


 原著論文

# 対話型進化計算による 画像間色彩変換について†

中村 剛士\*1・春田 真宏\*1・巢 宇燕\*2・何 立風\*3・伊藤 英則\*1

ノンフォトリアリスティック・レンダリング (NPR) の一課題である画像間色彩変換について取り上げ、これを対話型進化計算によって実現することを提案・実装する。従来の色彩変換法がユーザの意思と関係なく一意に出力を決定するのにたいし、本研究ではユーザの嗜好に合致した多様な出力を獲得することを目指す。また、IECによる最適解到達までのユーザの負荷と時間的コストを削減するための分割遺伝子コーディングと、ユーザの評価値履歴を反映した色彩適応確率を導入し、評価実験によってその有効性を示す。

キーワード：ノンフォトリアリスティックレンダリング、色彩変換、対話型進化計算

## 1. はじめに

コンピュータグラフィックスの画像表現において、これまでの主流な研究はフォトリアルな表現の追求であった。現在フォトリアルCGは一定レベルに到達した感があるが、その一方で、近年、ノンフォトリアルな表現を試みた研究に注目が集まりつつある。それがノンフォトリアリスティック・レンダリング(NPR)と呼ばれる分野である。NPRは3次元または2次元のグラフィックスをその処理対象とするが、本研究では2次元画像表現について扱うものとする。2次元画像にたいしてNPR処理を適用した研究として、写真等の画像を入力として画像処理によって手書き風画像に変換する手法がこれまでに提案されている。これらは、主にキャンバスや筆等の画材の有する特徴や芸術家が用いる技法、すなわち画風について、これを模倣した画像を獲得することを目的とする。画風を表す要素としては、絵画のモチーフ、タッチ、形状のデフォルメ、色彩などを挙げることができる。

これまでに絵画風表現を試みた研究のアプローチの主流は、次の2つに大別することができる。1つは多種多様なブラシストロークまたはアウトライン筆モデルと呼ぶ筆触モデルを用いることによって画家の描く筆跡の再現を試みた例であり、ブラシス

トロークを写真画像上に重ねて配置していくことで絵画風画像を獲得する手法である[2, 3, 14]。もう1つは、写真画像を領域分割した後の各小領域を任意変形させることで絵画風画像を生成する手法である[7]。これらのアプローチは、絵画を再現するためのブラシストロークや領域変形における特徴パラメータを適切にデザインしておくことが必要であり、そのデザイン如何によって獲得可能な絵画風画像のクオリティが大きく変わることになる。これらにたいして、近年、処理対象となる入力画像の他に、参照画像を用意し、この参照画像の特徴を模して入力画像の加工処理を施す研究例が報告されている。参照画像を利用した例はいくつか存在するが、まず、タッチ特徴を模した研究例としては、Hertzmannらによる研究[4]やWangらによる研究[18]がある。前者は参照画像の局所的特徴からアーティスティックフィルタを生成し、それを利用することによって入力画像にたいし参照画像の持つタッチ特徴を与えるものである。一方、後者については参照画像の一部をテクスチャとして取りだし、それをシームレスに入力画像にたいしマッピングすることで、参照画像のタッチ特徴を模倣する。

本研究もまた、参照画像と入力画像の2つの入力を用意した上で、両画像間の色彩変換を研究目的とする。その実現手法として対話型進化計算手法(IEC)を導入し、ユーザの嗜好に合致した出力結果を直感的な操作で容易に獲得することを試みる。IECは進化計算による探索においてユーザの主観を評価関数として利用するものであり[15, 16]、与えられたコンセプトに合わせた製品デザイン[10]や、個人の好みに合わせた音楽の生成[17]、画像検索[8, 9]、補聴器の調整[12]など人間の評価に基づかなければできない設計問題にたいして組み込まれた応用例や、IEC利用におけるユーザの負

† Color Transfer between images using Interactive Evolutionary Computation

Tsuyoshi NAKAMURA, Masahiro HARUTA, Yuyan Chao Lifeng HE and Hidenori ITOH

\*1 名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻  
Nagoya Institute of Technology

\*2 名古屋産業大学環境情報ビジネス学部  
Nagoya Sangyo University

\*3 愛知県立大学情報科学部  
Aichi Prefectural University

担軽減に関する研究[11]も見受けられる。このことから、NPRのような研究分野においても、出力結果の評価はユーザの主観に左右されることから、IECは本研究のような課題にとって最適な処理系の1つであると考えられる。また、IECを導入する上では、ユーザが優良解を獲得するまでの時間的コストが最大の問題の1つとなる。本研究では、これを解決するために分割遺伝子コーディングおよび色彩適応確率を提案・実装することで、解探索を効率的に進めることを目指す。

本論文では、2.章において本研究で提案する色彩変換と従来研究との違いについて述べる。また、3.章において、IECを含めたシステムの構成を提示して、分割遺伝子コーディングおよび色彩適応確率を含む提案手法の詳細について述べる。さらに、実験として提案手法を実装したシステムによってユーザが満足する出力結果を獲得するまでのコストについて4.5.章で示し、最後に6.章において本研究にたいする考察と今後の展望について述べる。

