

## 第4章

# 被ばく医療における放射線管理

古賀 佑彦

### 1. 放射線防護体系

電離放射線は基本的に生体にとって有害な影響を与えるという仮定が放射線防護の考え方の基本にある。実際には、平均的な自然放射線レベルでは障害を検出することは不可能であるし、低線量の刺激効果によって免疫系の活性化を促すという事実があっても、上記の立場は変わっていない。しかし、放射線の利用には医療をはじめとして、エネルギー源として、またさまざまな社会的な活動を支えるものとして非常に広範囲に大きな便益をもたらしている。そして、人は誰でも、自然環境から受ける自然放射線源と、放射線の積極的な利用に伴う人工的な線源からの放射線を受けている。

放射線防護の目的は、放射線利用に伴う有益な行為を不当に制限することなく、人を有害な事象から守るための適切な基準を与えることにある。放射線障害のなかで、しきい値を超えると健康に悪影響が起こる確定的な影響は、個人の線量を制限することで避けることができるが、しきい値がないと考える確率的影響に対しては、その影響の誘発を減らすためにあらゆる合理的な手段をとることになる。

人間の活動に関するほとんどすべての決定は便益と費用プラス不利益との暗黙の比較に基づいている。放射線防護の世界でも行為の決定の過程は同様であって、正味の便益が得られるときに放射線被ばくを増加させる行為が正当化される。便益は個人または社会に対して放射線による損害を相殺するのに十分なものでなければならない（行為の正当化）。

正当化された行為に関しては、個人線量の大きさ、被ばくする人の数および社会的な要因を考慮したうえ

で、合理的に達成できるかぎり低く保つべきであり、この手順は経済的、社会的な判断の結果生じうる個人に対する不公平を制限するようにしなければならない（防護の最適化）。さまざまな行為の結果生ずる個人の被ばくは線量限度を超えないように管理される（線量限度）。わが国の放射線防護関連法令では、行為の正当化や防護の最適化という概念が法令になじみにくいものであるので、線量限度のみが取り入れられている。最適化の過程のなかで、個人に対する不公平を制限するために、ICRP（国際放射線防護委員会）は1990年に線源関連の限定（線量拘束値）の導入を勧告しているが、わが国の法令には取り入れられていない。

### 2. ICRP（国際放射線防護委員会）の成り立ちからの変遷

1895年11月のレントゲン博士によるX線発見以来、急速にその利用は進められたが、同時に放射線障害も非常に早期から発生した。1910年代には放射線防護の機運も生まれ、第一次世界大戦が起こったために一時中断したものの、英、独などでは放射線防護委員会がつけられた。1925年に国際放射線医学会（International Society of Radiology: ISR）の第1回会議（International Congress of Radiology: ICR）がロンドンで開催されたときに、まず国際放射線防護および測定委員会（現在のInternational Commission on Radiation Units and Measurements: ICRU）が結成され、次回に防護委員会もつくることも承認された。第2回ICRは1928年にストックホルムで開催され、国際X線およびラジウム防護委員会が結成された。この委員会は特に医療における技術者や医師の放射線障害に対する対策を考えたものであったが、第二次世界大戦中に原子爆弾の

開発が行われ、戦後に原子力の平和利用に発展したために、放射線が医療利用から原子力利用へシフトし、1950年に現在の国際放射線防護委員会（International Commission on Radiological Protection: ICRP）へと発展している。現在のICRPはISRの委員会という性格よりもっと幅ひろい活動を行っている。もともとの成り立ちからこの委員会は非政府組織であって委員は必ずしも各国の代表ではなく、政治的に中立であるために、委員会の勧告はひろく世界中の国々の放射線防護関連法令のなかに取り込まれている。

現在のICRPの組織は、主委員会と4つの専門委員会から形成されている。委員会の最初の勧告は1930年代に行われたが、法令に取り込まれたのは1958年勧告からであり、現在も続いている年限度50mSvという数値は単位の名称こそ変更されたものの変わっていない。限度も名称も、「最大許容被ばく線量」から「線量限度」に変わり、当初の集積線量の概念<sup>\*1</sup>は1977年勧告（わが国の法令では1989年に取り入れられた）で中止された。また、1990年勧告（わが国では2001年に取り入れられた）では、さまざまな研究結果を踏まえた国際機関による確率的影響のリスク見積もりの変化を受けて、線量限度はある1年の限度は残されたものの、作業者について5年間に100mSvという数値に改訂されている<sup>1)</sup>。

線量限度の数値は放射線の確定的影響のしきい値よりも非常に低いところに設定されている。例えば、全身に1回に短時間で被ばくしたとき、末梢血リンパ球数減少などの検査所見が検出されるしきい値は500mGy、臨床症状が現れるのは1Gyとされているのに対して、公衆の年限度は1mSv、作業者の年限度は50mSvである。つまり、線量限度は危険と安全の境界ではなく、あくまでも放射線管理上の指標として使われているのである。確率的影響を考えると、放射線影響の直線性を考慮すればどんなに微量な放射線量であっても影響の確率を数値で示すことができる。しかし、仮に作業者の限度を超えた被ばくがあったとしても、計算される影響の確率は日常的な生活におけるさまざまな危険と比べても決して大きいものではない。

