

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02854

研究課題名(和文)放射線被ばくへの効果的な対策に資する問題解決型リスク評価手法・過程の検討と実践

研究課題名(英文) Study on Problem-fitted Risk Assessment Method, Process and Practice for Effective Risk Management of Radiation

研究代表者

内藤 航 (NAITO, WATARU)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・主任研究員

研究者番号：10357593

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,500,000円

研究成果の概要(和文)：福島地域住民や行政と連携した個人被ばく線量の実態把握、リスク対策に資する個人被ばく推定手法の開発、被ばく線量低減対策の社会経済性評価と国内外におけるリスク対策(食品基準の設定)等を分析・整理を行った。福島避難解除準備地域における個人被ばく線量の実測値は、ばらつきは大きいものの、当初の推定より低いことが実証された。被ばく線量低減対策の費用はチェルノブイリのそれと比較すると相当高いことがわかった。本研究により得られたエビデンスは、科学的合理性が高く社会に受容されるリスク対策の検討において、貴重な情報を提供すると考えられる。

研究成果の概要(英文)：We have conducted problem-fitted studies for effective management of radiation exposure. The specific objectives include measuring, assessing and communicating individual external doses, cost-effectiveness analysis of decontamination and comparing risk management measures among areas affected by the nuclear plant accidents. The results of our study suggested that although measured external doses vary depending on activity patterns and locations of individuals, the measured external doses were well below the initial estimates by the government. In addition, it was found that the cost of radiation dose reduction measures in Fukushima is considerably higher than that of Chernobyl. The evidence obtained by this study is thought to provide valuable information to consider effective risk measures accepted by public with high scientific rationality.

研究分野：環境リスク評価・管理

キーワード：個人被ばく線量 福島原発事故 リスクコミュニケーション 線量予測 費用効果分析 食品基準

1. 研究開始当初の背景

① 研究の学術的背景

(1) 福島第一原発の事故に伴い放出された放射性物質により汚染された近隣市町村では、住民の避難や活動制限なされた。住民の避難・活動制限・帰還や除染に対する意思決定の基礎は外部被ばく線量（以降、被ばく線量）であった。国は環境中の放射線量（空間線量率）に画一的な生活様式を仮定し、判断の基準となる被ばく線量を決めてきたが、2013年になり、帰還や除染の判断について、生活様式の違いを反映し、本来の被ばく線量を近似する個人線量を重視するという考え方を示した。一般に、個人線量の実測値は、空間線量から予測される被ばく線量より低くなる。この理由についての国の説明が十分でないため、個人線量重視への方針転換は、ステークホルダー間に混乱を招き、単に帰還や除染に対する基準の緩和と受け止められてしまう状況を作り出した。行政や個人の避難地域への帰還に関する意思決定、効果的な除染等の被ばく線量低減や放射線に対する不安解消に資する対策の検討のためには、被ばく線量に対する共通の理解と住民・行政・研究者などのステークホルダーが共有できる線量理論とエビデンスに裏付けされた評価手法が必要である。原発事故後、福島では多くの被ばく線量調査が行われてきたが、ほとんどが現状把握に留まり、被ばく線量低減対策に繋がるような定量的データはほとんどなかった。

(2) 放射性物質によるリスク問題解決のための対策は、被ばく線量の結果なしでは成り立たないが、被ばく線量の評価結果だけで決まるものでもない。複数の対策オプションの中から、よりよいリスク対策を選択するためには、リスク評価結果に加えて、ベネフィット（便益）やコスト（費用）、さらには他のリスクを誘発しないかといったリスクトレードオフの視点も必要である。限られた資源の中で、受け手の置かれている状況に応じて、社会受容性が高く合理的なリスク対策を検討するためには、リスク問題を正しくフレーミングし、リスクや社会経済的な影響を客観的・定量的に評価して、その結果をステークホルダーに理解・納得されやすいかたちで提供することが重要である。福島における放射性物質のリスク問題への対応に関する研究は、多くが科学的知見の蓄積に留まっており、得られた知見を、リスク問題の解決どう使うかといった社会実装化まで見据えた橋渡しの研究が不足している。

2. 研究の目的

本研究では下記5項目を具体的な目的と設定した。

(1) 個人被ばく線量の実態把握：住民や行政と連携して被ばく線量データを取得し、生活環境における空間線量と個人線量の関係を明らかにして、(2)で構築する推定手法で使用する換算係数を決定する。

(2) 線量理論とエビデンスに基づく被ばく線量推定手法の構築：(1)の結果を活かし、行政や個人の意思決定を支援する実態に合う被ばく線量推定ツールを開発し、公開する。

