第 12 講：生物材料と画像処理・解析法（その 2）

信号の色，服の色，食べ物の色…人は日常生活において当たり前のように色情報を利用して様々な判断を行っている．では，コンピュータに同様の処理を行わせるには何が必要となるのであろうか．コンピュータは色情報をどのように扱うのであろうか．今回はコンピュータ・グラフィックスにおける色表現について概説し，次いで木材色の特徴解析とその利用例について述べる．

1. コンピュータ・グラフィックスにおける色の表現

コンピュータ・グラフィックス(CG)では，色を**光の 3 原色**である赤(Red; **R**)，緑(Green; **G**),青(Blue; **B**)の**重ね合わせ**で表現する．このとき，R, G, B の単色それぞれはモノクロのグレイレベルとして扱える．つまり，R, G, B それぞれについて 0 ～ 255 の 256 階調があると考えるのである．もちろん，これよりも階調数を減らしたり増やしたりする場合もあるが，最も一般的な階調数は R, G, B 各色 256 階調である．

CG における色の表現で最も重要なのは，R, G, B の 3 原色をそれぞれどのくらいの強さで重ね合わせるか，そのレシピを決めることに他ならない．R = G = B という等比率レシピで重ね合わせれば，それは灰色すなわち無彩色を表す．R = G = B = 0（最小値）のとき全く光の無い状態すなわち黒であり，R = G = B = 255（最大値）のとき全ての可視光スペクトル成分が最大強度で均一に混じっている状態すなわち白である．G や B に比べて R の値が大きいときは赤っぽい色となる．B に比べて R と G の値が大きいときは，B（青）の補色の黄色みが目立つことになる．*R* と *B* の値が大きければ，紫色に近づく．

このような原色光の重ね合わせで色を表現する方法は**加法混色**と呼ばれる．単純に言えば，3 原色をどんどん混ぜていくと白色になる混色方法である．この混色法は色光（透過色）の場合に適用されるもので，テレビジョンのブラウン管や液晶ディスプレイはまさにこの方法で色を表現している．画面に表示されることを前提にしている CG も色表現に加法混色を採用している．一方，図画・工作の時間でおなじみの絵の具の場合は**混ぜ合わせ**で様々な色を表現している．絵の具やインキなどの色材の 3 原色にはシアン(Cyan; **C**)，黄(Yellow; **Y**)，マゼンタ(Magenta; **M**)を用いることが一般的である．色材に含まれる顔料に当たった光は，そのスペクトル成分の一部を失った反射光として我々の目に到達する．反射するときのスペクトル成分の失われ方の違いが色覚に結びつくのである．このような色は物体色あるいは反射色と呼ばれる．色材の 3 原色が全部混ぜ合わさると入射光の全スペクトル成分が吸収される（反射されない）ため，黒色が生じる．つまり，絵の具をどんどん混ぜ合わせていくと黒に近づく．このような混色方法は**減法混色**と呼ばれる．このように，CG における色表現と絵の具による色表現の決定的な違いは，加法混色によるもの

か減法混色によるものかにある．

次に **CG で表現可能な色の数**について考えてみる．R, G, B 各色 256 階調の場合，

R		G		B		
256 ×		256 ×		256	=	16,777,216 色（約 1677 万色）
8 bit	+	8 bit	+	8 bit	=	24 bit

となり，理屈の上では約 1677 万色が表現可能である．実際には，人の目にはそれだけの色数の識別能力はなく，また，テレビモニタやプリンタにも表現能力はない．あくまで理屈上の数値である．これだけの色表現能力があればたいていの画像をリアルに CG として示すことができるので，R, G, B 各色 256 階調のカラー表示はフルカラー，True Color，自然階調などと呼ばれる．

