

## プログレッシブ伝送のための限定色画像の一表現

渡邊 修<sup>†</sup> 麻野 啓成<sup>†</sup> 貴家 仁志<sup>†</sup>

A Representation of Palette-Based Images for Progressive Transmitting

Osamu WATANABE<sup>†</sup>, Hiroshige ASANO<sup>†</sup>, and Hitoshi KIYA<sup>†</sup>

あらまし プログレッシブ伝送を目的とした限定色画像の表現法には、インデックス画像のビットプレーン伝送に基づく、いくつかの従来法が存在する。これらの従来法には、画像ごとに複雑な前処理が必要であり、伝送段階や再生途中の色数の制約、伝送中の誤りや損失に対応できないなどの問題点がある。そこで、本論文では、このような問題点を解決するために、限定色画像のプログレッシブ伝送のための新しい表現を提案する。まず、画素値にひずみを生じさせない2分割フィルタバンクの構成について検討し、これが限定色画像のプログレッシブ伝送に適することを述べる。次に、それに基づく提案法を説明し、提案法が従来法の問題点を解決できることを述べる。最後に、各伝送段階における色誤差及び圧縮特性について評価を行い、提案法の有効性を確認する。

キーワード 限定色画像、プログレッシブ伝送

## 1. ま え が き

限定色画像とは、用いる色を適切に選択することにより、より少ないデータ量で効率良く色情報を表現するための画像である。この画像は、選択された色を表すカラーテーブルと、画素値がカラーテーブルのインデックス値と対応するインデックス画像から構成される。また、限定色画像には、適切なカラーテーブルを求める問題と、テーブルとインデックスをどのように対応づけるかという問題が存在する。前者はどのように色間引きを行うかという問題であり、後者は、主として情報圧縮や画像の伝送方式を視野に入れた問題である [5]。

ネットワークなどを介して画像を伝送することを考えた場合、順次的に伝送する方式と、最初に概略を送り、その後段階的に細部まで再現されるようにデータを伝送するプログレッシブ伝送方式などが知られている。プログレッシブ伝送では、利用者が画像全体の内容を早い段階で理解でき、また、順次伝送に比べ、伝送路において誤りや損失が生じた場合でも画像全体の概略が認識できるといった特徴をもつ。

画像のプログレッシブ伝送方式に関する研究には、

空間スケーラビリティに基づくものや、SNR スケーラビリティに基づくものなどがあるが [7], [8]、一般のプログレッシブ伝送方式を限定色画像に適用した場合、フィルタリングや量子化などの処理が伴うために、インデックス画像の画素値の独立性が失われる。すなわち、カラーテーブルとの対応関係にひずみが生じて、正確な色再現が不可能になる。

以上の理由から、限定色画像のプログレッシブ伝送に関する研究は、インデックス画像をビットプレーン単位で伝送する方式が主であった [1] ~ [4]。従来の限定色画像のプログレッシブ伝送方式は、各伝送段階での色空間における誤差が小さくなるようにカラーテーブルをあらかじめ求めておき、それを各プレーンとともに伝送するものである。複数のプレーンを受信し、伝送が進むに従って、色解像度を増加していく。しかし、このビットプレーンによるプログレッシブ伝送には、複雑な前処理が伴い、ビットプレーン単位の伝送であるがゆえに伝送段階や再生途中の画像の色数の制約、伝送路における誤り耐性等の問題点が存在する。

そこで、本論文では、このような問題を解決するために、新しい限定色画像のプログレッシブ表示のための表現法を提案する。まず、間引き処理のみから構成される2分割フィルタバンクを考え、これが空間解像度に基づく限定色画像のプログレッシブ伝送に適用できることを述べる。次に、提案するプログレッシブ伝

<sup>†</sup> 東京都立大学大学院工学研究科電気工学専攻、八王子市  
Department of Electrical Eng., Graduate School of Eng.,  
Tokyo Metropolitan Univ., 1-1 Minami-ohsawa, Hachioji-  
shi, 192-0397 Japan

送方式を、例を用いて説明し、この方式によって従来法の問題を解決できることを述べる。最後に、プログレッシブ伝送の各段階における色誤差、及び圧縮特性について評価を行い、提案法の有効性を確認する。

