

画像通信に用いる色空間の評価 —符号化効率による比較—

(株)リコー情報通信研究所

正会員 石 川 安 則

グラフィクス・コミュニケーション・ラボラトリーズ

正会員 花 村 剛

大日本印刷(株)画像研究所

会 津 昌 夫

富士ゼロックス(株)画像技術研究所

正会員 池 上 博 章

〈あらまし〉 カラー画像表現に適用可能なデバイス非依存の標準色空間を選定するため、静止画像の符号化効率を評価する。定めたテストチャートの画像データについて、評価対象色空間の色再現範囲を同一にするように設定し、符号化シミュレーションを行う。非可逆符号化方式として JPEG 方式 (Baseline System) を用い、圧縮復元後の復元画像での主観評価および原画像と復元画像データ間の色差による客観評価により、定めた2つの圧縮率で画質劣化程度を評価したが、YCbCr, CIELAB などの輝度色差分離表色系色空間が優れていた。また可逆符号化方式として JPEG Lossless 方式と JBIG 方式を用い、符号化ビットストリームの符号量により評価したが、RGB Density が最もよく、次いで輝度色差分離表色系であった。総合的には輝度色差分離表色系色空間の符号化効率がよい。この結果は、ITU-T 勧告 T.42 検討時の基礎データとして採用された。

〈Summary〉 Coding efficiency of still image data is evaluated in relation to selecting the standard device independent color space. Coding simulation is performed for several candidate color spaces, using the image data of a test chart and setting each color gamut to the same condition. JPEG coding (Baseline System) is used for the evaluation of non-reversible coding where subjective evaluation of a reconstructed image and objective evaluation of the color difference between an original and a reconstructed image, are applied using two bitrates. A luminance-chrominance separated color system such as YCbCr, CIELAB is the first rank system. JPEG lossless and JBIG coding are used for lossless coding where the amount of coded bitstream is evaluated. RGB Density is the first rank, and the next group is the luminance-chrominance separated color system. In terms of totally evaluated coding efficiency, the luminance-chrominance separated color system is most appropriate. This result was adopted as the base data in developing ITU-T Rec. T. 42.

1. はじめに

カラー画像通信を支える基礎要素技術として、伝送系では高速伝送路、画像データの高効率符号化方式、通信プロトコルなどが挙げられるが、カラー画像通信系全体としてのカラーマネジメントに直結する伝送色空間の選択も重要な問題である¹⁾。一般的なカラーモデルにおける色空間のデバイス非依存性に着目した技術標準として、ISO/IEC JTC1/SC18 における ODA Color Addendum が知られるが²⁾、カラーファクシミリなど通信装置

“Evaluation of Color Space for Image Communication—Focused on Coding Efficiency—” by Yasunori ISHIKAWA (Member) (Information and Communication Research and Development Center, Ricoh Co., Ltd.) and Tsuyoshi HANAMURA (Member) (Graphics Communication Laboratories), Masao AIZU (Image & Information Research Institute, Dai Nippon Printing Co., Ltd.), Hiroaki Ikegami (Member) (Imaging Science & Technology Laboratory, Fuji Xerox Co., Ltd.).

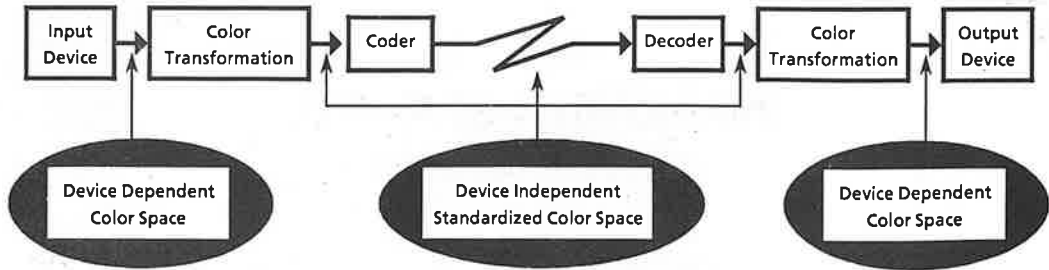


図 1 カラー画像通信系の一般モデル
Fig. 1 A Generic Model of Color Image Transmission System

の機能特性を重視した標準色空間については、異なった見地からの検討が必要である。画像電子学会テレマティクス研究専門委員会下に設置されたカラーファクシミリ検討会(電技審カラーモデル分科会と同一)のワーキンググループであるカラー空間検討グループ(WG2)では、このような観点から標準色空間選択のための評価基準として種々の評価項目を挙げて検討を進め、この検討結果をもとにITU-Tにおける標準色空間に関する勧告、ITU-T Rec. T. 42が制定されている。WG2における検討経過の全体については、既に本誌などでの報告があるが^{1),3),4)}、本論文ではこのうちカラー画像データの高効率符号化方式による符号化効率の比較結果について、詳細に論ずることにする。

カラー画像表現に適用可能な色空間に関しては、従来より入力系・出力系・評価系・表現系・伝送系などにおいて、それぞれ利用される系の特性に適した表現形式が用いられてきた。例えば、均等知覚色空間の概念は、輝度軸と各色差軸が知覚的に独立になるように工夫されており、画像データとしても色軸間の相関が小さくなり分布特性がコンパクトになる。またカラーテレビジョンの伝送系では、入出力デバイス表色系であるRGB系からYIQ系に変換することで帯域圧縮を可能としている。同様にRGB系で表現されたデジタル画像データをYCbCr系へ変換した場合は色差軸(Cb, Cr)ではヒストグラムが狭い分布特性となる。このように一般にRGB系のようなデバイス依存表色系に対し輝度色差分離表色系の方がカラー画像表現としては効率がよく、符号化効率の観点からも効率的な情報圧縮の可能性がある⁵⁾。

しかし、従来カラー画像データの符号化方式の検討において、色空間による符号化効率の検討を行った報告は少なく、色空間の特性を利用した符号化方式の提案が見られるものの^{6)~8)}、これらは符号化効率の観点から色空間の特性を独立に評価しようとするものではない。またテレビジョン画像の標準評価規格を適用して符号化画像の主観評価による効率比較を行った例が見られる

が⁹⁾、非可逆符号化方式の評価のみで、可逆符号化方式に対する評価がなされておらず、また評価結果に対し符号量配分など十分な考察がされていなかった。なお限定色表示などの場合、均等色空間のL*軸は色差軸に対して4倍程度重要視すべきとの検討結果もある¹⁰⁾。

本論文では、カラー画像データとしての各種色空間の色再現範囲(色域, Color Gamut)を同一にするよう設定し、それぞれについて非可逆符号化方式としてJPEG方式(Baseline System)を、可逆符号化方式としてJBIG方式およびJPEG方式(Independent Function, 以下JPEG Lossless方式という)を用い、標準色空間を選定することを目的として、静止画像の符号化効率の観点からカラー画像表現に適用可能な色空間の評価方法とその結果について論ずる。以下、2章ではカラー画像通信における符号化方式(モデル)を仮定した上で、各種色空間における符号化効率評価の前提条件を明らかにし、3章において評価のための実験方法の詳細を述べる。4章でシミュレーションにより得られた実験結果と考察について論じ、5章で結論と今後の展望についてまとめる。

2. 画像通信における色空間と符号化方式、および評価方式

2.1 色空間

カラー画像通信系の一般モデル(図1¹⁾)を見てわかるように一般には入力デバイスと出力デバイスの色特性が異なるので、系全体としてのカラー・マネジメント性の保持は重要な問題である。文献1)では、この問題をデバイス非依存色空間の導入によって解決しようとした。このため色空間選択の評価基準としてデバイス非依存性を最重要条件としている。これとは別個に純粋に各色空間固有の符号化効率を評価する必要がある。

従ってここで評価対象とする色空間は必ずしもデバイス非依存である必要はないものとする。文献1)では図2に示す色空間を評価対象としているが、ここでは更に以下に述べるような点を考慮して符号化効率の評価対象選

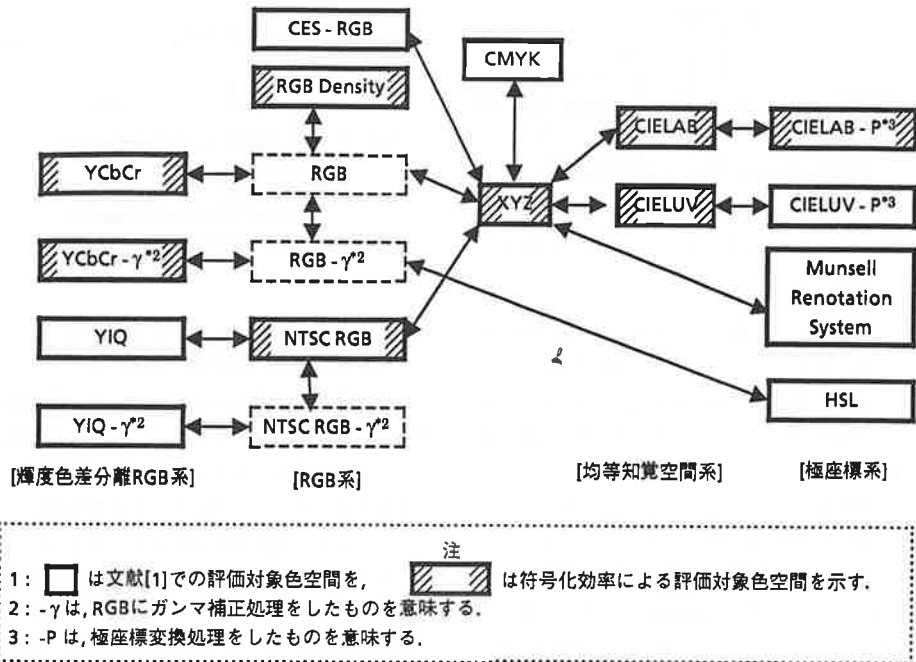


図 2 評価対象色空間とその関係
Fig. 2 Selected Color Spaces & Their Relationship

定を行っている。

なお輝度色差分離 RGB 系および RGB 系のうち、ガンマ補正処理を行ったものには接尾語 $-\gamma$ を(例えば YIQ- γ)、行っていないものには接尾語を付けないで区別している。また、CIELAB などの極座標系表示には接尾語 $-P$ を付けて区別している。

