

# 画像評価 [画質の3要素]

- コントラスト(入出力特性)

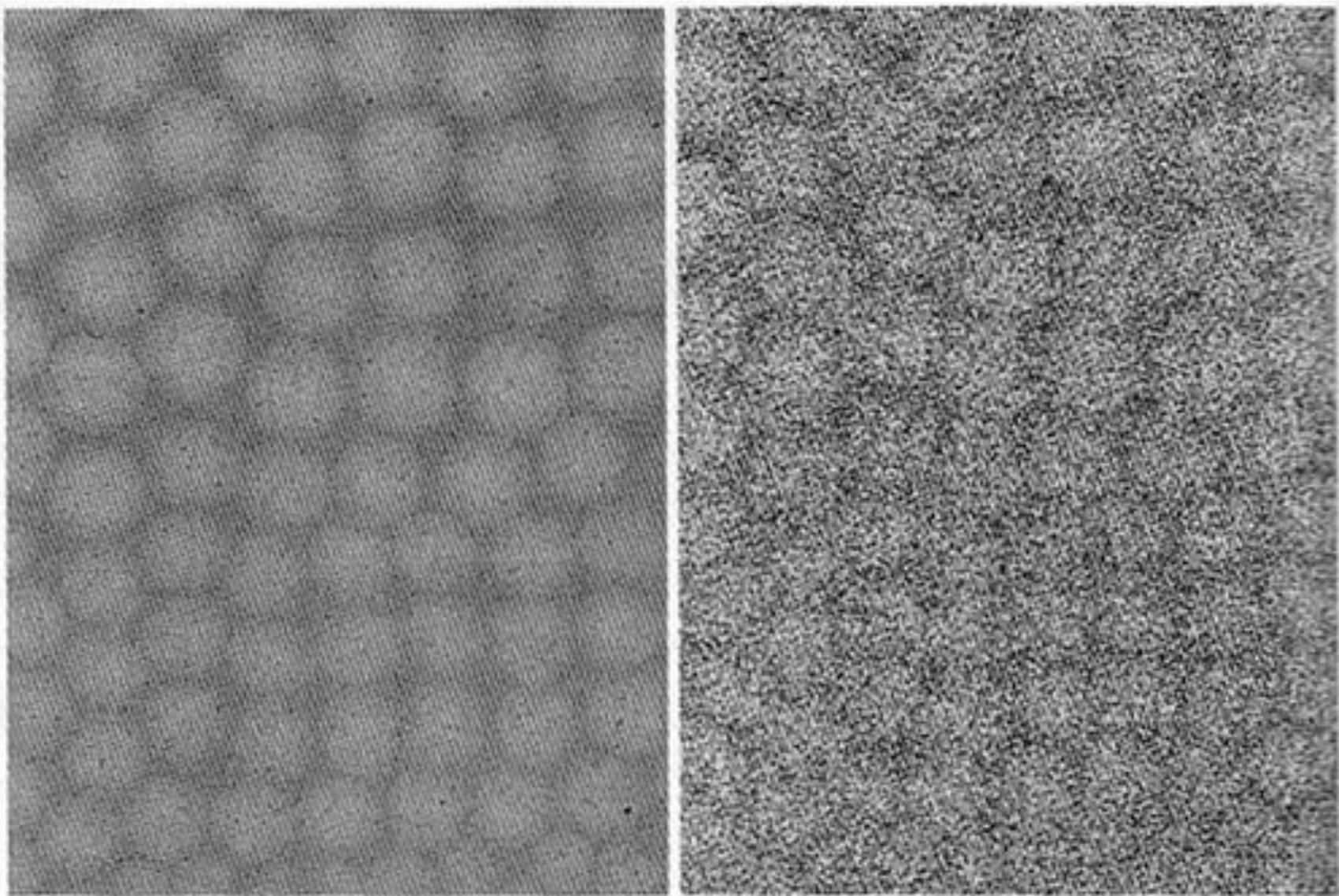
隣接する2部分の濃度の差

- 鮮鋭度(解像特性)

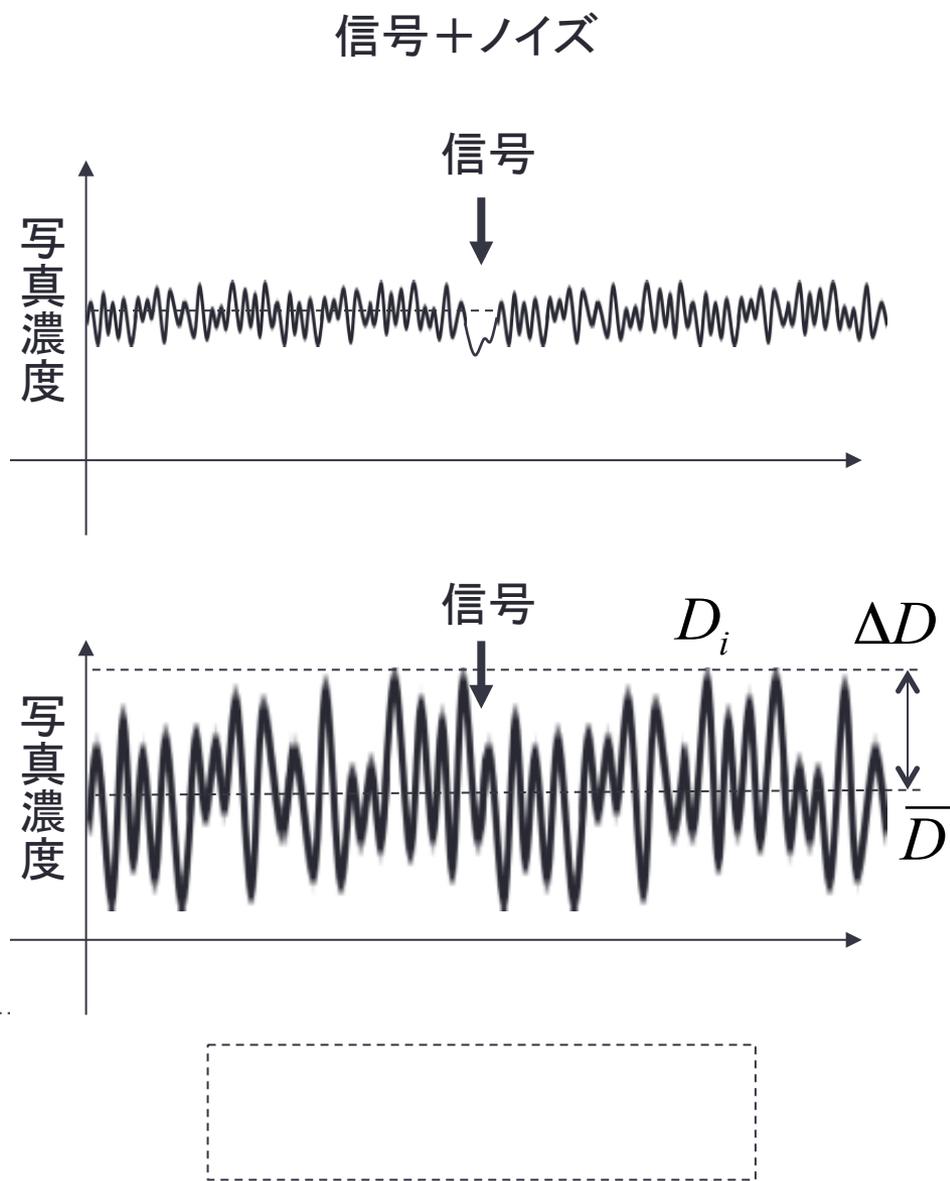
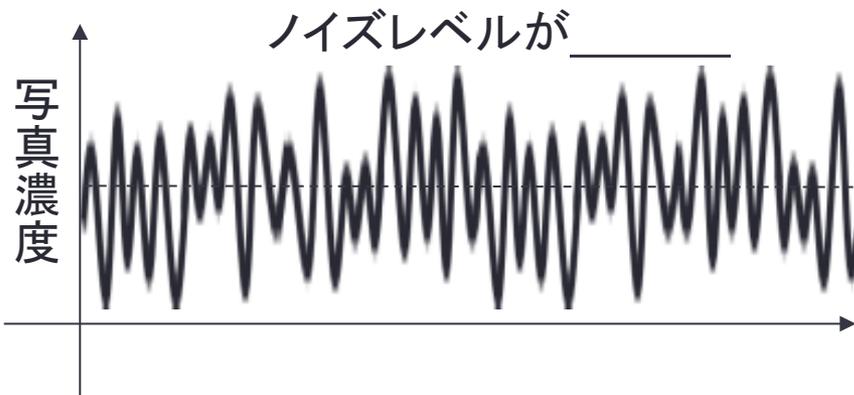
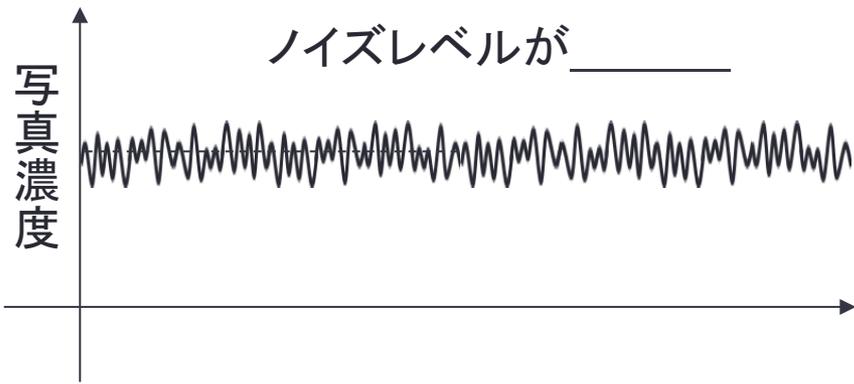
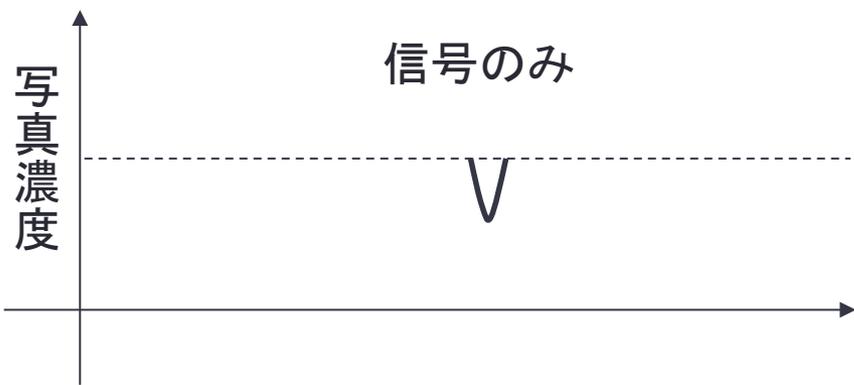
画像の細かさの度合い

