

医用画像工学実験

NEQ・DQE 編

- 内容

- NEQ・DQEの解説

- 実験

1. 特性曲線の作成 & 考察

2. MTFの作成 & 考察

3. WSの作成 & 考察

4. NEQ・DQEの作成 & 考察

対象モダリティ: Computed radiograph (CR)

検出器: イメージングプレート (High resolution type, Standard type)

画質が異なる画像例



コントラスト 劣
鮮鋭性 普
粒状性 普



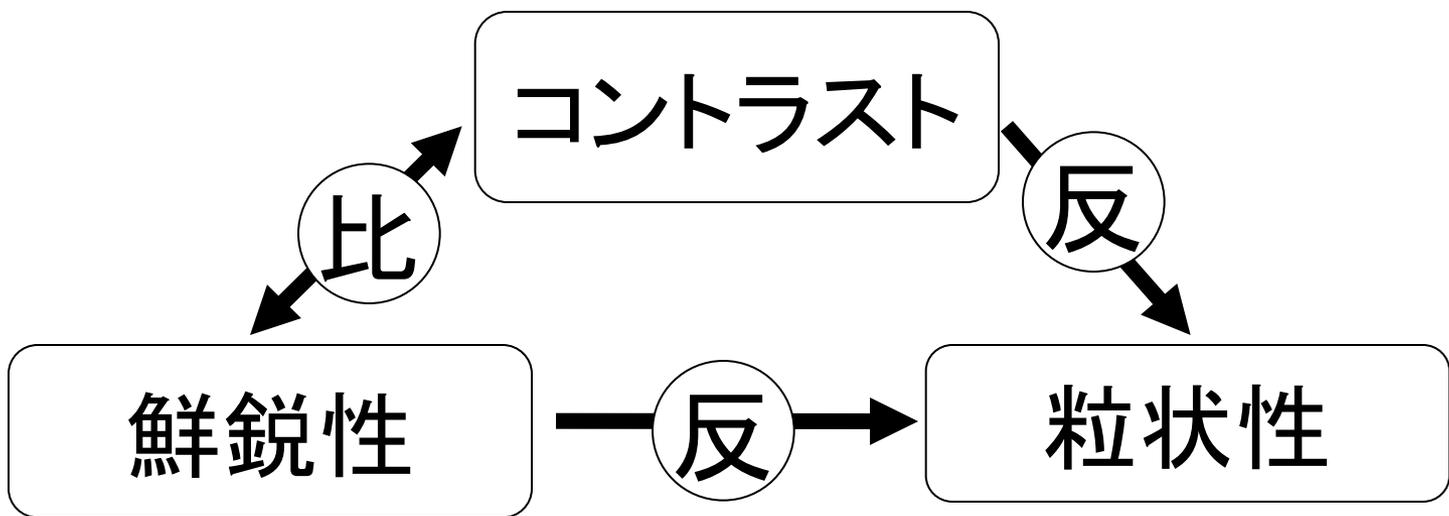
コントラスト 優
鮮鋭性 優
粒状性 劣



コントラスト 普
鮮鋭性 劣
粒状性 優

医用画像の画質

- コントラスト, 鮮鋭性, 粒状性の要因が互いに密接に関わり合って形成されている.



増感紙-フィルム系での3要因の関係
デジタル画像処理系でもおよそ成り立つ

画質に影響する因子

- コントラストに影響する因子
 - 管電圧(線質), 被写体厚, 付加フィルタ, グリッド(散乱線)
- 鮮鋭性に影響する因子
 - 管球焦点の大きさ, 撮影距離, グリッド(散乱線), 被写体コントラスト(線質と被写体厚に関係有り)
- 粒状性に影響する因子
 - X線光子数(線量: 管電流), 検出器の構造

画質要因の物理評価尺度

- コントラスト, 鮮鋭性, 粒状性
- 3種類の画質要因は,
 - 特性曲線
 - MTF (modulation transfer function)
 - WS (Wiener spectrum)という物理評価尺度で個別に記述することができる.

