



注意の誘導と抑制におけるワーキングメモリの役割

川島, 朋也

(Degree)

博士 (学術)

(Date of Degree)

2018-03-25

(Date of Publication)

2019-03-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第7232号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1007232>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



博士論文

注意の誘導と抑制におけるワーキングメモリの役割

平成 30 年 1 月

神戸大学大学院国際文化学研究科

川島 朋也

目次

第1章 序論	1
1.1. 選択的注意	1
1.2. 視覚探索	4
1.3. 視覚探索を誘導するボトムアップの要因とトップダウンの要因.....	8
1.4. ワーキングメモリと視覚探索	12
1.4.1. ワーキングメモリと選択的注意.....	12
1.4.2. 注意を誘導するワーキングメモリ表象の状態.....	16
1.5. 視覚探索における妨害刺激の抑制.....	19
1.6. 本論文の目的と実験研究の構成.....	23
第2章 ボトムアップの注意とトップダウンの注意の関係性.....	27
2.1. 研究の目的	27
2.2. 実験1.....	27
2.2.1. 方法.....	27
2.2.2. 結果.....	30
2.2.3. 考察.....	32
2.3. 実験2.....	33
2.3.1. 方法.....	33
2.3.2. 結果.....	34
2.3.3. 考察.....	35
第3章 ワーキングメモリの処理と注意制御.....	37
3.1. 研究の目的	37
3.2. 実験3.....	38
3.2.1. 方法.....	38
3.2.2. 結果.....	41
3.2.3. 考察.....	44

第4章 注意制御の学習と処理過程.....	47
4.1. 研究の目的	47
4.2. 実験4.....	48
4.2.1. 方法.....	48
4.2.2. 結果.....	50
4.2.3. 考察.....	52
第5章 妨害刺激抑制の視覚探索処理過程.....	55
5.1. 研究の目的	55
5.2. 実験5.....	57
5.2.1. 方法.....	57
5.2.2. 結果.....	59
5.2.3. 考察.....	60
5.3. 実験6.....	61
5.3.1. 方法.....	61
5.3.2. 結果.....	64
5.3.3. 考察.....	68
5.4. 実験7.....	69
5.4.1. 方法.....	69
5.4.2. 結果.....	70
5.4.3. 考察.....	72
第6章 総合考察	77
6.1. 結果のまとめ.....	77
6.2. 視覚探索における注意誘導モデルの提案.....	79
6.3. 今後の展望	81
6.3.1. 長期記憶による注意の誘導	81
6.3.2. 複数のワーキングメモリ表象による注意の誘導.....	83
6.3.3. ワーキングメモリ容量の個人差と注意制御.....	84
6.3.4. 教示の方法.....	85

6.3.5. アイロニック処理.....	85
参考文献.....	87
付表.....	109
博士論文にかかわる業績一覧.....	136
謝辞.....	138

第1章 序論

1.1. 選択的注意

我々が生活する環境は複雑に構成されており，その中の必要な情報に注意を向ける必要がある。ヒトの情報処理には容量限界があり，すべての情報を一度に処理することはできない。ヒトが適応的に日常生活を送るために，必要な情報を選択し，不要な情報を排除する選択的注意の機能が重要となる。例えば，スーパーでリンゴを購入したいとする。スーパーには数多くの商品が並んでいるが，すべての情報を一度に処理することはできない。イルミネーションで装飾された商品の広告 POP など，注意は環境中の目立つものに惹きつけられる。しかし，リンゴを購入するという行動目的を達成するためには，注意は顕著な情報ではなく目下の課題に関連する情報に向けられる必要がある。このように，注意を制御することは行動上の目的を達成するうえで重要である。このことについて，Klein & Lawrence (2012) は，すべての生体は環境中の情報を収集し，目的に応じた行動をとっているが，情報を処理することはエネルギーを消費するコストのかかる行動であるため，目的により強く関連する信号に優先して処理資源を割り当てていると指摘している。

選択的注意は 50 年以上にわたっての注意研究の主要なテーマである。第 2 次世界大戦中に，人々は複数の情報にしたがって行動する能力には限界があることに気づく。例えば，パイロットはコックピットに呈示される視覚情報やラジオを通して流される音声情報などの複数の情報を同時にモニタリングしなければならないが，すべてを処理して行動することは不可能だった。この問題について，当時は心理学的な説明を与えることができなかったものの，これをきっかけとしてヒトの注意研究が進んだ (Style, 2006)。

注意研究の初期では，選択的注意という情報選択機構が情報処理の初期段階で作用するのか (初期選択説)，それとも情報を取り入れたのちに選択が作用するのか (後期選択説) という議論が展開された。両耳分離聴課題 (dichotic listening task) を用いた研究により，注意による情報の選択が処理のどの段階で生じるかが議論された。この課題では，左右のヘッドホンに異なる音声呈示される。このとき実験参加者は，片方の耳からの音声に注意し追唱 (シャドーイング) することが求められた。Cherry (1953) は，実験参加者は注意を向けていない耳に呈示された音声の物理的特徴の変化 (e.g., 男女の声の変化) には気づくものの，内容の意味的な変化にはほとんど気づかないことを示した。この結果は，注意を向けて

いない音声は物理的特性以上の処理がなされないことを示し、注意の選択は処理の初期段階で起こるとする初期選択説につながる。Broadbent (1958) は注意のフィルター説を提唱した。このモデルでは、刺激の物理的特性の処理が終わる初期の段階でフィルターがはたらき、特定の情報は選択され内容の処理がなされるが、残りの情報は初期の段階で排除されると説明される。

一方で、初期選択説に合致しない実験結果が示されるようになった。Moray (1959) は、注意を向けていない耳に実験参加者の名前を呈示し、続いて追唱を止めるように教示する音声を流すと、約 3 分の 1 の試行で実験参加者はこれに気づいたことを示した。この結果は、情報の選択は意味情報の処理の段階で起こっていることを示し、後期選択説と合致する (Deutsch & Deutsch, 1963)。その後、視覚処理の初期の段階で注意の影響が認められることがサルの生理学的研究から明らかとなったことを受けて (Moran & Desimone, 1985)、現在では注意は初期段階から視覚情報処理を修飾することで意見の一致を見ている (Moore & Zirnsak, 2017)。この一連の研究は、注意は複数の情報が同時に入力される場合における情報の取捨選択に重要な役割を果たしていることを示している。

注意の移動は空間手がかり課題によって定量化される。課題遂行に必要な反応時間を指標としたものとして損失利得法が開発された (Posner, 1980; Posner, Cohen, & Rafal, 1982)。この手法では、画面中央の注視点の左右に呈示された枠のいずれかがフラッシュし (周辺手がかり)、次いで標的刺激が出現する。このとき、周辺手がかりの位置と標的刺激の出現位置の一致性が操作された。一致試行では周辺手がかりの位置が標的刺激の出現位置を正しく示す。不一致試行では周辺手がかりの位置と異なる位置に標的刺激が出現する。中立試行では両側の枠がフラッシュする。反応時間の分析の結果、一致試行の反応時間が中立試行よりも短くなるという反応時間の利得効果 (ベネフィット)、および不一致試行の反応時間が中立試行よりも長くなるという反応時間の損失効果 (コスト) が認められた。この結果は、一致試行では注意が標的刺激の出現する位置に移動していたために標的刺激の検出が促進され、不一致試行では移動していた注意を再び移動する必要があるために標的刺激の検出が遅延したと解釈される。

注意がどのような対象に向けられ情報が処理されるかについて、刺激選択における自動的な処理と能動的な処理が区別されて検討されている。周辺手がかりは注意を自動的に移動させる。周辺手がかりの妥当性が低い場合、フラッシュした枠に注意を向けることは標的刺激の検出が遅延することになり、課題の遂行を妨害する。しかし、フラッシュする枠が

課題を妨害するという事前知識があるにもかかわらず、周辺手がかりの妥当性が低い場合でも反応時間のコストが認められた (Jonides, 1981; Lambert, Spencer, & Mohindra, 1987; Müller & Humphreys, 1991)。この結果は、観察者の意図や予測によらず注意が自動的にある空間位置に捕捉されたことを示す。このような、意図に反して注意が自動的に移動する性質の注意制御のことをボトムアップの注意制御 (外発的注意制御, 刺激駆動性の注意制御) という。

刺激選択における注意の能動的な処理を示すものとして、Posner (1980) の課題では、矢印などの記号によって標的刺激の出現位置との関係性を操作する中心手がかり法を用いた検討がなされた。中心手がかり法において、手がかりが標的刺激の位置を予測する正しさを操作し実験参加者に教示した。その結果、正しさが 50 % のときと比べ、正しさが低いときは反応時間のベネフィットとコストが小さくなり、正しさが大きいときはベネフィットとコストが大きくなった。この結果は、注意が向けられる空間位置が意図的に制御されていたことを示す (Leber & Egeth, 2006)。このように、意図によって注意を移動させる性質の注意制御のことをトップダウンの注意制御 (内発的注意制御, 目的指向性の注意制御) という。以上のように、注意は自動的・能動的に情報を選択する処理過程を示す。

空間的な特性だけでなく、非空間的な特性も注意選択に用いられる。このことは空間的な手がかりに対して、課題関連の刺激の特徴の手がかりである注目手がかりを実験参加者に教示する課題によって検討されてきた (Egeth, Virzi, & Garbart, 1984; Green & Anderson, 1956; Laarni, 1999; Theeuwes & Van der Burg, 2007; Vickery, King, & Jiang, 2005; Wolfe, Horowitz, Kenner, Hyle, & Vasan, 2004; Williams, 1966)。Green & Anderson (1956) は 60 個の数字をスクリーンに呈示し、実験参加者にその中から特定の数字がどこに呈示されているかを報告することを求めた。数字は赤色と緑色で表示された。このとき、手がかりとして事前に数字の色を実験参加者に教示する構え (set) 条件と事前に数字の色を実験参加者に教示しない構えなし (non-set) 条件が設けられた。実験の結果、スクリーン上に呈示される教示された色の数字が少ない場合ほど、構え条件の平均反応時間は構えなし条件の平均反応時間より短かった。この結果は、事前に与えられた標的刺激の色情報に基づいて、実験参加者は探索項目の中から手がかりと一致する刺激に注意をトップダウンに制限できることを示している。また、位置に基づく注意と特徴に基づく注意の違いとして、特徴に基づく注意は視野全体にその効果が及ぶ (Maunsell & Treue, 2006; Rossi & Paradiso, 1995; Saenz, Buraças, & Boynton, 2003)。Rossi & Paradiso (1995) の課題では、中心でガボール刺激の空間周波数または方位を弁別しながら、周辺に出現するガボール刺激の検出を行う必要があった (全試行の 3 分の

1)。結果、周辺に出現するガボール刺激の検出感度は、中心に出現するガボール刺激と類似するほど高かった。この結果は、特徴に基づいた注意は視野全体に影響することを示す。

1.2. 視覚探索

視覚探索とは、ある特定の刺激（標的刺激）を複数の刺激（妨害刺激）の中から探すことで、視覚的注意研究で広く用いられている実験パラダイムである（Chan & Hayward, 2013; Eckstein, 2011; 横澤・熊田, 1996）。我々は日常生活の多くの場面で視覚探索を行なっている。例えば、冷蔵庫の中から牛乳を探したり、スマートフォンに表示される数多くのアイコンの中から実行したいアプリのアイコンを探したりしている。視覚探索を用いた実験研究により、視覚画面の刺激特性によるボトムアップの要因や観察者の意図によるトップダウンの要因が選択的注意の処理に影響を与えることが示されている。

視覚探索課題を用いた初期の研究によって、標的刺激が容易に検出できる探索と検出に時間のかかる探索があることが示された。特徴探索（feature search）条件では、標的刺激が妨害刺激に対して単一の特徴によって定義される。例えば垂直線分を探索する課題において、同時に呈示される妨害刺激がすべて平行線分である場合である。一方の結合探索（conjunction search）条件では、標的刺激が妨害刺激に対して複数の特徴の結合によって定義される。例えば黒色の垂直線分を探索する課題において、同時に呈示される妨害刺激が白色の垂直線分や白色の平行線分、そして黒色の平行線分である場合である。両条件の視覚探索の違いは探索効率の点から議論される。探索効率は視覚探索画面に呈示される刺激の総数（セットサイズ）に対する標的刺激検出にかかる反応時間の探索関数によって算出される。特徴探索条件では、セットサイズによらず反応時間はほぼ一定になり、探索関数の探索勾配はゆるやかなものとなる。このような場合、標的刺激が「ポップアウト」といい、探索は効率的であると評価される。一方、結合探索条件では、セットサイズの増加に伴い反応時間が増大し、探索勾配は急峻なものとなる。このように、結合探索は特徴探索と比べて一般的に探索効率が悪い。

Treisman & Gelade（1980）は特徴統合理論を提案し、視覚探索で認められる現象の説明を試みた。特徴統合理論では特徴探索と結合探索における注意処理過程を以下のように説明する。特徴探索では前注意処理によって特徴を検出することが標的刺激の検出に十分であることから、視覚探索は並行処理で実行される。一方の結合探索では特徴を統合するために

注意の焦点化が必要であることから、視覚探索は逐次処理で実行される。特徴統合理論では、特徴マップに基本的な特徴（色、方位、形）が並行処理で符号化されるために、単一の特徴で定義される特徴探索では特徴マップに基づいて標的刺激を検出できると説明する。一方、複数の特徴を結合した情報をオブジェクトファイル (Kahneman & Treisman, 1984) に格納し、記憶との照合を行うためには注意の焦点化が必要となることから、結合探索では刺激の系列的な処理を必要とすると説明する。

特徴統合理論は、単一の特徴で標的刺激が定義されるかどうかという刺激特性が視覚探索の処理形態を決定しうることを説明した。特徴統合理論では、標的刺激が見つかるまでランダムに注意が移動することで逐次探索がなされると説明するが、結合探索において注意がどの刺激に向けられるかの説明は十分になされていない (横澤・熊田, 1996)。また、特徴統合理論では、前注意処理と焦点化注意処理が厳密に区分され、そのために探索は効率的なものとは非効率的なものに大別される。しかし、探索効率は効率的なものから非効率的なものまで連続的であることが示されており (Wolfe, 1998)、この点も特徴統合理論では十分に説明できない (Chan & Hayward, 2013)。

その中で、ボトムアップの情報とトップダウンの情報が組み合わさった活性化マップにしたがって注意が移動するという誘導探索モデルが提唱された (Cave & Wolfe, 1990; Wolfe, 1994, 2014; Wolfe, Cave, & Franzel, 1989; Wolfe & Horowitz, 2017)。ボトムアップの情報は、それぞれの特徴が並列処理されて特徴マップを形成する。トップダウンの情報は、この特徴マップにおける標的刺激と一致した特徴を加重する。このようにして位置に対応する活性化マップが形成される。注意はこの活性化マップの活性度が高い順に移動する。

このようなボトムアップの情報とトップダウンの情報が組み合わさって注意の移動に影響するという考えは、近年の神経科学的研究からも支持されている (Baluch & Itti, 2011; Fecteau & Munoz, 2006; Itti & Koch, 2000, 2001; Katsuki & Constantinidis, 2014; Koch & Ullman, 1985; Ptak, 2012; Serences & Yantis, 2006)。このモデルでは、ボトムアップの情報とトップダウンの情報が優先マップを形成する情報処理を以下のように説明する (Figure 2.1; Vaele, Hafed, & Yoshida, 2017)。視覚入力はいずれも並列処理され、低次レベルの特徴（輝度、色、方位、運動）が分析され、特徴ごとに顕著性が分析される（特徴マップ）。この特徴マップは一次視覚野で形成される (Li, 2002; Zhang, Zhaoping, Zhou, & Fang, 2012)。次にこの特徴マップが足し合わされた顕著性マップが計算される。この顕著性マップは視覚刺激によるボトムアップ情報のみによって形成される。顕著性マップは上丘 (Kustov & Robinson, 1996; White, Kan,

Levy, Itti, & Munoz, 2017) や視床枕 (Shipp, 2004) で形成される。この顕著性マップに対して、行動の目標によるトップダウンの情報が組み合わさって優先マップが形成される。この優先マップは前頭眼野 (Purcell, Schal, Logan, & Palmeri, 2012; Thompson & Bichot, 2005) で形成される。ここでは、この優先マップでもっとも賦活が高いものに対して注意が向けられるという勝者総獲得 (winner-take-all) の様相を示す。

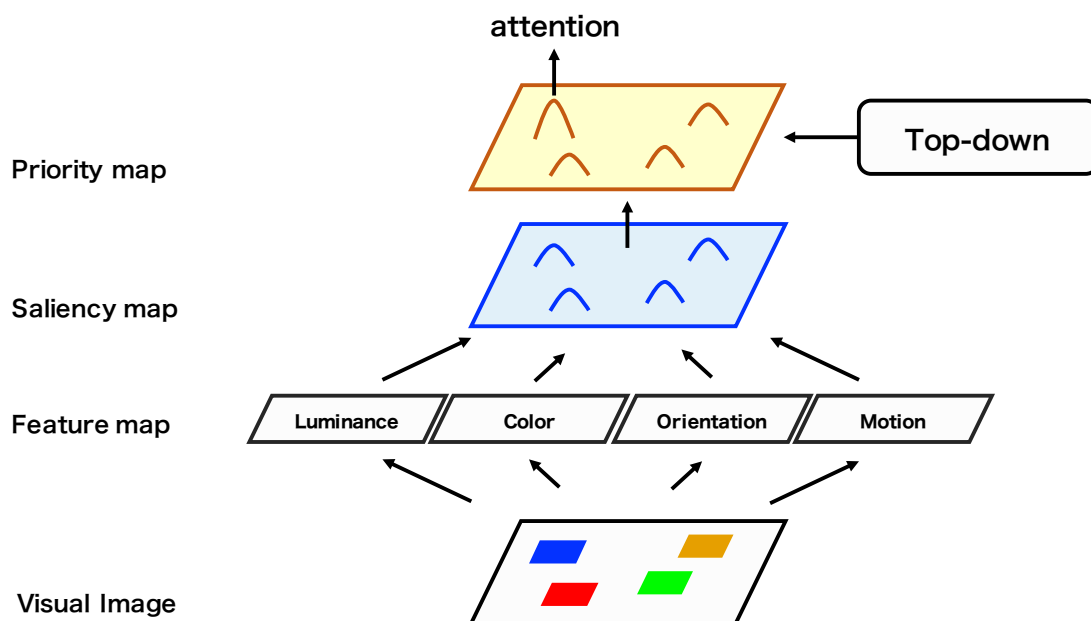


Figure 2.1. Model of visual attention (This figure is modified from figure 1 of Vaele, Hafed, & Yoshida, 2017). Priority map integrates bottom-up and top-down factors to determine the locus of attention. Attention is deployed toward the location with the most activated area in the priority map. This figure is an example where observers have prior knowledge that the target is blue.

視覚的注意がボトムアップの情報とトップダウンの情報に基づいて誘導されることについて、Bundesenが提案する視覚的注意理論 (theory of visual attention: TVA) では計算論的な説明が与えられた (Bundesen, 1990; Bundesen & Habekost, 2008; Bundesen, Habekost, & Kyllingsbæk, 2005; Bundesen, Vangkilde, & Petersen, 2015)。TVAは視覚刺激の選択・符号化について記述した注意の計算論的モデルである。特定の刺激カテゴリ i に属している視覚刺激 x が視覚的短期記憶に符号化される確率は以下の式で記述される。

$$v(x, i) = \eta(x, i) \beta_i \frac{w_x}{\sum_{z \in S} w_z} \quad (1)$$

式 (1) は以下の3つの項で構成される。第1項の $\eta(x, i)$ は視覚刺激 x が特定の刺激カテゴリ i に属している感覚信号のエビデンスを示す。第2項の β_i は視覚刺激 x が特定の刺激カテゴリ i に属していると判断する知覚意思決定のバイアスを示す。 w は視覚刺激への注意の重みづけを示す。式 (1) の第3項は、ある視覚刺激 x の重みづけを視覚画面 S に呈示されている全ての視覚刺激の重みづけで除したものである。この重みづけ w について、Bundesen (1990) は以下のように記述している。

$$w_x = \sum_{j \in R} \eta(x, j) \pi_j \quad (2)$$

ここで、 $\eta(x, j)$ は、刺激 x がすべてのカテゴリ R の中のカテゴリ j に属している確率を示している。 π_j はカテゴリ j の適切性 (pertinence) を示している。課題に関連した項目 (標的刺激) は妨害刺激よりも高い適切性の値をもつ。例えば、観察者が赤いオブジェクトを探している場合、赤カテゴリの適切性の値は高くなる。式 (2) から示されるように、注意の重みづけは適切性の加算で算出される。近年、刺激の局所的な特徴コントラストの強さ K_x を項に含めた式 (3) が提案された (Nordfang, Dyrholm, & Bundesen, 2013)。

$$w_x = K_x \sum_{j \in R} \eta(x, j) \pi_j \quad (3)$$

式 (3) は注意の重みづけはボトムアップの要因 (特徴コントラスト) とトップダウンの要因 (特徴の関連性) の要因から導出されることを示す。このように、TVA は刺激に対する適切性をもとに注意の重みづけが算出され、視覚刺激が選択されると提案する。

以上のように、視覚探索は刺激の物理的特徴によるボトムアップの要因と、観察者の意図によるトップダウンの要因によって誘導されることが議論されてきている。誘導探索モデルの提唱以降、注意はボトムアップの要因が優勢にはたらい注意の配分を決定するのか、それともトップダウンの要因が優勢にはたらくのかについて議論が展開されている。次節では、視覚探索を誘導するボトムアップの要因とトップダウンの要因について対立する知見をまとめる。

1.3. 視覚探索を誘導するボトムアップの要因とトップダウンの要因

ボトムアップの注意制御の考えでは、注意は環境中のもっとも目立つ刺激に向けられる。これを調べる方法の 1 つに追加シングルトン法がある (Simons, 2000; Theeuwes, 1992)。Theeuwes (1992) は視覚探索課題を用いて注意の向かう対象を検討した。Theeuwes (1992) の課題では、実験参加者は円環状に配置された菱形の中から緑色の円を検出し、その中の線分の傾きを報告することが求められた。妨害刺激なし条件では、菱形はすべて緑色だった。一方の妨害刺激あり条件では、菱形のうちの 1 つが赤色だった (シングルトン)。この事態では目立つ赤色の円刺激は課題に非関連であるため (e.g., シングルトンが標的刺激となることはない)、実験参加者はこれを無視する必要がある。もし実験参加者が完全に目的にしたがって注意を制御できるのであれば、シングルトンを選択することはない。しかし、実験の結果、妨害刺激なし条件に比べて妨害刺激あり条件の反応時間に遅延が認められた。この結果は、標的刺激を選択する前に、色シングルトン妨害刺激に注意が配分されたことを意味する。Theeuwes (1992) は、妨害刺激あり条件では注意が顕著な妨害刺激に自動的に引きつけられ、注意を解放して再び標的刺激に注意を向ける必要があるために課題の遂行が遅延したと解釈した。

Theeuwes (1992) は妨害刺激の顕著性を操作し、顕著性が視覚的注意の配分に与える影響を検討した。緑色の菱形のうち 1 つが赤色の顕著性の高い条件に加えて、顕著性の低い妨害刺激あり条件として菱形のうちの 1 つが黄緑色の事態が設けられた。この事態では、妨害刺激が赤色の事態と比べて物理的な目立ちやすさは低い。実験の結果、妨害刺激の顕著性が低い場合は妨害刺激なし条件と反応時間の差は認められなかった。この結果は、物理的に目立つ刺激が存在すると注意は自動的に捕捉されるが、刺激の顕著性が低い場合はその注意捕捉が生起しにくいことを示している。このように、顕著性の高い刺激が視覚場面に出現した場合、注意は意図によらず自動的にその顕著性の高い刺激に捕捉される (Theeuwes, 1992, 2010; Theeuwes, Olivers, & Belopolsky, 2010; Van der Stigchel, Belopolsky, Peters, Wijnen, Meeter, & Theeuwes, 2009)。

Hickey, McDonald, & Theeuwes (2006) は脳波の N2pc 成分を用いて注意が顕著な刺激へ向けられていることを示した。N2pc 成分とは、刺激の呈示約 200 から 300 ms 後に刺激の呈示位置と対側半球の後頭で認められる陰性電位のことを指す (Luck, 2014a; Luck & Hillyard, 1994)。Hickey et al. (2006) は円環状に配置された円の中から菱形を検出する視覚探索課題

を遂行中の実験参加者の脳波を計測した。妨害刺激が出現しない事態では、N2pc は標的刺激によって誘発された。赤色の円が標的刺激とは対側に出現する事態では、標的刺激による N2pc が誘発される前に妨害刺激による N2pc が認められた。この結果は、標的刺激に注意が配分される前に顕著な妨害刺激へ注意が配分されていたことを示している (Hickey et al., 2006; Hickey, van Zoest, & Theeuwes, 2010)。

ボトムアップの注意制御の考えでは、視覚処理は初期の前注意処理段階と後期の選択処理段階の 2 段階に分けられる (Theeuwes, 2010)。初期段階では、視覚環境中のすべての情報が並列的に処理される (容量限界のない処理)。後期段階では、初期段階で処理された一部の情報を選択的に処理する (容量限界のある処理)。このような、一部の情報が選択されてより詳細な処理がされるという考えは従来から存在した (Broadbent, 1958; Treisman & Gelade, 1980)。ここで、ボトムアップの注意制御の考えでは、後期段階で処理されるかどうかは顕著性に依存すると説明する。

一方のトップダウンの注意制御の考えでは、注意は意図的に制御できる。Folk, Remington, & Johnston (1992) は手がかりの種類と観察者の構えを操作し、注意は観察者の構えと一致したものに捕捉されるという随伴性注意捕捉 (contingent attentional capture) を報告した。出現手がかりでは、1 か所のみ到手がかりが出現した。一方の色手がかりでは、4 か所に手がかりが出現するが、1 か所の手がかりの色が他と異なるものだった。ここで、両者の手がかりはほかの刺激と比べて目立ちやすいという点で顕著性は高い。また課題には 2 種類あった。出現標的課題では、実験参加者は 4 か所の位置のうち 1 か所に出現した刺激が「X」か「=」かを答えた。色標的課題では、4 か所の位置すべてに刺激が出現するが、特定の色の刺激を探索し、その刺激が「X」か「=」かを答える必要があった。つまり、出現標的課題では出現する異物を探索する構えが生成され、一方の色標的課題では色の異物を探索する構えが生成される。実験の結果、出現標的課題では出現手がかりの不一致試行の方が一致試行よりも反応時間が遅延したが、色手がかりの一致性による反応時間の差は認められなかった。一方の色標的課題では、出現手がかりの一致性による反応時間の差は認められなかったが、色手がかりの不一致試行の方が一致試行よりも反応時間が遅延した。この結果は、刺激の顕著性ではなく観察者の意図によって生成された構えと一致する刺激に注意が向けられると解釈された (Folk et al., 1992; Folk, Remington, & Wright, 1994)。

トップダウンの注意制御の考えを支持するものとして、妨害刺激の効果は標的刺激と類似しているときの方が大きいという類似性効果 (similarity effect) が知られている (Ansorge

& Heumann, 2003, 2004; Becker, Ansorge, & Horstmann, 2009; Ludwig & Gilchrist, 2003)。Ansorge & Heumann (2003) は妨害刺激が標的刺激に先行して呈示される課題において、妨害刺激と標的刺激の出現位置の空間的な一致性に加え、妨害刺激と標的刺激の色の類似性を操作した。類似条件では標的刺激の色と妨害刺激の色が類似していた (e.g., 標的刺激は緑色で妨害刺激は黄緑色)。非類似条件では標的刺激の色と妨害刺激の色は異なる色カテゴリだった (e.g., 標的刺激は緑色で妨害刺激は黄色がかった赤色)。実験の結果、妨害刺激と標的刺激の位置が一致しているときの反応時間は類似条件の方が非類似条件よりも短かった。ここで、刺激の顕著性は類似条件と非類似条件で差はない。したがって、この結果は構えと一致した刺激に注意が割り当てられるというトップダウンの注意制御の考えと整合する。

このように、注意が環境中の顕著な刺激に自動的に捕捉されるのか、それとも注意が向けられる対象は観察者の構えによる制御に基づくのかについての議論が行われてきた。ボトムアップの要因とトップダウンの要因の二分法の考えは、それぞれの要因が注意制御に与える影響を考えるうえで有用な概念であるが、注意制御の機構を十分に説明できていない (Awh, Belopolsky, & Theeuwes, 2012)。例えば、Awh et al. (2012) はボトムアップの要因とトップダウンの要因の他に、プライミング (Maljkovic & Nakayama, 1994)、報酬の履歴 (Anderson, Laurent, & Yantis, 2011)、標的刺激が出現する文脈 (Chun & Jiang, 1998) を挙げ、これらが統合された優先マップによって注意は制御されると提唱する。この考えでは、注意は単純なボトムアップの要因とトップダウンの要因から駆動されるものではない。また、河原・横澤 (2015) が指摘するように、注意制御におけるボトムアップの要因とトップダウンの要因による二分法の議論では注意制御機構に関しての統合的な説明を得ることは難しく、かつこの議論は顕著性と構えの要因の連続体の両端を検証している。検証の方法論においても、ボトムアップの注意制御を検証する場合は刺激の顕著性のみを操作し、トップダウンの注意制御の場合は構えの有無のみを操作している (Lamy, Leber, & Egeth, 2012)。したがって、顕著性と構えの両者の相互作用によって注意制御がどのように規定されるかについては言及できていない。

注意制御の神経基盤に関する研究において、ボトムアップの注意制御とトップダウンの注意制御は分離した神経基盤によって担われていることが示されている。腹側注意ネットワークが関与するボトムアップの注意制御は低次の刺激特徴による注意の捕捉に関連し、背側ネットワークが関与するトップダウンの注意制御は課題関連刺激への能動的な注意処理に関連する (Corbetta & Shulman, 2002, 2011; Corbetta, Patel, & Shulman, 2008; Fox, Corbetta,

Snyder, Vincent, & Raichle, 2006)。Corbetta et al. (2008) は周辺手がかり課題と中心手がかり課題を用いてボトムアップの注意制御とトップダウンの注意制御を分離した。彼らによると、ボトムアップの注意制御は視覚野から頭頂間溝、そして前頭眼野へ向かう経路と、右側側頭頭頂接合部から右側腹側前頭回および前頭皮質を通して右の中前頭回へ向かう経路によって行われる（腹側前頭-頭頂ネットワーク）。一方のトップダウンの注意制御は、両前頭眼野から両頭頂間溝を取って視覚野に向かう経路と、右腹側前頭回、右腹側前頭回、前頭および側頭頭頂接合部へ向かう経路によって行われている（背側前頭-頭頂ネットワーク）。このように、ボトムアップの注意制御とトップダウンの注意制御は異なる神経基盤をもつ。しかし近年、それらは協調してはたらくことが示されてきている（Buschman & Kastner, 2015; Miller & Buschman, 2013; Ptak, 2012; Yantis, 2005）。Buschman & Kastner (2015) は、外側前頭前皮質が特徴の、前頭眼野および外側頭頂間溝が優先的に処理する空間位置への重みづけをトップダウンに行い、それらとボトムアップの刺激入力との相互作用が注意の割り当てを決定すると論じている。

ボトムアップの注意制御とトップダウンの注意制御は排他的な関係ではなく、相互作用して機能することはニューロンの活動からも示されている（Connor, Egeth, & Yantis, 2004; Melloni, van Leeuwen, Alink, & Müller, 2012; Ogawa & Komatsu, 2006）。Ogawa & Komatsu (2004) は形の異なる刺激（形の探索）もしくは色が異なる刺激（色の探索）に眼球を動かさず課題をサルーが遂行しているときの V4 ニューロン活動を記録した。その結果、V4 受容野に同一の刺激が出現しても、その発火強度は形の探索もしくは色の探索のいずれか一方でのみ増大した。この結果は、特定のトップダウンの注意制御とボトムアップの注意制御が組み合わさった場合にニューロン活動が変化したことを示しており、両者の注意制御が相互作用することを示唆している。

このようにボトムアップの要因とトップダウンの要因のどちらが注意の向かう対象を決定するのかという二分法的な議論では十分ではなく、両方が注意制御にかかわっており、どのような場合にどちらの要因が優勢になるのかといった議論が必要だといえる。つまり、ボトムアップの注意制御とトップダウンの注意制御を排他的に扱うのではなく、両者が課題に応じて関与しうるととらえ、どのようなときに注意がある刺激へ向けられるかを説明する必要がある。その中で、Fellrath, Manuel, & Ptak (2014) は顕著性と構えとの関連性を同時に操作した。彼らは中央に特定の色（e.g., 青）の標的刺激が出現したときのみキーを押すことを求める Go/No Go 課題を実験参加者に課した。標的刺激が出現する直前に、左右いずれ

かに妨害刺激が呈示された。ここで、妨害刺激は輝度によって顕著性が、色によって関連性が操作された。顕著性が高い事態では輝度は 49 cd/m^2 で、顕著性が低い事態では輝度は 9 cd/m^2 だった。関連性が高い事態では色が標的刺激と類似しており (e.g., 水色)、関連性が低い事態では色が標的刺激と異なるカテゴリであった (e.g., 緑色)。反応時間の分析の結果、関連性が高い事態の方が反応時間は短かったが、顕著性による反応時間の差は認められなかった。

Fellrath et al. (2014) は実験刺激の顕著性と構えとの関連性を同時に操作することで、ボトムアップの注意制御とトップダウンの注意制御の相互作用を検討した。ただし、反応時間による行動指標では、トップダウンの注意制御による注意の割り当てを認めたが、ボトムアップの注意制御との相互作用を認めることはできなかった。しかしながら、このパラダイムは、刺激の顕著性もしくは構えとの関連性のどちらか一方のみを操作してきた方法論上の問題 (Lamy et al., 2012) を解決し、注意制御のダイナミクスに迫りうるものだと考えることができる。

1.4. ワーキングメモリと視覚探索

1.4.1. ワーキングメモリと選択的注意の関係

前節まで示したように、視覚探索は視覚環境中の刺激の物理特徴によるボトムアップの要因と、観察者の意図によるトップダウンの要因によって誘導される。このトップダウンの要因による注意の誘導について、観察者が情報を一時的に保持することによって実現される場合がある。先の例でいえば、冷蔵庫から牛乳を見つけ出すためには牛乳に関する情報を思い浮かべながら冷蔵庫に向かうだろう。スマートフォン上からアプリを見つけるためには、アプリのイメージを思い浮かべながらホーム画面をスライドさせるだろう。このような情報の一時的な保持には記憶システムであるワーキングメモリが関与することが示されてきている。

ワーキングメモリは必要な情報を一時的に保持し、操作もしくは処理するメカニズムを含んだシステムである (Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley, 2000, 2012)。Baddeley (2000) は、ワーキングメモリは中央実行系と視空間スケッチパッド、音韻ループおよびエピソードバッファという 3 つの従属システムから構成されるとした。従属システムはそれぞれ一時的な情報の保持の役割を果たし、中央実行系は従属システムが保持する情報を操作する。より

最近のワーキングメモリのモデルでは、短期情報の保持に独立したシステムが関与しているという考えではなく、注意が長期記憶表象の活性化を制御して短期的な情報を使用できる状態にすると説明される (Cowan, 1988, 2008; Oberauer, 2002)。この立場では、注意の焦点化の範囲になっているワーキングメモリ内の 1 項目がその時点での処理の対象となる。

ワーキングメモリに一時的に情報を保持する量には限界がある。Luck & Vogel (1997) は画面上に複数の刺激を呈示し、1 秒間の遅延後に記憶課題を呈示した。記憶課題では刺激の空間的な配置は同じであるが、刺激のうち 1 つの色が変化する場合が設けられた。実験参加者は色の変化の有無を報告することが求められた (変化検出課題)。実験の結果、呈示される個数が 4 個までであれば正答率は高い水準であったが、呈示される個数がそれ以上になると正答率は低下した。この結果は、ヒトがワーキングメモリに情報を保持する量は 4 個までであることを示している。また、この記憶容量には個人差があることが知られている (Luck & Vogel, 2013)。

注意制御には前頭-頭頂ネットワークが関連する (Corbetta & Shulman, 2002, 2011) が、この前頭-頭頂ネットワークはワーキングメモリに情報を保持しているときにも関与する。Gazzaley, Rissman, & D'Esposito (2004) は顔刺激を使った遅延見本合わせ課題を遂行時の脳活動を fMRI によって計測したところ、背側・腹側前頭前皮質と頭頂間溝、視覚皮質を含むネットワークの賦活を認めた。また、Lepsien & Nobre (2006) は顔と風景写真を保持した後にどちらを保持しておくべきかの手がかり (retro-cue) を与え、ワーキングメモリ表象への注意を操作したところ、前頭-頭頂ネットワークの賦活を認めた。すなわち、外部刺激へ注意を向けることと内的に表象されている情報へ注意を向けることには共通の神経ネットワークが使用されている (Kiyonaga & Egner, 2014)。このように、ワーキングメモリ課題と注意課題とで共通した脳活動が認められていることから、ワーキングメモリと注意は神経基盤の一部を共有すると考えられている (Gazzaley & Nobre, 2012; Ikkai & Curtis, 2011)。

このように、ワーキングメモリと注意は処理に共通性が認められるものの、それぞれ異なる処理機構として扱われてきた。注意は視覚環境中に存在する感覚情報 (e.g., 道路の交通状況) を選択的に処理するものとして扱われ、ワーキングメモリは現前しない感覚情報 (e.g., 買い物リスト) を処理するものとして区別されることが多い。しかし、多くの研究がワーキングメモリと注意は関連のある概念であることを示唆している (Awh & Jonides, 2001; Awh, Vogel, & Oh, 2006; Chun, 2011; Theeuwes, Belopolsky, & Olivers, 2009)。近年は双方向的な関係があるとして捉えなおされてきた (Hutchinson & Turk-Browne, 2012)。注意とワーキングメ

メモリは両方向性の関係にあり、注意がワーキングメモリの処理に影響することもあるれば、ワーキングメモリが注意に影響することもある。

注意によって選択された情報が記憶へ転送されるとする記憶の二重貯蔵モデル (Atkinson & Shiffrin, 1968) に代表されるように、注意が記憶を引き起こすと捉えられてきた (Desimone, 1996)。それでは、ワーキングメモリ課題の成績は注意によって変化するだろうか。Karis, Fabiani, & Donchin (1984) は複数の単語を系列的に呈示し ERP (event-related potential: 事象関連電位) を計測した。次いで実験参加者に系列中の単語を自由に再生させた。その結果、記憶課題で再生された単語によって誘発されていた P3 の振幅は忘却されていた単語によって誘発されていた P3 の振幅よりも大きかった。ここで、P3 は標的刺激に関連した情報に割り当てられた注意資源量を反映する (Polich, 2007)。P3 が注意資源の配分量の指標となることから、この結果は割り当てられた注意資源の量が後の記憶課題の成績を決定しうることを示している。なお、P3 は前頭で最大の活動が認められる P3a と後頭で最大の活動が認められる P3b という構成要素からなるが (Polich, 2012)、ここでは P3 を後者の P3b 成分を指す用語として使用する。P3 は前頭と側頭・頭頂領域のあいだの神経回路が活動源であるとされる (Soltani & Knight, 2000)。

一方で、ワーキングメモリに保持した情報が注意の向けられる対象を決定する場合がある。我々が複雑な環境の中から特定の刺激を探索するとき、その刺激の標的テンプレート (target template) がワーキングメモリに保持されていると考えられている (Bundesen, 1995; Bundesen et al., 2005; Desimone & Duncan, 1995; Duncan & Humphreys, 1989; Vickery et al., 2005; Zelinsky & Bisely, 2015)。この考え方によると、内的なテンプレートを用いて課題に関連する項目に注意を向けることができる。内的なテンプレートによって、環境中からの刺激の入力のうち、探索の対象となる刺激と同一の刺激に対して重みづけすることができる。重みづけられた刺激は他の刺激よりも入力の実験的信号の感度が高まり、その結果、探索の対象となる刺激が選択されるとする。

この考えは以下の研究により実験的に確かめられている (Soto & Humphreys, 2014; Soto, Hodsoll, Rotshtein, & Humphreys, 2008; Woodman, Carlisle, & Reinhart, 2013)。例えば Soto, Humphreys, & Rotshtein (2007) は実験参加者に色のついた幾何学図形 (記憶項目) をワーキングメモリに保持することを求めた。試行の最後に記憶テスト項目が呈示され、実験参加者は記憶項目と同じか否かを答えることが求められた (記憶課題)。記憶課題が呈示される前に、複数の垂直線分 (妨害刺激) の中から左右いずれかに傾いた線分 (標的刺激) を検出し、