## 2. 色彩変換について

参照画像の色彩特徴を模倣した研究例としては、Reinhardらによる研究[13]や張らによる研究[1]を挙げることができる。これらのアプローチは、参照画像の色彩特徴を用いて、もう一方の入力画像を彩色することで色彩変換を実現するものである。前者は、 $lab$ 色空間上で各画像の持つ画素値の平均、分散を計算し、入力画像の平均や分散が参照画像のそれと同じにすることで色彩を変換する。それにたいし、後者は人間の持つ色彩のカテゴリカル知覚に基づき各画像の特徴を捉えた上で、参照画像の特徴を用いて入力画像の彩色を行う。参照画像を用いたこれらの手法を用いた場合、そのほとんどにおいて、オートマティックに参照絵画を模倣した一意の出力を獲得することが可能である。しかしながら、“模倣”と一口に言っても、各ユーザ個人によってその視点や程度は千差万別であり、その一意の出力結果にたいして、ユーザが常に満足するとは限らない。その一方、Photoshopに代表されるようなフォトタッチ・ツールなどを利用する場合、この問題は解決されるものの、ユーザが複雑なツールの操作によって絵画風画像を作成しなければならず、そのツールを利用するための専門技術習得およびそのための時間的・経済的コストなどユーザにたいする負担は少なくない。

我々の提案する色彩変換は、入力画像と参照画像の両者について  $CIEL^*a^*b^*$ 色空間上に色彩クラスタを構成し、両者の色彩クラスタ間のマッチングをすることで、参照画像から入力画像へ対応すべき置換色を決定する。これについては、従来の関連研究[1, 13]も同様

のアプローチである。しかしながら、これらの基本的な考え方としては、一意に置換色を決定することが前提となっているため、色彩の類似性をその基準として利用する。すなわち、色彩クラスタ間の距離を色空間上において評価し、最近傍のクラスタ同士をマッチングすることで置換色を一意に決定する。

それにたいし本研究では、置換色はユーザ個々によってその最適な組み合わせが異なるという前提に立ち、IECの採用により、その最適組合せ発見までのプロセスを、ユーザにとって容易な操作かつ可能なかぎり少ない探索時間で実現しようというものである。したがって、本研究では図1に示すように、入力画像の  $i$  番目の色彩クラスタ  $C_{in}(i)$  と参照画像の  $j$  番目の色彩クラスタ  $C_{ref}(j)$  が色空間上の近傍色でないとしても、 $(C_{in}(i), C_{ref}(j))$  の組合せといった任意のクラスタ同士のマッチングを行うことができ、入力画像の色彩クラスタ数が  $n_{in}$  個、参照画像の色彩クラスタ数が  $n_{ref}$  個の場合、置換パターンの組合せ数は、 $n_{ref}^{n_{in}}$  通りとなり、この組合せ数の中から探索を行い最適置換色パターンを発見することになる。

IECを用いた色彩変換に関連した研究例として、伊藤ら[5]による手法を上げることができる。彼らは色彩変換処理自体はReinhardらによる研究[13]や張らによる研究[1]と同様に、色彩クラスタ間距離の最近傍のクラスタ同士をマッチングするが、そのクラスタを構成する際のパラメータ・チューニングをIECによって実現している。また、賀川ら[6]は、処理の対象をWebページやイラスト等のデザインに焦点を当て、IECによる配色支援手法を提案している。彼らの手法は伊藤ら[5]の手法に較べ多様なパラメータ設定が可能であるものの、色の特徴量を考慮した上で、突飛な配色パターンが出現しないような配慮が遺伝子コーディングに見受けられる。それにたいし、本研究では、図1に示すような色彩クラスタの変換表自体を遺伝子としてコー

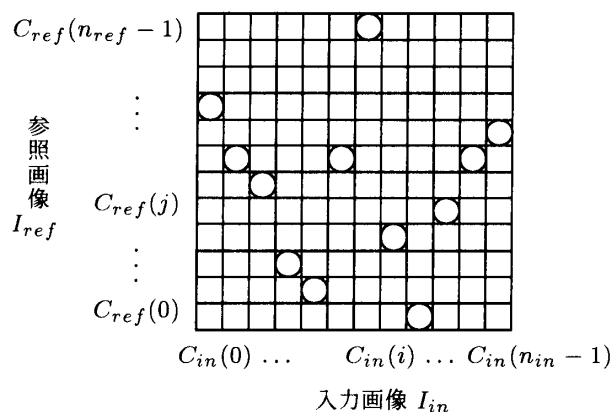


図1 本研究における置換色の対応

ディングし、遺伝的操作により変化させることで、組合せに制限のない多様性に富んだ色彩変換を実現しようとするものであり、より高い表現力を有するものとする。

### 3. 提案手法

本研究では、IECを利用することで、画像間色彩変換の実現を試みるが、一般に、IECに限らず遺伝的アルゴリズムなどの進化計算による探索は優良解に収束するまでに時間的コストがかかることが知られている。とくにIECではユーザである人間と機械との間でインタラクティブにやりとりをするため、ユーザの負荷軽減も考え、多くとも数十世代で優良解に到達させる必要があり、探索問題における時間的コストを削減するためには探索を効率的に働かせることが重要である。そこで、本研究においても、色彩適応確率による戦略を導入することで、早期の解発見を試みるものとする。

#### 3.1 システム構成

図2に、本研究で実装したインタフェースを示す。インタフェース上には、9つの画像表示ウィンドウがあるが、左上に入力画像、その右隣に参照画像を表示する。さらに、右上、すなわち参照画像の右隣には、現在色彩変換の対象となっている色彩が占める領域を黒で表示する。これにより、ユーザは配色すべき画像領域を視認することが可能である。また、切替えボタンを押すことで、右上のウィンドウにはシステムの評

