

コンピュータビジョンA

第2回

2025年10月07日

峰松翼

デジタル画像処理：第2章

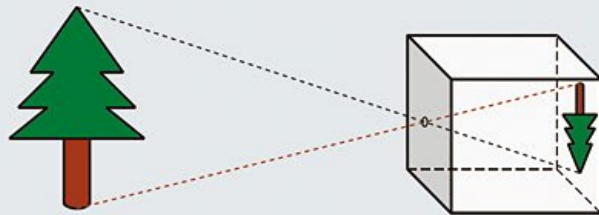
デジタル画像の撮影

第2章の内容

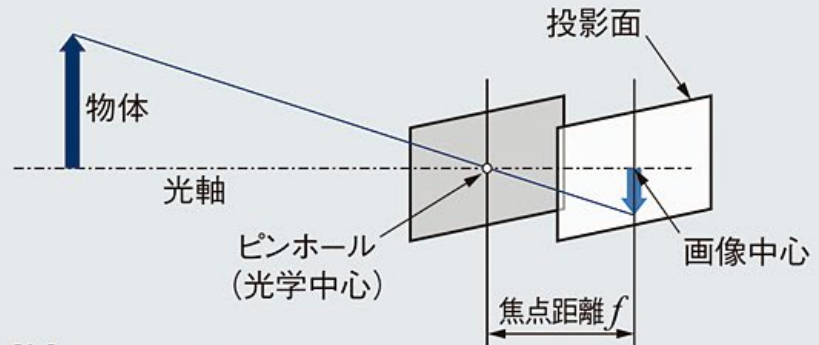
- デジタル画像の撮影
 - 画像生成の幾何学的モデル:
ピンホールカメラ・レンズモデル
 - 撮影パラメータ:
画角・焦点距離・絞り・シャッタースピード・被写界深度
 - 画像のデジタル化:
グレースケール画像・標本化・量子化・時系列画像
 - カラー画像:
デモザイキング

ピンホールカメラ

- 初期のカメラ
 - 暗箱＋針穴
 - 上下左右反転



[a]

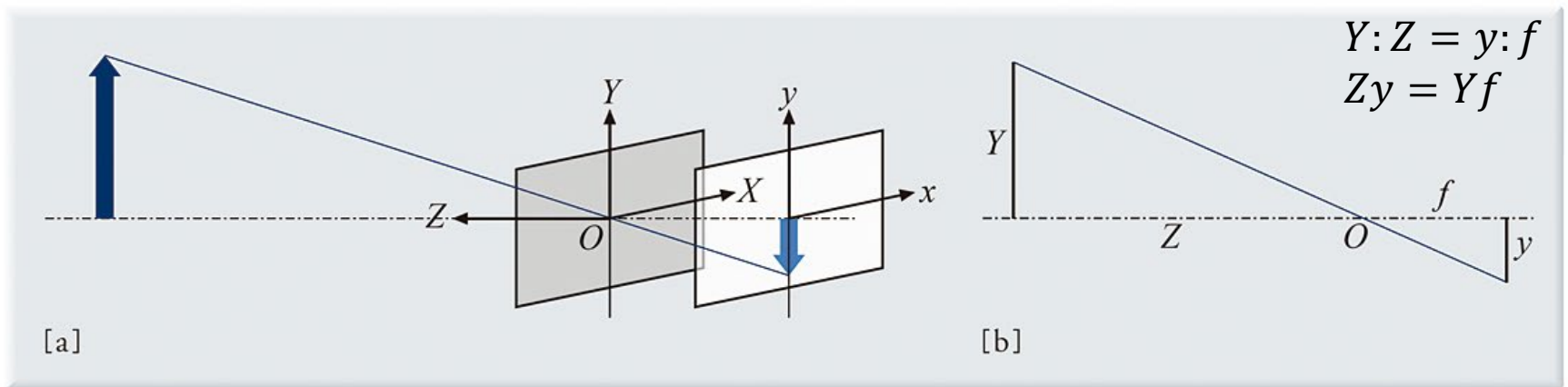


[b]

- ピント合わせ不要
- 暗い(露光時間が長い)

ピンホールカメラの幾何学

- 3次元座標と画像座標の関係
 - 3次元座標: (X, Y, Z)
 - 画像座標: (x, y)

