

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18H04111

研究課題名（和文）内因性光感受性網膜神経節細胞と杆体の色知覚への寄与の定式化と五元測色学の構築

研究課題名（英文）Contribution of Intrinsically-Photosensitive Retinal Ganglion Cells and Rods to Color Perception and Formulation of Five-Dimensional Colorimetry

研究代表者

岡嶋 克典 (Okajima, Katsunori)

横浜国立大学・大学院環境情報研究院・教授

研究者番号：60377108

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,600,000円

研究成果の概要（和文）：五種類の光受容体、L錐体、M錐体、S錐体、杆体、内因性光感受性網膜神経節細胞（メラノプシン）の刺激量を個別に増減できる装置とプログラムを作成し、眼光学系の個人差を考慮する際に ipRGCや杆体に対しても黄斑色素の影響を加味する手法を改善して実験の精緻化を実現し、個人差の影響を排除したうえで、中心視における色知覚に関する実験とそのメカニズムの解明を進めた。また二色覚の色の見えにおける杆体とメラノプシンの寄与についても実験的に検討した。さらに、不快グレアにメラノプシンが与える影響も定量化した。キセノンランプとDMDならびに特殊なフィルタと複数のプロジェクタを用いた2次元分光表示システムも試作した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

三種の錐体、杆体、内因性光感受性網膜神経節細胞（ipRGC：メラノプシン）の5つの応答量をそれぞれ独立に設定可能な色刺激の分光分布を簡便に生成するための数学的アルゴリズムを開発し、作成した色刺激を用いて色弁別や色の見え評価の実験を実施し、色知覚における杆体とメラノプシンの影響を定量化し、5種の光受容体の応答量に対応する5原色に基づく新たな色覚理論を提案した。また今回のような色覚実験を行う際は個人の分光感度を測定・考慮する必須であることを示すとともに、測色値が同じ色がモニタと印刷物で見えが異なる「異デバイス間の色再現の問題」の原因も解明し、色彩工学の観点からも意義が高い成果が得られた。

研究成果の概要（英文）：We created a device and program that can individually increase or decrease the amount of stimulation of five types of photoreceptors (L-cones, M-cones, S-cones, rods, and intrinsically-photosensitive retinal ganglion cells (melanopsin)), improved the method of taking into account the effects of macular pigment on ipRGCs and rods when considering individual differences in ocular optics, and refined the experiment to achieve greater precision. After eliminating the effects of individual differences, we conducted experiments on color perception in the central vision and elucidated its mechanism. We also experimentally investigated the contribution of rods and melanopsin to color vision in dichromats. We also quantified the effect of melanopsin on discomfort glare. Two-dimensional spectral display systems using a xenon lamp and a DMD, as well as special filters and multiple projectors, were also constructed.

研究分野：感覚知覚情報処理

キーワード：感知情報学 心理物理学 色彩工学

1. 研究開始当初の背景

ヒトの眼の網膜で光情報を受け取っているのは3種の錐体(cone)と杆体(rod)の4種の視細胞だと長年考えられてきた。しかし2002年に、内因性光感受性網膜神経節細胞(ipRGC、メラノプシン細胞)という、ピーク分光感度が約480nmのメラノプシンを発現する光受容体が網膜にあることが見いだされた。当初、メラノプシン細胞の出力信号がメラトニンの量を制御して概日リズムを調整していることや、瞳孔光反射を制御する前庭オリブ核(OPN)に同伴する視交叉上核(SCN)に投射されていることから、錐体や杆体が関わる画像形成経路の出力結果である視覚情報(見え)には影響しないと思われた。しかしその後、メラノプシン細胞がS錐体のoff信号およびL錐体とM錐体の和信号を受け取っていることや、画像形成経路の中継点ともいえるdLGN(背外側膝状体)への投射の発見、さらには錐体と杆体を欠損したヒトでも481nmの光を感知できること等から、メラノプシン細胞が画像形成に寄与していることが示されてきていた。

