

色データ  $(R, G, B) \leftrightarrow (H, V, C)$  数学的変換方法正会員 宮 原 誠<sup>†</sup>, 正会員 吉 田 育 弘<sup>††</sup>

あらまし カラー画像処理や符号化の研究は、①信号を人間の色知覚の3属性 (Hue, Value, Chroma) にもとづく均等知覚空間上で、②処理誤差を実際に知覚される色差と関係づけて扱うことが有効である。この目的で用いる均等色空間として、色差が定義されている  $(H, V, C)$  マンセル色空間を用いることとした。しかし、CIE(1976)  $L^*a^*b^*$  色空間にもとづく  $(R, G, B) \leftrightarrow (H, V, C)$  データ相互変換は精度が低く、また変換表を用いる方法も、表を内挿する必要があるなど、実用上の支障が多い。そこで本論文では、MTM と名付けた数学的  $(R, G, B) \leftrightarrow (H, V, C)$  データ変換方法を提案する。MTM は、ある仮定した変換関数の未定係数を、カラーテレビの色再現範囲から均等にサンプルした 250 の代表色にもとづく重回帰分析によって決定したものである。また、ニュートン法を応用した逆変換の方法を示した。最後に、MTM とこの逆変換法を組み合わせれば、充分精度良く、かつ、簡単に  $(R, G, B) \leftrightarrow (H, V, C)$  データ相互変換が行えることを確認した。

1. ま え が き<sup>1)</sup>

カラー画像の高能率符号化、知識ベース符号化、新しい信号処理の研究などは、信号を人間の色知覚の3属性(色あいHue、明るさValue、色の濃さChroma)にもとづく均等色空間上で取扱うのが有効である。この方法の利点は、次のとおりである。

- (1) 色を変化させたい場合、ある1量の変化がそのまま各属性の変化に対応するので非常にわかりやすい。
- (2) 符号化、あるいは処理の誤差を、実際に知覚される色差と関係づけて扱うことができる。

この特徴を応用すれば、信号処理方法を系統的に研究することが可能となる。例えば、主観評価値を符号化誤差によって生ずる色差の関数として与えることが可能になるので、高度な符号化法について研究を進める際にも、各パラメータを最適化して最高の画質評価値を得るように設定することができる<sup>2)</sup>。

我々の研究目的のひとつは、このような方法で研究を進めることにより、主観的画質劣化が最少になるように符号化誤差を制御した最適符号化器を得ることにある。この研究を進めるに当たり、信号を取扱う均等色空間として、我々は修正マンセル色空間<sup>3)</sup>を用いた(以下、本論文では「修正マンセル色空間」の意味で「マンセル色空間」という用語を用いる)。

マンセル色空間は  $(H, V, C)$  にもとづく均等色空間であり、色差式が定義されている。したがって、符号化誤差によって発生する原画像と再現画像の主観的な色差を、客観的な量として容易に取扱うことができる。このようにマンセル色空間は、我々の研究に用いて最適であると考えられる。

以下本論文では、まず、いくつかの均等色空間の比較を行い、我々の研究に用いる均等色空間としてはマンセル色空間が最も適していることを述べる。

ついで、マンセル色空間を近似する目的で作られた Adams 色空間<sup>4)</sup>の均等性の歪みを修正し、それにもとづいて、 $(R, G, B) \leftrightarrow (H, V, C)$  データを数学的に相互変換する方法を求める。この方法を MTM と名付けた。MTM は、カラーテレビシステムを用いた画像の符号化の研究に用いることを目的とするので、変換の精度を保証する範囲も同システムの色再現範囲にとどめた。なお、テレビの色再現範囲は、フィル

<sup>†</sup> 長岡技術科学大学 工学部

<sup>††</sup> シャープ株式会社 東京研究所

"Mathematical Transform of  $(R, G, B)$  Color Data to Munsell  $(H, V, C)$  Color Data" by Makoto Miyahara (Department of Electrical Engineering, Nagaoka University of Technology, Niigata) and Yasuhiro Yoshida (A1129C Urgent Project Team, Sharp Corporation, Chiba)

ムや印刷による色再現範囲より広いので、一般的用途にも充分対応できる<sup>5)</sup>。

さらに、求めた方法によれば、CIE(1976)  $L^*a^*b^*$  色空間を用いた変換方法<sup>6)</sup>より充分精度良く、簡単に、信号の変換が行えることを確認した。

## 2. 大色差系均等色空間<sup>1)</sup>

我々の研究では、主観的に知覚される色差(符号化誤差)を、それに比例した客観量として取扱うことが必要である。この目的には、ある2色について知覚された色差の大きさと、空間上にプロットしたそれら2色相互間のユークリッド的距離とが比例するような色空間が適している。このような色空間に原画像と再現画像の各画素の色をプロットすれば、符号化誤差に起因する両者の間の色差は、プロット相互間の距離という客観量として得られる。

このように、色差とユークリッド的距離があらゆる色に関して比例するような色空間のことを、一般に大色差系均等色空間と呼んでいる<sup>5)</sup>。

大色差系均等色空間のひとつにマンセル色空間がある。マンセル色空間は、人間の色知覚の3属性( $H, V, C$ )に比例した量を軸として選ばれる3次元色空間であり、少なくとも次の2つの特徴を有している<sup>3)</sup>。