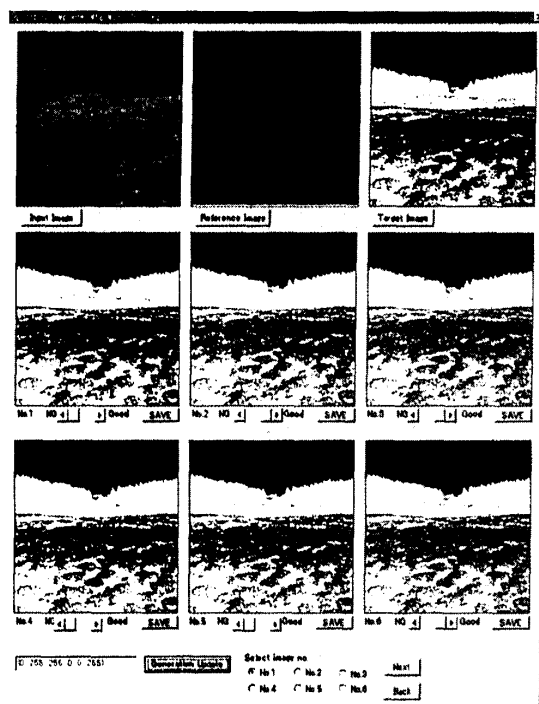


図2 システムのインタフェース

価実験用彩色サンプル画像も表示可能である。それらの中には、生成する個体として生成した6個体の彩色画像を表示する。各個体の画像下にはユーザが評価値を与えるためのスクロールバーが用意されている。ユーザは、これらのバーによって評価値を自由に与えることができるが、ここでは、0 (NG) または1 (Good) の評価値を与えるものとする。

また、本提案手法の構成を図3に示す。ユーザは図2に示したインタフェースを通して、対話的にシステムを操作する。システムは、そのユーザが与えた評価値を元に遺伝的アルゴリズムのオペレーションである選択淘汰、突然変異を実行することで、次世代個体、すなわち入力画像と参照画像それぞれから生成した色彩クラスタ間の組合せを決定する。さらに、その組合せである次世代個体に従って彩色した画像をインタフェース上に表示し、再びユーザがそれを評価する。このプロセスをユーザが満足する彩色画像が得られるまで繰り返す。なお、図4に各世代で獲得した個体群を列挙し、本システムを用いた彩色進化過程の一例を示す。この例で用いた入力画像と参照画像は図5のとおりである。

色彩クラスタについては、 $L*a*b*$ 空間に画像の全画素をマッピングし、 $L*a*b*$ 空間上のユークリッド距離を基準として樹形図を用いた階層的クラスタ分析法により生成する。初期クラスタのシードとなる  $L*a*b*$ 値は、その値を持つ画素数が最も多いものから順に選択する。クラスタ間距離は重心間距離を利用し、重心間距離が一定範囲を超えない程度にクラスタを膨張・統合する。さらに、入力画像の色彩クラスタと参照画像の色彩クラスタの対応決定後の色彩変換処理については、入力画像のクラスタの重心と分散を参照画像のそれと一致させることで、彩色を実行する。

#### 3.2 IEC

##### 3.2.1 遺伝子表現

本研究では、図1に示す表を遺伝子として利用する。しかしながら、この表をそのまま遺伝子として表現し

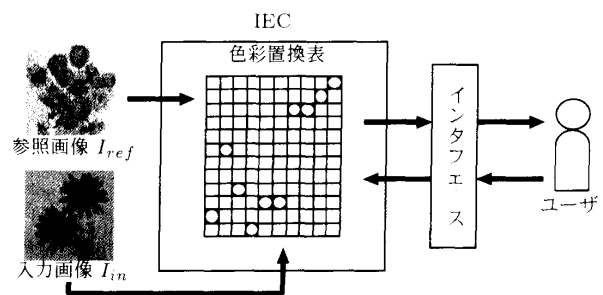
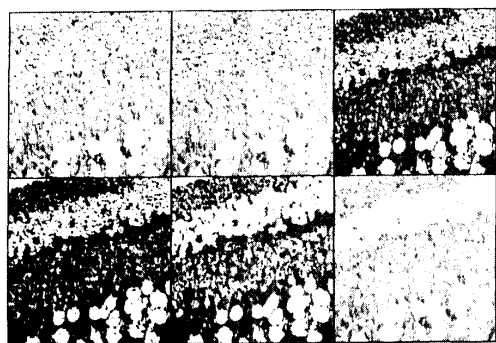
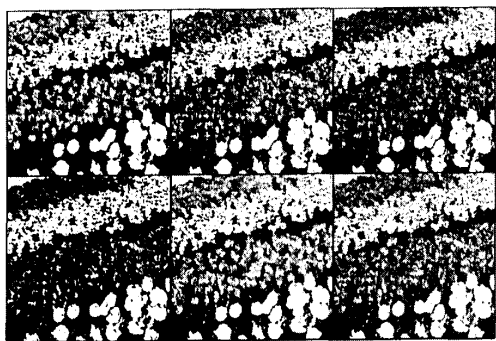


