

## 専門家による映像補正技法に基づいた リアルタイム顔映像印象向上手法

原 謙治<sup>†</sup> 前田 篤彦<sup>†</sup> 稲垣 博人<sup>‡</sup> 高嶋 洋一<sup>†</sup> 小林 稔<sup>†</sup> 阿部 匡伸<sup>†</sup>

<sup>†</sup> NTT サイバーソリューション研究所 <sup>‡</sup> NTT サイバースペース研究所

**概要:** ユーザが他人に見せる自分の顔映像を見せたい印象に変換する手法の研究を行った。近年、写真/動画共有サービス、テレビ電話、デジタルフォトフレーム等のサービスが利用可能となり、ネットワークを通して顔画像/映像を見せる機会が増加している。しかし、自分の映像の印象が見せたい印象と異なることがあるという問題がある。そこで本研究ではテレビ電話映像の印象向上のために専門家が行う色変換法の調査、調査結果に基づいた色変換技術の開発、開発した色変換技術の評価を行い、既存手法と比較した印象の向上とユーザ毎の色変換の好みの違いを確認した。また、提案手法を用いることでテレビ電話利用への意欲が高まることも確認した。

## Real-time Facial Impression Improvement based on the Techniques by Experts in Image Correction

Kenji Hara<sup>†</sup> Atsuhiko Maeda<sup>†</sup> Hirohito Inagaki<sup>‡</sup> Minoru Kobayashi<sup>†</sup> Masanobu Abe<sup>†</sup>

<sup>†</sup> NTT Cyber Solutions Laboratory <sup>‡</sup> NTT Cyber Space Laboratory

**Abstract:** We propose a facial color beautification method for video communication. The video-captured face often disappoints us, especially the subjects themselves, because the impression of the face is not as good as we expect. We solve this problem by retouching the captured video. We studied how the experts change the color of the video to improve the facial impression in video-phone, and developed a color transformation method based on the result. We also conduct a user study to evaluate our method. The result shows the effectiveness of our method and the diversity of user preferences.

### 1. はじめに

近年、写真共有・動画共有・テレビ電話・デジタルフォトフレーム等のサービスが利用可能となり、ユーザがネットワークを通して顔を見せる機会が増加している。しかし、撮影環境での光量不足やカメラの露光・ホワイトバランス調整の影響などによって撮影映像の印象がユーザの期待するものと異なり、不快に感じることは少なくない。ここでユーザが期待する自分の映像の印象は二つの印象が考えられる。ひとつは「鏡で見る自分の印象」であり、もう一つは「相手に伝えたい印象」である。

映像を利用したコミュニケーションでは、何らかの情報を伝えるために映像を利用するが、特に顔を見せる映像コミュニケーションの場合は感情を伝えることが重要となる。ここで、ユーザが自分の感情を満足に伝えるためには、照明などの影響を受けてしまう「鏡で見る自分の印象」よりもユーザ自身が持つ「相

手に伝えたい印象」の映像を伝えることの方がより重要であると考えられる。

そこで、本研究では「自分が見せたい印象で映像を伝える」ことを目的とする。この目的が実現されることによって顔映像コミュニケーション時にユーザが伝えたい感情をより忠実に伝えることが可能となり、また、誤った印象を与えてしまうということによるコミュニケーション阻害を防ぐことが可能となる。

顔映像の印象向上に関しては大きく分けて 1) 形の補正, 2) 質感の補正, 3) 色の補正の3種類の補正法が考えられる。形の補正方法には例えばレンズ歪みの補正や顔形状の変形による美観化があり、質感の補正にはシワ・シミの除去や髪の一部を輝かせることによるツヤの強調が、色の補正には顔の陰影・明るさの変換、肌・髪・目の色の変換がある。本研究ではこのうちヒストグラム変換による色変換方法に取り組む。ヒストグラム変換は古典的な手法 [1][2][3][4][5] であるが、映像製作の現場で色変換はよく行われておりノウハウが豊富で効果・実現可能

