

## 第2回 医療被ばく

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構  
量子医学・医療部門 放射線医学総合研究所 人材育成センター

赤羽 恵一 Keiichi Akahane

## 1. はじめに

1895年にレントゲンがX線を発見してすぐに、医療の分野で放射線が用いられ始め、100年あまりの間に非常に目覚ましい技術進歩があった。現在は、放射線無くしては医療が成り立たないと言えるほど、その重要性は高くなり、手法も高度化してきている。一方、0歳児から100歳を超える高齢者まで、医療被ばくを受ける対象はほぼ国民全員にわたり、放射線防護の観点から、非常に重要な分野となっている。ここでは、放射線診療の種類とそれに伴う被ばく、および防護について、簡単に紹介する。

## 2. 医療被ばくの種類

## (1) 放射線診療の種類

放射線診療は、大きく分けて放射線診断・放射線治療・核医学の三つに分類できる。診断と治療を併せ持ったインターベンショナルラジオロジー (Interventional Radiology : IVR) という手技もある。

## (2) 放射線診断

放射線診断としては、一般X線撮影・X線CT (コンピュータ断層撮影)・乳房撮影 (マンモグラフィ)・上部消化管検査 (バリウム検査)・歯科放射線撮影などが挙げられる。MRI<sup>※1</sup>診断や超音波検査は、放射線被ばくを

しないが、放射線診断学 (画像検査学) の一部に含まれている。

一般X線撮影では、X線管球に高電圧 (数十~百数十キロボルト) をかけ、電氣的にX線を発生させる。撮影部位や患者の体格などにより、必要とされるX線のエネルギーや量、照射する範囲が異なるため、患者毎に照射条件を調整する。

X線CTは、体の周りからX線を照射し、コンピュータで断層画像<sup>※2</sup>や3D画像を再構成する撮影方法である。近年は、逐次近似法という再構成法により、比較的低い線量<sup>※3</sup>で診断可能な画像が得られるようになってきた。

IVRは、X線の透視画像を見ながら、カテーテルと呼ばれる細い管状の医療器具などを体内に入れて、患部の診断と治療を行う手技のことである。透視<sup>※4</sup>時間が長いため、通常の診断と比べて被ばく線量が高く、皮膚に発赤などの影響を生じることもある。

乳房撮影は、専用の装置を用いて、乳房を板で圧迫しながら撮影する方法で、マンモグラフィと呼ばれる。他のX線撮影に比べて使用するX線の量もエネルギーも小さい。

上部消化管検査は、バリウム検査とも呼ばれる検査で、発泡剤<sup>※5</sup>で胃を膨らませた後、X線が透過しにくいバリウムを飲み、飲むときの食道の様子と、胃壁に付着したバリウムの状態を見ることにより、診断を行う方法である。透視だけでなく、必要に応じて撮影が行われる。

※1  
MRI

被験者に高周波の磁場を加え、体内の水素原子に共鳴現象(核磁気共鳴)を起こさせ、その際に発生する電波を画像に再構成する装置や撮影方法。体内で水分量が多い脳や血管の診断に使用されることが多い。

※2  
断層画像

体の断面を描出した画像。

※3  
線量

放射線が物質の単位質量あたりに与えるエネルギーを基にした量、または放射線を照射された生体が受ける可能性がある影響の程度に関係した量。

※4  
透視

X線撮影装置と造影剤を用いて、体内の臓器の形態、機能などをリアルタイムの画像として観察すること。

※5  
発泡剤

消化管のX線撮影などに使用される泡を発生させる内服剤。

歯科放射線撮影では、小さなX線フィルムを用いる口内法撮影、顎の周りから撮影を行うパノラマ撮影、CT装置を用いるCT撮影などが行われている。体幹部のX線撮影に比べ、用いられるX線の量とエネルギー、そして照射野は小さい。

