被ばく線量は年間でおよそ640 μ Svと同地域の住民と大きく変わらなかった。季節的な変化は認められなかった。作業によっては1日10~20 μ Sv(1年の勤務日260日では2~5mSv)となる時もあった。半導体方式線量計は時間単位で確認でき、高い被ばくの検出に有効であった。スギ林土壌中の放射性セシウムは、2013年の調査時に比べて全体としては同じであったが、表層の有機物層での濃度が相対的に減少し、鉍質土壌表層での濃度がやや増加した。地上1mの高さでの空間線量は、2013年9月で3 μ Sv/hであったのに対して、2015年9月では2.1 μ Sv/hに減少していた。スギ樹皮中の¹³⁷Cs濃度は、内樹皮では2013年時と大きな違いは見られなかったが、外樹皮では減少傾向が見られた。落葉広葉樹林に発生するきのこの¹³⁷Cs濃度には、腐生菌と菌根菌とで違いが見られ、全体としては菌根菌のほうが¹³⁷Cs濃度が高かった。森林土壌の放射性セシウムは2015年の時点で表層の有機物と鉍質土壌の表層で最も濃度が高いが、きのこに含まれる¹³⁷Csの濃度はこれに対応していない。川内村の河川のイワナとヤマメの¹³⁷Cs濃度は、ホットスポットを水域とする場所では乾重で100~200 Bq/kg、生重換算では昨年よりも¹³⁷Cs濃度は減少傾向にあった。一方、昨年からの除染が開始された富岡町の富岡川と檜葉町の井出川では、¹³⁷Cs濃度の中央値は乾重で400~500 Bq/kgの値を示した。大気粉じんモニタリングでは、2013年8月に南相馬で観測されたような放射性セシウムの上昇は、それ以降2016年1月までのところ観測されなかった。また川内村で仮設焼却施設が2015年1月から稼働したが、粉じん中の放射性セシウムに変化はなかった。

キーワード:林業従事者、被ばく管理、森林生態系、環境動態、ダストモニタリング

研究協力者:岡田直紀(京都大学大学院地球環境学准教授)、檀浦正子(京都大学大学院地球環境学助教)

I 研究目的

我々が2012年および2013年に行った調査に基づく中期的予測では、川内村は2020年には、森林などに入らない条件下での放射線被ばくが概ね1mSv/年以下となることを見出した。しかし、森林の調査では、系内での放射性セシウムの循環や樹木木質部への移行・固定化が始まり、事故直後とは放射性セシウムの分布に大きな違いがあることを見出された。これらは木材利用上も貴重な情報である。森林汚染による、これまでの里山資源を用いた川内村の産業基盤のぜい弱化、また資源を扱う林業労働者の被ばくは、人々の不安の一つである。また、継続的な大気のモニタリン

グで、数ヵ月に一回程度、複数地域で共通した時期（2013年8月）にバースト現象を観察した。放射能バーストは予期せぬ現象であり、また川内村住民は、村内での震災がれき焼却などによる放射性セシウムや他の核種などの拡散による二次的汚染、健康影響への潜在的不安を抱えていることが本課題に先立つ京都大学・川内村共催シンポジウム（2014年2月8日開催）で表明され、継続的な大気粉じんモニタリングが要望された。以上のことから、里山生態系への放射性物質の流入、系内での動態、系外への流出を把握し、そして、その系内での放射線量の見通しとそれによる被ばく対策を提供することが上記の不安と要望に応えることとなる。

本研究は、①川内村の林業従事者（周辺作業者も含む）の放射線被ばく管理を基礎にした産業保健の確立、②森林生態系におけるセシウムの長期動態および木材を中心とした里山資源の放射性セシウムのレベルの評価、③大気粉じん中の放射性物質のモニタリングを目的とし、福島第一原発事故の被災地である川内村の主幹産業の振興と住民の健康不安に対する対策を推進する。

II 研究方法

1. 林業従事者（未除染地域周辺における作業者も含む）の被ばく線量を説明する要因分析：森林内部に入る行動を詳細に捉え被ばく線量に与える影響を評価するため、川内村に事務所を置く林業会社2社の12名（1名が2015年10月からの調査を辞退した）の森林作業従事者に半導体方式線量計（千代田テクノル製D-シャトル）とGPSを配布し作業中に携帯してもらった。作業後は自宅へ持ち帰って、それぞれの居住地の線量を評価した。線量は γ 線による1cm深部個人線量当量として記載している。自然放射線による外部被ばく線量を計算するため、京都市でコントロール線量計を用意し、積算した。宇宙線、大地からの放射線による外部被ばく線量は京都府と福島県で大きな違いはないことを福島第一原子力発電所事故前の文献で確認した¹⁻³⁾。

日々の森林への立ち入りの位置情報はGPSに記録することで正確に把握した。昨年度の調査期間である2014年11月11日から2015年2月11日までの3ヵ月間の後、今年度の調査期間は2015年4月1日から2016年1月31日までの10ヵ月間とした。3~4ヶ月ごとの調査期間終了後、線量計とGPSを郵送により回収し、データの確認を行った。GPSに記録された位置情報と滞在時間、ならびに時間ごとの被ばく線量の関連を評価した。また2015年7月から作業前の空間線量と作業内容を、作業者自身が記録し、確認するようにした。2015年8月22日にこれまでの調査結果を調査参加者および地域住民に報告する講演会を川内村コミュニティーセンターで開催した。昨年度の調査データについて、時間ごとの被ばく線量の変動周期をフーリエ変換により統計解析を行った。

2. 放射性物質移行と空間線量の長期変化動向予測：川内村の代表的な森林の樹木、きのこ、土壌および淡水魚の放射性セシウムを調査した。スギ林においてスギ2個体を2015年9月に伐採するとともに、調査区内の3ヵ所から深さ30cmまでの土壌を2cm間隔で採取した。川内村の広葉樹林に調査地を設け、6月から10月にかけて月に1~2回の頻度できのこの採取を行い、同時に30cmまでの土壌を2cmごとに採取して試料とした。溪流魚の試料は、川内村観光協会他が5月に実施した調査で捕獲したヤマメとイワナの提供を受けた。また、同時期に溪流魚のえさとなる水生昆虫を採取して試料とした。これらとともに、2015年6月にアユの放流を行った富岡川漁協の依頼により、富岡川において8月にアユを捕獲して試料とした。生物試料は乾燥の後に粉碎し、土壌試料は乾燥後に2mmの篩を通し、所定の容器に封入して放射性セシウムを計測した。なお、広葉樹林調査地で採取したきのこ土壌に関しては、土壌中菌糸の垂直分布を推定するために炭素、窒素、硫黄同位体を測定した。

3. 大気粉じん中の放射性物質のモニタリング：里山生態系へ二次的に大気粉じんでは運ばれる放射性物質の不安を除くため、環境中の放射性物質の定量を行う。大気粉じん中放射性セシウムの継続的モニタリングを実施し、住民等の要望に応じて情報を提供する。原発からの距離の異なる3カ所（南相馬市2カ所、川内村1カ所）にハイボリュームサンプラーとローボリュームサンプラーを設置し、それぞれ週、月ごとに粉じんの採取を行った。試料に含まれるガンマ線放出放射性核種の測定は、京都大学放射性同位元素総合センターで行った。ゲルマニウム検出器を用いて、放射性セシウムのほか、天然起源の放射性ベリリウム7、放射性カリウム40、放射性鉛210を測定し、関連する元素を探索した。また粒経分布から粒子形態を評価した。

(倫理面への配慮)

本研究では研究対象者より、被ばく線量、移動記録の提供を受けるため、「疫学研究に関する倫理指針」に則り、京都大学大学院医学研究科・医学部「医の倫理委員会」に研究計画を申請し、計画の承認を受けた（承認番号E25）。研究対象者から書面によるインフォームドコンセントを得てから、調査を実施している。GPSは作業時のみ作動させ、そのうちでも記録を望まない時間は作動させなくてもよいとした。調査データは連結可能匿名化として、個人情報と切り離して解析を実施している。個人情報との連結表は個人情報管理者が管理している。得られたデータは調査参加者に報告し、被ばく状況の理解を促している。森林調査の調査地は村有林であり、川内村の許可を得ている。大気粉じんの採取地は所有者、管理者の許可を得ている。

また研究対象の地区ではこれまでに自治体の協力のもと被ばく線量調査、結果説明会などを行ってきており、今回の研究も地元川内村および森林組合の強い要請を受けて行っている。

III 研究結果

1. 林業従事者（未除染地域周辺における作業員も含む）の被ばく線量を説明する要因分析
被ばく線量調査には村内の林業従事者12名の協力を得て、半導体方式線量計とGPSロガーを組み合わせた装置で2015年4月1日から2015年6月30日まで、7月1日から9月30日まで、10月1日から2016年1月31日までの線量を評価した。

4月～6月の調査結果によれば、自然放射線を差し引いた外部被ばく線量は91.8μSvから263.7μSvであった（表1）。年間での追加被ばく線量は平均647.3μSvであった。これは昨年度11月から2月の結果である平均640μSvと同等であった。また個人ごとに2回の調査結果はよく相関しており、2回の調査で個人内で大きな違いはなかった（図1）。

表 1. 林業従事者の外部被ばく線量の調査結果(2015年4月1日から2015年6月30日まで)

