

ファンデーションの塗りムラをなくするための基礎調査

梶田 美帆[†] 中村 聡史[†]

[†] 明治大学総合数理学部 〒164-8525 東京都中野区中野 4-21-1

E-mail: [†] kajitafms5@meiji.ac.jp

あらまし ファンデーションはムラなく塗ることで肌の欠点を隠すカバー効果が期待される。しかしファンデーションは自身の肌色に近い素肌と同化しやすく、塗りすぎや一部だけ塗り忘れてしまう問題などが起こりやすい。そこで本研究では、化粧時にリアルタイムでファンデーションの塗布状態を可視化することで、塗りムラをなくするための化粧支援システムの実現を目指す。本稿では、その研究の初期段階としてファンデーションを中心とした化粧に関する調査をクラウドソーシングにより大規模調査するとともに、ファンデーションの塗布画像と素肌の画像を、機械学習を用いて分類する手法について検討した結果、82.3%と高精度で判別可能であることがわかった。

キーワード 化粧, ファンデーション, 塗りムラ, 機械学習, 可視化

1. はじめに

顔は年齢や性別、感情などの個人の印象を捉えやすい部位である[1]。そのため、人々は顔の印象を理想に近づける手段のひとつとして化粧を施している[2]。2019年にポーラ社が行ったインターネット調査[3]によると、15～64歳の女性の約80%が化粧をすることが明らかになっている。また、女性のみならず男性の化粧需要も増えてきており、男性用化粧品を販売するブランドも増加している。こうした背景もあり、国内の化粧品市場規模は2018年度には2兆6490億円までに成長している[4]。

化粧については一般的に、雑誌などの特集や、化粧品を買う際に受けるビューティーアドバイザーからのアドバイスなどで学ぶことができる。また、近年では芸能人やインフルエンサーらが、YouTubeなどの動画配信サイトやInstagramなどのSNSを通じて、自身に化粧を施す様子やその時に使用している化粧品などを公開しており、気軽に化粧について学ぶ機会も増えつつある。ここで、2014年のアスマーク社の調査[5]では自身の化粧の腕前の自己評価は、100点満点中平均で約51点と低く、自身が施した化粧に満足している人は少ない。これは既存の学習法によって、個人の体質や好みにあった化粧品の選択方法や、自身の顔に施す技術を身につけることが難しいからであると考えられる。同アンケートでは化粧の上達に必要なと感じることとして、「プロの技術を知ること」と同時に「プロの技術を体験すること」などがあげられている。このことから、誰かが化粧を施している様子を見ることや知識として学ぶことだけでは、自身に合った化粧を自身で施すための技術を学ぶことが難しいと考えられる。つまり、自身で化粧を施す際には既存の学習法のみでは解決が難しい問題が多く存在するといえる。

化粧に関連して、顔の印象から受けとられる健康状態は顔の魅力と関連することが知られている[6, 7, 8]。

そのため、肌の健康状態や質感を化粧によって理想の状態に近づけることは、個人の理想とする顔の印象に近づけることであり、非常に重要である。実際に、これまで肌の質感をコントロールする化粧品を開発するための研究[9]が行われてきており、肌の健康状態や質感を改善するスキンケアや、肌を即時的に整え、理想の質感を演出するベースメイクなどに着目されている。

ベースメイクに用いられる化粧品の中で、特に肌の表面を均一に整えることを目的としたものがファンデーションである。ファンデーションには肌色補正効果、毛穴や色ムラなど肌の欠点を隠すカバー効果、化粧を施した肌の見た目に「自然さ」「透明感」などの理想的な質感を付与する効果などが期待されている。一方で、ファンデーションは適切に塗らないとシミや毛穴などの肌の難点を綺麗に隠すことが難しい。また、ファンデーションには日焼け止め成分が含まれていることも多く、塗りムラがあることで、肌の一部が日焼けをしてしまう可能性もある。しかしながら、何度もファンデーションを重ねると、重ねた部分から化粧が崩れやすくなるため、適切な量を塗る必要がある。

以上の理由から、ファンデーションを適切に、塗りムラなく綺麗に塗ることは重要である。しかしファンデーションは自身の肌色に近いものを選ぶことが推奨されているため素肌と同化しやすく、ファンデーションを塗った箇所と塗っていない箇所の判別がつきにくい。そのため、想定していた量よりも塗りすぎることや、一部だけ塗り忘れてしまう問題が起こりやすい。

ここで、ファンデーションを塗る際の問題について3章で後述するクラウドソーシングを用いたアンケート調査を行ったところ、ファンデーションを塗る際にはシミや毛穴などの欠点を手早く簡単にかつ綺麗に隠すことが求められていることがわかった。その一方で、実際に多くの人が、自身で化粧を施す際ファンデーションをどこにどの程度塗布したかを把握することが難

しいため塗りムラについて悩んでいることがわかった。

そこで本研究では、化粧時にリアルタイムでファンデーションの塗布状態を可視化することによって、自分がどこにどの程度の量のファンデーションを塗ったのかを確認しやすくし、塗りムラをなくす化粧支援システムの実現を目指す。

これまで塗りムラの検出にまつわる研究としては、西野ら[10]によって、素肌とファンデーション肌の反射の波長特性の差異を強調する光学フィルタを用いたファンデーション量の定量化・分布計測システムが開発された。しかしこれは実験により分光透過特性を最適化した光学フィルタが必要であり、一般ユーザが利用することは難しい。

