

視覚的注意の発達過程に関する実験心理学的検討

中央大学大学院文学研究科心理学専攻 博士課程後期課程

鶴見 周摩

目次

第0章 はじめに.....	5
0-1 序文.....	5
0-2 本論文の構成.....	8
第1章 - 視覚的注意の定義.....	9
1-1 本章の目的.....	9
1-2 注意とは.....	9
1-3 空間的注意(spatial attention).....	11
1-4 物体に基づく注意(object-based attention).....	15
1-5 特徴に基づく注意(feature-based attention).....	19
1-6 注意の時間的側面(temporal attention).....	24
1-7 本章のまとめ.....	29
第2章 - 視覚的注意の発達 空間, 物体, 特徴, 時間を検討する意義.....	31
2-1 本章の目的.....	31
2-2 視覚的注意の発達研究の流れ.....	31
2-3 空間的注意(spatial attention)の発達.....	32
2-4 物体に基づく注意(object-based attention)の発達.....	36
2-5 特徴に基づく注意(feature-based attention)の発達.....	38
2-6 注意の時間的側面(temporal attention)の発達.....	42
2-7 注意に関連する作業記憶の発達.....	44
2-8 本研究の目的.....	47
第3章 - 空間的注意と物体に基づく注意の発達実験.....	50
3-1 本章の目的.....	50
3-2 空間的注意と物体に基づく注意の発達.....	50

3-2-1	背景・目的.....	50
3-2-2	実験1 空間・物体に基づく注意の発達.....	51
3-2-3	実験2 物体がないと注意の効果が消失するのか.....	56
3-2-4	考察.....	58
3-3	本章のまとめ.....	58
第4章 - 特徴に基づく注意の発達実験.....		60
4-1	本章の目的.....	60
4-2	特徴に基づく注意の発達.....	60
4-2-1	背景・目的.....	60
4-2-2	実験3 特徴に基づく注意.....	61
4-2-3	実験4 特徴への注意は新しい刺激にも般化するか.....	64
4-2-4	考察.....	66
4-3	本章のまとめ.....	66
第5章 - 注意の時間的側面の発達実験.....		69
5-1	本章の目的.....	69
5-2	高速逐次視覚提示中の刺激処理能力の発達.....	69
5-2-1	背景と目的.....	69
5-2-2	実験5 100ms 対 11ms.....	70
5-2-3	実験6 正立顔対倒立顔.....	73
5-2-4	実験7 個人同定.....	75
5-2-5	実験8 顔の倒立効果.....	78
5-2-5	考察.....	79
5-3	注意の瞬きの発達.....	80
5-3-1	背景と目的.....	80

5-3-2 実験9 乳児における注意の瞬き	80
5-3-3 実験10 成人における注意の瞬き	84
5-3-4 考察.....	87
5-4 本章のまとめ	87
第6章 - 総合考察.....	89
6-1 本研究のまとめ.....	89
6-2 生後8ヶ月頃における視覚的注意機能の獲得	93
6-3 視覚的注意の発達過程に関する仮説的モデル	98
6-4 今後の展望.....	103
引用文献	106
謝辞.....	146

第0章 はじめに

0-1. 序文

我々は複雑な視覚環境の中から特定の情報のみを処理しており、余計な情報は無視している。人間の意識に上る情報は膨大な中から選ばれた一部に過ぎない。この情報の選択に関与する認知機能に「注意」があり、人間の適応的な行動を可能にしている。例えば、友人と会話しながら歩いている最中に横から車が飛び出してきたとする。そのとき、我々の注意は友人から車に瞬時に切り替わり、素早い危機回避行動に移るだろう。このような注意の切り替わりは比較的自動的に行われるが、意図的に注意を操作することもできる。何かを探しているときがまさに意図的な注意操作の例であり、我々は余計な情報を無視して自身の目的に関連する情報に選択的に注意を向けている。このように、注意がヒトの情報処理を円滑にしている。