測定結果	被ばく線量(μSv)		
	自然放射線を含む総線量	自然放射線を差し引いた線量	(年間線量)
コントロール(京都)	121.0	-	-
作業員 1	258.7	137.7	552.3
作業員 2	285.5	164.5	659.8
作業員 3	212.8	91.8	368.2

作業者 4	229.1	108.1	433.6
作業者 5	293.0	172.0	689.9
作業者 6	384.7	263.7	1057.7
作業者 7	276.6	155.6	624.1
作業者 8	258.5	137.5	551.5
作業者 9	276.9	155.9	625.3
作業者 10	314.3	193.3	775.3
作業者 11	293.8	172.8	693.1
作業者 12	304.8	183.8	737.2
平均	282.4	161.4	647.3
標準偏差	43.8	43.8	175.7

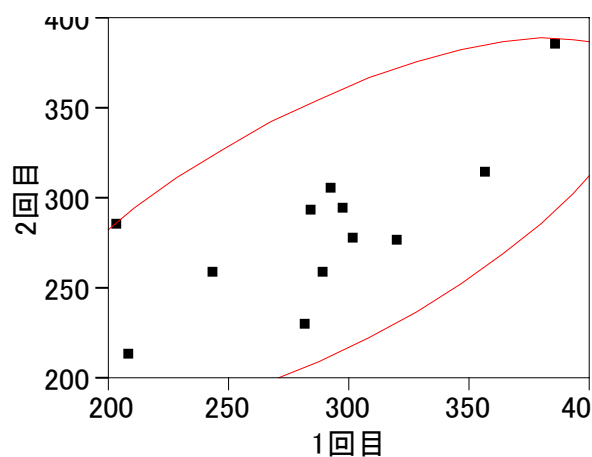


図 1. 林業従事者の外部被ばく線量(μSv)の異なる調査時期における相関
(2014年11月から2月調査(1回目)と2015年4月から6月調査(2回目))
楕円は95%相関範囲を示している。

第1回調査と同じく被ばく線量の日間変動は大きくはなく、変動係数もおおむね30%程度であった(表2)。作業者2、3の線量は変動係数70%台と大きかったが、平均線量自体は他の作業者と大きな差はなかった。

表 2. 外部被ばく線量の日間変動

測定結果	自然放射線を含む被ばく線量($\mu\text{Sv/day}$)		
	平均	標準偏差	変動係数(%)
コントロール(京都)	1.3	0.2	11.7
作業者 1	2.8	1.1	38.9
作業者 2	3.1	2.3	73.5
作業者 3	2.3	1.8	75.8
作業者 4	2.5	1.1	43.4

作業員 5	3.2	0.3	9.0
作業員 6	4.2	0.8	18.5
作業員 7	3.0	0.4	12.9
作業員 8	2.8	0.8	28.6
作業員 9	3.0	1.1	35.7
作業員 10	3.5	0.8	22.5
作業員 11	3.2	0.9	28.3
作業員 12	3.3	1.0	29.8

各線量計の 91 日間のデータの平均と標準偏差を計算している。

さらに、仕事に従事している平日とそれ以外の休日に該当するデータを分けて集計した(表3)。全体的に屋外作業がある平日の被ばく線量が高くなり、作業員のうち10名で統計学的に有意に高かった。一方で、逆に有意ではないが休日の線量が高かった例は1例あった(作業員5)。12名の平均被ばく線量で、平日は平均として0.63 μ Sv/day、有意に高かった(対応のある t 検定, p=0.0009)。

表 3. 外部被ばく線量の平日と休日の比較(2015 年 4 月 1 日から 2015 年 6 月 30 日まで)

測定結果	自然放射線を含む被ばく線量 (μ Sv/day)				p value t-test
	平日		休日		
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
コントロール(京都)	1.3	0.02	1.3	0.03	0.898
作業員 1	3.0	1.2	2.5	0.7	0.039
作業員 2	3.7	2.6	2.0	0.4	0.001
作業員 3	2.7	2.1	1.5	0.2	0.002
作業員 4	2.8	1.2	1.9	0.5	0.000
作業員 5	3.2	0.3	3.3	0.3	0.065
作業員 6	4.4	0.8	3.9	0.5	0.001
作業員 7	3.1	0.4	3.0	0.3	0.658
作業員 8	3.0	0.9	2.4	0.5	0.001
作業員 9	3.3	1.2	2.6	0.6	0.0035
作業員 10	3.6	0.9	3.1	0.4	0.005
作業員 11	3.4	0.9	2.9	0.8	0.015
作業員 12	3.5	1.1	3.0	0.5	0.016

各線量計の 91 日間のデータの平均と標準偏差を計算している。

林業従事者の1日の外部被ばく線量の推移を図2に示す。5月のゴールデンウィーク中の作業がない期間をベースラインと見ることができる。このベースラインは作業員によって大きく異なり、居住場所の空間線量率が比較的高い場合、作業日と変わらない例も見られた。屋外での林業作業が行われた日に上昇し、その間の週末の休日で低下する表3の結果と一致するパターンも見られた。作業員1-4において5月上旬から中旬で比較的高い被ばく線量が確認された。この時作業が富岡町

の居住制限区域で行われていた。同じ場所で作業を行っていたが、作業員1、4と作業員2、3で差があった。同じ作業場所でも局所的に高い空間線量率を示す場所があると推測された。

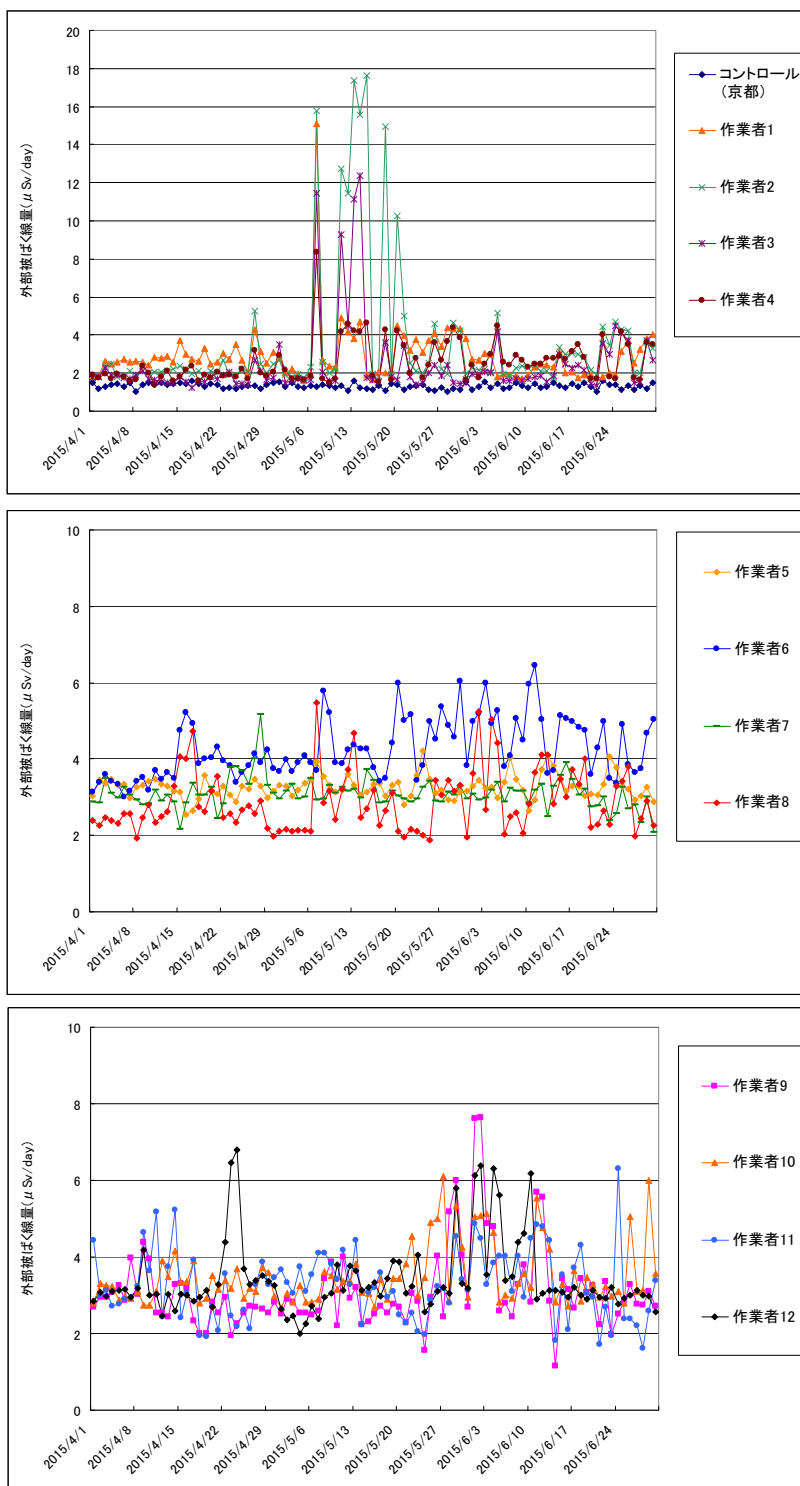


図 2. 林業従事者の1日の外部被ばく線量の推移(2015年4月1日から2015年6月30日まで)

