Akita University

感性情報を考慮した
人物画像処理の開発に関する研究

2015

村　上　　龍　希

Akita University

内容梗概

近年，ディジタルカメラやカメラ付き携帯電話などのカメラ機能を持つ電子端末の普及に伴い，私たちは手軽にディジタル写真や動画を撮影することが可能となり，個人の所有する写真・動画は増加傾向にある．特に，重要な被写体である「人物」の撮像された写真（人物写真）や動画は，ソーシャルネットワーキングサービス，動画共有サイト，並びにビデオチャットなどを介して多くの人に利用・共有されている．上記のような情報通信技術の発展によって人物写真や動画などのコンテンツが日常的に利用可能となった結果，①膨大な量の写真や動画を対象とし，ユーザの要求に適したコンテンツを抽出する「コンテンツ検索」や，②ユーザの要求を満足するようにコンテンツ自体の品質を向上させる「コンテンツ高品質化」のように，ユーザの要求に合わせてコンテンツ利活用を可能にする機能（コンテンツ利活用機能）の開発が求められるようになった．このため，コンテンツ利活用機能の実現を目的とし，①膨大な写真の中から品質の高い写真を検索するために，画像処理を用いて写真に含まれる感性情報を評価する方法や，②写真・動画の高品質化を目的として，そのコンテンツ自体に画像処理を施し高品質化を図る方法など，感性情報を考慮した人物画像処理の開発が行われている．しかしながら，ユーザの感性的な評価は定性的な評価を含むことが多く，感性情報を考慮した人物画像処理の開発および評価を行うためには，定性的な評価指標の定量化やユーザテストによる手法の評価などのアプローチが必要となる．本論文は，感性情報を考慮した人物画像処理の開発に関する上記課題について研究を行い，工学上の進歩に寄与することを目的とする．すなわち，人物写真や動画を対象として，①人物写真のもつ感性情報を評価する手法，並びに②感性情報を考慮し写真・動画を高品質化する手法を提案することで，感性情報を考慮した人物画像処理を開発するためのアプローチを示し，工学上の進歩に寄与することを目的とする．本論文は全 4 章により構成されている．

第 1 章を緒論とし，本論文の主題である感性情報を考慮した人物画像処理の開発について，人物写真および動画に関する利活用の現状とその関連研究，並びに今日までの研究状況を概観し，本研究の目的および本研究に対する筆者の立場を述べるとともに，本論文の内容について述べている．

第 2 章では，人物画像を構成する「人物領域」に着目し，人物写真の品質劣化要因となりうる「白飛び」の準定量評価について検討を加えている．具体的には，証明写真やプロフィール写真などに利用する人物写真の選定支援を目的として，顔画像における白飛びの準定量評価手法を提案した．11 名の評価者による主観評価と白飛びの準定量評価結果を比較したところ，提案手法は，顔画像の白飛びに

Akita University

対する準定量評価を可能にすることが明らかとなった.

第 3 章では，人物画像を構成する「背景領域」を別の画像に差し替える背景差し替え法に着目している．具体的には，背景差し替えにおける前景（人物領域）と新しい背景（風景画像）の光源色の違いに起因して生じる背景差し替え映像の違和感を軽減する手法を提案した．14 名による評価実験の結果，提案手法は色被りした風景画像を用いた背景差し替え映像に対する違和感軽減を可能にすることを明らかにした.

第 4 章は結論で，本研究で得られた主な成果と本論文の工学的意義および今後に残された課題について述べている.

Akita University

目 次

第1章 緒論 1

1.1 人物写真および動画に関する利活用の現状……1

1.1.1 コンテンツ検索技術および関連研究 ……1

1.1.2 コンテンツ高品質化技術および関連研究 ……3

1.1.3 コンテンツ利活用のための感性情報 ……4

1.2 本研究の目的 ……5

1.3 本論文の内容 ……6

1.4 本論文で用いる主な用語 ……7

1.5 本論文における個人情報を有するデータの取り扱い ……8

第 1 章 参考文献 ……9

第2章 人物写真の選定支援を目的とした顔画像における白飛びの準定量評価 11

2.1 はじめに ……11

2.2 白飛びの概要 ……13

2.2.1 白飛びの特徴 ……13

2.2.2 人物写真における白飛びの定義 ……14

2.3 使用画像データ ……15

2.3.1 データ取得環境 ……16

2.3.2 データ取得条件 ……17

2.4 白飛びに着目した顔画像の準定量評価指標 ……19

2.4.1 写真選定における顔画像の印象と白飛びの関連に関する検討 ……19

2.4.2 写真選定における顔画像の印象と白飛びの関連に関する検討結果 ……20

2.4.3 白飛びに対する準定量評価指標「白飛び強度」の定義 ……22

2.5 白飛び強度判定アルゴリズム ……23

2.5.1 前処理 ……24

2.5.1.1 Haar-like 特徴に着目した顔検出処理 ……25

2.5.1.2 色彩情報に着目した口唇形状抽出処理 ……28

2.5.1.3 エッジ情報および色情報を用いた目検出処理 ……29

2.5.1.4 色被りにロバストな肌領域抽出処理 ……32

2.5.2 白飛び抽出 ……34

2.5.2.1 色差を用いた等色判定 ……34

2.5.2.2 白飛び画素の抽出 ……34

2.5.3 白飛び解析 ……37

2.5.3.1 白飛び頻出領域の設定 ……37

2.5.3.2 肌領域の補間 ……41

2.5.3.3 SVM を用いた白飛び強度の判定 ……43

Akita University

2.6 実験および評価 ……46
2.6.1 実験概要 ……46
2.6.2 実験①（白飛び強度の整合性に関する実験） ……46
2.6.3 実験②（提案手法の有用性に関する実験） ……47
2.6.3.1 目視による白飛びの定性評価 ……47
2.6.3.2 SVM パラメータの設定 ……47
2.6.4 実験③（提案手法の適応性に関する実験） ……48
2.6.4.1 写真選定における顔画像の印象と顔の向きに関する検討 ….48
2.6.4.2 目視による印象評価 ……49
2.6.4.3 提案手法の適応性の評価 ……50
2.7 実験結果および検討 ……51
2.7.1 実験①（白飛び強度の整合性に関する実験） ……51
2.7.2 実験②（提案手法の有用性に関する実験） ……52
2.7.2.1 閾値の設定結果 ……52
2.7.2.2 白飛び強度判定結果 ……53
2.7.3 実験③（提案手法の適応性に関する実験） ……55
2.8 まとめ ……58
第 2 章 参考文献 ……59

第3章 色温度特徴に着目した背景差し替えの違和感軽減に関する検討 61
3.1 はじめに ……61
3.2 色順応変換 ……64
3.2.1 von Kries モデルに基づく色順応変換行列の生成 ……65
3.2.2 色温度特徴に着目した風景画像の光源色推定処理 ……67
3.3 色順応変換を用いた背景差し替えアルゴリズム ……72
3.3.1 前処理 ……73
3.3.2 動的背景差分処理 ……73
3.3.3 色順応変換結果を用いた背景差し替え処理 ……75
3.4 撮影環境および使用画像データ ……76
3.4.1 撮影環境 ……76
3.4.2 使用画像データ ……77
3.5 実験 ……80
3.5.1 提案手法の効果に対する評価実験 ……80
3.5.2 提案手法の実用化に関する検討 ……84
3.6 実験結果 ……85
3.6.1 提案手法の効果に関する実験結果 ……85
3.6.2 提案手法の実用化に関する検討結果 ……88
3.7 まとめ ……92

Akita University

第 3 章　参考文献 ……93

第4章 結論 95
4.1　本論文により得られた主な知見 ……95
4.2　本論文の工学的意義 ……96
4.3　今後に残された諸問題 ……97

謝辞 98

発表論文 100

付録 103

Akita University

第 1 章　緒論

1.1　人物写真および動画に関する利活用の現状

近年，ディジタルカメラやカメラ付き携帯電話などのカメラ機能を持つ電子端末の普及に伴い，私たちは手軽にディジタル写真や動画（以下，コンテンツと表記する）を撮影することが可能となり，個人の所有するコンテンツは増加傾向にある．さらに，情報通信技術の高度化と社会への普及に伴い，私たちは様々な手段を用いて写真や動画を簡単に共有できるようになった．このため，コンテンツの利用形態は大きく変化している．例えば，重要な被写体の一つである「人物」の撮像された写真（人物写真）や動画は，Facebook[1]や Google+[2]などのソーシャルネットワーキングサービス（SNS: Social Networking Service），YouTube[3]などの動画共有サイト，並びに Skype[4]などのビデオチャットシステムなどを介して多くの人に利用・共有されている．しかしながら，情報通信技術の発展によって人物写真や動画などのコンテンツが日常的に利用可能となった結果，上記システムにおいて，①膨大な量の写真や動画を対象とし，ユーザの要求に適したコンテンツを抽出する「コンテンツ検索」や，②ユーザの要求を満足するようにコンテンツ自体の品質を向上させる「コンテンツ高品質化」のような機能が求められるようになった．すなわち，ユーザの要求に合わせたコンテンツ利活用を可能にする機能（コンテンツ利活用機能）の開発が求められているのが現状である．

1.1.1　コンテンツ検索技術および関連研究

基本的なコンテンツ検索システムは，固有 ID を用いてコンテンツを管理するコンテンツデータベース（以下，データベースを DB と表記する），コンテンツの固有 ID とキーワード（索引）の関連を管理する索引 DB，コンテンツ検索インタフェースを提供するアプリケーションサーバを用いて構成可能である（図 1.1 参照）．このため，コンテンツ検索を可能にするためには，コンテンツと索引の関連を索引 DB に追加（索引付け）する必要がある．

簡単な索引付け手法としては，メタデータを利用した方法が考えられる．例えば，ディジタル写真には，撮影時のカメラ情報，撮影日時，並びに GPS 情報などを含むイグジフ（Exif: Exchangeable image file format）[5]データと呼ばれるメタデータが付与されている場合が多い．従って，写真をコンテンツ DB に追加するとともに，イグジフデータに含まれている情報を索引 DB に追加することで，日時や場所に着目した写真検索が可能となる．しかしながら，イグジフデータは画像データの記録方式に関する情報を保存するためのフォーマットであるため，写真の索引として利用可能な情報は「日時・場所・画像サイズ・解像度」などに

Akita University

限定される．このため，ユーザの多様な要求に応答可能な索引付け手法として，画像内容データを利用した方法について研究が行われている．

画像内容に基づいた索引付け手法は，画像を構成する 2 次元ディジタル信号に対する特徴量抽出・解析を行い，得られた情報を索引として利用する方法である．例えば，串間氏ら[6]は，色，形状，並びに直線を画像特徴として抽出し，ディジタル画像の階層的分類に用いた．Frankel 氏ら[7]は，画像に対して顔検出処理を適用することにより，「顔の数」を画像検索条件として利用可能な画像検索システム WebSeer を開発した．服部氏ら[8]は，対象オブジェクトの特異な色名を Web 文書から，特異な色特徴を画像内容からそれぞれ抽出し，これらを組み合わせることで特異な色のオブジェクトを内容に含む画像について索引付けを行った．

一方，上記のような知覚的な情報だけではなく，人間の直感や感覚，印象などに作用する情報をコンテンツから抽出し，画像検索に利用する研究も盛んに行われている．栗田氏ら[9]は，絵画データベースを対象として，「ロマンチック」や「暖かい」などの印象語を用いた画像検索について検討を加えた．北川氏ら[10]は，静止画像から人間の直感に応じた重み付き印象語をメタデータとして自動抽出し，これを画像検索に適用した．景山氏ら[11]は，人物写真における各人物の位置情報・大きさを表す構図情報から閲覧者が感じる各々の重要性の度合を重要度と定義し，重要度を用いた人物画像検索について検討を加えている．

以上のことから，ユーザの多様な要求に適したコンテンツ検索を実現する場合，画像に含まれているオブジェクトの色，形状，並びに数量などの知覚的な情報に加え，印象語や重要度などのような人間の直感的・印象的な感覚に着目した情報を画像処理により抽出し，索引として利活用する必要があると考える．

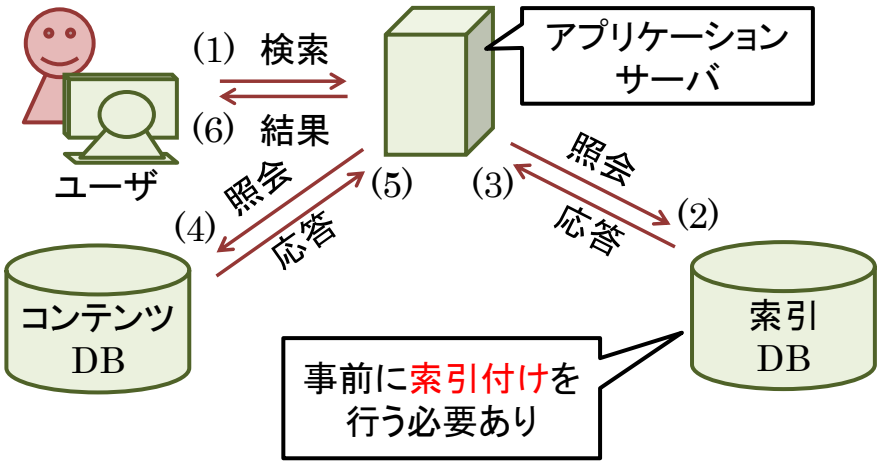


図 1.1　基本的なコンテンツ検索システムの概要
（図中(1)～(6)は，ユーザがアプリケーションサーバに検索命令を送信してから検索結果を受け取るまでの手順を示す．）

Akita University

1.1.2 コンテンツ高品質化技術および関連研究

コンテンツの品質を高める方法として,「高画質化」が挙げられる．西村氏ら[12]は，ディジタルカメラの高画質化技術を(i)撮像素子の多画素化がもたらす高画質と(ii)カメラ機能進化による高画質の 2 つの観点から説明している．具体的には，(i)の例として，富士フイルムが開発したスーパーCCD ハニカム EXR[13]（ワイドダイナミックレンジ，高感度，高解像度を一つのセンサで動的に切り替える撮像素子）を挙げている．なお，ダイナミックレンジとは，写真において再現可能な明るさの範囲である[14]．すなわち，被写体の明るさがダイナミックレンジに至らなかった場合，当該箇所は明るさが足りずに黒色として表現され，「黒潰れ」という現象が発生する．また，被写体の明るさがダイナミックレンジを超えた場合，当該箇所は過剰な明るさのために白色として表現され，「白飛び」という現象が発生する．従って，撮像素子の多画素化は，高解像度の画像を取得可能にするとともに，白飛びや黒潰れを軽減可能である．(ii)の例としては，手ブレ補正機能[15]や顔検出機能[16]を用いたオートフォーカスなどがあり，被写体のブレやボケを軽減可能である．このように，ディジタルカメラの高画質化技術は，ブレ，ボケ，白飛び，並びに黒潰れなどの写真劣化要因を軽減する手法により，ディジタル写真や映像の高品質化を実現している．

しかしながら，ディジタルカメラの高画質化技術は上記以外にも存在するものの，写真劣化要因を完全に補正するまでには至っていないのが現状である．このため，コンテンツの品質を向上させるための別のアプローチとして，コンテンツに特殊効果を付与する方法が検討されている．例えば，特開 2010-11189[17]は，画像中の被写体にピンボケ，黒潰れ，白飛びなどが発生している場合に，その不具合をカバーするように画像アイテムを所定の位置に貼り付け，新たな画像として取得する画像処理装置および画像処理プログラムである．スマートフォンのカメラ機能には，図 1.2 に示すようなフィルタ処理機能が搭載されており，ユーザは自身の感性に合わせて写真の雰囲気を変化させることができる．背景差し替え[19]は，人物写真や映像中の背景部分を風景画像などに差し替えることができ，人物がその風景画像中にいるような臨場感を演出可能である．

このように，コンテンツ高品質化は，その目的が「コンテンツを美しくみせること」,「コンテンツの見栄えをよくすること」などであるため，感性的な情報を考慮した画像処理技術であると言える．また，ユーザの要求を満足するようなコンテンツ高品質化を実現するためには，写真劣化要因を軽減する手法だけではなく，特殊効果を付与する手法についても検討を加える必要がある．

Akita University

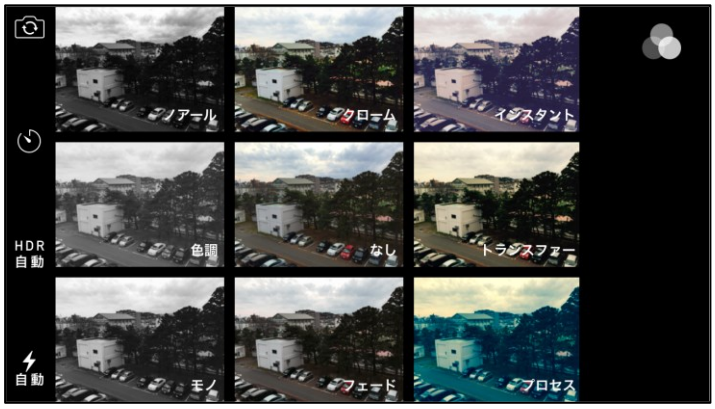


図 1.2　スマートフォン[18]に搭載されているフィルタ処理例
（各画像の右下には適用されているフィルタ名が記述されている．
ユーザは複数のフィルタ処理結果を閲覧しながら，自身の感性に合わせて
適用するフィルタ処理を選択する．）

1.1.3 コンテンツ利活用のための感性情報

認知心理学の観点から箱田氏[20]らは，感性を「感じたものへの評価や価値づけに至るまでに必要な総合的な性質・能力」として考え，感覚的かつ評価的なものであると述べた．具体的には，感性には，光沢感，透明感，奥行き感など，対象の物理的特徴が測定・記述可能なものから，質感のように対象の物理的特徴を一概に定義できないものまであると述べている．また，三浦氏[21]は，感性を「物や事に対して，無自覚的，直観的，情報統合的に下す印象評価判断能力」と定義した後に，情報統合的，無自覚的，あるいは直観的（瞬時性）という感性の特徴が知覚や認知にも含まれることを勘案し，感性を「印象評価を伴う知覚」と再定義している．

そこで本研究では，上記内容を考慮し，感性情報を「印象評価を伴って知覚される情報」と定義した．さらに，1.1.1 項では，ユーザの多様な要求に合わせたコンテンツ検索の実現を目的とした場合，知覚的な情報だけではなく，人間の直感や感覚，印象などに作用する感性的な情報を画像処理技術により抽出し，索引付けを行う必要があると述べた．また，1.1.2 項において述べたコンテンツ高品質化は，その目的が「コンテンツを美しくみせること」，「コンテンツの見栄えをよくすること」などであるため，コンテンツ高品質化は感性的な情報を考慮した画像処理技術であると述べた．従って，ユーザの多様な要求に合わせたコンテンツ利活用の実現を目的とし，感性情報を考慮した人物画像処理について検討を加える必要があると考える．

Akita University

1.2 本研究の目的

コンテンツ利活用機能の開発を目的として，感性情報を考慮した人物画像処理の開発が行われている．具体的には，①膨大な写真の中から品質の高い写真を検索するために，画像処理を用いて写真に含まれる感性情報を評価する方法や，②写真・動画の高品質化を目的として，そのコンテンツ自体に画像処理を施し高品質化を図る方法などが挙げられる．しかしながら，ユーザの感性的な評価は定性的な評価を含むことが多く，感性情報を考慮した人物画像処理の開発および評価を行うためには，定性的な評価指標の定量化やユーザテストによる手法の評価などのアプローチが必要となる．

そこで本論文では，感性情報を考慮した人物画像処理の開発に関する上記課題について研究を行い，工学上の進歩に寄与することを目的とする．すなわち，人物写真や動画を対象として，①人物写真のもつ感性情報を評価する手法および②感性情報を考慮し写真・動画を高品質化する手法を提案することで，感性情報を考慮した人物画像処理を開発するためのアプローチを示し，工学上の進歩に寄与することを目的とする．

本論文では，人物画像を構成する「人物領域」と「背景領域」に着目し，感性情報を考慮した人物画像処理について検討を加えた．

人物領域は，人物の重要な特徴である「顔」を含む．このため，顔部にブレ，ボケ，白飛びなどの写真劣化要因が発生した場合，人物写真の品質低下につながる．特に，「白飛び」は当該箇所の凹凸や色情報が失われたことを意味しており，ブレやボケと比較し補正が困難である．このため，人物画像検索において，品質の高い人物画像への絞り込みを実現するためには，顔部に白飛びのある人物画像を検索結果から除外する必要がある．すなわち，顔部の白飛び状態を評価する人物画像処理手法の開発が必要とされている．そこで本論文では，1 つ目の検討事項として，人物写真の選定支援を目的とし，顔画像における白飛びを評価する手法について検討を加えた．

一方，人物画像の背景領域には，部屋内部などのプライバシ情報を含む場合があるため，ビデオチャットのような自身の映像を送信する場面において，意図しない情報の流出につながる可能性がある．この解決策として，人物の背景領域を別の画像に差し替える「背景差し替え[19]」が挙げられる．また，背景領域を風景画像に差し替えることにより，「風景画像の示す場所にいる」ような臨場感を演出可能である．しかしながら，前景（人物領域）と新しい背景（風景画像）に色味の違いが生じた場合，閲覧者は背景差し替え映像に違和感を覚える可能性がある．そこで本論文では，2 つ目の検討事項として，光の色を定量的に表す指標である色温度特徴に着目し，背景差し替えの違和感軽減手法について検討を加えた．

Akita University

1.3 本論文の内容

本論文は全 4 章により構成され，第 1 章を緒論とした．

第 2 章では，証明写真やプロフィール写真などに利用する人物写真の選定支援を目的とし，顔画像における白飛びの準定量評価について検討を加えた．準定量評価とは，定性的な意味合いを持つ定量的な評価のことであり，感性情報を定量的に扱うためのアプローチである．はじめに，顔画像の白飛びと主観評価の関連に関する検討を行い，白飛びの準定量評価指標として「白飛び強度（OI: Over-exposure Intensity）」を定義した．次に，顔および白飛び頻出箇所（鼻・頬・額）に着目し，当該箇所の白飛び状態を定量評価する指標として「白飛び率」を定義した．これまでの研究において，各箇所の白飛び率を複数の一次元特徴量として用いた白飛びの判定を行い，「白飛び率」が顔画像の白飛びを評価するための特徴量として有用であることを明らかにしている[22]．しかしながら，上記白飛び率を多次元特徴量として用いた評価には至っていないのが現状である．そこで，多次元特徴量のパターン認識が可能であるサポートベクトルマシン（SVM: Support Vector Machine）[23]を用いて白飛び強度の予測を行い，顔画像の白飛びを準定量的に評価するアルゴリズム（白飛び強度判定処理）を開発した．11 名の評価者による主観評価と白飛び強度判定結果を比較したところ，白飛び強度判定処理は，顔画像の白飛びに対する準定量評価を可能にすることが明らかとなった．

第 3 章では，ビデオチャットにおけるプライバシ配慮およびエンターテイメント性を付与可能なコンテンツ高品質化技術の開発を目的とし，色温度特徴に着目した背景差し替えの違和感軽減法を提案した．ビデオチャットにおいて，人物の背景（部屋の内部など）を任意の画像や映像に差し替える方法は，背景に含まれる個人情報を秘匿可能である．また，背景情報を風景画像に差し替える場合，風景画像の光源色に合わせて前景（人物領域）の光源色を変換（色順応変換）することで，「画像の示す場所にいる」ような臨場感を演出可能である．そこで，前景の光源色を風景画像の光源色に合うように調整可能な背景差し替え法を提案し，ビデオチャットのプライバシ配慮およびエンターテイメント性向上を実現する．提案手法では，前景であるカメラ画像と新しい背景である風景画像に対する光源色推定，並びに背景差分の前処理を行った．次に，推定した光源色情報を用いて前景の色順応変換行列を取得した．最後に，背景差分により得られた前景に対して色順応変換を施した後，背景を風景画像に差し替えて背景差し替え映像を取得した．14 名による評価実験の結果，提案手法は色被りした風景画像を用いた背景差し替え映像に対する違和感軽減を可能にすることを明らかにした．

第 4 章では，本研究で得られた主な成果と本論文の工学的意義および今後に残された課題について述べている．

Akita University

1.4 本論文で用いる主な用語

本論文で使用する用語について，以下に解説を加える．

- **白飛び**

  ハイライト（画像において白く再現されている部分）のディティールが失われた状態を指す[14]．すなわち，撮影対象における高輝度部分の輝度値が撮像装置の持つ階調表現可能な範囲を超えることに起因して生じ，当該領域の情報が飽和する状態のことを意味する．白飛びした箇所は白色に塗りつぶされるため，撮影対象の立体感や色の濃淡等の情報が失われるという特徴を有する．

- **Haar-like 特徴**

  矩形領域内の明暗差を表す画像特徴量のことである．具体的には，白黒の矩形から構成された検出窓を画像中の任意の位置に配置し，黒矩形領域内画素値総和から白矩形領域内画素値総和の差を算出することで Haar-like 特徴を取得する[16]．

- **CIELAB 色空間（L*a*b*表色系，CIE 1976 L*a*b*色空間）**[24][25]

  1976 年に CIE（国際照明委員会）が勧告した均等色空間であり，色の変化が知覚的に均等となる色空間である．均等色空間におけるユークリッド距離は，色の知覚的な違いを定量的に表す指標であり，「色差」と呼ばれている．

- **サポートベクトルマシン（SVM: Support Vector Machine）**[23]

  あるものがいくつかのカテゴリーのうちの一つに属するとき，それが属するカテゴリーに分類することをパターン認識という．また，パターン認識器を構成するために用いるデータを教師データという．パターン認識器に入力する特徴量（入力教師データ）とそれに対応するクラス番号（出力教師データ）を用いてパターン認識器を構成する場合を教師あり学習とよぶ．SVM において，クラス分類は入力空間における超平面を用いて行う．このため，教師あり学習を用いて最適な超平面を入力空間に設定することで高精度のクラス分離を実現可能である．

- **色温度**[25]

  光の色を定量的な数値で表現する尺度である．具体的には，黒体（すべての放射を完全に吸収する物体）が発する光の色を，その黒体の絶対温度 T（単位はケルビン）で定義したものである．例えば，「T ケルビンの黒体が放射する光の色」が「T ケルビンの光源色」として定義される．光の色は，色温度の上昇に伴い青色に変化し，色温度の低下に伴い赤色に変化する傾向にある．

Akita University

- **色順応変換**[25][26]
  順応とは感覚系の慣れであり，色順応は，「ある色を見続けるとその色に対する感度低下が起こり，その色を感じなくなる」というような人間の色覚メカニズムのひとつである．色順応を定量的に表現したものが von Kries の色順応予測式であり，この予測式を用いた画像の色変換処理を色順応変換と呼ぶ.

