

Title	カラー画像計測とコンピュータ処理
Author(s)	富永, 昌治
Citation	大阪大学大型計算機センターニュース. 1986, 60, p. 95-102
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/65680
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

カラー画像計測とコンピュータ処理

大阪電気通信大学 富 永 昌 治

1. はじめに

近年、計算機科学分野の発展および光電子技術の進歩に伴って、カラー画像情報の必要性が高まっている。これまで計算機画像処理といえば2値画像や濃淡画像などを中心として多くの技法が開発されてきた。しかしカラー情報とモノクロ情報のもつ情報量の圧倒的な違い、またカラーディスプレイ装置など周辺機器が普及しつつあることから、カラー画像は多様な情報を処理するうえで必要・不可欠なものとなってきた。このことは人間の視覚系が、2値やモノクロではなく、カラーの世界で対象を知覚しているから、計算機の視覚系も同様な機能をもつことは当然の帰結といえる。

カラー画像の研究は電子工学、色彩工学、および計算機科学の各分野に一定の共通した領域をもつ研究といえるが、また各分野の総合した知識も必要で、AND/OR的な学際領域を形成しているようである¹⁾。色彩の研究は17世紀の物理学者ニュートンに始まる古くて、しかも未だに多くの問題を秘めた新鮮な分野である。最近も色覚の本質にかかわる網膜皮質理論という研究が紹介されている²⁾。従来色の計測は一点一点の色を評価するための計測方式が多かった。2次元の色彩情報を高速に計測し、処理する技術がこれから必要と思われる。他方、計算機科学の分野では、カメラを用いて計算機に視覚情報を入力して処理を行ったのは計算機が普及した1960年代である。その後人工知能という新しい研究分野が開拓された。その中で、計算機が外界のシーンを観測し、それを理解することを目的とするコンピュータビジョンの研究が重要な位置を占めている。外界からの視覚情報としてカラー画像の有用性はいうまでもない。

色の計測はよく知られているように色知覚の3色性に基づいている。R、G、B3原色の混色によって実にさまざまな色を作り出すことができる。カラー画像の計測装置としてテレビカメラやスキャナが一般的であるが、カラーテレビはR、G、Bの色度座標があらかじめ定められており、そのため計測系は規格化されていると考えてよい。技術的には入射光をR、G、Bの3種類のフィルタを通して分光することが基本となる。しかしながら、「光線には色がついていない」というニュートンの有名な言葉があるように、光と色の関係は人間の介在で初めて関係づけられる。すなわち光線が眼に入射し、その刺激が脳に伝えられて初めて色の感覚が生まれるのである。色彩計測は光技術の中でも最もヒューマンファクタが考慮されるべき分野である。

以下では、まず色の表現法について概説した後、カラー画像計測系および信号処理の具体例として、筆者らが開発したシステムと手法を紹介する。

2. 色の表現

色彩学の分野では色を表現するための表色系がいくつか考案されている³⁾。このうち我々にとって直感的でわかりやすい方法は、色を心理物理量で指定するよりも、色相、明度、彩度という心理知覚的な尺度を用いる方法である。マンセル表色系はこのような3属性を用いて組み立てられており、具体的なものとしてマンセル色立体やマンセル色票などが、表色系に準拠した色見本として国内外のあらゆる分野で使用されている。マンセル表色系では3属性をヒュー、バリュー、クロマの専門用語で呼んだりする。図1にこの表色系の構造を示す。各属性の定義は次のようである。

(1) 色相(H)：光スペクトルの異なった波長の組み合わせを表わす属性である。例えば、虹の色が赤、橙、黄、・・・という名前でも並べられるように、波長に関連する視感覚の属性である。赤(R)、黄(Y)、緑(G)、青(B)、紫(P)と中間色YR、GY、BG、PB、RPの10色相を基本色相とする。各基本色相をさらに10分割し、全体で100色相が知覚的に等ステップで図1のように円形に配列される。我々は色相を数量化して、 $0 \leq H < 100$ の実数値で表わしている。

(2) 明度(V)：明るさ、暗さを特徴づける。理想的な白を最高明度で $V=10$ 、理想的な黒を最低明度で $V=0$ とする。その間の灰色を知覚的に等ステップで分割している。

