《特集：ラドンの人体への影響評価》

3. 線量評価のためのパラメータ

飯田 孝 夫*¹

3. Parameters for Dose Evaluation

Takao IIDA*¹

3.1 はじめに

ラドンによる被曝線量評価を目的に、その基礎資料を取得するための種々の研究が多く研究者によって行われてきた。ここでは線量評価のためのパラメータとそれらのパラメータの不確かさについて、放射線医学総合研究所のラドン濃度測定・線量評価委員会の報告書¹⁾を参考にして概説する。

3.2 線量評価のためのパラメータ

国連科学委員会報告 (UNSCEAR)²⁾の方式による線量算定式は1年間の実効線量当量を H (mSv) とすると、

$$H = Q_i \times F_i \times T_i \times K \quad (1)$$

と表せる。ただし、 i は1が屋内、2が屋外を表し、 Q_i はラドン濃度 [$\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$]、 F_i は平衡ファクタ [-]、 T_i は居住係数 $\times 8760$ [$\text{h} \cdot \text{y}^{-1}$]、 K は線量換算係数 [$\text{mSv} (\text{Bq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$] である。すなわち、被曝線量評価に必要なパラメータは

- ・ラドン濃度
- ・平衡ファクタ
- ・居住係数
- ・線量換算係数

である。更に、線量換算係数に含まれるパラメータとしては

- ・呼吸量 (パターン, 性, 年齢)
- ・ラドン娘核種の物理的特性 (非付着成分比, 粒径分布)

- ・生物学的特性 (気管支モデル (性, 年齢), 標的細胞への距離 (性, 年齢), 溶解度, クリアランス)
- ・放射線荷重係数
- ・組織荷重係数

がある。次の3.3項で、それぞれのパラメータについて代表値およびその数値の幅について述べる。ただし、ラドン濃度についてはすでに報告されているので、ここでは触れない。

3.3 各パラメータ

1) 平衡ファクタ

平衡ファクタはラドンと短寿命娘核種との関係を表すパラメータである。屋内ではエアロゾル数や部屋の大きさおよび換気率に、屋外ではエアロゾル数や気象条件等に依存する。線量評価委員会は日本の研究者の調査結果をまとめて、屋内環境における平衡ファクタの代表値として0.4、その幅として0.3~0.5と見積もっている。代表値はUNSCEARの採用している値0.4と同じである。一方、日本の屋外での平衡ファクタの測定例は0.51~0.76と大きな幅があり、代表値としては0.6と見積もられている。この値はUNSCEARの採用している値0.8に比べて小さい。

2) 居住係数

UNSCEARは屋内での居住係数の値として0.8、屋外での値として0.2を採用している。多くの国では、この値が被曝線量評価に採用されている。委員会は総務庁統計局の国民生活時間調査報告に基づいて、屋内と屋外の居住係数を算出することで、屋内：屋外の比として88：12の値を得ている。そのため、上述の委員会の報告書では日本人の屋内の居住係数の代表値として0.9、その幅

*¹ 名古屋大学大学院工学研究科；名古屋市千種区不老町 (〒464-8603)

Graduate School of Nagoya University ; Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8603, Japan.

として0.85～0.95を採用している。

3) 非付着成分比

ラドン娘核種のエアロゾルに付着していない成分は、呼吸器系での沈着部位が異なるために、被曝線量評価に影響を与える。そのため非付着成分比は重要なファクタである。非付着成分比は空気の清浄な地域と都市域では違う。委員会は日本における非付着成分比の代表値として屋内・屋外とも0.03、その幅を屋内0.02～0.05 および屋外0.02～0.06と評価している。

4) 粒径分布

ラドン娘核種付着成分の粒径分布は、呼吸器系に取り込まれた後の沈着部位と沈着量に影響するために、線量評価上重要なパラメータである。日本におけるラドン娘核種付着成分の粒径分布の代表値として屋内・屋外とも、粒径分布を対数正規分布と仮定して、幾何中央径として $0.2\mu\text{m}$ 、幾何標準偏差として2.4の値を採用している。また、屋内と屋外のいずれの場合も、幾何中央径と幾何標準偏差の幅はそれぞれ $0.1\sim 0.3\mu\text{m}$ および $2.0\sim 3.0$ と評価している。

