

# 画像通信

Vol. 5 No. 1 (通巻8)

## 目 次

第10回 画像分科会の報告

第11回 画像分科会の案内と資料

「冗長度の放射線画像伝達系への導入」

稻 津 博

第12回 画像分科会の予告

昭和57年3月

社団法人 日本放射線技術学会  
画 像 分 科 会

## 第11回 画像分科会の御案内

日 時 : 昭和57年3月20日(土)

PM 6:00 ~ 8:00

場 所 : 東京・九段会館(第一会場)

“画像について語ろう”

「冗長度法の放射線画像伝達系への導入」

稻 津 博 (宮崎医科大)

新しい画像評価法について、稻津先生より報告をいただき、それを中心に画像全体にわたる討論と議論をする予定です。多くの方々の参加をお待ちします。

~~~~~。~~~~~。~~~~~。~~~~~

## 第12回 画像分科会の予告

日 時 : 昭和57年10月30日(土) AM 10:00 ~

場 所 : 岐阜商工会議所(岐阜市内)

講 演 : デジタル・ラジオグラフィについて(予定)

津 田 元 久 (島津)

一般研究演題を7月末までにお寄せ下さい。(演題名だけで結構です)

# 冗長度法の放射線画像伝達系への導入

富崎医科大学医学部附属病院中央放射線部

稻 津 博

## 1. 緒 言

周知のように、X線写真コントラスト、鮮鋭度および粒状性的三つの物理的因子は、放射線写真的画質に重大な影響を与える。これら物理的3因子はH & D曲線、MTF(modulation transfer function)およびWiener spectrumによって定量的に記述できるようになった。前述の手法は、放射線画像伝達系全体と個々の要素の性能に関する客観的測度を与え、系の解析に最も有効な手段であり、これらを別々に測定することはそれほど困難なことではない。しかし、放射線画像伝達系の総合的被写体表現能力を予想できるように、3因子を正確に組み合わせることは困難である。

前述の事実を示す例としてよく用いられるのは、Rossmannが示した有名なX線写真である(放射線像の評価、日放技学会誌、34、(1979) 556参照)。Rossmannは中感度増感紙と高感度フィルム(Par-RP/R)、高感度増感紙と普通感度フィルム(TF2-RP)の組み合わせの感度の等しい2種類の増感紙-フィルム系を用いて、針とビーズを撮影している。その結果、針はPar-RP/R系、ビーズはTF2-RP系の方が見やすいことが証明された。すなわち、高コントラスト被写体は鮮鋭度の、低コントラスト被写体は粒状性的影響を多く受ける。しかし、この現象は、MTFやWiener spectrum個々ではうまく評価できない。Lustedらは信号検出理論を用いてこの問題の解析を試みた。しかし、全面的な解析には至っていないようである。このことは、被写体情報を含んだ放射線写真的総合的評価が必要であることを示している。

われわれは、前述のような問題を解決するために、相対エントロピーの補数である冗長度(redundancy)の概念を導入した放射線画像伝達系の総合的単一評価の可能性について若干の検討を試みた。

冗長度による評価法は、内田によって導入され

