

画像工学

Rev. 2017.06.22

講義ホームページ

cvwww.ee.ous.ac.jp/lect/ip/



講義内容

❖ デジタル画像処理

画像変換、特徴量抽出、パターン認識、
画像符号化、動画画像処理

❖ 画像処理プログラミング

Processingを使ったプログラム作成

→ レポート課題

❖ コンピュータグラフィックスの基礎

知覚と画像処理

人は見たものをどのようにして、認識・理解しているのか？

光 → 眼球 → 視神経 → 脳(情報処理)

コンピュータはどのような処理を行えば、「もの」を画像から認識・理解できるのか？

視細胞

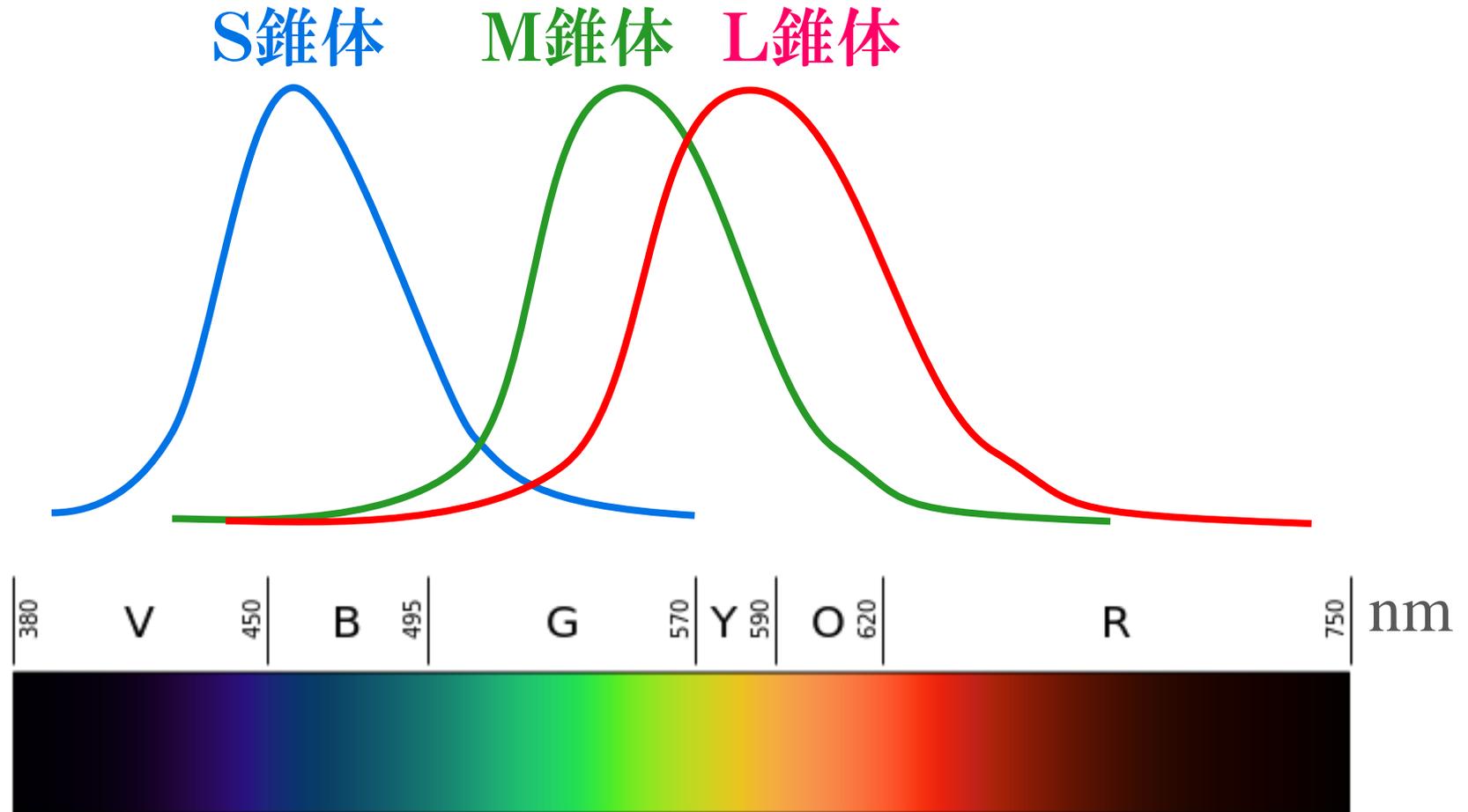
錐体細胞

明るい場所で反応する。3種類あり、色を区別できる。

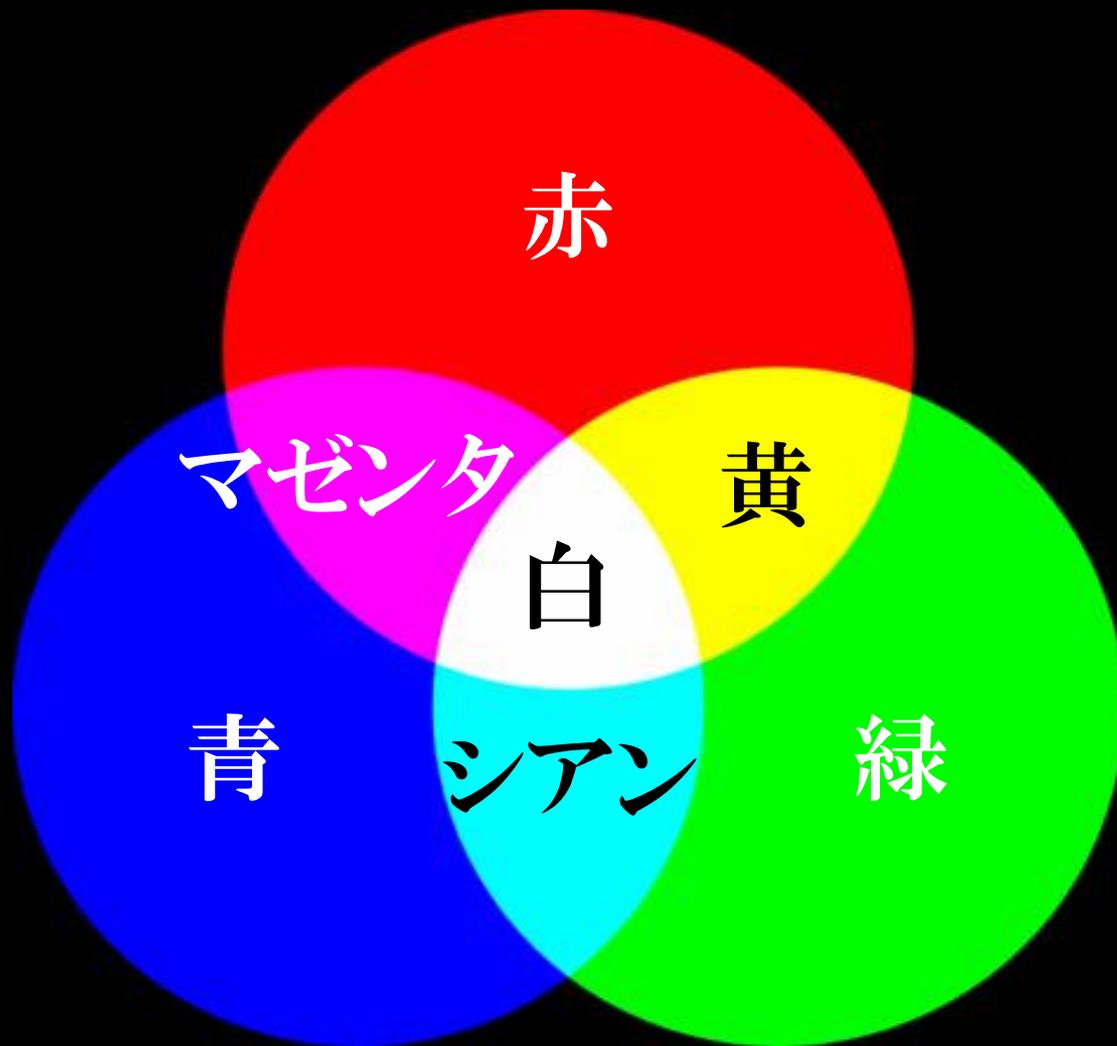
桿体細胞

暗い場所で反応する。色を区別できない。

可視光波長と錐体細胞の反応



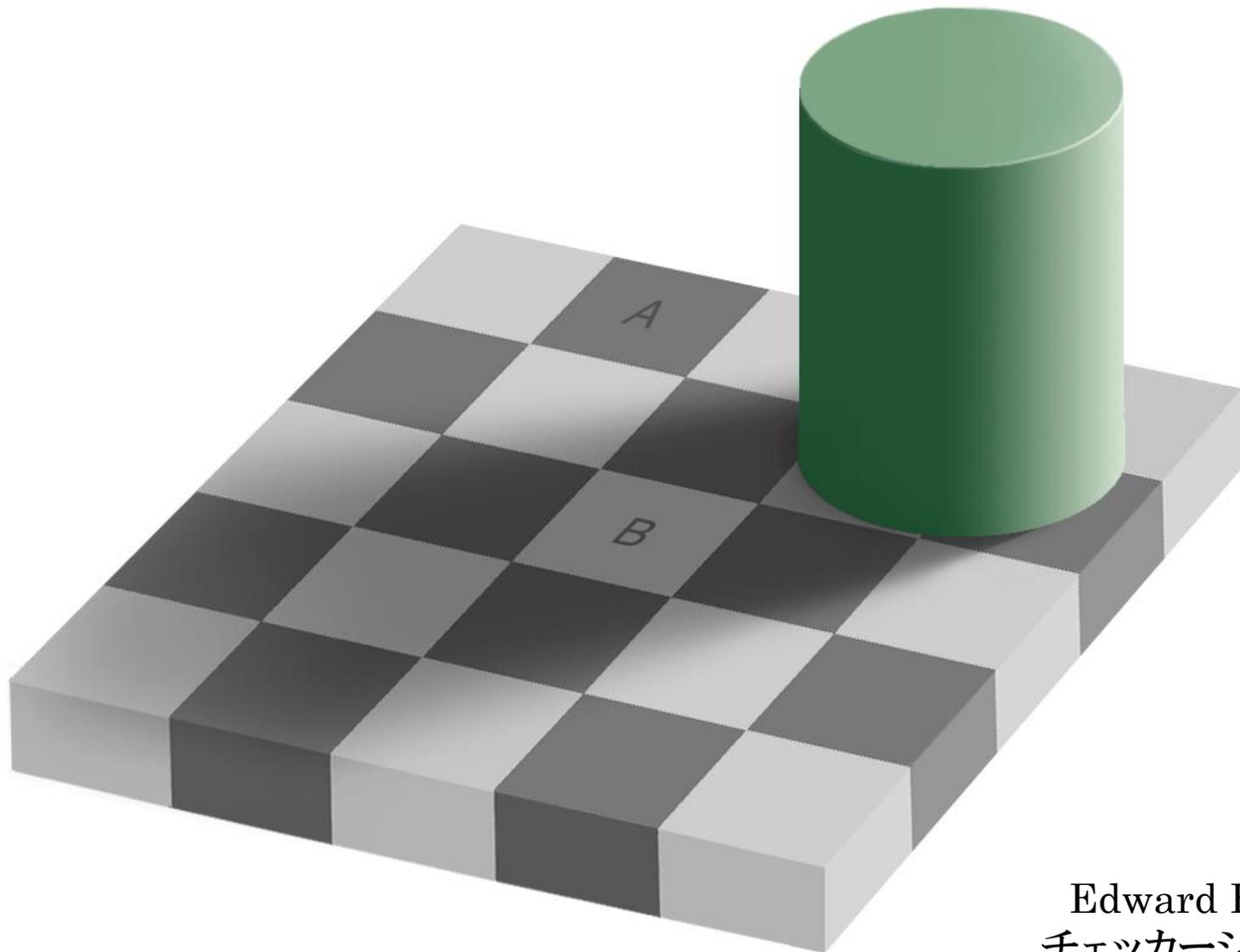