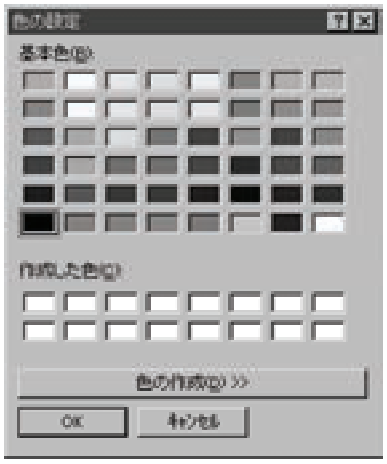
2. R, G, B 値と表現される色の関係

①「スタート」→「プログラム」→「アクセサリ」とたどって,「ペイント」を選択する．左図のような描画ソフトウェア「ペイント」が起動する．

②ウィンドウ左下のパレットのいずれかの色を W クリックする．

③「色の設定」ウィンドウが開く（下左図）.「色の作成」を左クリックするとウィンドウが拡大し，7 色のグラデーションが現れた色平面と明度バーが表示される（下右図）.

④右下の「赤(R)」「緑(G)」「青(U)」欄に 0 ～ 255 の整数値を入力すると R, G, B 各色を 256 階調で指定したことになり，任意の色を表現できる．作成中の色は「色｜純色」欄にモニタされる．また，入力した数値に合わせて十字のカーソルが色平面内を移動し，三角形の矢印が明度バーを上下する．



3. HSB 表色系

R, G, B 値による色表現はカラー CG の基本であるが，各値の大小関係から人が実際に知覚する色を予測することは難しい．そこで，人の色知覚に近いより自然な色表現法である HSV 表色系が CG においてしばしば使用される. HSV 表色系では **H**ue（色相），**S**aturation（飽和度≒鮮やかさ，彩度），**V**alue（輝度≒明るさ，明度）の 3 属性で表示色を表現する．これは物体色の表色系であるマンセル表色系(HVC 系: Hue, Value, Chroma)に近い．H, S, V の各値は以下の変換方法によって R, G, B 値から求められる．

V = MAX　　MAX は R, G, B 値の最大値

S = (MAX - MIN) / MAX　　MIN は R, G, B 値の最小値

H の決定は

TR = (MAX - R) / (MAX - MIN)

TG = (MAX - G) / (MAX - MIN)

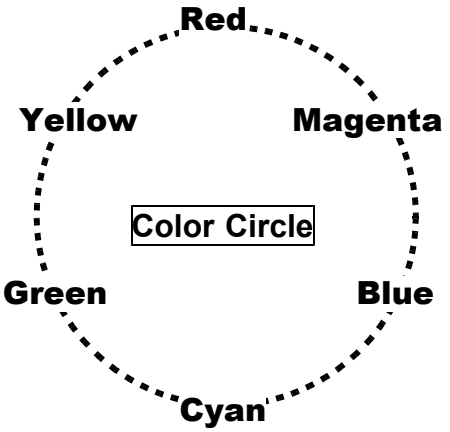
TB = (MAX - B) / (MAX - MIN)

R = MAX の時　H = (TB - TG)　/ 6

G = MAX の時　H = (TR - TB + 2) / 6

B = MAX の時　H = (TG - TR + 4) / 6

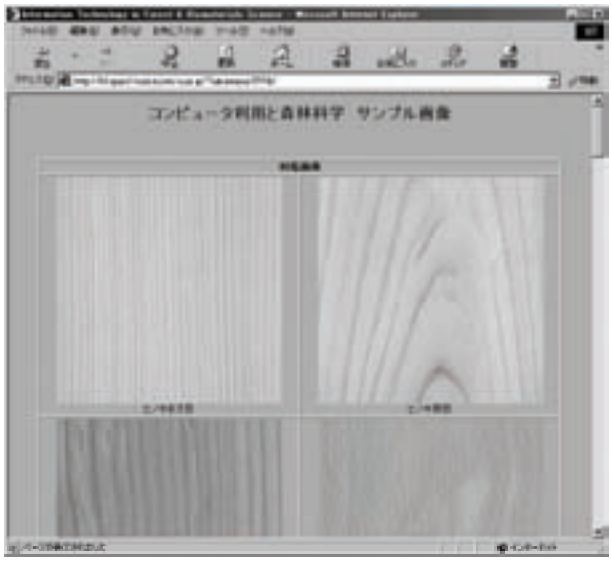
この変換方法によって算出される H, S, V 値はいずれも 0 ～ 1 の実数値をとる．したがって，各値に適当な係数を乗じることにより任意の階調数を設定することもできる．例えば，先ほどの「ペイント」による色の設定では，H, S, V 値はいずれも 0 ～ 240 の整数値に設定されていた（下左図）．ただし，色相を表す H 値だけは 0 ～ 239 である．色相は円環上に分布する（下右図）ので，H = 0 と H = 240 の色相は同じものになるからである．