## 2. 従来法の問題点

ここでは準備として、従来法におけるプログレッシブ伝送の手順を述べ、問題点をまとめる。

### 2.1 手順

今、 $B$  をある正整数として、 $N$  色 ( $2^{B-1} < N \leq 2^B$ ) の限定色画像のカラーテーブルの集合を  $C = \{c_0, c_1, \dots, c_{N-1}\}$  とする。このカラーテーブルの各要素にはあるインデックス  $id$  ( $= 0, 1, \dots, N-1$ ) が対応する。ただし、 $C$  の各要素  $c_{id}$  は、RGB 値をもつベクトル  $c_{id} = (r_{id}, g_{id}, b_{id})$  である。また、インデックスの頻度、すなわちインデックス画像における、インデックス  $id$  の個数を  $h_{id}$  とする。

従来法は、インデックス画像をビットプレーンに分解し、MSB (最上位ビット) プレーンを第 1 段階として、以後のプレーンを順に伝送するものである。その  $i$  段階に送る色として、 $2^i$  色からなるカラーテーブルを合わせて伝送する。ここで、各段階で送る色をどのようにして決定するかという問題があり、例えば頻度で重み付けされた RGB 空間上での重心

$$c_j^{(i)} = \frac{\sum h_k c_k}{\sum h_k} \quad (0 \leq j \leq 2^i - 1) \quad \{k : c_k \in C_j^{(i)}\} \quad (1)$$

を用いる方法が考えられる [1]。ただし、 $C_j^{(i)}$  は集合  $C$  の要素のうち、インデックスの上位  $i$  ビット ( $1 \leq i \leq B$ ) の値が  $j$  ( $0 \leq j \leq 2^i - 1$ ) である要素からなる集合 ( $C_j^{(i)} \in C$ ) である。

次に、プログレッシブ表示を行うために、カラーテーブルのインデックスを決定する方法のうち、従来法として知られている文献 [1] の方法について述べる。

まず、与えられた集合  $C$  の要素を、ベクトル量子化のアルゴリズム [10] を用いて、トップダウン的に 2 分割していく。すなわち  $C$  の要素を二つの集合に分割する際にベクトル量子化のアルゴリズムを用い、以下同様に、各集合を二つの集合に分割することを繰り返す。ただし、2 分割により生成された二つの集合は、同数の要素を含むという保証がないため、以下の処理が伴う。なお、ベクトル量子化のアルゴリズムによって分

割された二つの集合を  $C_a, C_b$  で表し、 $|C_a| > |C_b|$  とする。

[Step 1] 各集合  $C_a, C_b$  を代表する色  $c_a, c_b$  を求める。

$$c_a = \frac{\sum h_j c_j}{\sum h_j} \quad \left( \sum \text{の範囲は } j : c_j \in C_a \right) \quad (2)$$

$$c_b = \frac{\sum h_k c_k}{\sum h_k} \quad \left( \sum \text{の範囲は } k : c_k \in C_b \right) \quad (3)$$

[Step 2] 次の評価関数の値が最も小さい  $C_a$  の要素  $c_j$  を抽出する。

$$d = h_j |c_j - c_b|^2 - h_j |c_j - c_a|^2 \quad (4)$$

これは、集合  $C_a$  の要素を  $C_b$  の要素に変更する際に生じるひずみの増加量を 2 乗誤差で最小にすることを意味する。

[Step 3]  $c_j$  を  $C_b$  の要素に変更する。

[Step 4]  $|C_b| \neq |C_a|$  であれば Step 2 へ戻る。それ以外は終了する。

以上は文献 [1] による方法であり、文献 [4] ではインデックスの決定に際して、集合  $C$  の分割がボトムアップ的に進む点で異なる。以上のようにして作成された集合の 2 分木構造がカラーテーブルの階層構造に対応するとともに、この各階層の平均色が各伝送段階でのカラーテーブルに含める色となる。

従来法では、以上の処理を画像伝送の前に各画像ごとに行う必要がある。

### 2.2 問題点

ここでは、従来法によるプログレッシブ伝送の問題点を簡単にまとめる。

$n$  (bit/pixel) のインデックス画像に対して、第  $i$  段階での色数を  $N_i$  とすると

1. 伝送段階がたかだか  $n$  段階に制限される
2.  $N_i$  の範囲が  $2^{i-1} \leq N_i \leq 2^i$  に限られる
3. 各段階ごとにカラーテーブルを伝送する必要がある
4. カラーテーブルを求める前処理が複雑である
5. 画像ごとにカラーテーブルを求めなければならない
6. 伝送路における損失への対応能力

