

医用画像における画質評価指標としてのフラクタル特徴距離の有用性
Usefulness of Fractal-Feature Distance as Performance Index
for Evaluating Image Qualities of Medical Radiography

今井 國治*¹
Kuniharu Imai

池田 充*¹
Mitsuru Ikeda

遠地志太*²
Yukihiko Enchi

新美孝永*¹
Takanaga Niimi

1. まえがき

従来、医用画像の画質は、MTF や NPS とった方法で評価が行われてきた。しかし、医用画像のデジタル化が進む中、これまではなかった様々な問題点(主として Aliasing や Shift-invariance に関する問題)が付加されてきたため、従来の方法による画質評価が困難となってきた。さらに、これらの評価結果は、臨床現場で重要視されている視覚評価とうまく一致しない。そこで、筆者らは、これらの問題点を解決すべく、新しい画質評価法の構築を目指して研究を押し進めてきた。その結果、フラクタル解析がその有力な手法になるのではないかと提案してきた⁽¹⁾。そこで今回、その一環として、画像認識の分野で新しく提案されたフラクタル特徴距離と呼ばれる類似度を画質の評価指標として適用し、これを用いた新しい画質評価法を考案した。さらに、この方法による評価結果に妥当性があるか否かを検討するため、視覚評価法の一つである Contrast-Detail (C-D) 解析法による画質評価も実施した。本報告は、これらの結果をまとめたものであり、フラクタル特徴距離が、画質評価指標として臨床的に非常に有益なものであることを論じている。

2. ファントム画像及びフラクタル解析

図1は本研究で使用したC-Dファントムである。このファントムには、画像信号源として、円柱状に加工されたアクリル樹脂が内蔵されており、その直径及び高さは、各々0.5mm~6.0mm まで0.5mm ずつ12段階に変化させてある。これをイメージングプレート(IP)の上に配置し、さらにその上にノイズ源として厚さ8mmのアクリル樹脂板(PMMA)を固定した。このような配置の下、X線管電圧(140kVp)及び撮影距離(2m)を一定にし、X線管電流量(mAs 値:0.5~4.0mAs)のみを可変させてこのファントムの撮影を行った。こうして得られたファントム像(C-D画像)は、DAICOM形式のファイルとしてコンピュータに取り込んだ。

本研究では、仮想体積法と呼ばれる方法⁽²⁾を用いて、このC-D画像をフラクタル解析することにした。この方法は、濃度変動(濃淡)のフラクタル性に着目した方法で、今、一辺を r とする格子でこれらのC-D画像を分割することを考える。この格子の四隅の濃度を $f(x,y)$ 、 $f(x+r,y)$ 、 $f(x,y+r)$ 、 $f(x+r,y+r)$ とし、この中で最も低い濃度 $f(x,y)$ とすると、残り三隅の濃度変化は、それぞれ、 $f(x+r,y) - f(x,y)$ 、 $f(x,y+r) - f(x,y)$ 、 $f(x+r,y+r) - f(x,y)$ と表すことができる。ここで、この三つの濃度変化を高さとする仮想的な体積を考え、その仮想体積の平均値を $V(r)$ とすると、これらの解析対象にフラクタル性があれば次の関係式が成立する。

