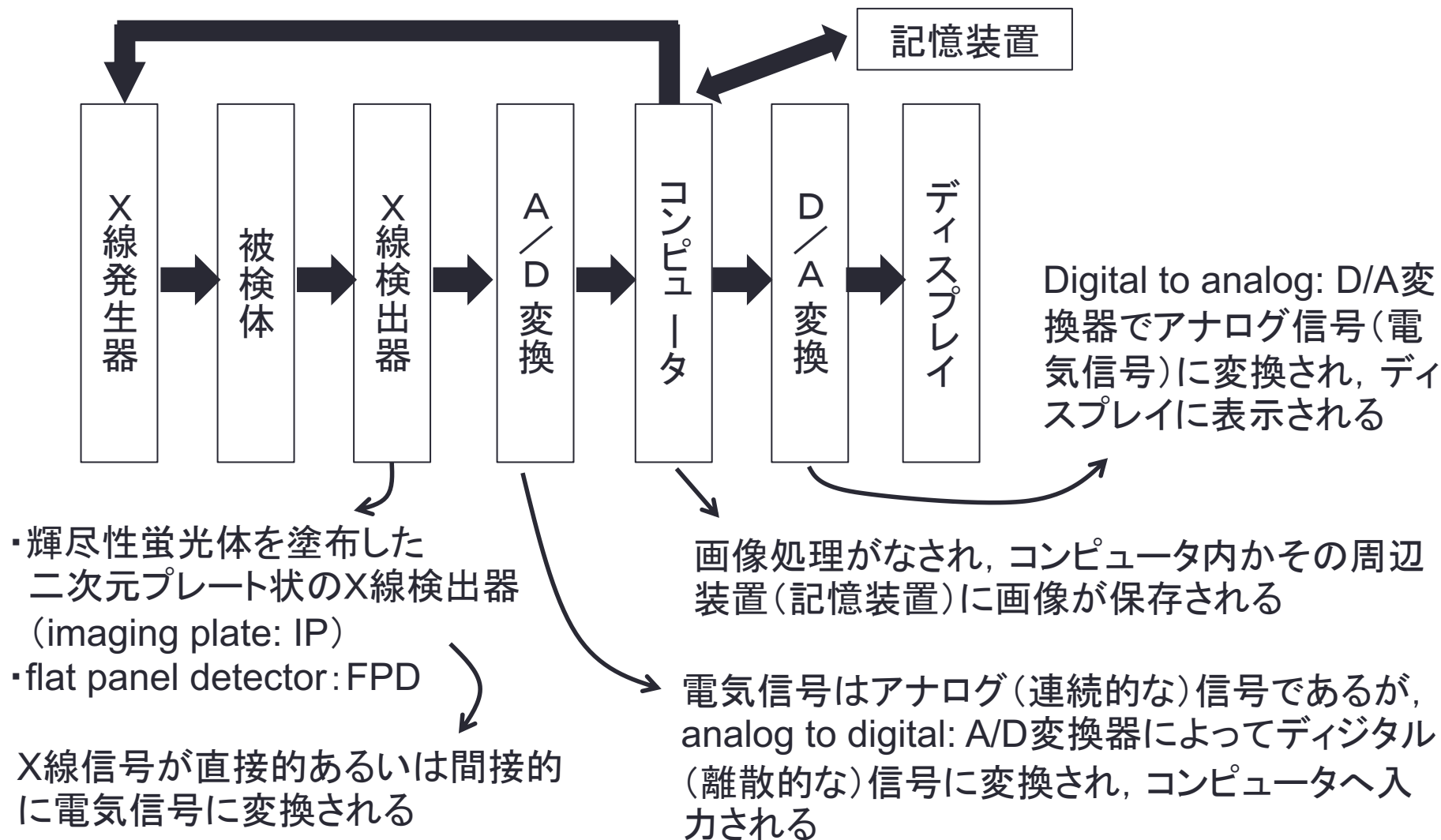


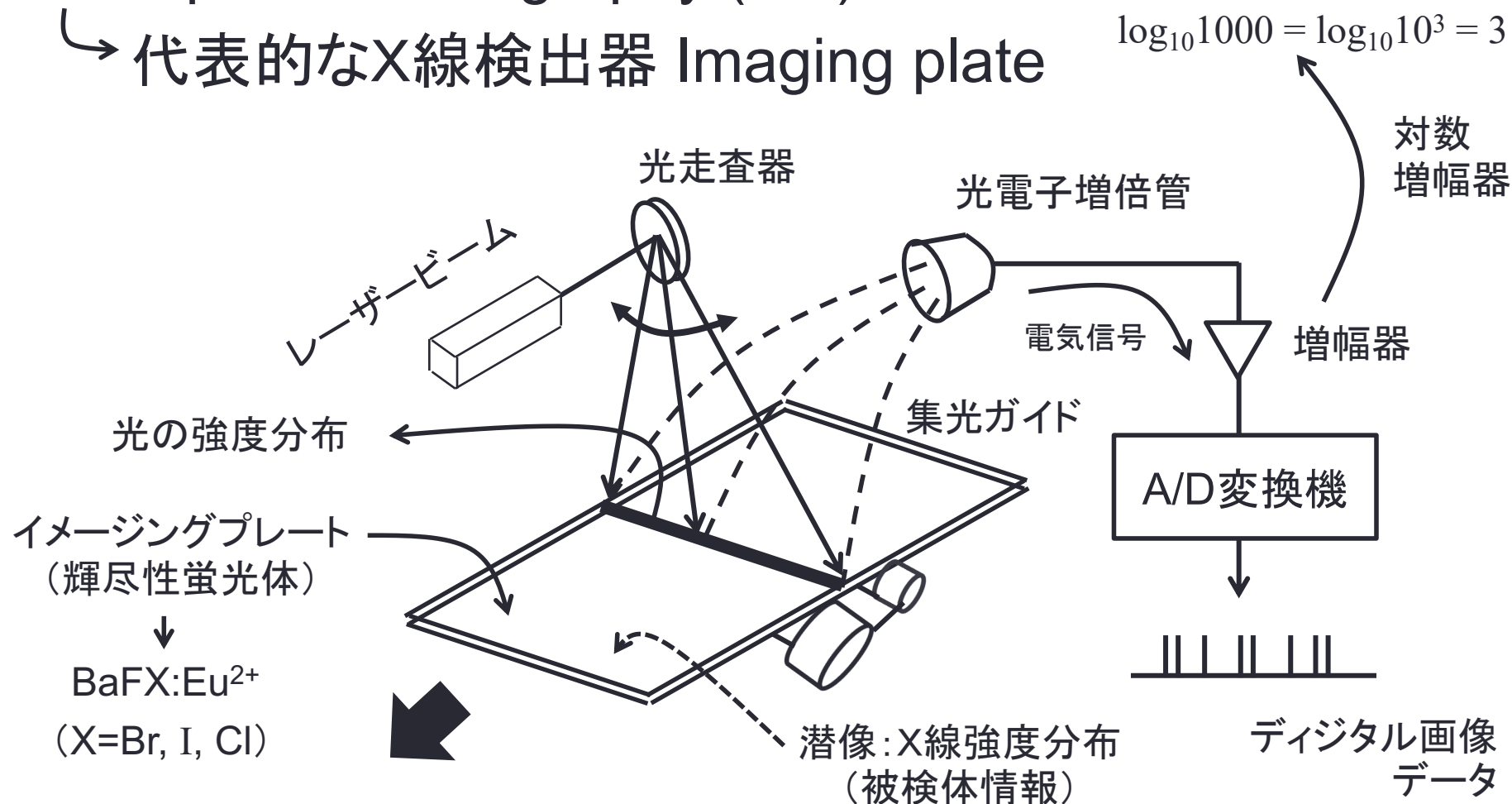
デジタルX線画像の形成装置



CRにおける画像形成

Computed Radiography (CR)

↳ 代表的なX線検出器 Imaging plate



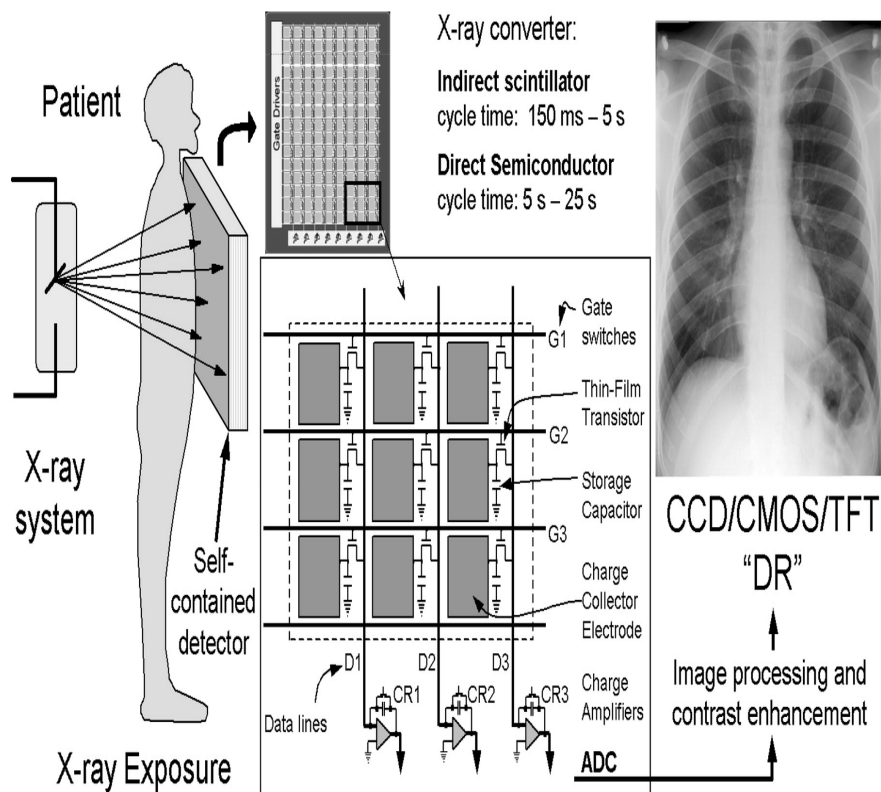
FPDにおける画像形成

フラットパネルディテクタ
Flat Panel Detector (FPD)