- (1) 各軸が心理的に独立している。
- (2) 各軸の心理的な直線性が良い。

マンセル色空間の各軸は、心理的に独立した色知覚の3属性( $H, V, C$ )に選ばれている。そのうえ各軸は、主観評価実験を繰り返して、その尺度と知覚された色差の大きさが比例するように、間隔尺度法によって尺度づけされている。したがって、あらゆる2色について知覚された色差の大きさは、マンセル空間上にプロットしたそれら2色相互間の距離に比例する<sup>3)</sup>。

このような特徴により、我々の研究目的で信号を取扱う均等色空間としては、マンセル色空間が最も適していると考えられる。

マンセル色空間以外によく知られている均等色空間として、CIE(1976)  $L^*a^*b^*$  色空間、CIE(1976)  $L^*u^*v^*$  色空間がある。これらを採用せず、マンセル色空間を採用した理由は次の通りである。

CIE(1976)  $L^*a^*b^*$  色空間<sup>6)</sup>は、G. Wyszecki が1975年に提案した大色差系均等色空間のひとつで、人間の知覚空間における色差の均等性を計量心理的に論じて作られたAdams色空間<sup>4)</sup>の均等性を、さらに改良して得られたものである。

ある色のCIE(1976)  $L^*a^*b^*$  色空間における座標値( $L^*a^*b^*$ )から次式で計算して得られる量、メトリ

ックヒューアングル  $H_{ab}^\circ$ 、メトリックライトネス  $L^*$ 、メトリッククロマチックネス  $C_{ab}^*$  などは、その色の真のマンセル量である  $H, V, C$  をそれぞれよく近似するとされている<sup>6)</sup>。

$$\left. \begin{aligned} H &\doteq H_{ab}^\circ = \tan^{-1}(b^*/a^*) \\ V &\doteq L^* \\ C &\doteq C_{ab}^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

この近似は、 $L^*, a^*, b^*$  各軸の心理的な直線性が良いことを仮定して、CIE(1976)  $L^*a^*b^*$  色空間とマンセル色空間の間に次の簡単な関係を適用しようとして得られたものである。

- (1) マンセル等色相軌跡が原点から放射線状に延び、 $a^*$  軸からの角度とマンセル  $H$  が比例する。
- (2) マンセル  $V$  と  $L^*$  が比例する。
- (3) マンセル等彩度軌跡が原点を中心とした同心円状になり、それらの半径とマンセル  $C$  が比例する。

しかし、実際に(1)式の近似の精度を確かめてみると、充分なものではない(5章に述べる)。マンセル色空間は先に述べたように、主観評価実験にもとづいて得られた大色差系均等色空間であるから、(1)式の近似が不充分であるということは、CIE(1976)  $L^*a^*b^*$  色空間の各軸の心理的な直線性が充分ではないことを示している。したがって、CIE(1976)  $L^*a^*b^*$  色空間を我々の研究に用いて、空間上の2点間の距離と色差を対応づけることには問題がある。

一方、CIE(1976)  $L^*u^*v^*$  色空間<sup>6)</sup>は、CIE(1964)  $U^*V^*W^*$  色空間上に描かれたMacAdamの偏差楕円<sup>7)</sup>を、空間上のすべての領域で等しい大きさの真円に近づけることを目的に得られた色空間である。このような色空間を、大色差系均等色空間に対して小色差系均等色空間と呼んでいる。MacAdamの偏差楕円は、色差のちょうど知覚いき(色差の just noticeable difference)を表そうとするデータであるから<sup>7)</sup>、小色差系均等色空間は、色差の jnd が色空間内の位置によらず一定の距離で表されるようにした色空間である。

Stenger<sup>8)</sup>は、小色差系均等色空間のこの性質に着目してCIE(1976)  $L^*u^*v^*$  色空間を応用し、色の量子化誤差を色差の jnd 以下にすることで、色信号の量子化ビット数を大幅に減ずることに成功している。

しかし、我々の研究にCIE(1976)  $L^*u^*v^*$  色空間のような小色差系均等色空間を用いることは適切ではない。色空間は線形ではないので、小色差系均等色空間の上述した特徴では、大色差系均等色空間で表そうとした心理量とユークリッド的距離が比例するという関

係が保障されるとは限らないからである。

以上論じたように、我々の研究に CIE(1976)  $L^*a^*b^*$  色空間、CIE(1976)  $L^*u^*v^*$  色空間を用いることには問題があると考えられる。

さらに、 $(Y, I, Q)$ ,  $(Y, R-Y, B-Y)$  などの色空間を用いることも適切ではない。それは、これらがテレビ用に作られた空間であり、均等性の検討を行って得られた空間ではないからである<sup>9)</sup>。いうまでもなく、これらの空間の均等性は、CIE(1976)  $L^*a^*b^*$  色空間よりはるかに悪い。

以上まとめると、マンセル空間は知覚される色差の心理的な均等性をはじめから意識して、多くの実験にもとづいて作られた大色差系均等色空間であり、符号化の研究を系統的に進めるといふ我々の目的に用いる均等色空間としては最適であるといえる。

### 3. 信号変換

マンセル色空間を、我々が目的としている画像符号化の研究に適用するためには、画像入出力の  $(R, G, B)$  データと  $(H, V, C)$  データを相互に変換しなければならない。 $(R, G, B) \leftrightarrow (H, V, C)$  のデータ相互変換の最も信頼できる方法は、以下のように変換表<sup>3)</sup>を用いる方法である。