- 粒状度(ノイズ特性)

画像上のざらつきの度合い



異なるノイズレベル撮影されたビーズ玉のX線写真



# ポアソン分布とは

ある事象が

(1) 万が一，起こるとしたら突発的に起こる

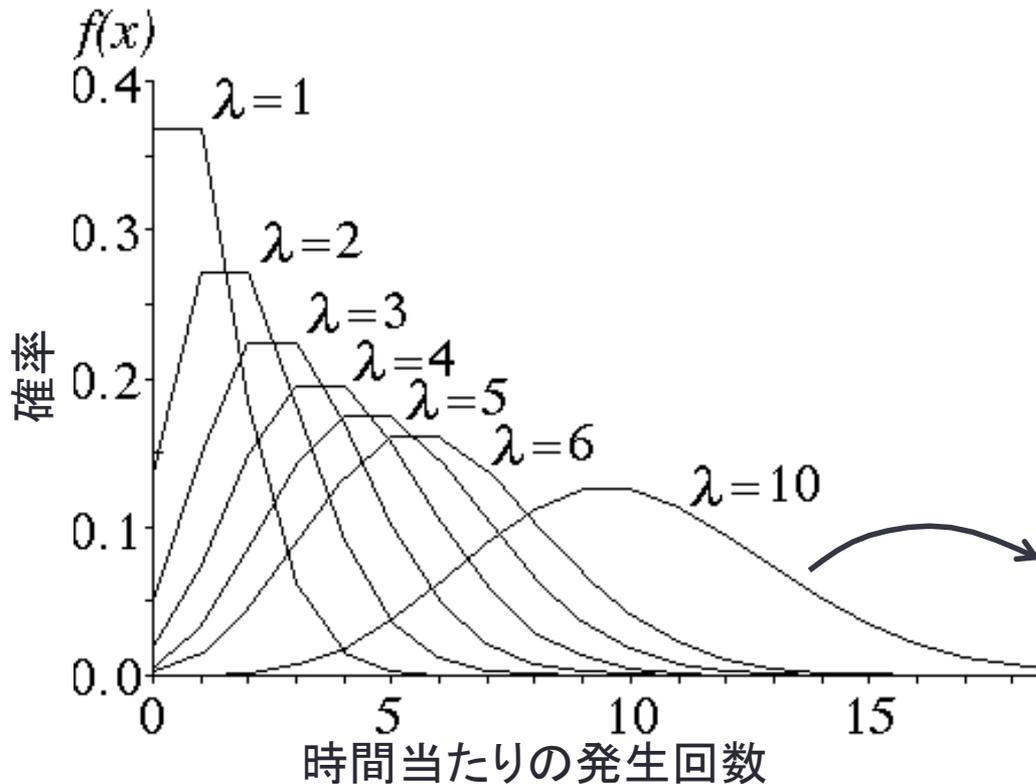
(2) しかし，普段は滅多に起こらない

という条件を満たすと，一定の時間あたりの  
事象発生回数 $x$ は\_\_\_\_\_に従う

- 製品に発生する傷の数
  - 単位時間当たりの飲食店への来客数
  - 単位時間当たりの交通事故数
- etc.

# ポアソン分布

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

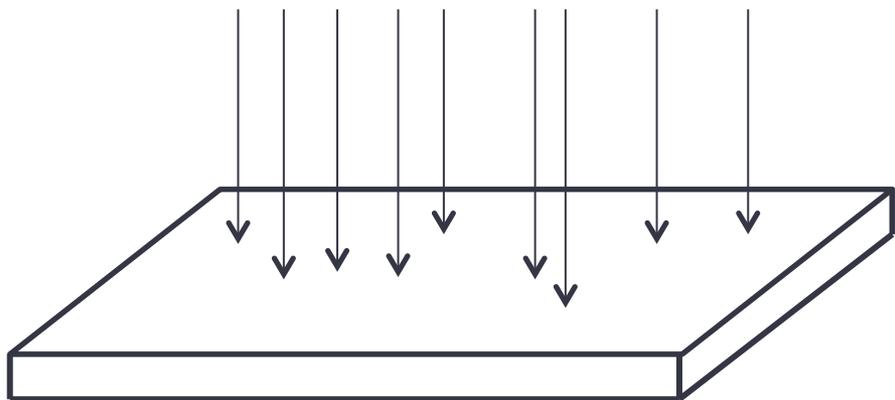


- 単位時間中に平均で  $\lambda$  回発生する事象がちょうど  $x$  回発生する確率 ( $x$  は 0 を含む自然数,  $k = 0, 1, 2, \dots$ )
- $\lambda$  は正の実数, 所与の区間内で発生する事象の期待発生回数に等しい. 例えば, 事象が平均で 2 分間に 1 回発生する場合, 10 分間の中で事象が発生する回数は,  $\lambda = 5$  のポアソン分布モデルを使って求められる. (具体例: 交差点を通る車の台数など)
- \_\_\_\_\_
- $\lambda$  が大きくなると, \_\_\_\_\_ に近づく

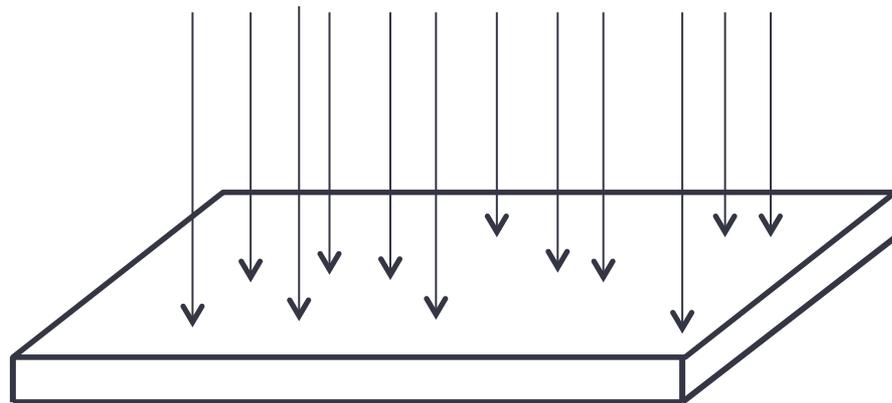
# X線光子の振る舞い

- X線の発生は量子レベルで見れば \_\_\_\_\_ 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 \_\_\_\_\_ は、単位面積あたりの入射量子数の期待値、つまりは \_\_\_\_\_ と等しい
- したがって、ゆらぎ成分の \_\_\_\_\_ は \_\_\_\_\_ の平方根と等しくなる

X線光子



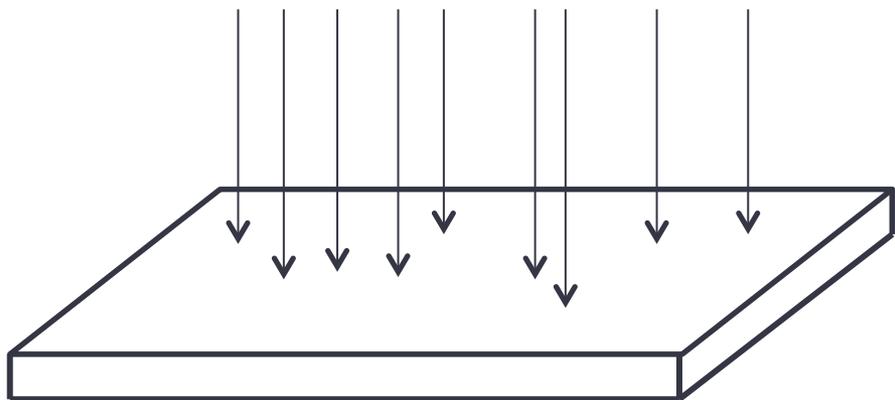
X線光子



同じ撮影条件でもX線光子数や吸収される位置が同じにはなるとは限らない. つまり, X線光子が吸収される\_\_\_\_\_は統計的なゆらぎを生み出す.