我々は、ユーザが自宅だけではなく出先などでもスマートフォンなどによって簡単に塗りムラをチェックできるシステムの実現を目的としている。本研究では、その初期段階として、スマートフォンのカメラによって撮影したファンデーションを塗布した肌（以下ファンデーション肌）画像と素肌の画像を、機械学習を用いて分類する手法について検討した。

2. 関連研究

肌状態を分析することは、特に美容や医療の分野において客観的な評価や診断を行うために重要である。

従来の肌分析には、マイクロスコープなどにより肌の接写画像を取得し分析する方法が多く用いられてきた。荒川ら[11]は、皮膚表面拡大画像から皮溝や皮丘、毛穴などの肌微細構造を定量化する手法を開発した。

また、ファンデーションを塗布することで演出できる肌の質感などの「仕上がり」は、ファンデーション組成中の粉体の光学特性に大きく依存する[12]。例えば上原ら[13]は、全透過率、透過光拡散度及び透過光彩度に優れた粉体を応用し若々しい印象を与えるファンデーションを開発した。また、土居ら[14]は素肌からファンデーション肌の色を推定するため、Kubelka-Munk 理論[15][16]を用いてファンデーションの散乱係数、吸収係数及び層の厚みからファンデーション層の分光透過率と分光反射率を計算した。

素肌とファンデーション肌の識別を行った研究もこれまで行われてきた。ファンデーション肌は素肌と比較して光をより効率的に吸収する[17]ことに着目し、西野ら[10]は、素肌とファンデーション肌の反射の波長特性の差異を強調する光学フィルタを用いたファンデーション量の定量化・分布計測システムを開発した。

しかし、これらの技術はマイクロスコープやフィルタなど特別な機器が必須である。本研究では、一般のユーザが自身のファンデーション肌について、特別な機器を使用せずにスマートフォンなどの一般的なカメ

ラによってチェックできるシステムの実現を目的としている。

化粧は自身の顔を理想の印象に近づけるための手段のひとつであるが、人によって理想の仕上がり、肌質などが異なるため、個人のニーズに合った方法を学ぶことは難しい。そこで化粧技術の向上支援として写真から検出したユーザの顔に化粧を施すシミュレーションシステム[18, 19, 20]などの研究が行われてきた。しかし、皮膚は表皮と真皮の2層から成り、光反射の計算が複雑であるため、静止画を用いたシミュレーション結果は照明条件などに左右される可能性がある。そこで、より精度の高い化粧シミュレーションを行うため、Tsumura ら[21]はユーザの肌の質感に近い CG の顔モデルを作成した。また、Huang ら[22]は、Kubelka-Munk モデル[15][16]とスクリーン空間スキレンダリングアプローチを組み合わせることで肌の光学的特性を考慮し、化粧シミュレーションの精度を高めた。

一方で、これらのシミュレーションは大掛かりで化粧時に手軽にユーザが利用できる手段ではない。そこで高木ら[23]は、ユーザが自身の顔に施した実際の化粧に対してアドバイスするシステムを提案している。このシステムはまず、デジタルカメラで撮影したユーザの顔画像から、化粧の各段階におけるシミュレーション結果と施し方を提示する。ユーザはそのアドバイスをもとに自身で化粧を施したのち、システムにより、シミュレーション結果と実際にユーザが施した化粧の比較によるアドバイスを受けることができる。しかしこの研究ではファンデーションの塗りムラについては考慮されていない。我々は高木ら[23]のシステムのよう、化粧時にファンデーションの塗りムラを指摘・アドバイスできるシステムの実現を目指す。

3. 化粧やファンデーションにまつわる調査

3.1. 調査概要

本研究では、化粧時にファンデーションの塗りムラを解消するためのシステムの実現を目的としている。そこで初期段階としてファンデーションを中心とした化粧の実態の調査を、化粧をしたことのある女性 1000 人に対して Yahoo!クラウドソーシング[24]を用いて行った（実施期間 2020 年 9 月 4～5 日）。また質問においては、指示がない場合 COVID-19 流行以前のことにについて回答を求めた。ここで、依頼対象はサービスに登録している不特定多数のユーザであり、調査協力者の回答における信頼性が課題となる。そこで本稿では、著者の所属する研究室でこれまで実施されたクラウドソーシングで不適当な回答をしたユーザ 780 人を、依頼対象から事前に除外した。また調査終了後、指示を無視しているなど明らかに信頼性が低いと判断できた

16 件の回答については、分析対象から除外した。以降では 984 人分の有効回答について分析した結果を述べる。

3.2. 結果と分析

アンケート調査結果の一部を図 1～7 に示す。回答者の年齢分布は図 1 の通りである。

図 2 より、COVID-19 以前・以後の化粧の頻度について、COVID-19 以前に週 2、3 回以上化粧をする機会があったと回答した人は約 9 割もいることがわかった。同様に、外出自粛の影響などで化粧の機会が減ったと考えられる COVID-19 以後においても、週に 2、3 回以上化粧をする人は 75%を超えていた。一方で、化粧に対する苦手意識について「かなりある」と回答した人は 24.5%、「少しある」と回答した人は 48.9%であった（図 3）。これらの結果より、多くの人が日頃から化粧の機会がある一方で、化粧に対する苦手意識を抱えている人も一般的に少なくないことがわかる。

