

## CT-Profile

X線 CT の横方向の線量プロファイルは、ボウタイフィルタにより変化する線束中の各点におけるX線スペクトルを求める際に不可欠なデータ情報である。しかし、一般的な CT 装置では Fig.1 に示すようにガントリを固定して線量プロファイル ( $D(r)$ ) を測定することは困難である。CT-Profile では、Fig.2 に示すようにガントリを回転させて  $D(r)$  と同じ点で測定した積算線量 ( $K(r)$ ) から本来の線量プロファイル  $D(r)$  を算出するソフトウェアである。

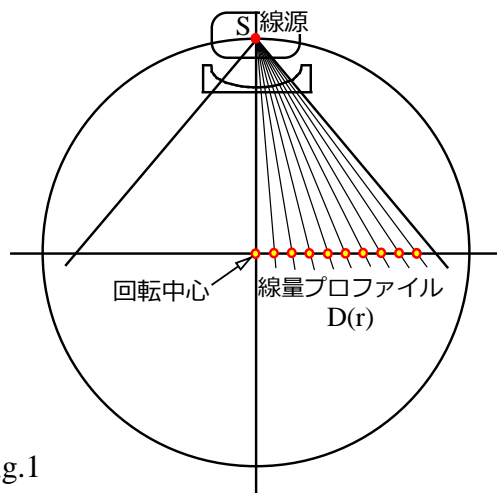


Fig.1

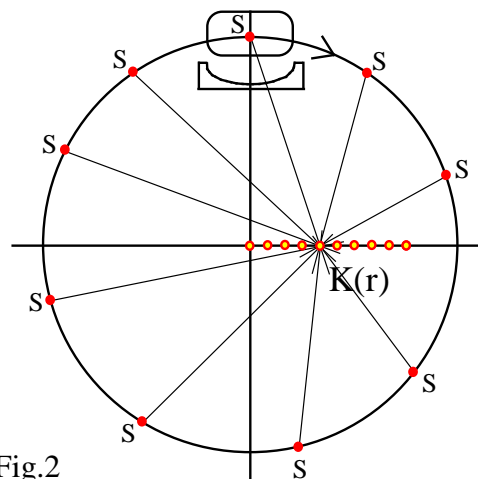


Fig.2

## CT-Profile の計算方法

Fig.3 に示すようにガントリ (管球) が  $\theta$  の位置にある場合、回転中心から水平方向に  $r$  離れた点の照射線量 (もしくは空気カーマ)  $k(r, \theta)$  は、Fig.4 に示したガントリを固定し、半径  $r$  の円周上を  $\theta$  移動した点の線量と同等である。

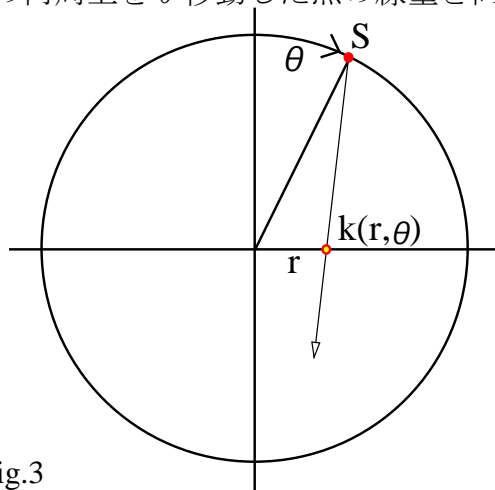


Fig.3

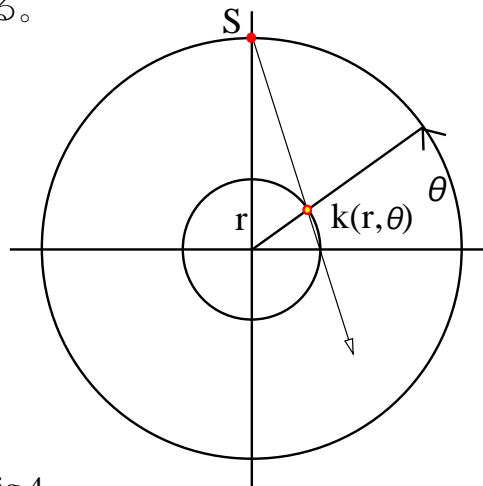


Fig.4

したがって、Fig.5 に示すガントリが一回転した時の  $K(r)$  は、Fig.6 に示すガントリを固定し測定点が半径  $r$  の円周上を一回転した時の積算線量と同じである。

