

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。 2001. 6. 20

[技術情報室]

CORAL:再処理施設からの放射性物質の海洋放出 に起因する線量当量を評価するための計算コード

1992年3月

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001



CORAL : 再処理施設からの放射性物質の 海洋放出に起因する線量当量を 評価するための計算コード

晴山 央一
圓尾 好宏
飛田 和則
篠原 邦彦

要 旨

CORALは、再処理施設から海洋放出される放射性物質に起因する一般公衆の線量当量を評価する計算コードである。

CORALにおいて考慮している被ばく経路は、海産物摂取による内部被ばく並びに漁業活動及び海浜利用による外部被ばくである。放出された放射性物質の海洋拡散は、東海地先における拡散実験や流動調査等の結果をもとに作られた拡散式、流動パラメータ等を用いて計算し、海水中の放射性物質濃度を求める。この海水中の放射性物質濃度から海産物への濃縮係数、海岸砂や漁網への汚染係数を用いて海産生物等の放射性物質濃度を計算し、一般公衆の年間の線量当量を評価する。

評価に用いる各種パラメータは、東海周辺環境において適切なフィールドデータが得られている場合にはこれを用いることにしているが、得られていない場合は、IAEAやNRC等の文献値を参考に決定している。

CORALは、ANSI FORTRAN-77に準拠したVS/FORTRANで書かれており、ほとんどのコンピュータで実行可能である。



CORAL : A Computer code to estimate concentration of radioactive nuclides in sea water and dose equivalents due to discharge of liquid effluents from Tokai Reprocessing Plant.

Hisakazu Hareyama
Yoshihiro Maruo
Kazunori Tobita
Kunihiko Shinohara

Abstract

A computer code CORAL is used to estimate dose equivalents for general public due to discharge of liquid effluents from Tokai Reprocessing Plant.

The CORAL consists of 2 models ; one is the calculation model of internal dose equivalents due to intake of marine organisms, the other is for calculation model of external dose equivalents from beach sand, fishing net and fishing boat deck.

Diffusion of effluents has been estimated by the empirical diffusion equation on the basis of the result of diffusion experiments using dye and the investigation of flow rate and direction of sea current in the coastal sea offshore at Tokai Works. Some parameters, such as concentration factors for marine organisms, daily consumption of marine products and so on, have been also used in the dose estimation.

CORAL is written in VS/FORTRAN language that conforms to ANSI FORTRAN-77.

目 次

1. はじめに	1
2. 計算方法	2
2.1 海水中の放射性物質濃度の計算	2
2.1.1 流れの軸上濃度の計算	2
2.1.2 放出口付近の濃度の計算	2
2.2 実効線量当量の計算	3
2.2.1 海産物摂取による内部被ばく	3
2.2.2 外部被ばく	8
2.3 組織線量当量の計算	14
3. 計算コードCORAL	17
3.1 計算コードCORALの構成	17
3.2 入力方法	21
参考文献	26
付録 1 入力例	27
付録 2 出力例	31
付録 3 EXEC例	51
付録 4 β 線エネルギーについて	55
付録 5 β 線の吸収係数算出要領	61

1. はじめに

CORALは、動燃東海の再処理施設から海洋放出される放射性物質に起因する一般公衆の線量当量を評価するための計算コードである。

一般公衆の線量当量を評価するに当たり、海産物摂取による内部被ばく並びに漁業活動及び海浜利用による外部被ばくを考慮している。処理済廃液の海洋放出による海水中の放射性物質濃度は、流れの軸上濃度と放出口付近の濃度の2種類について計算する。平常時における主な海産物の採取地点及び線量当量の評価地点は以下のとおりである。

放出口付近の海域	海産物（成魚、頭足類、甲殻類） 漁業活動（漁網、船体）
放出口北5 km地点	海産物（海藻、貝類）
放出口南南西 7.8km地点	海浜利用（海岸砂）

内部被ばくに係る線量当量は、海水中放射性物質濃度から各種海産物の濃縮係数を用いて海産物中の放射性物質濃度を求め、その海産物の摂取量を乗じて人が摂取する放射性物質量を計算した後、線量換算計数を乗じることにより、内部被ばくによる実効線量当量を計算する。なお、線量換算計数については年摂取限度（ALI）との比較により線量当量を計算する方法と、直接線量換算計数を入力する方法の2つのオプションを有している。外部被ばくに係る線量当量は、海水中放射性物質濃度から漁網、船体等への汚染係数を用いてそれらの放射性物質濃度を求め、線量換算係数、被ばく時間、その他のパラメータにより、線量当量を評価する。

線量当量の評価の際に使用する各種パラメータは、東海周辺環境において適切なフィールドデータが得られている場合には、これを用いることにしているが、得られていない場合は、IAEAやNRC等の文献値を参考に決定している。

2. 計算方法

2.1 海水中の放射性物質濃度の計算

2.1.1 流れの軸上濃度の計算

放出された廃液が海洋中で拡散するとき、流れの軸上の濃度分布は、流れの軸をX軸とすると、次式^{1), 2), 3)}で表される。

$$C(x) = \frac{q}{u \cdot H \cdot Y} \operatorname{erf} \left(\frac{Y \cdot u}{4 \sqrt{\alpha} \cdot x} \right) \quad (2.1 - 1)$$

ここで、各記号の意味は以下のとおりとする。

- C(x) : 流れの軸上の海水中放射性物質濃度 (Bq/cm³)
- q : 放射性物質の放出率 (Bq/s)
- u : 流れの速さ (cm/s)
- H : 鉛直混合層の厚さ (cm)
- Y : 水平面内で流れの軸に垂直に見た拡散源の幅 (cm)
- x : 放出点からの軸上距離 (cm)
- α : 拡散実験から求められた定数

$$\operatorname{erf}(y) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^y e^{-t^2} dt$$

放射性物質の放出率 q は、年間を通じて連続的に放出されるものとして計算する。なお、平常時評価におけるこの他のパラメータは、流れの速さを10cm/s、鉛直混合層の厚さを690cm、拡散源の幅を200cm、定数 α を0.1415とする。

線量当量の計算に用いる海水中的放射性物質濃度は、(2.1 - 1) 式から計算される流れの軸上の海水中放射性物質濃度に流向頻度を乗じたものとする。

2.1.2 放出口付近の濃度の計算

線量当量を計算する際の海水中的放射性物質濃度として、放出口付近の海水中平均濃度を用いる場合、その濃度は次式^{1), 2), 3)}により計算する。

$$\bar{C}(x) = \frac{q \frac{x}{u}}{\frac{\pi}{4} x^2 \cdot H} = \frac{4 q}{\pi \cdot u \cdot x \cdot H} \quad (2.1 - 2)$$

ここで、 x は評価対象とする海域（円）の直径（cm）であり、他の記号の意味は（2.1 - 1）式と同様とする。

2.2 実効線量当量の計算

2.2.1 海産物摂取による内部被ばく

(1) 計算の前提

動燃東海の再処理施設から海洋放出された廃液に起因する内部被ばくの経路として、当該海域において産出する海産物の摂取を考慮する。海産物の種類としては、当該海域における海産物の棲息状況及び漁業実態を考慮し、稚魚（シラス）、成魚、褐藻（ワカメなど）、紅藻（ノリなど）、貝類、頭足類（タコ、イカ）及び甲殻類（エビ、カニ）に区分し、廃液中の放射能が、これら海産物に移行するものとする。なお、平常時評価の海産物の摂取は、東海村周辺における海産物の消費実態調査^{4). 5). 6). 7)}の結果を参考とし、成人1人1日当たりの摂取量は、第2.2 - 1表に示すとおりとする。

第2.2 - 1表 成人1人1日当たりの海産物の摂取量

海産物の種類	1人1日当たりの摂取量 (g)
稚魚 (シラス)	50
成魚	120
褐藻 (ワカメなど)	38
紅藻 (ノリなど)	2
貝類	10
頭足類 (タコ、イカ)	30
甲殻類 (エビ、カニ)	10
合計	260

(2) 評価地点における海水中の放射性物質濃度の計算

線量当量の計算においては、当該海域における海産物の棲息実態及び漁業実態、放出口から棲息地点までの距離などを考慮する。稚魚（シラス）は、遊泳能力がないものとし、放出口に達したシラスが廃液の流れに乗って移動するものと仮定する。成魚、頭足類及び甲殻類は、放出口付近を回遊するものとして、放出口付近の円状海域（放出口を円周上に持つ円状海域）で産するものとする。海藻類及び貝類は、当該海域における棲息地点で産するものとする。

なお、平常評価時に当該海域において評価対象とする海産物に係る海水中の放射性物質の濃度の計算地点及び流向頻度と併せて第2.2 - 2表に示す。

第2.2 - 2表 海水中の放射性物質の濃度の計算地点及び流向頻度

海産物の種類		計算地点	流向頻度(%)
稚魚（シラス）		軸上	100.0
成魚		放出口付近の直径1キロメートルの円状海域	—
海藻	褐藻	放出口より北5キロメートル地点	11.5
	紅藻	同上	11.5
貝類		同上	11.5
頭足類 (タコ, イカ)		放出口付近の直径1キロメートルの円状海域	—
甲殻類 (エビ, カニ)		同上	—

(3) 実効線量当量の計算

海産物に移行した放射性物質の摂取に起因する実効線量当量は、次式により計算する。

$$D_w = 365 \sum_i \sum_k m_k \cdot A_{ki} \cdot (50 / ALI_i) \quad (2.2 - 3)$$

$$A_{ki} = C_{Fki} \cdot C_i(x) \quad (2.2 - 4)$$

ここで、各記号の意味は以下のとおりとする。

- D_w : 海産物の摂取に起因する実効線量当量 (mSv/y)
 m_k : 海産物 k の 1 人 1 日当たりの摂取量 (g/d)
 A_{ki} : 海産物 k 中の核種 i の濃度 (Bq/g)
 ALI_i : 核種 i の経口摂取の場合における年摂取限度 (Bq)
 C_{Fki} : 核種 i の海産物 k への濃縮係数 $\left\{ \frac{\text{Bq/g}}{\text{Bq/cm}^3} \right\}$
 $C_i(x)$: 海水中の核種 i の濃度 (Bq/cm³)

放射性物質の海産物への濃縮係数は、第 2.2 - 3 表に示すとおりとする。

海水中の核種 i の濃度は、第 2.2 - 2 表に示す海水中濃度の計算地点において、成魚、頭足類及び甲殻類は (2.1 - 2) 式により、また、海藻類及び貝類については (2.1 - 1) 式により計算する。

また、シラスについては、次式によりシラス体内の放射性物質濃度を計算し、体内の放射性物質濃度が最大となる値を A_{ki} として用いる。

$$A_i(x) = \frac{k_i \cdot C_{Fsi}}{u} e^{-\frac{k_i}{u} x} \int_0^x C_i(x) \cdot e^{\frac{k_i}{u} x} dx \quad (2.2 - 5)$$

ここで、各記号の意味は以下のとおりとする。

- $A_i(x)$: 放出点から軸上距離 x でのシラス体内の核種 i の濃度 (Bq/g)
 k_i : シラスからの核種 i の排泄率 (1/s)
 C_{Fsi} : 核種 i のシラスの濃縮係数 $\left\{ \frac{\text{Bq/g}}{\text{Bq/cm}^3} \right\}$
 u : 流れの速度 (cm/s)

