

# 高齢者の視覚的注意特性の解明とモデル化

代表研究者 佐藤敬子 香川大学 創造工学学部 講師  
共同研究者 滝本裕則 岡山県立大学 情報理工学部 准教授

## 1 研究背景と目的

視覚的注意とは、視覚情報から必要な情報を選択的に収集し処理するシステムであり、古くから、視覚探索課題を用いて実験的に検討されている。視覚的注意の代表的な心理学的モデルとして知られる Treisman & Gelade が提唱した特徴統合理論[1]では、第1段階として、異なる特徴（色、形、方向など）ごとにマップがつけられ、第2段階として、各マップの情報が結合される。特徴統合理論における2段階の処理システムは、特徴探索（Feature Task: FS）と結合探索（Conjunction Task: CS）の2種類の視覚探索課題によって調査される。FS条件は、目標刺激が妨害刺激に対し単一の特徴の違いで定義され、探索時間は妨害刺激数に関わらずほぼ一定となる。CS条件は、目標刺激が複数の特徴の組み合わせによって定義され、結合の処理が刺激に対して逐次的に行われるために、探索時間は妨害刺激数に伴って増加する。視覚的注意に基づく特徴統合理論に関する研究は、これまで若年者を対象に広く行われ、その後、計算論的立場から注意の量を計算するためのモデルである「顕著性マップ」（視覚刺激に対して、注視の観測される確率を推定する手法）[2]が提唱された。このモデルは、コンピュータビジョン分野において重要な手法の一つとなっている。

高齢者の視覚的注意特性に焦点を当てた研究は多くないが、視覚探索パフォーマンスについて研究した研究によれば、FS条件よりCS条件で顕著に探索時間が遅くなることが示されている[3]。一方で、加齢に伴う水晶体の黄色化や老人性縮瞳による網膜照度の減少により、高齢者の短波長帯に対する分光感度は低下し、短波長帯に対する感度の高い Short-wavelength 錐体（S-cone）が必要な色の弁別も低下する[4]。つまり、色に対する注意特性は加齢によって変化すると予想されるが、これまでに色の手がかりが高齢者の視覚探索パフォーマンスに影響するかどうかを調査した研究はない。よって、高齢者の特性を考慮した顕著性マップも存在しない。しかしながら、高齢化社会において、高齢者の注意特性を考慮したより効果的な情報提示（公共空間での案内表示や高齢ドライバーの補助等）が必要不可欠であることを考えれば、高齢者の視覚特性を考慮した顕著性マップの提案は重要なトピックである。

そこで、本申請課題では、申請者がこれまでの研究で得た、色知覚に関する視覚特性に関する知見と実験手法に基づき、高齢者の注視の選択に関わる重要な視覚メカニズムである視覚的注意特性を明らかにするため、課題1として、視覚探索課題を用いた実験的検討を行い、さらに実験により得られた知見から、課題2として、高齢者の視覚的注意を考慮した顕著性マップを構築するための基礎的検討を行うことを目的とする。研究期間においては、主に課題1を実施した。具体的には、目標色として S-cone を刺激する黄-青（yellow-blue: YB）条件（紫の妨害刺激から黄の目標刺激を探索する課題）、Long-wavelength 錐体（L-cone）と Middle-wavelength 錐体（M-cone）を刺激する赤-緑（red-green: RG）条件（赤の妨害刺激から緑の目標刺激を探索する課題）、輝度チャンネルを刺激する白-黒（white-blue: WB）条件（黒の妨害刺激から白の目標刺激を探索する課題）を用意し、FS条件とCS条件において高齢者と若年者の結果を比較した。

## 2 方法

### 2-1 実験参加者

実験には、若年者12名（平均21.9歳、SD = 0.79）と、高齢者12名（平均70.7歳、SD = 3.47）が参加した。実験参加者は石原式色覚検査表を用いて色覚異常の有無を判断された。また、全ての参加者からインフォームドコンセント（香川大学創造工学部研究倫理審査委員会から承認済み No. 28-005）を取得した。