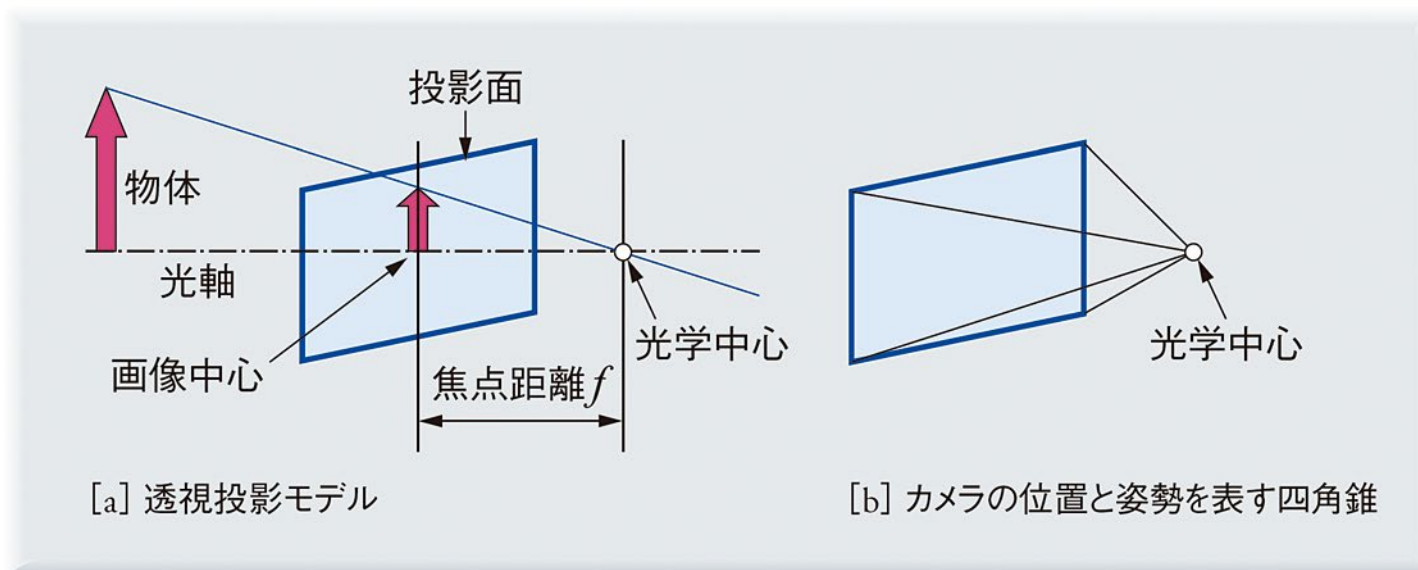


$$x = -f \frac{X}{Z}, \quad y = -f \frac{Y}{Z}$$

– レンズを用いたカメラでも(ほぼ)同じ

透視投影モデル

- 仮想投影面
 - 投影面を光学中心の前方に移動



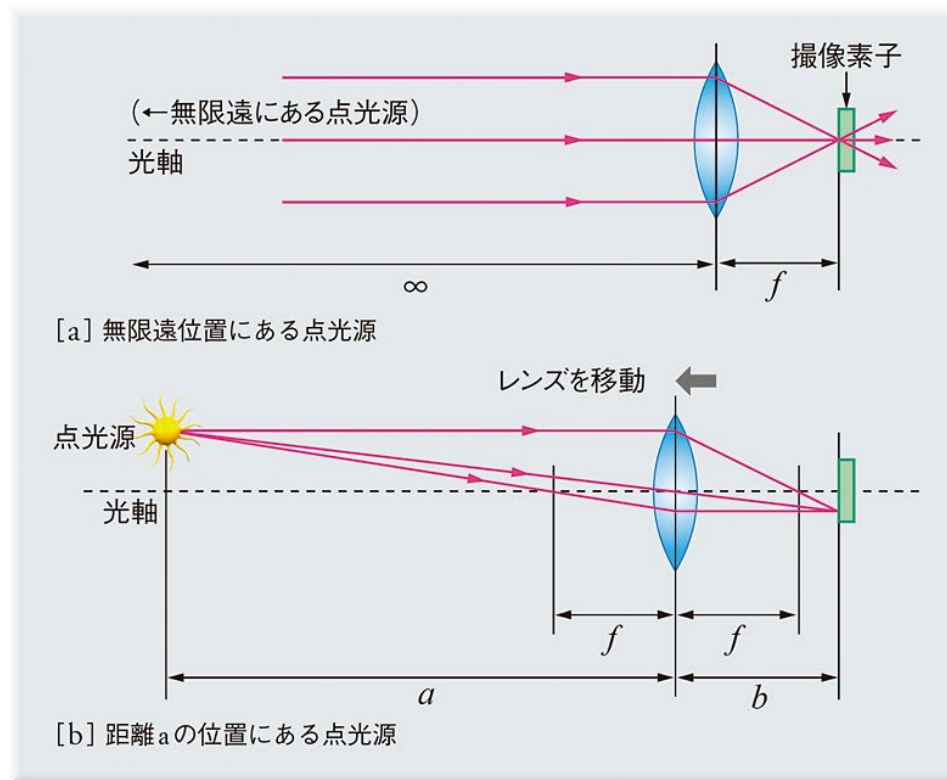
$$x = f \frac{X}{Z}, y = f \frac{Y}{Z}$$

- 第15章(画像からの3次元復元)で利用

レンズを用いたカメラ

- 普通のカメラ

- ピント合わせ必要・明るい(露光時間短い)
- 薄肉(うすにく)レンズ: $1/a + 1/b = 1/f$



結像公式

$$\frac{ab - af}{1} = \frac{bf}{1}$$

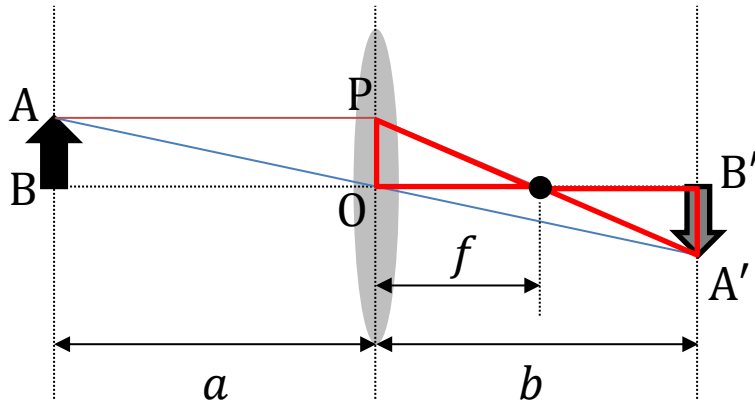
$$\frac{ab - af}{abf} = \frac{bf}{abf}$$

- ピントが合う条件

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

a : レンズ物体間の距離
 b : レンズ素子間の距離
 f : 焦点距離

- 証明



$$\frac{AB}{A'B'} = \frac{a}{b}$$

$$\frac{OP}{A'B'} = \frac{f}{b - f}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{f}{b - f}$$

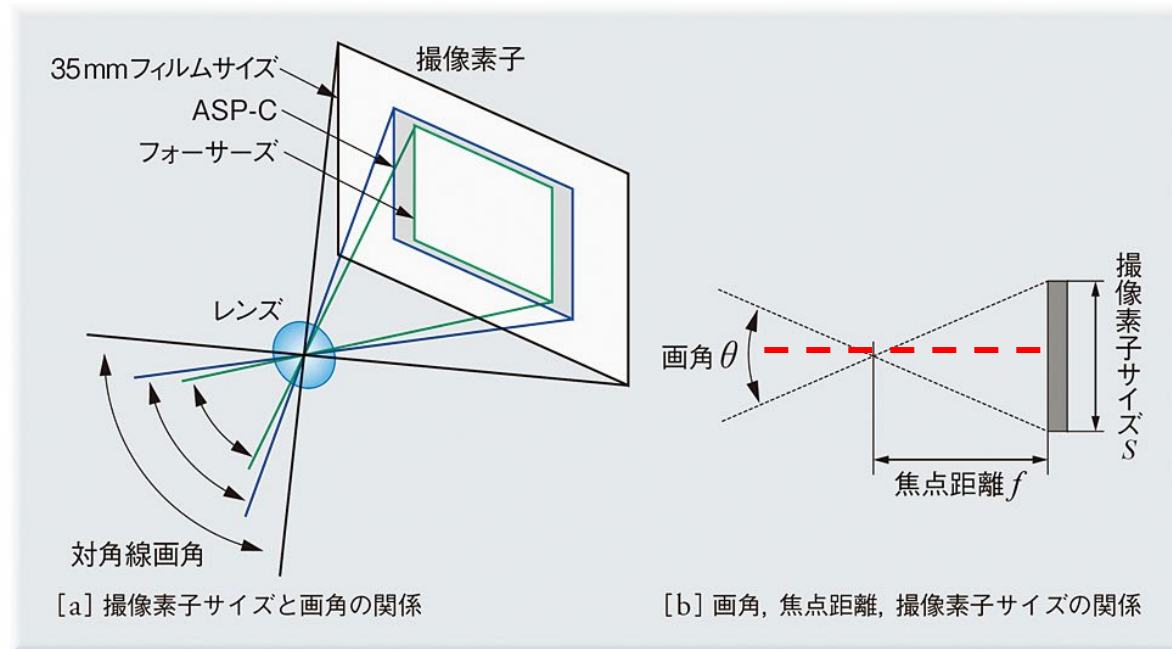
を整理して導出される

第2章の内容

- デジタル画像の撮影
 - 画像生成の幾何学的モデル:
ピンホールカメラ・レンズモデル
 - 撮影パラメータ:
画角・焦点距離・絞り・シャッタースピード・被写界深度
 - 画像のデジタル化:
グレースケール画像・標本化・量子化・時系列画像
 - カラー画像:
デモザイキング

画角と撮像素子サイズ

- 撮影範囲
 - 撮像素子サイズと焦点距離に依存
 - 撮像素子サイズ大 ⇒ 画角大



$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{S/2}{f}$$
$$\frac{\theta}{2} = \tan^{-1} \frac{S}{2f}$$