7月～9月の調査結果によれば、自然放射線を差し引いた外部被ばく線量は $54.8\mu\text{Sv}$ から $269.4\mu\text{Sv}$ であった(表4)。年間での追加被ばく線量は平均 $647.1\mu\text{Sv}$ であった。第1回、第2回と同等であった。

表 4. 林業従事者の外部被ばく線量の調査結果(2015年7月1日から2015年9月30日まで)

測定結果	被ばく線量(μSv)		
	自然放射線を含む総線量	自然放射線を差し引いた線量	(年間線量)
コントロール(京都)	119.3	-	-
作業者 1	267.3	148.0	587.3
作業者 2	247.1	127.8	507.1
作業者 3	174.0	54.8	217.3
作業者 4	250.5	131.2	520.6
作業者 5	305.1	185.8	737.3
作業者 6	388.7	269.4	1068.9
作業者 7	291.2	171.9	682.0
作業者 8	291.5	172.3	683.4
作業者 9	228.6	109.4	433.8
作業者 10	299.9	180.6	716.6
作業者 11	309.4	190.1	754.3
作業者 12	335.3	216.0	857.1
平均	282.4	163.1	647.1
標準偏差	54.7	54.7	217.1

第3回調査の林業従事者の1日の外部被ばく線量の推移を図3に示す。この期間ではお盆時期の作業がない期間をベースラインと見ることができる。この期間では1日 $10\mu\text{Sv}$ を超えるデータはなかった。

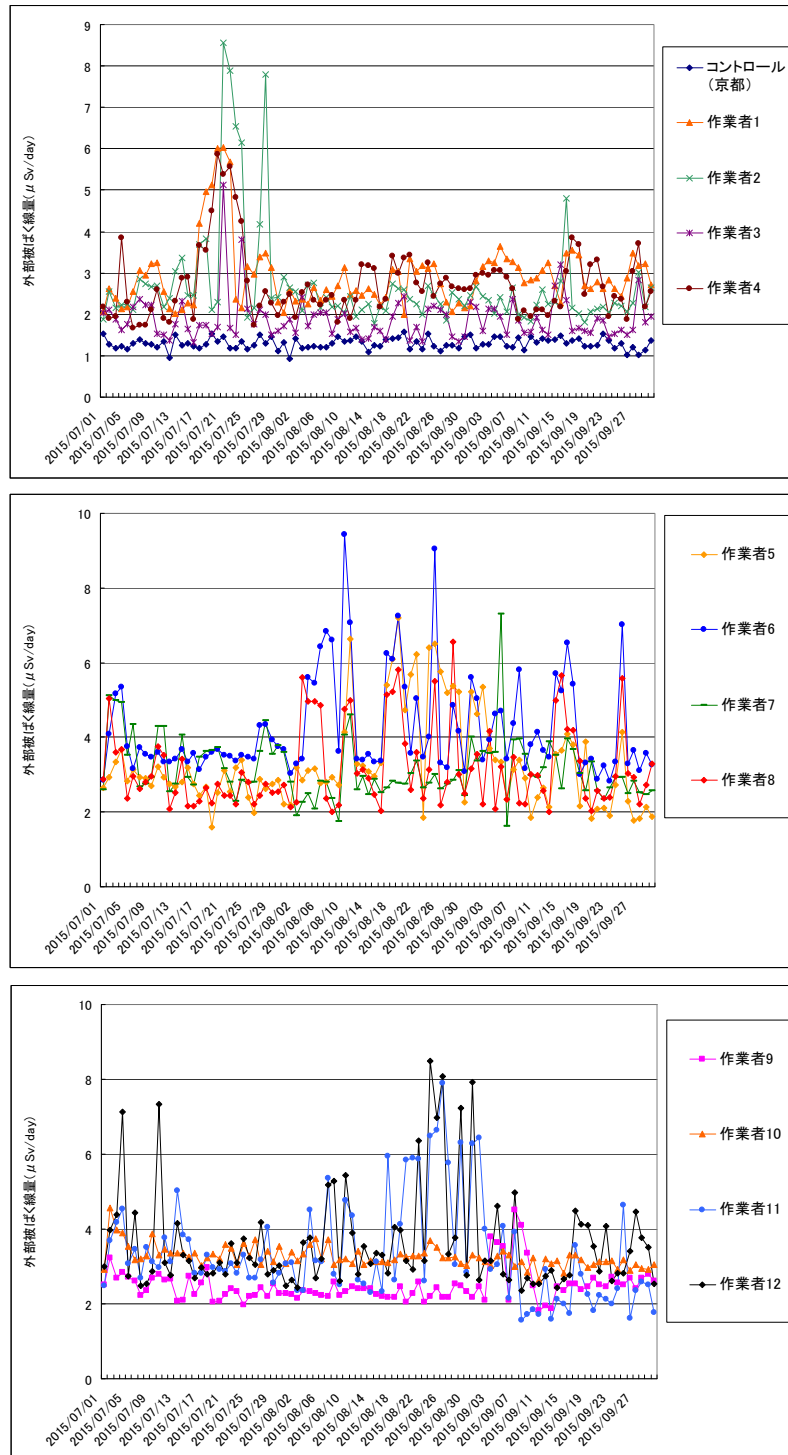


図 3. 林業従事者の1日の外部被ばく線量の推移(2015年7月1日から2015年9月30日まで)

10月～1月の調査結果によれば、自然放射線を差し引いた外部被ばく線量は111.2 μ Svから362.2 μ Svであった(表5)。年間での追加被ばく線量は平均643.1 μ Svであった。第1回、第2回、第3回と同等であった。

表 5. 林業従事者の外部被ばく線量の調査結果(2015年10月1日から2016年1月31日まで)

測定結果	被ばく線量(μSv)		
	自然放射線を含む総線量	自然放射線を差し引いた線量	(年間線量)
コントロール(京都)	160.4	-	-
作業員 1	421.9	261.5	775.8
作業員 2	309.6	149.2	442.8
作業員 3	271.6	111.2	329.9
作業員 4	330.7	170.3	505.3
作業員 5	397.7	237.3	704.0
作業員 6	433.9	273.4	811.4
作業員 7	319.6	159.2	472.5
作業員 8	380.7	220.3	653.8
作業員 9(参加辞退)			
作業員 10	389.0	228.6	678.2
作業員 11	522.7	362.2	1074.9
作業員 12	371.2	210.8	625.5
平均	377.1	216.7	643.1
標準偏差	69.4	69.4	205.9

第4回調査の林業従事者の1日の外部被ばく線量の推移を図4に示す。この期間では年末年始の作業がない期間をベースラインと見ることができる。この期間では1日 $10\mu\text{Sv}$ を超えるデータは作業員8と作業員11で認められた。作業員8は広野町での作業時間であったが、作業前の空間線量は $0.1\mu\text{Sv/hr}$ 程度で、同時に作業していた者より高く局所的な影響と考えられた。作業員11は最大で1日 $38.9\mu\text{Sv}$ であった。時間別データでは早朝と夕方におよそ $20\mu\text{Sv/hr}$ と記録されており、作業時間ではなく、通勤移動中であった。個別インタビューにより該当する時間帯は郡山市と川内村の行き来であり、線量計を他の電子機器と一緒にバッグに収納していたことが分かった。このため、電波による誤測定と判断した。電子ノイズと考えられるデータを前後の時間の被ばく線量で置き換えた場合、期間中の線量は $522.7\mu\text{Sv}$ から $359\mu\text{Sv}$ となった。またその場合の線量の推移を図5に示す。ノイズを除去した場合、他の作業員と同等の変動幅であった。