単位面積あたりに吸収された平均のX線光子数をN個とすると, X線光子の統計的なゆらぎの分布は\_\_\_\_\_で表される.

X線光子

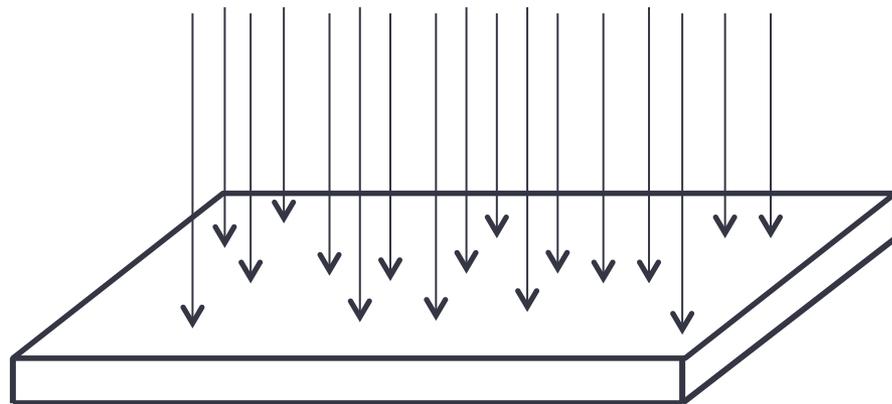


$$N = 100$$

$$\sigma = \sqrt{N} =$$

$$\frac{\sigma}{N} =$$

X線光子



$$N = 1000$$

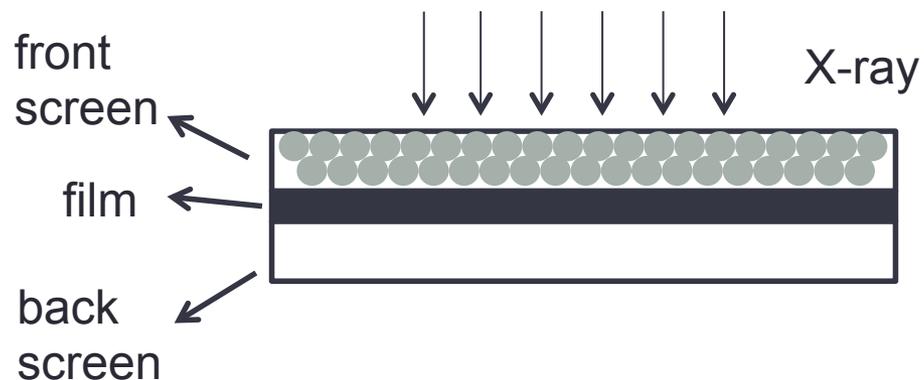
$$\sigma = \sqrt{N} =$$

$$\frac{\sigma}{N} =$$

# モトル mottle

- ・まだら
- ・斑点
- ・黒化銀の集まり
- ・ばらつき

X線光子の数や分布  
が統計的にゆらぐこと  
に起因するモトル



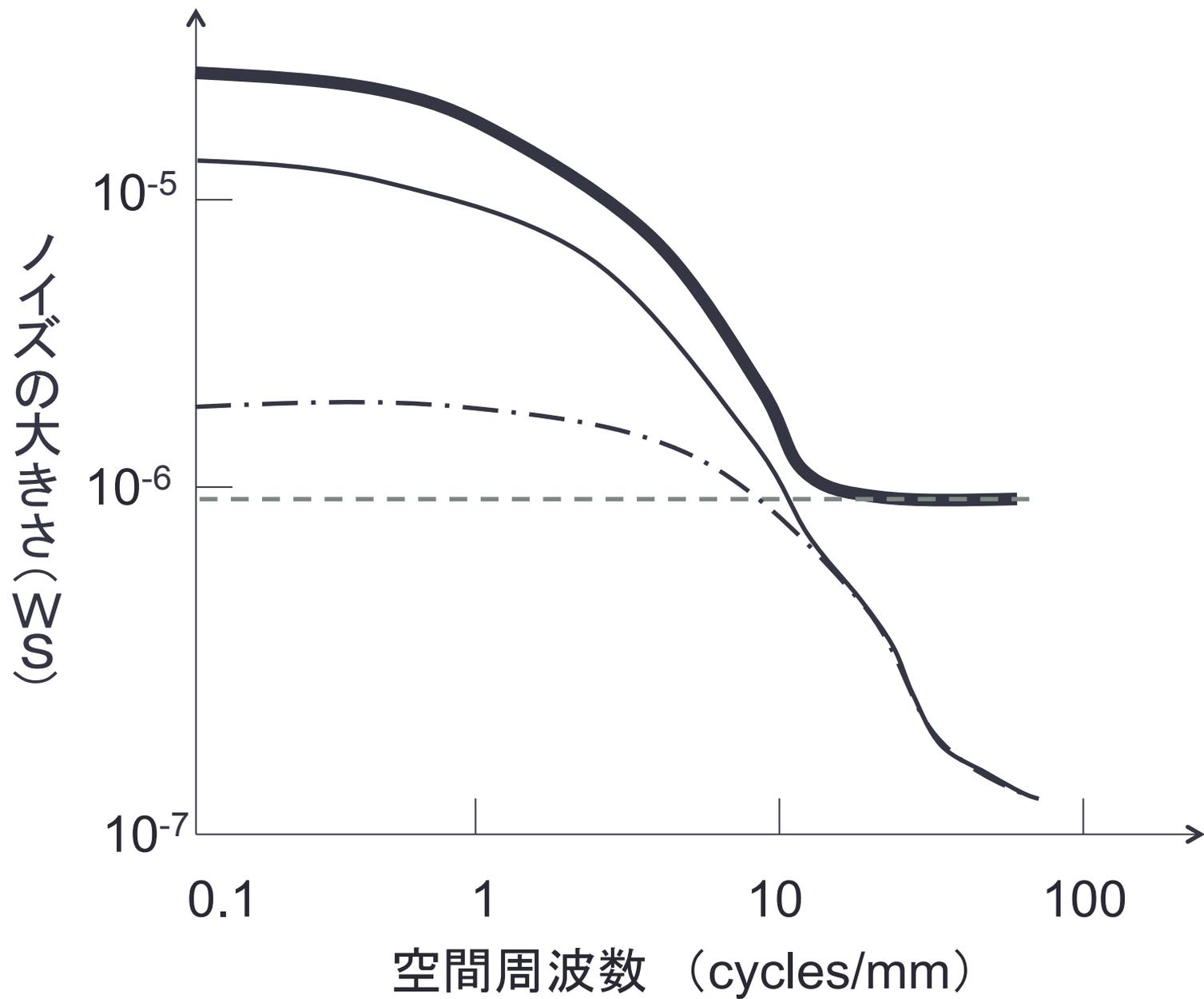
radiographic mottle

screen mottle

quantum mottle

structure mottle

film graininess



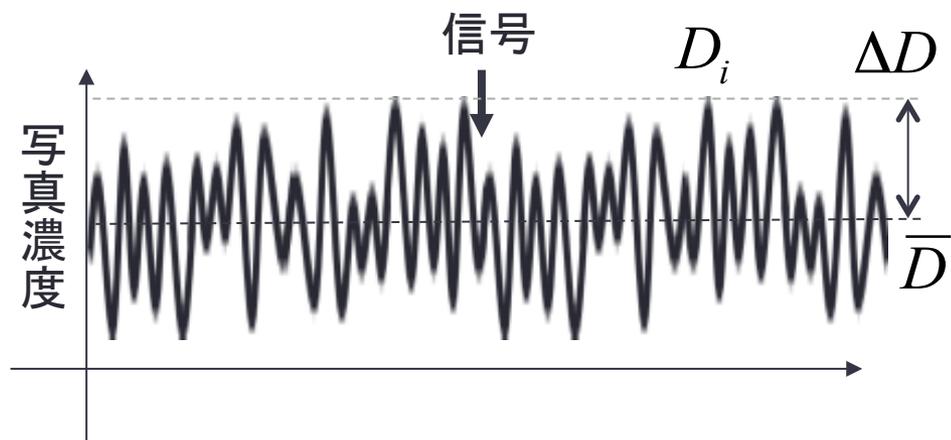
# ノイズ特性の評価法

- \_\_\_\_\_
- 方法： 写真濃度データの\_\_\_\_\_を計算する
- \_\_\_\_\_
- 方法1： \_\_\_\_\_をフーリエ変換する
- 方法2： 写真濃度の分布からその平均値を  
差し引いた変動分を\_\_\_\_\_する