ここで、上式中の $C_i(x)$ は、(2.1 - 1) 式により計算する。

実効線量当量の計算に用いるシラス体内からの放射性物質の排泄率及びシラスへの濃縮係数は、第2.2 - 4表のとおりとする。なお、放射性ヨウ素、トリチウム及びプルトニウムは、成魚を摂取するものとして実効線量当量を計算する。

第2.2 - 3表 放射性物質の海産物への濃縮係数（シラスを除く）

元 素	濃縮係数 $C_{Fki} \left(\frac{\text{Bq/g}}{\text{Bq/cm}^3} \right)$					
	成 魚	紅 藻	褐 藻	貝 類	甲殻類	頭足類
H	1	1	1	1	1	1
Sr	3	20	20	5	30	2
Zr, Nb	50	300	1000	40	50	50
Ru	50	2000	500	300	200	80
I	30	1000	2000	60	30	3
Cs	30	10	30	9	20	10
Ce	50	600	600	200	90	30
Pu	100	3000	3000	200	400	200

第2.2-4表 シラスの放射性物質の排泄率及び濃縮係数

元素	排泄率 k_i (1/s)	濃縮係数 C_{Fsi} $\left[\frac{\text{Bq/g}}{\text{Bq/cm}^3} \right]$
Sr	8.03×10^{-6}	4
Zr, Nb	2.67×10^{-6}	40
Ru	1.60×10^{-5}	30
Cs	1.60×10^{-6}	20
Ce	2.67×10^{-6}	50

第2.2-5表 年摂取限度 (告示別表1 第3欄より)

核種名	年摂取限度 (Bq)
^3H	2.9×10^9
^{89}Sr	2.3×10^7
^{90}Sr	1.3×10^6
^{95}Zr	5.4×10^7
^{95}Nb	8.2×10^7
^{103}Ru	6.8×10^7
^{106}Ru	8.6×10^6
^{129}I	6.7×10^5 *
^{131}I	3.5×10^6 *
^{134}Cs	2.5×10^6
^{137}Cs	3.6×10^6
^{141}Ce	7.1×10^7
^{144}Ce	9.4×10^6
^{238}Pu	5.7×10^4
^{239}Pu	5.1×10^4
^{240}Pu	5.1×10^4
^{241}Pu	2.6×10^6
^{242}Pu	5.4×10^4

*ヨウ素(I-129, I-131)については、日本人の安定ヨウ素摂取量を考慮する場合、摂取限度に3/2を掛けたものを使用する。

2.2.2 外部被ばく

(1) 計算の前提

動燃東海の再処理施設から海洋放出された廃液に起因する外部被ばくの経路として、当該海域における漁業活動及び海浜利用を考慮する。被ばくの形態としては、漁網からの被ばく、船体からの被ばく、海面からの被ばく、海水中での被ばく及び海岸砂からの被ばくについて計算する。

(2) 評価地点における海水中の放射性物質濃度の計算

線量当量の計算においては、当該海域における漁業活動及び海浜利用の実態を考慮する。

海面からの被ばくは漁業活動を考慮し、放出口付近の円状海域で被ばくするものとする。また、漁網からの被ばく及び船体からの被ばくは、放出口付近の円状海域において、放射性物質が漁網及び船体に移行するものとする。

海岸砂からの被ばく及び海水中での被ばくは、夏期海浜利用を考慮し、当該海域内の海水浴場を評価地点とする。

なお、平常時における外部被ばくに係る海水中の放射性物質の濃度の計算地点を、流向頻度と併せて第 2.2-6表に示す。

第 2.2-6 表 海水中の放射性物質の濃度の計算地点及び流向頻度

対 象	計算地点	流向頻度(%)
海 岸 砂	放出口より南南西7.8キロメートルの海岸	13.3
漁 網	放出口付近の直径1キロメートルの円状海域	—
海 面	同 上	—
海 水 中	放出口より南南西7.8キロメートルの海岸	13.3
船 体	放出口付近の直径1キロメートルの円状海域	—

(3) 実効線量当量の計算

(a) 海岸砂

海岸砂からの外部被ばくによる実効線量当量は、次式により計算する。

$$D_{ES} = \sum_i T_{ES} \cdot C_{FSi} \cdot C_i(x) \cdot \rho_s \cdot DF_{ESi} \cdot F \quad (2.2 - 6)$$

ここで、各記号の意味は以下のとおりとする。

D_{ES} : 海岸砂からの外部被ばくによる実効線量当量 (mSv/y)

T_{ES} : 海岸砂からの年間の被ばく時間 (h/y)

C_{FSi} : 核種*i*の海岸砂の汚染係数 $\left\{ \frac{\text{Bq/g}}{\text{Bq/cm}^3} \right\}$

$C_i(x)$: 核種*i*の評価地点における海水中濃度 (Bq/cm³)

ρ_s : 海岸砂の密度 (g/cm³)
 $\rho_s = 1.7$

DF_{ESi} : 核種*i*の無限平面線源から実効線量当量への換算係数
 $\left\{ \frac{\text{mSv/h}}{\text{Bq/cm}^2} \right\}$

F : 無限平面線源から半無限体積線源への形状変換係数 (cm)
 $F = 5$

年間の被ばく時間 T_{ES} は、海浜利用の実態を考慮し、海岸砂から被ばくを受ける時間を 500 時間として計算する。

海岸砂の汚染係数 C_{FSi} は、第 2.2 - 7 表に示す。

無限平面線源から実効線量当量への換算係数 DF_{ESi} は、D. C. Kocher の計算した地表面に沈着した放射性物質による地表 1 メートルの高さにおける実効線量当量への換算係数⁸⁾ を単位換算して用いる。

なお、実効線量当量への換算係数を第 2.2 - 8 表に示す。

第 2.2 - 7 表 砂の汚染係数 $\left\{ \frac{\text{Bq/g}}{\text{Bq/cm}^3} \right\}$ ^{9), 10)}

Sr	10
Zr, Nb	500
Ru	1,000
Cs	100
Ce	1,000

(b) 漁網

漁網からの外部被ばくによる実効線量当量は、次式により計算する。

$$D_{EN} = \sum_i T_{EN} \cdot C_{FNI} \cdot \bar{C}_i(x) \cdot \frac{W_{Net}}{V_{Net}} \cdot DF_{ENi} \quad (2.2 - 7)$$

ここで、各記号の意味は以下のとおりとする。

D_{EN} : 漁網からの外部被ばくによる実効線量当量 (mSv/y)

T_{EN} : 漁網からの年間の被ばく時間 (h/y)

C_{FNI} : 核種*i*の漁網の汚染係数 $\left[\frac{\text{Bq/g}}{\text{Bq/cm}^3} \right]$

$\bar{C}_i(x)$: 核種*i*の評価地点における海水中濃度 (Bq/cm³)

W_{Net} : 漁網の湿重量 (g)

V_{Net} : 漁網の体積 (cm³)

DF_{ENi} : 核種*i*の漁網からの実効線量当量への換算係数
 $\left[\frac{\text{mSv/h}}{\text{Bq/cm}^3} \right]$

動燃東海地先海域における漁業で一般に用いられている約10トンまでの小型漁船を対象とした場合、もっとも大きな網は湿重量約 360キログラムで、体積は約 1.6立方メートルである。また、年間の被ばく時間 T_{EN} は、漁業従事者を対象とし、船上に積載した漁網から被ばくを受ける時間を 1,000時間として計算する。

漁網の汚染係数 C_{FNI} は、英国ドーンレイ発電所周辺の測定結果¹¹⁾を参考として、全核種について 4,000 $\left[\frac{\text{Bq/g}}{\text{Bq/cm}^3} \right]$ とする。

漁網からの実効線量当量への換算係数 DF_{ENi} は、漁網から1メートル離れた地点における実効線量当量を点減衰核法により計算した値を用いる。なお、操網者は線源(漁網)に対して不規則に動き回るものと考え、実効線量当量への換算は、ICRP Publication 51¹²⁾に与えられている係数のうち、回転ジオメトリー(ROT)に対する値を用いる。

なお、実効線量当量への換算係数を第2.2 - 8表に示す。

(c) 海面

海面からの外部被ばくによる実効線量当量は、次式により計算する。

$$D_{ESS} = \sum_i T_{ESS} \cdot \bar{C}_i(x) \cdot DF_{ESSi} \cdot F \quad (2.2 - 8)$$

ここで、各記号の意味は以下のとおりとする。

D_{ESS} : 海面からの外部被ばくによる実効線量当量 (mSv/y)

T_{ESS} : 海面からの年間の被ばく時間 (h/y)

$\bar{C}_i(x)$: 核種*i*の評価地点における海水中濃度 (Bq/cm³)

DF_{ESSi} : 核種*i*の無限平面線源から実効線量当量への換算係数
 $\left(\frac{\text{mSv}/\text{h}}{\text{Bq}/\text{cm}^3} \right)$

F : 無限平面線源から半無限体積線源への形状変換係数 (cm)
 $F = 10$

放出口周辺の海域で船上にある人が海面から受ける実効線量当量は、海面上1メートルにおいて、被ばく時間 T_{ESS} を年間2,000時間として計算する。

無限平面線源から実効線量当量への換算係数 DF_{ESSi} は、海岸砂と同様、D. C. Kocherの計算した地表面に沈着した放射性物質による地表1メートルの高さにおける実効線量当量への換算係数⁸⁾を単位換算して用いる。

なお、実効線量当量への換算係数を第2.2 - 8表に示す。

(d) 海水中

海水中での外部被ばくによる実効線量当量は、次式により計算する。

$$D_{EW} = \sum_i T_{EW} \cdot C_i(x) \cdot DF_{EWi} \quad (2.2 - 9)$$

ここで、各記号の意味は以下のとおりとする。

D_{EW} : 海水中での外部被ばくによる実効線量当量 (mSv/y)

T_{EW} : 海水中での年間の被ばく時間 (h/y)

$C_i(x)$: 核種*i*の評価地点における海水中濃度 (Bq/cm³)

DF_{EWi} : 核種*i*の海水中での浸漬による実効線量当量への換算係数
 $\left(\frac{\text{mSv}/\text{h}}{\text{Bq}/\text{cm}^3} \right)$

海水中での実効線量当量は、評価地点における海水中濃度として夏期の海水中の軸上放射性物質濃度を用い、被ばく時間 T_{ED} を年間 100時間として計算する。

海水中での浸漬による実効線量当量への換算係数 DF_{EDi} は、D. C. Kocherの計算した実効線量当量への換算係数⁸⁾を単位換算して用いる。

なお、実効線量当量への換算係数を第2.2 - 8表に示す。

(e) 船体

放出廃液に含まれる放射性物質は、放出口周辺で操業する漁船の船内、甲板などに付着することが考えられる。船体からの外部被ばくによる実効線量当量は、次式により計算する。

$$D_{ED} = \sum_i T_{ED} \cdot C_{FEDi} \cdot \bar{C}_i(x) \cdot DF_{EDi} \cdot F \quad (2.2 - 10)$$

ここで、各記号の意味は以下のとおりとする。

D_{ED} : 船体からの外部被ばくによる実効線量当量 (mSv/y)