性共に高い技術であると考えからである。そこで本研究では色変換ノウハウを調査し、調査結果に基づいて色変換方法の開発・評価を行った。

本稿では 2 節で色変換法の調査、3 節で色変換法の開発、4 節で色変換法の評価実験のデザイン、5 節で評価実験の結果、6 節で顔印象向上手法の関連研究についてそれぞれ述べる。

## 2. 色変換法の調査

本研究では第1のステップとして専門家による色変換法の調査を行った。本調査では「テレビ電話映像の印象向上の際に専門家に共通する、或いは専門家毎に異なる色変換法の特徴を操作する」ことを目的とした。本研究の目的は映像コミュニケーション一般における顔映像の印象向上であるが、リアルタイムに動画を交換する必要があるテレビ電話で有効な色変換手法であれば他の映像コミュニケーションにも応用しやすいと考え、テレビ電話を利用するケースを想定した。具体的な手順は図 1 に示した通り 1) 色変換用の元映像の作成、2) 色変換を行う専門家の選定、3) 専門家への色変換の依頼、4) 実際に行った色変換のねらい、コツなどをインタビュー調査する、という手順で行った。

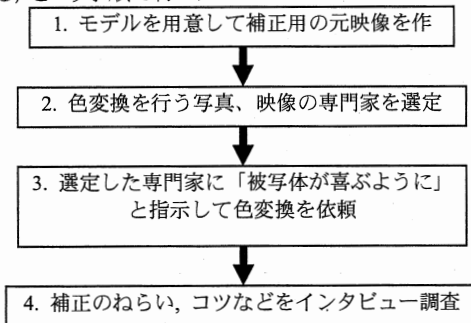


図 1. 色変換法の調査手順

### 2.1. 色変換用映像の撮影

色変換用の元映像の撮影は表 1 に示す条件の下で行った。ここで被写体を 30 歳代、40 歳代、50 歳代のノーメイクの女性(1名は普段からしている程度の軽いメイクをしていた)としたのは、この年代の女性が普段から家庭で使えることを目指したことによる。同様の理由で照明環境も一般的な家庭のリビングの明るさを想定して 220lx の蛍光灯とした。

| 条件   | 内容                                     |
|------|--|
| 被写体  | 30, 40, 50 歳代の女性<br>(ノーメイク)            |
| 照明環境 | 220lx の蛍光灯<br>※一般的なリビングでは<br>150~300lx |

表 1. 撮影時の被写体・照明の条件

また、実際のカメラと被写体の位置関係は図 2 に示した通りである。カメラ位置に関しては 2 種類あり、卓上にテレビ電話機を置いた時のカメラ位置として 85cm 高、目線と同じ高さのカメラ位置として 105cm の高さから撮影している。

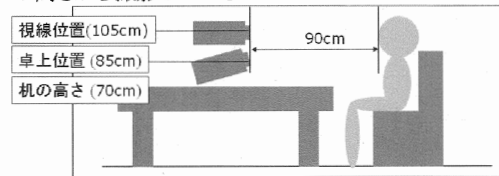


図 2. カメラと被写体の位置関係

### 2.2. 専門家の選定

色変換を行う専門家は表 2 に示す 5 名を選定した。表 2 にある通り写真、映像の世界から幅広く専門家を集めたが、これは色変換に関する幅広いノウハウの獲得を目指してのことである。

| 業種・職種                  | 専門分野               |
|------------------------|--------------------|
| フォトグラファ                | 人物撮影               |
| 撮影まで手がけるヘアメイクアーティスト    | ヘアメイク、フェイスマイク、人物撮影 |
| 映像作家<br>(デジタル映像クリエイタ)  | 企業・音楽プロモーションビデオ制作  |
| 映像作家<br>(デジタル演出・編集のプロ) | プロモーションビデオ・CM制作    |
| 映像作家<br>(デジタル演出・編集のプロ) |                    |