### 2-2 実験装置

実験は暗室内、D65光源下で行われた。刺激は校正済みのモニタ（EIZO, ColorEdgeCX270, 1970×1200, Adobe RGB色域、白色点： $x = 0.3153, y = 0.3226, Y = 98.21 \text{ cd/m}^2$ ）上に呈示された。モニタの色温度は6,500K、ガンマ値は2.2とした。実験参加者の頭は顎台で固定され、視距離は50cmとした。実験プログラムはMATLAB及びPsychtoolboxで制御された。

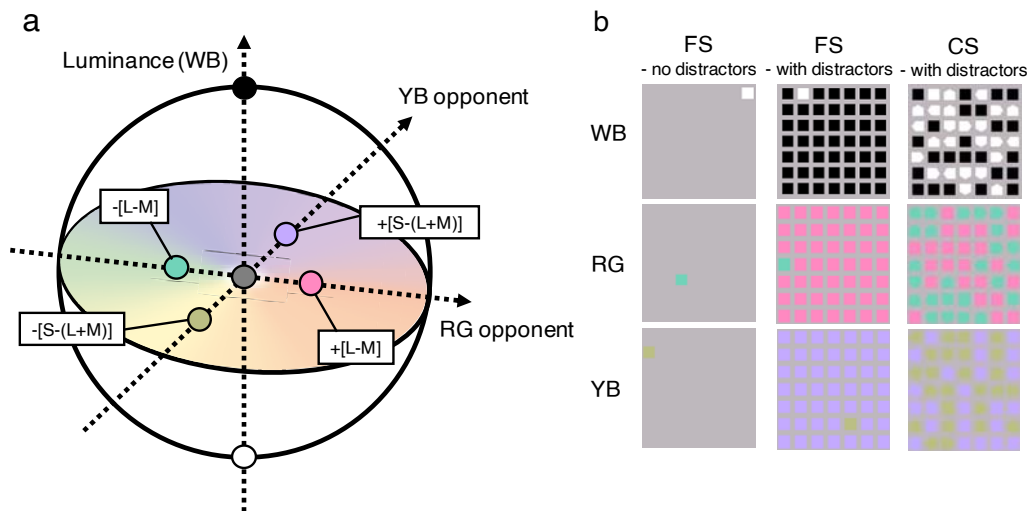


図1 (a) DKL 空間に基づく刺激色の選定 (b) 各探索条件の実験刺激例

### 2-3 実験刺激

全ての刺激色は DKL 色空間[5]で選んだ。DKL 空間とは、MacLeod-Boynton 色度図[6]の拡張でもあり、図1(a)に示すように、色空間を網膜以降の色処理の3つのチャンネル (L+M: Luminance, L-M, S-(L+M)) の軸によって表現したものである。網膜には3種類の錐体細胞 (L-cone, M-cone, S-cone) があり、各錐体の応答量からそれぞれの足し算引き算によって、輝度チャンネルと RG 反対色チャンネル、YB 反対色チャンネルにわかれる。この色空間は、背景色に対する錐体の応答量に着目しており、刺激と背景色とのコントラストを表現する。つまり、どの色もこの3つの軸に沿った応答量として定義される。

DKL 色空間に基づき刺激色を定義するため、まずモニタの表示限界である RGB 及び白色点の XYZ 三刺激値を色彩輝度計 (KONICA MINOLTA, CS-150) を用いて計測した。計測された XYZ 三刺激値は、Hunt-Pointer-Estevés の基本錐体感度[7]を用いて、LMS 錐体応答量に変換された。次に、 $\Delta L, \Delta M, \Delta S$  が以下の式に基づいて計算された。

$$\Delta L = (L_s - L_b) / L_b, \Delta M = (M_s - M_b) / M_b, \Delta S = (S_s - S_b) / S_b.$$