重要な
構造要素

直接変換型

間接変換型



X線受光面

画素

半導体switch

信号読み出し回路

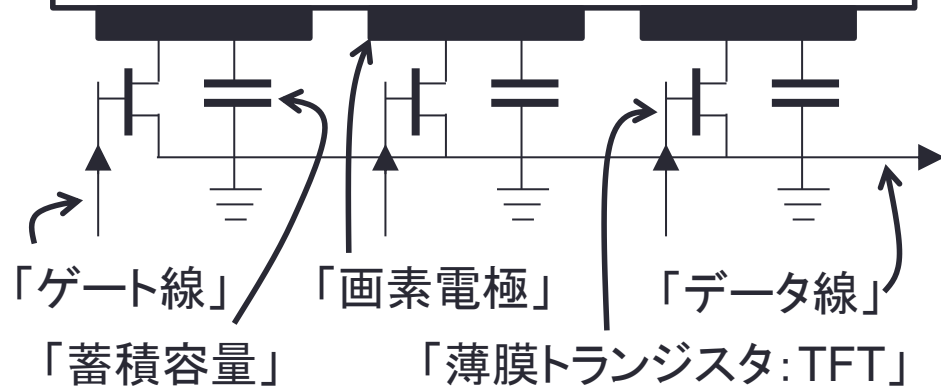
変換型

X線を_____に変換する方式

入射X線 ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓

被検体

半導体(a-Se)
(X線変換層)



X線に比例して「蓄電容量」に充電される。撮影が終わって「ゲート線」に、順に読み出し信号を送るとTFT(薄膜トランジスタ)スイッチが閉じて、蓄積容量に溜まった検出電流が「データ線」に取り出される

変換型

X線をいったん_____に変換した後に電気信号に変換する方式

入射X線 ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓

被検体

シンチレータ

[蛍光体(CsI, Gd₂O₂S)]

↓ ↓ ↓ ↓ ↓ 光 ↓ ↓ ↓ ↓

フォトダイオード(a-Si)

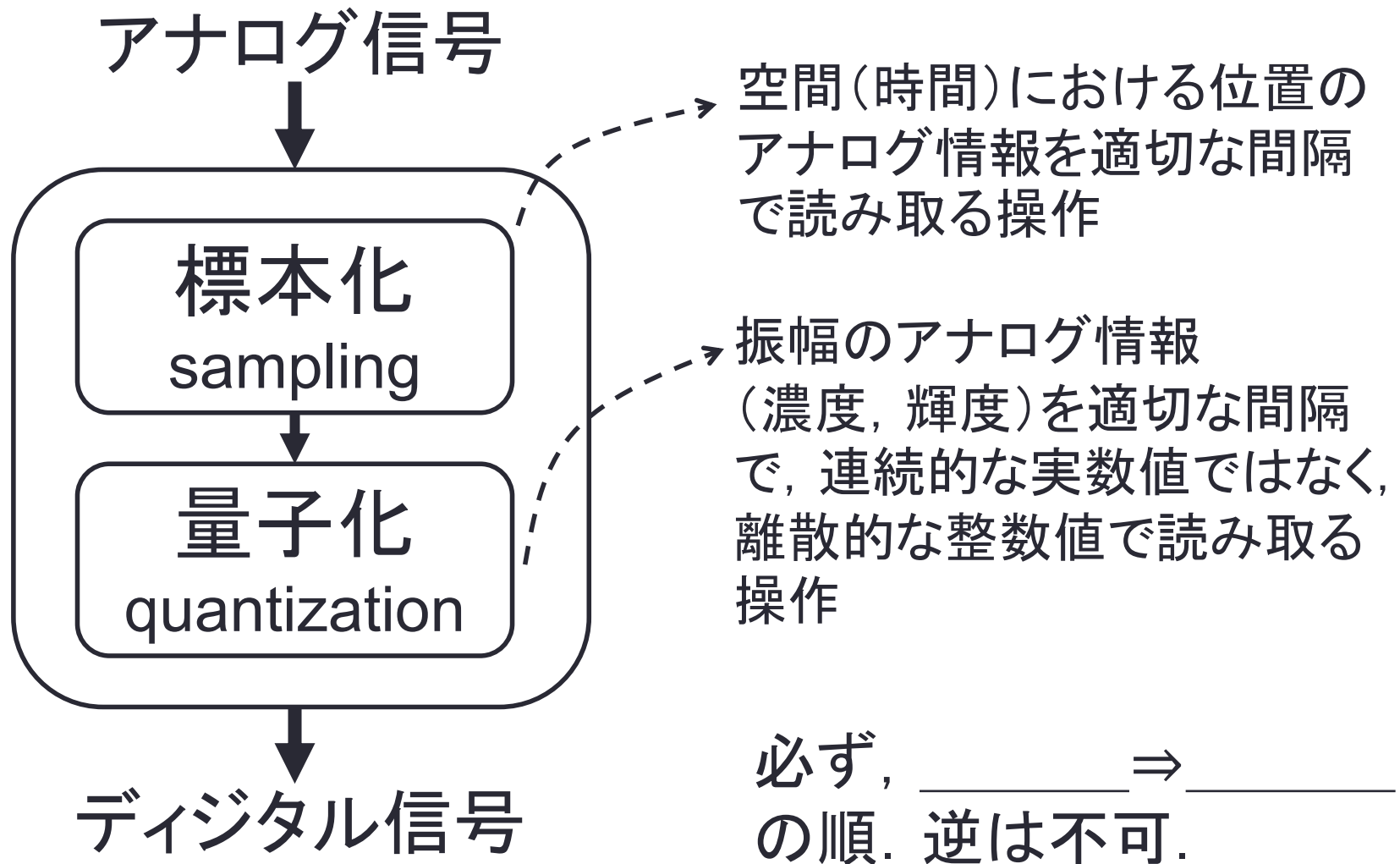


蛍光体内での光の散乱が原因となるボケが生じる

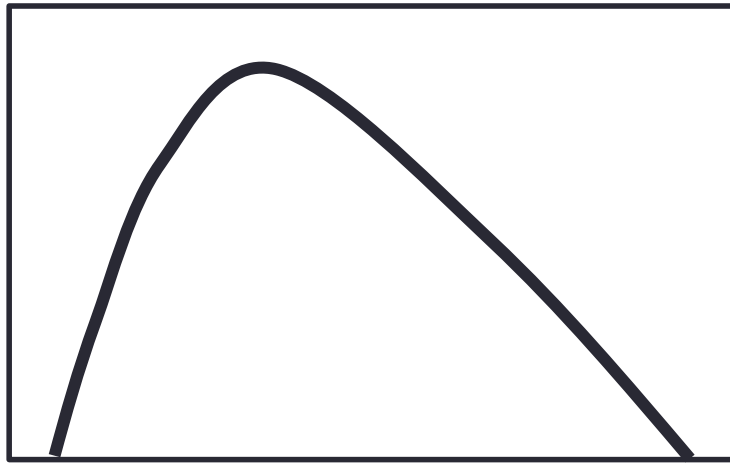
デジタルの利点

- デジタル回路はアナログ回路に比べて_____に強い
- コンピュータで処理・加工することができる
- コンピュータネットワーク上で伝送することができる
- コピー・伝送する際に_____
- 情報を_____することができる
- 情報を_____することができる
- 数値化するので、文字や音、画像など質の異なった情報を統合できる
- 物・スペースの節約(コンパクトに保存できる)

