

《ノート》

## 放射性医薬品の品質管理 (第2報)

— 混入不純物核種とその評価 —

Quality Control of Radiopharmaceuticals (II):  
Evaluation of Radioactive Impurities in Radiopharmaceuticals森 厚文\* 天野 良平\*\* 安東 醇\*\* 平木辰之助\*\*  
久田 欣一\*Hirofumi MORI\*, Ryohei AMANO\*\*, Atsushi ANDO\*\*,  
Tatsunosuke HIRAKI\*\* and Kinichi HISADA\*\*Department of Nuclear Medicine, School of Medicine, Kanazawa University,  
13-1, Takara-machi, Kanazawa-city, 920

\*\*School of Paramedicine, Kanazawa University, Kodatsuno 5-11-80, Kanazawa-city, 920

## I. はじめに

放射性医薬品中に混入している不純物放射性核種の測定は、(1) イメージの解像力の低下、(2) 内部被曝線量の増加、(3) 廃棄の際の「スソ切り」問題、の3点において重要である。著者らは第1報において、 $^{99}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$  ジェネレータによる溶解液  $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$  中の不純物核種の放射化学的測定を行ない、混入の由来およびその影響について検討した。本報では、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  以外の10種の放射性医薬品、すなわち  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{75}\text{Se}$ ,  $^{81}\text{Rb}$ - $^{81\text{m}}\text{Kr}$  ジェネレーター、 $^{111}\text{In}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{201}\text{Tl}$  に混入する不純物放射性核種の測定を、Ge (Li) 半導体による  $\gamma$  線スペクトロメトリにより行ない、さらにその定量結果に基づいて不純物放射性核種の由来および内部被曝線量への寄与について検討を加えた。

\*金沢大学医学部核医学教室

\*\*金沢大学医療技術短期学部

受付：54年12月6日

最終稿受付：55年2月25日

別刷請求先：金沢市宝町 13-1 (☎ 920)

金沢大学医学部核医学科

森 厚 文

## II. 対象と方法

金沢大学医学部附属病院核医学診療科で通常使用している放射性医薬品を対象とした。まず最初に有効期限内にその一部あるいは、全部を分取し、その放射能をキュリーメータで測定し、半減期の補正を行なって検定日時での放射能強度を求めた。分取後一定期間放置し、混入する長半減期不純物核種の測定を、Ge (Li) 半導体検出器 (NaI (TI) との相対計数効率10%) により行なった。不純物核種の  $\gamma$  線スペクトルが、相対的に顕著になってきたところで定量的計測を行なった。さらに混入する核種の同定が、 $\gamma$  線エネルギーだけでは難しい場合は、同一条件での定期的計測を行なうことにより、核種の決定を行なった。なお、 $^{123}\text{I}$  中の  $^{125}\text{I}$  の混入に関しては、低エネルギー光子用 (LEPS 用) pure Ge 半導体検出器にて測定した。不純物放射性核種の内部被曝線量への寄与は、米国内核医学会の Medical Internal Radiation Dose Committee による MIRD 法にしたがって評価し

**Key words:** Radioactive Impurity, Radiopharmaceuticals, Quality Control, Internal Radiation Dose

た。なお、それぞれの放射性医薬品に複数の市販先がある場合は、複数の試料について上記測定を行なった。

### III. 結果と考察

#### 1. 混入不純物放射性核種とその由来

検定日より3日後に測定した  $\text{Na}^{123}\text{I}$  の  $\gamma$  線スペクトルを Fig. 1 に示すが、 $^{124}\text{I}$ 、 $^{126}\text{I}$  の混入が認められる。なお  $^{125}\text{I}$  の混入は LEPS 用 pure Ge 半導体検出器にて証明された。同様に、測定した各種放射性医薬品中の長半減期不純物核種の結果

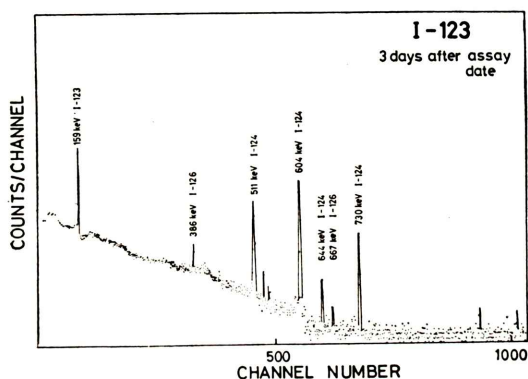


Fig. 1 A spectrum of  $^{123}\text{I}$  with  $^{124}\text{I}$  and  $^{126}\text{I}$  impurities obtained with a Ge(Li) detector 3 days after assay date.