(3) 被ばく線量低減対策の社会経済性評価：(2)で開発した手法を活かし、被ばく線量対策オプションのリスク削減効果と費用を共通の尺度で評価する。

(4) 国内外における放射性物質の被ばくリスクに関する対策や事例研究の実態調査：国内外におけるリスク対策やそれに資する事例研究を横断的に分析し（メタ解析）、それぞれの特性や推進あるいは阻害要因を明らかにする。

(5) 効果的なリスク対策が備えるべき要件と必要なリスク評価・コミュニケーションの検討：(1)から(5)の取り組みで得た知見や教訓をまとめ、効果的なリスク対策が備えるべき要件とそれを支えるリスク評価・コミュニケーションのあり方を提示する

3. 研究の方法

本研究では、福島第一原発事故に伴い放出された放射性物質の影響を受けた地域住民や行政と連携して、1時間ごとの個人線量が把握できる小型線量計(D-シャトル) (図1) とGIS/GPS技術を活用して、個人被ばく線量と空間線量や生活様式との関係を定量化する。住民を対象とした被ばく線量の調査の際には産総研人間工学実験委員会での審議・承認を得て行い、調査協力者には研究内容を説明し合意を得た上でデータ取得を行う。次に、その実測結果と線量理論に基づき実態に合う被ばく線量推定手法を開発しモデル化を行う。その線量推定手法を活用して、被ばく線量低減対策の費用と効果を計算し、共通のリスク尺度により複数の対策オプションの比較検証を行う。さらに、文献調査、専門家や行政担当者等へのインタビューにより、国内外におけるリスク対策及び事例研究のメタ解析を行い、効果的なリスク対策の構造を分析する。これらの研究解析を通して得た知見や教訓を体系的に整理し、効果的なリスク対策が備えるべき要件とリスク評価・コミュニケーションのあり方を整理する。



図1 個人被ばく線量調査で使用した線量計 (D-シャトル：左) とGPS ロガー (右)

#### 4. 研究成果

(1) 福島県川俣町山木屋地区、飯館村および川内村の住民と協力して、個人被ばく線量データを取得した。個人被ばく線量データと行動記録・GPS 情報とを突合し、さらに個人被ばく線量と航空機モニタリングに基づく空間線量との関係の解析を行い、事故直後に避難指示準備区域に指定された地域における個人被ばく線量の特性、個人被ばく線量と空間線量との関係を求めた。

避難指示準備地域において取得した個人被ばく線量データの例を図 2 に示す。避難指示準備地域における個人被ばく線量は、ばらつきが大きく、同じ村内であっても、自宅の所在地、屋内外の滞在時間により大きく異なることがわかった。場所別の個人被ばく線量のばらつきは、屋内滞在時よりも屋外滞在時の方が大きく、地域性や環境条件が大きく影響していると考えられた。

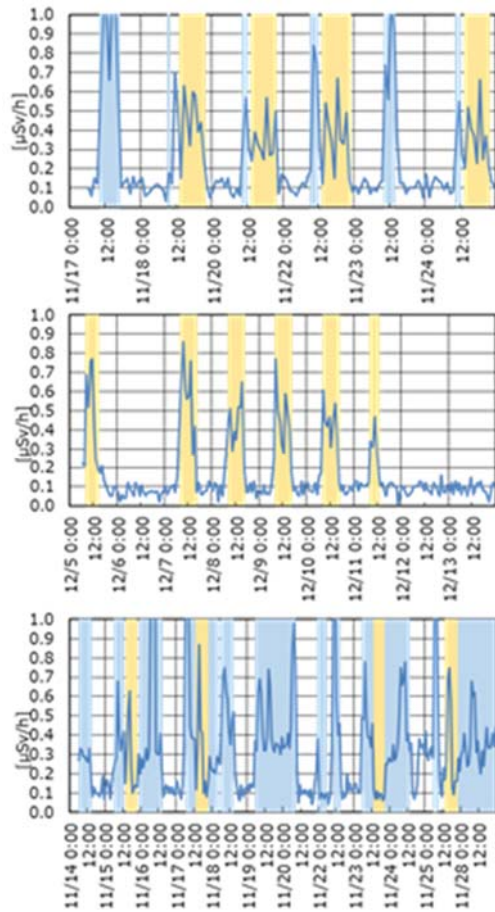


図 2： 飯館村において取得した個人被ばく線量の経時変化の例。横軸：日時、縦軸：時間当たりの個人被ばく線量。背景の色は青色：村内自宅、黄色：その他村内、なし：村外を表す。

飯館村において取得した個人被ばく線量と航空機モニタリングに基づく空間線量との関係を図 3 に示す。自宅滞在時と屋外滞在時では、個人被ばく線量は空間線量の、それぞれ 0.15 倍と 0.18 倍程度であった。このことは

