

第9章 放射線の利用と管理

前章までは放射線を受けた時の影響を中心に見てきました。第2章で述べたように放射線は、病院での診断と治療、大学や研究施設での研究活動、工業生産における品質管理、空港における荷物検査などで利用され、私たちの生活を支えています。

放射線を利用するときは、実際に線源等を取り扱っている「放射線業務従事者」と呼ばれている放射線作業で働く人たちの被ばくをきちんと管理する必要があります。「個人線量測定機関協議会」（千代田テクノル、長瀬ランダウア、ポニー工業、産業テックの4社）の統計^{参考1}及び放射線影響協会の原子力施設と除染作業の統計^{参考2}によると、個人線量の管理対象者の人数は図9-1のとおりで、単純に合計すると約68万人になります（ただし、原子力と除染作業を除いて、従事者個人毎の線量には集約されていません）。このように、日本国内では多くの人が放射線の利用に係わっています。

この章では、放射線利用施設における被ばく管理の実際について見てみます。

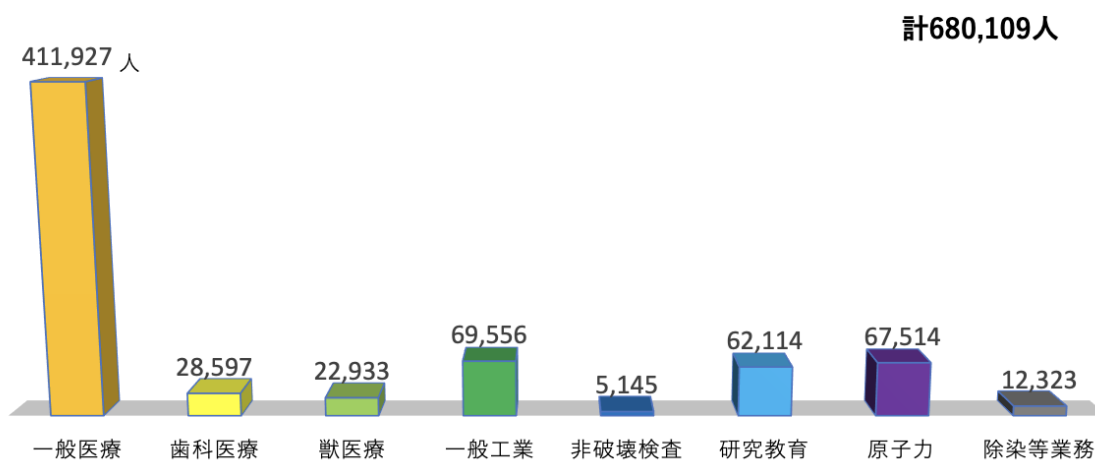


図9-1. 個人の職業被ばくの管理対象人数（2023年度または2023年）

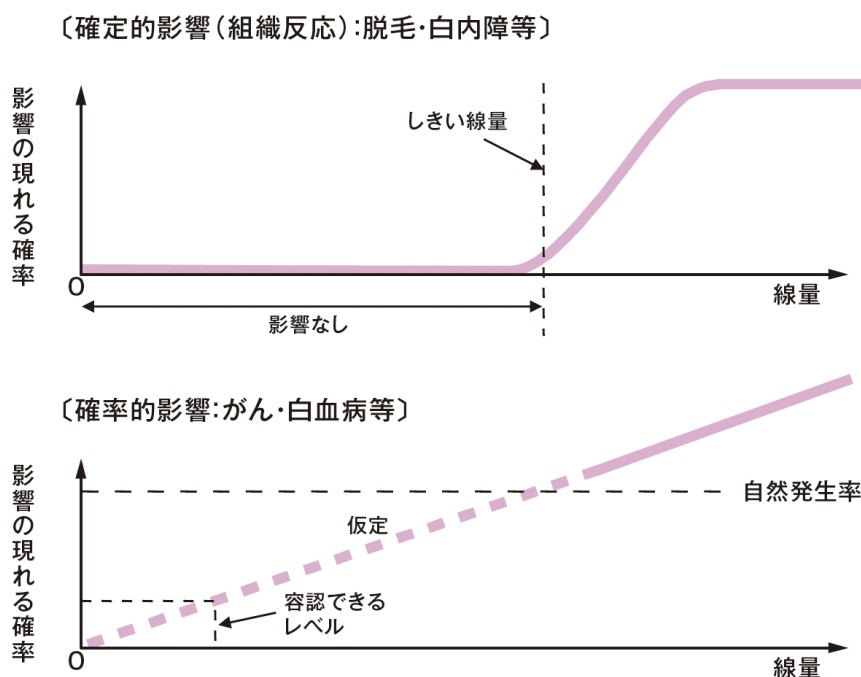
被ばく管理の基準

日本の放射線利用施設で働く人たちの被ばくに関しては、放射線防護に関する法令に基づいて管理されています。現在の日本の法令の基準は、国際放射線防護委員会（ICRP）の1990年の勧告を尊重して定められています。

この勧告では、放射線の人体への影響に関する次のような考え方に基

被ばく管理の基準を設定しています。まず、第3章で述べた確定的影響（組織反応）については、しきい線量以下に管理することで、影響の発生を制限することになっています。さらに、確率的影響については低い線量についても線量の大きさに応じて影響が出るという前提で管理することになっています（第3章参照）。この前提を「直線しきい値なし仮説」または「LNT（Linear-non-threshold）モデル」と呼んでいます。

この仮説では1年間に100ミリシーベルト以下の低い線量を受けたときも、線量の増加に比例してがんなどの影響が生じると考えます。しかし、実際には低い線量での発がんの頻度が小さく、疫学的にも臨床的にも、他の原因による発がんとは区別して識別できないことや、人体の修復機能の働きなどもあって、実際には確認できません。すなわち、100ミリシーベルト以下では線量に応じた直線的な影響が確認できていませんが、放射線防護の上ではそのような慎重な仮定のもとに基準を決めています。



