資 料

ICRP Publication 30 および新しい呼吸器系モデル による吸入プルトニウムの呼吸器系残留量 および体外排泄量計算結果の比較

篠 原 邦 彦^{*1}

(1989年11月8日受理)

(1990年1月8日再受理)

Comparison of Retention and Excretion Patterns of Inhaled Plutonium Di-oxide Particles Calculated by ICRP Pub. 30 and New ICRP Respiratory Tract Models

Kunihiko SHINOHARA^{*1}

The direct lung monitoring and bioassay of faeces and urine are used to estimate internal exposures of alpha emitting radionuclides.

The accuracy of the estimation depends on the retention and clearance model using for calculation of the biological kinetics of nuclides uptaken. The respiratory tract model described in ICRP Publication 30 is the most familiar one using for inhalation intake. The ICRP task group has proposed a new respiratory tract model to be replaced with the current ICRP Publication 30 model.

In this article, a comparison of results of retention in the respiratory tract and faecal excretion calculated by the current and new models are described. The retention in the respiratory tract is calculated for 1,000 days after acute inhalation of 1 Bq of plutonium di-oxide particles. And, the cumulative and daily excretions are calculated for 10 days after inhalation. The retention in parenchymal calculated by the new model is about a half of the current ICRP Publication 30 model. The cumulative faecal excretion in 10 days calculated by the new model is about one-third of the current model.

KEY WORDS: respiratory model, retention, faecal excretion, ICRP Publication 30, ICRP task group, new ICRP model

1. 概 要

放射性物質の体内摂取による線量当量を評価するためには、体内に摂取した放射性物質量をできるだけ正確に評価する必要がある。体内の放射性物質量を評価する方法としては、ホールボディ・カウンターや肺モニター

などによる体外計測法および尿や糞に排泄される放射性物質質量から残留・排泄モデルを用いることにより、間接的に体内放射性物質量を評価するバイオアッセイ法などがある¹⁾。

ウランやプルトニウムなどのアルファ放射性核種を体内に取り込んだ場合には、比較的多量の吸入には、肺モニターによる体外計測法が有効であるが、通常はバイオアッセイ法が体内放射性物質量を評価するために用いられる。肺モニターによる体外計測法、バイオアッセイ法

^{*1} 動力炉・核燃料開発事業団安全部；東京都港区赤坂 1-9-13 (〒107)

Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation Safety Division; Akasaka 1-9-13, Minato-ku, Tokyo 107, Japan.

のいずれも、体内量あるいは摂取量の評価には、体内残留・排泄モデルを用いる必要があるため、評価結果の正確さはこのモデルに依存することとなる。最も一般的に用いられるモデルは、ICRP Pub. 30 に示される残留・排泄モデルである²⁾。原子力施設の作業者の場合、体内への放射性物質の取込みは、おもに呼吸器系を通して発生するため、呼吸器系モデルがとくに重要である。ICRP Pub. 30 の呼吸器系モデルは、1966 年に発表された ICRP タスク・グループ肺モデル (Task Group Lung Model, TGLM)³⁾ を基本とする比較的古いモデルである。現在、W. BAIR を委員長とする ICRP タスク・グループにおいて新しい呼吸器系モデルが作られており、その詳細が文献 4) に示されている。

本稿においては、ICRP Pub. 30 の呼吸器系モデル (以降、ICRP 30 モデルという) とタスク・グループの新モデル (以降、新モデルという) により、吸入プルトニウム (Pu-239) の呼吸器系残留量および初期排泄量について、モデルによる評価結果の違いを明らかにするとともに、初期排泄については、両モデルの評価結果と公表された糞排泄実測結果を比較した。

2. 呼吸器系モデル

放射性物質の吸入摂取に伴う線量当量を評価するために用いるモデルとしては、現在 ICRP 30 モデルが一般

的である。このモデルでは、呼吸器は鼻咽頭 (Naso-Pharyngeal, NP)、気管・気管支 (Tracheo-Bronchial, TB) および肺実質 (Pulmonary, P) の 3 領域に大区分され、排泄の速さにより各領域が、それぞれ 2、2 および 4 個のコンパートメントに区分されている²⁾。この他、肺リンパ節が独立した領域として定義されている。呼吸気道に沈着した放射性物質の排泄は、消化器系への排泄および血液への吸収により行われ、バイオアッセイ試料となる初期排泄は、おもに NP 領域から発生する。モデルおよび係数などの詳細は ICRP Pub. 30 に詳しく与えられているので、本稿では省略する。

