国立大学法人 長岡技術科学大学
Nagaoka University of Technology
電気電子情報工学専攻　岩橋政宏
iwahashi@vos.nagaokaut.ac.jp

3．ノイズ除去の方法

3.1 実例の紹介（MATLAB、Photoshop）

3.2 平滑化と鮮鋭化

3.3 線形フィルタ、畳み込み

3.4 非線形フィルタ、バイラテラル、ノンローカルミーン

Photoshop による現像の例

Photoshop （かすみ除去）

元の画像

色温度とコントラストを調整

かすみ除去（dehaze）

Photoshop （平滑化）

元の画像

コントラストと色温度

平滑化

元の画像

彩度と露光を調整

平滑化

Photoshop　（鮮鋭化）


元の画像


コントラスト調整


鮮鋭化・かすみ除去

元の画像


コントラスト調整


鮮鋭化・かすみ除去

Photoshop　（ノイズ除去）


元の画像


鮮鋭化・かすみ除去


ノイズ除去

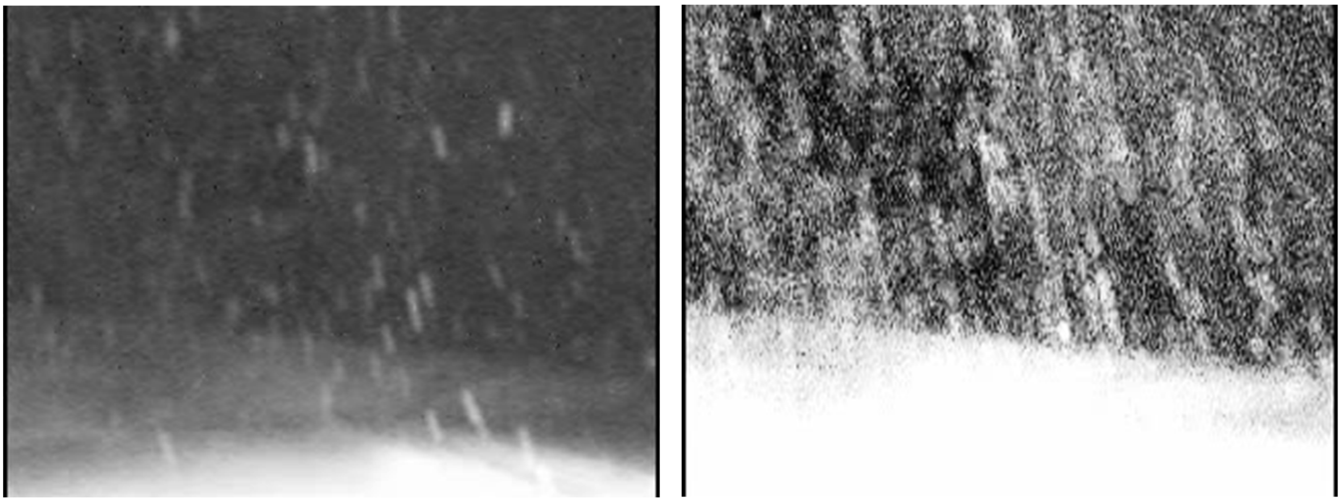

元の画像


高圧縮・鮮鋭化


ノイズ除去

ヒストグラム均等化と時間方向フィルタ

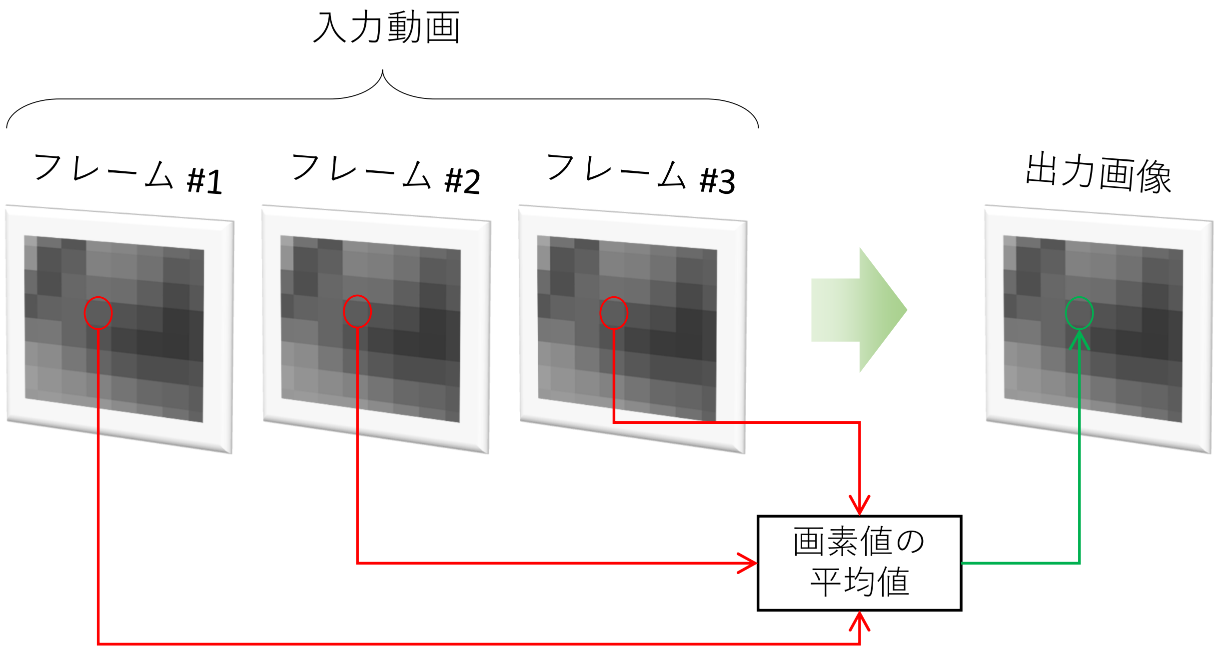
撮影場所：長岡技術科学大学体育館裏（車内から）　MATLABで実装（長岡技術科学大学 岩橋研究室）



before　**after**

① ヒストグラム均等化
② 時間方向の平滑化フィルタ
（同じ画素位置で，異なるフレーム間で）

時間方向の平滑化フィルタ



3．ノイズ除去の方法

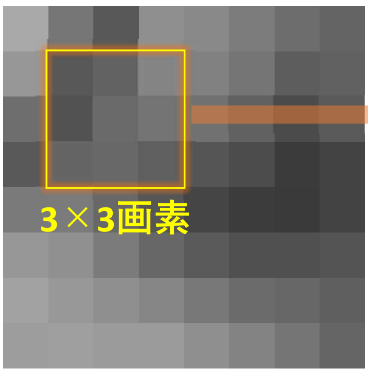
3.1 実例の紹介（MATLAB、Photoshop）

3.2 平滑化と鮮鋭化

3.3 線形フィルタ、畳み込み

3.4 非線形フィルタ、バイラテラル、ノンローカルミーン

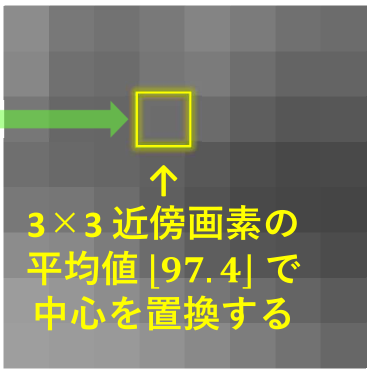
3.2 平滑化～ 平均値フィルタ



平均値フィルタ

106	115	113
104	95	85
104	86	69

中心 95 の
近傍3×3画素



フィルタ係数

$$\sum \frac{1}{9}\begin{bmatrix}1&1&1\\1&1&1\\1&1&1\end{bmatrix} \odot \begin{bmatrix}x_{i-1,j-1}&x_{i-1,j}&x_{i-1,j+1}\\x_{i,j-1}&\boxed{x_{i,j}}&x_{i,j+1}\\x_{i+1,j-1}&x_{i+1,j}&x_{i+1,j+1}\end{bmatrix} = y_{i,j}$$

↑
要素の
総和

↑
アダマール積
（要素毎の積）

3×3 近傍画素

近傍画素の平均値

3.2 平滑化～ 平均値フィルタ

$L = 5$

$L = 11$

$L = 21$

フィルタ係数

$$\frac{1}{L^2}\left.\underbrace{\begin{bmatrix}1 & \cdots & 1\\ \vdots & \ddots & \vdots\\ 1 & \cdots & 1\end{bmatrix}}_{L}\right\} L$$

3.2 平滑化～ 手ブレ

元の画像

フィルタ係数

$$H = \frac{1}{120}\begin{bmatrix}1\\ 2\\ \vdots\\ 15\end{bmatrix}$$

フィルタ係数

$$H = \frac{1}{120}\underbrace{\begin{bmatrix}1 & 0 & \cdots & 0\\ 0 & 2 & \cdots & 0\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ 0 & 0 & \cdots & 15\end{bmatrix}}_{15}$$

3.2 平滑化と鮮鋭化

元の画像

Sobelフィルタ

鮮鋭化された

全域通過フィルタ

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

＋

高域通過フィルタ

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

＝

高域強調フィルタ

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

```
I0=imread('barbara.bmp');
I0=double(I0)/255;

h=[-1 0 1; -2 1 2; -1 0 1];
I1=imfilter(I0,h);

imshow(I1);
```