また、日常の化粧と特別な日の化粧において、化粧すべての工程とベースメイク自体にかかる時間についてそれぞれ回答してもらった結果、化粧自体にさほど時間をかけない人が多い傾向があることがわかった。図 4 より、日常的に施す化粧よりも特別な日に施す化粧の方に時間をかけてはいるものの、どちらも 10 分未満ないしは 10 分～30 分未満で済ませると回答した人の割合が約 9 割を占めている。同様に、図 5 よりベースメイクを施すのにかかる時間は短く、日常的には 5 分未満、特別な日には 5 分～10 分程度の時間でベ-

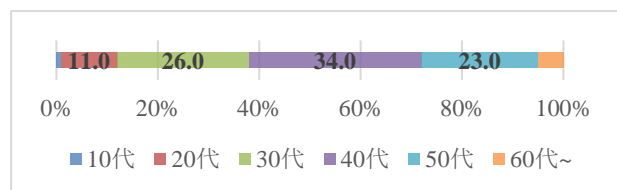


図 1 年齢

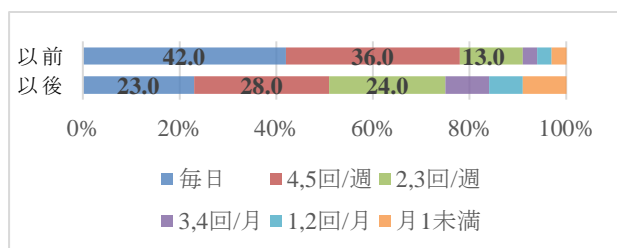


図 2 コロナ以前/以後の化粧頻度

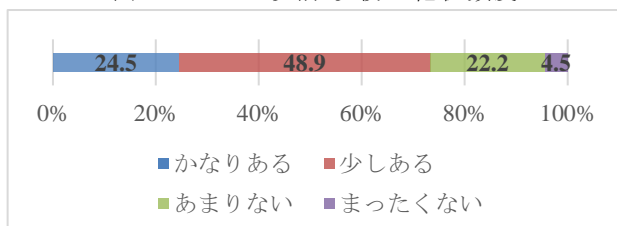


図 3 化粧に対する苦手意識

ースメイクを済ませている割合が一番高いことがわかる。

ベースメイクは目的によって様々な工程が存在する。このうちファンデーション、下地、コンシーラーは主にシミや毛穴などの気になる点を隠すために、ハイライト、シェーディングは顔を立体的に魅せるために用いられる。ここで、ベースメイクの中で最も時間をかける工程として、半分以上がファンデーションを塗る工程を回答した（図 6）。次いで下地に時間をかけると回答した人は 33.5%，コンシーラーが 9.8%で、ハイライト、シェーディングと回答した人はほとんどいなかった。また、図 7 より、ファンデーションについては「シミ、毛穴などの肌の難点のカバー力」が高いものを購入する人が多い傾向にあることがわかる。さ

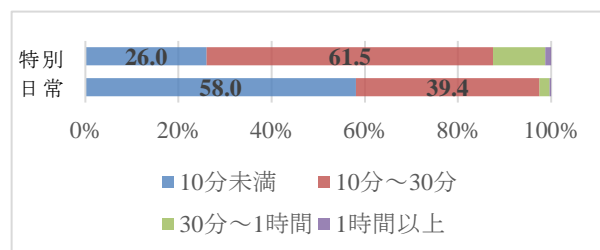


図 4 特別な日の全体の化粧にかかる時間 / 日常的な全体の化粧にかかる時間

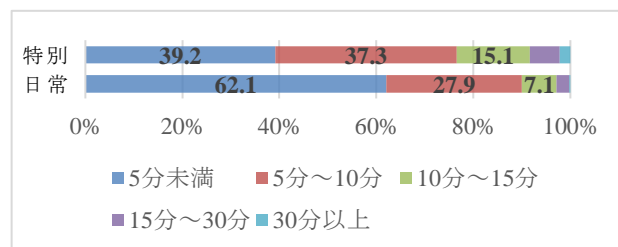


図 5 特別な日のベースメイクにかかる時間 / 日常的なベースメイクにかかる時間

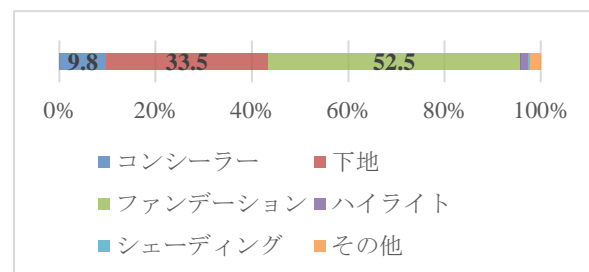


図 6 ベースメイクで一番時間をかける工程

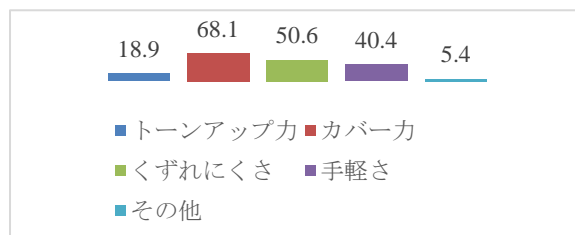


図 7 ファンデーション購入時気にすること

らに、ファンデーション購入時には効果が持続するかといった「くずれにくさ」や「手軽さ」を重要視する人もそれぞれ 50.6%, 40.4%と多い。しかし、図 4, 5 の通り実際にベースメイクにかかる時間は少ない人が多い。これらのことから、ベースメイクにおいては、自分の気になる点を手早く隠せることを望む人が多いと考えられる。

