

3. 画像処理

3.1 階調処理

3.1.1 ウィンドウイング処理

ウィンドウイング処理とは、ディスプレイ上に画像を表示する際の階調処理のことである。これはウィンドウ幅（目的とする画素値の範囲）とウィンドウレベル（ウィンドウ幅の中心）を調整して、ウィンドウ幅をディスプレイ上で表示できる最大の階調数に拡げて、観察したい領域のみのコントラストを強調して表示する処理である（図1）。図2のX線画像はウィンドウ幅が198で、ウィンドウレベルを108に調整したウィンドウイング処理画像である。これは画素値108を中心に±99の範囲をモニタで表現できる最大の階調数に拡大して表示することを意味する。

3.1.2 ダイナミックレンジ圧縮処理

ダイナミックレンジ（dynamic range：DR）圧縮処理は、画像の広範囲を同時に把握できるように微細信号をそのまま残しつつ輝度の高くて可視化しづらい部分の輝度値を暗く、そして暗い部分を明るくする処理である。このような処理を階調処理で行った場合、画像の低輝度あるいは高輝度領域を表現しようとする場合に微細信号のコントラストが低い画像になってしまう。これに対して、ダイナミックレンジ圧縮処理は画像の微細信号のコントラストを低下させることなく低輝度あるいは高輝度領域を表現できる特徴を有している。この処理は次式で表される。

$$S_D(x, y) = S_{org}(x, y) + f(S_{us}(x, y)) \quad (1)$$

$$S_{us}(x, y) = \sum (S_{org}(x, y)) / M^2 \quad (2)$$

$S_D(x, y)$: DR圧縮処理後の画像

$S_{org}(x, y)$: 原画像

$S_{us}(x, y)$: マスクサイズの範囲で平均化された画像

$f(S_{us}(x, y))$: S_{us} に依存した補正係数

M : DR圧縮処理用マスクサイズ

図3にダイナミックレンジ圧縮処理の原理を示す。図3aに示す原画像をマスクサイズ M で平均処理すると図3bに示すように雑音成分は除去される。マスクサイズの範囲で平均化された画像を $S_{us}(x, y)$ とすると、 $f(S_{us}(x, y))$ は画素値を低減あるいは増加させるための係数になる。図3cは低濃度部のみを増加させる係数で、図3dは高濃度部のみを低くする係数である。図3cに示す $f(S_{us}(x, y))$ を原画像に加算することによって、低濃度部分が圧縮された画像が得られる（図3e）。同様に図3dに示す $f(S_{us}(x, y))$ を原画像に加算することによって、高濃度部分が圧縮された画像が得られる（図3f）。図4にダイナミックレンジ圧縮処理後の画像を示す。

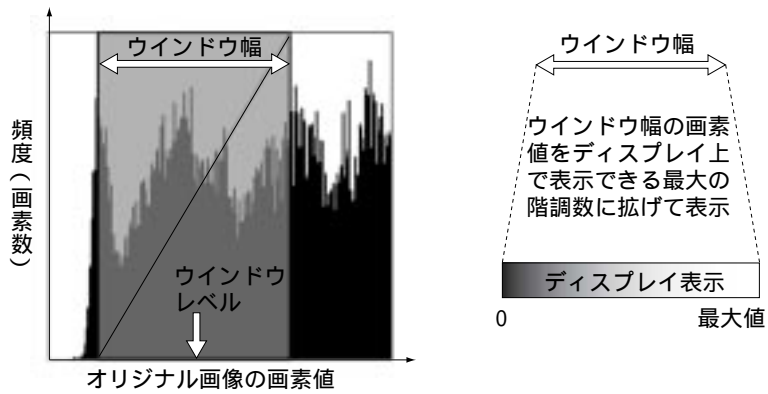


図1 ウィンドウイング処理



オリジナル画像



ウィンドウイング処理画像
(ウィンドウ幅198, ウィンドウレベル108)

