

センシトメトリー

- 感光材料の感光特性値[感度 (sensitivity), 階調度 (gradient), ガンマ (gamma), ラチチュード (latitude), カブリ (fog) など]を測定することにより, 感光材料の性質を知る方法である
- 広義にX線写真の特性曲線を求めて, 感材や現像処理の特性を評価することをいう
- 1) 露光, 2) 現像, 3) 濃度測定, 4) 特性曲線の作成・評価の4つの過程を経る

特性曲線の測定法

●強度目盛法 → 照射時間を一定にして、X線強度を
変化させる方法。
()

▪ _____
X線管焦点とフィルムとの間の距離を変え、X線強度を変化させる方法

▪ ステップウェッジを用いる方法
()

アルミニウム階段などの吸収体でX線強度を変化させる方法

●時間目盛法 → 照射時間を変えることで、X線強度を
変化させる方法。
()

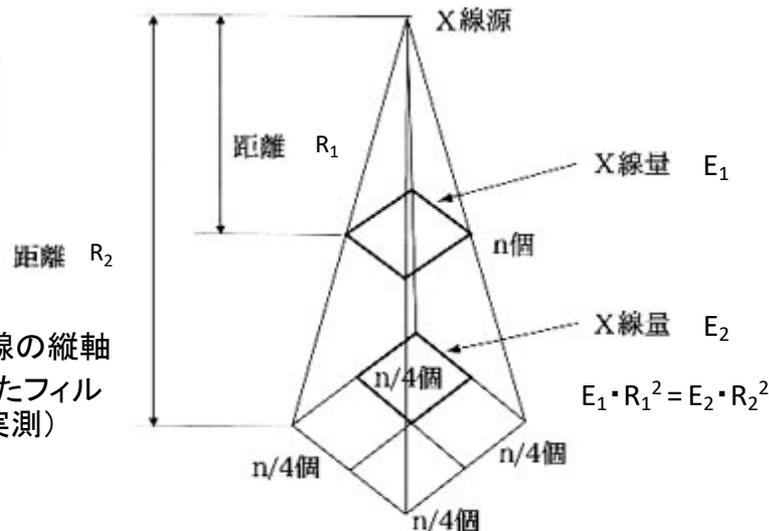
距離 (FFD) の計算例

例1 $\Delta \log RE = 0.15$ の場合

↙ H&D曲線の横軸

段数	距離 (cm)	強度 (倍)	相対強度	濃度
1	75.0	125.89		
2	89.1	89.12		
3	105.9	63.09		
4	125.9	44.67		
5	149.6	31.62		
6	177.9	23.39		
7	211.4	15.85		
8	251.2	11.22		
9	298.6	7.94		
10	354.9	5.62		
11		3.98		
12	501/3	2.82	0.45	
13	595.8	2.00	0.30	
14	708.1	1.41	0.15	
15	841.5	1.00	0	

↖ H&D曲線の縦軸
(露光したフィルムから実測)



$\Delta \log RE = 0.15$ とすると,

$$\Delta \log RE = \log E_1 - \log E_2 = \log(E_1/E_2) = 0.15$$

したがって, $E_1/E_2 = 10^{0.15} = 1.4125$

一方, 距離の逆二乗則から

$$E_1/E_2 = R_2^2/R_1^2 = 1.4125$$

$R_1 = 75 \text{ cm}$ とすると, $R_2^2/75^2 = 1.4125$

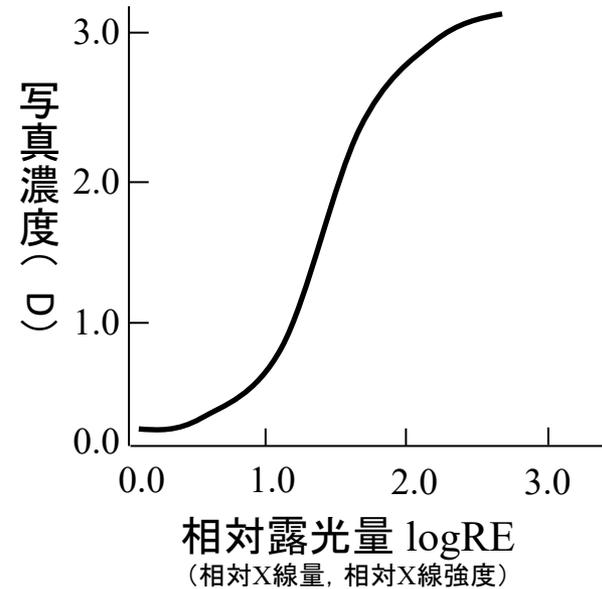
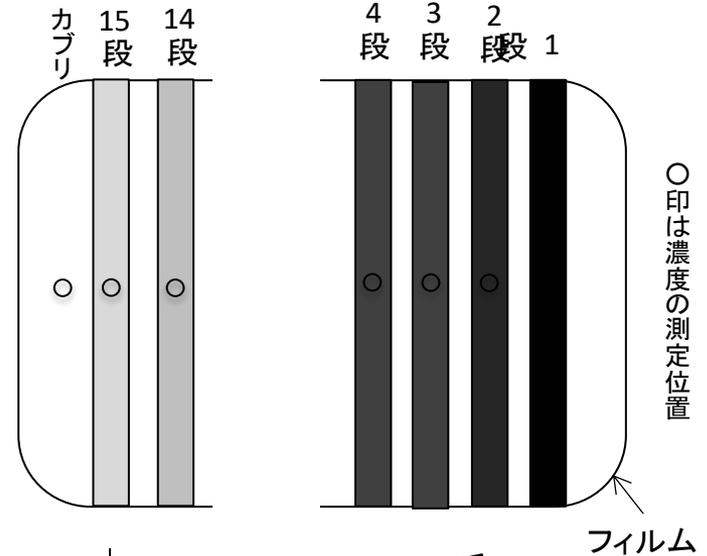
$$R_2 = \sqrt{75^2 \times 1.4125} = 89.1(\text{cm})$$

露光段数を11段とする, R_{11} は



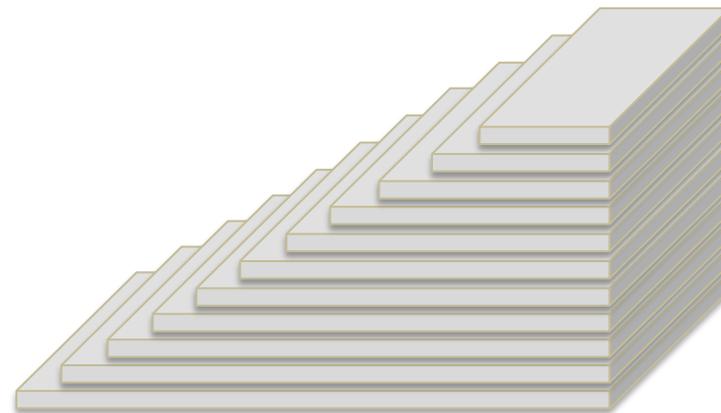
距離法による測定手順²

- ②カセット, 鉛板, 水ファントムを配置し, X線中心束をスリット中心に合わせ, 逐次距離とカセットを移動させて露光する
- ③全段の露光が終わったら, 測定試料を同時現像し, カブリから各段の濃度を確定する
- ④グラフ用紙の縦軸に_____を, 横軸に相対X線強度(_____)を目盛間隔を等しくとり, カブリを短くバーに示し, わずかに離れた位置に最多段の濃度を, 次に $\Delta \log RE$ ずつ離れた位置に各段濃度をプロットし, 特性曲線を作る



