

|              |   |
|--------------|---|
| Title        | 等線量曲線移動法に関する実験及び理論的研究 3移動率により補正せられる斜入射線量分布の比較                                       |
| Author(s)    | 岩崎, 晃; 石戸, 俊雄   |
| Citation     | 日本医学放射線学会雑誌. 1979, 39(4), p. 412-420  |
| Version Type | VoR   |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/16350">https://hdl.handle.net/11094/16350</a> |
| rights       |   |
| Note         |   |

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## 等線量曲線移動法に関する実験及び理論的研究

## 3 移動率により補正せられる斜入射線量分布の比較

弘前大学医療技術短期大学部診療放射線技術学科

岩崎 晃 石戸 俊雄

(昭和53年9月1日受付)

(昭和53年12月5日最終原稿受付)

Experimental and Theoretical Studies on the  
Isodose Shift MethodComparison of the Dose Distributions Corrected by Three  
Shift-Factors for Oblique Incidence in Radiotherapy

by

Akira Iwasaki and Toshio Ishito

Division of Medical Radiology, College of Nursing and Medical Technology, Hirosaki  
University, 66 Hon-cho, Hirosaki-shi, Aomori-ken 036, Japan

---

*Research Code No.:* 203

---

*Key Words:* Oblique incidence, Shift-factor, Isodose curve, Cobalt-60

---

In radiotherapy with high-energy radiation, it is necessary to take account of the curvature of the body surface and/or the obliquity of the incident beam. Three methods of correction using the standard set of isodose curves are in common use, and these are: the tissue-air ratio method; the effective SSD method; and the isodose shift method. The last method is convenient for drawing complete isodose curves for the actual contour shape, especially by hand.

Two formulae expressing the shift-factors  $S_1$  and  $S_2$  have been given by van der Giessen and Iwasaki respectively, and another formula expressing the shift-factor  $S_3$  is derived in this paper. These formulae are similar to each other in the mathematical description:

$$S_1 = 1 - \frac{2}{f} \frac{D_a}{-dD_a/dx},$$

$$S_2 = 1 - \frac{2}{f+d} \frac{D_a}{-dD_a/dx},$$

$$S_3 = \frac{f}{f+d} \left[ 1 - \frac{2}{f+d} \frac{D_a}{-dD_a/dx} \right],$$

where  $f$  is the SSD, and  $D_d$  is the axial depth dose at  $x=d$ , letting  $x$  be the beam axis whose origin is taken on the normal incident surface.

Experiments have been made with cobalt-60 irradiation using a water-equivalent phantom with an even incident surface, and the following results have been obtained: The isodose distribution corrected by the shift-factor  $S_2$  is superior to those corrected by the other two shift-factors  $S_1$  and  $S_3$ ; namely, the isodose distribution corrected by the shift-factor  $S_1$  is a little inferior at the portions where the isodose curves are greatly curved on the side on which the object of dose correction is the air gap, and the isodose distribution corrected by the shift-factor  $S_3$  is a little inferior at both the portions mentioned above and the portions where the isodose curves are nearly parallel to the beam axis. In this case, the isodose chart is moved along ray lines emanating from the source when using the shift-factors  $S_1$  and  $S_2$ , and along lines parallel to the beam axis when using the shift-factor  $S_3$ .

### 緒 言

遠隔放射線治療において、照射が斜入になる場合が生ずる。斜入射の等線量曲線を求めるのに標準の等線量曲線を補正する方法、つまり組織/空中線量比法（実効吸収係数法）、実効 SSD 法及び等線量曲線移動法がある<sup>1)2)</sup>。特に手作業により等線量曲線を描く場合、これら3方法のうち最も簡単な方法は等線量曲線移動法である。この方法により得られる等線量曲線の線量誤差の大きさは一般に移動率の精度により決まる。実験的に得られた移動率により補正せられる等線量曲線の線量誤差は5%にも及ぶ<sup>3)</sup>。Van der Giessen<sup>4)</sup>及び岩崎<sup>5)</sup>は独立にそれぞれ互いに異つた移動率を理論的考察に基づいて算出した。この論文ではもうひとつの移動率を算出する。これらの移動率は実効 SSD 法と実効吸収係数法との組合せで作られており、式の表現法は互に似ている。これらの移動率を Co-60  $\gamma$  線の斜入射に適用することにより、この論文で算出した移動率は最も精度が高く、これにより補正せられた等線量曲線の線量誤差は一般に2%に近い値におさえることができた。

### 理 論

ビーム中心軸  $x$  上の深さ  $d$  における移動率は、次の3式で表わされる：

$$S_1 = 1 - \frac{2}{f} \frac{D_d}{-dD_d/dx} \quad (1)$$

$$S_2 = 1 - \frac{2}{f+d} \frac{D_d}{-dD_d/dx} \quad (2)$$

$$S_3 = \frac{f}{f+d} \left[ 1 - \frac{2}{f+d} \frac{D_d}{-dD_d/dx} \right] \quad (3)$$