その傾きを報告するという視覚探索課題が呈示された。つまり、実験参加者は記憶項目をワーキングメモリに保持した状態で視覚探索課題を遂行した。視覚探索課題において、呈示された線分はそれぞれ幾何学図形に囲まれていた。ここで、記憶項目と視覚探索課題時に呈示される幾何学図形の一致性が操作された。すなわち、標的刺激が記憶項目と同一の幾何学図形に囲まれているとき（一致試行）、妨害刺激が記憶項目と同一の幾何学図形に囲まれているとき（不一致試行）、そして記憶項目と同一の幾何学図形が出現しないとき（中立試行）が設けられた。実験の結果、一致試行の反応時間は中立試行よりも短く（ベネフィット）、不一致試行の反応時間は中立試行よりも長くなった（コスト）。この結果は、注意がワーキングメモリ内と一致する刺激に自動的に誘導されたことを示しており、記憶駆動性の注意捕捉（memory-driven attentional capture）と呼ばれる（Hout & Goldinger, 2014; Houtkamp & Roelfsema, 2006; Olivers, Meijer, & Theeuwes, 2006）。この記憶駆動性の注意捕捉は記憶項目に顔刺激（Downing, 2000）や動物等の写真刺激（Moores, Laiti, & Chelazzi, 2003）などの視覚的情報を用いた場合でも認められる。このように、ワーキングメモリに保持された刺激は注意を誘導しうる。

視覚的な表象だけでなく、より抽象的な情報によっても注意は誘導される（Balani, Soto, & Humphreys, 2010; Grecucci, Soto, Rumitani, Humphreys, & Rotshtein, 2010; Soto & Humphreys, 2007; Soto, Rotshtein, Hodsoll, Mevorach, & Humphreys, 2012; Wilschut, Theeuwes, & Olivers, 2014）。Soto & Humphreys (2007) は実験参加者に視覚的なオブジェクト（e.g., 赤い四角形）または単語（e.g., “red square” という単語）を保持しながら視覚探索課題を行うことを求めた。単語をワーキングメモリに保持している場合、記憶課題では呈示される単語が同じかどうかを報告することが求められた。つまり、単語から色情報への視覚的な変換をする必要がなかった。それにもかかわらず、意味的に関連した刺激が視覚探索課題で妨害刺激として出現すると反応時間が遅延した。このように、視覚的に符号化された情報だけでなく言語的に符号化された情報も注意を誘導しうる。Soto & Humphreys (2007) はさらに、視覚的な情報による反応時間のコストと言語的な情報による反応時間のコストに差がないことを示した。この結果は、視覚的な表象と言語的な表象が注意の配分に与える影響は等価であることを示唆している。

これらの研究は実験参加者がワーキングメモリに刺激を保持していることを仮定している。しかしながら、実験事態によっては刺激の保持のされ方が課題を通して一定ではない可能性が指摘されている（Olivers, 2009; Woodman, 2013; Woodman, Luck, & Schall, 2007）。

Woodman et al. (2007) は記憶項目が毎試行変化する条件（変化条件）と変化せずに一定である条件（コンスタント条件）を設けた。変化条件では、記憶項目と同一の刺激が探索画面に出現したときの方が出現しないときと比べて反応が遅延した。一方、コンスタント条件では、記憶項目と同一の刺激が出現しても出現しないときと反応時間の差は認められなかった。この結果は、ワーキングメモリに保持された刺激の状態は課題要求によって変化する可能性を示す。したがって、ワーキングメモリに刺激がどのように保持されているかを直接示すことが必要といえる。

1.4.2. 注意を誘導するワーキングメモリ表象の状態

Vogel & Machizawa (2004) は ERP を用いてワーキングメモリ課題中の神経活動を計測した。彼らは画面上に複数の色のついた四角形を呈示し、実験参加者に注視点から左右いずれかの指示された側に呈示されている刺激を保持することを求めた。この方法は対側コントロール法と呼ばれる (Gratton, 1998)。記憶項目が入力される半球 (e.g., 左視野に呈示された刺激を記憶した場合は右半球) に特異的な神経活動を算出することで、記憶に関係のない他の要因 (知覚反応, 覚醒水準, 反応の準備など) に関する神経活動を除外することができる (坪見, 2013)。ERP の分析の結果, 記憶項目と対側半球において記憶項目の呈示後約 300 ms から持続的な陰性活動 (CDA: contralateral delay activity) が観察された。さらに, 彼らは記憶する刺激の個数が増えるにしたがって CDA が大きくなることを報告した。これらの結果から, CDA はワーキングメモリに刺激を保持していることの指標とされた (Kang & Woodman, 2014; Klaver, Talsma, Wijers, Heinze, & Mulder, 1999; Vogel & Machizawa, 2004)。

CDA は記憶された情報の量的な側面と質的な側面の両方を反映する。CDA は保持する個数にしたがって増大するが, 刺激の大きさや複雑性, 特徴次元の数では変化しない (McCollough, Machizawa, & Vogel, 2007; Luria & Vogel, 2011; Woodman & Vogel, 2008)。一方で Machizawa, Goh, & Driver (2012) は傾いた線分を保持させる記憶課題において, その難易度を操作した。記憶課題において, 15 度の傾きを比較する必要がある条件 (Fine 条件) と 45 度の傾きを比較する必要がある条件 (Coarse 条件) が設けられた。実験の結果, 保持する刺激は同一であるにもかかわらず, Fine 条件でより大きな CDA が観察された。以上の結果から, CDA は特定の課題要求下におけるワーキングメモリ内の情報の状態を評価することができるといえる。この CDA は頭頂間溝 (intraparietal sulcus) が活動源である可能性が指摘されている (Perez & Vogel, 2012)。頭頂間溝の活動は記憶する刺激数に応じて増大し,

かつ記憶容量の個人差と関連することが報告されている (Todd & Marois, 2004; Xu & Chun, 2006)。

Carlisle, Arita, Pardo, & Woodman (2011) は CDA を指標として、ワーキングメモリに保持された刺激が視覚探索に利用されていることを直接示した。彼らは試行の始めに標的刺激を注視点の左右に 100 ms 呈示し、一方が視覚探索課題の標的刺激であるとして実験参加者に注意させた (標的刺激手がかり)。900 ms の遅延後、視覚探索課題が呈示され、実験参加者は標的刺激手がかりと同一の刺激が出現しているか否かをキー押しによって報告することが求められた。実験の結果、標的刺激の手がかりによって CDA が誘発された。さらに、Carlisle et al. (2011) は CDA 振幅と標的刺激の検出にかかった反応時間とのあいだに相関関係があることを報告した。加えて、Woodman & Arita (2011) は CDA 振幅と視覚探索課題の正答率とのあいだに相関関係があることを示した。これらの結果は、ワーキングメモリ内の表象が視覚探索に用いられていることを支持するものである。このように、ワーキングメモリに保持された情報によって視覚探索が遂行されていることが CDA を用いて示されており、後続の研究もこの結果を支持している (Gunseli, Meeter, & Olivers, 2014; Luria, Balabam, Awh, & Vogel, 2016; Reinhart, Carlisle, & Woodman, 2014; Schmidt, MacNamara, Proudfit, & Zelinsky, 2014)。

Gunseli et al. (2014) は記憶課題と視覚探索課題で誘発される CDA を比較し、両課題で表象されているワーキングメモリ内の情報の質に差があるのか否かを検討した。彼らは実験参加者にギャップ図形をワーキングメモリ内に保持することを求めた。記憶課題では、ギャップ図形が 1 つ呈示され、実験参加者は保持したものと同一か否かを判断した。視覚探索課題では、ギャップ図形が 6 つ呈示され、実験参加者は保持したものが出現しているか否かを探索した。その結果、記憶課題によって誘発される CDA と視覚探索課題によって誘発される CDA に差は認められなかった。このことは、記憶課題と視覚探索課題で質的に同等の表象が両課題で使用されていることを示唆する。このように、CDA はある課題要求におけるワーキングメモリ内の情報の状態を評価するうえで有用である。

一方で、記憶駆動性の注意捕捉は完全に自動的ではないことが報告されている (Carlisle & Woodman, 2011, 2013; Dalvit & Eimer, 2011; Dowd, Kiyonaga, Beck, & Egner, 2014; Han & Kim, 2009; Kiyonaga, Egner, & Soto, 2012; Kuo, Chao, & Yeh, 2013; Pan & Soto, 2010; Soto & Humphreys, 2008)。Kiyonaga et al. (2012) はワーキングメモリに保持された色と標的刺激の色が一致する確率を操作し、実験参加者に事前に教示した。確率は 0%, 50%, 100% の 3 水準が設けら

れブロック化された。0%条件では、保持した色が標的刺激となる試行はブロック内に含まれておらず、保持した色は常に妨害刺激と同色であった。50%条件では、保持した色が標的刺激となる試行はブロック内に半数含まれていた。100%条件では、保持した色が常に標的刺激となった。これらの確率は課題を行う前に実験参加者に教示された。つまり、実験参加者は保持する刺激と視覚探索で出現する刺激との関係性を知識として有していた。もし記憶駆動性の注意捕捉が自動的で制御できない性質のものであれば、事前に与えられた情報によらず一定の注意捕捉が認められるはずである。実験の結果、0%条件のコストは50%条件のコストよりも小さく、100%条件のベネフィットは50%条件のベネフィットよりも大きかった。この結果は記憶駆動性の注意捕捉が自動的であるという考えと整合しない。ただし、0%条件においても注意捕捉は完全には消失しなかった。以上の結果から、Kiyonaga et al. (2012) は記憶駆動性の注意捕捉は自動的に生起する側面がある一方で、部分的には注意がどの程度誘導されるかは意図的に制御できると結論した。

Olivers, Peters, Houtkamp, & Roelfsema (2011) は、ワーキングメモリの内容が注意を誘導するか否かを決定するのは、ワーキングメモリに表象されている項目の状態であるというモデルを提案している。彼らのモデルでは、ワーキングメモリ内の項目として、標的テンプレートとアクセス記憶項目 (accessory memory item) が存在することを提案した。標的テンプレートとは視覚探索における標的刺激の表象のことである。標的テンプレートが一致する感覚入力に重みづけをすることで、行動目標と合致する情報が選択される。一方、アクセス記憶項目はワーキングメモリに表象されているものの、遂行中の課題とは関連のない項目であり、視覚における選択にほとんど影響しない。

ワーキングメモリ内の項目の状態によって注意誘導に影響するかが決まるというこの考えは、以下の行動研究が背景にある (Downing & Dodds, 2004; Houtkamp & Roelfsema, 2006)。Downing & Dodds (2004) は実験参加者にワーキングメモリに2つの項目を保持することを求めた。一方のオブジェクトは後続の視覚探索課題において標的刺激になる項目 (標的テンプレート) で、他方のオブジェクトは視覚探索課題の後の記憶課題で照合が求められる項目 (アクセス記憶項目) だった。実験の結果、記憶課題での照合のみが求められたアクセス記憶項目が視覚課題で出現しても注意を干渉しなかった。この結果は、ワーキングメモリに保持された項目は常に注意を誘導するのではなく、どのように表象されているかによって注意が誘導されるかどうか決定されることを示唆するものである。

1.5. 視覚探索における妨害刺激の抑制

行動目標に関連した情報を優先的に処理することに加え、行動目標に非関連な情報の処理を非優先化することも注意の主要な役割の 1 つである。課題非関連な刺激が潜在的に抑制されることが多くの注意研究によって示されてきた。復帰抑制 (Inhibition of return: Klein, 2000; Posner & Cohen, 1984; Posner, Rafal, Choate, & Vaughan, 1985; Samuel & Kat, 2003) は、注意を向けた位置に対して注意の抑制が生じる現象である。典型的には、外発の手がかりを用いた課題において、手がかり位置に呈示された刺激に対する反応時間が記録される。手がかりの呈示から刺激の出現までの SOA (stimulus onset asynchrony) が 300 ms よりも短い場合は手がかり位置での刺激に対する反応時間は短くなるが、それ以降の SOA では手がかり位置での刺激に対する反応時間が遅延する。

このような位置の潜在的な抑制に加え、特徴の潜在的な抑制がネガティブプライミング (negative priming) の現象により示されている (Fox, 1995; Frings, Schneider, & Fox, 2015; Tipper, 1985, 2001; Tipper & Cranston, 1985)。典型的には、実験参加者はそれぞれ異なる色で描画された標的刺激の線画と妨害刺激の線画がオーバーラップした刺激を呈示される。このとき、 n 試行目の標的刺激に対する反応時間は、その標的刺激が $n - 1$ 試行目で妨害刺激として呈示されていた場合に遅延する。このことは、課題非関連な特徴で呈示された妨害刺激の処理が潜在的に抑制されていることを示している。

視覚探索における妨害刺激の抑制は、妨害刺激を先行呈示することによって視覚探索からそれらの妨害刺激が効果的に排除される視覚的印づけ (visual marking) によって検討が進められた。視覚的印づけは、先行呈示された妨害刺激を並列的に抑制することで、新規に呈示された項目を優先的に処理するメカニズムである (Watson & Humphreys, 1997; Watson, Humphreys, & Olivers, 2003)。典型的には、妨害刺激の半数が先行呈示されることによって、先行呈示のない中立条件と比べて探索が効率的になる (先行呈示効果)。先行呈示による利得は、先見画面から後続の探索画面までの時間間隔が 400 ms 以上必要である (Watson et al., 2003)。先行呈示効果のために妨害刺激の呈示と視覚探索の呈示との間に 400 ms 以上の時間間隔が必要であることは、妨害刺激の位置にはじめに注意を向け、その後能動的に抑制されていることを示唆する (Humphreys, Stalman, & Olivers, 2004)。

視覚探索において顕著な刺激が呈示された場合、顕著な刺激への注意の移動が事前の知識によって抑制されることが示されてきている (Burra & Kerzel, 2013; Eimer & Kiss, 2008;

2010; Eimer, Kiss, & Nicholas, 2011; Gaspelin, Leonard, & Luck, 2017; Gaspelin & Luck, 2018; Hilimire & Corballis, 2014; Kiss & Eimer, 2011; Kiss, Jolicœur, Dell'Acqua, & Eimer, 2008)。Burra & Kerzel (2013) はシングルトン (singleton) が出現する視覚探索課題を用い、手がかりを操作することで実験参加者があらかじめ標的刺激の形を知っている事態 (予測可能条件) と知らない事態 (予測不可能条件) を設けた。視覚探索課題には円刺激と菱形刺激が使用された。ここで、シングルトンは周囲とは異なった特徴 (e.g., 色) を持つためにポップアウトして知覚される刺激のことを指す。予測可能条件では視覚探索を行う前に標的刺激の形が円なのか菱形なのかが事前に実験参加者に教示された。予測不可能条件では標的刺激が円であるか菱形であるかはランダムであると教示された。このとき、標的刺激に加えて色の異なるシングルトンが出現した。シングルトンによって誘発される N2pc 成分を分析した結果、予測不可能条件ではシングルトンによって N2pc が誘発されたが、予測可能条件ではシングルトンによる N2pc は認められなかった。Burra & Kerzel (2013) は、事前に標的刺激の特徴を知っていることによってシングルトンへの注意捕捉が抑制されたと結論した。

近年、妨害刺激の特徴を事前に手がかり呈示する視覚探索課題において、妨害刺激の色手がかりを用いて視覚探索課題で出現する妨害刺激を抑制することができるかについて検討が進められている。Woodman & Luck (2007) は、視覚探索に先立って呈示した色が妨害刺激と一致する不一致試行と、視覚探索では出現しない中立試行の 2 条件を設けた。彼らは、先行呈示する色と標的刺激はかならず一致しないことを実験参加者に教示した。その結果、不一致試行の反応時間は中立時間の反応時間よりも短くなることを示した。この結果から、Woodman & Luck (2007) は、無視すべき色の情報を用いてワーキングメモリ内に棄却のためのテンプレート (template for rejection) を構成することで、妨害刺激に注意を向けないようにすることができたと主張する。また、Arita, Carlisle, & Woodman (2012) は視覚探索課題の呈示前に妨害刺激の色を呈示する無視手がかり条件と、視覚探索課題では出現しない色を呈示する中立手がかり条件を設けた。それぞれの試行はブロック化された。視覚探索課題では 12 個の探索項目が円環状に出現し (セットサイズ 12), 2 色で構成された。同色の刺激はグループになるように呈示された。実験の結果、無視手がかり条件の反応時間の方が中立手がかり条件の反応時間よりも短かったことから、Arita et al. (2012) は課題非関連な特徴の情報を用いて注意を妨害刺激に向けないようにできると主張した。これらの結果は、探索の前に呈示される無視手がかりを用いて無視すべき妨害刺激に注意を向けないようにすることができることを示唆する。

無視手がかりの利用の試行内の時間過程を検証した研究によって、無視手がかりは視覚探索の後期段階で有効になることが示されている (Beck, Luck, & Hollingworth, 2017; Han & Kim, 2009; Kugler, 't Hart, Kohlbecher, Einhäuser, & Schneider, 2015; Moher & Egeth, 2012)。Han & Kim (2009) は課題の特性を操作し、無視すべき色の情報が手がかり呈示が視覚探索成績に与える影響を検討した。彼らは標的刺激の弁別性 (ギャップの大きさ: 0.43° vs. 0.57°) を変えることで、標的刺激の検出が容易かどうかを操作した。視覚探索の呈示前に色パッチを呈示し、実験参加者に保持するように求めた。この色パッチは視覚探索課題において標的刺激として出現することはないことが実験参加者に教示された。色パッチが妨害刺激として出現した試行 (不一致試行) と色パッチが出現しない試行 (中立試行) の反応時間の差を分析した結果、標的刺激の弁別性が低く標的刺激の検出に時間がかかる事態では不一致試行と一致試行の反応時間差は認められなかった (1717 ms vs. 1725 ms)。一方で、標的刺激の弁別性が高く標的刺激が容易に検出できる事態では、不一致試行の方が一致試行よりも反応時間が長くなった (1221 ms vs. 1144 ms)。さらに、彼らは中立試行の反応時間によって反応が速い群と遅い群に群分けして分析を行ったところ、反応が速い群では不一致試行の方が中立試行よりも遅く、反応が遅い群では不一致試行の方が中立試行よりも反応時間が早かった。課題に時間がかかるほど手がかりの与えられた妨害刺激を抑制できたことから、Han & Kim (2009) は視覚探索に時間がかかる場合には認知制御がはたらく十分な時間があるために妨害刺激の処理が抑制されたと結論づけた。このような、妨害刺激を抑制するという認知制御の実行には時間を要するという考えは、時間のかかった遅い反応は知識を統合したより複雑な情報に基づいて実行されるという考えと整合するものである (van Zoest, Hout, & Kingstone, 2010)。

Moher & Egeth (2012) は無視する色の手がかりを呈示すると、観察者はその色の特徴をもつ刺激をはじめは選択するが、次いでその刺激を抑制すると説明する。彼らは実験 4 で、視覚探索画面 (セットサイズ 4) が呈示される前に色パッチのプレースホルダを呈示した。プレースホルダの呈示時間は 100 ms , 800 ms , 1500 ms だった。無視試行では 4 つのプレースホルダのうちの 1 つの色が手がかり呈示され、その位置に出現する刺激は後続の視覚探索課題で妨害刺激として出現した。実験の結果、プレースホルダの呈示時間が 100 ms の条件では無視試行の方が中立試行よりも反応時間が遅かったものの、 800 ms , 1500 ms の条件では無視試行の方が中立試行よりも反応時間が短かった。これらの結果から、Moher & Egeth (2012) は、実験参加者は無視すべき項目をはじめに検出し、ついで抑制していたと結論づ

けた。彼らはこの処理を「search and destroy」と名付けた。また、Kugler et al. (2015) は標的刺激の色の手がかりと妨害刺激の色の手がかりが与えられた場合の視覚探索課題での眼球運動を比較した。その結果、妨害刺激の手がかりは標的刺激の手がかりよりも効果は弱く、はじめのサッカードは妨害刺激に向けられてしまうことを示した。さらに、注視の回数が増えるごとに無視手がかり効果が増すことを示した。このように、無視手がかりを用いた視覚探索は視覚探索の後期段階で有効になる。

はじめに無視すべき項目を選択してしまうというこの結果は、Tsal & Makovski (2006) が報告した注意のシロクマ効果 (attentional white bear phenomenon) と類似する。線運動錯視とは、実験参加者に中央を凝視させた状態で、左右いずれかの端に光点を短時間呈示してから長い水平線分を観察させると、光点が呈示された端から反対方向に対して線分が伸びるように知覚される現象である (Hikosaka, Miyauchi, & Shimojo, 1993)。Tsal & Makovski (2006) は実験参加者に中央の文字の弁別課題を課し、その後には光点ではなく課題非関連な妨害刺激を周辺に呈示した。その結果、妨害刺激の呈示位置が課題のあいだ固定されている場合 (i.e., 妨害刺激の位置が予期できる場合) と妨害刺激の呈示位置がランダムに変化する場合 (i.e., 妨害刺激の位置が予期できない場合) の両方において、妨害刺激が呈示されている視野から対側に向かって線分が伸びるように知覚される割合が同側に向かって線分が伸びるように知覚される割合よりも高くなった。この結果は、妨害刺激の出現する位置が既知であっても注意は妨害刺激に自動的に割り当てられることを示す (Lahav, Makovski, & Tsal, 2012; Lahav & Tsal, 2013)。

妨害刺激の色をあらかじめ呈示する無視手がかりと、標的刺激の色をあらかじめ呈示する注目手がかりが視覚探索に与える影響を比較した研究では、注目手がかりの方が注意を誘導する効果が大きいことが示されている。(Arita et al., 2012; Beck & Hollingworth, 2015; Becker, Hemsteger, & Peltier, 2016)。これらの研究では、標的刺激を検出してキーを押す反応時間は注目手がかり条件の方が無視手がかり条件よりも短いことを示している。このように、注目手がかりは無視手がかりよりも視覚探索において注意を誘導するうえで効果が大きい。しかし、無視手がかりの効果は視覚探索の後期段階で有効になるという「search and destroy」の考えに従えば、注目手がかりと無視手がかりの視覚探索に与える影響は視覚探索処理の前期と後期に切り分けて検討する必要がある。

また妨害刺激特徴の抑制だけでなく、妨害刺激位置の抑制にも一定程度の時間を必要とすることが示されている (Chao, 2010; Munneke, Van der Stigchel, & Theeuwes, 2008)。Chao

(2010) は標的刺激が出現しない位置を手がかり呈示し、手がかりと課題までの SOA が短い条件 (507 ms) と長い条件 (2120 ms) を設けた。実験の結果、SOA が長い条件において無視すべき位置の手がかりが有効だった。Munneke et al. (2008) では標的刺激が出現しない位置を手がかりによって呈示したが、無視すべき位置の手がかりが有効にはたらいだ実験での手がかりと課題までの SOA は 1500 ms だった。このことから、Moher & Egeth (2012) は、Chao (2010) と Munneke et al. (2008) の実験においても観察者は「search and destroy」のストラテジーを用いていた可能性を指摘している。

一方で、Cunningham & Egeth (2016) は同一の特徴を繰り返し抑制するという学習が無視手がかりを用いた視覚探索に主要な役割を果たしていると提案している。彼らは試行ごとに妨害刺激の色を手がかり呈示する視覚探索課題を用いた。視覚探索課題では、無視すべき色のアルファベット文字とその他の色のアルファベット文字がランダムに円環状に配置された (セットサイズ 12)。実験参加者が遂行した 720 試行は 72 試行ずつの 10 ブロックに分割され、それぞれのブロックごとに無視手がかり条件と中立条件の反応時間が算出された。分析の結果、無視する色が課題を通して固定されている場合、ブロック 1 では無視手がかり条件の方が中立条件よりも反応時間が遅延する損失が認められたが (1989 ms vs. 1927 ms)、以降のブロックでは無視手がかり条件の方が中立条件も反応時間が短かった (ブロック 2 : 1723 ms vs. 1909 ms)。この効果は無視する色が試行ごとに変化する場合には認められなかった。これらの結果は、同一の特徴の抑制を数十試行繰り返すという学習によって妨害刺激の処理を抑制できるようになったことを示している。このことから、Cunningham & Egeth (2016) は無視手がかりを用いた視覚探索によって反応時間上の利得が得られるかどうかには学習が主要な役割を果たしていると結論づけた。学習によって課題非関連な妨害刺激が抑制できるようになるという考えは、Cunningham & Egeth (2016) の特徴に基づいた抑制に加え、位置に基づいた抑制においても認められている (Leber, Gwinn, Hong, & O'Toole, 2016)。このように、無視手がかりを用いた視覚探索は常に実行可能ではなく、標的刺激の検出に時間がかかるかという課題特性や、観察者が同じ特徴を繰り返し能動的に抑制するという学習が無視手がかりによる妨害刺激の抑制に影響することが示されてきている。

1.6. 本論文の目的と実験研究の構成

本論文では、ワーキングメモリに保持した表象によって視覚的注意がどのように制御さ

れるかを検討する。視覚探索における注意の誘導について、刺激の属性によるボトムアップ情報の要因と観察者の意図によるトップダウン情報の要因を切り分けた検討がなされてきていた。ボトムアップの注意制御の考えでは、視覚環境中の顕著な刺激へ注意が誘導される (Theeuwes, 1992)。トップダウンの注意制御の考えでは、注意は観察者の意図によって誘導される (Folk et al., 1992)。しかし、河原・横澤 (2015) が指摘するように、このような二分法の議論では注意制御機構を統合的に説明することはできない。そのために、ボトムアップの要因とトップダウンの要因のどちらがどのような場合に優勢にはたらくのかという検証が必要であった。

そこで第2章では、視覚環境中に存在する刺激について、物理特性である顕著性と参加者の内的な構えとの関連性を同時に操作し、ボトムアップの注意制御とトップダウンの注意制御との相互作用について検討した。Fellrath et al. (2014) は刺激の顕著性と構えとの関連性を同時に操作し、ボトムアップの注意とトップダウンの注意の相互作用を検討するパラダイムを開発した。実験1および実験2では、このパラダイムを応用し、どのような場合に顕著性と構えとの関連性のどちらの要因が優勢になるかについて検討した。

注意は観察者が一時的にワーキングメモリに保持した内容によって誘導される (Soto et al., 2008)。この記憶駆動性の注意誘導は必ずしも自動的なものではなく、観察者の意図によって認知的に制御されうる (e.g., Carlisle & Woodman, 2011)。この知見は、ワーキングメモリによる注意制御が観察者の行動目標によって変化しうることを示唆している。ここで、注意とワーキングメモリの処理はそれぞれ独立に課題の成績に影響しうる。つまり、刺激に注意資源をより多く割り当てることは後続の記憶課題成績の向上につながり (Karis et al., 1984) ワーキングメモリに情報を保持することは注意の空間的な位置を決定する (e.g., Soto et al., 2008)。したがって、記憶駆動性の注意誘導の意図的な制御において、注意とワーキングメモリがどのように寄与するのかという検討が必要であった。

そこで第3章では、P3とCDAを指標とし、ワーキングメモリ内の情報と標的刺激との関係性についての事前知識がワーキングメモリの処理にどのように影響するかを検討した。P3成分は課題に関連した情報に割り当てられた注意資源量を反映する (Polich, 2007)。一方、CDA成分はワーキングメモリに刺激を保持していることを反映する (Kang & Woodman, 2014)。ワーキングメモリに一時的に保持された内容と標的刺激の特徴が一致する確率を操作し、事前に実験参加者に教示した。事前に与えられた情報をもとに、注意とワーキングメモリがどのように情報を処理し、注意の誘導を制御するのかを検討した。

視覚探索における注意誘導において、どのように注意が課題関連の情報に向けられるかという側面に加えて、どのように注意を向けないようにするかという側面も重要な役割を果たす。例えば、TVA はワーキングメモリに表象された情報による注意の重みづけが刺激の注意選択を決定すると説明する (Bundesen, 1990; Bundesen et al., 2005)。この計算はワーキングメモリに表象された課題非関連な情報による重みづけに対しても実行される。この点について、Woodman et al. (2013) は、課題要求に応じてワーキングメモリに表象されたオブジェクトのある特徴に対する注意の重みづけ (attentional weight) を高く (e.g., near 1), または低く (e.g., near 0) 設定できると説明する (Woodman et al., 2013, pp. 5)。さらに、Woodman & Luck (2015) は、例えばダッシュボードの上の通風孔などの目下の行動目標とは非関連なオブジェクトに対して注意の重みづけを 0 以下に設定し、これらの項目の注意選択を完全に抑制して課題に関連するオブジェクトに対して重みづけを正に設定することができると説明している (Woodman & Luck, 2015, pp.189)。しかしながら、妨害刺激の抑制について、課題内での学習過程や試行内での刺激の処理過程を考慮する必要があることが近年の複数の研究から示唆されている。例えば、視覚探索課題の前に妨害刺激の特徴を手がかり呈示した課題を用いた研究によって、無視手がかりを用いた探索には学習が主要な役割を果たしていることが示されている (Cunningham & Egeth, 2016)。また、妨害刺激の抑制には時間がかかる (e.g., Moher & Egeth, 2012)。しかしながら、現存する注意モデルでは行動目標とは非関連な妨害刺激にどのように注意を向けないようにするかという点については詳述されていない。

そこで第 4 章と第 5 章では無視手がかりを用いた視覚探索の背景メカニズムを検討した。無視手がかりを用いた視覚探索について、課題の特性が無視手がかりを用いた視覚探索に影響することが示されてきている。Han & Kim (2009) は、標的刺激の検出に時間のかかる課題においては無視手がかりを用いた視覚探索が遂行できることを示した。一方で Cunningham & Egeth (2016) は、同じ特徴を繰り返し抑制するという学習が無視手がかりを用いた妨害刺激の抑制に主要な役割を果たすことを示した。これまで標的刺激の検出に時間がかかるという課題特性と妨害刺激の抑制の学習効果は独立して検討されてきた。そこで実験 4 では、セットサイズによって標的刺激の検出までにかかる時間を操作し、標的刺激の検出に時間がかかるという課題要求が妨害刺激の抑制の学習を促進するのか否かを検討した。

第 5 章では、無視手がかりを用いた視覚探索と注目手がかりを用いた視覚探索の過程を

比較検討した。特徴に基づいた妨害刺激の抑制は即時的には効果が弱く、視覚探索の後期段階で実行される (Beck et al., 2017; Han & Kim, 2009; Kugler et al., 2015; Moher & Egeth, 2012)。一方で、位置に基づいた抑制も即時的には実行できず、一定程度の時間を必要とする (Chao, 2010; Munneke et al., 2008)。実験 5 では、特徴に基づいた抑制と位置に基づいた抑制の処理過程に違いがあるのか否かを、特徴に基づいた注意選択処理とあわせて検討した。さらに実験 6 および実験 7 では、無視手がかりと注目手がかりを用いた視覚探索処理過程を、処理の前期と後期に分けて検討した。

第2章 ボトムアップの注意とトップダウンの注意の関係性

2.1. 研究の目的

Fellrath et al. (2014) は行動指標ではトップダウンの注意制御による注意の割り当てを認めたが、ボトムアップの注意制御との相互作用を認めることはできなかった。しかし、顕著性と構えとの関連性を同時に操作する手法は両者の注意制御の相互作用を検討することができる手法だと考える。そのため本研究では Fellrath et al. (2014) の方法を改善し、ボトムアップの注意制御とトップダウンの注意制御の相互作用を検討することを目的とする。第一に、彼らは輝度によって刺激の顕著性を操作していたが、より定量的に顕著性を操作するために本研究ではグレーティング刺激を用いた。グレーティング刺激は刺激の物理的特性を制御するうえで最適な刺激であるとされる (蘆田, 2006)。本研究ではグレーティング刺激のコントラストにより刺激の顕著性を操作した。第二に、本研究では妨害刺激が呈示されないコントロール条件を設けた。Fellrath et al. (2014) では関連性の高低のある刺激を妨害刺激として呈示していた。この事態では、関連性の高い刺激への注意捕捉と関連性の低い刺激への注意捕捉が等価なのかはわからない。つまり、妨害刺激が出現しない事態と比べて、関連性が低い刺激でも一定程度注意を捕捉するのか、それとも随伴性注意捕捉 (Folk et al., 1992, 1994) で報告されているように関連性が高い刺激にのみ注意捕捉が生起するのかについて検討できていない。コントロール条件を新たに設けることで、関連性の高低による注意捕捉の程度について検証できると考えた。

2.2. 実験1

2.2.1. 方法

実験参加者

12名が実験に参加した。うち1名を視覚の状態が実験に適さなかったため除外した。そのため、11名から得られたデータを分析に使用した (男性4名, 女性7名, 平均年齢26.9歳)。すべての実験参加者は裸眼および矯正視力が正常であった。全員が右利きであった。実験参加者には事前に実験の目的と手続きを説明し同意を得た。

装置

刺激の呈示には 19 インチのディスプレイ（DELL 社製）を用いた。刺激の制御および反応時間の測定等は心理学実験ソフト Psychopy 1.82 を用いた（Peirce, 2007）。実験参加者の反応はテンキー（ELECOM 社製）を用いて取得した。また、実験参加者の頭部位置を固定するためにあご台を使用した。

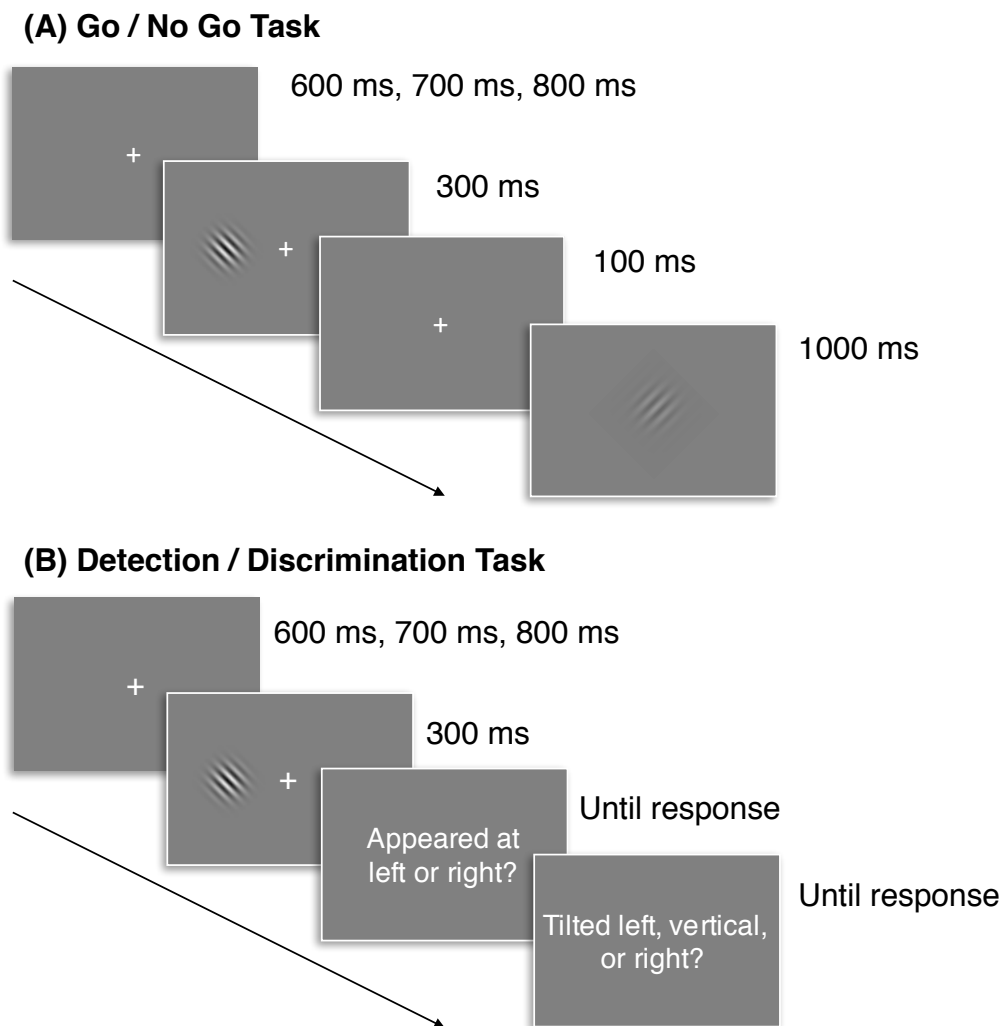


Figure 2.1. (A) Example trials in Go/NoGo task. Participants were asked to press a key when target appeared while ignoring peripheral distractor. (B) Example trials in Detection/Discrimination Task. Participants were asked to report the location and orientation of the stimuli. Note that this figure is not to scale.

刺激

すべての刺激は灰色背景上に呈示された（RGB: 128, 128, 128）。白色の注視点（ $1^\circ \times 1^\circ$ ）

が画面の中央に呈示された。Go/NoGo 課題で用いられた標的刺激および妨害刺激にはグレーティング刺激が用いられた ($1.6^{\circ} \times 1.6^{\circ}$)。空間周波数は 4.4 cpd だった。傾きは 0 度, 45 度および 135 度だった。標的刺激のコントラストは 20 % だった。妨害刺激のコントラストは 2 %, 5 %, および 90 % だった。妨害刺激は画面の中心から左右いずれかに 4.5° 離れた位置に呈示された。検出・弁別課題では, 左右いずれかに 4.5° 離れた位置に, 空間周波数が 4.4 cpd でコントラストが 1 %, 2 %, 3 %, 5 %, 10 % および 90 % のグレーティング刺激が用いられた。

デザインおよび手続き

Go/NoGo 課題

試行の例を Figure 2.1A に示す。課題を行う前に, 実験参加者に標的刺激の傾きを 0 度, 45 度, 135 度のいずれかから 1 つを指定した。標的刺激の傾きは実験参加者間でカウンターバランスを取った。実験参加者はモニタから約 57 cm の距離に着席し, モニタを観察した。実験参加者がエンターキーを押すと試行が開始された。各試行は注視点の呈示から開始された (600 ms, 700 ms, 800 ms)。次いで妨害刺激が左右いずれかに 300 ms 呈示された。妨害刺激のコントラスト (2 %, 5 %, 90%) および左右の呈示位置, 傾き (0 度, 45 度, 135 度) はランダムな順序で呈示された。妨害刺激の傾きと標的刺激の関連性が操作され, 妨害刺激と標的刺激の傾きが同じである場合と異なる場合が設けられた。100 ms の遅延後, 標的刺激が 1000 ms 呈示された。実験参加者の課題は, あらかじめ指定された傾きと標的刺激の傾きが同一か否かを判断することが求められた。もし同一であれば, 右手の人差し指で 0 キーをなるべく早く押すことが求められた (Go 試行)。もし同一でなければ, キーを押さないことが求められた (NoGo 試行)。Go 試行は 94 試行で, NoGo 試行は 192 試行だった。また, コントロール条件として, 妨害刺激が呈示されない試行は 32 試行含まれていた (計 320 試行)。コントロール条件ではブランク画面が 300 ms 呈示された。実験参加者は必要に応じて 32 試行ごとに休憩を取ることができた。課題の前に練習が 10 試行与えられた。

検出・弁別課題

試行の例を Figure 2.1B に示す。検出・弁別課題は, Go/NoGo 課題で用いた刺激の妥当性を検証するために実施した。実験参加者はモニタから約 57 cm の距離に着席し, モニタを観察した。実験参加者がエンターキーを押すと試行が開始された。各試行は注視点の呈示から

開始された (600 ms, 700 ms, 800 ms)。次いでグレーティング刺激が左右いずれかに 300 ms 呈示された。グレーティング刺激のコントラスト (1%, 2%, 3%, 5%, 10%, 90%) および左右の呈示位置, 傾き (0度, 45度, 135度) はランダムな順序で呈示された。次いで画面上にグレーティング刺激の呈示位置を答えることを求める教示文が実験参加者の反応があるまで呈示された。実験参加者はグレーティング刺激が左に出現していた場合は 4 キーを, 右に出現していた場合は 6 キーをそれぞれ右手の人差し指と薬指で押すことが求められた(検出課題)。500 ms の遅延後, 画面上にグレーティング刺激の傾きを答えることを求める教示文が実験参加者の反応があるまで呈示された。実験参加者はグレーティング刺激が左に傾いていた場合は 4 キーを, 傾いていない場合は 5 キーを, 右に傾いていた場合は 6 キーをそれぞれ右手の人差し指, 中指, そして薬指で押すことが求められた (弁別課題)。実験参加者には, キー押しに速さは求めず, 正確に実行するよう教示した。試行間隔は 800 ms, 1000 ms, もしくは 1200 ms であり, 試行ごとの試行間隔はランダムであった。1つのコントラストにつき 48 試行が呈示され, 計 288 試行だった。実験参加者は必要に応じて 32 試行ごとに休憩を取ることができた。課題の前に練習が 10 試行与えられた。

2.2.2. 結果

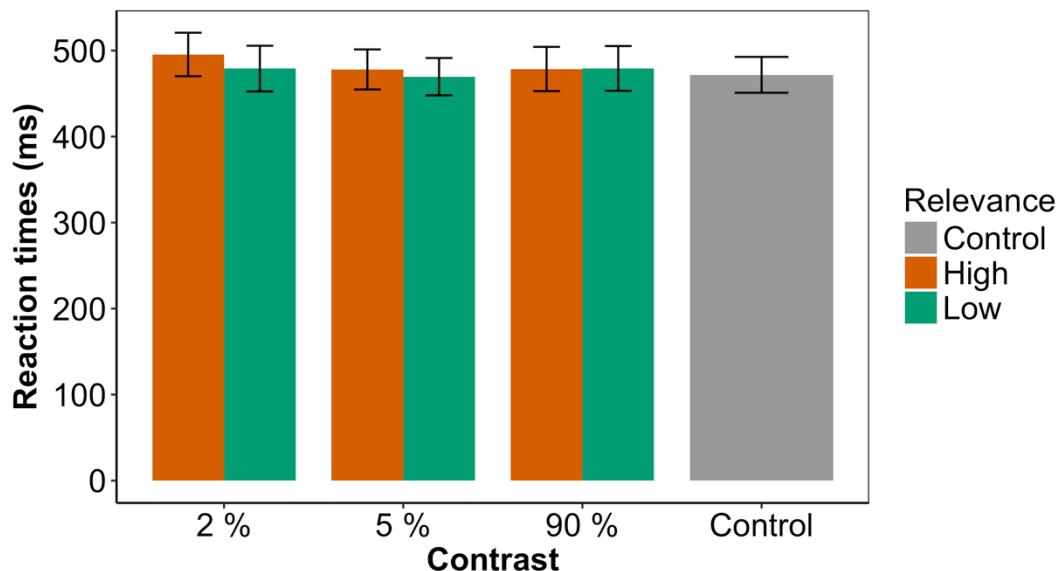


Figure 2.2. Mean reaction times in Go/NoGo task for each condition in Experiment 1. Error bars indicate standard errors.