我々もその頃、測色値(輝度と色度)が同じでメラノプシン細胞の応答量のみ異なる光刺激を、6色プロジェクタを用いて数種類生成し、明るさ評価実験を行なったところ、測色値が同じでもメラノプシン細胞の応答量が大きいほど明るく知覚されることを示し、結果を定式化した。その際、杆体応答量と同じにしてもこの傾向は変わらないことや、他の研究結果からも、メラノプシン細胞が明るさ知覚に影響することを確信した。一方、メラノプシン細胞の(明るさを除く)色知覚への寄与は現時点では報告されておらず、否定的な結果しか得られていなかった。それまでの研究は杆体が飽和していてメラノプシン細胞のみ変調しているという仮定で行われているが、もし杆体とメラノプシン細胞の寄与が打ち消し合う方向であれば、見かけ上、寄与しないという結論を導いてしまう可能性も考えられた。

2. 研究の目的

本研究では、3種の錐体(L、M、S)、杆体、内因性光感受性網膜神経節細胞(メラノプシン細胞)の5つの応答量をそれぞれ独立に制御可能な色刺激の分光分布を生成するアルゴリズムを開発・実装し、カラーマッチングや色の見え評価の実験を行うことで、色知覚における杆体とメラノプシン細胞の影響を明らかにするとともに、錐体3原色に基づく現在の測色学を5原色に基づく形に拡張する。これは、実際の知覚に基づく測色学を構築し、正確な色再現を実現できるようになることから学術的有用性も高い。さらに、本研究の手法を拡張することで、色彩学における未解決な様々な諸問題、例えば、測色値が同じ色をモニタと印刷物で提示しても色の見えが異なるという異種デバイス間の色再現問題や、二色覚者が理論的には判別不可能な混同色線上の2つの色を実際には判別できてしまうという現象にメラノプシンが寄与していないかも検討する。

今回は波長可変光源を用いて分光分布を制御することで、任意の光受容体を任意に変調する色刺激を提示する。ある色光のメラノプシン細胞の応答量のみ変化させた色光の見えの変化をカラースケージング法で測定することで、メラノプシン細胞が色の見えにどのように寄与するかを定量的に測定し、5原色に基づく色覚モデルを構築する。

3. 研究の方法

(1)実験1：異種表示デバイス間における等色実験

図1に、実験1で使用した実験装置を示す。実験1では、ディスプレイと色票の見えを比較するため、これらを経時的に比較できる実験環境を構築した。3つの色条件において、ディスプレイと色票間で分光分布が全く等しいIsomeric条件および、分光分布は異なるがX、Y、Z、杆体、メラノプシン細胞の刺激量が等しいメタマー条件を設定した。Isomeric条件を比較し、色の見えが一致すれば、物理的な発光方式が原因ではないということが明らかとなる。メタマーとは、一般的には三刺激値が等しいが分光分布は異なる、という条件下で等色する刺激であるが、本実験においては、

三刺激値に加えて杆体およびメラノプシンの刺激量も等しい5元メタマーを作成した。これは、三刺激値ではなく五刺激値にすることによって、色の見えが一致するかを検証するためである。

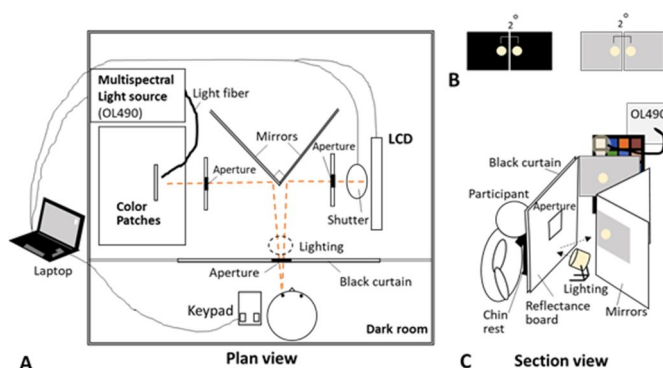


図1 実験空間のレイアウト

A: 実験空間の平面図 B: 実験参加者から見た刺激の様子 C: 実験空間の断面図

ただし、杆体およびメラノプシン刺激量は標準観測者とみなされる値で計算した。刺激の輝度はすべて 100 [cd/m²]であった。背景色は、色の見えのモードによる違いがあるかを検証するため 2 色用意し、1 つは黒で光源色モードでの色の見えを設定し、もう一つは灰 (80 [cd/m²]) で物体色モードでの色の見えを設定した。

