

比較測定法による減弱曲線の測定

坂本, 弘巳

赤坂, 勉

竹井, 力

<https://doi.org/10.15017/209>

出版情報 : 九州大学医療技術短期大学部紀要. 18, pp.17-21, 1991-03. Kyushu University School of Health Sciences Fukuoka, Japan

バージョン :

権利関係 :

比較測定法による減弱曲線の測定

坂本 弘 巳 赤坂 勉 竹井 力

Measurement of X-ray Attenuation Curve Using a Comparative Method

Hiromi Sakamoto, Tsutomu Akasaka and Chikara Takei

Summary

The measured accuracy of the X-ray attenuation curves depends on the variations of the tube voltage, the tube current and the exposure time, so that the accurate measurement of this curve is very difficult.

The measuring method was improved to minimize the error coming from these variations by employing a transmission ionization chamber which was used to estimate the incident dose. The authors took the ratio of the attenuated dose to the incident dose measured at the same time, in consequence, the measured accuracy increased effectively.

The present method also made it possible to obtain the attenuation curve of a short exposure time.

1. 緒 言

一般に、Al, Cuなどの吸収板によるX線の減弱曲線を高精度で測定することは非常に困難である。この測定精度はX線管電圧、管電流、照射時間などの変動率に依存する。特に、X線撮影における短時間照射の条件では、その変動率が大きいので精度のよい測定は期待できない。

著者らは、入射線量測定用の透過型電離箱²⁾を使用し、出力線量測定用の線量計と比較測定を行うことによって短時間照射の条件においても高精度の測定を可能にする方法を考案した。また、測定時間の短縮をはかるために測定系の調整が容易にできるような照射筒を試作した。ここでは主として本方法の有用性と減弱曲線、半価層の測定について報告する。

2. 理 論

従来から広く行われている半価層測定は、X線管、フィルタ、測定器とで成り立っている。ところがこの方法では測定中に管電圧、管電流、照射時間を一定にすることができないためX線出力に変動を生じ、このために高精度の測定は期待

できない。しかし、フィルタ透過線量と入射線量とを同時に測定しておき、前者を後者で規格化すればX線出力変動の影響を消去でき高精度の測定を行うことができる。

X線管焦点から一定距離の点における線量を I_0 (照射線量: C/kg) とすれば、 I_0 は

$$I_0 = aitV^n \quad \text{————— (1)}$$

で表わされる。ここで、 a は定数、 i は管電流、 V は管電圧、 n は定数で $n = 3 \sim 5$ である。入射線量とフィルタ透過線量とを同時に測り、測定値をそれぞれ I_0 、 I とすれば、

$$\begin{aligned} I_0 &= b_0 K_0 itV^n \\ I &= bKitV^n \cdot e^{-\mu x} \end{aligned} \quad \text{————— (2)}$$

となる。 K_0 と K は校正定数で、 b_0 と b は電離電流-線量の換算係数である。 x はフィルタの厚さ、 μ は線減弱係数である。

$$\frac{I}{I_0} = p, \quad \frac{b}{b_0} = c, \quad \frac{K}{K_0} = k,$$

とおけば、(2)式より p は次のようになる。

$$p = cke^{-\mu x} \quad \text{————— (3)}$$

(2)と(3)式に誤差法則を適用すれば、測定の誤差率は

$$\frac{\Delta I}{I} = \left\{ \left(\frac{\Delta K}{K} \right)^2 + \left(\frac{\Delta i}{i} \right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t} \right)^2 + \left(\frac{n \Delta V}{V} \right)^2 + (\Delta n \cdot \log V)^2 + (\Delta \mu \cdot x)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \text{---(4)}$$

$$\frac{\Delta p}{p} = \left\{ \left(\frac{\Delta k}{k} \right)^2 + (\Delta \mu \cdot x)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \text{---(5)}$$

となる。(4)は一台の線量計で透過線量のみを測る従来の方法(一般測定法)の誤差率で、(5)は著者らのモニタ線量計を使用した方法(比較測定法)のそれである。この両式から、比較測定法が一般測定法に比べ優れていることがわかる。しかし、この方法によっても管電圧の変動に伴って生ずる誤差は除去することはできない。管電圧が変動するとX線の線質が変わり、電離箱線量計の校正定数が変わってkの値が変わってくることになる。校正定数が線質によって殆ど変わらない電離箱を使用すれば、 $\Delta k/k$ の誤差率への影響は無視できるであろう。また、フィルタの厚さが厚くなるにつれて透過X線の線質は次第に硬くなるので、管電圧が ΔV だけ変動すると厚さxにおける減弱係数は $\Delta \mu$ だけ変わってくる。この時の誤差率は $\Delta \mu \cdot x$ であり、フィルタの厚さに比例して測定誤差は大きくなる。比較測定を用いる場合でも管電圧の変動に起因する誤差 $\Delta \mu \cdot x \left(= \frac{\Delta \mu}{\Delta V} \cdot \Delta V \cdot x \right)$ が効いてくるので、管電圧の変動調整には特に留意する必要がある。

