

コンパートメントモデルによる ⁹⁰Sr の体内挙動解析

京都大学大学院 学生員 梶原洋和
 京都大学大学院 正員 米田 稔
 京都大学大学院 フェロー 森澤眞輔

1. はじめに

現在までに、核実験により大気圏に放出された⁹⁰Srの地球環境中での動態を評価し、食品を介して日本人が経口摂取する⁹⁰Sr量を推定する数学モデル、食品汚染に起因する平均的な日本人の健康リスクを定量的に推定するモデルが構築されている。しかし、この健康リスク評価モデルでは経口摂取後の放射性核種の人体内での挙動が十分に考慮されていない。そこで、本研究では経口摂取された⁹⁰Srの人体内での挙動を解析し、臓器・組織レベルでの発癌を評価するより信頼度の高いシステムモデルを構築すると共に、経口摂取されたフォールアウト⁹⁰Srが人体の臓器・組織に達して蓄積される一連の挙動を定量的に明らかにする。

2. コンパートメントモデルの構築

ICRP Publ.-30,-67,-68,-71 に記載された放射性核種の体内への摂取経路、それに続く体内における移行・蓄積を計算する生体動態モデル(コンパートメントモデル)を利用して、経口摂取した⁹⁰Srの各器官内の存在量を算定し、各器官の等価線量を求めるモデルを構築する。経口摂取された⁹⁰Srの体内挙動を図1に示す。

3. 等価線量値の算定

ICRP Publ.-30は、線源器官S中に存在する核種が放出する放射線により被曝する標的器官Tの放射性核種摂取 時間後における等価線量 $H_T(\tau)$ () を次式で与えている。

$$H_T(\tau) = U_S(\tau) \cdot SEE(T \leftarrow S)_R \quad (1)$$

$$U_S(\tau) = \int_0^\tau q_S(t) dt \quad (2)$$

$$SEE(T \leftarrow S)_i = \sum_R \frac{Y_R \cdot E_R \cdot w_R \cdot AF(T \leftarrow S)_R}{m_T} \quad (3)$$

ここに、 R : 放射性核種から放出される放射線の種類、 Y_R : 崩壊1回あたりの放射線Rの放出割合 [(Bq S)⁻¹]、 E_R : 放射線Rのエネルギー [J]、 w_R : 放射線Rの放射線荷重係数 [-]、 $AF(T \leftarrow S)_R$: 線源器官S中の崩壊1回あたりの標的器官Tにおける放射線Rの吸収割合 [-]、 m_T : 標的器官Tの質量、 τ : 摂取後の経過時間 [Day]、 $U_S(\tau)$: 摂取後、時間 τ までに線源器官S中で崩壊する総崩壊数、 $q_S(\tau)$: 摂取後、時間 τ において線源器官S中に存在する核種の放射能 [Bq]、 SEE : 比実効エネルギー [Sv(Bq S)⁻¹]、線源器官S中での1崩壊あたりの標的器官Tの等価線量である。

4. モデルの検討

コンパートメントモデルと式(1),(2),(3)を用いて、⁹⁰Sr単位経口摂取後、各器官における被曝線量を算出した結果をICRP発表値とともに図2に示す。図2からわかるように、膀胱の一部を除いてどの器官においても本研究による評価値よりもICRP発表値の方が大きくなっている。この差の原因について検討する。

(1) $q_S(t)$ 値の検証

$q_S(t)$ 値は体内の核種挙動を記述したコンパートメントモデルから得られる。図3に⁹⁰Srを1Bq、Ingestion(経口摂取)させた場合の等価線量値及びInjectionさせた後に尿中に排泄される⁹⁰Sr放射能を指標にして、計算値とICRP Publ.-78に記載されている値とを比較する。

