

第 11 編 定 量 診 断

第 1 章	解 説	竹 中 栄 一	1 頁
第 2 章	定量的 X 線診断の研究 (1 0 - 4)	梅 垣 洋 一 郎	3
第 3 章	X 線撮影における Technical data の導出過程とその規格化 (1 3 - 5)	山 崎 武 寺 田 央	5

第11編 X線定量診断

第1章 解 説

X線診断では客観的診断規準が不十分であり、定量的X線診断は一般に行なわれていない。例えば胸部X線写真による結核の診断などで診断そのもの、治療の可否、治癒の判定、アフターケアの点など極めて主観的であり、そのことは2, 3の医師をワンデルした人には身に泌みて感じられることである。従来から大きさや面積を比較するとかの定量的判断は行なわれていた。近来MEの発達、情報理論およびその技術の普及とともにいろいろの定量診断が行なわれるようになって来た。以下に定量診断について2, 3の考察を加える。

1 定量診断とは何か？

この疑問に答えるには以下に述べるX線写真の変数、規格化および評価尺度の問題について考えねばならない。X線像は透過X線強度がノンリニアにフィルム黒化度をして再現されている。ゆえに構成要素はX線強度とその分布である。したがって、つぎの診断方法が考えられる。

- (a) 一点のX線強度の測定による診断
- (b) 一次元、二次元X線強度分布のパターンの認識または強度分布の数学的処理による診断
- (c) X線像所見の因子分析および統一し、それに基づく論理診断
- (a)(b)(c) それぞれ連続写真または時系列上の数点の比較としてなされる診断も考えられる。

2. X線写真の成立に関与する変数と規格化

X線写真の成立には極めて多数の因子が存在し、X線像の分析には変数として関与するので、定量診断をするにはこれらの変数をできるだけ統一ないし、消去して考えねばならない。これらの因子を大別すると大きさに関するもの、鮮鋭度に関するもの、コントラスト及び雑音に関与するものなどに分れる。コントラストは規格化されているし、大きさと不鮮鋭さは一定倍率、レスポンス関数の使用で規格化できる。更に被写体の個体差が大きく関係し、その変動範囲は対象臓器毎に決定されていなければならない。

3. 定量診断の評価尺度

上述の変数が凡て消去されたとき、のこるものはX線強度とその分布である。単一尺度で評価されるなら最も便利である。単一でないとしてもディメンジョンとして「長さ」、「時間」、「X線強度」を含んでいる。尺度は診断対象により当然異なってよい。表面的に表わすとすると2変数、1パラメーター表示が便利である。

4. 情報量をあげる2, 3の試み

- ・ Contrast enhancement や、 r 補正
- ・ Edge sharpening (微分も含み) による像辺縁の強度

- ・Subfraction による変動量の抽出
- ・Spatial filtering による干渉陰影の除去
- ・平均加算による雑音除去
- ・陰性および陽性造影剤使用によるX線像の強調, etc.

4. 2, 3の評価尺度

a) X線強度 $f(1(a)$ に対応), 時間変化をとると経年変化や排泄曲線のような曲線ができる。

b) 平面強度分布およびその微分像

$$(f(x, y), \partial f / \partial x, \partial f / \partial y)$$

前者は比較が困難なので4c, 4d, 4eのような処理をする。後者では強度の変化する領域がはっきりする。

$f(x, y)x, f(x, y)y, fx^2, fy^2$ などのモーメントも考えられる。

c) 標準分布との変動差の差

$$\frac{1}{\Delta S} \sum \sum |f(x, y) - f_{sf}(x, y)|^2 \Delta X, \Delta Y$$

病的像と正常像の偏り量を示す。

d) 空間スペクトル $F(n_x, n_y)$

特定MTFの空間周波数, 特定周波数のMTF, Sprosen 評価法, 理想曲線との偏り

e) 自己相関関数や相互相関関数

$$\Phi_{ii}(\tau, \sigma) = \lim_{\substack{X \rightarrow \infty \\ Y \rightarrow \infty}} \frac{1}{4XY} \int_{-Y}^Y \int_{-X}^X f(x, y) f(x+\tau, y+\sigma) dx dy$$

$$\Phi_{io}(\tau, \sigma) = \lim_{\substack{X \rightarrow +\infty \\ Y \rightarrow +\infty}} \frac{1}{4XY} \int_{-Y}^Y \int_{-X}^X f(x, y) g(x+\tau, y+\sigma) dx dy$$

f) X線像所見を因子に分析統一し, それを用いて論理診断するもの

最近このような診断は胃瘍, 肺結核, などいろいろ用いられている。因子の選択と診断への寄与の割合の決定が問題である。

5. パターン認識によるX線像診断

病的X線像は一般に形, 濃度, 位置, 数が不定である。このようなX線像を正常陰影から分離し, 異常と診断するのは極めてむづかしい。医師によるX線像認識パターンの特徴およびその診断過程が数的に表現されるなら, 多少の主観的要素が介入しても定量診断も可能となる。この分野には今後一層の努力が必要である。