鮮鋭化された

高域強調フィルタ

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3．ノイズ除去の方法

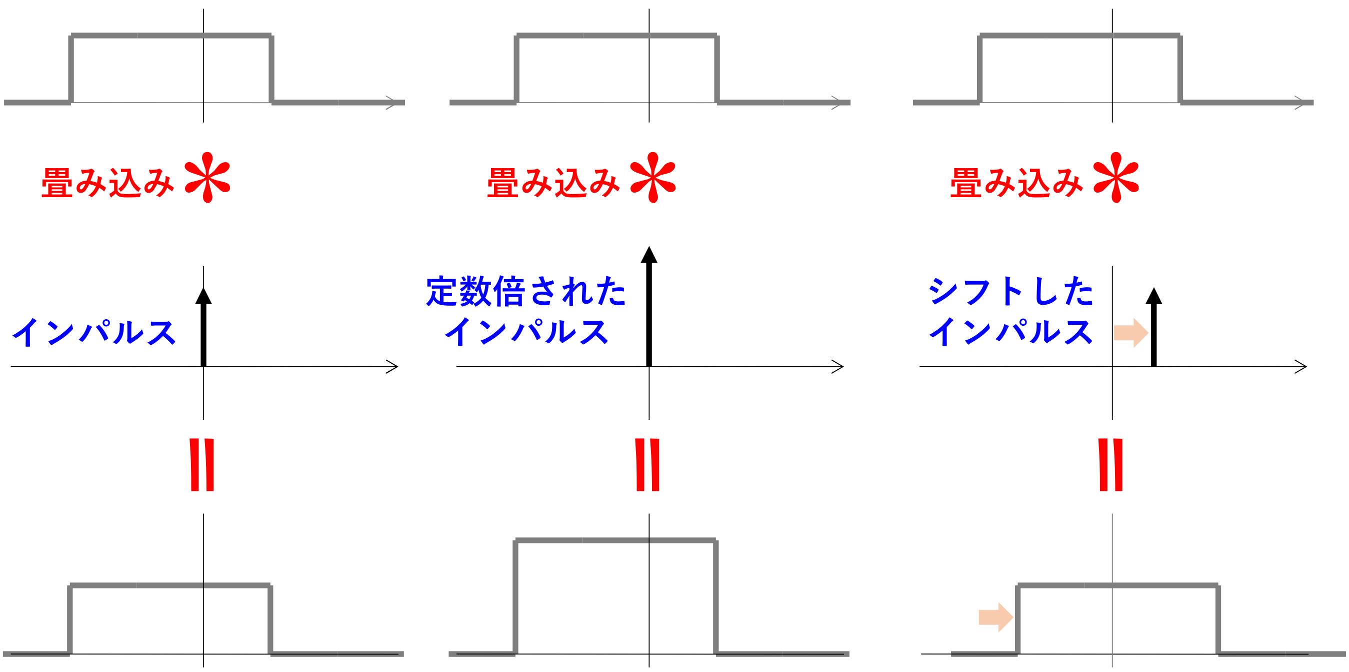
3.1 実例の紹介（MATLAB、Photoshop）

3.2 平滑化と鮮鋭化

3.3 線形フィルタ、畳み込み、ノイズ除去

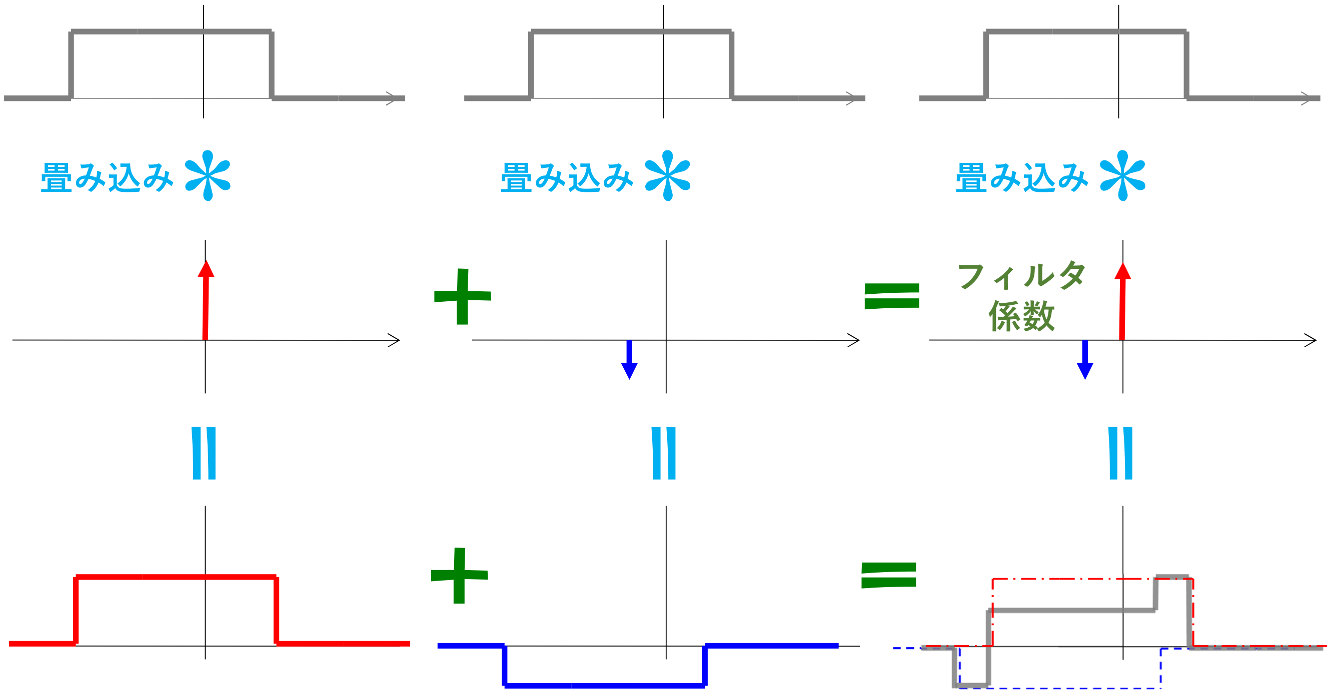
3.4 非線形フィルタ、バイラテラル、ノンローカルミーン

インパルスとの畳み込み

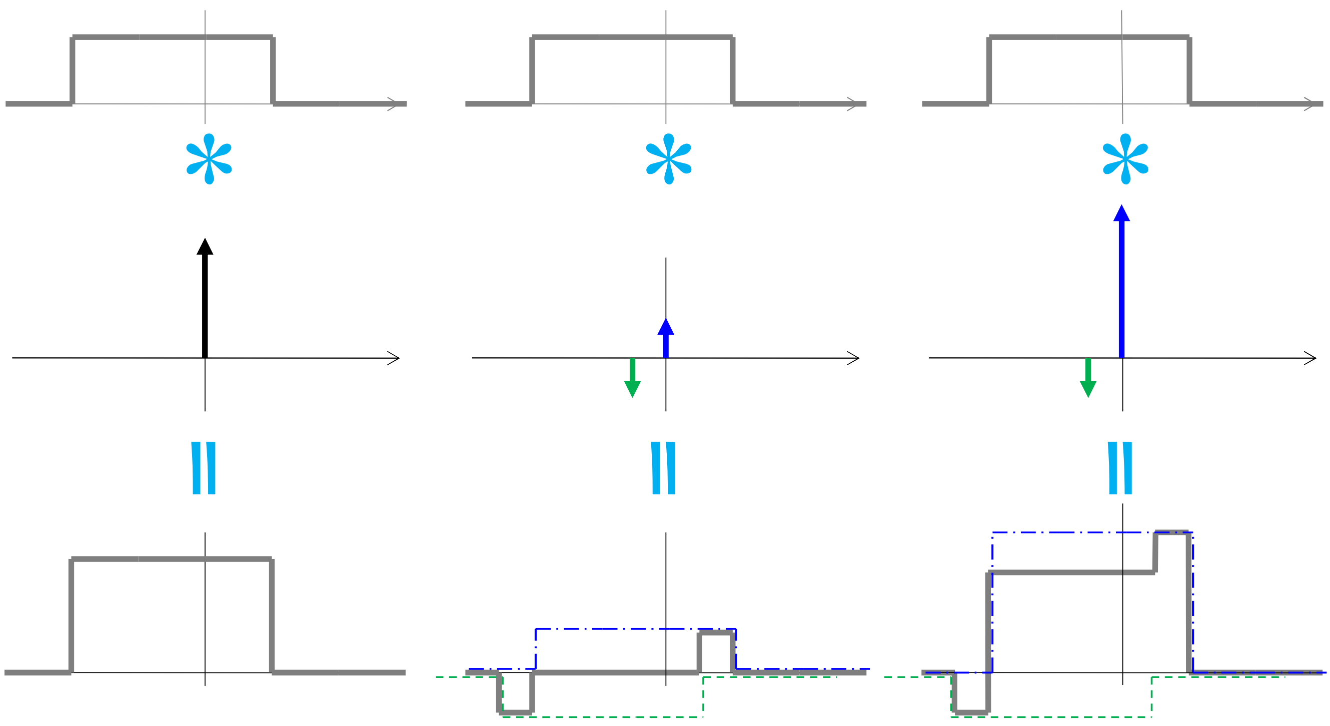


そのまま　　定数倍　　右へシフト

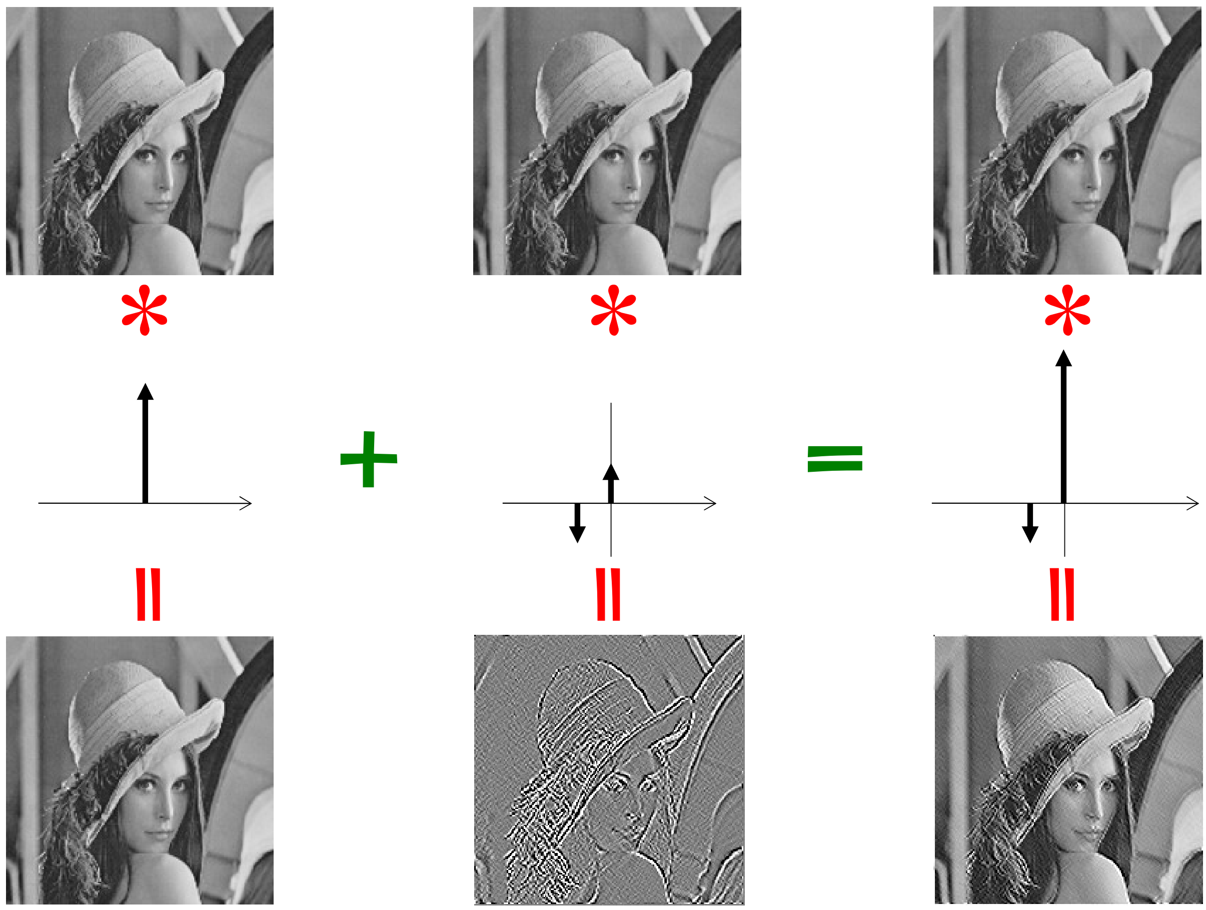
畳み込みの線形性（線形フィルタ）



線形フィルタの例



定数倍　　エッジ検出　　鮮鋭化



エッジ検出　鮮鋭化

フィルタ係数

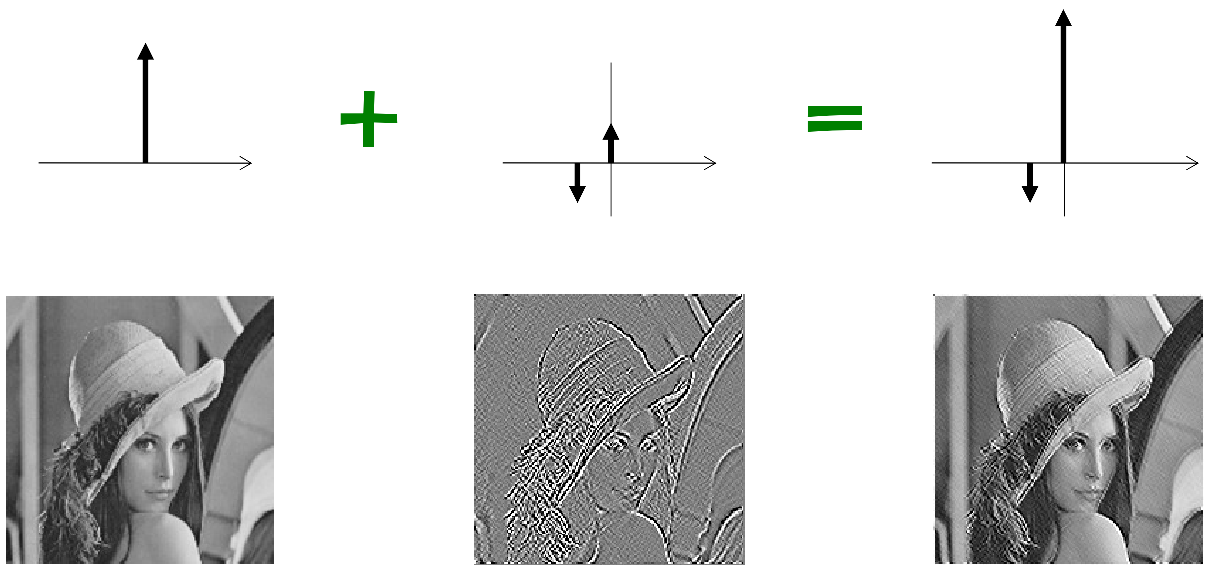
$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