T_{ED} : 船体からの年間の被ばく時間 (h/y)

C_{FEDi} : 核種 i の船体の汚染係数 $\left(\frac{Bq/cm^2}{Bq/cm^3} \right)$

$\bar{C}_i(x)$: 核種 i の評価地点における海水中濃度 (Bq/cm³)

DF_{EDi} : 核種 i の無限平面線源から実効線量当量への換算係数 $\left(\frac{mSv/h}{Bq/cm^2} \right)$

F : 無限平面線源から半無限体積線源への形状変換係数 (cm)
 $F = 0.255$

表面汚染の程度についてはデータが少ないが、俊鷲丸での測定値^{13), 14), 15)}から、汚染係数 C_{FEDi} は $10 \cdot \left(\frac{Bq/cm^2}{Bq/cm^3} \right)$ とする。

被ばく時間 T_{ED} は、漁業従事者の作業時間を考慮し、年間 3,000時間として計算する。線源は、漁船の甲板面積を考慮して半径 380センチメートルの円板平面線源とする。無限平面線源から実効線量当量への換算係数 DF_{EDi} は、海岸砂と同様、D. C. Kocherの計算した地表面に沈着した放射性物質による地表 1メートルの高さにおける実効線量当量への換算係数⁸⁾を単位換算して用いる。

なお、実効線量当量への換算係数を第2.2 - 8表に示す。

第2.2-8表 実効線量当量への換算係数

核種	実効線量当量への換算係数		
	海岸砂・海面・船体 〔 $\frac{\text{mSv/h}}{\text{Bq/cm}^2}$ 〕	海水中 〔 $\frac{\text{mSv/h}}{\text{Bq/cm}^3}$ 〕	漁網 〔 $\frac{\text{mSv/h}}{\text{Bq/cm}^3}$ 〕
Sr-89	2.43×10^{-6}	1.47×10^{-6}	—
Sr-90	3.88×10^{-6}	2.76×10^{-6}	—
Zr-95	4.76×10^{-5}	5.25×10^{-4}	5.81×10^{-5}
Nb-95	2.42×10^{-5}	2.68×10^{-4}	6.16×10^{-5}
Ru-103	1.56×10^{-5}	1.64×10^{-4}	4.08×10^{-5}
Ru-106	1.15×10^{-5}	7.50×10^{-5}	1.74×10^{-5}
Cs-134	4.94×10^{-5}	5.41×10^{-4}	1.27×10^{-4}
Cs-137	1.85×10^{-5}	1.95×10^{-4}	4.58×10^{-5}
Ce-141	2.76×10^{-6}	2.74×10^{-5}	6.78×10^{-6}
Ce-144	6.06×10^{-6}	2.15×10^{-5}	3.95×10^{-6}

2. 3 組織線量当量の計算

(1) 計算の前提

組織線量当量は、皮膚の組織線量当量について計算する。被ばく形態としては、外部被ばくによる実効線量当量の計算と同様、海岸砂からの被ばく、漁網からの被ばく、海面からの被ばく、海水中での被ばく及び船体からの被ばくについてベータ線を対象に計算する。なお、ガンマ線については、実効線量当量から皮膚の組織線量当量への換算を、ICRP Publication 51¹²⁾に与えられている係数を参考に計算し、実効線量当量の1.2倍をベータ線の計算結果に加算する。

(2) 評価地点における海水中の放射性物質濃度の計算

評価地点における海水中の放射性物質の濃度の計算条件は、外部被ばくによる実効線量当量の計算と同様とし、計算地点及び流向頻度は、第2.2 - 2表に示すとおりとする。

(3) 組織線量当量の計算

(a) 海岸砂

海岸砂からの外部被ばくによる皮膚の組織線量当量は、次式により計算する。¹⁶⁾

$$D_{ss} = \sum_i 2.89 \times 10^{-4} \cdot T_{ss} \frac{\mu_{ti} \cdot \overline{E}_{\beta i} \cdot C_i(x) \cdot C_{Fsi} \cdot \rho_s}{\rho_t \cdot \mu_{si}} \int_{d \cdot \mu_{ti}}^{\infty} E_i(y) dy \quad (2.3-11)$$

ここで、各記号の意味は以下のとおりとする。

- D_{ss} : 海岸砂からの皮膚の組織線量当量 (mSv/y)
- T_{ss} : 海岸砂からの年間の被ばく時間 (h/y)
- μ_{ti} : 核種iの組織の吸収係数 (1/cm)
- $\overline{E}_{\beta i}$: 核種iのβ線平均エネルギーの合計平均エネルギー (MeV)
- $C_i(x)$: 評価地点における核種iの海水中濃度 (Bq/cm³)
- C_{Fsi} : 核種iの海岸砂の汚染係数 $\left[\frac{\text{Bq/g}}{\text{Bq/cm}^3} \right]$
- ρ_s : 砂の密度 (g/cm³)
 $\rho_s = 1.7$
- ρ_t : 組織の密度 (g/cm³)
 $\rho_t = 1.0$
- μ_{si} : 核種iから放出されるβ線の砂の吸収係数 (1/cm)

d : 皮膚不感層の厚さ (cm)
d = 0.007

$$E_1(y) = \int_y^{\infty} \frac{e^{-t}}{t} dt$$

$$y = d \cdot \mu_{ti}$$

海岸砂の汚染係数 C_{FS} を、第2.2 - 7表に示す。被ばく時間 T_{SS} は、海浜利用の実態を考慮し、海岸砂からの年間の被ばく時間を 500時間として計算する。

(b) 漁網

漁網からの外部被ばくによる皮膚の組織線量当量は、次式により計算する。¹⁶⁾

$$D_{SN} = \sum_i 2.89 \times 10^{-4} \cdot T_{SN} \frac{\mu_{ti} \cdot \overline{E}_{\beta i} \cdot \overline{C}_i(x) \cdot C_{Fni}}{\rho_t \cdot \mu_{neti}} \int_{d \cdot \mu_{ti}}^{\infty} E_1(y) dy \quad (2.3-12)$$

ここで、各記号の意味は以下のとおりとする。

D_{SN} : 漁網からの皮膚の組織線量当量 (mSv/y)

T_{SN} : 漁網からの年間の被ばく時間 (h/y)

$\overline{C}_i(x)$: 評価地点における核種 i の海水中濃度 (Bq/cm³)

C_{Fni} : 核種 i の海岸砂の汚染係数 $\left[\frac{\text{Bq/g}}{\text{Bq/cm}^3} \right]$

μ_{neti} : 核種 i から放出される β 線の漁網の吸収係数 (1/cm)

この他の記号の意味は、(2.3 - 11) 式と同様である。被ばく時間 T_{SN} については、漁網の年間の操作時間を 2,000時間として計算する。

(c) 海面

海面からの外部被ばくによる皮膚の組織線量当量は、次式により計算する。¹⁶⁾

$$D_{SSS} = \sum_i 2.89 \times 10^{-4} \cdot T_{SSS} \frac{\mu_{ti} \cdot \overline{E}_{\beta i}}{\rho_t} S \cdot E_1(\mu_{ai} \cdot h + d \cdot \mu_{ti}) \quad (2.3-13)$$

ここで、各記号の意味は以下のとおりとする。

D_{SSS} : 海面からの皮膚の組織線量当量 (mSv/y)

T_{SSS} : 海面からの年間の被ばく時間 (h/y)

μ_{ai} : 核種 i から放出される β 線の空気の吸収係数 (1/cm)

h : 高さ (cm)
h = 100

μ_{wi} : 核種 i から放出される β 線の水の吸収係数 (1/cm)

$$S = \frac{\overline{C}_i(x)}{2 \mu_{wi}}$$

この他の記号の意味は、(2.2 -11) 式と同様である。被ばく時間 T_{SSS} については、船上にある人が海面から受ける年間の被ばく時間を 2,000時間として計算する。

(d) 海水中

海水中での外部被ばくによる皮膚の組織線量当量は、次式により計算する。¹⁶⁾

$$D_{sw} = \sum_i 2.89 \times 10^{-4} \cdot T_{sw} \frac{\mu_{ti} \cdot \overline{E}_{\beta i} \cdot C_i(x)}{\rho_i \cdot \mu_{wi}} \int_{d \cdot \mu_{ti}}^{\infty} E_i(y) dy \quad (2.3-14)$$

ここで、各記号の意味は以下のとおりとする。

D_{sw} : 海水中での皮膚の組織線量当量 (mSv/y)

T_{sw} : 海水中での年間の被ばく時間 (h/y)

この他の記号の意味は、(2.3 -11) 式と同様である。被ばく時間 T_{sw} については、夏期の海浜利用を考慮し、年間の被ばく時間を 100時間として計算する。

(e) 船体

船体からの外部被ばくによる皮膚の組織線量当量は、次式により計算する。¹⁶⁾

$$D_{SD} = \sum_i 2.89 \times 10^{-4} \cdot T_{SD} \frac{\mu_{ti} \cdot \overline{E}_{\beta i} \cdot \overline{C}_i(x) \cdot C_{FEDi}}{\rho_i} \cdot E_i(d \cdot \mu_{ti}) \quad (2.3 -15)$$

ここで、各記号の意味は以下のとおりとする。

D_{SD} : 船体からの皮膚の組織線量当量 (mSv/y)

T_{SD} : 船体からの年間の被ばく時間 (h/y)

C_{FEDi} : 核種 i の船体の汚染係数 $\left\{ \frac{Bq/cm^2}{Bq/cm^3} \right\}$

この他の記号の意味は、(2.2 -11) 式と同様である。被ばく時間 T_{SD} については、漁業者の作業時間を考慮し、年間の被ばく時間を 3,000時間として計算する。

3. 計算コード CORAL

3.1 計算コードCORALの構成

計算コードCORALはMAINプログラムのほか、8つのサブ・プログラム及びBLOCKDATAから構成されており、その構造は、第3.1-1 図に示すとおりである

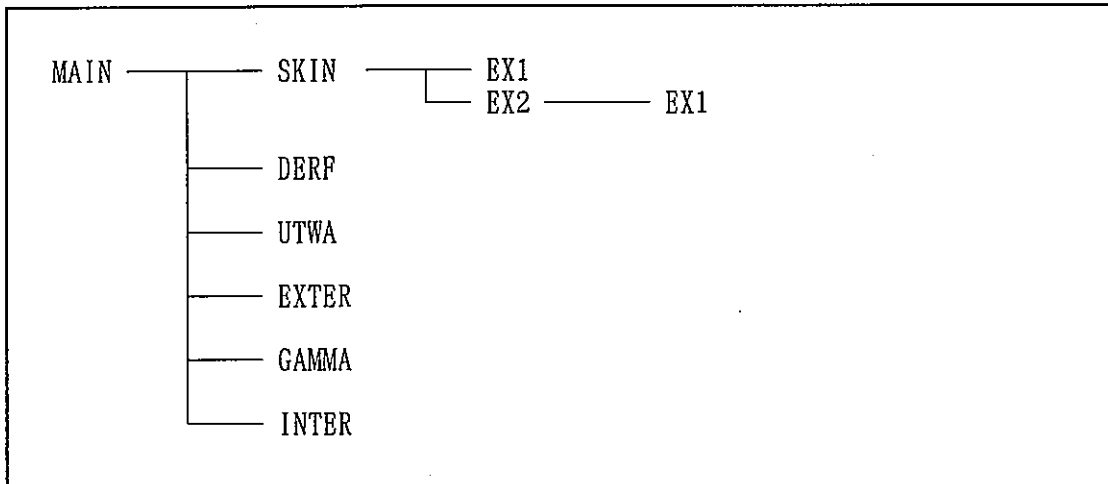
主要なサブ・プログラムの機能については、第3.1-9 表に示すとおりでありまたコモン変数の名前とその説明は、第3.1-10 表に示すとおりである。

