

衣類選択のための色情報処理

博士（工学）論文提出先
大阪大学大学院基礎工学研究科

平成26年9月

三宅 正夫

衣類選択のための色情報処理

三宅 正夫

内容梗概

人間生活において、衣服は自己を表現し、社会的な立場や職業も表す。つまり、衣服は人格的属性であり、社会的属性でもある。衣服と装身具を衣類と定義するとき、衣類の色の選択と組み合わせ、すなわち、カラーコーディネートが問題となる。適切な色の選択、組み合わせを実現するためには、色彩調和の原理を理解した上でその熟練が必要である。しかし、これは色弱者（色覚異常者）や重度視覚障がい者にとって、困難であり、不可能な問題である。コンピュータを用いて、そのように適切なカラーコーディネートは可能であろうか。

近年、2色型色覚に対する色の見えを設計段階で擬似的に再現するなど、色弱者のための研究が盛んに行われるようになった。しかし、この問題で最も深刻な困難を抱える全盲の人の色認識を支援する研究は少ない。糖尿病網膜症や網膜色素変性症などで後天的に視力を失う重度の視覚障がい者が増えているが、生活上の支援さえ充分に行われていない。介助や誘導などの人的な支援、公共空間を安全に移動できるインフラ整備など、物理的な支援が必要であるが、自立生活と社会参加を促すためには精神的な支援も大変重要である。その一つとして、衣類選択のための色認識支援がある。視覚障がい者団体の方々から聴き取り調査を行った結果、自ら色は認識できなくても、外出する場合、他者からどのように見られるか、服装などに関していつも気を遣っていて、「身に付ける衣類の色と模様を知りたい」という要望が強いことがわかった。そのため、全盲の人が外出時に自ら衣服の色と模様を認識できるシステムの実現が期待される。

この問題解決のために、カメラとコンピュータを組み合わせ、衣類の色と模様を認識できるシステムの開発を行い、さらに手軽で実用的なシステムとなるようにスマートフォンを利用した。スマートフォン利用システムとして次の二つを提案した。

1) 覆い付きシステム

物体の色は物体表面の反射特性と照明によって決まる。そのため、正しく色認識を行うには照明条件を一定にする必要がある。この条件を充たすために、スマートフォンのカメラに外部の光を遮断するための覆いを装着し、スマートフォンに付属するランプを照明に用いて色を認識する。

2) 環境光利用システム

手軽に使うためには、覆いをうけないシステムが望ましいが、外部の光を遮断できないため、環境に応じて照明がさまざまに変化する。未知の照明に対して正しい色認識を行うためには、リファレンス（参照用色票）が必要である。環境光利用システムは、リファレンスを測定対象と共に撮影して、色を補正し認識する。

全盲の人に色を認識させる研究は少なく、衣類から得られる点の色情報をユーザ自らが平面の情報に拡張して、衣類の色と模様を把握する装置“Color Talk PLUS”が開発され商用化されている。しかし、この色認識手法は、多数の色で構成される衣類を対象とするため、全盲の人にとって作業負荷が大きい。これに対し、提案システムはカメラを用いて平面の色情報を一括して入力・処理する仕組みとなっており、システム入力部を衣類に当てるだけで、色と模様の情報を直ちに音声出力できるため、重度の視覚障がい者にとって作業負荷が少ない。

提案システムでは、色の表現は全盲の人に理解し易いように、PCCS 表色系（Practical Color Co-ordinate System）とカテゴリカルカラー（基本11色）を用い、簡潔な表現を目指した。模様は、衣類によく表れる縦縞、横縞、チェック、無地、その他の模様の五つのカテゴリとした。また、精度の高い色認識ができるようにカメラの色空間補正式を導入した。

評価実験では、試料として38枚のさまざまな色と模様の布地を用意し、スマートフォンを利用した覆い付きシステムと環境光利用システムについて、それぞれ、色と模様の評価を行い、システムの信頼性を検証した。その結果、出力の適切性を表す正解率が、覆い付きシステムで、色75%、模様82%、環境光利用システムで、色81%、模様88%となった。これにより、提案システムは全盲の人の衣類選択を支援するシステムとして、信頼性があることを確認した。

全盲の人に役立つ衣類の選択支援システムが、衣類のカラーコーディネートが可能とするシステムに進化、発展することにより、視覚障がい者の社会進出に役

立ち，視覚健常者にも有益な色彩支援の仕組みが実現する．そのことによって，衣類を通じた人格表現や社会的存在の表現において，無形の価値を産むようになると考える．

キーワード

視覚障がい者，色，模様，衣類，スマートフォン．

Color Information Processing for Clothing Coordination

Masao Miyake

Abstract

For human beings, clothes are a source of self-expression because they convey one's social status and occupation. In other words, they represent characteristic traits as well as social attributes. Clothing includes clothes as well as accessories. It is difficult to select clothing of different colors and combine them appropriately. For appropriate color coordination, understanding and practicing the color harmony principle is essential. This is especially problematic for people with imperfect color vision or vision impairment. Can computers support such color coordination?

Recently, many studies for the partially color blind people have been conducted. For instance, representation of color appearance for dichromatic color deficiencies has been carried out in the design stage. However, few studies have been performed on the recognition of colors on clothes with regard to totally blind people who have the most serious difficulty on this problem of color recognition. The number of visually disabled people is increasing because they have lost their eyesight due to diseases such as diabetic retinopathy and pigmentary degeneration of the retina. However, the support given to them in their lives is not enough. They need physical support, e.g., infrastructure equipment in public places for these people to move safely. Furthermore, human support, such as guiding or taking care of them are necessary.

In addition, mental support is very important for them to spend their daily life and to attend social events. They need supporting color recognition for clothing selection as one of the support. Feedback from members of organizations for the visually impaired people indicates that most members worry about their

clothing and looks. Although they cannot recognize the colors of their clothes by themselves, they wish to know the colors and patterns of their clothes. This issue is tackled by developing a system that will help them in recognizing colors and patterns of their clothes, thus allowing them to go outside with less concern.

Therefore, in this study, I have proposed a system that can recognize colors and patterns on clothes using a camera and a computer. The study investigates the use of smartphones for practical application of the proposed system. The following two smartphone systems have been proposed.

1) A system with a cover and a built-in light source

The color of an object is decided by the lighting and reflection characteristics on its surface. Uniform lighting conditions must be established in order to recognize a color correctly. The cover for blocking out external light can be attached to the camera of a smartphone, and the lamp attached to the smartphone can be used for lighting. This setup allows a color to be recognized.

2) A system using environmental lighting

A system without a cover is desirable for daily use. However, if there is no cover, lighting will change according to the environment. In order to perform color recognition properly under nonuniform lighting, a color reference must be used. This system compares the images of the reference with that of the object, thus rectifying and recognizing a color.

One of the systems that target visual recognition for totally blind people is “Color Talk Plus,” which allows them to recognize colors and patterns on their clothes. However, users have to check all points of a cloth with the system and have to extend the color information from a point to a plane of the cloth. This process is quite difficult for totally blind people because clothes are always multi-colored. To this end, the proposed system is highly effective because it can recognize not a point but a plane of the cloth by using a camera and immediately provides such information in voice when the users face it to the clothes.

The proposed system is intended to provide intelligible descriptions of color

using Practical Color Co-ordinate System (PCCS) and categorical colors (eleven basic colors), for totally blind people. The expression of patterns is divided into five categories: “vertical-stripe,” “horizontal-stripe,” “checker,” “plain,” and “others,” which frequently appear on clothing. Moreover, the correction formula of a camera color space is introduced so that high-precision color recognition can be performed.

For this experiment, 38 types of cloth with various colors and patterns were used. The abilities of both the smartphone system that requires a cover and the one that uses environmental lighting were tested to evaluate colors and patterns. Testing verified the reliability of both systems. The results indicated that the accuracy rates for color recognition and pattern recognition for the system with a cover are about 75 % and 82 % and those for the system using environmental lighting are about 81 % and 88 %, respectively. It can be confirmed that the proposed system is reliable in supporting clothing selection for totally blind people.

If the clothing selection support system, which is helpful for totally blind people, develops into a clothing color coordination system, then it will be helpful not only for a visually impaired person to advance into society but also for a sighted person to understand appropriate color combinations. I believe that the intangible value in terms of characteristic and social status expression will be produced by the clothing color coordination system.

Keywords:

Visually impaired person, Color, Pattern, Clothes, Smartphone.

目次

1	序論	1
1.1	服飾と人間	2
1.2	視覚障がい者の現状	4
1.3	視覚障がい者への支援	5
1.4	衣類の識別	5
1.5	システムの要件	8
1.6	研究の目的	9
1.7	論文の構成	10
2	色の表現と計測	11
2.1	色の表現	11
2.2	マンセル表色系	12
2.3	PCCS表色系	14
2.4	システムにおける出力表現	18
2.5	色の計測	23
3	色名提示方法	33
3.1	色名提示装置	33
3.2	色名提示アプリケーション	35
3.3	その他の研究	38
3.4	提案システムの特徴	39
4	システムの原理	41
4.1	スマートフォンシステム	41
4.2	色認識アルゴリズム	48
4.3	模様認識アルゴリズム	59
4.4	出力アルゴリズム	64

目次

5 システムの構築	67
5.1 アルゴリズム検証システム	67
5.2 スマートフォンシステム	79
5.3 ガンマ補正	82
5.4 環境光利用システムの色補正処理	85
5.5 色の補正精度	90
5.6 環境光利用システムの影補正	93
6 システムの評価	103
6.1 システム評価	103
6.2 出力に関する評価実験	104
6.3 システムの出力評価比較	113
6.4 環境光利用システムの記述評価	115
6.5 全盲の人による使用評価	116
6.6 システムの形態	119
7 結論	123
謝辞	129
参考文献	131
付録	139
研究業績	153

目 次

1.1	視覚障がい者(児)統計	4
1.2	視覚障がい者の支援	5
1.3	音声 IC タグレコーダ ものしりトーク	6
1.4	Color Talk PLUS	7
1.5	視覚情報の認識能力	7
1.6	視覚障がい者用 色・模様提示システム	10
2.1	色感覚と色知覚	12
2.2	マンセル表色系の色相環	13
2.3	マンセル表色系の仕組み	14
2.4	PCCS 表色系の色相環 1	15
2.5	PCCS 表色系の色相環 2	15
2.6	PCCS 表色系のトーン	16
2.7	PCCS 表色系のトーンの統合過程	19
2.8	PCCS 表色系のトーンの統合結果	21
2.9	色名作成の仕組み	21
2.10	模様のカテゴリー	22
2.11	錐体及び桿体の分布	24
2.12	等色関数 $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$	24
2.13	等色関数 $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$	26
2.14	分光方式の色計測器	27
2.15	Device RGB	29
2.16	物体色の認識と計測	30
3.1	視覚障がい者用生活支援システム オーデコ	34
3.2	Color Talk PLUS	34
3.3	ColorAttendant	36

図目次

3.4	肌メモリとカラーパッチ	37
4.1	覆い付きシステム	43
4.2	撮影画像の例 (PCCS v1 色票)	43
4.3	UPRtek MK350	44
4.4	トーチランプの分光分布曲線	45
4.5	蛍光灯の分光分布曲線	45
4.6	室内における自然光 (太陽光) の分光分布曲線	45
4.7	環境光利用システム外観	46
4.8	環境光利用システムのリファレンス	47
4.9	色認識処理の流れ	48
4.10	画像の色の分割例	49
4.11	ブラウン管の仕組み	51
4.12	ガンマ曲線	51
4.13	$L^*a^*b^*$ 色空間への変換	53
4.14	画像のクラスタリング - 初期値の決定	55
4.15	K-means 法	55
4.16	クラスタの統合	56
4.17	クラスタ統合のフローチャート	57
4.18	色名対応付け規則	58
4.19	模様認識処理の流れ	60
4.20	回転位置合わせ	60
4.21	模様の測定範囲	61
4.22	エッジ検出による模様認識	63
4.23	模様の認識領域の決定	63
4.24	試料の例	64
5.1	オフラインカメラシステム	68
5.2	オンラインカメラシステム	71
5.3	オンラインカメラシステム入力部	72
5.4	オンラインカメラシステム入力部の立体図	72
5.5	オンラインカメラシステム入力部の立面図, 底面図	73
5.6	鏡面反射	73

5.7	歪画像の補正	74
5.8	Chameleon - CCD の分光感度曲線	75
5.9	標準白色板の測定写真	75
5.10	標準白色板の周辺部と中央部の輝度値	76
5.11	覆い付きシステムの画面	79
5.12	ガンマ補正 覆い付きシステム ($\gamma = 2.2$)	83
5.13	ガンマ補正 環境光利用システム ($\gamma = 2.2$)	84
5.14	ガンマ補正 環境光利用システム ($\gamma = 1.8$)	85
5.15	環境光利用システムのリファレンス構成	86
5.16	環境光利用システムの色補正の仕組み	87
5.17	二次関数補正 近似曲線	89
5.18	環境光利用システムの原型	91
5.19	スマートフォンの影	93
5.20	影区画の決定 - 影が左手前の場合	95
5.21	影区画の決定 - 影が左側の場合	95
5.22	影区画の決定 - 影が中央の場合	96
5.23	明区画の輝度補正	96
5.24	全区画比例推定法	97
5.25	推定輝度の平滑化	98
5.26	影補正法の比較	99
5.27	全区画比例推定法による影補正	100
6.1	38 点の布地試料	104
6.2	実験風景	105
6.3	覆い付きシステム/色認識の評価 実験 A	106
6.4	覆い付きシステム/色認識の評価 実験 B	106
6.5	覆い付きシステム/模様認識の評価 実験 A	107
6.6	覆い付きシステム/模様認識の評価 実験 B	107
6.7	環境光利用システム/色認識の評価 実験 C	109
6.8	環境光利用システム/色認識の評価 実験 D	110
6.9	環境光利用システム/模様認識の評価 実験 C	110
6.10	環境光利用システム/模様認識の評価 実験 D	110
6.11	開口部面積と撮影距離	120

図目次

7.1 色差まとめ	125
7.2 色出力の適切性 正解率まとめ	126
7.3 模様出力の適切性 正解率まとめ	126
7.4 視覚情報の認識能力	127

表 目 次

2.1	顕色系と混色系	12
2.2	PCCS 表色系の色相名	17
2.3	PCCS トーン：有彩色	18
2.4	PCCS 色相名の統合	20
4.1	色名変換表の一部	59
5.1	オフラインカメラシステム - 入力部の構成と設定値	69
5.2	オフラインカメラシステム - 情報処理部の構成と設定値	70
5.3	オフラインカメラシステム - 出力部の構成と設定値	70
5.4	オンラインカメラシステム - 使用機器等	74
5.5	オンラインカメラシステム - PCCS 色票の色差	77
5.6	オンラインカメラシステム設定値	78
5.7	覆い付きシステムの仕様	80
5.8	環境光利用システムの仕様	81
5.9	覆い付きシステム - PCCS 無彩色色票の反射率 ($\gamma = 2.2$)	82
5.10	環境光利用システム - ColorChecker 反射率 ($\gamma = 2.2$)	84
5.11	環境光利用システム - ColorChecker 反射率 ($\gamma = 1.8$)	85
5.12	環境光利用システム - ColorChecker 無彩色パッチの L^* 値	89
5.13	覆い付きシステム - PCCS 色票の色差平均値	91
5.14	環境光利用システム - 色差比較	92
5.15	影補正の効果 - 環境光利用システムの色差比較	101
6.1	覆い付きシステムの正解率	108
6.2	環境光利用システムの正解率	111
6.3	評価実験時の標準白色板の明度 L^* の例	112
6.4	普通の影撮影時の標準白色板の明度 L^*	112
6.5	色と模様提示システムの概要	113

表目次

6.6	色と模様提示システムの正解率比較	114
6.7	環境光利用システム記述評価	115
6.8	環境光利用システム ユーザビリティの評価	116
A.1	環境光利用システム出力結果の例 - 「その他の模様」	140
A.2	環境光利用システム出力結果の例 - 「縦縞・横縞」	141
A.3	環境光利用システム出力結果の例 - 「チェック」	142
A.4	環境光利用システム出力結果の例 - 「無地」	143
A.5	色名変換表	144

第1章

序論

情報技術の発展は人々に多くの恩恵を与えている。医療や創薬、家電製品・自動車の省エネルギー化、通信・物流・交通の高度管理システム等、社会のあらゆる分野で成果を挙げ、人々はより豊かで快適な生活を送ることができるようになってきた。

人の感覚器を代行する研究も盛んに行われており、その技術は例えば顕微鏡下でのミクロの手術 [1] や、自動車の衝突防止システム [2] などにも幅広く応用されている。さらには、事故や病気で失われた機能を補填し [3]、障がい者の生活の質の向上にも貢献している。このように、情報技術は人の生存と密接な関係がある。

人が生きていく上で必要な感覚器には、視覚、聴覚、臭覚、触覚、味覚の五つがあり、これらの感覚器に入る身体外部からの情報量の割合は、視覚 83 %、聴覚 11 %、臭覚 3.5 %、触覚 1.5 %、味覚 1.0 %とされている [4]。視覚から入る情報量が圧倒的に多いことは経験的にも理解できるものであり、人の活動にとって視覚は大変重要な役割を有する。光のない世界、色のない世界とはどれほど孤独な世界であろうか。人は見ることによって、他人を認め、事物を認識し、自己と他との位置関係を定め、お互いを理解し生きている。そして、色はさまざまな感情を呼び起こし表現する。明るい色、暗い色、派手な色、地味な色、暖かい色、寒い色など。色は人の心を豊かにする精神性の高い要素である。

コンピュータビジョンの分野では、多くの研究成果が社会で実用化され、人々の生活に役立っている。コンピュータビジョンとは、人の目に代ってコンピュータで見る技術である。例えば、防犯カメラを利用して効率的に特定人物を探し出すために、コンピュータによる画像解析技術が用いられている [5]。さまざまな分野でこの技術は応用されているが、今後、期待される分野としてカラーコーディネイト技術がある。人は生活の多くの場面で色を選択しなければならない。中でも、衣服、装身具のコーディネイトでは、色の選択や組み合わせの判断が重要と

なる。身に付ける衣類は、その人の人格を表現し、社会的属性をも表す。色彩調和の原理を基に、コンピュータでカラーコーディネートが実現すれば、色弱者だけではなく、重度の視覚障がい者にとって画期的な技術となる。さらには、視覚健常者にも有益な技術となる。

つまり、目の見えない人に代ってコンピュータで見ることができ、衣類のカラーコーディネートが実現できれば、視覚障がい者にとって大きな精神的価値を産み出すことができる。本研究では、重度の視覚障がい者を対象として、カラーコーディネートの基礎である衣類の色と模様を人の目で見たとように認識できるシステムを開発する。しかし、目の見えない人に対してどのように視覚情報を伝達するかという問題がある。

代行する感覚器として、聴覚、触覚が考えられる。視覚情報を音で伝達する場合、言語を用いる、音楽を用いるなどの方法がある。言語表現は、概念的な事柄の伝達には適しているが、視野中の具体的な形や位置関係などの情報を説明するには多くの言葉を費やす必要がある。交差点における歩行者横断用の音響信号装置は、青信号がどちらの方向であるか音楽で伝達する簡明な表現方法であるが、音楽表現を用いて複雑な事柄を伝達することは困難である。視覚情報を触覚で伝達する場合、形や位置関係を伝達するのに適しているが、概念的な事柄に関しては伝達が困難である。つまり、伝達内容に適した表現方法を用いることが重要である。

1.1 服飾と人間

服飾は、人間生活に必須の「衣食住」という語の最初に来る重要な事柄である。「衣」とは、身に付ける衣類を指し、衣服の他に装身具も含まれる。「衣」がなければ、「生きて行くことができない」という生存の条件を示した語であると共に、豊かで文化的な生活を送るための精神的、社会的な条件をも示している。人は服飾を含めて人格を判断されることが多く、適切な色柄仕立ての服を選ぶことは、社会生活を営む上で極めて重要な事柄である。また、より高度な自己表現、流行に対する立ち位置、思想信条、職業の表現として、服飾が重視されることは当然である。視覚障がい者にとっても、この事は同じであり、自立生活、社会参加のためには、服飾選択の方法、技術を持つことが必要となる。これまで、このような観点に立った工学的なアプローチはなかったのではないか。服飾選択の技術が

実現すれば、視覚障がい者も自信を持って外出することができ、個々の求める社会的活動に参加できる。つまり、視覚障がい者の社会進出が促進され、障がい者も健常者も区別することなく、社会生活を共に営むというノーマライゼーション [6] の具現化に資する。

鷺田清一は、「ひとはなぜ服を着るのか」という著書 [7] で、次のように述べている。

「文化（Culture）という言葉は『耕す』というラテン語の動詞に由来しますが、ファッションもまた、身体の表面を耕し、あらたに整地しなおす行為としてあります。化粧や刺青は、ずばりそういう直接の表面加工ですが、衣服や靴もまた同じように身体の表面を加工したり、装飾したりして、人間の自然である身体に介入していく行為であると言えます。その意味で、言葉やしぐさとともに、ファッションは人間の文化を構成するもっとも基礎的な次元の一つなのです。」

つまり、服飾（ファッション）は、単に生存の条件として必要とされるのではなく、人間の文化的存在としての根源的な行為であることを明快に述べている。また、視覚障がい者が、服飾選択の方法、技術を持つことがいかに重要であるかも同時に浮き彫りにしている。服飾（ファッション）が視覚障がい者の社会進出に役立つことは充分予想されるが、これまで、その可能性を立証する方法が存在しなかった。視覚情報を電子的に翻訳し、ヒトの判断システムに組み込むことのできる概念表現によって、個々人の思いや生活背景と適合する嗜好を服飾の形で創造し、その結果を社会に反映する方法を実現する。このような技術が求められている。

1970年代以降、川久保玲、山本寛斎、三宅一生らのパリコレクションへの参加が開始されたが、これ以降、日本のファッション文化は世界の中核の一つにまで成長している。堺屋太一が提唱した「知価革命」 [8] とは、「人間の幸せは物財の豊かさではなく、満足の大きさである」という考え方に基づく。日本のファッション文化は、まさに、堺屋の言う「知価」であり、すべての人々に、ファッションにおける「知価」を享受させ得る「衣類の色情報処理システム」が期待される場所である。そして、また、「知価」は精神的な価値だけではなく、経済的な価値を同時にもたらすものであるから、新しいこの技術が豊かな社会の構築に貢献できると考える。

1.2 視覚障がい者の現状

厚生労働省の調査 [9] によると、平成 18 年の日本における視覚障がい者数は、18 歳未満の視覚障がい児も含めて 314,900 人（視覚障がい者 [18 歳以上] 310,000 人、視覚障がい児 [18 歳未満] 4,900 人）と記録されている。

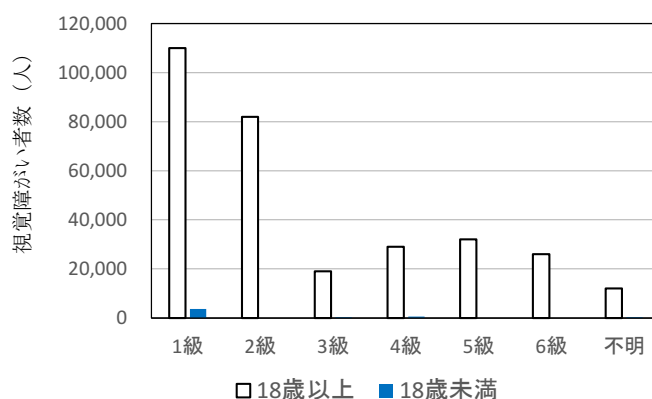


図 1.1 平成 18 年度 視覚障がい者 (児) 統計 [9]

障がいの程度は 1 級から 6 級に区分されていて、このうち、最も重度な 1 級障がい者は、113,700 人である。図 1.1 に示すように、18 歳以上の人数が多く、後天的に視力を失う人が多い。その中でも重度の 1 級障がい者が最も多いことがわかる。

1 級障がいは、両眼の視力（矯正視力を含む）の和が 0.01 以下のものと定められていて、強度弱視者も含まれているが、生活視力としては全盲と等しい。視覚障がいの原因は、疾患 19.7 %（障がい児では 12.2 %）、事故 8.1 %（障がい児では 0 %）、加齢 2.0 %（障がい児では 0 %）、出生時の損傷 4.5 %（障がい児では 12.2 %）、不明その他 65.7 %（障がい児では 73.5 %）となっている。つまり、18 歳以上の層では、疾患や事故によるものの割合が大きくなり、視覚障がい者の総数が増加し、後天的に視力を失う人が多いことがわかる。疾患による失明原因の第 1 位は糖尿病網膜症 [10]、第 2 位は緑内障、第 3 位は網膜色素変性症と言われている。近年、食生活の欧米化や運動不足などを原因として糖尿病が急増しており、糖尿病の三大合併症の一つである糖尿病網膜症で、年間 3,000 人以上の人が失明している [11] とされており、後天的に視力を失う人が増えている。

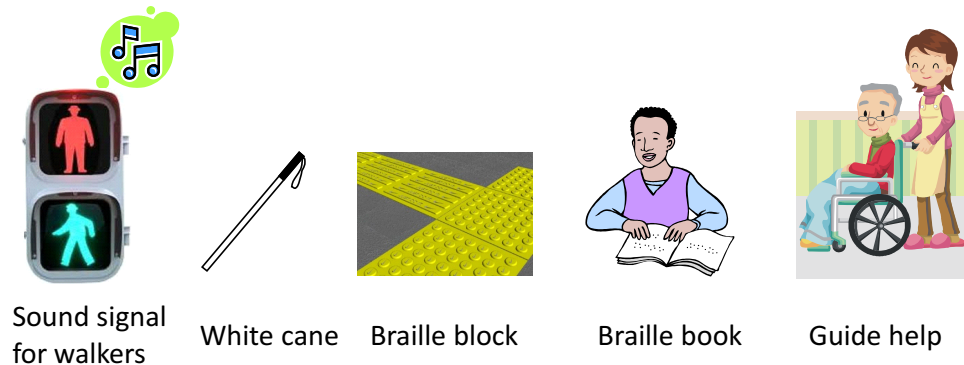


図 1.2 視覚障がい者の支援

1.3 視覚障がい者への支援

視覚障がい者に対してさまざまな支援が必要である。自立生活と社会参加を促すための支援は、物理的な支援、人的な支援、精神的な支援に分けられる。物理的な支援は、駅など公共の場所での点字ブロックや音響案内装置、交差点での歩行者横断用音響信号機等である（図 1.2）。法律では、「高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律」（平成 18 年法律第 91 号）に、目標や義務が細かく定められている。人的な支援としては、ガイドヘルプ（移動支援）、図書の点字化や録音等があり、法律では、「障害者の日常生活及び社会生活を総合的に支援するための法律」（平成 17 年法律第 123 号）に支援内容が規定されている。

精神的な支援について、ある視覚障がい者団体の方にお聞きしたところ、

「外出する時の衣服の選択が困難で、外出したときに不適切な色柄の服を着てしまったり、左右の靴下で違う色を履いたなどの失敗をすることがある」と言われる。こうした問題を解決するために、衣服の色や模様を自ら調べる装置が必要であるとのことであった。自ら色は見えなくとも、

「他者からどのように見られているか大変気になる」と

話された。視覚障がい者の自立生活と社会参加を促すためには、衣類の問題から解決する必要がある。

1.4 衣類の識別

視覚障がいにより、目が見えない人はどのように物を認識するであろうか。視覚を除いた聴覚、触覚、臭覚、味覚の四つの感覚器のみで外界の情報を得ること



図 1.3 音声 IC タグレコーダ ものしりトーク (Panasonic) [13]

になるが、手で触ることができる物は、触覚を用いて形と表面の状態を確かめ認識することができる。衣類の識別においては触覚を利用した方法が主となるが、形や表面の材質は認識できても色や柄を知ることはできない。そのため、衣類に文字、記号を縫い込んだり、タグを付けて識別する方法も用いられている。しかし、この方法は非常に煩雑である。

近年さまざまな福祉機器が発達し、新たな商品開発が盛んに行われている。図 1.3 に示す RFID (Radio Frequency Identification) [12] 技術を用いた音声 IC タグレコーダ “ものしりトーク” (Panasonic) [13] は、あらかじめ音声で登録した物品の説明が、物品に添付したタグにリモコンを向けてボタンを押すだけで再生できる大変便利な装置である。触っただけではわからない缶詰の種類や薬の内容、CD (Compact Disk) など、買い物をする時点で音声により説明を登録し、記録しておくことができる。衣服などにも利用できるように、ボタン大のタグも用意されている。

全盲の人が衣服の色を調べるのに役立つ製品として、図 1.4 に示す携帯型色彩音声案内装置 “Color Talk Plus” (北計工業) [14] がある。色を調べたい衣服に、本体の裏に開いた直径 6 mm の小さな穴を当てて、本体側面の測定ボタンを押すと、音声で色名を答えてくれる。さらに、測定ボタンを押し続けると楽器音が鳴り、装置を移動させると色の変化を楽器音の変化で知らせてくれる。この装置は衣服の色情報を収集する目的に特化して開発されたもので、音声 IC タグレコーダ “ものしりトーク” とは異なり、IC タグへの色情報の事前登録が不要で、未知の衣服の色を瞬時に提示してくれる。しかし、衣服全体の色の分布、つまり、衣服の色と柄を把握するためには、音声で提示される点の色情報を平面に拡張する作業をユーザ自らが行わなければならないので、全盲の人に作業負荷が大変大きい。

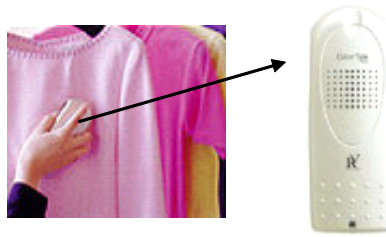


図 1.4 Color Talk PLUS (北計工業) [14]

本研究で提案するシステムは、この作業負荷を軽減するために、カメラを用いて平面の色情報を一括して取得し、システムが衣服の色と模様を瞬時に音声出力するものである。図 1.5 に視覚情報の各種認識装置について、色と模様（形）の二次元平面でその認識能力を相対的に示した。白杖（White cane）、点字ブロック（Braille block）、点字（Braille）は触覚を利用し、この順に認識の精度が高くなり、色の認識能力はない。

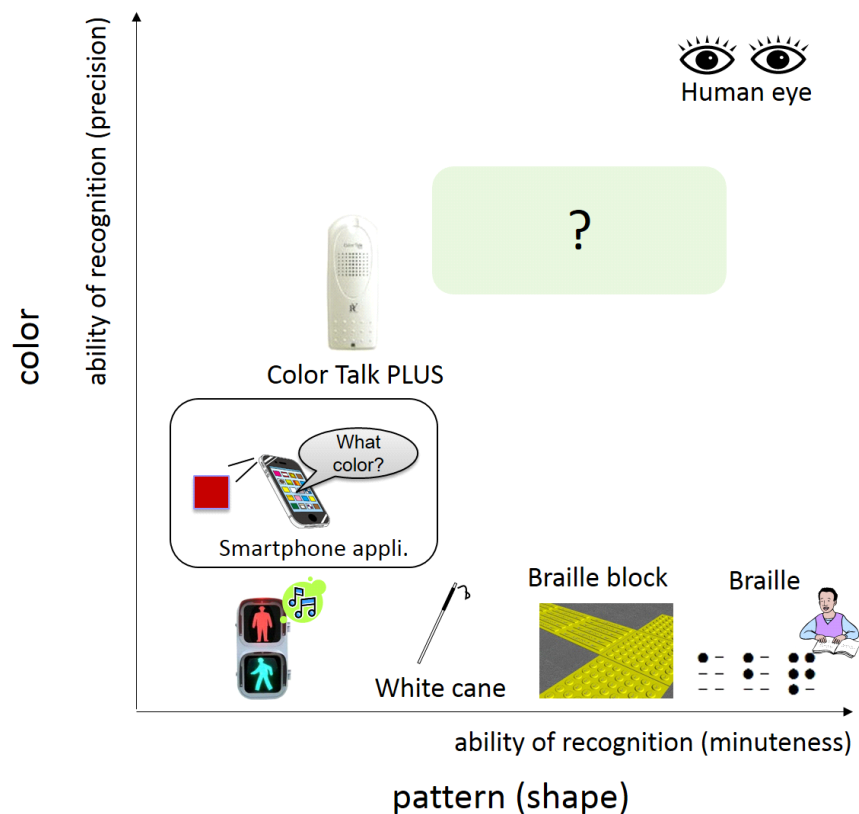


図 1.5 視覚情報（色と模様）の認識能力

色の認識をテーマとした既存のスマートフォンアプリ (Smartphone appli.) は、正しい色の認識能力が低く、模様の認識能力はない。携帯型色彩音声案内装置 Color Talk PLUS は、色の認識能力は優れているが、模様の認識 (平面の色認識) は作業負荷が大きいため、認識能力が低いと判定できる。人の視覚能力に近く、色と模様の認識能力が共に高いシステムが期待される。

1.5 システムの要件

全盲の人が自ら衣類の色と模様を調べるシステムを構築するために、システムの備えるべき要件を次のように定める。

- 1). 全盲のユーザが衣類の色と模様を調べるときに、作業負荷をなるべく小さいものとする。
- 2). システムによる色と模様の認識結果の提示は音声を利用する。
- 3). システムによる出力表現は簡単に理解できる表現とする。
- 4). システムは、特別な装置を使用せず、スマートフォンを用いて手軽に利用できるようにする。
- 5). 正しく色を認識できるようにする。

1) に関しては、全盲の人が生活の場面でシステムを利用するとき、使用方法が簡単であることが要求される。そのため、衣類の色と模様を調べる場合に、点の色情報を収集して衣服の色と模様を理解するのではなく、作業負荷を小さくするためにカメラを用いて一括して平面の色情報を取得する。

2) に関しては、衣類の色と模様を伝達する手段として音声を利用する方法は理解し易い。伝達手段として音楽を用いる方法もあるが、音楽と色及び模様との対応関係について認識訓練が必要となるが、言語による伝達は訓練の必要がない。

3) に関しては、色と模様の出力結果を簡単に理解できるように、出力表現を簡潔にする。衣服に含まれる多数の色を、すべて詳細に説明、出力していくことは、全盲の人が衣服の色を想像するときに混乱を来す。そのため、システムは衣服画像を色の違いにより、四つ以内のクラスに統合し、主要な色を出力する。なぜ

なら、3色の場合、表現が不十分である衣類があり、5色以上だと音声で伝達したときに記憶しつつ理解していく作業が非常に困難となるからである。

色の変化を的確に表現できる模様に関して、システムが認識できるのは、衣類に頻出する縦縞、横縞、チェック、無地、その他の模様の五つのカテゴリーとする。模様の粗さ、細かさについては認識対象外とする。コンピュータによる計算時間が長くなるないように、詳細な模様の認識、分類は行わない。

4) に関しては、使用方法が簡単であることの他に、手軽に利用できることもシステムの要件である。視覚障がい者の中にもスマートフォンを利用している人々がいるので、今日広く普及しているスマートフォンを用いたシステムにする。これにより、特別な装置を購入する必要がないだけでなく、スマートフォン自身にも音声認識システムが備わっており、全盲の人に対するユーザビリティが高いという利点がある。

5) に関しては、色を正しく認識できることが重要なシステムの要件である。そのためには、カメラに備わっている露光、ホワイトバランスなどの自動調整機能に委ねるだけでは不十分である。システムの構造面においても、アルゴリズムの面においても独自の工夫が必要となる。

1.6 研究の目的

本研究は、視覚障がい者の自立生活、社会参加を促進するために、気軽に外出できる条件整備の一つとして、身に着ける衣類の適切な選択を可能とするシステムを開発することを目的とする。ユーザは視覚障がい者のうち全盲の人を想定するが、色弱者や弱視者も利用が可能である。色と模様の測定対象物は、衣服の他にネクタイ、ハンカチ、スカーフなど身に着ける布製品を含み、衣類という語であらわす。この場合、衣類の凹凸は測定対象外とし、平面的に分布する二次元の色と模様を測定対象とする。

システムは、ユーザの作業負荷を小さくし、手軽に利用できるようにスマートフォンを用いる。近年、色認識をテーマとしたスマートフォンアプリ [15] が公表されているが、これらは視力のある人が色覚補助ツールとして使用することを前提としており、全盲の人が使用することを主眼において開発されていない。また、

正しい色認識を可能とする色の補正がなされていない。つまり、1.5節で述べた、システムが備えるべき五つの要件を充たし、これまでになく視覚障がい者用色・模様提示システムを開発することを研究の目的とする（図1.6）。

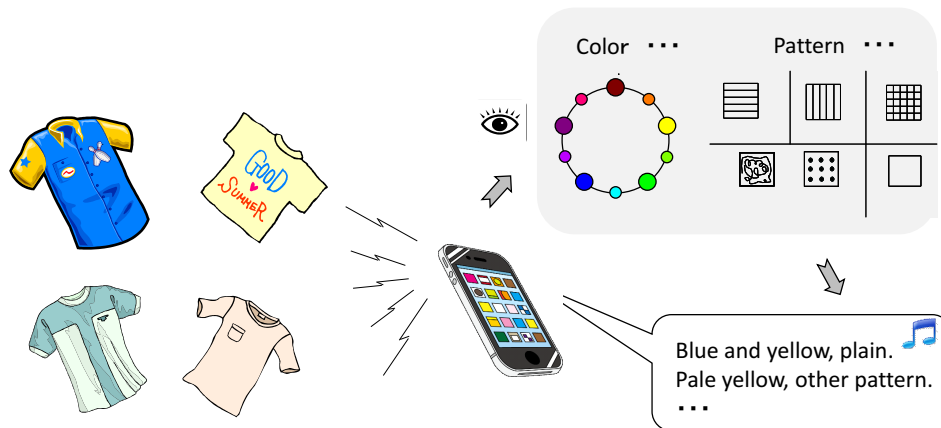


図 1.6 視覚障がい者用色・模様提示システム

1.7 論文の構成

本論文では、次に色の表現と計測について述べ、関連研究を紹介した後、提案システムの原理を述べる。その後、スマートフォンへのシステム構築と評価、考察を述べる。本論文の構成は次の通りである。

1章では、序論と題して、服飾と人間の関係、日本の視覚障がい者の現状を述べ、精神的な支援として外出時の衣類の選択が重要であることを述べた。そして、衣類の識別方法と提案システムの要件、研究の目的を述べた。

2章では、色の表現、表色系、システムの出力表現、色の計測について述べる。

3章では、関連研究を紹介し、色と模様提示システムの課題について述べる。

4章では、システムの原理を色認識、模様認識及び出力方法に分けて述べる。

5章では、システムの構築方法について詳細に述べる。

6章では、システムの評価を詳細に述べ、考察を行う。

7章では、実験によって得られたシステムに関する特性をまとめ、その有用性を述べる。

第2章

色の表現と計測

本章では、最初に色の表現について述べ、代表的な表色系としてマンセル表色系を紹介する。その後、提案システムで採用する PCCS 表色系について述べる。提案システムでは色の表現を簡潔にするために、PCCS 表色系とカテゴリカルカラーを基礎とした独自の表現法を構築する。また、模様を表現し伝達することにより、衣類の色の分布を端的に知らせることができるため、模様の表現を色の表現の補足手段として用いる。これらについて述べた後、色の計測、色の数値化の原理について述べる。

2.1 色の表現

色の表現を分類する前に「色感覚」と「色知覚」[16]の違いを述べる。ある画像を、開口部を通してその一部を観察するとき、それが何の画像であるかとは関係なく開口部に見える色を単純に感じることができる。これが「色感覚」である(図 2.1(a))。これに対してこの画像全体を見たときの色感覚を、過去の記憶や経験に照らすことにより、画像が何を表しているかを知覚することができる。これが「色知覚」である(図 2.1(b))。色感覚は単純な物理的刺激により心理応答効果を定量化することができ、これを心理物理量と呼ぶ。脳における複雑な視覚機能では前段部分に生じる感覚である。色知覚は「色感覚」の情報が脳で処理された結果として認識される生理的・心理的現象で、視覚機能の後段部分として位置付けられる。

一般に色の表現は、顕色系と混色系の二つに分類される(表 2.1)。顕色系とは特定の観測条件下における色の見えを記号で表して色票に付し、体系的に配列、編集した色票集を色の見えの物体標準として用いる表色系を意味する。これに対し、混色系とは色を定量的に表示するために、 X , Y , Z などの三刺激値 [17] の