光の3原色



人間の知覚

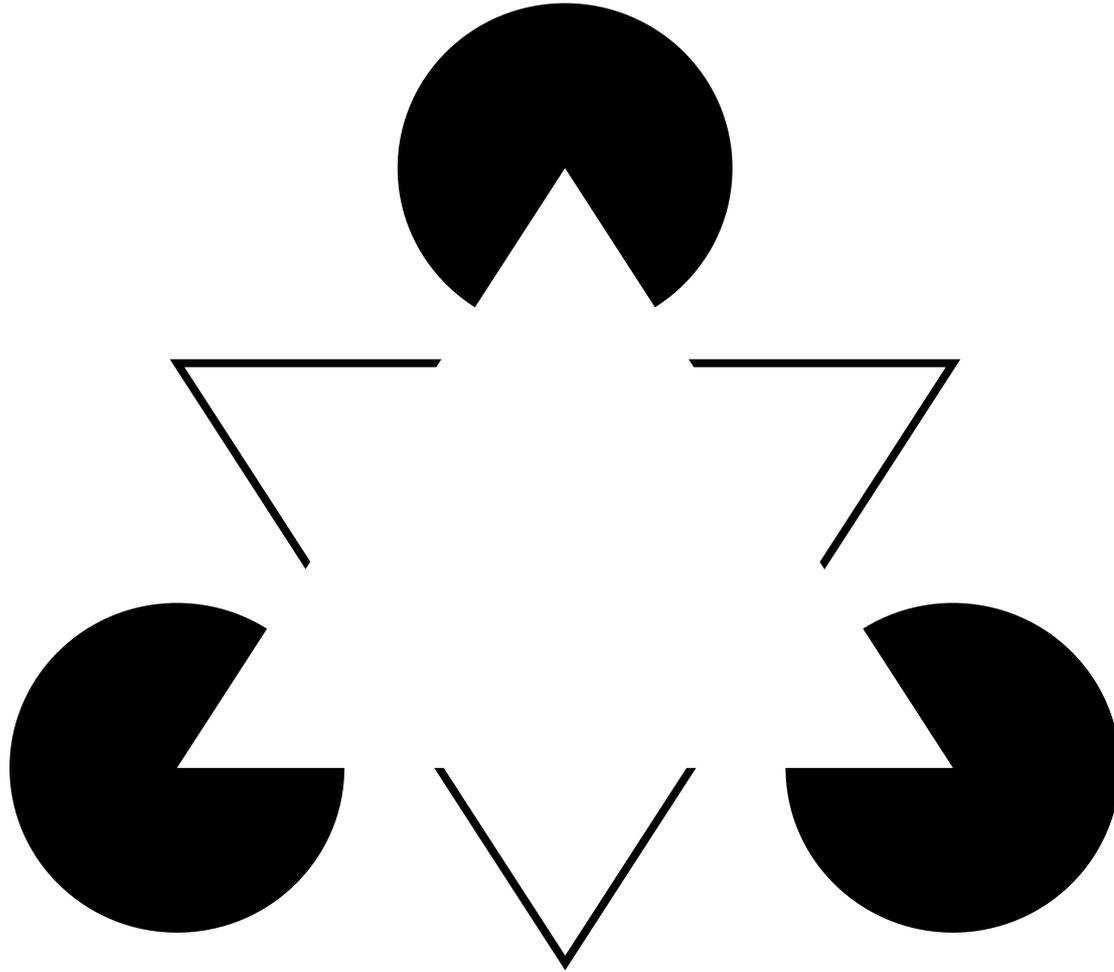
人間は、正確にものが
見えているのか？

AとBはどちらが明るい？



Edward H. Adelson
チェッカーシャドウ錯視

主觀的輪廓



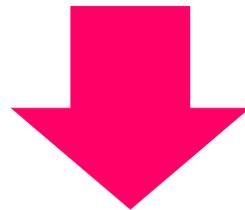
顔細胞(顔ニューロン)

顔の認識に特化した神経細胞

コンピュータによる知覚

コンピュータは、点の色や座標を正確に検出できる。(ミクロの視点)

しかし、顔認識などのように、画像を全体的に捉えることは簡単ではない。
(マクロの視点)



研究の対象となる

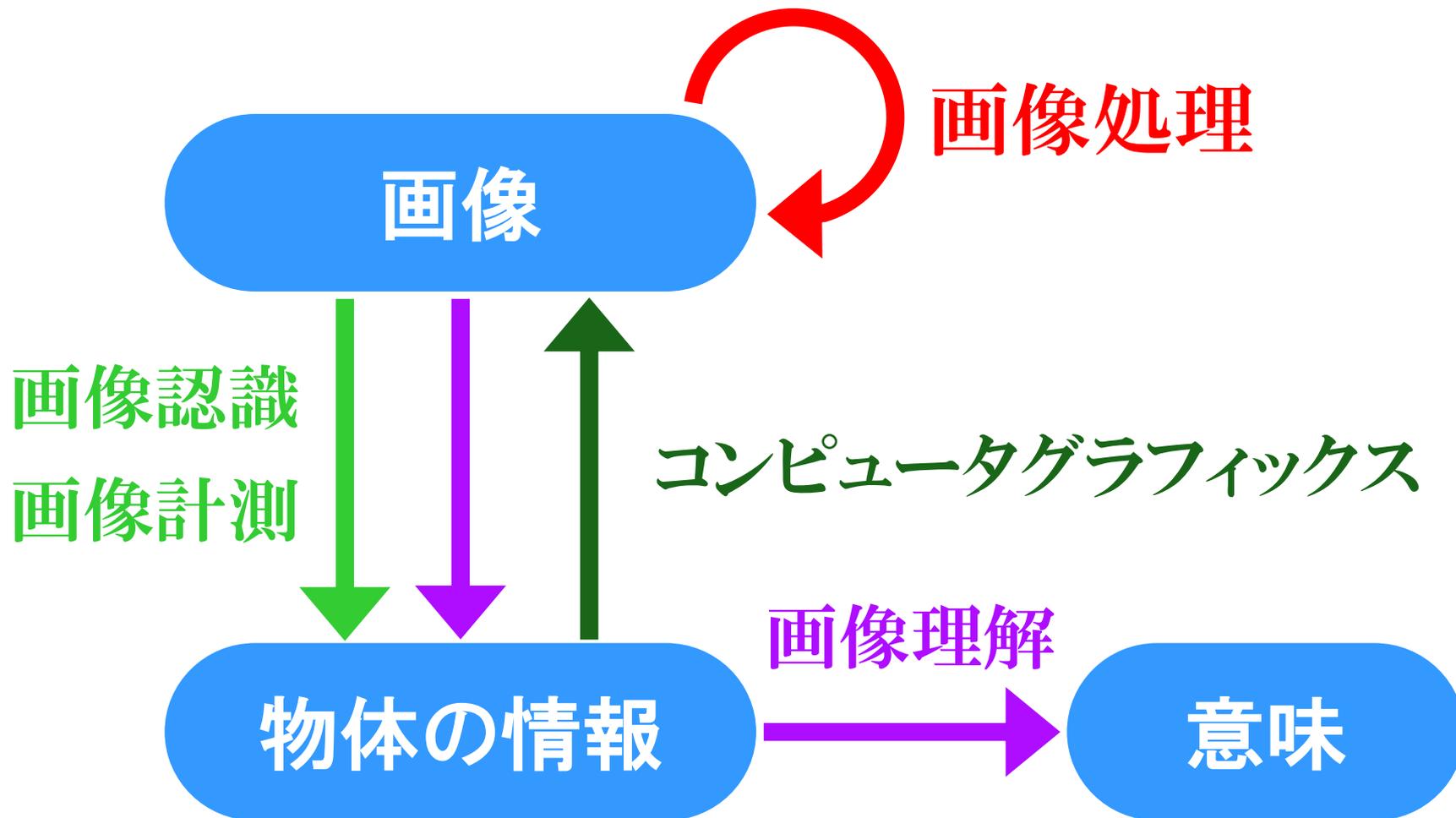
画像処理技術の応用

- ❖ 見やすい画像への変換・補正
- ❖ 文字認識、指紋照合、顔識別、年齢推定
- ❖ 製品検査、交通量計測
- ❖ ジェスチャー認識、スポーツ映像解析
- ❖ 高画質での映像記録・映像伝送