ここで、1. は、例えば 8 (bit/pixel) のインデック

ス画像に対して、伝送段階がただか8段階に制限される意味である。2. は、例えば、MSB プレーンを伝送した段階では、 $2^1 = 2$  色しか表現できないという制約である。また、3. は、各段階での色数が異なるために、異なるカラーテーブルを段階ごとに伝送する必要があるという意味である。2.1 で示した従来法の手順は複雑であり、更に、この手順を画像ごとに行わなければならないことが、4.、5. である。ビットプレーンによるプログレッシブ伝送では、あるプレーンが損失した場合、一般には以後に正確なプレーンを受信しても、それを有効に利用しより原画像に近づけることが困難である。これが6. の意味するところである。

### 3. 提案するプログレッシブ表示方式

本章では、まず、画素値の独立性を考慮した解像度変換について議論し、それが、色情報にひずみを与えずに、限定色画像を解像度変換できることを示す。次に具体的な実現方法を例を用いて示し、本方式が従来法の問題点を解決できることを述べる。

#### 3.1 画素値の独立性を保証する解像度変換

一般に、空間解像度に基づくプログレッシブ伝送方式は、異なる空間解像度をもつ画像を階層的に伝送することにより、プログレッシブ性を達成している。通常、解像度変換にはフィルタ処理を伴う。しかし、そのような構成をそのまま限定色画像に適用した場合、フィルタ処理によってインデックス画像の画素値の独立性が失われ、カラーテーブルとの対応関係にひずみが生じる。この問題を回避するために、本方式では、フィルタ処理を用いずにプログレッシブ性を得る。

図1に提案する方式の処理の例を示す。

インデックス画像  $x(n_1, n_2)$  は、まず、水平方向に異なるタイミングで間引かれ ( $\downarrow 2$ )、二つの縮小画像に分解される。間引き後の画像は、それぞれ可逆符号化され、上段の画像から順に受信側に伝送される。受信側では、はじめに受信した画像に対して、図のように1列おきに零挿入を施し ( $\uparrow 2$ )、 $x(n_1, n_2)$  と同サイズの拡大画像を生成するために、水平方向に隣接する画素を複製する(零時ホールド)。下段の画像を受信した段階で、上段の画像とは異なるタイミングで零挿入を行い、上段の画像と組み合わせることにより、出力画像  $y(n_1, n_2)$  を得る。これは、 $y(n_1, n_2) = x(n_1, n_2)$  が成立する。このように、複数の解像度の画像を生成し、それらを段階的に受信することにより、プログレッシブ性を達成するものである。

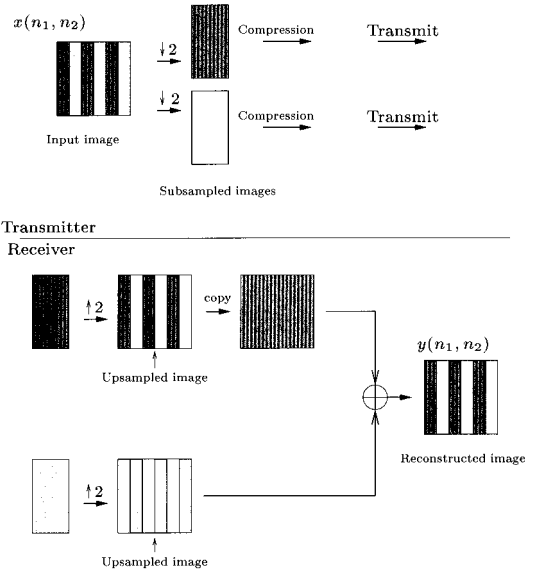


図1 提案法の処理の例  
Fig. 1 An example of proposed method.

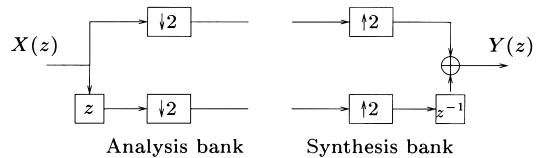


図2 間引き処理のみからなる2分割フィルタバンク  
Fig.2 The two-channel filter-bank which consists of only downsamplers.

上述の処理は、図2に示すような2分割フィルタバンクで処理することに相当する。ただし、表現を簡潔にするために、1次元表記として略記している。図中の  $X(z)$ 、 $Y(z)$  はそれぞれ入力信号、出力信号の  $z$  変換である。アナライザにおける  $z$  は、入力信号を間引くタイミングをずらす役割をもつ。また、シンセサイザにおける  $z^{-1}$  は零挿入のタイミングをずらす役割をもつ。このとき、システム全体としてのクロック遅延が0となり、 $Y(z) = X(z)$  が成立する。このフィルタバンクは、出力で入力信号を完全に再構成できる完全再構成フィルタバンクに相当し、因果性を満たさないことに注意されたい。