出典：原子力文化財団「原子力・エネルギー図面集」

図9-2. 放射線の人体への影響に関する放射線防護上の考え方

放射線利用施設で働いている人たち（放射線業務従事者）に対する2020年時点の日本の基準（線量限度）は、実効線量に対して5年間に100ミリシーベルト、ただし、1年間では50ミリシーベルトを越えないことと定められています。女性については、妊娠の可能性を考慮し、5ミリシーベルト／3ヶ月（これはICRP

では勧告していません)、及び妊娠中腹部表面2ミリシーベルトという限度が定められています。また、等価線量の限度は、眼の水晶体及び皮膚について定められており、眼の水晶体に対して年間150ミリシーベルト及び皮膚に対して1年間で500ミリシーベルトとなっています(表9-1)。

なお、放射線業務従事者の眼の水晶体の等価線量の限度は、ICRPにおいて白内障の発生に関する知見が見直されたため、日本の法令の眼の水晶体の限度も2021年4月から変更となり、5年間に100ミリシーベルト、ただし、1年間では50ミリシーベルトを越えないこととなっています。

放射線利用施設で働いている人たちの被ばくは、これらの基準に従い、法令に定められたこれらの限度を超えないように管理されています。

表9-1. 日本の法令に定められる線量限度(原子炉等規制法の例)

対象	実効線量	等価線量
施設内で働く人たち (放射線業務従事者)	100mSv/5年 及び50mSv/1年 女子:5mSv/3か月	眼の水晶体:100mSv/5年 及び50mSv/1年 皮膚:500mSv/1年
施設の周辺に住んでいる人たち(公衆)	1mSv/1年	眼の水晶体:15mSv/1年 皮膚:50mSv/1年

放射性同位元素等の使用施設

◎放射性同位元素等の使用

放射性同位元素等の利用には2通りの方法があります。1つは放射線を出す放射性同位元素(ラジオアイソトープ)を使用する方法で、もう1つは放射線発生装置を使用する方法です。

・放射性同位元素の利用

放射性同位元素は自然界にもありますが、最近は加速器等を利用して容易に製造できるため、ほとんどの場合、人工的に作られたものが使われています。例えば医療の現場では、診断のために放射性同位元素を含む薬剤を注射したり、治療のために金属の小さい筒に密封された放射性同位元素を体の中に埋め込んだりして利用されています。また、医療機具の放射線滅菌にも多くの放射性同位元素が使われています。

