

# 線源レーチンの書き方

平山 英夫、波戸 芳仁

KEK, 高エネルギー加速器研究機構

# 線源ルーチン

- 線源ルーチンで粒子のパラメータを決めるルーチン
  - 粒子の種類
  - エネルギー
  - 位置
  - 方向
- もし、これらのパラメータが、ヒストリー毎に異なる場合には、**線源ルーチン**を、“Shower call loop”内の**CALL SHOWER**の前に書いておく必要がある。
  - ucnaiシリーズのサンプルユーザーコードは、パラメータは、ヒストリー毎に変わらない例
  - ucphantom\_rec1.morは、ヒストリー毎にエネルギーと方向が異なる例

## $^{192}\text{Ir}$ からの 線のエネルギー決定

- $^{192}\text{Ir}$  は、以下の 線を放出する。それぞれの累積分布関数(CDF),  $F(E_i)$ , は、放出率から求める。

$i$	Energy(MeV)	Emission rate(%)	$F(E_i)$
1	0.296	28.7	0.0999
2	0.308	30.0	0.2832
3	0.317	82.8	0.6826
4	0.468	47.8	0.9132
5	0.589	4.5	0.9252
6	0.604	8.2	0.9744
7	0.612	5.3	1.00

- この場合の $\gamma$ -線のエネルギーは、**離散的確立変数**
- $E_i$  は、0と1の間の乱数  $\eta$  を使って決定する。

$$F(E_{i-1}) = \sum_{j=1}^{i-1} p_j \leq \mathbf{h} < F(E_i) = \sum_{j=1}^i p_j$$

## サンプリングルーチンのリスト

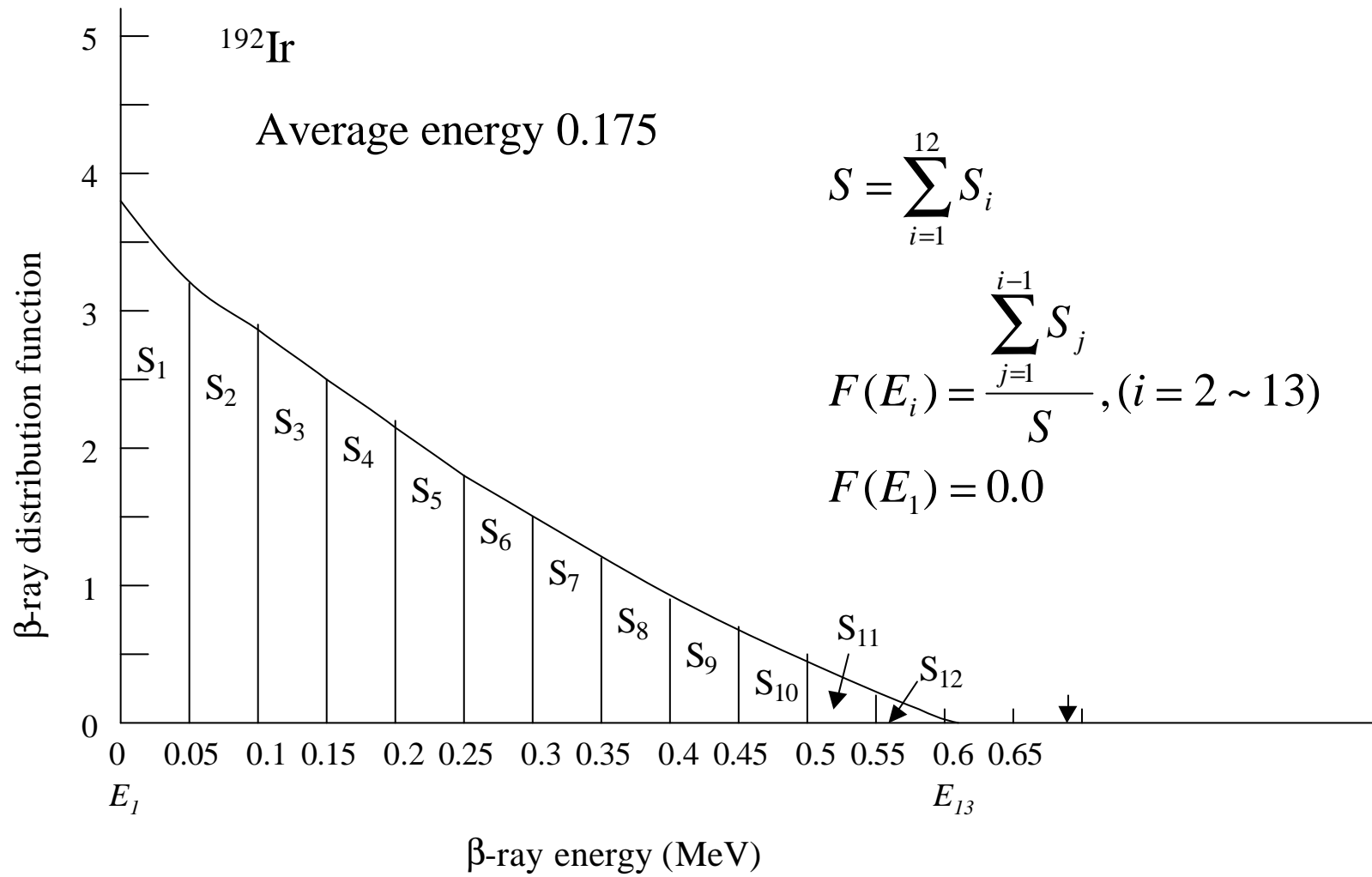
```
$RANDOMSET E0;  
IF(E0.LT.0.0999) [EI=0.296;]  
ELSEIF(E0.LT.0.2832) [EI=0.308;]  
ELSEIF(E0.LT.0.6826) [EI=0.312;]  
ELSEIF(E0.LT.0.9132) [EI=0.468;]  
ELSEIF(E0.LT.0.9252) [EI=0.589;]  
ELSEIF(E0.LT.0.9744) [EI=0.604;]  
ELSE [EI=0.612;]  
  
TOTKE=TOTKE+EI;
```

