断層撮影に於ける「断面外部」のX線配量分析

The Theoretical Analysis of the X-ray Distribution in the
“Extra-section” of Tomography

関 昌 夫 *

Masao SEKI

緒 言

断層撮影に於ては、直接撮影に比して鮮鋭度に影響を及ぼす因子が数多い。現在迄、断層撮影の「ボケ」に関して試みられた研究は枚挙に暇がない程である。例えば、断層撮影装置の機械的な因子に関するもの、焦点の大きさに関するもの、或は増感紙、フィルムの解像力に関するもの等であるが、夫等は主として断面自体を問題として考察されたものであつた。しかしながら断層写真の成立の理論を考えると一枚のフィルム上に現われる像は断面にあたるものだけではない。従来も断面写真と云わずに断層写真と呼ばれて、あたかも或る厚さの部分が切られるものであるかの如き印象を与えている程であるが、理論的には切られるのは、あくまで面であり、その面を外れた上下の部分は多少にかゝらず「ブレ」て居る筈である。たゞ「ブレ」方の多少によつて、あたかも或る層が切られているかのように見えるだけである。この断層撮影の根本理論にさかのぼつて考えると、断面を外れた上下の部分に存する物体の像の「ブレ」方、即ち黒化の変化する傾向についてしらべてみることは、断面自体の鮮鋭度問題とする場合の基礎的な研究になると考えた。研究の結果、黒化度の変化する傾向はX線の配量に左右されるものであり、且つ、X線配量をX線管球の移動角度によつて分析したところ若干の知見を得たのでここに報告する。

実 験

1. 研究対象を明示する為の実験

写真(1)は平行移動方式断層撮影装置でX線管移動度 40° にて胸厚18cmの人の脊面より8cmの部を断面として撮影した断層写真であるが、断面を外れた部分に存する鎖骨等の「ブレ」像が比較著明に認められる。この様な断面を外れた部分がX線管の移動中に如何なるX線配量を受けるのであるか、又この部に存する物体が、その配量に如何なる変化を来さしめるのであ

写真 (1)

(1)

(2)

図 1

* 順天堂大学医学部放射線医学教室

1960年7月19日受付

るかと云うことを問題としたのである。次に実験によって之を示す。

図1(イ)に示す様な模型をボール紙で作製し、下から3.5cm毎に木の小角材を固定し、図1(ロ)の様に各段にAl板(2.5×10×0.1cm)を挿入して照射野の中心に位置させ、断面を下より7cm(即ち図1(ロ)のAl₁の部)として夫々断層撮影を行つた。

使用装置: 単相全波整流, Heliophos, 焦点2×2mm, フィルター Al 0.5mm, X線管移動角度40°(照射野中心直上部を中心として両側に等角度)。

焦点フィルム間距離: 112cm(直上部にて)

増感紙: 極光 FS

フィルム: 富士フィルム JX

現像定着: 富士指定処方による。

撮影条件: 図1(ロ)の1, 2, 3は夫々60KVp, 3mA.

写真(2)

写真(3)の1

写真(3)の2

写真(3)の3

4は60kVp 9mA.

写真(2)は図1(ロ)の4の場合であり、断面に存するAl₁が明瞭に認められる上にAl₂及びAl₃の「ブレ」像が重なつて一緒に投影されているのが判る。その一つ一つを取り出したものが第1図(ロ)の1, 2, 3の場合で写真(3)に示されている。1は断面にAl板が存する場合で、写真ではその像は「ブレ」ていないが、2及び3はAl板が断面に外れた部に存する場合であるので、それらの写真の像は夫々「ブレ」を示している。黒化度曲線の傾向から考えて、1, 2, 3によつて出来た写真を重ねたものと、4による写真とが黒化度に於て必ずしも常に一致するものではないが、2に於けるAl₂及び3に於けるAl₃の写真の「ブレ」像は、4に於けるAl₂及びAl₃の「ブレ」像と傾向に於て一致することになる。こゝに於て本論文の研究対象としたも

