

機関番号：26402

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24650109

研究課題名(和文)空間的色対比効果と色恒常性効果の両者を生成する統一の色覚メカニズムの解明

研究課題名(英文)The elucidation of the unified color sense mechanism to generate both of the spatial color contrast effect and color constancy effect.

研究代表者

篠森 敬三 (Shinomori, Keizo)

高知工科大学・工学部・教授

研究者番号：60299378

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、背景と対象物との空間的色対比効果と人間の色恒常性効果の2つの効果が、実は同一機序により生成されるとの仮説の検証を目的とした。

結果より、2次元での色対比効果や日常経験の無い特異照明色条件では、色コントラストや錐体順応/錐体信号利得制御が主要因となり、機械的に色対比や色恒常性効果が決定された。一方、3次元配置の色対比や、より一般的な色照明条件では、照明推定により色対比や色恒常性効果が決定された。

2種の決定要因が、色対比と色恒常性効果の両方で、本実験の条件変化では同時に切り替わったことから、両者が同一機序、あるいは少なくとも共用機序を効果決定機序への入力として持つこと、が示唆された。

研究成果の概要(英文)：This study was aimed for inspection of the hypothesis that two effects, the spatial color contrast effect between a background and objects and the color constancy effect, were generated by the same mechanism.

Results indicated that in the color contrast in two-dimensional stimuli and the specific color illumination condition without a daily experience, color contrast and cone adaptation/cone signal gain control became the principal factor, and these effects were determined automatically. Whereas, in the color contrast of the three-dimensional placement and a more common color illumination condition, the color contrast and color constancy effects were determined by the estimation of the illumination.

Because two determinants were replaced under this experimental condition in both color contrast and color constancy effect at the same time, it suggests that both of them have the same mechanism or at least, a common mechanism is used as input to mechanisms determining these effects.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・「感性情報学・ソフトコンピューティング」

キーワード：感性情報学 実験系心理学 色恒常性 空間的色対比

1. 研究開始当初の背景

(1) インターネット等の普及により、美術品や商品等を液晶モニター画面上に呈示する場合がますます増えている。問題は、色の見え方が本物と一緒にあるかどうかである。特に美術品やデザイン重視の商品では、色の見え方の相違が感性的にも致命的な欠点となる。測光器により測定可能な物理特性の再現については、さまざまな対応がなされており、今後、各種モニター上における色度及び輝度自体の正確な再現については相当程度進展することが期待される。

(2) その一方、重要な対象物の色の見え方の再現性については、様々な問題が積み残されている。第一に、その対象物と背景の色との関係である。中心刺激の周りに周辺色刺激を出すことによって中心刺激の色が変化して見える空間的色対比効果は良く知られており、対象物の色の見えを正確に再現するには、周辺に存在する背景色の統制もまた必要である。第二に、照明色の影響である。照明の変化により、物体表面からの反射光が物理的に変わることを反映して、色の見えも変化する可能性がある。ただし、人間の色覚には照明変化に対する色恒常性があるため、見えの色としてではなく、物体表面の色としては、比較的正確に認識できると考えられている。

(3) 感性に基づいた人間の色の見えの観点から、正確かつ安定的に対象物の色を再現するためには、最も影響が大きいこれら2つの効果に関して、何をどのように統制・制御して対象物を画像呈示するかを考えねばならず、そのための基礎的な研究が必要である。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、背景と対象物との空間的色対比効果と人間の色恒常性効果という、対象物の色の見えに影響を与える2つの効果が、実は同一機序によって生成されるのではないかという可能性に着目し、2次元の色対比効果とは、直接的な色コントラスト処理による背景の補色方向への色変化ではなく、背景色より導かれる仮想照明光の色(=背景色)に対する色恒常性であるという仮説を検証することである。より詳細には、以下の3つとなる。

(2) 空間的色対比及び色恒常性の2つの効果について、仮説の検証を行う。すなわち色対比効果が実は色恒常性メカニズム(機序)により生じている可能性を検証することを第1の目的とする。

