

特集：身の回りに潜む健康リスクと我が国の安全管理への取組

<総説>

私たちの身の回りにおける放射線リスクに対する取組  
—原子力事故，医療放射線など産業利用，自然放射線への対応—

山口一郎<sup>1)</sup>，志村勉<sup>1)</sup>，寺田宙<sup>1)</sup>，温泉川肇彦<sup>1)</sup>，吉富真理<sup>1)</sup>，松繁卓哉<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 国立保健医療科学院生活環境研究部

<sup>2)</sup> 国立保健医療科学院医療・福祉サービス研究部

How should we cope with the radiation risks associated with our lives?:  
Social issues regarding the nuclear accident, medical  
and industrial radiation, and natural radiation

YAMAGUCHI Ichiro<sup>1)</sup>, SHIMURA Tsutomu<sup>1)</sup>, TERADA Hiroshi<sup>1)</sup>,  
YUNOKAWA Toshihiko<sup>1)</sup>, YOSHITOMI Mari<sup>1)</sup>, MATSUSHIGE Takuya<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Environmental Health, National Institute of Public Health

<sup>2)</sup> Department of Health and Welfare Services, National Institute of Public Health

抄録

2011年の東京電力福島第一原子力発電所事故以降，社会において放射線リスクへの対応が必要となった。関係者の大変な努力により，放射線リスクや二次的リスクの低減が図られている。しかし，原子力事故への対応では紛争が継続しており，近隣諸国への対応も含めて今なお課題となっている。

放射線のリスクとの付き合いは，医療分野の放射線利用も課題となっている。このため，医療法施行規則と電離放射線防止規則が改正され，それぞれ新しいルールが施行されて保健所等での対応も求められている。

自然放射線に対して国外では飲料水中の放射性物質や屋内ラドンだけでなく一般消費剤に含まれる自然放射性物質が公衆衛生上の課題として認識され，対策が講じられている。

以上を踏まえ，本誌でも扱われてきた原子力事故対応での放射線リスクの扱いについて社会科学的な視点も含めてフォローアップとして概説するとともに，地方自治体でも対応が求められる医療・産業分野の事例や将来的に国内でも対応が求められるであろう課題に関しても概説した。

キーワード：原子力事故，医療放射線，自然放射線，保健所，熟議

Abstract

Since the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station of Tokyo Electric Power Company in 2011, we have been faced with radiation risks. Through the efforts of all involved parties, both the radiation risks and secondary risks have been reduced. However, social conflicts continue to occur, and relations with neighboring countries are also a challenge.

連絡先：山口一郎

〒351-0197 埼玉県和光市南2-3-6

2-3-6 Minami, Wako, Saitama 351-0197, Japan.

Fax: 048-458-6270

E-mail: yamaguchi.iaa@niph.go.jp

[令和5年6月23日受理]

The medical field is also faced with the challenge of dealing with radiation risks. The Enforcement Regulations of the Medical Service Act and the Regulations for Prevention of Ionizing Radiation Hazards have been revised, and public health centers are also required to take appropriate measures.

Overseas member states that have joined the international organization have begun to recognize not only radioactive materials in drinking water and indoor radon, but also naturally radioactive materials in common consumer goods as a public health issue, and have begun to take action.

With regard to the above issues, this report follows up on the handling of radiation risks in response to the nuclear power plant accident that have been discussed in this journal, including a social science perspective, and also outlines radiation issues in the medical and industrial fields that local governments are expected to address, as well as natural radiation issues that Japan will be required to deal with in the future. This report also outlines the issues of radiation in the medical and industrial fields that public health centers are expected to address, as well as the issues of natural radiation that need to be addressed in Japan in the near future.

**keywords:** nuclear accident response, medical radiation, natural radiation, public health centers, deliberation  
(accepted for publication, June 23, 2023)

## I. はじめに

2011年の東京電力福島原子力発電所事故は放射線リスクとの向き合いを私たちに迫るものとなった。関係者の大変な努力により、放射線リスクや放射線への曝露以外による二次的なリスクの低減が図られている。しかし、原子力事故への対応では紛争が継続している。

放射線のリスクとの付き合いは、医療分野の放射線利用も課題となっている。このため、医療法施行規則と電離放射線防止規則が改正され、それぞれ新しいルールが施行されて保健所等での対応も求められている。

身の回りの環境ではどうだろうか？放射線サーベイメータを使ったことがある方は自然放射性物質が私たちの周囲にも存在していることを実感しているだろう。中には思いもかけない程度の高い線量率に気づかれた方もおられるだろう。事実、原子力事故時の住民の個人線量測定でのバックグラウンドの評価で放射性セシウムによる影響を小さくするために庁舎内に素子を設置したところ自然放射線の影響により全住民の個人線量をより適切な値に見直した自治体がある[1]。食品中の放射性物質モニタリングでは自然放射性物質を事故由来と誤認する例があり[2]、飲料水のモニタリングでは井戸水からの放射性物質の検出例があった[3]。なお、ウラン・トリウム系列は放射性壊変が連続して起こる壊変系列となっているので定量的に評価するには放射平衡にする必要がある。

自然放射線に対して国外では飲料水中の放射性物質や屋内ラドンだけでなく一般消費財に含まれる自然放射性物質が公衆衛生上の課題として認識され、対策が講じられている。

以上を踏まえ、本誌「保健医療科学」でも扱われてきた原子力事故対応での放射線リスクの扱いについて社会科学的な視点も含めてフォローアップとして概説するとともに、地方自治体でも対応が求められる医療・産業分野の事例や将来的に国内でも対応が求められるであろう

課題に関しても概説する。

## II. 原子力事故への対応における課題

原子力災害が発生した場合、人々の健康を守るために状況に応じたリスク低減行動を迅速に取ることが求められる。

原子力災害は社会に対して広範なリスク管理を求める事態をもたらす。放射性物質が環境中に放出され広範囲に拡散したことから、2011年の事故の対応は事故早期から、避難の誘導、ご遺体の取り扱い、食品や環境などで用いる指標値も多岐にわたった[4]。このうち食品のモニタリングでは事故前の国立保健医療科学院（以下、本院）での取り組みがそのまま通知された。放射線防護の基本的な考え方が政府機関から示され、学会からも解説がなされたが[5]、事実関係が誤っている例もあり混乱も生じた[6]。また政府内でも混乱が生じた。例えば、原子力災害後、福島県内でも広い範囲で学校が運営されており、学校運営上の様々な指標が求められた。校庭の利用基準に関して当初、緊急時被ばく状況の参考レベルのもっとも小さい値を用いるとの説明例があった。しかし、少なくとも保育所等を緊急時被ばく状況下で再開するのは、事故前の想定外であった。この件に関して、『文部科学大臣は、国会において、緊急時被ばく状況の参考レベル20～100mSv/年の下限である20mSv/年を出発点とする旨の説明をしたことがあるが、この経緯の詳細については、なお調査中である。』とある[7]。