表 2. 専門家の業種・職種と専門分野

### 2.3. 色変換手順

本調査では専門家には我々の用意した色変換ツールを利用しての色変換を依頼した。その色変換ツールのスクリーンショットを図 3 に示す。専門家は本ツールを用いて RGB, CMYK, YUV, YIQ の 13 種類から 1 つのカラーモデルを選択し、そのヒストグラムを調整することで色変換を行った。なお、本ツールではヒストグラムに対応する画像領域(図 3 の透過部分)を確認したり、逆に画像の一部を矩形選択して対応するヒストグラム位置を確認したりしながら調整を行うことが可能であり、専門家もそれらの機能を利用しながら調整を行っていた。

なお、本調査でヒストグラム調整を選択したが、これには3つの理由がある。それらの理由とは 1)Photoshop や After Effects などのデジタル色変換でよく行われるトーンカーブ補正やレベル補正と同等の色変換が実現可能であること、2)CMYK ヒストグラムの調整によりインクの強弱と同等の調整が可能であり、印刷に関するノウハウも使えること、3)ヒストグラム調整による映像処理は比較的単純であり、動画に対してもリアルタイムに適用可能であること、の3点である。

また、専門家への指示としては「印象を良く」では指示として曖昧であったため「被写体が喜ぶように」ということで色変換を依頼したが、その際専門家から「綺麗にすれば

良いか」と確認されることが多く、結局は「被写体を綺麗に見せる」ということを目的に色変換を行っていた。

本調査で解明を目指す項目をまとめたものが表3である。これらの4つの項目を解明することで、この後の色変換法の開発につなげてゆく。

- |   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 専門家はどのカラーモデルを扱うか？</li> <li>2. 専門家は何をポイントにヒストグラム調整を行うか？</li> <li>3. 専門家によって行う色変換は変わるか？</li> <li>4. 被写体によって行う色変換は変わるか？</li> </ol> |
|---|

表 3. 色変換法調査のねらい



図 3. 色変換ツールのスクリーンショット

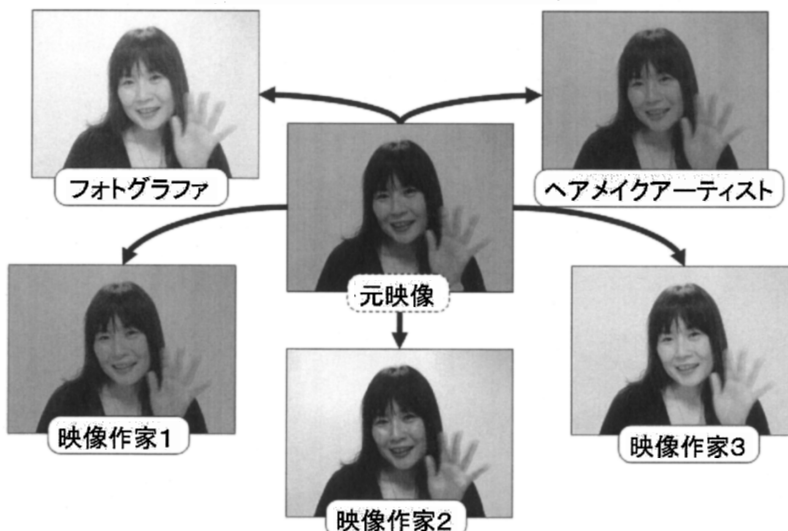


図 4. 専門家による色変換結果

## 2.4. 調査結果

本調査により得られた色変換結果は専門家によってかなり異なるものであった。実際の被写体の変換映像は実験時の契約上公表できないため、専門家の変換パラメタを元に我々が再現した変換結果を図4に示す。

