

N-13 区画構造を持つ遮蔽体からの散乱および透過したガンマ線を計算 (モンテカルロ) するプログラム

原子力船部 山 越 寿 夫

1. プログラムの目的および概要

船体等に見られる区画構造を持つ遮蔽体により、外部からの、又は内部の湧源からの、ガンマ線が散乱された場合の放射線線量率等遮蔽研究の上で必要な積分量の空間分布を確率的手法を用いたモンテカルロ法で求める事が目的である。遮蔽体の構成要素、例えば船体のバルクヘッドは、有限な大きさの板として紙テープによる入力で指定される。遮蔽体全体はそれら有限板の空間的組合せとして算機に記憶される。ガンマ線のデテクターの位置並びに大きさは紙テープから入力データとして指定される。その際、デテクターの分布としては、それらは何枚かの仮想的な薄い板上に網目状に分布する様に配慮されるべきである。これはプログラミング上の複雑さが算機の容量の無駄使いを惹き起す事を避ける為と計算の効率を高めると云う主旨からその様にプログラムが行なわれている為である。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号、名称

MφNTE-1

2.2 製作者

原子力船部 山越寿夫

2.3 製作年月

昭和 44 年 5 月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

下記の文献に手法と原理の解説がある。

A Practical manual on the Monte Carlo method for Random Walk Problems by E. D. Cashwell and C. J. Everett 1959 Pergamon Press.

モンテカルロ法はある積分量を統計確率的手法で計算する方法である。例えば重み関数 $f(x)$ でウェイトをかけた関数 $g(x)$ を $[a, b]$ 区間で積分した値を J とし、 J の値をモンテカルロ法で求める事で例を示そう。

$$J = \int_a^b f(x)g(x)dx$$

重み関数 $f(x)$ を規格化された確率密度関数とすると以下の表現となる。

$$\int_a^b f(x)dx = 1$$

$f(x)$ からランダム変数 x のある値をサンプリングして決定したとすると (即ち乱数 R に対して

$$R = \int_a^x f(x')dx' = F(x)$$

とおき $x = F^{-1}(R)$ より x をきめると) 最初の積分は

$$J = \int_a^b g(x)dF(x)$$

と変形される。 $F(x)$ は累積分布関数である。この変換を行えば、区間 $[0, 1]$ で一様な確率で $F(x)$ の値を選ぶという事が区間 $[a, b]$ で x の値を $f(x)$ に従って選ぶ事になり、従ってモンテカルロ法により求めた J の値 \bar{J} は、任意のサンプル数 N を用いて以下の如く求まる。

$$\bar{J} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g(x_i)$$

実際の計算では、ガンマ線の粒子の一つ一つにつきその誕生から体系外への消滅 (もれ、吸収等による) までの種々の経歴を位相空間 (位置、角度、エネルギー等が座標軸を形成している空間) で計算機により追跡し、該デテクターにまで達した粒子のもたらす物理量 (上の議論の $g(x)$ に相当) を蓄積する事になる。その際大切な事は、ある粒子の振舞は、その粒子の過去の経歴には独立でありただ位相空間で如何なる位置に現在居るかという事にのみ依存するという事である。

モンテカルロ法は統計的手法であるから計算で得られた量の精度の統計的評価ができる。その際精度の評価に用いられるのがサンプルバリエーション σ^2 で以下の如く表わされる。

$$\text{VAR}(\bar{A}) = \sigma^2 = \frac{S^2}{N}$$

A は或るサンプルされた量であり N はサンプル数である。 S^2 は以下の関係から求まる。

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum A_i^2 - \frac{(\sum A_i)^2}{N} \right]$$

