

画像の数量的色彩分析システムの開発

小林光夫
電気通信大学 情報通信工学科
〒182 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

鈴木卓治
国立歴史民俗博物館 情報資料研究部
〒285 千葉県佐倉市城内町 117
suzuki@rekihaku.ac.jp

絵画、建築、景観などがもたらす色彩美を科学的に究明するための道具として、画像の数量的色彩分析システムを開発した。システムは、(1) 多量の画像データの扱い、(2) 機械独立の色値、(3) 多種多様な表色系・色空間の利用、(4) 情報の抽象化、(5) さまざまな視点からの可視化、(6) 分析目的に応じた種々の情報の抽出、の6つの要求を満たすように設計され、実現されている。このシステムが有効に働くことを示すいくつかの色彩分析の例を、合わせて紹介する。

A Software System for Quantitative Analysis of Color Images

KOBAYASI, Mituo
University of Electro-Communications

SUZUKI, Takuzi
National Museum of Japanese History

A software system of quantitative analysis of color images was designed and implemented. The system was specially developed to aim at multiple analysis of color features among a large number of images.

Special features of the system are (1) transformation of color values among several color spaces, (2) extraction of representative colors and segmentation of images, (3) visualization of constituent colors on a 3D color space and on a 2D picture plane, and (4) statistical data analysis including multivariate analysis.

1. はじめに

色彩は、日常のあらゆる場面で、心に影響を与えている。われわれは、絵画、建築、景観などがもたらす色彩美の科学的な究明を目標とし、画像の数量的色彩分析システムの開発を進めてきた [1, 2]

科学的な分析のためには、コンピュータと数学を基礎とする分析の道具が欠かせない。既存の画像処理システム¹は色値を標準の表色系上で扱う機能をもたないか、もっていても極めて貧弱である。また、既存の色彩処理システム²は、画像を処理する機能をもっていない。

さらに、現在ネットワーク上で流通している画像の色値は、ほとんど機械依存のRGB値またはその変形であり、研究のもととなる画像の記録形式としては採用できない。

以上の理由から、われわれは、分析に必要なソフトウェアシステム（以下システムと略記）を独自に開発

してきた [1]。このシステムは、単なる分析だけでなく、色彩計画・色彩設計・色彩教育などへの広範な応用が可能である。

本稿では、このシステムの開発における要求・設計・実現と、それをういた分析の事例を述べる。

2. システムに対する要求

システムへの要求を、抽象的に要約すれば、多量のデータを対象に、さまざまな視点から可視化を行ない、数量的分析によって客観的な特徴を抽出できること、そしてこれらが有機的に連関していること、である。以下に要求を具体的に述べる。

(1) 多量の画像・色彩データの扱い。これらのデータは、画集や色票集などから採録された、かなりまとまった量であることが多い。したがって、多量のデータの収録、保存、検索ができなければならない。また、画像から色分布（どの色がどれくらいあるか）や色配

¹ pbmplus/netpbm, NIHimage, ImageMagick, CVIPtools などをはじめ、ソースコードの公開された無料のソフトウェアが多数存在する。pbmplus/netpbmは、種々の画像処理プログラム群の集積であり、インターネットで広く流通している。NIHimageは、米国保険省で医療用の画像解析用に開発された。ImageMagickは、デュボン社が著作権を有するが無料で利用できる。CVIPtoolsは、南イリノイ大学で開発された。

² 彩チェック、調色専科、CM-S9wなどが存在する。彩チェックは(株)コアサイエンスの製品。調色専科は(株)日清紡の製品。CM-S9wはミノルタ(株)の製品。測色装置と組み合わせて色彩情報を正確に管理することができる。無料ではない。

置(どの色がどこにあるか)などの情報が抽出できなければならない。

(2) 機械独立の色値. 画像入出力装置が直接扱うデータは、通常機械依存である。一方、客観的な分析のためには機械独立な色値データが必要である。したがって、入出力の際に、機械独立の色値と機械依存の色値の間の相互変換ができなければならない。

