

# デジタルメディア処理2

担当: 井尻 敬

## デジタルメディア処理 2、2017（前期）

4/13	デジタル画像とは	: イン트로ダクション
4/20	フィルタ処理1	: 画素ごとの濃淡変換、線形フィルタ
4/27	フィルタ処理2	: 非線形フィルタ, フーリエ変換, ローパスフィルタ, ハイパスフィルタ
5/04	画像の幾何変換 1	: アファイン変換
5/11	画像の幾何変換 2	: 画像の補間
5/18	画像領域分割	: 領域拡張法, 動的輪郭モデル, グラフカット法,
5/25	<b>前半のまとめ (約30分)と中間試験 (約70分)</b>	
6/01	特徴検出1	: テンプレートマッチング、コーナー検出
6/08	特徴検出2	: DoG特徴量、SIFT特徴量、ハフ変換
6/15	画像認識1	: パターン認識概論, サポートベクタマシン
6/22	画像認識2	: ニューラルネットワーク、深層学習
6/29	画像符号化1	: 圧縮率, エントロピー, ランレングス符号化, MH符号化
7/06	画像符号化2	: DCT変換, ウェーブレット変換など
7/13	<b>後半のまとめ (約30分)と期末試験 (約70分)</b>	

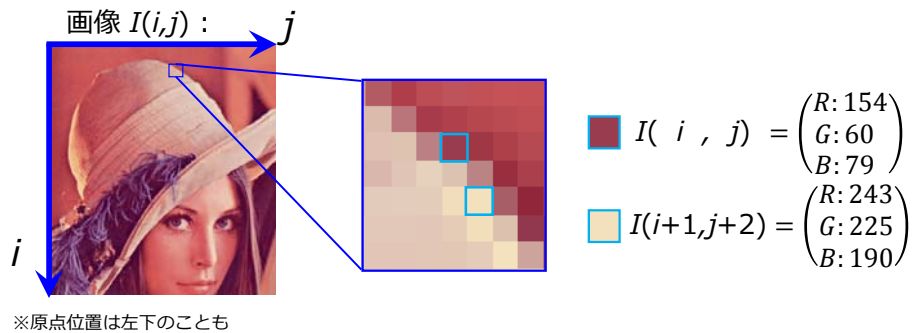
## Contents : フィルタ処理

- デジタル画像とは (復習)
- トーンカーブ
  - 反転, 二値化, ポスタリゼーション, ソラリゼーション, ガンマ変換, カラー画像
- 空間フィルタ (線形)
  - 平滑化フィルタ, ソーベルフィルタ, ガウシアンフィルタ, ラプラシアンフィルタ
- 空間フィルタ (非線形)
  - メディアンフィルタ, バイラテラルフィルタ

## デジタル画像のフィルタリング

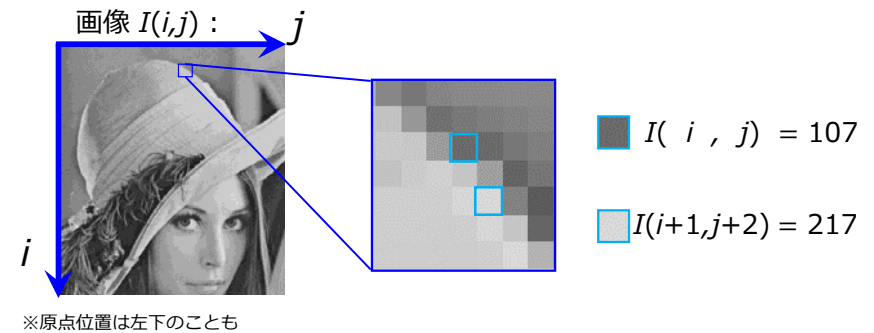
## デジタル画像：カラー画像

- 離散値を持つ画素が格子状に並んだデータ
- 画素：pixel = picture + element
- 例 24bit bitmap：各pixelが(R,G,B)毎に整数値[0,255]を持つ



## デジタル画像：グレースケール画像

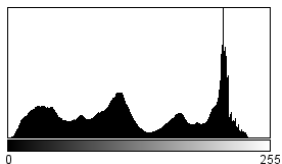
- 離散値を持つ画素が格子状に並んだデータ
- 画素：pixel = picture + element
- 例 8bit bitmap：各pixelが整数値[0,255]を持つ



