

## 学位論文の要旨

氏名

比良 祥子

学位論文題目

スマートフォンで利用可能な2色覚補助のための実時間画像処理法の研究

視覚は人間にとって非常に重要な感覚である。視覚情報には「百聞は一見に如かず」という諺にもあるように言語化できない情報が数多く含まれており、色彩感覚はその最たるものであろう。近年の色関連デバイス技術、カラーマネジメント技術、そして、情報通信技術の革新に伴い、色彩情報をいとも簡単に交換可能なスマートフォンやタブレットなどのモバイル端末が個人間に急速に普及した。このように、色を用いた情報伝達の機会が飛躍的に増えているのは色彩情報の重要性の証である。色を用いた情報伝達機会の増加は、とりもなおさず、従来は目立たなかった「色覚の個人差の影響」が、人々の中の情報相互理解に重大な悪影響を与える可能性があること示唆する。

したがって、色知覚の違いについての正しい認識と適切な配慮が必要である。まず、前者については、色知覚の個人差の研究には長い歴史があるが、最近の遺伝子レベルの研究によると、2色覚や3色覚といった従来の色覚の明確な区別とは異なり、変化が連続的であるとの見方が有力である。また、後者については、反対色の第1軸がR-Gである3色覚と、反対色の第1軸がY-Bである2色覚では見え方が明確に異なることに留意する必要がある。従来から2色覚への色覚補助法は数多く検討されているが、色弁別を目的としたものが多く、3色覚のR-G反対色の感覚を2色覚が理解できるような補助機能は見当たらなかった。

そこで、本論文は、まず、色覚の個人差について多次元尺度構成法（MDS）を用いて調査し、色覚の個人差が遺伝子レベルのみならず知覚的にも連続であること示した。つぎに、色覚の異なる人々がお互いの色の見え方を理解するための2種類の新しい色覚支援コミュニケーション手法（色相回転法および色相ブレンド法と命名）を提案し、複数の携帯端末に対して実用的な実装が可能であることを示した。

第1章は、まず、色を用いたコミュニケーションの重要性が増大している事実と、色覚の多様性について色覚の仕組みや分類などを含めた基本的な事柄を説明し、色覚の異なる人同士（主に2色覚者と3色覚者）による色を使用したコミュニケーションが難しいという現状を述べた。つぎに、それらをサポートする既存の技術を紹介し、現状の問題点や課題を議論する。そして、その問題点や課題を解決し、色覚の異なる人々がお互いの色の見え方を理解することのできる、新しい色覚支援コミュニケーションツールについて検討した結果を述べた。

第2章は、第1章で述べた色覚の多様性について、多次元尺度構成法（MDS）を用いて個人の色空間とその個人差を調査した結果を述べた。調査の結果、(1) 色名（言語）による色空間の配置は色覚とは無関係に概ね色相環状の円形の結果が得られたが、一方で、(2) 色票に基づく色空間の配置は、2色覚者では凹形状になり、その形状から3色覚者の楕円形へと滑らかに変化した結果を得た。また、仮説として色覚の進化と出生後の発達の類似性について考察した。

第3章は、第2章で調査した結果と仮説検証により、3色覚者は2色性を内在しているという新たな仮説を立て検証した内容を述べた。その結果、3色覚者に(1) R-G成分を除去した呈示刺激を使用した場合の色空間の配置は、2色覚者と同様の凹形状となり仮説を裏付ける結果が得られ、(2) Y-B成分を除去した呈示刺激を使用した場合の色空間の配置は、第2軸が輝度と解釈可能な楕円形状の結果が得られた。

第4章は、第1章で検討した色覚の異なる2色覚者と3色覚者がお互いの色の見え方を理解可能な、新しい色覚支援コミュニケーションツールの提案について概要（特にツールの特徴やコンセプトなど）を述べた。まず、2色覚者向けに考案した2種類の色覚補助法（色相回転法ならびに色相ブレンド法）の概要と、オリジナル画像と変換画像を交互に表示することで3色性の感覚を実現させた手法について説明する。つぎに、それらの手法がスマートフォンなどの携帯端末環境での軽量なリアルタイムビデオ処理にて実現可能であることを述べ、最後に、3色覚者向けの簡易な2色覚シミュレーション手法と具体的な利用法方法について述べた。

第5章は、第4章で述べた2色覚者向けに考案した基本的な手法の90度色相回転法について、その理論と検証実験について詳細を述べた。2色覚者は、黄と青は3色覚者と同様に反対色の感覚を有するが、赤と緑を混同しやすいという特徴を持つ。したがって、色相を90度回転することで赤を同じ暖色系の黄へ、緑を寒色系の青へ変換することで3色覚の感覚へ近づけた。検証実験では、R-Gカラー分類実験、混同しやすい色の分類実験、および一般的な環境での使用感の評価実験の3つの実験を行い検証した。何れの実験結果も既存技術に比べて有意に良好な結果を得ることができた。

第6章は、第5章で述べた90度色相回転法を一般向けに改良した色相ブレンド法について、その理論と検証実験について詳細を述べた。90度回転法では、2色覚者が混同しやすいR-G以外の色も変換される。よってR-G成分のみを色変換することの有効性について検討し、色相回転後に色相のブレンドを行い、色相回転を元に戻すという方法によりR-G成分のみを色変換する色相ブレンド法を考案した。検証実験では、90度回転法の検証実験と同様のR-Gカラー分類実験、混同しやすい色の分類実験、および一般的な環境での使用感の評価実験の3つの実験を行い検証した。何れの実験結果も既存技術に比べて有意に良好な結果を得ることができた。

