

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760036

研究課題名(和文) 環境・眼光学的要因による視界の彩度低下に対する色覚の適応性

研究課題名(英文) Adaptability of color vision to the decrease of saturation in visual field due to optical and environmental factors

研究代表者

溝上 陽子 (Mizokami, Yoko)

千葉大学・融合科学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：40436340

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：自然な環境の色変化が色覚の彩度順応効果に与える影響を評価するため、画像変調により彩度を変化させた条件と、霧または眼内散乱光によるかすみを模擬するフォギーフィルターを装着して彩度低下を再現した条件で、実験を行った。自然画像で最も順応効果が高く、画像の風景・物体認識と空間周波数特性のいずれかが自然画像と異なる場合には効果が低下したことから、低次～高次レベルにおける複数メカニズムの彩度知覚に対する寄与が示唆された。また、フォギーフィルターを用いた実験から、彩度順応は自然な環境での彩度変化に対して活発に働くこと、また、かすみによる彩度低下を瞬間的に補正する彩度知覚機能が働くことが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：We investigated whether the effect of colorfulness-adaptation is associated with the spatial frequency components and/or the scene recognition of natural images. We also examined whether the colorfulness perception of a scene is stable after adaptation to scenes through an foggy filter. We tested how the colorfulness impression of a test image changed following to adaptation images. Results showed that both spatial frequency components and scene recognition influenced to the adaptation, implying the contribution of mechanisms at the multiple levels of visual processing. The results of colorfulness appearance through foggy filter showed that observers perceived the similar colorfulness to the images even when they looked the images through the optical haze. These suggest that a colorfulness adaptation mechanism works for the saturation change due to optical haze and the colorfulness perception to the scenes is maintained stable under this type of natural change in visual environment.

研究分野：視覚科学

キーワード：色覚 彩度知覚 順応 視環境 画像 視覚心理学

1. 研究開始当初の背景

(1) 彩度知覚と彩度順応

彩度知覚は、周囲環境の時間的・空間的变化に影響を受ける。Brown & Macleod (1997) は、同彩度の刺激でも高彩度の色に囲まれている方が、低彩度の色に囲まれているときより彩度が低く知覚されることを示した。また、Webster ら(2002)は色コントラスト順応の研究で、ある色の組合せ(例えば赤と緑)を交互に見て順応すると、順応色と同方向(赤緑)の色への感度が選択的に低下することを示した。これらは、環境の彩度に順応すると、視覚系の補正機能が働き、実際の彩度の変化ほどは色の見えに違いを感じないことを示していると考えられる。しかし実環境や自然画像において同様の効果が得られるかどうかは確認されていなかった。

画像を用いた彩度順応の研究(Mizokami et al., 2012)では、同じテスト画像でも、事前に画像全体に彩度変調をかけて鮮やかにした画像群を見続けた後では色褪せて見え、逆に色褪せた画像群を見続けた後では鮮やかに見えることを示した。すなわち、彩度順応は自然画像に対しても働くことが確認された。しかしその際、画像を分割したシャッフル画像では、彩度順応効果が低いという結果を得た。これは、彩度順応効果は単に画像の色平均や分布のみに対して働くのではなく、意味のある風景や物体に対して働くことを示唆している。また、室内模型を用いた鮮やかさ知覚の研究(Mizokami & Yaguchi, 2010)では、室内を彩度の高い物体で構成しても室内のテストパッチの見えに与える影響は小さいことを示した。これは、彩度知覚は視界の色平均や分布のみに影響を受けるのではないことを示唆している。

これらの研究は、彩度知覚の環境適応性が、色平均を処理するような視覚系の低次レベルのメカニズムではなく、実環境に起こり得る「自然な変化」に対して選択的に補正機能が働くことを示唆している。人間の視覚は、安定して外界を知覚するため、周囲の環境に適応して進化してきたと考えられる。したがって、規則性のある、自然な変化(照明変化、霧等による空気のかすみ、加齢に伴う眼光学系の散乱増加によるかすみ等)には、その適応能力が最も発揮され、規則性のない不自然な彩度変化(構成物体、特定の画像変調等)には影響を受けにくく、順応効果は小さいと予測できる。