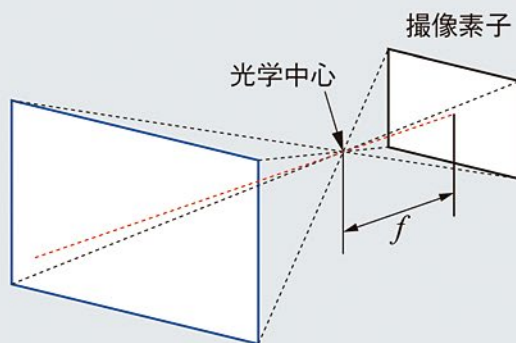
$$\theta = 2 \tan^{-1} S/2f$$

画角と焦点距離

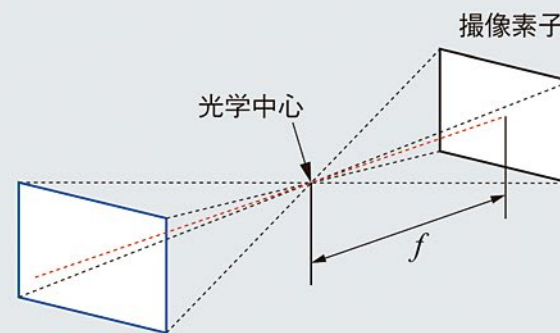
- 撮影範囲

- 撮像素子サイズと焦点距離に依存

- 焦点距離長 \Rightarrow 画角小: $\theta = 2 \tan^{-1} S/2f$



[a] 焦点距離が短いときの画角



[b] 焦点距離が長いときの画角



レンズ絞り

- Fナンバ

- レンズの直径: D , 焦点距離: f
⇒ 像の明るさ: $(D/f)^2$



[a] 写真撮影用レンズの例



[b] 絞り値 2.8



[c] 絞り値 11

- Fナンバ(集光性能): f/D
⇒ 小さいほど“明るい”レンズ

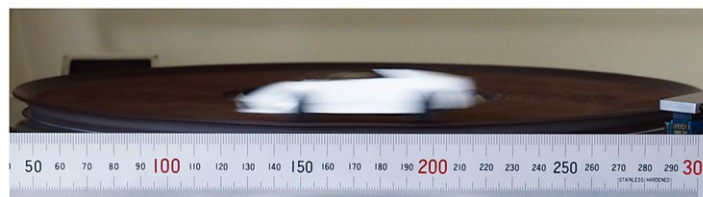
シャッタースピード

- 露光時間

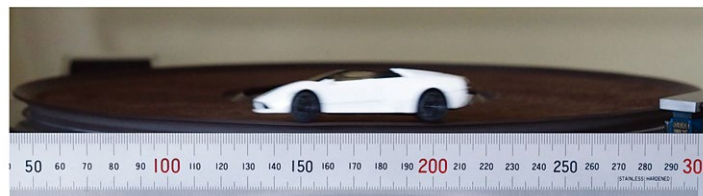
- 撮像素子に光を当てる時間:

- $1/256, 1/128, 1/64, 1/32, 1/16, 1/8, 1/4, \dots$

- 長いと動きぶれ・手ぶれが発生



[a] 1/30秒, 絞り値8



[b] 1/125秒, 絞り値4



[c] 1/500秒, 絞り値2

ISO感度

(イソ or アイエスオー感度)

- フィルム感度

- 大きければ大きいほど高感度:
ISO100, ISO200, ISO400, ...
- デジタルカメラでは信号を増幅
⇒ 感度を上げるとノイズも増加



[a] ISO100, 1/15 秒

[b] ISO800, 1/125 秒

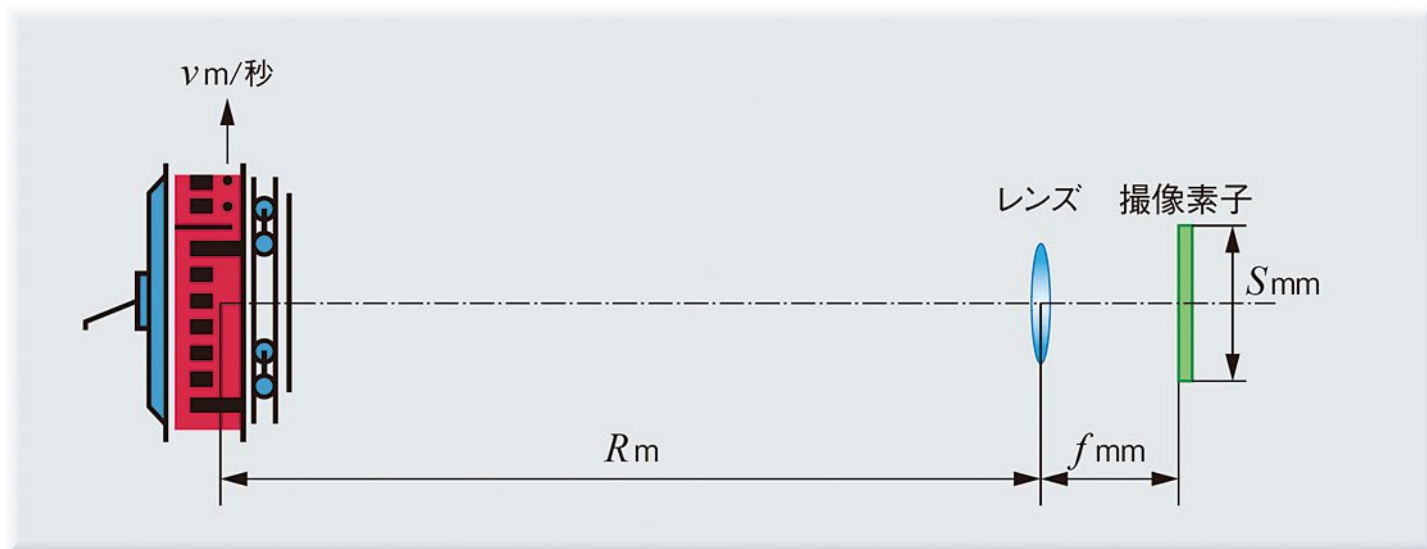
[c] ISO6400, 1/1,000 秒

ぶれのない画像の撮影

- 問題

- 被写体までの距離を $R[\text{m}]$, 被写体の移動速度を $v[\text{m/s}]$, 焦点距離を $f[\text{mm}]$, 撮像素子サイズを $S[\text{mm}]$, 横方向の画素数を N とする.

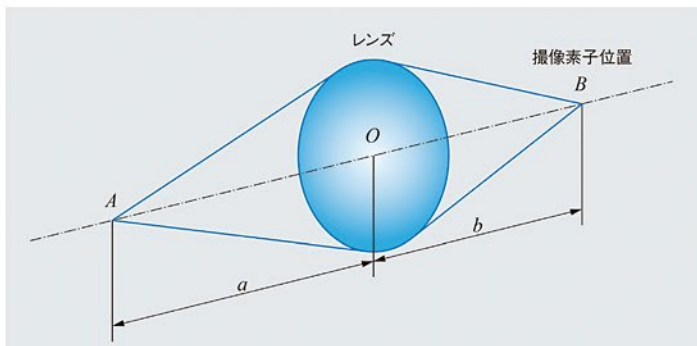
移動ぶれを1画素以下にするためには, シャッタースピード $t[\text{s}]$ をいくつ以下に設定すれば良いか?