1.5 本論文における個人情報を有するデータの取り扱い

本論文に関する各データ（人物画像，動画，評価者の主観評価・アンケートなど）は「秋田大学手形地区における人を対象とした研究に関する倫理規定第 6 条 2 項」に基づいて倫理審査の申請を行い，承認された研究計画の下に，被験者本人の了承を得て取得し，これを解析および実験に使用している．

Akita University

第1章 参考文献

[1] Facebook, Inc., “Facebook”, https://www.facebook.com/

[2] Google, Inc., “Google+”, https://plus.google.com/

[3] YouTube, LLC., “YouTube”, https://www.youtube.com/

[4] Microsoft Corp., “Skype”, http://www.skype.com/

[5] 電子情報技術産業協会，“ディジタルスチルカメラ用画像ファイルフォーマット規格 Exif 2.3”，JEITA CP-3451 (2013)

[6] 串間，佐藤，赤間，山室，“大量画像の閲覧を目的とする階層的分類支援機能：画像目録の実装と評価”，情報処理学会論文誌 データベース (TOD)，vol.41，no.SIG_1(TOD_5)，pp.54-63 (2000)

[7] C. Frankel, M. J. Swain, and V. Athitsos, “WebSeer: An Image Search Engine for the World Wide Web”, Technical Report, TR-96-14, University of Chicago (1996)

[8] 服部，田中，“Web 抽出した特異な色名と色特徴量変換に基づく特異画像の Web 検索”，情報処理学会論文誌 データベース (TOD)，vol.3，no.1，pp.49-63 (2010)

[9] 栗田，加藤，福田，板倉，“印象語による絵画データベースの検索”，情報処理学会誌，vol.33，no.11，pp.1373-1383 (1992)

[10] 北川，中西，清木，“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 (TOD)，vol.43，no.SIG_12(TOD_16)，pp.38-51 (2002)

[11] 景山，戸塚，佐藤，西田，白澤，大瀧，“人物画像における重要度判定アルゴリズム”，映像情報メディア学会誌，vol.63，no.9，pp.1314-1317 (2009)

[12] 西村, 堀井, “ディジタルカメラの高画質化技術”, 映像情報メディア学会誌，Vol.63，No.6，pp.725-730 (2009)

[13] 小林，田中，小田，池田，林，西村，“『Super CCD EXR』の開発”，映像情報メディア学会技術報告，vol.33，no.18，pp.1-4 (2009)

[14] 樋口，“写真用語の基礎知識”，株式会社日本カメラ社 (2010)

[15] C. Tomasi and T. Kanade, “Shape and Motion from Image Streams under Orthography: a Factorization Method”, International Journal of Computer Vision, vol.9, no.2, pp.137-154 (1992)

[16] P. Viola and M. J. Jones, “Robust Real-Time Face Detection”, International Journal of Computer Vision, vol.57, no.2, pp.137-154 (2004)

Akita University

[17] オリンパス株式会社，“画像処理装置および画像処理プログラム”，特開 2010-11189 (2010-1-14)
[18] Apple，“iPhone 6”，https://www.apple.com/
[19] 高木，下田，“新編　画像解析ハンドブック”，東京大学出版会（2004）
[20] 箱田，都築，川畑，萩原，“認知心理学”，株式会社有斐閣（2010）
[21] 三浦，“知覚と感性”，北大路書房（2010）
[22] T. Murakami, Y. Kageyama, M. Nishida, and Y. Shirasawa, “Features for image retrieval: the impression degree of a human image by overexposure occurring in the facial area”, SICE ANNUAL CONFERENCE 2012, TuP01-04, pp.982-987 (2012)
[23] 阿部，“パターン認識のためのサポートベクトルマシン入門”，森北出版株式会社（2011）
[24] 日本色彩学会，“新編　色彩科学ハンドブック［第 3 版］”，東京大学出版会 (2011)
[25] 篠田，藤枝，“色彩工学入門”，森北出版株式会社（2007）
[26] M. D. Fairchild, “Color Appearance Models”, Jhon Wiley & Sons (2013)

Akita University

第 2 章　人物写真の選定支援を目的とした顔画像における白飛びの準定量評価

2.1 はじめに

コンテンツ検索において，人物の撮像された写真（人物写真）は重要なコンテンツカテゴリである．また，顔画像には個人の特徴が顕著に表われるため，Facebook[1]などの SNS において，プロフィール写真や身分証明のような証明写真として利用されることが多い．上記用途の顔画像を取得するためには，画像検索技術を用いて画像 DB に含まれる人物写真を対象として画像検索を行い，得られた複数の顔画像候補の中からユーザが目的に合致した写真を選択する必要がある．しかしながら，近年の情報通信技術の発展に伴い，個人の所有する画像数は増加傾向にあるため，候補画像数の増加とともに顔画像の選定作業量の増加が予想される．このとき，人物画像処理技術を用いて顔画像の品質を自動的に評価することができれば，品質の良い顔画像のみを候補画像として絞り込むことが可能になるため，プロフィール写真や証明写真などの選定作業量を軽減可能と考える．従って，人物写真の選定支援を目的とした画像検索を実現するため，顔画像の品質評価手法の開発が必要とされている．

人物を室内でストロボ撮影した場合，撮像対象に明暗差が生じやすく，写真劣化要因の一つである「白飛び」が発生しやすい．このとき，白飛びした箇所は白く塗りつぶされたようになり，人物写真に不自然さを生じさせる可能性が高い．顔画像の印象と明るさの関連について，佐藤氏ら[2]は「明るさとコントラストを段階的に変化させた顔画像の印象評価を行った結果，明るくハイコントラストな顔画像は，閲覧者にポジティブな影響を与える傾向を示した」との報告を行っている．しかしながら，対象とした顔画像は，不自然にならないように留意されており，顔部は白飛び直前の明るさに設定されている．このため，筆者ら[3]は，写真選定における顔画像の印象と白飛びの関連について検討を加えた結果，顔画像の白飛びが閲覧者にネガティブな印象を与えることを明らかにした．また，撮像対象に大きな明暗差の生じやすい環境下で明るい顔画像を取得する場合には，白飛びの発生する可能性が極めて高い．従って，室内で取得した人物写真を対象として品質の高い写真を取得するためには，白飛びのある写真を除外するような画像検索を行う必要がある．さらに，上記機能を実現するためには，顔部の白飛びが閲覧者に与える印象度合いに着目し，画像検索のための索引付けを行う必要がある．

顔画像における白飛びの判定機能は，昨今のディジタルカメラなどに搭載されている．主に露出や階調などの調整機構の制御[4]を目的としており，「顔領域における X%の画素が飽和している」のように，白飛びの程度を定量的に判定してい

Akita University

る（図 2.1(c)参照）．しかしながら，証明写真やプロフィール写真などに用いる顔画像の選定を目的とした場合，ユーザが必要としている白飛びの評価は，「顔全体が白く塗りつぶされていて，不自然である」という主観に基づいた定性評価である（図 2.1(a)参照）．また，「顔領域における白飛び率」のような定量評価は，定性的な意味合いを持たない数値情報であるため，直感的に認識し難い．このため，主観評価に基づいた顔画像の白飛び評価を画像解析により求める場合，準定量的な評価（定性的な意味合いを併せ持った定量評価）を行う必要がある（図 2.1(b)参照）．なお，主観評価に基づく顔画像の白飛びに対する準定量評価についての研究は，筆者らの調べた範囲では見当たらない．

そこで本章では，証明写真やプロフィール写真などに利用する人物写真の選定支援を目的とし，顔画像における白飛びの準定量評価について検討を加えた．はじめに，顔画像の白飛びと主観評価の関連について検討を加え，白飛びの準定量評価指標として「白飛び強度（OI: Overexposure Intensity）」を定義した．次に，顔および白飛び頻出箇所（鼻・頬・額）に着目し，当該箇所における白飛び状態の定量評価指標として「白飛び率」を定義した．これまでに筆者らは，各箇所の白飛び率を複数の一次元特徴量として用いた白飛びの判定を行い，「白飛び率」が顔画像の白飛びを評価するための特徴量として有用であることを明らかにしている[3]．しかしながら，上記白飛び率を多次元特徴量として用いた評価には至っていないのが現状である．そこで，多次元特徴量のパターン認識が可能であるサポートベクトルマシン（SVM: Support Vector Machine）[5]を用いて白飛び強度の予測を行い，顔画像の白飛びを準定量的に評価するアルゴリズム（白飛び強度判定処理）を提案した．

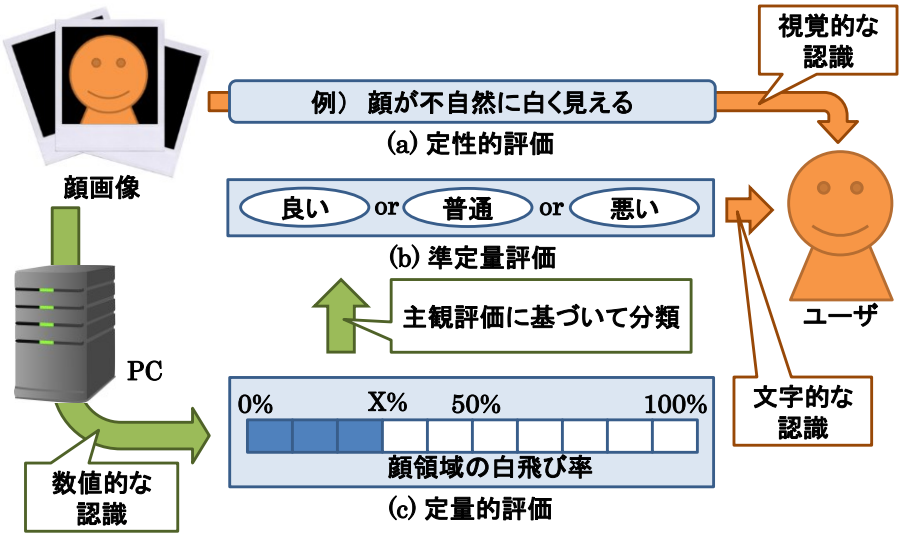


図 2.1　顔画像の白飛びに対する定性的評価，定量的評価，
並びに準定量評価の位置付け

Akita University

2.2 白飛びの概要

2.2.1 白飛びの特徴

一般に「白飛び」とは，ハイライト（画像において白く再現されている部分）のディティールが失われた状態を指す[6]．すなわち，撮影対象における高輝度部分の輝度値が撮像装置の持つ階調表現可能な範囲を超えることに起因して生じ，当該領域の情報が飽和する状態のことを意味する．このため，ディジタル画像において白飛びが生じた場合，当該領域の情報は飽和した状態となる．

例えば, 図 2.2 では人物の顔や衣服の一部が白色に塗りつぶされた状態になり，人物の鼻筋，肌の質感，並びに衣服の質感などが失われていることがわかる．このように，白飛びした箇所は白色に塗りつぶされるため，撮影対象の立体感や色の濃淡などの情報が失われるという特徴を有する．

従って，撮影対象に白飛びが生じた場合，本来の階調差が失われるため，色の濃淡や凹凸による質感の再現が困難となる．このため，白飛びの存在は写真の利活用を妨げる一因となる．



図 2.2　白飛びを有する人物写真例

Akita University

2.2.2 人物写真における白飛びの定義

人物写真における白飛びの特徴についてディジタル写真撮影の専門家[7]に意見を聴取したところ，以下のような知見を得た．

(a) 白飛びした領域には，表現可能な輝度の最大値付近の画素が一様に分布している．

(b) 白飛びは鼻，頬，並びに額に生じやすい．

(c) 白飛びが顔全体に生じる，または鼻，頬，並びに額に点在して生じる場合，人物画像はユーザに良い印象を与えない．

本研究では，専門家の知識を画像処理技術として組み込み，感性的な視点から人物写真の顔に生じた白飛びを評価するアルゴリズムについて検討を加える．そこで，知見(a)(b)に基づき，「白飛び」を(I)白色とほぼ同等である，(II)周辺の色とほぼ同等である，(III)顔領域に生じると定義した．専門家の知見に基づいて，図 2.2 における白飛び箇所を緑色でマーキングした結果を図 2.3 に示す．

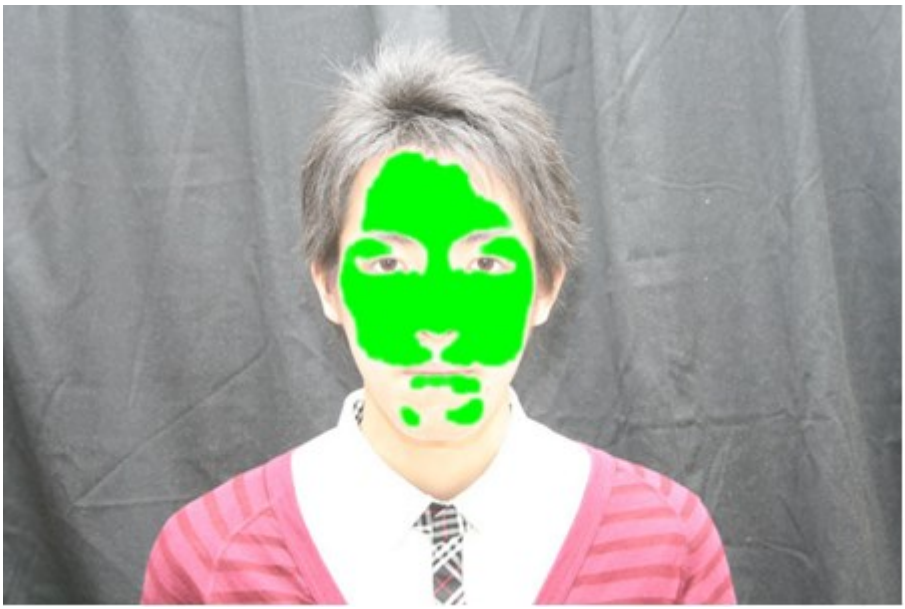


図 2.3　人物写真における白飛び例（図 2.2 対応）

Akita University

2.3 使用画像データ

本研究では，顔画像における白飛びを準定量的に評価する指標の定義と，これを用いた顔画像における白飛びの準定量評価を行うため，撮影対象を 1 人に限定した．また，室内環境下で人物を撮影する場合，直接被験者にストロボ光を当てて撮影すると，被験者背景に影が強く出るため，不自然な人物写真になる場合がある．この問題を解決する方法として，被写体の表情や室内の雰囲気などを自然に描画するバウンス撮影方法[6]が知られている．さらに，被写体にブレやボケが生じた写真は失敗写真と見なされることが多い．そこで本研究では，明るさ以外の要素による撮影失敗要因（ブレ，ボケ，強い影など）が生じないように配慮し，室内において人物 1 人をバウンス撮影し使用画像データを取得した. 具体的には，(1)白飛びの準定量評価指標に関する検討に用いるデータ（データセット A）60 枚，(2)提案手法における SVM パラメータの設定に用いるデータ（データセット B）180 枚，(3)提案手法の有用性に関する検討に用いるデータ（データセット C）648 枚，(4)顔向きと顔画像に対する主観評価の関連に関する検討に用いるデータ（データセット D）65 枚，(5)提案手法の適応性に関する検討に用いるデータ（データセット E）540 枚，合計 1493 枚の人物写真を取得した.

Akita University

2.3.1 データ取得環境

本研究では，ディジタルカメラおよびストロボ（Canon 製 SPEED LITE 580EXII）を用いて，人物写真を取得した．データ取得環境を図 2.4 に示す．また，データ取得環境を以下にまとめる．

- 日常一般的と考えられる室内環境．
- 被験者とカメラ間の距離は約 180cm．
- 証明写真やプロフィール写真への利用を想定し，被験者の上半身を正面から撮影．
- 被験者は 20 代の男女で全員モンゴロイド（日本人）．
- ストロボ光を壁や天井に照射し，反射光を被験者に当て撮影（バウンス撮影）．
- 白飛びの主観評価（2.4.1 節参照）において，顔部に注目してもらうため，無地の背景を設置．
- 手動により露出を設定（絞り：f5.6，シャッター速度：1/125s，ISO 感度：1600）．
- ストロボのフル発光時の GN 値は 42（ISO100・m，照射角 50mm）[8]．

撮影に用いたストロボ光は 12 種であり，発光量昇順に 1～12 の順位を付け，これをストロボ光の明るさレベルKとした．また，ストロボのフル発光時（K=12）の発光量をI_{MAX}とした場合，明るさレベルKにおける顔画像撮影時のストロボ発光量I_Kは(2.1)式のように定義される．

$$I_K = I_{MAX}\left(\frac{1}{2}\right)^{\left(\frac{12-K}{3}\right)} \tag{2.1}$$

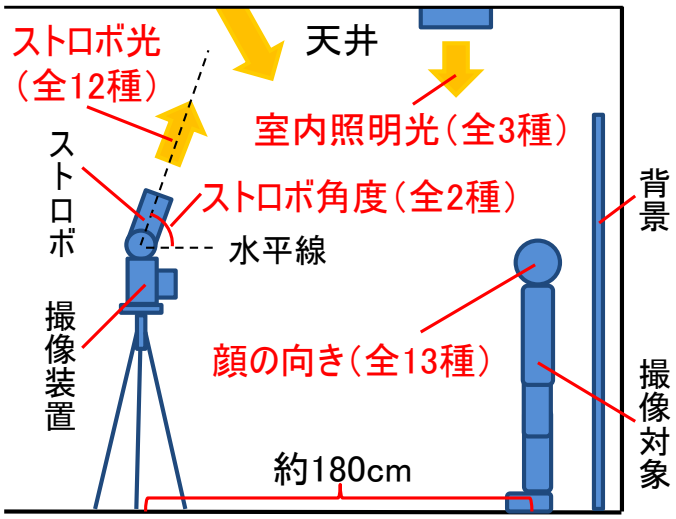


図 2.4　データ取得環境

Akita University

2.3.2 データ取得条件

データセット A～C は証明写真やプロフィール写真への利用を想定し，被験者の正面顔をそれぞれ撮影した（撮像装置は Canon 製 EOS Kiss Digital X）．具体的には，データセット A は被験者 5 名（A_1～A_5：男性 3 名，女性 2 名）を対象とし，ストロボ光 12 種を変化させて撮影した（ストロボ角度：仰角 75°，室内照明光：約 700lx）．次に，データセット B は，被験者 5 名（B_1～B_5：男性 3 名，女性 2 名）を対象とし，ストロボ光 12 種および室内照明光 3 種（約 400lx，約 700lx，約 1000lx）を変化させてデータを取得した（ストロボ角度：仰角 75°）．さらに，データセット C は，被験者 9 名（C_1～C_9：男性 7 名，女性 2 名）を対象とし，ストロボ光 12 種，ストロボ角度 2 種（仰角 60°，75°），並びに室内照明光 3 種（約 400lx，約 700lx，約 1000lx）を変化させてデータを取得した．データセット A，B，並びに C の取得条件を表 2.1 にまとめる．本研究では，人物写真を証明写真やプロフィール写真として利用することを想定しているため，パスポート写真の規格[9]における「顔の寸法」を参考にして顔画像を作成した．

一方，データセット D，E は，顔画像において顔向きが生じた場合を想定し，被験者の顔の向きを変化させてデータを取得した（ストロボ角度：仰角 75°，室内照明光：約 700lx，撮像装置：Canon 製 EOS 7D）．具体的には，データセット D は，被験者 5 名（D_1～D_5：男性 3 名，女性 2 名）を対象とし，顔の向き 13 種（正面，左右 15°，30°，45°，60°，上下 15°，30°）を変化させてデータを取得した．なお，ストロボ光は 1 種（K=4 のストロボ光：最も良好な印象を与える明るさである（2.4.2 項参照））である．また，データセット E は，被験者 9 名（E_1～E_9：男性 7 名，女性 2 名）を対象とし，ストロボ光 12 種，顔の向き 5 種（正面，左右 15°，上下 15°）を変化させてデータを取得した．データセット D および E の取得条件を表 2.2 にまとめる．

Akita University

表 2.1　データセット A，B，並びに C の取得条件

データセット	A	B	C
撮像装置	Canon製 EOS Kiss Digital X		
被験者	5名（男性3名，女性2名）	5名（男性3名，女性2名）	9名（男性7名，女性2名）
ストロボ発光量	12種（発光量の多い順に12種）		
室内照明光	1種（約700lx）	3種（約400lx，700lx，1000lx）	3種（約400lx，700lx，1000lx）
ストロボ角度	1種（仰角75°）	1種（仰角75°）	2種（仰角60°，75°）
顔の向き	1種（正面）		

表 2.2　データセット D および E の取得条件

データセット	D	E
撮像装置	Canon製 EOS 7D	
被験者	5名（男性3名，女性2名）	9名（男性7名，女性2名）
ストロボ発光量	1種（上位8番目の発光量）	12種（発光量の多い順に12種）
室内照明光	1種（約700lx）	
ストロボ角度	1種（仰角75°）	
顔の向き	13種（正面，左右約15°，30°，45°，60°，上下約15°，30°）	5種（正面，左右約15°，上下約15°，）

Akita University

2.4 白飛びに着目した顔画像の準定量評価指標

2.2.2 項における知見(b)(c)に基づくと，白飛びの生じる箇所に着目することは，白飛びに起因する顔画像の印象を判定可能にすると考える．そこで，写真選定における顔画像の印象と白飛びの関連について検討を行い，白飛びがユーザに与える顔画像の印象度合いを判定するための特徴量について検討を加えた．

2.4.1 写真選定における顔画像の印象と白飛びの関連に関する検討

データセット A を用いて，明るさのみが異なる同一被験者の顔画像 12 枚（顔画像セット）を 1 セットとし，合計 5 つの顔画像セット（A_1～A_5：被験者 5 名に対応）を作成した．顔画像セット例を図 2.5 に示す．次に，評価者 14 名（20 代男性 11 名，女性 3 名）に各顔画像セットを提示し，主観評価を実施した後，アンケートへの回答を求めた．評価手順を以下にまとめる．

手順 1「主観評価」

評価者は「不特定多数の人に閲覧される Web サイトなどに用いるプロフィール写真の選定」を目的とし，ランダムに配置された顔画像を「一般に公開しても良い（閲覧者に与える印象が良い)」と感じた順に並び替えた．このとき，評価者は液晶ディスプレイ（ナナオ製：Color Edge CG245W）上に表示された顔画像に対して主観評価を行った．主観評価項目は 5 種類（(A)公開したい，(B)どちらかといえば公開したい，(C)どちらともいえない，(D)どちらかといえば公開したくない，(E)公開したくない）とし，この基準を用いて結果を並び替え，グループ分けした．なお，正確な表示状態を保持するため，事前に液晶ディスプレイのキャリブレーションを行っている．

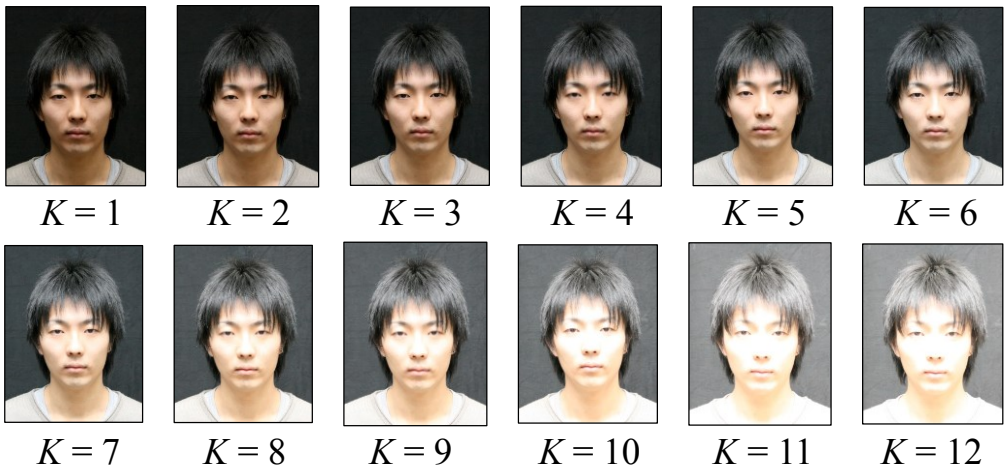


図 2.5　明るさのみが異なる同一被験者の顔画像例（被験者A_5）

Akita University

手順 2「アンケートへの回答」

主観評価項目(A)～(E)を「(A)・(B)（以下，良好と表記する)」，「(C)」，「(D)・(E)（以下，不適と表記する)」の 3 つに大別し，「良好」と評価した判断基準，「どちらともいえない」と評価した判断基準，並びに「不適」と評価した判断基準に関するアンケートを実施した．

2.4.2 写真選定における顔画像の印象と白飛びの関連に関する検討結果

(1)主観評価結果

主観評価項目(A)~(E)をそれぞれ 5~1 と数値化し，主観評価平均値（*ASV*：顔画像に対する主観評価値の平均）を算出した．顔画像の明るさと*ASV*の関連を図 2.6 に示す．各被験者において，*K*=4，5 の顔画像に対する*ASV*は，約 4.4~4.7 と高い値を示している（図 2.6 赤丸部分参照）．特に，最も高い*ASV*を示した顔画像の明るさレベルは*K*=4 であり，最も良好な印象を与える明るさであると考えられる．また，上記値よりも顔画像が明るくなる，または暗くなると，*ASV*が減少する傾向を認めた．このことは，適正な明るさに近いほど，顔画像はユーザにポジティブな印象を与えることを示唆している．

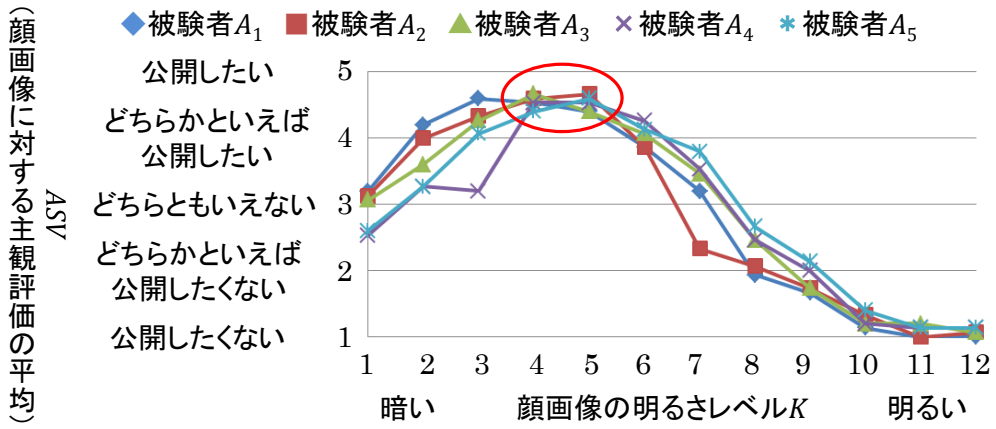


図 2.6　顔画像の明るさと*ASV*の関連

Akita University

⑵アンケート結果

「良好」の評価基準としては，「顔の明るさが適度である」，「顔の表情や輪郭がよく分かる」など，すべての評価者から「適切な明るさである」との回答を得た．一方，「どちらともいえない」および「不適」の評価基準としては，「暗すぎる」，「明るすぎる」など，すべての評価者から「明るさが不適切である」との回答を得た．さらに，これらの評価基準に対する回答を比較したところ，評価者は「不適」の評価基準として「顔全体が白く再現されている（白飛びしている)」，「どちらともいえない」の評価基準として「顔がところどころ白飛びしている」との回答をする傾向が明らかとなった．このことは，白飛びの有無やその状態に着目することで，顔画像の白飛びを定性的に評価できる可能性を示唆している．

以上の結果は，(i)適切な明るさの顔画像はユーザにポジティブな影響を与えること，(ii)顔全体が白飛びしている顔画像はユーザにネガティブな影響を与えること，(iii)白飛びが複数箇所に点在している顔画像の印象は，良いとも悪いともいえないことを示唆している．

また，データセット A を目視により検討した結果，以下の事項を認めた．

① 白飛びは「鼻」→「頬および額」の順に生じやすい．

② K=5，6 の顔画像において白飛びが鼻に生じているものの，主観評価値の平均（ASV）が 3.8 以上である．すなわち，白飛びが無い，あるいは鼻部にのみ白飛びが生じている顔画像は，ユーザにポジティブな影響を与える可能性がある．

Akita University

2.4.3 白飛びに対する準定量評価指標「白飛び強度」の定義

本研究では，専門家の知見(b)(c)（2.2.2 項参照），顔画像の印象と白飛びの関連に関する検討結果およびデータセット A に対する目視検討結果（2.4.2 項参照）に基づき，“白飛び箇所”と“顔画像の白飛びが閲覧者に与える影響（顔画像の白飛びに対する主観評価)”には対応性があると仮定し，白飛びの準定量評価指標「白飛び強度（OI: Overexposure Intensity)」を定義する．具体的には，白飛びが無い，または鼻にのみ生じる顔画像を「ポジティブな影響を与える（良好)」と判定し，白飛び強度「無・弱（None/Low)」と定義した．次に，白飛びが鼻，頬，並びに額に点在する顔画像の印象を「どちらともいえない」と判定し，白飛び強度「中（Average)」と定義した．最後に，白飛びが顔全体に生じる顔画像の印象を「ネガティブな影響を与える（不適)」と判定し，白飛び強度「強（High)」と定義した．なお，顔画像に白飛び強度を対応付けるため，白飛び強度「無・弱」，「中」，「強」はそれぞれ 1，2，3 と数値化している．白飛び強度の定義を表 2.3 に，白飛び強度の具体例を図 2.7 にそれぞれ示す．

表 2.3　白飛び強度（OI）の定義

白飛び強度（OI）	対応値	白飛び箇所	顔画像が閲覧者に与える影響
無・弱（None/Low）	1	無あるいは鼻	良好（ポジティブな影響）
中（Average）	2	鼻，頬，並びに額に点在	どちらともいえない
強（High）	3	顔全体	不適（ネガティブな影響）



(a)無・弱　(b)中　(c)強

図 2.7　白飛び強度の例

Akita University

2.5 白飛び強度判定アルゴリズム

本研究で提案する白飛び強度判定アルゴリズムは，前処理，白飛び抽出，並びに白飛び解析から構成される．具体的には，顔検出法[10][11]により検出した顔領域を対象として，口唇の検出[12]，目の検出[13]，並びに肌の検出[14]を行った．次に，2.2.2 項で述べた白飛びの定義(I)～(III)に基づき，CIELAB 色空間の色差[15]を用いた等色性の判定を行い，白飛びを抽出した．最後に，白飛び解析では，白飛びの位置情報および前処理で取得した顔，口唇，目，肌の位置情報を用いて，顔部における白飛び状態の定量評価指標「白飛び率」を算出した．さらに，上記白飛び率を用いて特徴量ベクトルを構成し，SVM に入力することで白飛び強度の判定を行った．提案手法の流れを図 2.8 に示す．

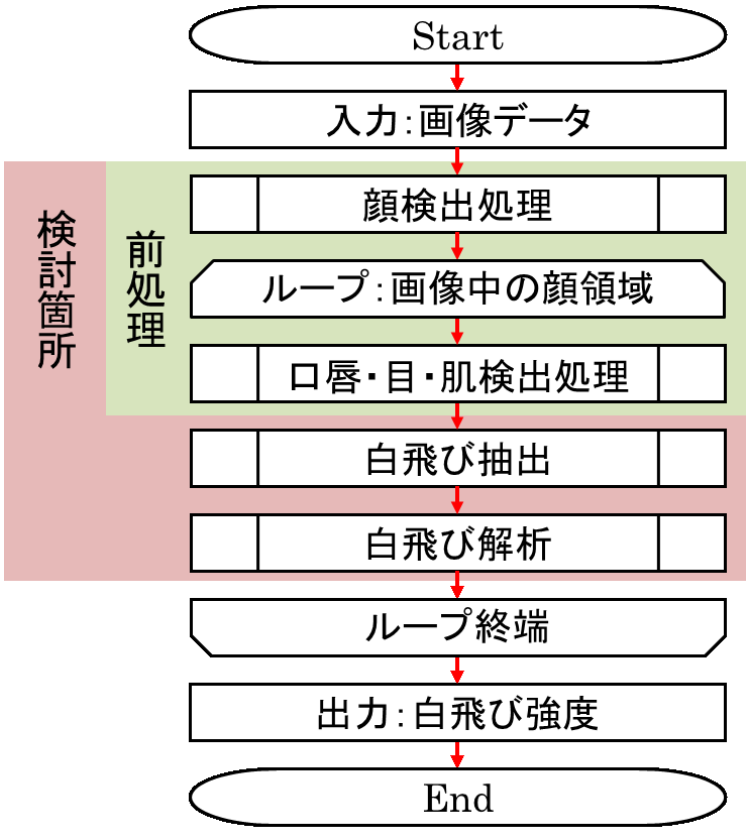
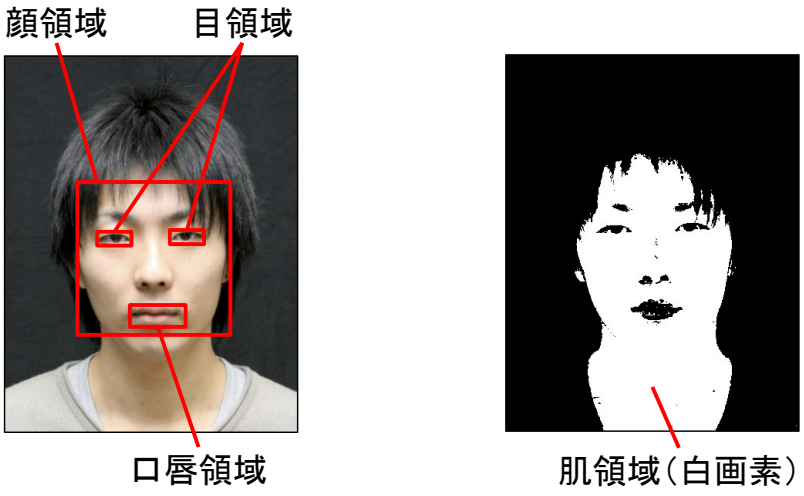


図 2.8　提案手法の流れ

Akita University

2.5.1 前処理

白飛び箇所に着目した白飛び強度の判定を行うために，顔，口唇，目，並びに肌の位置情報をそれぞれ取得する必要がある．そこで前処理として，各領域の検出を行った．具体的には，OpenCV[11]に実装されている Haar-like 特徴に着目したオブジェクト検出器[10]を用い，顔領域を取得した．次に，色彩情報を用いたファジィ推論による口唇形状抽出法[12]を用いて口唇領域を取得した．さらに，エッジ情報および色情報を用いた目検出法[13]を用いて，目領域を取得した．最後に，色被りにロバストな肌領域抽出法[14]を用いて，肌領域を取得した．各領域の取得例を図 2.9 にそれぞれ示す．



(a)顔，目，並びに口唇領域例　　(b)肌領域例

図 2.9　前処理結果例

Akita University

2.5.1.1 Haar-like 特徴に着目した顔検出処理

文献[10]の手法は, 学習アルゴリズムである Adaboost 法の学習データに Haar-like 特徴により取得した特徴量を用いた手法である．Haar-like 特徴および Adaboost 法の概要を以下にまとめる．また，Haar-like 特徴に着目した顔検出の結果例を図 2.10 に示す.