# RMS粒状度



$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (D_i - \bar{D})^2}{(N-1)}}$$



$$\Delta D_i = D_i - \bar{D}$$

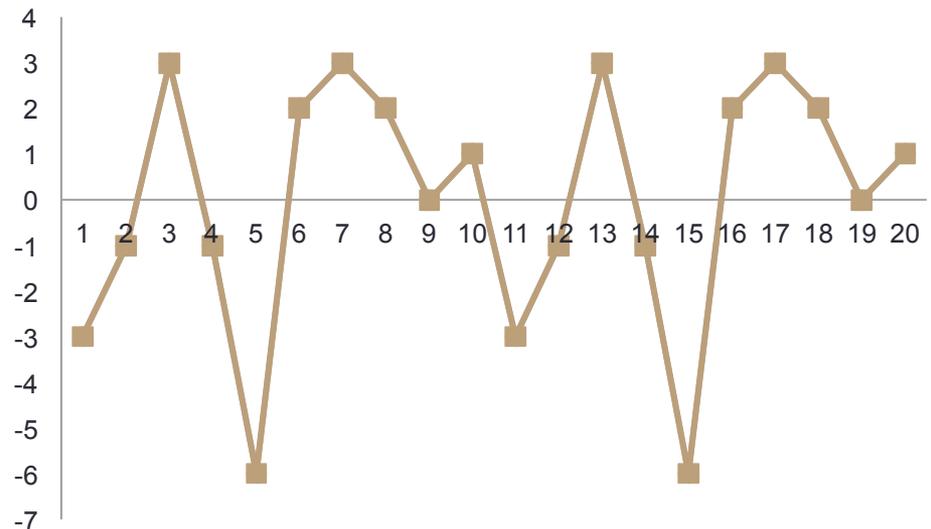
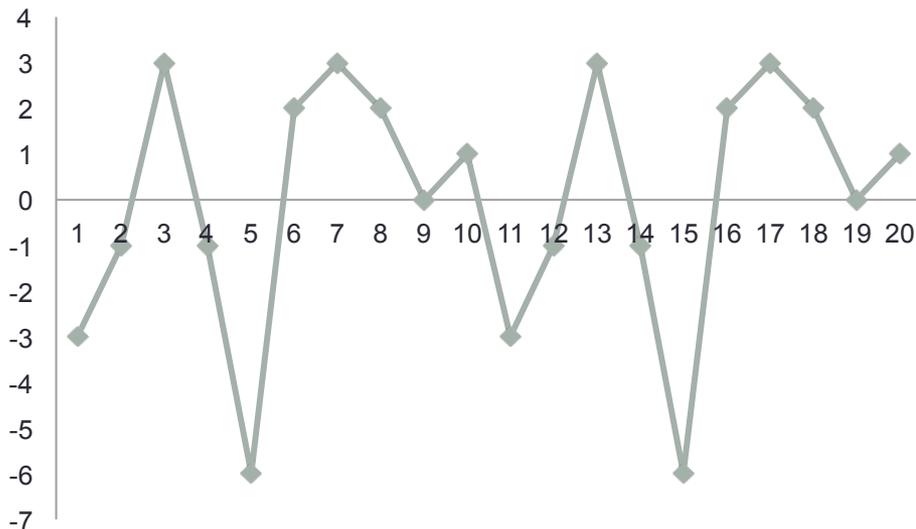
標準偏差

平均値に対して値が  
どの程度変動するか  
を示すもの

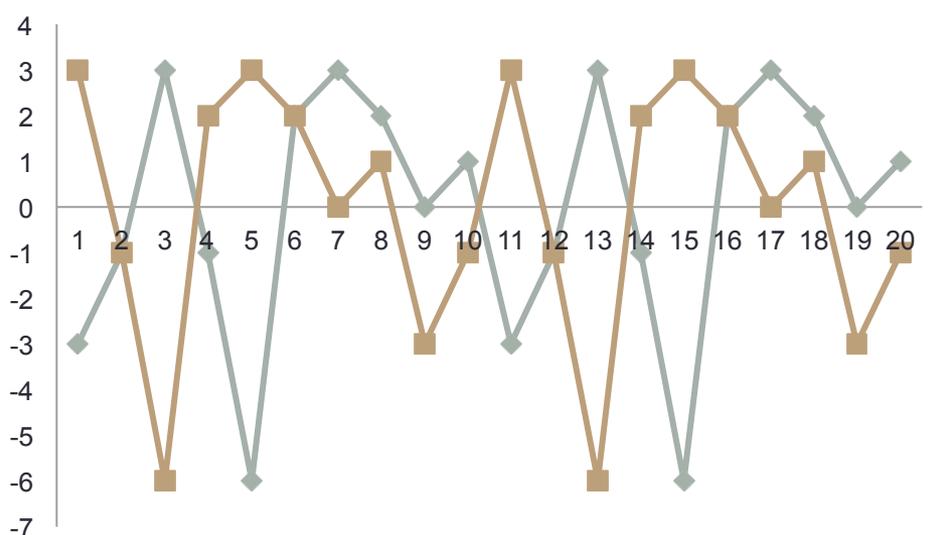
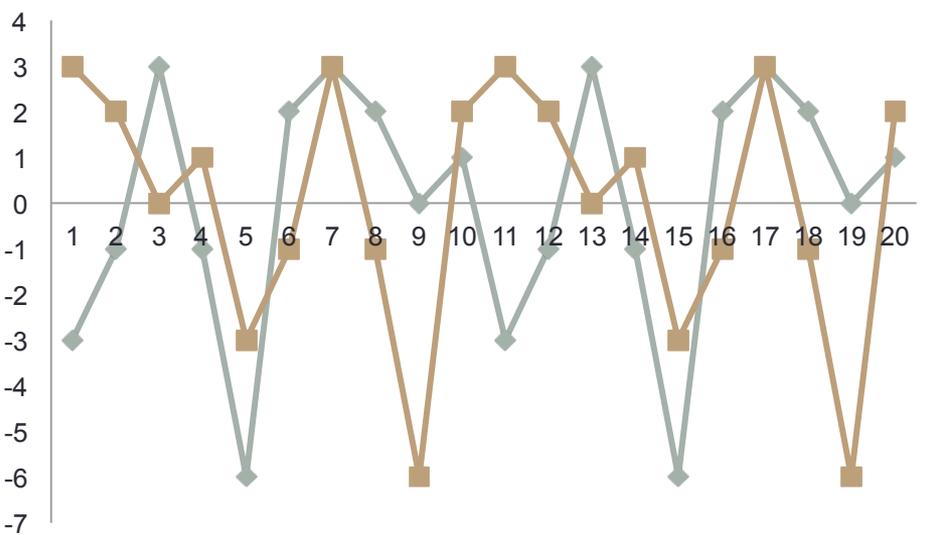
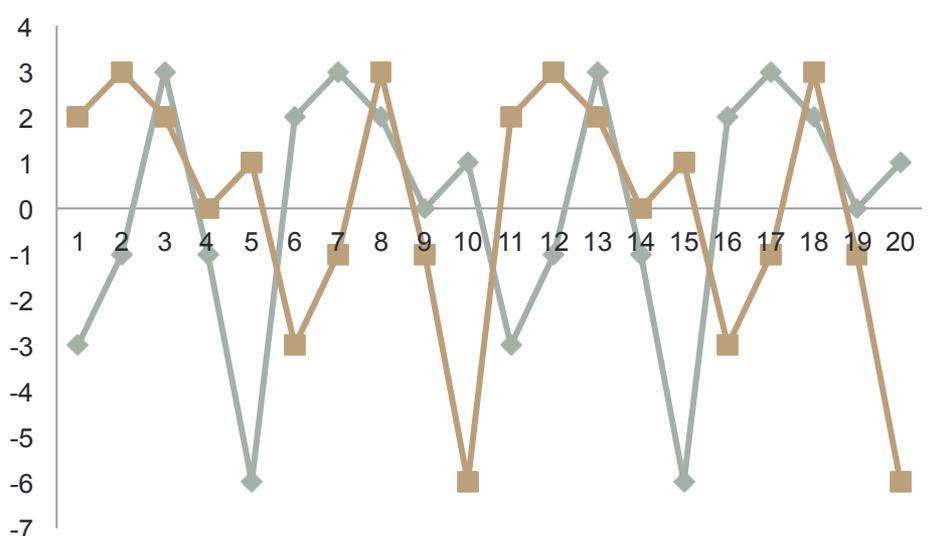
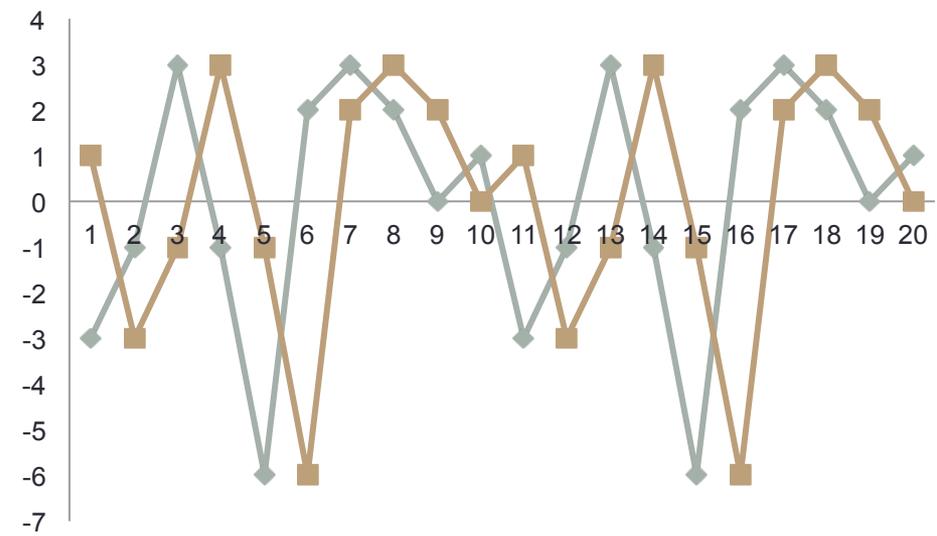
# 自己相関関数