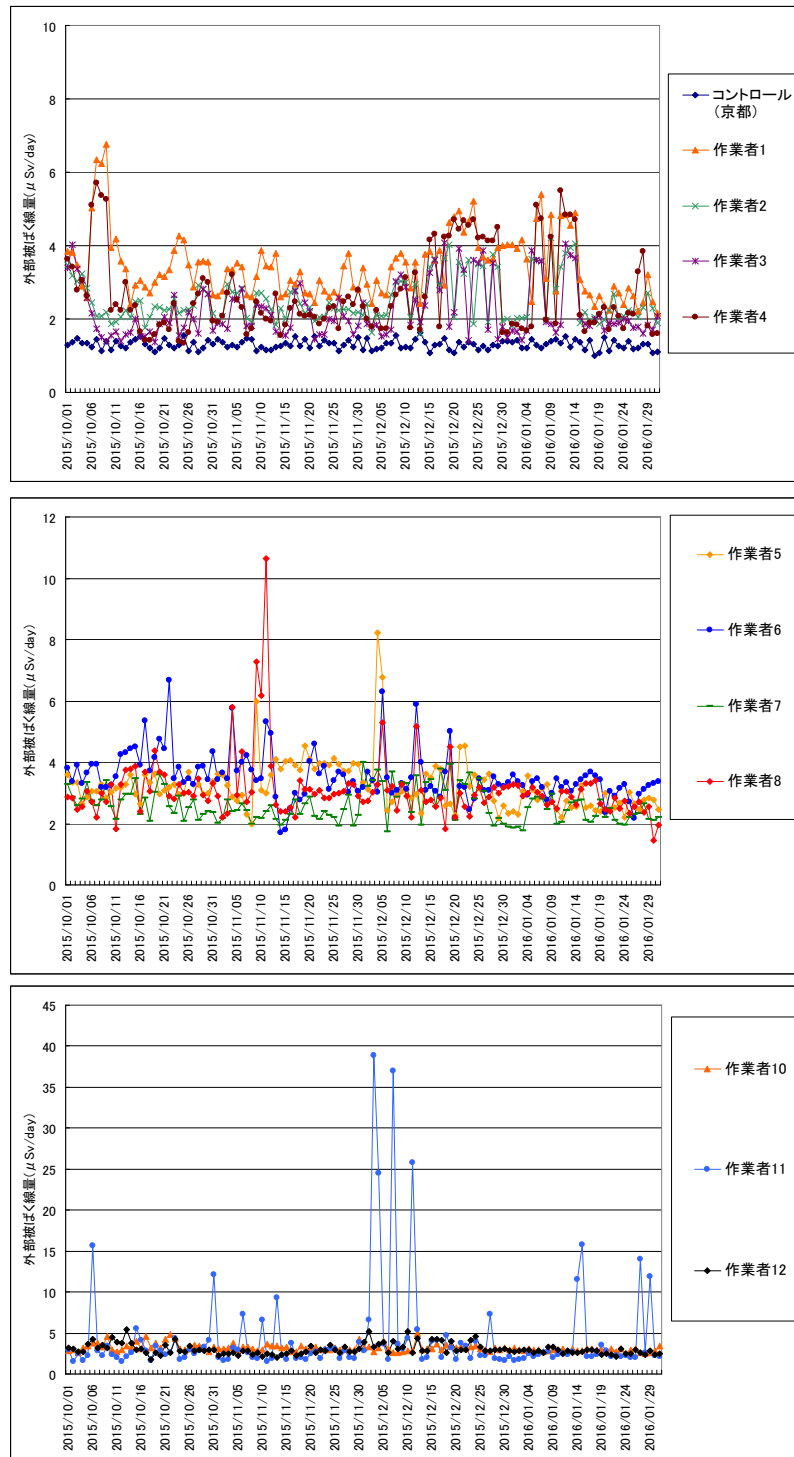


図4. 林業従事者の1日の外部被ばく線量の推移(2015年10月1日から2016年1月31日まで)

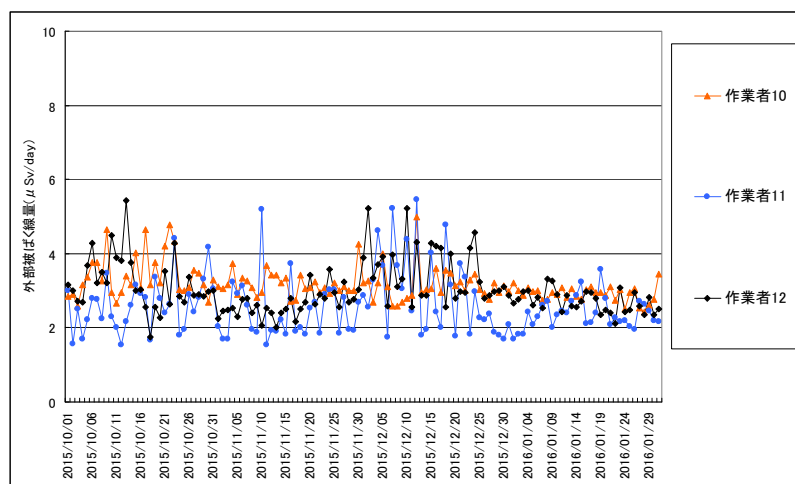


図5. 作業員11の電子ノイズを除去した後の林業従事者の1日の外部被ばく線量の推移(2015年10月1日から2016年1月31日まで)

第1回調査の個人の被ばく線量の時間別、日別データをフーリエ変換し、参加者12名の周波数スペクトルを平均したものを以下に示す(図6)。

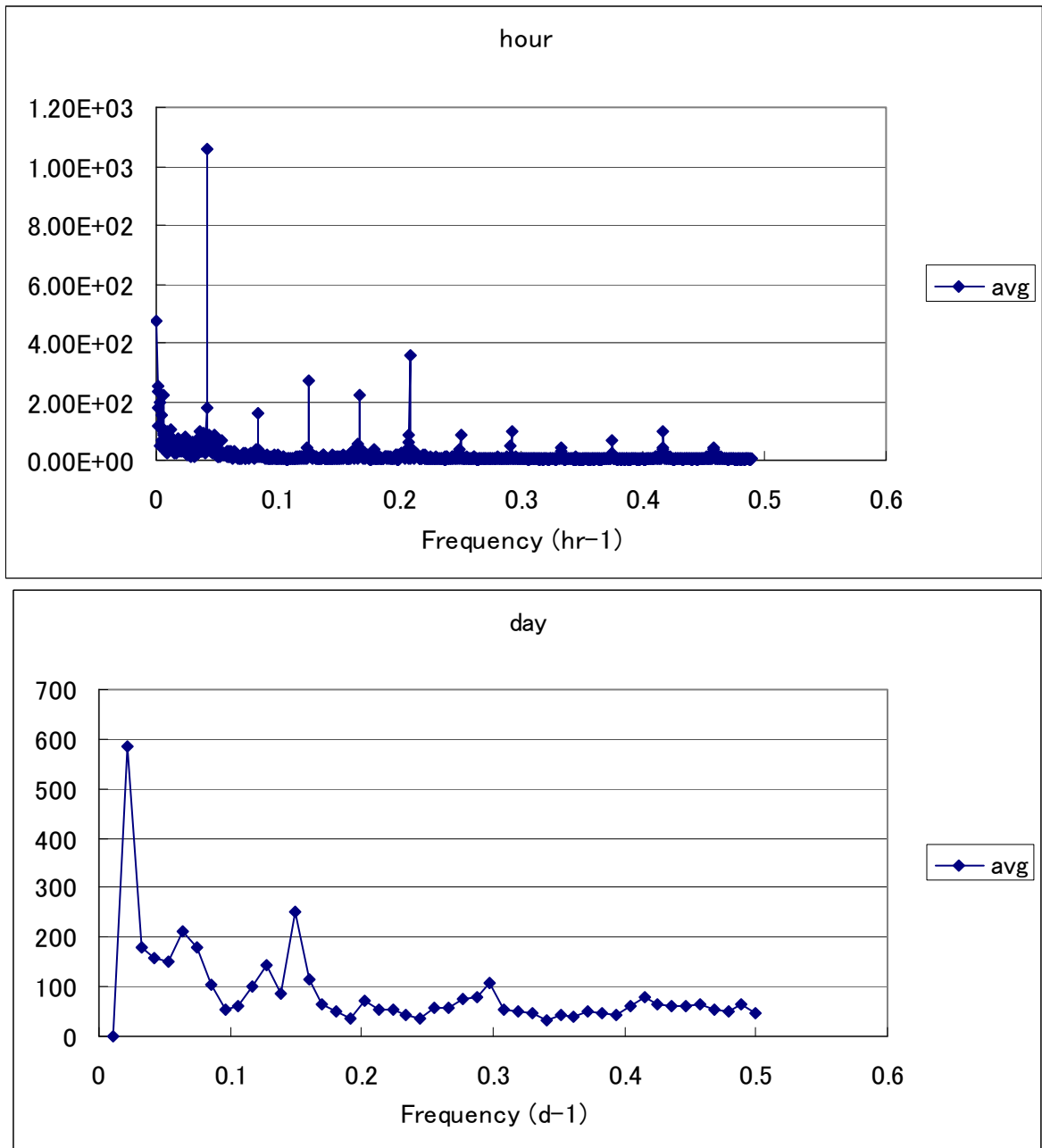


図6. 第1回調査の被ばく線量の周波数スペクトル(上:時間別、下:日別)
12名分を平均したもの

時間別データの解析では24時間、12時間、8時間、6時間の周期が観察された。作業時間と在宅時間での被ばく線量のサイクルを反映していると考えられた。日別データの解析では、明確なピークはなかったが、7日間の周期にピークが観察された。平日と休日の被ばく線量のサイクルを示すと考えられた。

2015年8月22日にこれまでの調査結果を調査参加者および地域住民に報告する講演会を川内村コミュニティーセンターで開催した(図7)。調査結果に基づき、作業場所と滞在時間の関係、山林内での被ばく実態などについて、報告した。また、田村医師会会長の石塚尋朗先生を招いて、森林汚染による健康影響の程度などについての話も行った。山林で作業をされることの多い林業

従事者、山菜やきのこ採りなどで山に入る住民などの参加があった。比較的被ばく線量が高かった場所や時間、測定された結果の正確性、自然放射線による被ばく量との違い、森林以外の場所で受ける線量との比較、予想されるリスクなどについて質問があった。



図7. 川内村での報告会の様子(2015年8月22日)

2. 森林生態系における放射性物質移行と空間線量の長期変化動向予測

スギ林の土壤に含まれる¹³⁷Csの鉛直方向の分布パターンは、2013年の調査時に比べて全体としては同じであったが、表層の有機物層（リターおよびF+H）での濃度が相対的に減少し、鉍質土壤表層での濃度がやや増加するなど、若干の変化があった（図8）。すなわち、ほとんどの放射性セシウムが依然として表層にとどまっている一方で、下方への以降が徐々に進んでいるといえる。なお、地上1mの高さでの空間線量は、2013年9月で3 μ Sv/hであったのに対して、2015年9月では2.1 μ Sv/hに減少していた。この減少は¹³⁴Csの物理的半減期による減衰のみでほとんど説明される。