5) 呼吸率

線量評価に用いる呼吸率は、各種報告書³⁻⁵⁾によって採用されている値が違っているが、男女の平均として、屋内では $0.75\sim 0.8\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ 、屋外では $1.0\sim 1.1\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ の範囲にある。UNSCEAR⁵⁾では、男女の平均として、屋内では $0.8\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ 、屋外では $1.0\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ の値を採用している。日本人の呼吸率に関する文献は少ない。線量評価委員会は日本人の呼吸率として、屋内が $0.65\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ 、屋外が $1.29\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ と見積もっている。

3.4 線量評価の不確かさ

被曝線量算定式(1)に必要なパラメータはラドン濃度、平衡ファクタ、居住係数および線量換算係数である。3.3項で述べたように、屋内環境における平衡ファクタは0.3～0.5の幅を見積もっているため、代表値0.4には25%程度の不確かさがある。日本人の屋内の居住係数として0.9と見積もっている。0.85～0.95の幅を認めているので、約5%の不確かさが存在する。日本人の屋内の居住係数はUNSCEARの0.8より約10%大きい。線量換算係数に含まれる不確かさは、ICRP66⁴⁾の呼吸器モデルを用いて評価されている。その見積もり結果を第1表に示す。比付着成分比の代表値0.03に対して、0.02～0.05の幅を認めると換算係数は-4%～+7%まで変化する。粒径分布の幾何中央径が $0.2\mu\text{m}$ に対して、 $0.1\mu\text{m}\sim 0.3\mu\text{m}$ の幅を認めると換算係数は+53%～-17%変化する。これに比べると、粒径分布の幾何標準偏差2.0～3.0の変動幅は-9%～+14%と影響は小さい。呼吸率

第1表 線量換算係数に含まれる不確かさの見積もり結果*

因 子	代 表 例	線量換算係数の変化
非付着成分比	0.03 → 0.02 → 0.05	- 4% + 7%
幾何中央径	$0.2\mu\text{m} \rightarrow 0.1\mu\text{m}$ → $0.3\mu\text{m}$	+53% -17%
幾何標準偏差	2.4 → 2.0 → 3.0	- 9% +14%
呼 吸 率	$0.8\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1} \rightarrow 0.56\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	-20%
年 齢	成人 → 5歳児	+ 8%

この表は参考文献¹⁾の表6.1を引用した。

は-30%の不確かさを有しているが、日本人が欧米人より小さいことを考慮して、線量換算係数への影響は-20%と評価している。幼児は単位摂取当たりの被曝線量は高いが、呼吸率が低いことで相殺されて線量換算係数の変化は小さいとしている。

3.5 ま と め

日本人のラドンによる被曝評価上の不確かさを概観すると、平衡ファクタおよび居住係数の不確かさによる寄与が-25%～+25%程度、非付着成分比、粒径分布、呼吸率、年齢差による不確かさの寄与が-20%～+57%程度はあると見積もられている。日本人に限らず、ラドンによる被曝評価上の不確かさはこの程度存在していると予想される。

参 考 文 献

- 1) 放射線医学総合研究所；ラドン濃度測定・線量評価最終報告書，NIRS-R-34 (1998)．
- 2) UNSCEAR, 1993；Sources and Effects of Ionising Radiation, United Nations, New York, 1993.
- 3) ICRP Publication 50；Lung Cancer Risk from Indoor Exposure to Radon Daughters, Pergamon Press, Oxford (1987)．
- 4) ICRP Publication 66；Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection, Pergamon Press, Oxford (1994)．
- 5) UNSCEAR, 1982；Ionising Radiation：Sources and Biological Effects, United Nations, New York (1982)．