

見かけの Noise SD を用いた CT 画像のノイズ評価

Quantitative Evaluation of Image Noise on CT Images

Using New Concept of "Apparent Noise SD"

森 政樹[†] 今井 國治[‡] 山元 勇輝[‡] 内藤 啓介[‡] 川浦 稚代[‡] 藤井 啓輔[‡]
 Masaki Mori Kuniharui Imai Yuki Yamamoto Keisuke Naito Chiyo Kawaura Keisuke Fujii
 池田 充[‡] 遠地 志太[§] 西本 卓矢[†] 米田 和夫[†]
 Mitsuru Ikeda Yukihiko Enchi Takuya Nishimoto Kazuo Yoneda

1. はじめに

CT 画像の画質を評価する上で、ノイズは重要な解析対象の一つである。一般に、CT 画像上のノイズは、CT 値のバラツキと定義されており、臨床画像を対象としたノイズ評価では、CT 値の標準偏差、いわゆる Noise SD を用いた評価が頻繁に実施されている。しかし、Noise SD による客観的評価は、視覚による主観的評価と必ずしも一致するとは限らない。たとえば、現在、筆者らが検討を行っている確率共鳴の発現において、周波数帯域の異なるノイズを CT 画像に付加した際、Noise SD が同じであるにも関わらず、外見上、その強度が明らかに異なることがある[1]。さらに、実際の臨床においても、診断目的に応じて適用される画像再構成関数や画像処理の影響により、この問題が生じる可能性が十分考えられる。以上のことから、視覚と類似した評価結果を与える物理指標を考案することは、临床上、極めて有益である。

そこで本研究では、「見かけのノイズ」と言う概念を導入した Noise SD (以降、「見かけの Noise SD」と呼ぶ) 測定法を考案した。さらに、この測定法を様々なノイズを付加した CT 画像に適用し、その妥当性について検証した。

2. 解析対象画像

本研究では解析対象画像として、現在、確率共鳴の検討で使用している CT 画像を用いることにした。この対象画像は、高コントラスト分解能測定用ファントム画像 (100 画像) に様々なノイズを付加して作成したものであり、今回、全ての画像に対し、 $\sigma = 300$ [Hounsfield Unit] のノイズを付加し、後述するウインドウ処理画像上で、従来の Noise SD が同じになるようにした。(Noise SD = 121.6) また、CT 画像に付加したノイズは、白色ガウスノイズ及び以下に示す二種類の空間周波数帯域制限型ガウスノイズ (1) 低周波ノイズ、及び、(2) 高周波ノイズ) であり、この二種類のノイズは、白色ガウスノイズをもとに作成した。

- (1) 中心周波数: 50 [cycle/mm], 周波数帯域: 100 [cycle/mm]
- (2) 中心周波数: 250 [cycle/mm], 周波数帯域: 100 [cycle/mm]

3. “見かけの Noise SD” 測定方法

通常、CT 画像におけるピクセルの値は、CT 値と呼ばれる X 線線減弱係数をもとに算出された値となっている。そのため、モニタ上のノイズ強度を定量評価する場合、輝度、もしくは、これを反映した値を用いて解析する必要がある。そこで、本研究で提案する見かけの Noise SD の測定では、解析対象となる CT 画像をモ

ニタ上で表示されている画像と同じように、256 階調のウインドウ処理を施し、これに対応した。

一般に、人間がノイズによる「ざらつき感」を視覚的に認知する場合、画像上の一点で判断するのではなく、ある程度の領域を平均化もしくはフィルタリング処理して、判断していると言われる。また、画像認知とピクセル値の関係において、ピクセル値の平均や分散と言った統計学的モーメントが、画像認知と深く関連しているとも言われている[2]。そこで本手法では、これらの報告を考慮し、以下の手順に従って、本研究で提案する見かけの Noise SD を求めた。

- (1) 解析対象画像上に 50×200 [pixel] の関心領域を設定した。
- (2) この関心領域内で、横幅 1 [pixel]、縦幅 1~50 [pixel] を有する仮想的なスリットを走査させ、平均化した一次元ピクセル値 (200 [pixel]) プロファイルを取得した。
- (3) このプロファイル内のピクセル値を確率変数とし、以前、筆者らが考案した Gauss 法を用いて見かけの Noise SD を求めた[3]。では、見かけの Noise SD を求める際に使用した Gauss 法について簡単に説明する。

