The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Wedge Filterに関する実験及び理論的研究
Author(s)	岩崎, 晃
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1977, 37(5), p. 479-486
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/19605
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Wedge Filter に関する実験及び理論的研究

弘前大学医学部附属診療放射線技師学校（校長：篠崎達世教授）
岩　崎　晃

（昭和51年10月29日受付）
（昭和52年1月10日最終原稿受付）

Experimental and Theoretical Studies on Wedge Filters

by

Akira Iwasaki

Technical School of Radiology Attached to School of Medicine, Hirosaki University
(Director: Prof. Tatsuyo Shinozaki)

Research Code No.: 203

Key Words: Wedge filter, Isodose curve, Cobalt 60

The angle of a simple wedge filter has been determined, in principle, on the assumption that two separate points have the same dose on one isodose curve with a fixed wedge isodose angle. The method by Van de Geijn also is based on the same assumption, but his method is expressed in more general theoretical formula than any other method. Nevertheless his theoretical formula is somewhat complicated in treating it, because of having the linear absorption coefficients of water in the original form in itself.

The author's theoretical formula of a general simple wedge filter is obtained by the improvement on Van de Geijn's, which consists of only two main factors, namely the central axis depth dose and its differential value. The angle α of a general simple wedge filter, which makes the isodose curve at the depth $x=d$ have a wedge isodose angle γ in case that the incidence surface inclines at an angle of β against the normal surface, is given by:

$$\tan\alpha = \frac{f}{\lambda a}\left[\frac{1}{D_d}\left(-\frac{dD_d}{dx}\right)-\frac{2}{f+d}\right]\tan\beta+\frac{f+d}{\lambda a}\left[\frac{1}{D_d}\left(-\frac{dD_d}{dx}\right)\right]\tan\gamma,$$

in which

f = source to skin distance,

a = source to wedge filter distance,

D_d = the central axis depth dose at the depth $x=d$,

dD_d/dx = the differential of the central axis depth dose at the depth $x=d$,

λ = the linear absorption coefficient of the wedge filter material.

Also the theoretical formulas of a compensating wedge filter for the air gap on the uneven incidence surface and that for the air cavity in the phantom, which are obtained by transforming the above original formula, can be given as follows:

1) a tanα/f tanβ which is obtained by making $\gamma=0$ in the original formula expresses the thickness of the compensating wedge filter material to the unit thickness of the air gap on the incidence surface, i.e.,

$$\frac{a\ \tan\alpha}{f\ \tan\beta}=\frac{1}{\lambda}\left[\frac{1}{D_d}\left(-\frac{dD_d}{dx}\right)-\frac{2}{f+d}\right],$$

2) a tanα/(f+d) tanγ which is similarly obtained by making $\beta=0$ in the original formula expresses the thickness of the compensating wedge filter material to the unit thickness of the air cavity in the phantom, i.e.,

$$\frac{a\ \tan\alpha}{(f+d)\ \tan\gamma}=\frac{1}{\lambda}\left[\frac{1}{D_d}\left(-\frac{dD_d}{dx}\right)\right].$$

Now, $S=-\tan\gamma/\tan\beta$ which is obtained by making particularly $\alpha=0$ in the original formula expresses the rate of isodose curve shift for the oblique incidence.

1. 緒　言

悪性腫瘍の放射線治療において基本的に重要なことは，病巣部に腫瘍致死量の線量が均等に与えられ，しかもその周囲にある健康な組織には不必要な線量が与えられないということである．この目的を果すために，従来から，放射線のエネルギーを高めること，およびそれに付随した色々な照射方法の開発が進められて来ている．

wedge filter による照射法は，高エネルギーX，γ線の利用のもとに開発されて来た照射法のひとつである．これによる照射法は，bolus による照射法に比べて，特に高エネルギーX，γ線を利用する場合，ビルドアップ効果により入射皮フ面の線量を少なくでき，しかも内部組織を均等に照射できるという利点を持つている．