ここで、 $f$  は SSD、及び  $D_d$  はビーム中心軸  $x$  上の深さ  $d$  における吸収線量である。(1)式及び(3)式は、それぞれ van der Giessen<sup>4)</sup> 及び岩崎<sup>5)</sup> により得られている。なお、(2)式の算出方法は付録 I に記されている。これら3式は、いずれもビーム中心軸付近の領域において算出せられたものである。この場合、斜入射による1次放射線の相対的線量変化に原因するファントム内の散乱放射線の線量変化は、線量分布に影響を及ぼさないという前提を必要とする。これら3式の算出方法を検討することにより、次の事柄が知られる（付録 II 参照）：

(i) 移動率  $S_1$  及び  $S_2$  は、線源より放射状に出る線上において適応される。

(ii) 移動率  $S_3$  は、ビーム中心軸に平行な線上において適応される。

ビーム中心軸付近以外の領域においては、ビーム中心軸付近で成立する上述の事柄を、そのまま移動率  $S_1$  及び  $S_2$  並びに移動率  $S_3$  にそれぞれ適応させることにする。すなわち、移動率  $S_1$  及び  $S_2$  に対しては、線源から放射状に出る線上において、標準入射面と実入射面間の組織層あるいは空気層の厚さを  $h$  とすると、移動距離は、線源方向あるいはそれと反対方向にそれぞれ  $S_1 h$  及び  $S_2 h$  となる (Fig. 1 (a))。又移動率  $S_3$  に対しては、ビーム中心軸と平行な線上において、上述と同

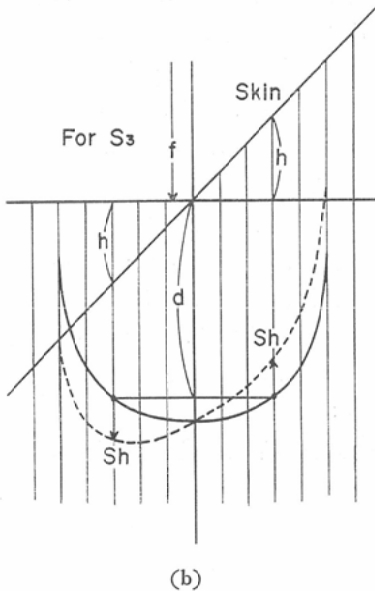
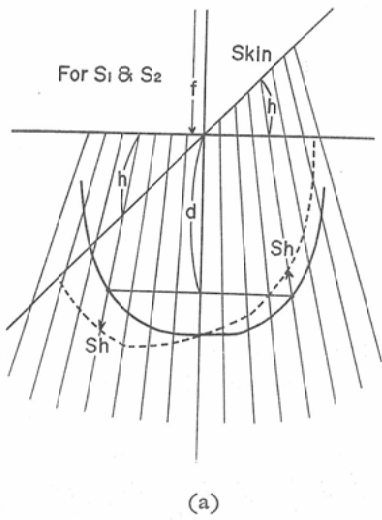


Fig. 1 Diagram showing how a standard isodose curve is moved under a sloping surface : (a) the isodose curve is moved along rays emanating from the source when using the shift factors,  $S_1$  and  $S_2$ ; and (b) the isodose curve is moved along lines parallel to the beam axis when using the shift factor  $S_3$ .

じ様な取扱いを行う (Fig. 1 (b)). Decrement Value の表面からの深さに対する変化が小さいと云うことにより<sup>6)</sup>, 線源より放射状に出る任意の線  $x'$  上の深さ  $d'$  における  $(-dD_{a'}/dx')/D_{a'}$  の

値は、表面からの深さ  $d$  の位置において、ビーム中心軸上の  $(-dD_a/dx)/D_a$  の値にはほぼ等しくなる。よつて3移動率  $S_1$ ,  $S_2$  及び  $S_3$  に対する上述の取扱いは、ビーム中心軸付近の領域のみならず他のあらゆる領域においても合理的なものである。

実験及び結果

使用した放射線照射装置は島津製 Cobalt 照射装置 (RTGS-2) である。(1), (2)及び(3)式の中に入っているビーム中心軸上の吸収線量  $D_a$  には日本医放物理部会発表による深部量百分率を用いた。又その微分  $dD_a/dx$  には深さ  $d$  の1cm 前後における深部量百分率の差を2で割つた値を利用した。

Fig. 2は基準深を越えた領域における深さに対する3移動率  $S_1$ ,  $S_2$  及び  $S_3$  の変化を照射野10×10cm (SSD 65cm, Co-60) について表わしている。これにより、基準深を超えた領域においては一般に次の事柄が知られる：

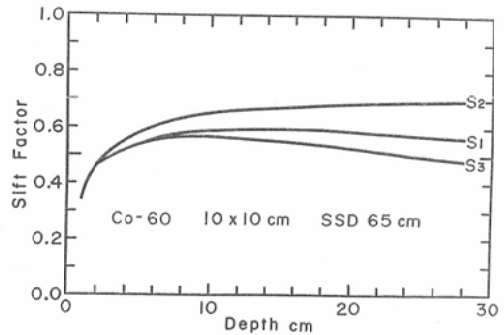


Fig. 2 Variation of the shift factors  $S_1$ ,  $S_2$  and  $S_3$  with depth beyond the build-up region for a 10×10cm cobalt-60 field at SSD 65cm.