このために、申請書記載の新しい実験手法により2つの効果の発現をそれぞれ統制しながら色シフト量を測定する。実験結果から、

それぞれの効果が生じるのに必要な様々な条件を経験則的にも明らかにし、応用的利用に役立てるのが第2の目的である。

最終的に、結果の解析と仮説検証を踏まえて色対比と色恒常性の統一的機序を探ることが第3の目的である。

(3) 測定データ自体が重要美術品等の撮影環境や照明環境の構築に有益な指針を提供することになるため、美術作品アーカイブ等の応用的見地から見ても高い価値がある。

3. 研究の方法

(1) 当初の研究方法について、過去の知見とその前提となる仮定の詳細と共に述べる。

本研究で取り上げる空間的色対比効果について、色のついた背景の前に対象物を撮影するという画像刺激の場合には、通常の2次元配置の場合よりもずっと小さい対比効果しかないということを報告した(Shinomoriら, ICVS 口頭発表, 2009, 2011)。これは3次元知覚を伴う画像における背景色の影響が2次元平面上での背景色の影響よりも小さく、従来からいわれている両眼視差による奥行面相違により対比効果が減少するだけでなく、3次元知覚のみでも対比効果の減少が起こることを示す。

一方背景という観点からは、色恒常性についての過去の研究では、灰色背景や多数の色票による背景が用意されているが、背景色自体が色対比効果を起こすことについては考慮されていない。あくまでも、背景色は照明の色を判定するための視覚の手がかりの一種としてのみ想定されている。

このように、3次元空間知覚によって対象物と背景との位置関係が認識された場合に、背景の色がどのように対象物の色の見えに対して影響するかについて明確でなく、きちんと測定されてもいない。本研究は、色対比と色恒常性の機序の関係を明らかにするべく、実空間刺激を含めた一連の刺激セットを用い、同じ実験において両者の効果を同時に測定する。

(2) 仮説の詳細は、以下のようになる。

空間的色対比効果による影響とは、背景と対象物の直接的色コントラストによる効果であるとみなされている。一方、色恒常性効果による影響は、背景の色から推定された照明の色に対する認識による対象物の色の見えの変化である。一見別々のそれら効果は、しかし、どちらも網膜上及びV1上で近傍の神経細胞間で生起される色コントラストを、照明光や空間配置の情報を加えながら、高次神経処理においてどう解釈するのかという、色覚情報処理過程の機序の作用として統一的に説明されるのではないかと考えられる。つまり1つの仮説として、2次元の色対比効

果とは、今まで考えられていたような直接的な色コントラスト処理による背景色の補色方向への色シフトではなく、背景色より導かれる仮想的照明光の色(=背景色と同じ)に対する色恒常性の効果であるという可能性がある。この仮説の下では、背景を本来は白色であると解釈した上で、スポット照明の色によってその照明下の世界(刺激領域)が全て背景色方向へシフトしているとの認識になる。よって、対象物(中心刺激)の色の見え方を、色度座標の色から、背景色と逆(補色)方向にシフトするのが、色恒常性効果となるはずである。この仮説より、先に述べた対比効果の減少は、3次元知覚の中で、壁が黄色であるという認識及び照明光が白色であるとの認識に基づいて色恒常性効果がほとんど生じなかったためであると説明できる。

(3) 仮説を検証するための実験方法を以下のように考えた。先に述べた先行研究における3次元知覚を伴う場合の色対比効果の測定手法では、白色照明光を用いた上で、(A)実物観察条件、(B)通常写真観察条件、(C)(写真上で)物体塗り潰し条件、(D)(写真上で)物体・背景塗り潰し条件、の4種の刺激を使用した。この時、色対比効果は条件(D)の場合にのみ生じたことから、空間的色対比効果は3次元知覚の有無によって制御できることが明らかとなった。