(3) 多種多様な表色系・色空間の利用. 現状では、利用目的に応じた多くの表色系や色空間が存在し、また実用されている。さらに、人文学を含む広い分野における色彩情報処理のためには、人間の色知覚にもとづく表色系・色空間も必要となる。この分野の研究は発展途上である。したがって、色彩画像の分析は、よりよい表色系・色空間を求める研究と並行してすすめるを得ない。これが、種々の表色系や色空間をシステムに用意せざるを得ない理由である。

(4) 色彩情報の抽象化. 色彩分析のためには、重要な前処理として、余分な情報を捨象した、情報の簡略化、抽象化が必要となる。色の面では、画像に含まれる膨大な色から、ノイズや誤差の成分を除く代表色抽出が必要となる。色の側だけでなく、画面の側でも、画面を粗く分割し、小区画の色を一色に置きかえるモザイク処理が有効である。

(5) さまざまな視点からの可視化. 研究開発には発見的な(heuristic)アプローチがつきものである。その意味で、色彩・画像情報の可視化は最重要機能ともいえる。たとえば、3次元色空間における色分布の透視図や、明彩度面や色度面といった2次元面への投影図を作ることができること、などが望まれる。また、表色系・色空間の特性に応じた適切な可視化も重要である。

(6) 分析目的に応じた種々の情報の抽出. たとえば画像からは、画像の構成色の色分布や画面上の色配置に関する種々の統計量を抽出すること。さらに、多量の画像群の色彩的特徴を抽出するために、統計処理や多変量解析などの分析手法が使えることが必要である。

さらに色差分布や色差配置も作ることができる。

部分画像の抽出、画像の合成、モザイク画の作成など、基本的な画像処理の機能も必要である。

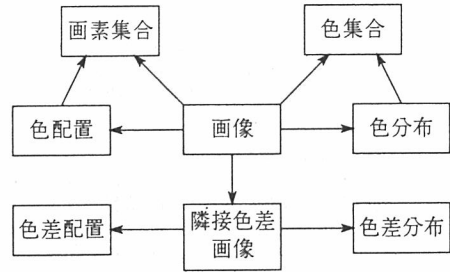


図1: 画像から抽出できる情報

(2) 画像と色の入出力

画像の入出力装置として、イメージスキャナ、CRT、カラープリンタに加えて、デジタルカメラやプロジェクタなど、さまざまなものが使えるようになってきた。

各装置における色の表現(多くはRGB値)と標準の表色系(CIE XYZを採用)との色値変換を備える。色値変換関数は、機器の特性を計測してあらかじめ求めておく(図2)。

色の出力については、装置による色再現域(gamut)の違いに注意する必要がある。本システムは分析が主目的であるので、最小限の対策をとる。すなわち、正確に発色可能な色だけ出す場合と、色が抜けないように最小限の色再現域調整(gamut mapping)を施す場合の、二つを用意する。

今後は、sRGB[3]にしたがう装置やICC profile[4]をもつ装置が増え、精度の向上が期待される。

既存の画像フォーマットとの相互変換も必須である。色値の入力は、測色計による入力、テキストデータとしての入力を受け付けるようにする。

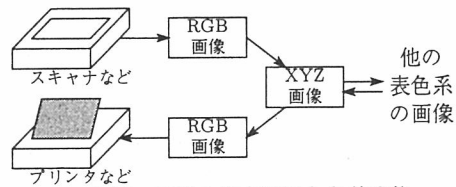


図2: 画像入出力装置と色値変換

3. システムの設計

(1) 画像・色分布・色配置

画像は、画素に色を対応づけた色彩画像、実数値を対応付けた単彩画像、および真偽値を対応づけた2値画像の3種類を考える。単彩画像は、白黒画像や、色値の一成分だけからなる画像に用いる。2値画像は、画像処理におけるマスクを扱うときなどに用いる。