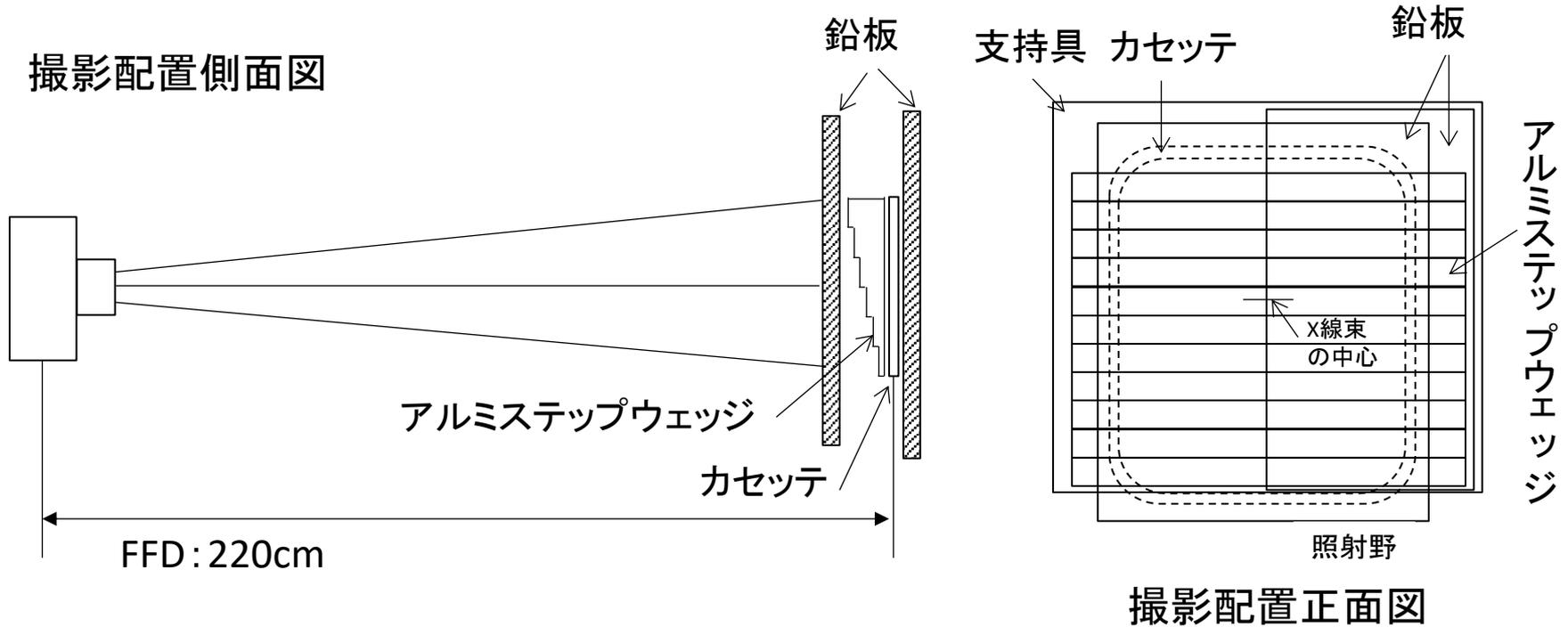
ブーツストラップ (boot strap) 法

- アルミステップウェッジを使い, _____をそれぞれのステップで2倍にした時の濃度変化を順次作図より求める方法である.
- この方法は, ステップウェッジの厚みがステップにより異なるため透過X線の線質が変化するので, 蛍光体の種類によってX線吸収率が変わってくる.
- これにより増感紙の輝度が変わるため, 増感紙が一定でフィルムの感度比較をする場合に利用できる.
- 露光方法が簡単で場所も取らないので簡便法としてよく利用される.
- 線質が変化するので, 線質の変化しない距離法の特性曲線と形状が異なる.
- 一般的に足部が出て, 高濃度部がやや低くなる傾向がある.
- 測定法が異なる場合の特性曲線やデータは, _____.
- アルミステップウェッジから発生する _____の影響を受ける.



アルミステップウェッジ

ブーツストラップ法による測定手順¹



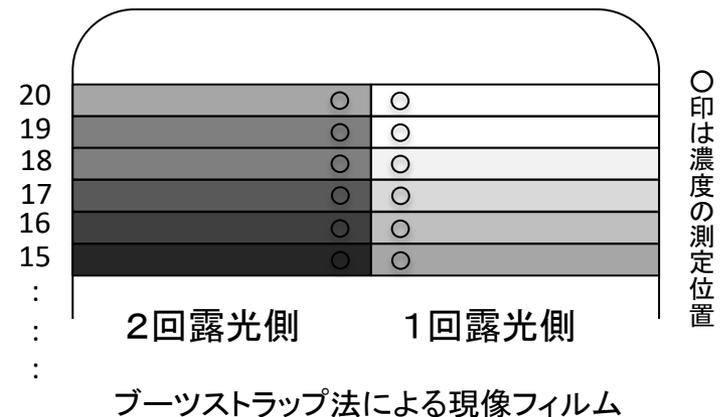
- ① X線管に対しカセット, アルミステップウェッジ, 鉛板を上図のように配置する

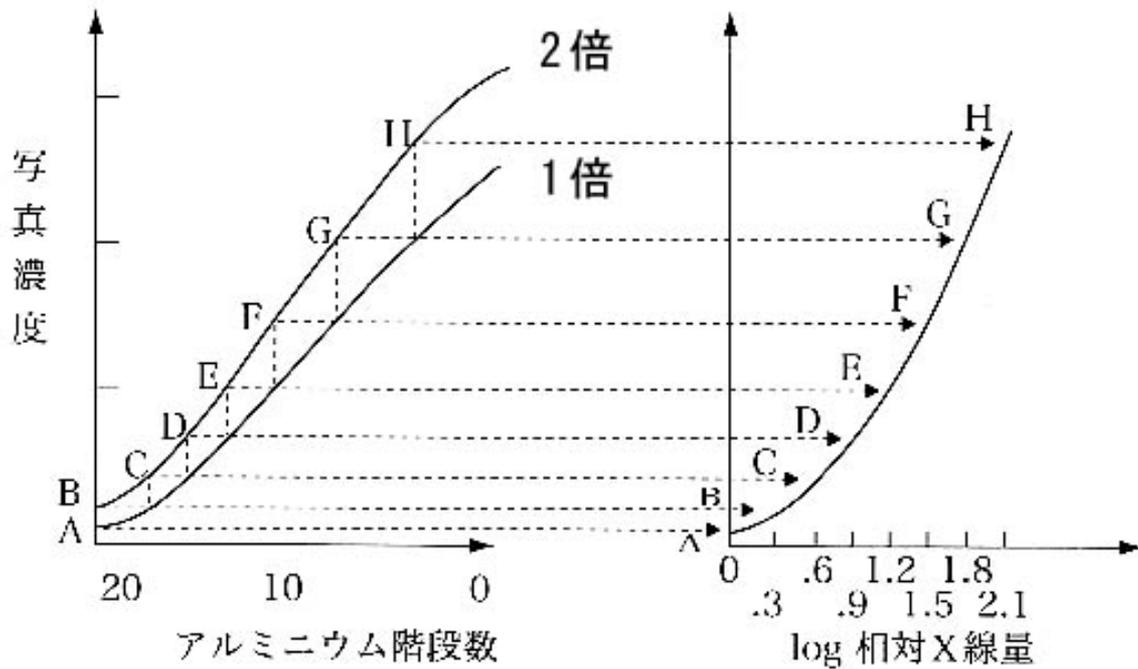
ブーツストラップ法による測定手順²

②ウェッジの最も厚い部分の濃度がカブリから0.2程度になるような条件で、鉛板をウェッジに半分かけたまま1回露光する。次に鉛板を除き同条件でもう一度露光する。

③試験試料は即時現像した後、1回露光、2回露光とも境界内側近くの位置の濃度を測定する。

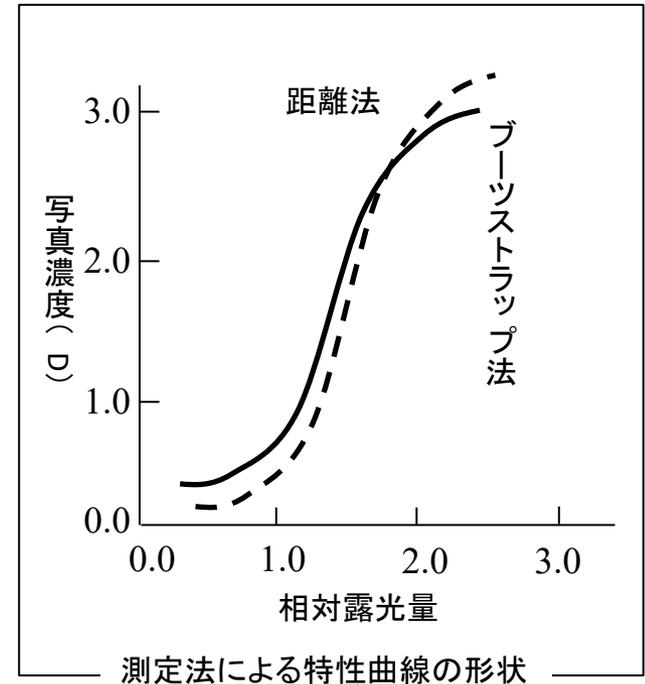
④グラフ用紙の横軸の左側から等間隔に20段から1段までを記入し、1回露光および2回露光の濃度値を各段数ごとにプロットし、2本の“_____”を描く。1回露光の曲線で、濃度が0.3～0.6前後の適当な段数を選んで基準段数とし、ここから縦軸に平行な線を引き、2回露光の曲線と交わったら再び横軸に平行に、次々と階段状に線を引く。





濃度一ステップ曲線

特性曲線



- ⑤ AからHまでの写真濃度を順に読み取り、それらを特性曲線の縦軸の値とする。特性曲線の横軸である相対X線量の間隔は $\log_{10}2=0.3$ であることから、横軸の相対X線量の間隔は0.3となる。
つまり、(0.0, A), (0.3, B), (0.6, C), (0.9, D).....の各点をプロットしつなぐことで特性曲線が得られる。

