2024 年度
博士論文

２つの色刺激間の離角が色の誘目性に与える影響

女子美術大学大学院
芸術文化研究領域　色彩学分野
高田瑠美子

目次

第1章　問題と本研究の目的

1.1 誘目性

我々が対象物に気づいていない場合でも，感覚器である眼球の網膜には何らかの色刺激が入力され視知覚処理されている．何を見ようとするか注意を向ける対象を選ぶ時点では視線はまだその対象に向いていない．視線を向ける前に対象となるかもしれないものの位置や色の特徴を大局的にとらえ，対象を選択する．次に，その対象をさらに詳細に観察するために対象方向に視線を向ける．周辺領域を含めた視野全体の色情報から，注意を向ける対象へ視線が誘導される過程の目立ち感を色の誘目性と呼ぶ．

網膜の錐体の視細胞分布(Curcio et al., 1990; Curcio et al., 1993)に関係して最も空間解像度が高いのは視野中心 2 度領域とされる(Van Esch et al., 1984; Cassavaugh et al., 2004)．中心窩に対象が存在することを前提とした目立ち感(Itti et al., 1998; Itti & Koch, 2000; Wertheim, 2010)は顕著性とされ，中心視でとらえた視線移動順や視線停留時間などを主要因として，交通制御装置(Cole & Jenkins, 1982; Porathe & Strand, 2011; Seya et al., 2013; Lee et al., 2022)，航空管制画面(Remington et al., 2000; Barbur et al., 2016)，グラフィカルユーザーインターフェイス(GUI)設計(Cho & Suk, 2015; Zhang et al., 2022; Gong et al., 2023; Zuo et al., 2023)，PC やスマートフォンのディスプレイ設計(Becker, 2002; Westerman et al., 2012; ISO, 2018; Al-Samarraie et al., 2019)など，これまで様々な研究が行われてきた．細かい模様や文字などの詳細な特徴を認識するためには，必ず中心視として対象をとらえて細部を確認するが(Ignashchenkova et al., 2004)，視野中心で対象をとらえようとする時点では周辺視の情報であるといえる．

製品の品質管理に必要な色差の定量的評価は活発に研究されているが(CIE, 2011; Luo et al., 2023)，色と色は隣接すると単色で見る色とは異なって知覚される(Gundlach & Macoubrey, 1931; Bevan & Dukes, 1953; Kaiser & Boynton, 1996; Johnson, 2015; Otazu & Cerda, 2022)．また，中心視付近で知覚される色刺激の色み知覚は周辺視で低下することが広く知られている(Optical Society of America, 1963; Gordon & Abramov, 1977; Uchikawa et al., 1982; Sakurai et al., 2003; Ayama & Sakurai, 2003)．さらに，形や方向といった特徴と比較して色は感情を伴う刺激の認知処理が含まれる(Gifford, 1988;

Mahnke, 1996; Elliot et al., 2007; Stephen et al., 2012; Ou, 2015). 感情を伴う刺激の処理は脳の視覚処理領域のより強力な活性化につながり(Isenberg et al., 1999; Kaya & Epps, 2004; Pessoa et al., 2010; Xia et al., 2018), 注意のプロセスに関与して視覚的な知覚と意識の形成に重要な役割を果たす(Berlyne, 1960; Mehta & Zhu, 2009; Khan et al., 2011; Young et al., 2013; Wiedemann et al., 2015). 色の誘目性は中心視による確認を前提とせず, 同じ色刺激でも視野中心と視野周辺では色の見え方が異なることから, 色の視知覚現象の効果や感情反応の程度も変わり, 目立ちの程度も顕著性とは異なる基準を示すことが示唆される.

色彩は芸術作品をはじめ, 建築, 装飾, 照明, 工業デザイン, グラフィックアートなどの多くデザイン構成に含まれることから, 見る人を起点とした注意を引き付ける色の構図は極めて重要な要素である(Nasar, 1987; Knight, 1989; Nasar & Hong, 1999; Mahmoudi & Khalili, 2017; Yi & Jeon, 2022). 色彩が典型的なクオリティである絵画では, デザインの重なる彩色領域の色を決定するために混色比(Knight, 1989), 対比や同化(Kaiser & Boynton, 1996; Johnson, 2015), 視知覚効果(Gundlach & Macoubrey, 1931; Wallis, 1935; Bevan & Dukes, 1953; Payne, 1964)など, 様々な色彩現象が用いられているが, 目立たせたい対象が近接していたとしても離れていたとしても, 現在のところ無彩色より有彩色, 寒色系より暖色系といった中心視の目立ち感が適用されている. ただ周辺視の課題である色の誘目性について視野内で隣接しない色刺激を対象として定量的に分析した研究は見当たらない. また, 周辺視情報で目立ち感の評価が可能であるか, 中心視から対象への距離が離れる場合にどの程度の視野範囲に周辺視の色の見えが適用されるのか, 我々が意識していないだけで顕著性と同様にそれぞれの色刺激をごく短時間でも中心視野でとらえて判断しているのか, なども含め, なぜ視線が中心視野内に移動するのかという色の誘目性の視知覚処理過程や認知プロセスも明らかにされていない.

Merikle et al. (2001)によると, 観察者が色刺激に気が付いていない場合でも色刺激は知覚処理されており, 意識なく知覚された情報は, 意志を持って評価した主観的意識経験の言語化に基づく尺度に影響を与えることが示されている. 言い換えると, 刺激に気が付いていない場合における知覚処理は主観的な意識経験の言語化に基づく尺度で証明することが可能とされる. 中心窩で視対象をとらえることができてい

なくても，人の視野特性を考慮すれば周辺視に位置させる 2 つの色刺激情報は意識の有無に関わらず眼球網膜から入力されていることになる．したがって，周辺視の知覚処理に関わる色の誘目性を客観的に証明するためには，視覚的注意を向けさせた注視点から離れた位置に 2 つの色刺激を呈示し，観察者に色刺激対の目立ち感を主観的に口頭で評価してもらうことが課題となる．目立ち感の評価は主観的な経験の言語化に基づいたものであり，目立ち感を決定した色刺激の位置する方向およびその程度が言語変換されたものであるから，呈示する色刺激間の目立ち感に統計学的な有意差がある場合は誘目性の評価に至る色刺激の視知覚から脳処理過程に一定の方向性が示されることになる．離れた色刺激の目立ち感が周辺視の位置によってどのように変化するのかがわかれば，実空間においても，視野全体の位置で目立たせたい情報を制御することが可能となる．

1.2 中心視における色の顕著性

眼球運動は視覚的注意が払われている間は抑制されるため，視線停留中の固視微動により視野安定性を確保し，サッカード(Saccade)と呼ばれる衝動性眼球運動によって新しい対象に視点を移動させる(Martinez-Conde et al., 2000; Cassavaugh et al., 2004; Tullis & Albert, 2013)．我々は日常この停留とサッカードを繰り返して対象を認識している．探索対象が明確な場合は，視野内の様々な位置に存在する隣接しない複数の色刺激を一つひとつ識別し，注意を向けて情報処理を行う．これらの視野中心で色刺激をとらえることを前提とした目立ちやすさは顕著性として，周辺視の課題は視認性，近中心視～周辺視における課題は識別性，中心視近傍の細部認識の容易さは明視性や可読性と呼ばれている．複数対象から目標とする探索対象の特徴を注視とサッカードの視線移動を交互に繰り返しながら見つけ出すには，対象の色だけでなく，形，動き，位置，奥行，方向など，複数の異なる情報を並列処理する視覚探索が必要になる(Dougherty et al., 1999; Seymour et al., 2009)．したがって，視認性や識別性の課題では，主として視線移動解析を用いて観察者に目標刺激の特徴を課題として与え，注視された視線移動順，目標刺激の検出率，検出時間，停留時間などが目立ち感の指標とされている．道路や横断歩道に設置される交通信号，速度制限や警告を示す安全標識(ISO, 2011)，現在地や方向などの情報提供にかかわる掲示物は交

通制御装置の目立ちやすさとして，実社会での現実的要請から対象が注目される確率として様々な研究が行われている(Cole & Jenkins, 1982; Porathe & Strand, 2011; Seya et al., 2013). 自動車運転においては視野内で位置関係が刻々と変化する色彩情報への視覚的注意と迅速な反応が求められることから，近年では，設置場所や設置環境が明確な標識における自動車運転中の視線移動追跡から，外気温に応じて警告色を変化させることで視認性を高めた結果も報告されている(Lee et al., 2022).

顕著性の目立ち感(Saliency)の定義は視野の中心領域に視線が存在すること(Itti et al., 1998; Itti & Koch, 2000; Wertheim, 2010)であるから，中心視で注視が確認されない場合は目立ち感の評価の対象にならないことになる．つまり，視野全体から得られた情報から選択されるはずであるが，周辺視の色の見えで評価できるかは考慮さていない．中心視野でとらえた位置にある色の情報がそのまま目立ち感の順位付けになり，視線停留時間が視覚的注意を引き付ける目立ち感の要因になるとされている．例えば，目立たせたい対象が視野周辺にある場合，中心視領域で青色相より赤色相が目立つから周辺視の視対象においても青色相より赤色相が目立つとはいえない．また，周辺視の見えで目立ち判断を行う場合，周辺視の対象に注意が引かれていても評価中の視野中央に位置する色情報が目立つ色として扱われることになる．一般に、両眼で同時に情報処理を行える有効視野は左右に 30～35 度程度であり，両眼視では左右に 50～55 度程度まで認識できるとされている．規模の大きな芸術作品や建築作品の色刺激情報を周辺視の色の見えで比較することができるのであれば，中心視で視対象をとらえたからといって目立つと判断されるかどうかは不明であるといえる．

Cole & Jenkins(1982)らは，交通制御装置の目立ちやすさを検討するために 100 都市の道路情景の視線移動追跡を行い，標識の検出率から，無彩色よりも有彩色標識，また標識のサイズなどを目立ちやすさの要因と結論づけているが, 500ms の呈示時間内に 90%以上の視線が検出された標識がなかったことも同時に報告している．また，Inman et al.(2013)らは，都市部および郊外地域の道路に 21 台の交通制御装置を設置し，運転者の視線移動追跡による標識の検出率と，通過後 2000ms における標識内容の想起率との関係を検討している．白と黒の無彩色配色の制限速度標識では 80%程度想起され，標識が注視された場合と注視されなかった場合の想起率に有意差がな

かったことが報告されている．この要因については実験標識が設置された道路の熟練度にかかわる被験者間の有意差もなかったことから，過去の道路状況あるいは車道の記憶で制限速度を推測した結果ではないことも指摘されている．黄と黒を組み合わせたサイズの小さな警告標識についても，運転者の視線が制限速度の標識を注視した場合で 80%程度，標識への注視が検出されない場合で 40%程度の想起率が認められている．これらは，標識を視線中央の中心窩でとらえていなくても，周辺視の色の見えで色刺激情報の取得処理が可能であり，一時的な記憶情報が中心視以外の色刺激情報からも認識されることを示唆している．また，Inman et al.(2013)は，直接注視していない場合でも制限速度を識別できたことから，注視点からどの程度の周辺視側まで標識が視認できるかを屋内外で測定した結果，単純なコントラストで標識の内容を 50% の確率で正しく識別できる検出視野が視角 60 度を超えることを示している．また，白と黒の速度標識では左約 10 度で 80%，左約 30 度で 55%，サイズの小さな黄と黒の警告標識では左約 3 度で 80%，左約 10 度で 50%，左約 30 度で 30%，の精度で識別が可能であったことも報告されている．これらの結果は両眼視による有効視野より周辺視側においても周辺視の見えで対象の視知覚処理および認知が可能であることを示唆するとともに，その認知処理の程度が周辺視側へ向かい徐々に低下することを示している．

特定の条件下において画面構成要素が明確なグラフィカルユーザーインターフェイス(GUI)設計では，色の情報が視覚的なデザイン要素としてアイコンの視覚検索効率や認知に影響を及ぼす(Cho & Suk, 2015; Zhang et al., 2022; Gong et al., 2023; Na & Ouyang, 2023; Zuo et al., 2023)．また，同時に複数情報が呈示される識別性が必要な航空管制画面においては認知的負担の軽減が求められる(Remington et al., 2000; Barbur et al., 2016). CRT ディスプレイでは複雑な背景色下で視認性を良好に保つために同時に識別可能な色の最大数が 15～30 色程度であることも示されている(Fuchida, 1997). 近年ほとんどの人々が PC やスマートフォンを所有し，画面内の様々なサイト外広告表示やサイト内誘導表示など，複雑な位置の色刺激情報から対象を見つけ出す作業は日常生活に不可欠なものとなっており，使いやすさ，操作性といったユーザビリティ(ISO, 2018)に加え，Web サイトにおける表示物においてもパッケージ画像と購買率との関係，アクセス解析によるリンク表示物のクリック率など，ビジュアル検索

におけるサイト階層次元を考慮した適切な目立ち感が求められる(Becker, 2002; Westerman et al., 2012; Al-Samarraie et al., 2019). 例えば, Gong et al. (2023)らは, 目標刺激の検索や特定に効果を高めるためには高明度高彩度の赤色相, 低明度低彩度の青色相を用いた色の進出・後退現象(Fry et al., 1949; Sundet, 1978)が情報の階層化に有効であることを示している. これは, 長波長が短波長よりも高い覚醒性を誘発し(Wilson, 1966; Smets, 1969; Jacobs & Hustmyer, 1974; Walters et al., 1982; Wilms & Oberfeld, 2017), 興奮性の顕著な要素(Thones et al., 2018)がボトムアップ型注意による視知覚処理経路の活性化(Nothdurft, 1993; Turatto & Galfano, 2000)を引き起こし, 色刺激による進出・後退現象が注意の捕捉になることを示唆している. 関心領域の詳細情報を取得するためには視線位置を移動させて両眼立体視で一定時間対象をとらえる必要があるため, 視線停留時間が長いほど対象の目立ちやすさや理解するまでに必要な時間であるとされる. 目的情報が一定時間以上の視線停留を必要とする細かな形態や文字情報である場合は視線移動傾向によって表示物が適切であったか, 実際にどこを注視して情報処理をしていたかを客観的に確認し, 改善の対策をとることができる.

しかしながら, 目立ちやすさと安全性を追求した高彩度の暖色系の配色はしばしば環境色彩の審美性とは一致せず(Nasar, 1987; Knight, 1989; Nasar & Hong, 1999), 街並みの色彩に対して適切な視認性や誘目性を有する屋外標識(Range & Alvao, 2011; Mahmoudi & Khalili, 2017; Yi & Jeon, 2022), 街路, 大病院, 空港, オフィスビルなどでは目的情報を効率よく探すためのウェイファインディング(Range & Alvao, 2011; Yi & Jeon, 2022)などが求められる. 暖色系や寒色系を用いた選好色相の大別は統一された街並み景観や風土づくりの基準とされてきたが(Olds, 1989; Moore et al., 1995), 交通制御装置や民間の高彩度色の広告物は常に視野内に存在し, 住居と商業地区が混在する都市開発の頻度やスピードも近年の多様なライフスタイルに伴い年々加速している. Cole & Jenkins(1982)や Inman et al.(2013)の知見からも明らかなように, 視対象の位置と対象を見る人の位置関係を考慮すれば, 中心視での色の目立ち感が必ずしも適切であるとは限らない. デジタル表現の自由度が高まる現在, 中心視から対象への距離が離れる場合に視野周辺に位置する色の目立ちの程度がどのように視知覚処理されるのか, 周辺視の色の見えを考慮した目立ち感の指標が求められている.

1.3 周辺視における色知覚と誘目性

眼球を動かさないで見える視野範囲は鼻側で約 60 度，耳側で約 90 度あり，人の有効視野は水平方向に広い特徴を持つ．また，色みを知覚することができる視野領域を色視野と呼び，色視野も水平方向に広い傾向を持つ(Optical Society of America, 1963；Uchikawa et al., 1982)．中心視付近で知覚される有彩色刺激は離心角増加に伴い，周辺視野で色み知覚が低下する(Gordon & Abramov, 1977；Sakurai et al., 2003; Ayama & Sakurai, 2003; Mogi et al., 2021)．知覚的な赤み，黄み，緑み，青み，の強さを心理物理的に測定したユニーク色成分に基づく視野全体の色の見えの変化は色視野として示されてきた(Sakurai et al., 2003; Ayama & Sakurai, 2003)．ユニーク色は赤，黄，緑，青が知覚的にまじり気のない純粋な色相を示し，赤と緑，黄と青は拮抗する 2 組の反対色であるという反対色応答特性に基づく．色視野は白や青が広く，有彩色では青，赤，黄　と比較して緑が最も狭い(Optical Society of America, 1963; Uchikawa et al., 1982)．赤，黄，緑，青の色相成分の知覚は，いずれも耳側視野に比べて鼻側視野が急激に低下する非対称性が示されている．Sakurai et al. (2003)によると，耳側視野では離心角増加に伴い徐々に彩度知覚が低下するが，鼻側 40 度ではユニーク緑の色み知覚が劣化し，ユニーク黄の彩度，ユニーク赤の色相の急激な弁別低下が報告されている．また，ユニーク黄とユニーク青の色相知覚は視野周辺部でもほぼ一定であるが，ユニーク赤とユニーク緑の鼻側における色相知覚は視野周辺部で黄方向へ遷移する．鼻側 40 度では赤-緑の反対色応答が黄の応答に近くなり，ユニーク黄との色相判別が不確かになるとされる．これらの結果は中心視で知覚されるユニーク色の色相や彩度が特に水平方向の周辺視側に向かい変化し，その傾向が色の属性によっても異なることを示している．同じ色刺激でも中心視と周辺視で視対象の色の見え方が異なるのであれば，周辺視で比較した色刺激対の視知覚現象の効果の程度も視野周辺の呈示位置とともに変化し，色の目立ち感の評価にも影響を与えることが示唆される．

Van Esch et al. (1984) によると，視細胞の分布に関係して，空間分解能は中心窩で最も高いため，視野中心部は周辺部よりも波長弁別に優れているが，色受容野である錐体密度，神経節細胞間距離および皮質拡大係数などの色覚メカニズムの観点においては，網膜周辺部の離心角 8 度から 80 度までの波長弁別性能はほぼ同程度で波

長弁別が可能である. Vanni et al. (2006)は, 離心角 20 度までの色刺激に対する赤-緑, および青-黄の反対色応答における一次視覚野の活性化空間分布より, 赤-緑の色反応は中心窩に近い方がより強いのに対し, 青-黄の色反応は離心角が増加してもそれほど減少しないことを報告している. また, 網膜周辺部では短波長の光覚感度が上昇し, 網膜中心窩周辺に散布する微少な S 錐体の反応領域と応答時間に特異性が認められる(Weale, 1953; Shevell & Monnier, 2003; Smithson, 2014；Li et al., 2022). さらに, Loggia et al.(2022)らは, マカクザルの網膜を用いた初期視覚野から V4 における輝度やコントラスト応答を機能的磁気共鳴画像(以下 fMRI)で調査し, 黄-青の色反応が網膜視覚領域を覆うように拡張し, 視野辺縁部に対する S 錐体の色反応が増大することも実証している.

一方, 周辺視における色弁別視野測定では, マンセル色票の色相環の赤～紫および青～緑の範囲が, 紫～青, 緑～黄, 黄～緑の範囲よりも弁別限界が大きいことが示されている(Uchikawa et al., 1982). また, Mogi et al. (2021)は, 周辺視におけるユニーク色成分の黄, 緑, 青の色カテゴリー判別は, 色相や彩度の色知覚の離心角増加傾向と類似するものの, ユニーク赤への反応時間が他の色相成分よりも顕著に速く, 黄と青の色相弁別の持続を報告している.

これらのことは, 網膜に対応した視覚野の V1 から V4 での活性化が周辺部のコニオ経路(青-黄)の色応答に対応し, 青色光への応答が増強するという神経科学的知見(Wandell, 1999)にもかかわらず, 色弁別カテゴリーの認知は青より赤の反応時間短縮が顕著であったことを示している. 周辺視からの色刺激情報が眼球網膜から入力されると, 初期視覚野から前頭前野までの複数の処理段階で反映される過程で, 感情処理が外側前頭前野の認知関連の神経活動に選択的に影響を与え(Gray et al., 2002; Oya et al., 2002; Sporns et al., 2007), 刺激の知覚表現を記憶し, 感情反応は進行中の認知情報と結び付けられる. 認知領域と感情領域との連携によって, 感情処理のある時点で機能的特化が失われ(Oya et al., 2002), 神経科学的な網膜周辺部の青に対する応答よりも赤というカテゴリカル色知覚における感情価が優先されたととらえることができる. 視野周辺に呈示した色刺激対の誘目性の指標を作る場合においても, 神経科学的な機能側面に中心視による視線停留で認められる色相ごとの感情価の認知傾向が反映される可能性がある.

中心視野および周辺視野付近に呈示される色刺激のサイズについても Gordon & Abramov(1977)や Mogi et al., (2021)らによって報告されている. Gordon & Abramov (1977) は, 直径 1. 5 度程度のサイズが小さい色刺激は遠周辺 45 度では色刺激の彩度知覚が長波長の赤を除いて低下し, 色相知覚は 約 580 nm を境界とした 2 色相弁別になることを示している. また, 周辺視で色刺激のサイズを変えて色の見えを測定すると, 呈示色刺激のサイズを直径 6.5 度程度まで大きくした場合は, 遠周辺 45 度においても彩度や色相は中心窩と同程度の色み知覚が維持されるとされる. Mogi et al. (2021) らにおいても, 中心窩で同じ色み知覚の直径 0.5 度〜2.0 度の色刺激を周辺視で確認すると, 赤や緑は彩度知覚が急速に減少し, 黄色相への遷移知覚が示されている. したがって, 視野周辺に呈示する色刺激のサイズが直径 3.0〜5.0 度程度であれば水平方向の遠周辺においても波長弁別が可能であるだけでなく, 呈示位置に応じた周辺視の色の見えが反映されることが示唆される.

視野周辺に位置する色の目立ち感は, 1960 年代に日本ではじめて視認性と誘目性との目立ち感情の違いに着目した神作(1967) によって, 色フィルターを用いた直径 3 度の色刺激対を水平方向に視角 40 度の位置に配置し, 3000ms 間の継時的な観察比較後の注意のひかれやすさによる主観評価と視線移動結果が示されている. また, 神作・福本(1972)は安全色彩の誘目性に着目し, 直径視角 30 度に直径 2 度の 12 種のマンセル色票をサークル状に配置し, 全ての色票を中心視で確認のうえ, 印象に残った色を 7 件法で順序尺度として示している. これらの手続きは, 視野周辺に色刺激を呈示しているものの, 色刺激呈示中に中心視で確認比較させることを前提条件としており, 呈示色刺激の中心視における停留時間の長さと印象深さの程度が結果として示されている. 誘目性の目立ち感は視野全体の色情報から中心視へ視線が移動するきっかけとなる周辺視の色の見えを考慮した比較が必要であるため, 中心視による往復比較を前提としない色刺激の目立ち感の評価や呈示時間の考慮, また視野周辺の呈示位置を変量とした間隔尺度を用いることが求められる.

また, 池田・芦澤(1993)は, 直径視角 20〜70 度に直径 4. 8 度のマンセル色票 12 種を環状に机上配置し, 中心固視を求めて目立つ色票順に選抜する課題から誘目性を検討している. 周辺視の色の見えを中心固視により考慮し, テーブル上の色票を斜め上から選び取る課題であるから, 色票までの距離や形状などがそれぞれ異なると

して，明確な指標は示されていない．作業記憶にとって重要な役割を担う前頭前皮質と後頭頂皮質は空間的注意の維持中にも情報を一時的に持続的な活動を維持する(Ikkai & Curtis, 2011; Holtmaat & Caroni, 2016)．また，意識していなくても眼球から入力された注意の視覚誘導による色や動きの特徴の情報が V1 以外の中脳の上丘などで維持されることが示唆されている(Takaura et al., 2011; Yoshida et al., 2012)．色刺激が複数ある場合の主観的評価は，複数ある色刺激全体を比較できたのか，距離の近い色刺激間のみの比較であるのかが不明であるため，一度に呈示させる色刺激数は比較した色の属性が明確になるよう 2 つの色刺激を中心視から等距離の位置に配置することが求められる．

また，日常生活において中心固視を求められることは稀であり，色情報が含まれる視覚刺激に対する扁桃体の活動は目標指向的行動および社会的行動に必要な，感情的側面に基づいたサッカードが促進されることも示されている(Dobkins & Albright, 1998; Maeda et al., 2018)．色の誘目性においては，目標とする探索情報との一致にかかわる視認性や識別性，状況下に依存する信号検出など，意識が操作的に定義される場合の目立ち感とは異なり(Merikle et al., 2001)，色刺激によって誘発される感情と認知の相互作用が視知覚に反映される自動処理を伴う目立ち感である． 感情と認知が連携して思考と行動の制御に寄与すること(Oya et al., 2002)を考慮すれば，中心窩に視覚的負荷となる中心固視での評価を求める場合は，誘目性の主観評価よりも中心固視への意識が優先される可能性もある．

以上のように，色の誘目性の議論においては，色刺激の形，大きさ，位置などの視知覚情報を統制した視野周辺における段階的な対呈示，周辺視の見えを考慮した主観評価による間隔尺度，視野周辺の色刺激対の呈示位置に応じた評価中の視線停留領域の特定および視線移動プロセスの推定，が課題として残されていると思われる．

1.4 本研究の目的

以上のことから，本研究では注視点から水平方向に呈示させる 2 つの色刺激間の距離を離角とし，直径 3 度の色刺激対を 500ms 呈示させ，2 つの色刺激間の離角が色の誘目性に与える影響を明らかにすることを目的とする．また，視野全体の位置で注意を向けさせたい色彩のデザイン構成に改善の指針を見出すために，周辺視に定

量的に調整した 2 つの色刺激の目立ち感の評価結果から間隔尺度を構成し，評価中の視線移動解析より，色の誘目性評価に至る視線移動のプロセスおよび視知覚処理過程の推定を行う．

1.5 本論文の構成

本研究には 3 つの段階がある．まず，4 種の離角(10 度, 30 度, 60 度, 90 度)を変量とし，定量的に調整した 2 つの色刺激の視知覚情報を統制し，色の三属性の差が誘目性に与える影響を解析する．次に目立ち感の評価中の視線追跡によって離角ごとの視線停留位置を特定し，視線移動と目立ち感の評価との関係から，視線移動のプロセスを検討する．最後に，これらの結果から誘目性の視知覚処理過程を推定し，離角ごと，ユニーク色ごとの色の誘目性の傾向および色の顕著性との認知プロセスの違いを考察する．

研究の第 1 段階として，4 種の離角における色相，明度，彩度それぞれの属性差が誘目性に与える影響を明らかにする．第 2 章では呈示色刺激の定量的記述と誘目性の尺度化として系統的に調整した色刺激の設定方法，および主観評価方法について論じる．第 3 章では 15 人の被験者に対して第 2 章で設定した色刺激を用いて各離角における色相差，明度差，彩度差の 3 条件の影響を考察するために同被験者に主観評価実験を行い，属性ごと，ユニーク色ごとに間隔尺度を示す．

第 2 段階では，誘目性評価に至る視線移動について，水平離角 90 度の視線追跡が可能な装着型のアイトラッカーを用いて，32 人の被験者に対する視線追跡結果の解析を行う．第 4 章では評価中の視線移動結果から解析区間を設定し，離角ごとに誘目性の視線停留領域を特定し，視線追跡時に得られた被験者の目立ち感の評価の解析結果から視線移動データの妥当性を検討する．第 5 章では，評価中の視線停留位置をもとに，水平視線移動領域を細分化し，各被験者の評価ごとの位置を統制後，サッカードを伴う視線移動方向と評価の回答方向との関係を定量的に示し，色の誘目性における目立ち感の判断と視線移動との認知プロセスを推定する．

第 3 段階では，第 4 章および第 5 章で視線移動解析から推定された誘目性の目立ち判断と視線移動の認知プロセスから第 2 章および第 3 章で離角ごとに定量的に調整

した色刺激の視知覚処理過程を検討する. 第 6 章では, 各離角における視知覚処理過程を考察し, 最後に本論の結論を示す.