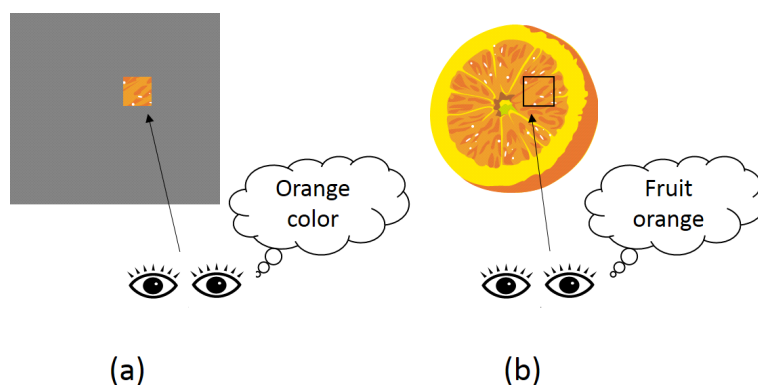


図 2.1 色感覚と色知覚 - (a) 色感覚, (b) 色知覚

加法混色を用いて任意の色を表す体系を意味する。顕色系は色知覚に基づく心理的概念で、マンセル表色系 (Munsell color system) [18] や NCS 表色系 (Natural Color System) [19] などがあり、混色系は色感覚に基づく心理物理的概念で、CIE の定める XYZ 表色系 [20] や RGB 表色系などがある。CIE とは、“Commission Internationale de l'Éclairage” (国際照明委員会) の略称である。CIE は測光、測色に関する基準の統一を目的に組織された世界規模の標準化団体である。

表 2.1 顕色系と混色系 [16, 17]

	顕色系	混色系
表示対象の区別の基準	色知覚に基づく心理的概念	色感覚に基づく心理物理的概念
表色系の代表例	マンセル表色系, NCS 表色系	XYZ 表色系
表示の目的	色の見えの表示	色の定量的表示

以下、顕色系として 2.2 節でマンセル表色系、2.3 節で PCCS 表色系について述べ、混色系の RGB 表色系、 XYZ 表色系などは 2.5 節で述べる。

2.2 マンセル表色系

色の種類は、1856 年イギリスの化学者 Perkin (1838~1907) の人工染料の発明と共に飛躍的に増大した [21]。従来の慣用的な色名では多くの色を正確に区別して表示することが困難となり、マンセル表色系等、色の見えを合理的に表示する

ための体系が考案された。マンセル表色系は Munsell (1858~1918) が作成した色表示の体系で、色相、明度、彩度の三属性によって色を表す [22]。

色相は図 2.2 に示すように、円を赤 (R)、黄 (Y)、緑 (G)、青 (B)、紫 (P) の主要 5 色相で等分する。その中間に、それぞれ、黄赤 (YR)、黄緑 (GY)、青緑 (BG)、青紫 (PB)、赤紫 (RP) の 5 色相を挟む。これら 10 色相の間を、色感覚で 10 等分割して、100 色相とする。10 色相の中央は 5R、5YR などと表記し、R についてみると、0R は 10RP に、10R は 0YR に一致する。

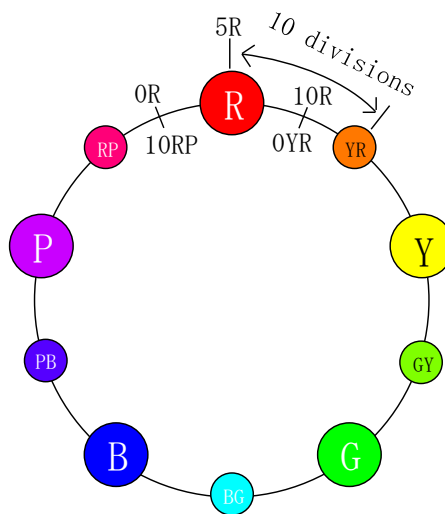


図 2.2 マンセル表色系の色相環

明度は、図 2.3 に示すように、色相環に垂直に、黒 ($V = 0$) から白 ($V = 10$) まで色感覚で等しく分ける。彩度は、色相環の中心を無彩色 ($C = 0$) として、中心からの距離に応じて高い彩度になるように番号を振って表す。図 2.3 で色立体を円で表現したが、実際は無彩色を表す中心軸に対して非対称で複雑な形をしている。

物体の表面色はこの色立体の何れかの一点で表される。その位置は、マンセル記号で表され、 $H V/C$ という帯分数の形式で表記される。 H は色相 (Hue), V は明度 (Value), C は彩度 (Chroma) を表す。例えば 5R 4/14 とは、 $H = 5R$, $V = 4$, $C = 14$ で、鮮やかな赤を表す。

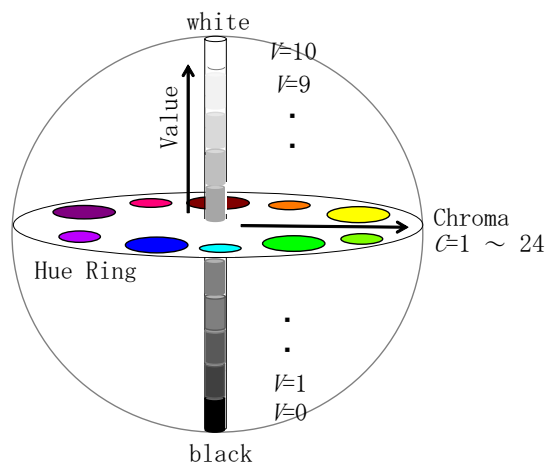


図 2.3 マンセル表色系の仕組み

マンセル色票は，測色の面からも検討され修正された [23]．これを修正マンセル表色系と呼ぶが，現在では，マンセル表色系とは，この修正マンセル表色系を指す．

2.3 PCCS 表色系

PCCS 表色系 (Practical Color Co-ordinate System) は，1964 年に財団法人日本色彩研究所により発表された [24]．PCCS 表色系は，色彩調和を目的とする実地的，実践的なカラーオーダーシステム (顕色系の表色体系) である．最大の特徴は，色を表現するのにマンセル表色系などの表色系が，色相，明度，彩度の 3 要素を用いるのに対し，PCCS ではトーンと色相の二つの要素を用いて色を表すことができる点である．全盲の人に色を伝達する場合，少ない情報量で的確に色を把握してもらう必要がある．このため，2 要素で色を伝達できるこの表色系は提案システムの要件に適合していると考えられる．

まず，色相から説明する [25]．

- 1). 図 2.4 に示すように，心理 4 原色の赤 (R)，黄 (Y)，緑 (G)，青 (B) の色相を配置する．図 2.2 のマンセル表色系の色相環と比較すると，R，Y，G，B の位置に差異がある．また，P は 4 原色に含まれていない (円周の外に示す)．

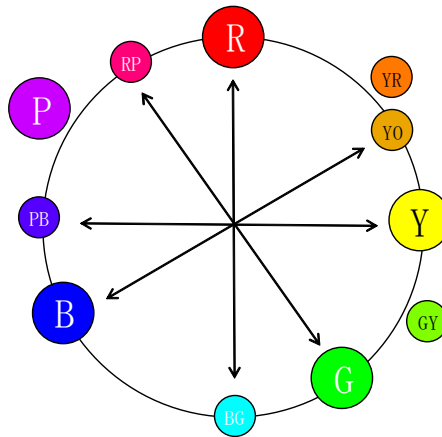


図 2.4 PCCS 表色系の色相環 1 (円周外の色相はマンセル色相)

- 2). 心理 4 原色に対して, 中心を挟んだその対面の色相環に, 青緑 (BG), 青紫 (PB), 赤紫 (RP), 黄橙 (YO) の心理補色 4 色相を配置する. マンセル色相環と比較すると, 図 2.2 の R, Y, G, B, P の中間に位置する色相のうち, YR と GY は配置されていない (円周の外に示す). 新たに黄橙 (YO) が配置される.

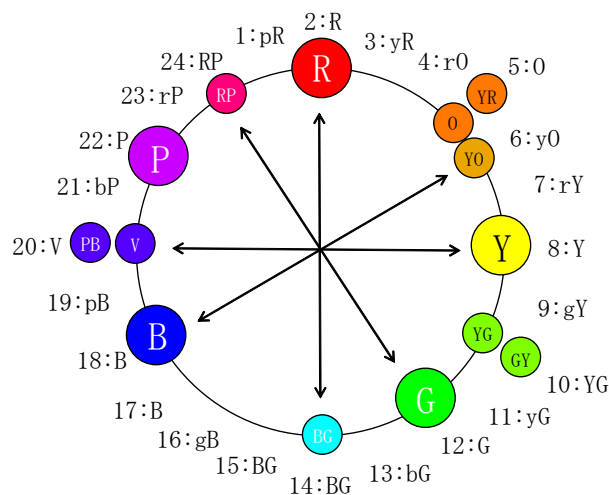


図 2.5 PCCS 表色系の色相環 2 (円周外の色相はマンセル色相)

- 3). 各色相が知覚的に等歩度となるよう 4 色相を追加し, 12 色相とする. さらに 12 色相に中間色相を内挿して 24 色相とする. その結果, 図 2.5 のよう

第2章 色の表現と計測

になる。マンセルの色相名の黄赤 (YR) が橙 (O) に、黄緑 (GY) が黄緑 (YG) に、青紫 (PB) が青紫 (V) に置き換わる。

もっとも、マンセルとは色相環の分割方法が異なるので、24色相の位置に差異がある。24色相の色相名を日本語名と英語名で表2.2に示す。この中で、14: BG 青緑、15: BG 青緑と17: B 青、18: B 青は、同じ色相名としている。

PCCS表色系の特徴であるトーンは色の調子という意味で、明度 (brightness) と彩度 (saturation) を統合した感覚概念である。図2.6に示すように、有彩色は12のトーンから構成される。各トーンはそれぞれが24色相を有し、色相が異なっても明るさ、濃さ、強さなどが等しく感じる色の領域を示している。トーンの英語名、日本語表現を表2.3に示す [26]。トーンと色相の二つの要素ですべての色を表す色彩体系を、ヒュー・トーンシステムと称する。

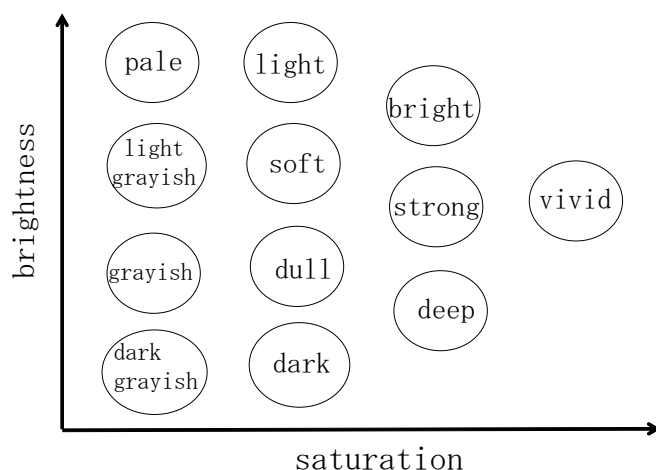


図 2.6 PCCS 表色系のトーン

表 2.2 PCCS 表色系の色相名

記号	日本語名	英語名	色見本
1: pR	紫みの赤	purplish Red	
2: R	赤	Red	
3: yR	黄みの赤	yellowish Red	
4: rO	赤みの橙	reddish Orange	
5: O	橙	Orange	
6: yO	黄みの橙	yellowish Orange	
7: rY	赤みの黄	reddish Yellow	
8: Y	黄	Yellow	
9: gY	緑みの黄	greenish Yellow	
10: YG	黄緑	Yellow Green	
11: yG	黄みの緑	yellowish Green	
12: G	緑	Green	
13: bG	青みの緑	bluish Green	
14: BG	青緑	Blue Green	
15: BG	青緑	Blue Green	
16: gB	緑みの青	greenish Blue	
17: B	青	Blue	
18: B	青	Blue	
19: pB	紫みの青	purplish Blue	
20: V	青紫	Violet	
21: bP	青みの紫	bluish Purple	
22: P	紫	Purple	
23: rP	赤みの紫	reddish Purple	
24: RP	赤紫	Red Purple	

表 2.3 PCCS トーン：有彩色

略号	英語名	日本語表現
v:	vivid	鮮やかな, 冴えた
b:	bright	明るい
s:	strong	強い
dp:	deep	濃い, 深い
lt:	light	浅い
sf:	soft	柔らかい, 穏やかな
d:	dull	鈍い, くすんだ
dk:	dark	暗い
p:	pale	薄い
ltg:	light grayish	明るい灰みの
g:	grayish	灰みの
dkg:	dark grayish	暗い灰みの

2.4 システムにおける出力表現

PCCS の 24 色相名をすべてシステム出力に用いると、色の表現が細かくなり、全盲の人が色を想像するのが困難となる。内川ら [27] は、

「色は 3 次元空間内であらゆる方向に連続的に変化し、人間の色覚はこれら無数の色を細かく弁別できる能力があるだけではなく、色を大きくカテゴリカルにまとめて見る能力も備わっている」

と述べている。また、色のカテゴリカル知覚に関して、

「Berlin and Kay [28] は 100 種近くの言語を調べて、11 個の色名（赤、緑、黄、青、茶、紫、オレンジ、ピンク、白、黒、灰）をカテゴリ基本色名として抽出した」

と紹介しており、

「Berlin and Kay は、『この基本色名は、すべての人の語彙に含まれ、人によらず、使うときによらず一致して用いられ、その語義が他の単語に含まれないこと、特定の対象物にしか用いられないこと』と定義し、色覚系の中枢レベルには 11 の基本色名に対応した色のカテゴリメカニズムが存在することを示唆している」と述べている。

全盲の人に色を伝える提案システムでは、色を概略的に把握してもらうためにこのカテゴリー基本色名を用い、表 2.4 のように PCCS 24 色相名を統合する。なお、PCCS 色票 [29] 付属の資料では、例えば、表 2.2 の色相 No. 2 Red は、彩度が低い light grayish トーンでは、light grayish red としないで、grayish pink としている。また、色相 No. 4 の reddish Orange は、彩度が低い grayish トーンでは、grayish reddish orange とせず、grayish brown としている。つまり、24 色相名を基本としながら適切な色表現を採用している。システムにおいても、24 色相を統合したカテゴリー基本色名を、表 2.4 を原則とし、明度、彩度に応じて適切な色表現になるよう PCCS 色票の観察結果も加えて色名を決める。また、システムで用いる基本色名は、カテゴリー基本色名 11 種に、衣類に頻出するベージュを加えて、12 種の基本色名とする。

次に、PCCS トーンは、図 2.6 に示すように有彩色では、12 トーンに分けられている。システムでこのトーンを使用すると、例えば、light (浅い) と pale (薄い) の間の違いが理解困難となる。そのため、トーンを PCCS 色票の観察により、類似した印象の色集合となるよう図 2.7 のように統合する。その結果、図 2.8 のように、7 トーンとなる。

提案システムにおける色名作成の仕組みを図 2.9 に示す。トーンを修飾語として基本色名を修飾する形とする。ただし、例外としてトーン (修飾語) のない場合もある。トーン (修飾語) がない色は、白、黒のほか、ベージュ、茶、緑、ピンクのそれぞれ一部である。PCCS 色票を観察し、適切な色表現となるように個々の色票の色名を決定する (巻末 表 A.5)。

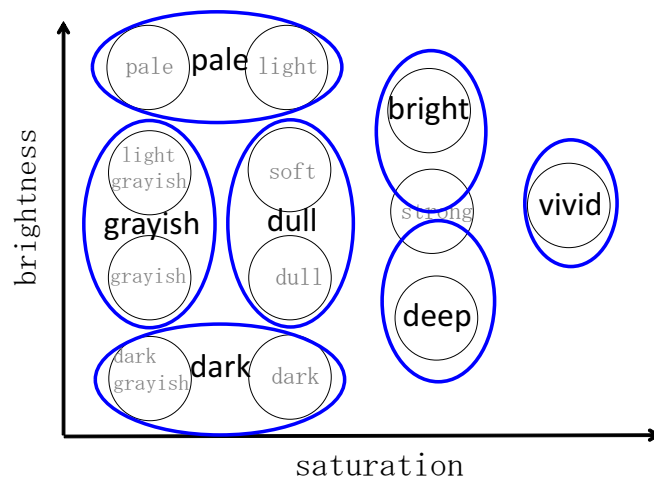


図 2.7 PCCS 表色系のトーンの統合過程

表 2.4 PCCS 色相名の統合

記号	日本語名	英語名	カテゴリー-基本色名
1: pR	紫みの赤	purplish Red	赤
2: R	赤	Red	
3: yR	黄みの赤	yellowish Red	
4: rO	赤みの橙	reddish Orange	オレンジ
5: O	橙	Orange	
6: yO	黄みの橙	yellowish Orange	
7: rY	赤みの黄	reddish Yellow	黄
8: Y	黄	Yellow	
9: gY	緑みの黄	greenish Yellow	
10: YG	黄緑	Yellow Green	緑
11: yG	黄みの緑	yellowish Green	
12: G	緑	Green	
13: bG	青みの緑	bluish Green	
14: BG	青緑	Blue Green	青
15: BG	青緑	Blue Green	
16: gB	緑みの青	greenish Blue	
17: B	青	Blue	
18: B	青	Blue	
19: pB	紫みの青	purplish Blue	紫
20: V	青紫	Violet	
21: bP	青みの紫	bluish Purple	
22: P	紫	Purple	
23: rP	赤みの紫	reddish Purple	赤
24: RP	赤紫	Red Purple	

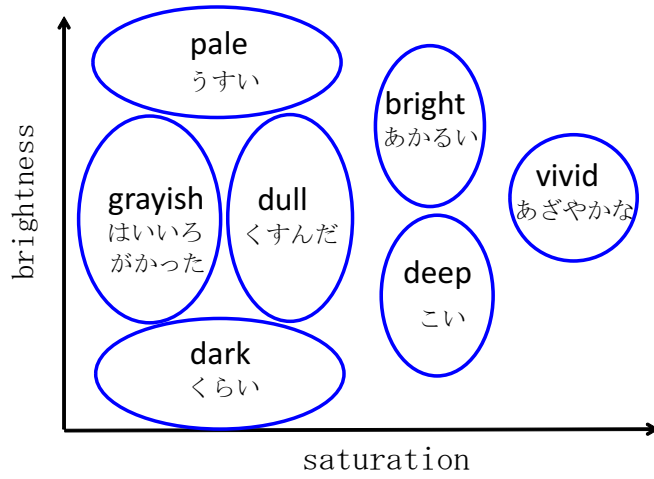


図 2.8 PCCS 表色系のトーンの統合結果

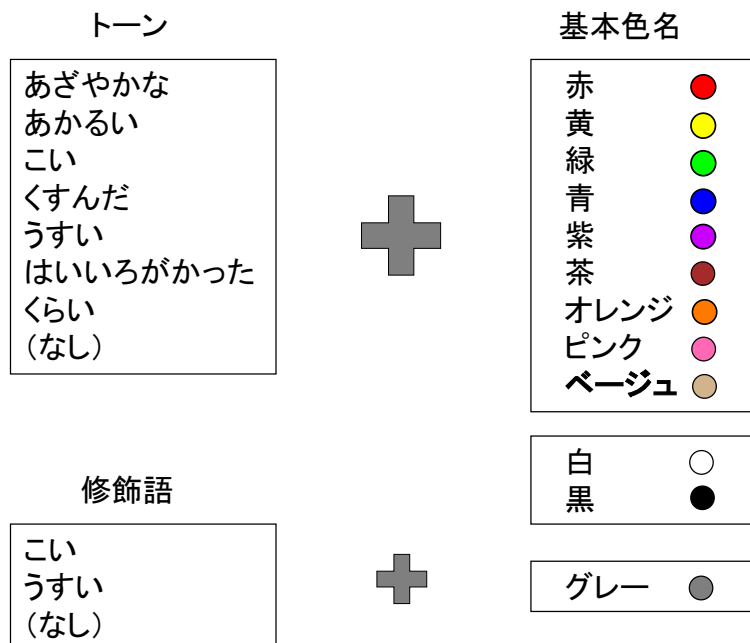


図 2.9 色名作成の仕組み

模様表現

色を表現するためには色の変化を説明しなければならない。色の変化を模様という形式で説明できる場合は、平面の色の分布状況を効率よく表現できる。システムが認識対象とする模様のカテゴリーを図 2.10 に示す。模様のカテゴリーは、「縦縞」(Vertical Stripe), 「横縞」(Horizontal Stripe), 「チェック」(Checker), 「無地」(Plain), 「その他の模様」(単に「模様」と出力, Others) の5分類とする。これらは衣類に頻繁に表れる模様である。縦縞と横縞の区別はユーザが衣類の上方向を手で触って確かめ、これを基準としてシステムの入力部を衣類に当てることで、決定できるようにする。

衣類の模様として、このカテゴリー以外にもさまざまな分類が考えられる。特に「その他の模様」は、文字柄、絵柄、水玉など、さまざまに細分化することができる。しかし、システムで模様を細分化して認識するためには、計算コストの問題が存在する。スマートフォンの計算コストを抑え、出力までに要する時間を短縮するために、主要な模様のカテゴリーを認識可能とするシステムとする。

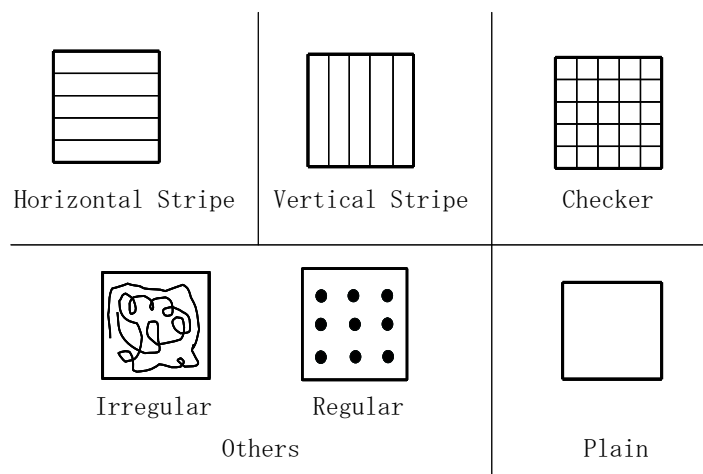


図 2.10 模様のカテゴリー

2.5 色の計測

最初に、本論文で使用する光と色に関する単位について述べる。

- 波長を表す単位は nm で、 $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ である。
- 光源の明るさを表す光度の単位は cd (カンデラ) で、SI 基本単位で定義される光の強さである。
- 光源の明るさを表す光束の単位は lm (ルーメン) で、光源全体から放出される光の総量であり、例えば電球の性能を表すのに用いられる。
- 光度は 1 sr (ステラジアン) 当たりの光束を意味し、 $1 \text{ cd} = 1 \text{ lm} / \text{sr}$ の関係がある。
- 照度 lx (ルクス) は照射面の明るさ、すなわち、単位面積当たりの光束を意味し、 $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm} / \text{m}^2$ の関係がある。
- 光源色を表すには、相関色温度 K (ケルビン) が用いられる。単位 K は、SI 基本単位で定義される。相関色温度は、黒体 (完全放射体) を熱したときに黒体の色が赤、黄、白、青白の順に温度と共に変化することから、これを基準に光の色を温度で表す。夕日は 2,000 K 程度、晴れた日の正午頃の太陽光は 6,500 K 程度である。
- 物体の色計測では、本節で述べる三刺激値 R, G, B や X, Y, Z が用いられる。三刺激値に単位はない。

人の目に見える光は波長が 380 nm から 780 nm の電磁波であり、可視光と呼ばれるが、色そのものではない。色は人の視覚に入って色感覚を発生したときに初めて生じる。波長の短い光は紫、長い光は赤を感じさせる。物体の色は光を受けて反射する波長成分の分布により決まる。

人の網膜 (retina) には、およそ 1 億個の桿体細胞 (rod cell) と 650 万個の錐体細胞 (cone cell) があるとされている [30]。色認識には網膜中心窩 (fovea) 周辺にのみ分布する視細胞である錐体に関与している。錐体は L, M, S 錐体の 3 種類で構成され、それぞれが赤 (R), 緑 (G), 青 (B) の色光に感度を有する。色光とは色刺激を意味し、目に入射して有彩または無彩の色感覚を生じる可視放射である。錐体と桿体の網膜上の分布を図 2.11 に示す。錐体の感度は個人によって異なるものであり、何れかが欠けたり感度が弱い場合は色覚異常の原因となる。

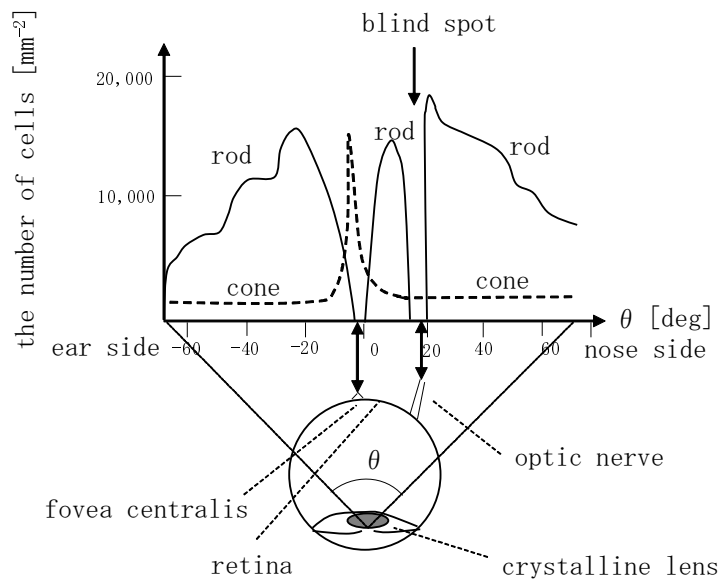


図 2.11 錐体及び桿体の網膜上の分布 [30]

色を定量的に扱うためには、個人によって異なる錐体の感度を統一的に扱う必要がある。そのため、色に関する視覚特性を世界共通の規格として決めたものが CIE 1931 測色標準観測者 (Standard colorimetric observer) である。これは図 2.12 に示す等色関数 (Color matching function) $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$ で表される [31]。ただし、 λ は波長を表す。

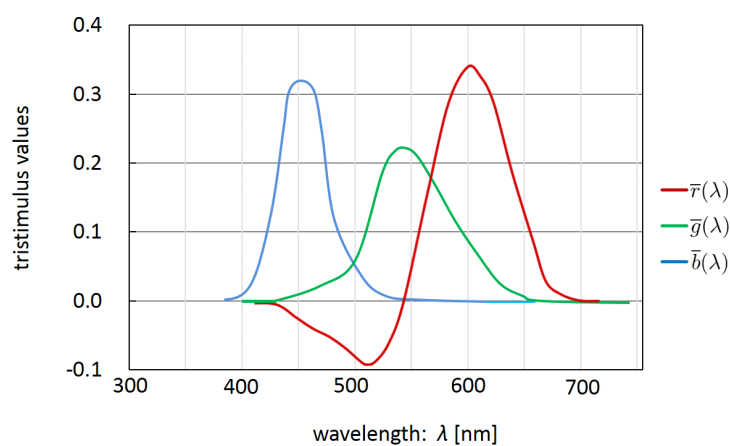


図 2.12 等色関数 $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$ [31]

グラスマン (Grassmann) の法則 [32] に基付けば、どのような色光 (色刺激) も独立した三つの原刺激 (単色光) の加法で混色 (等色) できるとされる。すなわち、原刺激の単位量を $[R]$, $[G]$, $[B]$ とし、任意の色光 $C[C]$ を等色するのに必要な原刺激の量を R, G, B とすると、次の式が成り立つ。

$$C[C] \equiv R[R] + G[G] + B[B] \quad (2.1)$$

つまり、任意の色光に対して三刺激値 R, G, B を求めることが可能である。CIE では、原刺激 $[R]$, $[G]$, $[B]$ をそれぞれ波長 700.0 nm, 546.1 nm, 435.8 nm と定めている。原刺激の単位量 $[R]$, $[G]$, $[B]$ は、 $[C]$ として等エネルギー白色光 ($1/18.910 \text{ W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$) [33] を用いたとき、 $R = G = B = 1$ となるように定義された値である。

等色関数 $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$ は、400 nm から 700 nm までの各波長について、等エネルギー白色光 ($1/18.910 \text{ W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$) と等色するように、 R, G, B 三刺激値を求めたものである。RGB 表色系はこれらの等色関数を用いて式 (2.2) で定義される。ただし、 $\lambda_1 = 400 \text{ nm}$, $\lambda_2 = 700 \text{ nm}$ で、 $E(\lambda)$ (単位: $\text{W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$) は分光放射分布である。式 (2.2) により、任意の色の三刺激値 R, G, B を求めることができる。

$$\begin{aligned} R &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) \bar{r}(\lambda) d\lambda \\ G &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) \bar{g}(\lambda) d\lambda \\ B &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) \bar{b}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (2.2)$$

CIE RGB 表色系は等色関数に負の値があるなどの欠点があり、式 (2.3) により表色系に便利な仮想の三刺激値 X, Y, Z に射影変換して CIE 1931 XYZ 表色系が生まれた。

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.7689 & 1.7518 & 1.1302 \\ 1.0000 & 4.5907 & 0.0601 \\ 0 & 0.0565 & 5.5943 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

XYZ 表色系の等色関数 $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ は、式 (2.3) を利用して求めることができる。なお、図 2.13 に波長と三刺激値との関係を示す。

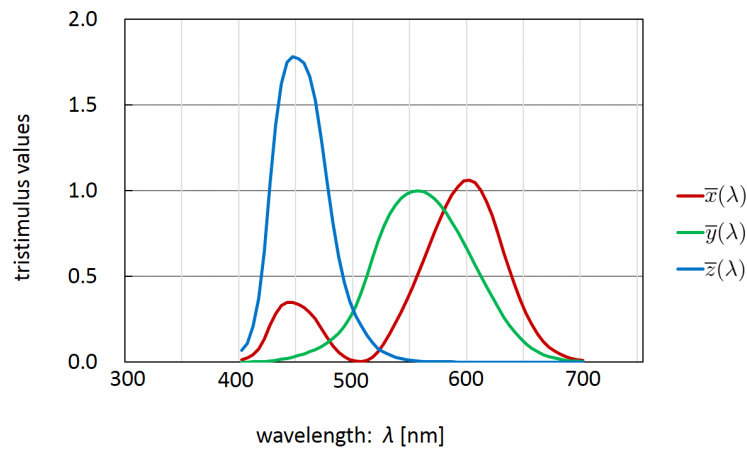


図 2.13 等色関数 $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ [34]

分光放射分布 $E(\lambda)$ の三刺激値 X , Y , Z は, 式 (2.2) と同様, 式 (2.4) から計算できる.

$$\begin{aligned} X &= U \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y &= U \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z &= U \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (2.4)$$

定数 U は光源色の場合は $U = 683 \text{ lm/W}$ である. 反射物体の場合は, 分光反射率を $O(\lambda)$ とし, $O(\lambda) = 1$ となる完全拡散反射面 (反射率が 100 % の理想上の均等拡散反射面) [35] の Y 値が 100 となるように U の値を定める. 物体色の三刺激値は式 (2.5) で求めることができる.

$$\begin{aligned} X &= U \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) O(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y &= U \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) O(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z &= U \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) O(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (2.5)$$

式 (2.2), 式 (2.4), 式 (2.5) の $E(\lambda)$ は光源に依存する. CIE では照明光の基準として, 標準の光 A, C, D_{65} の 3 種類と補助標準の光として D_{50} , D_{55} , D_{75} , B を

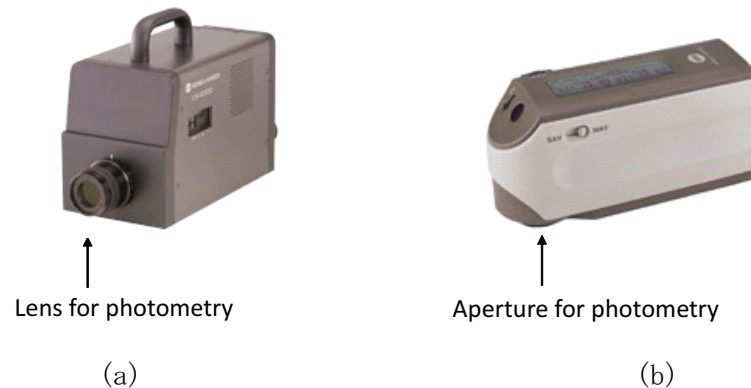


図 2.14 分光方式の色計測器 (a) 分光放射輝度計 CS-2000 (b) 分光測色計 CM-2600d (コニカミノルタ製) [40]

規定している [36]. 例えば D_{65} は, 相関色温度が約 6,500 K の平均的な昼光 (CIE 昼光) で, 紫外線も含む.

色を測る計測器には色フィルタ方式と分光方式がある [37]. 色フィルタ方式は色彩計とも呼ばれ, 光電色彩計を用いて刺激値直読法 [38] によって色を計測する. すなわち, 三つの光センサにそれぞれ適切な色フィルタを組み合わせると, その分光感度が等色関数 $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ と等しくなれば, 色光に対するセンサ出力がそのまま三刺激値 X , Y , Z となる. センサの分光感度を等色関数と完全に一致させることは困難であるため, 精密な計測が必要なときは, 分光測色法を用いる [39].

分光方式は波長毎 (例えば 10 nm 毎) に対応する光センサによって物体からの反射光を分光測定し, 反射率を求めて式 (2.5) で積分計算を行って三刺激値 X , Y , Z を得る.

分光方式で色を計測する機器はさまざまな名称で呼ばれているが, 主として光源色を測定する場合は分光放射輝度計 (Spectral radiance meter) または分光放射照度計 (Spectroradiometer) などと呼ばれ, 物体色を測定する場合は分光測色計 (Spectrophotometer, Spectral colorimeter) と呼ばれることが多い. 図 2.14 にこれらの計測器の例を示す. (a) の分光放射輝度計はレンズを光源など測定対象に向けて, その光を収集して測定するのに対して, (b) の分光測色計は本体底面に開いた小開口部を物体に当て, 計器内部で発光させた標準の光を物体に当てて, その反射光を測定する.

本研究では、デジタルカメラを用いて色を計測する。フィルムカメラとの違いは、受光部に光電変換素子の CCD(Charge Coupled Device) イメージセンサまたは CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor) イメージセンサを用い、*RGB* 値を電氣的に出力して色を再現することである。CCD と CMOS は、何れもフォトダイオードによって検出した光から電荷を発生させるが、電荷の転送方式が異なる。CCD イメージセンサでは水平 CCD と垂直 CCD を使って電荷を出力部に転送してから増幅するのに対して、CMOS イメージセンサではフォトダイオード毎に変換された電荷を増幅して出力する [41, 42].

デジタルカメラで記録した画像をコンピュータで処理する場合、色再現の規格が複数存在する。sRGB (standard RGB) は Microsoft と Hewlett-Packard が定義した色空間であり、Windows コンピュータ (Windows OS を搭載したコンピュータ) の平均的なモニタ特性を基準とし、ブラウン管、モニタ、プリンタ、デジタルカメラ等の異なる機器間の色の調整を規定する。これに対し、AppleRGB は、Macintosh コンピュータ (Apple 社製コンピュータ) の平均的なモニタ特性を基準としている [43]。AdobeRGB は Adobe Systems 社によって提唱された色空間の定義で、sRGB よりも遥かに広い *RGB* 色再現領域を持ち、印刷や色校正などで標準的に使用されている [44]。sRGB, AppleRGB, AdobeRGB はデバイスに依存する色空間であり、デバイス RGB と呼ばれる。図 2.15 に示すように、異なる機器の間で共通な色再現を実現するためにそれぞれの規格が定義されている。本研究では、画像の色再現は広く普及している sRGB を用い、*RGB* 値は各 8 ビットで量子化する。

なお、式 (2.2) で定義される CIE *RGB* 表色系に基づく色空間、式 (2.4) と式 (2.5) で定義される CIE *XYZ* 表色系に基づく色空間、CIE *XYZ* 表色系から導かれるその他の CIE 色空間は、デバイスに依存しない色空間として色再現の基準として用いられる。

カメラを用いて色を計測する場合、*RGB* から *XYZ* への変換は、式 (2.3) とは異なり、カメラから得られた *R*, *G*, *B* 値を用いて、式 (2.6) により *X*, *Y*, *Z* に変換することができる。

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.412453 & 0.357580 & 0.180423 \\ 0.212671 & 0.715160 & 0.072169 \\ 0.019334 & 0.119193 & 0.950227 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

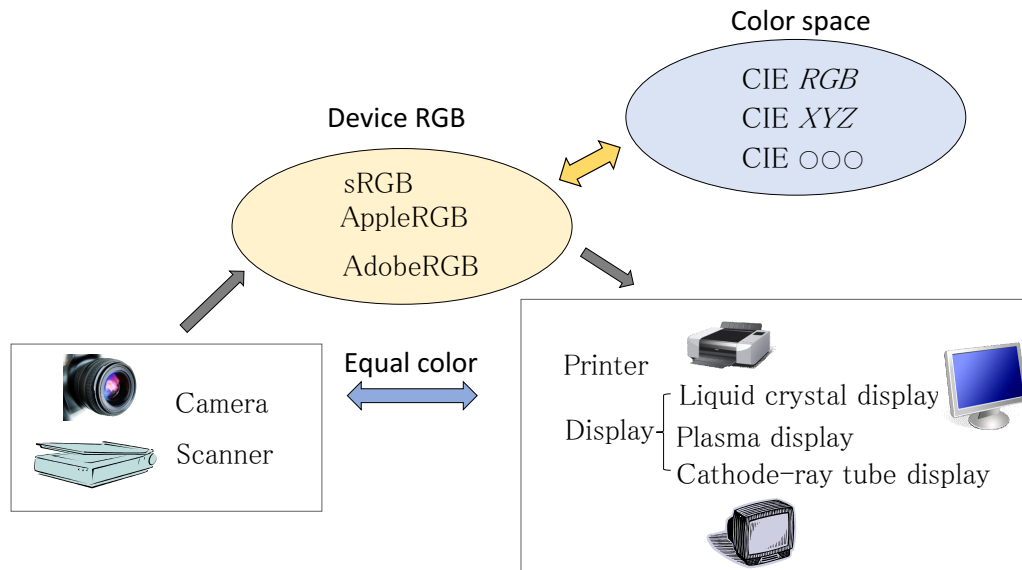


図 2.15 Device RGB [43, 44]

ただし、これは sRGB 色空間から CIE XYZ への変換式であり [45], $0 \leq R \leq 1$, $0 \leq G \leq 1$, $0 \leq B \leq 1$ とする.

