モノクロ画像のカラリゼーションのための色彩傾向を考慮したウェブ画像検索システム

森田　千晶†　　増永　良文††

† お茶の水女子大学大学院人間文化研究科数理・情報科学専攻　〒 112-8610　東京都文京区大塚 2-1-1
†† お茶の水女子大学 理学部　〒 112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1
E-mail: †chiaki@db.is.ocha.ac.jp, ††masunaga@is.ocha.ac.jp

あらまし　カラリゼーションとは，モノクロ画像にコンピュータ技術を用いて着色を施す技法である．そのひとつに，着色時の色のソースとなるカラー画像 (ソース画像) を用いて，色合いを自動転送する手法がある．本稿では，その手法を前提として，ウェブ上から適切なソース画像を取得するための画像検索手法を考案する．これにより，キーワード指定と最小限のユーザ操作のみで，モノクロ画像に着色を施すことの出来るカラリゼーションシステムを構築する．本システムの特徴は，2 段階の絞込み検索方式にある．ウェブイメージ検索による意味的な絞込みを行い，そこから色彩傾向別に絞り込んで，バリエーションをもつソース画像候補を複数提示する．その中から，ユーザに自分の着色イメージに沿った画像を選択させることで，短時間で効率的にソース画像を決定させる．これにより，ユーザのもつ着色イメージ（主観）に忠実で自然な色合いでの着色を施すことができる．

キーワード　ウェブ画像検索，画像類似検索，カラリゼーション

Web Image Retrieval Considering Color Tendency for Colorization of Grayscale Images

Chiaki MORITA† and Masunaga YOSHIFUMI††

† Graduate School of Humanities and Sciences, Ochanomizu University
2-1-1 Otuka, Bunkyo-ku, Tokyo, 112-8610 Japan
†† Department of Science, Ochanomizu University
2-1-1 Otuka, Bunkyo-ku, Tokyo, 112-8610 Japan
E-mail: †chiaki@db.is.ocha.ac.jp, ††masunaga@is.ocha.ac.jp

Abstract　Recently, the research on automatic coloring technologies for grayscale images is extensively done due to the needs for digitalizing old materials and photographs. There is a technique for colorizing grayscale images by transferring color from a source color image to a grayscale image which is the destination. This technology seems to be attractive, but there is a problem of how to provide a source image that reflects user's subjectivity. In order to resolve this problem, we introduce a method of acquiring the source image along user's subjectivity from the Web by the image retrieval. In addition, a experiment is done in order to evaluate effectiveness of the system based on this method.

Key words　Web Image Retrieval, Image Similarity Search, Colorization

1. 背景と目的

カラリゼーションとは，モノクロの画像や動画などに対して，コンピュータ技術を用いて色彩をつける技法である．この技法は画像を扱う様々な分野での応用が考えられる．過去の資料・作品として残るモノクロ画像や映像は，今も貴重なものとして多く残されている．近年，そのような画像のデジタル化に基づく修復作業やリバイバル化が進められ，カラリゼーションによる色の復元が望まれている．また，カラーが主流となっている現在でもモノクロ画像はあらゆる分野に用いられている．医療分野における CT や MRI 画像，衛星データ，書物などの

挿絵などがその例として挙げられる．これらの色の復元・識別能力向上のためにもカラリゼーションの需要が見込まれる．現在の現場におけるモノクロ画像の着色技術は職人の手作業に頼る部分が多く，専門的技術と膨大な作業時間が必要とされる．また，モノクロ画像は輝度値にあたる一次元の色情報しかもたないのに対して，カラー画像は三次元の色情報をもつ．つまり，モノクロ画像をカラー画像に対応させるためには，解となる色が複数存在することになる．そのため，直接的に色を選択する方法では自然な色の選択が難しい．近年，新しいカラリゼーションの手法として，色合いの参考となる画像 (以下，ソース画像という) を用意し，その色合いを転送することによって着色を行う研究がなされている．この手法では，着色のほとんどの過程を自動化することができるためユーザの負担を大幅に減らすことができる．しかし，出力結果はソース画像に大きく依存するため，自分のイメージに沿った色合いをもち，自然なカラリゼーションを行うために有効となるソース画像を的確に用意することは非常に困難となる．

そこで本研究では，画像を色味ベースとする前述のカラリゼーション手法を前提として，その入力となるソース画像を取得するための画像検索手法を考案する．画像取得場所は，膨大な量の画像を保持するウェブ上の画像とする．これにより，色味ソースの最適化という観点から，前述の手法を用いたカラリゼーション技術の向上を図る．本手法では，ソース画像を決定するまでに大きく 2 段階の絞込みを行う．まず，ウェブイメージ検索によりウェブ上の画像を大きく意味的に絞込む．そこから色彩傾向別に絞り込んで複数のソース画像候補を決定する．これらの画像に対して簡易的にカラリゼーションを施し，複数のバリエーションによる提案プレビューとしてユーザに提示する．その中から，ユーザに自分の着色イメージに沿った画像を選択させることで，短時間で効率的にソース画像を決定させる流れとなる．また，以上の提案をもとにシステムの実装を行った．ソース画像の入力を自動取得に切り替えることで，着色までの全過程を自動化し，よりインタラクティブな操作でユーザの主観に忠実で自然な色合いでの着色を施すことができるカラリゼーションシステムを構築した．さらに，このシステムをもとにソース画像取得における性能評価実験もおこない，その有効性を実証した．

本稿では，2 章で関連研究，3 章で本システムの前提となるカラリゼーション，4 章でシステム全体の流れ，5 章でウェブ画像検索部，6 章でソース画像決定部，7 章で本システムの性能評価の実験結果，そして 8 章でまとめと今後の課題を述べる．