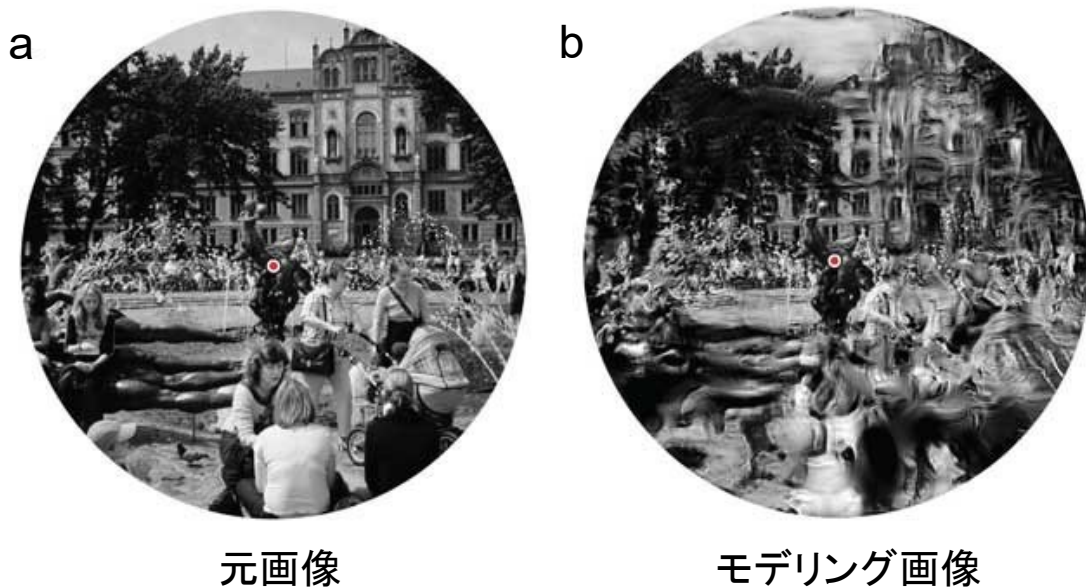


図 0-1. 元画像(a)を基にヒトの周辺視野をモデル化して作成した画像(b)(Freeman & Simoncelli. (2011)より改変)。モデリング画像では中央の赤い点から周辺に従って画像が乱れている。周辺視野における受容野サイズが中心視野と比較して大きいため、結果的に詳細な情報ではなく境界が曖昧な情報が表現されている。

注意は情報選択に大きく関与しているが、選択された情報そのものが具体的にどのように知覚されているかは意外と日常生活ではわからない。それは、我々の主観的な経験が常に注意によって選択されたものが大半であることに起因する。注意が向いていない情報は基本的に意識に上らないため、注意が向いたときと向いていないときの差分を体験するのは難しい。これは、我々の周辺視野が中心視野と比較してぼやけているにも関わらず、そのぼけた視覚世界に気づかないことと類似している(図 0-1)。図 0-1a は人々が集まる公園を写した風景画像であり、画像全体を見渡す限り家や人々などがはっきりと見える。一方、右の画像は左の画像をヒトの視覚世界に当てはめて作り直した画像である。中央(赤い点)はヒトの中心視を、周辺はヒトの周辺視を反映している。図 0-1b の画像では、周辺の低次特徴(色や明るさ)は保たれているが、特徴の組み合わせがバラバラなため、元画像で得られる正確な情報が消えている。しかし、中央の固視点を注視すると、周辺の不完全な情報は感じられず、元画像でみたときと変わらない印象を受ける。ヒトの周辺視野は図 0-1b のような状態であるが、主観的に体験する世界は図 0-1a にあるような周辺の情報が補完された世界である。このような周辺視の特徴は近年の Virtual Reality(VR)を用いた研究からも明らかにされている。

