

図-34 ミニマックス法フローチャート

- $\bar{J}\bar{O}\bar{B}\bar{N}\bar{O}$  ..... { 1 データ {1, 4, 7, 10, 13\*} (I 2)  
 2 データ {5\*, 10, 15, 20}  
 3 データ {0, 0\*, 10, 15}
- \* は内挿法により補充

- MED (2) ...物質名 (2A6)
- NOMESH ...データ数
- ENG (I) ...エネルギー
- NODT (I) ... I 番目のエネルギーのデータ数
- XX (I, J) ... mfp
- BB (I, J) ...ビルドアップ係数

(2) Minimax 法の入力

$\bar{J}\bar{O}\bar{B}\bar{N}\bar{O}$  を除いて(1)の Cornell 法と同じ

2.7 出力

(1) Cornell 法 (Taylor 型)

- MINDT .....最大 mfp
- X (I) .....mfp
- B (I) .....ビルドアップ係数
- AO (I) .....パラメータ (I = 1, 3)
- DEV (I) ...% 偏差
- DMAX .....最大 % 偏差
- DMEAN ...平均 % 偏差

(2) Minimax 法の出力

- (a) CapO 型 AO (I) (I=1, 4) 以外(1)と同様
- (b) Berger 型 AO (I) (I=1, 3) 以外(1)と同様

3. プログラムの検定

3.1 計算の精度および誤差

現状で手にはいる  $\gamma$  線のビルドアップ係数は文献(9)

のデータである。与えられる点  $x$  は {1, 2, 4, 7, 10, 15, 20(mfp)} であるので Cornell 法にはあまり適していない。それにもかかわらず精度は他の計算法に比較して悪くない。通常この種のデータは等間隔で与えられるので、その場合には短時間で高精度な結果が得られるものと思われる。

Minimax 法による CapO 型, Berger 型は従来の「最小二乗法」に比較して高精度にパラメータが得られた。例えば 0.5 MeV のポイント線源による Dose Buildup Factor に対して、最小二乗法の場合 15.5% の最大誤差に対して「ミニマックス法」では 0.3% の最大誤差であった。

3.2 計算所要時間

物質数 7 個, エネルギー数各物質に対して 7 個, 与えられる点  $x = \{1, 2, 4, 7, 10, 15, 20(mfp)\}$  の 7 個即ちデータ数は  $7^3 = 343$  個に対して Cornell 法 (Taylor 型) の場合約 110 分 (実質計算時間約 90 分) であり, Minimax 法の CapO 型に対しては 150 分, Berger 型で 90 分である。

3.3 適用範囲, 制限事項

本プログラムは上述のように文献 3) によっているので DIMENSION を次のように規定してある。

- ENG (10), NODT (10), XX (10, 10)
- BB (10, 10), X (10), B (10)

4. プログラムの使用法と応用

4.1 プログラムのオペレート

Berger 型に対しては「AP 305」, CapO 型は「AP 405」Taylor 型は「AP 705」と TW からプログラム名を入れる。使用機種は MT#1 (システム用), LP, TW である。

4.2 プログラムの応用

本プログラムは  $\gamma$  線ビルドアップ係数用に作成されたが 2.4 で述べたように近似式が指数関数の線形結果であらわせるときは Cornell 法で、線形化できる関数ならミニマックス法でそのパラメータを求めることができる。尚サブルーチンの中で補間法は Atkin 法を、連立 1 次方程式の解法は Crout 法によっている。両者は MARINE-2 プログラムのサブルーチンとして作成されたものである。

4.3 他機種への移行

本プログラムは NEAC 2206 用に 06 NARC (F $\bar{O}$  RTRAN II 相当) で書かれているので若干の訂正で他機種用に使用できる。

5. あとがき

「最小二乗法」は理論的に扱いやすく、直交系を使えば「つぎたし」が容易にできるという長所があるが「ミニマックス法」を離散的な場合に拡張した本手法は扱いやすく高精度な結果が期待できる。また Cornell 法もデータ数が多く等間隔に与えられた場合には有用である。

## 参考文献

- 1) R. G. Cornell, ORNL-2120 (Sep., 1956).
- 2) J. Todd, Survey of Numerical Analysis (1962).
- 3) H. Goldstein & J. E. Wilkins, Jr., NYO-3075 (1954).