図 2

のは Al_2 及び Al_3 の存する様な部分、即ち断面を外れた部分に於ける X 線の配量についての分析であり、及 Al_2 及び Al_3 様に断面を外れた部分に存するものが如何なる変化を其の配量に与えるかと云う事についてである。以後、記述の便宜上、断面を外れた部分を総括して「断面外部」と称することにする。

2. 理論並びに実験方法 1 (断面外部における X 線配量の X 線管移動角度による分析)

照射野中心部に於て、断面外部の X 線配量の傾向を求める目的で図 2 に示す様に、先づ鉛板 pb (2mm) に三角形のスリット S をあけて置き、之を照射野中心に位置させ、鉛板 pb のある部以外に断面 XY を決める。断面の中心を O とし R_1 から X 線放射が開始されるとすると、その時の O のフィルム面上の結像点は O' (Pb の為にはさきぎられて実際には結像しないが) S は S' に投影されることになる。X 線管が R_1 から X 線を放射しながら R_2 まで移動したとする。 R_2 になったときフィルム面上、O は断面であるからそのまま O' として存し、S の像は S'' となり、スリット S の像は「ブレ」て S' から S'' にわたつて連続する三角形のストロボ写真となるわけである。この場合、ラスターがあるとストロボを数える際に妨害となるばかりでなく鮮明なストロボ写真が得られないから撮影前に取り除いた。又、ラスターの除去が困難な装置の場合には出来ればラスターの上にカセットをのせて十分に固定し、ラスター自身の移動は停止させて撮影し、ラスターの移動によるフィルムの被曝部位の位置的な「ズレ」を来さし

写真 (4) の 1

写真 (4) の 2

めぬ様にした。この様にして得られた三角形のストロボ写真は写真 (4)_{1,2} に示す様なものであり、撮影前にフィルムにマークして、ストロボの開始部 S' 及び終了部 S'' の位置的關係がフィルム現像後直ちに判別し得る様にした。ストロボ写真をつくるのに三角形のスリットを使用した理由は次に述べる計算に便なる為である。先づ、フィルム面上にあるストロボの S' から S'' までの頂点間の距離を X 線管が X 線を放射しながら移動した距離 R_1-R_2 に相当するものとして考えると、 S' から S'' に向けて任意の頂点 S''' をとるとき $S'-S'''$ 間の距離 D に含まれるストロボの数と D から速度曲線を求めることが出来る。又、一定距離内のストロボ数は、比較線量をも意味することになるから、上記の曲線を更に X 線管の存する省位置に於て、時間に就いて微分すると、その位置に於ける空中瞬間線量の配量の傾向を求めることが出来る。図 3 は単相全波整流 Heliphos 平行移動方式の断層撮影装置にて上述の方法によつて得られたストロボ写真から求めた速度曲線であるが、縦軸に D (S' より任意の頂点 S''' までの距離) 横軸 $t-t'$ にストロボの数 t を取つたものである。之を t について簡単に図形微分したものが図 4 に示す曲線で

図 3

図 4

ある。前述した様に、此の曲線は単に空中瞬間線量の配量の傾向を示すのみのものとなるから、X 線の移動角度、焦点フィルム間距離、レ線束のフィルム面への入射点、夫々による線量の変化に関しては別に考えねばならない。そこで図5に見られる様に X 線が照射野中心直上部にあるとき、焦点フィルム間距離を h 、フィルム面に達する線量を J_1 とし、X 線管の位置が θ なる角度の時の焦点フィルム間距離を H 、フィルム面に達する線量を J_2 とすると

$$H = h \cdot \frac{1}{\cos \theta} \dots\dots\dots (1)$$

線量の関係では距離の逆二乗の法則から

$$\frac{J_2}{J_1} = \left(\frac{h}{H} \right)^2 = \cos^2 \theta \dots\dots\dots (2)$$

更に又、図6に示す様に J_2 の線束がフィルム面に入射する部分を考えてみると、 J_2 は J_f に拡がることになる。 J_2 のフィルム面への入射する角は同様に θ であるから、図中 g より ef に垂線を下し g' とすると $\angle g'gf = \theta$