原子力災害では放射性ヨウ素による曝露を減らす必要がある。このため災害発生後、原子力発電所からの通報やモニタリングデータに基づき、避難指示がなされるだけでなく、住民を対象にした体表面スクリーニングが大規模に実施された[8]。この結果は、後に住民の線量再構築にも活用された[9]。国内では、体表面スクリーニングにより放射性ヨウ素の吸入曝露量を推定し、その結果に基づき安定ヨウ素剤を投与する訓練が事故前に行わ

れていた。原子力安全委員会の緊急技術助言組織は訓練通りに、体表面スクリーニングが基準を超えた場合の安定ヨウ素剤の投与を指示したが、この指示は福島県まで到達していない。事故直後の被ばくについてはまだ不明な部分もあり、今後も調査の継続が必要としながらも量子科学技術研究開発機構は、1歳児の甲状腺の等価線量は最大で約30mSvと推定しており、結果として線量低減策としての有用性が乏しかったとしても、対策の作法の観点では住民の信頼を失う原因となる。

これらの観点は、事故前の備えを機能させられたかどうかのポイントになるが、当時のボタンの掛け違いとしては、緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム(SPEEDI)で得られた計算結果の扱いも象徴的なものであった。SPEEDIは訓練通り災害対応モードで計算され、福島県や宮城県などに送付されたが、米国の関係機関に送付されたもの以外は活用されず、政府の対策本部には情報が到達しておらず反省点とされており[10]、政府機関でも検証を行っている[11]。

## 1. 緊急時等のモニタリング

### 1) 体外計測

甲状腺を対象にした体外計測を政府機関が行ったが対象は限られたものに留まっていた。地域で研究者が測定を試みた例もあったが自治体との調整が不調であった。Whole body counting (WBC) 測定は労働者を対象にしたものは全国の事業者が貢献し、逐次、体制が整えられていった。緊急時のモニタリングも含め事故を起こしたサイトでの労働者の放射線安全に関する行政の取り組みも進められている[12]。一方、住民に対する測定は事前に研修はなされていたが、初期はほとんど機能せず、住民からの要望にこたえられていなかった。

### 2) バイオアッセイ

母乳を試料としたバイオアッセイが生活協同組合で実施され、それも踏まえて政府として同様の検査が行われた[13]。結果の公表時には厚生労働省内で記者会見が行われ、公式な記者会見が終了後もメディアの記者の方々との間で質疑応答が会見会場内で行われた。人々の懸念に対応して胎盤を試料としたバイオアッセイも行われた[14]。

### 3) 放射線生物学の手法を用いたもの

細胞遺伝学的な手法は、応急対応にあたった東京電力の社員を対象とすることで福島での原子力事故による放射線曝露の痕跡を検出している[15]。また医療従事者でも陽性の所見の検出に成功している[16]。この手法を用いた研究は被災動物を対象にしても実施されている[17]。この他、放射線照射に対する生物応答を用いた手法の開発が進められている。

### 4) 物理的な手法を用いたもの

乳歯を試料とした電子スピン共鳴法を用いた手法が試みられている[18]。ただし、原子力災害では陽性の信号を見出すのが難しく、偽陽性と考えられる結果の解釈が



図1 電子スピン共鳴法による歯を用いた線量測定

求められることになる。被災動物ではより線量が多くなるので、信号が検出されている[19]。

電子スピン共鳴法を用いた方法では試料を非破壊的に測定する方法がある(図1)。この手法は感度がより劣るので、福島での原子力災害では緊急作業に従事したもっとも線量が大きな労働者(0.7 Sv)でも甲状腺の吸収線量が大きく、歯へのエネルギー付与は限られており信号検出は困難である。ただし、被災動物では信号が検出されている[20]。また、医療関係では放射線治療を受けた患者だけでなく歯科の口内法X線検査を繰り返した患者や内視鏡的逆行性胆管膵管造影に長期間従事していた看護師で信号が検出できている[21]。

## 2. 食品

### 1) 放射線感受性が高い個人への配慮

食品安全委員会はリスク管理機関に対して小児への配慮を要請し、厚生労働省では小児に配慮した新基準値を策定した。具体的には、年齢別の線量換算係数を用い、乳児用食品では事故の影響を受けた食品の割合を保守的に仮定した。この課題は集団内で脆弱なグループへの配慮のあり方に帰着し、今後、放射線感受性が高い方への配慮も課題になる。

### 2) 表面化していないマーケット

原子力災害はこれまで可視化されていなかった地域の文化的な価値にも影響を与えた。東京電力の補償は、事故前の取引額に基づくために、事故前の収入を可視化する試みもなされた[22]。この価値は地域で暮らしていくためには不可欠のものであり、それを支えるための地域でのモニタリングも多く行われた。このような活動は現実の把握性を高めることにも役立った。一方で、貨幣で評価できない地域での労働の共助や商品の交換等があるので、土地を奪われて、移住した先では得られないものもあると考えられる。

### 3) 規制の範囲

1986年4月26日に発生したチョルノービリ原子力発電所事故を受けて本院の前身である国立公衆衛生院の岩島清放射線衛生学部長（事故前に準備しており、2011年の事故後に導入された飲食物の摂取制限指標の策定にも岩島元部長は貢献していた）が座長として報告書がとりまとめられ、その報告書に基づき1986年11月1日から事故の影響を受けた地域から輸入する食品に対して放射能暫定限度が適用された。この暫定限度は2012年3月31日に廃止された。この基準値は、制定前に世界貿易機関（WTO）に通報がされており、国際的に調和が取れたものとなっている。原子力事故が起きた国での基準の作成では事故の影響を受けた食品の割合が高くなることに伴い基準となる濃度が低くなることは、チョルノービリ原子力発電所事故後の周辺国でも観察されている。

#### 4) 国際的な理解

韓国との間の世界貿易機関（WTO）紛争が生じ、上級委員会報告書が発出されたことは前報で言及した[23]。その後、日本での出荷停止措置に対応して韓国では2022年1月6日に山形県産きのこ類も輸入停止品目に追加したが、台湾は2022年2月21日以降、5県（福島県、茨城県、栃木県、群馬県及び千葉県）の産品について、きのこ類や野生鳥獣肉を除き、放射性物質検査報告書及び産地証明書添付を条件に輸入停止を解除した。また、香港は2021年1月1日から5県産（福島県、茨城県、栃木県、群馬県、千葉県）を除く42都道府県産の全ての食品について、全ロット検査から通常の検査に移行し、5県産については、野菜などを除く全ての食品について、全ロット検査から通常の検査に移行し、インドネシアとシンガポールはそれぞれ2022年7月26日と2021年5月28日から日本産食品の輸入規制を撤廃した。

### 3. 生活衛生施設

#### 1) 水道

水はヒトの生存に不可欠である。しかし、事故の当時は、メディアさえも被災地から撤退し、物流も止まった。この状況で、給水車の派遣に対して水道協会の方々は葛藤することになった。そこで、本院では線量計を提供し、支援する側の身を守りつつ被災地支援を行うことをサポートした[6]。