さて、CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 色空間 [46] は、1975 年第 18 回 CIE 大会において採択された。この $L^*a^*b^*$ 表色系にもとづく色空間は均等色空間と呼ばれ、二つの色に関する色差 [47, 48] を空間内の場所によらず 2 点間の距離で表すことができる。式 (2.7) から式 (2.9) により XYZ 表色系から $L^*a^*b^*$ 表色系に変換することができる。

$X_n = 0.950456$, $Y_n = 1.0$, $Z_n = 1.088754$ として,

$$L^* = \begin{cases} 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 & \left(\frac{Y}{Y_n} > 0.008856 \right) \\ 903.3 \left(\frac{Y}{Y_n} \right) & \left(\frac{Y}{Y_n} \leq 0.008856 \right) \end{cases} \quad (2.7)$$

$$a^* = 500 \left(f \left(\frac{X}{X_n} \right) - f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) \right) \quad (2.8)$$

$$b^* = 200 \left(f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) - f \left(\frac{Z}{Z_n} \right) \right) \quad (2.9)$$

$$\text{where } \begin{cases} f(t) = t^{\frac{1}{3}} & \left(\frac{Y}{Y_n} > 0.008856 \right) \\ f(t) = 7.787t + \frac{16}{116} & \left(\frac{Y}{Y_n} \leq 0.008856 \right) \end{cases}$$

となる。このように、XYZ表色系はRGB表色系やL*a*b*表色系などに変換できるため、CIE表色系の基礎であり、さらには、色計測の基盤となっている。

本節の要点を図2.16に模式的にまとめる。色の認識は人の目ではL, M, Sの各錐体が司り、カメラではR, G, Bの各センサが司る。人の目では、照明光の種類に影響されず、白い物体は白く見えるようにL, M, Sの各錐体の出力に重みを掛けて調整している。カメラではこの仕組みを実現することをホワイトバランスと呼び、R, G, Bの各センサ出力に重みを掛けて調整している。

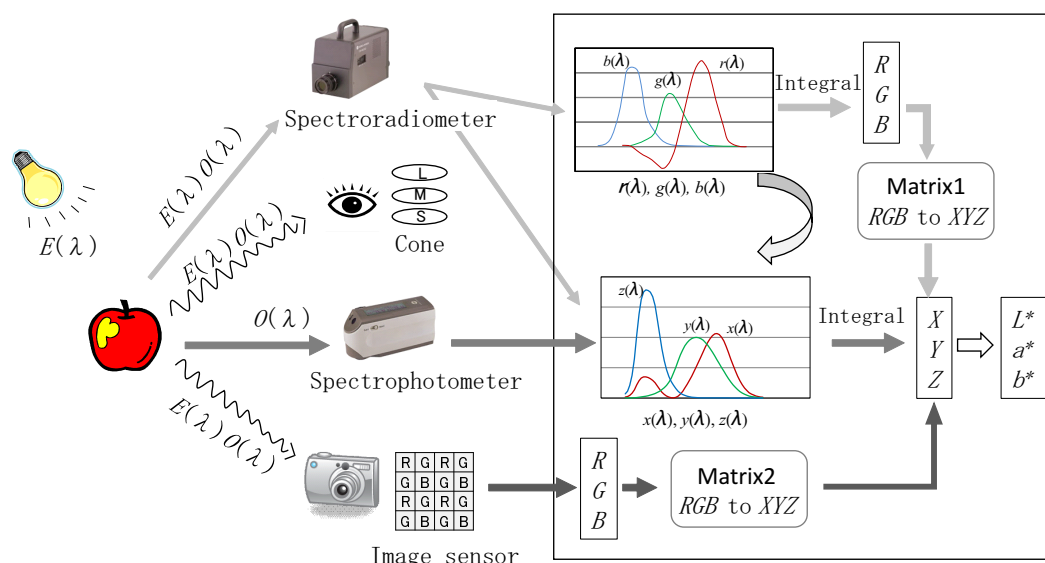


図 2.16 物体色の認識と計測

また、色の認識は分光放射輝度計，分光測色計では各波長毎のセンサが司る。色の計測はこれらの色認識及び色の数値化の計算過程を意味すると考えることができる。計算過程では、色認識によって得られた数値を変換または積分してXYZで表すことが重要である。これにより、均等色空間であるL*a*b*に変換することによって色の比較が可能となる。なお、図中Matrix1は式(2.3)を、Matrix2は

式 (2.6) に相当する。また、 $E(\lambda)$ は分光放射分布を、 $O(\lambda)$ は物体の分光反射率を表す。

正確に物体の色を計測するためには、分光測色計を使用して波長毎の分光反射率を求めて計算することが望ましいが、生活に密着した使用目的の場合、安価で手軽に使用できることが条件となる。従って、提案システムではカメラを用いて色の計測を行う。カメラで計測した色を、分光測色計で計測した色と比較するために、 RGB から XYZ に変換し、さらに $L^*a^*b^*$ に変換する。これにより色を定量的に扱うことができ、安定した色認識が可能となる。

また、実験では、光源の色を定量的に表すために相関色温度 [K] を、物体表面の明るさを表すために照度 [lx] を用いる。

以上、本章では色の表現と計測について述べた。次章では、既存の色名提示装置や研究を紹介し、提案システムの備えるべき要件について検討する。

第3章

色名提示方法

本章では、既存の色名提示装置や研究を紹介し、提案システムにはどのような要件が必要かを検討する。既存の色名提示装置には、ハードウェアとして色名提示に特化したものと、携帯電話やスマートフォンを利用するアプリケーションソフトウェアとして開発されたものがある。本章では、これらの装置の特徴を述べ、1.5節で述べたシステムの備えるべき要件が満たされているかどうかを検討し、全盲の人を対象とする衣類の色・模様提示システムとしてどのようなものが適しているか、解決しなければならない課題は何かを明らかにする。

3.1 色名提示装置

ハードウェアとして色名提示に特化した装置は数少ない。図 3.1 の視覚障がい者支援装置オーデコ（株式会社アイプラスプラス製）[49] は、物体の形状や動きを額の触覚で認識させる仕組みとなっている。白杖と併用して用いると、前方の物体情報にある程度把握することができるが、色は認識できない。色名提示装置として、図 3.2 の“Color Talk PLUS” が挙げられるのみである。

携帯型色彩音声案内装置“Color Talk Plus”（北計工業）[14] は、全盲の人が衣類の色を調べるのに役立つ製品として作られ、販売されている。この製品の概要を述べる。本体は長さ 150 mm，幅 58 mm，厚さ 30 mm，重さ 0.175 kg と小型軽量である。図 3.2 に示すように、色を調べたい衣類に本体の裏に開いた小さな穴を当てて、本体側面の測定ボタンを押すと、音声で色名を答えてくれる。さらに、測定ボタンを押し続けると楽器音が鳴り、装置を移動させると色の変化が楽器音の変化になる。

色の表現法は詳細モードと簡易モードがあり、詳細モードは基本となる 13 色（赤，黄赤，黄色，黄緑，緑，青緑，青，青紫，紫，赤紫，白，灰色，黒）に明

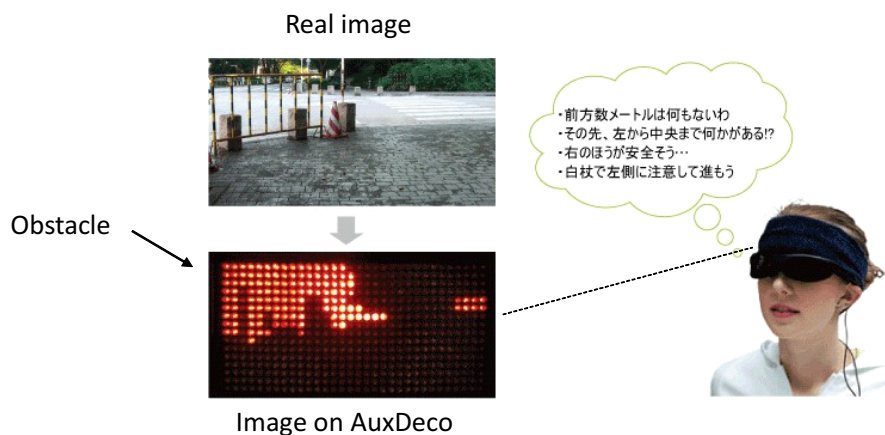


図 3.1 視覚障がい者用生活支援システム オーデコ (AuxDeco) (アイプラスプラス) [49]



図 3.2 Color Talk PLUS (北計工業) [14]

度，彩度，色相に関する修飾語をつけて，あらゆる色を 220 通りで表現する．簡易モードは，橙，ピンク，茶色を含めた 13 色（赤，橙，黄色，黄緑，緑，青緑，青，紫，ピンク，茶色，白，灰色，黒）に「濃い」，「薄い」をつけて 31 通りで表現する．色を楽器音で表現する場合，色相を赤から紫まで五つに分け，特定の楽器音を割り当てる．赤はピアノ，黄はトランペットなどと決めて，橙を表すには，ピアノとトランペットの楽器音を出す．明度はその楽器音の音階を変化させ，彩度は効果音のノイズの強弱で表現する．この方式で 5,000 色以上を表現できる．

この装置は，前川らの研究 [50, 51] により開発されたものであり，測色は装置構成のコストを抑えるために，光電色彩計による刺激値直読法に準じた方法で行っている．外光を遮断し，本体の底部に開いた直径 6 mm の穴に白色 LED 光源を 2 個，測定対象物に対して 45 deg 方向から照射し，散乱反射光を RGB カラーセ

ンサで受光する。取得した RGB 値により、独自のカラーテーブルで上記の色名に対応付けて色名を決定する。

前川らは実験で、1) グラデーション（色の漸進的な変化）と縞模様の識別に関する「色模様認識能力」と、2) 色名を段階的に提示しながら、音で色名を正答できるかという「色名認識能力」を検証している。10 人の被験者に対し、10 枚の色試料を用いて評価実験を行い、1) では、98 % と高い識別率を得た。2) では、個人毎の識別率が 80 % から 95 % の範囲に納まっている。

Color Talk PLUS は、全盲の人を対象とした衣服の色名提示システムとして、小型で携帯可能であり、色認識能力も優れていると考えられる。しかし、色名は直径 6 mm の範囲の平均色であり、局所的な色認識しかできない。色を点ではなく、面として認識するためには、装置を移動させて楽器音で色の変化を調べる必要がある。模様を伴う複数の色で構成される衣服の場合、全盲のユーザが変化する楽器音を色名に置換し、さらに概念上の色から視覚上の色に変換して衣服の色と模様を想像する困難な作業が要求される。全盲の人に要求される作業負荷は小さく、即座に色と模様を認識できるシステムが望ましい。Color Talk PLUS はシステムの備えるべき要件のうち、ユーザの作業負荷を小さくする面が充たされない。

3.2 色名提示アプリケーション

色名提示ソフトウェアとして、特定の携帯電話及び機種を問わないスマートフォン（汎用の OS を搭載した多機能携帯電話）を利用するアプリケーションをそれぞれ紹介し、その特徴について述べる。

3.2.1 携帯電話を利用した色名提示アプリケーション

携帯電話に組み込んで使用する色名提示アプリケーションとして、富士通株式会社の ColorAttendant[52] がある。これは、iモードサイト（NTT ドコモが提供する携帯電話を用いたネットワークサービス）上のアプリケーションで、「@F ケータイ応援団」から無料でダウンロードできる。このアプリケーションをインストールした富士通製の ColorAttendant 対応携帯電話のカメラ機能を利用して、色を判別することができる。

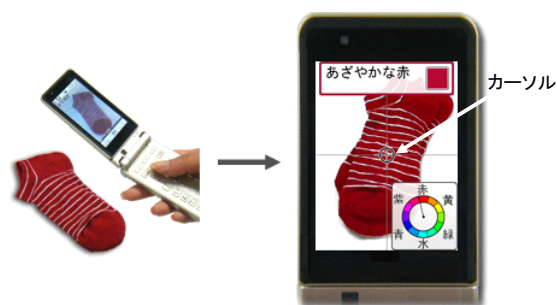


図 3.3 ColorAttendant（富士通製）[52]

図 3.3 に示すように、携帯電話のカメラで色を調べたい対象物を撮影し、撮影した画像上でカーソルを動かして、カーソルが指す一画素の色名を画面上に表示することができる。色名は 200 種以上を表示することができ、富士通製の携帯電話「らくらくホン」では、色名を音声で読み上げることもできる。

富士通の携帯電話 F09A にこのアプリケーションをインストールし、直射日光の当たらない明るい昼間の室内で、PCCS 色票 v2, v8, v12, v17 の 4 枚を撮影して試行した。色票の各部にカーソルを移動させながら表示される色名を調べると、v2（あざやかな赤）では、色名はシグナルレッド、紅赤、コチニールレッド、ローズ、ポピーレッドと変化した。他の色票も同様の結果となった。元々、このアプリケーションは、視力はあるが色覚に異常のある人を対象に制作されている。携帯電話に組み込んで手軽に色を調べることができる面は利便性に優れているが、色の補正はカメラに備わる露光、ホワイトバランス（白色調整）などの自動調節機能のみに依存しているため、色認識に照明条件の違いを考慮できない。これは正しい色を提示できないことを意味する。また、一画素毎の色名出力は、単一色の色票でさえ、さまざまな色名が出力され、全盲の人が色を想像することは困難である。

以上のことから、ColorAttendant は、全盲の人が色を調べる目的で使用することはできない。

3.2.2 スマートフォンを利用した色名提示アプリケーション

スマートフォンを利用した色名提示アプリケーションとして、いくつかを紹介し、それぞれの特徴を述べる。3.2.1 で述べた携帯電話利用のアプリケーションは、利用できる携帯電話の機種が限定されているのに対し、スマートフォン利用

アプリケーションは、機種や OS の制限がほとんどなく、汎用的に利用できる点が優れている。

照明環境を考慮した色認識アプリケーション

富士通研の開発した「スマホでお肌をチェックできる『肌メモリ』」[53]は、照明環境を考慮して正しい色認識を目的としたシステムである。ユーザは化粧品会社や百貨店を想定して開発されている。図3.4のように、リファレンス（参照用色票）としてカラーパッチ（Color patch）を肌と一緒に撮影し、画像データをクラウド（インターネット上のサーバ）に送る。クラウドでは、撮影時の照明環境をカラーパッチで補正した上で画像を分析して、シミ、毛穴、色合いの3項目について数値化し、客観的な肌の診断結果を返す。カラーパッチは4色の基準色から構成されていて、これらの画像を基準に肌の色を補正する。正しい色認識の面では、本研究のシステム要件と一致するが、リファレンスのカラーパッチとカメラが分離していることなど、全盲の人の色認識利用は難しい。このシステムは、肌の色に関する限られた色の範囲で使用するのので、カラーパッチ4色で補正が可能となっているが、衣類の色の範囲は広いので、衣類に適用するためにはリファレンスとして色数を多く必要とする。

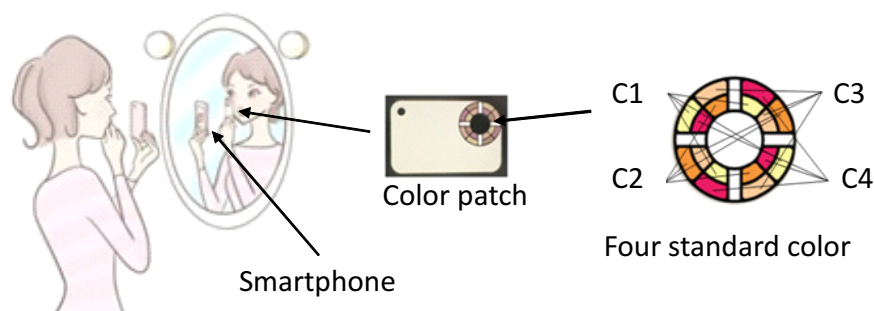


図 3.4 肌メモリとカラーパッチ（富士通）[53]

照明環境を考慮しない色認識アプリケーション

スマートフォンアプリで色認識をテーマとしたものが複数公表されているが、これらは色覚補助ツールとして使用することを前提としており、全盲の人が使用することを主眼において開発されていない。色名だけを文字や音声で答えるス

スマートフォンアプリの中で、浅田 [15] が開発した「色のめがね」は、色弱者の視認性や識別性を高めるために、スマートフォンの画面に、リアルタイムに色補正した画像を表示できるようにした点が優れている。

人の色認識に関与している L, M, S の錐体 (cone) のうち何れかが欠けたり、機能が不全である場合に色覚異常 [54] が起こる。医学用語では、L 錐体が欠ける場合を 1 型色覚、M 錐体が欠ける場合を 2 型色覚、S 錐体が欠ける場合を 3 型色覚と称する。浅田の「色のめがね」は、色覚に異常のある人の視認性、識別性を高めるために、スマートフォン画面に写る色を、明度または色相を変更して容易に見えるようにする機能を有する。また、画面上の画素の色名や色情報を数値で表示することもできる。

色名表示機能に関して述べると、「色のめがね」を含めこれらのアプリでは、カメラから得られたピクセル単位の色信号を、そのまま RGB あるいはマンセルの $H V/C$ などの数値として表示し、色名に置き換えている。つまり、光源に応じた色の補正は、画像取得のためにカメラに備わっている露光、ホワイトバランスなどの調節機能のみに依存し、正しい色認識を可能とする色の補正の仕組みがない。また、めまぐるしく変化する“点”の色情報を音声などで出力すると、全盲の人に混乱を招く結果となる。これらは、スマートフォンを利用した手軽なシステムではあるが、全盲の人が利用するには無理があり、色の補正も充分ではない。

3.3 その他の研究

全盲の人の衣服選択をテーマとしたアルゴリズム研究として、Yuan らの研究 [55] がある。これはカメラとコンピュータを接続したシステムであり、システム制御と設定のために音声命令が可能となっており、衣類の色と模様のマッチング結果も音声で出力する。序文で、1994, 1995 年頃のアメリカでは、ほとんど視力のない視覚障がい者が約 275,000 人を記録し、彼らの日常の衣服選択の困難性を述べている。その解決策として、現状では家族の助けを借りるか、衣服にプラスチック製点字ラベルを付けるか、衣服に縫い込み模様を付けて識別するかなどの方法を用いていて、コンピュータビジョンや画像処理技術を用いた装置がないことを研究の動機として挙げている。

このシステムが検出できるのは、1) 衣服の主たる色、2) 衣服に模様があるか単一色かどうか、3) 2枚の画像の組で色が一致するかどうか、4) 2枚の画像の組

で模様が一致するかどうかの4通りである。「主な色は…」,「模様がない」,「色と模様が一致した」,「色は一致し, 模様は一致しない」,「模様は一致し, 色は一致しない」,「一致しない」のように音声で出力する。このシステムは, 測定対象の衣服がどのような色で構成され, どのような模様があるかをユーザに明確に示すことができない。また, 照明環境の違いによる色の補正の仕組みが提案されていないなど, 衣服の色と模様の提示システムに必要な要件が充たされていない。ユーザビリティに関しては, 今後の課題として, スマートフォンへの搭載を検討するとのことである。

3.4 提案システムの特徴

1.5節で, 全盲の人が衣類の色と模様を調べるシステムの備えるべき要件を次のように定めた。

- 1). 全盲のユーザが衣類の色と模様を調べるときに, 作業負荷をなるべく小さいものとする。
- 2). システムによる色と模様の認識結果の提示は音声を利用する。
- 3). システムによる出力表現は簡単に理解できる表現とする。
- 4). システムは, 特別な装置を使用せず, スマートフォンを用いて手軽に利用できるようにする。
- 5). 正しく色を認識できるようにする。

本章で紹介した既存の装置や研究は, 何れも上記要件をすべて充たすものはなかった。提案システムは, スマートフォンを用いて衣類の色と模様を調べる手軽なシステムである。スマートフォンのカメラによって衣類の色情報を一括処理するため, ユーザの作業負荷が小さい。また, 照明条件に影響されない正しい色認識が可能であり, 出力表現は簡潔な内容を音声で提示する。次章で, この提案システムの原理について述べる。

第4章

システムの原理

本章では、視覚障がい者のための衣類の色と模様の提示システムの原理について述べる。システム開発に当たっては、アルゴリズム検証用にオフラインカメラシステムとオンラインカメラシステムを作成した。これらの基礎的なシステムの詳細は5章で述べる。提案システムは、全盲の人が手軽に利用できるようにスマートフォンを用いた形態とし、覆い付きシステムと環境光利用システムの2通りを構築する。その概要を述べた後、システムの核心となる色認識のアルゴリズム、模様認識のアルゴリズムについて詳細に述べ、最後に出力アルゴリズムについて述べる。

4.1 スマートフォンシステム

色を正しく認識するためには、カメラに備わっている露光、ホワイトバランスなどの自動調整機能だけでは不十分である。色は物体表面の物理的特性と照明によって決まる。従って、照明条件を一定にするか、もしくは照明条件を推定する必要がある。そのため、スマートフォンを利用したシステムの形態として、カメラに覆いを付けて外部の光を遮断する「覆い付きシステム」と、覆いを付けずに測定時の環境光を照明に利用する「環境光利用システム」の2通りを構築する。

4.1.1 スマートフォンの定義と特徴

本システムはカメラと照明に加えてコンピュータが必要であり、これらが小型化、一体化したスマートフォンを利用することはユーザにとって大変利便性が高い。スマートフォンを利用することにより、色認識などのために特別な装置を購入する必要がないだけでなく、スマートフォンには視覚障がい者に配慮した音声

認識，音声読み上げ機能などの仕組みが標準で搭載されていることも大きな利点としてあげられる。

情報通信市場を専門にした調査会社であるMM総研の「スマートフォン市場規模の推移・予測（2013年10月）」[56]によると，2013年度末以降のスマートフォン契約数（国内携帯電話市場に占めるスマートフォン契約比率）は2014年3月末：5,627万件（46.6%），2018年3月末：8,924万件（68.2%）となり，2014年度中にはスマートフォン契約数が過半数に達すると推計している。なお，推計における携帯電話市場とは，スマートフォンと従来型の携帯電話を対象とし，PHS，タブレット端末，データ通信カード，通信モジュールを含まない。また，スマートフォンを次のように定義している。

- OSを搭載（Android，iOS，Windows，BlackBerry）。
- 音声通話が可能（画面6インチ以上でヘッドセット通話を想定した端末は含まない）。
- 高機能かつアプリやソフトウェア等のカスタマイズが可能。
- OS環境として（アプリ）開発仕様が公開されていること。
- 通信回線事業者及び携帯電話製作会社がスマートフォンと位置付けている製品。

今後ますます，普及が進むと考えられるスマートフォンに本システムを組み込むことは有益である。

4.1.2 覆い付きシステム

図4.1に覆い付きシステムの外観と覆い内部の構造を示す。図4.2には，撮影画像の例を示す。画像中，枠線内が色差計算のための測定範囲である。PCCS色票の表面は光沢があり，強い反射光が白く写る。色差計算の場合に，この反射光を避けた範囲を測定範囲とする。実際の衣類測定の場合は，開口部の全体を測定範囲とする。開口部の両側には，照明光を補正するための標準白色板（Standard white board）のパッチを配置する。

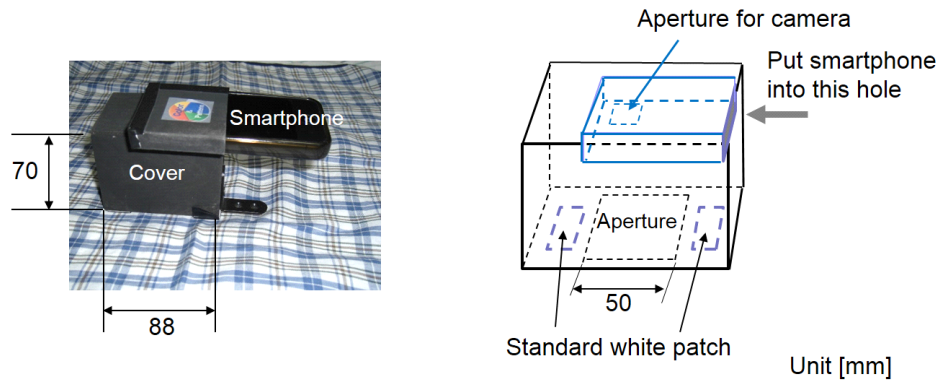


図 4.1 覆い付きシステム

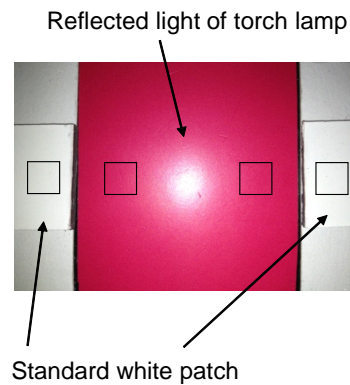


図 4.2 撮影画像の例 (PCCS v1 色票)

スマートフォンは iPhone 4s を用いる。iPhone には照明光として、フラッシュ光の他にトーチランプが搭載されている。トーチランプは、暗い環境下で撮影する場合に、その前段階で撮影部分を照らし、ピントを合わせ、ホワイトバランスを調整するための照明光であると推測される。このトーチランプを UPRtek 社製分光放射測定器 MK350[57] を用いて測定する。図 4.3 に示すように測定の手順は、測定器起動後ダーク補正を行い、本体上側の受光部 (図 4.3 POINT 1) を測定対象電球の発光部分に向け、計測ボタン (図 4.3 MEASURE 2) を押す。このとき、受光部から光源の両端に引いた直線間の角度が 30 deg となるように測定することが薦められている。MK350 の前面モニタ (図 4.3 READ 3) に計測値が表示される。



図 4.3 UPRtek MK350. POINT 1: 受光部, MEASURE 2: 測定ボタン, READ 3: モニタ [57]

トーチランプ測定の結果, 相関色温度 5,361 K[36], 照度 2,104 lx であった. 分光分布曲線 [58] を図 4.4 に示す. 縦軸は測定波長における最大放射量を 1.0 としたときの相対値である. なお, この MK350 は放射照度 [59] の絶対値は表示されないが, 分光分布を相対値で知ることによって, 照明光の性質を把握することができる. 比較のために, 蛍光灯の分光分布曲線 (図 4.5) と晴天室内窓際で測定した自然光の分光分布曲線例を図 4.6 に示す. トーチランプの分光分布曲線は, 450 nm 付近で増減が大きい, 蛍光灯の分布曲線と比べ, 自然光の分布曲線に近い形をしている. 従って, トーチランプを用いると蛍光灯の場合よりも正しい色認識が可能であると考えられることができる.

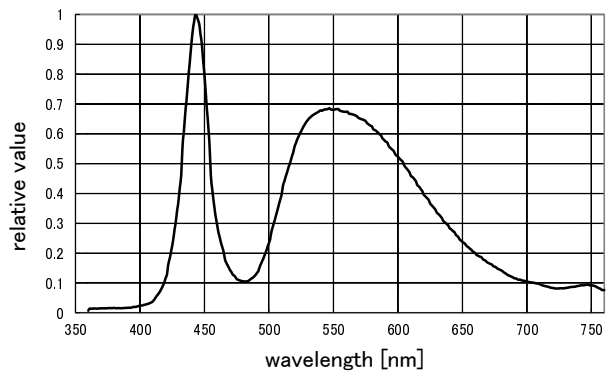


図 4.4 トーチランプの分光分布曲線

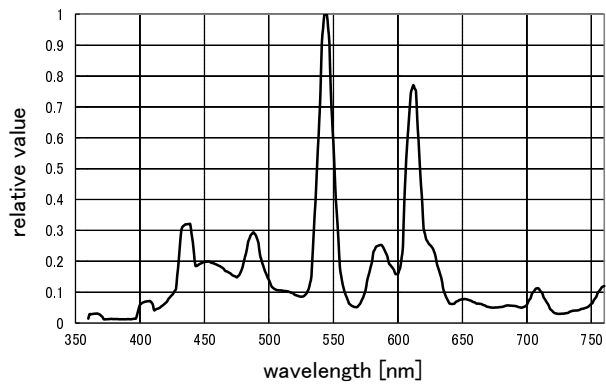


図 4.5 蛍光灯の分光分布曲線

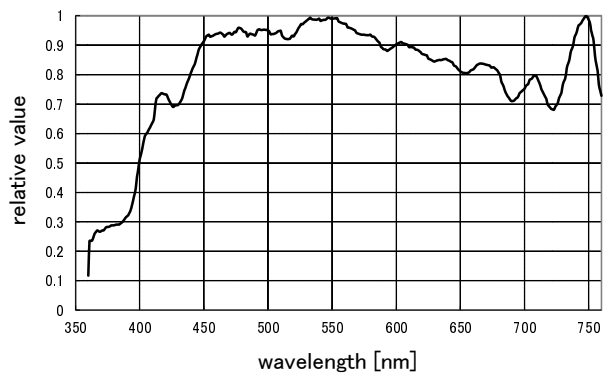


図 4.6 室内における自然光（太陽光）の分光分布曲線

覆い付きシステムの開口部は、カメラ画像の形と合うように正方形とする。正方形は一辺 50 mm とするが、覆いの底面プレート (木製) の厚みの影が試料に映るため、開口部境界まですべてを測定範囲として使用できない。そのため、試料の測定には一辺 40 mm の正方形部分を用いた。覆いの設計段階では、カメラ画像に開口部とその両側にある標準白色板が写るように、カメラと開口部との距離を決定しなければならないため、開口部の大きさは覆いの大きさを決定する直接的な要因となる。実験で使用したシステムでは、カメラと試料間の距離は 70 mm となった。覆いはシステムの携帯性や使い易さを確保するために小さなものが望まれる。従って、覆い付きシステムの開口部が大きくなると手軽に使用することができなくなる。一方、開口部の大きさは模様認識に影響を与える。例えば、大きな柄の縞模様の布地において、小さな開口部で縞と縞の間を測定すると、模様の誤認識が起こる。従って、覆いは小さくしたいが、開口部はある程度大きくしなければならないというトレードオフの関係がある。また、カメラと試料の距離が短いとトーチランプの光が試料に反射して白っぽくなり、色の誤認識が生じる。これらの要因に配慮して開口部の大きさを決定した。

4.1.3 環境光利用システム

図 4.7 に環境光利用システムの外観を示す。リファレンスは、X-Rite 社製 ColorChecker CLASSIC の 24 色 [60] を用いた。各パッチから一辺が 10 mm の正方形を切り抜いて使用した。

図 4.8(a) にリファレンスの構成図を示す。開口部及びリファレンス周囲には、

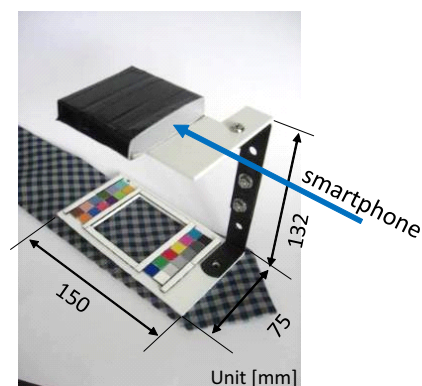
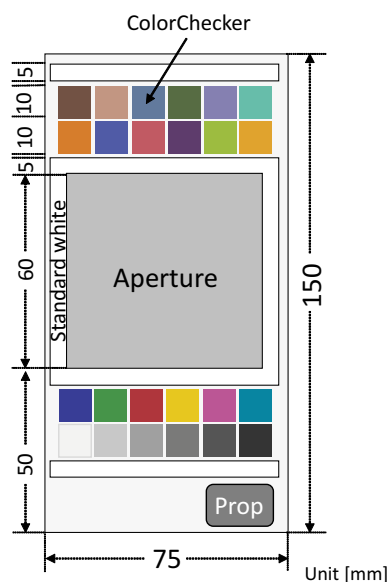


図 4.7 環境光利用システム外観

幅 5 mm の細長い標準白色板を配置する。開口部は大きい程、色認識、模様認識において正しい結果が期待できるが、リファレンス台が大きくなり、手軽に使用できなくなる。覆い付きシステムの開口部は一辺が 50 mm の正方形であったが、環境光利用システムではリファレンス台の形態から考えて、開口部を少し大きくしても装置全体の容積が増えないため、一辺が 60 mm の正方形とした。また、開口部とその周辺に配置したリファレンスを撮影しなければならないため、カメラと試料間の距離は覆い付きシステムより長く、132 mm となった。

図 4.8(b) には、PCCS 色票 (dk18) の撮影画像の例を示す。リファレンス台の四隅の数字は画像の位置合わせに用いる。カメラと試料との位置関係は、金属製の支柱などのたわみによって変化するため、テンプレートマッチングを行って正確に補正する。

環境光利用システムでは、ColorChecker24 色をリファレンスとして試料と一緒に写し、色の補正を行う。覆い付きシステムでは、照明光が一定のため、カメラの色空間補正式はあらかじめ決定できるが、環境光利用システムでは、撮影の度にリファレンスから得られたデータをもとに、その場の環境光に適した補正式を即時に決定してカメラの色空間を補正する。



(a) 構成図

(b) 撮影画像の例 (dk18 色票)

図 4.8 環境光利用システムのリファレンス

4.2 色認識アルゴリズム

色認識の流れを図4.9に示し、概要を述べる。まず、撮影時の照明光の変化に対応し、安定した色認識を行うために、 RGB 値の標準化を行う。これによりホワイトバランスも同時に調整できる。次に、カメラの特性であるガンマ曲線を線形に補正するために RGB のガンマ補正を行う。なお、ガンマ補正は5.3節でも詳細に述べる。その後、補正した RGB を CIE 1976 $L^*a^*b^*$ [46] に変換する。

色の基準となる色票を正しく認識するために、重回帰分析を利用して、カメラの色空間補正式を求め、これによって、 $L^*a^*b^*$ を補正する。このとき、覆い付きシステムの場合は、事前に PCCS 色票の測定によって補正式を求めておく。環境光利用システムの場合は、リファレンスの ColorChecker24 色を用いて、撮影時の照明光に対応する補正式を求める。

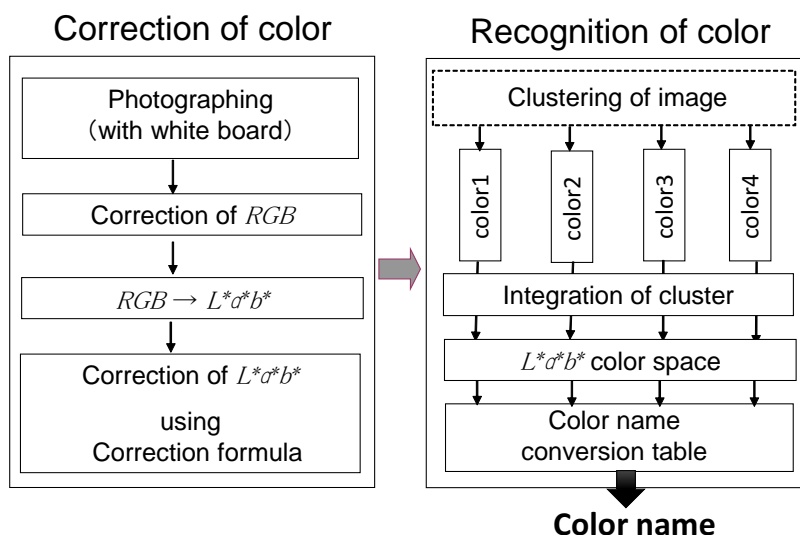


図 4.9 色認識処理の流れ

提案システムでは、衣類に含まれる色を概略的に把握して、全盲のユーザーに伝達する目的から、画像中の全画素を色空間でクラスタに分割する。その結果、生成された色の分割画像の例を図4.10に示す。分割画像が細かく分かれた場合は、ユーザーが色を想像することが難しくなるので、人が見た印象と近くなるよう計算式で閾値を設定し、クラスタを四つ以内に統合する。

最後に、 $L^*a^*b^*$ 色空間において色を決定する。本節では、以上の色認識の流れを詳細に述べる。

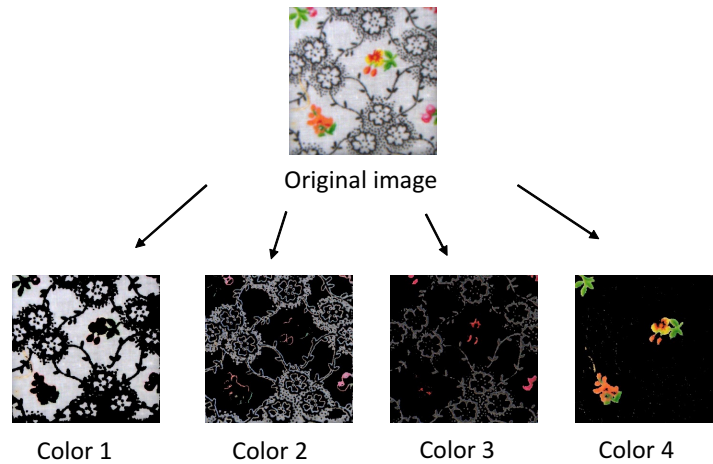


図 4.10 画像の色の分割例（黒い部分は元の画像の画素が存在しない）

4.2.1 RGB の標準化とホワイトバランス

撮影時の照明光の変化に対応し、安定した色認識を行うために、開口部近くに配置した標準白色板を試料と共に撮影し、標準白色板の RGB 値が、あらかじめ設定した一定の値となるよう、試料画像の RGB 値を線形に補正する。システムにおいて使用する照明光は電源の状態などで変化する。また、カメラの受光部である CCD や CMOS の感度特性が変化する場合もあり、 RGB の標準化は不可欠である。

X_R, X_G, X_B	: 試料各画素の撮影輝度値
Y_R, Y_G, Y_B	: 標準白色板の撮影輝度値平均
Z_R, Z_G, Z_B	: 標準白色基準輝度値

とする。標準白色基準輝度値は、開口部に標準白色板を置いてシステムを用いて測定する。システムの測定値、つまり、色の補正処理がすべて終了した輝度値が、240～245 の適切な RGB 値（8ビット）となるように実験的にこの標準白色基準輝度値を決める。覆い付きシステムと環境光利用システムでは、照明光の違いや標準白色パッチと開口部との位置関係の違いにより、この標準白色基準輝度値が異なる。これにより、測定用試料の各画素の標準化輝度値 A_R, A_G, A_B は、

$$\begin{aligned}A_R &= X_R \times \frac{Z_R}{Y_R} \\A_G &= X_G \times \frac{Z_G}{Y_G} \\A_B &= X_B \times \frac{Z_B}{Y_B}\end{aligned}\tag{4.1}$$

で求めることができる。

カメラを用いて物体の正しい色認識を行うには、白色照明光で物体を照らし撮影する。蛍光灯、カメラのフラッシュ光やランプ、自然光等で白色と見えていても RGB 値には偏りが生じている。そのために、標準白色板を撮影し、得られた RGB 値が等しくなるように、補正式 (4.1) を用いて画像を線形に補正することで、ホワイトバランスが実現する。

4.2.2 ガンマ補正

最初に原色について述べる。2.5 節で述べたように、CIE は原刺激 [R], [G], [B] の波長を厳密に定めている。原色とは原刺激に対応する用語であり、決められた原刺激によって目に生じる色感覚であると説明できる。

色を赤 (R), 緑 (G), 青 (B) の三原色で表現する RGB 色空間の一つに sRGB (standard RGB) がある。本研究では、色再現の規格として広く用いられている sRGB 色空間を用いる。規格が定められている理由は、ディスプレイ、プリンタ、デジタルカメラ等の異なる機器の間で規格に準拠した色調整を行うことで、入力時と出力時の色の差異を少なくすることである。また、色再現領域には制約があり、 γ (ガンマ) 値に関する規定がある。

ガンマ補正はカラー映像をブラウン管 (Cathode Ray Tube) で発光させて実現する仕組みに由来している。図 4.11 に示すように、ブラウン管内の電子銃で電子を発射し、蛍光面に当てて赤、緑、青を発光させてカラー画像を表示する。ブラウン管の蛍光体の発光強度は、加えられた電圧に対して比例せず、低い電圧では傾きが小さく、高い電圧では傾きが大きい曲線となる。発光強度は入力電圧の定数乗という指数関数で表される。この定数を γ と呼ぶ。sRGB に基づく一般的なディスプレイでは、 $\gamma = 2.2$ に、AppleRGB では、 $\gamma = 1.8$ に調整されている [61]。

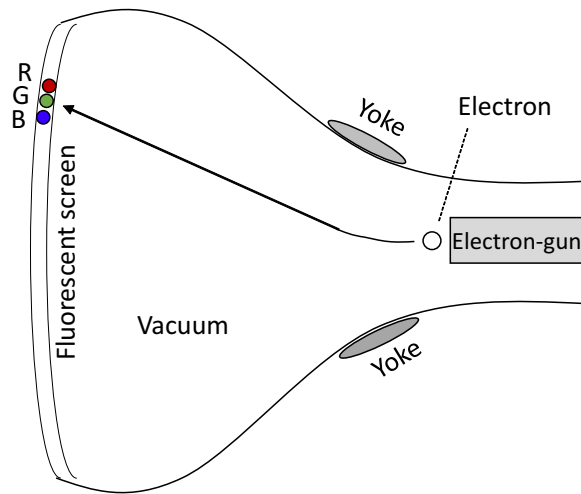


図 4.11 ブラウン管の仕組み

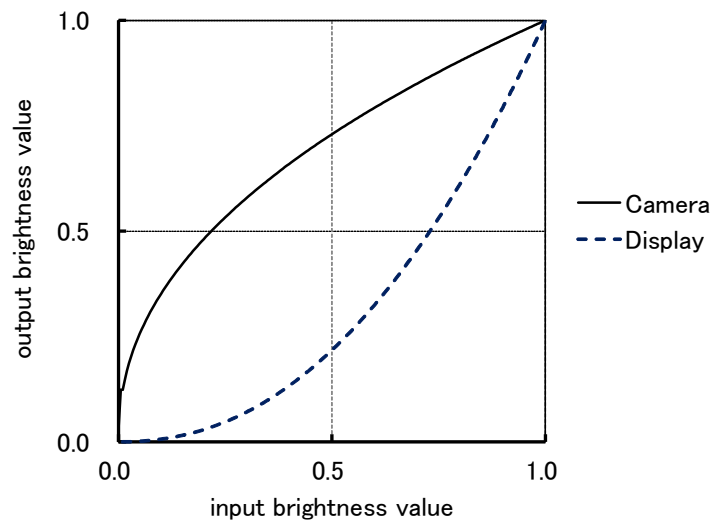


図 4.12 ガンマ曲線

液晶ディスプレイなどにおいても、ブラウン管との整合性を保つために、この γ 値が使用されている。ただし、最近では AppleRGB も、Windows に合わせて $\gamma = 2.2$ に設定されていると言われる。スマートフォンが普及した現在では、撮影した写真が機種によって色表現が異なれば不都合であるから、これは当然である。提案システムで実際に用いる γ の値は、実験によって決定する。

カメラで撮影した画像をディスプレイに表示する場合、カメラの入力輝度値とディスプレイの出力輝度値が線形になるように、つまり γ が 1 となるようにしなければならない。

図4.12にカメラのガンマ曲線とディスプレイのガンマ曲線を示す。カメラの入力輝度値を I_1 ，出力輝度値を O_1 ，ディスプレイの入力輝度値を I_2 ，出力輝度値 O_2 ，それぞれの γ 値を γ_1 ， γ_2 とすると，

$$O_1 = I_1^{\gamma_1} \quad (4.2)$$

$$O_2 = I_2^{\gamma_2} \quad (4.3)$$

$$I_2 = O_1 \quad (4.4)$$

式(4.2)，式(4.3)，式(4.4)より

$$O_2 = O_1^{\gamma_2} = (I_1^{\gamma_1})^{\gamma_2} = I_1^{\gamma_1\gamma_2} \quad (4.5)$$

一方， $I_1 = O_2$ とするためには， $\gamma_1\gamma_2 = 1$ ，つまり， $\gamma_2 = 1/\gamma_1$ となる。 $\gamma_2 = 2.2$ の場合， $\gamma_1 \simeq 0.45$ ， $\gamma_2 = 1.8$ の場合， $\gamma_1 \simeq 0.56$ となる。

本システムでは，カメラによる撮影画像から RGB 値を得て，その数値をもとに色を認識するため，撮影画像のガンマ補正を $\gamma = \gamma_2$ で行い，カメラ画像の入力輝度値に対して出力輝度値が線形に変化するように補正する。