(i) 比較的残い領域では深さに対する3移動率  $S_1$ ,  $S_2$  及び  $S_3$  の変化はいずれも大きい、比較的深い領域では深さに対するそれらの変化はいずれも小さい。

(ii) 移動率  $S_1$  及び  $S_2$  は理論上増加関数である。他方移動率  $S_3$  は、ある深さまでは増加関数であるが、それ以降の深さでは減少関数である。

(iii) 一般に3移動率  $S_1$ ,  $S_2$  及び  $S_3$  間には、

Table 1 Mean Shift Factors  $S_1$ ,  $S_2$  and  $S_3$  for  $5 \times 5$ cm,  $10 \times 10$ cm and  $15 \times 15$ cm Cobalt-60 Fields at SSD 65cm.

| Depth, d             | Mean Shift Factors for Cobalt-60, SSD 65 cm |       |       |            |       |       |            |       |       |
|----------------------|---|-------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|
|                      | 5 × 5 cm                                    |       |       | 10 × 10 cm |       |       | 15 × 15 cm |       |       |
|                      | $S_1$                                       | $S_2$ | $S_3$ | $S_1$      | $S_2$ | $S_3$ | $S_1$      | $S_2$ | $S_3$ |
| $2 \leq d \leq 5$ cm | 0.568                                       | 0.590 | 0.560 | 0.503      | 0.528 | 0.501 | 0.465      | 0.492 | 0.466 |
| $5 < d \leq 10$ cm   | 0.626                                       | 0.667 | 0.594 | 0.585      | 0.630 | 0.560 | 0.544      | 0.595 | 0.530 |
| $10 < d \leq 15$ cm  | 0.631                                       | 0.693 | 0.577 | 0.589      | 0.658 | 0.548 | 0.556      | 0.630 | 0.525 |
| $15 < d \leq 20$ cm  | 0.619                                       | 0.702 | 0.550 | 0.582      | 0.673 | 0.527 | 0.547      | 0.645 | 0.505 |
| $20 < d \leq 28$ cm  | 0.618                                       | 0.724 | 0.523 | 0.578      | 0.695 | 0.502 | 0.548      | 0.673 | 0.486 |

$S_2 > S_1 > S_3$  なる関係が成立する。このことは深さが増すにつれて顕著になるが、非常に浅い領域では、それらは互に実質的に等しい。

この様に、3移動率  $S_1$ ,  $S_2$  及び  $S_3$  は深さの関数であるが、これらの実際的取扱いを簡単にする目的で、各深さ区間ごとの平均値を作った。Table 1 は各深さ区間ごとに得られた3移動率  $S_1$ ,  $S_2$  及び  $S_3$  の平均値を照射野  $5 \times 5$ cm,  $10 \times 10$  cm 及び  $15 \times 15$ cm (SSD 65cm, Co-60) について表わしている。以後の等線量曲線の補正では Table 1 の数値を使用する。

まず、3移動率  $S_1$ ,  $S_2$  及び  $S_3$  により補正せられる等線量曲線の比較を単純化した標準等線量曲線を用いて行つた。この標準等線量曲線はそれぞれの領域において次の様になつている：照射野中央部付近の領域においては、標準入射面に対して平行な直線；照射野辺縁付近の領域においては、ビーム中心軸に対して平行な直線；及び前二者の中間領域においては、ビーム中心軸に対して約30度の傾斜を持つ直線。照射野としては  $15 \times 15$ cm (SSD 65cm) を想定し、斜入射角45度の等線量曲線を作成した。結果を Fig. 3 に表わす。これにより一般に次の事柄が知られる：

(i) 照射野中央部付近の領域においては、移動率  $S_2$  及び  $S_3$  により補正せられた等線量曲線は互いに実質的に一致する。又それらの標準入射面に対する角度は一般に、移動率  $S_1$  により補正

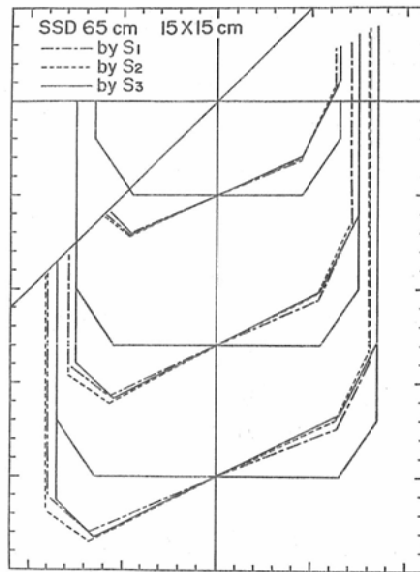


Fig. 3 Comparison of three isodose distributions with an oblique incidence angle of 45 degrees corrected by the shift factors  $S_1$ ,  $S_2$  and  $S_3$  for the simplified standard isodose curves assuming a  $15 \times 15$ cm cobalt-60 field at SSD 65cm.