・放射線発生装置の利用

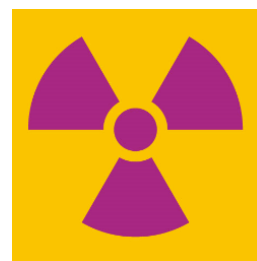
X線を発生させるX線装置をはじめ、中性子線や陽子線を発生させる加速器といわれる装置などが、放射線の発生源として使用されています。これ

らは、例えば胸や歯のX線写真による診断、がんの治療、鉄板の厚さ測定、空港での荷物検査など、いろいろな場所で使用されています。

・放射性同位元素の管理

放射性同位元素を使用する施設では、放射性同位元素を密閉容器に入れ、さらに放射線が外部に漏れ出ないように、ガンマ線を止めることができる鉛などでできた遮へい容器に入れて貯蔵庫に収納しています。また放射性同位元素の容器や貯蔵庫には、「放射性同位元素の標識」を付ける決まりになっています。さらに放射性同位元素の量を厳格に管理するために、使用するたびに取り出し量・使用量・返却量を記録しています。放射性同位元素を使用する場所や貯蔵する場所は放射線管理区域に指定され、許可された者しか出入りできません。

放射性同位元素等取扱事業所の数の推移は、図9-3に示すとおりです。日本には7,000以上の事業所があります^{参考3}。



放射性同位元素の標識

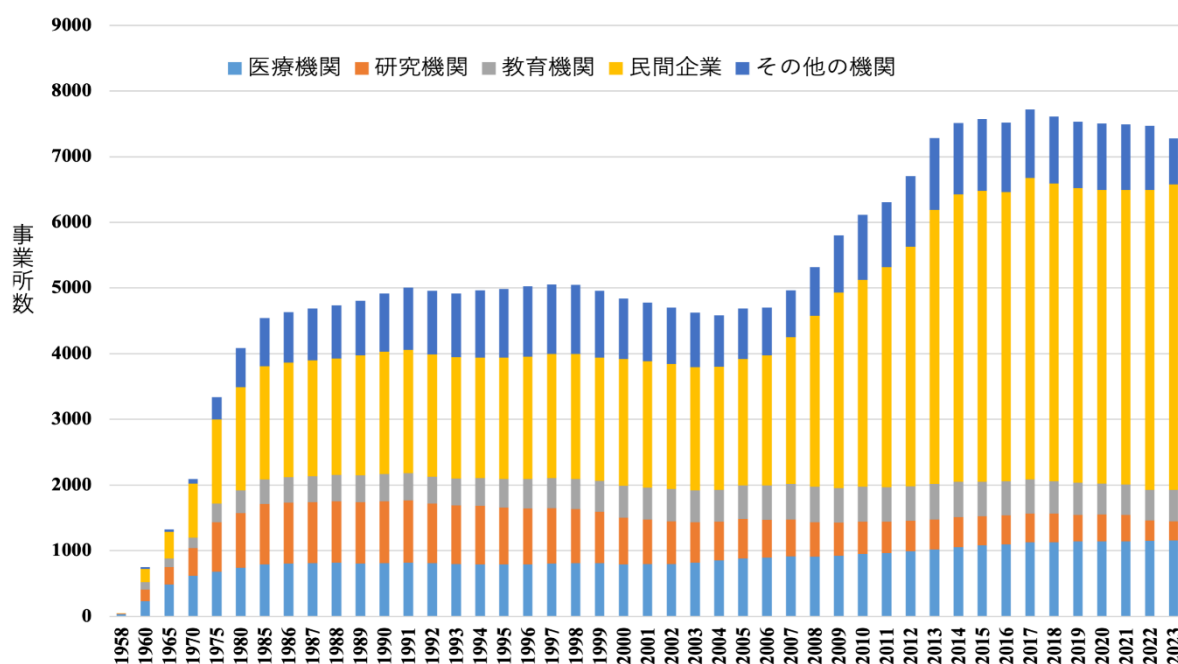


図9-3. 放射性同位元素等取扱事業所数の推移（～2023年度）

コラム⑫ ラジオアイソトープ

放射線を出す物質(放射性物質)を簡単に「アイソトープ」(同位体元素)と呼ぶことがありますが、正しくは「ラジオアイソトープ」(放射性同位元素)です。

元素は物理的または化学的性質が同じ原子を総称して表す名称です。原子は陽子と中性子と電子からできています。原子の性質は原子核の陽子の数で決まりますが、陽子の数が同じで中性子の数が違うバリエーションがあり、このようなバリエーションを同位体元素といいます。同位体の中には放射線を出すものと出さないものが存在し、放射線を出すものをラジオアイソトープと呼びます。