色彩画像からは、画素集合、色集合、色分布、および色配置を抽出することができる(図1)。特別なものとして、隣あう領域間の色差を表わす隣接色差画像、

(3) 表色系と色空間

システムで扱える表色系・色空間を図3に示す。

CIE(国際照明委員会)の定める心理物理量に基づく表色系・色空間と、人間の色知覚に基づいて色票を配列することにより定められる色票系(顕色系ともい

う)の双方[5]で著名なものを扱えるようにし、相互に色値変換が行なえるようにする。表色系によっては、色値の変換時に、光源の種類など、視環境に対応するパラメータが必要となる。

また、現在盛んに研究が進められている“色の見えモデル[5, 10章]”に基づく表色系についても、著名なものは扱えるようにし、相互に比較・評価を行なえるようにする。これらは、色値変換の過程が複雑であり、照度や背景の色など、パラメータの数も多い。

表色系に準じる色体系として、色名系も重要である。とくに、系統色名や色相とトーンによる色の表示[5, 16章]はよく使われる。

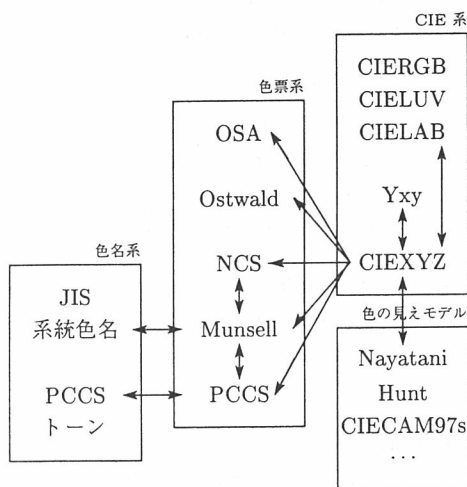


図3: 表色系・色空間と色値変換関数

(4) 代表色抽出とモザイク化

代表色抽出の方法として、色空間を均等な直方体に分割し、各直方体内の色を1色で代表する均等分割法と、あらかじめ与えた代表色によって、色空間をボロノイ分割し、各分割成分(クラスタ)に含まれる色を1色で代表するクラスタ分割法を提供する。われわれが開発した逐次クラスタ分割法[6]は、ただ1つの代表色から始めて、代表色を1つずつ増やす方法であり、色数があらかじめわからない場合にとくに有効である。なお、意味のある代表色抽出を行なうには、CIELUV, CIELABなどの均等色空間[5]で色値を扱う必要があることに注意する。

画面のモザイク化についても、均等分割とボロノイ分割がありうる。

代表色抽出	$\left\{ \begin{array}{l} \text{均等分割} \\ \text{3Dボロノイ分割(クラスタ分割法)} \end{array} \right.$
モザイク化	

図4: 情報の抽象化

(5) 色分布・色配置の可視化

色空間における色集合や色分布の可視化は、データ分析のための重要な処理である。それぞれの表色系・色空間ごとに最適な表示を行なう必要がある。

可視化の方法は、大きく3次元、2次元、1次元の3種類に分けられる。

透視図による3次元表示は、色空間内の色の位置関係を把握するのに役立つ。適切な座標軸に加えて、格子、円柱、三角などの補助線が有効である。

色の3成分のうち2成分だけを図示した投影図や、Munsell, PCCSにおける色相図・トーン図やNCSにおける色相図・ニュアンス図は2次元表示の例である。

色の種類と面積比を表わす帯グラフや色表は1次元表示の例である。円グラフも便利である。

(6) 統計処理

基本的な統計処理として、画素集合、色集合、および色分布を対象に、ヒストグラム、平均、分散、標準偏差、分散共分散、最大値、最小値、中央値などを求められるようにする。3次元の分散共分散を偏差楕円体で色空間に可視化したり、2次元の分散共分散を偏差楕円体で画面上に可視化したりすることも有効である。