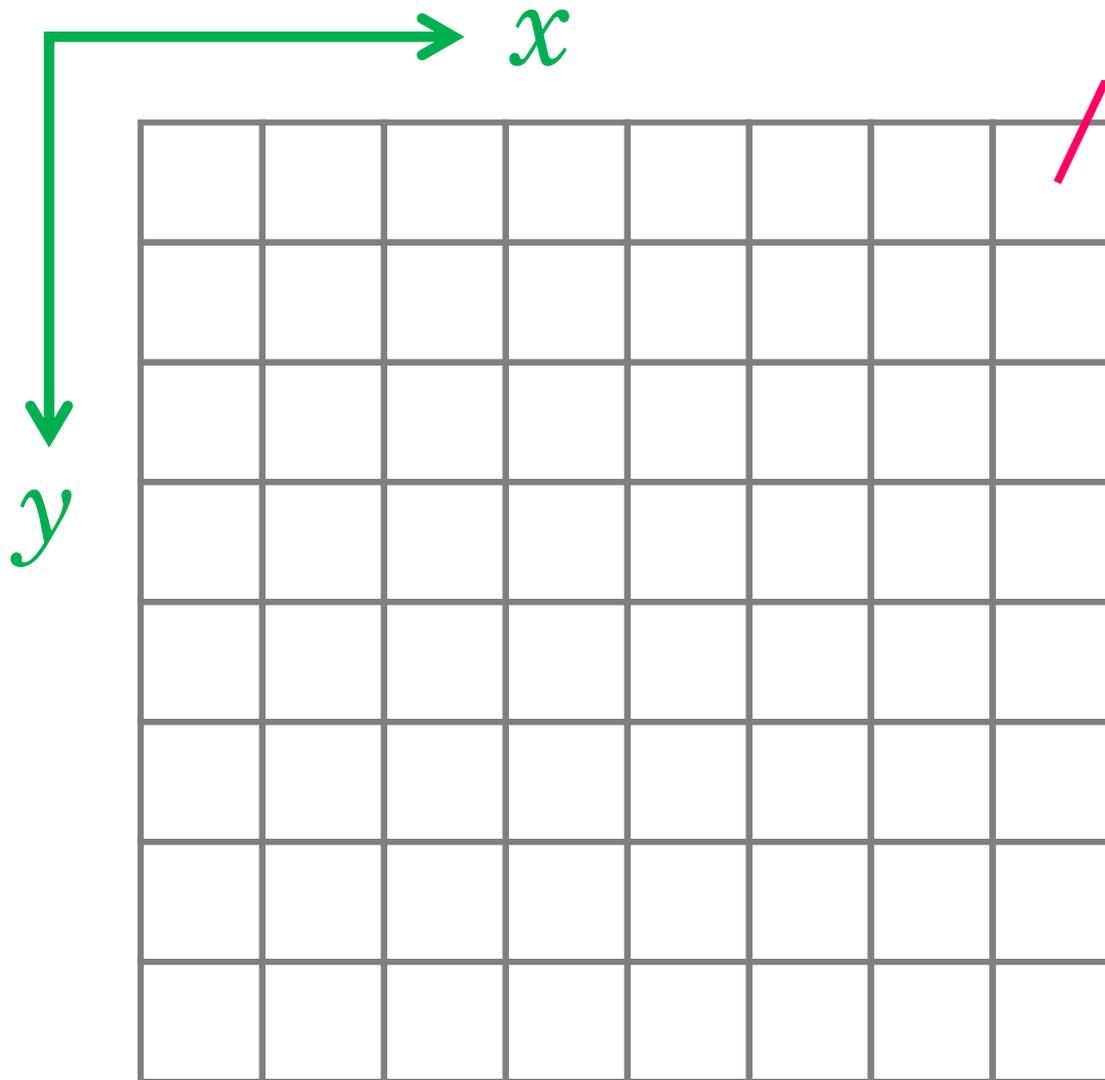
画像処理の種類

- ❖ **画像処理** (image processing)
画像を加工して新たな画像を作る。
- ❖ **画像認識** (image recognition)
画像中の対象物が何であるか同定する。
- ❖ **画像計測** (image measurement)
画像から対象物の形状や個数、動きの情報を得る。
- ❖ **画像理解** (image understanding)
画像から得られる情報を統合し、画像がもつ意味を構造的に理解する。

画像処理とCG



デジタル画像



画素(pixel)

画素値
輝度値
濃度値
濃淡値
階調値

画素の明るさ
(0~255)

デジタル画像の取得

✦ AD変換

重要

① 標本化 (sampling)

空間のデジタル化

標本化間隔 (sampling interval)

解像度 (resolution)

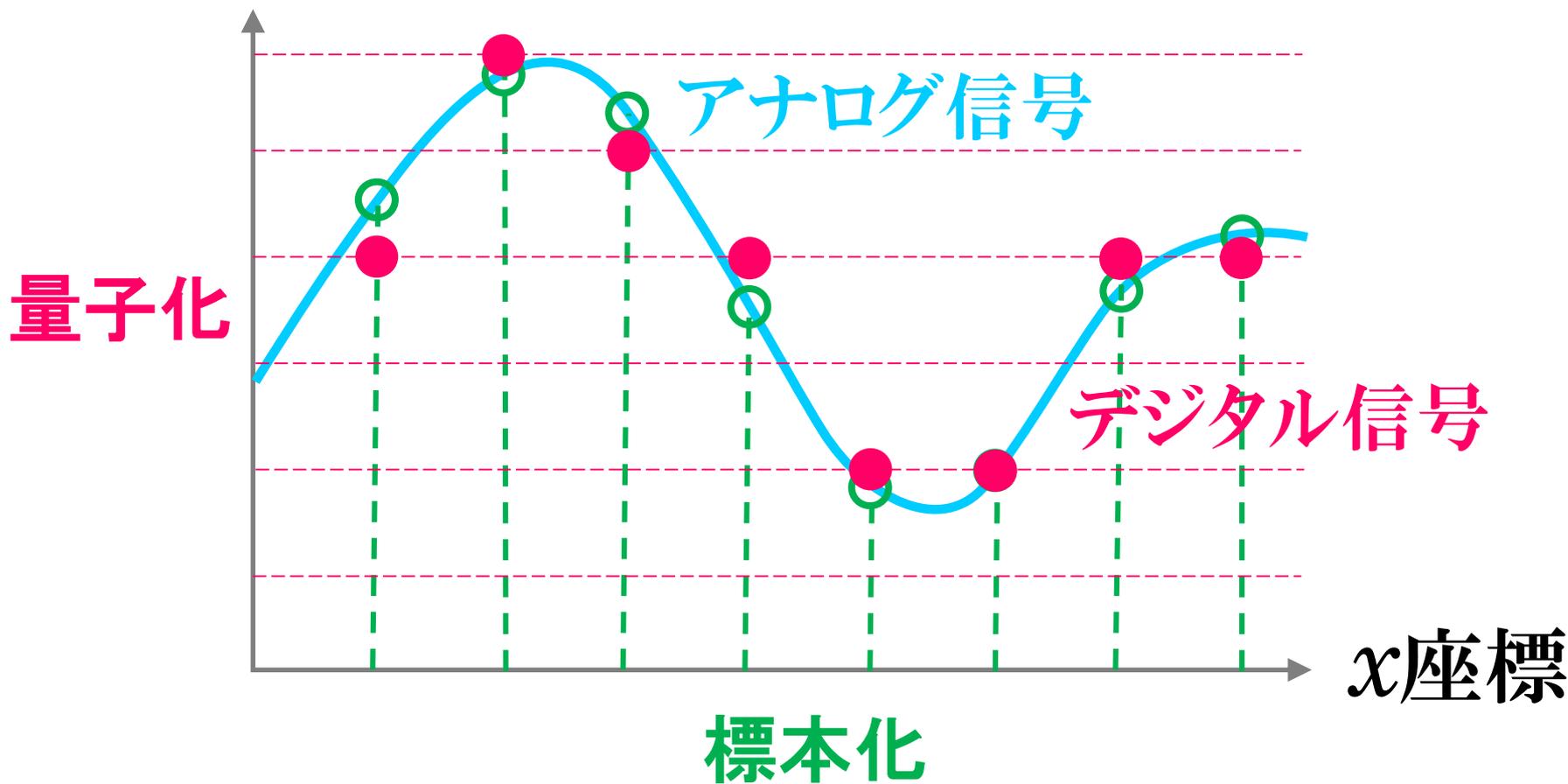
② 量子化 (quantization)

色のデジタル化

階調 (gradation)

AD変換

画素値 (明るさ)



階調数による画像の種類

❖ **2値画像** (binary image)

2階調(黒・白)

❖ **白黒濃淡画像** (grayscale image)

256階調

❖ **カラー画像** (color image)

RGB(赤・緑・青) 各256階調

画像処理

画像を加工して新たな画像を作る

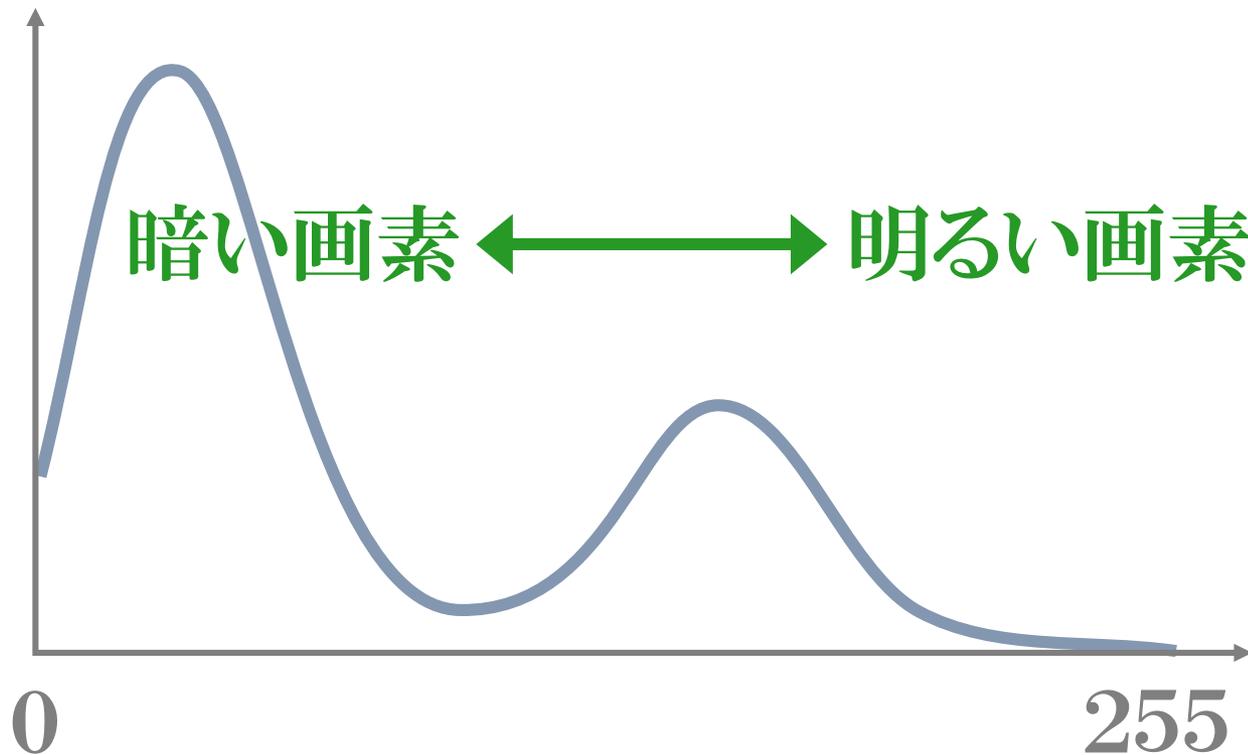
- ✿ 画素ベースの画素値変換
- ✿ 領域ベースの画素値変換
- ✿ 幾何学的変換
- ✿ 画像間演算