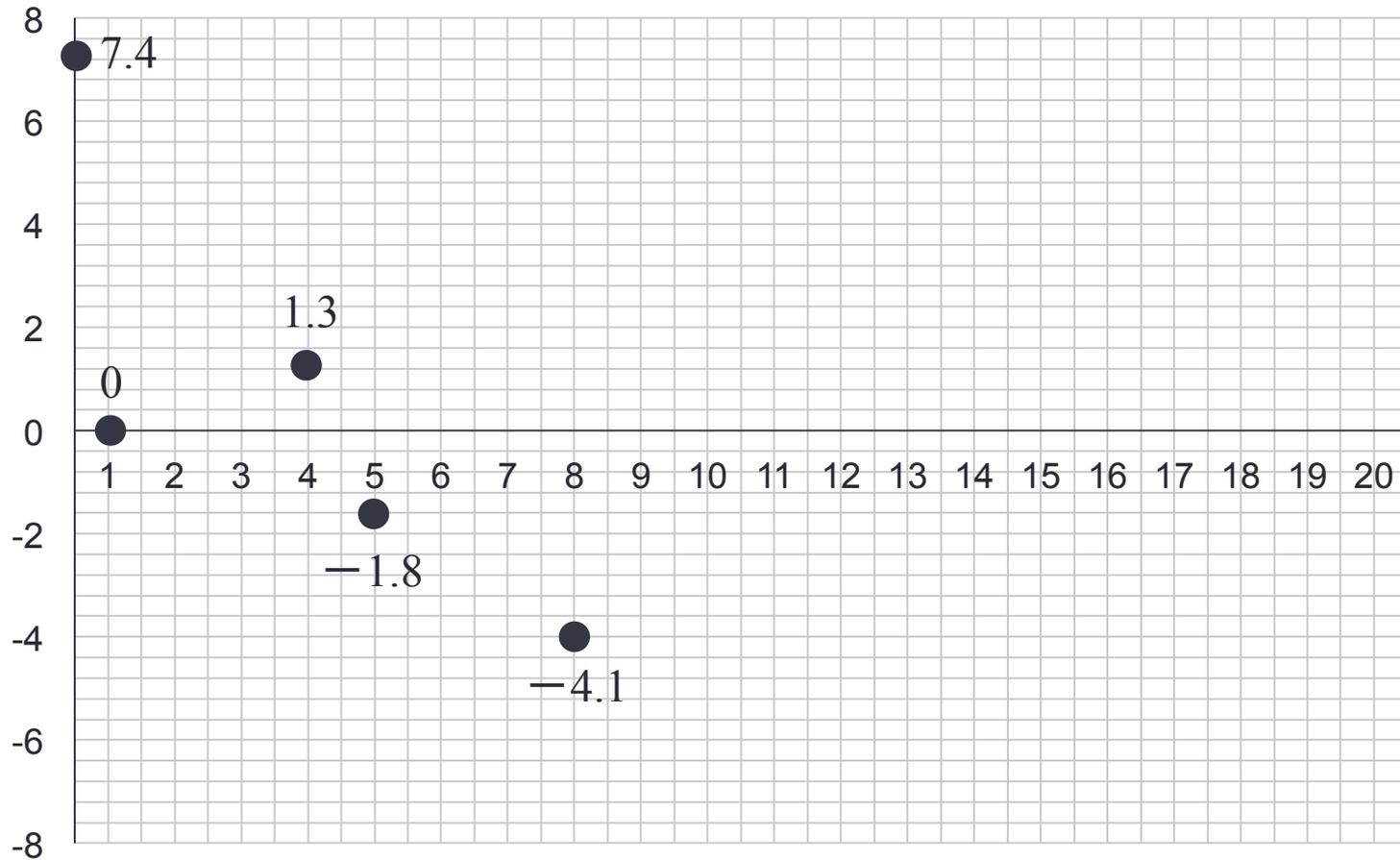
$$ACF(j) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(i) \cdot x(i+j) \quad j = 0, 1, 2, 3, \dots$$



$$x(i) = \{-3, -1, 3, -1, -6, 2, 3, 2, 0, 1\}$$



# ACF ( $j$ )



$j$

$$ACF(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(x) \cdot f(x - \tau) dx$$

同じ関数 $f(x)$ の畳み込み積分

2つの同じ関数 $f(x)$ のフーリエ変換の  
\_\_\_\_\_で表される



ACF

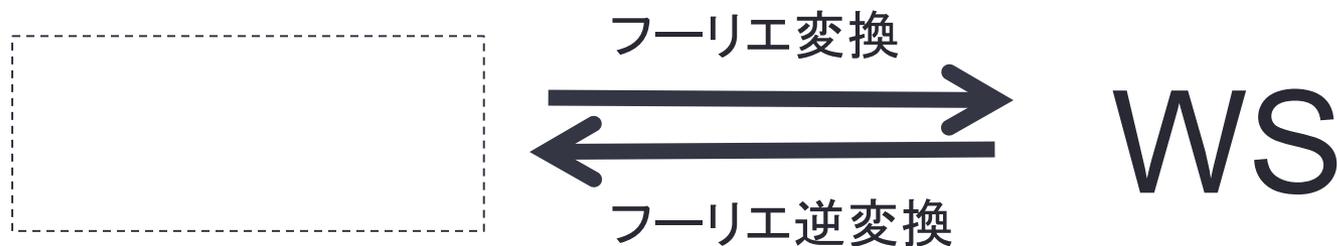
フーリエ変換  
→



# ウィーナーズスペクトル

Wiener spectrum → WS

NPSと同義 → 画像では\_\_\_\_\_と呼ぶ



## ノイズ特性(粒状性)の物理評価

WS (Winner spectrum) → 画像系では一般的にWSと呼ぶ

NPS (noise power spectrum) → 元は電気系の用語  
WSと同義で使われる

NNPS (normalized NPS) →  
DRシステムではNNPSと呼ぶことが多い

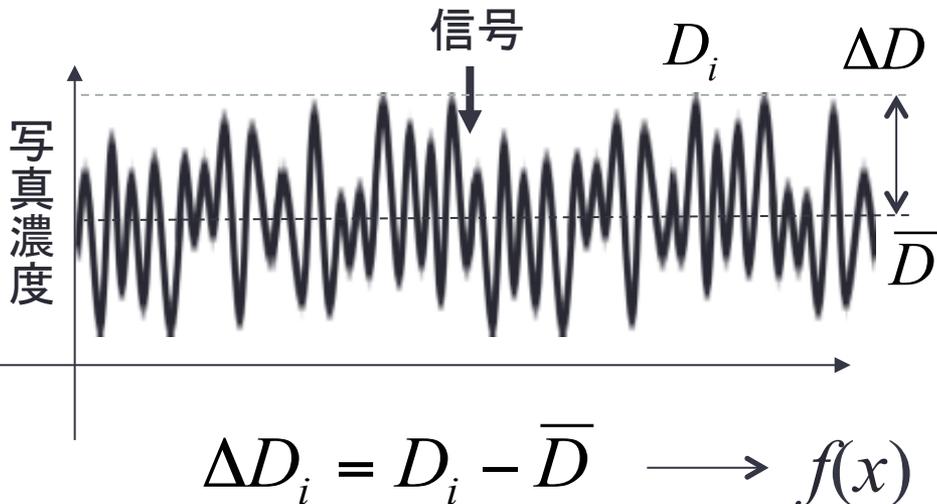
# Wiener spectrumの求め方

■

$$WS = \int ACF \cdot e^{-j\omega x} dx = \int \left( \int f(x) \cdot f(x - \tau) dx \right) \cdot e^{-j\omega x} dx$$