この構成は、単に処理が簡単だけでなく、送信側の出力においても入力信号の独立性を保証している。すなわち、インデックス画像の画素値にひずみを生じさせず、カラーテーブルとインデックス値の対応関係

を保存する．これは，異なる空間解像度の限定色画像を，各伝送段階ごとにテーブルを作ることなしに，生成可能であることを意味する．この特徴は，非限定色画像に対するプログレッシブ法として研究されているウェーブレット変換などを用いた方法では，実現困難なものである．

3.2 提案法

次に，3.1 で示された構成を，限定色画像のプログレッシブ伝送方式に適用する手順について述べる．ここでは， $2^m \times 2^n$  画素からなる  $N$  (bit/pixel) のインデックス画像と，それに対応する  $2^N$  色を表すカラーテーブルからなる限定色画像に対して処理を行うと仮定する．

[Step 1] システムの決定

まず，所望の伝送段階数に応じて，図 2 のフィルタバンクをどのように構成するかを決定する．構成方法には水平処理，垂直処理の組合せに自由度が存在する．図 3 に構成例を示す．なお，この例の伝送段階は 4 段階である．また，前述のとおり，この構成によってイ

ンデックス画像とカラーテーブルの対応関係は崩れないため，新たにカラーテーブルを求める必要はない．

[Step 2] 伝送処理

伝送時における手順は，まず， $2^N$  色のカラーテーブルを送信し，次にフィルタバンクの各出力を順に伝送する．フィルタバンクの出力の伝送順には，ある程度の自由度が存在するが，ここでは例として，図 3 の  $T_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) において， $i$  の昇順に伝送することを考える．

この時点で，効率良く伝送を行うために情報圧縮を行う．ただし，圧縮に用いるアルゴリズムは，従来法と同様に可逆符号化を前提とする．

[Step 3] 受信側での処理

図 3 の構成に対して，受信側では図 4 の構成によってプログレッシブ表示を行うとともに，原画像を再構成する．各段階で表示する画像を  $S_i$  とし，また， $T'_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ )， $S'_i$  ( $i = 1, 2, 3$ )， $S''_i$  ( $i = 2, 3$ ) を，図 4 のように中間画像として定義する．以下に  $S_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) の表示方法を述べる．

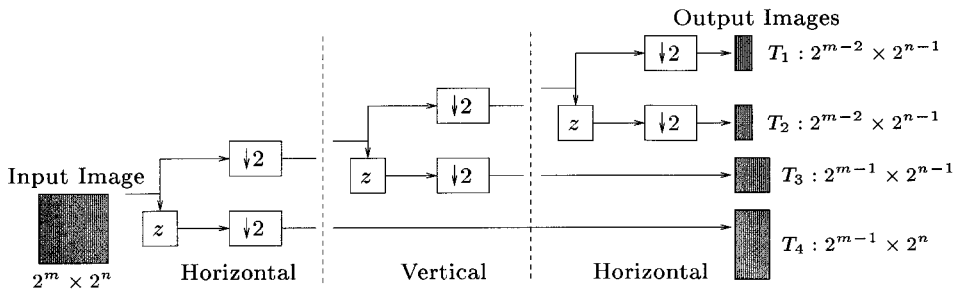


図 3 提案する構成の例  
Fig. 3 An example of proposed structure.

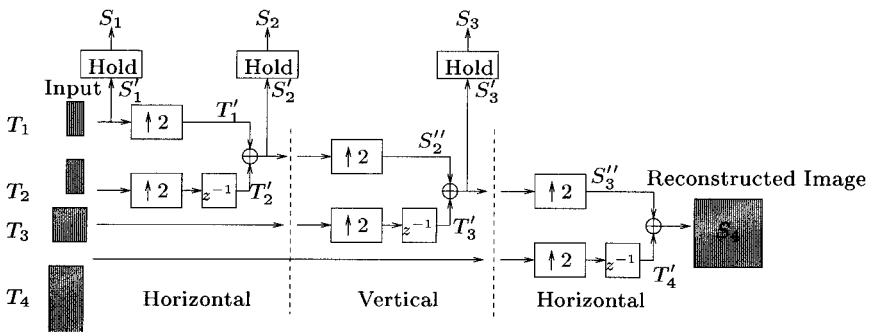


図 4 図 3 のアナライザに対するシンセサイザの構成  
Fig. 4 The synthesizer corresponding to the analyzer in Fig. 3.