RGB 系にせよ HSV 系にせよ，CG において色は 3 つの属性値によって表現される（物体色も同様）．これらの値をしきい値として利用したり，各属性値のヒストグラムの特徴を調べたりするのがカラー画像解析である．

4. CG における木材色の特徴解析 1

以下では ImageNos を用いてディジタル化された材鑑画像の色調解析を試みる．



※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．

※左図のホームページにアクセスしておくこと．実習で使用する画像が掲示してある．

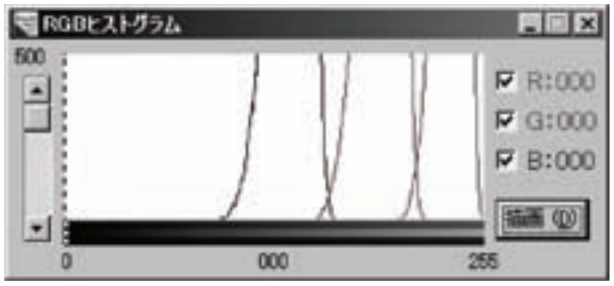
http://h1sparc1.kais.kyoto-u.ac.jp/~nakamasa/ITFB/

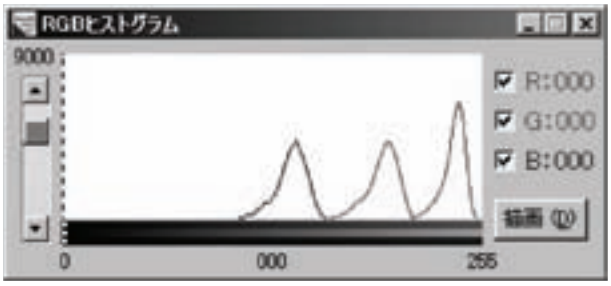
このページの材鑑画像は 300×300 画素（実寸 65mm 角），内装画像は 640×480 画素に統一されている．

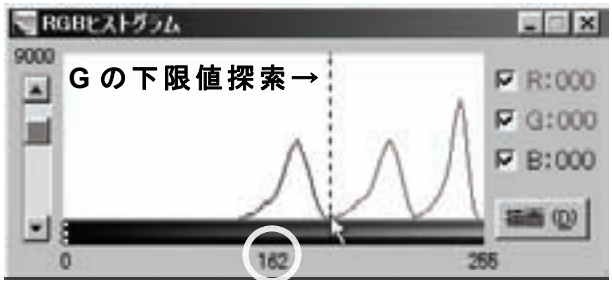
①例えば「ヒノキまさ目」画像の上で**右クリック**し，ポップダウンしたサブメニューの「コピー」を**左クリック**．この画像がメモリにコピーされる．

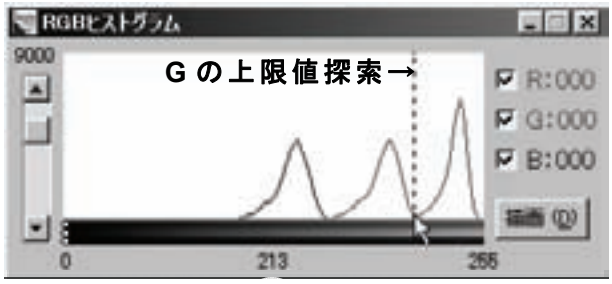
② ImageNos のメニュー項目「データ」を**左クリック**．「貼付」を選択する．コピーした画像が表れるので，ウィンドウの大きさを適当に調節する（左図）．