実験参加者が暗室に入室後、約 30 秒間安静に待機させてから実験を開始した。ピープ音の後、液晶ディスプレイから表示された色と、色票の色が 5 秒ずつ、2 回繰り返し提示され、両方の刺激が消灯後、色の見えの違いについて回答させた。評価項目は「同じ」あるいは「違う」の 2 択であり、手元のキーパッドを使用することで回答を入力した。各条件間には 10 秒間の間隔を設けており、Isomeric 条件とメタメリック条件は 20 回ずつランダムに提示された。なお、ディスプレイと色票から反射した光のどちらが先に点灯するかについてはランダムであり、参加者の中には、どちらがディスプレイでどちらが色票である、とはっきりと判断できた者はいなかった。

(2) 実験 2 : 個人ごとの 5 種の細胞の分光感度の測定

実験 1 において、異種デバイス間において分光分布の違いが等色に影響を与えていることが示された。しかし、その原因が眼光学特性の個人差なのか、錐体細胞以外の影響なのかは不明である。そこで本実験では、水晶体や黄斑色素などの個人特性を測定し、5 種の細胞の分光感度を推定した。視感度の測定には、10 種の異なるピーク波長をもつ砲弾型 LED と Arduino Uno R3、積分球、LED 冷却のためにペルチェ素子とモーターを用いた。図 2 に各 LED の波長特性を示す。LED の出力は Arduino ベースでシステムを開発した。また、16 チャンネルの PWM 出力をもち、デューティー比を 12 ビット (0-4095) で制御可能な LED ドライバ (TLC5940; Texas Instruments, USA) を使用して LED の強度を調節した。

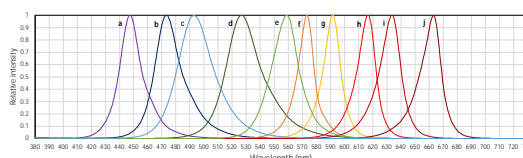


図 2 視感度測定に用いた LED の分光分布 (e は参照光)

図 2 に各 LED の波長特性を示す。LED の出力は Arduino ベースでシステムを開発した。また、16 チャンネルの PWM 出力をもち、デューティー比を 12 ビット (0-4095) で制御可能な LED ドライバ (TLC5940; Texas Instruments, USA) を使用して LED の強度を調節した。

黄斑色素濃度は眼球内で濃度分布が一樣ではなく、中心窩において最も濃度が高い。さらに、杆体は中心約 1.25° の網膜領域には存在しないことが報告されているが、メラノプシン細胞については、いまだはっきりしないのが現状である。しかし中心窩には神経節細胞 (RGC) が存在しないことは明らかであり、さらに傍中心窩に多く存在するとされているため、杆体と同じく 1.25° に存在しないと仮定した。今回は、10~25Hz の周波数で光を点滅させる交照法を用いて視感度を計測した。輝度の調節は参加者自身が手元のキーパッドを用いて調節した。このとき、参加者ごとに、また波長ごとに、参加者が調節しやすい周波数を設定して測定を行なった。各テスト光において 5 回ずつ測定し、各個人の各視物質の分光感度を求めるために、水晶体光学濃度、黄斑色素濃度、L/M 錐体比、L と M のピーク波長を推定した。

(3) 実験 3 : 5 種の細胞を考慮した色弁別実験

実験 2 では、各実験参加者の分光感度を推定した。これにより、眼光学特性すなわち各細胞の分光感度の個人差を排除できる。しかし、杆体細胞とメラノプシン細胞を考慮することで等色するかどうかは不明である。眼光学特性がうまく測定できており、また杆体やメラノプシン細胞が中心視において色知覚へ寄与しているならば、5 種の刺激値を一致させたメタマー条件において色の見えは一致するはずである。そこで実験 3 では、眼光学特性の個人差を考慮した分光感度曲線を用いたメタマー条件を用いて等色実験を行なった。

暗室内において、視距離 50cm の位置において視角 2° の円形の刺激を観察した。刺激は、実験 1 で用いたマルチスペクトル光源を使用し、420nm ~ 660nm、10nm ステップで得た 25 個の波長を組み合わせで作成し、積分球を通して刺激を観察させた。