2. 関 連 研 究

モノクロ画像のカラリゼーションにおける研究はさまざまな方向でのアプローチがなされているが，これらは大きく 2 種類に分類ができる．一つは，ユーザがカラーパレットからの色を選択し，割り当てていく方法である．ポイントやラインなどでユーザが最小限の色指定を行うことにより，自動的に適正範囲に着色を施す研究などがなされている [1][2]．この手法はユーザ側に着色自由度が非常に高く，作業負担も軽くなっているが，色の正しい選択という部分に関しては考慮がなされていない．もう一つは，色味の参考となるソース画像を用意し，その画像と対象画像の輝度やテクスチャのマッチングをみることにより，色味を転送する方法である [3][4][5]．この手法は，実際に存在する色味を使用するので不自然な色味にはなりにくい．しかし，ユーザは事前にソースとなるべき画像を取得しておく必要がある．ソース画像は処理結果に大きく影響して，着色可能色数の制限問題や色の転送場所誤りなどが発生させる原因ともなる．そのため，最適となるソース画像の選択・取得は非常に難しい．本研究では後者の手法に着目し，画像検索技術を用いてソース画像取得の問題を解決する．画像検索技術としては，Google イメージ検索 [6] のようなキーワード検索を応用したウェブ画像検索技術や，画像の特徴量やメタデータを元に画像 DB から検索を行う画像類似検索技術などがある．画像類似検索の特徴量には，色，テクスチャ，形状，位置情報などが用いられ，これらの特徴抽出にはウェーブレット変換が使われることが多い．さらに，これらの特徴量からメタデータ自動抽出し，それを用いて意味的画像検索を行う研究も進められている [7]．また，goo ラボ [8] では，従来のウェブ画像検索技術と画像類似検索技術を組み合わせることにより，画像や動画の検索効率向上を目指した新しいマルチメディア検索システムの公開実験も行っている．

3. カラリゼーション

カラリゼーションの代表的な研究のひとつに，Welsh らによって発表された“ Transferring Color to Grayscale Images ” [3] の論文がある．本研究では，この論文による手法を前提としている．本手法のアルゴリズムの流れを図 1 に示す．ユーザは入力としてカラリゼーションの対象となるモノクロ画像と，色味の参考となるソース画像を用意する．ソース画像からサンプルとなる複数の画素をランダムに選出する．その画素の輝度値と近傍画素の統計量の加重平均を，それぞれのサンプルの特徴量とする．モノクロ画像の各画素に対して同様に特徴量を計算し，サンプルの中で最も特徴量が近いものを双方の類似箇所として関連付ける．ソース画像のサンプルの色値を対応するモノクロ画像の各画素に転送することによってカラリゼーションを実現する．

本研究では，本手法のもつ“ 画像を色合いの参考として用いる考え方 ”に着目し，ソース画像の最適化という画像処理以外の観点から拡張していくことで，カラリゼーション手法の向上を図る．今回実装を行ったシステムでは，“ カラリゼーション ” 部のカラー化アルゴリズムとして本手法をそのまま用いている．しかし，本研究で利用するアルゴリズムは本章のものに固執せず，関連研究の発展にあわせて随時新たなアルゴリズムを検討していくことで，総合的に処理性能を向上させていく．