フィルタ係数

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

フィルタ係数

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$



エッジ検出　鮮鋭化

3．ノイズ除去の方法

3.1 実例の紹介（MATLAB、Photoshop）

3.2 平滑化と鮮鋭化

演算としての性質

3.3 線形フィルタ、畳み込み、ノイズ除去

3.4 非線形フィルタ、バイラテラル、ノンローカルミーン

フィルタ～ 畳み込み

フィルタ係数 **3×3 近傍画素** **出力**

$$\sum \begin{bmatrix} h_{+1,+1} & h_{+1,0} & h_{+1,-1} \\ h_{0\ ,+1} & h_{0\ ,0} & h_{0\ ,-1} \\ h_{-1,+1} & h_{-1,0} & h_{-1,-1} \end{bmatrix} \odot \begin{bmatrix} x_{i-1,j-1} & x_{i-1,j} & x_{i-1,j+1} \\ x_{i\ \ ,j-1} & x_{i\ \ ,j} & x_{i\ \ ,j+1} \\ x_{i+1,j-1} & x_{i+1,j} & x_{i+1,j+1} \end{bmatrix} = y_{i,j}$$

↑
要素の総和

↑
アダマール積（要素毎の積）

$$y_{i,j} = \sum_{m=-1}^{+1} \sum_{n=-1}^{+1} h_{n,m}\, x_{i-n,j-m}$$

畳み込み

畳み込み を z 変換 で計算する

縦方向平滑化 * 横方向の微分 = Sobel filter　（＊は畳み込み）

フィルタ係数

$$\begin{bmatrix}1\\2\\1\end{bmatrix} * \begin{bmatrix}-1 & 0 & 1\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}-1 & 0 & 1\\-2 & 0 & 2\\-1 & 0 & 1\end{bmatrix}$$

z 変換

$$\begin{bmatrix}z_1^{-1} & 1 & z_1^{+1}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1\\2\\1\end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix}-1 & 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}z_2^{-1}\\1\\z_2^{+1}\end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix}z_1^{-1} & 1 & z_1^{+1}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}-1 & 0 & 1\\-2 & 0 & 2\\-1 & 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}z_2^{-1}\\1\\z_2^{+1}\end{bmatrix}$$

$$= \sum \begin{bmatrix}-1 & 0 & 1\\-2 & 0 & 2\\-1 & 0 & 1\end{bmatrix} \odot \begin{bmatrix}z_1^{-1}z_2^{-1} & z_1^{-1} & z_1^{-1}z_2^{+1}\\z_2^{-1} & 1 & z_2^{+1}\\z_1^{+1}z_2^{-1} & z_1^{+1} & z_1^{+1}z_2^{+1}\end{bmatrix}$$

要素ごとの積（アダマール積）の後に要素の総和をとる

畳み込み と 行列の積

$$\begin{bmatrix}2\\1\end{bmatrix} * \begin{bmatrix}1 & -1\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}2 & -2\\1 & -1\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}1 & -1\end{bmatrix} * \begin{bmatrix}2\\1\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}2 & -2\\1 & -1\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}2\\1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1 & -1\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}2 & -2\\1 & -1\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}1 & -1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}2\\1\end{bmatrix} = 1$$

$$\begin{bmatrix}0 & 0 & 0\\0 & 2 & 0\\0 & 1 & 0\end{bmatrix} * \begin{bmatrix}0 & 0 & 0\\0 & 1 & -1\\0 & 0 & 0\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}0 & 0 & 0\\0 & 2 & -2\\0 & 1 & -1\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}0 & 0 & 0\\0 & 1 & -1\\0 & 0 & 0\end{bmatrix} * \begin{bmatrix}0 & 0 & 0\\0 & 2 & 0\\0 & 1 & 0\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}0 & 0 & 0\\0 & 2 & -2\\0 & 1 & -1\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}0 & 0 & 0\\0 & 2 & 0\\0 & 1 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0 & 0 & 0\\0 & 1 & -1\\0 & 0 & 0\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}0 & 0 & 0\\0 & 2 & -2\\0 & 1 & -1\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}0 & 0 & 0\\0 & 1 & -1\\0 & 0 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0 & 0 & 0\\0 & 2 & 0\\0 & 1 & 0\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}0 & 0 & 0\\0 & 1 & 0\\0 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

畳み込みは**可換**

行列の積は**非可換**

畳み込み　と　行列の積

・微分 $[1 \quad -1]$ を２回行う
・畳み込みで表すと…

$$[1 \quad -1] * [1 \quad -1] = [1 \quad -2 \quad 1]$$

$$[1 \quad -1][1 \quad -1] = \cdots$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

畳み込み
の結果は
すべて同じ

→

行列の積と
畳み込みは
別のもの

畳み込み（信号 と フィルタ係数）

$$\boldsymbol{y} = \underbrace{[h_{-1} \quad h_0 \quad h_1]}_{\text{フィルタ係数}} * \underbrace{[x_0 \quad x_1 \quad x_2]}_{\text{信号}}$$

畳み込みの定義

$$\boxed{y_i = \sum_{n=-1}^{+1} h_n \, x_{i-n}}$$

$$\begin{aligned} \boldsymbol{y} &= [\underbrace{h_{-1}x_0}_{\text{削除}} \quad h_0x_0 + h_{-1}x_1 \quad h_1x_0 + h_0x_1 + h_{-1}x_2 \quad h_1x_1 + h_0x_2 \quad \underbrace{h_1x_2}_{\text{削除}}] \\ &= [\; y_{-1} \quad \underbrace{y_0 \quad y_1 \quad y_2}_{\text{出力信号}} \quad y_3] \end{aligned}$$

畳み込み（z変換で計算する）

$$H(z) = [h_{-1} \quad h_0 \quad h_1]\,[z^{+1} \quad 1 \quad z^{-1}]^T$$ ←伝達関数

$$X(z) = [x_0 \quad x_1 \quad x_2]\,[1 \quad z^{-1} \quad z^{-2}]^T = [1 \quad z^{-1} \quad z^{-2}]\,[x_0 \quad x_1 \quad x_2]^T$$ ←入力信号

T は転置

$$Y(z) = H(z)X(z)$$ ←出力信号

$$= [h_{-1} \quad h_0 \quad h_1] \begin{bmatrix} z^{+1} & 1 & z^{-1} \\ 1 & z^{-1} & z^{-2} \\ z^{-1} & z^{-2} & z^{-3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

$$= \sum \begin{bmatrix} h_{-1}x_0 & h_{-1}x_1 & h_{-1}x_2 \\ h_0x_0 & h_0x_1 & h_0x_2 \\ h_1x_0 & h_1x_1 & h_1x_2 \end{bmatrix} \odot \begin{bmatrix} z^{+1} & 1 & z^{-1} \\ 1 & z^{-1} & z^{-2} \\ z^{-1} & z^{-2} & z^{-3} \end{bmatrix}$$

要素ごとの積（アダマール積）の後に要素の総和をとる

$$= \underbrace{h_{-1}x_0z^{+1}}_{\text{削除}} \underbrace{+(h_0x_0 + h_{-1}x_1) \quad +(h_1x_0 + h_0x_1 + h_{-1}x_2)z^{-1} \quad +(h_1x_1 + h_0x_2)z^{-2}}_{\text{出力信号}} \underbrace{+h_1x_2z^{-3}}_{\text{削除}}$$

畳み込みの端点処理

	x =	削除	[1	1	1	2	3	3	3]	削除
h = [1 0 −1]	y=conv(x, h) =	[1	1	0	1	2	1	0	−3	−3]
	w=conv(x, h, 'same')=		[1	0	1	2	1	0	−3]	

畳み込みの線形性

		x=[1	1	1	2	3	3	3]	
h0 = [1 2 1]/4	y0=conv(x, h0, 'same')=	[3	4	5	8	11	12	9]/4	
+	+				+				
h1 = [4 0 −4]/4	y1=conv(x, h1, 'same')=	[4	0	4	8	4	0	−12]/4	
‖	‖				‖				
h2 = [5 2 −3]/4	y2=conv(x, h2, 'same')=	[7	4	9	16	15	12	−3]/4	
= h0 + h1									

$$\boxed{(h_0 + h_1)*x = h_0*x + h_1*x}$$

畳み込みの結合則

x=[1 1 1 2 3 3 3]

h = [1 0 −1]　　w=conv (x, h, 'same')=[1 0 1 2 1 0 −3]

h = [1 0 −1]　　y=conv (w, h, 'same')=[0 0 2 0 −2 −4 0]

||

g = [1 0 −2 0 1]　　y=conv (x, g, 'same')=[−1 0 2 0 −2 −4 −3]

=conv (h, h) ;

$\boxed{(h*h)*x \;=\; h*(h*x)}$

同じ
（端点は除く）

畳み込みは可換

x=[1 1 1 2 3 3 3]

y0=conv (conv (x, h0, 'same'), h1, 'same')=[2 1 2 3 2 −1 −6]/2

||

y1=conv (conv (x, h1, 'same'), h0, 'same')=[1 1 2 3 2 −1 −9]/2

$\boxed{h_0*h_1 \;=\; h_1*h_0}$

同じ
（端点は除く）

畳み込みと相関

このパターンが
どの位置にあるか？

左右を反転させて，平均値を引いてから
フィルタ処理する

x0=[1 1 1 2 3 3 3]

h0 = [3 2 1]　　y0=conv (x0, h0)=[3 5 6 9 14 17 18 9 3]

h1 = [1 0 −1]　　y1=conv (x0, h1)=[1 1 0 1 2 1 0 −3 −3]

= h0 −mean (h0)

この位置にある

x0 と h1 の**相関**が最大

x1=[−1 −1 −1 0 1 1 1]

= x0 −mean (x0)

h1 = [1 0 −1]　　y2=conv (x1, h1)=[−1 −1 0 1 2 1 0 −1 −1]

= h0 −mean (h0)

↑

x1 と h1 の**相関**が最大

h1の平均がゼロならば、x1の平均が零でも非零でも、
conv(x1, h1)には影響しない（但し、端点は除く）

フィルタのＤＣ利得 フィルタ係数の和

・高域通過フィルタは，DC利得を０とする
・低域通過フィルタは，DC利得を１とする

※ DC利得はフィルタ係数の総和

例

ソーベルフィルタ $\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ → フィルタ係数の和＝０

平均値フィルタ $\frac{1}{9}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ → フィルタ係数の和＝１