これと対応する形で、空間的色対比の観点から背景壁色が物理的には白色になるように条件設定した上で、鏡面反射物等を周辺に配置する等により照明光が白色ではないという認識を与えた場合には、3次元空間知覚を伴っていたとしても強い色シフトが(主に色恒常性効果により)知覚されるはずである。つまり、上記(A)~(D)の4条件について、それぞれ(1)照明が白色のままの場合(統制条件)、(2)照明を色光に変えた場合、(3)照明を色光に変えた上で鏡面反射物で照明色を強く認識させた場合、の3つの照明条件を付加することで色恒常性効果を制御できる。この4×3条件での結果の比較から、それぞれの効果の影響を実験的に求めることが可能となる。

(4) 実際の研究実施において、上記手法が改良・拡張されたため、その点について述べる。

まず上記仮説とその検証手法については、一つの前提が暗黙的に仮定されていることが判明した。それは(上記の様な特殊な実験的刺激に対してでは無い)通常の色恒常性が、想定される、あるいは実験環境として設定される、ある同じ視環境・照明環境では、その環境で機能するある色覚恒常性メカニズムが、物体の色や照明色光によらず安定して、支配的に機能するという点である。

現在、色恒常性メカニズムに対する提案が様々にあるけれども、ある視環境化では、安

定して機能することが前提とされている。

実は、この点は学術的にきちんと検証されてはいないし、さらには、この点を自明としたままで、上記(2),(3)のような手法をそのまま進めることは、誤った結論を導く可能性がある、そのため、まず色恒常性のメカニズム安定性を検証する実験(実験)を実施することとした。この実験の手法については、その結果と共に、次章の「4 研究成果」で述べる。

(5) 上記(4)で述べた実験とその結果をふまえて(第4章参照)、研究過程で改良した手法を以下に述べる。

実験の結果は、単に照明色光を変化させただけで、色覚恒常性メカニズムが、大きく変化すること、但し、色恒常性効果自体はそれほど大きくないことを明らかとした。

この実験での手法は視覚系情報処理に基づく照明環境の判断の影響を含むものとなる。従って視環境から照明環境(照明色光)を判断する過程に及ぼす人工的に付加された刺激パラメータとしての照明環境要因の影響が大きい可能性を示唆するものである。

そのことをふまえて、照明光と物体上の反射状態を人工的に設定するために、CG画像上で色恒常性実験を企図し、被験者の照明光状態に対する認識のみを変化させた時に、色恒常性効果がどのように変化するかを調べる実験(実験)を実施することとした。この実験の手法については、その結果と共に、次章の「4 研究成果」で述べる。

4. 研究成果

(1) この検証の最初の段階として、当初計画を一部変更し、平成24年度(2012年度)は色恒常性の決定要因を精力的に調べる事とした。色恒常性要因として低レベル処理、すなわち光源に対する光受容体(錐体)順応/錐体信号利得制御(ゲイン・コントロール)が上げられる一方、視野中の情報から照明空間を認識することで照明光を推定し、これによって反射率を推定するという考え方も提唱されている。この場合、高次で起こっている認知機構が色恒常性での非常に重要な役割を演ずる。この決定要因の判別により、もし照明認識が重要であることが判明すれば、2次元色対比では照明認識が生じない事になる一方で、低次の順応/信号利得制御で決まっていれば、空間的色対比と同様の機構で処理されている事となる、という形で当初の研究目的が達成されるためである。

この検証実験では、5人の色覚正常な観察者が、モニターの上で非対称同時表面色比較(カラー・マッチング)を行った。色照明として4つのテスト光源とD65を使用した。標準2色覚者混同色線に沿った緑光源と赤光源、および色温度軌跡近傍の紫がかった青光

源と緑がかかった黄光源である。マッチング結果を2つのあり得る理論的なゴール、物体表面反射率と光源スペクトル放射輝度からの理論的算出色、および順応/信号利得制御(完全フォン・クリース型順応)による予測色のいずれになるかを調べた。

結果は、緑光源下で、フォン・クリース・モデルがマッチング結果を予測したことを示した。その一方で、赤光源の下では、マッチング色の色シフトは、理論的算出色により予測されるという結果になる。残念ながら青光源と黄光源の場合は、フォン・クリース・モデルの予測色と理論的算出色とが、非常に間近であるため、色恒常性の2つの機序の切り離しが出来なかった。これらの結果は、2つの異なるメカニズム、錐体順応/利得制御のフォン・クリース型と理論的に算出された色メカニズムの推定のメカニズムが光源条件によって色恒常性を媒介するために選択的に用いられることを示す。