ラジオアイソトープは身近なところにも結構あります。例えば、私たちの体や植物を構成している重要な元素の1つである炭素は、割合はわずかですがラジオアイソトープが存在します。ラジオアイソトープは放射線を出して、放射性ではない安定な原子になります。この性質を利用して、古い時代の遺物の年代を測定することができます。炭素は生物の体の主要成分で、その中には一定の割合で炭素のアイソトープも含まれます。生物が活着している間は、炭素を外から取りこみ続けるため、アイソトープが含まれる割合は変わりませんが、死んだあとは存在比率が下がり始めます。この現象を利用すれば、生物が死んでからどのくらい時間が経ったかが分かるため、考古学で地層の年代を測定するためなどに使われています。



◎放射線利用施設で働く人たちの被ばく管理

・線量限度

研究施設や病院などの放射線利用施設では、作業者が仕事上やむを得ずある程度の放射線を受けることがあります。このような職業上の被ばくで健康被害が起きないように、法令で線量限度を超えないように管理を行うことが定められており、作業者は法令を守って仕事をします。加えて合理的に達成可能な限り被ばくが少なくなるように管理されています。

具体的には、管理区域内では、個人ごとに線量計をつけて被ばく線量を測定・管理します。また、放射線作業者は定期的な健康診断や、放射線の人体

への影響や放射性同位元素の安全な取扱いについて、定期的な教育訓練も受けています。

・被ばく線量の実際

個人線量測定機関協議会の統計資料によると、放射線利用施設における職業上の被ばく線量は、平均で1年間に0.20ミリシーベルトです^{参考1}。ただし、個人氏名の照合は行われていませんので、被ばく線量の測定期間中に他の職場に異動した等により測定会社が変更された場合には、別人として集計されています。

職種によって高い低いがありますが、2023年度までの10年くらいの業種別の年間平均線量の推移をみると、一般医療と非破壊検査の作業員の被ばくは同程度で推移しています。