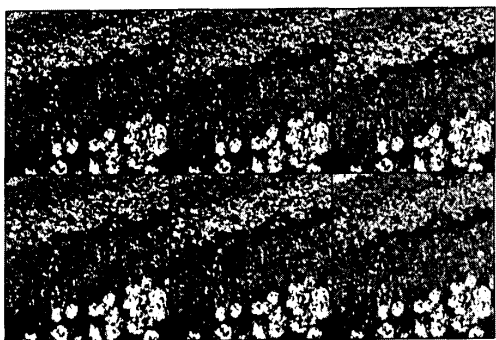
図3 システム構成



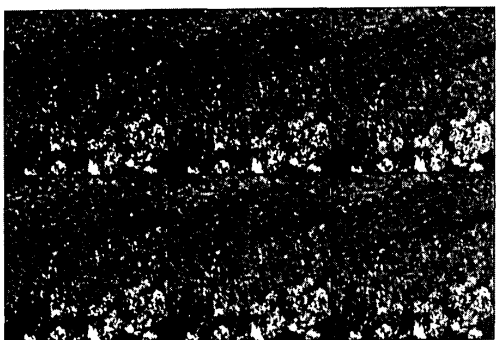
第1世代



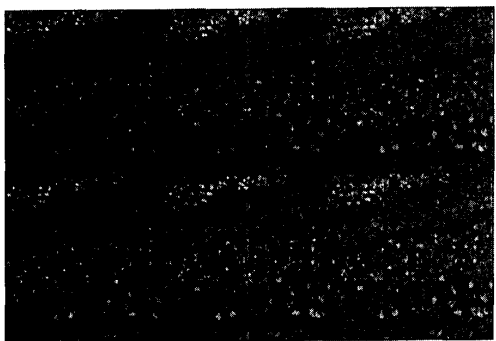
第7世代



第9世代



第11世代



第16世代

図4 進化過程の例



図5 入力画像(左)と参照画像(右)の対

た場合、その長さは  $n_{in} \log n_{ref}$  の色彩クラスタ数に依存した遺伝子長となり、クラスタ数が多い場合にはかなり大きなサイズとなってしまう、ユーザの負荷や収束までの時間コストをかなり要するものと予想される。

そこで、本稿では図6に示すように、この表を  $m$  個に分割し、分割後の各小表  $T_k (k=1 \dots m)$  を遺伝子としてGA操作の対象とする。すなわち、各  $T_k$  の遺伝子長は  $t \log n_{ref} (t=n_{in}/m)$  となる。

ユーザはまず  $T_1$  中の色彩置換についてIECによって評価・確定し、その後、 $T_2, T_3, \dots$  といった順番に置換色を確定していく。図7に示すように、これは  $m$  階層から構成される探索木を山登り法によって逐次的に彩色処理することに相当するが、各層における探索はGAによって為される半逐次的探索である。なお、入力画像の色彩クラスタについては、クラスタを構成するヒクセル数により降順にソートしてあるものとし、入

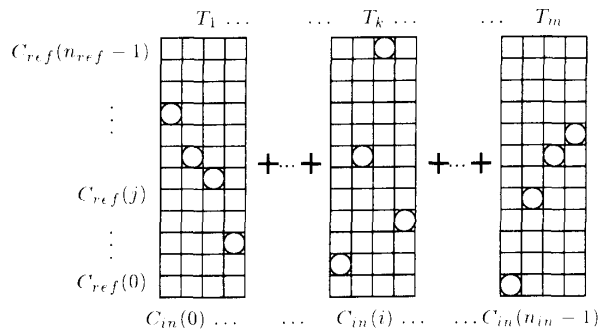


図6 色彩置換表の分割

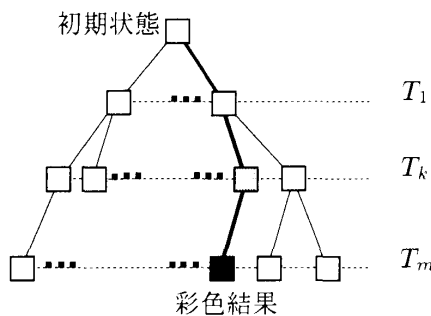


図7 探索木

力画像の第  $i$  クラスタの構成画素数を  $sum_p(C_{in}(i))$  としたとき、以下の関係が成り立っている。

$$sum_p(C_{in}(i)) \geq sum_p(C_{in}(i+1)) \quad (1)$$

この関係式にしたがって図 1 に示すような色彩置換表を構成することにより、ユーザは入力画像の大きな面積を占める色彩領域から始めて、徐々に小さな色彩領域を彩色していくことを意味する。このように大領域から彩色していく処理は、現実世界の絵画製作における彩色プロセスと捉えれば、ユーザにとっても不自然な操作とはならないと考えられる。

また、一回に評価する個体の遺伝子長を短くすることで、画像全体の彩色結果を評価するよりも、一度にユーザが評価すべき探索空間が限定され細部の差異にこだわることなく評価がしやすくなることから、ユーザの負荷が小さくなるものと期待される。

### 3.2.2 遺伝的操作

以下は、本システムで適用した IEC に基づく処理手順である。

1. 色彩適応確率を初期化。色彩適応確率に基づき、初期個体生成。
2. 個体評価。満足する個体がある場合は終了。
3. ユーザの評価値から親個体決定。
4. 色彩適応確率更新。
5. 親個体にたいして次の GA 操作を適用し、子孫生成。
  - (a) 交叉
  - (b) 突然変異(1)
  - (c) 突然変異(2)
6. ユーザに提示。
- 7.2. に戻る。

ここで、色彩適応確率とは、参照画像の色彩クラスタに割り振られた確率変数であり、第  $g+1$  世代に入力画像の  $i$  番目の色彩クラスタにたいし参照画像の第  $j$  番目の色彩クラスタを割り当てる確率  $P_{g+1}(i, j)$  については、以下の式で計算される。

$$P_{g+1}(i, j) = \frac{q(i, j)}{\sum_{k=0}^{n_{ref}-1} q(i, k)} \quad (2)$$

$$q(i, j) = \omega \cdot P_g(i, j)$$

$$\omega = \begin{cases} \omega_1 & \text{ユーザの評価値 1 の場合} \\ \omega_0 & \text{ユーザの評価値 0 の場合} \\ 1.0 & \text{それ以外} \end{cases}$$

式中の  $\omega$  は次世代の色彩適応確率を更新するための係数であり、 $\omega_1 \geq \omega_0$  の関係が成り立つものとする。本

稿では、評価値 1 の個体に含まれる参照画像の色彩クラスタについては、 $\omega_1 = 2.0$ 、評価値 0 の個体に含まれる参照画像の色彩クラスタについては、 $\omega_0 = 0.5$  として計算する。これにより、評価値の高い個体で使用された色彩は次世代以降高確率に、逆に評価値の低い個体で使用された色彩は低確率となり、過去のユーザの評価値を考慮した処理となっている。