#### 2) 下水処理場

放射性物質の影響がより深刻であったのは、下水処理場である。放射性物質を含む汚泥の処理・処分は現在でも課題となっている。下水処理場の特性に着目し事故前にモニタリングが行われ、医療系の核種や自然放射性核種に関する知見が得られていた。事故前に得られていたこれらの知見が、事故後のモニタリングデータの解釈でも役立つ[24]。環境に放出された放射性物質の集積は清掃工場でも観察された。

### III. 医療分野等

#### 1. 医療従事者の防護

##### 1) 医療従事者のリスク

医療での放射線の利用では患者の安全確保が求められるが、その前提として医療従事者も守る必要がある。

眼の水晶体の被ばく線量の見直しは、医療従事者などを対象とした疫学研究の進展に基づくが、規制整備の過程には2016年に実施された国際原子力機関（IAEA）の総合規制評価サービス（Integrated Regulatory Review Service：IRRS）も影響を与えている。IRRSにより放射線審議会の機能の見直し必要とされたことから放射線審議会が答申するだけでなく、意見具申する機能が求められ、2017年4月の放射線障害防止の技術的基準に関する法律が改正された[25]。

この改正法令に基づく初めての意見具申が眼の水晶体の被ばく線量の見直しである。審議会の眼の水晶体の放射線防護検討部会において検討された後、厚生労働省の眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会で検討された。この検討では放射線審議会で議論された個人線量測定協議会（個線協）のデータに対して医療機関のスタッフのモニタリングの遵守割合が低いことからデータの代表性への懸念が表明され、本院で行っていた労災疾病臨床研究事業において関係学会の協力を得て調査が行われた。この調査で関係学会から推薦された医師でも放射線診療従事者として登録されていない、登録されていても個人線量モニタリング用の素子が配布されていない、配布されていても装着していない、装着していても返却しない、返却した場合でも期限を超過し判定不可となる例が確認された。

個線協に加盟会社のうちデータを公開している2社のデータによると、法令改正後の医療従事者での眼の水晶体の等価線量は、A社では178,734人中、50mSvを超えるのが49人であり、それ未満で25mSvを超えるのが322人、これ未満で20mSvを超えるのが323人となっている。また、B社によると、224,058人中、50mSvを超えるのが33人であり、これ未満で25mSvを超えるのが383人、これ未満で20mSvを超えるのが356人となっている[26]。このようにモニタリング線量では、法令違反となるレベルの労働者が法令改正後でも存在していることになる。

##### 2) 線量限度超過と統計データの乖離

放射線業務従事者が線量限度を超える曝露があったときは所轄労働基準監督署長にその旨を事業主は報告しなければならない（電離放射線防止規則「第44条（診察等）」）。例えば日本製鉄の事故では、労働基準監督署への通報を受けて厚生労働省では関係業界に注意喚起している。

一方、これまで弘前大学病院の整形外科医局では、放射線診療に従事してきた医師において染色体異常が確認されている[16]。また、110名中の4名で皮膚がんが、37名で慢性放射線障害が確認されていた[27]。

2021年業務上疾病発生状況(業種別・疾病別)によると「電離放射線による疾病」件数は2件で、この2件は「鉄鋼・非鉄金属製造業」で、「保健衛生業」は0件である。2013年以降、「電離放射線による疾病」は、保健衛生業での2014年度と2018年度にそれぞれ1件となっている。上記の事例を考慮すると「電離放射線による疾病」に関する統計は信頼できるものとなっているのか検証が必要ではないかと考えられる。

### 3) 線量計に頼らない線量推計

労働者が受ける放射線の量は線量計を用いた測定の外に、放射線発生源の情報、作業環境の状況、作業場での労働者の滞在状況からも推計することができる。このアイデアに基づいたプロジェクトが進行中である[28]。本院の薬機法のGMPの適合性調査演習では、オンラインも組み合わせて行ったが[29]、作業の場を監視するシステムを用いた線量推計も考えられる。

### 4) 労働基準監督署が把握した情報の有効活用

「眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会」における報告書で都道府県労働局と都道府県等の衛生主管部局は、医師等が適切な線量管理の下で業務を遂行できるよう情報共有により連携を図ることが望ましい旨が示されたことから、厚生労働省医政局地域医療計画課長通知「放射線障害防止対策に係る都道府県労働局との連携について」(医政地発0128第4号)が2021年1月28日に発出されている。この通知では、実効線量又は眼の水晶体の等価線量が1年間につき20ミリシーベルトを超えて50ミリシーベルト以下の被ばくであった放射線診療従事者等について都道府県労働局と都道府県等の衛生主管部局が情報を共有することで、保健所等が医療機関に対して、職員の健康管理において適切な指導等を実施することを目的としている。

### 5) 医療安全と労働者防護のトレードオフ

医療での労働者の放射線曝露は患者の利益のためである。優れた技能を持つ医師は、リスクを取って患者への診療に貢献している。医師の安全を保つために、業務を制限することは、医師としての業務を行う権利を損なうものであり、患者が不利益を被る。このため、労働者側からの要望により放射線診療を受ける患者に不利益を与えないように経過措置が講じられ、放射線業務従事者のうち、遮蔽その他の適切な放射線防護措置を講じてもなおその眼の水晶体に受ける等価線量が5年間につき100mSvを超えるおそれのある医師であって、その行う診療に高度の専門的な知識経験を必要とし、かつ、そのために後任者を容易に得ることができないものを経過措置対象医師とし線量限度の適用に経過措置を講じることとされた。経過措置対象医師は、2023年3月31日までの間に、衛生委員会の調査審議などを経た上で、事業者が指定することとされた。

## 2. 医療法施行規則の改正

### 1) 医療放射線安全管理責任者

医療機関の医療安全に放射線安全の観点を含めるための改正医療法施行規則が2019年3月11日に公布され、2020年4月に施行され、各自治体でも医療機関への立入検査で法令遵守状況が確認されるようになった。

### 2) 診療用放射線の安全利用のための指針

医療放射線安全管理責任者は、診療用放射線の安全利用のための指針を策定することとされた。また、放射線診療に従事する者に対する診療用放射線の安全利用のための研修も医療機関に義務づけられることになった。指針の策定に関して国や職能団体、学会からガイドラインが出されており、医療機関の性格に応じて選んで参考にすることができる。

### 3) 線量の評価と線量の最適化

比較的線量が多い放射線診療に関して、線量の評価と線量の最適化を行うこととされた。診療報酬では画像診断管理加算3が制度化されており日本医学放射線学会では画像診断管理認証制度も運用させている。

### 4) 診断参考レベル

それぞれの患者にとって必要な放射線診療は、病状などにより大きく異なる。このため、線量限度を設けることは適切ではない。診断参考レベルは、それぞれの医療機関で診断に用いる放射線量と比較し、最適化を進めるツールである。適正な撮影線量の実現には機器の設計・品質保証・保守管理も鍵となる。