$$V(r) = \mu r^a \quad (1)$$

*1 名古屋大学医学部保健学科

*2 大阪大学医学部附属病院医療技術部

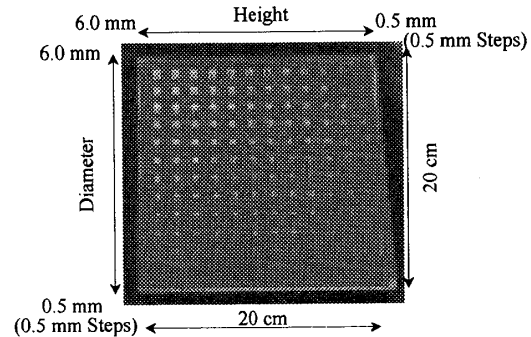


Fig. 1 C-D Phantom

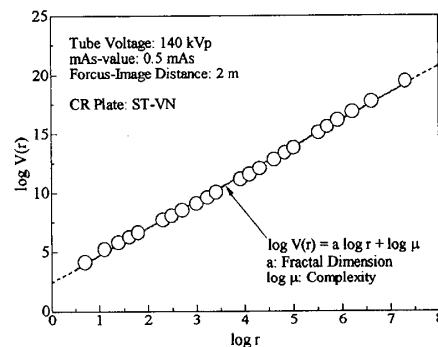


Fig. 2 Fractal Analysis Using Virtual Volume Method

つまり、

$$\log_{10} V(r) = a \log_{10} r + \log_{10} \mu \quad (2)$$

ここで、 a 及び $\log_{10} \mu$ はそれぞれフラクタル次元及び複雑度と呼ばれるパラメータである。そこで、まず、C-D画像のフラクタル性を確認するため、実際に仮想体積法によるフラクタル解析を行った。その結果を図2に示す。 $V(r)$ と r の間には、log-logスケール上で直線的な関係にあることが認められた($r \geq 0.999$)。このことから、本研究の解析対象であるC-D画像にはフラクタル性があることが明らかとなり、仮想体積法によるフラクタル解析が可能であることが示された。

3. フラクタル特徴距離の算出

フラクタル特徴距離は、フラクタルシーケンスと呼ばれる概念から生まれたもので、図2に示すフラクタル特性直線には、画像の重要な情報が全て含まれているという考えに基づいている⁽³⁾。これを画質と言う視点から考えると、解像力及び画像ノイズの情報もこの直線に含まれていると解釈できる。今、基準画像(本研究では4.0mAsの画像)及び解析対象画像のフラクタル次元及び複雑度をそれぞれ、 a_0 、 $\log_{10} \mu_0$ 、 a 、 $\log_{10} \mu$ とすると、フラクタル特徴距離 d は次式で定義される。

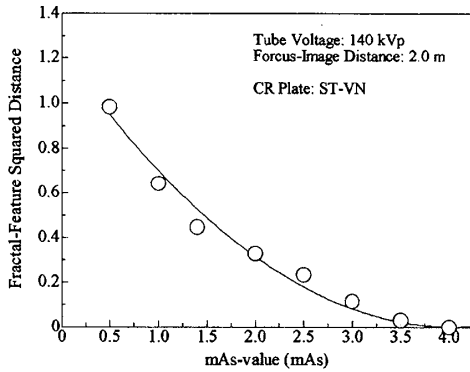


Fig. 3 Fractal-Feature Distance versus mAs Value

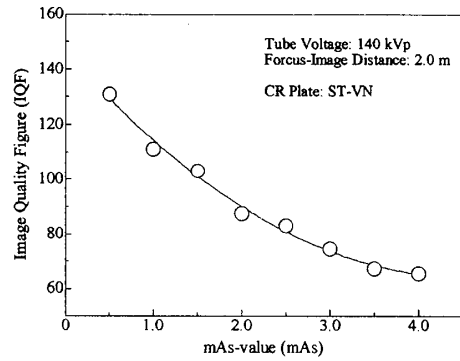


Fig. 4 Relationship between IQF and mAs Value

$$d = \sqrt{(a - a_0)^2 + (\log_{10} \mu - \log \mu_0)^2} \quad (3)$$

この式からわかるように、基準画像と解析対象画像との間の類似性が高ければ、この距離は短くなる。つまり、本研究のように同じ構図を対象とする場合、この類似度は画質の差として捉えることができる。