4.2.3 色認識空間

RGB の標準化とホワイトバランス及びガンマ補正は，画像の前処理として重要である。この前処理の後， RGB 値を CIE 1976 $L^*a^*b^*$ に変換する。この色空間の特徴は人の目に識別できる色の違い，すなわち色差 $\Delta\epsilon$ が空間内の場所に依存せず，ユークリッド距離

$$\Delta\epsilon = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (4.6)$$

で決まることであり，このような色空間を均等色空間 [47, 62, 63] と称する。このため， $L^*a^*b^*$ 色空間は，衣類に含まれる複数の色をクラスタに分割するのに適しているので，システムの色認識に用いる。

2.5節で述べたように，式(2.6)により， (R, G, B) を (X, Y, Z) に変換する。続いて，式(2.7)から式(2.9)を用いて， (X, Y, Z) から (L^*, a^*, b^*) に変換する。この色空間を図4.13の中央に示す。 L^* 軸は明度 (Brightness) を， a^* 軸は正方向が赤 (R) を，負方向が緑 (G) を表す。 b^* 軸は正方向が黄 (Y) を，負方向が青 (B) を表す。 $0 \leq L^* \leq 100$ ， $-127 \leq a^* \leq 127$ ， $-127 \leq b^* \leq 127$ とする。

システムにおける色認識の方法を図 4.13 に示す。カメラで PCCS 色票をすべて撮影し、得られた RGB を $L^*a^*b^*$ に変換し、 $L^*a^*b^*$ 色空間に射影して色認識空間を構築する。一方、カメラで撮影した画像の RGB を $L^*a^*b^*$ に変換し、同様に $L^*a^*b^*$ 色認識空間に射影する。さらにこの画像を四つ以内のクラスタに分割し、各クラスタを、射影した PCCS 色票と一定の規則で対応付けて、クラスタから生成された分割画像の色を決定する。

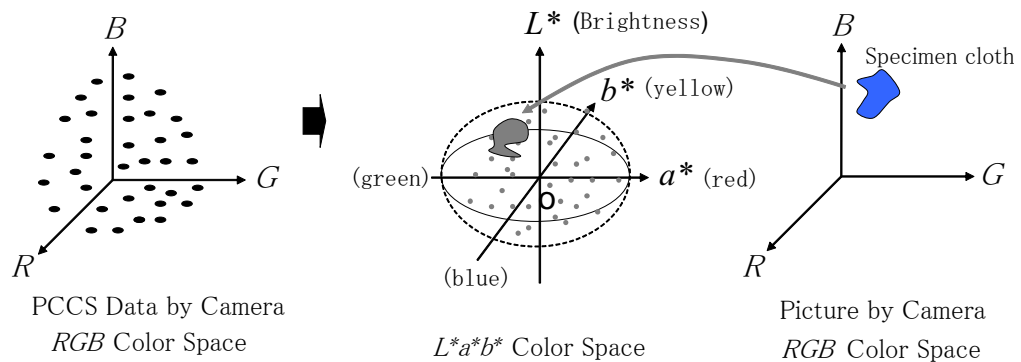


図 4.13 $L^*a^*b^*$ 色空間への変換

4.2.4 色空間補正式

色認識の基準となる 193 枚の PCCS 色票の色をシステムが正しく認識できるように、重回帰分析によって色空間補正式を導く。色票をカメラで撮影し、標準化とホワイトバランス及びガンマ補正の前処理を終えた RGB 値に対応する $L^*a^*b^*$ 値を補正值、分光測色計 [64] を用いて測定した色票の $L^*a^*b^*$ 値を真値とすると、補正值が真値に近いこと、つまり、両者の色差が小さいことが色認識システムの構築の上で重要である。分光測色計は、図 2.14(b) のコニカミノルタ CM-2600d を用いた。

L, a, b を説明変数 (補正值), L^*, a^*, b^* を目的変数 (真値) とし、補正式を式 (4.7) のようにおく [65].

$$\begin{pmatrix} L^* \\ a^* \\ b^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{00} & k_{01} & k_{02} & k_{03} & k_{04} & k_{05} & k_{06} \\ k_{10} & k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} \\ k_{20} & k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} & k_{26} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ L \\ a \\ b \\ La \\ Lb \\ ab \end{pmatrix} \quad (4.7)$$

4.2.3 で述べた色認識空間構築において、PCCS 色票を射影する場合も、布の試料を射影する場合も、共にこの補正式 (4.7) を適用する。覆い付きシステムでは、あらかじめ補正式 (4.7) を求めておいて使用するが、環境光利用システムでは、測定時の照明環境に合わせた補正式をその都度作成しなければならないため、PCCS 色票ではなく、ColorChecker24 色をリファレンスとして用いる。

4.2.5 画像中の色のクラスタリング

全盲の人に衣類の色を提示する場合、衣類に含まれるさまざまな色すべてを提示すると、色を想像してもらうことが難しくなる。人が見たときの印象を伝えることが大切である。そのため、概略的に色の把握を行い、その結果を4色以内で表現することにし、カメラから得られた画像の色を四つ以内のクラスタに分割する。

クラスタリングは、K-means 法 [66] で行う。この場合、 $L^*a^*b^*$ 色空間において、画素が集中している点、つまり、画像の核となっている点を初期値に選ぶように工夫する。図 4.14 に示すように、 $L^*a^*b^*$ 色空間を3軸方向にそれぞれ25分割し、生成された全ボクセル内に含まれる画素数を計数して、画素数上位4ボクセルを選んで、それらのボクセル内の画素中心を計算して初期値とする。

次に、K-means 法のアルゴリズムを示す。

- 1). クラスタ中心の初期値を与える。
- 2). すべての画素について最も近い中心のクラスタに属させる。
- 3). 各クラスタの全画素の中心を再計算する。
- 4). 収束するまで（中心が変化しなくなるまで）2), 3) を繰り返す。
- 5). クラスタが確定。

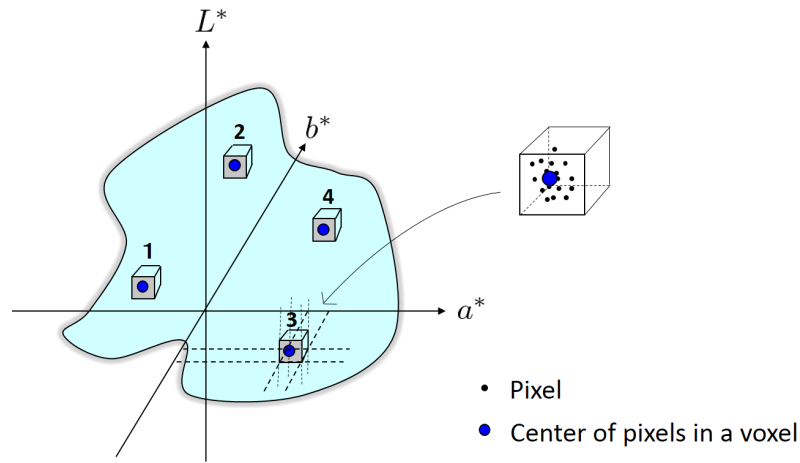


図 4.14 画像のクラスタリング - 初期値の決定

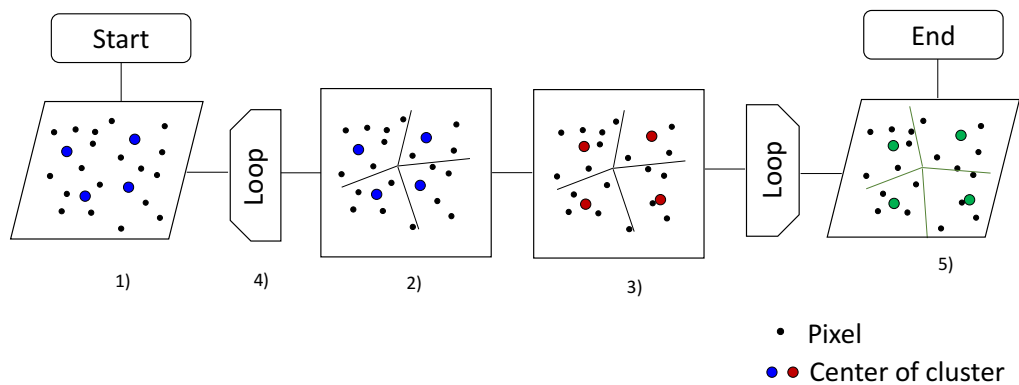


図 4.15 K-means 法

図 4.15 に、二次元の具体例を示す。フローチャートを右方向に進めるとき、色が同じ点と点、線と線は変化していないことを示す。

この結果、生成された 4 クラスタについて色名を全部出力すると、人が見た印象と異なり、表現が細か過ぎる場合があるため、分割したクラスタを一定の規則に従って再統合することにする。

図 4.16 に示すように、クラスタ C_i , C_j の中心間の距離を D_{ij} , 統合閾値を ρ とし、 $D_{ij} \leq \rho$ のとき C_i , C_j は、画素数の多いクラスタに統合する。人が見た印象と合うように、 ρ は画像に含まれる全画素の $L^*a^*b^*$ 色空間における位置（座標）の標準偏差 σ と連動して、動的に変化するように設定し、次の式 (4.8) で定める。

$$\rho = n_1 \sigma + n_2. \quad (4.8)$$

σ は、色空間における画像全体の広がりを表す数であり、 σ に比例してクラスタ統合閾値 ρ が変化するように設定する。 n_1, n_2 は、実験によって適切な値を設定する。

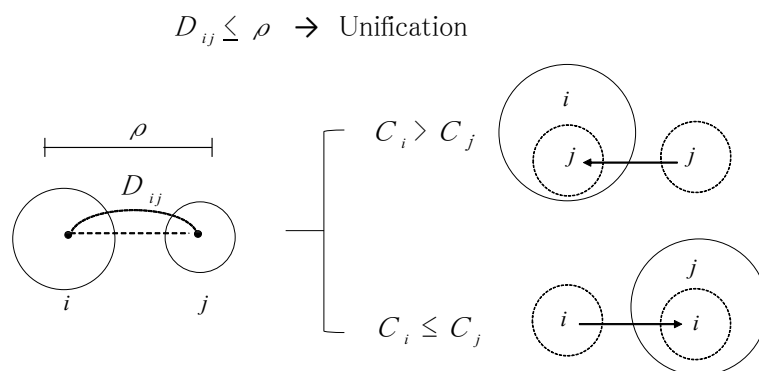


図 4.16 クラスタの統合

衣類に含まれる色の範囲が広い場合、つまり、 $L^*a^*b^*$ 色空間において衣類の画像が広範囲に分布する場合は、画像全体の標準偏差 σ が大きくなり、統合閾値 ρ も大きくなる。この場合、色が近いクラスタ C_i, C_j ($D_{ij} = K < \rho$, K は定数) は統合することにより、人が見た印象に近く適切な色表現となる。逆に、衣類に含まれる色の範囲が狭い場合は、画像全体の標準偏差 σ が小さくなり、統合閾値 ρ も小さくなる。この場合、色が近いクラスタ C_i, C_j ($D_{ij} = K > \rho$) は区別することにより、人が見た印象に近く正確な色表現となる。

クラスタ C_i, C_j の統合アルゴリズムは次のとおりである。図 4.17 にはフローチャートを示す。ただし、クラスタはクラスタ i , クラスタ j と表記し、 C_i, C_j はそれぞれクラスタの画素数を表すものとする。

- 1). $i = 1$
- 2). クラスタ i が存在するならば、 i を基準クラスタとし、 $j = i + 1$ とする。 i が存在しなければ、 $i = 3$ になるまで $i = i + 1$ として、ステップ 2) を最初からやり直す。 $i = 4$ なら終了。
- 3). 比較クラスタ j が存在するならば、基準クラスタ i と比較クラスタ j との中心間距離 D_{ij} と統合閾値 ρ を比較する。 j が存在しなければ、 $j = 4$ になるまで $j = j + 1$ とし、ステップ 3) を最初からやり直す。 $j = 5$ なら終了。
- 4). $D_{ij} \leq \rho$ なら、クラスタ画素数 C_i と C_j を比較する。

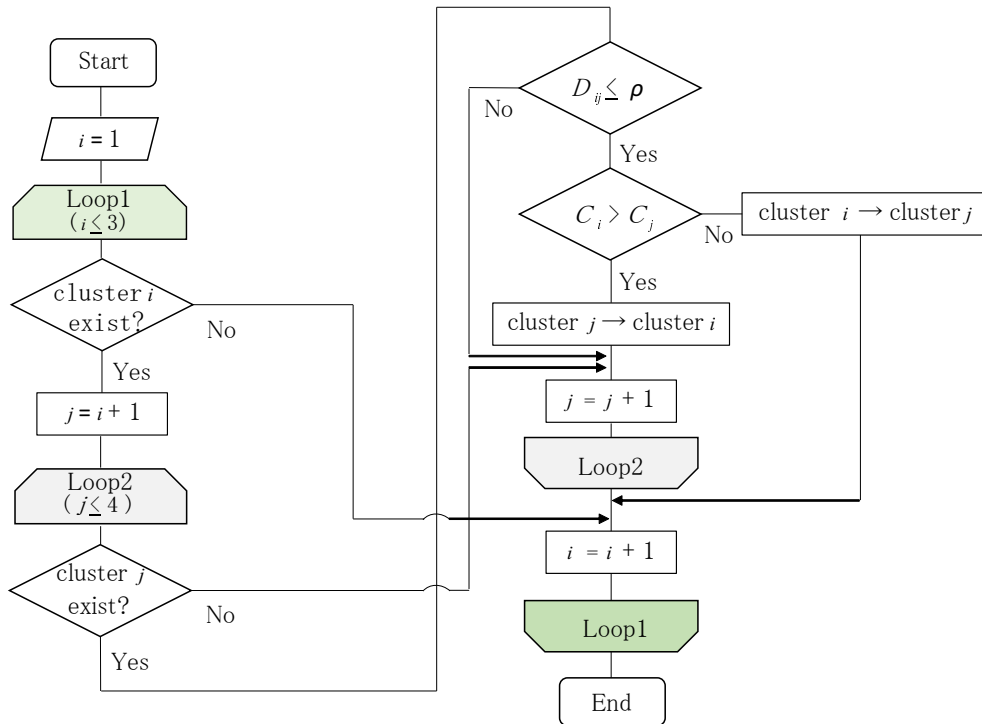


図 4.17 クラスタ統合のフローチャート

- $C_i > C_j$ なら，クラスタ j を i に統合する。
 - $j = j + 1$ としてステップ 3) に戻る。
 - このとき $j = 5$ なら $i = i + 1$ としてステップ 2) に戻る。このとき $i = 4$ なら終了。
 - $C_i \leq C_j$ なら，クラスタ i を j に統合する。
 - $i = i + 1$ としてステップ 2) に戻る。
 - このとき $i = 4$ なら終了。
- 5). $D_{ij} > \rho$ なら， $j = j + 1$ としてステップ 3) に戻る。
- このとき $j = 5$ なら $i = i + 1$ としてステップ 2) に戻る。
 - このとき $i = 4$ なら終了

4.2.6 色名決定

生成された分割画像の色名は、 $L^*a^*b^*$ 色空間における各分割画像のクラスタについて、色相角と距離に着目して PCCS 色票と対応付けて決定する。

$L^*a^*b^*$ 色空間に射影するデータは、PCCS 色票 193 色を含めて、 v トーン以外の 10 トーンについて補間データを加えた計 313 色である。試料の各クラスタ中心 P_i と色票データとの対応付け規則を図 4.18 に示す。図中、 a^*b^* 投影面上で、原点を中心とする円のうち、小円の半径を r_n 、大円の半径を r_s とする。小円の内部にあるクラスタ中心 P_1 は、無彩色と決定し、無彩色の色票と対応付ける。小円と大円に挟まれたドーナツ状の部分にあるクラスタ中心 P_2 は、最近傍の色票と対応付ける。 P_2 は小円の内部に存在する有彩色の色票と対応付けられることもある。小円の外部にある無彩色の色票は元々有彩色であったが、肉眼による観察により無彩色扱いとしたほうが適切と判断した。例えば、「灰色がかったピンク」を「薄いグレー」とした。大円の外側にあるクラスタ中心 P_3 は、最近傍 3 色票のうち色相角 (a^*b^* 平面上で線分 OP_3 と a^* 軸正方向との間の角) が最も近い色票と対応付ける。対応する色票が決定されれば、色票のトーンと基本色名が定義された色名変換表によって色を認識する。表 4.1 に色名変換表の一部を示す。また、巻末の表 A.5 には、提案システムで使用した色名変換表全体を掲げる。

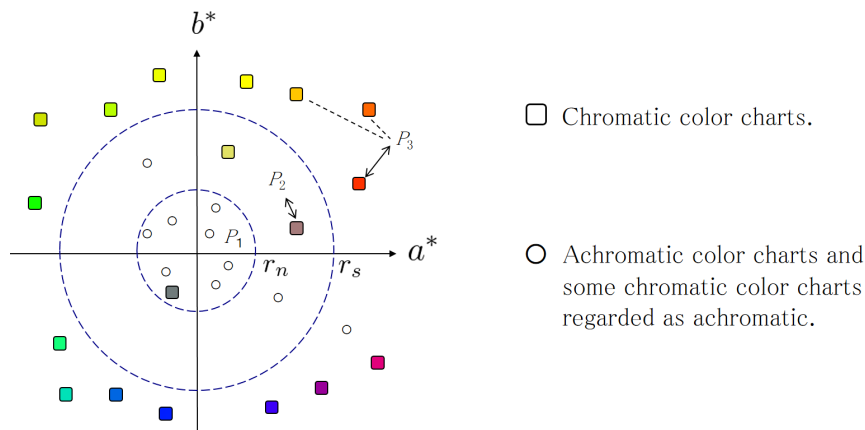


図 4.18 色名対応付け規則

表 4.1 色名変換表の一部

No.	color	L^*	a^*	b^*	トーン	基本色
1	v1	46.27	50.35	10.79	あざやかな	あか
2	v2	49.63	61.59	23.85	あざやかな	あか
3	v3	53.09	64.77	33.83	あざやかな	あか
4	v4	62.36	56.89	51.16	あざやかな	オレンジ
5	v5	69.02	41.06	58.93	あざやかな	オレンジ
.		.		.		.
.		.		.		.
.		.		.		.

4.3 模様認識アルゴリズム

模様認識処理の流れを図 4.19 に示す．概要は次のとおりである．前処理として，式 (4.9) により色の補正で得られる画像 ($0 \leq R, G, B \leq 1$) を濃淡画像 ($0 \leq Y_g \leq 1$) に変換する [67]．

$$Y_g = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (4.9)$$

次に，布地の織りが模様と認識されないように画像の平滑化を行う．高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform) [68] を用いて空間周波数領域で，画像をフィルタリングし，逆変換によって平滑化画像を得る．空間周波数領域とは，画像の濃淡変化の繰り返し回数を二次元平面に表したもので，この領域でフィルタリング処理を施して平滑化に利用することができる．次に，平滑化画像に (4.10) の 3×3 Sobel オペレータ [69] を用いて垂直エッジを検出する．

$$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4.10)$$

本システムを用いて衣類の模様を調べる場合，全盲のユーザは衣類の上方向とシステム台の上方向を一致させる．しかし，縦縞または横縞がある場合，撮影された画像中において縦縞・横縞が画像の垂直・水平に一致することは考えられない．もちろん，衣類の模様そのものが斜めになっている場合もある．そのため，システム内部の処理により縞の位置合わせを行う．

次に，位置合わせの方法を述べる．図 4.20 に示すように，一辺が N ピクセルの正方形垂直エッジ検出画像を，画像の中心を軸として，反時計回りに 1 deg 毎

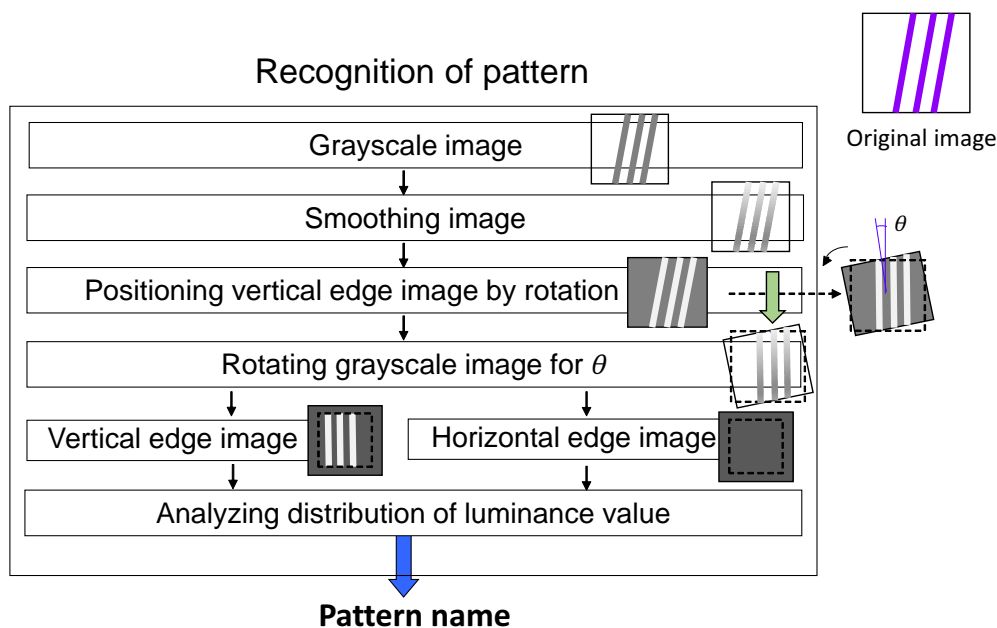


図 4.19 模様認識処理の流れ

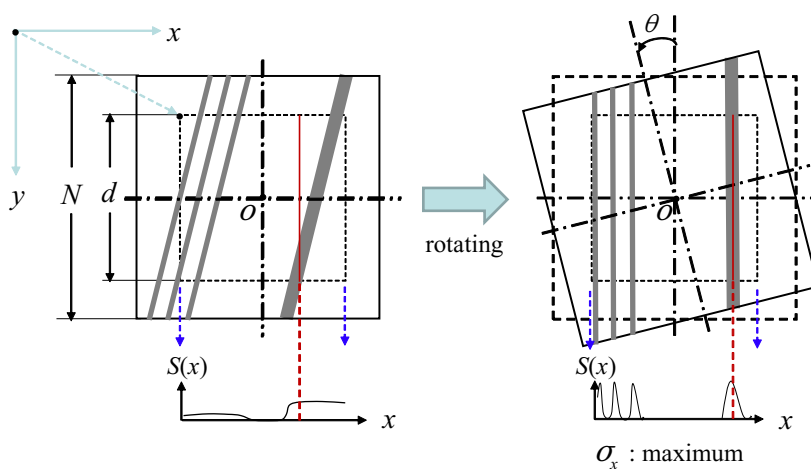


図 4.20 回転位置合わせ（灰色部分がエッジで輝度が高く、実際は白い）

に 180 deg まで回転させる。このとき、関数 $S(x)$ の標準偏差 σ_x を 1 deg 毎に計算し、 σ_x が最大となる回転角 θ を求める。関数 $S(x)$ とは、図 4.22 に示す変数 x における y 方向一画素ライン上の輝度値の加算平均を表す関数である。 σ_x は、関数 $S(x)$ の増減変動の指標として用いる。 σ_x が大きい場合は、縞の存在が明確となる。なお、 σ_x の計算範囲は、垂直エッジ検出画像の内部にある一辺が $d = N/\sqrt{2}$ の正方形画像である。なぜなら、図 4.21 に示すように、一辺が N pixel の正方形

垂直エッジ検出画像が 45 deg 回転した場合，測定可能な正方形画像の範囲が最も狭くなり，その一辺が d となるからである．

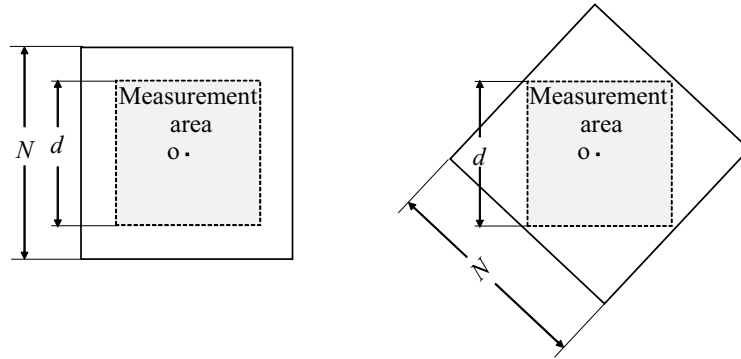


図 4.21 模様の測定範囲

以上述べた処理は，垂直エッジ検出画像から計算した σ_x が最大となる角度 θ を求めたので，そのまま θ だけ回転させると縞がある場合は当然，縦縞となる．横縞の場合も正しく認識できるように，縦基準線，横基準線の近いほうに縞を回転位置合わせする．そのため，角度 θ の単位を deg として，式 (4.11) により θ を変換する．

$$\begin{aligned}
 0 \leq \theta \leq 45 & \quad \text{ならば} \quad \theta = \theta \\
 45 < \theta \leq 90 & \quad \text{ならば} \quad \theta = \theta + 90 \\
 90 < \theta \leq 135 & \quad \text{ならば} \quad \theta = \theta - 90 \\
 135 < \theta \leq 180 & \quad \text{ならば} \quad \theta = \theta
 \end{aligned} \tag{4.11}$$

$$\begin{pmatrix} -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} \tag{4.12}$$

位置合わせの回転角 θ が求めれば，濃淡画像 (Grayscale image) を角度 θ だけ回転させ，あらためて (4.10), (4.12) の Sobel オペレータを用いて垂直方向及び水平方向にそれぞれエッジを検出する．両エッジ画像について，垂直方向・水平方向に輝度値の分布を調べ，縞があるかどうかを判断し，模様の分類を行う．詳細は次のとおりである．

図 4.22(a), (b) はチェック模様 (1) に対するエッジ検出画像である．(a) は垂直エッジ，(b) は水平エッジである．変数 x, y において，それぞれ y 方向， x 方向

の1画素ライン上の輝度値の加算平均を表す関数 $S(x)$, $S(y)$ を求める。縞の向きに応じてこれらの関数値の増減変動状況が変わる。変動の指標としてそれぞれ標準偏差 σ_x , σ_y を用いると、縦縞では σ_x , 横縞では σ_y が大きくなる。従って、チェックでは σ_x , σ_y 共に大きくなる。これ以外の「その他の模様」では、縞模様と比べて変動が少なく、 σ_x , σ_y 共に縞模様より小さい値となる。無地の場合は、輝度値の変化が少ないので、さらに小さい値となる。

従って、図4.23のように閾値 α, β を定め、模様の認識領域を決定することができる。なお、 σ_x 軸方向、 σ_y 軸方向で α, β の値は共通とする。

ただし、図4.22(c) 垂直エッジ, (d) 水平エッジ, のように規則的な模様(2)のエッジ検出画像では、 σ_x , σ_y が大きな値となり、閾値 β を超える場合、チェックと判別できなくなる。しかし、同一エッジ検出画像において σ_x と σ_y の比を用いることによって、判別することが可能である。縞の場合は、一方の σ が大きく、他方の σ が小さくなるため、

$\sigma_{xy} = \sigma_x/\sigma_y$, $\sigma_{yx} = \sigma_y/\sigma_x$ とし、閾値 δ を定めて、次のように判別できる。

- 1). $\sigma_x > \beta$ のとき, $\sigma_{xy} > \delta$ ならば 縦縞,
 $\sigma_{xy} \leq \delta$ ならば 縦縞でない.
- 2). $\sigma_y > \beta$ のとき, $\sigma_{yx} > \delta$ ならば 横縞,
 $\sigma_{yx} \leq \delta$ ならば 横縞でない.

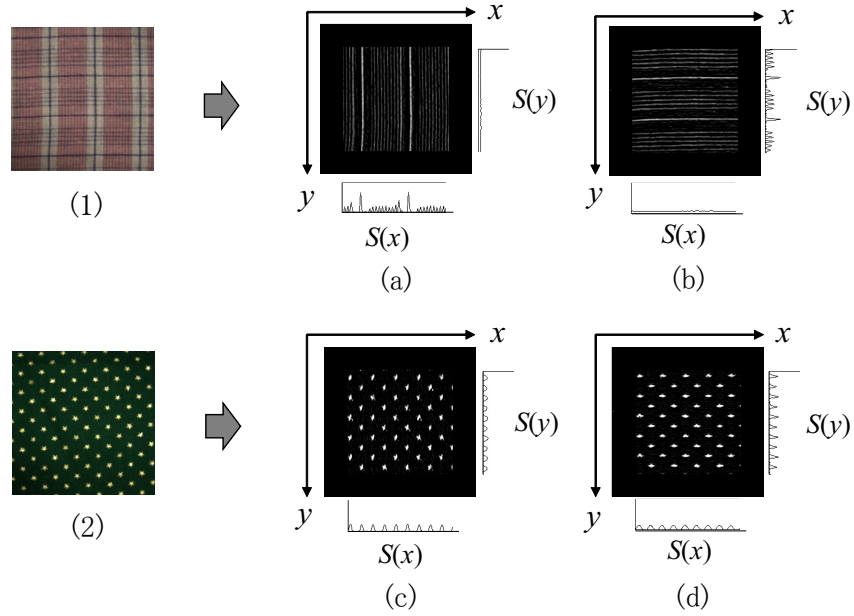


図 4.22 エッジ検出による模様認識

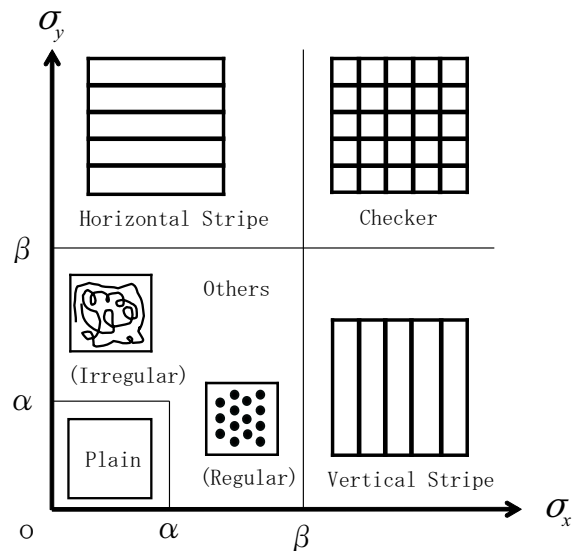


図 4.23 模様の認識領域の決定

4.4 出力アルゴリズム

生成されたクラスタを C_1, C_2, C_3, C_4 とする。クラスタ C_i の色名を $C_{i,c}$ 、原画像に対する画素比率を $C_{i,r}$ 、模様を pat とする。このとき、 $C_{1,r}, C_{2,r}, C_{3,r}, C_{4,r}$ を降順に並べ替え、先頭のクラスタの画素比率が 0.5 以上のときは、そのクラスタの色を布の「地の色」とする。そして並べ替えた順にクラスタ色名を出力し、最後に模様を出力する。

例えば、 $C_{2,r} > C_{1,r} > C_{3,r}$ で、 C_4 はクラスタ統合によって存在しないとする。 $C_{2,r} > 0.5$ の場合、音声出力結果は『 $C_{2,c}$ 地に $C_{1,c}$ と $C_{3,c}$ の pat です』となる。このとき、 $C_{2,r} < 0.5$ の場合、音声出力結果は『 $C_{2,c}$ と $C_{1,c}$ と $C_{3,c}$ の pat です』となる。

図 4.24 の実際の試料では、クラスタ色名と画素比率がそれぞれ、くらいむらさき 28%、グレー 49%、うすいベージュ 21% で、模様はチェックであった。これらの画素比率の合計は 98% となる。残り 2% は、クラスタ生成条件を 1% 超としたことにより切り捨てられた画素と、各クラスタ画素比率の端数の合計である。1% 以内の画素比率でクラスタを生成し色を出力すると、表現が細か過ぎるのでクラスタを生成しないことにした。



図 4.24 試料の例

つまり、

$C_{1,c}$ = “くらいむらさき”, $C_{1,r} = 0.28$,

$C_{2,c}$ = “グレー”, $C_{2,r} = 0.49$,

$C_{3,c}$ = “うすいベージュ”, $C_{3,r} = 0.21$,

pat = “チェック”

である。

$C_{2,r} > C_{1,r} > C_{3,r}$ で、 $C_{2,r} < 0.5$ なので、出力結果は、

『グレーと くらいむらさきと うすいページュの チェックです』となる。
この出力結果を合成音声によって出力する。

本章では、衣類の色と模様の提示システムの原理について述べた。スマートフォンを用いた覆い付きシステムと環境光利用システムの概要を述べた後、システムの核心となる色認識のアルゴリズム，模様認識のアルゴリズム，出力アルゴリズムについて詳細に述べた。次章では、これらアルゴリズムを用いてシステムを構築するための具体的な方法について述べる。

第5章

システムの構築

本章では、提案システムの構築について詳細に述べる。基礎研究においては、オフラインカメラシステムとオンラインカメラシステムを用いて、色と模様認識のためのアルゴリズムを開発し、動作を検証した。これらの実験結果をもとにスマートフォンに提案システムを組み込んだ。最初に、オフラインカメラシステム、オンラインカメラシステムについて述べた上、スマートフォンを利用した覆い付きシステム、環境光利用システムの詳細について述べる。環境光利用システムでは、まず原型システムを作成し、色の補正の精度を検討した。その結果、スマートフォンの影が測定結果に影響を与えることがわかり、影補正についても検討した。

5.1 アルゴリズム検証システム

スマートフォンシステムと比較するために、アルゴリズム検証用のオフラインカメラシステムとオンラインカメラシステムについても、その構築方法、特徴などについて述べる。これにより、スマートフォンシステムの特性が明確になると考える。

5.1.1 オフラインカメラシステム

アルゴリズム開発で最初に作成したオフラインカメラシステムについて述べる[70]。このシステムを便宜上、入力部、情報処理部、出力部と区切って説明する。図5.1に入力部の構造を示す。

入力部はデジタルカメラにプラスチック製の覆いを付けた構造である。画像撮影後、コンピュータに画像データを入力して処理を行い、色と模様を認識す

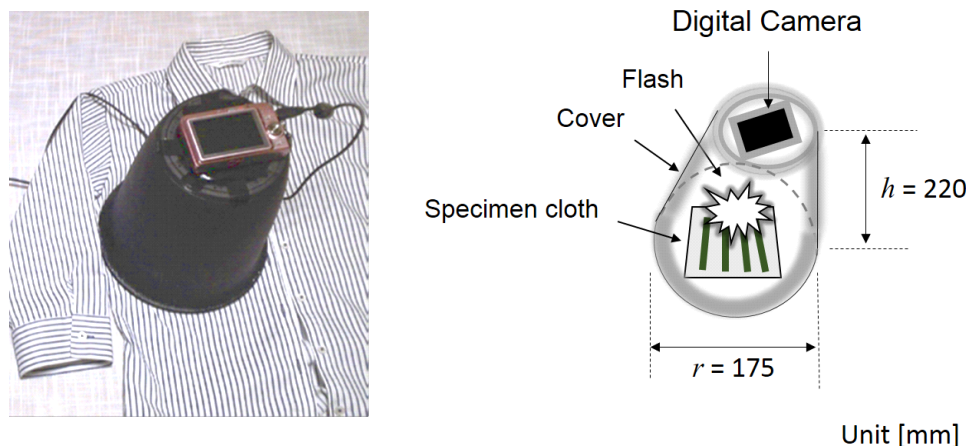


図 5.1 オフラインカメラシステム

る。このシステムはアルゴリズム確認用のため、カメラとコンピュータが連動しておらず、オフラインで情報処理を行った。

入力部の覆いによって外部の光を遮断し、フラッシュ撮影を行う。覆いの内側には白い塗料を施す。覆いの高さ h と内径 r は、レンズの焦点距離と視野角との関係で決まる。カメラのフラッシュ光は、撮影平面に垂直に当たり撮影対象が白く写りやすい。高さ h の値が小さい程、反射光の影響が大きくなる。反射光の影響を小さくするために、 $h = 220$ mmとした。

安定した認識結果を得るために、最適な画像を得る解像度、フラッシュ光量、ISO感度 [71]、ホワイトバランスなどのカメラのパラメータを固定する。模様認識は画像のエッジ検出によって行うため、解像度が高いと布地の織りを模様と認識してしまい、逆に低過ぎると模様を認識できないことがある。

ホワイトバランスは、カメラにおいて、さまざまな色温度の光源のもとで、白色を正確に白く写し出すように補正する機能であり、ホワイトバランスが調整されていないと、同一物体を肉眼で観察した色とカメラで撮影した色が異なる。

入力部の構成と設定値を表 5.1 に示す。情報処理部は、4章で述べたシステムの原理と基本的に同じ内容であるが、主な違いは次のとおりである。

- 色認識空間へ射影した PCCS 色票は実在する色票だけで、各トーンの 12 色相の間の補間データを射影していない。
- PCCS トーンは統合しないで、有彩色はそのまま 11 トーンを用いている。使用した PCCS 色票にはストロングトーンの色票がないので、11 トーンと

表 5.1 オフラインカメラシステム - 入力部の構成と設定値

項目	小項目	内容
カメラ	CASIO EX-Z1050	
カメラ設定値	画質モード	640 × 480 pixel
	焦点距離	マニュアルフォーカスモード 約 200 mm
	測定範囲	中央部 74 × 74 mm
	解像度	256 × 256 pixel, 約 88 DPI
	フラッシュ光	光量 -2 (5 段階の最小光量) ソフト発光 (光量を抑えた強制発光)
	ISO 感度	ISO 100
	ホワイトバランス	マニュアル太陽光モード
覆いの仕様	プラスチック製	外側黒塗料, 内側白塗料
	高さ/内径	$h = 220 \text{ mm} / r = 175 \text{ mm}$

なる。

- $L^*a^*b^*$ 色認識空間に PCCS 色票や画像データを射影する際に, 4.2.4 で述べた色空間補正式 (4.7) は用いていない。
- 画像のクラスタリングで, 有彩色と無彩色を先に分けておき, 有彩色について三つ以内のクラスタに分割している。つまり, 『濃いグレーと薄いグレーの模様』など, 衣類に含まれる無彩色を 2 通り以上表現できない。
- 分割された有彩色クラスタを統合する場合, クラスタ中心間の距離に関する閾値は固定値であり, 画像によって動的に変化しない。

表 5.2 に情報処理部の構成と設定値を, 表 5.3 に出力部の構成と設定値を示す。音声読み上げソフトは, フリーソフトの「おしゃべりテキスト」[72]を用いる。

表 5.2 オフラインカメラシステム - 情報処理部の構成と設定値

項目	小項目	内容
コンピュータ	Gateway ノートブック	NV4400
コンピュータの仕様	CPU メモリ容量	Celeron Dual-Core T3000 1.8GHZ 3GB
ソフトウェア	OS プログラム言語等	Windows Vista Home Premium C, C++, OpenCV-1.1
色認識設定値	計測画素数 ガンマ補正 ホワイトバランス係数 輝度値補正係数 彩度閾値 初期クラスタ数 クラスタ統合閾値 クラスタ消滅閾値 無彩色段階 (明度 L^*)	256 × 256 pixel $\gamma = 2.092$ $K_B = 1.004$ (青に乗じる), $K_R = 1.0$ (赤に乗じる) $Light = 1.093$ $S_{min} = 4/255$ 3 個 $\rho = 22/255$ $clear = 0.03$ $0 \leq \text{黒} < 23$ $23 \leq \text{グレー} < 70$ $70 \leq \text{白} \leq 100$
$L^*a^*b^*$ 色空間	射影データ数 有効データ数	PCCS 色票 153 個 PCCS 有彩色の色票 126 個
模様認識設定値	計測画素数 ローパスフィルタ α, β, δ	180 × 180 pixel $Low = 25 \%$ $\alpha = 3.5, \beta = 6.0, \delta = 3.0$

表 5.3 オフラインカメラシステム - 出力部の構成と設定値

音声出力		NV4400 内臓スピーカ
ソフトウェア	音声エンジン 音声読み上げソフト	SAPI4(Microsoft Speech API Version 4) 花子 (DTalker for OSW) おしゃべりテキスト OsyaberiText.exe
色認識表現	有彩色基本色名 有彩色トーン 無彩色基本色名 色表現数合計	赤 オレンジ 黄 緑 青 紫 茶 ピンク 鮮やかな, 明るい, 濃い, 浅い, 柔らかい, 鈍い 暗い, 薄い, 明るい, 灰色みの, 暗い灰色みの 白, 黒, グレー (トーンなし) 60 通り
模様認識表現		縦縞, 横縞, チェック, 無地, 模様 (その他の模様)

5.1.2 オンラインカメラシステム

オフラインカメラシステムは、カメラ撮影の入力部分とコンピュータでの情報処理及び出力部分が切り離されていた。入力と情報処理及び出力が、連続して実行されるようにオンラインカメラシステムを作成した [73]。図 5.2 はオンラインカメラシステムの使用風景である。