■

濃度値(相対X線強度)のゆらぎをフーリエ変換して, そのフーリエ変換の絶対値を2乗する

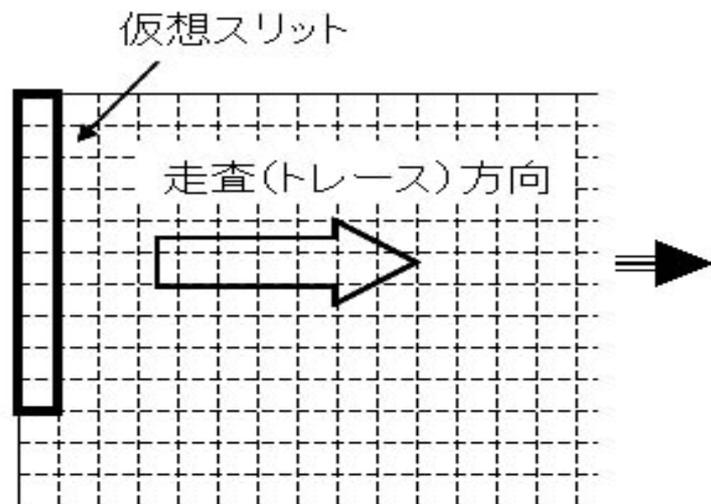


$$WS = \left| \int f(x) \cdot e^{-j\omega x} dx \right|^2$$

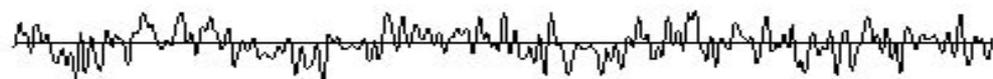
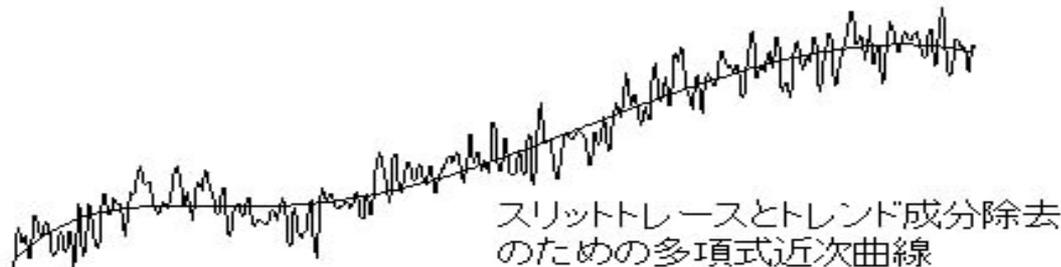
$$= |F(u)|^2$$

■

■



- ・仮想スリット内でピクセル値の平均をとりながらトレースする.
- ・トレースした信号にトレンド成分がのっているときには、**トレンド除去**処理を行う. 具体的には, スリットトレースから多項式近次曲線を求め, その近次曲線をオリジナルのトレースから減算すればよい.



トレンド成分除去後のスリットトレース



### ピクセル値のウィーナスペクトル $WS_{\Delta p}(u)$ の計算

- ・スリットトレースを**フーリエ変換**してその絶対値の二乗をトレース長で除しスリット長を掛ける. **トレース長**, **スリット長**ともに単位はミリメートル. ほかのスリットトレースからもWSを求め, これらの平均を計算し, かつ振動成分をさらに取り除くために移動平均法などによって平滑化処理を行う.



### 相対X線強度のウィーナスペクトル $WS_{\Delta E/E}(u)$ に変換

$$WS_{\Delta E/E}(u) = \frac{WS_{\Delta p}(u)}{G^2(1-k)^2(\log_{10} e)^2}$$

$G$ : デジタル特性曲線の傾き

$k$ : グレア含有率

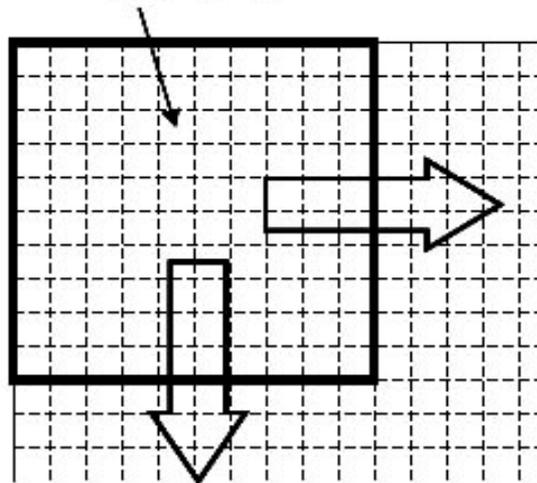
一様X線曝射してノイズサンプルを作成する. とくに, X線管焦点のヒール効果による不均一X線露光に注意する.

**ピクセル寸法**は空間周波数の計算に必須なので, 必ず把握しておくこと. 公称値がそのまま使えない場合は, 既知寸法パターンを撮影して実測する.

**仮想スリット**の大きさは, 幅1ピクセル, 高さ(スリット長)30ピクセル程度がよく用いられる.

ピクセル値はデジタルX線画像システムごとに任意に設定できるため, ピクセル値で計算されたウィーナスペクトルでは, ほかのデジタルX線システムとの相互比較ができない. そのため相対X線強度で計算されたウィーナスペクトルに変換する必要があり, これによってほかのシステムで測定したウィーナスペクトルとの比較が可能となる.

計算領域



## 二次元ウィーナスペクトル $WS_{\Delta E/E}(u, v)$ の計算

- ・計算領域を二次元フーリエ変換しその絶対値を二乗する.
- ・計算領域をずらしてM回同様に二次元フーリエ変換した計算値(絶対値の二乗)の総和を  $S_{FFT}$  としたとき,  $WS_{\Delta E/E}(u, v)$  は次式で求まる.

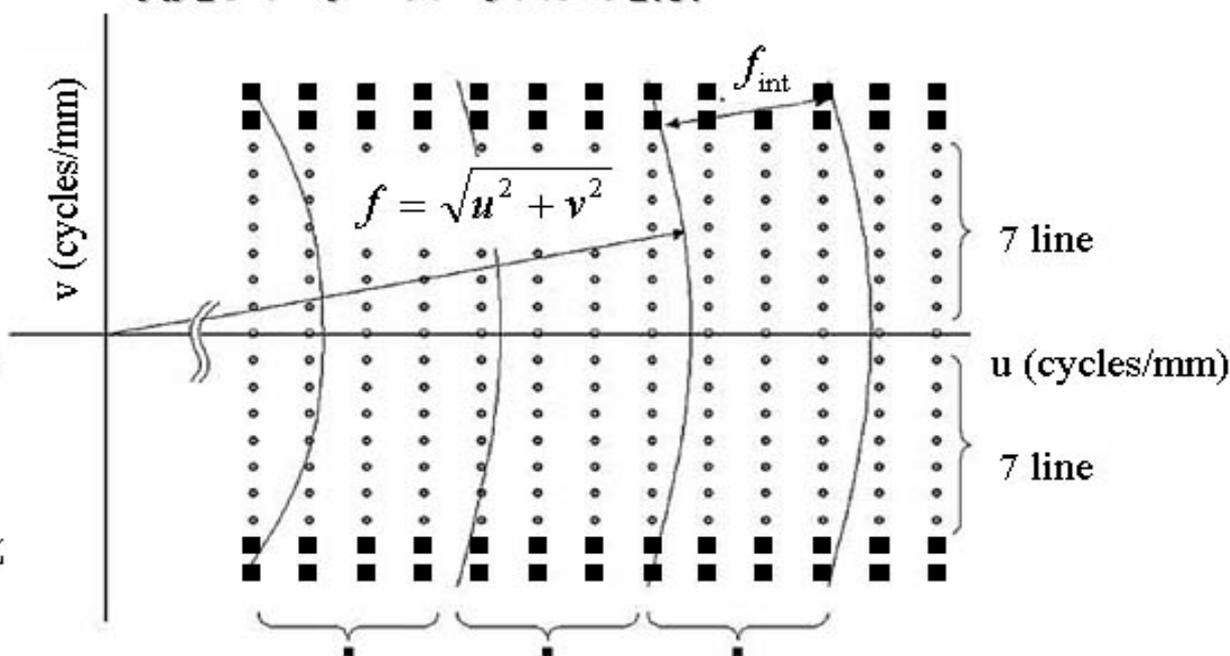
$$WS_{\Delta E/E}(u, v) = \frac{1}{G^2 (\log_{10} e)^2} \frac{\Delta x \Delta y}{MN_x N_y} S_{FFT}(u, v)$$