(竹中栄一)

第2章 定量的X線診断の研究

国立がんセンター 梅垣洋一郎

X線診断を客観的定量的手段とすることは従来からいろいろの観点から研究されている。

以下に私見にもとづいてその動向を述べる。

1. X線を用いて人体を計測する診断
2. X線像をパターン認識の考え方で解析する診断
3. X線映画, X線TV等を用いて人体の運動を解析する診断
4. X線診断の記載を客観的, 定量的に統一し, 更にその処理により論理診断を行なういわゆる情報処理

X線診断はもともとX線という物理的手段を基本としていて, 定量的計測が可能であるにもかかわらず, 上に挙げたような研究は案外に少ない。その理由として第1に考えられるのはX線診断に当る医師がX線像を病理解剖と対比して観察しており, 定量的に解析するという態度が少なかったということである。最近のMEの進歩や情報処理技術の進歩は著しくこの方面の研究を進展させたので, 今後は積極的に取入れるべきものとする。各項目について2,3の研究を紹介しよう。

1. X線を用いる人体の計測

X線を広いビームのまま人体に照射して計測することは被曝の点から制限があるので, 放射線治療のための計測等に行なわれるのみである。X線写真を介して計測することはある程度骨の定量等の目的で行なわれているが, 精度はあまりよくない。筆者が試作したX線走査キモグラフは細いX線ビームを用いて人体の構成を量約, 質的に計測する装置であって, 精度が非常によい点に特長がある。この装置は次に述べる人体の運動を解析するために非常に都合のよい装置である。その詳細については文献を参照されたい。

2. X線像のパターン認識

X線像を読影するためには病理解剖学を主とする広い方面の基礎的知識を必要とするので, これを機械化する様なことは近い将来には実用化するとは思われない。しかしながら重要な情報の抽出, 強調, 意味づけ等の図形処理技術が急速に進歩している。既に実用化しているものにはサブトラクションによる血管撮影像の強調や, 高域の強調によるX線TVの解像力の増強等がある。静的X線像の解析のみでは意味づけがむづかしい時に次に述べる運動の解析が役立つ。サブトラクションは時系列の因子を加えて次元を増加したもので同じく役立つことが多い。

3. 人体の運動の解析

人体には大きく分けて, 呼吸, 脈博のように規則的な変動と, 随意運動や, 消化器の運動のように不規則な運動がある。これらの運動の絶対量はX線で計測するためのよい対象である。殊に最近にはX線映画, TVが進歩し, 録画, 再生が容易になったので, 情報の抽出, 解析が詳細に行ない得るようになった。そして得られた記録に相関的分析, 波形解析, 平均加算等の処理を行なうことにより, 肉眼の観察では到底得られない詳細な解析を行なうことも可能となりつつある。この点については機会を得て詳説したい。

4. X線診断の記載と情報処理

診療にともなって発生する病歴情報の処理は現在大きくクローズアップされており, 殊にX線診断部分で

はかなり進行しているところもある。しかし日本の場合にはまだ殆ど手がつけておられず、今後強力に研究を推進すべき分野である。しかしこの研究会の趣旨とはやゝ異なるので、深くはふれない。

文 献

1. 梅垣：定量的X線診断
最新医学 22巻5号 766頁 1967
2. 梅垣：X線走査キモグラフについて
臨床放射線 7 275-286 1962
3. 梅垣：X線走査キモグラフの医学的応用
医用電子と生体工学
2 36-47 1964