### (3) 放射線治療

放射線治療は、放射線を体外から照射する外部照射と、放射線源<sup>※6</sup>を体の内部に入れて患部を直接照射する内部照射に分けられる。全国の放射線治療施設数は、2015年現在で897施設と推定されている（日本放射線腫瘍学会調査データより）。

外部照射には、X線診断の数百倍程度（数メガ～十数メガボルト）の電圧で加速したエネルギーを持つX線や電子線を照射する方法と、放射性核種<sup>※7</sup>から発生するガンマ線を照射する方法がある。近年は、陽子を加速して照射する陽子線治療や、炭素イオンを加速させて照射する重粒子線治療が行われるようになった。陽子線治療と炭素線治療を合わせて、粒子線治療と呼ばれている。粒子線の特徴は、人体の表面付近ではあまりエネルギー

を出さず、ある深さに到達した時に、一気にエネルギーを放出する特徴を持っていることである（**図1**）。このため、エックス線や電子線に比べ、患部以外の部位の被ばくを低く抑えることができる。日本は重粒子線治療施設数が世界一であり、6施設ある（**図2**）。また、陽子線治療施設も18施設ある（1施設は重粒子と陽子線の両方を有している）。

内部照射には、密封した放射性核種を用いる密封小線源治療と、非密封の放射性核種を用いる治療がある。前立腺がんなどには、直接多くの小さな線源を埋め込む組織内照射が行われる。子宮頸がんなどの治療には、照射の時のみ密封小線源を挿入する方法も取られる。食道や気管支などの腔<sup>※8</sup>の部位に線源を入れる方法は、腔内照射と呼ばれる。

### (4) 核医学

核医学では、放射性医薬品が用いられている。これは、放射性核種を含んだ医薬品で、その核種から放出される放射線を利用した診断あるいは治療が行われる。

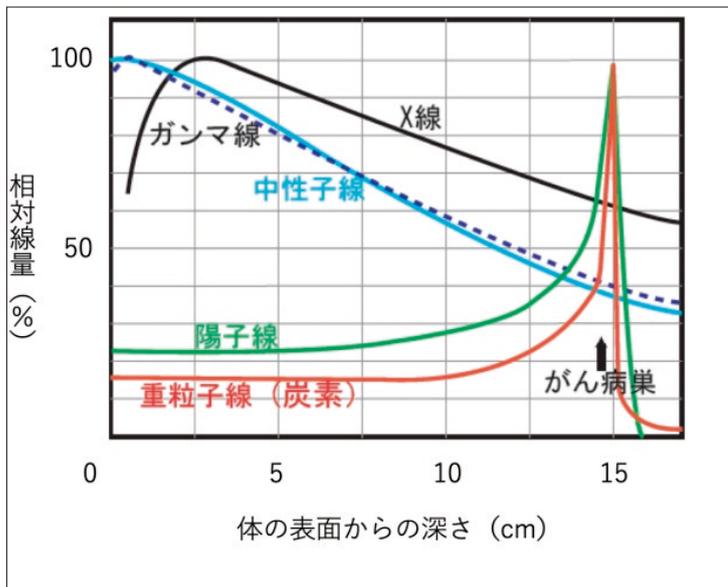
核医学診断には、ガンマ線（波長の短い電磁波）を放出する核種が用いられる（**表1**）。アルファ線（ヘリウム原子核）やベータ線（電子）は透過力が弱く、体外の検出器では検出できないからである。利用される放射性核種の半減期（放射能が半分になる時間）は比較的短い。例えば、核医学診断で一番多く用いられているテクネチウム99mという核種は、半減期が約6時間である。放射性核種の中には、陽電子（プラスの電荷を持った電子：ポジトロン）を放出するものがある。陽電子は、放出されると周囲の電子と反応し、180度反対方向に二本のガンマ線を放出して消滅する特徴を持っている。この反応を体の周りを囲んだ検出器で同時計測することにより、放出した場所を特定する方法がPET（Positron Emission Tomography:陽電子放射断層撮影）