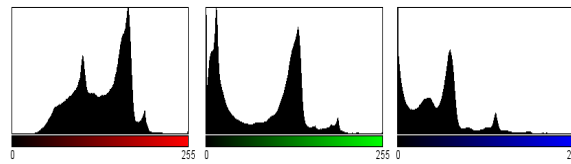
## 『頻度表（ヒストグラム）』とは

各階調の画素数を数えた表のこと  
回転や平行移動に依存しない特徴量 → 画像処理に頻出

グレースケール画像

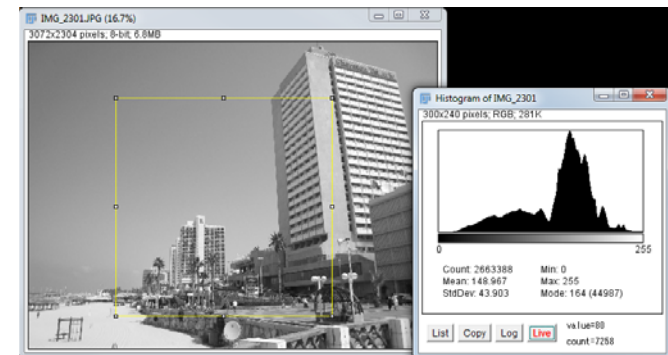


RGBカラー画像



## ImageJでヒストグラムを確認してみる

1. ImageJ 起動
2. 画像読み込み
3. Menu > analyze > histogram
4. LiveをOnにすると矩形選択した領域のヒストグラムを確認可能



## Python + OpenCV : ヒストグラム計算

ExtractHistogramm.py

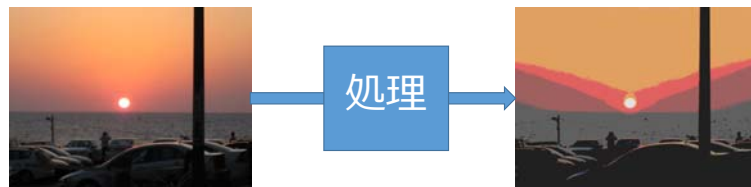
TODO

## Python + OpenCV : 線形フィルタ計算

ExtractHistogramm.py

TODO

## デジタル画像のフィルタリング



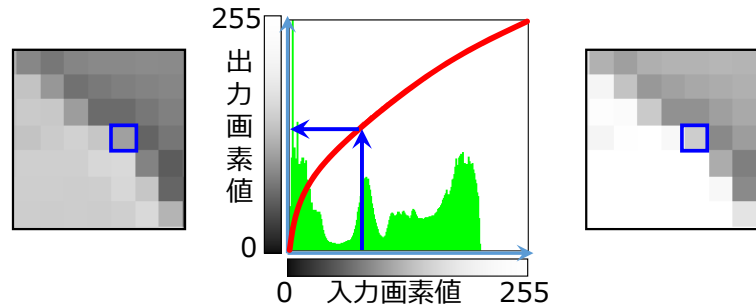
- 入力画像に対し何らかの計算処理を施し
  - 特定の周波数を持つ信号を強調する・捨てる (ノイズ除去)
  - アーティスティックな効果を得る
  - 画像処理 (ステレオ視・領域分割・識別器) に必要な特徴ベクトルを得る

## トーンカーブ

C++のコードあり  
ToneCurve.exe

# トーンカーブ

- 入力画像は8bit グレースケールとする
- 各画素の値を異なる値に変換する**階調変換関数**を考える
- 階調変換関数をグラフで表現したものを**トーンカーブ**と呼ぶ



