放射線管理コーナー

内部被ばく線量評価コード
IMBA について

栗原 治*1, 高崎 浩司*1, 百瀬 琢磨*1

1. はじめに

平成 13 年 4 月の法令改正により国際放射線防護委員会 (ICRP) の 90 年勧告が法令に取り入れられた。ICRP 90 年勧告ベースでの内部被ばく線量の評価モデルである呼吸気道モデル, 体内動態モデルなどは以前の線量計算モデルに比べてより複雑, 精緻になり, 計算コード無しでは評価は困難である。

国内の内部被ばく線量評価コードとしては IDEC¹⁾ や MONDAL2 (放射線医学総合研究所ホームページより) などがあるが, 海外での内部被ばく線量の計算コードとして, 英国放射線防護省 (NRPB) と ACJ & Associates 社により開発された IMBA (Integrated Modules for Bioassay Analysis) コードを入手したのでここで紹介する。

内部被ばく線量評価では, 摂取時期や摂取期間の情報が必要であるとともに, 核種の種類や化学形の決定を行う必要がある。更に吸入摂取であれば, 粒径や呼吸率等の情報も必要になってくる。しかしながら, 実際の事故

で内部被ばく線量評価に必要なこれらの情報が全て明確に得られるとは限らず, 不確実なパラメータは安全側に評価している。その点, IMBA コードでは体外計測や糞尿試料等によるモニタリングデータのみから複数の内部被ばく事象に対して, 各種パラメータを逆に推定することが可能であるという特徴を有している。

2. IMBA コードの概要

IMBA コードは ICRP 90 年勧告ベースでの内部被ばく線量評価コードであり, 開発した NRPB と ACJ & Associates 社が共同所有者となっている。NRPB は欧州連合 (EU) 及び関係国への配布を担当し, ACJ & Associates 社は EU 以外の国への販売と製品の品質保証やサポートを担当しているとのことである。

IMBA コードは, その機能により *Lite-edition* から *Professional edition* までの市販版と, 受注製作による *IMBA Expert™* があり, 今回サイクル機構は *Professional edition* を入手した。なお, *IMBA Expert™* については, 米国エネルギー省 (DOE) などに納入した実績があるとのことである。IMBA コードの市販版のバージョンは星の数で表されており, バージョンによって取り扱える核種の数異なる。第 1 表に IMBA コードの各種バージョンを示す。

動作環境は, 133 MHz 以上の CPU, 256 MB RAM が推奨されており, 対応する OS は Windows® 95, 98, NT4.0, 2000 及び XP となっている。

IMBA コードの基本画面を第 1 図に示す。IMBA コ

第 1 表 IMBA コードの各バージョン

IMBA コードのバージョン	星 印	機 能
<i>Lite-Edition</i> (basic version)	なし	基本機能及び 20 核種
<i>One-Star Edition</i>	☆	基本機能及び 40 核種
<i>Two-Star Edition</i>	☆☆	基本機能及び 60 核種
<i>Professional</i> (full version)	☆☆☆	基本機能及び 75 核種

第 2 表 IMBA コードの基本画面構成

基本画面	機能・処理
メイン画面	IMBA 起動画面。核種の選択, 各種モデルのパラメータの選択を行う。また, 複合被ばくに関する摂取時期や摂取期間を, 事象毎に設定する。
バイオアッセイ計算画面	モニタリングデータ入力と摂取量の計算を行う。また, 計算値と実測値の図表示が可能。
線量計算画面	バイオアッセイ画面で評価された摂取量を基に, 等価線量, 実効線量の計算を行う。

Osamu KURIHARA, Koji TAKASAKI and Takumaro MOMOSE: Internal Dose Calculation Code "IMBA."
*1 核燃料サイクル開発機構東海事業所放射線安全部; 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 (〒319-1194)
Radiation Protection Division, Tokai Works, Japan Nuclear Cycle Development Institute; Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1194, Japan.

第1図 IMBA コードの基本画面。上：メイン画面，左下：バイオアッセイ計算画面，右下：線量計算画面

注) ACJ & Associates, Inc., Richland, WA の許可を得て掲載

第2図 バイオアッセイの実測値と計算値の画面。横軸は1945年6月9日を始点とする経過日数，縦軸は尿試料の放射能 (Bq d^{-1})

注) ACJ & Associates, Inc., Richland, WA の許可を得て掲載

第3図 パラメータ推定計算

ードは第2表に示す三つのインタラクティブな基本画面で構成され、各画面でデータ共有が図られている。メイン画面において、対象核種の選択や線量評価モデルのパラメータ設定等を行った後、バイオアッセイ計算画面に移る。バイオアッセイ計算画面では、体外計測や糞尿試料のバイオアッセイデータをデータテーブルに入力し