(2) 環境と色の恒常性

環境照明の色相変化に関しては、色の恒常性の研究が多く行われており、色相変化に対する適応性が示されている。また、自然な環境であるほど色の恒常性が高いという結果も得られている。しかし、これまで環境の彩度変化についてはあまり検討されていない。環境に対する適応という機能的な観点に立てば、彩度知覚においても色相方向と同様、

自然な環境に対する高い適応性が期待される。

(3) 加齢による眼光学系の変化

加齢による水晶体の黄濁化により、黄青の弁別能力が低下することが知られている。しかし、色名の認識は高齢者と若年者で大きな違いがないという岡嶋ら(2000)の報告は、視環境の印象自体はあまり変わらないことを示唆している。小浜ら(2000)は、加齢による眼光学系の散乱増加から生じる「かすみ」により彩度知覚が低下すると述べている。しかし、彩度知覚においても適応能力が発揮されれば、眼光学系の変化から予測されるほどには知覚は変化していない可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では環境の色変化の仕方が彩度順応効果に与える影響を検討する。すなわち、起こりうる環境の彩度変化と不自然な環境の彩度変化によって順応効果に違いが生じるかを比較する。まず、自然環境で起こり得る変化として、霧のかかった状態、あるいは眼内散乱光が増加した状態を再現するためフォギーフィルターを用いる。フィルターを通して画像を観察した場合の彩度知覚を調べる。さらに、画像変調手法を変化させた条件や実環境での実験を行い、彩度順応効果と環境要因の関係について多角的に検討する。

3. 研究の方法

自然な環境の色変化が彩度順応効果に与える影響を評価するため、心理物理学的手法を用いて様々な実験を行った。ここでは、画像変調により彩度を変化させた条件と、霧または眼内散乱光によるかすみを模擬するフォギーフィルターを装着して彩度低下を再現した条件の実験を報告する。

(1) 自然画像の空間周波数特性と画像認識が彩度順応に与える影響

① 実験

実験は暗室で行い、刺激はCRTディスプレイに呈示した。被験者は顎台に頭を固定し、視距離 80 cm にて実験を行った。

刺激に使用する画像として、5種類の変調画像セットを準備した。セット1は、画像の縦横をそれぞれ20×20に分割してランダムに並び替えた分割画像、セット2は、画像をフーリエ変換した後、輝度情報の位相をスクランブル処理したフェイズスクランブル画像(PS画像)、セット3は、標準偏差 $\sigma=10$ のガウシアンローパスフィルタリングをかけたガウシアン画像(ガウス画像)、セット4は、高空間周波数成分を保ったまま、低空間周波数成分を削減した低空間周波数削減画像(ローカット画像)、セット5は、建物部分のみに対し画像セット2と同様のスクランブル処理をした部分的フェイズスクランブル画像(部分的PS画像)である。

画像の彩度変調は、式(1)に示す通り、CIELAB 色空間におけるメトリッククロマ C_{ab}^* に変調係数 k を掛けることを行った。

$$C_{ab}^{*'}(k) = kC_{ab}^* \quad (1)$$

$k = 1.0$ のとき自然画像と同じ彩度であり、 k の値が大きいくほど彩度は高い。順応刺激の変調係数を k_a 、テスト刺激の変調係数を k_b とした。

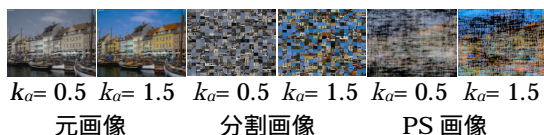


図1 順応刺激例 (harbor 画像)

各実験の順応刺激には、画像2種類(自然画像、各画像セットの変調画像)に対して、それぞれ低彩度順応と高彩度順応の条件に対応する、変調係数2種類($k_a = 0.5, 1.5$)を用いた。

テスト刺激には、自然画像と各画像セットの変調画像の2種類を用いた。各実験では、変調係数 k_b を0.5から1.5まで、変調幅0.1の11段階で変化させ、異なる彩度レベルの画像を準備し、これらを鮮やかさ評価用のテスト刺激とした。

② 実験手順

画像が「鮮やか」、「色褪せている」という知覚の境界を、恒常法を用いて以下の手順で測定した。暗順応3分間の後、彩度順応2分間を行った。ここでは、特定の彩度の順応刺激を2秒毎にランダムに場所を変化させて呈示した。その後、テスト刺激が3秒間呈示され、被験者は「鮮やか、または、色褪せている」の二者強制選択で応答した。