第3章 X線撮影における Technical data の導出過程とその規格化

大阪微研病院放射線科 山 崎 武
寺 田 央

脈管系を除いて、最近10年位の間、臨床におけるX線撮影技術に大きな変革は見られない。然し疾患の種類を問わず早期病変のレ線診断が重視される時代の要請に応じて、装置、附属品、感光材料などの性能は向上した。画質についても、ますます微細な構造が問題にされ、拡大撮影も脚光を浴びている。情報理論の研究がこの進歩を支えている事は言うまでもない。吾々は臨床医とX線技師の立場から、撮影技術を改良して未知の診断情報を探究して来たが、以下その経験をもとに臨床X線撮影技術 — Clinical Roentgenography — の基本的な考え方について私見を述べたい。

I 臨床X線撮影技術の課題

1. 撮影技術に理論体系を与える。これまでR I I 研究会が進めて来られた所で、主として基礎的な理、工、医学者の分担である。
2. 従来の方法では写って来なかった情報（患者の体内における正常または病的な形態と機能）を、技術の改良によって写真に現わす。又従来より少しでも情報量の多いX線写真を作るように技術面で改良する。これは実際の臨床医とX線技師の分担である。
3. X線装置や感光材料を改良し、規格化を進めて、最良のX線写真が、どこかの病院でも同様に撮影できるようにする。これはメーカー側の分担である。
4. 全く新しい技術（例えば Xerography, 回転陽極X線管, Seldinger 法など）を導入する。これは理、工、医の専門分野を問わず、発明家の分担である。

II X線撮影法の原則論

吾々は臨床X線撮影に関して、次の3つの原則に従っている。

1. 経済的撮影法の原則

X線経済 (X-ray Economy) とはX線管の出力X線量を有効に利用するとともに、最少の被曝で最大の情報をうる事にある。然し一般には情報量と被曝量とは互に相反する要素であって、そのバランスを取る場合に被曝と情報と、どちらをどの位優先するかは常に問題となる。癌のように生命を脅やがす疾患が疑われる場合には、多少の被曝は止むを得まい。それでも胃癌疑診の場合、透視、精検を1回行えば40 R位にはなる。ルーチンの胃腸検査でも1回20 R位になりうる。情報源は動いているので、何枚も写すほど情報は確実となる反面 Artefact (Noise と言えるかどうか) もふえる。胸部撮影では正面、側面の2枚撮っても0.1 R以下であるから同じレントゲン検査と言っても200倍も被曝量は違う。胸部疾患よりも胃癌、十二指腸潰瘍の方が200倍も恐ろしい事になるのか、又早期胃癌が早期肺癌の1/200の大きさで見付かるわけでもない。このような比較論議が妥当かどうかは別として、X線経済と言う点から見ると不合理な気がする。現在の一般的な傾向として、被曝を減らすと

言うよりも情報をふやす方向に動いている事は確かである。撮影部位の厚さも問題になるわけで、乳房のように薄い場合、通常の40 kVp 低圧撮影を行なえば、被曝は $20 mR/exp$ 、程度に過ぎないが画質は不良である。これを20 kVp位に落して、No Filterで、工業用ノンスクリーンフィルムを使って写すと、被曝は $5R/exp$ (250倍)にもなるが、この写真は数倍の間接拡大に耐える鮮鋭度と Contrast をもっており、これで診断できる早期乳癌はmm単位の大きさである。

2. 低圧撮影法の原則

原理的に考えても、低 Contrast の高圧撮影は良くない。微細構造を問題にする場合はなおさらである。むやみに私子比を大きくして高圧撮影を行なうのはX線経済の原則に反している。胸部高圧撮影において、10:1以上の格子を用いると、一般胸部撮影に比し、性腺被曝はもとより、皮膚被曝すらも増大しうる。然し小焦点、短時間撮影が可能となる点は有利である。Filterを薄くして低圧で撮影するねらいも、線質のみならず、発生するX線量を保存して、小焦点、短時間撮影を可能にする点にある。

3. 容量撮影法の原則

或る被写体に対する撮影条件は、kVp, mA, 曝射時間, 焦点, Geometry, フィルム, 増感紙, Filter, 格子比などの組み合わせ如何で何種類も考えられる。例えば四肢骨撮影の場合、1/20秒でも1秒でも得られる写真に大差ないと言われて来た。然し微細構造を問題とする場合は、どれかの条件のものが最も良い筈で、その条件の組み合わせ以外の方法ではすべて画質が劣ると考える。そしてその最良の Technical factor の組み合わせは、与えられたX線装置の容量ぎりぎりで決定されるから、大容量の装置程画質は良いことになる。