まず、 $(R, G, B)$  データを CIE(1934) XYZ 色空間における色度座標値  $(x, y, Y)$  に変換する。

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.608 & 0.174 & 0.200 \\ 0.299 & 0.587 & 0.144 \\ 0.0 & 0.066 & 1.112 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} x &= X/(X+Y+Z) \\ y &= Y/(X+Y+Z) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

さらに、文献 3) に示されている変換表を用いれば、 $(x, y, Y) \leftrightarrow (H, V, C)$  のデータ相互変換ができる。したがって、 $(R, G, B) \leftrightarrow (H, V, C)$  データ相互変換ができる。

しかし、この変換表は  $(R, G, B)$  各 8 ビットの入力画像データに対応できるほど細かくは公表されていない。したがって、実際にこの変換表を用いる場合は、何らかの内挿、近似を行う必要がある。G. Wyszecki が提案した  $H_{ab}^{\circ} L^* C_{ab}^*$  などの (1) 式は、この近似の一手法であると考えることができよう。

本節でも、同様の立場から変換表の近似を行う。そのために、CIE(1976)  $L^*a^*b^*$  色空間の基礎となった大色差系均等色空間である Adams 色空間について検討する。そしてこれを発展させることで、 $(R, G, B) \rightarrow (H, V, C)$  数学的データ変換方法を求める。

#### 3.1 Adams 色空間<sup>4)</sup>

$(R, G, B)$  データは、次のようにして Adams 色空間における 3 つの成分  $(M_1, M_2, M_3)$  に変換される。

$(R, G, B)$  データを、はじめに  $(X_c, Y, Z_c)$  データに変換する。

$$\left. \begin{aligned} X_c &= 1.020 \cdot X \\ Z_c &= 0.847 \cdot Z \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここに、(4) 式の係数は、(2) 式の  $X, Z$  を  $R=G=B=1$  について規格化するために導入したものである。次に人間の色知覚の特性を考慮した非線形変換を行う。

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= V(X_c) - V(Y) \\ H_2 &= V(Z_c) - V(Y) \\ H_3 &= V(Y) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ここに、 $V(A) = 11.6 \cdot A^{1/3} - 1.6$

ただし、 $A = X_c, Y, Z_c$  である。

最後に比例定数を与えて  $(M_1, M_2, M_3)$  を求める。ここで、 $M_1, M_2$  は色平面を、 $M_3$  は明度を表している。

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= H_1 \\ M_2 &= 0.4 \cdot H_2 \\ M_3 &= 0.23 \cdot H_3 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

#### 3.2 Adams 色空間による変換表の近似

CIE(1976)  $L^*a^*b^*$  色空間について、G. Wyszecki が提案した (1) 式と同様な変換関数を定義し、Adams 色空間を利用して、変換表<sup>3)</sup>を近似することを考える。Adams 色空間は、CIE(1976)  $L^*a^*b^*$  色空間の基礎となった空間なので、マンセル色空間との対応に関し、CIE(1976)  $L^*a^*b^*$  色空間とほぼ同様の性質を持っていると考えられる。そこで、(1) 式の場合と同様の仮定を行い、(6) 式の  $(M_1, M_2, M_3)$  を用いて、(1) 式と同様の近似値  $(\underline{H}, \underline{V}, \underline{C})$  を定義する。

$$\left. \begin{aligned} \underline{H} &= \tan^{-1}(M_2/M_1) \\ \underline{V} &= M_3 \\ \underline{C} &= (M_1^2 + M_2^2)^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Adams 色空間とこの関数による変換表の近似度を、次のように評価した。まず、変換表に  $(x, y, Y)$  データと  $(H, V, C)$  データの関係があらかじめ与えられているいくつかの色を選択し、その  $(x, y, Y)$  データを (3) ~ (6) 式を用いて  $(M_1, M_2, M_3)$  データに変換した。ここで変換した色データは、変換表から

条件 (1)  $V: 5, H: \text{一定}, C: \text{可変}$

条件 (2)  $V: 5, H: \text{可変}, C: \text{一定}$

条件 (3)  $V: \text{可変}, H: \text{定義せず}, C: 0$

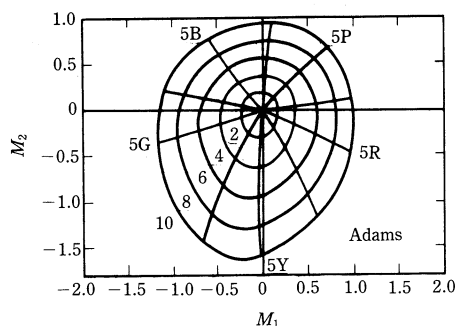


図1  $M_1$ - $M_2$  平面上にプロットしたマンセル  $C$  一定のサンプルの軌跡 ( $V=5$ )  
Loci of Munsell  $C$ : const. on  $M_1$ - $M_2$  plane ( $V=5$ ).