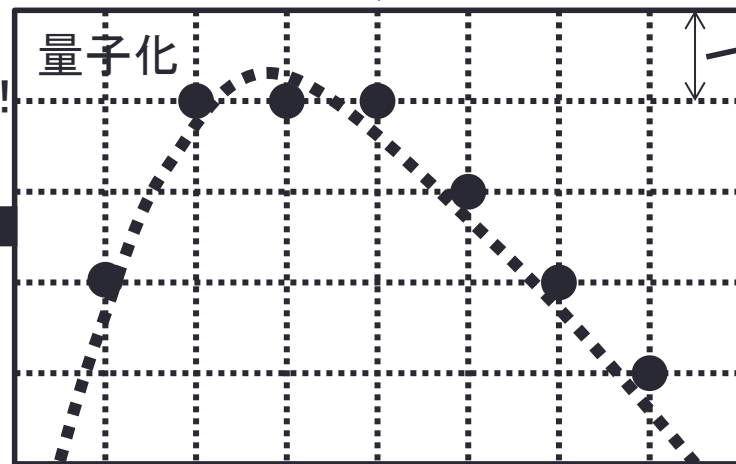
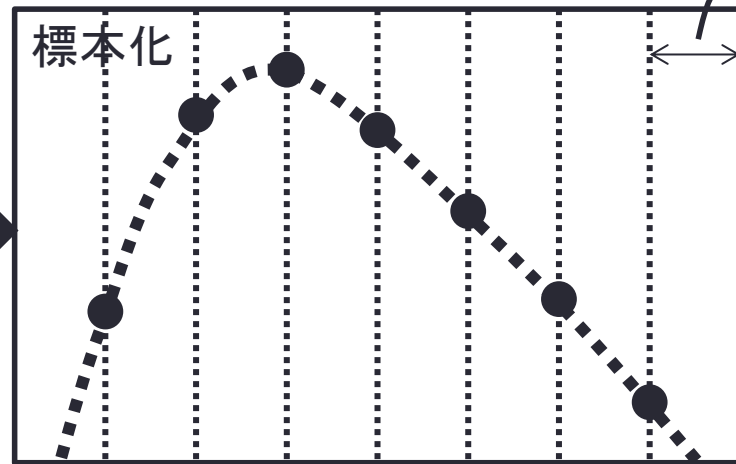
デジタル化 (digitization, A/D変換)



一次元アナログ信号のA/D変換の例



アナログ入力信号

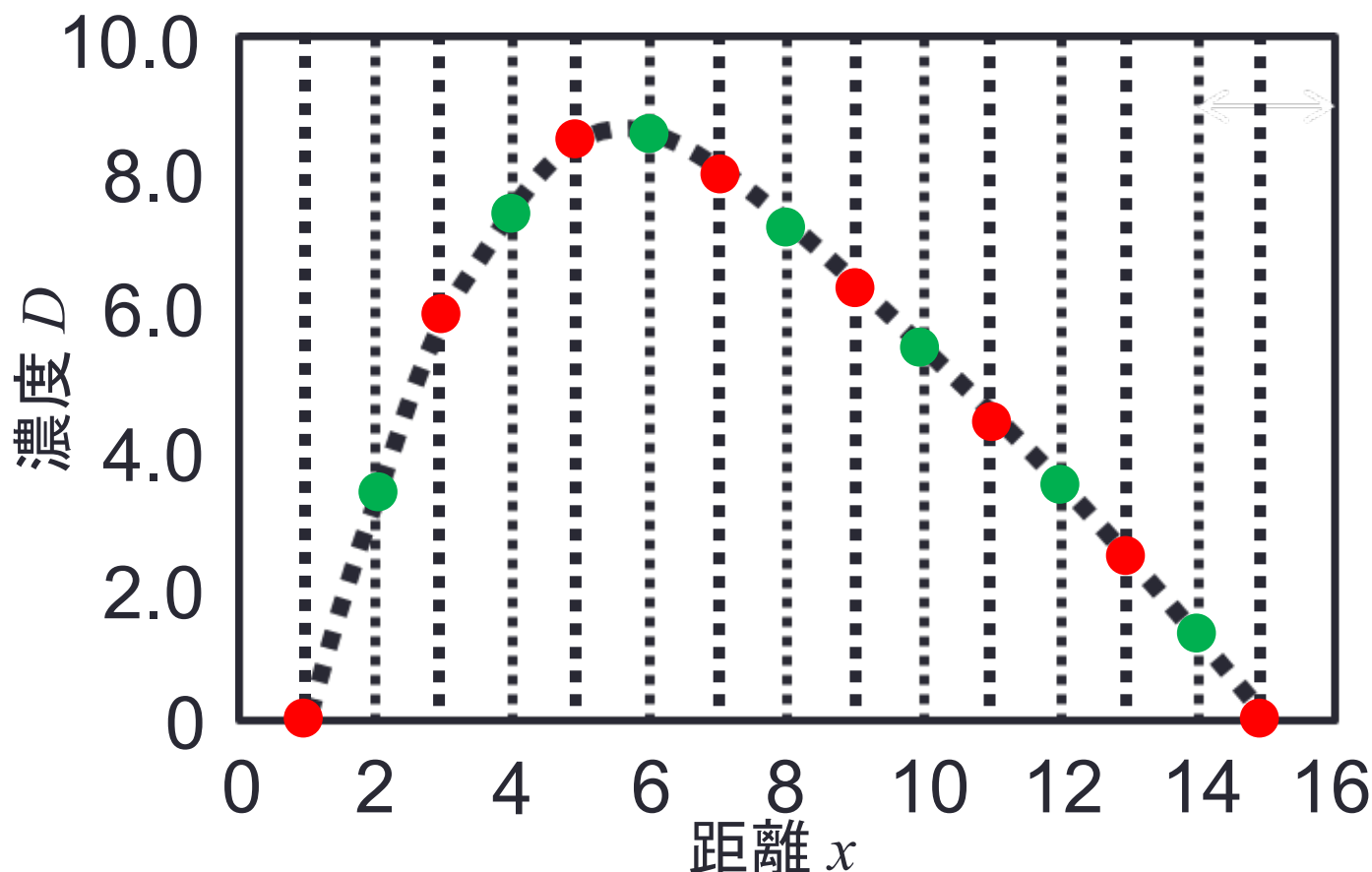


出力はコンピュータが理解できる2進数に！

...0100111011101...

デジタル出力信号

サンプリング間隔(Δx)



$\Delta x = 2$ のとき
データ(サンプリング点)の数は7

$\Delta x = 1$ のとき
データ(サンプリング点)の数は14

標本化間隔(Δx)が小さいほど, アナログ情報に近くなり, 情報量が多くなる. 画像では_____の因子である.

標本化定理 (sampling theorem)

- Δx が, どのような値であるべきかを示すもの
- デジタル信号になっても情報の損失や歪みがないようにするためには, アナログ信号をどのようにサンプリングすればよいか, を与えるもの

『サンプリング間隔は元のアナログ信号に含まれる周波数成分によって決まり, 最高周波数成分を $f_{\max}$ とすると, $1/2f_{\max}$ 以下の間隔 (Δx) で信号をサンプリングする必要がある』