4. 平衡撮影法の原則

次項で詳しく述べる。

IV Technical factor の導出過程

画質を良くするためには、表(1)左の列の可変因子は右の列の如くでなければならない。しかもこれらは互に相反する要素であって、バランスの取れた状態で数値が決定されねばならない。この考え方を吾々は平衡撮影法 — Balanced Roentgenography — と呼んでいる。この9種類の factor の組み合わせから最良のものを選び出す方法であるが、その前に各因子について若干の考察を加えたい。

1. mA

小電流の方が良いと言うのは、阪大の内田博士らの提唱される所である。吾々の Phantom 撮影の経験でも、同じkVpの場合小電流、長時間撮影は大電流、短時間撮影に比し、鮮鋭度は高く、Contrast もやゝ強い。然し患者撮影の場合は動きがある為、その要素を一定にする目的で、同じ曝射時間で比較すると、大電流、低圧(格子比5:1)の方が、小電流、高圧(格子比8:1)よりも画質は良い。従って患者撮影においては高電流撮影が良い。

2. Filter の厚さ

Phantom 実験では、kVp, mA, Geometry が同じでも、Filterを厚くしてX線量を減

(表 1)

1. k V p	——	低 圧
2. m A	——	小電流 (大電流)
3. s e c	——	長時間 (短時間)
4. F F D	——	遠距離
5. 焦 点	——	小
6. 格子比	——	大
7. 増感紙	——	高鮮鋭度
8. 乳 剤	——	微粒子
9. Filter	——	薄 (厚)

らし、硬X線(格子比8:1)、長時間撮影を行なうと、薄い Filter の軟線(格子比5:1)、短時間撮影に比べて、鮮鋭度を主とした画質の改善が見られ、Contrast も多少強くなるように思う。X線では Filter によって線量のみを減らす事はできないから、止むを得ず線質が硬くなるわけで、これは格子比を上げて補った。本質的には、線質、mA(焦点sizeを意味する)、Geometry が同じ場合、弱X線。長時間撮影の方が強X線、短時間撮影よりも画質は良い事を意味するのであろう。その理由はX線強度と曝射時間の大小によって増感紙の発光状態が違いためと想像しており、目下検討中である。所が患者撮影を考えて、同じ曝射時間、同mA(焦点sizeを意味する)、同 Geometry で比較すると、Filter を薄くして低圧(格子比5:1)にした方が、厚い Filter で高圧(格子比8:1)撮影するよりも画質はよい。従って臨床撮影では低圧、薄濾過の方がよいわけであるが、患者の被曝は増し、法律でも制限がある。現行法では60kVp未満の場合は、総濾過Al 1.5 mmが望ましいとされているが、Be窓X線管、No Filter でも使用できる。これは非常に危険で、診断用X線装置の低圧における濾過板の問題に関しては、10~30kVp:総濾過Al 0.3 mm, 30~60kVp:総濾過Al 0.7 mm以上の法的規正が必要と考える。

3. 曝射時間

上記の Phantom実験からは長時間撮影が望ましいが、患者の場合は短時間撮影が必要で、この相反する要求の為、撮影部位に応じて、長短時間を変えなければならない。薄濾過の低圧撮影では、短時間撮影ほど被曝の増大が少なくて済む点も注意する必要がある。

4. 乳 剤

最近 Mammography 用フィルムとして出廻っている乳剤はハロゲン化銀粒子の平均直径が、一般医療用フィルムの1/2以下である。これを使って胸部撮影を行なうと鮮鋭度の高い写真が得られる。このような低感度、微粒子、高rの乳剤を用いると撮影条件を全く変えなければならない。現在の一般医療用フィルムの1/2位の感度で、粒状性がこれと Mammography用フィルムとの中間位の乳剤ができれば好都合である。

5. 焦点およびFFD

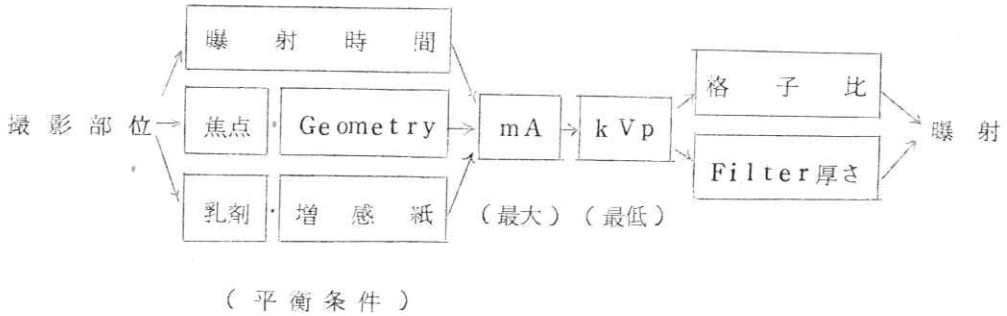
胸部だけが2mもの遠距離で撮影されているのは不思議である。これも他の部位と同様に1mm焦点で1~1.5mで撮影してはどうか。近い将来に1mm焦点で500~1000mA流しうるX線管ができるに違いない。又現在のWターゲットにこだわる事なく、使用目的によってMoでもCuでも使い分けられれば良い。CuターゲットX線管の低圧撮影はぜひ試みて見たい。