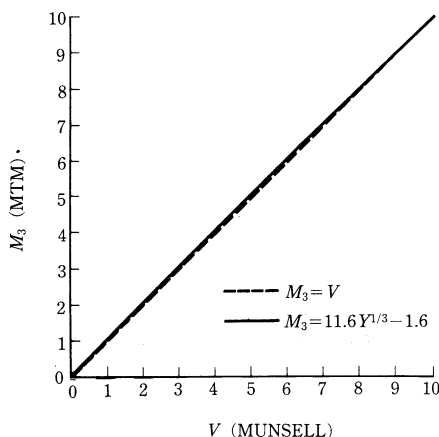


図2 マンセル  $V$  と  $M_3$  の関係  
Correspondence between Munsell  $V$  and  $M_3$ .

の条件下に選択したものである。

次に、変換した ( $M_1, M_2, M_3$ ) データを、条件(1)、(2)の場合は  $M_1$ - $M_2$  平面上に、条件(3)の場合には、 $V$ - $M_3$  平面上に、各々プロットした。

(7)式による変換表の近似が完全であるならば、条件(1)の場合にはプロットの軌跡は原点から放射状に広がり、条件(2)の場合には同心円状の円になるはずである。さらにこれらのプロットは、 $M_1$ - $M_2$  平面上に一様に分布するはずである。また条件(3)の場合には、直線状に分布するはずである。

結果を図1、図2に示す。図1より、条件(1)、(2)の場合には、黄色(5Y)の周辺に軌跡の歪みがあることがわかる。このように、半径方向(色の彩やかさをあらわす方向)の近似は不完全である。この歪みは次節で補正する。一方、図2より、 $M_3$  はマンセル  $V$  をよく近似していることがわかる。

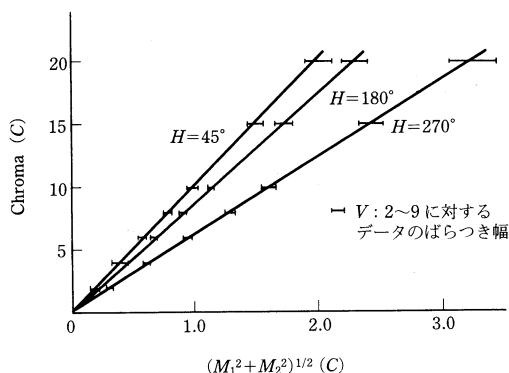


図3 マンセル  $C$  と  $\bar{C}$  の関係  
Correspondence between Munsell  $C$  and  $\bar{C}$ .

#### 4. 近似関数の改良<sup>10)</sup>

前章で述べた半径方向の歪みを補正するために、 $C$  と  $\bar{C}$  の関係を  $H, V$  をパラメータとして調べた。結果を図3に示す。

一般に、 $C$ :一定の軌跡は、 $V$  を含めた極座標系で、

$$C = J(\underline{C}, \underline{H}, \underline{V}) \quad (8)$$

と書くことができる。ここで、図3より、関数  $J$  の  $V$  依存性は少なく、また、 $H$  一定のとき、各データはほぼ直線上に並んでいるから、

$$\frac{\partial C}{\partial \underline{V}} = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial C}{\partial \underline{H}} = j(\underline{H}) \quad (10)$$

したがって(8)式は、極座標上で次式のように近似できる。

$$\underline{C}^2 = K(\underline{H}) \cdot \underline{C}^2 \quad (11)$$

ここで、変換表のデータを用いて補正関数  $K(\underline{H})$  を決定するために、いったん直角座標系に変換し、補正関数を次のように仮定する。

$$K(\underline{H}) = k_1^2(\underline{H}) \cdot \cos^2(\underline{H}) + k_2^2(\underline{H}) \cdot \sin^2(\underline{H}) \quad (12)$$

ここで、 $k_1(\underline{H}), k_2(\underline{H})$  は、楕円状に歪んでいる軌跡を円状に補正することが目的であるから、

$$\left. \begin{aligned} k_1(\underline{H}) &= a + b \cdot \cos(\underline{H}) \\ k_2(\underline{H}) &= c + d \cdot \sin(\underline{H}) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

とおいた。

(12)式で導入した補正関数  $K(\underline{H})$  は、 $b=d=0, a=c$  のとき円になり、角度方向に無歪みの、半径方向の補正を表す。実際には図1に示したように楕円歪みであるから、このようにはならない。しかし、それほ

ど極端な歪みではないから、 $K(H)$  はフーリエ級数展開における  $H$  の 4 次の項までを考慮することにした。また歪み楕円は偶関数ではないから  $\sin^3(H)$  の項も含めた。その結果、上述のような補正関数を仮定した。

これらより、 $C$  一定軌跡は、

$$C = [(a + b \cdot \cos(H)) \cdot M_1]^2 + [(c + d \cdot \sin(H)) \cdot M_2]^2 \quad (14)$$

と書ける。 $a \sim d$  は未定係数である。

これらの未定係数は、(14) 式が平均的に成り立つよう定める。そのために、変換表から均等に 250 の色を選択し、これらのデータを用いて重回帰分析を行った。その結果、次の値を得た。

$$\begin{aligned} a &= 8.880 & b &= 0.966 \\ c &= 8.025 & d &= 2.558 \end{aligned} \quad (15)$$

これらを用いて、歪み補正された新しい軸を次のように記述する。

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= \{8.88 + 0.966 \cdot \cos(H)\} \cdot M_1 \\ S_2 &= \{8.025 + 2.558 \cdot \sin(H)\} \cdot M_2 \\ M_3 &= V(Y) \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