その後は、10秒間の再順応を挿みながら、異なる彩度レベルのテスト刺激をランダムな順番で呈示し、判定を繰り返した。

各画像セットにおいて、順応刺激4条件に対し、テスト刺激2条件の実験を行い、各組み合わせに対して計10回ずつ応答した。

また、被験者ごとに彩度に対する評価を安定させるため、使用した画像の違いによる影響をなくすために、順応刺激を用いずにテスト刺激の判定のみを行う試行(順応なし)を複数回行った。

③ 結果

テスト刺激を鮮やかと応答した割合が50%のときの変調係数 k を境界値 k_t とした。境界値が高いほどテスト刺激がより色褪せて見えることを示す。彩度の順応効果を表すため、 k_a が0.5と1.5のときの境界値をそれぞれ $k_{t,d}$ 、 $k_{t,s}$ とし、境界値の差 $\Delta k_t (= k_{t,s} - k_{t,d})$ を求めた。その後、順応なしでの境界値 $k_{t,n}$ で Δk_t を割った値($\Delta k_t / k_{t,n}$)を「彩度の順応効果」と定義した。

刺激条件が自然画像-自然画像における彩度の順応効果は、他の刺激条件の場合より大きい。さらに、刺激条件がPS画像-PS画像における彩度の順応効果が比較的高い結果と

なった。この2つの傾向は、全ての画像セットの結果で同様に得られた。

画像セット1~3のharbor画像における、刺激条件が同じ場合の彩度順応効果を被験者ごとにまとめた結果を図2に示す。刺激条件が同じ場合の順応効果は、自然画像ペア、PS画像ペア、ガウス画像ペア、分割画像ペアの順に大きくなった。この傾向は被験者3名に共通して見られた。

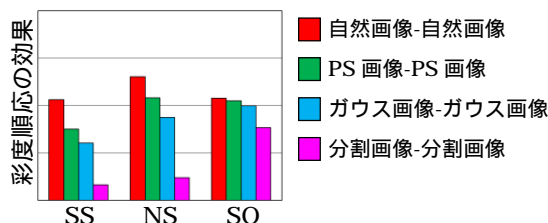


図2 Harbor 画像における彩度の順応効果の比較

したがって、彩度の順応効果は、自然画像を用いた場合に最も大きいといえる。また、刺激条件が同じ場合に、空間周波数成分と画像認識の情報の複合によって順応効果が大きくなったことから、彩度順応には視覚系の低次および高次メカニズムが複合して影響していることが示唆された。

(2)かすみ彩度知覚に与える影響

本研究では、フォギーフィルターを通して自然画像を観察することにより、かすみに対する順応時間の変化と彩度知覚の関係も検証した。最初の実験では、「自然な彩度に見える範囲」を求めた結果、フォギーフィルター装着直後でもフィルターなしの場合の彩度知覚に近い応答をすることを確認した。しかし、この結果は、彩度は低下して知覚されるが、その状態が自然に見える、という判断基準の変化を表す可能性も除外できなかった。そこで、実際に「彩度知覚」自体が変化しているかを検証するため、彩度マッチングの手法により実験を行った。

① 実験

実験では、視界にかすみをかけるためにフォギーフィルターを使用した。まず、被験者はモニタに呈示される自然画像の彩度を記憶し、その後フォギーフィルターを通して同じ自然画像を観察した。そして、フィルターを通した場合の自然画像の彩度を、先に記憶したフィルターなしの場合の自然画像の彩度と同じになるように調整した。

実験は暗室ブース内で行った。ブース内には実験刺激呈示用のCRTモニタとあご台を設置した。被験者はこのあご台に頭をのせ、眼前のフィルターを通してモニタに呈示される刺激を観察し、彩度の調整を行った。被験者からモニタまでの視距離は80cmとした。