フィルタ係数

３．ノイズ除去の方法

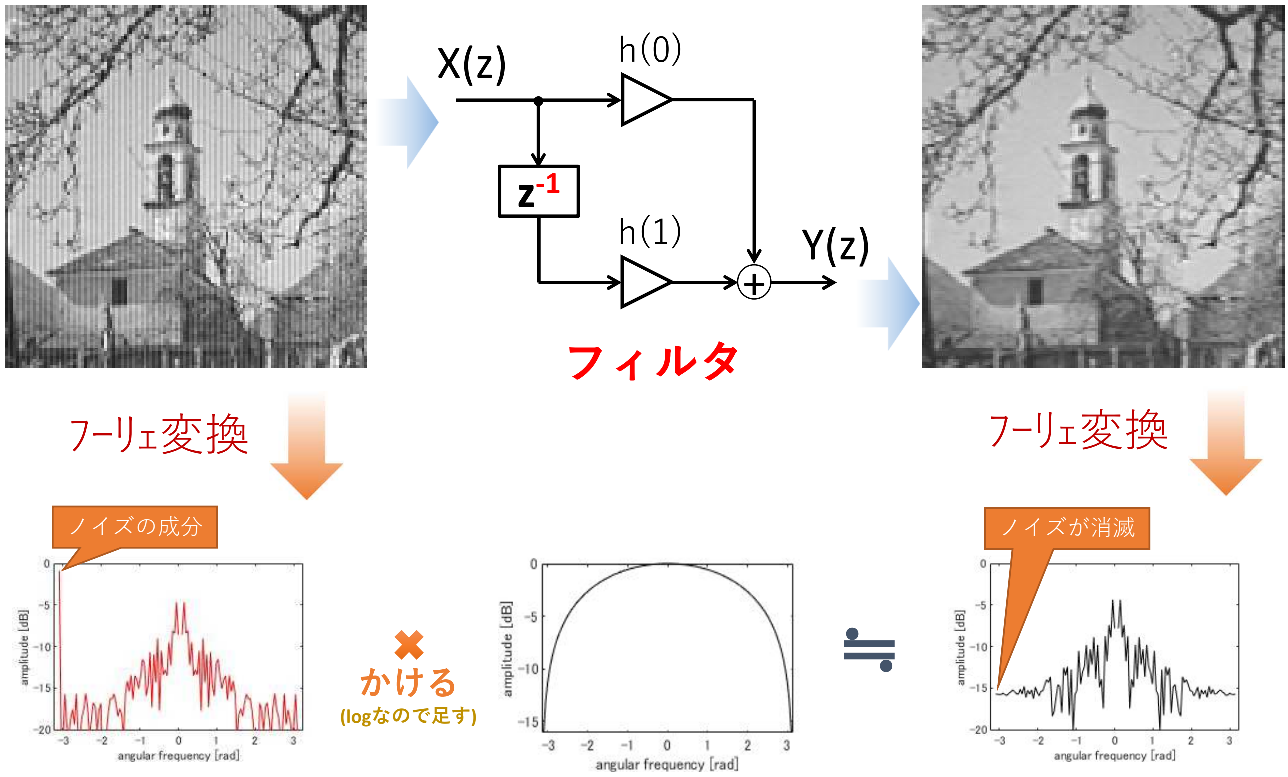
3.1 実例の紹介（MATLAB、Photoshop）

3.2 平滑化と鮮鋭化

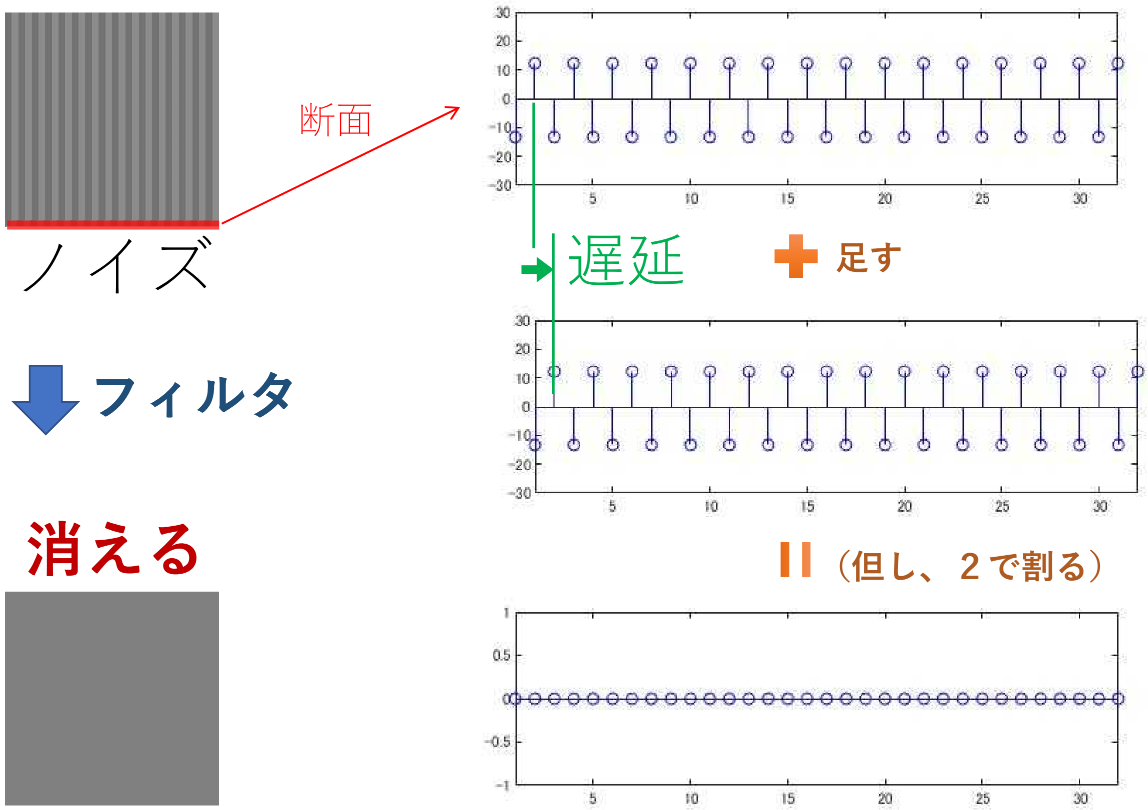
3.3 線形フィルタ、畳み込み、ノイズ除去

3.4 非線形フィルタ、バイラテラル、ノンローカルミーン

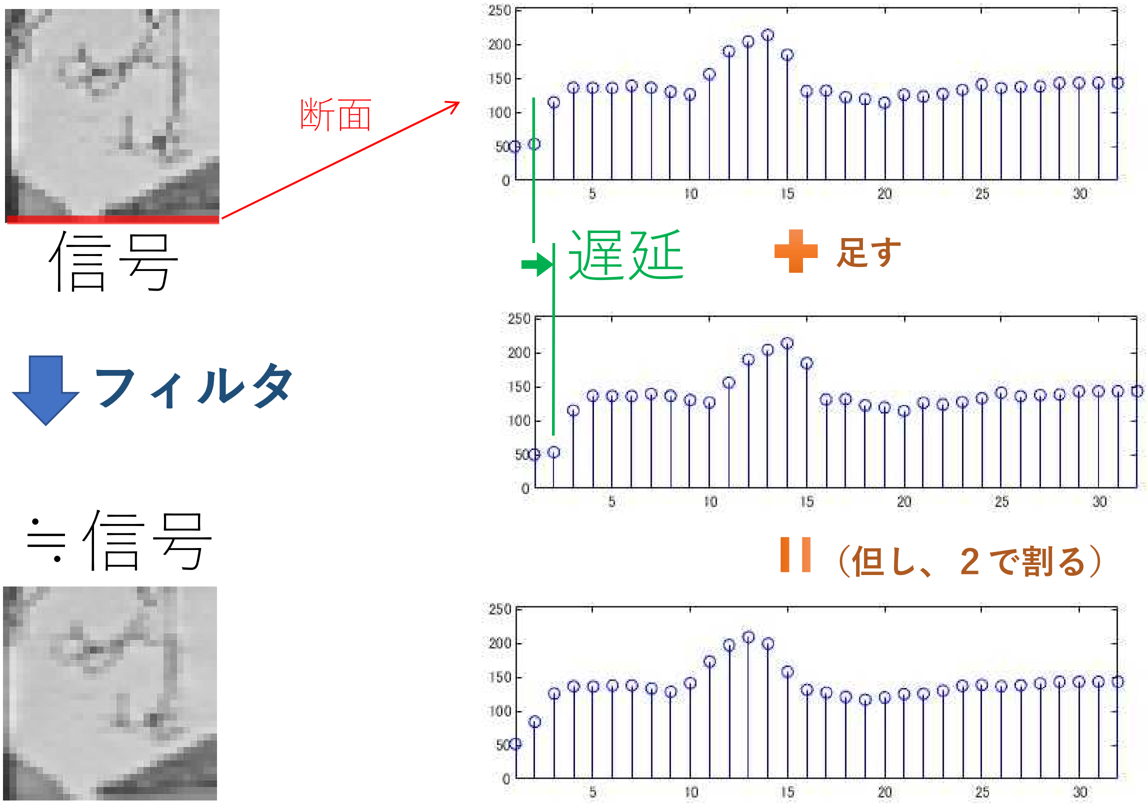
フィルタによるノイズ除去（概要）



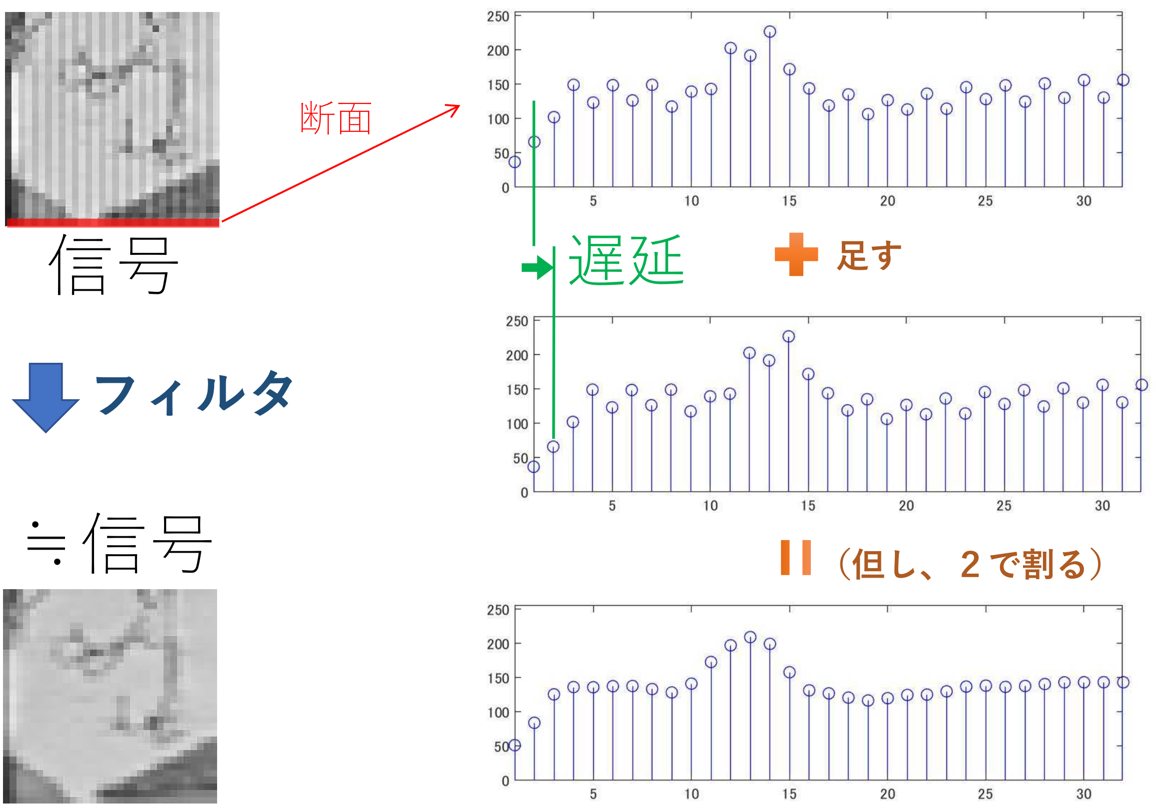
① ノイズの性質



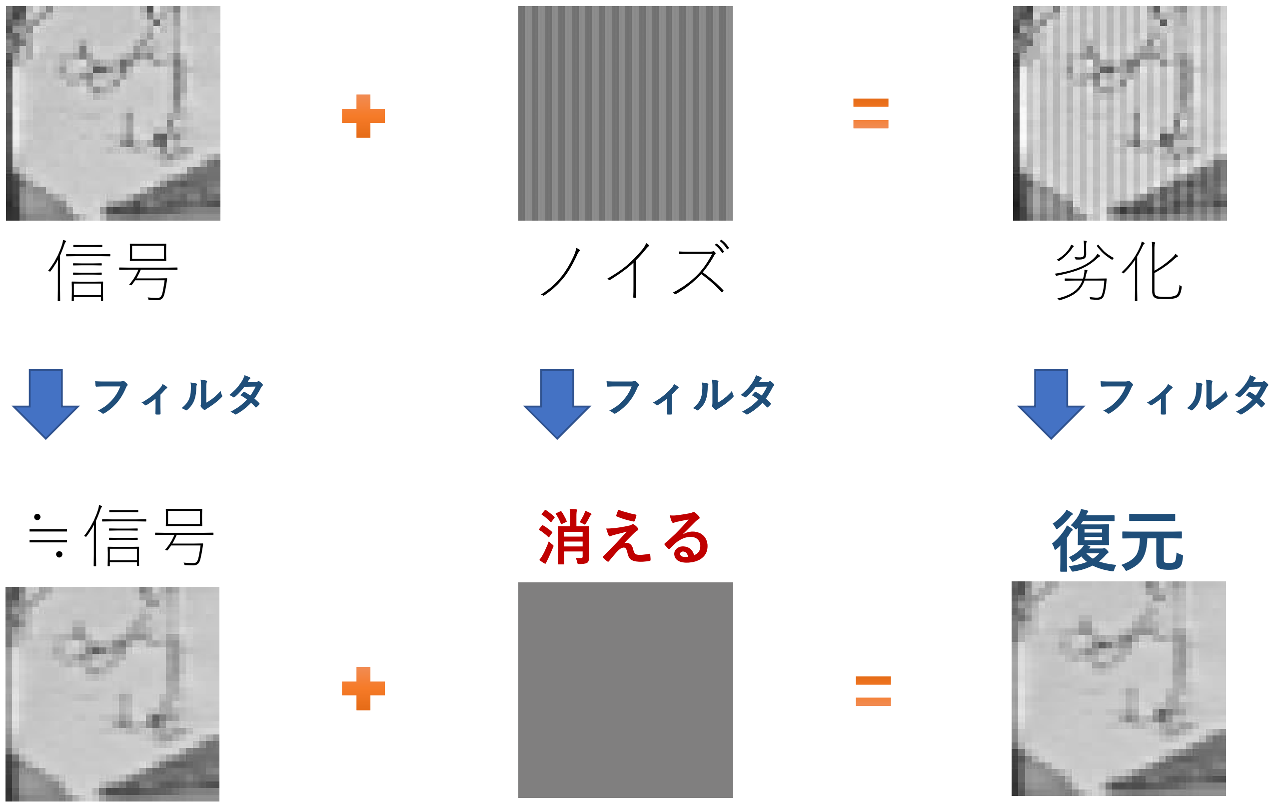
② 信号の性質



③ ノイズの除去



線形フィルタによるノイズ除去



線形フィルタによるノイズ除去

信号	+	ノイズ	=	劣化