また、専門家の利用したカラーモデルを示したのが表4である。ここに示すカラーモデルのうちCMYKのK(以下墨)とYUVのY(以下輝度)が明るさに関するカラーモデルであり、RGB、CMY、UV、IQが色味に関するカラーモデルである。専門家はこの表に見られる通り、明るさの調整は輝度と墨の両方を使って行っており、色味の調整はRGBとCMYを利用していた。一方UV、IQのカラーモデルはほとんど使われなかった。

|        | R | G | B | C | M | Y | K | L | U | V | I | Q |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| フォトグラフ | ○ | ○ | - | - | ▲ | ▲ | ○ | ○ | - | - | ▲ | - |
| ヘアメイク  | - | - | - | - | ○ | - | - | ○ | - | - | - | - |
| 映像作家1  | ▲ | - | - | - | ▲ | - | ▲ | ○ | - | - | - | - |
| 映像作家2  | ▲ | ▲ | - | - | - | - | - | ○ | - | - | - | - |
| 映像作家3  | - | - | - | - | ○ | - | ○ | ○ | - | - | - | - |

表 4. 専門家の利用したカラーモデル  
(○は積極的な調整, ▲は微調整)

また、本調査では専門家へのインタビュー調査も行っている。インタビュー調査は表3に示した本調査のねらい中心に質問を行った。インタビュー調査の結果を踏まえて、表3のねらいに対して得られた結果をまとめたものが表5である。

1. 専門家はどのカラーモデルを扱うか？  
⇒ RGB, CMYK, Y(輝度)の8種類を扱った
2. 専門家は何をポイントにヒストグラム調整を行うか？  
⇒ 顔、髪のコントラストと色味や全体の明るさの変化に特に注意していた
3. 専門家によって行う色変換は変わるか？  
⇒ 大きく異なる
4. 被写体によって行う色変換は変わるか？  
⇒ 専門家間ほどの違いはない

表 5. 調査のねらいと得られた結果

本調査では専門家によって行う色変換は大きく変わるということが確認された。現時点ではこれらの色変換法のうち、どの方法が最適なのかを絞り込むことができないため、全ての色変換法を再現、評価する必要がある。

## 3. 色変換法の開発

我々は2節の調査結果を元に1)輝度、墨による明るさ変換とRGBによる色味変換により専門家の色変換法を自動化する、2)輝度、墨、RGB各カラーモデルのヒストグラムを調整して目標とするヒストグラムに近づけ、特に顔、髪の色が目標の色に近づくように調整を行う、という2つの特徴を軸にして色変換法の開発を行った。なお、専門家はRGBだけでなくCMYも使って色味の変換を行っていたが、CMYはRGBと補色関係でありRGBのみの調整でもCMY調整と同等の効果を得られるため、開発はRGBのみの色味変換で行った。以下では顔の検出、髪代わりに利用した黒目の検出、ヒストグラム調整アルゴリズムを順に説明する。

### 3.1. 顔の検出

顔の検出にはViolaとJones[1]のHaar Wavelet変換アルゴリズムを用いた。このアルゴリズムを利用して検出した顔範囲の中からさらに肌色部分のみを抜き出して顔領域としている。顔検出を行った例を図5に示す。



図 5. 顔検出の例

### 3.2. 黒目の検出

専門家は髪の色の変化を見て色変換を行っていたが、髪の色には個人差が大きいいため、より安定して黒い箇所として黒目領域を検出することで顔のメリハリの制御に利用した。本色変換手法では顔領域に囲まれた領域内で最も暗い箇所を黒目として検出している。黒目検出を行った例を図6に示す。