つまり色恒常性が低レベル処理である光源に対する光受容体(錐体)順応/錐体信号利得制御(ゲイン・コントロール)により決定される場合と、視野中の情報から照明空間を認識することで照明光を推定してこれにより物体表面反射率を推定するという照明推定により決定される場合との両方があることが判明した。世界ではじめて光源色が色恒常性の機序の種類に影響を与える事を明らかにした。よって、当初予想したような単一の機序で色恒常性を説明する事が出来ない、つまり空間的色対比効果との関連も説明できない、ということになる。

実験の結果は、単に照明色光を変化させただけで、色覚恒常性メカニズムが、大きく変化すること、但し、色恒常性効果自体はそれほど大きくないことを明らかとした。

(2) これを当初の仮説(第3章の(2))に即して考えると、低次の順応で決まれば、空間的色対比と同様の機構である可能性が高く、かつ単純処理されていることを示す。その一方で、照明認識が重要であれば、2次元での色対比では色恒常性効果が限定的になる。3次元配置での色対比効果を測定する実験によって、色対比効果が3次元配置刺激で小さくなるという結果を得たことから、後者が強く示唆される。

(3) さらなる仮説検証のために、CGを用いて3次元レイアウトの部屋を作成し(画像としては2次元呈示)、CG部屋上の天井に配置した色光照明とともに、部屋外からの外光(太陽光の模擬)が物体上に照射される光線配置の画像を用いて、ペーパーマッチによって色恒常性を測定する実験を実施した。この時の外界の条件は、白昼、夕焼け時、夜間としている。ただし、夜間条件以外では、物体の一部に窓を通じて照射される外光(太陽光)が存在するが、この外光は、CGのための

物理演算上は常に白色昼光としており、照明光と外光の連合(コンビネーション)の効果は物理的に不変とした一方、CG部屋の窓上に示した外界の環境は、白昼と夕焼け時としている。つまり、照明と外光に照射される物体の物理的な色は不変であるけれども、被験者の認識としては、夕焼け時には赤色太陽光が照射されていると思わせるような人工的な視環境としている。このような実験の手法によって、刺激物理状態が一定であるのに、被験者の照明認識のみを変化させるという実験設定(パラダイム)を可能とした。

この実験の結果は、色恒常性は外光光線の色そのものでは無く、人工的に窓に描写した外界の状況(白昼か夕焼けか)によって強く影響を受けることを示した。これは照明推定においては、物体上の色や、物体周辺の背景(壁)の照明色光下で変化した色、で物理的に表現される筈の光線の照明色情報そのものよりも、その視環境構成における色を推定する情報(この場合、夕焼け時の太陽光)の方が重要(より影響力が強い)であることを示した。

(4) これらの結果を統合的に理解すると、次のようになる。

2次元での色対比効果であったり、日常経験の無い特異な照明条件では、色コントラストや錐体順応/錐体信号利得制御が主要因となって、いわゆる機械的に色対比や色恒常性が決定されることになる。

その一方で、3次元配置の色対比効果やより一般的な色照明条件では、照明推定によって色対比や色恒常性が決定されることを示す。

さらに、ここで示された2種類の決定要因が、空間的色対比効果と人間の色恒常性効果の両方で、今回実験で使用した様な次元配置などの刺激呈示条件の変化に対して共通して変わる(同時に変わる)ことから、両者が同一機序であること、あるいは少なくとも同一メカニズムを基盤とする(あるいは共用メカニズムを入力に持つ)機序の存在を強く示唆するものである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4 件)

Keizo Shinomori, John S. Werner: Aging of human short-wave cone pathways, *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America (PNAS)*, 109(33), 査読有, 13422-13427, 2012. (DOI: 10.1073/pnas.1119770109)