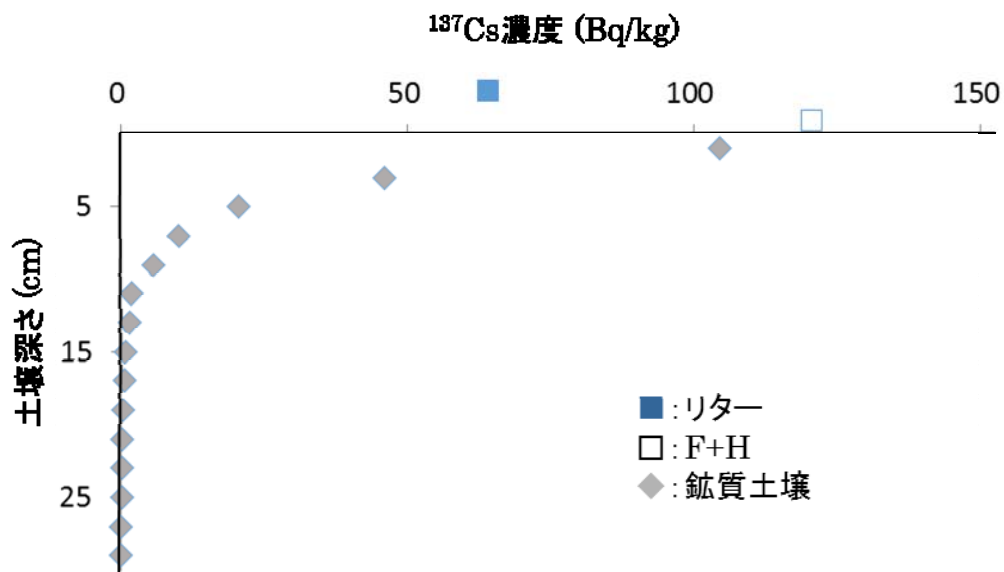


図8. スギ林土壤中の¹³⁷Cs濃度

樹皮中の ^{137}Cs 濃度は、内樹皮では 1 kBq/kg のオーダーを示した 2013 年時と大きな違いは見られなかったが、外樹皮では 10-100 kBq/kg を示した 2013 年時と比べて減少傾向が見られた (図 9)。樹体表面に沈着した放射性セシウムは難移動性で、徐々に進行する溶脱や樹皮の剥離によって少しずつ減少していくものと考えられた。事故後の初期沈着の影響を受けている外樹皮のほうが内樹皮よりも ^{137}Cs 濃度が高かったが、調査木の頂端に近い 15m の高さでは、両者の間に個体内での ^{137}Cs 濃度差はほぼ見られなかった。なお、木部試料については現在測定中である。

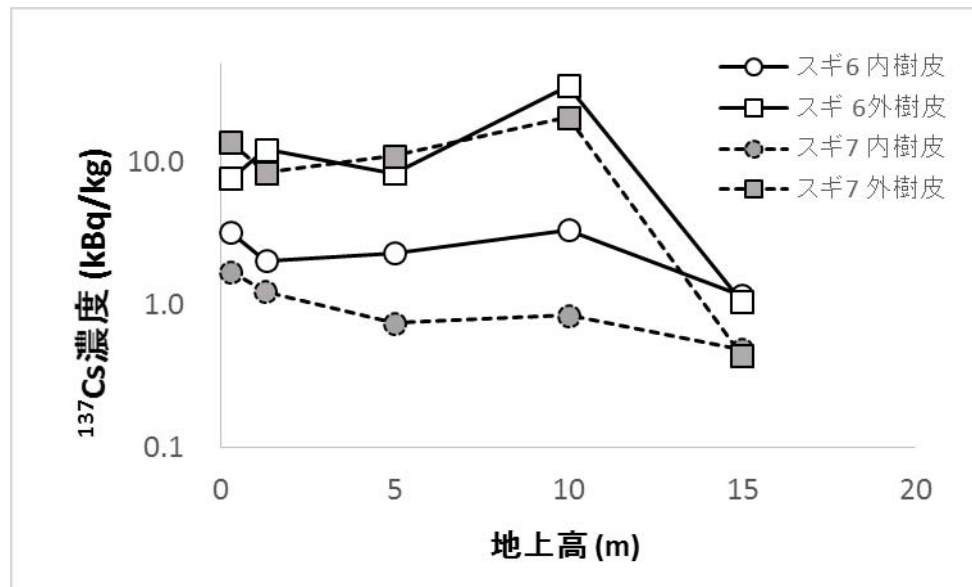


図 9. スギ樹皮中 ^{137}Cs 濃度の高さごとの変化

落葉広葉樹林に発生するきのこの ^{137}Cs 濃度には、腐生菌と菌根菌とで違いが見られ、菌根菌の中でも属や種によって違いが見られた (図 10)。全体としては菌根菌のほうが ^{137}Cs 濃度が高いが、菌根菌の中でも属間または種のレベルで違いがあった。また、属内でもベニタケ属 (*Russula*) のように大きな変動幅をもつものがあった。森林土壌の放射性セシウムは 2015 年の時点で表層の有機物と鉍質土壌の表層で最も濃度が高いが、きのこに含まれる ^{137}Cs の濃度はこれに対応していない。すなわち、表層有機物を基質としている腐生性きのこの ^{137}Cs 濃度は、測定した試料全体の中では高くない。Yoshida & Muramatsu (1994) は、きのこに含まれる放射性セシウムの濃度は、菌糸が分布している土壌の放射性セシウム濃度に依存するとしているが⁴⁾、腐生菌に関しては当てはまらないといえる。

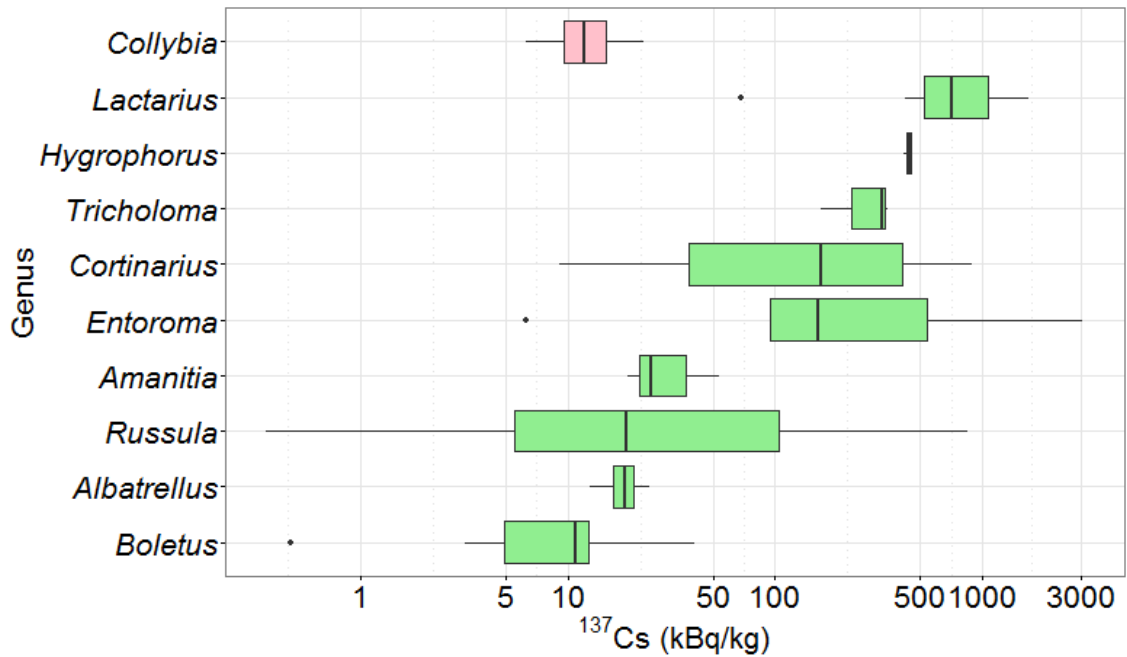


図 10. きのこに含まれる ¹³⁷Cs 濃度. 一番上が腐生菌のモリノカレバタケ、他は菌根菌.