個別ではなく, 総合的な画質は評価できないだろうか.

画像生成系のS/N(信号対雑音比)に着目した物理評価尺度

NEQ

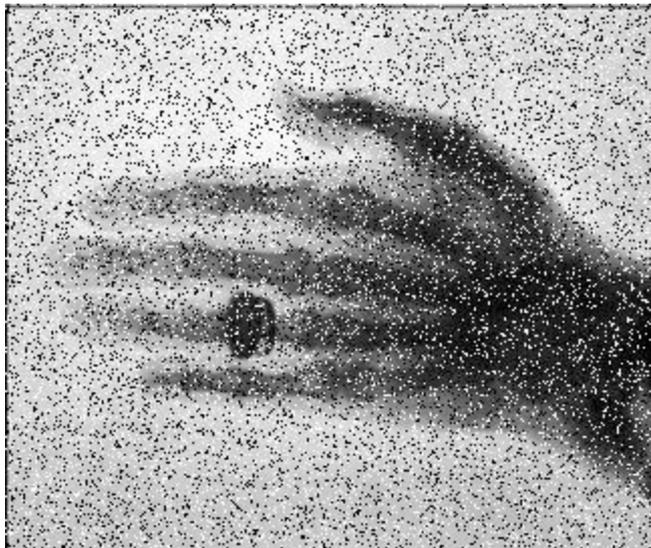
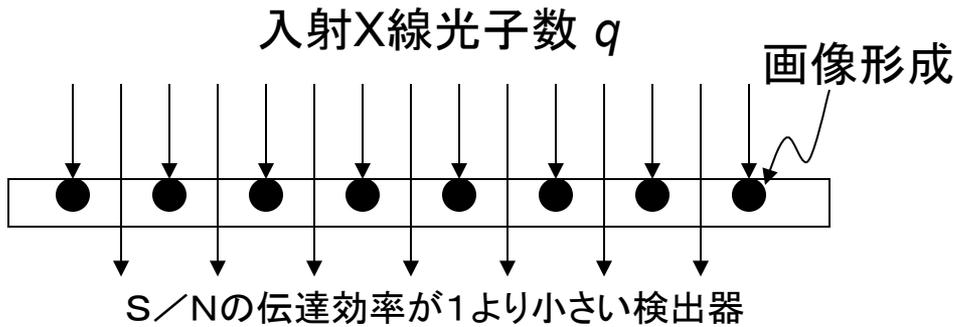
- Noise equivalent quanta
- 雑音等価量子数
- 画像の形成に寄与したX線光子数

DQE

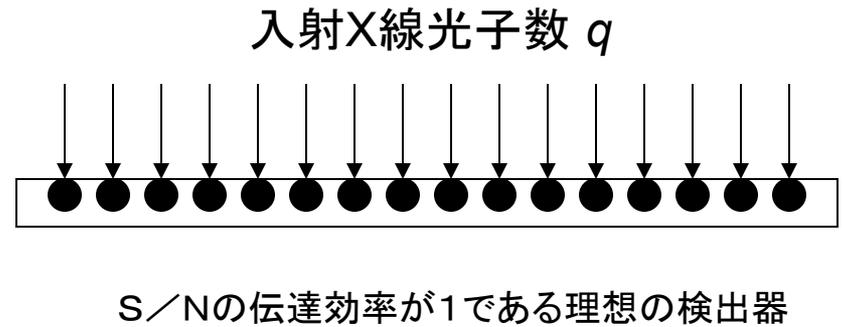
- Detective quantum efficiency
- 検出量子効率
- 画像の形成に寄与したX線光子数を単位面積あたりの入射X線光子数で規格した値

NEQ

- 画像の形成に寄与したX線光子数 (q')