入射面が中心軸に対してある一定の角度で傾斜している場合に，ある深部での等線量曲線が中心軸に垂直な面に対してある一定の傾き (wedge isodose angle) を持つ様に作用する wedge filter は，特に simple wedge filter と呼ばれる．その角度の決め方は，原則的には，ある一定の wedge angle を有するであろう等線量曲線上の離れた2点が，同一線量になるものとして行われて来ている[1)10)13)]．Van de Geijn による方法もこの原則に基づいているが，他の方法に比べてより一般的な理論式により表わされている[11)12)]．Van de Geijn の理論式によると，simple wedge filter ならびに simple compensating wedge filter の角度αは，それぞれ次式で表わされる：

$$\tan\alpha=\frac{f+d}{\lambda ab}\left[\mu_d(d_A-d_B)+2\left\{\log(f+d_A)-\log(f+d_B)\right\}\right],$$

$$\tan\alpha=\frac{2f}{\lambda aw}\left[\mu_d(d-d_o)-\mu_{d-x}(d-x-d_o)\right],$$

なお，これらの式に入つている記号についての説明は，Van de Gejin の文献[11)12)]を参照．

一方，著者の得た理論式の特徴は simple wedge filter と simple compensating wedge filter の角度が同一の式で表わされ，かつそれにより種々の応用が可能となる点にある．以下これについて述べて見る．

2. 理　論

入射面が中心軸に垂直な面に対して角度β傾いている場合に，深さ d での等線量曲線が中心軸に垂直な面に対して角度γ(wedge isodose angle γ) 傾く様に作用する simple wedge filter の角度αの算出方法は，次の通りである：—

Fig. 1 において，中心軸上の深さ x=d における点 P の線量 D_p は，次式で表わされる[11)12)]：

$$D_p=D_o\left(\frac{f+d_o}{f+d}\right)^2\exp\left[-\mu_d(d-d_o)-\lambda t\right]. \tag{1}$$

ただし

D_o=wedge filter のない状態での中心軸上のピーク深 d_o におけるピーク線量，

μ_d=深さ d における水の線吸収係数，

f =SSD,

λ =wedge filter の線吸収係数，

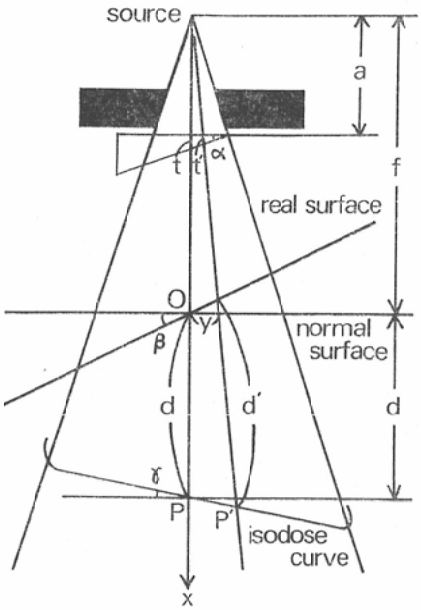

Fig. 1. Schematic diagram of wedge filter problem.

t＝中心軸の通過する wedge filter の厚さ.

次に，点Pと同一等線量曲線上にある点 P′ の線量 $D_{p'}$ は，点 P′ が点Pに充分近いという条件のもとでは (1)式と同様に次式で表わされる：

$$D_{p'}=D_o\left(\frac{f+d_o}{f-y\tan\beta+d'}\right)^2 \exp\left[-\mu_{d'}(d'-d_o)-\lambda t'\right]. \qquad (2)$$

ただし，yは入射面における中心軸からの微小距離である．また，d′ および t′ は次の様に近似される：

$$d'=d+y\tan\beta+\frac{f+d}{f}y\tan\gamma, \qquad (3)$$

$$t'=t-\frac{a}{f}y\tan\alpha. \qquad (4)$$

ここで，aは線源と wedge filter 間の距離である．

ところで，点P と点 P′ は同一等線量曲線上にあるので，$\log D_p=\log D_{p'}$ が成立する．さらに，これを深さ x＝d においてyの項に関して第1次の項まで Taylor 展開することにより，simple wedge filter の角度αは，次式の様に求まる．

$$\tan\alpha=\frac{f}{\lambda a}\left[(d-d_o)\frac{d\mu_d}{dx}+\mu_d\right]\tan\beta +\frac{f+d}{\lambda a}\left[(d-d_o)\frac{d\mu_d}{dx} +\mu_d+\frac{2}{f+d}\right]\tan\gamma. \qquad (5)$$