(3) 彩度(C)：色味の強さを尺度化する属性である。同じ明るさの赤であっても、赤味の強い場合と、弱くて灰色に近い場合もある。無彩色を $C=0$ とし、通常の物体色は精々 $C < 15$ である。

このように任意の物体色は、無彩色を中心軸とするH、V、Cの円筒座標系で表色される。

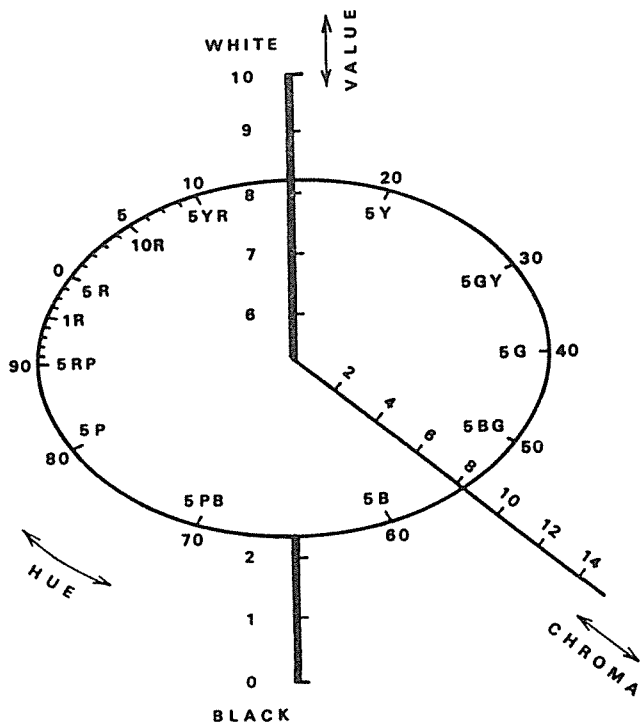


図1 マンセル表色系

3. 画像計測系

画像入力装置は汎用ドラムスキャナ（阿部設計2605型）で、図2に光学系の概要図を示す。計測対象は印刷物や写真印画紙上のカラー画像である。このためドラムスキャナを反射測光方式で使用している。試料表面からの反射光がB/W（白黒）、R、G、Bの4成分に分光される。この色分解はダイクロミックミラーとラッテンフィルタを組み合わせで行われている。色分解特性はラッテンフィルタを変えることによって、ある程度変更可能である。図3は検出器の感度まで考慮した測色系全体の色応答関数の一例である。

B/Wの応答関数は比視感度曲線に適合させる必要がある。この理由は、人間の眼に感ずる明るさは可視光でも波長によって変化し555nm付近の波長が最大となることが知られているからである。この波長特性を比視感度と呼ぶ。したがってB/W信号の応答関数をこの曲線に一致させれば、計測信号は色味などに依存することなく、真に明るさ情報のみを含むことになる。また、R、G、Bの応答関数については、それぞれの関数の形について制約を付けることはあまり意味がなく、全体としての応答特性が標準観測者の視覚系の応答関数を表現すればよいことになる。測色論の助けを借りて具体的にいえば、ドラムスキャナの応答関数は、それらを用いてCIE（国際照明委員会）の等色関数を記述できるようなものでなければならない。もしこの条件が大巾にくずれば、等色性の基本条件が満足されなくなる。例えば、計算機システムで同じ色と判断した2色が、人間の視覚系で異なった色として見えるようなことが起こり得る。しかしながら、現実の画像計測系でこの条件を厳密に満足させることは困難で、あくまでも近似にとどまることになるのである。

図2の系で、各色成分に分光された光はホトマルで検出された後、各8ビットの濃度信号として4成分同時に出力される。これらの計測濃度Dは基準白紙をD=0とする相対値で、 $0 \leq D \leq 4$ の値をとる。現実には、明度V=10の理想的な白紙は存在しないので、基準白紙としてV=9.0~9.5程度の無彩色のマンセル色票を使用すればよい。

