

第 11 講：生物材料と画像処理・解析法（その 1）

木の葉，成長輪内の晩材部，あるいは試薬で赤く染まった部分など，定まった形のない領域の面積を測ることを考える．昔からよく用いられてきたのは，測定対象物を写真に撮ってから切り抜き，印画紙の坪量に基づいてその重さを面積に換算する方法である．切り抜く作業があるため，この手法は一見不正確なように思えるが，慣れてしまえば相当に正確である．また，対象物を方眼紙にトレースして，その内側に含まれる格子点の数を数えて面積に換算する方法も有効である．ただし，いずれも相応の手間も時間もかかる．

顕微鏡によるプレパラートの観察を考える．視野内の細胞の数を数えたいとき，数百個のオーダーともなると，カウンタを片手に視野内を隅から隅まで肉眼で走査する羽目になる．とりあえず写真に撮って，写真プリントから数えあげることもできるが，結局は根気と時間の必要な作業であり，測定者の疲労によりミスを犯す可能性も高くなる．

コンピュータを使った画像処理および解析は，上のような測定課題を最も得意としており，膨大な情報量を有する 2 次元画像から望みの測定量をたちどころにもたらしてくれる．今回はこの画像処理・解析法について概説する．

1. 画像処理と画像解析

画像(Image)という言葉は様々に使われるが，ここではレンズ系を通して光学的に 2 次元像に変換された情報と考えよう．同様に**画像処理**(Image Processing)の定義も様々で，広義には画像認識，画像計測，物体認識，文字認識，図形認識などを含むこともある．さらに，パソコン用のペイントソフトで絵を描くことも一種の画像処理とされる．しかし，多くの場合，画像処理とは「画像に何らかの処理を施して，目的に合った新しい結果を得る技術」と定義されよう．

一般に画像には様々なノイズが含まれている．ぼけやゆがみ，コントラスト不良（明暗が目立ちやすさの強すぎや甘過ぎ）などもこれに含まれる．画像処理はそれらを改善したり，修正，補正する技術で，人間が最終的に再生された画像を見たときに，画像の中の対象物を認識しやすく，また，画像の持つ意味をわかりやすくすること（画質改善）を目的とする．もう 1 つの大きな目的は，画像をコンピュータにとって理解しやすい情報にすることである．今回取り扱う画像処理とはどちらかといえば後者の目的に即したもので，画像を用いて精度の高い測定を行うための前処理のプロセスでもある．