この式に入つている水の線吸収係数に関する項は，中心軸線量 D_d と，それの深さ方向の微分 dD_d/dx の関数となる[6]：

$$(d-d_o)\frac{d\mu_d}{dx}+\mu_d=\frac{1}{D_d}\left(-\frac{dD_d}{dx}-\frac{2}{f+d}\right. \qquad (6)$$

よつて，(5)式は次式の様に改められる：

$$\tan\alpha=\frac{f}{\lambda a}\left[\frac{1}{D_d}\left(-\frac{dD_d}{dx}\right)-\frac{2}{f+d}\right]\tan\beta +\frac{f+d}{\lambda a}\left[\frac{1}{D_d}\left(-\frac{dD_d}{dx}\right)\right]\tan\gamma. \qquad (7)$$

この式の第1項は，compensator としての wedge filterを，またその第2項は，等線量曲線の wedge isodose angle に関しての wedge filter をそれぞれ意味する．

この理論式から，β，γの色々な組合せに対する simple wedge filter の角度αの算出が可能となる．さらにまた，わん曲した入射面の空気層，あるいは組織中の空洞を補償するのに必要な空気層単位厚さ当りの wedge filter の厚さの算出も可能となる．

次に，この理論式に基づき，個々の照射条件に適合する wedge filter に関する理論式を導びいてみる：—

(A)　(7)式でγ＝0とすると，これは，入射面が中心軸に垂直な面に対して角度β傾いている場合に，深さ x＝d での等線量曲線が中心軸に対して直角 (wedge isodose angle 0度) になる様に作用するsimple wedge filter, いわゆるsimple compensating wedge filter の角度αを決める．すなわち，これは次式の様になる：

$$\tan\alpha=\frac{f}{\lambda a}\left[\frac{1}{D_d}\left(-\frac{dD_d}{dx}\right)-\frac{2}{f+d}\right]\tan\beta. \qquad (8)$$

(B) 同様に，(7)式でβ＝0とすると，これは，入射面が中心軸に対して直角である場合に，深さ x＝d での等線量曲線が中心軸に垂直な面に対して角度γ (wedge isodose angle γ) 傾く様に作用する simple wedge filter の角度αを決める．すなわち，これは次式の様になる：

$$\tan\alpha=\frac{f+d}{\lambda a}\left[\frac{1}{D_d}\left(-\frac{dD_d}{dx}\right)\right]\tan\gamma \qquad (9)$$

(C)　(8)式より a tanα/f tanβ を作ると，これはわん曲した入射面の空気層を補償するのに必要な空気層単位厚さ当りの wedge filter の厚さを示している．すなわち，これは次式の様になる．

$$\frac{a\tan\alpha}{f\tan\beta}=\frac{1}{\lambda}\left[\frac{1}{D_d}\left(-\frac{dD_d}{dx}\right)-\frac{2}{f+d}\right]. \qquad (10)$$

(D) 同様に，(9)式より a tanα/(f+d) tanγ を作ると，これは組織中の空洞を補償するのに必要な空気層単位厚さ当りの wedge filter の厚さを示している．すなわち，これは次式の様になる：

$$\frac{a\tan\alpha}{(f+d)\tan\gamma}=\frac{1}{\lambda}\left[\frac{1}{D_d}\left(-\frac{dD_d}{dx}\right)\right]. \qquad (11)$$