実験で使用した刺激は異なる自然画像5種類である。この5種類の自然画像を基準刺激とし、被験者は各試行の初めに基準刺激の彩

度を記憶した。また、各画像の彩度を変調して、マッチング刺激として使用した。彩度の変調はCIELAB色空間におけるメトリッククロマ C^*_{ab} に変調係数 k をかけることにより行った。 $k > 1.0$ のときは元の自然画像より彩度が高くなり、 $k < 1.0$ のときは彩度が低くなる。被験者は彩度の調整を行うとき、 k を、0.01 から 1.50 の範囲で、0.01 または 0.05 刻みで変化させることができた。実験で呈示される刺激の背景は N5 相当のグレーとした。

実験は調整法で行い、手順は以下のとおりである。3 分間の暗順応後、30 秒間、様々な自然画像を 2 秒ずつランダムな順番で呈示した。その後、基準刺激の 1 枚を 5 秒間呈示し、被験者はその画像の鮮やかさを記憶した。続いて、眼前にフォギーフィルターを設置し、基準刺激と同じマッチング刺激を 5 秒間呈示し、被験者は画像の彩度を調整した。基準刺激 5 種類全てにおいて試行を行ったところで実験は終了した。これを 1 セッションとし、計 3 セッション行った。

② 結果

図 3 に全被験者の各基準刺激における彩度マッチング結果の平均を示す。横軸に各基準刺激画像、縦軸に刺激の変調係数をとっている。三角形のシンボルは基準刺激の変調係数 ($k = 1.0$: 変調なし) を表す。四角形のシンボルは、測色値を基に算出した、基準刺激にフォギーフィルターを通した場合の変調係数の値 (フィルターによる彩度低下の程度) を示す。このフィルター特性による彩度低下を補って彩度を調整した場合を予測し、丸のシンボルで示す。それぞれの棒グラフは各被験者の彩度マッチング結果を示す。エラーバーは標準偏差を表す。

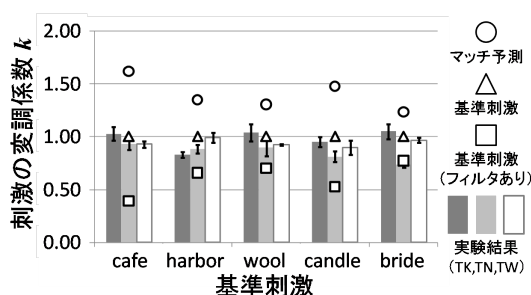


図 3 彩度マッチング結果

この結果から、全被験者でフォギーフィルターを通して彩度マッチングを行っても、元の基準刺激とほぼ同じ変調係数でマッチングしていることが確認できる。すなわち、フィルターによる視界の彩度低下を補正して自然画像の彩度を知覚すると考えられる。

「自然な彩度に見える範囲」を求めた順応実験と本実験で共通して用いていた自然画像 cafe において、順応実験の結果と彩度マッチングの結果を比較する。順応実験で得られた結果はフィルターありとなしの場合の彩度が「自然に見える範囲 (変調係数)」であ

る。順応時間が 0 秒の条件において、フィルターありとなしの自然に見える範囲の中間値 (変調係数) をそれぞれ求め、それらの差を求めた。彩度マッチングの結果では、基準刺激の変調係数 ($k = 1.0$) とマッチした変調係数の差を求めた。その結果、両実験ともにフィルターありとなしの変調係数の差は小さく、また同程度であった。「自然に見える範囲」を求めた順応実験の結果と彩度マッチングの結果がほぼ一致したことから、順応実験の結果は彩度知覚の補正機能を示しているといえる。

以上のことから、視界のかすみによって物理的な彩度は低下するが、知覚される彩度はかすみがない状態とほぼ同じであるので、人間はかすかすみによる彩度低下を補正して知覚していると考えられる。また、彩度知覚へのかすみに対する継時的な順応の影響は小さく、瞬間的な補正が大きく働いていると考えられる。

4. 研究成果

本研究では、自然環境で起こり得る環境の彩度変化と人工的で不自然な環境の彩度変化によって順応効果に違いが生じるかについて検討した。自然な環境の色変化が彩度順応効果に与える影響を評価するため、画像変調により彩度をコントロールした条件と、実際にフォギーフィルターを装着してかすみによる彩度低下を再現した条件の、2 つのアプローチにより研究を行った。