### 5) 情報の収集と周知

医療放射線安全管理責任者は、行政機関、学術誌等から診療用放射線に関する情報を広く収集し、放射線診療従事者に周知徹底し、必要に応じて病院等の管理者に報告することとされた。

## IV. 産業等利用での防護

事故防止や身元不明線源対策について、産業分野では利用の多様化が進む反面、事故が相次いでいる。このため、放射線事故防止の取り組みもなされている[30]。事業所の事故時には労働者の防護だけでなく、周辺住民への配慮も必要となる[31,32]。

## V. 自然放射線への対応

放射線のリスクは、医療分野も含めた産業利用に伴うものだけの問題ではない。航空機乗務員は宇宙線にさらされることから、乗務員側の意向に従って放射線防護のルールが『航空機乗務員の宇宙線被ばく管理に関するガイドライン』として整備されている。また、文部科学省は『ウラン又はトリウムを含む原材料、製品等の安全確保に関するガイドライン』を策定している。

これまでの、カウンターバランスや遮へい体での劣化ウラン使用例や散逸例、鉛プロテクタ中に自然放射性物質が含まれていたことによる自主回収例[33]、一般消費材の加工中における自然放射性物質の吸入曝露が疑われ、

労働安全衛生法に基づき, 労働局が作業停止と従業員の健康診断受診を命じた例などがある。日本では医薬部外品となっている温泉浴素や寝具に関して, 韓国では利用者が受ける線量の観点で事例化し, 法制度化がなされることで一般消費財に含まれる放射性物質が規制対象となっている。

## VI. 今後の課題

### 1. 原子力事故への対応

責任問題や対策によりもたらされる利点と対策を行うことの負担などのトレードオフの解決が求められる。社会における課題の解決では効率性の議論が必要となるが, 社会的に利害が対立する課題では, 前提となる公平性の確保への配慮が極めて重要になる。その点を確認した上での文化的な価値がある野生の食品の摂取のあり方のような課題において主観的な視点でリスク比較が行えるように曝露年齢別の損失余命の情報を提供することで原子力事故からの地域における復興において人々に力を与えていた[34]。また, 難問であることから幅広い関係者の協働が必要となる[35,36]。地域でのコミュニケーション活動は作法を重視して行う必要がある[37]。

### 2. 医療分野

#### 1) 放射性廃棄物

医療機関から発生する放射性廃棄物は日本アイソトープ協会が集荷し, 処理・保管を行っている。しかし, 地元自治体の理解を得ることの困難さから,  $\alpha$ 線核種は原則として対象外となっており, 集荷しているのはRa-223のみとなっている。この核種も中間保管を引き受けている自治体から受入が拒否されている(2023年5月現在)。

放射性同位体は物理的に減衰するので, 一定期間, 減衰させた後に非放射性的の廃棄物とする制度が各国で導入されている。このうち米国では, その対象核種としていたLu-177に関して製造中のLu-177mの混入を考慮し, 2018年6月1日からその制度の対象外としている。

一方, 日本では医療機関で発生した放射性廃棄物は中間保管するしかない。この状況は, 原子力災害後の各自自治体での指定廃棄物の対応と同様である。ただし, 福島県では一部, 処分がなされ, 特定一般廃棄物・特定産業廃棄物や対策地域内廃棄物(特定廃棄物)に関しても処分がなされつつある。この他には除去土壌の扱いも課題となっている。

#### 2) 核医学治療施設での放射性排水の放流管理

新しい技術の発展に伴い核医学治療の拡大が期待されており, 特別措置病室が2022年度から制度化された。ここで, 放射性排水の処理が放射線管理上の課題となっている。海外とは異なり, 日本では, 患者に投与した放射性同位体のうち排水に移行する割合を1%と設定する例が伝統的に多い。しかし, この想定は添付文書とも齟齬がある。そこで, それぞれの核医学治療施設の特性に

応じて, 公共下水への排水の放流時の放射性濃度の事前評価ができるよう計算法を検討した[38]。その結果, 一定以上の規模であればRI専用の排水設備がなくても医療機関から公共下水への放流時の平均濃度で濃度限度を担保できることを確認した。このように施設の特性に応じた放射線管理を行うことでも現行規制を満足させた運用が可能であるが, 放射線防護の最適化は社会的な状況も関係することから関係者間での調整も求められる。

### 3) 使用済みの線源の扱い

輸血用血液照射装置などで用いられた線源の扱いが課題となっている。一定のレベル以上の線源は原子力規制庁の規制対象となるが, 診療を停止した医療機関が管理状況報告書のみ提出による管理となっていたのに保健所が気づき, 線源を管理下とした事例がある。使用済みの線源の扱いは各国で課題となっており, IAEAでガイダンスを発行している[39]。

### 3. 産業利用での防護

事故予防[32]やテロ対策の取り組みが必要である。社会情勢も踏まえ世界保健機関(WHO)は核災害も含めて放射線災害に対して加盟国が準備すべき薬剤のリストを公開している[40]。不測の事態時にはモニタリングなどの対応も求められるであろう。

### 4. 自然放射線への対応

#### 1) 国際機関での取り組み

自然放射線への対応も今後の課題となる。疫学研究で居住環境でもラドンリスクが明らかになったことからWHOではラドンハンドブックを刊行し, IAEAでは, 建材も含めたガイドとしてThe Safety Guide SSG-32を発行している。建材に関して, IAEAではこのガイドをサポートするレポートとして, The Safety Report Series No. 117を発行している。また, 一般消費財を対象に, The Safety Guide SSG-36を発行している。

屋内ラドンに関しては, 居住環境の特性を反映し, 日本では比較的, 濃度が小さいが[41], 食品中の自然放射性物質による線量は食習慣を反映し, 日本では線量が高くなっている。原子力事故による現存被ばく状況に対しては, IAEAではTECDOC-1788: Criteria for Radionuclide Activity Concentrations for Food and Drinking Waterを発行しているが, これも同じくGSR part 3での各線源のカテゴリ別の参考レベルの設定を求めているRequirement 51に対応したものであり, 日本の取り組みが紹介されている。日本では現在のところ, これらに関して介入を行っておらず, 今後の課題となっている。

食品に関しては, IAEAでは加盟国での取り組みを進めるための技術文書を発行している[42]。

#### 2) 放射線リスクへの対応

技術の利用ではリスクが不可避となるが, 自然界にもリスクが溢れている。これらのうち「どの健康リスク」が「ある個人」に対して「より大きいか」は, 相対的な

問題であり環境に依存する。

さらに、リスクに関係するリスク認知は主観的なものである。その一方で、放射線という範囲内なら比較はある程度簡単ではないかと思われるかもしれない。たしかにリスクの大きさに着目すると、放射線は天然由来でも事故放出や計画放出でも、同じ核種であれば全く同じで由来の違いは弁別できない。いずれにしても、人体への影響の度合いが異なる放射線の種類やそれぞれ曝露する臓器の放射線感受性で補正した実効線量（この線量は代表的な個人が想定されている。医療分野では患者の体格などを想定した、当初の定義とは異なる実効線量がよく使われている）で見たときに、自然放射線と事故での放射線の量を比較して、人体への影響を比べるのは容易であるとも言える。もちろん、対策を講じるかどうかなどは、as low as reasonably achievableの原理が適用され、避けるハザードは特に理由がなければ避けること目指すことになる。この原理に従い日本以外の加盟国では自然放射線への対応が進められてきた。