図2 ウィンドウイング処理画像

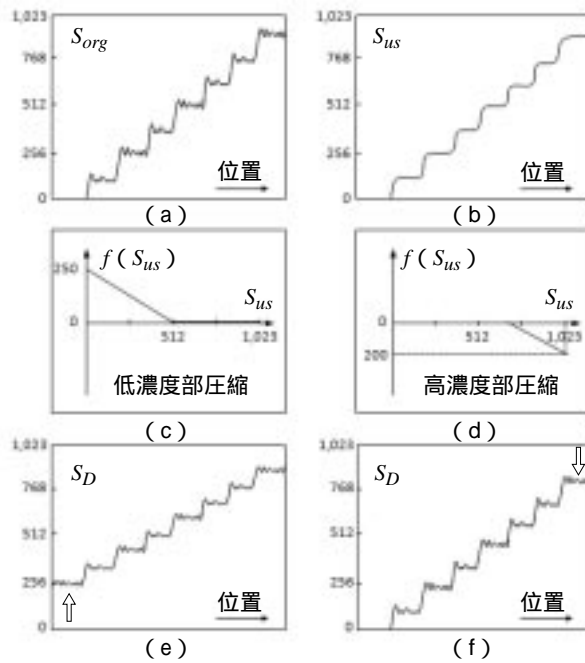


図3 ダイナミックレンジ圧縮処理の原理



オリジナル画像



ダイナミックレンジ圧縮処理画像

図4 ダイナミックレンジ圧縮処理

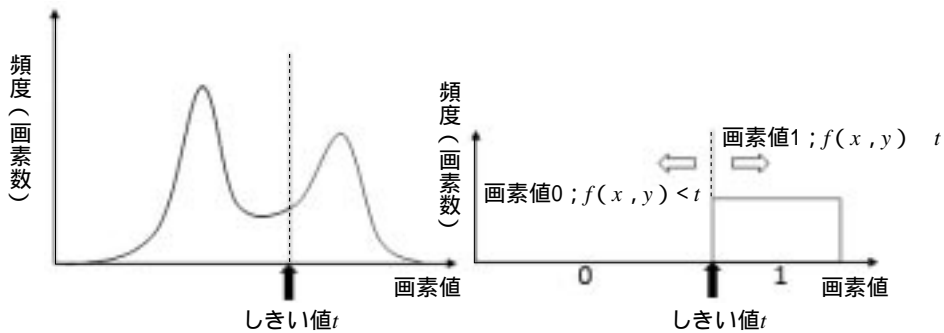


図5 しきい値処理

3.2 しきい値処理 (2 値化)

X線画像は画素値が細かな階調に分けられたグレースケール画像として表現されている。画像のしきい値処理は画像から目的の陰影を抽出したり、あるいは、その形状に関する特徴量を調べるために行われる。この2値化は、画像中のある画素値がしきい値 t 以上の場合にはその画素値を1に、そして、それ未満の画素値を0に変更するしきい値 t を使った画像処理である(図5)。図6に2値画像の例を示す。

$$\text{2値画像 } f_{th}(x, y) = \begin{cases} 1; f(x, y) \geq t \text{ のとき} \\ 0; f(x, y) < t \text{ のとき} \end{cases} \quad (3)$$

3.2.1 しきい値の決め方

このしきい値の決め方には種々の方法があるが、ここでは代表的なものとして、モード法、 p -タイル法、判別分析法の3つの方法について述べる。



オリジナル画像

2値画像 (しきい値 $t = 117$)

図6 2値画像

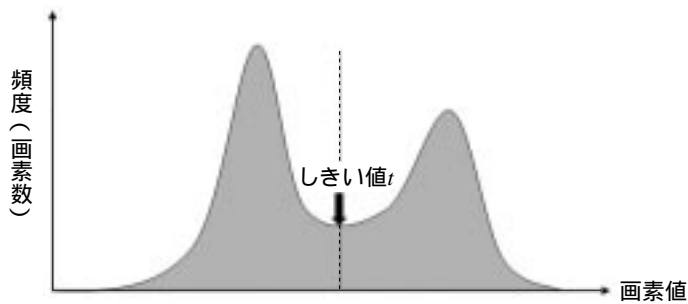


図7 モード法

1) モード法

グレースケール画像のヒストグラムが、図7に示すような2つのピークをもつ分布の場合には、各ピークの間位置する谷間をみつけて、その位置における画素値をしきい値とする方法がある。この方法をモード法と呼ぶ。この方法は画像が複雑な場合や画像に十分な画素値がなく、ピークと谷間が不明確な場合には適切なしきい値を決定することはできない。

2) p -タイル法

p -タイル法は画像のなかから抽出すべき対象物の面積を S_0 、画像全体の面積（ここでは全画素数）を S として、その割合 $p = S_0/S$ を計算し2値化を行う方法である（図8）。実際の処理ではヒストグラムの画素値が高いほう（あるいは低いほう）から画素数を積算していき、その割合が p となる画素値をしきい値とする。例えば、画像サイズが 256×256 pixels のとき、全画素数 S は 65,536 個なので2値化する割合が 0.25 の場合には S_0 が 16,384 個となる。ヒストグラムの画素値を高いほう（あるいは低いほう）から積算していき、画素数の合計が 16,384 を超えるときの画素値をしきい値とする。

