〔第39回総会シンポジウム〕

5. 放射線医療画像の解析に関する問題点とその展望 —アナログ X 線写真系とデジタル X 線写真系—

富士写真フイルム株式会社宮台技術開発センター

高 野 正 雄

Key words: Radiographic system

ANALOG AND DIGITAL RADIOGRAPHIC SYSTEMS

MASAO TAKANO

Fuji Photo Film Co., LTD. Technology Development Center, Miyanodai

Summary

In the conventional picture quality assessment, analog images have mainly been dealt with. However, as the IC technology has made a great progress, new digital image formation systems are appearing aiming at processing images.

Picture quality assessment of these new digital images is studied and the following conclusions are obtained:

1. Even digital images can basically be assessed by the conventional analog image assessment method as long as the system characteristics are taken into account.
2. One the most important subjects in assessing picture quality is not to excessively rely upon "theory" far from clinical data.

1. 緒 言

1960年代の初めに「Fourie 解析による画質評価法」¹⁾が日本に取り入れられてから、約20年経過している。この間、MTFやWiener spectrumによる評価方法はX線発生装置から、増感紙、フィルムまでX線写真系全体についていろいろな角度から適用され、X線写真の画質改良に大きく寄与したことは誰もが疑うことのできない事実である。

また、総合画質評価法としてエントロピーや情報量^{2)~4)}についても物理的見地からいろいろと検討が加えられた。さらに、診断が人間のパターン認識から行われることから、視覚心理的統計手法であるROCによる評

価方法^{5)~8)}も取り入れられた。

このように日本の放射線技術学会での画質評価、解析研究は過去に類を見ないほど幾多の成果と進歩をもたらしたが、ここ数年の画質形成に関する技術進歩は早く、これらの評価、解析手法がそのまま適用できなくなりつつあるように見受けられる。たとえば、これまでわれわれが取り扱っている画質のほとんどはアナログ画像が主体である。しかし、ここ数年、ICの低コスト化が進み、CPU(計算機)を使った2次元のデジタル画像が多くなり、従来のアナログ画像の考え方では対処できない問題も出はじめています。

そこで、画質研究の現状と今後の方向について私見ではあるがまとめてみた。

2. 物理的評価方法の限界

現在のX線写真のほとんどが2次元のアナログ画像である。そして、これらの画像の特性は、

- ① エネルギーの入出力特性である特性曲線 (H & D 曲線)
- ② 空間周波数特性, MTF (レスポンス関数)
- ③ 空間的 noise 特性, Wiener spectrum (power spectrum)

の三つの因子で構成されていることは周知のとおりである。さらに、この三因子を用いて形成される画像の評価は、その系自身が線型であれば一画像の代表特性として評価することができる。この前提条件を満たしていれば、物理的には Fourier 解析による画像評価方法は完全に正しいといえ、同時にエントロピーや情報量を用いる総合的評価方法も有効と言えよう。

一方、X線写真は人間の視覚系によるパターン認識と過去の学習経験記憶との対比と判断を行なうところの「医療診断」に用いられる。この用法で診断結果と物理的評価方法が本当に良い一致をみているのかどうかは大変疑問である。報告者のこれまでの研究と経験ではおおむね一致である。その一例を次に示す。

Fig. 1 には水ファントム中に 5 mm ϕ のビーズ玉を入れ、X線コントラスト比を 1% にした像のいろいろな画像処理結果に関する ROC 曲線を示した。(…△…)印は通常のX線写真(画像処理なし)のROC曲線で、(…●…)印は診断能が上昇するように階調処理($r=2$ 倍 up)をしたときの ROC 曲線である。また(—○—)印は画像の微細部を見やすくするための空間周波数強調処理、すなわち、特定の空間周波数強調をしたものである。結果は図の如く、画像処理することでパターンの認識率の確度は大きく上昇している。

Fig. 1. Detecting power for microscopic X-ray absorbent is improved by the image processing—As assessed by the ROC curve.

以上の結果は従来の物理的評価方法からは、完全に説明できないことを示している。例えば、写真像を構成している S/N 比は階調処理をしても、空間周波数処理をしてもほとんど変化しないと言える。

Fig. 2 は空間周波数強調処理をしたときの例を示した。この写真からもわかるように空間周波数強調処理をすると明らかにノイズが増えるが、パターンは認知しやすくなる。このようなことは実際のX線写真でも言える。Fig. 3 には一部を Fig. 2 と同様に極低空間周波数強調した胸部写真の一部を示したが、画像処理によりノイズは多くなるが、認知しやすい写真へと作りかえることができる。

従来、われわれはX線写真の画質を考える時、MTFが高く、ノイズの少ないものが良いと考え、総合評価を

Fig. 2. (B) was obtained by processing (A) in the spatial frequency emphasizing method. (B) includes larger noise level but obviously is easier to detect the pattern.

Fig. 3. Radiography (B) is obtained by processing (A) in extralow spatial frequency emphasizing method.