刺激は、Silent Substitution 法によって作成された。ある視細胞の刺激量のみが異なる変調条件と、5 種の細胞の刺激量が等しいメタマー条件の光刺激を作成した。作成した条件の詳細を表 1 に示す。メタマー刺激 6 種と変調刺激 6 種の計 12 条件であった。5-metamer_CIE 条件では、錐体には CIE170-1、杆体には CIE1951、メラノプシンには CIE S026/E:2018 の分光感度を用いて計算した。変調刺激における変調量は、8% ~ 15% 程度であった。参照光の色度値は 5 点とした。この 5 点は、異種デバイス間において等色の不成立が報告されている先行研究 8 件で用いられていた条件の中から選択した。なお、実験参加者間で参照光および 5-metamer_CIE の分光分布は一致させた。表 1 における条件番号 3 ~ 12 においては、参加者間で使用している分光感度が異なるため、刺激に用いた分光分布は参加者間で異なるものであった。参照光の輝度は 100 [cd/m²]とした。刺激サイズは 2° であり、背景光はなく、真っ暗な背景に円形の刺激が呈示される状態で実験は実施された。暗室内に入室し、30 秒間真っ暗な状態で安静にした。ピープ音の後、参照光とテスト光が 5 秒間ずつ交互に提示され、実験参加者は 2 つの色の見え (明るさを含む) が同じかどうかを口頭で評価した。評価は「同じ」、「かすかに違う」、「違う」、「全く違う」の 4 段階とした。1 つの色条件あたり 60 回 × 2 回、繰り返された。テスト光は実験参加者ごとにランダムに 10 回ずつ提示された。なお、参照光とテスト光のどちらが先に提示されるかどうかはランダムであった。

表 1 視覚刺激の詳細

条件	実験条件	詳細
1	Isomeric	参照光と同じ分光分布
2	5-metamer_CIE	5 刺激値ともに CIE の提唱する分光感度を用いて計算し、参照光と 5 刺激値が等しいメタマー
3	5-metamer_Gov。	5 刺激値ともに Govardovski i ら (2000) のテンプレートを用いて計算し、参照光と 5 刺激値が等しいメタマー
4	5-metamer_Non-macular	Stockman ら (2000) のテンプレートを用いて眼光学特性を推定したが、杆体とメラノプシンに黄斑色素濃度の影響を加味せず計算し、参照光と 5 刺激値が等しいメタマー
5	5-metamer_SS1	Stockman ら (2000) のテンプレートを用いて眼光学特性を推定し、参照光と 5 刺激値が等しいメタマー
6	5-metamer_SS2	Stockman ら (2000) のテンプレートを用いて眼光学特性を推定し、参照光と 5 刺激値が等しいメタマー。条件 5 との違いは、光刺激の分光分布が異なる点のみである。
7	Δ +rod	L、M、S 錐体、メラノプシン細胞の刺激量が等しいが、杆体の刺激量のみ増加させた変調刺激
8	Δ +mel	L、M、S 錐体、杆体の刺激量が等しいが、メラノプシン細胞の刺激量のみ増加させた変調刺激
9	Δ +rod+mel	L、M、S 錐体の刺激量が等しいが、杆体およびメラノプシン細胞の刺激量を増加させた変調刺激
10	Δ -rod	L、M、S 錐体、メラノプシン細胞の刺激量が等しいが、杆体の刺激量のみ減少させた変調刺激
11	Δ -mel	L、M、S 錐体、杆体の刺激量が等しいが、メラノプシン細胞の刺激量のみ減少させた変調刺激
12	Δ -rod-mel	L、M、S 錐体の刺激量が等しいが、杆体とメラノプシン細胞の刺激量のみ減少させた変調刺激

(4)実験 4：メラノプシンおよび杆体を考慮した色知覚モデル

実験 3 では、中心視においてメラノプシン細胞および杆体が色知覚に影響を与えていることが確認できた。しかし、それがどのような影響なのかは不明である。そこで実験 4 では、定量的にメラノプシン細胞および杆体の影響を解析した。参照光はいずれの色条件も 100 [cd/m²] で統一した。刺激サイズは 2° であった。等色が確認できた分光感度曲線を用いて変調刺激を作成した。変調刺激は、実験 3 のうちの 6 条件とした。5 元メタマーによる等色の確認は、実験 3 と同じ手段で行なった。色の見えの評価は、エレメンタルカラースケーリング法を用いた。