せられた等線量曲線のそれよりも大きい。移動率  $S_1$  及び  $S_2$  により補正せられる等線量曲線の線源より放射状に出る線上における間隔  $\Delta l$  は一般に次式で近似される：

$$\Delta l = (S_2 - S_1) w \tan \alpha \tag{4}$$

ここで、 $\alpha$  は斜入射角、及び  $w$  は移動すべき標準等線量曲線上の点のビーム中心軸からの距離であ

る。

(ii) 照射野辺縁付近の領域においては、移動率  $S_1$  及び  $S_2$  により補正せられた等線量曲線は、互に実質的に一致する。又それらの等線量曲線は、標準等線量曲線に対して線量補正の対象が空気層である側の方へ全体的にずれている。しかるに、移動率  $S_3$  により補正せられた等線量曲線は標準のそれと完全に一致する。移動率  $S_2$  及び  $S_3$  により補正せられる等線量曲線のビーム中心軸に垂直な線上における間隔  $\Delta l$  は一般に次式で近似される：

$$\Delta l = S_2 \frac{w^2}{f} \tan \alpha \quad (5)$$

ここで、 $\alpha$  は斜入射角、 $w$  は移動すべき標準等線量曲線上の点のビーム中心軸からの距離、及び  $f$  は SSD である。

(iii) 前二者の中間領域においては、線量補正の対象が空気層の場合、移動率  $S_1$  及び  $S_3$  により補正せられた等線量曲線は互に実質的に一致するが、線量補正の対象が組織層の場合、3移動率  $S_1$ 、 $S_2$  及び  $S_3$  により補正せられた等線量曲線は互に実質的に一致する。移動率  $S_1$  及び  $S_2$  により補正せられる等線量曲線の線源より放射状に出る線上における間隔  $\Delta l$  は一般に (4) 式で近似されるが、線量補正の対象が組織層の場合では標準入射面に対するそれらの等線量曲線の傾きがより大きいので、2等線量曲線間の距離はそれだけより小さい。

次に、3移動率  $S_1$ 、 $S_2$  及び  $S_3$  により補正せられる等線量曲線の比較を Co-60  $\gamma$  線による実際の標準等線量曲線(照射野15×15cm, 10×10cm 及び5×5cm)を用いて行つた。Fig. 4 (a)—(c) には1例として照射野15×15cm (SSD 65cm) に対する斜入射角45度の等線量曲線を表わす：点線の等線量曲線は移動法により得られたものである。この場合、(a)、(b) 及び (c) はそれぞれ移動率  $S_1$ 、 $S_2$  及び  $S_3$  により補正せられた等線量曲線を示す。又実線の等線量曲線はフィルム法により得られたものである。この方法においては、ビーム中心軸上のフィルム濃度をビーム中心軸上の吸収線量でもつて校正した<sup>7)</sup>。尾内らによると、

これにより20%以上の等線量曲線は2mm 以内の誤差におさまる<sup>8)</sup>。

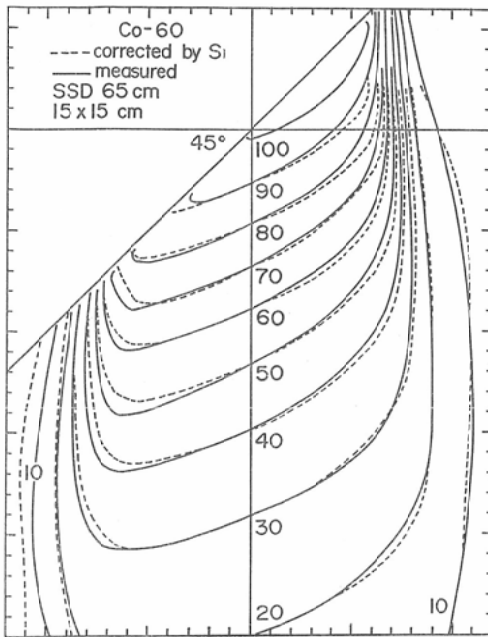
Fig. 4 (a)—(c) の補正せられた等線量曲線には、単純化した標準等線量曲線に対して見られる諸特徴が含まれている。又線量補正の対象が空気層である側における10%及び20%の実測等線量曲線はビーム中心軸側の方にやや片寄っている。これは斜入射による散乱放射線量の減少のためと考えられる。他の照射野10×10cm 及び5×5cm では、この現象は見られなかつた。Fig. 4 (a)—(c) より3移動率  $S_1$ 、 $S_2$  及び  $S_3$  により補正せられた等線量曲線の線量誤差は、全般的に次の様に要約できる。ただし、標準等線量曲線により補正しきれない領域及び入射表面に近い領域については除くことにする：