を Table 1 に示した。本稿で対象とした放射性医薬品の目的放射性核種の製造法は3つに分類できる。すなわち、(1) 原子炉中性子捕獲 ( $n, \gamma$ ) 反応製造核種 ( $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{75}\text{Se}$ ), (2) 核分裂片 ( $^{131}\text{I}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ ), (3) サイクロトロン製造核種 ( $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{81}\text{Rb}$ - $^{81m}\text{Kr}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ ) である。

原子炉中性子捕獲反応製造核種である  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{59}\text{Fe}$  および  $^{75}\text{Se}$  の放射性医薬品中には、不純物核種の混入はみられなかった。この製造法は一般にもっとも不純物核種の混入を避けることができる。しかし、前報の  $^{98}\text{Mo}$  ( $n, \gamma$ )  $^{99}\text{Mo}$  法によるジェネレータ溶離液のように Mo ターゲット化合物中の Cs の  $^{133}\text{Cs}$  ( $n, \gamma$ )  $^{134}\text{Cs}$  による  $^{134}\text{Cs}$  の混入にみられるように、原子炉熱中性子による ( $n, \gamma$ ) 反応製造法は、ターゲット自体の化学的純度が低い場合には不純物混入の原因となる<sup>1)</sup>。核分裂片を利用した  $^{131}\text{I}$  および  $^{133}\text{Xe}$  中にも不純物放射性核種は検出されなかった。これは、 $^{131}\text{I}$  および  $^{133}\text{Xe}$  がそれぞれハロゲン元素および希ガスに属し、他の高放射能の核分裂片から比較的簡単に放射化学分離精製ができるためである。前報で示したように核分裂片  $^{99}\text{Mo}$  の単離精製は  $^{131}\text{I}$  や  $^{133}\text{Xe}$  に比べて難しいことが不純物核種の混入の有無の違いによっても明らかである<sup>1)</sup>。

一方5種のサイクロトロン製造核種については、

Table 1 Radioactive Impurities in Various Radiopharmaceuticals

Radiopharmaceuticals (activity)	Methods of Production	Radioactive Impurities: activity
$^{99m}\text{TcO}_4$ -elute (400 mCi)	( $n, \gamma$ ) reaction	$^{134}\text{Cs}$ : $2-25 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}$
$^{51}\text{Cr}$ , $^{59}\text{Fe}$ , $^{75}\text{Se}$ (100 $\mu\text{Ci}$ )	( $n, \gamma$ ) reaction	ND*
$^{99m}\text{TcO}_4$ -elute (16-105 mCi)	fission product	$^{99}\text{Mo}$ : $1.7-18 \times 10^{-2} \mu\text{Ci}$ $^{103}\text{Ru}$ : $2.3-4.0 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}$ $^{131}\text{I}$ : $1.4-55 \times 10^{-4} \mu\text{Ci}$ $^{140}\text{Ba}$ : $5.0-8.8 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}$
$^{131}\text{I}$ (50 $\mu\text{Ci}$ ), $^{133}\text{Xe}$ (12.5 mCi)	fission product	ND
$^{67}\text{Ga}$ (100 $\mu\text{Ci}$ )	cyclotron	ND
$^{81}\text{Rb}$ - $^{81m}\text{Kr}$ (2 mCi)	cyclotron	$^{83}\text{Rb}$ - $^{83m}\text{Kr}$ : 2.0 $\mu\text{Ci}$
$^{111}\text{In}$ (200 $\mu\text{Ci}$ )	cyclotron	$^{114m}\text{In}$ - $^{114}\text{In}$ : $2.7 \times 10^{-2} \mu\text{Ci}$
$^{123}\text{I}$ (200 $\mu\text{Ci}$ )	cyclotron	$^{124}\text{I}$ : 2.0 $\mu\text{Ci}$ $^{125}\text{I}$ : $6.5 \times 10^{-2} \mu\text{Ci}$ $^{126}\text{I}$ : $1.4 \times 10^{-1} \mu\text{Ci}$
$^{201}\text{Tl}$ (6 mCi)	cyclotron	$^{202}\text{Tl}$ : 15.9 $\mu\text{Ci}$