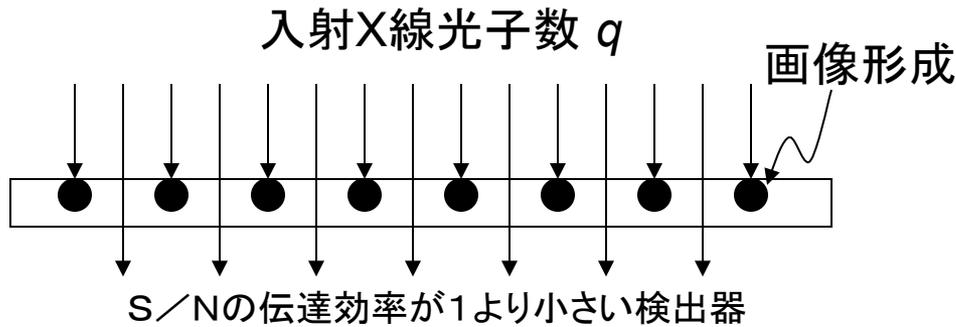
$$q' < q$$



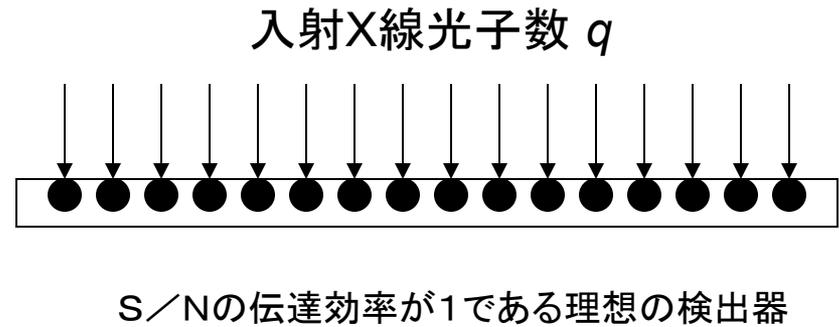
$$q' = q$$

DQE

- 画像の形成に寄与したX線光子数 (q') を単位面積あたりの入射X線光子数(q)で規格した値



$$q' < q \quad (\text{DQE} = q' / q)$$



$$q' = q \quad (\text{DQE} = q' / q = 1.0)$$

X線検出器の画像形成のしくみを表す模式図

$$MTF_{ideal}=1$$

理想的な検出器

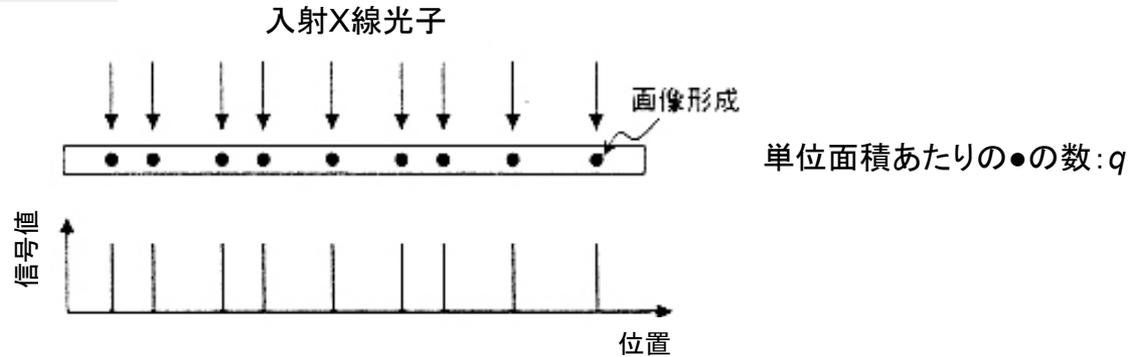
$$WS_{ideal}=1/q$$

$$NEQ_{ideal}=q$$

$$DQE_{ideal} = NEQ_{ideal}/q = 1$$

ディテクタ

出力信号

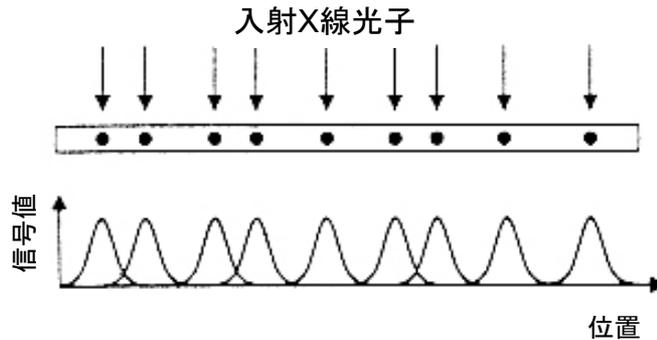


画像のボケを有する検出器

画像のボケを有し、かつS/Nの伝達効率が1より小さい検出器