Gauss 法とは、ノイズが正規分布に従うと言う統計的性質を利用した Noise SD 算出法で、対象となるピクセル値 (確率変数) をすべて正規確率分布紙上にプロットし、ノイズに起因するピクセル値が、確率紙上で直線分布になる性質を利用して、(1)式から Noise SD を求める方法である。

$$\Phi^{-1}(F(x)) = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

$\Phi^{-1}(F(x))$: ピクセル値 x に対する逆正規分布関数値

μ : 平均ピクセル値

σ : ピクセル値の標準偏差 (ここでは、見かけの Noise SD)

しかし、(1)式で定義された関係を求めるには、累積確率 $F(x)$ を求める必要がある。これまでの研究で、確率変数が正規分布に従うことが既知の場合、順序統計学に基づく対称ランク法が最も精度良く累積確率の推定が行えると言われている。そこで本研究でも、対称ランク法を用いて累積確率を求めることにした。(2式)

$$n = \frac{i - 0.5}{n} \quad (2)$$

$F(x)$: i 番目に大きい確率変数に対する累積確率

n : サンプルサイズ

4. 検証結果および考察

前節で示したように、ノイズに起因するピクセル値変動には、正規分布に従うと言う統計学的特性があり、画像認知に関しても、ピクセル値の統計学的モーメントと密接な関係があることを述べた。これらのことを考慮に入れると、

[†] 名古屋大学医学部附属病院,
Nagoya University Hospital

[‡] 名古屋大学医学部保健学科,
Nagoya University School of Health Sciences

[§] 大阪大学医学部附属病院,
Osaka University Hospital

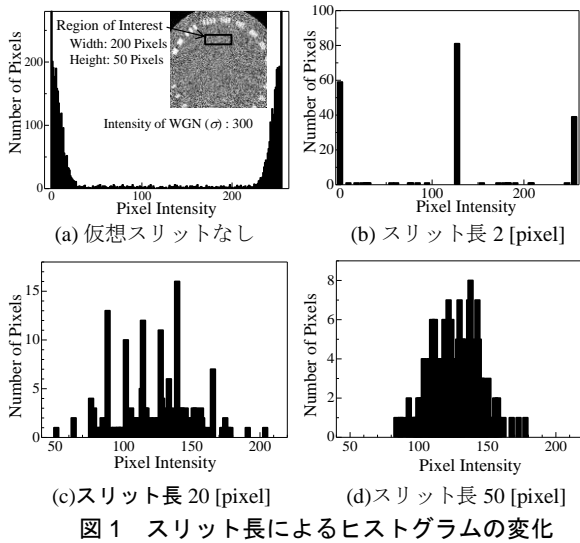


図1 スリット長によるヒストグラムの変化

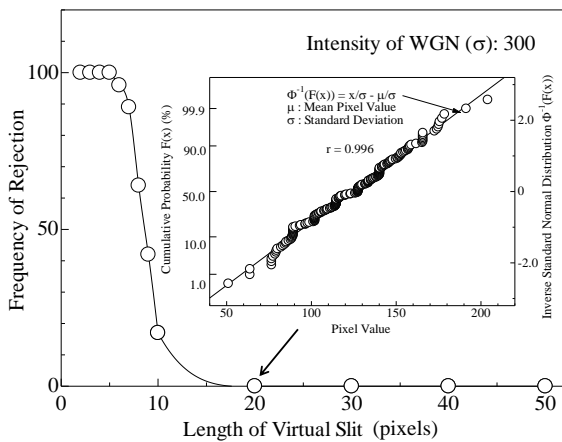


図2 Kolmogorov-Smirnov 検定による正規性の検証

ノイズの認知においては、ピクセル値の正規性が深く関与しているのではないかと考えられる。そこで今回、画像上の均質な部分に関心領域(図1(a)内のファントム画像)を設定し、その領域内のピクセル値の正規性を検討した。

図1は、白色ガウスノイズをCT画像に付加した際に得られたヒストグラムの一例である。図1(a)に示すように、従来の方法(縦幅: 1[pixel])でサンプリングしたピクセル値は、0及び255付近に集中しており、明らかに正規分布から逸脱した形状となっている。この結果は、残り二種類のノイズでも同様であった。このことから、この正規性の消失が原因で、従来のNoise SDによる評価結果と視覚評価との間に大きな差が生じるのではないかと考えられる。