4. C-D 解析

C-D 解析法は、臨床現場で頻りに用いられている画質の視覚評価法の一つで、本研究では以下の手順に従ってC-D解析を行った。

まず、2節で述べた方法で得られたC-D画像を各mAs値に対し、それぞれ2枚準備した。これらの画像を放射線科医10名に観察してもらい、各信号径に対し、どの高さの信号まで検出できるかを判定してもらった。こうして得られた観察結果は、信号径と検出できた信号の高さ(平均値)との関係、いわゆる、C-Dダイアグラムの形でまとめた。その際、できる限り精度の良い結果を得るために、筆者らが考案したマルコフ連鎖型C-D解析法を用いて評価した⁽⁴⁾。

次に、C-D解析を用いて視覚評価する際、一般に、その評価指標としてImage Quality Figure (IQF)とよばれる代表値が用いられている。この指標は、次式で定義されており、

$$IQF = \sum_{i=1}^n D_i C_{imim} \quad (4)$$

D_i : 画像信号径(mm)

C_{imim} : 検出された画像信号の高さ(mm)

この値が小さくなればなるほど、視覚的に画質の優れた(つまり、コントラスト分解能に優れた)画像であることを示している。そこで、本研究でも、この慣例に従って、各mAs値に対するC-DダイアグラムからIQFを求め、これを指標とする画質の視覚評価を実施した。

5. 実験結果及び検討

図3にフラクタル特徴距離とmAs値との関係を示す。フラクタル特徴距離は、mAs値の減少に伴って、急激に大きくなりだしている。これは、基準画像との類似性が低くなり始めていることを示している。つまり、同じ構図の画像を対象としているにもかかわらず、フラクタル特徴距離が離れたと言うことは、画質の劣化が起きているものと考えられる。そこで、このことを検証するために、IQFによる画質評

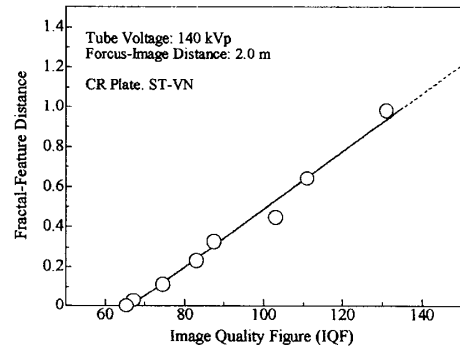


Fig. 5 Fractal-Feature Distance versus IQF

価も行った。その結果を図4に示す。この図においても、mAs値の減少に伴ってIQFの値は大きくなっている。以上のことから、フラクタル特徴距離は、画質を反映する物理指標であることがわかった。

では、このフラクタル特徴距離による画質評価がどの程度、視覚評価によるものと一致しているかを検討するため、この両者の関係を求めてみた。図5はフラクタル特徴距離とIQFとの関係を示したものである。両者の間には非常に良い直線性が存在し、その相関係数も $r=0.993$ と限りなく1に近い値を示した。このことから、フラクタル特徴距離はC-D解析におけるIQFと等価な物理指標であることが明らかとなった。

上述したように、臨床現場では、視覚評価が非常に重要視されている。しかし、これを精度良く行うためには、多くの画像を多人数の観察者で、繰り返し評価する必要がある。これは非常に手間と労力を要する作業で、臨床現場ではなかなか実施できない。ところが、本研究で提案したフラクタル特徴距離による評価を行えば、視覚評価を行ったことと同じことになり、手間のかかる視覚評価を行わなくて済む。以上のことから、本研究で提案したフラクタル特徴距離による画質評価法は、臨床的に有益であることが示唆され、画質評価に費やす労力も著しく軽減できるのではないかと考えられる。しかし、まだ改善すべき点も若干あり、更なる検討が必要であると筆者らは考えている。

参考文献

- (1) 今井、池田他 2005年電子情報通信学会ソサエティ大会 A-6-20
- (2) 掛村他、信学論、Vol. J80-D-II、No. 9、p2411(1997)
- (3) 望月他、映像情報メディア学会誌、Vol.57、No. 6、p719(2003)
- (4) K.Imai, M. Ikeda, et al, Academic Radiology, Vol. 13, p152(2006)