(1) JPEG 方式または JBIG 方式のアルゴリズムを適用するため本質的に色空間の各軸は数値表現できることが前提となる。従って通常直接解析的な変換が困難であるとされる色票表現を用いた色空間は評価できない。このため、HSL、修正マンセル空間は評価しない。

(2) CIELAB、CIELUV の極座標表現における色相軸(H)に関しては、ヒストグラムの分布が、JPEG 方式または JBIG 方式による圧縮効果が期待できない特性を示している。しかしながら修正マンセル色空間などのように、広範な応用分野で利用価値の高い色票系の色空間の評価が行えないため、表現形式は異なるが同様な色相軸を極座標表現形式で有する色空間も評価とすべきである。

(3) 評価の作業量を考慮して、近い特性値を有すると思われる色空間は1つで代表する。すなわち、YIQ および YIQ- γ はそれぞれ YCbCr および YCbCr- γ と同様と評価する。また CES-RGB は NTSC-RGB と、CIELUV-P は CIELAB-P と同様とする。

(4) CMYK は変換の容易性から評価対象とせず、同じデバイス表色系の NTSC-RGB と同じ評価とする。

この結果評価対象とする色空間は、YCbCr、YCbCr- γ 、CIELAB、CIELUV、NTSC-RGB、XYZ、RGB Density、CIELAB-P の 8 種類である。

2.2 符号化方式

カラー静止画像に適用可能な標準高効率符号化方式としては、JPEG 方式と JBIG 方式がある^{11),12)}。このうち JPEG 方式は 1 画素当たりの情報量が複数 bit で表現される、いわゆる多値画像データを対象とするのに対し、JBIG 方式は基本的に 2 値画像データを対象とする。従ってフルカラー画像などの多値画像データを符号化する場合、ビットプレーン分解などの前処理を必要とする。また JPEG 方式は、Baseline System と Independent Function に分けられる。

JPEG 方式 (Baseline System) の構成は、図 3 に示すように非可逆部分と可逆部分に分けられる。すなわち量子化特性の制御により原画像からの完全な復元を期待しない部分 (情報抽出部/量子化部) と、発生事象の統計的な偏りを利用し、原画像データの完全な復元が可能な部分 (符号割当部) とに分かれる⁵⁾。ここでの評価対象となるのは、原画像と復元画像の劣化の程度であり、前者の情報抽出部/量子化部が対象となる。後者の符号割当部は、符号化モデルにより生成符号量が異なってくるため

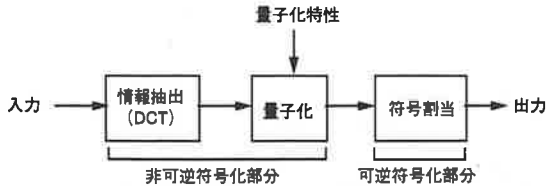


図3 JPEG方式(Baseline System)の構成
Fig. 3 Structure of JPEG Encoder (Baseline System)

この部分を含めた場合、圧縮率による復元画像の劣化程度を正しく評価できなくなる。このため量子化後のエントロピーに当たる「理想符号量」を定義し、評価のパラメータとなる圧縮率(符号量)はすべて「理想符号量」を用いる(付録A参照)。

一方、可逆符号化である、JPEG Lossless方式とJBIG方式に共通の構成モデルは、図4に示すように符号歪みを生ずる量子化部を持たず、情報抽出部と符号割当部からなる。情報抽出部は、JPEG Lossless方式では線形予測モデルを用い、JBIG方式ではマルコフ予測モデルによっている。可逆符号化の評価方法は、後述のように発生符号量により評価するため符号割当部まで含める。

なお符号割当部としては、JPEG方式ではBaseline SystemおよびIndependent Functionともハフマン符号と算術符号を用いることができ、JBIG方式では算術符号によっている。またJPEG方式におけるハフマン符号には、標準ハフマン符号(文献10)のAnnex K.3による)と画像適応ハフマン符号(文献10)のAnnex K.2による)のいずれかを利用できる。

本論文では符号化方式として、JPEG方式(Baseline System)、JPEG Lossless方式、JBIG方式の3つの方式を用いて評価を行う。

2.3 評価方式

このように、符号化方式は非可逆符号化方式と可逆符号化方式に分けられるので、評価方法としても2つの方法によっている。すなわち、非可逆符号化の評価は、原画像と復元画像の劣化程度を判定するので、以下に述べる客観評価と主観評価を用いる。

〈客観評価法〉 原画像データと符号化シミュレーションによる復元データとの画素単位の差を定義された色差式により求め、同一理想符号量(ビットレート)での値の大小を比較する。同一ビットレートでは色差が小さい方がより効率のよい色空間と評価する。

〈主観評価法〉 原画像データと符号化シミュレーションによる復元データを、同一の条件のもとにハードコピー出力し、両者を複数の評価者が視認による官能評価を行い、圧縮率による画像全体の総合的な劣化程度を判

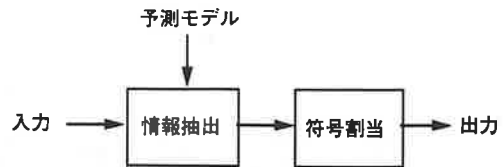


図4 可逆符号化の構成モデル
Fig. 4 Structure Model of Lossless Coding

定する。同一ビットレートのもとでは、より劣化程度の少ないものがよい色空間と評価する。

可逆符号化方式においては、圧縮・復元後の画像は入力と全く同じものであるため、圧縮・復元誤差は生じずこれによる評価は不可能である。よって、カラー画像を表現する3プレーンの画像をそれぞれ独立に符号化し、それによって生成されるビットストリームの総符号量または1画素当たりの符号量によって評価する。具体的には、発生符号量が少ないものほど、符号化するための画像を表現するのによい色空間であるといえる。

3. 評価実験方法

3.1 実験方法の概要

非可逆符号化の評価実験は、図5に示す手順に従う。すなわちオリジナルのテスト画像データをもとに、定義された変換式に従って評価対象の各色空間に変換する¹⁾。ここで、以下に述べるように色再現範囲をNTSC-RGBと仮定したため、CIELAB、CIELUVの変換についてはC光源で定義している。この変換は浮動小数点演算によって行い、変換による誤差が混入しないだけの十分な精度を持つものとする。この時各色空間の最大レンジを決定するためにオリジナルのテスト画像データの色再現範囲(色域、Color Gamut)をNTSC-RGBと仮定し、最外郭のデータを変換式によりレンジを算出する。符号化シミュレーションに用いる画像データとして、上記で求めた各色空間の色軸のレンジを8(bit)で線形量子化したデータを用いる。この画像データをJPEG方式(Baseline System)により符号化シミュレーションを行う。但しここでの符号化シミュレーションは、JPEG方式(Baseline System)において、DCTと量子化処理を行いジグザグスキャンにより得られた係数列データをJPEG圧縮データとし、エントロピー符号化は行わない。そして得られた係数列データに対し、付録Aの方法により理想符号量の算出を行う。次に係数列データ(JPEG圧縮データ)の復号を行う。復号シミュレーションにおいても、エントロピー復号は不要であるので、直接係数列データを8×8画素のブロックに復元し逆量子化および逆DCT