タイムスケール法による測定手順²

②全段の露光が終わったら、測定試料を同時現像し、各段の濃度を確定する

③グラフ用紙の縦軸に濃度Dを、横軸に相対X線強度(相対露光量)を目盛間隔を等しくとり、各段濃度をプロットし、特性曲線を作る。横軸のプロット間隔は、例えば、最も低い線量を標準線量として次の式で求める。

$$\log RE = \log_{10}(\text{線量}/\text{標準線量})$$

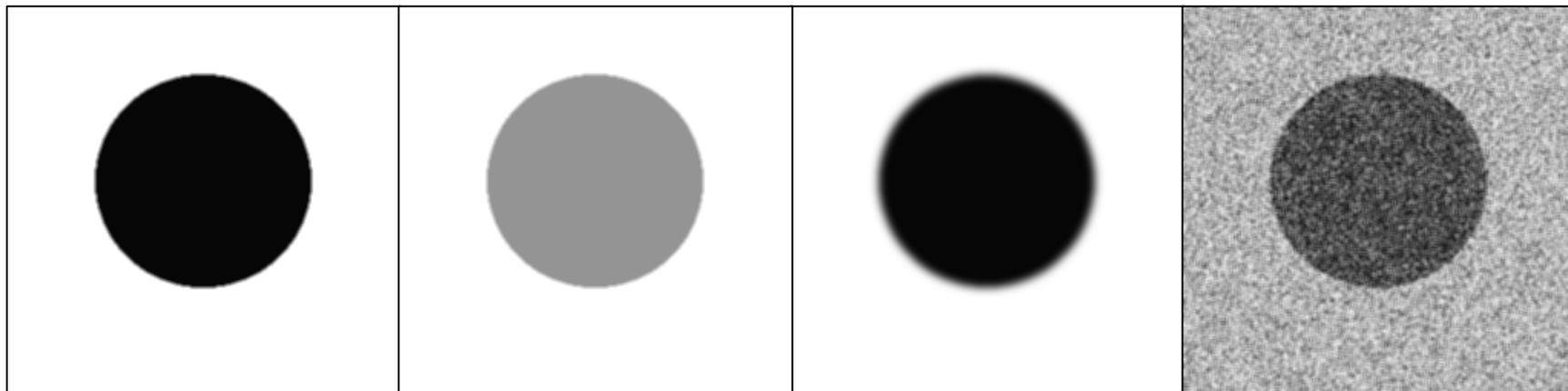
線量 照射時間

8.3 uGy	0.02 s	○
25.5 uGy	0.06 s	○
39.1 uGy	0.10 s	○
69.0 uGy	0.16 s	○
82.7 uGy	0.20 s	○
125.7 uGy	0.30 s	○
206.0 uGy	0.50 s	○
303.0 uGy	0.80 s	○
405.0 uGy	1.00 s	○

タイムスケール法の注意点

- フィルムに光を露光するとき、露光量(E)を強度(I)と照射時間(t)で表わすと、 $E=I \cdot t$ となる。
- E を一定としたとき、どのような I と t の組み合わせに対しても一定の写真濃度が得られることを相反則といい、これが成り立たない事を_____という。
- 増感紙—フィルム系のX線画像での相反則不軌は、ある露光量を得るために大電流と短時間を組み合わせたときと、小電流と長時間を組み合わせたときに、写真濃度が増える(感度が増える)ことに起因する。
- タイムスケール法は撮影時間を変化させることでX線量を変化させる方法であるため、_____では相反則不軌が問題となることが知られており、特性曲線の測定にあまり用いられない。
- _____では、X線検出器にフィルムを用いてないので、相反則不軌が問題とならない。