ここで、添え字 S は刺激色、b は背景色を表す。最後に、Brainard によって定義された錐体コントラスト係数[8]に基づいて DKL 値を計算した。

実験刺激として、YB 条件では S-(L+M) 軸上の2色を、RG 条件では L-M 軸上の2色を、WB 条件では黒と白を刺激色として用いた。L-M, S-(L+M) それぞれの軸の刺激色点は、モニタ色域限界に基づいて決定した。最終的に使用した L-M 軸におけるコントラストは +[L-M] で 0.21, -[L-M] で -0.16 となった。このときの S-cone コントラストは 0.0 である。また、S-(L+M) 軸におけるコントラストは、+[S-(L+M)] は 0.89, -[S-(L+M)] は -0.43 であり、このときの L-cone 及び M-cone コントラストは 0.0 であった。背景色は灰色、 $x = 0.3132, y = 0.3091, Y = 49.26 \text{ cd/m}^2$  であった。さらに、黒色と白色の刺激はそれぞれ、 $Y = 1.135 \text{ cd/m}^2, Y = 97.40 \text{ cd/m}^2$  であった。

### 2-3 実験方法

探索課題は FS 条件と CS 条件で実施した。FS 条件では画面上に目標色か非目標色の正方形が呈示され、CS 条件では目標色か非目標色の正方形、目標色の五角形が呈示された (図1(b)参照)。どちらの探索条件においても YB 条件、RG 条件、WB 条件の3条件が用意され、参加者は目標色の正方形 (ターゲット) の有無を応答した。目標色は、YB 条件では -[S-(L+M)]、RG 条件では -[L-M]、WB 条件では白色とした。

各条件において、妨害刺激無し課題が 30 試行、妨害刺激有り課題が 60 試行行われた。妨害刺激無しの課題では、一つの刺激 (ターゲットか妨害刺激のどちらか) だけが視野角  $16.6^\circ \times 16.6^\circ$  の画面上のどこかに呈示された。妨害刺激有りの課題では、ターゲットがランダムな位置に 48 個の妨害刺激とともに呈示された。

実験参加者は、合計で探索条件 2 条件 [FS・CS] × 妨害刺激有無条件 2 条件 [without distractor・with distractor] × 色条件 3 条件 [YB・RG・WB] の 12 条件での視覚探索を実施した。各刺激は視距離 50 cm, 視野角  $1.83^\circ \times 1.83^\circ$  であった。ターゲットは各条件での試行の半分で呈示され、参加者はターゲットの有無をできるだけ早く正確にキーボードを使って応答するように教示された。各条件の試行を開始する前に、参加者は 15 試行の練習

試行を行った。試行間は 1,000 ms の注視点が呈示され、ターゲットの呈示に対して正しく反応しなかった場合は”Error!”という視覚的フィードバックが 2,000 ms 呈示された。

### 3 結果と考察

#### 3-1 FS 条件

各条件で、応答時間と不正解数に対して年齢と色を変量とした 2 要因分散分析を行った。

まず、FS 条件の応答時間について、妨害刺激無し課題では、有意な交互作用は見られず、年齢及び色の主効果のみ見られた[年齢:  $F(1, 22) = 31.1, p < .001$ ; 色:  $F(1.58, 34.81) = 4.78, p = .021$ ]。色条件に対する多重比較の結果、WB と YB 間と RG と YB 間に有意な差が確認された[WB - YB:  $p = .004$ , RG - YB:  $p = .041$ ]。

妨害刺激有り課題では、年齢と色との間に交互作用が認められた[ $F(1.98, 43.64) = 25.7, p < .001$ ]。交互作用に対する下位検定の結果、高齢者における色の単純主効果が有意であり[ $F(1.95, 21.45) = 50.8, p < .001$ ]、全ての色条件間で有意な差が確認された[全て  $p < .01$ ]。妨害刺激無し課題と有り課題での平均応答時間をそれぞれ図 2(a)と(b)に示す。なお、FS 条件について不正回数についてはどちらの課題でも有意な差は認められなかった。