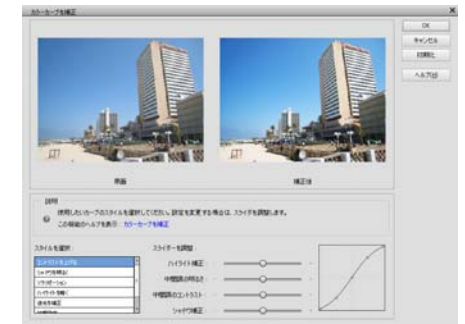
# トーンカーブは写真編集の基本ツール



GIMP

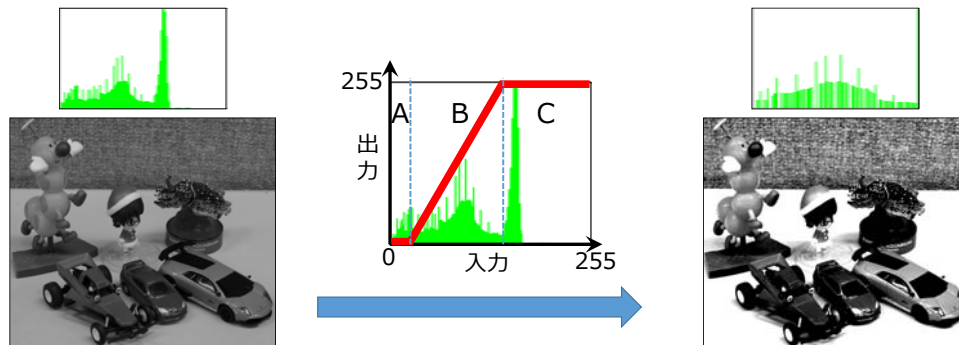


ImageJ: 自由編集でないでちょっと違うけど



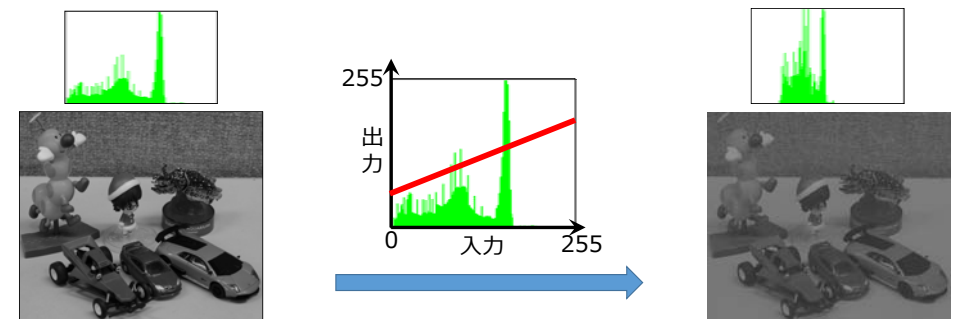
PhotoShop Elements カラーカーブ  
使いやすいように自由度の限定されたトーンカーブのようなもの  
Photoshop CSにはトーンカーブがある (あった)

## トーンカーブ: コントラストを上げる



- 領域A: 出力画素値0となり黒つぶれ
- 領域C: 出力画素値255となり白飛び
- 領域B: **傾きが1より大きい**ため、画素値の取り得る範囲が広がりコントラストが上がる  
画素値は離散値であるため出力ヒストグラムは飛び飛びに

## トーンカーブ: コントラストをさげる

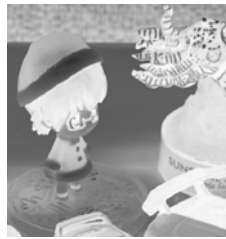


- 傾きが1より小さいため、出力画素値の取り得る範囲が縮まり、コントラストが下がる

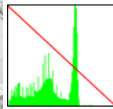
## トーンカーブ：特殊効果



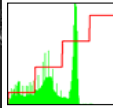
元画像



ネガポジ反転



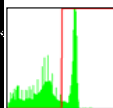
ポスタリゼーション



出力の色数を  
極端に減らす



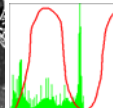
二値化



閾値より下は0  
閾値以上は255



ソラリ  
ゼーション



上記のような  
曲線を指定

※実装が間に合わず手書きで曲線を与えました。  
※本来は関数で与えるべき

## トーンカーブ：ガンマ補正

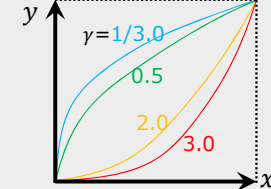
次のトーンカーブを利用した濃淡変換をガンマ変換と呼ぶ

$$y = 255 \left( \frac{x}{255} \right)^\gamma$$

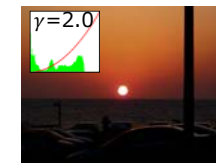
$x$  : 入力値 [0,255]

$y$  : 出力値 [0,255]

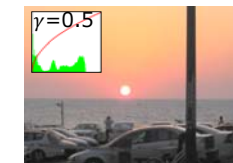
$\gamma$  : パラメータ (>0)



元画像



$\gamma=2.0$



$\gamma=0.5$

※ RGB各チャンネルに  
ガンマ補正を適用

※ 画像出力デバイスには『出力値 = (入力値) $^\gamma$ 』という関係があり、この特性を補正する目的で上記の関数が用いられていた。これを画像の補正に利用したのがガンマ変換