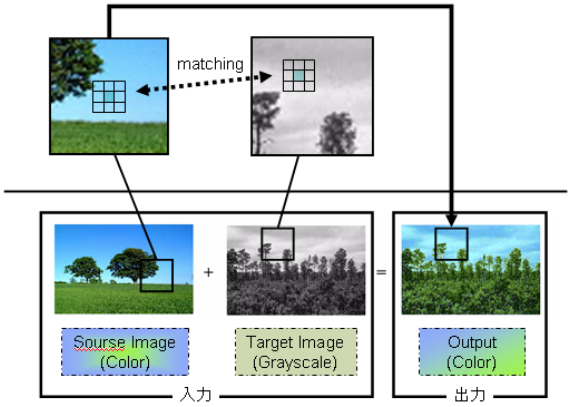


図 1　カラー化アルゴリズムの流れ

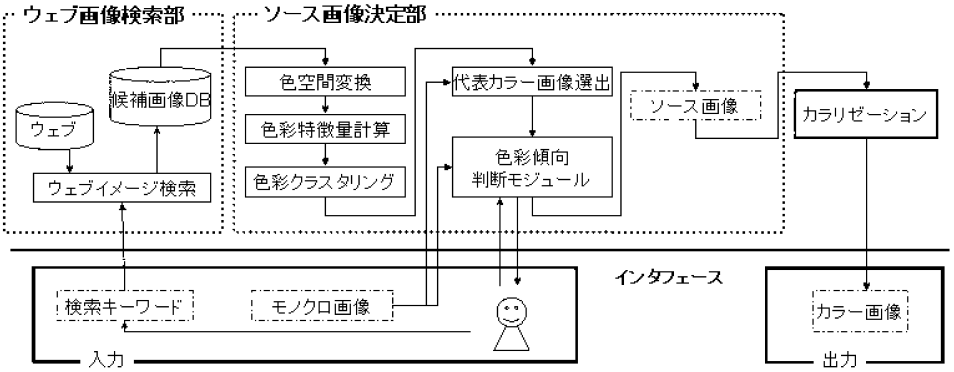


図 2　システム概要

4.　システム概要

本研究では，最低限のユーザ入力で，より自然な着色を可能とするような，モノクロ画像の自動カラリゼーションのシステムを提案している．システム全体は，ソース画像とのマッチングを利用して着色を施す“ カラリゼーション ”と，そのソース画像をウェブ上から取得してくる“ 画像取得 ”の大きく二つの機能から構成されている．本稿では，特に後者の”画像取得”部分に焦点をあてる.“ 画像取得 ”は，キーワードによりウェブ上の画像からユーザの主観に沿った画像を複数取得してくる“ ウェブ画像検索部 ”と，それらの画像の色彩特徴量などを考慮することによって最も適当となるソース画像を決定する“ ソース画像決定部 ”に分かれる．システム全体の概要を図 2 に示す．入力は処理の対象となるモノクロ画像のみとなる．従来のカラリゼーションシステムは，入力画像を指定するだけの一方的な仕様となっていた．それに対して，本システムでは処理過程においてユーザにインタラクティブな操作を行わせることで，ユーザのもつ“ 色合いのイメージ ”(以下，主観という) を結果に反映させていくインタフェースを考案した．モノクロ画像のカラリゼーションは，対象物がもつ正確な色合いを再現するためのカラリゼーションと，ユーザの主観を元に着色をおこなうカラリゼーション，の二つの方向性に大別されると考えられる．本システムでは，後者に視点を向けて，ユーザの主観をカラリゼーションに反映させることに重点をおく．これにより，アーティストの作品制作支援などのより幅広い用途に対応できるシステムを目指す.

5.　ウェブ画像検索部

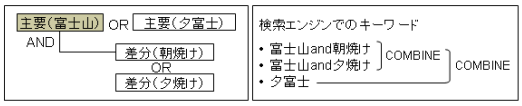
“ ウェブ画像検索部 ”では，キーワードを入力としてウェブ上からユーザの主観に沿った画像を検索する．それを用いて画像データベースを構築する．これにより，ウェブ上の膨大な量の画像からソース画像候補を意味的に大きく絞り込む.

本システムでは，検索エンジンとして Google イメージ検索などのウェブイメージ検索の利用を考える．イメージ検索では，検索ワードの選択が非常に重要となる．先行研究である [9] により，Google イメージ検索における考察を行った．それにより，以下の結論を得た.

- キーワードにはより具体的な固有名詞を選択することが効果的であることがわかった．しかし，画像に対する主観が固まっていない場合，これらの具体的名称を選択することは難しい．そこで，上位的な言葉をキーワードとし，検索結果からの選択の幅を広げた上で，じっくりと主観に沿う画像を探していくことも有効的である.
- 検索エンジンのオプションである OR を用いて複数のキーワードでの検索を行った場合，主要キーワードを単一で入力した場合に比べて，総検索結果数は増加するが検索精度は低下してしまうことがわかった．これは，Google イメージ検索の表示順位決定アルゴリズムが要因になっていると推測される．たとえば，その他の条件がほぼ等しい状況下で「A OR B」の検索を行い‘ A ’のみを含む画像と‘ A ’と‘ B ’の両方を含んだ画像が検索されたとき，後者のほうが表示順位が上位にくる，などの理由が考えられる．この場合，検索精度は低下するが，総検索結果数が増加する．つまり，より多くの可能性のある画像をプックアップすることができる.
- ユーザが特別な主観をもつ状況下においてカラリゼーションを行うためには，より率直なキーワードを選択する，もしくは主要キーワードと，その差分となるような意味をもつキーワードをつなげた OR 検索を行うことが有効である．例えば，ユーザが富士山の写真のモノクロ画像を用いて，夕焼けの起こっている状況下でのカラリゼーションを施したいと考える．このときキーワードは，その状況を率直に表す“ 夕富士 ”，もしくは“ 富士山 OR 夕焼け ”などの複数キーワードの組み合わせが有効であると考えられる.

本稿では，以上の考察を踏まえて，主観を反映させた結果を得るための画像をより効率的に検索するために，独自のキーワード指定処理を行う．キーワードには，主要キーワードと差分キーワードの 2 種類のタイプを定義する．主要キーワードは，カラリゼーション対象物を率直に表す言葉となり，1 つ以上の指定を必須とする．差分キーワードは主要キーワードの下位クラスにあたり，主要キーワードから更に特徴を絞り込むために指定する．入力は任意であり複数入力が可能である．複数の単語を指定する場合，異なる種類のキーワード同士は AND で結ばれ，同じ種類のキーワード同士は OR で結ばれる関係となる．また本研究では，前述の二つ目の考察の理由から，検索エンジンで提供されているオプションによる OR 検索は用いないこととする．代わりに，OR を挟むそれぞれのキーワードで単一検索を行い，それぞれの上位結果をあわせたものを検索結果とする．通常の OR 検索と区別するため，以降これを COMBINE 検索とする．例として，赤く染まった富士山の画像の取得を目指す場合の処理例を図 3 に示す．ユーザが図 3-a のようにキーワードを指定したとき，検索エンジンには図 3-b のようなキーワード指定がなされ，検索結果の合成処理が行われる.