※6  
放射線源  
放射線を照射するための放射線発生装置または、発生源となる放射性核種。線源ともいう。

※7  
放射性核種  
放射能をもつ核種（核の中の陽子数、中性子数、エネルギー状態により規定される原子の種類）で、自然に放射線を放出して崩壊し、他の原子核に変わる原子核。

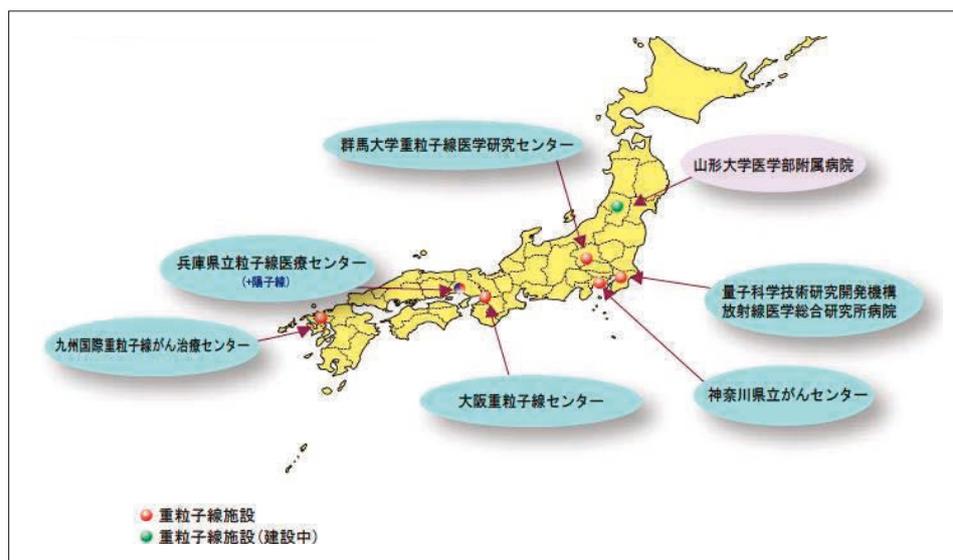
※8  
腔  
体内で空になっている部分。医学では腹腔（フクウ）、口腔（コウクウ）など腔（クウ）と読む。

図1 各種放射線の生体内における線量分布



（放射線医学総合研究所パンフレット「重粒子線がん治療 HIMAC」より引用）

図2 日本の重粒子線治療施設



(放射線医学総合研究所パンフレット「臨床成績」より引用)

表1 核医学診断に使用される代表的な放射性医薬品

検査名	放射性医薬品	対象疾患
脳血流シンチグラフィ	$^{123}\text{I}$ -IMP	脳血管障害 (脳梗塞、一過性脳虚血発作など)
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAO	
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ECD	
心筋血流シンチグラフィ	$^{201}\text{Tl}$	虚血性心疾患 (心筋梗塞、狭心症など)、 心筋症など
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI	
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -テトロホスミン	
甲状腺シンチグラフィ	$\text{Na}^{123}\text{I}$ , $\text{Na}^{131}\text{I}$	甲状腺機能亢進症、甲状腺機能低下症、 甲状腺腫瘍
	$^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$	
腎動態シンチグラフィ (レノグラム)	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAG3	腎機能障害、移植腎、水腎症など
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA	
骨シンチグラフィ	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP	骨転移、原発性骨腫瘍、骨折、 他の骨疾患
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMDP	
FDG-PET	$^{18}\text{F}$ -FDG	悪性腫瘍、てんかん焦点、心疾患 (虚血性心疾患、心サルコイドーシス)

(放射線医学総合研究所「診療に役立つ放射線の基礎知識」より引用)