第2章　呈示色刺激の定量的記述と誘目性の尺度化

色の三属性の差と誘目性との関係を定量的に検討するために，色の見え空間(CIECAM02)において背景および色の属性間の変量を決定する．色差を系統的に調整した色刺激を用いて目立ち感の程度を回答させる主観評価実験から間隔尺度を構成するために必要な色の誘目性の尺度化について論じる．

2.1 CIECAM02 と色の属性

一般に物体色は色相，明度，彩度の 3 次元属性によって主観的な心理知覚量を客観的な量で表す．色の見え空間は 3 次元の色差知覚の均等性が保たれた空間を示す．異なるデバイス間で色を見る場合は観察条件が異なるため，三刺激 XYZ の一致を目標とした測色的色再現では必ずしも色の見えは一致しない．種々の機器で実用的に応用可能であり，観察条件に依存しない色の三属性を数値で表わせる色の見えのモデルは 1990 年代後半から国際照明委員会(CIE)で検討され続けている．CIECAM02(CIE, 2004)は色覚のメカニズムに基づいており，三刺激値を用いて色順応を計算し，色情報の異なる画像デバイス間での色再現の設計に用いることができる．色刺激の三刺激値 X, Y, Z, 色刺激呈示環境における基準白色の三刺激値X_w, Y_w, Z_w, 順応輝度L_A, 観察周囲条件パラメータをモデルに入力することにより，最終的な出力として種々の色の属性が得られる．出力属性は，色相属性として色相 h(hue angle), 色相成 H(Hue quadrature), 明度属性として明るさQ(brightness), 明度J(lightness), 彩度属性として飽和度 s(saturation), 彩度 C(chroma), カラフルネスM(colorfulness)である．明るさ Q とカラフルネス M は絶対的感覚量であり，明度 J, 彩度 C は相対的感覚量である．本研究においては色刺激の見えの属性は，相対的感覚量である色相 H, 明度 J, 彩度 C を採用する．また，色相 H の属性は周辺視の色視野や色知覚の知見が明確なユニーク色の赤，黄，緑，青に対応する $H0$, $H100$, $H200$, $H300$ の 4 種を用いる．

2.2 色知覚量と背景色

色の誘目性における属性ごとの定量的考察には，無彩色背景明度 J を設定し，背景と同一明度 J で彩度 C を固定した等明度面における色相差(ΔH)の比較，彩度 C を固

定した各等色相面での明度(ΔJ)の比較，背景と同一明度 J の各等色相面での彩度(ΔC)の比較，が必要である．背景色の明度 J および各呈示色刺激の属性間変量を決定するために，まず，色知覚量の確認も兼ね，これまで多くの色視知覚現象や色の目立ち感で検討されてきたマンセル表色系の純色についての対応付けを示す．マンセル色票の純色においてよく用いられる基本 5 色相の 3 属性(HV/C)は 5R4/14, 5Y8/14, 5G5/10, 5B4/8, 5P4/10 であり，これらは属性値からも明らかなように明度 V と彩度 C が色相 H によって異なる．マンセル色空間(HV/C)が CIECAM02 色空間(HJC)ではどのような知覚量になるのかを確認するために，マンセル色票の純色の主要 5 色相を標準イルミナント D65 で照明し，平均的周囲条件，順応輝度 20(ca/m²)で観察した場合における CIECAM02 色空間での色の見えの予測結果を Figure 1 および Figure 2 に示す．

Figure 1 は CIECAM02 色空間におけるマンセル等明度面(V4, V5, V8)で，中心座標からの放射状の線が等色相線，同心円状の線が等彩度線を示している．それぞれマンセル主要 5 色相を極座標上にプロットしてある．Figure 2 は CIECAM02 の JC とマンセル表色系の VC の変量比較の結果で，5R は J34C80, 5Y は J75C84, 5G は J39C53, 5B は J29C51, 5P は J31C43, であることが確認できる．純色色票における彩度 C は，5R と 5Y が 5G と 5B より ΔC 30 程度，5P より ΔC 40 程度も高彩度であることを示している．また，明度 J は 5Y が 5R と 5G より ΔJ40 程度，5B と 5P より ΔJ50 程度も高明度であることが確認できる．純色色票値のみの比較では「赤」と「黄」は「青」と比較して高彩度色，「黄」は「青」より顕著な高明度色であり，明度と彩度の異なる純色の組み合わせのみで「赤」や「黄」の色相が「青」より目立つとは判断できない．つまり「赤」や「黄」の純色が目立つとされていても，実際には明度差や彩度差による影響なのか不明なまま色相の順序尺度とされていることがわかる．また，マンセル表色系の純色の明度や最高彩度段階は色相によって異なる．Figure 1 からも明らかなように，マンセル明度 V4 の等明度面では高彩度の 5Y，マンセル明度 V8 の等明度面では高彩度の 5R, 5G, 5B, 5P, が存在しない．したがって，現実的適用範囲を考慮すると同程度の中～高彩度が確保できる中明度の N5～N7 程度の背景色を設定し，同程度の有彩色明度を設定することで色相や彩度の影響を検討することができる．そこで，本研究では N6.5 に準ずる J60 を背景色として採用する．

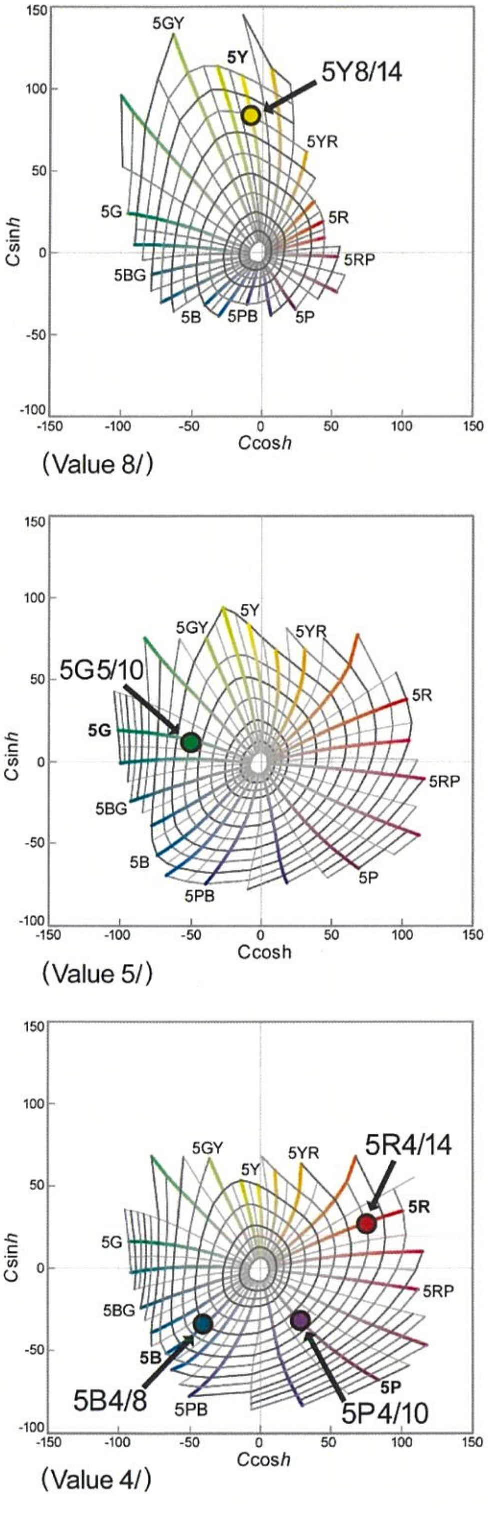


Figure 1 色の見え空間 CIECAM02 におけるマンセル等明度面(*V*4, *V*5, *V*8)

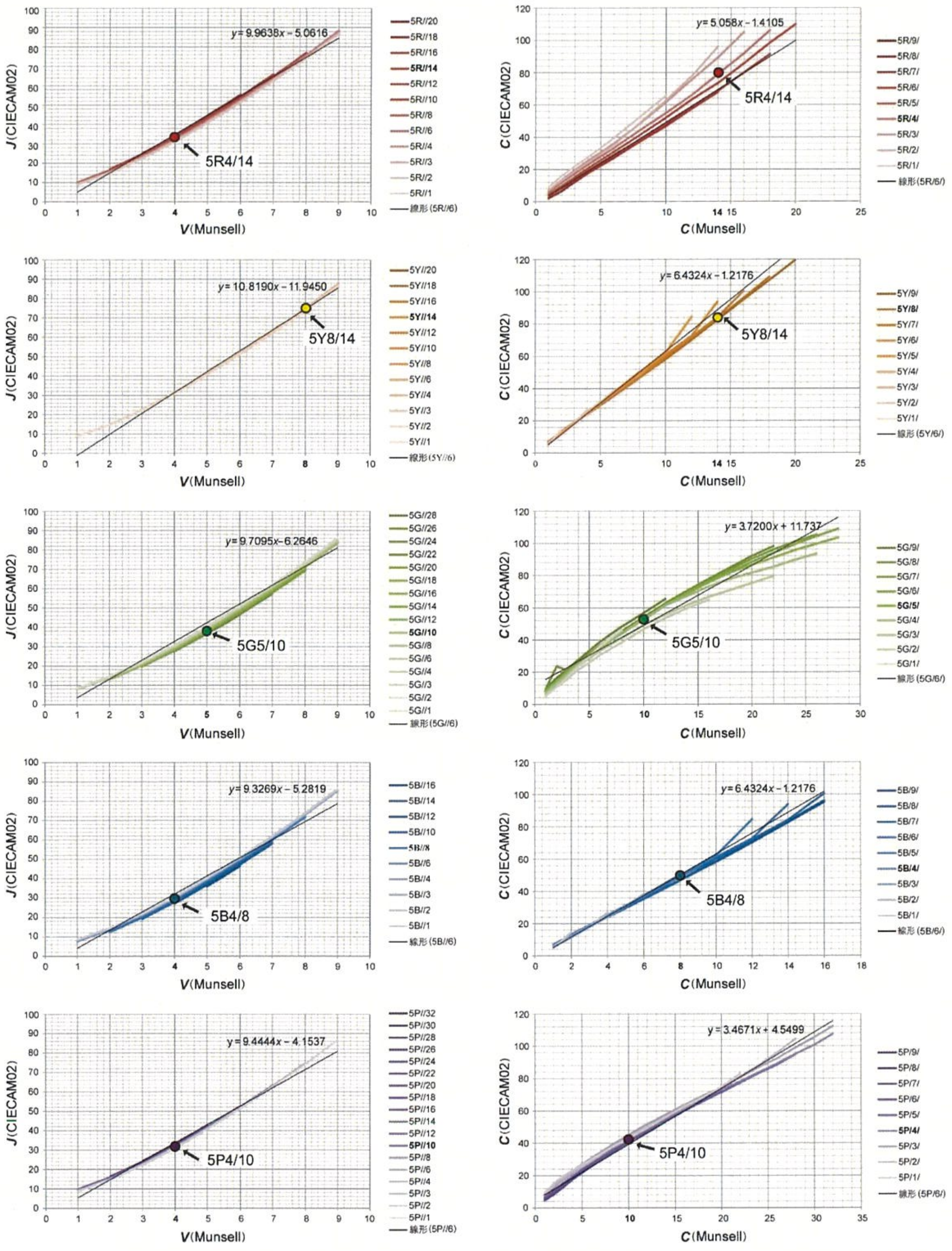


Figure 2. CIECAM02 の *JC* とマンセル表色系の *VC* との変量比較

2.3 色の三属性の差の定量的検討

色の誘目性に与える影響を属性ごとに定量的に検討するためには，背景 *J*60 と同一明度(*J*60)，彩度(*C*)を固定した等明度面での色相差(ΔH)の比較，彩度(*C*)を固定した各等色相面での明度(ΔJ)の比較，背景 *J*60 と同一明度(*J*60)を固定した各等色相面での彩度(ΔC)の比較が必要である．また，色相差，明度差，彩度差の三属性それぞれの影響を，本章 4 節にて後述する位置効果や組み合わせ効果も含めた間隔尺度で示すためには，各被験者が全ての組み合わせ数を評価する必要がある．例えば，30 種の色刺激のすべての組み合わせを 4 種の離角で評価すると 3480 通り($_{30}C_2$*2*4)必要であり，被験者への負担が大きく，評価の安定性に欠ける．そこで，無彩色 *J*40 と有彩色 1 色を共通色刺激とする．色相差，明度差，彩度差の三属性それぞれの影響を離角ごとに検討するための色空間内分布の概略は Figure 3 に示す．Figure 3(上段)には，背景と同一明度 *J*60 の等明度面上に *J*60*C*80 の有彩色刺激 4 種(*H*0, *H*100, *H*200, *H*300)と無彩色刺激 2 種(*J*40, *J*80)の計 6 種の色刺激をプロットしている．有彩色刺激の明度 *J* を背景色 *J*60 と同明度の *J*60，彩度 *C*80 で統一化することにより主として色相差 ΔH が与える影響を考察できる．Figure 3(中段)には，例として色相 *H*0(赤)の等色相面に *H*0 *C*40 の有彩色刺激 4 種(*J*20, *J*40, *J*60, *J*80)と無彩色刺激 1 種(*J*40)の計 5 種の色刺激をプロットしている．各有彩色刺激の彩度を低彩度 *C*40 で統一化することにより主として 4 段階の明度差 ΔJ が与える影響を考察できる．Figure 3 (下段)には，例として色相 *H*0(赤)の等色相面に *H*0*J*60 の有彩色刺激 4 種(*C*20, *C*40, *C*60, *C*80)と無彩色刺激 1 種(*J*40)の計 5 種の色刺激をプロットしている．各有彩色刺激の明度 *J* を背景色 *J*60 と同明度の *J*60 で統一化することで主として 4 段階の彩度差 ΔC が与える影響を考察できる．

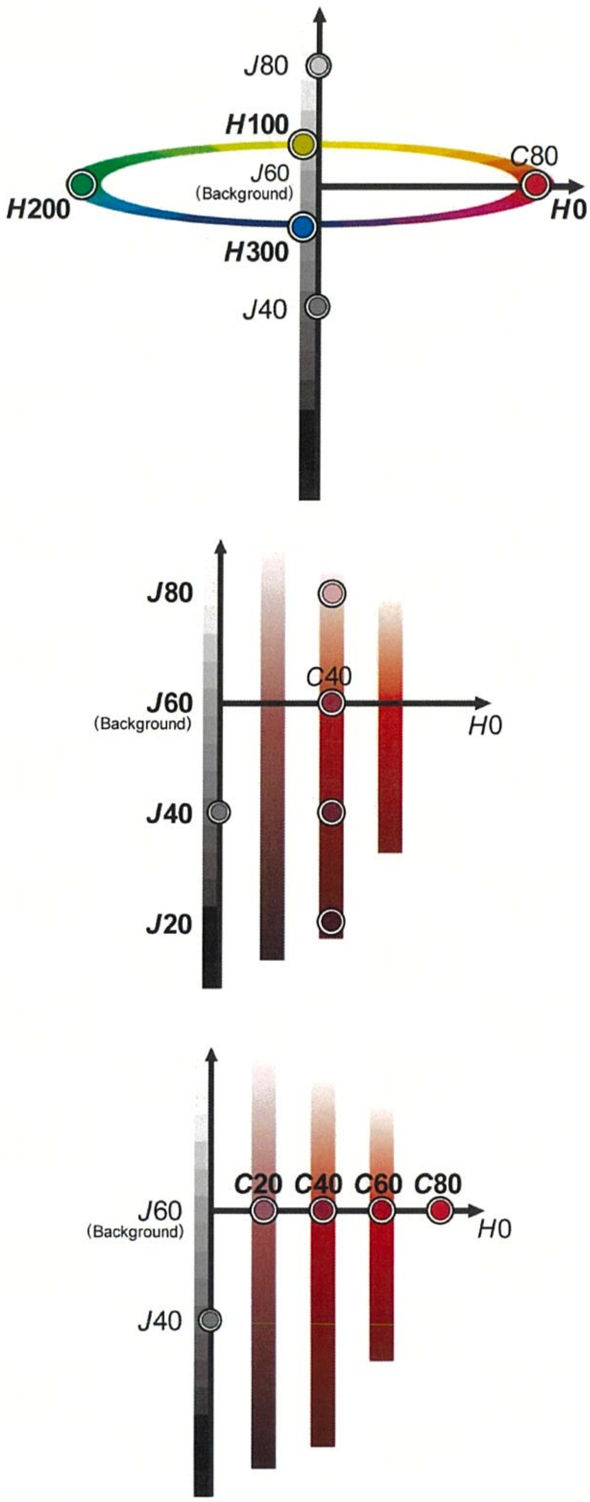


Figure 3　色相差(ΔH),明度差(ΔJ),彩度差(ΔC)を考慮した CIECAM02 色空間内分布の概略図

2.4 誘目性の官能評価方法

色の誘目性においては，観察者の垂直前面に形，大きさ，位置などを統制した色刺激対の目立ちを感の程度を主観的に評価してもらう必要がある．2 つの色刺激呈示に対して，1 対 1 比較を繰り返すことによって色刺激どうしの微妙な差異を数値化できる官能評価方法を一対比較法と呼ぶ．一対比較法には各被験者が評価する組み合わせ総数，評価方法などにより，解析手法が分類されている．本研究では各被験者が全ての組み合わせ数の目立ちの程度を評価することで間隔尺度を構成できる浦の変法(Scheffe, 1952; Ura, 1959)を採用する．全ての組み合わせとは，1 対の組み合わせに対して左右の位置を逆に入れ替えた対も評価することを意味する(Figure 4)．例えば，試料数が t 個の場合の対数は ${}_{t}C_{2}\times 2$ 対が必要になる．解析の主目的は主効果の推定値 $\hat{\alpha}_i$により誘目性の程度を求めることであるが，本手法を使うことで，組み合わせ効果 S_γや位置効果S_δ，被験者間の相違点$S_{\alpha(k)}$なども比較することができる．Figure 4 には例として 4 種の離角のうち，離角 10 度において 6 種の色刺激を用いた色相差条件(Figure 3 上段)のユニーク赤の位置効果と組み合わせ効果を示す．左右の位置効果S_δは同じ組み合わせで左右の位置を逆転させた場合に評価に差があるかどうかを示している．例えば，α_1とα_2の対を比較する場合，α_1という色刺激を垂直前面左に配置する場合と垂直前面右に配置させる場合において目立ちの評価がどの程度変化するのかを判断できる．位置効果が有意である場合は同じ組み合わせの色刺激対の左右配置を逆転させるだけで目立ち感に差が生じることを示し，色刺激の特性よりも不同視や利き目に関連した両眼視差に関連すると考えることができる．組み合わせ効果 S_γは Figure 4 に示すように，比較する 2 つの色刺激のうち，一つの色刺激を固定し，もう一方の色刺激のみを変化させる場合に，固定する色刺激の評価に差があるかどうかを示している．例えば，α_1という色刺激を$\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$と各々比較する場合，$\alpha_1$の目立ちの評価が組み合わせる色刺激によってどの程度変化するのかを判断できる．2 色以上の色刺激を組み合わせると中心視付近では近接刺激で生じる対比をはじめとした様々な視知覚現象が生じ，単色とは異なる色の見え方をする．離れた位置の色刺激対の目立ち感の評価に同時対比による視知覚現象が各離角でどの程度反映されるかは不明であるが，目立ち感の評価の主効果S_αおよび組み合わせ効果 S_γに有意な差がある場合は，色の三属性の差を考察できる各属性条件下では同時比較によって属

性値の近似する色刺激対の対比効果が予測される．また，左右の位置効果S_δや組み合わせ効果 S_γに統計学的な有意差がある場合は，色刺激情報は眼球網膜から脳の外側膝状体(Lateral Geniculate Nucleus：以下 LGN)を経由した大脳初期視覚野 V1 をはじめとする視覚野経路における処理が認知領域に反映されたと考えることができる．

統計解析は全被験者の評価結果をもとに，色相差条件では離角ごとに，明度差および彩度差条件では離角ごと，ユニーク色相ごとに行い，主効果S_αに有意差がある場合は，下記主効果$\hat{\alpha}_i$を求め($\sum \hat{\alpha}_i = 0$)，評定値から各色刺激の誘目性の位置付けを行う．t は色刺激の個数, n は被験者総数を示す．

$$\hat{\alpha}_i = \frac{1}{2nt}\left(x_{i..} - x_{.j.}\right)$$

主効果の差$(\hat{\alpha}_i - \hat{\alpha}_j)$の推定はヤードスティック Yを使用し，下記$\left|\hat{\alpha}_i - \hat{\alpha}_j\right| > Y$であれば，色刺激 α_iとα_jとの間には有意差があると判定する．なお，q はスチューデント化された 1%または 5%の範囲より求めた色刺激数 t と誤差の自由度$f = f_e$に対応するパーセント点で，$\hat{\sigma}^2$は誤差分散の推定値である．

$$\left|\hat{\alpha}_i - \hat{\alpha}_j\right| > Y = q\sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{2nt}}$$

第 3 章では，各属性間の色差が目立ち感の評価に及ぼす影響を検討するため全ての条件に共通する無彩色刺激 $J40$(Figure 3)の主効果$\hat{\alpha}_i$を 0 として, 1%のヤードスティックで正規化した間隔尺度を示す．また，同一色相成分の明度と彩度の誘目性への影響の程度を比較できるよう明度差条件と彩度差条件に共通する有彩色刺激 $J60\,C40$(Figure 3)の主効果$\hat{\alpha}_i$を 0 として 1%のヤードスティックで正規化し，全ての色刺激間に 1%および 5%の色刺激間の有意差を示す．

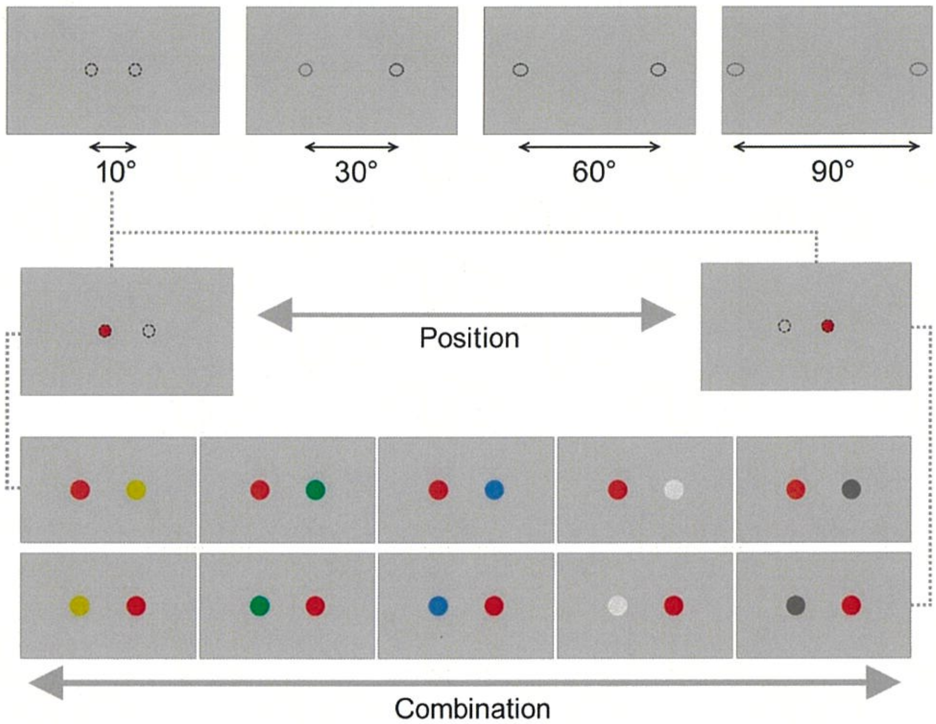


Figure 4　一対比較法による位置効果と組み合わせ効果の模式図

2.5 まとめ

異なる画像デバイス間での色再現の設計に用いることができる色の見え空間CIECAM02を採用し，色の属性差を統一尺度で判断できるよう色知覚量を検討し，色の属性間の変量を決定する方法を示した．色刺激の主効果を同じ尺度で比較できるよう，色相差，明度差，彩度差の各属性条件間に共通色刺激を設定することで，各被験者が主観評価可能な組み合わせ総数を調整でき，間隔尺度から色の三属性の差と誘目性との関係を検討することができる．

第3章　離角と色の三属性の差と誘目性との関係

4 種の離角(10 度, 30 度, 60 度, 90 度)で定量的に調整した色刺激を用いて, 2 つの色刺激の目立ちの程度を一対比較(Scheffe, 1952; Ura, 1959)によって評価するという実験を行った. 本章では, 各離角における色相差, 明度差, 彩度差の 3 条件において誘目性の尺度を属性ごと, ユニーク色ごとに示し, 色の三属性の差が誘目性に与える影響について論じる.