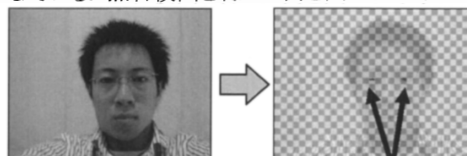


図 6. 黒目検出の例

### 3.3. ヒストグラム変換アルゴリズム

本色変換手法では入力ヒストグラムを目標ヒストグラムに近づけるという処理を行う。そのヒストグラム調整の様子を示したものが図7である。ここでは顔・



黒目・全体のヒストグラム分布が目標ヒストグラムと異なる入力ヒストグラムを調整し、分布範囲を近づけている。ここに示した例は輝度ヒストグラムの調整であるが、墨や RGB のヒストグラムも同じように目標ヒストグラムに近づける調整を行う。

### 3.4. 色変換結果

ここまで説明してきた色変換アルゴリズムを適用して作成した映像を図 4の専門家による色変換映像を交えて図 8に示す。ここに示されているようにそれぞれの映像は専門家による色変換映像に近い雰囲気を実現されている。

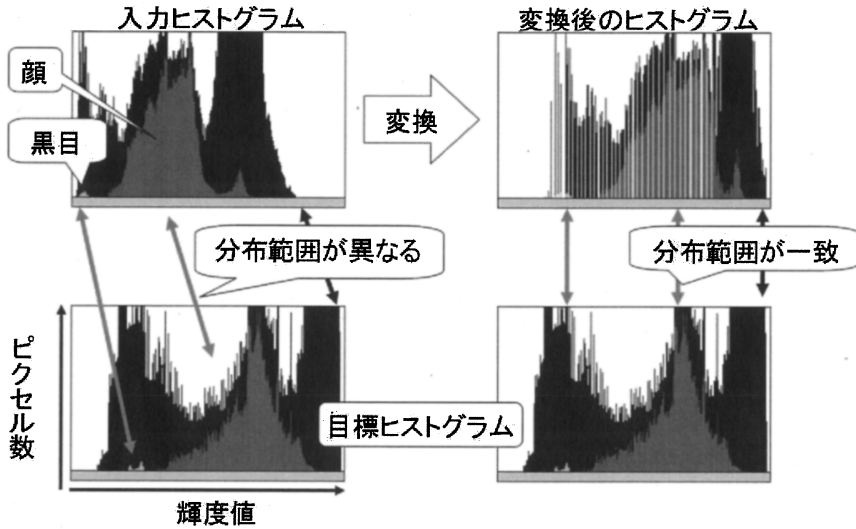


図 7. ヒストグラム調整アルゴリズム(輝度)