たエントロピー解析法の延長線上に存在するものであり、前述の物理的3因子を同時に含むような総合的性能を示す測定であることが期待できる。

ここでは、種々な仮定のもとでシミュレーション・スタディを行ない、放射線写真的良否に関する通念および目による観察と、得られた冗長度が良い一致を示すかどうかについて検討した結果を中心に述べる。

## 2. 冗長度および計算

各事象の生起確率が $P_i$ ( $i=1, 2, \dots, n$ )であるときのエントロピー $H$ は定義によって、

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i \quad (1)$$

である。 $H$ は不確定性(uncertainty)または予測不能性(unpredictability)をあらわす。エントロピー $H$ は式(1)の各確率が等しい( $P_i = 1/n$ )とき最大値をとる。したがって、

$$H_{\max} = \log_2 n \quad (2)$$

である。相対エントロピー $R$ は定義によって、

$$R = H / H_{\max} \quad (3)$$

である。相対エントロピーの補数である冗長度 $C$ は定義によって、

$$C = 1 - R \quad (4)$$

である。冗長度 $C$ は反応の系列依存性(sequential dependency)あるいは定型性(stereotypy)をあらわす。したがって、被写体情報を含む放射線画像の総合性能は、出力像の $C$ によって評価できると考えられる。

いま、情報源または入力のエントロピーが $H(X)$ 、出力のエントロピーが $H(Y)$ であるとすると、雑音

が存在する系においては二つの条件つきエントロピーが存在する。入力と出力の複合事象のエントロピーは定義によって、

$$H(X, Y) = H(X) + H_x(Y) = H(Y) + H_y(X) \quad (5)$$

であり、伝達情報量  $T(X; Y)$  は定義によって、

$$\begin{aligned} T(X; Y) &= H(X) + H(Y) - H(X, Y) \\ &= H(Y) - H_x(Y) \end{aligned} \quad (6)$$

である。ここで、 $H_x(Y)$  および  $H_y(X)$  は条件つきエントロピーであり、とくに  $H_x(Y)$  は付加情報量または雑音成分と呼ばれる。

出力像の冗長度  $C(Y)$  は、式(4)から

$$C(Y) = 1 - R(Y) \quad (7)$$

で与えられる。ここで、 $R(Y) = H(Y)/H(Y)_{\max}$  である。

実際にエントロピーおよび冗長度を計算するとき、つぎのようにして求めた相関表を用いると便利である。いま、離散的入力  $X$  として  $n$  種類の入力  $X_1, X_2, \dots, X_n$  のいずれかを示すものとし、それに対して出力  $Y$  として  $m$  種類の出力  $Y_1, Y_2, \dots, Y_m$  のいずれかを得るものとする。入力  $X_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) は  $f_i$  回示し合計  $f$  回の試行を行なう。そのとき、入力  $X_i$  に対し反応  $Y_j$  ( $j=1, 2, \dots, m$ ) が生じた回数を  $f_{ij}$  とする。このような資料をもとに Table 1 に示す  $X$  と  $Y$  の相関表が求められる。Table 1 からつぎのことことがわかる。