大量のデータから色彩的特徴・構造を抽出するには、多変量解析が欠かせない。これについては、既成のソフトウェアパッケージの利用も考えるべきである。

4. システムの実現

システムの構成を図5に示す。システムは、プログラム部品群としてのライブラリ、作業ツールとしてのプログラム群、そして、大量のデータに対して定型の分析処理を施すためのスクリプト群の、3段階の階層をなしている。

システムは現在、UNIX ワークステーション上(SunOS および Linux)で、C語を用いて開発されている。GUIはXを使用している。作図にはPostScriptを用い、論文への貼込みを考慮した。

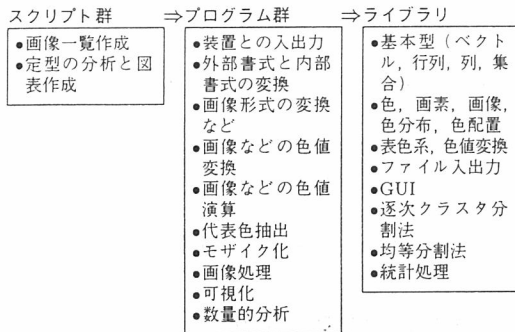


図5: 実現したシステムの階層

5. 分析の事例

システムを利用した分析例を4つ示し、システムの各機能が有効に機能していることを示す。

(a) 色分布の分析. Paul Klee の絵画「バッハのスタイルで」(図6)の色分布を図7に示す。たくさんの色が雲状に分布している。これから20色の代表色を抽出して作成した代表色画像および代表色分布を図8および図9に示す。少数の代表色で画像の色彩的特徴がよく抽出されている。代表色分布の三面図(図10~12)に色分布の偏差楕円体[7]を合わせて描くことにより、色分布のおおまかな特徴がとらえやすくなる。代表色の面積比を帯グラフにしたものを図13に、代表色値の表を表1に示す。各代表色とその面積比を比較観察するのに適した表現である。図14および図15は、代表色分布をMunsell表色系およびNCS表色系上で表わしたものである。ひとつの表色系だけでは見つけにくい代表色分布の特徴を見出すことができる。文献[2]では、このようにして、種々の絵画の色分布の可視化と配色形式との関係を調べた。

(b) 色配置の分析. 図8の代表色画像について、濃い赤(表1における4番の色)の色配置を図16に示す。色配置を代表する偏差楕円も合わせて描いてある。図17は、すべての代表色の偏差楕円を重ねて描いた図である。図18は、各代表色の色配置の中心を図示し、さらにその分布の状況を表わす新たな偏差楕円を重ねたものである。文献[8]では、このようにして画家ごとの色配置の特徴を計量的に分析し、顕著な特徴を示す画家の存在を確かめた。

(c) 色相-トーンによる分析. Raoul Dufy の作品17点について、代表色がどの色相-トーンに属するかを示した図を図19~24に示す。このような大まかな色体系によっても、Dufy の特徴であるあざやかな青の色使いがはっきり分かる。文献[9]では、このようにし

て、8人の画家の作品群について色相-トーンによる特徴分析を行なった。

(d) 絵画の自動分類. Caravaggio, Franz Marc, Maurice Utrillo の3名の画家の作品計50点について、代表色分布間の距離にもとづく階層クラスタ分析により、絵画の分類を行なった[10]。図25の樹状図にしたがって、距離30でわけた各クラスタに属する画像を図26に示した。画像の色彩的印象とクラスタ分割がうまく対応していることがわかる。

6. おわりに

開発したシステムが、実際の色彩分析に役立つことを示した。

分析の経験を積み、必要な道具立てが明らかになったことから、色彩教育や色彩計画の現場で利用できるパソコン上のシステムを開発する計画である。

より精密な分析のためには、絵画画像データベースの構築が必要である。研究目的ならば自由に利用できること、色値が標準の表色系により表わされていること、測色条件などが付与されていること、などが求められる。博物館・美術館における課題のひとつであろう。