## N-18 運転時および事故時の原子力船の直接線線量率分布

原子力船部 金井康二・片岡巖

### 1. プログラムの目的および概要

原子力船等の不規則形状の遮蔽効果を考慮して、放射線の線量率を計算するプログラムはすでに当所原子力船部の電子計算機 NEAC 2206 用に「MARINE-1」として作成されている。この種の計算プログラムにともなう問題は、計算時間と計算精度をいかに調和するかにあると思われる。特殊な形状の場合、厳密な結果が得られる計算法は多数開発されているが、いずれも不規則形状の場合に拡張し応用するには時間的、経済的に無理である。それ故 MARINE-1 のような近似計算が有用になるとと思われる。

MARINE-1 の精度は「進徳丸による実船実験」の結果ある程度知ることができた。また昭和 41 年同電子計算機システムが増設拡張されたので MARINE-1 を改良した計算法 MARINE-2 をプログラム化した。MARINE-2 の主な改良点は次の通りである。

- (a) 紙テープによるインプットデータのミスパンチに対しての処理方法を簡単な訂正でよいように工夫した。
- (b) 遮蔽体は二次曲面の集合であらわし座標変換も可能にした。このことによって不規則形状の幾何学的問題はほぼ解決した。また遮蔽効果の補正として、仮想遮蔽体の概念を導入した。
- (c)  $\gamma$  線ビルドアップ係数の多重層に対する処理方法は、乗積法、Broder 法、NIGHTMARE 法の 3 種類のいずれかを選択できるようにした。
- (d) 多量のデータも取り扱えるようにしたので、途中で計算を止めて、その計算がむだにならずその時点から再計算できるようにした。

### 2. プログラムの内容

(194)

#### 2.1 プログラムの名称

MARINE-2

#### 2.2 製作者

原子力船部 金井康二

#### 2.3 製作年月

昭和 43 年 8 月

#### 2.4 計算の基礎となる理論の概要

線源は速中性子と  $\gamma$  線として、いずれも点状線源の集合であらわす。放射線の角度分布は等方あるいは  $n$  ( $< 10$ ) 乗の余弦分布に従うものとして取り扱おう。減衰計算は、 $\gamma$  線については減衰係数により非散乱線束を算出し、ビルドアップ係数により散乱線の影響を考慮している。(現在ビルドアップ係数は Peebles の斜入射のデータ<sup>1)</sup>を使用しているが漸次 SELENE 法<sup>2)</sup>等により整備していく予定である。) また速中性子については除去断面積を用いて計算する。MARINE-2 では多重層ビルドアップ係数を次の 3 種類が組込んでいる。

##### (1) 乗積法 (MARINE-1 でも使用)

$$B = B_1(\mu_1 t_1) \times B_2(\mu_2 t_2) \times \cdots \times B_n(\mu_n t_n)$$

ここで  $B_i(\mu_i t_i)$  :  $i$  番目の物質による dose build up factor

$\mu_i$  :  $i$  番目の物質の吸収係数

$t_i$  :  $i$  番目の物質の厚さ

##### (2) Broder 法

$$B = \sum_{j=1}^n B_j \left( \sum_{k=1}^j \mu_k t_k \right) - \sum_{j=2}^n B_j \left( \sum_{k=1}^{j-1} \mu_k t_k \right)$$

##### (3) NIGHTMARE 法

$$B = [ \{ (B_1(\mu t)^{a_2} \times (B_2(\mu t))^{1-a_2})^{a_3} \times \{ B_3(\mu t) \}^{1-a_3} \}^{a_4} [B_4(\mu t)]^{1-a_4}$$