Go/NoGo 課題

各コントラストにおける Go 試行の平均反応時間を Figure 2.2 に示す。Go 試行の反応時間

に対して顕著性（2%，5%，90%）×関連性（高，低）の2要因の分散分析を行った結果，関連性の主効果が有意だった（ $F(1, 10) = 7.44, MSe = 425.27, p = .021, \eta_p^2 = .43$ ）。顕著性の主効果は認められなかった（ $F(2, 20) = 2.38, MSe = 425.47, p = .119, \eta_p^2 = .19$ ）。顕著性と関連性の交互作用は認められなかった（ $F(2, 20) = 1.30, MSe = 306.88, p = .294, \eta_p^2 = .12$ ）。

次に，コントロール条件の反応時間との差を関連性の高い条件と低い条件でそれぞれ1要因（刺激：2%，5%，90%，コントロール）の分散分析を行った。関連性が高い条件では刺激の主効果が有意だった（ $F(3, 30) = 3.41, MSe = 332.03, p = .030, \eta_p^2 = .25$ ）。多重比較の結果，コントロール条件との差は2%コントラストのみで認められ（495.4 ms vs. 471.8 ms; $t(10) = 2.99, p = .014$ ），5%コントラスト（平均反応時間 478.0 ms）および90%コントラスト（平均反応時間 478.6 ms）との差は認められなかった（ $t(10) = 0.85, p = .418$; $t(10) = 0.61, p = 1.00$ ）。一方，関連性が低い条件では刺激の主効果は有意ではなかった（ $F(3, 30) = 0.50, MSe = 540.40, p = .683, \eta_p^2 = .05$ ）。

検出・弁別課題

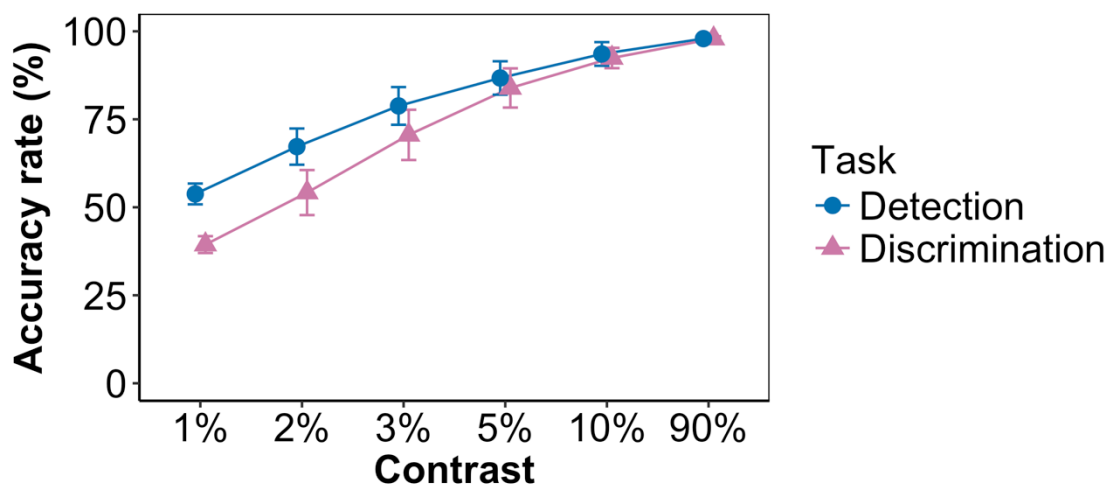


Figure 2.3. Mean accuracy rate for each condition, Error bars represent standard errors.

各コントラストにおける検出課題および弁別課題の平均正答率を Figure 2.3 に示す。検出課題の正答率において，1 要因被験者内分散分析を行った結果，コントラストの主効果が有意だった（ $F(5, 50) = 30.00, MSe = 102.74, p < .001, \eta_p^2 = .75$ ）。重要なことに，2%コントラストにおける検出課題の成績は5%コントラストおよび90%コントラストよりも低かった（ $t(10) = 5.65, p = .002$; $t(10) = 5.87, p = .002$ ）。5%コントラストと90%コントラストのあい

だに正答率の差は認められなかった ($t(10)=2.46, p=.135$)。また、弁別課題の正答率において、1 要因被験者内分散分析を行った結果、コントラストの主効果が有意だった ($F(5, 50)=44.95, MSe=127.51, p<.001, \eta_p^2=.82$)。重要なことに、2%コントラストにおける弁別課題の成績は5%コントラストおよび90%コントラストよりも低かった ($t(10)=8.09, p<.001$; $t(10)=6.67, p<.001$)。5%コントラストと90%コントラストのあいだに正答率の差は認められなかった ($t(10)=2.44, p=.105$)。

2.2.3. 考察

本研究の目的は、顕著性と関連性を同時に操作することで、ボトムアップの注意制御とトップダウンの注意制御がどのように相互作用するかを検討することだった。検出・弁別課題において、2%条件の検出成績と弁別成績はともに5%および90%条件よりも低かった。この結果は、2%条件と5%および90%条件のあいだでは顕著性の操作が適切だったことを示す。

Go/NoGo 課題では関連性の主効果のみが認められ、顕著性の主効果および顕著性と関連性の交互作用は認められなかった。この結果は、観察者の構えが注意の向けられる対象を決定するというトップダウンの注意制御の考えと整合する。加えて、顕著性のすべての条件で関連性の効果が認められたことから、構えは刺激のもつ物理特性によらず注意の割り当てに影響する可能性が示唆される。

妨害刺激が出現しないコントロール条件との差を分析した結果、不一致試行ではコントロール条件との反応時間差は認められなかった。一方で、一致試行のコントラスト2%条件でのみコントロール条件との反応時間差が認められた。これらの結果は、構えと一致した刺激のみが注意を捕捉するとする随伴性注意捕捉の結果と整合する (Folk et al., 1992, 1994)。

実験1の結果から、ボトムアップの要因とトップダウンの要因の両者が注意配分に影響することが示唆された。しかし実験1には改善点が3つある。第一に、反応する手と妨害刺激の空間位置の適合性によって反応時間に影響があった可能性がある。本実験では実験参加者は右手でキーを押すことが求められていた。さらに、妨害刺激が画面中の左右いずれかに出現する事態だった。Simon & Rudell (1967) は反応する手の位置と標的刺激の空間位置が一致しているときに比べ不一致のときでは反応が遅延することを示した (サイモン効果)。このように、刺激の空間位置と反応キーの位置の適合性による影響が混同している可能性

がある。そこで、実験2では両手でスペースキーを押すように反応の取得方法を変更する。かつ、スペースキーは標的刺激の出現位置から正中線上に配置する。この操作により、妨害刺激の空間位置と反応手の適合性を排除することができる。

第二に反復プライミング (repetition priming) の可能性がある。妨害刺激の傾きと標的刺激の傾きは同一のものを使用していた。このような、同一の刺激が連続して出現する事態では反復プライミングが生起しうる。反復プライミングとは、先行する刺激によって後続の刺激の処理が促進されることをいう (Schacter, Dobbins, & Schnyer, 2004)。さらに、同一の刺激が反復して入力されると神経活動が抑制される。これを反復抑制 (repetition suppression) といい (Henson & Rugg, 2003)。このように、同一の刺激が繰り返し入力されることによる影響が混同している可能性がある。そこで、実験2では妨害刺激は標的刺激±5度の傾きの刺激を使用する。

第三に、顕著性が低いとした刺激が課題中に知覚されていなかった可能性がある。本実験ではコントラストが2%の刺激と5%の刺激を用いた。弁別課題の成績はそれぞれ53.8%と86.7%だった。しかし、この成績は弁別課題を単一行った場合である。Go/No Go 課題ではこれらの刺激は課題非関連な無視すべき刺激として呈示されていた。したがって Go/No Go 課題では弁別の成績が弁別課題を単一行った場合よりも低くなり、十分な知覚が得られていなかった可能性がある。そこで、実験2では顕著性が低い条件としてコントラストが10%の刺激を用いる。この刺激は弁別課題では93.6%の正答率であり、課題非関連な刺激として呈示される Go/No Go 課題でも十分に弁別されると考えた。

2.3. 実験2

2.3.1. 方法

実験参加者

10名が実験に参加した (男性2名, 女性8名, 平均年齢26.9歳)。すべての実験参加者は裸眼および矯正視力が正常だった。1名が左利きだった。実験参加者には事前に実験の目的と手続きを説明し同意を得た。

装置

実験参加者の反応をキーボードから取得した点を除き、実験1と同一のものを用いた。

刺激

標的刺激および妨害刺激にはグレーティング刺激が用いられた ($1.6^{\circ} \times 1.6^{\circ}$)。空間周波数は 4.4 cpd だった。標的刺激の傾きは 45 度もしくは 135 度だった。コントラストは 20% だった。妨害刺激の傾きは 40 度, 50 度, 130 度もしくは 140 度だった。コントラストは 10% もしくは 90% だった。

デザインおよび手続き

課題を行う前に、実験参加者に標的刺激の傾きを 45 度, 135 度のいずれかから 1 つを指定した。標的刺激の傾きは実験参加者間でカウンターバランスを取った。妨害刺激のコントラスト (10 %, 90 %) および左右の呈示位置, 傾き (40 度, 50 度, 130 度, 140 度) はランダムな順序で呈示された。妨害刺激の傾きと標的刺激の関連性が操作された。関連性が高い条件では、標的刺激の傾き ± 5 度の妨害刺激が呈示された (e.g., 標的刺激が 45 度のときに 40 度もしくは 50 度の妨害刺激が呈示される)。関連性が低い条件では、標的刺激の傾きとは異なる傾きカテゴリの刺激が呈示された (e.g., 標的刺激が 45 度のときに 130 度もしくは 140 度の妨害刺激が呈示される)。実験参加者の課題は、あらかじめ指定された傾きと標的刺激の傾きが同一か否かを判断することだった。もし同一であれば、標的刺激の位置と正中線上に配置されたスペースキーを両手でなるべく早く押すことが求められた (Go 試行)。もし同一でなければ、キーを押さないことが求められた (NoGo 試行)。Go 試行は 94 試行で、NoGo 試行は 192 試行だった。また、コントロール条件として、妨害刺激が呈示されない試行は 32 試行含まれていた (計 320 試行)。実験参加者は必要に応じて 32 試行ごとに休憩を取ることができた。課題の前に練習が 10 試行与えられた。

2.3.2. 結果

各コントラストにおける Go 試行の平均反応時間を Figure 2.4 に示す。Go 試行の反応時間に対して顕著性 (10 %, 90 %) \times 関連性 (高, 低) の 2 要因の分散分析を行った結果、関連性の主効果が有意だった ($F(1, 9) = 13.20, MSe = 267.21, p = .006, \eta_p^2 = .59$)。顕著性の主効果は有意ではなかった ($F(1, 9) = 0.30, MSe = 397.15, p = .597, \eta_p^2 = .03$)。交互作用が有意だった ($F(1, 9) = 6.26, p = .034, \eta_p^2 = .41$) ため、単純主効果検定を行ったところ、10 %コント

ラスト条件において関連性による反応時間差が認められた (436.8 ms vs. 463.3 ms; $F(1, 9) = 13.20$, $MSe = 267.21$, $p = .006$, $\eta_p^2 = .59$)。90 %コントラスト条件では関連性による反応時間の差は認められなかった (450.1 ms vs. 456.9 ms; $F(1, 9) = 0.77$, $MSe = 297.34$, $p = .403$, $\eta_p^2 = .08$)。

次に、コントロール試行の反応時間との差を関連性の高い条件と低い条件でそれぞれ1要因 (刺激: 10%, 90%, コントロール) の分散分析を行った。関連性が高い条件では刺激の主効果が有意だった ($F(2, 18) = 18.14$, $MSe = 348.01$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .67$)。多重比較の結果、コントロール条件との差は10%コントラスト条件と90%コントラスト条件の両方で認められた ($t(9) = 5.07$, $p < .001$; $t(9) = 3.99$, $p = .003$)。一方で、関連性が低い条件では刺激の主効果は有意であり ($F(2, 18) = 5.35$, $MSe = 417.79$, $p = .015$, $\eta_p^2 = .37$)、多重比較の結果、コントロール条件との差は90%コントラスト条件で認められたものの ($t(9) = 3.28$, $p = .010$)、10%コントラスト条件では認められなかった ($t(9) = 2.17$, $p = .058$)。

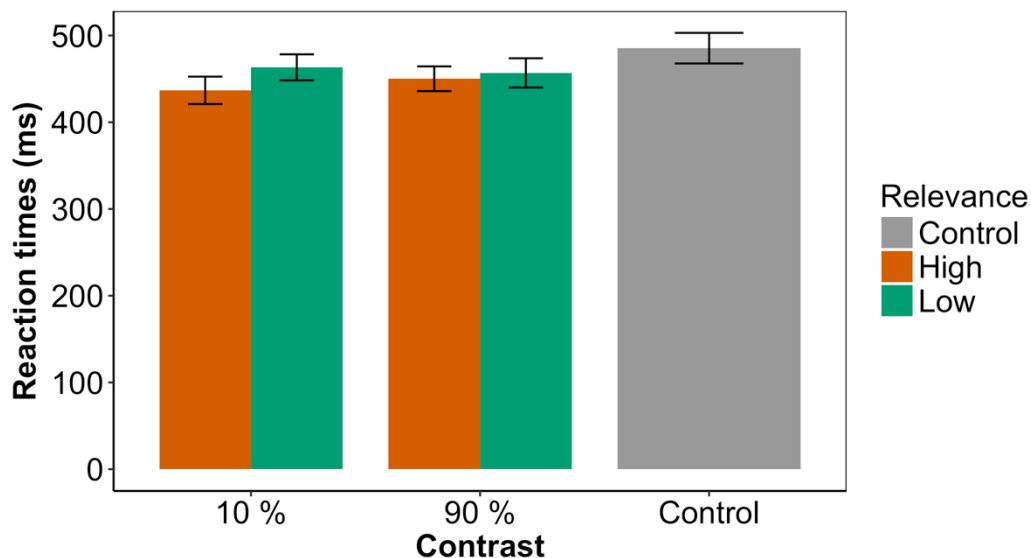


Figure 2.4. Mean reaction times in Go/NoGo task for each condition in Experiment 2. Error bars indicate standard errors.

2.3.3. 考察

本実験の目的は、刺激の顕著性と構えとの関連性の両方を同時に操作することで、ボトムアップの注意とトップダウンの注意がどのように相互作用するかを検討することだった。実験1ではコントロール条件との反応時間がコントラスト2%条件の関連性が高い場合のみ

得られた。実験 2 では刺激の空間位置と反応手の適合性、反復プライミング、および刺激強度の影響を排除した。実験の結果、顕著性が高いコントラスト 90 %条件では課題関連性が反応時間に与える影響は認められなかった。一方で、顕著性の低いコントラスト 10 %条件では課題関連性による反応時間の差が認められた。これらの結果は、課題関連性の影響は顕著性が低い場合で特に認められたことを示す。

Fellrath et al. (2014) は反応時間の分析において、顕著性と構えの交互作用を認めなかったが、本研究の実験 2 では顕著性が低い場合のみ関連性の影響があるという交互作用を認めた。これは、Fellrath et al. (2014) が色の輝度によって顕著性を操作しており、反応時間の差を得る十分な操作となっていなかった可能性を示唆する。また、本実験は課題の関連性を方位で定義した。関連性の効果において、Fellrath et al. (2014) と同様の傾向を認めたことから、彼らの結果は色という特徴次元に限定的ではないことが示された。

それでは、構えと一致した刺激による注意の捕捉はなぜ顕著性が低い条件でのみ認められたのだろうか。課題関連性の注意制御が弱い感覚入力を補うはたらきを示したことが考えられる。この考えは、マスキングを用いた脳波研究によって支持される (Woodman & Luck, 2003; Woodman, 2010)。Woodman (2010) は画面上に複数の幾何学図形を呈示し、実験参加者に円図形が視野の左右どちらに出現していたかを答えさせた。このとき、標的刺激である円図形が 4 点マスキング法によって意識的に知覚されないように操作された。4 点マスキング法とは、刺激の呈示直後に刺激の周囲に 4 つの点を呈示することで標的刺激の知覚を阻害する方法である (Lleras & Moore, 2003)。マスキングされた事態では、実験参加者は左右の視野どちらに出現したかが知覚できないためにランダムにキーを押した。それにもかかわらず、標的刺激により N2pc 成分が誘発された。この結果は、特定の刺激を検出しようとする観察者の構えによって意識的に知覚されない刺激へ注意が誘導されていたことを示す。本研究の結果も同様に説明が可能である。すなわち、コントラストが 2% という弱い刺激入力が観察者の構えと一致していたとき、トップダウンの注意制御によってその刺激へ注意が割り当てられた。構えと一致していない事態では、トップダウンの注意制御はその入力を補うことができず、結果として注意は割り当てられなかったと説明できる。

第3章 ワーキングメモリの処理と注意制御

3.1. 研究の目的

事前に与えられた情報によって記憶駆動性の注意捕捉が意図的に制御できるという報告 (Carlisle & Woodman, 2011; Kiyonaga et al., 2012; Kuo et al., 2013) は、注意とワーキングメモリの相互作用の程度が観察者の目的によって変化する点を示唆している点で重要である。注意とワーキングメモリは相互に影響を及ぼしあう関係であるが (Awh et al., 2006; Chun, 2011; Hutchinson & Turk-Browne, 2012), その相互関係が内発的な要因によってどのように変調されるのかについての知見は少ない。その中で、記憶駆動性の注意捕捉の意図的な制御という現象は注意とワーキングメモリの相互関係に観察者の意図がどのように関与するかを検討可能な現象である。

一方で、前述のように注意とワーキングメモリの処理はそれぞれ独立に課題成績に影響しうる。つまり、刺激に注意資源をより多く割り当てることは後続の記憶課題成績の向上につながる (Karis et al., 1984) 一方で、ワーキングメモリに情報を保持することは注意の空間的な位置を決定しうる (e.g., Soto et al., 2008)。そのため、記憶駆動性の注意捕捉の意図的な制御においては両者の寄与が異なる可能性がある。つまり、後続の視覚探索課題における適応的な注意の誘導が刺激への注意資源の割り当てによって実現されている可能性と、ワーキングメモリ内の情報の状態が変化することによって実現されている可能性の2つの可能性が考えられる。もしくは、両者が同時にはたらいっている可能性もある。

さらに、観察者の目的により脳内の神経資源の配分が変化する可能性もある。上述のように、ワーキングメモリと注意は神経基盤の一部を共有する (Gazzaley & Nobre, 2012)。適応的な行動をとるためには効率的な神経資源の配分が必要である。記憶駆動性の注意捕捉の意図的な制御という現象を詳細に検討することは、ワーキングメモリと注意における脳内ダイナミクスに迫りうる。

本研究では P3 と CDA を指標とし、記憶項目と標的刺激の関係性についての事前知識がワーキングメモリの処理にどのように影響するかを検討する。実験参加者は記憶課題のみから構成される課題 (Figure 3.1A) および、記憶課題と視覚探索課題から構成される課題 (Figure 3.1B) を遂行した。視覚探索課題では、保持した線分の色と標的刺激の色が一致する試行の確率が操作された (0%, 50%, or 100%)。もし注意の割り当てが事前の知識によっ

て変化するのであれば、確率条件間で P3 の変化が認められると予測される。もしワーキングメモリ内の情報の状態が事前の知識によって変化するのであれば、確率条件間で CDA の変化が認められると予測される。

3.2. 実験 3

3.2.1. 方法

実験参加者

15 名が実験に参加した。2 名を EEG のノイズ過多のため、1 名を体調不良による実験の中断のために分析から除外した。そのため、12 名の実験参加者から得られたデータを分析に使用した（女性 9 名、男性 3 名、平均年齢 23.5 歳）。すべての実験参加者は裸眼もしくは矯正視力が正常であった。実験参加者全員が右利きだった。実験参加者には事前に実験の目的と手続きを説明し同意を得た。

装置

刺激の呈示には 19 インチのディスプレイ（DELL 社製）を用いた。刺激の制御および反応時間の測定等は心理学実験ソフト Psychopy 1.80 を用いた（Peirce, 2007）。実験参加者の反応はテンキー（ELECOM 社製）を用いて取得した。また、実験参加者の頭部位置を固定するためにあご台を使用した。

刺激

すべての刺激は灰色背景上（RGB: 191, 191, 191）に呈示された。黒色の注視点（視角にして $0.3^\circ \times 0.3^\circ$ ）が試行を通して画面の中心に呈示された。長さが 1° の矢印手がかりが注視点の 1° 上に呈示された。探索項目は 6 つのギャップ図形によって構成されていた。ギャップ図形の大きさは $0.9^\circ \times 0.9^\circ$ であり、線の太さは 0.18° であった。標的刺激ではギャップ図形の上下いずれかにギャップ (0.36°) があり、妨害刺激では左右いずれかにギャップがあった。探索項目は架空の六角形の頂点にあたる中心から 7.16° の位置に呈示された。記憶項目および記憶テスト項目は 4 つの傾いた長方形 ($0.65^\circ \times 1.15^\circ$) から構成され、その傾きは 0° 、 45° 、 90° もしくは 135° であった。これらの刺激は、注視点から 3° 離れた位置にある $4^\circ \times 7.3^\circ$ の長方形の内部に呈示された（McCollough et al., 2007）。8 色の弁別しやすい色が探索

項目および記憶項目, 記憶テスト項目に用いられた。その色は赤(255, 0, 0), 青(0, 128, 128), 黄(255, 255, 0), 赤紫(255, 0, 255), 白(255, 255, 255), 黒(0, 0, 0), そして黄褐色(160, 82, 45)だった。また, 探索課題の成績に影響を及ぼさないために, 異なる8色が矢印で手がかりを与えられた位置とは異なる位置に出現する記憶項目および記憶テスト項目に用いられた。その色は赤橙色(255, 80, 5), ライムグリーン(157, 204, 0), 濃紺(0, 51, 128), 雌黄色(255, 164, 5), 桃色(255, 168, 187), 灰色(128, 128, 128), 紫(116, 10, 255), 濃赤紫色(153, 0, 0)だった。

デザインおよび手続き

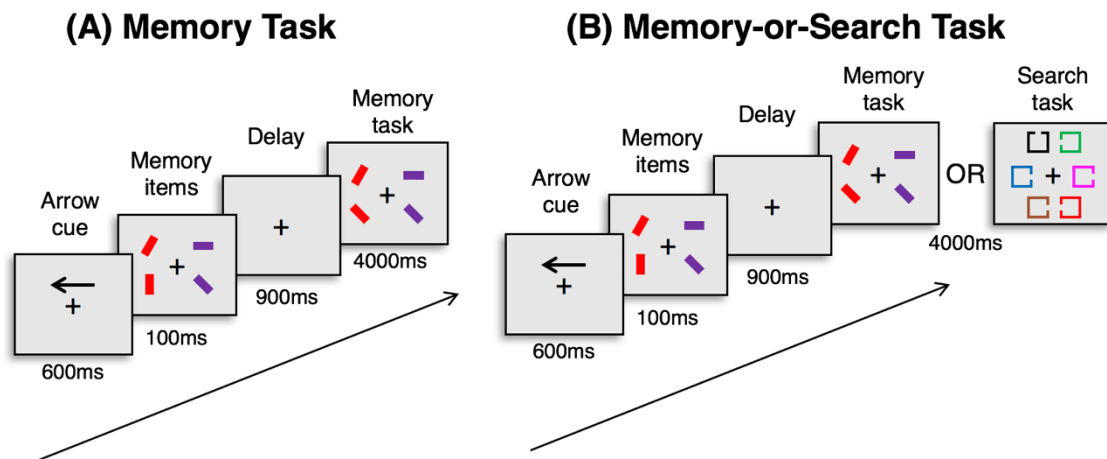


Figure 3.1. (A) Example of trials in memory task. Participants were asked to hold cued two bars and to report whether or not they were the same. (B) Example of trials in memory-or-search task. Participants were asked to detect a target while maintaining cued two bars. Note that this figure is not to scale.

記憶課題

記憶課題の試行例を Figure 3.1A に示す。実験参加者はモニタから約 57 cm の距離に着席し, モニタを観察した。実験参加者がエンターキーを押すと試行が開始された。各試行は注視点と矢印手がかりの 600 ms の呈示から開始された。次いで記憶項目が 100 ms 呈示された。900 ms の遅延の後, 記憶テスト項目が 4000 ms 呈示された。実験参加者は手がかりが与えられた側に呈示された 2 つの記憶項目の傾きが同じか否かを判断し, もし傾きが同じであれば 4 キーを, 異なれば 6 キーをそれぞれ右手の人差し指と薬指で押すことが求められた。キー押し後画面上にフィードバックが 500 ms 呈示された。試行間間隔は 600 ms, 850

ms, もしくは 1100 ms であり, 試行ごとの試行間隔はランダムであった。記憶課題は 128 試行から構成された。手がかりが右側に与えられる試行と左側に与えられる試行はブロック化され (各 64 試行), 実験参加者にカウンターバランスが取れた実施順で与えられた。実験参加者は必要に応じて 16 試行ごとに休憩を取ることができた。課題の前に練習が 8 試行与えられた。

記憶もしくは探索課題

記憶もしくは記憶課題の試行例を Figure 3.1B に示す。記憶課題と同様に, 各試行は矢印手がかりの 600 ms の呈示から開始され, 100 ms のあいだ記憶項目が呈示された。900 ms の遅延後に 2 種類の課題がランダムに呈示された。全試行のうち 62.5 % は探索課題が呈示され, 37.5 % は記憶テスト項目が呈示された。探索課題では, 実験参加者は上下いずれかにギャップのある刺激を検出し, 上にギャップがある場合は 8 キーを, 下にギャップがある場合は 5 キーをそれぞれ右手の中指でなるべく早く正確に押すことが求められた。探索課題における一致試行では標的刺激の色は記憶項目の色と同一であった。不一致試行では妨害刺激のうちのいずれか 1 つの刺激が記憶項目の色と同一であった。中立試行では記憶項目と同じ色の刺激は出現しなかった。

試行の種類が操作されブロック化された。確率として 0 %, 50 % および 100 % の 3 条件が設けられた。3 条件全てにおいて, 1 条件を構成する試行 (128 試行) の 50 % は中立試行であった。0 % 条件では全試行の 50 % は不一致試行であり, 一致試行は含まれなかった。50 % 条件では全試行の 25 % は一致試行であり, 25 % は不一致試行であった。100 % 条件では全試行の 50 % は一致試行であり, 不一致試行は含まれなかった。各実験参加者は課題を行う前に口頭で確率の説明を受けた。また, 一致, 中立および不一致試行の呈示はブロック内でランダムな順序で呈示された。試行間隔は 600 ms, 850 ms, もしくは 1100 ms であり, 試行ごとの試行間隔はランダムであった。手がかりが右側に与えられる試行と左側に与えられる試行は確率条件内でブロック化され, 実験参加者にカウンターバランスが取れた実施順で与えられた。実験参加者は必要に応じて 16 試行ごとに休憩を取ることができた。課題の前に練習が 10 試行与えられた。

脳波の記録と分析

実験参加者は 19 チャンネルの EEG キャップ (ElectroCap, Electro-Cap 社製) を着用し, 脳

波はデジタル脳波計(EEG1100, 日本光電社製)を用いて記録された。脳波の記録は国際 10/20 法に基づき, 19 部位 (Fp1, Fp2, Fz, Cz, Pz, F3, F4, F7, F8, C3, C4, P3, P4, T3, T4, T5, T6, O1 および O2) と両耳朶 (A1, A2) を含む 21 電極で行った。基準電極には両耳朶の電極を使用した。電気抵抗閾値は 10 k Ω 以下とし, サンプリング周波数は 500 Hz に設定した。また, 刺激呈示用コンピュータとデジタル脳波計の記憶項目におけるトリガーの同期には StimTracker (Cedrus 社製) を使用した。ERP の分析には EEGLAB toolbox (Delorme & Makeig, 2004) を使用し, 数値解析ソフトウェア Matlab (Math Works 社製) で行った。記憶課題におけるエラー試行は分析から除外した。また, 脳波に対してオフラインでバンドパスフィルタ (0.1–40 Hz) を適用した。脳波は記憶項目の呈示前 200 ms から呈示後 1200 ms を加算平均した。記憶項目の呈示前 200 ms をベースラインとした。比較的大きなノイズ (全体の 0.01 %) を目視で除去した後 (Luck, 2014b), 眼球運動や瞬目等によるアーチファクトを独立主成分分析 (ICA: Independent Component Analysis) を用いて検出し除去した (Kuo, Zhang, Rissman, & Chiu, 2014)。

先行研究 (Bajjal, Nakatani, van Leeuwen, & Srinivasan, 2013) にしたがって, CDA は後頭, 頭頂および側頭の電極位置 (O1/2, P3/4, T5 および T6) から計測した。CDA は記憶項目が呈示された位置に対する対側と同側の電位差で算出された。記憶項目の呈示後 300 ms から 900 ms の範囲を CDA の分析の対象とした (McCollough et al., 2007; Vogel & Machizawa, 2004)。CDA は側性 (対側, 同側) \times 電極位置 (O1/2, P3/4, T5/6) \times 課題 (記憶課題, 0%条件, 50%条件, 100%条件) の 3 要因の分散分析を行った。一方, 平均波形の目視によるピークおよび報告されているタイミング (Gunseli et al., 2014) に基づき, P3 は記憶項目の呈示後 275 ms から 375 ms の範囲を分析の対象とした。P3 は電極位置 (Fz, Cz, Pz) \times 課題の 2 要因の分散分析を行った。自由度は Greenhouse – Geisser の ϵ による調整を行った (Jennings & Wood, 1976)。

3.2.2. 結果

記憶課題

反応時間の分析の結果, 課題間に差は認められなかった (0 %条件; 690.9 ms, 50 %条件; 662.4 ms, 100 %条件; 673.1 ms, 記憶課題; 646.8 ms: $F(3, 33) = 1.64, MSe = 2518.91, p = .200, \eta_p^2 = .13$)。誤答率の分析の結果, 課題間に差は認められなかった (0 %条件; 10.8 %, 50 %条件;

12.8 %, 100 %条件; 10.1 %, 記憶課題; 10.4 %: $F(3, 33) = 1.49, MSe = 12.26, p = .234, \eta_p^2 = .12$ 。

記憶もしくは探索課題

各条件における平均のベネフィットとコストを Figure 3.2 に示す。100 %条件におけるベネフィットは 50 %条件におけるベネフィットよりも有意に大きかった (-158.2 ms, 95% CI $[-263.5, -52.8]$; $t(11) = 3.30, p = .007, \text{Cohen's } d = -1.15$)。一方, 0 %条件におけるコストと 50 %条件におけるコストに有意な差は認められなかった (28.3 ms, 95% CI $[-93.5, 150.1]$; $t(11) = 0.51, p = .620, \text{Cohen's } d = -0.21$)。誤答率について, 1 要因 (確率: 0 %, 50 %, 100 %) の分散分析を行ったところ, 確率の主効果が有意だった ($F(2, 22) = 3.94, MSe = 1.06, p = .034, \eta_p^2 = .26$)。多重比較の結果, 0 %条件における誤答率は 50 %条件よりも高く (2.0 % vs. 1.0 %: $t(11) = 2.53, p = .028$), かつ 100 %条件よりも高かった (2.0 % vs. 0.9 %: $t(11) = 3.08, p = .011$)。50 %条件と 100 %条件の誤答率の間に差は認められなかった ($t(11) = 0.07, p = .947$)。

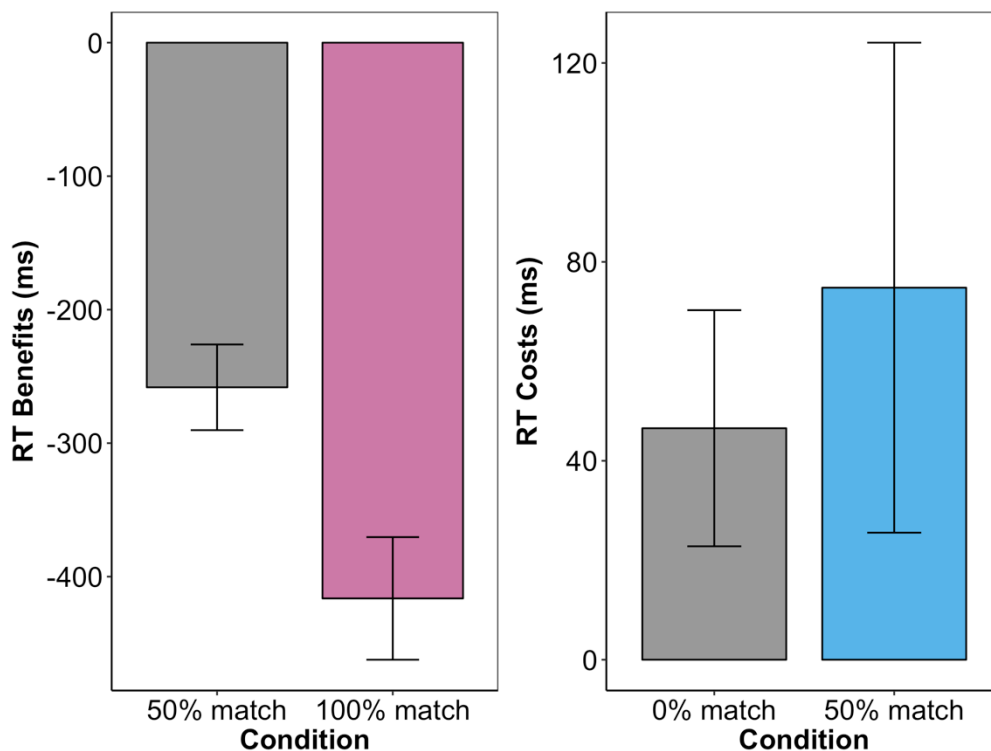


Figure 3.2. Reaction time (RT) benefits (left) and costs (right) for each condition. Error bars indicate standard errors.

CDA

分析に使用した電極ペア (O1/2, P3/4, T5/6) において, 確率条件ごとに脳波データを平均

化した CDA 波形を Figure 3.3 に示す。確率×側性×電極ペアの 3 要因分散分析を行ったところ、側性の主効果が有意だった ($F(1, 11) = 20.71, p < .001, \eta_p^2 = .65$)。これは記憶項目によって CDA が得られたことを示す。確率と側性に交互作用は認められなかった ($F(3, 33) = 0.43, p = .651, \eta_p^2 = .04$)。これは、CDA は確率条件間で差がなかったことを示す。確率と電極位置の交互作用が認められた ($F(6, 66) = 2.83, p = .037, \eta_p^2 = .20$)。多重比較の結果、0% 条件では P3/4 における電位が O1/2 ($t(11) = 2.66, p = .022$) および T5/6 ($t(11) = 2.92, p = .014$) における電位よりも小さく、100% 条件では P3/4 における電位が O1/2 ($t(11) = 2.51, p = .030$) および T5/6 ($t(11) = 2.70, p = .021$) における電位よりも小さかった。さらに、電極位置と側性の交互作用が認められた ($F(2, 22) = 5.79, p = .010, \eta_p^2 = .21$)。多重比較の結果、同側の電位は P3/4 から得られた電位よりも O1/2 から得られた電位の方が大きく ($t(11) = 2.49, p = .030$)、対側の電位は P3/4 から得られた電位よりも T5/6 から得られた電位の方が大きかった ($t(11) = 2.26, p = .045$)。

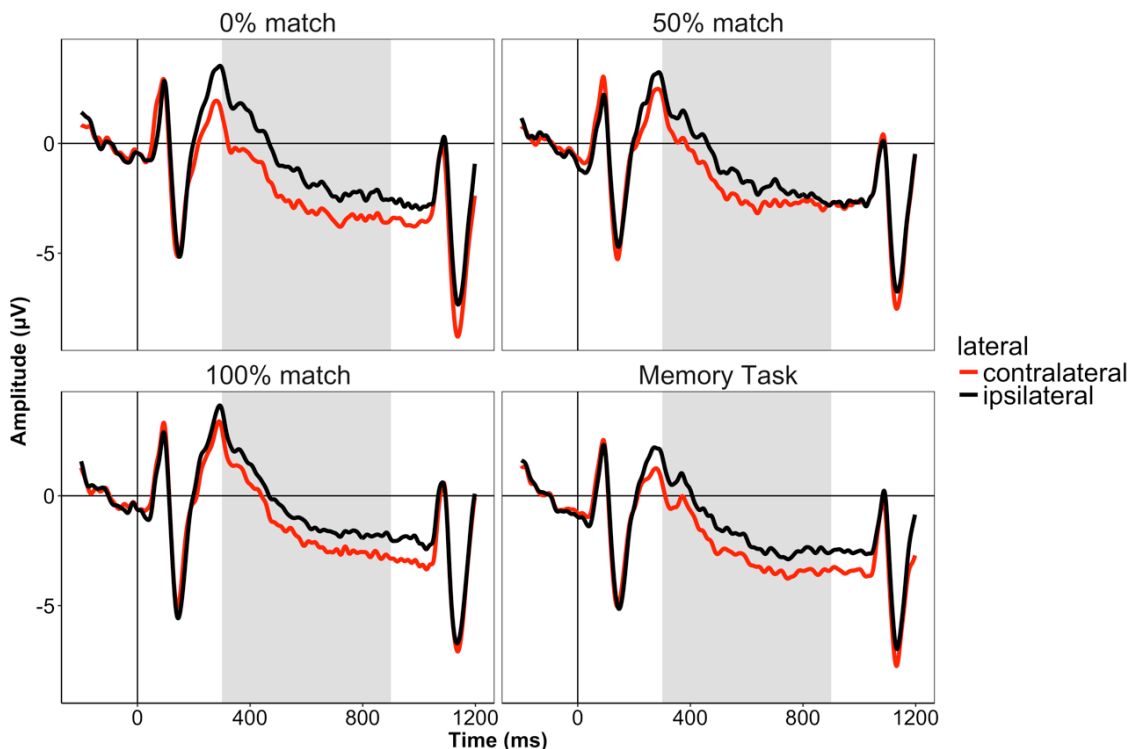


Figure 3.3. The averaged CDA waveforms for each condition. The CDA was calculated by subtracting the ipsilateral EEG activity from contralateral EEG activity between 300 and 900 ms (marked by the gray rectangular region).

P3

次に、分析に使用した電極 (Fz, Cz, Pz) において、確率条件ごとに脳波データを平均化した P3 波形を Figure 3.4 に示す。確率×電極の 2 要因分散分析を行ったところ、電極の主効果が有意だった ($F(2, 22) = 6.04, p = .021, \eta_p^2 = .35$)。多重比較の結果、Pz における振幅は Fz における振幅よりも大きく ($t(11) = 2.67, p = .022$), Cz における振幅よりも大きかった ($t(11) = 2.29, p = .043$)。さらに、確率の主効果が有意だった ($F(3, 33) = 4.42, p = .024, \eta_p^2 = .29$)。多重比較の結果、100 %条件における P3 は 0 %条件および記憶課題よりも大きく ($t(11) = 3.26, p = .022; t(11) = 3.77, p = .009$), 50 %条件よりも大きい傾向だった ($t(11) = 2.47, p = .093$)。電極位置と確率の交互作用は認められなかった ($F(6, 66) = 2.19, p = .108, \eta_p^2 = .17$)。

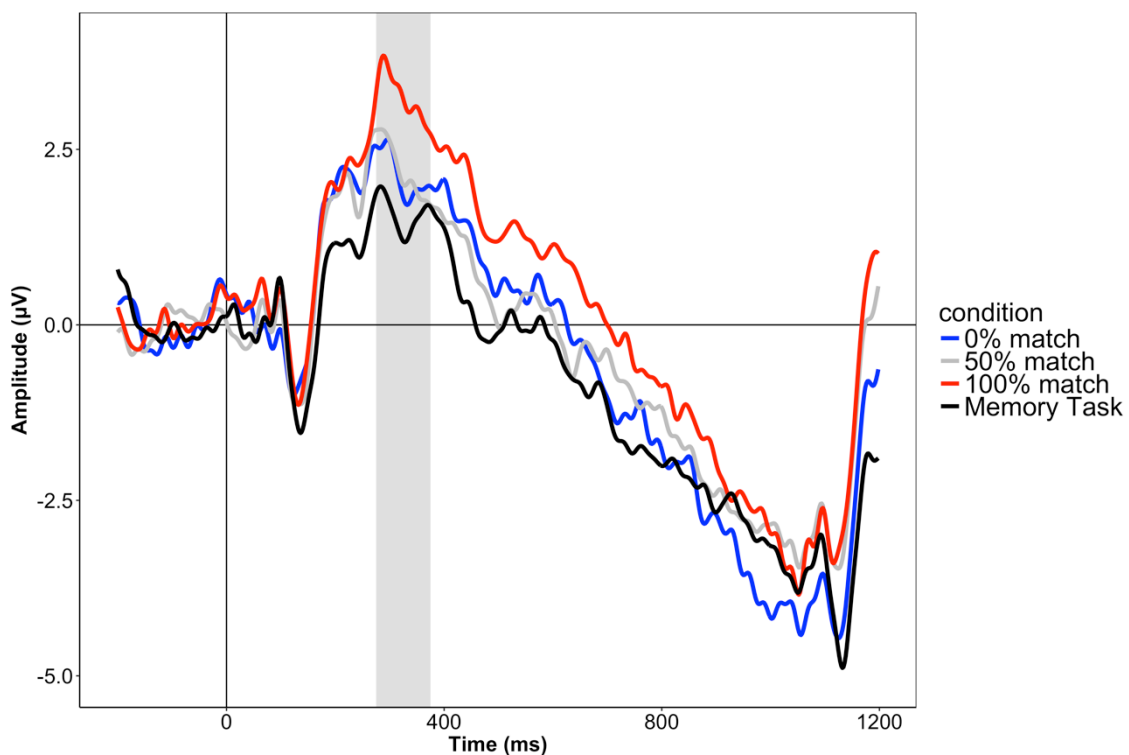


Figure 3.4. The averaged P3 waveforms across conditions from mean amplitude at Fz, Cz, and Pz between 275 and 375 ms (marked by the gray rectangular region).