である。PET 検査で一番多く用いられている核種はフッ素18で、半減期は約110分と短い。現在は、CT装置と組み合わせて、精密に部位を特定することが可能なPET-CTが一般的になってきた。全国のPET施設数は、2018年8月15日現在で405施設と推定されている(日本核医学会調査データより)。

核医学治療は、非密封の放射性核種を用いた治療のことで、内用療法と呼ばれる。核医学診断に比べ、非常に高い放射能を投与して治療を行う。執筆時現在、治療に用いられて

いる放射性核種は、ストロンチウム89(骨転移の疼痛緩和)・ヨウ素131(甲状腺機能亢進症<バセドウ病>および分化型甲状腺がんの治療)・イットリウム90(特殊な悪性リンパ腫の治療)・ラジウム223(骨転移のある去勢抵抗性前立腺癌治療)である。核医学診断と違い、内用療法の場合はベータ線やアルファ線放出核種が用いられる場合がある。ガンマ線に比べ飛程<sup>※9</sup>が短いため、効率的に患部にエネルギーを与えることができる。

※9 飛程  
放射線が物質内に入射して止まるまでに走る距離。

### 3. 医療被ばくの線量

#### (1) 放射線の線量指標

放射線の線量指標には、様々なものがある。物理的なエネルギー吸収を表す指標として、吸収線量が挙げられる。単位は J/kg (ジュール毎キログラム) で、物質1キログラムあたりに吸収されたエネルギー (単位:ジュール) を意味する。その特別単位は Gy (グレイ) である。放射線の人体に対する影響を考慮した、防護目的で用いられる線量指標が等価線量および実効線量である。両方とも単位は J/kg、特別単位が Sv (シーベルト) である。放射線の種類やエネルギーによって人体に与える影響の度合いが異なることを考慮した放射線加重係数、同じ被ばくでも臓器・組織によって放射線感受性が異なる (例えば、がんのなりやすさ) ことを考慮した組織加重係数という値がある。吸収線量に放射線加重係数を乗じた値が等価線量であり、被ばくした全ての臓器 (組織) の等価線量に組織加重係数を乗じて足し合わせた値が実効線量である。

#### (2) 放射線診断における被ばく線量

放射線診断は、同じ撮影でも、施設によって被ばく線量が大きく異なる。実際、調査データ比較すると、線量の低い施設と高い施設で、10倍以上の差が見られることも珍しくない。そのため、一概に被ばく線量を示すことは難しいが、入手可能なデータを基に目安となる代表的な線量レベルを推定すると、表2の値になる。

#### (3) 放射線治療における被ばく線量

放射線治療では、数十 Gy という線量を患部に与えて治療を行う。正常組織への被ばくの影響を抑えつつ、患部を治療するために、通常は分割照射が行われる。これは毎日1回、2 Gy 程度の線量を数十回照射する方法であ

表2 医療被ばくの代表的線量レベル

手技	線量レベル
胸部撮影	0.06 mSv 程度
上部消化管撮影	3 mSv 程度
CT 撮影	5~数十 mSv 程度
核医学検査	0.5~15 mSv 程度
PET 検査	2~10 mSv 程度
歯科撮影	0.01 mSv 程度
乳房撮影	2 mGy 程度 (乳腺線量)
IVR	~数 Gy (皮膚線量)

るが、症例によって照射条件は異なる。重粒子線治療の場合は、比較的少ない照射回数で治療できる。例えば、肺がん治療では、1回だけの照射で治療が可能な場合もある。

#### (4) 核医学における被ばく線量

PET 検査を含む核医学診断の被ばく線量は、通常数 mSv から十数 mSv 程度である。同じ投与放射能であれば、体が小さい患者ほど被ばく線量は高くなる。

内用療法の場合は、他の放射線治療同様、治療効果が得られる高い線量を、患部に集積した放射性医薬品から与えられるように投与量を調整する。

### 4. 医療被ばくの防護

#### (1) 放射線被ばく防護の基盤

医療被ばく防護を含めた放射線防護の考え方は、国際放射線防護委員会 (International Commission on Radiological Protection : ICRP) と呼ばれる機関が勧告として出した放射線防護体系に基づいている。日本の放射線関連規制法令も、ICRP の勧告を取り入れている。