ユーザが評価値 1 を与えた個体が 1 個体のみの場合は、それをそのまま残すが、ユーザが評価値 1 を与えた個体が 2 個体以上場合には、それらを親個体として選択し、親個体と同数の子個体を一点交叉によって交叉オペレーションを実行し、子個体を生成する。残りの子個体については、上述の IEC に基づく処理手順にある突然変異(1)によって生成するものとした。本研究で扱う突然変異は、つぎの 2 種類を用意する。

**突然変異(1)**：初期個体生成と同様にして、交叉によって生成された個体数を除く残りの子個体数を色彩適応確率を用いて生成。

**突然変異(2)**：交叉、突然変異(1)によって生成した全子個体の各遺伝子座にたいする一様乱数による色彩クラスタの変更。

なお、初期個体生成における色彩選択確率は、画像における色彩特徴の指標の 1 つとなり得る“色彩が画像上に占める面積”，すなわち色彩クラスタの構成画素数に基づいて初期個体を生成する。したがって、参照画像の第  $j$  クラスタの構成画素数を  $sum_p(C_{ref}(j))$  とすると、初期個体生成における色彩適応確率は次式で表される。

$$P_0(i, j) = \frac{sum_p(C_{ref}(j))}{\sum_{k=0}^{n_{ref}-1} sum_p(C_{ref}(k))} \quad (3)$$

これについては、“色彩が画像上に占める面積”がユーザの画像にたいする主観的印象と一致するか否か不明ではあるものの、画像をマクロな視点で見た場合、一般には細部の色彩よりも大きな面積を持つ色彩により注目が集まるのではないかと考え、このような初期設定とした。

## 4. 実験方法

今回の実験の被験者である大学生 6 人にたいして表 1 に示す実験 1, 2 を行った。なお、彼らには事前にシステムの操作説明と操作練習を実施した後に、本実験を実施している。

実験 1, 2 ともに、各被験者それぞれにたいして、図 8 に示す  $256 \times 256$  サイズの入力画像と参照画像の対を 6 組提示し、本システムを利用して参照画像に類似した彩色を実行する。ただし、実験 2 では、被験者以

表1 実験方法

	実験1	実験2
入力画像および参照画像	図8に示す6画像対(サイズ:256×256)	同左
終了条件	被験者が主観的に類似度にたいして満足する個体を獲得	彩色サンプル(図9)と同じものを獲得
評価	所要時間と世代数	同左

外のユーザが本システムを使用して作成した彩色サンプル(図9)をインタフェース上に表示し、これらと同じものが得られるまでの所要時間と世代数を評価する。この際、画像の同一性を判別するには、各画素のRGB値を比較するのが最も客観性に優れていると思われるが、色彩クラスタによっては画像上でその色差の視認が困難なほど微小なクラスタも多々あり、サンプルと全く同一な画像を獲得することは難しい。そこで、まず被験者の主観によって同一と思われる画像を作成してもらい、その作成された画像を他の被験者1名が見て同一と判断した時点で実験完了とした。

また、実験条件として、表2に示す条件それぞれの下で実験1, 2を実施するものとする。表2の条件は、本稿で提案した遺伝子表現と色彩適応確率の利用について評価するためのものである。実験1-1, 2-1の条件は、本提案手法をそのまま用いた場合に相当し、分割数  $m$  は  $m = n_{in}/4$  とした。また、実験1-2, 2-2で利用する表中の“確率(一定)”とは、遺伝的操作の手順において使用している色彩適応確率の更新を行わないことを意味する。さらに、実験1-3, 2-3の実験条件である分割数  $m=1$  とは、図6に示すような分割を実施せず、図1に示す表をそのまま遺伝子として利用する。なお今後、実験1-1, 2-1の条件下の手法を提案手法、実験1-2, 2-2の条件下の手法を手法(A)、実験1-3, 2-3の条件下の手法を手法(B)としてそれぞれ呼ぶことにする。

これらの実験において、IECで用いたパラメータとしては、交叉率を0.3、突然変異(2)の確率を0.1とし、実験に用いた計算機は、CPUがCeleron 2.40GHz、メモリが512MBであり、システムはWindows XP Professional SP1上に構築されている。

## 5. 実験結果と評価

実験1の結果を図10と図12に、実験2の結果を図11と図13に示す。それぞれのグラフは、6名の被験者の平均を表すものである。なお、被験者の疲労を考え、1回の実験につき20分(1,200秒)を超えた場合、その時点で実験を中止した。

### 所要時間について(図10, 図11)

提案手法：全画像対について制限時間内に解に到達。

実験1では316~731秒。実験2では450~881秒。

表2 実験条件

	確率(更新)	確率(一定)
分割数 $m = n_{in}/4$	実験1-1, 2-1 (提案手法)	実験1-2, 2-2 (手法(A))
分割数 $m = 1$	実験1-3, 2-3 (手法(B))	—

また、手法(A), (B)と比較して全画像対について少ない所要時間。

手法2：制限時間内に解に到達ものは、実験1では4画像対で731~1056秒。実験2では2画像対のみ、それぞれ732, 881秒。

手法3：実験1, 2を通して全画像対について制限時間内に解に未到達。

### 世代について(図12, 図13)

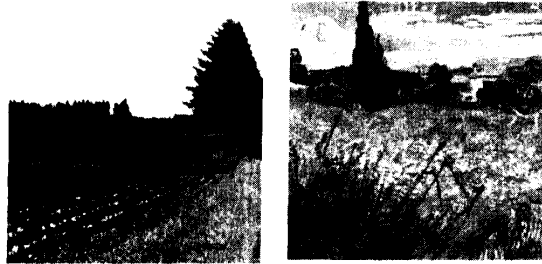
提案手法：全画像対について実験1では12~33世代で解に到達。実験2では12~33世代で解に到達。また、手法(A), (B)と比較して全画像対について少ない世代数。