イメージ検索では，様々な検索オプションが提供されてい



(a) 指定概念　　(b) 処理構造

図 3　キーワード処理方式

る．本システムでは，これらのオプションを用い，画像形式を JPEG のカラー画像に絞った検索をおこなう．これは，色数を多く表現できる JPEG は写真に，GIF や PNG は図やマップなどに用いられることが多いからである．カラリゼーションのソース画像となる得る画像は，写真のように色数の多いカラー画像が有効であると考えられるため，以上のように対象の形式を指定することで検索精度をあげる．

6.　ソース画像決定部

“ ソース画像決定部 ”では，“ ウェブ画像検索部 ”で作成したソース画像候補の画像データベースを用いて，ユーザの主観を考慮した色彩傾向をもつ最終的なソース画像を決定する．システムは，カラリゼーションの際の色彩傾向別にクラスタリングを行い，それぞれのクラス内で最適と思われる画像候補のカラリゼーションプレビューを提示する．その色彩傾向の異なるプレビューから，ユーザに最も好ましいと思われる画像を選択させることで，ユーザ主観を反映を考慮したソース画像の取得をおこなう．なお，本稿では，“ 色味 ”を色表現における色相，彩度，輝度の全てを考慮した色分配具合，“ 色彩 ”を輝度を除く色相，彩度のみの色分配具合として表現する．

6.1　色空間変換

“ カラリゼーション ”と“ ソース画像決定部 ”では，処理を行う際に YUV 色空間を用いる．YUV 色空間は，それぞれ Y：輝度信号，U：色差信号 (青)，V：色差信号 (赤) の情報をもっており，信号同士で互いに影響を及ぼしにくいという特徴をもっている．輝度を固定したまま色彩を調整することができるため，カラリゼーションにおける色空間としても多く用いられている．RGB 値と YUV 値の相互変換には以下の式を用いる．

- RGB to YUV

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$
$$U = -0.169R - 0.331G + 0.500B$$
$$V = 0.500R - 0.419G - 0.081B$$

- YUV to RGB

$$R = 1.000Y + 1.402V$$
$$G = 1.000Y - 0.344U - 0.714V$$
$$B = 1.000Y + 1.772U$$

候補画像データベース内の全画像に対して，以上の色空間変換を行う．これにより，色彩での画像検索を行いやすくし，さらに画像取得フェーズの段階で画像を YUV 色空間へ変換しておくことでカラリゼーション時の処理時間を短縮させる．

6.2　色彩特徴量計算

従来の画像類似検索システムにおいて色彩類似を判断する場合，色とその配置情報などを用いることが多い．それに対して，本研究ではその画像のもつ色彩の配分のみに着目する．これは，本システムで用いるカラリゼーションアルゴリズムの処理結果が，ソース画像内の形状，位置情報に依存しないためである．YUV 色空間における色差を表す UY をそれぞれ軸とした UV 座標軸空間は，RGB 空間の全ての色をマッピングすると図 4 のような形になる．これは，HSI モデルの色相を表す 2 次元空間とほぼ等しく，極座標表現における θ が色相，r が彩度に相当する．

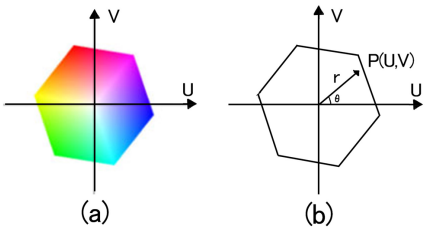


図 4　(a)UV 座標軸空間　(b) 極座標表現

画像の各画素における色情報を UV 座標軸空間へマッピングすることで，画像の色構成を無視して色彩傾向を調べる．これを各画像のカラーセットと定義する．カラーセットの一例を図 5 に示す．図 5 は，6 つの画像とそのカラーセットの組み合わせを表している．このカラーセットから対応する画像の色彩の特徴を判断することができる．例えば，一段目の左の犬の画像に着目する．対応するカラーセットから，この画像は，彩度の低い部分が多く，また全体的な色相は黄色に偏っていることが読み取れる．また，二段目の右のイラスト画像に着目する．対応するカラーセットから，この画像は，緑の色相をもつ彩度の高い色が多く用いられ，さらに黄色や赤の色相も少なからず存在していることなどが読み取れる．

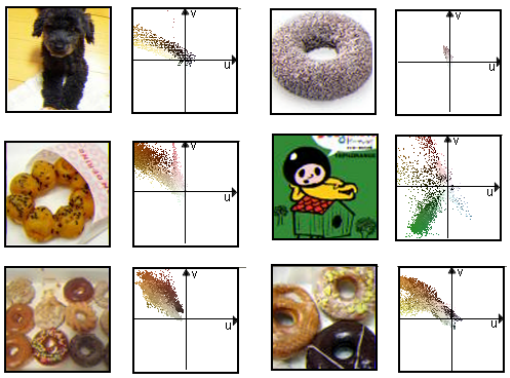


図 5　カラーセットの例

カラーセットを色彩傾向の基準として色彩特徴量を定義する．まず，UV 座標軸空間を図 6 のように原点を中心に複数の色分類領域に分割し，カラーセットの各領域に属する画素の割合を計算する．図は色分類領域数を 6 と仮定したものである．

これを各画像の色彩特徴量として以下のように定義する．

$$F_k = (c_1, c_2, \ldots, c_n)$$

n は領域数，k は画像番号，ci は領域に属する画素数のそれぞれの割合を百分率で表したものである．このとき彩度が著しく低い画素に関しては，分類誤りが起きやすいため省いて考える．

6.3　ノイズ除去

色彩傾向ごとのクラスタリングを行う前に，“ ウェブ画像検索部 ”において混入してしまったノイズを除去する．ここでは，色彩傾向を表す色彩特徴量から判断して，明らかに特異な画像をノイズとして定義する．このようなノイズは，特定数のクラ