X 線束の密度の変化を考えると

図 5

$$J_f = J_2 \cos \theta \dots\dots\dots (3)$$

(2) の関係を (3) に入れると、

$$J_f = J_1 \cos^3 \theta \dots\dots\dots (4) \text{ となる。}$$

即ち、フィルム面の線量は空中瞬間線量 J_1 に $\cos^2 \theta$

図 6

を乗じて得られることになるわけである。但し、これは平行移動方式の断層撮影装置の場合にのみ当てはまる式であり、円弧移動方式の場合には(1)の関係は $H=h$ であるから、焦点フィルム間距離の変化による線量の変化は無いことになり、フィルム面への入射角による線量の変化のみがあらわれることになるので

$$Jf = J_1 \cos \theta \dots \dots \dots (5) \text{ となる。}$$

即ち、空中瞬間線量 J_1 に $\cos \theta$ を乗ずることにより、フィルム面の線量が得られることになるのである。次に、之を前述の様に得られた図4の空中瞬間線量の配量の傾向を示す曲線に導入して考えてみると、 $t-t'$ の長さを底辺とし、頂点 Z が横軸 ($t-t'$) 上にある $\triangle ZQS$ を作図し、 $\angle QZS$ が X 線管球の全移動角度(曝射角度)である様にする。この場合は全移動角度 40° であるから、 $\angle QZS$ を 40° に作図するわけである。但し、 $SQ \perp tt'$ 次に Z より SQ に垂線 Zi を下し、任意の角 θ を $\angle izj$, j より $t-t'$ に垂線 jk を下し、曲線との交点を m とすると、 mk は $\angle \theta$ に於て放射される空中瞬間線量の割合を示すものである。此の場合は、前述の通り平行移動方式の断層撮影装置の場合であるから、上記の理論を入れると、 $mk \cos^2 \theta = nk$ となり nk は $\angle \theta$ に X 線がある時のフィルム面に達する線量の割合を示すものとなる。此の様に各角度に於て n 点に相当する点を求めて連続させると(点線にて示す様に)実際にフィルム面に達する瞬間線量の分布傾向を示す曲線が得られるわけである。

3. 理論並びに実験方法2(断面外部の黒化度の変化から X 線配量の傾向を求めるための実験)

断面外部の X 線配量をフィルム黒化の面より検討し、合せて実験2の裏付けとなつた「X 線移動角度による照射野中心部の断面外部の X 線配量分析」の理論の吟味をする目的で次の実験を行つた。実験2と同様にフィルムに対するラスタの影響を除外して置き、図7

図 7

(I1) に示す様に X 線管が R_1 から R_2 まで移動するとし、桿の支点 O、断面外部で照射野中心に端 A を有する不透明なる面を考えると、曝射開始部 R_1 に於てはフィルム的一端しか曝射されず、X 線管の移動開始と共に漸次、不透明な面の影に入つていたフィルムの部分が現われて曝射を受けて行く様にする、フィルムの黒化度の変化の傾向は図7(I2)に示してある様になる筈である。又、之とは反対の方向に、図7(II1)に示す様に不透明な面を考え、その照射野中心に於ける端を B とすると、 R_1 に X 線管があるとき(即ち、曝射開始部)にはフィルムの大部分が曝射されて居て、撮影開始と共に漸次、不透明な面の影に入つて行く様にする、フィルムの黒化度の変化の傾向は図7(II2)に示す様になる筈である。以後、記述を簡単にする為に図7(I2)の場合を「漸出部の変化」とし、(II2)の場合を「漸入部の変化」と称することとする。先づ、上記二通りの黒化度の変化を、一回の撮影にて求めるために、照射野中心に図8に示す様に鉛板(2mm) A 及び B を置き、X 線管の移動方向を矢印の方向とし、断面を鉛板よりも上に決めて撮影すると、写真(5)の様なものが得られる。鉛板 A によつて起る黒化度の変化は、A の影にかくれて居た部分が、X 線管の移動と共に除