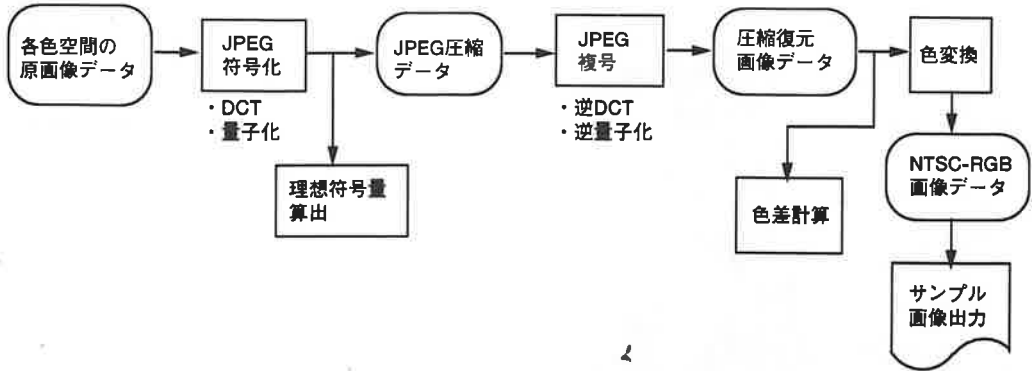


図5 非可逆符号化方式の圧縮復元シミュレーション実験法
Fig.5 Simulation Procedure of Non-reversible Coding

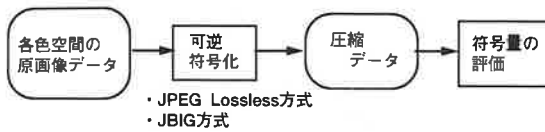


図6 可逆符号化方式の圧縮シミュレーション実験法
Fig.6 Simulation Procedure of Lossless Coding

を行い、圧縮復元画像データを得る。得られた圧縮復元画像データは、原画像データとの間で色差計算が行われ、また色変換処理の後サンプル画像出力を行う。

可逆符号化方式による評価実験の手順を図6に示す。可逆符号化においても、非可逆符号化で用いた変換により各色空間での画像を入力として符号化シミュレーションを行う。可逆符号化シミュレーションにおいては、用いられる符号化方式の完全なシミュレーションが行われ、その結果得られる圧縮画像データは、JPEG Lossless方式またはJBIG方式の符号化ビットストリームそのものである。そして得られた符号化ビットストリームの符号量を評価する。

3.2 色空間の各軸のレンジの決定

入力されたNTSC-RGB空間の画像を各色空間に変換した後、画素単位に8(bit/pel, 以下bpp)のデータとするために、変換後の色空間での各軸の値の存在するレンジつまり最大値と最小値を知る必要がある。今回は入力画像がNTSC-RGBであるものと考え、NTSC-RGB空間において考えられるすべての値(R, G, B)をそれぞれの色空間に変換した後、それぞれの軸独立に最大値と最小値を求める方法をとった¹⁾。

より具体的には、NTSC-RGB空間でとり得る値の範囲 $0 \leq R, G, B \leq 100$ を各軸とも等間隔(10の間隔)に11点とり、3色の組み合わせ $11 \times 11 \times 11 = 1331$ のすべての点を各色空間に変換した後の1331組の値の中から、そ

表1 テストチャート
Table 1 Test Chart

画像データ	NTT 光ネットワークシステム研究所作成の超高精細画像デジタルテスト画像(V.3.0A)
画像名	PM003
画像データ色空間	RGB
画像サイズ	2048画素×2048画素*1

*1) オリジナルは、4096画素×4096画素/12bit、これを $1/2 \times 1/2$ に単純間引きにより縮小し、各色軸を8bitに量子化したもの。視認でモアレなどのエリアシングによる影響は見受けられないことを確認している。

それぞれの軸独立に最大値と最小値を求め各色空間のレンジとする。

3.3 テストチャート

使用するテストチャートとしては、カラーファクシミリ特性や要求仕様を前提において、主観評価の際に種々のカラー画像の性質を含むものが望ましく、また解像度としては現実のスクリーン/プリンタの解像度を考えてA4版で300~400PPI(pixel/inch)相当の画素数を有するものがよい。現在入手可能な標準的なカラーデジタル画像データにはSCIDやITEのテストデータがある^{13),14)}、以上の条件を満たすテストチャートとして表1に示すものを選択している。図7に実際の画像を示す。オリジナルの画像データは、4096画素×4096画素で12(bpp)のデータであるが、これを $1/2 \times 1/2$ に単純間引きにより縮小し、各色軸を8(bpp)に量子化したものである。視認でモアレなどのエリアシングによる影響は見受けられないことを確認している。

なお、このテストチャートのデータから評価対象となる各種色空間へ変換したデータのヒストグラムと、それぞれの色空間の統計量(平均、分散、スキュー(分布の偏り)、エネルギー(分布の集中度)、エントロピー)の計算

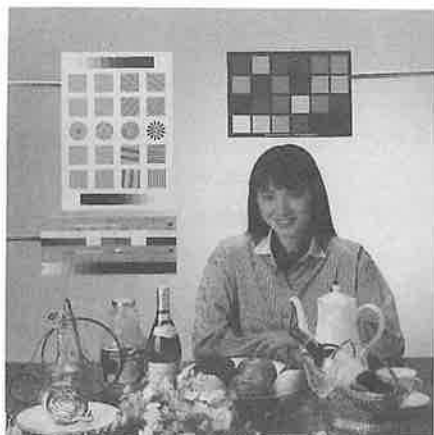


図 7 テストチャート
Fig. 7 Test Chart

表 2 非可逆符号化方式の符号化パラメータ設定
Table 2 Non-reversible Coding Parameters

JPEG システム	JPEG Baseline System
画像サイズ	2048 画素 × 2048 画素
サブサンプリング	1:1:1 (サブサンプリングなし)
量子化テーブル	JPEG 標準テーブル (文献 [10] の Annex K.1 による) ・輝度色差系色空間は輝度画像には Table K.1, 色差画像には Table K.2 を使用 ・それ以外の色空間はすべての軸に Table K.1 を使用
ビットレート	理想符号量を用いて以下のビットレートで行う 0.5(bpp), 1.0(bpp)

値を求めたものを付録 B に示す。

3.4 符号化方式のパラメータ設定

3.4.1 非可逆符号化方式における符号化パラメータの設定

非可逆符号化方式の符号化パラメータ設定を表 2 に示す。

圧縮率の設定においては、特に主観評価において劣化程度が視覚的に十分認識でき、信頼性の高い評価が期待できる圧縮率とすべきである。経験的に一般的なビクトリアルなカラー画像データでは、原画像データ（データ量 24 (bpp)）に対して圧縮率 1/24 程度（復元画像データ量 1.0 (bpp)）が視覚的な検知限界であり、また用いられるテストチャートの画像データにおいても各色空間の比較を考慮すると、理想符号量において 1.0 (bpp) と 0.5 (bpp) での評価が適当である。

圧縮率制御の方法は量子化特性を変化させることにより行っている。すなわち量子化テーブルにおいて以下に説明するスケーリングファクタ (f_s) と呼ばれる係数を導入し、これを変更することにより行う。 f_s は量子化テーブルの量子化ステップサイズを式 (1) のように制御する

表 3 JPEG Lossless 方式の符号化パラメータ設定

Table 3 JPEG Lossless Coding Parameters

エントロピー符号化 conditioning band	算術符号 L=0, U=1
入力データ	すべての入力は 8bit の正整数として扱う
予測モード	モード 7 ($x=(R_a+R_b)/2$) Rc Rb Ra x ただし、以下の場合を除く。 - 画像の先頭の画素：予測値 = 128 (入力の平均値) - 最初のライン：予測モードはモード 1 (直左の画素を予測値とする) - 各ラインの先頭画素：モード 7 で $R_a=128$

表 4 JBIG 方式の符号化パラメータ設定

Table 4 JBIG Coding Parameters

画像サイズ	2048 画素 × 2048 ライン
サブサンプリング	1:1:1 (サブサンプリングなし)
JBIG システム	非階層シーケンシャル符号化
ストライプサイズ	2048
モデルテンプレート	3 ラインテンプレート
DP (deterministic prediction)	使用せず
TP (typical prediction)	ク
AT (adaptive template)	ク

ものである。

$$Sq(i, j) = Q(i, j) * f_s / 50 \quad (1)$$

$Sq(i, j)$: 量子化ステップサイズ

$Q(i, j)$: 量子化テーブル値

f_s : スケーリングファクタ

i, j : DCT 係数位置 ($=0 \sim 7$)

定められた理想符号量となる f_s を得る方法としては、逐次比較法によっている。なお、量子化ステップサイズの精度の限界 (8 bit) のため、理想符号量の精度を、0.5 (bpp) においては 0.50 ± 0.01 (bpp), 1.0 (bpp) においては 1.00 ± 0.01 (bpp) 以内で最も中心値に近い f_s を選択することを原則とし、 ± 0.01 以内に収まらない場合は最も中心値に近い値を用いるものとする。

3.4.2 可逆符号化方式における符号化パラメータの設定

可逆符号化方式の符号化パラメータ設定を、表 3, 表 4 に示す。

可逆符号化方式のうち、JPEG Lossless 方式においてはテスト画像データが各色軸 8 (bpp) の階調を持つ自然画像データを、各軸ごとに前置予測によりその予測誤差をエントロピー符号化する。この際エントロピー符号化には算術符号を用いている。これは、標準ハフマン符号、画像適応ハフマン符号、算術符号の 3 方式を比較した予備実験により、すべての色空間において算術符号が最も符号量が少ないことが確認できたことによる。もちろん、

表5 画像サンプル出力装置の仕様

Table 5 Image Sample Printer Specification

プリンタ機種	ビクトログラフィ 2000(富士写真フィルム製)
方式	LED 露光, 熱現像転写による銀塩写真方式
解像度	11.2dot/mm
表示色	CMY 各 256 色
入力データ	NTSC-RGB

情報源符号化にどの方式を用いてもある程度の比較をすることは可能である。しかし、標準ハフマン符号、画像適応ハフマン符号に比較し算術符号によって生成される符号量は、情報源符号器(この場合は前置予測値)から生成される情報源のエントロピーにより漸近し、かつ情報源の性質に依存しない⁵⁾ことが示されている。よって、圧縮率による比較を行う意味では、3方式の中では最も有効な手法であるといえる。以上の理由により、エントロピー符号化には算術符号を用いた。