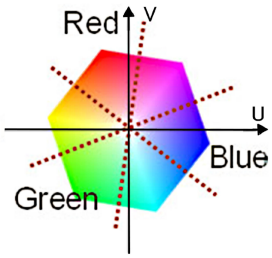


図 6　色分類領域

スへクラスタリングを行う際に，重要な妨げになると考えられるため，除去する必要がある．また，意味的に特異と考えられるが色彩傾向的には特異と考えられない画像も存在することが考えられる．このような画像は，後述のソース画像決定時の優先順位付けにおいて順位が低くなる場合が多く，システムに影響を及ぼしにくい．さらに，カラリゼーションのアルゴリズムを考えても，それほど悪い処理結果を示しにくい傾向にあると考えられる．そのため，そのような画像はノイズとはみなさないことにする．

6.4　色彩クラスタリング

本システムのインタフェースでは，ユーザが直感的に主観に沿った画像を選択できるようにカラリゼーションのバリエーション候補を提案する．そのために，候補画像データベース内の画像を色彩特徴量を用いて特定数の色彩傾向別にクラスタリングする．本システムでは，バリエーション候補数を 9 と固定している．

クラスタリング手法には K-means 法を用いる．K-means 法は，非階層的なクラスタリング手法の代表例であり，固定数 K 個のクラスターへデータの分割を行う．クラスタリングは以下の手順で行われる．手順の概念図を図 7 に示す．

step1：K 個のクラスタの中心となるデータを seed として設定する．

step2：各データに対して，データと各クラスター中心との距離を計算して，最も近いクラスタグループへ割り当てる．

step3：クラスタごとに中心を計算しなおす．

step4：すべてのクラスタ中心が変化しなければ終了．それ以外は step2 へ戻る．

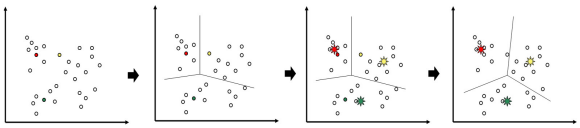


図 7　K-means 法アルゴリズムの概念図
左から step1，step2，step3，step2 の繰り返し，の状態を表している．

seed は，色の特徴ごとにうまく分散するように，色彩特徴量の各成分ごとに最大の値をもつ画像とする．色彩特徴量の成分数がクラスタ数 K を超える場合は，各成分内から seed の選択基準とする成分をランダムに選択する．クラスタ数 K より下回る場合は，残りの seed をソース画像候補データベースからランダムに選択する．

クラスタ中心と各画像との距離の計算には，各成分ごとに重みを付けた特徴ベクトル間の距離計算を用いる．色彩特徴量ベクトルは，円環に沿った特徴を表したものであり，隣り合った成分は，それぞれ近い特徴をもっている．そこで，ある成分を基準として，その成分からの距離に応じて重みを付けることで上記を考慮する．基準とする成分は，クラスタ中心の特徴量ベクトルの中で最も値の大きい成分とする．

以上のことから，クラスタ中心 k と要素となる画像 k' との距離は以下のように定義される．

$$d = \sum_{k=i}^{n} w_i |F_{ki} - F_{k'i}|$$

n は領域数，w_i はクラスタ中心の色彩特徴量の第 i 成分での重み，F_{ki} は要素 k の色彩特徴量の第 i 成分を表す．本システムでは，色彩分類数を 6 として，重みを基準とする成分との距離ごとに 1.0，1.3，1.5，1.7 とする．したがって，色彩特徴量が $F_k = (10, 70, 15, 0, 0, 5)$ のとき，重みは $w = (1.3, 1.0, 1.3, 1.5, 1.7, 1.5)$ となる．

また，クラスタ中心は，クラスタ内の要素の平均として以下のように定義する．

$$G = (F_k + F_{k+1} + \ldots + F_{k+n})/n$$

クラスタリングされたそれぞれのクラスタをカラーセットグループとよび，ユーザに提案するバリエーション候補の色傾向とする．

6.5　ユーザによるソース画像決定

それぞれのカラーセットグループ内の画像に，カラリゼーション時に好ましい結果を望める順に適正順位を定める．順位付けの基準となる適正値の測定には，モノクロ画像とソース候補画像のテクスチャ類似度と，ウェブ検索時の表示順位を用いる．カラーセットグループ内で最も適性値が高い画像をグループ代表画像として，その画像を用いた簡易カラリゼーション結果をプレビュー画像としてインターフェースに表示させる．ユーザは各色彩傾向をもったグループ代表画像のプレビュー画像の中から，最も好ましいと思える画像を選択することで，自分の主観に沿う色彩傾向を定める．インタフェース上の操作で，選択したグループのグループ内画像表示と切り替えることができる．グループ内画像表示では，適正順位の上位画像に簡易カラリゼーションを施した結果を見ることができる．ユーザは操作の過程で最も好ましいと思える画像を選択することで，最終的なソース画像を決定する．

7.　実　　装

4 章で述べたシステムのうち，“ ソース画像決定部 ”の範囲でシステムを実装した．本システムでは，ソース画像候補データベース内の画像を色彩傾向ごとにクラスタリングし，カラリゼーション結果のプレビューを階層的に表示させて，ユーザへのソース画像の提案を行う．