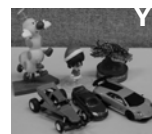
## トーンカーブ：カラー画像への適用

カラー画像をトーンカーブで編集するとき …

- RGBの各チャンネルにトーンカーブの画素値変換を適用
- YCbCr Colorに変換し輝度値成分 (Y) のみに変換を適用
- その他



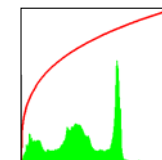
RGB color



YCbCr color  
輝度/青み/赤み



入力画像



$\gamma=0.3$   
のガンマ変換



RGB各チャンネル

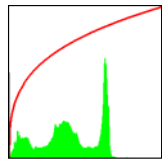


YCbCrの輝度Yのみ

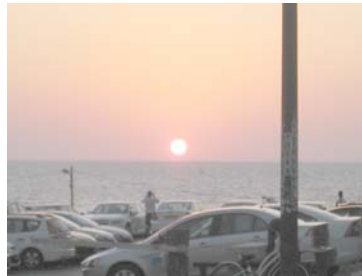
## トーンカーブ：カラー画像への適用



入力画像



$\gamma=0.3$   
のガンマ変換



RGB各チャンネル

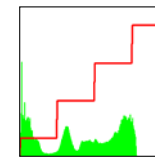


YCbCrの輝度Yのみ

## トーンカーブ：カラー画像への適用



入力画像



ポスタリゼーション



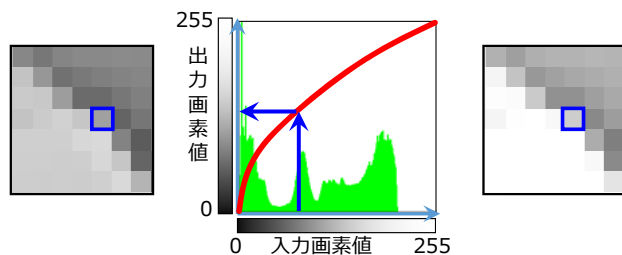
RGB各チャンネル



YCbCrの輝度Yのみ  
(Cb・Crの階調数は減らない)

## トーンカーブ：まとめ

- トーンカーブ：各画素の輝度値・色を変換する**階調変換関数**
- 画像の見栄えの編集に利用される
- キーワード: コントラスト変換・ネガポジ反転・ポスタリゼーション・ソラリゼーション・2値化・ガンマ補正d



## 空間フィルタ(線形)

C++のコード:  
Pythonのコード: [Convolution.py](#)



## 線形フィルタの例



ぼかす

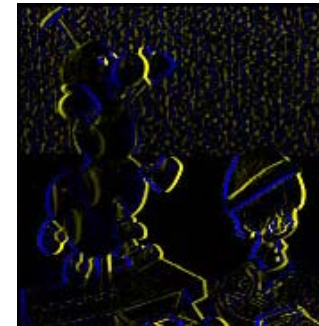


先鋭化

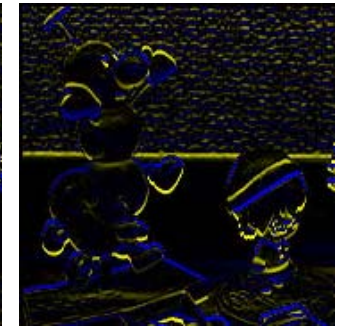
## 線形フィルタの例



エッジ抽出



横方向



縦方向

## 空間フィルタとは

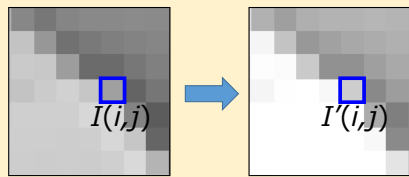
- 空間フィルタとは周囲の情報を利用して画素値を決めるフィルタ
- 空間フィルタは、線形フィルタと非線形フィルタに分けられる

### トーンカーブ：

出力画素  $I'(i,j)$  を求めるのに  
入力画素  $I(i,j)$  のみを利用

入力画像： $I(i,j)$

出力画像： $I'(i,j)$

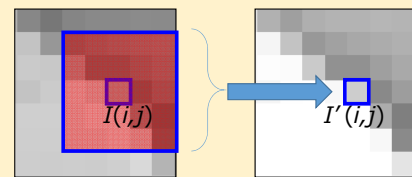


### 空間フィルタ：

出力画素  $I'(i,j)$  を求めるのに  
入力画素  $I(i,j)$  の周囲画素も利用

入力画像： $I(i,j)$

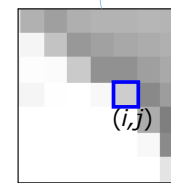
出力画像： $I'(i,j)$



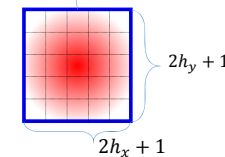
## 線形フィルタとは

出力画素値を周囲画素の重み付和で計算するフィルタ

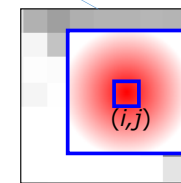
$$I'(i,j) = \sum_{m=-h_y}^{h_y} \sum_{n=-h_x}^{h_x} h(m,n) I(i+m,j+n)$$