画質 (image quality) の三要素

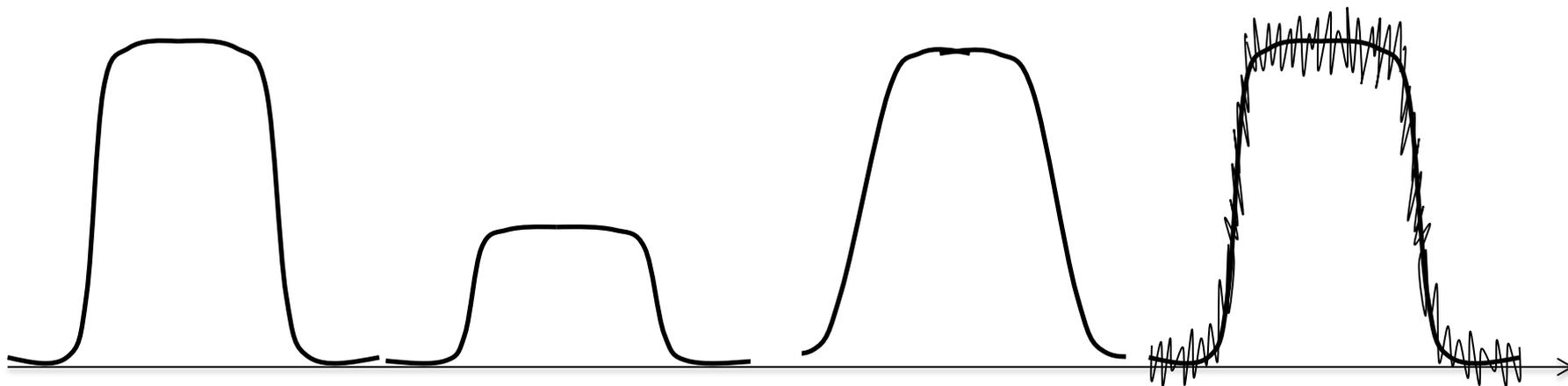


original

low contrast

blured

noisy



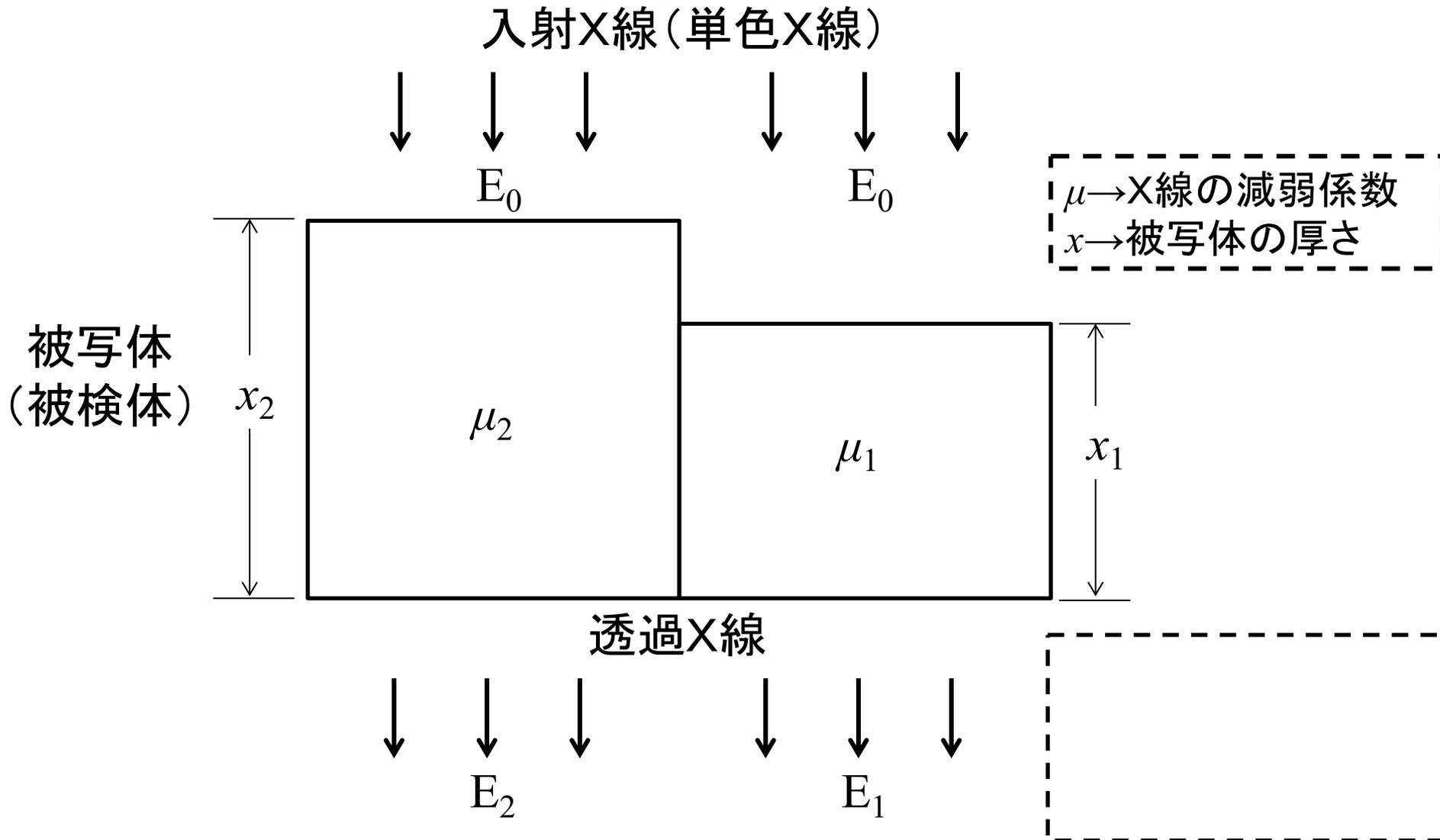
写真の画質を支配する因子

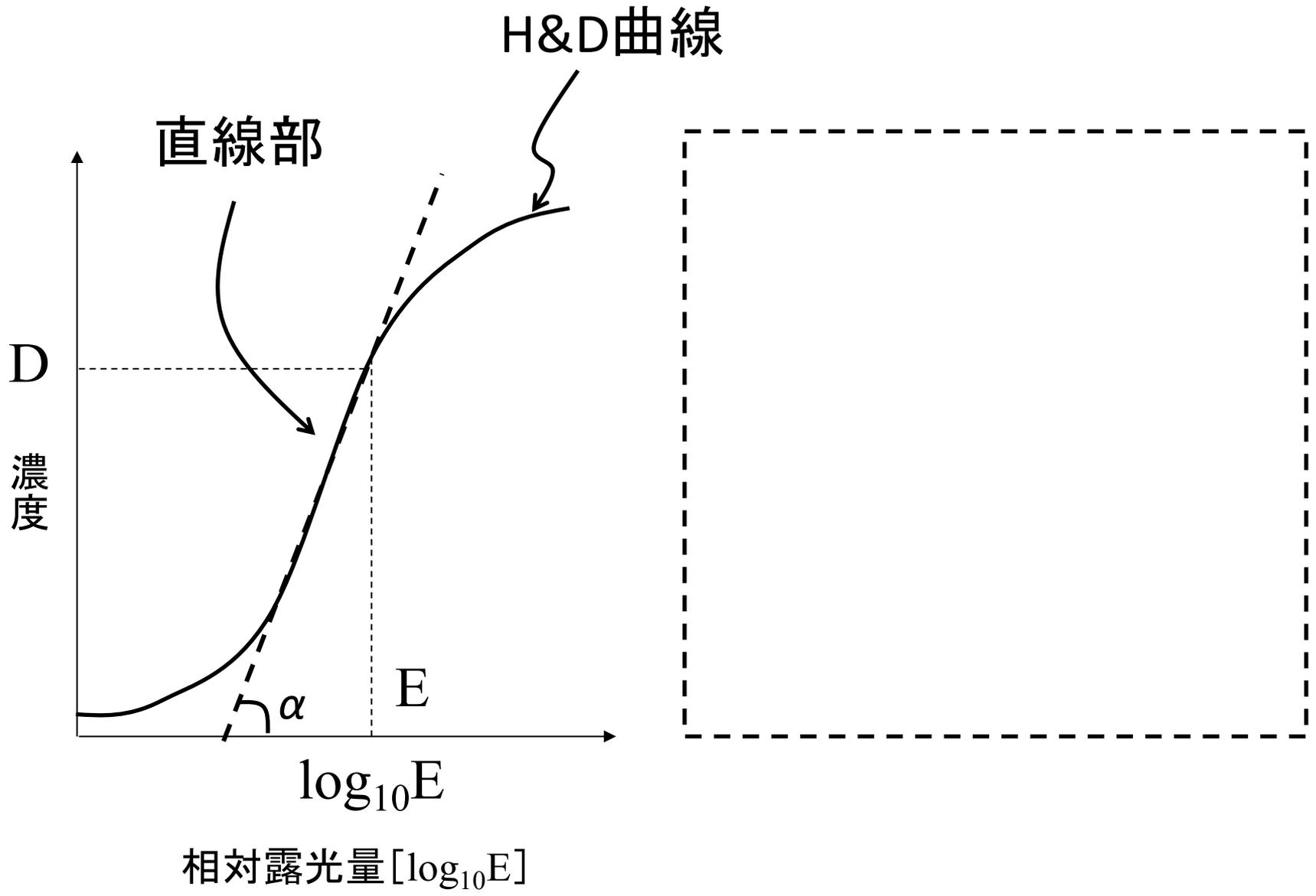
調子再現 (tone reproduction) : 被写体の明暗階調に対する画像の明暗階調の再現性をいう。したがって、写真では、被写体の明暗を写真像の濃度として記録するのが調子再現である。いわゆる、画像の_____に関する特性である。

_____ : X線で発光した蛍光がクロスオーバー効果によって広がったりして画像にボケを作る場合、これらのボケの程度を表す量のことである。画像の微細部分での記録性や画像の輪郭部の明瞭性など、いわゆる鮮鋭性の物理的尺度であり、写真系を一つの情報伝達機構と考えた場合、鮮鋭度は信号を伝達する能力と見ることができる。

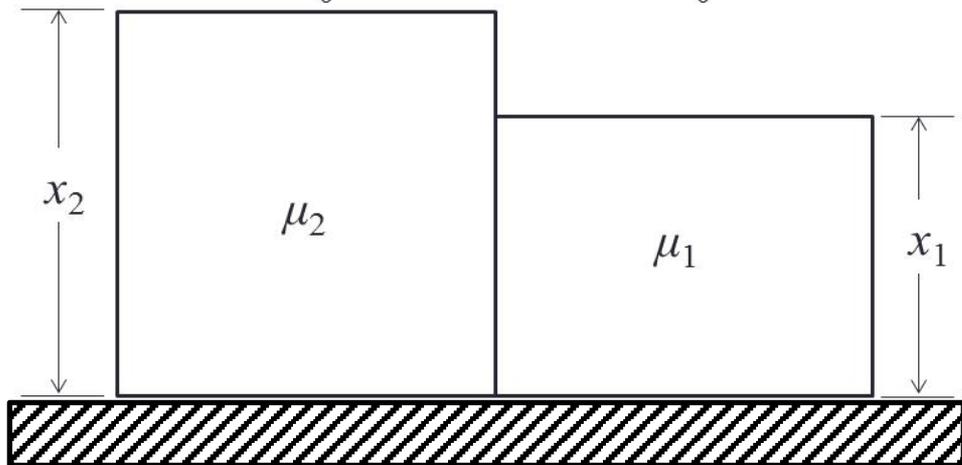
_____ : 写真フィルムを一様に露光し、現像処理した写真像は、現像銀が乳剤膜中で三次元的にランダムに分布している。この画像を10倍程度以上に拡大して観察すると、現像銀が塊状を呈し、“ザラツイタ”感じを受ける。このように画像に見受けられる粒状構造の疎密の程度を粒状度という。心理的粒状性 (graininess) と物理的粒状度 (granularity) を総称して粒状性と呼ぶこともある。

単純被写体構造の入射X線と透過X線





入射X線(単色X線)

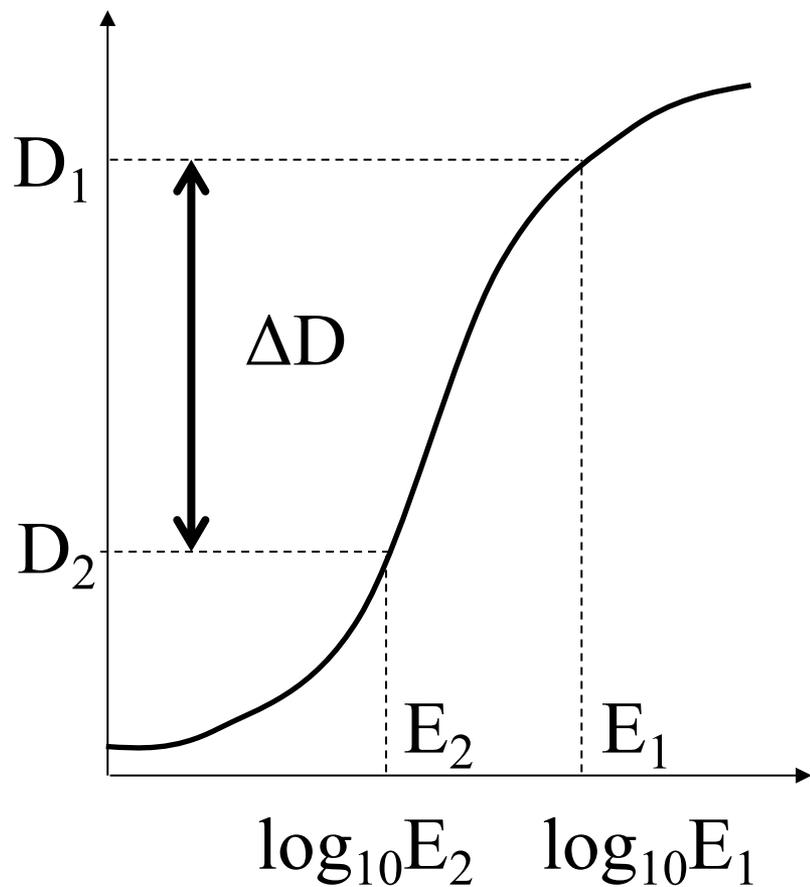


E_2

E_1

D_2

D_1



$$\Delta D = D_1 - D_2$$

X線写真コントラスト(C_r)

$$\Delta D = D_1 - D_2$$

$$\log_A BC = \log_A B + \log_A C$$

$$= \gamma \cdot \log_{10} E_1 - \gamma \cdot \log_{10} E_2$$

$$= \gamma \cdot [\log_{10} E_1 - \log_{10} E_2]$$

$$= \gamma \cdot [\log_{10} (E_0 \cdot e^{-\mu_1 x_1}) - \log_{10} (E_0 \cdot e^{-\mu_2 x_2})]$$

$$= \gamma \cdot [\log_{10} E_0 + \log_{10} e^{-\mu_1 x_1} - \log_{10} E_0 - \log_{10} e^{-\mu_2 x_2}]$$

$$= \gamma \cdot [\log_{10} e^{-\mu_1 x_1} - \log_{10} e^{-\mu_2 x_2}]$$

$$\log_A B = \frac{\log_C B}{\log_C A}$$

$$= \gamma \cdot \left[\frac{\log_e e^{-\mu_1 x_1}}{\log_e 10} - \frac{\log_e e^{-\mu_2 x_2}}{\log_e 10} \right]$$