### 3) 自然の放射性物質と事故で放出された放射性物質の比較の問題とは何か？

リスク認知が主観的であることや状況依存的であることから、あるリスク比較が相手に受け入れられるかどうかは相手次第となる。しかし、リスクは比較しないと量の把握が容易ではない。リスク比較はそれが受け入れられれば相場観把握に有益である。一方的なリスク比較が機能しないことがあるのには理由がある。事実、主体性を持ち、それぞれの住民が望むリスク比較をサポートするアプローチは、原子力事故後の福島で機能していた。もっとも住民がこの話題を扱う場を設定することにも大きな労力が必要になり、当初は自治体への不信感が持たれる経緯もあった中で地域の区長の方々とともに地域の保健所・保健センターの保健師や事務職の方々が多大な貢献をなさっていた。このような環境整備は、放射線リスクを扱う以前の状況でもあったことに由来する。このような混迷期にあっては専門職であっても主観的なハザードのとらえ方が講演者の働きかけで容易に変化していた[43]。

あるリスク情報が、相手方に受け入れられるかどうかは、どのような情報を相手方が望んでいるかに依存する。端的には、そのリスクに対して、予防焦点か促進焦点かが求めるリスク情報の方向性を左右する。また、情報の送り手に対して、信頼関係が築けているかどうか、その情報の受け止め方を左右する[37]。不信を持たれていると理解が難しいことは曲解されやすくなる。この現象は、コミュニケーションとして成立させようとはして、相手なりに理解しようとしている結果ではあるが、ALARA (As low as reasonably achievable) の原則からも、新たなリスクを負わされているのではないかと見えると、不信感が高まることになるだろう。

反発を持たれる可能性のある要素としては、制御可能なものは制御すべきとの考えもあるだろう。食品中の放

射性カリウムは取り除けないので制御しようがないとの扱いになっている（もっとも体内で恒常性が保たれているので摂取量と線量の関係が乏しい）。このため、規制の枠から除外する概念が適用されている（もっとも建材に関して欧米では介入例がある）。自然放射線でも国際的には介入する方向性にあるが、この背景としては、他の環境リスク対応と比較して放射線では制御が正当化されやすいことがある。

この観点では同じ線量でも由来によって受けるイメージは異なり得る。事故放出は計画放出の破綻であり、本来あってはならないものであり、計画被ばく状況が適用できないので、事故後の現存被ばく状況を適用するという説明は、責任が果たされていないと受け止められかねない。

事故などからの由来によるイメージは、本来受ける必要のなかったリスクを負わされる被害者感情もあるのでないだろうか。受け入れがたさの負担を考慮し、時代や環境によって介入できる部分は変わってくることから、その介入のリスク低減効果が明確になると、どこまで対策を求める必要があるのか理解しやすくなるのではないだろうか。ここで、放射性物質に関しては、個人が受ける被ばく量の総量がどのくらいで、それぞれの由来の寄与をイメージしておき、対策によってリスクの指標となる実効線量がどのような変わるのかを日頃から示すようにしておく、現状把握感が高まるかもしれない。事実、医療で受ける放射線に関しては、患者団体からは理解できるリスク情報の提示が、医療放射線の適正管理に関する検討会でも要望されていた。

### 4) 国際放射線防護委員会の取り組み

現在国際放射線防護委員会 (ICRP) のタスクグループ (TG) として、放射線防護に関して以下などの議論がなされている。

TG122: 放射線防護のリスク係数として用いられる性年齢で平均化したデトリメント（致死がん誘発確率に余命短縮効果などを考慮）計算の更新がなされている。

TG123: 放射線防護では影響を受けた細胞の喪失に由来する組織反応（かつては確定的な影響）と発がんなどの確率的な影響に分けられてきたが、眼の水晶体の混濁ではこの分類の適用が疑問視されるようになってきた。このため放射線防護の目的のための放射線による人体への有害な影響をどのような観点から分類するかの検討がなされている。

TG124: 放射線防護の三原則の一つである正当化原則は害よりも利益の方が大きいことを放射線利用の条件とするというものであるがこの比較は主観的な判断となり社会的な課題となり得る。その観点での検討がなされている。ICRPが放射線防護の介入に関しても正当化の概念を拡張（社会的に負担のある線量低減措置の実施は正当化されないとはいえない）したことは、被害を受けた方々の原状復帰の権利との衝突を招くことになった。

TG125: 放射線は環境の生物にも影響を与えることか

ら環境保全の視点での放射線防護のあり方を検討している。

TG126: ヒトを対象とした生物医学研究での放射線利用の原則が検討されている。

## 5. リスクコミュニケーションにおける問題点・対応策

医療者と患者, 科学者と市民など, 専門や立場等が異なる人々の間のコミュニケーションについては, 社会学やその他の研究領域で様々な問題点が指摘されてきており, また, 対応策などが提案されてきた。以下では「解釈モデル」「意思決定」「熟議」の3つの事柄について解説しながら, コミュニケーションにおける問題点・対応策について整理していく。

### 1) 解釈モデル

社会学等におけるコミュニケーション研究の中でしばしば指摘されてきたことは, 同じ現象, 同じ情報, 同じ数値等を読み取っていても, 立場や専門性などによって「解釈」が異なるという点である。このことは「解釈モデル」という用語で説明されてきた。例えば, ある疾病に関して医師から患者に説明をしたとする。しがしながら, その後, 医師・患者それぞれに「病気の原因」「重度」「この先の見通し」などについて認識をたずねると, 双方の間にとらえ方の違いが生じていることがある。これは, 同じ言葉を聞いても, そのイメージが人によって異なることがあり, 言葉と言葉が数多く連なる一つの「情報」について, 解釈の仕方に大きな違いが出てくるからである。

ここには重大な問題が潜在している。それは, 会話の中で双方が同じ言葉・同じ用語を使用しているため, 本人たちは共通の理解が成立していると思い込んでしまうことである。会話の中で, 本人たちが気づかないままに同じ言葉に対する解釈の違いがある場合, 会話が進んでいく中で, ますますズレが広がっていくことがありうる。そこで大切になってくるのが, 双方の間で, お互いの解釈を相照らし合わせることである。

「一度伝えたから大丈夫」という思い込みはせず, 自分が相手に伝えた言葉が実際にはどのように解釈されているのかをたずねる努力が必要となる。またその際には, 例えば, 少しずつ角度を変えて相手の考えを聞き直す工夫をするなど, 慎重かつ丁寧に相手の解釈モデルを浮き上がらせるよう努めることが必要となる。