3.1 装置

実験装置の模式図は Figure 5 に示す. 液晶ディスプレイと垂直前面 600mm の距離で両眼自然視できるよう観察装置を暗室に設置した. 色刺激を呈示した液晶カラーディスプレイ(TH-65DX950, Panasonic)の画面サイズは幅 1428mm×高さ 804mm, 対角 1639mm である. 観察装置前面には, 小開口(縦 250mm×横 200mm)を設け, 顎台を設置した. 液晶カラーディスプレイにおける白色の最大輝度の 35%の輝度で標準イルミナント D65 相当の無彩色を全画面サイズで呈示し, これを明度 *J*60 相当の無彩色背景とした. 色刺激の直径は 3 度とし, 呈示色刺激対の離角は, 水平方向に 10 度, 30 度, 60 度, 90 度とした. 例えば, 離角 10 度の場合, 2 つの色刺激は注視点から左右均等に 5 度離れた位置に呈示されたことを示す. また, 環状の注視点は直径 1 度とし, ディスプレイの白色と黒の面積重み付け平均が背景輝度 *J*60 になるように調整し, 錯視と色の恒常性の影響を考慮した.

3.2 色刺激

色刺激の見えの属性は, CIECAM02 の色相 *H*, 明度 *J*, 彩度 *C* を採用し, 観察パラメータは, 平均周囲($c = 0.69$, $Nc = 1.0$, $F = 1.0$)に設定した. 各離角における色の三属性の影響を検討するために, 第 2 章で設定した色相差, 明度差, 彩度差の 3 つの条件において実験に用いた 30 種の色刺激の *HJC* 値を Figure 6 に示す.

色相差の影響は各離角に 6 種の色刺激を用いた. *J*60 *C*80 の有彩色刺激 4 種(*H*0, *H*100, *H*200, *H*300)と無彩色刺激 2 種(*J*40, *J*80)である. 明度差と彩度差の影響を検討できる各ユニーク色の色刺激は組み合わせ総数を考慮して離角 10 度と離角 60 度では各 5

種，離角 30 度と離角 90 度では各 4 種の色刺激を用いた．明度差の影響は $C40$ の有彩色刺激 4 種($J20$, $J40$, $J60$, $J80$)と無彩色刺激($J40$)であり，離角 30 度と離角 90 度では $J20$(Figure 6 の $\alpha_{10,14,18,22}$)を除いた．彩度差の影響は $J60$ の有彩色刺激 4 種($C20$, $C40$, $C60$, $C80$)と無彩色刺激($J40$)であり，離角 30 度と離角 90 度では $C20$(Figure 6 の $\alpha_{24,26,28,30}$)を除いた．4 種の離角の総計 104 種(30 種×2 離角+22 種×2 離角)の色刺激の RGB 値は，使用ディスプレイの加法特性を考慮し，離角ごとに 3 次元的にルックアップテーブルを参照して 25000〜30000 回程度のキャリブレーションを実施し，HJC 誤差が最小(ΔE ($\sqrt{\Delta J^2 + \Delta C^2}$) ≦2.5%)になる色刺激の RGB 値を採用した．無彩色背景上に呈示した全ての色刺激は，表面色モードで知覚されることを確認し，色刺激は呈示位置にかかわらず見かけの形状，直径が一定になるように調整した．

色相差 4 群(4 離角)，明度差 16 群(4 色相×4 離角)，彩度差 16 群(4 色相×4 離角)の 3 条件の計 36 群における色刺激の組み合わせ数は Table 1 に示す．色相差 H は ${}_6C_2$×2 (位置効果)×4(離角)の 120 通り，明度差 J と彩度差 C はそれぞれ，4(色相)×${}_5C_2$×2 (位置効果)×2(離角 10 度，離角 60 度)＋4(色相)×${}_4C_2$×2 (位置効果)×2(離角 30 度，離角 90 度)の 256 通りである．

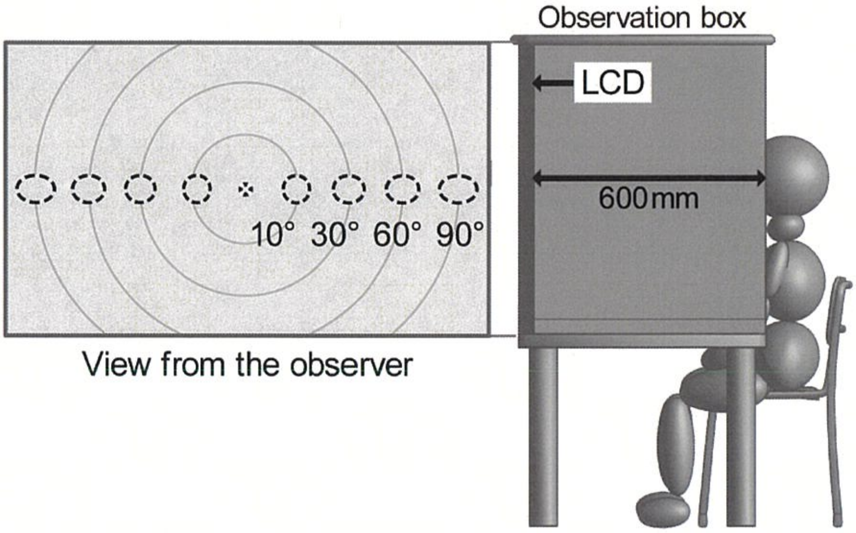


Figure 5　実験装置の模式図と色刺激対の呈示位置

色相差条件			
α_i	***H***	*J*	*C*
1	**0**	60	80
2	**100**	60	80
3	**200**	60	80
4	**300**	60	80
5	-	40	0
6	-	80	0

明度差条件			
α_i	*H*	***J***	*C*
7	0	**80**	40
8	0	**60**	40
9	0	**40**	40
10	0	**20**	40
5	-	40	0
11	100	**80**	40
12	100	**60**	40
13	100	**40**	40
14	100	**20**	40
5	-	40	0
15	200	**80**	40
16	200	**60**	40
17	200	**40**	40
18	200	**20**	40
5	-	40	0
19	300	**80**	40
20	300	**60**	40
21	300	**40**	40
22	300	**20**	40
5	-	40	0

彩度差条件			
α_i	*H*	*J*	***C***
1	0	60	**80**
23	0	60	**60**
8	0	60	**40**
24	0	60	**20**
5	-	40	0
2	100	60	**80**
25	100	60	**60**
12	100	60	**40**
26	100	60	**20**
5	-	40	0
3	200	60	**80**
27	200	60	**60**
16	200	60	**40**
28	200	60	**20**
5	-	40	0
4	300	60	**80**
29	300	60	**60**
21	300	60	**40**
30	300	60	**20**
5	-	40	0

Figure 6　三属性の差を考慮した 4 種の離角で用いた 30 種の色刺激の *HJC* 値

Table 1　色相差条件 4 群，明度差条件 16 群，彩度差条件 16 群の色刺激の組み合わせ数

考察条件			Angular distance between stimuli				$\Sigma_t C_2 \times 2$
			10°	30°	60°	90°	
色相差	***H***	-	$_6C_2 \times 2$	$_6C_2 \times 2$	$_6C_2 \times 2$	$_6C_2 \times 2$	120
明度差	***J***	*H*0	$_5C_2 \times 2$	$_4C_2 \times 2$	$_5C_2 \times 2$	$_4C_2 \times 2$	64
		*H*100	$_5C_2 \times 2$	$_4C_2 \times 2$	$_5C_2 \times 2$	$_4C_2 \times 2$	64
		*H*200	$_5C_2 \times 2$	$_4C_2 \times 2$	$_5C_2 \times 2$	$_4C_2 \times 2$	64
		*H*300	$_5C_2 \times 2$	$_4C_2 \times 2$	$_5C_2 \times 2$	$_4C_2 \times 2$	64
彩度差	***C***	*H*0	$_5C_2 \times 2$	$_4C_2 \times 2$	$_5C_2 \times 2$	$_4C_2 \times 2$	64
		*H*100	$_5C_2 \times 2$	$_4C_2 \times 2$	$_5C_2 \times 2$	$_4C_2 \times 2$	64
		*H*200	$_5C_2 \times 2$	$_4C_2 \times 2$	$_5C_2 \times 2$	$_4C_2 \times 2$	64
		*H*300	$_5C_2 \times 2$	$_4C_2 \times 2$	$_5C_2 \times 2$	$_4C_2 \times 2$	64
$\Sigma_t C_2 \times 2$			190	126	190	126	632

3.3 実験方法

被験者は垂直前面の液晶ディスプレイ中央の注視点が600mmの距離で視線中央に位置するよう椅子の左右位置および高さを調整し，顎台を用いて色刺激を両眼自然視で観察した(Figure 5)．色刺激の呈示順はFigure 7に示す．画面中央に注視点を呈示し，被験者が注視点に視線を合わせた口頭合図を実験者が確認後，実験者が色刺激対の呈示開始を口頭で伝えた．注視点の左右両側に色刺激を 500ms 呈示させると同時に注視点は消去した．被験者は *J*60 相当の無彩色背景のみが表示されている間に，左右の色刺激の目立ち感については「左が目立つ」，「左がやや目立つ」，「どちらでもない」，「右がやや目立つ」，「右が目立つ」，の5件法により口頭で評価を求め，「左が右より目立つ」が+2点，「左が右よりやや目立つ」が+1点，「どちらでもない」が0点，「右が左よりやや目立つ」が-1点，「右が左より目立つ」が-2点とした．記録を終えると同時に注視点を呈示し，以後同様の手順を繰り返した． 各被験者には，2つの色刺激のみが500ms呈示された場合の目立ち感について，色相差，明度差，彩度差の影響を検討する 3 条件の全ての組み合わせ回数を評価してもらった．色刺激対の呈示順序は，被験者間でランダムとした．被験者は，正常色覚，正常視力(矯正を含む)を有する男性9人，女性6人の計15人($M = 22.7$, $SD = 1.0$)であった．

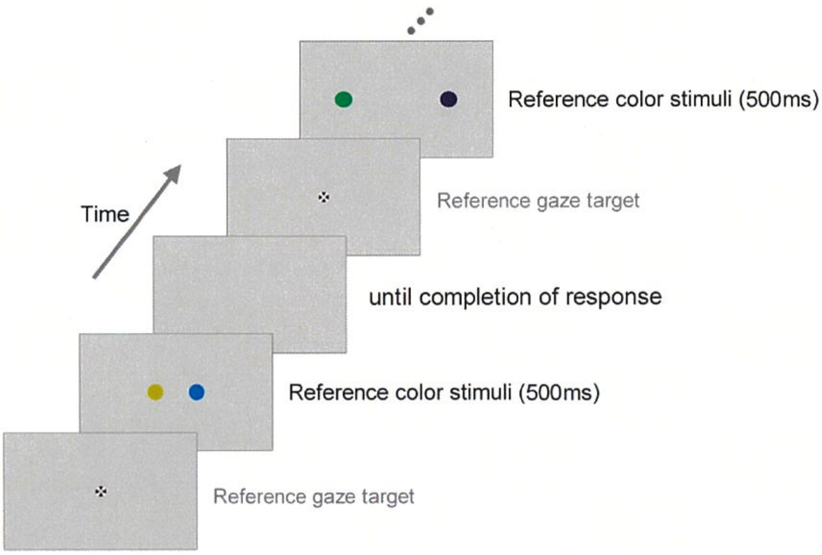


Figure 7　垂直前面ディスプレイ上の色刺激呈示順の模式図

3.4 結果

3.4.1 色相差と離角の影響

色相差条件 4 群の解析結果を Table 2 に示す．各離角における主効果S_αはいずれも有意で色刺激間の目立ち感の評価に十分な差が認められた(10°, F (5, 350) = 50.14, p ＜ .001; 30°, F (5, 350) = 71.58, p ＜ .001; 60°, F (5, 350) = 103.52, p ＜ .001; 90°, F (5, 350) = 90.14, p ＜ .001)．Table 2 には残差と計を除く各要因についてF_0値，残差項には不偏分散の値S_e，計の欄には総平方和の値S_tを示している．Figure 8 は色相差条件における間隔尺度で，無彩色刺激 J40 の主効果$\hat{\alpha}_i$を 0 として，1%のヤードスティックで正規化した．Figure 8 の折れ線は同一色相の色刺激，1 目盛は，1%水準での色刺激間の有意差に対応させている．

Figure 8 より，色相差による目立ち感は全ての離角において，ユニーク赤とユニーク青がユニーク黄と比較して顕著に評定値の順位が高い傾向を示した．特に，ユニーク赤は離角 10 度から離角 60 度，ユニーク青は離角 30 度から離角 90 度で色相が誘目性に与える影響が大きい傾向を示した．ユニーク緑は離角によって大きく変化し，離角 30 度では無彩色 J40 と同程度，離角 60 度では J40 よりも有意に目立ち感が低下した．また，無彩色 J80 は，離角 30 度で評定値の順位が低下し，離角 90 度では全ての有彩色刺激よりも評定値の順位が高い傾向を示した．離角 10 度から離角 60 度における評定値の順位の低下はユニーク緑が顕著であった．離角 90 度においては，全ての有彩色刺激の目立ち感が無彩色 J40 よりも高く評価され，ユニーク青がユニーク赤とユニーク緑よりも有意に評定値が高く，離角 10 度から離角 60 度とは異なる傾向が示された．

CIECAM02 の色の見えモデルにおいては，色刺激の輝度が一定に保たれている場合における知覚明度が色成分によって異なるヘルムホルツ・コールラウシュ効果(Helmholtz-Kohlrausch：以下 HK 効果)が指摘されている(Hellwig et al., 2022)．HK 効果は色刺激の明度 J が物理的測定値として一定に保たれていても，高彩度色が明るく知覚される現象で，色相成分によってもその明るさ知覚の程度が異なる(Wyszecki & Stiles, 1982; Hellwig et al., 2022; Xie & Fairchild, 2023)．Figure 8 の明度 J60，彩度 C80 の各ユニーク色の HK 効果(Hellwig et al., 2022)を考慮した等価明度は Figure 9 に示す．

Table 2　色相差条件の各離角における解析結果

(significant difference. *** $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$)

Factor	Angular distance between stimuli			
	10°	30°	60°	90°
Stimuli	50.14 ***	182.05 ***	103.52 ***	99.14 ***
Stimuli × Observers	2.39 ***	3.06 ***	3.13 ***	3.04 ***
Combination	2.71 **	2.14 *	0.72	3.33 ***
Position	19.11 ***	0.63	0.19	3.58
Positionn × Observers	3.88 **	2.95 ***	2.32 **	3.00 ***
Residual (S_e)	1.36	1.28	1.15	1.04
Overall result (S_T)	1178.00	3146.00	1292.00	1187.00

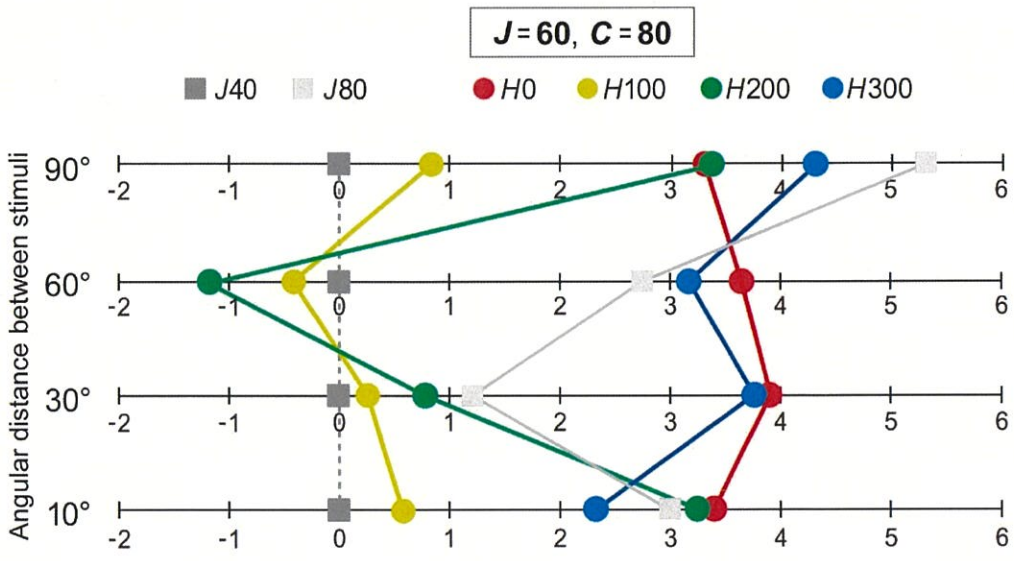


Figure 8　色相差条件による 4 種の離角ごとに構成した誘目性の間隔尺度

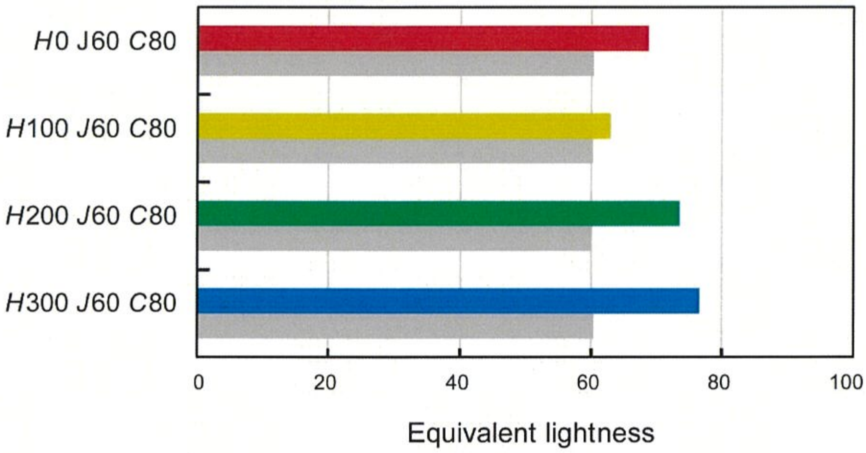


Figure 9　色相差条件(Figure 8)の有彩色刺激 C80 に対応した Helmholtz-Kohlrausch 効果

3.4.2 明度差と離角の影響

明度差条件 16 群の解析結果を Table 3 に示す．各離角における主効果S_αはいずれも有意で色刺激間の目立ち感の評価に十分な差が認められた($H0$ 10°, F (4, 219) = 105.46, p < .001; $H0$ 30°, F (3, 117) = 73.59, p < .001; $H0$ 60°, F (4, 219) = 92.62, p < .001; $H0$ 90°, F (3, 117) = 67.20, p < .001; $H100$ 10°, F (4, 219) = 204.54, p < .001; $H100$ 30°, F (3, 117) = 68.28, p < .001; $H100$ 60°, F (4, 219) = 116.60, p < .001; $H100$ 90°, F(3, 117) = 90.79, p < .001; $H200$ 10°, F (4, 219) = 177.96, p < .001; $H200$ 30°, F (3, 117) = 129.96, p < .001; $H200$ 60°, F (4, 219) = 145.44, p < .001; $H200$ 90°, F (3, 117) = 71.41, p < .001; $H300$ 10°, F (4, 219) = 79.78, p < .001; $H300$ 30°, F (3, 117) = 53.22, p < .001; $H300$ 60°, F (4, 219) = 109.31, p < .001; $H300$ 90°, F (3, 117) = 43.20, p < .001). Table 3 には残差と計を除く各要因についてF_0値，残差項には不偏分散の値S_e，計の欄には総平方和の値S_tを示している．F_0<1 の場合は示していない．Figure 10 は明度差条件における離角ごと，ユニーク色相ごとの間隔尺度で，無彩色刺激 $J40$ の主効果$\hat{\alpha}_i$を 0 として，1%のヤードスティックで正規化した．Figure 10 の折れ線は同一色相の色刺激，1 目盛は，1%水準での色刺激間の有意差に対応させている．

Figure 10 より，明度差による目立ち感は，離角 10 度から離角 60 度においては，無彩色背景 $J60$ と明度差がある刺激，特に背景より高明度の色刺激 $J80$ の評定値の順位が高い傾向を示した．離角 60 度では，$J20$(×)と $J80$(●)とが同程度の評定値を示した．離角 10 度から離角 60 度では背景と同一明度の有彩色刺激 $J60$ が無彩色刺激 $J40$ と同程度あるいは有意に目立ち感の低い評定値を示したが，離角 90 度ではいずれの有彩色刺激も無彩色刺激 $J40$ と比較して有意に高い評定値を得た．また，全ての離角において，有彩色刺激 $J40$ と $J80$ は無彩色刺激 $J40$ と比較して有意に目立ち感が高い評定値を示し，有彩色刺激の背景との明度差が誘目性に有効である傾向が認められた．なお，太実線で結んだ色刺激 $J60$(▲)については本章 5 節に記述する．

Table 3 明度差条件による各ユニーク色，各離角における解析結果
(significant difference. *** $p<.001$, ** $p<.01$, * $p<.05$)

		*H*0		
Factor	10°	30°	60°	90°
Stimuli	105.46 ***	73.59 ***	92.62 ***	67.20 ***
Stimuli × Observers	2.38 ***	2.51 ***	3.64 ***	4.10 ***
Combination	4.59 ***	2.38	4.56 ***	1.88
Position	20.04 ***	5.42 *	1.51	0.02
Position × Observers	1.42	1.21	1.81*	1.63
Residual (S_e)	1.06	1.18	0.98	0.94
Overall result (S_T)	896.00	560.00	827.00	490.00

		*H*100		
Factor	10°	30°	60°	90°
Stimuli	204.54 ***	68.28 ***	116.60 ***	90.79 ***
Stimuli × Observers	1.81 **	2.56 ***	1.61 **	2.83 ***
Combination	11.25 ***	7.24 ***	3.48 **	6.02 ***
Position	18.25 ***	13.88 ***	7.09 **	-
Position × Observers	1.94 *	1.17	1.12	3.42 ***
Residual (S_e)	0.72	1.12	1.04	0.79
Overall result (S_T)	907.00	541.00	851.00	452.00

		*H*200		
Factor	10°	30°	60°	90°
Stimuli	177.96 ***	129.96 ***	145.44 ***	71.41 ***
Stimuli × Observers	2.04 ***	2.31 ***	2.89 ***	2.65 ***
Combination	10.21 ***	12.13 ***	7.99 ***	2.04
Position	8.68 **	1.46	1.18	4.14 *
Position × Observers	1.79 *	1.62	1.36	1.69
Residual (S_e)	0.81	0.85	0.91	1.05
Overall result (S_T)	926.00	567.00	940.00	502.00

		*H*300		
Factor	10°	30°	60°	90°
Stimuli	79.78 ***	53.22 ***	109.31 ***	43.20 ***
Stimuli × Observers	1.93 ***	2.71 ***	3.08 ***	3.62 ***
Combination	1.99	2.41	3.51 **	2.03
Position	27.11 ***	0.22	4.57 *	0.01
Position × Observers	2.12 *	0.71	1.49	1.48
Residual (S_e)	1.18	1.24	1.00	1.08
Overall result (S_T)	844.00	507.00	873.00	459.00

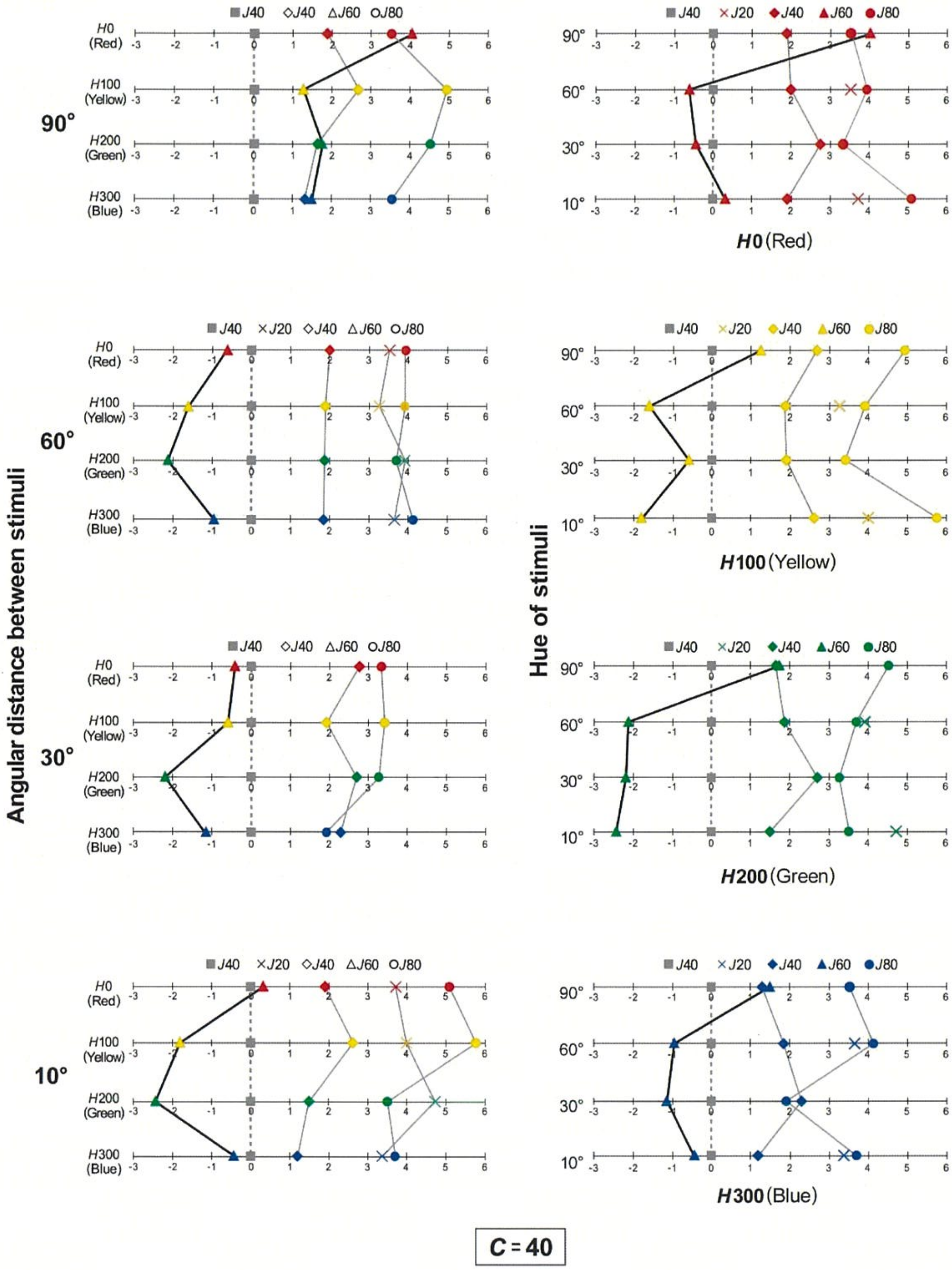


Figure 10　明度差条件による４種の離角ごとに構成した誘目性の間隔尺度

3.4.3 彩度差と離角の影響

彩度差条件 16 群の解析結果を Table 4 に示す．各離角における主効果S_αはいずれも有意で色刺激間の目立ち感の評価に十分な差が認められた(*H*0 10°, F (4, 219) = 113.55, $p <$ .001; *H*0 30°, F (3, 117) = 67.25, $p <$ .001; *H*0 60°, F (4, 219) = 137.17, $p <$ .001; *H*0 90°, F (3, 117) = 67.88, $p <$ .001; *H*100 10°, F (4, 219) = 118.97, $p <$ .001; *H*100 30°, F (3, 117) = 5.20, p = .002; *H*100 60°, F (4, 219) = 9.26, $p <$ .001; *H*100 90°, F (3, 117) = 32.07, $p <$ .001; *H*200 10°, F (4, 219) =241.17, $p <$ .001; *H*200 30°, F(3, 117) = 68.33, $p <$ .001; *H*200 60°, F (4, 219) = 39.77, $p <$ .001; *H*200 90°, F (3, 117) = 35.17, $p <$ .001; *H*300 10°, F (4, 219) = 142.84, $p <$ .001; *H*300 30°, F (3, 117) = 117.89, $p <$ .001; *H*300 60°, F (4, 219) = 157.67, $p <$ .001; *H*300 90°, F (3, 117) = 42.64, $p <$ .001). Table 4 には残差と計を除く各要因についてF_0値，残差項には不偏分散の値S_e，計の欄には総平方和の値S_tを示している．Figure 11 は彩度差条件における離角ごと，ユニーク色相ごとの間隔尺度で，無彩色刺激 *J*40 の主効果$\hat{\alpha}_i$を 0 として，1%のヤードスティックで正規化した．Figure 11 の折れ線は同一色相の色刺激，1 目盛は，1%水準での色刺激間の有意差に対応させている．また，彩度差条件 16 群においても色刺激間の目立ち感に統計学的な差があることから，彩度差条件と明度差条件に共通する有彩色刺激 *J*60*C*40 の主効果$\hat{\alpha}_i$を 0 とした各ユニーク色相の離角ごとの間隔尺度を Figure 12 - 15 に示す．