3.2.3. 考察

本研究の目的は、事前の課題についての知識が刺激の処理にどのように影響するかを検討することだった。行動データの分析の結果、100 %条件におけるベネフィットは 50 %条件のベネフィットよりも大きかった。100 %条件では、実験参加者はワーキングメモリに保持

する刺激の色が標的刺激の色と一致しやすいことを事前に知っていた。この結果は、記憶駆動性の注意捕捉は事前に与えられた情報によって意図的に制御されるという先行研究の結果を再現する (Carlisle & Woodman, 2011; Kiyonaga et al., 2012; Kuo et al., 2013)。

一方で、0%条件と50%条件のコストに差は認められなかった。この結果は記憶課題の負荷の観点から説明できる。Kiyonaga et al. (2012) は実験2において、同一色カテゴリ内の刺激を使用することで実験1よりも記憶課題の難易度を高めた。その結果ベネフィットは実験1と同様に確率によって変化したものの、コストの確率による変化は認められなくなった。Kiyonaga et al. (2012) は、記憶する負荷が高まった結果より精緻な記憶表象を生成することが必要となり、不一致試行では記憶駆動性の注意捕捉の意図的な調整を阻害したと結論している。この考えは本研究によっても支持される。本研究では傾いた2つの線分をワーキングメモリに保持する必要がある、色のついた1つの四角形 (Carlisle & Woodman, 2011) やオブジェクト (Kuo et al., 2013) を保持する事態よりも負荷は高かったといえる。その事態においてもベネフィットは確率によって変化した、コストに確率による差は認められなかった。つまり、記憶の負荷は記憶駆動性の注意捕捉を増強させることと抑制することに異なった影響を与えうる。

確率条件によるCDAの差は認められなかった。この結果は、事前の知識はワーキングメモリ内の情報の状態に影響を及ぼさなかったことを示す。つまり、一致試行の確率によらず、質的に同等のワーキングメモリ表象が視覚探索課題に使用されていたことが示唆される。加えて、記憶課題におけるCDAと記憶もしくは探索課題におけるCDAに差は認められなかった。この結果は、ワーキングメモリ内の情報の質は後続の課題によって変化しないという先行研究の結果を再現する (Gunseli et al., 2014)。本研究の結果は、保持されている情報が後続の視覚探索課題の標的刺激の情報を予測する事態でもCDAは変化しないことを示しており、これらの知見を拡大したものといえる。

100%条件のP3は他の確率条件や記憶課題におけるP3よりも大きかった。P3の振幅は刺激への注意配分量を反映する (Polich, 2007)。したがってこの結果は、事前知識は記憶項目への注意の割り当てをコントロールしたことを示す。つまり、一致試行の確率が高い場合に、記憶する刺激へより注意を割り当てていたことが示唆される。加えて、これらの結果は100%条件で視覚探索の遂行が早くなったという行動結果と整合するものである。

ERPの結果を反応時間の結果と組み合わせると下記のように説明できる。事前に与えられた一致試行の確率の情報によって実験参加者は記憶する項目に対する注意の割り当てを

変える。一致試行の確率が高い事態では、記憶する刺激の情報が後続の視覚探索課題で有用であるとタグ付けをする（P3の振幅の増大）。その結果、後続の課題の成績が向上する（ベネフィットの増加）。刺激の評価が終わった保持の段階では、表象されている情報の質はCDAの結果には反映されず、確率にかかわらず一定であった。つまり、情報の保持とその使用は分離できるプロセスである可能性がある。

第4章 注意制御の学習と処理過程

4.1. 研究の目的

無視手がかりを用いた視覚探索が可能かどうかについて、標的刺激の検出に時間のかかる課題では、すぐに標的刺激が検出できる課題よりも無視手がかりを用いた視覚探索が遂行しやすいことが示されている (Beck et al., 2017; Han & Kim, 2009; Kugler et al., 2015; Moher & Egeth, 2012)。その一方で、同じ特徴を繰り返し抑制するという学習が無視手がかりを用いた妨害刺激の抑制に主要な役割を果たすことも示されている (Cunningham & Egeth, 2016)。このように、無視手がかりを用いた視覚探索は即時的に実行することが難しく、標的刺激の検出に時間がかかるという課題特性という要因と、繰り返し同一の特徴を抑制するという学習という要因が無視手がかりを用いた妨害刺激の抑制に影響することが示されている。それでは、標的刺激の検出に時間がかかるという課題特性は妨害刺激の抑制の学習を促進しうるのだろうか。これまで両者の要因は独立に検討されていたため、両者がどのように相互作用して無視手がかりを用いた視覚探索の遂行に影響するかは明らかではない。

そこで本研究では、標的刺激の検出に時間がかかることが妨害刺激抑制における学習効果を促進するか否かを検討する。標的刺激の検出までの時間をセットサイズによって操作した。標的刺激が容易に検出できる特徴探索課題では、標的刺激の検出時間はセットサイズによらず一定であるが、本実験で用いるような結合探索課題では、標的刺激の検出時間はセットサイズの増加に伴い遅延する (Bravo & Nakayama, 1992; Wolfe & Horowitz, 2017)。本実験では、Cunningham & Egeth (2016) が用いていたセットサイズ 12 条件とセットサイズ 16 条件を比較した。セットサイズが大きいセットサイズ 16 条件の方が標的刺激の検出に時間がかかるため、無視手がかりを用いた視覚探索が遂行しやすいと予測される。さらに、学習が妨害刺激の抑制に与える影響を検討するために、課題を構成する 288 試行を 72 試行ごとの 4 ブロックに分け、それぞれのブロックで無視試行と中立試行の反応時間を算出した。もし同一の特徴を抑制する学習によって無視手がかりを用いた視覚探索の遂行が実行されるのであれば、後半のブロックで無視手がかりによる反応時間の利得が認められると予測される。加えて、もし学習による利得効果が標的の検出に時間がかかるという課題要求によって促進されるのであれば、セットサイズ 12 条件よりもセットサイズ 16 条件において無視手がかりの利得効果がより前半のブロックで認められるか、利得効果がより大きいと予測

される。

4.2. 実験 4

4.2.1. 方法

実験参加者

母語を日本語とする 48 名の大学生および大学院生が実験に参加した。24 名がセットサイズ 12 の視覚探索課題を遂行し（女性 21 名，男性 3 名，平均年齢 20.9 歳， $SD = 2.2$ ），残り 24 名がセットサイズ 16 の視覚探索課題を遂行した（女性 16 名，男性 8 名，平均年齢 20.9 歳， $SD = 2.1$ ）。すべての実験参加者は裸眼および矯正視力が正常だった。全員が右利きだった。実験参加者には事前に実験の目的と手続きを説明し同意を得た。

装置

刺激の呈示には 19 インチのモニタ（iiyama 社製，解像度：1280×1024 ピクセル，リフレッシュレート：60Hz）を用いた。刺激の制御および反応時間の測定等は MATLAB (MathWorks 社) および Psychtoolbox (v 3.0.11 : Brainard, 1997) を用いた。実験参加者の反応はキーボードから取得した。また，実験参加者の頭部の位置を固定するためにあご台を使用した。

刺激

すべての刺激は黒色背景上に呈示された。白色の注視点 ($0.6^\circ \times 0.6^\circ$) が試行を通して画面の中央に呈示された。探索項目は 12 個または 16 個のカタカナによって構成された（それぞれセットサイズ 12 条件，セットサイズ 16 条件）。探索項目は $1^\circ \times 1^\circ$ で，注視点から半径 6° の架空の円上に等間隔で配置された。

各試行で「サ」もしくは「ヨ」のいずれか一方が標的刺激として呈示された。残りの妨害刺激は「サ」と「ヨ」を除く 44 個のカタカナの中から各試行でランダムに選択された。8 色の弁別しやすい色が探索項目に用いられた。その色は赤 (255, 0, 0)，青 (0, 0, 255)，緑 (0, 255, 0)，黄 (255, 255, 0)，桃 (255, 182, 193)，紫 (139, 0, 139)，橙 (255, 165, 0)，水色 (0, 255, 255) だった。

試行には中立試行と無視試行の 2 種類が設けられた。中立試行ではランダムに選択されたセットサイズの半数の文字が同じ色で呈示された (6 文字もしくは 8 文字：多数色)。そ

の他の残り半数の文字は異なる 2 色で呈示された（少数色）。それぞれの文字の位置は各試行でランダムに決定された。標的刺激の文字は多数色か少数色のいずれかで呈示された。したがって、中立試行では色は探索の手がかりとはならなかった。一方の無視試行では標的刺激はかならず少数色で呈示された。多数色は無視すべき色として手がかり呈示された。無視すべき色は実験参加者にランダムに割り当てられ、かつ実験を通して一定だった。このように、無視試行では無視すべき色が与えられるため、実験参加者は妨害刺激の色をあらかじめ知ったうえで探索を行うことができた。

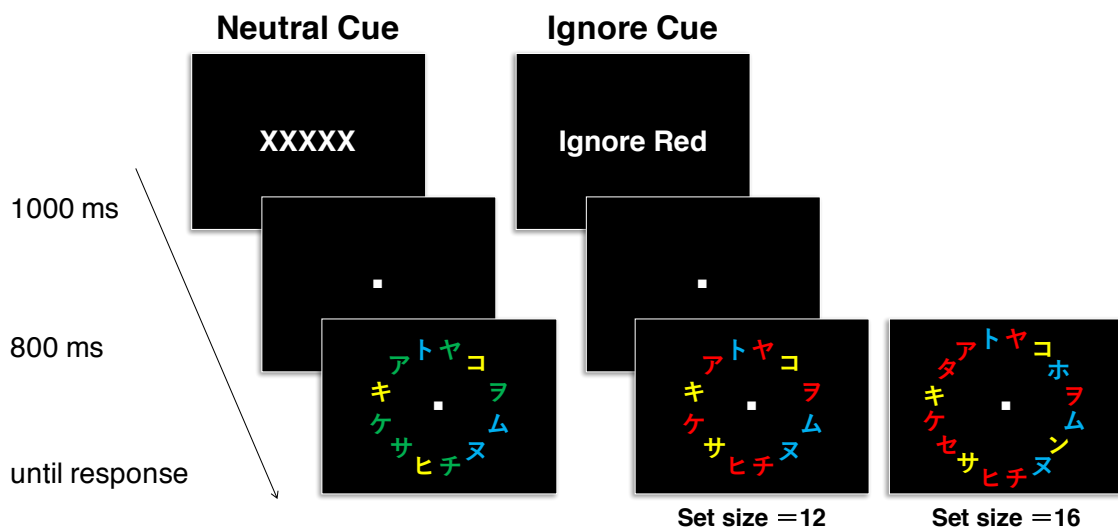


Figure 4.1. Examples of the ignore and neutral trials in Experiment 1 (left) and 2 (right). *Note.* The actual experiment used Japanese equivalents for ignore cue. This figure is not to scale.

手続き

実験参加者はモニターから約 57 cm の位置に着席してモニターを観察した。試行のはじめに手がかりが 1000 ms 呈示された。中立試行では画面の中央に白色で「XXXXX」と呈示された。無視試行では無視すべき色の名称が画面の中央に白色で呈示された(e.g., 「無視 赤」)。手がかりの呈示後、800 ms のブランクをはさんで刺激が実験参加者の反応があるまで呈示された。課題はなるべく速く正確に標的刺激が「サ」か「ヨ」のどちらであるかをキー押しによって報告することだった。標的刺激が「サ」のときはFキーを、「ヨ」のときはJキーを押すことが求められた。キー押しの正誤に対するフィードバックは与えられなかった。試行間間隔は 500 ms だった (Figure 4.1)。

本実験では中立試行と無視試行それぞれが 50% ずつ含まれる 288 試行を実験参加者に課

した。中立試行と無視試行の呈示はブロック内でランダム順だった。実験参加者は中立試行 6 試行からなる練習試行のあとに本試行を受けた。実験参加者は必要に応じて 16 試行ごとに休憩をとることができた。実験に要した時間はおよそ 30 分だった。

4.2.2. 結果

平均反応時間の分析

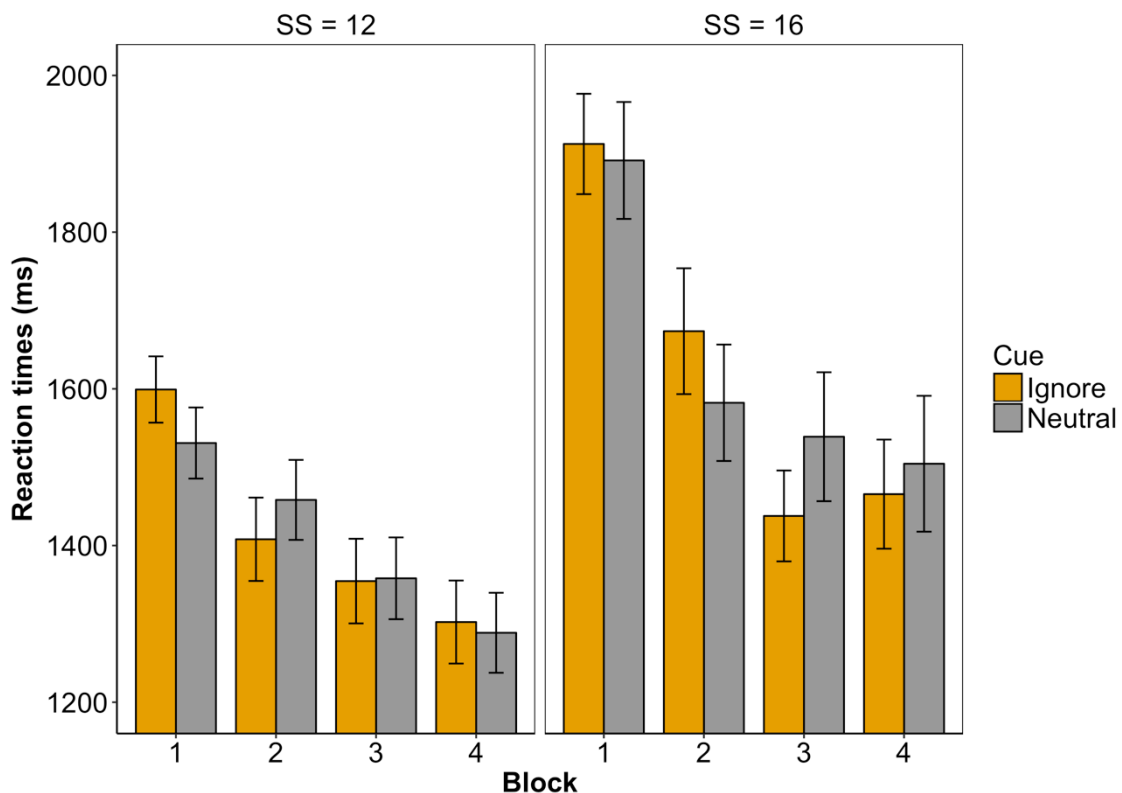


Figure 4.2. Mean reaction times in ignore and neutral cue conditions across blocks for set size (SS) = 12 condition (left) and SS = 16 condition (right). Error bars indicate standard errors.

100 ms 以下の反応ならびに平均の反応時間の 3.5SD の範囲を超過する試行は分析から取り除いた (セットサイズ 12 条件: 全試行の 0.3%, セットサイズ 16 条件: 全試行の 0.7%)。実験を通しての手がかりの効果を分析するために, 全試行 72 試行からなる 4 ブロックに分割した (Figure 4.2)。

参加者ごとにブロック別, 手がかり条件別に算出した平均反応時間を従属変数として, セットサイズ (12, 16) を被験者間要因, 手がかり (中立試行, 無視試行) とブロック (ブロック 1, ブロック 2, ブロック 3, ブロック 4) を被験者内要因とした 3 要因混合計画の分散

分析を行った。反応時間の分散分析の結果、セットサイズの主効果が有意だった ($F(1, 46) = 7.53, MSe = .580, p = .009, \eta_p^2 = .14$)。これは、セットサイズ 16 条件の方がセットサイズ 12 条件に比べて課題の遂行にかかる時間が長かったことを示す。手がかりの主効果は有意ではなく ($F(1, 46) = 0.00, MSe = .032, p = .996, \eta_p^2 = .00$)、ブロックの主効果が有意だった ($F(3, 138) = 67.08, MSe = .034, p < .001, \eta_p^2 = .59$)。セットサイズ、手がかり、ブロックの 3 要因の交互作用が認められた ($F(3, 138) = 3.47, MSe = .020, p = .018, \eta_p^2 = .07$) ため、セットサイズごとに手がかり×ブロックの単純交互作用の検定を行う。

セットサイズ 12 条件において、反応時間の分散分析の結果、手がかりの主効果は有意ではなかった ($F(1, 23) = 0.09, MSe = .033, p = .765, \eta_p^2 = .00$)。ブロックの主効果は有意だった ($F(3, 69) = 19.07, MSe = .034, p < .001, \eta_p^2 = .45$)。シェイファーの方法で下位検定を行った結果、ブロック 1 の反応時間はブロック 2、ブロック 3 およびブロック 4 よりも遅く ($t(23) = 3.28, p = .010; t(23) = 4.81, p < .001; t(23) = 5.87, p < .001$)、ブロック 2 の反応時間はブロック 4 よりも遅かった ($t(23) = 4.50, p < .001$)。手がかりとブロックの交互作用は有意ではなかった ($F(3, 69) = 1.86, MSe = .029, p = .145, \eta_p^2 = .07$)。これらの結果は、手がかりによる反応時間の差はすべてのブロックで認められなかったことを示す。

セットサイズ 16 条件において、反応時間の分散分析の結果、手がかりの主効果は有意ではなかった ($F(1, 23) = 0.06, MSe = .038, p = .809, \eta_p^2 = .00$)。ブロックの主効果は有意だった ($F(3, 69) = 52.96, MSe = .035, p < .001, \eta_p^2 = .70$)。手がかりとブロックの交互作用が有意だった ($F(3, 69) = 3.47, MSe = .023, p = .021, \eta_p^2 = .13$) ため、単純主効果検定を行った結果、ブロック 3 において無視試行の方が中立試行よりも反応時間が短かった ($F(1, 23) = 5.20, MSe = .024, p = .032, \eta_p^2 = .18$) もの、ブロック 1、ブロック 2 およびブロック 4 では無視試行と中立試行の反応時間に差は認められなかった ($F(1, 23) = 0.23, MSe = .023, p = .634, \eta_p^2 = .01$; $F(1, 23) = 2.09, MSe = .048, p = .162, \eta_p^2 = .08$; $F(1, 23) = 1.30, MSe = .014, p = .266, \eta_p^2 = .05$)。また、ブロックが無視試行に与える単純主効果が有意だったため ($F(3, 69) = 36.02, MSe = .032, p < .001, \eta_p^2 = .61$)、シェイファーの方法で多重比較を行った結果、ブロック 1 の無視試行の反応時間はブロック 2、ブロック 3 およびブロック 4 よりも遅く ($t(23) = 4.05, p < .001; t(23) = 59.01, p < .001; t(23) = 9.50, p < .001$)、ブロック 2 の無視試行の反応時間はブロック 3 およびブロック 4 よりも遅かった ($t(23) = 4.19, p = .001; t(23) = 3.58, p = .003$)。さらに、ブロックが中立試行に与える単純主効果が有意だったため ($F(3, 69) = 29.31, MSe = .026, p < .001, \eta_p^2 = .56$)、シェイファーの方法で多重比較を行った結果、ブロック 1 の中立試行の反応時

間はブロック 2, ブロック 3 およびブロック 4 よりも遅かった ($t(23)=7.23, p<.001; t(23)=8.96, p<.001; t(23)=6.84, p<.001$)。これらの結果は, 手がかりによる反応時間の利得はブロック 3 で認められ, それ以外のブロックでは無視手がかりの効果は認められなかったことを示す。

中立試行の分析

本実験で用いた中立試行には, 標的刺激が少数色の中に出現する試行(少数色試行)と, 標的刺激が多数色の中に出現する試行(多数色試行)の2種類があった。これら2つの中立試行の種類によって反応時間が異なる可能性を検証するために, セットサイズ条件ごとに, 色数(少数色試行, 多数色試行)×ブロックの2要因分散分析を行った。

セットサイズ 12 条件について, 色数の主効果は有意ではなく ($F(1, 23)=0.99, MSe=.057, p=.330, \eta_p^2=.04$), ブロックの主効果が有意だった ($F(3, 69)=11.61, MSe=.047, p<.001, \eta_p^2=.34$) 重要なことに, 交互作用 ($F(3, 69)=1.04, MSe=.024, p=.382, \eta_p^2=.04$) は有意ではなかった。同様に, セットサイズ 16 条件について, 色数の主効果は有意ではなく ($F(1, 23)=1.05, MSe=.046, p=.316, \eta_p^2=.04$), ブロックの主効果が有意だった ($F(3, 69)=29.31, MSe=.052, p<.001, \eta_p^2=.56$)。重要なことに, 交互作用 ($F(3, 69)=0.31, MSe=.046, p=.816, \eta_p^2=.01$) は有意ではなかった。以上の結果から, セットサイズ 12 条件と 16 条件ともに, 少数色試行と多数色試行の反応時間差は認められなかったことが示された。

4.2.3. 考察

本研究は, 標的刺激の検出に時間がかかることが妨害刺激抑制における学習効果を促進するか否かを検討した。事前に妨害刺激の特徴を知っていることが後続の視覚探索を効率化するかどうかについて, 試行内の時間過程を検討した研究によって, 妨害刺激を抑制するためには処理に時間がかかることが示されている (Beck et al., 2017; Han & Kim, 2009; Kugler et al., 2015; Moher & Egeth, 2012)。また, 無視手がかりによる妨害刺激抑制の課題内の時間過程を検討した研究によって, 同一の特徴を繰り返し抑制する学習によって無視手がかりを用いた探索が可能になることが示されている (Cunningham & Egeth, 2016)。これらの要因は独立して検討されており, 標的刺激の検出に時間がかかるという課題要求が妨害刺激の抑制における学習効果を促進するか否かは未解明だった。平均反応時間の分析の結果, セッ

トサイズ 16 条件ではブロック 3 で無視手がかりによる利得が認められた。ブロックの後半で無視手がかりによる利得が得られたというこの結果は、同一の特徴を抑制するという学習によって探索が効率化されるという Cunningham & Egeth (2016) の結果を再現する。しかし、ブロック 4 では無視試行と中立試行の反応時間差は有意ではなかった。この結果は、学習による無視手がかりの利得が持続して得られたとする Cunningham & Egeth (2016) の結果と整合しない。無視手がかりの利得が持続しなかった要因として、注意の疲労 (attentional fatigue) の可能性が挙げられる。本実験のような無視手がかりを能動的に用いて標的刺激の検出を行う処理には、容量に限界のある注意システムが関連するため (e.g., Petersen & Posner, 2012), 注意資源容量の枯渇や注意の疲労を引き起こしうる (Warm, Parasuraman, & Matthews, 2008)。注意の疲労のためにブロック 4 では無視手がかりを用いた効率的な探索が認められなかった可能性がある。本実験では、無視すべき色が文字により手がかり呈示され、実験参加者はこの手がかりを能動的に使い続ける必要があった。このような能動的な学習とは対照的に、受動的な知覚学習では焦点的注意をあまり必要としないために、注意の疲労につながりにくいことが指摘されている (Head & Helton, 2015)。本実験の参加者は視覚探索課題を 288 試行遂行した一方で、Cunningham & Egeth (2016) の参加者は同様の課題を 720 試行遂行していた。彼らの実験では、本実験より多くの試行を重ねており、能動的な学習に加え受動的な知覚学習が生起していた可能性がある。今後は、試行数を増やし、受動的な知覚学習と能動的な学習を区別した妨害刺激抑制の機序の検討が必要である。

一方、セットサイズ 12 条件では無視手がかりによる反応時間の利得はすべてのブロックで認められなかった。セットサイズ 16 条件と無視試行の数は同一であり、妨害刺激を抑制した学習量は等価であるにもかかわらず、セットサイズによって無視手がかりを用いた視覚探索は異なる傾向を示した。これらの結果は、課題の負荷が高い場合に妨害刺激の抑制を認めた Han & Kim (2009) の結果と整合する。同一の特徴を抑制することで得られる妨害刺激抑制の学習効果はすべての探索場面で生起するのではなく、課題負荷などの課題要求が学習効果を修飾することが示唆される。

本研究では、妨害刺激抑制における学習効果が課題の負荷によって修飾されるか否かを検討した。実験の結果、無視手がかりを用いた効率的な視覚探索は、標的刺激の検出により時間のかかるセットサイズが大きい条件で、かつ多くの試行を重ねた場合に限定された。これらの結果は、無視手がかりを用いた視覚探索は即時的には実行できず、処理により時間がかかるという知見 (Beck et al., 2017; Han & Kim, 2009; Kugler et al., 2015; Moher & Egeth, 2012)

や一定程度の学習を必要とする知見（Cunningham & Egeth, 2016）と整合する。セットサイズ 16 条件のみに無視手がかりの利得が後半のブロックで認められた本研究の結果は、学習効果はどのような探索課題にも等価に生じるのではなく、標的刺激の検出に時間がかかるという課題要求によって促進される可能性を示唆する。

第5章 妨害刺激抑制の視覚探索処理過程

5.1. 研究の目的

無視手がかりによる特徴に基づいた抑制は視覚探索の後期段階ではたらくことが示されてきた (Beck et al., 2017; Han & Kim, 2009; Kugler et al., 2015; Moher & Egeth, 2012)。この中で Moher & Egeth (2012) は、無視すべき特徴をもつ妨害刺激が複数出現する事態における無視手がかりの効果を検討した。彼らは、無視手がかりが与えられた特徴をもつ妨害刺激が視覚探索課題で1つだけ出現するセットサイズ4条件と、3つ出現するセットサイズ12条件において無視手がかりの効果を検証した。その結果、無視手がかりによるコストはセットサイズ12条件の方がセットサイズ4条件よりも大きかった (142 ms vs. 60 ms)。この結果は、複数の無視すべき項目を抑制することは単一の無視すべき項目を抑制することよりも非効率であることを示している。このことから、Moher & Egeth (2012) は、特徴に基づいた抑制は並列的には行われず、観察者は一つ一つの位置を課題非関連な位置として印付けていたという可能性を提案している。

位置に基づいた抑制について、特徴に基づいた抑制と同様に一定程度の時間を必要とすることが示されてきている (Chao, 2010; Munneke et al., 2008)。しかし、特徴に基づいた抑制と位置に基づいた抑制はそれぞれ異なったパラダイムで検証されており、これらの抑制メカニズムの処理過程に違いがあるのか否かは明らかではない。そこで実験5では、無視手がかりと無視位置手がかりを用い、Moher & Egeth (2012) の実験4の手続きを修正したパラダイム (Figure 5.1) によって手がかりを利用した視覚探索の処理過程を検討した。ここでは、プレースホルダの呈示から視覚探索課題の呈示までの SOA を操作した。これにより、特徴に基づく抑制と位置に基づく抑制の処理過程の違いを視覚探索の段階を切り分けて検討することができる。もし特徴に基づいた抑制と位置に基づいた抑制の両方が項目位置の系列的な符号化を必要とするのであれば、両無視手がかりにおいて長い SOA で反応時間が短くなると予測される。

実験6および実験7では、注目手がかりを用いた視覚探索と無視手がかりを用いた視覚探索が視覚的注意の配分に与える影響の違いを検討する。注目手がかりと無視手がかりが視覚探索成績に与える影響を検討した研究では、注目手がかりの方が注意を課題関連項目に誘導するうえでより効果が大きい (i.e., 反応時間の利得が大きい) ことを示している

(Beck et al., 2017; Beck & Hollingworth, 2015; Becker et al., 2016; Kugler et al., 2015)。しかしながら、「search and destroy」(Moher & Egeth, 2012) の考えに基づくと、妨害刺激の抑制は注意の選択よりも視覚探索処理の後期段階ではたらく。したがって、注目手がかりによる注意選択の促進と無視手がかりによる妨害刺激の抑制を視覚探索処理の初期段階と後期段階に切り分けて比較することが必要である。

Reeder, Olivers, & Pollman (2017) は注目手がかりと無視手がかりを用いた視覚探索中の脳活動を fMRI によって記録した。標的刺激の検出までにかかる反応時間を分析したところ、注目手がかり条件の反応時間は無視手がかり条件の反応時間よりも短いことが示された。これは、無視手がかりを用いた視覚探索は注目手がかりを用いた視覚探索よりも非効率であることを示している。さらに、手がかりと視覚探索課題のあいだの準備期間における fMRI 信号の分析の結果、注目手がかりは視覚領域の賦活を高めたのに対し、無視手がかりは視覚領域の賦活を低減させた。視覚領域の活動が無視手がかりの呈示により抑制されたこの結果は、前頭領域が視覚皮質に抑制性のフィードバックを行う神経メカニズムの存在を示唆する。

まとめると、注目手がかりと無視手がかりを比較したこれまでの研究により、無視手がかりを用いた視覚探索は注目手がかりを用いた視覚探索よりも非効率であることが示されている。しかし、注目手がかりと無視手がかりの視覚探索を誘導する機能的な違いについては十分に説明されていない。第一の可能性は、注目手がかりと無視手がかり効果の違いはそれぞれの手がかりが注意の誘導に影響する時間窓によってのみ説明できる。この考えは、視覚探索の後半では無視手がかりの効果は注目手がかりの効果と同程度に効率的になることを予測する。第二の可能性は、妨害刺激の抑制は視覚探索の後半でも依然として非効率に機能する。手がかり間の神経反応の違い (Reeder et al., 2017) に基づけば、妨害刺激の抑制は視覚探索を通して注意の促進よりも非効率である可能性がある。このように、注目手がかりと無視手がかりの効果の違いが、妨害刺激抑制がはたらくことに時間がかかるためによって生じるのか、無視手がかりを用いることが処理過程に関係なく非効率であることによって生じるのかは明らかでない。

そこで実験 6 および実験 7 では、視覚探索過程における注目手がかりと無視手がかり効果を検討する。本実験では、Moher & Egeth (2012) の実験 4 の手続きを修正したパラダイムを用いる (Figure 5.3)。ここで、注目すべき色および無視すべき色のプレースホルダの数を変えることにより、手がかりセットサイズを操作した (Figure 5.4)。この操作により、注

目手がかりと無視手がかりが同じ情報量を持つ課題設定を実現するとともに、探索勾配と切片を算出することで探索処理を検討できる。探索勾配と切片は手がかりセットサイズに対する反応時間に線形回帰をフィッティングすることにより算出できる。探索勾配は探索の効率性を反映する (e.g., Wolfe, 1998)。探索勾配はセットサイズに対する反応時間の関数の勾配として定義され、探索において 1 項目あたりに走査するのにかかった時間を反映する。効率的な探索は探索関数の勾配がゆるやかで、非効率的な探索は勾配が急峻となる。対して、探索関数の切片は知覚処理や符号化などの探索処理前の処理もしくは標的刺激の同定や反応選択などの探索処理後の処理を反映する (Solman, Cheyne, & Smilek, 2011; Woodman, Vogel, & Luck, 2001)。さらに、Moher & Egeth (2012) の結果にしたがい、色のついたプレーズホルダの呈示から探索課題の呈示までの SOA を 100 ms と 1000 ms に設定した。これにより、注目手がかりと無視手がかりのそれぞれの効果の探索処理の時間的な違いを検討した。もし手がかり間の注意配分の違いがそれぞれの手がかりが機能する時間窓の違いによってのみ生じているのであれば、SOA が 1000 ms の条件において注目手がかりと無視手がかりの両手がかり条件において効率的な探索が認められると予測される。これに対して、もし手がかり間の機能的な違いが無視手がかりの非効率性によって生じるのであれば、SOA が 1000 ms の条件でも無視手がかり条件は注目手がかり条件よりも非効率な探索を示すと予測される。

5.2. 実験 5

5.2.1. 方法

実験参加者

母語を日本語とする 27 名の大学生および大学院生が実験に参加した (女性 20 名, 男性 7 名, 平均年齢 22.9 歳, $SD=6.7$)。すべての実験参加者は裸眼および矯正視力が正常だった。利き手は 1 名が左利きで、残り全員が右利きだった。実験参加者には事前に実験の目的と手続きを説明し同意を得た。

装置

刺激の呈示には 19 インチのモニタ (iiyama 社製, 解像度: 1280×1024 ピクセル, リフレッシュレート: 60Hz) を用いた。刺激の制御および反応時間の測定等は MATLAB (MathWorks

社) および Psychtoolbox (v 3.0.11 : Brainard, 1997) を用いた。実験参加者の反応はキーボードから取得した。また、実験参加者の頭部の位置を固定するためにあご台を使用した。

刺激

探索項目は 16 文字のカタカナで構成された。標的刺激は「サ」もしくは「ヨ」だった。妨害刺激はその他のカタカナから試行ごとにランダムに選ばれた。刺激の色には赤 (255, 0, 0), 青 (0, 0, 255), 緑 (0, 255, 0), 黄 (255, 255, 0), 桃 (255, 182, 193), 紫 (139, 0, 139), 橙 (255, 165, 0), 水色 (0, 255, 255) が用いられた。探索画面は 3 色で構成された。1 色は 8 項目に対して用いられ (多数色), の残りの 2 色が 4 項目ずつに対して割り当てられた (少数色)。また、プレースホルダの大きさは $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$ だった。

手続き

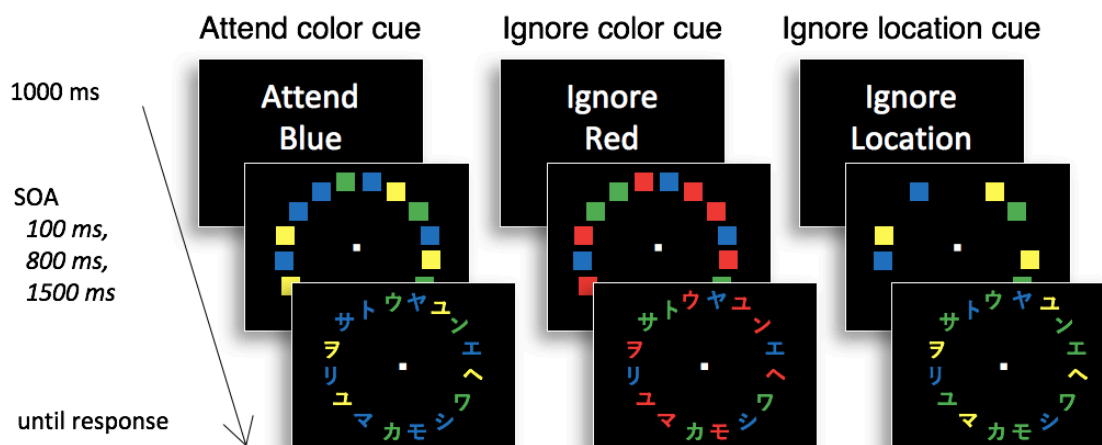


Figure 5.1. Example trials in three cue conditions (attend, ignore-color, and ignore-location cues). Participants were asked to indicate whether a “サ” or “ヨ” was present as quickly and accurately as possible. Prior to the visual search display, colored placeholders consisted of squares appeared to indicate the locations of upcoming search letters for a variable duration (100, 800, or 1500 ms). Attend cue showed target color. Ignore-color cue showed distractor color. Ignore-location cue showed distractor candidate locations. *Note.* This figure is not to scale.

Figure 5.1 に実験の手続きを示す。実験参加者はモニタから約 57 cm の距離に着席し、モニタを観察した。課題はブロック化された 3 条件で構成された (色注目・色無視・位置無視)。それぞれの課題は 1000 ms の手がかり画面で開始された。次にプレースホルダが提示された。プレースホルダの位置と色は後続の探索項目の位置と色と同じだった。プレースホ

ルダの呈示から探索項目の呈示までの SOA は 100 ms, 800 ms, 1500 ms だった。視覚探索画面は参加者が反応するまで呈示された。色注目・色無視条件ではプレースホルダは 16 個呈示された。色注目条件では標的刺激の色が手がかり呈示され (e.g., 「注目 青」), その色は多数色だった。色無視条件では妨害刺激の色が手がかり呈示され (e.g., 「無視 赤」), その色は多数色だった。位置無視条件では位置を無視するように手がかりが与えられ (e.g., 「無視 位置」), プレースホルダが 8 個呈示され, これらは妨害刺激の位置を示した。標的刺激の手がかり色ならびに妨害刺激の手がかり色は課題のあいだ固定されており, 参加者ごとにランダムに色が割り当てられた。各条件は 96 試行で, カウンターバランスを取った順序で実施した。それぞれのブロックの前に 12 試行 (最大で 24 試行) の練習が与えられた。実験に要した時間はおよそ 40 分だった。

5.2.2. 結果

反応時間が全参加者の平均反応時間の $\pm 2SD$ を超える 2 名を分析から除外した。参加者ごとに, 平均反応時間の $3.5SD$ の範囲を超過する試行を分析から除外した (全試行の 1.1%)。各条件の誤答率は低かったため (色注目: 0.88%; 色無視: 1.58%, 位置無視: 1.25%), 反応時間のみを分析の対象とする。

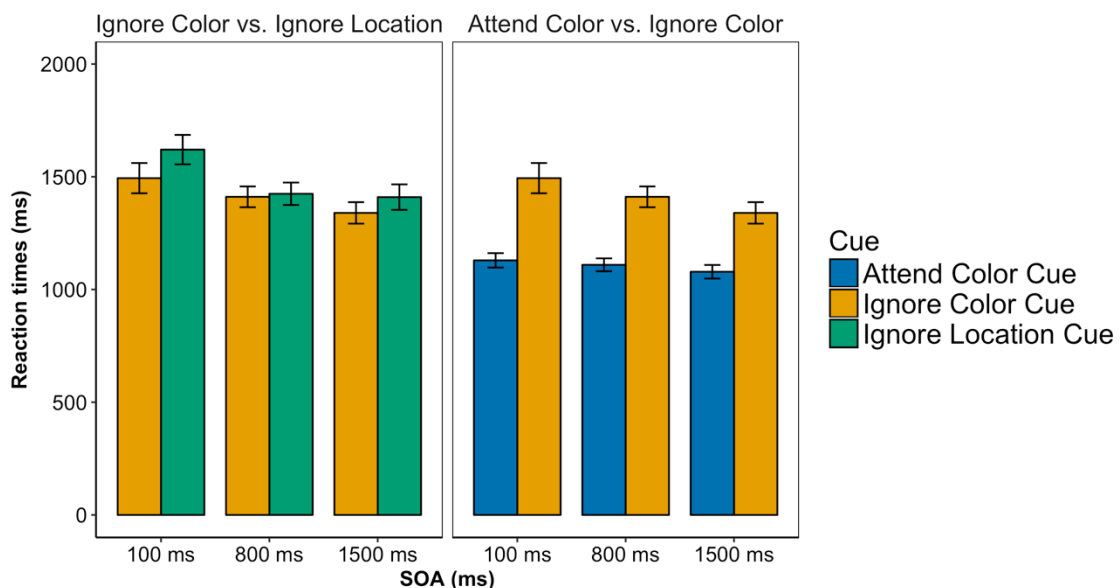


Figure 5.2. RTs for ignore-color vs. ignore-location cues (left), and for attend-color vs. ignore-color cues (right). Error bars indicate standard errors.

