

氏 名	中島 由貴
学 位 の 種 類	博 士 (美 術)
学 位 記 番 号	甲 第 23 号
学 位 授 与 日	平成 27 年 3 月 13 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
論 文 題 目	美術館・博物館における最適な照明・色彩視環境の研究
審 査 委 員	主査 女子美術大学大学院教授 淵 田 隆 義 副査 女子美術大学大学院教授 坂 田 勝 亮 東京工業大学大学院教授 矢 口 博 久

内 容 の 要 旨

美術館・博物館（以下、美術館とする）の主たる機能および目的のひとつに美術作品の展示がある。美術館は古来受け継がれてきた貴重な美術作品を劣化させることなく一般公衆に公開し、さらなる世代へと引き継いでいく役目を担っている。ここでとりわけて重要な要素として挙げられるのが光—照明である。我々は光がなければ美術作品を見ることができない。一方で光放射は美術作品の損傷や変褪色など光学的損傷を促す。すなわち「展示」と「保存」は照明を介して常にトレード・オフの関係にある。美術館では展示と保存を両立するために、美術作品の耐光性ごとに照明条件、特に展示照度が制限されている。CIE（Commission Internationale de l' Eclairage：国際照明委員会）では特に光に弱い美術作品の展示推奨照度を 50 lx 以下としており、日本画のように光に敏感な画材を含む美術作品は低照度下での鑑賞が余儀なくされる。

照度や輝度の測光量の違いは物体色の見えに影響し、照度・輝度の低下によって物体色の明るさ、鮮やかさは低下する。また、照度・輝度の変化は視力や色弁別、色の分類、作業効率、印象にも影響する。美術館で展示室の照度を低く設定している場合、美術作品の色は高照度下での色よりも暗くくすみ、色から受ける印象も変化していることが推測される。

さらに近年、技術向上により LED ランプの応用分野は急速に広がっており、色の見えを重視する美術館照明にも高演色形の LED ランプが利用され始めている。LED ランプは美術作品の損傷、変褪色の原因となる紫外領域および赤外領域を含まないことから美術館の新しい光源として期待が寄せられている。しかし、LED ランプは利用技術に関する規格類が未整備であることに加え、蛍光ランプのような従来光源と発光原理、分光分布が異なることから、照明された物体の色の見え方、すなわち演色性の問題が生じる。特に美術館のように色の見

えを重視する場で LED ランプを利用する場合は、その演色性および美術作品の光学的損傷の可能性について十分に検討する必要がある。

光源の演色性を評価するには定量化された指標が必要である。光源の演色性の良し悪しを数値化して評価する方法を演色性評価方法、その指数を演色評価数という。現在、色の忠実性に基づく演色性評価方法（平均演色評価数 Ra 、特殊演色評価数 Ri ）が CIE および JIS（日本工業規格）で規定されている。また LED ランプの登場により、CIE では現行の演色性評価方法がもつ様々な問題点を改良した新しい演色性評価方法を開発するため技術委員会 TC1-90（Colour Fidelity Index、2012 年新設）が設置され、LED ランプにも適用できる色の忠実性に基づいた方法の検討が進んでいる。さらに LED ランプのもつ特徴的な演色効果を評価できる全く新しい評価方法を開発する技術委員会 TC1-91（New Methods for Evaluating the Colour Quality of White-Light Sources、2012 年新設）では色の忠実性以外の色の好ましさ、色の目立ち、色彩調和など色彩感情を評価できる演色性評価方法の開発もスタートした。しかし、現状では上記 TC1-90、TC1-91 が目標としている新演色性評価方法においても照度の影響を考慮した方法は提案されていない。すなわち、現行の演色性評価方法を含め上記の演色性評価方法においては照度によって色の見えが変化した場合も演色評価数は常に一定である。

現在、美術館展示用光源は Ra 、 Ri を唯一の指標としており、美術館照明に関する ISO（International Organization for Standardization：国際標準化機構）/CIE 規格では展示用光源に Ra 80 以上の光源を用いるべきであると提案している。また一般的に美術館展示用光源は JIS における演色 AAA 規格、すなわち電球色の場合 Ra 90 以上、 Ri も最低値が決められている高演色ランプを用いることが望ましいとされている。しかし、高演色ランプの色再現を得るためにはある程度の照度（1000 lx 以上）が必要であるとの指摘があり、また厳密な色の判定など表面色の視感比較方法における観察照度は原則として 1000 lx 以上と規定されているため、これまでの演色性評価に関する多くの研究では 1000 lx 近傍（少なくとも数 100 lx 以上）に設定されていることが多い。1000 lx 近傍、少なくとも明所視を前提に定義された Ra や Ri が低照度下においても色の見えを正しく表しているのか、美術館照明にとって演色性とはどう在るべきなのか、検討すべき事項は多い。最適な美術館照明および照明色彩・視環境を実現するには、LED ランプを含む異なる光源および広範囲な照度下での色の見えを考慮した新しい演色性評価方法の開発が必要不可欠であると考ええる。

本研究の目的は、異なる照明下での色の見えの評価から新しい演色性評価方法を開発し、美術館における最適な照明色彩・視環境を検討することである。そこで、まず LED ランプを含む各種光源および広範囲な照度下で物体色の見えがどのように変化し、どのような考え方で評価できるのかを明らかにする。さらに、異なる照明下での色の見えの評価に基づく新しい演色性評価方法を確立し、その方法に基づいて低照度下の美術鑑賞における最適な光源の分光分布を決定する。