$I'(i,j)$   
出力画像

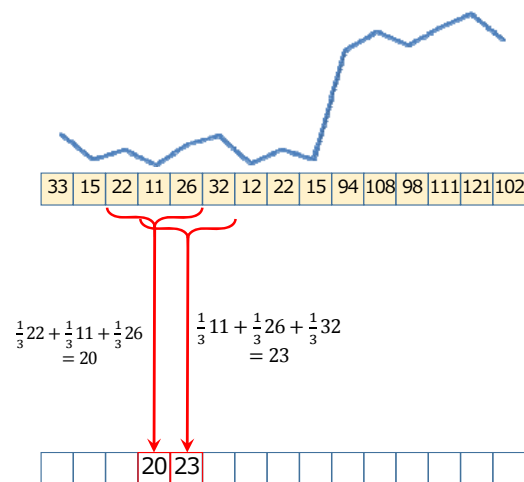


$h(i,j)$   
フィルタ



$I(i,j)$   
入力画像

## 線形フィルタの例 1D

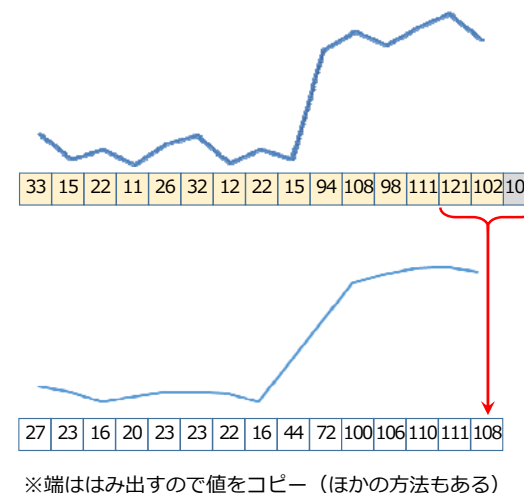


平滑化したい!

$\frac{1}{3} \quad \frac{1}{3} \quad \frac{1}{3}$

周囲3ピクセル  
の平均を取る

## 線形フィルタの例 1D

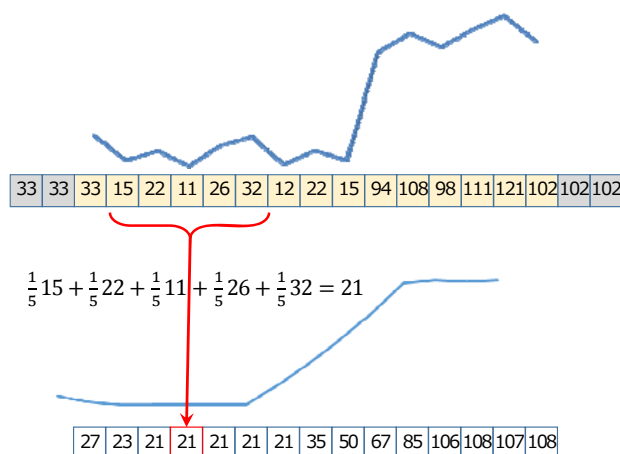


平滑化したい!

$\frac{1}{3} \quad \frac{1}{3} \quad \frac{1}{3}$

周囲3ピクセル  
の平均を取る

## 線形フィルタの例 1D

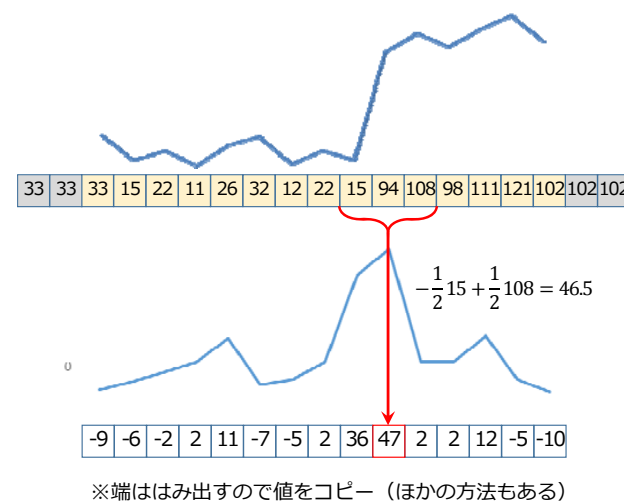


もっと  
平滑化したい!