↓フィルタ		↓フィルタ		↓ノイズ除去
ほぼ信号	+	ゼロ	=	ほぼ信号

フィルタの線形性

F[信号]	+	F[ノイズ]	=	F[信号＋ノイズ]
≒信号		＝0		≒信号

３．ノイズ除去の方法

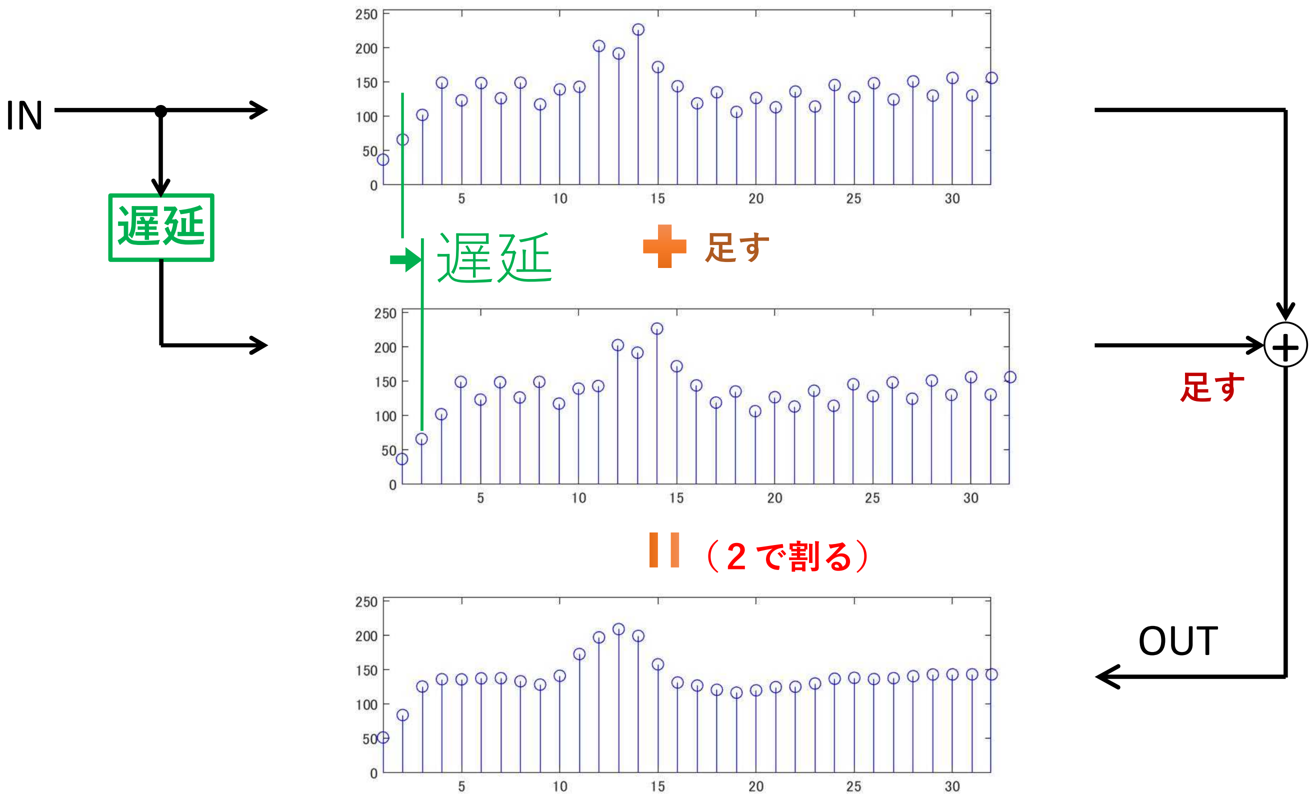
3.1 実例の紹介（MATLAB、Photoshop）

3.2 平滑化と鮮鋭化

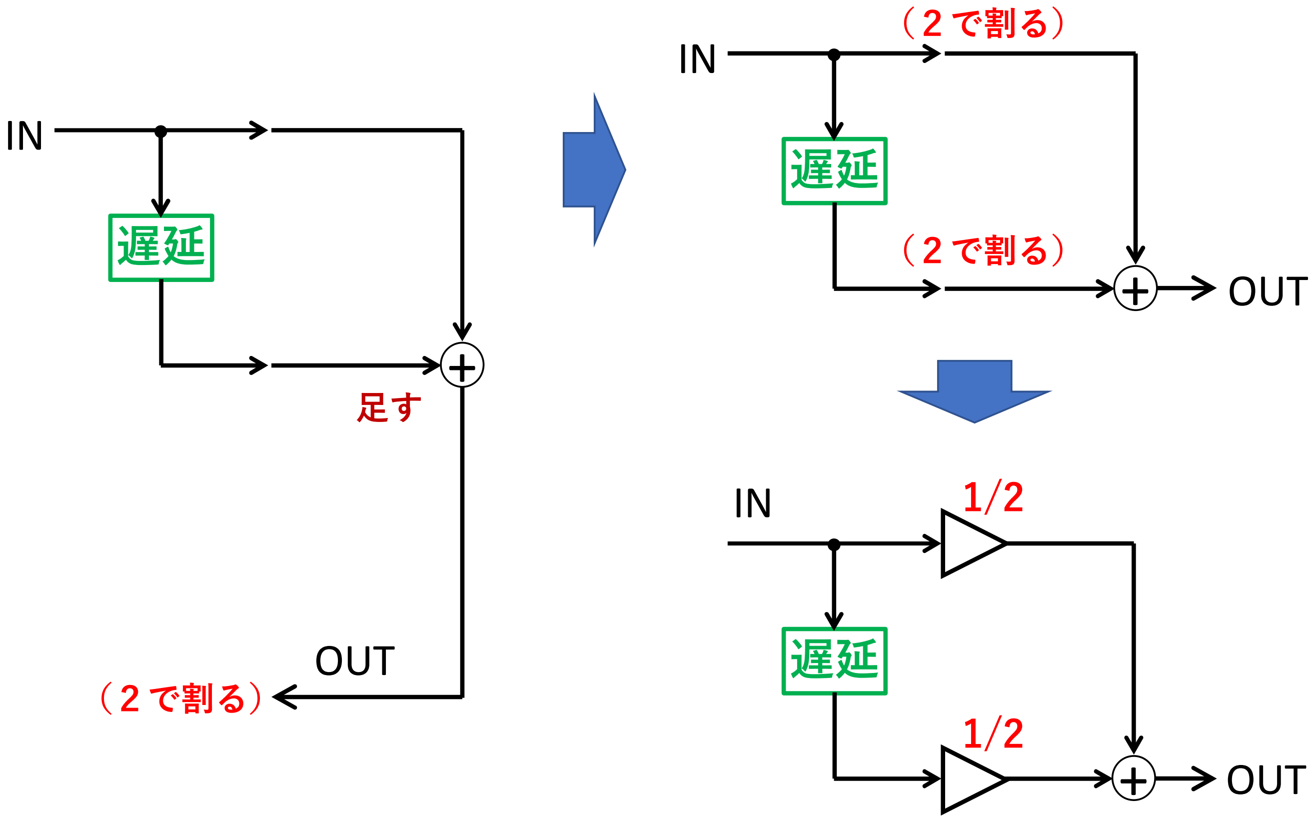
3.3 線形フィルタ（signal flow graph、伝達関数、周波数特性）

3.4 非線形フィルタ、バイラテラル、ノンローカルミーン

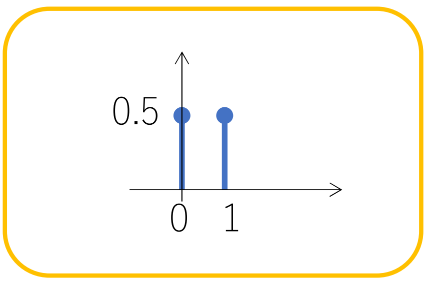
Signal Flow Graph（1/2）



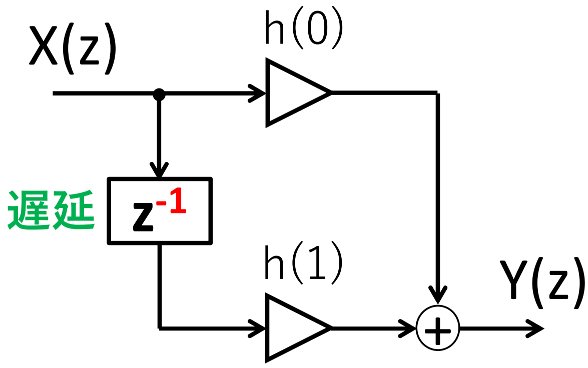
Signal Flow Graph (2/2)