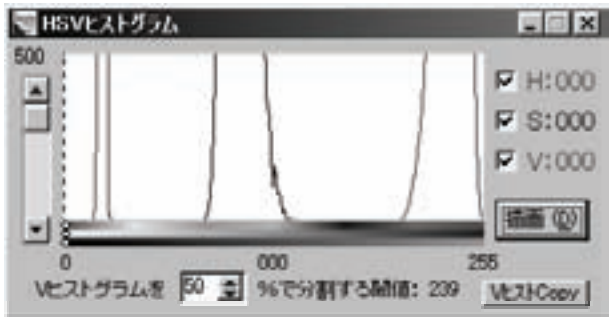
③ ImageNos のメニュー項目「解析」を**左クリック**．「RGB ヒストグラム」を選択する．描画ボタンをクリックすると下左図のような曲線の一部が描かれる．この図は横軸がグレイレベルで縦軸が頻度（画素数）を表している．縦軸のスケールを調節すると（ここでは 9000 画素），下右図のような R, G, B 値それぞれのヒストグラムが得られる．

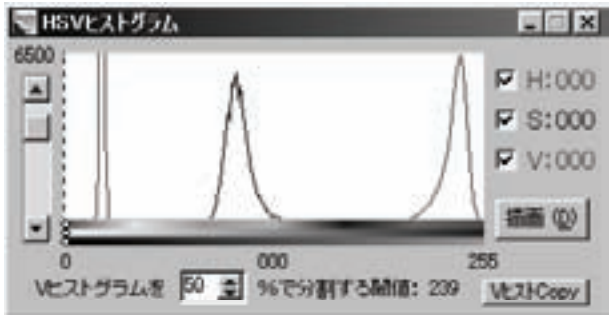










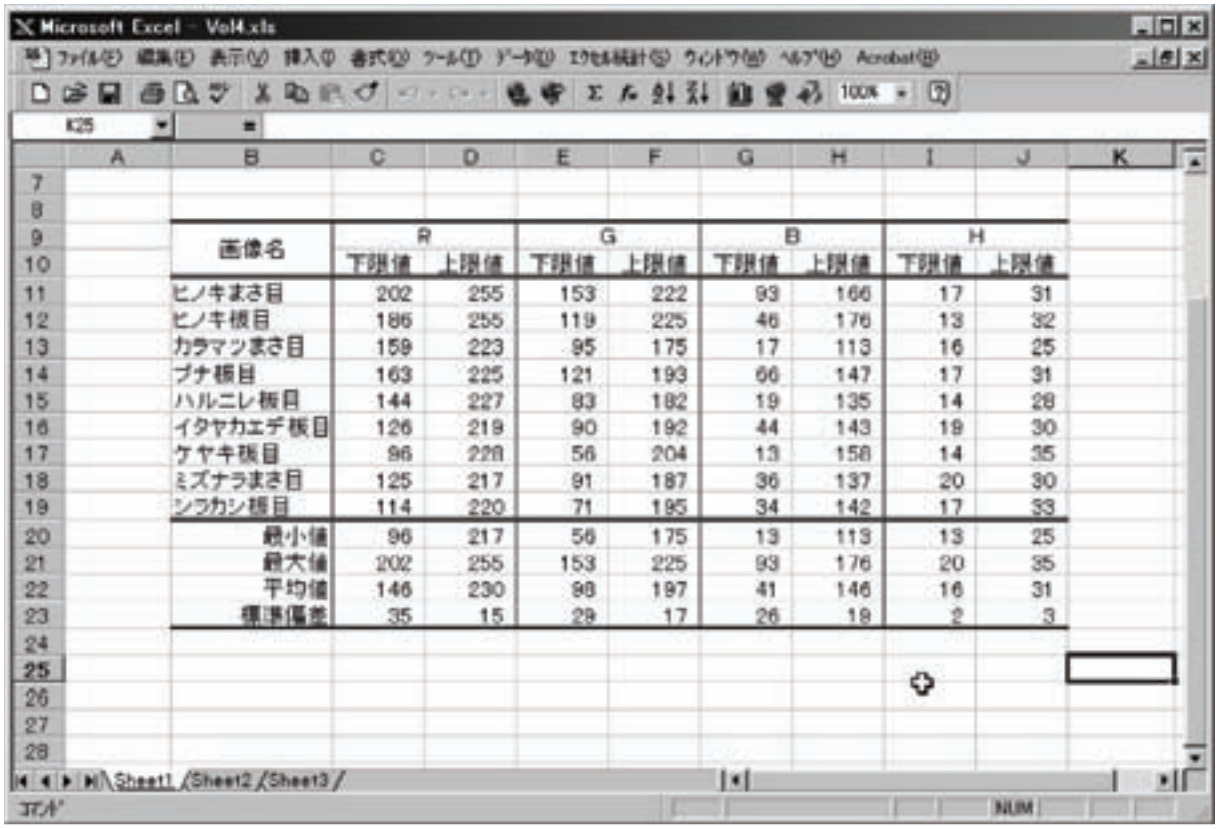


④ R, G, B 値の分布範囲は見事に R > G > B の序列をなしている．そこで，例えば左図のように B 値の上限もしくは G 値の下限あたりにカーソルを合わせて左クリックすると，ヒストグラムの左端にあった破線がその位置に移動し，また，横軸の中央付近にそのグレイレベルが表示される（左図○囲み）．この要領で各値の分布範囲の上限値と下限値を調べる（実際にはヒストグラムの縦軸のスケールを初期値 500 程度にしておく方が調べやすい）．

⑤次に，HSV ヒストグラムについても調べてみる．ImageNos のメニュー項目「解析」を**左クリック**．「HSV ヒストグラム」を選択する．現れた別ウィンドウの描画ボタンをクリックすると左図のような曲線の一部が描かれる．横軸は H，S，V 値（0 ～ 255 の整数値に設定されている）を表しており，赤色の曲線が色相 H，青色が飽和度 S，緑色が輝度 V である．③と同様に頻度を表す縦軸のスケールを調整すると，左図のような全体像が現れる．

