

急性または連続吸入および摂取による内部被ばく線量計算 プログラムACRO説明書

ACRO-A Computer Program for Calculating Organ Doses from
Acute or Chronic Inhalation and Ingestion of Radionuclides .

January 1978

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所

Tokai Works

Power Reactor & Nuclear Fuel Development Corporation

複製あるいは入手については、下記にお問い合わせください。

茨城県東海村 〒319-11

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所技術部研究管理課

Tel. 東海(02928)2-1111 内線238

Enquiries about copyright and reproduction
should be addressed to ;

Tokai Works, Power Reactor and Nuclear
Fuel Development Corporation,
Tokai, Ibaraki, Post No. 319-11, Japan.

急性または連続吸入および摂取による内部被ばく線量
計算プログラムACRO説明書

ACRO-A Computer Program for Calculating
Organ Doses from Acute or Chronic Inhalation
and Ingestion of Radionuclides

平 山 昭 生**
岸 本 洋 一 郎*
篠 原 邦 彦*

要 旨

急性あるいは連続した吸入および経口摂取による内部被ばく線量を計算するためのプログラムとしてACROを作成した。

ACROでは、吸入モデルとしてICRPタスク・グループの肺モデル(TGLM)を使用し、経口摂取モデルとして単純な1区画モデルを使用した。

プログラムはFORTRAN IVで書かれており、実行にはおよそ260KBの記憶域が必要である。

** 安全管理部環境安全課 課長

* 安全管理部環境安全課

ACRO-A Computer Program for Calculating Organ Doses from Acute
or Chronic Inhalation and Ingestion of Radionuclides

Akio HIRAYAMA, Yoichiro KISHIMOTO
and Kunihiro SHINOHARA

Abstract

The computer program ACRO has been developed to calculate organ doses from acute or chronic inhalation and ingestion of radionuclides. The ICRP Task Group Lung Model (TGLM) was used for inhalation model, and a simple one-compartment model for ingestion. This program is written in FORTRAN IV, and can be executed with storage requirements of about 260 K bytes.

目 次

1. はじめに	1
2. TGLM (Task Group Lung Model) の数式による表現	5
3. G.I. - Tract Model の数式による表現	16
4. Ingestion Model の数式による表現	20
5. 計算プログラム ACRO	22
5-1. 概 要	22
5-2. 入力カード形式	48
付 録 I. 人体臓器の質量	51
付 録 II. Biological Data Library	52
付 録 III. 沈着係数 D_3 , D_4 および D_5 について	55
付 録 IV. 計算出力例	56
参 考 文 献	67

図 表 目 次

Fig. 1 Task Group Lung Model (TGLM)	2
Fig. 2 G.I.-Tract Model (GITM)	3
Fig. 3 Ingestion Model	20
Fig. 4 Program Structure of ACRO	22
Table 1 Task Group Lung Model (TGLM) に関するパラメータ	4
Table 2 G.I.-Tract Model (GITM) に関するパラメータ	4

1. はじめに

放射線被ばくの形態として、人体外部の線源による外部被ばく、および人体内へ取り込んだ内部線源による内部被ばくが考えられる。放射線管理上、長期間にわたって人体器官を直接照射される可能性のある内部被ばくの防止と評価は、特に重要なものである。

内部被ばくには、大きく分類して、呼吸器系からの吸入に起因するもの、および経口摂取により消化器系からの吸収に起因するものがありいずれの場合も血液に移行することにより人体各器官へ到達する。

内部被ばく評価は、生物学的なパラメータが多く存在し、厳密に行なうとすれば相当な困難が予想される。

ICRP Pub. 2²⁾では、内部被ばくを評価するためのモデルとして単純な1区画モデルを用いており、また、これに適用するための様々なデータを与えている。このモデルは、長期間の連続摂取を考慮する場合に有効である。その後、内部被ばく評価のための代謝モデルとして様々なものが表わされている。

吸入による内部被ばく評価のために用いるモデルとしては、ICRP Task Group Lung Model (Health Physics, vol. 2, 1966) (以下、TGLMと略称)が、現在多く用いられている。TGLMは、Fig. 1¹⁾に示すように呼吸器系をNP (nasopharyngeal), TB (tracheo-bronchial) およびP (pulmonary) 部に区分し、それぞれが合計8サブコンパートメントに区分される。吸入によって取り込まれた放射性物質は、その粒子径AMAD (放射能空気動力学的中央径) に依存して、NP, TB およびP部へそれぞれ D_3 , D_4 および D_5 の割合で沈着する¹⁾。沈着物質は、その化学形による移行の容易さの違い (TGLMでは、移行の容易な順に、D, W および Y の3クラスに区分している。) により、異なった生物学的半減期をもって、それぞれのサブコンパートメントから除去される。TGLMに関連したパラメータをTable. 1¹⁾に示す。

計算プログラムACHROでは、吸入摂取モデルとしてTGLMを採用し、経口摂取モデルとしてはICRP²⁾の単純な1区画モデルを採用した。

また、消化器系の被ばく計算には、Fig. 2¹⁾に示すような4区画モデルを用いた。Table. 2に消化器モデル (G. I. -tract model) に関連するパラメータを示す。経口摂取モデルは、今後適切なモデルに置き換える必要があるかもしれない。なお、これらモデルにより、急性短時間摂取および連続摂取のいずれも計算することができる。

なお、プログラムの設計、コーディングは、日本IBM社DPSの田村栄悦氏に御協力いただいた。

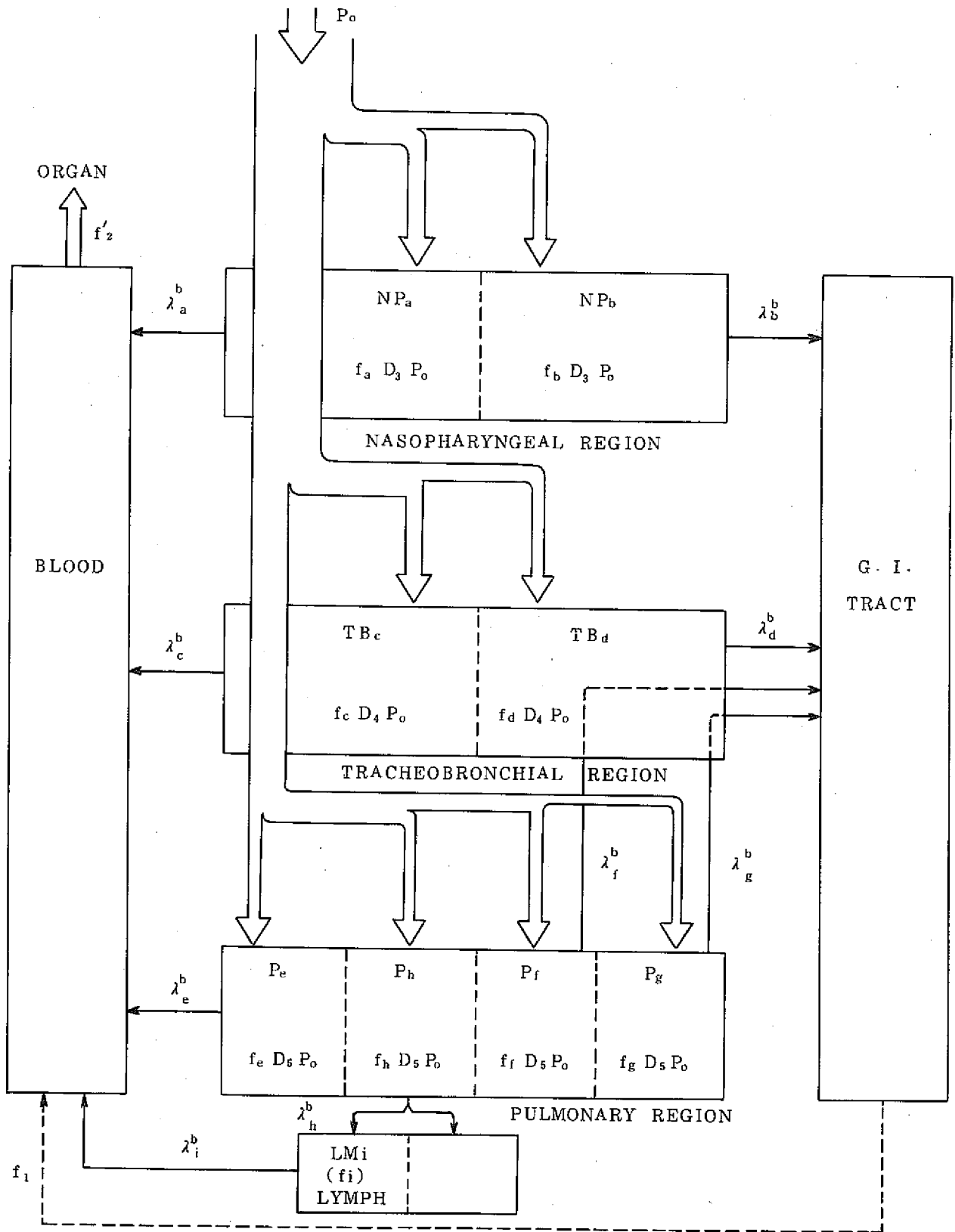


Fig. 1. Task Group Lung Model (TGLM)¹⁾

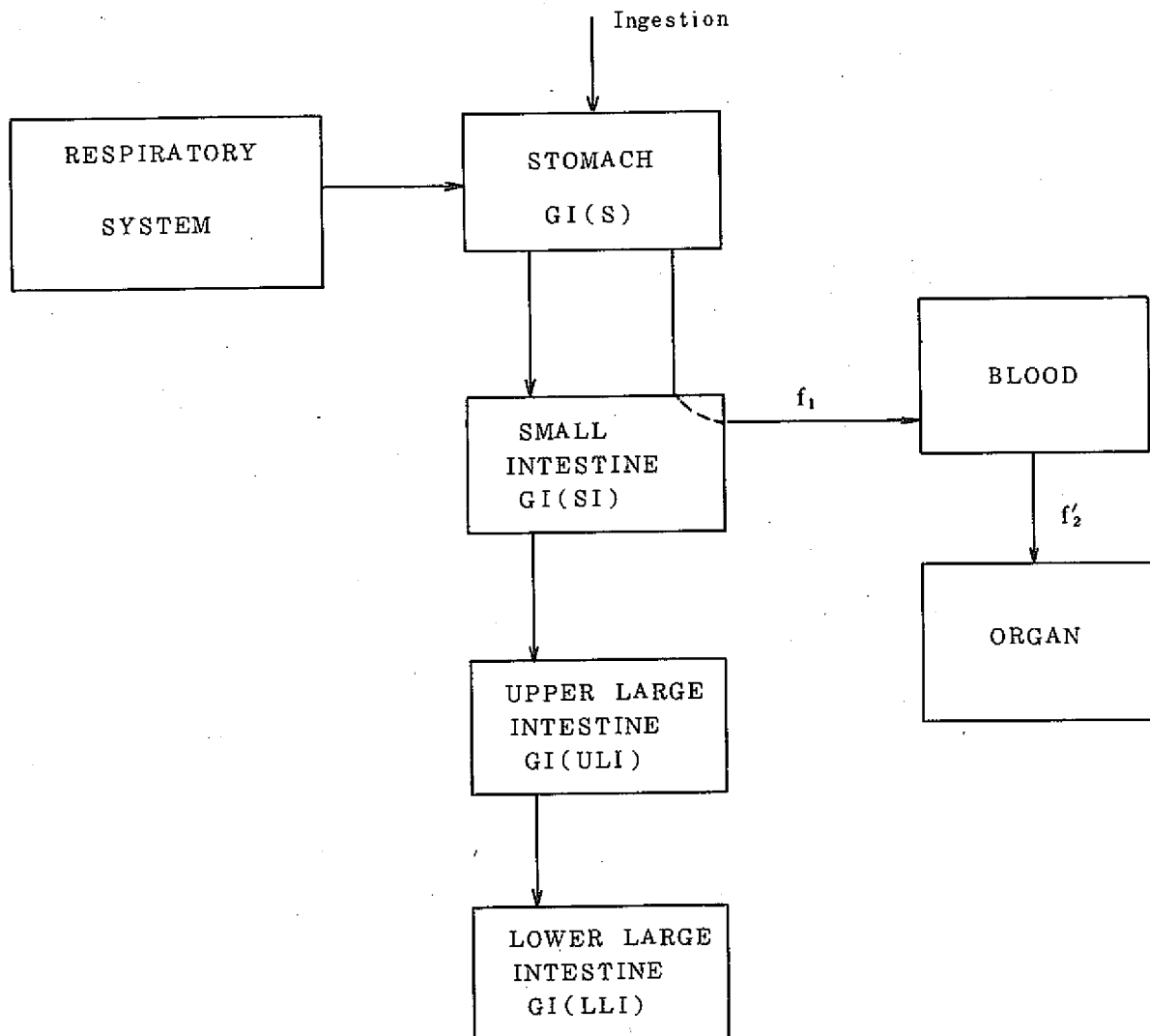


Fig. 2 G.I.-Tract Model (GITM)¹⁾

Table 1. Task Group Lung Model (TGLM) に関するパラメータ¹⁾.

COMPARTMENT	TRANSLOCATION CLASS						
	D			W		Y	
	$j^{(a)}$	$T_j^{(b)}$	$f_j^{(c)}$	T_j	f_j	T_j	f_j
NP	a	0.01	0.5	0.01	0.1	0.01	0.01
	b	0.01	0.5	0.40	0.9	0.4	0.99
TB	c	0.01	0.95	0.01	0.5	0.01	0.01
	d	0.2	0.05	0.2	0.5	0.2	0.99
P	e	0.5	0.8	50	0.15	500	0.05
	f	n.a. ^(d)	n.a.	1	0.4	1	0.4
	g	n.a.	n.a.	50	0.4	500	0.4
	h	0.5	0.2	50	0.05	500	0.15
L	i	0.5	1	50	1	1,000	0.9

- (a) Metabolic pathways from lung.
- (b) Removal half time in days.
- (c) Fraction removed from compartment via pathway j.
- (d) Not available

Table 2. G.I.-Tract Model (GITM) に関するパラメータ¹⁾.

COMPARTMENT	RESIDENCE		TIME FOR MATERIAL
	TIME, hr.		TO REACH COMPARTMENT, hr.
S	τ_s	1	-
SI	τ_{SI}	4	1
ULI	τ_{ULI}	8	5
LLI	τ_{LLI}	18	13

2. TGLM(Task Group Lung Model)の数式による表現

ICRPタスクグループが1966年に提案した⁶⁾肺モデル(TGLM)は、Fig 1¹⁾のように表わすことができる。このモデルでは、呼吸器系(respiratory tract)は、NP(鼻咽頭腔部)、TB(気管・気管支部)およびP(肺胞部)の3コンパートメントに区分され、さらにそれぞれ2, 2および4, 合計8サブコンパートメントに区分される。吸入により取り込まれた放射性物質は、これらのサブコンパートメントを經由して任意の器官(organ)へ到達する。すなわち、次の8経路を考慮する必要がある。

1. $NP_a \longrightarrow \text{Blood} \longrightarrow \text{Organ}$
2. $NP_b \longrightarrow \text{GI tract} \longrightarrow \text{Blood} \longrightarrow \text{Organ}$
3. $TB_c \longrightarrow \text{Blood} \longrightarrow \text{Organ}$
4. $TB_d \longrightarrow \text{GI tract} \longrightarrow \text{Blood} \longrightarrow \text{Organ}$
5. $P_e \longrightarrow \text{Blood} \longrightarrow \text{Organ}$
6. $P_h \longrightarrow \text{Lymph} \longrightarrow \text{Blood} \longrightarrow \text{Organ}$
7. $P_f (\longrightarrow \text{TBd}) \longrightarrow \text{GI tract} \longrightarrow \text{Blood} \longrightarrow \text{Organ}$
8. $P_g (\longrightarrow \text{TBd}) \longrightarrow \text{GI tract} \longrightarrow \text{Blood} \longrightarrow \text{Organ}$

TGLMを数式で表わす場合は、以上8経路について微分方程式を解く必要がある。

以下で使用する変数その他の意味は次の通りである。(第3, 4章でも同様の意味をもつ。)

P_0 放射性物質の吸入(摂取)率, ($\mu\text{Ci}/\text{秒}$)。

λ^r 放射性減衰係数, ($1/\text{秒}$)。

λ^b 生物学的減衰係数, ($1/\text{秒}$)。

λ 実効減衰係数, ($1/\text{秒}$)。
($\lambda = \lambda^r + \lambda^b$)

D_3 NP部への沈着割合。

D_4 TB部への沈着割合。

D_5 P部への沈着割合。

f_j あるコンパートメントへ沈着したもののうち、サブコンパートメントjへ沈着する割合。

T_1 吸入(摂取)時間, (秒)。

$Q_n(t)$ 時間tにおける器官n中の放射性物質負荷量, (μCi)。

$D_n(t)$ 時間tまでの器官nへの積算線量当量, (rem)。

M_n 器官nの質量, (grams)。

E_n 器官nについての実効吸収エネルギー, (MeV)。

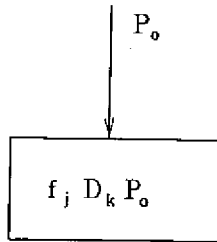
それぞれの記号に対して添字の付く場合もある。

(添字 1 は吸入中, 2 は終了後を原則として表わす。)

器官 n 中の負荷量あるいは線量当量を表わす式は, 吸入(摂取)が続いている間と, その終了後とで異なる。

吸入が続いている間

コンパートメント k のサブコンパートメント j の物質収支は, (1)式で表わすことができる。



$$\frac{dQ_{ijk}(t)}{dt} = f_j D_k P_0 - \lambda_j Q_{ijk}(t) \quad (1)$$

$Q_{ijk}(0) = 0$ であると,

$$Q_{ijk}(t) = f_j D_k P_0 \frac{1 - e^{-\lambda_j t}}{\lambda_j} \quad (2)$$

(2)式は, 吸入が続いている間の負荷量を導く基本的な式である。

前述 8 経路のうち, 1, 3 および 5 は, 同様な考え方で解くことができる。

f'_2 を Blood から Organ へ移行する割合とする(以後, 同様)と, Fig. 1 より, 経路 1 について

$$\frac{dQ_{1n}(t)}{dt} = \lambda_a^d f'_2 Q_{1a}(t) - \lambda_n Q_{1n}(t) \quad (3)$$

(2) 式より

$$Q_{1a}(t) = f_a D_3 P_0 \frac{1 - e^{-\lambda_a t}}{\lambda_a}$$

(3) 式より

$$Q_{1n}(t) = \frac{\lambda_c^d f'_2 f_a D_3 P_0}{\lambda_a} \left\{ \frac{1 - e^{-\lambda_n t}}{\lambda_n} - \frac{e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_a t}}{\lambda_a - \lambda_n} \right\} \quad (4)$$

同様に, 経路 3 について

$$Q_{1n}(t) = \frac{\lambda_c^b f'_2 f_c D_4 P_0}{\lambda_c} \left\{ \frac{1 - e^{-\lambda_n t}}{\lambda_n} - \frac{e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_c t}}{\lambda_c - \lambda_n} \right\} \quad (5)$$

また, 経路 5 について

$$Q_{1n}(t) = \frac{\lambda_e^b f'_2 f_e D_5 P_0}{\lambda_e} \left\{ \frac{1 - e^{-\lambda_n t}}{\lambda_n} - \frac{e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_e t}}{\lambda_e - \lambda_n} \right\} \quad (6)$$