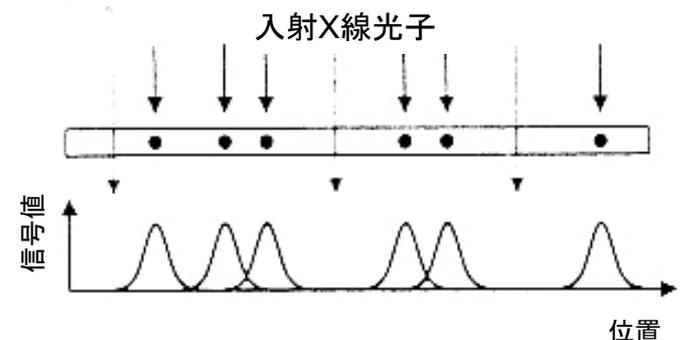
ディテクタ

出力信号



ディテクタ

出力信号



NEQの定義

NEQ = 出力(画像)のS/Nの二乗

$$\begin{aligned} &= (S/N)_{out}^2 \\ &= \left(\frac{q'}{\sqrt{q'}} \right)^2 = q' \end{aligned}$$

画像の形成に寄与したX線光子数 q' を信号成分(S)と考える.

X線光子の振る舞いがポアソン分布に従うとすると、ノイズ成分(N)は $\sqrt{q'}$ となる*1.

DQEの定義

DQE = 入力と出力のS/Nの二乗の比

$$\begin{aligned} &= \frac{(S/N)_{out}^2}{(S/N)_{in}^2} \\ &= \frac{\left(\frac{q'}{\sqrt{q'}}\right)^2}{\left(\frac{q}{\sqrt{q}}\right)^2} = \frac{q'}{q} = \frac{NEQ}{q} \end{aligned}$$