手法2：実験1では4画像対について23~57世代で解に到達。実験2では2画像対のみについて両方とも29世代で解に到達。

手法3：実験1, 2を通して全画像対について解に未到達。

図12, 図13を一見すると、とくに実験2において、提案手法より手法(B)の方が平均世代数が少ないように見受けられる画像対があるが、ここでは平均所要時間が1,200秒のケースの世代数については1,200秒経過時点の平均世代数を参考提示してある。解が得られなかったケースについては、×印を示してあるので、それらを除くと世代数についても全ての画像対にたいして提案手法の方が少ない世代で収束していることが分かる。

実験2については、提示したサンプル画像が提案手法によって作成されたものであることから、提案手法が手法(A), (B)に比べ優位なのは当然であり、この結果は予想された通りである。しかしながら、初期個体生成における色彩選択確率はどの条件下でも同じであることから、初期個体生成後の探索法の違いが、所要時間および世代数の差として大きく影響を与えたと考えられ、色彩置換表の分割と色彩適応確率の動的更新



画像対 No. 1 (18, 58)



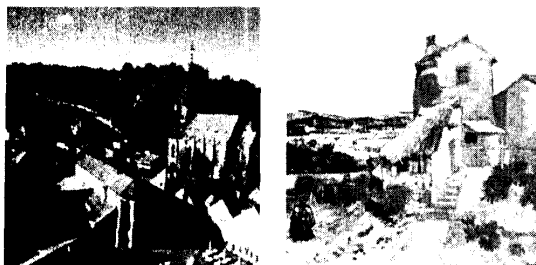
画像対 No. 2 (32, 66)



画像対 No. 3 (49, 132)



画像対 No. 4 (32, 32)



画像対 No. 5 (43, 91)



画像対 No. 6 (29, 31)

図8 入力画像(左)と参照画像(右)の対



サンプル No.1



サンプル No.2



サンプル No.3



サンプル No.4



サンプル No.5



サンプル No.6

図9 本システムを使用して作成した彩色サンプル

が有効に働いているのではないと思われる。

また、画像対ごとの収束までの結果の差異は探索空間の広さが影響すると考えられるが、クラスタ数から計算される探索空間の広さからいえば、画像対 No.3が最も広く、No.5, No.2, No.6, No.4, No.1の順に狭くなるのにたいし、実験結果は必ずしもそうになっていない。これは、本実験で構成した色彩クラスタ数が人間が知覚できる色彩クラスタ数と大きく異なるためと考えられる。NPRのような人間の主観が大きな影響をもつ分野では、実際に探索すべき空間の広さは人間の知覚した色彩数によって決めるのが妥当と考える。本研究では、3.2.2節で述べたように、色彩適応確率の初期値設定に、“色彩が画像上に占める面積”，すなわちクラスタ構成画素数を考慮に入れたが、実際に人間の色彩知覚は構成画素数だけに依存したのではなく、色彩の密度や配置関係などもっと様々な要素が絡み合っていると考えられ、それらを考慮に入れて探索空間を設定・構築すべきと思われる。

なお、実験1と実験2の所要時間を比較したとき、実験2の方が全般的に多くの時間を必要としている。

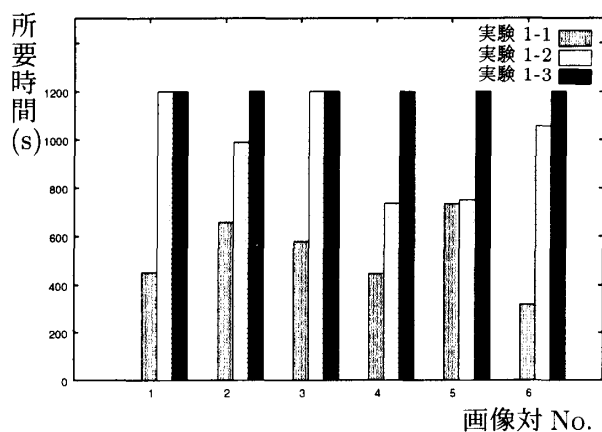


図10 実験 1 (平均所要時間)

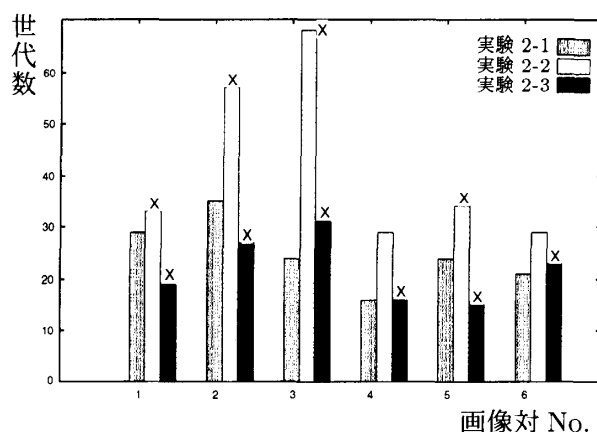


図13 実験 2 (平均世代数)

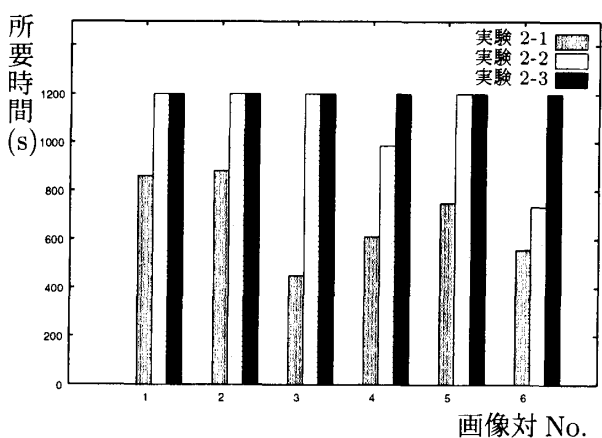


図11 実験 2 (平均所要時間)