ICRP の新モデルは、Fig. 1 に示すように、ICRP 30 モデルと比較すると若干簡易な印象を与える⁴⁾。呼吸器系は、鼻気道 (前部、後部)、鼻咽頭、口咽頭、喉頭、気管・気管支、肺実質およびリンパ節の各コンパートメントに区分される。吸入放射性物質は、鼻気道、喉頭、気管・気管支および肺実質に沈着し、消化器に排泄および血液に吸収される。各コンパートメントへの沈着割合および排泄率は ICRP 30 モデルと相当異なっている。たとえば、AMAD $1\mu\text{m}$ のエアロゾルを吸入した場合、ICRP 30 モデルでは NP、TB および P 各領域への沈着割合は 0.3、0.08 および 0.25 であるが、新モデルでは鼻気道に 0.24、喉頭に 0.004、気管・気管支に 0.05 お

Fig. 1 New respiratory tract model proposed by the ICRP task group for dosimetry of internal exposures. Transfer rate constants are given in 1/day. Inhaled particles are deposited in compartments indicated by solid arrows with the deposition fraction of $1\mu\text{m}$ AMAD particles. $G(t)$ is the time-varying mechanical clearance coefficient. $B(t)$ is the nuclide specific transfer coefficient to blood.

および肺実質に 0.11 となっている^{2,4)}。消化器への初期排泄率は、Fig. 1 に示すように、ICRP 30 モデルより大きくなっている。

3. 吸入プルトニウムの残留量および排泄量計算方法

AMAD $1\mu\text{m}$ の二酸化プルトニウム (Pu-239) 粒子 1 Bq を吸入した場合の呼吸器系各部での残留と糞への排泄を、ICRP 30 および新モデルにより計算した。新モデルによる計算では、文献 4) に示されたプルトニウムに関する体内移行モデルおよび定数などを使用した。また、新モデルによる計算では、文献 4) に消化器モデルが与えられていないこともあり、ICRP Pub. 30 の消化器モデルを組み合わせて使用した。

数値計算は、High Performance Systems 社のプログ

ラム STELLA を用いて、RUNGE-KUTTA 4 点近似法により行った⁵⁾。呼吸器系残留量については、吸入後 1,000 日まで、また糞排泄量については、吸入後 10 日までの計算した。また、新モデルについては、糞排泄との比較のため 10 日間の尿排泄についても計算した。

4. 計算結果と考察

吸入後 0.1 日から 1,000 日までの呼吸器系における残留プルトニウム量の計算結果を、Fig. 2 から Fig. 4 に示す。Fig. 2 は、ICRP 30 モデルによる呼吸器系各領域の残留放射能量であり、Fig. 3 および Fig. 4 は、新モデルによるものである。肺モニター測定に関連する肺実質からの二酸化プルトニウムの生物学的排泄半減期は、ICRP 30 モデルでは沈着量の 60% が 500 日、40

Fig. 2 Retention in respiratory regions of inhaled plutonium di-oxide particles of $1\mu\text{m}$ AMAD calculated by ICRP Pub. 30.

Fig. 3 Retention in nasal-anterior, nasal-posterior, larynx, nasopharynx and oropharynx of inhaled plutonium di-oxide particles of $1\mu\text{m}$ AMAD calculated by new ICRP respiratory tract model.

Fig. 4 Retention in tracheo-bronchiolar, parenchymal and nodular of inhaled plutonium di-oxide particles of $1\mu\text{m}$ AMAD calculated by new ICRP respiratory tract model.

Fig. 5 Cumulative faecal excretion of inhaled plutonium di-oxide particles of $1\mu\text{m}$ AMAD calculated by ICRP Pub. 30 and new ICRP respiratory tract models.