Qian Qian, Miao Song, Keizo Shinomori, Feng Wang : The functional role of alternation

advantage in the sequence effect of symbolic cueing with nonpredictive arrow cues, *Attention, Perception and Psychophysics*, 74(7), 査読有, 1430-1436, 2012.
(DOI: 10.3758/s13414-012-0337-5)

Lin Shi, Keizo Shinomori : Amplitude difference and similar time course of impulse responses in positive- and negative- contrast detection, *Vision Research*, 77, 査読有, 21-31, 2013.
(DOI: 10.1016/j.visres.2012.11.006)

Qian Qian, Keizo Shinomori, Miao Song : Gaze cueing as a function of perceived gaze direction, *Japanese Psychological Research*, 55, 査読有, 264-272, 2013(DOI:10.1111/jpr.12001)

〔学会発表〕(計 11 件)

篠森敬三: 2色覚者の色覚と色のユニバーサルデザイン(招待講演), 日本色彩学会全国大会 2012 シンポジウム「照明新時代～色彩のサイエンスとデザイン」, 2012年5月25日, 京都大学百周年記念館国際交流ホール.

馬瑞青, 篠森敬三: 特別な照明変化における赤緑2色覚者の色恒常性, ヒューマン情報処理研究会(HIP), 2012年7月12日, 室蘭工業大学.

Ruiqing MA, Ken-ichiro KAWAMOTO, Keizo SHINOMORI : Measurement of color constancy under bluish and yellowish illuminants on color normal and color deficient observers, 日本色彩学会 色覚研究会 平成 24 年度 第 1 回研究発表会, 2012年11月17日, 工学院大学新宿キャンパス.

田中いづみ, 橋田美緒, 篠森敬三: 時間交替型色照明下での色票の色恒常性の検討, 日本視覚学会 2013 年冬期大会, 2013年01月23-25日, 工学院大学新宿キャンパス.

Ruiqing MA, Keizo SHINOMORI : Color constancy mechanism is selected by color of test illuminant from gain control of cone signals or estimation of theoretically calculated color, *International Colour Vision Society (ICVS2013)*, July, 14-18, 2013, University of Winchester, UK.

Ippe NEGISHI, Hiroaki SHIGEMATSU, Hiroshi KADOTA, Keizo SHINOMORI : Activation of the

temporo-parietal junction depending on saturation of target colour, *International Colour Vision Society (ICVS2013)*, July, 14-18, 2013, University of Winchester, UK.

橋田美緒, 篠森敬三: カテゴリカルカラーネーミング測定による高齢・色弱模擬フィルタの色恒常性への影響, 日本視覚学会 2013 年夏季大会 2013 年 7 月 24-26 日, 札幌市立大学.

上田紘綺, 篠森敬三: CG 画像における色照明下での物体の色知覚に対する外部環境変化認識の影響, 日本視覚学会 2013 年夏季大会 2013 年 7 月 24-26 日, 札幌市立大学.

篠森敬三: 分光データで探る色覚の個人差 - 色弁別における加齢の影響について - (チュートリアル招待講演), 日本色彩学会第 1 回秋の大会「倉敷」'13 色覚研究会企画, 2013 年 11 月 15 日, 倉敷公民館大ホール.

根岸一平, 繁樹博昭, 門田宏, 篠森敬三: fMRI を用いた刺激の彩度の違いによる脳活動の変化の計測, 日本視覚学会 2014 年冬季大会, 2014 年 1 月 22 日, 工学院大学新宿キャンパス.

坂本健人, 篠森敬三: 2 枚組構成視覚刺激の情報読み取りに対する色順応の影響, 日本色彩学会色覚研究会平成 25 年度研究発表会, 2014 年 3 月 8 日, キャンパスイノベーションセンター田町(東京).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

http://www.kochi-tech.ac.jp/kut/about_KUT/faculty_members/prof/shinomori-keizo.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

篠森 敬三 (SHINOMORI, Keizo)

高知工科大学・工学部・教授

研究者番号: 60299378

(2) 研究分担者 該当無し

(3) 連携研究者 該当無し