経路 2, 4, 7 および 8 については, 次のようになる。

Fig. 1 より, f_1 を GI tract から Blood へ移行する割合とすれば(以後, 同様)

経路2について

$$\frac{dQ_{1n}(t)}{dt} = \lambda_b^b f_1 f_2' Q_{1b}(t) - \lambda_n Q_{1n}(t) \quad (7)$$

(2) 式より

$$Q_{1b}(t) = f_b D_3 P_o \frac{1 - e^{-\lambda_b t}}{\lambda_b}$$

(7) 式より

$$Q_{1n}(t) = \frac{\lambda_b^b f_1 f_2' f_b D_3 P_o}{\lambda_b} \left\{ \frac{1 - e^{-\lambda_n t}}{\lambda_n} - \frac{e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_b t}}{\lambda_b - \lambda_n} \right\} \quad (8)$$

同様に、経路4について

$$Q_{1n}(t) = \frac{\lambda_d^b f_1 f_2' f_d D_4 P_o}{\lambda_d} \left\{ \frac{1 - e^{-\lambda_n t}}{\lambda_n} - \frac{e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_d t}}{\lambda_d - \lambda_n} \right\} \quad (9)$$

また、経路7について

$$Q_{1n}(t) = \frac{\lambda_f^b f_1 f_2' f_f D_5 P_o}{\lambda_f} \left\{ \frac{1 - e^{-\lambda_n t}}{\lambda_n} - \frac{e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_f t}}{\lambda_f - \lambda_n} \right\} \quad (10)$$

経路8について

$$Q_{1n}(t) = \frac{\lambda_g^b f_1 f_2' f_g D_5 P_o}{\lambda_g} \left\{ \frac{1 - e^{-\lambda_n t}}{\lambda_n} - \frac{e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_g t}}{\lambda_g - \lambda_n} \right\} \quad (11)$$

経路7および8は、Fig. 1のようにTB_dを経由するのではあるが、数式上では、これは無視されている。

経路6については特別な考慮を必要とする。すなわちLymphの存在である。Fig 1のように吸入放射性物質は、サブコンパートメントP_hを経てLymphへ移行し、ここから一部のものがBloodを通してOrganへ到達する。

Lymph (Fig 1のLMi)中の放射性物質負荷量Q_{1LMi}(t)は、次式で与えられる。

$$\frac{dQ_{1LMi}(t)}{dt} = \lambda_h^b f_i Q_{1Ph}(t) - \lambda_i Q_{1LMi}(t) \quad (12)$$

(2) 式より

$$Q_{1Ph}(t) = f_h D_5 P_o \frac{1 - e^{-\lambda_h t}}{\lambda_h}$$

○ λ_h ≠ λ_i (クラスY物質)の場合

(12) 式より

$$Q_{1LMi}(t) = \frac{\lambda_h^b f_i f_h D_5 P_o}{\lambda_h} \left\{ \frac{1 - e^{-\lambda_i t}}{\lambda_i} - \frac{e^{-\lambda_i t} - e^{-\lambda_h t}}{\lambda_h - \lambda_i} \right\} \quad (13)$$

- $\lambda_h = \lambda_i$ (クラスDおよびW物質) の場合

$$Q_{iPh}(t) = f_h D_s P_o \frac{1 - e^{-\lambda_i t}}{\lambda_i} \quad \text{となり}$$

$$Q_{iLMi}(t) = \frac{\lambda_h^b f_i f_h D_s P_o}{\lambda_h} \left\{ \frac{1 - e^{-\lambda_i t}}{\lambda_i} - t e^{-\lambda_i t} \right\} \quad (14)$$

(13)式および(14)式をもとに、経路6についての式は、

$$\frac{dQ_{in}(t)}{dt} = \lambda_i^b f'_2 Q_{iLMi}(t) - \lambda_n Q_{in}(t) \quad (15)$$

- $\lambda_h \neq \lambda_i$ の場合

$$Q_{in}(t) = \frac{\lambda_i^b \lambda_h^b f_i f_h f'_2 D_s P_o}{\lambda_h} \left[\frac{1}{\lambda_i} \left\{ \frac{1 - e^{-\lambda_n t}}{\lambda_n} - \frac{e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_i t}}{\lambda_i - \lambda_n} \right\} - \frac{1}{\lambda_h - \lambda_i} \left\{ \frac{e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_i t}}{\lambda_i - \lambda_n} - \frac{e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_h t}}{\lambda_h - \lambda_n} \right\} \right] \quad (16)$$

- $\lambda_h = \lambda_i$ の場合

$$Q_{in}(t) = \frac{\lambda_i^b \lambda_h^b f_i f_h f'_2 D_s P_o}{\lambda_h} \left[\frac{1}{\lambda_i} \left\{ \frac{1 - e^{-\lambda_n t}}{\lambda_n} - \frac{e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_i t}}{\lambda_i - \lambda_n} \right\} - \frac{e^{-\lambda_n t} - \{(\lambda_i - \lambda_n)t + 1\} e^{-\lambda_i t}}{(\lambda_i - \lambda_n)^2} \right] \quad (17)$$

以上より、吸入の続いている間の、ある器官に対する負荷量は次式で表わされる。

$$Q_{in}(t) = P_o \sum_{j=a}^g f'_2 C_j \left\{ \frac{1 - e^{-\lambda_n t}}{\lambda_n} - \frac{e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_j t}}{\lambda_j - \lambda_n} \right\} + L \quad (18)$$

ここで、

$$C_a = \frac{\lambda_a^b f_a D_s}{\lambda_a}$$

$$C_b = \frac{\lambda_b^b f_b D_s f_1}{\lambda_b}$$

$$C_c = \frac{\lambda_c^b f_c D_s}{\lambda_c}$$

$$C_d = \frac{\lambda_d^b f_d D_4 f_1}{\lambda_d}$$

$$C_e = \frac{\lambda_e^b f_e D_5}{\lambda_e}$$

$$C_f = \frac{\lambda_f^b f_f D_5 f_1}{\lambda_f}$$

$$C_g = \frac{\lambda_g^b f_g D_5 f_1}{\lambda_g}$$

また, $\lambda_h \neq \lambda_i$ の場合, $L = (16)$ 式

$\lambda_h = \lambda_i$ の場合, $L = (17)$ 式

(18) 式は, 肺と GI tract 以外の器官に対する負荷量を表わす式である。

肺 (肺胞部) に対する負荷を表わすためには次式を用いる。

P 部には, 4つのサブコンパートメントがあり, それぞれの負荷は(2)式で表わすことができる。

したがって, 肺の負荷量は

$$Q_{lp}(t) = P_0 D_5 \sum_{j=e}^h f_j \frac{1 - e^{-\lambda_j t}}{\lambda_j} \quad (19)$$

吸入の続いている間の負荷量は, (18)および(19)式で表わすことができる。

器官 n 中の放射性物質による線量当量は, 次式で与えられる。

吸入開始後 T 時点 ($T_1 \geq T$) の線量当量は

$$D_{in}(T) = \frac{5.92 \times 10^{-4} E_n}{M_n} \int_0^T Q_{ln}(t) dt \quad (20)$$

となる。

以上より,

o $\lambda_h \neq \lambda_i$ の場合

$$D_{in}(t) = 5.92 \times 10^{-4} \frac{E_n P_0 f_2'}{M_n} \left[\sum_{j=a}^g C_j \left\{ \frac{T - A_n}{\lambda_n} - \frac{A_n - A_j}{\lambda_j - \lambda_n} \right\} + \frac{C_h}{\lambda_i} \right. \\ \left. \left\{ \frac{T - A_n}{\lambda_n} - \frac{A_n - A_i}{\lambda_i - \lambda_n} \right\} - \frac{C_h}{\lambda_h - \lambda_i} \left\{ \frac{A_n - A_i}{\lambda_i - \lambda_n} - \frac{A_n - A_h}{\lambda_h - \lambda_n} \right\} \right] \quad (21)$$

○ $\lambda_h = \lambda_i$ の場合

$$D_{in}(T) = 5.92 \times 10^{-4} \frac{E_n P_o f'_2}{M_n} \left[\sum_{j=a}^g C_j \left\{ \frac{T - A_n}{\lambda_n} - \frac{A_n - A_j}{\lambda_j - \lambda_n} \right\} + \frac{C_h}{\lambda_i} \cdot \left\{ \frac{T - A_n}{\lambda_n} - \frac{A_n - A_i}{\lambda_i - \lambda_n} \right\} + \frac{C_h}{(\lambda_i - \lambda_n)^2} \left\{ A_i - A_n + \frac{\lambda_i - \lambda_n}{\lambda_i^2} \cdot (1 - (\lambda_i T + 1) e^{-\lambda_i T}) \right\} \right] \quad (22)$$

ここで、

$$5.92 \times 10^{-4} = 3.7 \times 10^4 \left(\frac{\text{dis/sec}}{\mu\text{Ci}} \right) \cdot 1.6 \times 10^{-6} \left(\frac{\text{ergs}}{\text{MeV}} \right) \cdot 10^{-2} \left(\frac{\text{rads}}{\text{erg/g}} \right)$$

$$A_n = \frac{1 - e^{-\lambda_n T}}{\lambda_n}$$

$$A_h = \frac{1 - e^{-\lambda_h T}}{\lambda_h}$$

$$A_i = \frac{1 - e^{-\lambda_i T}}{\lambda_i}$$

$$A_j = \frac{1 - e^{-\lambda_j T}}{\lambda_j}$$

$$C_h = \frac{\lambda_i^b \lambda_h^b f_i f_h D_s}{\lambda_h}$$

肺については、(19)および(20)式より

$$D_{ip}(T) = 5.92 \times 10^{-4} \frac{E_p}{M_p} P_o D_s \sum_{j=c}^h \frac{f_j}{\lambda_j} (T - A_j) \quad (23)$$

ここで、

$$A_j = \frac{1 - e^{-\lambda_j T}}{\lambda_j}$$

E_p 肺の実効吸収エネルギー (MeV)。

M_p 肺の質量 (grams)。

吸入終了後

吸入終了時点から t 時点での、サブコンパートメント j および器官 n 中の放射性物質負荷

量を表わす基本的な数式は、次のとおりである。

$$Q_{2j}(t) = Q_{1j}(T_1) e^{-\lambda_j t} \quad (24)$$

$$Q_{2n}(t) = Q_{1n}(T_1) e^{-\lambda_n t} \quad (25)$$

ここで、(2)式より $Q_{1j}(T_1) = f_j D_k P_0 \frac{1 - e^{-\lambda_j T_1}}{\lambda_j}$

吸入が終了した後は、 $P_0 = 0$ となるため、NP, TBおよびP部に沈着した放射性物質は物理学および生物学的に減少するが、他の器官については、これらコンパートメントからの生物学的移行にともない、体外からの供給が断たれた後も体内的供給がいかかわらず存在し、これは前述の8つの経路による。

経路1, 3および5については同様にして求められる。

経路1について

$$\frac{dQ_{2n}(t)}{dt} = f'_2 \lambda_a^b Q_{2a}(t) - \lambda_n Q_{2n}(t) \quad (26)$$

(24)式より $Q_{1a}(t) = Q_{1a}(T_1) e^{-\lambda_a t}$

(26)式より

$$Q_{2n}(t) = \frac{f'_2 \lambda_a^b Q_{1a}(T_1)}{\lambda_a - \lambda_n} (e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_a t}) \quad (27)$$

同様に、経路3について

$$Q_{2n}(t) = \frac{f'_2 \lambda_c^b Q_{1c}(T_1)}{\lambda_c - \lambda_n} (e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_c t}) \quad (28)$$

また、経路5について

$$Q_{2n}(t) = \frac{f'_2 \lambda_e^b Q_{1e}(T_1)}{\lambda_e - \lambda_n} (e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_e t}) \quad (29)$$

経路2, 4, 7および8については同様に求められる。

経路2について

$$\frac{dQ_{2n}(t)}{dt} = f_1 f'_2 \lambda_b^b Q_{2b}(t) - \lambda_n Q_{2n}(t) \quad (30)$$

(24)式より $Q_{2b}(t) = Q_{1b}(T_1) e^{-\lambda_b t}$

(30)式より

$$Q_{2n}(t) = \frac{f_1 f'_2 \lambda_b^b Q_{1b}(T_1)}{\lambda_b - \lambda_n} (e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_b t}) \quad (31)$$

同様に、経路4について

$$Q_{2n}(t) = \frac{f_1 f_2' \lambda_d^b Q_{1d}(T_1)}{\lambda_d - \lambda_n} (e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_d t}) \quad (32)$$

また、経路7について

$$Q_{2n}(t) = \frac{f_1 f_2' \lambda_f^b Q_{1f}(T_1)}{\lambda_f - \lambda_n} (e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_f t}) \quad (33)$$

経路8について

$$Q_{2n}(t) = \frac{f_1 f_2' \lambda_g^b Q_{1g}(T_1)}{\lambda_g - \lambda_n} (e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_g t}) \quad (34)$$

経路6については、特別な考慮を必要とする。

すなわち、吸入終了時点で、すでにLymph中に存在するものと、サブコンパートメントP_hからLymphを経由するものとの2経路に分ける必要がある。

6, P_h → Lymph → Blood → Organ

6', Lymph → Blood → Organ

経路6'については、次式が成り立つ。

$$\frac{dQ_{2n}(t)}{dt} = f_2' \lambda_i^b Q_{2LMi}(t) - \lambda_n Q_{2n}(t) \quad (35)$$

(35)式より $Q_{2LMi}(t) = Q_{1LMi}(T_1) e^{-\lambda_i t}$

(35)式より

$$Q_{2n}(t) = f_2' \lambda_i^b Q_{1LMi}(T_1) \frac{e^{-\lambda_i t} - e^{-\lambda_n t}}{\lambda_n - \lambda_i} \quad (36)$$

ここで、

$\lambda_h \neq \lambda_i$ の場合、 $Q_{1LMi}(T_1) =$ (13)式

$\lambda_h = \lambda_i$ の場合、 $Q_{1LMi}(T_1) =$ (14)式

経路6については、次の連立微分方程式が成り立つ。

$$\frac{dQ_{2n}(t)}{dt} = \lambda_i^b f_2' Q_{2LMi}(t) - \lambda_n Q_{2n}(t) \quad (37)$$

$$\frac{dQ_{2LMi}(t)}{dt} = \lambda_h^b f_i Q_{2Ph}(t) - \lambda_i Q_{2LMi}(t) \quad (38)$$

(38)式より $Q_{2Ph}(t) = Q_{1Ph}(T_1) e^{-\lambda_h t}$

ここで、 $Q_{1Ph}(T_1) = f_h D_5 P_0 \frac{1 - e^{-\lambda_h T_1}}{\lambda_h}$

(38) 式より

- $\lambda_h \neq \lambda_i$ の場合

$$Q_{2LMi}(t) = \frac{f_i \lambda_h^b Q_{1Ph}(T_1)}{\lambda_h - \lambda_i} (e^{-\lambda_i t} - e^{-\lambda_h t}) \quad (39)$$

- $\lambda_h = \lambda_i$ の場合

$$Q_{2LMi}(t) = f_i \lambda_h^b D_5 Q_{1Ph}(T_1) t e^{-\lambda_i t} \quad (40)$$

(37) 式より

- $\lambda_h \neq \lambda_i$ の場合

$$Q_{2n}(t) = \frac{f_2' f_i \lambda_h Q_{1Ph}(T_1)}{\lambda_h - \lambda_i} \left\{ \frac{e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_i t}}{\lambda_i - \lambda_n} - \frac{e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_h t}}{\lambda_h - \lambda_n} \right\} \quad (41)$$

- $\lambda_h = \lambda_i$ の場合

$$Q_{2n}(t) = f_i \lambda_i^b \lambda_h^b f_2' Q_{1Ph}(T_1) \frac{1}{(\lambda_i - \lambda_n)^2} \cdot \left[e^{-\lambda_n t} - \{(\lambda_i - \lambda_n)t + 1\} e^{-\lambda_i t} \right] \quad (42)$$

以上より、吸入終了後の器官 n に対する負荷量を表わす式は、次のようになる。

- $\lambda_h \neq \lambda_i$ の場合

$$Q_{2n}(t) = Q_{1n}(T_1) e^{-\lambda_n t} + f_2' \lambda_i^b Q_{1LMi}(T_1) \frac{e^{-\lambda_i t} - e^{-\lambda_n t}}{\lambda_n - \lambda_i} + f_2' \left[\sum_{j=a}^g \frac{C_j'}{(\lambda_j - \lambda_n)} (e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_j t}) + \frac{C_h'}{\lambda_h - \lambda_i} \left\{ \frac{e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_i t}}{\lambda_i - \lambda_n} - \frac{e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_h t}}{\lambda_h - \lambda_n} \right\} \right] \quad (43)$$

- $\lambda_h = \lambda_i$ の場合

$$Q_{2n}(t) = Q_{1n}(T_1) e^{-\lambda_n t} + f_2' \lambda_i^b Q_{1LMi}(T_1) \frac{e^{-\lambda_i t} - e^{-\lambda_n t}}{\lambda_n - \lambda_i} + f_2' \sum_{j=a}^g \left(\frac{C_j'}{(\lambda_j - \lambda_n)} (e^{-\lambda_n t} - e^{-\lambda_j t}) + \frac{C_h'}{(\lambda_i - \lambda_n)^2} \left[e^{-\lambda_n t} - \{(\lambda_i - \lambda_n)t + 1\} e^{-\lambda_i t} \right] \right) \quad (44)$$

ここで,

$$\begin{aligned}
 C'_a &= \lambda_a^b Q_{1a}(T_1) \\
 C'_b &= \lambda_b^b Q_{1b}(T_1) f_1 \\
 C'_c &= \lambda_c^b Q_{1c}(T_1) \\
 C'_d &= \lambda_d^b Q_{1d}(T_1) f_1 \\
 C'_e &= \lambda_e^b Q_{1e}(T_1) \\
 C'_f &= \lambda_f^b Q_{1f}(T_1) f_1 \\
 C'_g &= \lambda_g^b Q_{1g}(T_1) f_1 \\
 C'_h &= f_i \lambda_i^b \lambda_h^b Q_{1Pn}(T_1)
 \end{aligned}$$

また, $\lambda_h \neq \lambda_i$ の場合, $Q_{1LMi}(T_1) = (13)$ 式

$\lambda_h = \lambda_i$ の場合, $Q_{1LMi}(T_1) = (14)$ 式

肺中の負荷量は, (24)式により表わすことができ次のようになる。

$$Q_{2p}(t) = \sum_{j=e}^h Q_{1j}(T_1) e^{-\lambda_j t} \quad (45)$$

ここで,

$$Q_{1j}(T_1) = f_j D_5 P_0 \frac{1 - e^{-\lambda_j T}}{\lambda_j}$$

器官 n に対する線量当量は, (20)式により求められる。ただし, (20)式では, 吸入終了時点を 0 とするため, 吸入の続いている間の線量当量を(21)あるいは(22)式により加算する必要がある。吸入終了後の T 時点における, 器官 n への線量当量は, 次式により求められる。

$$\begin{aligned}
 D_n &= D_{1n}(T_1) + D_{2n}(T) \\
 D_{2n}(T) &= 5.92 \times 10^{-4} \frac{E_n}{M_n} \left(Q_{1n}(T_1) B_n + f'_2 \left[\frac{\lambda_i^b Q_{1LMi}(T_1)}{(\lambda_n - \lambda_i)} (B_i - B_n) \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + G \left\{ \frac{(B_n - B_i)}{(\lambda_i - \lambda_n)} - Z \right\} + \sum_{j=a}^g \frac{C'_j}{(\lambda_j - \lambda_n)} (B_n - B_j) \right] \right) \quad (46)
 \end{aligned}$$