図 8

写真 5

々に現われて曝射を受けることになるので、X線管の移動開始時から被曝している部分が総線量を受けることになり、之は上記の「漸出部の変化」にあたるわけである。之に反して鉛板 B による場合は、X線管移動開始時にフィルムの大部分が被曝していて移動と共にフィルムは B の影に徐々にかくれて行くのであるから、X線管の移動終了時にも被曝している部分が総線量を受けることになり「漸入部の変化」にあたるものとなるわけである。この様にして出来た二通りの写真は、X線管移動中、終始、鉛板にさえぎられて、全然、曝射を受けない「スヌケ」の部分と、終始、曝射を受けて最高の黒化を示す部分とを両端に有し、その間は徐々に黒化度に変化している状態を示すものとなる。この変化して行く黒化度を測定する為に、照度計を利用し光電池の上に一定の「スリット」をあけた黒い厚紙をあて、「スリット」の上に細分したフィルムの各部分を連続して当て、入射光 (L_0) を投射光 (L) の夫々の照度の比について、その対数値を算出し黒化度 S を求めた ($S = \log \frac{L_0}{L}$)。

尚、測定の都度、初めに「スヌケ」の部分が黒化度 O となる様に、光源と光電池との間の距離を加減して置く

様に、フィルムベースの「カブリ」が加算されて読まれることを除外する様につとめた。実験に使用した管電圧は、計算に便なる様に 60kVp に一定し、フィルムは富士フィルム JX、現像定着は富士指定処方で 20°C 5 分の標準現像を行つたものを使用した。尚、照度計は横河電機製作所作製の携帯用のものを使用した。図 9 は実験 2 にて引用した平行移動方式断層撮影装置 Heliophos (X 線管移動角度 40°) による断面外部の黒化度の変化を示す曲線であるが、前述の様に断面よりも下に第 8 図に見る様に鉛板を置き、鉛板 A 及び B によって出来る黒化度の変化をあらわす為に、縦軸に黒化度 S 横軸に全然 X 線曝射をうけぬ「スヌケ」の部分より最高の黒化を示す部分迄の距離をとつてある。曲線のうち a の部は X 線管の振り初めの被曝部で線量が最高に積分されているから「漸出部の変化」の Schema (図 7 イ) に一致するものであり、b の部は反対に X 線管の振り終りの被曝部が積分された線量をうけているから「漸入部の変化」の Schema (図 7 ロ) に一致することになるものである。

図 9

図 10

次に実験 2 の「X 線管移動角度による配量分析」の理論を吟味する為には黒化度の変化から X 線量の配量を推定しなければならない。

そこで同一 X 線装置を使用し、管電圧を 60kVp とし、段階的に mAs を変化させてフィルムに曝射し、前述の「フィルム」と同時現像をして得たものから 60 kVp の黒化度曲線を求めた。この黒化度曲線に図 9 の黒化度の変化を示す曲線を対比して、縦軸に X 線量をとつたものが第 10 図の実線で示す曲線である。更にそれから総線量を 100% とする百分率であらわしてみると、第 10 図の点線で示されている曲線が得られる。之

は第8図に示す様な場合のフィルム面に於ける断面外部の X 線の配量を示すものとなる。次に実験2で得られた X 線管移動角度で分析した断面外部の X 線配量の

図 11

図 12

傾向を示す曲線(図4)を用いて、実験3の状態の場合の X 線配量の傾向を求めてみる。簡単に t から t' まで図形積分をする。前述の様に $t-t'$ を R_1-R_2 と見做してあるから、 t' 即ち X 線管の振り終りに相当する位置が放射された全線量となる様になると図11に示す様になる。この曲線を実験3の漸入部の変化から黒化度法によつて推定した配量の変化を示す曲線(図10 b')に比較すると、その傾向に於てよく一致している。又、逆に t' から t まで図形積分をする。 t の位置即ち X 線管の振り初めに相当する位置が放射全線量となる様になると図12に示す様になる。この曲線を実験3の漸出部の変化から黒化度法によつて推定した配量の変化を示す曲線(図10 a')に比較すると上述の場合と同様に、その傾向に於てよく一致する。図11及び図12の点線にて示す曲線は共に総線量を100%とする百分率で換算したものである。こゝに於て実験2の理論の正しいことが証

(I)

(II)