Figure 11 より，彩度差による目立ち感は，離角 10 度から離角 60 度においては，近接する彩度差による刺激間の有意差が顕著であり，高彩度色の評定値の順位が高い傾向を示した．離角 90 度では，全てのユニーク色相において，有彩色刺激が無彩色刺激 *J*40 と比較して有意に高い評定値を得たが，彩度差が近接する色刺激間の有意差はユニーク青でのみ顕著であった．また，全ての離角で無彩色刺激 *J*40 よりも顕著に目立ち感が高く評価された刺激は，ユニーク赤の *C*60 と *C*80，ユニーク青の *C*80 であった．なお，太実線で結んだ色刺激 *J*60(▲)については本章 5 節にて記述する．

Table 4　彩度差条件による各ユニーク色，各離角における解析結果
(significant difference. *** $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$)

H0				
Factor	10°	30°	60°	90°
Stimuli	113.55 ***	62.25 ***	137.17 ***	67.88 ***
Stimuli × Observers	2.02 ***	3.34 ***	2.46 ***	3.99 ***
Combination	1.95	0.57	3.97 ***	3.99 **
Position	10.55 **	1.14	0.06	0.17
Position × Observers	1.20	2.58 **	0.99	4.20 ***
Residual (S_e)	0.96	0.96	0.87	0.80
Overall result (S_T)	789.00	462.00	824.00	449.00

H100				
Factor	10°	30°	60°	90°
Stimuli	118.97 ***	5.20 **	9.26 ***	32.07 ***
Stimuli × Observers	1.79 **	2.53 ***	1.40 *	2.77 ***
Combination	3.50 **	1.60	2.28 *	3.58 *
Position	4.10 *	0.39	0.69	0.80
Position × Observers	1.50	2.16 *	1.83 *	2.43 **
Residual (S_e)	0.89	1.42	1.75	1.00
Overall result (S_T)	745.00	390.00	655.00	374.00

H200				
Factor	10°	30°	60°	90°
Stimuli	241.17 ***	68.33 ***	39.77 ***	35.17 ***
Stimuli × Observers	1.88 ***	2.05 **	2.63 ***	3.28 ***
Combination	15.73 ***	0.70	1.28	3.68 *
Position	13.67 ***	2.37	7.46 **	0.29
Position × Observers	0.83	1.51	2.29 **	3.55 ***
Residual (S_e)	0.68	1.13	1.12	0.94
Overall result (S_T)	965.00	492.00	640.00	395.00

H300				
Factor	10°	30°	60°	90°
Stimuli	142.84 ***	117.89 ***	157.67 ***	42.63 ***
Stimuli × Observers	1.73 **	3.55 ***	2.42 ***	1.60 *
Combination	5.69 ***	3.74 *	4.35 ***	0.45
Position	4.96 *	0.26	3.43	2.18
Position × Observers	0.93	1.64	1.73	2.24 **
Residual (S_e)	0.97	0.77	0.82	1.23
Overall result (S_T)	912.00	502.00	849.00	428.00

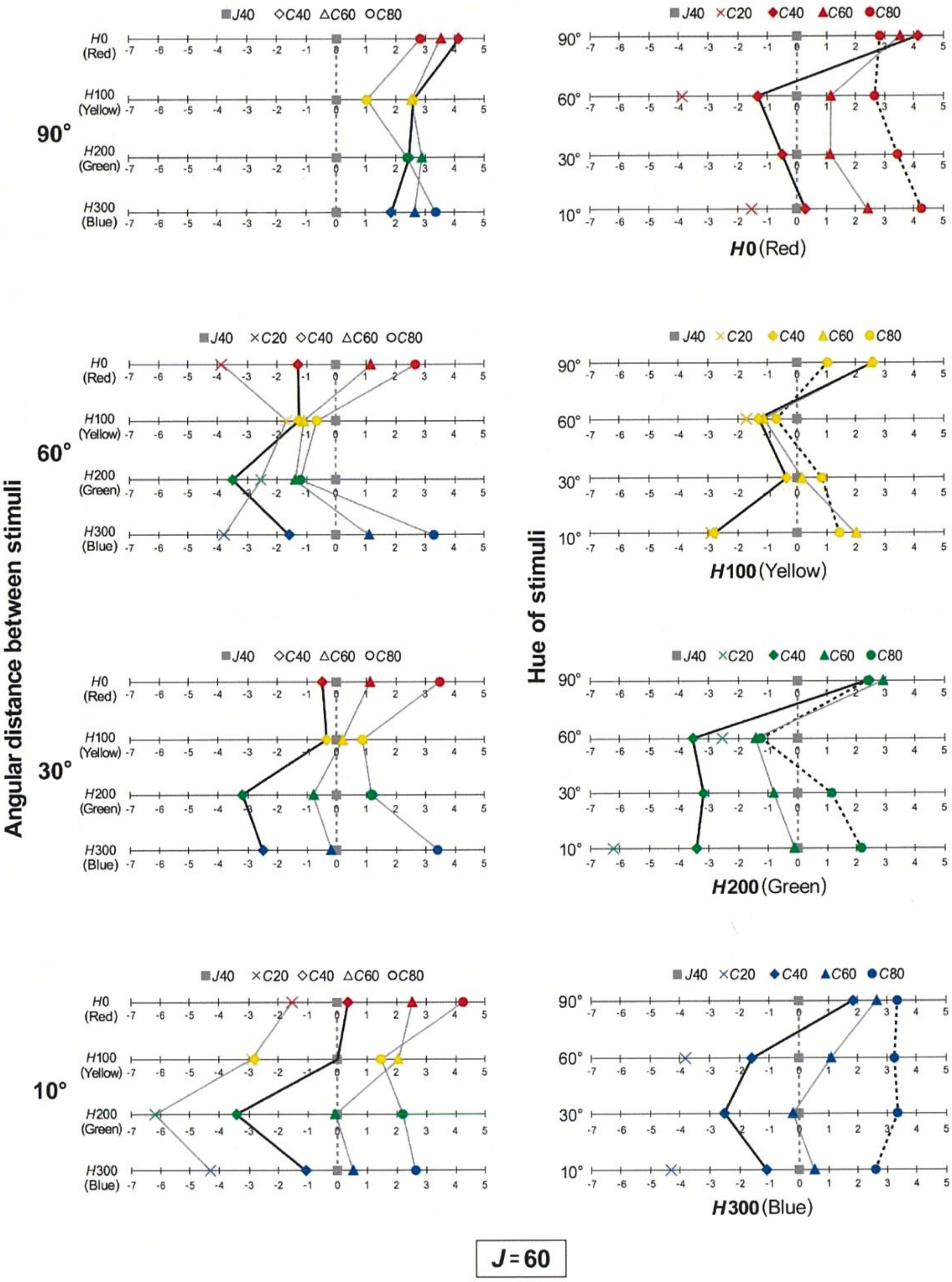


Figure 11　彩度差条件による４種の離角ごとに構成した誘目性の間隔尺度

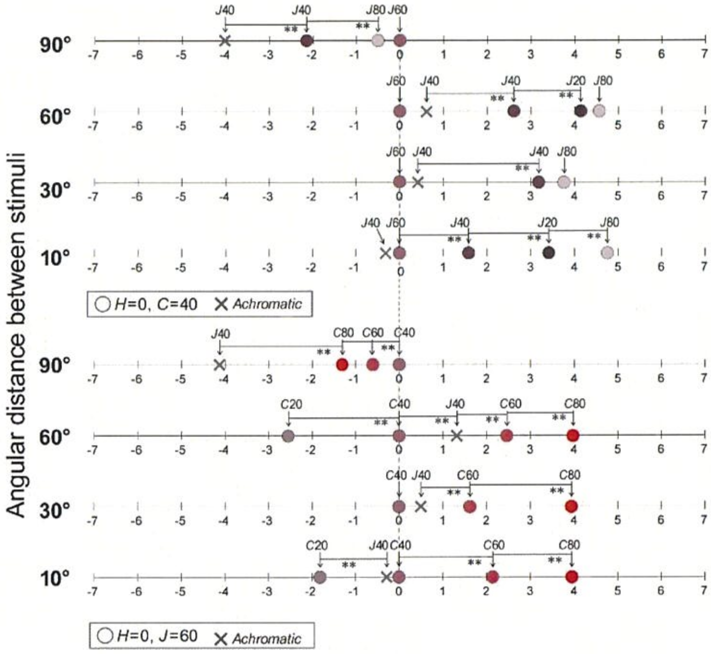


Figure 12　ユニーク赤の明度差と彩度差が誘目性に与える影響
(significant difference. ** $Y_{0.01} < |\hat{\alpha}_i - \hat{\alpha}_j|$, ** $Y_{0.05} < |\hat{\alpha}_i - \hat{\alpha}_j|$)

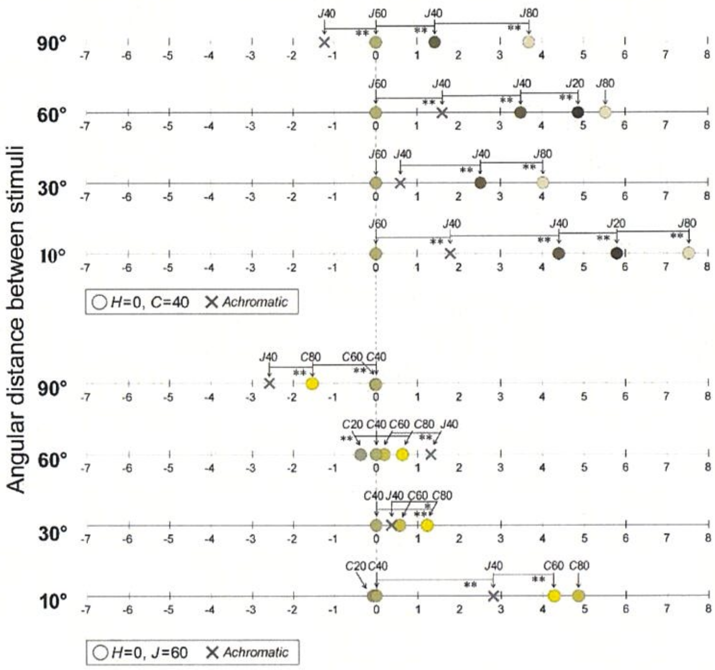


Figure 13　ユニーク黄の明度差と彩度差が誘目性に与える影響
(significant difference. ** $Y_{0.01} < |\hat{\alpha}_i - \hat{\alpha}_j|$, ** $Y_{0.05} < |\hat{\alpha}_i - \hat{\alpha}_j|$)

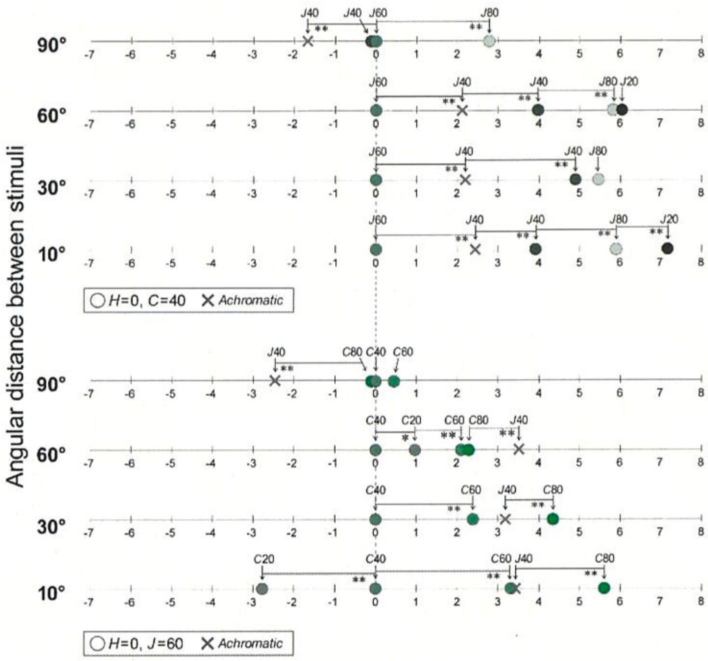


Figure 14　ユニーク緑の明度差と彩度差が誘目性に与える影響
(significant difference. ** $Y_{0.01}<|\hat{\alpha}_i - \hat{\alpha}_j|$, ** $Y_{0.05}<|\hat{\alpha}_i - \hat{\alpha}_j|$)

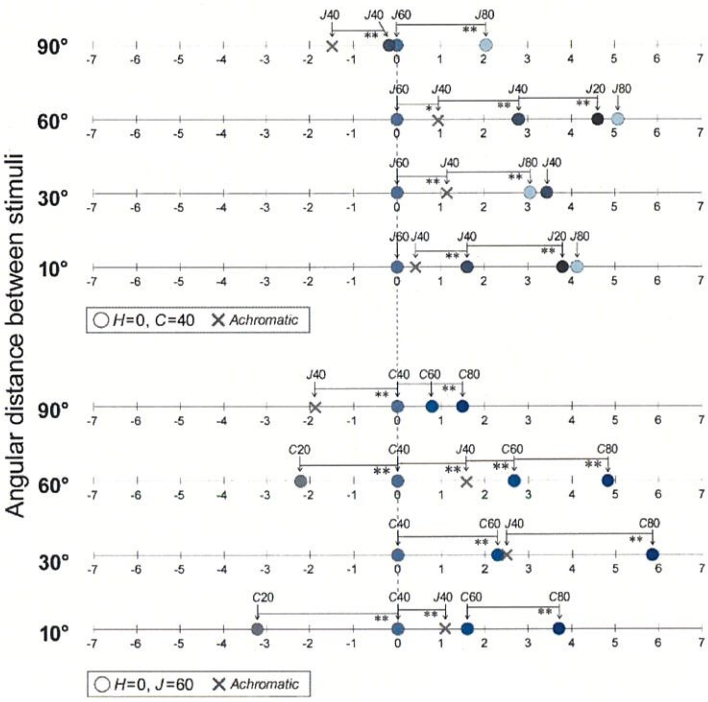


Figure 15　ユニーク青の明度差と彩度差が誘目性に与える影響
(significant difference. ** $Y_{0.01}<|\hat{\alpha}_i - \hat{\alpha}_j|$, ** $Y_{0.05}<|\hat{\alpha}_i - \hat{\alpha}_j|$)

3.5 考察

Figure 10 と Figure 11 において，太実線で結んだ有彩色刺激(▲)は，いずれも明度 *J*60，彩度 *C*40 であり，太実線の形状および無彩色刺激 *J*40 に対する相対的な位置関係が類似している．このことは，明度差条件と彩度差条件のそれぞれに共通する色刺激間における目立ち感の評価の定性的な一致を示している．また, Figure 11 において破線で結んだ色刺激は，色相差条件で呈示した有彩色刺激(明度 *J*60，彩度 *C*80)と同一である. Figure 8 の各色刺激を結んだ線と Figure 11 の破線とは互いに形状が類似し，無彩色刺激 *J*40 に対する相対的な目立ち感の評価は，色相差条件と彩度差条件で定性的に一致している．以上から，3 つの条件それぞれに共通する色刺激の主効果の推定値より，被験者は一貫性のある目立ち感の評価を行ったといえる.

色の三属性の差に着目すると, Figure 8 より色相差による影響は全ての離角を通してユニーク赤とユニーク青がユニーク黄よりも顕著に目立ち感が高く，中心視による進出・後退効果や興奮・鎮静効果などの視知覚現象が要因とされる色の誘目性(神作・福本, 1972; Gong et al., 2023)とは異なる指標であるといえる．また, Figure 9 の灰色の明度が物理測色値としての *J*60 であり，等価明度では青(*H*300)，緑(*H*200)，赤(*H*0)，黄(*H*100)の順で明るく知覚されると推定される. HK 効果が青みの色相で強く，黄みの色相では極めて低いという傾向は，ディスプレイ上の無彩色刺激と高彩度の有彩色刺激の明るさが同じ知覚になるようマッチングさせた実験を行った Park(2022)や High et al.(2023)の結果とも一致する. CIECAM02 は中心視モデルであるから，離れた色刺激間の目立ち感の評価に HK 効果がどの程度有効かは視線追跡結果とともに考察する必要があるが, HK 効果を加味しても全ての離角で黄色相の誘目性が低く，青色相の誘目性が高い傾向は中心視による視線停留で比較した従来の目立ちの指標(神作・福本, 1972； Gong et al., 2023)と最も大きく異なる点である．色相差の影響が加わると見かけのサイズは黄色相が最も大きいとされる膨張・収縮効果(Wallis, 1935; Bevan & Dukes, 1953)は, Figure 10 および Figure 13 からも黄色相の明度の影響であったことがわかる．マンセル表色系における純色の黄(5Y)においても高明度要素による膨張効果(Gundlach & Macoubrey, 1931; Payne, 1964)によって他の色票よりも大きく知覚され，より目立ち感が高く評価されていたことが示唆される．また，青色相は HK 効果が最も高いだけでなく，短波長の光覚感度が周辺視で上昇し，

波長弁別に優れている(Weale, 1953; Shevell & Monnier, 2003)こととも一致し，ディスプレイ表示において特に誘目性が高い色であるといえる．ユニーク青の彩度差による影響は Figure 11 および Figure 15 より全ての離角で顕著であることから，低明度であっても高彩度色を呈示すれば十分に目立ち感を高めることができると考えられる．

離角による影響に着目すると，離角 10 度～離角 60 度と離角 90 度では傾向が大きく異なった．周辺視における色み知覚低下を考慮すれば，離角 10 度～離角 90 度において周辺視ほど色相差および彩度差の影響も低下すると想定される(Optical Society of America, 1963; Gordon & Abramov, 1977; Uchikawa et al., 1982; Sakurai et al., 2003; Ayama & Sakurai, 2003). Sakurai et al. (2003)の中灰色背景の知見によると離心角 40 度付近の彩度知覚の低下だけでなく，鼻側におけるユニーク赤とユニーク緑の色相知覚は視野周辺部で黄方向への遷移し，鼻側 40 度では色みがほとんど知覚されず，ユニーク黄との判別が困難になることが示されている. Figure 8 では，離角 90 度において全ての有彩色刺激の目立ち感が無彩色 *J*40 よりも顕著に高く，色視野が最も狭い緑色相(Optical Society of America, 1963)に関しては離角 10 度から離角 60 度にかけて目立ち感が徐々に低下し，離角 90 度で再び色み知覚の影響が確認される．また，Figure 8 における離角 90 度の有彩色の評定値は Figure 9 の HK 効果を考慮した知覚明度の順位と一致する. HK 効果が有効であるということは，色相や彩度が目立ち感の評価に十分な影響を与えていることになり，周辺視野で知覚される色の見えの知見とは矛盾する．

離角 10 度～離角 60 度においては，色み知覚が低下する周辺視によって 2 つの色刺激を同時比較した結果と推定することができる．離角 90 度においては，周辺視での 2 つの色刺激の同時比較が困難となり，色刺激を中心視領域でそれぞれとらえた継時比較と考えた場合，有彩色刺激の目立ち感の評価要素に離角 10 度付近と類似して色相や彩度が影響したと考えることができる．しかしながら，色刺激対へ視線を移動させて目立ち感の評価を行う場合，Figure 8 の離角 10 度と離角 90 度におけるユニーク赤色相とユニーク青色相の顕著な誘目性の順位逆転，Figure 12- 13 の離角 90 度における低彩度色の顕著な目立ち感などの説明がつかない．離角 90 度においても 2 つの色刺激を周辺視で比較しているとすれば，離角 90 度における赤色相の評定値の順位の低下は，鼻側 40 度付近におけるユニーク赤の色相知覚が黄方向へシフトする知

見などを含め，両眼網膜に入力される信号の処理の仕方，比較的高次の大脳レベルでの知覚，認識に起因すると考えられる．組み合わせ効果においては属性条件により全ての離角で有意な差が確認され，位置効果は色相差(Table 2)，明度差(Table 3)，彩度差(Table 4)の 3 条件の全ての離角 10 度で共通して有意差があった．したがって，2 つの色刺激の情報は両眼視により視覚野経路で処理されていると推定されるが，各離角における視知覚処理過程の考察は視線移動プロセスを解析後，第 6 章の総合考察で論じる．

周辺視野に呈示された色刺激のサイズが小さい場合は色相や彩度の判別が困難になることが指摘されている(Gordon & Abramov, 1977; Mogi et al., 2021). Gordon & Abramov (1977)によると直径 1.5 度程度の色刺激の色相と彩度は離角 90 度程度で色相弁別が不確かになり，580nm を境界に 2 分されることが示されているが，本実験条件では有彩色刺激の目立ち感の差は離角 90 度においても顕著であり，直径 3 度の色刺激は色相差や彩度差の弁別が目立ち感の評価に影響を与える大きさであるといえる．また，視野内に呈示された刺激に対する情報処理に要する時間は，文字や単純な刺激の検出の場合で 50ms 程度(Rayner et al., 1981; Seya & Watanabe, 2012)，風景などの複雑な視覚情報の中からターゲットを検出する処理で 150ms 程度(Rayner et al., 2009)，視対象の意味の理解で 200～300ms 程度(O'Regan, 1990)，とされていることからも，本研究で設定した刺激呈示時間 500ms は，2 つの色刺激の誘目性評価に適切であったと考えられる．

3.6 まとめ

CIECAM02 の *HJC* 色空間から系統的に調整した色刺激を 4 種の離角(10 度, 30 度, 60 度, 90 度)に呈示し，一対比較法による色刺激対の目立ちの程度を 5 件法で主観的に評価してもらった．各離角における色相差，明度差，彩度差の影響を解析するために 3 条件を各被験者に実施し，離角ごと，色相成分ごとに色の誘目性の間隔尺度を構成した．色刺激による誘目性の相対的な関係を把握するために，同一の無彩色刺激の目立ち感を 0 として，1%のヤードスティックで正規化し，3 つの条件間における全被験者の一貫性のある目立ち感の評価を確認した．全体の傾向として，離角 10 度～

離角 60 度と離角 90 度とでは色の誘目性の尺度が異なる傾向を示した．離角 10 度～離角 60 度では色刺激の明度と彩度が一定の色相差条件では，離角増大に伴い青を除く色相成分の影響が低下し，特に緑は周辺視側で顕著に評定値の順位が低下した．また，彩度が一定の明度差条件では，背景との明度差，特に背景より高明度色の色刺激の誘目性が高い評定値の順位を示した．色刺激の明度が一定の彩度差条件では，全ての色相成分において，より高彩度色の色刺激の誘目性が高い評定値を示した．離角 90 度では有彩色刺激の色相成分の影響が離角 10 度と近似して高い傾向を示した．周辺視側の離角増大による色み知覚の低下を考慮すれば，離角 90 度における色相の影響は矛盾する結果といえる．離角 90 度においては，色刺激をそれぞれ中心窩で確認する継時比較と考えれば，有彩色刺激の目立ち感に色相や彩度の影響が離角 10 度付近と類似したと解釈できるが，離角 10 度と離角 90 度との評定値の順位や色刺激間の有意差の顕著な相違の解釈が困難となる．一方，離角 90 度においても周辺視の色の見えで比較しているとすれば，両眼周辺視で取得された色刺激情報が比較的高次の大脳レベルでの知覚，認識として考える必要があり，誘目性の認知パターン，即ち視線移動と色刺激対に対する目立ち感の評価との関係を考慮したうえで考察する必要がある．

第4章　離角と視線停留領域との関係

誘目性と視線移動との関係を検討するために，アイトラッカーを装着して 4 種の離角(10 度, 30 度, 60 度, 90 度)における色刺激対の目立ちの程度を一対比較(Scheffe, 1952; Ura, 1959)してもらい，主観評価中の被験者の視線追跡を行った．本章では，評価中の視線移動データから，各離角における視線停留領域について論じる．

4.1 装置

視線計測装置は離角 90 度の色刺激対呈示の視線追跡が可能な装着型のアイトラッカー(Tobii Pro Glasses3)を使用した．計測可能な水平離角は 106 度程度，サンプリングレートは 100Hz，シーンカメラ解像度は 1920×1080 pixel である．色刺激を呈示した液晶カラーディスプレイ(PN-L702B, SHARP)の画面サイズは幅 1538.9mm×高さ 865.6mm，対角 1766.0mm であり，垂直前面 600mm の距離で最大離角は約 52 度に対応する．アイトラッカーによる視線計測データ取得時の欠測値を考慮し，Figure 16 のように 300lx 程度の照度を確保し，液晶ディスプレイと被験者の観察椅子の側方周囲に暗幕パネルを設置した．観察ボックスは液晶ディスプレイと垂直前面 600mm の距離で両眼自然視できるよう顎台を設置した．観察者側には被験者の衣類がディスプレイに映り込まないように顎台の周囲を黒色のパネルで取り囲み観察窓を設置した．第 3 章の実験条件と同様に，液晶カラーディスプレイの白色の最大輝度の 35%の輝度で標準イルミナント D65 相当の無彩色を全画面サイズで呈示し，これを明度 *J*60 相当の無彩色背景とした．また，無彩色 *J*60 の背景上に呈示する 2 つの色刺激の離角も，画面中央の注視点を挟んで水平方向に 10 度, 30 度, 60 度, 90 度の 4 種とした(Figure 16)．呈示色刺激は直径 3 度であり，呈示位置によらず見かけの形状，直径が一定になるように表示させた．ディスプレイ中央の注視点は各離角における左右の色刺激を均等な視角で観察してもらうために直径 1 度の十字形状とした．色刺激は 4 色相(*H*0, *H*100, *H*200, *H*300)の有彩色刺激と 2 つの無彩色刺激(*J*40 と *J*80 相当)の計 6 種を用いた．有彩色刺激の明度および彩度の属性は，第 3 章の実験結果から，およびアイトラッカー装着による影響や視線データの欠測値等を考慮し，主として色相判別が顕著になるよう黄(*H*100)を高明度，青(*H*300)を低明度に調整した．一対比較法に

よる呈示色刺激の組み合わせ数は 120 通り($_6C_2 \times 2$(左右の位置反転)×4 離角)である.なお,無彩色背景上に呈示した全ての色刺激は,表面色モードで知覚されることを確認した.

