



放射線防護に用いる呼吸器モデルについて

—ICRP Pub. 30 と新モデルの比較—

篠原 邦彦

東海事業所安全管理部

資料番号：74-10

Respiratory Tract Model Using for
Radiation Protection
—Comparison of ICRP Pub.30 and New
ICRP Models—

Kunihiko Shinohara
(Health and Safety Division, Tokai Works)

放射性物質の吸入摂取に伴う内部線量当量の評価のために、現在 ICRP Pub.30 に示された呼吸器系モデルが用いられている。このモデルでは、呼吸器系を3つの領域に区分し、それぞれの領域への吸入粒子の沈着および排泄を評価できる。また、ICRP タスクグループは新しい呼吸器系モデルを開発しており、最近その詳しい内容が公表されている。
本稿では、両モデルによる二酸化プルトニウム吸入後の呼吸器系での残留および糞への排泄を計算し、両者の違いを明らかにした。

1. 序

放射性物質の体内への取り込み量、残留量および線量当量を評価する目的で、様々な計算モデルが研究・開発されている。放射線防護の目的で最も一般的に用いられる計算モデルは、ICRP がその勧告の中で用いているモデルであり、古くは Pub.2 のモデルが、また最近では Pub.30 のモデルが用いられている^{1,2)}。

放射性物質の体内での挙動に関する生物学的知見の増加とともに、これらのモデルも常に改良が加えられており、評価精度も向上している。放射性物質の体内への取り込みの主要経路としては、呼吸器系と消化器系があげられるが、モデル化という観点からは呼吸器系の方がより複雑であり、吸入粒子の沈着および排泄を評価するために多くのモデルが開発されている。Weibel は、1963年に呼吸器系の解剖学的モデルを提案し、このモデルをもとに、現在の ICRP Pub.30 モデルの原型となった ICRP タスク・グループ肺モデル (Task Group Lung Model) が作られている^{3,4)}。その後の研究の進歩を反映し、ICRP は W.Bair を委員長とするタスク・グループを設置し新しいモデルについて検討を進めてきたが、最近その内容について比較的詳しい解説がなされて

いる⁵⁾。本稿では、この新しい ICRP 呼吸器系モデル (ICRP 新モデル) と ICRP Pub.30 モデル (ICRP30 モデル) により、二酸化プルトニウム粒子を吸入した場合の残留および排泄放射エネルギーを比較計算し、両モデルの違いを明らかにした。

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 ICRP30 モデルが一般的である。このモデルでは、図1に示すように呼吸器系が鼻咽頭(Naso-Pharyngeal;NP)、気管・気管支(Tracheo-Bronchial;TB)および肺実質(Pulmonary;P)の3領域に大区分されている⁶⁾。各領域は、排泄の速さによりそれぞれ2、2および4個のコンパートメントに区分されている。このほか、リンパ節(Lymph Nodes;L)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る。沈着割合は、空気力学的放射能中央径(AMAD)の関数として与えられ、AMAD 1 μ m の粒子沈着割合はNP、TB およびP領域でそれぞれ0.3、0.08および0.25となる。肺(Lung)は、TB領域、P領域およびリンパ節の複合器官であると定義

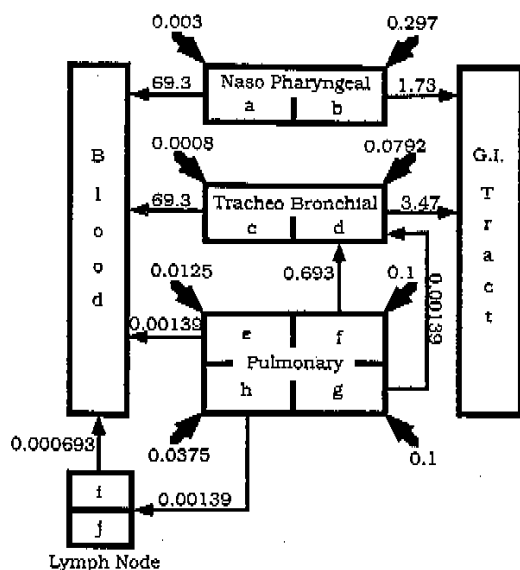


図1 ICRP Pub. 30の呼吸器系モデル

太い矢印は、各コンパートメントへのAMAD $1\mu\text{m}$ の粒子の沈着割合を、その他の矢印に示した数値は各コンパートメントからの排泄率(1/日)を表す