$\frac{1}{5} \quad \frac{1}{5} \quad \frac{1}{5} \quad \frac{1}{5} \quad \frac{1}{5}$

周囲5ピクセル  
の平均を取る

## 線形フィルタの例 1D



エッジ  
(変化の大きい部分)  
を検出したい

$-0.5 \quad 0 \quad 0.5$

右と左のピクセルの  
差をとる



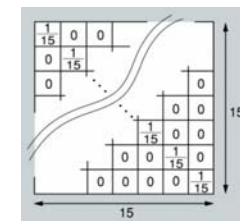
## 線形フィルタ：平滑化

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25



## 線形フィルタ：特定方向の平滑化



© CG Arts協会 デジタル画像処理

## 線形フィルタ：ガウシアンフィルタ

係数をガウス分布に近づけ  
中央ほど強い重みに

1	2	1
16	16	16
2	4	2
16	16	16
1	2	1

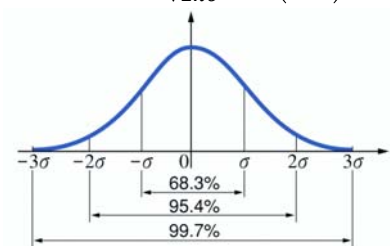
1	4	6	4	1
256	256	256	256	256
4	16	24	16	4
256	256	256	256	256
6	24	36	24	6
256	256	256	256	256
4	16	24	16	4
256	256	256	256	256
1	4	6	4	1
256	256	256	256	256



## 線形フィルタ：ガウシアンフィルタ

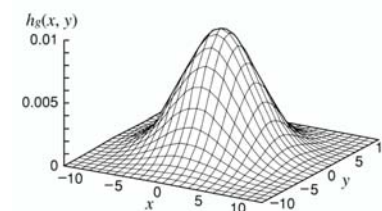
ガウス関数1D

$$g_{\sigma}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{x^2}{\sigma^2}\right)$$



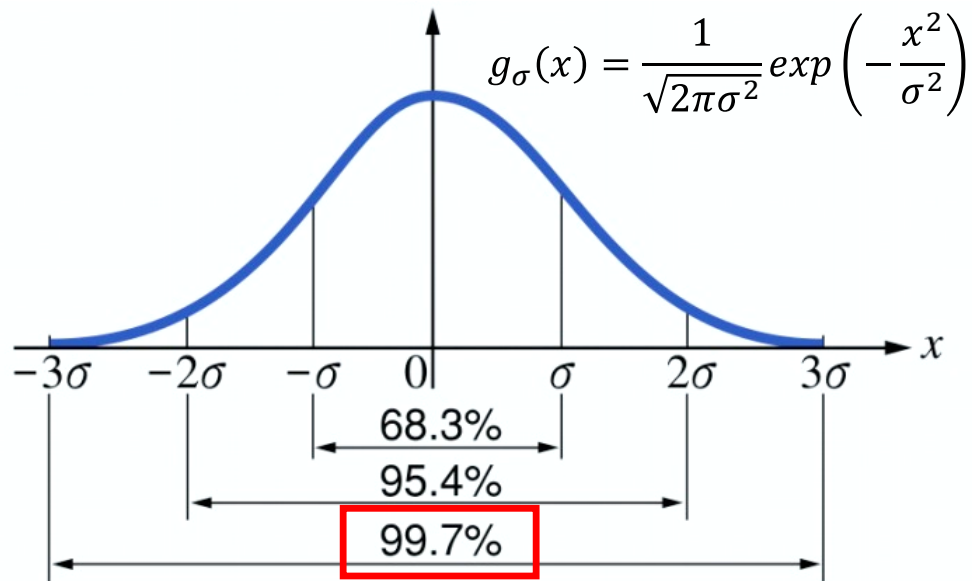
ガウス関数2D

$$g_{\sigma}(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{\sigma^2}\right)$$



これを重みにして線形フィルタをしたい  
さすがに3x3は精度が悪くない？

© CG Arts協会 デジタル画像処理

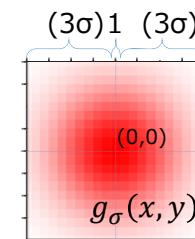
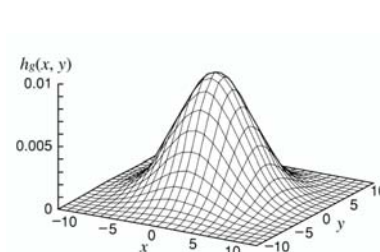


画像は[CG Arts協会 デジタル画像処理]より

## 線形フィルタ：ガウシアンフィルタ

標準偏差 $\sigma$ の大きなガウス関数の畳み込みを計算するとき『3×3』や『5×5』の窓では精度が悪い

→精度を出すには窓の半径を  $3\sigma$ 程度にすべき  
(計算時間はかかる)