一方、JBIG方式においては、テスト画像データが各色軸8(bpp)の階調を持つ自然画像データであるので、これを2値画像データに変換する。ここでは各色軸プレーンにおける原画像(8bpp)をgray-code化⁵⁾し、それぞれのビットプレーンごとに符号化を行う。なお、DP(deterministic prediction), TP(typical prediction), AT(adaptive template)は使用しない。

3.5 色差式の定義

客観評価による評価尺度として、前述のように原画像データと圧縮復元データとの画素単位の色差を算出して評価するが、色差式の定義は以下のように定める。すなわち、色差を2つの均等知覚色空間(CIELAB, CIE-LUV)上での原画像データと圧縮復元データの2点間の距離と定義する。従って色差の定義式は、CIELABおよびCIELUVの各々の空間上で式(2), (3)のように表される。

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2)$$

$$\Delta E^*_{uv} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2} \quad (3)$$

$$\Delta L^* = \bar{L}^* - L^*$$

(L^* は原画素データ, $\bar{L}^*$ は復元画素データ)

$$\Delta a^* = \bar{a}^* - a^*$$

(a^* は原画素データ, $\bar{a}^*$ は復元画素データ)

$$\Delta b^* = \bar{b}^* - b^*$$

(b^* は原画素データ, $\bar{b}^*$ は復元画素データ)

色差の評価基準は、全画素に対する色差の平均値 ΔE^*_{ab} , ΔE^*_{uv} とする。すなわち、式(4), (5)で算出する。

$$E^*_{ab} = \sqrt{\frac{1}{YSize \cdot XSize} \sum \sum (\Delta E^*_{ab})^2} \quad (4)$$

$$E^*_{uv} = \sqrt{\frac{1}{YSize \cdot XSize} \sum \sum (\Delta E^*_{uv})^2} \quad (5)$$

3.6 圧縮復元画像サンプルの出力方法

主観評価に使用する圧縮復元画像サンプルの出力は、表5に示すプリンタ装置によって行われる。なおサンプルの出力に用いたプリンタ装置の入力色空間は、NTSC-RGBであるので復元画像データおよび原画像データは一旦NTSC-RGBに変換する必要があるが、ここにおい

ても計算誤差に起因する変換精度を確保するため、浮動小数点演算により行っている。なお、プリンタの個体差が画質評価への変動要因となる可能性を考慮し、1圧縮復元サンプルごとに2台のプリンタでサンプル出力して評価を行った。

3.7 主観評価測定法

主観評価測定法としては、複数の評価者により原画像と復元画像をランダムに比較して官能評価する二重刺激妨害尺度法を基本にした評価を行い、評価結果を総合して定性的なランク付けを行う方法としている。評定者数は約40名(WG2/WG3/WG4のメンバー、いずれも画像処理の専門家)、評価画像数は1つの色空間の圧縮復元画像につき、2つの圧縮率(0.5(bpp), 1.0(bpp))を評価するので、合計32サンプルである。

4. 比較結果と考察

4.1 比較結果

4.1.1 非可逆符号化の色差による圧縮復元誤差の比較結果

評価対象の色空間それぞれについて、圧縮復元シミュレーションにより求めた理想符号量(ビットレート)の算出結果とそれぞれを与える f_s の値を表6に示す。各色空間について、トータルのビットレートと各色軸ごとのビットレートをまとめている。これから式(4), (5)に従って色差を求めた結果を表7に示す。これを各色空間について測定したビットレート(bpp)を横軸としたグラフで表すと図8(a), (b)のようになる。図8(a)はCIELAB空間上での色差、図8(b)はCIELUV空間上での色差である。これから以下のことがわかる。

- ① ビットレートが下がると色差は一樣に増加する。
- ② CIELAB空間上での、1.0(bpp)でのビットレートでの色差の大きさの相対的順位は評価のよい順に、CIELUV, CIELAB, YCbCr- γ , YCbCr, NTSC-RGB, RGB Density, CIELAB-P, XYZである。CIELUV空間上では、同じく1.0(bpp)でのビットレートでは、NTSC-RGBとRGB Densityの逆転が見られる以外はCIELAB空間と同じである。
- ③ 0.5(bpp)では、NTSC-RGB, RGB Density, XYZ

表 6 非可逆符号化のシミュレーション結果
Table 6 Simulation Result of Non-reversible Coding

(a) その 1

色空間	f_s	component	理想符号量 / 画素 (bit/pel)	理想符号量 (bit)
XYZ	231	X	0.1698	708,594
		Y	0.1755	736,181
		Z	0.1545	647,815
		total	0.4989	2,092,591
	77	X	0.3380	1,417,636
		Y	0.3497	1,466,803
		Z	0.3166	1,327,847
		total	1.0043	4,212,287
CIELAB	72	L*	0.3381	1,418,295
		a*	0.0673	282,212
		b*	0.0953	399,574
		total	0.5007	2,100,082
	24	L*	0.6239	2,616,767
		a*	0.1660	696,379
		b*	0.2095	878,598
		total	0.9994	4,191,745
CIELAB-P	201	L*	0.1764	739,922
		H*	0.2811	1,179,107
		C*	0.0428	179,424
		total	0.5003	2,098,454
	76	L*	0.3282	1,376,673
		H*	0.6260	2,625,701
		C*	0.1007	422,156
		total	1.0549	4,424,531
CIELUV	73	L*	0.3353	1,408,258
		u*	0.0569	238,557
		v*	0.1093	458,460
		total	0.5015	2,103,276
	24	L*	0.6239	2,616,767
		u*	0.1454	609,805
		v*	0.2396	1,004,987
		total	1.0089	4,231,560
NTSC-RGB	240	R	0.1694	710,441
		G	0.1801	755,453
		B	0.1503	630,225
		total	0.4998	2,096,120
	81	R	0.3362	1,410,088
		G	0.3548	1,488,236
		B	0.3067	1,286,466
		total	0.9977	4,184,791

(b) その 2

色空間	f_s	component	理想符号量 / 画素 (bit/pel)	理想符号量 (bit)
RGB density	107	R	0.1676	703,036
		G	0.1813	760,361
		B	0.1503	634,700
		total	0.5002	2,098,098
	37	R	0.3320	1,392,669
		G	0.3601	1,510,287
		B	0.3136	1,315,149
		total	1.0057	4,218,105
YCbCr	71	Y	0.3662	1,536,014
		Cb	0.0826	346,456
		Cr	0.0491	206,043
		total	0.4979	2,088,514
	25	Y	0.6939	2,910,429
		Cb	0.1786	749,259
		Cr	0.1248	523,408
		total	0.9973	4,183,097
YCbCr- γ	63	Y	0.3659	1,534,552
		Cb	0.0831	348,682
		Cr	0.0494	207,183
		total	0.4984	2,090,419
	22	Y	0.6814	2,857,806
		Cb	0.1834	769,227
		Cr	0.1279	536,242
		total	0.9926	4,163,276

表 7 圧縮復元誤差

Table 7 Color Difference between Original and Reconstructed Image

色空間	(bit/pel)	Erms (CIELAB)	Erms (CIELUV)
XYZ	0.50	11.05	13.50
	1.00	6.78	8.15
CIELAB	0.50	4.13	5.70
	1.00	2.86	3.98
CIELAB-P	0.50	6.08	8.36
	1.05	4.67	6.56
CIELUV	0.50	4.09	5.45
	1.01	2.84	3.80
NTSC-RGB	0.50	7.29	8.72
	1.00	4.32	5.26
RGB density	0.50	6.26	8.66
	1.01	3.99	5.51
YCbCr	0.50	5.32	6.49
	1.00	3.67	4.58
YCbCr- γ	0.50	4.35	5.86
	0.99	3.08	4.17

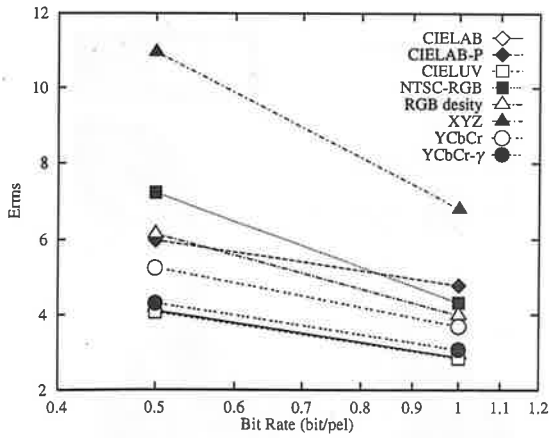


図 8 (a) 圧縮復元誤差比較 (CIELAB 空間での色差による)

Fig. 8 Color Difference between Original and Reconstructed Image (Erms in CIELAB)