CORALはIBM VS/FORTRAN (FORTRAN-77に準拠)で書かれており、各種コンピュータへの移植は、容易に可能である。

実行時には、第3.1- 11 表に示すようなファイルを必要とする。

第3.1-9表 サブ・プログラムの機能

サブ・プログラム名	機 能
SKIN	組織線量当量の計算
EX1	指数積分の計算
EX2	一次元半無限区間積分の計算
UTWA	β 線の吸収係数の計算
EXTER	外部実効線量当量の計算
GAMMA	組織線量当量計算時における γ 線寄与分の計算
INTER	内部実効線量当量の計算



第3.1-1図 CORALにおけるプログラム構成

第3.1-10表 コモン変数の名前とその説明

COMMON LABEL	変数名	説明
ROOP	PI	内部被ばくにおける被ばく経路番号 1 : 成魚 2 : 褐藻 3 : 紅藻 4 : 貝類 5 : 頭足類 6 : 甲殻類 7 : シラス
	PE	外部被ばくにおける被ばく経路番号 1 : 海岸砂 2 : 漁網 3 : 海面 4 : 海水中 5 : 船体
	NO	評価核種数
	PN	評価核種におけるPu核種の数
	OP2	年摂取限度/線量換算係数 選択オプション 1 : 年摂取限度 (Bq) 2 : 線量換算係数 (Sv/Bq)
INTL	U	平均流速 (cm/s)
	H	鉛直混合層の厚さ (cm)
	X1	放出口周辺平均濃度計算時の直径 (cm)
	X2	海藻類の評価地点までの距離 (cm)
	X3	貝類の評価地点までの距離 (cm)
	X4	海岸砂、海水中の評価地点までの距離 (cm)
	Y	水平面内で流れの軸に垂直に見た拡散源の幅 (cm)
	CALC	TT
ALP		軸上濃度計算における係数 α

第3.1-11表 CORALで使用するファイル

ファイル機番	ファイル・タイプ	ファイル形式
5	DATA	RECFM = F LRECL = 80 BLOCK = 80
6	OUTPUT	RECFM = F LRECL = 132 BLOCK = 132

3.2 入力方法

カード番号	変数名	カラム	フォーマット	内容	
1	1-1	TITLE	1-72	A72	タイトル (英数字72文字)
2	2-1	TYPE	2-2	A2	入力データの指定 = "DR" : 放出率 (Bq/y) ≠ "DR" : 評価地点海水中濃度 (Bq/cm ³)
3	3-1	H	1-10	D10.0	鉛直混合層の厚さ (cm)
	3-2	Y	11-20	D10.0	拡散源の幅 (cm)
	3-3	ALP	21-30	D10.0	係数 α の値
	3-4	U	31-40	D10.0	平均流速 (cm/sec)
	3-5	X1	41-50	D10.0	放出口付近の円状海域の直径 (cm)
	・カード2で海水中濃度を指定した場合、カード3は不要				
4					海水中濃度の評価地点までの距離 (cm)
	4-1	X2	1-15	D15.0	海藻類
	4-2	X3	16-30	D15.0	貝類
	4-3	X4	31-45	D15.0	海岸砂、海水中
	・カード2で海水中濃度を指定した場合、カード4は不要				
5					海水中濃度の評価地点方位における流向頻度 (≤ 1.0)
	5-1	FR2	1-15	D15.0	海藻類
	5-2	FR3	16-30	D15.0	貝類
	5-3	FR4	31-45	D15.0	海岸砂、海水中
	・カード2で海水中濃度を指定した場合、カード5は不要				
6	6-1	OP1	1	I1	計算モードの指定 0 : 全ての計算を行う。 1 : 内部実効線量当量の計算

カード番号	変数名	カラム	フォーマット	内容	
6	6-1	(続き)		2 : 外部実効・組織線量当量の計算 3 : 外部実効線量当量の計算 4 : 外部組織線量当量の計算 計算モード2における組織線量当量はβ線及びγ線寄与分を含めた組織線量当量を出力する。 計算モード4における組織線量当量はβ線による組織線量当量のみを出力する。	
	6-2	UN	3-4	A2	入力単位（放出量について）の指定 " Bq" : 単位はベクレル " Ci" : 単位はキュリー
	6-3	OP3	6	I1	= 1 : 核種毎の海産物中濃度の出力 ≠ 1 : 出力無し
	6-4	OP4	8	I1	= 1 : 経路毎、核種毎の海水中濃度の出力 ≠ 1 : 出力無し
	6-5	OP5	10	I1	組織線量当量（β線のみ）計算における ³ Hの計算経路 = 0 : ³ Hは考慮しない = 1 : 漁網、海水中のみ考慮する = 2 : 全経路考慮する
	6-6	OP6	12	I1	外部実効及び組織線量当量の計算経路 = 0 : 全経路考慮する = 1 : 海面、海水中を除く
	7	7-1	NO	1-5	I5
7-2		PN	6-10	I5	Pu同位体の数（上記核種のうち）
					・Pu同位体のみときは計算モード2、3、4は不可 ・Pu同位体と ³ Hのみの時は計算モード2、3は不可 ・計算モード1以外の時は、 ³ Hを含めて2核種以上必要

カード番号	変数名	カラム	フォーマット	内容	
8	8-1	ELE(I)	1-6	A6	核種名 ・1枚目のカードは必ず ³ Hであること。 (計算モード1 以外するとき)
	8-2	DR(I, J) (J=1, 3)	7-16	3D10.0	放出量 (Bq/y 又はCi/y) 内部実効線量当量計算のための放出量
			17-26		外部実効線量当量計算のための放出量
			27-36		外部組織線量当量計算のための放出量
	8-3	ENG(I)	37-46	D10.0	β 線平均エネルギー (MeV) ・計算モード1、3の時はダミー。
8-4		47-56	D10.0	β 線最大エネルギー (MeV) ・計算モード1、3の時はダミー。	
				・カード8はNO枚必要。 ・Pu核種のカードの後ろにはPu核種以外のものはおけない。(Pu核種は最後にかためておくこと)	
9	9-1	OP2	1-2	I2	年摂取限度/線量換算係数選択オプション。 1 : 年摂取限度 (Bq) 2 : 線量換算係数 (Sv/Bq)
					・計算モード2、3、4の時はダミー。
10	10-1	ALI(I)	1-8	D8.0	年摂取限度 (Bq) 又は線量換算係数 (Sv/Bq) ・ヨウ素(I-129, I-131)の年摂取限度(Bq)については日本人の安定ヨウ素摂取量を考慮する場合は告示別表の値に ³ / ₂ を乗じて使用すること。

カード番号	変数名	カラム	フォーマット	内容	
10	10-2	ICF(I, K) (K=1, PI, PI= 7)	9-15 16-22 23-29 30-36 37-43 44-50 51-57	717	濃縮係数 (Bq/g per Bq/cm ²) 魚類 褐藻類 紅藻類 貝類 頭足類 甲殻類 シラス ・ ³ H及びPu同位体の場合シラスの濃縮係数は0である。
	10-3	EXC(I)	58-67	D10.0	シラスの排泄率 (s ⁻¹) ・ ³ H及びPu同位体の場合シラスの排泄率は不要。
					・カード10は計算モード2、3、4の時は不要。 ・カード10はNO枚必要。(核種数) ・カード10の並べ方はカード7と同じにすること。
11	11-1	FOD(I) (K=1, PI, PI= 7)	1-49	7D7.0	摂取率 (g/d) ・順番は魚類、褐藻、紅藻、貝類、頭足類、甲殻類、シラスの順。 ・カード11は計算モード2、3、4の時は不要。
12	12-1	FMK(I) (K=1, PI, PI= 7)	1-49	7F7.0	市場希釈係数 (≤1.0) ・順番は魚類、褐藻、紅藻、貝類、頭足類、甲殻類、シラスの順。 ・カード11は計算モード2、3、4の時は不要。
13	13-1	ETM(L) (L=1, PE+1, PE=5)	1-42	6D7.0	年間被ばく時間 (hour/year) ・順番は海岸砂、漁網 (γ線)、漁網 (β線)、海面、海水中、船体の順。 ・カード13は計算モード1の時は不要。
14	14-1	IPOL(I, L) (L=1, PE, PE= 5)	1-7	517	汚染係数 (Bq/g per Bq/cm ²) 海岸砂

カード 番号	変数名	カラム	フォー マット	内 容
14	14-1	(続き)	8-14 15-21 22-28 29-35	魚網 海面 海水中 船体
15	15-1	ABS0(I, K) (K=1, 5)	1-10 11-20 21-30 31-40 41-50	5D10.0 組織 海岸砂 海水 空気 漁網
16	16-1	KOC(I, M) (M=1, 2)	1-10 11-20	2D10.0 Kocherの線量換算係数 地表面 : (mSv/h per Bq/cm ²) 水中浸漬 : (mSv/h per Bq/cm ²)
		QAD(I)	51-65	D15.0 QADでの計算結果(魚網) (mSv/h per Bq/cm ²)

参考文献

- 1) 日本原子力研究所、「保健物理部の活動」、JAERI-5014、1965年
- 2) 日本原子力研究所、「保健物理部の活動」、JAERI-5015、1967年
- 3) 岩崎皓二 他、「再処理施設低レベル放射性廃液放出に伴う海洋拡散調査」
PNCT-78-69、1978年12月
- 4) 財団法人 原子力安全研究協会、「放射性廃液の海洋放出調査特別委員会5か
年研究成果報告書」、原安協報告-32、1972年
- 5) 財団法人 原子力安全研究協会、「放射能クリティカル経路の調査」放射能
クリティカル経路調査グループ、1972年
- 6) 財団法人 原子力安全研究協会、「放射能クリティカル経路の調査」放射能
クリティカル経路調査グループ、1973年
- 7) 財団法人 原子力安全研究協会、「放射能クリティカル経路の調査」放射能
クリティカル経路調査グループ、1974年
- 8) D. C. Kocher. "Dose Rate Conversion Factors for External Exposure to
Photons and Electrons", Health Physics Vol. 45, No. 3, September 1983
- 9) 財団法人 原子力安全研究協会、「放射性廃液の海洋放出による外部被曝線
量の試算」、海洋放出調査特別委員会試算分科会報告書(Ⅲ)、1968年
- 10) 原子力安全委員会、「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の
線量当量評価について」平成元年 3月27日了承
- 11) Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, "Fisheries Radiological
Laboratory : Radioactivity in Surface and Coastal Water of the British
isles", Technical Report FRL-1, 1967
- 12) International Commission on Radiological Protection, "Data for Use in
Protection against External Radiation", ICRP Publication 51, March
- 13) 水産庁調査研究部、「ビキニ海域における放射能調査」、1955年
- 14) 水産庁調査研究部、「昭和29年におけるビキニ海域の放射能調査報告(第2
集)」、1955年
- 15) 水産庁調査研究部、「1956年核爆発実験影響調査報告書(第1集)」、
1956年
- 16) 福田整司、神永博史、井沢庄治、「外部被曝によるβ線吸収線量の評価」、
JAERI-1065、1964年10月