(i) 照射野中央部付近の領域においては、補正すべき移動距離が小さいこともあつて、3移動率  $S_1$ 、 $S_2$  及び  $S_3$  により補正せられた等線量曲線は互に実質的に一致し、それらの線量誤差は、90%及び80%の等線量曲線に対しては約3%以内に、又70%以下の等線量曲線に対しては約2%以内にそれぞれおさまる。

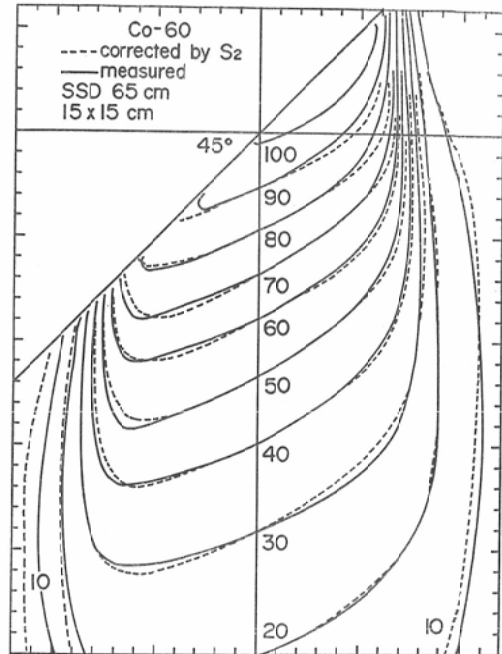
(ii) 線量補正の対象が空気層である側における等線量曲線のわん曲が大きい箇所においては、移動率  $S_2$  により補正せられた等線量曲線が最も精度よく、その線量誤差は約2%以内におさまる。又移動率  $S_1$  及び  $S_3$  により補正せられた等線量曲線は互いに実質的に一致し、それらの線量誤差は約3%以内におさまる。

(iii) 線量補正の対象が組織層である側における等線量曲線のわん曲が大きい箇所においては、3移動率  $S_1$ 、 $S_2$  及び  $S_3$  により補正せられた等線量曲線は互に実質的に一致し、それらの線量誤差は、90%及び80%の等線量曲線に対しては約4%以内に、又70%以下の等線量曲線に対しては約2%以内にそれぞれおさまる。

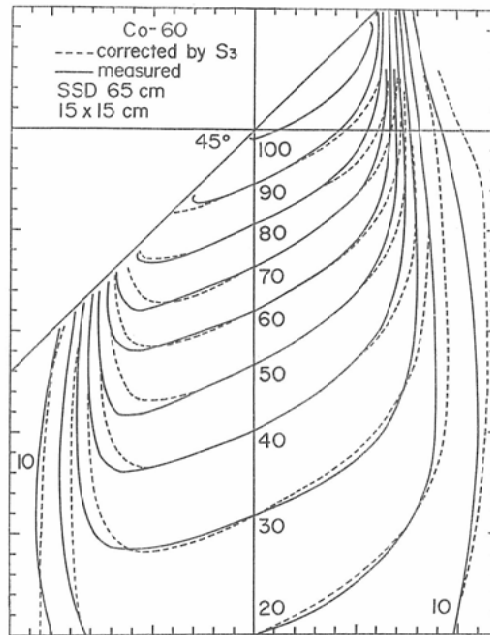
(iv) 等線量曲線がビーム中心軸に対してほぼ平行になる箇所においては、移動率  $S_1$  及び  $S_2$  により補正せられた等線量曲線の精度は共により良く、それらの線量誤差は約7%以内におさま



(a)



(b)



(c)

Fig. 4 Isodose distributions with an oblique incidence angle of 45 degrees for a 15×15cm cobalt-60 field at SSD 65cm. Solid lines are measured, and broken lines are corrected by (a)  $S_1$ , (b)  $S_2$  and (c)  $S_3$ .

る。又移動率  $S_3$  により補正せられた等線量曲線は、実測の等線量曲線に対して線量補正の対象が組織層である側の方へずれているために、その線量誤差は特に高百分率等線量曲線においては約30%にも及ぶ。しかし、これらの線量誤差に対応する距離誤差は、高百分率になる程一般に小さい。

上に述べた等線量曲線の線量誤差は、小照射野になる程小さくなり、照射野5×5cmにおいては3移動率  $S_1$ ,  $S_2$  及び  $S_3$  により補正せられた等線量曲線は互に実測のそれと実質的に一致した。