一方で、ファンデーションを塗る際に人は様々な悩みを抱えている。その悩みの中でも、ファンデーションを塗るときに体験した苦勞として、「色ムラ・塗りムラができてしまう」こと、「つけすぎて厚塗りになってしまう」といった塗りムラに関する悩みが多くあげられていた。このことから、ベースメイクをより手軽に行うためには、こうした困難が解消される必要があるといえる。しかし図 8 より、約 8 割の人がベースメイクを自己流で施していることがわかる。ここで、実際にベースメイクを自己流で施していると回答した人のうち、37.2%が前述の悩みをあげている。そのため多くの人がファンデーションの塗りムラに関する悩みを抱えながらも、解決する方法を持たないということが考えられる。

本研究が目的とするファンデーションをムラなく塗るための補助システムの開発は、シミや毛穴などを手早く簡単にかつ綺麗に隠すことを可能にするため、以上のような悩みを持つユーザにとって有用であると考えられる。

4. 肌に対するファンデーション塗布状態判別のためのデータセット構築

本研究では、化粧時にリアルタイムでファンデーションの塗布状態を可視化することによって、自分がどこにどの程度塗ったのかを確認しやすくし、塗りムラをなくすための化粧支援システムの実現を目指す。なお、このシステムはユーザがスマートフォンなどを用いて簡単に利用できることを想定している。

本研究ではまず、ファンデーション肌と素肌を機械的に推定可能かについて検討した。次節以降では、こ

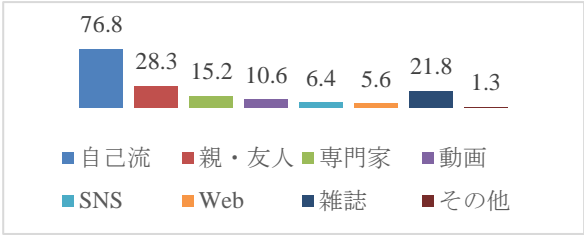


図 8 ベースメイクの学習法

れらのデータセット構築について詳しく述べていく。

4.1. 化粧品選定

ファンデーションには様々な種類が存在し、ユーザはなりたい肌の質感や仕上がりによって、それぞれ適したものを使い分ける。ファンデーションの種類はファンデーション肌の見た目に大きく影響するため、本実験では、パウダー、リキッド、クリームの 3 タイプについて、ツヤ肌とマット肌それぞれの仕上がりごとに 2 種類、計 12 種類のファンデーション（表 1）を用意し、それを使用した状態を次節で後述する手順で撮影した。ここで、ツヤ肌とは潤いとツヤのある素肌感が特徴の肌であり、マット肌は滑らかで肌悩みをカバーした肌のことである。また、本実験では実験協力者それぞれの肌色について適切なファンデーションを準備することは難しいため、著者の肌色をベースに色の選定を行った。なお、実験中の口頭アンケートより、12 種類のファンデーションを塗布した際、ファンデーションと素肌の色の差に大きく違和感を覚えた実験協力者はいなかった。

4.2. データ収集実験

データセット構築のため、素肌とファンデーション肌の画像を収集するファンデーション塗布実験を行った。実験協力者は 16 名（男性 5 名、女性 11 名）の大学生及び大学院生（20～26 歳）である。撮影は 1 日あたり 4 種類のファンデーションを塗布してもらい、合計 3 日間行った。撮影には Android の XperiaXZ3 に内蔵されているカメラを用いた。画素数は約 1920 万画素、F 値は 1.9、ISO 感度が最大 12800 である。

表 1 使用したファンデーション一覧

タイプ	肌の仕上がり	商品名
リキッド	ツヤ	L1 : シュウウエムラ「アンリミテッドグロー フルイド 574」
		L2 : Amplitude「ロングラスティング リキッドファンデーション 20」
	マット	L3 : ESTEE LAUDER「エスティローダー ダブル ステイ イン プレイス メーク 12」
		L4 : LANCOME「タンイドル ウルトラ ウェア リキッド BO-01」
パウダー	ツヤ	P1 : ONLY MINERALS「ファンデーション 5 ライトオークル」
		P2 : CHANEL「ル ブラン コンパクト ラディアンス B10」
	マット	P3 : MAQUILLAGE「マキアージュ ドラマティックパウダリー UV オークル 10」
		P4 : Dior「ディオールスキン フォーエヴァー コンパクト エクストレム コントロール 020」
クリーム	ツヤ	C1 : RMK「クリーミィファンデーション EX #101」
		C2 : SUQQU「ザ クリーム ファンデーション 110」
	マット	C3 : ALBLANC「潤白美肌クリームファンデーション オークル 03」
		C4 : LAURA MERCIER「シルククリーム ファンデーション オイルフリー 03」

データセット収集実験ではまず撮影の前に実験協力者には洗顔をしてもらい、皮脂や化粧などを落としてもらったのち、十分に水分を拭きとった状態の素肌の写真を撮影させてもらった。ここで、額と頬について、それぞれ正面、右斜め、左斜め、顎をカメラに対して手前に出した状態、奥に引いた状態の計5パターンを撮影した。実際の撮影環境は図9の通りである。なお、カメラと実験協力者の距離は約15cmであり、LEDライトで撮影箇所を照らした上で撮影した。このとき、撮影箇所の中心にフォーカスした。

次に、ファンデーション肌の撮影を行った。実験協力者には額全体（生え際から眉上まで）と、左右任意の側の頬全体（鼻横から耳の横まで）に下地を塗ってもらったのち、スポンジパフを用いてファンデーションを塗布してもらった。その後素肌の撮影時と同様の角度から撮影した。また、実験協力者にはなるべく塗りムラができないように丁寧に塗布するよう指導した。