ここで,

$$B_n = \frac{1 - e^{-\lambda_n T}}{\lambda_n}$$

$$B_h = \frac{1 - e^{-\lambda_h T}}{\lambda_h}$$

$$B_i = \frac{1 - e^{-\lambda_i T}}{\lambda_i}$$

$$B_j = \frac{1 - e^{-\lambda_j T}}{\lambda_j}$$

C'_h の定義は(43), (44)式と同様。

また,

○ $\lambda_h \neq \lambda_i$ の場合

$D_{in}(T_1)$ は, (21)式

$Q(T_1)$ は, (18)式

および $Q_{ILMi}(T_1)$ は, (13)式により求められる。

$$G = \frac{C'_h}{(\lambda_h - \lambda_i)} \quad ; \quad Z = \frac{B_n - B_h}{(\lambda_h - \lambda_n)}$$

○ $\lambda_h = \lambda_i$ の場合

$D_{in}(T_1)$ は, (22)式

$D_{in}(T_1)$ は, (18)式

および $Q_{ILMi}(T_1)$ は, (14)式により求められる。

$$G = \frac{C'_h}{(\lambda_i - \lambda_n)} \quad ; \quad Z = \frac{1}{\lambda_i^2} \left\{ 1 - (\lambda_i T + 1) e^{-\lambda_i T} \right\}$$

肺への線量当量は, (45)式により次式で表わされる。

$$D_p = D_{ip}(T_1) + 5.92 \times 10^{-4} \frac{E_p P_o D_s}{M_p} \sum_{j=e}^h f_j \frac{1 - e^{-\lambda_j T}}{\lambda_j} B_j \quad (47)$$

ここで,
$$B_j = \frac{1 - e^{-\lambda_j T}}{\lambda_j}$$

3. G.I.-Tract Modelの数式による表現

G.I.-tract model (GITM)としては、Fig. 2. に示すような、簡単な4コンパートメント G.I.-tract model を使った。¹⁾ ICRP ²⁾ は、G.I.-tract を、胃 (GI(S)), 小腸 (GI(SI)) 大腸上部 (GI(ULI)), および大腸下部 (GI(LLI)) の4つに分けて考えていて、G.I.-tract を通過する物質は、全て胃から始まり、小腸でのみ血液へ移行する経路が存在するとしている。ここでは、呼吸器系からのもののみを考え、経口摂取によるものは、次章で述べるものとする。

第2章で述べた TGLMで、サブコンパートメント NP_b, TB_d, P_f および P_g が G.I.-tract (消化器系) に関連する部分である。ここでも、吸入の続いている間とその後に分けて考える必要がある。

(i) 吸入の続いている間

サブコンパートメント j から、G.I.-tract への放射性物質移行率は次式で表わされる。

$$q_{IG}(t) = \lambda_j^b Q_{ijk}(t)$$

ここで、(2)式より

$$Q_{ijk}(t) = f_j D_k P_0 \frac{1 - e^{-\lambda_j t}}{\lambda_j}$$

よって、関連した4つのサブコンパートメントからの合計移行率は、

$$q_{IG}(t) = \sum_{j=b, d, f, g} \lambda_j^b Q_{ijk}(t) \tag{48}$$

吸入時間が T_1 であるとき、その間の積分量は、

$$Q_{IG} = \int_0^{T_1} q_{IG}(t) dt$$

すなわち、

$$Q_{IG} = P_0 \sum_{j=b, d, f, g} C_j \left(T_1 - \frac{1 - e^{-\lambda_j T_1}}{\lambda_j} \right) \tag{49}$$

ここで、

$$C_b = \frac{\lambda_b^b f_b D_b}{\lambda_b} ; C_d = \frac{\lambda_d^b f_d D_d}{\lambda_d} ; C_f = \frac{\lambda_f^b f_f D_f}{\lambda_f} ; C_g = \frac{\lambda_g^b f_g D_g}{\lambda_g}$$

(ii) 吸入終了後

吸入の終了した後での、サブコンパートメント j から、G.I.-tract への移行率は次式で表わされる。

$$q_{2G}(t) = \lambda_j^b Q_{2jk}(t)$$

24式より, $Q_{2jk}(t) = Q_{1jk}(T_1) e^{-\lambda_j t}$

よって, 合計移行率は, (48)式と同様にて,

$$q_{2G}(t) = \sum_{j=b, d, f, g} \lambda_j^b Q_{1jk}(T_1) e^{-\lambda_j t} \quad (50)$$

吸入終了時から T 時点までの積分量は,

$$Q_{2G} = \int_0^T q_{2G}(t) dt,$$

すなわち,

$$Q_{2G} = P_0 \sum_{j=b, d, f, g} \frac{C_j}{\lambda_j} (1 - e^{-\lambda_j T_1}) (1 - e^{-\lambda_j T}) \quad (51)$$

ここで, C_j については, (i). と同様である。

(i), (ii)より, 呼吸器系から, G.I.-tractへ移行する放射性物質の全量は,

$$Q_G = Q_{1G} + Q_{2G} \quad (52)^*$$

* この Q_G について若干補足する。52. 式は, 吸入開始から終了後 T_2 時点までの全期間を通じてのG.I.-tract移行量であるが, たとえば, 吸入途中での線量当量を計算する場合は, 52式で $Q_{2G} = 0$ となり, Q_{1G} は(49)式で $T_1 \rightarrow T$ ($T_1 \geq T$)としたものを Q_G とする。

G.I.-tract各部分への線量当量は, 53~57式により求められる。^{1), 2)}

(1) 胃 (GI(S))

$$D_S = 2.96 \times 10^{-4} \frac{E_S Q_G}{m_S} \left(\frac{1 - e^{-\lambda^r \tau_S}}{\lambda^r} \right) \quad (53)$$

ここで,

E_S ・胃の実効吸収エネルギー, (MeV)。

m_S ・胃の内容物質量, (g)。

τ_S ・物質が胃を通過する時間, (秒)。

$$2.96 \times 10^{-4} = \frac{1}{2} \cdot 3.7 \times 10^4 \left(\frac{\text{dis/sec}}{\mu\text{Ci}} \right) \cdot 1.6 \times 10^{-6} \left(\frac{\text{ergs}}{\text{MeV}} \right) \cdot 10^{-2} \left(\frac{\text{rads}}{\text{erg/g}} \right)$$

(2) 小腸 (GI(SI))

小腸では, 一部の物質は血液へ移行するため, 小腸への線量当量は移行係数を考える必要

がある。¹⁾ 血液への移行割合を f_1 とすると、

$$f_1 = 1 - e^{-\lambda_a \tau_{s1}}$$

したがって、

$$\lambda_a = \frac{1}{\tau_{s1}} \ln \frac{1}{1-f_1} \quad 54$$

ここで、 λ_a ・血液への移行係数、(1/秒)。(生物学的係数)

τ_{s1} ・物質が小腸を通過する時間、(秒)。

54式により、 $f_1 < 1$ でなければならない。

ところが、ICRP Pub 2.²⁾によると、多くの核種について、 $f_1 = 1$ となっている。このため、ここでは、参考文献1)に従い、 $f_1 = 1$ の場合は、 $f_1 = 0.95$ とした。(「0.95」の数値の根拠は、ICRPは、大腸上部、および大腸下部への線量当量の計算において、少なくとも、5%のものが大腸部へ到達するとしているためである。」と文献1)に述べられている。)

以上により、小腸への線量当量は次式で表わされる。¹⁾

$$D_{s1} = 2.96 \times 10^{-4} \frac{E_{s1}}{m_{s1}} e^{-\lambda^r \tau_s} \left(\frac{1 - e^{-\lambda_{s1} \tau_{s1}}}{\lambda_{s1}} Q_G \right) \quad 55$$

ここで、 $\lambda_{s1} = \lambda^r + \lambda_a$ ・すなわち実効減衰係数(1/秒)である。

τ_{s1} ・物質が小腸を通過する時間、(秒)。

E_{s1} ・小腸の実効吸収エネルギー、(MeV)。

m_{s1} ・小腸の内容物質量、(g)。

$e^{-\lambda^r \tau_s}$ ・胃を通過したことによる減衰を表わす項。

(3) 大腸上部 (GI (ULI))

小腸へ入った物質は f_1 の割合で血液へ移行するため、大腸上部へは、 $1 - f_1$ の物質が到達する。また胃および小腸を通過することによる放射性減衰をも考慮しなければならない。

参考文献1)に従い、大腸部では物質は直線的に通過するものとして、次式が大腸上部への線量当量を表わすものとする。

$$D_{ULI} = 2.96 \times 10^{-4} \tau_{ULI} e^{-\lambda^r (\tau_s + \tau_{s1})} \frac{E_{ULI}}{m_{ULI}} Q_G (1 - f_1) \quad 56$$

ここで、 τ_{ULI} ・物質が大腸上部を通過する時間、(秒)。

m_{ULI} ・大腸上部の内容物質量、(g)。

E_{ULI} ・大腸上部の実効吸収エネルギー、(MeV)。

(4) 大腸下部 (GI(LLI))

大腸下部については、大腸上部と同様にして、次式が与えられる。

$$D_{LLI} = 2.96 \times 10^{-4} \tau_{LLI} e^{-\lambda(\tau_s + \tau_{SI} + \tau_{ULI})} \frac{E_{LLI}}{m_{LLI}} Q_0 (1 - f_1) \quad (57)$$

ここで、 τ_{LLI} ・物質が大腸下部を通過する時間、(秒)。

m_{LLI} ・大腸下部の内容物質量、(g)。

E_{LLI} ・大腸下部の実効吸収エネルギー、(MeV)。

4. Ingestion Model の数式による表現

摂取モデル (Ingestion Model) は, ICRP Pub. 2²) の簡単な指数関数モデルを用いた。このモデルは, Fig. 3. に示すような 1 コンパートメントモデルである。P_o は, 器官 n への放射性物質取り込み量 (率) を表わす。数式は, 急性 1 回取り込みと連続取り込みとについてそれぞれ与えられる。

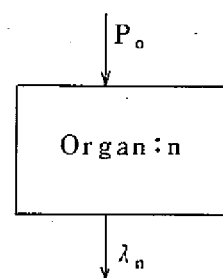


Fig. 3. Ingestion Model

急性 1 回取り込み

取り込み量を Q_0 μCi , 摂取した物質のうち器官 n へ到達するものの割合を $f_w (=f_1 \cdot f_2')$ とすると,

$$\frac{dQ_n(t)}{dt} = -\lambda_n Q_n(t)$$

$$t = 0 \text{ のとき, } Q_n(0) = f_w Q_0$$

よって,

$$Q_n(t) = Q_0 f_w e^{-\lambda_n t} \quad (58)$$

摂取後 T 時間の線量当量は, (58) 式により与えられる。すなわち

$$D_n(T) = \frac{5.92 \times 10^{-4} E_n}{M_n} Q_0 f_w \frac{1 - e^{-\lambda_n T}}{\lambda_n} \quad (59)$$

ここで, $\lambda_n = \lambda^f + \lambda_n^b$

また, G. I. - tract 各部分への線量当量は, (53). ~ (57). 式で, $Q_0 = Q_0$ とすればよい。

連続摂取

全摂取量を Q_0 μCi , 摂取時間を T_1 秒とすると, $P_0 = \frac{Q_0}{T_1}$ ($\mu\text{Ci}/\text{秒}$), 物質収支を表わす式は, 摂取が続いている間と摂取終了後とにわけて考える必要がある。

(i) 摂取が続いている間

$$\frac{dQ_{in}(t)}{dt} = \frac{Q_0}{T_1} f_w - \lambda_n Q_{in}(t)$$

$$t = 0 \text{ で, } Q(0) = 0$$

よって,

$$Q_{1n}(t) = \frac{Q_0 f_w (1 - e^{-\lambda_n t})}{T_1 \cdot \lambda_n} \quad (60)$$

摂取開始後 T 時点 ($T_1 \geq T$) での線量当量は, (60). 式により,

$$D_{1n}(T) = \frac{5.92 \times 10^{-4} E_n f_w Q_0}{T_1 \cdot M_n \cdot \lambda_n} \left(T - \frac{1 - e^{-\lambda_n T}}{\lambda_n} \right) \quad (61)$$

(ii) 摂取終了後

摂取終了時点での器官 n 中の放射性物質負荷量は, (60). 式により,

$$Q_{1n}(T_1) = \frac{Q_0 f_w (1 - e^{-\lambda_n T_1})}{T_1 \cdot \lambda_n}$$

摂取終了後, t 時点での負荷量は,

$$Q_{2n}(t) = Q_{1n}(T_1) e^{-\lambda_n t} \quad (62)$$

摂取終了後, T 時点での摂取終了後のみについての線量当量は(62). 式より,

$$D_{2n}(T) = \frac{5.92 \times 10^{-4} E_n f_w Q_0}{M_n T_1 \lambda_n} (1 - e^{-\lambda_n T_1}) \frac{1 - e^{-\lambda_n T}}{\lambda_n} \quad (63)$$

(63). 式は摂取終了後の線量当量分であるため, 摂取開始から終了後までの時間を考えた線量当量が, 摂取終了後 T 時点での器官 n への線量当量となる。すなわち,

$$D_n = D_{1n}(T_1) + D_{2n}(T) \quad (64)$$

また, G. I. - tract への線量当量を摂取が続いている間について, 摂取開始後 T 時点での線量当量を求めるためには, (53). ~ (57). 式で

$$Q_G = \frac{Q_0}{T_1} T$$

とすればよく, 摂取終了後は, $Q_G = Q_0$ とすればよい。

(注) 以上で線量あるいは線量当量と記したものは, 正しくは積算線量当量である。

5. 計算プログラム ACRO

5-1 概要

プログラムの構造は、Fig.4 に示す通りである。また、計算を実行するためには、付録Ⅱに概説する Biological Data Library が必要である。

ACRO は、FORTRAN IV でコーディングされており、IBM DOS/VS あるいは OS のもとで実行可能である。また、Biological Data Library のために、Tape または、Disk が必要である。以下に ACRO の HIPO による説明図を示す。

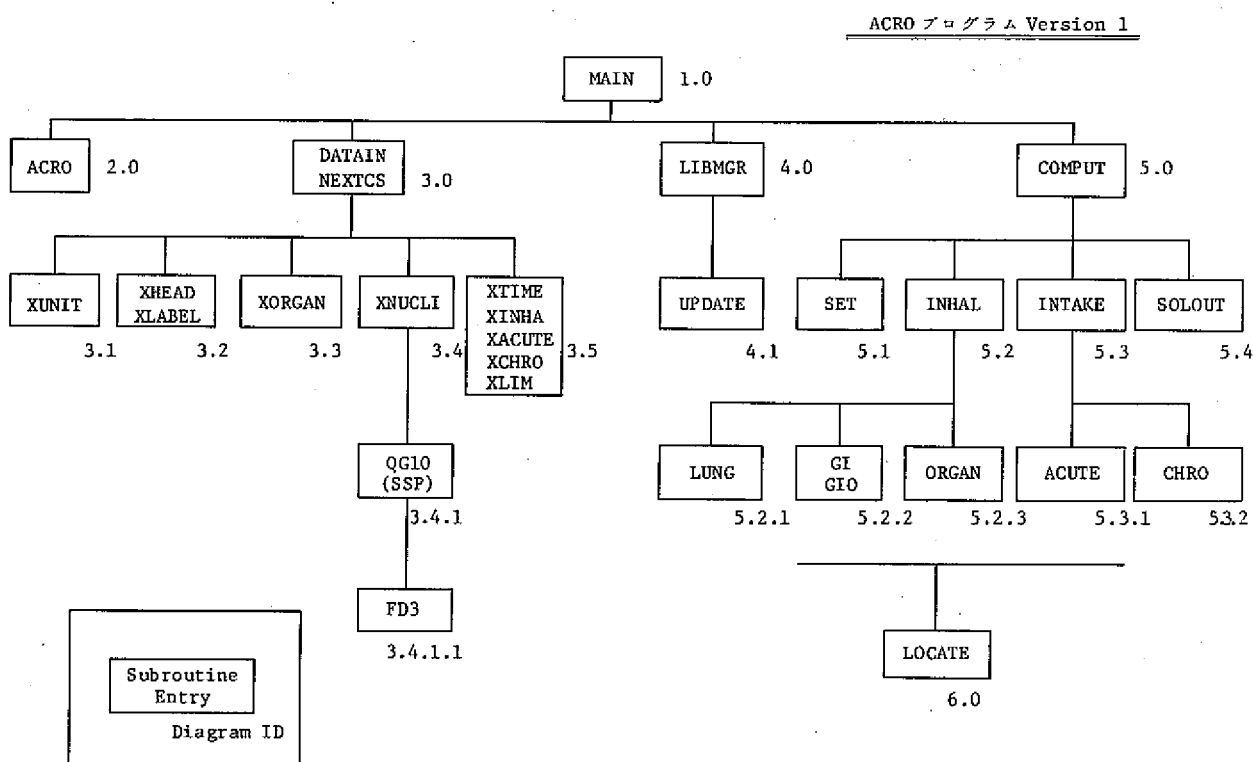
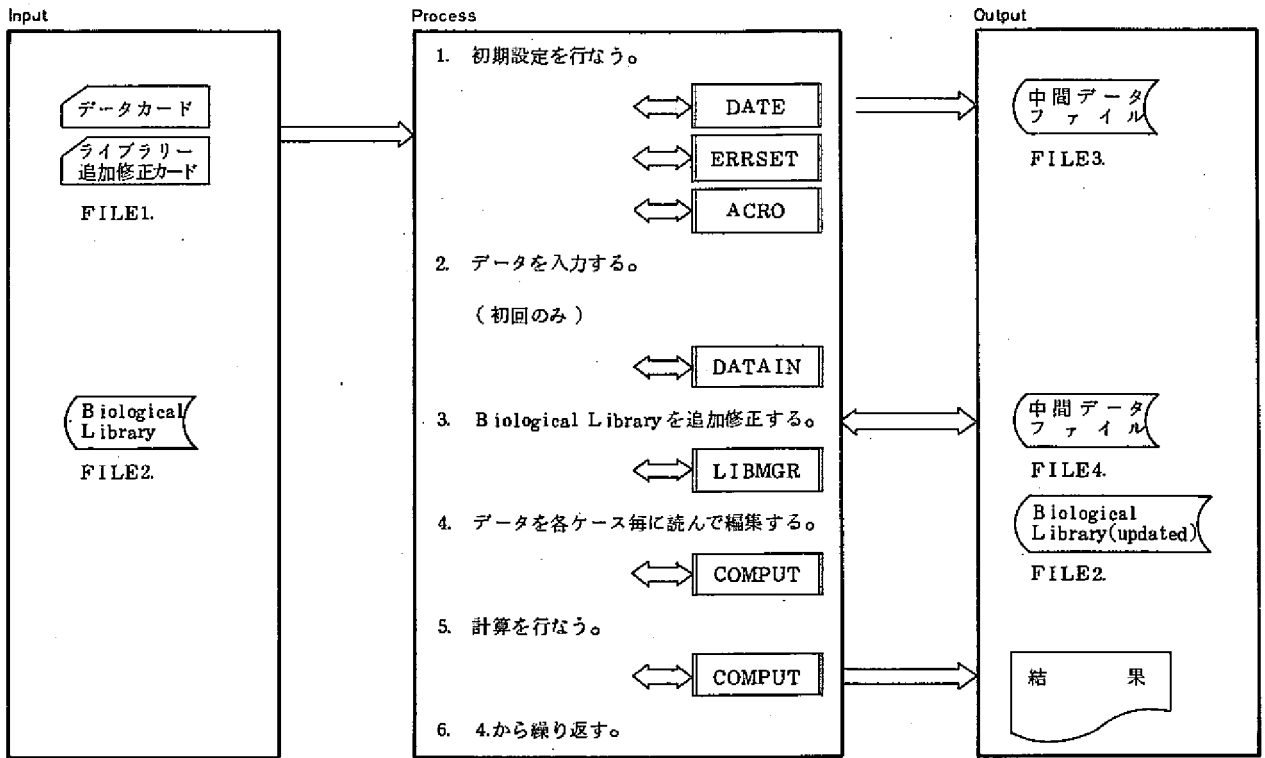