ヒストグラム (histogram)

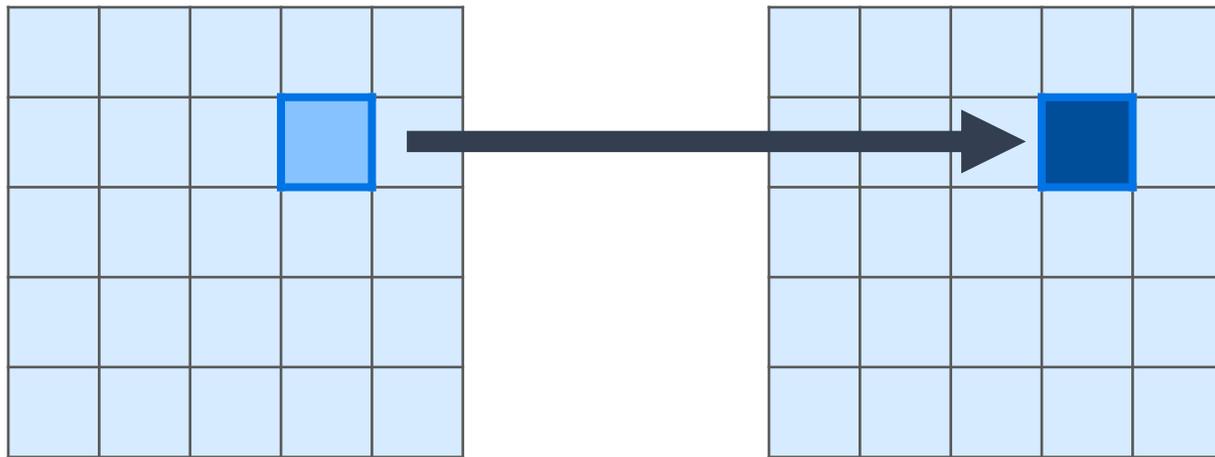
画素値の頻度分布を表したグラフ

重要

画素数



画素ベースの画素値変換



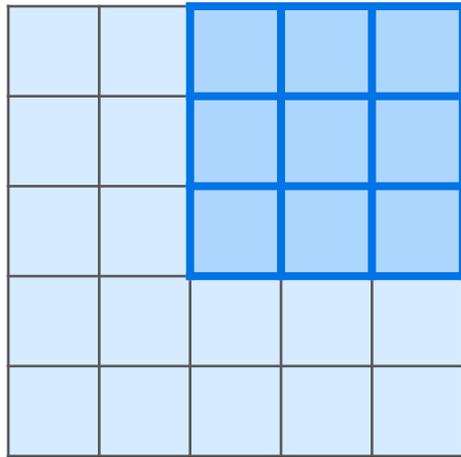
原画像

変換後画像

- 階調変換 (gray-level transformation)
- コントラスト強調 (contrast enhancement)

領域ベースの画素値変換

重要

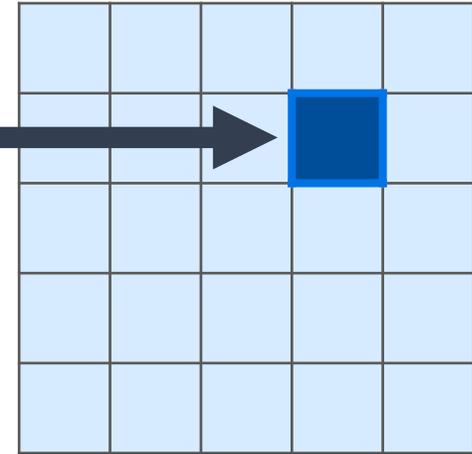
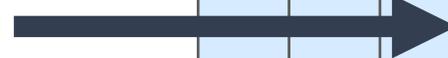


原画像

⊗

a_0	a_1	a_2
a_3	a_4	a_5
a_6	a_7	a_8

空間フィルタ
(spatial filter)



変換後画像

- 平滑化 (smoothing)
- 輪郭抽出 (edge extraction)
- 鮮鋭化 (sharpening)

空間フィルタリング

畳み込み演算

$$g(x, y) = \sum_{i=-w}^w \sum_{j=-w}^w f(x + j, y + i) \cdot h(j, i)$$

原画像

空間フィルタ

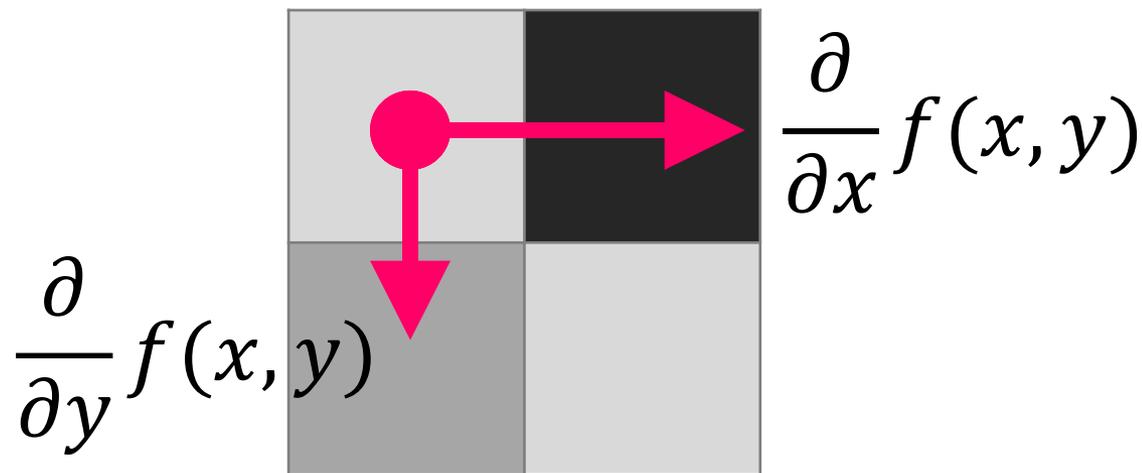
平滑化

- ✿ 平均値フィルタ (average filter)
- ✿ 重み付き平均値フィルタ
(weighted average filter)
- ✿ ガウシアンフィルタ (Gaussian filter)
- ✿ メディアンフィルタ (median filter)

画像の微分

輝度勾配 (intensity gradient)

重要



ラプラシアン (Laplacian)

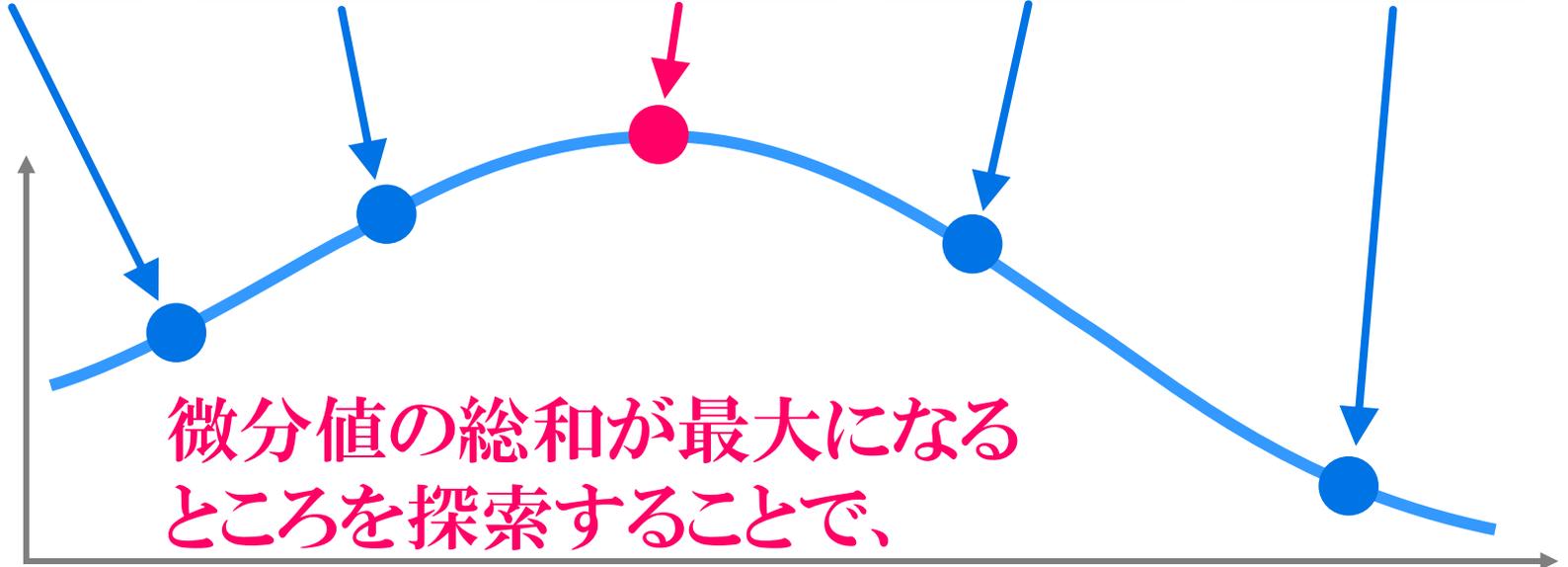
$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2}{\partial x^2} f(x, y) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} f(x, y)$$