$S_1$ .  $T_1$  を受信した後、零時ホールド法を用いてこれを水平方向に対して4倍、垂直方向に対して2倍に拡大する。これが  $S_1$  となる。

$S_2$ .  $T_2$  の受信後、 $T_1'$  と  $T_2'$  を用いて  $S_2'$  を生成する。次に、 $S_2'$  を零時ホールド法により水平方向、垂直方向ともに2倍に拡大したものを  $S_2$  とする。

$S_3$ .  $T_3$  を受信後、 $S_2''$  と  $T_3'$  を用いて  $S_3'$  を生成する。次に、 $S_3'$  を零時ホールド法により水平方向に対して2倍に拡大したものを  $S_3$  とする。

$S_4$ .  $T_4$  を受信後、 $S_3''$  と  $T_4'$  を用いて  $S_4$  を生成する。3.1でも述べたように、図4の構成から再構成された画像（ここでは  $S_4$ ）は、原画像と一致する。

以上の手順から、提案法には以下の特徴があることがわかる。

1. 従来法における伝送段階数がたかだか  $N$  段であるという制約を緩和可能
2. 入力されたカラーテーブルのほかに新たなテーブルを必要としない
3. 段階ごとのカラーテーブル伝送の必要がない
4. 各段階での画像の色数に従来法のような制約をもたない
5. 伝送路による損失に対して画質の回復が可能

ここで、1. は、提案法では、間引きにより画質の劣化が伴うが、間引きの段数には従来法のとたかだか  $N$  段というような制約はないことを意味する。2. は、カラーテーブルを求める処理が不要であることから、処理が画像に依存しないという意味である。従来法はカラーテーブルを各段階ごとに求める処理が必要であるのに対して、提案法では、間引きと零次ホールド法の処理のみが必要になる。3., 4. について、提案法におけるカラーテーブルはすべての段階で同一であることから明らかである。5. は、伝送中に損失が発生した場合、従来法ではそれ以後の特性の回復は不可能であるのに対して、提案法では可能であることを意味する。これは、例えば、 $T_3$  が損失した場合、 $S_2'$  を複製し、以後  $T_3$  として処理を行うことによって、それ以後に受信されたデータを有効に利用し、より原画像に近づけることができることである。

なお、図3及び図4で示した構成は、提案法の構成の一例であり、プログレッシブの段階数や、水平処理、垂直処理の組合せによって、それ以降の処理も併せて変更する必要があることに注意されたい。

## 4. シミュレーション

### 4.1 プログレッシブ再生特性の評価

プログレッシブ再生特性の評価は、各段階における再生画像と原画像との、色空間での誤差を比較することにより行う。ここでは、プログレッシブ伝送の各段階（伝送済みのデータ量が等しい場合）での誤差を比較する。例えば、8ビット画像の場合、従来法のMSBプレーンのみを伝送した段階の画像と、図3の  $T_1$ （データ量1/8）はともに等しいデータ量をもつ。評価に用いた構成は、図3の構成における最後の水平処理の後、更に  $T_4$  に対して垂直処理を施すものである。すなわち、伝送段回数は最終段階も含めて5段となる。また、カラーテーブルは非圧縮で伝送するものとする。評価に用いる画像は、USCの画像データベース (<http://sipi.usc.edu>) の 'Baboon' (512×512, フルカラー) をベクトル量子化を用いて256色へ減色したもの（図5参照）と、はじめから色数を制限して作られた人工の地図画像の二つである。また、従来法として、誤差が小さいという意味で最良の方法として知られている [1] を用いる。

図6, 図7に、'Baboon' における、提案法と従来法による各段階での再生画像を示す。なお、図中の  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  は図3の構成から得られるものと一致する。

本論文では、誤差評価を行う色空間として、RGB空間の代わりに、3次元色空間における変化量と、その変化によって受ける視覚の色変化の印象とが比例するように考慮されている  $L^*a^*b^*$  色空間 [9] を用いる。ここで、 $L$  は明度、 $a^*$  は赤から緑への色度、 $b^*$  は青から黄色への色度を表す。

したがって、ここでは、カラーテーブルの集合  $C$  をRGB空間から  $L^*a^*b^*$  空間へ変換し、それを改めて  $C$  と定義する。すなわち  $C$  の各要素  $c_i$  は  $L, a^*, b^*$  値をもつベクトル  $c_i = (L_i, a_i^*, b_i^*)$  となる。

また、誤差の指標としては、式(5)で表される  $PSNR$  を用いる。ただし、 $E$  は式(6)で表される色空間における距離の平均2乗誤差である。ここで  $X_{max}$ ,  $Y_{max}$  はそれぞれ水平、垂直方向の画素数であり、 $x(i, j)$ ,  $x'(i, j)$  は、それぞれ原画像と各段階の画像の、位置  $(i, j)$  のインデックスが表す色ベクトルである。