3. 実験方法

実験に使用した cobalt-60 照射装置は，島津製 RT-10000である．この装置 (SSD 75cm) の中心軸線量 D_d には，Brit. J. Suppl. 10による SSD60 cm と SSD 80cm の深部量百分率を SSD75cm に補間することにより得られた深部量百分率を採用する．また dD_d/dx の値には，それぞれの深さにおける1cm 前後の深部量百分率の差を2cm で割つて得られた値を近似的に採用する．これらの値をもとに，wedge filter の設計のために必要な種々の数値を Table 1 に示す．

wedge filter には，鉛板（厚さ1mm）を使用する．この線吸収係数 λ の値は，照射口の先端に置いた鉛板の厚さ約3mm から約7mm の間における照射線量の減弱曲線から算出した．各種照射野に対する鉛板の線吸収係数 λ を Table 1 の最下段に示す．

wedge filter は，厚さ1mm の透明なヒシプレート板に鉛板を階段状に重ねて作つた．照射口の一部は，wedge filter 等の取り付けが簡単になる様に改造されている．その個所で wedge filter

Table 1. Numerical values of $\frac{1}{D_d}\left(-\frac{dD_d}{dx}\right)$, $\frac{2}{f+d}$, and λ

Cobalt 60　SSD 75cm							
Depth cm	$\frac{2}{f+d}$	$(-dDd/dx)/Dd$　cm^{-1}					
		4×4	6×6	8×8	10×10	12×12	15×15
2	0.0260	0.0686	0.0611	0.0568	0.0548	0.0514	0.0490
3	0.0256	0.0706	0.0639	0.0602	0.0575	0.0554	0.0533
4	0.0253	0.0726	0.0676	0.0634	0.0603	0.0587	0.0563
5	0.0250	0.0761	0.0705	0.0671	0.0642	0.0623	0.0590
6	0.0247	0.0794	0.0736	0.0704	0.0679	0.0651	0.0613
7	0.0244	0.0812	0.0770	0.0735	0.0706	0.0674	0.0631
8	0.0241	0.0829	0.0792	0.0751	0.0719	0.0699	0.0651
9	0.0238	0.0835	0.0794	0.0767	0.0730	0.0700	0.0670
10	0.0235	0.0825	0.0791	0.0763	0.0740	0.0705	0.0683
11	0.0233	0.0828	0.0793	0.0751	0.0738	0.0710	0.0685
12	0.0230	0.0839	0.0801	0.0755	0.0731	0.0710	0.0685
13	0.0227	0.0833	0.0806	0.0755	0.0718	0.0697	0.0669
14	0.0225	0.0819	0.0793	0.0763	0.0721	0.0686	0.0646
15	0.0222	0.0794	0.0785	0.0769	0.0737	0.0698	0.0652
16	0.0220	0.0791	0.0786	0.0757	0.0737	0.0693	0.0672
17	0.0217	0.0803	0.0782	0.0751	0.0716	0.0700	0.0663
18	0.0215	0.0810	0.0772	0.0741	0.0703	0.0688	0.0664
19	0.0213	0.0815	0.0774	0.0741	0.0719	0.0702	0.0662
λ (lead) cm^{-1}		0.686	0.686	0.685	0.677	0.670	0.642

を自由に移動させることができ，照射野に対するそれの位置決めは，照射口内部からの光がちょうど遮られるところにしてある．なお，線源とwedge filter 間の距離aは32cm であり，照射口内部からの2次電子線を遮蔽するカドミウム板は，そのままになつている．

次に，個々の具体的な照射条件に対する wedge filter の設計について述べる．ただし，(A)，(B)，(C) に関してはすべて SSD 75 cm，照射野10×10cm の照射条件である：—

(A) 入射面が中心軸に垂直な面に対して45度傾いている場合に，深さ d=10cm での等線量曲線が中心軸に対して直角 (wedge isodose angle 0度) になる様に作用する simple compensating wedge filter の角度αは，次の様になる(Fig. 2)：

(8)式に Table 1 における所定の値と，f=75 cm，a=32cm，d=10cm および $\tan\beta=1$ を代入することにより $\tan\alpha=0.175$が求まる．

(B) 入射面が中心軸に対して直角である場合に，深さ d=10cm での等線量曲線が中心軸に垂直な面に対して45度 (wedge isodose angle 45度) 傾く様に作用する simple wedge filter の角度αは，次の様になる (Fgi. 3)：