⑥先に調べた R, G, B 値がどのような色相，彩度，明度に対応していたのかがこのヒストグラムから読み取れるが，ここでは木材の色味に相当する色相 H（赤色の曲線）に着目する．④と同様の要領で，H 値の分布の上限値と下限値を調べる（左図）．

以上の手順を繰り返して，ホームページに掲載されている 9 種類の材鑑画像ぞれぞれの R, G, B 値の分布の上限値と下限値および H 値の上限値と下限値を調べ，次ページのような一覧にまとめてみるとよい．



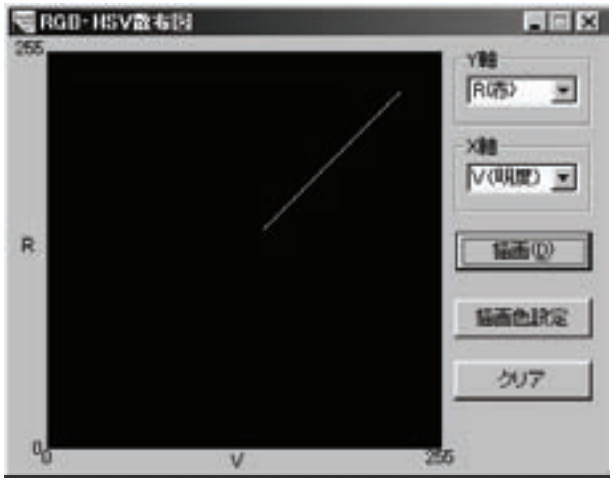
画像名	R 下限値	R 上限値	G 下限値	G 上限値	B 下限値	B 上限値	H 下限値	H 上限値
ヒノキまさ目	202	255	153	222	93	166	17	31
ヒノキ板目	186	255	119	225	46	176	13	32
カラマツまさ目	159	223	95	175	17	113	16	25
ブナ板目	163	225	121	193	66	147	17	31
ハルニレ板目	144	227	83	182	19	135	14	28
イタヤカエデ板目	126	219	90	192	44	143	19	30
ケヤキ板目	96	228	56	204	13	158	14	35
ミズナラまさ目	125	217	91	187	36	137	20	30
シラカシ板目	114	220	71	195	34	142	17	33
最小値	96	217	56	175	13	113	13	25
最大値	202	255	153	225	93	176	20	35
平均値	146	230	98	197	41	146	16	31
標準偏差	35	15	29	17	26	19	2	3