- 入射全運動エネルギーを得るために、TOTKEをSTEP 7の前で0に初期化し、STEP 7の最後のTOTKE=NCOUNT\*AVAILE; は、削除する。

# $^{192}\text{Ir}$ からの 線エネルギーの決定

- 線のスペクトルをエネルギー区間に分割する。
  - $E_1 < E_2 < \dots < E_n$ ,
  - $E_n$  は、放出される 線のエネルギーの最大値
- 各エネルギー区間に対応する累積分布関数(CDF)を、 $F(E_1), F(E_2), \dots, F(E_n)$ , とすると  $E$  を、次の方法で決定する事ができる。
  - $F(E_i) < h < F(E_{i+1})$  となる  $i$  を求める。
  - $E_i$  と  $E_{i+1}$  の間で直線内挿により、 $E$  を求める。

$$E = E_i + \frac{(h - F(E_i)) \times (E_{i+1} - E_i)}{F(E_{i+1}) - F(E_i)}$$



- <sup>192</sup>Irからの線のエネルギースペクトルから、 $E_i$ 及び $F(E_i)$ は次の様になる。

$i$	$E_i(\text{MeV})$	$F(E_i)$	$i$	$E_i(\text{MeV})$	$F(E_i)$
1	0.00	0.000	8	0.35	0.887
2	0.05	0.188	9	0.40	0.936
3	0.10	0.355	10	0.45	0.968
4	0.15	0.503	11	0.50	0.987
5	0.20	0.630	12	0.55	0.997
6	0.25	0.736	13	0.60	1.000
7	0.30	0.820			