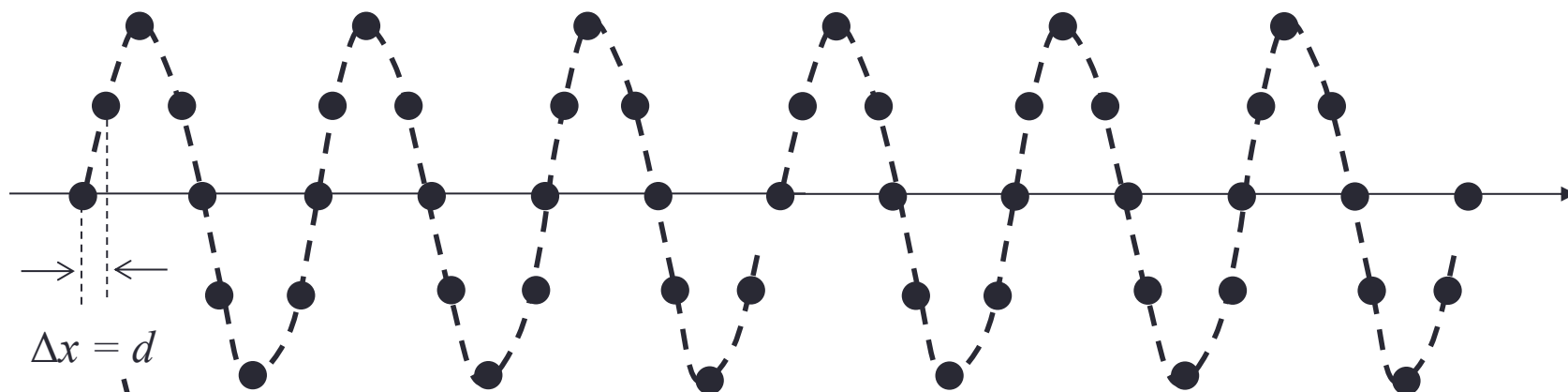
元信号のフーリエ変換から求まる
フーリエスペクトルから見る
ことができる

例えば, $f_{\max} = 10 \text{ cycles/mm}$ であれば,

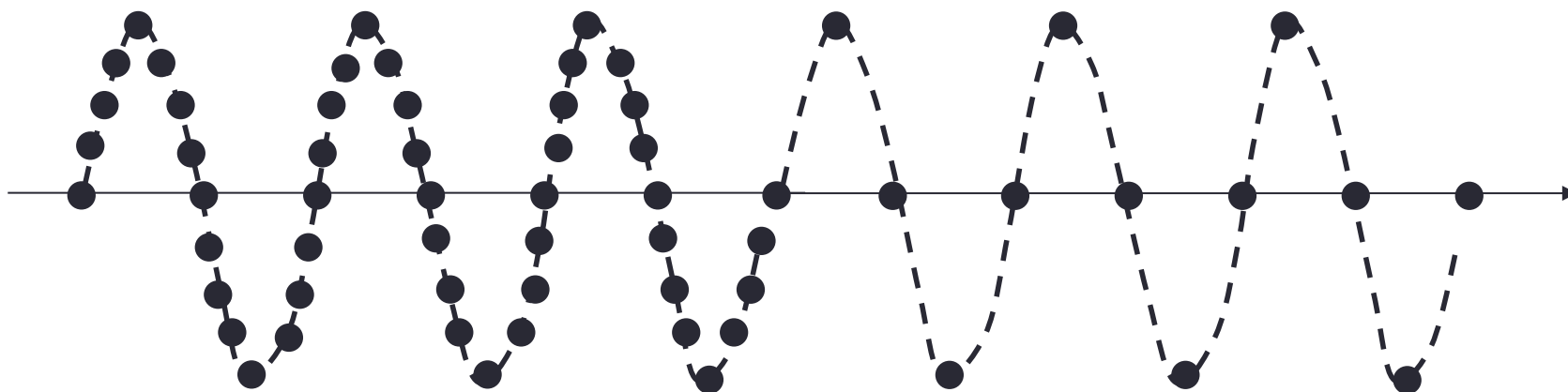
$\Delta x = 0.05 \text{ mm}$ のサンプリング間隔で標本化すればよい！

求めた Δx より大きいサンプリング間隔で標本化を行うこと $\Rightarrow$ アンダーサンプリング

求めた Δx より小さいサンプリング間隔で標本化を行うこと $\Rightarrow$ オーバーサンプリング



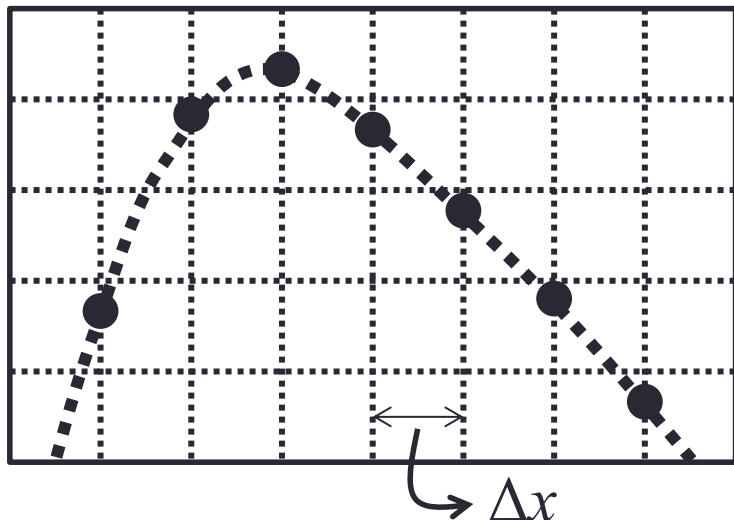
標本化定理に従って求めた適切なサンプリング間隔



d より小さい間隔での標本化
over sampling

d より大きい間隔での標本化
under sampling

ナイキスト周波数 (Nyquist frequency)



Δx で標本化が行われたとき、
このようなデジタル系で表
現でき得る最高の周波数
(限界周波数) f_N を考える。

$$f_N =$$

$$\Delta x \leq \frac{1}{2 \cdot f_{\max}} \quad \longleftrightarrow \quad f_{\max} \leq \frac{1}{2 \cdot \Delta x}$$

等号が成り立つとき
が最高周波数

ナイキスト周波数以上は
表現(再現)できない！

サンプリング定理(別の見方)

原信号をデジタルで完全に再現するためには、
原信号の持つ最大の周波数の2倍以上の周波数で
標本化する必要がある

標本化定理の式

Δx : サンプリング間隔 (mm)

f_N : 原信号の持つ最大周波数
(cycles/mm)

$$f_N \leq \frac{1}{2 \cdot \Delta x}$$

言い換えると. . . .

アナログ信号をデジタル化する場合, サンプリング周波数 (f_s) の
半分の周波数までしか再現できない

$\Delta x = 0.1 \text{ mm}$ のとき $f_s =$ _____, $f_N =$ _____

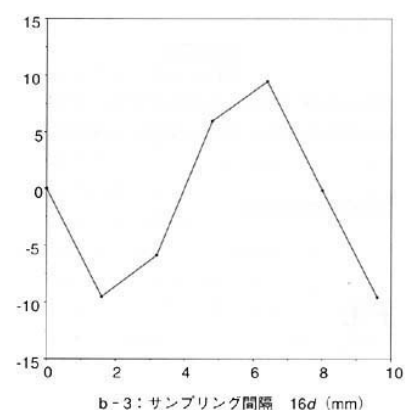
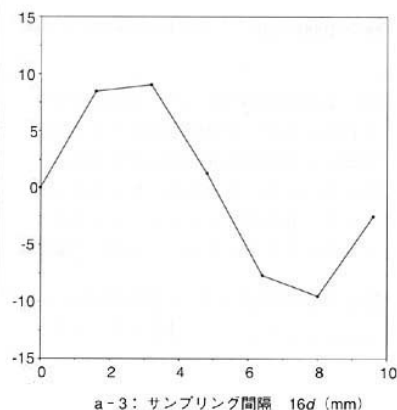
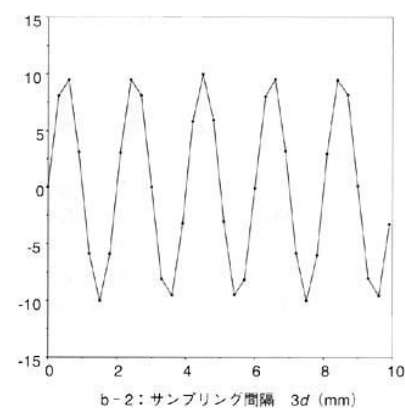
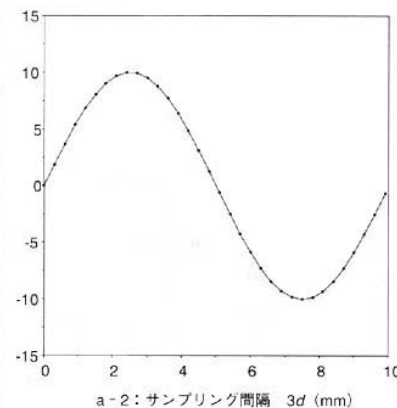
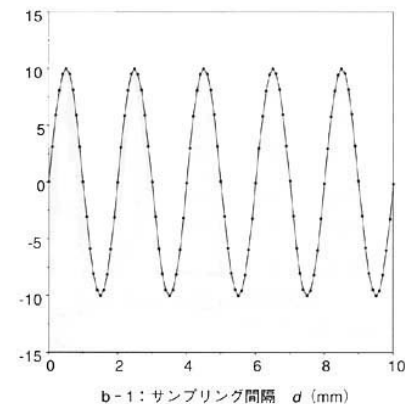
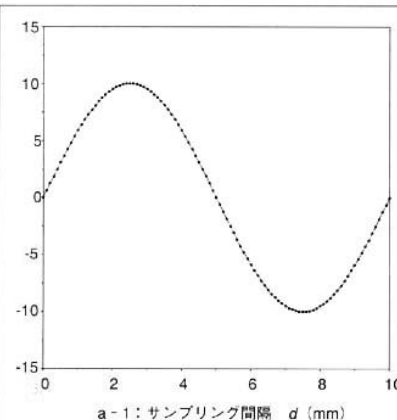
エイリアシング

サンプリング定理を満足しない間隔で標本化を行ったときに発生する誤差

「折り返し歪み」,
「折り返し雑音」
とも呼ばれる

画像では「
呼ばれる

」とも



量子化(quantization)