図 13

明されるわけである。尙、「実験結果」の項に於て種々の装置について実験した結果を吟味する。

以上は断面外部のうち断面より下の部分について考えたのであるが、今度は断面より上にある断面外部の X 線配量の傾向についてしらべてみる。図 13 (イ) に示す様に断面の中心を O とし、不透明な面を A とすると、X 線管球が R_1 にあるときは（即ち、曝射開始部にては）、フィルムの大部分が X 線にさらされ、X 線管球の移動と共に A にさえぎられ初め、曝射終了部 R_2 になるとフィルムの大部分が A のかげにかくれてしまう。つまり図 7 (イ) の場合、即ち、不透明な面 A が断面より下にある場合の反対となり、図 7 (ロ) に示す漸入部の変化と傾向に於て一致することになる。又、図 13 (ロ) に示す場合、即ち不透明な面 B が断面より上に存する場合は、X 線管が R_1 にあるときには、フィルムの大部分が B のかげにかくれていて、X 線管の移動と共に被曝する様になり、 R_2 となると大部分が X 線にさらされている。つまり、図 7 (ロ) に示す場合、即ち不透明な面 B が断面より下にある場合の反対となり、図 7 (イ) の漸入部の変化と傾向に於て一致することになる。以上を要約すれば断面外部の X 線配量の傾向は、断面を中心として X 線管寄りの位置と、フィルム寄りの位置とでは反対になることになる。但し、以上の場合、X 線管の焦点を点として理論をたてたのであるから焦点の大小による半影の相違及び散乱による差異は別に問題としなければならない。

実験結果

使用装置	X 線管移動方式		X 線管移動角度
ヘリオポス	平	行	40°
Planigraph	平	行	45°
KKK トモグラフ	円	弧	50°
マツダトモグラフ	円	弧	50°
島津断層撮影装置	平	行	50°

実験 2 及び 3 で述べた理論を吟味する目的で上記五装置について実験を行つた。X 線管移動角度（正確には曝射角度）は表記の通りの条件で、何れも照射野中心直上部を中心と両側に等角度とした。尙、以下に示す各装置によつて求めた曲線のうち、B は、実験 3 の理論によつてフィルム黒化法から求めた線量の変化傾向を示すものであり、A は、実験 2 の理論に基づき、X 線管球移動角度によつて分析した X 線配量を、実験 3 の場合に

あてはまる様に図形積分して求めたものである。尙、A 及び B に示す曲線は比較に便利な様に何れか一方に縦軸及び横軸の長さを一致させた。

1) ヘリオポス

既述

2) Planigraph (Siemens)

図 14 A B

3) KKK トモグラフ (小泉製作所)

図 15 A B

図 14 A

図 14 B

図 15 A

図 15 B

図 16 A

図 16 B

図 17 A

図 17 B

4) マツダトモ (東芝)

図 16 A B

5) 島津断層撮影装置

図 17 A B

実験の結果は図 (図 14 から 図 17 まで) に示した様に、黒化度法によつて求めた「断面外部」の X 線配量の傾向を示す曲線 B は、前述した様にフィルムを細分したものについて「スリット」を用いて測定したと云う点、実際には散乱線による線量のにじみ込みが加算されていると云う点、黒化度曲線の曲線部をも用いねばならなかつたと云う点、更に焦点による半影の影響を受けていると云う点等の為に、X 線管球の移動角度によつて求めた同様の場合の配量曲線 A と正確に一致しているとは云えないが、配置の傾向に於ては、よく一致している。

〔附〕 X 線的に不透明な立体による X 線配量の変化に就いて

理論 簡単のために被写体 S を直方体とし線管移動 ($R_1 \rightarrow R_2$) と同一平面にある S の面を ABCD, A を照射野中心に置き AD を含む面を断面として R_1 から R_2 にわたつて X 線が放射されるとすると、線管が R_1 にあるときフィルム面上に A の投影は A' として与えられる (図 18 イ). 次に線管が X 線で放射しながら次第に移動して AB の直上部 M に来たときは、A の高さが桿の支点と同じ高さであるからフィルム面では A' はそのままであり、且つ B の投影 B' と重なり、 R_1 から M まで放射された X 線の総量 D_1 はフィルム面上 A' から X 線管移動方向とは逆の方向に平等に与えられる (図 18 ロ). 更に X 線管が X 線を放射しながら M から R_2 に近づくにつれて S が不透明体であるので $\angle ABC$ の X 線をさえぎる影響が現われ初めフィルム面では B' は A' からはなれて次第に B'' (X 線管が