\*ND: not detectable

$^{67}\text{Ga}$  を除けばいずれも混入不純物が検出された。 $^{81}\text{Rb}$ - $^{81\text{m}}\text{Kr}$  中の  $^{83}\text{Rb}$ - $^{83\text{m}}\text{Kr}$ ,  $^{111}\text{In}$  中の  $^{114\text{m}}\text{In}$ - $^{114}\text{In}$ ,  $^{123}\text{I}$  中の  $^{124}\text{I}$ ,  $^{125}\text{I}$ ,  $^{126}\text{I}$ ,  $^{201}\text{Tl}$  中の  $^{202}\text{Tl}$  などの不純物核種は目的核種の同位体であり, 放射化学的に分離除去することは不可能である。これらの不純物核種は厚いターゲット中では粒子のエネルギーに幅が生じるため, あるいはターゲットが多同位元素であるために生じる。すなわち  $^{82}\text{Kr}$  (p, 2n)  $^{81}\text{Rb}$ ,  $^{112}\text{Cd}$  (p, 2n)  $^{111}\text{In}$ ,  $^{124}\text{Te}$  (P, 2n)  $^{123}\text{I}$ ,  $^{203}\text{Tl}$  (p, 3n)  $^{201}\text{Pb}$  →  $^{201}\text{Tl}$  反応等の目的核反応以外に,  $^{84}\text{Kr}$  (P, 2n)  $^{83}\text{Rb}$ ,  $^{114}\text{Cd}$  (P, n)  $^{114\text{m}}\text{In}$ ,  $^{124}\text{Te}$  (P, n)  $^{124}\text{I}$ ,  $^{125}\text{Te}$  (p, 2n)  $^{124}\text{I}$ ,  $^{125}\text{Te}$  (p, n)  $^{125}\text{I}$ ,  $^{126}\text{Te}$  (p, 2n)  $^{125}\text{I}$ ,  $^{126}\text{Te}$  (p, n)  $^{126}\text{I}$ ,  $^{203}\text{Tl}$  (p, 2n)  $^{202}\text{Pb}$  →  $^{202}\text{Tl}$  などの核反応が副生成され, 同位体である不純物核種の混入が多くなる。混入の由来を考えるとさらに高濃縮ターゲット使用, あるいは目的核種の別の製造法の選択により, 不純物核種の混入を少なくすることができるであろう。特に比較的不純物核種の強度が強い  $^{111}\text{In}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{201}\text{Tl}$  につ

いて考察することは意義があろう。

## 2. 不純物核種が及ぼす影響について

不純物核種の定量結果によると  $^{81}\text{Rb}$ - $^{81\text{m}}\text{Kr}$  ジェネレータ中の,  $^{83}\text{Rb}$ - $^{83\text{m}}\text{Kr}$ ,  $^{111}\text{In}$  中の  $^{114\text{m}}\text{In}$ - $^{114}\text{In}$ ,  $^{123}\text{I}$  中の  $^{124}\text{I}$ ,  $^{201}\text{Tl}$  中の  $^{202}\text{Tl}$  が, 他の放射性医薬品中の不純物核種に比べて強かった。しかし, 上記4種の放射性医薬品も放射性医薬品基準を満足している。また, 三枝ら<sup>3)</sup>の報告した  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{201}\text{Tl}$  中の汚染核種の量と比較しても低値を示した。