$$\sum_j f_{ij} = f_i. \quad (8)$$

$$\sum_i f_{ij} = f \cdot j \quad (9)$$

$$\sum_{ij} f_{ij} = \sum_i f_i \cdot = \sum_j f \cdot j = f \quad (10)$$

Table のそれぞれの度数がわかれば、 $H(X)$ 、 $H(Y)$  および  $H(X, Y)$  はつぎの式を用いて計算できる。

$$H(X) = - \sum_i p_i \cdot \log_2 p_i. \quad (11)$$

$$H(Y) = - \sum_j p \cdot j \log_2 P \cdot j \quad (12)$$

$$H(X, Y) = - \sum_{ij} p_{ij} \log_2 P_{ij} \quad (13)$$

ここで、 $P_i \cdot = f_i / f$ 、 $P \cdot j = f \cdot j / f$  および  $P_{ij} = f_{ij} / f$  である。出力  $Y$  の最大エントロピーはつぎのようにして求められる。

$$H(Y)_{\max} = \log_2 m \quad (14)$$

そこで、出力の冗長度  $C(Y)$  は、式(12) および (14) を用いて式(7)から求めることができる。また、雑音成分と呼ばれる  $H_x(Y)$  は式(11)、(12) および (13) を用いて式(5)または(6)から求められる。エントロピーの計算に関する詳細については、日放技学会誌、36,(1980) 498 のエントロピー解析法および放射線画像情報工学(II)を参照していただきたい。

### 3. 被写体

被写体として階段関数を用いる。すなわち、被写体情報を含む出力像として ERF (edge response function または edge spread function) を用いる。ERF を用いる理由はつぎのとおりである。

一般に、ERF は Fig. 1 に示すような濃度分布を示す。線像強度分布 (LSF, line spread function) は ERF の微分から求めることができ、MTF は線像強度分布の Fourier 変換である。さらに、ERF の濃度ゆらぎの標準偏差 (以後 SD と記す) は粒状性の指標である。また平均濃度  $C_1$  と  $C_2$  の差は X 線写真コントラスト (K) である。したがって、空間領域において、ERF は放射線写真の画質の物理的 3 因子をすべて包含している。だから、ERF の  $C(Y)$  量から、放射線画像伝達系の総合性能を相対的に評価できると考えられる。

### 4. シミュレーション・スタディ

ここでは、ERF をつぎのように仮定し、 $C(Y)$  の値を計算した。