なお、システムの開発及び分析研究の一部について、平成7年度から10年度にかけて文部省科学研究費補助金(重点領域研究「人文科学とコンピュータ」の公募研究)の交付を受けた。

参考文献

- [1] 小林光夫, 鈴木卓治: 画像の色彩情報処理システムに関する一提案, 第10回色彩工学コンファレンス論文集, pp.71-74(1993-10).
- [2] 小林光夫: 色彩美の探求 — 配色問題へのアプローチ —, カラーフォーラム JAPAN '95 論文集, pp.37-44(1995-10).
- [3] IEC/CD 61966-2.1 "Color Measurement and Management in Multimedia Systems and Equipment, Part 2.1: Default RGB Colour Space — sRGB"(1999).
- [4] "Spec ICC.1:1998-09, File Format for Color Profiles," International Color Consortium (1998).
- [5] 日本色彩学会(編): 新編色彩科学ハンドブック(第2版), 東京大学出版会, 1998.
- [6] 小林光夫, 鈴木卓治: 逐次クラスタ化法を用いた画像の色彩分析, 色学誌, Vol.19, Suppl., pp.72-73(1995-5).
- [7] 小林光夫, 鈴木卓治: 絵画の色彩分析の試み — 色分布の形状による絵画の分類 —, 電通大紀要, Vol.9, No.2, pp.1-19(1996-12).
- [8] 小林光夫, 三木智晴: 絵画の色彩分析の試み — 画面上の色の配置に着目して, 電通大紀要, Vol.8, No.1, pp.23-32(1995-6).
- [9] 小林光夫, 鈴木卓治: 色相-トーンによる絵画の色彩分析の試み, カラーフォーラム JAPAN '97 論文集, pp.141-144(1997-11).
- [10] Kobayasi, M., Suzuki, T.: Quantitative Analysis of Color Features in Paintings — Classification based on Distance of Color Distribution in Color Space —, Proceedings of the 8th Congress of the International Colour Association, Vol.1, pp.367-370(1997-5).

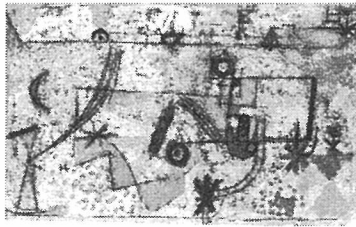


図 6: Paul Klee 「バッハのスタイルで」

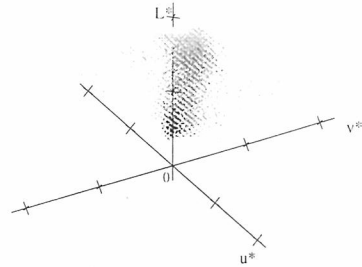


図 7: 図 6 の色分布 (CIELUV)

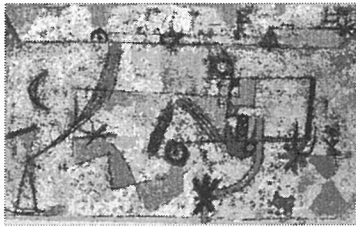


図 8: 図 6 の代表色画像 (20 色)

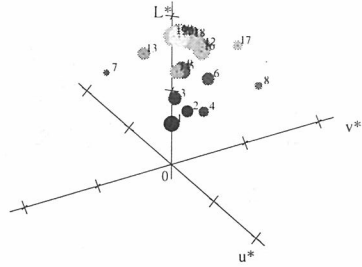


図 9: 図 8 の色分布 (CIELUV)