例)  $\sigma = 5$  pixelの  
ガウシアンフィルタ  
↓  
Window size は  
31×31が適当

画像は[CG Arts協会 デジタル画像処理]より

## 線形フィルタ：画像の微分

※微分の復習。大丈夫ですね？

関数  $f(x, y)$  の  $x$  軸,  $y$  軸方向の偏微分は以下の通り定義され、

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x + h, y) - f(x - h, y)}{h}$$

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x, y + h) - f(x, y - h)}{h}$$

点  $(x, y)$  における  $x$  軸,  $y$  軸方向の関数  $f(x, y)$  の傾きを与える。

また、 $f(x, y)$  の勾配  $\nabla f(x, y)$  は2次元ベクトルであり、

$$\nabla f(x, y) = \begin{pmatrix} \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \\ \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \end{pmatrix}$$

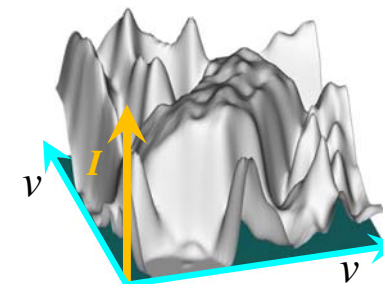
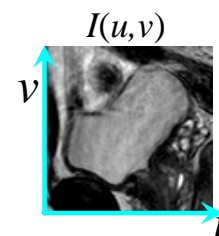
点  $(x, y)$  において  $f(x, y)$  の増加が一番大きくなる方向を示す

練習。

$$f(x, y) = x^2 + y^2$$

上記の関数の  $(1, 1)$ ,  $(2, 3)$   
における勾配を計算し、  
さらに図示せよ

## 線形フィルタ：画像の微分



グレースケール画像  $I(u, v)$  は、高さ関数  $z = I(u, v)$  と見なせる  
なので関数  $I(u, v)$  の勾配（微分）は計算できそう  
 $I(u, v)$  の勾配は、画像の変化の大きい方向を表す

画像は[Ijiri et al 2013, Eurographics]より

## 線形フィルタ：画像の微分

2次元関数  $z = f(x, y)$  のx方向偏微分

$$f_x = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x + h, y) - f(x, y)}{h}$$

画像  $z = I(i, j)$  の横方向偏微分 (近似)

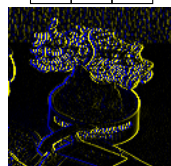
$$I_j(i, j) \approx f(i, j + 1) - f(i, j) \quad \dots(a)$$

$$\approx f(i, j) - f(i, j - 1) \quad \dots(b)$$

$$\approx \frac{f(i, j+1) - f(i, j-1)}{2} \quad \dots(c)$$

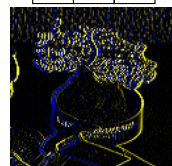
※  $h = \text{pitch}$  (画素サイズ) = 1 と近似

0	0	0
0	-1	1
0	0	0



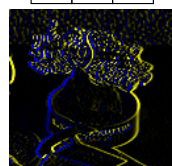
(a)

0	0	0
-1	1	0
0	0	0



(b)

0	0	0
-1/2	0	1/2
0	0	0

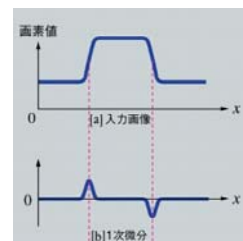


(c)

※ 正值:黄色 /  
負値:青 で可視化



## 線形フィルタ：画像の微分



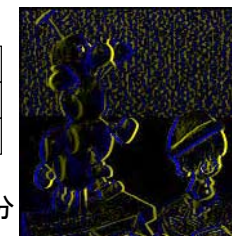
微分フィルタには画像のエッジを検出する効果がある  
**エッジ**：画像が大きく変化する場所



$I(i, j)$  入力画像

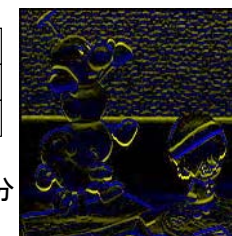
0	0	0
-1/2	0	1/2
0	0	0

$I_j(i, j)$   
横方向微分



0	-1/2	0
0	0	0
0	1/2	0

$I_i(i, j)$   
縦方向微分



## 線形フィルタ：画像の微分

- 前述の単純なフィルタはノイズにも鋭敏に反応する
- ノイズを押さえつつエッジを検出するフィルタが必要

横方向微分：横方向微分 し 縦方向平滑化 する

縦方向微分：縦方向微分 し 横方向平滑化 する

Prewitt filter

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

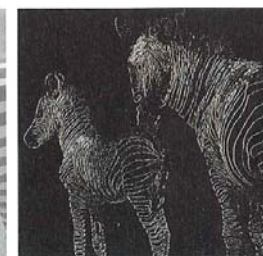
Sobel filter

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

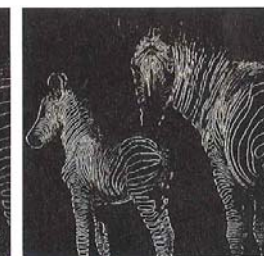
-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1