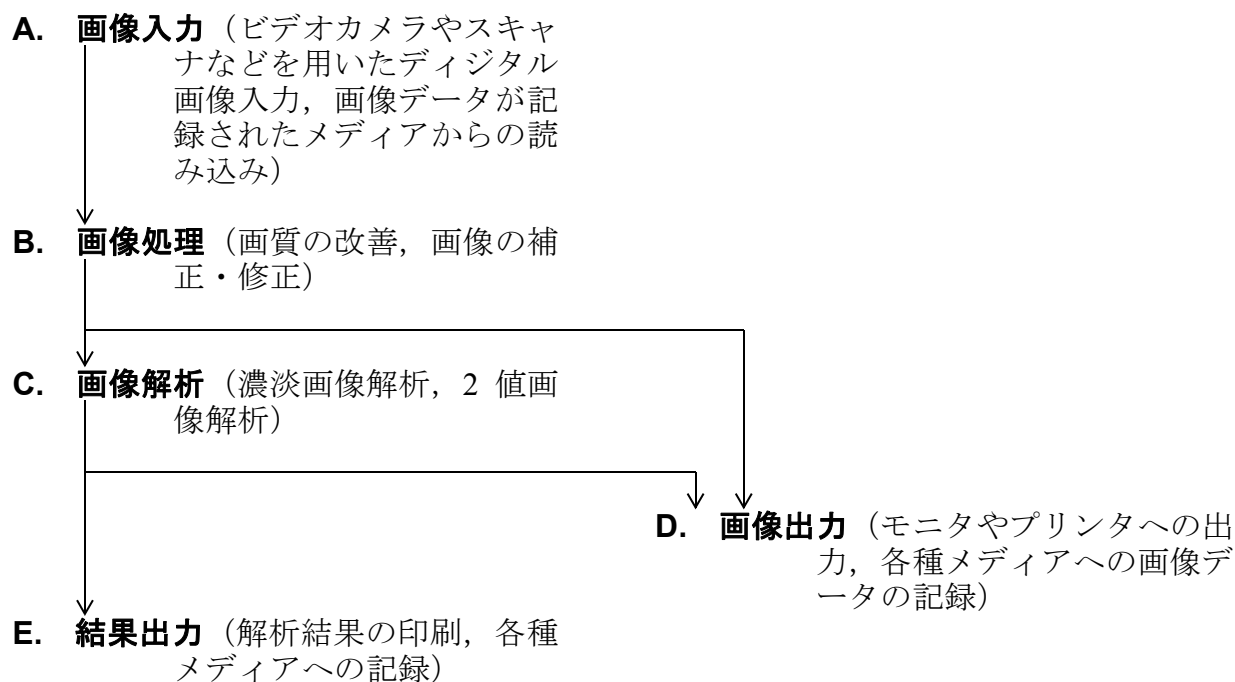
画像解析(Image Analysis)は，画像を計ること，つまり**画像計測**を指す場合が多い．すなわち，画像中の測定対象物の形状計測（寸法，面積，角度，数などの測定），形状値に基づく形の解析（円形度，最大長など），濃度（明るさ）の分布や色度などを数値で表したりする処理，などを指す．また，数学的理論に裏付けられた画像変換による空間周波数解

析（FFT パワースペクトル解析など），画像の全体や部分の周期性や統計的性質，ランダムネスを調べるテクスチャ解析なども画像解析に含まれる．

画像処理および解析機能を備えた主装置を中心に，制御用コンピュータ，画像入力装置，画像出力装置などからなる専用システムは**画像処理・解析装置**と呼ばれる．従来(5, 6 年前くらい) の画像処理・解析装置は，膨大な画像情報を迅速に処理するための専用装置を必要とし，大変高価であった．ところが，コンピュータの進歩に伴い，最近ではパーソナルコンピュータでも必要十分な処理が行えるようになり，よいソフトウェアさえ見つければ，比較的安価に画像処理システムを構築できる環境にある．

2. 画像処理・解析の流れ

コンピュータを用いた画像処理および解析は概ね次のようなステップで進む．



以下では無償の画像処理・解析ソフトウェア ImageNos（イマジノス）を使用して，A, B, C のステップに対応した操作を試みる．共有フォルダから ImageNos フォルダをデスクトップにコピーしておくこと．

※左図は ImageNos の初期画面．ImageNos はフリーのソフトウェア．作者の Baruth 氏のホームページは次の通り．

<http://www.geocities.co.jp/SiliconValley/2489/>

3. 画素, グレイレベル, 座標

コンピュータで扱えるデータは離散量, すなわち, デジタル・データのみである. このため, コンピュータのスケッチブックあるいはキャンバスは四角いマスで細かく区切られている. この個々のマスを「**画素 (pixel ; ピクセル)**」と呼ぶ.

コンピュータに画像を表示させるというのは, 1 個 1 個の画素に明るさの情報を与えていくことに他ならない. つまり, コンピュータ・グラフィックス(CG)とは点描である.

画素に与えられる明るさの情報は「**グレイレベル(graylevel)**」と呼ばれる. グレイレベルの与え方にはいろいろあるが, 現在の CG でよく用いられるのは $0 \sim 255$ の整数値である. この場合, 明るさの階調は 256 段階になり, 0 のとき真っ黒, 255 のとき真っ白として, コンピュータは理解する.