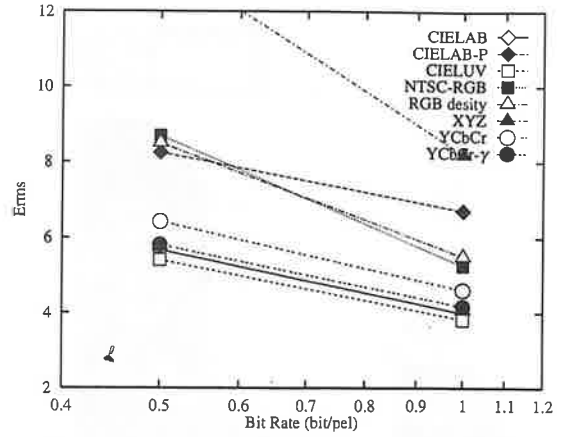
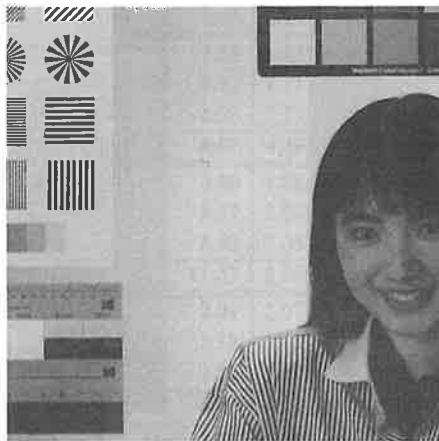
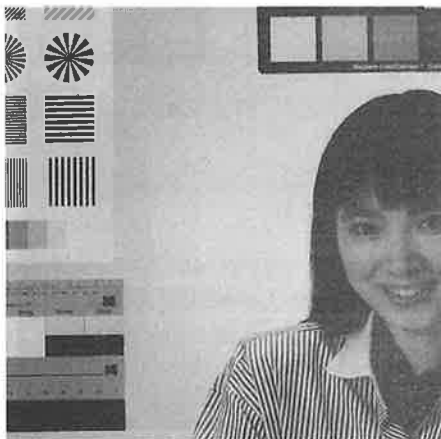


図 8 (b) 圧縮復元誤差比較 (CIELUV 空間での色差による)

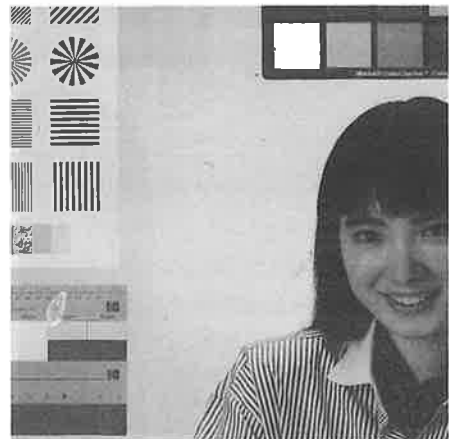
Fig. 8 (b) Color Difference between Original and Reconstructed Image (Erms in CIELUV)



(a) 原画(拡大)



(b) YCbCr-gamma(0.5 bpp)



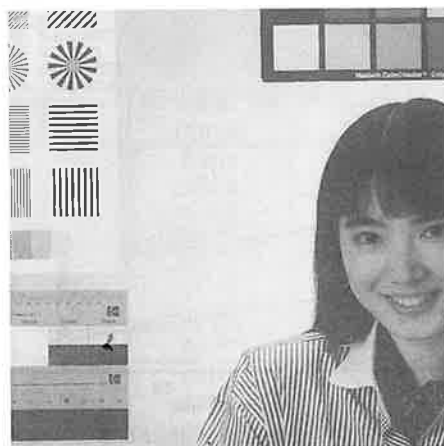
(c) YCbCr-gamma(1.0 bpp)

図 9 圧縮復元画像サンプル(その1)

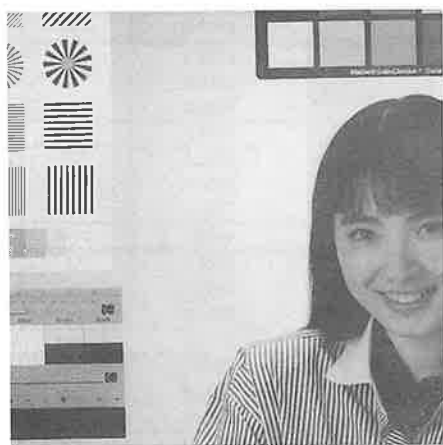
Fig. 9 Reconstructed Image Samples (No. 1)



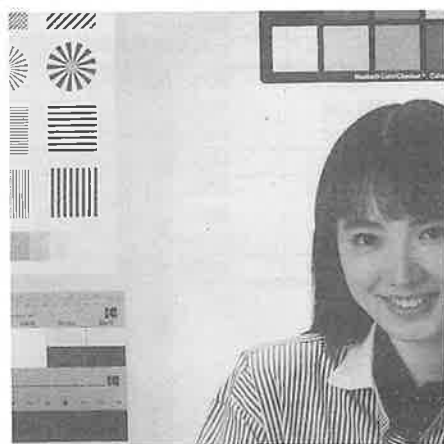
(d) CIELAB(0.5 bpp)



(e) CIELAB(1.0 bpp)



(f) NTSC-RGB(0.5 bpp)



(g) NTSC-RGB(1.0 bpp)



(h) XYZ(0.5 bpp)



(i) XYZ(1.0 bpp)

図 9 圧縮復元画像サンプル(その2)
Fig. 9 Reconstructed Image Samples (No. 2)

表 8 可逆符号化のシミュレーション結果
Table 8 Simulation Result of Lossless Coding

色空間	component	JBIG 方式		JPEG Lossless 方式 (算術符号)	
		符号量 / 画素 (bit/pel)	符号量 (byte)	符号量 / 画素 (bit/pel)	符号量 (byte)
XYZ	X	3.42	1,792,304	3.41	1,778,001
	Y	3.59	1,882,963	3.62	1,896,957
	Z	3.84	2,011,095	3.86	2,023,150
	total	10.85	5,686,362	10.89	5,708,108
CIELAB	L*	3.16	1,657,482	3.15	1,650,842
	a*	2.43	1,274,285	2.52	1,320,508
	b*	2.94	1,543,671	2.97	1,557,221
	total	8.54	4,475,438	8.64	4,528,571
CIELAB-P	L*	3.16	1,657,482	3.15	1,650,842
	H*	5.36	2,808,850	5.77	3,024,103
	C*	3.14	1,647,825	3.20	1,680,238
	total	11.66	6,114,157	12.12	6,355,183
CIELUV	L*	3.16	1,657,482	3.15	1,650,842
	u*	2.12	1,112,405	2.23	1,169,344
	v*	3.28	1,772,205	3.31	1,733,344
	total	8.57	4,492,092	8.69	4,553,530
NTSC-RGB	R	3.59	1,884,298	3.61	1,892,741
	G	3.87	2,030,463	3.94	2,006,443
	B	3.90	2,044,664	3.93	2,057,986
	total	11.37	5,959,425	11.48	6,017,170
RGB density	R	2.08	1,073,713	2.12	1,110,542
	G	2.17	1,139,798	2.26	1,182,928
	B	2.27	1,190,107	2.34	1,224,902
	total	6.49	3,403,618	6.71	3,518,372
YCbCr	Y	3.59	1,882,963	3.62	1,896,957
	Cb	2.93	1,536,917	2.96	1,549,454
	Cr	2.21	1,160,057	2.30	1,203,252
	total	8.74	4,579,937	8.87	4,649,663
YCbCr- γ	Y	3.23	1,691,413	3.21	1,683,012
	Cb	2.58	1,354,407	2.62	1,373,788
	Cr	1.85	971,941	1.98	1,040,346
	total	7.66	4,017,761	7.81	4,097,146

において色差の増加が他の色空間より顕著である。

④ 総体的に輝度色差分離表色系の方が色差の値は小さく、この中では YCbCr がやや劣る。NTSC-RGB, RGB Density, CIELAB-P が同様の傾向を示し、XYZ は非常に悪い。

4.1.2 非可逆符号化の主観的画質評価による比較結果

図 9 に、原画像と圧縮復元画像サンプルのいくつかの例を示す。得られた 8 種類の色空間と 2 種類のビット

レート of 画像サンプルについて、評価者による主観評価の定性的なランク付けは以下ようになった。

A ランク：YCbCr, YCbCr- γ , CIELAB, CIELUV

B ランク：NTSC-RGB, RGB Density

C ランク：XYZ, CIELAB-P

また、各画像サンプルについて個別に再現性を観察した結果は以下の通りであった。

(1) 1.0(bpp)においては、YCbCr, YCbCr- γ , CIELAB, CIELUV は解像度チャートの部分に極わずか

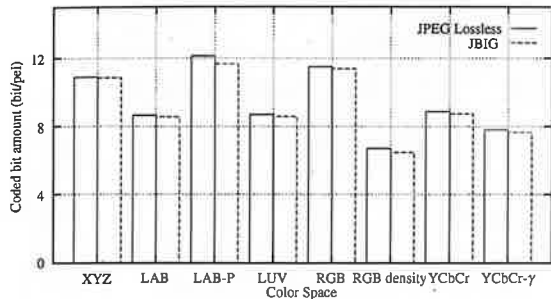


図 10 可逆符号化の圧縮率比較
Fig. 10 Lossless Coding Result

に劣化が認められるものの、ほとんど原画との差はない。NTSC-RGB は解像度チャートのモアレ、色見本部のリングングの他、背景部に疑似輪郭が認められる。XYZ は人物を含めて全体に劣化が大きい、特に解像度チャートが激しく劣化している。RGB Density、CIELAB-P は背景部の疑似輪郭が目立つが、人物の顔や解像度チャートは XYZ ほどではない。