(1) 特定の階段関数を撮影して得られる多数の

E R F の或る定まった位置で測定した濃度は、Fig. 2 に示すようにそれぞれ正規分布をとる。

- (2) E R F 全体の長さ D は E R F の傾斜幅 d より長く、E R F の傾斜は直線である。
- (3) 傾斜幅 d の中心は E R F の中心に存在する。また、記述を簡単にするため D および d を mm 単位であらわす。

#### 4.1 d と C(Y) の関係

Fig. 3 は傾斜幅 d と C(Y) および T(X; Y) の関係を示したものである。このシミュレーション・スタディでは、異なる S D をもつ 3 種類の E R F を仮定し、それぞれの E R F について、d を 1 mm から 1.2 mm まで変化させた。ただし、K と D の値は一定 (K = 2.5, D = 4.4 mm) である。入力のサンプリング間隔は 1 mm である。したがって n = 45 であり H(X) = 5.492 bits である。Fig. 4 および 5 は、参考までに示した d と種々なエントロピーの関係と Fig. 2 に示す f(y) の分布である。Fig. 3 からつぎのような結果が得られる。

1. E R F の S D が一定であれば、C(Y) の値は d の減少とともに増加する。
2. 逆に T(X; Y) の値は d の減少とともに減少する。
3. S D が決まれば、H<sub>x</sub>(Y) の値は d によらず一定値を示す。

前述の結果から、C(Y) は、画像の鮮鋭度が良くなければ値が増加する。ただし、後述する或る制限範囲を越えると前記の結果は得られない。

#### 4.2 S D と C(Y) の関係

Fig. 6 は、E R F の S D と C(Y) の関係を示したものである。ただし、n = 45 (D = 4.4 mm), K = 2.5 および d = 4 で一定である。Fig. 7 は参考までに示したその他のエントロピーと S D の関係である。Fig. 6 から、S D が増加すると C(Y) の値は減少する。つまり、粒状性が悪くなると C(Y) の値も減少する。

#### 4.3 K と C(Y) の関係

Fig. 8 は K と C(Y) の関係を S D をパラメー

タにして示したものである。ただし、n, D および d は一定である (n = 45, D = 4.4 mm, d = 2 mm)。また、Fig. 9 の(a), (b), (c) および (d) は、それぞれ S D が 0.01, 0.02, 0.03 および 0.04 における K と C(Y) の関係を d をパラメーターにして示したものである。これらの図からつぎのようなことがわかる。C(Y) の値は、まず K の増加とともに減少し、或る K の値で最低値に達し、K の値がさらに増加すると C(Y) の値は上昇する。C(Y) が最低値を示す K の値は、S D および d の値によって変化する。この現象はつぎのような理由で生じると考えられる。