政府が事故直後に設定した個人被ばく線量の推定式 (係数=0.6) は極めて保守的なものであると考えられた。

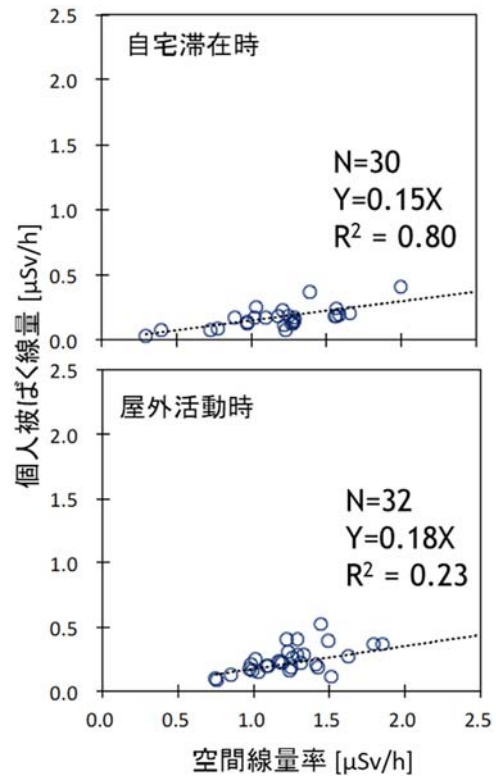


図 3： 飯館村において取得した個人被ばく線量 (平均) と空間線量 (平均) の関係。空間線量は航空機モニタリングに基づきバックグラウンド線量 ( $0.04 \mu\text{Sv/h}$ ) を差し引いた値。一方、個人被ばく線量は D-シャトルによる計測値よりバックグラウンド線量 ( $0.052 \mu\text{Sv/h}$ ) を差し引いた値。

(成果論文②の結果を一部改変して掲載)

(2) 本研究より得られた係数および線量理論に基づき、生活パターンを考慮して、将来の被ばく線量を推定するモデルのプロトタイプを作成した。計算に当たって、主要な職種の平均的な生活パターンや地図上で航空機モニタリングに基づく空間線量が容易に選択できるようにした。今後、モデルの妥当性の評価、パラメータの精緻化と想定されるユーザーを交えて実用化に向けた改良を行う予定である。

(3) 被ばく線量低減対策の社会経済性評価の一環として、福島県檜葉町と大熊町の除染費用を分析した結果、仮置場での保管費を含めた直接経費は、檜葉町  $1,833 \text{ 円}/\text{m}^2$ 、大熊町  $2,793 \text{ 円}/\text{m}^2$  で、大熊町の方が檜葉町よりも概ね高くなった。その理由は農地のほとんどで表土が削られていることが効いていると考えられた。大熊町では除染前後で住宅地の空間線量率の平均が  $2.06 \mu\text{Sv/h}$  から  $0.88 \mu\text{Sv/h}$  に下がっていた。檜葉町の除染について、費用と線量低減とから、余命 1 年延長費用 (CPLYS) を計算した。帰還から 30 年間の被ば



くによる損失余命に対する除染の効果を計算したところ、55人・年と算出された。楢葉町におけるCPLYSは2.3億円から10億円程度と推定され、これらはチェルノブイリの除染の費用効果についての文献にある上限と言われる値の18から77倍であった。

原発事故後に生じた放射線被ばくリスクと身体的健康リスク等について比較した結果、放射線被ばくによるリスク増加のみならず、震災後は仮設住宅への入居等、生活環境の変化が身体的健康リスク増加に繋がる可能性があることがわかった。

(4) 原発事故後に研究者や行政、団体等によって実施された放射能リスクへの対応やリスクコミュニケーションに関する論文や報告書等を収集し、内容、開始時期、地域について横断的な分析に資する基礎情報を整理した。その結果、放射能リスクへの対応は当初、放射線測定が主たる活動であったこと、2013年以降に生活支援の活動が増えたこと、生活支援活動の主な担い手として大学が貢献したことなどが特徴的であった。本分析は、災害時等で研究者が現場に入った活動を定量的に評価し、研究者の社会貢献に対して、インセンティブが目に見える形になりやすくなる利点はあるが、活動度の推移や市町村ごとの差異を正しく把握することが難しいと考えられた。また、チェルノブイリ原発事故の影響を受けた欧州の国々（ノルウェー、イギリス、ベラルーシなど）における食品基準の根拠や考え方を整理した結果、国により基準値設定の概念が異なり、数値の背後にある思想や導出方法の理解が、社会的合理性の高いリスク対策にとって重要であることが考えられた。リスク対策の国際比較については、より詳細な調査・解析を実施している。