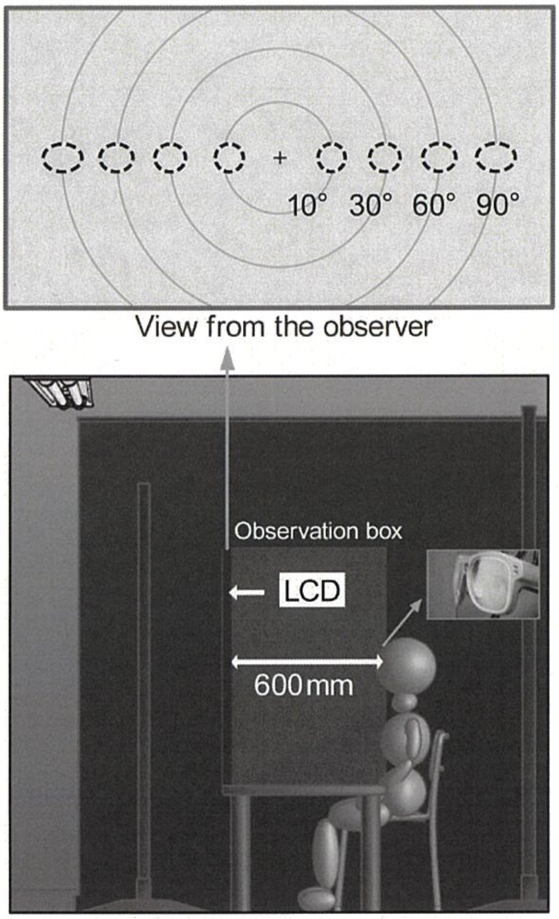


Figure 16 実験装置の模式図と色刺激対の呈示位置

4.2 実験方法

被験者はアイトラッカーを装着し,垂直前面の液晶ディスプレイ中央に表示させた直径 1 度の注視点が 600mm の距離で視線中央に位置するよう椅子の左右位置および高さを調整し,顎台を用いて色刺激を両眼自然視で観察した(Figure 16).色刺激の呈示順は Figure 17 に示した.画面中央の注視点を消去させると同時に色刺激対を 500ms 呈示した.*J*60 相当の無彩色背景のみが表示されている間に,左右の色刺激の

目立ち感については「左が目立つ」,「左がやや目立つ」,「どちらでもない」,「右がやや目立つ」,「右が目立つ」, の 5 件法により口頭で評価を求め,「左が右より目立つ」が+2 点,「左が右よりやや目立つ」が+1 点,「どちらでもない」が 0 点,「右が左よりやや目立つ」が-1 点,「右が左より目立つ」が-2 点とした. 被験者が回答を終えると同時にディスプレイ上に注視点を呈示させ, 3500ms の間に注視点に視線を合わせてもらい, 次の色刺激対を 500ms 呈示した. 以下同様の手順を繰り返した. 各被験者への色刺激の離角呈示順はランダムとし, 左右の 2 つの色刺激のみが 500ms 呈示された場合の目立ち感について 120 回の評価を求めた. また, 瞬き等により両色刺激を確認できなかった場合は,「どちらでもない」ではなく再試行を求めるよう教示した.

被験者は正常色覚を有する女性 32 人 ($M = 23.3$, $SD = 5.2$)であった. 各被験者には視線追跡のためのキャリブレーション時にディスプレイ四隅の視線が取得できていること, 矯正者が裸眼で 4 種の有彩色の弁別が可能なことを確認した.

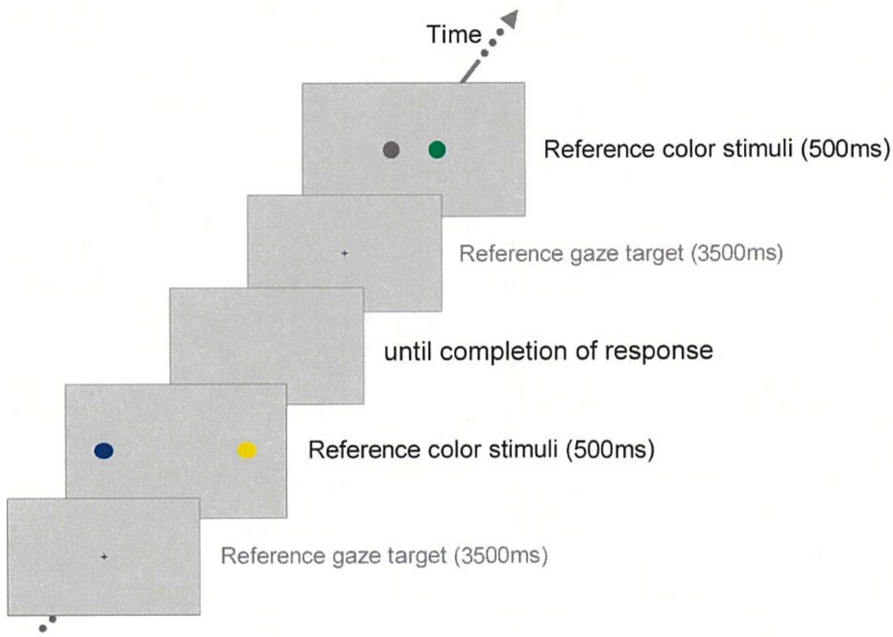


Figure 17　垂直前面ディスプレイ上の色刺激対呈示順の模式図

4.3 解析方法

視線データの解析は Tobii Pro Lab(1. 217. 49450)を使用した．各被験者がアイトラッカー装着中に取得された視線データから，目立ち感の評価ごとに視線移動の定量的な値を抽出する必要がある．そこで，まず各被験者より目立ち感の評価を得た 120 回において，色刺激対呈示中の呈示開始時刻と終了時刻の計 7680(120×2×32 人)を特定した．次に色刺激呈示開始より 500ms 区間および 1000ms 区間を各 120 種設定し，離角および色刺激の組み合わせに対応させた視線データを解析した．視線データの解析対象区間(Times of Interest)は Figure 18 に示す．色刺激対の呈示終了から口頭評価終了までの時間は $M = 1899.1$ms ($SD = 577.98$)であり，各被験者の全ての評価において口頭評価の開始時刻は色刺激消去後の 500ms 以降であることを確認した．1000ms 区間は色刺激対呈示中の 500ms と色刺激消去後(背景 *J*60 のみの画面呈示)の 500ms を示す．

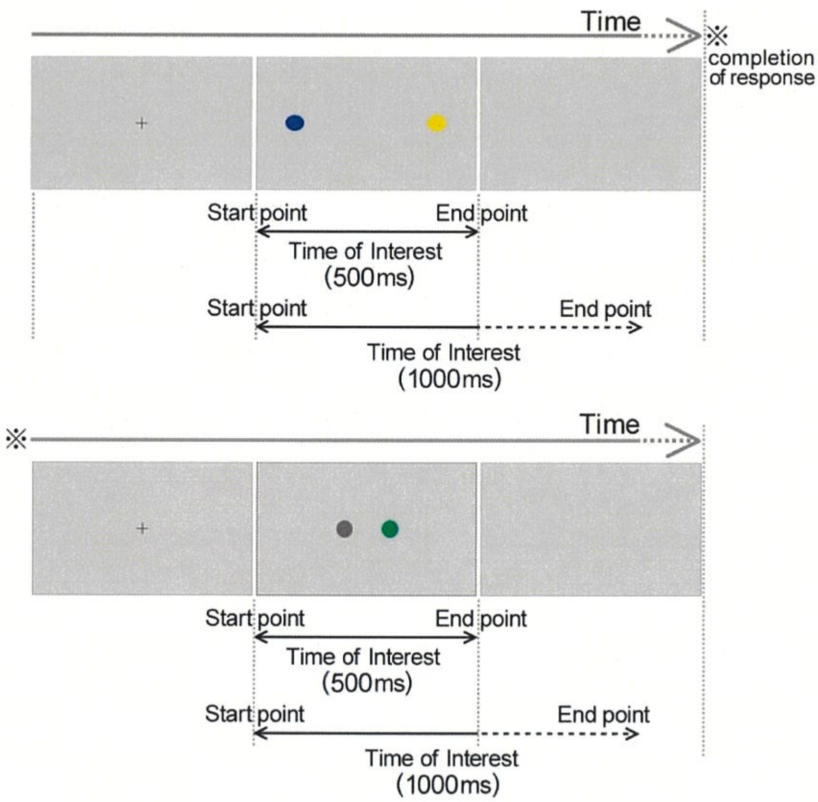


Figure 18　視線追跡データの解析対象区間(500ms および 1000ms)

停留とサッカードの検出には I-VT(Identification of Velocity-Threshold)フィルター(Olsen, 2012)を使用した. I-VT フィルターは角速度が特定の閾値を下回る場合は同じ停留の一部として分類され, 閾値を超える場合は全てサッカードとして分類される(Salvucci & Goldberg, 2000). 被験者の頭部の動きを顎台で固定したため, 視線停留の解析には眼球角速度 30deg/s, 最小固定時間 60ms で定義された I-VT(Fixation)のデフォルト値を用いた(Salvucci & Goldberg, 2000; Olsen, 2012).

4.4 結果

4.4.1 色刺激呈示位置と視線停留領域

目立ち感の評価中の 32 人の各 120 回の視線データから離角ごとに注視領域を解析し, 垂直前面のディスプレイ上のどの領域を中心視でとらえているのかをヒートマップ上に可視化した. Figure 19 の各離角のヒートマップには I-VT(Fixation)で抽出した 960 回分(32 人×30 回)のディスプレイ上の視線停留領域を示している. Figure 19 の左列は色刺激対呈示中の 500ms 区間に対応し, 右列は色刺激消去後の 500ms を含めた 1000ms 区間に対応する. Figure 19 の左列には各離角に対応した色刺激対の呈示位置を破線(○)で示してある. 各ヒートマップ上の有彩色領域は目立ち感の評価中に視線停留があったことを示し, Figure 19 の赤, 黄, 緑の彩色領域順に視線停留時間が長いことを示す.

例えば, 離角 10 度における 500ms 区間のヒートマップ上では, 色刺激対の呈示位置付近に視線移動はあるものの, 2 つの色刺激が呈示された破線(○)内にそれぞれ赤領域が認められず, 目立ち感の評価中の全ての被験者の視線停留がディスプレイ中央付近に集中したことを示す. 色刺激対をそれぞれ注視した場合は, 色刺激対の呈示位置に対応してディスプレイ上の赤領域が 2 分割されると推定される. これらのことから, 全ての離角においてディスプレイ中央領域付近の視線停留により色刺激対の情報を取得していることが確認された.

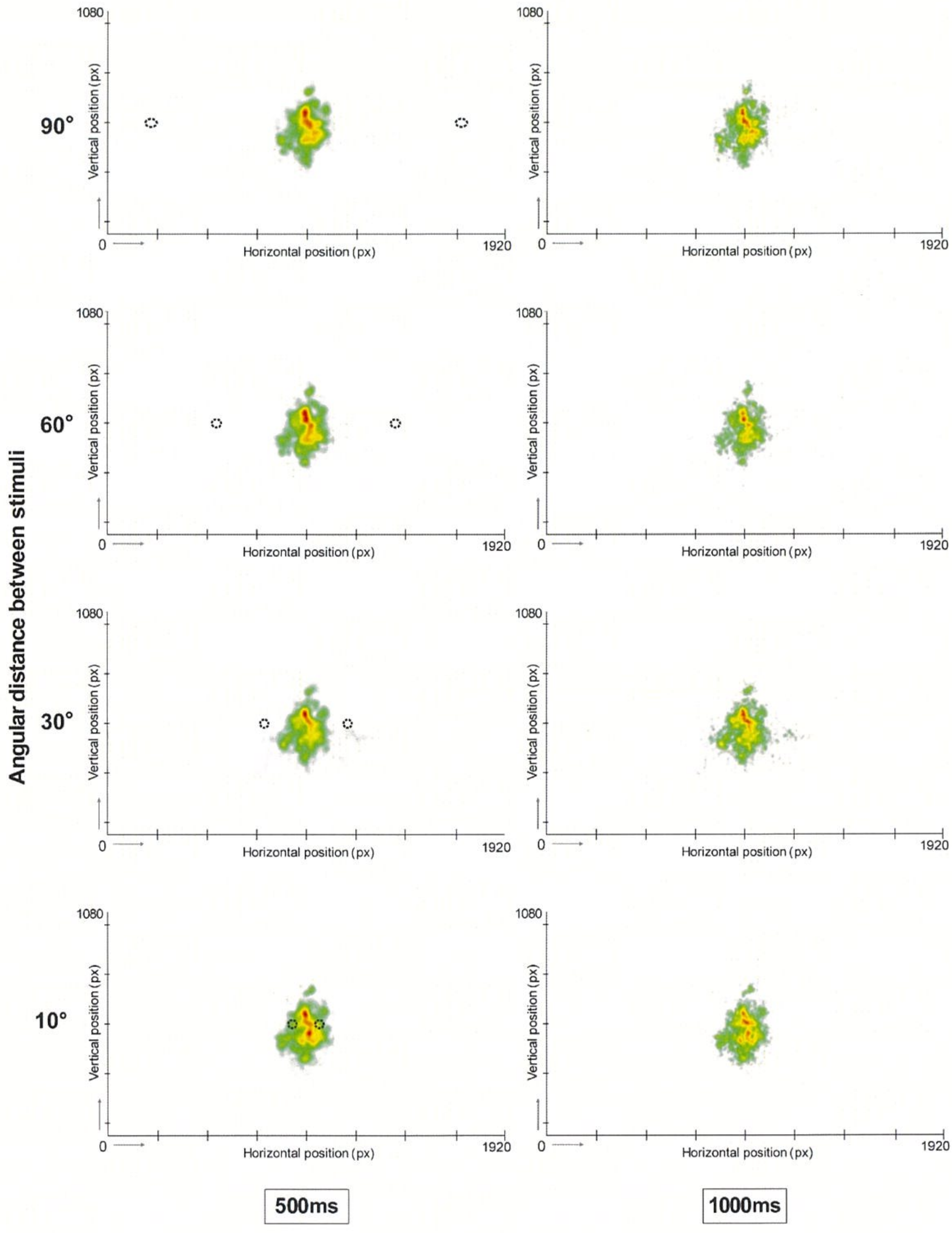


Figure 19　目立ち感の評価中の各離角における視線停留分布

左列は色刺激対呈示中の 500ms 区間，右列は色刺激対消失後の 500ms を含めた 1000ms 区間に対応する．500ms 区間の図上の破線(○)は各離角における色刺激対の呈示位置を示す．

4.4.2 中心視領域の視線滞在時間

ヒートマップ上の視線停留位置をもとに色刺激対呈示中の 500ms 区間と刺激対消失後の 500ms を含めた 1000ms 区間における画面中央の視角 5 度領域の平均滞在時間および標準誤差を Figure 20 に示した．平均滞在時間は各離角における 960 回分の視線移動データから，刺激対呈示中の瞬きやノイズ等も考慮し，視線取得率が 95%以上の評価を対象とした(10°, $n = 896$; 30°, $n = 897$; 60°, $n = 895$; 90°, $n = 906$).

Figure 20 より目立ち感の評価における視角 5 度領域の視線滞在時間は色刺激対呈示中の 500ms 区間では 450ms 程度(10°, $M = 463.5$ms, $SE = 8.66$; 30°, $M = 443.7$ms, $SE = 10.82$; 60°, $M = 457.2$ms, $SE = 9.05$; 90°, $M = 463.4$ms, $SE = 6.63$)であった．また，色刺激対消失後の 500ms を含めた 1000ms 区間では 670ms～780ms 程度(10°, $M = 672.4$ms, $SE = 27.05$; 30°, $M = 699.6$ms, $SE = 30.57$; 60°, $M = 743.5$ms, $SE = 26.60$; 90°, $M = 779.7$ms, $SE = 23.55$)であった．画面中央の視角 5 度領域より周辺視側への視線滞在時間は刺激呈示中 500ms 区間では 50ms 程度であり，色刺激対消失後より口頭評価までの 500ms 区間では離角 10 度で 291ms，離角 30 度で 244ms，離角 60 度で 213ms，離角 90 度で 183ms 程度の視線滞在があったことを示す．これらの結果から，目立ち感の評価中の視線位置は，色刺激対呈示中よりも色刺激消失後から口頭評価が開始されるまでに表示されていた背景 *J60* のみの画面上で視角 5 度領域より周辺視側へ水平移動を伴う傾向が確認された．

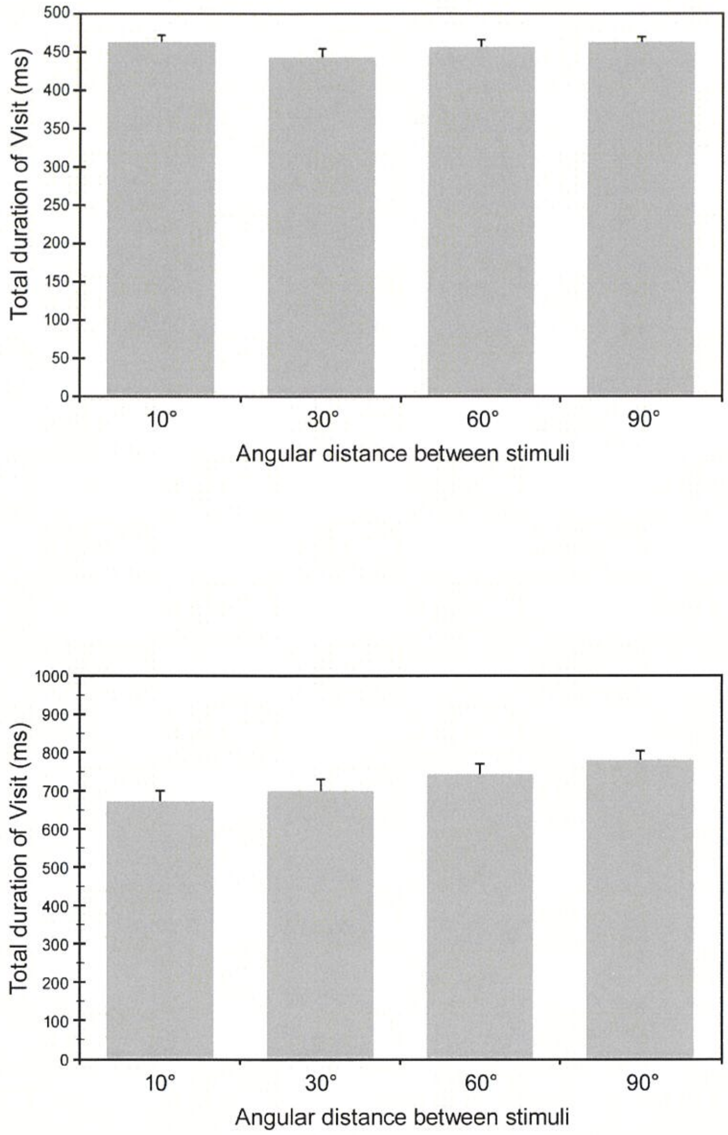


Figure 20　各離角における目立ち感の評価中の画面中央 5 度領域の平均滞在時間

色刺激対呈示中 500ms 区間(上図)，色刺激対消失後の 500ms を含めた 1000ms 区間(下図)における視線滞在時間および標準誤差.

4.4.3 視線追跡中の誘目性評価

各離角における 960 回分(32 人×30 回)の視線データに対応した目立ち感の評価の解析結果を Table 5 に示す．全ての離角において主効果S_αはいずれも有意で 6 種の色刺激の目立ち感に十分な差が認められた(10°, F (5, 758) = 202.60, $p <$ .001; 30°, F (5, 758) = 182.05, $p <$ .001; 60°, F (5, 758) = 169.45, $p <$ .001; 90°, F (5, 758) = 84.62, $p <$ .001). Table 5 には残差と計を除く各要因についてF_0値，残差項には不偏分散の値S_e，計の欄には総平方和の値S_tを示している．Table 5 の被験者間の相違点について離角 90 度のみ有意差があったため，要因を詳細に検討した結果，左右の視力差が 0.3 以上ある視力良好な被験者 6 人(M = 22.8, SD = 2.3)の位置効果と組み合わせ効果に起因することも確認された．前述 6 人を除く 26 人(M = 23.5, SD = 5.7)の離角 90 度の 99%信頼区間における推定値$\hat{\alpha}_i$の順位は被験者全体 32 人の結果と同様であり，主効果S_αを除く要因効果に有意差はなかった(S_α, F (5, 614) = 60.31, $p <$ .001; $S_{\alpha(k)}$, F (125, 614) = 1.14, p = .158; S_γ, F (10, 614) = 1.18, p = .303; S_δ, F (1, 614) = 0.43, p = .511; $S_{\delta(k)}$, F (25, 614) = 1.18, p = .251)．これらのことから，本実験で呈示した色刺激は離角 10 度～離角 60 度において被験者全体として一貫した組み合わせ効果もあり，視線データが目立ち感の評価中の視線移動を反映したものであることを確認した．

Table 5 全被験者 32 人の各離角における誘目性評価の統計解析結果
(significant difference. *** $p <$ .001, ** $p <$ .01, * $p <$ .05)

Factor	Angular distance between stimuli			
	10°	30°	60°	90°
Stimuli	202.60 ***	182.05 ***	169.45 ***	84.62 ***
Stimuli × Observers	0.16	0.88	1.15	1.76 ***
Combination	7.63 ***	6.48 ***	3.99 ***	2.17 *
Position	5.08 *	0.57	0.05	2.46
Position × Observers	1.04	1.90 **	2.15 ***	4.71 ***
Residual (S_e)	1.63	1.63	1.59	1.79
Overall result (S_T)	3103.00	3146.00	2997.00	2911.00

4.5 考察

視線移動の解析結果から目立ち感の評価に伴う注視領域は近周辺視の離角 10 度から遠周辺視の離角 90 度の全ての離角において，画面中央付近に視線停留が認められた．離角 90 度において色刺激対をそれぞれ中心視で確認している場合は，ヒーマップ上の停留領域は二分されると推定されるため，色刺激情報をそれぞれ中心視領域でとらえる継時比較は棄却されたといえる．また，色刺激対呈示中の視線滞在時間は全ての離角において画面中央の視角 5 度領域で最も長く，画面中央点付近の視線停留によって周辺視の見えで 2 つの色刺激情報を取得し，比較評価した結果であることを示唆している．一般的に探索課題において中心視でとらえることを前提とする顕著性は視線移動順や停留時間が目立ち感に反映されるとされているが，本実験結果では全ての離角において色刺激対呈示中の視線滞在時間が最も長いのは背景色 *J*60 上であった．これらのことから，少なくとも離角 10 度～離角 90 度に呈示された 2 つの色刺激の誘目性の評価は中心窩で取得する色刺激情報の視線停留時間に起因するとはいえない．

静止物体を見る際にサッカードの準備段階とされる無意識下のマイクロサッカード(固視微動)に着目し，網膜部位組織や初期視覚野領域の機能的応答性がヒトと近いとされるマカクザルやアカゲザルの脳のニューロン活動から空間的注意が初期の衝動性眼球運動を反映し，視覚信号が内発的注意を向けた場所で強化された知見が数多く報告されている(Martinez-Conde et al., 2000; Moore & Armstrong, 2003; Ignashchenkova et al., 2004; Kienitz et al., 2022). Martinez-Conde et al. (2000)は，固視中のマイクロサッカードによる知覚維持と脳の初期視覚野 V1 のニューロン応答から，マイクロサッカード開始直後の 50ms～100ms において細胞応答が活性化し，視知覚増強の可能性を示唆している．また，Moore & Armstrong(2003)は，サッカード誘発に必要を下回る電流を網膜位置に対応させた前頭眼野内部位に短時間刺激すると，V4 領域の視覚反応が増強され，増強の程度は受容野刺激の有効性だけでなく，受容野外の競合刺激の存在にも依存する可能性を示している．Kienitz et al. (2022) も，内因性注意における微小刺激に対する反応開始直後の V4 活動の応答依存を報告している．

さらに，注意の運動前理論では，色刺激など視覚情報を眼球の網膜，視覚野などから受け取り，脳幹にある眼球運動制御の神経核に信号を送り出すことで眼球を動かさずに周辺位置に注意を向けることができることが示されている(Ignashchenkova et al., 2004)．対象物に視線を向ける急速眼球運動に伴い働く脳領域には中脳の上丘があり，上丘の中間層には視覚刺激応答と視線を変える眼球運動とに反応する細胞の存在が報告されている．