Fig. 10 は Fig. 9 (c) に示す S D = 0.03 における f(y) (Fig. 2 参照) の分布を示したものである。ただし、d = 4 mm である。Fig. 10 に示すように f(y) の分布は、K = 1.2 を境にして 1.2 以上では完全な双峰型を呈し、しかも谷の部分が深い。しかし、K = 1.2 未満の K = 8 では双峰型ではあるが谷が浅く、K = 4 では完全に单峰型である。つまり、K = 4 および 8 では、E R F と考えるより 1 本の直線が大きくばらついたと考えた方が妥当であり、4 は 8 より 1 本の直線としてより定型的であると考えることができる。一方、K = 1.2 以上の 1.6, 2.4, 4.0 では、K が増加するほど谷はわずかながら深くなり、二つの山の間隔が広くなる。つまり二つの山はより分離し易くなる。したがって、E R F の冗長度による画像評価の適用範囲には限界があることになる。この適用範囲の明確化は今後の課題である。

K と C(Y) の関係の特殊な例として、d  $\leq 1$  mm、すなわち相関表上で E R F の傾斜が存在しないときがある。Fig. 11 はこのようなときの K と C(Y), T(X; Y) および H<sub>x</sub>(Y) の関係を示したものである。このとき、n, D, S D および d は一定である (n = 45, D = 4.4 mm, S D = 0.02, d = 1 mm)。S D = 0.02 および d = 1 mm であるから T(X; Y) および H<sub>x</sub>(Y) は K を変えても一定である。しかし、C(Y) は K を増すと H(Y)<sub>max</sub> の値が増すので K の値の増加とともに増加する。

以上の結果から、C(Y) の値は K の値と密接な関係があり、適用範囲内であれば放射線写真に関する一般的な通念とよく一致する。

#### 4.4 フィルムコントラスト

一般に、フィルム特性曲線の $\gamma$ 値を高くしてX線写真コントラストを上昇させようとすると、必然的にSDも増加する。いま、X線写真コントラストを2倍にするとSDも2倍になると仮定する。ここではコントラストの倍率をコントラスト・ファクターと呼び、これとC(Y)の関係を示したのがFig. 12である。Fig. 12はコントラスト・ファクターが増すとC(Y)値は低下することを示している。このことは、Fig. 13に示すf(y)(Fig. 2参照)の分布図から当然のことのように思われる。Fig. 14は参考までに示した他のエントロピーとコントラスト・ファクターの関係である。

#### 4.5 DとC(Y)の関係

Fig. 15はKを一定に保ち、SD = 0.03でd = 4mmとSD = 0.02でd = 12mmのERFのDを変えたときのC(Y)の値を示している。ただし、サンプリング間隔は1mm一定である。したがって、nの値はD+1( n = 25, 45, 71 )である。Fig. 16は他のエントロピーとDの関係を示したものである。Fig. 15はD、すなわち、測定範囲を変えると、エントロピーの割合が変化しC(Y)の値が逆転することがある。つまり、Dを変えるとf(y)の分布の形が変化し、このため、C(Y)値も変化する。したがって、C(Y)による評価は各々の測

