

予期せぬ放射線被ばくに対する線量評価の方法

Dosimetry methods for unexpected radiation exposures

保田 浩志

Hiroshi YASUDA

広島大学原爆放射線医科学研究所

Research Institute for Radiation Biology and Medicine, Hiroshima University

I. はじめに

放射線の利用は被ばく事故のリスクと無縁ではられません。医療における放射線被ばく事故は、我が国ではごく少ないものの、外国では治療用放射線の過剰照射による死亡事故が最近も起こっています。これらの多くは放射線治療に用いる加速器やソフトウェアの不具合に起因し、医療従事者だけで事故を完全に予防することは難しい面がありますが、放射線の医学利用を推し進めていくためには、利用するシステムにエラーが生じないように対策を徹底するとともに、もし被ばく事故が起きてしまった（可能性がある）ときには、被ばくした人の生命や健康を護るために医療従事者が先導して対応することが望まれます。

II. 高線量被ばくの人体影響

放射線が人体に入射すると、直接・間接的に人体細胞内のデオキシリボ核酸（DNA）が電離されて、そこに含まれる遺伝情報が損傷を受けます。DNAの損傷が多くなると、細胞死や変異が引き起こされ、組織／臓器の機能不全やがんなどの症状が現れます。これらの人体影響は、まず、個人に現れる身体的影響と、子孫に現れる遺伝的影響の2つに大きく分類されます。身体的影響は、被ばくしてから影響が発現するまでの期間によって、早期影響と晩発影響に分けることができます。また、影響が発現する最小の被ばく線量（しきい値）の有無により、確定的影響と確率的影響に区分されます。

早期影響は短期間に高い線量（>0.5Gy）の被ばくを受けたときに現れ、造血機能の障害、脱毛、皮膚の紅斑、不妊等の確定的影響を含みます。晩発影響は、比較的低い線量を繰り返し受けたような場合に数年から数十年の長い潜伏期間を経て現れるもので、白血病および固形がんなどの確率的影響ならびに白内障等を含みます。

III. 高線量被ばく時の線量評価

放射線医療施設で患者や医療スタッフが確定的影響を生じるような高い線量の放射線を受けた恐れがあると判断された場合には、可能な限り迅速かつ正確に線量レベルを評価し、その線量レベルに応じた適切な医療措置を速やかに実施することが望まれます。

高線量被ばくに対応した個人線量計を持っていない人が予期せぬ被ばくを受けた際、その線量を遡及的に評

価するための方法には、適用可能な下限線量レベルの高い順に、1) 臨床学的線量評価、2) 生物学的線量評価及び3) 物理学的線量評価の3つがあります。

1. 臨床学的線量評価 (Clinical dosimetry)

短期間に大量の放射線を全身または身体の大部分で受けると、1時間～数日の間に吐き気、嘔吐、めまい、頭痛、全身倦怠等の前駆症状を呈します。そして、線量や症状に応じた潜伏期間を経て、出血・脱水・感染症等のより深刻な症状が現れ、場合によっては死に至ることがあります。これらの一連の症状は「急性放射線症候群 (ARS)」と呼ばれます。「臨床学的線量評価」とは、ARSの前駆症状を分析することによって被ばく線量をだまかに推定評価する方法を意味します。

特に、前駆症状の1つである嘔吐は、被ばくした線量が高いほど、発生する確率が高くなり、被ばくしてから症状が現れるまでの期間が短くなることが知られています。ただし、症状の現れ方には個人差があることに留意する必要があります。

2. 生物学的線量評価 (Biological dosimetry/Biodosimetry)

人体から採取した生体試料 (血液、精液、歯等) や生理学的変化に関して得られた情報を用いて、直接放射線を測定することなく被ばく線量を推定評価することができます。これを「生物学的線量評価」と呼び、一般に全身または身体の大部分を被ばくした場合に適用されます。これに用いられる生体由来の情報には、1) 血球 (リンパ球等) の数、2) 精子の数、3) 染色体異常の数、4) 体細胞突然変異の数、5) 生化学的変化 (核酸塩基代謝産物、アミノ酸量等)、6) 歯や骨等の電子スピン共鳴吸収 (ESR) 信号等があります。

このうち、末梢血リンパ球やその二動原体染色体異常の計数値に基づく方法は、比較的低い線量域 (～0.3Gy) に適用できることから、放射線緊急時に有効な線量評価法として広く利用されてきました。ただし、血中のリンパ球を分離・培養して標本を作成するのに相当の時間を要し、顕微鏡を使った画像の取得・分析を行うための熟練した技術を必要とします。

部分的な被ばくに対しては、対象となる部位の生体組織を少量採取して、放射線被ばくで生じたラジカル (不対電子を持つ原子/分子) の量を ESR で測る方法が利用できます。ただし、この方法は、採取が可能で放射線誘起の ESR 信号を出す生体試料を必要とし、その条件を満たす歯や爪等が被ばくした部位の場合に有効です。

3. 物理学的線量評価 (Physical dosimetry)

生体試料ではなく被ばくした人が身に付けていた物品や携帯していた物から得られる何らかの信号から、また、排泄物等に含まれる放射性物質の量から被ばく線量を推定評価することができます。この方法は「物理学的線量評価」と呼ばれ、広義には、被ばく状況に関する詳細な情報を入力データとして粒子輸送モデル計算により線量を推定評価する手法 (computational dosimetry) もこれに含まれます。

外部被ばくに対しては、被ばくした人が身に付けていたアクセサリや衣類、スマートフォン等に残るラジカルの量から線量を評価することが可能です。ラジカルの定量には、先述の ESR 信号を測る方法と、熱または光による刺激で生じる蛍光を測る方法があります。

内部被ばくの評価では、個人モニタリングに基づく方法または環境モニタリングのデータと、放射性核種の取込みに関する情報 (化学形、経路、時期等) に基づいて、放射性核種の摂取量を推定します。そして、適切

な線量係数 (Sv/Bq) を摂取量 (Bq) に乗じることによって線量を評価します。

IV. さいごに

高線量被ばくに用いられる線量評価の方法には、上記のように様々なものがあり、それぞれに適用範囲や限界があります。もし実際に事故が起きた場合には、事故の状況（放射線／放射性核種の種類、被ばくした部位、内部被ばくの有無等）を綿密に調査分析したうえで、より適切な線量評価法を用いるとともに、その評価結果に伴う不確かさの幅を把握しておくことが望まれます。