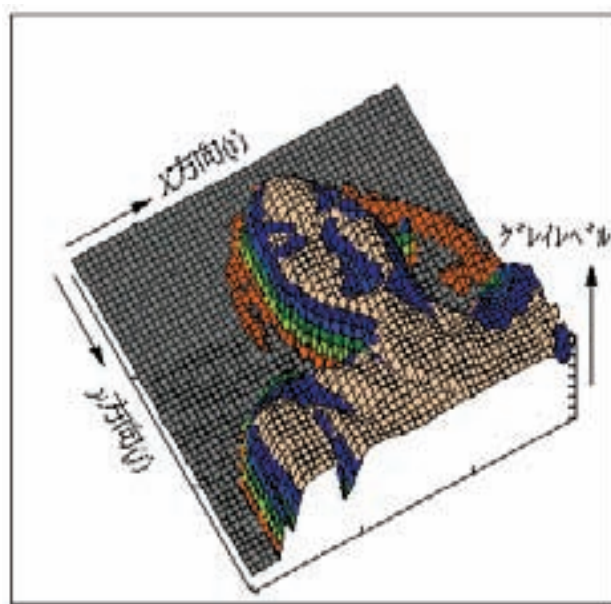
256 という階調数は, コンピュータにとって扱いやすい数値である. すなわち,

$$256 = 2^8 = 8 \text{ bit} = 1 \text{ byte}$$

という, 2 進法のデータ単位に当てはまっている.

例えば, 横方向 (X 方向) の画素の位置を i , 縦方向 (Y 方向) の画素の位置を j で表すことにし, i と j の値の範囲をそれぞれ $1 \leq i \leq M$, $1 \leq j \leq N$ とする. M , N はそれぞれ画像の横方向画素数, 縦方向画素数である. 画素(i, j)のグレイレベルを $L(i, j)$ と表すことにし, 取りうる値の範囲を $0 \leq L(i, j) \leq 255$ とする. 画像を表示するためにコンピュータが計算するのは, 2 次元平面における画素の位置(i, j)と, その画素に与えるべきグレイレベル $L(i, j)$ である.

この計算が完了すると, 「画素(i, j)に対応する点をグレイレベル $L(i, j)$ に対応する明るさで光らせる命令」をモニタに送ったり, 「(i, j)に対応する A4 判用紙上の点に $L(i, j)$ に対応する濃さでインクを滴下する命令」をプリンタに送ったりできる.



デジタル画像とは基盤目 (XY 平面) に配置された明るさの階調情報である

コンピュータにおける画像の座標系は、**左上隅を原点**にとるのが一般的である。その原点も(0, 0)ではなく(1, 1)にとられることがある。というのも、「1 番目の画素, 2 番目の画素, ..., 100 番目の画素...」というように、画素の指定を序数で行うからである。このため、 i や j は整数値が一般的である。また、グレイレベル $L(i, j)$ もたいてい整数値なので、CG では基本的に整数データしか扱わない。

i と j を XY 平面に、グレイレベル $L(i, j)$ を Z 軸方向にとると、画像を 3 次元グラフで表すことができる (前頁下図)。このグラフの Z 軸方向の高低を我々は明暗として知覚し、 XY 平面全体の明暗情報がそろったときに画像として認識することになる。

4. 画像入力

画像入力といえば、多くの場合、カメラやスキャナなどの光学装置を用いて、情景や物体を画像として装置のメモリに取り込むプロセスを指す。このとき、アナログ情報からデジタル情報への変換 (AD 変換) が行われる (研究目的の画像解析の場合、この AD 変換は手法上非常に重要なファクターとなりうるが、ここでは詳細は割愛する。)

一方、すでにデジタル化された画像データをメモリに取り込むプロセスも画像入力と呼べる。ここでは後者の画像入力手続きの例として、ホームページに掲載されている画像 (AD 変換の済んだ画像) を ImageNos に取り込む。



http://www.kyoto-u.ac.jp/uni_int/01_photo/images/yoshida_s/photo/yoshida_s001.jpg