土壤に含まれる窒素と硫黄の安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{34}\text{S}$) はいずれも深さとともに値が大きくなった (図 11)。きのこの同位体比が菌糸の分布する土壤の深さを示しているとするれば、図 11 に見られるように表層ほど同位体比の小さい値をとると考えられる。一方、きのこの $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{34}\text{S}$ は ¹³⁷Cs 濃度との間に図 12 のような関係が見られ、菌根菌では同位体比の小さい試料ほど ¹³⁷Cs 濃度が高い傾向にあった。2015 年の時点で土壤中の ¹³⁷Cs 濃度は表層に近いほど高いので、きのこの ¹³⁷Cs 濃度が菌糸の分布する深さに依存するとする Yoshida & Muramatsu (1994) の指摘は、菌根菌に関しては当てはまると言えそうである⁴⁾。なお、鈹質土壤に菌糸が分布する菌でも、子実体 (きのこ) は地上に発生させることから、土壤の下方から上方へと放射性セシウムを輸送していることになり、森林生態系内での放射性セシウムの動態を考える上では考慮すべき点であろう。

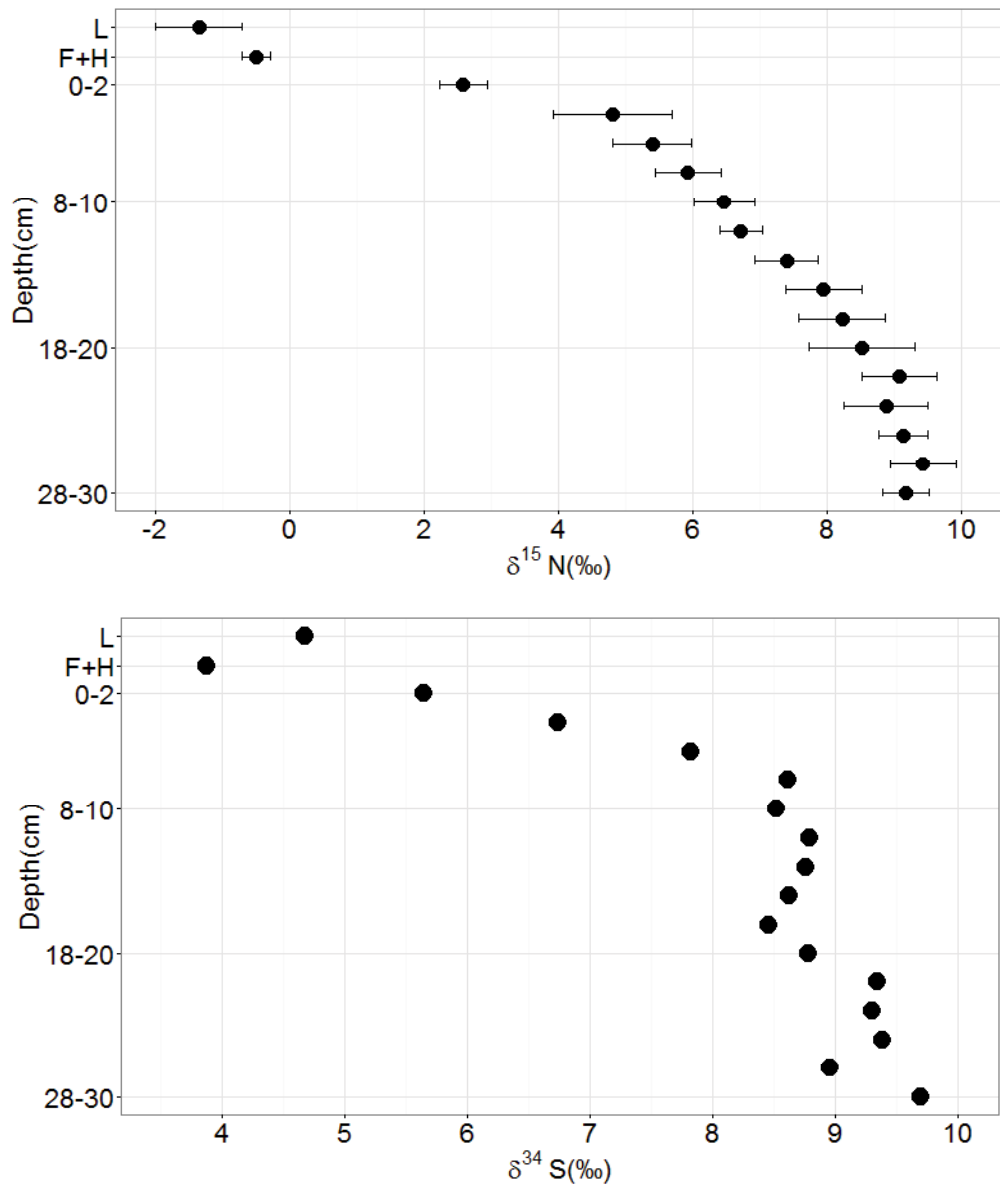


図 11. 土壌中の $\delta^{15}\text{N}$ (上) と $\delta^{34}\text{S}$ (下)

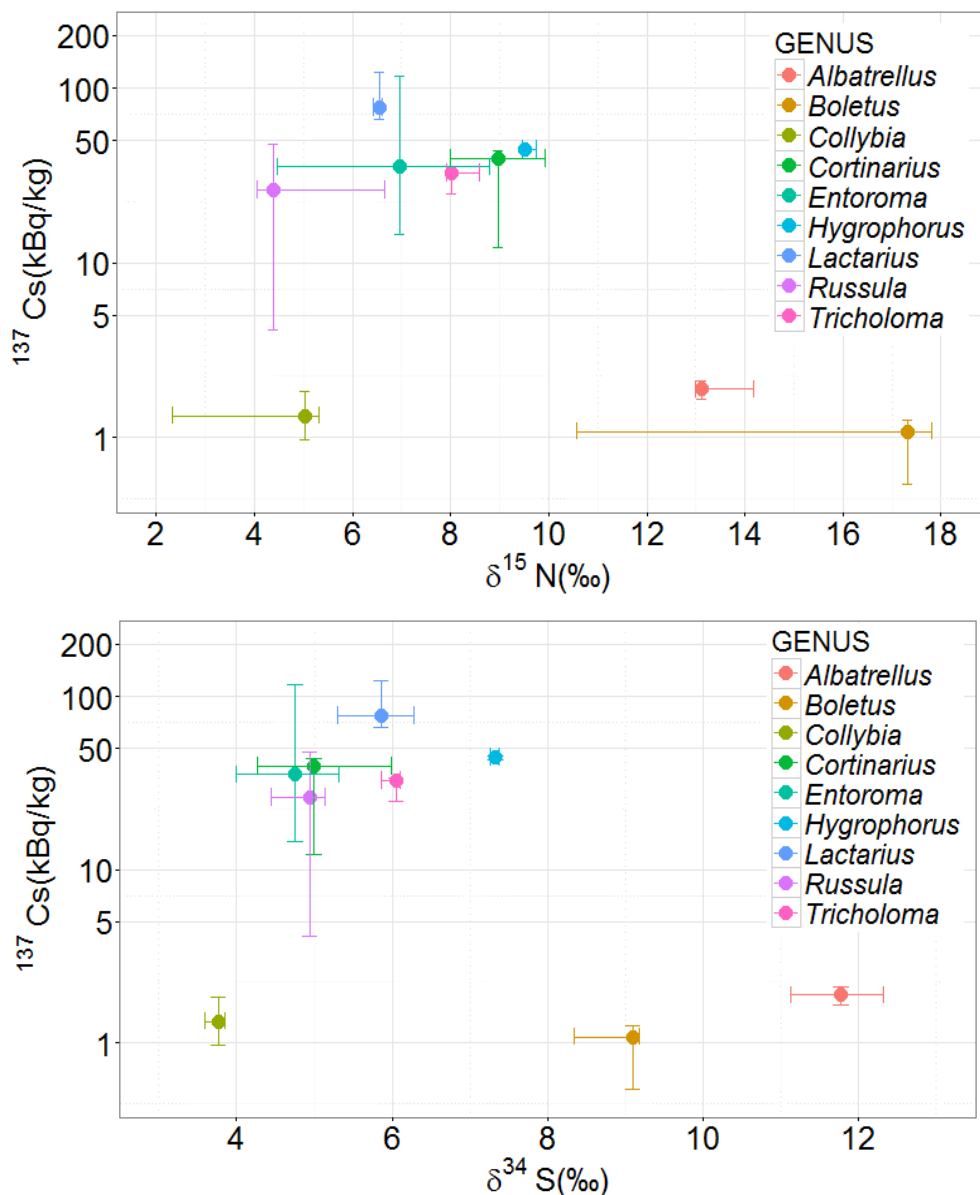


図 12. きのこの ^{137}Cs と $\delta^{15}\text{N}$ (上) および $\delta^{34}\text{S}$ (下)

川内村の河川のイワナとヤマメの ^{137}Cs 濃度は、川内村の中でもホットスポットを集水域とする滑津川と毛戸川では乾重で 100~200 Bq/kg の間にあった (図 13 左)。生重換算では昨年よりも ^{137}Cs 濃度は減少傾向にあった。一方、昨年から除染が開始された富岡町の富岡川と檜葉町の井出川では、 ^{137}Cs 濃度の中央値は乾重で 400~500 Bq/kg の範囲にあった (図 13 右)。アユの試料には放流個体と自然繁殖個体とが含まれており、後者のほうがサイズが小さいが、体サイズの違いによる ^{137}Cs 濃度の違いは認められないようであった。6 月に放流した個体はその約 2 ヶ月後に採取、測定したが、その間に ^{137}Cs 濃度は自然繁殖個体と同程度になったことになる。なお、数個体について胃の内容物を調べて見たが、いずれも珪藻以外のものを確認できなかった。昨年まで避難指示解除準備区域であった井出川のイワナとヤマメの ^{137}Cs 濃度は、川内村の試料よりも平均で 2 倍程度高かった。