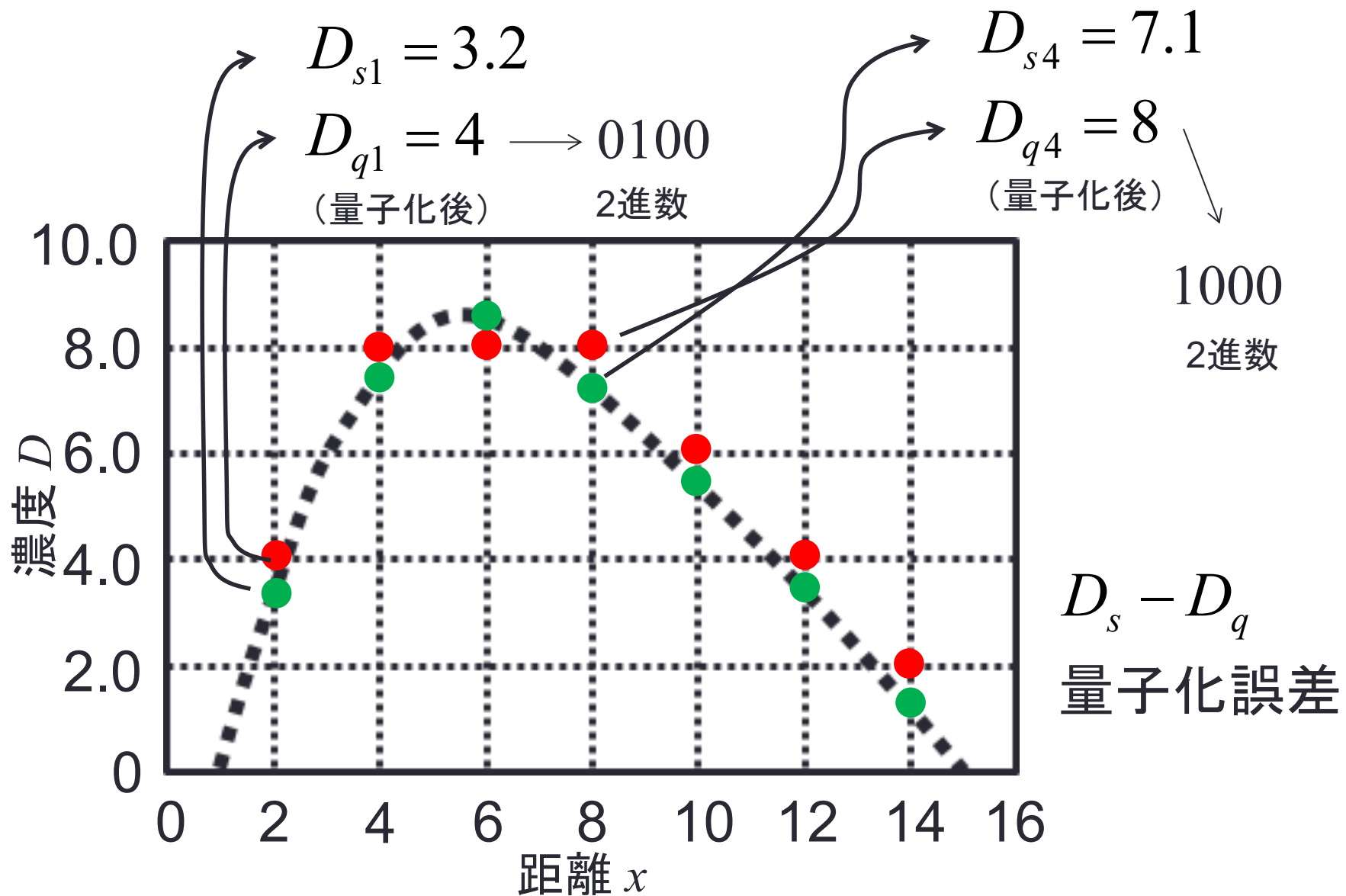
- データの振幅(画像では濃度)に対してデジタル化する処理
- 必ず標本化の後に行う
(先に行うことはできない)
- 量子化レベル(階調, グレイレベル)で表現される. 画素値(ピクセル値)ともいう.

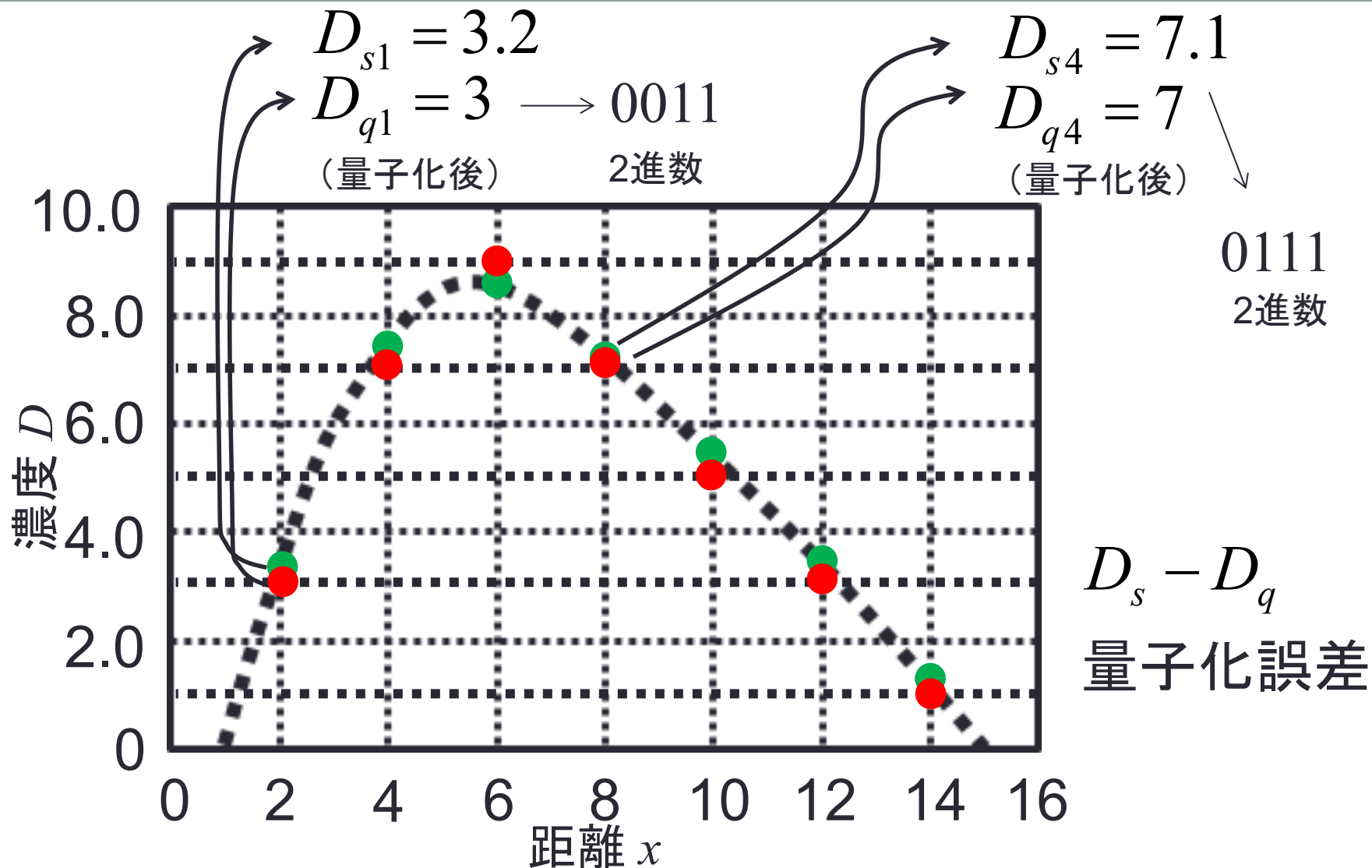
量子化レベル数の表し方

→256階調: 8 ビット, 1024階調: 10 ビット

- 量子化レベル数が小さいと,
_____ (画像では擬似輪郭)が発生する

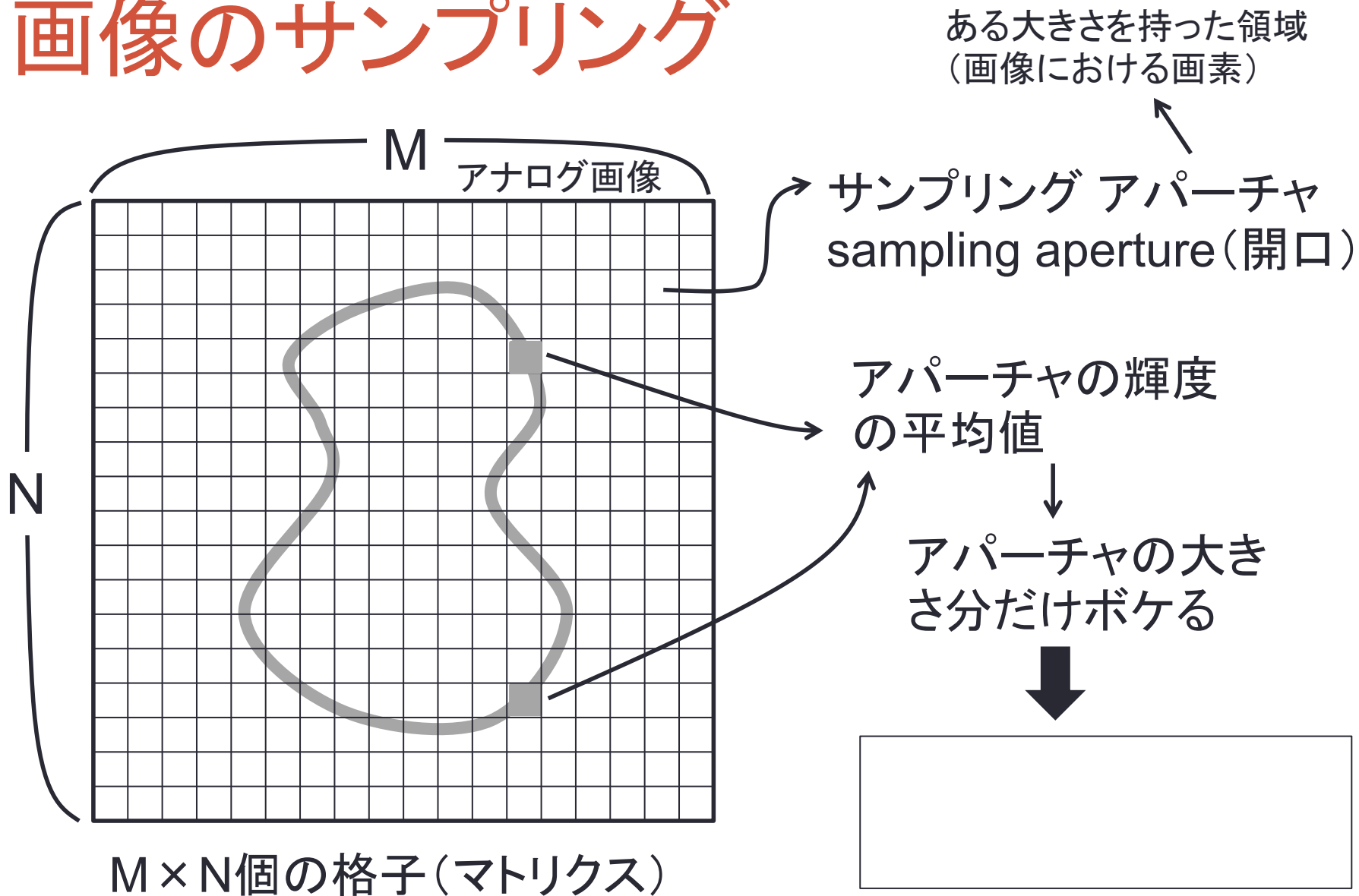
量子化誤差 (quantization error)