5. CG における木材色の特徴解析 2

上ではヒストグラムに基づく木材色の特徴解析を試みた．ここでは木材色の R, G, B 値の“レシピ”がより一層わかりやすい散布図を用いて，木材色の特徴を調べてみる．

① ImageNos に適当な材鑑画像を貼り付ける（下左図，ここではハルニレ板目）．

②「解析→ RGBHSV 散布図」を選択し，散布図ウィンドウを開く（下右図）．

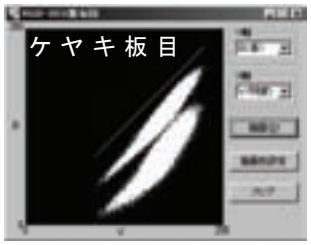


③ X 軸データには「V(明度)」を選ぶ．また，Y 軸データには「R(赤)」を選ぶ．「描画色設定」ボタンをクリックし，描画色に赤色を選択する．描画ボタンをクリックすると左図のようなグラフが描かれる．V 値はその画素の R, G, B 値の最大値である．木材画像ではほとんどの場合 R 値が最大なので，V = R となりやすい．そのため，図が一直線になっている．

④ Y 軸データを「G(緑)」に変更し，描画色を緑色などに変更する．「描画」ボタンをクリックすると輝度値 V に対する G 値の散布図が描かれる（左図）．

⑤さらに，Y 軸データを「B(青)」，描画色を青色に変更して V 値に対する B 値の散布図を重ね書きすると，左図のようなグラフが得られる．

下の 4 つのグラフは他の画像について調べた結果である．



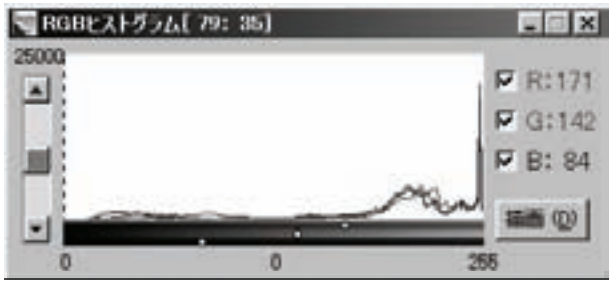
これらの図より，1) 明るい木材色ほど R, G, B 値も大きい，2) 木材色を構成する R, G, B 値の間には R > G > B なる明白な大小関係が成立している，ということがわかる．

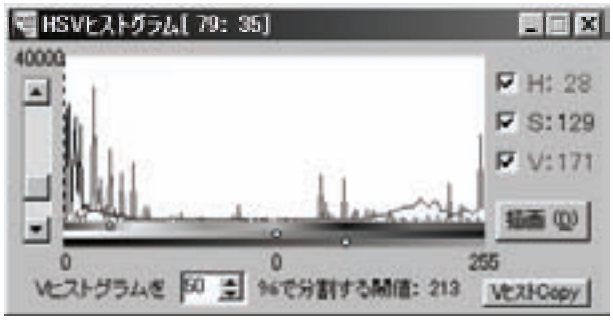
5. インテリア画像における木材色領域の抽出

上で行った材鑑画像のヒストグラム解析は，ディジタルデータとなった木材色の特徴を数値として抽出したことに他ならない．ここではその結果を利用して，住宅内装を撮影したディジタル写真から木材色領域を抽出することを試みる．この解析法はある室内に用いられている（表面に現れている）木材量を類推することに応用できる．