このように, リスクに関して立場や専門性が異なる者同士がコミュニケーションをする場合には, 「数値」「用語」「書面」を過信することなく (それらは客観的な情報と考えられているが実際には異なる解釈を生み出す), 常に相手の理解の内容を確認していくことで, はじめて良好なやり取りが成立するのである。

### 2) 意思決定

コミュニケーションの結果として何らかの「意思決定」をしなければならない状況にある時, いくつか注意しておかなければならない問題がある。1つは, 先に予

定されている意思決定に気を取られるあまりに, コミュニケーションの丁寧さが, つい損なわれてしまう点である。先の「認識モデル」の項でも述べたように, 同じ数値・同じ用語を用いていても, 解釈は人によって少しずつ異なることは日常茶飯事であると考えてよい。そのギャップを慎重に確認し, 埋めていくプロセスを経ずに「決定」を行った場合, 後になって食い違いが露見し, 到達したはずの「決定」が崩れ落ちる事態が起こりうる。

医療におけるコミュニケーションでは, 共同意思決定 (shared decision making) という考え方・実践が重視されてきた。ここで言う「共同」(shared) とは, 患者と医療者の双方がフラットな関係性の中でお互いの考えを共有し, どちらか一方が主導するのではなく, 双方の協力のもとにコミュニケーションが図られることを指している。通常, 医療においては, 患者よりも医療者の方が疾病や治療法に関する知識や技術を多く持っている。したがって, 医療者側の見解に沿って治療に関する意思決定を行うことが, 患者にとっても最良の結果をもたらすと考えがちである。しかしながら, 共同意思決定が社会において重視されるようになった背景には, 医療者主導の意思決定に対する大きな反省があった。

治療に際しては, それが病気の治癒を可能にするかどうか重要な課題になっているのであるが, 考えなければならないことが他にもある。例えば, 治療方法に複数の選択肢が存在して, それぞれにメリット・デメリットがある場合, どちらの治療法が, その患者の生活や選好に適合しているかの検討が非常に重要となる。「複数の選択肢があること」そして「それぞれのメリット・デメリット」が十分に患者に伝わっていないまま治療に関する意思決定が行われてしまうと, 後に重大な問題を引き起こしかねない。

例えば乳がんの治療が行われる際, 乳房の切除という選択肢ががんの治癒の点で期待できる方法であると判断されたとする。医師による説明のうえ患者も合意し, 手術が終わったのち, 実は乳房を温存する別の治療法の選択肢もあったことを患者が知ったとしたらどうだろうか。様々な治療技術が発展してきた現在, 一つの疾病に対して複数の選択肢があることは珍しいことではない。医療者が患者の「生活状況」「選好」「家庭生活」「生い立ち」「信条」などを把握しておくことが, その患者にとっての「最良の選択」を検討する上で不可欠である。そして, そのような対象把握が行われるためには, 医療者と患者との間に (知識量や専門性を理由に) 力関係の不均衡が生じることのないよう注意が必要であり, そのために共同意思決定が重視されているのである。

### 3) 熟議

上記のように, 何らかの意思決定を下さねばならない時に, 決定を急ぐあまりにコミュニケーションが不十分となりうる可能性に対する対応策として重視されてきたのが「熟議」(deliberation) である。熟議は, 科学技術や環境問題など, あるテーマに関して様々な主張・様々



な立場にある人同士の相互理解をはかる手段として重視されてきた。熟議とは、例えば「ディベート」のように意見の決着をつけたり、真偽のほどについて白黒つけたりするようなことはせず、むしろお互いの考えについて、「なぜそのように考えるのか」という点に焦点を当てる取り組みである。

例えば、COVID-19のワクチンに関して、人々の考え方は多様である。ところが、ワクチン接種の是非について、いきなり結論と結論をぶつけ合うと、たいていは見解と見解が平行線をたどり、結局何の進展もないことが予想される。熟議においては、「決定」「決着」を前提としていないので、自身の考え・相手の考えの背景にどのようなものがあるのかを浮かび上がらせることに力が注がれる。

ここでは、実は「自分の考え」というのが重要で、多くの場合、人々は自分の考えであっても「なぜそのように考えるに至ったのか」という点については、突き詰めて考えることはあまりなく、「なんとなく」「ほんやりと」考えていることが少なくない。過去の体験、周囲の影響、人から聞いた話などが絡まり合って「自分の考え」が形作られていることを、丁寧に解きほぐして、そして、相手も同様の作業をすることをお互いに共有することで、考え方が変容することは少なくない。こうして、自己と他者の双方に変容の可能性が拓かれているところに熟議の特長があり、コミュニケーションにおける一つのアプローチとして重視されている。

このように、「解釈モデル」「意思決定」「熟議」など、コミュニケーション研究の知見から私達が得られる示唆は大きい。コミュニケーションが陥りがちな問題に注意しながら、立場の異なる者同士がリスクについて考えることが重要である。

## VII. まとめ

2011年の原子力事故へのこれまでの対応では地方自治体の職員を含めて多くの方々の献身があった。1986年に発生したチェルノブイリ事故が未だに東欧や北欧を中心に影響を与えているのと同様に、当分の間はそのリスクとの付き合いが避けがたい。本稿ではそのフォローアップとして社会科学的な視点も含めて継続している原子力事故対応での放射線リスクの扱いについて概説するとともに規制整備に伴い保健所の役割がより重要となっている医療・産業分野の事例や将来的に国内でも対応が求められるであろう放射線リスクの課題についても概説した。

国民への情報共有と理解の促進から、健康リスクを包括的に低減していくための対策について考える機会となれば幸いである。

## 引用文献

- [1] 福島県二本松市. 平成29年度外部被ばく量調査報告. Nihonmatsu City Office, Fukushima. [Report on the survey of external exposure of citizens resulting from the nuclear accident.] [https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/12768730/www.city.nihonmatsu.lg.jp/data/doc/1520991336\\_doc\\_39\\_0.pdf](https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/12768730/www.city.nihonmatsu.lg.jp/data/doc/1520991336_doc_39_0.pdf) (in Japanese)(accessed 2023-06-16)
- [2] 北海道帯広市. 学校給食の食材の産地情報, 放射性物質の測定結果について. Obihiro City Office, Hokkaido. [Information on the production area of school lunch ingredients and the results of measurement of radioactive materials.] <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/8772274/www.city.obihoro.hokkaido.jp/gaxtukoukyouikubu/gakkoukyudyokuyoudouyourijyou/a120705kyusyoku-sokutei.html> (in Japanese) (accessed 2023-06-16)
- [3] 神奈川県川崎市. 水道の放射性物質に関するQ&A. Kawasaki City Office, Kanagawa. [Q&A regarding radioactive materials in tap water.] <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11623283/www.city.kawasaki.jp/800/page/0000083598.html> (in Japanese)(accessed 2023-06-16)
- [4] 日本国政府 (原子力災害対策本部). 原子力安全に関するIAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書—東京電力福島原子力発電所の事故について—. The Prime Minister of Japan and His Cabinet. Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety: The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations. [https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/2390261/www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea\\_houkokusho\\_e.html](https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/2390261/www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea_houkokusho_e.html) (accessed 2023-06-16)
- [5] 日本保健物理学会. 専門家が答える暮らしの放射線Q&A. Japan Health Physics Society. [Questions and answers on radiation in life. ] <http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/8699165/radi-info.com/> (in Japanese)(accessed 2023-06-16)
- [6] 山口一郎, 浅見真理, 寺田宙, 志村勉, 杉山英男, 樺田尚樹. 飲料水中の放射性物質に関する国内外の指標. 保健医療科学. 2020;69:471-486. Yamaguchi I, Asami M, Terada H, Shimura T, Sugiyama H, Kunugita N. [Japanese and international criteria for radioactive materials in drinking water.] Journal of the National Institute of Public Health. 2020;69:471-486. (in Japanese)
- [7] 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会. 最終報告. Investigation Committee on the Accident at the Fukushima Nuclear Power Stations. Final Report. <https://www.>