Fig. 4 Program Structure of ACRO

Author: _____ System/Program: ACRO Date: _____ Page: _____ of _____
 Diagram ID: 1.0 Name: ACRO main Description: _____



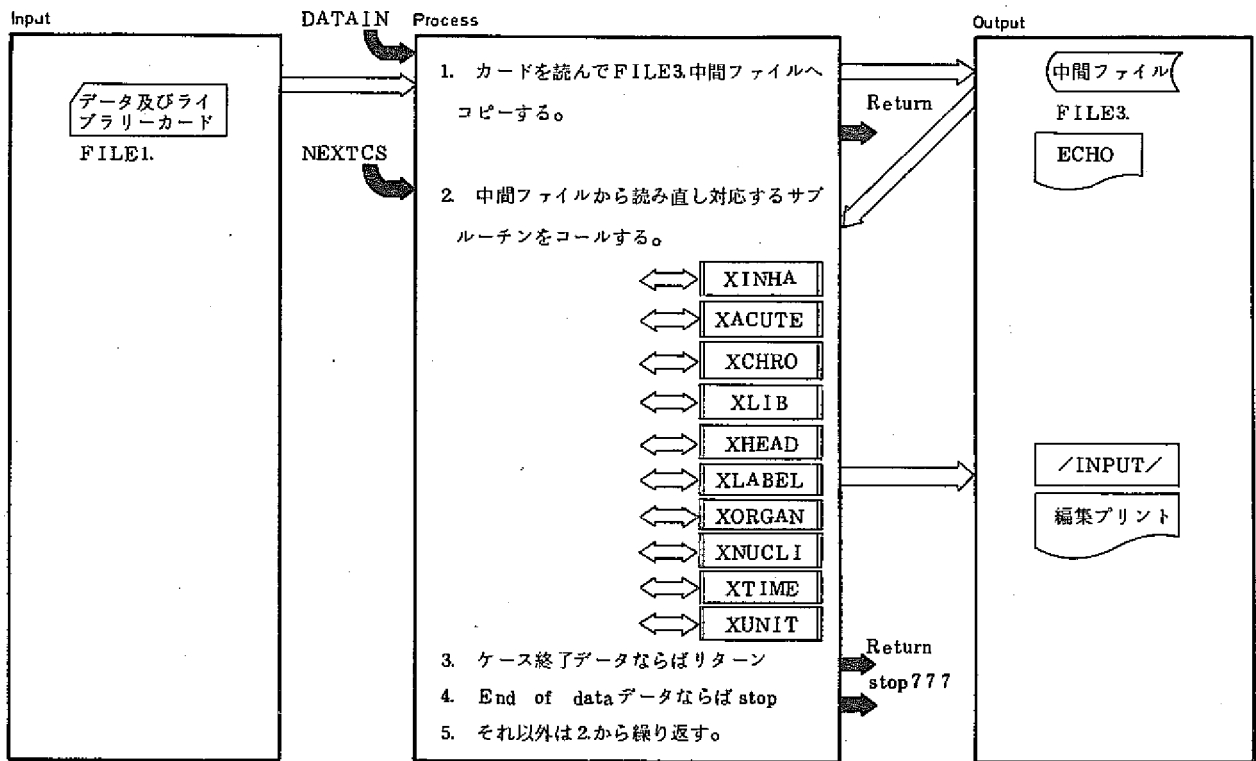
Extended Description

Notes	Ref.
1. FILE1, FILE2, FILE3はカードイメージのファイルである。	
2. FILE4は LRECL=89 BLKSIZE=8900 RECFM=FB	
3. FILE4はBiological Libraryの追加修正がないときは不要。	

Extended Description

Notes	Ref.
4. 初期設定を行なうためのサブルーチンの機能 4-1. DATE 日付を与える。 ERRSET アンダーフローを無視する。 ACRO 表紙作成	(OS下で実行の場合) (OS下で実行の場合)

Author: _____ System/Program: ACRO Date: _____ Page: _____ of _____
 Diagram ID: 3.0 Name: DATAIN Description: _____



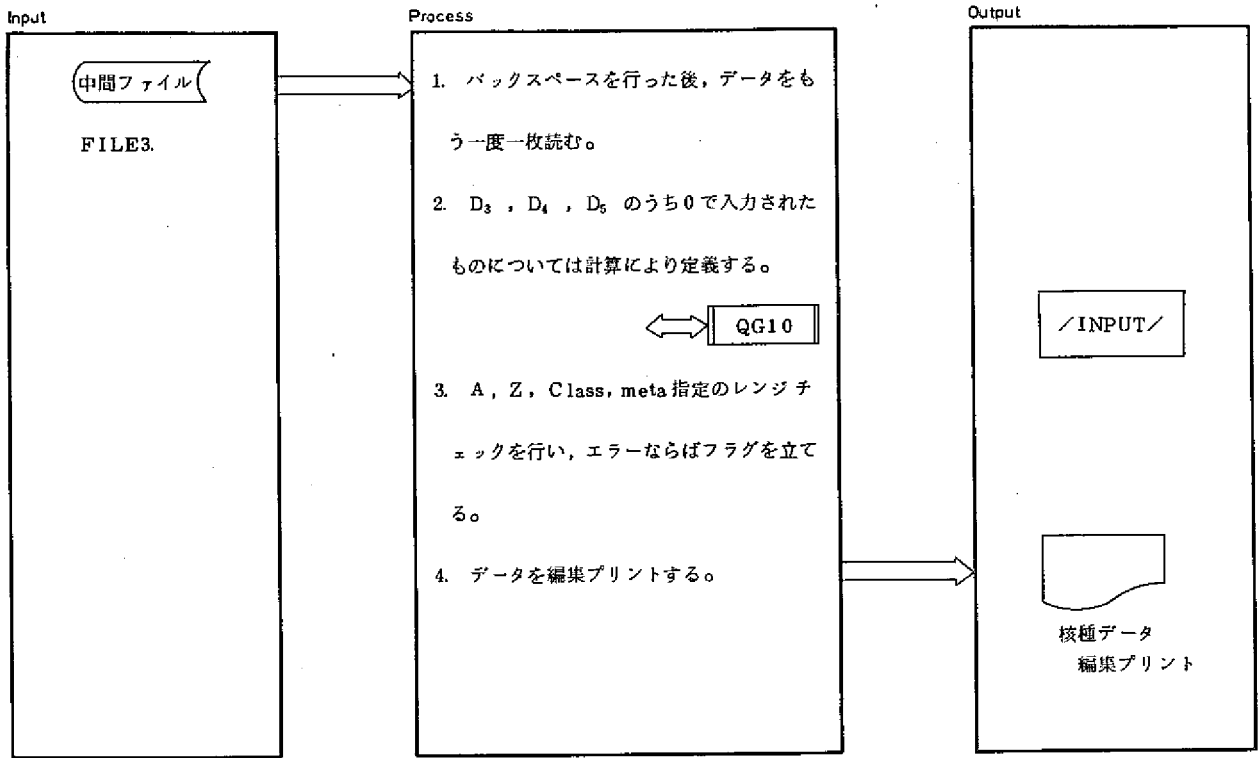
Extended Description

Notes	Ref.
1. ケース終了データは Library, Inhalation, Acute, 及び Chronic カード	
2. End of data データは 999 カード	

Extended Description

Notes	Ref.

Author: _____ System/Program: ACRO Date: _____ Page: _____ of _____
 Diagram ID: 3.4 Name: XNUCLI Description: _____



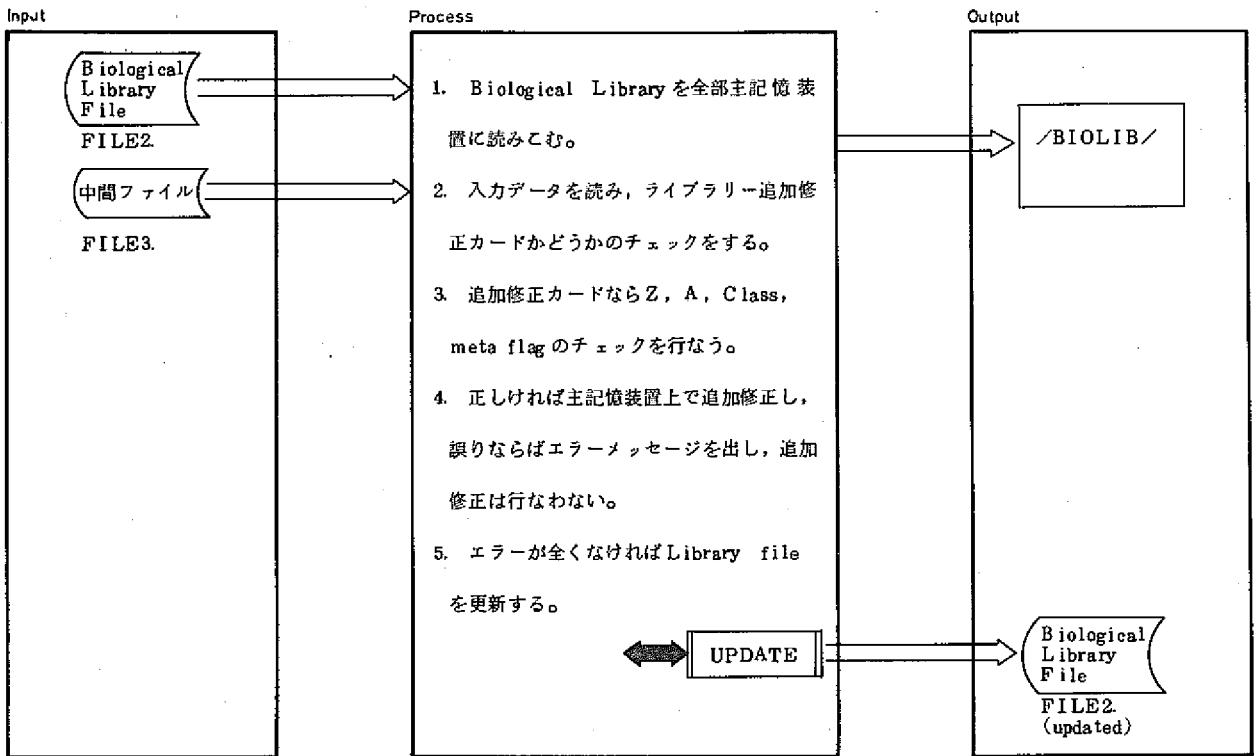
Extended Description

Notes	Ref.
1. XINHA, XACUTE, XCHRO, XLIB, XHEAD, XLABEL, XORGAN, XNUCLI, XTIME, XUNIT については同様につきHIPO より省略。	

Extended Description

Notes	Ref.

Author: _____ System/Program: ACRO Date: _____ Page: _____ of _____
 Diagram ID: 4.0 Name: LI BMGR Description: _____



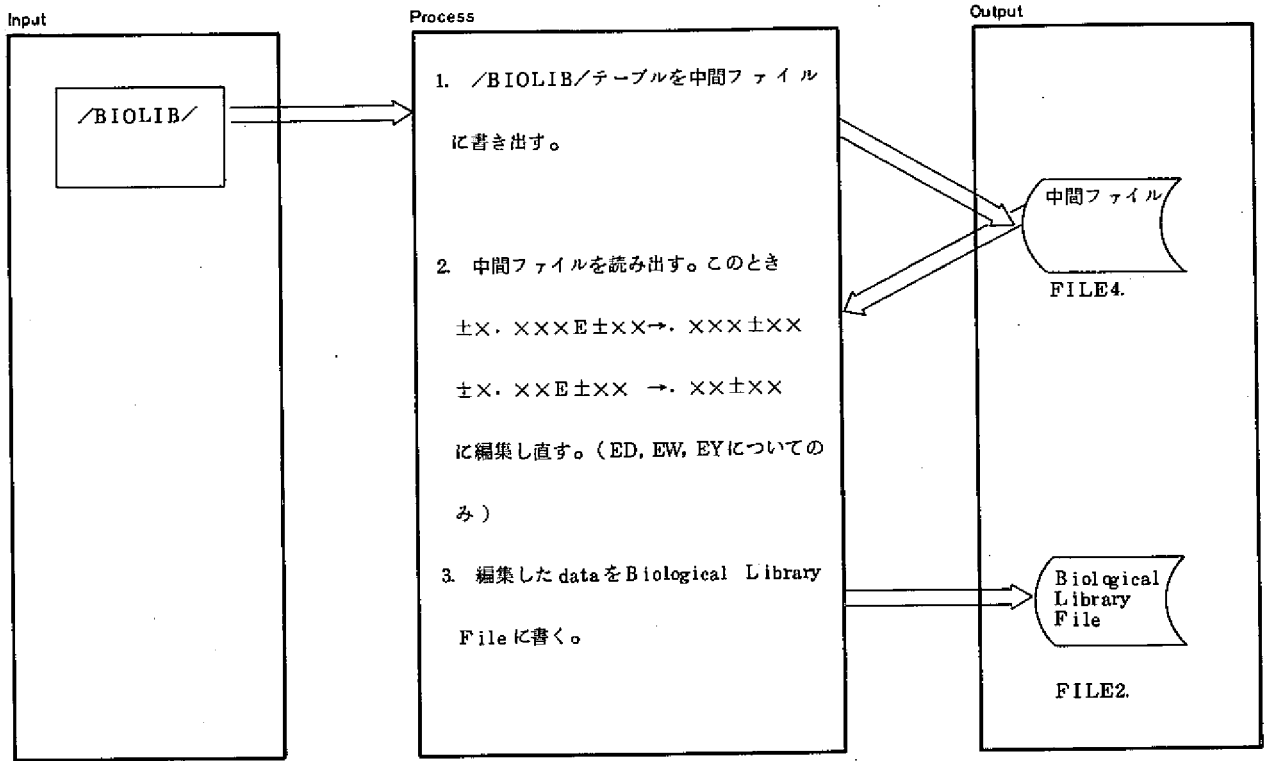
Extended Description

Notes	Ref.

Extended Description

Notes	Ref.

Author: _____ System/Program: ACRO Date: _____ Page: _____ of _____
 Diagram ID: 4.1 Name: UPDATE Description: _____



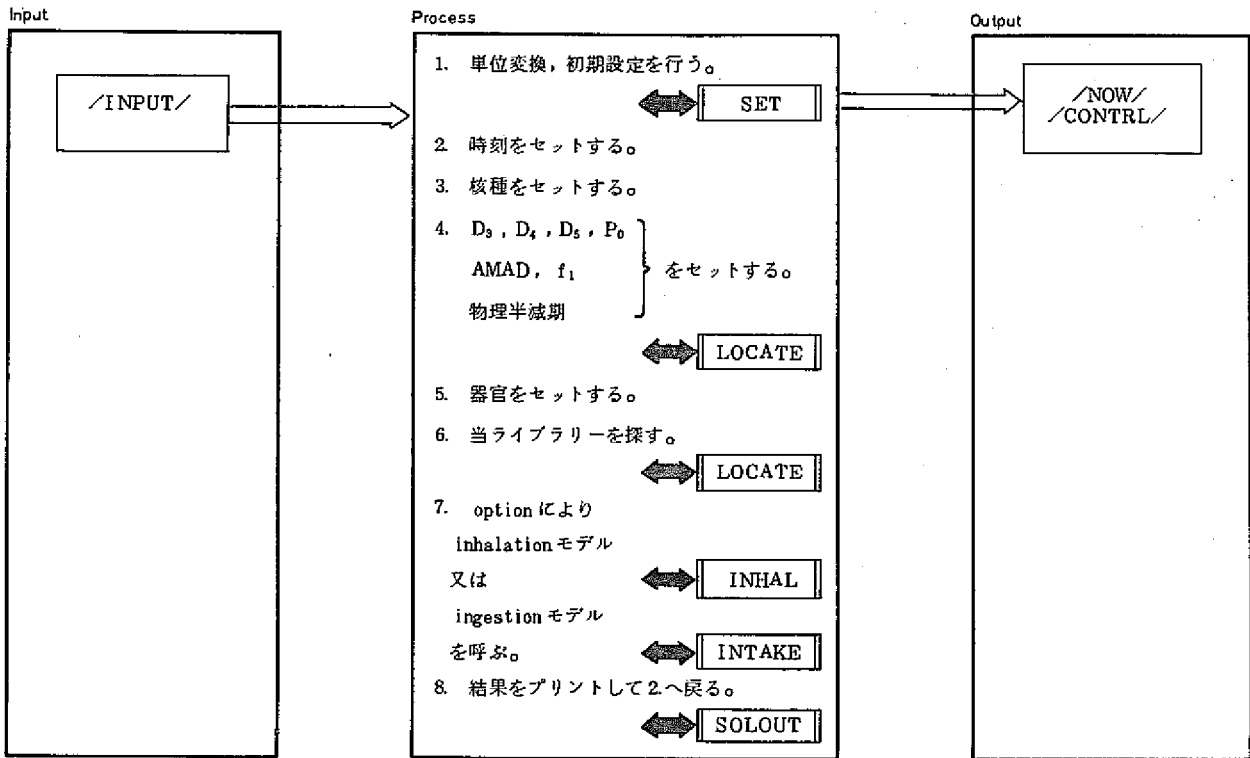
Extended Description

Notes	Ref.

Extended Description

Notes	Ref.