$$K(r) = \int_0^{2\pi} k(r, \theta) \cdot d\theta \quad \text{----- (1)}$$

(Fig.5,6 に  $-\pi/2$  から  $\pi/2$  までしか描いていないのは、線量プロファイルは左右対称であるので、ガントリ回転を半周だけ考えればよいからである。)

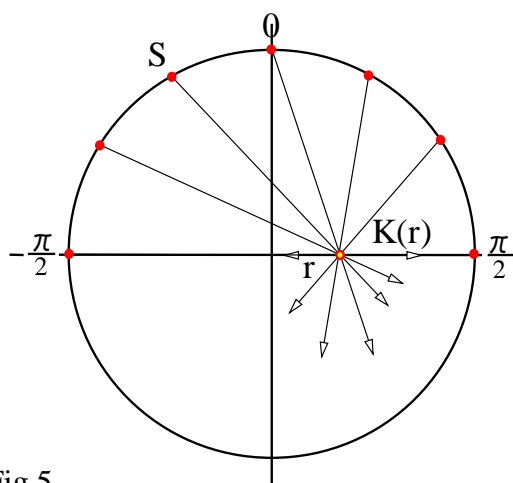


Fig.5

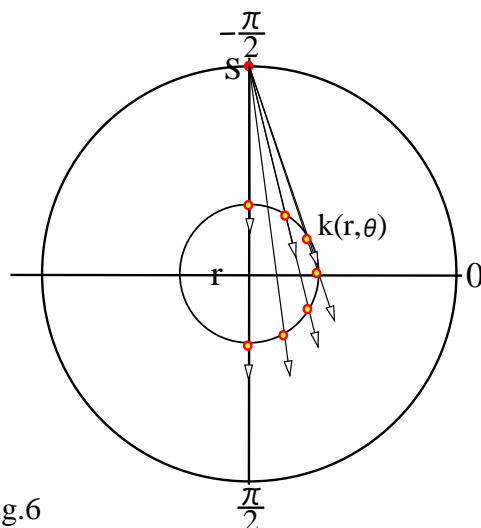


Fig.6

Fig.7 に示すように測定点 P が半径  $r$  の円周上の  $\theta$  の位置にある場合を考えてみる。この点における線量  $k(r, \theta)$  は、S, P を通る線と回転中心を通る水平線の交差する点 Q (回転中心からの距離  $x$ ) の線量  $D(x)$  と、次式に示す関係を持つ。

$$k(r, \theta) = a \cdot D(x) \cdot \frac{m^2}{l^2} \cdot \cos \theta \quad \text{----- (2)}$$

ここで

$a$  : 比例定数

$l$  : S (線源) と P 点との距離

$m$  : S と Q 点との距離

$\cos \theta$  : 測定点 P の回転速度は一定であるが、水平面に投影した場合の移動速度は  $\cos \theta$  に比例するため、その加重係数である