図3から、尿中に排泄される⁹⁰Sr放射能はICRP発表値と計算値とが完全に一致している。

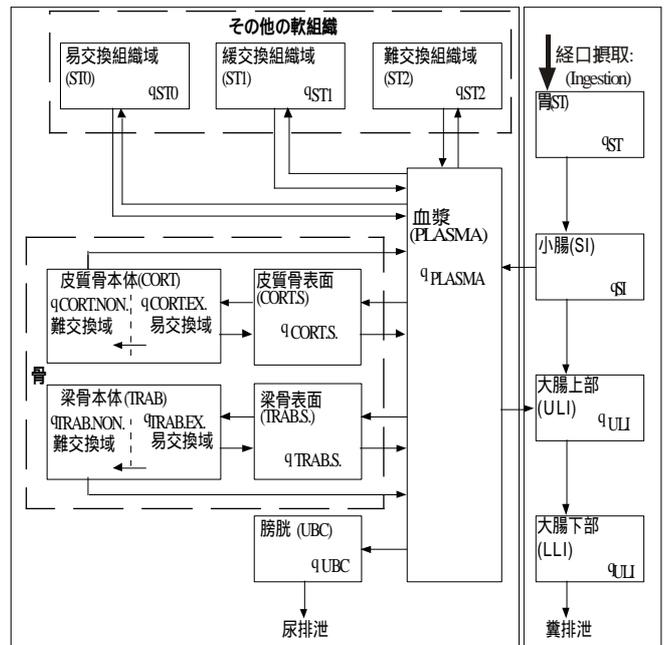


図-1 ⁹⁰Srの体内挙動

キーワード : ⁹⁰Sr、コンパートメントモデル、等価線量、発癌性、コンピューターシミュレーション、ICRP

連絡先 : 京都市左京区吉田本町 京都大学工学研究科環境地球工学専攻環境リスク工学講座

TEL:075-753-5156 FAX:075-753-5066

(2) $U_s(T)$ 値の検証

$U_s(T)$ 値は(2)式で示すように積分区間 T について $q_s(t)$ 値を積分したものである。表1は各器官における $q_s(t)$ 値を積分したものである。各器官に蓄積している放射能と尿中・糞中に排泄された放射能、放射性崩壊によって減衰した放射能の和は期間 T の総放射能摂取量に等しくなっていないと見られる。モデルによって計算された $U_s(T)$ 値の合計はこの値に等しいことから、 $U_s(T)$ 値は正確に計算できていると言える。

(3) SEE 値の検証

SEE 値は(3)式を用いて算出したものである。この計算値を ICRP Publ.-30 によって示された値とともに表2に示す。

5. まとめ

コンパートメントモデルを用いて計算した $q_s(t)$ 値、 $U_s(T)$ 値、SEE 値をそれぞれ検証し、いずれも ICRP が示した値とほぼ同じ値を得た。これらの数値が本研究において算定した $H_T(\)$ 評価値と、ICRP が ICRP Publ.-67 に記載した $H_T(\)$ 値との間の有意な差の原因であるとはいえない。

ICRP が勧告するリスク係数等の数値は、放射線防護の立場から、それを用いて推定される健康リスクの評価値が過大評価されるよう安全側に設定されている。従って、その根拠を明示することは困難であるものの、等価線量換算係数値(単位曝露に対する $H_T(\)$ 値)についても、等価線量が過大評価されるように設定されている可能性は大きいと推察できる。先に示した(図3参照)ように、摂取量と尿排泄される ^{90}Sr 量が共に本研究の計算結果と ICRP の報告値とで等しくなっている。このことは、 ^{90}Sr の体内負荷量が等しいことを示しており、両者の $H_T(\)$ 値の相違は、ICRP の報告値に安全余裕が見込まれており、本研究の計算値には見込まれていないことが原因であると言える。

参考文献

- 1) ICRP : “ 作業従事者による放射性核種の摂取のための限度 ”, ICRP Publ. 30, 日本アイソトープ協会・仁科記念財団訳
- 2) ICRP : “ Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 2 inhalation dose coefficients ”, ICRP Publ. 67, Annals of the ICRP Vol. 23 No. 3/4, (1994)
- 3) ICRP : “ Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers ”, ICRP Publ. 68, Annals of the ICRP Vol. 24 No. 4, (1995)
- 4) ICRP : “ Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 4 inhalation dose coefficients ”, ICRP Publ. 71, Annals of the ICRP Vol. 25 No. 34, (1996)
- 5) ICRP : “ Individual monitoring for Internal Exposure of workers: Replacement of ICRP Publication 54 ”, ICRP Publ. 78, Annals of the ICRP ; v. 27 no. 3-4