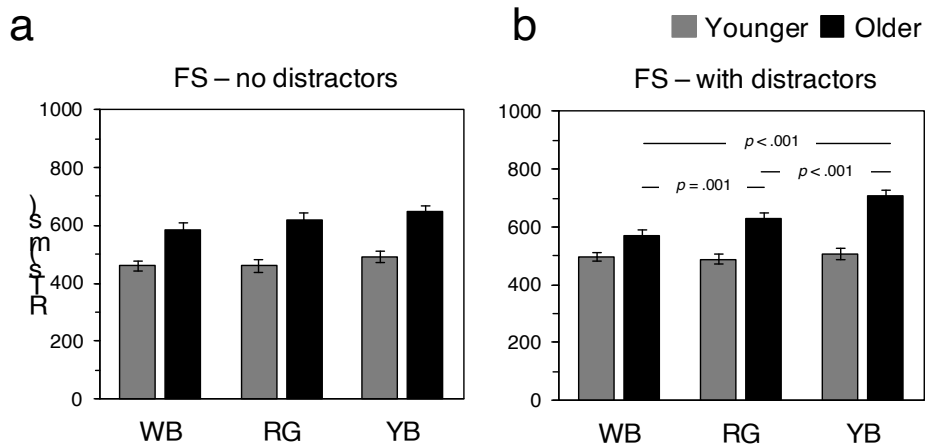


図 2 (a) FS 条件（妨害刺激無し課題）の応答時間 (b) FS 条件（妨害刺激有り課題）の応答時間  
エラーバーは標準誤差を示す。

#### 3-2 CS 条件

CS 条件の妨害刺激無し課題では、年齢と色との間に交互作用が認められた[ $F(1.37, 30.1) = 16.2, p < .001$ ]。交互作用に対する単純主効果検定の結果、どちらの年齢群でも色条件の効果が確認された[若年者:  $F(1.66, 18.29) = 21.7, p < .001$ , 高齢者:  $F(1.66, 18.29) = 35.1, p < .001$ ]。各群での色条件に対する多重比較の結果、WB と YB 間[若年者:  $p < .001$ , 高齢者:  $p < .001$ ]、RG と YB 間[若年者:  $p = .002$ , 高齢者:  $p < .001$ ]、WB と RG 間[若年者:  $p = .007$ , 高齢者:  $p = .001$ ]で有意な差が見られた。

妨害刺激有り課題でも同様に、年齢と色との間に有意な交互作用が認められ[ $F(1.15, 25.23) = 9.45, p = .004$ ]、下位検定の結果、どちらの年齢群でも色条件の効果が確認された[若年者:  $F(1.57, 17.23) = 21.0, p < .001$ , 高齢者:  $F(1.13, 12.38) = 12.6, p = .003$ ]。色条件に対する多重比較の結果、WB と YB 間[若年者:  $p < .001$ , 高齢者:  $p = .007$ ]、RG と YB 間[若年者:  $p = .008$ , 高齢者:  $p = .008$ ]、WB と RG 間[若年者:  $p = .015$ , 高齢者:  $p = .036$ ]で有意な差が見られた。妨害刺激無し課題および有り課題の平均反応時間について、それぞれ図 3(a)(b)に示す。