さらに(7)式と同様に、 $(H, V, C)$  データへの変換関数を定義する。

$$\left. \begin{aligned} H' &= \tan^{-1}(S_2/S_1) \\ V' &= M_3 \\ C' &= (S_1^2 + S_2^2)^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

以上の方法で行う  $(R, G, B) \rightarrow (H, V, C)$  データ変換を、我々は MTM (Mathematical Transform to Munsell) と名付けた。

## 5. MTM の評価<sup>10)</sup>

MTM を用いて行う  $(R, G, B) \rightarrow (H, V, C)$  データ変換の精度を検討した。

我々の研究では、符号化法の評価は、符号化誤差に起因して発生した色差の知覚妨害度にもとづいて行われる。このような符号化誤差は、一般に原画像の輪郭にそって発生する場合が多く、したがって、ここで行う MTM の変換精度の検討は、知覚された色差の大きさについて、輪郭の存在を考慮して行う必要がある。

このような評価に用いて適切な色差式として、Godlove 色差式がある。Godlove 色差式は、輪郭が明確に存在する色票について知覚される色差を定義した色差式であり、評価語が定義されている NBS 色差値とも直接的な変換が可能である、などの特徴を有しており、ここで行う評価には最も適していると考えら

れる<sup>11)</sup>。

以上より、変換精度の評価は、ある色について変換表から求めた真の  $(H, V, C)$  値と、(17) 式で変換された  $(H', V', C')$  の間の誤差を Godlove 色差式を用いて求め、この値の大小にもとづいて行った。

この方法は、我々にとって充分満足なものであるとはいいがたい。それは、評価が実際の自然画像ではなく、色票の比較というレベルでしか行われなければならないからである。しかし、自然画像の評価尺度の確立は今後の課題であるので、ここではこのようなレベルにとどめた。

Godlove 色差式では、 $(H_1, V_1, C_1)$  で表される色票と、 $(H_2, V_2, C_2)$  で表される色票の間で知覚される色差  $\Delta E$  は、

$$\Delta E = [2C_1 C_2 \{1 - \cos(2\pi \Delta H/100)\} + (\Delta C)^2 + (4\Delta V)^2]^{1/2} \quad (18)$$

ここに、

$$\left. \begin{aligned} \Delta H &= |H_1 - H_2| \\ \Delta C &= |C_1 - C_2| \\ \Delta V &= |V_1 - V_2| \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

で定義される。

ここでは 180 の色に関し、変換表から求めた真の  $(H, V, C)$  値と、(17) 式で変換された  $(H', V', C')$  値の間の誤差を(18)、(19)式を用いて算出し、その最大

表 1 MTM と(1)式の近似誤差の統計量  
Approximation errors between the results of the Eq. (1) and MTM.

方 法	平均	分散	最大	最小
CIE (1976) $L^*a^*b^*$	3.25	3.32	8.60	0.73
MTM	1.57	0.46	3.93	0.71

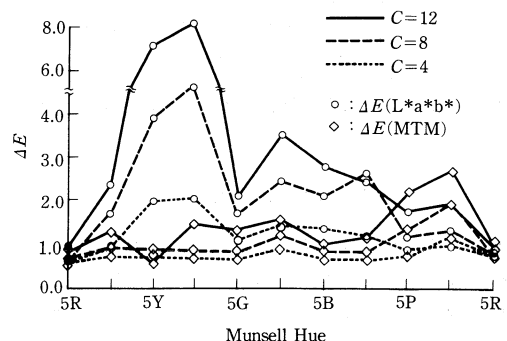


図 4 MTM と(1)式の近似誤差の比較  
Comparison of approximation error between the results of the Eq. (1) and MTM.

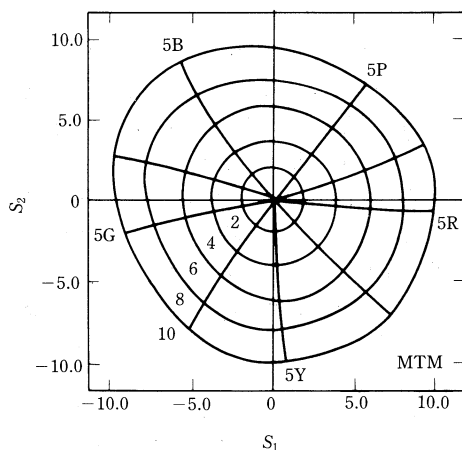


図5  $S_1$ - $S_2$ 平面上にプロットしたマンセルC一定のサンプルの軌跡 ( $V=5$ )  
Loci of Munsell C: const. on  $S_1$ - $S_2$  plane ( $V=5$ ).