(2) 0.5(bpp)においては顕著に画質が劣化するが、YCbCr, YCbCr- γ , CIELAB, CIELUV では解像度チャート、色見本、背景部に同程度の劣化が見え始める。NTSC-RGB はこれらに加え、人物や静物にブロック歪みが見れる。XYZ, RGB Density, CIELAB-P はブロック歪みが更に顕著となり全体に非常に激しく劣化している。

4.1.3 可逆符号化の圧縮率比較結果

JPEG Lossless 方式および JBIG 方式におけるそれぞれのシミュレーション結果を表 8 および図 10 に示す。この結果から次のようなことがいえる。

(1) JPEG Lossless 方式および JBIG 方式のいずれにおいても、各色空間の圧縮率による評価順位は同じであり、RGB Density, YCbCr- γ , CIELAB, CIELUV, YCbCr, XYZ, NTSC-RGB, CIELAB-P の順となる。

(2) JPEG Lossless 方式と JBIG 方式の圧縮率はいずれの色空間においてもわずかに JBIG 方式の方が圧縮率がよい。

(3) 非可逆符号化方式と比較し、RGB Density の順位がよくなるがそれ以外はほぼ同じ傾向を示し、一般に輝度色差分離表色系の方が圧縮率はよい。

4.2 結果の考察

以上に述べた非可逆符号化方式および可逆符号化方式による比較結果から、評価対象に選定した 8 種類の色空間の符号化効率による評価結果は次のように要約できる。

(1) 非可逆符号化による評価では、輝度色差分離表色系の色空間の符号化効率が優れている。NTSC-RGB

と RGB Density が次順位のグループであり、CIELAB-P と XYZ が劣る。

(2) 可逆符号化による評価では、RGB Density が最もよい順位となる以外は、輝度色差分離表色系以下の評価順位は、ほぼ非可逆符号化による評価と同じである。

ここで、このシミュレーション結果について考察すると次のことがわかる。JPEG 方式 (Baseline System) では輝度軸 (L^* または、 Y) への符号量配分が総理想符号量の 2/3 以上を占め、色差軸 (a^* , b^* または Cb , Cr) は 2 つ合計しても全体の 1/3 以下である。これについては、ヒストグラムの分布特性の他に量子化特性の差による影響が大きい。すなわち、JPEG 方式 (Baseline System) においては、色差画像用の量子化テーブルの特性が、輝度画像用に比較して全体的に量子化ステップサイズが大きく、圧縮率が向上する。この結果、色差画像より視覚的に歪みを検知しやすいといわれる輝度画像の量子化歪みを低減することができ、全体の歪みを抑えることができていたものと考えられる。これは色差値を用いた客観評価についても同様のことがいえる。また CIELAB-P は、色相軸 (H^*) の配分が最も多く、 L^* は相対的に少なくなり、逆の結果となる。

可逆符号化方式では、 v^* を除くと輝度軸より色差軸の符号量が少ない。CIELAB-P は同じく色相軸 (H^*) の符号量が最も多くなる。また RGB Density は、NTSC-RGB, XYZ に比べて各軸とも符号量が平均的に小さい。テスト画像データの統計量を比較すると、輝度軸および RGB 系と XYZ の各軸のエントロピーに対し、色差軸のそれは小さく、(必ずしもエントロピーの差には比例しないが) 一般に符号量も小さくなる。但し、輝度軸、および RGB 系と XYZ の各軸同士、色差軸同士の中ではエントロピーと符号量はほぼ比例関係が認められる (輝度軸および RGB 系と XYZ のの中では、RGB Density の各軸のエントロピーが小さい)。また JBIG 方式においては、ビットプレーン分解と Gray Code 変換処理の符号化効率への影響の理論的な検討が十分でないが、この処理が不要な JPEG Lossless 方式の結果と同等なため妥当な評価結果と考えられる。

またここで用いた評価条件に関する考察は以下のようになる。

テストチャートは作業量を考慮して 1 種類のみで行った。特性の異なる画像において評価結果が変わることを考えて、なるべく多様な要素を含むものを選び、またそれぞれの要素ごとに歪みの発生の仕方が変化するが (例えば絵柄によってブロック歪みと疑似輪郭の出方が異なる)、歪みとしてほぼ等価とみなして評価した。より厳密には、数種類のテストチャートを用いて画像の特性ごと

の効率を評価するのが望ましい。

量子化テーブルに関しても、標準テーブルの1種類だけを使用して評価した。原理的には画像ごとおよび各色軸ごとに最適化された量子化テーブルの作成により最大符号化効率を得ることは可能であり、今後の研究課題として最も重要な項目の1つであると考えられる。

同様に、各色軸はすべて8(bit)に量子化して評価した。これは基本的に非可逆符号化方式として、JPEG方式(Baseline System)を用いることを前提としたためである。実装上とスキャナや画像処理の経済性などから、各軸8(bit)とするのが実用的であろう。

可逆符号化方式では、このような前提条件は不要であるので各軸のビット配分を変えることによる符号化効率への影響は、今後検討されるべき項目である。更に輝度色差分表色系の場合、色差軸のサブサンプリングによる影響の評価も重要と考えられ、サブサンプリングの方式の評価とともに検討が必要である。

可逆符号化方式の評価については、圧縮・復元による誤差は生じないが、色変換後の8(bit)量子化に伴う誤差は生じる。これに関しては、文献^{11,15)}において別途検討がなされている。

以上考察したように、JPEG方式およびJBIG方式を符号化方式として用いる場合、輝度色差分表色系の色空間が総合的に符号化効率の向上に有利であるといえる。

5. おわりに

画像通信における標準伝送色空間の選択のため、本論文では符号化効率を評価基準に設定し、非可逆符号化方式においては色差による客観評価および画像サンプルによる主観評価を行い、可逆符号化方式では圧縮率を評価した。

本論文における評価条件は、画像サンプルを1種類に限定し、また非可逆符号化方式としてJPEG方式(Baseline System)を、可逆符号化方式としてJPEG Lossless方式とJBIG方式を用いて行った。JPEG方式(Baseline System)ではサブサンプリングは行わず、また量子化テーブルは標準テーブルのみを用いるなど限定した条件下で評価を行った。JBIG方式においても、多値画像から2値画像への変換にGray Code変換を用い、符号化パラメータは限定して評価した。今後更に、これら評価条件をより広い範囲に設定して検討を続ける必要があると考えられるが、ここで使った条件はカラーファクシミリを含む実際の画像通信装置における符号化方式の使用条件に近い環境と考えられ、標準色空間の選択のための十分なデータを提供できるものであると思われる。

ここに述べた結果を含むWG2の検討結果をもとに、既にITU-TにおいてCIELABをマングトリとして採用した勧告T.42が制定されている。ITU-Tでは、現在この勧告に関連する議題を審議する課題名を「カラーモデル」としており、この勧告もカラーファクシミリに限定されるものでなく、広くカラー画像表現に適する色空間標準として機能するものと期待される。

謝 辞 本論文をまとめるにあたり、基礎データとなる超高精細画像ディジタルテスト画像を提供して頂いたNTT光ネットワークシステム研究所伝送処理研究部小野定康氏に感謝します。また、御指導頂いた東京工業大学酒井善則教授、およびNTTプリンテック(株)松木眞氏はじめ、御協力頂いたカラーファクシミリ検討会委員各位に感謝します。

(1995年8月11日受付)

参考文献

- 1) 池上, 花村, 会津, 山田, 遠藤, 石川, 金森, 加藤, 洪, 木下: "カラーファクシミリ用色空間の評価", 画像電子学会誌, Vol. 24, No. 1, pp. 87-110 (1995).
- 2) 山崎: "文書交換のためのカラー技術", 画像電子学会誌, Vol. 20, No. 6, pp. 617-622 (1992).
- 3) 酒井, 池上, 小野, 大町, 松木: "カラーファクシミリ標準化の現状と課題", 画像電子学会誌, Vol. 21, No. 3, pp. 188-194 (1992).
- 4) 池上: "カラーファクシミリの標準化動向—色空間の選択—", 色彩工学コンファレンス講演予稿集 (1992).
- 5) 原島: "画像情報圧縮—テレビジョン学会編 先端技術の手ほどきシリーズ—", オーム社 (1991).
- 6) E. L. Hall: "Computer Image Processing and Recognition", Academic Press (1979).
- 7) 山口: "カラー画像のコンポネント符号化", 電子情報通信学会技術研究報告, IE83-101 (1983).
- 8) W. K. Pratt: "Spatial transform coding of color images", IEEE Trans. on Comm., COM-19, 6 (1971).
- 9) 西村, 谷川: "JPEG符号化における色空間と画像品質の関係", 電子情報通信学会春期全国大会, D-305 (1993).
- 10) 田島, 池田: "人の視覚特性を考慮したカラー画像の高画質限定色表示", 画像電子学会誌, Vol. 18, No. 5, pp. 293-301 (1989).
- 11) ITU-T Rec. T.81: "Digital Compression and Coding of Continuous-tone Still Image" (JPEG), (1992).
- 12) ITU-T Rec. T.82: "Progressive Bi-level Image Compression" (JBIG), (1992).
- 13) テレビジョン学会編: "ディジタル標準画像・再標準化画像解説書", テレビジョン学会 (1987).
- 14) 梶: "高精細カラーディジタル標準画像について", 画像電子学会誌, Vol. 18, No. 5, pp. 349-357 (1989).
- 15) 池上, 金森, 他: "画像通信に用いる色空間の評価—量子化誤差による比較—", 画像電子学会誌 (投稿予定).