図 5.2 オンラインカメラシステム

システム入力部を図 5.3，立体図を図 5.4，立面図・底面図を図 5.5 に，使用した機器等を表 5.4 に示す。入力部は外部の光を遮断しリングライトを覆いの中に設置する。この構造が原因となって発生する問題は，下記のとおりである。

- 1). 装置の小型化を図るために，広角レンズを用いてカメラと撮影対象の距離を縮めた。そのため，リングライトの光が試料表面で鏡面反射を起して，正しい色認識ができない。
- 2). 広角レンズにより画像に歪が生じる。
- 3). リングライトから発生する熱が内部に蓄積し，カメラの CCD 感度に影響を与える。

1) については，覆い内部で照明光が拡散反射するように反射板と副反射板を組み合わせて設置した。その結果，図 5.6 のように，鏡面反射が少なく照明ムラの少ない入力画像を得ることでできた。

2) については，あらかじめ図 5.7 の市松模様の特徴点を抽出した上で変換パラメータを求め，画像の補正を行った。

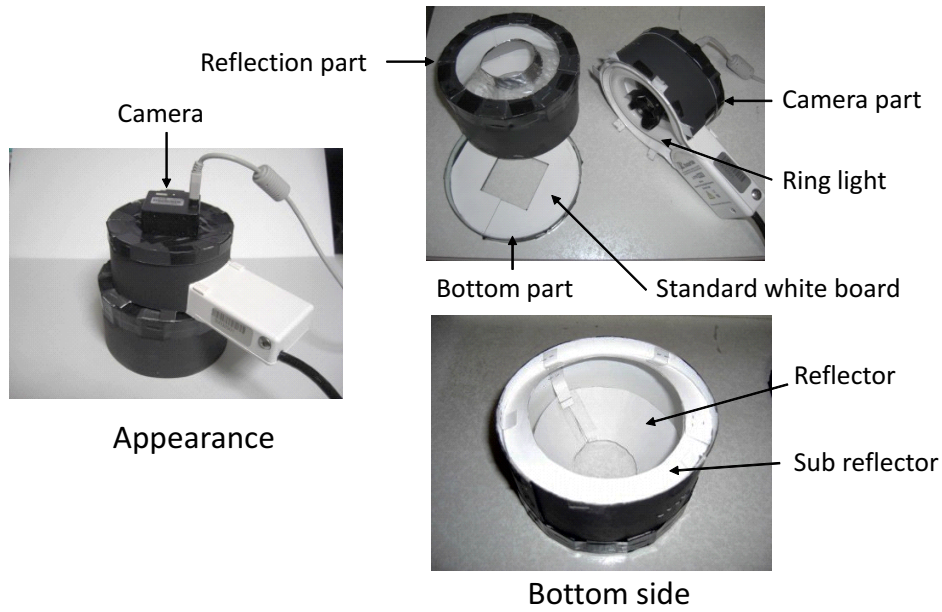


図 5.3 オンラインカメラシステム入力部

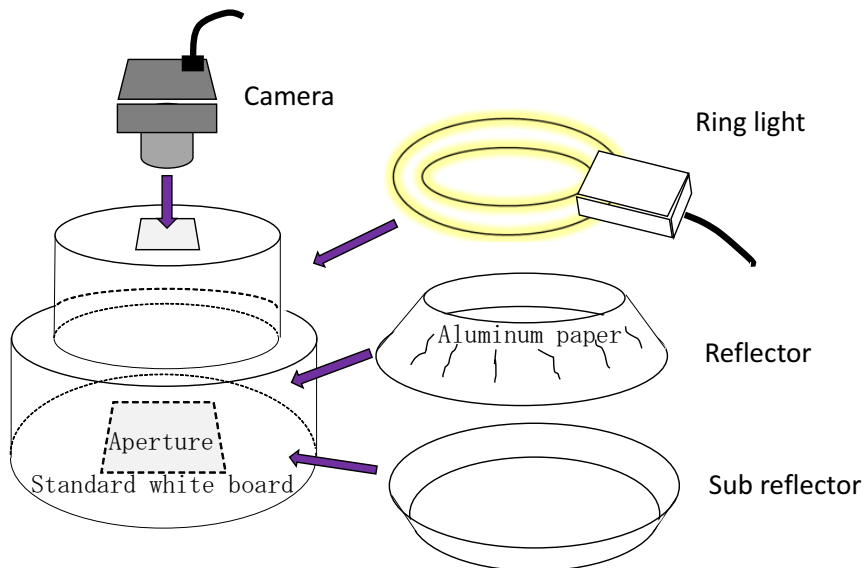


図 5.4 オンラインカメラシステム入力部の立体図

次に、3) について詳しく述べる。色認識、模様認識においては、試料の撮影範囲をある程度確保する必要がある。オンラインカメラシステムでは、一辺が 47 mm の正方形を覆いの開口部とし、画像の測定範囲は一辺が 40 mm の正方形とした。

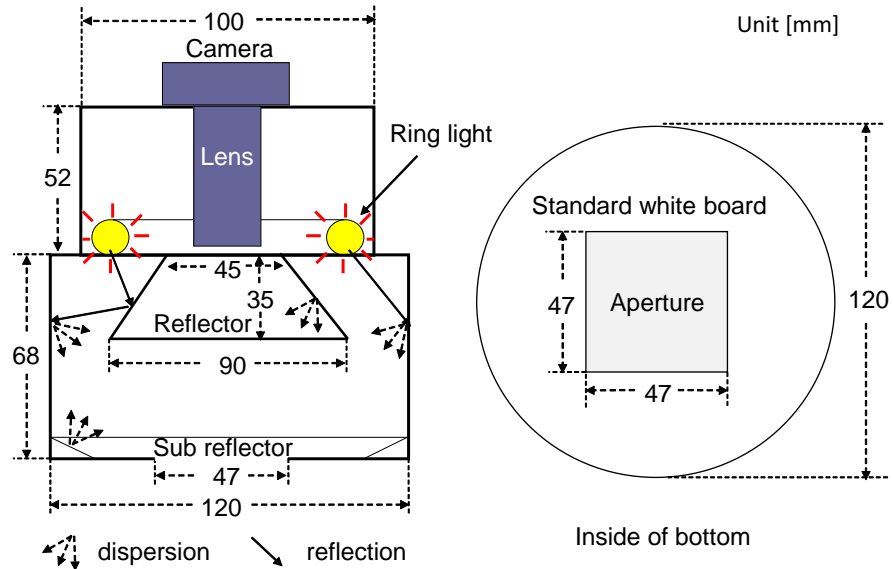


図 5.5 オンラインカメラシステム入力部の立面図，底面図

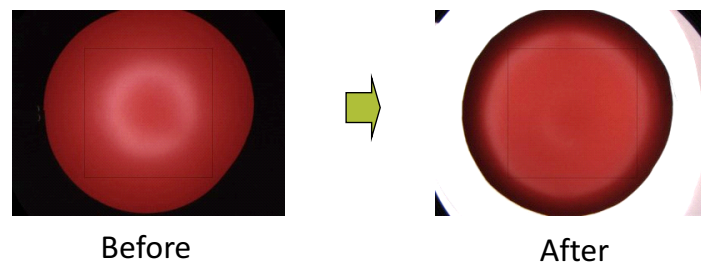


図 5.6 鏡面反射

入力画像の輝度値補正のため，試料画像と一緒に標準白色板 [74] を写す必要がある．そのため，図 5.3 に示すように，覆い内部の底面には標準白色板を設置した．

リングライトの照明光はシステム起動後，開始時の 5,200 lx から上昇し，5 min 後に最大の 5,670 lx に達し，その後下降に転じ，60 min 経過後 5,080 lx になった．この間で 10 % 以上の変動が生じた．CCD 感度特性は，図 5.8 のように，red が高く，blue が低い．従って，表 5.4 の FlyCapture ホワイトバランスの設定で，“R650，B805” と red を低く，blue を高く，その値を調整した．

ただし，システム起動後，標準白色板を測定した結果，red，green，blue の値

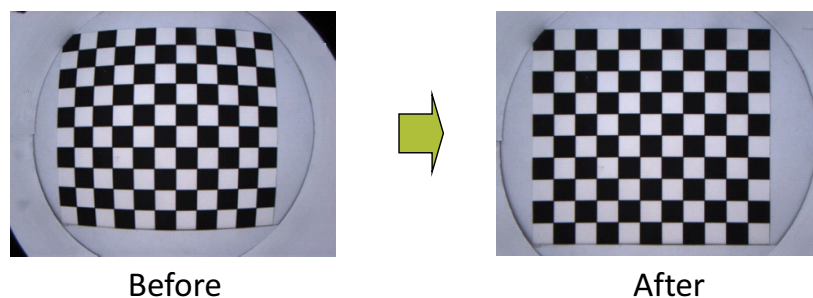


図 5.7 歪画像の補正

表 5.4 オンラインカメラシステム - 使用機器とソフトウェア及び設定値

コンピュータ	Gateway NV4400
ソフトウェア	Windows Vista Home Premium C, C++, OpenCV-1.1 FlyCapture2
カメラ	Chameleon CMLN-13S2C $F = 1.6/f = 1.8 \sim 3.6\text{mm}$, 1/3" CCD (F はレンズの絞り値, f は焦点距離)
FlyCapture	GAIN=0.0, SHUTTER=13.016, FRAME RATE=1.0 GAMMA=1.0, AUTO EXPOSURE=0.0 WHITE BALANCE R650, B805
リング ライト	StockerYale Model13
解像度	1280 × 960 pixel

は、それぞれ時間の経過と共に異なる変化を起こし、一定のホワイトバランスでは調整できないことがわかった。この問題は測定対象の試料と一緒に標準白色板を撮影し、red, green, blueそれぞれ輝度値の補正を行うことで解決できる。図 5.9 は、底面が標準白色板でできた覆い内部の開口部に、同じ標準白色板を置いて撮影した写真である。

撮影画像の測定範囲は、中央部では、一辺が 350 pixel の正方形領域、周辺部では一辺が 100 pixel の 4 箇所の正方形領域とする。図 5.10 で、この両領域の red の輝度値が、カメラのシャッター速度の変化に対して、線形に変化することを確かめた。green, blue の輝度値も図 5.10 と同様に变化する。シャッター速度の変

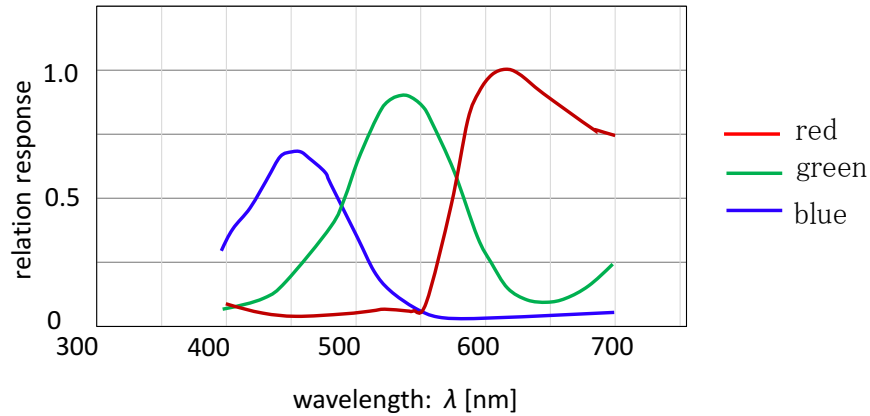


図 5.8 Chameleon CMLN-13S2C - CCD の分光感度曲線 [75].

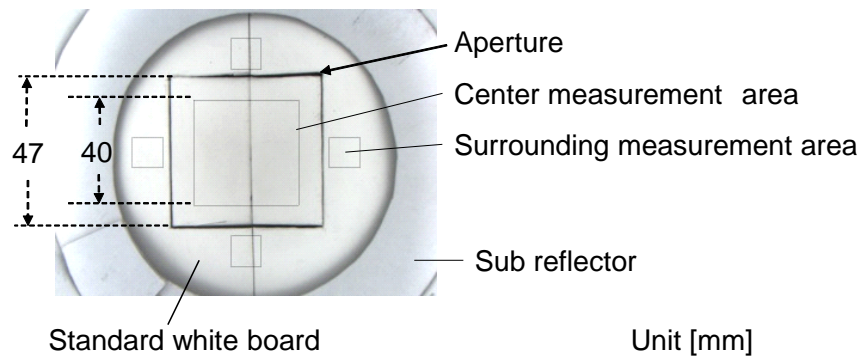


図 5.9 標準白色板の測定写真

化，つまり露光時間の変化を照明光の強度変化に置き換えることによって，この両領域の輝度値が照明光の強度変化に対して互いに線形に変化していると考えることができる．これにより，補正式 (5.1) を用いた．

$$\begin{aligned}
 A_R &= X_R \times \frac{Z_R}{Y_R} \\
 A_G &= X_G \times \frac{Z_G}{Y_G} \\
 A_B &= X_B \times \frac{Z_B}{Y_B}
 \end{aligned} \tag{5.1}$$

ただし，

X_R, X_G, X_B : 中央部 (一辺 350 pixel 正方形領域) の測定輝度値

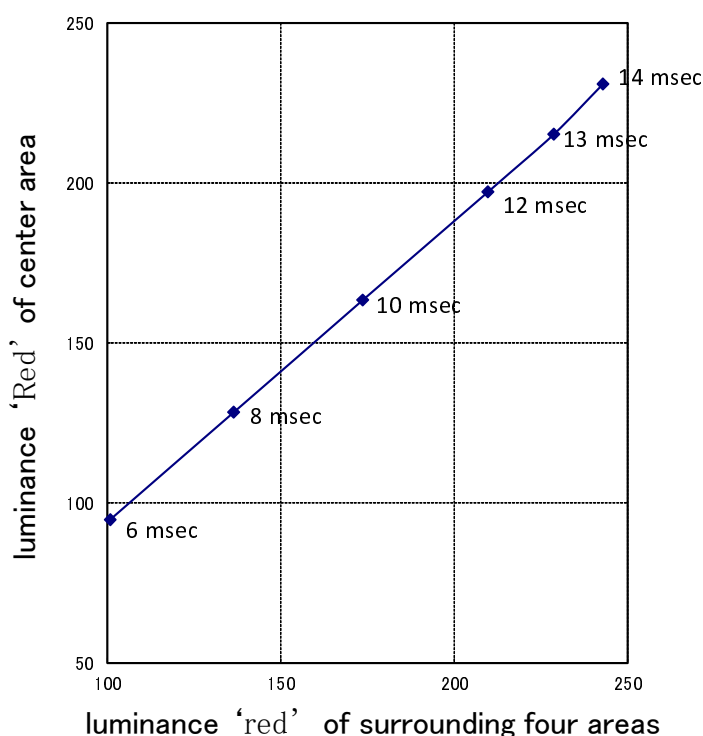


図 5.10 標準白色板の輝度値 $Y_R = \text{red}$ と $X_R = \text{Red}$

Y_R, Y_G, Y_B : 周辺部 (一辺 100 pixel 正方形 4 領域) の測定輝度平均値

Z_R, Z_G, Z_B : 標準白色基準輝度値

とする. なお, シャッター速度 13 msec で得られた標準白色板の輝度値を用いて, $Z_R = 228.69$, $Z_G = 231.95$, $Z_B = 230.09$ とした.

次に, 色認識空間の補正式について実験結果を述べる. 4.2.4 で述べた色認識空間の補正式 (4.7) の各係数は, PCCS 色票の撮影と重回帰分析により, $\mathbf{K} = (k_{ij})$ とおいて,

$$\mathbf{K} = \begin{pmatrix} 5.8476 & 0.9331 & -0.2030 & 0.0285 & 0.0020 & 0.0004 & -0.0004 \\ -2.0624 & 0.0065 & 1.5887 & 0.0833 & 0.0032 & -0.0004 & -0.0060 \\ 3.5573 & -0.0491 & -0.4762 & 1.0970 & 0.0026 & 0.0046 & -0.0019 \end{pmatrix}$$

となった. 表 5.5 に, 真値と補正值の $L^*a^*b^*$ 色空間における色差をトーン毎にまとめる. v (vivid) トーン, dp (deep) トーンで色差が大きいのは, sRGB 色空間内に収まる色票が, 約半数しかないからである. b (bright) トーンも色差が大きい, vivid トーン, deep トーンと同様に彩度が高く, 本システムの概略的な色の

表 5.5 オンラインカメラシステム - PCCS 色票の色差

トーン	色票枚数	色差平均値
vivid	13	5.18
deep	5	3.31
dark	12	1.77
pale	12	1.46
light	12	1.98
bright	12	3.41
soft	12	1.56
dull	12	1.52
light grayish	12	1.48
grayish	12	1.18
dark grayish	12	1.03
neutral	17	1.04
pink	10	1.36
brown	7	1.07
off neutral	15	1.14
all	175	1.64

認識に対して影響は少ない。比較した全色票の平均色差は1.64となった。色差5が色再現の目標とされる場合が多く [76], この数値はきわめて良好である。なお, この補正式の重寄与率 R2 は何れも, 99 %以上である。

表5.6に, 実験によって最適と判断したシステムの各種パラメータ等をまとめる。

表 5.6 オンラインカメラシステム設定値

外形寸法	覆いの大きさ 開口部	底面 直径 120 mm, 高さ 120 mm 47 × 47 mm
測定範囲		40 × 40 mm, 450 × 450 pixel
色認識設定値	計測画素数 ガンマ補正 ホワイトバランス係数 輝度値補正係数 初期クラスタ数 クラスタ統合閾値 クラスタ消滅閾値 色名決定閾値	256 × 256 pixel FlyCapture 自動 ($\gamma_1\gamma_2 = 1.0$) FlyCapture + システム補正 $Light = 1.007$ 4 個 $\rho = n_1\sigma + n_2$ $n_1 = 0.33, n_2 = 2.7$ $clear = 0.01$ $r_n = 3.7, r_s = 5.0$
$L^*a^*b^*$ 色空間	射影データ数	PCCS 色票と補間値 計 313
模様認識設定値	計測画素数 ローパスフィルタ α, β, δ	180 × 180 pixel $Low = 12.5 \%$ $\alpha = 2.5, \beta = 3.9, \delta = 3.6$
処理時間		画像入力後, 音声出力開始まで 2 sec ~ 5 sec

5.2 スマートフォンシステム

4.1.2, 4.1.3 でそれぞれ, スマートフォンを利用した覆い付きシステム, 環境光利用システムの構造, 照明等, 概要について述べたが, 本節では, ソフトウェアの使用環境とスマートフォンシステムの使用方法について述べ, その仕様をまとめる. 提案システムのプログラム使用環境は, iOS6.1[77, 78, 79], Objective-C 2.0[80, 81], C, C++, opencv2.framework である. また, 全盲の人に, iPhone の操作を案内したり, システム出力内容を伝達するために音声合成ソフトウェアが必要である. 有償, 無償で数点が公表されており, このプログラム環境に適合し, かつ, 日本語対応の無償ソフトウェアとして, “iSpeech” (<http://www.ispeech.org>) を使用した. ただし, このソフトウェアは web 利用アプリケーションのため, システム出力の日本語を音声合成して出力するのに, 数 sec 程度の時間を要する. また, iPhone のアクセシビリティ機能の一つである VoiceOver は, 指で触れた部分のテキストやアイコン名を読み上げる. これを聞きながら, 図 5.11 の (a) アイコン (覆い付きシステムの場合) をダブルタップ (指で素早く 2 回タップ) すると, 図 5.11(b) の画面が表示される. これ以後, VoiceOver の画面上の読み上げと iSpeech の音声案内によって, iPhone のカメラで測定対象の衣類を撮影する. その結果, 色と模様認識結果が合成音声で出力される.

表 5.7 に覆い付きシステム, 表 5.8 に環境光利用システムの仕様をまとめる.



(a) アイコン



(b) トップ画面

図 5.11 覆い付きシステムの画面

表 5.7 覆い付きシステムの仕様

項目	小項目	内容
スマートフォン	iPhone 4s	
外形寸法	覆いの大きさ 開口部	底面 59 × 88 mm, 高さ 70 mm 50 × 50 mm
測定範囲		40 × 40 mm, 350 × 350 pixel
照明光	トーチランプ	
ソフトウェア	OS プログラム言語 合成音声出力	iOS6.1 Objective-C 2.0, C, C++ opencv2.framework iSpeech (http://www.ispeech.org)
色認識設定値	計測画素数 ガンマ補正 白色基準輝度値 無彩色段階 (明度 L^*) 初期クラスタ数 クラスタ統合閾値 クラスタ消滅閾値 色名決定閾値	256 × 256 pixel $\gamma = 2.2$ $R = G = B = 208.0$ $0 \leq \text{黒} \leq 30$ $30 < \text{こいグレー} \leq 45$ $45 < \text{グレー} \leq 65$ $65 < \text{うすいグレー} \leq 76$ $76 < \text{白} \leq 100$ 4個 $\rho = n_1\sigma + n_2$ $n_1 = 0.41, n_2 = 3.0$ $clear = 0.01$ $r_n = 3.7, r_s = 5.0$
$L^*a^*b^*$ 色空間	射影データ数	PCCS 色票と補間値 計 313
模様認識設定値	計測画素数 ローパスフィルタ α, β, δ	180 × 180 pixel $Low = 12.5 \%$ $\alpha = 2.5, \beta = 3.9, \delta = 3.1$
処理時間		画像入力後, 音声出力開始まで 7 sec ~ 10 sec

表 5.8 環境光利用システムの仕様

項目	小項目	内容
スマートフォン	iPhone 4s	
外形寸法	覆いの大きさ 開口部	底面 75 × 150 mm, 高さ 132 mm 60 × 60 mm
測定範囲		50 × 50 mm, 240 × 240 pixel
照明光	トーチランプ 環境光	自然光, 室内照明等
ソフトウェア	OS プログラム言語 合成音声出力	iOS6.1 Objective-C 2.0, C, C++ opencv2.framework iSpeech (http://www.ispeech.org)
色認識設定値	計測画素数 ガンマ補正 白色基準輝度値 無彩色段階 (明度 L^*) 初期クラスタ数 クラスタ統合閾値 クラスタ消滅閾値 色名決定閾値	240 × 240 pixel $\gamma = 1.8$, 2次関数補正 $R = G = B = 232.0$ $0 \leq \text{黒} \leq 30$ $30 < \text{こいグレー} \leq 45$ $45 < \text{グレー} \leq 65$ $65 < \text{うすいグレー} \leq 76$ $76 < \text{白} \leq 100$ 4個 $\rho = n_1\sigma + n_2$ $n_1 = 0.41, n_2 = 3.0$ $clear = 0.01$ $r_n = 3.7, r_s = 5.0$
$L^*a^*b^*$ 色空間	射影データ数	PCCS 色票と補間値 計 313
模様認識設定値	計測画素数 ローパスフィルタ α, β, δ	180 × 180 pixel $Low = 12.5 \%$ $\alpha = 2.5, \beta = 3.9, \delta = 3.1$
処理時間		画像入力後, 音声出力開始まで 7 sec ~ 10 sec

5.3 ガンマ補正

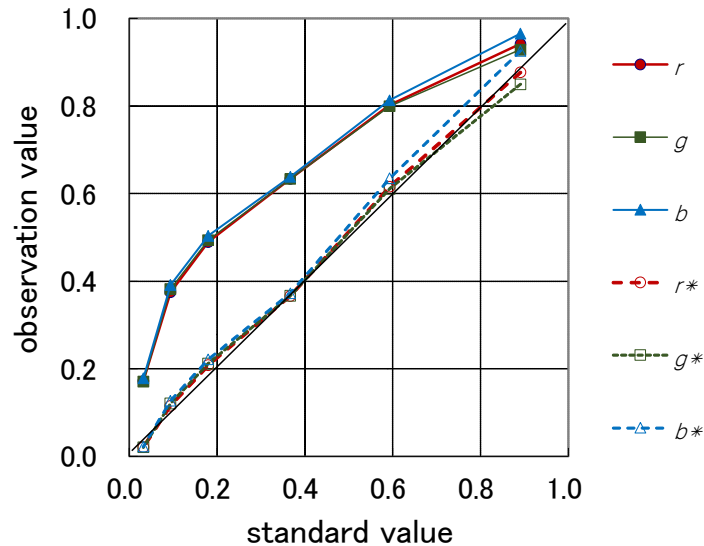
覆い付きシステム，環境光利用システムについて，それぞれガンマ補正の効果調べた結果，環境光利用システムではガンマ補正だけでは入力と出力が線形にならないことがわかった．それぞれの実験結果について述べる．

5.3.1 覆い付きシステムのガンマ補正

覆い付きシステムを用いて，PCCS色票の無彩色トーンのうち，white, gy-8.0, gy-6.5, gy-5.0, gy-3.5, black の6枚を撮影し，*RGB* データを取得した．これらの色票を選んだのは，製品情報としての反射率が既知だからである [82]．色票画像から得られた *RGB* データを正規化し，観測反射率 r , g , b として用いた． $\gamma = 2.2$ として，観測反射率を γ 乗した値をそれぞれ r^* , g^* , b^* とする．表 5.9 にこれらのデータを示し，図 5.12 に製品情報反射率と，観測反射率及び観測反射率を γ 乗した値との関係を示す．図 5.12 を見ると， $\gamma = 2.2$ で補正することにより，傾き 1 の直線に近い位置に補正されていることがわかる．

表 5.9 覆い付きシステム - PCCS 無彩色色票の反射率 ($\gamma = 2.2$)

色票名	製品情報反射率	r	g	b	r^*	g^*	b^*
white	0.891	0.942	0.929	0.966	0.877	0.850	0.926
gy-8.0	0.593	0.803	0.800	0.813	0.616	0.611	0.635
gy-6.5	0.367	0.634	0.634	0.639	0.366	0.367	0.373
gy-5.0	0.180	0.490	0.494	0.504	0.208	0.212	0.221
gy-3.5	0.094	0.375	0.382	0.392	0.116	0.121	0.127
black	0.032	0.172	0.171	0.178	0.021	0.021	0.023

図 5.12 ガンマ補正 覆い付きシステム ($\gamma = 2.2$)

5.3.2 環境光利用システムのガンマ補正

環境光利用システムを用いて、リファレンス（参照用色票）として用いる ColorChecker の white, n8, n6.5, n5, n3.5, black を撮影し、 RGB データを得た。照明環境は室内の明るい窓際である。これらの値を正規化して観測反射率 r , g , b を得た。 $\gamma = 2.2$ として、観測反射率を γ 乗した値をそれぞれ r^* , g^* , b^* とする。表 5.10, 図 5.13 にこれらの値を示す。図 5.13 によると、 $\gamma = 2.2$ の補正により、暗いパッチの反射率が低く、つまり、さらに暗くなっていることがわかる。暗く補正すると色認識が正しくできないため、 $\gamma = 1.8$ として再計算した。その結果を表 5.11 及び図 5.14 に示す。 $\gamma = 2.2$ の補正と比べ、暗い色の補正が少し改善され、明るくなった。ただし、明るい色（white）は傾き 1 の直線よりも $\gamma = 2.2$ の補正と比べてさらに上に位置している。しかし、明るい色がさらに明るく補正されても色認識で大きな問題となることはない。このため、便宜上環境光利用システムでは $\gamma = 1.8$ を採用することにした。

しかしながら、暗い色の輝度が低く補正されていることが原因となって、式 (4.7) による重回帰分析を行っても、分光測定による真値との色差が大きく、正しい色認識ができないため、新たな補正法を追加することにした。その方法は、5.4 節で述べる。覆い付きシステムと比べた場合に、このような違いが生じたのは、

表 5.10 環境光利用システム - ColorChecker 無彩色パッチの反射率 ($\gamma = 2.2$)

色名	製品情報反射率	r	g	b	r^*	g^*	b^*
white	0.891	0.981	0.979	0.981	0.969	0.954	0.959
n8	0.593	0.775	0.777	0.804	0.571	0.574	0.6319
n6.5	0.367	0.611	0.614	0.638	0.338	0.342	0.372
n5	0.180	0.378	0.376	0.391	0.118	0.116	0.127
n3.5	0.094	0.187	0.181	0.190	0.025	0.023	0.026
black	0.032	0.097	0.092	0.095	0.006	0.005	0.006

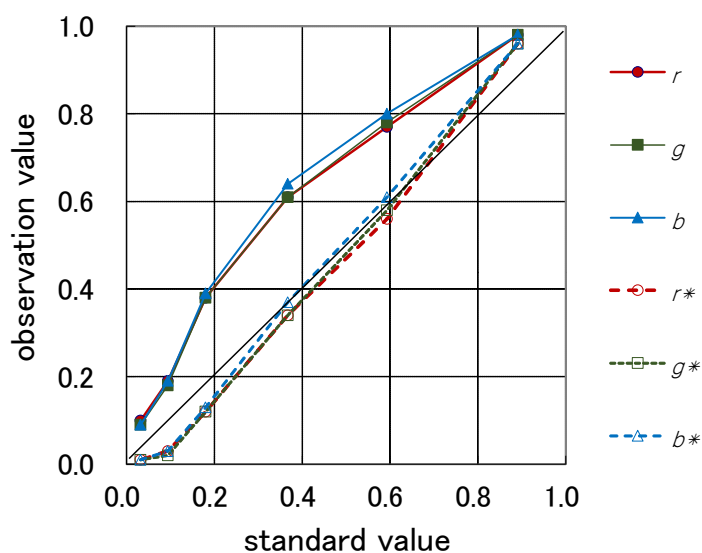
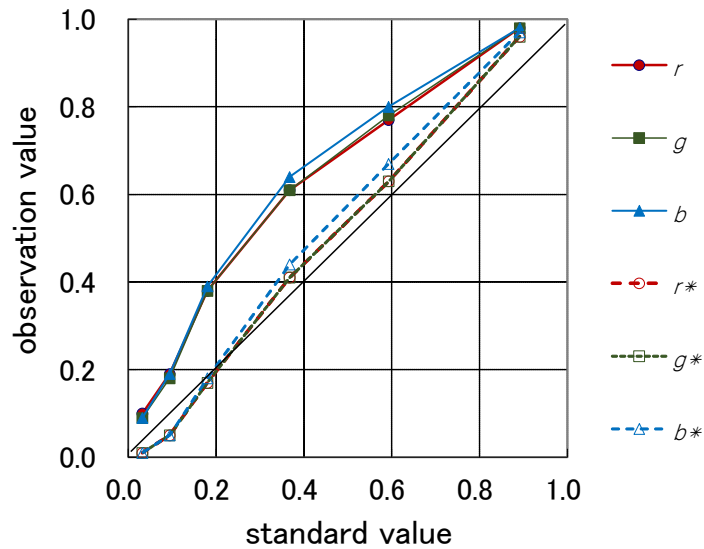


図 5.13 ガンマ補正 環境光利用システム ($\gamma = 2.2$)

基準とする色票の PCCS と ColorChecker の表面の反射特性の違いによる。PCCS 色票は表面に光沢があるため照明光の反射率が高く、暗い色でも明るくなる。これに対して ColorChecker 表面はマット仕上げで鏡面反射が少なくなっており、暗い色の表現が異なったものと考えられる。

表 5.11 環境光利用システム - ColorChecker 無彩色パッチの反射率 ($\gamma = 1.8$)

色名	r^*	g^*	b^*
white	0.964	0.961	0.965
n8	0.630	0.633	0.674
n6.5	0.410	0.414	0.443
n5	0.172	0.169	0.182
n3.5	0.046	0.045	0.049
black	0.013	0.012	0.012

図 5.14 ガンマ補正 環境光利用システム ($\gamma = 1.8$)

5.4 環境光利用システムの色補正処理

環境光利用システムでは、ガンマ補正だけでは入力輝度に対して出力輝度を線形に変換することができず、正しい色認識処理ができない。そのため、暗い部分の無彩色に対して、あらたに二次関数補正を適用して線形に近付けることにした。本節では、この二次関数補正を含め、環境光利用システムの色補正処理全体の仕組みを、図 5.15、図 5.16 で説明する。図 5.16 は、図 4.9 の左側 “Correction of color” に対応する部分である。

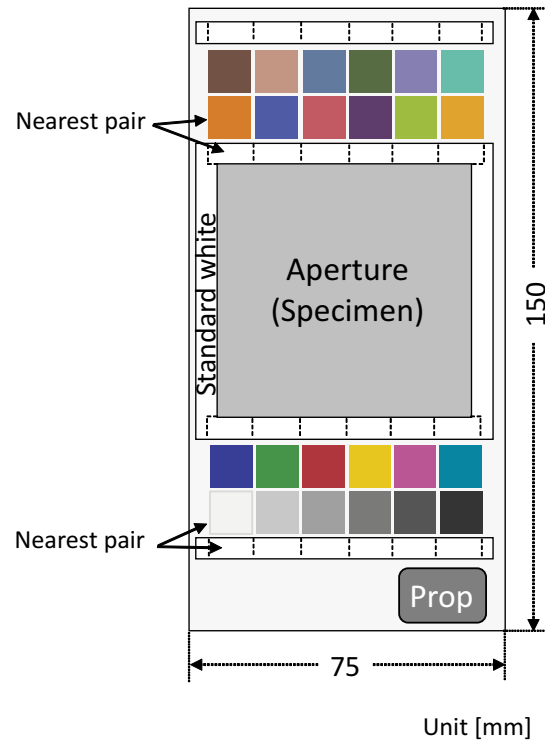


図 5.15 環境光利用システムのリファレンス構成

- 1). 図5.15中, 横方向の4枚の標準白色 (Standard white) パッチを ColorChecker の各パッチに沿った6区画に分割し, 各区画の RGB の平均値を求める. また, 図5.15中, 開口部 (Aperture) 周囲の4枚の標準白色パッチから RGB の平均値を求める.
- 2). ColorChecker の各パッチを, 1) で求めた標準白色パッチの対応する最近傍区画の RGB 平均値をもとに, 式 (5.1) により輝度値補正 (ホワイトバランスを含む) を行い, 次にガンマ補正を行う.
- 3). 試料 (Specimen) の各画素を, 1) で求めた開口部周囲の標準白色パッチ RGB 平均値をもとに, 式 (5.1) により, 輝度値補正 (ホワイトバランスを含む) を行う. 次にガンマ補正を行う.
- 4). ColorChecker と試料の画像を, 式 (5.2) から式 (5.5) により RGB から $L^*a^*b^*$

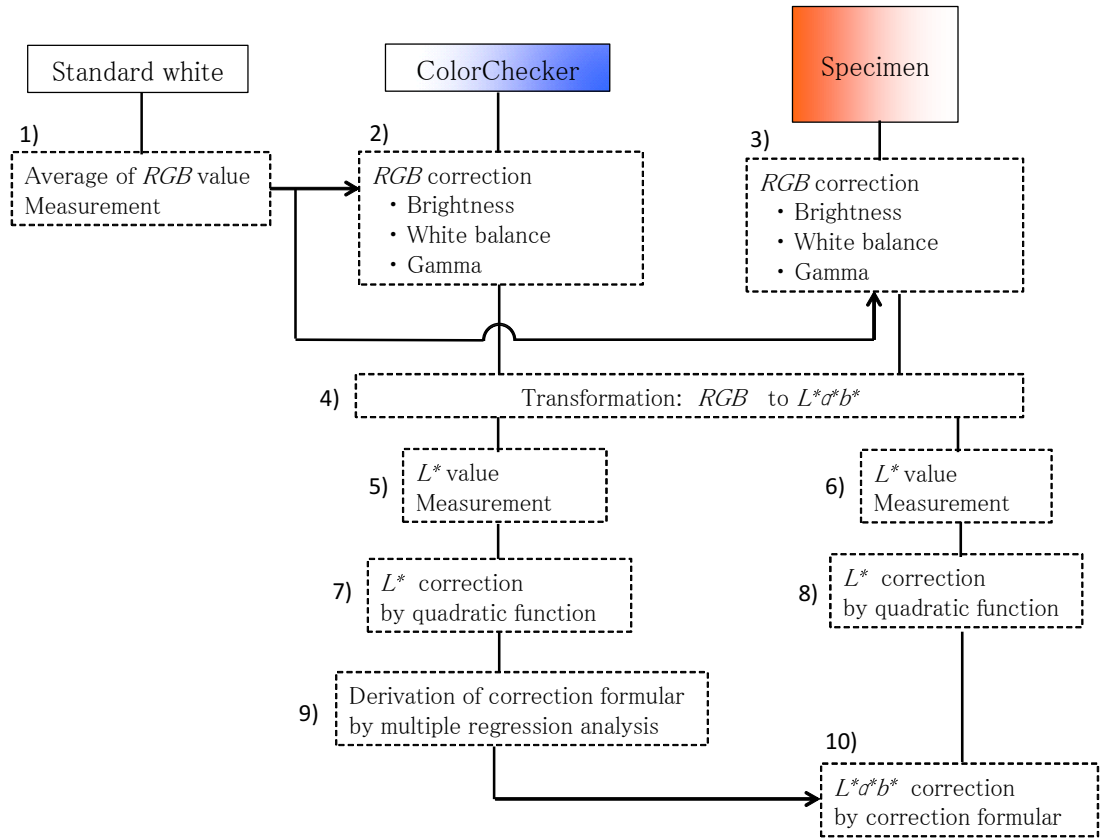


図 5.16 環境光利用システムの色補正の仕組み

に変換する.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.412453 & 0.357580 & 0.180423 \\ 0.212671 & 0.715160 & 0.072169 \\ 0.019334 & 0.119193 & 0.950227 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (5.2)$$

$$L^* = \begin{cases} 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 & \left(\frac{Y}{Y_n} > 0.008856 \right) \\ 903.3 \left(\frac{Y}{Y_n} \right) & \left(\frac{Y}{Y_n} \leq 0.008856 \right) \end{cases} \quad (5.3)$$

$$a^* = 500 \left(f \left(\frac{X}{X_n} \right) - f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) \right) \quad (5.4)$$

$$b^* = 200 \left(f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) - f \left(\frac{Z}{Z_n} \right) \right) \quad (5.5)$$

$$\text{where } \begin{cases} f(t) = t^{\frac{1}{3}} & \left(\frac{Y}{Y_n} > 0.008856 \right) \\ f(t) = 7.787t + \frac{16}{116} & \left(\frac{Y}{Y_n} \leq 0.008856 \right) \end{cases}$$

- 5). ColorChecker の各パッチの L^* 平均値を求める。
- 6). 試料の各画素の L^* 値を求める。
- 7). 二次関数補正: 式 (5.6) によって, 暗いパッチの色を補正する。
- 8). 二次関数補正: 式 (5.6) によって, 試料の各画素のうち, 暗い画素の色を補正する。
- 9). ColorChecker の各色パッチの平均 $L^*a^*b^*$ をもとに, 重回帰分析により色空間補正式 (4.7) を導く。
- 10). 試料の各画素の $L^*a^*b^*$ を色空間補正式 (4.7) により補正する。

二次関数補正について述べる。表 5.12 は, 環境光利用システムでさまざまな照明環境のもとに, リファレンスの ColorChecker を撮影した画像から得られた無彩色パッチの L^* 値と分光測色計による測定結果を比較したものである。さまざまな照明環境とは, 暗室内の電気スタンドや昼間の室内での自然光など 15 件であり, 表ではこれら測定データの平均値を示した。分光測定は, 分光測色計 Konica Minolta CM-2600d を用いた。

L^* が 50 より小さくなると, カメラ画像から計算によって導いた値が分光測色計による測定値より顕著に小さくなっている。以降, カメラ画像から計算によって導いた L^* 値のことをカメラ値と呼ぶ。図 5.17 にカメラ値と分光測色計による測定値との関係を示す。カメラ値を分光測色計による測定値に近似するために, これら 6 点の近似二次関数を最小二乗法で求めると,

$$p = 0.0021t^2 + 0.5754t + 18.1440 \quad (5.6)$$

表 5.12 環境光利用システム - ColorChecker 無彩色パッチの L^* 値

色名	カメラによる L^* 値	分光測色計による L^* 値
white	97.63	94.50
n8	83.00	80.39
n6.5	69.84	66.42
n5	47.58	50.34
n3.5	26.04	36.74
black	9.77	22.62

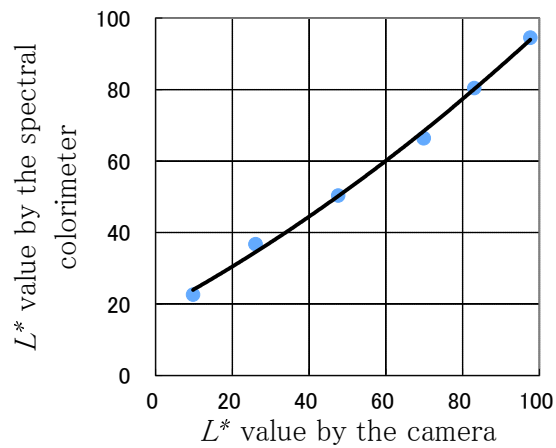


図 5.17 二次関数補正 近似曲線

となった。ただし、 t はカメラ値、 p は分光測色計による測定値である。図5.17の近似曲線は、直線に近い形状をしているが、わずかな曲率を有する。この式を適用する条件は、彩度を sat として、

$$L^* < 50 \quad \text{かつ} \quad sat = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} < 5 \quad (5.7)$$

とする。彩度が高くなると単純に、 L^* 値の補正だけでは分光測色計による測定値との色差は小さくならない。実験的には、逆に色差が大きくなることがある。そのため、暗い色の二次関数補正は無彩色とみなすものを対象とする。