- ① Internet Explorer を使って、サンプルに使用したい画像 (写真) が掲載されているホームページを開く。左図は京都大学のホームページの一部

(下記 URL 参照) で、校舎の写真が 600×450 画素 (画像を構成する輝点, ピクセル(pixel)のこと) で掲載されている。

- ② 保存したい画像の上で**右クリック**。サブメニューがポップダウンする (上左図) ので、「コピー」を**左クリック**。

- ③ ImageNos のメニュー項目「データ」を**左クリック**．「貼付」を選択する（下左図）．コピーした画像が表示される（下右図）ので，ウィンドウの大きさを適当に調節する．



5. 画像処理

画像処理には実に様々なものが提案，開発されている．ここではごく基礎的な濃度変換と，オペレータ演算によるフィルタ処理を取り上げる．

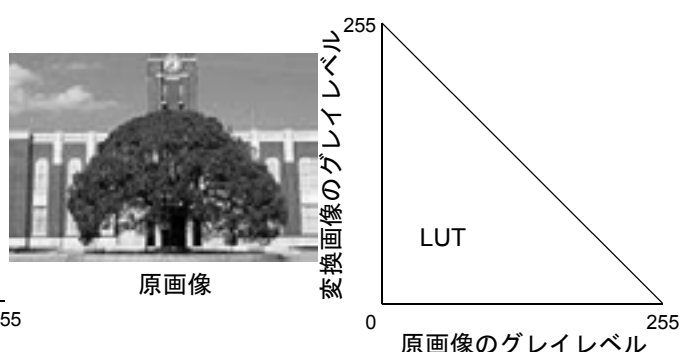
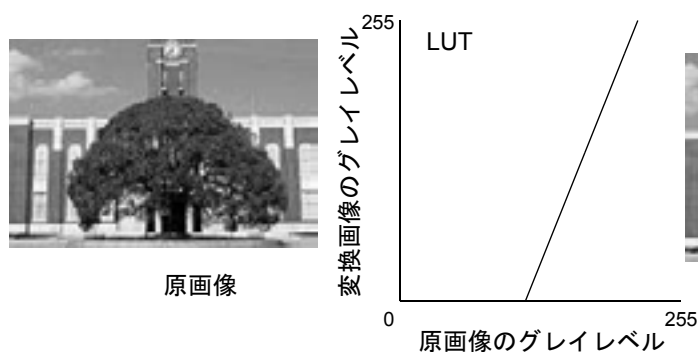
○濃度変換

入力画像のグレイレベルに対応する出力画像のグレイレベルを再定義すると，画像のコントラスト（明暗の対比）を改善したり，特定のグレイレベル範囲を強調して画像中の対象物を際立たせたりすることができる．この操作を画像の**濃度変換**と呼び，特に画像の画質改善に有効である．



ImageNos には LUT 設定機能はないが，「変換」→「色反転」機能を使うと，上図のようなネガポジ変換を行える．
（上図でウィンドウサイズは起動時のまま）

濃度変換は多くの場合 **LUT（Look Up Table，濃度変換参照テーブル）** にしたがって行われる．LUT は原画像のグレイレベルをどのような値に変換するか定義したもので，一種の対照表である．通常は横軸に原画像の，縦軸に濃度変換処理後の画像のグレイレベルをとった XY グラフで LUT を定義する．例えば，濃度レンジが狭くてコントラストの悪い画像をはっきりさせるには，次ページ上図の左側のようなリニア変換の LUT を，ネガポジ変換を行うのであれば，同じく右側のような LUT を用いて濃度変換を行う．このほかにも代表的な LUT として，対数，指数，正弦波，余弦波，絶対値，ガンマなどがある．