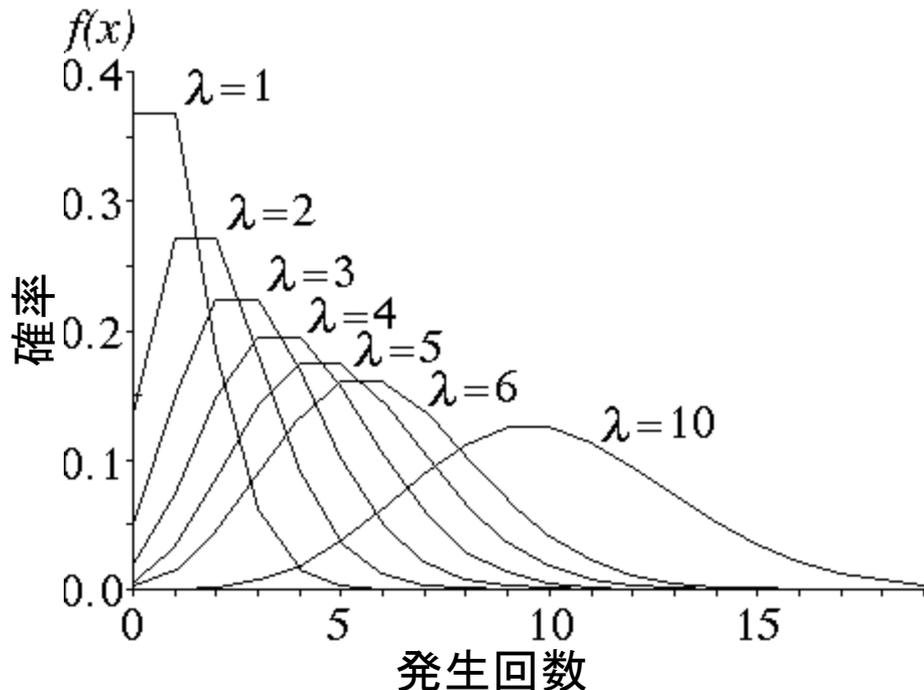
単位面積あたりの入射X線光子数 q を信号成分(S)と考える。

X線光子の振る舞いがポアソン分布に従うとすると、ノイズ成分(N)は \sqrt{q} となる*1。

DQEはNEQを単位面積あたりの入射X線光子数で除算した値

*1ポアソン分布

$$f(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$



- 単位時間中に平均で λ 回発生する事象がちょうど x 回発生する確率 (x は 0 を含む自然数、 $k = 0, 1, 2, \dots$)
- λ は正の実数、所与の区間内で発生する事象の期待発生回数に等しい。例えば、事象が平均で 2 分間に 1 回発生する場合、10 分間の中で事象が発生する回数は、 $\lambda = 5$ のポアソン分布モデルを使って求められる。(具体例: 交差点を通る車の台数 など)
- 平均と分散は λ に等しい

X線光子の振る舞い

- X線の発生は量子レベルで見ればポアソン分布に従う確率事象であることが知られている
- ポアソン分布に従う量子のゆらぎ成分の分散値は、単位面積あたりの入射量子数の期待値(平均値)と等しい
- したがって、ゆらぎ成分の標準偏差は平均値の平方根と等しくなる

NEQの定義式

NEQ = 出力(画像)のS/Nの二乗

$$= \left(S / N \right)_{out}^2 = \frac{(\text{出力信号})^2}{(\text{出力ノイズ})^2} = \frac{MTF^2(u)}{WS_{\Delta E/E}(u)}$$

出力信号の値を1に規格化した場合、(出力ノイズ)²は、単位面積あたりのノイズゆらぎ成分の分散のスペクトル(=WS)となる。ただし、実用的なWSの測定値は、系のMTFとグラディエントGによって変調された信号値に基づく測定値であるので、NEQは次式となる。

$$NEQ(u) = \frac{G^2 \cdot MTF^2(u)}{WS(u)}$$

DQEの定義式

DQE = 入力と出力のS/Nの二乗の比

$$= \frac{(S/N)_{out}^2}{(S/N)_{in}^2} = \frac{NEQ}{q}$$

$$DQE(u) = \frac{G^2 \cdot MTF^2(u)}{q \cdot WS(u)}$$

総合的画質評価尺度

- コントラスト特性曲線の傾きを表すG
- 解像特性を表すMTF
- ノイズ特性を表すWS

の3つの画質要因すべてを定義式に含んでいるので、NEQ・DQEは総合的画質評価のための物理評価尺度として考えられている。

$$DQE(u) = \frac{NEQ(u)}{q} = \frac{G^2 \cdot MTF^2(u)}{q \cdot WS(u)}$$

DQEの測定手順(デジタル系)

入出力特性曲線の傾き

グラディエントGの測定

Pre-sampling MTF

MTF_{pre}の測定

Digital winner spectrum

WS_{ΔP}の測定

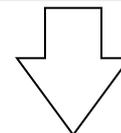
測定するか公表データを使用する

単位面積に入射したX線
光子数(q)の測定(推定)

$$DQE(u) =$$

$$\frac{[G \cdot (1 - k) \cdot (\log_{10} e)]^2 \cdot MTF_{pre}^2(u)}{q \cdot WS_{\Delta P}(u)}$$

$$q \cdot WS_{\Delta P}(u)$$



$$DQE(u) = \frac{MTF_{pre}^2(u)}{q \cdot WS_{\Delta E/E}(u)}$$

NEQとDEQの対比(1)

- どちらもS/Nの観点から画質を評価するための有用な評価尺度であるが.....
- NEQは、いわば「出来上がった画像の実力を示す評価値」である.
- X線量が増大すればその値は大きくなる.
- NEQは、適正濃度を得るための照射線量が自ずと定まるS/F系のようなシステム(検出から表示までを兼ねた系)に対しては、客観性が高い.