4.3. データセット構築

前節で述べた収集実験より、実験協力者ひとりにつきファンデーションを塗っていない素肌状態の顔画像10枚（部位2か所×5方向）と、ファンデーションを額と頬に塗った顔画像120枚（ファンデーション12種類×部位2か所×5方向）の計130枚を16名分、計2080枚収集した。これらの画像から肌だけを写した画像とするために500px四方に1枚ずつ切り出し、さらにその画像を100px四方に合計25枚分割することによって素肌の画像4000枚（10枚×25分割×16人）、ファンデーション肌画像4000枚（10枚×25分割×16人）からなるデータセットを12種類作成した。

5. 機械による素肌・ファンデーション肌の判別

本章では、スマートフォンに内蔵されるカメラで撮影した素肌画像とファンデーション肌画像を判別することが可能か、機械学習を用いた検証を行う。学習及び判別には4章で構築したデータセットを利用する。

5.1. 学習データの用意

4章の実験により収集した素肌・ファンデーション肌の画像から、学習に利用する特徴量を生成する。

肌の色はメラニンと毛細血管中血液内のヘモグロビン含有量によって決まり[25]、そのバランスにより赤みや黄みがかかる。ファンデーションはそういった肌の赤みや黄みを抑える役割を持つ[9]ため、ファンデーションが塗布された肌の色は、素肌の色と比較して赤みや黄みが抑えられると予測される。そこで、画像の色の傾向を表した特徴量を設定することで、素肌とファンデーション肌の判別が可能になると考えた。

ファンデーションの色は、赤みより・黄みよりの「色相」と、明るさ・暗さの幅を示す「明度」の2軸で分

類される[26]うえ、ファンデーションは、仕上がりの質感について彩度が高くクリアで発色がよい「ツヤ」、彩度が低く少しくすんだような発色の「マット」の2種類に分けられる。そのため、RGB色空間ではなくHSV色空間を用いるのが適切であると考えられる。そこで、画像をRGB色空間からHSV色空間に変換したのち、色相、彩度、明度の平均と標準偏差を取得・計算し、 $2 \times 3 = 6$ 次元の特徴量を生成した（図10）。

今回は、学習においてデータの分割方法を3つ検討した。まず、データセットをそのまま学習する（分割方法1）。次に、画像の部位が頬か額のどちらかによって2種類に分け、素肌画像とファンデーション肌画像各2000枚ずつから成るデータセットを学習する（分割方法2）。最後に、実験協力者ごとに16種類に分け、素肌画像とファンデーション肌画像各2000枚ずつから成るデータセットを学習する（分割方法3）。次節ではこの3パターンで分割した学習データそれぞれについて学習と分類を行った結果を述べる。

5.2. ファンデーション肌と素肌の判別結果と分析

ファンデーション肌と素肌の2値分類を行うため学習アルゴリズムとして、ランダムフォレストを利用した。機械学習にはPythonのライブラリであるscikit-learnを利用し、正解率を求めた。データセットの75%を学習データに、25%をテストデータとし、正をファンデーション肌（ファンデーションを塗っている肌）、負を素肌（ファンデーションを塗っていない肌）とした。1枚の画像に対する正解率の期待値は50%である。

分割方法1の結果を表2、分割方法2の結果を表4に示す。なおここで、真陽性率は本来ファンデーション肌と推測すべき画像を正しくファンデーション肌と判別した割合を、真陰性率は本来素肌と推測すべき画像を正しく素肌と判別した割合を示す。



図9 撮影環境

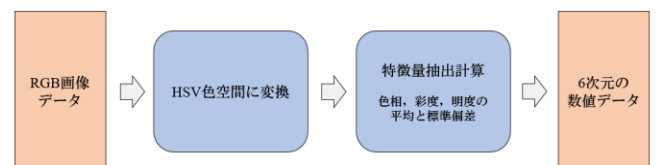


図10 特徴量処理概略図

表 2 分割方法 1 結果

	ツヤ		マット		ツヤ		マット		ツヤ		マット		平均
	L1	L2	L3	L4	P1	P2	P3	P4	C1	C2	C3	C4	
正解率	81.9%	77.6%	78.4%	81.3%	85.1%	83.4%	82.0%	84.0%	82.4%	83.6%	83.3%	84.0%	82.3%
真陽性率	84.0%	78.3%	78.8%	81.7%	86.2%	82.7%	82.4%	82.8%	81.5%	83.9%	82.0%	83.2%	82.3%
真陰性率	79.7%	76.8%	78.0%	80.9%	84.0%	85.0%	81.5%	85.1%	83.5%	83.2%	84.6%	84.7%	82.3%
F 値	0.822	0.777	0.785	0.814	0.853	0.837	0.820	0.838	0.822	0.836	0.831	0.838	0.823

表 3 分割方法 1 結果（特徴量ごとの正解率）

	ツヤ		マット		ツヤ		マット		ツヤ		マット	
	L1	L2	L3	L4	P1	P2	P3	P4	C1	C2	C3	C4
色相	56.1%	59.4%	56.5%	60.8%	66.4%	64.5%	60.9%	63.5%	63.3%	63.2%	60.1%	61.2%
彩度	57.7%	59.8%	61.8%	64.2%	68.9%	67.6%	62.8%	63.3%	62.0%	62.8%	58.4%	61.8%
明度	58.1%	55.3%	55.6%	56.9%	59.0%	58.5%	58.5%	60.3%	63.7%	64.9%	66.5%	66.5%