変換画像

原画像の グレイレベル	変換画像の グレイレベル
100	0
101	2
102	5
⋮	⋮
⋮	⋮
198	250
199	253
200	255

リニア変換（コントラスト強調）



変換画像

原画像の グレイレベル	変換画像の グレイレベル
0	255
1	254
2	253
⋮	⋮
⋮	⋮
253	2
254	1
255	0

ネガポジ変換

○フィルタ処理

画像をぼかしたり、逆にぼけを修正したり、また、対象物の縁（エッジ）を抽出したり、画像中のノイズを除去したりする処理を**フィルタ処理**と呼ぶ。フィルタ処理にはフーリエ変換などを利用した画像全体をいっきに変換してしまう処理と、オペレータと呼ばれる線形フィルタあるいは非線形フィルタを用いた局所的な変換処理がある。ここでは後者の局所的なフィルタ処理について実例をあげながら説明する。

・線形フィルタ処理（オペレータ処理）

$L(i-1, j-1)$	$L(i, j-1)$	$L(i+1, j-1)$
$L(i-1, j)$	$L(i, j)$	$L(i+1, j)$
$L(i-1, j+1)$	$L(i, j+1)$	$L(i+1, j+1)$

画像中の領域 K （注目画素 (i, j) ）

a	b	c
d	e	f
g	h	i

正方行列 A （オペレータ）

$$\begin{aligned}
 L'(i, j) = & aL(i-1, j-1) + bL(i, j-1) + cL(i+1, j-1) \\
 & + dL(i-1, j) + eL(i, j) + fL(i+1, j) \\
 & + gL(i-1, j+1) + hL(i, j+1) + iL(i+1, j+1)
 \end{aligned}$$

画像中の注目画素 (i, j) と、この画素を取り巻く M^2-1 個の近傍画素からなる $M \times M$ の領域 K を考える（上の例は $M=3$ の場合を表す）。次に、領域 K に対応した $M \times M$ の行列 A

を設定する．行列 A の各要素はフィルタ処理の内容によって変わる． $L(i, j) \rightarrow L'(i, j)$ への変換はこの行列 A によって定義される．そのため行列 A は**オペレータ**と呼ばれる．

オペレータを用いた画像のフィルタ処理とは，領域 K の注目画素 (i, j) のグレイレベル $L(i, j)$ を，領域 K の要素と行列 A の要素を使った**足込演算（畳込積分）**によって $L'(i, j)$ に変換する操作である．

オペレータの大きさは $M = 3$ に限らない．フィルタ処理で抽出したい対象物の大きさに応じて 5×5 ， 7×7 など，様々に選ぶことができる．例えば，下図のような 3×3 オペレータを設定した場合，注目画素とその近傍画素の平均的なグレイレベルが注目画素に与えられることになる．

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



原画像
(ごま塩状のノイズが含まれている) 処理画像
(ノイズはほぼ消えたが，全体的にぼやけている)

このオペレータは平均化オペレータと呼ばれる．ごま塩状の細かいノイズを除去することができるが，平均化処理のためエッジがなまってしまい，全体的にぼやけた画像になるという欠点もある．

・非線形フィルタ処理

非線形フィルタは，①画像中に注目画素 (i, j) とこの画素を取り巻く $M^2 - 1$ 個の近傍画素からなる $M \times M$ の領域 K を設定，②領域 K 内におけるグレイレベルの最大値や最小値，中央値（メディアン）などを探索，③その値を注目画素に与え直す処理を行う．線形フィルタ処理はオペレータによって定義される数値演算であったが，非線形フィルタ処理は領域内のグレイレベルの大小関係などに依存する探索型の演算である．このため，一般に線形フィルタ処理よりも計算時間を要する．一方で線形フィルタにはない利点も多い．右図は 3×3 のメディアン（中央値）フィルタを用いた雑音除去の例で，スムーズオペレータによる平滑化処理よりも画像のぼけが少ない．



原画像
(ごま塩状のノイズが含まれている) 処理画像
(ノイズが消え，画像のシャープさも保たれている)