付録A 理想符号量の算出

理想符号量は、JPEG方式(Baseline System)において量子化処理に伴う画質劣化を純粋に評価し、符号化効率として理想的な圧縮特性を求めるため、エントロピー符号化処理やマーカーコードなどのオーバーヘッドを除去

し、量子化処理後の係数の事象発生確率のエントロピーを計算することによって得る。従って圧縮復元シミュレーションにおいても、ハフマン符号または算術符号による符号化処理は行っておらず、量子化処理後のデータをそのまま逆量子化し、更に逆 DCT により復元画像を求めている。理想符号量は各色成分ごとの事象発生確率を求め、それらの各色成分のエントロピーを加算して求める。理想符号量の定義式を以下に示す。

各色成分ごとの DC 成分の符号量(理想)を C_{DC} , AC 成分の符号量(理想)を C_{AC} , 総ブロック数を N とすると,

$$C_{DC} = N \sum_n P_n \cdot (-\log P_n + B_n) \quad (6)$$

P_n : DC グループ n の発生確率 ($\sum_n P_n = 1$)

B_n : DC グループ n の付加ビット数

$$C_{AC} = N_P \left\{ \sum_{i,n} P_{i,n} \cdot (-\log P_{i,n} + B_{i,n}) \right. \\ \left. - P_{zrl} \cdot \log P_{zrl} - P_{eob} \cdot \log P_{eob} \right\} \quad (7)$$

N_P : 総発生事象数 (有効係数/ゼロランのペア, ZRL, EOB の発生総数)

$P_{i,n}$: 有効係数グループ n

/ゼロラン i の発生確率

$B_{i,n}$: 有効係数グループ n

/ゼロラン i の付加ビット数

P_{zrl} : ZRL の発生確率

P_{eob} : EOB の発生確率

$$(\sum_{i,n} P_{i,n} + P_{zrl} + P_{eob} = 1)$$

従って画像全体の理想符号量 C は、各色成分 c ごと
の C_{DC} , C_{AC} から、

$$C = \sum_c (C_{DC} + C_{AC}) \quad (8)$$

が得られる。

付録 B 各色空間のヒストグラムと統計量

(付図 B-1~B-8 参照のこと)

・確率密度

$$p(b) = \text{prob}\{f(i, k) = b\} \quad (9)$$

b : 画素値 (0~255)

$f(i, k)$: 位置 (i, k) の画素値からなる画像

・平均

$$\bar{b} = \sum_{b=0}^{255} b \cdot p(b) \quad (10)$$

・分散

$$\sigma_b^2 = \sum_{b=0}^{255} (b - \bar{b})^2 \cdot p(b) \quad (11)$$

・スキュー: 分布の偏りを示す。

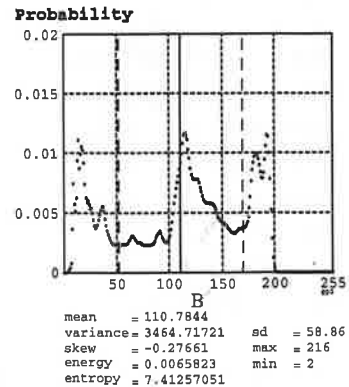
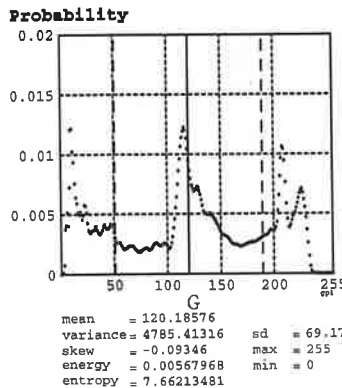
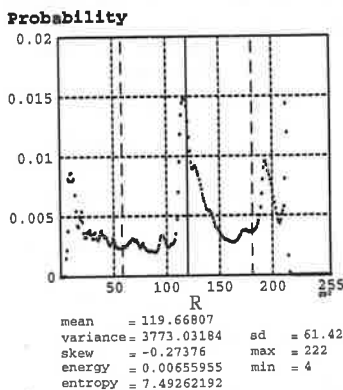
$$b_s = \frac{q}{\sigma_b^2} \sum_{b=0}^{255} (b - \bar{b})^3 \cdot p(b) \quad (12)$$

・エネルギー: 分布の集中度を表す。

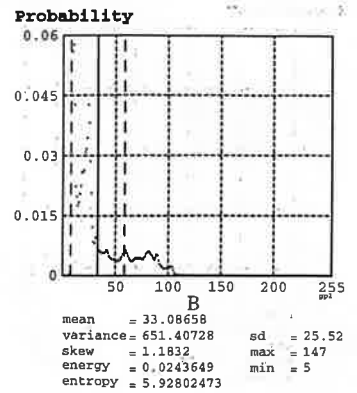
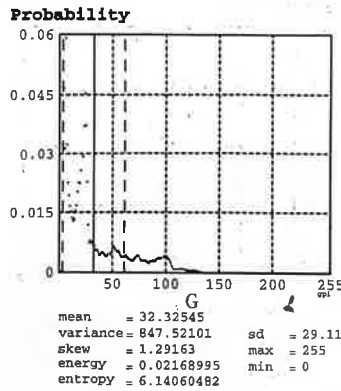
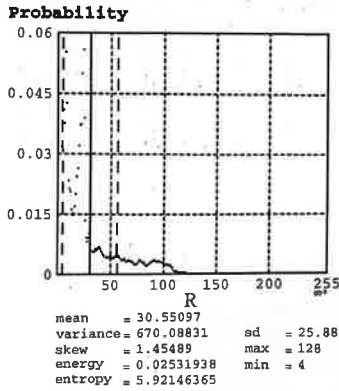
$$b_N = \sum_{b=0}^{255} \{p(b)\}^2 \quad (13)$$

・エントロピー: 情報量を表す。

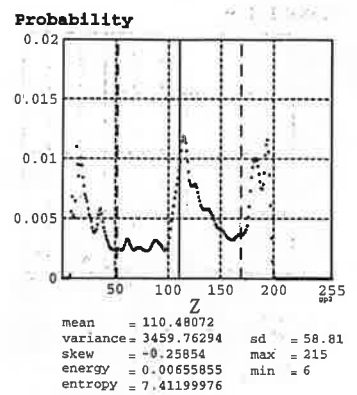
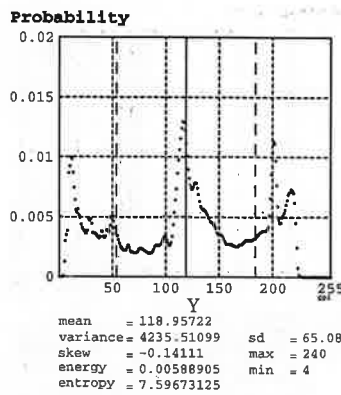
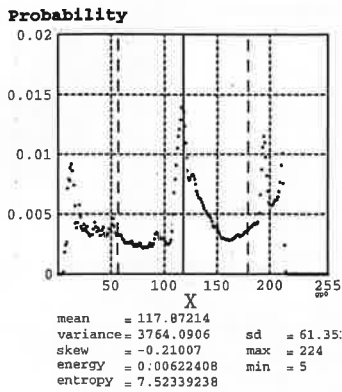
$$b_E = - \sum_{b=0}^{255} p(b) \log_2 p(b) \quad (14)$$



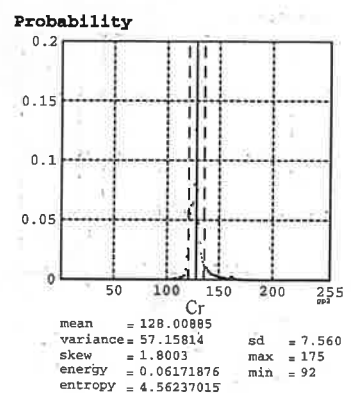
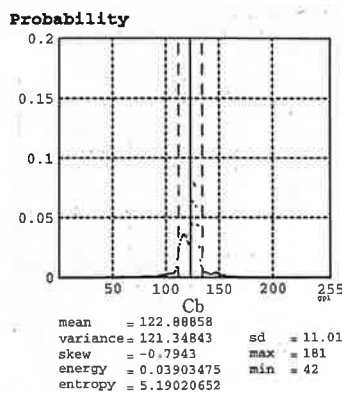
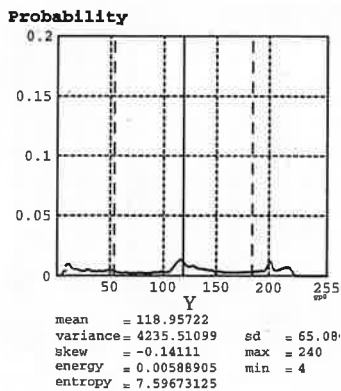
付図 B-1 NTSC-RGB のヒストグラム
Fig. B-1 Histograms of NTSC-RGB