付録 1 入 力 例

**** CORAL TEST RUN SAMPLE DATE ****

DR

	690.0	200.0	0.1415	10.0	1.000D+05		
	500000.		500000.		780000.		
	0.115		0.115		0.133		
0 BQ	1	1	0	1			
	14	1					
H -3	3.000D+13	3.000D+13	3.000D+13	5.683D-03	1.860D-02		
SR-89	3.000D+07	3.000D+07	3.000D+07	5.833D-01	1.489D+00		
SR-90	1.500D+07	1.500D+07	1.500D+07	5.653D-01	1.412D+00		
ZR-95	3.400D+07	3.400D+07	3.400D+07	1.538D-01	3.856D-01		
NB-95	2.500D+07	2.500D+07	2.500D+07	4.332D-02	1.597D-01		
RU-103	1.500D+07	1.500D+07	1.500D+07	7.215D-02	2.474D-01		
RU-106	4.400D+08	4.400D+08	4.400D+08	7.107D-01	1.687D+00		
I -129	1.900D+07	1.900D+07	1.900D+07	4.888D-02	1.500D-01		
I -131	2.500D+07	2.500D+07	2.500D+07	1.813D-01	5.767D-01		
CS-134	1.500D+07	1.500D+07	1.500D+07	1.564D-01	4.960D-01		
CS-137	2.600D+07	2.600D+07	2.600D+07	1.870D-01	5.467D-01		
CE-141	3.000D+07	3.000D+07	3.000D+07	1.452D-01	4.778D-01		
CE-144	3.000D+08	3.000D+08	3.000D+08	6.422D-01	1.627D+00		
PU-239	1.500D+06	1.500D+06	1.500D+06	0.000D+00	0.000D+00		

1	2.9E+9	1	1	1	1	1	1	0	
	2.3E+7	3	20	20	5	2	30	4	8.03D-06
	1.3E+6	3	20	20	5	2	30	4	8.03D-06
	5.4E+7	50	1000	300	40	50	50	40	2.67D-06
	8.2E+7	50	1000	300	40	50	50	40	2.67D-06
	6.8E+7	50	500	2000	300	80	200	30	1.60D-05
	8.6E+6	50	500	2000	300	80	200	30	1.60D-05
	1.01E+6	30	2000	1000	60	3	30	0	
	5.25E+6	30	2000	1000	60	3	30	0	
	2.5E+6	30	30	10	9	10	20	20	1.60D-06
	3.6E+6	30	30	10	9	10	20	20	1.60D-06
	7.1E+7	50	600	600	200	30	90	50	2.67D-06
	9.4E+6	50	600	600	200	30	90	50	2.67D-06
	5.1E+4	100	3000	3000	200	200	400	0	
	120.0	38.0	2.0	10.0	30.0	10.0	50.0		
	1.5	1.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5		
	500.0	1000.0	2000.0	2000.0	100.0	3000.0			
	10	4000	1	1	10				
	10	4000	1	1	10				
	500	4000	1	1	10				
	500	4000	1	1	10				
	1000	4000	1	1	10				
	1000	4000	1	1	10				
	0	0	0	0	0				
	0	0	0	0	0				
	100	4000	1	1	10				
	100	4000	1	1	10				
	1000	4000	1	1	10				
	1000	4000	1	1	10				
	1.0000D+0	1.7000D+0	1.0000D+0	1.2930D-3	1.0000D+0				
	2.430D-06	1.470D-06							0.000000000D+00
	3.880D-06	2.760D-06							0.000000000D+00
	4.760D-05	5.250D-04							5.810000000D-05

2.4200-05 2.6800-04
1.5600-05 1.6400-04
1.1500-05 7.5000-05
0.0000+00 0.0000+00
0.0000+00 0.0000+00
4.9400-05 5.4100-04
1.8500-05 1.9500-04
2.7600-06 2.7400-05
6.0600-06 2.1500-05

6.1600000000-05
4.0800000000-05
1.7400000000-05
0.0000000000+00
0.0000000000+00
1.2700000000-04
4.5800000000-05
6.7800000000-06
3.9500000000-06

付録 2 出力例

```
      CCCC      000000  RRRRRRRR      AAA      LL
    CC      CC      00      00  RR      RR      AA AA      LL
  CC      CC      00      00  RR      RR      AA AA      LL
CC      CC      00      00  RR      RR      AA AA      LL
CC      CC      00      00  RRRRRRRR  AAAAAAAAAA  LL
CC      CC      00      00  RR      RR      AA      AA  LL
CC      CC      00      00  RR      RR      AA      AA  LL
  CC      CC      00      00  RR      RR      AA      AA  LL
    CC      CC      00      00  RR      RR      AA      AA  LL
      CCCC      000000  RR      RR      AA      AA  LLLLLLLL
```

VERSION NAME : ICORAL
VERSION NO. : CORAL V.3.5

**** CORAL TEST RUN SAMPLE DATE ****

VERTICAL MIXING LAYER (CM) 690.00
WIDE OF DIFFUSION (CM) 200.00
VELOCITY (CM/SEC) 10.00
ALPHA 0.14150
DIAMETER OF CIRCLE (KM) 1.00

DISTANCE (KM)
WEED SHELL COAST
5.00 5.00 7.80

FREQUENCY OF CURRENT
0.115 0.115 0.133

INPUT DATA TYPE SELECT

SELECT OF INPUT DATA TYPE --- DISCHARGE RATE

OPTION OUTPUT & OPTION CALC. SELECT

SELECT OF OP1 --- 0

- 0 : ALL CALC.MODE EXECUTE
- 1 : INTERNAL CALC.EXECUTE
- 2 : INTERNAL & EXTERNAL CALC.EXECUTE
- 3 : EXTERNAL & SKIN CALC.EXECUTE
- 4 : SKIN CALC.EXECUTE

SELECT OF OP3 --- 1

- 0 : NONE OUTPUT
- 1 : OUTPUT OF CONCENTRATION IN MARINE PRODUCTS

SELECT OF OP4 --- 1

- 0 : NONE OUTPUT
- 1 : OUTPUT OF CONCENTRATION IN SEA WATER

SELECT OF OP5 --- 0

- EXTERNAL SKIN
- 0 : CALC. OF H-3 IS NONE
- 1 : CALC. OF H-3 IS ONLY F.NET & SEA WATER
- 2 : CALC. OF H-3 IS ALL PATHWAY

SELECT OF OP6 --- 1

- EXTERNAL EFFECTIVE DOSE & EXTERNAL SKIN
- 0 : CALC. ON ALL PATHWAY
- 1 : CALC. ON ALL PATHWAY WITHOUT SURF.SEA & SEA WATER

DISCHARGE RATE (BQ/YEAR)

	INTER EFF.	EXTER GAMMA	EXTER BETA
H -3	3.00000+13	3.00000+13	3.00000+13
SR-89	3.00000+07	3.00000+07	3.00000+07
SR-90	1.50000+07	1.50000+07	1.50000+07
ZR-95	3.40000+07	3.40000+07	3.40000+07
NB-95	2.50000+07	2.50000+07	2.50000+07
RU-103	1.50000+07	1.50000+07	1.50000+07
RU-106	4.40000+08	4.40000+08	4.40000+08
I -129	1.90000+07	1.90000+07	1.90000+07
I -131	2.50000+07	2.50000+07	2.50000+07
CS-134	1.50000+07	1.50000+07	1.50000+07
CS-137	2.60000+07	2.60000+07	2.60000+07
CE-141	3.00000+07	3.00000+07	3.00000+07
CE-144	3.00000+08	3.00000+08	3.00000+08
PU-239	1.50000+06	1.50000+06	1.50000+06

ENERGY OF BETA RAY (MEV)

	AVERAGE	MAXIMUM
H -3	5.68300-03	1.86000-02
SR-89	5.83300-01	1.48900+00
SR-90	5.65300-01	1.41200+00
ZR-95	1.53800-01	3.85600-01
NB-95	4.33200-02	1.59700-01
RU-103	7.21500-02	2.47400-01
RU-106	7.10700-01	1.68700+00
I -129	4.88800-02	1.50000-01
I -131	1.81300-01	5.76700-01
CS-134	1.56400-01	4.96000-01
CS-137	1.87000-01	5.46700-01
CE-141	1.45200-01	4.77800-01
CE-144	6.42200-01	1.62700+00
PU-239	0.00000+00	0.00000+00

ANNUAL LIMITS OF INTAKE (BQ)

	ALI
H -3	2.90E+09
SR-89	2.30E+07
SR-90	1.30E+06
ZR-95	5.40E+07
NB-95	8.20E+07
RU-103	6.80E+07
RU-106	8.60E+06
I -129	1.01E+06
I -131	5.25E+06
CS-134	2.50E+06
CS-137	3.60E+06
CE-141	7.10E+07
CE-144	9.40E+06
PU-239	5.10E+04

CONCENTRATION FACTOR (BQ/G PER BQ/CM³)

	FISH	B.WEED	R.WEED	SHELLFISH	CEPHALOPODA	CRUSTACEAN	WHITEBAIT	EXCRETION RATE WHITEBAITE (1/S)
H -3	1	1	1	1	1	1	0	0.000D+00
SR-89	3	20	20	5	2	30	4	8.030D-06
SR-90	3	20	20	5	2	30	4	8.030D-06
ZR-95	50	1000	300	40	50	50	40	2.670D-06
NB-95	50	1000	300	40	50	50	40	2.670D-06
RU-103	50	500	2000	300	80	200	30	1.600D-05
RU-106	50	500	2000	300	80	200	30	1.600D-05
I -129	30	2000	1000	60	3	30	0	0.000D+00
I -131	30	2000	1000	60	3	30	0	0.000D+00
CS-134	30	30	10	9	10	20	20	1.600D-06
CS-137	30	30	10	9	10	20	20	1.600D-06
CE-141	50	600	600	200	30	90	50	2.670D-06
CE-144	50	600	600	200	30	90	50	2.670D-06
PU-239	100	3000	3000	200	200	400	0	0.000D+00

INGESTION RATE OF MARINE PRODUCTS (G/DAY)

FISH	B.WEED	R.WEED	SHELLFISH	CEPHALOPODA	CRUSTACEAN	WHITEBAIT
120.00	38.00	2.00	10.00	30.00	10.00	50.00

MARKET FACTOR OF MARINE PRODUCTS

FISH	B.WEED	R.WEED	SHELLFISH	CEPHALOPODA	CRUSTACEAN	WHITEBAIT
1.00	1.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50

CONTAMINATION FACTOR

	COAST	F.NET	SURF.SEA	SEAWATER	D.SHIP
SR-89	10	4000	1	1	10
SR-90	10	4000	1	1	10
ZR-95	500	4000	1	1	10
NB-95	500	4000	1	1	10
RU-103	1000	4000	1	1	10
RU-106	1000	4000	1	1	10
I -129	0	0	0	0	0
I -131	0	0	0	0	0
CS-134	100	4000	1	1	10
CS-137	100	4000	1	1	10
CE-141	1000	4000	1	1	10
CE-144	1000	4000	1	1	10