色の無視×位置の無視

手がかり（色無視，位置無視）×SOA（100 ms，800 ms，1500 ms）の被験者内2要因分散分析を行なった（Figure 5.2, left）。手がかりの主効果は有意ではなかった（ $F(1, 24) = 1.89$, $MSe = .097$, $p = .182$, $\eta_p^2 = .07$ ）。SOAの主効果が有意だった（ $F(2, 48) = 15.48$, $MSe = .029$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .39$ ）。シェイファーの方法で多重比較を行ったところ，SOAが800 msの場合の反応時間はSOAが100 msの場合の反応時間よりも短く，SOAが1500 msの場合の反応時間はSOAが100 msの場合の反応時間よりも短かった（ $t(24) = 3.44$, $p = .002$; $t(24) = 5.81$, $p < .001$ ）。SOAが800 msの場合と1500 msの場合に反応時間の差はなかった（ $t(24) = 1.44$, $p = .164$ ）。手がかりとSOAのあいだに交互作用は認められなかった（ $F(2, 48) = 1.54$, $MSe = .026$, $p = .225$, $\eta_p^2 = .06$ ）。

色の注目×色の無視

手がかり（色注目，色無視）×SOA（100 ms，800 ms，1500 ms）の被験者内2要因分散分析を行なった（Figure 5.2, right）。手がかりの主効果およびSOAの主効果が有意だった（ $F(1, 24) = 74.78$, $MSe = .048$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .76$; $F(2, 48) = 6.82$, $MSe = .019$, $p = .003$, $\eta_p^2 = .22$ ）。SOAについて，シェイファーの方法で多重比較を行なったところ，SOAが1500 msの場合の反応時間はSOAが100 msの場合の反応時間よりも長かった（ $t(24) = 3.57$, $p = .002$ ）。SOAが100 msの場合と800 msの場合，およびSOAが800 msの場合と1500 msの場合に反応時間の差は認められなかった（ $t(24) = 1.77$, $p = .090$; $t(24) = 2.02$, $p = .055$ ）。手がかりとSOAの交互作用は認められなかった（ $F(2, 48) = 2.54$, $MSe = .013$, $p = .089$, $\eta_p^2 = .10$ ）。

5.2.3. 考察

実験5では，同一のパラダイムを用いて特徴に基づく抑制と位置に基づく抑制の視覚探索処理過程を比較検討した。実験の結果，SOAによる反応時間の変化に無視色・無視位置手がかり間の違いは認められなかった。この結果は，本実験のパラダイムにおいては，色と位置の無視手がかりの利用に差はないことを示している。これは，無視すべき色手がかりが与えられた妨害刺激が複数呈示される場合，特徴に基づいた並列的な抑制は困難で，位置の抑制と類似した処理が行われていることを示す。つまり，無視色手がかりを用いた視覚探索を実行するためには，無視すべき項目の位置を系列的に符号化することを必要とする。

特徴に基づく抑制 (Han & Kim, 2009; Kugler et al., 2015; Moher & Egeth, 2012) と位置に基づく抑制 (Chao, 2010; Munneke et al., 2008) は、視覚処理の後期段階ではたらくことが示唆されている。本実験はこの考えを支持するものである。無視色手がかり条件と無視位置手がかり条件の反応時間を比較したところ、SOA = 100 ms 条件の反応時間は SOA = 800 ms 条件ならびに SOA = 1500 ms 条件よりも遅かった。この結果は、無視する刺激属性によらず、課題非関連情報の抑制は視覚探索の後期段階で実行されることを示している。

一方、注目色手がかり条件と無視色手がかり条件の反応時間を比較したところ、SOA が短い条件から手がかり間の反応時間差が認められた。16 個中 8 個が標的刺激の候補になるという情報は等価であるにもかかわらず、色の注目手がかりと色の無視手がかりの条件間に反応時間の違いが SOA によらず認められた。この結果は、特徴への注意は視覚探索の初期段階からはたらく一方で、特徴に基づいた抑制は視覚探索の後期段階ではたらくという異なった視覚処理プロセスの存在を示唆する。そこで実験 6 および実験 7 では、特徴への注意と特徴への抑制の視覚探索処理過程における機能的な違いを明らかにするために、視覚探索処理の初期段階と後期段階に切り分けて、探索関数の探索勾配と切片を算出し、比較する。

5.3. 実験 6

5.3.1. 方法

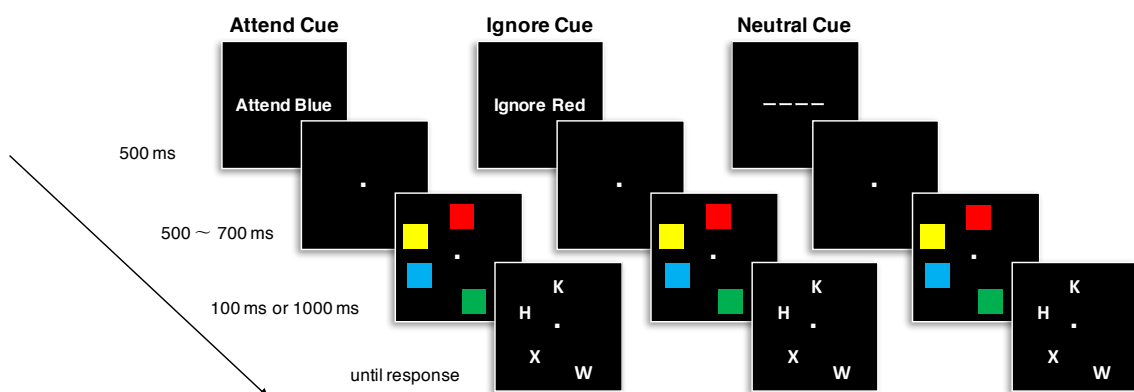


Figure 5.3. Example trials in three cue conditions (attend, ignore, and neutral cues). Participants were asked to indicate whether a “X” or “N” was present as quickly and accurately as possible. Prior to the visual search display, colored placeholders consisted of squares appeared to indicate the locations of upcoming search letters for a variable duration (100 or 1000 ms). Attend cue showed target candidate locations. Ignore cue showed distractor candidate locations. Neutral cue showed no information. *Note.* This figure is not to scale.

実験参加者

24名の大学生および大学院生が実験に参加した（女性23名，男性1名，平均年齢20.6歳， $SD=2.5$ ）。すべての実験参加者は裸眼および矯正視力が正常だった。利き手は2名が左利きで，残り全員が右利きだった。実験参加者には事前に実験の目的と手続きを説明し同意を得た。

装置

刺激の呈示には19インチのモニタ（iiyama社製，解像度：1280×1024ピクセル，リフレッシュレート：60Hz）を用いた。刺激の制御および反応時間の測定等はMATLAB（MathWorks社）およびPsychtoolbox（v3.0.11：Brainard, 1997）を用いた。実験参加者の反応はキーボードから取得した。また，実験参加者の頭部の位置を固定するためにあご台を使用した。

刺激

視覚探索画面上に毎試行4文字が呈示され，文字の大きさは $0.57^\circ \times 0.57^\circ$ だった。文字の色は白（255, 255, 255）だった。標的刺激は「X」または「N」で，その他の3つの妨害刺激は「H」，「K」，「M」，「V」，「W」，「Z」の6文字の中からランダムに選択され，呈示された。文字の呈示位置は100箇所の位置からランダムに選択された4箇所だった。100箇所の呈示位置は注視点を中心とした 10×10 のマトリクスで構成された。マトリクスにおいて注視点からもっとも離れた位置の視角は 9.53° で，文字間の最短の視角は 1.43° だった。文字の出現前に，色のついた4個の四角形（ $0.96^\circ \times 0.96^\circ$ ）が呈示された。これらのプレースホルダの位置は後続の文字の出現位置を示していた。プレースホルダの色には赤（255, 0, 0），青（0, 0, 255），緑（0, 255, 0），黄（255, 255, 0）の4色が用いられた。

条件

手がかり条件には注目手がかり条件・無視手がかり条件・中立手がかり条件の3つの条件が設けられた。注目手がかり条件では，プレースホルダの呈示前に色名が呈示され（e.g., 「注目 青」），標的刺激が出現する位置を予測した。無視手がかり条件では，プレースホルダの呈示前に色名が呈示され（e.g., 「無視 赤」），妨害刺激が出現する位置を予測した。中立手がかり条件では，プレースホルダの呈示前に線分が呈示され（e.g., 「-----」），プレースホルダの色と標的刺激の位置に予測性がないことを示した。

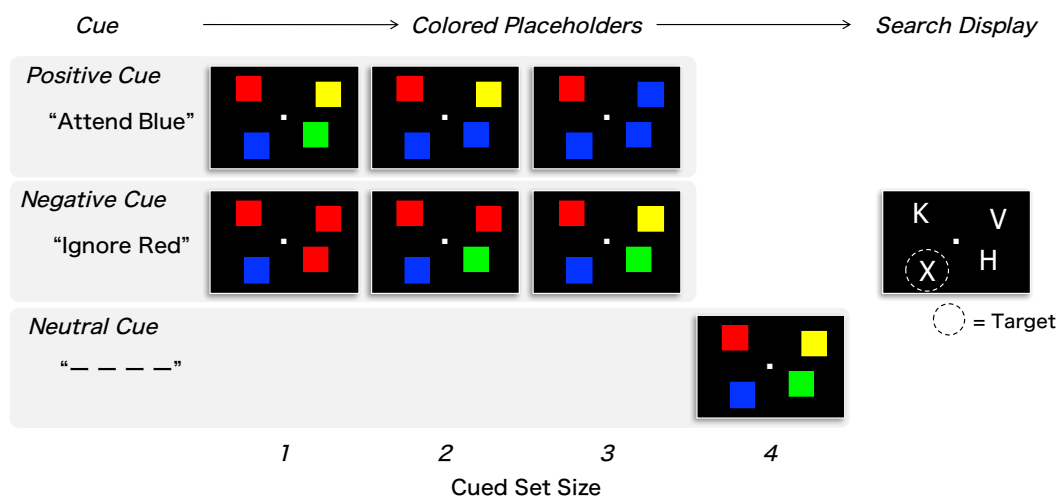


Figure 5.4. Experimental manipulation of cued set size. Colored placeholders showed target or distractor candidate location(s). In both attend and ignore cue conditions, cued set size was manipulated by changing the number of cued colors in placeholders (see method for detail). Note that this figure is not to scale, and squares in colored placeholders as shown here (used in Experiment 6) were changed to four different shapes in Experiment 7.

注目手がかり条件と無視手がかり条件について、プレースホルダの色の数によって課題関連項目数が操作された (Figure 5.4)。注目手がかり条件では、手がかりされた色が 1 色、2 色、3 色の場合が設けられ、それぞれの課題関連項目数は 1, 2, 3 だった (それぞれ手がかりセットサイズ 1, 2, 3 条件)。無視手がかり条件では、手がかりされた色が 1 色、2 色、3 色の場合が設けられ、それぞれの課題関連項目数は 3, 2, 1 だった (それぞれ手がかりセットサイズ 3, 2, 1 条件)。中立手がかり条件では、すべての試行でプレースホルダの色は赤、青、緑、黄の 4 色が用いられ、色と標的刺激位置の関連性はなかった。つまり、標的刺激がどのプレースホルダ位置に出現するかについての情報はなかった (手がかりセットサイズ 4 条件)。

プレースホルダの呈示から視覚探索課題の呈示までの SOA について、100 ms と 1000 ms の 2 条件が設けられた。それぞれの呈示時間はブロック化された。

手続き

Figure 5.3 に試行の流れを示す。実験参加者はモニタから約 57 cm の距離に着席し、モニタを観察した。各試行は 500 ms の手がかり呈示で開始された。手がかりの呈示後、注視点が 500 ms, 600 ms, または 700 ms のあいだ呈示された。注視点の呈示時間は試行ごとにランダムだった。注視点の呈示後、プレースホルダが 100 ms または 1000 ms のあいだ呈示さ

れた（呈示時間はブロック化された）。ついで4文字の探索項目が出現した。実験参加者は、「X」または「N」を検出し、なるべく早くキーを押すことが求められた（「X」のときFキー、「N」のときJキー）。探索項目は実験参加者の反応があるまで呈示された。

Table 5.1. The number of the trials for each condition.

	Placeholder durations	
	100 ms	1000 ms
Attend cue	72 trials	72 trials
Ignore cue	72 trials	72 trials
Neutral cue	24 trials	24 trials

各条件の試行数を Table 5.1 に示す。手がかり条件と SOA 条件はブロック化された。課題に関連する項目数はブロック内でランダムに呈示された。注目手がかりと無視手がかりそれぞれにおいて、手がかりセットサイズの3条件（1, 2, 3）は24試行ずつランダムに呈示された。手がかり（注目手がかり、無視手がかり、中立手がかり）と SOA（100 ms, 1000 ms）で構成される6ブロックの順序は実験参加者ごとにランダムに割り当てられた。実験参加者は必要に応じて24試行ずつ休憩を取ることができた。

実験のはじめに実験参加者は24試行の中立試行からなるトレーニングを受けた。ここではプレースホルダの呈示時間（100 ms または 1000 ms）はランダムに変化した。トレーニング段階のみ、フィードバックとして実験参加者の反応の正誤が画面中央に500 ms 呈示された（“CORRECT!” or “ERROR!”）。

5.3.2. 結果

平均反応時間の分析

Figure 5.5 (top) に条件ごとの平均反応時間を示す。参加者ごとに、平均反応時間の3.5SDの範囲を超過する試行を分析から除外した（全試行の0.6%）。SOA（100 ms, 1000 ms）×手がかり（注目手がかり、無視手がかり）×手がかりセットサイズ（1, 2, 3）の3要因被験者内分散分析を行った。SOA, 手がかり, および手がかりセットサイズの主効果がそれぞれ

れ有意だった ($F(1, 23) = 449.86, MSe = .009, p < .001, \eta_p^2 = .95; F(1, 23) = 95.39, MSe = .008, p < .001, \eta_p^2 = .81; F(2, 46) = 215.93, MSe = .009, p < .001, \eta_p^2 = .90$)。SOA, 手がかり, 手がかりセットサイズの3要因の交互作用が認められたため ($F(2, 46) = 3.22, MSe = .130, p = .049, \eta_p^2 = .12$)、SOA ごとに手がかり×手がかりセットサイズの単純交互作用の検定を行う。

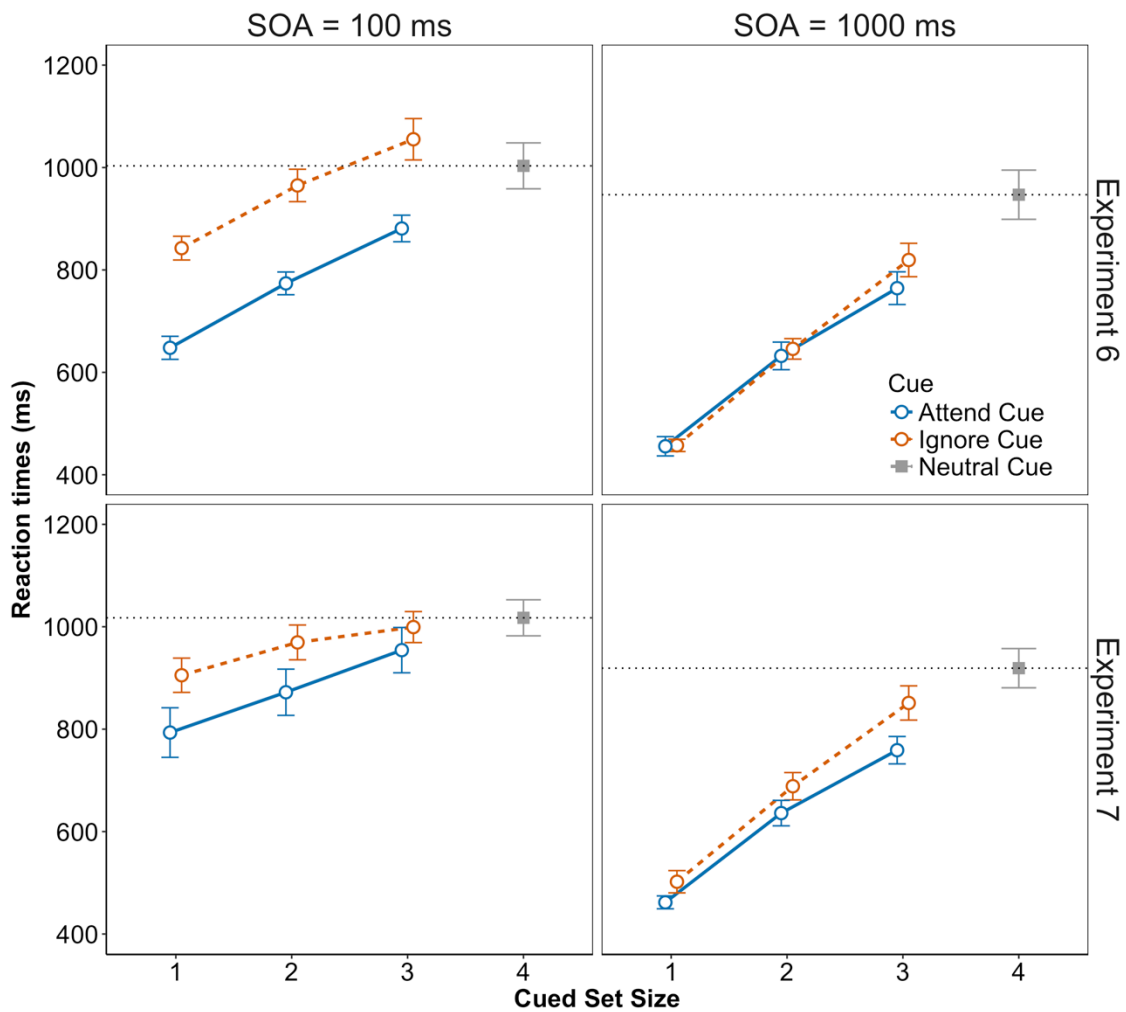


Figure 5.5. Mean reaction times (ms) for attend, ignore, and neutral cue conditions under the cued set size conditions for each SOA condition in Experiment 6 (top panel) and Experiment 7 (bottom panel). Error bars represent standard errors.

SOA が 100 ms の条件において、手がかり×手がかりセットサイズの2要因被験者内分散分析を行ったところ、手がかりの主効果および手がかりセットサイズの主効果が有意だった ($F(1, 23) = 126.57, MSe = .010, p < .001, \eta_p^2 = .85; F(2, 46) = 84.23, MSe = .007, p < .001, \eta_p^2 = .79$)。手がかりセットサイズについて、シェイファーの方法で下位検定を行った結果、手がかりセットサイズ1条件は手がかりセットサイズ2および3条件よりも反応時間が短く

($t(23) = 7.84, p < .001$; $t(23) = 10.92, p < .001$), 手がかりセットサイズ 2 条件は手がかりセットサイズ 3 条件よりも反応時間が短かった ($t(23) = 6.63, p < .001$)。手がかりと手がかりセットサイズの交互作用は有意ではなかった ($F(2, 46) = 0.33, MSe = .004, p = .722, \eta_p^2 = .01$)。これらの結果は, 注目手がかり条件の反応時間は無視手がかり条件よりも短い, その差は手がかりセットサイズの大きさによって変化するとはいえないことを示す。

SOA が 1000 ms の条件において, 手がかり×手がかりセットサイズの被験者内 2 要因分散分析を行ったところ, 手がかりの主効果は有意ではなく ($F(1, 23) = 1.87, MSe = .011, p = .185, \eta_p^2 = .08$), 手がかりセットサイズの主効果が有意だった ($F(2, 46) = 277.11, MSe = .005, p < .001, \eta_p^2 = .92$)。手がかりと手がかりセットサイズの交互作用が有意だった ($F(2, 46) = 5.01, MSe = .002, p = .011, \eta_p^2 = .18$) ため, 単純主効果検定を行ったところ, 手がかりが手がかりセットサイズ 3 条件に与える単純主効果が有意だった ($F(1, 23) = 5.28, MSe = .007, p = .031, \eta_p^2 = .19$)。つまり, 手がかりセットサイズ 3 条件では無視手がかり条件の方が注目手がかり条件よりも反応時間が遅かった。手がかりセットサイズ 1 条件および手がかりセットサイズ 2 条件では無視手がかりと注目手がかり条件のあいだに反応時間差は認められなかった ($F(1, 23) = 0.02, MSe = .002, p = .898, \eta_p^2 = .00$; $F(1, 23) = 0.43, MSe = .005, p = .520, \eta_p^2 = .02$)。手がかりセットサイズ条件が注目手がかり条件および無視手がかり条件に与える単純主効果が有意であり ($F(2, 46) = 213.98, MSe = .003, p < .001, \eta_p^2 = .90$; $F(2, 46) = 193.73, MSe = .004, p < .001, \eta_p^2 = .89$), シェイファーの方法で下位検定を行った結果, 注目手がかりおよび無視手がかり条件で手がかりセットサイズ 1 条件は手がかりセットサイズ 2 および 3 条件よりも反応時間が短く, 手がかりセットサイズ 2 条件は手がかりセットサイズ 3 条件よりも反応時間が短かった (all $ps < .001$)。

無視手がかりによる利得と損失

無視手がかり条件の手がかりセットサイズ 3 条件 (i.e., 無視すべき色が 1 つ呈示される条件) において, 手がかりによる反応時間の損失・利得を検討するために, SOA 条件ごとに中立条件との比較を行った。SOA が 100 ms の条件において, 無視手がかり条件の手がかりセットサイズ 3 条件と中立条件の反応時間において対応のある t 検定を行ったところ, 無視手がかり条件の方が中立条件よりも反応時間が有意に長かった (反応時間差 51.9 ms, 95% CI [8.06, 96.03]; $t(23) = 2.45, p = .022, \text{Cohen's } d = 0.25$)。一方, SOA が 1000 ms の条件において同様に対応のある t 検定を行なったところ, 中立条件の方が無視手がかり条件よりも反応

時間が有意に長かった（反応時間差 -127.5 ms, 95% CI $[-203.12, -51.80]$; $t(23) = -3.48, p = .002$, Cohen's $d = -0.63$ ）。これらの結果は、はじめに無視すべき色を選択し、ついで抑制するという「search and destroy」（Moher & Egeth, 2012）を再現する。

また、SOA が 100 ms の条件において、無視手がかり条件の手がかりセットサイズ 2 条件と中立条件との比較を行ったところ、手がかり条件間の反応時間に差は認められなかった（反応時間差 -38.3 ms, 95% CI $[-95.88, 19.64]$; $t(23) = -1.37, p = .185$, Cohen's $d = -0.20$ ）。この結果は、無視手がかりが与えられた色が画面上に 2 色呈示されたときの探索パフォーマンスは、手がかりがない場合の探索パフォーマンスと差があるとはいえないことを示す。

探索勾配と切片

探索勾配は参加者ごとに、手がかりセットサイズ（1, 2, 3）に対してそれぞれの平均反応時間を回帰することで算出した。切片は個々の線形回帰から参加者ごとに算出した。探索勾配について、SOA（100 ms, 1000 ms） \times 手がかり（注目手がかり、無視手がかり）の 2 要因分散分析を行なった（Figure 5.6A, left）。SOA の主効果が有意だった（ $F(1, 23) = 39.04, MSe = .002, p < .001, \eta_p^2 = .63$ ）。手がかりの主効果は有意ではなかった（ $F(1, 23) = 0.94, MSe = .002, p = .343, \eta_p^2 = .04$ ）。SOA と手がかりの交互作用が有意だった（ $F(1, 23) = 5.50, MSe = .002, p = .028, \eta_p^2 = .19$ ）ため、単純主効果検定を行なったところ、SOA が 100 ms の条件では条件間に探索勾配の差は認められなかった（ $F(1, 23) = 0.57, MSe = .002, p = .456, \eta_p^2 = .02$ ）。一方で、SOA が 1000 ms の条件では無視手がかり条件の方が注目手がかり条件に比べて探索勾配が急峻だった（ $F(1, 23) = 8.33, MSe = .001, p = .008, \eta_p^2 = .27$ ）。つまり、SOA が 100 ms の条件では注目手がかりと無視手がかりで探索の効率性は同等だが、SOA が 1000 ms の条件では無視手がかりの方が探索の効率が悪かった。

切片について、SOA（100 ms, 1000 ms） \times 手がかり（注目手がかり、無視手がかり）の 2 要因分散分析を行なった（Figure 5.6B, left）。SOA と手がかりの主効果がそれぞれ有意だった（ $F(1, 23) = 272.34, MSe = .010, p < .001, \eta_p^2 = .92$; $F(1, 23) = 29.19, MSe = .007, p < .001, \eta_p^2 = .56$ ）。SOA と手がかりの交互作用が有意だった（ $F(1, 23) = 49.26, MSe = .007, p < .001, \eta_p^2 = .68$ ）ため、単純主効果検定を行なったところ、SOA が 100 ms の条件では無視手がかり条件の方が切片は大きかった（ $F(1, 23) = 56.06, MSe = .009, p < .001, \eta_p^2 = .71$ ）。一方で、SOA が 1000 ms の条件では手がかり条件間に切片の差は認められなかった（ $F(1, 23) = 2.58, MSe = .004, p = .122, \eta_p^2 = .10$ ）。

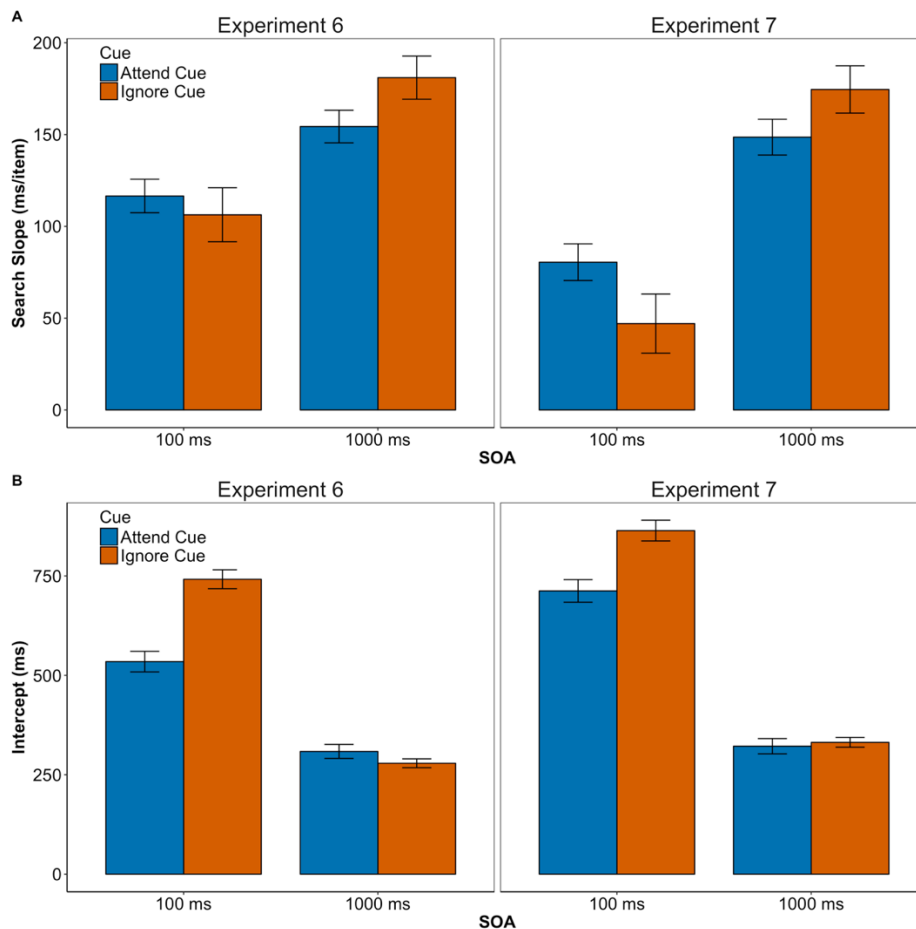


Figure 5.6. (A) Search slopes for attend and ignore cues under two SOA conditions in Experiment 6 (left panel) and Experiment 7 (right panel). (B) Intercepts for attend and ignore cues under two SOA conditions in Experiment 6 (left panel) and Experiment 7 (right panel). Error bars show standard errors.

5.3.3. 考察

実験の結果、視覚探索処理の初期段階と後期段階における注目手がかりと無視手がかりの効果における機能的差異が明らかとなった。平均反応時間の分析の結果、注目手がかりによる注意の促進は無視手がかりによる妨害刺激の抑制よりも早い段階で実行されることが示された。この結果は、無視手がかりが与えられた場合、観察者は探索のはじめに無視すべき項目を選択し、ついで抑制するという「search and destroy」の処理という考え (Moher & Egeth, 2012) を支持する。「search and destroy」の処理の考えは、手がかりセットサイズ3条件における反応時間のコスト (SOA=100 ms 条件) およびベネフィット (SOA=1000 ms 条件) の結果からも支持される。

しかしながら、妨害刺激は完全には抑制されていないことが示唆される。SOA が長い条件においても、セットサイズ 3 条件において注目手がかりと無視手がかりの間に反応時間の差が認められた。この反応時間は、無視手がかり条件におけるより大きな探索勾配に反映される (154.4 vs. 181.0 ms/item)。この結果は、妨害刺激の抑制は注意選択の促進よりも非効率であることを示している。

注目手がかり条件と無視手がかり条件間に探索勾配および切片の違いが認められたことの背景に、プレースホルダのグルーピングが影響していた可能性がある。知覚的グルーピングが視覚的注意の配分に影響することが示されてきている (e.g., Kim & Cave, 1999, 2001; Niemelä & Saarinen, 2000)。Kim & Cave (1999) は、刺激の選択は視覚探索画面の知覚的な構成に影響されることを示した。彼らは、探索項目間の類似性が知覚的グルーピングに影響し、視覚探索過程でグルーピングされた項目がまとまって選択されると結論づけた。したがって、プレースホルダの形の類似性によるグルーピングが注意選択を促進し、その結果として探索テンプレートと無視テンプレートを用いた探索の違いにつながった可能性がある。知覚的なグルーピングの影響を除くために、実験 6 で用いていた四角形のプレースホルダを変更し、実験 7 ではプレースホルダに三角形、逆三角形、ダイヤモンド、星型の図形を用いた (Figure 5.7)。もし実験 6 の結果が知覚的なグルーピングによるものでないのであれば、実験 7 の結果は実験 6 で認められた探索勾配と切片における手がかり間の違いを再現すると予測する。

5.4. 実験 7

5.4.1. 方法

実験参加者

実験 6 に参加していない大学生・大学院生 20 名が実験に参加した (女性 17 名, 男性 3 名, 平均年齢 22.5 歳, $SD=6.4$)。すべての実験参加者は裸眼および矯正視力が正常だった。利き手は 4 名が左利きで、残り全員が右利きだった。実験参加者には事前に実験の目的と手続きを説明し同意を得た。

装置

実験 6 と同一の装置を用いた。

刺激

プレースホルダを四角形から三角形・逆三角形・ダイヤモンド・星の幾何学図形に変更した点を除き、実験6と同一の刺激を用いた。

条件と手続き

Figure 5.7 に試行の流れを示す。プレースホルダの形を変えた点を除き、条件や試行の流れ、試行数は実験6と同一だった。

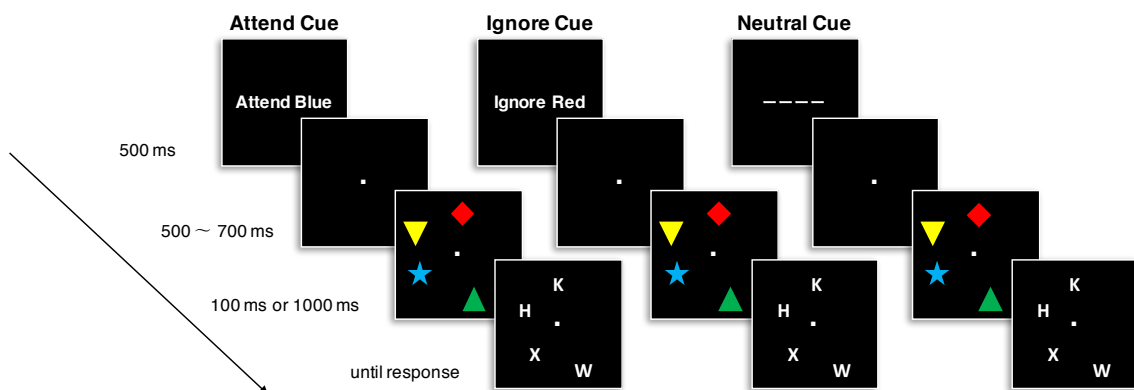


Figure 5.7. Example trials in three cue conditions (attend, ignore, and neutral cues). Participants were asked to indicate whether a “X” or “N” was present as quickly and accurately as possible. Prior to the visual search display, colored placeholders consisted of four different shapes appeared to indicate the locations of upcoming search letters for a variable duration (100 or 1000 ms). Attend cue showed target candidate locations. Ignore cue showed distractor candidate locations. Neutral cue showed no information. *Note.* This figure is not to scale.

5.4.2. 結果

平均反応時間の分析

Figure 5.5 (bottom) に条件ごとの平均反応時間を示す。参加者ごとに、平均反応時間の3.5SDの範囲を超過する試行を分析から除外した(全試行の0.4%)。SOA (100 ms, 1000 ms) ×手がかり (注目手がかり, 無視手がかり) ×手がかりセットサイズ (1, 2, 3) の3要因被験者内分散分析を行った。SOA, 手がかり, および手がかりセットサイズの主効果がそれぞれ有意だった ($F(1, 19) = 225.05, MSe = .002, p < .001, \eta_p^2 = .92$; $F(1, 19) = 24.04, MSe = .001, p < .001, \eta_p^2 = .56$; $F(2, 38) = 232.07, MSe = .004, p < .001, \eta_p^2 = .92$)。SOA, 手がかり, 手がかりセットサイズの3要因の交互作用が認められたため ($F(2, 38) = 4.39, MSe = .004, p = .019$,

$\eta_p^2 = .19$), SOA ごとに手がかり×手がかりセットサイズの単純交互作用の検定を行う。

SOA が 100 ms の条件において, 手がかり×手がかりセットサイズの 2 要因被験者内分散分析を行ったところ, 手がかりの主効果および手がかりセットサイズの主効果が有意だった ($F(1, 19) = 9.55, MSe = .023, p = .006, \eta_p^2 = .33; F(2, 38) = 25.20, MSe = .007, p < .001, \eta_p^2 = .57$)。手がかりセットサイズについて, シェイファーの方法で下位検定を行った結果, 手がかりセットサイズ 1 条件は手がかりセットサイズ 2 および 3 条件よりも反応時間が短く ($t(19) = 4.02, p < .001; t(19) = 6.05, p < .001$), 手がかりセットサイズ 2 条件は手がかりセットサイズ 3 条件よりも反応時間が短かった ($t(19) = 3.84, p = .001$)。手がかりと手がかりセットサイズの交互作用は有意ではなかった ($F(2, 38) = 1.79, MSe = .007, p = .181, \eta_p^2 = .09$)。これらの結果は, 注目手がかり条件の反応時間は無視手がかり条件よりも短い, その差は手がかりセットサイズの大きさによって変化するとはいえないことを示す。

SOA が 1000 ms の条件において, 手がかり×手がかりセットサイズの被験者内 2 要因分散分析を行ったところ, 手がかりの主効果および手がかりセットサイズの主効果が有意だった ($F(1, 19) = 12.65, MSe = .009, p = .002, \eta_p^2 = .40; F(1, 19) = 257.48, MSe = .004, p < .001, \eta_p^2 = .91$)。手がかりセットサイズについて, シェイファーの方法で下位検定を行った結果, 手がかりセットサイズ 1 条件は手がかりセットサイズ 2 および 3 条件よりも反応時間が短く ($t(19) = 14.20, p < .001; t(19) = 18.15, p < .001$), 手がかりセットサイズ 2 条件は手がかりセットサイズ 3 条件よりも反応時間が短かった ($t(19) = 12.40, p < .001$)。手がかりと手がかりセットサイズの交互作用は有意ではなかった ($F(2, 38) = 2.93, MSe = .003, p = .066, \eta_p^2 = .13$)。

無視手がかりによる利得と損失

無視手がかり条件の手がかりセットサイズ 3 条件 (i.e., 無視すべき色が 1 つ呈示される条件) において, 手がかりによる反応時間の損失・利得を検討するために, SOA 条件ごとに中立条件との比較を行った。SOA が 100 ms の条件において, 無視手がかり条件の手がかりセットサイズ 3 条件と中立条件の反応時間において対応のある t 検定を行ったところ, 無視手がかり条件と中立条件の間に反応時間の差は認められなかった (反応時間差 -18.1 ms, 95% CI $[-69.76, 33.64]; t(19) = -0.73, p = .474, \text{Cohen's } d = -0.12$)。一方, SOA が 1000 ms の条件において同様に対応のある t 検定を行なったところ, 中立条件の方が無視手がかり条件よりも反応時間が有意に長かった (反応時間差 -68.0 ms, 95% CI $[-121.60, -14.37]; t(19) = -2.65,$

$p = .016$, Cohen's $d = -0.42$)。

また、SOA が 100 ms の条件において、無視手がかり条件の手がかりセットサイズ 2 条件と中立条件との比較を行ったところ、手がかり条件間の反応時間に差は認められなかった (反応時間差 -48.1 ms, 95% CI $[-100.20, 3.98]$; $t(19) = -1.93$, $p = .068$, Cohen's $d = -0.31$)。この結果は、無視手がかりが与えられた色が画面上に 2 色呈示されたときに探索パフォーマンスは、手がかりがない場合の探索パフォーマンスと差があるとはいえないことを示す。

探索勾配と切片

探索勾配について、SOA (100 ms, 1000 ms) \times 手がかり (注目手がかり, 無視手がかり) の 2 要因分散分析を行なった (Figure 5.6A, right)。SOA の主効果が有意だった ($F(1, 19) = 45.82$, $MSe = .004$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .71$)。手がかりの主効果は有意ではなかった ($F(1, 19) = 0.10$, $MSe = .003$, $p = .751$, $\eta_p^2 = .01$)。SOA と手がかりの交互作用が有意だった ($F(1, 19) = 6.62$, $MSe = .003$, $p = .019$, $\eta_p^2 = .26$) ため、単純主効果検定を行なったところ、SOA が 100 ms の条件では条件間に探索勾配の差は認められなかった ($F(1, 19) = 2.78$, $MSe = .004$, $p = .112$, $\eta_p^2 = .13$)。一方で、SOA が 1000 ms の条件では無視手がかり条件の方が注目手がかり条件に比べて探索勾配が急峻だった ($F(1, 19) = 5.08$, $MSe = .001$, $p = .036$, $\eta_p^2 = .21$)。つまり、実験 6 と同様に、SOA が 100 ms の条件では注目手がかりと無視手がかりで探索の効率性は同等だが、SOA が 1000 ms の条件では無視手がかりの方が探索の効率が悪かった。

切片について、SOA (100 ms, 1000 ms) \times 手がかり (注目手がかり, 無視手がかり) の 2 要因分散分析を行なった (Figure 5.6B, right)。SOA と手がかりの主効果がそれぞれ有意だった ($F(1, 19) = 168.75$, $MSe = .025$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .90$; $F(1, 19) = 9.01$, $MSe = .015$, $p = .007$, $\eta_p^2 = .32$)。SOA と手がかりの交互作用が有意だった ($F(1, 19) = 5.44$, $MSe = .019$, $p = .031$, $\eta_p^2 = .22$) ため、単純主効果検定を行なったところ、SOA が 100 ms の条件では無視手がかり条件の方が切片は大きかった ($F(1, 19) = 8.22$, $MSe = .028$, $p = .010$, $\eta_p^2 = .30$)。一方で、SOA が 1000 ms の条件では手がかり条件間に切片の差は認められなかった ($F(1, 19) = 0.19$, $MSe = .005$, $p = .669$, $\eta_p^2 = .01$)。

5.4.3. 考察

視覚探索は観察者が事前に課題に関する情報を持っていることによって促進される。こ

のような情報には標的刺激の特徴（注目手がかり）や妨害刺激の特徴（無視手がかり）が含まれる。注目手がかり効果と無視手がかり効果が視覚探索の処理過程でどのように異なるかについては未解明な点が多い。具体的には、注目手がかりと無視手がかりの違いを説明する上で2つの可能性が考えられる。第一の可能性として、注目手がかりと無視手がかりの効果の違いは視覚探索処理過程において機能する時間の違いによってのみ説明できることが考えられる。第二の可能性として、注目手がかりと無視手がかりの効果の違いは無視手がかりを用いた探索の非効率性が視覚探索の処理によらずに認められる可能性が考えられる。視覚探索の前半と後半それぞれにおける注目手がかりと無視手がかりの探索勾配と切片を分析することによってこの問題を検証した。

注目手がかり条件の反応時間は SOA が 100 ms の条件で無視手がかり条件の反応時間も短かった。この結果は、注目手がかりは標的刺激の検出を促進するという先行研究と一致する（Wolfe et al., 2004; Vickery et al., 2005）。このように、注目手がかりは視覚探索の初期から効果がある。