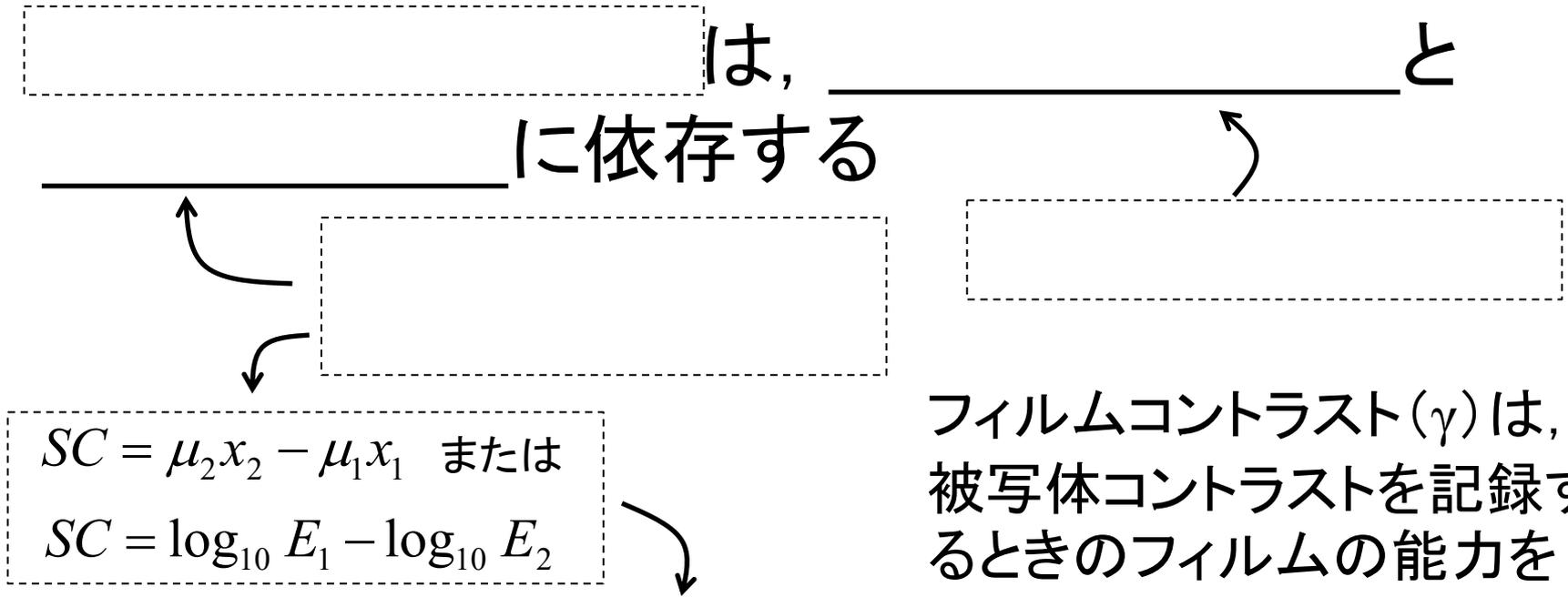
$\log_A A^B = B$

$$= \gamma \cdot \left(\frac{1}{\log_e 10} \right) \cdot (\mu_2 x_2 - \mu_1 x_1)$$

$$= \frac{\gamma}{2.3} \cdot (\mu_2 x_2 - \mu_1 x_1)$$

$$= \boxed{}$$

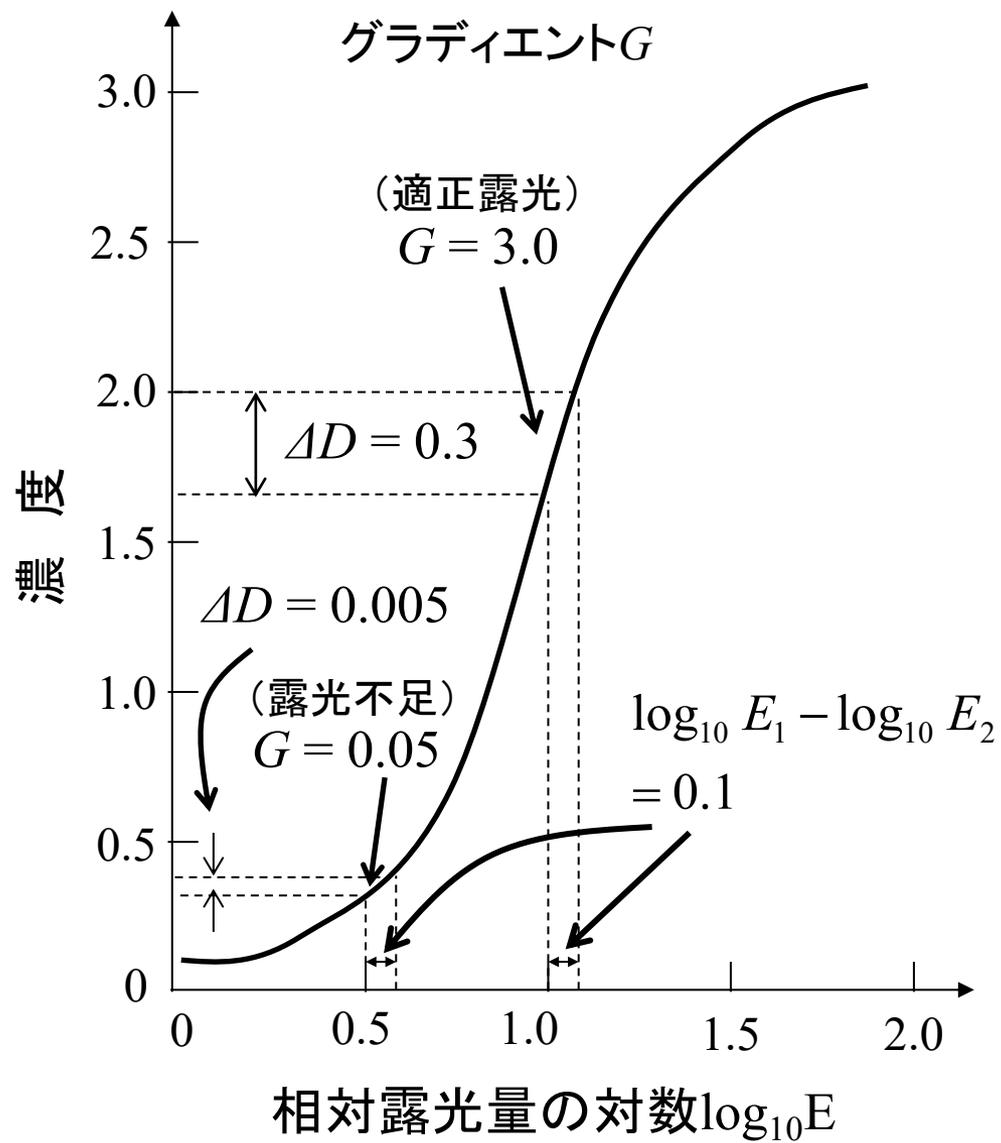
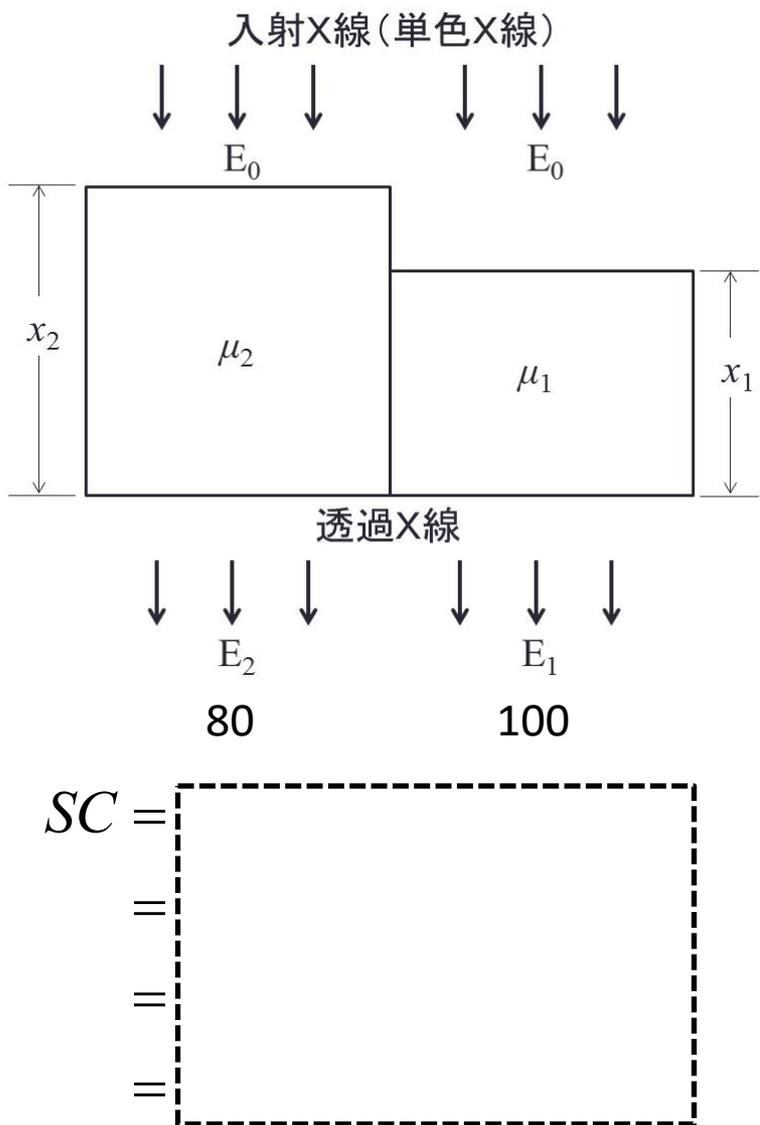
コントラストについて



$$SC = \mu_2 x_2 - \mu_1 x_1 \quad \text{または}$$
$$SC = \log_{10} E_1 - \log_{10} E_2$$