Cohen ら(2020)は、VR を用いて仮想の風景世界を作成し、観察者に自由に仮想世界を体験させた。このとき、ある試行においてのみ、周辺の領域が徐々にカラーから白黒に変化した。白黒が変化する領域の大きさは4つあり、カラーの領域が 10° と 17.5° 、 25° 、 32.5° になるように設定した(図 0-2a)。図 0-2b は各カラーサイズにおける白黒変化に気づかなかった観察者の割合である。最も白黒変化が小さい 32.5° では約 8 割の観察者が変化に気づかず、視野の大半が白黒に変化する 10° の条件でも 3 割が変化に気づかなかった。視野の大半が色褪せているにも関わらず気づかないのは、知覚世界が物理的な情報をすべて反映しているのではなく、ある程度脳内で補完されていることを示唆する。しかし、注意を意図的に周辺領域に向けることでこのような見落としは減り、何が変化しているのか瞬時に

判断できる。このことから、注意の有無が主観的な知覚、意識経験に大きく作用すると考えられる。

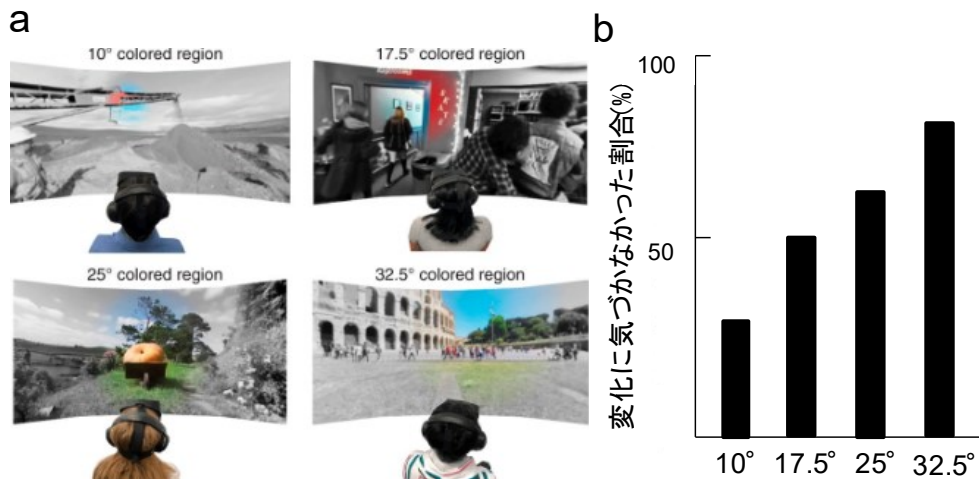


図0-2. (a)VR 観察中の各カラー領域における風景画像の例。(b)各カラー領域における変化に気づかなかった参加者の割合。

ヒトの情報処理能力には限界があり、記憶できる情報量も限られているが、日常場面でこれらの制約を感じることはない。注意が自身の目的に合った情報に選択的に向くことで、我々の情報処理は円滑かつ何不自由ない状態にあり続けることができる。こうした注意の生態学的重要性から、これまで注意の発達も調べられてきた。古典的な発達研究では、乳児の周辺視野に標的となる図形を数秒間提示し、その標的を正確に注視できるのかを調べ、生後間もない新生児でも周辺に現れた刺激に空間的注意を向けることが示されている (Farroni et al., 1999; Valenza et al., 2015)。近年では、乳児の視線だけでなく生理指標(脳波や脳血流反応)を取り入れた研究も増えているが、低次の視覚機能(方位や運動弁別)の発達に比べるとまだ注意の発達メカニズムには不明な点が多い。視覚的注意の中でもベーシックな注意機能である空間的注意には多くの研究がみられるが、それ以外の注意機能の発達はほとんど明らかになっていない。成人を対象とした研究から、ヒトの注意は空間だけでなく、物体や物体を構成する特徴、さらには時間次元においても機能することが示されており