表 4 分割方法 2 結果

		ツヤ		マット		ツヤ		マット		ツヤ		マット		平均
		L1	L2	L3	L4	P1	P2	P3	P4	C1	C2	C3	C4	
正解率	額	85.9%	85.5%	87.5%	87.7%	93.6%	91.3%	89.7%	91.7%	89.1%	91.3%	89.5%	92.1%	89.6%
	頬	83.5%	76.4%	76.3%	78.5%	85.0%	83.5%	79.5%	83.0%	80.2%	82.0%	82.2%	81.7%	81.0%
真陽性率	額	87.0%	87.6%	87.6%	90.8%	96.0%	93.2%	88.8%	92.8%	88.8%	90.6%	87.2%	91.0%	90.1%
	頬	85.0%	79.8%	77.4%	79.4%	86.4%	79.8%	81.4%	82.2%	79.6%	84.4%	82.0%	82.2%	81.6%
真陰性率	額	84.8%	83.4%	87.4%	84.6%	91.2%	89.4%	90.6%	90.6%	89.4%	92.0%	91.8%	93.2%	89.0%
	頬	82.5%	73.0%	75.2%	77.6%	83.6%	87.2%	77.6%	83.8%	80.8%	79.6%	82.4%	81.2%	80.4%
F 値	額	0.861	0.858	0.875	0.881	0.938	0.915	0.896	0.918	0.891	0.912	0.893	0.920	89.7%
	頬	0.837	0.772	0.766	0.787	0.852	0.829	0.799	0.829	0.801	0.824	0.822	0.818	81.1%

表 5 分割方法 2 結果（特徴量ごとの正解率）

		ツヤ		マット		ツヤ		マット		ツヤ		マット	
		L1	L2	L3	L4	P1	P2	P3	P4	C1	C2	C3	C4
色相	額	63.1%	63.4%	59.4%	69.7%	74.6%	72.8%	65.8%	68.4%	67.2%	68.4%	66.8%	65.3%
	頬	56.9%	57.0%	58.6%	58.4%	65.8%	61.6%	55.4%	58.7%	63.0%	58.8%	55.3%	60.3%
彩度	額	64.9%	65.1%	69.0%	69.9%	76.9%	72.0%	69.2%	71.7%	68.6%	70.3%	65.1%	67.2%
	頬	55.4%	57.3%	58.2%	59.7%	68.7%	65.6%	60.3%	61.2%	58.8%	60.5%	58.1%	59.6%
明度	額	63.2%	63.5%	62.5%	62.2%	64.5%	64.7%	66.9%	68.4%	74.1%	75.0%	71.6%	75.9%
	頬	57.3%	58.3%	57.3%	56.9%	82.5%	63.6%	57.5%	59.7%	61.6%	62.5%	66.3%	64.3%

表 6 分割方法 3（各実験協力者における正解率平均）

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
正解率	91.2%	93.5%	89.5%	89.1%	95.3%	88.7%	90.5%	88.6%	99.9%	88.7%	94.3%	93.4%	93.9%	99.3%	87.3%	95.9%

表 2 より、ファンデーション肌と素肌を平均 82.3% の正解率で判別できることがわかった。真陽性率の平均は 82.3%，真陰性率の平均は 82.3% であった。また、表 4 より部位ごとに学習した結果、平均正解率が額については 89.6%，頬については 81.0% であった。

特徴量は前述の通り色相、彩度、明度の平均と標準偏差の 6 次元であった。ここで判別できた画像の傾向を調査するため、分割方法 1, 2 それぞれについて特徴量を色相の平均と標準偏差、彩度の平均と標準偏差、明度の平均と標準偏差のみで学習・分類を行った。正解率を表 3, 5 に示す。この結果より、特徴量の変化による平均正解率の差はほとんどなかった。一方で、それぞれをファンデーションの種類ごとに比較すると、パウダーファンデーションは色相と彩度の平均、標準偏差を特徴量とした際に最も精度がよく、クリームファンデーションは明度の平均、標準偏差を特徴量とした際に最も精度が高かった。

また、個人差を調べるためにデータセットを各実験協力者について 16 等分し（分割法 3）、学習した（表 6）。結果、実験協力者の個人の平均正解率は 90% を超えるものも多く、また分割方法 1（表 2）における 16 名の平均正解率 82.3% をすべて上回った。

5.3. 考察

本章ではスマートフォンカメラで撮影した素肌画像とファンデーション肌画像を判別することが可能か、機械学習を用いて分析した。ここでは、素肌とファンデーション肌の色味などに着目し、画像の色相・彩度・明度の平均と標準偏差を特徴量とした。その結果高い正解率で判別できることがわかった。また、頬画像よりも額画像の方が、ファンデーションの塗布状態の高い正解率で判別できた。ここで額と頬にファンデーションを塗布した状態の画像（図 11）を比較してみると、額は毛穴やしわなどが比較的頬よりも多く、ファンデーションが平滑に塗られにくい傾向にあることがわか

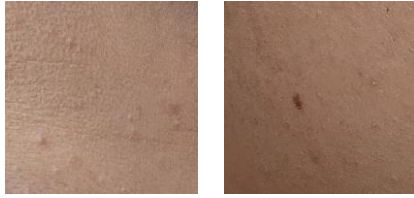


図 11 額（左）と頬（右）の
ファンデーション塗布後状態の画像比較

る．つまりこのような肌に対してファンデーションが一部浮いた状態が，前述の特徴量で表現されていたと考えられる．このことから，同様の特徴量を用いることでファンデーションを厚く塗られた状態と，薄く塗られた状態を分類することも可能であると考えられる．