被写体コントラストは、被写体の物理的性質（減弱係数、厚み）およびX線エネルギーに依存する

フィルムコントラスト(γ)は、被写体コントラストを記録するときのフィルムの能力を表す。フィルムコントラストは、使用するフィルムの種類、現像処理、フィルム濃度に依存し、H&D曲線で定量的に評価できる。



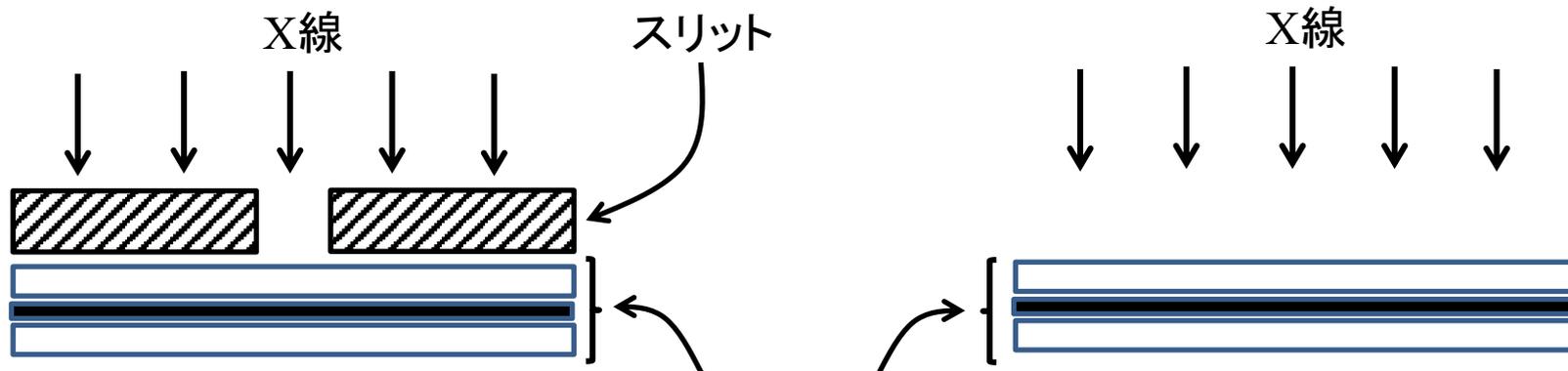
フィルムコントラストの評価

_____であれば、フィルムは被写体コントラストの増幅器として作用する

_____であれば、フィルムは被写体コントラストの減衰器として作用する

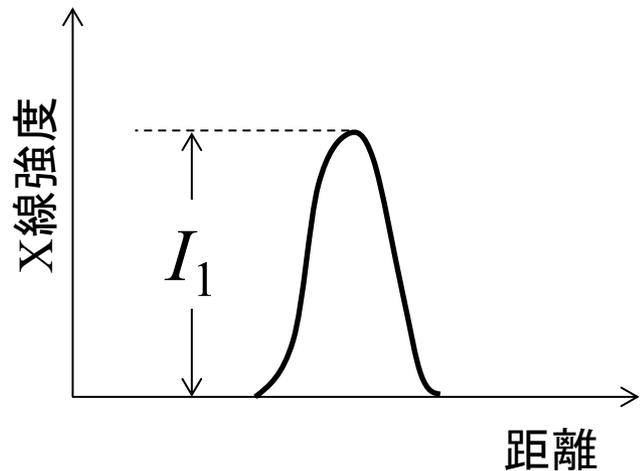
$G = 1.0$ であれば、X線写真コントラストは被写体コントラストに等しい

Rudinger-Spiegler法 (鮮鋭度指数法)



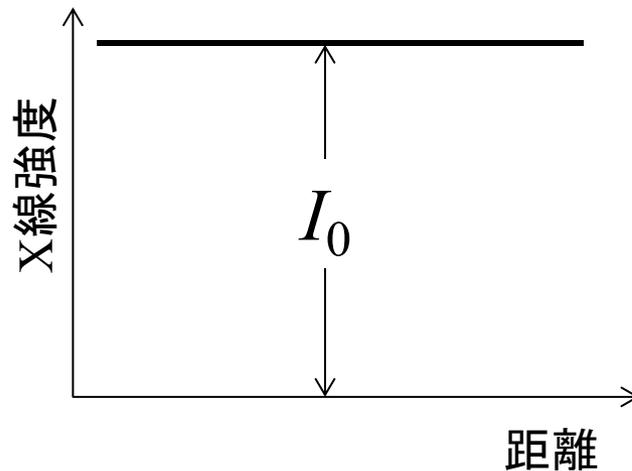
H&D曲線により有効露光量変換
(写真濃度⇒X線強度)