DENSITY OF MATERIAL (G/CM**3)

TISSUE	SAND	SEA WATER	AIR	F.NET
1.000000+00	1.700000+00	1.000000+00	1.293000-03	1.000000+00

	KOCHER'S FACTOR		RESULT OF QAD
	GROUND SURFACE	WATER IMMERSION	
	(MSV/H PER BQ/CM**2)	(MSV/H PER BQ/CM**3)	(MSV/H PER BQ/CM**3)
SR-89	2.4300-06	1.4700-06	0.000000+00
SR-90	3.8800-06	2.7600-06	0.000000+00
ZR-95	4.7600-05	5.2500-04	5.810000-05
NB-95	2.4200-05	2.6800-04	6.160000-05
RU-103	1.5600-05	1.6400-04	4.080000-05
RU-106	1.1500-05	7.5000-05	1.740000-05
I -129	0.0000+00	0.0000+00	0.000000+00
I -131	0.0000+00	0.0000+00	0.000000+00
CS-134	4.9400-05	5.4100-04	1.270000-04
CS-137	1.8500-05	1.9500-04	4.580000-05
CE-141	2.7600-06	2.7400-05	6.780000-06
CE-144	6.0600-06	2.1500-05	3.950000-06

ANNUAL EXPOSURE TIME (HOUR/YEAR)

COAST	F.NET(G)	F.NET(B)	SURF.SEA	SEAWATER	D.SHIP
500.00	1000.00	2000.00	2000.00	100.00	3000.00

ABSORPTION COEFFICIENT (1/CM)

	TISSUE	SAND	SEA WATER	AIR	F.NET
SR-89	1.11483D+01	1.63553D+01	1.11483D+01	1.22616D-02	1.11483D+01
SR-90	1.20117D+01	1.76455D+01	1.20117D+01	1.32328D-02	1.20117D+01
ZR-95	7.84911D+01	1.12907D+02	7.84911D+01	9.00987D-02	7.84911D+01
NB-95	3.25812D+02	3.98265D+02	3.25812D+02	3.85834D-01	3.25812D+02
RU-103	1.56358D+02	2.12979D+02	1.56358D+02	1.82210D-01	1.56358D+02
RU-106	9.35836D+00	1.36812D+01	9.35836D+00	1.02535D-02	9.35836D+00
I -129	3.64379D+C2	4.35600D+02	3.64379D+02	4.32565D-01	3.64379D+02
I -131	4.31880D+01	6.34950D+01	4.31880D+01	4.89305D-02	4.31880D+01
CS-134	5.38933D+01	7.87697D+01	5.38933D+01	6.13561D-02	5.38933D+01
CS-137	4.67010D+01	6.85357D+01	4.67010D+01	5.30013D-02	4.67010D+01
CE-141	5.69579D+01	8.30952D+01	5.69579D+01	6.49236D-02	5.69579D+01
CE-144	9.84521D+00	1.44083D+01	9.84521D+00	1.07989D-02	9.84521D+00

INTERNAL EFFECTIVE DOSE (MSV /YEAR)

	FISH	B.WEED	R.WEED	SHELLFISH	CEPHALOPODA	CRUSTACEAN	WHITEBAIT	TOTAL
H -3	1.60180-06	5.68670-08	2.99300-10	2.99300-09	9.94220-08	4.41880-08	0.00000+00	1.80560-06
SR-89	5.01430-10	1.43400-10	7.54750-13	1.88690-12	2.50720-11	1.67140-10	3.31740-10	1.17140-09
SR-90	4.43580-09	1.26860-09	6.67670-12	1.66920-11	2.21790-10	1.47860-09	2.93470-09	1.03630-08
ZR-95	4.03420-09	3.46110-09	5.46500-12	7.28660-12	3.02560-10	1.34470-10	6.29530-10	8.57460-09
NR-95	1.95340-09	1.67590-09	2.64620-12	3.52830-12	1.46510-10	6.51140-11	3.04830-10	4.15200-09
RU-103	1.41340-09	6.06300-10	1.27640-11	1.91460-11	1.69600-10	1.88450-10	7.45300-10	3.15490-09
RU-106	3.27810-07	1.40620-07	2.96050-09	4.44070-09	3.93370-08	4.37080-08	1.72860-07	7.31740-07
I -129	8.73850-08	2.06820-07	5.44270-10	3.26560-10	5.42390-10	2.41060-09	0.00000+00	2.98030-07
I -131	2.21260-08	5.23530-08	1.37770-10	8.26630-11	1.37300-10	6.10210-10	0.00000+00	7.54410-08
CS-134	2.30660-08	9.89480-10	1.73590-12	1.56230-11	5.76650-10	5.12580-10	1.92900-09	2.70910-08
CS-137	2.77650-08	1.19100-09	2.08950-12	1.88060-11	6.94110-10	6.16990-10	2.32190-09	3.26090-08
CE-141	2.70730-09	1.39360-09	7.33490-12	2.44500-11	1.21830-10	1.62440-10	5.28080-10	4.94500-09
CE-144	2.04490-07	1.05260-07	5.54020-10	1.84670-09	9.20180-09	1.22690-08	3.98870-08	3.73510-07
PU-239	4.55410-07	4.85040-07	2.55280-09	1.70190-09	5.65340-08	5.02530-08	0.00000+00	1.05150-06
TOTAL	2.76490-06	1.05770-06	7.08820-09	1.14990-08	2.07430-07	1.56760-07	2.22480-07	4.42790-06

CONCENTRATION IN MARINE PRODUCTS (BQ/G)

	FISH	B.WEED	R.WEED	SHELLFISH	CEPHALOPODA	CRUSTACEAN	WHITEBAIT	TOTAL
H -3	1.7542D-03	2.3764D-04	2.3764D-04	2.3764D-04	1.7542D-03	1.7542D-03	0.0000D+00	5.9755D-03
SR-89	5.2626D-09	4.7527D-09	4.7527D-09	1.1882D-09	3.5084D-09	5.2626D-08	1.6712D-08	8.8803D-08
SR-90	2.6313D-09	2.3764D-09	2.3764D-09	5.9409D-10	1.7542D-09	2.6313D-08	8.3561D-09	4.4401D-08
ZR-95	9.9404D-08	2.6932D-07	8.0796D-08	1.0773D-08	9.9404D-08	9.9404D-08	7.4458D-08	7.3356D-07
NB-95	7.3092D-08	1.9803D-07	5.9409D-08	7.9212D-09	7.3092D-08	7.3092D-08	5.4748D-08	5.3938D-07
RU-103	4.3855D-08	5.9409D-08	2.3764D-07	3.5645D-08	7.0168D-08	1.7542D-07	1.1100D-07	7.3314D-07
RU-106	1.2864D-06	1.7427D-06	6.9706D-06	1.0456D-06	2.0583D-06	5.1456D-06	3.2561D-06	2.1505D-05
I -129	3.3330D-08	3.0101D-07	1.5050D-07	9.0302D-09	3.3330D-09	3.3330D-08	0.0000D+00	5.3053D-07
I -131	4.3855D-08	3.9606D-07	1.9803D-07	1.1882D-08	4.3855D-09	4.3855D-08	0.0000D+00	6.9807D-07
CS-134	2.6313D-08	3.5645D-09	1.1882D-09	1.0694D-09	8.7710D-09	1.7542D-08	1.0562D-08	6.9010D-08
CS-137	4.5609D-08	6.1785D-09	2.0595D-09	1.8536D-09	1.5203D-08	3.0406D-08	1.8308D-08	1.1962D-07
CE-141	8.7710D-08	1.4258D-07	1.4258D-07	4.7527D-08	5.2626D-08	1.5788D-07	8.2122D-08	7.1303D-07
CE-144	8.7710D-07	1.4258D-06	1.4258D-06	4.7527D-07	5.2626D-07	1.5788D-06	8.2122D-07	7.1303D-06
PU-239	8.7710D-09	3.5645D-08	3.5645D-08	2.3764D-09	1.7542D-08	3.5084D-08	0.0000D+00	1.3506D-07
TOTAL	1.7568D-03	2.4222D-04	2.4695D-04	2.3929D-04	1.7571D-03	1.7617D-03	4.4536D-06	6.0085D-03

CONCENTRATION IN SEA WATER (BQ/CM**3)

	FISH	B.WEED	R.WEED	SHELLFISH	CEPHALOPODA	CRUSTACEAN	WHITEBAIT
H -3	1.7542D-03	2.3764D-04	2.3764D-04	2.3764D-04	1.7542D-03	1.7542D-03	0.0000D+00
SR-89	1.7542D-09	2.3764D-10	2.3764D-10	2.3764D-10	1.7542D-09	1.7542D-09	4.1780D-09
SR-90	8.7710D-10	1.1882D-10	1.1882D-10	1.1882D-10	8.7710D-10	8.7710D-10	2.0890D-09
ZR-95	1.9881D-09	2.6932D-10	2.6932D-10	2.6932D-10	1.9881D-09	1.9881D-09	1.8614D-09
NB-95	1.4618D-09	1.9803D-10	1.9803D-10	1.9803D-10	1.4618D-09	1.4618D-09	1.3687D-09
RU-103	8.7710D-10	1.1882D-10	1.1882D-10	1.1882D-10	8.7710D-10	8.7710D-10	3.7002D-09
RU-106	2.5728D-08	3.4853D-09	3.4853D-09	3.4853D-09	2.5728D-08	2.5728D-08	1.0854D-07
I -129	1.1110D-09	1.5050D-10	1.5050D-10	1.5050D-10	1.1110D-09	1.1110D-09	0.0000D+00
I -131	1.4618D-09	1.9803D-10	1.9803D-10	1.9803D-10	1.4618D-09	1.4618D-09	0.0000D+00
CS-134	8.7710D-10	1.1882D-10	1.1882D-10	1.1882D-10	8.7710D-10	8.7710D-10	5.2812D-10
CS-137	1.5203D-09	2.0595D-10	2.0595D-10	2.0595D-10	1.5203D-09	1.5203D-09	9.1541D-10
CE-141	1.7542D-09	2.3764D-10	2.3764D-10	2.3764D-10	1.7542D-09	1.7542D-09	1.6424D-09
CE-144	1.7542D-08	2.3764D-09	2.3764D-09	2.3764D-09	1.7542D-08	1.7542D-08	1.6424D-08
PU-239	8.7710D-11	1.1882D-11	1.1882D-11	1.1882D-11	8.7710D-11	8.7710D-11	0.0000D+00

EXTERNAL EFFECTIVE DOSE (MSV /YEAR)