5.5 色の補正精度

次に，実験によって求めた覆い付きシステムの色空間補正式 (4.7) の各項係数を示す．これらの係数は，覆い付きシステムを用いて PCCS 色票すべてを撮影し，重回帰分析を行って求めた． $\mathbf{K} = (k_{ij})$ とおいて，

$$\mathbf{K} = \begin{pmatrix} 10.6367 & 0.8296 & 0.0521 & -0.1306 & -0.0009 & 0.0015 & 0.0005 \\ -1.8923 & 0.0053 & 0.5244 & 0.1979 & 0.0062 & -0.0006 & -0.0002 \\ 1.8488 & -0.0012 & -0.0016 & 0.4422 & 0.0005 & 0.0039 & 0.0007 \end{pmatrix}$$

となった．

環境光利用システムでは，測定の都度 ColorChecker24 色を用いて，その場の照明光に合わせた色空間補正式を作成するので，固定した係数はない．色の補正の精度は $L^*a^*b^*$ 色空間における色差 $\Delta\epsilon$ で表す．

$$\Delta\epsilon = \sqrt{(L^* - L)^2 + (a^* - a)^2 + (b^* - b)^2} \quad (5.8)$$

ただし，カメラ画像から導いた $L^*a^*b^*$ 値を L, a, b と表し，分光測色計で得られた $L^*a^*b^*$ 値を L^*, a^*, b^* と表す．

色差測定実験によって得られた覆い付きシステムによる PCCS 色票の色差平均値を表 5.13 に示す．全色票の平均色差は 2.99 となった．ただし，sRGB 色域の外にある色票 20 枚は計算から除外した．色再現の目標とされる色差 5 の基準 [76] から考えて，概略的な色認識を行う本システムの精度としては適切であると考えられる．

環境光利用システムによる，PCCS 色票とリファレンスとして用いた ColorChecker の色差を表 5.14 に示す．比較のために，環境光利用システムの原型となったシステム [83] で得られた色差データを示す．原型システムは図 5.18 に示すように，リファレンスに細長い標準白色パッチがなく，照明光の輝度値補正は ColorChecker の white パッチを用いた．照明環境は，何れも暗室内の卓上電気スタンドであり，分光放射測定器 MK350 (UPRtek) による計測値は，原型システムで相関色温度 4,564 K，照度 1,308 lx，環境光利用システムで相関色温度 4,536 K，照度 1,128 lx であった．

PCCS 色票全体の平均値は，原型システムでは 6.42，環境光利用システムでは 5.82 となった．原型システムでは，ColorChecker の white のパッチのみを照明光補正の基準として用いたが，環境光利用システムでは ColorChecker の各色パッチの輝度値を近傍の標準白色パッチによって補正し，試料輝度値を開口部周囲の標準白色パッチによって補正したことが，色差改善につながったと思われる．リファ

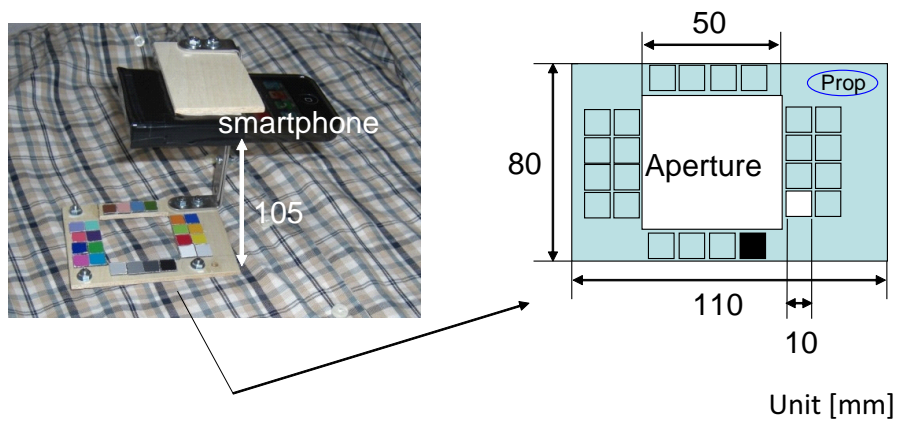


図 5.18 環境光利用システムの原型

表 5.13 覆い付きシステム - PCCS 色票の色差平均値

トーン	色票枚数	色差平均値
vivid	11	4.53
deep	5	4.96
dark	12	4.95
pale	12	1.88
light	12	2.10
bright	12	3.92
soft	12	3.11
dull	12	3.66
light grayish	12	1.66
grayish	12	3.01
dark grayish	12	2.75
neutral	17	2.15
pink	10	2.84
brown	7	3.22
off neutral	15	2.05
all	173	2.99

表 5.14 環境光利用システム - 色差比較

トーン	枚数	原型システム		環境光利用システム	
		PCCS	Checker	PCCS	Checker
vivid	11	5.98	6.48	8.04	4.52
deep	5	7.94	6.64	7.87	4.86
dark	12	12.37	6.44	12.54	4.72
pale	12	3.70	7.17	3.27	5.71
light	12	6.25	6.83	3.61	5.47
bright	21	7.42	6.92	4.42	5.18
soft	12	4.58	7.15	3.66	5.02
dull	12	5.24	7.00	5.45	4.85
light grayish	12	3.67	6.87	3.06	5.60
grayish	12	3.29	6.61	4.36	4.77
dark grayish	12	13.06	6.40	12.46	4.71
neutral	17	4.89	6.82	3.27	5.06
pink	10	10.49	7.26	4.32	5.18
brown	7	6.12	6.97	5.32	4.82
off neutral	15	3.93	7.23	2.46	5.65
all	173	6.42	6.83	5.82	5.10

レンズの ColorChecker と PCCS の色差を比べた場合、リファレンスの色差より、PCCS の色差が小さい場合が多くなった。逆に、PCCS の dark と dark grayish では、色差が極端に大きくなった。この理由は、これらのトーンの PCCS 色票の明度がほとんど $L^* < 30$ であるのに対して、補正式の基準である ColorChecker24 色で $L^* < 30$ となるのが black 1 色のみであり、重回帰分析による補正が暗い色票には適切に働いていないためと考えられる。

原型システムと比較して色差が改善したとは言え、環境光利用システムの平均色差 5.82 は覆い付きシステムの平均色差 2.99 には及ばない。その原因は、環境光利用システムでは照明光により、スマートフォンの影がリファレンスや試料に生じ、正しい色認識の妨げとなっているからである。リファレンスの影補正は、近傍の標準白色パッチによる輝度補正により実施したが、試料に対する影補正を検討しなければならない。

5.6 環境光利用システムの影補正

色認識システムで環境光を利用する場合，スマートフォンの影を補正することは，正しい色認識を実現する上で重要な技術である．影補正の仕組みを考案し，実験によってどのような補正法が適しているか検討する．図 5.19 に影の例を示す．影補正の前提として，

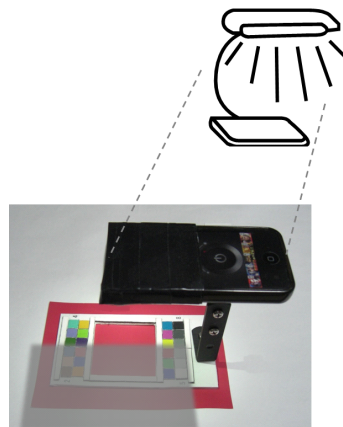


図 5.19 スマートフォンの影

- 影補正はスマートフォンの影を対象とする．
- 影の形状は長方形である．
- 長方形の影の辺は開口部と平行または垂直である．

とする．影補正の方法は，

- 試料周囲の標準白色パッチの輝度により，試料に対する照明光の輝度を推定する．
- 標準白色パッチは一辺が 12 区画，試料は 12×12 の区画に分割して計算処理する．
- 推定した照明光輝度が標準白色基準輝度値となるよう，試料輝度の線形補正を行う．つまり，区画 (i, j) の照明光推定輝度を V_{ij} ，標準白色基準輝度値を W ，各画素の輝度を P とし，補正輝度 P_c を式 (5.9) で求める．

$$P_c = P \times (W/V_{ij}) \quad (5.9)$$

とする。照明光推定輝度とは、試料の各区画に標準白色パッチを置いたと仮定したときの標準白色パッチの推定輝度のことである。影補正では明度のみ問題であるため、輝度値は L^* で表す。推定輝度が標準白色基準輝度値になるように線形変換を行って影補正を実行する。

照明光輝度推定方法として次の3手法を検討する。

- A. 影区画推定法
- B. 全区画比例推定法
- C. 影区画+全区画比例推定法

この3手法について説明した後、濃い影、普通の影（やや薄い影）、薄い影の3種類について実験を行い、影補正の効果を比較検討する。

5.6.1 影区画推定法

この方法は影区画と影でない区画の区別をし、それぞれに輝度を推定する。図5.20から図5.22に影区画の決定方法を示す。

まず、開口部周囲の標準白色パッチを試料測定範囲（Measurement area of specimen）に対応するように12分割する。次に、 12×4 の全区画の L^* を求める。影でない区画を明区画と称することにする。影区画と明区画の閾値を T_s とするとき、 $T_s = 85.0$ に設定する。この値は標準白色パッチが充分明るく照らされ、白く見える数値である。各区画について、 $L^* < T_s$ なら影区画と判断し、識別子として数値0を当てる。 $L^* \geq T_s$ なら明区画と判断し、識別子として数値1を当てる。

一方、試料は縦横12区画に分割し、 12×12 の144区画とする。 $1 \leq i, j \leq 12$ とし、区画 (i, j) について縦横4方向に対応する標準白色パッチの識別子を読み取り、0が2個以上あれば (i, j) は影区画である、0が1個以下なら明区画であると決定する。図5.20はスマートフォンの影が左手前、図5.21は左側、図5.22は中央の例である。何れもこの方法で影区画と明区画を決定することができる。

影区画の補正輝度 P_c は、区画 (i, j) の照明光推定輝度を V_{ij} 、標準白色基準輝度値 W 、各画素の輝度を P とし、式(5.9)で求める。 V_{ij} は対応する識別子0の区画の平均値、 W は閾値 T_s を用いる。

明区画の輝度補正を図5.23に示す。区画 (i) に対応する識別子1の標準白色パッチのうち最も距離が近いパッチの輝度を V_{ij} とする。等距離のパッチがある区画 (ii) は、それらの平均値を V_{ij} とする。 W は環境光利用システムでトーチランプ

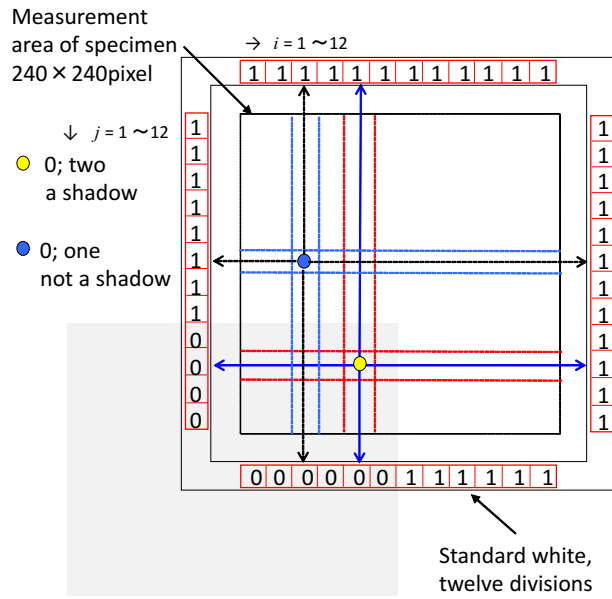


図 5.20 影区画の決定 - 影が左手前の場合

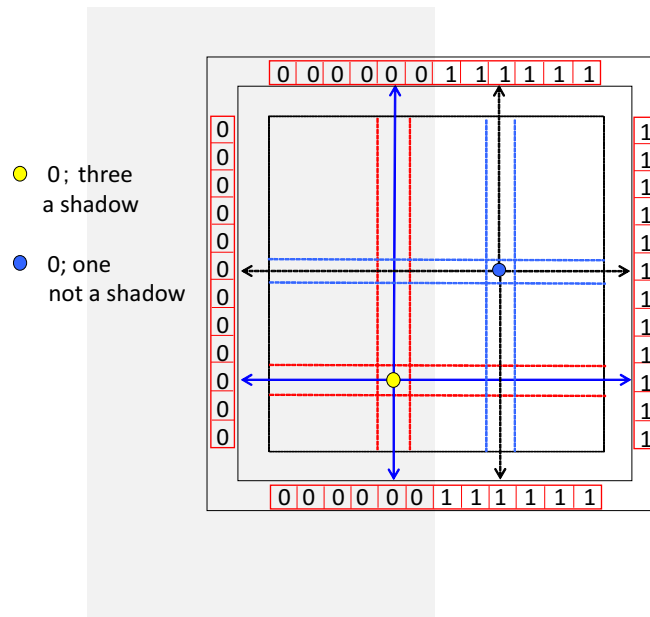


図 5.21 影区画の決定 - 影が左側の場合

を点け，充分明るい照明下で標準白色パッチを計測したときの最大明度 96 に設定する。

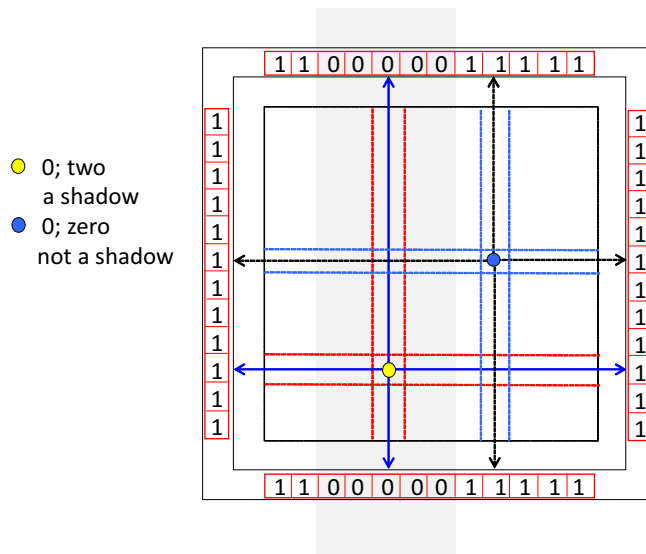


図 5.22 影区画の決定 - 影が中央の場合

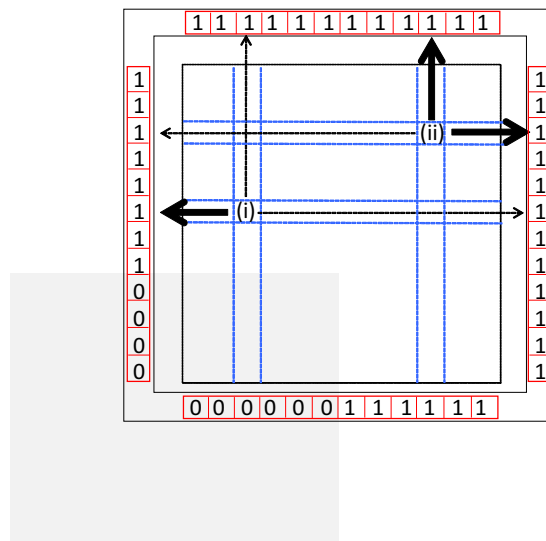


図 5.23 明区画の輝度補正

5.6.2 全区画比例推定法

全区画比例推定法は、影区画と明区画を区別せず、全区画の輝度を標準白色パッチとの距離をもとに重み付き比例式で補正する。図5.24で、区画 (i, j) に対応する縦横4方向の標準白色パッチ区画の輝度を、それぞれ $L1_i, L2_i, L3_j, L4_j$ と

する。区画 (i, j) からの距離をそれぞれ, $d1_i, d2_i, d3_j, d4_j$ とし,

$$d1_i + d2_i + d3_j + d4_j = 1.0 \quad (5.10)$$

となるように正規化する。このとき, 区画 (i, j) の照明光推定輝度 V_{ij} を次の式で定義する。

$$V_{ij} = L1_i \times d2_i + L2_i \times d1_i + L3_j \times d4_j + L4_j \times d3_j \quad (5.11)$$

区画 (i, j) の推定輝度は, 対応する縦横 4 方向の標準白色パッチの輝度に, 距離に反比例した重み係数を乗じて加算する方法を用いる。

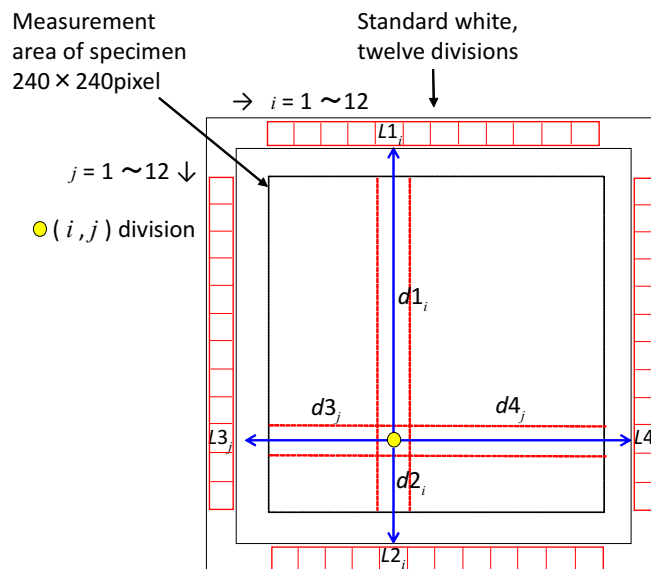


図 5.24 全区画比例推定法

5.6.3 影区画＋全区画比例推定法

A 影区画推定法と B 全区画比例推定法の長所を利用する方法で推定を行う。影区画推定法の適用にあたっては, 影区画と明区画の閾値 T_s に固定した数値を用いないで, 標準白色パッチ 48 区画の L^* 値の平均を用いる。A と同様に標準白色パッチの各区画について, $L^* < T_s$ なら影区画と判断し, 識別子として数値 0 を当てる。 $L^* \geq T_s$ なら明区画と判断し, 識別子として数値 1 を当てる。試料の区画 (i, j) について縦横 4 方向の対応する標準白色パッチの識別子を読み取り, 0 が 2 個以上あれば (i, j) は影区画である, 0 が 1 個以下なら明区画であると決定する。

試料の影区画の照明光輝度推定で、全区画比例推定法を用いるときに、対応する標準白色パッチの影区画の輝度だけを用いて計算する。これは、Bの全区画比例推定法で濃い影がうまく補正できないため、暗く推定しておく必要があると考えたからである。これに対して、試料の明区画はBと同様に縦横4方向の標準白色パッチ区画の輝度をもとに計算する。この方法で試料の補正を行うと、影区画の境界部分が、実際より暗く推定される傾向があるため、図5.25に示すように、影区画の2区画の幅は両側の区画の輝度の平均をとって推定輝度を平滑化する。

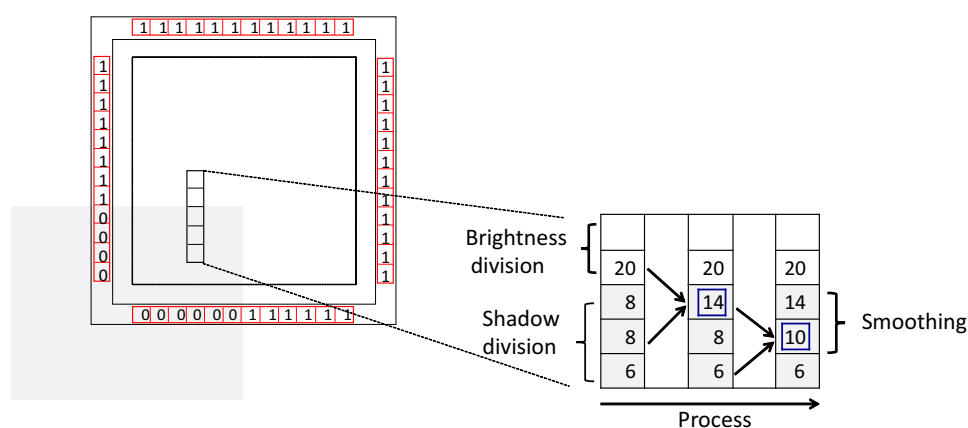


図 5.25 推定輝度の平滑化

5.6.4 影補正3手法の比較

A 影区画推定法, B 全区画比例推定法, C 影区画+全区画比例推定法 の3種類の方法で補正を行った結果を図5.26に示す。

A. 影区画推定法

影区画と明区画を区別して異なる手法で照明光を推定すると、明暗の差が非常に強く出る。影と明（影でない）の閾値の設定において、当初、中間値（標準白色パッチ12×4区画の輝度値の最大値と最小値の平均）を用いたが、適切に影を補正できなかったため、固定値を用いた。

B. 全区画比例推定法

影区画と明区画を区別せず、一様な手法で照明光を推定したため自然な補正が実現している。図5.27は、図5.26のCorrection B中段にある普通の影（Shadow）の補正例である。図5.27右側の等高線からわかるように、原画像の照明光輝度分布の推定が適切にできたため、補正に成功している。しかし、図5.26のCorrection

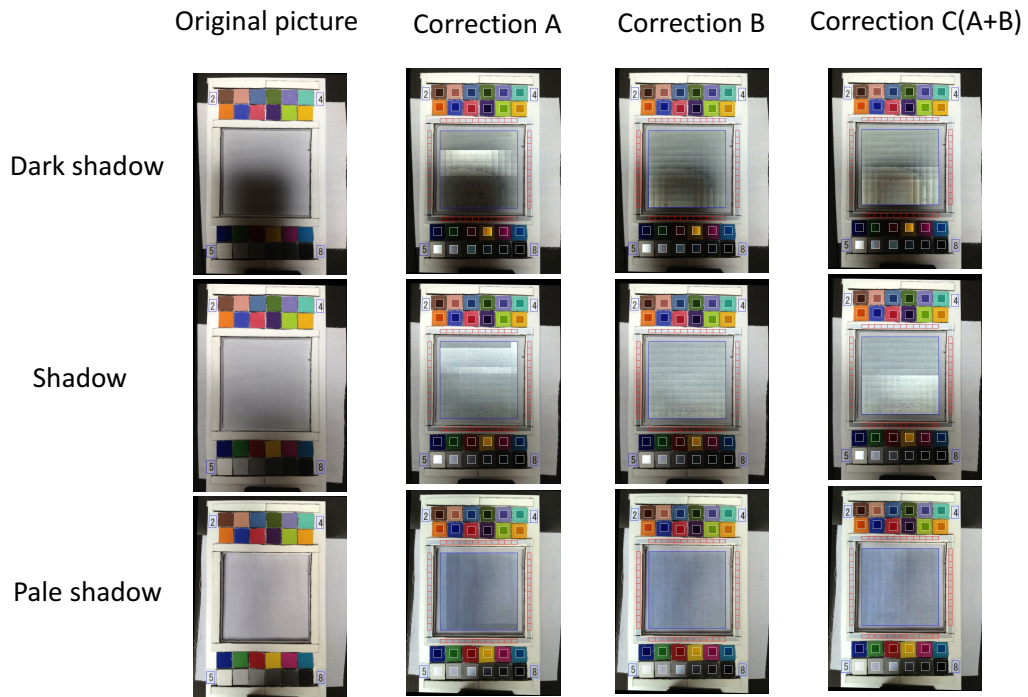


図 5.26 影補正法の比較

B 上段の濃い影（Dark shadow）では暗い部分の影補正が不十分である。濃い影の輝度等高線を調べると、照明光推定が適切になされていることから、線形的な輝度補正式 (5.9) では濃い影を適切に補正できないと考えられる。

C. 影区画+全区画比例推定法

濃い影（Dark shadow）も手法 A, B より多く除去できた。ただし、影のある部分で輝度が高い領域があり、不均一な画像となる。

以上の結果から、B 全区画比例推定法は濃い影（Dark shadow）の除去が不十分であるが、全区画を一様に補正するため不自然な明暗差が生じにくい長所がある。また、普通の影（Shadow）に対して効果的である。環境光利用システムでは、トーチランプを利用して照度不足を補う方法が色再現性の点ですぐれている。従って、濃い影（Dark shadow）は想定する必要がなく、普通の影（Shadow）に有効な B 全区画比例推定法を用いるのが良いと考える。

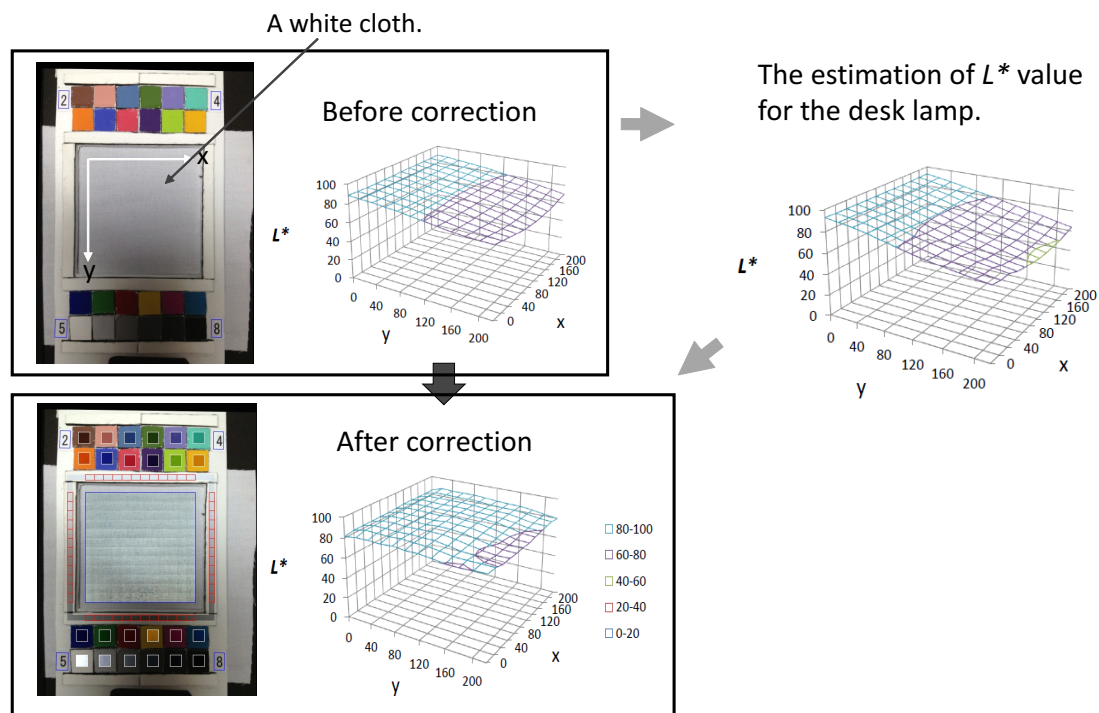


図 5.27 全区画比例推定法による普通の影 (Shadow) の補正

環境光利用システムに、この全区画比例推定法による影補正を実施したとき、PCCS 色票の色差がどのように変化するか実験を行った。表 5.15 にこれまでの色差と比較する形で実験結果を示す。中央の「影補正なし」データは、リファレンスの ColorChecker のみ近傍の標準白色パッチを基準に輝度値補正が施してある。影補正により、PCCS 色票の色差は全体で 1 小さくなり、4.82 となった。色差 5 という目標の範囲内に入り、提案システムとして妥当な数値であると考えられる。これにより試料に対する影補正効果が確かめられた。ただし、環境の光はさまざまであるため、照明環境によってこの色差は変動する。なお、色差実験の照明環境は、何れも暗室内の卓上電気スタンドであり、MK350 による計測値は、「影補正実施」では、相関色温度 4,553 K、照度 1,387 lx であった。

以上、アルゴリズム検証用システムと、スマートフォンでの覆い付きシステム及び環境光利用システムの構築に関して、詳細に述べた。次章において、提案システムの評価について述べ、その結果を検討する。

表 5.15 影補正の効果 - 環境光利用システムの色差比較

トーン	枚数	原型システム		影補正なし		影補正実施	
		PCCS	Checker	PCCS	Checker	PCCS	Checker
vivid	11	5.98	6.48	8.04	4.52	8.53	4.60
deep	5	7.94	6.64	7.87	4.86	7.25	4.64
dark	12	12.37	6.44	12.54	4.72	11.25	4.61
pale	12	3.70	7.17	3.27	5.71	3.96	5.58
light	12	6.25	6.83	3.61	5.47	4.85	5.39
bright	21	7.42	6.92	4.42	5.18	4.11	5.44
soft	12	4.58	7.15	3.66	5.02	3.15	5.17
dull	12	5.24	7.00	5.45	4.85	3.77	4.71
light grayish	12	3.67	6.87	3.06	5.60	4.26	5.59
grayish	12	3.29	6.61	4.36	4.77	2.35	4.52
dark grayish	12	13.06	6.40	12.46	4.71	7.39	4.53
neutral	17	4.89	6.82	3.27	5.06	2.57	5.11
pink	10	10.49	7.26	4.32	5.18	4.29	5.27
brown	7	6.12	6.97	5.32	4.82	3.26	4.68
off neutral	15	3.93	7.23	2.46	5.65	3.55	5.66
all	173	6.42	6.83	5.82	5.10	4.82	5.07

第6章

システムの評価

本章では、構築した提案システムについて評価内容を定義した上で、複数の方法による評価実験結果を述べる。5章では、すでに色差について検討したが、色差も評価内容に含める。被験者実験による評価結果は、覆い付きシステムと環境光利用システムとの比較だけではなく、アルゴリズム検証システムの評価結果と比較することによって、提案システムの特性を明らかにする。また、全盲の人にもシステムを使っていたら、その結果を総合し、最後にシステムの形態について考察する。

6.1 システム評価

システムの評価内容は、1) 色の認識精度を数値で表した客観的指標、2) 色と模様に関する出力の適切性、3) システムのユーザビリティの三つとする。

- 1) については、PCCS 色票の分光測色計による測定値とカメラ画像から導いた測定値との差異を色差という概念で定義して求める。
- 2) については、さまざまな色と模様を含む布の試料について、被験者が肉眼による直接観察結果とシステムによる音声出力結果を比較して、出力の適切性を評価する。
- 3) については、ユーザの記述または聴き取り調査によって評価する。

1) については5章で述べた。本章では、まず、2) の色と模様に関する出力の適切性に関して、提案システムの評価実験結果を述べた上、アルゴリズム検証のための基礎研究との比較を行って検討する。その後、3) のシステムのユーザビリティに関して、全盲の人を含む被験者が評価した結果を、記述または聴き取り方

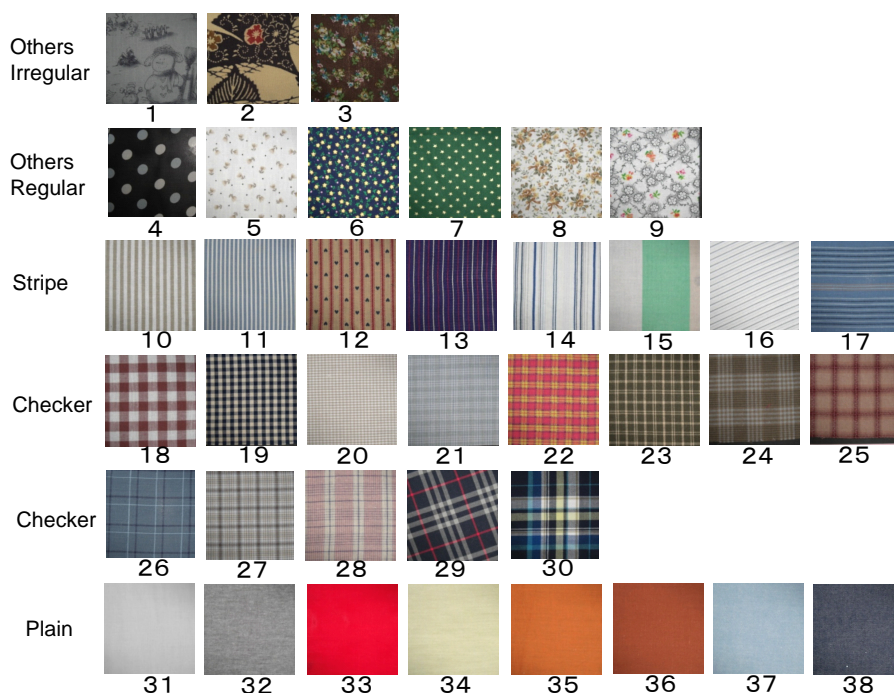


図 6.1 38 点の布地試料

式でまとめ、評価実験全体の結果を考慮して、色と模様の提示システムはどのような形態のものが最適であるかに関して考察する。

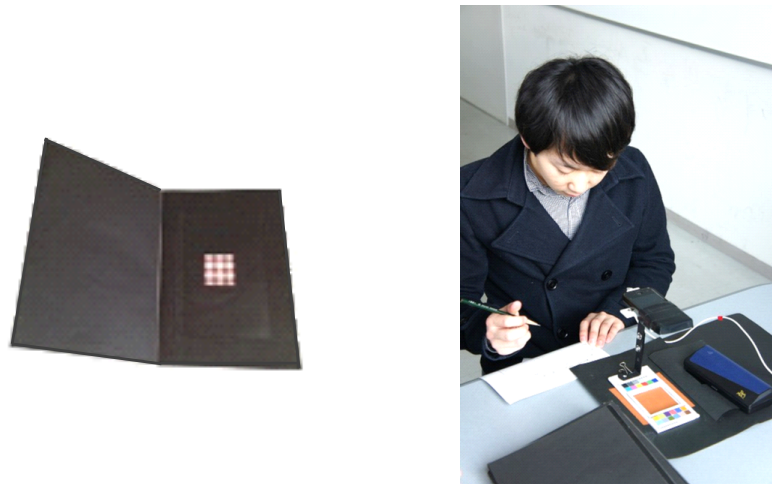
6.2 出力に関する評価実験

スマートフォンシステムを用いて、被験者が布の試料を測定し、出力に関する評価実験を行った結果を述べる。

試料は、図 6.1 に示す 38 点のさまざまな色と模様の布地で、複雑な色と模様の布地が多く含まれている。試料は一辺が 100 mm の正方形で、これを黒画用紙を二つ折りにした内側に貼り付け、さらに、試料の上にシステムの開口部とほぼ同じ大きさの観察窓 (一辺が 50 mm の正方形) を付け、外表紙を開かないと試料が観察できないようにした。実験試料と実験の様子を図 6.2(a), (b) に示す。

6.2.1 覆い付きシステムの評価

システム出力を先に聞くか、試料を先に見るかの違いが、評価結果に影響を及ぼすかどうかを知るために、実験 A と B を実施した。被験者は 14 名 (22 歳から



(a) 実験用の試料

(b) 環境光利用システムの評価実験

図 6.2 実験風景

24歳，男子12名，女子2名）で，実験A（7名），実験B（7名）に分けて，試料を無作為に選んだ順に測定し，システム出力の適切性を評価した．出力例を示すと，「濃い青地に 薄いベージュの チェックです」のように音声で応答する．この出力を，色と模様に分けてその適切性を評価する．

実験の手順は以下のとおりである．実験Aは，先に，スマートフォンを操作して試料を撮影し，システムの音声出力を聞いて色と模様を想像する．その直後，試料を観察して出力の適切性を評価する．実験Bは，先に試料を観察し，その直後，スマートフォンを操作して試料を撮影し，システムの音声出力を聞いて評価する．

評価は「適切」，「やや適切」，「やや不適切」，「不適切」の4段階とした．なお，実験は明るい窓際において試料に直射日光を当てないようにして，自然光（人工的な照明を用いない）によって観察した．また，覆い付きシステムの照明は，自然光を遮断して，スマートフォン付属のトーチランプを用いた．実験の間，照度，相関色温度，分光分布をMK350によって測定し，不適切な照明光とならないよう注意した．測定値の範囲は次のとおりである．

照度 : 2,436 lx ~ 4,436 lx

相関色温度 : 5,874 K ~ 6,085 K

分光分布は短波長から長波長まで， D_{65} 光源に近い形状を示した．被験者の色覚

は、学校用色覚異常検査表 [84] を用いて調べたところ、全員正常であった。

実験 A, B の色認識結果と模様認識結果を、図 6.3 から図 6.6 に示す。4 段階の評価結果を「適切」は 2, 「やや適切」は 1, 「やや不適切」は -1, 「不適切」は -2 で数値化し、被験者の平均値を示した。

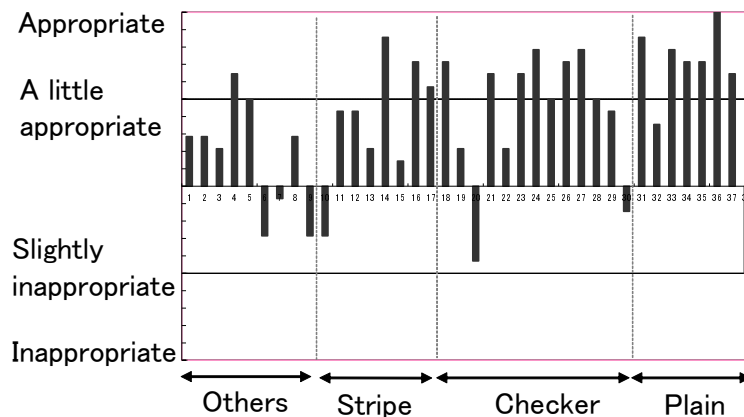


図 6.3 覆い付きシステム/色認識の評価 実験 A

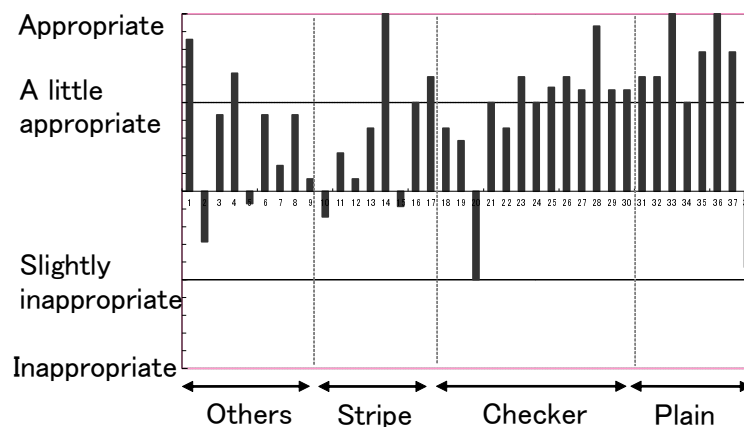


図 6.4 覆い付きシステム/色認識の評価 実験 B

色認識では、単色の「無地」で評価が最も高いが、その中で、評価が低い試料は布地の織りが粗く、織りを模様と認識したためクラスタが統合されず、2 色が出力された。また、色数が多い試料では積事象の確率により、評価が低くなる傾向がある。他に、評価の低い例として、「灰色がかったベージュ」が「薄い緑」、 「濃い青」が「薄い紫」と誤認識された事例があった。色認識空間でクラスタ中

心を PCCS 色票と対応付けるときに、色票の数が限られているため不適切な対応が起こったと考えられる。これは、色の補正をより厳密に行うことで、ある程度改善できると考える。

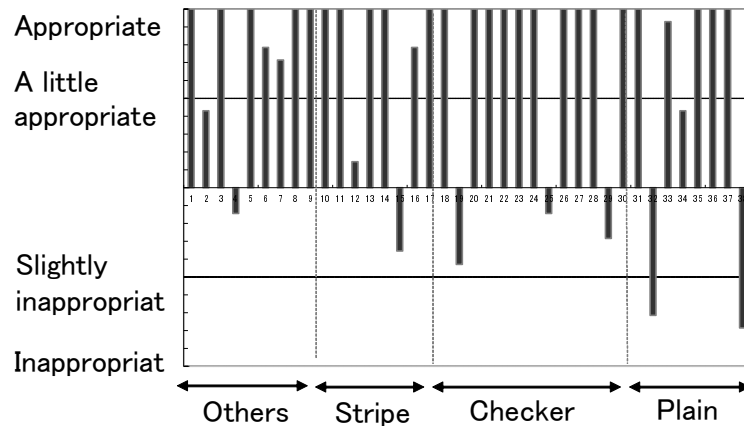


図 6.5 覆い付きシステム/模様認識の評価 実験 A

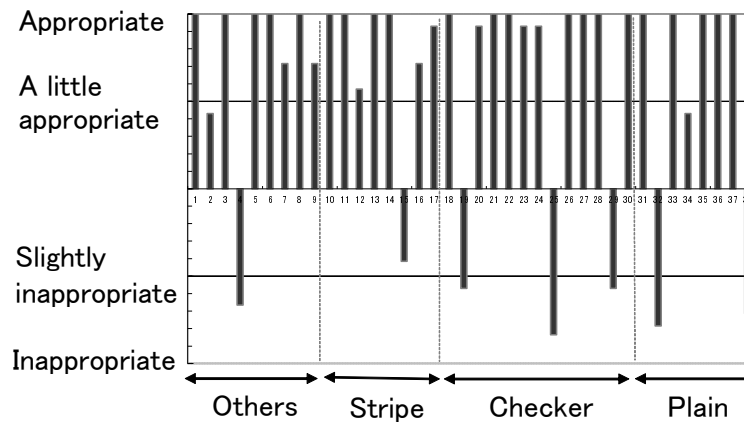


図 6.6 覆い付きシステム/模様認識の評価 実験 B

模様認識では、概ね正しい評価が得られたが、「チェック」ではエッジ検出画像の縞が薄いため、縦横どちらか一方の縞を検出できない事例があった。「その他の模様」では水玉の縁を縞と検出し、「無地」では織りを縞として検出した事例があった。縞を検出する閾値と画像の平滑化の程度はトレードオフの関係となっており、すべての試料で正解を得ることは難しい。