オートフォーカス

応用



全画素の
微分値の総和



微分値の総和が最大になるところを探索することで、フォーカスを自動調整できる。

フォーカス値

鮮鋭化フィルタ

原画像の濃淡を残したまま、エッジを強調する。

$$g(x, y) = f(x, y) - \nabla^2 f(x, y)$$

0	0	0
0	1	0
0	0	0

 $-$

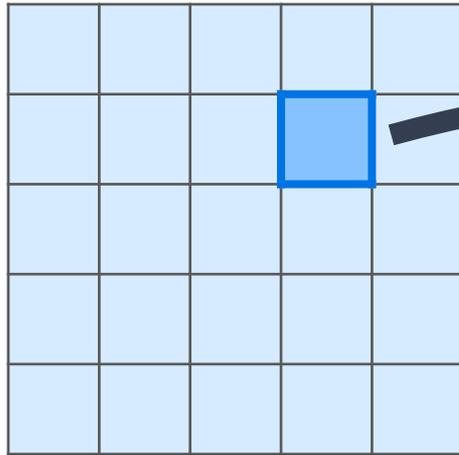
0	1	0
1	-4	1
0	1	0

 $=$

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

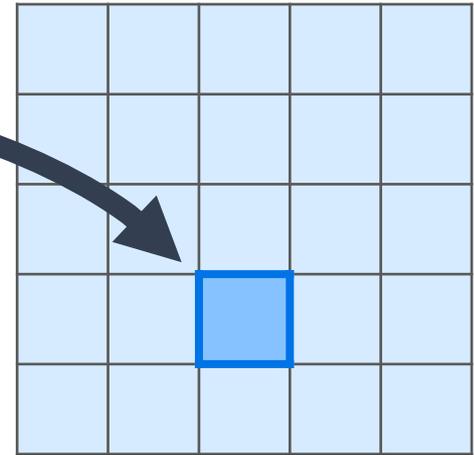
幾何学的変換

重要



原画像

座標変換

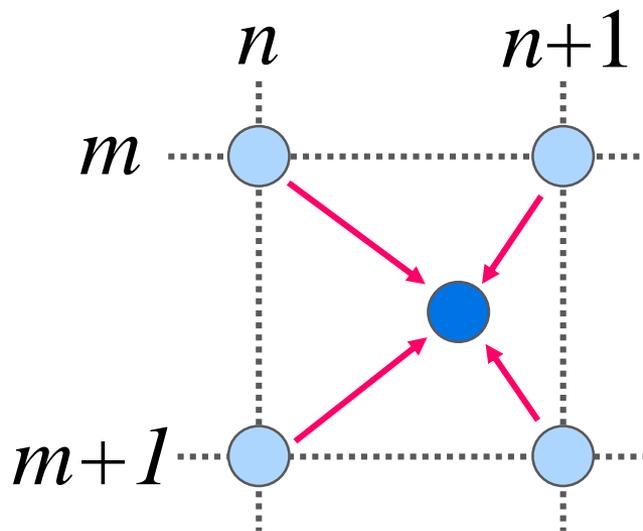


変換後画像

- 線形変換 (linear transformation)
- アフィン変換 (affine transformation)
- 射影変換 (projective transformation)

再標本化 (resampling)

重要

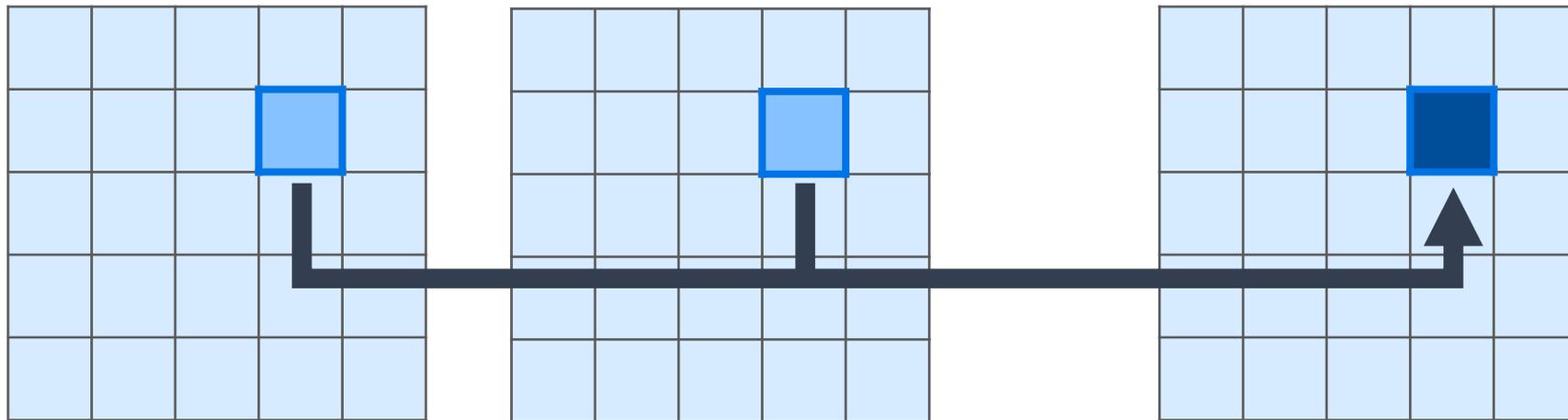


m, n : 整数値

標本化された画像から、実数座標の画素値を求める。

- 最近隣補間 (nearest neighbor interpolation)
- 双線形補間 (bi-linear interpolation)

画像間演算



原画像A

原画像B

変換後画像

- ブレンディング (blending)
- 差分画像 (subtraction image)

2値画像処理①

画像から対象物を抽出する。

- ✿ **2値化** (binarization)
- ✿ **連結性** (connectivity)
- ✿ **モルフォロジー演算**
(morphological operation)
- ✿ **ラベリング** (labeling)

2値画像処理②

対象物の特徴を抽出する。

- ✦ 骨格化 (skeletonization)
- ✦ 細線化 (thinning)
- ✦ 形状特徴パラメータ
(geometric feature parameter)

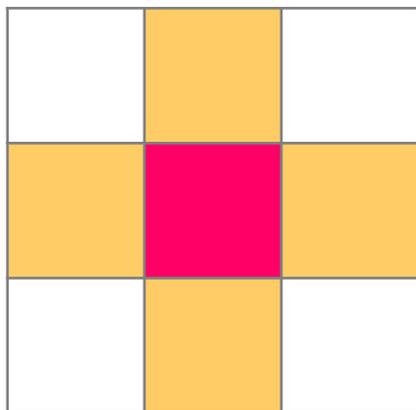
2値化

ある画素値を**閾値**にして、白と黒の2階調に画像を変換する。

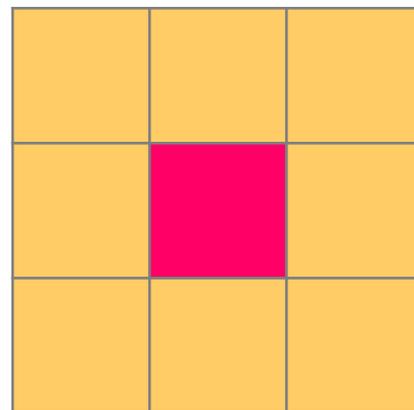
対象物領域と背景とに画像内を分ける。

- モード法 (mode method)
- P-タイル法 (p-tile method)
- 判別分析法
(discriminant analysis method)

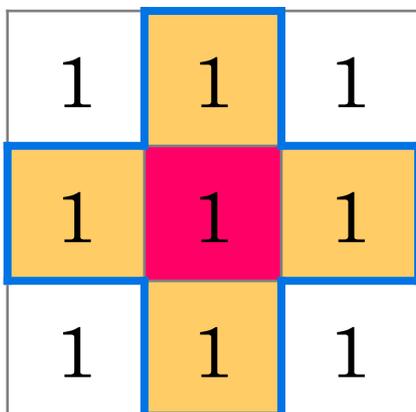
連結性



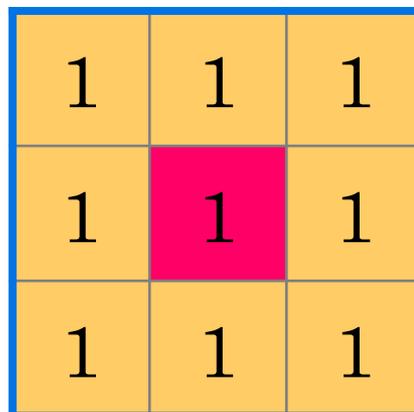
4近傍



8近傍



4連結



8連結

モルフォロジー演算

✿ 膨張 (expansion)

✿ 収縮 (contraction)

✿ オープニング (opening)

収縮n回 → 膨張n回

✿ クロージング (closing)

膨張n回 → 収縮n回

2値画像のノイズ除去に有効

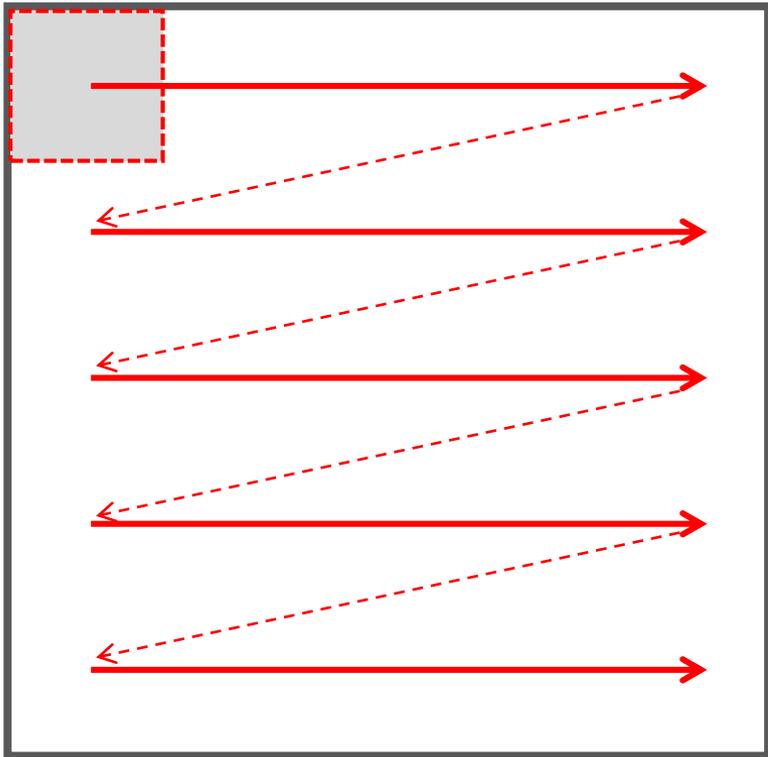
形状特徴パラメータ

- ✿ **重心** (center of gravity)
- ✿ **外接長方形** (bounding box)
- ✿ **面積** (area)
- ✿ **周囲長** (perimeter)
- ✿ **円形度** (roundness)
- ✿ **オイラー数** (Euler number)
- ✿ **主軸** (principal axis)