されている。

ICRP新モデルは図2に示すようにICRP30モデルと比較して若干簡易な印象を与える⁹⁾。呼吸器系は、鼻気道前部(Nasal Pathways Anterior)、鼻気道後部(Nasal Pathways Posterior)、鼻咽頭(Nasopharynx)、口咽頭(Oropharynx)、喉頭(Larynx)、気管・気管支(Tracheo-

bronchiolar)、肺実質(Parenchymal)およびリンパ節(Nodular)の各コンパートメントに区分される。吸入した放射性物質は、鼻気道、喉頭、気管・気管支および肺実質に沈着し、消化器および血液に排泄される。AMAD $1\mu\text{m}$ の粒子沈着割合は、鼻気道に0.24、喉頭に0.004、気管・気管支に0.05および肺実質に0.11となっている。すなわち、肺の線量評価上で重要な実質部への沈着割合は、ICRPモデルより少なくなっている。これは、最近の呼吸気道への沈着に関する研究の進歩を反映したものである。ICRP新モデルでの肺は、ICRPモデルと同様に気管・気管支、肺実質およびリンパ節の複合器官として定義されている。

3. 計算および考察

3.1 計算方法

AMAD $1\mu\text{m}$ の二酸化プルトニウム粒子1 Bqを一回吸入した場合の呼吸器系内部の残留放射能および糞への排泄放射能を、ICRP30およびICRP新モデルにより計算した。残留放射能の計算は吸入後1,000日まで、また糞排泄放射能は吸入後10日まで計算した。数値計算は、Macintosh用のSTELLAプログラムを使用し、微分方程式はRunge-Kutta法により解いた⁹⁾。

3.2 計算結果および考察

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、図3から図5に

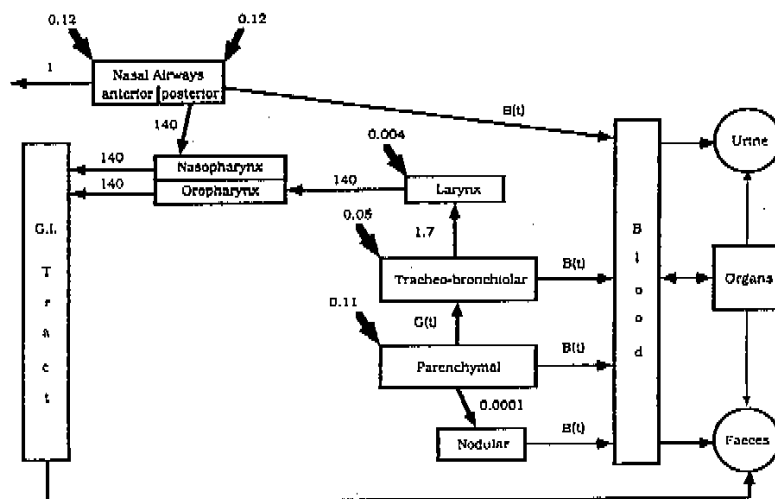


図2 ICRPの新しい呼吸器系モデル

太い矢印は、各コンパートメントへのAMAD $1\mu\text{m}$ の粒子の沈着割合を、その他の矢印に示した数値は各コンパートメントからの排泄率(1/日)を表す

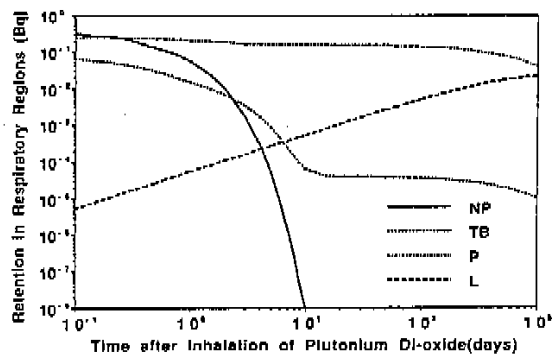


図3 ICRP Pub. 30モデルによる二酸化プルトニウム (AMAD $1\mu\text{m}$) 1 Bq吸入時の呼吸器系での残留放射能量

示す。図3は、ICRP30モデルによる呼吸器系各領域の残留放射能量であり、図4および図5はICRP新モデルによるものである。また、これらの結果を相互比較することは困難であるので、両モデルにより線量評価上重要な肺での残留放射能量（気管・気管支、肺実質およびリンパ節での残留放射能量の合計）の計算した結果を図6に示す。ICRP新モデルによる計算結果では、1,000日目の残留放射能量はICRP30モデルと比較して、約2分の1となっている。これは、肺への沈着割合がICRP30モデルの場合0.33であるのに対して、ICRP新モデルでは0.16と約2分の1であることが原因である。肺実質からの二酸化プルトニウムの排泄半減期は、ICRP30モデルでは沈着量の60%が500日、40%が1日である²⁾。一方、ICRP新モデルでは、25%が30日、75%が690日であり、ICRP30モデルより若干遅い程度である³⁾。したがって、AMAD $1\mu\text{m}$ の二酸化プルトニウムを同量吸入した場合の肺線量当量は、ICRP新モデルによる評価がICRP30モデルより小さい値と