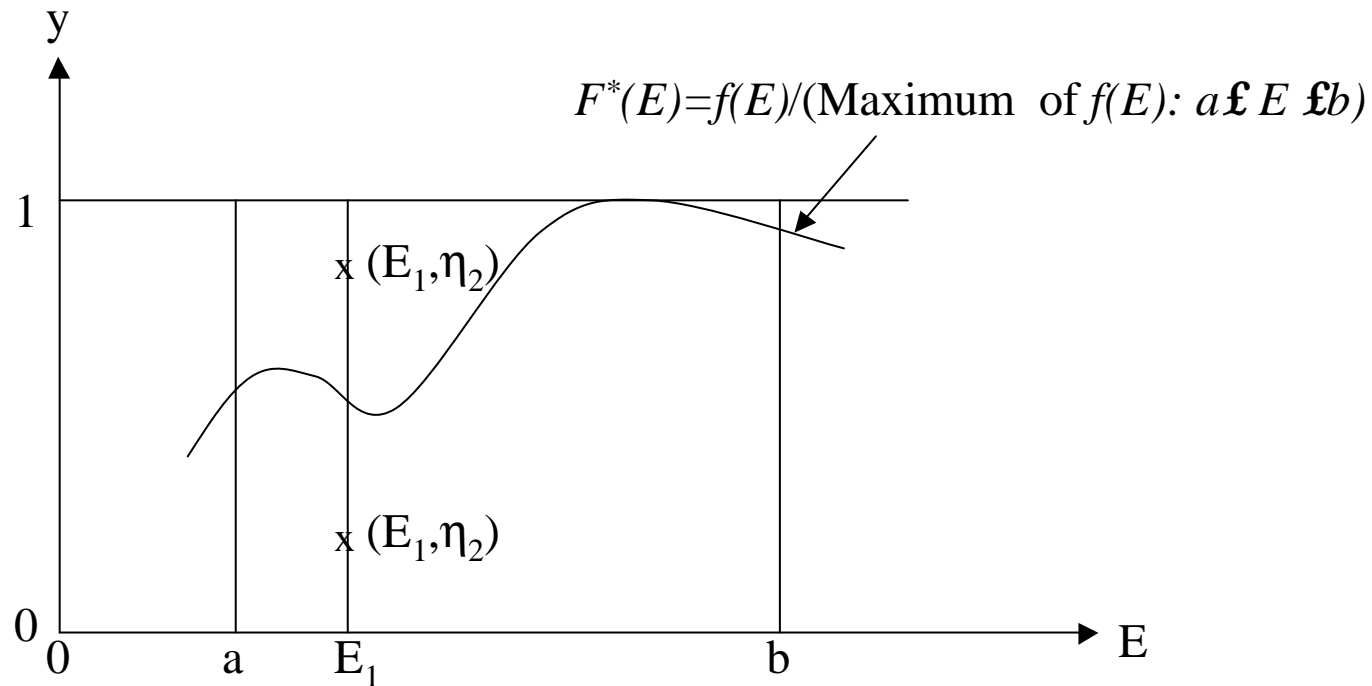
## サンプリングルーチンのリスト

```
$RANDOMSET RN14;  
DO IE=2,NEMAX [  
IF(RN14.LE.PDF(IE)) EXIT;]  
]  
E0=ES(IE-1)+(RN14-PDF(IE-1))*(ES(IE)-ES(IE-1))/(PDF(IE)-PDF(IE-1));  
  
EI=E0+PRM;  
”PRM: rest mass of electron. EI is total energy.”  
TOTKE=TOTKE+E0;
```

- Step 7の以前に, ES とPDF を、先のテーブルに従って値づけておく

# Rejection 法: Von Neumann's method

- スペクトル,  $f(E)$ , が式で与えられているが、その積分が難しい場合、von Neumann's method は、 $E$  を決定するのに便利である。



- $E_1$  を  $a$  と  $b$  の区間で一様分布としてサンプリングする:

$$E_1 = a + h_1(b-a); h_1 = \int_a^{E_1} dx / (b-a) = (E_1 - a) / (b-a).$$

- $E_1$  の時の  $y$  を計算する,  $y = f^*(E_1)$ .
- 次の乱数  $\eta_2$  を求め、以下の場合には、 $E_1$  をエネルギーとする。

$$h_2 < y.$$

- 上記の条件に当てはまらない場合は、サンプリングをやりなおす。

## 一様な線状線源の場合の位置の決定

- 線源が  $a$  と  $b$  の間で一様に分布しているとする。  
 $a \leq x < b$ .
- この場合、累積分布関数(PDF)は、次のようになる。