無視手がかりに関して、Moher & Egeth（2012）は、観察者は無視すべき項目をはじめに選択し、ついで抑制するという「search and destroy」の処理を提案した。本研究の結果は彼らの提案を支持する。手がかりセットサイズが3の条件において、SOA が 100 ms の条件では無視手がかりによる反応時間の損失が認められ、SOA が 1000 ms の条件では無視手がかりによる反応時間の利得が認められた。さらに、SOA が 100 ms の条件において、無視手がかり条件の切片は注目手がかりの切片よりも大きかった。ここで、探索関数の切片は探索前の処理もしくは探索後の処理を反映する（Solman et al., 2011; Woodman et al., 2001）。本実験における手がかり間の切片の差は探索前の符号化処理の違いを反映すると考えられる。観察者は注目手がかりもしくは無視手がかりを用いるために、色のついたプレースホルダの情報を符号化する必要があった。したがって、妨害刺激の抑制が視覚探索処理の後期段階ではたらくことの背景には、視覚的な情報を符号化するためにより時間を必要とするためだと考えられる。このような符号化は妨害刺激の抑制よりも注意の促進でより早く処理されるために、無視手がかりの効果は視覚探索の後半になって認められると解釈できる。

無視手がかりを用いた探索は、色のついたプレースホルダが呈示されているあいだに無視すべき色のプレースホルダ以外の刺激へ注意を向けることによって実現されていたという考えもできる。例えば、本実験の手がかりセットサイズ3条件では、注目手がかり条件では注目すべき個数は3つで、無視手がかり条件では無視すべき個数は1つだった。このと

き、無視手がかり条件で実験参加者は残り 3 つのプレースホルダに注意を向けるように切り替えることで無視手がかりを用いていたかもしれない。しかし、反応時間の分析の結果から、SOA が 1000 ms の条件において、手がかりセットサイズ 3 条件で注目手がかり条件と無視手がかり条件のあいだに有意な反応時間差が認められた。これは、無視手がかりを注目手がかりに置き換えたことでは説明できない。

無視手がかりを用いた探索は SOA が 1000 ms の条件でも注目手がかりを用いた探索よりも非効率だった。探索効率を反映する探索勾配の分析の結果、SOA が 1000 ms の条件において、無視手がかり条件の探索勾配は注目手がかり条件の探索勾配よりも大きかった。この結果は、妨害刺激の抑制を実行するために十分な時間があつた場合でも無視手がかりを用いた探索は注目手がかりを用いた探索よりも依然として非効率であることを示している。Moher & Egeth (2012) によって提案された「search and destory」処理にしたがえば、観察者ははじめ無視すべき色の刺激を選択し、ついでそれらの刺激を抑制する。ここで、本実験の結果から、この抑制は一過性のものではなく、観察者は妨害刺激を抑制しながら標的刺激を探索していることが示唆される。これらの結果は、注目手がかりと無視手がかりの効果における機能的な違いは視覚探索の処理における無視手がかりによる探索の非効率性に起因するという考えを支持するものである。無視手がかりは視覚探索の後半でも注目手がかりと同様の効率的な探索を生起させなかった。注目手がかりと無視手がかりの効果の違いはそれぞれの手がかりが機能する時間窓の違いによってのみ説明できるのではなく、無視手がかりを用いた探索の非効率性が要因となっていることが示された。

妨害刺激は持続して抑制されるという考えは、復帰抑制 (Inhibition of return: Klein, 2000; Posner & Cohen, 1984; Posner et al., 1985; Samuel & Kat, 2003) という視覚的注意の現象からも支持される。復帰抑制は、注意を向けた位置に対して注意の抑制が生じる現象である。Samuel & Kat (2003) は復帰抑制の処理過程を検討するために、SOA を 600 ms から 4200 ms まで操作した。実験の結果、復帰抑制は 3000 ms のあいだ観察された。このように、注意抑制は一過性のものではなく持続性のある処理であり、このことは無視手がかり条件におけるより急峻な探索勾配を説明できる。つまり、無視すべき特徴の手がかりが与えられた観察者は、はじめ無視すべき項目を選択し、ついでその項目を抑制しながら標的刺激の探索を行うという処理過程があることが示唆される。

Eimer (2014) は視覚探索において準備段階・誘導段階・選択段階・同定段階の 4 段階の注意選択処理を提案している。本実験の手がかりセットサイズの操作は、観察者はプレース

ホルダが呈示されている間に課題に関連した特徴情報を符号化し、注意を特定の項目へ割り当てる必要があることから、視覚探索における注意誘導段階に影響していると考えられる。特徴に基づいた注意は視野全体にわたって刺激の選択に影響する。これは、ある特徴の探索中に課題非関連な位置に呈示された刺激によって V4 野や中側頭皮質の賦活が高まるという結果から支持されている (Martinez-Trujillo & Treue, 2004)。このように、注目手がかりによる特徴に基づいた注意は並列的に課題関連刺激の処理を重みづけすることができる。これに対して、無視手がかりによる特徴に基づいた抑制は系列的にはたらいっていると考えることができる。第一に、妨害刺激の抑制には注意選択の促進よりもより時間のかかる符号化が必要であることが、SOA の短い条件で無視手がかり条件でのより大きな探索関数の切片が確認されたことから示唆される。第二に、無視手がかりを利用した探索には持続的な妨害刺激の抑制が必要であることが、SOA の長い条件で無視手がかり条件でのより急峻な探索勾配が確認されたことから示唆される。これらの結果は、注目手がかりによる感覚信号処理の重みづけと無視手がかりによる重みづけは非対称な処理であることを示している。

一方で、Moher, Lakshmanan, Egeth, & Ewen (2014) は、妨害刺激特徴は視覚処理の初期段階で抑制されることを示している。Moher et al. (2014) は、右視野 (課題関連視野) に呈示される刺激に対して、実験参加者に標的刺激のドット (e.g., 赤色のドット) の輝度変化を検出し、妨害刺激のドット (e.g., 緑色のドット) の輝度変化は無視することを求めた。彼らは左視野 (課題非関連視野) に呈示されるプローブ刺激に対する ERP を記録した。実験の結果、妨害刺激の色プローブによって誘発された P1 振幅は中立色のプローブによって誘発された P1 振幅よりも小さいことを示した。この結果は、妨害刺激特徴は視覚処理の初期段階から抑制されていることを示しており、本実験の結果と整合しないように見える。一見整合しないこの結果を説明するアプローチとして、感覚増強の処理と注意選択の処理を切り分けることが挙げられる。P1 成分は刺激呈示後 60–90 ms の潜時で誘発される成分で、課題の関連性に関係なく注意した位置に呈示される刺激に対して反応が大きくなることから、感覚処理を増強させる処理を反映していると考えられている (sensory gain control: Hillyard, Vogel, & Luck, 1998)。これに対し、N2pc 成分は刺激呈示後 200–350 ms の潜時で誘発される成分で、視覚探索画面での妨害刺激の中に呈示される標的刺激の呈示位置と対側半球で認められることから、課題関連項目の空間的に選択的な処理を反映していると考えられている (Eimer, 1996; Luck & Hillyard, 1994)。今後、視覚探索中の妨害刺激抑制の背景にある神経メカニズムを感覚処理と選択処理を区別して検討する必要がある。

視覚的印づけ (visual marking) は、先行呈示された妨害刺激を並列的に抑制することで、新規に呈示された項目を優先的に処理するメカニズムである (Watson & Humphreys, 1997; Watson et al., 2003)。典型的には、妨害刺激の半数が先行呈示されることによって、先行呈示のない中立条件と比べて探索が効率的になる (先行呈示効果)。この結果は、本実験で認められた系列的で非効率な妨害刺激とは対照的である。1つの説明可能性として、視覚的印づけでの妨害刺激の半数の呈示がボトムアップのグルーピングを引き起こし、複数の項目を同時に抑制できる可能性が挙げられる。本実験での無視手がかりを能動的に用いるトップダウンの抑制メカニズムは、視覚的印づけに見られるような妨害刺激抑制よりも非効率なのかもしれない。今後は、手がかりパラダイムと視覚的印づけのパラダイムのそれぞれで認められる妨害刺激抑制のメカニズムを直接比較することによって、妨害刺激の抑制が並列的にはたらく事態と系列的にはたらく事態の境界条件を検討する必要があるだろう。

本研究は注目手がかりと無視手がかりが視覚的注意に与える影響を検討した。以下の3点が主要な結果である。第一に、注目手がかりを用いた注意の促進は無視手がかりによる妨害刺激の抑制よりも視覚探索処理の初期段階ではたらく。第二に、探索関数の切片に反映されるように、妨害刺激の抑制のためには時間のかかる符号化処理が必要である。第三に、探索関数の勾配に反映されるように、妨害刺激の抑制は実行に十分な時間があっても注意の促進よりも非効率である。これらの結果は、妨害刺激は完全には抑制されていないことを示している。むしろ、観察者は無視すべき項目を抑制しながら標的刺激を探索していると考えられる。このような妨害刺激の特徴を手がかり呈示することによる持続した抑制は復帰抑制と類似の処理を示している。このような持続した抑制によって、すでに無視すべき項目が検出された位置に注意が戻らず、視覚探索において利得になっていると考えられる。まとめると、注目手がかりと無視手がかりは機能的に異なった処理を示す。注目手がかりは視覚探索の初期の段階で課題関連情報の処理を優先化するために用いられ、一方の無視手がかりは視覚探索の後期の段階で用いられるが、より非効率な処理となる。

第6章 総合考察

6.1. 結果のまとめ

本研究の目的はワーキングメモリに保持した表象によって視覚的注意がどのように制御されるかを検討することだった。第2章では、刺激の顕著性と課題の関連性を同時に操作し、ボトムアップの注意制御とトップダウンの注意制御の相互作用を検討した。注意制御のメカニズムはボトムアップの注意制御とトップダウンの注意制御の2種類に大別されて検討されてきた。しかし、河原・横澤(2015)が指摘するように、このような二分法の議論では注意がどのように制御されるかについての総合的な理解は難しい。そこで、刺激の顕著性と課題の関連性を同時に操作することで、ボトムアップの注意制御とトップダウンの注意制御の相互作用に迫った。実験の結果、課題関連性の影響は顕著性が低い条件で認められたものの、顕著性が高い条件では認められなかった(実験1)。この結果は刺激の呈示位置と反応手の空間位置の適合性の影響を排除しても認められた(実験2)。これらの結果はボトムアップの注意制御とトップダウンの注意制御が相補的にはたらくことを示している。つまり、トップダウンの注意制御は、感覚入力弱い場合、その信号を補うようにはたらく可能性が示唆された。

第3章では課題の確率情報がワーキングメモリでどのように処理され、注意制御に影響するかを検討した。ワーキングメモリに保持された情報と一致する視覚環境中の情報に注意が配分されることが示されてきている(Soto & Humphreys, 2014)。さらに、事前にその情報が後続の視覚探索課題の標的刺激とどの程度一致するかについての確率情報が与えられると、注意の配分を意図的に制御できることが報告されている(Carlisle & Woodman, 2011)。しかし、確率情報がどのように処理されて注意の意図的な制御が実現されているかについては明らかではなかった。そこで実験3では、刺激の注意資源の配分量を反映するP3(Polich, 2007)とワーキングメモリ内の情報の負荷量を反映するCDA(contralateral delay activity: Vogel & Machizawa, 2004)を指標とし、記憶項目と標的刺激の関係性についての事前知識がワーキングメモリの処理にどのように影響するかを検討した。実験の結果、確率条件によってP3は変化したがCDAは変化しなかった。このP3の変化は行動データと適合していた。これらの結果は、確率に関する事前知識によって記憶項目への注意配分量がコントロールされる一方で、ワーキングメモリ内の表象は確率によらず一定であることを示す。本実験の

結果は、確率に関する情報が記憶項目への注意配分とワーキングメモリ内の情報に独立した影響を与えていることを示唆するものである。

第 4 章では課題非関連な刺激に関する情報の保持が注意制御に与える影響について検討した。妨害刺激に関する情報が視覚探索課題に先立って与えられることで課題遂行を効率化するかについて一貫した結果は得られていない (Beck & Hollingworth, 2015; Becker et al., 2016; Moher & Egeth, 2012)。その中で、無視する色を事前に知っていることが利得になるか否かには標的刺激の検出に時間がかかるという課題特性 (Han & Kim, 2009) と、同一の特徴を繰り返し抑制するという学習 (Cunningham & Egeth, 2016) とが主要な役割を果たすことが示されている。しかし、これらの要因は独立して検討されていた。そこで実験 4 では、標的刺激の検出までの時間をセットサイズにより操作し、無視手がかりの利用における学習効果がセットサイズによって異なるか否かを検討した。その結果、セットサイズ 12 条件では学習による無視手がかりの利得は得られなかったが、セットサイズ 16 条件では無視手がかりによる利得が後半のブロックで認められた。これらの結果は、妨害刺激抑制における学習効果はすべての課題に等価に認められるのではなく、課題特性によって促進されうることを示している。

第 5 章では妨害刺激抑制の処理過程を検討した。特徴に基づく抑制 (e.g., Moher & Egeth, 2012) と位置に基づく抑制 (Chao, 2010; Munneke et al., 2008) はそれぞれ異なったパラダイムで検討されてきた。そのため、特徴に基づく抑制と位置に基づく抑制の処理過程に違いがあるかについては未解明だった。そこで、実験 5 では無視色手がかりと無視位置手がかりを用いた視覚探索を同一のパラダイムを用いて比較検討した。実験の結果、無視色手がかり条件と無視位置手がかり条件はともに長い SOA 条件で反応時間が短くなったが、両手がかり条件の間に反応時間差は認められなかった。この結果は、無視する刺激属性によらず、妨害刺激の抑制には時間がかかることを示している。また、注目色条件と無視色条件の比較では、SOA が短い条件から両条件に反応時間差が認められた。この結果から、注目手がかりを用いた視覚探索と無視手がかりを用いた視覚探索の背景には異なる処理プロセスがあることが示唆された。

そこで実験 6 および実験 7 では、注目手がかりを用いた視覚探索と無視手がかりを用いた視覚探索の処理過程を、視覚探索処理の初期段階と後期段階に切り分けて検討した。無視手がかりによる視覚探索は視覚探索処理の後期段階ではたらくことが示されてきた (Beck et al., 2017; Han & Kim, 2009; Kugler et al., 2015; Moher & Egeth, 2012)。一方、無視手がかり

と注目手がかりの効果の違いに着目した研究によって、注目手がかりの方が注意を課題関連項目に誘導するうえでより効果が大きいことが示されている (Beck et al., 2017; Beck & Hollingworth, 2015; Becker et al., 2016; Kugler et al., 2015)。しかし、無視手がかりが与えられた場合、観察者は無視すべき項目をはじめに選択し、ついで抑制するという処理 (search and destroy: Moher & Egeth, 2012) があることを考えると、注目手がかりによる注意選択の促進と無視手がかりによる妨害刺激の抑制を視覚探索処理の初期段階と後期段階に切り分けて比較することが必要だった。実験 6 では、探索勾配と切片を算出することによって、それぞれの手がかりを用いた探索が視覚探索処理過程でどのように異なるのかを検討した。探索勾配 (search slope) は探索の効率性を反映し (e.g., Wolfe, 1998)、探索関数の切片は知覚処理や符号化などの探索処理前の処理もしくは標的刺激の同定や反応選択などの探索処理後の処理を反映する (Solman et al., 2011; Woodman et al., 2001)。Moher & Egeth (2012) の手続きを修正し、プレースホルダの色を変えることによって手がかりセットサイズを操作した。実験の結果、SOA が短い条件では無視手がかり条件の方が探索関数の切片が大きく、SOA が長い条件では無視手がかり条件の方が探索関数の探索勾配が大きかった。この結果は、全て四角形だったプレースホルダを異なる幾何学図形によって構成した実験 7 で再現された。これらの結果は、注目手がかりを用いた視覚探索は視覚探索の初期段階から実行されるのに対し、無視手がかりを用いた視覚探索は視覚探索の後期段階から実行されることを示す。さらに、無視手がかりを用いた視覚探索は視覚探索の後期段階であっても注目手がかりを用いた視覚探索より非効率であることが示された。これは、注目手がかりと無視手がかりの視覚探索に与える効果の違いが、それぞれの手がかりが機能する時間窓の違いによって生じるのではなく、無視手がかりを用いた探索の非効率性が要因となっていることを反映するものであることを示している。

6.2. 視覚探索における注意誘導モデルの提案

本研究の結果から、無視手がかりを用いた視覚探索は実行に時間がかかり (実験 4, 5, 6, 7)、かつ同一の特徴を抑制する学習によって促進されることが示された (実験 4)。これらの妨害刺激の抑制における特徴は、注目手がかりによる標的刺激の選択の促進とは異なった (実験 5, 6, 7)。この違いは現存する注意制御モデルでは説明されていない (Bundesen, 1990; Bundesen et al., 2005; Itti & Koch, 2001)。

注目手がかりによる刺激選択の促進については、現存するモデルの枠組みで説明が可能である (Figure 2.1; e.g., Itti & Koch, 2001)。この枠組みでは、刺激の顕著性などの物理特性によるボトムアップ情報により計算された顕著性マップに観察者の行動目標によるトップダウンの情報が加重され、優先マップを形成する。勝者総獲得 (winner-take-all) の原理により、優先マップでもっとも活動が高い位置から順に選択される。ここで、本研究の結果から、注目すべき属性に基づくトップダウンの情報は、ボトムアップの情報が弱いときに優勢にはたらくという性質があることが示された (第2章)。さらに、確率的な情報が加わった場合、注目すべき属性のワーキングメモリ内での表象は確率情報の影響を受けず、情報を符号化する際の注意資源量の配分に影響することが示された (第3章)。

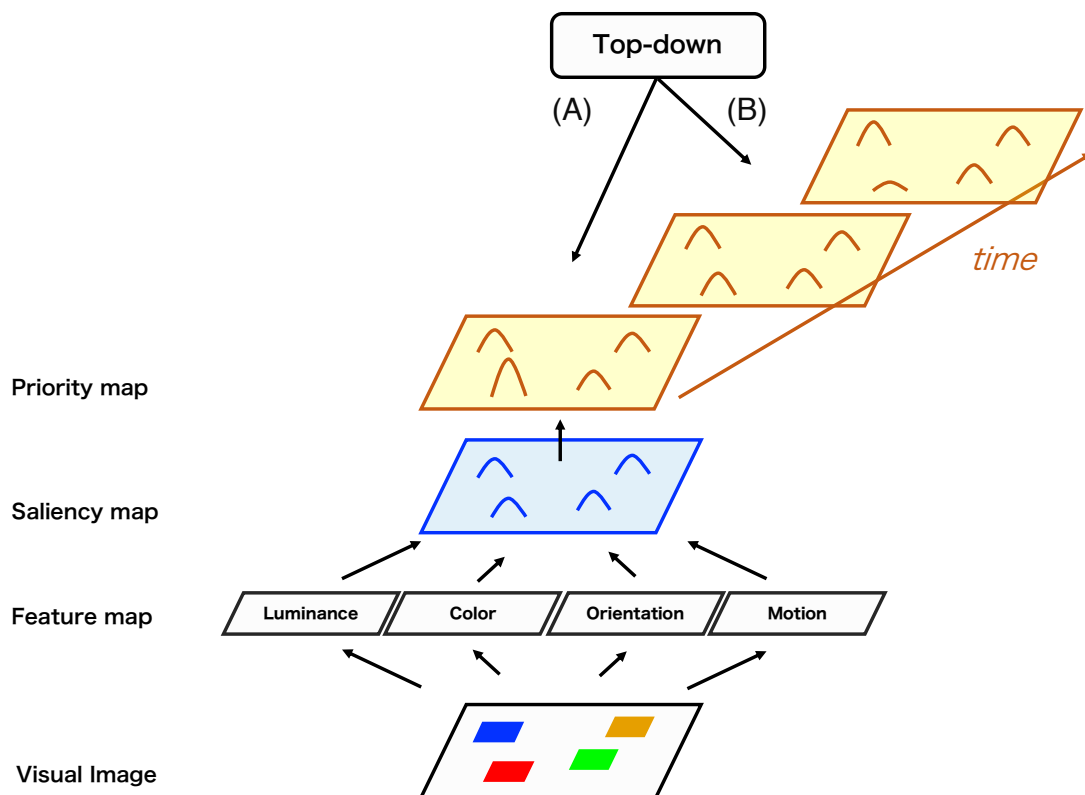


Figure 6.1. Proposed model of visual attention. The model attempts to expand existing model of visual attention (e.g., Itti & Koch, 2000), which assumes that both bottom-up and top-down factors are integrated to create priority map, by introducing time scale to characterize state change in priority map within a trial. (A) At early stage of visual search, prior knowledge about distractor information guides visual attention to to-be-ignored items because such knowledge activates priority map in a top-down manner. (B) At later stage of visual search, prior knowledge about distractor information inhibits the activation of priority map but its operation is inefficient. This process of distractor inhibition can be improved by inhibiting the same feature repeatedly. This figure is an example where observers have prior knowledge that the distractor is red.

一方、無視手がかりによって妨害刺激の特徴の情報が与えられた場合の視覚探索処理については、既存の枠組みでは説明できない。無視手がかりを用いることができる課題は限定的である。無視手がかりが効果をもつのは、同一の特徴を繰り返し抑制する学習があり、かつ標的刺激の検出に時間がかかる課題設定の場合に限定された（第4章）。また、無視手がかりは注目手がかりを用いた視覚探索よりもより後期の段階で有効であるが、その視覚探索は注目手がかりを用いた視覚探索よりも非効率だった（第5章）。

以上の結果から、無視手がかりを用いた注意の誘導を説明するためには、既存の枠組みに加え、処理の時間軸を追加する必要があると提案する（Figure 6.1）。つまり、妨害刺激の事前知識によるトップダウンの情報は処理の後期で優先マップの形成に寄与すると考える。この後期段階での優先マップへのトップダウン情報の寄与は、学習によって促進されると提案する。具体的には、次のような処理過程が背景にあると考える。まず処理の初期では、無視すべき特徴によるトップダウン情報により、表象と一致する特徴が賦活する優先マップが生成される。勝者総獲得（winner-take-all）の原理により、注意は妨害刺激に配分される。視覚探索の初期段階では無視すべき項目の選択が起こるが、後期段階では無視すべき項目が抑制される。これは、試行内の時間に伴い、無視すべき項目の特徴に対する優先マップの活動の減弱があるためだと考える。その結果、勝者総獲得（winner-take-all）の原理により、無視すべき項目以外の探索項目に注意が系列的に配分される。この処理は学習によって短縮されうる。このように、無視すべき情報に基づいたトップダウン情報の役割は視覚処理の時間過程によって動的に変化し、優先マップの形成に寄与すると提案する。

本研究は優先マップが時間的に変化し、注意の向けられる対象を決定すると提案した。このような優先マップの継時的な変化は視覚統計学習（visual statistical learning）の研究からも提案されている。Todd & Manaligo（2017）は標的刺激が出現しやすい位置についての統計的な学習によって優先マップが変化することで、統計的な情報に基づいた潜在的な注意の誘導が実現されることを提案している。これに対し、本研究は無視すべき刺激属性に基づいたトップダウンの情報による能動的な注意の誘導が優先マップの変化によって実現されると提案する点で新規である。

6.3. 今後の展望

6.3.1. 長期記憶による注意の誘導

本研究ではワーキングメモリに保持された情報が注意を誘導するメカニズムについて検討を行った。注意の誘導のためには常にワーキングメモリ内に項目をアクティブに保持しておく必要があるのだろうか。近年の研究により、長期記憶がワーキングメモリに代わって注意を誘導する可能性が提案されている (Carlisle et al., 2011; Reinhart & Woodman, 2014; van Moorselaar, Theeuwes, & Olivers, 2016; Woodman & Luck, 2015)。Carlisle et al. (2011) は標的刺激を先行呈示し、後続の視覚探索課題で検出を求める課題において、先行呈示される標的刺激の繰り返しを 1 回から 7 回まで操作した。標的刺激をワーキングメモリに保持している間の CDA 成分を分析した結果、標的刺激の繰り返し回数が増えるにしたがって CDA 成分の振幅は小さくなった。この結果は、同一の刺激を繰り返し保持する事態では、標的テンプレートの保持においてワーキングメモリへの依存度が低下していく可能性を示唆する。同様のパラダイムを用いて、ワーキングメモリの指標である CDA 成分に加えて長期記憶の指標である P170 成分 (Voss, Schendan, & Paller, 2010) を分析した研究では、標的刺激の手がかりが繰り返し呈示されるにしたがって CDA 成分が減少すると同時に、P170 成分の増加が認められた (Reinhart & Woodman, 2014; Woodman et al., 2013)。これらの結果は、標的テンプレートははじめワーキングメモリにおいて表象され、一定の保持の繰り返しの後は長期記憶が保持の役割を担う可能性を示すものである。このように、ワーキングメモリと長期記憶は協調してはたらくことで注意を標的刺激へ誘導する可能性がある (Woodman & Chun, 2006)。

妨害刺激の抑制についてもワーキングメモリに加えて長期記憶の役割が強調されてきている (Vatterott & Vecera, 2012; Vecera, Cosman, Vatterott, & Roper, 2014)。Vatterott & Vecera (2012) はシングルトンが妨害刺激として呈示される視覚探索において、課題の前半ではシングルトンの色を赤色に固定して呈示した。その結果、はじめ注意はシングルトンに捕捉されるために反応時間が遅延するものの、試行を重ねることによってシングルトンによる注意捕捉効果が認められなくなった。Vatterott & Vecera (2012) は、課題の後半でシングルトンの色を赤色から青色に変更した。その結果、シングルトンによる注意捕捉効果が再び認められた。試行を重ねるとこの注意捕捉効果は再び認められなくなった。これらの結果から、彼らは妨害刺激を棄却するためには十分な経験が必要であり、その経験による注意制御はすべての刺激に汎化されないと結論づけた。Vecera et al. (2014) はこれらの結果から、経験や学習の量が増えるにしたがってトップダウンの注意制御がボトムアップの注意制御よりも優勢になるという注意制御のモデルを提案している。

このように、注意のトップダウンの制御はワーキングメモリの表象と長期記憶の表象の両方によって誘導されうる。本研究ではワーキングメモリの内容が注意を制御するメカニズムを解明することを目的とした。本研究の実験4では、同一の特徴を抑制し続けるという学習が妨害刺激の手がかりを用いた視覚探索の遂行に重要な役割を果たすことを示した。このとき、学習によって形成された長期記憶表象が妨害刺激の抑制に影響していた可能性がある。このことを検討するために、今後は学習による妨害刺激抑制効果の持続性やその自動性を検証する必要があるだろう。

6.3.2. 複数のワーキングメモリ表象による注意の誘導

ヒトがワーキングメモリに一度に表象できる容量の限界は3個から4個であるとされる(Cowan, 2001, 2010; Luck & Vogel, 2013)。このことは、観察者はワーキングメモリに複数の標的テンプレートもしくは無視テンプレートを保持できる可能性を示唆する。しかし、ワーキングメモリに関する理論では、ワーキングメモリ内の記憶表象は同程度に表象されているのではなく、1つの表象のみが注意の焦点化の範囲に入り活性化されると説明する(Oberauer, 2002)。この考えは、注意を制御するワーキングメモリ表象は1つに限定されるという理論(Olivers et al., 2011)につながる。

注意を制御するワーキングメモリ内の項目は1つに限られることを支持する研究が報告されてきている(Houtkamp, & Roelfsema, 2009; Menneer, Barrett, Phillips, Donnelly, & Cave, 2007; van Moorselaar, Theeuwes, & Olivers, 2014)。van Moorselaar et al. (2014)は記憶課題と視覚探索課題を組み合わせた課題において、記憶する項目の個数を1個から4個まで操作した。視覚探索課題では、記憶する項目と同一の色の妨害刺激が呈示される条件(関連条件)と、記憶する項目には含まれない色の妨害刺激が呈示される条件(非関連条件)が設けられた。実験の結果、記憶する項目の個数が1個の場合は関連条件と非関連条件に反応時間差が認められた。つまり、ワーキングメモリに保持していた項目が注意選択に干渉した。一方、記憶する項目の個数が2個から4個の条件の場合、関連条件と非関連条件に反応時間差は認められなかった。つまり、記憶する項目が1個よりも多い場合、ワーキングメモリの内容は注意選択に影響しないことを示す。これらの結果は、注意を制御するワーキングメモリ内の項目は1つに限られるという考えと整合する。

一方で、近年の研究によって複数の標的テンプレートによって注意を誘導できることが示されている(Beck, Hollingworth, & Luck, 2012; Chen & Du, 2017; Grubert & Eimer, 2015; Irons,

Folk, & Remington, 2012; Stroud, Menneer, Cave, & Donnelly, 2012)。Irons et al. (2012) は実験参加者に赤色もしくは緑色の標的刺激を検出することを求めた。視覚探索課題の前に出現する手がかりについて、標的刺激と同一の色（赤色または緑色）の条件と標的刺激とは異なる色（青色）の条件が設けられた。実験の結果、手がかり色の標的刺激との関連性によって注意捕捉効果が異なった。この結果は、注意は複数の標的テンプレートによって誘導されることを示唆する。

以上のように、ワーキングメモリ内の標的テンプレートによる注意の誘導が単一の表象に限られるのか、それとも複数の表象によって注意が制御されるかについては一貫した結果が報告されていない。一方、複数の無視すべき情報を用いて注意を誘導することができるかは検討されておらず、未解明である。今後、複数の情報をワーキングメモリに保持した注意の誘導が可能かどうかという問題に取り組む場合は、本研究が示すように、注意の促進と妨害刺激の抑制の処理段階における視覚探索処理の違いを考慮する必要があるだろう。

6.3.3. ワーキングメモリ容量の個人差と注意制御

ワーキングメモリの容量には個人差があることが知られている (Luck & Vogel, 2013)。ワーキングメモリ容量の小さい個人は課題非関連な妨害刺激に注意を割り当ててしまうことが報告されてきている (Fukuda & Vogel, 2009, 2011; Gaspar, Christie, Prime, Jolicœur, & McDonald, 2016)。Gaspar et al. (2016) はシングルトンが出現する視覚探索課題を遂行中の脳波を計測した。彼らはシングルトンに対する Pd 成分を分析の対象とした。Pd 成分は課題非関連な妨害刺激の対側の後頭電極で認められ、妨害刺激の能動的な抑制処理を反映する (Hickey, Di Lollo, & McDonald, 2009)。変化検出課題で求めたワーキングメモリ容量 (Cowan's K: Cowan, 2001) と Pd 成分の関連を分析した結果、ワーキングメモリ容量が小さいほど Pd 成分が小さいという相関が認められた。この結果から、Gaspar et al. (2016) はワーキングメモリ容量が小さい個人は課題非関連な妨害刺激を抑制できず、注意を捕捉されてしまうと結論づけた。

ワーキングメモリ容量と妨害刺激の抑制に関するこの知見が、本研究で検討した妨害刺激の抑制処理過程にも反映されるかどうかを検討することが必要であると考えられる。例えば、実験 4 では妨害刺激抑制における学習効果が課題負荷によって修飾されることを示したが、ワーキングメモリ容量の大小はどのように影響するのだろうか。また、実験 6 および 7 では注意の促進と妨害刺激の抑制の視覚探索処理過程の違いについて検討したが、この違い

はワーキングメモリ容量によって異なるのだろうか。ワーキングメモリ容量の個人差を含めた体系的な検討を行う必要があるだろう。

6.3.4. 教示の方法

無視手がかりを用いた本研究のパラダイムでは、実験参加者に事前に妨害刺激の存在を予告し、かつ無視手がかりを用いるように教示していた。このような教示による実験参加者の内的な構えが視覚探索のパフォーマンスに影響する可能性が指摘されている (Chisholm & Kingstone, 2014; Huffman, Rajsic, & Praat, 2017)。Chisholm & Kingstone (2014) は突然の刺激の出現 (オンセット) による注意の捕捉の程度が実験参加者への教示によって変化するか否かを検討した。彼らの実験では、単に視覚探索の遂行中に刺激が突然出現することがあると教示する条件 (Aware 条件) と、視覚探索の遂行中に刺激が突然出現することがあるので、その刺激に目を向けないようにすることを求める条件 (Avoid 条件) が設けられた。実験の結果、オンセットのある試行では Avoid 条件の方が Aware 条件よりも視覚探索の反応時間が遅延し、またオンセットへの眼球運動の捕捉の割合が大きかった。これらの結果は、妨害刺激の抑制を促す直接的な教示はかえって妨害刺激へ注意を向けてしまうことにつながりうることを示している。妨害刺激抑制のメカニズムを検討したこれまでの研究では、教示の方法は一貫していない。事前に妨害刺激が出現する位置を予告するもの (Tsal & Makovski, 2006; Lahav et al., 2012; Lahav & Tsal, 2013) や、妨害刺激の情報をワーキングメモリに保持させるもの (Han & Kim, 2009; Woodman & Luck, 2009)、または本研究のような妨害刺激の特徴を抑制するように教示するもの (Arita et al., 2012; Beck & Hollingworth, 2015; Becker et al., 2016; Kugler et al., 2015; Moher & Egeth, 2012) などがある。Chisholm & Kingstone (2014) が指摘するように、教示によってどの程度妨害刺激を意識しているかという要因は、これまでの妨害刺激抑制に関する研究間の不一致を説明しうる。今後は、妨害刺激の出現に対する実験参加者の構えを統制するパラダイムの開発が必要だろう。

6.3.5. アイロニック処理

ヒトの認知システムが「～しないように」することを不得手とすることはアイロニック処理 (ironic processing) と呼ばれる (Wegner, 1994, 2009)。また、ゴルフのパッティングを行うとき、カップをオーバーしないように教示された群は有意にオーバーした (20.79 cm vs. -11.67 cm; Wegner, Ansfield, & Pilloff, 1998)。このように、ヒトは「～しないように」するこ

とを考えるとその行動を取ってしまう傾向がある。

この考えと一致して、本研究では無視すべき刺激属性をあらかじめ手がかりとして与えると、視覚探索の初期では無視すべき刺激を選択してしまうことを示した。これは、運動制御などの高次の処理だけでなく、選択的注意の配分などの視覚情報処理においてもアイロニック処理が認められることを示唆する。これらの研究を組み合わせることによって、ヒトの心的処理の解明が期待できるかもしれない。

参考文献

- Anderson, B. A., Laurent, P. A., & Yantis, S. (2011). Value-driven attentional capture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *108*, 10367–10371. doi: 10.1073/pnas.1104047108
- Ansorge, U., & Heumann, M. (2003). Top-down contingencies in peripheral cuing: The roles of color and location. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *29*, 937–948. doi: 10.1037/0096-1523.29.5.937
- Ansorge, U., & Heumann, M. (2004). Peripheral cuing by abrupt-onset cues: the influence of color in S–R corresponding conditions. *Acta Psychologica*, *116*, 115–143. doi: 10.1016/j.actpsy.2004.01.001
- Arita, J. T., Carlisle, N. B., & Woodman, G. F. (2012). Templates for rejection: Configuring attention to ignore task-irrelevant features. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *38*, 580–584. doi: 10.1037/a0027885
- 蘆田 宏 (2006). ガボール視覚刺激と空間定位. *Vision*, *18*, 23–27.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. *Psychology of Learning and Motivation*, *2*, 89–195. doi: 10.1016/S0079-7421(08)60422-3
- Awh, E., Belopolsky, A. V., & Theeuwes, J. (2012). Top-down versus bottom-up attentional control: A failed theoretical dichotomy. *Trends in Cognitive Sciences*, *16*, 437–443. doi: 10.1016/j.tics.2012.06.010
- Awh, E., & Jonides, J. (2001). Overlapping mechanisms of attention and spatial working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, *5*, 119–126. doi: 10.1016/S1364-6613(00)01593-X
- Awh, E., Vogel, E. K., & Oh, S. H. (2006). Interactions between attention and working memory. *Neuroscience*, *139*, 201–208. doi: 10.1016/j.neuroscience.2005.08.023
- Baddeley, A.D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 417–423. doi: 10.1016/S1364-6613(00)01538-2
- Baddeley, A. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, *63*, 1–29. doi: 10.1146/annurev-psych-120710-100422
- Baddeley, A.D., & Hitch, G.J. (1974). Working memory. In Bower, G.A. (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation*, New York: Academic Press, pp.47–89.

- Baijal, S., Nakatani, C., van Leeuwen, C., & Srinivasan, N. (2013). Processing statistics: An examination of focused and distributed attention using event related potentials. *Vision Research*, *85*, 20–25. doi: 10.1016/j.visres.2012.09.018
- Balani, A. B., Soto, D., & Humphreys, G. W. (2010). Working memory and target-related distractor effects on visual search. *Memory & Cognition*, *38*, 1058–1076. doi: 10.3758/MC.38.8.1058
- Baluch, F., & Itti, L. (2011). Mechanisms of top-down attention. *Trends in Neurosciences*, *34*, 210–224. doi: 10.1016/j.tins.2011.02.003
- Beck, V. M., & Hollingworth, A. (2015). Evidence for negative feature guidance in visual search is explained by spatial recoding. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *41*, 1190–1196. doi: 10.1037/xhp0000109
- Beck, V. M., Hollingworth, A., & Luck, S. J. (2012). Simultaneous control of attention by multiple working memory representations. *Psychological Science*, *23*, 887–898. doi: 10.1177/0956797612439068
- Beck, V. M., Luck, S. J., & Hollingworth, A. (2017). Whatever you do, don't look at the...: Evaluating guidance by an exclusionary attentional template. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Advance online publication. doi: 10.1037/xhp0000485
- Becker, M. W., Hemsteger, S., & Peltier, C. (2016). No templates for rejection: a failure to configure attention to ignore task-irrelevant features. *Visual Cognition*, *76*, 1150–1167. doi: 10.1080/13506285.2016.1149532
- Becker, S. I., Ansorge, U., & Horstmann, G. (2009). Can intertrial priming account for the similarity effect in visual search? *Vision Research*, *49*, 1738–1756. doi: 10.1016/j.visres.2009.04.001
- Brainard, D. H. (1997). The psychophysics toolbox. *Spatial Vision*, *10*, 433–436. doi: 10.1163/156856897x00357
- Bravo, M. J., & Nakayama, K. (1992). The role of attention in different visual-search tasks. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *51*, 465–472. doi: 10.3758/BF03211642
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. Oxford: Pergamon Press.
- Bundesen, C. (1990). A theory of visual attention. *Psychological Review*, *97*, 523–547. doi: 10.1037/0033-295X.97.4.523
- Bundesen, C., & Habekost, T. (2008). *Principles of visual attention: Linking mind and brain*. New

York: Oxford University Press.