[a] 入力画像



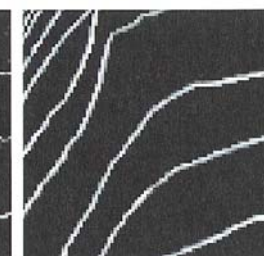
[b] 微分フィルタ



[c] ソーベルフィルタ



[d] 微分フィルタ (拡大)



[e] ソーベルフィルタ (拡大)

画像は勾配強度

$$|\nabla I| = (I_x^2 + I_y^2)^{\frac{1}{2}}$$



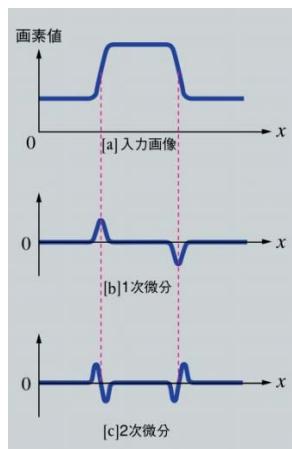
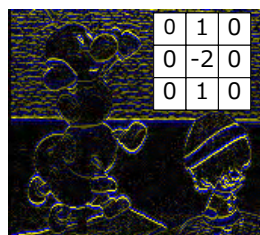
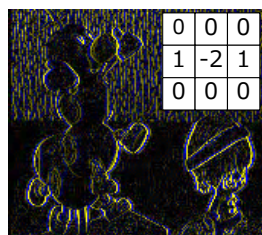
## 線形フィルタ：2階微分フィルタ

関数  $f(x, y)$  の2階偏微分は、以下の通り定義される

$$f_{xx} = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x + h, y) - 2f(x, y) + f(x - h, y)}{h^2}$$

画像  $I(i, j)$  の2階偏微分の近似は…

$$I_{jj} = f(i, j + 1) - 2f(i, j) + f(i, j - 1)$$



## 線形フィルタ：ラプラシアンフィルタ

関数  $f(x, y)$  のラプラシアン

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

画像  $I(u, v)$  のラプラシアン

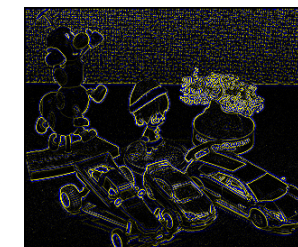
$$\Delta I(u, v) = I_{uu} + I_{vv}$$

$$\Delta I(u, v) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} * \text{Image} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} * \text{Image}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} * \text{Image}$$

↑  
ラプラシアンフィルタ

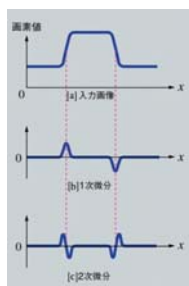
『\*』は  
convolution



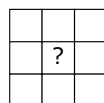
$\Delta I(u, v)$

方向に依存しないエッジが一度で得られる  
エッジをまたぎ正負の対が現れる  
白→黒 なら [0→+0]が現れる

## 線形フィルタ：先鋭化フィルタ



2回微分に関するラプラシアンフィルタを改良すると  
画像のエッジを強調する先鋭化フィルタが設計できる

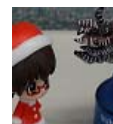


## まとめ：空間フィルタ（線形）

出力画素値を周囲画素の重み付和で計算するフィルタ

$$I'(i, j) = \sum_{m=-h_y}^{h_y} \sum_{n=-h_x}^{h_x} h(m, n) I(i + m, j + n)$$

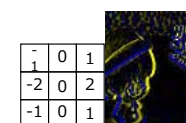
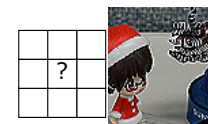
平滑化フィルタ



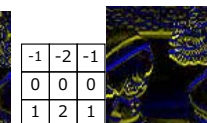
ガウシアンフィルタ



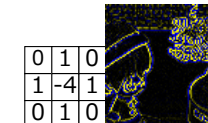
先鋭化フィルタ




Sobelフィルタ(横)



Sobelフィルタ(縦)



ラプラシアンフィルタ



## 関連分野で取り上げられなかったトピック

- 擬似カラー
- 画像間演算
- ヒストグラムマッチング

※ 2018はやる予定