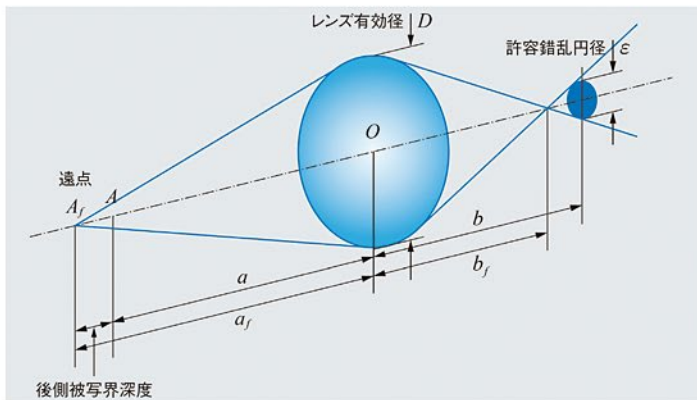
焦点ボケ

- 錯乱円

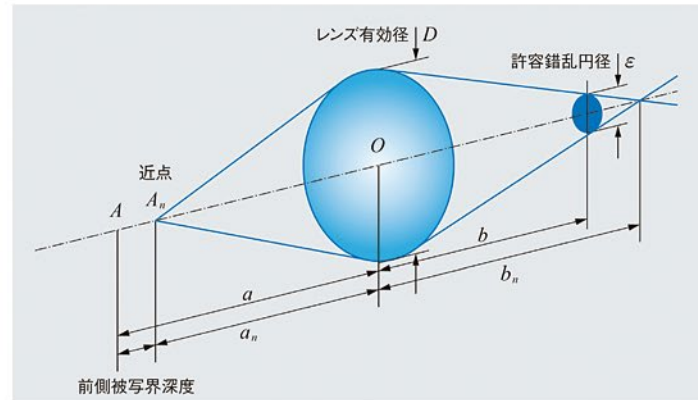
– 点状の被写体を撮影したときの撮像素子上における拡がり



[a]4 の位置の被写体は、撮像素子上にピントが合う



[b] A よりも近い位置の被写体は、撮像素子よりも後ろでピントが合う



[c] Aよりも遠い位置の被写体は、撮像素子よりも手前でピントが合う

被写界深度

- ピントが合っている範囲
 - 撮影パラメータに依存：
焦点距離・絞り値・撮像素子サイズ・被写体までの距離



[a] レンズ焦点距離 17mm 絞り値 1.8



[b] レンズ焦点距離 45mm 絞り値 1.8



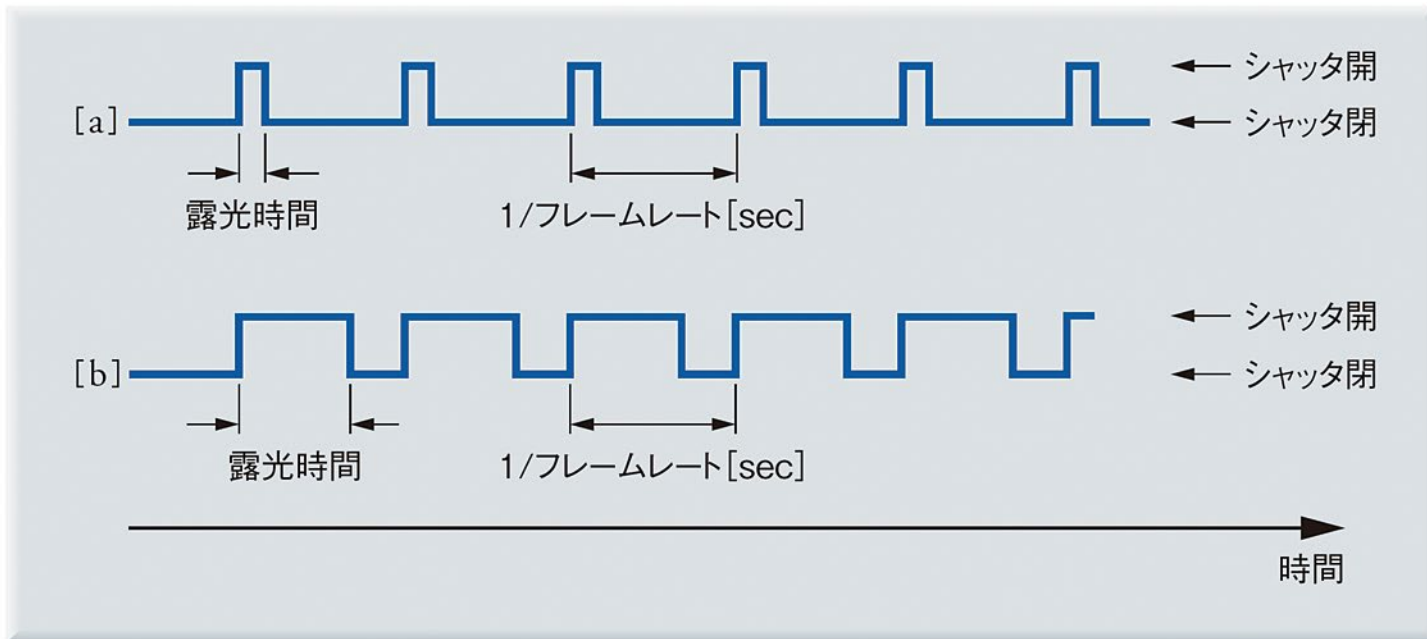
[c] レンズ焦点距離 17mm 絞り値 22



[d] レンズ焦点距離 45mm 絞り値 22

フレームレート

- 1秒間の撮影枚数
 - fps (frame per second)