3. 使用機器および方法

X線発生装置は撮影用装置が東芝KXO-15型、X線管DRX-90(固有ろ過約1mmAl当量)。治療用装置が東芝KXC-18型、X線管T-650-A(固有ろ過約5mmAl当量)。線量計はラドコンII型線量計、電離箱10MA型(壁厚122mg/cm²)と自作透過型電離箱(Mylar壁厚17mg/cm²)を使用した。撮影用装置にはX線管電圧を測定するためアルコ電気KV-201型管電圧波高計を挿入した。

測定配置図をFig.1に、照射筒をFig.2に示す。Fig.1に示すコリメータ(1)と(2)とは10mm厚

の鉛製で、これと入射線量測定用の透過型電離箱は鉄製の照射筒内に取付けた。コリメータ(1)と透過型電離箱は照射筒内に固定してある。コリメータ(2)は移動可能で、これにフィルタが密着して取付けられるようになっている。コリメータ(1)と(2)の孔の大きさは直径15mmと30mmである。X線管焦点と測定用電離箱の位置関係およびX線束の調整はこの照射筒を用いることにより容易にかつ迅速に行うことができる。

焦点-電離箱(10MA)間距離は120cmとし、Alフィルタは焦点と電離箱間の中央に配置した。これはTrout¹⁾らによって発表された半価層測定条件と同じである。

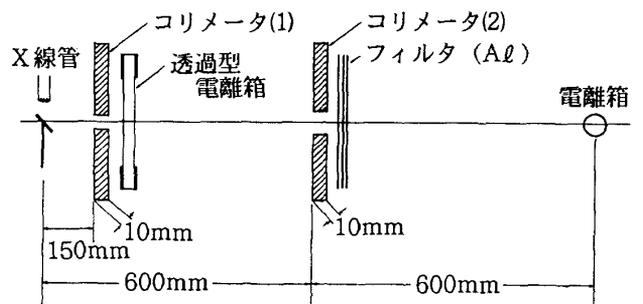


Fig.1 測定配置図

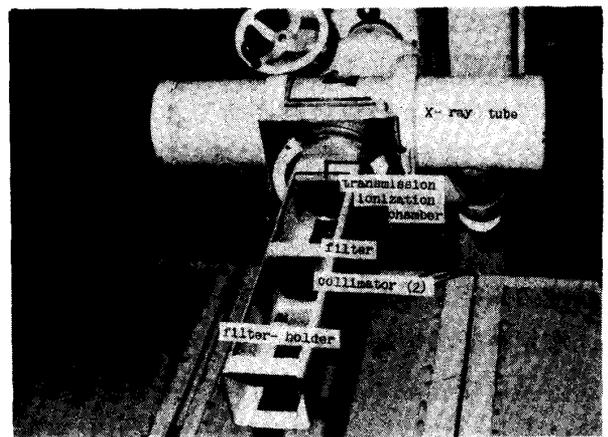


Fig.2 照射筒

撮影用装置では管電圧 80.0 ± 1.0 kV、管電流100mA、照射時間0.1secの条件で、治療用装置は一次電圧指示値によって150kV $\pm 0.4\%$ 以内におさえ、管電流10mA、照射時間約30secで照射した。

線量計の出力は両者ともデジタルボルトメー

タで読み取った。

4. 測定結果

Fig.3 (a), (b) の減弱曲線は精度を調べるためのもので、フィルタはAl箔(厚さ0.017mm)を20枚まで使用した。(a)は撮影用装置、(b)は治療用装置のものである。図中のAは測定用電離箱のみで測った従来の一般測定法によるものであり、Bは比較測定法の結果である。プロットした値は、フィルタが無い場合(x=0)は3回測定を繰り返して平均値を求め、それ以外はすべてただ1回の測定値である。点線と実線の直線は最小自乗法で求めた。