ここで，判別に特徴量がどのように影響したかを分析するため，特徴量を色相の平均と標準偏差，彩度の平均と標準偏差，明度の平均と標準偏差のみで学習・分類した．その結果，ほとんど差がなかったものの，パウダーファンデーションは色相と彩度の平均，標準偏差を特徴量とした際に最も精度がよく，クリームファンデーションは明度の平均，標準偏差を特徴量とした際に最も精度が高かった．パウダーファンデーションはリキッドやクリームタイプのファンデーションと比較して，肌に対して密着しづらく白く浮きやすい．そのため，他と比較して色相と彩度に特徴が表れやすかったと考えられる．また，クリームファンデーションはリキッドやパウダータイプのファンデーションと比較して，テクスチャが重いため肌に密着しやすくカバー力が高い傾向にある．そのため，他と比較して明度に特徴が表れやすかったと考えられる．これらのことから素肌とファンデーション肌の判別にあたって，ファンデーション肌の種類に合わせて色相，彩度，明度の特徴量に適切な重みづけをすることで，より高い正解率で素肌とファンデーション肌を区別することが可能であると考えられる．

以上より，特殊なフィルタなどを用いないスマートフォンカメラによるファンデーション肌画像と素肌画像の機械学習は，ファンデーションの塗りムラの検出システムに応用可能であると考えられる．

また，実験協力者の個人の平均正解率は 16 名の平均正解率よりも高かった．このことより，個人の肌色や肌質などを考慮することで，より高い精度で判別を行うことが可能であると考えられる．

ここで，ロバート・ドア[27]は「カラー・キー・プログラム」という理論において，すべての色は共通のベースによって二つに分類できるという考え方を提唱している．これは，色は赤，橙，黄，緑，青，紫がどの程度含まれているかによってその色味が定まるが，そのうち黄と青は相殺する性質を持つため，相殺し合っ

た結果残った強い方が色がアンダートーンとしてその色に青み，黄みのいずれかの性格を与える[28]というものである．ここで，同じアンダートーンの色同士は調和し，異なるもの同士は不調和になる．肌色に対しても，肌色と化粧品のアンダーベースを共通させることで全体の色を調和させるという考え方が存在している．そこで，肌色とファンデーションの色のアンダーベースについても考慮することで，判別における正解率をより高めていくことが可能であると考えられる．この点については，今後検討していく予定である．

今回学習に使用したデータセットは実験協力者 16 名についてひとりあたり素肌画像とファンデーション肌画像を各 10 枚ずつ撮影しそれを 25 分割した画像群からなる．これを分割方法 3 では，実験協力者ごとに 16 等分したところ，高い正解率で素肌と各ファンデーション肌の判別ができた．このことから，本手法では 10 枚と少ない枚数の画像によりデータセットを構築することが可能であり，データセット構築におけるユーザの負担も少ないと考えられる．

6. まとめ

本稿ではまず化粧に関する調査を行った．その結果，ファンデーションの塗りムラに悩まされる人は多く，またその解消手段をほとんどもたないことがわかった．

そこで，ファンデーションを塗布した肌画像と素肌の画像を，機械的に分類可能か検討した．16 名に対してファンデーション塗布実験を行い，画像を収集し，データセットを作成した．さらに，素肌とファンデーションの特徴から，色相，彩度，明度の平均と標準偏差を特徴量とし，学習した．その結果，ファンデーション肌画像と素肌画像を高い正解率で判別可能であることがわかった．また，頬画像よりもしわや毛穴の多い額画像の方が，ファンデーションの塗布状態を高い正解率で判別できた．

ここで，ファンデーションの塗りムラには，肌に対してファンデーションが一部だけ塗られていない場合，つまり素肌とファンデーション肌が混ざっている状態と，ファンデーションが一定の厚さで塗られていない，ファンデーションが厚く塗られている箇所と薄く塗られている箇所が混ざっている状態の 2 種類が存在する．このうち，本稿では肌に対してファンデーションが塗られているか塗られていないかを判別できることが明らかになった．また，同様の特徴量を用いることでファンデーションが厚く塗られているか薄く塗られているかを判別できる可能性も示した．しかし，塗られたファンデーションがどのぐらいの量であるかを分類するためには，適切な閾値を設定する必要があるため，これについては今後検討していく予定である．

また、今回は 100px 四方の画像について学習を行った。しかし、今後塗りムラの検出をする際にはより小さい範囲の画像に対してファンデーションが塗られているか、塗られていないかを判別する必要がある。そのため、今後はより解像度の小さい画像データセットを作成し、学習・推定を行う予定である。

本研究は化粧時にリアルタイムでファンデーションの塗布状態を可視化する化粧支援システムの実現を目的としている。そこで、今後の展望として、動画において同様にファンデーションの塗布状態を判別できるか検討する予定である。