6. 増感紙

Phantom 撮影の経験では、極光FSとMSの鮮鋭度差は密着に近い状態か、又は1秒以上の曝射時間では目に見えて分るが、Film から少し離れたり、又0.5秒以下の短時間撮影では判別し難い。むしろMSの方が良い場合もある。患者のように動きのある場合は、もちろんMSで短時間撮影を行なうべきである。

以上のように将来X線撮影はますます複雑化するであろうから、これを自動化する事はより一層面倒になろう。その為には Technical factor の導出過程をプログラム化しておかねばならない。吾々は現在、図(1)の順序を考えている。

図 (1)



V Schankasten の問題

一般医療用フィルムの場合にはそれほど問題は無いが、工業用フィルムのように高γで、高濃度まで飽和しない乳剤を用いるようになると Schankasten も再検討しなければならない。黒地濃度0~2.0の中の、僅かに白いボタンを2000rlxで観察する事は、濃度2.0~4.0の中のボタンを20万rlxで観察するのと同じであって、一枚の写真の観察濃度範囲は倍加する。最近、吾々は普通のものの50倍位まで明るくできる新型 Schankasten を試作したのでこれについて述べる。市販の Schankasten 8種類の照度を測定して見ると、1500~2800rlxのものから6000~1万rlxのものまでまちまちで、メーカーにより異なる(測定器:東芝光電池照度計SPI-1型)。Schankasten の最適照度を知る為に次の実験を行なった。

1. Schankasten の照度による濃度差識別閾値の変化: 図(2)

Schankasten の照度を100rlxから16万rlxまで変化させると同時にフィルムの

Background 濃度を0.5~3.7に変化させて、双方のいろいろの組み合わせにおける濃度差識別値(+ ΔD)を求めた。測定は暗室で、観察範囲を $5 \times 5 \text{ cm}^2$ にマスクし、明視距離で、数人で反復測定し、平均値を求めた。その結果、濃度2.3以下の低~中濃度部分では 10^4 rlx 附近、3.0以上の高濃度部分では16万 rlx で閾値が最も小さい。低濃度部分より高濃度まで平均して閾値が小さいのは 10^4 rlx 附近である。Background 濃度が更に小さければこの最適照度はもっと暗くなるであろう。

2. Schankasten の照度による Landoet 環きれ目巾視認閾値の変化：図3)

試視力表の Landolt 環を35mmフィルム上に1/17に縮写した陰画の Background 環の濃度は0.2で一定)と同時に、Schankasten の照度も変えて、双方のいろいろな組み合わせについて、明視距離、視力1.0の肉眼でこれを観察して、きれ目巾の視認閾値を調べた。その結果、上と同様に低濃度では 10^4 rlx 附近、高濃度では16万 rlx が良い事が分った。又低濃度から高濃度まで平均して良く見えるのは 10^4 rlx 附近である。

以上から、一般医療用フィルムについてはMax. 10^4 rlx 、工業用フィルムには Max. 16万 rlx 以上の、照度可変の Schankasten が適当であると言えよう。吾々の試作したヨウ素ランプ使用の Schankasten は色温度のやゝ低いのが欠点であるが利点も多い。最近 Xeon ランプも開発されているので、高価ではあるがこれを用いた Schankasten の試作も今後の課題である。