$l, m, x$  は、ガントリ回転半径および  $r, \theta$  から計算できる。

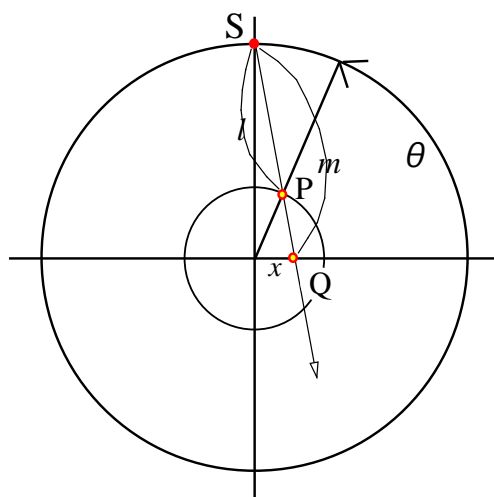


Fig.7

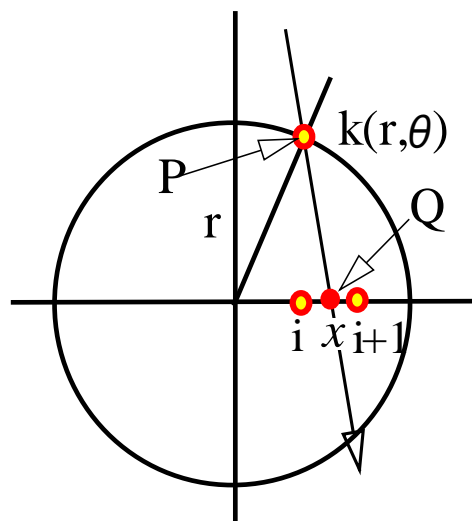


Fig.8

ただし測定半径  $r$  は、線量プロファイル  $D(r)$  と同様にガントリ回転中心から 1 cm 間隔であるため、Fig.8 に示すように  $\theta = 0, \pi/2, -\pi/2$  を除いて  $x$  が回転中心から 1 cm 間隔上の点に一致することはない。CT-Profile では、 $x$  が 1 cm 間隔上の点  $i$  と  $i+1$  の間にある場合、 $x$  と両点との距離を加重係数として (2) 式で与えられた値を(3)式のとおりの 2 つに分割する。

$$k(r, \theta) = a \cdot D(i) \cdot \frac{m^2}{l^2} \cdot \cos \theta \cdot \frac{i+1-x}{(i+1)-i} + a \cdot D(i+1) \cdot \frac{m^2}{l^2} \cdot \cos \theta \cdot \frac{x-i}{(i+1)-i} \quad \text{----- (3)}$$

以下  $b_{r,i} = a \cdot \frac{m^2}{l^2} \cdot \cos \theta$  とおく。

(1)式で求めた  $K(i)$  と  $D(i)$  との関係は  $r$  の最大値を  $n$  とすると、下記の一次連立方程式で表され、これを解くことにより本来の線量プロファイル  $D(i)$  を算出することができる。

$$\begin{aligned} b_{0,0} \cdot D(0) + b_{0,1} \cdot D(1) + \cdots + b_{0,i} \cdot D(i) + \cdots + b_{0,n} \cdot D(n) &= K(0) \\ b_{1,0} \cdot D(0) + b_{1,1} \cdot D(1) + \cdots + b_{1,i} \cdot D(i) + \cdots + b_{1,n} \cdot D(n) &= K(1) \\ \vdots & \\ b_{i,0} \cdot D(0) + b_{i,1} \cdot D(1) + \cdots + b_{i,i} \cdot D(i) + \cdots + b_{i,n} \cdot D(n) &= K(i) \\ \vdots & \\ b_{n,0} \cdot D(0) + b_{n,1} \cdot D(1) + \cdots + b_{n,i} \cdot D(i) + \cdots + b_{n,n} \cdot D(n) &= K(n) \end{aligned} \quad \text{----- (4)}$$

この連立方程式は下記のような行列で表すことができる。

$$\begin{bmatrix} b_{0,0} & b_{0,1} & \cdots & b_{0,i} & \cdots & b_{0,n} \\ b_{1,0} & b_{1,1} & \cdots & b_{1,i} & \cdots & b_{1,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{i,0} & b_{i,1} & \cdots & b_{i,i} & \cdots & b_{i,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n,0} & b_{n,1} & \cdots & b_{n,i} & \cdots & b_{n,n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D(0) \\ D(1) \\ \vdots \\ D(i) \\ \vdots \\ D(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K(0) \\ K(1) \\ \vdots \\ K(i) \\ \vdots \\ K(n) \end{bmatrix} \quad \text{----- (5)}$$

(5)式を拡大係数行列で表すと(6)式の形になり、Gauss の消去法により  $D(i)$  を算出することができる。

$$\begin{bmatrix} b_{0,0} & b_{0,1} & \cdots & b_{0,i} & \cdots & b_{0,n} & \vdots & K(0) \\ b_{1,0} & b_{1,1} & \cdots & b_{1,i} & \cdots & b_{1,n} & \vdots & K(1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{i,0} & b_{i,1} & \cdots & b_{i,i} & \cdots & b_{i,n} & \vdots & K(i) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{n,0} & b_{n,1} & \cdots & b_{n,i} & \cdots & b_{n,n} & \vdots & K(n) \end{bmatrix} \quad \text{----- (6)}$$