値、最小値、分散、平均を求めて変換精度を評価した。なお180色のサンプルは  $V=3, 5, 8, C=4, 8, 12$ , かつ、5マンセルステップ毎に、カラーテレビシステムの色再現範囲の中から一様を選択したものである。

算出した各値を、表1と図4に示す。ここには変換近似値として、(1)式の  $H_{ab}^*$ ,  $C_{ab}^*$ ,  $L^*$  (G. Wyszecki が提案した近似値) を用いた場合の結果も合わせて示した。さらに3章で行ったのと同様の手法で、均等性の確認を行った。結果を図5に示す。

表1より、MTMで変換された値と、(1)式で変換した値を比較すると、MTMの変換の精度が約2倍上まわっていることがわかる。

ここで、NBS色差とGodlove色差の関係を、

$$\Delta E(\text{NBS}) \approx 1.2 \cdot \Delta E(\text{Godlove}) \quad (20)$$

とすると<sup>11)</sup>、MTMの精度はNBS色差値では約2ということができる。この値は、色差測定器によって注意深く測定することによって検出することのできる程度の値であって、通常発生する色差としては無視し得る<sup>12)</sup>。

また、図5より黄色の周辺の歪みは、大幅に減少していることがわかる。

## 6. 逆変換法

MTMの逆変換、すなわち  $(H, V, C)$  データから  $(R, G, B)$  データを求める方法の一例を示す\*。

MTMを逆変換するには、(17), (16), (5)式を順次解いていけばよい。

まず(6), (7)式を用いて(16)式から  $\cos(H)$  項,  $\sin(H)$  項を消去すると、

$$\begin{aligned} S_1 &= H_1 \{ 8.88 + 0.966 H_1 / (H_1^2 + 0.16 \cdot H_2^2)^{1/2} \} \\ S_2 &= H_2 \{ 3.21 + 0.409 H_2 / (H_1^2 + 0.16 \cdot H_2^2)^{1/2} \} \end{aligned} \quad (21)$$

ここで、 $C'$ ,  $H'$  を用いて(17)式を解くと  $S_1, S_2$  を求めることができる。

$$\begin{aligned} S_1 &= C' \cdot \cos(H') \\ S_2 &= C' \cdot \sin(H') \end{aligned} \quad (22)$$

さらに、(21), (22)式を  $H_1, H_2$  について解けば、(5), (4), (2)式を用いて次のように逆変換値 ( $R', G', B'$ ) が求まる。まず、 $H_1, H_2$  を用いて(5), (4)式を解き、CIE(1934) XYZ色空間の3刺激値 ( $X', Y', Z'$ ) を求める。

$$\begin{aligned} X' &= 0.98 \cdot \text{finv}(H_1 + H_3) \\ Y' &= \text{finv}(H_3) \\ Z' &= 1.181 \cdot \text{finv}(H_2 + H_3) \end{aligned} \quad (23)$$

ここに、 $\text{finv}(X) = \{(X + 1.6) / 11.6\}^3$

さらに、(2)式の逆演算を次のマトリクスにより行つて  $(R'G'B')$  値を求める。

$$\begin{pmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.907 & -0.533 & -0.288 \\ -0.983 & 1.988 & -0.0281 \\ 0.0583 & -0.119 & -0.901 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} \quad (24)$$

これらのうち、(21), (22)式を  $H_1, H_2$  について解く操作は面倒である。以下では、このためのニュートン法を応用した解法と、その精度について述べる。

### 6.1 ニュートン法を応用した解法

まず、(21)式を全微分し、行列式に書く。

$$\begin{bmatrix} \partial S_1 / \partial H_1 & \partial S_1 / \partial H_2 \\ \partial S_2 / \partial H_1 & \partial S_2 / \partial H_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta H_1 \\ \Delta H_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta S_1 \\ \Delta S_2 \end{bmatrix} \quad (25)$$

逆マトリクスをかけて、

$$\begin{bmatrix} \Delta H_1 \\ \Delta H_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial S_1 / \partial H_1 & \partial S_1 / \partial H_2 \\ \partial S_2 / \partial H_1 & \partial S_2 / \partial H_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta S_1 \\ \Delta S_2 \end{bmatrix} \quad (26)$$

ここに、 $S_1, S_2$  は(22)式により求めることができる。

ここで、初期値  $H_1(1), H_2(1)$  を与えれば、(21)式より  $S_1(1), S_2(1)$  が求まり、 $\Delta S_1(1), \Delta S_2(1)$  は次のようになる。

$$\begin{aligned} \Delta S_1(1) &= S_1(1) - S_1 \\ \Delta S_2(1) &= S_2(1) - S_2 \end{aligned} \quad (27)$$

これを(26)に代入すれば  $\Delta H_1, \Delta H_2$  が求められる。さらに、

\* 現NTTヒューマンインターフェース研究部 藤本強氏作成のプログラムによる。

表 2 逆変換誤差の統計量  
Averages, variances, and maximums of inverse transformation errors.

	平 均	分 散	最 大
$E_R$	$6.08 \times 10^{-4}$	$10^{-7}$	$2.27 \times 10^{-3}$
$E_G$	$5.80 \times 10^{-4}$	$10^{-7}$	$2.30 \times 10^{-3}$
$E_B$	$3.73 \times 10^{-4}$	$10^{-7}$	$1.80 \times 10^{-3}$

$$\begin{cases} H_1(2) = H_1(1) - \Delta H_1 \\ H_2(2) = H_2(1) - \Delta H_2 \end{cases} \quad (28)$$

を計算すると、 $H_1, H_2$ の2回目の値  $H_1(2), H_2(2)$  が定められる。以上の(26)～(28)式のループを(29)式を満足するまで繰り返す。

$$\Delta H_1^2 + \Delta H_2^2 < k \cdot \{H_1(n)^2 + H_2(n)^2\} \quad (29)$$

ここに、 $k$  は(21)式の等号成立に関する誤差の許容値である。

結局、このようにして得られた  $H_1(n), H_2(n)$  が(21)式の解となる。これを(23)、(24)式に代入すれば逆変換値 ( $R', G', B'$ ) が求まる。