増感紙-フィルム



鮮鋭度 S

$$S = \frac{I_1}{I_0}$$



この方法は、スリット幅で I_1 の値が変化する。したがって、 S の値も変化するという欠点がある。

鮮鋭性



評価の道具として
MTFが用いられる

- 鮮鋭度
- Sharpness
- Resolution characteristic



画像の忠実度（再現性）



100 %



1.0

MTFの値

90 %



0.9

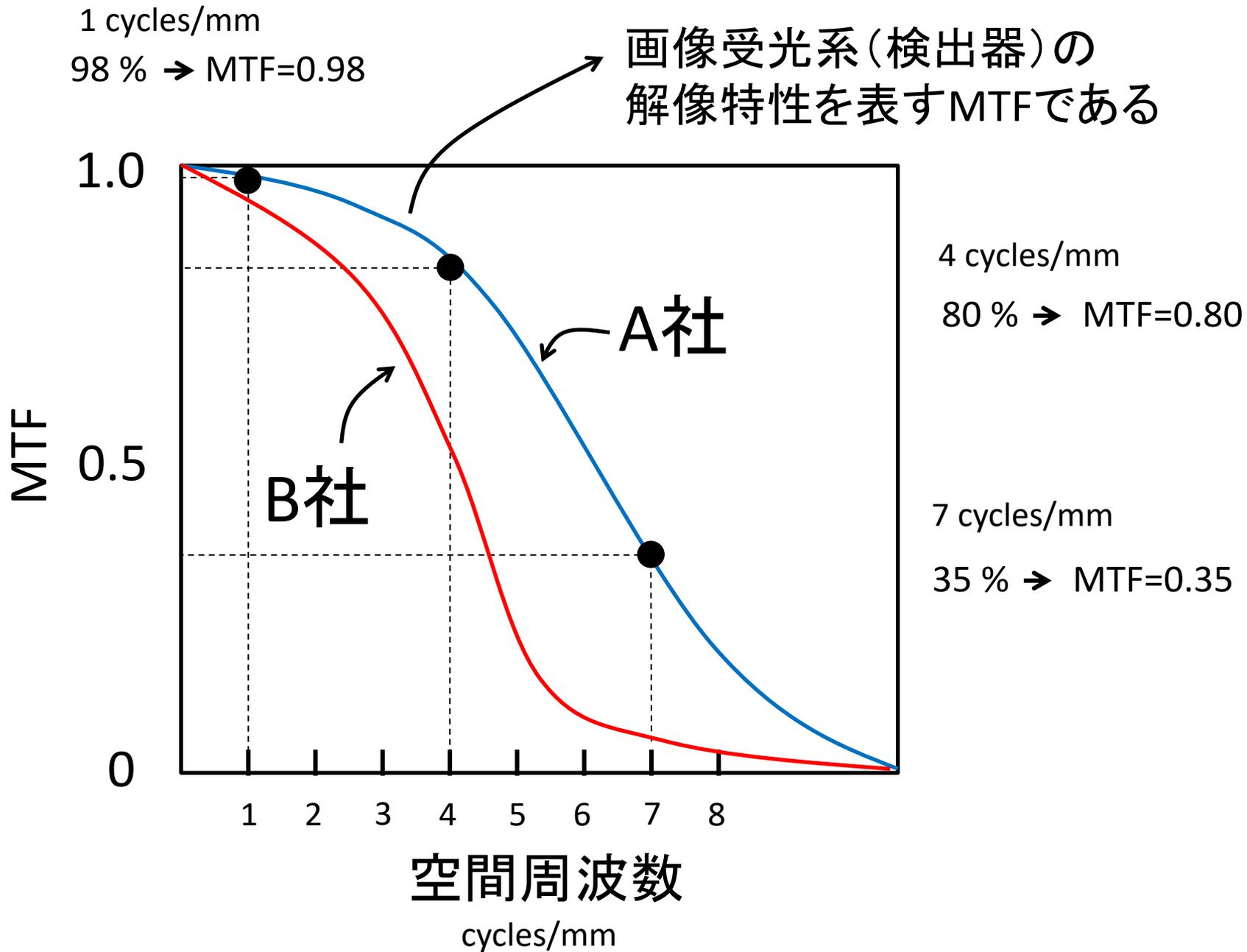
50 %

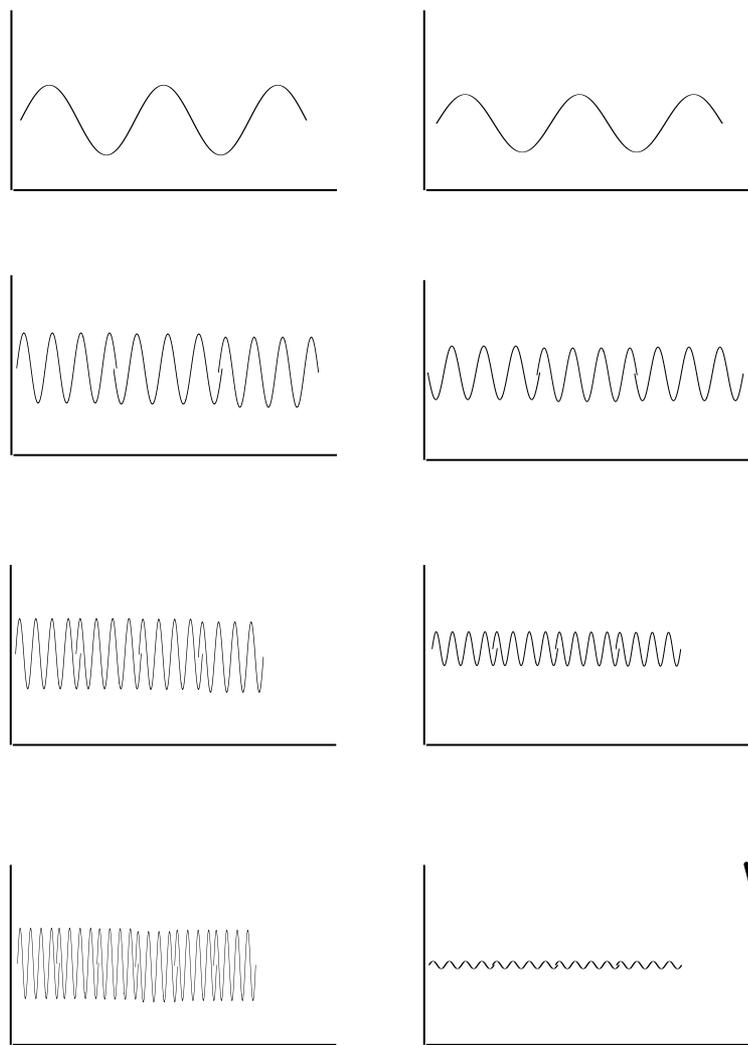


0.5



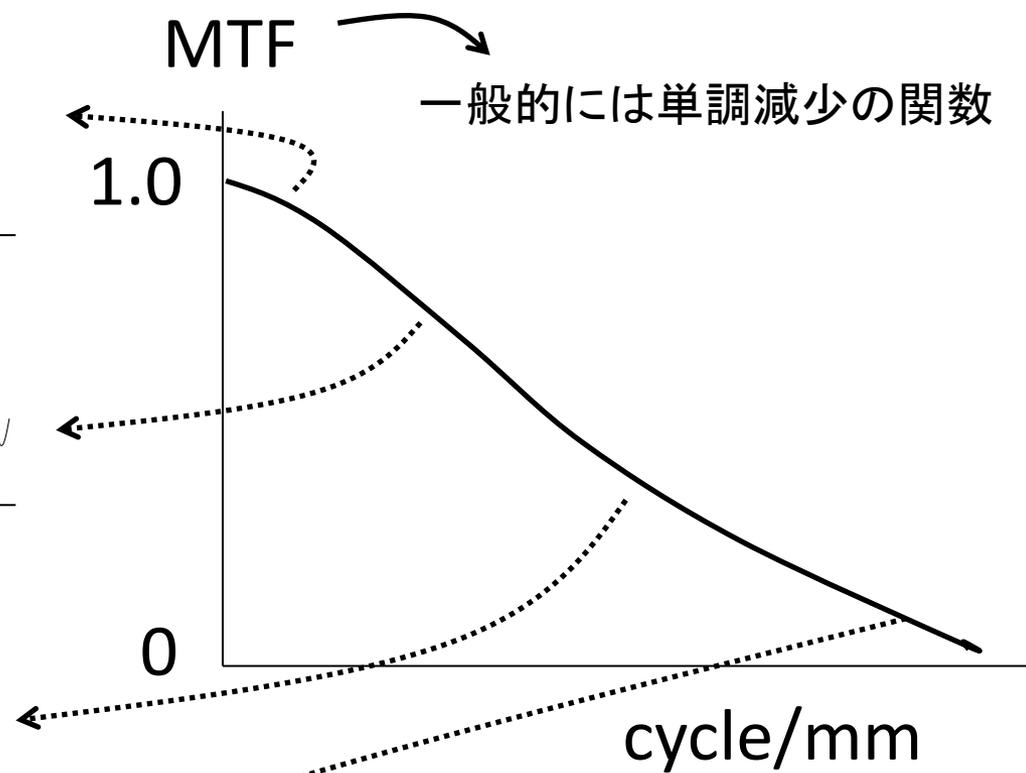
- 最大値は1.0である
- 値が大きいほど忠実度・再現性が良い
- 値が小さいとボケが多いことを意味する





入力側

出力側



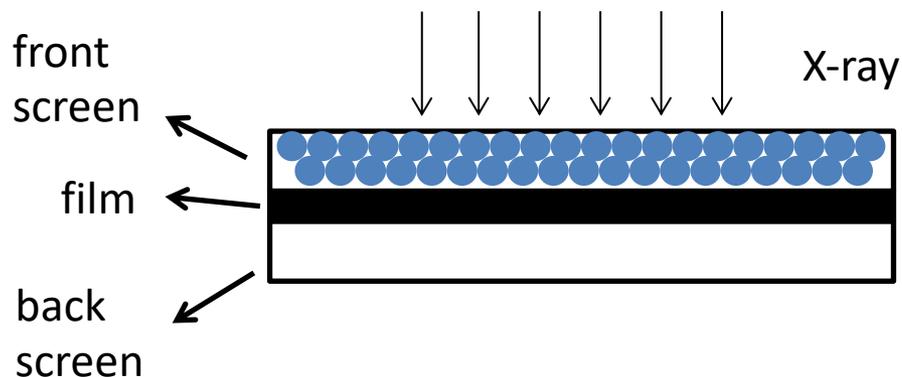
一般的には単調減少の関数

ボケの程度が大きい場合は,
MTFの値が_____。
(伝達特性が良くない, 忠実
性が良くない)

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



X線写真モトル
radiographic mottle

増感紙モトル
screen mottle

増感紙の構造モトル
structure mottle

フィルムの粒状
film graininess



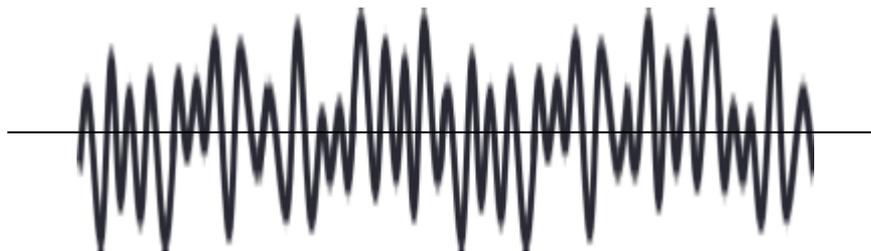
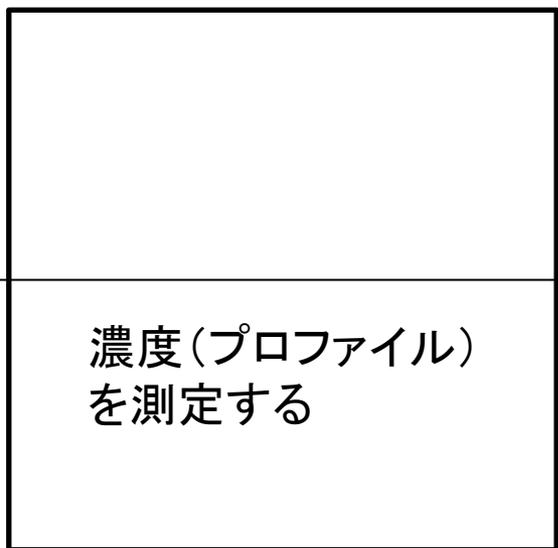
アナログ画像

デジタル画像

ノイズ特性

(濃度のゆらぎ)