Author: _____ System/Program: ACRO Date: _____ Page: _____ of _____
 Diagram ID: 5.0 Name: COMPUT Description: _____



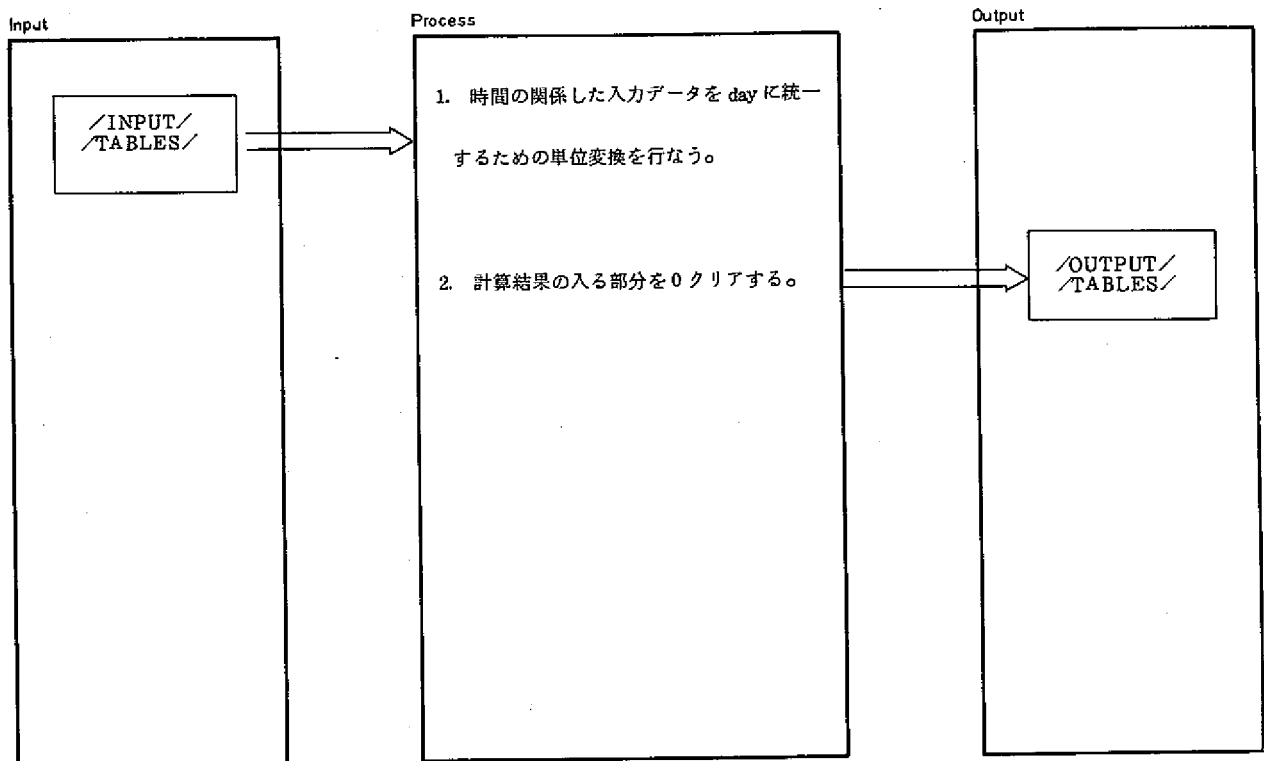
Extended Description

Notes	Ref.

Extended Description

Notes	Ref.

Author: _____	System/Program: ACRO	Date: _____	Page: _____ of _____
Diagram ID: 5.1	Name: SET	Description: _____	



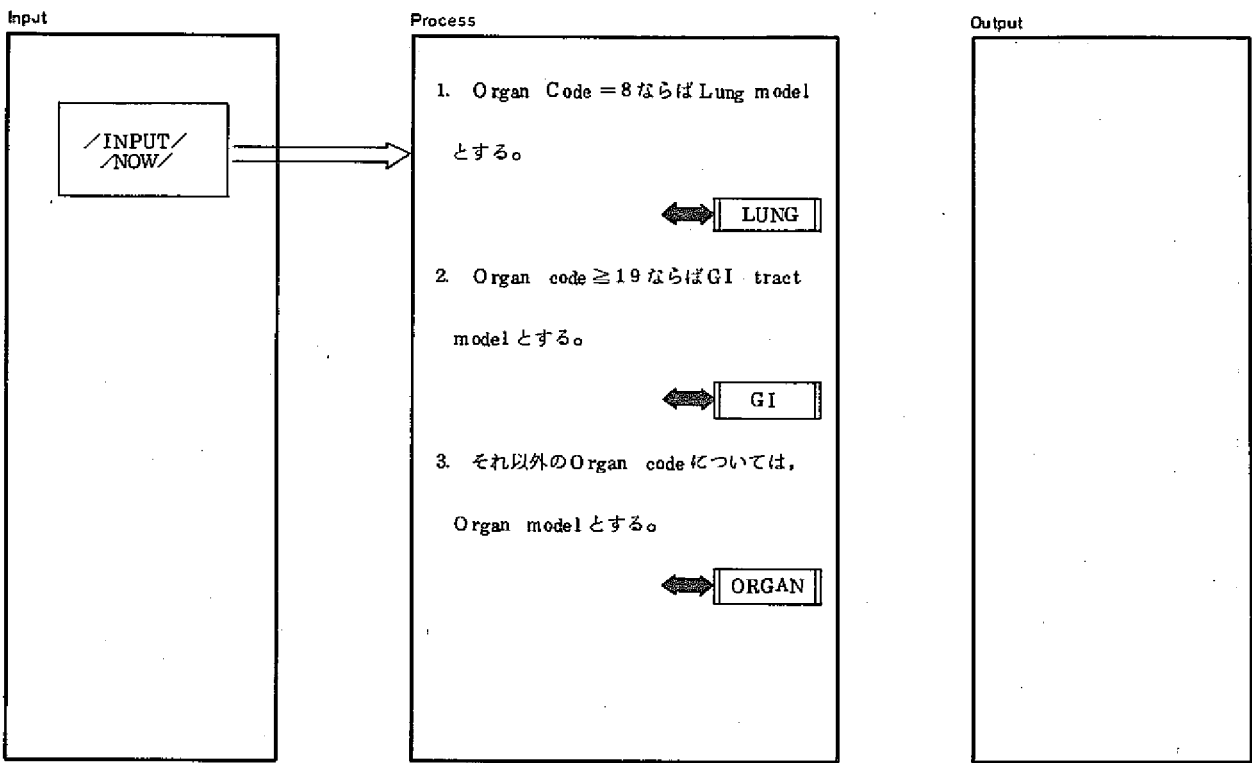
Extended Description

Notes			Ref.

Extended Description

Notes			Ref.

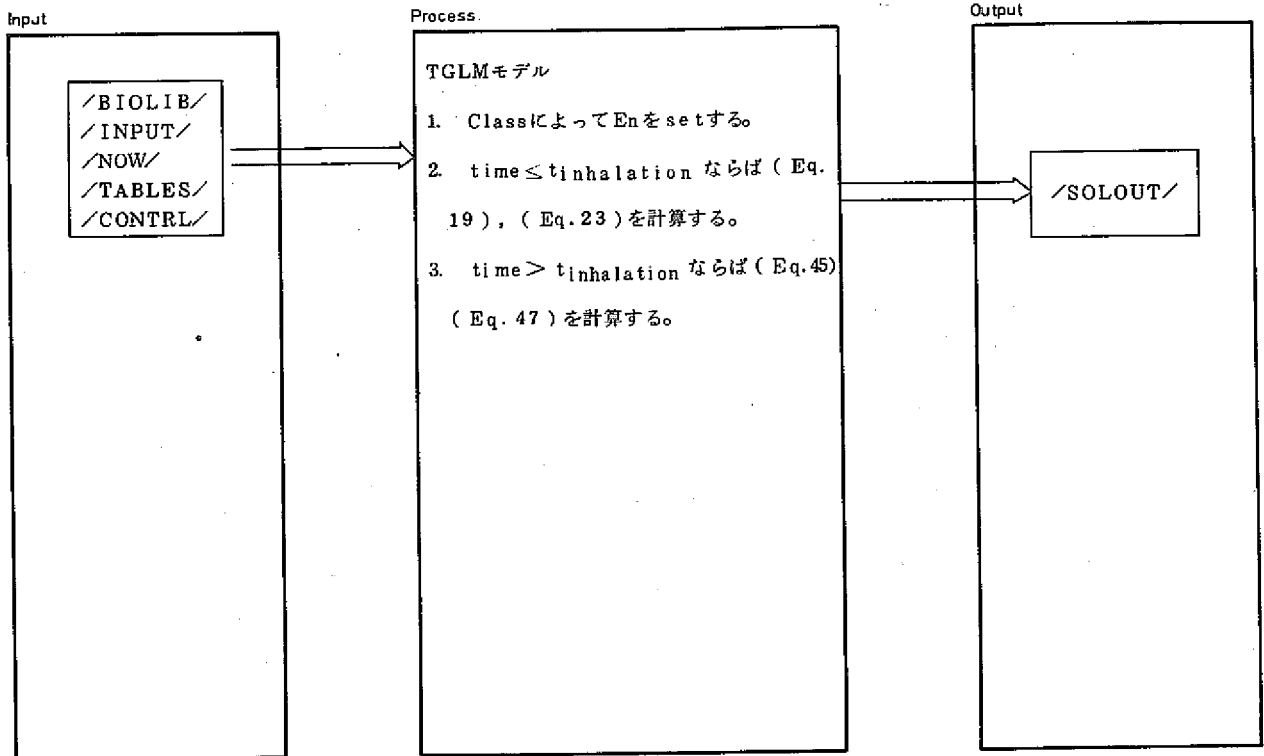
Author: _____	System/Program: <u>ACRO</u>	Date: _____	Page: _____ of _____
Diagram ID: <u>5.2</u>	Name: <u>INHAL</u>	Description: _____	



Extended Description		
Notes		Ref.

Extended Description		
Notes		Ref.

Author: _____ System/Program: ACRO Date: _____ Page: _____ of _____
 Diagram ID: 5.2.1 Name: LUNG Description: _____



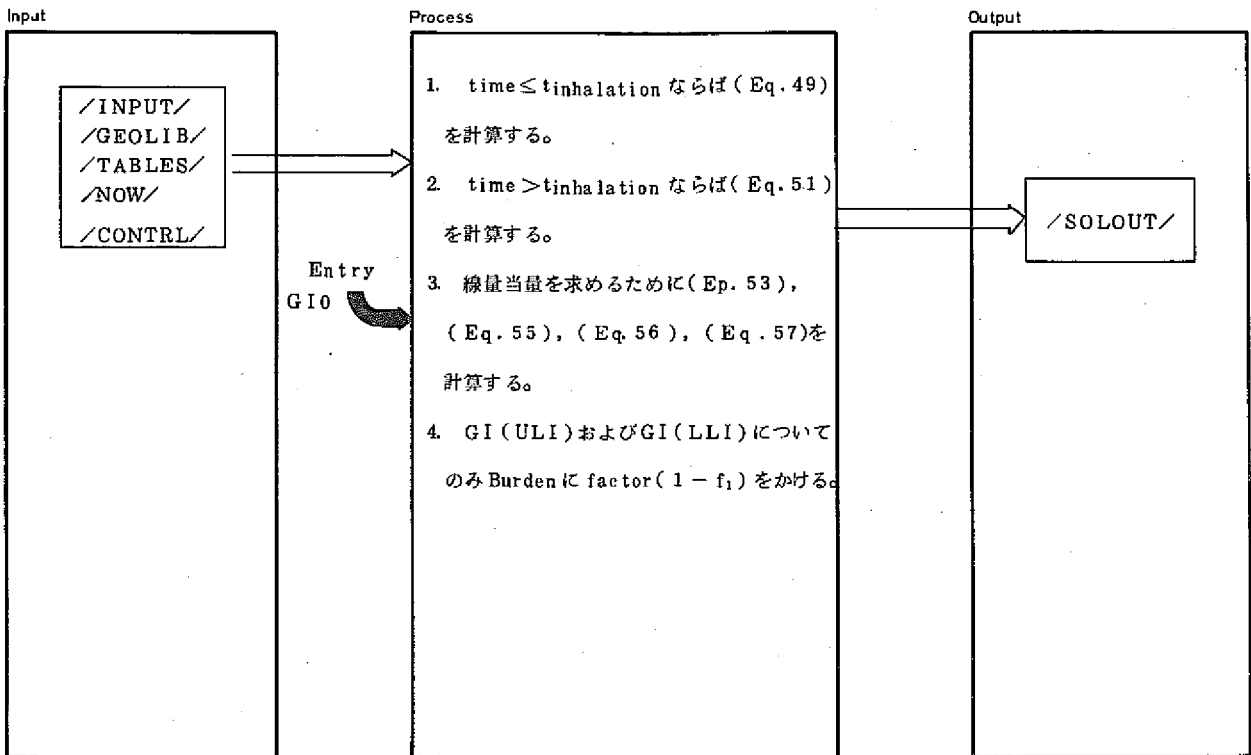
Extended Description

Notes	Ref.

Extended Description

Notes	Ref.

Author: _____ System/Program: ACRO Date: _____ Page: _____ of _____
 Diagram ID: 5.22 Name: GI Description: _____



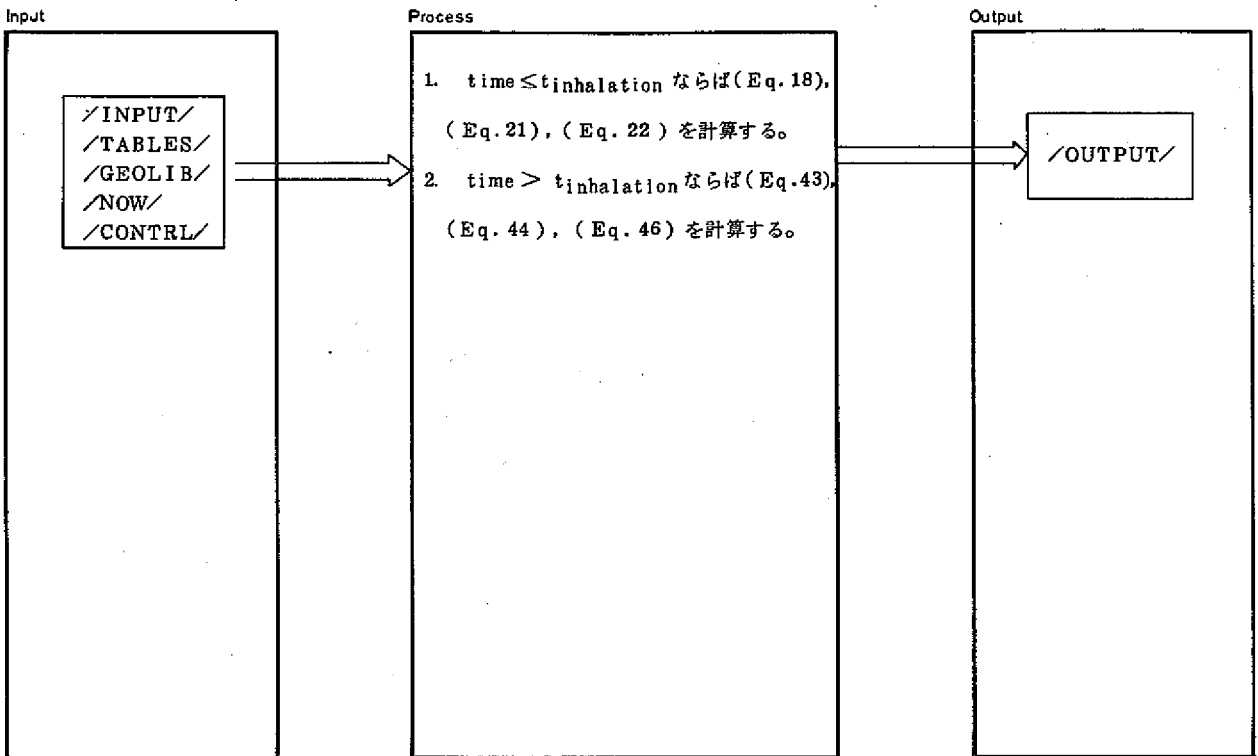
Extended Description

Notes	Ref.

Extended Description

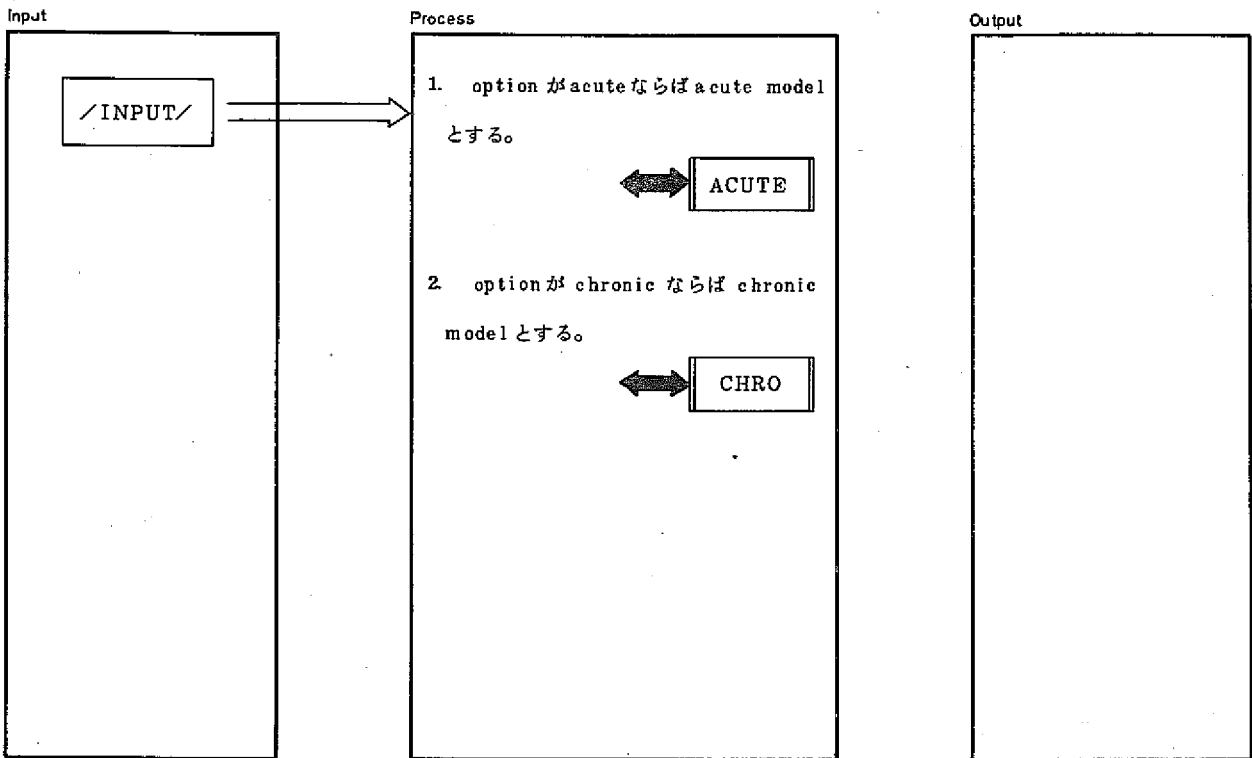
Notes	Ref.

Author: _____ System/Program: ACRO Date: _____ Page: _____ of _____
 Diagram ID: 5.2.3 Name: ORGAN Description: _____



Extended Description			Extended Description		
Notes		Ref.	Notes		Ref.