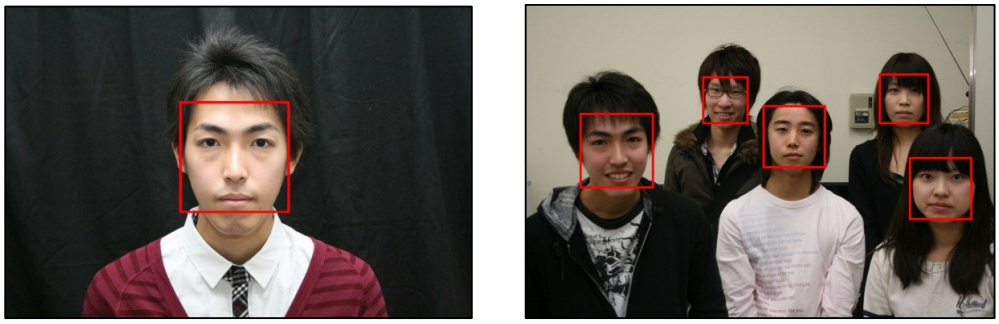
(1)Haar-like 特徴

Haar-like 特徴は，白黒の矩形領域から成る検出窓を画像中の任意の位置に配置し，矩形間で領域内の輝度差を計算することで得られる特徴量である．Haar-like 特徴の矩形パターン例と矩形パターンを顔画像に適用した例を図 2.11 および図 2.12 にそれぞれ示す．具体的には，抽出する特徴量Fは以下に示す(2.2)式を用いて算出する．

$$F = B - W \tag{2.2}$$

ここで，Bは黒矩形領域内における画素値の総和を表し，Wは白矩形領域内における画素値の総和を表している．すなわち，Haar-like 特徴において取得する特徴量は，隣接する白および黒矩形領域における輝度の差である．

特徴を抽出するときは，対象画像に対して検出窓の位置および矩形パターンの組み合わせを変更することで数千個の特徴を抽出し，抽出した各特徴を学習および認識するときに使用する．



(a)人数：1人　　(b)人数：複数人

図 2.10　Haar-like 特徴に着目した顔検出の結果例

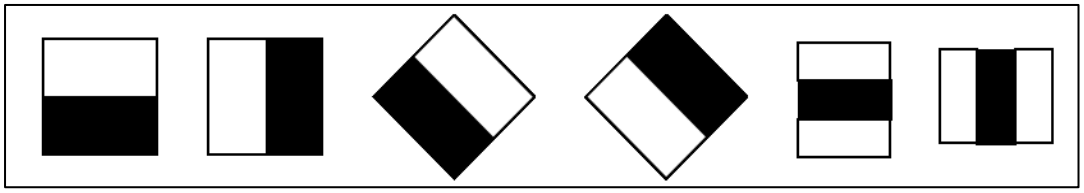


図 2.11　Haar-like 特徴の矩形パターン

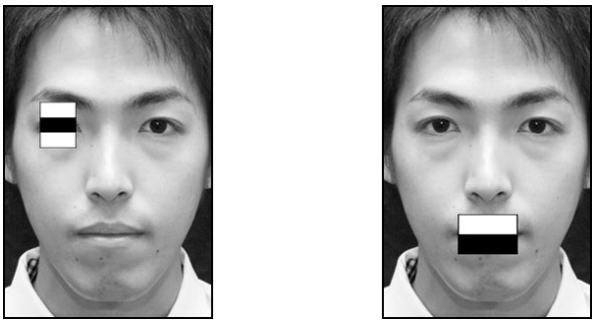


図 2.12　顔画像への適用例

(2)Adaboost

Adaboost[16][17]とは，Boosting と呼ばれる集団学習アルゴリズムの 1 つで，いくつかの低性能な識別器（弱識別器）を組み合わせて全体として高性能な識別器（強識別器）を作るアルゴリズムである．

ある例題 (x, y) が与えられたとき, その例題を学習して, 弱仮説 $Y = \{-1, +1\}$を出力するような識別器を構成する．各弱識別器は，自分の直前の弱識別器が誤判別した点に重みをおくような分布に従って学習する．また，各弱識別器の信頼度を計算して，学習終了後に，(2.3)式を用いて各弱識別器の信頼度重み付き多数決を行い，最終的な仮説を導出する．なお，$H(x)$ は最終仮説，$h_t(x)$ は弱識別器，並びに α_t は識別器 $h_t(x)$ の信頼度をそれぞれ表している．

$$H(x) = sign\left(\sum_{t=1}^{T} \alpha_t h_t(x)\right) \tag{2.3}$$

Adaboost のアルゴリズムを図 2.13 に示す．なお，本研究では学習サンプルとして Haar-like 特徴（2.5.1.1 目(1)参照）を用いた．

(1)学習サンプルの用意

例題　$(x_1, y_1), \cdots (x_n, y_n)$が与えられたとする．

ただし，$x_i \in X, y_i \in Y = \{-1, +1\}$とする．

(2)学習重みの初期化

$D_l(i) = \frac{1}{N}$　すべての例題において一様の重みとする．

(3)特徴の選択

$t = 1, \cdots, T\left(t: \textit{学習回数}\right)$ に対して

- 分布D_tに基づいて誤り率を

$$\varepsilon_t = Pr_{D_t}\{h_t(x_i) \neq y_i\} = \sum_{i:h_t \neq y} D_t(i)$$

と定義し，学習を行い$h_t: X \to Y$を得る．

- 得られた仮説の誤り率を用いて信頼度α_tを計算する．

$$\alpha_t = \frac{1}{2} ln\left(\frac{1-\varepsilon_t}{\varepsilon_t}\right)$$

- 分布D_tを更新する．

$$D_{t+1}(i) = \frac{D_t(i) exp\left(-\alpha_t y_i h_t(x_i)\right)}{Z_t}$$

$$= \frac{D_t(i)}{Z_t} \cdot \begin{cases} e^{-\alpha_t} & if\ h_t(x_i) = y_i \\ e^{\alpha_t} & if\ h_t(x_i) \neq y_i \end{cases}$$

ここでZ_tは，$\sum_t D_{t+1}(i) = 1$とするための正規化定数で

$Z_t = \sum_{i=1}^{N} D_t(i) exp\left(-\alpha_t y_i h_t(x_i)\right)$である．

(4)最終仮説の選択

$$H(x) = sign\left(\sum_{t=1}^{T} \alpha_t h_t(x)\right)$$

全ての仮説を信頼度で重み付けをし，最終仮説$H(x)$を得る．

図 2.13　Adaboost のアルゴリズム

Akita University

2.5.1.2 色彩情報に着目した口唇形状抽出処理

口唇は，照明の影響による色味の変化や，個人差による口唇の色味変化などに起因してあいまいさを有している．また，図 2.14 に示すように，口唇は肌と比較して赤味を有する特徴が認められる．このため，色彩情報に着目した口唇形状抽出法[12]（以下，口唇形状抽出法と表記する）では，明るさに対してロバスト性が高く，人間の視覚系に沿った均等色空間である CIELAB 色空間[15]に着目している．さらに，陰影の影響による色味の変動をあいまいさと仮定し，ファジィ推論を用いて口唇形状の抽出を行っている．口唇形状抽出法の処理結果を図 2.15 に示す．

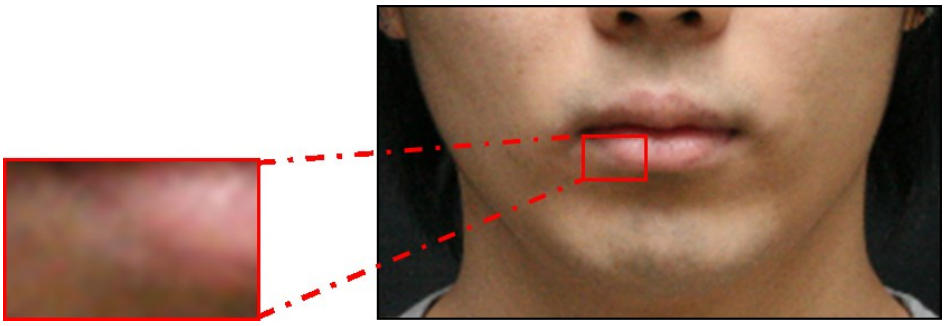


図 2.14　口唇輪郭付近の拡大図



図 2.15　口唇抽出結果例

Akita University

2.5.1.3 エッジ情報および色情報を用いた目検出処理

目領域は隣接している肌領域と比較し，濃淡の差が強く表れ，瞳は目領域の中で黒の成分が高い傾向を認めた．そこで本研究では，エッジ情報および色情報を用いた目検出処理を行った．なお，エッジ検出として SUSAN オペレータ[18]，色情報として CMYK 色空間の K を用いた. 目検出処理の流れを以下に示す. また，目検出処理の結果例を図 2.16 に示す.

① SUSAN オペレータによるエッジ抽出
② CMYK 色空間の K による色情報抽出
③ 処理①および処理②より得られた結果に対して論理積を求め，ラベリング処理
④ 目の左右対称性および位置関係を考慮した目検出

①SUSAN オペレータによるエッジ検出

SUSAN オペレータとは，円形マスク内における“中心画素の輝度値”と“円形マスク内の画素が有する輝度値”における絶対値の差を比較し，任意の閾値を越えている画素数を基に，エッジを検出する手法である．一般的なエッジ検出法である微分フィルタ[19]やラプラシアンフィルタ[19]とは異なり, オペレータが目的に合わせて閾値を変更可能という特徴がある．このため，最適なパラメータを設定することで良好にエッジ抽出が可能である．SUSAN オペレータの概要を図 2.17 に示す.

文献[13]では，人物とカメラとの距離変化に伴う顔領域面積の変化に起因したエッジ検出精度の低下を軽減するため, 顔領域面積を指標として SUSAN オペレータのマスクサイズを変化させている．具体的には，顔領域の面積が(i)15000 以下のときマスクサイズは 5×5, (ii)それ以外の場合のマスクサイズは 7×7 としている．また，(i)のときの閾値はt_1=8，t_2=3 に，(ii)のときの閾値はt_1=8，t_2=5 にそれぞれ設定している．そこで本研究では，文献[13]を参考とし，SUSAN オペレータにおけるマスクサイズと閾値として上記パラメータを用いた.

②CMYK 色空間の K による色情報抽出

目領域中の瞳は，他の顔器官と比較して黒の成分が高い傾向を認めた．そこで本研究では，黒を表現する色情報として CMYK 色空間[15]の K の値を用いた.

③論理積およびラベリング処理

上記処理①および②で抽出された画像には，ノイズが多く含まれている．このため，ノイズ除去を目的として各結果の論理積を算出した.

Akita University

目候補領域を検出するために論理積を算出した画像に対してラベリング処理[19]を施した．ラベリング処理を行うとき，抽出された目領域の中で，(i)面積の小さい領域，(ii)面積の大きい領域，(iii)縦幅>横幅の領域は，目領域にはなり得ないノイズと仮定した. 従って, ノイズを除去するため, (i)目領域面積Sが 50 以下，(ii)目領域面積Sと顔領域面積S'の面積比S/S'が 0.1 以上，(iii)縦幅>横幅のラベルをそれぞれ棄却した．なお, (i)については 10 から 100 まで 10 刻みで変化させた場合，(ii)については 0.05 から 0.20 まで 0.05 刻みで変化させた場合に最も良好な結果を得られた数値を採用した．また，目領域は顔領域の上部に位置するため，Y 軸方向の探索範囲を顔領域が有する縦幅の 1/2 に絞り，処理を行った．

④目の左右対称性および位置関係を考慮した目検出

抽出した顔領域を 10×10 領域に分割し検討を行った．具体的には，ラベリング処理により検出された目候補領域の“X 軸の距離が 3 マス以上 6 マス以内”かつ“Y 軸の距離が 2 マス以内”を満たすラベルの組を目領域（検出結果：両目）として検出した．なお，上記条件を満たさないとき，y 座標が最大のラベルを目領域（検出結果：片目）として検出した．

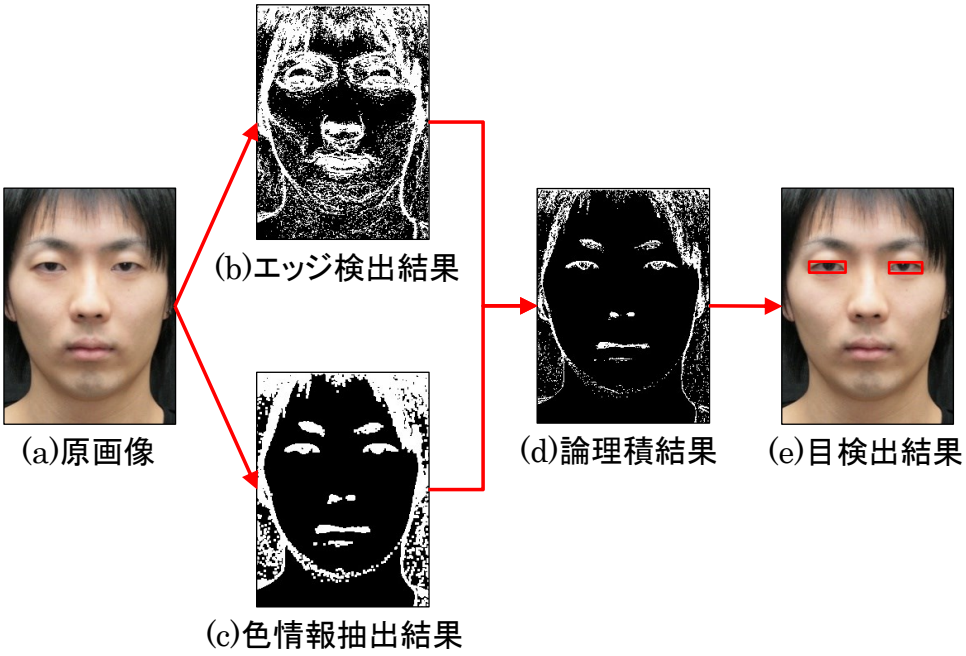


図 2.16　目検出処理結果例

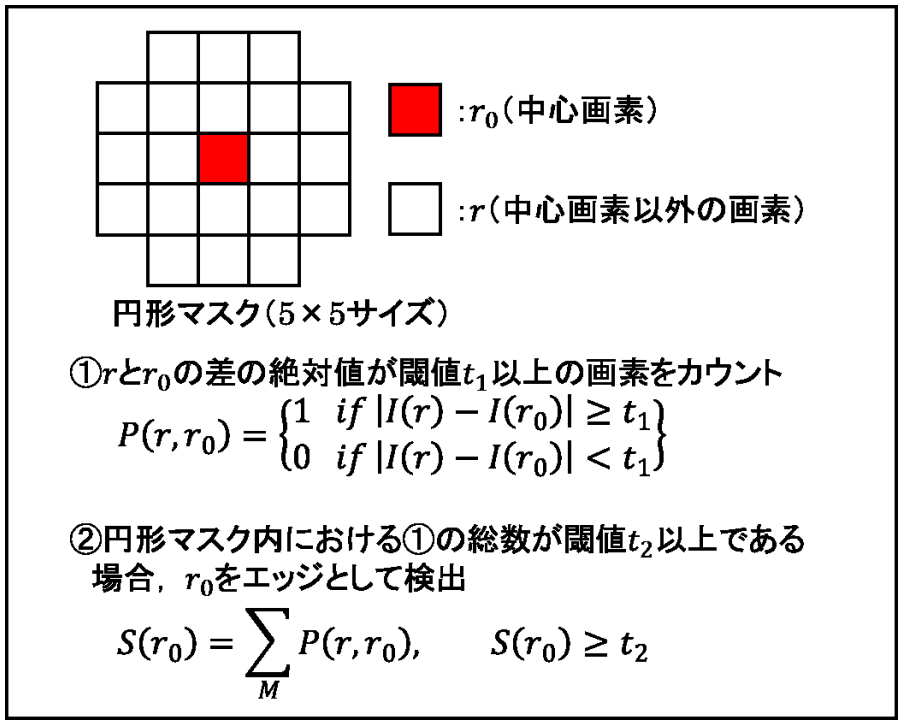


図 2.17　SUSAN オペレータの概要

Akita University

2.5.1.4 色被りにロバストな肌領域抽出処理

人物の肌領域は，照明の影響による色味の変化や，個人差による肌領域の色味変化などに起因してあいまいさを有している．このため，色被りにロバストな肌領域抽出法[14]（以下，肌領域抽出法と表記する）では，肌の特徴（口唇周辺領域の知覚色度指数 a*[15][19]と HSV 色空間[15][19]の色相 H）を取得し，各種あいまいさを考慮して精度良く肌領域を抽出するため，ファジィ推論を用いて肌領域を抽ている．また，文献[14]で対象とする画像の取得環境は屋内外を問わず多様である．ディジタルカメラを用いて画像を撮像するとき，カメラ機器のホワイトバランス設定や撮影環境の光源により画像全体に色被りの生じる場合がある．このため，ホワイトバランスを定量的に表すことが可能な色温度に着目し，“色温度に独立な特徴量（口唇周辺領域の知覚色度指数 a*と色相 H)”および“色温度に従属な特徴量（彩度 S と輝度 V)”を併用することで，色被りに対してロバストに肌領域を抽出している．肌領域抽出法の流れを図 2.18 に示す.



図 2.18　色被りにロバストな肌領域抽出法の流れ

Akita University

2.5.2 白飛び抽出

白飛びの定義(I)～(III)（2.2.2 項参照）に基づき，顔領域において(1)白色とほぼ同等である画素（以下，白色画素と表記する），かつ(2)隣接画素の色とほぼ同等である画素（以下，類似色画素と表記する）を，白飛びを有する画素として抽出した．このとき，色の知覚的な差異を数値化した値である「色差」に着目し，上記(1)(2)の等色性を判定した．

2.5.2.1 色差を用いた等色判定

色の変化が知覚的にほぼ均等となる「均等色空間」において，色差はユークリッド距離と同等であり，色差が小さいほどその 2 色は近い色と言える[15]．しかしながら，2 色間に色差が認められるものの，知覚的にその 2 色を等色とみなせる場合がある．このため，工業分野における色彩管理において色の等色性を判定する場合，2 色を等色とみなせる色差の最大値（許容色差）Tを設定し，色差EがT以下である 2 色を等色とみなす方法が広く利用されている[20]．そこで本研究では，色C_1と色C_2の色差が(2.4)式を満たす場合，「色C_1と色C_2は色差Tを許容して等色である」と判定した．

$$E(C_1, C_2) \leq T \tag{2.4}$$

なお，Tは，CIELAB 色空間における許容色差の等級分け[20]を基に設定した（詳細は 2.6.2 項で後述する）．CIELAB 色空間は均等色空間であり，色C_1（$L^*=L_1$, $a^*=a_1$, $b^*=b_1$）と色C_2（$L^*=L_2$, $a^*=a_2$, $b^*=b_2$）の色差Eは(2.5)式[15]となる．

$$E(C_1, C_2) = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2} \tag{2.5}$$

色差Tを許容し，色C_1と等色である色をC_2とした場合，(2.5)式より，C_2のとり得る範囲はC_1を中心とした半径Tの球となる．従って，色差に対して閾値を設定することにより，一定の色差で 2 色の等色性を判定可能である．

2.5.2.2 白飛び画素の抽出

白飛び抽出処理の流れを図 2.19 に，白飛び抽出結果例を図 2.20（図 2.7(c)対応）にそれぞれ示す．なお，図 2.19 中の(A)～(E)は以下の処理に対応している．また，画素(x, y)の色は$C_{x,y}$（$L^*=L_{x,y}$, $a^*=a_{x,y}$, $b^*=b_{x,y}$）と表記する．

(A)対象領域の設定

前処理で取得した顔画像を用いて対象領域（ROI: Region Of Interest）を設定した．

Akita University

(B)色空間変換

対象領域において，RGB 色空間から CIELAB 色空間への色空間変換を行った[19]．

(C)白色画素の抽出

対象領域における画素の色$C_{x,y}$と白色W（L^*=100，a^*=0.0，b^*=0.0）の等色判定を行い，白色画素画像を取得した．白色画素の抽出条件を(2.6)式に示す．

$$E\left(C_{x,y}, W\right) \leq T \tag{2.6}$$

(D)類似色画素の抽出

対象領域における画素の色$C_{x,y}$に対して，各隣接画素の色との色差の平均を算出し，これを隣接画素との色差とした．さらに，隣接画素との色差を用いて色$C_{x,y}$と隣接画素の色との等色判定を行い，類似色画素画像を取得した．類似色画素の抽出条件を(2.7)式に示す．

$$\frac{1}{8}\sum_{i=x-1}^{x+1}\sum_{j=y-1}^{y+1} E\left(C_{x,y}, C_{i,j}\right) \leq T \tag{2.7}$$

(E)論理積

上記処理で得られた白色画素画像と類似色画素画像の論理積[19]を計算し，白飛び画素を取得した．

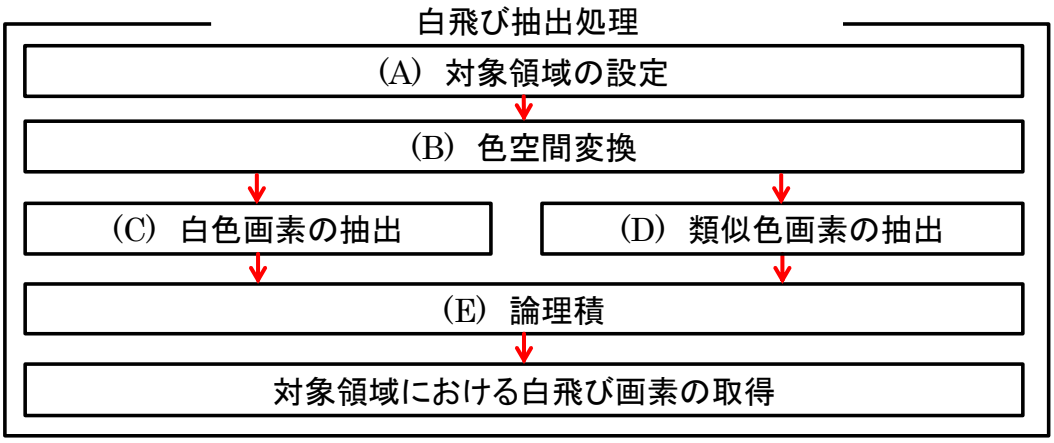


図 2.19　白飛び抽出処理の流れ

Akita University

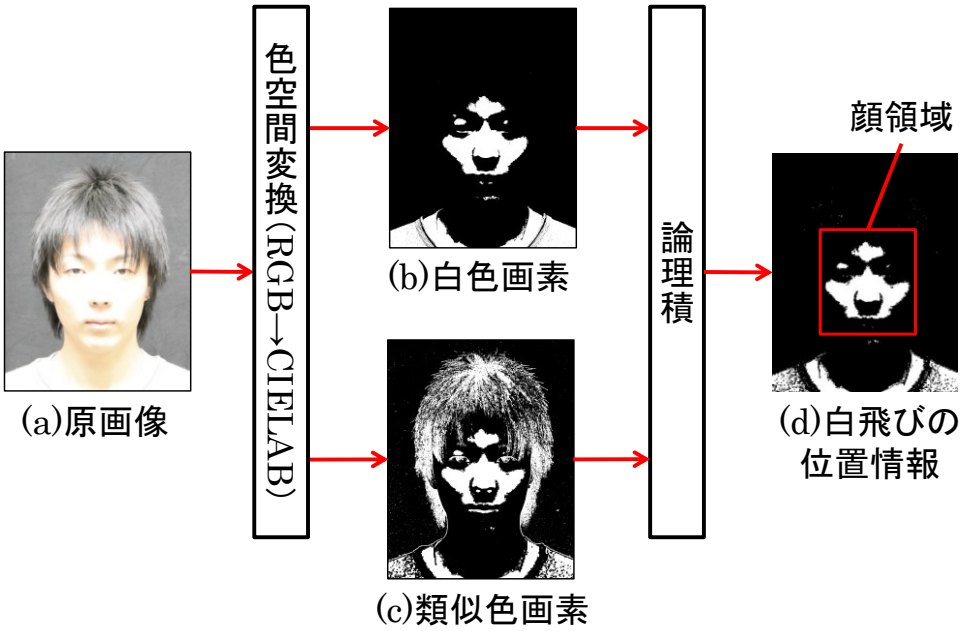


図 2.20　白飛び抽出結果例

2.5.3 白飛び解析

白飛び強度の性質に基づくと，鼻・頬・額のような白飛び頻出箇所における白飛びの有無や，顔全体の白飛び状態は，白飛び強度を判定するための定量評価指標になると考える．そこで，顔領域および白飛び頻出領域の白飛びに対する定量評価指標として「白飛び率（O: Overexposure rate）」を定義した．さらに，各白飛び率から特徴量ベクトル$\vec{O}$を構成し，これを SVM に入力して白飛び強度の予測を行い，顔画像の白飛びを準定量的に評価した．

2.5.3.1 白飛び頻出領域の設定

データセット A における顔検出結果を対象とし，白飛び頻出領域について検討を加えたところ，2.5.1 項において取得した各領域（顔・口唇・目）を用いることで，白飛び頻出箇所である鼻・頬・額を包含する領域をそれぞれ設定可能であることを認めた．そこで本研究では，顔領域，口唇領域，並びに目領域を用いて，鼻領域，頬領域，並びに額領域をそれぞれ白飛び頻出箇所として設定した．各領域の設定方法を以下にまとめる．なお，領域を構成する矩形情報の例を図 2.21 に示す．

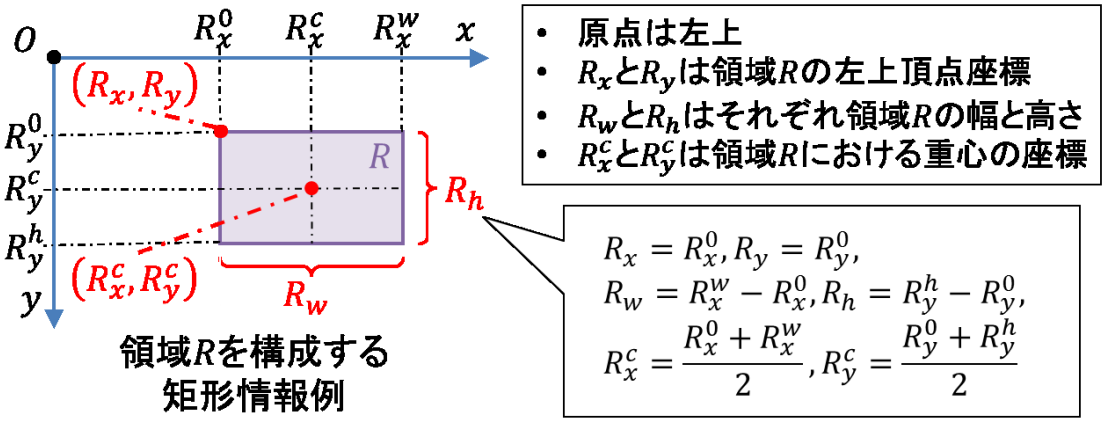
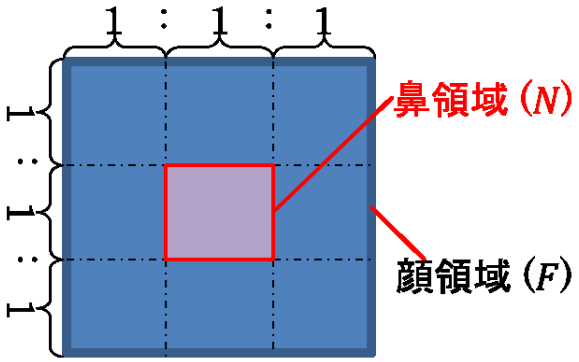


図 2.21　矩形情報例

Akita University

(A) 鼻領域

顔領域を 3×3 に等分割し，2 行 2 列成分（中央領域）を鼻領域（N）として設定した. 鼻領域の設定条件を図 2.22 に, 鼻領域設定例を図 2.23 にそれぞれ示す.