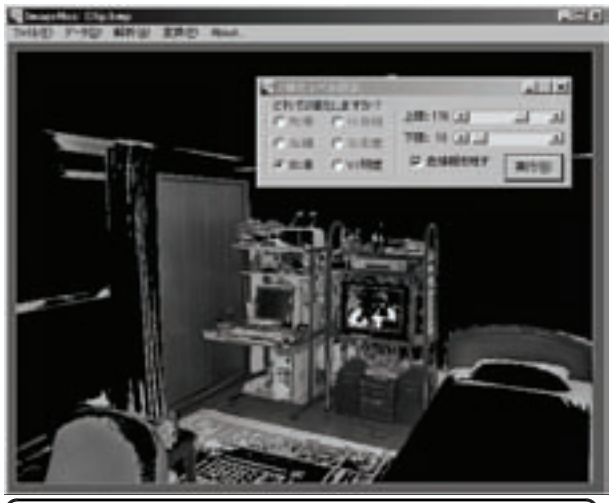
①材鑑画像と同じホームページの下側に 6 つの内装画像（インテリア画像）が掲示されている（下左図）．いずれも男子学生の居室である．そのいずれかをコピー＆ペーストにより ImageNos に取り込む（下右図）．

②試みに取り込んだインテリア画像のヒストグラムを調べてみる．先ほどの材鑑画像とは全く様相が異なることがわかる（下図）．



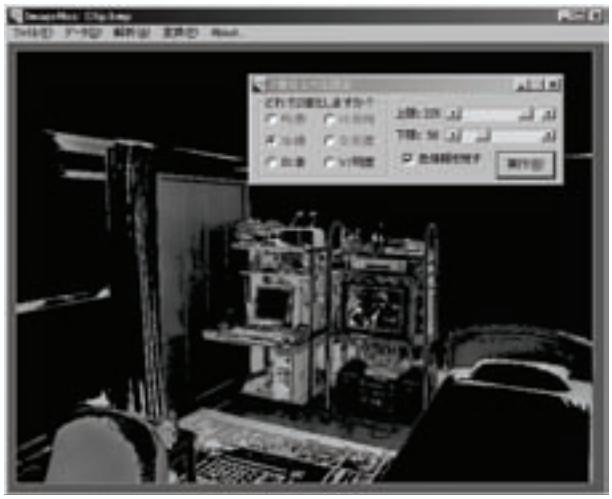


③ ImageNos のメニュー項目「変換」から 2 値化を選択する．「2 値化レベル設定」ウィンドウが開くので，「色情報を残す」にチェックを入れておく（左図）．



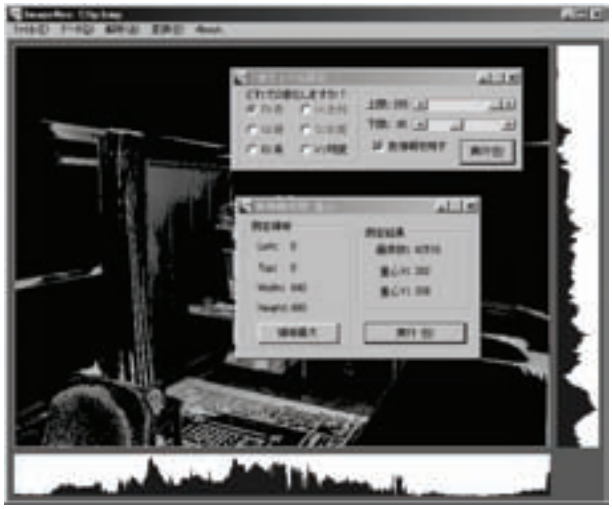
B 情報によるしきい値だけでも，クローゼットの扉，ベッド側板など木材色部分がかなりうまく抽出されていることがわかる．