(5)実験 5：二色覚における色弁別実験

実験 2 と実験 3 と類似した実験を、二色覚者を対象に実施した。

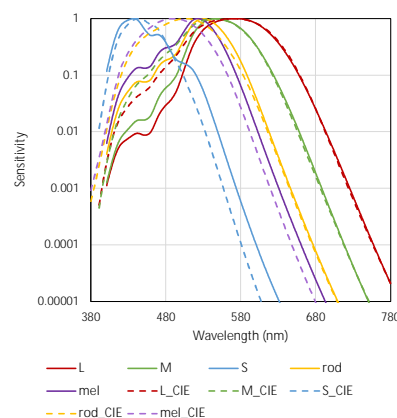
4. 研究成果

(1)実験 1：異種表示デバイス間における等色実験

5 元メタマー条件下において二つの刺激を「同じ」と回答した割合の平均値は、いずれの色の見えモード、色条件においても、50% より低い値となった。先行研究においても異種デバイス間において色の見えが一致しない報告は多数挙げられているが、杆体細胞やメラノプシン細胞の刺激量を異種デバイス間で一致させても、同様の結果となった。

一方、Isomeric 条件下において二つの刺激を「同じ」と回答した割合の平均値は、5 元メタマー条件とは対照的に、Isomeric 条件下においては、約 90% が「同じ」と回答した。これは、表示デバイスが異なっても、分光分布が一致していれば「同じ色」に見えることを意味する。これらの結果より、異種デバイス間の物理的な違いは、色の見えの違いには影響しないことが明らかとなった。一方、分光分布による違いが、異種デバイス間における色の見えの不一致の原因であることが示された。

以上の結果から、分光分布を一致させることによって、たとえ表示デバイスが異なっても色の見えは一致することを実験的に実証することができた。すなわち、表示デバイスが異なっていると色の見えが異なって見えるのは、分光分布が主原因であることが明らかとなった。この結果は色彩工学において重要な知見といえる。



3 個人の分光感度曲線の例

実線：推定した分光感度曲線 点線：CIE 分光感度曲線

(2)実験 2：個人ごとの 5 種の細胞の分光感度の測定

図 3 に、個人の推定された 5 種の細胞の分光感度曲線の一例を示す。分光感度が標準の感度と大きく異なり、個人差の排除が重要であることを示唆している。

(3)実験3：5種の細胞を考慮した色弁別実験

メタマー刺激における平均値の結果から、Isomeric 条件では参照光と分光分布が一致している条件であるため、いずれの色条件においても等色していることが確認できた。しかし、5-metamer_CIE 条件では、いずれの色条件においても「違う」の評価が多く、色条件Pにおいては、「全然違う」の評価しか得られなかった。したがって、例え新しく提唱されているCIE170-1を錐体の分光感度として用いたとしても等色しないことが確認された。次に、5-metamer_Gov 条件では、CIE 条件よりは評価が改善している色条件もあるが、「違う」の評価がいくらか存在し、Isomeric 条件との間に有意差も確認された。さらに、5-metamer_Non-macular 条件においても、いくらか「違う」という評価があり、Isomeric 条件との間に有意差が確認された。一方、5-metamerSS1 および 5-metamerSS2 条件においては、「かすかに違う」～「同じ」の評価となり、等色した。また、Isomeric 条件との間に有意差は確認されなかった。

(4)実験4：メラノプシンおよび杆体を考慮した色知覚モデル

実験結果から、メラノプシン刺激量のみを変調させると赤緑応答に変化することが示された。また黄青応答も赤緑応答ほどではないが変化することがわかった。

杆体刺激量のみを変調させても、赤緑応答が変化することが示された。また黄青応答も赤緑応答ほどではないが変化することがわかった。これらの特性は、メラノプシンと杆体の刺激量を独立に変調させたことによって明確に示すことができた。また、各実験参加者の分光感度で刺激を補正しているため、個人差によるアーティファクトではないことも明らかである。

これまでの LMS 錐体の色覚モデルでは、メラノプシン細胞や杆体の応答は考慮されていないため、今回のようなメラノプシン細胞だけ或いは杆体だけを変調させても色の見えが変わるといふ実験結果を説明することはできない。そこで、メラノプシンや杆体も色知覚に与える影響を考慮した新たな5元色知覚モデルを構築した。本モデルで予測した色応答と実測値の相関結果を図4に示す。各反対色において精度よく色応答を予測できており、5元色知覚モデルの構築に成功した。