 - 通常の動画像は30fps



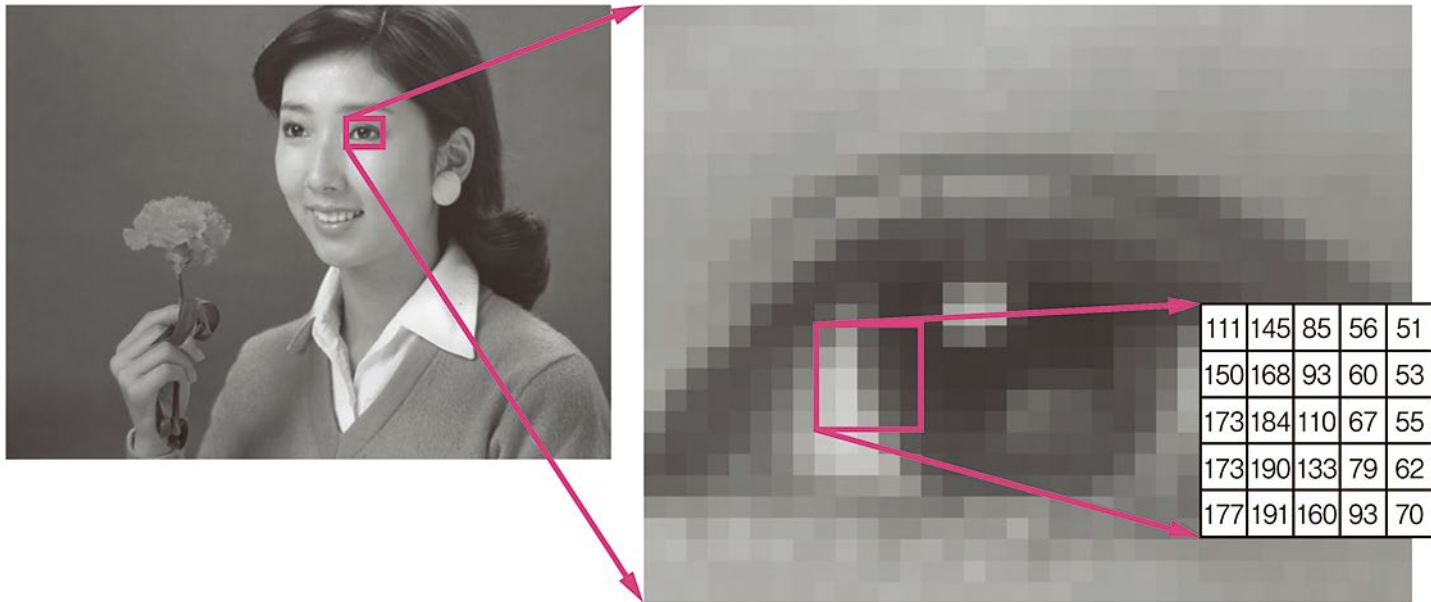
- 明滅する光源下ではフリッカに注意

第2章の内容

- デジタル画像の撮影
 - 画像生成の幾何学的モデル:
ピンホールカメラ・レンズモデル
 - 撮影パラメータ:
画角・焦点距離・絞り・シャッタースピード・被写界深度
 - 画像のデジタル化:
グレースケール画像・標本化・量子化・時系列画像
 - カラー画像:
デモザイキング

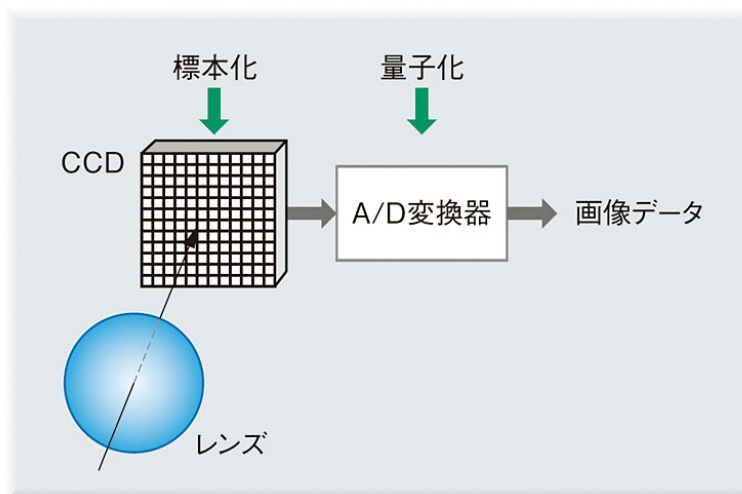
グレースケール画像

- 画素(ピクセル)
 - デジタル画像は多数の画素で構成
 - 画素値は0～255の整数値(8ビット)
 - ⇒ 画像のデータ量: 8ビット × 画素数

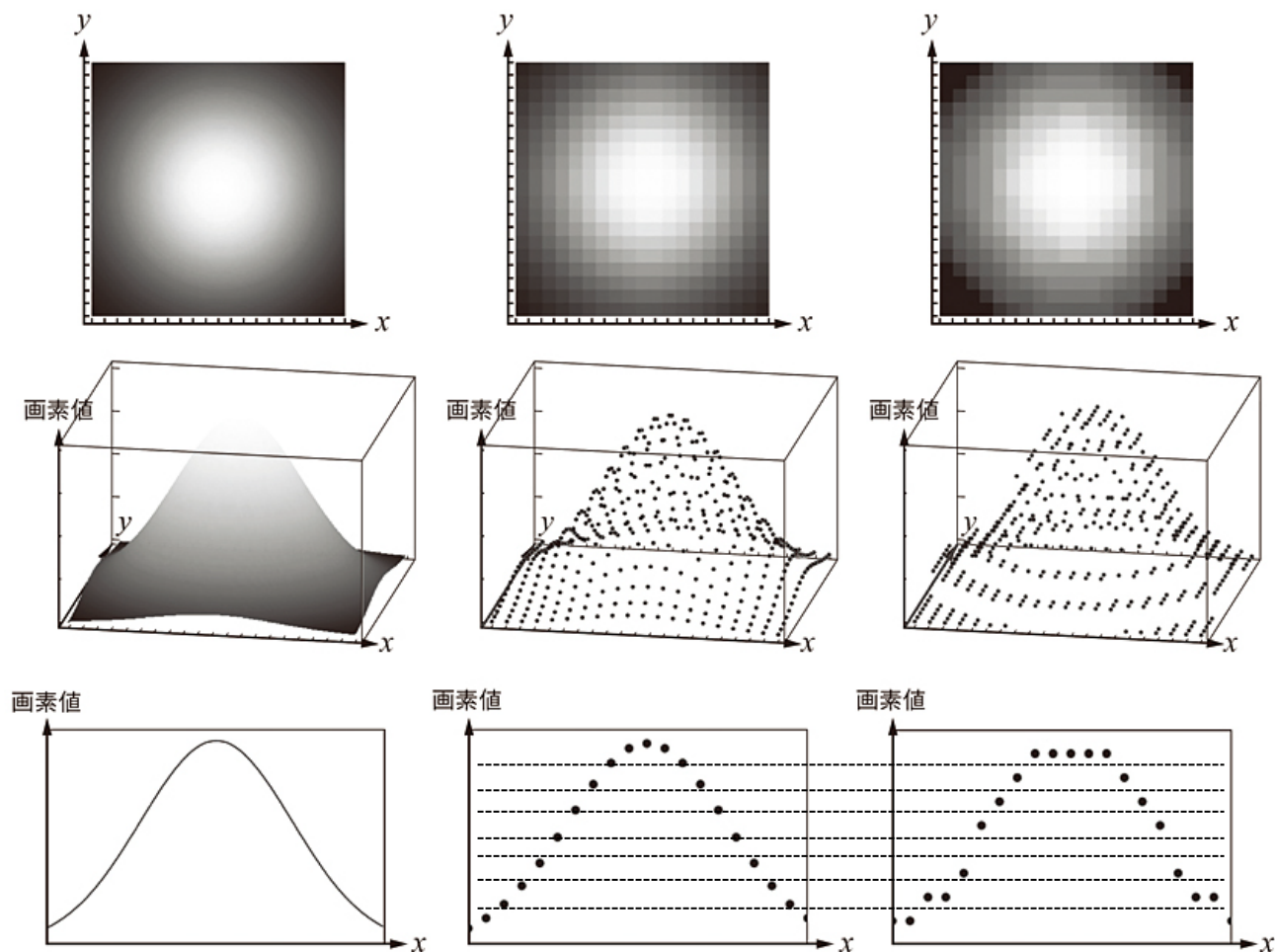


標本化と量子化

- 標本化
 - 離散的な位置におけるアナログ値を取りだす処理
⇒ 標本値(連続値)
- 量子化
 - 標本値を有限分解能の数値に変換する処理
⇒ 画素値(8ビット)