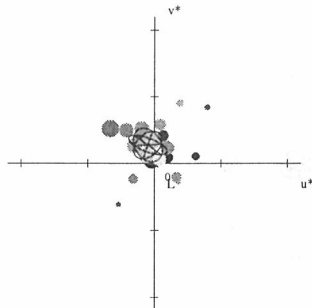


図 10: 図 9 の投影図 (L^* 方向)

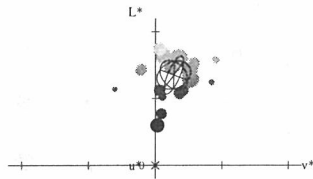


図 11: 図 9 の投影図 (u^* 方向)

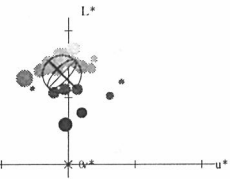


図 12: 図 9 の投影図 (v^* 方向)

表 1: 図 9 の色表

No.	Weight	L^*	u^*	v^*	Color
1	0.050	27.24	-0.47	0.29	■
2	0.029	39.78	10.32	4.65	■
3	0.035	41.18	-4.26	4.51	■
4	0.021	49.65	30.45	4.22	■
5	0.039	52.98	-11.05	14.17	■
6	0.032	55.59	7.57	20.26	■
7	0.009	56.85	-27.18	-28.89	■
8	0.012	61.44	38.40	36.73	■
9	0.049	63.71	2.00	5.43	■
10	0.082	63.80	-34.18	24.61	■
11	0.065	68.08	-23.48	22.39	■
12	0.063	68.46	-6.86	24.57	■
13	0.032	70.02	-15.49	-10.15	■
14	0.040	72.91	17.04	-6.48	■
15	0.092	74.52	-15.61	15.32	■
16	0.061	76.54	9.22	14.83	■
17	0.019	78.05	16.14	35.38	■
18	0.107	78.79	-3.70	15.62	■
19	0.080	80.57	-8.60	5.98	■
20	0.083	85.98	1.84	3.77	■

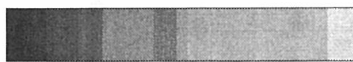


図 13: 図 9 の帯グラフ

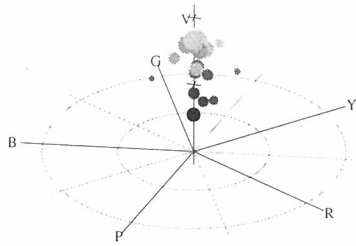


図 14: 図 8 の色分布 (Munsell)

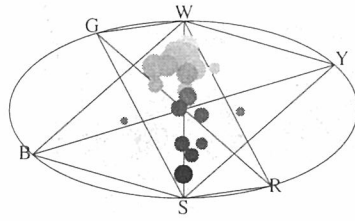


図 15: 図 8 の色分布 (NCS)