- cas.go.jp/jp/seisaku/icanps/eng/index.html (accessed 2023-06-16)
- [8] Ohba T, Hasegawa A, Kohayagawa Y, Kondo H, Suzuki G. Body surface contamination levels of residents under different evacuation scenarios after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. *Health Phys.* 2017;113:175-182.
- [9] Ohba T, Hasegawa A, Suzuki G. Estimated thyroid inhalation doses based on body surface contamination levels of evacuees after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. *Health Phys.* 2019;117:1-12.
- [10] 寿楽浩太, 菅原慎悦. 「SPEEDI」とは何か, それは原子力防災にどのように活かせるのか? 2017. Juraku K, Sugawara S. [What is SPEEDI and how can it be used for nuclear disaster prevention?] <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11034344/www.vill.tokai.ibaraki.jp/viewer/info.html?id=5166> (in Japanese)(accessed 2023-06-16)
- [11] 文部科学省. 東日本大震災からの復旧・復興に関する文部科学省の取組についての検証結果のまとめ(第二次報告書). 2012. Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology. [Summary of the results of the verification of MEXT's efforts regarding recovery and reconstruction from the Great East Japan Earthquake (2nd Report).] [https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/12772298/www.mext.go.jp/a\\_menu/saigaijohou/syousai/1323699.htm](https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/12772298/www.mext.go.jp/a_menu/saigaijohou/syousai/1323699.htm) (in Japanese)(accessed 2023-06-16)
- [12] MLHW. In focus: Radiation protection at works relating to TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. <https://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/workers/index.html> (accessed 2023-06-16)
- [13] Unno N, Minakami H, Kubo T, Fujimori K, Ishiwata I, Terada H, et al. Effect of the Fukushima nuclear power plant accident on radioiodine ( $^{131}\text{I}$ ) content in human breast milk. *J Obstet Gynaecol Res.* 2012;38:772-779. doi: 10.1111/j.1447-0756.2011.01810.x
- [14] Suzuki M, Terada H, Unno N, Yamaguchi I, Kunugita N, Minakami H. Radioactive cesium ( $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$ ) content in human placenta after the Fukushima nuclear power plant accident. *J Obstet Gynaecol Res.* 2013;39:1406-1410. doi: 10.1111/jog.12071
- [15] Suto Y, Hirai M, Akiyama M, Kobashi G, Itokawa M, Akashi M, et al. Biodosimetry of restoration workers for The Tokyo Electric Power Company (TEPCO) Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. *Health Phys.* 2013;105:366-373. doi: 10.1097/HP.0b013e3182995e42
- [16] 三浦富智. 整形外科医の超局所慢性被曝による染色体異常. *臨床整形外科.* 2020;55:109-113. Miura T. [Chromosome aberration studies in orthopaedic surgeons involved in X-Ray fluoroscopy.] *Clinical Orthopaedic Surgery.* 2020;55:109-113.
- [17] Inoue K, Yamaguchi I, Natsuhori M. Preliminary study on electron spin resonance dosimetry using affected cattle teeth due to the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. In: Fukumoto, M. (eds) *Low-dose radiation effects on animals and ecosystems.* Singapore: Springer; 2020. doi:10.1007/978-981-13-8218-5\_13
- [18] Oka T, Takahashi A, Koarai K, Kino Y, Sekine T, Shimizu Y, et al. Detection limit of electron spin resonance for Japanese deciduous tooth enamel and density separation method for enamel-dentine separation. *J Radiat Res.* 2022;63:609-614.
- [19] Harshman A, Toyoda S, Johnson T. Suitability of Japanese wild boar tooth enamel for use as an electron spin resonance dosimeter. *Radiat Meas.* 2018;116:46-50. doi:10.1016/j.radmeas.2018.07.001
- [20] Yamaguchi I, Inoue K, Natsuhori M, Gonzales CAB, Yasuda H, Nakai Y, et al. L-band electron paramagnetic resonance tooth dosimetry applied to affected cattle teeth in Fukushima. *Applied Sciences.* 2021;11:1187. doi: 10.3390/app11031187
- [21] Yamaguchi I, Nakai Y, Miyake M. Can non-destructive EPR tooth dosimetry be used for posterior assessment of radiation exposure in medicine and dentistry? *Radiation Protection and Environment - Theme 4 Radiation Dosimetry (External, Internal and Biological).* 2023;46:S226-227. doi: 10.4103/0972-0464.368743
- [22] 松浦俊也, 林雅秀, 杉村乾, 田中伸彦, 宮本麻子. 山菜・キノコ採りがもたらす生態系サービスの評価: 福島県只見町を事例に. *森林計画学会誌.* 2013;47:55-81. Matsuura T, Hayashi M, Sugimura K, Tanaka N, Miyamoto A. [Ecosystem services valuation of harvesting edible wild plants/mushrooms: A case study in Tadami Town, Fukushima Prefecture.] *Japanese Journal of Forest Planning.* 2013;47:55-81. (in Japanese)
- [23] 山口一郎, 寺田宙, 志村勉, 温泉川肇彦, 牛山明. 東京電力福島第一原子力発電所事故後の食品の放射線安全確保に向けた対策. *保健医療科学.* 2021;70:273-287. Yamaguchi I, Terada H, Shimura T, Yunokawa T, Ushiyama A. [Measures taken to ensure radiation safety of food after the accident at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: Summary of measures implemented over 10 years.] *Journal of the National Institute of Public Health.* 2021;70:273-287. (in Japanese)
- [24] 山口一郎, 寺田宙, 高橋光子, 杉山英男, 三宅定明. 都市環境中における放射能モニタリングに関する調査研究. 第49回環境放射能調査研究成果論文抄録集(平成18年度). 2007. p.7-8. Yamaguchi I, Terada H, Shimura T, Yunokawa T, Ushiyama A. [Report on monitoring of radioactivity in urban