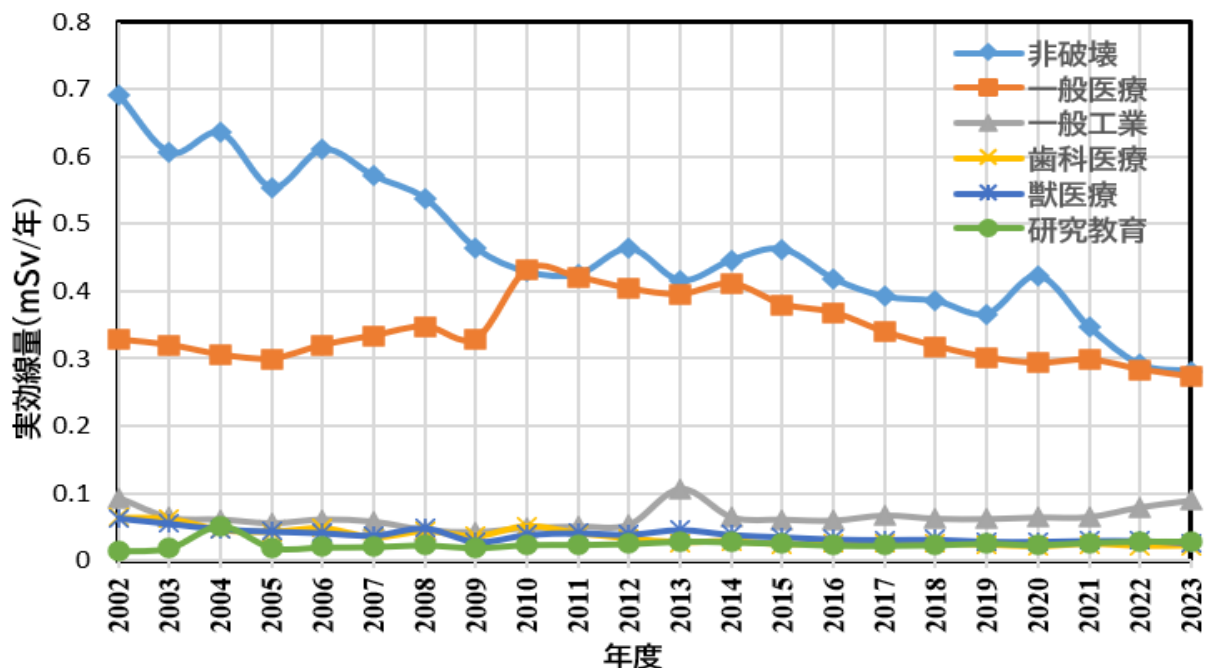


図9-4. 業種別年間平均実効線量の推移（除く原子力）（～2023年度）
（個人線量測定機関協議会ホームページのデータから作成）

原子力施設

◎原子力施設で働く人たちの被ばく管理

原子力施設で働く人たちは、仕事上放射線に被ばくすることがあります。

このような職業上の被ばくについては、放射線利用施設と同様に、法令に基づき線量限度を超えないように管理することはもちろん、合理的に達成可能な限り低くなるように管理されています。放射線作業に従事する人たちの被ばく線量は、個人毎に線量計をつけて、きちんと測定・管理されています。

日本の原子力施設では被ばくを少しでも減らすためのさまざまな努力が行われてきています。放射線業務従事者数と平均線量の推移を図9-5に示します。これによると、1人当たりの平均被ばく線量は、1980年代から減少していき、2018年度には1980年代中頃の5分の1くらいまでになっています^{参考2}。

放射線作業を行う人の年間被ばく線量は、福島第一原子力発電所事故の前年度では1人当たり平均1ミリシーベルト程度でした。福島第一事故後は長期にわたって運転を停止している原子力施設が多いことから、2023年度の1人当たりの年間被ばく線量は、福島第一を含めると0.5ミリシーベルト、福島第一を除くと0.1ミリシーベルトとなっています。