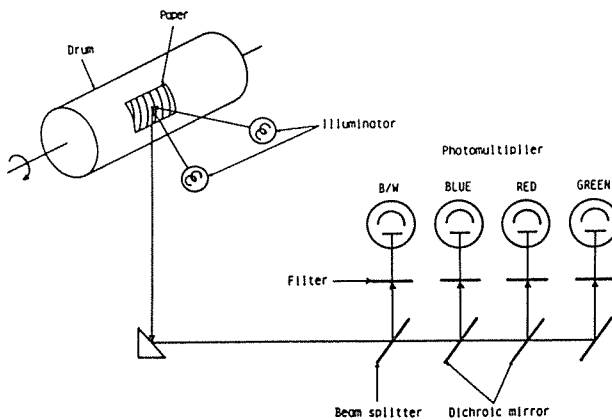


図2 ドラムスキャナの光学系概要図

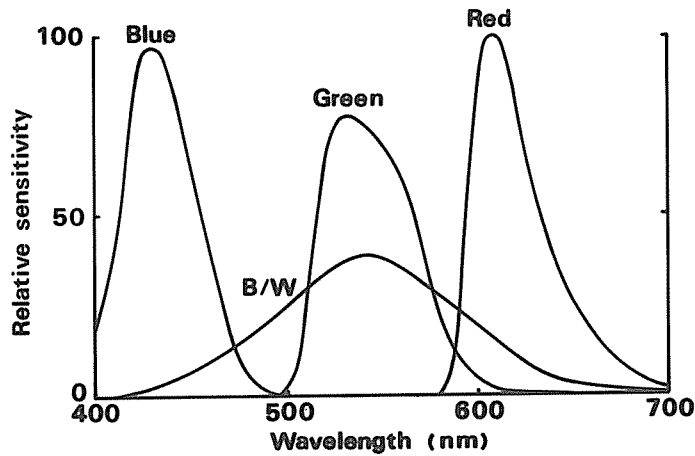


図3 測色系の色分解特性の例

4. 信号処理

計測した色信号から色相、明度、彩度の3属性を求める手続きは、物理量から感覚量への変換を意味する。これまで光学的濃度は明度の感覚に対応するものとして、計測濃度Dが直接使用されることが多かった。この根拠はウェーバー・フェヒネル法則に基づくと考えられる⁴⁾。この法則は物理量Rと感覚量Sの関係について

$$S = a \log R + b \quad (1)$$

の形で、対数による比例関係を提示している。例えば、Sは光学的濃度、Rは光強度というものに対応し、スキャナなどは電子回路系でこれと等価な変換を行っている。ただしテレビカメラなどはRを計測していることになる。入力装置によって計測の性質が異なることに注意すべきである。

さて、計測量と知覚属性とのより良好な対応関係を求めて、さらに多くの検討がなされてきた。筆者らは実効反射率という物理量を定義し、この量の非線形変換を提案している⁵⁾。すなわち、計測した濃度を、知覚属性との対応が付けやすい実効反射率にまず変換する。この反射率は計測した濃度を指数変換すれば容易に得られる。

$$\rho_{B/W} = 10^{-D_{B/W}}, \quad \rho_R = 10^{-D_R}, \quad \rho_G = 10^{-D_G}, \quad \rho_B = 10^{-D_B} \quad (2)$$

実効反射率の厳密な定義は次のとおりである。

$$\rho_i = \int E(\lambda) \rho(\lambda) \varphi_i(\lambda) d\lambda / \int E(\lambda) \varphi_i(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

ここで、i: B/W、R、G、B、E(λ): 光源の分光エネルギー分布、ρ(λ): 試料の分光反射率、φ_i(λ): 計測系の応答関数、である。

このような実効反射率とマンセルの知覚属性との間には、以下に示すような基本的対応関係が存

在することが見い出された。

(1) 実効反射率 $\rho_{B/W}$ と明度の関係

$$\text{明度 } V \longleftrightarrow \rho_{B/W}^{1/3}$$

(2) ρ_R, ρ_G, ρ_B と色度 (色相と彩度) の関係

$$\text{色度 } (H, C) \longleftrightarrow (\rho_G^{1/3} - \rho_B^{1/3}, \rho_R^{1/3} - \rho_G^{1/3})$$