Ignashchenkova et al. (2004) は，周辺視野における内発的注意を実証するために，視覚的に内発的注意を向ける働き，対象に視線を向ける働きとを分離した実験を行った．手がかり刺激としてランドルト環の切れ目の向きとランドルト環の空間表示位置が異なるように周辺視野にランドルト環を表示させ，手がかり刺激を消去と同時に注視点から左右視角の等しい 2 つの位置に同一属性の目標色刺激を呈示させた．手がかり刺激の位置を事前に予告する場合と予告しない場合の条件に分けて，目標刺激に対する急速眼球運動方向がランドルト環の切れ目の向きと一致することを正解とし，その間の上丘の細胞活動を記録した．例えば，手がかり刺激となるランドルト環の切れ目が右あるとすれば，周辺視左領域にランドルト環を表示させる．目標刺激を 2 つ示した場合に右に視線が移動した場合が正解となる．この結果，手がかり刺激となる周辺視野のランドルト環の位置を事前に告知した場合において正答率が高く，上丘中間層の視覚刺激と急速眼球運動の両方に応答する神経細胞だけが活動増強したことを報告している．予告された手がかり刺激の空間位置は実際に眼球運動を行うランドルト環の切れ目の向きである目標位置とは異なることから，眼球運動の目標が色刺激ではなく，内発的注意によるものであることを示している．

Ignashchenkova et al. (2004) の実験条件を本研究の実験条件で考えると，ランドルト環の表示位置の事前予告条件は被験者に事前に知らせた 2 つの色刺激が水平方向の 4 種の離角の何れかに対呈示される本実験条件を示す．また，手がかり刺激とされたランドルト環の切れ目の向きは各離角で呈示された 2 つの色刺激の色差に該当する．さらに，手がかり刺激消去後に呈示された視覚刺激対に対して，ランドルト環の切れ目の向きに相関した方向に視線が移動することを正解であるとするならば，本実験においては，周辺視でとらえた色刺激対の情報で判断された誘目性のより高い色刺激が位置する方向に視線が移動することが正解になる．

2つの色刺激対の呈示に対してどちらが目立つかの主観評価に正解はないが，本実験における口頭による目立ち感の評価は脳内の情報処理を経て決定した目立ち感の程度が言語変換されたものである．32 人の視線移動に対応した評価結果は全ての離角において呈示した色刺激の目立ち感に統計学的な差があることを示し，周辺視の情報で色刺激の違いを比較したうえでの評価であるといえる．

これらのことから，視覚刺激が眼球運動の対象になるときに視覚刺激に対する応答が増強されるのであれば，言語化された目立ち感の評価は視線が移動する方向を指し示す手掛かりになるのではないかと考えられる．つまり，ディスプレイ中央領域の視線停留は視野周辺に位置する色刺激情報の比較評価中であると共に，眼球のサッカードへの準備であるととらえることができる．I-VT Fixation は角速度 30deg/s における注視とサッカードのみを分類しており，停留最小注視時間は 60ms であり，短い注視データが破棄されている．色刺激消去後から口頭評価までの 500ms においては離角 5 度の中央領域の視線滞在時間が短くなることからも，視線移動が認められたヒートマップ上の彩色領域の左右視線移動方向を定量的に解析し，目立ち感の評価との関係を考察する必要がある．

4.6 まとめ

装着型のアイトラッカーを用いて離角 10 度～離角 90 度の 4 種の離角に呈示された 2 つの色刺激に対する目立ち感の評価中の視線を追跡した．32 人の各 120 回の視線データより，色刺激対呈示中の 500ms 区間および色刺激対消去から回答までの 500ms を含めた 1000ms 区間を特定し，各離角における視線停留領域を解析した．全被験者の傾向として全ての離角において目立ち感の評価中の視線停留領域は主としてディスプレイ中央付近であり，それぞれの色刺激をとらえた視線停留は認められなかった．離角 10 度～離角 90 度における視線追跡に対応する目立ち感の評価結果の統計的有意差は，評価中の視線移動データの妥当性を示している．また，全ての離角において色刺激対呈示中の視線滞在時間の 450ms 程度が画面中央の視角 5 度領域であることは，周辺視による色のみえによって色刺激対の情報を比較処理していると推定される． 視角 5 度領域より周辺視側への視線移動傾向は色刺激対消去後の 500ms において認められた．これは，視覚刺激に対する応答が，その視覚刺激が眼球

運動の対象になる際に増強されるのであれば，ディスプレイ中央領域の停留は周辺視の色の見えに対応した色刺激対情報の比較中であるとともに，目立ち感のより高い色刺激へ視線を移動させるためのサッカードの準備段階であると考えることができる．ただし，I-VT Fixation は角速度 30deg/s における注視とサッカードのみを分類しており，60ms 以下の注視データは考慮されていない．視線停留時間にかかわらず色刺激対呈示中に何れかの色刺激を中心視でとらえていた場合は，目立ち感の評価の決定が中心窩への視線移動に起因するという考えを否定できない．呈示された色刺激への視線移動が目立ち感の評価に反映されたのか，固視微動中の内発的目立ち感の評価が視線移動方向に反映されたのかを特定するためには，色刺激対呈示中の 500ms 区間および口頭評価までの 500ms を含めた 1000ms 区間において視角 5 度領域より周辺視側への水平方向の視線移動領域を定量的に分析し，目立ち感の評価の回答との関係を示す必要がある．

第5章　視線滞在領域と誘目性評価との関係

本章では，第 4 章の実験にて取得された目立ち感の評価に対応する 500ms 区間および色刺激消去後 500ms を含めた 1000ms 区間の視線移動データを用いて，色刺激対の呈示位置に対応させた水平領域を分割し，目立ち感の評価中の視線滞在領域を定量的に分析する．各被験者の評価ごとに注視点および色刺激呈示位置を統制し，100Hz のサンプリングデータで得られた目立ち感評価中の視線滞在領域を 10Hz のサンプリングごとに解析し，各離角における視線滞在領域と誘目性評価との関係を論じる．

5.1 解析方法

視線データの解析は Tobii Pro Lab(1. 217. 49450)を使用した．解析対象は第 4 章と同様の 32 人の被験者の 3840 回(32 人×120 回)の目立ち感の評価に伴う視線移動データである．水平方向の視線移動を定量的に分析するために，ディスプレイの色刺激呈示位置に対応させて Figure 21 のように 9 つの関心領域(Areas of Interest：以下 AOI)を設定した．

各領域の境界は第 4 章のヒートマップ上の視線停留分布をもとに，領域境界付近での視線データの往復滞在の影響を考慮して分割した．Figure 21 の(a)～(d)は前方垂直面の左領域，(f)～(i)は前方垂直面の右領域である．目立ち感の評価における注視滞在時間が最も長い結果を得た中央領域は Figure 21 の(e)に対応し，前方垂直面の注視点両側の視角±2.5 度に該当する．Figure 21 の(d)と(f)はそれぞれ左右視角±2.5 度～10 度の AOI で，離角 10 度の色刺激対が呈示された位置に対応する．各被験者の視線データを評価ごと(32 人×120 回)に注視点および Figure 21 の各 AOI が統制されるよう調整し，色刺激対を呈示した 500ms 区間および色刺激消失後の 500ms を含めた 1000ms 区間において，サンプリンレート 100Hz の視線移動データを抽出した．各目立ち感の評価における解析対象の視線滞在データは 500ms 区間 では 10Hz のサンプリングで 50 サンプル，1000ms 区間では 10Hz のサンプリングで 100 サンプルである．

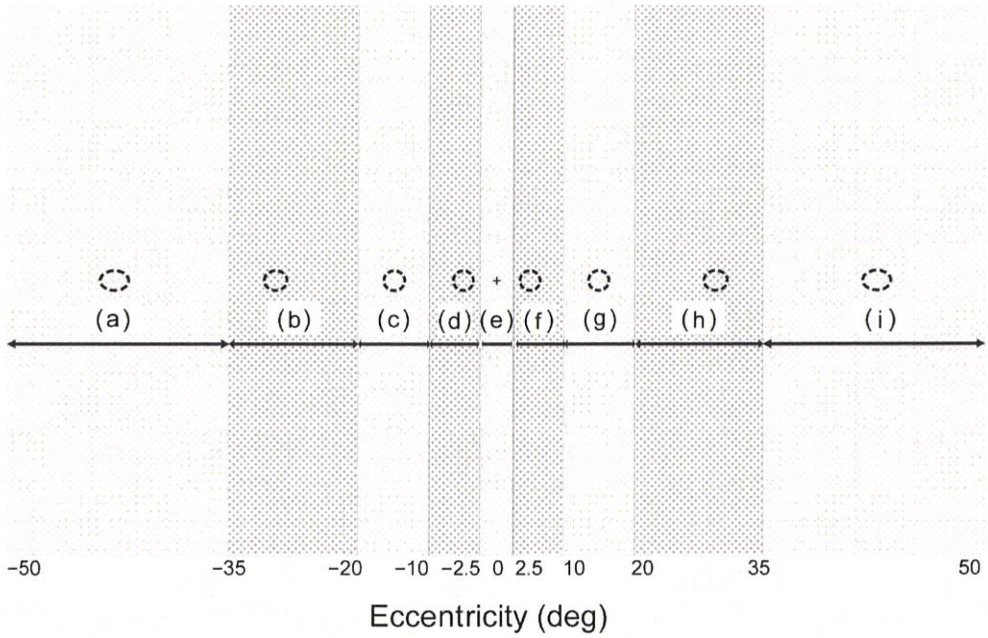


Figure 21　視線移動解析におけるAOI(Areas of Interest)の設定

5.2 結果

5.2.1 誘目性評価と視線移動領域

各離角 960 回(32 人×30 回)の評価中の視線移動における AOI への視線滞在分布を Table 6 に示す．表中の太字の数値は色刺激対の呈示位置に対応する AOI への視線滞在割合である．例えば，離角 10 度の呈示位置に対応する AOI は(d)と(f)で，色刺激対呈示中の 500ms 区間に垂直前面左(d)領域への視線滞在は 13.13%，垂直前面右(f)領域への視線滞在は 9.79%であったことを示す．また，色刺激消去後 500ms を含めた 1000ms 区間の視線滞在割合は，離角 10 度の色刺激対の呈示では左(d)領域への視線移動が 33.85%，右(f)領域への視線移動が 37.29%であったことを示す．同様に，離角 30 度の色刺激対の呈示位置に対応する AOI は(c)と(g)，離角 60 度の色刺激対の呈示

位置に対応するAOIは(b)と(h)，離角90度の色刺激対の呈示位置に対応するAOIは(a)と(i)で，それぞれ500ms区間および1000ms区間の視線滞在割合を示している．

Figure 22は離角60度の色刺激対の視線移動例である．色刺激対呈示中の500ms区間では注視点が呈示されていた画面中央付近で視線停留(Figure 22の赤丸)し，色刺激消去後の500ms区間において視線が右の(g)領域へ移動し，短い停留の後，再び画面中央の(e)領域に視線を戻したことを示す．Table 6では離角60度における500ms区間の95%，1000ms区間の15.73%の一つに該当する．

色刺激対の呈示直前まで注視点が表示されていた(e)領域の視線滞在割合が100%以下であることはデータの欠測値があることを示す．色刺激対呈示中の500ms区間では，全ての離角で(e)領域に95%程度の視線滞在が認められた(Table 6)．したがって，色刺激の呈示位置に対応するAOIにそれぞれ10ms以上の視線滞在がある場合は95%程度の視線滞在が確認されるはずであるから，呈示する色刺激対の中心窩付近での情報取得が誘目性の目立ち感の評価の決定要因であるとはいえない．

目立ち感の評価中の視線の水平移動領域は同一被験者の同一離角条件によっても呈示される色刺激対およびその評価によってばらつきが大きい傾向を示した．全体の傾向として，評価中に中央(e)領域以外に視線移動を伴う場合，色刺激対呈示中の500ms区間では主として色刺激対の呈示直前まで注視点が表示されていた(e)領域で固視微動にて停留し，色刺激対の消去直前から消去後500msの間にAOI(a)～(d)の左領域またはAOI(f)～(i)の右領域へのサッカードによる視線移動傾向が認められた．目立ち感の評価に伴う視線の水平移動距離(a～dまたはf～i)は各被験者の眼球運動に伴う横方向動体視力によっても異なるが，Figure 22のように色刺激対の呈示位置まで視線移動は伴わないものの，色刺激消去後の500msではAOI(d)または(f)まで視線が移動する傾向が全ての離角でそれぞれ40%程度確認できる(Table 6)．Table 6では色刺激対の1回の評価に対して(d)または(f) 領域に視線移動を伴ったのか，(d)と(f)の両領域に視線移動を伴ったのかは判別できないため，AOI(d)または(f)の視線移動方向に着目し，各被験者の色刺激対の評価ごとに，視線移動の領域を特定する．

Table 6　AOI への視線滞在分布

Figure 21 の視線移動領域に対応させた視線滞在分布(32 人×120 回). 表中の太字の数値は各離角の色刺激対の呈示位置に該当する.

500ms: Color stimuli (500ms)									
Angular distance between stimuli	Areas of Interest (%)								
	a	b	c	d	e	f	g	h	i
90°	**0.21**	0.21	1.56	23.02	95.94	17.81	1.25	0.31	**0.00**
60°	0.10	**0.42**	5.63	18.54	95.00	16.67	5.83	**0.42**	0.10
30°	0.10	0.73	**2.81**	16.04	95.31	11.67	**2.81**	1.04	0.10
10°	-	0.21	1.15	**13.13**	94.58	**9.79**	1.15	0.63	-

1000ms: Color stimuli (500ms) ＋ until response (500ms)									
Angular distance between stimuli	Areas of Interest (%)								
	a	b	c	d	e	f	g	h	i
90°	**0.83**	1.67	5.94	43.96	97.08	42.71	9.48	1.67	**0.73**
60°	0.42	**1.15**	10.31	40.10	96.04	40.63	15.73	**3.33**	1.46
30°	0.73	2.29	**6.88**	39.38	96.56	37.50	**11.15**	3.75	1.25
10°	0.10	0.83	5.83	**33.85**	96.35	**37.29**	9.27	2.81	0.73

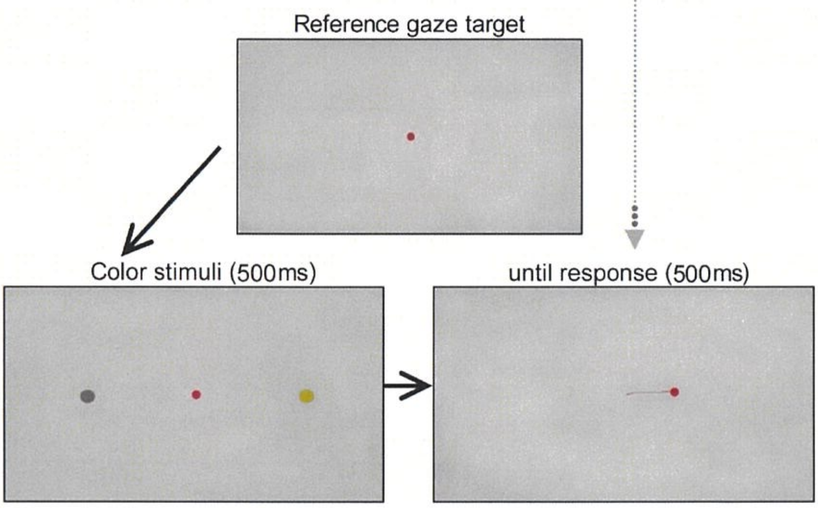
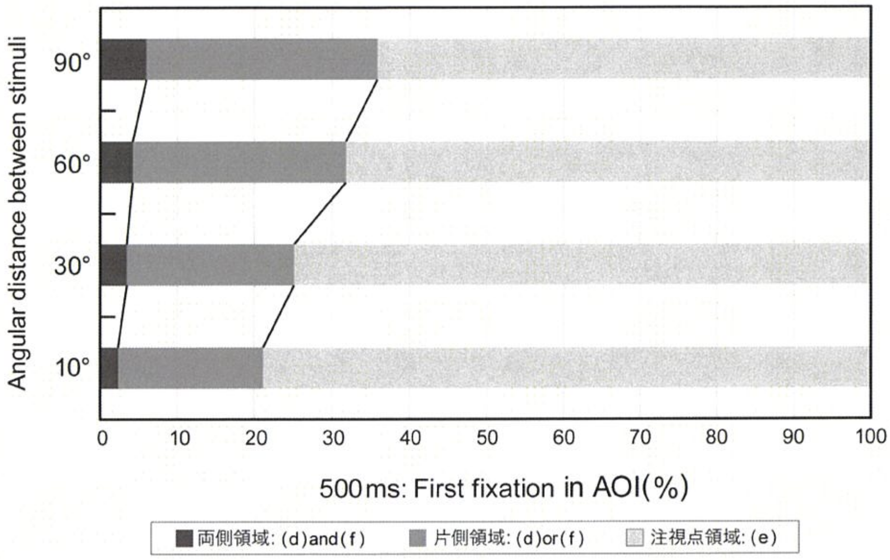


Figure 22　離角 60 度における色刺激対呈示後の視線移動(100Hz)例
画面上の赤い丸(●)は視線の停留位置, 赤い線(ー)は視線移動の軌跡を示す.

5.2.2 視線移動領域と視線移動時間

色刺激対の 1 回の評価に対応して，(d)と(f)の領域に視線滞在がある場合は両側領域，(d)または(f)のいずれかの領域に視線移動がある場合は片側領域，(d)または(f)の領域への視線移動がない場合は注視点領域として，AOI(d)または AOI(f)における中心窩による視線滞在割合を Figure 23 に示す．視角±2.5 度～10 度の AOI への視線移動は，色刺激対呈示中の 500ms 区間では離角 10 度で 21.14%，離角 30 度で 25.11%，離角 60 度で 31.77%，離角 90 度で 35.84%であった．また色刺激消去後の 500ms を含めた 1000ms 区間では離角 10 度で 59.58%，離角 30 度で 63.75%，離角 60 度で 66.56%，離角 90 度で 69.06%であった．Figure 23 の離角 10 度における両側領域の 2.29%の視線滞在は，Figure 24(左)の離角 10 度の視線移動例のように，色刺激対の呈示開始時に視線位置が画面中央(e)領域の左右境界付近にあったことを示す．離角 10 度においても色刺激対を中心視でそれぞれ確認した評価は認められなかった．Figure 24(右)の離角 60 度の視線移動例では色刺激対の呈示中にサッカードによる左(d)領域への視線移動後，色刺激が呈示された位置まで視線移動を伴わずに中央(e)領域へ視線を戻したことを示す．さらに，Figure 24 の離角 10 度および離角 60 度の色刺激対に対応する目立ち感の評価はいずれも「左」であった．色刺激対の呈示中にいずれかの色刺激の呈示位置まで視線移動を伴っても，目立ち感の評価の回答方向と一致するとは限らなかった．Figure 23 の結果に基づく全体の傾向として，Figure 24 で例示した色刺激対呈示中のサッカードによる視線移動よりも，Figure 22 で例示した色刺激消去後の無彩色背景(*J*60)上で視線移動を伴った．



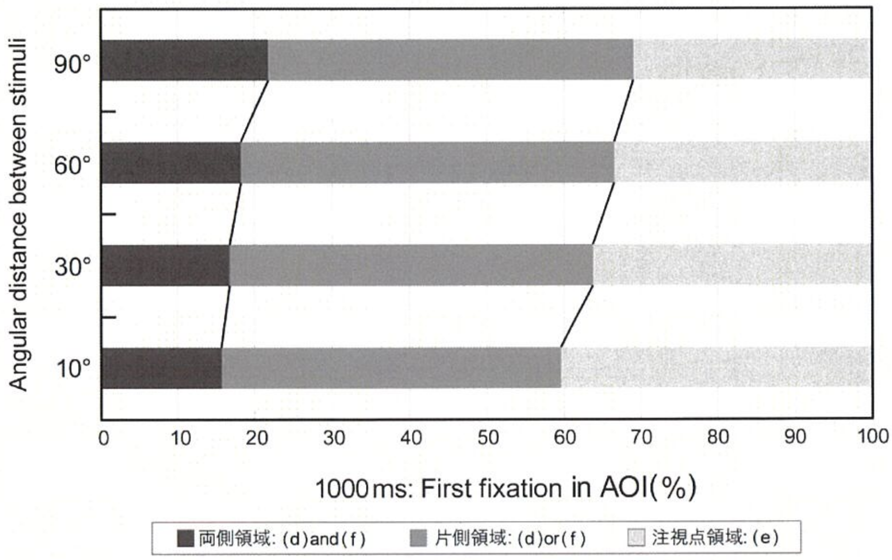


Figure 23　各離角における評価ごとの AOI(d)および AOI(f)への視線移動領域

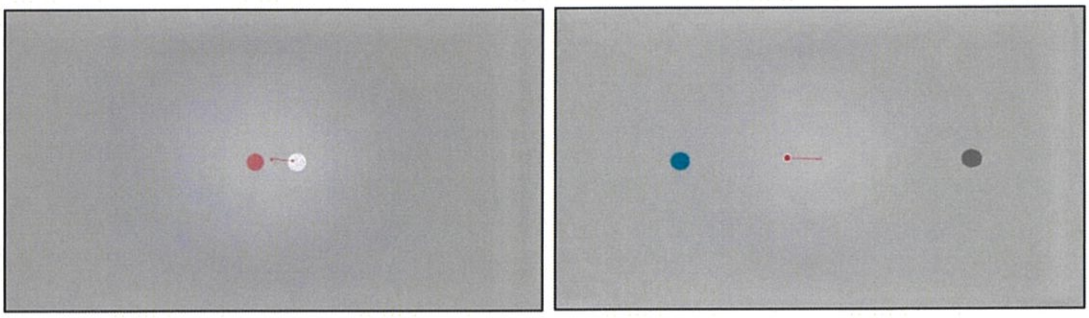


Figure 24　離角 10 度(左)と離角 60 度(右)の色刺激対呈示中の視線移動(100Hz)例

次に，色刺激対呈示中の視線取得率が 95%以上の評価に対して各離角における AOI(d)または AOI(f)への視線移動時間(Time to first fixation)を Figure 25 に示す（10°, M = 557.2ms, SE = 11.89, Me = 594.9, n = 540; 30°, M = 600.3ms, SE = 11.26, Me = 635.5, n = 511; 60°, M = 641.2, SE = 11.64, Me = 715.1, n = 498; 90°, M = 676.8ms, SE = 11.69, Me = 745.7, n = 456). なお，(d)と(f)の両領域に視線滞在が認められる場合は初めに滞在した領域(First fixation area)を対象とした． 全体の傾向としてサッカード開始時刻にばらつきがあるものの，AOI(d)または AOI(f)への視線移動は色刺激対呈示中の 500ms 区間ではなく，色刺激呈示開始から 600～750ms 後における無彩色背景(J60)上で視線移動を伴った. Figure 25 の「左」は垂直前面(d)領域への視線移動時間(10°, M = 550.5ms, SE = 17.88, n = 260; 30°, M = 585.5ms, SE = 17.90, n = 231; 60°, M = 612.4ms, SE = 17.90, n = 239; 90°, M = 658.2ms, SE = 19.71, n = 184),「右」は垂直前面(f)領域への視線移動時間(10°, M = 563.5ms, SE = 15.83, n = 280; 30°, M = 612.6ms, SE = 14.95, n = 280; 60°, M = 667.7ms, SE = 14.95, n = 259; 90°, M = 689.2ms, SE = 14.34, n = 259)を示している. 左右領域への移動方向に関わらず，離角 10 度から離角 90 度への色刺激対の呈示位置に対応して視線移動時間が長くなる傾向を示した. また，視角±2.5 度より周辺視領域への視線移動は全ての離角で右領域よりも左領域への視線移動時間が速い傾向を示した(10 度, Δ13. 01ms ; 30 度, Δ27. 07ms; 60 度, Δ55. 30ms; 90 度, Δ31. 10ms).

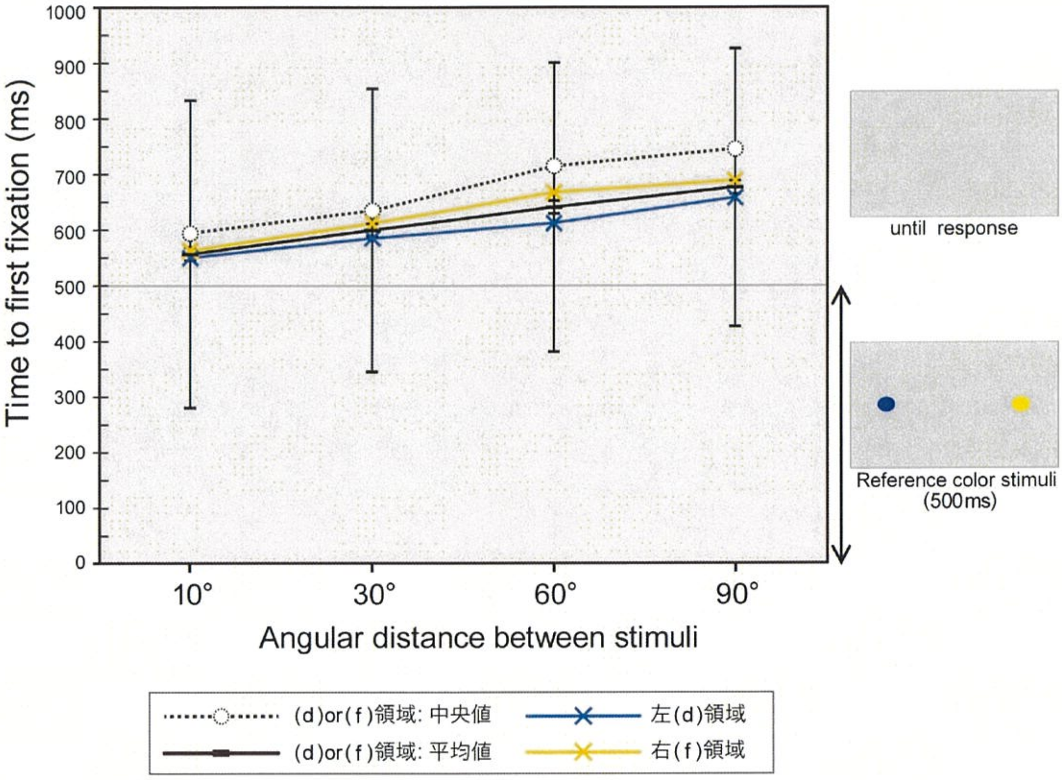


Figure 25　Time to first fixation in AOI(d)or(f)

視角±2.5 度より周辺視側への視線移動を伴う評価の左(d)領域または右(f)領域への視線移動時間. 色刺激対の呈示時間は 500ms であり, 色刺激対消去後の 500ms は無彩色背景 J60 のみが呈示されたことを示す.