$G$ : デジタル特性曲線の傾き  
 $M$ : 平均回数

$N_x, N_y$ :  $x, y$  方向の画素数  
 $\Delta x, \Delta y$ :  $x, y$  方向の画素ピッチ



## 一次元ウィーナスペクトルの計算

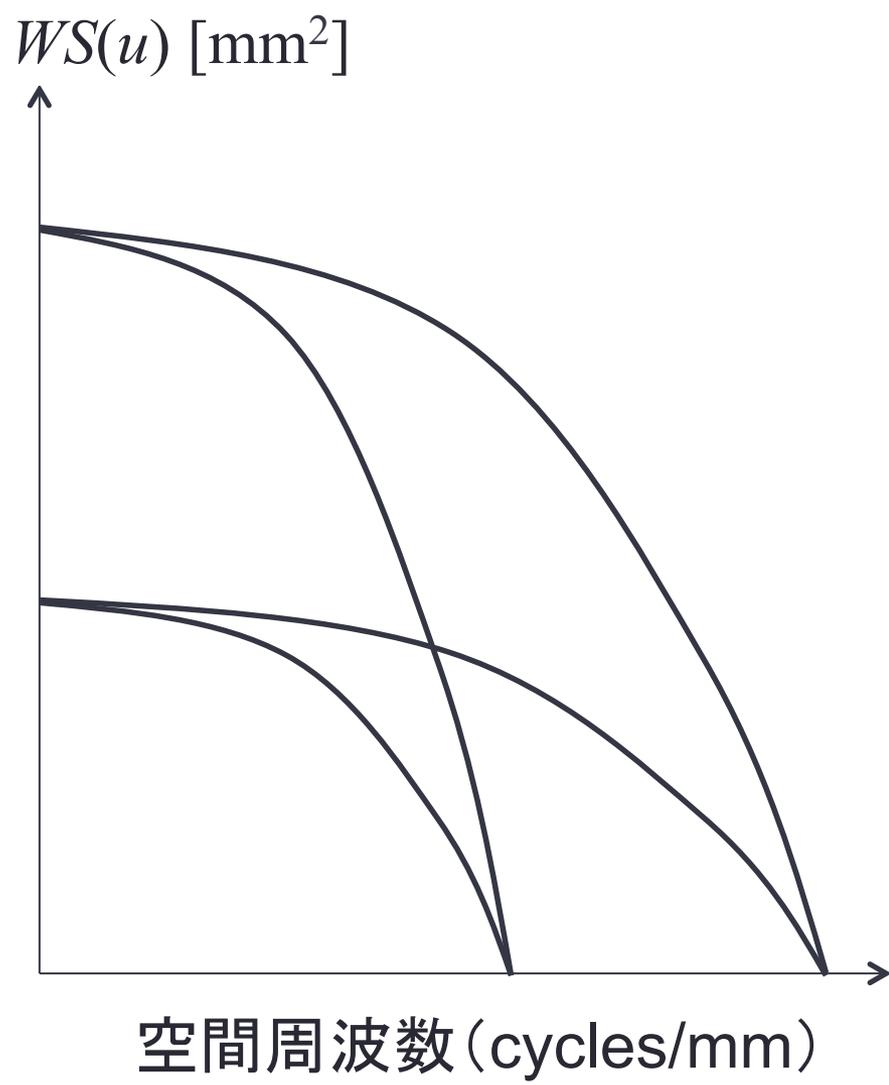
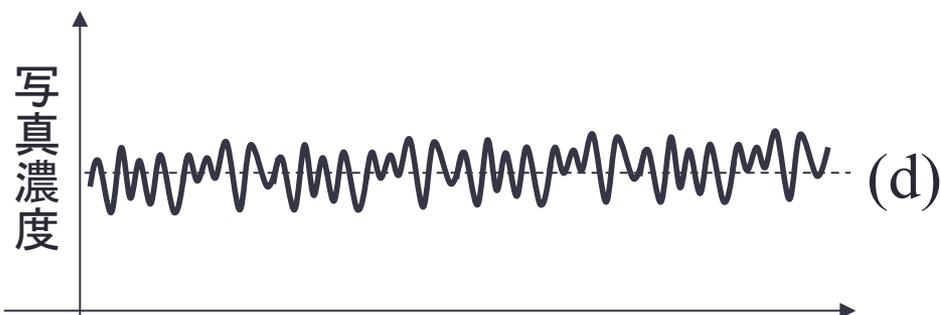
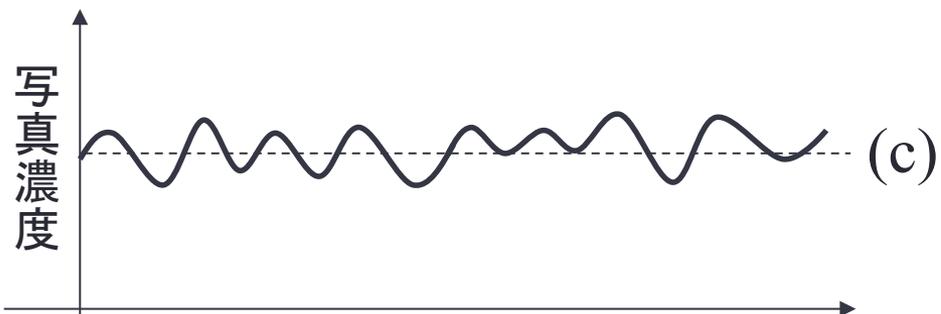
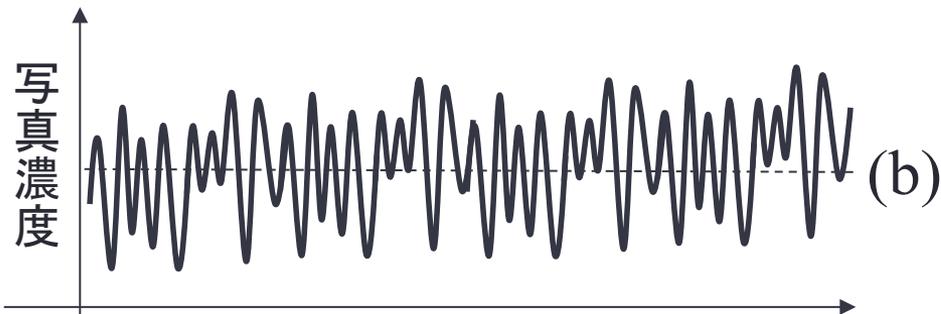
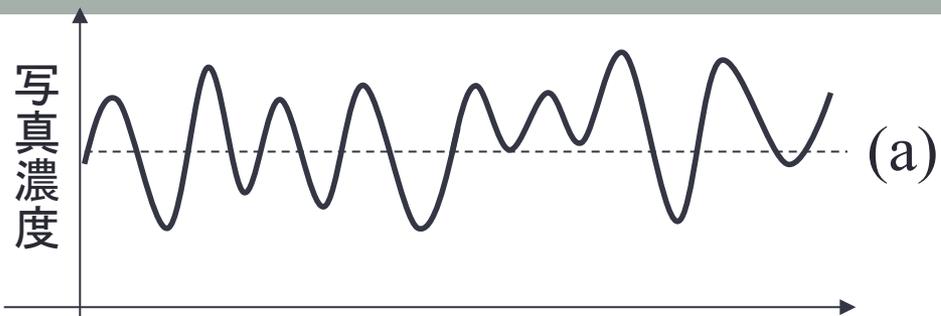


もしX線照射に起因する不均一性(ヒール効果によるものなど)があれば, 次の二次多項式を用いた面近次補正を行う.