まず、(1)の関係は明度が実効反射率 $\rho_{B/W}$ の3乗根に比例することを表わす。次に、(2)の関係は色相と彩度の極座標系で表わされる色度平面が、実効反射率の3乗根の差で定まる2次元直交座標系で近似できることを意味する。これらの関係の妥当性は標準のマンセル色票を用いて確認できる。

上述のような実効反射率と知覚属性との対応関係を一般化すれば、計測系からマンセル表色系への写像を定めることができる。このために計測系からの観測値を等価的に実効反射率の3乗根とみなして、5次元ベクトル

$$\mathbf{s} = [1, \rho_{B/W}^{1/3}, \rho_R^{1/3}, \rho_G^{1/3}, \rho_B^{1/3}]^T \quad (4)$$

で色信号の観測空間を定義する。ベクトルの第1要素は定数項で、Tは行列の転置を表わす。他方マンセルの色空間は (H, V, C) の円筒座標系であるので、これを3次元ベクトル

$$\mathbf{p} = [C \sin(\frac{2\pi}{100}H), C \cos(\frac{2\pi}{100}H), V]^T \quad (5)$$

を用いて、直交座標系で記述する。このとき観測空間から色空間への写像を連立方程式 $\mathbf{p} = \mathbf{F}\mathbf{s}$ で記述することができる。Fは写像を定める 3×5 の変換行列で、多くの標準色票の実測データを用いて決定した。

5. 3属性画像

色信号をマンセル表色系へ写像する操作を各画素ごとに実施すれば、全体として原画像を3属性に展開した画像を得ることができる。すなわち、色相、明度、彩度が互に独立したものであるから、各画素について3属性の表色値が推定できれば、原画像を知覚成分に展開した3種類の固有成分画像を抽出することができる。以下では、自然情景画像の代表として、植物のカラー写真を対象とした適用結果について説明する⁶⁾。

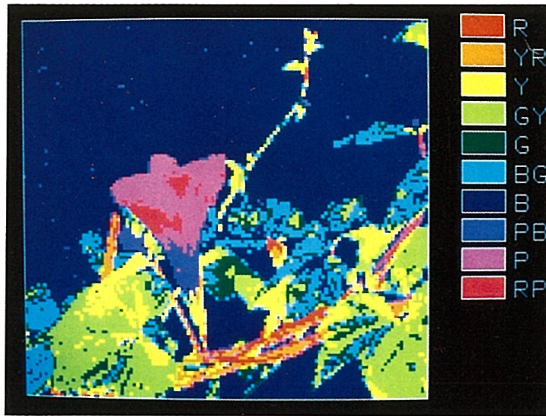
図4は朝顔の花の写真印画紙である。これは典型的な朝顔の写真で、花卉はあざやかな赤紫、その下部は白、葉は黄緑からうすい緑など多様で、茎とひもは褐色や茶、また背景はこい紺である。この花を中心とする部分を、アパーチュアサイズ 0.6×0.6 (mm²)、サンプリングサイズ 120×128 で計測した。B/W、R、G、B各成分の濃度画像がまず得られる。次に計測画像の各画素ごとに、実効反射率への変換および写像の行列を作用させて、色知覚空間へ写像した。得られた3属性画像を図5(a)~(c)に示す。カラー表示装置は日本ユニバックGR2414を使用し、各画像の表示はマンセル表色系のスケールに一致させた。

まず図 5(a)では、色相を10種類の基本色相に分割し、対応する色を10種類選んで領域を彩色している。各領域の色相はおおよそ、花卉：PとRP、花卉下部：PB、葉：Y～B、茎とひも：RとYR、バック：B、である。この結果で葉の色相成分が極めて多様なスペクトルを有することに注目される。一般的な知識として葉の色は緑であるが、一枚一枚によって微妙に異なり、また光線の当り具合によっても変化するのである。図 5(b)では、明度を白黒の10階調で表示している。得られた明度画像の利点は計測した B/W 画像と比較すれば明らかであった。すなわち後者の画像では全体的なぼけが感じられたが、明度画像では明暗がはっきりして引き締まっている。明度情報が忠実に抽出されており、知覚空間への写像の効果が現われていた。図 5(c)では、彩度を緑の12階調で表示している。この彩度画像では花の領域があざやかに抽出できている。彩度は計測値から予測することが困難で、一般には理解されにくい属性であるが、このように重要な役割を担っている。