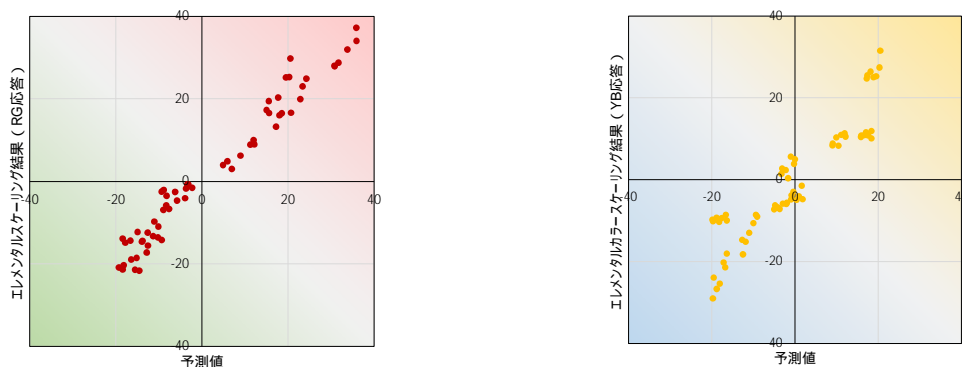


図4 色応答の提案モデルからの予測値と実測値の相関関係

(5)実験5：二色覚における色弁別実験

二色覚者においても、メラノプシン細胞と杆体の刺激量を変えた際に、色弁別特性に影響することが示されたが、その影響は三色覚者に比べて小さかった。これは、メラノプシン細胞と杆体の影響が主に赤 緑成分に寄与するが、二色覚の場合は赤 緑応答がないため、影響が小さいと考えられ、三色覚者の結果と矛盾しない。また、二色覚者でも混同色線上の色を区別できるという現象を、単純にメラノプシン細胞と杆体の寄与で説明できないことも示唆された。ただし、二色覚者においても光受容細胞の分光感度に大きな個人差が存在するが明らかとなったため、個人差の影響にも留意する必要があることが示された。

<引用文献>

M. Yamakawa, S. Tsujimura, K. Okajima: "A quantitative analysis of the contribution of melanopsin to brightness perception," Scientific Reports, 9, Article number: 7568 (2019)

A. Kagimoto, K. Okajima: "Perfect Appearance Match between Self-luminous and Surface Colors Can be Performed with Isomeric Spectra," Scientific Reports, 10, Article number:18350 (2020)