### 考 察

3移動率  $S_1$ ,  $S_2$  及び  $S_3$  を算出するのに、次の2つの仮定が成立しなければならない：

(i) 基準深  $d_0$  におけるピーク吸収線量  $D_p$  は線源からの距離の逆自乗則に従う。

(ii) 水の実効線吸収係数  $\mu_a$  は深さ  $d$  のみの関数である。

仮定 (i) 及び (ii) に関して、厳密にはそれぞれ、ピーク吸収線量  $D_p$  をその位置での散乱係数  $F_s$  で除したもので、つまり空中組織吸収線量  $D_{im}$  が線源からの距離の逆自乗則に従うと云うこと<sup>9)</sup>；及び与えられた放射線に対して、水の実効線吸収係数  $\mu_a$  は一般に深さ  $d$  のみならず SSD 及び照射野の関数になつてると云うこと<sup>9)</sup>が正しい。しかし、これらの仮定は、特に高エネルギー X,  $\gamma$  線照射の場合、3移動率  $S_1$ ,  $S_2$  及び  $S_3$  を算出する過程で生ずる照射条件のわずかな変化に対しては、一般に充分精度よく成立する事柄である。

ビーム中心軸上の吸収線量は、線源からの距離の逆自乗的減弱関数及び組織の深さによる指数吸収的減弱関数との積で表わせるという条件下で

(1), (2)及び(3)式が成立する。このことを一般化させて、ビーム中心軸  $x$  上の深さ  $d$  における吸収線量  $D_a$  は、線源からの距離の逆  $n$  乗的減弱関数及び組織の深さ  $d$  のみに関する減弱関数との積で表わせるものとする。すなわち、これは一般に次式の様に表わされる；

$$D_x = D_s \left( \frac{f+d_s}{f+d} \right)^n F(d) \quad (6)$$

ここで、 $f$  は SSD、及び  $D_s$  はビーム中心軸  $dx$  上

の任意の深さ  $d_s$  における吸収線量である。よつて、付録 I に記されているのと同じ様な手順を(6)式に適応させることにより、移動率  $S_2^n$  は最終的に次式で表わされる：

$$S_2^n = 1 - \frac{n}{f+d} \frac{D_a}{-dD_a/dx} \quad (7)$$

この移動率は、線源より放射状に出る線上において適応される。これをビーム中心軸に平行な線上において適応される移動率  $S_3^n$  に変えると、付録 II により、これは次式で表わされる：

$$S_3^n = \frac{f}{f+d} \left[ 1 - \frac{n}{f+d} \frac{D_a}{-dD_a/dx} \right] \quad (8)$$

次に、3移動率  $S_1$ ,  $S_2$  及び  $S_3$  を表わす (1),

(2)及び(3)式を用いて、高エネルギー X,  $\gamma$  線照射における斜入射等線量曲線の特徴を述べてみる。ただし、ビーム中心軸以外の所定の軸上においてもビーム中心軸上の性質がそのまま保たれるものとする。なお、実際の等線量曲線には、これらの特徴に加えてビーム半影効果が入る：

(i) ビルドアップ領域内のビーム中心軸上の吸収線量の変化が大きい領域では、(1), (2)及び(3)式において  $-dD_a/dx = -\infty$  及び、 $d \ll f$  と近似することにより、 $S_1 = S_2 = S_3 = 1$  が求まる。この領域における照射を近似的に平行ビームとみなすと、3移動率  $S_1$ ,  $S_2$  及び  $S_3$  により補正せられる等線量曲線は入射面に平行になる。この現象は一般に実測と一致する。

(ii) 基準深  $d_0$  に非常に近い領域では、(1), (2)及び(3)式において  $d = d_0 \pm 0$  及び  $-dD_a/dx = \pm 0$  とすることにより、 $S_1 = S_2 = S_3 = \infty$  が求まる。この領域における照射を近似的に平行ビームとみなすと、ピーク吸収線量値及びそれに近い値を有する等線量曲線は、線量補正の対象が空気層である側において、ビーム中心軸及びそれに平行な線上の深さ  $d_0$  の点でこれらに接することになる。この現象は一般に実測と一致する。

(iii) 片対数グラフ面ではビーム中心軸上の吸収線量  $D_a$  の傾き  $(-dD_a/dx)/D_a$  は、ある深さ以上の領域において実質的に一定となる。よつて(1), (2)及び(3)式において、有限な大きさの  $f$  に対して  $d = +\infty$  とすることにより、 $S_1 = 1$  (一定  $< 1$ ),  $S_2 = 1$  及び  $S_3 = 0$  がそれぞれ求まる。こ



これらの値は Fig. 2 に示す 3 移動率  $S_1$ ,  $S_2$  及び  $S_3$  の極限值である。深さが非常に大きい領域においては、3 移動率  $S_1$ ,  $S_2$  及び  $S_3$  により補正せられる等線量曲線はビーム中心軸に対して直角になる。この現象は確かに起り得るものと考えられる。

(iv) 同様に (1), (2) 及び (3) 式において、有限な大きさの  $d$  に対して  $f \rightarrow +\infty$  とすることにより、 $S_1 = S_2 = S_3 = 1$  が求まる。この場合照射は平行ビームとなるので、3 移動率  $S_1$ ,  $S_2$  及び  $S_3$  により補正せられる等線量曲線はあらゆる深さで入射面に平行になる。この現象は、斜入射によるファントム内の散乱放射線量の相対的変化が線量分布に影響を及ぼさない場合に確かに起り得るものと考えられる。