定条件を一定に保って行なう必要がある。つまり、相対的評価である。

#### 5. 考察および結語

前述のように、冗長度法による評価は放射線画像伝達系の良否に関する一般的通念とよく一致するようである。したがって、ERFの冗長度は適用可能範囲内において放射線画像伝達系の新しい評価法として利用できると考えられる。また、シミュレーション・スタディの結果から考えて、ERFの冗長度は画像の明瞭度のようなものを示す測度であると考えられる。しかし、本手法は前述のように適用範囲の解明や相対的評価法であることなど、多くの問題を残している。冗長度法の提案が、より定量的な総合的単一評価法の開発および放射線画像伝達系の性能向上に寄与できれば望外の幸せである。

最後に、冗長度法の導入にあたり、岐阜大学教授内田勝博士の絶大なる御指導と御教授があったことを記し、深甚なる感謝の意を表するものである。また、冗長度の計算など多くの御協力をいたいた近藤隆司君をはじめ、宮崎医科大学医学部附属病院中央放射線部の診療放射線部の診療放射線技師の方々に深く感謝の意を表する。

Table 1. 入力Xに対する出力Yの相関度

|          | Input X |              |              |       |              |       |              |               |
|----------|---------|--------------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|---------------|
|          | $x_1$   | $x_2$        | -----        | $x_i$ | -----        | $x_n$ | $\sum$       |               |
| Output Y | $y_1$   | $f_{11}$     | $f_{21}$     | ----- | $f_{i1}$     | ----- | $f_{n1}$     | $f_{\cdot 1}$ |
|          | $y_2$   | $f_{12}$     | $f_{22}$     | ----- | $f_{i2}$     | ----- | $f_{n2}$     | $f_{\cdot 2}$ |
|          | ⋮       | ⋮            | ⋮            | ⋮     | ⋮            | ⋮     | ⋮            | ⋮             |
|          | ⋮       | ⋮            | ⋮            | ⋮     | ⋮            | ⋮     | ⋮            | ⋮             |
|          | $y_j$   | $f_{1j}$     | $f_{2j}$     | ----- | $f_{ij}$     | ----- | $f_{nj}$     | $f_{\cdot j}$ |