図 18

R_2 に来たときの B のフィルム面上の投影) に近づき、上記 D_1 の上に更に A' から B'' にわたつて、M から次第に増加して R_2 で最高になる様に漸次積分された線量が重なることになる。よつてフィルム面上 B'' より X 線管移動開始側の部分は終始 X 線放射を受け、 R_1 から R_2 まで放射された総線量が積分されて平等に与えられるわけである (図 18 ハ)。こゝに於て、線量 D_1 の意味するものは曝射開始部から照射野中心直上部までの線量の積分値であり、図 18 ハに示す $\angle ABC$ による線量の変化は、前述の漸入部の変化のうち、照射野中心直上部から曝射終了部までの変化に相当するものである。これが D_1 の上に重なることになるのである。

実験 前述の実験結果の項に示したマツダトモによる X 線管移動角度による配分析の曲線 (図 16 A) のうち、黒化度法に於ける漸出部の変化に相当するもの (図 19) を使用して先づ、 D_1 にあたる線量を求めると、曝射開始部から照射野中心直上部までの線量の積分値は図 19 の AB にあたることになる。何とならば曝射角度は表に示した様に照射野中心直上部を中心として両側に

等角度で 40° であるから、点 B は XY の中点として求めることが出来るわけである。照射野中心直上部から曝射終了までの線量の変化は点 A を 0 として、A から T までの曲線として示すことが出来るので、不透明な立体による配量の変化は図 20 A に示す様になる筈である。

次に之を同一装置同一条件で実際に X 線的に不透明

図 19

図 20 A

図 20 B

な鉛箱の底面を断面として撮影したフィルムを用い、フィルム黒化法によつて線量の変化を検討してみると図 20 B) の様になる。検討の方法は、不透明な面について行つたのと同様にした。第 20 図に於て B は A に正確に一致するとは云えないが、平面の場合と同様に、その傾向に於てよく一致していると云うことが出来るであろう。

総括並びに考按

断層写真による診断にあつて、断面自体をよく知るばかりでなく「断面外部」に存するものゝ「ブレ」方についても理解することが、診断上、必要なことは論をまたない。所が、「断面外部」に存するものゝ「ブレ」方を理論的に理解することは、今までのところ、殆んど試みられて居らない。本研究に於てはこの問題を理解するのに、問題を簡単にする為に、全く不透明な被射体を用いて理論をたて、実験によつてこれを確めた。第一に、X 線管の移動角度による「断面外部」の X 線配量分析を行い、之をフィルム黒化法の面から検討し、更に、第二には「断面外部」に於ける物体のフィルム面に於ける「ブレ」像の傾向を、被射体に対するフィルムの運動を考慮に入れて、漸入部と漸出部の二通りの変化に分けて考えた。今までの記述は、あくまで照射野中心部に於ける理論であり実験であつたが、普通使用されている断層撮影装置で普通の大きさの X 線フィルムに於ては、照射野中心部以外の如何なる部分も同じ線量を受けるものと見做してよいと思われるので、本研究に於いて述べた理論は、照射野中心部のみならず他の部にも一様に

成立すると考えて差支ない。本理論の成立にあつては、加熱のずれによる線量の化変は殆んど無視し得るものと考えたので省略した。実験にあつては簡単のために、X 線に不透明な被射体を使用して「断面外部」に於ける配量の変化を求めたので、複雑な吸収、散乱を示す人体に直ちに引うつして論ずることは困難であるが人体に於ても、あくまで基本的な X 線配量は本理論にのつとるものであることは勿論である。之を骨子として更に吸収散乱及び焦点の大小による半影の差異、その他諸々の因子が加わつて断層写真が成立しているわけである。