標本化と量子化の例



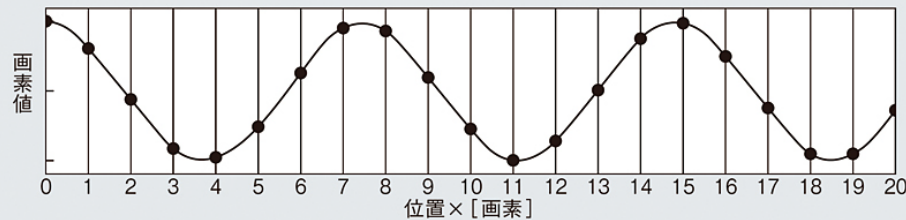
[a] 連続信号

[b] 標本化

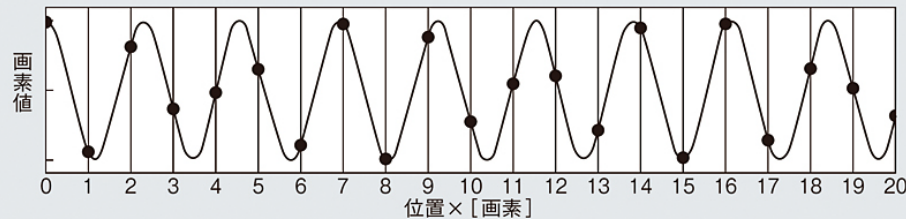
[c] 標本化と量子化

標本化定理

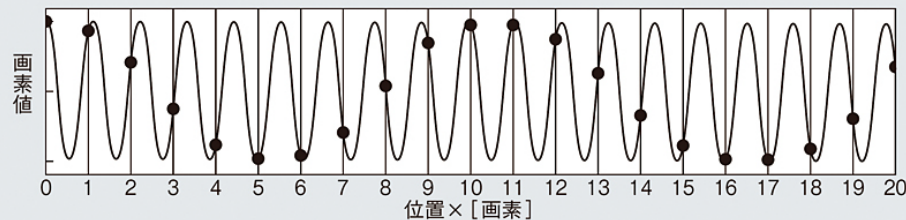
「アナログ信号が周波数 f_{max} に帯域制限されているとき、
 $2f_{max}$ 以上の周波数で標本化すれば情報を失わない」



[a] 標本化間隔の7.4倍の周期の信号を標本化した結果



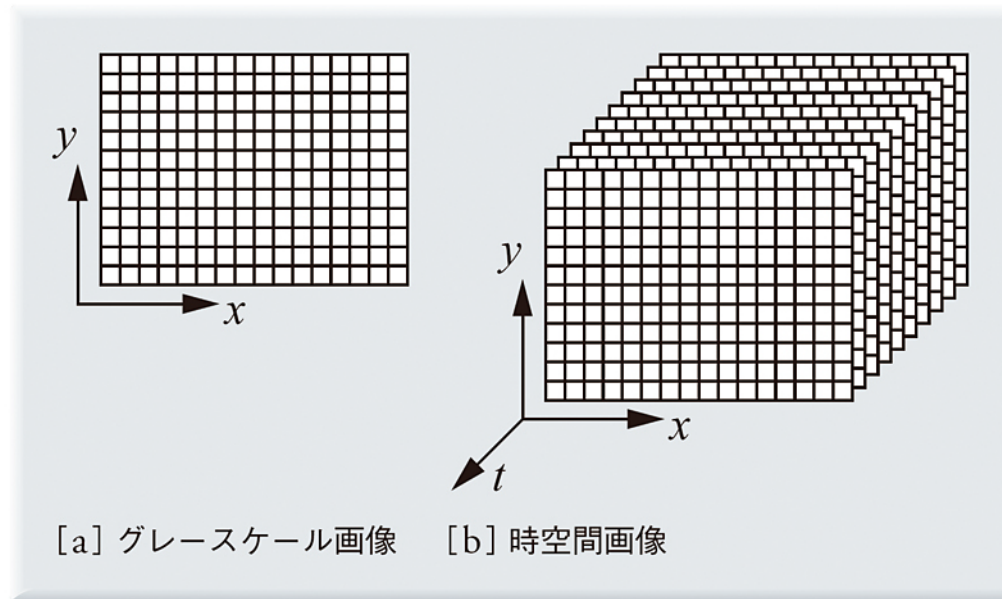
[b] 標本化間隔の2.3倍の周期の信号を標本化した結果



[c] 標本化間隔の1.1倍の周期の信号を標本化した結果

時系列画像

- 動画像
 - 画像を時間方向に並べたもの
 - 通常のカメラは30fps



第2章の内容

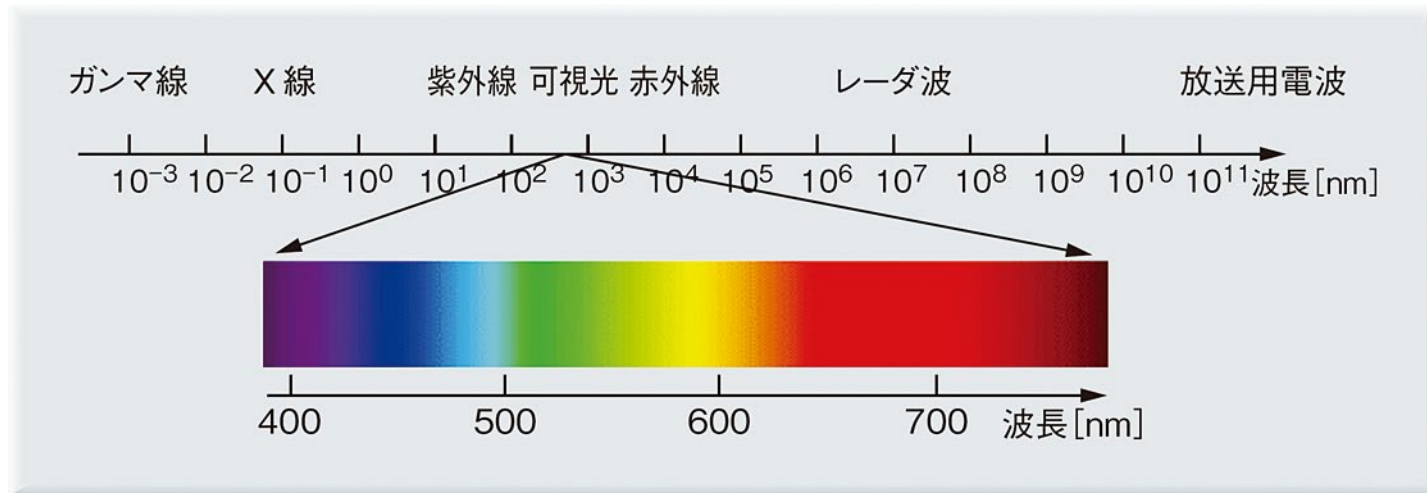
- デジタル画像の撮影
 - 画像生成の幾何学的モデル:
ピンホールカメラ・レンズモデル
 - 撮影パラメータ:
画角・焦点距離・絞り・シャッタースピード・被写界深度
 - 画像のデジタル化:
グレースケール画像・標本化・量子化・時系列画像
 - カラー画像:
デモザイキング