従来までの移動法においては、等線量曲線の移動を線源より放射状に出る線上において適応する場合でも、照射野辺縁付近の等線量曲線に対する補正は一般に行われていない<sup>2)</sup>。しかし、実測の斜入射等線量曲線は標準等線量曲線に対して線量補正の対象が空気層である側の方へ全体的にずれている。このずれは、(5) 式によると、斜入射角及び照射野が大きい程又 SSD が小さい程大きい。一般には照射野辺縁付近の等線量曲線に対しても補正を加える必要がある。例えば、Co-60  $\gamma$  線 (照射野  $15 \times 15$  cm, SSD 65 cm) による 45 度斜入射の場合 (Fig. 4 (a), (b) 及び (c) 参照)、線量補正の対象が組織層である側における 40% 等線量曲線の標準入射面より深さ 5 cm の点に関しては：移動率  $S_1$  及び  $S_2$  により補正せられた等線量曲線の線量誤差は約 3%；移動率  $S_3$  により補正せられた等線量曲線の線量誤差は約 10%；及び補正せられない等線量曲線の線量誤差は約 10% にそれぞれなっている。

移動法により斜入射等線量曲線を作成するのに、与えられた照射条件に対して一定な移動率を用いても一般には 5% 以内の線量誤差におさまる<sup>3)</sup>。しかし現在、放射線治療では病巣線量を 2% 以内の線量誤差で評価しようとする動きがある<sup>10)</sup>。このことは、Co-60  $\gamma$  線のみならず恐らく

は他の高エネルギー X,  $\gamma$  線に対しても、一般に移動率  $S_2$  によりほぼ達成せられるものと考えられる。

## 結 論

3 移動率  $S_1$ ,  $S_2$  及び  $S_3$  に関する理論的考察及び実験結果より、一般に次のことが結論される。

最も精度の優れているのは移動率  $S_2$  により補正せられる等線量曲線である。移動率  $S_1$  により補正せられる等線量曲線は、線量補正の対象が空気層である側における等線量曲線のわん曲が大きい箇所においてやや劣り、又移動率  $S_3$  により補正せられる等線量曲線は、上記の箇所及び等線量曲線がビーム中心軸に対してほぼ平行になる箇所においてやや劣る。この場合、移動率  $S_1$  及び  $S_2$  は線源より放射状に出る線上において適応され、又移動率  $S_3$  はビーム中心軸に平行な線上において適応される。

## 付 録 I

### 移動率 $S_2$ の求め方

以下において、\* 軸は入射面に原点を有するビーム中心軸であるとする。深さ  $x=d$  における吸収線量  $D_a$  は次式となる<sup>11)</sup>：

$$D_a = D_p \left( \frac{f+d_0}{f+d} \right)^2 \exp[-\mu_a(d-d_0)] \quad (9)$$

ここで、 $f$  は SSD,  $D_p$  は基準深  $d_0$  におけるピーク吸収線量、及び  $\mu_a$  は深さ  $d$  における水の実効線吸収係数である。ただし以下の計算過程で生ずる深さ  $d$  以外の照射条件の変化に対して、 $\mu_a$  の値は変わらないものとする。

次に、この照射条件の SSD のみを  $f+\Delta f$  に変えらると、深さ  $x=d-\Delta f+\Delta d (=d')$  における吸収線量  $D_{a'}$  は次式となる：

$$D_{a'} = D_p \left( \frac{f+d_0}{f+d+\Delta d} \right)^2 \exp[-\mu_a'(d'-d_0)] \quad (10)$$

ただし、この場合基準深  $d_0$  におけるピーク吸収線量に対して線源からの距離の逆自乗則が適応されるものとする。ここで、 $D_a = D_{a'}$  より求まる  $\Delta d/\Delta f$  は、移動率  $S_2$  を表わす。これは、この等式の右辺  $D_{a'}$  を  $\Delta f$  及び  $\Delta d$  に関して第 1 次の項まで Taylor 展開することにより求まる：

$$S_2 = \frac{\mu_a + (d-d_0) \frac{d\mu_a}{dx}}{\mu_a + (d-d_0) \frac{d\mu_a}{dx} + \frac{2}{f+d}} \quad (11)$$

さらに

$$\mu_a + (d - d_0) \frac{d\mu_a}{dx} = \frac{1}{D_d} \left( -\frac{dD_d}{dx} \right) - \frac{2}{f+d} \quad (12)$$