伝達関数と z 変換　(1/2)



フィルタ係数



$$\frac{1}{2}[1 \quad 1]$$

$$H(z) = h(0)+h(1)\,z^{-1}$$
$$= 0.5 + 0.5\,z^{-1}$$

伝達関数

伝達関数と z 変換　(2/2)

$$H(z) = (1 + z^{-1})/2 \qquad \leftarrow \text{伝達関数}$$

$$= \frac{1}{2}[1 \quad 1][1 \quad z^{-1}]^T$$

$$X(z) = x_0 + x_1 z^{-1} + x_2 z^{-2} \qquad \leftarrow \text{入力信号}$$

$$Y(z) = H(z)X(z) \qquad \leftarrow \text{出力信号}$$

$$\begin{aligned} &= (1 + z^{-1})(x_0 + x_1 z^{-1} + x_2 z^{-2})\,/2 \\ &= (x_0 + x_1 z^{-1} + x_2 z^{-2} \\ &\qquad + x_0 z^{-1} + x_1 z^{-2} + x_2 z^{-3})\,/2 \end{aligned}$$

$$Y(z) = \{x_0 + (x_1 + x_0)z^{-1} + (x_2 + x_1)z^{-2} + x_2 z^{-3}\}\,/2$$

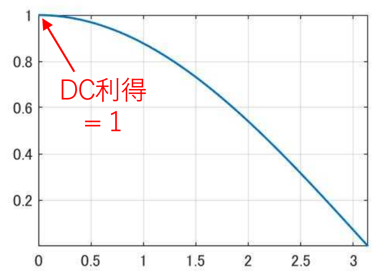
端点は削除

伝達関数と周波数特性

$$H(z) = (1 + z^{-1})/2 \qquad \leftarrow \text{伝達関数}$$

$$H(e^{j\omega}) = (1 + e^{-j\omega})/2 \qquad \leftarrow \text{周波数特性}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1 + e^{-j\omega}}{2} \\ &= \frac{e^{j\omega/2} + e^{-j\omega/2}}{2} e^{-j\omega/2} \\ &= \left(\cos\frac{\omega}{2}\right) e^{-j\omega/2} \end{aligned}$$



角周波数 ω

$$|H(e^{j\omega})| = \cos\frac{\omega}{2} \qquad \leftarrow \text{振幅特性}\uparrow$$

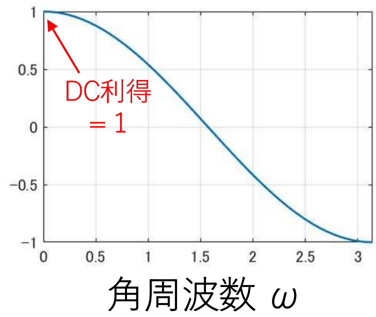
$$\angle H(e^{j\omega}) = -\omega/2 \qquad \leftarrow \text{位相特性}$$

伝達関数と周波数特性（他の例）

$$H(z) = (1 + z^{-2})/2$$ ← 伝達関数

$$H\left(e^{j\omega}\right) = (1 + e^{-j2\omega})/2$$ ← 周波数特性

$$= \frac{1 + e^{-j2\omega}}{2}$$
$$= \frac{e^{j\omega} + e^{-j\omega}}{2} e^{-j\omega}$$
$$= (\cos\omega)\ e^{-j\omega}$$



$$\left|H(e^{j\omega})\right| = \cos\omega$$ ← 振幅特性↑

$$\angle H\left(e^{j\omega}\right) = -\omega$$ ← 位相特性

ゼロ位相のフィルタ

$$H(z) = (z^{+n} + 2 + z^{-n})/4$$ ← 伝達関数

$$H\left(e^{j\omega}\right) = (e^{+jn\omega} + 2 + e^{-jn\omega})/4$$ ← 周波数特性

$$= \frac{1}{2} + \frac{e^{+jn\omega} + e^{-jn\omega}}{4}$$
$$= \frac{1 + \cos n\omega}{2}\ e^{-j\omega\,0}$$