量子化間隔が_____ほうが，元データの再現力(表現力)がよくなる．画像では_____の因子である．

画像のサンプリング



画素の中心位置(サンプリング点)

$d \rightarrow$ サンプリング間隔

サンプリングアパーチャ
サイズ
 a

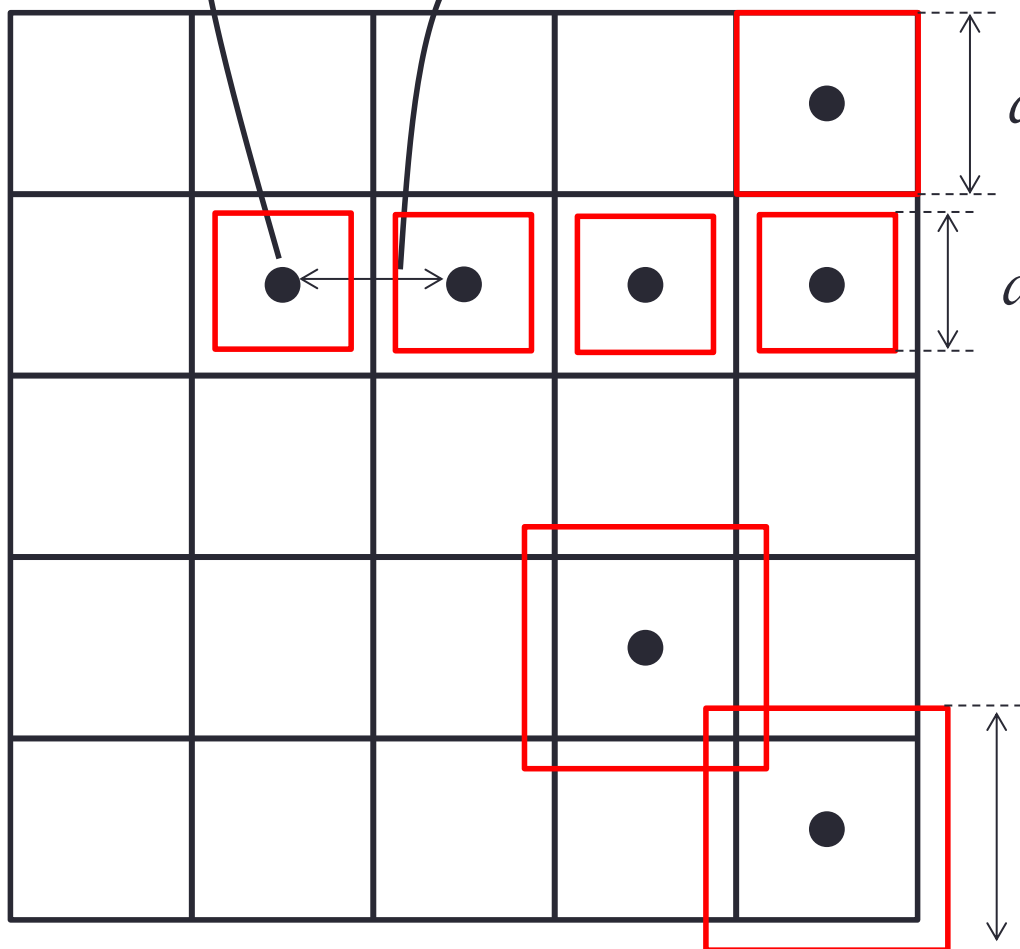
通常 $d = a$

$d > a$ の場合

一部の情報は使われない

$d < a$ の場合

詳細な情報が見えなくなる



整数値 (例えば, 0~255 の範囲内の整数)