|          | ⋮       | ⋮            | ⋮            | ⋮     | ⋮            | ⋮     | ⋮            | ⋮             |
|          | ⋮       | ⋮            | ⋮            | ⋮     | ⋮            | ⋮     | ⋮            | ⋮             |
|          | $y_m$   | $f_{1m}$     | $f_{2m}$     | ----- | $f_{im}$     | ----- | $f_{nm}$     | $f_{\cdot m}$ |
| $\sum$   |         | $f_{1\cdot}$ | $f_{2\cdot}$ | ----- | $f_{i\cdot}$ | ----- | $f_{n\cdot}$ | $f$           |

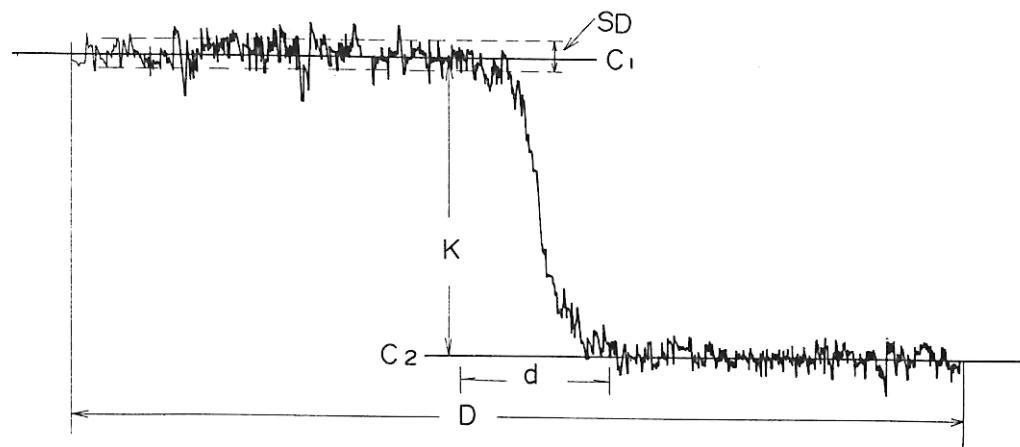


Fig. 1 代表的な E R E (edge response function)  $C_1, C_2$  は平均濃度,  $SD$  および  $K$  はそれぞれ標準偏差と X 線写真コントラストを示す。

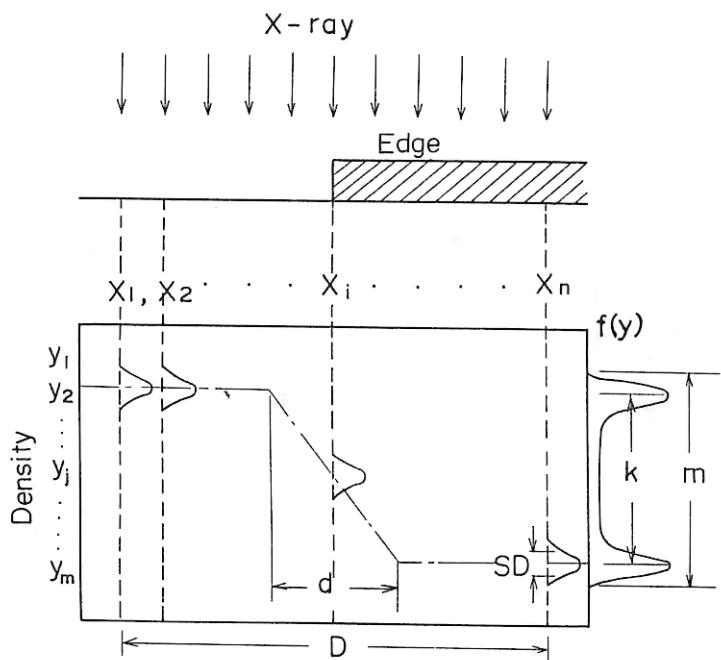


Fig. 2 ERF と相関表の関係

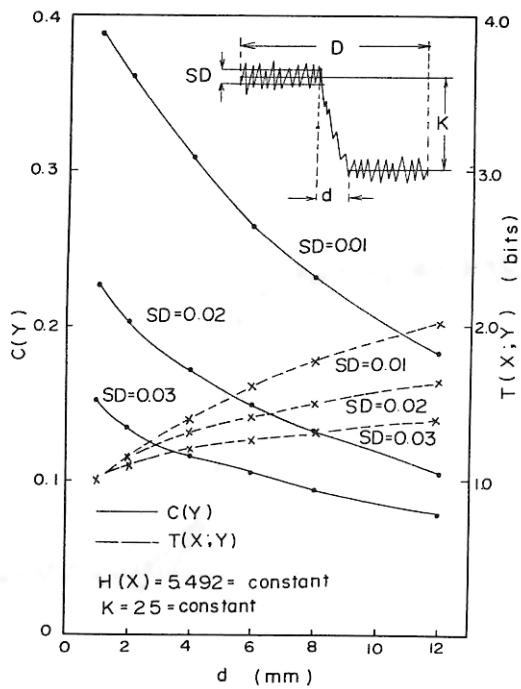


Fig. 3  $d$  と  $C(Y)$  よび  $T(X;Y)$  の関係

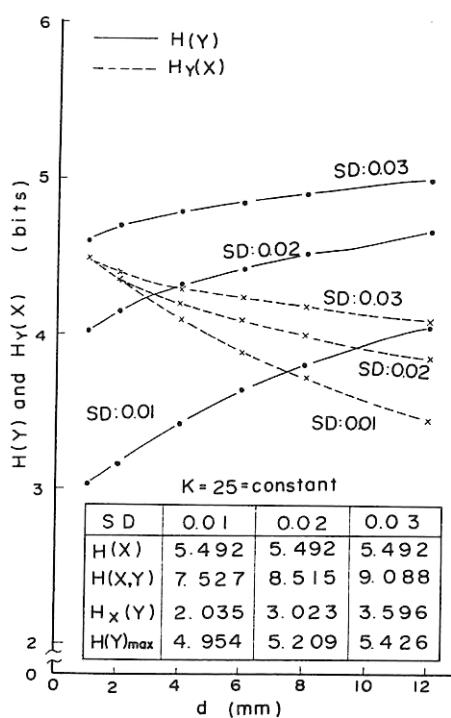


Fig. 4  $d$  と種々なエントロピーの関係

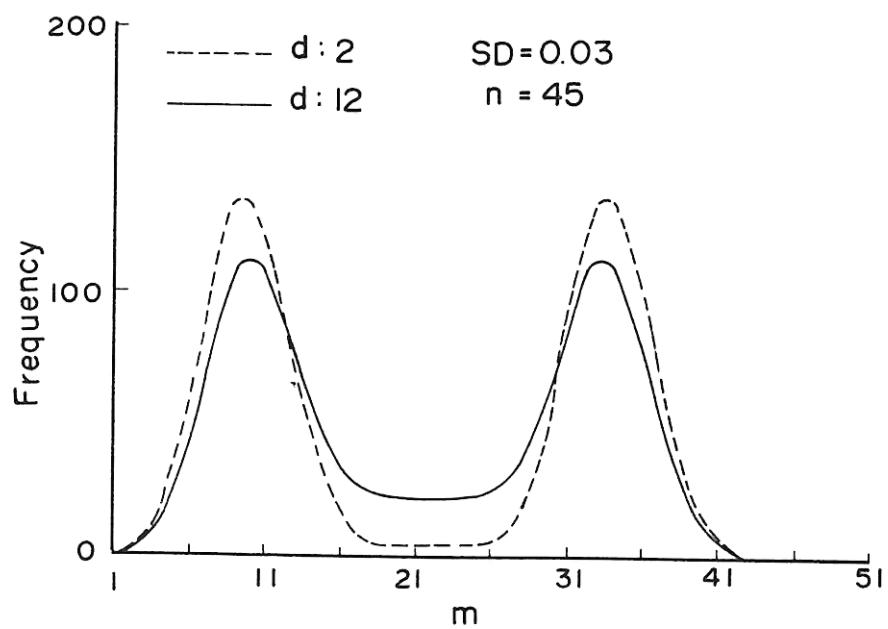


Fig. 5 Fig. 3 における  $d = 2$  と  $12$  の  $f(y)$  の頻度分布

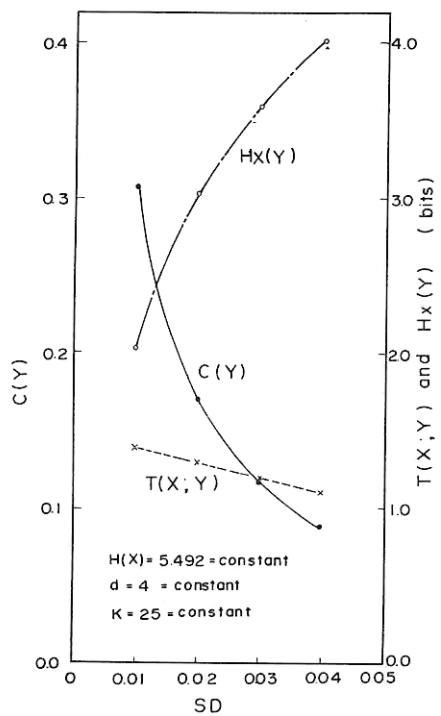


Fig. 6 SD と  $C(Y)$ ,  $T(X;Y)$  および  $H_x(Y)$  の関係

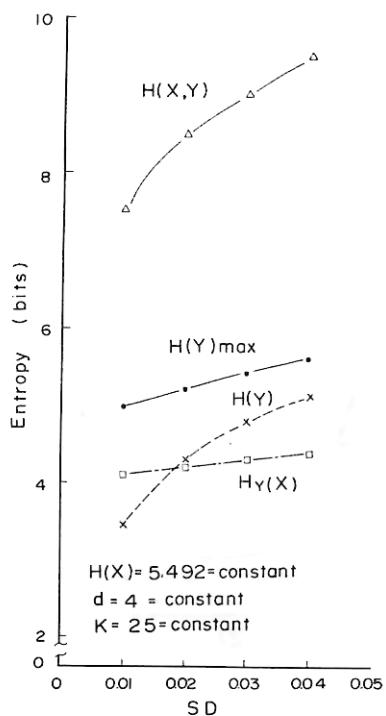


Fig. 7 SD と種々なエントロピーの関係

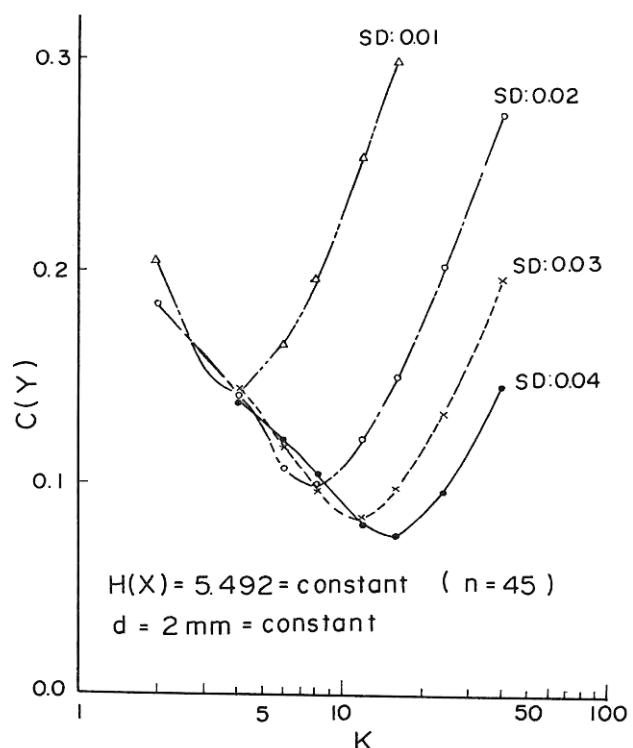


Fig. 8 SDをパラメーターにしたKと $C(Y)$ の関係( $d = 2 \text{ mm}$ )

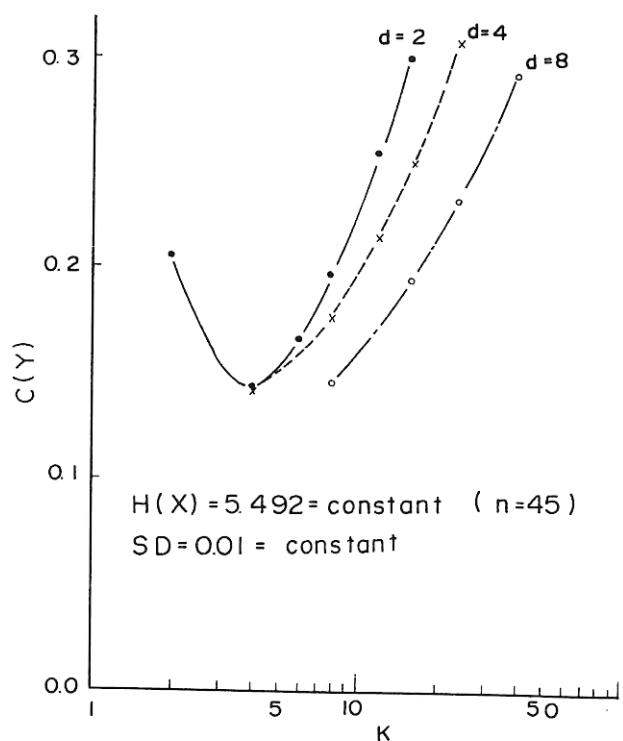


Fig. 9  $d$ をパラメーターにしたKと $C(Y)$ の関係

— 9 — Fig. 9(a)  $SD = 0.01$

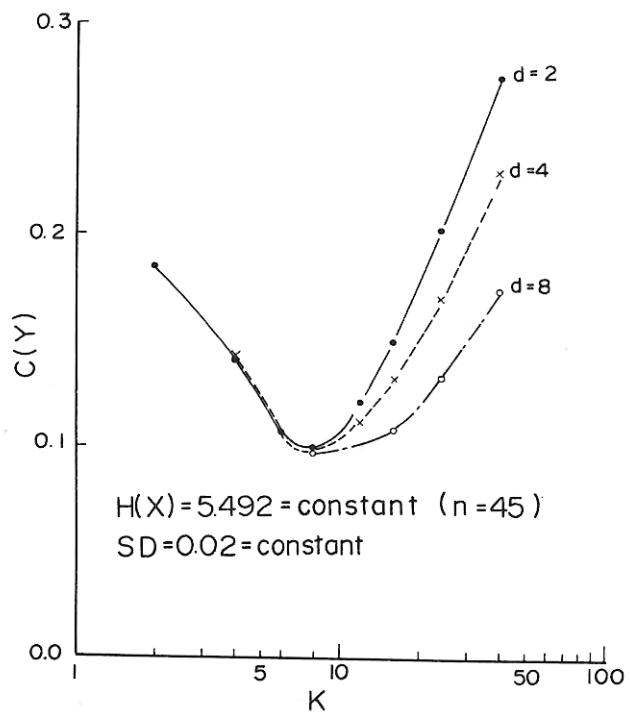


Fig. 9 (b)       $SD = 0.02$

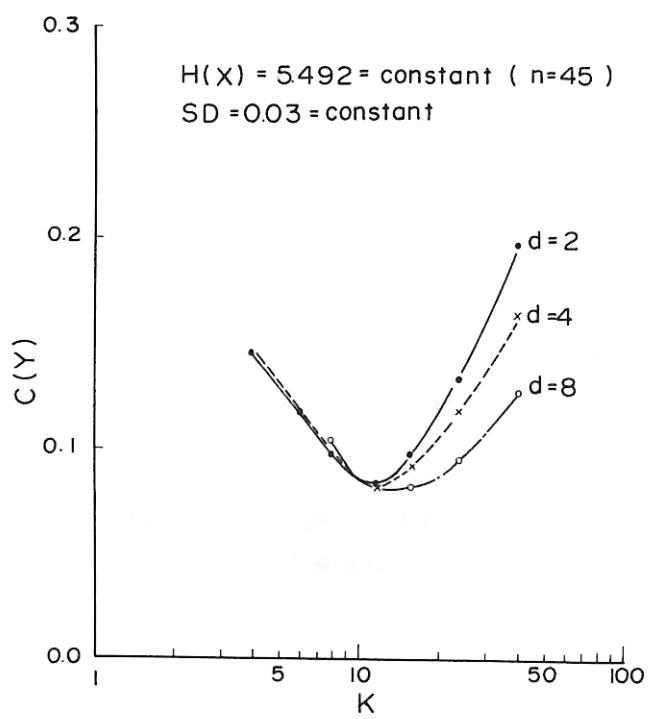


Fig. 9 (c)       $SD = 0.03$