テンプレートマッチング

1画素ずつずらしながら類似度を計算

重要



対象画像

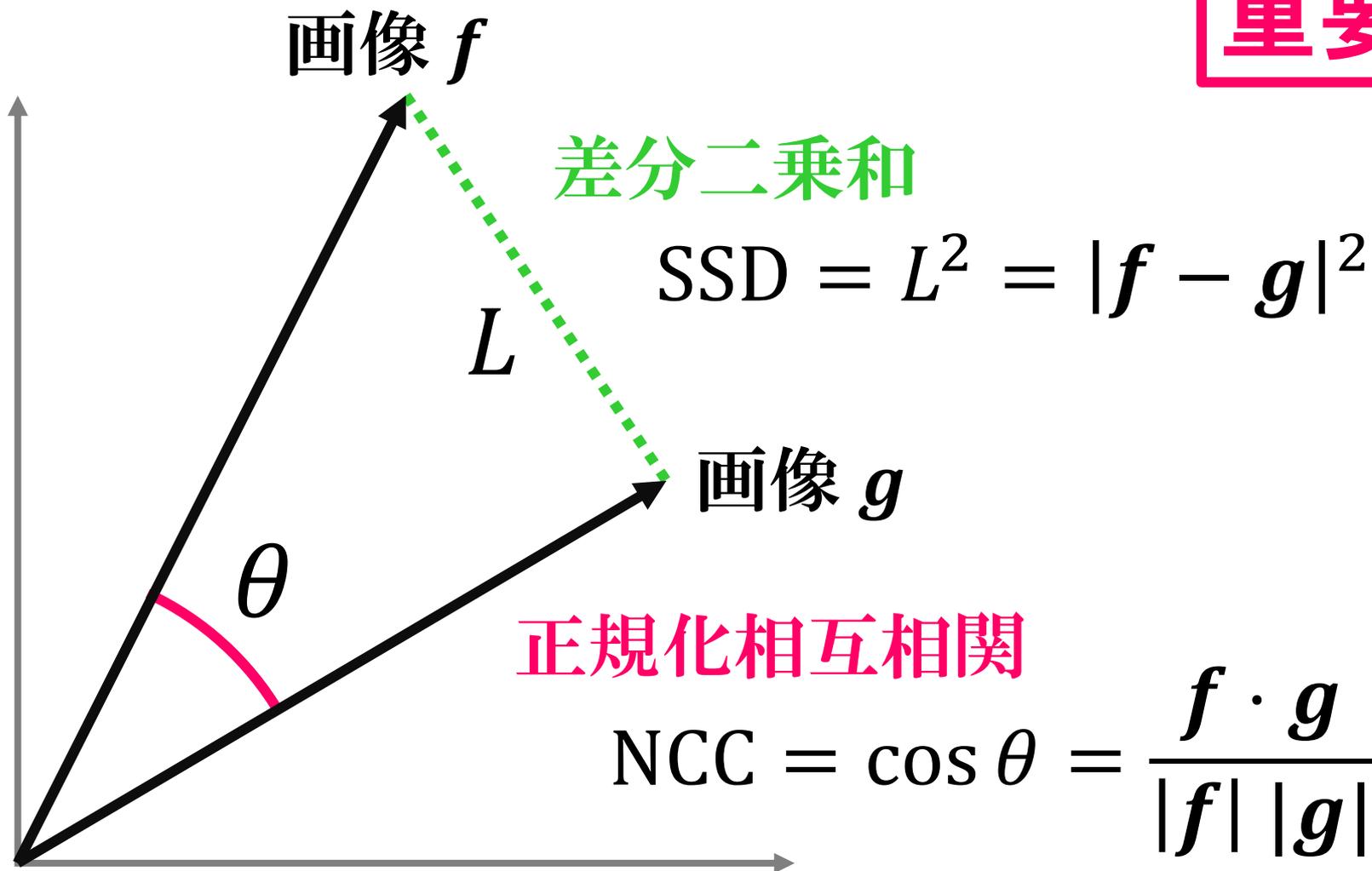


テンプレート画像
(探索物の画像)

対象画像全体の中で、
類似度が大きい座標を
検出する。

2つの画像の類似度

重要



パターン認識

重要

画像の特徴を用いて、あらかじめ定めたクラスに画像を分類する処理

❖ 学習 (learning)

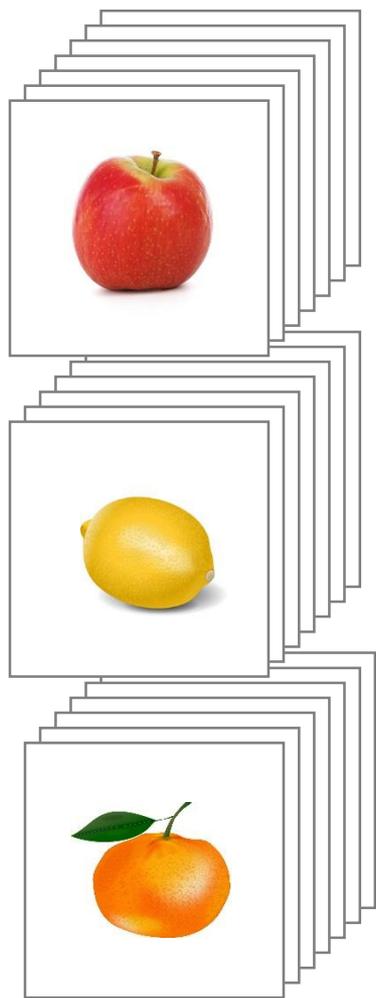
学習用画像群の特徴抽出を行い、各クラスのプロトタイプを定めて識別辞書を作る。

❖ 識別 (discrimination)

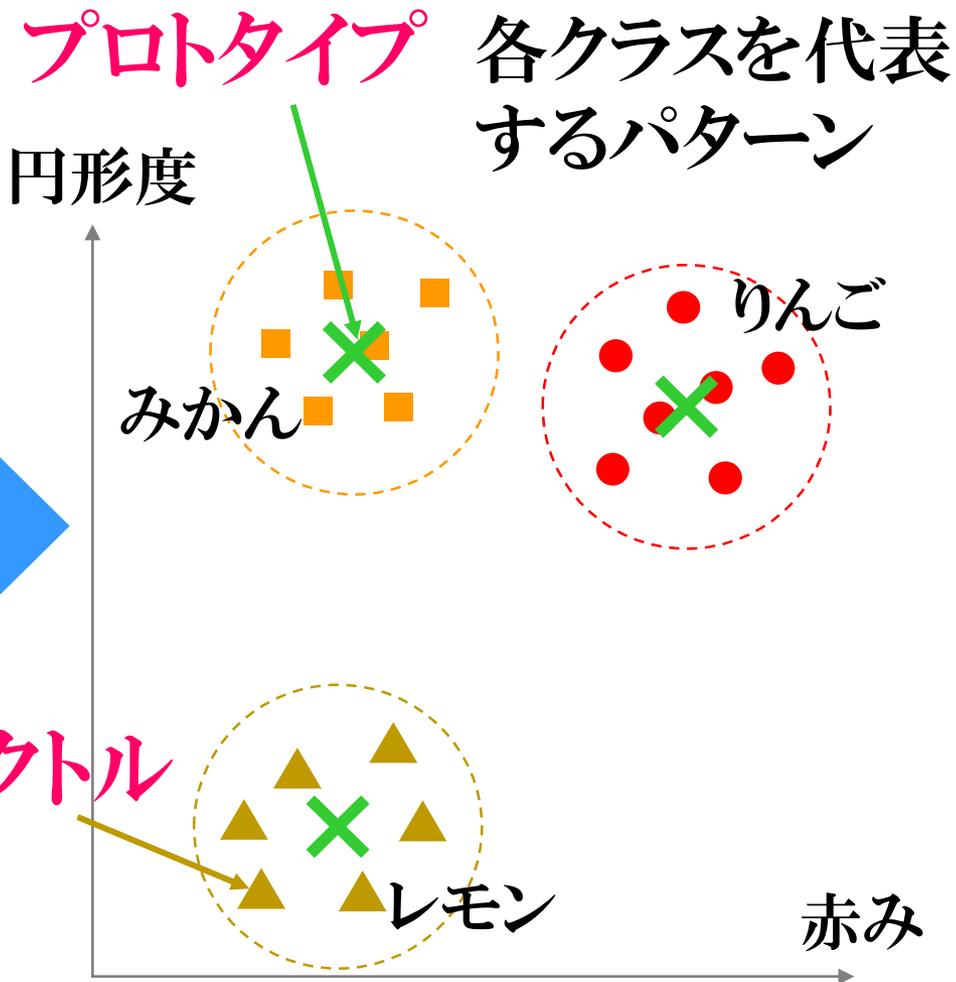
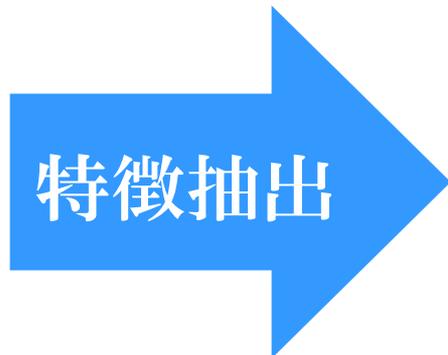
未知画像の特徴抽出を行い、識別辞書と比較して未知画像のクラスを決定する。