本論文は第 1 章から第 10 章、および参考文献、謝辞で構成されている。

第 1 章は、美術館の照明・色彩視環境における問題、課題を整理し、本研究に至る背景お

および目的、意義を明示する。

第2章は、演色性および照度と色の見えに関する諸研究、さらに最適な美術館照明に関する諸研究を概観し、本研究の位置づけ、および目的を明確にする。

第3章は、美術館照明の現状を把握するために実施した国内美術館を主とする照明環境の実態調査結果を述べ、美術館照明の問題、課題を提起する。

第4章は、現行 CIE/JIS 演色性評価数 R_a 、 R_i が低照度下の色の見えを表しているのかを検証するために、照度が変化したときの色の見えの変化を測色計算評価および主観評価実験により明らかにする。

第5章は、2色配色の色彩印象に対する分光分布および照度の影響を SD 法 (semantic differential technique) によって評価し、美術館照明の演色性評価として“色彩印象の評価方法”が有効であるか否かを検討する。

第6章は、忠実性評価に代わる演色性評価である色彩印象評価の評価概念を検討するために、異なる照明下における色彩印象の評価構造を明らかにする。その評価構造に基づき美術館照明を評価する新しい評価尺度「色質」を定義する。

第7章は、「色質」が光源の分光分布、照度、観察対象物の色彩特性（色相、鮮やかさ、色の面積）によって変化すると仮定し、主観評価実験によって検証する。これらを考慮した「色質」に基づく新しい演色性評価方法が必要であることを明らかにする。

第8章は、第6章および第7章の結果に基づき、新しい演色性評価方法として試験色全体の色質評価数 G_x 、個々の試験色の色質評価数 R_{xi} を提案する。

第9章は、第8章で示した色質評価数 G_x に基づいて低照度下の美術鑑賞に最適な光源の分光分布を理論計算により求める。また G_x の予測精度を検証するために、理論計算により得られた最適分光分布に近似した分光分布を有する光源を複数の単色 LED を組み合わせた照明装置によって再現し、その照明下で主観評価実験を行う。

第10章は、第1章から第9章までを総括し、今後の課題を述べる。

審査の結果の要旨

審査対象論文は、美術館・博物館の照明視環境に関して、特に日本画、版画など耐光性の弱い美術作品の展示環境、すなわち低照度下の美術作品をより良く鑑賞するためのあるべき理想的な照明環境を色彩科学的アプローチから実験的および理論的に詳細に解析し、現在美術館で採用されている展示用光源の評価方法を変える新しい評価方法を提案するものである。研究の流れは、近年美術館展示照明に用いられ始めている LED ランプを含む様々な光源について高照度から低照度に至る広範囲な照度下での色の見えの詳細な分析、さらにその分析結果から様々な照度下における色の見えの定量化方法、すなわち照度変化を考慮した新しい演色性評価方法の開発、最後に低照度下の美術作品の色の見えを改善する光源の分光分布の提案、で構成されている。

論文の概要をまとめると、第1章序論では、美術館の照明・色彩視環境における問題、課題を整理し、研究背景および目的、意義が明示されている。第2章では、演色性、照度と色の見え、最適な美術館照明に関する先行研究を詳細に調査・整理し、自らの研究の位置づけ、および目的を明確にしている。次に第3章では、国内美術館の照明環境の実態調査結果を述べ、美術館照明の問題、課題を提起している。第4章では、現在国際的に採用されている CIE/JIS 演色性評価方法の問題点を実験及び理論的に検証し、演色評価数 R_a 、 R_i が低照度下の色の見えを表していないことを明示している。さらに第5章では、様々な光源、照度下での色の見え（2色配色）について色彩印象評価の視点で検討し、美術館照明の演色性を評価するためには「色彩印象」を評価することが有効であると結論している。第6章では、忠実性評価に代わる新しい演色性評価概念として、色彩印象評価の考え方を整理するために色彩印象の心理評価構造を因子分析によって解析し、抽出した評価構造に基づいて美術館照明を評価する新しい評価尺度「色質 (Color Quality)」を定義している。第7章では、「色質 (Color Quality)」に対する光源の分光分布、照度、観察対象物の色彩特性（色相、鮮やかさ、色の面積）の影響を詳細に検証し、「色質 (Color Quality)」に基づいた新しい演色性評価方法の必要性を示している。次に第8章で2つの新しい演色性評価方法、一つは多色配色全体から受ける色彩印象評価である色質評価数 G_x 、もう一つは個々の試験色の色質評価数 R_{xi} を提案している。第9章では、色質評価数 G_x を最大にする光源の分光分布を理論計算により求め、得られた分光分布に近似した分光分布を有する実際の LED 光源の照明下の色彩印象を評価して、色質評価数 G_x の検証と理想分光分布を提案している。第10章は、第1章から第9章を総括し、今後の課題をまとめている。

予備審査会議は 2014 年 11 月、12 月、2015 年 1 月の計 3 回実施した（但し、第 1 回は副査 千葉大矢口教授への全体説明）。仮綴じ論文の段階での第 2 回予備審査では、本論文の核である「色質 (Color Quality)」の概念を照明する実験根拠、色質評価数計算の考え方などを指摘されたが、第 3 回予備審査では、研究論理展開を明瞭にするために論文構成が見直され、さらに第 2 回予備審査で指摘された事項は改善された。最終審査会議(2015 年 2 月)では、論文の完成度が評価され、博士論文として十分に認められるとの結論に至った。

本論文の研究課題は、現在国際的に CIE(国際照明委員会)の主要課題となっている LED を含む新光源のための演色性評価方法の改定に関わるものであり、本論文が論じている「色質 (Color Quality)」という概念、およびそこから得られる色質評価数 G_x 、 R_{xi} は、国際的な研究成果としても意義がある。

以上