(Martens & Wyble, 2010; Nobre, 2018), その機能的な重要性から膨大な数の研究が行われている一方で、これらに関する乳児期の発達の知見は多くない。そのため、空間的注意の発達が他の注意機能と同じように発達するのか、あるいはそれぞれが独立した発達メカニズムであるのかも不明である。もし空間、物体、特徴、時間的な視覚的注意の全てが共通したメカニズムをベースにしているならば、その発達過程も類似したものになると予測される。反対に、これらの視覚的注意機能が個々に独立しているのであれば、その発達過程も異なることが考えられる。このような問題意識に基づいて本研究では、視覚的注意の中で広く分けられる4つの側面(空間、物体、特徴、時間)の発達過程について総合的に検討を行う。

本研究で取り扱う視覚的注意の4側面(空間、物体、特徴、時間)は、我々の行動を支える最も基礎的な注意機能である。何かを探索する際には、探索対象の持つ特徴に注意を払い、外界の中で特定の空間や物体に注意を向ける必要がある。また、対象の時間特性に注意を向けることで自身の目的を完遂することができる場合もあるだろう。こうした生態学的に重要な視覚的注意の各機能が、発達初期においてどのように発現、変化していくのかを明らかにし、乳児が周囲の環境に注意をコントロールすることで効率よく適応するようになる過程について、その一端を明らかにすることが本研究の目的である。

0-2. 本論文の構成

本論文は全6章によって構成される。第1章においては、視覚的注意の基本的な概念を空間、物体、特徴、時間の側面から述べる。第2章では、ヒトにおける視覚的注意の初期発達について概観し、その後本研究における問題意識について述べる。第3章から第5章では、ヒト乳児を対象とした実験的検討について報告を行う。最終章である第6章では、第3章から第5章において得られた実験結果と先行研究による知見とを総合的に吟味し、視覚的注意の初期発達について考察を行う。

第1章 - 視覚的注意の定義

1-1. 本章の目的

序文で言及した通り、注意はヒトの適応的な行動に必要な不可欠な能力である。低次の感覚処理から高次の認知処理にわたって注意が機能し、その結果ヒトの主観的な経験が成立する。ヒトの視覚世界は特に複雑であるが、これらは視覚的注意の働きによって克服されている。視覚的注意の機能は一つではなく、注意をどの対象に向けるのか、またはどこに注意を向けるのかで変わる。例えば、視野内の特定の位置に注意を向ける場合と、物体の色に注意を向ける場合では機能が異なる。また、観察者自身が意図的に注意を向けるときと、目立つ対象に自動的に注意が捕捉されるときでは、注意がヒトの知覚に与える効果が異なる。このように視覚的注意はヒトの知覚に広く影響を及ぼし、その機能が観察者を取り巻く環境や観察者自身の意思によって適応的に変わり得る。本章では、視覚的注意の各側面について全体的に概観することを目的とし、ヒトやその他の生物の視覚的注意を対象とした過去の実験的、理論的研究について述べ、注意がヒトの視覚処理にどのように貢献しているのかを論じる。

1-2. 注意とは

日常生活において我々は雑多な情報に囲まれているが、意識的に知覚できる情報は少ない。ヒトの情報処理能力には限界があるため、自身の目的を遂行する上で必要な情報のみを取捨選択することが求められる。この処理過程で重要な役割を果たすのが注意である。注意とは、膨大な情報の中から一部の入力情報を取り入れ、それ以外を排除する心的能力である(河原・横澤, 2015)。注意を意図的に向ける、あるいは自動的に注意が対象に向くことで、向いた対象を知覚し、認知できる。行動的に注意を向けたとき、脳内でも選択的な処理が行われている(Downing, Liu, & Kanwisher, 2001; O'Craven, Downing, & Kanwisher, 1999;

Yantis & Serences, 2003)。透過率を半分にした顔と家の画像を重ねて提示し、注意のみをどちらか一方に向けるよう教示すると、顔に注意を向けたときには顔処理担当の脳内領域である紡錘状回顔領域(fusiform face area)が、家に注意を向けたときには場所処理担当の海馬傍回場所領域(parahippocampal place area)が活動し(O'Craven, Downing, & Kanwisher, 1999)、注意を向ける対象に沿った脳内処理が行われている。注意はヒトが適応的な行動をする上で必要不可欠な認知機能であり、進化の観点からも種の生存に貢献している可能性が示唆されている(New, Cosmides, & Tooby, 2007)。