〔附〕「断面外部」で同一平面内に存する不透明面の大小によつて起る X 線配量の変化の差異について

X 線管の焦点を簡単のために点として考えた場合、「断面外部」でしかもフィルム面に平行な同一平面内に存する如何なる点も、X 線管の移動距離及び断面が一定であるならば、その点のフィルム面に於ける「ブレ」の長さは一定である。又、フィルムの移動速度は X 線管の移動速度と一定の比をなすもので、フィルムの移動距離も一定となるから「断面外部」で同一平面内の各点フィルム面上の「ブレ」の長さ及び位置は作図によつて求めることが可能である。即ち 21 図に於て R_1 , R_2 を X 線管の移動距離とし、断面上の一点を O 「断面外部」の一平面を XY, フィルムの移動する面を FF' とし $XY \parallel FF'$ とすると、曝射開始部 R_1 に於ける O のフィルム面への投影は O' , XY 上の任意の一点 a の投

図 21

影は a_1 となる。次に、曝射終了部 R_2 に於けるフィルム面上の O の投影は (O') として O' と同一の点となり、 a は a_2 の位置に投影され $O' a_1 = (O') (a_1)$ として (a_1) を求めると、フィルム面上 a の投影は $(a_1) a_2$ に「ブレ」で与えられることになる。 $R_1 R_2 \parallel FF' \parallel XY$ であるから $O' (O')$ 及び $a_1 a_2$ は一定であり、 $O' (O') - a_1 a_2 = O' a_1 + a_2 (O') = (O') (a_1) + a_2 (O') = (a_1) a_2$ で $(a_1) a_2$ 即ち、 a の投影も一定となる。又、 XY の位置が断面に近づくにつれて $(a_1) a_2$ は短くなり、断面をはなれるにつれて長くなるが、同一平面内の任意の点の「ブレ」の長さは夫々一定となるわけである。次に不透明な面の大小によつて起る配量の差について考える。図 22 イに於て XY 上にある面を AB とすると、一端 A によつておこるフィルム面上の線量の変化は、前述の漸入部の変化の曲線に従うものであり、他端 B によるものは漸出部の曲線に相当するものに従うものである。簡単のために、両曲線を直線的に変化するものとして考えると、端 A 及び B によつて起る線量変化の組合せは、曝射後、フィルム面上に図 22 ロの様に示すことが出来る（実線は漸入部、点線は漸出部の変化を示す）。そこで面 AB の及ぼすフィルム面上の線量の

図 22

図 23

変化は、両曲線の交叉する部分が加算されて図 22 ハの様に示されることになる。前述の様に点 A 及び点 B の「ブレ」の距離は一定であるから漸入部及び漸出部の曲線の変化も夫々一定であるが、たゞ、 AB の長さの大小によつて、両曲線の交叉する位置が変ることになる。即ち、 AB の長さが短くなると、両曲線の交叉は更に深くなるし、フィルム面上の線量の変化は図 23 ハの様な行方行くわけである。以上は面 AB が、 $R_1 O'$ 及び $R_2 O'$ のなす角 (X 線管移動角) より小なる場合であるが、 AB の長さが XY を X 線管移動角が切る部分の長さである場合は、同様の作図でフィルム面上の線量変化は図 24 ハに示す様になりフィルム黒化の面から考えると、「ススケ」の一線になるわけである。この場合、 $R_1 R_2$ に平行する方向に AB なる大きさの面が XY 上任意の位置に存するときも、同様に一線に結像することになることは、前述の点の「ブレ」に関する考え方から容易に理解し得るものである。次に AB の長さが XY を X 線管移動角が切る部分よりも長い場合について同

様に作図すると図 25 に示す様に漸入部及び漸出部は更に離れフィルム黒化の面から考えると、図 25 ハにある様に両端に漸入部及び漸出部の線量変化による黒化の変化を有する「ススケ」の部分があらわれることになり、A B が大になるにつれて、この部分は拡がることになる。

XY が断面に近づくにつれて、前述の様に XY 上の任意の点の「ブレ」の長さは短くなるのであるから、従つて漸入部及び漸出部の線量変化を示す曲線は、総線量を一定にして置いて、その横軸を短くしたものとなり、曲線の傾斜は急となる。これをフィルム黒化の面から考えると、断面に近いもの程、コントラストが強くなることになるわけである。

逆に XY が断面から遠ざかるにつれて、フィルム面上の線量変化は、両曲線の横軸を長くすることになるので曲線の傾斜は緩となりフィルム黒化の面から考えると次第にコントラストが悪くなる結果になるのである。