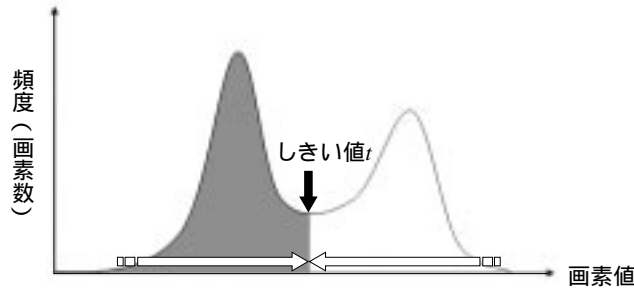


図8 p-タイル法

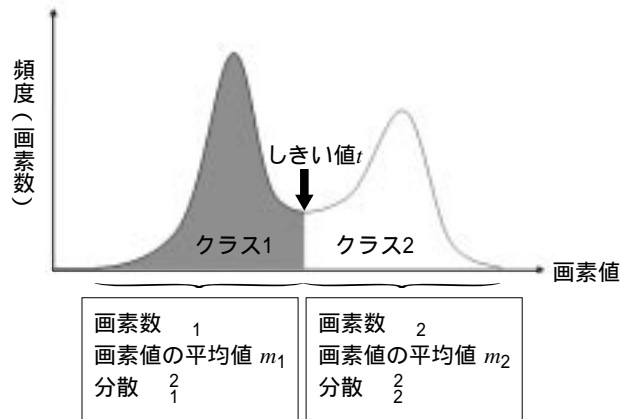


図9 判別分析法

3) 判別分析法

判別分析法は統計的手法を用いたしきい値の選択法である。画素値のヒストグラムの分布をしきい値 t で2分割したときに、この分離した2つのクラス間の分離が最も良くなる画素値をしきい値 t とする方法である (図9)。この方法は2つのクラスのクラス間分散とクラス内分散との比である判別比を求め、この比が最大になるようにしきい値 t を自動で決定するものである。ここで、しきい値を t として、 t 以上の画素値をもつクラス1と t よりも小さな値をもつクラス2に分ける。クラス1の画素数を n_1 、画素値の平均値を m_1 、分散を σ_1^2 、クラス2の画素数を n_2 、画素値の平均値を m_2 、分散を σ_2^2 とおき、そして、画像全体の画素数を n 、画素値の平均値を m 、全分散を σ_w^2 とおくと、クラス内分散 σ_b^2 は

$$\sigma_w^2 = \frac{\omega_1 \sigma_1^2 + \omega_2 \sigma_2^2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (4)$$

クラス間分散 σ_b^2 は

$$\begin{aligned}\sigma_b^2 &= \frac{\omega_1(m_1 - m_t)^2 + \omega_2(m_2 - m_t)^2}{\omega_1 + \omega_2} = \frac{\omega_1\omega_2^2(m_1 - m_2)^2 + \omega_1^2\omega_2(m_1 - m_2)^2}{(\omega_1 + \omega_2)^2} \\ &= \frac{\omega_1\omega_2(m_1 - m_2)^2}{(\omega_1 + \omega_2)^2}\end{aligned}\quad (5)$$

で表すことができる。さらに画像全体の画素値の全分散 σ_t^2 は、クラス内分散とクラス間分散の和で示すことができる。

$$\sigma_t^2 = \sigma_b^2 + \sigma_w^2 \quad (6)$$

判別比は

$$\frac{\sigma_b^2}{\sigma_w^2} = \frac{\sigma_b^2}{\sigma_t^2 - \sigma_b^2} \quad (7)$$

となる。ここで全分散 σ_t^2 は、しきい値 t とは関係なく定数となるため、式を最大にするためにはクラス間分散 σ_b^2 を最大にするしきい値 t を求めればよいことになる。

この方法は、ヒストグラムに谷間がない場合にも、しきい値を決定できる方法であるため広く利用されている。

3.3 画像のフィルタ処理

デジタル画像の基本的な処理として、画像内に含まれる雑音成分を軽減したり、エッジを強調することができるフィルタ処理がある。このフィルタ処理は大別すると画像の空間と同じ空間上でフィルタ処理を行う“空間フィルタ処理”と一度、画像をフーリエ変換して、空間周波数領域でフィルタ処理を行う“空間周波数フィルタ処理”がある。