	COAST	F.NET	SURF.SEA	SEAWATER	D.SHIP	TOTAL
SR-89	1.8194D-11	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	3.2610D-11	5.0804D-11
SR-90	1.4526D-11	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	2.6034D-11	4.0560D-11
ZR-95	2.0196D-08	1.0396D-07	0.0000D+00	0.0000D+00	7.2394D-10	1.2488D-07
NB-95	7.5498D-09	8.1044D-08	0.0000D+00	0.0000D+00	2.7063D-10	8.8864D-08
RU-103	5.8402D-09	3.2207D-08	0.0000D+00	0.0000D+00	1.0467D-10	3.8152D-08
RU-106	1.2629D-07	4.0290D-07	0.0000D+00	0.0000D+00	2.2634D-09	5.3145D-07
I -129	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00
I -131	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00
CS-134	1.8494D-09	1.0025D-07	0.0000D+00	0.0000D+00	3.3146D-10	1.0243D-07
CS-137	1.2005D-09	6.2667D-08	0.0000D+00	0.0000D+00	2.1516D-10	6.4083D-08
CE-141	2.0665D-09	1.0704D-08	0.0000D+00	0.0000D+00	3.7038D-11	1.2808D-08
CE-144	4.5374D-08	6.2362D-08	0.0000D+00	0.0000D+00	8.1323D-10	1.0855D-07
TOTAL	2.1040D-07	8.5610D-07	0.0000D+00	0.0000D+00	4.8182D-09	1.0713D-06

CONCENTRATION IN SEA WATER (BQ/CM**3)

	COAST	F.NET	SURF.SEA	SEAWATER	D.SHIP
H -3	1.7617D-04	1.7542D-03	1.7542D-03	1.7617D-04	1.7542D-03
SR-89	1.7617D-10	1.7542D-09	1.7542D-09	1.7617D-10	1.7542D-09
SR-90	8.8087D-11	8.7710D-10	8.7710D-10	8.8087D-11	8.7710D-10
ZR-95	1.9966D-10	1.9881D-09	1.9881D-09	1.9966D-10	1.9881D-09
N8-95	1.4681D-10	1.4618D-09	1.4618D-09	1.4681D-10	1.4618D-09
RU-103	8.8087D-11	8.7710D-10	8.7710D-10	8.8087D-11	8.7710D-10
RU-106	2.5839D-09	2.5728D-08	2.5728D-08	2.5839D-09	2.5728D-08
I -129	1.1158D-10	1.1110D-09	1.1110D-09	1.1158D-10	1.1110D-09
I -131	1.4681D-10	1.4618D-09	1.4618D-09	1.4681D-10	1.4618D-09
CS-134	8.8087D-11	8.7710D-10	8.7710D-10	8.8087D-11	8.7710D-10
CS-137	1.5268D-10	1.5203D-09	1.5203D-09	1.5268D-10	1.5203D-09
CE-141	1.7617D-10	1.7542D-09	1.7542D-09	1.7617D-10	1.7542D-09
CE-144	1.7617D-09	1.7542D-08	1.7542D-08	1.7617D-09	1.7542D-08

EXTERNAL SKIN DOSE (MSV /YEAR)

	COAST	F.NET	SURF.SEA	SEAWATER	D.SHIP	TOTAL
H -3	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00
SR-89	1.3164D-10	1.8099D-06	0.0000D+00	0.0000D+00	2.0273D-07	2.0128D-06
SR-90	6.2690D-11	8.6304D-07	0.0000D+00	0.0000D+00	1.0230D-07	9.6540D-07
ZR-95	7.8762D-10	2.1235D-07	0.0000D+00	0.0000D+00	1.0486D-07	3.1800D-07
NB-95	1.6704D-11	3.8271D-09	0.0000D+00	0.0000D+00	5.9669D-09	9.8107D-09
RU-103	1.4821D-10	1.8919D-08	0.0000D+00	0.0000D+00	1.6099D-08	3.5166D-08
RU-106	2.4432D-07	3.3473D-05	0.0000D+00	0.0000D+00	3.2829D-06	3.7000D-05
I -129	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00
I -131	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00
CS-134	9.3960D-11	1.2870D-07	0.0000D+00	0.0000D+00	4.7565D-08	1.7636D-07
CS-137	2.1297D-10	2.9290D-07	0.0000D+00	0.0000D+00	9.7025D-08	3.9013D-07
CE-141	1.6810D-09	2.2983D-07	0.0000D+00	0.0000D+00	8.8620D-08	3.2013D-07
CE-144	1.4895D-07	2.0428D-05	0.0000D+00	0.0000D+00	2.0822D-06	2.2659D-05
TOTAL	3.9640D-07	5.7460D-05	0.0000D+00	0.0000D+00	6.0303D-06	6.3887D-05

CONTRIBUTION OF GAMMA (MSV /YEAR) (EXTERNAL EFFECTIV DOSE * 1.2)

SR-89	2.1833D-11	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	3.9132D-11	6.0965D-11
SR-90	1.7431D-11	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	3.1241D-11	4.8671D-11
ZR-95	2.4235D-08	1.2475D-07	0.0000D+00	0.0000D+00	8.6873D-10	1.4985D-07
NB-95	9.0597D-09	9.7253D-08	0.0000D+00	0.0000D+00	3.2475D-10	1.0664D-07
RU-103	7.0082D-09	3.8648D-08	0.0000D+00	0.0000D+00	1.2561D-10	4.5782D-08
RU-106	1.5154D-07	4.8348D-07	0.0000D+00	0.0000D+00	2.7161D-09	6.3775D-07
I -129	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00
I -131	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00
CS-134	2.2193D-09	1.2030D-07	0.0000D+00	0.0000D+00	3.9776D-10	1.2292D-07
CS-137	1.4406D-09	7.5200D-08	0.0000D+00	0.0000D+00	2.5819D-10	7.6899D-08
CE-141	2.4798D-09	1.2845D-08	0.0000D+00	0.0000D+00	4.4446D-11	1.5369D-08
CE-144	5.4448D-08	7.4834D-08	0.0000D+00	0.0000D+00	9.7587D-10	1.3026D-07
TOTAL	2.5249D-07	1.0273D-06	0.0000D+00	0.0000D+00	5.7819D-09	1.2856D-06

EXTERNAL TISSUE DOSE EQUIVALENT (MSV /YEAR) (INCLUDE GAMMA)

H -3	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00
SR-89	1.5348D-10	1.8099D-06	0.0000D+00	0.0000D+00	2.0277D-07	2.0128D-06
SR-90	8.0120D-11	8.6304D-07	0.0000D+00	0.0000D+00	1.0233D-07	9.6545D-07
ZR-95	2.5023D-08	3.3710D-07	0.0000D+00	0.0000D+00	1.0573D-07	4.6786D-07
NB-95	9.0764D-09	1.0108D-07	0.0000D+00	0.0000D+00	6.2916D-09	1.1645D-07
RU-103	7.1564D-09	5.7567D-08	0.0000D+00	0.0000D+00	1.6225D-08	8.0949D-08
RU-106	3.9587D-07	3.3956D-05	0.0000D+00	0.0000D+00	3.2856D-06	3.7638D-05
I -129	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00
I -131	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00
CS-134	2.3132D-09	2.4900D-07	0.0000D+00	0.0000D+00	4.7963D-08	2.9928D-07
CS-137	1.6535D-09	3.6810D-07	0.0000D+00	0.0000D+00	9.7283D-08	4.6703D-07
CE-141	4.1609D-09	2.4268D-07	0.0000D+00	0.0000D+00	8.8665D-08	3.3550D-07
CE-144	2.0339D-07	2.0503D-05	0.0000D+00	0.0000D+00	2.0832D-06	2.2789D-05
TOTAL	6.4888D-07	5.8488D-05	0.0000D+00	0.0000D+00	6.0361D-06	6.5173D-05

CONCENTRATION IN SEA WATER FOR SKIN DOSE CALCULATION (BQ/CM**3)

	COAST	F.NET	SURF.SEA	SEAWATER	D.SHIP
H -3	1.7617D-04	1.7542D-03	1.7542D-03	1.7617D-04	1.7542D-03
SR-89	1.7617D-10	1.7542D-09	1.7542D-09	1.7617D-10	1.7542D-09
SR-90	8.8087D-11	8.7710D-10	8.7710D-10	8.8087D-11	8.7710D-10
ZR-95	1.9966D-10	1.9881D-09	1.9881D-09	1.9966D-10	1.9881D-09
NB-95	1.4681D-10	1.4618D-09	1.4618D-09	1.4681D-10	1.4618D-09
RU-103	8.8067D-11	8.7710D-10	8.7710D-10	8.8087D-11	8.7710D-10
RU-106	2.5839D-09	2.5728D-08	2.5728D-08	2.5839D-09	2.5728D-08
I -129	1.1158D-10	1.1110D-09	1.1110D-09	1.1158D-10	1.1110D-09
I -131	1.4681D-10	1.4618D-09	1.4618D-09	1.4681D-10	1.4618D-09
CS-134	8.8087D-11	8.7710D-10	8.7710D-10	8.8087D-11	8.7710D-10
CS-137	1.5268D-10	1.5203D-09	1.5203D-09	1.5268D-10	1.5203D-09
CE-141	1.7617D-10	1.7542D-09	1.7542D-09	1.7617D-10	1.7542D-09
CE-144	1.7617D-09	1.7542D-08	1.7542D-08	1.7617D-09	1.7542D-08

付録 3 EXEC 例

```
####PNC.EXEC
  &CONTROL ALL
#
# EXEC APPLINIT
#
# CLRSCRN
#
# &PROG = CORAL
# &DATA = &1
#
# FORTVS &PROG ( XREF HAP OPT(2)
# EXEC GLFORT
#
# LOAD &PROG
#
# CLRSCRN
#
# FI 05 DISK &DATA DATA A ( RECFM F LRECL 80 BLOCK 80
# FI 06 DISK &DATA OUTPUT T ( RECFM F LRECL 132 BLOCK 132
#
# START
#
# PR &DATA DATA A
# PR &DATA OUTPUT T ( CC
#
# FI = CLEAR
#
# &EXIT
```

付録 4 β 線エネルギーについて

組織線量当量の算出において用いる、核種毎の β 線平均エネルギー及び吸収係数算出において用いる、核種毎の β 線最大エネルギーは、ICRP Publication 38¹⁾を基に算出する。ただし、これに掲載されていないデータは、放射線データブック²⁾より求めた。

計算に用いたデータ及び算出結果を別表に示す。

1. β 線平均エネルギー計算方法

$$\Sigma \bar{E}_{\beta} = \Sigma_i \bar{E}_{(i)} \cdot y_{(i)}$$

\bar{E}_{β} : β 線平均エネルギー (MeV)
 $\bar{E}_{(i)}$: β 線*i*の平均エネルギー (MeV)
 $y_{(i)}$: β 線*i*の放出割合

なお、放射平衡となっている $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 、 $^{106}\text{Ru}/^{106}\text{Rh}$ 、及び $^{144}\text{Ce}/^{144}\text{Pr}$ については、それぞれ、1:1であると仮定し、その平均値を用いた。

2. β 線最大エネルギー計算方法

$$\Sigma E_{\beta \text{ MAX}} = \Sigma_i E_{(i) \text{ MAX}} \cdot y_{(i)}$$

$E_{\beta \text{ MAX}}$: β 線最大エネルギー (MeV)
 $E_{(i) \text{ MAX}}$: β 線*i*の最大エネルギー (MeV)
 $y_{(i)}$: β 線*i*の放出割合

なお、放射平衡となっている $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 、 $^{106}\text{Ru}/^{106}\text{Rh}$ 、及び $^{144}\text{Ce}/^{144}\text{Pr}$ については、それぞれ、1:1であると仮定し、その平均値を用いた。