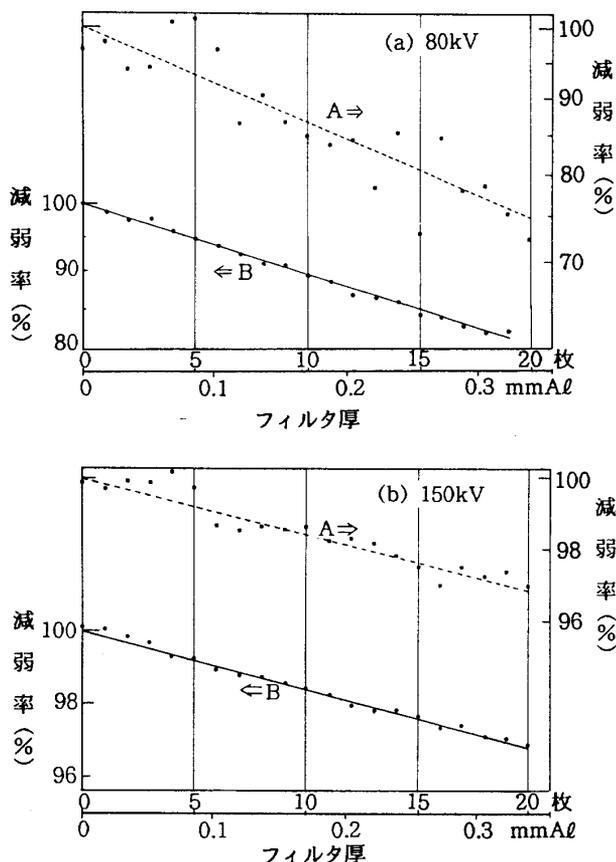


Fig.3 Al箔による減弱曲線

最小自乗法で求めた直線に対する測定値の誤差(ズレ)を、標準偏差と最大のものをまとめてTable1にした。

Fig.4 (a), (b) は半価層測定を行ったものである。第一半価層と実効エネルギー、第二半価層をTable2に示した。

Table 1 標準偏差 (σ) と最大誤差 (ϵ_m)

方法	kV	80kV	150kV
一般測定	σ	2.48	0.21 ₀
	ϵ_m	8.25	0.56 ₀
比較測定	σ	0.33 ₂	0.09 ₂
	ϵ_m	0.91 ₀	0.15 ₀

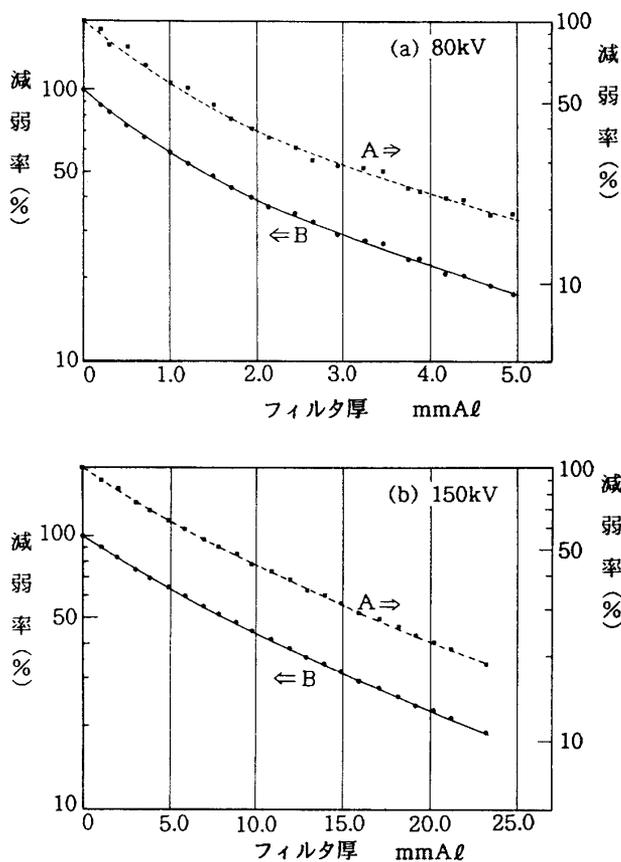


Fig.4 減弱曲線

Table 2 半価層と実効エネルギー

管電圧	半価層 mmAl	第一半価層 (実効エネルギー)	第二半価層 (-)
	80	1.36 (24keV)	2.14 (-)
150	8.12 (50keV)	10.36 (-)	