これら4種の放射性医薬品中の不純物核種について内部被曝線量への寄与について計算を行なった。 $^{83\text{m}}\text{Kr}$ ,  $^{114\text{m}}\text{In}$ - $^{114}\text{In}$ , および  $^{202}\text{Tl}$  の放出放射線の種類と数についての核データおよび平衡吸収線量定数 ( $\Delta i$ ) は MIRD パンフレットに記載されていないため, Table of Isotope<sup>4)</sup>, Nuclear Spectroscopy Table<sup>5)</sup> を使用し, MIRD パンフレット No. 4<sup>6)</sup> の計算方法にしたがって算出し, その計算値を Table 2~5 に示した。他の核種 ( $^{81\text{m}}\text{Kr}$ ,  $^{111}$

Table 2 Effective absorbed energy data for  $^{83\text{m}}\text{Kr}$

Radiation	Mean Number	Mean Energy (MeV)	$\Delta i$ (g-rad/ $\mu\text{Ci-hr}$ )
	Disintegration		
Gamma 1	0.049	0.009	0.001
M <sub>1</sub> int. con. electron ( $\gamma_1$ )	0.692	0.009	0.013
M <sub>2+3</sub> int. con. electron ( $\gamma_1$ )	0.152	0.009	0.003
N int. con. electron ( $\gamma_1$ )	0.138	0.009	0.003
Gamma 2	0.001	0.032	—
K int. con. electron ( $\gamma_2$ )	0.238	0.018	0.009
L <sub>1</sub> int. con. electron ( $\gamma_2$ )	0.018	0.030	0.001
L <sub>2</sub> int. con. electron ( $\gamma_2$ )	0.279	0.030	0.018
L <sub>3</sub> int. con. electron ( $\gamma_2$ )	0.361	0.030	0.023
M int. con. electron ( $\gamma_2$ )	0.117	0.032	0.008
N int. con. electron ( $\gamma_2$ )	0.010	0.032	0.001
K $\alpha_1$ X ray	0.083	0.013	0.002
K $\alpha_2$ X ray	0.041	0.013	0.001
K $\beta_1$ X ray	0.018	0.014	0.001
K $\beta_2$ X ray	0.002	0.014	—
LX ray	0.047	0.002	—
KLL Auger electron	0.069	0.011	0.002
KLX Auger electron	0.023	0.012	0.001
KXY Auger electron	0.008	0.014	—
LXY Auger electron	0.895	0.001	0.002
MXY Auger electron	2.971	0.0003	0.002



Table 3 Effective absorbed energy data for  $^{114m}\text{In}$ 

Radiation	Mean Number	Mean Energy (MeV)	$\frac{\Delta i}{(\text{g}\cdot\text{rad}/\mu\text{Ci}\cdot\text{hr})}$
	Disintegration		
Gamma 1	0.033	0.725	0.051
K int. con. electron ( $\gamma_1$ )	0.000	0.699	—
Gamma 2	0.034	0.558	0.040
K int. con. electron ( $\gamma_2$ )	0.000	0.531	—
Gamma 3	0.157	0.190	0.064
K int. con. electron ( $\gamma_3$ )	0.374	0.162	0.129
L <sub>1</sub> int. con. electron ( $\gamma_3$ )	0.027	0.186	0.011
L <sub>2</sub> int. con. electron ( $\gamma_3$ )	0.144	0.186	0.057
L <sub>3</sub> int. con. electron ( $\gamma_3$ )	0.113	0.187	0.045
K $\alpha_1$ X ray (EC)	0.02	0.023	0.001
K $\alpha_2$ X ray (EC)	0.01	0.023	—
K $\beta_1$ X ray (EC)	0.006	0.026	—
K $\beta_2$ X ray (EC)	0.001	0.027	—
K $\alpha_1$ X ray (IT)	0.20	0.024	0.010
K $\alpha_2$ X ray (IT)	0.10	0.024	0.005
K $\beta_1$ X ray (IT)	0.05	0.027	0.003
K $\beta_2$ X ray (IT)	0.01	0.028	0.001
LX ray	0.089	0.003	0.001
KLL Auger electron	0.048	0.020	0.002
KLY Auger electron	0.020	0.023	0.001
KXY Auger electron	0.089	0.003	0.001
LXY Auger electron	0.655	0.003	0.004
MXY Auger electron	1.427	0.001	0.002