3.3.1 空間フィルタ処理

空間フィルタ処理は、出力画像のある画素値を求めるために、それに対応する入力画像の画素値とその周囲の画素値も含めた局所領域内でフィルタとの重畳積分（コンボリューション）を行い新しい画素値を算出する処理のことをいう。このとき用いられるフィルタを空間フィルタと呼ぶ。さらに空間フィルタには線形フィルタと非線形フィルタがある。

1) 線形フィルタ

一般に線形フィルタ処理は、原画像を f 、フィルタ処理後の画像を g 、そして、フィルタの重み係数行列（オペレータ）を h とすると次式のように表される。

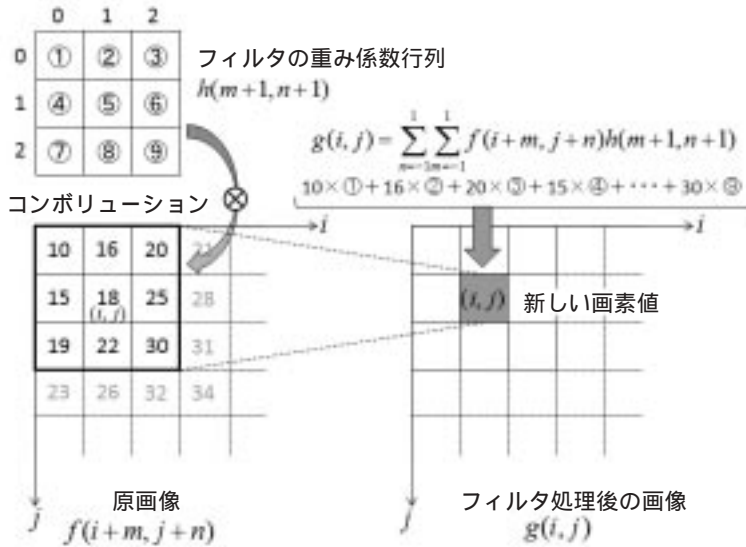


図10 コンボリューション

$$g(i, j) = \sum_{n=-1}^1 \sum_{m=-1}^1 f(i+m, j+n)h(m+1, n+1) \quad (8)$$

実際の計算は式(8)に従ってラスタスキャンで1画素ずつ移動しながら、コンボリューションを行う。図10に示すように、コンボリューションの計算手順はフィルタの重み係数行列と原画像の重なった位置同士の画素値でかけ算を行い、そして、それらすべてを足し合わせて画素値を算出する。この計算結果が処理後の画像の (i, j) の位置における新しい画素値となる。また式(8)に従わないフィルタ処理を非線形フィルタ処理と呼ぶ。

2) 平滑化フィルタ

主に平滑化フィルタは画像内に含まれる雑音成分を除去または低減するために用いられるフィルタである。平滑化の方法には、移動平均フィルタ、加重平均フィルタおよびガウシアンフィルタがある。

a) 移動平均フィルタ

移動平均フィルタはフィルタの重み係数がすべて同じで、フィルタ処理の前後で画像の輝度が変わらないようにフィルタの重み係数をすべて足すと1になるように規格化されている(図11)。またオペレータの画素数が大きくなると局所領域が広がり、平均される範囲が広がるため画像のぼけ具合が大きくなっていく(図12)。