波長と色

- 可視光

- おおよそ400nm～800nm

- 人間の眼は3種類の受光器で“色”を知覚



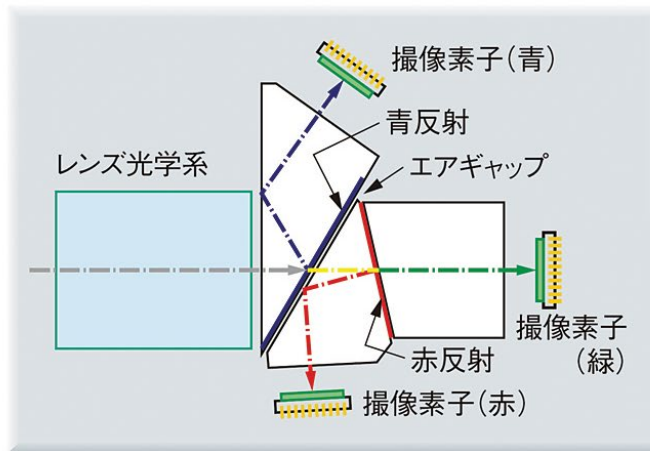
カラー画像

- RGBの3原色
 - 各画素にRGBの3つの画素値
 - ⇒ 画像のデータ量: $3 \times 8\text{ビット} \times \text{画素数}$
 - 3枚のグレースケール画像の組



3板式カラーカメラ

- プリズムを利用
 - 入射光を3つの波長帯域に分光
 - ダイクロイックプリズム(特定の波長だけを反射)



[a] ダイクロイックプリズムの模式図

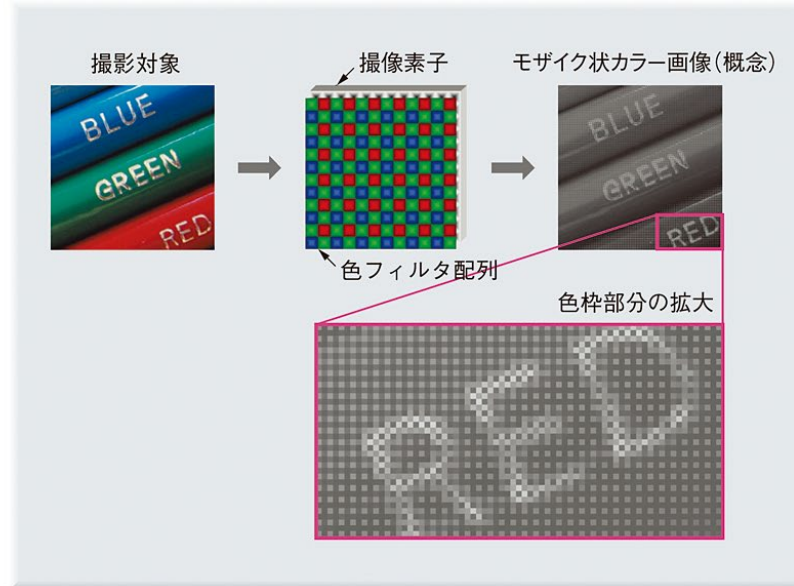


[b] 3板式デジタルビデオカメラの例(『XF305』
提供:キヤノンマーケティングジャパン株式会社)

- 高画質なカラー画像を撮影可能
- サイズ・コストの面で不利

単板式カラーカメラ

- カラーフィルタを利用
 - 撮像素子の前にカラーフィルタを貼り付け



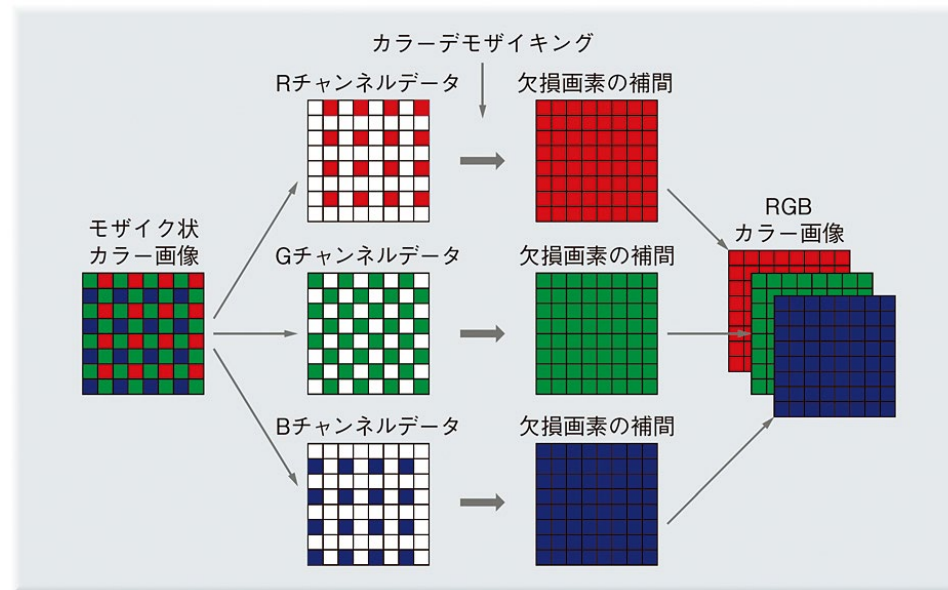
- サイズ・コストの面で有利
- 再構成処理(デモザイキング)が必要

デモザイキング

- 欠損画素の補間

- バイリニア補間:

周辺の色情報から線形補間



- エッジセンシング補間:

滑らかに変化する方向の画素値だけを用いて補間

G15?

R1	G2	R3	G4	R5	G6
G7	B8	G9	B10	G11	B12
R13	G14	R15	G16	R17	G18
G19	B20	G21	B22	G23	B24
R25	G26	R27	G28	R29	G30
G31	B32	G33	B34	G35	B36

$$R8 = \frac{R1 + R3 + R13 + R15}{4}$$

R1	G2	R3	G4	R5	G6
G7	R8?	G9	B10	G11	B12
R13	G14	R15	G16	R17	G18
G19	B20	G21	B22	G23	B24
R25	G26	R27	G28	R29	G30
G31	B32	G33	B34	G35	B36