Table 4 Effective absorbed energy data for  $^{114}\text{In}$ 

Radiation	Mean Number	Mean Energy (MeV)	$\frac{\Delta i}{(\text{g}\cdot\text{rad}/\mu\text{Ci}\cdot\text{hr})}$
	Disintegration		
$\beta_1$ -ray	0.979	0.782	1.631
$\beta_2$ -ray	0.001	0.271	0.001
$\beta^+$ -ray	0.000	0.134	—
Gamma 1	0.001	1.299	0.004
Gamma 2	0.000	0.576	—
K $\alpha_1$ X ray	0.004	0.023	—
K $\alpha_2$ X ray	0.008	0.023	—
K $\beta_1$ X ray	0.002	0.026	—
K $\beta_2$ X ray	0.000	0.027	—
LX ray	0.002	0.004	—
KLL Auger electron	0.002	0.021	—
KLX Auger electron	0.001	0.024	—
KXY Auger electron	0.000	0.028	—
LXY Auger electron	0.017	0.003	—
MXY Auger electron	0.039	0.001	—

Table 5 Effective absorbed energy data for  $^{202}\text{Tl}$ 

Radiation	Mean Number	Mean Energy (MeV)	$\Delta i$ (g-rad/ $\mu\text{Ci-hr}$ )
	Disintegration		
Gamma 1	0.911	0.440	0.853
K int. con. electron ( $\gamma_1$ )	0.031	0.354	0.023
L <sub>1</sub> +L <sub>2</sub> int. con. electron ( $\gamma_1$ )	0.009	0.424	0.009
L <sub>3</sub> int. con. electron ( $\gamma_1$ )	0.003	0.427	0.002
Gamma 2	0.009	0.520	0.010
K int. con. electron ( $\gamma_2$ )	0.000	0.434	—
Gamma 3	0.001	0.950	0.001
K $\alpha_1$ X ray	0.23	0.069	0.034
K $\alpha_2$ X ray	0.42	0.071	0.063
K $\beta_1$ X ray	0.15	0.080	0.026
K $\beta_2$ X ray	0.04	0.083	0.007
L X ray	0.314	0.011	0.007
KLL Auger electron	0.02	0.058	0.002
KLY Auger electron	0.013	0.068	0.002
KXY Auger electron	0.001	0.079	—
LXY Auger electron	0.583	0.008	0.010
MXY Auger electron	1.698	0.003	0.011

Table 6 The absorbed dose to the total body due to the presence of various radiopharmaceuticals and their radioactive impurities

Relative Activity		Effective Half Life (day)	Total Body $\Sigma \Delta i \phi_i$ (g-rad/ $\mu\text{Ci-hr}$ )	Total Body Absorbed Dose (mrad/ $\mu\text{Ci}$ )	Total Body Relative Dose
$^{81\text{m}}\text{Kr}$	$^{81\text{m}}\text{Kr}$ 1	—	0.23	$2.4 \times 10^{-3}$	1
	$^{83\text{m}}\text{Kr}$ $1.0 \times 10^{-3}$	—	0.09	$9.3 \times 10^{-4}$	$3.9 \times 10^{-4}$
$^{111}\text{In}$ ( $^{111}\text{InCl}_3$ )	$^{111}\text{In}$ 1	2.7	0.41	0.55	1
	$^{114\text{m}}\text{In}$ - $^{114}\text{In}$ $2.9 \times 10^{-4}$	24	2.05	24.3	0.013
$^{123}\text{I}$ (Na $^{123}\text{I}$ )	$^{123}\text{I}$ 1	0.55	0.21	0.057	1
	$^{124}\text{I}$ $1.0 \times 10^{-2}$	4.0	1.11	2.19	0.38
	$^{125}\text{I}$ $3.3 \times 10^{-4}$	41.9	0.12	2.48	0.014
	$^{126}\text{I}$ $7.0 \times 10^{-4}$	12.1	0.61	3.64	0.045
$^{201}\text{Tl}$ ( $^{201}\text{TlCl}$ )	$^{201}\text{Tl}$ 1	1.9	0.18	0.17	1
	$^{202}\text{Tl}$ $2.7 \times 10^{-3}$	3.5	0.42	0.72	0.011