- Bundesen, C., Habekost, T., & Kyllingsbæk, S. (2005). A neural theory of visual attention: Bridging cognition and neurophysiology. *Psychological Review*, *112*, 291–328. doi: 10.1037/0033-295X.112.2.291
- Bundesen, C., Vangkilde, S., & Petersen, A. (2015). Recent developments in a computational theory of visual attention (TVA). *Vision Research*, *116*, 210–218. doi: 10.1016/j.visres.2014.11.005
- Burra, N., & Kerzel, D. (2013). Attentional capture during visual search is attenuated by target predictability: Evidence from the N2pc, Pd, and topographic segmentation. *Psychophysiology*, *50*, 422–430. doi: 10.1111/psyp.12019
- Buschman, T. J., & Kastner, S. (2015). From behavior to neural dynamics: An integrated theory of attention. *Neuron*, *88*, 127–144. doi: 10.1016/j.neuron.2015.09.017
- Carlisle, N. B., Arita, J. T., Pardo, D., & Woodman, G. F. (2011). Attentional templates in visual working memory. *Journal of Neuroscience*, *31*, 9315–9322. doi:10.1523/JNEUROSCI.1097-11.2011
- Carlisle, N. B., & Woodman, G. F. (2011). Automatic and strategic effects in the guidance of attention by working memory representations. *Acta Psychologica*, *137*, 217–225. doi: 10.1016/j.actpsy.2010.06.012
- Carlisle, N. B., & Woodman, G. F. (2013). Reconciling conflicting electrophysiological findings on the guidance of attention by working memory. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *75*, 1330–1335. doi: 10.3758/s13414-013-0529-7
- Cave, K. R., & Wolfe, J. M. (1990). Modeling the role of parallel processing in visual search. *Cognitive Psychology*, *22*, 225–271. doi: 10.1016/0010-0285(90)90017-X
- Chan, L. K., & Hayward, W. G. (2013). Visual search. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, *4*, 415–429. doi: 10.1002/wcs.1235
- Chao, H. F. (2010). Top-down attentional control for distractor locations: The benefit of precuing distractor locations on target localization and discrimination. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *36*, 303–316. doi: 10.1037/a0015790
- Chen, Y., & Du, F. (2017). Two visual working memory representations simultaneously control attention. *Scientific Reports*, *7*, 6107. doi: 10.1038/s41598-017-05865-1
- Cherry, E. C. (1953). Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears. *The*

- Journal of the Acoustical Society of America*, 25, 975–979. doi: 10.1121/1.1907229
- Chisholm, J. D., & Kingstone, A. (2014). Knowing and avoiding: The influence of distractor awareness on oculomotor capture. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 76, 1258–1264. doi: 10.3758/s13414-014-0662-y
- Chun, M. M. (2011). Visual working memory as visual attention sustained internally over time. *Neuropsychologia*, 49, 1407–1409. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2011.01.029
- Chun, M. M., & Jiang, Y. (1998). Contextual cueing: Implicit learning and memory of visual context guides spatial attention. *Cognitive Psychology*, 36, 28–71. doi: 10.1006/cogp.1998.0681
- Connor, C. E., Egeth, H. E., & Yantis, S. (2004). Visual attention: Bottom-up versus top-down. *Current Biology*, 14, R850–R852. doi: 10.1016/j.cub.2004.09.041
- Corbetta, M., Patel, G., & Shulman, G. L. (2008). The reorienting system of the human brain: From environment to theory of mind. *Neuron*, 58, 306–324. doi: 10.1016/j.neuron.2008.04.017
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3, 201–215. doi: 10.1038/nrn755
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2011). Spatial neglect and attention networks. *Annual Review of Neuroscience*, 34, 569–599. doi: 10.1146/annurev-neuro-061010-113731
- Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information-processing system. *Psychological Bulletin*, 104, 163–191. doi: 10.1037/0033-2909.104.2.163
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral & Brain Sciences*, 24, 87–185. doi: 10.1017/S0140525X01003922
- Cowan, N. (2008). What are the differences between long-term, short-term, and working memory? *Progress in Brain Research*, 169, 323–338. doi: 10.1016/S0079-6123(07)00020-9
- Cowan, N. (2010). The magical mystery four: How is working memory capacity limited, and why? *Current Directions in Psychological Science*, 19, 51–57. doi: 10.1177/0963721409359277
- Cunningham, C. A., & Egeth, H. E. (2016). Taming the white bear: Initial costs and eventual benefits of distractor inhibition. *Psychological Science*, 27, 476–485. doi: 10.1177/0956797615626564
- Dalvit, S., & Eimer, M. (2011). Memory-driven attentional capture is modulated by temporal task demands. *Visual Cognition*, 19, 145–153. doi: 10.1080/13506285.2010.543441
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG

- dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, *134*, 9–21. doi: 10.1016/j.jneumeth.2003.10.009
- Desimone, R. (1996). Neural mechanisms for visual memory and their role in attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *93*, 13494–13499. doi: 10.1073/pnas.93.24.13494
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, *18*, 193–222. doi: 10.1146/annurev.ne.18.030195.001205
- Deutsch, J. A., & Deutsch, D. (1963). Attention: Some theoretical considerations. *Psychological Review*, *70*, 80–90. doi: 10.1037/h00395151
- Dowd, E. W., Kiyonaga, A., Beck, J. M., & Egner, T. (2014). Probability of guessing, not precision, changes in mixture models of visual working memory during cognitive control of attentional guidance. *Visual Cognition*, *22*, 1027–1030. doi: 10.1080/13506285.2014.960669
- Downing, P. E. (2000). Interactions between visual working memory and selective attention. *Psychological Science*, *11*, 467–473. doi: 10.1111/1467-9280.00290
- Downing, P., & Dodds, C. (2004). Competition in visual working memory for control of search. *Visual Cognition*, *11*, 689–703. doi: 10.1080/13506280344000446
- Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, *96*, 433–458. doi: 10.1037/0033-295X.96.3.433
- Eckstein, M. P. (2011). Visual search: A retrospective. *Journal of Vision*, *11*, 1–36. doi: 10.1167/11.5.14
- Egeth, H. E., Virzi, R. A., & Garbart, H. (1984). Searching for conjunctively defined targets. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *10*, 32–39. doi: 10.1037/0096-1523.10.1.32
- Eimer, M. (1996). The N2pc component as an indicator of attentional selectivity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *99*, 225–234. doi: 10.1016/0013-4694(96)95711-9
- Eimer, M. (2014). The neural basis of attentional control in visual search. *Trends in Cognitive Sciences*, *18*, 526–535. doi: 10.1016/j.tics.2014.05.005
- Eimer, M., & Kiss, M. (2008). Involuntary attentional capture is determined by task set: Evidence from event-related brain potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *20*, 1423–1433. doi: 10.1162/jocn.2008.20099

- Eimer, M., & Kiss, M. (2010). Top-down search strategies determine attentional capture in visual search: Behavioral and electrophysiological evidence. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *72*, 951–962. doi: 10.3758/app.72.4.951
- Eimer, M., Kiss, M., & Nicholas, S. (2011). What top-down task sets do for us: An ERP study on the benefits of advance preparation in visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *37*, 1758–1766. doi: 10.1037/a0024326
- Fecteau, J. H., & Munoz, D. P. (2006). Saliency, relevance, and firing: A priority map for target selection. *Trends in Cognitive Sciences*, *10*, 382–390. doi: 10.1016/j.tics.2006.06.011
- Fellrath, J., Manuel, A. L., & Ptak, R. (2014). Task relevance effects in electrophysiological brain activity: Early, but not first. *NeuroImage*, *101*, 68–75. doi: 10.1016/j.neuroimage.2014.06.059
- Folk, C. L., Remington, R. W., & Johnston, J. C. (1992). Involuntary covert orienting is contingent on attentional control settings. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*, 1030–1044. doi: 10.1037//0096-1523.18.4.1030
- Folk, C. L., Remington, R. W., & Wright, J. H. (1994). The structure of attentional control: Contingent attentional capture by apparent motion, abrupt onset, and color. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *20*, 317–329. doi: 10.1037//0096-1523.20.2.317
- Fox, E. (1995). Negative priming from ignored distractors in visual selection: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, *2*, 145–173. doi: 10.3758/BF03210958
- Fox, M. D., Corbetta, M., Snyder, A. Z., Vincent, J. L., & Raichle, M. E. (2006). Spontaneous neuronal activity distinguishes human dorsal and ventral attention systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *103*, 10046–10051. doi: 10.1073/pnas.0604187103
- Frings, C., Schneider, K. K., & Fox, E. (2015). The negative priming paradigm: An update and implications for selective attention. *Psychonomic Bulletin & Review*, *22*, 1577–1597. doi: 10.3758/s13423-015-0841-4
- Fukuda, K., & Vogel, E. K. (2009). Human variation in overriding attentional capture. *Journal of Neuroscience*, *29*, 8726–8733. doi: 10.1523/JNEUROSCI.2145-09.2009
- Fukuda, K., & Vogel, E. K. (2011). Individual differences in recovery time from attentional capture. *Psychological Science*, *22*, 361–368. doi: 10.1177/0956797611398493
- Gaspar, J. M., Christie, G. J., Prime, D. J., Jolicœur, P., & McDonald, J. J. (2016). Inability to suppress

- salient distractors predicts low visual working memory capacity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *113*, 3693–3698. doi: 10.1073/pnas.1523471113
- Gaspelin, N., Leonard, C. J., & Luck, S. J. (2017). Suppression of overt attentional capture by salient-but-irrelevant color singletons. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *79*, 45–62. doi: 10.3758/s13414-016-1209-1
- Gaspelin, N., & Luck, S. J. (2018). The role of inhibition in avoiding distraction by salient stimuli. *Trends in Cognitive Sciences*, *1*, 79–92. doi: 10.1016/j.tics.2017.11.001
- Gazzaley, A., & Nobre, A. C. (2012). Top-down modulation: Bridging selective attention and working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, *16*, 129–135. doi: 10.1016/j.tics.2011.11.014
- Gazzaley, A., Rissman, J., & D'Esposito, M. (2004). Functional connectivity during working memory maintenance. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *4*, 580–599. doi: 10.3758/cabn.4.4.580
- Gratton, G. (1998). The contralateral organization of visual memory: A theoretical concept and a research tool. *Psychophysiology*, *35*, 638–647. doi: 10.1111/1469-8986.3560638
- Grecucci, A., Soto, D., Rumiati, R. I., Humphreys, G. W., & Rotshtein, P. (2010). The interrelations between verbal working memory and visual selection of emotional faces. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *22*, 1189–1200. doi: 10.1162/jocn.2009.21276
- Green, B. F., & Anderson, L. K. (1956). Color coding in a visual search task. *Journal of Experimental Psychology*, *51*, 19–24. doi: 10.1037/h0047484
- Grubert, A., & Eimer, M. (2015). Rapid parallel attentional target selection in single-color and multiple-color visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *41*, 86–101. doi: 10.1037/xhp0000019
- Gunseli, E., Meeter, M., & Olivers, C. N. (2014). Is a search template an ordinary working memory? Comparing electrophysiological markers of working memory maintenance for visual search and recognition. *Neuropsychologia*, *60*, 29–38. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2014.05.012
- Han, S. W., & Kim, M. S. (2009). Do the contents of working memory capture attention? Yes, but cognitive control matters. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *35*, 1292–1302. doi: 10.1037/a0016452
- Head, J., & Helton, W. S. (2015). Passive perceptual learning versus active searching in a novel stimuli vigilance task. *Experimental Brain Research*, *233*, 1481–1489. doi: 10.1007/s00221-015-4222-z

- Henson, R. N. A., & Rugg, M. D. (2003). Neural response suppression, haemodynamic repetition effects, and behavioural priming. *Neuropsychologia*, *41*, 263–270. doi: 10.1016/s0028-3932(02)00159-8
- Hickey, C., Di Lollo, V., & McDonald, J. J. (2009). Electrophysiological indices of target and distractor processing in visual search. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *21*, 760–775. doi: 10.1162/jocn.2009.21039
- Hickey, C., McDonald, J. J., & Theeuwes, J. (2006). Electrophysiological evidence of the capture of visual attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *18*, 604–613. doi: 10.1162/jocn.2006.18.4.604
- Hickey, C., van Zoest, W., & Theeuwes, J. (2010). The time course of exogenous and endogenous control of covert attention. *Experimental Brain Research*, *201*, 789–796. doi: 10.1007/s00221-009-2094-9
- Hikosaka, O., Miyauchi, S., & Shimojo, S. (1993). Visual attention revealed by an illusion of motion. *Neuroscience Research*, *18*, 11–18. doi: 10.1016/0168-0102(93)90100-5
- Hilimire, M. R., & Corballis, P. M. (2014). Event-related potentials reveal the effect of prior knowledge on competition for representation and attentional capture. *Psychophysiology*, *51*, 22–35. doi: 10.1111/psyp.12154
- Hillyard, S. A., Vogel, E. K., & Luck, S. J. (1998). Sensory gain control (amplification) as a mechanism of selective attention: Electrophysiological and neuroimaging evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, *353*, 1257–1270. doi: 10.1098/rstb.1998.0281
- Hout, M. C., & Goldinger, S. D. (2014). Target templates: The precision of mental representations affects attentional guidance and decision-making in visual search. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *77*, 128–149. doi: 10.3758/s13414-014-0764-6
- Houtkamp, R., & Roelfsema, P. R. (2006). The effect of items in working memory on the deployment of attention and the eyes during visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *32*, 423–442. doi: 10.1037/0096-1523.32.2.423
- Houtkamp, R., & Roelfsema, P. R. (2009). Matching of visual input to only one item at any one time. *Psychological Research*, *73*, 317–326. doi: 10.1007/s00426-008-0157-3
- Huffman, G., Rajsic, J. & Pratt, J. (2017). Ironic capture: Top-down expectations exacerbate

- distraction in visual search. *Psychological Research*, Advance online publication. doi: 10.1007/s00426-017-0917-z
- Humphreys, G. W., Stalman, B. J., & Olivers, C. (2004). An analysis of the time course of attention in preview search. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *66*, 713–730. doi: 10.3758/BF03194967
- Hutchinson, J. B., & Turk-Browne, N. B. (2012). Memory-guided attention: Control from multiple memory systems. *Trends in Cognitive Sciences*, *16*, 576–579. doi: 10.1016/j.tics.2012.10.003
- Ikkai, A., & Curtis, C. E. (2011). Common neural mechanisms supporting spatial working memory, attention and motor intention. *Neuropsychologia*, *49*, 1428–1434. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2010.12.020
- Irons, J. L., Folk, C. L., & Remington, R. W. (2012). All set! Evidence of simultaneous attentional control settings for multiple target colors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *38*, 758–775. doi: 10.1037/a0026578
- Itti, L., & Koch, C. (2000). A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention. *Vision Research*, *40*, 1489–1506. doi: 10.1016/S0042-6989(99)00163-7
- Itti, L., & Koch, C. (2001). Computational modelling of visual attention. *Nature Reviews Neuroscience*, *2*, 194–203. doi: 10.1038/35058500
- Jennings, J. R., & Wood, C. C. (1976). The e-adjustment procedure for repeated-measures analyses of variance. *Psychophysiology*, *13*, 277–278. doi: 10.1111/j.1469-8986.1976.tb00116.x
- Jonides, J. (1981). Voluntary versus automatic control over the mind's eye's movement. In J. B. Long & A. D. Baddeley (Eds.), *Attention and performance IX* (pp. 187–203). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kahneman, D., & Treisman, A. (1984). Changing views of attention and automaticity. In R. Parasuraman & D. R. Davies (Eds.), *Varieties of Attention* (pp. 29–61). Orlando, FL: Academic Press.
- Kang, M. S., & Woodman, G. F. (2014). The neurophysiological index of visual working memory maintenance is not due to load dependent eye movements. *Neuropsychologia*, *56*, 63–72. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2013.12.028
- Karis, D., Fabiani, M., & Donchin, E. (1984). “P300” and memory: Individual differences in the von Restorff effect. *Cognitive Psychology*, *16*, 177–216. doi: 10.1016/0010-0285(84)90007-0
- Katsuki, F., & Constantinidis, C. (2014). Bottom-up and top-down attention: Different processes and

- overlapping neural systems. *The Neuroscientist*, *20*, 509–521. doi: 10.1177/1073858413514136
- 河原 純一郎・横澤 一彦 (2015). 注意の制御 横澤 一彦 (監修) 注意 選択と統合 シリーズ統合的認知第 1 巻 (pp.163–210) 勁草書房
- Kim, M. S., & Cave, K. R. (1999). Grouping effects on spatial attention in visual search. *The Journal of General Psychology*, *126*, 326–352. doi: 10.1080/00221309909595370
- Kim, M. S., & Cave, K. R. (2001). Perceptual grouping via spatial selection in a focused-attention task. *Vision Research*, *41*, 611–624. doi: 10.1016/S0042-6989(00)00285-6
- Kiss, M., & Eimer, M. (2011). Attentional capture by size singletons is determined by top-down search goals. *Psychophysiology*, *48*, 784–787. doi: 10.1111/j.1469-8986.2010.01145.x
- Kiss, M., Jolicœur, P., Dell'Acqua, R., & Eimer, M. (2008). Attentional capture by visual singletons is mediated by top-down task set: New evidence from the N2pc component. *Psychophysiology*, *45*, 1013–1024. doi: 10.1111/j.1469-8986.2008.00700.x
- Kiyonaga, A., & Egner, T. (2014). Resource-sharing between internal maintenance and external selection modulates attentional capture by working memory content. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 1–9. doi: 10.3389/fnhum.2014.00670
- Kiyonaga, A., Egner, T., & Soto, D. (2012). Cognitive control over working memory biases of selection. *Psychonomic Bulletin & Review*, *19*, 639–646. doi: 10.3758/s13423-012-0253-7
- Klaver, P., Talsma, D., Wijers, A. A., Heinze, H. J., & Mulder, G. (1999). An event-related brain potential correlate of visual short-term memory. *NeuroReport*, *10*, 2001–2005. doi: 10.1097/00001756-199907130-00002
- Klein, R. M. (2000). Inhibition of return. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 138–147. doi: 10.1016/S1364-6613(00)01452-2
- Klein, R.M., & Lawrence, M.A. (2012). On the modes and domains of attention. In Posner, M.I. (Eds.), *Cognitive Neuroscience of Attention*. 2nd Edition. New York: Guilford Press. pp.11–28.
- Koch, C., & Ullman, S. (1987). *Shifts in selective visual attention: towards the underlying neural circuitry*. In Matters of intelligence (pp. 115-141). Springer Netherlands.
- Kugler, G., 't Hart, B.M., Kohlbecher, S., Einhäuser, W., & Schneider, E. (2015). Gaze in visual search is guided more efficiently by positive cues than by negative cues. *PloS One*, *10*, e0145910. doi: 10.1371/journal.pone.0145910
- Kuo, C. Y., Chao, H. F., & Yeh, Y. Y. (2013). Strategic control modulates working memory-driven

- attentional capture. *Experimental Psychology*, *60*, 3–11. doi: 10.1027/1618-3169/a000167
- Kuo, C. C., Zhang, C., Rissman, R. A., & Chiu, A. W. (2014). Long-term electrophysiological and behavioral analysis on the improvement of visual working memory load, training gains, and transfer benefits. *Journal of Behavioral and Brain Science*, *4*, 234–246. doi: 10.4236/jbbs.2014.45025
- Kustov, A. A., & Robinson, D. L. (1996). Shared neural control of attentional shifts and eye movements. *Nature*, *384*, 74–77. doi: 10.1038/384074a0
- Laarni, J. (1999). Allocating attention in the visual field: The effects of cue type and target–distractor confusability. *Acta Psychologica*, *103*, 281–294. doi: 10.1016/S0001-6918(99)00045-1
- Lahav, A., Makovski, T., & Tsal, Y. (2012). White bear everywhere: Exploring the boundaries of the attentional white bear phenomenon. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *74*, 661–673. doi: 10.3758/s13414-012-0275-2
- Lahav, A., & Tsal, Y. (2013). Allocating attention to distractor locations is based on top-down expectations. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *66*, 1873–1880. doi: 10.1080/17470218.2013.768276
- Lambert, A., Spencer, E., & Mohindra, N. (1987). Automaticity and the capture of attention by a peripheral display change. *Current Psychology*, *6*, 136–147. doi: 10.4236/jbbs.2014.45025
- Lamy, D.F., Leber, A., & Egeth, H.E. (2012). Selective Attention. In A.F. Healy, & R.W. Proctor (Eds.), *Experimental Psychology*. Volume 4 of the Comprehensive Handbook of Psychology, 2nd Edition. New York: Wiley. pp. 265–294.
- Leber, A. B., Gwinn, R. E., Hong, Y., & O’Toole, R. J. (2016). Implicitly learned suppression of irrelevant spatial locations. *Psychonomic Bulletin & Review*, *23*, 1873–1881. doi: 10.3758/s13423-016-1065-y
- Leber, A. B., & Egeth, H. E. (2006). It’s under control: Top-down search strategies can override attentional capture. *Psychonomic Bulletin & Review*, *13*, 132–138. doi: 10.3758/bf03193824
- Lepsien, J., & Nobre, A. C. (2007). Attentional modulation of object representations in working memory. *Cerebral Cortex*, *17*, 2072–2083. doi: 10.1093/cercor/bhl116
- Li, Z. (2002). A saliency map in primary visual cortex. *Trends in Cognitive Science*, *6*, 9–16. doi:10.1016/S1364-6613(00)01817-9
- Lleras, A., & Moore, C. M. (2003). When the target becomes the mask: Using apparent motion to

- isolate the object-level component of object substitution masking. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *29*, 106–120. doi: 10.1037/0096-1523.29.1.106
- Luck, S.J. (2014a). Electrophysiological correlates of the focusing of attention within complex visual scenes: N2pc and related ERP components. In S. J. Luck & E. S. Kappenman (Eds.), *The Oxford Handbook of ERP Components* (pp. 329–360). New York: Oxford University Press.
- Luck, S. J. (2014b). *An introduction to the event-related potential technique*, 2nd ed. MIT Press, Cambridge, MA.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994). Spatial filtering during visual search: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *20*, 1000–1014. doi: 10.1037//0096-1523.20.5.1000
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, *390*, 279–281. doi: 10.1038/36846
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (2013). Visual working memory capacity: from psychophysics and neurobiology to individual differences. *Trends in Cognitive Sciences*, *17*, 391–400. doi: 10.1016/j.tics.2013.06.006
- Ludwig, C. J., & Gilchrist, I. D. (2003). Target similarity affects saccade curvature away from irrelevant onsets. *Experimental Brain Research*, *152*, 60–69. doi: 10.1007/s00221-003-1520-7
- Luria, R., Balaban, H., Awh, E., & Vogel, E. K. (2016). The contralateral delay activity as a neural measure of visual working memory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *62*, 100–108. doi: 10.1016/j.neubiorev.2016.01.003
- Luria, R., & Vogel, E. K. (2011). Shape and color conjunction stimuli are represented as bound objects in visual working memory. *Neuropsychologia*, *49*, 1632–1639. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2010.11.031
- Machizawa, M. G., Goh, C. C., & Driver, J. (2012). Human visual short-term memory precision can be varied at will when the number of retained items is low. *Psychological Science*, *23*, 554–559. doi: 10.1177/0956797611431988
- Maljkovic, V., & Nakayama, K. (1994). Priming of pop-out: I. Role of features. *Memory & Cognition*, *22*, 657–672. doi: 10.3758/BF03209251
- Martinez-Trujillo, J. C., & Treue, S. (2004). Feature-based attention increases the selectivity of

- population responses in primate visual cortex. *Current Biology*, *14*, 744–751. doi: 10.1016/j.cub.2004.04.028
- Maunsell, J. H., & Treue, S. (2006). Feature-based attention in visual cortex. *Trends in Neurosciences*, *29*, 317–322. doi: 10.1016/j.tins.2006.04.001
- McCollough, A. W., Machizawa, M. G., & Vogel, E. K. (2007). Electrophysiological measures of maintaining representations in visual working memory. *Cortex*, *43*, 77–94. doi: 10.1016/s0010-9452(08)70447-7
- Melloni, L., van Leeuwen, S., Alink, A., & Müller, N. G. (2012). Interaction between bottom-up saliency and top-down control: How saliency maps are created in the human brain. *Cerebral Cortex*, *22*, 2943–2952. doi: 10.1093/cercor/bhr384
- Menner, T., Barrett, D. J., Phillips, L., Donnelly, N., & Cave, K. R. (2007). Costs in searching for two targets: Dividing search across target types could improve airport security screening. *Applied Cognitive Psychology*, *21*, 915–932. doi: 10.1002/acp.1305
- Miller, E. K., & Buschman, T. J. (2013). Cortical circuits for the control of attention. *Current Opinion in Neurobiology*, *23*, 216–222. doi: 10.1016/j.conb.2012.11.011
- Moher, J., & Egeth, H. E. (2012). The ignoring paradox: Cueing distractor features leads first to selection, then to inhibition of to-be-ignored items. *Attention, Perception & Psychophysics*, *74*, 1590–1605. doi: 10.3758/s13414-012-0358-0
- Moher, J., Lakshmanan, B. M., Egeth, H. E., & Ewen, J. B. (2014). Inhibition drives early feature-based attention. *Psychological Science*, *25*, 315–324. doi: 10.1177/0956797613511257
- Moore, T., & Zirnsak, M. (2017). Neural Mechanisms of Selective Visual Attention. *Annual Review of Psychology*, *68*, 47–72. doi: 10.1146/annurev-psych-122414-033400
- Moore, E., Laiti, L., & Chelazzi, L. (2003). Associative knowledge controls deployment of visual selective attention. *Nature Neuroscience*, *6*, 182–189. doi: 10.1038/nn996
- Moran, J., & Desimone, R. (1985). Selective attention gates visual processing in extrastriate cortex. *Science*, *229*, 782–784. doi: 10.1126/science.4023713
- Moray, N. (1959). Attention in dichotic listening: Affective cues and the influence of instructions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *11*, 56–60. doi: 10.1080/17470215908416289
- Müller, H. J., & Humphreys, G. W. (1991). Luminance-increment detection: Capacity-limited or not? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *17*, 107–124. doi:

10.1037/0096-1523.17.1.107

- Munneke, J., Van der Stigchel, S., & Theeuwes, J. (2008). Cueing the location of a distractor: An inhibitory mechanism of spatial attention? *Acta Psychologica, 129*, 101–107. doi: 10.1016/j.actpsy.2008.05.004
- Niemelä, M., & Saarinen, J. (2000). Visual search for grouped versus ungrouped icons in a computer interface. *Human Factors, 42*, 630–635. doi: 10.1518/001872000779697999
- Nordfang, M., Dyrholm, M., & Bundesen, C. (2013). Identifying bottom-up and top-down components of attentional weight by experimental analysis and computational modeling. *Journal of Experimental Psychology: General, 142*, 510–535. doi: 10.1037/a0029631
- Oberauer, K. (2002). Access to information in working memory: Exploring the focus of attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 28*, 411–421. doi: 10.1037/0278-7393.28.3.411
- Ogawa, T., & Komatsu, H. (2004). Target selection in area V4 during a multidimensional visual search task. *Journal of Neuroscience, 24*, 6371–6382. doi: 10.1523/JNEUROSCI.0569-04.2004
- Olivers, C. N. (2009). What drives memory-driven attentional capture? The effects of memory type, display type, and search type. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 35*, 1275–1291. doi: 10.1037/a0013896
- Olivers, C. N., Meijer, F., & Theeuwes, J. (2006). Feature-based memory-driven attentional capture: visual working memory content affects visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 32*, 1243–1265. doi: 10.1037/0096-1523.32.5.1243
- Olivers, C. N., Peters, J., Houtkamp, R., & Roelfsema, P. R. (2011). Different states in visual working memory: When it guides attention and when it does not. *Trends in Cognitive Sciences, 15*, 327–334. doi: 10.1016/j.tics.2011.05.004
- Pan, Y., & Soto, D. (2010). The modulation of perceptual selection by working memory is dependent on the focus of spatial attention. *Vision Research, 50*, 1437–1444. doi: 10.1016/j.visres.2009.10.016
- Peirce, J. W. (2007). PsychoPy - Psychophysics software in Python. *Journal of Neuroscience Methods, 162*, 8–13. doi: 10.1016/j.jneumeth.2006.11.017
- Perez, V. B., & Vogel, E. K. (2012). What ERPs can tell us about working memory. *The Oxford*

- Handbook of Event-Related Potential Components*, Oxford: Oxford Library of Psychology, 361–372.
- Petersen, S. E., & Posner, M. I. (2012). The attention system of the human brain: 20 years after. *Annual Review of Neuroscience*, *35*, 73–89. doi: 10.1146/annurev-neuro-062111-150525
- Polich, J. (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, *118*, 2128–2148. doi: 10.1016/j.clinph.2007.04.019
- Polich, J. (2012). Neuropsychology of P300. *The Oxford Handbook of Event-Related Potential Components*, Oxford: Oxford Library of Psychology, 159–188.
- Posner, M.I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *32*, 3–25. doi: 10.1080/00335558008248231
- Posner, M. I., & Cohen, Y. (1984). Components of visual orienting. In H. Bouma & D. Bouwhuis (Eds.), *Attention and Performance X: Control of Language Processes* (pp. 531–556). London, UK: Erlbaum.
- Posner, M. I., Cohen, Y., & Rafal, R. D. (1982). Neural systems control of spatial orienting. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *298*, 187–198. doi: 10.1098/rstb.1982.0081
- Posner, M. I., Rafal, R. D., Choate, L. S., & Vaughan, J. (1985). Inhibition of return: Neural basis and function. *Cognitive Neuropsychology*, *2*, 211–228. doi: 10.1080/02643298508252866
- Ptak, R. (2012). The frontoparietal attention network of the human brain action, saliency, and a priority map of the environment. *The Neuroscientist*, *18*, 502–515. doi: 10.1177/1073858411409051
- Purcell, B. A., Schall, J. D., Logan, G. D., & Palmeri, T. J. (2012). From salience to saccades: multiple-alternative gated stochastic accumulator model of visual search. *The Journal of Neuroscience*, *32*, 3433–3446. doi:10.1523/JNEUROSCI.4622-11.2012
- Reeder, R. R., Olivers, C. N., & Pollmann, S. (2017). Cortical evidence for negative search templates. *Visual Cognition*, *25*, 278–290. doi: 10.1080/13506285.2017.1339755
- Reinhart, R. M., Carlisle, N. B., & Woodman, G. F. (2014). Visual working memory gives up attentional control early in learning: Ruling out interhemispheric cancellation. *Psychophysiology*, *51*, 800–804. doi: 10.1111/psyp.12217
- Reinhart, R. M., & Woodman, G. F. (2013). High stakes trigger the use of multiple memories to enhance the control of attention. *Cerebral Cortex*, *24*, 2022–2035. doi: 10.1093/cercor/bht057

- Rossi, A. F., & Paradiso, M. A. (1995). Feature-specific effects of selective visual attention. *Vision Research*, *35*, 621–634. doi: 10.1016/0042-6989(94)00156-G
- Sàenz, M., Buraças, G. T., & Boynton, G. M. (2003). Global feature-based attention for motion and color. *Vision Research*, *43*, 629–637. doi: 10.1016/S0042-6989(02)00595-3
- Samuel, A. G., & Kat, D. (2003). Inhibition of return: A graphical meta-analysis of its time course and an empirical test of its temporal and spatial properties. *Psychonomic Bulletin & Review*, *10*, 897–906. doi: 10.3758/BF03196550
- Schacter, D. L., Dobbins, I. G., & Schnyer, D. M. (2004). Specificity of priming: A cognitive neuroscience perspective. *Nature Reviews Neuroscience*, *5*, 853–862. doi: 10.1038/nrn1534
- Schmidt, J., MacNamara, A., Proudfit, G. H., & Zelinsky, G. J. (2014). More target features in visual working memory leads to poorer search guidance: Evidence from contralateral delay activity. *Journal of Vision*, *14*, 1–19. doi: 10.1167/14.3.8
- Serences, J. T., & Yantis, S. (2006). Selective visual attention and perceptual coherence. *Trends in Cognitive Sciences*, *10*, 38–45. doi: 10.1016/j.tics.2005.11.008
- Shipp, S. (2004). The brain circuitry of attention. *Trends in Cognitive Science*, *8*, 223–230. doi: 10.1016/j.tics.2004.03.004
- Simon, J. R., & Rudell, A. P. (1967). Auditory SR compatibility: The effect of an irrelevant cue on information processing. *Journal of Applied Psychology*, *51*, 300–304. doi: 10.1037/h0020586
- Simons, D. J. (2000). Attentional capture and inattention blindness. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 147–155. doi: 10.1016/s1364-6613(00)01455-8
- Solman, G. J., Cheyne, J. A., & Smilek, D. (2011). Memory load affects visual search processes without influencing search efficiency. *Vision Research*, *51*, 1185–1191. doi: 10.1016/j.visres.2011.03.009
- Soltani, M., & Knight, R. T. (2000). Neural origins of the P300. *Critical Reviews in Neurobiology*, *14*, 199–224. doi: 10.1615/critrevneurobiol.v14.i3-4.20
- Soto, D., Hodsoll, J., Rotshtein, P., & Humphreys, G. W. (2008). Automatic guidance of attention from working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, *12*, 342–348. doi: 10.1016/j.tics.2008.05.007
- Soto, D., Rotshtein, P., Hodsoll, J., Mevorach, C., & Humphreys, G. W. (2012). Common and distinct neural regions for the guidance of selection by visuo-verbal information held in

- memory: Converging evidence from fMRI and rTMS. *Human Brain Mapping*, *33*, 105–120. doi: 10.1002/hbm.21196
- Soto, D., & Humphreys, G. W. (2007). Automatic guidance of visual attention from verbal working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *33*, 730–737. doi: 10.1037/0096-1523.33.3.730
- Soto, D., & Humphreys, G. W. (2008). Stressing the mind: The effect of cognitive load and articulatory suppression on attentional guidance from working memory. *Perception & Psychophysics*, *70*, 924–934. doi: 10.3758/pp.70.5.924
- Soto, D., & Humphreys, G.W. (2014). Working memory biases in human vision. In Nobre, A.C. & Kastner, S. (Ed.), *The Oxford Handbook of Attention*. Oxford: Oxford Library of Psychology, pp.753–776.
- Soto, D., Humphreys, G. W., & Rotshtein, P. (2007). Dissociating the neural mechanisms of memory-based guidance of visual selection. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *104*, 17186–17191. doi: 10.1073/pnas.0703706104
- Stroud, M. J., Menneer, T., Cave, K. R., & Donnelly, N. (2012). Using the dual-target cost to explore the nature of search target representations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *38*, 113–122. doi: 10.1037/a0025887
- Styles, E. (2006). *The Psychology of Attention*, 2nd ed. Psychology Press, UK.
- Theeuwes, J. (1992). Perceptual selectivity for colour and form. *Perception & Psychophysics*, *51*, 599–606. doi: 10.3758/bf03211656
- Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta Psychologica*, *135*, 77–99. doi: 10.1016/j.actpsy.2010.02.006
- Theeuwes, J., Belopolsky, A., & Olivers, C. N. (2009). Interactions between working memory, attention and eye movements. *Acta Psychologica*, *132*, 106–114. doi: 10.1016/j.actpsy.2009.01.005
- Theeuwes, J., Olivers, C. N., & Belopolsky, A. (2010). Stimulus-driven capture and contingent capture. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, *1*, 872–881. doi: 10.1002/wcs.83
- Theeuwes, J., & Van der Burg, E. (2007). The role of spatial and nonspatial information in visual selection. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *33*, 1335–1351. doi: 10.1037/0096-1523.33.6.1335

- Thompson, K. G., & Bichot, N. P. (2005). A visual salience map in the primate frontal eye field. *Progress in Brain Research*, *147*, 249–262. doi: 10.1016/S0079-6123(04)47019-8
- Tipper, S. P. (1985). The negative priming effect: Inhibitory priming by ignored objects. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *37*, 571–590. doi: 10.1080/14640748508400920
- Tipper, S. P. (2001). Does negative priming reflect inhibitory mechanisms? A review and integration of conflicting views. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *54*, 321–343. doi: 10.1080/02724980042000183
- Tipper, S. P., & Cranston, M. (1985). Selective attention and priming: Inhibitory and facilitatory effects of ignored primes. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *37*, 591–611. doi: 10.1080/14640748508400921
- Todd, J. J., & Marois, R. (2004). Capacity limit of visual short-term memory in human posterior parietal cortex. *Nature*, *428*, 751–754. doi: 10.1038/nature02466
- Todd, R. M., & Manaligod, M. G. (2017). Implicit guidance of attention: The priority state space framework. *Cortex*, Advance online publication. doi: 10.1016/j.cortex.2017.08.001
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, *12*, 97–136. doi: 10.1016/0010-0285(80)90005-5
- Tsal, Y., & Makovski, T. (2006). The attentional white bear phenomenon: the mandatory allocation of attention to expected distractor locations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *32*, 351–363. doi: 10.1037/0096-1523.32.2.351
- 坪見 博之 (2013). 視覚性ワーキングメモリの容量と注意制御 苧坂 直行 (編) 社会脳シリーズ 3 注意をコントロールする脳——神経注意学からみた情報の選択と統合 (pp.67–92) 新曜社.
- Veale, R., Hafed, Z. M., & Yoshida, M. (2017). How is visual salience computed in the brain? Insights from behaviour, neurobiology and modelling. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *372*, 20160113. doi: 10.1098/rstb.2016.0113
- Van der Stigchel, S., Belopolsky, A. V., Peters, J. C., Wijnen, J. G., Meeter, M., & Theeuwes, J. (2009). The limits of top-down control of visual attention. *Acta Psychologica*, *132*, 201–212. doi: 10.1016/j.actpsy.2009.07.001
- van Moorselaar, D., Theeuwes, J., & Olivers, C. N. (2014). In competition for the attentional template: Can multiple items within visual working memory guide attention? *Journal of Experimental*

- Psychology: Human Perception and Performance*, 40, 1450–1464. doi: 10.1037/a0036229
- van Moorselaar, D., Theeuwes, J., & Olivers, C. N. (2016). Learning changes the attentional status of prospective memories. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23, 1483–1490. doi:10.3758/s13423-016-1008-7
- van Zoest, W., Hunt, A. R., & Kingstone, A. (2010). Representations in visual cognition: It's about time. *Current Directions in Psychological Science*, 19, 116–120. doi: 10.1177/0963721410363895
- Vatterott, D. B., & Vecera, S. P. (2012). Experience-dependent attentional tuning of distractor rejection. *Psychonomic Bulletin & Review*, 19, 871–878. doi: 10.3758/s13423-012-0280-4
- Vecera, S. P., Cosman, J. D., Vatterott, D. B., & Roper, Z. J. (2014). The control of visual attention: Toward a unified account. *Psychology of Learning and Motivation*, 60, 303–347. doi: 10.1016/B978-0-12-800090-8.00008-1
- Vickery, T. J., King, L. W., & Jiang, Y. (2005). Setting up the target template in visual search. *Journal of Vision*, 5, 81–92. doi: 10.1167/5.1.8
- Vogel, E. K., & Machizawa, M. G. (2004). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, 428, 748–751. doi: 10.1038/nature02447
- Voss, J. L., Schendan, H. E., & Paller, K. A. (2010). Finding meaning in novel geometric shapes influences electrophysiological correlates of repetition and dissociates perceptual and conceptual priming. *NeuroImage*, 49, 2879–2889. doi: 10.1016/j.neuroimage.2009.09.012
- Warm, J. S., Parasuraman, R., & Matthews, G. (2008). Vigilance requires hard mental work and is stressful. *Human Factors*, 50, 433–441. doi: 10.1518/001872008X312152
- Watson, D. G., & Humphreys, G. W. (1997). Visual marking: Prioritizing selection for new objects by top-down attentional inhibition of old objects. *Psychological Review*, 104, 90–122. doi: 10.1037/0033-295X.104.1.90
- Watson, D. G., Humphreys, G. W., & Olivers, C. N. (2003). Visual marking: Using time in visual selection. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 180–186. doi: 10.1016/S1364-6613(03)00033-0
- Wegner, D. M. (1994). Ironic process of mental thought. *Psychological Review*, 101, 34–52. doi: 10.1037/0033-295X.101.1.34
- Wegner, D. M. (2009). How to think, say, or do precisely the worst thing for any occasion. *Science*, 325, 48–50. doi: 10.1126/science.1167346

- Wegner, D. M., Ansfield, M., & Pilloff, D. (1998). The putt and the pendulum: Ironic effects of the mental control of action. *Psychological Science, 9*, 196–199. doi: 10.1111/1467-9280.00037
- White, B. J., Kan, J. Y., Levy, R., Itti, L., & Munoz, D. P. (2017). Superior colliculus encodes visual saliency before the primary visual cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 114*, 9451–9456. doi: 10.1073/pnas.1701003114
- Williams, L. G. (1966). The effect of target specification on objects fixated during visual search. *Perception & Psychophysics, 1*, 315–318. doi: 10.3758/BF03215795
- Wilschut, A., Theeuwes, J., & Olivers, C. N. (2014). Priming and the guidance by visual and categorical templates in visual search. *Frontiers in Psychology, 5*, 1–12. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00148
- Wolfe, J. M. (1994). Guided search 2.0 a revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review, 1*, 202–238. doi: 10.3758/BF03200774
- Wolfe, J. M. (1998). What can 1 million trials tell us about visual search? *Psychological Science, 9*, 33–39. doi: 10.1111/1467-9280.00006
- Wolfe, J. M. (2014). Approaches to visual search: Feature integration theory and guided search. In Nobre, A.C. & Kastner, S. (Ed.), *The Oxford Handbook of Attention*. Oxford: Oxford Library of Psychology, pp.11–55.
- Wolfe, J. M., Cave, K. R., & Franzel, S. L. (1989). Guided search: An alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 15*, 419–433. doi: 10.1037/0096-1523.15.3.419
- Wolfe, J. M., & Horowitz, T. S. (2004). What attributes guide the deployment of visual attention and how do they do it? *Nature Reviews Neuroscience, 5*, 495–501. doi: 10.1038/nrn1411
- Wolfe, J. M., & Horowitz, T. S. (2017). Five factors that guide attention in visual search. *Nature Human Behaviour, 1*, 0058. doi: 0.1038/s41562-017-0058
- Wolfe, J. M., Horowitz, T. S., Kenner, N., Hyle, M., & Vasan, N. (2004). How fast can you change your mind? The speed of top-down guidance in visual search. *Vision Research, 44*, 1411–1426. doi:10.1016/j.visres.2003.11.024
- Woodman, G. F. (2010). Masked targets trigger event-related potentials indexing shifts of attention but not error detection. *Psychophysiology, 47*, 410–414. doi: 10.1111/j.1469-8986.2009.00948.x
- Woodman, G. F. (2013). Viewing the dynamics and control of visual attention through the lens of

- electrophysiology. *Vision Research*, 80, 7–18. doi: 10.1016/j.visres.2013.01.003
- Woodman, G. F., & Arita, J. T. (2011). Direct electrophysiological measurement of attentional templates in visual working memory. *Psychological Science*, 22, 212–215. doi: 10.1177/0956797610395395
- Woodman, G. F., Carlisle, N. B., & Reinhart, R. M. (2013). Where do we store the memory representations that guide attention? *Journal of Vision*, 13, 1–17. doi: 10.1167/13.3.1
- Woodman, G. F., & Chun, M. M. (2006). The role of working memory and long-term memory in visual search. *Visual Cognition*, 14, 808–830. doi: 10.1080/13506280500197397
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2003). Dissociations among attention, perception, and awareness during object-substitution masking. *Psychological Science*, 14, 605–611. doi: 10.1046/j.0956-7976.2003.psci_1472.x
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2007). Do the contents of visual working memory automatically influence attentional selection during visual search? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33, 363–377. doi: 10.1037/0096-1523.33.2.363
- Woodman, G.F., & Luck, S.J. (2015). Using working memory to control attentional deployment to items in complex scenes. In Fawcett, J.M., Risko, E.F., & Kingstone, A. (Ed.), *The Handbook of Attention*. MIT Press, Cambridge, MA., pp.171–197.
- Woodman, G. F., Luck, S. J., & Schall, J. D. (2007). The role of working memory representations in the control of attention. *Cerebral Cortex*, 17, i118–i124. doi: 10.1093/cercor/bhm065
- Woodman, G. F., & Vogel, E. K. (2008). Selective storage and maintenance of an object's features in visual working memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 15, 223–229. doi: 10.3758/pbr.15.1.223
- Woodman, G. F., Vogel, E. K., & Luck, S. J. (2001). Visual search remains efficient when visual working memory is full. *Psychological Science*, 12, 219–224. doi: 10.1111/1467-9280.00339
- Xu, Y., & Chun, M. M. (2006). Dissociable neural mechanisms supporting visual short-term memory for objects. *Nature*, 440, 91–95. doi: 10.1038/nature04262
- Yantis, S. (2005). How visual salience wins the battle for awareness. *Nature Neuroscience*, 8, 975–977. doi: 10.1038/nn0805-975
- 横澤 一彦・熊田 孝恒 (1996). 視覚探索－現象とプロセス. *認知科学*, 3, 119–138. doi: 10.11225/jcss.3.4_119