(5) 個人被ばく線量に関連する、効果的なリスク対策が備えるべき要件と必要なリスク評価・コミュニケーションに係る教訓は以下の通り。個人被ばく線量に対する個人の捉え方は人それぞれであるが、事故直後に政府により設定された除染や避難解除の目安となる線量（1mSv/年や0.23 $\mu$ SV/hなど）の認知度は高く、放射線防護に係る意思決定において大きな影響を及ぼしている。このような目安となる値を用いたリスクコミュニケーションは、その値以下であれば強力な後押しになるが、そう出ないと不安増大に繋がる可能性がある。個人の避難や帰還の選択において、個人被ばく線量の実測は重要なエビデンスであるが、効果的な低減対策の提供ができなければ、不安や無力感を増大させてしまう可能性がある。放射性物質のリスク評価・管理において、実測データや基準値は対策を検討する上で必要なものであるが、それぞれの数値の意味やコミュニケーション、対応のあり方は状況や文脈により異なることが確認された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計4件）

- ① Naito W, Uesaka M, Yamada C, Kurosawa T, Yasutaka T, Ishii H. Relationship between Individual External Doses, Ambient Dose Rates and Individuals' Activity-Patterns in Affected Areas in Fukushima following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. PLoS ONE, 査読有, 11(8), 2016, e0158879.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158879>
- ② Naito W, Uesaka M, Kurosawa T, Kuroda Y. Measuring and assessing individual external doses during the rehabilitation phase in Iitate village after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. Journal of Radiological Protection, 査読有, 37, 2017, 606-622,  
<https://doi.org/10.1088/1361-6498/aa7359>
- ③ Naito W, Uesaka M. Role of individual dosimetry for affected residents in post accident recovery: the Fukushima experience. Annals of the ICRP, 査読有, 2018, 1-13,  
<https://doi.org/10.1177/0146645318756820>
- ④ Murakami M, Tsubokura M, Ono K, Nomura S, Oikawa T. Additional risk of diabetes exceeds the increased risk of cancer caused by radiation exposure after the Fukushima disaster. PLoS ONE, 査読有, 12(9), 2017, e0185259.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185259>

〔学会発表〕（計6件）

- ① Naito W, Uesaka M. Role of individual dosimetry for affected residents in postaccident recovery: the Fukushima experience. The 4th International Symposium on the system of Radiological Protection (招待講演) (国際学会) 2017年10月, フランス・パリ
- ② Horikoshi H, Ono K, Naito W. Analysis on researchers' practical activities for radiation risk reduction and risk communication after the Fukushima Nuclear Power Plant accident. The Society for Risk Analysis, Asia Conference 2018 (国際学会), 2018年3月, 関西大学
- ③ Oka T. Cost-effectiveness of the policy measures to reduce human health risks from radioactive contamination due to the Fukushima Daiichi nuclear accident. International Conference on Evolution of International Trading System: Prospects and Challenges (国際学会), 2017年10月, セントピーターズバーグ・ロシア
- ④ Naito W. Measuring, Assessing and Communicating Individual External Doses from External Radiation Doses in the Evacuation Zones in Fukushima. Society of Risk Analysis 2016 Annual

Meeting, 2016年12月, サンディエゴ・米国

- ⑤ Oka T. Efficient Food Standards for Radioactive Caesium based on Cost-Benefit Analysis of the Regulation. World Congress of Risk (国際学会)、2015年7月, シンガポール
- ⑥ 内藤航, 個人線量計を活用した被ばく線量評価ー地元住民との協働実践的アプローチ, 日本リスク研究学会第28回年次大会, 2015年11月, 名古屋大学

[その他]

ホームページ等

[https://www.aist-](https://www.aist-riss.jp/software/41418/)

[riss.jp/software/41418/](https://www.aist-riss.jp/software/41418/)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

内藤 航 (NAITO, Wataru)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・安全科学研究部門・リスク評価戦略グループ・グループ長

研究者番号：10357593

### (2) 研究分担者

小野 恭子 (ONO, Kyoko)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・安全科学研究部門・主任研究員

研究者番号：90356733

岡 敏弘 (OKA, Toshihiro)

福井県立大学・経済学部・教授

研究者番号：00231209

### (3) 連携研究者

村上 道夫 (MURAKAMI, Michio)

福島県立医科大学・医学部健康リスクコミュニケーション学講座・准教授

研究者番号：50509932

保高 徹生 (YASUTAKA, Tetsuo)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地圏資源環境研究部門・主任研究員

研究者番号：60610417

石井 秀樹 (ISHII, Hideki)

福島大学・うつくしまふくしま未来支援センター・特任准教授

研究者番号：70613230

黒田 佑次郎 (KURODA, Yujiro)

福島県立医大・医学部・学内講師

研究者番号：50538783

作美 明 (SAKUMI, Akira)

公益財団法人がん研究会有明病院・放射線

治療部・研究助手

研究者番号：30360556