④ 2 値化のしきい値として，例えば B（青色）情報を利用する．先ほどの材鑑画像の B 値のヒストグラム解析結果より，B 値の下限値の最小値および上限値の最大値を，しきい値の下限値および上限値としてそれぞれ与えてみる（木材色表現に必要な B 値がなるべく幅広く選択されることになる）．「実行」ボタンをクリックすると，B 値がこの上下のしきい値範囲内にある画素は色情報が保持されるが，それ以外の画素は黒に変化する（左図）．



この例では，木材色部分であっても，影になって暗い部分が 2 値化領域からはじかれてしまっている（誤認識が多くなっている）．

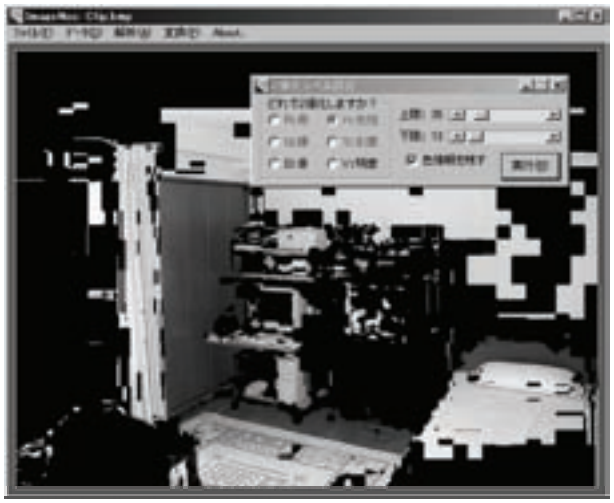
⑤次に G（緑色）情報を用いてしきい値の設定を行う．先ほどと同様に G 値の下限値の最小値および上限値の最大値を，しきい値の下限値および上限値としてそれぞれ与えて 2 値化を行う（左図）．



⑥さらに R（赤色）情報についても同様にしきい値を設定して 2 値化を行う．

⑦「解析」→「領域画素数・重心」機能を用いて，木材色とみなされた領域の画素数をカウントする（左図）．

R 情報のしきい値を設定して 2 値化を行った．最終的に木材色領域が抽出されたはずだが，手前の椅子や絨毯も残っており，誤認識が多い（しきい値の不良設定が原因）．抽出された領域の画素数は 42,516．全体画素数は 640 × 480（約 30 万画素）なので，面積率は約 14%となる．



⑧次に H（色相）情報に基づいた 2 値化を試みる．まず，解析画像をリフレッシュ（貼付直し）しておく．材鑑画像の H 値のヒストグラム解析結果より，H 値の下限値の最小値および上限値の最大値を，しきい値の下限値および上限値としてそれぞれ与え，2 値化を行う（左図）．

H 情報に加えて V 情報のしきい値（下限値 0，上限値 150）も併用して 2 値化した場合．クローゼットの扉，ベッドの側板，パソコンラックの天板，床など，木材色部分がかなりうまく抽出できた．領域画素数 34,293，面積率 11%.

⑨例えば，白い壁や布などが残っていれば（白色は照明の関係で薄黄系の色調に写りやすく，色相情報だけでは木材色と誤認識される場合がある），V（輝度）値のしきい値も設定してみる．この場合，全体の中で白く明るい領域を除きたいので，下限値は 0（暗い側は全て残す），上限値を例えば 6 割程度に設定し，2 値化を行う（左図）．

⑩「解析」→「領域画素数・重心」機能を用いて，木材色とみなされた領域の画素数をカウントする．

他の部屋についてもその木材色領域を同様に調べてみよ．

上の例では HSV 系をしきい値に用いる方がたまたまうまく 2 値化できているが，対象とする画像の性質を詳しく調べておけば，2 値化のしきい値設定に関して RGB 系と HSV 系のどちらが特に優れているということはない．ただし，HSV 系は人の知覚に近い表色系なので直感的なしきい値設定を行いやすいという利点がある．