- Zelinsky, G. J., & Bisley, J. W. (2015). The what, where, and why of priority maps and their interactions with visual working memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1339, 154–164. doi: 10.1111/nyas.12606
- Zhang, X., Zhaoping, L., Zhou, T., & Fang, F. (2012). Neural activities in V1 create a bottom-up saliency map. *Neuron*, 73, 183–192. doi: 10.1016/j.neuron.2011.10.035

付表

第2章

付表 1. 実験 1：Go/NoGo 課題の各条件における参加者ごとの反応時間

付表 2. 実験 1：検出課題の各条件における参加者ごとの正答率

付表 3. 実験 1：弁別課題の各条件における参加者ごとの正答率

付表 4. 実験 2：Go/NoGo 課題の各条件における参加者ごとの反応時間

第3章

付表 5. 視覚探索課題の各条件における参加者ごとの反応時間

付表 6. 視覚探索課題の各条件における参加者ごとの誤答率

付表 7. 記憶課題の各条件における参加者ごとの反応時間

付表 8. 記憶課題の各条件における参加者ごとの誤答率

付表 9. CDA：0%条件の各電極位置における参加者ごとの振幅

付表 10. CDA：50%条件の各電極位置における参加者ごとの振幅

付表 11. CDA：100%条件の各電極位置における参加者ごとの振幅

付表 12. CDA：記憶課題の各電極位置における参加者ごとの振幅

付表 13. P3：0%条件の各電極位置における参加者ごとの振幅

付表 14. P3：50%条件の各電極位置における参加者ごとの振幅

付表 15. P3：100%条件の各電極位置における参加者ごとの振幅

付表 16. P3：記憶課題の各電極位置における参加者ごとの振幅

第4章

付表 17. 実験 4：セットサイズ 12 条件における条件ごとの平均反応時間（ミリ秒）

付表 18. 実験 4：セットサイズ 16 条件における条件ごとの平均反応時間（ミリ秒）

第5章

付表 19. 実験 5：各条件における参加者ごとの平均反応時間（ミリ秒）

付表 20. 実験 6：各条件における参加者ごとの平均反応時間（ミリ秒）

付表 21. 実験 6：各条件における参加者ごとの探索勾配（ミリ秒）

付表 22. 実験 6：各条件における参加者ごとの切片（ミリ秒）

付表 23. 実験 7：各条件における参加者ごとの平均反応時間（ミリ秒）

付表 24. 実験 7：各条件における参加者ごとの探索勾配（ミリ秒）

付表 25. 実験 7：各条件における参加者ごとの切片（ミリ秒）

付表 1. 実験 1 : Go/NoGo 課題の各条件における参加者ごとの反応時間 (ミリ秒)

	2%		5%		90%		Control
	High	Low	High	Low	High	Low	
s1	550.0	537.5	531.2	521.9	552.0	539.6	511.4
s2	567.7	519.8	532.3	493.7	503.3	500.0	535.6
s3	560.4	512.5	533.3	542.7	545.6	548.9	492.7
s4	664.4	690.5	644.8	610.3	667.7	673.9	603.1
s5	408.3	397.9	397.9	406.3	427.1	403.1	392.7
s6	515.6	515.5	481.2	513.5	483.3	457.3	527.1
s7	474.0	438.5	468.7	455.2	476.1	503.1	466.7
s8	401.1	399.0	396.0	400.0	405.2	380.2	399.7
s9	404.2	422.9	395.9	385.4	384.4	399.0	390.6
s10	456.2	420.9	436.5	409.4	401.1	418.7	416.7
s11	447.9	414.6	440.7	427.1	418.8	447.9	453.2

付表 2. 実験 1：検出課題の各条件における参加者ごとの正答率（パーセント）

	Detection					
	1%	2%	3%	5%	10%	90%
s1	50.0	72.9	91.7	100.0	100.0	100.0
s2	37.5	77.1	72.9	87.5	97.9	100.0
s3	72.9	47.9	66.7	75.0	95.8	100.0
s4	47.9	50.0	56.3	70.8	100.0	97.9
s5	52.1	81.3	100.0	97.9	97.9	93.8
s6	45.8	60.4	87.5	100.0	100.0	97.9
s7	52.1	52.1	64.6	70.8	77.1	93.8
s8	62.5	100.0	100.0	100.0	100.0	97.9
s9	56.3	83.3	95.8	100.0	100.0	100.0
s10	50.0	50.0	50.0	56.3	66.7	95.8
s11	64.6	64.6	81.3	95.8	93.8	100.0

付表 3. 実験 1：弁別課題の各条件における参加者ごとの正答率（パーセント）

	Discrimination					
	1%	2%	3%	5%	10%	90%
s1	33.3	68.8	91.7	97.9	97.9	97.9
s2	29.2	52.1	64.6	89.6	97.9	100.0
s3	39.6	41.7	43.8	56.3	87.5	100.0
s4	41.7	27.1	39.6	72.9	95.8	97.9
s5	39.6	70.8	91.7	97.9	97.9	100.0
s6	47.9	66.7	87.5	95.8	95.8	95.8
s7	33.3	29.2	57.4	60.4	81.3	100.0
s8	54.2	87.5	95.8	97.9	95.8	93.8
s9	47.9	77.1	91.7	100.0	100.0	100.0
s10	31.3	29.2	33.3	56.3	68.8	95.8
s11	35.4	45.8	79.2	97.9	97.9	95.8

付表 4. 実験 2 : Go/NoGo 課題の各条件における参加者ごとの反応時間 (ミリ秒)

	10%		90%		Control
	High	Low	High	Low	
s1	475.0	529.1	473.9	541.6	529.1
s2	434.4	443.8	456.3	445.9	459.4
s3	415.6	404.2	438.6	452.1	471.9
s4	452.1	470.8	487.5	466.7	494.8
s5	538.5	543.7	550.0	554.1	602.0
s6	481.2	502.1	450.0	456.3	501.0
s7	384.4	450.0	420.9	439.6	484.3
s8	386.5	414.6	407.3	398.0	439.6
s9	404.2	441.7	413.6	410.4	482.3
s10	395.8	433.3	403.1	404.2	389.6

付表 5. 視覚探索課題の各条件における参加者ごとの反応時間（ミリ秒）

	0%match			50%match		100%match	
	neutral	invalid	valid	neutral	invalid	valid	neutral
s1	1279.2	1277.8	794.9	894.2	1390.1	779.1	978.8
s2	1027.8	1200.7	805.0	1119.5	1282.3	647.1	1092.2
s3	1354.4	1329.3	681.7	1071.1	1339.8	708.3	1177.4
s4	1266.9	1236.2	879.1	1202.4	1049.1	698.0	1173.2
s5	1378.4	1416.0	1104.9	1266.5	1259.8	825.0	1599.7
s6	1022.4	1158.4	671.7	1123.1	1070.1	641.7	1173.2
s7	1115.3	1165.2	747.2	1036.1	999.9	820.0	1040.3
s8	1016.2	986.2	660.1	896.5	908.3	753.8	1075.1
s9	1122.4	1096.0	692.6	1022.0	1080.7	581.7	1044.5
s10	1420.8	1398.5	1058.2	1231.9	1228.2	802.4	1278.9
s11	833.7	980.3	645.1	875.4	949.1	720.5	1088.6
s12	745.9	897.4	605.9	705.9	785.0	630.4	882.1

付表 6. 視覚探索課題の各条件における参加者ごとの誤答率（パーセント）

	0%match			50%match		100%match	
	neutral	invalid	valid	neutral	invalid	valid	neutral
s1	2.5	5.0	0.0	5.0	5.0	0.0	5.0
s2	0.0	2.5	0.0	2.5	0.0	0.0	2.5
s3	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
s4	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
s5	2.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0
s6	0.0	2.5	0.0	5.0	5.0	0.0	0.0
s7	2.5	5.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0
s8	0.0	2.5	0.0	2.5	0.0	0.0	2.5
s9	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0
s10	5.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5
s11	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
s12	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0

付表 7. 記憶課題の各条件における参加者ごとの反応時間（ミリ秒）

	Memory-or-Search task			Memory
	0%match	50%match	100%match	Task
s1	805.4	723.5	715.7	681.5
s2	697.2	757.1	780.4	709.3
s3	701.6	638.2	632.2	626.6
s4	665.5	619.9	581.4	616.0
s5	807.5	668.1	791.0	715.3
s6	558.5	617.5	583.6	518.7
s7	736.9	736.8	774.9	615.0
s8	649.8	618.9	692.0	732.0
s9	725.7	677.2	634.9	639.9
s10	787.0	779.8	639.6	797.9
s11	581.7	566.5	613.6	620.0
s12	574.5	545.2	638.5	489.8

付表 8. 記憶課題の各条件における参加者ごとの誤答率（パーセント）

	Memory-or-Search task			Memory Task
	0%match	50%match	100%match	
s1	4.3	12.1	12.5	11.7
s2	4.2	16.7	6.3	13.3
s3	10.4	12.5	14.6	12.5
s4	18.8	18.8	10.4	12.5
s5	10.4	10.4	8.3	5.5
s6	12.5	20.8	14.6	8.6
s7	22.9	20.8	14.6	14.1
s8	16.7	12.5	18.8	15.6
s9	6.3	4.2	8.3	9.6
s10	4.2	6.3	2.1	7.0
s11	8.3	10.4	4.2	9.4
s12	10.4	8.3	6.3	4.7

付表 9. CDA : 0%条件の各電極位置における参加者ごとの振幅 (μV)

	O1/2		P3/4		T5/6	
	ipsi	contra	ipsi	contra	ipsi	contra
s1	-0.17	-1.22	0.15	-2.74	0.45	-2.26
s2	-2.19	-5.80	0.53	-2.28	-1.55	-6.62
s3	0.95	0.04	2.30	-0.05	0.40	-0.11
s4	1.37	1.20	0.82	-0.37	0.82	-0.53
s5	-6.68	-7.27	-5.47	-4.72	-5.54	-5.21
s6	-3.98	-4.94	-2.43	-4.49	-2.91	-4.54
s7	0.85	-0.76	1.19	-1.19	0.72	-1.77
s8	0.65	-0.46	1.85	1.15	0.01	-4.61
s9	-0.85	-0.58	-0.55	0.92	-0.77	1.23
s10	0.65	-2.54	1.54	-1.85	1.12	-3.17
s11	-2.43	-2.51	-0.73	-0.03	-1.91	-1.82
s12	-1.12	-1.40	-1.19	-1.18	-2.45	-1.54

付表 10. CDA : 50%条件の各電極位置における参加者ごとの振幅 (μV)

	O1/2		P3/4		T5/6	
	ipsi	contra	ipsi	contra	ipsi	contra
s1	-3.29	-3.34	-4.05	-3.48	-2.44	-1.92
s2	-2.70	-5.10	1.49	-1.80	-1.48	-5.56
s3	-0.39	-0.03	-1.09	0.39	-1.14	-0.81
s4	3.09	2.76	1.95	1.89	2.20	1.91
s5	-7.96	-6.58	-6.21	-5.24	-6.04	-4.50
s6	-4.17	-4.91	-3.17	-4.96	-3.27	-5.70
s7	-0.36	0.11	-0.99	0.26	-1.12	-0.35
s8	1.77	1.21	3.51	2.34	-1.32	0.64
s9	-1.41	-2.75	-0.04	-2.76	0.84	-3.19
s10	2.48	3.40	3.21	5.08	1.67	3.67
s11	0.61	-0.88	2.84	-0.45	0.95	-3.44
s12	-1.10	-2.74	-1.00	-3.03	-1.02	-4.14

付表 11. CDA : 100%条件の各電極位置における参加者ごとの振幅 (μV)

	O1/2		P3/4		T5/6	
	ipsi	contra	ipsi	contra	ipsi	contra
s1	-0.99	-2.63	-0.70	-3.86	0.33	-2.91
s2	1.90	1.14	1.18	1.03	0.73	1.05
s3	0.99	0.78	0.43	0.87	0.40	0.28
s4	0.21	-0.06	-0.78	-1.23	-0.78	-1.68
s5	-7.27	-5.86	-5.78	-5.12	-6.14	-4.65
s6	-3.78	-3.93	-2.01	-1.32	-2.69	-2.95
s7	-1.14	-1.72	0.40	-1.18	-0.25	-2.10
s8	0.62	-0.81	1.64	-0.56	-2.18	-1.75
s9	-2.23	-2.31	-1.41	-0.87	-1.74	-0.38
s10	3.11	-0.43	4.68	-0.21	5.51	-0.63
s11	0.21	-0.96	2.44	-0.51	-1.75	-2.15
s12	-0.71	-2.09	0.44	-2.35	-0.53	-3.62

付表 12. CDA：記憶課題の各電極位置における参加者ごとの振幅 (μV)

	O1/2		P3/4		T5/6	
	ipsi	contra	ipsi	contra	ipsi	contra
s1	-1.25	-2.71	-2.09	-3.30	-0.63	-2.03
s2	-6.08	-7.60	-2.76	-4.54	-4.85	-6.95
s3	1.35	0.65	0.96	-0.09	0.96	-0.30
s4	-0.25	-0.71	-0.70	-1.50	-0.62	-1.45
s5	1.35	0.65	-4.16	-4.67	-4.61	-5.33
s6	-2.68	-3.50	-1.65	-2.41	-1.56	-1.92
s7	-0.07	-0.41	-0.38	-1.80	-1.03	-2.33
s8	-0.75	-1.59	-1.63	-2.31	-2.67	-3.61
s9	-2.29	-2.29	-2.13	-2.27	-1.80	-2.41
s10	-2.35	-3.86	-1.62	-3.06	-0.43	-2.61
s11	-1.25	-2.16	-1.00	-1.78	-1.13	-1.58
s12	-1.82	-2.14	-1.65	-2.21	-2.27	-2.90

付表 13. P3 : 0%条件の各電極位置における参加者ごとの振幅 (μV)

	Fz	Cz	Pz
s1	0.14	-0.01	-0.19
s2	5.06	5.65	5.78
s3	-0.87	-0.74	1.97
s4	2.80	4.42	4.73
s5	-1.83	-1.86	-1.06
s6	3.68	2.68	3.34
s7	0.87	0.98	1.60
s8	0.41	1.05	5.05
s9	1.79	3.09	4.14
s10	0.39	1.05	1.23
s11	1.50	3.15	3.72
s12	2.84	3.83	6.44

付表 14. P3 : 50%条件の各電極位置における参加者ごとの振幅 (μV)

	Fz	Cz	Pz
s1	-1.58	-1.99	-2.61
s2	6.13	7.56	6.60
s3	-2.07	-0.63	5.17
s4	6.51	9.42	10.16
s5	0.28	-1.24	-0.66
s6	1.37	1.63	1.96
s7	1.08	0.05	1.05
s8	0.63	0.66	1.22
s9	1.22	2.90	2.79
s10	2.64	2.39	1.84
s11	1.02	2.73	5.47
s12	0.65	0.85	4.30

付表 15. P3 : 100%条件の各電極位置における参加者ごとの振幅 (μV)

	Fz	Cz	Pz
s1	-1.35	-0.81	-0.79
s2	6.34	7.55	6.51
s3	-1.61	-0.27	3.41
s4	4.91	7.80	9.52
s5	0.24	0.12	0.69
s6	5.55	4.66	5.48
s7	2.76	1.63	1.69
s8	2.48	2.90	6.56
s9	1.82	3.05	3.57
s10	3.52	4.01	1.78
s11	1.45	2.45	5.36
s12	3.44	4.11	7.30

付表 16. P3 : 記憶課題の各電極位置における参加者ごとの振幅 (μV)

	Fz	Cz	Pz
s1	-0.84	-0.77	-0.57
s2	4.13	4.76	2.55
s3	-0.46	0.44	4.00
s4	1.96	3.13	3.93
s5	0.85	0.31	1.39
s6	3.77	3.17	2.94
s7	0.56	-0.13	-0.03
s8	1.15	1.24	2.36
s9	0.79	1.13	1.27
s10	0.41	0.07	-0.48
s11	2.41	1.29	1.51
s12	1.86	2.13	4.39

付表 17. 実験 4：セットサイズ 12 条件における条件ごとの平均反応時間（ミリ秒）

	Ignore				Neutral			
	1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th
s1	1687.0	1501.1	1019.8	951.5	1435.5	1336.2	1283.8	1140.8
s2	1397.2	1535.2	1218.2	1040.0	1473.8	1796.3	1234.2	1419.2
s3	1767.0	1655.8	1441.5	1208.0	1458.0	1502.7	1252.2	1400.2
s4	1664.2	1632.5	1544.2	1759.7	1432.2	1653.0	1602.7	1785.3
s5	1727.1	1697.4	1712.4	1445.0	1547.0	1501.2	1303.0	1219.9
s6	1433.3	1842.6	1832.5	1813.0	1562.0	1874.5	1701.9	1775.2
s7	1102.7	975.4	835.1	866.4	1347.4	1147.7	821.6	935.2
s8	1549.4	1441.2	1466.3	1362.8	974.3	1203.5	1213.7	1340.7
s9	1812.6	1469.6	1436.2	1346.4	1797.2	1701.7	1329.1	1447.6
s10	1407.2	1373.4	1472.4	908.7	1635.9	1248.4	1433.0	1010.8
s11	1564.1	1467.7	1244.8	1456.6	1894.8	1426.4	1432.7	1259.9
s12	1833.2	1625.9	1663.6	1396.6	1764.1	1736.5	1847.0	1355.2
s13	1668.3	1346.5	1567.5	1476.5	1510.7	1737.3	1537.4	1334.9
s14	1733.3	1644.6	1555.3	1521.8	1931.9	1621.8	1545.1	1626.2
s15	1644.2	1606.3	1511.4	1331.9	1490.1	1544.8	1452.2	1567.3
s16	1546.7	1448.3	1155.2	1393.8	1655.4	1423.4	1571.8	1300.3
s17	2144.5	1702.5	1285.6	1544.3	1859.0	1775.6	1513.0	1365.7
s18	1629.7	994.7	1159.1	1253.4	1310.7	1237.3	1498.8	1256.6
s19	1733.8	1360.3	1696.4	1601.1	1575.6	1617.7	1587.1	1351.0
s20	1446.2	999.0	1188.8	1069.1	1683.7	1219.0	1260.7	1171.0
s21	1504.9	1131.1	999.9	1122.9	1293.8	1115.9	1016.0	942.5
s22	1565.7	1156.4	1323.1	1180.6	1354.6	1141.6	1109.6	966.8
s23	1520.3	950.4	909.4	935.7	1367.9	1026.7	799.4	858.3
s24	1296.8	1233.3	1272.0	1270.6	1384.1	1408.4	1249.9	1097.1

付表 18. 実験 4：セットサイズ 16 条件における条件ごとの平均反応時間（ミリ秒）

	Ignore				Neutral			
	1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th
s1	1589.8	1276.9	1103.7	1209.8	1887.8	1637.6	1508.9	1227.4
s2	1650.8	1651.0	1325.6	1381.6	1792.0	1681.0	1344.6	1170.6
s3	1786.9	1536.2	1442.8	1435.5	1952.0	1569.1	1490.1	1620.6
s4	1642.9	1921.0	1391.2	1368.4	1715.0	1544.7	1375.3	1523.1
s5	1871.1	1783.7	1483.9	1414.5	1769.3	1395.5	1635.7	1368.2
s6	2283.5	2265.9	1554.2	1421.7	2251.0	1396.8	1610.8	1594.4
s7	2586.9	2108.6	1790.8	2215.9	2722.8	2512.7	2597.8	2418.0
s8	2024.3	2144.5	1283.0	1592.0	2179.8	1830.6	1374.2	1350.1
s9	1640.7	1031.5	1278.2	1226.5	1569.7	1229.8	1168.0	1260.2
s10	2290.2	1506.8	1385.6	1477.9	1999.4	1502.5	1757.6	1510.3
s11	2347.3	2023.4	1867.7	2026.1	2265.4	2080.3	2119.8	2431.9
s12	1881.3	1076.5	1379.1	1441.6	1801.7	1431.3	1266.1	1332.8
s13	1992.0	2030.8	1868.9	1748.9	2154.8	2229.9	1904.2	1498.2
s14	2040.6	1918.2	1589.7	1927.0	2023.6	1898.3	1643.1	2098.5
s15	2087.5	1968.1	1725.6	1560.3	2229.1	1893.5	2074.7	1800.7
s16	1770.5	1231.8	1089.9	999.4	1628.5	1332.4	1149.8	921.6
s17	2052.3	1402.0	1058.9	1269.2	1313.6	1197.6	1173.8	1177.2
s18	1570.5	1227.8	818.6	694.6	1382.5	979.9	808.2	700.8
s19	1888.3	1784.2	1827.8	1779.1	1953.4	1694.8	1816.4	1835.5
s20	1569.3	1632.4	1505.9	1342.1	1442.4	1416.1	1411.2	1578.0
s21	2314.3	2328.9	1664.5	1660.1	2202.7	1622.3	1753.9	1769.0
s22	1208.4	1013.3	1018.8	901.4	1099.5	971.5	831.6	882.1
s23	1860.3	1712.8	1455.7	1592.7	2121.3	1445.7	1651.2	1458.2
s24	1951.3	1589.1	1596.3	1487.5	1938.1	1479.0	1466.0	1578.4

付表 19. 実験 5：各条件における参加者ごとの平均反応時間（ミリ秒）

	Ignore (color)			Ignore (location)			Attend (color)		
	100 ms	800 ms	1500 ms	100 ms	800 ms	1500 ms	100 ms	800 ms	1500 ms
s1	1763.6	1551.6	1552.8	2115.0	1242.3	1566.7	1295.9	1060.7	1122.2
s2	1384.0	1395.4	1415.0	1922.9	1405.1	1886.8	1203.2	1398.9	1261.9
s3	1143.8	1200.5	1229.7	1363.8	1467.1	1307.2	918.7	940.7	957.7
s4	830.7	937.5	868.2	1223.0	1252.6	973.8	911.1	924.8	1084.1
s5	1105.3	1252.5	1306.0	1551.3	1177.0	1297.3	832.6	966.1	929.9
s6	1349.8	1184.0	1182.8	2123.6	1351.0	1325.1	917.5	1036.8	1029.4
s7	1312.2	1498.2	1353.6	1111.0	1135.0	1076.7	1014.6	1115.9	1001.3
s8	837.4	804.8	889.7	805.5	845.3	802.1	692.3	682.2	653.0
s9	1505.1	1578.3	1470.8	1773.5	1566.8	1867.6	1324.3	1054.2	1165.7
s10	1433.3	1468.5	1131.5	1473.1	1137.7	1249.5	1028.1	977.8	934.2
s11	1096.1	1428.1	1062.6	1081.6	1025.5	1119.9	1078.8	1058.7	881.0
s12	1650.3	1475.9	1386.6	1497.7	1642.4	1470.9	1469.0	1326.9	1323.1
s13	2018.0	1584.5	1376.6	1977.2	1467.2	1716.6	1038.1	1160.8	967.6
s14	1733.0	1705.8	1354.5	1555.7	1607.4	1627.7	1164.4	1174.2	1058.1
s15	1473.7	1319.2	1133.6	1607.6	1855.7	1659.8	1239.7	1263.5	1030.4
s16	1979.7	1527.6	1625.3	1531.6	1391.1	1346.7	1264.5	1174.7	1214.3
s17	941.4	1169.4	961.5	1290.0	1065.0	1147.9	941.2	884.2	817.3
s18	1392.2	1425.3	1611.7	2166.0	1910.8	1844.7	1328.6	1316.1	1172.7
s19	1855.8	1811.2	1808.8	1683.6	1328.0	1428.1	1221.4	1267.9	1439.0
s20	1960.7	1881.1	1712.5	2526.0	2424.4	1989.7	1414.4	1259.7	1284.2
s21	1320.5	1189.4	1282.9	1394.7	1332.3	1262.2	1135.3	949.7	1002.1
s22	1543.6	1330.7	1104.7	1326.0	1316.0	958.3	1073.9	1124.4	878.9
s23	1570.5	1361.1	1567.2	2269.3	1897.7	1804.7	1260.8	1279.1	1140.6
s24	1216.0	1154.1	1219.8	1528.0	1536.5	1058.4	993.0	919.5	1001.3
s25	2120.9	1520.1	1761.5	1712.1	1276.9	1442.3	1200.9	1162.8	1211.8
s26	1830.1	1199.1	1174.4	1588.3	1694.2	1540.8	1207.7	1084.6	1223.9
s27	1779.8	2008.6	1552.4	1647.6	1532.7	1264.5	1170.0	1114.4	1119.8

付表 20. 実験 6：各条件における参加者ごとの平均反応時間（ミリ秒）

	100ms							1000ms						
	Attend			Ignore			N	Attend			Ignore			N
	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4
s1	459.0	576.7	686.4	693.0	694.8	835.4	770.4	338.4	479.6	538.0	380.3	473.9	669.0	665.0
s2	845.2	901.1	1032.8	916.7	995.0	1119.2	966.9	479.9	633.8	792.5	495.2	722.0	915.7	934.8
s3	635.9	850.8	943.0	892.4	1063.9	1063.7	1003.9	441.3	646.3	656.8	535.3	768.7	983.6	963.8
s4	577.4	629.7	762.9	629.4	864.0	917.7	931.3	480.8	533.4	744.6	419.3	543.2	751.9	783.3
s5	742.0	789.0	904.1	871.6	1014.5	1050.1	1044.5	460.3	650.7	774.0	472.5	716.4	815.1	1014.8
s6	947.4	957.9	1121.5	1069.7	1038.5	1497.4	1317.0	542.4	790.4	1150.2	568.3	856.4	1177.7	1162.1
s7	675.4	859.2	929.9	915.3	930.5	1106.0	1088.3	392.3	551.3	724.2	367.9	546.0	735.5	866.4
s8	509.8	646.8	910.4	732.1	959.4	941.5	937.2	370.9	522.8	626.9	368.0	592.7	651.8	825.9
s9	616.2	890.7	739.0	836.9	867.7	1035.0	880.2	397.4	493.1	639.3	430.7	593.7	765.2	785.9
s10	530.5	689.3	805.1	747.0	843.5	982.0	826.4	394.8	594.5	662.3	398.0	529.0	674.1	831.9
s11	657.8	695.0	743.0	837.8	847.8	965.9	873.3	376.5	597.5	648.5	413.7	578.4	747.0	907.7
s12	622.6	814.5	889.2	684.6	954.5	1068.0	1017.4	475.5	658.0	840.6	465.7	629.5	852.5	983.8
s13	529.0	629.3	715.0	848.6	867.7	895.8	969.0	426.0	583.0	781.8	459.5	627.8	726.3	792.7
s14	717.7	837.4	1048.7	1021.2	1176.9	1365.9	1145.7	499.5	717.1	863.0	490.5	753.8	979.3	1057.8
s15	744.6	896.4	837.7	837.1	933.7	1026.1	930.7	489.6	638.7	744.8	474.8	676.5	873.5	1086.9
s16	612.0	757.3	883.9	873.0	1300.8	1183.7	1097.8	524.2	664.9	880.6	519.5	651.9	747.4	1004.5
s17	701.4	750.3	882.6	790.3	884.7	840.5	832.3	431.4	558.5	698.6	436.1	627.8	700.8	941.4
s18	590.5	687.7	789.9	850.4	811.5	848.1	874.9	447.2	560.2	651.2	402.0	525.0	594.5	759.2
s19	690.8	828.9	891.0	933.9	1004.5	984.4	795.6	396.4	592.0	721.5	499.6	645.8	808.7	808.3
s20	666.6	732.7	910.9	836.0	1096.8	1316.3	1281.3	468.5	666.2	789.0	464.5	763.7	814.8	964.5
s21	571.3	789.3	945.6	696.4	962.5	1063.7	1124.0	466.0	680.1	844.7	462.4	680.3	920.4	1050.4
s22	755.3	970.0	1190.9	1060.6	1332.6	1485.3	1750.2	817.8	1153.6	1224.3	573.3	755.6	1095.1	1891.8
s23	589.3	690.0	817.3	858.8	992.4	1019.8	923.3	406.5	622.3	727.9	490.5	723.0	1093.4	871.4
s24	562.2	700.8	762.7	789.1	722.3	713.5	697.4	412.1	583.1	620.2	390.6	518.9	572.2	771.7

Note: N represents neutral condition.

付表 21. 実験 6：各条件における参加者ごとの探索勾配（ミリ秒）

	100 ms		1000 ms	
	attend cue	ignore cue	attend cue	ignore cue
s1	113.7	71.2	99.8	144.4
s2	93.8	101.3	156.3	210.2
s3	153.5	85.7	107.8	224.2
s4	92.7	144.2	131.9	166.3
s5	81.1	89.3	156.9	171.3
s6	87.1	213.9	303.9	304.7
s7	127.3	95.3	166.0	183.8
s8	200.3	104.7	128.0	141.9
s9	61.4	99.0	121.0	167.3
s10	137.3	117.5	133.7	138.1
s11	42.6	64.0	136.0	166.7
s12	133.3	191.7	182.6	193.4
s13	93.0	23.6	177.9	133.4
s14	165.5	172.4	181.7	244.4
s15	46.6	94.5	127.6	199.3
s16	135.9	155.3	178.2	114.0
s17	90.6	25.1	133.6	132.3
s18	99.7	-1.1	102.0	96.3
s19	100.1	25.3	162.6	154.5
s20	122.1	240.2	160.2	175.1
s21	187.1	183.6	189.3	229.0
s22	217.8	212.3	203.3	260.9
s23	114.0	80.5	160.7	301.5
s24	100.2	-37.8	104.0	90.8

付表 22. 実験 6：各条件における参加者ごとの切片（ミリ秒）

	100 ms		1000 ms	
	attend cue	ignore cue	attend cue	ignore cue
s1	346.6	598.6	252.5	219.0
s2	738.8	807.8	322.8	290.5
s3	502.8	835.3	366.0	314.2
s4	471.2	515.4	322.4	238.9
s5	649.6	800.2	314.7	325.3
s6	834.8	774.1	219.8	258.0
s7	567.0	793.3	224.0	182.2
s8	288.3	668.3	250.8	253.8
s9	625.8	715.2	268.0	262.0
s10	400.4	622.5	283.1	257.5
s11	613.4	755.8	268.8	246.4
s12	508.9	519.0	292.9	262.4
s13	438.4	823.6	241.2	337.8
s14	536.9	843.3	329.7	252.4
s15	733.1	743.3	369.1	276.3
s16	479.2	808.5	333.5	411.7
s17	596.9	788.3	295.7	323.6
s18	489.9	838.9	348.8	314.7
s19	603.4	923.7	244.8	342.3
s20	525.8	602.7	320.8	330.8
s21	394.5	540.2	285.0	229.7
s22	536.4	868.2	658.7	286.2
s23	470.8	796.0	264.2	166.0
s24	474.8	817.2	330.4	312.3

付表 23. 実験 7：各条件における参加者ごとの平均反応時間（ミリ秒）

	100ms							1000ms						
	Attend			Ignore			N	Attend			Ignore			N
	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4
s1	554.0	730.8	969.2	1096.4	899.0	956.4	974.4	459.8	606.1	699.3	467.5	724.5	828.6	892.7
s2	766.5	865.7	716.1	852.3	793.4	796.3	981.7	428.4	529.6	665.2	374.4	592.0	659.9	709.9
s3	755.7	783.1	816.9	779.9	861.4	996.3	897.8	433.3	507.9	657.0	485.2	688.3	737.9	644.6
s4	575.8	687.6	922.8	874.5	962.4	930.8	1073.7	493.7	653.7	783.9	439.3	590.8	806.3	958.3
s5	611.2	805.1	884.4	813.1	1065.3	1125.8	1268.8	486.0	657.5	804.7	438.4	645.9	882.4	992.5
s6	614.8	687.1	759.1	669.8	816.6	866.9	970.2	442.8	561.2	765.7	427.6	610.8	748.6	797.7
s7	606.3	770.9	728.3	726.6	741.3	864.6	774.3	368.6	565.1	784.7	389.9	540.3	760.8	733.2
s8	547.7	685.5	758.2	666.5	901.0	879.9	884.7	383.5	486.0	527.6	396.0	501.9	624.1	707.8
s9	674.7	708.3	905.0	832.9	800.4	835.0	894.1	412.9	773.6	813.1	427.9	609.3	706.1	816.9
s10	563.7	748.7	843.5	1074.6	1060.6	1104.6	955.3	400.6	578.5	743.1	530.0	678.6	780.5	1220.8
s11	832.3	836.5	894.1	856.7	870.0	1124.6	1062.2	516.1	689.3	721.0	520.6	704.2	825.5	881.8
s12	1238.8	1229.4	1332.1	1170.0	1251.4	1324.6	1381.5	501.5	715.7	1002.5	614.5	802.7	985.6	1145.3
s13	715.0	724.1	895.3	862.3	871.9	974.9	888.9	425.2	576.4	697.8	443.9	593.5	709.6	848.6
s14	1183.1	1021.7	1046.6	1125.7	1195.8	1102.1	1303.4	577.9	777.0	859.3	646.5	979.9	1074.1	1050.7
s15	974.0	992.0	1135.1	1036.3	1136.8	1039.7	1171.1	530.2	715.1	836.9	517.8	842.7	1029.4	984.5
s16	895.4	1093.7	1028.3	887.2	1048.8	959.2	995.0	429.0	670.9	778.3	588.0	799.7	1077.0	1125.9
s17	976.6	1011.6	1232.9	857.7	1231.1	1141.5	992.2	461.9	557.2	667.8	701.0	734.1	903.5	1035.4
s18	1128.9	1433.2	1438.8	1091.0	1036.0	1151.5	1070.7	561.7	946.7	1044.3	681.8	809.2	1154.1	1188.7
s19	768.6	745.4	853.8	864.9	884.0	890.1	941.3	467.0	569.7	648.4	472.4	566.4	796.8	756.7
s20	884.6	882.0	926.5	967.7	961.5	922.8	868.4	455.9	584.8	678.7	478.9	756.2	932.4	890.4

Note: N represents neutral condition.

付表 24. 実験7：各条件における参加者ごとの探索勾配（ミリ秒）

	100 ms		1000 ms	
	attend cue	ignore cue	attend cue	ignore cue
s1	207.6	-70.0	119.8	180.5
s2	-25.2	-28.0	118.4	142.8
s3	30.6	108.2	111.9	126.3
s4	173.5	28.1	145.1	183.5
s5	136.6	156.3	159.3	222.0
s6	72.1	98.5	161.5	160.5
s7	61.0	69.0	208.1	185.5
s8	105.3	106.7	72.1	114.1
s9	115.1	1.1	200.1	139.1
s10	139.9	15.0	171.2	125.3
s11	30.9	133.9	102.4	152.5
s12	46.7	77.3	250.5	185.5
s13	90.2	56.3	136.3	132.9
s14	-68.2	-11.8	140.7	213.8
s15	80.6	1.7	153.4	255.8
s16	66.4	36.0	174.6	244.5
s17	128.2	141.9	103.0	101.3
s18	155.0	30.2	241.3	236.1
s19	42.6	12.6	90.7	162.2
s20	20.9	-22.4	111.4	226.8

付表 25. 実験 7：各条件における参加者ごとの切片（ミリ秒）

	100 ms		1000 ms	
	attend cue	ignore cue	attend cue	ignore cue
s1	336.2	1124.0	348.8	312.5
s2	833.2	870.0	304.3	256.6
s3	724.0	662.8	309.0	384.5
s4	381.8	866.3	353.6	245.2
s5	493.7	688.7	330.7	211.5
s6	542.8	587.3	267.0	274.7
s7	579.8	639.5	156.7	192.7
s8	453.3	602.4	321.5	279.1
s9	532.4	820.6	266.3	302.9
s10	438.8	1050.0	231.6	412.5
s11	792.5	682.5	437.3	378.5
s12	1173.5	1094.1	238.9	429.9
s13	597.8	790.4	293.8	316.6
s14	1220.2	1164.8	456.7	472.6
s15	872.6	1067.5	387.3	285.0
s16	872.9	893.1	276.8	332.5
s17	817.4	793.0	356.3	577.0
s18	1023.7	1032.4	368.3	409.4
s19	704.1	854.5	380.2	287.5
s20	855.9	995.5	350.3	269.0

博士論文にかかわる業績一覧

論文

Kawashima, T., & Matsumoto, E. (2017). Cognitive control of attentional guidance by visual and verbal working memory representations. *Japanese Psychological Research*, *59*, 49–57.
doi: 10.1111/jpr.12141

Kawashima, T., & Matsumoto, E. (2016). Electrophysiological evidence that top-down knowledge controls working memory processing for subsequent visual search. *NeuroReport*, *27*, 345–349.
doi: 10.1097/WNR.0000000000000545

国際学会の会議録

Kawashima, T., & Matsumoto, E. (2015). Effects of probability instruction on attention and maintenance of working memory representations in visual search. *Perception*, *44*, pp.108.

Kawashima, T., & Matsumoto, E. (2015). Is visual working memory load modulated by prior knowledge about probability? An ERP study. *Journal of Vision*, *15*, pp.27.

国際学会発表

Kawashima, T., & Matsumoto, E. (2017). Differential processing in ignore-color and ignore-location cue effects in visual search. European Conference on Visual Perception, August 28 (27–31), Berlin, Germany.

Kawashima, T., & Matsumoto, E. (2015). Effects of probability instruction on attention and maintenance of working memory representations in visual search. European Conference on Visual Perception, August 25 (23–27), Liverpool, UK.

Kawashima, T., & Matsumoto, E. (2015). Is visual working memory load modulated by prior knowledge about probability? An ERP study. Vision Sciences Society 15th Annual Meeting, May 16 (15–20), Florida, USA.

国内学会の会議録

川島朋也・松本絵理子 (2016). 行動目標が注意の割り当てに与える影響：刺激の顕著性の操作による検討. *Technical Report on Attention and Cognition*, 20, pp.39–40.

国内学会発表

川島朋也, 松本絵理子. 妨害刺激抑制の処理過程：色と位置手がかり効果の比較. 日本心理学会第 81 回大会, 久留米シティプラザ, 2017 年 9 月.

川島朋也, 松本絵理子. 妨害刺激の特徴の手がかりは視覚探索を効率化するか. 第 14 回日本ワーキングメモリ学会大会, 京都大学芝蘭会館別館, 2016 年 12 月.

川島朋也, 松本絵理子. 妨害刺激抑制のメカニズム：学習過程と持続性. 日本基礎心理学会第 35 回大会, 東京女子大学, 2016 年 10 月.

川島朋也, 松本絵理子. 行動目標が注意の割り当てに与える影響：刺激の顕著性の操作による検討. 第 14 回注意と認知研究会, ホテルサンルートプラザ名古屋, 2016 年 3 月.

川島朋也. 課題関連性が視覚的注意に与える影響は刺激の顕著性によって変化するか. 関西若手実験心理学会研究会第 31 回研究会, 京都大学, 2015 年 12 月.

謝辞

本研究を遂行するにあたり、ご指導を賜りました皆様に心より感謝の意を表します。熱心に指導していただいた松本絵理子先生に心より御礼申し上げます。松本先生からは実験計画や結果の解釈といった研究の基礎のみならず、研究に対する取り組み姿勢や考え方など多くのことを学びました。それだけでなく、多くの学会参加や発表の機会を与えていただきました。本当にありがとうございました。

本論文をご精読いただき、大変貴重なご意見、ご指摘をいただいた宇津木成介先生、米谷淳先生、野口泰基先生に感謝申し上げます。お忙しい中お時間を割いていただきありがとうございました。また、学内での発表のたびに有用なコメントをいただきました国際文化学研究科の先生方に拝謝いたします。

関西若手実験心理学研究会のメンバーの皆様からいただいたご指摘によって本研究を発展させることができました。メンバーの皆様には日頃から多岐にわたる相談に乗っていただきました。皆様の温かいお言葉や激励がなければここまで続けられなかったのは間違いありません。

感性コミュニケーションコースの先輩、同輩、後輩の方々には様々なご支援をいただきました。本実験の遂行にあたり、脳波実験の補助を快く引き受けてくださった林萍萍氏ならびに Pothisitthiporn Tippayarat 氏に深謝いたします。ゼミの後輩の財津昌弘氏には研究に関する相談だけでなく、国内外の出張先でいろいろと助けてもらいました。特に、李歆玥氏は、精神面で私の大きな支えとなってくれました。

最後に、本実験に参加いただいた実験参加者の皆様に厚く御礼申し上げます。