$$f(x)dx = dx/(b-a); \int_a^b f(x)dx$$

- 以下の式を解く

$$h = F(x) = \int_a^x f(x)dx = (x-a)/(b-a)$$

位置  $x$  は、 $x=a+h(b-a)$  となる。

サンプリングルーチンのリスト

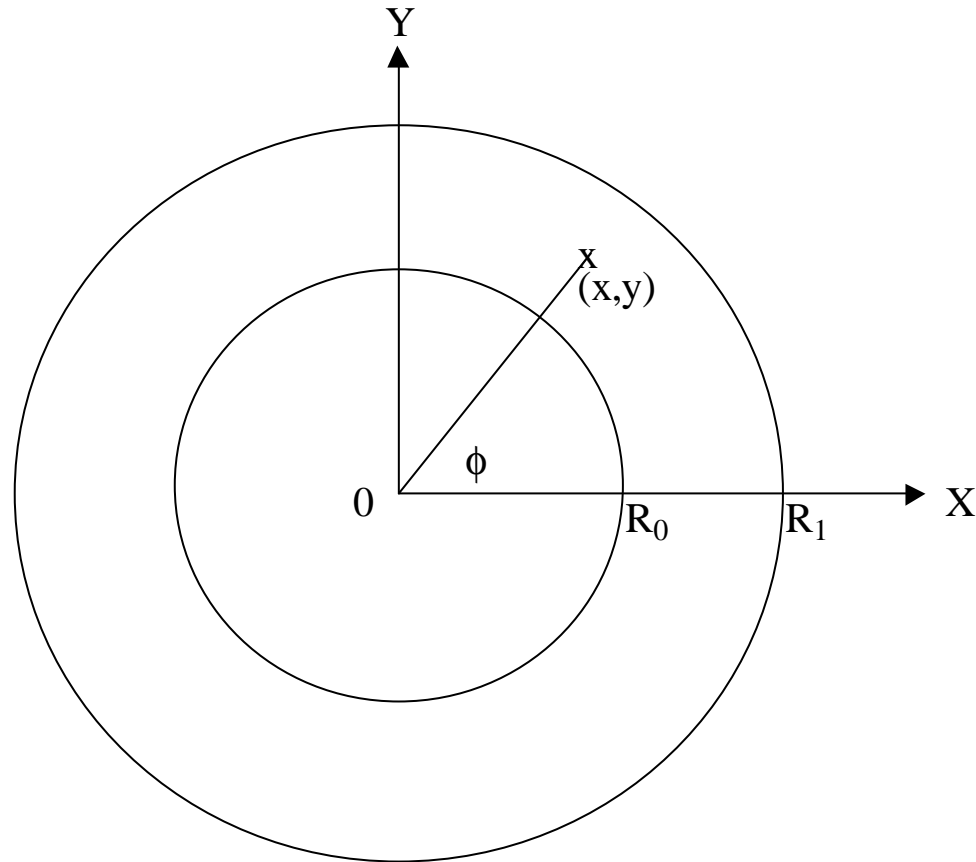
```
$RANDOMSET RN0;
```

```
XI=XMIN+RN0*(XMAX-XMIN);
```

```
”XMIN and XMAX are a and b, respectively.”
```

## $R_0 < R < R_1$ の円環に一様に分布した線源

- X-Y 平面で半径が  $R_0$  と  $R_1$  の間の領域に一様に分布している線源を考える。



- この場合、半径に対する累積分布関数は、

$$f(r)dr = 2pdr / p(R_1^2 - R_0^2) = 2rdr / (R_1^2 - R_0^2); \int_{R_0}^{R_1} f(\mathbf{x})d\mathbf{x} = 1.$$

- 半径は、次式を説くことにより決める事ができる。

$$h_1 = F(r) = \int_{R_0}^r f(\mathbf{x})d\mathbf{x} = (r^2 - R_0^2) / (R_1^2 - R_0^2)$$

$$r = \sqrt{R_0^2 + h_1(R_1^2 - R_0^2)}$$

- $x$  と  $y$  は次式から決定する。

$$x = r \cos(\mathbf{f})$$

$$y = r \sin(\mathbf{f})$$

## サンプリングルーチンのリスト

```
$RANDOMSET RN1;
```

```
R02=R0*R0: R12=R1*R1;
```

```
RR=SQRT(R02+RN1*(R12-R02));
```

```
$RANDOMSET RN2;
```