鼻領域設定式

$$N_x = F_x + \frac{F_w}{3}, N_y = F_y + \frac{F_h}{3},$$
$$N_w = \frac{F_w}{3}, N_h = \frac{F_h}{3}$$

図 2.22　鼻領域の設定条件

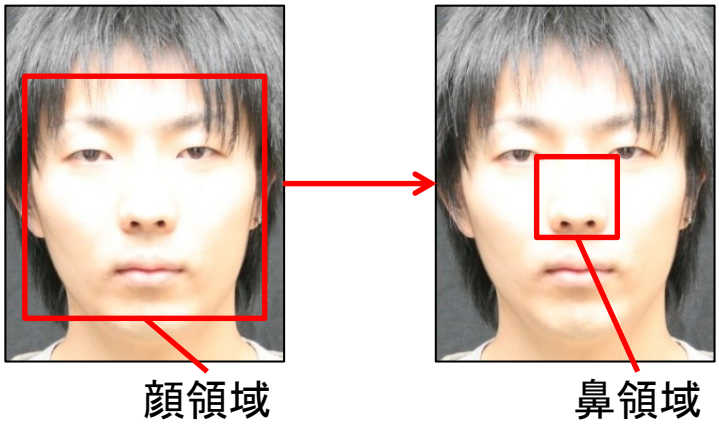
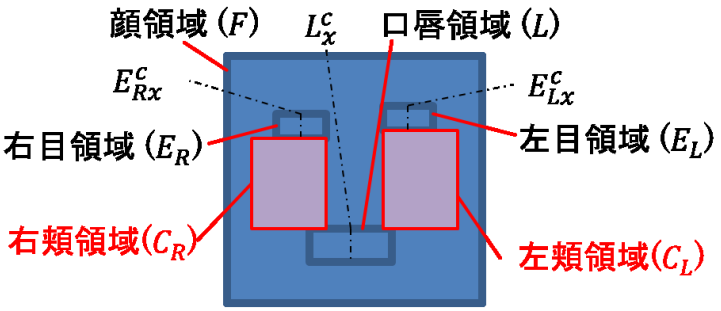


図 2.23　鼻領域設定例

Akita University

(B)頬領域

頬領域の設定条件を図 2.24 に示す．右頬領域（C_R）の設定を以下に述べる．はじめに，右目領域下端（E_{Ry}^h）と口唇領域上端（L_y）の幅を右頬領域縦幅（C_{Rh}）に設定した．また，右目領域横幅の垂直二等分線（E_{Rx}^c）と口唇領域横幅の垂直二等分線（L_x^c）の幅の垂直二等分線と，顔領域左端（F_x）と右目領域左端（E_{Rx}）の幅の垂直二等分線（$= C_{Rx}$）を求め，上記 2 線の幅を右頬領域横幅（C_{Rw}）に設定した．なお，左頬領域（C_L）を取得する場合，上記内容の左右逆の処理を行う．頬領域設定例を図 2.25 にそれぞれ示す．



右頬領域設定式

$$C_{Rx} = \frac{F_x + E_{Rx}}{2}, C_{Ry} = E_{Ry} + E_{Rh},$$

$$C_{Rw} = \frac{L_x^c + E_{Rx}^c}{2} - C_{Rx}, C_{Rh} = L_y - C_{Ry}$$

左頬領域設定式

$$C_{Lx} = \frac{L_x^c + E_{Lx}^c}{2}, C_{Ly} = E_{Ly} + E_{Lh},$$

$$C_{Lw} = \frac{E_{Lx} + E_{Lw} + F_x + F_w}{2} - C_{Lx},$$

$$C_{Lh} = L_y - C_{Ly}$$

図 2.24　頬領域の設定条件

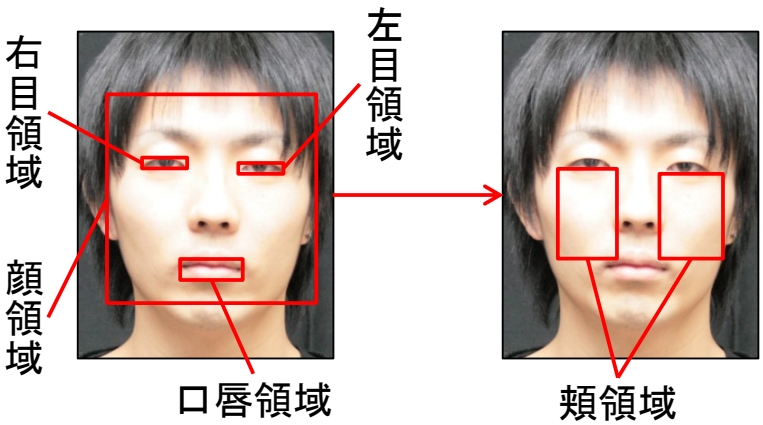
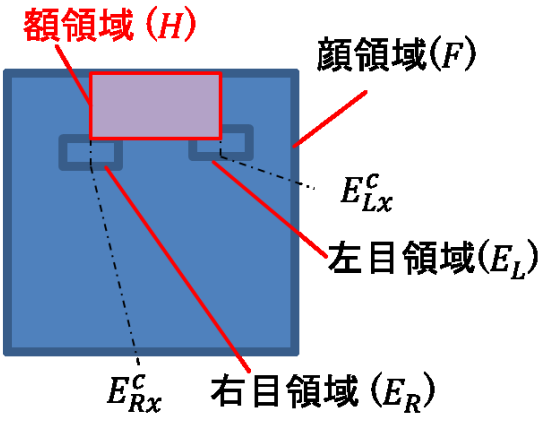


図 2.25　頬領域設定例

Akita University

(C)額領域

額領域（H）の設定条件を図 2.26 に示す．右目領域上端（E_{Ry}）と左目領域上端（E_{Ly}）の比較を行い，より下側にある線分を選択する．さらに，この線分（H_y）と顔領域上端（F_y）の幅を額領域の縦幅（H_h）に設定した．次に，右目領域横幅の垂直二等分線（$E_{Rx}^c(=H_x)$）と左目領域横幅の垂直二等分線（E_{Lx}^c）の幅を額領域の横幅（H_w）に設定した．頬領域設定例を図 2.27 に示す．



額領域設定式

$$H_x = E_{Rx}^c, H_y = F_y, H_w = E_{Lx}^c - E_{Rx}^c,$$
$$H_h = \max\{E_{Ry}, E_{Ly}\} - F_y$$

図 2.26　額領域の設定条件

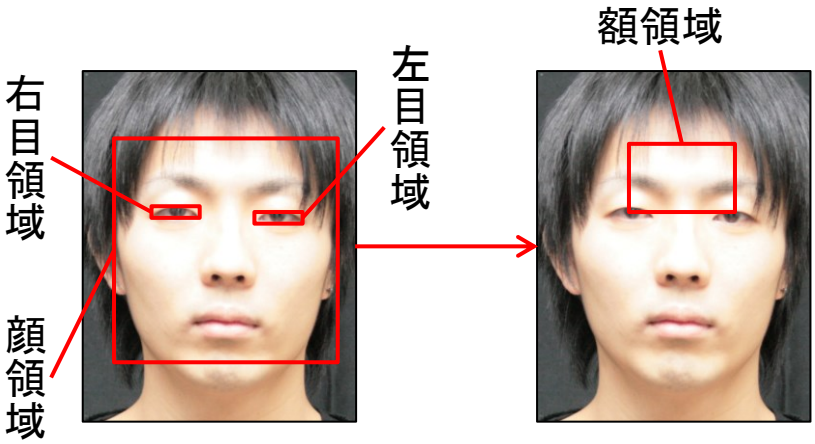


図 2.27　額領域設定例

Akita University

2.5.3.2 肌領域の補間

白飛びを有する顔画像において，白飛びに起因して肌領域の一部が欠落する傾向を認めた．肌領域欠損例を図 2.28 に示す．データセット A を用いて，肌領域における欠落部分の輝度値分布について検討を加えたところ，当該領域は白飛びおよび非白飛びを含むものの，RGB 色空間の R 成分が飽和していることを認めた．そこで，2 値化処理[19]を用いて R 成分が飽和した領域（以下，R 飽和領域と表記する）を抽出し，この結果と肌情報との論理和を求め，肌領域を補間した．このとき，R 成分が閾値T_Rよりも高い輝度値をもつ画素を R 飽和領域とした．肌領域の補間例を図 2.29 に示す．



図 2.28　肌領域欠損例

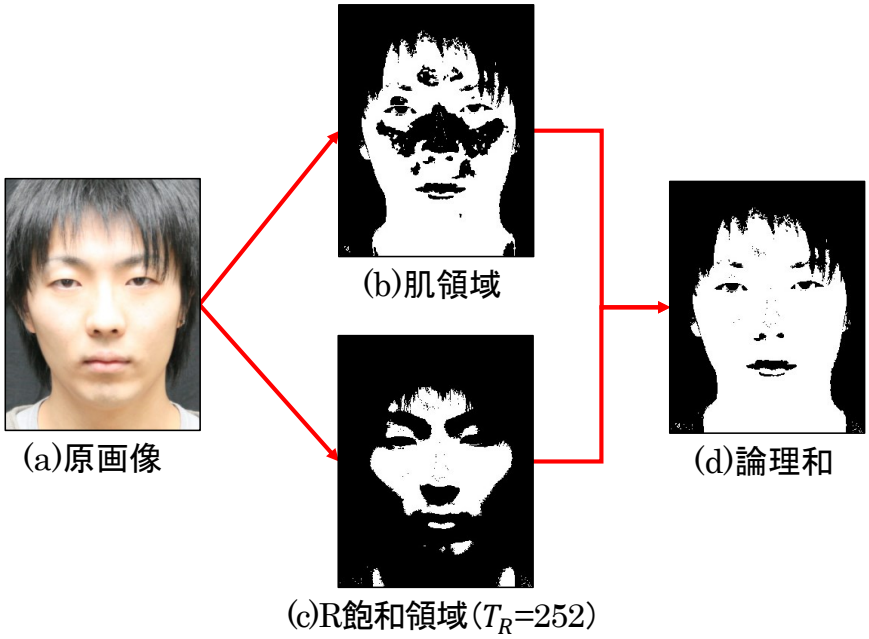
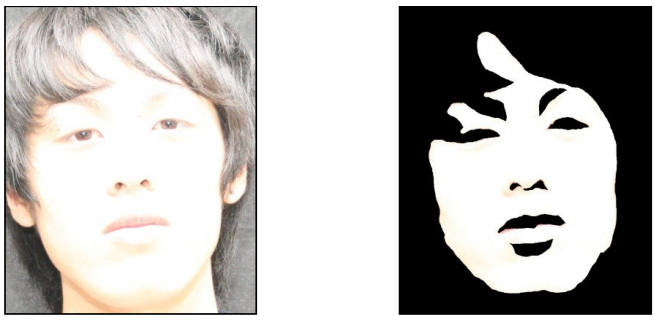


図 2.29　肌領域補間例

Akita University

●閾値T_Rの設定

T_Rは白飛び画素の輝度値分布を参考にして設定した．具体的には，データセット A を対象とし専門家の知見に基づいて，図 2.30(b)に示すような白飛び領域を手動で抽出した画像（以下，参照画像と表記する）を 26 枚生成した．しかしながら，参照画像において，正しく検出された肌や毛髪などの手動抽出による誤差が含まれる場合を認めた．このため，手動抽出の誤差を考慮し，参照画像に占める白飛びの割合pを設定し，p-タイル法[19]を用いて，T_Rを設定した．本研究では，参照画像に占める手動抽出の誤差の面積比率は最大で 0.20 であると仮定し，pを 0.99～0.80 まで 0.01 刻みで検討を加えた．pとT_Rの関連を表 2.4 に示す．p=0.99～0.95 におけるT_Rの変化が大きいことは，参照画像において R 成分が 249 以下である画素は少なく，手動抽出の誤差である可能性が高いことを意味している．このため，p=0.95～0.80 におけるT_Rを肌補間における閾値の候補（表 2.4 着色部分）とした．これらの平均が 252.0 であったため，R 成分が 252 よりも大きい画素を R 成分飽和画素と定義した．



(a)原画像　　(b)参照画像

図 2.30　参照画像例

表 2.4　白飛びの割合pと閾値T_Rの関係

p	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90
T_R	0	2	76	224	249	250	251	251	252	252
p	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80
T_R	252	252	252	253	253	253	253	253	253	253

2.5.3.3 SVM を用いた白飛び強度の判定

SVM は，収集したデータを用いて学習することで，未知のデータに対する認識を可能にするパターン認識器である[5]．そこで本研究では，顔部の白飛び状態の定量評価値を SVM に入力し，未知の顔画像に対する白飛び強度の予測を行う．顔部の白飛び状態の判定について，ディジタル写真撮影の専門家の知見や主観評価結果（2.4.2 項参照）に基づくと，白飛び箇所に関する判定理由（例えば，「鼻や頬が白くなっているため，不適切である」など）は多数挙げられているものの，白飛びの形状特徴に関する意見は得られなかった．このため，外観として表れる白飛びの形質の中でも，白飛びの面積は，主観評価に比較的大きな影響を与えることが予想される．そこで，SVM に用いる特徴量として，顔領域および白飛び頻出領域の各領域に占める白飛び面積の割合（白飛び率（O））をそれぞれ定義した．白飛び率算出に用いる特徴量例を図 2.31 に示す．領域Rにおける白飛び率をO_Rと定義する（(2.8)式参照）．なお，S_RはR領域内の肌を示す画素数，W_RはR領域内の白飛びを有する画素数をそれぞれ示す．

$$O_R = W_R / S_R \tag{2.8}$$

このとき，顔領域，鼻領域，右頬領域，左頬領域，額領域に対する白飛び率はそれぞれO_F, O_N, O_{C_R}, O_{C_L}, O_Hである．O_Fの算出に用いる特徴量を図 2.32, O_Nの算出に用いる特徴量を図 2.33, 並びにO_{C_R}, O_{C_L}, O_Hの算出に用いる特徴量を図 2.34 にそれぞれ示す．本研究では，上記 5 つの白飛び率で構成された特徴量ベクトル$\vec{O}$を SVM に入力することで，白飛び強度「無・弱」,「中」,「強」のいずれかを取得し，顔画像の白飛びに対する準定量評価結果とした．$\vec{O}$を(2.9)式に示す．

$$\vec{O} = \left(O_F, O_N, O_{C_R}, O_{C_L}, O_H\right) \tag{2.9}$$

白飛び強度判定の概要を図 2.35 に示す．なお，本研究では，統計解析ソフト R[21]の e1071 パッケージに実装されている SVM を用いて，白飛び解析を行った．SVM の設定を以下にまとめる．

- type：C-classification
- kernel：動径基底関数（RBF）カーネル
- C（ソフトマージン SVM のマージンパラメータ）：2.6.3.2 目で設定する．
- γ（RBF カーネルのパラメータ）：2.6.3.2 目で設定する．

Akita University



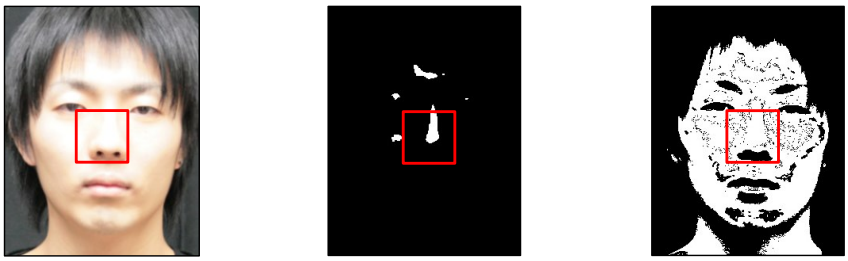
(a)顔，口唇，並びに目の位置情報　(b)白飛びの位置情報　(c)肌領域（肌領域補間後）

図 2.31　白飛び率の算出に用いる特徴量例



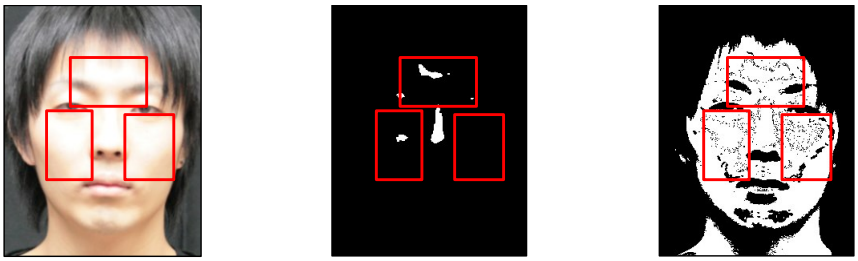
(a)顔領域　(b)顔領域に着目した白飛び画素　(c)顔領域に着目した肌画素

図 2.32　顔領域内白飛び率（O_F）の算出に用いる特徴量例



(a)鼻領域　(b)鼻領域に着目した白飛び画素　(c)鼻領域に着目した肌画素

図 2.33　鼻領域内白飛び率（O_N）の算出に用いる特徴量例



(a)頬および額領域　(b)頬および額領域に着目した白飛び画素　(c)頬および額領域に着目した肌画素

図 2.34　頬領域および額領域内白飛び率（O_{C_R}，O_{C_L}，O_H）の算出に用いる特徴量例

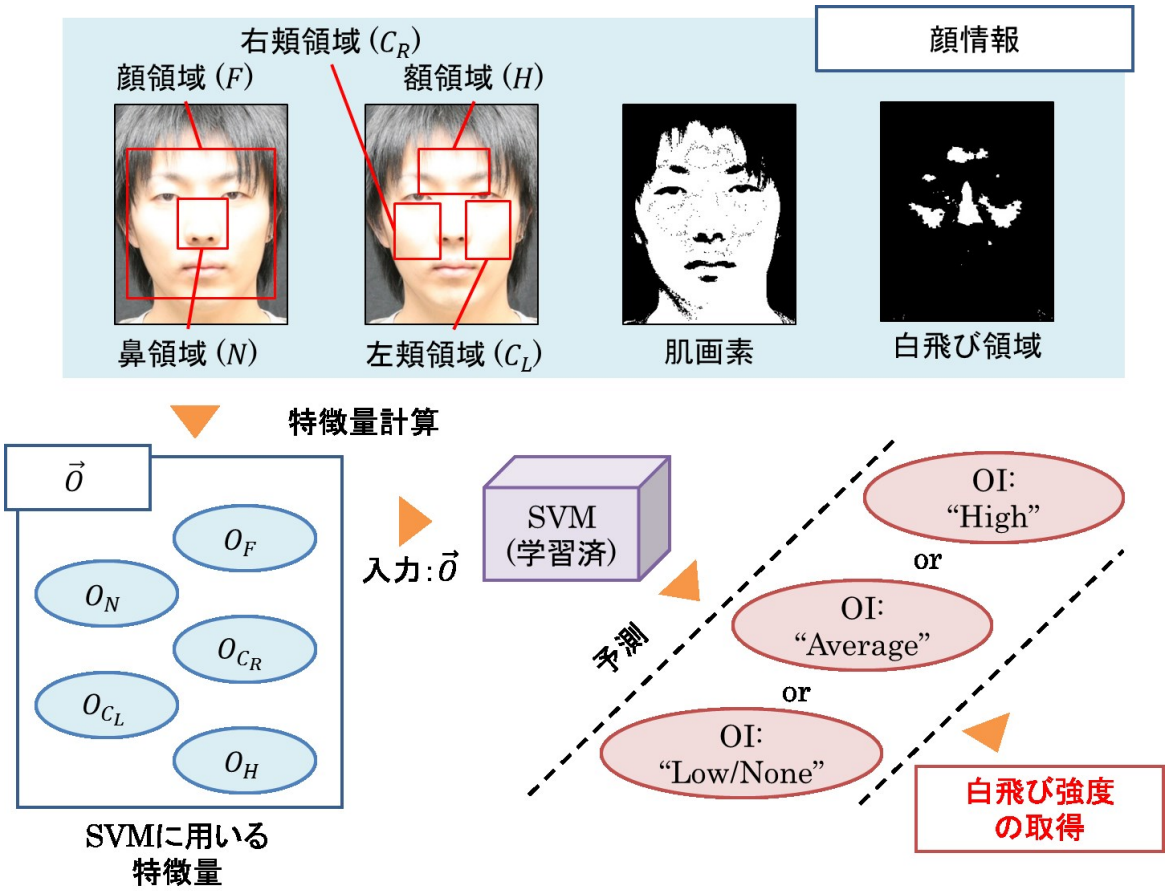


図 2.35　白飛び強度判定の概要

Akita University

2.6 実験および評価

2.6.1 実験概要

本研究では，白飛びの準定量評価指標「白飛び強度」およびその算出方法「白飛び強度判定アルゴリズム」を評価するため，以下に示す 3 つの実験を行った．

実験①：白飛び強度の整合性に関する実験

実験②：提案手法の有用性に関する実験

実験③：提案手法の適応性に関する実験

2.6.2 実験①（白飛び強度の整合性に関する実験）

本研究では，白飛びの準定量評価指標「白飛び強度」をヒューリスティクスな仮定により定義している．そこで，2.4.2 項で得られた主観評価結果と，データセット A に対する白飛び抽出結果の比較を行い，本研究における白飛び強度の整合性について検討を加えた．なお，白飛び抽出では閾値 T を予め設定する必要がある．本研究では，「ある 2 色をほぼ同等と判定する色差の範囲」の目安である許容色差[20]を用いて，閾値Tを設定した．具体的には，T には 0.6（1 級，厳格色差），1.2（2 級，実用色差 a），2.5（3 級，実用色差 b），5.0（4 級）の合計 4 種類を用いた．許容色差の分類[20]を表 2.5 にまとめる．

表 2.5　許容色差の分類[20]（着色箇所は閾値Tの候補を示す）

色差の大きさ	名称	摘要
~0.2	測色不能領域	
0.3	識別色差	同一物体の測色再現精度
0.6	1級 （厳格色差）	各種の誤差要因を考えた場合の実用的な許容差の限界
1.2	2級 （実用色差a）	並べて判定した場合に，ほとんどの人が容易に色差を認めることができる．マンセルAAA級，防衛庁OD色
2.5	3級 （実用色差b）	離間して判定した場合に，ほぼ同一と認めることができる．マンセルAA級，JIS標準色票
5.0	4級	経時比較した場合に，ほぼ同一と認めることができる．マンセルA級
10.0	5級	マーキングペン（JIS S 6037-1992）
20.0	6級	配管系の識別表示（JIA Z 9102-1987）など

Akita University

2.6.3 実験②（提案手法の有用性に関する実験）

2.6.3.1 目視による白飛びの定性評価

本研究では，ディジタル写真を日常的に撮影・利用している 11 名（20 代男性 8 名，女性 3 名）がデータセット B（全 180 枚）および C（全 648 枚）に対して目視による主観評価を行い，これらの結果を目視判定結果とした．具体的には，評価者は「証明写真[9]やプロフィール写真としての利用」を目的とし，人物写真 1 枚ずつに対して，以下に示す 3 項目の基準を用いて評価を行った．

(a) 白飛びが無い，または白飛びが生じているが証明写真として利用可能である（閲覧者にポジティブな影響を与える）．
(b) 白飛びがあり，証明写真としての利用は困難（閲覧者にネガティブな影響を与える）．
(c) 上記(a)，(b)のどちらか判断しかねる．

このとき，上記評価（(a)～(c)）をそれぞれ白飛び強度「無・弱（1）」，「強（3）」，「中（2）」と見なし，対応値を人物写真に対する評価値とした．次に，人物写真 i（i=1～828）に対する評価値の平均a_iおよび分散v_iとa_1～a_{828}に対する分散V_aを算出した．さらに，v_iがV_a以下である場合，評価にばらつきがないと仮定し，a_iが 1.5 以下であるものを「無・弱」，a_iが 2.5 を上回るものを「強」，それ以外を「中」と評価した．最後に，評価のばらつきを示すv_iがV_aを上回る場合，評価にばらつきがあると仮定し，これを白飛び強度「中」と評価した．

上記手順で得られた目視判定結果と，提案手法により顔画像の白飛びを準定量的に評価した結果を比較し，提案手法の有用性について検討を加えた．

2.6.3.2 SVM パラメータの設定

本研究では，データセット B を用いて作成した教師データを基に，白飛び解析（2.5.3 項参照）に用いる最適な SVM パラメータを設定した．具体的には，入力教師データを特徴量ベクトル$\vec{O}$（2.5.3.3 目参照），出力教師データを目視判定結果とし，教師あり学習を行った．このとき，Cは1.0×10^{-3}～1.0×10^{3}において$10^{0.25}$倍刻みの 25 種，γは1.0×10^{-5}～1.0×10^{5}において$10^{0.5}$倍刻みの 21 種をそれぞれ変化させ，合計 525 種の SVM パラメータを用意した．さらに，パラメータ毎に leave-one-out 法[5]を用いた教師データの認識を行い，SVM の認識率Rをそれぞれ算出した．認識率Rは，上記認識結果に基づき，「本来のクラス（目視判定結果）と同じクラスとして認識が行われた教師データ数」を「全教師データ数」で除した値である．本研究では，Rを最大にする SVM パラメータを提案手法に適用し，データセット C に対する白飛び強度判定結果を取得した．

Akita University

2.6.4 実験③（提案手法の適応性に関する実験）

証明写真やプロフィール写真などに用いる顔画像の検索を想定し，白飛び強度を用いた顔画像の絞り込み精度について検討を加えた．また，一般的な人物写真では，様々な方向を向いた人物が撮像されている．このため，正面向きの顔画像のみを含むデータセット C に加え，顔向きの異なる顔画像を含むデータセット E も対象とし，提案手法の適応性について検討を加えた．

2.6.4.1 写真選定における顔画像の印象と顔の向きに関する検討

本研究では，「顔画像の顔の向きがユーザに与える影響（顔向影響）」について検討を加え，絞り込み対象となる顔画像の顔の向きを設定した．はじめに，データセット D を用いて，顔の向きのみが異なる同一被験者の顔画像 13 枚を 1 セットとし，合計 5 つの顔画像セット（D_1～D_5：被験者 5 名に対応）を作成した．なお，明るさレベルは 2.4.2 節において主観評価平均値（ASV：顔画像に対する主観評価値の平均）が最大であったK=4 である．顔画像セット例を図 2.36 に示す．次に，評価者 16 名（20 代男性 13 名，女性 3 名）が各顔画像セットに対し，2.4.1 項の手順 1「主観評価」，手順 2「アンケートへの回答」を行った．次に，主観評価項目(A)～(E)をそれぞれ 5～1 の範囲（1 刻み）で数値化し，ASVを算出した．顔画像の顔向きとASVの関連を図 2.37 に示す．

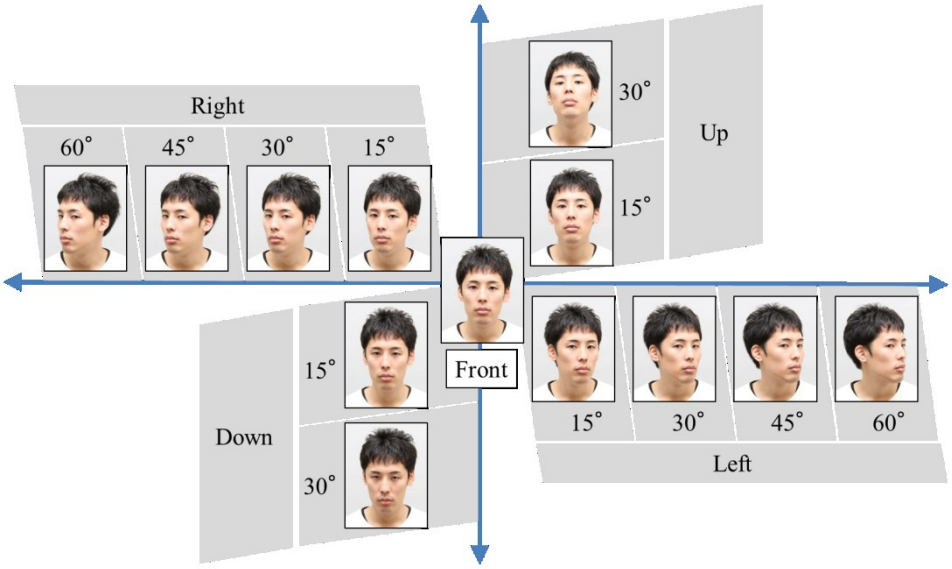


図 2.36　顔の向きのみが異なる同一被験者の顔画像例（被験者D_5）

Akita University

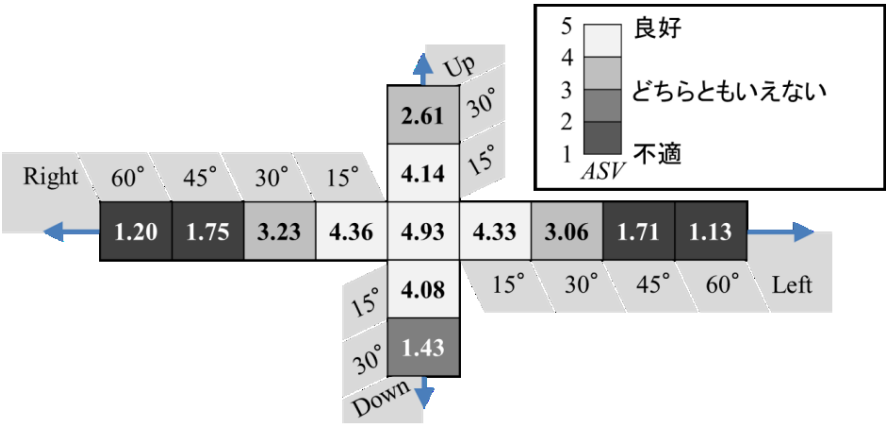


図 2.37　顔画像の顔向きと*ASV*の関連

顔の向きが正面，左右 15°，上下 15°の顔画像において，各被験者の*ASV*の平均は 4.0 より大きい値を示している．また，アンケートの結果，「良好」とした理由としては「おおむね正面を向いている」などの回答を，「不適」とした理由としては「顔が外側へ向きすぎている」などの回答をそれぞれ得た．このことは，顔の向きが正面，左右 15°，上下 15°の顔画像における顔向影響は良好であることを示唆している．そこで本研究では，顔向影響が白飛び強度に与える影響を考慮し，顔画像の印象が良好であるこれら 5 つの顔の向きを対象とし，提案手法の適応性に関する検討を加えた．

2.6.4.2　目視による印象評価

評価者 9 名（20 代男性 6 名，女性 3 名）がデータセット E（全 540 枚）に対して，顔の向きに着目した主観評価および明るさに着目した主観評価を行った．具体的には，各被験者に対し，以下の手順で 2.4.1 項の手順 1「主観評価」を行った．

(a) 明るさのみが異なる顔画像（正面）12 枚をランダムに配置し，主観評価を行った．

(b) 顔の向きのみが異なる顔画像（(a)において，最も順位の高い顔画像と同じ明るさレベル）5 枚をランダムに配置し，主観評価を行った．

(c) 上下左右各 15°の顔画像セットに対して主観評価をそれぞれ行った．なお，評価者は(b)において，顔の向きに着目した主観評価を行っているため，(c)では明るさに着目した主観評価を行っている．

各顔画像に対する白飛び強度は，明るさに着目した主観評価結果を基に算出した．具体的には，明るさに着目した主観評価値の平均および分散を算出し，分散が 1 を上回る場合，主観評価項目に対して 2 段階以上のずれが生じる（例：「どちらかといえば公開したい」が「どちらかといえば公開したくない」となる）と