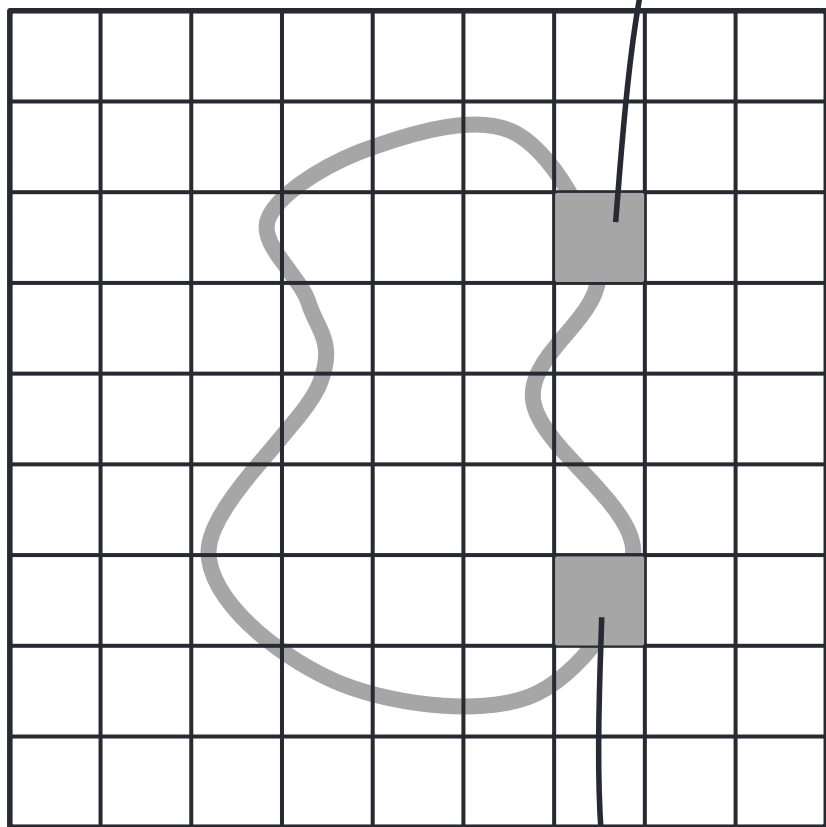
量子化レベル 8 bit

	79	23	67	
	17	38	89	
	22	49	51	

量子化レベル 12 bit



例えば, 0~4095 の範囲内の整数



アナログ画像



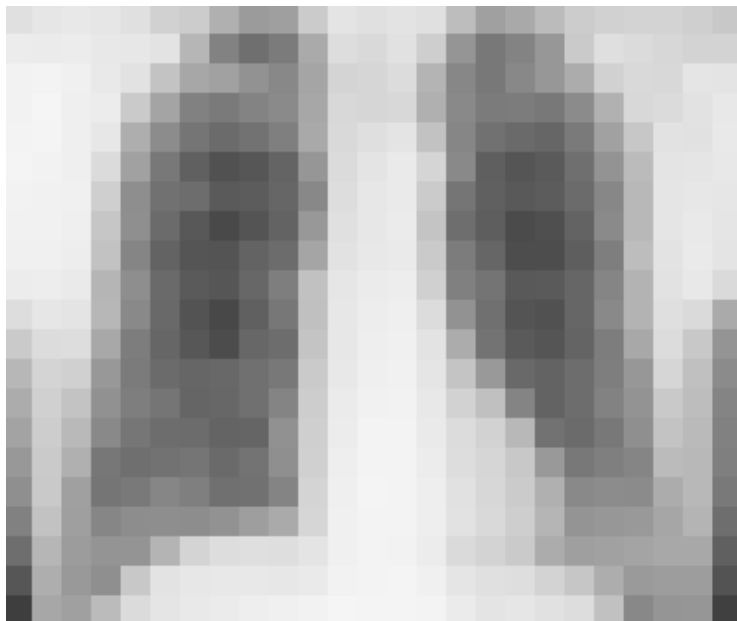
12 × 10 の画素配列



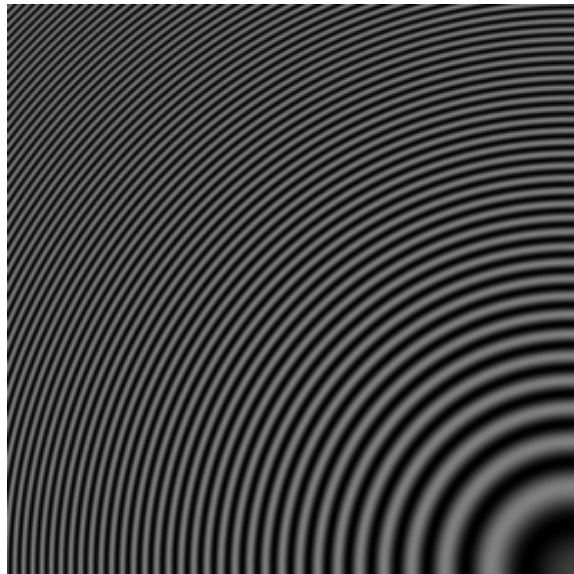
50 × 40 の画素配列



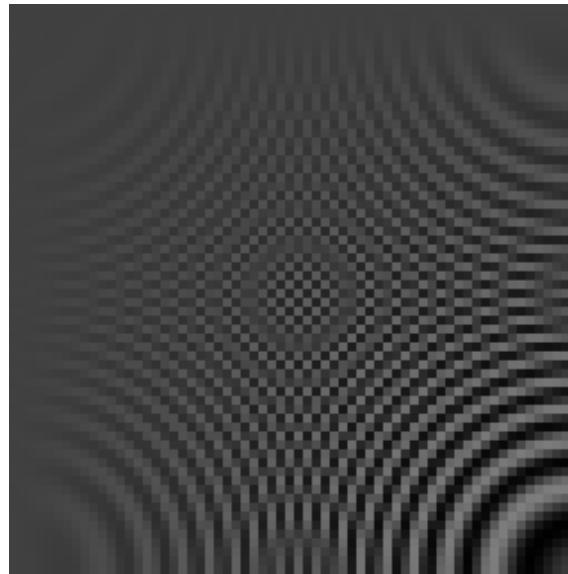
25 × 21 の画素配列



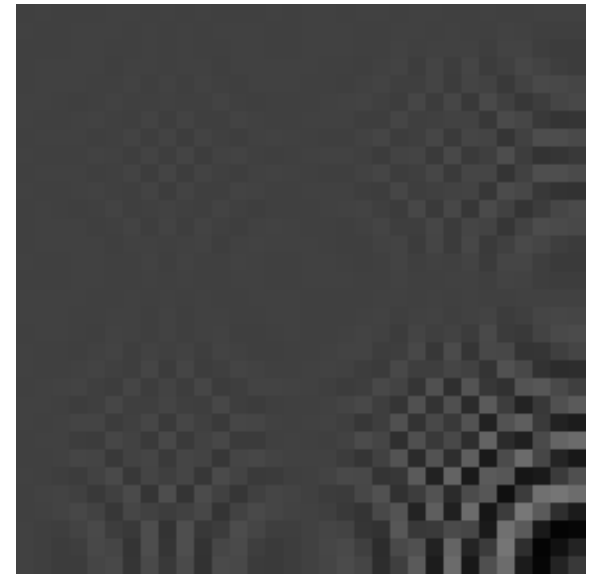
サンプリング間隔の相違と解像特性の変化



サンプリング間隔小



解像特性



サンプリング間隔大

標本化間隔が十分でない(標本化定理を満たさない)と,
_____が発生する

量子化誤差(擬似輪郭)



← 大

量子化レベル数

小 →

画質 (image quality)

- 空間分解能 (spatial resolution)

位置的に接近した2点を独立した2点として見分ける能力

空間分解能が良い → 標本化間隔が小さい
→ 画素数が多い

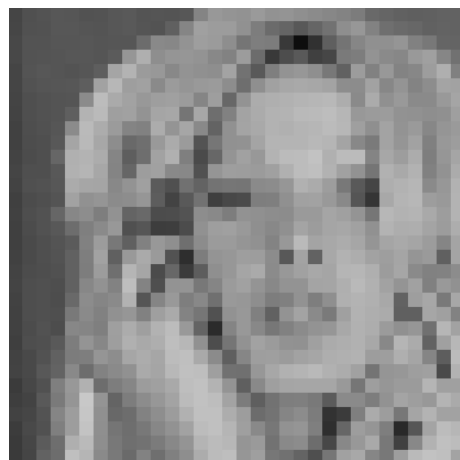
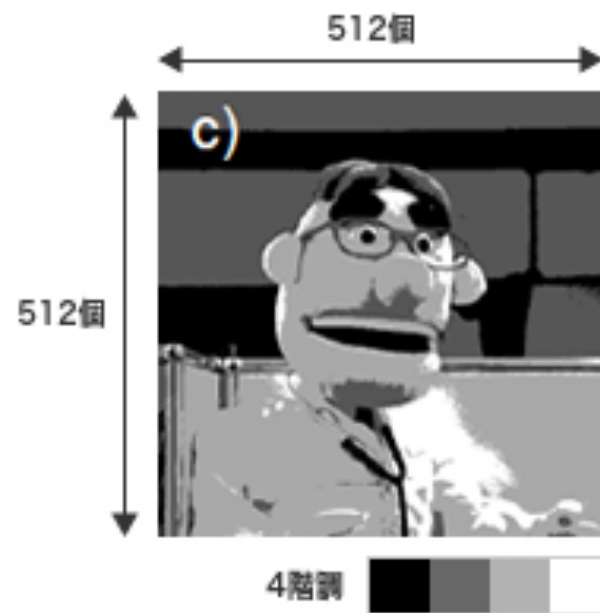
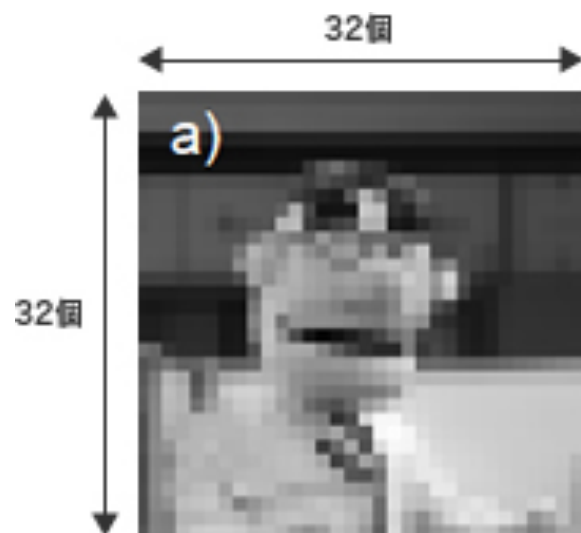
- 濃度分解能 (density resolution)

2点の濃度の差 (コントラスト) を見分ける能力

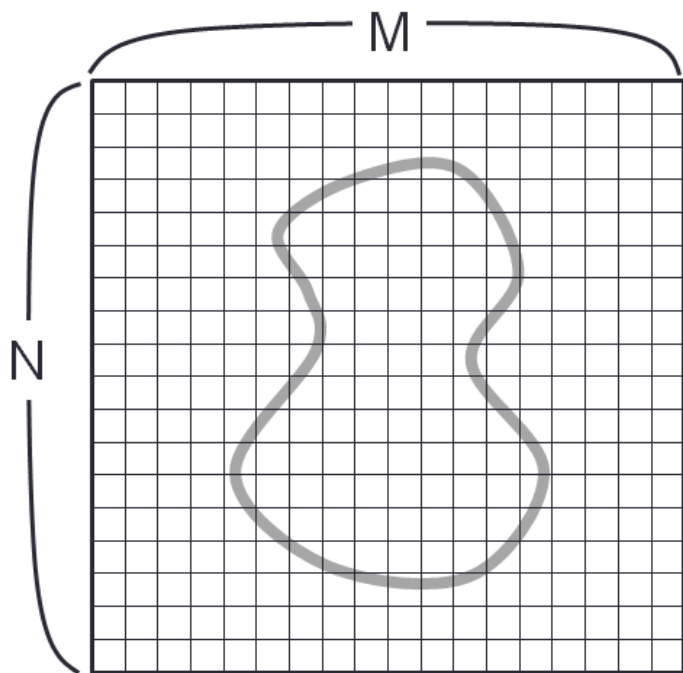
濃度分解能が良い → 量子化間隔が小さい
→ 量子化レベル数が多い

- 時間分解能 (temporal resolution)

一定時間で起きた変化を見分ける能力



画像のデータ量



$$M \times N \times k \text{ (bit)}$$

$$= M \times N \times \underline{\hspace{2cm}} \text{ (byte)}$$

M: 横方向の画素数

N: 縦方向の画素数

k: 量子化レベル[bit]

例1: 1024 × 1024画素256階調の画像のデータ量?