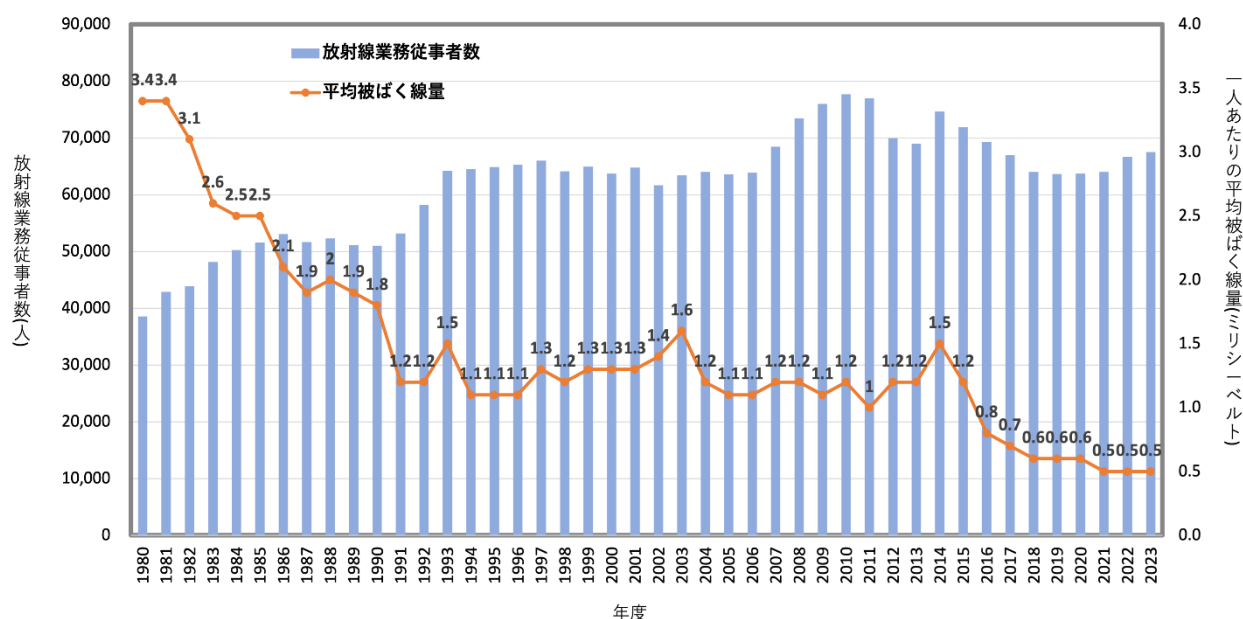


図9-5. 原子力施設における放射線業務従事者数と平均線量の推移

◎原子力施設で働く人たちの疫学調査

日本では 1990 年から原子力施設で働いた人たちの放射線による被ばくとがんの死亡や罹患との関係を検討するための調査を行っています。人の集団を対象としたこのような健康調査を一般に疫学調査といいます。2014 年までの調査では、生活習慣調査回答者 75,442 人を含む日本人男性の放射線業務従事者 204,103 人について調査が行われ、1 人あたりの平均年齢は 55.6 歳、平均累積線量は約 13.8 ミリシーベルトでした。一部の疾患において死亡率と累積線量との関連がみられましたが、喫煙などの放射線以外の要因による影響（「交絡因子」といいます）を含む可能性が高いことを示す結果が得られ、低線量域の放射線ががんによる死亡率に影響を及ぼしているか否かを結論付けることはまだできませんでした。引き続き生活要因や社会経済状態に係る要因等の影響を調査するとともに、がん死亡に加えてがん罹患についても調査が進められています。

第 8 章の表 8-1 に示したように、諸外国においても、放射線被ばくとがんの関係について様々な調査が行われています。2018 年 8 月に公表された英国での調査結果の報告によると、1995 年 1 月～2011 年 12 月の間の 167,003 人の軍事関連施設や原子力施設で働く人たちについて、平均の累積被ばく線量は、25.3 ミリシーベルトとなっています。この解析の結果、白血病を除くすべてのがん、その他の疾患において、線量の増加とともにリスクが増加する傾向が示され、原爆被爆者の調査から得られたリスクと同様の傾向であったとしています。ただし、線量推定など研究方法に関連した限界が多いため、この研究のみをもって低線量放射線による健康影響が明らかになったと結論付けることはできないと考えられます。

また、英国、米国、仏国の 3 か国のデータを使用した調査（INWORKS）では、大規模の集団に対する長期間の観察により、白血病、がん及びがん以外の疾病（非がん）について報告されています。調査の結果、被ばくとともにリスクが増加する傾向が得られ、これについても原爆被爆者の調査から得られたリスクと同様の傾向であったとしていますが、喫煙による交絡の可能性を否定できないため、研究結果は慎重に解釈する必要があります。

この他にも、米国での軍事関連施設従事者や研究施設従事者の調査、15 ケ国の原子力発電施設従事者の調査、旧ソビエト連邦の軍事関連施設従事者の調査、カナダの原子力発電施設の調査等が行われています^{参考 4, 5}。

以上のように各国で様々な疫学調査が行われてきましたが、大部分の研究では放射線の健康影響を研究する上で重要な喫煙の情報が収集されていないなど研究上の限界が多く、また結果も様々であるため、100 ミリシーベルト以下の低線量放射線の健康影響の有無や、線量反応関係について結論を下すことは現時点では難しいと考えられます。