を(11)式に代入することにより<sup>9)</sup>, 最終的に次式が得られる:

$$S_2 = 1 - \frac{2}{f+d} \frac{D_d}{-dD_d/dx} \quad (13)$$

付録 II

3 移動率  $S_1$ ,  $S_2$  及び  $S_3$  間の関係

移動率  $S_1$  を表わす(1)式は, 移動率  $S_2$  を表わす(2)式の近似式と見なせる. 次に, 移動率  $S_2$  及び  $S_3$  間の関係を調べる. (2)及び(3)式より, 移動率  $S_2$  及び  $S_3$  は直接的に次式で結ばれる:

$$S_3 = \frac{f}{f+d} S_2 \quad (14)$$

この関係式は, 移動率  $S_2$  及び  $S_3$  の適用の仕方に基づいても間接的に得られる. すなわち, Fig. 5において,

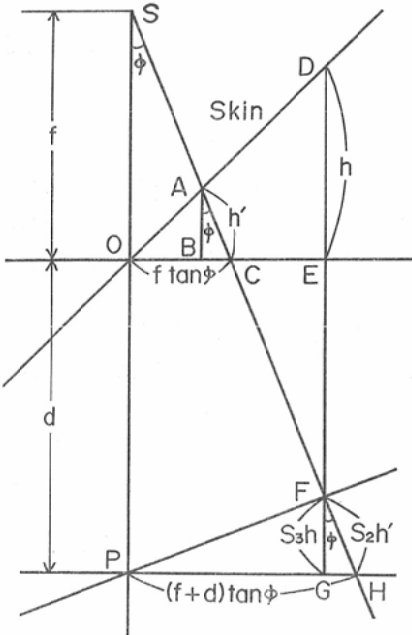


Fig. 5 Diagram showing how the shift factors  $S_2$  and  $S_3$  are geometrically related to each other.

標準入射面に平行になつてある標準線量曲線上の点H及びGが斜入照射により点Fに移動するものとする. よつて, 直角三角形 FGH において, 次式が求まる.

$$S_3 = \frac{h' \cos \phi}{h} S_2 \quad (15)$$

ここで,  $h'$  は線源より放射状に出る線上における線量補正の対象である組織層の厚さ,  $\phi$  はこの線のビーム中心軸との角度, 及び  $h$  はビーム中心軸に平行な線上における線量補正の対象である組織層の厚さである. 互に相

似な直角三角形 OAB 及び ODE において, 次式が得られる:

$$\frac{h' \cos \phi}{h} = \frac{f}{f+d} \left( \frac{1 - \frac{h' \cos \phi}{f}}{1 - \frac{S_2 h' \cos \phi}{f+d}} \right) \quad (16)$$

ここで,  $h' \cos \phi \ll f$  及び  $S_2 h' \cos \phi \ll f+d$  の場合, (16)式の右辺は  $f/(f+d)$  に近似される. よつて, (15)式より(14)式が求まる.

文 献

- 1) ICRU: ICRU Report 10d, Clinical Dosimetry (NBS Handbook 87). pp. 22—24, 1963, ICRU, Washington, D.C.
- 2) ICRU: ICRU Report 24, Determination of Absorbed Dose in a Patient Irradiated by Beams of X or Gamma Rays in Radiotherapy Procedures. pp. 19—21, 1976, ICRU, Washington D.C.
- 3) 尾内能夫, 入船寅二, 都丸禎三: 最小の実測値を用いて等線量曲線を作成する方法に関する考察—第2報 Telecobalt の斜入照射の線量分布. 日本医放会誌 27: 1339—1353, 1968
- 4) Van der Giessen, P.H.: A method of calculating the isodose shift in radiotherapy. Brit. J. Radiol 46: 978—982, 1973
- 5) 岩崎 晃: 等線量曲線移動法に関する実験及び理論的研究—斜入照射に対する等線量曲線の補正. 日本医放会誌 35: 675—684, 1975
- 6) Onai, Y., Irifune, T., Tomaru, T. and Konishi, K.: Calculation of dose distributions in radiation therapy by a digital computer—I. The computation of dose distributions in a homogeneous body for cobalt 60  $\gamma$ -rays and 4.3 MV X-rays. Nipp. Act. Radiol. 27: 653—666, 1967
- 7) Granke, R.C., Wright, A.B., Evans, W.W., Nelson, J.E. and Trump, J.G.: The film method of tissue dose studies with 2.0 MeV. roentgen rays. Amer. J. Roentgenol. 72: 302—307, 1954
- 8) 尾内能夫, 都丸禎三, 入船寅二, 内田 勲: 写真フィルムによる高エネルギーX線の線量分布測定法の再検討. 日本医放会誌 31: 1224—1236, 1972
- 9) 日本医放学会物理部会: 放射線治療における<sup>60</sup>Co ガンマ線 および高エネルギーX線の吸収線量の標準測定法. p. 50, 1972, 通商産業研究社
- 10) ICRU: ICRU Report 24, Determination of Absorbed Dose in a Patient Irradiated by Beams of X or Gamma Rays in Radiotherapy Procedures. p. 46, 1976, ICRU, Washington D.C.
- 11) Pfalzner, P.M.: A general formula for axial depth dose derived from an empirical power law for tumour-air ratios. Radiology 75: 438—445, 1960