「適切」と「やや適切」を正解とした場合の正解率を表 6.1 に示す。色認識では 63 % から 87 % ，模様認識では 75 % から 89 % の正解率を得た。実験 A と B を比較すると，全試料平均では顕著な相違が見られなかった。

表 6.1 覆い付きシステムの正解率 (%)

	Experiment A		Experiment B	
	color	pattern	color	pattern
stripe	78.6	85.6	67.9	89.4
checker	76.8	84.7	78.0	79.1
plain	80.4	74.9	87.6	74.9
others	63.4	87.3	70.0	84.1
average	74.8	83.4	76.0	81.6

6.2.2 環境光利用システムの評価

「環境光」は，太陽光が及ぼす自然の光と人工的な照明光の両方を意味する用語として用いる。環境光利用システムの評価では，影補正の効果を確認することも目的の一つとして，影補正がある場合とない場合の 2 種類で実験を行った。覆い付きシステムの場合の実験 A と B の 2 種類は，評価に顕著な差異が予想されないため実施しなかった。

評価は試料を無作為に選んだ順に行った。被験者は 11 名（22 歳から 24 歳の男子）で，一つの試料について「影補正あり」と「影補正なし」の両方をシステム出力し，その適切性を色と模様に分けて評価した。

実験の手順は以下のとおりである。まず，試料を観察する。その直後，スマートフォンを操作して試料を撮影し，システムの音声出力を聞いて評価する。試料は再度見てよい。実験 C 「影補正あり」と，実験 D 「影補正なし」の出力は被験者にはどちらのプログラムを実施しているかわからないように行った。

評価は覆い付きシステムと同様，「適切」，「やや適切」，「やや不適切」，「不適切」の 4 段階である。実験は明るい窓際において，試料に直射日光を当てないようにして自然光によって観察した。実験の間，照度，相関色温度，分光分布を測定し，不適切な照明光とならないように注意した。環境光利用システムでは，環境光の

光量不足を補うためにスマートフォン付属のトーチランプを用いた。試料測定面における、トーチランプ+自然光（人工的な照明を用いない）のMK350による測定結果は、

照度 : 1,260 lx ~ 3,382 lx

相関色温度 : 5,762 K ~ 5,885 K

であった。試料を肉眼で観察するときは自然光のみである。自然光の測定結果は、

照度 : 1,243 lx ~ 2,997 lx

相関色温度 : 5,885 K ~ 6,017 K

であった。被験者の色覚は全員正常であった。

実験 C, D の色認識結果と模様認識結果を、図 6.7 から図 6.10 に示す。4 段階の評価結果を数値化し、被験者の平均値を示した。

色認識で評価が低い試料は、明度の低い暗い色で、「茶色地」や「暗い緑地」が「黒地」などと誤認識された。これは 5.3 節で述べたように、環境光利用システムの特長として、暗い色がさらに暗く補正される傾向があり、無彩色に関しては式 (5.6) の二次関数補正により明度を修正したが、これらの色は式 (5.7) の条件を満たさず、明度補正が実行されなかったため、システムが誤認識した。

模様認識では概ね正しい評価が得られたが、覆い付きシステムと同様に、「チェック」ではエッジ検出画像の縞が薄いため、縦横どちらか一方の縞を検出できない事例があった。「無地」では織りを縞として検出した事例があった。

「適切」と「やや適切」を正解とした場合の正解率を表 6.2 に示す。色認識では 70 % から 92 % , 模様認識では 76 % から 93 % の正解率を得た。全体平均

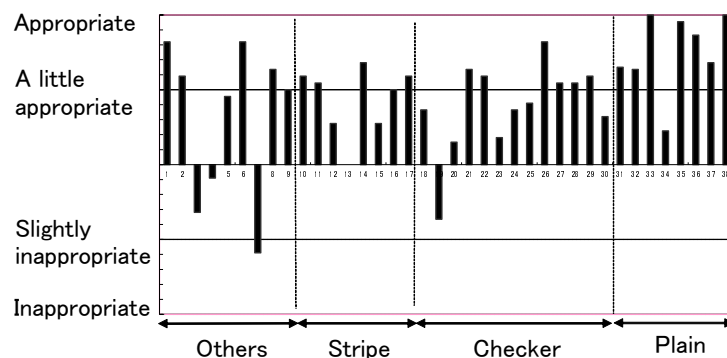


図 6.7 環境光利用システム/色認識の評価 実験 C 「影補正あり」

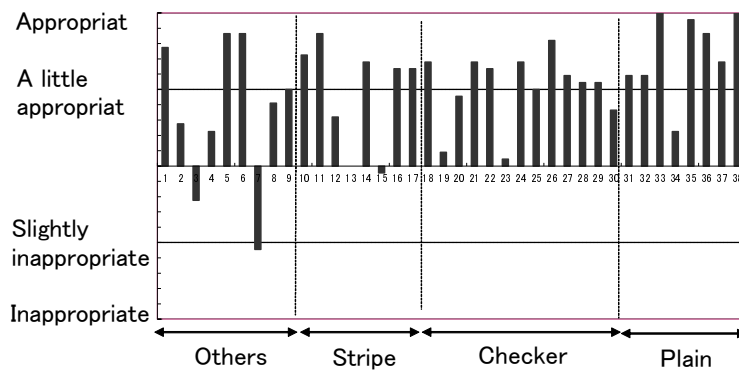


図 6.8 環境光利用システム/色認識の評価 実験 D「影補正なし」

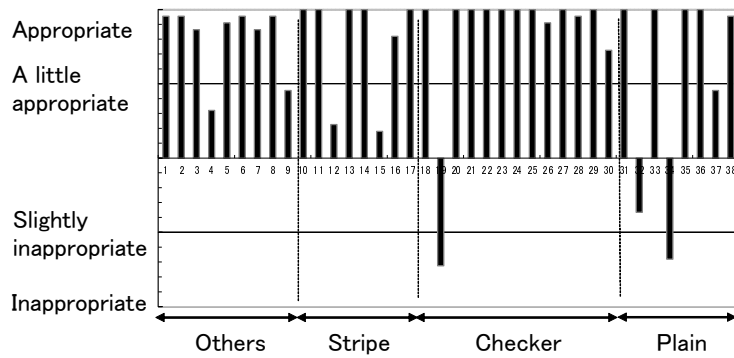


図 6.9 環境光利用システム/模様認識の評価 実験 C「影補正あり」

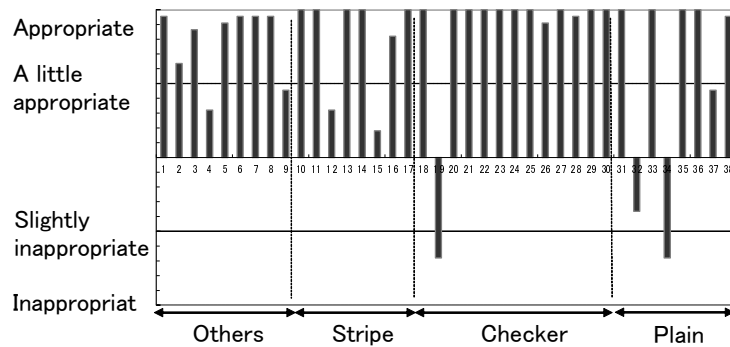


図 6.10 環境光利用システム/模様認識の評価 実験 D「影補正なし」

表 6.2 環境光利用システムの正解率 (%)

	Experiment C		Experiment D	
	color	pattern	color	pattern
stripe	76.3	91.0	79.6	92.1
checker	75.7	91.6	86.8	93.0
plain	92.1	76.1	91.0	76.1
others	70.7	91.0	73.8	90.0
average	78.1	88.1	83.1	88.6

で、覆い付きシステムより4%から7%正解率が向上した。環境光利用システムは、環境の光を利用して色と模様を認識するために、認識結果に不安定性が存在する。照明光の照度不足に対してはトーチランプを併用することで問題を解決し、リファレンス（参照用色票）と試料に生じるスマートフォンの影は、その補正方法を考案し、影補正を実施した。これらのさまざまな工夫によって色の認識精度が向上した。

ところが、実験Cの「影補正あり」と実験Dの「影補正なし」の正解率を比較すると、色認識では期待した結果が得られず、模様認識では差異が生じなかった。実験環境は南側と西側に大きな窓があり、影が生じにくい照明環境であったのではないかと考え、開口部周囲の標準白色板の輝度値測定データを調べた。ある試料測定時のデータを表6.3に示す。このデータは、図5.24の12×4区画の L^* 値である。48件のデータの平均値は94.3、最大値96.3、最小値92.8であり、影ができていなかったことがわかった。

そのため、影ができる場合はこれらの数値がどの程度の値になっているか、図5.27の普通の影（Shadow）の画像で調べた。表6.4に輝度値測定データを示す。これら48件のデータの平均値は77.1、最大値95.6、最小値43.2であった。明確な影ができる場合は、標準白色板データの値に大きな偏差があることがわかった。なお、表5.15で「影補正なし」、「影補正あり」の実験を行い、色差を比較したときの画像では、平均値約92、最大値約96、最小値約88であった。この場合、影補正の効果を確かめることができた。

図6.1の38点の試料の環境光利用システム（影補正あり）出力例を巻末の表A.1から表A.4にまとめる。

表 6.3 評価実験時の標準白色板の明度 L^* の例

i, j	$L1_i$	$L2_i$	$L3_j$	$L4_j$
1	95.1	95.3	94.1	95.1
2	95.2	94.9	94.8	95.3
3	95.0	95.1	94.9	95.1
4	95.0	94.3	95.2	95.0
5	94.7	94.2	94.8	94.4
6	95.2	94.1	94.3	94.5
7	95.9	94.1	93.7	94.3
8	96.3	93.7	93.0	94.0
9	95.5	93.9	93.5	93.8
10	94.8	93.4	93.4	93.2
11	94.2	92.9	93.2	93.4
12	93.0	92.8	93.6	93.0

表 6.4 普通の影撮影時の標準白色板の明度 L^*

i, j	$L1_i$	$L2_i$	$L3_j$	$L4_j$
1	94.9	63.7	92.4	92.8
2	94.9	59.9	92.0	91.8
3	94.9	56.5	90.5	90.4
4	95.2	51.9	88.2	88.6
5	95.2	48.1	84.2	86.1
6	95.2	45.2	80.0	84.4
7	95.5	43.5	76.7	82.1
8	95.4	43.2	73.8	79.5
9	95.3	45.1	72.3	76.7
10	95.2	47.1	70.8	74.1
11	95.6	51.1	69.7	71.0
12	95.4	56.1	69.6	68.4

6.3 システムの出力評価比較

これまでに作成した色と模様提示システムの概要を表 6.5 にまとめる。この表を参照しながら以下、考察を行う。評価実験では、何れも図 6.1 の共通の試料を用いたため、被験者も環境も異なるが、認識精度を比較できると考える。

- 実験 A は、先にシステム音声出力を聞いて、その直後に布の試料を観察して評価した。
- 実験 B は、先に布の試料を観察し、その直後にシステム音声出力を聞いて評価した。

表 6.5 色と模様提示システムの概要

システム	照明光 ハードウェア	色の補正 色の表現
アルゴリズム検証 オフラインカメラシステム	カメラのフラッシュ光 デジタルカメラ パソコン, 覆い	PCCS11 トーン カテゴリカルカラー 11 色
アルゴリズム検証 オンラインカメラシステム	リングライト USB カメラ, パソコン	$L^*a^*b^*$ 色空間補正式 PCCS 7 統合トーン カテゴリカルカラー 11 色 + ページュ
スマートフォン 覆い付きシステム	トーチランプ スマートフォン, 覆い	$L^*a^*b^*$ 色空間補正式 PCCS 7 統合トーン カテゴリカルカラー 11 色 + ページュ
スマートフォン 環境光原型システム	環境光 スマートフォン システム台 (リファレンス)	$L^*a^*b^*$ 色空間補正式 PCCS 7 統合トーン カテゴリカルカラー 11 色 + ページュ
スマートフォン 環境光利用システム	環境光+トーチランプ スマートフォン システム台 (リファレンス)	$L^*a^*b^*$ 色空間補正式 PCCS 7 統合トーン カテゴリカルカラー 11 色 + ページュ 影補正
備考	<ul style="list-style-type: none"> * トーン数は有彩色トーンの数 * 模様の表現はすべて縦縞, 横縞, チェック, 無地, 模様 (その他の模様) 	

表 6.6 色と模様提示システムの正解率比較

システム	Experiment A		Experiment B	
	color	pattern	color	pattern
アルゴリズム検証 オフラインカメラシステム	61.5	96.0	65.0	91.3
アルゴリズム検証 オンラインカメラシステム	73.9	90.9	78.4	94.4
スマートフォン 覆い付きシステム	74.8	83.4	76.0	81.6
スマートフォン 環境光利用システム	Experiment C		Experiment D	
	78.1	88.1	83.1	88.6

- 実験 C は、「影補正あり」の出力結果を評価した。
- 実験 D は、「影補正なし」の出力結果を評価した。

なお、実験 C、D は A、B と直接の関連性はない。何れも、38 点の評価の正解率の平均値を示した。なお、スマートフォン環境光原型システムでは、表 5.14 の色差測定のみを行い、布の試料の評価実験は実施していない。

色認識の面で見ると、表 6.6 の下段へ行くほど概ね正解率が向上している。色の補正方法に関するソフトウェア面の工夫と、照明を含むハードウェア面での改善が効果をもたらしたと考える。模様認識では、アルゴリズム検証のほうが正解率が高いが、評価の手法が異なるので、実質的にはスマートフォン利用が正解率は高いと言える。なぜなら、これらの正解率において、アルゴリズム検証はより良い出力内容となるようにパラメータを調整した上で得られた出力を音声保存し、それを再生して評価したが、スマートフォンによるシステムでは、スマートフォンを被験者が操作し、試料を実際に測定し、評価した。従って、100 mm 四方の布試料のどの部分を測定するか、どの角度で測定するかによって出力結果は変化する。出力内容が同じである場合でも、情報処理の過程では数値データはすべて異なる。つまり、実際的な使用環境での評価を行った。

覆い付きシステムと環境光利用システムを比較した場合、覆い付きシステムは照明光が一定であるのに対して、環境光利用システムは自然光を利用しているため、時刻によって照明光の内容が変わる。それでもなお正解率が向上したのは、

標準白色パッチの利用によって時間的、空間的に変化する環境光を補正し、これを効果的に利用できたからである。一方、PCCS色票の平均色差比較では、覆い付きシステムが2.99に対して、環境光利用システムでは4.82（卓上電気スタンド）であった。環境光利用システムのほうが色の補正精度が低い結果となったが、照明環境によって色差は変動するため、一概には精度を比較することはできない。室内の自然光（間接的な太陽光）＋トーチランプの組み合わせが、照明条件として良い結果をもたらしたと考えることができる。また、試料とカメラとの距離及び開口部面積が増加したことも正しい色認識につながったと考えられる。

なお、環境光利用システムの実験C「影補正あり」と実験D「影補正なし」の結果、実験時に影が生じていなかったため、影補正の効果を確かめることはできなかった。しかし、表5.15で色差比較によって、影補正の効果を確かめることができた。

6.4 環境光利用システムの記述評価

環境光利用システムの評価実験時に、色の表現、模様の表現、ユーザビリティ（操作性）について記述評価を得た。これを表6.7、表6.8にまとめる。

表6.7の表現に関する記述式評価は、「わかりやすい」、「まあわかりやすい」、「ややわかりにくい」、「わかりにくい」の四つから選択し、その理由を書いてもらった。

表 6.7 環境光利用システム記述評価

	色の表現	模様の表現
わかりやすい	1	4
まあわかりやすい	6	7
ややわかりにくい	4	0
わかりにくい	0	0

色の表現について、理解が難しい点として

- ・ 修飾語（トーン）がイメージしにくいものがあった。
- ・ 修飾語の「こい」と「くらい」の違い、「くすんだ」がわかりにくい。

模様表現について、理解が容易な点として

- ・ 単純でわかりやすい。
- ・ 分類が少ないのでわかりやすい。
- ・ 斜めの縞を認識できた。

模様表現について、要望として

- ・ 「その他の模様」を細分化してほしい。
- ・ 「模様」という表現がわかりにくい。
- ・ 縞の間隔を知りたい。

などがあった。この結果から、色の表現については、さらにトーンを理解しやすくする必要があったと感じた。模様表現については、もう少し模様の属性を詳しく出力できるようにしたいと考えた。

表6.8のユーザビリティについての問いは、目が見える状態での操作性について答えてもらった。概ね操作性が良いとの結果となったが、

- ・ ボタン音を工夫する。
- ・ ボタン操作回数を減らすべきだ。

などの意見があった。全盲の人が実際に使用してどう評価されるかは、別途実験を行った。

表 6.8 環境光利用システム ユーザビリティの評価

	件数	主な記述内容
使いやすい	6	目が見える人が使う分にはよい。 シンプルでよい。
まあ使いやすい	4	ボタンを押したことがわかるように。 ボタンを押す回数を減らす。
やや使いにくい	0	
使いにくい	0	

6.5 全盲の人による使用評価

オンラインカメラシステム

アルゴリズム検証実験の段階で、システムを目指す方向を確認するために、視覚障がい者団体の方々に御協力をいただいてオンラインカメラシステムの評価を

行ってもらった。被験者は重度の視覚障がいのある方6名（50歳から59歳，男子3名，女子3名）で，内訳は全盲3名，強度弱視3名である。全盲の方のうち1名は先天的失明，2名は子供時代に失明されている。

まず，オンラインカメラシステムの入力部（図5.3）を手で触り，形状を確かめていただきながら各部を説明した。その後，身に付けておられる衣服やハンカチ，マフラーなどをシステムで測定していただき，思っていた色と同じ色だったか，思っていた模様と同じ模様だったかをお聞きした。なお，システムの出力が不適切である場合は，付き添い者3名が修正した。その後，全体で感想を自由にお話していただいた。

（被験者の感想）

- ・ 思っていた色と，概ね同じであったことが確かめられて良かった（全員）。
- ・ セータに縞があることを知らなかった（女性）。
- ・ 模様の分類では，花柄，水玉，菱形などの形を知りたい（女性）。
- ・ 無地の生地でしみや汚れの位置を知りたい（女性）。
- ・ 洋服の上下の色のコーディネートを教えてほしい（男性）。
- ・ 価格が安く，携帯できるものを望む（男性）。
- ・ システムの入力部が意外と軽かった（男性）。
- ・ システムをスマートフォンで使えるようになればよい（男性）。

この実験を通して，自ら衣類は見えなくとも，身に付けるものの色や模様を知りたいという要望が大変強く，こうしたシステムへの期待感が大きいことが実感としてわかった。先天的失明の方は，生まれてから一度も色を見たことがない人である。しかし，色の概念を言葉で表現することによって理解し，その色の表す特性を感受されているように見受けられる。色への興味が大変強く，熱心にシステムを使って色を調べられていた。

重度の視覚障がいのある方々にとって，スマートフォンやタブレットは障がいを克服するための道具でもある。人によっては積極的に使用されている。

スマートフォンシステム

覆い付きシステム及び環境光利用システムに関する全盲の人の使用評価を述べる。被験者は年齢58歳の男性。10年前から目の病気で徐々に視力が落ちて、1年前に急激に悪くなり、今ではほとんど見えないということである。ネクタイやシャツなど普段使っておられる衣類をシステムで測定してもらった。色柄を覚えておられるので、出力内容については正解不正解の判断が少しできる。

実験により、システム出力結果について同意される場合と、細かな部分の色について思い違いをしていて、記憶を修正される場合があった。また、あるネクタイに関しては、出力できていない縞の色を指摘されることもあった。記憶は時間と共に変質することから、確認の意味でシステムを使用するという方法が想定される。衣類はタンスの中に場所を決めて家族の人が置いておられ、手触りで識別されているとのことであるが、衣類を取り違える場合も皆無ではないという。

システムのユーザビリティに関して、使用されている様子を観察した結果、システムを起動するためのアイコン、カメラモードに遷移するためのボタン、シャッターボタン等、指でタップする（押す）位置を調べるのが困難のようである。タップ位置はiPhoneのVoiceOver機能を利用して探してもらう。この機能は画面上のタップしたアイコンやボタンの名称、テキスト等を音声で読み上げてくれる。指で画面上を触って探していけば目的の位置に指を置くことができる。Kさんは携帯電話は使っておられるが、スマートフォンは初めて操作されたようで、基本的なタップ操作が難しかったようである。次に、アイコンやボタンを押してアプリやプログラムを実行状態にするためには、VoiceOver機能が有効な場合はダブルタップ（素早く2回指でタップ）しなければならない。特にこのダブルタップが難しいようである。VoiceOver機能を利用するためには、事前の習熟が必要であり、慣れれば容易に使えるものと考える。

システムの色と模様の音声出力に関しては、アナウンスの理解が容易であるという感想であった。利用した“iSpeech”はwebベースの音声合成であるため、数秒間は出力を待たないといけない。有料の音声合成ソフトウェアの中には、webベースではなく、ただちに音声出力できるシステムもある。

色と模様の表現に関しても意見をお聞きした。色の表現に関しては事前に丁寧な説明をしたので、特に問題はないようである。模様の表現に関しては、「その他の模様」をもう少し分割できないかという要望があった。例として、同じ模様の繰り返しで規則的な模様であるか、繰り返さない不規則な模様であるか。大きい

水玉, 小さい水玉など. また, 縞模様で縞の間隔が広いか狭いか, 縞が斜めかどうかなども認識したいとのことであった.

システム全体の機能としては次の要望が出された.

- ・衣服の狭いある特定部分だけの認識ではなく, 衣服の襟から胸元など衣服の主要な範囲をカバーして, 襟, 胸ポケットなどの特徴に関して認識ができれば, 衣服全体のイメージがよくわかり, 衣服の取り違いは起こらない.
- ・服の色そのものではなく, 衣服全体として暖色系か寒色系かなど, 大雑把な印象を教えてくれると良い.
- ・衣服にキラキラ光るラメがある場合, それを検出したい.

衣服の主要な部分を検出するには, スマートフォンと衣服の間に一定の距離を保つ必要がある. これを可能とするには, 覆いの使用は不可で, リファレンスはスマートフォンから分離するか, 使用しない状態で色を認識することが要求される. 全盲の人が衣類の色を調べるのに, システムの覆いなどを衣類に当てて固定して測定することは必ずしも必要ではないという示唆を受けた.

6.6 システムの形態

本研究では, アルゴリズム検証用のシステムとして, オフラインカメラシステムとオンラインカメラシステムを構築し, スマートフォンを利用したシステムとして, 覆い付きシステムと環境光利用システムを構築した. カメラを用いて試料を撮影するため, 図 6.11 に示す, 開口部 (正方形) の辺の長さ ψ とカメラ・試料間の距離 ω が認識結果に重大な影響を与える. 衣類の色と模様を正しく認識するためには, ψ と ω の値を適切に設定しなければならない.

色と模様を認識するためには, ある程度広い面積の画像が必要である. これらのシステムにおいて, 開口部の大きさ ψ によって決まる撮影範囲 (計測に使用した範囲) を比較すると下記のようなになる.

オフラインカメラシステム	: 74 mm × 74 mm
オンラインカメラシステム	: 40 mm × 40 mm
覆い付きシステム	: 40 mm × 40 mm
環境光利用システム	: 50 mm × 50 mm

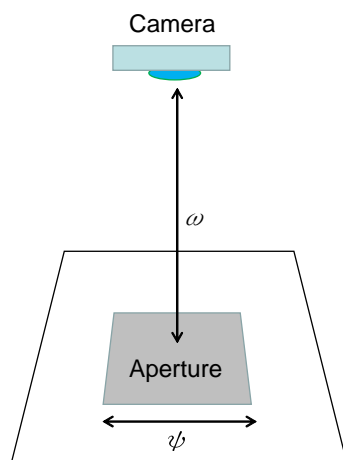


図 6.11 開口部面積と撮影距離

覆い付きシステムの模様認識精度が、表 6.6 で他のシステムと比較して低くなった理由の一つに、撮影範囲が狭いことが挙げられる。試料のどの部分を測定するかによって模様認識結果が変わることがある。また、衣類の縞の間隔が広い場合、縞と縞の間を測定すると縞を検出できないことも予想される。色認識においても、衣類のどの部分を測定するかという測定範囲の問題がある。ある程度広い測定範囲を確保するには、覆いを大きくしなければならない。しかし、覆いを大きくすることは装置の小型化や携帯化と矛盾する。次に、カメラと試料表面の間の距離 ω を比較すると下記のようなになる。

オフラインカメラシステム	: 220 mm
オンラインカメラシステム	: 120 mm
覆い付きシステム	: 70 mm
環境光利用システム	: 132 mm

覆い付きシステムは、カメラと試料表面までの距離がこの中では最も近いため、今回の実験試料には含まれていない反射性の強い素材でできた衣類は、白っぽく認識されることがある。覆い付きシステムは、環境光利用システムより色差が小さく、高い精度で色を補正できるが、覆いの大きさが原因となって色と模様の誤認識が原理上避けられない面がある。この欠点を解決するために環境光原型システムを構築した。覆いを必要とせず、人が色を認識するのと同じ環境の光を利用して自然な色認識の実現を目指す。

環境光原型システムは、色差比較を表 5.14 に示したように色の補正精度が劣っ

ていたため、標準白色パッチを導入し影補正を実施した結果、色差は改善された。また、色と模様の評価において正解率が表 6.6 のように向上した。環境光利用システムに必要なリファレンスとスマートフォンを載せる支柱台を、分解または折り畳み可能なものとするのは、製品化段階で可能となるであろう。従って、環境光利用システムはシステムの形態として望ましいと考える。ただし、システムの機能を拡張して、6.5 節で述べた衣服の主要な範囲を測定するためには、スマートフォンとリファレンスを分離する必要がある。あるいは、リファレンスなしで正しい色認識が可能となれば、スマートフォンのみで衣服を調べることができる。

本研究が発展的に目指す方向は、視覚障がい者だけではなく、視覚健常者も含めた人々に、コンピュータを用いて衣類のカラーコーディネートを実現することである。そのためには、衣服やアクセサリの色情報を巨視的に把握する必要がある。その前提として、環境光利用システムのリファレンスを切り離すか、リファレンスを用いない形態が不可欠である。その実現のためには、今後の発展的な研究が必要である。

第7章

結論

本研究では、視覚障がい者、特に全盲の人の自立生活と社会参加を支援するために、衣類の色と模様を同時に提示できるシステムを開発した。視覚障がい者にとっては、「色は見えなくとも他者からどのように見られているか心配」であり、外出時の衣服の選択が問題である。「コンピュータで見る」というコンピュータビジョン (Computer vision) に興味があった私は、視覚に障がいのある人々に役立つ研究をしたいと思うようになり、「視覚障がい者のための衣類の色と模様提示システム」をテーマとして取り組むようになった。

既存の装置は衣類の色と模様を把握するための作業負荷が大きく、全盲の人の使用が困難である。そのため、カメラを利用して平面の色情報を一括して入力でき、衣類の色と模様を簡潔な表現で音声出力できるシステムを考えることにした。まず、正しい色認識、模様認識の手法を考案し、そのアルゴリズム検証のためにオフラインカメラシステム、オンラインカメラシステムを構築した。衣類の色と模様を調べるためのシステムが備えるべき要件は、

- 1). 全盲のユーザが衣類の色と模様を調べるときに、作業負荷をなるべく小さいものとする。
- 2). システムによる色と模様の認識結果の提示は音声を利用する。
- 3). システムによる出力表現は簡単に理解できる表現とする。
- 4). システムは、特別な装置を使用せず、スマートフォンを用いて手軽に利用できるようにする。
- 5). 正しく色を認識できるようにする。

であると定義した。

衣類の色の把握法として、ユーザ自身が色名提示装置を移動させることで、点の情報を平面に拡張して色を想像する手法よりも、カメラを用いて平面画像を一

括処理し、大域的な情報を音声によって伝達する手法が利便性の面で優れている。また、全盲の人に色を伝える場合、詳細な情報を盛り込むと、色を想像することが困難となるため、なるべく、簡潔な色表現のもとに情報を集約し、伝達する手法を採用した。色の表現はPCCS表色系とカテゴリカルカラーを用いた。PCCSトーンは12あるが、7トーンに統合した。基本色名はカテゴリカルカラー11色にベージュを加えた12色を用いた。トーンを修飾語として用い、色の表現は「トーン+基本色名」を原則とした。衣類の主要な色の把握を可能とするために、色数は最大で4として画像のクラスタリングを行い、クラスタ毎に色認識を行った。模様は衣類に頻繁に見られる「縦縞」、「横縞」、「チェック」、「無地」、「その他の模様」とし、五つのカテゴリに絞った。模様認識は、画像の平滑化とエッジ検出を基礎とし、輝度値の分布を水平方向、垂直方向に調べて、閾値を設定することで可能とする独自の手法を考案した。

スマートフォンを用いた「色を調べるアプリ」は複数公開されているが、これらは色弱者など視力のある人を対象としたアプリで、照明条件を考慮した正しい色認識を行うことができない。提案システムでは、正しい色認識を行うために、2通りの方法を採用した。外部の光を遮断するための覆いを用い、スマートフォンの照明光を用いる「覆い付きシステム」と、照明として環境光を利用し、ColorChecker24色を色補正の基準にリファレンス（参照用色票）として用いる「環境光利用システム」である。何れも、 $L^*a^*b^*$ 色空間にPCCS色票データを射影し、試料画像に対応する各クラスタ中心を色票に対応付けて色を認識する。色の補正として、重回帰分析を用いた色空間補正式を導入した。

色の補正の精度を $L^*a^*b^*$ 色空間におけるPCCS色票の色差平均値で比較した場合、図7.1に示すように、覆い付きシステムで2.99、環境光利用原型システムで当初6.42（照明：卓上電気スタンド）であったため、原因を調べたところ、スマートフォンの影がリファレンスや試料に映っていることがわかった。そのために、環境光利用システムの影を補正する手法を3通り考案し、その効果を確かめた。

- A. 影区画推定法
- B. 全区画比例推定法
- C. 影区画+全区画比例推定法

この3通りの手法により影補正を実施し、画像を比較したところ、Bが最も適切に影を補正できることが明らかとなった。Bは試料を影区画と明区画（影でない区画）に分割しないで、全区画について標準白色パッチ対応区画の輝度を基準に

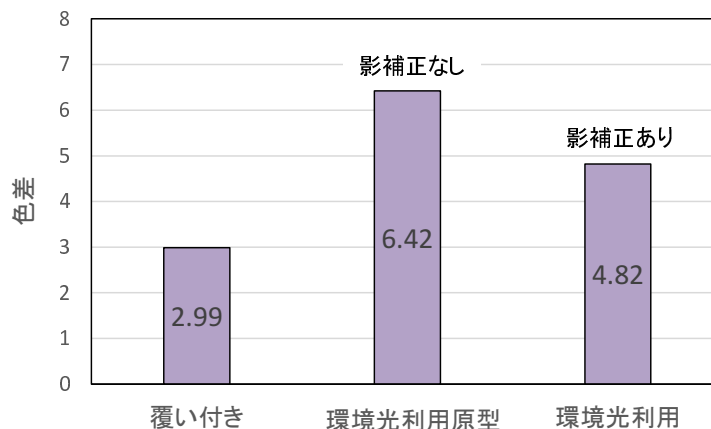


図 7.1 色差まとめ

パッチから試料区画までの距離に応じて比例的に照明光を推定した。ただし、濃い影の補正は線形的な方法では適切に補正できず、普通の影（やや薄い影）は適切に補正できることがわかった。環境光の光量不足に対応するために、撮影ではトーチランプを点灯することにしたので、Bの方法で問題ないことが確かめられた。これにより、環境光利用システムの色差は4.82（照明：卓上電気スタンド）まで低減した。

覆い付きシステム、環境光利用システムで38点のさまざまな色と模様の布試料を測定する評価実験を行ってシステムの有効性を確かめた。評価実験の結果、システム出力の正解率は、色認識に関しては、図7.2に示すように、オフラインカメラシステム65.0%，オンラインカメラシステム78.4%，覆い付きシステム76.0%，環境光利用システム色83.1%となった。模様認識に関しては、図7.3に示すように、オフラインカメラシステム91.3%，オンラインカメラシステム94.4%，覆い付きシステム81.6%，環境光利用システム色88.6%となった。（ただし、正解率は実験Bまたは実験Dの結果を示す）

オフラインカメラシステムとオンラインカメラシステムの評価実験は、あらかじめ試料の出力結果を記録した音声ファイルを用いた。つまり、出力結果は、システムのパラメータが出力に良い結果を与えるように調整済みである。これに対して、スマートフォンを用いた覆い付きシステムと環境光利用システムは、被験者自身がスマートフォンを操作して評価を行ったので、試料のどの部分をどの方向に測定するかが異なり、また、環境の光が変化するため、処理過程におけるデータ数値はすべて異なる。従って、同じ試料でも出力内容は異なることが多い。こ

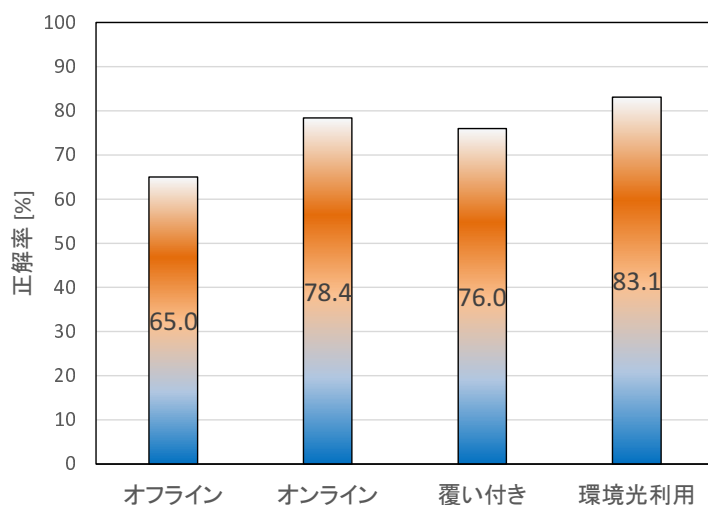


図 7.2 色出力の適切性 正解率まとめ

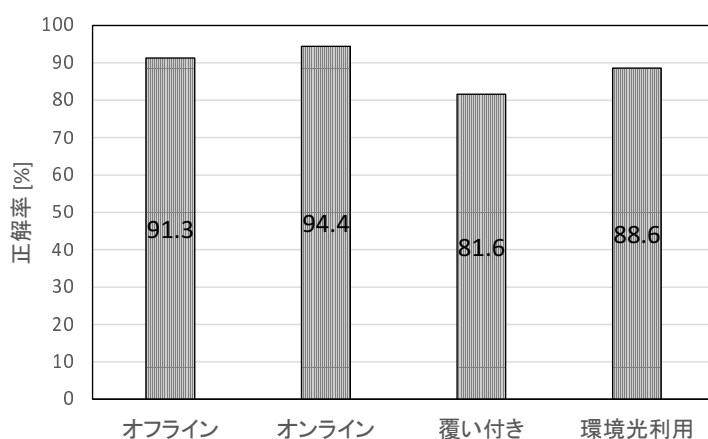


図 7.3 模様出力の適切性 正解率まとめ

の前提条件の違いを考慮すると、スマートフォンを利用したシステムが、高い正解率を達成したことがわかる。同時にシステムの有効性を確かめることができた結論できる。

ユーザビリティに関しても概ね良好な記述評価を得たが、色の表現、模様の表現についてはさらなる研究が期待される。全盲の人の使用評価により、提案システムへの期待が非常に高いことがわかり、システムの発展性についても多くの示唆をいただくことができた。

本研究で提案したシステムは、図 7.4 に示すように、人の視覚能力を目標に開

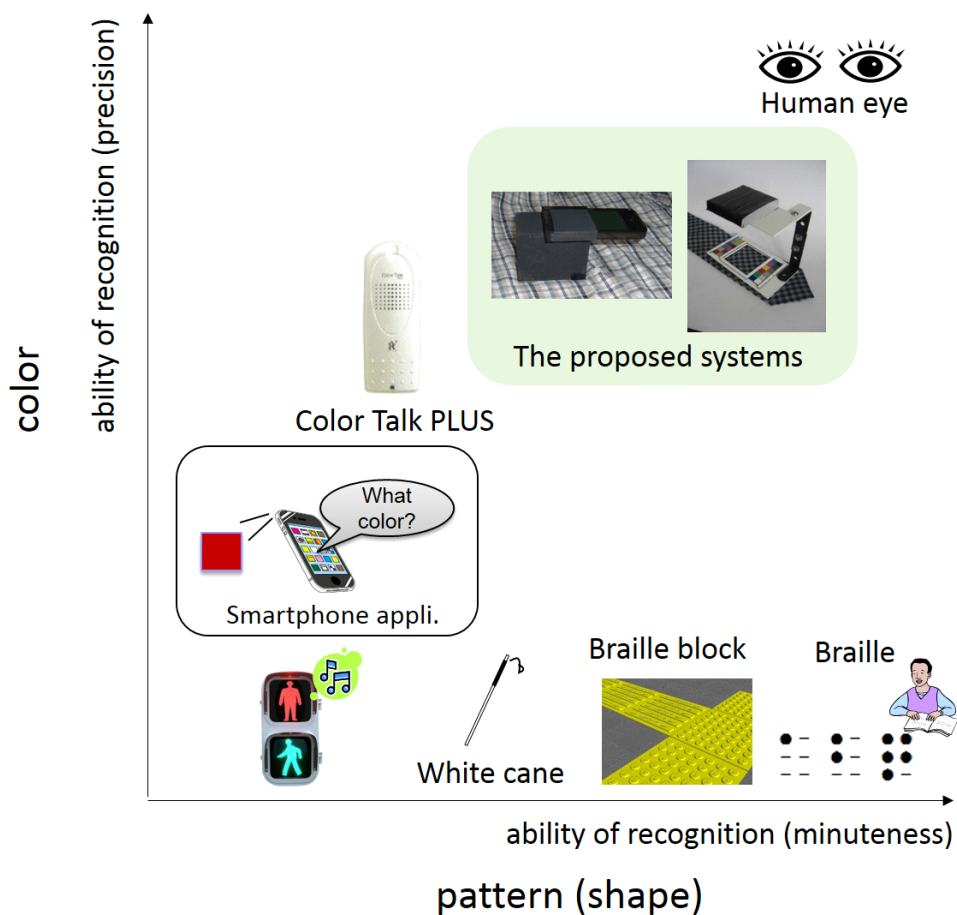


図 7.4 視覚情報（色と模様）の認識能力

発したもので、色認識，模様認識共に既存の装置にない，有用なシステムである。このシステムを発展させ，人の衣類の色情報を巨視的に把握し，色彩調和の原理に基づくカラーコーディネートを実現することが期待される。PCCS表色系は，元来，色彩調和を目的とする表色系であり，カラーコーディネートの教育に使用されている。従って，スマートフォンで衣類全体の正しい色認識が実現できれば，カラーコーディネートを代行することは可能である。

身に付ける衣類は，人間の文化的存在における根源的な要素である。服飾（ファッション）は，人間生活において無形の価値を創造する。視覚障がい者が服飾選択システムを得ることにより，自己の表現を可能とし，社会における活動を伸展させることができる。さらには，視覚障がい者が健常者の能力を超えたカラーコーディネートを可能とする技術も期待される。電子技術を用いた衣類選択のための色情報処理システムの発展が，豊かな社会実現の一助となることを願って止まない。

第7章 結論

人間の視覚に代ってコンピュータで正しく物を見るという技術は、際限のない研究が必要であり、多くの課題の解決が期待される中、本研究が視覚に障がいを持った人々への精神的な支援として役立つことを期待して、結語とする。

謝 辞

本研究は、大阪大学大学院基礎工学研究科 大城 理 教授に、深い御理解をいただき、御指導をいただいて進めてまいりました。大城 教授に厚く御礼を申し上げます。社会人学生という立場に、種々御配慮をいただきましたことにも合わせて感謝申し上げます。短い在籍期間でしたが、種々研究発表の場をお与えいただき、後押しをいただきました。本当にありがとうございました。

千葉大学大学院融合科学研究科 眞鍋 佳嗣 教授には、奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科時代から、長年にわたり、本研究の御指導をいただいてまいりました。研究の細部を含めて、研究の根本をお教えいただきました。また、本研究をまとめるにあたり副査として御指導いただきました。眞鍋 教授に厚く御礼申し上げます。

本研究をまとめるにあたり副査として貴重な御意見、御指導を賜りました大阪大学大学院基礎工学研究科 三宅 淳 教授、大阪大学大学院基礎工学研究科 荒木 勉 教授に感謝致します。心から御礼申し上げます。

大阪大学大学院基礎工学研究科 井村 誠孝 准教授、大阪大学サイバーメディアセンターの黒田 嘉宏 准教授には、平素から適切なアドバイスをいただき、研究進展の切っ掛けを作っていただいたことに感謝申し上げます。

京都大学医学部附属病院 浦西 友樹 助教には、研究の当初より、種々御意見をいただき、いつも適切な御指導をいただきました。大阪大学大学院基礎工学研究科 大城研究室をはじめ、奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科においても、研究活動はもちろん、多くの面でお世話になりました。大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程に進学できたことも、浦西先生のお導きがあったからこそと、感謝申し上げます。

大城研究室では、吉元 俊輔 助教に論文作成に関するさまざまな疑問に答えていただき、いつも親切に対応して下さいました。身近なところで頼りにさせていただき、大変お世話になりました。本当にありがとうございました。

大阪電気通信大学 土居 元紀 准教授には研究の過程で、多大な御協力をいた

謝 辞

だき、厚く御礼申し上げます。土居先生の研究室で分光測定をさせていただいたことが、色認識の面で飛躍的な精度向上につながりました。ありがとうございました。

実験では、大城研究室の学生、スタッフの皆様にとびたび御協力をいただきました。学生諸氏もお忙しい中、快く評価実験に付き合ってくださいことに感謝いたします。

なお、システムの作成過程では、奈良県視覚障害者の生活を守る会奈良支部の方々に、種々貴重な御意見をいただきましたことに深謝いたします。

研究の成果であるスマートフォン利用システムを実際に使っていただき、アドバイスをいただきました友人のKさんに感謝申し上げます。Kさんは、学生時代は視力に特段問題がなかったのですが、後天的に視力を失われ、現在は全盲の状態です。そのことを知ったとき、少なからずショックを受けたことが私の研究の切っ掛けであったかもしれません。今、研究をまとめた段階でそのことに気が付き始めています。高等学校の教員である私が教員生活の最終段階で、情報科学とくに視覚情報処理の研究に進んだ切っ掛けを作って下さったKさんに感謝いたします。

そして、最後になりましたが、社会人学生として研究に入る最初の高い敷居を越えさせて下さいました大阪電気通信大学名誉教授であり、奈良先端科学技術大学院大学名誉教授である千原 國宏 先生に心より感謝申し上げます。千原先生が導かれた多くの諸先生方に御指導をいただき、研究を進めさせていただいたことを光栄に思いますと共に感謝の念で一杯です。ありがとうございました。

なお、本論文における被験者実験は、『大阪大学大学院基礎工学研究科 人を対象とした研究に関する倫理委員会』の承認を得ており、各実験は被験者の同意・協力のもとで行った(認証番号 24-5)。

参考文献

- [1] 佐久間一郎. 低侵襲手術ロボットシステム. バイオメカニズム学会誌, Vol. 32, No. 3, pp. 147–152, 2008.
- [2] 高取祐介, 菅沼雄介, 八嶋弘幸. 障害物検出用車載センサと車車間通信を用いた出会い頭衝突防止システムに関する一検討. 電子情報通信学会技術研究報告. ITS, Vol. 111, No. 486, pp. 39–44, March 2012.
- [3] William J. Hozack et al. MIS 人工関節置換術. 医学書院, 東京.
- [4] 教育機器編集委員会 (編). 産業教育機器システム便覧. 日科技連出版社, 1972.
- [5] 黒沢健至, 黒木健郎, 土屋謙一. 犯罪捜査のための画像解析技術. 情報処理学会研究報告. CVIM, Vol. 186, No. 25, p. 1, March 2013.
- [6] 河東田博. ノーマライゼーション原理とは何か 人権と共生の原理の探究. 現代書館, 東京, 2009.
- [7] 鷺田清一. ひとはなぜ服を着るのか. ちくま文庫, 東京, 2012.
- [8] 堺屋太一. 知価革命. PHP 研究所, 京都, 1986.
- [9] 厚生労働省社会・援護局障害保健福祉部企画課. 平成 18 年身体障害児・者実態調査結果, March 2008.
- [10] 鈴木吉彦. よくわかる最新医学新版糖尿病. 主婦の友社, 東京, 2008. pp.169-171.
- [11] 社団法人日本眼科医会. 報道用試料 糖尿病網膜症－働き盛りの約 300 万人が発症 毎年約 3000 人が失明, September 2005.