以上は「断面外部」のうち、断面より下の部分に存する平面について考えたのであるが、断面より上の部分にある平面は如何なる「ブレ」方をするのであろうか？

図 25

前述した様に断面より下にある場合と、断面より上にある場合とでは漸入部と漸出部の線量変化が、互に逆となることを示したが、不透明な面の場合に於ても、その両端によつて起るフィルム面上の線量の変化は同様に逆となる。断面より下の部分に存する平面 AB の「ブレ」の長さと同じ長さの「ブレ」を与える面 ab を断面より上の部分に求めてみると図 26 に於て

$$a_1'O' = A_2(O'), \quad b_1'O' = B_2(O'), \quad a_2'(O') = O'A_1, \\ b_2'(O') = O'B_1 \text{ として}$$

a_1', b_1', a_2', b_2' を夫々求めて a_1', b_1' を夫々 R_1 と結び a_2', b_2' を夫々 R_2 と結び交点 a 及び b を求めて結ぶと ab なる長さの面が得られる。

ab なる不透明な面がフィルム面上にのびる「ブレ」の長さは AB なる面のそれと同一となるが、A なる端が漸入部の線量変化を示すに反し a なる端は漸出部の変化を来す様になり、B なる端が漸出部の線量変化を来さしめるに反し、b なる端は漸入部の曲線に従う線量の変化を惹起する。つまり散乱その他の因子を除外した

図 24

図 26

場合、両端によつて起るフィルム面上の線量の変化の組合せは逆となるのである。漸出部の線量変化の傾向が著明に相違する装置の場合は、「断面外部」の同一場所に存する物体でも、X線管球の移動する方向によつて（即ち、 $R_1 \rightarrow R_2$ 及び $R_2 \rightarrow R_1$ ）その物体の「ブレ」像は異

なことが考えられる。又、上記の様に、断面の上及び下にあつて「ブレ」像の長さが互いに同一なる平面でも、X線管の移動する方向が異なると、フィルム面上のX線配量は、更に又、逆となるのである。

結 論

断層撮影に於ける「断面外部」のX線配量分析を、X線管移動角度によつて行い、フィルム黒化法によつて、その正しいことを確かめた。又、「断面外部」に存する物体のフィルム面に於ける「ブレ」像の傾向を「漸出部」及び「漸入部」に別けて簡素化し、その組合せによつて「ブレ」像の骨子が成立することを述べた。

稿を終るに当り、御指導御鞭撻をたまわつた故横倉誠次郎教授、御校閲を頂いた当教室主任土屋豊教授に深甚なる謝意を表する。

尚、本研究に際し、終始、御懇切なる御助言、御助力を与えられた水木清先生に衷心より感謝の意を捧げる。又、実験に当り、労を共にせられた当教室員各位に対し、合せて深く感謝する。病軀をおして激励せられた太田貞雄氏にもこゝに厚く御礼申上げる。尚、末筆ながら、実験の機会を快よく与えられた、日本大学医学部附属病院、国立東京第一病院、江戸川病院、群馬県立教員保養所、済生会前橋病院の放射線科各位に対し、厚く感謝の意を表する次第である。

本論文の要旨は、第16回日本医学放射線学会、第85回日本医学放射線学会関東部会、第50回日本結核病学会関東地方会及び順天堂医学会に於て報告した。

Summary

Though, hitherto, we have had the tendency that our attentions have been drawn only to the image of the section, when we diagnose the pathologic changes of the lung by X-ray tomography, it is clear that the images on one tomograph are never made up of only that of a section, when we reconsider the principle of tomography.

I think that attentions must be also paid to the scumble of images of the object in the "extra section", when we diagnose the image of the section on one tomograph.

I have classified theoretically the tendencies of X-ray distribution on the film, which are occurred by the objects in the "extra-section", into two components.

One is the part of decreasing distribution and the other is that of increasing distribution.

The scumble of images of the object in the "extrasection" is formed by the combination of those two components.

Confirming the theory by the experiment of film blackening method, I have realized that the theory is right.

Department of Radiology, Juntendo University, School of Medicine.