・ ImageNos によるフィルタ処理

1) ノイズ混入画像の作成



① ImageNos と同じ作者・Baruth 氏の手による簡易フィルタリングソフトウェア Ezfilter を起動する．左図は起動直後の画面．

② ImageNos への画像入力の時と同じ要領で，サンプルとして使用したホームページ画像を**コピー**しておく．

③ Ezfilter の「貼付」ボタンを**左クリック**．メモリにコピーした画像がウィンドウ内に表れる（縦横の比率はゆがむことがある）

④右下の「ノイズ」ボタンを1回**左クリック**する．画像に細かな点がノイズとして表れる（左図）．このノイズの乗った画像をノイズ混入画像として使用する．

⑤メニュー項目左上の「コピー」ボタンを**左クリック**．ノイズ混入画像がメモリに取り込まれる．

Ezfilter は様々な画像フィルタ（主にフォトレタッチ用）の効果を手軽に試すことのできるフリーソフト．ここではこれ以上取り上げないが、是非あれこれ試して欲しい．

2) 平均化オペレータによるスムージング



① ImageNos のメニュー項目「データ」を**左クリック**．「貼付」を選択するとコピーしたノイズ混入画像が表れる（左図）．

②「変換」→「フィルタ」→「空間フィルタ」とメニューをたどり，空間フィルタ定義ウィンドウを開く．このウィンドウは最大 7×7 の行列要素を入力できるようになっている．赤色表示された数字の位置が注目画素に相当する．ここでは中央部の 3×3 の領域にスムースオペレータの数値を入力する．



③分数の入力はできないので、左図のようになるべく $1/9$ に近い小数値を入力する．オペレータの和が1になるように中央の数値は微調整してある．あるいは、

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

に相当する小数値を入力してもよい（これも平均化オペレータのひとつ）．



④「実行」ボタンをクリックする．フィルタ処理が実行される．ノイズの消え方が弱いと思えば再度実行してみる（左図は2回実行した結果）．実行するほどにノイズは目立ちにくくなるが、なかなか消えない．逆に肝心の画像がだんだんぼけてくることになる．

3) メディアン(中央値)フィルタによるスムージング



- ① Ezfilter で作成したノイズ混入画像を再度 ImageNos に貼り付ける．
- ② 「変換」→「フィルタ」→「メディアン 3 × 3」とメニューをたどる．メディアンフィルタ処理が実行される．
- ③ 目のまわりの暗がりが増えるようにやや強調されるが、ノイズが消えたクリアな画像が表れる（左図）．

④ 「変換」→「やり直し」を選択すると、直前の処理前の状態（フィルタリング前の画像）に戻る．そこで今度は「メディアン 7 × 7」でフィルタ処理してみる．“やり過ぎ”てしまったことがわかるだろう．フィルタをかける範囲が大きすぎて、平均化が進みすぎたのである．

6. 画像解析

画像解析は大きく2つに分けられる。1つは画像のグレイレベルの分布の特徴、つまり、統計的な特徴量を抽出する**濃淡画像解析**である。もう1つは、グレイレベルがある明るさの範囲に含まれているかいないかで画像を構成する画素を分類し、この結果に基づいて画像の特徴を測る**2値画像解析**である。ここでは後者の解析例として、面積測定を試みる。

○2値化

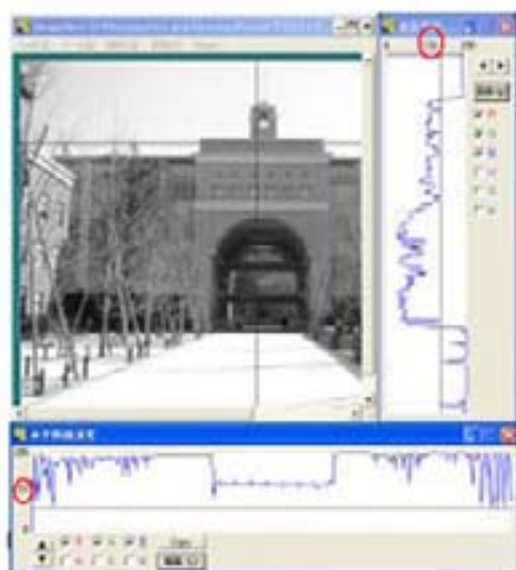
画像中の人物の肌部分の面積を知りたいときは、その部分が肌か否かだけわかればよいので、グレイレベルの微妙な明暗情報は不要になってしまう。そこで、肌の明るさに対応するグレイレベルの範囲を調べて、その情報に基づいて肌の部分を1、それ以外を0というように、画素に与える値を2つの値に限定してしまう。この操作を**2値化(binaraize)**という。2値化を行うためには、グレイレベルの上限値と下限値を決める必要がある。この上限値、下限値のことを**しきい値(threshold, スレッショルド)**と呼ぶ。2