σ は、普通正規分布をしたサンプリングに対して標準偏差と呼ばれている量にあたり、求めた平均値が真

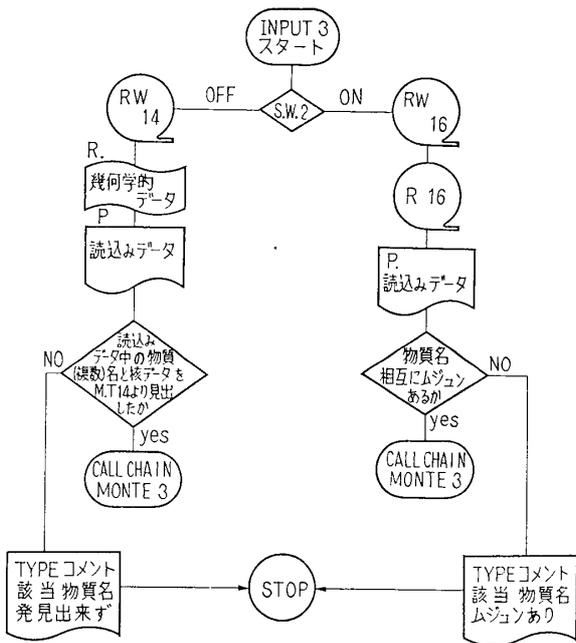


図-31 フローチャート

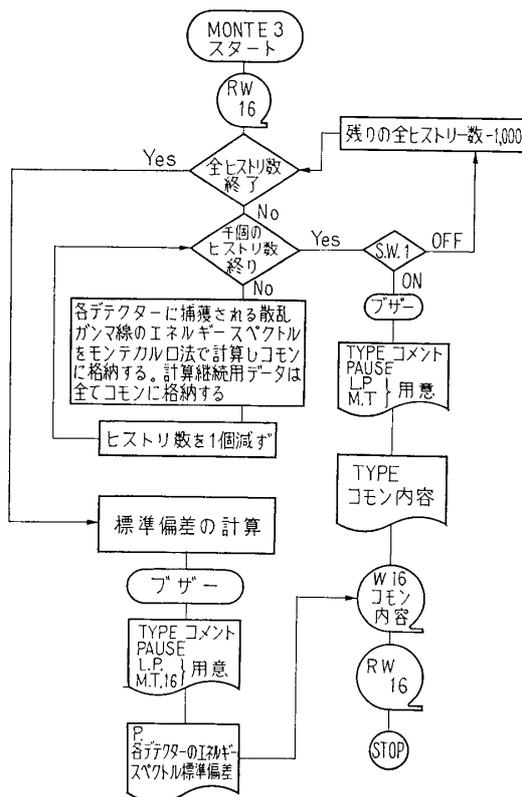


図-32 フローチャート

の平均値から一標準偏差以内に在る確率が約 67% である事を意味している。

2.5 計算の手順

図-31, 32 にフローチャートとして示す如く, 計算

(186)

の基礎となる物質定数はガンマ線データファイルシステムからの磁気テープ 14 を通してデータチェックルチーン INPUT 3 に引き渡される。そこではある問題を計算するのが始めてである場合にジャンプスイッチ 2 をオフとする事で, 問題の幾何学的データが紙テープの PTR からの読み込みにより入力される。そしてすべての入力されたデータを必ずプリントアウトする事にしてある。モンテカルロ計算のメインルチーンとデータチェックルチーンとはコールチェーンで結ばれて居り, すべての計算の為の基礎データはコモンを通じてメインルチーン MONTE 3 へ受渡される。メインルチーンでは, 種々の理由から計算の中断をしなければならぬ事態の際は, ジャンプスイッチ 1 をオンにする事により計算の切目の良い処で計算の打ち切りとなりスタートに必要な全てのデータの磁気テープ 16 への格納並びにプリントアウトを行なうようにしてある。計算中は周辺装置, 例えば PTR やラインプリンター, オンラインのタイプライター等はすべて停止させてあるので, 計算の終了又は中断の為の手續きの後にはブザーが鳴り更にオンラインタイプライターをオンにする事で必要な周辺装置の始動の指示が得られるようにしてある。又, 計算のリスタートの際は PTR による入力は必要がないのでジャンプスイッチ 2 はオンにして置き磁気テープ 16 に格納されたデータは INPUT 3 に入力されかつプリントアウトされて前にプリントアウトされた結果との照合が行なえるようにしてある。又読み込まれた物質名が前の物質名のリストの中に入らない場合はその物質名とともにコメントとして THIS MATERIAL CAN NOT BE FOUND がタイプアウトされるようにしてある。

2.6 用語

F ϕ RTRAN II 機種 NEAC 2206

2.7 入力

(1) 初めての場合

$N\phi$ MED.....物質数 (I 3)

MML(K) ...物質名 (5A6) (K=1~M ϕ MED)

磁気テープ 14 からの入力は省略する。

GAMMA ...入射ガンマ線のエネルギー (mc²)

R初期ランダムナンバー

ECTカットオフエネルギー

XDIREC ...入射線の x 軸に対する方向余弦

(E 12.4)

YDIREC..... " y "

(E 12.4)

ZDIREC……入射線の z 軸に対する方向余弦
(E12.4)

XPφSIS…… " x " 位置

YPφSTS…… " y " "

ZPφSTS…… " z " "

NHIST……モンテカルロ計算のヒストリ数
(I7)

NφREG……計算対象の領域数 (I7)

NXBND…… x 方向の境界の数 (I7)

NYBND…… y " "

NZBND…… z " "

以下の量は ZP まで $NφREG$ 回の全体のくり返しとなる。

LRGNX……該領域の X 方向の番号 (I3)

LRGNY…… " Y " "

LRGNZ…… " Z " "

LMED…… " に割当てられた物質名 (A6)

XN……該領域の X 方向負側境界 (F10.3)

XP…… " X 正側境界 " "

YN…… " Y 負 " "

YP…… " Y 正 " "

ZN…… " Z 負 " "

ZP…… " Z 正 " "

NDTCT……デテクター総数 (I3)

NXDT…… X 方向のデテクターナンバー (I3)

NYDT…… Y " "

NZDT…… Z " "

XDTN…… X 方向負側の該デテクター境界
(F10.3)

YDTN…… Y " "

ZDTN…… Z " "

XDTP…… X " 正 " "

YDTP…… Y 方向正側該デテクター境界

ZDTP…… Z " "