## 6.2 MTM, 逆 MTM の変換精度の評価

MTM による ( $R, G, B$ )  $\rightarrow$  ( $H, V, C$ ) データ変換と、上に述べた ( $H, V, C$ )  $\rightarrow$  ( $R, G, B$ ) データ逆変換を組合せて、全体的な信号変換精度を評価した。ここでは次のような方法で行った。

まず、( $R, G, B$ ) データを MTM により ( $\underline{H}', \underline{V}', \underline{C}'$ ) データに変換する。このとき ( $R, G, B$ ) データは各8ビットとし、0～255の間で互いに独立に変化させた。その結果、 $256^3$  のデータを用いて評価を行うことになった。さらに変換した ( $\underline{H}', \underline{V}', \underline{C}'$ ) データを、上に述べた方法で ( $R', G', B'$ ) データに逆変換する。ここで、(29)式の  $k$  は、 $k=10^{-16}$  とした。このとき(26)～(28)式のループは、10回程度繰り返せば充分であった。

次に、誤差  $E_r, E_g, E_b$  を定義した。

$$\begin{cases} E_r = |R - R'| \\ E_g = |G - G'| \\ E_b = |B - B'| \end{cases} \quad (30)$$

表2に、これらの平均値、分散、最大値を示した。これより、全体的な信号変換精度は1/2 LSBより充分良く、問題なく信号変換が行えることを確認した。

## 7. む す び

画像の符号化や信号処理の研究を人間の色知覚空間で行うために、色知覚の3属性に比例した量に基づ

いて張られる大色差空間であるマンセル色空間を用いることを提案した。マンセル色空間では、サンプル間のユークリッド的距離がそれらの間の色差の知覚量に比例する。

マンセル色空間のこのような特徴を利用して符号化の研究を進めるため、MTMと名付けた ( $R, G, B$ )  $\rightarrow$  ( $H, V, C$ ) データ変換方法を示した。本報告の内容をまとめると次のとおりである。

- (1) MTMを用いれば、CIE(1976)  $L^*a^*b^*$  色空間を用いて行う近似的な変換方法よりも、精度良く ( $R, G, B$ ) データを ( $H, V, C$ ) データに変換できる。
- (2) MTMと組合せて用いる ( $H, V, C$ )  $\rightarrow$  ( $R, G, B$ ) データ逆変換法を示した。これを MTM と組合せて用いれば、現行カラーテレビシステムの色再現範囲では実用上支障のない充分な精度で、信号の変換が行えることを確認した。

MTMにより ( $R, G, B$ ) データから変換された ( $H, V, C$ ) データは、人間の色知覚量に比例したデータである。したがって、本研究結果を画像の高効率符号化などの分野に応用すれば、( $R, G, B$ ) や ( $Y, I, Q$ ) などの信号より知覚的に均等性のすぐれた色空間で信号を処理することができる。その利点は、例えば次のとおりである。

- (1) ( $H, V, C$ ) 信号にもとづいて画像信号を処理すれば、符号化誤差のような各種の処理誤差も、その誤差を人間がどの程度知覚するかという量に比例して正しく評価できる。このような誤差の評価尺度を応用して画質の客観評価尺度を得ることができれば、この量にもとづいて適応的動作をする符号化システムを実現できる。このようなシステムは、( $R, G, B$ )、( $Y, I, Q$ ) 信号などの現行の符号システムよりも、知覚的、かつ心理的な検討がなされたレベルの高いシステムであり、画像に関する知識を盛り込んで符号化できるので、現行より低いデータレートで、より高い再現画質が得られることが期待できる<sup>2)</sup>。

- (2) ハードコピーの分野では、減法混色の原色に基づく色空間の均等性の問題が色再現性に影響を与えている。そこで、これらをいったん ( $R, G, B$ ) 信号に変換して MTM で処理した後、再び減法混色の原色データに戻すというような適用法が注目される。このような処理によれば、量子化誤差の一樣化が実現できるので色再現性の向上が期待できる。

本研究を進めるにあたり、逆変換アルゴリズムとそのプログラムを作成いただいた、現日本電信電話株式会社 藤本強氏に感謝いたします。

本研究成果を発表する機会をいただいた、シャープ株式会社 A 1129 緊急プロジェクトチーム総轄 林由三郎氏に感謝いたします。

(1989 年 3 月 1 日受付, 1989 年 5 月 19 日再受付)

### 〔参 考 文 献〕

- 1) M. Miyahara, Y. Yoshida: "Mathematical Transform of  $(R, G, B)$  Color Data to Munsell  $(H, V, C)$  Color Data", SPIE's Visual Communications and Image Processing '88, **1001**, 118, pp. 650-657 (Nov., 1988)
- 2) M. Miyahara: "Quality Assessment for Visual Service", IEEE Commun. Magazine, **26**, 10, p. 51-60 (Oct., 1988)
- 3) S. M. Newhall, D. Nickerson, D. B. Judd: "Final Report of the O. S. A Subcommittee on the Spacing of the Munsell Colors", J. Opt. Soc. Am., **33**, pp. 385-418 (1943)
- 4) E. Q. Adams: "X-Z planes in the 1931 ICI Systems of Colorimetry", J. Opt. Soc. Am., **32**, pp. 168-173 (1942)
- 5) "カラーテレビジョン", 日本放送出版協会, p. 115 (1973)
- 6) Supplement No. 2 to CIE Publication No. 15 Colorimetry (E-1.3.1) 1972: Official Recommendations on Uniform Color Spaces, Color-Difference Equations and Metric Color Terms (1976)