7.1　実 装 環 境

実装環境は以下に示すとおりである．

- OS：WindowsXP
- CPU：Pentium4(R) 3.00GHz
- RAM：504MB
- 実装言語：Visual C++ 6.0

7.2　システムの構造

本システムは，データを読み込みクラスタリングを行うことで，2 段階の階層型のシステム構造となる．図 8 にその構造を示す．上段ではクラスタリング後の各グループの代表を表示する．この状態を“ グループ代表画像表示状態 ”とよぶ．下段では，それぞれのグループ内画像のうち適正値が高い上位 9 件の画像を表示する．この状態を“ グループ内画像表示状態 ”とよぶ．また，表示状態は 2 つのモードから成る．ひとつは，ソース画像候補データベース内の画像をそのまま表示する“ ソース画像モード ”であり，もうひとつは，そのソース画像を元に簡易カラリゼーションを行った結果を表示する“ カラリゼーションモード ”である．ユーザはインタフェース上で，それぞれの表示状態，モードを自由に切り替えることができる．なお，クラスタリング後の初期状態は”カラーグループ代表画像表示状態” の”カラリゼーションモード”になっている．ユーザは以上のようなシステムを用いて，表示状態，モードの切り替えの試行を繰り返していくことで，適正となるソース画像の探索を行っていく．

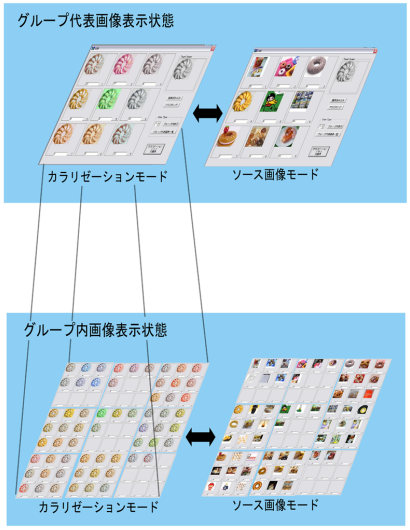


図 8　システムの構造

7.3　インタフェース画面

図 9 はシステムのインタフェースを示す．インタフェースは，9 個の“ 候補画像データベース内画像ウィンドウ ”と 1 個の“ ターゲット画像表示ウィンドウ ”，各種操作ボタンから成り立っている．図はクラスタリング直後のインタフェース状態である．ユーザは“ データ読み込みボタン ”をクリックすることで，ソース画像候補データベースとターゲット画像を読み込む．ここで利用するソース画像候補データベースは，それぞれの候補画像のアドレス，ウェブ検索時表示順位をいれた簡易的なテキストファイルとする．候補画像は，あらかじめ Google イメージ検索を用いて取得し PC 内に保存しておく．取得件数は上位 100 件とする．データを読み込むと“ ターゲット画像表示ウィンドウ ”に，カラリゼーションの対象とするモノクロ画像が表示される．データを読み込んだ状態で“ クラスタリングボタン ”をクリックすると，画像候補データベース内の画像が分類される．クラスタリング後，“ 候補画像データベース内画像ウィンドウ ”に各カラーセットグループのグループ代表画像が表示される．この状態で，“ 表示状態切り替えボタン ” モード切替ボタン ”をクリックすることで，表示状態やモードを切り替えることができる．これにより，候補画像中の最大 81 件の適正値上位画像を色傾向別に探索していくことができる．

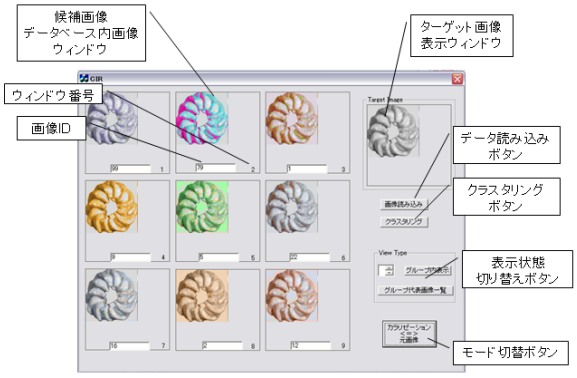


図 9　システムインタフェース

図 14，図 15，図 16，図 17 に，それぞれの表示状態・モードにおけるインタフェース画面を示す．図 16，図 17 は，カラーセットグループ内を表示させた状態を，9 個全て並べた図である．カラーセットグループごとに異なる色傾向で分類されていることが読み取れる．

7.4　カラリゼーション処理

本システムでは，状況に応じて 2 種類のパラメータでカラリゼーション処理を行っている．ひとつは，決定したソース画像から最終的な出力画像を生成するために行う処理である．このとき処理時のパラメータは，サンプル数を 1000，近傍を 5 × 5 となる．処理速度は落ちるが十分な品質でのカラリゼーションを行える．もうひとつは，“ ソース画像モード ”から“ カラリゼーションモード ”へ切り替える際に，表示されている 9 個の画像に対するカラリゼーション結果のプレビュー画像を生成するために行う処理である．このとき処理時のパラメータは，サンプル数を 100，近傍を 5 × 5 となる．処理結果にばらつきがでるが，非常に高速な処理が行えるため，インタラクティブな操作に耐えうるリアルタイムな処理を行うことができる．本研究では，後者のカラリゼーションを“ 簡易カラリゼーション ”として区別している．

8.　評 価 実 験

本システムの有効性を検証するため，7 章で述べた実装システムを用いて評価実験を行った．本稿では，特に“ ソース画像決定部 ”以降の有効性に関して検証する．実験では，本システムの有効性を端的に検証するため，ウェブを利用した画像取得は行わずに，事前に準備したソース画像の候補画像データベースを用いる．その中からソース画像となるべき画像を決定して，望みどおりのカラリゼーション結果を得るまでの一連の流れを行う．検証は二つの異なる手順である TypeA，TypeB の比較によって行う．TypeA では，ユーザは画像一覧からユーザの目測でソース画像を選択し，従来のカラリゼーションシステムを利用して試行を繰り返していくことで適正ソース画像を探索・決定する．TypeB では，本システムで提案している色彩分類別の階層型提案システムを用いて適正ソース画像を探索・決定する．実験では，最良ソース画像取得に際する検出効率と許容ソース画像の複数取得に際する検出効率の 2 つの面から評価を行う．それぞれの評価方法を実験 1，実験 2 として以下に述べる．