Akita University

仮定し，これを白飛び強度「中」と評価した．それ以外の場合は，主観評価値の平均（ASV）が 2.5 以下であるものを「強」，3.5 を上回るものを「無・弱」，それ以外を「中」とそれぞれ評価した．なお，本項では，白飛びに着目した定性評価を目的としているため，「暗い」という理由に起因した主観評価は，適切な明るさの顔画像への評価と同等であると見なした．具体的には，各顔画像セットに対して，ASV が最大となる画像の明るさレベルを当該顔画像セットにおける適切な明るさレベル K_Sとし，K_Sより明るさレベルの小さい顔画像の目視判定結果には，明るさレベルK_Sの顔画像の目視判定結果を用いた．

2.6.4.3 提案手法の適応性の評価

白飛び強度を用いて，白飛びのない高品質な顔画像を検索する場合，検索質問には「顔部の白飛びがユーザにポジティブな影響を与える人物写真の抽出」（以下，検索質問 A と定義する）および「顔部の白飛びがユーザにネガティブな影響を与える人物写真の除外」（以下，検索質問 B と定義する）が考えられる．すなわち，白飛び強度の定義に基づき，検索質問 A は白飛び強度「無・弱」である画像への絞り込み，検索質問 B は白飛び強度「無・弱・中」である画像への絞り込みであると考える．

本研究では，データセット C および E を対象とし，これらの検索質問を用いた顔画像の絞り込み性能について検討を加えた．具体的には，検索結果画像数をN，対象データセットに含まれる正解画像数をC，検索結果中の正解画像数をRとした．さらに，これらを用いて適合率（$Precision$），再現率（$Recall$），並びに検索性能 F 値（$F-measure$, 適合率と再現率の調和平均）を算出し（(2.10)式, (2.11)式参照），提案手法を用いた人物写真の絞り込み性能を評価した．

$$Precision = \frac{R}{N}, \quad Recall = \frac{R}{C} \tag{2.10}$$

$$F-measure = \frac{2R}{N+C} \tag{2.11}$$

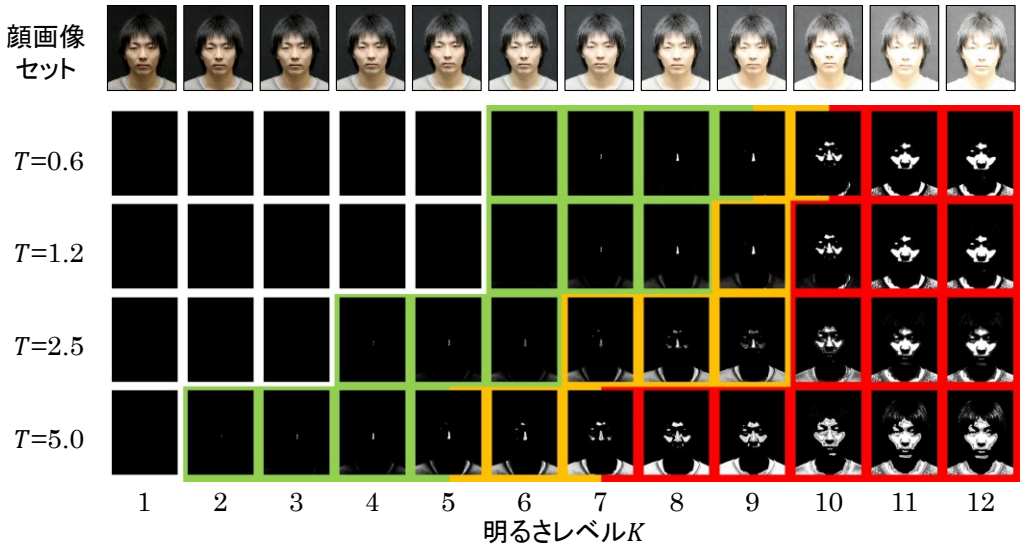
なお，検索質問 A において，Nは検索結果が白飛び強度「無・弱」である画像数，Cは目視判定が「無・弱」である画像数，Rは検索結果中に含まれる目視判定「無・弱」の画像数である．なお，検索質問 B に対するN，C，Rは，上記条件における“「無・弱」”を“「無・弱・中」”と置き換えた場合の画像数である．

Akita University

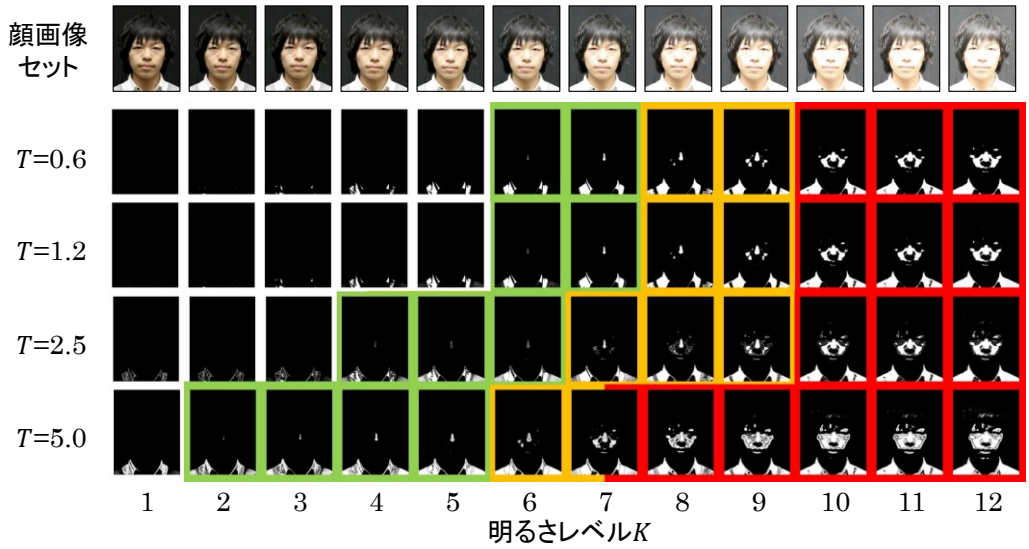
2.7 実験結果および検討

2.7.1 実験①（白飛び強度の整合性に関する実験）

提案手法を用いた白飛び抽出結果（図 2.38 参照）と主観評価結果（図 2.6 参照）を比較したところ，白飛び画素の増加に伴って主観評価平均値（ASV）が減少する傾向を認めた．また，白飛びは「鼻（図 2.38 緑枠）」→「鼻，頬，並びに額に点在（図 2.38 橙枠）」→「顔全体（図 2.38 赤枠）」の順に段階的に生じていることが明らかになった．なお，他の被験者についても同様の傾向が認められたことを確認している．このことは，専門家の知見およびアンケート結果と一致しており，提案手法において抽出した白飛びは，白飛び強度判定に用いる特徴量として有用であることを示唆している．



(a)被験者A_3



(b)被験者A_5

図 2.38　白飛び抽出結果に基づく白飛び箇所例

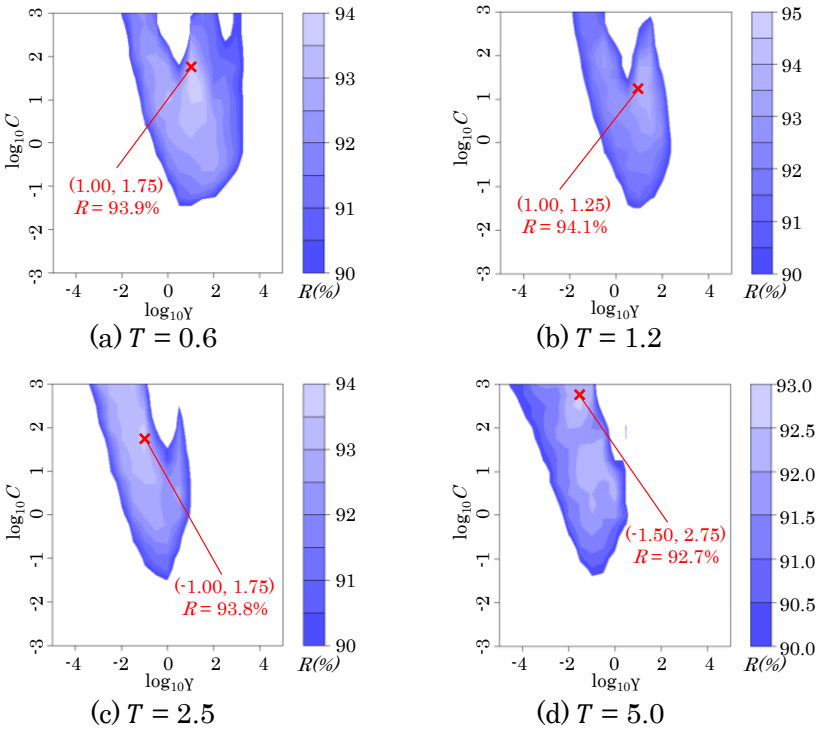
Akita University

2.7.2 実験②（白飛び強度の有用性に関する実験）

2.7.2.1 閾値の設定結果

白飛び抽出の閾値T毎に，SVM パラメータ（Cおよびγ）と認識率Rの関連を等高線図として取得した（図 2.39 参照）．なお，縦軸および横軸は$\log_{10} C$および$\log_{10} \gamma$をそれぞれ示している．また，色の明るさはレベル別に色分けした認識率Rを，図中クロスは，Rが最大となる座標$(\log_{10} \gamma, \log_{10} C)$をそれぞれ示している．なお，白色部分は$R$が 90%未満であることを示している．

クロス周辺の領域はRが 90%以上であり，$\log_{10} \gamma$が約-4.00 から約 3.00 までの範囲に，かつ，$\log_{10} C$が約-1.50 から 3.00 までの範囲にそれぞれ収まっていることがわかる．さらに，上記領域の詳細を見ると，T=5.0 の場合を除き，クロスに近づくほど，認識率が増加する傾向を認めた．このことは，クロス周辺に最適な SVM パラメータが存在する可能性の高いことを示唆している．そこで本研究では，Rが最大となるCおよびγを白飛び解析における SVM パラメータとして採用した（表 2.6 参照）．



(a) T = 0.6　(b) T = 1.2

(c) T = 2.5　(d) T = 5.0

図 2.39　SVM パラメータと認識率Rの関連を示す等高線グラフ

表 2.6　SVM パラメータの設定結果

T	0.6	1.2	2.5	5.0
C	$1.0 \times 10^{1.75}$	$1.0 \times 10^{1.25}$	$1.0 \times 10^{1.75}$	$1.0 \times 10^{2.75}$
γ	$1.0 \times 10^{1.00}$	$1.0 \times 10^{1.00}$	$1.0 \times 10^{-1.00}$	$1.0 \times 10^{-1.50}$
R	93.9%	94.1%	93.8%	92.7%

Akita University

2.7.2.2 白飛び強度判定結果

データセット C に対する目視判定結果と白飛び強度判定結果の一致率を表 2.7 に，白飛び強度判定結果例を図 2.40 にそれぞれ示す．すべての場合において，白飛び強度「強」の一致率は 96%以上と高い値を示していることがわかる．また，T=5.0 の場合を除き，「無・弱」の一致率は 87%より高い値を示している．特に，T=1.2 の場合において，「無・弱」の一致率は 93.0%と高い値を示した．一方，すべての場合において，「中」の一致率は低い値を示していることがわかる．しかしながら，不一致事例数をみると，T=0.6，1.2，2.5 の場合において目視判定結果と大きく異なる評価を行った白飛び強度の判定例（表 2.8 着色部：セル内の数値は左からT=0.6，1.2，2.5，5.0 のときの不一致事例数を示す）はそれぞれ 1 件，0 件，2 件と少なく，大半が「中」に関連して生じた誤判定であることがわかる．すなわち，提案手法の結果は，大きな誤判定が生じ難いことを示唆している．特に，T=1.2 の場合において，全体の一致率が 90.0%と高い値を示しており，提案手法は白飛び抽出における等色性の判断基準を実用色差 a（T=1.2）とした場合に最も良好な判定結果を得た．

以上の結果は，提案手法が白飛び強度を精度良く算出可能であることを示している．



(a)無・弱



(c)強



(b)中

図 2.40　白飛び強度判定結果例

Akita University

表 2.7　白飛び強度の一致率

白飛び強度	一致率			
	$T=0.6$	$T=1.2$	$T=2.5$	$T=5.0$
「無・弱」	87.9% (277/315)	93.0% (293/315)	87.9% (277/315)	71.4% (225/315)
「中」	66.3% (65/98)	62.2% (61/98)	49.0% (48/98)	24.5% (24/98)
「強」	96.6% (227/235)	97.4% (229/235)	97.4% (229/235)	99.6% (234/235)
合計	87.8% (569/648)	90.0% (583/648)	85.5% (554/648)	74.5% (483/648)

※ セル内の数値は目視判定結果と白飛び強度判定結果の一致率を示す．例えば，白飛び強度「強」の結果は，目視判定により白飛び強度「強」と判定された画像数を分母とし、提案手法と目視判定の両方で白飛び強度「強」と判定された画像数を分子とした割合である．

表 2.8　白飛び強度の不一致事例件数

VJ \ OI	無・弱	中	強
無・弱	–	37/22/36/71	1/0/2/19
中	6/12/7/0	–	27/25/43/74
強	0/0/0/0	8/6/6/1	–

※VJ・・・目視判定結果，OI・・・白飛び強度判定結果
※セル内の数値は左からT=0.6，1.2，2.5，5.0のときの不一致事例数

Akita University

2.7.3 実験③（白飛び強度の適応性に関する実験）

データセット C を対象とした検索質問 A による絞り込み（白飛び強度「無・弱」への絞り込み）結果を表 2.9 に，検索質問 B による絞り込み（「無・弱・中」への絞り込み）結果を表 2.10 にそれぞれ示す．また，データセット E に対する上記絞込み結果をそれぞれ表 2.11 および表 2.12 に示す. なお, 白飛び解析の SVM は，2.7.2.1 目で設定した SVM パラメータを採用し（表 2.6 参照），データセット B を用いて学習を行っている．

データセット C に対する絞り込み結果において，適合率は 96%以上と高い値を示していることがわかる．適合率が高いほど，検索結果は正解データ（検索質問に適合した結果）を多く含むことを意味しており，正確性の高い検索が行われたことを示している．一方，再現率は，T=1.2 における検索質問 A による絞り込みと，T=0.6，1.2 における検索質問 B による絞り込みにおいて，90%よりも高い値を示した．再現率が高いほど，より多くの正解データが検索されたことを意味しているため, 網羅性の高い検索が行われたことを示している．また, F 値（適合率と再現率の調和平均）は，T=5.0 の場合を除いて 92%以上を示しており，特に, T=1.2 の場合において, 94%以上と高い値を得ていることが明らかとなった．

表 2.9　検索質問 A を用いた絞り込み結果（データセット C 対象）

	$T=0.6$	$T=1.2$	$T=2.5$	$T=5.0$
適合率 (R/N)	97.9% (277/283)	96.1% (293/305)	97.5% (277/284)	100% (225/225)
再現率 (R/C)	87.9% (277/315)	93.0% (293/315)	87.9% (277/315)	71.4% (225/315)
$F-measure$	92.6%	94.5%	92.5%	83.3%

表 2.10　検索質問 B を用いた絞り込み結果（データセット C 対象）

	$T=0.6$	$T=1.2$	$T=2.5$	$T=5.0$
適合率 (R/N)	98.0% (385/393)	98.5% (388/394)	98.4% (368/374)	99.7% (320/321)
再現率 (R/C)	93.2% (385/413)	93.9% (388/413)	89.1% (368/413)	77.5% (320/413)
$F-measure$	95.5%	96.2%	93.5%	87.2%

Akita University

一方，データセット E に対する絞り込み結果において，適合率は，T=5.0 の場合において 80%を下回ったものの，それ以外の場合において，80%以上と高い値を示した．また，再現率は，すべての場合において 94%以上と高い値を示していることがわかる．さらに，F 値（適合率と再現率の調和平均）は，すべての場合において 80%以上を示しており，特に，T=0.6，1.2 における検索質問 B の絞り込みにおいて，91%以上と高い値を得ていることが明らかとなった．

以上の結果は，証明写真やプロフィール写真などに用いる顔画像の検索において，正面向きの顔画像を対象とした場合，提案手法が高い精度で白飛びに着目した顔画像の絞り込みが可能であることを示している．また，顔の向きが異なる顔画像を対象とした場合においても，提案手法が白飛び強度を算出可能であることを示している．

表 2.11　検索質問 A を用いた絞り込み結果（データセット E 対象）

	$T=0.6$	$T=1.2$	$T=2.5$	$T=5.0$
適合率 (R/N)	80.0% (216/270)	81.4% (214/263)	79.6% (214/269)	75.7% (203/268)
再現率 (R/C)	100% (216/216)	99.1% (214/216)	99.1% (214/216)	94.0% (203/216)
$F-measure$	88.9%	89.4%	88.2%	83.9%

表 2.12　検索質問 B を用いた絞り込み結果（データセット E 対象）

	$T=0.6$	$T=1.2$	$T=2.5$	$T=5.0$
Precision (R/N)	85.9% (287/334)	90.7% (282/311)	82.5% (283/343)	78.2% (283/362)
Recall (R/C)	98.3% (287/292)	96.6% (282/292)	96.9% (283/292)	96.9% (283/292)
$F-measure$	91.7%	93.5%	89.1%	86.5%

Akita University

●失敗事例に関する検討

データセット E の分類における不一致事例数（顔の向き別）を表 2.13 に示す．なお，セル内の数値は左からT=0.6，1.2，2.5，5.0 のときの不一致事例数を示している．目視判定結果と大きく異なる評価となった白飛び強度の判定例（表 2.13 着色部）は，2.7.2.2 目で得られた結果（表 2.8 参照）と比べると，全体的に不一致事例件数が増加していることがわかる．しかしながら，表 2.13 着色部において，顔向きが「正面」の場合に不一致事例は存在せず，「正面」以外の向きの顔画像において，目視判定結果と大きく異なる評価を行っていることがわかる．このため，「正面」以外の顔画像に対する白飛び強度の判定精度向上のためには，顔向き変化にロバストな白飛び頻出領域の設定方法について検討を加える必要がある．

表 2.13　顔向き別の白飛び強度不一致事例件数

VJ ＼ OI	無・弱	中	強	顔向き
無・弱	–	0/0/0/1	0/0/0/0	Front
		0/0/0/6	0/0/1/2	Right 15°
		0/2/1/1	0/0/0/1	Left 15°
		0/0/0/0	0/0/0/0	Up 15°
		0/0/0/0	0/0/0/2	Down 15°
	–	0/2/1/8	0/0/1/5	All
中	5/5/8/7	–	1/2/1/1	Front
	8/7/8/6		2/4/3/0	Right 15°
	9/8/7/9		1/2/2/2	Left 15°
	17/15/17/17		0/1/0/0	Up 15°
	11/10/10/11		1/1/2/1	Down 15°
	50/45/50/50	–	5/10/8/4	All
強	0/0/0/0	12/5/15/17	–	Front
	1/1/0/2	6/3/8/10		Right 15°
	0/0/0/4	4/3/8/10		Left 15°
	0/0/1/4	9/7/7/7		Up 15°
	3/3/4/5	12/7/17/20		Down 15°
	4/4/5/15	43/25/55/64	–	All

※VJ･･･目視判定結果，OI･･･白飛び強度判定結果
※セル内の数値は左からT=0.6，1.2，2.5，5.0のときの不一致事例数

Akita University

2.8 まとめ

本研究では，証明写真やプロフィール写真などに利用する人物写真の選定支援を目的として，ディジタル写真撮影の専門家の知識を画像処理技術として組み込み，顔画像における白飛びを準定量的に評価するアルゴリズムを提案した．得られた成果を以下にまとめる．

(1) 顔画像における白飛びの定量評価値として「白飛び率」を，白飛びの準定量評価指標白飛び強度」をそれぞれ定義し，白飛び率を用いて白飛び強度を判定する手法を提案した．その結果，正面顔画像に対する白飛びを準定量的に評価可能であることを明らかにした．

(2) 適切な SVM パラメータを用いた提案手法は，90.0%の精度で白飛び強度を判定可能であることを明らかにした．

(3) 証明写真やプロフィール写真などに利用する顔画像の検索を想定し，正面顔画像に対して，適切な SVM パラメータを用いた提案手法により“白飛び強度「無・弱」への絞り込み”および“白飛び強度「無・弱・中」への絞り込み”を行った．この結果，検索性能 F 値はそれぞれ 94.5%および 96.2%を示し，白飛びのない高品質な顔画像の検索が可能であることを明らかにした．

Akita University

第 2 章　参考文献

[1] Facebook, Inc., “Facebook”, https://www.facebook.com/

[2] 佐藤，児守，青木，小林，“顔写真の明るさとコントラストが印象形成に与える影響”，映像情報メディア学会誌，vol.63，no.11，pp.1637-1644 (2009)

[3] T. Murakami, Y. Kageyama, M. Nishida, and Y. Shirasawa, “Features for image retrieval: the impression degree of a human image by overexposure occurring in the facial area”, SICE ANNUAL CONFERENCE 2012, TuP01-04, pp.982-987 (2012)

[4] ソニー株式会社，“露出制御装置および撮像装置”，特開 2007-201979（2007-08-09）

[5] 阿部，“パターン認識のためのサポートベクトルマシン入門”，森北出版株式会社 (2011)

[6] 樋口，“写真用語の基礎知識”，株式会社日本カメラ社 (2010)

[7] DIGITABLE Web Site, http://www.digitable.info/

[8] Canon, “Canon SPEEDLITE 580EXII 使用説明書”, CANON INC. (2008)

[9] 総務省 Web サイト，
http://www.mofa.go.jp/mofaj/toko/passport/ic_photo.html

[10] P. Viola and M. Jones, “Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features”, Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, vol.1, pp.I-511 - I-518 (2001)

[11] Willow Garage Web Site, “OpenCV”, http://www.willowgarage.com

[12] 白澤，西田，西，“色彩情報を用いたファジィ推論による口唇形状抽出に関する検討”，電気学会論文誌 C，vol.125，no.9，pp.1430-1437 (2005)

[13] 戸塚，景山，西田，白澤，大瀧，“ディジタル画像を対象とする特定人物判別に関する検討”，2008 年映像情報メディア学会冬季大会，8-5 (2008)

[14] 白澤，大瀧，“色被りにロバストな肌領域抽出法～「色温度に独立な特徴量」と「色温度に従属な特徴量」を併用した肌領域抽出～”，画像ラボ，vol.9，no.11，pp.36-41 (2008)

[15] 日本色彩学会，“新編　色彩科学ハンドブック［第 3 版］”，東京大学出版会 (2011)

[16] Y. Freund and R. Schapire, “A Short Introduction to Boosting”, Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence, vol.14, no.5, pp.771-780 (1999)

Akita University

[17] 金森，畑埜，渡辺，“知能情報科学シリーズ　ブースティング”，森北出版株式会社（2006）
[18] S.M Smith and J.M Brady, “SUSAN - A New Approach to Low Level Image Processing”, Technical Report TR95SMS1c (1995)
[19] 高木，下田，“新編　画像解析ハンドブック”，東京大学出版会（2004）
[20] 小松原，“色彩ワンポイント 2”，日本規格協会（1993）
[21] The R Project for Statistical Computing, http://www.r-project.org/

Akita University

第 3 章　色温度特徴に着目した背景差し替えの違和感軽減に関する検討

3.1 はじめに

コンテンツ高品質化を目的とし，ブレ・ボケ・白飛び・黒潰れなどの写真劣化要因を軽減する技術が開発されてきた一方で，コンテンツ高品質化のための新たなアプローチとして，コンテンツに特殊効果を付与する方法が検討されている．本研究では，特殊効果付与型のコンテンツ高品質化技術として，ビデオチャットにおける背景差し替え手法に着目し検討を加えた．

ビデオチャットとは，ネットワークを介して相手の映像を見ながら会話する方法のことであり，情報通信技術の発展に伴って広く利用されるようになった．特に，スマートフォンやタブレット端末のようなカメラを内蔵した携帯情報通信端末の普及に伴い，端末の標準機能や Skype[1]などの通話アプリケーションを用いることで手軽なビデオチャットの利用が可能となっている．また，不特定多数の相手を対象としたコミュニケーションとして，Ustream[2]のような映像配信アプリケーションを用い，自身の映像をビデオチャットのように配信するケースも多く見られ，人物映像をリアルタイムに配信・視聴する機会は増加傾向にある．

一方，情報発信・共有が容易になった今日において，個人情報は意図せず流出する場合がある．例えば，ビデオチャットにおいて，カメラから得られた映像を加工することなく相手に送信した場合，人物の背景情報（オフィスなどの部屋の内部）に含まれる守秘情報やプライバシ情報も相手に送信される．この対策として，オブジェクト（前景となる人物領域）のみをリアルタイムに抽出し[3]-[6]，目的に応じて背景情報を任意の画像や映像に差し替える方法が報告されている．また，風景画像を用いた背景差し替え法は，「風景画像の示す場所にいるような臨場感」を演出できるため，ビデオチャットのエンターテイメント性を向上させるツールとしても利用されている[7]．このように，ビデオチャットにおける背景差し替えは，コンテンツに特殊効果を付与する形でコンテンツの品質を向上させる技術と言える．しかしながら，人物領域と差し替え画像の合成結果（背差し替え映像）に対してユーザが違和感を覚えた場合，背景差し替え映像の臨場感が損なわれる可能性がある．

背景差し替え映像に対する違和感は，「人物領域の過剰抽出・欠損」のような形状情報に関する問題や，「カメラ映像の色被り」のような色情報に関する問題に起因して生じると考える．前者への対策としては，動的背景更新による物体検出[4]やクロマキー処理[5]，さらには動的輪郭モデルを用いた輪郭検出[8]を用いた前景抽出の精度向上[6]などの方法がある．また，後者への対策としては，環境光や被写体の色に影響されることなく正確に光源色を特定し，ホワイトバランス調

Akita University

整を行う装置[9]などを利用することで，色被りの少ない自然な色合いのカメラ映像を取得する方法がある．しかしながら，「夕焼け」や「曇天」のような全体的に赤みや青みを帯びた（色被りした）風景画像を新しい背景として用いた場合，その背景の色味（有彩色の帯び具合）と人物領域における色味に差異が生じる（図 3.1(c)参照）．すなわち，背景差し替え結果において，前景と背景がそれぞれ異なる色の光源に照らされているように見えることから，ユーザは背景差し替え結果に違和感を覚える可能性がある．このため，風景画像の光源色に合うように人物領域の色味を変換することは，背景差し替えの違和感を軽減可能にすると考える（図 3.1(d)参照）．

画像の色味を変換する手法として，von Kries モデルに基づく色順応変換が知られている[10]．上記方法は，3×3 の変換行列を用いて，照明光の色によらず対象の色が不変であるような画像を生成可能である．具体的には，光源 A と光源 B の色に対応した錐体出力（色を感じる視細胞の反応値）[10]がわかれば，ある画像の光源 A を別の光源 B に置き換えたような画像の色味変換が可能である．また，光源色は，黒体（完全放射体）が放射する光を黒体の絶対温度で表したものである「色温度」を用いて定量的に扱うことができ，その色度座標も取得可能である[10]-[13]．色度座標がわかれば，いくつかの色変換を経て，光源の錐体出力を取得することができる[12]．そこで本研究では，色温度特徴に着目した色順応変換を施し，背景差し替えの違和感軽減を行う．

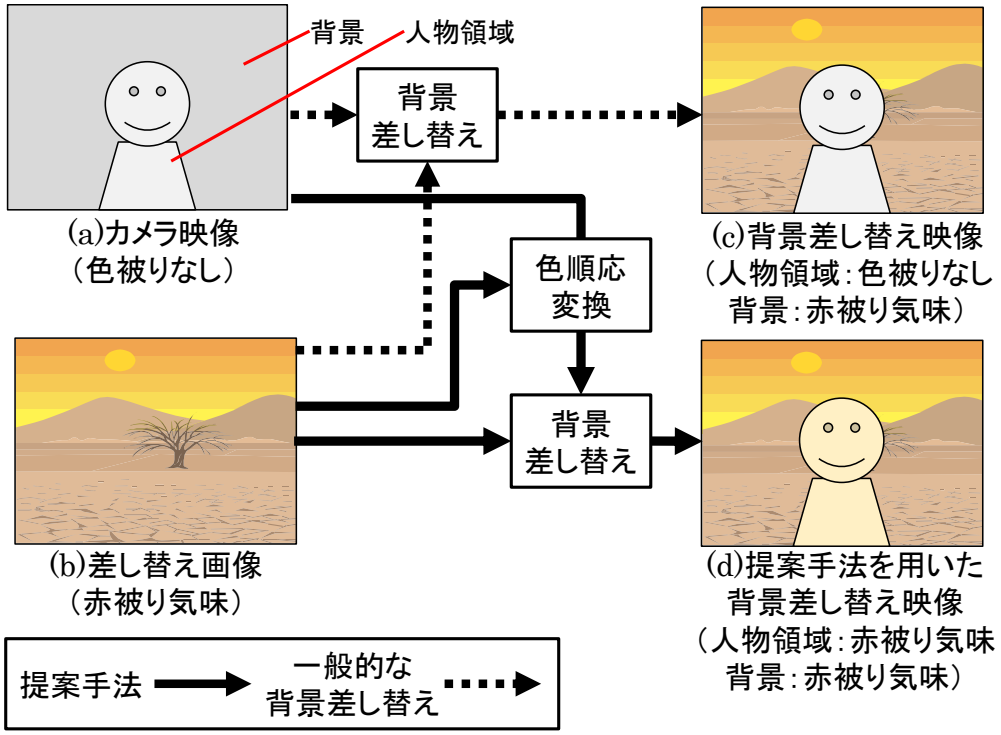


図 3.1　提案手法を用いた背景差し替えのイメージ

Akita University

色順応変換の実用的な使い方として，ホワイトバランス補正がある．例えば，記憶色の性質に基づき，顔の肌色を用いて推定した色温度を用いてホワイトバランス補正を行う方法[14]などの色被り軽減手法が報告されている．また，文献[15]では，色温度推定結果に対する評価として，色順応変換を利用した色補正を行っている．しかしながら，背景差し替えの違和感軽減を目的とし，色順応変換を利用して風景画像の光源色に合うように人物領域を色被りさせる手法に関する研究は，筆者らの調査した範囲では見当たらない．