◎原子力施設の周辺住民への影響

原子力発電所などでは、作業員の衣類などを洗濯した後の廃水などが発生します。これらの廃水は、フィルターなどによって放射性物質を除去した後、放射能の測定を行って安全を確認し、さらに薄めて放出されます。また建物の換気を行った後の空気も、同様な処理や測定を行って安全を確認しながら放出されます。

施設の周辺に住んでいる人たちがこれらの放出によって被ばくする線量は、日本では年間 1 ミリシーベルトの限度以下になるよう法令で義務づけられています（表 9-1 参照）。原子力発電所については、被ばく線量は合理的に達成できる限り低く保つことが望ましいという考え方に立って、さらに厳しい年間 0.05 ミリシーベルトという努力目標値が旧原子力安全委員会によって決められ、いずれの発電所でもこの値を大幅に下回っています。

また、施設周辺の環境への影響については、原子力施設を運転する人たちだけでなく、地方自治体によっても環境放射線の監視が行われており、平常運転時の安全が確認されています。

なお、日本人の自然放射線による被ばく線量が年間平均 2.1 ミリシーベルト、医療診断による被ばく線量が同じく 2.6 ミリシーベルトであることなどと比較すると、原子力施設の周辺住民が受ける線量は十分に低い値となっています。

上記で述べたように、原子力施設から放出される放射性物質による周辺住民への被ばくは非常に低いのですが、健康影響についての不安から各国で疫学調査が行われてきました。英国やドイツなどで実施された調査では小児白血病の増加が報告され、その原因が何であるかについて激しい議論が行われました。小児白血病の増加を説明する有力な仮説の 1 つとして、原子力施設が立地する地域はもともと人口が少なく、そのような地域で施設立地に伴い大量の人口が流入する際に起きるウイルス感染が小児白血病の多発につながったのではないかという説が提唱されています。その他、様々な観点から小児白血病の原因が探られていますが、いまだに真の原因はわかっていません。

医療施設

◎医療施設で働く人たちの被ばく管理

日本では医療用放射線装置の普及により、誰でも容易に質の高い医療を受ける環境が整っています。ただし、放射線装置を用いれば被ばくを伴います。医療分野での放射線利用で被ばくするのは患者だけではなくありません。放射線装置を取り扱う放射線診療従事者においても職業上の被ばくを伴います。

具体的には、医療の現場ではX線単純撮影、透視検査、血管造影検査、画像下治療（IVR）、X線CT、核医学検査、放射線治療など、放射線はさまざまな検査・治療で利用されています。装置の普及もあり、検査数は増加の一途をたどっていますので、医療分野で働く人たちについても被ばく管理が重要となります。

個人線量測定機関協議会の統計によると、医療機関における職業上の被ばく線量は、2023年度の平均値で1年間に約0.26ミリシーベルトです。医療機関の職種別で見ると、その中でも技師の被ばくは1年間で0.7～1ミリシーベルト程度で推移しています（図9-6）。

医療分野で働く人たちの被ばくについては、患者（被験者）の病気の進行度や検査の内容によって検査時間が変わりますし、検査の介助者には検査中に線源から距離を取ることが難しい場合があります。重い鉛プロテクターの着用などの遮へいも作業効率に影響することがあります。しかし、それぞれの医療の現場で工夫をしながら被ばく低減に努めています。