8 bit(ビット) =

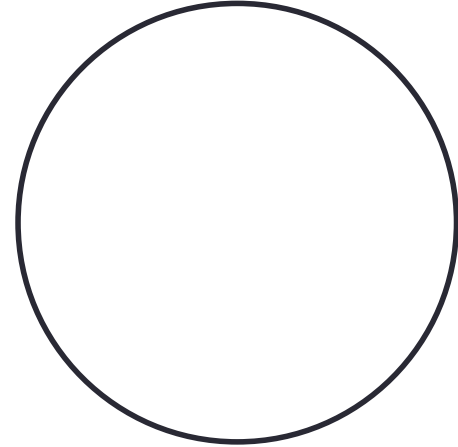
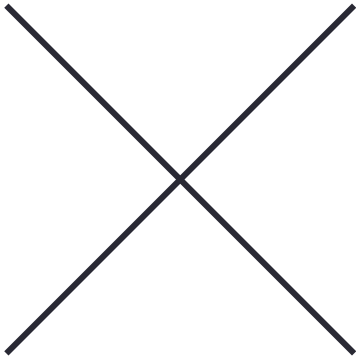
2^{10} byte = 1024 byte =

2^{20} byte = 1024 Kbyte =

2^{30} byte = 1024 Mbyte =

2^{40} byte = 1024 Gbyte =

例題：2048 × 2048画素で12ビットの画像のデータ量？



$$\begin{aligned} &2048 \times 2048 \times 12/8 \text{ [byte]} \\ &= 2048 \times 2048 \times 1.5 \text{ [byte]} \\ &= 2 \times 2048 \times 1.5 \text{ [Kbyte]} \\ &= 2 \times 2 \times 1.5 \text{ [Mbyte]} \\ &= 6 \text{ [Mbyte]} \end{aligned}$$

10進数 → n進数

x_0 : 10進数表記のある数

$$x_1 = x_0 \div n, \quad a_0 = x_0 \bmod n$$

$$x_2 = x_1 \div n, \quad a_1 = x_1 \bmod n$$

$\vdots$

$$x_{m-1} = x_{m-2} \div n, \quad a_{m-1} = x_{m-2} \bmod n$$

$$x_m = x_{m-1} \div n = 0, \quad a_m = x_{m-1} \bmod n$$

n進数表記: $a_m a_{m-1} \cdots a_1 a_0$

n進数 → 10進数

$a_m a_{m-1} \cdots a_1 a_0$: n進数のある数

$$x_0 = n^0 \times a_0 + n^1 \times a_1 \\ \cdots + n^{m-1} \times a_{m-1} + n^m \times a_m$$

10進数表記: x_0

43(10進数) $\rightarrow$ 2進数

$$x_1 = 43 \div 2 = 21, \quad a_0 = 43 \bmod 2 = 1$$

$$x_2 = 21 \div 2 = 10, \quad a_1 = 21 \bmod 2 = 1$$

$$x_3 = 10 \div 2 = 5, \quad a_2 = 10 \bmod 2 = 0$$

$$x_4 = 5 \div 2 = 2, \quad a_3 = 5 \bmod 2 = 1$$

$$x_5 = 2 \div 2 = 1, \quad a_4 = 2 \bmod 2 = 0$$

$$x_6 = 1 \div 2 = 0, \quad a_5 = 1 \bmod 2 = 1$$

$$a_5 a_4 a_3 a_2 a_1 a_0 = 101011$$

$$2^5 \times 1$$

$$2^3 \times 1$$

$$2^1 \times 1$$

$$2^0 \times 1$$

43(10進数) $\rightarrow$ 16進数

$$x_1 = 43 \div 16 = 2, \quad a_0 = 43 \bmod 16 = 11$$

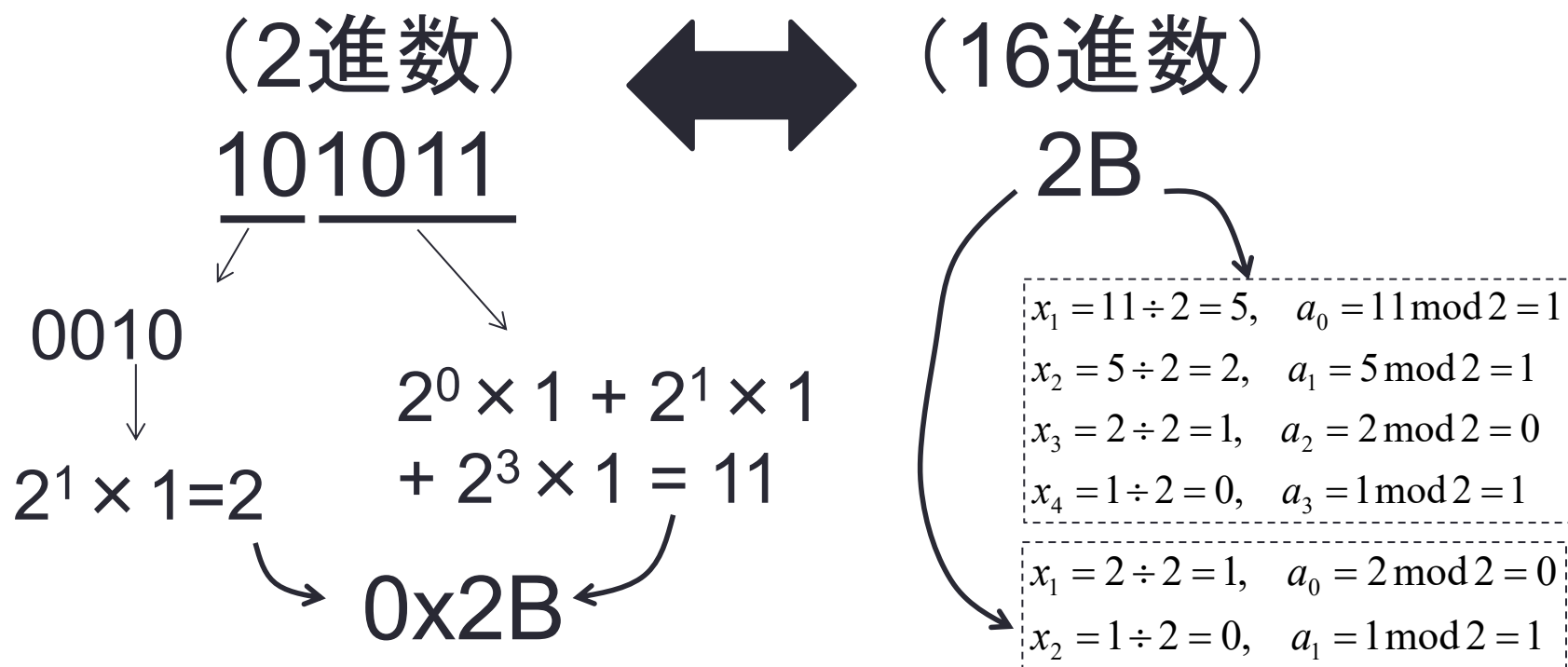
$$x_2 = 2 \div 16 = 0, \quad a_1 = 2 \bmod 16 = 2$$

$$a_1 a_0 = 2B$$

$\downarrow \quad \searrow$
 $16^1 \times 2 \quad 16^0 \times 11$

2進数 $\Leftrightarrow$ 16進数

基本: 16進数の1桁を2進数では4桁で表す



16進数は、数値の先頭に0xをつけて表記されることもある

国家試験問題

サンプリング間隔 $50\mu\text{m}$ で標本化したデジタル画像で表現できる最大空間周波数はどれか.

1. 1 cycles/mm
2. 5 cycles/mm
3. 10 cycles/mm
4. 50 cycles/mm
5. 100 cycles/mm

国家試験問題

マトリクスサイズ 1024×1024 画素, 階調数
16ビットの画像のコンピュータ上でのファイル
容量は何メガバイトになるか.

1. 1.0 メガバイト
2. 1.5 メガバイト
3. 2.0 メガバイト
4. 2.5 メガバイト
5. 4.0 メガバイト

◎ 指示があるまで開かないこと。

(令和5年2月16日 9時30分～12時05分)

46 1 ピクセルが $100\ \mu\text{m}$ の FPD で撮影した胸部 X 線画像のデータ量[MB]に最も近いのはどれか。

ただし、FPD の有効視野は $43\ \text{cm} \times 43\ \text{cm}$ 、階調数は 16 bit とする。

1. 2
2. 16
3. 37
4. 148
5. 296

◎ 指示があるまで開かないこと。

(令和5年2月16日 9時30分～12時05分)

48 画像のデジタル化について正しいのはどれか。

1. 量子化を行ったあとに標本化を行う。
2. ナイキスト周波数は標本化周波数の2倍である。
3. 標本化定理により適切な量子化ビット数を決める。
4. 量子化ビット数を増やすと量子化誤差は大きくなる。
5. 最高周波数が 10 cycles/mm のアナログ画像を 0.1 mm 間隔で標本化するとエイリアシング誤差を生じる。