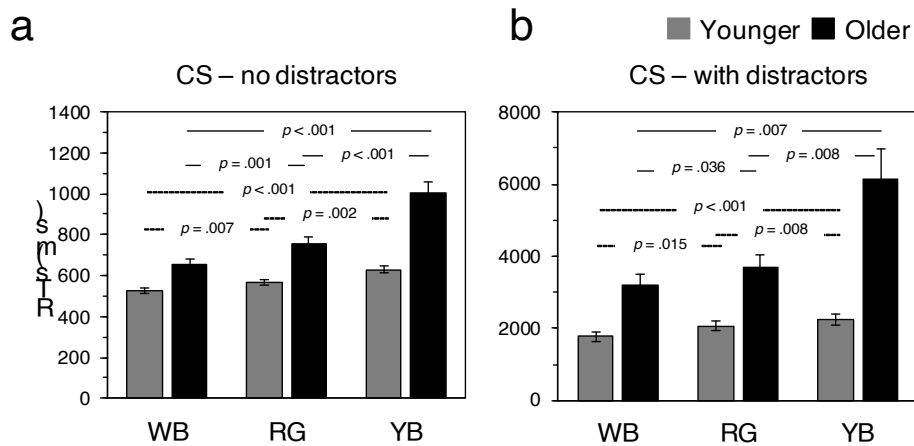


図3 (a) CS 条件（妨害刺激無し課題）の応答時間 (b) CS 条件（妨害刺激有り課題）の応答時間  
エラーバーは標準誤差を示す。

不正解数に関しては、妨害刺激無し課題で、年齢と色の間に交互作用が認められ $[F(1.5, 33.08) = 4.85, p = .022]$ 、この交互作用に対する単純主効果検定の結果、YB 条件における年齢の単純主効果 $[F(1, 22) = 6.02, p = .023]$ が有意であった。また、高齢者における色の単純主効果が有意 $[F(1.32, 14.51) = 6.75, p = .015]$ であったが、色間の多重比較の結果、WB と YB 間 $(p = .056)$ 、WB と RG 間 $(p = .171)$ 、RG と YB 間 $(p = .056)$ に有意な差は確認されなかった。

妨害刺激有り課題でも同様に、年齢と色の間に交互作用が認められ $[F(1.13, 24.87) = 9.90, p = .003]$ 、YB における年齢の単純主効果が有意 $[F(1, 22) = 12.0, p = .002]$ であった。また、高齢者における色の単純主効果が有意 $[F(1.04, 11.47) = 12.9, p = .002]$ であった。高齢者における色の効果についての多重比較の結果、WB と YB 間 $(p = .012)$ 、WB と RG 間 $(p = .043)$ 、RG と YB 間 $(p = .012)$ に有意差が見られた。図 4(a)(b)に CS 条件での妨害刺激無し課題および有り課題の不正解数をそれぞれ示す。

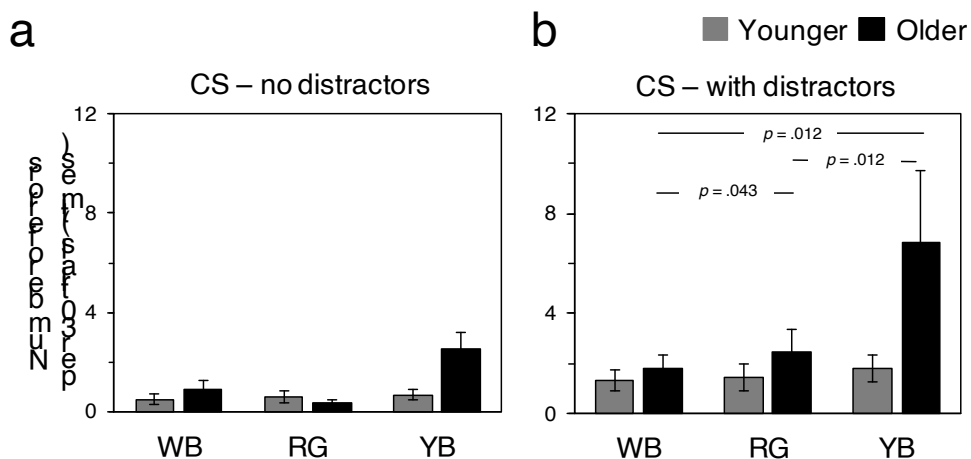


図4 (a) CS 条件（妨害刺激無し課題）の不正解数 (b) CS 条件（妨害刺激有り課題）の不正解数  
エラーバーは標準誤差を示す。

### 3-3 考察

本申請課題では、高齢者の視覚的注意特性を色の手がかりの観点から検討することを目的とした視覚探索

実験を行った。

FS 条件での応答時間については、妨害刺激無し課題で、年齢に関わる有意な交互作用は観測されなかったが、妨害刺激が存在する課題において年齢と色の有意な交互作用が観測された。反応時間は、若年者では色条件によって変化しなかったが、高齢者では WB 条件、RG 条件、YB 条件の順で遅くなった。この結果は、L-M および S-(L+M) 方向軸上に存在する 2 つの色を弁別する能力が年齢間で異なることに起因する。つまり、FS 課題における探索パフォーマンスは、色に対する感度が年齢を通じて一定でないことに影響を受ける。RG、YB どちらに対する弁別閾値も加齢によってゆるやかに上昇する[4]。さらに、本実験の結果では、高齢者において RG 条件より YB 条件での反応時間が遅くなった。このことから、ターゲットと妨害刺激の特徴が色のみで異なる場合、特に S-(L+M) 軸上の刺激の場合 (YB 条件)、高齢者の探索パフォーマンスはもっとも影響を受ける。