学習

重要



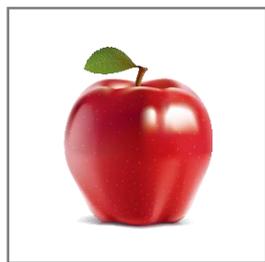
学習用画像



特徴空間

識別

重要



未知画像

特徴抽出

円形度

プロトタイプ

りんご

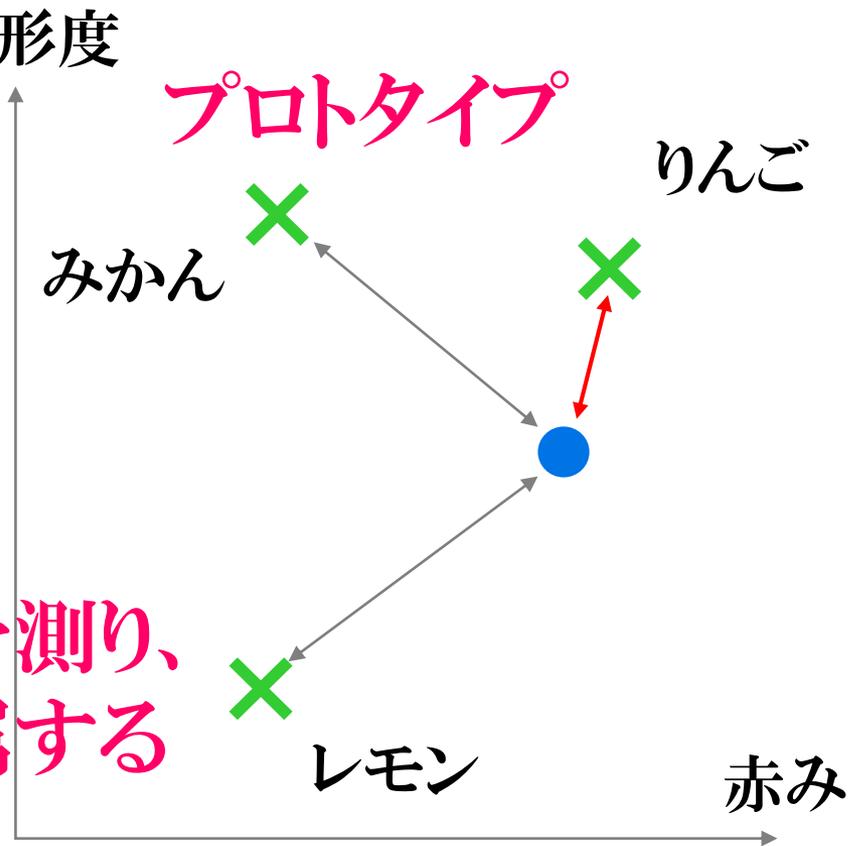
みかん

レモン

赤み

特徴空間

各プロトタイプとの距離を測り、最も近いプロトタイプが属するクラスに識別する。



画像認識の手法

❖ テンプレートマッチング

テンプレート画像に類似している部分を抽出する。
特徴空間の軸は、各画素の画素値

❖ プロトタイプによるパターン認識

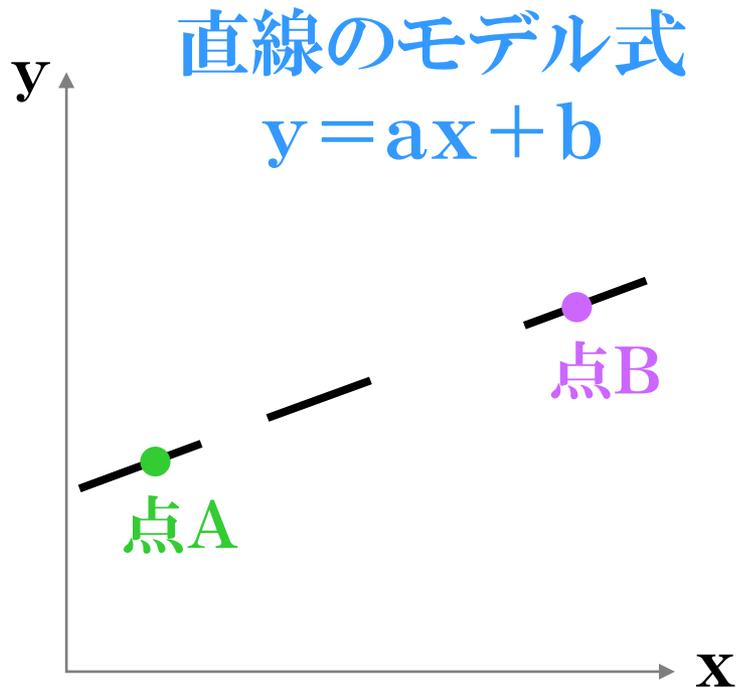
プロトタイプとの距離を測り、未知画像を識別する。
特徴空間の軸は、形状特徴量など

❖ モデル式マッチング

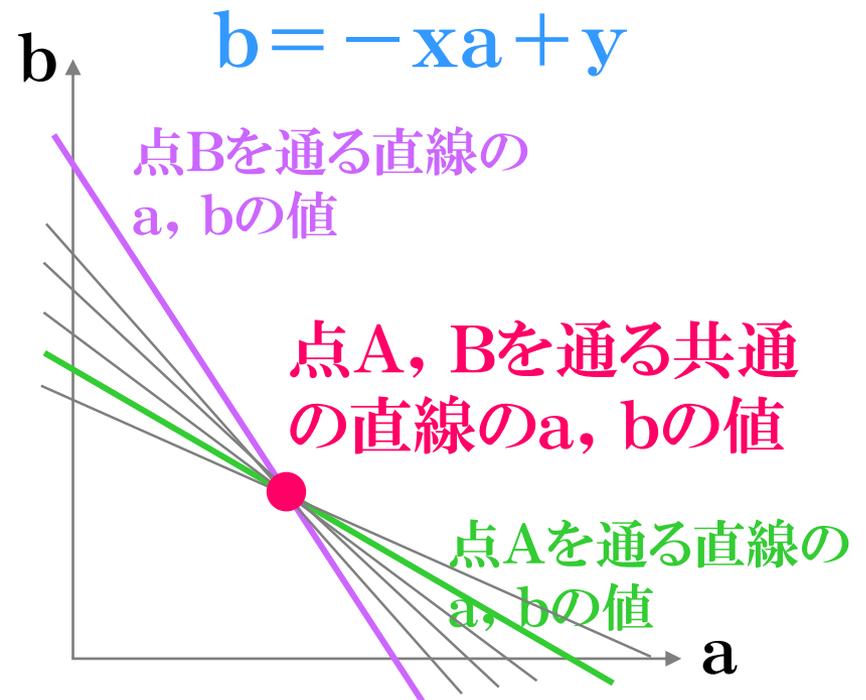
対象物の数式(モデル式)で表し、モデル式のパラメータを画像から決めることで、対象物を検出する。
特徴空間の軸は、モデル式のパラメータ

ハフ変換 (Hough transform)

不連続な輪郭線やノイズが含まれる画像から、モデル式で表された図形を抽出する。



x-y画像平面



パラメータ空間

動画画像処理

オプティカルフロー (optical flow)

時間連続した2フレーム間の見かけの動きの分布

❖ ブロックマッチング法

❖ 勾配法 (gradient method)

仮定: $f(x, y, t) = f(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t)$

$$\frac{\partial f(x, y, t)}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial f(x, y, t)}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial f(x, y, t)}{\partial t} = 0$$

を解いて、 $(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt})$ を求める。

移動物体検出

❖ 背景差分法

移動物体が存在していない背景だけの画像との差分により、移動物体を検出する。

❖ フレーム間差分法

3枚のフレーム画像の差分の論理積から、移動物体を検出する。

3次元画像処理

投影変換

- ❖ 平行投影 (orthogonal projection)
- ❖ 透視投影 (perspective projection)

3次元空間座標 (X, Y, Z)

2次元平面座標 (x, y)

焦点距離 f

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

3次元再構成

❖ ステレオ視 (stereo vision)

視点の異なる2枚の画像の対応点を見つけ (ステレオマッチング)、三角測量を用いて3次元座標を計測する方法。

❖ 能動的ステレオ視 (active stereo vision)

ステレオ視において、片方のカメラをレーザ光源などに変えて、ステレオマッチングの精度を向上させた方法。

画像符号化

重要



- **可逆符号化 (lossless coding)**
復号すると、元のデータと同じになる。
- **非可逆符号化 (lossy coding)**
復号すると、元のデータと厳密には同じにならない。

可變長符号

重要

画素値	固定長符号		可變長符号		
	符号語	符号長	出現確率	符号語	符号長
0	00	2 bit	1/2	0	1 bit
1	01	2 bit	1/4	10	2 bit
2	10	2 bit	1/8	110	3 bit
3	11	2 bit	1/8	111	3 bit

平均符号長

2 bit

1.75 bit

可逆符号化

❖ エントロピー符号化 (entropy coding)

出現確率が高い画素ほど、短い符号語を与える。

● ハフマン符号 (Huffman coding)

❖ 予測符号化 (predictive coding)

隣接する画素値の差分をとることで、データのエントロピーを小さくしてからエントロピー符号化をする。

❖ ランレングス符号化 (run-length coding)