偶対称かつ奇数タップ
のフィルタ係数

$$\left|H(e^{j\omega})\right| = \frac{1 + \cos n\omega}{2}$$ ← 振幅特性

$$\angle H\left(e^{j\omega}\right) = 0$$ ← ゼロ位相

3．ノイズ除去の方法

3.1 実例の紹介（MATLAB、Photoshop）

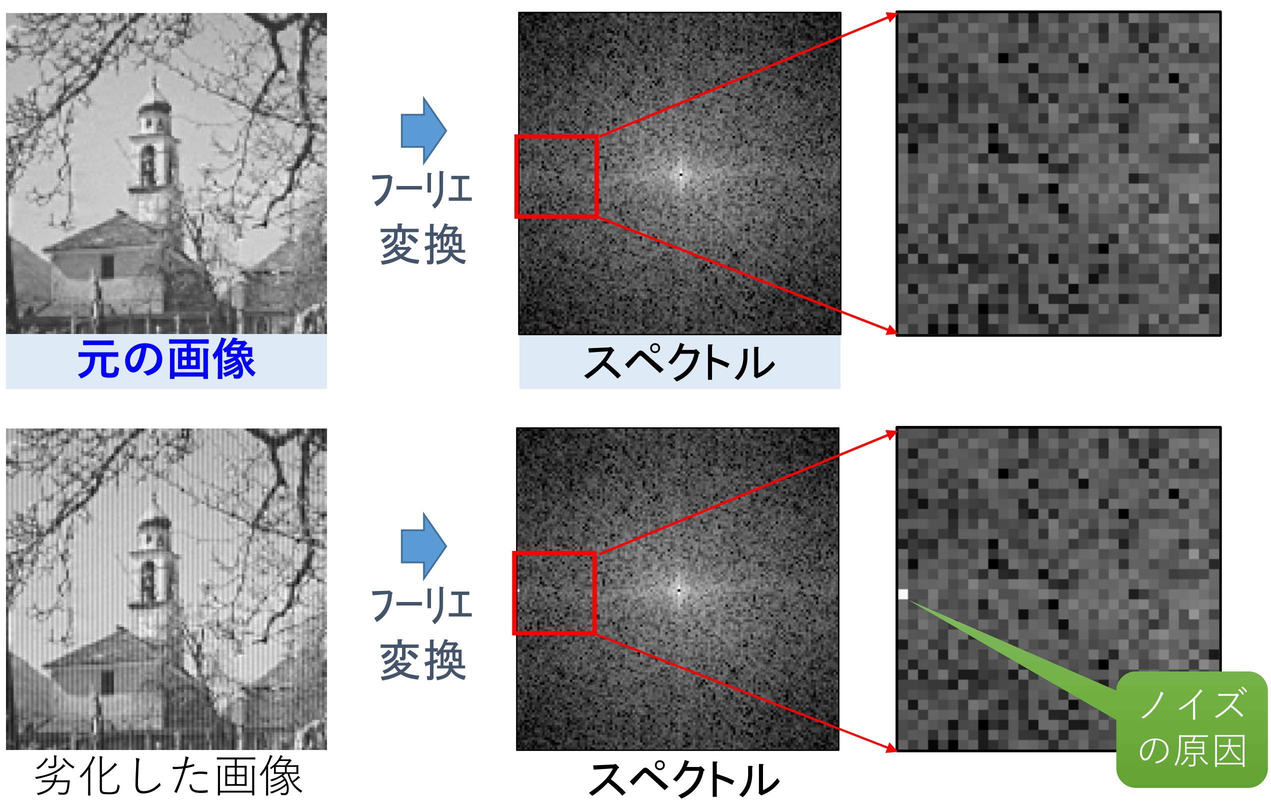
3.2 平滑化と鮮鋭化

3.3 線形フィルタ、畳み込み、ノイズ除去

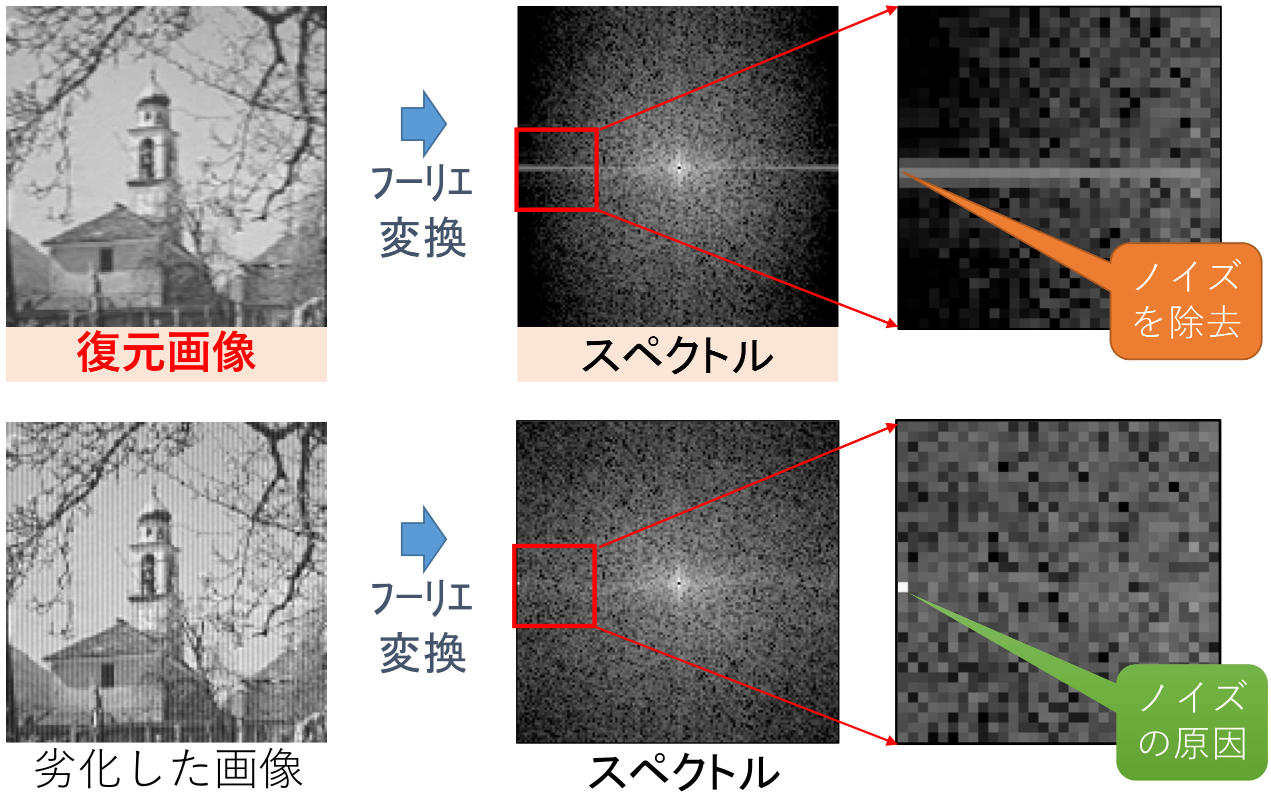
周波数領域で理由説明

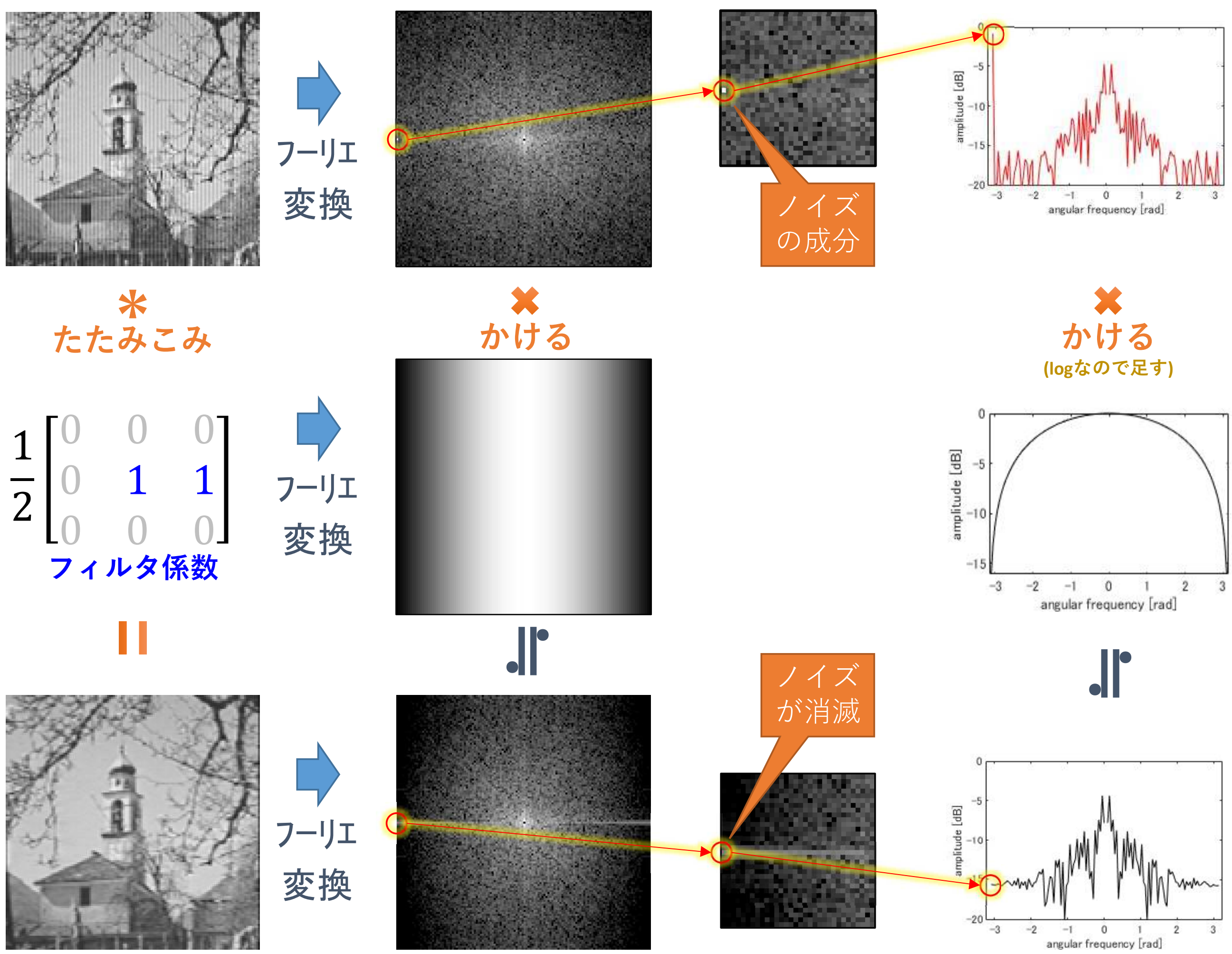
3.4 非線形フィルタ、バイラテラル、ノンローカルミーン

信号 を スペクトル で捉える (1/2)

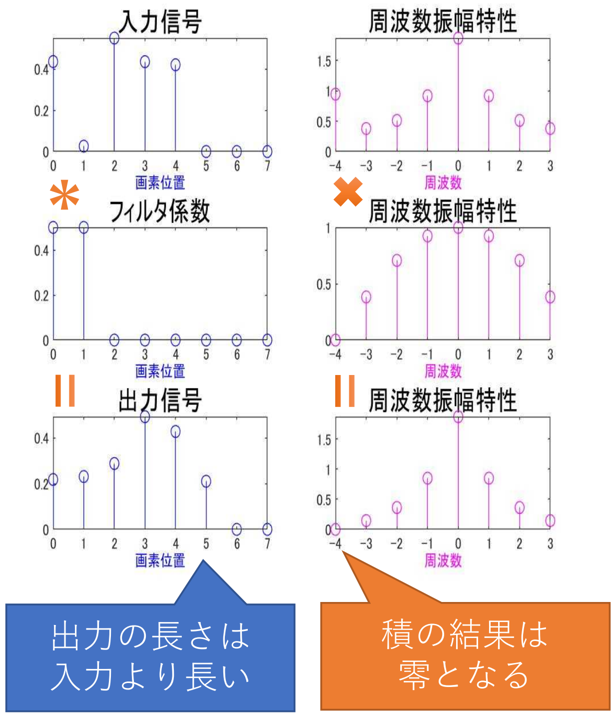


信号 を スペクトル で捉える (2/2)

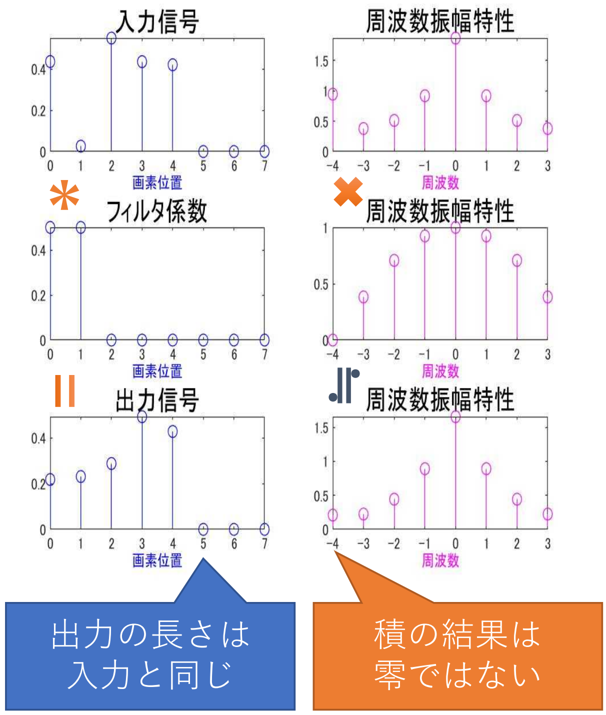




本当の畳み込み



実際の画像処理



3．ノイズ除去の方法

3.1 実例の紹介（MATLAB、Photoshop）

3.2 平滑化と鮮鋭化

3.3 線形フィルタ、畳み込み

3.4 非線形フィルタ、バイラテラル、ノンローカルミーン


original image


ウィナー フィルタ
wiener2(v,[3 3])


バイラテラル フィルタ
imbilatfilt(v)


JPEGによる圧縮ノイズ


メディアン フィルタ
medfilt2(v,[3 3])


ノンローカルミーン
imnlmfilt(v)


original image


ウィナー フィルタ
wiener2(v,[3 3])

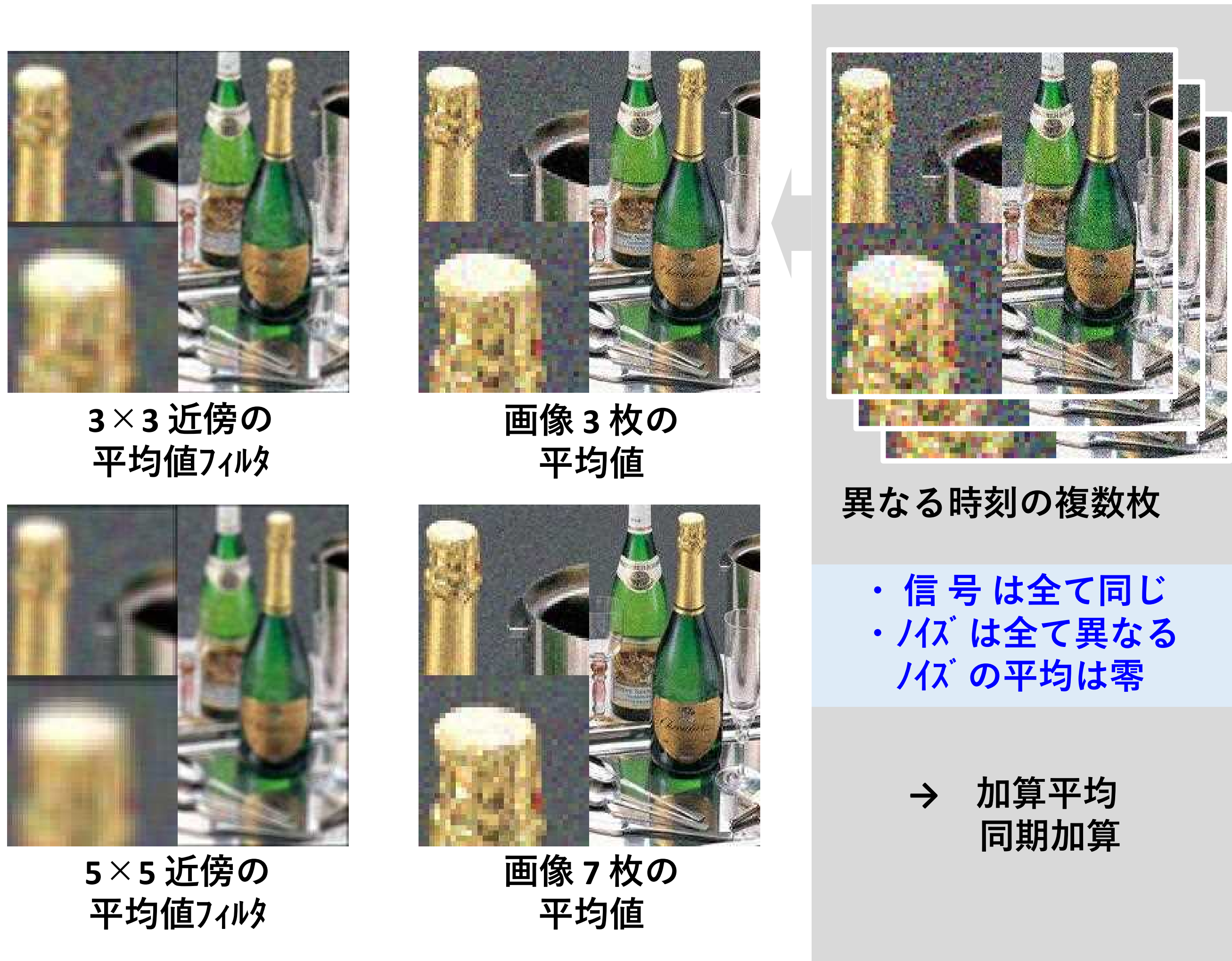

バイラテラル フィルタ
imbilatfilt(v)


ガウシアンノイズ


メディアン フィルタ
medfilt2(v,[3 3])


ノンローカルミーン
imnlmfilt(v)

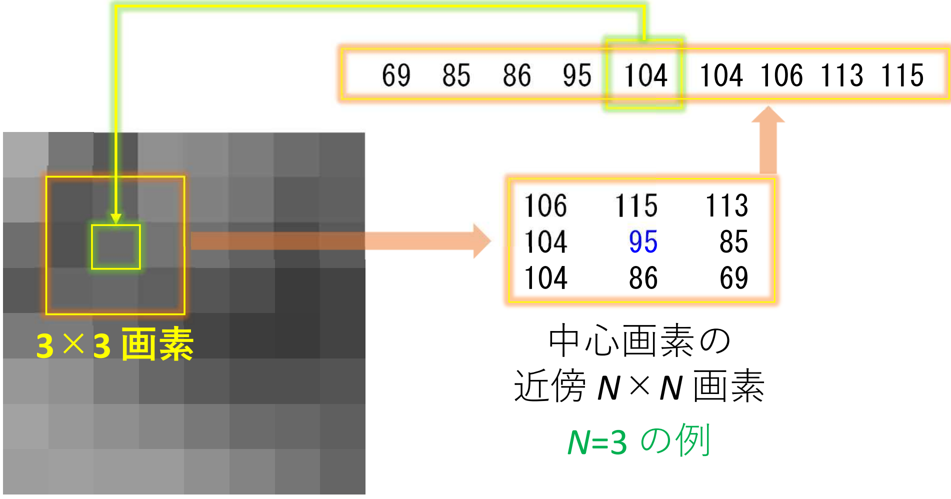
```
w=imread('image.jpg'));

x = imnoise(w,'gaussian',0,0.01); % ガウスノイズを付加
% x = imnoise(w,'poisson');
% x = imnoise(w,'salt & pepper',0.05);
% x = imnoise(y,'speckle',0.05);

for c=1:3
    v=x(:,:,c);                    % R,G,B各色にフィルタを適用
%      v=medfilt2(v,[3 3]);    % メディアン フィルタ
%      v= wiener2(v,[3 3]);    % ウィーナー フィルタ
%      v=imbilatfilt(v);       % バイラテラル フィルタ
    v=imnlmfilt(v);                % ノンローカルミーン フィルタ
    x(:,:,c)=v;
end

imshow(x);
```