そこで本研究では，ビデオチャットにおけるプライバシ配慮およびエンターテイメント性を付与可能なコンテンツ高品質化技術の開発を目的とし，色温度特徴に着目した背景差し替えの違和感軽減法を提案する．提案手法では，はじめに，前景であるカメラ画像と新しい背景である風景画像に対して光源色推定を行った．次に，推定した光源色情報を用いて前景の色順応変換行列を取得し，前景に対して色順応変換を施した．最後に，色順応変換結果の背景部分を風景画像に差し替え，背景差し替え映像を取得した．提案手法の概要を図 3.2 に示す．さらに，スマートフォンやタブレット端末での利用を想定し，提案手法を組み込んだ Android アプリケーション[16]を作成した．

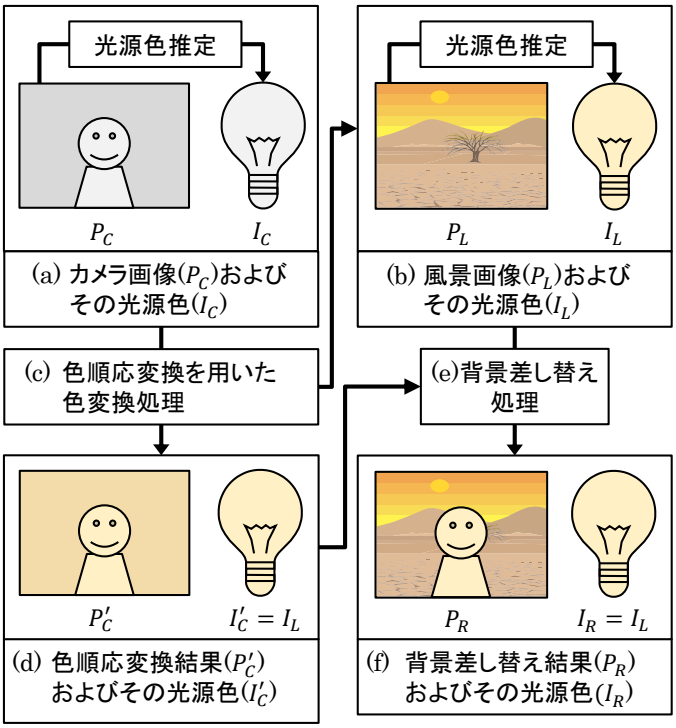


図 3.2　提案手法の概要

Akita University

3.2 色順応変換

人間の目は，赤，緑，青を感じる 3 種類の受光器を有しており，照明光に応じて各受光器の感度バランスを調節する機能を備えている[10][12]．このため，屋外と室内のような照明光の異なる環境において，同一物体の色の見えはあまり変化しない．上記機能を式化したものが，von Kries の色順応予測式であり，任意の光源下での色の見えを推定することが可能である[10]．そこで本研究では，背景差し替えの違和感軽減を目的とし，新しい背景（風景画像）の光源色に合うように前景（人物領域）の色変換を行う．すなわち，色順応予測式を用いて，風景画像の光源下での人物領域の色の見えを推定する．なお，背景差し替えの違和感軽減を目的とした人物領域の色順応変換に関する研究は，筆者らの調査した範囲では見当たらない．

von Kries モデルに基づく色順応変換は，3×3 の変換行列を用いた行列計算である．具体的には，カメラ画像の画素値 (R_S, G_S, B_S) と色順応変換行列 $\boldsymbol{N}$ （3 行 3 列）の行列積から出力画素値 (R_D, G_D, B_D) を取得する（(3.1)式参照）．すなわち，カメラ画像における光源色を風景画像の光源色に変換するような変換行列 $\boldsymbol{N}$ を予め生成することができれば，前景と新しい背景の色味の違いに起因した背景差し替えの違和感が軽減可能になると考える．色順応変換行列の生成を行う色順応変換モジュールの概要を図 3.3 に示す．

$$\begin{pmatrix} R_D \\ G_D \\ B_D \end{pmatrix} = \boldsymbol{N} \begin{pmatrix} R_S \\ G_S \\ B_S \end{pmatrix} \tag{3.1}$$

そこで本論文では，色順応変換行列の取得方法を 3.2.1 節に，色順応変換行列取得に用いる光源色の取得方法を 3.2.2 節にそれぞれ記す．

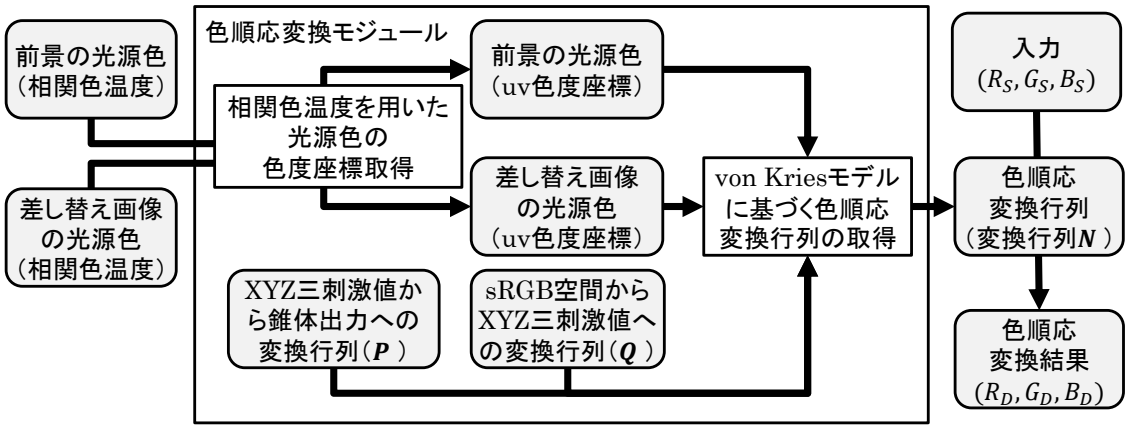


図 3.3　色順応変換モジュールの概要

Akita University

3.2.1 von Kries モデルに基づく色順応変換行列の生成

(3.1)式における変換行列 $\boldsymbol{N}$ は，(I) von Kries の色順応予測式，(II) 三刺激値 $(\boldsymbol{X},\boldsymbol{Y},\boldsymbol{Z})$ から錐体出力 $(\boldsymbol{L},\boldsymbol{M},\boldsymbol{S})$ への変換行列 $\boldsymbol{P}$（(3.2)式参照），並びに(III) カメラ画像の RGB 値 $(\boldsymbol{R},\boldsymbol{G},\boldsymbol{B})$ から三刺激値 $(\boldsymbol{X},\boldsymbol{Y},\boldsymbol{Z})$ への変換行列 $\boldsymbol{Q}$（(3.3)式参照）を用いて導出される．なお，変換行列 $\boldsymbol{P}$，$\boldsymbol{Q}$ はそれぞれ 3×3 の定数行列である．

$$\begin{pmatrix} L \\ M \\ S \end{pmatrix} = \boldsymbol{P} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \tag{3.2}$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \boldsymbol{Q} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \tag{3.3}$$

von Kries の色順応予測式は, XYZ 三刺激値を用いた物体色 (X_S, Y_S, Z_S) に対し，照明光の変化に伴って変化した物体の色（対応色）を (X_D, Y_D, Z_D) とした場合，対応色を定量的に求める方法である[10]．照明光の変化に伴う物体色の変化を行列 $\boldsymbol{U}$（3×3 行列）とした場合，物体色と対応色の関係は(3.4)式で表現される．

$$\begin{pmatrix} X_D \\ Y_D \\ Z_D \end{pmatrix} = \boldsymbol{U} \begin{pmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{pmatrix} \tag{3.4}$$

このとき，物体色と対応色の錐体出力はそれぞれ(3.5)式，(3.6)式となる．

$$\begin{pmatrix} L_S \\ M_S \\ S_S \end{pmatrix} = \boldsymbol{P} \begin{pmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{pmatrix} \tag{3.5}$$

$$\begin{pmatrix} L_D \\ M_D \\ S_D \end{pmatrix} = \boldsymbol{P} \begin{pmatrix} X_D \\ Y_D \\ Z_D \end{pmatrix} \tag{3.6}$$

従って，変換行列 $\boldsymbol{U}$ は(3.4)式～(3.6)式を用いて，(3.7)式のように導出される．

$$\boldsymbol{U} = \boldsymbol{P}^{-1} \begin{pmatrix} L_D/L_S & 0 & 0 \\ 0 & M_D/M_S & 0 \\ 0 & 0 & S_D/S_S \end{pmatrix} \boldsymbol{P} \tag{3.7}$$

なお，物体色の錐体出力 (L_S, M_S, S_S) と対応色の錐体出力 (L_D, M_D, S_D) はそれぞれ，前景（人物領域）と背景（風景画像）における光源色の相関色温度に対応した uv 色度座標（3.3.2 項参照）を基に算出する．具体的には，光源色の uv 色度座標を xy 色度座標→正規化 XYZ 三刺激値→錐体出力の順に変換して取得した値を用いる（3.3.1 項参照）．

以上から，カメラ画像の画素値と出力画素の RGB 値は，(3.8)式のように定義

される．また，変換行列 $\boldsymbol{N}$ は(3.9)式のように定義される．

$$\begin{pmatrix} R_D \\ G_D \\ B_D \end{pmatrix} = \boldsymbol{Q}^{-1}\boldsymbol{U}\boldsymbol{Q}\begin{pmatrix} R_S \\ G_S \\ B_S \end{pmatrix} \tag{3.8}$$

$$\boldsymbol{N} = \boldsymbol{Q}^{-1}\boldsymbol{P}^{-1}\begin{pmatrix} L_D/L_S & 0 & 0 \\ 0 & M_D/M_S & 0 \\ 0 & 0 & S_D/S_S \end{pmatrix}\boldsymbol{P}\boldsymbol{Q} \tag{3.9}$$

以上により，色順応変換行列 $\boldsymbol{N}$ が導出可能となり，カメラ画像に対する色順応変換は(3.1)式によって実現される．なお，一般的なディジタル画像は sRGB の規格に則って数値化されているため，変換行列$\boldsymbol{Q}$は sRGB 空間から XYZ 三刺激値への変換行列を用いた（(3.10)式参照）．変換行列 $\boldsymbol{P}$ には，JIS で推奨されている Bradford 変換行列[17]（(3.11)式参照）および D65 光源に正規化された Hunt-Pointer-Esteves（HPE）変換行列[10][18]（(3.12)式参照）をそれぞれ $\boldsymbol{P}_B$, $\boldsymbol{P}_H$ として用いた（詳細は 3.4 節参照）．

$$\boldsymbol{Q} = \begin{pmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{pmatrix} \tag{3.10}$$

$$\boldsymbol{P}_B = \begin{pmatrix} 0.8951 & 0.2664 & -0.1614 \\ -0.7502 & 1.7135 & 0.0367 \\ 0.0389 & -0.0685 & 1.0296 \end{pmatrix} \tag{3.11}$$

$$\boldsymbol{P}_H = \begin{pmatrix} 0.4002 & 0.7076 & -0.0808 \\ -0.2263 & 1.1653 & 0.0457 \\ 0 & 0 & 0.9182 \end{pmatrix} \tag{3.12}$$

3.2.2 色温度特徴に着目した風景画像の光源色推定処理

(3.1)式に示す色順応変換を行うためには，(3.9)式に示す色順応変換行列 $\boldsymbol{N}$ を生成する必要がある．すなわち，カメラ画像が示す風景と新しい背景として用いる風景画像のそれぞれに対して光源色の推定を行い，それに対応した錐体出力 (L, M, S)をそれぞれ求める必要がある．そこで本研究では，光の色を定量的に表現する指標である「色温度」に着目し，風景画像の光源色推定を行った．

色温度とは，黒体（完全放射体）が放射する光を黒体の絶対温度（K：ケルビン）で表したものである[10]-[12]．例えば，「T ケルビンの光源色」は「T ケルビンの黒体が放射する光の色」として定義される．また，黒体の一連の絶対温度における放射の色度点を結んだ線を黒体放射軌跡と呼ぶ．光源の色度点が黒体放射軌跡上にない場合，光源色は最も近似した黒体放射の色温度で表現され，これを「相関色温度」と呼ぶ．相関色温度は，uv 色度図（CIE 1960 UCS）における黒体放射軌跡に直交する直線（等色温度線）を用いて求められる[12]．uv 色度図における黒体放射軌跡および等色温度線の例を図 3.4 に示す．

一方，白熱電球のような人工光源の光は，黒体の放射する光によって規定されているため，黒体放射軌跡上の色度を用いて近似的に表現可能と考える．また，自然光の色度を表す昼光軌跡は黒体軌跡とほぼ一致するため[11]，自然光源の光も黒体軌跡上の色度を用いて近似的に表現可能と考える．そこで本研究では，すべての光源を黒体放射軌跡に基づくと仮定し，光源色の色度座標取得を行った．計算手順を以下にまとめる．

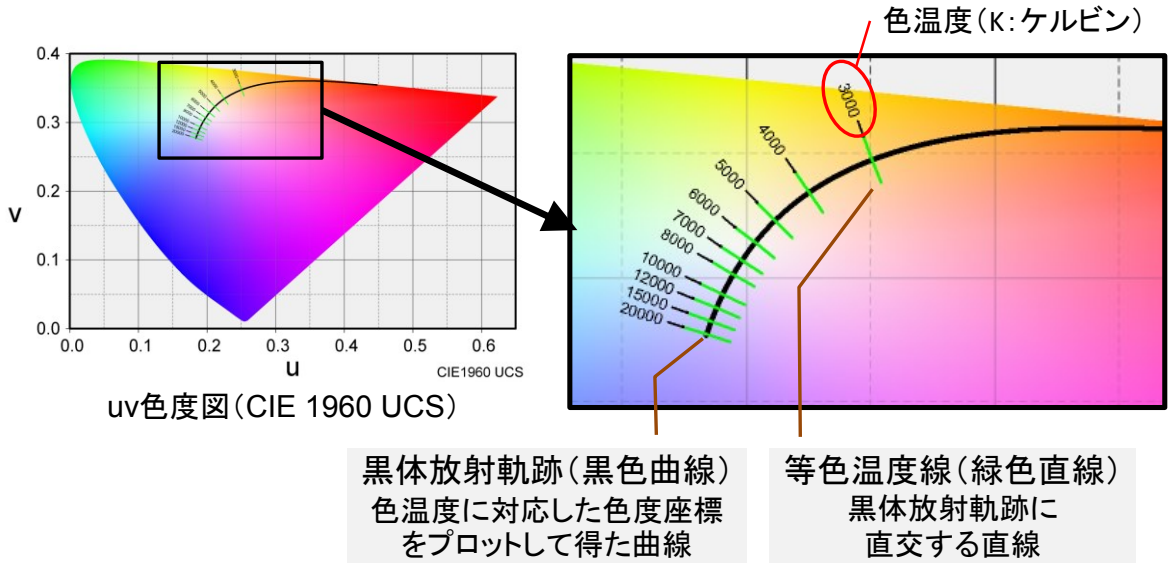


図 3.4　黒体放射軌跡および等色温度線の例

（上記 uv 色度図は色度図作成ソフト ColorAC[19]を用いて作成）

Akita University

(1)灰色仮説に基づく光源色の推定

情景中の物体色の平均が灰色に近いという仮説（灰色仮説）[20]に基づき，風景画像の平均色を推定光源色 W' として推定した．具体的には，N 個の画素から構成された風景画像において，i 番目の画素データを (R_i, G_i, B_i) とした場合，推定光源色 W' の RGB 値 $(R_{W'}, G_{W'}, B_{W'})$ を(3.13)式により取得した．

$$\begin{pmatrix} R_{W'} \\ G_{W'} \\ B_{W'} \end{pmatrix} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\begin{pmatrix} R_i \\ G_i \\ B_i \end{pmatrix} \tag{3.13}$$

さらに，sRGB 空間から XYZ 三刺激値への変換（(3.3)式，(3.10)式），XYZ 三刺激値から xy 色度座標への変換（(3.14)式），xy 色度座標から uv 色度座標への変換（(3.15)式）を行った．すなわち，上記計算過程は，推定光源色 W′ を $(R_{W'}, G_{W'}, B_{W'}) \rightarrow (X_{W'}, Y_{W'}, Z_{W'}) \rightarrow (x_{W'}, y_{W'}) \rightarrow (u_{W'}, v_{W'})$ の順序で逐次変換し，最終的に推定光源色 W' の uv 色度座標 $(u_{W'}, v_{W'})$ を取得する手順である．

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \qquad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \tag{3.14}$$

$$u = \frac{4x}{-2x+12y+3}, \qquad v = \frac{6y}{-2x+12y+3} \tag{3.15}$$

(2)黒体放射軌跡を用いた相関色温度および色度座標の取得

黒体放射軌跡上の色度座標は，色温度の逆数の 10^6 倍である「逆数色温度（単位は MK^{-1})」に対して，ほぼ均等な間隔で並ぶことが知られている．このため，相関色温度の測定方法[13]において，0 MK^{-1} から 640 MK^{-1} まで 10 MK^{-1} 刻みに全 65 種の逆数色温度に対応した黒体放射軌跡上の色度座標および等色温度線の傾斜をまとめた数表が予め用意されている（付表 1 参照）．そこで本研究では，相関色温度の測定方法[13]に基づき，推定光源色 W' の uv 色度座標 $(u_{W'}, v_{W'})$ に最も近い黒体放射軌跡上の色度座標を風景画像の光源色 W として取得した．

相関色温度の測定方法[13]の概要を図 3.5 に示す．はじめに，光源色 W'の色度座標 $(u_{W'}, v_{W'})$ を挟むように位置している 2 つの等色温度線を取得する（図 3.5 中のT_N， T_{N+1}参照）．なお，等色温度線 T_n は，上記数表においてn 番目に低い逆数色温度をM_n（$10(n-1)$ MK^{-1}（$n = 1 \ldots 65$））とし，それに対応した黒体放射軌跡上の色度座標を $P_n(u_n, v_n)$，等色温度線の傾斜の逆数を m_n とした場合，(3.16)式のように表せる．

$$v = \left(\frac{1}{m_n}\right)u + v_n - \left(\frac{u_n}{m_n}\right) \tag{3.16}$$

次に，T_N と$(u_{W'}, v_{W'})$との距離 L_N ，T_{N+1} と$(u_{W'}, v_{W'})$との距離 L_{N+1}を算出する．なお，T_n と$P_s(u_s, v_s)$ との距離をL_nとした場合，等色温度線 T_n とP_s を通りT_n に直交する直線（(3.17)式参照）との交点座標$P_c(u_c, v_c)$ を(3.18)式により算出した後，P_s とP_c の距離L_n は(3.19)式を用いて算出可能である．

$$v = -m_n \cdot u + v_s + m_n \cdot u_s \tag{3.17}$$

$$\begin{aligned} u_c &= \frac{m_n}{1+m_n^2}(v_s - v_n) + \frac{m_n^2 \cdot u_s + u_n}{1+m_n^2}, \\ v_c &= \frac{m_n}{1+m_n^2}(u_s - u_n) + \frac{v_s + m_n^2 \cdot v_n}{1+m_n^2} \end{aligned} \tag{3.18}$$

$$\begin{aligned} L_n &= \sqrt{(u_s - u_c)^2 + (v_s - v_c)^2} \\ &= \frac{1}{\sqrt{1+m_n^2}}\{(u_s - u_n) - m_n(v_s - v_n)\} \end{aligned} \tag{3.19}$$

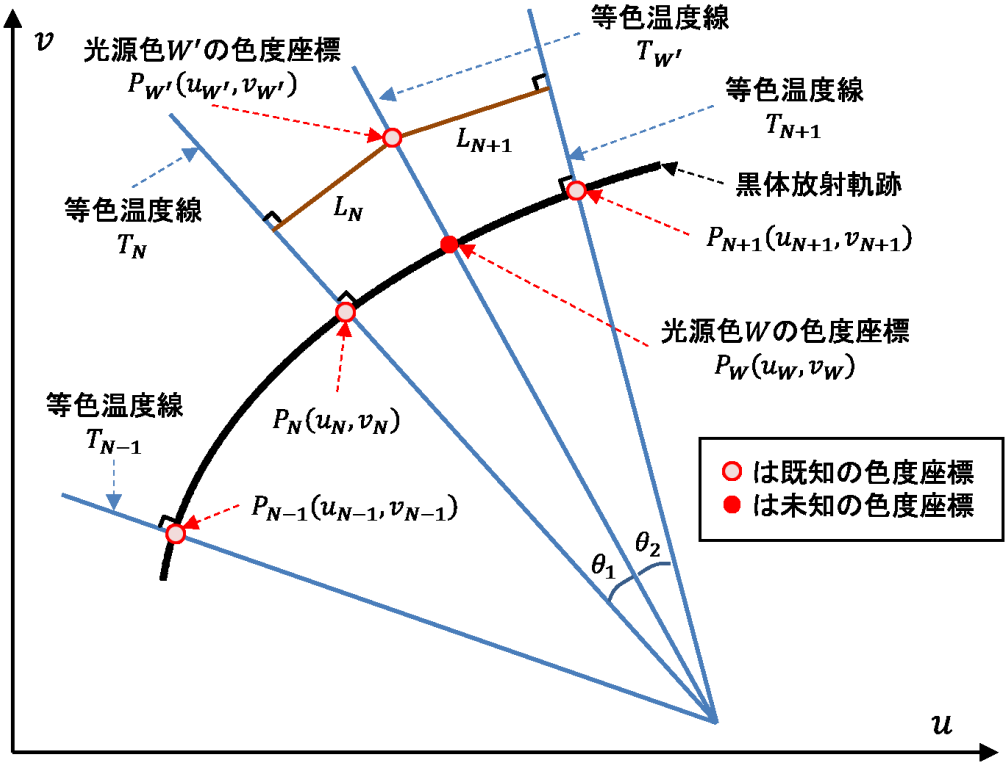


図 3.5　相関色温度測定方法の概要

Akita University

さらに，$(u_{W'}, v_{W'})$を通る等色温度線を$T_{W'}$とした場合，T_Nと$T_{W'}$のなす角θ_1およびT_{N+1}と$T_{W'}$のなす角θ_2を用いてW'の相関色温度M_Wを(3.20)式により算出する．

$$M_W = M_N + \frac{\theta_1}{\theta_1 + \theta_2}(M_{N+1} - M_N) \tag{3.20}$$

このとき，θ_1とθ_2が微小であることから，$\theta_1/\theta_2 = sin\,\theta_1 / sin\,\theta_2$と近似できる．従って，(3.20)式は(3.21)式のように表せる．

$$M_W = M_N + \frac{L_N}{L_N + L_{N+1}}(M_{N+1} - M_N) \tag{3.21}$$

また，$M_N = 10(N-1)$であることから，M_Wは(3.22)式のようになる．

$$M_W = 10(N - 1 + D_r) \tag{3.22}$$

このとき，分割比D_rを(3.23)式のように定める．

$$D_r = \frac{L_N}{L_N + L_{N+1}} \tag{3.23}$$

最後に，黒体放射軌跡上の色度座標P_{N+1}，P_N，並びにP_{N-1}の位置関係を 2 次曲線で近似可能と仮定し，光源色 $W\ (u_W, v_W)$ を算出する．例えば，色度座標u_Wは，定数 A，B，C を用いてu_{N+1}，u_N，u_{N-1}を(3.24)式のように定義する．

$$\begin{aligned} u_{N+1} &= A \cdot N^2 + B \cdot N + C, \\ u_N &= A(N-1)^2 + B(N-1) + C, \\ u_{N-1} &= A(N-2)^2 + B(N-2) + C \end{aligned} \tag{3.24}$$

(3.24)式から(3.25)式を得る．

$$\begin{aligned} u_{N+1} - u_{N-1} &= 2\{2A(N-1) + B\}, \\ u_{N+1} - u_N &= A(2N-1) + B, \\ u_N - u_{N-1} &= A(2N-3) + \mathrm{B} \end{aligned} \tag{3.25}$$

従って，Aは(3.26)式のようになる．

$$A = \frac{u_{N+1} + u_{N-1}}{2} - u_N \tag{3.26}$$

Akita University

座標u_Wは，u_Nとu_{N+1}の間を分割比D_rで分割する点であるため，u_Wは(3.27)式のように計算可能である．

$$\begin{aligned} u_W &= A(N-1+D_r)^2 + B(N-1+D_r) + C \\ &= u_N + D_r\{2A(N-1)+B\} + A \cdot D_r^2 \\ &= u_N + \frac{D_r(u_{N+1}-u_{N-1})}{2} + D_r^2\left\{\frac{u_{N+1}+u_{N-1}}{2} - u_N\right\} \end{aligned} \tag{3.27}$$

同様の手順で，座標v_Wは(3.28)式で表わされる．

$$v_W = v_N + \frac{D_r(v_{N+1}-v_{N-1})}{2} + D_r^2\left\{\frac{v_{N+1}+v_{N-1}}{2} - v_N\right\} \tag{3.28}$$

以上の手順により，風景画像やカメラ画像に対して，(1)風景画像に灰色仮説に基づく光源色推定および(2)黒体放射軌跡を用いた相関色温度および色度座標の取得を行い，画像中の光源色に対する相関色温度とその uv 色度座標が取得となる．

Akita University

3.3 色順応変換を用いた背景差し替えアルゴリズム

本研究では，背景差し替え映像の違和感軽減を目的とし，カメラ画像の人物領域に対して色温度特徴に着目した色順応変換を行った．提案手法の概要を図 3.6 に示す．はじめに，前処理として，背景画像（人物のいない状態で取得したカメラ画像）を取得し，動的背景差分に用いる初期パラメータを算出した．また，背景画像と風景画像を用いて色順応変換行列を取得した．次に，カメラ画像に対して動的背景差分を施し，人物領域マスクを取得した．さらに，カメラ画像および人物領域マスクを用いて取得した人物領域に対し，色順応変換を施して新しい人物領域を取得した．最後に，風景画像と人物領域マスクを用いて背景領域を取得した後，新しい人物領域と背景領域の論理和を背景差し替え画像として取得した．

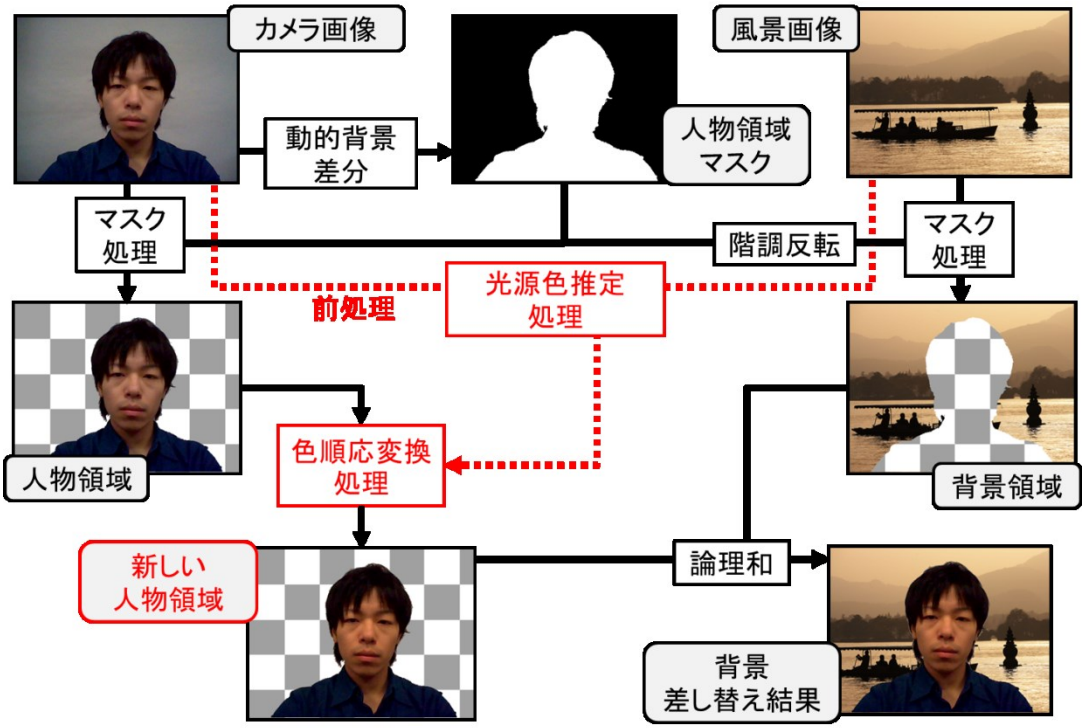


図 3.6　提案手法の概要

Akita University

3.3.1 前処理

動的背景差分（3.3.2 項で後述する）の初期パラメータを取得するため，背景画像を複数枚取得した．具体的には，時系列的に連続したi枚のカメラ画像をそれぞれグレースケールに変換し，これらを用いて平均背景画像$\bar{I}$と分散背景画像σを取得した．なお，背景画像の取得枚数iを 10，20，30 として検討を加えたところ，それぞれの$\bar{I}$およびσに顕著な差は見られなかった．そこで本研究では，前処理の所要時間が最も短くなるi=10 を用いた．

提案手法の色順応変換において，予め色順応変換行列を生成する必要がある．そこで，カメラ画像および差し替え用風景画像を用いて色順応変換行列を生成した．はじめに，動的背景差分の前処理として取得したi枚のカメラ画像の平均を算出し，平均 RGB 画像とした．次に，平均 RGB 画像および風景画像に対して 3.2.2 項で述べた光源色推定を行い，光源の相関色温度および uv 色度座標をそれぞれ算出した．提案手法では，人物領域に対する色順応変換を行うために，カメラ画像の光源色$S(L_S, M_S, S_S)$および風景画像の光源色$D(L_D, M_D, S_D)$を用いて色順応変換行列$\boldsymbol{N}$を取得する必要がある（(3.9)式参照）．このため，(3.29)式を用いて光源色の uv 色度座標を xy 色度座標へ変換した．

$$x = \frac{3u}{2u - 8v + 4}, \qquad y = \frac{2v}{2u - 8v + 4} \tag{3.29}$$

さらに，(3.30)式を用いて，$Y = 1$となるように正規化（明るさを正規化）した XYZ 三刺激値を取得した．

$$X = \frac{x}{y}, \qquad Y = \frac{y}{y} = 1, \qquad Z = \frac{1 - x - y}{y} \tag{3.30}$$