2値画像において、同じ画素値が連続する長さを符号化する。

フーリエ変換

❖ フーリエ変換

$$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \exp(-j2\pi ux) dx$$

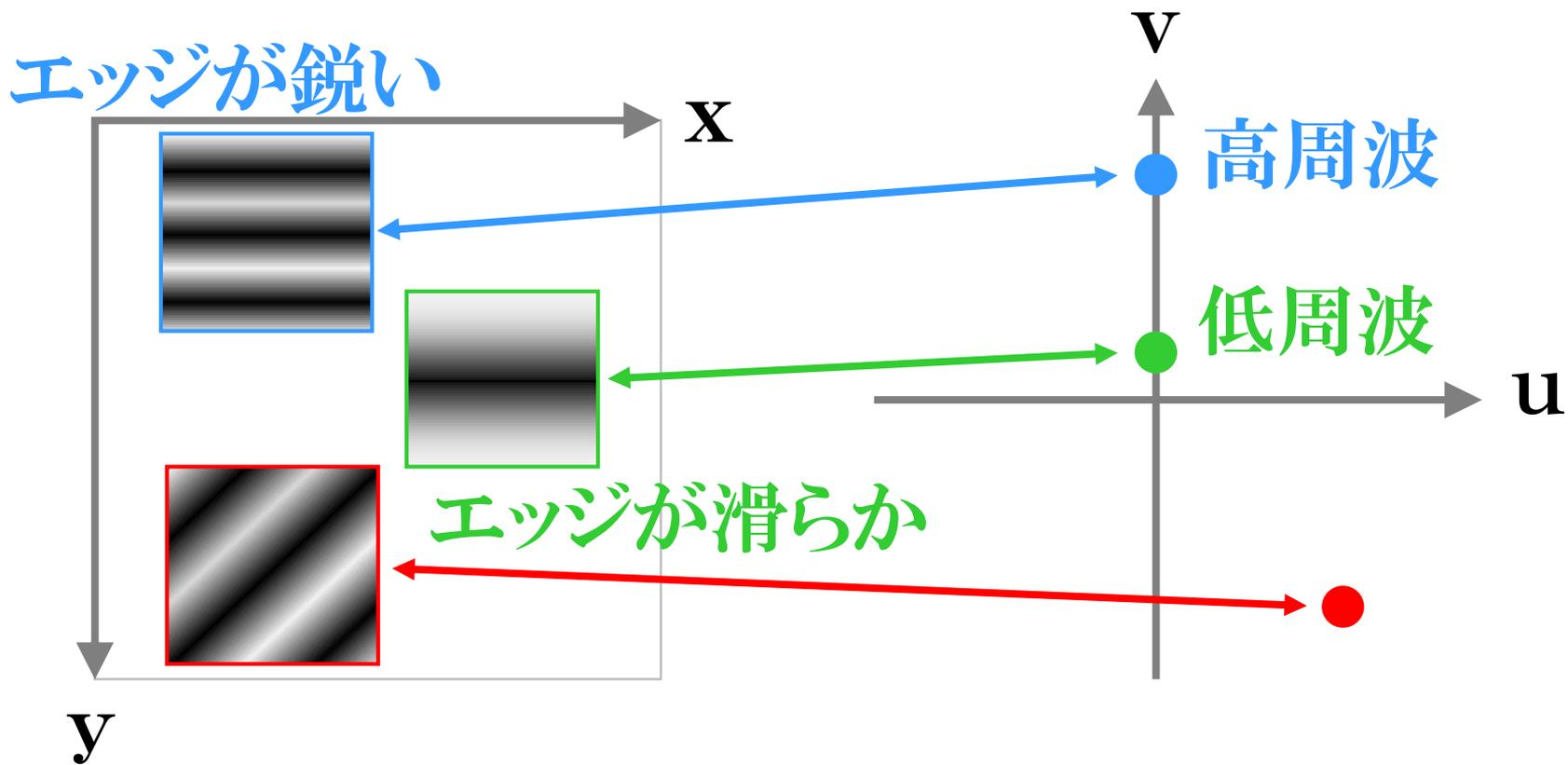
❖ 2次元フーリエ変換

$$F(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \exp(-j2\pi(ux + vy)) dx dy$$

❖ 2次元離散フーリエ変換

$$F(u, v) = \sum_{y=0}^{H-1} \sum_{x=0}^{W-1} f(x, y) \exp\left(-j2\pi\left(\frac{xu}{W} + \frac{yv}{H}\right)\right)$$

画像の周波数領域



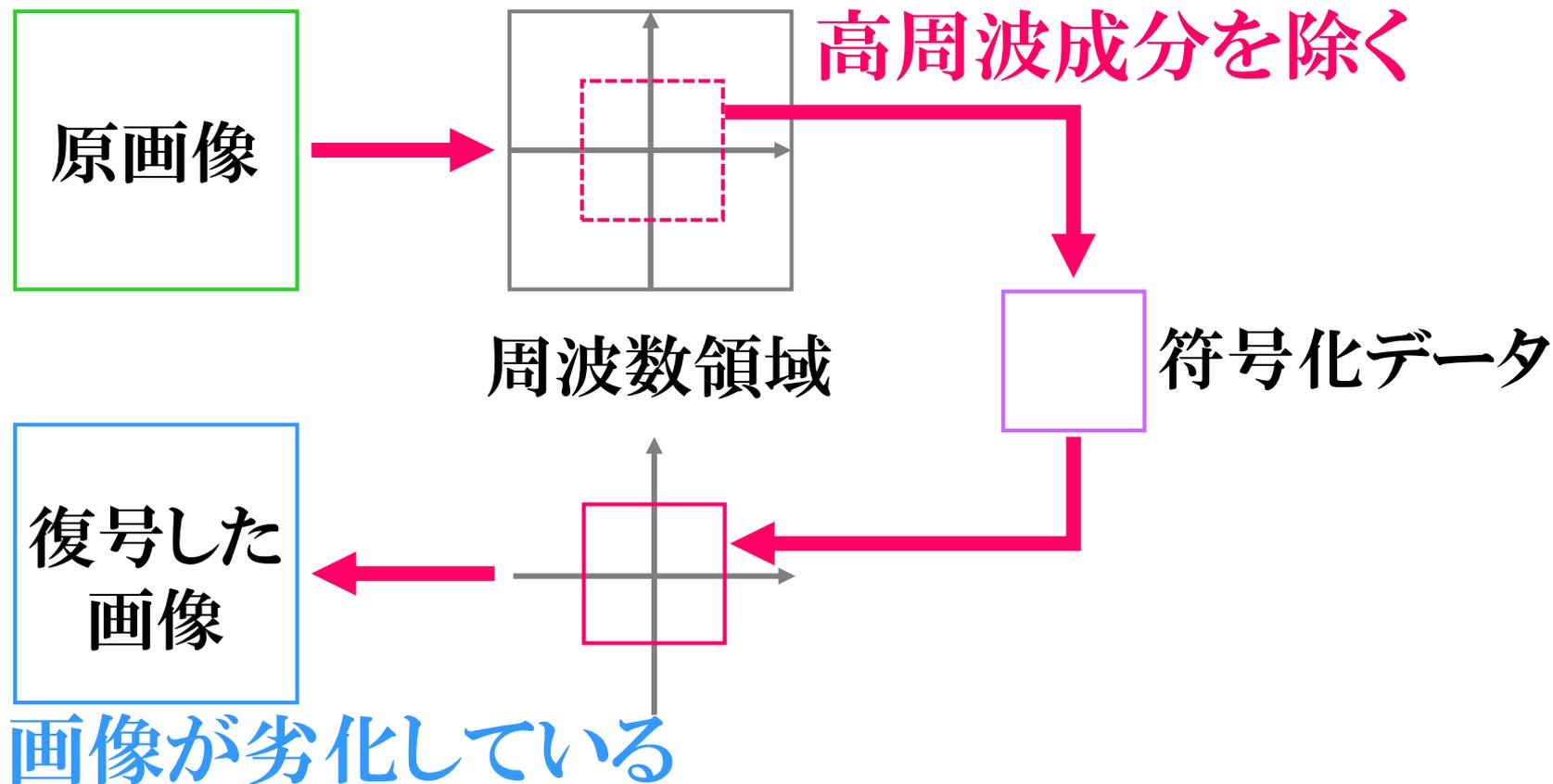
空間領域

周波数領域

変換符号化

重要

画像の周波数成分から高周波成分を削除して、画像のデータ量を減らす。



コンピュータグラフィックス

✦ モデリング

3次元空間における物体の形状や材質などを数値的に記述する。

✦ レンダリング

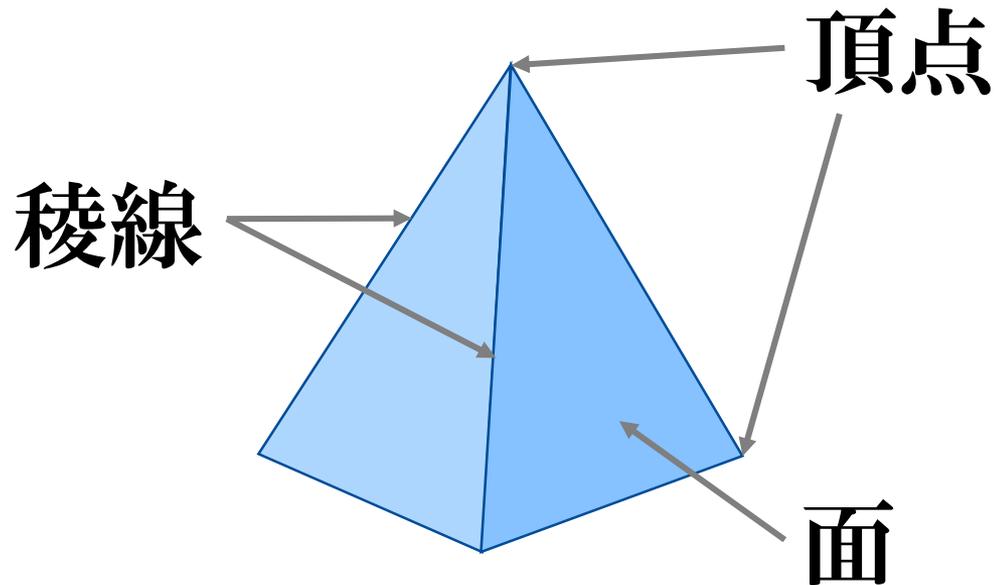
3次元物体のモデルを、光源や視点に基づいて、2次元画像に描画する。

形状モデル

✦ ワイヤーフレームモデル

✦ サーフェスモデル

✦ ソリッドモデル



レンダリング

- ① 透視投影
- ② 陰面消去
- ③ シェーディング
- ④ テクスチャマッピング

画像処理とCGの応用

- ❖ **拡張現実感** (AR: Augmented Reality)
風景の画像上にCGを合成することで、情報を視覚的に補う技術
- ❖ **バーチャルリアリティ**
コンピュータ上に作られた仮想的な空間をCGなどを用いて疑似体験させる技術
- ❖ **モーションキャプチャ**
人の動作をリアルタイムに計測する技術

定期試験

試験日: 8月*日(*)

出題形式: 論述式 教科書・ノート持ち込み可

範囲:

- 画像変換 (AD変換、ヒストグラム、空間フィルタ、幾何学的変換、再標本化など)
- 2値画像処理 (2値化、連結性、特徴パラメータなど)
- 画像認識 (テンプレートマッチング、パターン認識、学習と識別など)
- 画像符号化 (ハフマン符号化、変換符号化など)