画像特性が彩度順応に与える影響の検討では、画像内の物体・風景の認識と画像の空間周波数特性の影響について注目し、物体認識の程度を崩した画像、また空間周波数特性を変えた画像を用いて調べた。自然画像で最も順応効果が高く、物体認識と空間周波数特性のいずれかが自然画像と異なる場合には効果が低下したことから、彩度順応には、視覚系の低次～高次レベルにおける複数のメカニズムが寄与することが示唆された。

また、霧または眼内散乱光の増加による視界の彩度低下を再現するフォギーフィルターを用いた際の、自然画像の彩度知覚を調べた。被験者は、まずフィルターを通して順応画像を数分間観察し、その後再順応をはさみながら、様々な彩度を持つテスト画像の鮮やかさの印象を評価した。これにより、各順応条件における画像の自然な彩度範囲を求めた。その結果、画像の自然な鮮やかさの知覚は、フィルターの有無によりほとんど変化しないことが示された。さらに、順応時間を変化させて測定を行った結果、継時的な順応効果よりも瞬時の補正効果の方が大きいことが分かった。フィルター装着時と未装着時における画像の彩度マッチングを行った実験でも、フィルターにより彩度が低下するにも関わらず、ほぼ同じ彩度の画像でマッチングするという結果が得られた。

これらにより、彩度順応機能は自然な環境

における彩度変化に対して活発に働くこと、また、かすみによる彩度低下に対しては瞬間的に強い補正が働くことが明らかになった。

本研究の結果は、限定された実験環境や観察条件の下で行った実験に基づいている。今後さらに、各条件やその他の条件における順応効果の大きさを定量的に測定・分析することにより、画像やデザインにどの程度補正が必要になるか、などの基準を提供することができると考えられる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計7件)

瀧上陽子: 色覚の基礎研究: 適応性と多様性の心理物理. ヒューマンインタフェース学会誌, 16-4, 247-252. (2014) 査読無

[学会発表](計15件)

高橋 有希, 瀧上 陽子, 矢口 博久: かすみによる彩度知覚の変化 - 彩度マッチングによる検証 -. 日本色彩学会第2回秋の大会[静岡]'14, 日本色彩学会誌 38, 434-435. (2014/11/15, 静岡市清水文化会館, 静岡)

Yoko Mizokami, Shun Sakaibara, and Hirohisa Yaguchi: Colorfulness-adaptation influenced by spatial frequency components and scene recognition of natural images, The 37th European Conference on Visual perception (2014/8/26, Belgrade, Serbia)

高橋 有希, 瀧上 陽子, 矢口 博久: かすみに対する順応時間が彩度知覚に与える影響. 日本色彩学会第45回全国大会, 日本色彩学会誌 38, 140-141. (2014/5/25, 九州大学, 福岡)

瀧上 陽子: 視環境に適応する鮮やかさの知覚メカニズム. 日本色彩学会色覚研究会平成25年度研究発表会, 論文集, 9-12. (2014/3/8, 工学院大学, 東京) (invited talk)

境原 瞬, 瀧上 陽子, 矢口 博久: 自然画像の空間周波数特性と画像認識が彩度順応に与える影響. 日本視覚学会2014年冬季大会, Vision 26, 27-28 (1o03). (2014/1/22, 工学院大学, 東京)

Yoko Mizokami, Yukari Iki, Hirohisa Yaguchi: Colorfulness adaptation to scenes through optical haze. 12th Congress of the International Colour Association, Proc. (Vol.2), 607-610. (2013/7/11, Newcastle Upon Tyne, UK)

境原 瞬, 瀧上 陽子, 矢口 博久: 自然画像における空間周波数と彩度順応の関係の検証. 日本色彩学会第44回全国大会, 日本色彩学会誌 37, 268-269. (2013/5/25-26, 早稲田大学, 東京)

Yoko Mizokami: Colorfulness perception adapting to natural scenes. The 8th

Asia-Pacific Conference on Vision, i-Perception 3, 583. (2012/7/13-15, Incheon, Korea) (invited talk)

Shun Sakaibara, Yoko Mizokami, Hirohisa Yaguchi: Relationship between colorfulness adaptation and spatial frequency components in natural image. The 8th Asia-Pacific Conference on Vision, i-Perception 3, 628. (2012/7/13-15, Incheon, Korea)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

瀧上 陽子 (MIZOKAMI, Yoko)

千葉大学・大学院融合科学研究科・准教授
研究者番号: 40436340