値化において最も重要なのはしきい値の設定である。しきい値の善し悪しは2値画像解析の精度にそのまま反映される。うまく2値化できれば、例えば1の値を持った画素の数を数えるだけで画像中の人物の肌部分の面積がわかったことになる。1画素の大きさが実寸ではどのくらいかを求めておけば(キャリブレーション)、実際の面積が求められる。

・ImageNos による2値化

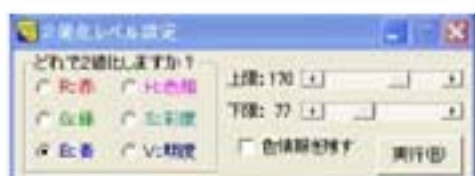


- ① 適当な画像を ImageNos に貼り付ける (画像入力)。
- ② 簡単のために画像をモノクロ化する。「変換」→「グレースケール」→「YIQ 変換」を選択すればよい。
- ③ 「解析」→「水平断面波形」を選択する。水平断面波形ウィンドウが現れる。
- ④ このとき、メインウィンドウの最上部に破線が表れていることに注目。この破線は**左ボタンドラッグ**で上下方向に移動できる(左上図)。例えば、左の例では校舎の上部付近に移動させた。
- ⑤ 水平断面波形ウィンドウの「描画」ボタンをクリック。描かれた線は左上図点線の上の明暗変化を表すラインプロファイル。値が大きいほど明るい(左下図)。



⑥同様の要領で、垂直方向のラインプロファイルも調べられる。左図は建物の上部の水平方向ラインプロファイルと、正中線にほぼ沿った垂直方向ラインプロファイルの例である。

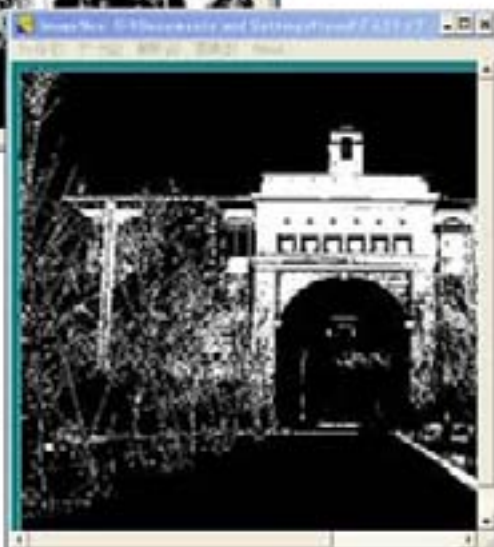
⑦水平、垂直各断面波形ウィンドウのプロファイル上で**左ボタンドラッグ**を行うと破線が移動する。破線の移動に連動して数値軸中央付近の数値(左図○囲み)が変化する。この数値は現在破線がある位置のグレイレベルのモニタである。この機能を使用して、2値化のための上限値と下限値を調べる。上図では、垂直方向プロファイルを使用して上限値(建物の明るい部分、170)を、水平方向プロファイルを使用して下限値(暗い部分の値、77)を探してみた。



⑧しきい値が決まったので、2値化のプロセスに移る。「変換」→「2値化」を選択すると「2値化レベル設定」ウィンドウが開く。「上限」として170を「下限」として77を設定する。「どれで2値化しますか?」については、モノクロ画像なのでどれでもよい(左図)。