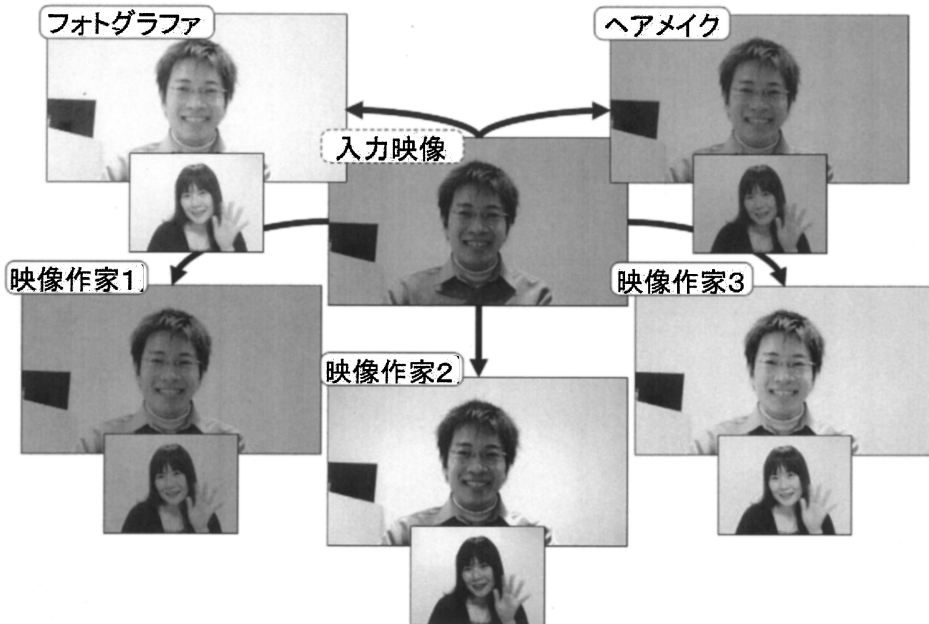


図 8. 提案手法による色変換結果

## 4. 色変換法の評価実験

開発した色変換法によりどの程度映像の印象向上が可能かを評価するために評価実験を行った。その内容は20代、30代の女性を被験者とし、テレビ電話を模した環境下で被験者の映像を撮影し、その映像に色変換を施して作成した映像の印象の良し悪しを被験者自身が評価するというものである。実験手順の詳細は以下で説明する。

### 4.1. 撮影環境

本実験の撮影は2節の調査時と同様テレビ電話を模した環境下で行った。

### 4.2. 実験手順

本実験では被験者は7種類の映像の評価を行った。それらの映像とは自動露光で撮影した元映像、元映像に対してPhotoShop、After Effectsに実装されている自動レベル補正を施した映像、専門家による5種類の色変換パラメータを適用した映像の7種類である。

### 4.3. 質問内容

各被験者はそれぞれの映像の印象の良し悪しについて表6に示す5つの選択肢から回答した。また、この際映像の良い点、悪い点についても回答した。

|   |           |
|---|-----------|
| 1 | かなり印象が良い  |
| 2 | まあまあ印象が良い |
| 3 | どちらともいえない |
| 4 | やや印象が悪い   |
| 5 | とても印象が悪い  |

表 6. 印象評価の選択肢

さらに、本手法によってテレビ電話を利用する意向が高まるかについての調査も実施した。具体的には、各被験者はそれぞれの映像を用いた場合に「仲の良い家族、恋人または友人に自分の表情を見せてテレビ電話したいと思うか」と質問し、被験者は表7に示す5つの選択肢から回答した。

|   |          |
|---|----------|
| 1 | かなりやりたい  |
| 2 | まあまあやりたい |
| 3 | しても良い    |
| 4 | あまりしたくない |
| 5 | 絶対にしたくない |

表 7. テレビ電話利用意向の選択肢

## 5. 実験結果

|         | 平均  | A | B | C | D | E | F |
|---------|-----|---|---|---|---|---|---|
| ヘアメイク   | 2.0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 映像作家1   | 2.3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 4 | 4 |
| フォトグラファ | 2.5 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 3 |
| 映像作家3   | 2.8 | 1 | 1 | 4 | 3 | 5 | 3 |
| 自動レベル補正 | 2.8 | 3 | 2 | 4 | 2 | 2 | 4 |
| 元映像     | 3.2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 3 | 4 |
| 映像作家2   | 4.2 | 5 | 3 | 4 | 3 | 5 | 5 |

表 8. 各色変換の印象評価結果  
(評価値については表6参照)

評価実験の結果を示したものが表8である。ここに示す通りヘアメイクアーティスト、映像作家1、フォトグラファによる色変換は元映像や自動レベル補正を施した映像よりも概ね高い評価を得ている。また、被験者毎に評価結果を見るとヘアメイクアーティスト、映像作家1、フォトグラファの色変換映像それぞれに「かなり印象が良い」の評価をしている被験者がいた。これら3つの色変換映像の良い点についての回答では、ヘアメイクアーティストの色変換は「適度な明るさ」が、映像作家1の色変換は「肌のなめらかさ」が好まれており、ユーザ毎の色変換の好みの違いが伺える。このように統一感のある傾向は見出せておらず、尚一層の標本数、変換パラメータ数の増加が必要であろう。