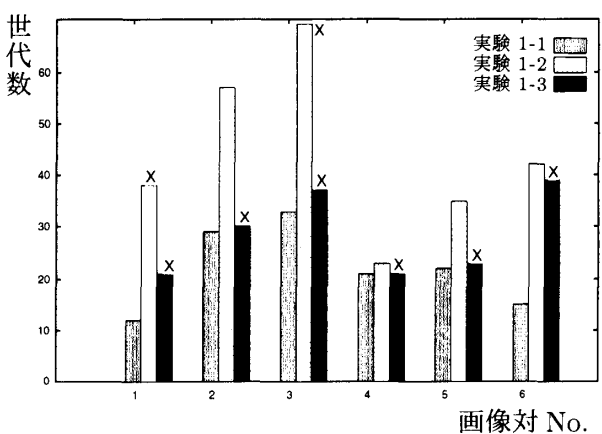


図12 実験 1 (平均世代数)

これは見本として与えられたサンプル画像と見比べるという要素が入ってくるために、評価に時間がかかったためと考えられる。

## 6. おわりに

本研究では、NPRにおける課題の1つである画像間色彩変換について、IECを用いた手法を提案・実装した。IECの利用によって、従来のNPR関連研究におけ

る色空間上の距離を用いた一意に色彩変換を決定する手法では実現困難であった色彩変換結果(図9参照)を実現することができた。

IECはユーザに評価を委ねるためユーザの負荷軽減を考慮しなければならない。そのため、本提案手法は、探索空間に相当する色彩置換表を分割し、分割後の小表単位でIECによる探索を実行する半逐次的な探索法による画像間色彩変換を試みた。これにより、全体としての探索空間は変化しないものの、ユーザが1度に評価すべき探索空間を限定することができる。また、それに伴い探索の指針となるべき色彩適応確率の更新についても小表の範囲に限定される。さらに、図2に示したように、現在色彩変換の対象となっている画像範囲をユーザがインタフェース上で確認することも可能とした。なお、ユーザの評価値は1評価において、1個体につき1つの値しか与えることができない。このことから、色彩置換表全体を1つの個体として扱うよりも分割した小表単位で扱う方が、色彩適応確率の更新が有効に働くのは明らかである。また、それと合わせて、画像全体を1個体として扱うよりも、限定された範囲を認識して評価を与えることができるため、ユーザのインタラクションも向上するものと考えられる。このことから、手法(A)、(B)よりも少ない世代と所要時間で色彩変換が実現できたのではないかと推測される。

今回実験に用いた画像対(図8参照)の色彩クラス数は、その組合せ数を考えた場合、IECで扱うには非常に大きな数なのではないかと思われる。今回は、各色彩クラス構成画素数の分散が大きいことが予想できていたため、色彩適応確率の初期値を構成画素数によって設定したが、参照絵画によってはその分散が小さくなる場合も大いに考えられる。こういった場合には、本稿で用いた初期値設定では、ユーザの満足する最適解までの早期収束はおそらく望めない。この間



題については、クラスタの構成法を検討し直し、クラスタ数自体をある程度制限することや、張らによる研究[1]にあるように色彩を一定数のカテゴリに分けるなどの手法を利用し、早期に解決しなければならないと考えている。

Photoshop 等で用いられる対話的なレタッチソフトに比べ、IEC は容易な操作で色彩変換できる。また、ユーザのみが配色を考えるのではなく、システム側が配色の提案をしてこることも従来のレタッチソフトにはなかった要素である。しかしながら、その収束性は処理対象となる画像対に大きく依存し、さらに操作の容易性と相反して細かい画像操作が不得手となることは否めない。実用性については今後さらになる評価・検討が必要となると思われるが、IEC システム単体ではなく、既存の対話的なレタッチ・インタフェースに IEC モジュールを組み込むなど両者の長所を融合していくことが有効ではないかと考えている。