- 7) D. L. MacAdam: "Specification of Small Chromaticity Differences", J. Opt. Soc. Am., **33**, pp. 18-33 (1943)
- 8) L. Stenger: "Quantizing of TV Chrominance Signales Considering the Visibility of Small Color Differences", IEEE Trans., **COM-22**, 11, pp. 1139-1406 (Nov., 1977)
- 9) D. W. Epstein: "Colorimetric Analysis of RCA Color Television System", RCA Rev., **14**, pp. 277-358 (1953)
- 10) 宮原、清水、吉田、波塚: " $(R, G, B) \rightarrow$  Munsell  $(H, V, C)$  精密変換", 信学技報, **IE 86-66**, pp. 41-48 (1986)
- 11) I. H. Godlove: "Improved Color-Difference Formula, with Applications to the Perceptibility and Acceptability of Fadings", J. Opt. Soc. Am., **41**, pp. 760-772 (1951)
- 12) D. B. Judd, G. Wyszecki: "Color in Bussiness, Science and Industry", p. 306, John Wiley & Sons, New York (1963)



みやはら まこと  
**宮原 誠** 昭和 41 年, 東京工業大学大学院修士課程修了。同年, NHK に入社。放送技術研究所テレビ技術研究部に所属。53 年, 長岡技術科学大学工学部助教授。62 年, 同教授となり現在に至る。画像符号化, 画質評価, AV 画像音場再現などの研究に従事。工学博士。正会員。



よしだ やすひろ  
**吉田 育弘** 昭和 61 年, 長岡技術科学大学大学院工学研究科修士課程修了。同年, シャープ(株)に入社。技術本部東京研究所に所属。均等色空間カラー画像符号化方式, EDTV 信号処理方式などの研究に従事。正会員。



---

## **Recording System of High Resolution Picture by TAT Bandwidth Compression**

*by Satien Triamlumle-rd and Masayuki Tanimoto*

Bandwidth compression is one of the key technologies in realizing a high quality video recording system. A wideband picture signal can be recorded by compressing its bandwidth before recording. This paper proposes a new video recording system by using the TAT system, which compresses the bandwidth and keeping the high resolution of the picture. An experimental system is constructed and the feasibility of the new system is successfully demonstrated. A home-use VCR is used as a recording media in the experimental system. It is modified to record the TAT signal composed of a bandwidth compressed analog TCI signal and a digital mode signal. The bandwidth compressed TCI signal is recorded by the conventional FM system of the VCR and the mode signal is recorded by QPSK in the separate lower frequency band, which is originally used to record the chrominance signal in a conventional VCR. The regenerated picture is stable and the resolution is improved 1.6 times over a conventional home-use VCR.

**J. Inst. TV. Engrs. of Japan, Vol. 43, No. 10 (1989) 1112~1118**

---

## **Coding Methods for Hi-Vision Digital Still Picture Broadcasting**

*by Hiroyuki Hamada, Toshikazu Ikenaga, Naoki Kawai,  
Osamu Yamuzuki and Takehiko Yoshino*

In this paper, coding methods are described for Hi-Vision digital still picture broadcasting using ISDB(Integrated Service Digital Broadcasting). At first, conditions needed for coding methods are shown, and the characteristics and coding performances (SNR, results of quality assessments and coding ratio) of two coding methods, subsampled DPCM and adaptive interpolative quantizer are shown. Furthermore, an adaptive method controlling coding ratio according to the interval of picture changing is described. In addition, improving methods for picture impairment caused by bit-error occurring in transmission paths are described, and by bench tests this system was found to be acceptable for sufficient picture quality broadcasting service even if the received C/N is degraded. Using these methods, clear Hi-Vision still pictures with high quality PCM stereophonic sounds can be transmitted in one digital channel; 2.048 Mb/s transmission.

**J. Inst. TV. Engrs. of Japan, Vol. 43, No. 10 (1989) 1119~1128**

---

## **Mathematical Transform of (R, G, B) Color Data to Munsell (H, V, C) Color Data**

*by Makoto Miyahara and Yasuhiro Yoshida*

In studying new-generation color image codings, it is very effective 1) to code signals in the space of inherent tri-attributes of human color perception, and 2) to relate a coding error with the perceptual degree of deteriorations. For these purposes, we have adopted the Munsell Renotation System in which color signals of triattributes of human color perception (Hue, Value and Chroma) and psychometrical color differences are defined. In the Munsell Renotation System, however, the intertransformation between (RGB) data and corresponding color data is very cumbersome, because the intertransformation depends on a look up table. This paper presents a new method of mathematical transformation. The mathematical transformation is obtained by multiple regression analysis of 250 color samples, which are uniformly sampled from whole color ranges that a conventional NTSC color TV camera can present. The new method can transform (RGB) data to the data of the Munsell Renotation System far better than the conventional method given by the CIE(1976)  $L^*a^*b^*$ .

**J. Inst. TV. Engrs. of Japan, Vol. 43, No. 10 (1989) 1129~1136**

---