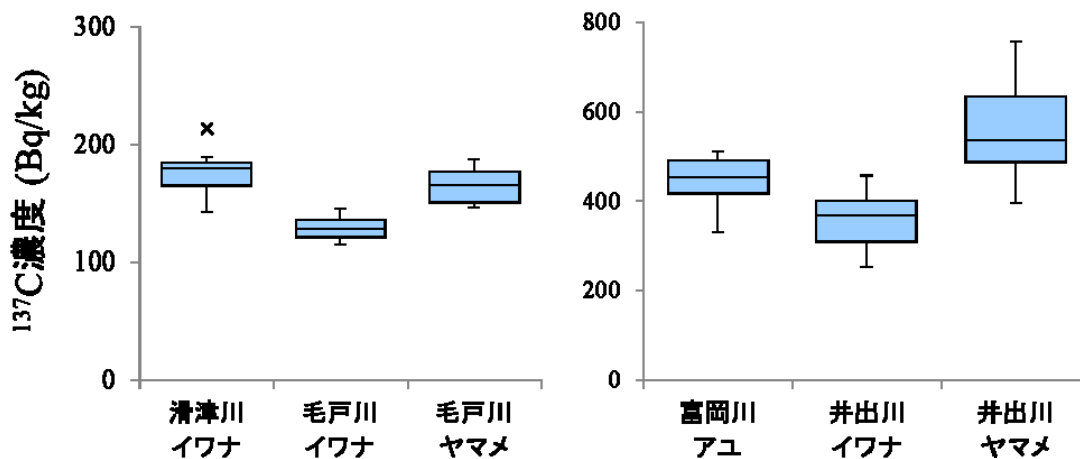


図 13. 淡水魚中の ^{137}Cs 濃度(乾重量あたり)。左図の×は、第三四分位点から四分位範囲の 1.5 倍以上外れた値。

3. 大気粉じん中の放射性物質のモニタリング

大気粉じんモニタリングでは、2013年8月に南相馬で観測されたような放射性セシウムの一時的上昇は、2014年8月から現在までのところ観測されず、期間を通して、 1mBq/m^3 を超えることはなかった(図14)。これの吸入による被ばく量は年間で $1\mu\text{Sv}$ 以下と推計され、外部被ばくに比べてわずかでしかない。

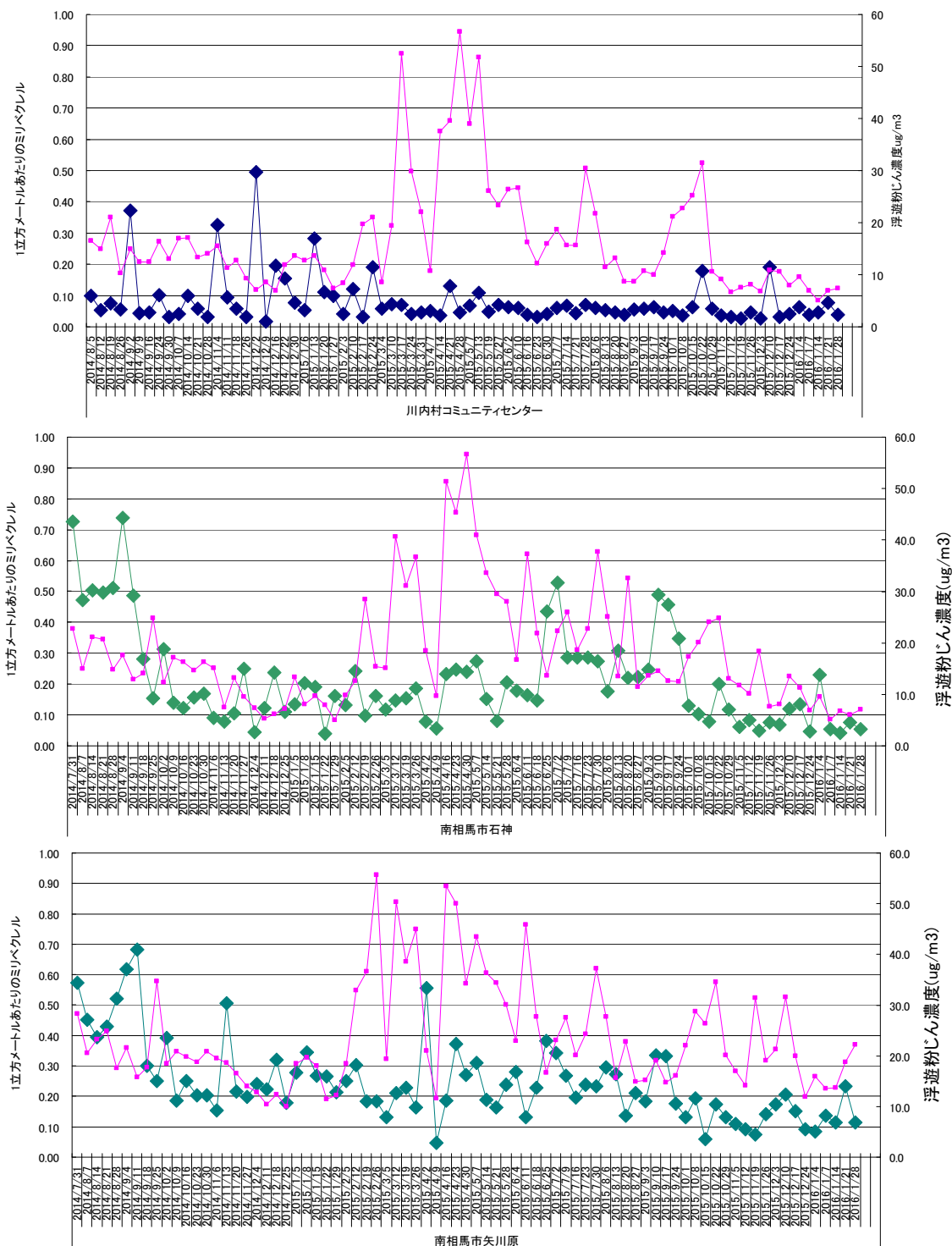


図 14. 大気浮遊粉じん中の放射性セシウム濃度の推移(2016年2月4日まで。セシウム134、137を2011年3月11日時点に補正して合計した濃度を示している。赤線は浮遊粉じん濃度を示している)

粉じんの粒径分布ごとに測定した結果、放射性セシウムは5 μ m程度に集積していた。1 μ m以下の画分では放射性セシウムは検出されなかった。粗大粒子モードであると考えられた。ベリリウム7は大気中で窒素原子、酸素原子の破砕により生成されるが、1 μ m以下の超微粒子に含まれていた。ハイボリュームエアサンプラーによる試料では放射性セシウムとベリリウム7とは関連しなかつ

た。同地域での2012年から2013年の測定データをコロラド州立大学のDr. Steinhauserに提供した。

IV 考察

川内村の林業従事者の自然放射線を除く外部被ばく線量は、平均で年間643から647 μ Svとなった。昨年度の冬の調査ともほとんど差はなく、季節性はないと考えられた。これまでに出版されていた居住制限区域における林業従事者の推定値年間5.5mSv、4.8mSv⁵⁾を大きく下回った。勤務日と休日の外部被ばく線量の差は0.63 μ Sv/dayであり、年間の勤務日が260日と仮定すると年間164 μ Svが林業従事による追加被ばくであった。除染などの職業被ばくを定めた除染電離則から見ても、過大な被ばくはないと考えられた。過去の同一地域の住民との比較では、2012年夏の川内村民の外部被ばく平均は年間0.89mSvであり、ほぼ同等であった。ただし、作業によっては高い1日20 μ Sv（1年の勤務日260日では5.2mSv）となる時もあった。半導体方式線量計は時間単位で確認でき、高い被ばくの検出に有効であった。ホットスポット（1時間3マイクロシーベルトと推定）の存在が確認されたので、作業前の空間線量計測定、作業内容を利用した被ばく管理を試みて、今後も継続的な外部被ばく線量データを収集し、解析を実施する必要がある。一方、時間単位での突発的な数値の上昇については、他の電子機器の電波による誤動作もあるので、作業記録との照合、インタビューによる確認が重要である。

スギ林土壌の放射性セシウムの鉛直分布には2013年から2015年で大きな違いはなく、大部分は土壌表層近くにあった。地上1mの高さでの空間線量は、70%程度に減少しており¹³⁴Csの半減によるものと思われた。放射性セシウムが大部分表層に存在することから地下浸透による遮蔽効果が生じていないことを表している。今後、下方への移行とそれによる遮蔽効果が徐々に現れると予想され、中長期的には森林作業従事者の外部被ばく線量の低下をもたらすと推定される。

スギ樹皮中のセシウム¹³⁷濃度はこれまで外樹皮で高く、初期外部沈着の影響を示していると考えられてきた。今回の調査で、樹の成長によって形成された頂端部の葉、材、樹皮では外樹皮と内樹皮で差がなく、事故後初期の外樹皮には外部沈着があったことを示した。今後も樹の成長により、頂端部に近い組織での個体内での濃度差を小さくしていくものと推測される。