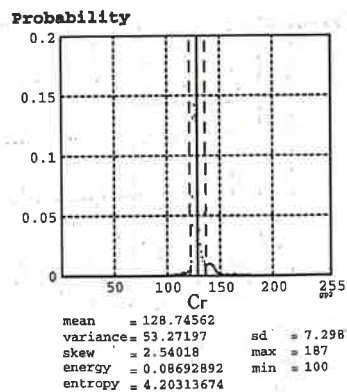
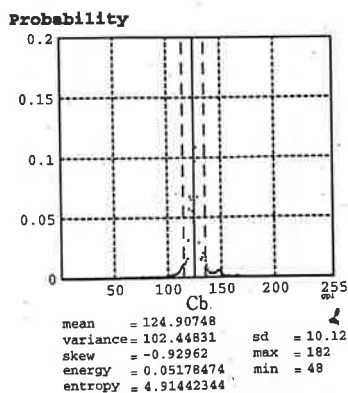
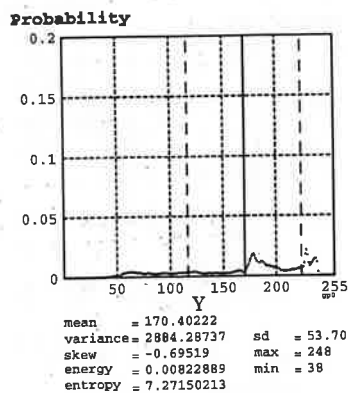
付図 B-2 RGB Density のヒストグラム
Fig. B-2 Histograms of RGB Density



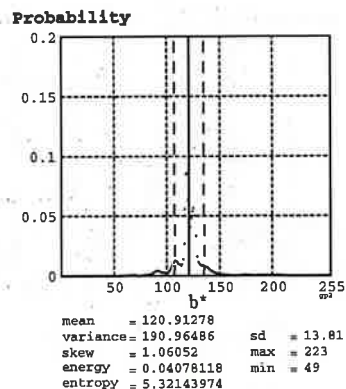
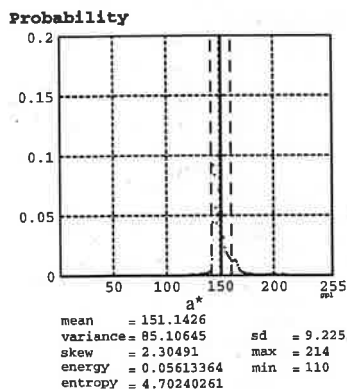
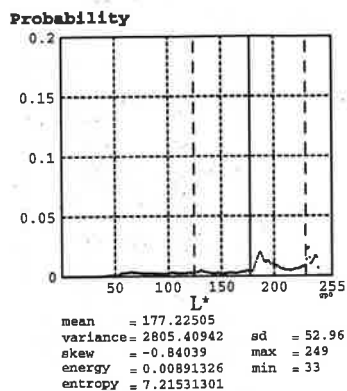
付図 B-3 XYZ のヒストグラム
Fig. B-3 Histograms of XYZ



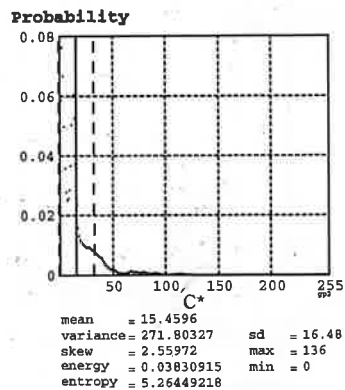
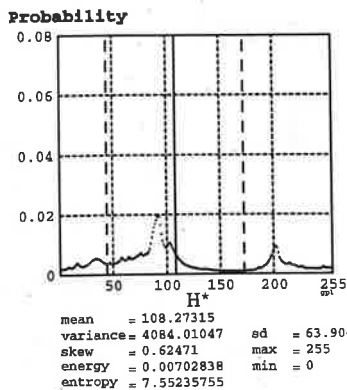
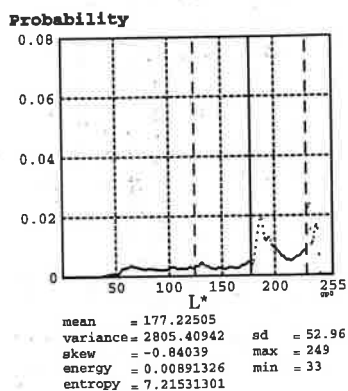
付図 B-4 YCbCr のヒストグラム
Fig. B-4 Histograms of YCbCr



付図 B-5 YCbCr- γ のヒストグラム
Fig. B-5 Histograms of YCbCr- γ .



付図 B-6 CIELAB のヒストグラム
Fig. B-6 Histograms of CIELAB



付図 B-7 CIELAB-P のヒストグラム
Fig. B-7 Histograms of CIELAB-P



(a) 原画(拡大)



(b) YCbCr- γ (0.5 bpp)



(c) YCbCr- γ (1.0 bpp)



(d) CIELAB(0.5 bpp)



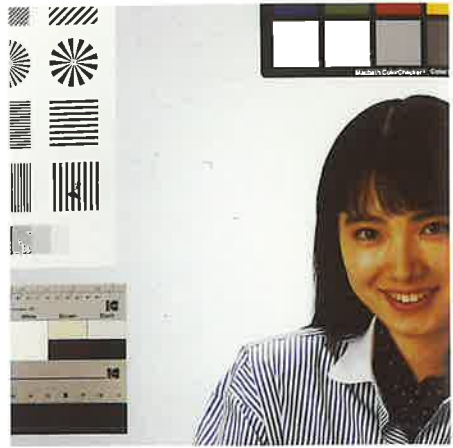
(e) CIELAB(1.0 bpp)

図 9 圧縮復元画像サンプル(その1)

Fig. 9 Reconstructed Image Samples (No. 1)



(f) NTSC-RGB(0.5 bpp)



(g) NTSC-RGB(1.0 bpp)



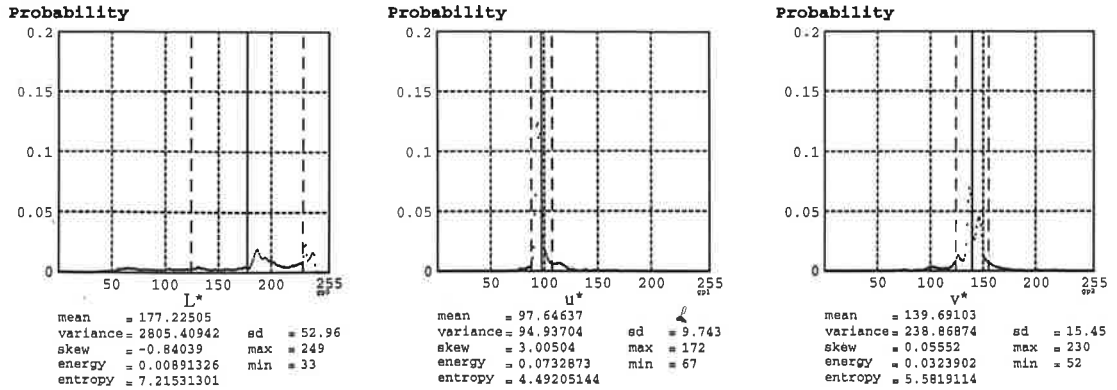
(h) XYZ(0.5 bpp)



(i) XYZ(1.0 bpp)

図 9 圧縮復元画像サンプル(その2)

Fig. 9 Reconstructed Image Samples (No. 2)



付図 B-8 CIELUV のヒストグラム
Fig. B-8 Histograms of CIELUV

石川 安則 (正会員)



昭52, 東京大学工学部計数工学科卒。昭57, (株)リコー入社。ワークステーション, カラーファクシミリ, カラーコピーの開発, 画像処理・画像符号化の研究・開発に従事。電子情報通信学会, テレビジョン学会, 各会員, カラーファクシミリ検討会委員(WG2)。

花村 剛 (正会員)



昭63, 早稲田大学理工学部電子通信科卒。平5, 同大学大学院博士後期課程修了。平4, 同大学助手。平6, 早稲田大学理工学部総合研究所・客員研究員。現在, グラフィクス・コミュニケーション・ラボラトリー主任研究員。主に動画画像符号化, ビジュアル・コミュニケーションなどの研究に従事。工学博士。電子情報通信学会, IEEE, 情報処理学会, テレビジョン学会, 各会員。本学会編集委員, テレマティクス研究専門委員会委員, カラーファクシミリ検討会委員(WG2)。

会津 昌夫



昭55, 電気通信大学電気通信学部経営工学科卒。昭57, 東京工業大学大学院システム科学専攻修士課程修了。同年, 大日本印刷(株)中央研究所入所。現在, 同社画像研究所にて色彩工学, 印刷用画像処理, 印刷用画像符号化の研究に従事。平5, 東京大学大学院電子工学専攻博士課程に在職のまま入学。電子情報通信学会, テレビジョン学会, IEEE, 各会員。画像電子学会カラーファクシミリ検討会委員(WG2)。

池上 博章 (正会員)



昭48, 早稲田大学理工学部応用物理学科卒。昭50, 同大学大学院修士課程修了。同年, 富士ゼロックス(株)入社。同社品質保証部での画質評価法の開発を経て, 現在, 同社画像技術研究所にてカラー画像処理の研究に従事。日本光学会, 照明学会, 各会員。カラーファクシミリ検討会WG2 主査。