参 考 文 献

- [1] Z. Leslie, "Reading Faces: Window To The Soul?", Westview Press, 1997.
- [2] J. A. Graham and A. J. Jouhar, "The effects of cosmetics on person perception", International Journal of Cosmetic Science, vol. 3, no. 5, pp. 199-210, 1981.
- [3] ポーラ文化研究所, "ポーラ文化研究所化粧調査 2019", <https://www.cosmetic-culture.po-holdings.co.jp/report/pdf/191212kitai.pdf>, (参照 2020/11/09).
- [4] 株式会社矢野経済研究所, "化粧品市場に関する調査を実施(2019年)", https://www.yano.co.jp/press-release/show/press_id/2355, (参照 2020/11/09).
- [5] ASMARQ, "メイクに関するアンケート調査", <https://www.asmarq.co.jp/data/mr201404makeup/>, (参照 2020/11/09).
- [6] B. C. Jones, A. C. Little, D. M. Burt and D. J. Perrett, "When facial attractiveness is only skin deep", Perception, vol. 33, no. 5, pp. 569-576, 2004.
- [7] P. Matts, B. Fink, K. Grammer and M. Burquest, "Color homogeneity and visual perception of age, health, and attractiveness of female facial skin", Journal of the American Academy of Dermatology, vol. 57, no. 6, pp. 977-984, 2007.
- [8] B. Fink, P. Matts, D. D'Emiliano, L. Bunse, B. Weege and S. Roder, "Colour homogeneity and visual perception of age, health and attractiveness of male facial skin", Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology, vol. 26, no. 12, pp. 1486-1492, 2011.
- [9] 五十嵐崇訓, "肌の質感をコントロールする化粧品の研究開発", 応用物理学会分科会日本光学会, vol. 43, no. 7, pp. 318-324, 2014.
- [10] 西野顕, 中村睦子, 宮下京子, "機能性分光フィルタを用いたファンデーション定量・分布計測システムの開発と応用", 日本色彩学会誌, vol. 37, no. 3, pp. 202-203, 2013.
- [11] 荒川尚美, 大西浩之, 舩田勇二, "ビデオマイクロスコープを用いた皮膚の表面形態解析法の開発とキメ・毛穴の実態調査", 日本化粧品技術者会誌, vol. 41, no. 3, pp. 173-180, 2007.
- [12] 谿雄祐, 飛谷謙介, 村松慎介, 小林伸次, 長田典子, "ベースメイクの自己評価に関わる肌質感に対する心理的な評価構造(肌意識)の年代間差", 日本顔学会論文誌, vol. 18, no. 2, pp. 37-45, 2016.
- [13] 上原孝一, 南浩治, 岩本啓, 長田みゆき, 五十嵐崇訓, 中尾啓輔, 大崎和友, 植松隆史, 野尻尚材, 榎本明生, 福田啓一, "透過光制御による若顔印象ファンデーションの開発", 日本化粧品技術者会誌, vol. 44, no. 1, pp. 48-56, 2010.
- [14] 土居元紀, 大槻理恵, 富永昌治, 池田直子, 引間理恵, 丹野修, "クベルカ-ムンク理論に基づいたファンデーション塗布肌の分光反射率の推定", 電子情報通信学会論文誌, vol. 92, no. 9, pp. 1602-1612, 2009.
- [15] P. Kubelka, and F. Munk, "Ein Beitrag zur Optik der Farbanstriche", Zeitschrift fur technische Physik, pp. 593-601, 1931.
- [16] 品田登, "Kubelka-Munk 理論とその応用". 色材協会誌, vol. 42, no. 10, pp. 470-476, 1969.
- [17] 五十嵐崇訓, "ファンデーションの光学特性", 色材協会誌, vol. 85, no. 4, pp. 156-163, 2012.
- [18] 古川貴雄, 塚田章, "魔法の化粧鏡—実時間顔画像認識に基づくメイクアップシミュレーション", 画像ラボ, vol. 13, no. 10, pp. 34-38, 2002.
- [19] L. Liu, H. Xu, J. Xing, S. Liu, X. Zhou and S. Yan, "Wow! You Are So Beautiful Today!", Proceedings of the 21st ACM International Conference on Multimedia (MM '13), pp. 3-12, 2013.
- [20] S. Wang, Y. Wang and B. Li, "Face Decorating System Based on Improved Active Shape Models", Proceedings of the 2006 ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE '06), pp. 65-es, 2006.
- [21] N. Tsumura, N. Ojima, K. Sato, M. Shiraishi, H. Shimizu, H. Nabeshima, S. Akazaki, K. Hori and Y. Miyake, "Image-Based Skin Color and Texture Analysis/Synthesis by Extracting Hemoglobin and Melanin Information in the Skin", SIGGRAPH '03, vol. 22, no. 3, pp. 770-779, 2003.
- [22] C. G. Huang, W. C. Lin, T. S. Huang and J. H. Chuang, "Physically-based Cosmetic Rendering", Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games (I3D '13), pp. 190-190, 2013.
- [23] 高木佐恵子, "メイクアップ技能上達のためのアドバイスシステム", 芸術科学会論文誌, vol. 2, no. 4, pp. 156-164, 2013.
- [24] Yahoo!, "Yahoo! Japan クラウドソーシング", <http://crowdsourcing.yahoo.co.jp/>, (参照 2020/11/11).
- [25] R. R. Anderson and J. A. Parrish, "The optics of human skin", Journal of Investigative Dermatology, vol. 77, no. 1, pp. 13-9, 1981.
- [26] Siseido. "ファンデ 100 問 100 答", <https://www.shiseido.co.jp/foundation100/answer/q07.html>, (参照 2020/12/09).
- [27] Robert Dorr Method® Blue Base / Yellow Base & Universal Color Co-ordinate System, "What's Robert Dorr Method® Blue Base / Yellow Base?", <http://www.b-ycolor.com/whats/what.html>, (参照 2020/12/17).
- [28] 大関徹, "カラー・キー・プログラム". 日本色彩学会編『色彩用語事典』, 東京大学出版会, pp. 106-107, 2003.