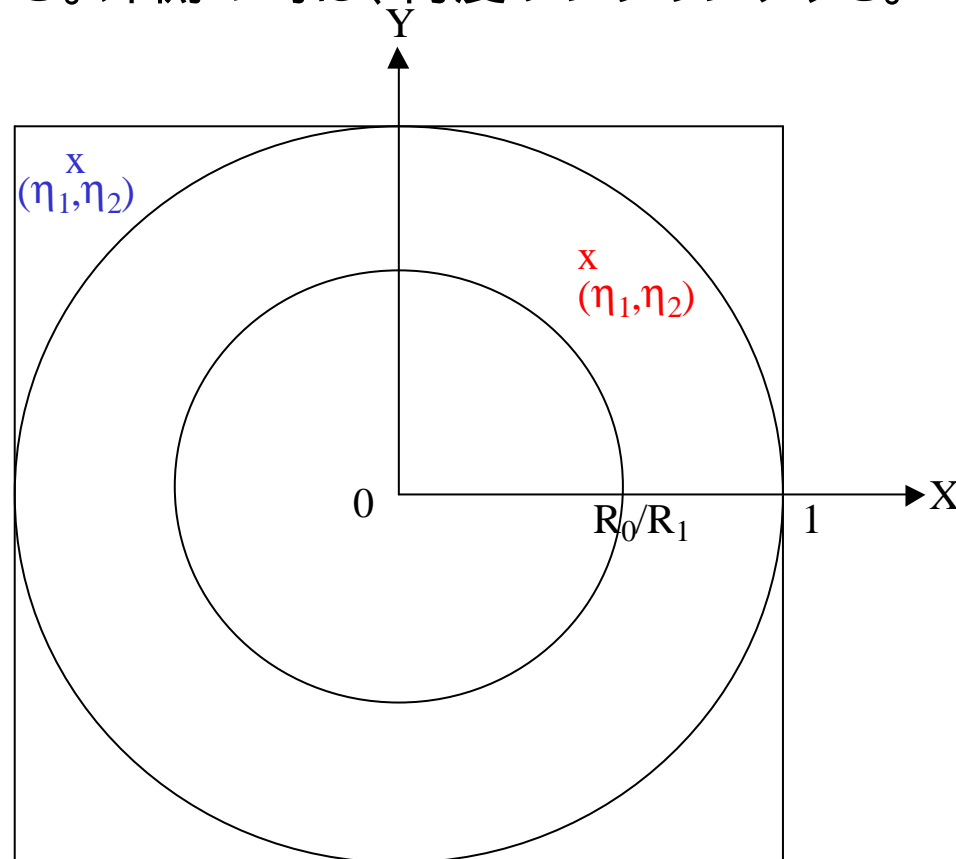
```
PHAI=PI*(2.0*RN2-1.0);
```

```
”COMIN/UPHIOT/ must be included to use PI”
```

```
XI=RR*COS(PHAI);
```

```
YI=RR*SIN(PHAI);
```

- 位置  $(x,y)$  は、“rejection” method により、より簡単に決める事ができる。
- $-1 \leq x \leq 1; -1 \leq y \leq 1$  の区画内で、一様に分布しているとして  $x$  と  $y$  をサンプリングする。
- この点が、 $R_0/R_1 < R < 1$  の範囲にある場合には、 $x$  と  $y$  を  $R_1$  倍する事により位置を決定する。外側の時は、再度サンプリングする。





## サンプリングルーチンのリスト

```
:SAMPLING:$RANDOMSET RN3;
```

```
$RANDOMSET RN4;
```

```
XI0=2.0*RN3-1.0;
```

```
YI0=2.0*RN4-1.0;
```

```
RR=SQRT(XI0*XI0+YI0*YI0);
```

```
IF(RR.GT.1.0.OR.RR,LT.R0/R1) [GO TO :SAMPLING:;]
```

```
XI=R1*XI0; YI=R1*YI0;
```

## 点等方線源の場合の方向の決定

- この場合には、rejection 法が最も効率的である。
- 点  $(x_i, y_i, z_i)$  が以下の直方体中に一様に分布しているとして  $x_i, y_i, z_i$  をサンプリングする。

$$-1 \leq x \leq 1; -1 \leq y \leq 1; -1 \leq z \leq 1.$$

- もし、この点が半径1の単位球内にある場合には、

$$R = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2} \leq 1,$$

$u, v, w$  は、次式で決める事ができる。

$$u = x_1 / R; v = y_1 / R; w = z_1 / R.$$

- 外の場合は、位置のサンプリングからやり直す。

## サンプリングルーチンのリスト

```
:SAMPLING:$RANDOMSET RN9;  
$RANDOMSET RN10;  
$RANDOMSET RN11;  
X0=2.0*RN9-1.0;  
Y0=2.0*RN10-1.0;  
Z0=2.0*RN11-1.0;  
RR=SQRT(X0*X0+Y0*Y0+Z0*Z0);  
IF(RR.GT.1.0) [GO TO :SAMPLING:;]  
UI=X0/RR; VI=Y0/RR; WI=Z0/RR;
```