参考文献

- [12] 高橋応明. RFID タグアンテナ技術. 電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン, No. 7, pp. 51-58, 冬号 2008.
- [13] 製造元:Panasonic. 音声 IC タグレコーダ 「ものしりトーク」.
<http://panasonic.co.jp/ism/fukushikiki/monoshiri/> [accessed March 8, 2014].
- [14] 製造元:株式会社北計工業開発センター. 色彩音声案内装置 Color Talk PLUS.
<http://www.hokkei.co.jp/c-1.html> [accessed June 20, 2013].
- [15] 浅田一憲. 実時間色変更機能をもつ携帯可能な色覚補助ツール. 日本色彩学会 第4回色彩シンポジウム IN NAGANO, pp. 17-20, November 2010.
- [16] 日本色彩学会. 色彩用語辞典. 東京大学出版会, 東京, 2003. p.39.
- [17] 日本色彩学会. 新編色彩科学ハンドブック 第2版. 東京大学出版会, 東京. pp.90-91.
- [18] 三宅洋一. デジタルカラー画像の解析・評価. 東京大学出版会, 東京, 2000. pp.60-61.
- [19] 三宅洋一. デジタルカラー画像の解析・評価. 東京大学出版会, 東京, 2000. pp.61-63.
- [20] 日本色彩学会. 色彩用語辞典. 東京大学出版会, 東京, 2003. p.74.
- [21] 日本色彩学会. 新編色彩科学ハンドブック 第2版. 東京大学出版会, 東京. p.90.
- [22] 財団法人日本色彩研究所. デジタル色彩マニュアル. 株式会社クレオ, 東京, 2004. pp.26-27.
- [23] 日本色彩学会. 新編色彩科学ハンドブック 第2版. 東京大学出版会, 東京. pp.134-137.
- [24] 財団法人日本色彩研究所. デジタル色彩マニュアル. 株式会社クレオ, 東京, 2004. pp.27-29.
- [25] 日本色研. <http://www.sikiken.co.jp/pccs/pccs02.html> [accessed March 15, 2014].

- [26] 日本色彩学会. 新編色彩科学ハンドブック 第2版. 東京大学出版会, 東京. pp.165-167.
- [27] 内川恵二, 栗木一郎, 篠田博之. 開口色と表面色モードにおける色空間のカテゴリカル色名領域. 照明学会誌, Vol. 77, No. 6, pp. 346-354, 1993.
- [28] Berlin B. and Kay P. Basic Color Terms: Their Universality and Evolution. *University of California Press, Berkley*, 1969.
- [29] 日本色研事業株式会社. 新配色カード 199c.
<http://www.sikiken.co.jp/product/cata0301.html> [accessed June 18, 2013].
- [30] 三宅洋一. デジタルカラー画像の解析・評価. 東京大学出版会, 東京, 2000. pp.66-67.
- [31] 日本色彩学会. 新編色彩科学ハンドブック 第2版. 東京大学出版会, 東京. p.101.
- [32] 日本色彩学会. 新編色彩科学ハンドブック 第2版. 東京大学出版会, 東京. p.93.
- [33] 三宅洋一. デジタルカラー画像の解析・評価. 東京大学出版会, 東京, 2000. pp.53-54.
- [34] 通商産業大臣. JIS Z 8701: 1999 色の表示方法 XYZ 表色系 及び $X_{10}Y_{10}Z_{10}$ 表色系.
- [35] 日本色彩学会. 新編色彩科学ハンドブック 第2版. 東京大学出版会, 東京. p.243.
- [36] 日本色彩学会. 新編色彩科学ハンドブック 第2版. 東京大学出版会, 東京. pp.69-70.
- [37] 日本色彩学会. 色彩用語辞典. 東京大学出版会, 東京, 2003. pp.219-220.
- [38] 日本色彩学会. 色彩用語辞典. 東京大学出版会, 東京, 2003. p.243.
- [39] 日本色彩学会. 新編色彩科学ハンドブック 第2版. 東京大学出版会, 東京. p.194.

参考文献

- [40] コニカミノルタ. KONICA MINOLTA 計測機器.
<http://www.konicaminolta.jp/instruments/products/light/index.html>
[accessed April 29, 2014].
- [41] 三宅洋一. 分光画像処理入門. 東京大学出版会, 東京, 2006. pp.25-27.
- [42] 高松淳. コンピュータビジョン最先端ガイド4 第1章. アドコム・メディア株式会社, 東京, 2011. pp.5-6.
- [43] 財団法人日本色彩研究所. デジタル色彩マニュアル. 株式会社クレオ, 東京, 2004. pp.72-73.
- [44] Danny Pascale. RGB coordinates of the Macbeth ColorChecker. pp. 8-9, June 2006.
- [45] OpenCV-1.1pre リファレンス マニュアル, CvtColor.
http://opencv.jp/opencv-1.1.0/document/opencvref_cv_filters.html#decl_cvCvtColor [accessed March 20, 2014].
- [46] 日本色彩学会. 新編色彩科学ハンドブック 第2版. 東京大学出版会, 東京. pp.125-127.
- [47] 三宅洋一. デジタルカラー画像の解析・評価. 東京大学出版会, 東京, 2000. pp.58-59.
- [48] 日本色彩学会. 色彩用語辞典. 東京大学出版会, 東京, 2003. p.218.
- [49] 株式会社アイプラスプラス. 視覚障がい者用支援システム オーデコ (auxdeco) について. <http://www.eyepius2.com/product-2/about-auxdeco>
[accessed March 8, 2014].
- [50] 前川満良, 橋爪慎哉, 當間安厚, 有谷秀明, 一二三吉勝, 関啓明. 視覚障害者用の携帯型色認識装置の開発 - 自動校正機能による測色安定性の向上 -. 精密工学会誌, Vol. 69, No. 11, 2003.
- [51] 前川満良, 今井有希子, 橋爪慎哉, 関啓明, 神谷好承. 視覚障害者用の携帯型色認識装置の開発 (第2報), 一色模様認識のための色と音のマッピング—. 精密工学会誌, Vol. 70, No. 8, 2004.

- [52] 富士通株式会社. 色を教えてくれる携帯.
<http://jp.fujitsu.com/about/design/ud/ca/> [accessed April 8, 2014].
- [53] 手塚耕一, 清水雅芳, 鈴木祥治. スマートフォンを用いた肌状態測定技術.
FUJITSU, Vol. 64, No. 1, pp. 59–65, January 2013.
- [54] 日本色彩学会. 色彩用語辞典. 東京大学出版会, 東京, 2003. pp.216-217.
- [55] Yuan S, Tian Y, and Arditi A. Clothing matching for visually impaired persons. *Technology and Disability*, Vol. 23, , 2011.
- [56] 株式会社MM総研. スマートフォン市場規模の推移・予測 (2013年10月).
<http://www.m2ri.jp/newsreleases/main.php?id=010120131009500> [accessed April 2, 2014], October 2013.
- [57] UPRtek. 携帯色彩分光計測器「スペクトロナビ MK-350」.
http://e-decoled.com/supenavi_0423.html [accessed March 11, 2014].
- [58] 富永昌治. コンピュータビジョン最先端ガイド4 第4章. アドコム・メディア株式会社, 東京, 2011. pp.87-89.
- [59] 日本色彩学会. 新編色彩科学ハンドブック 第2版. 東京大学出版会, 東京.
pp.73-74.
- [60] X-Rite 社. ColorChecker CLASSIC.
http://xritephoto.com/ph_product_overview.aspx?id=1192. [accessed March 9, 2014].
- [61] 財団法人日本色彩研究所. デジタル色彩マニュアル. 株式会社クレオ, 東京,
2004. pp.71-72.
- [62] 富永昌治. コンピュータビジョン最先端ガイド4 第4章. アドコム・メディア株式会社, 東京, 2011. pp.109-110.
- [63] 日本色彩学会. 色彩用語辞典. 東京大学出版会, 東京, 2003. p.143.
- [64] 三宅洋一. 分光画像処理入門. 東京大学出版会, 東京, 2006. pp.37-42.

参考文献

- [65] Guowei Hong, M. Ronnier Luo, and Peter A. Rhodes. A Study of Digital Camera Colorimetric Characterization Based on Polynomial Modeling. *Color Research and Application*, June 2000.
- [66] 田村秀行. コンピュータ画像処理. オーム社出版局, 東京, 2006. pp.281-282.
- [67] OpenCV-2.1 documentation, CvtColor.
http://opencv.jp/opencv-2.1/cpp/miscellaneous_image_transformations.html
[accessed May 14, 2014].
- [68] 安居院猛, 長尾智晴. C言語による画像処理入門. 昭晃堂, 東京, 2005. pp.30-44.
- [69] 田村秀行. コンピュータ画像処理. オーム社出版局, 東京, 2006. pp.182-191.
- [70] 三宅正夫, 眞鍋佳嗣, 浦西友樹, 池田聖, 千原國宏. 視覚障がい者支援のための衣類の色および模様提示システム. 日本色彩学会, Vol. 36, No. 1, pp. 3-14, 2012.
- [71] 有賀長敏, 井上英一, 大江茂, 阪口富弥. 写真の辞典. 朝倉書店, 東京, 1989. p.185.
- [72] kurodango. おしゃべりテキスト, OsyaberiText.exe.
<http://kurodango.cocolog-nifty.com/blog/2010/02/manualindex.html> [accessed March 23, 2014].
- [73] M. Miyake, Y. Manabe, Y. Uranishi, M. Imura, and O. Oshiro. Voice Response System of Color and Pattern on Clothes for Visually Handicapped Person. In *Proceedings of 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 4694-4697, Osaka, Japan, 2013.
- [74] Film Tools 社. Gray Scale Balance Card.
<http://www.filmtools.com/grcogrsbaca.html> [accessed April 18, 2014].
- [75] Point Grey Research Inc.
Point Grey. <http://ww2.ptgrey.com/USB2/chameleon> [accessed May 1, 2014].

-
- [76] 三宅洋一. デジタルカラー画像の解析・評価. 東京大学出版会, 東京, 2000. p.60.
- [77] 柴田文彦. Xcode 4 入門 for iOS / Mac OS X. 秀和システム, 東京, 2011.
- [78] 森巧尚. iPhone アプリ開発の教科書. マイナビ, 東京, 2012.
- [79] 細谷日出海. iPhone デジカメプログラミング. ソフトバンククリエイティブ, 東京, 2011.
- [80] 柴田文彦. Objective-C プログラマーズバイブル. 技術評論社, 東京, 2012.
- [81] 所友太, 京セラコミュニケーションシステム. iPhone プログラミング UIKit 詳解リファレンス. リックテレコム, 東京, 2010.
- [82] C.S. McCamy, H. Marcus, and J.G. Davidson. A Color-Rendition Chart. *Journal of Applied Photographic Engineering*, Vol. 2, No. 3, pp. 95–99, 1976.
- [83] 三宅正夫, 眞鍋佳嗣, 浦西友樹, 井村誠孝, 黒田嘉宏, 大城理. スマートフォン利用による視覚障がい者のための衣類の色および模様認識システム. 日本生体医工学会, Vol. 51, No. 6, pp. 342–349, 2013.
- [84] 石原忍. 学校用色覚異常検査表. 株式会社 半田屋商店, 東京, 1985.

付録

実験に用いた 38 点の試料の環境光利用システム出力結果の例を，表 A.1 から表 A.4 にまとめる．

表 A.1 「その他の模様」

表 A.2 「縦縞・横縞」

表 A.3 「チェック」

表 A.4 「無地」

システムで用いた色名変換表を，表 A.5 に示す．

表 A.1 環境光利用システム出力結果の例 – 「その他の模様」



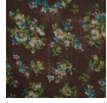

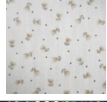
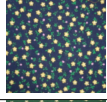
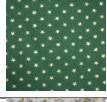
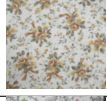

試料番号	写真	出力結果
1		はいいろがかったあお地に、くらいあおの、模様です
2		こいグレー地に、くすんだきいろと、ちゃいろの、模様です
3		くろ地に、はいいろがかったみどりと、みどりの、模様です
4		こいグレー地に、グレーの、模様です
5		ベージュ地に、はいいろがかったベージュと、はいいろがかったみどりの、模様です
6		くらいあお地に、みどりと、こいきいろと、くすんだむらさきの、模様です
7		くろ地に、はいいろがかったみどりの、模様です
8		ベージュ地に、はいいろがかったみどりと、くすんだきいろと、くらいきいろの、模様です
9		うすいグレー地に、グレーと、くすんだきいろの、模様です

表 A.2 環境光利用システム出力結果の例 - 「縦縞・横縞」

試料番号	写真	出力結果
10		しろ地に、はいいろがかったベージュの、縦縞です
11		くすんだあお地に、ベージュの、縦縞です
12		はいいろがかったちゃいろ地に、ちゃいろと、くらいあおの、縦縞です
13		くらいあお地に、はいいろがかったちゃいろの、縦縞です
14		うすいあお地に、くすんだあおと、あざやかなあおの、縦縞です
15		くすんだみどり地に、ベージュの、模様です
16		しろ地に、はいいろがかったあおと、グレーの、横縞です
17		あざやかなあお地に、あかるいあおと、こいあおと、くすんだむらさきの、横縞です

表 A.3 環境光利用システム出力結果の例 - 「チェック」

試料番号	写真	出力結果
18		はいいろがかったちやいろ地に、しろと、ちやいろの、チェックです
19		グレー地に、くらいあおの、横縞です
20		うすいグレー地に、はいいろがかったベージュの、チェックです
21		はいいろがかったあお地に、くすんだあおの、チェックです
22		こいあか地に、ちやいろと、こいきいろの、チェックです
23		くらいみどり地に、はいいろがかったみどりの、チェックです
24		はいいろがかったみどり地に、くらいみどりの、チェックです
25		はいいろがかったちやいろ地に、ちやいろの、チェックです
26		こいあお地に、くらいあおと、くすんだあおの、チェックです
27		グレー地に、はいいろがかったちやいろの、チェックです
28		うすいグレー地に、あかるいむらさきの、チェックです
29		くらいあお地に、はいいろがかったあおと、くらいあかの、チェックです
30		こいグレー地に、くらいあおと、はいいろがかったみどりの、チェックです

表 A.4 環境光利用システム出力結果の例 - 「無地」


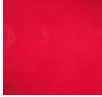
試料番号	写真	出力結果
31		しろ地の 無地です
32		グレー地の 模様です
33		あざやかなあか地の 無地です
34		うすいきいろ地の 無地です
35		こいオレンジ地の 無地です
36		ちゃいろ地の 無地です
37		うすいあお地の 無地です
38		くらいあお地の 無地です

表 A.5: 色名変換表

No.	color	L^*	a^*	b^*	トーン	基本色
1	v1	46.27	50.35	10.79	あざやかな	あか
2	v2	49.63	61.59	23.85	あざやかな	あか
3	v3	53.09	64.77	33.83	あざやかな	あか
4	v4	62.36	56.89	51.16	あざやかな	オレンジ
5	v5	69.02	41.06	58.93	あざやかな	オレンジ
6	v6	76.10	24.46	61.60	あざやかな	オレンジ
7	v7	81.59	11.43	67.62	あざやかな	きいろ
8	v8	86.51	-1.35	71.01	あざやかな	きいろ
9	v9	85.38	-18.35	68.53	あざやかな	きいろ
10	v10	75.22	-25.01	56.37	あざやかな	みどり
11	v11	64.64	-48.00	38.90	あざやかな	みどり
12	v12	61.57	-47.38	23.44	あざやかな	みどり
13	v13	54.87	-40.40	17.87	あざやかな	みどり
14	v14	51.70	-30.93	1.68	あざやかな	みどり
15	v15	50.01	-17.67	-15.09	あざやかな	あお
16	v16	47.50	-8.50	-22.96	あざやかな	あお
17	v17	43.20	6.20	-33.93	あざやかな	あお
18	v18	40.75	15.88	-39.69	あざやかな	あお
19	v19	43.14	19.44	-37.12	あざやかな	あお
20	v20	40.74	25.21	-34.65	あざやかな	むらさき
21	v21	41.72	26.82	-29.53	あざやかな	むらさき
22	v22	43.02	35.56	-28.46	あざやかな	むらさき
23	v23	43.31	38.74	-10.22	あざやかな	むらさき
24	v24	44.82	47.72	-2.92	あざやかな	あか
25		44.98	46.55	5.86	こい	あか
26	dp2	45.13	45.37	14.64	こい	あか
27		50.29	44.31	26.08	こい	あか
28	dp4	55.45	43.25	37.51	こい	オレンジ
29		58.31	36.44	42.85	こい	オレンジ
30	dp6	61.16	29.62	48.19	こい	オレンジ
31		64.24	22.17	50.38	こい	きいろ
32	dp8	67.32	14.72	52.57	こい	きいろ
33		64.59	-1.14	46.43	こい	きいろ
34	dp10	61.86	-16.99	40.28	こい	みどり
35		55.77	-23.98	24.46	こい	みどり
36	dp12	49.67	-30.97	8.63	こい	みどり

No.	color	L^*	a^*	b^*	トーン	基本色
37		47.73	-26.65	2.29	こい	みどり
38	dp14	45.79	-22.32	-4.05	こい	みどり
39		44.10	-15.01	-10.81	こい	あお
40	dp16	42.41	-7.70	-17.56	こい	あお
41		39.91	-1.91	-21.13	こい	あお
42	dp18	37.41	3.88	-24.70	こい	あお
43		37.41	12.80	-26.44	こい	あお
44	dp20	37.41	21.71	-28.18	こい	むらさき
45		38.65	27.14	-26.09	こい	むらさき
46	dp22	39.89	32.57	-24.00	こい	むらさき
47		40.66	35.61	-11.45	こい	むらさき
48	dp24	41.42	38.64	1.11	こい	あか
49		38.43	30.63	2.63	くらい	あか
50	dk2	35.44	22.62	4.15	くらい	あか
51		36.41	21.85	8.65	くらい	あか
52	dk4	37.37	21.08	13.14		ちやいろ
53		37.89	18.09	18.57		ちやいろ
54	dk6	38.40	15.09	23.99		ちやいろ
55		42.44	8.60	26.77		ちやいろ
56	dk8	46.47	2.10	29.55	くらい	きいろ
57		43.51	-3.53	27.74		みどり
58	dk10	40.54	-9.15	25.92		みどり
59		37.90	-12.62	16.84		みどり
60	dk12	35.26	-16.08	7.76		みどり
61		35.39	-13.79	1.56	くらい	みどり
62	dk14	35.52	-11.49	-4.65	くらい	みどり
63		34.19	-8.01	-8.58	くらい	あお
64	dk16	32.85	-4.53	-12.51	くらい	あお
65		30.66	-1.28	-13.92	くらい	あお
66	dk18	28.47	1.97	-15.32	くらい	あお
67		30.09	4.11	-15.40	くらい	あお
68	dk20	31.70	6.24	-15.47	くらい	あお
69		31.63	8.75	-12.23	くらい	むらさき
70	dk22	31.55	11.25	-8.99	くらい	むらさき
71		33.45	15.46	-5.81	くらい	むらさき
72	dk24	35.35	19.66	-2.63	くらい	あか
73		58.08	16.33	2.78	うすい	ピンク
74	p2	80.80	12.99	8.19	うすい	ピンク

No.	color	L^*	a^*	b^*	トーン	基本色
75		81.96	11.11	11.38	うすい	ピンク
76	p4	83.11	9.22	14.56	うすい	ピンク
77		84.58	5.80	18.05	うすい	ベージュ
78	p6	86.04	2.38	21.53	うすい	ベージュ
79		87.71	-1.87	24.76	うすい	ベージュ
80	p8	89.37	-6.12	27.99	うすい	きいろ
81		87.17	-8.28	23.18	うすい	きいろ
82	p10	84.97	-10.43	18.37	うすい	みどり
83		83.44	-13.54	14.51	うすい	みどり
84	p12	81.90	-16.65	10.64	うすい	みどり
85		80.29	-16.40	5.13	うすい	みどり
86	p14	78.68	-16.14	-0.38	うすい	みどり
87		78.22	-13.59	-2.24	うすい	あお
88	p16	77.76	-11.03	-4.10	うすい	あお
89		76.32	-8.46	-4.73	うすい	あお
90	p18	74.88	-5.88	-5.36	うすい	あお
91		75.23	-1.90	-4.64	うすい	あお
92	p20	75.57	2.09	-3.91	うすい	グレー
93		75.48	3.35	-1.93	うすい	グレー
94	p22	75.38	4.60	0.05	うすい	グレー
95		77.33	6.48	3.41	うすい	ピンク
96	p24	79.28	8.36	6.76	うすい	ピンク
97		77.32	19.05	11.74	うすい	ピンク
98	lt2	75.35	29.73	16.72	うすい	ピンク
99		76.96	25.68	20.64	うすい	ピンク
100	lt4	78.56	21.63	24.55	うすい	ピンク
101		80.68	15.68	31.40	うすい	オレンジ
102	lt6	82.80	9.73	38.25	うすい	オレンジ
103		85.67	1.36	43.86	うすい	きいろ
104	lt8	88.54	-7.02	49.46	うすい	きいろ
105		85.89	-12.41	46.87	うすい	きいろ
106	lt10	83.23	-17.80	44.28	うすい	みどり
107		80.75	-23.21	28.41	うすい	みどり
108	lt12	78.27	-28.62	12.54	うすい	みどり
109		76.89	-27.75	5.14	うすい	みどり
110	lt14	75.50	-26.88	-2.26	うすい	みどり
111		72.70	-22.26	-8.62	うすい	あお
112	lt16	69.89	-17.63	-14.97	うすい	あお

No.	color	L^*	a^*	b^*	トーン	基本色
113		68.30	-11.23	-18.33	うすい	あお
114	lt18	66.70	-4.82	-21.69	うすい	あお
115		67.38	0.11	-19.27	うすい	あお
116	lt20	68.06	5.04	-16.84	うすい	あお
117		68.62	11.27	-13.74	うすい	むらさき
118	lt22	69.17	17.49	-10.63	うすい	むらさき
119		70.24	25.25	-3.66	うすい	ピンク
120	lt24	71.30	33.00	3.32	うすい	ピンク
121		69.26	38.90	8.47	あかるい	ピンク
122	b2	67.22	44.79	13.61	あかるい	ピンク
123		70.38	38.12	22.08	あかるい	ピンク
124	b4	73.53	31.44	30.55	あかるい	オレンジ
125		77.16	22.62	44.31	あかるい	オレンジ
126	b6	80.79	13.79	58.07	あかるい	オレンジ
127		84.41	4.61	60.45	あかるい	きいろ
128	b8	88.03	-4.57	62.82	あかるい	きいろ
129		83.88	-13.07	59.35	あかるい	きいろ
130	b10	79.73	-21.56	55.88	あかるい	みどり
131		75.41	-28.84	34.65	あかるい	みどり
132	b12	71.08	-36.12	13.41	あかるい	みどり
133		69.19	-34.80	3.04	あかるい	みどり
134	b14	67.30	-33.48	-7.34	あかるい	みどり
135		65.19	-27.59	-12.82	あかるい	あお
136	b16	63.07	-21.69	-18.30	あかるい	あお
137		61.55	-11.82	-24.23	あかるい	あお
138	b18	60.02	-1.95	-30.15	あかるい	あお
139		59.73	6.10	-27.54	あかるい	あお
140	b20	59.43	14.15	-24.93	あかるい	むらさき
141		59.39	20.75	-21.36	あかるい	むらさき
142	b22	59.34	27.35	-17.78	あかるい	むらさき
143		61.41	35.65	-8.40	あかるい	むらさき
144	b24	63.48	43.95	0.98	あかるい	ピンク
145		65.83	36.23	9.61	くすんだ	ピンク
146	sf2	68.17	28.51	18.23	くすんだ	ピンク
147		70.11	29.11	22.73	くすんだ	ピンク
148	sf4	72.05	29.71	27.22	くすんだ	ピンク
149		73.55	22.00	34.14	くすんだ	オレンジ
150	sf6	75.05	14.28	41.05	くすんだ	オレンジ

No.	color	L^*	a^*	b^*	トーン	基本色
151		76.44	6.09	40.81	くすんだ	きいろ
152	sf8	77.83	-2.10	40.56	くすんだ	きいろ
153		76.10	-8.70	38.81	くすんだ	きいろ
154	sf10	74.37	-15.30	37.06	くすんだ	みどり
155		71.75	-18.79	24.39	くすんだ	みどり
156	sf12	69.12	-22.27	11.71	くすんだ	みどり
157		66.86	-21.95	6.66	くすんだ	みどり
158	sf14	64.59	-21.63	1.61	くすんだ	みどり
159		62.71	-17.95	-5.04	くすんだ	あお
160	sf16	60.83	-14.27	-11.68	くすんだ	あお
161		60.21	-8.13	-12.50	くすんだ	あお
162	sf18	59.58	-1.98	-13.31	くすんだ	あお
163		59.03	1.41	-10.06	くすんだ	あお
164	sf20	58.48	4.79	-6.80	くすんだ	むらさき
165		58.69	10.90	-5.63	くすんだ	むらさき
166	sf22	58.90	17.00	-4.46	くすんだ	むらさき
167		58.74	22.27	-0.26	くすんだ	むらさき
168	sf24	58.57	27.53	3.95	くすんだ	あか
169		57.59	25.67	8.11	くすんだ	あか
170	d2	56.61	23.81	12.27	くすんだ	あか
171		57.37	24.79	14.83	くすんだ	あか
172	d4	58.12	25.77	17.39		ちやいろ
173		59.71	22.10	21.71		ちやいろ
174	d6	61.30	18.43	26.03		ちやいろ
175		63.06	9.82	29.11	くすんだ	きいろ
176	d8	64.81	1.20	32.19	くすんだ	きいろ
177		62.80	-4.87	28.83	くすんだ	きいろ
178	d10	60.78	-10.94	25.47	くすんだ	みどり
179		57.56	-17.07	16.93	くすんだ	みどり
180	d12	54.33	-23.19	8.39	くすんだ	みどり
181		53.91	-22.26	2.22	くすんだ	みどり
182	d14	53.48	-21.32	-3.96	くすんだ	みどり
183		51.70	-14.76	-7.62	くすんだ	あお
184	d16	49.92	-8.19	-11.27	くすんだ	あお
185		48.22	-4.62	-11.78	くすんだ	あお
186	d18	46.52	-1.05	-12.29	くすんだ	あお
187		46.06	1.25	-11.12	くすんだ	あお
188	d20	45.59	3.54	-9.95	くすんだ	あお

No.	color	L^*	a^*	b^*	トーン	基本色
189		47.05	6.34	-7.98	くすんだ	むらさき
190	d22	48.50	9.13	-6.01	くすんだ	むらさき
191		48.69	14.83	-2.82	くすんだ	むらさき
192	d24	48.87	20.52	0.38	くすんだ	あか
193		61.67	12.70	2.34	はいいろがかった	あか
194	ltg2	74.47	4.88	4.29	はいいろがかった	ピンク
195		74.88	4.80	7.39	はいいろがかった	ピンク
196	ltg4	75.28	4.72	10.48		ページユ
197		75.91	3.12	10.92		ページユ
198	ltg6	76.53	1.51	11.35		ページユ
199		77.51	-0.73	14.08		ページユ
200	ltg8	78.49	-2.97	16.80	はいいろがかった	きいろ
201		77.15	-6.07	15.55	はいいろがかった	きいろ
202	ltg10	75.81	-9.16	14.29	はいいろがかった	みどり
203		74.55	-10.64	11.91	はいいろがかった	みどり
204	ltg12	73.28	-12.12	9.52	はいいろがかった	みどり
205		72.70	-11.37	5.36	はいいろがかった	みどり
206	ltg14	72.12	-10.62	1.19	はいいろがかった	みどり
207		71.65	-9.57	-1.92	はいいろがかった	あお
208	ltg16	71.17	-8.51	-5.02	はいいろがかった	あお
209		69.99	-5.15	-4.43	はいいろがかった	あお
210	ltg18	68.81	-1.79	-3.84	はいいろがかった	あお
211		68.87	-0.29	-3.68	はいいろがかった	あお
212	ltg20	68.93	1.21	-3.52	はいいろがかった	あお
213		68.83	2.12	-3.47	うすい	グレー
214	ltg22	68.73	3.03	-3.41	うすい	グレー
215		69.88	3.61	-0.11	うすい	グレー
216	ltg24	71.03	4.19	3.20	うすい	グレー
217		60.14	5.45	4.21	はいいろがかった	ちゃいろ
218	g2	49.24	6.71	5.22	はいいろがかった	ちゃいろ
219		50.40	6.25	5.73	はいいろがかった	ちゃいろ
220	g4	51.55	5.78	6.24	はいいろがかった	ちゃいろ
221		51.64	4.74	8.05	はいいろがかった	ちゃいろ
222	g6	51.73	3.69	9.86	はいいろがかった	ちゃいろ
223		52.26	1.94	10.33	はいいろがかった	ちゃいろ
224	g8	52.78	0.19	10.80	はいいろがかった	みどり
225		52.62	-2.31	10.50	はいいろがかった	みどり
226	g10	52.45	-4.81	10.19	はいいろがかった	みどり

No.	color	L^*	a^*	b^*	トーン	基本色
227		51.23	-6.61	6.71	はいいろがかった	みどり
228	g12	50.01	-8.40	3.22	はいいろがかった	みどり
229		49.52	-8.47	1.88	はいいろがかった	みどり
230	g14	49.03	-8.53	0.54	はいいろがかった	みどり
231		48.97	-6.15	-1.36	はいいろがかった	あお
232	g16	48.91	-3.77	-3.26	はいいろがかった	あお
233		48.47	-2.88	-3.30	はいいろがかった	あお
234	g18	48.03	-1.98	-3.33	はいいろがかった	あお
235		47.90	-0.30	-3.51	はいいろがかった	あお
236	g20	47.77	1.39	-3.68	はいいろがかった	あお
237		47.87	2.39	-2.63		グレー
238	g22	47.97	3.39	-1.57		グレー
239		48.23	3.53	0.09		グレー
240	g24	48.48	3.66	1.75		グレー
241		40.75	5.26	1.79	くらい	むらさき
242	dkg2	33.02	6.85	1.83	くらい	ちやいろ
243		32.99	5.82	3.51	くらい	ちやいろ
244	dkg4	32.96	4.79	5.19	くらい	ちやいろ
245		33.53	2.77	4.05	くらい	ちやいろ
246	dkg6	34.10	0.74	2.90	くらい	ちやいろ
247		33.95	-0.78	3.75	くらい	ちやいろ
248	dkg8	33.80	-2.29	4.60	くらい	みどり
249		32.79	-3.62	5.08	くらい	みどり
250	dkg10	31.78	-4.94	5.56	くらい	みどり
251		30.66	-5.90	4.24	くらい	みどり
252	dkg12	29.53	-6.86	2.92	くらい	みどり
253		30.45	-6.07	1.91	くらい	みどり
254	dkg14	31.36	-5.27	0.89	くらい	みどり
255		31.09	-4.59	-0.91	くらい	あお
256	dkg16	30.81	-3.90	-2.71	くらい	あお
257		30.42	-2.86	-2.92	くらい	あお
258	dkg18	30.02	-1.81	-3.12	くらい	あお
259		30.60	-0.34	-2.83	くらい	あお
260	dkg20	31.18	1.13	-2.54	こい	グレー
261		31.11	2.30	-2.25	くらい	むらさき
262	dkg22	31.03	3.46	-1.96	くらい	むらさき
263		31.33	4.56	-1.47	くらい	むらさき
264	dkg24	31.63	5.65	-0.98	くらい	むらさき

No.	color	L^*	a^*	b^*	トーン	基本色
265	w	88.79	1.04	-1.39		しろ
266	gy90	87.13	0.61	0.35		しろ
267	gy85	83.19	-0.12	-0.07		しろ
268	gy80	79.16	-0.80	0.56		しろ
269	gy75	74.02	-1.59	1.18	うすい	グレー
270	gy70	69.78	-1.81	1.13	うすい	グレー
271	gy65	66.29	-1.46	1.33	うすい	グレー
272	gy60	61.77	-1.14	1.34		グレー
273	gy55	58.77	-1.67	0.95		グレー
274	gy50	54.81	-1.78	0.79		グレー
275	gy45	50.37	-1.86	1.26		グレー
276	gy40	48.20	-2.19	0.15		グレー
277	gy35	44.94	-2.16	0.78	こい	グレー
278	gy30	37.71	-2.47	-0.11	こい	グレー
279	gy25	37.24	-1.87	-0.09	こい	グレー
280	gy20	31.68	-2.85	-0.74	こい	グレー
281	bk	23.97	-1.63	1.15		くろ
282	pi1	77.95	27.39	1.89		ピンク
283	pi2	73.10	36.46	6.99		ピンク
284	pi3	64.73	49.42	3.30		ピンク
285	pi4	60.03	53.04	-13.53		ピンク
286	pi5	77.70	26.37	10.38		ピンク
287	pi6	71.04	40.07	7.12		ピンク
288	pi7	66.12	48.18	9.49		ピンク
289	pi8	55.22	49.62	9.59	こい	ピンク
290	pi9	80.36	18.05	23.90	あかるい	ベージュ
291	pi10	69.44	40.69	27.93	くすんだ	オレンジ
292	br1	47.51	8.96	6.08	はいいろがかった	ちゃいろ
293	br2	49.83	8.57	7.29	はいいろがかった	ちゃいろ
294	br3	55.04	11.63	12.28	はいいろがかった	ちゃいろ
295	br4	58.78	8.70	14.51	はいいろがかった	ちゃいろ
296	br5	42.60	8.31	4.84	はいいろがかった	ちゃいろ
297	br6	43.82	4.50	5.92	はいいろがかった	ちゃいろ
298	br7	42.38	1.93	5.90	はいいろがかった	ちゃいろ
299	off_N1	88.70	0.10	4.86		しろ
300	off_N2	89.15	-2.64	12.39	うすい	ベージュ
301	off_N3	87.15	2.46	9.72	うすい	ベージュ
302	off_N4	87.38	-1.25	16.08	うすい	ベージュ

No.	color	L^*	a^*	b^*	トーン	基本色
303	off_N5	88.03	-3.62	19.00	うすい	ベージュ
304	off_N6	82.44	1.18	5.70		ベージュ
305	off_N7	81.30	0.39	5.12		ベージュ
306	off_N8	80.13	5.93	9.71		ベージュ
307	off_N9	80.67	3.28	12.71		ベージュ
308	off_N10	81.47	-0.84	14.00		ベージュ
309	off_N11	68.83	2.66	2.80	うすい	グレー
310	off_N12	69.49	0.20	2.96	うすい	グレー
311	off_N13	67.85	4.29	7.72	はいいろがかった	ベージュ
312	off_N14	68.80	2.98	8.83	はいいろがかった	ベージュ
313	off_N15	69.56	-0.28	9.86	はいいろがかった	ベージュ

研究業績

関連論文

1. 三宅正夫, 眞鍋佳嗣, 浦西友樹, 池田聖, 千原國宏, 視覚障がい者支援のための衣類の色および模様提示システム, 日本色彩学会, Vol. 36, No.1 pp. 3-14, 2012.
2. 三宅正夫, 眞鍋佳嗣, 浦西友樹, 井村誠孝, 黒田嘉宏, 大城理, スマートフォン利用による視覚障がい者のための衣類の色および模様認識システム, 日本生体医工学会, Vol. 51, No. 6, pp. 342-349, 2013.

国際発表

1. M. Miyake, Y. Manabe, Y. Uranishi, M. Imura, O. Oshiro, “Voice Response System of Color and Pattern on Clothes for Visually Handicapped Person,” In Proceedings of 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 4694-4697, Osaka, July, 2013.

国内発表

1. 三宅正夫, 眞鍋佳嗣, 浦西友樹, 池田聖, 千原國宏, 視覚障がい者支援のための衣類の色と模様の認識, 第4回色彩情報シンポジウム in 長野 論文集, pp. 25-28, 長野, November, 2010. (優秀発表賞受賞).
2. 三宅正夫, 眞鍋佳嗣, 浦西友樹, 池田聖, 千原國宏, 視覚障がい者支援のための衣類の色および模様提示システムの評価, 平成22年度日本色彩学会関西支部大会 論文集, pp. 20-21, 京都, February, 2011.
3. 三宅正夫, 眞鍋佳嗣, 浦西友樹, 井村誠孝, 黒田嘉宏, 大城理, スマートフォン利用による視覚障がい者のための衣類の色および模様認識システム, 生体医工学シンポジウム2013 講演予稿集, p.170, 福岡, September, 2013.

その他

1. 三宅正夫, 視覚障がい者のための衣類の色および模様提示システム, ジョイント研究会, 大阪, November 27, 2013.

受賞

1. 三宅正夫, 眞鍋佳嗣, 浦西友樹, 池田聖, 千原國宏, 第4回色彩情報シンポジウム優秀発表賞受賞, November, 2010.