メディアン（中央値）フィルタ

N=3 の例

$$y_{i,j} = median\{x_{i-m,j-n} \mid m=-1,0,1,\ n=-1,0,1\}$$



小さい順に並べて
中央の値を出力

ガウシアン・フィルタ

$$a = \sum_{m=-L}^{L} \sum_{n=-L}^{L} w_{m,n}$$

DC利得を1にする

$$y_{i,j} = \frac{1}{a} \sum_{m=-L}^{L} \sum_{n=-L}^{L} w_{m,n}\, x_{i-m,j-n}$$

$$w_{m,n} = \exp \frac{-(m^2+n^2)}{2\sigma^2}$$

中心に近い位置の画素に
大きな重み

0.37	0.61	0.37
0.61	1.00	0.61
0.37	0.61	0.37

σ=1

0.78	0.88	0.78
0.88	1.00	0.88
0.78	0.88	0.78

σ=2

0.99	1.00	0.99
1.00	1.00	1.00
0.99	1.00	0.99

σ=10

σ が小さい
≒ 全域通過フィルタ

σ が大きい
≒ 平均値フィルタ

バイラテラル・フィルタ　bilateral filter

$$y_{i,j} = \frac{1}{a} \sum_{m=-L}^{L} \sum_{n=-L}^{L} w_{m,n}\, v_{m,n}\, x_{i-m,j-n}$$

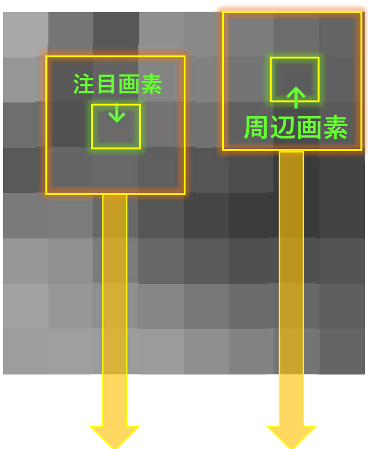
$$v_{m,n} = \exp \frac{-(x_{i,j} - x_{i-m,j-n})^2}{2\tau^2}$$

中心の画素値に近い値に大きな重み

$$a = \sum_{m=-L}^{L} \sum_{n=-L}^{L} w_{m,n}\, v_{m,n}$$

DC利得を1にする

ノンローカルミーンフィルタ
non-local mean filter



$\boldsymbol{v}_{i,j}$　　$\boldsymbol{v}_{i+m,j+n}$

注目画素のパッチ ⇔ **周辺画素のパッチ**

似ているならば重視する

$$y_{i,j} = \frac{1}{a} \sum_{m=-L}^{L} \sum_{n=-L}^{L} v_{m,n}\, x_{i+m,j+n}$$

$$v_{m,n} = \exp \frac{-\left\| \boldsymbol{v}_{i,j} - \boldsymbol{v}_{i+m,j+n} \right\|^2}{h^2}$$

パッチ同士が似ていれば※大きな重み

※ L_2 ノルム（差の２乗和）が小さい

ノイズの分散 σ^2 を考慮する場合

$$v_{m,n} = \exp \frac{-\max\left(\left\| \boldsymbol{v}_{i,j} - \boldsymbol{v}_{i+m,j+n} \right\|^2 - 2\sigma^2, 0 \right)}{h^2}$$

空間領域でのイメージの基本フィルター処理

imfilter	多次元イメージの N 次元フィルター処理
roifilt2	イメージの関心領域 (ROI) のフィルター
nlfilter	一般的なスライディング近傍演算
imgaussfilt	イメージの 2 次元ガウス フィルター処理
imgaussfilt3	3 次元イメージの 3 次元ガウス フィルター処理
wiener2	2 次元適応ノイズ フィルター
medfilt2　（中央値フィルタ）	2 次元のメディアン フィルター処理
medfilt3	3 次元のメディアン フィルター処理
modefilt	2 次元および 3 次元モードのフィルター処理
ordfilt2	2 次元の次数統計フィルター処理
stdfilt	イメージの局所的な標準偏差
rangefilt	イメージの局所的な範囲
entropyfilt	グレースケール イメージの局所的なエントロピー
imboxfilt	イメージの 2 次元ボックス フィルター処理
imboxfilt3	3 次元イメージの 3 次元ボックス フィルター処理
fibermetric	イメージ内の細長い構造またはチューブ状構造の強調
maxhessiannorm	行列のヘッシアンのフロベニウス ノルムの最大値
padarray	配列のパディング

エッジ保存型フィルター処理　（非線形フィルタ）

imbilatfilt　バイラテラル	ガウス カーネルを使用する、イメージのバイラテラル フィルター処理
imdiffuseest	異方性拡散フィルター処理用パラメーターの推定
imdiffusefilt	イメージの異方性拡散フィルター処理
imguidedfilter	イメージのガイド付きフィルター処理
imnlmfilt　ノンローカルミーン	イメージの非局所平均フィルター処理
burstinterpolant	低解像度バースト モード イメージのセットからの高解像度イメージの作成

ブレ除去

deconvblind	ブラインド デコンボリューションを使用したイメージのブレ除去
deconvlucy	ルーシー・リチャードソン アルゴリズムを使用したイメージのブレ除去
deconvreg	正則化フィルターを使用したイメージのブレ除去
deconvwnr	ウィーナー フィルターを使用したイメージのブレ除去
edgetaper	イメージ エッジに沿って不連続部分を次第に小さくする
otf2psf	光学伝達関数を点像分布関数に変換
psf2otf	点像分布関数を光学伝達関数に変換
padarray	配列のパディング

3．ノイズ除去の方法

3.1 実例の紹介（MATLAB、Photoshop）

3.2 平滑化と鮮鋭化

3.3 線形フィルタ、畳み込み

3.4 非線形フィルタ、画質の定量評価

ガウシアンノイズを定量評価

PSNR と SSIM

原画像（ノイズなし）

PSNR 25.9/ SSIM= 0.58

PSNR 19.9/ SSIM= 0.34

PSNR 16.4/ SSIM= 0.23

PSNR - Peak-Signal to Noise Ratio （原画像との2乗誤差を対数で表示）
SSIM - Structural Similarity Index Measure （局所的な平均、標準偏差、相互共分散を考慮）

ＪＰＥＧ
圧縮ノイズを定量評価

PSNR と SSIM

原画像（ノイズなし）

PSNR 33.1/ SSIM= 0.92

PSNR 31.0/ SSIM= 0.89

PSNR 25.2/ SSIM= 0.71

PSNR - Peak-Signal to Noise Ratio （原画像との2乗誤差を対数で表示）
SSIM - Structural Similarity Index Measure （局所的な平均、標準偏差、相互共分散を考慮）

ガウシアンノイズを定量評価

BRISQUE と NIQE

参照画像は不要

原画像（ノイズなし）

BRISQUE 37.7/ NIQE= 11.9

BRISQUE 42.8/ NIQE= 18.1

BRISQUE 44.3/ NIQE= 20.1

BRISQUE : Blind / Referenceless Image Spatial Quality Evaluator (BRISQUE)
NIQE : Naturalness Image Quality Evaluator (NIQE)

**ＪＰＥＧ
圧縮ノイズ
を定量評価**

**BRISQUE
と
NIQE**

**参照画像
は不要**

原画像（ノイズなし）

BRISQUE 25.3/ NIQE= 4.58

BRISQUE 30.8/ NIQE= 4.85

BRISQUE 57.1/ NIQE= 9.76

BRISQUE : Blind / Referenceless Image Spatial Quality Evaluator (BRISQUE)
NIQE : Naturalness Image Quality Evaluator (NIQE)

画質を定量的に評価する関数

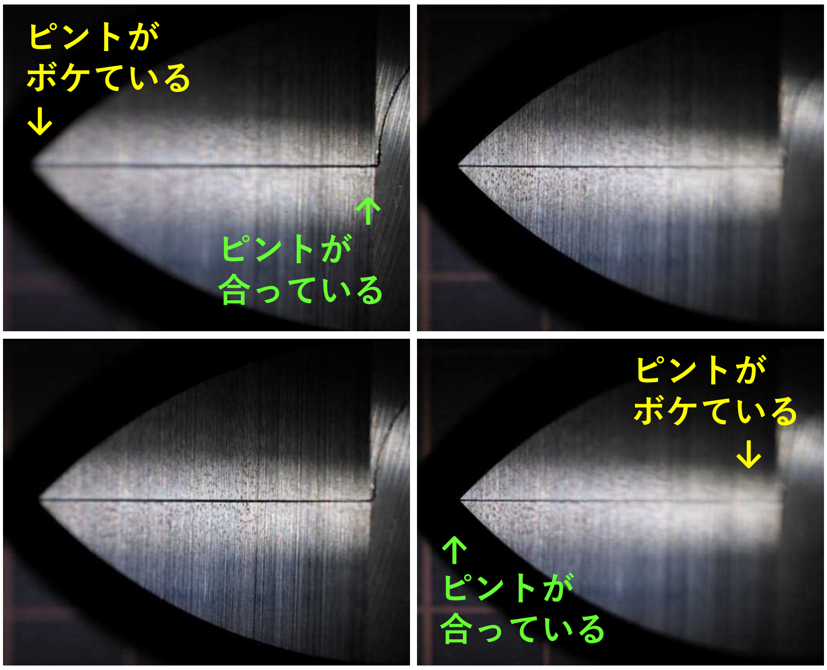
完全参照画質メトリクス

immse	平均二乗誤差
psnr	ピーク S/N 比 (PSNR)
ssim	画質を測定するための構造的類似性 (SSIM) 指数
multissim	画質のマルチスケール構造的類似性 (MS-SSIM) 指数
multissim3	ボリュームの品質のマルチスケール構造的類似性 (MS-SSIM) 指数

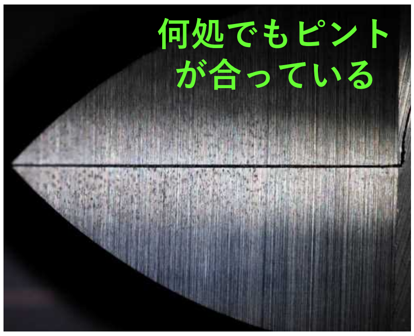
非参照画質メトリクス

brisque	Blind/Referenceless Image Spatial Quality Evaluator (BRISQUE) 非参照画質スコア
fitbrisque	BRISQUE 画質スコアのカスタム モデルの適合
brisqueModel	Blind/Referenceless Image Spatial Quality Evaluator (BRISQUE) モデル
niqe	Naturalness Image Quality Evaluator (NIQE) 非参照画質スコア
fitniqe	NIQE 画質スコアのカスタム モデルの適合
niqeModel	Naturalness Image Quality Evaluator (NIQE) モデル
piqe	Perception based Image Quality Evaluator (PIQE) 非参照画質スコア

マクロレンズのピンボケ解消



マクロレンズで焦点距離を変えて複数枚を撮影
被写界深度が浅い → 焦点が合う箇所が限定される



複数画像を合成した

多焦点合成
多焦点深度合成
フォーカス合成
Focus Stacking