5.2.3 視線移動方向と評価の回答方向との関係

色刺激対呈示中の 500ms 区間および色刺激消去後から回答までの 500ms を含めた 1000ms 区間において，色刺激対の中心視比較は認められなかった．Figure 25 より視角±2.5 度より周辺視側へ視線移動を伴う場合は主として色刺激消去後の 100ms～200ms で AOI(d)または AOI(f)への視線滞在が確認された．また，(d)と(f)の左右領域への視線移動割合も全ての離角で一定数確認され，視線滞在時刻も一定の傾向が認められた．さらに，Figure 23 より目立ち感の評価中の視線移動が中央(e)領域から移動しない場合も全ての離角で一定数認められた．色刺激対の目立ち感の評価における回答は 5 件法であり，呈示色刺激対の目立ちの程度が「どちらでもない」に対応する視線移動も含まれる．全被験者による色刺激間の目立ち感の評価に十分な差が得られていることからも，視角±2.5 度より周辺視側へ初めて視線が移動した方向と 5 件法による回答の左右符号を一致させ，離角ごとに視線移動方向と誘目性評価との関係を Figure 26 に示す．Figure 26 は視線取得率が 95%以上の視線データ(10°, n = 896; 30°, n = 897; 60°, n = 895; 90°, n = 906)に対応する口頭評価を対象としている．5 件法による評価は，「左が目立つ」を「-2」，「左がやや目立つ」を「-1」，「どちらでもない」を「0」，「右がやや目立つ」を「1」，「右が目立つ」を「2」に対応させている．500ms 区間および 1000ms 区間における視線移動の結果は，初滞在領域の方向が左(d)の場合を「-1」，右(f)の場合を「1」，どちらの領域にも移動しない中央(e)を「0」としている．口頭による目立ち感の評価を目的変数，離角および視線移動領域を要因とした多元配置による分散分析結果は色刺激対呈示中の 500ms 区間における離角 60 度および離角 90 度の視角±2.5 度より周辺視側への視線移動時刻(Figure 25)に起因してルビーン検定に等分散性が得られなかった．そこで，色刺激消去後の 500ms を含めた 1000ms 区間において離角ごとに Brown-Forsythe 検定を行った結果，目立ち感の評価と視線移動方向との有意差があった (10°, F (2, 864) = 20.415, p < .001; 30°, F (2, 805) = 13.47, p < .001; 60°, F (2, 794) = 4.27, p = .014; 90°, F (2, 650) = 9.51, p < .001)．全ての離角において視角±2.5 度より周辺視側へ初めて視線が移動する方向は口頭による目立ち感の評価の方向と一致する傾向が示された．主として色刺激消去後の無彩色背景(J60)上での左右の視線移動方向が評価の回答方向と相関することが確認された．

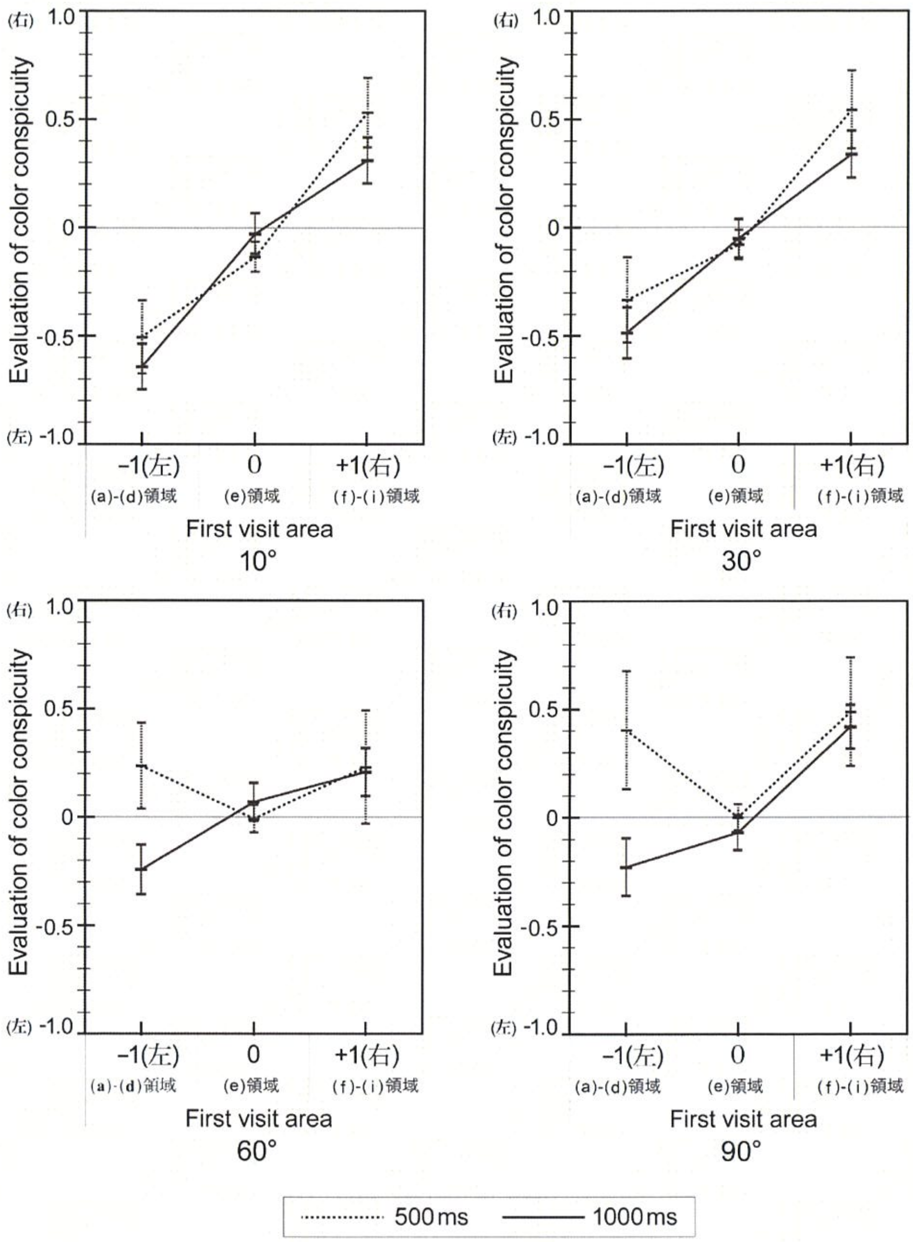


Figure 26　視線移動方向と誘目性評価との関係

5.3 考察

各被験者の評価ごとに視線滞在領域を10Hzのサンプリングデータで解析した結果, 色刺激対呈示中の視線移動距離はいずれかの色刺激を中心窩で確認したとはいえず, 色刺激対呈示中に色刺激を中心視野でとらえることは極めて少ないという結果を得た. 全ての離角において色刺激消去後に視角±2.5 度～10 度の AOI(d)または(f)への視線移動が一定数認められたことから, 視角±2.5 度より周辺視側への水平方向の視線移動領域を定量的に分析した.

空間的注意に関する研究では, 注視点に視覚的注意が払われている状態で新たな周辺刺激を呈示した場合に, 200ms 程度で注視点に向けられた視覚的注意の解放によって視線の移動速度が最も上昇し, サッカードが生成される(Saslow, 1967; Fischer & Weber 1993). また, 新たな周辺刺激呈示の直前に中心窩刺激を消失させると, 注視点を表示させ続ける場合よりもサッカード反応時間が 40ms 短縮されること(Fischer & Weber, 1993), 注意力が大きく解放されることに伴う最高角速度 600deg/s のサッカードにより視線移動領域が大きくなること(Holmqvist et al., 2011)が示されている(Saslow, 1967; Fischer & Weber, 1993; Taylor et al., 1998; Pratt et al., 2006). 本実験条件において, 視覚的注意が払われている対象が消去された場合に眼球運動抑制解放によるサッカード視線移動が生じると考えられる状況が 2 つある. 一つは, 色刺激呈示開始時に視覚的注意の向いた注視点を消去した時点から約 200ms 後, もう一つは, 500ms 表示させた色刺激対を消去した時点から約 200ms 後である. 前者は, 各被験者に画面中央表示される注視点に視線を合わせてもらい, 注視点消去とともにその左右両側に色刺激を表示させたため, Fischer & Weber(1993) の知見によると, 色刺激呈示開始から 160ms～200ms 後に最も視線移動速度が上昇し, いずれかの色刺激呈示位置方向へのサッカードによる視線移動が開始されると推定される. 本実験結果では Figure 25 に示したように, 色刺激呈示開始から 160ms～200ms 後は全ての離角において標準偏差を加味しても視角±2.5 度より周辺視側へのサッカードは確認されず, 色刺激呈示開始から少なくとも離角 10 度で 280ms, 離角 30 度で 340ms, 離角 60 度で 380ms, 離角 90 度で 420ms 程度は注視点が呈示されていたディスプレイ中央付近に視線停留が認められた. 全被験者による評価結果より色刺激の目立ち感に統計学的有意差が得られていることからも, 注視点消去とともに色刺激対が呈示されてから

200ms 時点では，周辺視の色刺激対へ注意が向けられていたために眼球運動抑制が解除されず，中心窩付近の注視点消失によるサッカードが生じなかったと考えることができる．網膜情報の視覚情報のほとんどは停留中の固視微動によって取得されている(Tullis & Albert, 2013)．一度の視線停留で 200ms～300ms 程度あれば，その間に視覚情報の知覚処理，他の脳領野との整合，意味の理解，次の注視位置計算など，並列処理が可能であるとされる(O'Regan, 1990)．また，Martinez-Conde et al. (2000)によると，固視微動におけるマイクロサッカード直後の 50ms～100ms の細胞応答が視知覚を増強させることも示されている．色刺激消去後は無彩色背景 *J*60 のみが表示されていたため，視線が移動しても中心窩付近での色刺激の情報は取得できない．仮に，色刺激の残光のような刺激で目立ち感の評価をしたとすれば，色刺激消去後に視線移動を伴った評価によって呈示色刺激の目立ちの主効果に有意差は認められず，被験者の評価の仕方にも差が生じると考えられる．つまり，色刺激対が呈示された直後は両色刺激を比較するために注視点付近に視線を停留させる必要があり，注視点付近の停留時間は 2 つの離れた色刺激対を周辺視情報による高次比較処理に要する時間と考えることができる． 後者は，Figure 25 より色刺激対消去後の無彩色背景 *J*60 のみが表示されたディスプレイ上で，離角 10 度では 100ms 後，離角 30 度では 140ms 後，離角 60 度では 220ms 後，離角 90 度では 250ms 後に視角±2.5 度より周辺視側へのサッカードを伴う視線滞在が認められたことから，注意を向けていた周辺視の色刺激情報が消去された結果，眼球運動抑制が解放され，サッカードによる視線移動が生じたと考えられる．

全ての離角において注視点消去直後の 250ms 程度は視線移動を伴わず，色刺激消去後 100ms～250ms にサッカードによる視線移動生じたという傾向は，色刺激呈示開始から一定時間は周辺視に表示された色刺激対の情報をディスプレイ中央付近で両眼比較していたことを示す．また，離角 10 より離角 90 度の周辺視側へ向かい AOI(d) または AOI(f)への視線滞在が遅延することから，2 つの色刺激間の距離が離れるほど，比較処理に必要とされる時間は長くなったと考えられる．Figure 26 では，誘目性の評価中に視角±2.5 度より周辺視側へ初めて視線が移動した方向と 5 件法による回答の左右符号を一致させて，離角ごとに視線移動方向と回答方向との関係を示し，1000ms 区間において統計学的に有意差が認められた．離角 60 度と離角 90 度の色刺激対呈

示中の 500ms 区間で視線移動領域と評価の方向が一致傾向を示さなかったのは，離角 10 度と離角 30 度よりもサッカード反応時間が遅延したことに起因すると考えられる．そのため，色刺激消去後から回答までの500msにおける視線移動方向がその後の口頭評価の方向と極めて高い相関傾向を示したといえる．このことは，無彩色背景のみが表示されたディスプレイ上で視線が「左」方向に移動する場合はその後の回答が「左」または「やや左」，視線が「右」方向に移動する場合はその後の回答が「右」または「やや右」，視線が視角±2.5 度領域から移動しない場合は「どちらでもない」に対応したことを示す．これらの結果は，呈示された色刺激への視線移動が目立ち感の評価に反映さるのではなく，Moore & Armstrong (2003)や Kienitz et al. (2022)が示した初期の衝動性眼球運動の概念と一致して，固視微動中の内発的目立ち判断が視線移動方向に反映されることを示唆する．全ての離角において中心視に対象をとらえて細部認識をする前段階として周辺視野に位置する色刺激情報で比較処理することが可能であることが示唆される．色刺激消去がきっかけとなってトップダウンプロセスによる眼球運動抑制の解放が生じる場合は，注意を払っていた 2 つの色刺激情報の目立ち感の評価の情報処理後であることを示唆するとともに，言語変換による口頭評価に先行して目立ち感を決定した方向に視線が誘目されたと解釈できる．

5.4 まとめ

色刺激対呈示中の 500ms 区間および口頭評価までの 500ms を含めた 1000ms 区間における 32 人の被験者の視線追跡データをもとに，目立ち感の評価(32 人×120 回)ごとに注視点および色刺激呈示位置を統制し，水平方向の視線移動領域を 10Hz サンプリングごとに解析した．目立ち感の評価中の視線の水平移動距離は各被験者の評価によってもばらつきが大きく，全ての離角において色刺激対呈示中の 500ms 区間でいずれかの色刺激の呈示位置まで視線移動を伴ったとはいえない．また，全ての離角で視角±2.5 度より周辺視側への視線移動が一定数確認された．視角±2.5 度より周辺視側に初めて視線が移動する視線滞在時刻の中央値は色刺激対の呈示開始から 600m～750ms 後であり，離角増大に伴い遅延したことから，2 つの色刺激間の距離が離れるほど，両眼周辺視による色刺激情報の比較処理時間が長くなることが示唆される．注視点消去後もディスプレイ中央付近の視線停留が一定時間認められたこと

は，周辺視野の色刺激対に視覚的注意が払われるために中心窩刺激消失による眼球運動抑制が解除されず，両色刺激情報を固視微動による周辺視の色の見えで比較処理する時間に反映されたと推定される．視角±2.5 度より周辺視側へ初めて視線が移動した水平方向の領域を定量的に分析し，背景色 *J60* のみが表示された色刺激消去から回答までの 500ms も含めた 1000ms 区間において，視角±2.5 度より周辺視側へ初めてサッカードを生じた視線の水平移動領域の方向と 5 件法による評価回答の方向は極めて高い相関傾向を示した．色の誘目性の目立ち判断は中心視による色刺激情報の取得は前提とされず，固視微動中の内発的目立ち判断が視線移動方向に反映されると推定される．両眼周辺視で取得された色刺激対の情報が高次視覚領域で比較処理されることで目立ち感の評価を決定し，その決定した色刺激が位置する方向に視線を向けることが示唆される．

第6章　総合考察

第 4 章および第 5 章では色の誘目性における視線移動と目立ち感の評価結果との関係を検討した．離角 10 から離角 90 度の全ての離角においてディスプレイ中央付近で周辺視の色の見えにより色刺激対の情報を取得し，目立ち感の評価中の視線移動のプロセスは全ての離角で一貫していることを確認した．本章では，第 2 章および第 3 章における色相差，明度差，彩度差を考慮した 3 条件における離角ごと，ユニーク色ごとの間隔尺度を踏まえ，周辺視野に呈示した色刺激対の視知覚処理過程を考察する．

両眼視差の検出は V1 でなされ，両眼情報が V2, V4 等で融合されることで対象を立体視で認知することができる．両眼に全く異なる情報を入力すると，両眼像は融合せず，一方が排他的に，交互に知覚される視野闘争(Binocular Rivalry)という現象が生じる(Creed, 1935)．片眼優位性を示す知見では，利き目と非利き目では応答特性に差があり，非利き目よりも利き目からの情報による視覚処理速度が約 14ms 速く処理されたことが報告されている(Coren & Porac, 1982)．また，fMRI を使用してパイロットの左右眼球網膜に別々に刺激を与えた場合の視覚領野の活性化領域を調査した実験では，利き目が右眼の場合において活性化領域が統計学的に有意であり，同じ色刺激でも利き目に入力される場合と非利き目に入力されるのでは V1 の活性化領域およびそのサイズが異なるという片眼優位性が示されている(Rombouts et al., 1996)．これらの知見は両眼で注視した場合に利き眼からの情報の認識が優位になる可能性を示している．

本研究の実験結果では第 3 章における色相差，明度差，彩度差を考慮した 3 条件の目立ち感の評価，第 4 章の視線移動解析時の目立ち感の評価，これらの全ての位置効果において離角 10 度条件に共通して統計的有意差が認められた(Table 2 - 5)．さらに，第 5 章の視線移動解析結果から，色刺激の目立ち感を示した視角±2.5 度より周辺視領域への視線移動は全ての離角で右領域よりも左領域への視線移動時間が短縮された(Figure 25)．これらは，片眼優位性により左方向へのサッカード反応時間が短縮されたことを示唆するとともに，色刺激の目立ち感の評価結果には周辺視による色み(彩度)知覚低下を反映した高次処理の結果，離角 10 度の色刺激対の評価では左右に

配置される位置によって目立ちの程度が異なる結果として反映されるのではないかと考えられる．また，第 5 章における視角±2.5 度より周辺視側への右領域と左領域への視線移動時間の差は離角 10 度から離角 60 度では中央値とともに増大するが，離角 90 度では再び両領域への移動時間の差が短縮された．色刺激対を両眼で同時比較していることから，両眼視野闘争のように両眼からの情報が大脳視覚野で融合されず交互に知覚されることはなくても，視覚処理の初期段階の一次視覚野における神経機構の関与(Seymour et al., 2009)を考慮すれば，網膜から取得された情報入力によって V1 の時点で空間内の点の網膜像における左右眼間のずれが生じていることが示唆される．また，本研究では離角ごと，ユニーク色ごとに示した第 3 章や第 4 章の目立ち感の評価結果において組み合わせ効果も顕著な有意差を示した．V1 ではコントラストや彩度に対してより敏感な反応を示し(Vanni et al., 2006; Loggia et al., 2022), fMRI を用いた色成分への網膜応答反応を調査した知見では，V4 と V4α の複合活性化(Zeki & Bartels, 1999)，無彩色刺激より有彩色刺激に対する V4 の応答の速さ(Goddard et al., 2011)など，他の皮質領域と比較して色中枢は V4 付近での活性化が指摘されている．位置効果の片眼優位性を詳細に検討するためには，利き目や不同視の程度に加え，fMRI 等を用いた V1 の活性化パターンを調査する必要があるが，眼球網膜から V1 に送られた錐体経路信号が V1 で統合され，色の見え方に必要な色対向相互作用を生じる(Li et al., 2022)ことは，色誘導を伴う対比現象が眼球網膜から V1 への投射に起因し，中～高次の視覚経路の情報処理に影響を及ぼすといえる．これらのことから，各離角におけるユニーク色の誘目性の尺度は，両眼それぞれの網膜情報が視交叉を経て一次視覚野へ投射される視覚経由の情報入力の違い(Vanni et al., 2006; Seymour et al., 2009; Maeda et al., 2010)が比較的高次の大脳レベルでの知覚，認識に反映されると推定される．

Figure 27 は視野の非対称性を鼻側視角 30 度程度に対応させた模式図である．本研究で観察者の垂直前面のディスプレイ上に呈示した各離角の色刺激対の位置，色刺激呈示開始とともに消去した注視点の位置，および色刺激対呈示中の視線停留領域を示してある．また，拡大図(Fixation area)は Figure 24 のディスプレイ中央付近における視線の軌跡で，固視微動，サッカードを示してある．色刺激呈示中の視線停留領域が全ての離角で同じであった(Figure 19)ことを考慮すれば，色視野が鼻側 45 度程

度に対応しない場合，左右片眼の鼻側視野は明るさの情報に対応しても，色みの知覚は困難であることが示唆される．色刺激対を両眼で同時比較すれば，左色刺激の情報は右眼と左眼の左視野で，右色刺激の情報は右眼と左眼の右視野でとらえられ，視交叉を経た右の LGN へは右眼と左眼の左視野(網膜右半)の情報，左の LGN へは右眼と左眼の右視野(網膜左半)の情報が入力される．視覚領の一次的な処理を受ける V1 の細胞が外界との写像関係を保って配列されていることを考慮すれば，空間的に 2 つの色刺激が離れている場合の周辺視における同時比較では，V1 での両眼視差時に違いが生じ，色覚の高次レベルのメカニズムにより継時的に弁別されると推定される．

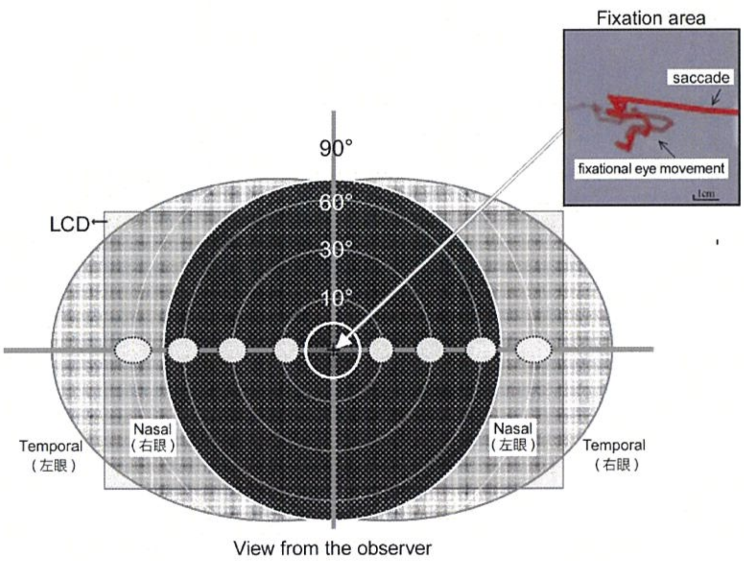


Figure 27　周辺視による色刺激対の同時比較と視線停留領域の模式図

以上のように考えれば，第 3 章における系統的に調整した色刺激の離角 90 度の色相差，明度差，彩度差条件における誘目性の順位を説明することができる．2 つの色刺激それぞれが背景 *J*60 と色刺激の同時対比の領域による情報として比較処理されていると考えた場合，第 3 章における色相差条件による離角 90 度の有彩色刺激の尺度(Figure 8)は HK 効果の等価明度順(Figure 9)であり，背景 *J*60 上の知覚明度順ととらえることができる．さらに，これらの有彩色の評定値の順位は無彩色 *J*40 と *J*80 の

間に位置していることから，背景との明度差に起因する色刺激の見かけの大きさ順をともいえる．このことは，クロマティック経路が輝度経路に影響を与える結果，わずかな明るさ誘導が引き起こされるという Otazu & Cerda (2022)の知見とも一致する．離角 90 度における色の誘目性は背景との明暗コントラストだけでなく，色刺激の色み(色相や彩度)の影響も目立ち感の判断に影響するといえる．また，明度差条件と彩度差条件の離角 10〜離角 60 度では，周辺視における同時比較における色刺激対の並列的な対比効果により，属性値の近接する色刺激間の有意差が顕著になったと推定される(Figure 12 - 15). 彩度差の影響は，各ユニーク色相および彩度による色誘導により知覚明度にもわずかな差が生じ，彩度差が近い色刺激対ほどその差がより強調され，色刺激間の目立ちの程度に有意な差を示したといえる．一方，離角 90 度の色刺激対の比較では離角 10 度〜離角 60 度における属性値の近接する彩度の対比現象はユニーク青以外に認められない(Figure 12 - 15). 特に，彩度差条件の離角 90 度におけるユニーク赤(Figure 12)とユニーク黄(Figure 13) では同じ色相成分どうしの色刺激対の比較で *C*40 と *C*60 の低~中彩度色が *C*80 の高彩度色よりも顕著に目立ち感が高く，継時的な弁別による高次レベルの感情と認知の相互処理による認識が示唆される．ユニーク青は色視野が広く(Optical Society of America, 1963; Uchikawa et al., 1982), 同一色相どうしの比較により離角 90 度においても，周辺視による同時比較によって色刺激対の並列的な比較処理により，明度差や彩度差のより近い刺激間で色差が強調され，色刺激間の有意差が顕著になったと推定される(Figure 15).

結論

本研究では水平方向に呈示させる 2 つの色刺激間距離を離角とし, 10 度, 30 度, 60 度, 90 度の 4 種の離角にそれぞれ直径 3 度の色刺激対を 500ms 表示させ, 2 つの色刺激間の離角が色の誘目性に与える影響を検討した.

定量的に調整した色刺激を用いた色相差, 明度差, 彩度差の 3 つの条件において, 一対比較による評価結果は全ての属性条件において色刺激間の主効果に十分な差が認められた. 離角ごと, ユニーク色相ごとに間隔尺度を構成し, 色の誘目性は周辺視の呈示位置によって変化し, 特に離角 10～離角 60 度と離角 90 度とでは異なる傾向を示した. また, 色相の影響は全ての離角でユニーク黄の目立ち感が低く, ユニーク青の目立ち感が離角増大に伴い高くなる傾向を示した. 同じユニーク色相でも背景との明度差や彩度差により誘目性の程度は異なり, 寒色系より暖色系の色相が目立つとされる中心視停留による目立ち感とは異なる結果を示したといえる.