しかし、図1(b)~(d)でわかるように、スリットの縦幅(スリット長)を増加させるに従って、ヒストグラムの形状は、徐々に正規分布に近づいている。そこで、これらのピクセル値分布に正規性が存在するのかを検討するため、Kolmogorov-Smirnov (KS)検定を実施した。その際、有意水準は5 [%]とし、100 画像全てのヒストグラムに対してKS検定を行った。図2はスリット長とKS検定による棄却回数との関係を示したものである。この図に示されているように、スリット長 20 [pixel]以上で、棄却回数が0 となった。これはスリット長 20 [pixel]以上で取得したピクセル値分布には、正規性があることを示している。実際、20 [pixel]以上の仮想スリットで取得したピクセル値を正規確率分布紙上にプロットしたと

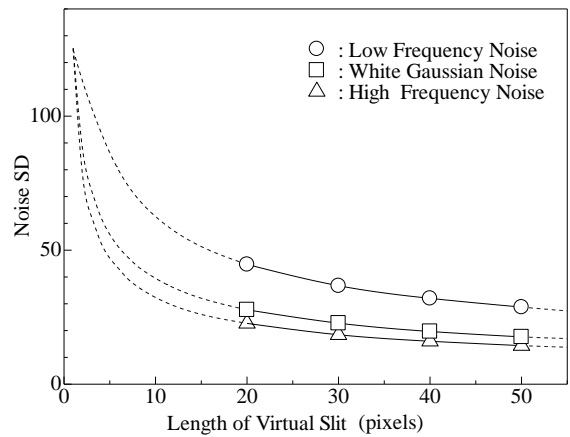


図3 スリット長と Noise SD との関係

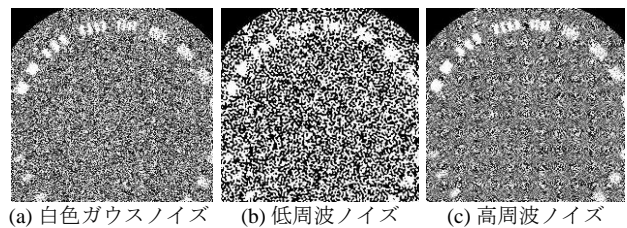


図4 ノイズ付加画像 (WL: 100 HU, WW: 40 HU)

ころ、ピクセル値は直線的な分布となった。(図2内の右上図)このことから、20 [pixel]以上のスリット長を用いてサンプリングすると、そのピクセル値には正規性が現れることが示され、視覚と類似したノイズ評価が行えるのではないかと考えられる。

では、この正規性に基づいて、本研究で提案する見かけのNoise SDによる解析を行う。図3は、三種類のノイズに対する見かけのNoise SDとスリット長との関係を示したものである。ノイズの種類に関係なく、見かけのNoise SDはスリット長と共に減少した。さらに、どのスリット長においても、高周波ノイズ、白色ガウスノイズ、低周波ノイズと言う順にノイズが高くなり、その大小関係も、常に同じ比率となっている。たとえば、スリット長20 [pixel]で評価した場合、低周波ノイズを付加した画像は463、白色ガウスノイズは28.1、高周波ノイズでは23.1であった。今回、評価対象となった三種類の画像は、全て同じNoise SDになるように設定されていることを考慮に入れると、これは注目に値する結果であると思われる。そこで、この評価が妥当なものであるかを検証するため、視覚による画像認知を実施した。図4は、今回の評価対象画像である。各画像から受けるノイズ強度の視覚的印象は、高周波ノイズ、白色ガウスノイズ、低周波ノイズの順に大きくなっていく。このことから、見かけのNoise SDによる評価は、視覚による主観的評価と類似した結果を与えることが示された。さらに、仮想スリットによって平均化されたピクセル値の正規性とノイズの認知との間には何らかの相関があることも示唆されるが、詳細については、今後の検討課題としたい。

以上の結果から、本研究で提案した見かけのNoise SDによるノイズ評価には妥当性があり、本手法により、視覚と類似したノイズ評価が可能であることが示された。最後に本研究は、日本学術振興会(基盤研究(C))の助成を受けて行われた。

参考文献

[1] 山元他, 2015年電子情報通信学会総会予稿, A-21-1
 [2] I.Motoyoshi, et al, Nature, Vol.447, No.10, (2007)
 [3] M.Mori, et al, Electr. Commun. Jpn. Vol.96, No.7, (2013)