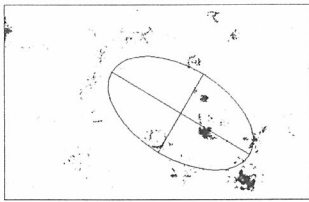


図 16: 色配置と偏差楕円

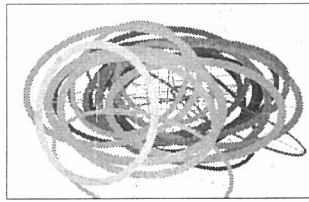


図 17: 全代表色の偏差楕円

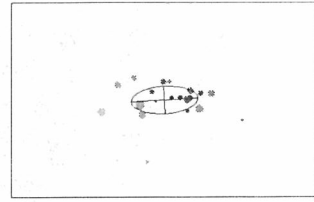


図 18: 色配置中心と偏差楕円

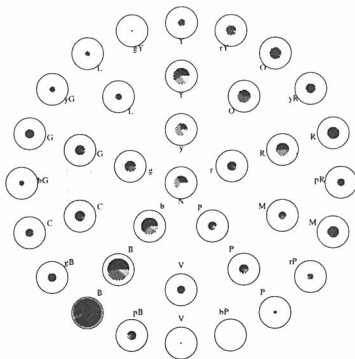


図 19: JIS 系統色名による色相分析

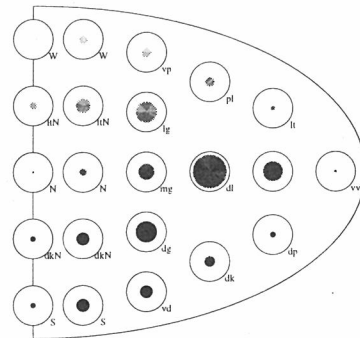


図 20: JIS 系統色名によるトーン分析

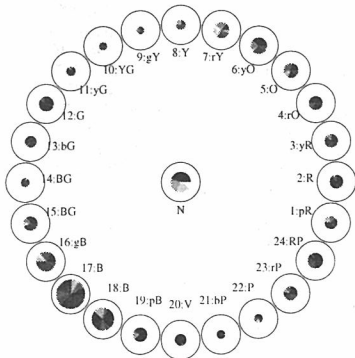


図 21: PCCS による色相分析

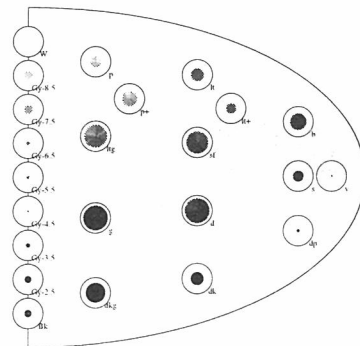


図 22: PCCS によるトーン分析

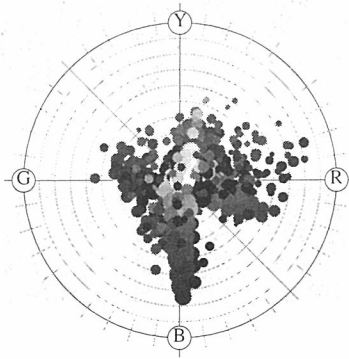


図 23: NCS による色相分析

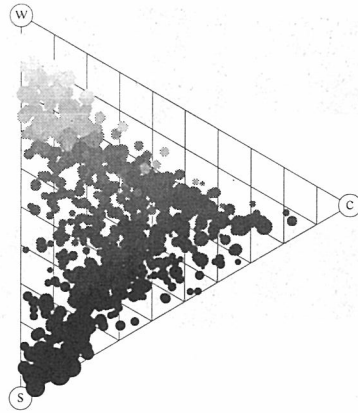


図 24: NCS によるニュアンス分析

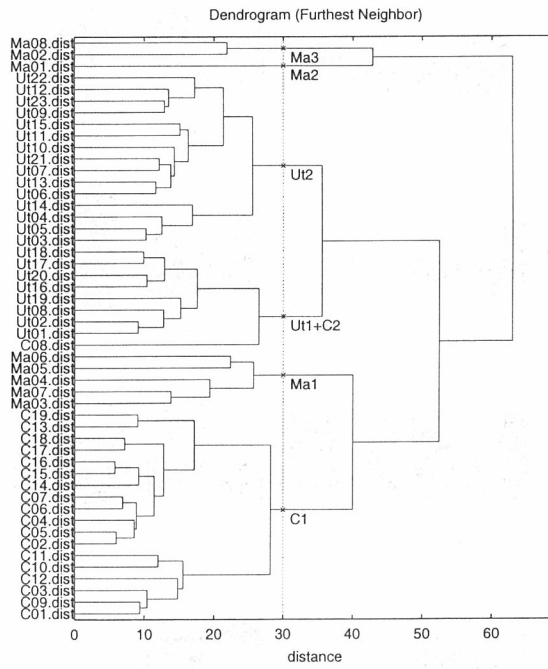


図 25: クラスタ分析における樹状図



図 26: クラスタ分析による絵画の分類