CS 条件における反応時間を見たところ、高齢者では FS 条件より顕著に遅くなった。このことは、6 歳から 72 歳の実験参加者に対して視覚探索課題を実施した先行研究の結果[3]とも一致する。この研究では CS 条件での高齢者の反応時間は若年者よりも遅くなることを示しており、このことは高齢者が刺激から刺激へ注意を自発的に移動させる能力が若年者よりもできなくなるからだと示唆している。

CS 条件の反応時間では、妨害刺激無し有り課題ともに年齢と色の交互作用が確認された。FS 条件とは異なり、どちらの年齢でも色条件間で有意な差が見られた。どちらの年齢群でも反応時間は YB 条件で最も遅くなり、WB 条件でもっとも速かった。しかし、高齢者の方が色の手がかりの影響を強く受ける結果となり、YB 条件における反応時間は顕著に遅くなった。さらに、妨害刺激有り課題では高齢者のみで不正回数に色間で有意な差が見られた。高齢者は YB 条件でもっとも誤反応があり、次いで RG 条件、WB 条件の順となった。

CS 条件では、ターゲットは目標色の四角形であり、妨害刺激は目標色の五角形か目標色でない四角形であった。この時、背景と刺激の輝度コントラストが形を検出するのに効果的な手がかりとなる。Takahashi et al. は特徴として形を用いた視覚探索課題を用いて、背景と刺激間のコントラストが高い場合と低い場合の探索パフォーマンスを調べた[9]。結果、低輝度コントラスト条件での反応時間は高輝度条件よりも高くなることを示した。さらに Tollner et al. は、参加者に対して 3 つのコントラスト条件 (高・中・低) で、ターゲット内の線の向きを判断するように求めた[10]。その結果、コントラストの減少に従って応答時間は上昇した。

本実験で使用した RG 条件および YB 条件における目標刺激は、背景と等輝度に設定されているため、WB 条件と比較してターゲットの形を検出することが難しい。そこで、RG 条件及び YB 条件において等輝度コントラストでない場合の探索パフォーマンスと比較するため、追加実験を実施した。追加実験では、背景を黒色 ( $Y = 1.135 \text{ cd/m}^2$ ) に設定し、RG 条件及び YB 条件の妨害刺激無し課題有り課題を実施した。

追加実験の結果、どちらの課題においても年齢と色の有意な交互作用は見られなかった。つまり、輝度による手がかりがある場合、色条件による探索パフォーマンスの違いは見られなかった。さらに、輝度による手がかりのない本実験 (灰色背景) と輝度による手がかりのある追加実験 (黒色背景) で反応時間を比較したところ、若年者では RG 条件 YB 条件どちらにおいても背景によって反応時間に差はなかったが、高齢者では YB 条件において背景間で差がみられ[妨害刺激無し :  $F(1, 22) = 22.3, p < .001$ , 妨害刺激有り :  $F(1, 22) = 7.99, p = .010$ ]、黒色背景の場合よりも灰色背景の時の反応時間が有意に遅くなった。これらの結果から、高齢者は YB 条件において背景から刺激を弁別するのが難しいことが示された。これは研究背景でも述べたとおり、S-(L+M) 軸上に存在する 2 色を区別する力が低くなることに起因する。

CS 条件では、若年者でも RG 条件と YB 条件間に応答時間の差が見られた。先行研究によれば、S-cone を利用する YB 反対色応答システムは、L-cone と M-cone を利用する RG 反対色応答システムに比べて応答が遅いことが示されている[11]。また、Uchikawa et al. は中心視野への視覚探索と周辺視野の刺激探索の 2 重課題を用いた研究を行った[12]。ここで周辺視野に呈示された刺激は本研究に類似して L+M、L-M、S-(L+M) 軸に基づいて定義されており、RG や YB 方向の刺激に対する注意は WB 方向よりもより多くの注意を必要とすることが報告されている。すでに述べたように、本研究の RG 条件、YB 条件の刺激は背景と等輝度であるため、色のみの手がかりを用いて形を検出しなければならない。よって、背景色からターゲットのエッジを検出するため、より多くの注意が必要とされ、結果として若年者でも YB 条件における探索パフォーマンスが減少したと考えられる。もっとも、若年者において RG と YB 間での応答時間の差は 300 ms 程度であるのに対し、高齢者では 2,400 ms 程度の差がある。