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

(a) 3×3画素のフィルタ

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

(b) 5×5画素のフィルタ

図11 移動平均フィルタのオペレータ

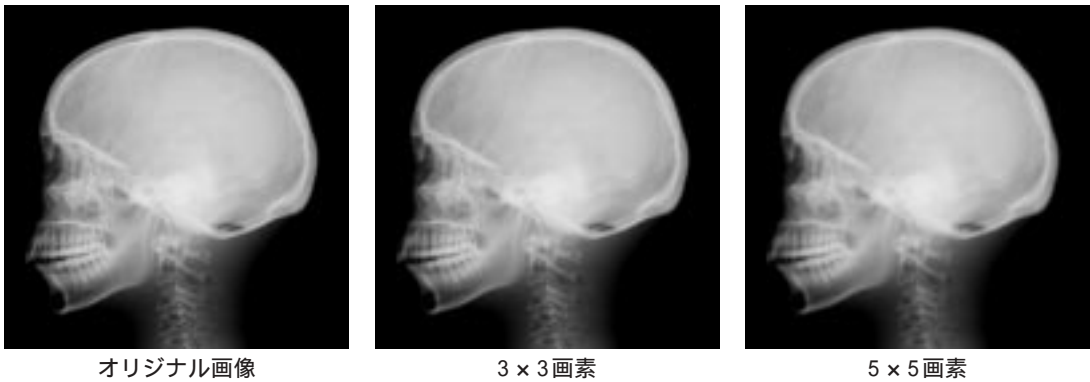


図12 移動平均フィルタによる処理画像

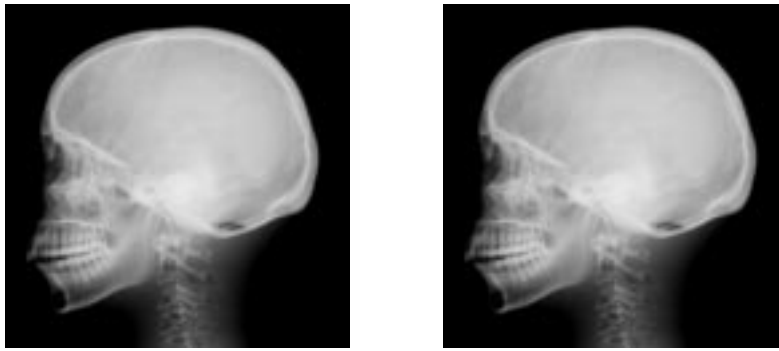
b) 加重平均フィルタ

前述の移動平均フィルタは目的画素を中心とした局所領域内において画素値の平均を出力する処理である。このため画像内の雑音成分を低減する効果は高いが、その反面、画像全体がぼやけてしまうという欠点がある。この影響を極力抑制するために目的画素の重み係数を大きくしたフィルタが加重平均フィルタである。加重平均フィルタは目的画素への重み係数を大きくすることによって周囲の画素よりも目的画素の寄与を大きくし、局所領域において平均化されても元の画素値が保たれるという特徴を有している。このため、前述の移動平均フィルタに比べて画像のぼけを若干抑制できる（図13）。図14に代表的な加重平均フィルタを示す。また、フィルタの重み係数をガウス分布（または正規分布）に近づけたものをガウシアンフィルタという。

3) 非線形フィルタ

a) メディアンフィルタ

基本的に線形フィルタ処理は、目的画素を中心とした局所領域内においてコンボリューションを行い画素値の平均を求めるものであった。これに対して、メディアンフィルタは局所領域の画素値を降順あるいは昇順に並べ替えて、中央値になったものを出力する式（8）に従わない非線形なフィルタである（図15）。平滑化フィルタでは、ごま塩雑音のようなスパイク状の雑音成分の影響を除



(a) 加重平均フィルタ (b) 加重平均フィルタ

図13 加重平均フィルタによる処理画像

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

1/10	1/10	1/10
1/10	2/10	1/10
1/10	1/10	1/10

(a) (b)

図14 加重平均フィルタのオペレータ (3 × 3画素)