In,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{124}\text{I}$ ,  $^{125}\text{I}$ ,  $^{126}\text{I}$  および  $^{201}\text{Tl}$  については MIRD パンフレットの値を利用した<sup>7)</sup>。さらに吸収係数については電子線は 1 とし、電磁波については MIRD パンフレット No. 5<sup>6)</sup> にしたがって標的臓器、線源臓器ともに全身として評価した。それぞれ 4 目的核種 ( $^{81\text{m}}\text{Kr}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ ) の全身被曝線量への寄与を 1 とし、不純物の寄与を目的核種の相対値として Table 6 に示した。I, In, Tl の放射性医薬として NaI, InCl<sub>3</sub>, TlCl を例

にとり生物学的半減期をそれぞれ 138日, 48日, 5日<sup>8)</sup>として有効半減期を計算した。Kr の場合は(持続注入法), クリアランスが非常に早いので, その累積放射能は平衡後の親核種 (Rb) の放射能に  $^{81\text{m}}\text{Kr}$  の持続注入時間 (30分として計算) を乗じた値を用いた。不純物核種の  $^{114\text{m}}\text{In}$ - $^{114}\text{In}$ ,  $^{124}\text{I}$ ,  $^{125}\text{I}$ ,  $^{126}\text{I}$ ,  $^{201}\text{Tl}$  は  $1 \mu\text{Ci}$  当たりの全身吸収線量 (mrad/ $\mu\text{Ci}$ ) の観点では目的核種よりもいずれも高値を示すが, 混入の程度が Table 1 に示したよ

うにわずかであるため、これらの不純物核種による内部被曝線量への寄与はわずかであった。

#### IV. 結 語

10種類の放射性医薬品 ( $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{75}\text{Se}$ ,  $^{81}\text{Rb}$ - $^{81\text{m}}\text{Kr}$ ジェネレータ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ ) 中の混入不純物核種を Ge (Li) 半導体検出器により測定した。原子炉中性子捕獲 ( $n, \gamma$ ) 反応製造核種である  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{75}\text{Se}$  ならびに核分裂片である  $^{131}\text{I}$ ,  $^{133}\text{Xe}$  中には不純物放射性核種は検出されなかった。一方、その他の5種のサイクロトロン製造核種には、 $^{67}\text{Ga}$  を除いていずれも混入不純物核種が検出された。これらのうち比較的不純核種の多い  $^{81\text{m}}\text{Kr}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{201}\text{Tl}$  の放射性医薬につき、不純物核種の内部被曝線量への寄与増加分を MIRD 法にしたがって算出した。その結果、いずれも有効期限内で使用するならば不純物核種の相対強度は弱く、内部被曝線量への寄与は少ないことがわかった。しかし、 $^{81}\text{Rb}$ - $^{81\text{m}}\text{Kr}$  ジェネレータ中の  $^{83}\text{Rb}$ - $^{83\text{m}}\text{Kr}$  および  $^{111}\text{In}$  中の

$^{114\text{m}}\text{In}$  については、その半減期が長いため廃棄に関して今後更に検討を要すると考えられた。

#### 文 献

- 1) 天野良平, 他:  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  浴離液中の不純物核種. 核医学 17: 601-606, 1980
- 2) 厚生省薬務局審査課編: 放射性医薬品基準ハンドブック, 日本アイソトープ協会, 東京, 1979
- 3) 三枝健二, 有水昇, 山本哲夫: 短半減期放射性医薬品中の汚染核種. Radioisotopes 27: 223-227, 1975
- 4) Ledever CM, Shirley VS, Browne E, Dairiki JM, Doebler RE, Shihab-Eldin AA, Jardine L, Tuli JK, Buyrin AB: Table of Isotope, 7th edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1978
- 5) Wapstra AH, Nijgh GJ: Nuclear Spectroscopy Tables, Intersciences, New York, 1959.
- 6) MIRD Committee: MIRD Pamphlet No. 1-6 (1968-1970)
- 7) MIRD Committee: MIRD Pamphlet No. 11, 1975
- 8) ICRP publication 2: Recommendations of International Commission on Radiological Protection Report of Committee II on Permissible Dose for Internal Radiation, Pergamon Press, New York, 1960