- environments.] The 49 th Report of environmental radioactivity surveys. 2007. p.7-8. (in Japanese)
- [25] 大嶋 健志. 原子力発電所等の検査制度の見直しなど原子力関連法の改正案— 原子炉等規制法・放射線障害防止法・放射線障害防止技術的基準法 —. 立法と調査. 2017;(387):68-75.
- Oshima T. [Proposed amendments to nuclear laws including revision of inspection system for nuclear power plants: Nuclear Reactor Regulation Law, Radioactive Substances Control Law, and Law for Technical Standards for Prevention of Radiation Hazards.] Rippo to Chosa. 2017;(387):68-75. (in Japanese)
- [26] 千代田テクノ. 令和3年度 個人線量の実態. FBNews. 2022. p.6-14.
- Chiyoda Technol Corporation. [Analysis of occupational external radiation exposure (FY 2021).] FBNews. 2022. p.6-14. (in Japanese)
- [27] 浅利享, 和田簡一郎, 熊谷玄太郎, 田中直, 石橋恭之. 整形外科医師における放射線職業被曝に関する実態調査—自己記入式アンケート調査からの検討. 臨床整形外科. 2020;55:121-125.
- Asari T, Wada K, Kumagai G, Tanaka S, Ishibashi Y. [Survey on the occupational radiation exposure to orthopaedic surgeons.] Clinical Orthopedic Surgery. 2020;55:121-125. (in Japanese)
- [28] The PODIUM project (2018-2019). [Personal online dosimetry using computational methods.] <https://www.iaea.org/sites/default/files/20/07/orp-2.pdf> (accessed 2023-06-16)
- [29] 水島洋, 寺田宙, 宅本悠希, 山口一郎. 薬事衛生管理研修におけるオンライン査察の経験による, Good Manufacturing Practice (GMP) 査察のオンライン化に向けた検討. 保健医療科学. 2022;71(4):368-372.
- Mizushima H, Terada H, Takumoto Y, Yamaguchi I. [Consideration of online GMP inspections, by the experience of online inspection trial at GMP training course in NIPH.] Journal of the National Institute of Public Health. 2022;71(4):368-372. (in Japanese)
- [30] 日本保健物理学会. エックス線被ばく事故検討 WG 経過報告書. 2022.
- JHPS. [Interim activity report of JHPS Working Group on Accidental X-ray Exposures. 2022.] <http://www.jhps.or.jp/cgi-bin/info/page.cgi?id=87> (in Japanese)(accessed 2023-06-16)
- [31] 山口一郎, 尾本由美子, 原田美江子, 栗原せい子, 櫻田尚樹. 東京都豊島区の公園で線源が発見された事例への公衆衛生的な対応. 日本放射線安全管理学会誌. 2016;15:186-192.
- Yamaguchi I, Omoto Y, Harada M, Kurihara M, Kunugita N. [Public health emergency response for the detection of a radioactive orphan source in a public park in Toshima Ward, Tokyo.] Japanese Journal of Radiation Safety Management. 2016;15:186-192. (in Japanese)
- [32] 山口一郎. 放射性物質テロへの公衆衛生対応. 保健医療科学. 2016;65:569-575.
- Yamaguchi I. [Public health preparedness and response to a radiological terrorist attack.] Journal of the National Institute of Public Health. 2016;65:569-575. (in Japanese)
- [33] 厚生労働省. 医療機器回収の概要.
- Ministry of Health, Labour and Welfare. [Medical device recall case overview.] <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11113529/www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/kai-syuu/2007-2-2681.html> (in Japanese)(accessed 2023-06-16)
- [34] 岡敏弘. 厚生経済学的手法の適用可能性. 平成25年度厚生労働科学研究特別事業「リスク・コミュニケーションの手法を活用した地域保健医療福祉分野での原子力災害対策の実践的な活動の展開とその検証に関する研究」(研究代表者: 山口一郎) 2014. p.67-75.
- Oka T. [Applicability of welfare economics methods. Research on the development and verification of practical activities for the nuclear accident in the field of community health and social welfare utilizing risk communication methods (PI: Yamaguchi I. 2014- Special Research -024) Report on Fiscal Year 2013.] 2014. p.67-75. (in Japanese)
- [35] 川口勇生, 山口一郎, 安東量子, 甲斐倫明, 吉田浩子, 佐々木道也. JHPS国際シンポジウム: トリチウム問題をいかに解決するべきか? 保健物理. 2020;55:173-182.
- Kawaguchi I, Yamaguchi I, Ando R, Kai M, Yoshida H, Sasaki M. [JHPS International Symposium: How do we find the solution to radiological protection of tritium water?: Symposium Discuss International and Social Aspects of Radiological Protection.] Japanese Journal of Health Physics. 2020;55:173-182. (in Japanese)
- [36] Yamaguchi I. What can radiation protection experts contribute to the issue of the treated water stored in the damaged Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant? Journal of Radiation Protection and Research. 2021;46:24-31. doi:10.14407/jrpr.2020.00206
- [37] 山口一郎, 金子浩子, 半谷輝己, 高橋秀人. 放射線リスクに関するコミュニケーション・イベント実施の試み. 日本放射線安全管理学会誌. 2020;19:79-91.
- Yamaguchi I, Kaneko H, Hangai Y, Takahashi H. [An attempt to hold events on radiation risk communication.] Japanese Journal of Radiation Safety Management. 2020;19:79-91. (in Japanese)
- [38] 山口一郎, 成田浩人, 細野真. 核医学治療施設での公共下水への排水の放流時の放射性濃度評価法. 令和3年度放射線安全取扱部会年次大会. 2021. p.58.

- Yamaguchi I, Narita H, Hosono M. [Evaluation method for radioactivity concentration in wastewater discharged from nuclear medicine treatment facilities to public wastewater.] The Annual Conference of Radiation Safety Officers. 2021. p.58. (in Japanese)
- [39] Yamaguchi I, Ozawa S. Irradiator issues: source, dose, and waste management. *Transfusion and Apheresis Science*. 2022;61:103407. doi: 10.1016/j.transci.2022.103407
- [40] WHO. National stockpiles for radiological and nuclear emergencies: policy advice. Geneva; WHO: 2023.
- [41] Suzuki G, Yamaguchi I, Ogata H, Sugiyama H, Yonehara H, Kasagi F, et al. A nation-wide survey on indoor radon from 2007 to 2010 in Japan. *J Radiat Res*. 2010;51:683-689. doi: 10.1269/jrr.10083
- [42] International Atomic Energy Agency. Exposure due to radionuclides in food other than during a nuclear or radiological emergency, IAEA-TECDOC-2011. Vienna; IAEA: 2022.
- [43] 佐々木聡. 放射線による被ばくリスクと放射線防護をどう考えたらよいか?—福島復興と、人々の尊厳を守るために、我々は何をすべきかを考える—. 技術士. 2014. p.12-15.
- Sasaki S. [The professional engineer's FORUM 2013. How should the risks of radioactive exposure be evaluated, and radiological protection be considered?] *Gijutsushi*. 2014. p.12-15. (in Japanese)