(9)式に (A) で与えた数値に加えて，$\tan\gamma=1$を代入することにより $\tan\alpha=0.290$ が求まる．

(C) 入射面が中心軸に垂直な面に対して30度傾いている場合に，深さ d=10cm での等線量曲線が中心軸に垂直な面に対して，逆に45度 (wedge isodose angle 45度) 傾く様に作用する simple wedge filterの角度αは，次の様になる(Fig. 4)：

(7)式に (A) で与えた数値に加えて，$\tan\beta=1/\sqrt{3}$および $\tan\gamma=1$を代入することにより，$\tan\alpha=0.391$が求まる (Fig. 5)：

(D) 乳癌の術後切線照射法のひとつである切線楔照射法において，これのcompensating wedge filter の設計は次の様になる (Fig. 5)．

ファントム実験での照射条件は，STD 75cm,照射野 9×15cm，両入射面間距離17cm である．これを近似的に SSD 75cm，照射野10×10cm の照射条件と見なすことにより，Table 1 のd= 8.5 cm における補間値から，(10) 式の値=0.0716 が求まる．つまり，補償すべき空気層 1 cm 厚に対する鉛板の厚さは 0.716mm となる．逆にこれは，厚さ 1 mm の鉛板は空気層1.40cm の厚さに相当することを意味する．次に，ファントムの横断面図をもとにそれぞれの入射面側から空気層を1.40cm ごとに区切ることにより得られた階段状の形に，wedge filter の取り付け位置に見合う縮尺を施し，これの wedge filter を作成した．

4. 実験結果

前節の wedge filter による等線量曲線を，Fig. 2，3，4，5に表わす．Fig. 2から Fig. 4 までの等線量曲線は等線量曲線自記記録装置により，また Fig. 5 のそれは蛍光ガラス線量計によ

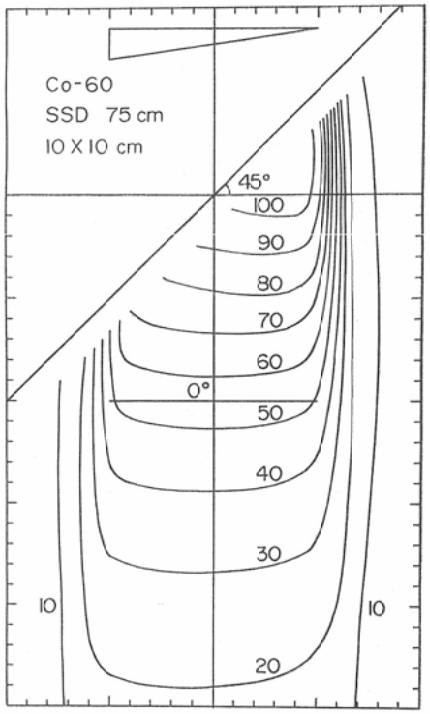

Fig. 2. Isodose curves for cobalt γ-rays, 10×10 cm field at SSD 75cm, obtained with a simple compensating wedge filter for the oblique incidence 45 degrees. The intended wedge isodose angle of a isodose curve is zero degree at 10cm depth.

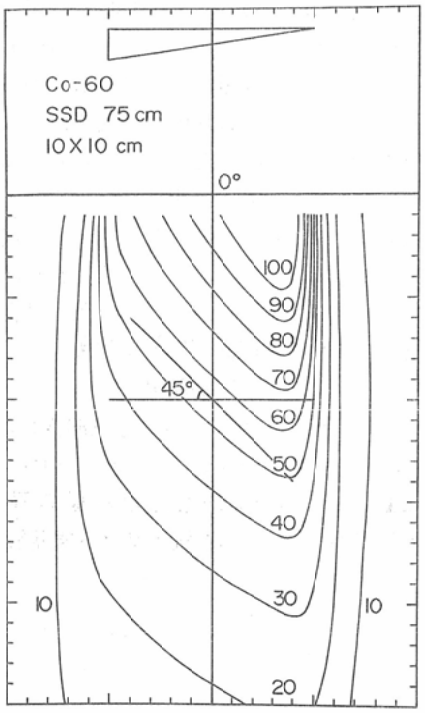

Fig. 3. Isodose curves for cobalt γ-rays, 10×10 cm field at SSD 75cm, obtained with a simple wedge filter for the right incidence. The intended wedge isodose angle of a isodose curve is 45 degrees at 10cm depth.