8.1 実験方法

8.1.1 実　験　1

特定の結果を主観として念頭においた場合に最良となるソース画像を検出するための検出効率を評価することを目的とする．実験では，あらかじめ正解となる画像を定義して被験者に提示する．被験者は，その正解画像のソース画像となる画像を候補画像データベースから探索・検出する．正解画像は候補画像データベース内から 2 枚を選択した．それぞれの画像に対して，TypeA，TypeB のそれぞれの手順で上記実験を行い，検出までの試行数，時間を測定した．その結果を比較・検討することで，システムの最良画像検出時における有効性の評価とする．

8.1.2 実　験　2

候補画像データベースから，適正ソース画像として許容できる画像を検出する際の検出効率を評価することを目的とする．TypeA では，従来のカラリゼーションシステムを用いて，候補画像データベース内画像一覧から適正ソース画像と思われる画像を毎時選択させる形で試行を繰り返し行ってもらい，適正ソース画像と思われる画像を n 個選択させる．このとき掛かった時間を測定し，$\mathrm{Time}_{TypeA}(n)$ とする．$TypeB$ では，本システムを用いて適正ソース画像と思われる画像の探索を行ってもらい，n 個選択させる．このとき掛かった時間を測定し，$Time_{TypeB}(n)$ とする．上記の結果を用いて，$TypeA$, $TypeB$ のそれぞれの場合における画像取得数 n の変化に伴う画像取得時間の比較によるシステムの評価を行った．

また，TypeA と TypeB の検出時間効率を以下のように定義する．

$$\text{検出時間効率} \quad = \frac{Time_{TypeA}(n)}{Time_{TypeB}(n)}$$

これにより，ユーザの作業負担における改善率も評価した．

8.2 実験環境

実験内容を統一させるため，実験には同一の画像候補データベースを用いる．候補画像データベース内の画像は，Google イメージ検索を利用し，5 章のキーワード方式を用いて，主要キーワード“ ドーナツ ”で検索した結果の上位 100 件の画像とする．実験 1 で用いる正解画像は，候補画像データベース内から選出した 2 枚の画像とする．本実験では，客観的色傾向をもつ画像として茶色のドーナツの画像を (a)，主観的色傾向をもつ画像として特徴的な黄色の強いドーナツの画像を (b) として選択した．図 10 に実験に用いた候補画像データベース内の画像を示す．

8.3 実験結果

以下の結果は情報科学を専門とする研究室の学生 5 人を被験者とした実験結果の値の平均をとったものである．

8.3.1 実　験　1

TypeA，TypeB における正解画像のソース画像検出までの検出時間と試行回数を表にしたものを図 11 に示す．

２枚の正解画像（a）(b) によって，結果の数値に大きな違いが生じている．これは，候補画像データベースに対する正解画像の検出のし易さが影響している．候補画像データベースは，あらかじめ典型的な“ ドーナツ ”を多く含む画像で構成されている．そのため，より一般的な“ ドーナツ ”の色をもつ画像が必然的に多くなっている．客観的色傾向をもつ画像として選択された (a) は，候補画像データベース内に類似した色合いを与える画像が多数存在する．それに比べて，(b) は主観的色傾向

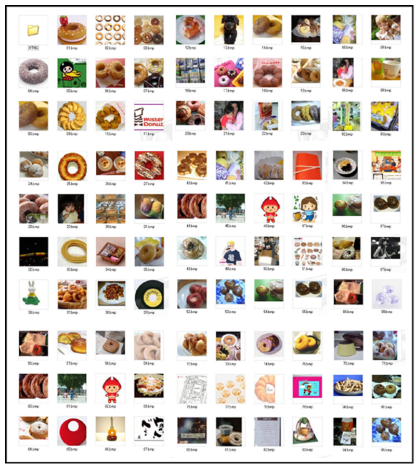


図 10　候補画像データベース内画像

	(a)		(b)	
	Type A	Type B	Type A	Type B
試行数(回)	15	17	6	2
検出時間(秒)	310	273	170	27
平均試行時間(秒/回)	21	15	28	13

図 11　正解画像のソース画像検出効率

をもつ画像として選択されており，候補画像データベース内において特異な色合いをもっている．このことから，(a) は (b) より検出し難い画像ということになり，そのために結果の数値に違いが生じているといえる．以上のことから，数値そのものではなく，手順を比較した際の傾向に着目して考察を行っていく．

(a) を用いた場合は TypeA，TypeB ともにほぼ同等の試行回数を示しており，(b) を用いた場合は TypeB のほうが少ない試行回数を示している．これは，(b) の場合，TypeB におけるクラスタリングの際に，求めたい色傾向の画像がひとつのカラーセットグループに集中しやすくなりため，検索が容易になっていることが原因と考えられる．このことから，TypeB で用いている本システムは，ユーザが主観的色傾向をもつ場合の最良ソース画像の検出に特に有効であるといえる．また，TypeB は一回の試行にかかる時間が TypeA に比べて低いことがわかる．このことから，TypeB ではユーザの操作負担を軽減させているといえる．