## 4 まとめ

本申請課題では、色の手がかりが高齢者の視覚探索課題に及ぼす影響を調べ、ターゲットと妨害刺激の特徴が色で定義されている場合、特に、S-coneが必要な色で定義されている場合（YB条件）、高齢者の探索パフォーマンスに影響を及ぼすことが確認された。しかし、いくつか考慮すべき問題点もある。まず、高齢者は正常色覚として判断しているが、加齢による症状に似たような視覚に関わる病態の影響を区別することはできていない。60歳以上の高齢者は色の検出閾にも大きなばらつきがあることが示されている[13]。このような高齢者の視覚特性に関するばらつきの問題は結果に多少影響を与えているかもしれない。本研究では色覚検査以外の視覚検査（視野、視力等）を実施していないため、今後はこれらを考慮する必要がある。しかしながら、本研究の結果によって高齢者の注意特性の基礎的な知見を明らかにすることができた。今後は引き続き高齢者の視覚的注意を考慮した顕著性マップを構築するための基礎的検討を行う。

## 【参考文献】

- [1] Triesman, A. M. & Gelade, G. A Feature-Integration Theory of Attention, *Cogn. Psychol.* 12, 97-136 (1980).
- [2] Itti, L., Koch, C. & Niebur, E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis. *IEEE Trans. PAMI.* 20(11), 1254-1259 (1998).
- [3] Trick, L. M. & Enns, J. T. Lifespan Changes in Attention: The Visual Search Task, *Cognitive Dev.* 13, 369-386 (1998).
- [4] Barbur, J. L. & Rodriguez-Carmona, M. Color vision changes in normal aging. In *Handbook of Color Psychology*, ed. Elliot, A. J., Fairchild, M. D., and Franklin, A. 180-196. UK: Cambridge University Press (2015).
- [5] Derington, A. M., Krauskopf, J. & Lennie, P. Chromatic mechanisms in lateral geniculate nucleus of macaque. *J Physiol.* 357, 241-265 (1984).
- [6] Macleod, D. I. A. & Boynton, R. M. Chromaticity diagram showing cone excitation by stimuli of equal luminance. *J Opt Soc Am.* 69, 1183-1186 (1979)
- [7] Hunt, R.W.G. & Pointer, M.R. A colour-appearance transform for the CIE1931 standard colorimetric observer. *Color Res Appl.* 10, 165-179 (1985)
- [8] Brainard, D. H. Cone contrast and opponent modulation color spaces in Human Color Vision. 2nd edition (eds. Kaiser, P. K. & Boynton, R. M.) 563-579 (Optical Society of America, 1996)
- [9] Takahashi, S., Ohya, K., Arakawa, K. & Tanabe, Y. Luminance differences between the figures and background are not necessary for parallel search of a Kanizsa illusory square. *Jpn Psychol Res.* 49, 45-56 (2007).
- [10] Tollner, T., Conci, M., Rusch, T. & Muller, H. J. Selective manipulation of target identification demands in visual search: The role of stimulus contrast in CDA activations. *J Vision.* 13, 1-13 (2013).
- [11] Smithson, H.E. & Mollon, J.D. Is the S-opponent chromatic sub-system sluggish? *Vis Res.* 44, 2919-2929 (2004).
- [12] Uchikawa, K., Sato, M. & Kuwamura, K. Effects of visual attention on chromatic and achromatic detection sensitivities. *J Opt Soc Am A.* 31, 944-951 (2014).
- [13] Paramei, G. V. & Oakley, B. Variation of color discrimination across the life span. *J Opt Soc Am A.* 31, 375-384 (2014).

## 〈発表資料〉

題名	掲載誌・学会名等	発表年月
Age-related differences in visual search for color targets manipulated based on cone-contrast model	Proc. of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2988-2993	2018年10月
加齢が視覚的注意に与える影響—色特徴を用いた視覚探索課題による検討—	日本心理学会第82回大会発表論文集	2018年9月