参考文献

- 1) International Commission on Radiological Protection, "Radionuclide Transformations, Energy and intensity of Emissions", ICRP Publication 38, 1983
- 2) 村上悠紀雄、團野皓文、小林昌敏、「放射線データブック」地人書館

別表 β 線最大エネルギー

核種	最大エネルギー (MeV)	放出割合	合計最大エネルギー (MeV)
^{89}Sr	5.800×10^{-1} $1.489 \times 10^{+0}$	1.000×10^{-5} 9.999×10^{-1}	$1.489 \times 10^{+0}$
^{90}Sr	5.460×10^{-1}	$1.000 \times 10^{+0}$	(5.460×10^{-1})
^{90}Y	5.180×10^{-1} $2.279 \times 10^{+0}$	1.200×10^{-4} 9.999×10^{-1}	$(2.279 \times 10^{+0})$
$^{90}\text{Sr} / ^{90}\text{Y}$ (1:1)			$1.412 \times 10^{+0}$
^{95}Zr	3.660×10^{-1} 3.980×10^{-1} 8.880×10^{-1} $1.122 \times 10^{+0}$	5.470×10^{-1} 4.430×10^{-1} 9.000×10^{-3} 1.000×10^{-3}	3.856×10^{-1}
^{95}Nb	1.597×10^{-1}	9.996×10^{-1}	1.597×10^{-1}
^{103}Ru	1.120×10^{-1} 2.250×10^{-1} 4.670×10^{-1} 7.220×10^{-1}	6.400×10^{-2} 8.710×10^{-1} 2.000×10^{-3} 6.000×10^{-2}	2.474×10^{-1}
^{106}Ru	3.940×10^{-2}	$1.000 \times 10^{+0}$	(3.940×10^{-2})
^{106}Rh	$2.030 \times 10^{+0}$ $2.460 \times 10^{+0}$ $3.080 \times 10^{+0}$ $3.540 \times 10^{+0}$	1.500×10^{-2} 9.700×10^{-2} 8.400×10^{-2} 7.930×10^{-1}	$(3.335 \times 10^{+0})$
$^{106}\text{Ru} / ^{106}\text{Rh}$ (1:1)			$1.412 \times 10^{+0}$
^{134}Cs	8.900×10^{-2} 4.150×10^{-1} 6.580×10^{-1}	2.740×10^{-1} 2.500×10^{-2} 7.010×10^{-1}	4.960×10^{-1}
^{137}Cs	5.110×10^{-1} $1.173 \times 10^{+0}$	9.460×10^{-1} 5.400×10^{-2}	5.467×10^{-1}
^{141}Ce	4.350×10^{-1} 5.800×10^{-1}	7.050×10^{-1} 2.950×10^{-1}	4.778×10^{-1}
^{144}Ce	1.820×10^{-1} 2.350×10^{-1} 3.160×10^{-1}	1.940×10^{-1} 4.200×10^{-2} 7.580×10^{-1}	(2.847×10^{-1})
^{144}Pr	8.010×10^{-1} 2.300×10^{-1} $2.996 \times 10^{+0}$	9.800×10^{-3} 1.060×10^{-2} 9.800×10^{-1}	$(2.968 \times 10^{+0})$
$^{144}\text{Ce} / ^{144}\text{Pr}$ (1:1)			$1.627 \times 10^{+0}$

別表 β 線平均エネルギー

核種	平均エネルギー (MeV)	放出割合	合計平均エネルギー (MeV)
^{88}Sr	5.833×10^{-1}	$1.000 \times 10^{+0}$	5.833×10^{-1}
^{90}Sr	1.957×10^{-1}	$1.000 \times 10^{+0}$	(1.957×10^{-1})
^{90}Y	9.348×10^{-1}	$1.000 \times 10^{+0}$	(9.348×10^{-1})
$^{90}\text{Sr} / ^{90}\text{Y}$ (1:1)			5.653×10^{-1}
^{95}Zr	1.088×10^{-1} 1.200×10^{-1} 3.269×10^{-1}	5.480×10^{-1} 4.450×10^{-1} 6.980×10^{-3}	1.538×10^{-1}
^{95}Nb	4.332×10^{-2}	$1.000 \times 10^{+0}$	4.332×10^{-2}
^{103}Ru	2.950×10^{-2} 6.277×10^{-2} 1.433×10^{-1} 2.378×10^{-1} 2.386×10^{-1}	6.380×10^{-2} 8.680×10^{-1} 2.300×10^{-3} 9.970×10^{-4} 6.380×10^{-2}	7.215×10^{-2}
^{106}Ru	1.003×10^{-2}	$1.000 \times 10^{+0}$	(1.003×10^{-2})
^{106}Rh	5.817×10^{-1} 7.792×10^{-1} 9.761×10^{-1} 9.787×10^{-1} $1.267 \times 10^{+0}$ $1.508 \times 10^{+0}$	4.130×10^{-3} 1.700×10^{-2} 9.690×10^{-2} 5.300×10^{-3} 8.390×10^{-2} 7.880×10^{-1}	$(1.412 \times 10^{+0})$
$^{106}\text{Ru} / ^{106}\text{Rh}$ (1:1)			7.107×10^{-1}
^{134}Cs	2.309×10^{-2} 1.234×10^{-1} 2.101×10^{-1}	2.740×10^{-1} 2.470×10^{-2} 7.010×10^{-1}	1.564×10^{-1}
^{137}Cs	1.734×10^{-1} 4.246×10^{-1}	9.460×10^{-1} 5.400×10^{-2}	1.870×10^{-1}
^{141}Ce	1.298×10^{-1} 1.809×10^{-1}	7.000×10^{-1} 3.000×10^{-1}	1.452×10^{-1}
^{144}Ce	4.935×10^{-2} 6.526×10^{-2} 9.023×10^{-2}	1.960×10^{-1} 4.600×10^{-2} 7.580×10^{-1}	(8.106×10^{-2})
^{144}Pr	2.669×10^{-1} 8.947×10^{-1} $1.222 \times 10^{+0}$	1.080×10^{-2} 1.170×10^{-2} 9.770×10^{-1}	$(1.203 \times 10^{+0})$
$^{144}\text{Ce} / ^{144}\text{Pr}$ (1:1)			6.422×10^{-1}

付録 5 β 線の吸収係数算出要領

本計算コード中で使用している β 線の吸収係数は以下により求めた。^{1), 2)}
 計算に用いたデータ及び算出結果を別表に示す。

1. 組織の吸収係数 (=水、漁網の吸収係数)

$$\mu_t = \frac{18.6}{(E_0 - 0.036)^{1.37}} \cdot \rho_t$$

μ_t : 組織の吸収係数 (1/cm)

μ_w : 水の吸収係数 (1/cm)

μ_n : 漁網の吸収係数 (1/cm)

$$\mu_t = \mu_w = \mu_n$$

E_0 : β 線最大エネルギー (MeV)

ρ_t : 組織の密度 (g/cm³)

$$\rho_t = 1.0$$

ρ_w : 水の密度 (g/cm³)

ρ_n : 漁網の密度 (g/cm³)

$$\rho_t = \rho_w = \rho_n$$

2. 空気の吸収係数

$$\mu_a = \frac{16.0}{(E_0 - 0.036)^{1.4}} \cdot \rho_a$$

μ_a : 空気の吸収係数 (1/cm)
 E_0 : β 線最大エネルギー (MeV)
 ρ_a : 空気の密度 (g/cm³)
 $\rho_a = 1.293E-03$

3. 砂の吸収係数

$$\mu_s = 17 \cdot E_0^{-1.43} \cdot \rho_s$$

μ_s : 砂の吸収係数 (1/cm)
 E_0 : β 線最大エネルギー (MeV)
 ρ_s : 砂の密度 (g/cm³)
 $\rho_s = 1.7$

参考文献

- 1) 福田整司、神永博史、井沢庄治、「外部被爆による β 線吸収線量の評価」、JAERI 1065、1964年10月
- 2) 平山昭生 他、「再処理施設からの低レベル廃液の海への放出に係る外部被ばく線量の計算(資料集)」、PNC ZN842-77-03、1977年 5月

別表 β 線の吸収係数

核種名	β 線最大エネルギー (MeV)	組織 (1/cm)	空気 (1/cm)	砂 (1/cm)	水 (1/cm)	漁網 (1/cm)
^{89}Sr	$1.489 \times 10^{+0}$	$1.115 \times 10^{+1}$	$1.226 \times 10^{+2}$	$1.636 \times 10^{+1}$	$1.115 \times 10^{+1}$	$1.115 \times 10^{+1}$
$^{90}\text{Sr} / ^{90}\text{Y}$	$1.412 \times 10^{+0}$	$1.201 \times 10^{+1}$	$1.323 \times 10^{+2}$	$1.765 \times 10^{+1}$	$1.201 \times 10^{+1}$	$1.201 \times 10^{+1}$
^{95}Zr	3.856×10^{-1}	$7.849 \times 10^{+1}$	$9.010 \times 10^{+2}$	$1.129 \times 10^{+2}$	$7.849 \times 10^{+1}$	$7.849 \times 10^{+1}$
^{95}Nb	1.597×10^{-1}	$3.258 \times 10^{+2}$	3.858×10^{-1}	$3.983 \times 10^{+2}$	$3.258 \times 10^{+2}$	$3.258 \times 10^{+2}$
^{103}Ru	2.474×10^{-1}	$1.564 \times 10^{+2}$	1.822×10^{-1}	$2.130 \times 10^{+2}$	$1.564 \times 10^{+2}$	$1.564 \times 10^{+2}$
$^{106}\text{Ru} / ^{106}\text{Rh}$	$1.687 \times 10^{+0}$	$9.358 \times 10^{+0}$	$1.025 \times 10^{+2}$	$1.368 \times 10^{+1}$	$9.358 \times 10^{+0}$	$9.358 \times 10^{+0}$
^{134}Cs	4.960×10^{-1}	$5.389 \times 10^{+1}$	$6.136 \times 10^{+2}$	$7.877 \times 10^{+1}$	$5.389 \times 10^{+1}$	$5.389 \times 10^{+1}$
^{137}Cs	5.467×10^{-1}	$4.670 \times 10^{+1}$	$5.300 \times 10^{+2}$	$6.854 \times 10^{+1}$	$4.670 \times 10^{+1}$	$4.670 \times 10^{+1}$
^{141}Ce	4.778×10^{-1}	$5.696 \times 10^{+1}$	$6.492 \times 10^{+2}$	$8.310 \times 10^{+1}$	$5.696 \times 10^{+1}$	$5.696 \times 10^{+1}$
$^{144}\text{Ce} / ^{144}\text{Pr}$	$1.627 \times 10^{+0}$	$9.845 \times 10^{+0}$	$1.080 \times 10^{+2}$	$1.441 \times 10^{+1}$	$9.845 \times 10^{+0}$	$9.845 \times 10^{+0}$

*吸収係数算出において密度 (g/cm^3)は、次の値を用いた。

組織 : $1.000 \times 10^{+0}$
 空気 : 1.293×10^{-3}
 砂 : $1.700 \times 10^{+0}$
 水 : $1.000 \times 10^{+0}$
 漁網 : $1.000 \times 10^{+0}$