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{E} \quad (5)$$

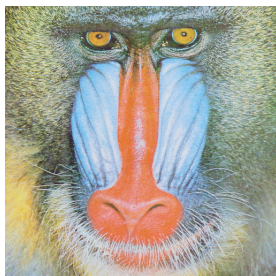


図 5 原画像 (256 色)  
Fig. 5 Original image. (256 colors)

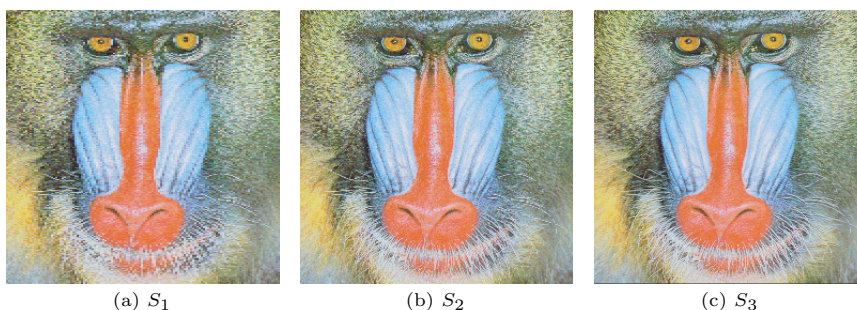


図 6 提案法による処理結果の例  
Fig. 6 The example of processed images by proposed method.

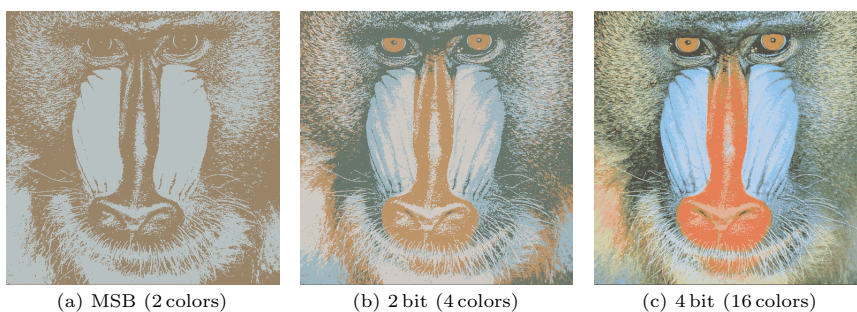


図 7 従来法による処理結果の例  
Fig. 7 The example of processed images by conventional method.

$$E = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^{X_{max}} \sum_{j=1}^{Y_{max}} |x(i, j) - x'(i, j)|^2 / (X_{max} Y_{max}) \quad (6)$$

図 8, 図 9 に, それぞれの画像における誤差評価の結果を示す. これらの結果は, 非圧縮の状態のカラーテーブルのデータ量を含む. なお, 図の横軸は, 各段階での, 非圧縮時における, インデックス画像のデー

タ量とカラーテーブルのデータ量の累積を示す. すなわち第 1 段階では, 原画像に対してほぼ 8 分の 1 のデータ量となり, 第 2 段階では, ほぼ 4 分の 1 となる. 全データ伝送時, すなわち最終段階には, 再構成された画像は原画像と一致し, PSNR の値は無限大となる. このため, 図 8, 図 9 に最終段階の評価結果は含めていない.

また, 伝送すべきカラーテーブルのデータ量は,

従来法では各段の合計で、‘Baboon’において0.047 (bit/pixel), 地図画像において0.031 (bit/pixel) である。同様に、提案法では入力カラーテーブルのみで、‘Baboon’において0.023 (bit/pixel), 地図画像では0.016 (bit/pixel) である。どちらの方法もカラーテーブルのデータ量が各再生段階のデータ量に与える影響は、最大約1%にとどまっている。

図8, 図9より、提案法によって、2.2で示した問題点が解決されるだけでなく、再生特性が自然画像で最大約3[dB], 人工画像では最大約5[dB]ほど改善されていることがわかる。このことは、図6と図7の視覚的な比較と一致すると考えている。また、RGB空間で同様の評価を行った結果、伝送段階の初期ほど提案法が有利となる傾向が確認できた。

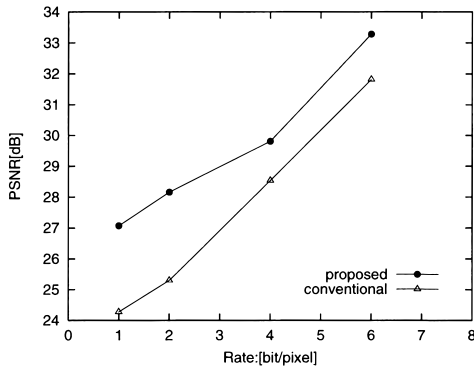


図8 La\*b\* 色空間における PSNR の比較 (Baboon)  
Fig. 8 PSNR evaluation of image ‘Baboon’ in La\*b\* color-space.