最後に，(3.2)式を用いて，光源の正規化 XYZ 三刺激値を LMS 錐体出力へ変換し，カメラ画像の光源色$S(L_S, M_S, S_S)$および風景画像の光源色$D(L_D, M_D, S_D)$を取得した．

3.3.2 動的背景差分

カメラ画像中の背景が静的である場合，事前に用意した背景画像とカメラ画像の差分をとることで物体を抽出可能である．しかしながら，カメラや撮影環境に依存した明度変化に起因し，物体検出精度が低下する可能性がある．明度変化にロバストな物体検出法としては，動的背景更新による物体抽出法[4]がある．上記手法は，全方位画像を入力としているものの，画素単位に独立な処理であるため，通常のカメラ画像に対しても適用可能と考える．そこで本研究では，グレースケ

Akita University

ールに変換したカメラ画像を入力画像とし，動的背景更新による物体抽出法に基づいて人物領域マスクを取得した．入力画像中の背景画素 (x, y) の輝度を $I_{x,y}$，輝度値の時間平均を $\bar{I}_{x,y}$，輝度の振幅を $\sigma_{x,y}$，並びにカメラに依存したノイズの最大値を ξ とした場合，$I_{x,y}$ は(3.31)式の範囲を取り得る．

$$\bar{I}_{x,y} - \sigma_{x,y} - \xi \leq I_{x,y} \leq \bar{I}_{x,y} + \sigma_{x,y} + \xi \tag{3.31}$$

次に，入力画像において，(3.31)式を満たす画素を背景画素，それ以外を人物領域候補画素とした．すなわち，(3.31)式を満たす画素を黒（0），それ以外を白（1）とする 2 値画像を人物領域候補画像として取得した. なお, $\bar{I}_{x,y}$ および $\sigma_{x,y}$ の初期値は，3.3.1 項で取得した平均背景画像 $\bar{I}$ および分散背景画像 σ とした[4]．さらに，人物領域候補画像を対象とし，OpenCV[21]の輪郭抽出処理を用い，連結した白画素の最外輪郭を人物領域候補ラベルとして取得した．また，最も面積の大きいラベルを人物領域とし，人物領域を白（1），それ以外の領域（背景領域）を黒（0）とする 2 値画像を人物領域マスクとして取得した．なお，本研究では，カメラ画像のノイズが最大輝度値（255）の 1～3%程度であると仮定し，ξ を 3～8 の 1 刻みで検討したところ，ξ が 5 以上の場合に，人物領域マスクに対するノイズ低減の効果があることを認めた．そこで本研究では，雑音の最大値が 5 以下であると仮定し，ξ=5 を用いた．

最後に，人物領域マスクの画素 $H_{x,y}$ に着目し，$\bar{I}_{x,y}$ および $\sigma_{x,y}$ を更新した．具体的には，次のフレームの $\bar{I}_{x,y}$，$\sigma_{x,y}$ をそれぞれ $\bar{I}'_{x,y}$，$\sigma'_{x,y}$ とし，(3.32)式，(3.33)式を用いて各パラメータを更新した．

$$\bar{I}'_{x,y} = \begin{cases} \dfrac{n-1}{n}\bar{I}_{x,y} + \dfrac{1}{n}I_{x,y} & (if\ H_{x,y} = 0) \\ \bar{I}_{x,y} & (if\ H_{x,y} \neq 0) \end{cases} \tag{3.32}$$

$$\begin{aligned} k &= \begin{cases} n & (if\ H_{x,y} = 0) \\ m & (if\ H_{x,y} \neq 0) \end{cases}, \\ \sigma'_{x,y} &= \frac{k-1}{k}\sigma_{x,y} + \frac{1}{k}\sqrt{2\left(I_{x,y} - \bar{I}_{x,y}\right)^2} \end{aligned} \tag{3.33}$$

なお, n, m はそれぞれ背景領域および人物領域の更新速度パラメータであり，$m \geq$ n となるように設定する必要がある．本研究では，n=5，m=1000 を用いた．なお，n と m はヒューリスティクスな実験の基に決定された値であるが，本研究の撮影環境においては十分に機能することを確認している．

Akita University

3.3.3 色順応変換結果を用いた背景差し替え処理

3.3.2 項で取得した人物領域マスクを用いてカメラ画像にマスク処理[5]を施した．すなわち，人物領域マスクの黒画素に対応したカメラ画像の画素を黒とすることで，人物領域を取得した．次に，人物領域の各画素に対して，(3.1)式を用いた人物領域の色順応変換を行い，新しい前景（人物領域の色順応変換結果）を取得した．なお，色順応変換には，前処理で取得した色順応変換行列 $\boldsymbol{N}$ を用いている．また，階調反転した人物領域マスクを用いて，風景画像に対するマスク処理を施し背景領域を取得した．最後に，新しい前景と背景領域の論理和を背景差し替え結果として取得した．

Akita University

3.4 撮影環境および使用画像データ

3.4.1 撮影環境

本研究では，タブレット端末（Sony：SGPT112JP/S）の前面カメラを用いて被験者を撮影した．使用端末は NVIDIA Tegra 2 モバイルプロセッサ 1GHz を搭載しており，画面サイズは 1280×800（解像度 160dpi），前面カメラは 640×480 の画像を取得可能である．撮影環境の概要を図 3.7 に示す．また，撮影環境の詳細を以下にまとめる．

- 被験者は 14 名（20 代前半：男性 9 名，女性 5 名）．
- 日常的にスマートフォンを利用している被験者は 14 名中 9 名（1 年未満が 3 名，1 年以上が 6 名）．
- 被験者と端末の距離は約 50cm．
- 使用端末はスタンドを用いて仰角約 70°に固定．
- 被験者は，自身の顔がカメラ映像の中心となるように椅子を調整．
- 蛍光灯（Panasonic：高演色性蛍光灯 リアルクス 演色 AAA）下で被験者を撮影．
- ブラインドを用いて屋外光を遮光．
- 蛍光灯に起因したカメラ映像のフリッカ抑制を目的とし，被験者頭上蛍光灯を消灯．
- 室内および被験者頭上の平均照度はそれぞれ約 364lx，約 225lx．また，平均色温度はそれぞれ約 4452K および約 4411K（色彩照度計（KONICA MINOLTA: CL-200A）を使用して測定[22]）．
- 人物領域抽出精度およびカメラ画像の色温度推定精度の向上を目的とし，被験者後方に灰色背景紙（スーペリア・メンテ：BPS-2705 #58）を設置．

なお，提案手法を組み込んだアプリケーションは，Android 4.0.3 以降のバー

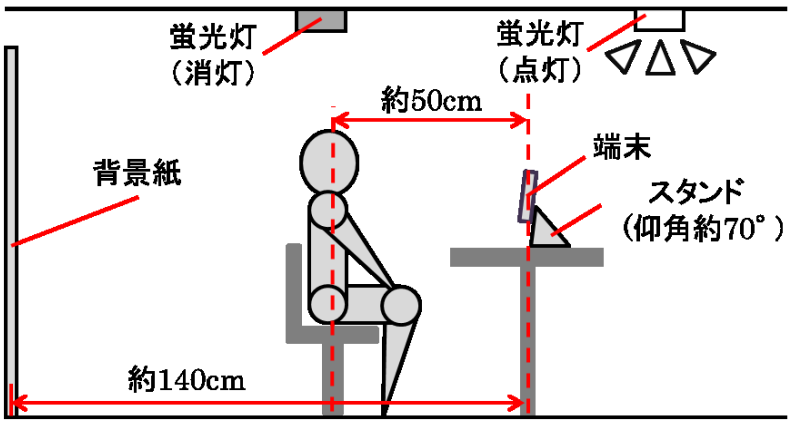


図 3.7　撮影環境の概要

Akita University

ジョンを搭載したスマートフォンおよびタブレット端末において利用可能である．本研究では，被験者の主観評価の円滑化を目的とし，画面が大きく，タッチ操作のしやすいタブレット端末を実験に用いている．

3.4.2 使用画像データ

本研究では，光源の色を定量的に表現可能な指標である「色温度[10]-[12]」に着目し，背景差し替えに用いる風景画像を取得した．具体的には，光源色が「色温度が低いと赤みを帯び(赤被りし)，色温度が高いと青みを帯びる(青被りする)」という特徴を持つことから，赤被り風景，青被り風景，並びに昼白色風景（赤被りや青被りのない風景）の 3 系統に分類される画像を選定し，これを使用画像データとして用いた．本研究では，使用画像データに対して，(1)3.2.2 項で述べた光源色推定を用いた光源色の相関色温度および uv 色度座標の算出，並びに(2)風景画像の光源色と sRGB の白色基準（D65：相関色温度 6500K，xy 色度座標(0.313,0.329)）[12]との色差E[12]を算出し，使用画像データの系統分けを行った．なお，本研究では，2 色をほぼ同一と認めることができる基準として，4 級の許容色差（$E < 5.0$）[23]を用いた．使用画像データの系統分類基準を以下に示す．

- Eが 5.0 より小さい場合，4 級の許容色差で色被りがないとし，昼白色風景とした．
- Eが 5.0 以上であり，色温度が 6500K を上回る場合，4 級の許容色差を超えて青被りしているとし，青被り風景とした．
- Eが 5.0 以上であり，色温度が 6500K を下回る場合，4 級の許容色差を超えて赤被りしているとし，赤被り風景とした．

相関色温度および色差Eの算出手順を図 3.8 に示す．

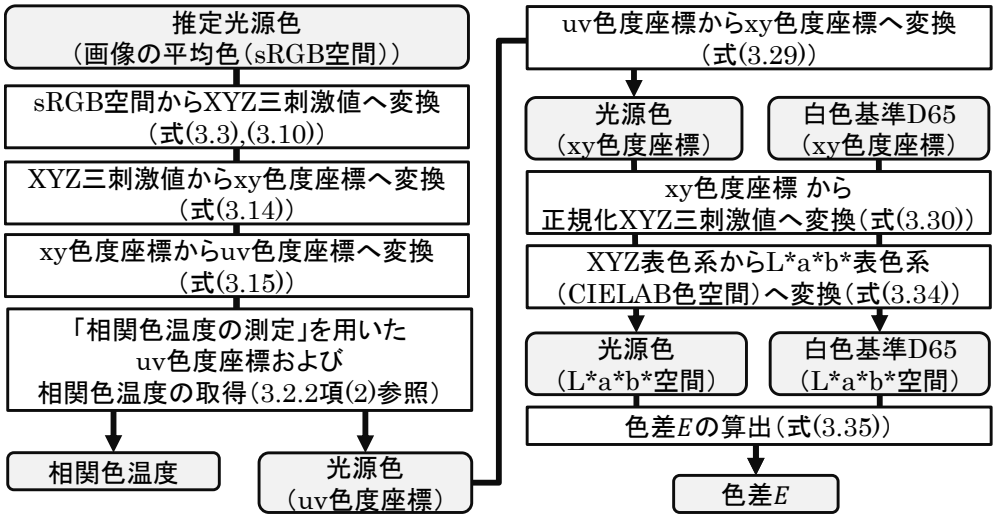


図 3.8　相関色温度および色度 E の算出手順

Akita University

●色差Eの算出

風景画像から推定した光源色と白色基準 D65 に着目し，色差Eを算出した．具体的には，光源色の uv 色度座標を xy 色度座標へ変換し（(3.29)式参照），各光源色の正規化 XYZ 三刺激値を算出した（(3.30)式参照）．さらに，XYZ 表色系から L*a*b*表色系（CIELAB 空間）への変換を行った（(3.34)式参照）．

$$
\begin{aligned}
f(t) &= \begin{cases} t^{\frac{1}{3}} & if\ \ t > 0.008856 \\ 7.787t + \dfrac{16}{116} & if\ \ t \le 0.008856 \end{cases}, \\
L &= \begin{cases} 116Y^{1/3} - 16 & if\ \ Y > 0.008856 \\ 903.3Y & if\ \ Y \le 0.008856 \end{cases}, \\
a &= 500\{f(X/X_n) - f(Y/Y_n)\}, b = 200\{f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)\}
\end{aligned}
\tag{3.34}
$$

なお，(3.34)式の(X_n, Y_n, Z_n)には，D65 の正規化 XYZ 三刺激値を用いた．最後に，光源色(L_W, a_W, b_W)と D65$(L_{D65}, a_{D65}, b_{D65})$の色差$E$を(3.35)式によって算出した．

$$
E = \sqrt{(L_W - L_{D65})^2 + (a_W - a_{D65})^2 + (b_W - b_{D65})^2} \tag{3.35}
$$

選定した使用画像データ[24]を図 3.9 に．使用画像データの解析結果を表 3.1 にそれぞれ示す．昼白色風景の色差Eは，4 級の許容色差（$E < 5.0$）を満たしている．また，赤被り風景の相関色温度はすべて 6500K（D65 の相関色温度）より低く，青被り風景の相関色温度はすべて 6500K より高い値を示していることがわかる．さらに，赤被り風景および青被り風景は，D65 との色差Eが 16.9 以上であった．

Akita University



図 3.9　使用画像データ

表 3.1　使用画像データの解析結果

画像No.		1	2	3	4	5
uv色度座標	u	0.190	0.193	0.192	0.231	0.216
	v	0.293	0.298	0.297	0.338	0.327
相関色温度		10108	8741	8811	3675	4601
色差E		23.0	17.2	18.4	40.3	21.6
画像No.		**6**	**7**	**8**	**9**	
uv色度座標	u	0.212	0.202	0.200	0.203	
	v	0.324	0.312	0.309	0.314	
相関色温度		4908	6246	6679	6012	
色差E		16.9	3.46	4.99	4.13	

Akita University

3.5 実験

3.5.1 提案手法の効果に対する評価実験

本研究では，背景差し替え映像の違和感軽減を目的とし，人物領域の光源色が差し替え画像の光源色と同一になるような色味変換を行う背景差し替え法を提案している．そこで，提案手法が背景差し替え映像に与える効果を検証するため，被験者 14 名（詳細は 3.2.1 項参照）を対象として評価実験を行った．具体的には，(1)変換行列 $\boldsymbol{P}$（3.2.1 項参照）として Bradford 変換行列 $\boldsymbol{P}_B$を用いた提案手法（手法 A），(2)変換行列 $\boldsymbol{P}$として HPE 変換行列 $\boldsymbol{P}_B$を用いた提案手法（手法 B），並びに(3)色順応変換を行わない背景差し替え法（手法 C）による比較を行った．なお，上記(1)～(3)を用いて得られた背景差し替え映像をそれぞれ刺激 A，刺激 B，並びに刺激 C とする．本研究では，上記刺激群を対象として，一対比較法[25][26]を用いた評価実験を行った．すなわち，刺激 A と B，B と C，C と A の刺激組を対象とし，一定の基準に従って相対評価を行った．

刺激組に対する評価基準および評価実験手順を以下にまとめる．

(i) 刺激組に対する評価基準

本研究で想定するシーンなどについて，以下の事前説明を行った．

(a) 被験者自身がビデオチャットの利用者であること

(b) 通信相手に背景差し替え映像をリアルタイムに送信する場面であること

(c) 風景画像の示す場所にいるような「臨場感」のある映像の送信を目的としていること

(d) 人物領域と差し替え用風景画像における光源色の差異に起因し，背景差し替え映像の臨場感が損なわれた場合，背景差し替え映像に対して視聴者が違和感を覚える場合のあること

なお，(d)については，臨場感の損失例として，「『曇天』のような青みを帯びたシーン下で取得した人物領域を，『夕焼け』のような赤みを帯びた風景画像に合成した場合」を例に挙げて説明した．

最後に，評価基準は「人物領域の色味は，風景画像の光源色に合うような背景差し替え映像であるかどうか」であり，被験者には 2 つの刺激を見比べてもらい，背景差し替え映像から受ける違和感の少ない刺激名を評価結果として回答してもらった．なお，刺激組に対して優劣がつけ難い場合は，「同程度である」との回答を許容した．また，事前説明は，上記内容をまとめた書面を用いて行い，各被験者に対して個別に行った．

Akita University

(ii) 刺激の評価手順

本研究では，スマートフォンやタブレット端末でビデオチャットアプリケーションを利用する場面を想定しているため，提案手法を組み込んだ Android アプリケーションを用いて評価実験を行った．実験用アプリケーションのユーザインタフェース（UI）を図 3.10 に示す．また，9 種類の風景画像を対象とし，3 通りの刺激組を対象とした比較評価をそれぞれ行った．すなわち，被験者には 1 回の評価実験において合計 27 回の比較評価を行ってもらった．評価実験の手順を以下にまとめる．

(1) 被験者は，カメラに映らない位置に移動した後，カメラビュー（図 3.10 参照）に対してダブルタップ操作を行う．実験用アプリケーションでは，この操作が行われると前処理（3.3.1 項参照）が実行され，背景差し替え映像が表示される．なお，前処理の平均所要時間は約 1.8 秒であり，ヒアリング調査の結果，前処理にストレスを感じた被験者はいなかった．

(2) 端末の前に移動し，背景差し替え映像を見ながら，画面中央に顔が位置するように椅子を調整する．

(3) カメラビューに対して上方向へのフリック操作（指を画面上で滑らせるような操作）を行い，風景画像のみを表示する．

(4) 風景画像を確認後，カメラビューに対して下方向へのフリック操作を行い，背景差し替え映像の表示に切り替える．

(5) 刺激組の切り替えボタン（図 3.10 参照）を操作して表示される刺激の切

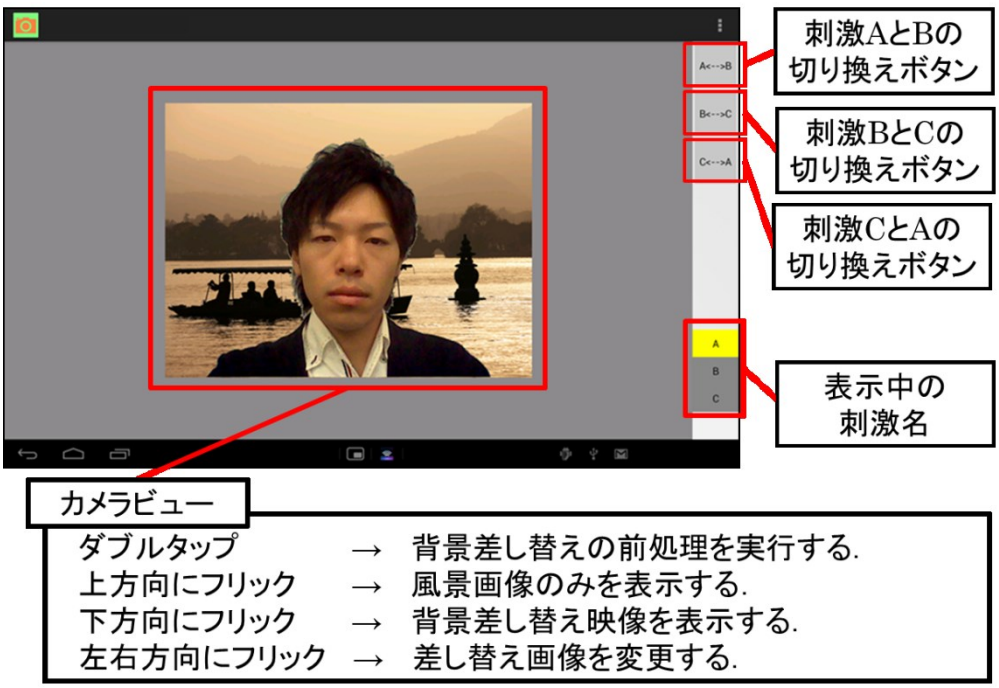


図 3.10　実験用アプリケーションのユーザインタフェース（UI）

Akita University

り替えを行い，全 3 通りの刺激組に対する比較評価を行う．なお，被験者には，UI 右下における黄色ラベルが表示中の刺激名を表すことを事前に説明している．

(6) カメラビューに対して左右方向へのフリック操作を行い，風景画像を変更する．このとき，カメラビューには風景画像のみが表示される．なお，風景画像の順番はランダムに決定されている．

(7) すべての風景画像に対する評価を終えるまで，上記(4)，(5)，(6)の処理を繰り返す．

なお，本研究では刺激組に対する評価のばらつきを考慮するため，1 名の被験者につき，上記評価実験を 4 セット行った．

(iii)間隔尺度の算出

間隔尺度は，尺度値の大きさによる順位づけが可能であることに加え，尺度値の差がどこでも等しいと仮定される[12][27]．そこで，一対比較法で得られた結果を Thurstone の比較判断の法則[25][26]に基づいて間隔尺度に変換し，手法の有用性の検討に用いた．

はじめに，被験者が「刺激 X は刺激 Y よりも優れている（背景差し替えの違和感が少ない）」と判断した割合$p_{X>Y}$を(3.36)式により算出する．

$$p_{X>Y} = \frac{\text{刺激}X\text{が刺激}Y\text{よりも優れていると判断された件数}}{\text{刺激}X\text{と刺激}Y\text{の比較件数}} \tag{3.36}$$

次に，$p_{X>Y}$に対応した標準正規分布における確率変数を算出し，これを刺激 X と刺激 Y の効果の距離として取得する．すなわち，(3.37)式を満たす$x_{X>Y}$を刺激 X と刺激 Y の効果の距離として用いる．

$$p_{X>Y} = \int_{-\infty}^{x_{X>Y}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \tag{3.37}$$

最後に，刺激間における効果の距離xを用いて手法の効果Eを算出する．具体的には，手法 A の効果E_Aを(3.38)式，手法 B の効果E_Bを(3.39)式，並びに手法 C の効果E_Cを(3.40)式によりそれぞれ算出した．

$$E_A = x_{A>B} + x_{A>C} \tag{3.38}$$

$$E_B = x_{B>A} + x_{B>C} \tag{3.39}$$

Akita University

$$E_C = x_{C>A} + x_{C>B} \tag{3.40}$$

なお，$p_{X>Y}$が 0.50 より大きい場合，$x_{X>Y}$は正の値となる．また，$p_{X>Y}$が 0.50 より小さい場合，$x_{X>Y}$は負の値となる．このため，手法の効果Eが大きいほど，当該手法の効果が大きいと言える．

Akita University

3.5.2 提案手法の実用化に関する検討

スマートフォンやタブレット端末では，画面を直接タッチして直感的に操作を行うため，ユーザインタフェース（UI）の使い易さがアプリケーションの使い易さに直接的な影響を与えると考える．そこで本研究では，提案手法を組み込んだビデオチャットアプリケーションの UI 作成を目的とし，被験者 14 名（3.4.1 項と同様）を対象としてアンケート調査を行った．具体的には，被験者に実験用アプリケーションに対する要望や感想を自由回答してもらった．さらに，上記回答を考慮して提案手法を組み込んだビデオチャットアプリケーションの UI を作成した（通話機能はない）．最後に，ビデオチャットの利用場面を想定し，作成した UI をスマートフォン（Samsung: SC-06D）上で操作してもらい，再びアンケート調査を行った．なお，SC-06D は MSM8960 1.5GHz（Dual Core）を搭載しており，画面サイズは 1280×720（解像度 319dpi）である．

Akita University

3.6 実験結果

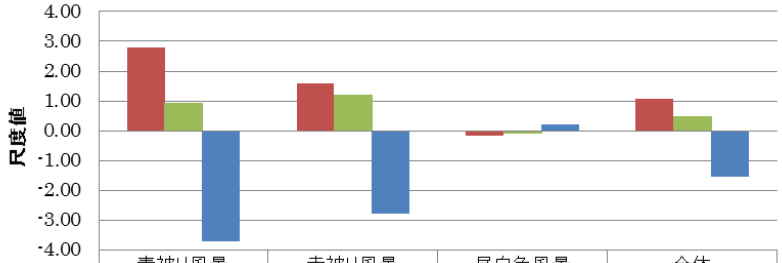
3.6.1 提案手法の効果に関する実験結果

一対比較法で得られた評価結果に対して分散分析[28]を行い，刺激の差（手法 A～C）の効果が評価結果に与える影響について検討を加えた．具体的には，青被り風景，赤被り風景，昼白色風景，並びに全ての風景を対象とした評価結果に対して，手法 A～C による効果と誤差による効果の分散比（F 比）をそれぞれ算出した．得られた結果を表 3.2 にまとめる．この結果，評価手法の効果は，有意水準 1%で有意であることがわかる．すなわち，評価結果は，背景差し替え法における色味変換の効果による影響を受けていることが明らかとなった．

評価結果を Thurstone の比較判断の法則[25][26]を用いて間隔尺度へ変換した（3.4.1 項(iii)参照）．青被り風景，赤被り風景，昼白色風景，並びに全ての風景を対象とした尺度図を図 3.11 に示す．なお，尺度値が正の方向に大きいほど，背景差し替えにおける違和感の軽減が行われていることを意味する．青被り風景，赤被り風景，並びに全ての風景において，手法 A（Bradford 変換行列を用いた提案手法）および手法 B（HPE 変換行列を用いた提案手法）の尺度値は手法 C（色順応変換を行わない手法）の尺度値よりも大きい値を示している．特に，全ての風景を対象とした場合において，手法 A の尺度値が最大となった．このことは，色被りした風景を差し替え画像とした場合，提案手法は背景差し替え映像の違和感軽減が可能であること，手法 A が最も有効であることを示唆している．

表 3.2　評価結果に対する分散分析結果

対象画像	刺激数	評価データ個数	F 比
青被り風景	3	504	$F(2,501) = 14.7,\ P < 0.01$
赤被り風景			$F(2,501) = 14.3,\ P < 0.01$
昼白色風景			$F(2,501) = 24.6,\ P < 0.01$
全ての風景		1512	$F(2,1509) = 53.4,\ P < 0.01$



	青被り風景	赤被り風景	昼白色風景	全体
手法A	2.79	1.58	-0.16	1.06
手法B	0.92	1.21	-0.07	0.48
手法C	-3.71	-2.79	0.22	-1.55

図 3.11　間隔尺度を用いた手法の評価結果

Akita University

一方，昼白色背景における尺度値に着目すると，手法 C が手法 A，B よりも大きな値を示している．しかしながら，尺度値の範囲（最大値と最小値の差）を比較すると，昼白色風景における尺度値範囲は，表 3 に示すように，他の画像群における尺度値範囲より約 6 倍以上小さいことがわかる．間隔尺度は，順序尺度のような大きさの順位づけが可能であることに加え，尺度値の差はどこでも等しいと仮定される[25]．このため，昼白色風景を新しい背景領域とした場合，色順応変換を行わない背景差し替え法が有効であると言えるものの，その効果は小さいと考える．

背景差し替え画像例（刺激 A～C）を図 3.12 に示す．差し替え画像に青被り風景を用いた場合，提案手法の色順応変換によって人物領域が青被りしている．また，赤被り風景を用いた場合も同様に，人物領域が赤被りしていることがわかる．

表 3.3　尺度値の範囲

尺度値	青被り風景	赤被り風景	昼白色風景	全体
最大	2.79	1.58	0.22	1.06
最小	-3.71	-2.79	-0.16	-1.55
最大－最小	6.51	4.38	0.38	2.61



図 3.12　背景差し替え結果例（被験者 2，刺激 A～C）

Akita University

昼白色風景を用いた背景差し替え映像はすべての刺激において顕著な色味の差異は見られなかった．このため，提案手法を用いた色順応変換によって，昼白色風景を用いた背景差し替え映像の臨場感が損なわれることは少ないと考える．

以上の結果は，背景差し替えにおいて色被りした風景画像を新しい背景領域として用いた場合，提案手法は前景と背景における色味の差に起因して生じた違和感を軽減可能であることを示唆している．

Akita University

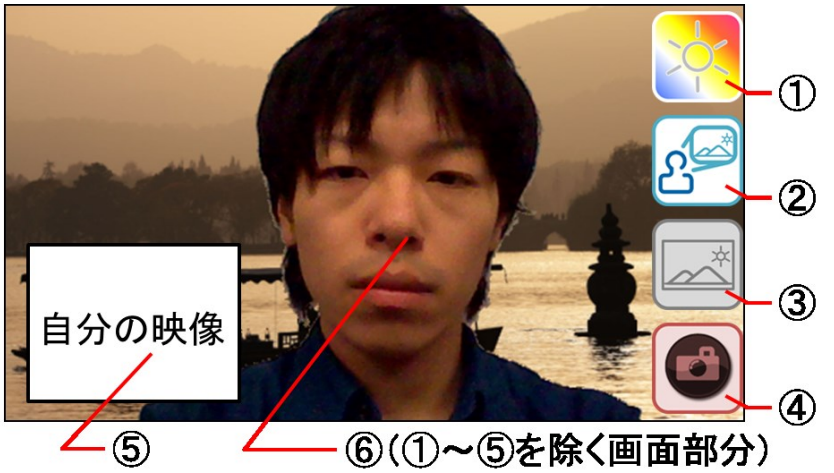
3.6.2 提案手法の実用化に関する検討結果

本研究で用いた実験用アプリケーションに対し，以下のような要望・感想を得た．

- ボタンが小さいので大きくした方が良い．
- 背景差し替えの準備（前処理）機能を有するボタンを用意して欲しい．
- 色変換機能の状態を示すアイコンを見えやすい位置に配置した方が良い．
- 操作説明があれば便利だと思う．

また，スマートフォンはタブレット端末よりも画面が小さいため，映像を大きく表示した方が見やすいと考える．

そこで本研究では，上記内容を考慮し，提案手法を組み込んだビデオチャットアプリケーションの UI を作成した（図 3.13 参照）．各機能の切り替えボタンを図 3.14 に，ポップアップダイアログを用いたボタンの機能説明例を図 3.15 にそれぞれ示す．なお，ボタン以外の部分をタップすることで，各ボタンと自分の映像（図 3.13①～⑤）の表示・非表示を切り替え可能である．また，カメラ映像はバイリニア補間[5]による拡大処理を施し，全画面（HD：1280×720）に表示している．さらに，取得映像サイズを QVGA（320×240）に変更することで，全画面表示に伴う負荷を軽減した．



①色順応変換機能のオン/オフ切り替えボタン
⇒図3.10における「刺激CとAの切り替えボタン」の機能と等価
②背景差し替え機能のオン/オフ切り替えボタン
⇒図3.10における「カメラビューのダブルタップ」の機能と等価
③任意の差し替え画像の使用・/未使用切り替えボタン
⇒外部アプリケーションの画像を差し替え画像として使用可能
④ビデオチャットの開始/終了の切り替えボタン
⑤自分の映像，⑥相手の映像
※⑤，⑥をタッチすることで①～⑤の表示/非表示が可能