8.3.2 実　験　2

TypeA，TypeB におけるソース画像 n 個検出までの検出時間を図 12 に，検出時間効率を図 13 に示す．

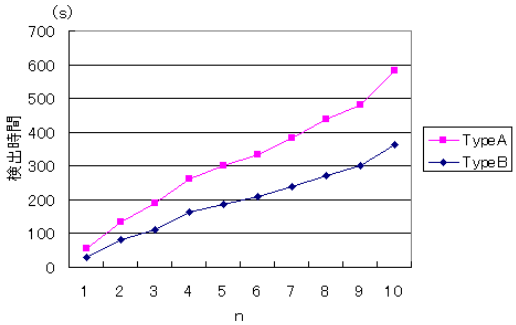


図 12　n の変化に伴う TypeA，TypeB の検出時間

n の値が小さいときに検索時間効率の変化が大きいことがわ

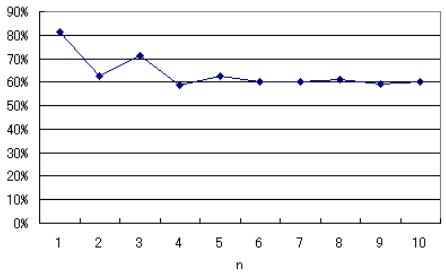


図 13　検出時間効率

かる．これは，個別の結果における TypeA の検出時間が非常に不安定なことが原因である．TypeA での適正ソース画像検出は確実性が低く，運に左右されやすい．このことから，n の値が小さい結果は信頼性が低いものとして考慮することとする．したがって，以上の結果から，TypeA と比較して，TypeB では探索に掛かる時間がほぼ 6 割程度に短縮されていることが読み取れる．検索時間効率が安定していることから，個々の検出にかかる時間も安定して 6 割程度の時間で行われていることが判断できる．各被験者の個別の結果においても上記結果と比較的同等の傾向が見られた．これにより，本システムを用いたカラリゼーションは，目測による画像取得に比べて，ユーザ負担を大幅に減らすことができるといえる．また，複数の適正画像を少ない負担で安定して取得できることから，複数ソース画像入力を視野にいれたカラリゼーションアルゴリズムを考慮して，本システムを拡張していくことも非常に有効であると考える．

9. ま と め

本研究では，色味のソースとなるカラー画像を用いて着色を行うカラリゼーション手法を前提として，その入力となるソース画像をウェブ上から効率よく検索し，ユーザに提案するシステムを考案した．本システムでは，ソース画像を決定するために，キーワードによる意味的絞込みと色彩クラスタリングを用いた色味傾向別の絞込みの 2 段階の絞込みを行う．これにより，効率的にユーザの主観に沿った自然な色合いのカラー化を行うカラリゼーションシステムを構築した．さらに実験として，ユーザの目測による手動の画像取得と本システムを比較して検索精度と検索効率を検証し，その有効性を実証した．今後は，複数ソース画像によるカラリゼーションに対応させることにより，カラーセットグループごとに最良のカラリゼーション結果を提示させ，ユーザに提案させることを目指す．これにより，本システムにおけるソース画像の自動取得の必要性を向上させる．また，引き続きウェブ画像検索部も含めた実装を行い，ユーザテストによるシステムの有効性検証を行っていきたいと考える．

文　　献

[1] 堀内 隆彦, ”画素の種まきによるカラリゼーション,” 画像電子学会論文誌, vol.33, no.1, pp.2-8, Jan.2004.

[2] Anat Levin, et al., ”Colorization using Optimization,” In *Proc. SIGGRAPH2004*, August 2004.

[3] Tomihisa Welsh, et al, ”Transferring Color to Grayscale Images,” In *Proc. SIGGRAPH2002*, August 2002.

[4] Reinhard.E, ASHIKHMIN.M, et al, ”Color Transfer Between Images,” In *Proc. IEEE Computer Graphics and Applications*, September/October 2001.

[5] 小林洋平，白石晋，”モノクロ画像のカラー化に関する基礎的研究，” 2003 年映像情報メディア学会年次大会 (ITE Annual Convention 2003)，2003.

[6] http://www.google.co.jp/

[7] 北川高嗣, 中西崇文, 清木康, ”静止画像メディアデータを対象としたメタデータ自動抽出方式の実現とその意味的画像検索への適用, ” 情報処理学会論文誌：データベース, VOl.43, No.SIG12(TOD16), pp38-51, 2002.

[8] http://mmm.nttrd.co.jp/

[9] 森田千晶, 増永良文, ”画像検索を用いたモノクロ画像のカラリゼーション, ” 夏のデータベースワークショップ (DBWS), 2005 年 7 月.

図 14　グループ代表画像表示状態：ソース画像モード

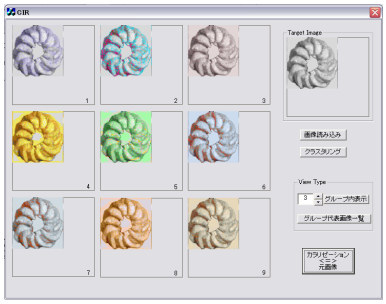


図 15　グループ代表画像表示状態：カラリゼーションモード

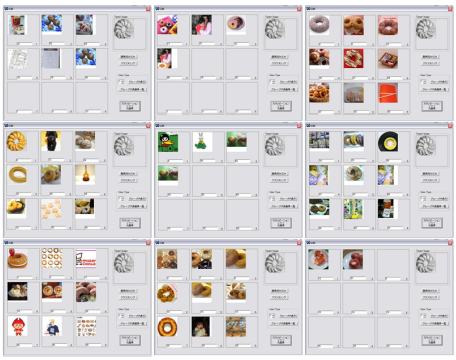


図 16　グループ内画像表示状態：ソース画像モード

図 17　グループ内画像表示状態：カラリゼーションモード