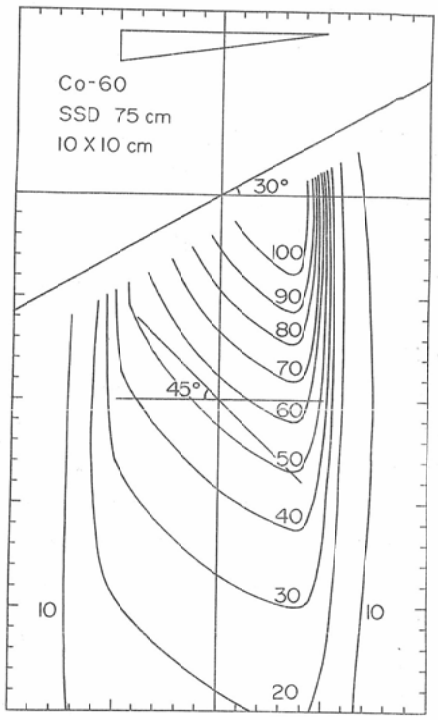

Fig. 4. Isodose curves for cobalt γ-rays, 10×10 cm field at SSD 75cm, obtained with a simple wedge filter for the oblique incidence 30 degrees. The intended wedge isodose angle of a isodose curve is 45 degrees at 10cm depth.

りそれぞれ作成した．ただし，100%線量値は，前者の場合には中心軸上の最高線量に，また後者の場合には最高線量域の線量にそれぞれしてある．

wedge filter の作製精度の悪さを考慮すると，それぞれの wedge filter による等線量曲線は，それぞれ所定の目標を充分に達成しているものと考えられる．

5. 考　察

wedge filter をその目的から分類すると，次の様になる：

（i）ある深部での等線量曲線が中心軸に対して直角（wedge isodose angle 0度）になる様に，入射面の傾きあるいはわん曲した入射面の空気層を補償するwedge filter[4)5)8)12)]．（特にこれをcompensating wedge filter という．）

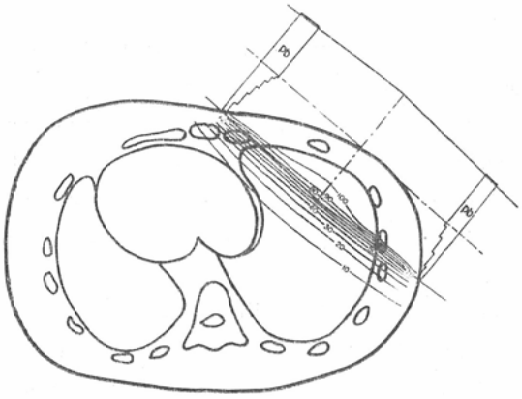

Fig. 5. Isodose curves fo cobalt γ-rays, two opposing 9×15cm fields in opposition 17cm apart at STD 75cm, obtained with two tangential compensating wedge filters.

(ii) 入射面が中心軸に対して直角な平面である場合に，ある深部での等線量曲線が中心軸に垂直な面に対してある一定の傾き (wedge isodose angle) を持つ様に作用する wedge filter[9)11)].