前項で述べた通り、注意の重要な役割は、情報処理能力の限界を補うために必要な情報の取捨選択である。情報処理の限界として知られる現象に心理的不応期(Psychological Refractory Period)があり、ヒトは2つの課題を行う際、2つ目の課題に対する反応時間が2つの刺激の SOA に依存することが示されている(Welford, 1952)。現実の場面でこのような事態に陥ることがないのは、注意を効率的に一つの対象に向けることでその処理を促進させ、スムーズに次の対象へと注意を切り替えているからである。注意は我々の認知プロセスにおいて事前に処理する対象にバイアスをかけることでその処理にかかる時間を短縮させている。

注意は自動的にも、意図的にもシフトする。シフトとは注意を向けることであり、ある対象に向けていた注意を他の対象に移動することを指す。シフトした先にある対象に注意を向け続けることを定位といい、定位したものから注意を逸らすことを解放という(Posner et al., 1988)。自動的な注意は素早いボトムアップの注意であり、意図的な注意は時間を要するがトップダウンに自身が向けたいものに向ける注意である。ボトムアップの注意は刺激駆動型であり(stimulus-driven)、トップダウンの注意は目的指向型(goal-directed)である。自動的なボトムアップの注意の例として、突然提示される点や物体に注意が向いてしまうことが挙げられる。意図的なトップダウンの注意の例として、矢印の方向に注意を向けることが挙げられる(例えば“→”を見て右側に注意を向ける)。

ここまで述べてきたように、注意は情報の取捨選択に一役を買っていることがみてとれるが、果たして、注意による取捨選択は外部情報が入力されてから意識に上るまでのどのタイミングで行われるのか。これまでの研究から、情報の入力段階で必要な情報と要らない情報の取捨選択が行われると考える初期選択モデルと(e.g. Broadbent, 1952)、入力情報はある程度保持され、必要な情報のみ選択的により深く処理されると考える後期選択モデル(e.g. Deutsch & Deutsch, 1963)が挙げられている。これらのモデルは排他的ではなく、物体認知の過程で相互に存在し得る。例えば、視野の中の特定の領域や特徴を処理する際には初期選択モデル寄りであり、複数の物体が競合する中で特定の物体を処理するのは後期選択モデルの立場である。このように注意は物体処理の複数の段階で働き、主に空間、物体、特徴次元で機能する。さらに、空間的に同位置であっても時系列でみると数秒前と後で知覚している対象が変わることもあり、その場合は各タイムポイントで注意を向ける必要がある。これらの注意(空間、物体、特徴、時間)は視覚的注意研究の中でも基礎的な能力として扱われており、次節から各注意次元について概観する。

1-3. 空間的注意(spatial attention)

視野内の特定の空間領域に注意を向ける、あるいは自動的に注意が向くことを空間的注意(spatial attention)といい、空間的注意によって視野内の一部分の視覚処理が促進される。古典的な研究として Eriksen & Hoffman (1972)の研究があり、彼らは円環に配置された文字と手がかりの線分を同時に提示するとき(同時条件)と、先行して手がかりを提示するとき(先行手がかり条件)では、先行手がかり条件の文字同定にかかる反応時間が同時条件よりも短縮することを示した。この結果は、先行する手がかりの領域に注意が向いたことで、その領域周辺にバイアスがかかり、後続の文字同定が促進されたことを示唆している。

Eriksen & Hoffman (1972)の研究は空間的注意の先駆的な存在であるが、文字の同定を必要とするため前提条件として識字能力を有する必要がある、識字能力を持たない乳児や