% が1日である。一方、文献4)に示された新モデルでは、25%が30日、75%が700日であり、ICRP 30モデルより若干遅くなっている。しかしながら、肺実質への初期沈着割合は、ICRP 30モデルでは0.25であるのに対して、新モデルでは0.11となっており、吸入後1,000日目での肺実質での残留放射エネルギーは、新モデルではICRP 30モデルの約2分の1となる。

吸入後10日間の糞への累積排泄量をICRP 30モデルおよび新モデルによって計算した結果をFig. 5に、また1日ごとの排泄量をFig. 6に示す。糞への累積排泄量が見掛け上平衡に達するのは、ICRP 30モデルでは約7日間であり、新モデルでは約5日間である。10日間の累積排泄量を比較すると、新モデルは、ICRP 30モデルの約3分の1であった。1日ごとの排泄量を見る

と、ICRP 30モデルでは、吸入摂取後2日目から3日目にかけて排泄がピークとなるが、新モデルでは、2日目に排泄のピークが見られるものの、1日目の排泄量と3日目の排泄量はほぼ等しくなり、ICRP 30モデルと比較して糞への排泄が速い傾向が見られる。これは、鼻気道、咽頭などからの排泄率が新モデルでは、ICRP 30モデルより大きいことによる。

実測データの1例⁹⁾と両モデルの計算結果を、10日間の総排泄量に対する毎日の排泄割合として比較したものを、Fig. 7に示す。これによると、新モデルがより実測に近い排泄パターンを示していることがわかるが、実測値は固体差が大きく、必ずしも新モデルがICRP 30モデルと比べて優れているということにはならない。

原子力安全技術センターの内部被ばく評価のためのマ

Fig. 6 Daily faecal excretion of inhaled plutonium di-oxide particles of 1 μ m AMAD calculated by ICRP Pub. 30 and new ICRP respiratory tract models.

Fig. 7 Comparison of daily faecal excretions calculated by ICRP Pub. 30 and new ICRP respiratory tract models with measured data.

ニユアルでは、二酸化プルトニウムの吸入量をバイオアッセイ法により評価する場合、糞試料を5日間採取し、この全試料中プルトニウム含量が、吸入量の48%に相当するとして吸入量を求めている¹⁾。ICRP 30モデルにより計算される5日間の累積排泄量は、吸入量の約45%となる。また、新モデルによる約17%となる。すなわち、新モデルによると、5日間の糞試料を用いるバイオアッセイ法による吸入量評価結果は、ICRP 30モデルによる評価の約2.6倍になる。ここで、現行のALIなどの限度がICRP Pub. 30モデルを基本として作られていることから、新モデルによる評価結果がこれらの限度と直接比較しうるものではないことに注意する必要がある。

新モデルでは、尿排泄についても計算できるが、二酸化プルトニウムの場合には、Fig. 8に示すように、10日間の排泄量は糞排泄量の20万分の1以下であり、バイオアッセイ法による初期排泄量からの吸入量評価の目的に尿試料は適さないことがわかる。

本稿で用いた新モデルは、ICRPの刊行物により正式に公表されたものではなく、最終的には異なったものとなる可能性もある。

参考文献

- 1) 原子力安全技術センター；“内部被ばくにおける線量当量の測定・評価マニュアル”，原子力安全技術センター，東京（1988）。

Fig. 8 Cumulative faecal and urinary excretions of inhaled plutonium di-oxide particles.

- 2) ICRP; Limits for intakes of radionuclides by workers, ICRP Publication 30, Part 1 (1979).
- 3) ICRP Task Group on Lung Dynamics; Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract, *Health Phys.*, **12**, 173 (1966).
- 4) A.C. JAMES and A. BIRCHALL; Progress in lung modeling by the ICRP task group, *Radiat.*

Prot. Dosim., **26**, 227 (1989).

- 5) B. RICHMOND, P. VESCUSO and S. PETERSON; "A Business User's Guide to STELLA," High Performance Systems, Inc., Lyme (1987).
- 6) K. MIYABE, H. ISHIGURO, K. NAKATA and S. FUKUDA; Application of nose smear method to the assessment of internal contamination, IAEA-SM-276/08 (1985).