て、図に示すことができる他、各内部被ばく事象に対して摂取量及びバイオアッセイの推定計算を行うことができる。この際、バイオアッセイの実測値と計算値の整合性が良くなければ、再びメイン画面に戻って諸量の見直しを行い、摂取量の再計算を行う。最適な摂取量の評価ができれば、最後に線量計算画面に移動して、線量の計算

を行う。

3. IMBA コードの使用例

ここではプルトニウムによる実際の複合摂取事例に対する IMBA コードのパラメータの推定例を具体的に紹介する。なお、この適用例は、IMBA コードのユーザーマニュアル²⁾に掲載されている。

吸入摂取事例は、 ^{238}Pu による吸入摂取であり、線量評価期間中に以下の 3 回の摂取があったと想定されている。

①1945 年 6 月 9 日

②1971 年 5 月 8 日

③尿試料が得られた 1971 年 9 月 22 日と 1972 年 9 月 18 日の間の不明な時期

これらの摂取に伴う尿試料の実測データが与えられており、IMBA コードによる適用を以下に記す。

初めにメイン画面にて、種々のデータを入力しなければならないが、化学形や粒径が不明なので、各吸入摂取の事象に対して、タイプ M のデフォルト値を設定する。最後の吸入摂取に対しては摂取時期が不明なので、尿試料が得られた両日の中間である 1972 年 3 月 21 日と仮定して摂取量の計算を行う。

上記の仮定のもとに尿中のプルトニウム排泄量を計算したグラフを第 2 図に示す。実測値と計算値はあまり良い一致を示していない。そこで、計算値をよく検証するために、時間ステップを細かくして計算値を表示したのが第 3 図(A)である。

第 3 図(A) から、最後の吸入摂取の摂取時期として仮定した 1972 年 3 月 21 日での計算値が実測値に比べると明らかに早いので、再びメイン画面に戻り、この摂取時期を尿試料が最大値を示した日の 1 週間前 (1972 年 9 月 11 日) に設定し、摂取量等の計算を再度行った結果が第 3 図(B)である。

更に、第 3 図(B) を詳細にみると、最後の吸入摂取に対する尿試料の計算値は、若干実測値に比べて早くなっている。よって、最後の吸入摂取に関するモデルパラメータのみ、粒径を $5\mu\text{m}$ から $0.5\mu\text{m}$ に、呼吸気道から血液への溶解速度 S_t を、タイプ M のデフォルト値である $5 \times 10^{-3} \text{ d}^{-1}$ から $5 \times 10^{-2} \text{ d}^{-1}$ に変更して計算を行った結果が第 3 図(C)である。この結果から ^{238}Pu の摂取量を設定し、第 1 図で示した線量計算画面に移行して、実効線量の計算を行うこととなる。

4. おわりに

以上、IMBA コードの具体的な適用方法について例題を通して紹介した。IMBA コードは残留率関数や排泄率関数を内部に有しており、パラメータ変更後の再計算も迅速に行うことができる。更に、内部被ばく線量評価に必要な全ての情報が得られなくとも、優れたカーブフィット機能を駆使して、最適な評価を行うためのパラメータサーベイが可能となっており、洗練されたパラメータ推定機能を有している。

実際の事故では、内部被ばく線量評価に必要な情報が全て与えられることは稀であり、限られた情報を総合し、試行錯誤を繰り返しての線量評価となる。新法令での精密な線量評価モデルにおいては、線量評価コードの使用が不可欠であり、IMBA コードの推定機能は内部被ばく線量評価の精度を高めるための強力なツールとして有効であると考ええる。ただし、IMBA コードの使用にあたっては、単なるパラメータ合わせにならないように、総合的且つ慎重な検討を必要とし、確実な内部被ばく線量の評価を行うよう注意が必要であると感じている。

最後に、昨年 10 月に開発者である NRPB の Alan BIRCHALL 氏と ACJ & Associates 社の Anthony C. JAMES 氏の両氏がサイクル機構東海事業所を訪問され、デモンストレーションを含めた IMBA コードのコンセプトや詳しい情報を直接聞くことができたことは有益であった。両氏には、本誌への掲載に当たって、画像使用の許可及び多くの情報を提供していただき、謝意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 原子力安全技術センター編：“被ばく線量の測定・評価マニュアル”，p. 112 (2000)，(財)原子力安全技術センター，東京
- 2) A.C. JAMES: User Manual for IMBA Professional Series (2003)

(2003 年 5 月 28 日受理)

栗原 治 (くりはら おさむ)

最終学歴：名古屋大学大学院工学研究科
原子核工学専攻修士課程修了。現職：核燃料サイクル開発機構東海事業所放射線安全部線量計測課。専門：個人被ばく管理 (内部被ばく)。

E-mail: okuri@tokai.jnc.go.jp