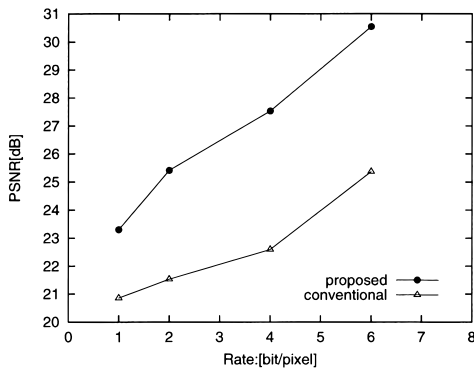


図9 La\*b\* 色空間における PSNR の比較 (地図)  
Fig. 9 PSNR evaluation of the map image in La\*b\* color-space.

#### 4.2 圧縮特性に与える影響

ここでは、提案法によるプログレッシブ伝送が、圧縮率に対してどの程度影響を与えるかを検討する。評価には4.1でも使用した‘Baboon’を用いる。また、用いる圧縮アルゴリズムは、代表的なファイル圧縮アルゴリズムとしてGZIP [11]~[13]を、画像の可逆圧縮アルゴリズムとしてJPEG2000 [8]を用いる。また、提案法と従来法とで伝送段階数を合わせるために、提案法におけるプログレッシブ段階数を8に設定している。すなわち、どちらの方法においても、ある段階のインデックス画像のデータ量は非圧縮の状態で $512 \times 512 \div 8 = 32768$  (Byte) である。また、ここでもカラーテーブルは非圧縮の状態で伝送することとする。

従来法によって伝送される各段階のデータは2値であるが、ここでは、8ピクセルごとに1バイトデータを生成し、その各バイトを1ピクセルとする $2^8$ 値のモノクロ画像とみなして、圧縮を行う。これは、2値画像として符号化した場合と比べて、従来法における符号化効率が良い表現形式であるためである。表1に従来法によって伝送される各段階の2値データを、ファクシミリ符号化であるJBIG2 [14], JPEG2000のFaxCodingモード、及びGZIPで符号化した結果を示す。また、表2に、GZIP, JPEG2000での圧縮特性の評価結果を示す。表2に示した従来法の符号化結果が、表1のいずれの結果よりもよいことがわかる。

表2において、表中のデータ量の値は、各再生段階でのインデックス画像を符号化したデータ量に、各段で伝送すべきカラーテーブルのデータ量を加えたデータ量を表す。

表2より、GZIPを用いた場合、提案法では、従来法に比べて全体で2.9%ほど符号化効率が劣化してい

表1 従来法におけるデータ形式による圧縮率の評価 (単位: Byte)

Table 1 Compression evaluation of data-type in conventional method. (unit: Byte)

level	JBIG2	JPEG2000 ( Fax )	GZIP
1	14921	23554	18189
2	26413	40033	27350
3	32182	48025	30801
4	34944	51682	32508
5	35252	52024	32639
6	35435	52159	32736
7	35885	53025	32994
8	36948	54365	33574
total	251980	374867	240791

表2 画像 'Baboon' における圧縮率の評価 (単位: Byte)  
Table 2 Compression evaluation of image 'Baboon.'  
(unit: Byte)

level	conventional		proposed	
	GZIP	JPEG2000	GZIP	JPEG2000
1	18813	28388	31512	32687
2	27636	33553	30884	31958
3	30936	35140	30831	31911
4	32521	35946	30880	31970
5	32560	36066	30744	31919
6	32532	36159	30884	31958
7	32593	36325	30831	31911
8	32785	36742	30880	31970
total	240376	278309	247446	256284

る。しかし、各段階での結果を見ると、従来法では段階が進むにつれて符号化効率が低下していくのに対し、提案法では段階ごとの差は見られない。また、提案法における1段階目のデータ量の増加は、カラーテーブルのデータ量と考えられる。

次に、JPEG2000を用いた場合、提案法は従来法と比べて全体で8.6%ほどの符号化効率の改善が見られる。また、段階が進むにつれて符号化効率が低下していく従来法に対して、提案法では段階ごとの差はみられないという傾向はGZIPの結果と同様である。