目立ち感の評価中の視線解析の結果は全ての離角において画面中央の視角 5 度領域で最も長い停留時間を示した. また, 視線追跡中の一対比較による評価結果も全ての離角で色刺激間の主効果に十分な差が認められた. 本研究の実験条件では離角 10 度から離角 90 度までの色刺激対の情報は周辺視の色の見えで取得し, 比較評価できることが示された. 色刺激消去後の 500m 区間では, 色刺激の呈示位置まで視線は移動しないものの, 視角 5 度領域より周辺視側への視線移動を伴う傾向が確認され, 視線移動方向と誘目性評価との関係を定量的に解析した. その結果, 視角±2.5 度より周辺視側の左右領域へ視線移動を伴う場合の視線滞在時刻の中央値は離角増大に伴い遅延し, 色刺激消去後の視角±2.5 度より周辺視側への左右移動方向と 5 件法による口頭評価の左右方向が全ての離角において相関する傾向を示した. 口頭評価の開始時刻は全被験者の全ての評価において色刺激消去後 500ms 以降であることは, 色刺激情報の視知覚および目立ち感の比較評価が認知処理されるとともに, 言語変換による口頭回答に先行して内発的目立ち判断が視線移動方向に反映されたことを示唆する. また, これらの結果は固視微動中の内発的な目立ち感の評価が初期の衝動性眼球運動を反映する多くの知見と一致し, 呈示される色刺激への視線移動が目立ち感の評価に反映されるのではなく, 固視微動中の内発的な目立ち感の評価が視

線移動方向に反映されることを示唆する．また，目立ち感の評価が主観的な経験の言語化に基づく尺度(Merikle et al., 2001)であり，目立ち感を決定した色刺激の位置する方向およびその程度を言語変換したものであることと一致する．言語変換による口頭評価に先行して周辺視でとらえた色刺激情報で判断された誘目性の高い色刺激が位置する方向に視線が誘目されたと解釈できる．色の誘目性は視線が誘目される過程の目立ち感であり，全ての離角において中心窩で対象をとらえて細部認識をする前に周辺視情報で比較処理後に大局的位置を特定し，対象に注意を向ける誘目性の評価プロセスが示されたといえる．

誘目性評価の解析で得られた離角ごと，ユニーク色ごとの組み合わせ効果や位置効果，属性値の近接する色刺激間の有意差，視線移動の解析で得られた内因性注意を指し示すディスプレイ中央付近での色刺激対の情報取得，片眼優位性を示唆するサッカード反応時間の差異などは，眼球網膜から視交叉を経た LGN 経由の視覚処理経路，特に V1～V4 における多くの知見と一致する．誘目性評価と視線移動との関係は全ての離角で一貫していることから，初期視覚野へ投射される色刺激情報の入力処理の違いがその後の比較的高次の知覚，認識の違いに反映されると考え，視知覚処理過程を推定した．離角 10 度から離角 60 度程度の色刺激対では色刺激対の並列的な比較による対比効果により，明度や彩度の近接する色刺激間の有意差が顕著になると考えられる．一方， 離角 90 度の色刺激対は周辺視で同時比較しているものの，色覚の高次レベルのメカニズムにより継時的に弁別され比較処理される傾向が強まると考えられる．ただし，末梢の視覚機序による情報処理過程の解釈であるため，色刺激の属性の統制，眼球運動計測に加え，fMRI 等を併用した検証が必要であるといえる．

現在のところ装着型の視線追跡装置で離角 90 度程度の計測が限界であるが，水平離角 90 度より周辺視側では視線を中心視でとらえなければ目立ち感の評価ができない可能性も残されている．また，呈示時間が短い場合は離角 90 度での目立ち感の評価や視線移動結果も変わる可能性があり，周辺視の機能の一つとして本実験条件の呈示時間 500ms における水平領域の可視視野の検討も含め，水平離角 90 度より周辺視側でどの程度まで周辺視で評価が可能であるか，また，空間的に二つの色刺激が離れている場合の周辺視による同時比較は色みの影響が誘目性評価にどの程度反映

されるかなどの検証も必要とされる．呈示時間も含めた色の誘目性の評価方法，周辺視野の色覚機能や生理学的背景など，今後も検討すべき課題は残されている．

実空間において頭部運動を伴う視線移動位置を考慮すれば，周辺視と中心視の拮抗的関係を維持しながら相互依存的関係にもあるが，視野全体から注意を向けさせたい対象方向を大局的にとらえる過程が誘目性で，視野中央付近の対象の識別により位置を明確に特定させる過程が顕著性であるととらえれば，視野全体の情報から注意を向けさせたい対象の位置により，配置する色のデザイン構成に応用できるのではないかと考えられる．デジタル表現の自由度が高まる現在，画面切り替えの時刻，タイミング，表示順，サイズなど，様々な場所で表示内容を変えることが技術的に可能なだけでなく，自動化できるようになりつつある．今後は前述した課題に加え，本研究で得られた組み合わせ効果や位置効果の推定値などを用いた具体的な刺激対を用いてデザイン構成の検証なども必要である．

しかしながら，これまで主として色の目立ち感は中心視による視線滞在を前提とした視線移動順や視線停留時間による顕著性の目立ち感が基準として示されてきた．色の誘目性は視野全体の色情報から注意を向ける対象へ視線が誘目される過程の目立ち感であり，中心視による比較を前提としなくても情報処理が可能であるかどうかは明らかにされてこなかった．本研究における実験条件においては，少なくとも離角 10 度～離角 90 度の色の誘目性に関しては視対象まで視線を移動させてそれぞれ中心視で色刺激情報を取得しなくても，ディスプレイ中央付近の視線停留による周辺視の色の見えで目立ち感の評価が可能であることが示された．同じ色刺激でも視野中心と視野周辺では色の見え方が異なることから，色の視知覚現象の効果や感情伴う刺激の認知処理の程度も変わり，目立ちの程度も顕著性とは異なる基準が示された．顕著性による目立ち感とは視線移動のプロセスが異なり，また，評定値の順位も異なる結果は，実空間においても，視野全体内の位置で注意を向けさせたい色の情報デザインにおいて改善の指針となる結果を示したといえる．

引用文献

Al-Samarraie, H., Eldenfria, A., Dodoo, J.E., Alzahrani, A.I., & Alalwan, N. (2019). Packaging design elements and consumers' decision to buy from the Web: A cause and effect decision-making model. *Color Research and Application*, **44** (6), 993-1005.

Ayama, M., & Sakurai, M. (2003). Changes in hue and saturation of chromatic lights presented in the peripheral visual field. *Color Research and Application*, **28** (6), 413-424.

Barbur, J.L., Rodriguez-Carmona, M.L., Hickey, J., Evans, S., & Chorley, A. (2016). *Analysis of European Colour Vision Certification Requirements for Air Traffic Control Officers* (CAP1429). West Sussex: Civil Aviation Authority.

Becker, S.A. (2002). An exploratory study on web usability and the internationalization of US e-businesses. *Electronic Commerce Research*, **3** (4), 265-278.

Berlyne, D.E. (1960). *Conflict, Arousal and Curiosity*. New York: McGraw-Hill.

Bevan, W., & Dukes, W.F. (1953). Color as a variable in the judgment of size. *American Journal of Psychology*, **66** (2), 283-288.

Cassavaugh, N., Kramer, A.F., & Peterson, M.S. (2004). Aging and the strategic control of the fixation offset effect. *Psychology and Aging*, **19** (2), 357-361.

Choi, K., & Suk, H. (2015). Optimal employment of color attributes to achieve saliency in icon matrix designs. *Color Research and Application*, **40** (5), 429-436.

CIE. (2004). *A Colour Appearance Model for Colour Management System: CIECAM02* (CIE 159: 2004). International Commission on Illumination.

CIE. (2011). *Methods for evaluating colour differences in images* (CIE 199: 2011). International Commission on Illumination.

Cole, B.L., & Jenkins, S.E. (1982). Conspicuity of traffic control devices. *Australian Road Research*, **12**, 223-238.

Coren, S., & Porac, C. (1982). Monocular asymmetries in visual latency as a function of sighting dominance. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, **59** (12), 987-990.

Creed, R.S. (1935). Observation on binocular fusion and rivalry. *Journal of Physiol*, **84**, 381-392.

Curcio, C.A., Sloan, K.R., Kalina, R.E., & Hendrickson, A.E. (1990). Human photoreceptor topography. *The Journal of comparative neurology,* **292** (4), 497-523.

Curcio, C.A., Millican, C.L., Allen, K.A., & Kalina, R.E. (1993). Aging of the human photoreceptor mosaic: evidence for selective vulnerability of rods in central retina. *Investigative ophthalmology and visual science*, **34** (12), 3278-96.

Dobkins, K. R., & Albright, T.D. (1998). The influence of chromatic information on visual motion processing in the primate visual system. In T. Watanabe (Ed.), *High-Level Motion Processing: Computational, Neurobiological, and Psychophysical Perspectives*, 53-94.

Dougherty, R.F., Press, W.A., & Wandell, B.A. (1999). Perceived Speed of Colored Stimuli. *Neuron*, **24** (4), 893-899.

Elliot, A. J., Maier, M. A., Moller, A. C., Friedman, R., & Meinhardt, J. (2007). Color and psychological functioning: The effect of red on performance attainment. *Journal of Experimental Psychology*, **136**, 154-168.

Fischer, B., & Weber, H. (1993). Express saccades and visual attention. *Behavioral and Brain Sciences*, **16** (3), 553-567.

Fry, G.A., Bridgman, C.S., & Ellerbrock, V.J. (1949). The effects of atmospheric scattering on binocular depth perception. *American Journal of Optometry and Archives of American Academy of Optometry*, **26** (1), 9-15.

Fuchida, T. (1997). Color Discrimination, Color Conspicuity, and Visual Search for CRT Displays. *Journal of Light and Visual Environment*, **21** (2), 36-45.

Gifford, R. (1988). Light, decor, arousal, comfort, and communication. *Journal of Environmental Psychology*, **8**, 177-189.

Goddard, E., Mannion, D.J., McDonald, J.S., Solomon, S.G., & Clifford, C.W. (2011). Color responsiveness argues against a dorsal component of human V4. *Journal of Vision*, **11** (4), 3-3.

Gong, S.M., Liou, F.Y., & Lee, W.Y. (2023). The effect of lightness, chroma, and hue on depth perception. *Color Research and Application*, **48** (6), 793-800.

Gordon, J., & Abramov, I. (1977). Color vision in the peripheral retina. II. Hue and saturation. *Journal of the Optical Society of America*, **67** (2), 202-207.

Gray, J.R., Braver, T.S., & Raichle, M.E. (2002). Integration of emotion and cognition in the lateral prefrontal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, **99** (6), 4115-4120.

Gundlach, C., & Macoubrey, C. (1931). The effect of color on apparent size. *American Journal of Psychology*. **43**(1), 109-111.

Hellwig, L., Stolitzka, D., & Fairchild, M.D. (2022). Extending CIECAM02 and CAM16 for the Helmholtz-Kohlrausch effect. *Color Research and Application*, **47** (5), 1096-1104.

High, G., Green, P., & Nussbaum, P. (2023). The Helmholtz-Kohlrausch effect on display-based light colors and simulated substrate colors. *Color Research and Application*, **48** (2), 167-177.

Holmqvist, K., Nystrom, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & VandeWeijer, J. (2011). Eye Tracking. A Comprehensive Guide to Methods and Measures. Oxford: Oxford University Press.

Holtmaat, A., & Caroni, P. (2016). Functional and structural underpinnings of neuronal assembly formation in learning. *Nature Neuroscience*, **19** (12), 1553-1562.

Ignashchenkova, A., Dicke, P.W., Haarmeier, T. & Their, P. (2004). Neuron-specific contribution of the superior colliculus to overt and covert shifts of attention. *Nature Neuroscience*, **7**, 56-64.

Ikkai, A., & Curtis, C.E. (2011). Common neural mechanisms supporting spatial working memory, attention and motor intention. *Neuropsychologia*, **49** (6), 1428-1434.

池田光男・芦澤昌子 (1993). 周辺視野位置と色の目立ち. 日本色彩学会誌, **16** (3), 140-147.

Inman, V.W., Balk, S.A., & Perez, W.A. (2013). Traffic control device conspicuity. (No. FHWA-HRT-13-043). United States. Federal Highway Administration.

Isenberg, N., Silbersweig, D., Engelien, A., Emmerich, S., Malavade, K., Beattie, B., & Stern, E. (1999). Linguistic threat activates the human amygdala. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **96** (18), 10456-10459.

ISO. (2011). *Graphical symbols - Safety colours and safety signs - Part 1: Design principles for safety signs and safety markings* (ISO 3864-1: 2011). International Organization for Standardization.

ISO. (2018). *Ergonomics of human-system interaction - Part11: Usability: Definitions & concepts* (ISO 9241-11: 2018). International Organization for Standardization.

Itti, L., Koch, C., & Niebur, E. (1998). A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis. *IEEE Transactions on PAMI*, **20** (11), 1254-1259.

Itti, L., & Koch, C. (2000). A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention. *Vision Research*, **40** (10-12), 1489-1506.

Jacobs, K.W., & Hustmyer, F.E. (1974). Effects of four psychological primary colors on GSR, heart rate and respiration rate. *Percept Motor Skills*, **38** (3), 763-766.

Johnson, G.M. (2015). Color appearance phenomena and visual illusions. *Handbook of Color Psychology*, Elliot, A.J., Fairchild, M.D., & Franklin, A. (eds.), 679-702, Cambridge: Cambridge University Press.

Kaiser, P.K. & Boynton, R.M. (1996). Subjective Color Phenomena. Human Color Vision 2nd edition, Optical Society of America.

Kaya, N., & Epps, H.H. (2004). Relationship between color and emotion: A study of college students. *College Student Journal*, **38**, 396-405.

神作博 (1967). 色光の誘目性について. 照明学会雑誌, **51** (11), 684-690.

神作博・福本純一 (1972). 安全色彩の誘目性について. 日本色彩学会誌, **1** (1), 4-14.

Khan, S. A., Levine, W. J., Dobson, S. D., & Kralik, J. D. (2011). Red signals dominance in male rhesus macaques. *Psychological Science*, **22** (8), 1001-1003.

Kienitz, R., Kouroupaki, K., & Schmid, M.C. (2022). Microstimulation of visual area V4 improves visual stimulus detection. *Cell Reports*, **40** (12), 111392.

Knight, T.W. (1989). Color grammars: designing with lines and colors. *Environment and Planning B: Planning and Design*, **16** (4), 417-449.

Lee, G., Hwang, S., & Lee, D. (2022). Improvements of warning signs for black ice based on driving simulator experiments, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **19** (12), 7549.

Li, P., Garg, A.K., Zhang, L.A., Rashid, M.S., & Callaway, E. M. (2022). Cone opponent functional domains in primary visual cortex combine signals for color appearance mechanisms. *Nature Communications*, **13** (1), 1-19.

Loggia, S.R., Duffield, S.J., Braunlich, K., & Conway, B.R. (2022). Color and Spatial Frequency Provide Functional Signatures of Retinotopic Visual Areas. *bioRxiv,* 1-25.

Luo, M.R., Xu, Q., Pointer, M., Melgosa, M., Cui, G., Li, C., Xiao, K., & Huang, M. (2023). A comprehensive test of colour-difference formulae and uniform colour spaces using available visual datasets. *Color Research and Application*, **48** (3), 267-282.

Maeda, K., Kunimatsu, J., & Hikosaka, O. (2018). Amygdala activity for the modulation of goaldirected behavior in emotional contexts. *PLOS Biology*, **16** (6), e2005339.

Maeda, K., Yamamoto, H., Fukunaga, M., Umeda, M., Tanaka, C., & Ejima, Y. (2010). Neural correlates of color-selective metacontrast in human early retinotopic areas. *Journal of Neurophysiology*, **104** (4), 2291-2301.

Mahmoudi, A., & Khalili, M. (2017). Designing Colorized Wayfinding Elements Based on the Legibility of Environment. *Proceedings of the 13th Conferenza del Colore*, 347-358, Naples (Italy).

Mahnke, F.H. (1996). *Color, environment, human response*. New York: Van Nostrand Reinhold.

Martinez-Conde, S., Macknik, S.L., & Hubel, D.H. (2000). Microsaccadic eye movements and firing of single cells in the striate cortex of macaque monkeys. *Nature Neuroscience*, **3** (3), 251-258.

Mehta, R., & Zhu, R.J. (2009). Blue or red? Exploring the effect of color on cognitive task performances. *Science*, **323**, 1226-1229.

Merikle, P.M., Smilek, D., & Eastwood, J.D. (2001). Perception without awareness: perspectives from cognitive psychology. *Cognition*, **79,** 115 -134.

Mogi S, Sakurai M, Ishikawa T., & Ayama, M. (2021). Color appearance of small stimuli presented in central and peripheral visual fields. *Color Research and Application*, **46** (4), 722-739.

Moore, G.T., McCarty, A.L., & Jelin, G. (1995). Children's village: A safe haven for children of stress and violence. *Children's Environments*, **12** (1), 1-24.

Moore, T., & Armstrong, K.M. (2003). Selective gating of visual signals by microstimulation of frontal cortex. *Nature*, **421**, 370-373.

Na, Y., & Ouyang, Z. (2023). Effects of background color, polarity and saturation on digital icon status recognition and visual search performance. *Ergonomics*, 1-22.

Nasar, J.L. (1987). Effects of signscape complexity and coherence on the perceived visual quality of retail scenes. *Journal of the American Planning Association*, **53**, 499-509.

Nasar, J.L., & Hong, X. (1999). Visual preference in urban signscapes. *Environment and Behavior*, **32** (5), 671-691.

Nothdurft, H.C. (1993). The role of features in preattentive vision: Comparison of orientation, motion and color cues. *Vision Research*, **33** (14), 11937-1958.

Olds, A.R. (1989). Psychological and physiological harmony in child care center design. *Children's Environments Quarterly*, **6**(4), 8-16.

Olsen, A. (2012). The Tobii I-VT fixation filter: Algorithm description. Tobii Technology.

Optical Society of America, Committee on Colorimetry. (1963). Psychological concepts: Sensory aspects of color, in *The Science of Color*, 99-135, New York: Crowell.

O'Regan, H.K. (1990). Eye Movements and reading, Eye movements and their role in visual and cognitive processes. *Reviews of oculomotor research, 4, Elsevier*, 395-453.

Otazu, X., & Cerda, X. (2022). The contribution of luminance and chromatic channels to color assimilation. *Journal of Vision*, **22** (6), 1-15.

Ou, L.C. (2015). Color emotion and color harmony. Elliot, A.J., Fairchild, M.D.& Franklin, A., (Eds.), *Handbook of Color Psychology*, 401-418. Cambridge: Cambridge University Press.

Oya, H., Kawasaki, H., Howard, M. A. III, & Adolphs, R. (2002). Electrophysiological responses in the human amygdala discriminate emotion categories of complex visual stimuli. *Journal of Neuroscience*, **22** (21), 9502-12.

Park, Y.K. (2022). Determining the color appearance of Helmholtz-Kohlrausch effect for self-emissive displays. *Journal of Information Display*, **23** (3), 235-242.

Payne, M.C.Jr., (1964). Color as an independent variable in perceptual research. *Psychological Bulletin*, **61** (3), 199-208.

Pessoa, L., Oliveira, L., & Pereira, M.G. (2010). Emergent processes in cognitive-emotional interactions. *Neuroscience*, **12** (4), 433-448.

Porathe, T., & Strand, L. (2011). Which sign is more visible? Measuring the visibility of traffic signs through the conspicuity index method. *European Transport Research Review*, **3**, 35-45.

Pratt, J., Lajonchere, C.M., & Abrams, R.A. (2006). Attentional modulation of the gap effect. *Vision Research*, **46** (16), 2602–2607.

Range, l.M., & Alvao, C.M. (2011). Color and wayfinding: a research in a hospital environment. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 55th Annual Meeting*, 575-578, Las Vegas (USA).

Rayner, K., Inhoff, A.W., Morrison, R.E., Slowiaczek, M.L., & Bertera, J.H. (1981). Masking of foveal and parafoveal vision during eye fixations in reading. *Journal of Experimental Psychology, Human Perception and Performance*, **7** (1), 167-179.

Rayner, K., Smith, T.J., Malcolm, G.L., & Henderson, J.M. (2009). Eye movements and visual encoding during scene perception. *Psychological Science*, **20** (1), 6-10.

Remington, R.W., Johnston, J.C., Ruthruff, E., Gold, M., & Romera, M. (2000). Visual search in complex displays: Factors affecting conflict detection by air traffic controllers. *Human Factors*, **42** (3), 349-366.

Rombouts, S.A., Barkhof, F., Sprengcr, M., & Scheltens, P. (1996). The functional basis of ocular dominance: functional MRI (fMRI) findings. *Neuroscience Letters*, **221** (1), 1-4.

Sakurai, M., Ayama, M., & Kumagai, T. (2003). Color appearance in entire visual field: color zone map based on the unique hue component. *Journal of Optical Society of America A*, **20** (11), 1997-2009.

Salvucci, D.D., & Goldberg, J.H. (2000). Identifying fixations and saccades in eye tracking protocols. *Eye Tracking Research and Applications*, 71-78, New York.

Saslow, M.C. (1967). Effects of components of displacement-step stimuli upon latency for saccadic eye movement. *Journal of the Optical Society of America*, **57**, 1024-29.

Scheffe, H. (1952). An Analysis of Variance for Paired Comparisons. *Journal of the American Statistical Association*, **47** (259), 381-400.

Seya, Y., & Watanabe, K. (2012). The minimal time required to process visual information in visual search tasks measured by using gaze-contingent visual masking. *Perception*, **41**, 819-830.

Seymour, K., Clifford, C.W., Logothetis, N.K., & Bartels, A. (2009). The coding of color, motion, and their conjunction in the human visual cortex. *Current Biology*, **19** (3), 177-183.

Shevell, S.K., & Monnier, P. (2003). Induction from patterned S-cone backgrounds: Receptoral or postreceptoral basis?. *Journal of Vision*, **3** (9), 141a.

Smets, G. (1969). Time expression of red and blue. *Perceptual and Motor Skills*, **29** (2), 511-514.

Smithson, H.E. (2014). S-cone psychophysics. *Visual Neuroscience*, **31**, 211-225.

Sporns, O., Honey, C.J., & Kötter, R. (2007). Identification and classification of hubs in brain networks. *PLoS ONE*, **2**(10), e1049.

Stephen, I. D., Oldham, F. H., Perrett, D. I., & Barton, R. A. (2012). Redness enhances perceived aggression, dominance and attractiveness in men's faces. *Evolutionary Psychology*, **10** (3), 562-572.

Sundet, J.M. (1978). Effects of colour on perceived depth. Review of experiments and evaluation of theories. *Scandinavian Journal of Psychology*, **19**, 133-143.

Takaura, K., Yoshida, M., & Isa, T. (2011). Neural substrate of spatial memory in the superior colliculus after damage to the primary visual cortex. *Journal of Neuroscience*, **31** (11), 4233-4241.

Taylor, T.L., Kingstone, A., & Klein, R.M. (1998). The disappearance of foveal and nonfoveal stimuli: Decomposing the gap effect. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, **52** (4), 192-200.

Thones, S., Von Castell, C., Iflinger, J., & Oberfeld, D. (2018). Color and time perception: Evidence for temporal overestimation of blue stimuli. *Scientific Reports*, **8**, 1688.

Tullis, T., & Albert, B. (2013). Measuring the User Experience, Second Edition: Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics. *Elsevier*, 297.

Turatto, M., & Galfano, G. (2000). Color, form and luminance capture attention in visual search. *Vision Research*, **40** (13), 1639-1643.

Uchikawa, H., Kaiser, P.K. & Uchilawa, K. (1982). Color-discrimination perimetry. *Color Research and Application*, **7** (3), 264-272.

Ura, S. (1959). An Analysis of a Paired Comparison Experiment. *Statistical Quality Control*, **10** (2), 78-80.

Van Esch, J.A., Koldenhof, E.E. Van Doorn, A.J., & Koenderink, J.J. (1984). Spectral sensitivity and wavelength discrimination of the human peripheral visual field. *Journal of the Optical Society of America A*, **1** (5), 443-450.

Vanni, S., Henriksson, L., Viikari, M., & James, A.C. (2006). Retinotopic distribution of chromatic responses in human primary visual cortex. *European Journal of Neuroscience*, **24** (6), 1821-1831.

Wallis, W.A. (1935). The influence of color on apparent size. *Journal of General Psychology*, **13**, 193-199.

Walters, J., Apter, M.J., & Svebak, S. (1982). Color preference, arousal, and the theory of psychological reversals. *Motivation and Emotion,* **6** (3), 193-215.

Wandell, B.A., (1999). Computational neuroimaging of human visual cortex. *Annual Review of Neuroscience*, **22** (1), 145-173.

Weale, R.A. (1953). Spectral sensitivity and wave-length discrimination of the peripheral retina. *Journal of Physiol.* **119** (2-3), 170-190.

Wertheim, A.H. (2010). Visual conspicuity: A new simple standard, its reliability, validity and applicability. *Ergonomics*, **53** (3), 421-442.

Westerman, S.J., Sutherl, E.J., Gardner, P.H., Metcalfe, R., Nash, J., Palframan, S., & Woodburn, N. (2012). Ecommerce Interface Colour and Consumer Decision Making: Two Routes of Influence. *Color Research and Application*, **37** (4), 292-301.

Wiedemann, D., Burt, D. M., Hill, R. A., & Barton, R. A. (2015). Red clothing increases perceived dominance, aggression and anger. *Biology Letters*, **11** (5), 20150166.

Wilms, L., & Oberfeld, D. (2017). Color and emotion: effects of hue, saturation, and brightness. *Psychological Research*, **82**, 896-914.

Wilson, G.D. (1966). Arousal properties of red versus green. *Perceptual and Motor Skills*, **23**, 942-949.

Wyszecki, G., & Stiles, W.S. (1982). Heterochromatic brightness matching of complex stimuli. *Color Science, 2nd Edition*, 410-420, New York: John Wiley and Sons.

Xia, T., Qi, Z., Shi, J., Zhang, M., & Luo, W. (2018). The early facilitative and late contextual specific effect of the color red on attentional processing. *Frontiers in Human Neuroscience*, **12**, 224.

Xie, H., & Fairchild, M.D. (2023). Deriving and dissecting an equally bright reference boundary. *Optics Express*, **31** (10), 15637-15652.

Yi, J.H., & Jeon, J. (2022). A study on color conspicuity and color harmony of wayfinding signs according to outdoor environment types. *Color Research and Application*, **47** (6), 1217-1241.

Yoshida, M., Itti, L., Berg, D.J., Ikeda, T., Kato, R., Takaura, K., White, B.J., Munoz, D.P., & Isa, T. (2012). Residual attention guidance in blindsight monkeys watching complex natural scenes. *Current Biology*, **22** (15), 1429-1434.

Young, S. G., Elliot, A. J., Feltman, R., & Ambady, N. (2013). Red enhances the processing of facial expressions of anger. *Emotion*, **13** (3), 380-384.

Zeki, S., & Bartels, A. (1999). The clinical and functional measurement of cortical (in)activity in the visual brain, with special reference to the two subdivisions (V4 and V4 alpha) of the human colour centre. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **354**, 1371-1382.

Zhang, M., Gong, R., Deng, R., & Zhang, A. (2022). The effect of color coding and layout coding on users' visual search on mobile map navigation icons. *Frontiers in Psychology*, **13**, 1-14.

Zuo, Y., Qi, J., Fan, Z., Wang, Z., Xu, H., Wang, S., Zhang, N., & Hu, J. (2023). The influence of target layout and target graphic type on searching performance based on eye-tracking technology. *Frontiers in Psychology*, **14**, 1-10.

参考文献

Takata, R., & Katayama, I. (2023). Effects of angular distances between colour stimuli on colour conspicuity. *Journal of the International Colour Association*, **34**. 1-11.

日本色彩学会 (2011). 新編色彩科学ハンドブック 第3版. 財団法人東京大学出版会.