### 3. わが国の法令上の規制値

#### 1) 個人の線量限度

わが国の法令では個人の線量限度に関しては作業者の線量限度が定められている。公衆の限度は年間1mSvがICRPから勧告されているが、この数値そのものは法令にはなく、事業所境界の線量限度として3か月間に250 $\mu$ Svとされ、実質的に1mSvが担保されている。作業者については、実効線量限度として5年間に100mSv、ある1年間では50mSv、妊娠可能な女性は3か月間に5mSv、妊娠と診断された後は出産までに腹部の等価線量2mSvが限度と定められている。なお、妊娠可能な女性でも妊娠しないことを申告した場合には男性と同等の限度が適用されるが、電離則（電離放射線障害防止規則）や人事院規則のなかではこの申告の規定はないので、上記の男性と同等の規制が適用されるのは雇用関係のない障害防止法（放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律）の適用機関で作業する学生のみが該当することになる。緊急作業時には100mSvの線量限度が定められているが、人命救助などでこの限度を超えて作業せざるを得ない事態の場合には、違法性は阻却されるであろうという議論がある。

#### 2) 放射線作業を行う場の線量限度

放射線や放射性物質を取り扱う場は一定の基準を満たした管理区域内に限られている。管理区域内で作業する人が放射線業務従事者として登録され、上記の個人に対する線量限度が適用される。管理区域外では公衆の限度が守られなければならないが、現法令では管理区域境界の線量限度は1.3mSv/13週と定められている。作業場所に関しては、1週間に1mSv以内にななければならない。線源と作業場所の間に遮へい物や構造上の遮へいがあるときにはそれを使うが、線源のある場所で作業せざるを得ないとき、これを遮へいできない場合には、作業時間や距離などのあらゆる防護手段を使ってこの限度を守ることになる。

前述したが、事業所境界では3か月間に250 $\mu$ Svと

<sup>\*1</sup>集積線量の概念：1989年以前の法令では最大許容集積線量。 $D = 5(N - 18)$  ( $N$ は年齢)で規制されていた。

されていて、その外側では公衆の限度が守られることになる。管理区域境界と事業所境界の間（事業所内）で働く作業員や立ち入り者も、3か月間の $250\mu\text{Sv}$ が守られなければならない。

### 3) 非密封核種を使用している場合の汚染の限度

管理区域内では空気中の濃度限度、表面密度限度が定められている。特に後者が被ばく医療に関連して問題になるが、 $\alpha$ 線を放出する核種では $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、それ以外の核種では $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ と定められている。汚染された物品を持ち出すときには、この表面密度限度の1/10にしなければならないと定められている。この数値は作業員が表面汚染した場合の退去の基準としても使われている（電離則）。

## 4. 日常的な汚染および被ばく管理と事故時の汚染と被ばく

### 1) 汚染と被ばくの相違

「汚染」は、一般用語としては有害物質や細菌等によって環境や人体が汚れることに使われている。放射性物質の場合には、液体、固体（粉体も含む）の物質が体表面に付着するときに「表面汚染」、傷口に付着すると「創傷汚染」とされる。気体状物質の吸入、液体、固体状の物質を飲み込む、あるいは皮膚や創傷汚染物質が溶解して体内に取り込まれた場合には「体内汚染」あるいは「内部汚染」ということになる。

一方、「被ばく」とは放射線で人体が不本意に照射される状態をいう。放射線検査のように意図的に照射することでその行為が成り立っているときにも使われることがある（医療被ばく）。被ばくには、放射線源が体外にあってそこから放出される放射線が人体を照射する場合には「外部被ばく」、線源が体内にあって体内から照射される状態を「内部被ばく」と呼んでいる。この場合には、ほとんどがいわゆる非密封放射性物質が体内の組織に吸着、付着した状態である。放射線治療目的で密封線源〔ヨウ素 $^{125}\text{I}$ 〕シードや金 $^{198}\text{Au}$ 〕グレーン〕を永久刺入することもあるが、この場合は組織内照射と呼んでいる。

内部被ばく、特にプルトニウムのように $\alpha$ 線を放出

する場合、その飛程は非常に短く細胞内で全エネルギーを放出してしまう。したがって、吸入した場合には気管支や肺組織に影響を及ぼすことになる。核種によっては特定の臓器組織に集積する性質がある。例えばヨウ素 $^{131}\text{I}$ は甲状腺に取り込まれて局所に大きな線量を与えるためにその臓器に障害を起こすことがある。局所に与える放射線量は $\beta$ 線と $\gamma$ 線を放出する場合には $\beta$ 線によるものが $\gamma$ 線によるものより大きい。体内に放射性物質が取り込まれたときには、その物質の体内動態に応じていろいろな臓器が照射されるが、主な物質に関してそのシミュレーションデータがICRPなどから示されている。

表面汚染や創傷汚染の場合にも放射性物質が付着した局所の被ばくと、量的には非常に少なくなるが他の臓器組織への被ばくも起こっている。特に $\beta$ 線放出核種で表面汚染した場合に長時間除染できない事態が起こると、チェルノブイリの消防士たちのような皮膚の熱傷を起こす可能性も無視できない。この被ばくをあえて外部と内部被ばくに分類すれば距離がゼロの外部被ばくということになるかもしれない。

脱落した非破壊検査用の密封線源を拾ってポケットに入れておいた人が皮膚熱傷を起こした例が報告されているが、この場合も一種の外部被ばくであろう。

### 2) 日常的な汚染管理

非密封の放射性物質が相当量存在する場で作業をする場合、作業員が汚染しないように管理されなければならない。そのために、汚染防護のための作業衣を着用し、帽子、マスク、シールドマスク、手袋、シューズカバーなどを装着し露出する皮膚面を最小にするように注意する。作業場の放射性物質の量が相対的に小さい場合にはそれほどの装備は不要である。

作業が終わって放射線管理区域から退去する場合には、体表面の放射線測定を行って汚染のないことを確認しなければならない。内部被ばくの可能性がある場合にはホールボディカウンタで計測する。通常はハンドフットクロスモニタを設置したゲートを通る。

万一汚染がある場合には、表面汚染の密度限度（ $\alpha$ 線放出核種は $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、それ以外の核種は $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）のそれぞれ1/10未満になるまで除染しなければならない。