Author: _____	System/Program: <u>ACRO</u>	Date: _____	Page: _____ of _____
Diagram ID: <u>5.3</u>	Name: <u>INTAKE</u>	Description: _____	



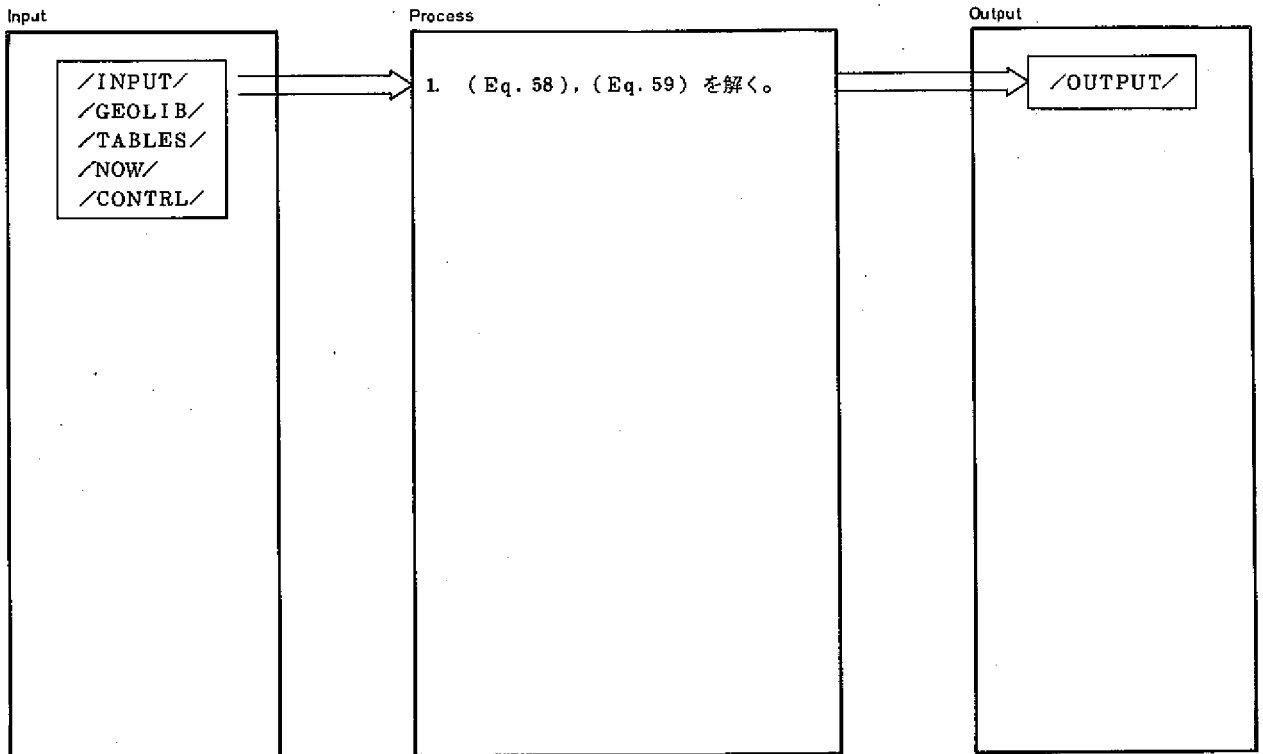
Extended Description

Notes		Ref.

Extended Description

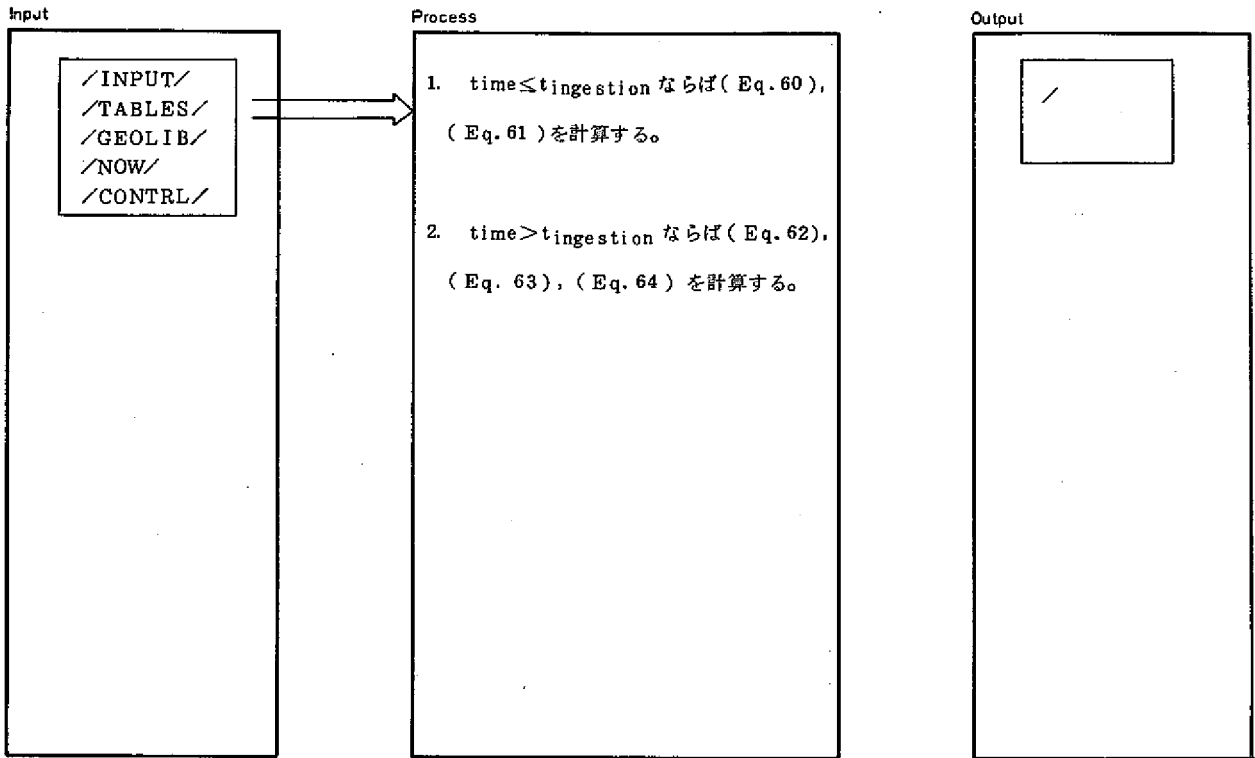
Notes		Ref.

Author: _____	System/Program: ACRO	Date: _____	Page: _____ of _____
Diagram ID: 5.3.1	Name: ACUTE	Description: _____	



Extended Description				Extended Description			
Notes			Ref.	Notes			Ref.

Author: _____	System/Program: <u>ACRO</u>	Date: _____	Page: _____ of _____
Diagram ID: <u>5.3.2</u>	Name: <u>CHRO</u>	Description: _____	



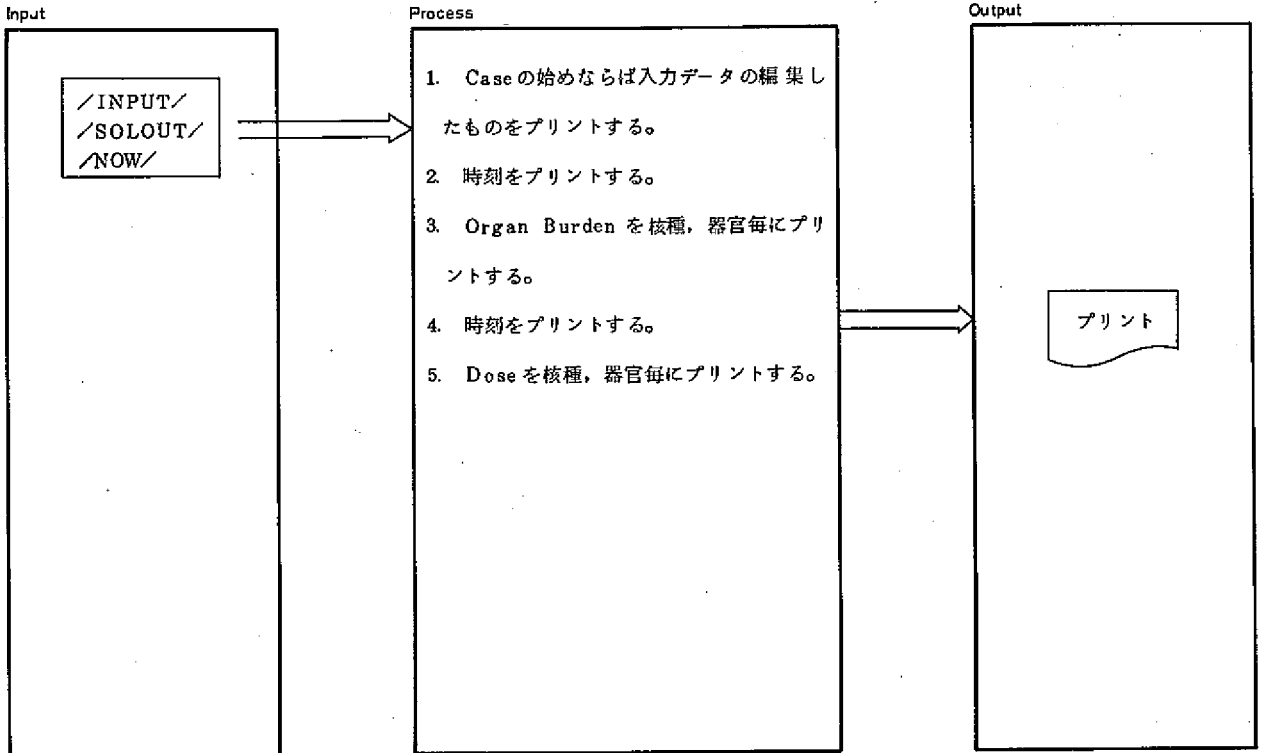
Extended Description

Notes				Ref.

Extended Description

Notes				Ref.

Author: _____	System/Program: ACRO	Date: _____	Page: _____ of _____
Diagram ID: 5.4	Name: SOLOUT	Description: _____	



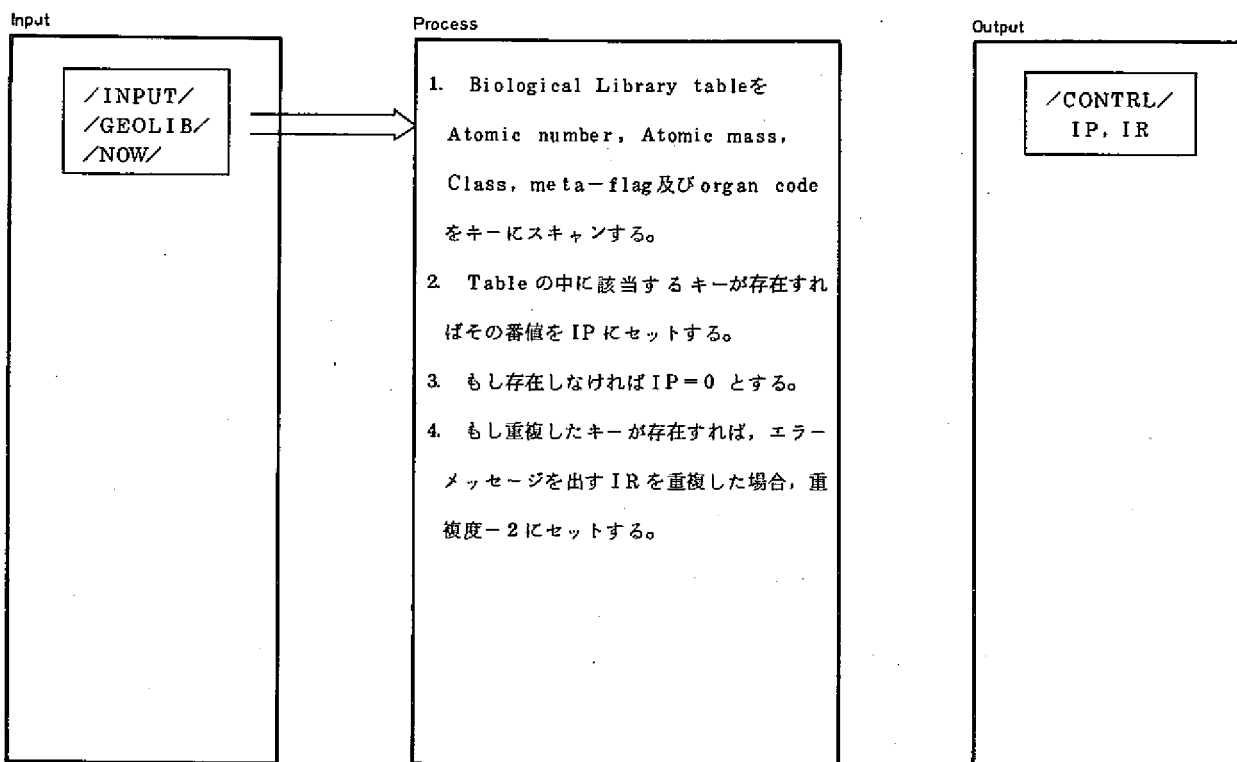
Extended Description

Notes		Ref.

Extended Description

Notes		Ref.

Author: _____	System/Program: <u>ACRO</u>	Date: _____	Page: _____ of _____
Diagram ID: <u>6.0</u>	Name: <u>LOCATE</u>	Description: _____	



Extended Description

Notes		Ref.

Extended Description

Notes		Ref.

HIPOワークシート補足説明書

作成者: _____		システム/プログラム: ACRO		日付: _____ ページ: _____ / _____	
ダイヤグラム番号: _____		ダイヤグラム名: COMMON/INPUT/: input data table			
項	目	説	明	参	照
HEAD	(18)	タイトル(HEAD(18)はDAYとなる。)			
LABEL	(18)	サブタイトル			
NORG	(30)	入力した器官数			
KORG	(30)	器官コード			
NON	(30)	入力した核種数			
NZ	(30)	atomic number			
MASS	(30)	atomic mass			
KLASS	(30)	class { =1: D =2: W =3: Y			
METAIN	(30)	meta-flag { =0: ground state =1: meta stable			
ID	(2, 30)	核種名			
NOPT		計算オプション { =1: Inhalation =2: Acute intake =3: Chronic intake =4: Library update			
MOPT		マンオプション { =1: standard man =2: reference man			
TIT	(30)	intake time (核種毎)			
TIMET	(8)	計算時刻			
DTIME		unused			
D3T	(30)	D ₃ テープル (核種毎) (沈着割合)			
D4T	(30)	D ₄ " " (" " (" ")			

HIPO ワークシート補足説明書

作成者: _____ システム/プログラム: <u>ACRO</u>		日付: _____ ページ: _____ / _____	
ダイアグラム番号: _____		ダイアグラム名: <u>COMMON / INPUT /</u>	
項	目	説明	参照
D5T	(30)	D5テーブル (核種毎) (沈着割合)	
P0T	(30)	吸入又は採取率テーブル (核種毎)	
AMADT	(30)	AMAD(µm)	
IUNIT		時間単位オプション { = 0 sec = 1 hr = 2 day = 3 year	
UNIT		時間単位	

HIPO ワークシート補足説明書

作成者: _____ システム/プログラム: ACRO _____ 日付: _____ ページ: _____ / _____ ダイアグラム番号: _____ ダイアグラム名: COMMON/BIOLIB/: Biological Library table _____				
項	目	説	参	照
LZ	(3000)	atomic number Z		
LA	"	atomic mass		
META	"	meta-flag		
ZID	"	nuclide name		
KODE	"	organ code		
PHLF	"	physical half life (day)		
BHLF	"	biological half life (day)		
FW	"	f _w		
FA	"	f _a		
F2D	"	f ₂		
ED	"	class D 実効吸収エネルギー (MeV)		
EW	"	class W " "		
EY	"	class Y " "		

HIPO ワークシート補定説明書

作成者: _____		システム/プログラム: ACRO	日付: _____	ページ: _____ / _____
ダイヤグラム番号: _____		ダイヤグラム名: COMMON/TABLES/: Constant tables		
項	目	説	明	参 照
ORGNAM	(23)	器官名 (Real*8)		
ORGMAS	(23,2)	器官重量(gram) { =1: standard man =2: reference man		
GIS	(3)	胃のGI data		
GISI	(3)	小腸のGI data		
GIUL	(3)	大腸上部のGI data		
GILL	(3)	" 下部のGI data		
F3	(2,3)	$\left\{ \begin{array}{l} =1: \text{residence time (day)} \\ =2: \text{time to reach (day)} \\ =3: \text{mass (g)} \end{array} \right.$		
		↑ 1:D 2:W 3:Y		
		↑ 1:f _a 2:f _b		
F4	(2,3)			
		↑ 1:D 2:W 3:Y		
		↑ 1:f _c 2:f _d		
F5	(4,3)			
		↑ 1:D 2:W 3:Y		
		↑ 1:f _e 2:f _f 3:f _g 4:f _h		
F6	(1,3)			
		↑ 1:D 2:W 3:Y		
		↑ 1:f _i		

HIPO ワークシート補足説明書

作成者: _____ システム/プログラム: _____ 日付: _____ ページ: _____ / _____ ダイアグラム番号: _____ ダイアグラム名: _____		
項 目	説 明	参 照
T3	(2, 3) → 1 : D 2 : W 3 : Y → 1 : T _a	
T4	(2, 3) → 1 : D 2 : W 3 : Y → 1 : T _c	
T5	(4, 3) → 1 : D 2 : W 3 : Y → 1 : T _e	
T6	(1, 3) → 1 : D 2 : W 3 : Y → 1 : T _i	

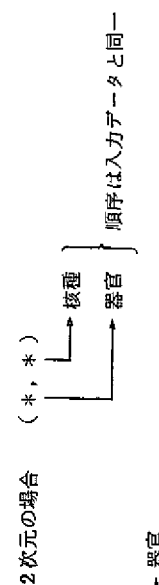
HIPO ワークシート補足説明書

作成者: _____ システム/プログラム: ACRO ダイアグラム番号: _____ ダイアグラム名: COMMON / CONTRL / _____ 日付: _____ ページ: _____ / _____					
項	目	説	明	参	照
DAY		日付 (Real*8)			
TIME		現時刻 (day)			
ITIME		unused			
IERR		エラーコード = 0 no error ≠0 error			
KNU		current nuclide table pointer			
KOR		current organ table pointer			
IP		current biological library table pointer			
IR		重複度			
NPAGE		負数			
FAC		時間変換ファクター			

HIPO ワークシート補足説明書

作成者: _____ システム/プログラム: <u>ACRO</u> 日付: _____ ページ: _____ / _____ ダイアグラム番号: _____ ダイアグラム名: <u>COMMON/NOW/</u>		
項 目	説 明	参 照
TI D3 D4 D5 PO AMAD F1	intake time (hr) 現在のD ₃ " D ₄ " D ₅ " 採収率(吸入率) " AMAD " f ₁	

HIPO ワークシート補足説明書

作成者: _____ ダイアグラム番号: _____	システム/プログラム: ACRO ダイアグラム名: COMMON/OUTPUT/	日付: _____ ページ: _____ / _____	
項 目	説 明	参 照	照
Q1 (30, 30) Q2 (30, 30) D1 (30, 30) D2 (30, 30) D (30, 30) EN (30, 30) HLF (30)	吸入(採取)停止までの総負荷量 (μCi) " 以後の " (μCi) " までの総線量当量 (rem) " 以後の " (rem) " " " (rem) 実効吸収エネルギー (MeV) 物理的半減期 (day) 2次元の場合 (*, *) 		

HIPO ワークシート補足説明書 (プログラムの制限事項)

作成者: _____ システム/プログラム: ACRO _____ 日付: _____ ページ: _____ / _____ ダイアグラム番号: _____ ダイアグラム名: Program restrictions _____	
項 目	説 明
制 限 事 項	<ul style="list-style-type: none"> • 必要記憶容量: 260 KBytes • 最大入力器官数: 30 • " 核種数: 30 • " 計算時刻数: 8 • 最大ライブラリーレコード数: 3,000 レコード
参 照	参 照