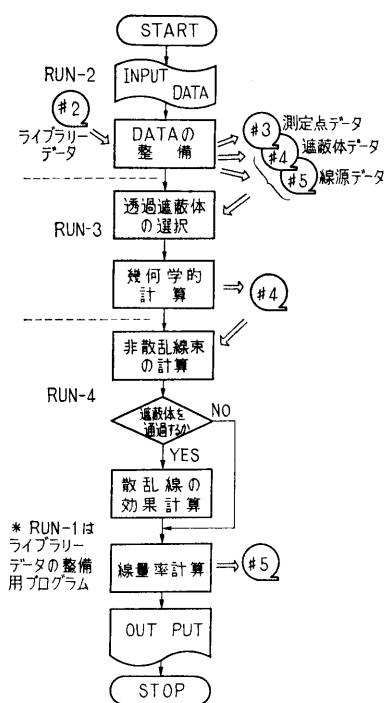


図-35 フローチャート

テスト計算<sup>3)</sup>では(3)の NIGHTMARE 法が一番良いことがわかった。

実船実験で MARINE-1 の評価をおこなったところ、いずれの測定点でも計算値は安全側を示し実測値と計算値の比が5倍以上になるものもあった。このことから個々の遮蔽体として評価でき難い遮蔽効果の影響があるものと思われるので、MARINE-2 では仮想遮蔽体の概念を導入した。即ち、ある空間内には評価できる遮蔽体の他に吸収物質が存在するものと考え、その遮蔽効果を純粋の遮蔽体と同様に算出する。

### 2.5 計算の手順

計算を始める前に使用するライブラリーデータを整備しておく必要がある。ライブラリーデータの整備は附属プログラムによっておこなう。計算手順は、図-35 フローチャートに示すごとく4つの RUN に分れている。

### 2.6 入力

- IPB** 問題番号
- IBF** { 1 乗積法  
2 NIGHTMARE 法  
3 Broder 法

#### (1) 線源に対して

- IOT** 線源番号 (速中性子 10000 以後)
- NFS** { 1 等方線源  
2 余弦分布
- MED** 線源物質 (体積線源の場合)
- MSR (1)** エネルギー数
- MSR (2)** 最大次数 ( $NFS=2$  の場合)
- XSO** 線源座標 ( $I=1, 3$ )
- EYS (I)** 線源エネルギー ( $I=1, MSR (1)$ )
- SST (I)** 線源強度 ( $I=1, MSR (1)$ )
- \***NDE (J)** 余弦分布の次数 ( $J=1, MSR (2)$ )
- \***UNI (J, I)** 基準座標 ( $J=1, MSR (2); I=1, 3$ )

\* は  $NFS=2$  のみ必要

#### (2) 遮蔽体に対して

- KAP** 遮蔽体番号 (仮想遮蔽体 10000 以後)
- MFS** { 1 多重層表現  
2 単一の遮蔽体
- MSR (1)** 外側の要素数又は層状数
- MSR (2)** 内側の要素数
- MSY** { 1 一次元表現の平板  
2 二次元表現の平板  
3 円柱  
4 円錐  
5 球  
6 回転楕円体  
7 回転双曲面  
8 回転放物体
- ITR** { 1 座標変換要  
0 座標変換不要
- RAD**
- IAX**
- HGT** }  $MSY=1\sim5$  のデータ

- JAX (I, J)** }  $MSY=6\sim8$  のデータ
- XXI (J)** }  $I=1, 2; J=1, 3$

- KAX (I)** }  $ITR=1$  の場合のみ
- ANG (I)** }

- XSL (I)** 遮蔽体座標 ( $I=1, 3$ )
- EXT** 遮蔽体の厚さ ( $MFS=1$  の場合)
- MED** 遮蔽物質

#### (3) 測定点に対して

- LAM** 測定点番号
- XD0 (I)** 測定点座標 ( $I=1, 3$ )
- 2.7 出力
- MDP** 測定点番号
- MS0** 線源点番号