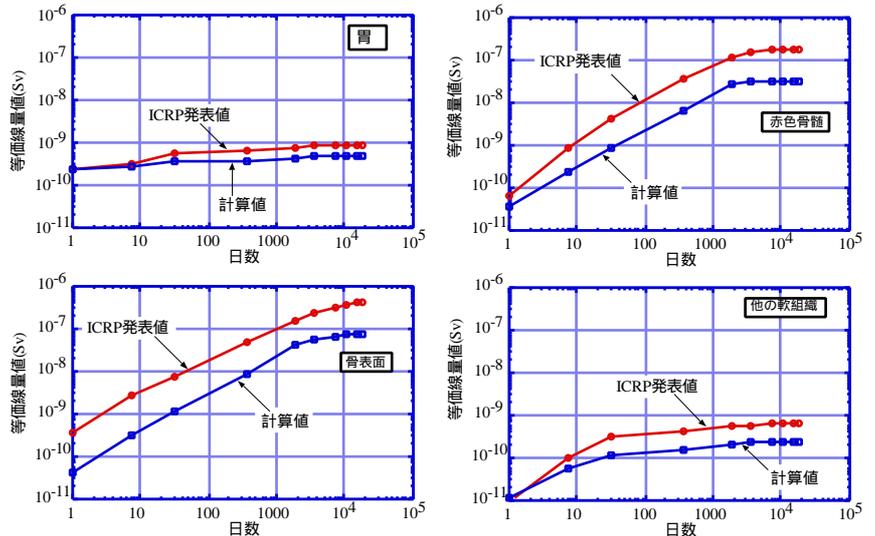


図-2 ^{90}Sr 経口摂取後、各器官における被曝線量の ICRP 発表値と計算値の比較

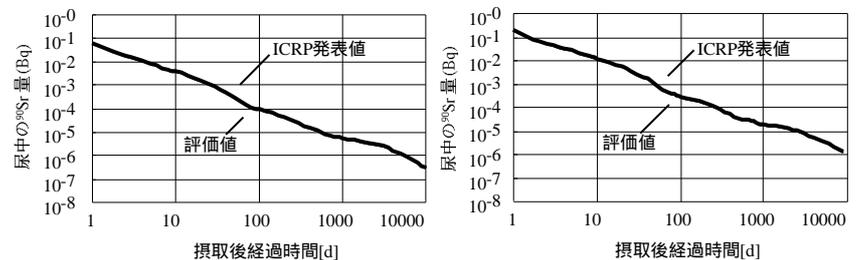


図-3 ^{90}Sr 摂取後尿中に含まれる放射エネルギー (左: Ingestion、右: Injection)

表-1 コンパートメントモデルによる $U_s(T)$ 値の計算結果 (単位: 崩壊数)

TIME (Day)	胃	小腸	大腸上部	大腸下部	膀胱	梁骨
1day	3.60E+03	1.01E+04	2.66E+04	1.88E+04	4.07E+02	3.13E+03
30days	3.60E+03	1.01E+04	3.61E+04	6.49E+04	1.23E+03	9.15E+04
365days	3.60E+03	1.01E+04	3.65E+04	6.57E+04	1.43E+03	8.29E+05
10years	3.60E+03	1.01E+04	3.67E+04	6.61E+04	1.54E+03	3.53E+06
30years	3.60E+03	1.01E+04	3.68E+04	6.62E+04	1.58E+03	4.18E+06
50years	3.60E+03	1.01E+04	3.68E+04	6.62E+04	1.59E+03	4.22E+06
TIME (Day)	皮質骨	他の軟組織	糞排泄	尿排泄	放射性崩壊	合計
1day	2.51E+03	1.21E+04	6.54E+03	2.76E+03	2.82E+00	6.25E+04
30days	7.35E+04	1.35E+05	1.81E+06	3.61E+05	2.53E+03	2.07E+05
365days	6.84E+05	1.78E+05	2.35E+07	5.87E+06	3.72E+05	9.46E+05
10years	4.70E+06	2.37E+05	2.14E+08	5.81E+07	3.47E+07	3.65E+06
30years	9.21E+06	2.58E+05	5.17E+08	1.45E+08	2.70E+08	4.29E+06
50years	1.08E+07	2.60E+05	7.06E+08	2.00E+08	6.55E+08	4.34E+06

表-2 SEE 値の比較

対応する器官	ICRP30 記載値		計算値
	[Mev/TRANS]	[Sv/TRANS]	[Sv/TRANS]
胃 胃	-	-	6.40E-14
小腸 小腸	-	-	4.00E-14
大腸上部 大腸上部	4.40E-14	7.04E-14	7.27E-14
大腸下部 大腸下部	7.20E-14	1.15E-13	1.19E-13
膀胱 膀胱	-	-	7.11E-13
赤色骨髄 梁骨	4.60E-15	7.36E-15	7.50E-15
骨表面 梁骨	4.10E-15	6.56E-15	6.70E-15
骨表面 皮質骨	2.40E-15	3.84E-15	4.02E-15
他の軟組織 他の軟組織	-	-	7.30E-16

* 欄内 - は記載なし