図 3.13　ビデオチャットアプリケーションのユーザインタフェース例

Akita University

被験者にカメラ映像のサイズ・画質などを評価してもらうため，図 3.13⑥に自分の映像を表示した．また，図 3.13⑤にはビデオチャット中であることを想定し，事前に用意した人物画像を表示させた．被験者には作成した UI をスマートフォン上で操作してもらった後，カメラ映像のサイズ・画質，各種ボタンなどの表示・非表示機能について表 3.4 に示す内容の質問への回答と，UI の使い勝手に関しての要望や感想を自由に回答してもらった．質問票に対する回答結果を表 3.5 に示す．また，アンケートの回答結果を以下にまとめる．



図 3.14　切り替えボタンの詳細

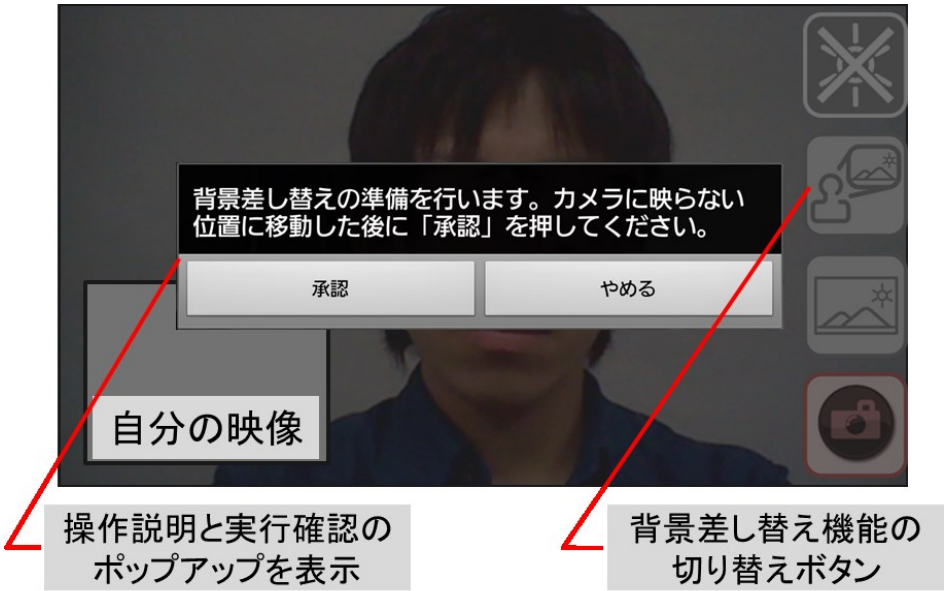


図 3.15　ポップアップダイアログを用いた機能説明例
（背景差し替えボタンをタップした場合）

Akita University

⑴カメラ映像のサイズに関する回答

13 名がサイズに関して「ちょうどよい」と回答し，14 名全員が「特にストレスはなかった」と回答した．このため，カメラ映像は全画面表示で問題ないと考える．

⑵カメラ映像の画質に関する回答

14 名中 10 名が「とても良い」「ちょうどよい」と回答した．さらに，14 名中 12 名は「特にストレスはなかった」と回答しており，映像画質は実用上の許容範囲内であると考える．

⑶各種ボタンの表示・非表示機能に関する回答

14 名中 8 名が「とても良い」「すこし良い」と回答した．また，「ボタンを非表示にすることで相手との会話に集中しやすくなる」などの自由回答を得ており，映像を全画面表示しつつ，ボタン操作が行える点が良いと評価されていることがわかる．「すこし悪い」と回答したのは 1 名であり，具体的には，ボタン操作時に表示・非表示の切り替え機能が誤動作する点を指摘している．また，自分の映像と各種ボタンを別々に表示・非表示できれば良いとの回答も得た．そこで，これらの改善をさらに施した結果を図 3.16 に示す．

以上の結果は，作成した UI が提案手法を組み込んだビデオチャットアプリケーションにおいて実用可能であることを示唆している．

表 3.4　質問票

	質問	選択肢
1	カメラ映像のサイズについてどう感じたか	A.より大きい方が良い, B.ちょうどよい, C.より小さい方が良い
2	カメラ映像のサイズに起因してストレスを感じたか	A.とてもストレスを感じた, B.すこしストレスを感じた, C.特にストレスはなかった
3	カメラ映像の画質についてどう感じたか	A.とても良い, B.すこし良い, C.ちょうどよい, D.すこし悪い, E.とても悪い
4	カメラ映像の画質に起因してストレスを感じたか	A.とてもストレスを感じた, B.すこしストレスを感じた, C.特にストレスはなかった
5	画面をタップすることで，各種ボタンの表示・非表示を切り替える機能についてどう感じたか	A.とても良い, B.すこし良い, C.ちょうどよい, D.すこし悪い, E.とても悪い

Akita University

表 3.5　質問票に対する回答結果

（名）

質問No.	選択肢				
	A	B	C	D	E
1	1	13	0		
2	0	0	14		
3	2	0	8	4	0
4	0	2	12		
5	5	3	5	1	0



図 3.16　ユーザフィードバックに基づいた UI の修正点

Akita University

3.7 まとめ

本研究では，ビデオチャットにおけるプライバシ配慮およびエンターテイメント性を付与可能なコンテンツ高品質化技術の開発を目的とし，色温度特徴に着目した背景差し替えの違和感軽減法を提案した．また，スマートフォンやタブレット端末での利用を想定し，提案手法を組み込んだ Android アプリケーションを作成した．本研究で得られた成果を以下にまとめる．

(1) 色温度特徴に着目し，人物領域の光源色が差し替え画像の光源色と同一となるような色味変換（色順応変換）を施し，背景差し替え映像の違和感軽減を行う手法を提案した．

(2) 被験者 14 名を対象とした評価実験の結果，色被りした風景画像を利用した背景差し替えにおいて，提案手法は人物領域と差し替え画像の色味の差異に起因した背景差し替え映像の違和感を軽減可能であることを明らかにした．

(3) 提案手法を組み込んだ Android アプリケーションは，スマートフォンやタブレット端末で利用可能であることを明らかにした．

(4) 被験者 14 名を対象としたアンケートおよびヒアリング調査に基づいてユーザインタフェース（UI）の改良を反復して行い，提案手法を組み込んだビデオチャットアプリケーションにおいて，実用可能な UI を作成した．

Akita University

第 3 章　参考文献

[1] Microsoft Corp., “Skype”, http://www.skype.com/

[2] Ustream, “Ustream”, http://www.ustream.tv/

[3] 川端，谷藤，諸岡，“移動物体像の抽出技術”，情報処理，vol.28，no.4，pp.395-402 (1987)

[4] 森田，山澤，寺沢，横矢，“全方位画像センサを用いたネットワーク対応型遠隔監視システム”，信学論（D-II），vol.J88-D-II，no.5，pp.864-875 (2005)

[5] 高木，下田，“新編 画像解析ハンドブック”，東京大学出版会（2004)

[6] 山下，縣，金子，“動的輪郭モデルを用いたストライプ状クロマキー”，映情学誌，vol.61，no.2，pp.189-197 (2007)

[7] iChat: http://support.apple.com/kb/PH5601

[8] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, “Snakes: Active contour models”, International Journal of Computer Vision, vol.1, no.4, pp.321-331 (1988)

[9] 市川, “画像処理装置および画像処理方法”, 特許第 4447520 号（2010-04-07)

[10] 大田，“色彩工学　第 2 版”，東京電機大学出版局（2005)

[11] 篠田，藤枝，“色彩工学入門”，森北出版株式会社（2007)

[12] 日本色彩学会, “新編 色彩科学ハンドブック［第 3 版］”, 東京大学出版（2011)

[13] JIS Z 8725, “光源の分布温度および色温度・相関色温度の測定方法”（1987)

[14] 塚田, 大田, “記憶色に基づく色再現とその高画質化応用”, 映情学論, vol.60, no.3，pp.348-357 (2006)

[15] 富永, 石田, B.A. Wandell, “センサ相関法によるシーン照明の色温度推定”, 信学論，vol.J-85-D-II，no.5，pp.886-897 (2002)

[16] Google，“Android”，http://www.android.com/

[17] JIS X 9207，“画像技術における色管理―体系，プロファイル書式及びデータ構造―第一部：ICC.1:2010”（2010)

[18] R. W. G. Hunt and M. R. Pointer, “A colour-appearance transform for the CIE 1931 standard colorimetric observer”, Color Research & Application, vol.10, no.3, pp.165-179 (1985)

[19] phonon, “ColorAC”, http://n-colorspace.cool.coocan.jp/

[20] G. Buchsbaum, “A spatial processor model for object colour perception”, Journal of the Franklin Institute, vol.310, no.1, pp.1-26 (1980)

[21] Willowgarage, “OpenCV”, https://www.willowgarage.com/

[22] JIS C 7612，“照度測定方法”，(1985)

[23] 小松原，“色彩ワンポイント 2”，日本規格協会（1993)

Akita University

[24] Tomo.Yun, “ゆんフリー写真素材集”, http://www.yunphoto.net/
[25] L. L. Thurstone, “A law of comparative judgment”, Psychological Review, vol. 24, no. 4, pp. 273-286 (1927)
[26] 田中, “心理学的測定法”, 東京大工出版 (1977)
[27] 飯田, “感覚生理工学”, 株式会社コロナ社 (2009)
[28] 石川, 米山, “分散分析法入門”, 株式会社日科技連出版 (1967)

Akita University

第 4 章　結論

情報通信技術の発展に伴って人物写真および動画が日常的に利用されるようになり，ユーザの要求に合わせたコンテンツ利活用を可能にする機能の開発が求められている．具体的には，上記機能の実現を目的とし，①膨大な写真の中から品質の高い写真を検索するために，画像処理技術を用いて写真に含まれる感性情報を評価する方法，並びに②写真・動画の高品質化を目的として，そのコンテンツ自体に画像処理を施して高品質化を図る方法のように，感性情報を考慮可能な人物画像処理の開発が求められている．そこで本論文では，感性情報を考慮した人物画像処理の開発を目的とし，①人物写真の選定支援を目的とした顔画像における白飛びの準定量評価，②色温度特徴に着目した背景差し替えの違和感軽減について検討を加えた．以下に，本論文で得られた主な結果をまとめて記し，それに引き続いてこれらの工学的意義についてまとめる．

4.1　本論文により得られた主な知見

第 1 章では，本論文の主題である感性情報を考慮した人物画像処理の開発について，人物写真および動画に関する利活用の現状とその関連研究，並びに今日までの研究状況を概観し，本研究の目的および本研究に対する筆者の立場を述べるとともに，本論文の内容について述べた．

第 2 章では，人物画像を構成する「人物領域」に着目し，人物写真の品質劣化要因となり得る「白飛び」の準定量評価について検討を加えた．具体的には，証明写真やプロフィール写真などに利用する人物写真の選定支援を目的として，顔画像における白飛びの準定量評価手法を提案した．さらに，提案手法の有用性について検討を加えたところ，次のような結果が得られた．

(1) 顔画像における白飛びの定量評価値として「白飛び率」を，白飛びの準定量評価指標として「白飛び強度」をそれぞれ定義し，白飛び率を用いて白飛び強度を判定する手法を提案した．その結果，正面顔画像に対する白飛びを準定量的に評価可能であることを明らかにした．

(2) 適切な SVM パラメータを用いた提案手法は, 90.0%の精度で白飛び強度を判定可能であることを明らかにした．

(3) 証明写真やプロフィール写真などに利用する顔画像の検索を想定し，正面顔画像に対して，適切な SVM パラメータを用いた提案手法により“白飛び強度「無・弱」への絞り込み”および“白飛び強度「無・弱・中」への絞り込み”を行った．この結果，検索性能 F 値はそれぞれ 94.5%および 96.2%を示し，白飛びのない高品質な顔画像の検索が可能であることを明らかにした．

Akita University

第 3 章では，人物画像を構成する「背景領域」を別の画像に差し替える背景差し替え法に着目した．具体的には，背景差し替えにおける前景（人物領域）と新しい背景（風景画像）の光源色の違いに起因して生じる背景差し替え映像の違和感を軽減する手法を提案し，その有用性について検討を加え，次のような結果を得た．

(1) 色温度特徴に着目し，人物領域の光源色が差し替え用風景画像の光源色と同一となるような色味変換（色順応変換）を施し，背景差し替え映像の違和感軽減を行う手法を提案した．

(2) 被験者 14 名を対象とした評価実験の結果，色被りした風景画像を利用した背景差し替えにおいて，提案手法は人物領域と差し替え画像の色味の差異に起因した背景差し替え映像の違和感を軽減可能であることを明らかにした．

(3) 提案手法を組み込んだ Android アプリケーションは，スマートフォンやタブレット端末で利用可能であることを明らかにした．

(4) 被験者 14 名を対象としたアンケートおよびヒアリング調査に基づいてユーザインタフェース（UI）の改良を反復して行い，提案手法を組み込んだビデオチャットアプリケーションにおいて，実用可能な UI を作成した．

4.2 本論文の工学的意義

ユーザの感性的な評価は定性的な評価を含むことが多く，感性情報を考慮した人物画像処理の開発および評価を行うためには，定性的な評価指標の定量化やユーザテストによる手法の評価などのアプローチが必要となる．そこで本論文では，人物写真や動画を対象として，①人物写真のもつ感性情報を評価する手法，並びに②感性情報を考慮し写真・動画を高品質化する手法を提案することで，感性情報を考慮した人物画像処理を開発するためのアプローチを示した．以下に，本論文の工学的意義について述べる．

(1) 写真劣化要因である「白飛び」が生じた顔画像は，閲覧者にネガティブな印象を与える可能性がある．このため，証明写真やプロフィール写真などに用いる顔画像の選定を目的とした人物画像検索において，顔部の白飛びが閲覧者に与える印象度合いに着目し，画像検索のための索引付けを行う必要がある．本論文では，顔画像における白飛びと主観評価の関連について検討を加え，顔部の白飛びを準定量的に評価（定性的な意味合いを併せ持った定量評価）するための指標として「白飛び強度」を定義するとともに白飛び強度判定アルゴリズムを提案し，人物画像に含まれる感性情報を準定量的な評価に基づいて数値化するアプローチを示した．被験者 11 名

Akita University

による主観評価と白飛び強度判定結果を比較したところ，白飛び強度判定アルゴリズムは，顔画像の白飛びに対する準定量評価を可能にすることが明らかとなった．

(2) 風景画像を用いた背景差し替え法は，ビデオチャットにおけるプライバシに配慮するとともに，エンターテイメント性を付与可能であるものの，前景である人物領域と新しい背景である風景画像における光源色の違いに起因した違和感を背景差し替え映像に生じさせる可能性がある．本論文では，人物領域と風景画像における光源色の色温度特徴に着目し，風景画像の光源色に合わせて人物領域の光源色を変換（色順応変換）することで，背景差し替えにおける違和感を軽減する手法を提案した．さらに，スマートフォンやタブレット端末での利用を想定して提案手法を組み込んだビデオチャットアプリケーションを作成し，背景差し替え映像の評価実験およびユーザインタフェースの改善に関するヒアリングなどを実施することで，感性情報を考慮したコンテンツ高品質化手法の開発アプローチを示した．被験者 14 名による評価実験の結果，提案手法は色被りした風景画像を用いた背景差し替え映像に対する違和感軽減を可能にすることを明らかにした．

4.3 今後に残された諸問題

最後に，今後に残された諸問題について述べる．

(1) 顔向きの変化にロバストな白飛び強度判定処理の開発

本論文において提案した白飛び強度判定アルゴリズムは，正面顔に対して高い評価精度を有していることから，具体的な応用例として正面顔画像の撮影を行う証明写真機器などへの組み込みが考えられる．しかしながら，正面以外の顔向きにおいて，白飛び強度判定精度が低下する傾向を認めた．このため，顔の向きの変化にロバストな白飛び頻出領域の設定について検討を加え，提案手法の汎用性向上を目指す必要がある．

(2) 光源色推定処理の改善

本論文において提案した背景差し替えの違和感軽減法は，青被りまたは赤被りした自然風景画像を用いた背景差し替え映像の違和感を軽減可能であった．しかしながら，青色と赤色が混在した空模様や色の偏りのある建物や看板を含む人工的な風景など，風景画像は多種多様である．このため，提案手法の汎用性の向上を目的とし，風景画像の光源色推定法の改良について検討を加える必要がある．

Akita University

謝辞

本研究の遂行並びに本論文の作成にあたって，終始懇切なるご指導とご鞭撻を賜りました秋田大学 教授 博士（工学） 景山 陽一 先生，秋田大学副学長 教授 工学博士 西田 眞 先生に心からお礼申し上げます.

本論文をまとめるにあたり，広い視野から数々の有益なご教示を頂きました秋田大学教授 工学博士 五十嵐 隆治 先生，並びに同教授 博士（工学） 水戸部 一孝 先生に深く感謝いたします.

本研究は，秋田大学 大学院工学資源学研究科情報工学専攻・工学資源学部情報工学科 西田研究室・景山研究室において行われたものです．本研究の遂行において適切な助言を与えて下さった博士（工学） 石沢 千佳子 先生，並びに 博士（工学） 高橋 毅 技術専門職員をはじめ，西田研究室・景山研究室の皆様，卒業生の皆様に心から感謝いたします.

本研究に関して貴重なご助言を頂きました株式会社アルファシステムズ 博士（工学） 白澤 洋一 氏，秋田県立大学 博士（工学） 石井 雅樹 先生に謝意を表します.

最後に，大学院博士後期課程への入学について理解を示し，在学中の支えとなってくれた家族と友人に心から感謝いたします.

Akita University

本論文の第 2 章は，電気学会論文誌 C 掲載論文「村上 龍希，景山 陽一，西田 眞，白澤 洋一，“人物写真の選定支援を目的とした顔画像における白飛びの準定量評価”，電気学会論文誌 C，vol.133，no.11，pp.2098-2109 (2013)」を基に執筆したものであり，本論文の第 3 章は，知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌）掲載論文「村上 龍希，景山 陽一，西田 眞，“色温度特徴に着目した背景差し替えの違和感軽減”, 知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌）, vol.25, no.4, pp.806-818 (2013)」を基に執筆したものです（本論文 100 頁，本研究に関する発表論文(1)(2)参照）.

- 村上 龍希，景山 陽一，西田 眞，白澤 洋一，“人物写真の選定支援を目的とした顔画像における白飛びの準定量評価”, 電気学会論文誌 C, vol.133, no.11, pp.2098-2109 (2013 年 11 月)
- 村上 龍希, 景山 陽一, 西田 眞, “色温度特徴に着目した背景差し替えの違和感軽減”，知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌），vol.25，no.4，pp.806-818 (2013 年 10 月)

Akita University

本研究に関する発表論文

学術論文誌

レフェリー制のある学術雑誌

○(1) 村上 龍希，景山 陽一，西田 眞，白澤 洋一，“人物写真の選定支援を目的とした顔画像における白飛びの準定量評価”，電気学会論文誌 C，vol.133，no.11，pp.2098-2109 (2013 年 11 月)

○(2) 村上 龍希，景山 陽一，西田 眞，“色温度特徴に着目した背景差し替えの違和感軽減”，知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌)，vol.25，no.4，pp.806-818 (2013 年 10 月)

(3) T. Murakami, Y. Kageyama and M. Nishida, “Background Replacement Using Chromatic Adaptation Transform for Visual Communication,” Journal of Visual Communication and Image Representation, Submitted

国際会議

(1) T. Murakami, Y. Kageyama and M. Nishida, “Background Replacement Using Two-Way Chromatic Adaptation Transform,” SICE ANNUAL CONFERENCE 2014 (Sapporo, Japan), ThAT10.6, pp.985-988, DVD-ROM (Sep., 2014)

(2) T. Murakami, Y. Kageyama and M. Nishida, “A Study on Illuminant Color Estimation for Background Replacement Using Chromatic Adaptation Transform,” The Seventh Inter. Conf. on Mater. Eng. for Resources, (Akita, Japan), pp.262-267, CD-ROM (Nov., 2013)

(3) T. Murakami, Y. Kageyama and M. Nishida, “Use of Dichromatic Reflection Model to Estimate the Illuminants of Landscape Images for Background Replacement,” 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2013) (Manchester, United Kingdom), pp.273-278, USB (Oct., 2013)

(4) T. Murakami, Y. Kageyama, M. Nishida and Y. Shirasawa, “Features for image retrieval: the impression degree of a human image by overexposure occurring in the facial area,” SICE ANNUAL CONFERENCE 2012 (Akita, Japan), TuP01-04, DVD-ROM (Aug., 2012)

口頭発表

(1) 村上 龍希，景山 陽一，西田 眞，“背景差し替えにおける双方向色順応変換の利用”，2014 年映像情報メディア学会冬季大会，8-6 (2014 年 12 月)

(2) 松井 雄，村上 龍希，景山 陽一，石沢 千佳子，西田 眞，七尾 重亮，岩花 賢，五代儀 康崇，昆太 一，“テクスチャ情報を活用した河川堤防における植生の種別と比率推定に関する検討”，2014 年映像情報メディア学会冬季大会，6-9 (2014 年 12 月)

(3) 村上 龍希，景山 陽一，西田 眞，“鼻領域に白飛びを有する顔画像を対象とした肌色補正に関する検討”，第 19 回日本顔学会大会（フォーラム顔学 2014），P2-10 (2014 年 10 月)

(4) 松井 雄，村上 龍希，景山 陽一，石沢 千佳子，西田 眞，菅井 明仁，齊藤 審，五代儀 康崇，昆太 一，“ズームの違いを考慮した河川堤防画像における植生の種別と比率推定に関する基礎検討”，平成 26 年度電気関係学会東北支部連合大会，2H16 (2014 年 8 月)

(5) 村上 龍希，景山 陽一，西田 眞，“双方向色順応変換を用いた背景差し替え法に関する検討”，平成 26 年度電気関係学会東北支部連合大会，1H01 (2014 年 8 月)

(6) 松井 雄，村上 龍希，景山 陽一，石沢 千佳子，西田 眞，菅井 明仁，齊藤 審，五代儀 康崇，昆太 一，“河川堤防における植生の種別と比率確定のための SVM パラメータ設定に関する検討”，日本素材物性学会平成 26 年度（第 24 回）年会，A-6 (2014 年 6 月)

(7) 村上 龍希，景山 陽一，西田 眞，“色順応変換を用いた背景差し替え処理の改善”，2014 年電子情報通信学会総合大会，A-15-19 (2014 年 3 月)

(8) 松井 雄，村上 龍希，景山 陽一，石沢 千佳子，西田 眞，菅井 明仁，齊藤 審，五代儀 康崇，昆 太一，“テクスチャ情報を活用した河川堤防における植生の種別と比率推定に関する基礎検討”，2014 年電子情報通信学会総合大会，D-12-3 (2014 年 3 月)

(9) 松井 雄，村上 龍希，景山 陽一，石沢 千佳子，西田 眞，菅井 明仁，齊藤 審，五代儀 康崇，昆 太一，“テクスチャ情報を活用した SVM による河川堤防における植生の種別と比率推定に関する検討”，平成 25 年度日本知能情報ファジィ学会東北支部研究会，04 (2014 年 3 月)

(10) 源波 良，村上 龍希，景山 陽一，西田 眞，“鼻領域における白飛びを対象とした顔画像の肌色補正に関する検討”，平成 25 年度日本知能情報ファジィ学会東北支部研究会，02 (2014 年 3 月)

(11) 村上 龍希，景山 陽一，西田 眞，“色順応変換を用いた背景差し替えにお

ける光源色推定法”，2013 年映像情報メディア学会年次大会，8-3 (2013 年 8 月)

(12) 村上 龍希，景山 陽一，西田 眞，“Use of mean shift segmentation for illuminant estimation”，平成 25 年度電気関係学会東北支部連合大会，2A15 (2013 年 8 月)

(13) 村上 龍希，景山 陽一，西田 眞，“背景画像の光源色に着目した背景差し替え法”，日本素材物性学会平成 25 年度（第 23 回）年会，A-21 (2013 年 6 月)

(14) 村上 龍希，景山 陽一，西田 眞，“色温度に着目した背景置換の違和感軽減法”，情報処理学会第 75 回全国大会，2D-3 (2013 年 3 月)

(15) 村上 龍希，景山 陽一，西田 眞，白澤 洋一，“SVM を用いた顔画像における白飛びの定性評価に関する検討”，2012 年映像情報メディア学会冬季大会，12-6 (2012 年 12 月)

(16) 村上 龍希，景山 陽一，石沢 千佳子，西田 眞，池田 寿昌，“色温度特徴に着目した背景置換の違和感軽減に関する検討”，平成 24 年度電気学会基礎・材料・共通部門大会，P-32 (2012 年 9 月)

(17) 村上 龍希，景山 陽一，西田 眞，白澤 洋一，“顔領域における白飛びに着目した人物画像の印象度判定に関する検討”，平成 23 年度第 2 回情報処理学会東北支部研究会，4 (2011 年 12 月)

(18) 村上 龍希，景山 陽一，西田 眞，白澤 洋一，“写真選定における顔画像の印象と白飛びの関連に関する検討”，第 16 回日本顔学会大会（フォーラム顔学 2011），P2-10 (2011 年 9 月)

(19) 村上 龍希，景山 陽一，西田 眞，白澤 洋一，“人物画像における顔領域に着目した白飛び印象度判定アルゴリズム”, FIT2011 第 10 回情報科学技術フォーラム，J-037 (2011 年 9 月)

(20) 村上 龍希，景山 陽一，西田 眞，白澤 洋一，“室内取得データにおける人物の顔領域に着目した白飛び判定に関する検討（Ⅱ）”，平成 22 年度電気関係学会東北支部連合大会，2D03 (2010 年 8 月)

(21) 村上 龍希，景山 陽一，西田 眞，白澤 洋一，“室内取得データにおける人物の顔領域に着目した白飛び判定に関する検討”，日本素材物性学会 平成 22 年度（第 20 回）年会，B-21 (2010 年 6 月)

(22) 村上 龍希，景山 陽一，西田 眞，白澤 洋一，“室内取得データにおける重要人物の白飛び判定に関する検討”，平成 21 年度日本知能情報ファジィ学会東北支部研究会，8 (2010 年 3 月)

Akita University

付録　相関色温度の測定に用いる数値データ

付表 1　黒体放射軌跡上の色度座標および等色温度線の傾斜の逆数（1/2）

逆数相関色温度 (MK^{-1})	相関色温度 (K)	黒体放射軌跡の色度座標		等色温度線の傾斜の逆数
		u	v	m
0	∞	0.180046	0.263577	-4.09562
10	100000	0.180638	0.265948	-3.91330
20	50000	0.181309	0.268506	-3.71055
30	33333	0.182067	0.271236	-3.49513
40	25000	0.182919	0.274118	-3.27420
50	20000	0.183872	0.277131	-3.05386
60	16667	0.184932	0.280251	-2.83890
70	14286	0.186103	0.283452	-2.63279
80	12500	0.187389	0.286709	-2.43778
90	11111	0.188792	0.289997	-2.25517
100	10000	0.190312	0.293293	-2.08544
110	9091	0.191949	0.296575	-1.92856
120	8333	0.193701	0.299825	-1.78409
130	7692	0.195566	0.303025	-1.65136
140	7143	0.197540	0.306162	-1.52956
150	6667	0.199619	0.309223	-1.41784
160	6250	0.201799	0.312199	-1.31534
170	5882	0.204074	0.315083	-1.22121
180	5555	0.206440	0.317868	-1.13468
190	5263	0.208891	0.320550	-1.05503
200	5000	0.211423	0.323126	-0.98159
210	4762	0.214030	0.325595	-0.91377
220	4545	0.216706	0.327956	-0.85104
230	4348	0.219449	0.330208	-0.79290
240	4167	0.222251	0.332354	-0.73895
250	4000	0.225110	0.334393	-0.68880
260	3846	0.228020	0.336329	-0.64211
270	3704	0.230978	0.338163	-0.59859
280	3571	0.233979	0.339897	-0.55795
290	3448	0.237020	0.341536	-0.51998
300	3333	0.240097	0.343080	-0.48444
310	3226	0.243206	0.344534	-0.45115
320	3125	0.246345	0.345901	-0.41994
330	3030	0.249511	0.347183	-0.39065
340	2941	0.252699	0.348384	-0.36315

※図中の色度は，2 度視野 CIE 1960 UCS 色度図上の色度座標を示す.

Akita University

付表 1　黒体放射軌跡上の色度座標および等色温度線の傾斜の逆数（2/2）

逆数相関色温度 (MK^{-1})	相関色温度 (K)	黒体放射軌跡の色度座標		等色温度線の傾斜の逆数
		u	v	m
350	2857	0.255909	0.349508	-0.33729
360	2778	0.259136	0.350557	-0.31298
370	2703	0.262379	0.351534	-0.29010
380	2632	0.265635	0.352443	-0.26855
390	2564	0.268902	0.353287	-0.24826
400	2500	0.272179	0.354069	-0.22914
410	2439	0.275462	0.354791	-0.21111
420	2381	0.278750	0.355457	-0.19410
430	2326	0.282042	0.356070	-0.17806
440	2273	0.285335	0.356631	-0.16293
450	2222	0.288629	0.357144	-0.14864
460	2174	0.291922	0.357611	-0.13515
470	2128	0.295211	0.358034	-0.12241
480	2083	0.298497	0.358417	-0.11038
490	2041	0.301778	0.358760	-0.09902
500	2000	0.305053	0.359066	-0.08828
510	1961	0.308320	0.359338	-0.07814
520	1923	0.311579	0.359577	-0.06856
530	1887	0.314829	0.359785	-0.05950
540	1852	0.318068	0.359964	-0.05094
550	1818	0.321297	0.360115	-0.04285
560	1786	0.324514	0.360240	-0.03520
570	1754	0.327718	0.360342	-0.02797
580	1724	0.330909	0.360420	-0.02114
590	1695	0.334087	0.360477	-0.01467
600	1667	0.337250	0.360513	-0.00856
610	1639	0.340397	0.360531	-0.00279
620	1613	0.343530	0.360531	0.002674
630	1587	0.346646	0.360515	0.007839
640	1563	0.349746	0.360483	0.012722

※図中の色度は，2 度視野 CIE 1960 UCS 色度図上の色度座標を示す.