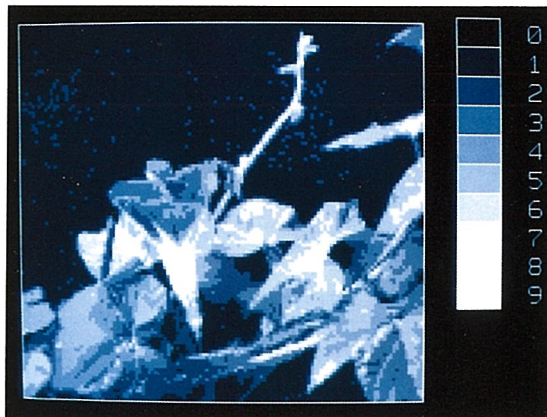
なお、このような3種類の画面表示より、画像の各領域についてH、V、Cのおおよその値を直読することが可能である。



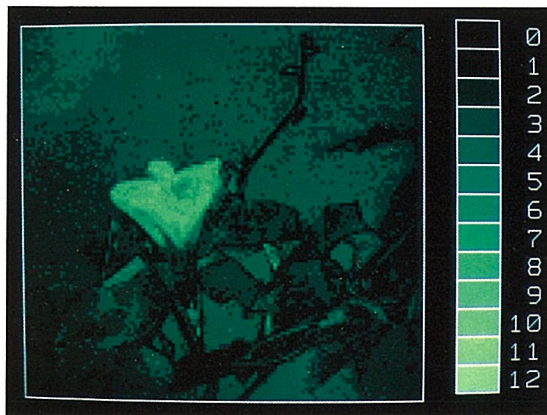
図 4 原 画



(a)



(b)



(c)

図5 3属性画像 (a : 色相、 b : 明度、 c : 彩度)

6. おわりに

カラー画像の必要性は増々高まってゆく。しかしその解析の仕方に王道はなく、根本的な問題を除けば、目的指向型的手法が開発されることになる。根本問題の一つはカラー画像の表現の正確さである。通常の画像入力装置は高速・高分解能の画像専用装置であって、色の計測には測色計ほどの精度をもたない。このため簡便な色空間を仮定して解析を実施することが多い。本稿では、人間の色知覚に対応した色相、明度、彩度という色情報を抽出する手法を紹介した。マンセル表色系はすでに確立したシステムで、これに準拠した標準色票が発行されている。これらの色見本を実測すれば、任意の画像計測系の色信号特性と知覚3属性との対応関係を、比較的容易に調べることができる。これまでカラー画像の表現といえば、R、G、B成分に展開する方法であった。他方、H、V、Cによる表現はより高次の展開法で、これの特徴は図5より視覚的にとらえることができる。

最後に、ここで紹介した計測・処理系は複数の計算機で構成され、画像計測にはMELCOM 70/20、処理の一部は阪大大型計算機センターACOS 1000、さらに画像表示には大阪電通大情報科学センターFACOM M-360APをそれぞれ使用した。

参考文献

- 1) M. D. Levine: Vision in Man and Machine, Mc Graw-Hill (1985).
- 2) 外山敬介: 視覚系の構造と機能, 情報処理, Vol. 26, No 2, pp. 108-116 (1985).
- 3) 納谷嘉信: 産業色彩学, 朝倉書店 (1980).
- 4) 金子隆芳: 色の科学 —その精神物理学—, みすず書房 (1975).
- 5) 富永昌治: 測色論に基づいたコンピュータ・カラー・ビジョンのための写像法, 情報処理学会論文誌, Vol. 26, No 2, pp. 318-328 (1985).
- 6) 富永昌治: 色知覚の3属性によるカラー画像の展開, 電子通信学会論文誌, Vol. 68D, No 3, pp. 300-307 (1985).