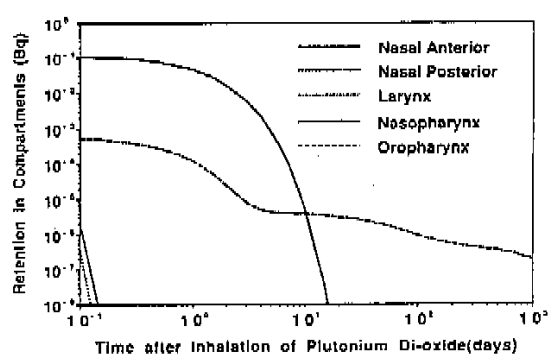


図4 ICRP新モデルによる二酸化プルトニウム (AMAD $1\mu\text{m}$) 1 Bq吸入時の呼吸器系での残留放射能量

なる。バイオアッセイ法による内部被ばく線量評価に必要な糞排泄量を、ICRPモデルおよびICRP新モデルによって計算した結果を図7に示す。これによると、糞への累積排泄量が見掛け上平衡に達するのは、ICRP30モデルで約7日であり、ICRP新モデルでは約5日である。10日間の累積排泄量は、ICRP新モデルはICRP30モデルの約3分の1であった。これは、図1および図2から明らかなように、ICRP新モデルでは沈着した放射性物質の消化管への初期排泄割合が、ICRP30モデルの約3分の1であることによる。原子力安全技術センターの内部被ばく評価マニュアルでは、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もとめている⁷⁾。ICRP30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、ICRP新モデルによると約17%となる。すなわち、ICRP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

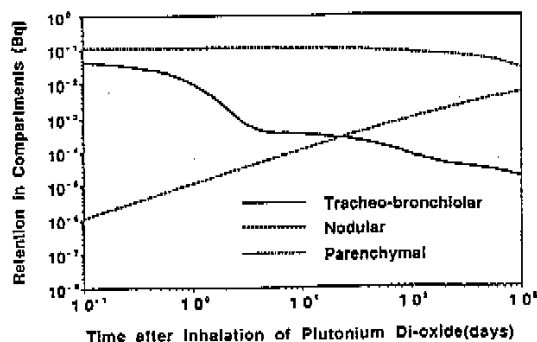


図5 ICRP新モデルによる二酸化プルトニウム (AMAD $1\mu\text{m}$) 1 Bq吸入時の呼吸器系での残留放射能量

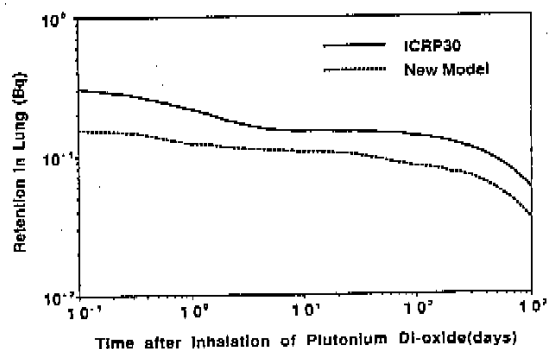


図6 二酸化プルトニウム (AMAD $1\mu\text{m}$) 1 Bq吸入時の肺での残留放射能量
肺 (Lung) は、気管・気管支、実質部およびリンパ節の複合器官

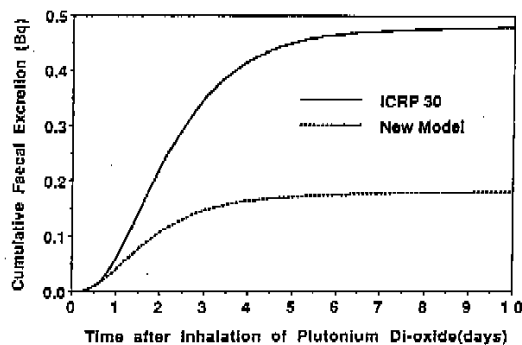


図7 二酸化プルトニウム(AMAD $1\mu\text{m}$)1Bq吸入時の糞への累積排泄量

よる吸入量評価結果は、ICRP30モデルによる評価の約2.6倍となる。しかしながら、肺への沈着割合がICRP新モデルではICRP30モデルの約2分の1であることから、吸入量での評価結果の違いがそのまま肺線量評価結果に反映されるものではない。また、現行のALIなどの限度は、ICRP30モデルを基に導

かれたものであるため、ICRP新モデルによる評価結果がこれらの基準値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。

本稿で用いたICRP新モデルは、ICRPの刊行物により正式に公衆されたものではなく、最終的には若干の修正がなされる可能性もある。

参考文献

- 1) ICRP: Report of Committee II on Permissible Dose for Internal Radiation, ICRP Publication 2 (1960).
- 2) ICRP: Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP Publication 30 Part 1 (1979).
- 3) E. R. Weibel: Morphometry of the Human Lung, Academic Press, New York (1963).
- 4) ICRP Task Group on Lung Dynamics: Deposition and Retention Models for Internal Dosimetry of the Human Respiratory Tract, Health Phys., 12, 173 (1966).
- 5) A. C. James and A. Birchall: Progress in Lung Modeling by the ICRP Task Group, Radiat. Prot. Dosim., 25, 227 (1989).
- 6) B. Richmond, P. Vecuso and S. Peterson: A Business User's Guide to STELLA, High Performance Systems, Inc. (1987).
- 7) 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)