$\bar{D}\bar{O}S\bar{I}$ (1)	$\gamma$ 線源による線量率
$\bar{D}\bar{O}S\bar{I}$ (2)	速中性子による線量率
$\bar{D}\bar{O}S$ (1)	$\gamma$ 線の全線量率
$\bar{D}\bar{O}S$ (2)	速中性子の全線量率
$L3(I)$	透過遮蔽体番号
$\bar{O}M\bar{G}(I)$	入射角

### 3. プログラムの検定

#### 3.1 計算誤差, 精度

MARINE プログラムは, 複雑な関数に対しては厳密な計算法による数値を数表にしておき, 補間法によって計算する方式をとっている。

Atkin 法による補間は現在得られている数表の誤差に比較して, 充分満足するものである。また多重層に対する  $\gamma$  線ビルドアップ係数の精度については文献 3) 参照。

#### 3.2 演算時間

線源を速中性子 3 点,  $\gamma$  線 2 点, 遮蔽体を 5 層の球 1 個, 2 層の平板 4 個, 測定点 5 点に対して約 40 分である。実質上の計算は数分であるが磁気テープへの書うつし, 読み取りの時間が大部分をしめている。

#### 3.3 適用範囲, 制限事項

$\gamma$  線のエネルギー 0.25 MeV—10 MeV

速中性子のエネルギー 0.1 MeV—18 MeV

遮蔽体の層数は 10 層まで

### 4. プログラムの使用法と応用

#### 4.1 プログラムのオペレート

プログラムの実行に際し次の附属機種を on にする。

MT #1	システム用
#2	ライブラリーデータ用
#3	測定点データ用
#4	遮蔽体データ用
#5	線源データ及び線量率用

LP 結果作表用

TW Message 用

PTR 入力データ読み込み用

プログラム名が要求されたら TW より「M2M 105」と入れる。各 RUN は Call chain によっているので, プログラム名を打った後

LDS とすれば連続的に計算

LDH とすれば各 RUN 終了後に一時停止

MARINE-2 で使用している Switch の機能は次のごとくである。

SW #1	誤り処理
2	小項目 TW に印字

3 大項目 TW に印字

4 特殊機能

5 データの確認

6 データの LP 印字

7 データ作表 (LP)

8 一時停止

9 中途停止

0 中途開始

ミスパンチした場合には

(1) 訂正が長時間になりそうな時には, その部分を無視してデータの読み込み終了後に, 訂正サブルーチンにより, その部分だけ訂正する。

(2) 訂正が短時間で終る場合には, ただちに訂正テープを作成してそれを読む。

(3) データ作成中に誤りがわかった場合には, その部分を続けて正しくパンチしなおせばよい。

の 3 通りが可能である。なおインプットデータの誤りは 30 個の Error message により判別できる。

#### 4.2 プログラムの応用

応用可能と思われるサブルーチンは

(1)  $n$  次元連立方程式の解法 (Crout 法)

(2) 補間法 (Atkin 法)

(3) 3 次元空間の座標変換

等がある。

#### 4.3 他機種への移行

MARINE-2 は NEAC 2206 電子計算機用 (コア 10 K; MT 5 台 (システム用 1 台を含む); LP, TW, PTR 各 1 台) に 06 NARC (FORTRAN II に相当) で書かれているので, それ以上の機能をそろえてある場合には若干の訂正で移行できるものと思われる。

### 5. あとがき

不規則形状による遮蔽効果の計算は現在, 遮蔽研究の重大な課題である。遮蔽設計用プログラムとして要求される条件は精度と時間の問題である。

両者を満足するプログラムは現状では得られていない。MARINE-2 は複雑な形状の遮蔽体を扱うのに適しており第 1 次設計には充分使用できるものと思われる。

### 参考文献

- 1) G. H. Peebles. Rand-R-240 (1952).
- 2) I. Kataoka and K. Takeuchi, Papers of Ship Research Inst., No. 6 (1965).
- 3) M. Nakata, I. Kataoka, Y. Kanai, Comparison of Calculated Values with Actual Gamma Dose through Ship Structures (The British Nuclear Energy Society, 1967).