変動 小 → good



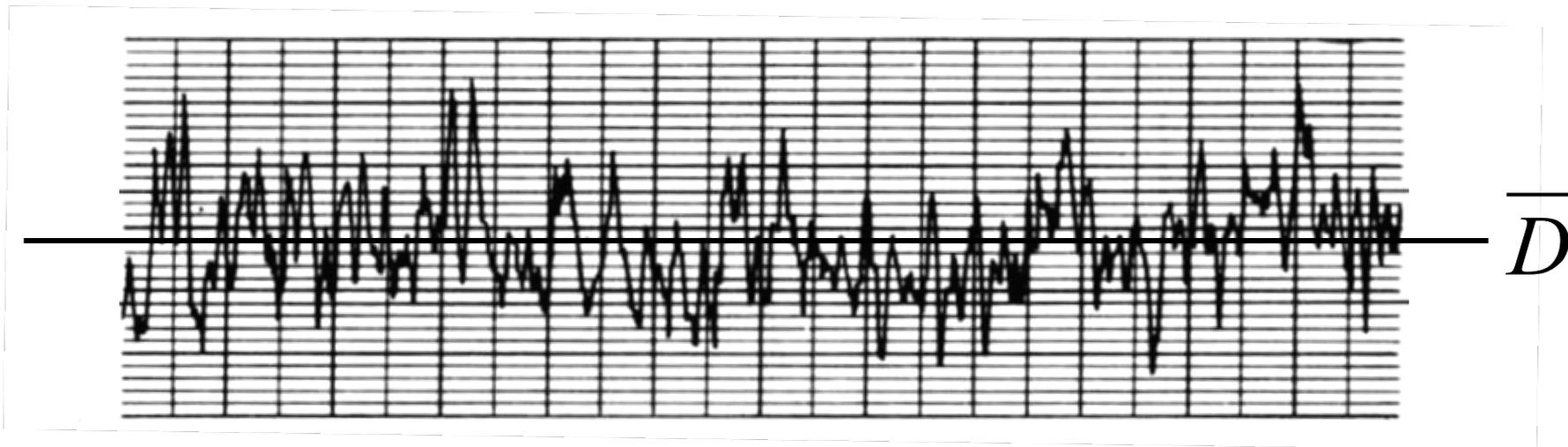
変動 大

→ poor

濃度の変動が小さいほど粒状度(性)
が

RMS粒状度

RMS: root mean squareの略, すなわち標準偏差



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

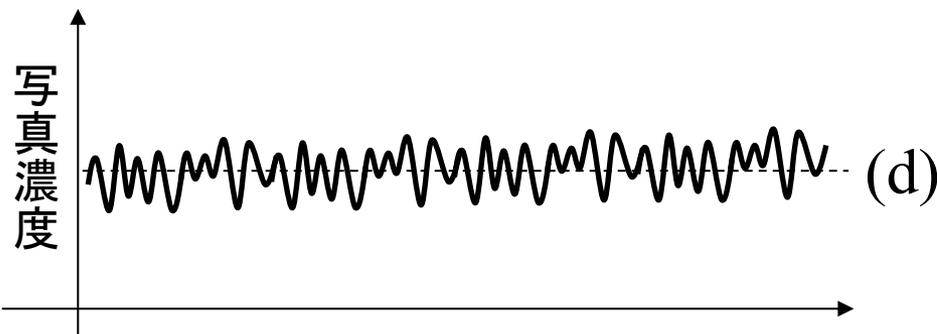
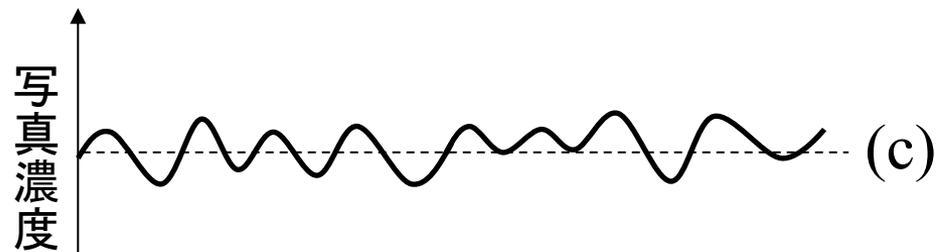
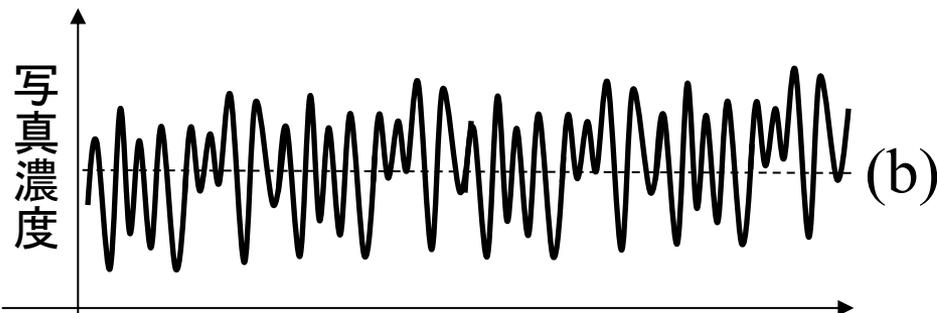
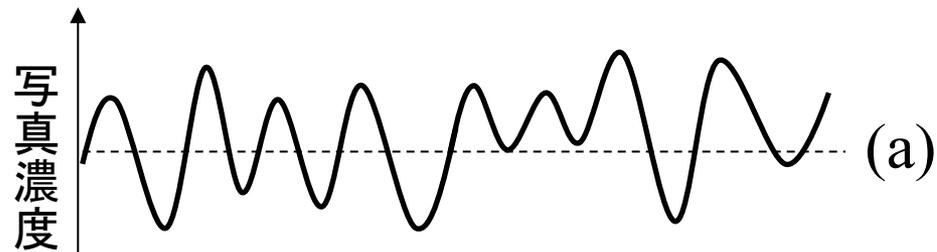
\bar{D} : 平均値

D_i : 位置 i における値

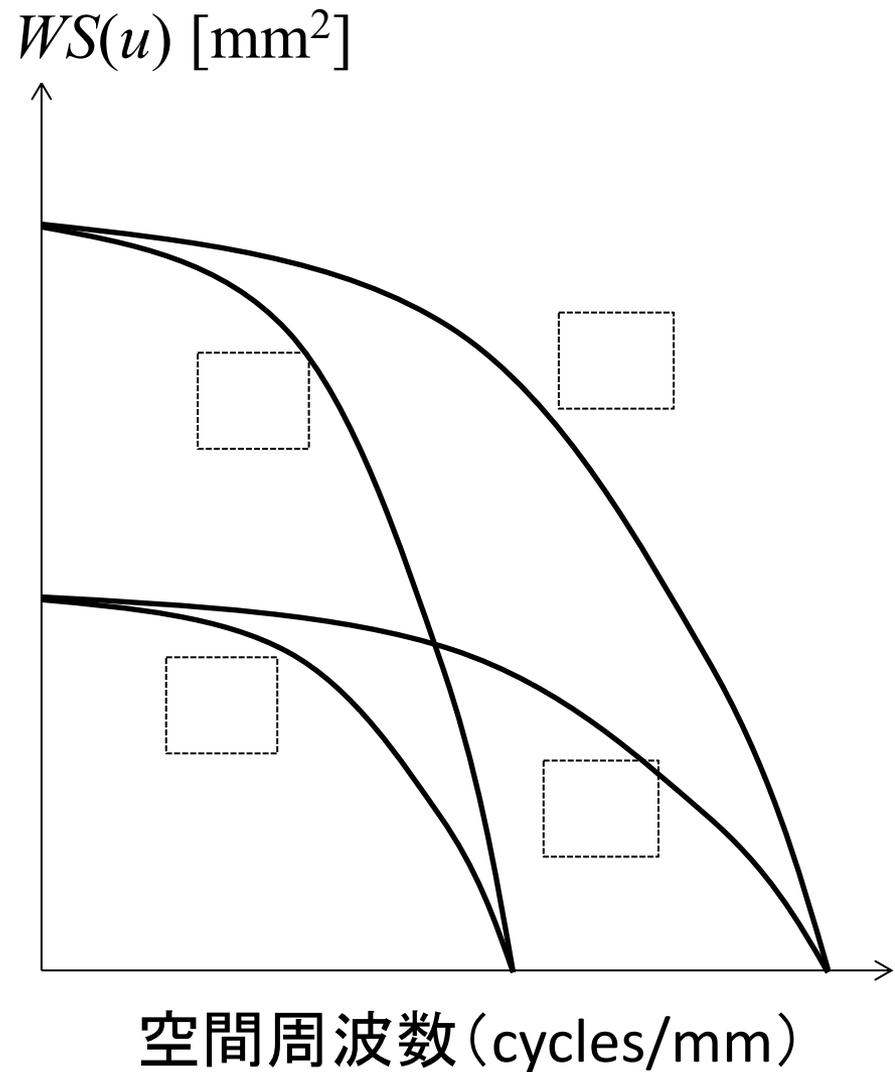
N : データ数

RMSの値が大きいほど，変動が大きいことを示すので，粒状性は悪い。

RMS粒状度は，簡単に求めることができる。しかし，X線フィルムの濃度で変化する。また，マイクロデンシトメータの走査に用いる開口面積（アパーチャサイズ）に依存する。開口面積と，RMS粒状度の二乗の積が一定の値を示す。



_____ : ノイズの大きさを
空間周波数情報として解析する



200X年 国家試験問題(改変)

X線センシトメトリーで正しいのはどれか. 2つ選べ.

1. キャリア係数は1より小さい
2. 距離法は相反則不軌の影響を受ける
3. Bootstrap法は2回曝射のみで良い
4. フィルムコントラストはラチチュードに影響する
5. タイムスケール法はX線強度を変化させる