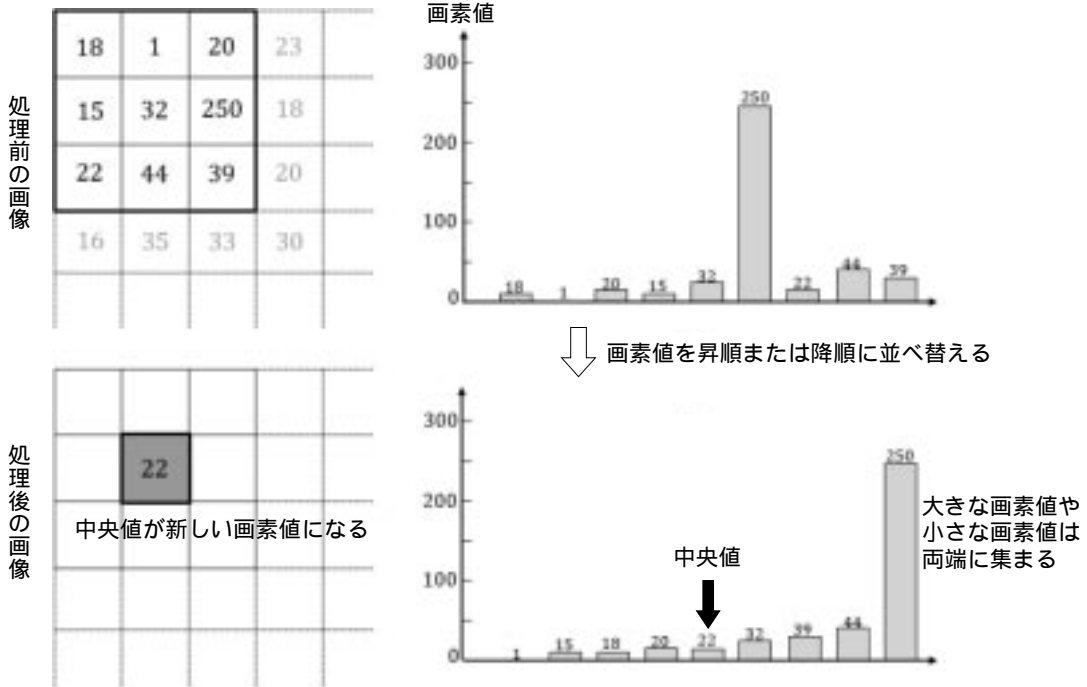


図15 メディアンフィルタの概略



図16 メディアンフィルタによる処理画像

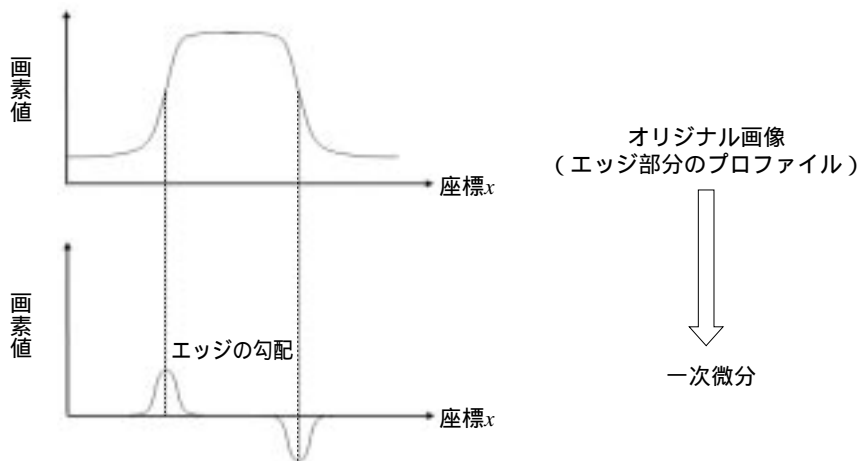


図17 一次微分によるエッジの検出

去することは難しいが、メディアンフィルタでは良好に除去することができる（図16）。

4) エッジ検出

図17に示すように画像中で画素値が急激に変化する部分をエッジといい、物体の大まかな形や構造を表している。このエッジ部分を検出することによって画像中に含まれる物体の特徴を把握したり、特定の領域のみを抽出することが可能となる。エッジ部分では、画素値が急激に変化しているので関数の変化分がわかる一次微分を使えば、物体の輪郭を抽出することができる。デジタル画像は離散データであるため厳密な微分演算を行うことができない。そこで、一次微分の演算は隣接する画素との画素値の差分をとることによって代用される（図18）。

x 方向および y 方向の差分（一次微分の代用）をそれぞれ $f_x(i, j)$ 、 $f_y(i, j)$ とすると差分計算は次式ようになる。

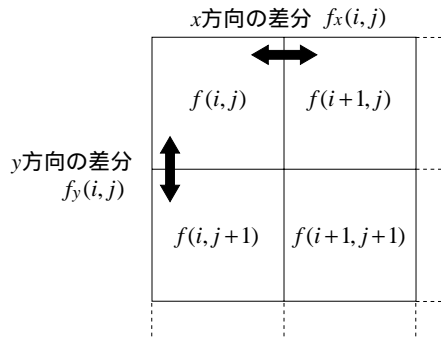


図18 差分（一次微分の代用）の求め方

1) 基本的な差分オペレータ

0	0	0
0	-1	1
0	0	0

x方向の差分

0	0	0
0	-1	0
0	1	0

y方向の差分

2) Robertsオペレータ

0	0	0
0	0	1
0	-1	0

右上から左下方向への差分

0	0	0
0	1	0
0	0	-1

左上から右下方向への差分

3) Prewittオペレータ

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

x方向の差分

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

y方向の差分

4) Sobelオペレータ

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

x方向の差分

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

y方向の差分

図19 各種フィルタのオペレータ