また、テレビ電話利用意向についてのアンケート結果は表9に示す通りであった。

|         | 平均  | E | A | D | C | B | F |
|---------|-----|---|---|---|---|---|---|
| ヘアメイク   | 2.2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 自動レベル補正 | 3.3 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| フォトグラファ | 3.5 | 4 | 1 | 2 | 5 | 4 | 5 |
| 映像作家3   | 3.5 | 5 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 |
| 元映像     | 3.5 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| 映像作家1   | 3.7 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 5 |
| 映像作家2   | 4   | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 5 |

表 9. テレビ電話利用意向のアンケート結果  
(評価値については表7参照)

このアンケートではヘアメイクアーティストの色変換が特に高い評価を得ており、全ての被験者が入力映像、自動レベル補正より高い評価をしていた。また、フォトグラファの色変換を利用した時に高い評価をしている被験者も存在しており、印象評価実験の結果同様に被験者の好みは分かれていた。

## 6. 関連研究

顔映像の印象向上手法は、形の補正、質感の補正、色の補正の3種類の補正法に分類できる。Leyvandら[7]は形の補正による顔の美観化を行っており、Eisenthanaら[8]の顔の魅力評定尺度を増加させるように顔の変形を行うシステムを開発した。また、荒川ら[9]は非線形デジタルフィルタを用いた顔画像美観化システムを開発しており、この方法ではしみやしわなどの振幅の小さいゆらぎの除去によって肌の質感の補正を行う。色の補正については、津村ら[10]が独立成分分析を用いた肌の色素成分分離計測法によって肌画像からメラニン成分とヘモグロビン成分を抽出する方法を提案しており、メラニン成分を弱めることで色白の、ヘモグロビン成分を強めることで血色の良い肌画像を作成している。また、Yinら[11]はWelshら[12]による色彩転写法に基づいて肌色転写を行っている。しかし、以上に挙げた方法は全て静止画しか処理できず、動画内の顔の美観化を行うことはできない。

動画像における肌色補正についてもいくつかの技術が提案されている[13][14][15][16]。Kimらは色空間における好ましい肌色の領域を楕円の集合によってモデル化し、アフィン変換による好ましい肌色の色再現を行っている。Kimらの手法では検出した肌領域の色変換を行い、さらに誤検出によって生じる輪郭の除去を施している。Leeは標準参照色に従って肌の階調を強調する肌階調復元回路を実装しており、この方法では検出した被写体の人種に合わせて標準の肌色を設定する。これらの方法はテレビでの肌色補正には効果的である。しかし、一般的な映像コミュニケーションでは撮影環境の照明が十分でないために撮影される肌の色が標準的な肌色とかなり異なってしまうことが多く、肌色の検出が困難となる。この問題を解決するために我々の手法ではまず色彩情報に影響を受けない顔検出を行い、検出された顔領域内の肌色抽出を行う。Sangerらの方法でも顔検出の後に顔領域の色再現を行うが、彼らの方法では顔検出に肌色情報を利用するため、やはり照明条件が悪い場合には検出に失敗してしまう。さらに、Sangerらの方法は顔色補正のために正面顔の検出が必要であるため、正面顔の補正しか行えないという問題もある。

Liuらはヒストグラム変換を用いて動画像変換を行っている。具体的には、魅力的に見える訓練顔画像データから色分布情報を抽出し、入力映像の色を抽出した色分布情報に合うように色変換を行う。Liuらの方法は訓練データによって多様な顔色に変換することができるが、顔以外の色情報は考慮しないため、例えば背景の色が色飛びしてしまうなど不自然な変換を施してしまう場合がある。

## 7. まとめ

本研究では専門家による色変換法の調査、調査によって得られたノウハウを活かした色変換法の開発、開発した色変換法の評価を行い、既存手法に対する優位性を確認した。本稿の提案手法は1)リアルタイム動画変換可能、2)不十分な照明環境下で撮影された顔映像でも印象向上可能、3)パラメタを変更することにより多様な印象に映像変換可能、という特徴を持ち、屋内・屋外に関わらずリアルタイムに顔映像の印象向上が可能のため、本手法の活用による映像コミュニケーションの活性化が期待される。