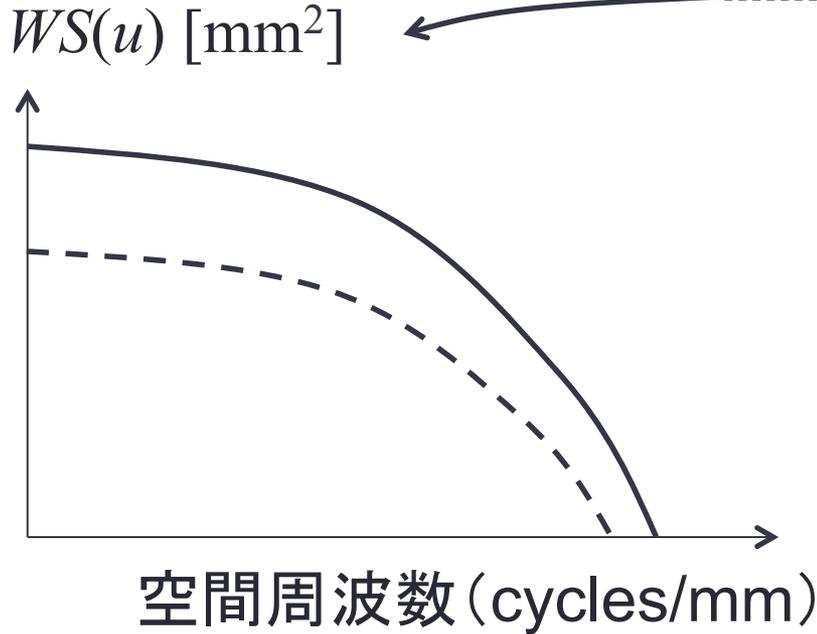
$$z(x, y) = \sum_{j=1}^2 a_j x^j + \sum_{k=1}^2 b_k y^k + c$$

二次元ウィーナスペクトルにおいて, 原点からの距離  $f$  ごとに軸を挟んだ14ラインのデータの平均値を求め, 一次元ウィーナスペクトルとする.

周波数ビンの幅  $f_{int}$  は, 画素ピッチで規格化した  $f_{int} = \pm 0.01 / \text{pixelpitch (mm)}$  を用いる.



WSの単位は $\text{mm}^2$ なので \_\_\_\_\_ をもつ



粒状性が良い

→ノイズが \_\_\_\_\_

→WSの値は \_\_\_\_\_

粒状性が悪い

→ノイズが \_\_\_\_\_

→WSの値は \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ でグラフ化するのが一般的

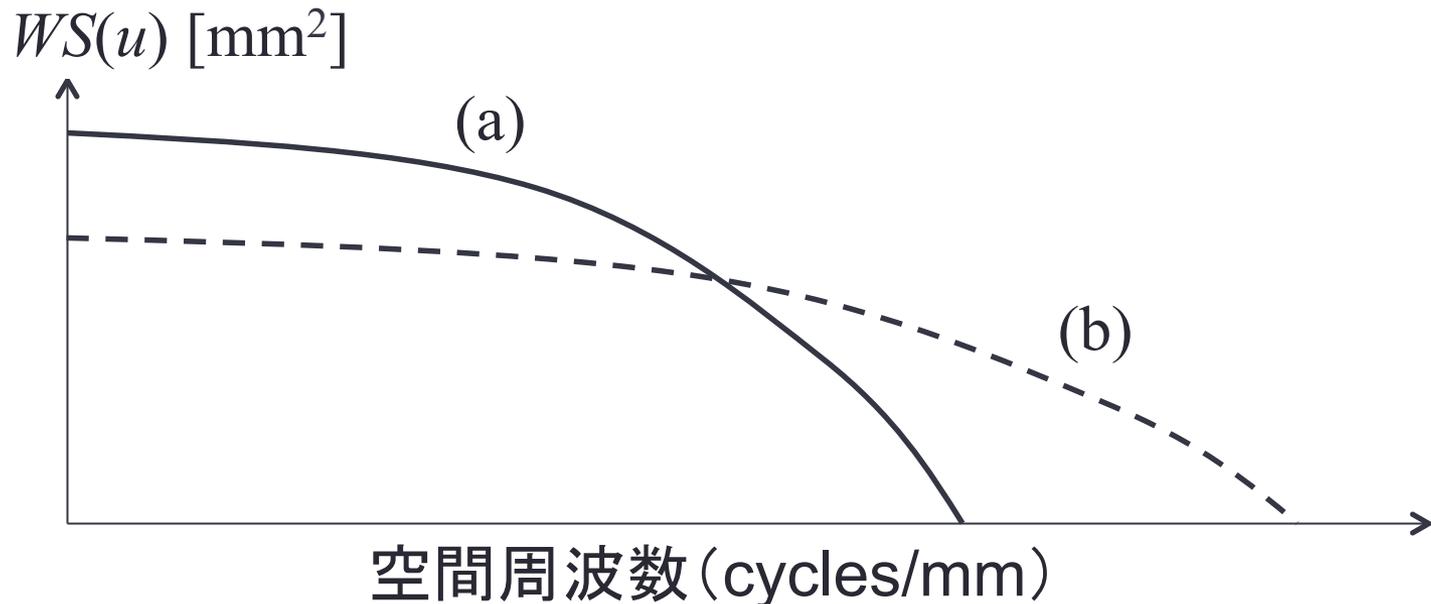
WS値は、画像のノイズ量から換算されるその画像に寄与した(と想定される) \_\_\_\_\_ である。

例えば、WS値が $10^{-5}$ であるならば寄与した量子数は \_\_\_\_\_ となる。

# WSとRMS粒状度の関係

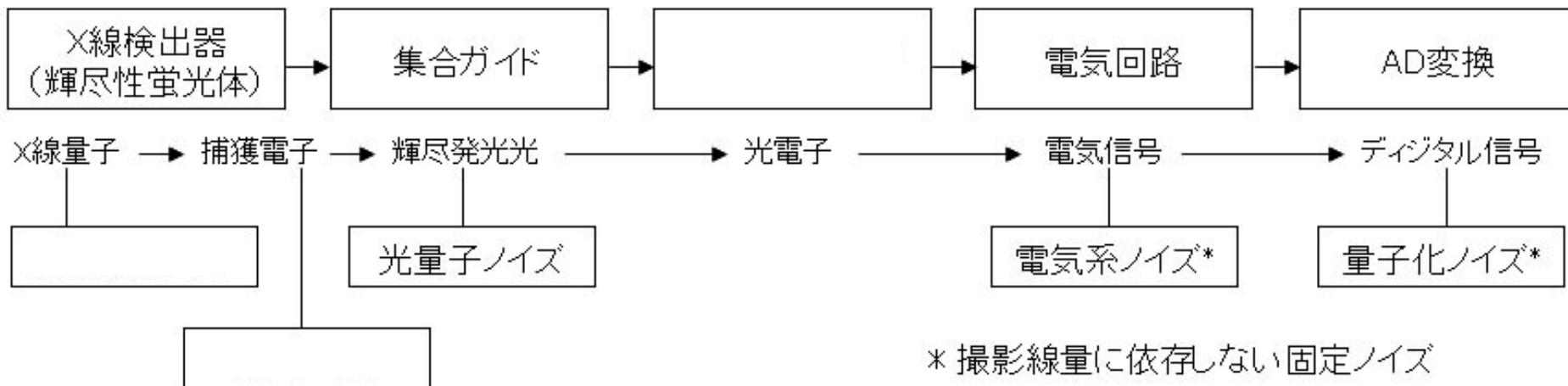
$$RMS^2 = \int_{-\infty}^{\infty} WS(u) du = 2 \int_0^{\infty} WS(u) du$$

ウィーナースペクトルの面積は、分散、つまりRMS粒状度の二乗に対応する





# デジタルX線画像システムのノイズ特性



CRシステムのおもなノイズ構成

低線量域では、\_\_\_\_\_が支配的である。

高線量域では、X線検出器の\_\_\_\_\_が支配的である。

# デジタルX線画像システムのWS

$$WS_{overall}(u, v) = \left\{ \left[ WS_A(u, v) \times |OTF_s(u, v)|^2 \right] \right. \\ \left. * \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(u - m / \Delta x, v - n / \Delta y) \right\} \\ \times |OTF_F(u, v)|^2 \times |OTF_D(u, v)|^2 \\ + WS_E(u, v)$$

## 2006国家試験問題

### 問題(1)

X線写真の粒状性に最も大きな影響を及ぼすのはどれか。

1. 散乱線
2. 増感紙の構造モトル
3. フィルムの粒状
4. X線量子モトル
5. 焦点サイズ

## 2007国家試験問題

### 問題(2)

デジタルラジオグラフィのノイズで撮影線量に依存するのはどれか。

1. 量子化ノイズ
2. 電気系ノイズ
3. X線量子ノイズ
4. エリアシング
5. 検出器の構造ノイズ

## 2004国家試験問題

### 問題(3)

自己相関関数をフーリエ変換して得られるのはどれか。

1. MTF曲線
2. PTF曲線
3. ROC曲線
4. RMS粒状度
5. ウィーナースペクトル

## 2005国家試験問題

### 問題(4)

ウィーナースペクトルについて誤っているのはどれか. 2つ選べ.

1. 面積の次元をもつ
2. 画像の雑音変動を周波数解析する
3. 値が高いほど粒状性が良い
4. 低空間周波数領域は量子モトルに影響される
5. コルトマン補正を行う必要がある

# 2006国家試験問題

## 問題(5)

図1はウィーナーズペクトル, 図2はそれらの測定に用いた画像資料の写真濃度分布である. 図1のAに対応する画像資料は図2のどれか.

- 1. ア    2. イ    3. ウ
- 4. エ    5. オ