きのこの¹³⁷Cs濃度の種属の違いが菌糸の分布する深さによるとすれば、森林生態系内での放射性セシウムの動態を考える上では考慮すべき点であり、また利用する選択に考慮できるだろう。溪流魚に含まれる放射性セシウムにはホットスポットの影響が見られ、川内村で比較的放射性セシウム沈着量の多い東部、南西部、昨年まで避難指示解除準備区域であった檜葉町の水系では、昨年度実施した川内村の木戸川に比べて試料中濃度は高い値を示した。川内村における河川水中の溶存態放射性セシウム濃度が低いことは昨年度までの調査において確認をしており、放射性セシウムは主としてえさを通じて魚に蓄積するものと推定された。試料の胃内容物には数多くの陸生昆虫が含まれており、食物連鎖を通じた直接的な放射性セシウムの取り込みが考えられる。内水面での魚類の採捕・出荷の見通しを考えると、森林汚染の影響を考慮する必要がある。

大気粉じんモニタリングでは、開始した2014年8月以降、大きな変化は見られず、1 mBq/m³を下回っていた。放射性セシウムを含む粒子は粗大粒子であり、放射性セシウムが付着して一定期間経過したものが破砕過程などにより再浮遊しているものと考えられた。大気生成されるベリリウム7と関連しないことから支持される。川内村では、2015年1月から震災がれきの仮設焼却、福

島第一原子力発電所では2015年5月15日に1号機での建屋カバー解体を開始し、3号機でも2014年12月17日より使用済み燃料プールのがれき撤去を再開しているが、それらによる影響は見られなかった。しかしながら今後の川内村での農林業系廃棄物の焼却処理や福島第一原発廃炉作業による周辺地域への放射性物質飛散といった住民の不安に対応するため、被ばく量は少ないが、継続的モニタリングが必要である。

V 結論

福島第一原発事故の被災地である川内村の主幹産業の振興と住民の健康不安に対する対策として、①川内村の林業従事者の放射線被ばく線量の通年のデータが得られ、その線量は他の住民に比べて特別高くはなかった。また比較的高線量の場所、時間を特定できることを示した。②川内村の森林生態系における震災4年後のセシウムの動態および木材中セシウム濃度のデータが得られ、事故直後からの分布の変化、循環と鉱質土層への移行、きのこ、川魚への食物連鎖からの移行が確認された。③大気粉じんモニタリングの継続的データを取得し、地域での仮設焼却施設の稼働による影響は見られなかった。

VI 次年度以降の計画

本課題の平成28年度は平成26年度、27年度の成果を踏まえ、福島県川内村において、以下の研究を行う。

1. 林業従事者（未除染地域周辺における作業者も含む）の被ばく線量を説明する要因分析：森林内部に入る行動を詳細に捉え、被ばく線量に与える影響を評価する。平成26年度に合計12名のコホートを設定し、日々の行動記録とともに2～3ヵ月ごとに半導体方式線量計で時間単位で被ばく線量調査を行い、また、日々の森林への立ち入りは位置情報と滞在時間を正確に把握するためGPSで記録した。データ取得を継続し、被ばく線量の実態とその時間・空間情報から被ばく線量を規定する要因を探索し、それに基づく産業保健対策（除染以外の作業管理、安全衛生教育）を立案、試行する。産業保健対策により、除染によらない被ばく線量の減少効果を評価し、今後の方針を確立する。空間線量計を作業者ごとに与え、朝の作業について作業前に計測し、記録する。これにより自分の被ばく線量と空間線量の関連を体験的に経験することができ、作業者とともに安全衛生教育のツールとする。

平成28年度は、安全衛生教育を行った後も継続して被ばく線量を計測し、産業保健対策により、除染によらない被ばく線量の減少効果、2、3で得られる生態系移行による効果を評価し、作業者の長期的なリスクを評価する。

2. 放射性物質移行と空間線量の長期変化動向予測：平成24年から川内村に設定している調査地でデータ取得を継続してきた。これらの取得データを基に森林のコンポーネント（木部、樹皮、葉、林床の有機物、鉱質土層）間の物質移行をパラメータ化し、樹種と生育場所から、木質部の放射性セシウム濃度を予測する。次に、調査地の代表的な森林（スギ林、アカマツ林、コナラ林）について樹木各部の放射性物質に由来する放射線量を計算する手法を開発する。森林生態系の食物連鎖や物質循環への影響を把握するため、昆虫や溪流魚、菌類についても調査を行う。

平成28年度は里山資源の放射性物質に与える要因（流域、植生、種、食生など）を明

らかにし、資源の利用可能性を評価する。また土壌深度別分布の変化、1で得られた林業従事者の被ばく、作業記録をもとに、モデルによる予測線量を用いて各作業者の被ばく線量を森林タイプごとに計算で求める。

3. 大気粉じん中の放射性物質のモニタリング：大気粉じん中放射性セシウムの継続的モニタリングを実施し、住民の要望に応じて情報を伝える。原発からの距離の異なる3ヵ所（南相馬市2ヵ所、川内村1ヵ所）にハイボリュームサンプラーとローボリュームサンプラーを設置し、粉じんを採取する。粉じん中放射性セシウム以外の核種、 ^{90}Sr および $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ 比について検討する。 ^{90}Sr および Pu の測定については、ライプニッツ大学ハノーファーのWalther 教授、Steinhauser 教授の協力を得ている。平成28年度はモニタリングを継続する。得られたデータより大気粉じんを介した放射性物質の移入が里山生態系の資源、作業者の被ばくに与える影響を評価する。

この3課題を通して、里山生態系への放射性物質の移入出、動態を把握し、そして、その系内での放射性物質、放射線量の見通しとそれによる被ばく対策を提供する。

本研究に関する現在までの研究状況、業績

学会口頭発表：

- 1) 岡田直紀、渡辺政成、井出茂、須山敦行「森林の放射性セシウム汚染と溪流魚への影響」第126回日本森林学会大会（2015年3月26日～29日、北海道大学）
- 2) 岡田直紀、渡辺政成、井出茂、須山敦行、猪狩清美「木戸川および富岡川水系におけるヤマメ、イワナ、アユの ^{137}Cs 濃度」第127回日本森林学会大会（2016年3月27日～30日、日本大学）
- 3) 林拓也、岡田直紀「担子菌菌糸の垂直分布と子実体中放射性セシウムとの関係」第127回日本森林学会大会（2016年3月27日～30日、日本大学）

引用文献

- 1) Saito K. External Doses to Terrestrial Gamma Rays on the Snow Cover, Radiation Protection Dosimetry 1991; 35: 31-39.
- 2) Abe S Fujitaka K Abe M et al. Extensive Field Survey of Natural Radiation in Japan, Journal of Nuclear Science and Technology 1981; 18: 21-45.
- 3) Harada KH Niisoe T Imanaka M et al. Radiation dose rates now and in the future for residents neighboring restricted areas of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 2014; 111: E914-923.
- 4) Yoshida S Muramatsu Y. Concentrations of Radiocesium and Potassium in Japanese Mushrooms, Environ Sci 1994; 7:63-70.
- 5) Yajima K Kurihara O Ohmachi Y et al. Estimating Annual Individual Doses for Evacuees Returning Home to Areas Affected by the Fukushima Nuclear Accident, Health Phys 2015; 109:122-33.

Survey of radiation exposure assessment of workers and contamination of local resources to support the life and production activities of Satoyama region in Fukushima

Kouji Harada

Kyoto University Graduate School of Medicine

Keywords: forestry worker, control of exposure, forest ecosystem, environmental fate, dust monitoring

Abstract

People near the restricted areas of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant has anxiety for the exposure to radiation related to outdoor work of the region, and transition of radioactive materials to local resources such as timber, freshwater fish and etc. To clear their anxiety, we conducted 1) radiation exposure dose study of forestry workers in Kawauchi village in Fukushima, 2) investigation of cesium dynamics in the forest ecosystem and local resources, and 3) atmospheric dust monitoring around residential areas. 12 forestry workers (1 retired from October 2015) in the village was enrolled to the survey, and wore device that combines the electronic dosimeter and GPS logger from November 2014 to January 2016. The additional external exposure dose was ca. $640\mu\text{Sv/yr}$, which was comparable to those in other residents. Occasional elevation in dose ($10\text{--}20\mu\text{Sv/d}$) was observed when they worked around restricted areas. The electronic dosimeter and GPS logger are useful tools for identification of high dose operation. Cesium-137 distribution in *Cryptomeria japonica* trunk was similar to those investigated in 2013, while levels in outer bark gradually reduced at apical region. Radiocesium levels in the soil relatively increased at the surface layer of mineral soil layer and those in humus (F + H) layer was decreasing. Ambient radiation dose rate was $2.1\mu\text{Sv/hr}$ in September 2015, which is decreasing from $3\mu\text{Sv/hr}$ in September 2013 due to physical decay of Cesium-134. Radiocesium contents in the mycorrhizal fungus was higher than those in saprophytes. Those levels were not corresponding to radiocesium contents of humus in soils. Radiocesium contents in the freshwater fish was ca. $100\text{--}200\text{ Bq/kg-dry wt.}$ in Towatarigawa water system in Kawauchi, which was decreasing from those in 2014. Radiocesium contents in fishes from Tomioka (restricted area) showed $400\text{--}500\text{ Bq/kg-dry wt.}$ In atmospheric dust monitoring, abnormal elevation of radiocesium that has been observed in the Minamisoma in August 2013 was not observed during the survey, even after operation of incineration facility in Kawauchi.