以上のように、多少の違いはあるものの、提案法の使用によりデータ量が急激に増大することは生じない。提案法と従来法の主な違いは、先に述べた複数カラーテーブルの使用や、処理手順の違いだと考えている。

## 5. む す び

本論文では、限定色画像のプログレッシブ伝送のための新しい方法を提案した。提案法する方法は、簡単な2分割フィルタバンクによって容易に実現され、従来法がもつ問題点を解決するものである。また、シミュレーションでは、提案法によって、圧縮特性を極端に劣化させずに、プログレッシブ再生特性の改善が可能であることが確認された。

今後は、構成の自由度の検討、並びに圧縮特性の劣化をより抑えることができる方式について研究を進める予定である。

謝辞 本研究を進めるにあたり有益な助言を頂いたソニー(株)ホームネットワークカンパニーホームネットワーク研究所福原隆浩氏、木村青司氏に感謝する。

## 文 献

- [1] 熊沢宏之, 富田 悟, “限定色画像の段階的符号化,” 信学論(D-II), vol. J74-D-II, no. 12, pp. 1670–1677, Dec.

1991.

- [2] 熊沢宏之, 富田 悟, “代表色の階層化による限定色画像の段階的符号化,” 1989年度画像符号化シンポジウム, 2-5, 1989.
- [3] 熊沢宏之, 富田 悟, “限定色画像の段階的符号化—予測方式の検討,” 1990 信学秋大, D-198, 1990.
- [4] 麻野啓成, 貴家仁志, “プログレッシブ伝送を可能にする限定色画像のインデックス変換法,” 第14回画像符号化シンポジウム資料, pp. 33–34, Sept. 1999.
- [5] 麻野啓成, 貴家仁志, “限定色画像のロスレス符号化のためのインデックス変換法,” 信学ソサイエティ大会, D-11-1, Sept. 1999.
- [6] 渡邊 修, 貴家仁志, “データマッピングに基づく画像の可逆符号化,” 信学技報, DSP99-71, July 1999.
- [7] ISO/IEC IS 10918-1 — ITU-T Rec. T.81, Digital Compression Coding of Continuous Tone Still Images — Part 1; Requirements and guidelines, Feb. 1994.
- [8] ISO/IEC CD15444-1, JPEG2000 Committee Draft Version 1.0.9, Dec. 1999.
- [9] 日本工業規格, “La\*b\* 表色系及び Lu\*v\* 表色系による物体色の表示方法,” JIS Z 8729-1980.
- [10] Y. Linde, A. Buzo, and R.M. Gray, “An algorithm for vector quantizer design,” IEEE Trans. Commun., vol. COM-28, no. 1, pp. 84–95, Jan. 1980.
- [11] J. Ziv and A. Lempel, “A universal algorithm for sequential data compression,” IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 23, no. 3, pp. 337–343, March 1977.
- [12] L.P. Deutsch, “DEFLATE compressed data format specification version 1.3,” RFC 1951, May 1996.
- [13] L.P. Deutsch, “GZIP file format specification version 4.3,” RFC 1952, May 1996.
- [14] P. Howard, F. Kossentini, B. Martins, S. Forchhammer, and W. Rucklidge, “The emerging JBIG-2 standard,” IEEE Trans. Circuit and Systems for Video Technology, vol. 8, no. 7, pp. 838–848, Sept. 1998.

(平成12年3月10日受付, 6月27日再受付)



渡邊 修 (学生員)

平11都立大・工・電子情報卒。現在、同大大学院工学研究科修士課程在学中。マルチレート信号処理, 画像処理の研究に従事。



麻野 啓成 (学生員)

平 11 法政大・工・電気電子卒。現在，東京都立大大学院工学研究科修士課程在学中。マルチレート信号処理，画像処理の研究に従事。



貴家 仁志 (正員)

1980 長岡技科大・工・電気電子システム卒。1982 同大大学院修士課程了。同年東京都立大工学部電気工学科助手。現在，同大学大学院電気工学専攻教授。工博。1995 シドニー大(オーストラリア)客員研究員。マルチレート信号処理，画像処理及び信号処理アルゴリズムの VLSI 実現に関する研究に従事。IEEE 論文誌 Signal Processing，本学会和文論文誌 A 編集委員。著書「高速フーリエ変換とその応用」，「デジタル信号処理」，「マルチレート信号処理」。電子画像学会，映像情報メディア学会，IEEE 各会員。