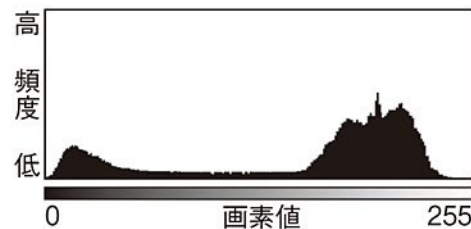
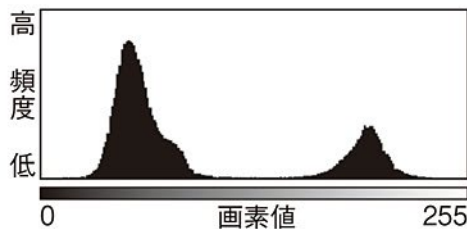
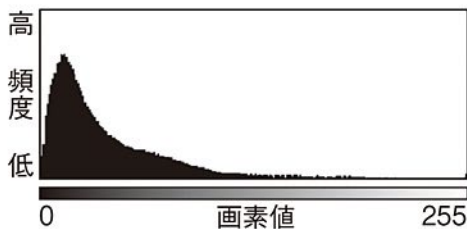
第3章の内容

- 画像の性質と色空間
 - 画像の性質を表す諸量
 - 人間の視覚
 - 表色系と色空間

ヒストグラム①

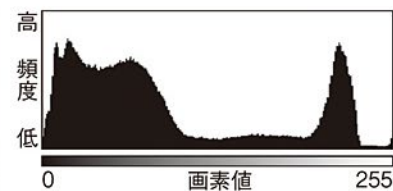
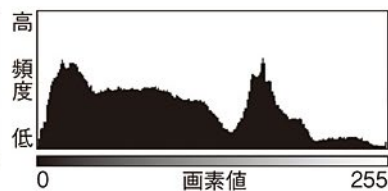
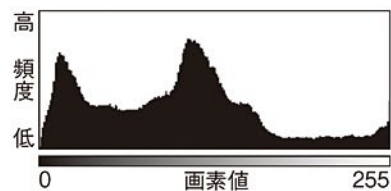
- 濃淡ヒストグラム

- 横軸: 画素値, 縦軸: 頻度



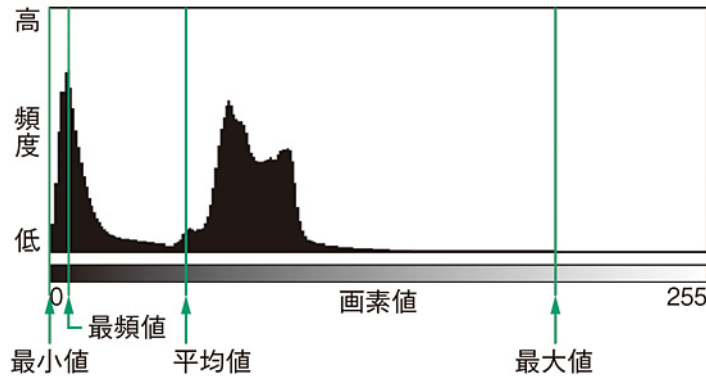
ヒストグラム②

- カラー画像のヒストグラム
 - 色チャンネルごとの濃淡ヒストグラム

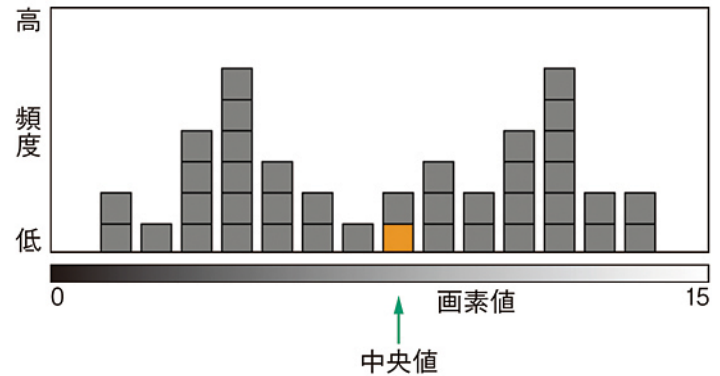


統計量

- ヒストグラムから得られる諸量
 - 最小値・最大値・平均値・最頻値・中央値



[a] 最小値, 最大値, 平均値, 最頻値



[b] 16階調, 40画素の画像に対する中央値の例

- 分散(or 標準偏差)

$$\sigma^2 = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} (f(m, n) - \mu)^2$$

画像のノイズ

- 加法性ノイズ

- 画素値: $i = s + n$

- 通常は平均0のガウスノイズを仮定

- ノイズ量の尺度

- 信号対雑音比(S/N比)

- $SNR = 10 \log_{10} \frac{S}{N} = 10 \log_{10} \frac{\sigma_S^2}{\sigma_N^2}$

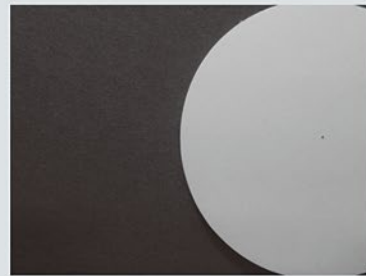
ノイズを含まない画像の
画素値の分散

コントラスト

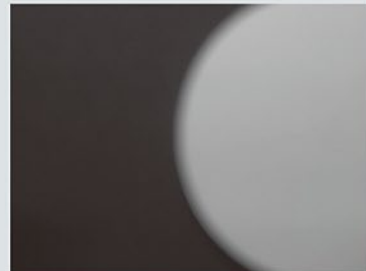
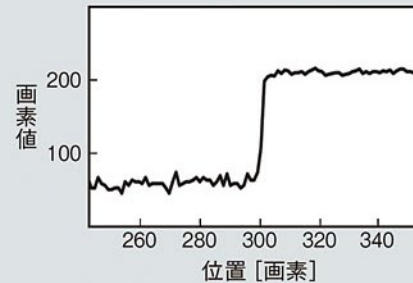
- ヒストグラムの分布の広がり
 - 明暗差大:コントラスト高
 - 明暗差小:コントラスト低
 - $C_1 = I_{max} - I_{min}$
 - $C_2 = (I_{max} - I_{min}) / (I_{max} + I_{min})$
 - $C_3 = I_{max} / I_{min}$

シャープネス

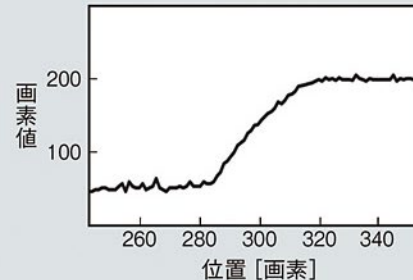
- 先鋭感を表す尺度(先鋭度)
 - エッジ付近の画素値変化が急激:シャープネス高
 - エッジ付近の画素値変化が緩やか:シャープネス低



[a] ピントを合わせた画像



[b] ピントが合っていない画像



演習2

水平方向に移動する被写体を, 固定したカメラを用いてぶれのないように撮影したい. 被写体までの距離を R [m], 被写体の移動速度を v [m/s], 撮像素子のサイズを s [mm], 水平方向の画素数を N , シャッタースピード(露光時間)を t [s]とする.

(1) 被写体のぶれが1画素以下になるようなレンズの焦点距離の最大値 f [mm]を求めよ.

答: $f=$

(2) $s=17.3$ [mm], $N=1280$ 画素のカメラで, $t=1/256$ [s]の設定で, $R=128$ [m]で $v=12.8$ [m/s]の被写体をぶれのないように撮影したい. (1)の結果を用いて, レンズの焦点距離の最大値を計算せよ.

答: $f=$