Fig. 4. Comparison between visual and physical assessments (Good correlation is observed in general but, regarding A, B, C and D, only A and C can be discriminated.)

試みてきていた。しかし、ここに示した例は視覚系を通した人間のパターン認識は複雑で、粒状性が粗くなっても信号が明瞭になることの方が認知しやすい、すなわち「診断」しやすいことを示している。この事はわれわれがあまりにも物理的評価方法に走りすぎていたことの重要性を認識しなければならないのではないかと考える。

物理的評価法は数値で表わせ、誠に明確である。しかし、同時に自分達の都合の良い解釈をするという誤りをしてしまうこともある。Fig. 4は物理的評価値と視覚的評価値との対応の一例を示したが、全体的には非常に良い対応をしていると言える。しかし、AとB、DとCの差は判断できず、AとCのみがやっと判断できる。われわれが日常現場でフィルムやスクリーンあるいはシステムを評価している差はA, B, C, D位の差の中で行っているのではないだろうか。

視覚的評価と対応のない物理的評価方法は何の意味も持たないことは当然のことである。だとすると、この微小範囲の差をいかに評価するかが問題と考えられる。視覚的評価は誤差も大きく、かなり繰り返し実験をしなければ精度の良い評価はできない。その意味で実用域での評価方法の精度の追求が重要と考えられる。

最近話題になっているデジタル・ラジオグラフィ (digital radiography) の手法はデジタルであるが、実際の写真はアナログに近いものである。コンピュータを使ったこれらのシステムをいかに評価するかの問題もあるが、逆にこれらのシステムを使って、従来写真の精

度の良い評価方法や先に述べた画像処理による診断しやすい画像への画像再生等を研究するのも画質評価研究者の仕事ではないかと考える。

3. 画像のデジタル化と画質評価

画像をデジタル化する場合の基本には空間的デジタル化とエネルギー (明るさ、濃度) のデジタル化とがある。Fig. 5にその一例を示した。Fig. 5のAは空間的なデジタル化を大きくとりすぎ、一つ一つの短形パターンにより解像力が低下している。一方、Bは空間的なデジタル化は小さくとったのは良いが、エネルギー (この場合は濃度) のデジタル化が粗く、低濃度部でまだら模様 (一種のアーチファクト) が出現している。両方のデジタル化を細くとれば、漸次アナログの画像に近づき、このような問題は起らない。すなわち、極端に言えば、デジタル化は一般的に原画の持つ情報量を低下させる方向であると言える。最近良く聞く話であるが、デジタル化

(A)

(B)

Fig. 5. Digitization of image. (A) is too much spatially digitized and the energy of (B) is digitized too roughly.

〔第39回総会シンポジウム〕 5. アナログX線写真系とデジタルX線写真系 (高野)

すると情報量が増えるがごとき感じを持っている人が多いが誤りであることを認識する必要がある。通常、われわれはデジタル化する場合、少なくとも必要最小限にデジタル化することが計算機の負担を軽減し、経済的な効率を上げることに注意しなければならない。

さて、それではX線写真のデジタル化はどのくらいにとれば良いかということになる。そこで Fig. 6 のようなフィルム画像解析機を使い、各種のX線写真を2次元

System	Read	Write
Input type	Photographic film, paper	Analog signal magnetic tape
Output type	Analog signal magnetic tape	Scanner film
Max. size (cm)	35.6×43.2	35.6×43.2
Density range	0~3 O.D.	0~3 O.D.
Samp. raster (pixel/mm)	40, 20, 10, 5	40, 20, 10, 5
Apertures (microns)	25, 50, 100, 200	25, 50
Gray levels	256, 4, 096	256, 4, 096

Fig. 6. Block diagram of the image analyzer and the specifications.

的に Fourier 変換し、0~1 l/mm, 0~2.5 l/mm, 0~5 l/mm と空間周波数の範囲を順次広げた写真を再現し、もとのX線写真と一緒に放射線医に診断していただいた。その結果を Table 1 に示した。

結論は、空間周波数は最大 5 l/mm まで、すなわち 100 μ 画素、また濃度分解能〔エネルギー分解能は 8 ビット (256 レベル)〕あれば、デジタル化しても診断に耐えうろという結果が得られた。

このように、高精度の画像解析装置と物理データを実際の写真に再生して、臨的に判断することにより、視覚的(診断)評価値と物理的データとを精度良く結びつけることができる。画質評価研究にはこのような両者の結

Fig. 7-(A) An example of spectral analysis using the image analyzer.
(A) Original picture

Fig. 7-(B) 2-dimensional fourier transform pattern of inside (A).

Fig. 7-(C) Radiograph reprinted with 0-0.5 l/mm.

Fig. 7-(D) Radiograph reprinted with 0.5-2.5 l/mm.

Fig. 7-(E) Radiograph reprinted with 2.5-5.0 l/mm (substantially no signal).