A. Kagimoto, K. Okajima: "Color appearance match can be performed among custom-made five-dimensional metamers," Journal of Vision, 22, (2022) *in press*.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Akari Kagimoto, Katsunori Okajima	4. 巻 10
2. 論文標題 Perfect Appearance Match between Self-luminous and Surface Colors Can be Performed with Isomeric Spectra	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 18350
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-75510-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Miguel A. Martinez-Domingo, Manuel Melgosa, Katsunori Okajima, Victor Jesus Medina, Francisco Jose Collado-Montero	4. 巻 19
2. 論文標題 Spectral image processing for museum lighting using CIE LED illuminants	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 5400
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s19245400	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Masahiko Yamakawa, Atsumichi Tachibana, Muneto Tatsumoto, Katsunori Okajima, Shuichi Ueda, Koichi Hirata	4. 巻 S0168-0102
2. 論文標題 Hemodynamic responses related to intrinsically photosensitive retinal ganglion cells in migraine	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 NeuroScience Research	6. 最初と最後の頁 30550-30554
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.neures.2019.11.011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 萩原亨、浜岡秀勝、江湖俊介、岡嶋克典、小林正自	4. 巻 6
2. 論文標題 市街地におけるプロビーム道路灯プロトタイプの開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 交通工学論文集	6. 最初と最後の頁 11-20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14954/jste.6.3_11	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 西澤昌宏、岡嶋克典	4. 巻 J102-A
2. 論文標題 プロジェクトカメラ系における反射面の事前知識を用いたオンライン反射色推定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Masahiko Yamakawa, Sei-ichi Tsujimura, Katsunori Okajima	4. 巻 9
2. 論文標題 A quantitative analysis of the contribution of melanopsin to brightness perception	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-44035-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 東洋邦、高橋良香、岡嶋克典	4. 巻 106
2. 論文標題 メラノプシン細胞が不快グレアに与える影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 照明学会誌	6. 最初と最後の頁 29-35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2150/jiej.21000612	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計23件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 Shino Okuda, Satoko Taguchi, Katsunori Okajima, Luis Gomez-Robledo, Manuel Melgosa
2. 発表標題 Effect of lighting on visual appearance of Japanese woodblock print painting (Ukiyo-e) for Spanish observers
3. 学会等名 International Colour Association (AIC2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 東洋邦、高橋良香、岡嶋克典
2. 発表標題 不快グレアにおけるメラノプシン細胞の影響
3. 学会等名 照明学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masahiko Yamakawa, Katsunori Okajima
2. 発表標題 The Role of Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells in Brightness Perception
3. 学会等名 International Display Workshop (IDW'20) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akari Kagimoto, Katsunori Okajima
2. 発表標題 Effects of ipRGCs and rods on color matching between object and luminous colors
3. 学会等名 Vision Science Society (VSS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Katsunori Okajima, Yoshika Takahashi, Graham Fielder, Alan Robertson
2. 発表標題 Opponent modulation of mRGCs and rods in unique-hue color channels
3. 学会等名 International Colour Vision Society (ICVS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sei-ich Tsujimura, Katsunori Okajima
2. 発表標題 A Weak Melanopsin Contribution to Color Perception
3. 学会等名 Asian Color Association (ACA2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Katsunori Okajima
2. 発表標題 Application of Visibility Index Function for Driving
3. 学会等名 International Display Workshop (IDW'19) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Okajima, M. Nagata
2. 発表標題 Gloss-detection image filter based on center-surround receptive fields
3. 学会等名 European Conference on Visual Perception (ECVP2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鍵本明里、岡嶋克典
2. 発表標題 異種デバイス間カラーマッチングにおけるメラノプシン細胞と杆体細胞の寄与
3. 学会等名 日本視覚学会冬季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永田雅人、岡嶋克典
2. 発表標題 中心周辺拮抗型受容野フィルタを用いた光沢の検出と制御
3. 学会等名 日本視覚学会冬季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Runa Takahashi, Katsunori Okajima
2. 発表標題 Image processing method for renewing old objects using deep learning
3. 学会等名 Electronic Imaging (EI2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S.Okuda, K.Okajima
2. 発表標題 Color appearance during color adaptation after changing the lighting color
3. 学会等名 European Conference on Visual perception (ECVP2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Yamakawa, S. Tsujimura, K. Okajima
2. 発表標題 Individual Differences of IPRGC's Contribution in Brightness Perception
3. 学会等名 Asia Color Association (ACA2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Nishizawa, Katsunori Okajima
2. 発表標題 Precise Surface Color Estimation Using a Non-Diagonal Reflectance Matrix on an Adaptive Projector-Camera System
3. 学会等名 ISMAR2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Okajima
2. 発表標題 Human visual processing in driving
3. 学会等名 25th International Display Workshops (IDW '18) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akari Kagimoto, Katsunori Okajima
2. 発表標題 Effects of ipRGCs and rods on color matching between object and luminous colors
3. 学会等名 Vision Science Society (VSS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Okajima, Y. Takahashi, G. Fielder, A. Robertson
2. 発表標題 Opponent modulation of mRGCs and rods in unique-hue color channels
3. 学会等名 25rd Symposium of the International Colour Vision Society (ICVS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡嶋克典
2. 発表標題 質感と色の五次元理論
3. 学会等名 日本色彩学会研究会大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 名取和幸、長澤和弘、岡嶋克典
2. 発表標題 色覚特性の違いによる色名応答 - 1型・2型2色覚と3色覚の特徴
3. 学会等名 日本色彩学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 東洋邦、瀬川かおり、岡嶋克典
2. 発表標題 照明環境の不快グレアにおけるメラノプシン細胞の影響
3. 学会等名 照明学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鍵本明里、岡嶋克典
2. 発表標題 中心視におけるメラノプシン細胞と杆体細胞の色知覚への影響
3. 学会等名 照明学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鍵本明里、岡嶋克典
2. 発表標題 個人差を考慮した5元メタメリックカラーマッチング
3. 学会等名 日本視覚学会夏季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山川昌彦、岡嶋克典
2. 発表標題 メラノブシン細胞の効果を考慮した明るさ知覚の個人差解析
3. 学会等名 日本色彩学会視覚情報基礎研究会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 岡嶋克典、他107名	4. 発行年 2020年
2. 出版社 オーム社	5. 総ページ数 562
3. 書名 照明ハンドブック（第3版）	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関

スペイン	グラナダ大学			
------	--------	--	--	--