5. 考 察

X線発生装置の反復性を表わすものに変動係数 (Coefficient of Variation, Cv) があり、Cv については JIS Z 4702 で解説されているが、X線出力の再現性については 10% 以下と定められている。撮影用装置について 80kV, 100mA, 0.1sec の条件で、ラドコン II 型線量計により測定した結果、Cv は 2.59% が得られ JIS 規格を充分満足するものであった。150kV, 10mA, 約 30sec の場合、電圧と電流を一定となるよう調整しながら測定したのでこの変動率は小さく 0.32% であった。

撮影用装置で 10MA 電離箱と透過型電離箱を同時に用いて比較測定を行って変動係数を求めると 0.42% の値が得られた。比較測定により管電流、照射時間の変動の寄与分を消去すると見かけ上 1/6 程度小さくなった。治療用 X 線装置は定電圧回路 (Greinacher) で構成されているので、Cv が小さくなっている。

測定精度を調べる目的で 1 枚あたり 0.017mm の Al 箔を用いた Fig.3 の測定では、比較測定法が一般測定法に比べ 80kV で 7.5 倍、150kV で 2.3 倍精度が向上していることが Table1 からわかる。

減弱曲線からのズレの原因としては電離箱のエネルギー依存性がある。測定用電離箱ラドコン II 型線量計 (10MA) の付属資料の校正定数は、実効エネルギー 30keV~55keV で 0.854~1.02 と大きく変化し、55keV~80keV では 1.02~1.03 とほぼ一定に近い。これは管電圧 80kV (実効エネルギー 24keV) に対しては管電圧の僅かの変動もエネルギー依存性の影響を大きく受けて誤差が大きく、150kV (実効エネルギー 50keV) に対しては寄与が小さく誤差も小さくなったと考える。

また、電離箱の種類が異なれば壁を構成する物質や厚さが異なりエネルギー依存性を受けて半価層の値が異なる。⁹⁾ 理想的には、照射線量の定義に即した自由空気電離箱を使用すればエネルギー依存性の影響を小さくして (5) 式の $\Delta k/k$ をさらに小さくすることが可能である。

モニタ線量計の透過型電離箱は壁物質が Mylar で 0.1mm × 4 の壁厚となっており、Al 当量で約 0.16mm の付加フィルタに相当する。極めて正確な測定を行う以外一般にはこの壁厚は無視してよいであろう。以上のことから、比較測定法は高精度の測定結果が得られる測定法であり、一般に困難とされている X 線撮影条件における減弱曲線をも精度良く測れることが明らかとなった。

半価層測定^{4),6)} または減弱曲線測定値を用いて X 線スペクトルの算出^{3),5)} を行う場合にはある程度の精度が要求される。特に後者については高精度の測定が必須であるので、管電圧の変動をできるだけ小さくして比較測定を行えば充分満足できる結果が得られるであろう。

6. 結 語

X 線の減弱曲線測定における誤差について、従来行われてきた一台の線量計でフィルタの透過線量のみを測定した一般測定法と、著者らのモニタ線量計を使用した比較測定法とを検討した。

比較測定法の標準誤差は一般測定法のそれに比べて、80kV (100mA, 0.1sec) のとき 1/7.5、150kV (10mA, 連続) の場合には 1/2.3 に減少することができた。比較測定法は短時間照射の撮影条件での減弱曲線も高精度で測定できることが明らかになった。

また、著者らはモニタ線量計の透過型電離箱、コリメータ、フィルタ保持器を組み込んだ照射筒を試作し、測定配置並びに X 線束の調整を容易にかつ迅速にできるようにした。

参 考 文 献

- (1) E. Dale Trout, B.S., D. Sc., John P. Kelley, B.S., and Arthur C. Lucas, B.S. : Determination of Half-Value Layer. Am. J. Roentgenol., 84, 729, (1960).
- (2) 江副正輔, 竹井 力 : X 線検査における患者被曝線量計の考案. 九大医短部紀要, 1, 23-26, (1974).

- (3) 川上弘泰, 竹井力: 減弱データによる X 線スペクトルの算出. 日医放物理会誌, 5 (2) (71-82), (1985).
- (4) National Bureau of Standards: Physical aspects of irradiation. ICRU Report 10b, 72, (1962). NBS Handbook, 85, (1964).
- (5) 竹井力: 放射線物理学. 診療放射線技術選書, 115-127, 南山堂, (1982).
- (6) 山田勝彦, 滝内政治郎, 木村幾生: 減弱曲線作製に際する一考察. 日放技学誌, 18 (2) 79-85, (1962).