今後は色変換の際に印象に関わるパラメタ(明るさ、顔色、自然さ等)を独立に制御可能としてユーザが直感的に顔映像の印象を調整できるようにすることを目指す。また、ユーザに相応しい変換パラメタを提示するための映像解析も重要な課題である。

## 参考文献

- [1] R. Hummel, "Image Enhancement by Histogram Transformation," *Computer Graphics and Image Understanding*, vol. 6, pp. 184-195, 1977.
- [2] S. M. Pizer, E. P. Amburn, J. D. Austin, R. Cromartie, A. Ge-Selowitz, T. Greer, B. Ter Haar Romeny, J. B. Zimmerman, and K. Zuiderveld, "Adaptive histogram equalization and its variations," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, vol. 39, no. 3, pp. 355-368, 1987.
- [3] G. Ward, H. Rushmeier, and C. Piatko, "A visibility matching tone reproduction operator for high dynamic range scenes," *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics*, vol. 3, no. 4, pp. 291-306, 1997.
- [4] H. Zhu, F. H. Y. Chan, and F. K. Lam, "Image Contrast Enhancement by Constrained Local Histogram Equalization," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 73, no. 2, pp. 281-290, 1999.
- [5] S. Bae, S. Paris, and F. Durand, "Two-scale Tone Management for Photographic Look," *ACM Trans. Graphics*, vol. 25, Issue 3, pp. 637-645, 2006.
- [6] P. Viola, and M. Jones, "Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features," 2001

- IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, vol. 1, pp. 511-518, 2001.
- [7] T. Leyvand, D. Cohen-Or, G. Dror, and D. Lischinski, "Data-driven enhancement of facial attractiveness," *ACM Trans. Graphics*, vol. 27, Issue 3, no. 38, 2008.
  - [8] Y. Eisenthal, G. Dror, and E. Ruppin, "Facial attractiveness: Beauty and the machine," *Neural Computation*, vol. 18, no. 1, pp. 119-142, 2006.
  - [9] K. Arakawa and K. Nomoto, "A System for Beautifying Face Images Using Interactive Evolutionary Computing," *IEEE ISCAS 2005*, vol. 5, pp. 9-12, 2005.
  - [10] N. Tsumura, N. Ojima, K. Sato, M. Shiraishi, H. Shimizu, H. Nabeshima, S. Akazaki, K. Hori, and Y. Miyake, "Image-based skin color and texture analysis/synthesis by extracting hemoglobin and melanin information in the skin," *ACM Trans. Graphics*, vol. 22, Issue 3, pp. 770-779, 2003.
  - [11] L. Yin, J. Jia, and J. Morrissey, "Towards Race-Related Face Identification: Research on Skin Color Transfer," *2004 IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp. 362-368, 2004.
  - [12] T. Welsh, M. Ashikhmin, and K. Mueller, "Transferring color to greyscale images," *ACM Trans. Graphics*, vol. 21, Issue 3, pp. 277-280, 2002.
  - [13] D. H. Kim, H. C. Do, and S. I. Chien, "Preferred Skin Color Reproduction Based on Adaptive Affine Transform," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 51, no. 1, pp. 191-197, 2005.
  - [14] E. J. Lee, "Favorite Color Correction for Reference Color," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 44, no. 1, pp. 10-15, 1997.
  - [15] D. Sanger, T. Asada, H. Haneishi, and Y. Miyake, "Facial Pattern Detection and Its Preferred Color Reproduction," *IS&T and SID's 2nd Color Imaging Conference*, pp. 149-153, 1994.
  - [16] Z. Liu, C. Zhang, and Z. Zhang, "Learning-Based Perceptual Image Quality Improvement for Video Conferencing," *2007 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, pp. 1035-1038, July 2007