### 参考文献

- [1] Chang, Y., Saito, S. and Nakajima, M.: Color Transformation Based on the Basic Color Categories of a Painting, *Siggraph2002 Conference Abstracts and Applications*, pp. 157-157 (2002).
- [2] Haeberli, P.: Paint By Numbers: Abstract Image Representations, *Computer Graphics*, Vol. 24, No. 4, pp. 207-214 (1990).
- [3] Hertzmann, A.: Painterly Rendering with Curved Brush Strokes of Multiple Sizes, *SIGGRAPH 98 Conference Proceedings*, pp. 453-460 (1998).
- [4] Hertzmann, A., Jacobs, C., Oliver, N., Clurless, B. and Salesin, D. H.: Image Analogies, *SIGGRAPH 2001 Conference Proceedings*, pp. 327-340 (2001).
- [5] Itoh, H., Haruta, M., Nakamura, T., He, L., Niwa, Y., Yamamoto, K., Yasumoto, M., Hongo, H. and Tominaga, M.: Painterly Rendering with Interactive Evolutionary Computation, *1st International Forum on Information and Computer Technology (IFICT2003)*, pp. 68-73 (2003).
- [6] 賀川経夫, 西野浩明, 宇津宮孝一: IEC を利用した配色支援手法に関する一考察, 火の国情報シンポジウム (2004).
- [7] Kasao, A. and Nakajima, M.: A Resolution Independent Nonrealistic Imaging System for Artistic Use, *IEEE International Conference on Multimedia, Computing and System*, pp. 358-367 (1998).
- [8] 北本朝展, 高木幹雄: 待ち行列型遺伝的アルゴリズムを用いた対話的な画像散策法, *人工知能学会誌*, Vol. 13, No. 5, pp. 728-738 (1998).
- [9] 長尾光悦, 山本雅人, 鈴木恵二, 大内東: インタラクティブ GA に基づく画像検索システムの評価, *人工知能学会誌*, Vol. 13, No. 5, pp. 720-727 (1998).
- [10] 中西泰人: 選好関数を用いた対話型進化システムの制御と評価-遺伝的プログラミングのデザイン支援システムへの応用-, *人工知能学会誌*, Vol. 13, No. 5, pp. 704-710 (1998).
- [11] 大崎美穂, 高木英行: 対話型 EC 操作者の負担低減-評価値予測による提示インタフェースの改善-, *人工知能学会誌*, Vol. 13, No. 5, pp. 712-719 (1998).
- [12] 大崎美穂, 高木英行: 対話型 EC 組み込み補聴器フィッティングシステムの構築と評価, 第15回ファジィシステムシンポジウム, pp. 381-384 (1999).
- [13] Reinhard, E., Ashikhmin, M., Gooch, B. and Shirley, P.: Color Transfer between Images, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 21, No. 5, pp. 34-41 (2001).
- [14] Shiraiishi, M. and Yamaguchi, Y.: Adaptive Parameter Control For Image Moment-Based Painterly Rendering, *9th ICGG Conference Proceedings* (2000).
- [15] Takagi, H.: Interactive evolutionary computation : Fusion of the capacities of EC optimization and human evaluation, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 89, No. 9, pp. 1275-1296 (2001).
- [16] 高木英行, 畝見達夫, 寺野隆雄: 対話型進化計算法の研究動向, *人工知能学会誌*, Vol. 13, No. 5, pp. 692-703 (1998).
- [17] Tokui, N. and Iba, H.: Music Composition with Interactive Evolutionary Computation, *3rd International Conference on Generative Art* (2000).
- [18] Wang, B., Wang, W., Yang, H. and Sun, J.: Efficient Example-Based Painting and Synthesis of 2D Directional Texture, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 10, No. 3, pp. 266-277 (2004).

(2004年7月1日 受付)

(2005年2月27日 採録)

### [連絡先]

〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町  
名古屋工業大学大学院工学研究科ながれ領域情報工学専攻  
中村 剛士  
TEL: 052-735-5475(直通)  
FAX: 052-735-5475  
E-mail: tnaka@ics.nitech.ac.jp

## 著者紹介



なかむら つよし  
中村 剛士 [正会員]

1993年 名古屋工業大学工学部電気情報工学科卒業, 1998年同 大学院博士後期課程修了, 同年 同大学知能情報システム学科助手, 2003年 同助教授, 博士(工学), 画像処理, 感性情報処理, ソフトコンピューティング等に興味を持つ, IEEE, 電子情報通信学会, 情報処理学会, 芸術科学会各会員,



はるた まさひろ  
春田 真宏 [非会員]

2003年 名古屋工業大学知能情報システム学科卒業, 同年 (株)リシナイ入社, ソフトコンピューティングに興味を持つ, 在籍中, 絵画風画像生成システムの研究開発に従事,



そう ゆえん  
巢 宇燕 [非会員]

2000年 名古屋大学大学院人間情報文化工学研究科博士後期課程修了, 2000年 4月から2002年 9月まで名古屋工業大学研究員, 2002年名古屋産業大学講師, 2005年同助教授, 博士(工学), 定理証明, 画像処理および図面理解, CAD 等に興味を持つ,



か りふう  
何 立風 [非会員]

1982年 中国西北軽工業学院自動制御学科卒業, 同年同大学助手, 1987年 同講師, 1997年 名古屋工業大学工学研究科博士後期課程電気情報工学専攻修了, 博士(工学), 1998年 愛知県立大学情報科学部講師, 1999年 同助教授, 現在に至る, 人工知能, 定理証明, マルチエージェント分散計算, 画像処理, ファジィ推論に関する研究に従事,



いとう ひでのり  
伊藤 英則 [非会員]

1974年 名古屋大学大学院工学研究科博士課程電気電子専攻満了, 工学博士号取得, 1974年 日本電信電話公社横須賀研究所勤務, 1985年 (財)新世代コンピュータ技術開発機構出向, 1989年 名古屋工業大学教授, 現在に至る, この間, 数理言語理論, 計算機ネットワーク通信, OS, 知識ベースシステムなどの研究開発に従事, 電子情報通信学会, 情報処理学会, 人工知能学会, 日本感性工学会, 形の科学会各会員,

## Color Transfer between images using Interactive Evolutionary Computation

by

Tsuyoshi NAKAMURA, Masahiro HARUTA, Yuyan Chao, Lifeng HE and Hidenori ITOH

## Abstract :

Color transfer is an important problem in the field of non-photorealistic rendering research. We have developed and propose an approach that adopts interactive evolutionary computation to solve the problem. Conventional studies try to transform the colors and select only one output, which may have no relationship to the user's requirements. Our approach aims to obtain an optimal output for each user. We introduce dividing gene-coding and an adaptive probability for color selection to reduce user costs and obtain optimal solutions quickly. Our approach updates the probability for color selection, based on user's evaluation history. We will present and confirm the validity of our approach and demonstrate its' efficiency.

**Keywords :** Non-photorealistic rendering, color transfer and interactive evolutionary computation

Contact Address : **Tsuyoshi NAKAMURA**

*Department of Computer Science and Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology*

*Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya, Japan, 466-8555.*

TEL : 052-735-5475

FAX : 052-735-5475

E-mail : tnaka@ics.nitech.ac.jp