⑨「2値化レベル設定」ウィンドウの「実行」ボタンをクリックすると、メインウィンドウの画像が設定にしたがって2値化される(左図上側)。この場合、上限値と下限値の間のグレイレベルを持っていた画素が1として白くなっている。



⑩「変換」→「やり直し」で画像を2値化前に戻す。そして、しきい値を下限値125、上限値165に変更して2値化を実行したものが左図下側である。しきい値の加減ひとつで2値化される領域がずいぶん変わってしまうことがわかる。

・ ImageNos による面積測定(2 値画像解析)

先ほどの 2 値化のプロセスにおいて、下限値 77, 上限値 170 で 2 値化された校舎の画像を用いて、抽出された部分の面積を求める。

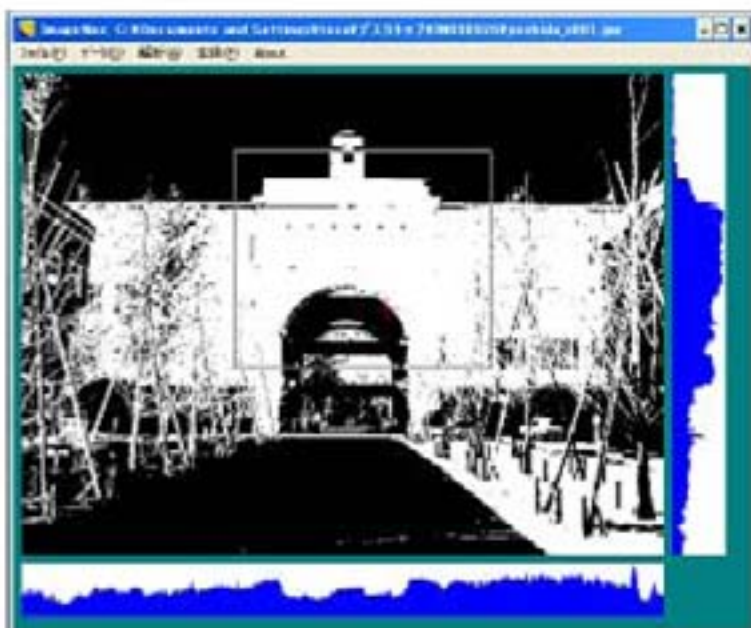


①「解析」→「領域が素数・重心」を選択する。「領域が素数・重心」ウィンドウが開く。

②「実行」ボタンをクリックする。「測定結果」の「画素数」の箇所に示された数値が、2 値画像の白い部分、すなわち建物部分として抽出された領域の画素数である(左図)。領域サイズが $300 \times 300 = 90,000$ 画素、抽出画素数 38,745 なので、画像全体に占める肌部分の割合は約 43%である。

③左図のように 2 値画像の右と下に表れたのは、それぞれ抽出領域の水平方向および垂直方向投影図である。また、左図の女優の顎付近に現れた十字は抽出領域の重心を表している。

④ 2 値画像中に設定された任意の矩形領域内だけについて調べることも可能である。メインウィンドウに表示された 2 値画像の上で**右ドラッグ**すると矩形が描かれる。指を離したときに描かれている矩形範囲内が解析部分となる。この状態で「領域が素数・重心」ウィンドウの「実行」ボタンをクリックすると、所定領域内だけの結果が得られる(左図および下図、面積率約 84%)。



例題

「<http://h1sparc1.kais.kyoto-u.ac.jp/~nakamasa/programing/>」にアクセスすると，ノイズにまみれた筆文字の「W」が見られる（下図）．さて，この W が画像に占める面積は何%だろうか．ImageNos を用いて調べてみよ．



ヒント：まずノイズ除去．次にしきい値を調べて 2 値化，最後に面積測定．

20 数%になるはず．筆文字独特のかすれた部分をどれくらい残せるかがポイント．