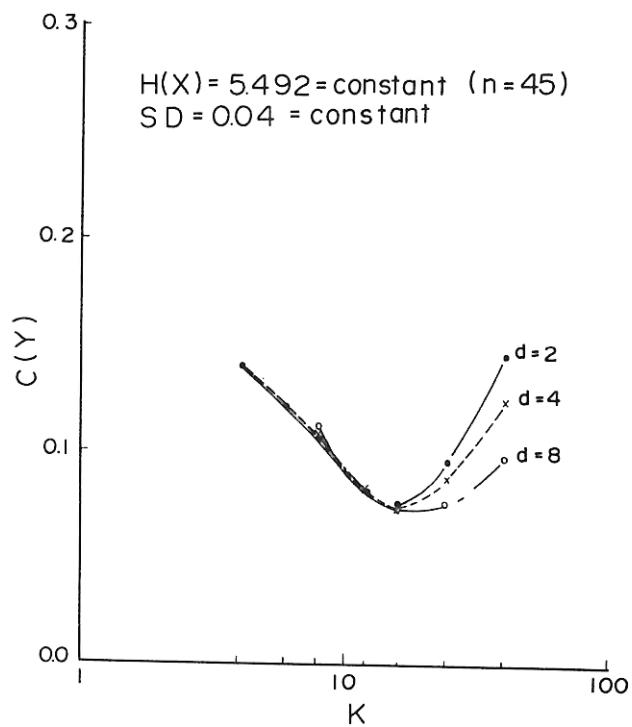


Fig. 9 (d)       $SD = 0.04$

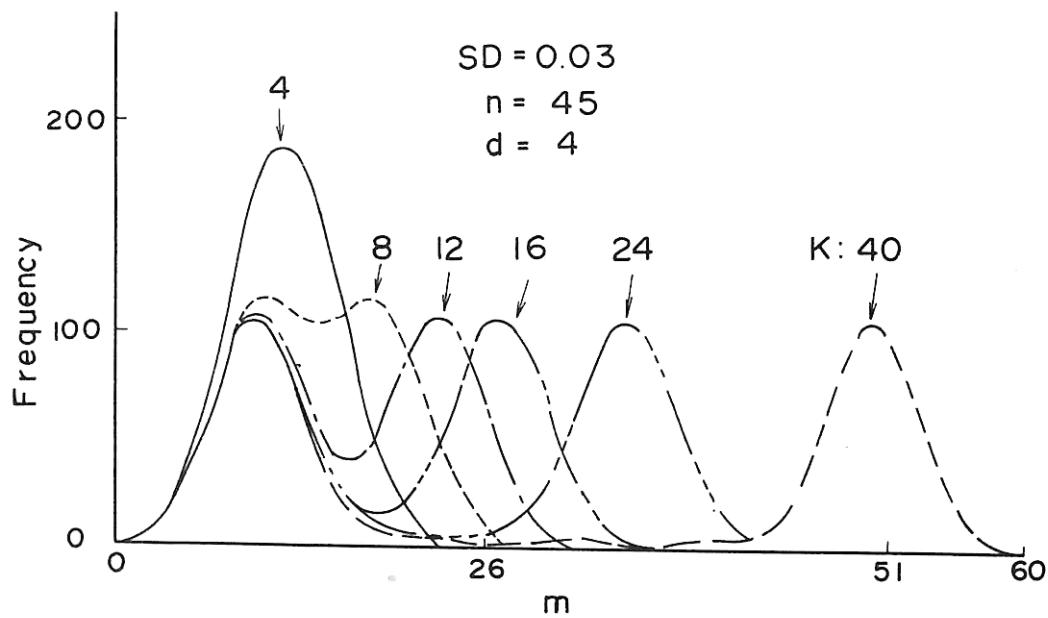


Fig. 10    Fig. 9 (C)の  $d = 4$  における  $f(y)$  の頻度分布 ( $SD = 0.03$ ,  $n = 45$ )

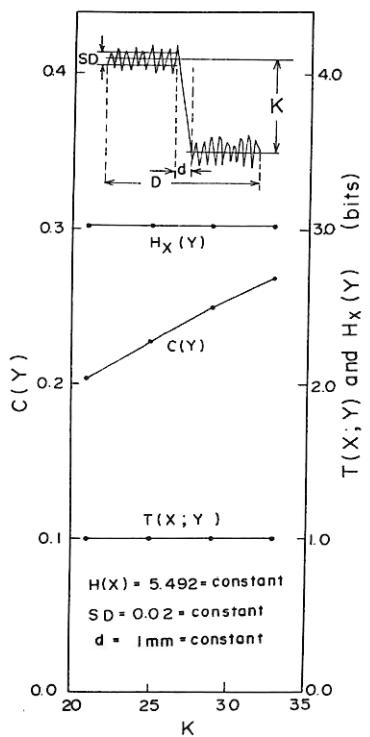


Fig. 11 相関表上で ERF の傾斜が存在しないとき ( $d \leq 1 \text{ mm}$ ) の  $K$  と  $C(Y)$ ,  $T(X;Y)$  および  $H_x(Y)$  の関係

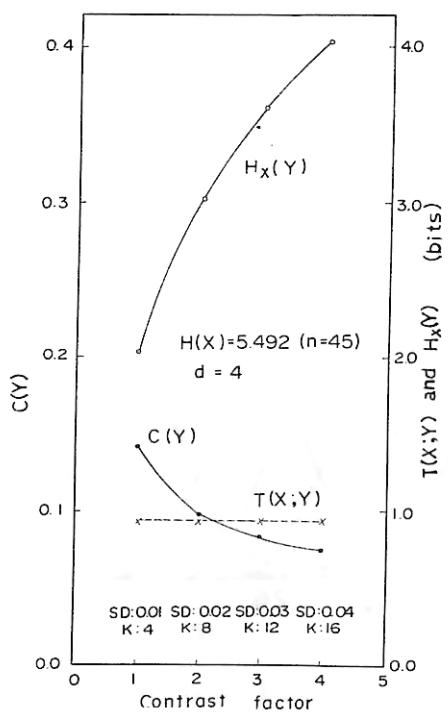


Fig. 12 コントラストファクター ( $\gamma$  に相当するような因子) と  $C(Y)$  の関係。ただし、コントラストが 2 倍になると SD も 2 倍になると仮定。

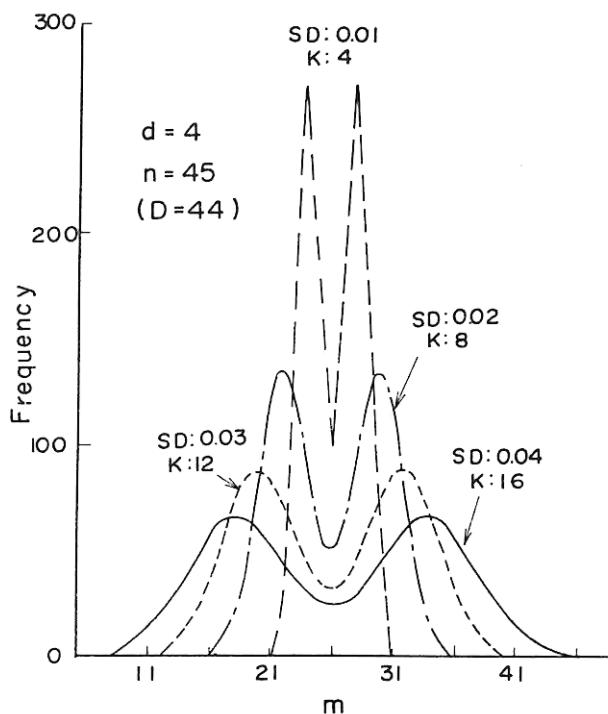


Fig. 13 Fig. 12 のときの  $f(y)$  の頻度分布

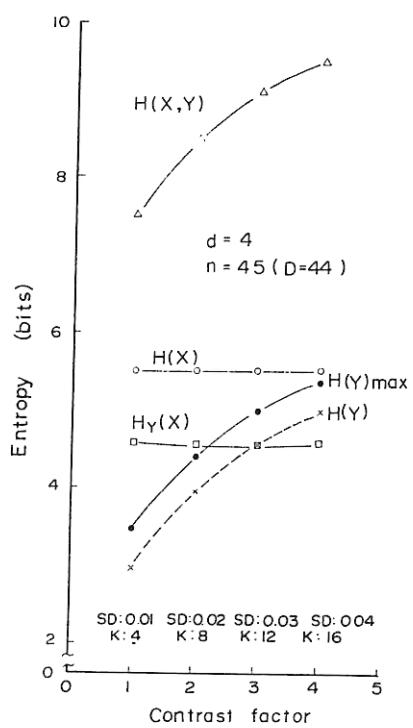


Fig. 14 コントラストファクター ( $\gamma$  に相当するような因子) と種々なエントロピーの関係

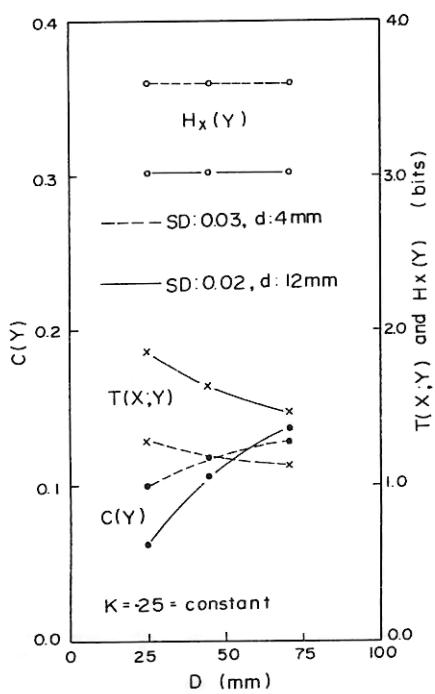


Fig. 15  $D$  と  $C(Y)$ ,  $T(X;Y)$  および  $H_x(Y)$  の関係。  
ただし、サンプリング間隔は 1 mm ( $n = D + 1$ )。

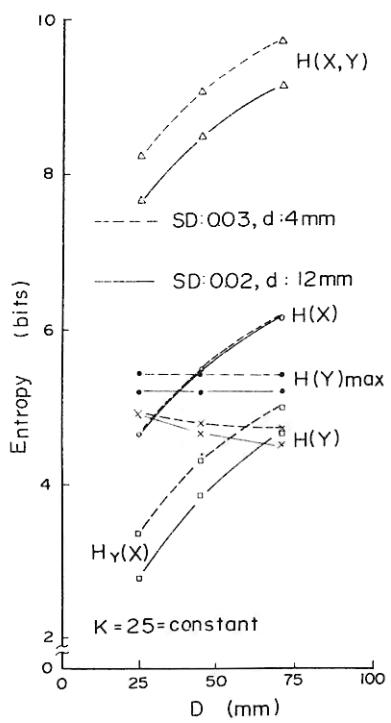


Fig. 16  $D$  ( $n = D + 1$ ) と種々なエントロピーの関係

## 〈編 集 後 記〉

画像通信第8号は、第11回分科会特集として、資料中心にまとめてみました。

放射線科医、技師、放射線物理学者が集った会議で、ある医師が、デジタル・ラジオグラフィが一般化すれば、鮮鋭度とか粒状性とかコントラストとかの画質論議はなくなってしまうという趣旨の発言をしていました。

また、ある研究者は、デジタル・ラジオグラフィの世の中で、撮影条件がどうの、管電圧や管電流がどうの、という時代ではなくなった。という意味の発言をしました。みなさんは、どう考えられますか。いみじくも日本航空のジェット機の墜落事故が、その解答を与えます。コンピューター万能という時代を否定しませんが、コンピューターを一人歩きさせてはいけないと思います。人間の理性がこれ程、重く必要とされている時代はないと私は思っています。みなさんは如何でしょうか。

( Y )

会費を納めて下さい。  
1,000円です。  
学会事務局宛で結構です。  
よろしくお願いします。

昭和57年3月1日 発行  
(社) 日本放射線技術学会  
画像分科会々長 内田 勝  
〒604 京都市中京区西ノ京北壱井町88  
二条プラザ内  
TEL 075(801)2238