5-2 入力カード形式

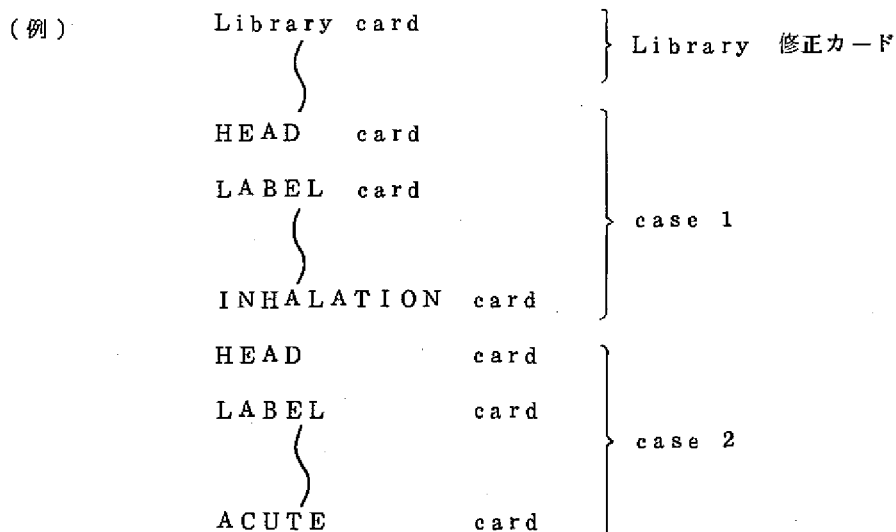
入力カードの形式は以下の通りである。カードの頭8欄はキーワードを記入する。

キーワード (A8)	データ項目	フォーマット
HEAD	タイトル (HEAD) カラム, 73-80 は実行日付を記入 (YY/MM/DO)	(A8, 18A4)
LABEL	サブタイトル (LABEL)	(A8, 18A4)
ORGAN	器官コード (KORG)	(A8, 16I4)
NUCLIDE	1. 原子番号 (NZ) 2. 原子量 (MASS) 3. 移行クラス (KLASS) D=1 W=2 Y=3 4. 準安定フラグ (META IN) 基底状態=0 準安定状態=1 5. 吸入 (または摂取) 時間 (TIT) 6. 総吸入 (または摂取) 量 (POT) : μCi 7. AMAD (AMADT) : micron 8. D (D3T) } 入力値が 0 の場合は, 9. D (D4T) } AMAD により算出 10. D (D5T) } する。	(A8, 2I4, 2I2, /8X, 6E8.3)
TIME	線量計算時間 (時間は, 吸入または摂取開始時点からの経過時間とする。)	(A8, 8E8.3)
UNIT	入力および出力データの時間単位 SEC, HR, DAY, YEAR の いずれかを記入。 (入, 出力の時間単位は全て, ここで 指定した単位となる。)	(A8, A8)

キーワード (A8)	データ項目	フォーマット
INHALATION	3つのキーワードのうち、1つを記入 ACUTEおよびCHRONICは ingestion modelに適用される。 これらのカードで、standard man あるいは、reference manを指定する。 standard man = 0 reference man = 1 これらのカードは、計算オプション の指定の他に、end of caseの 指定も兼ねる。	(A8, 8X, I1)
ACUTE		
CHRONIC		

* Biological library card を library の追加修正のために入力できるが、その形式は library data と同一形式とする。

入力の順は、上記全カードより前に行なわなければならない。



付録 I. 人体臓器の質量

1) 消化管以外の臓器

Organ	Standard man ²⁾	Reference man ⁵⁾
Total Body	70,000 g	70,000 g
Body Water	43,000	42,000
Kidneys	300	310
Liver	1,700	1,800
Spleen	150	180
Bone*	7,000	6,000
Fat	10,000	13,500
Lungs	1,000	1,000
Adrenals	20	14
Testes	40	35
Ovaries	8	11
Skin	2,000	2,600
Brain	1,500	1,400
Muscle	30,000	28,000
Prostate	20	16
Thyroid	20	20
Pancreas	70	100
Heart	300	330

* Standard man では, marrow を除いた重量, Reference man では, cortical bone を除いた重量とした。

実際, 骨の決定組織は, red marrow および endosteal tissue であると言われている。

2) 消化管の内容物質量

G.I.-tract	Standard man ²⁾	Reference man ⁵⁾
GI (S)	250 g	250 g
GI (SI)	1,100	400
GI (ULI)	135	220
GI (LLI)	150	135

付 録 Ⅱ. Biological Data Library

データ・ライブラリには，242核種（1977年11月現在）のデータが登録されており，そのフォーマットは次の通りである。

COLUMN	FORMAT	VARIABLE
1-3	I 3	原子番号
4-6	I 3	原子量
7	I 1	同位体の種類：ブランク-基底状態 1 -準安定状態
8-9	A 2	元素記号
10-11	I 2	器官コード
12-19	E 8. 3	物理的半減期，日
21-27	E 8. 3	生物学的半減期，日
28-35	E 8. 3	摂取により体中へ入った物質のうち器官へ到達する割合， $f_w (= f_1 \cdot f'_2)$
36-43	E 8. 3	吸入により体内へ入った物質のうち器官へ到達する割合， f_a （本プログラムでは使用しない。）
44-51	E 8. 3	血液から器官へ移行する割合， f'_2
52-59	E 8. 3	器官中の核種およびその娘核種による実効吸収エネルギー， E ，MeV/dis，（肺については，1日の half-residence time，すなわちクラスD物質に対応。）
60-65	E 6. 2*	肺について，50日の half-residence time すなわち，クラスW物質について娘核種の重みを考慮した実効吸収エネルギー，MeV
66-71	E 6. 2**	同上で，500日の half-residence time すなわち，クラスY物質に対応する値。

*，**・クラスWあるいはY物質であっても娘核種の重みが，実効吸収エネルギーを変えるものでない場合は，このカラムはブランクとなっており，その場合は，カラム52-59の値を使う。

器官コード (Organ Code) は次の通りである。

1	Total Body	全 身
2	Body Water	体 内 水
3	Kidneys	腎 臓
4	Liver	肝 臓
5	Spleen	脾 臓
6	Bone	骨
7	Fat	脂 肪
8	Lungs	肺
9	Adrenals	副 腎
10	Testes	睪 丸
11	Ovaries	卵 巢
12	Skin	皮 膚
13	Brain	脳
14	Muscle	筋 肉
15	Prostate	前 立 腺
16	Thyroid	甲 状 腺
17	Pancreas	膵 臓
18	Heart	心 臓
(19)	GI-tract	消 化 管)
20	Stomach	胃
21	Small intestine	小 腸
22	Upper large intestine	大 腸 上 部
23	Lower large intestine	大 腸 下 部

Library 中の生物学的半減期において、プルトニウムおよび他のアクチニドは、文献 2), および 3), の値は使用せず、文献 4), の値を採用した。すなわち、より新しい情報を採用することにした。

たとえば、ICRP Pub. 2²⁾では、プルトニウムおよび他のアクチニドについての骨中での生物学的半減期は、 7.3×10^4 日(200年)となっているが、ICRP Pub. 19⁴⁾では、 3.65×10^4 日(100年)と訂正されている。

肝臓についても、プルトニウムについて、Pub. 2が 3×10^4 日であるのに対してPub. 19では 1.46×10^6 日とされている。またこの値は、Pub. 19のPP. 47にある下記の文章を理由に、他のアクチニドについても採用した。

"Until more information on other actinides becomes available, it must be assumed that these actinides will have a retention time in human liver similar to that of plutonium."

付録Ⅲ 沈着係数 D_3 , D_4 , および D_5 について

吸入エアロゾルあるいは粒子の径は、呼吸器系への沈着割合を決定する重要な因子である。⁶⁾ 粒子径は、対数正規確率分布に従うと言われている。⁶⁾ 粒子径の表わし方として、CMD (count median diameter), MMD (mass median diameter) および AMD (activity median diameter) などがあ⁶⁾り、これらの関係は Fig Ⅲ-1 のように示されている。⁶⁾ AMD は MMD と数值的に等しい。⁶⁾

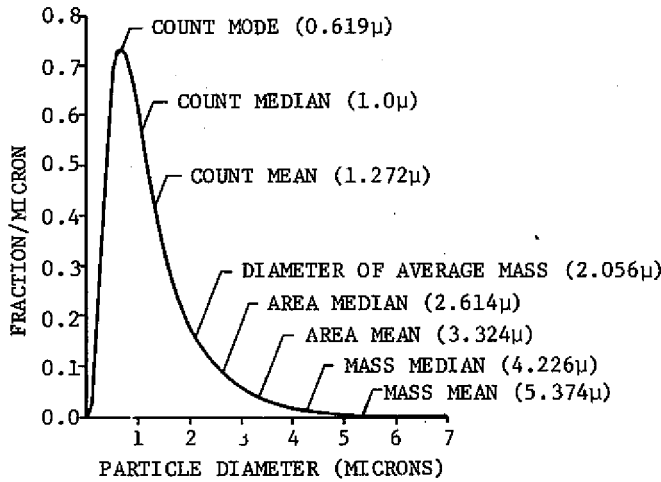


Fig Ⅲ-1. CMD = 1 μm

偏差 (σ_g) = 0.2 の場合の
各粒子径の関係

ICRPタスク、グループは、これら沈着割合と MMAD (mass median aerodynamic di-⁶⁾ameter) との関係を図 Ⅲ-2 および Fig Ⅲ-3 のように与えている。(TB 部については、0.08 で一定とされる。)

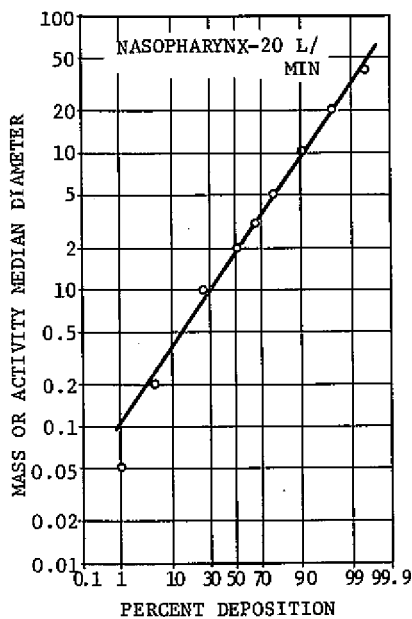


Fig Ⅲ-2 MMAD と NP 部
への沈着割合

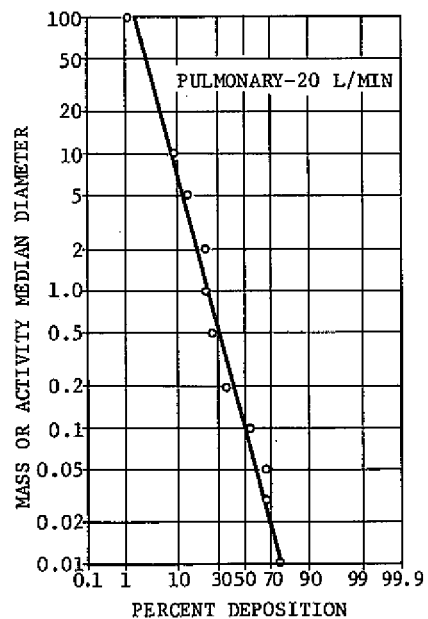


Fig Ⅲ-3. MMAD と P 部
への沈着割合

プログラムでは、沈着割合を、AMAD (activity median aerodynamic diameter) の値により、Fig III-2およびFig III-3に従って算出するが、より新しい情報が得られた場合は、その値を沈着割合として使用できる。

付録Ⅳ 計算出力例

以下にACROをIBM370/115で実行した出力例を示す。

なお、これはテストケースであり出力された数値の正当性は保証できない。

A C R O PROGRAM TEST RUN BY K. SHINDHARA
 LABEL INHALATION OF PU236-242 (CLASS Y)

ORGAN	1	3	4	6	8	23
NUCLIDE	94	236	3	0		
NUCLIDE	94	237	3	0		1.
NUCLIDE	94	238	3	0		1.
NUCLIDE	94	239	3			1.
NUCLIDE	94	240	3	0		1.
NUCLIDE	94	241	3	0		1.
NUCLIDE	94	242	3	0		1.
NUCLIDE	95	241	3	0		1.
TIME	10.0		20.0	40.0	50.0	70.0
UNIT	YEAR					
INHALATION			0			

END OF ECHO

NOT UPDATED

HEADING A C K C PROGRAM TEST RUN BY K. SHINOHARA
 LABEL INHALATION OF PU236-242(CLASS Y)

ORGAN CODE ... 1 TL, BODY
 3 KIDNEYS
 4 LIVER
 6 BONE
 8 LUNGS
 23 GI-LLI

NUCLIDE (Z,A,KLASS,META, ID) 94 236 3 0
 UPTAKE TIME 1.000E 00
 D3,D4,D5 2.878E-01 8.000E-02 2.344E-01
 TOTAL UPTAKE(MIC. CI.) 1.000E 00
 AMAD(MICRON) 1.000E 00

NUCLIDE (Z,A,KLASS,META, ID) 94 237 3 0
 UPTAKE TIME 1.000E 00
 D3,D4,D5 2.878E-01 8.000E-02 2.344E-01
 TOTAL UPTAKE(MIC. CI.) 1.000E 00
 AMAD(MICRON) 1.000E 00

NUCLIDE (Z,A,KLASS,META, ID) 94 238 3 0
 UPTAKE TIME 1.000E 00
 D3,D4,D5 2.878E-01 8.000E-02 2.344E-01
 TOTAL UPTAKE(MIC. CI.) 1.000E 00
 AMAD(MICRON) 1.000E 00

NUCLIDE (Z,A,KLASS,META, ID) 94 239 3 0
 UPTAKE TIME 1.000E 00
 D3,D4,D5 2.878E-01 8.000E-02 2.344E-01
 TOTAL UPTAKE(MIC. CI.) 1.000E 00
 AMAD(MICRON) 1.000E 00

NUCLIDE (Z,A,KLASS,META, ID) 94 240 3 0
 UPTAKE TIME 1.000E 00
 D3,D4,D5 2.878E-01 8.000E-02 2.344E-01
 TOTAL UPTAKE(MIC. CI.) 1.000E 00
 AMAD(MICRON) 1.000E 00

NUCLIDE (Z,A,KLASS,META, ID) 94 241 3 0
 UPTAKE TIME 1.000E 00
 D3,D4,D5 2.878E-01 8.000E-02 2.344E-01
 TOTAL UPTAKE(MIC. CI.) 1.000E 00
 AMAD(MICRON) 1.000E 00

NUCLIDE (Z,A,KLASS,META, ID) 94 242 3 0
 UPTAKE TIME 1.000E 00
 D3,D4,D5 2.878E-01 8.000E-02 2.344E-01
 TOTAL UPTAKE(MIC. CI.) 1.000E 00
 AMAD(MICRON) 1.000E 00

NUCLIDE (Z,A,KLASS,META, ID) 95 241 3 0
 UPTAKE TIME 1.000E 00
 D3,D4,D5 2.878E-01 8.000E-02 2.344E-01
 TOTAL UPTAKE(MIC. CI.) 1.000E 00
 AMAD(MICRON) 1.000E 00

EVALUATION TIME .. 1.000E 01 2.000E 01 4.000E 01 5.000E 01 7.000E 01 0.0 0.0 0.0

TIME UNIT YEAR
 STANDARD MAN ADAPTED
 * INHALATION OPTION ACCEPTED

A C R O PROGRAM TEST RUN BY K.SHINDHARA
 INHALATION OF PU236-242(CLASS Y)

NUCLIDE	UPTAKE RATE (MICRO CI/SEC)	UPTAKE TIME (YEAR)	AMAD (MICKON)	TRANS. CLASS	FRACTION OF DEPOSITION			HALF LIFE (DAYS)
					D3	D4	D5	
PU236	3.1710E-08	1.0000E 00	1.000	3	0.2878	0.0800	0.2344	2.8500E 00
PU237	3.1710E-08	1.0000E 00	1.000	3	0.2878	0.0800	0.2344	4.5600E 01
PU238	3.1710E-08	1.0000E 00	1.000	3	0.2878	0.0800	0.2344	3.3000E 04
PU239	3.1710E-08	1.0000E 00	1.000	3	0.2878	0.0800	0.2344	8.9000E 06
PU240	3.1710E-08	1.0000E 00	1.000	3	0.2878	0.0800	0.2344	2.4000E 06
PU241	3.1710E-08	1.0000E 00	1.000	3	0.2878	0.0800	0.2344	4.8000E 03
PU242	3.1710E-08	1.0000E 00	1.000	3	0.2878	0.0800	0.2344	1.4000E 08
AM241	3.1710E-08	1.0000E 00	1.000	3	0.2878	0.0800	0.2344	1.7000E 05

ABSORBED ENERGY (MEV)

NUCLIDE	ORGAN						
	TL. BODY	KIDNEYS	LIVER	BONE	LUNGS	GI-LLI	
PU236	6.1000E 01	6.0000E 01	6.0000E 01	3.1200E 02	6.1000E 01	6.1000E-01	
PU237	3.8000E-02	2.4000E-02	2.7000E-02	6.8000E-02	2.7000E-02	2.2000E-02	
PU238	5.7000E 01	5.7000E 01	5.7000E 01	2.8000E 02	5.7000E 01	5.5000E-01	
PU239	5.3000E 01	5.3000E 01	5.3000E 01	2.7000E 02	5.3000E 01	5.2000E-01	
PU240	5.3000E 01	5.3000E 01	5.3000E 01	2.7000E 02	5.3000E 01	5.2000E-01	
PU241	2.3000E 00	2.5000E 00	2.2000E 00	1.3000E 01	1.8000E-01	1.0000E-02	
PU242	5.1000E 01	5.1000E 01	5.1000E 01	2.5000E 02	5.1000E 01	4.9000E-01	
AM241	5.7000E 01	5.7000E 01	5.7000E 01	2.8000E 02	5.7000E 01	5.6000E-01	

ACRO -- A COMPUTER PROGRAM FOR CALCULATING ORGAN DOSE FROM ACUTE OR CHRONIC INHALATION AND INGESTION OF RADIONUCLIDE

DATE PAGE
5

.....TIME INTERVAL FOLLOWING THE START OF UPTAKE = 3.1536E 07 (SEC),OR 365. (DAYS)

ORGAN BURDEN (MICRO CI OR *3.7E+4 BQ.)

NUCLIDE	ORGAN							GI-LLI
	TL. BODY	KIDNEYS	LIVER	BONE	LUNGS	GI-LLI		
PU236	4.2174E-05	8.4345E-07	1.8976E-05	1.8978E-05	1.7182E-03	3.9321E-01	3.9321E-01	
PU237	8.4786E-04	1.6945E-05	3.8064E-04	3.8133E-04	2.1604E-02	4.5875E-01	4.5875E-01	
PU238	6.5488E-03	1.3075E-04	2.9301E-03	2.9432E-03	1.0118E-01	4.7714E-01	4.7714E-01	
PU239	6.5775E-03	1.3133E-04	2.9430E-03	2.9561E-03	1.0153E-01	4.7720E-01	4.7720E-01	
PU240	6.5774E-03	1.3132E-04	2.9428E-03	2.9559E-03	1.0153E-01	4.7720E-01	4.7720E-01	
PU241	6.3828E-03	1.2744E-04	2.8560E-03	2.8686E-03	9.9130E-02	4.7683E-01	4.7683E-01	
PU242	6.5781E-03	1.3133E-04	2.9430E-03	2.9561E-03	1.0153E-01	4.7720E-01	4.7720E-01	
AM241	6.5807E-03	1.9742E-04	2.2986E-03	1.6492E-03	1.0146E-01	4.7719E-01	4.7719E-01	

ACRO -- A COMPUTER PROGRAM FOR CALCULATING ORGAN DOSE FROM ACUTE OR CHRONIC INHALATION AND INGESTION OF RADIONUCLIDE

DATE PAGE
6

.....TIME INTERVAL FOLLOWING THE START OF UPTAKE = 3.1536E 07 (SEC),OR 365. (DAYS)

ORGAN DOSE EQUIVALENT REM OR 1.E-2 SV.