(2) 磁気テープから入力後リスタートする場合は省略。

2.8 出力

(1) 初めて計算する場合

INPUT 3 に入る入力すべてはコメントとともにプリントアウトされる。

(2) 計算中断の場合

INPUT 3 からメインルーチンに受渡された入力およびメインの中で得られた量例えば、

NHIS……計算は *NHIST* から千個単位で処理

されるので *NHIS* が残されたヒストリ数を表わす。(I7)

NUMB (I, J), I 番目のデテクターで J 番目のエネルギービンの中にある (蓄積された) ガンマー線粒子数 (I7)

NABSφ……遮蔽体中で吸収された個数 (I7)

NφUT……もれ又はエネルギーカットオフにより考慮からはずされた粒子数 (I7)

NATDT……デテクター全体につかまった数
(I7)

NPP……ペアプロダクションによるものの数
(I7)

NVRRRI……ヴァリアンス (I7)

等は磁気テープ 16 に格納される。

なお中断の際にオンラインタイプライターから出るコメントは省略する。

(3) 計算終了の場合

ブザーの後ラインプリンターをオンにすると(2)と同様なものがラインプリンターで得られる。

3. プログラムの検定

3.1 計算誤差, 精度

ヴァリアンス等の値から単純なジオメトリーの場合に付いては, 5万個で誤差が数パーセントにおさまる。まだ複雑な問題はこれから扱う事になるので何ヒストリーでどの程度の複雑さに対してどの程度の誤差におさまるかは明確には言及できない。

3.2 計算時間

対象とする物質の密度, ジェオメトリー (板の場合その厚み) によっても大きく計算時間は変化する。2 ㎉の厚さの鉄板の場合で千個のヒストリーにつき約平均 9 分である。

3.3 適用範囲, 制限事項

対象とするジオメトリーが四角形の板の組み合わせである場合は適用出来る。又デテクターの空間的配列もある任意の平面上に配列されている限り適用可能である。

4. プログラムの使用について

4.1 オペレート

NEAC 2206 用

4.2 プログラムの応用

このプログラムは中性子や他の放射線のモンテカルロ計算にも多少の内容の訂正を含めて応用可能である。

4.3 他機種への移行

必要があれば移行を考えても良い。

5. あとがき

原子力船等の如き区画構造を持つ遮蔽体の遮蔽効果の研究に有力な手段となるものと見て居る。

N-14 Pb コリメーターを透過してくる γ 線の量を計算するプログラム

原子力船部 伊 藤 泰 義

1. プログラムの目的および概要

放射線の実験の場合、目的によってはコリメーターを使用する場合がしばしばある。その時、このコリメーターの端部を透過する γ 線が実験値を過大に評価させる原因になっている、そのためこの透過 γ 線量を計算して、実験値を補正するためのプログラムである。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

PBCOL 4

2.2 製作者

原子力船部 伊藤泰義

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研究

NaI クリスタルに入射する γ 線はコリメーターの孔を透過するものと鉛コリメーターを透過してくるものとの 2 つに分けられる、孔の γ 線の効果を幾何学形状効果 Ω_G と端部効果 $\Delta\Omega$ とする、実効効果 Ω_{eff} は

$$\Omega_{eff} = \Omega_G + \Delta\Omega \quad \dots\dots(1)$$

で表わされる。

$$\Omega_G = 2\pi \int_{\omega_0}^1 d\omega \quad \dots\dots(2)$$

$$\Delta\Omega = 2\pi \int_0^{\omega_0} e^{-\mu\rho} d\omega \quad \dots\dots(3)$$

$$\omega_0 = \cos \theta_0 = \frac{L}{\sqrt{L^2 + R_0^2}} \quad \dots\dots(4)$$

$$\rho = \frac{L}{\omega} - \frac{R_0}{\sqrt{1-\omega^2}} \quad \dots\dots(5)$$

$$\omega = \cos \theta$$

ここで

R_0 : コリメーターの半径

L : コリメーターの厚さ

μ : コリメーターの全減衰係数

(3)式におなける積分の下限は、1 回散乱の最大角度とした、積分は Simpson の 1/3 公式によった。この

被積分函数は急激な減少函数であるため、(3)式の積分は 2 つに分け第一項は 1 と 0.997 を 100 等分し、第二項は 0.997 から 1 回散乱最大角までを等分している。

2.5 フローチャート

略

2.6 用語および計算機

2.7 入力

i) コリメーターの半径 F 10.5

ii) コリメーターの厚さ F 10.5

iii) 積分分割点 F 10.5

iv) 積分範囲の下限

この値はサブルーチンによって計算される。

v) 鉛の全減衰係数 F 10.6

2.8 出力

実効効果 Ω_{eff} と端部効果 $\Delta\Omega$ および実効効果と幾何学的効果との比が求められる。

3. プログラムの検定

3.1 計算の精度および誤差

有効数字 3 桁

3.2 計算時間

14 秒

3.3 適用範囲、制限

別になし

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

コアへ MT 1 より PBCOL 4 をロードし実行する。

4.2 プログラムの応用

別になし

参考文献

第 12 回船舶技研研究発表会、講演概要 (1968. 11).