(iii) 上ふたつの混合した役割を有する wedge filter[3)9)].

simple wedge filter の角度を決める理論式 (7) は，上に述べられているあらゆる場合の wedge filter の設計に利用できる．

Cohen ら[2)3)]によると，cobalt γ 線に鉛あるいは組織等価な物質の wedge filter を使用しても (wede filter と皮フ面間距離約16cm)，そのビルドアップ領域での深部線量には，たいした影響が見られないということが；また Kuttig ら[7)]によると，cobalt γ 線に鉛の wedge filter を使用しても (wedge filter と皮フ面間距離約14cm) それから出る2次電子線による影響が深部線量上に確認され得ないということが，それぞれ報告されている．

この様に，特に高エネルギX，γ線用の wedge filterとしていかなる材質のものを使用しても，それと入射皮フ面との距離をある程度以上に取つておくと，それによる深部線量への影響はほとんどないということが理解される．しかも本装置の場合，wedge filter を取り付けても，照射口のカドミウム板はそのままになつているので，wedge filter 等から出る2次電子線は完全に遮蔽される．また，照射野に対する wedge filter の位置決めは，照射口からの光を wedge filter がちようど遮るところにしてあるので，その精度および再現性はすぐれている．

特に，(7)式において，$\alpha=0$ とすることにより得られる $S=-\tan\gamma/\tan\beta$ は，斜入射照射に対する等線量曲線の移動する割合を示している[6)].

6. 結　論

著者の開発した wedge filter に関する諸理論式は，すべて中心軸上での所定の深さの1点における因子で定められる．また，これらの理論式には，wedge filter の線吸収係数 λ，中心軸線量 D_d およびその微分 dD_d/dx を主項として含んでいるだけであるので，その取扱いが非常に簡単になる．

稿を終えるに臨み，御校閲を頂いた弘大医学部放射線医学教室　篠崎達世教授に感謝の意を表します．また本研究に御協力を頂いた弘大中央放射線部　石田　晃氏及びフォトセンター　斉藤正雄氏に深く感謝致します．放医研の研究生（昭和40年度）として臨床研究部に在籍していたおり，wedge filter に関して種々御指導をいただいた恒元　博先生に深く感謝の意を表します．

文　献

1) Aron, B.S. and Scapicchio, M.: Design of a universal wedge filter system for a cobalt 60 unit. Amer. J. Roentgenol. 96, 70—74, 1966.
2) Cohen, M., Burns, J.E. and Sear, R.: Physical aspects of cobalt 60 teletherapy using wedge filters, I. Physical investigations. Acta Radiol. 53, 401—413, 1960.
3) Cohen, M., Burns, J.E. and Sear, R.: Physical aspects of cobalt 60 teletherapy using wedge filters, II. Dosimetric considerations. Acta Radiol., 53, 486—504, 1960.
4) Ellis, F., Hall, E.J. and Oliver, R.: A compensator for variations in tissue thickness for high energy beams. Brit. J. Radiol. 32, 421—422, 1959.
5) Hall, E.J. and Oliver, R.: The use of standard isodose distributions with high energy radiation beams—the accuracy of a compensator technique in correcting for body contours. Brit. J. Radiol. 34, 43—52, 1961.
6) 岩崎　晃：等線量曲線移動法に関する実験及び理論的研究，斜入射照射に対する等線量曲線の補正．日本医放会誌 35, 674—684, 1975.
7) Kuttig, H. und Herbig, W.: Die Anwendung von Keilfiltern in der Telekobalttherapie. Strahlentherapie 127, 336—346, 1965.
8) 恒元　博，楠本五郎，藤田裕子，古川重夫，小池幸子：^{60}Co 治療用 Compensating wedge filter の研究．日本医放会誌 24, 1204—1209, 1965.
9) 恒元　博，古川重夫，久津谷譲，中川圭介，小池幸子：wedge filter の臨床応用に関する研究．日本医放会誌，28, 1577—1586, 1969.
10) 浦野宗保，山田親久，吉川純弘：コバルト-60 固定照射用アルミニュウム製 wedge filter の設計に関する一考察．日本医放会誌 26, 358—263, 1966.
11) Van de Geijn, J.: A simple wedge filter technique for cobalt 60 teletherapy. Brit. J.

Radiol. 35, 710—712, 1962.
12) Van de Geijn, J.: Compensation for the effect of oblique incidence of cobalt 60 radiation beams in teletherapy. Brit. J. Radiol. 36, 56—62, 1963.
13) Van Roosenbeek, E. and Grimm, J.H.: Wedge filters; their construction and use with the 22 MeV Betatron. Amer. J. Roentgenol. 85, 926—932, 1961.