NUCLIDE	ORGAN							GI-LLI
	TL. BODY	KIDNEYS	LIVER	BONE	LUNGS	GI-LLI		
PU236	6.7825E-04	3.1132E-03	1.2360E-02	1.5610E-02	1.9374E 00	1.0795E-02	1.0795E-02	
PU237	6.7769E-06	1.9963E-05	8.9055E-05	9.4549E-05	9.1462E-03	5.6517E-04	5.6517E-04	
PU238	4.2650E-02	1.9886E-01	7.8643E-01	9.4072E-01	5.8603E 01	1.4911E-02	1.4911E-02	
PU239	3.8786E-02	1.8384E-01	7.3261E-01	9.0000E-01	5.4617E 01	1.4100E-02	1.4100E-02	
PU240	3.8786E-02	1.8484E-01	7.3342E-01	9.1017E-01	5.4616E 01	1.4100E-02	1.4100E-02	
PU241	1.6916E-03	8.5705E-03	2.9860E-02	4.2988E-02	1.8256E-01	2.7090E-04	2.7090E-04	
PU242	3.6452E-02	1.7685E-01	7.0559E-01	8.4176E-01	5.2557E 01	1.3286E-02	1.3286E-02	
AM241	4.2762E-02	2.9933E-01	6.1700E-01	5.2258E-01	5.8713E 01	1.5183E-02	1.5183E-02	

ACRO -- A COMPUTER PROGRAM FOR CALCULATING ORGAN DOSE FROM ACUTE OR CHRONIC
 DATE
 PAGE
 8

INHALATION AND INGESTION OF RADIONUCLIDE

A C K O PROGRAM TEST RUN BY K. SHINOHARA
 INHALATION OF PU236-242(CLASS Y)

.....TIME INTERVAL FOLLOWING THE START OF UPTAKE = 3.1536E 08 (SEC),OR 3650. (DAYS)

ORGAN BURDEN (MICRO CI OR *3.7E+4 BQ.)

NUCLIDE	ORGAN							GI-LLI
	TL. BODY	KIDNEYS	LIVER	BONE	LUNGS	GI-LLI	GI-LLI	
PU236	3.5939E-04	7.1879E-06	1.6173E-04	1.6173E-04	0.0	3.9382E 00	3.9382E 00	
PU237	5.3103E-04	1.0618E-05	2.3876E-04	2.3892E-04	2.1924E-25	4.6090E 00	4.6090E 00	
PU238	7.6056E-03	1.5405E-04	3.5526E-03	3.4559E-03	9.9309E-04	5.3952E 00	5.3952E 00	
PU239	7.4015E-03	1.5034E-04	3.4869E-03	3.3704E-03	1.0638E-03	5.4052E 00	5.4052E 00	
PU240	7.4040E-03	1.5038E-04	3.4876E-03	3.3713E-03	1.0630E-03	5.4051E 00	5.4051E 00	
PU241	8.2150E-03	1.6465E-04	3.7144E-03	3.7030E-03	6.6212E-04	5.3408E 00	5.3408E 00	
PU242	7.4012E-03	1.5032E-04	3.4867E-03	3.3700E-03	1.0640E-03	5.4052E 00	5.4052E 00	
AM241	7.7033E-03	2.3110E-04	2.7324E-03	1.8899E-03	1.0499E-03	5.4033E 00	5.4033E 00	

ACRO -- A COMPUTER PROGRAM FOR CALCULATING ORGAN DOSE FROM ACUTE OR CHRONIC
 DATE
 PAGE
 9

INHALATION AND INGESTION OF RADIONUCLIDE

A C R O PROGRAM TEST RUN BY K. SHINOHARA
 INHALATION OF PU236-242(CLASS Y)

.....TIME INTERVAL FOLLOWING THE START OF UPTAKE = 3.1536E 08 (SEC),OR 3650. (DAYS)

ORGAN DOSE EQUIVALENT REM OR 1.E-2 SV.

NUCLIDE	ORGAN							GI-LLI
	TL. BODY	KIDNEYS	LIVER	BONE	LUNGS	GI-LLI	GI-LLI	
PU236	3.8125E-03	1.7499E-02	6.9474E-02	8.7746E-02	3.1436E 00	1.0812E-01	1.0812E-01	
PU237	3.9183E-05	1.1540E-04	5.1463E-04	3.1536E-04	1.7780E 01	5.6782E-03	5.6782E-03	
PU238	2.1651E 00	9.9560E 00	3.8200E 01	4.7327E 01	2.6598E 02	1.6860E-01	1.6860E-01	
PU239	2.0718E 00	9.5244E 00	3.6533E 01	4.6954E 01	2.6498E 02	1.5970E-01	1.5970E-01	
PU240	2.0704E 00	9.5226E 00	3.6523E 01	4.6950E 01	2.6495E 02	1.5970E-01	1.5970E-01	
PU241	7.4266E-02	3.7161E-01	1.2579E 00	1.8695E 00	1.9148E 02	3.0343E-03	3.0343E-03	
PU242	1.9922E 00	9.1659E 01	3.5158E 01	4.3489E 01	2.6293E 02	1.5049E-01	1.5049E-01	
AM241	2.1498E 00	1.5049E 01	3.0458E 01	2.6961E 01	2.6850E 02	1.7192E-01	1.7192E-01	

A C R O PROGRAM TEST RUN BY K.SHINDHARA
 INHALATION OF PU236-242(CLASS Y)
TIME INTERVAL FOLLOWING THE START OF UPTAKE = 6.3072E 08 (SEC),OR 7300. (DAYS)
 ORGAN BURDEN (MICRO CI OR *3.7E+4 BQ.)

NUCLIDE	--- ORGAN ---					LUNGS	GI-LLI
	TL. BODY	KIDNEYS	LIVER	BONE	LUNGS		
PU236	3.0819E-06	6.1636E-08	1.3868E-06	1.3868E-06	0.0	7.8764E 00	
PU237	1.6755E-05	3.3488F-07	7.5231E-06	7.5359E-06	1.1163E-51	9.2181E 00	
PU238	9.7176E-03	1.8916E-04	3.9808E-03	4.2846E-03	5.8368E-06	1.0897E 01	
PU239	1.0209E-02	1.9912F-04	4.2065E-03	4.5081E-03	6.7484E-06	1.0921E 01	
PU240	1.0205E-02	1.9902E-04	4.2042E-03	4.5058F-03	6.7385E-06	1.0921E 01	
PU241	6.8733E-03	1.3250E-04	2.7586E-03	3.0150E-03	2.4803E-06	1.0768E 01	
PU242	1.0212E-02	1.9915E-04	4.2072E-03	4.5088F-03	6.7518E-06	1.0921E 01	
AM241	9.5811E-03	2.8743E-04	3.2462E-03	2.4881E-03	6.5638E-06	1.0917E 01	

A C R O PROGRAM TEST RUN BY K.SHINDHARA
 INHALATION OF PU236-242(CLASS Y)
TIME INTERVAL FOLLOWING THE START OF UPTAKE = 6.3072E 08 (SEC),OR 7300. (DAYS)
 ORGAN DOSE EQUIVALENT REM OR 1.E-2 SV.

NUCLIDE	--- ORGAN ---					LUNGS	GI-LLI
	TL. BODY	KIDNEYS	LIVER	BONE	LUNGS		
PU236	4.4274E-03	2.0321E-02	8.0679E-02	1.0190E-01	3.1436E 00	2.1624E-01	
PU237	4.5566E-05	1.3420E-04	5.9846E-04	3.6673F-04	1.7780E 01	1.1356E-02	
PU238	5.6577E 00	2.5591E 01	9.4573E 01	1.2214E 02	2.6803E 02	3.4055E-01	
PU239	5.5909E 00	2.5268E 01	9.3218E 01	1.2509E 02	2.6720E 02	3.2269E-01	
PU240	5.5867E 00	2.5254F 01	9.3163E 01	1.2502E 02	2.6717E 02	3.2268E-01	
PU241	1.6416E-01	8.1060E-01	2.6629E 00	4.0910F 00	1.9273E 02	6.1177E-03	
PU242	5.3796E 00	2.4320E 01	8.9719E 01	1.1586E 02	2.6515E 02	3.0407E-01	
AM241	5.5555E 00	3.8885F 01	7.7222E 01	7.1347E 01	2.7069E 02	3.4734E-01	

ACRO -- A COMPUTER PROGRAM FOR CALCULATING ORGAN DOSE FROM ACUTE OR CHRONIC INHALATION AND INGESTION OF RADIONUCLIDE

DATE

PAGE 14

A C R O PROGRAM TEST RUN BY K-SHINDHARA
 INHALATION OF PU236-242(CLASS Y)

.....TIME INTERVAL FOLLOWING THE START OF UPTAKE = 1.2614E 09 (SEC),OR 14600. (DAYS)

ORGAN BURDEN (MICRO CI OR *3.7E+4 BQ.)

NUCLIDE	--- ORGAN ---					LUNGS	GI-LLI
	TL. BODY	KIDNEYS	LIVER	BONE	BONE		
PU236	5.6136E-09	1.1227E-10	2.5258E-09	2.5261E-09	0.0	0.0	1.5753E 01
PU237	9.2378E-08	1.8462E-09	4.1465E-08	4.1546E-08	0.0	0.0	1.8436E 01
PU238	7.9614E-03	1.4322E-04	2.5054E-03	3.3067E-03	2.0162E-10	2.1902E 01	2.1902E 01
PU239	9.7216E-03	1.7519E-04	3.0751E-03	4.0432E-03	2.7159E-10	2.1954E 01	2.1954E 01
PU240	9.7024E-03	1.7484E-04	3.0688E-03	4.0350E-03	2.7078E-10	2.1954E 01	2.1954E 01
PU241	2.3391E-03	4.1859E-05	7.2503E-04	9.6763E-04	3.4806E-11	2.1624E 01	2.1624E 01
PU242	9.7287E-03	1.7531E-04	3.0773E-03	4.0459E-03	2.7187E-10	2.1954E 01	2.1954E 01
AM241	7.4607E-03	2.2382E-04	2.3059E-03	2.1681E-03	2.5656E-10	2.1944E 01	2.1944E 01

ACRO -- A COMPUTER PROGRAM FOR CALCULATING ORGAN DOSE FROM ACUTE OR CHRONIC INHALATION AND INGESTION OF RADIONUCLIDE

DATE

PAGE 15

A C R O PROGRAM TEST RUN BY K-SHINDHARA
 INHALATION OF PU236-242(CLASS Y)

.....TIME INTERVAL FOLLOWING THE START OF UPTAKE = 1.2614E 09 (SEC),OR 14600. (DAYS)

ORGAN DOSE EQUIVALENT REM OR 1.E-2 SV.

NUCLIDE	--- ORGAN ---					LUNGS	GI-LLI
	TL. BODY	KIDNEYS	LIVER	BONE	BONE		
PU236	4.4828E-03	2.0576E-02	8.1689E-02	1.0317E-01	3.1436E 00	4.3248E-01	4.3248E-01
PU237	4.6143E-05	1.3550E-04	6.0604E-04	3.7137E-04	1.7780E 01	2.2713E-02	2.2713E-02
PU238	1.1886E 01	5.1561E 01	1.7818E 02	2.5003E 02	2.6804E 02	6.8446E-01	6.8446E-01
PU239	1.2579E 01	5.4806E 01	1.8650E 02	2.7371E 02	2.6722E 02	6.4867E-01	6.4867E-01
PU240	1.2561E 01	5.4735E 01	1.8628E 02	2.7336E 02	2.6718E 02	6.4866E-01	6.4866E-01
PU241	2.5281E-01	1.2227E 00	3.8407E 00	6.2016E 00	1.9274E 02	1.2285E-02	1.2285E-02
PU242	1.2108E 01	5.2762E 01	1.7954E 02	2.5395E 02	2.6517E 02	6.1125E-01	6.1125E-01
AM241	1.1413E 01	7.9893E 01	1.5265E 02	1.5405E 02	2.7070E 02	6.9820E-01	6.9820E-01

ACRO -- A COMPUTER PROGRAM FOR CALCULATING ORGAN DOSE FROM ACUTE OR CHRONIC

INHALATION AND INGESTION OF RADIONUCLIDE

A C R O PROGRAM TEST RUN BY K.SHINDHARA
 INHALATION OF PU236-242(CLASS Y)
 ***** TIME INTERVAL FOLLOWING THE START OF UPTAKE = 1.5768E 09 (SEC),OR 18250. (DAYS) *****

ORGAN BURDEN (MICRO CI OR *3.7E+4 BQ.)

NUCLIDE	TL. BODY	KIDNEYS	LIVER	BONE	LUNGS	GI-LLI
PU236	4.4065E-10	8.8127E-12	1.9826E-10	1.9829E-10	0.0	1.9691E 01
PU237	7.3523E-09	1.4693E-10	3.3002E-09	3.3066E-09	0.0	2.3045E 01
PU238	7.0940E-03	1.2260E-04	1.9520E-03	2.8583E-03	1.1850E-12	2.7405E 01
PU239	9.3495E-03	1.6186E-04	2.5858E-03	3.7721E-03	1.7230E-12	2.7471E 01
PU240	9.3239E-03	1.6141E-04	2.5785E-03	3.7616E-03	1.7165E-12	2.7470E 01
PU241	1.3294E-03	2.2856E-05	3.6041E-04	5.3350E-04	1.3038E-13	2.7051E 01
PU242	9.3589E-03	1.6202E-04	2.5883E-03	3.7757E-03	1.7252E-12	2.7471E 01
AM241	6.4787E-03	1.9436E-04	1.9109E-03	1.9934E-03	1.6040E-12	2.7458E 01

ACRO -- A COMPUTER PROGRAM FOR CALCULATING ORGAN DOSE FROM ACUTE OR CHRONIC

INHALATION AND INGESTION OF RADIONUCLIDE

A C R O PROGRAM TEST RUN BY K.SHINDHARA
 INHALATION OF PU236-242(CLASS Y)
 ***** TIME INTERVAL FOLLOWING THE START OF UPTAKE = 1.5768E 09 (SEC),OR 18250. (DAYS) *****

ORGAN DOSE EQUIVALENT REM OR 1.E-2 SV.

NUCLIDE	TL. BODY	KIDNEYS	LIVER	BONE	LUNGS	GI-LLI
PU236	4.4831E-03	2.0577E-02	8.11695E-02	1.0318E-01	3.1436E 00	5.4060E-01
PU237	4.6147E-05	1.3591E-04	6.0608E-04	3.7140E-04	1.7780E 01	2.8391E-02
PU238	1.4508E 01	6.2403E 01	2.0682E 02	3.0143E 02	2.6804E 02	8.5641E-01
PU239	1.5881E 01	6.7943E 01	2.2245E 02	3.4079E 02	2.6722E 02	8.1166E-01
PU240	1.5853E 01	6.7832E 01	2.2211E 02	3.4023E 02	2.6718E 02	8.1164E-01
PU241	2.7123E-01	1.3030E 00	4.0375E 00	6.6191E 00	1.9274E 02	1.5368E-02
PU242	1.5289E 01	6.5416E 01	2.1417E 02	3.1573E 02	2.6517E 02	7.6484E-01
AM241	1.3784E 01	9.6490E 01	1.8107E 02	1.9056E 02	2.7070E 02	8.7363E-01

INHALATION AND INGESTION OF RADIONUCLIDE

A C R O PROGRAM TEST RUN BY K.SHINOHARA
 INHALATION OF PU236-242(CLASS Y)
 *****TIME INTERVAL FOLLOWING THE START OF UPTAKE = 2.2075E 09 (SEC)+OR 25550. (DAYS) *****

ORGAN BURDEN (MICRO CI OR *3.7E+4 RO.)

NUCLIDE	--- ORGAN ---						
	TL. BODY	KIDNEYS	LIVER	BONE	LUNGS	GI-LLI	
PU236	2.7927E-12	5.5852E-14	1.2565E-12	1.2567E-12	0.0	2.7567E 01	
PU237	4.6652E-11	9.3234E-13	2.0940E-11	2.0981E-11	0.0	3.2263E 01	
PU238	5.6295E-03	8.9791E-05	1.1841E-03	2.1346E-03	4.0936E-17	3.8410E 01	
PU239	8.6445E-03	1.3811E-04	1.8275E-03	3.2820E-03	6.9340E-17	3.8504E 01	
PU240	8.6076E-03	1.3751E-04	1.8195E-03	3.2678E-03	6.8973E-17	3.8503E 01	
PU241	4.2863E-04	6.8012E-06	8.8833E-05	1.6188E-04	1.8297E-18	3.7906E 01	
PU242	8.6578E-03	1.3832E-04	1.8302E-03	3.2869E-03	6.9469E-17	3.8504E 01	
AM241	4.8831E-03	1.4649E-04	1.3116E-03	1.6845E-03	6.2698E-17	3.8485E 01	

INHALATION AND INGESTION OF RADIONUCLIDE

A C R O PROGRAM TEST RUN BY K.SHINOHARA
 INHALATION OF PU236-242(CLASS Y)
 *****TIME INTERVAL FOLLOWING THE START OF UPTAKE = 2.2075E 09 (SEC)+OR 25550. (DAYS) *****

ORGAN DOSE EQUIVALENT REM OR 1.E-2 SV.

NUCLIDE	--- ORGAN ---						
	TL. BODY	KIDNEYS	LIVER	BONE	LUNGS	GI-LLI	
PU236	4.4831E-03	2.0577E-02	8.1696E-02	1.0318E-01	3.1436E 00	7.5684E-01	
PU237	4.6147E-05	1.3591E-04	0.0608E-04	3.7140E-04	1.7780E 01	3.9747E-02	
PU238	1.8925E 01	7.8988E 01	2.4650E 02	3.8424E 02	2.6904E 02	1.2003E 00	
PU239	2.2108E 01	9.1288E 01	2.7807E 02	4.6172E 02	2.6722E 02	1.1376E 00	
PU240	2.2055E 01	9.1079E 01	2.7750E 02	4.6066E 02	2.6718E 02	1.1376E 00	
PU241	2.8762E-01	1.3706E 00	4.1837E 00	6.9759E 00	1.9274E 02	2.1536E-02	
PU242	2.1290E 01	8.7913E 01	2.6776E 02	4.2787E 02	2.6517E 02	1.0720E 00	
AM241	1.7630E 01	1.2341E 02	2.2412E 02	2.5498E 02	2.7070E 02	1.2245E 00	

参 考 文 献

- 1) BNWL-2110, REDIQ-A computer program for estimating health effects from inhalation and ingestion of radionuclide, Battelle Pacific Northwest Laboratories, 1976
- 2) ICRP Publication 2, 体内放射線の許容線量, 日本放射性同位元素協会, 1959
- 3) ICRP Publication 6, 国際放射線防護委員会勧告, 日本放射性同位元素協会, 1962
- 4) ICRP Publication 19, The metabolism of compounds of plutonium and other actinides, 1972, Pergamon Press
- 5) ICRP Publication 23, Report of the task group on reference man, 1974, Pergamon Press
- 6) Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract, ICRP task group on lung dynamics, Health Physics vol. 12, 1966
- 7) 京都大学エネルギー研究所委報, vol. 15, pp. 1-15, 1977
- 8) BNWL-SA-5623, The effect of particle size and translocation class on calculated doses from plutonium to lung and other organs, E.C.Watson and D.L.Strenge, 1976
- 9) BNWL-SA-5896, Life history of plutonium dioxide in the lung : from macrophage to carcinoma, O.L. Sanders et. al., 1976