NEQとDEQの対比(2)

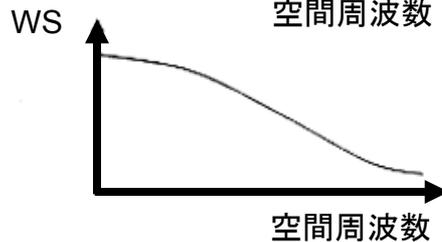
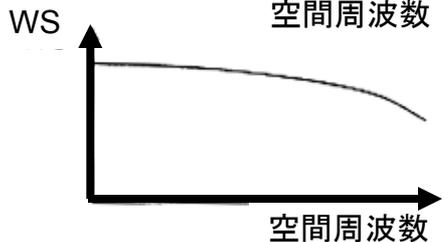
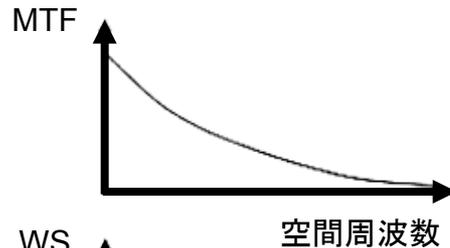
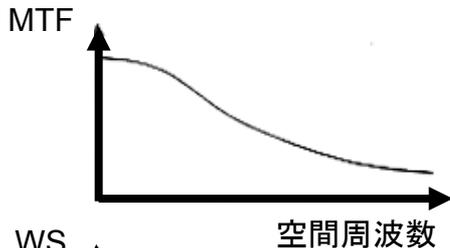
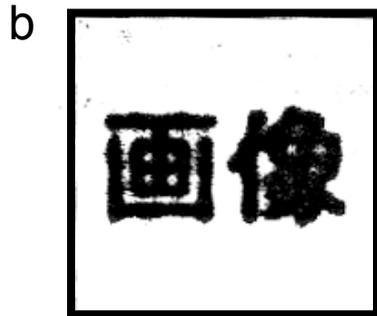
- 一方、デジタル系(検出・処理・表示が互いに独立した系)では、X線量を増減させても画像形成が可能なので、X線量によって増減するNEQの値を評価に用いるのは混乱を招く場合がある。
- つまり、デジタル系では、入力のX線光子数について規格された値であるDQEを用いるほうが便利である。

NEQとDEQの対比(3)

- DQEを「画像検出系の固有の検出効率に相当する評価値」と解釈して利用すれば、評価結果をシンプルに示すことができる。
- そうすれば、デジタル系において自由度の大きい画像処理や画像表示の影響を考慮する必要がない。
- DQEは撮影条件や出力条件にかかわらず使用できる評価尺度として重宝である。

DQEの限界(1)

- DEQ=「画質の良否を適切に反映する指標」と解釈するのは多少問題がある.



画像aのDQEと
画像bのDQEが
等しいならば、
画質は等しいと
言ってもよいのか？

DQEの限界(2)

- DQEは、鮮鋭性と粒状性のバランスに関する情報を与えない。
- つまり、DQEが同一であることは、必ずしも物理的画質が等しいことを意味しない。
- 2種類の画像を画像処理によって同等の画像に加工することが可能であれば、両者の画質は等しいと言えるが、それを可能にする技術は現実には存在しない。

まとめ

- 問題点を理解した上で、画質を表現するひとつの“めやす”として、NEQ・DQEを参考にすることは有益である。
- DQEのような検出器の物理評価尺度だけでなく、画像処理系、画像表示系、人間の視覚特性をも含めた総合的な画像品質を考慮することが大事である。
- 臨床医学的見地からの評価も必要である。