合が基本ではないかと考えられる。

画像診断分野でデジタル画像が広く使われはじめた現在、その画質に関する研究を早急に進める必要があるが、基本的にはアナログ画像であろうとデジタル画像であろうと視覚的画質の構成要因は、

Table 1. Relationship between diagnosability and concentration resolution and number of scanning lines.

(1/2)

症 例 濃度 ビット 走査 線数	#21 サルコイ・ ドーシス			#27 大腸炎			#42 一般胸部		
	8	7	6	8	7	6	8	7	6
20 l/mm	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
10 "	○	×	×	◎	◎	◎	◎	○	×
6.7 "	◎	○	×	◎	○	×	◎	◎	×
5.0 "	○	×	×	◎	○	×	◎	△	×
2.5 "	△	×	×	×	×	×	×	×	×

画質構成要因—鮮鋭度 (MTF)
—粒状性 (Wiener Spectrum)
—階調 (r)
—(コントラスト分解能)

の因子で構成されている。ただ、デジタル画像形成システムの画質を検討する時に、デジタル特有の要素を考えておく必要がある。例えば、

- エネルギーのデジタル化レベル
- 空間的デジタル化のレベル
- システムの量子効率

等がある。さらにデジタル画像形成システムは、当然のことながら、画像処理機能やスポット走査機能 (ex. レーザーや電子線)、信号伝送機能を有しているので、

- 電気信号化をするため、あるいは画像を可視化するための時系列走査機構の特性
- 空間周波数フィルタ特性
- システムの光学的、電気的ノイズ特性

等を考えに入れておけば良く、前述したようにアナログでの評価、解析手法を使って何ら問題ないと考えられる。一例を次に示す。

今、オリジナル写真系の周波数特性 (MTF) を D_0 とし、ボケの周波数特性を D_{us} として D_p を定義する。

$$D_p = D_0 + K \times [D_0 - D_{us}]$$

K を変化させるとオリジナル画像に応じた異なるエッジ強調画像を作り出すことができる (Fig. 8 参照)。Fig. 8(D) の D_p は画像処理時の「空間周波数フィルタ特性」と呼ばれるもので、オリジナル写真の D_0 (すなわち、MTF) に対応するものである。このように作られた写真を Fig. 9 に示したが、「ORIG」は D_0 で「PROC」は D_p が MTF に相当するものである。このようにデジタルの画像処理を実行する場合も従来の考え方を拡張する

〔第39回総会シンポジウム〕 5. アナログX線写真系とデジタルX線写真系 (高野)

Fig. 8. An example of generating spatial frequency filter characteristics during image processing. D_0 : Original spatial frequency. D_{US} : Spatial frequency of blur mask. D_P : Spatial frequency filter characteristics of image processing (R_P and F_P are determined by K and the blur mask D_{US} in use).

Fig. 9. Example of processed image. (A) Original radiograph. (B) Radiograph after the image processing.

ことで良い。

4. ま と め

IC 技術の発展は世の中の各分野に大きな変革をもた

らしているが、画像診断分野においても例外ではなくなってきた。本来、われわれの取り扱う画像はアナログ画像が理想であり、画像のデジタル化は診断のための計算処理、通信、信号化としての記録保存、検索等に有効と考えられるため、その研究開発が行われてきたと言える。その意味で、デジタル画像の画質評価方法は従来確立されてきた評価方法が基本となるべきもので、デジタル画像形成プロセスの過程で生ずるデジタル特有の要因を研究し、取り入れることで良いのではないかと考えられる。ただし、従来、画質評価法の研究が理論に走りすぎ、臨床面での評価が少なかった。当学会において、各デジタル画像形成システムに関するこの方面の臨床研究とその物理的評価研究とが今後数多く報告されることを期待したい。

尚、シンポジウムの準備のために御協力いただきました富士写真フィルム K.K. 宮台技術開発センターの皆様感謝いたします。

文 献

- 1) 内田 勝, 山下一也, 稲津 博: 画像工学通商産業研究者, (1978).
- 2) 内田 勝: 最大情報量撮影について (I). 撮影像評価の定量化, 日放技学会誌, **15**, 77, (1959).
- 3) Hitoshi Kanamori: Information capacity of radiographic images. Jpn. J. Appl. Phys., **7**, 4, (1968). [小野茂他訳: 心理学と情報理論], (1968).
- 4) 金森仁志: X線撮影系への情報理論の適用. 日放技学会誌, **33**(4), 508-514, (1977).
- 5) Goodenough DJ, Rossmann K, Lusted LB: Radiographic applications of receiver operating characteristic (ROC) curves, Radiology, **110**, 89-95, (1974).
- 6) Goodenough DJ, Rossmann K, Lusted LB: Radiographic applications of signal detection theory. Radiology, **105**, 199-200, (1972).
- 7) Metz CE, Goodenough DJ, Rossmann K: Evaluation of receiver operating characteristic curve data in terms of information theory, with applications in radiography, **109**, 297-303 (1973).
- 8) 山下一也, 他: ROC 曲線によるフィルム-増感紙系の評価, 放射線像研究, **6**(1), 30-35 (1976).