#### (2) 放射線防護の考え方

ICRP によれば、放射線防護は、正当化・最適化・線量限度の流れで行われる。正当化とは、放射線を用いる便益とリスクを比較し、便益の方が上回る場合のみ放射線を利用するという判断である。最適化は、経済的・社会

的要因を考慮しつつ、合理的に達成できる限り低く被ばくを抑えるように放射線を用いるというものである。線量限度は、文字通り被ばく線量の限度を指す。放射線防護の具体的方法は、時間（放射線に当たる時間をできるだけ短くする）・距離（放射線源からできるだけ離れる）・遮蔽（線源と人の間に遮蔽物を置く）である。

### (3) 医療被ばくの防護

ICRP は、被ばくを職業被ばく・医療被ばく・公衆被ばくの三つに分け、それぞれに応じた防護を勧告している。医療被ばくの正当化の判断は、医師あるいは歯科医師のみが行う。最適化では、放射線を照射する医師・診療放射線技師などがその役割を担っている。照射条件の設定は、この最適化の過程において行われる。放射線治療分野を中心に、医学物理士と呼ばれる職種が診療に携わっている施設もある。海外では資格が確立している国もあるが、日本ではまだ国家資格になっていない。

医療被ばくは、他の被ばくと異なり線量限度がない。線量限度を設定すると、適切な診断ができない、あるいは治療効果が十分に得られなくなる恐れがあるからである。

放射線診断、特に透視では、患者が被ばくする時間をできるだけ短くすることが被ばく低減に重要である。また、照射野を最小限に絞り、線量を必要最小限にする。小児患者の場合、特に留意すべきである。放射線治療では、照射部位および線量が精密に計算され、正常組織への照射ができるだけ少なくなるように調整されている。

1年間に一人の人が被ばくする線量は、世界平均で2.4 mSv と評価されている（日本では、やや少なく2.1 mSv）。医療被ばくを含めると、世界平均は3.0 mSv（すなわち医療被ばくが0.6 mSv）であるが、日本は6 mSv 程度であり、医療被ばくが半分以上を占めて

いる。X線CT装置の数はおよそ13,000台で、1万人あたり1台程度の割合となり、人口あたり台数では世界1である。撮影件数も多く、被ばくが大きいことは否めない。しかしながら、別の視点からは、日本は公的医療保険制度により、保険対象であれば比較的低価格で高度な診療を受けることが可能な環境であると言える。大切なのは、放射線診療数ではなく、適切に防護された放射線診療であるかどうかということである。

諸外国では、患者の被ばく線量の記録や報告が規制で要求されている国も多いが、日本では、医療被ばくそのものを規制する法令はこれまでなかった。しかし、2019年に医療法施行規則が改正され、2020年4月1日から、X線透視検査・X線CT撮影・PET検査・核医学検査における患者の線量管理（関係学会等の策定したガイドライン等を参考に、被ばく線量の評価及び被ばく線量の最適化を行うもの）が行われることになった。

## 5. おわりに

医療被ばくを心配する患者は多い。しかしながら、放射線防護の考え方によれば、医師あるいは歯科医師が医療上必要と判断した放射線診療は受けた方が良いと言える。ただし、放射線の照射については、正当化と最適化が十分なされていることが必要になる。バランスの取れた考え方をすることが、医療被ばく防護には重要であると言えよう。

### あかはな ● けい ● い ●

1965年生まれ。東北大学理学部物理学第二学科卒業。東京大学医学部で論文博士(医学博士)取得。国立公衆衛生院、大分県立看護科学大学、放射線医学総合研究所を経て、現在は量子科学技術研究開発機構に勤務。医学物理士。公益社団法人日本医学物理学会会長。