ただし、測定点の回転中心からの距離の最大値を  $n$  としたとき、Fig.7,8 に示すように角度  $\theta$  によっては  $x$  が  $n$  をより大きくなる場合が起こり、 $n+1$  以上の項が生じてしまう。この場合、 $n$  個の連立方程式を用いて  $n$  個以上の変数を算出することはできない。(5),(6)式のように  $b_{i,n+1}$  以降を無視して  $D(i)$  を算出すると、Fig.9 に示すような、回転中心から離れた位置で正しく計算することができない現象が生じる。

CT-Profile では、このような場合を想定し、 $n+1$  以上の項が生じた場合、近似的に  $b_{i,n+1}$  の値を  $b_{i,n}$  に加算して  $b_{i,n+1}$  を 0 とし、(6)式で  $D(i)$  を算出する方法を採っている。このようにして得られた線量プロファイルを Fig.10 に示す。理論的には正確ではないが滑らかな線量プロファイルが得られることが分かる。

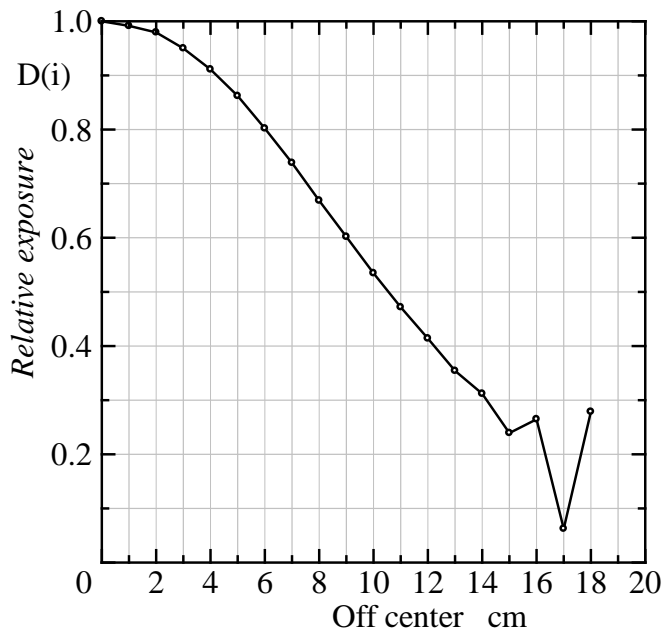


Fig.9

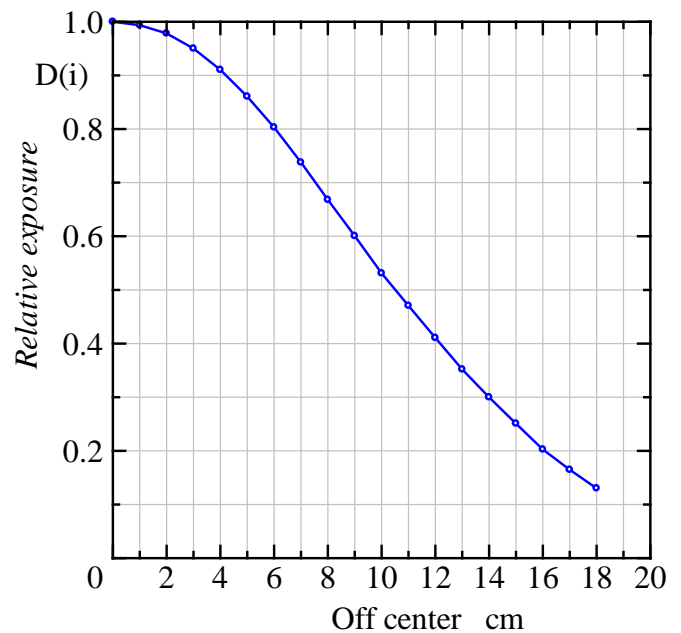


Fig.10