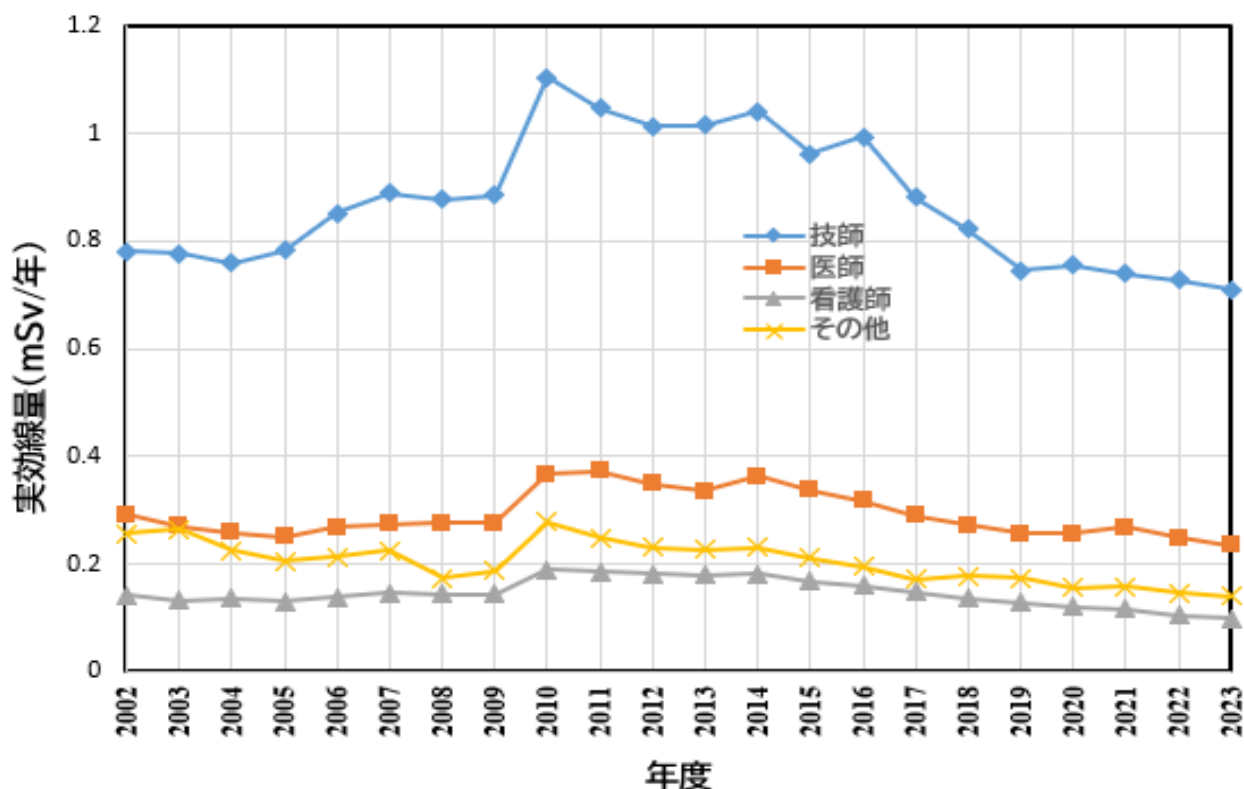


図9-6. 医療施設で働く人たちの年間平均実効線量の推移（～2023年度）
（個人線量測定機関協議会ホームページのデータから作成）

◎医療施設で働く人たちの疫学調査

医療における放射線利用は19世紀末に開始され、医療施設で働く放射線科医や放射線技師などの人々は職業被ばくを受けた集団として最も古い集団の1つと言えます。英国、米国、中国、日本など世界各国でそのような人々における放射線の影響を調べることを目的として疫学調査が実施されてきました。多くの国では1950年代くらいまでは個人線量計を用いた測定や管理がなされておらず、そのような放射線防護が十分でない時期に働いていた人で皮膚がん、白血病、乳がんなどのリスク増加が報告されています。一方、最近働いている人ではそのような影響は確認されていません^{参考6}。

参考資料（第9章）

- 参考1. 個人線量測定機関協議会ホームページの「統計資料」
(<http://kosenkyo.jp/index.htm>)
- 参考2. 放射線影響協会ホームページの「統計資料」
(<https://www.rea.or.jp/chutou/hibakukanri.htm>)
- 参考3. 原子力規制庁ホームページの「放射性同位元素等取扱事業所数の推移」(https://www.nsr.go.jp/activity/ri_kisei/kiseihou/kiseihou4-1.html)
- 参考4. 工藤伸一他、「英国の放射線業務従事者（NRRW）を対象とした最新の疫学調査の概要」、保健物理 No.54(1)
- 参考5. 工藤伸一他、「各国の放射線疫学コホート研究における手法の相違点」、保健物理 No.52(4)
- 参考6. Yoshinaga et al., Cancer Risks among Radiologists and Radiologic Technologists : Review of Epidemiological Studies, Radiology 233 : 313-321, 2004