+ ΔD 濃度差 識別 閾 値

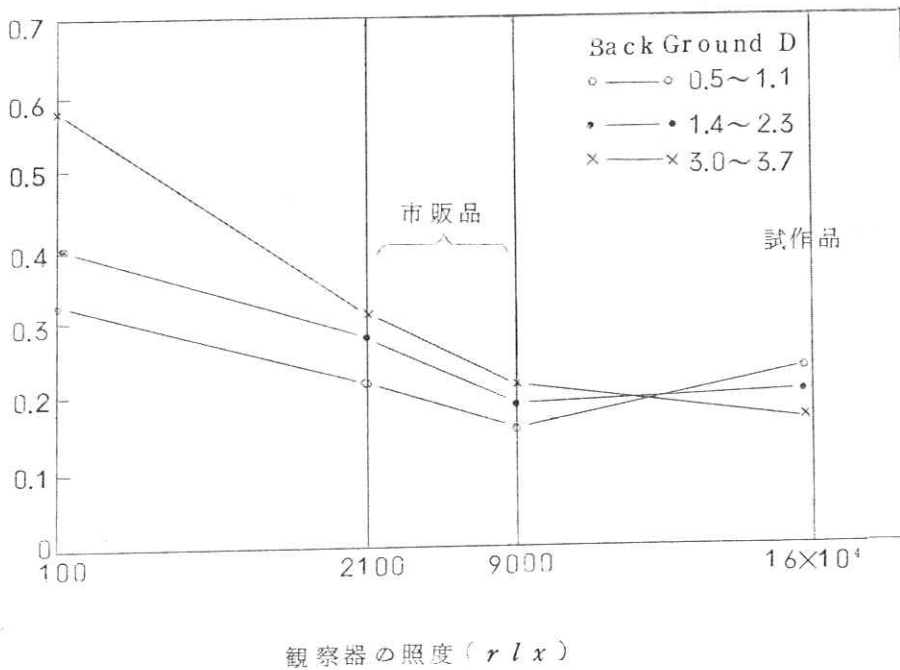


図 2.

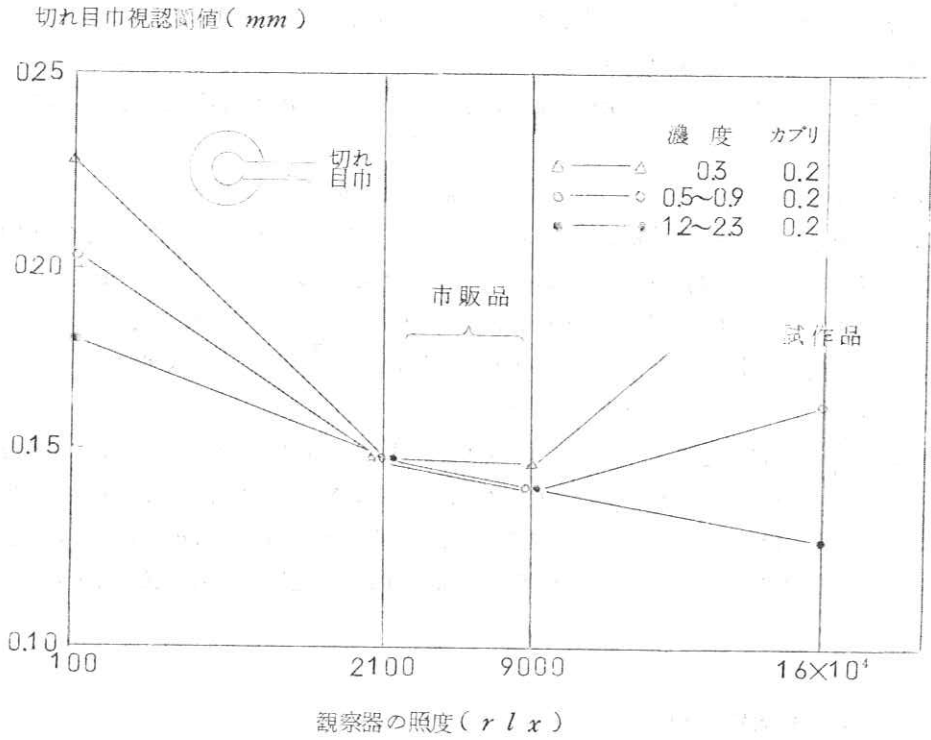


図 3.

むすび

X線写真は工場製品か、芸術作品か。これはレントゲンに限らず、医療行為全般を通じて常に提起される問題である。患者の立場からは芸術であってほしいもので、自動化製品は嫌われる。然し芸術作品を工場で生産する事を目標にして、撮影自動化の努力を惜しんではなるまい。

最後に、撮影実験に協力して頂いた竹本孝、赤松好隆両技師に深謝して稿を了える。

(44. 1. 31)