第7章は、結論として、これまで述べた第1章から第6章を総括した。

## Summary of Doctoral Dissertation

Title of Doctoral Dissertation:

Real-time image enhancement methods for supporting red-green color defective observers on smartphones

Name: Hira Shoko

Vision is a very important sensation for humans. Visual information includes a lot of information that cannot be verbalized, as the saying is, “Seeing is believing”, and color sensation would be outstanding. With recent innovations in color-related device technology, color management technology, and information and communication technology, mobile terminals such as smartphones and tablets that can exchange color information are rapidly spread of individuals. Therefore, the opportunities for information transmission using color have increased dramatically suggest that the color is one of most important for human vision because. Increasing opportunities of visual communications using color suggests that the “influence of individual differences in color vision”, which was not conspicuous in the past, could have a serious adverse effect on mutual understanding of information among people.

Therefore, proper recognition and appropriate consideration for differences in color perception are necessary. First, although researches on personal differences in color perception have long history, the results based on genetic code suggests new paradigm; the boundary between dichromatic and trichromatic is ambiguous and continuous. Second, we need to pay attention to the differences in color contrast perception between dichromatic and trichromatic; primary opponent color is Y-B in the former whereas R-G in the later. Although many color aids for red-green color deficient observers (RG-CDOs) have been proposed, the purposes of proposed ones were limited only to color segregation. There are few aids for the purpose of understanding R-G color contrast by RG-CDOs.

This paper first describes the result of individual differences in color vision investigated using the Multidimensional Scaling Method (MDS). It is suggested that the boundary between dichromatic and trichromatic is ambiguous and continuous not only in genetic code but also in perception. Then, this paper proposes two new supporting methods (Hue-rotation and Hue-Blending) for mutual understanding between RG-CDOs and color normal observers (CNOs), and demonstrates that the results of implementation on mobile terminals are appropriate for practical usage.

Chapter 1 first explains the fact that the importance of color communication is increasing and the basics of color vision diversity, including the mechanism and classification of color vision. It is suggested that there exists the difficulties of color informative communications between RG-CDOs and CNOs in the current situation. Next, the author introduces existing technologies that support

them, and discusses current problems and their solutions. Finally, the author proposes new color communication supporting tools which enable that CDOs and CNOs can communicate with mutual understanding.

Chapter 2 describes experimental results of color perception and its individual differences analyzed by the multi-dimensional scaling (MDS), in order to investigate color vision diversity described in Chapter 1. The experimental results show that, (1) the color-constellations based on the color names (text) are almost circular, regardless of the dichromatic or trichromatic color visions, however, (2) the color-constellations based on the color charts were smoothly changes from concave shapes by dichromatic vision to the ellipses by trichromatic vision. These results suggest the similarity between the evolution of color vision and postnatal development as a hypothesis.

Chapter 3 describes a new hypothesis, entitled “immanent dichromatic in trichromatic observer” based on the results of the investigation in Chapter 2, and its verification experiments. The results show that (1) the color-constellations yield when observing R-G neutral- and Y-B only changed-stimuli dominantly varied to concave-shape like dichromic, whereas (2) those attained when observing Y-B neutral- and R-G only changed-stimuli dominantly varied to saturation-brightness oval-shape.

Chapter 4 describes a proposal of color communication supporting tools, especially about the features and concepts of them, which enable CVDs and CNOs mutual understanding based on the results of individual differences in color vision investigated in Chapters 2 and 3. First, the outline of the two types of color vision assistance methods where alternately displaying the original image and the converted image were employed, Hu-Rotation and Hue-Blending, devised for CVDs were described. Next, it is described that both of them were light-weighted algorithms employing only hue processing in the standard video format which enabled to real time operations on portable communication terminals like smartphones. Finally, a simple dichromatic simulation method for CNOs which enable real time processing on smartphones and utilization methods with examples were described.

Chapter 5 gives details on the theory and verification experiment of the 90-degree hue rotation method, which is the basic method devised for the two-color vision person described in Chapter 4. CVDs with dichromatic perception have the yellow and blue opponent color perception like CNOs, but unlikely red and green. Therefore, by rotating hues as 90 degrees, red was converted to yellow, which is representative of warm color, and green was converted to blue, representative of cold color, bringing it closer to color perception of CNOs employing the two opponent color system. In the verification experiment, three experiments are conducted: an R-G color classification experiment, a color classification experiment that is easily confused, and an evaluation experiment for the feeling of use in a general environment. All the experimental results are significantly better than the existing technology.

Chapter 6 gives details on the theory and verification experiments of the hue blend method, which is an improvement of the 90-degree hue rotation method described in Chapter 5 for the general public. With the 90-degree rotation method, colors other than R-G, which are easily confused by dichromatic observers, are converted. Therefore, the author examines the effectiveness of color conversion of only the R-G component, and devised a hue blend method in which only the

R-G component is color-converted by blending the hue after the hue rotation and restoring the hue rotation. In the verification experiment, three experiments are conducted: an R-G color classification experiment similar to the 90-degree rotation method verification experiment, a color classification experiment that is easy to confuse, and an evaluation experiment for usability in a general environment. All the experimental results are significantly better than the existing technology.

Chapter 7 summarizes Chapters 1 to 6 described so far.