児童では課題の実施が困難である。これらの制限を打破し、現在でもヒトだけでなく動物でも広く実施されている課題に Posner の空間的手がかり課題がある (Posner, 1980; Posner, Snyder, & Davidson., 1980)。この空間的手がかり課題では、参加者に標的の検出(左右どちらに出たか)あるいは同定(標的がなんであったか)をさせる。標的に先行して標的の空間的位置を示唆する手がかりが提示されるのは Eriksen & Hoffman (1972)の実験と同じだが、実験条件が巧みに操作されている。実験では、手がかりが標的の空間的位置と一致する試行 (valid 試行)と、手がかりと標的の空間的位置が反対になる不一致試行 (invalid 試行)、さらに標的の空間的位置を示唆しない中立試行 (neutral 試行)が提示される。図 1-1 のグラフは各試行における標的検出までにかかる反応時間を示している。中立試行と比較して一致試行の反応時間は短く、また不一致試行の反応時間は長くなる。一致試行では、先行する手がかりによって標的の領域に空間的注意が向くことで標的の検出が促進される。一方、不一致試行では標的とは反対の領域に空間的注意が向くため、標的の領域に注意をシフトするのに時間がかかり、結果として反応時間が長くなる。

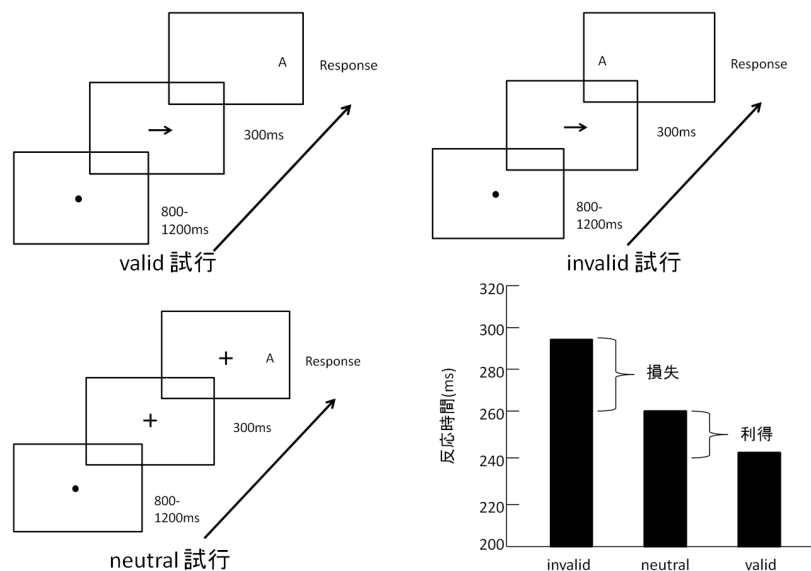


図 1-1. 空間的手がかり課題の手続きと実験結果 (Posner, Nissen, & Ogden, 1978)。neutral 試行と invalid 試行の差を損失 (costs)、neutral 試行と valid 試行の差を利得 (benefits) という。

空間的手がかりはその手がかりの種類によって 2 つに分けられる(Theeuwes, 2010; Theeuwes, 2019)。1 つはボトムアップの手がかりであり、標的と同位置に手がかりが提示される場合を指す。この手がかりは観察者の意図とは別に強制的に注意をシフトさせることから、外発的(exogenous)、刺激駆動型の手がかりである。もう一つはトップダウンの手がかりであり、図 1-1 で示された矢印がこの手がかりにあたる。この手がかりは標的の空間的位置を暗に示唆する手がかりであり、観察者の記憶や学習によって得られた知識に基づいて注意を意図的にシフトさせる。これらの特徴から、内発的(endogenous)、目的指向型の手がかりである。これら 2 つの手がかりによる空間的注意の効果は同一ではなく異なる神経システムに基づくことが近年の研究から示唆されている(Carrasco & Barbot, 2014; Carrasco & Barbot, 2019; Dugué et al., 2020; Jigo, Heeger, & Carrasco, 2021)。

視野内の特定の空間位置に注意を向けることが空間的注意であるが、そのとき視線はどこを向いているのであろうか。視覚情報を正確に認識するには、網膜上の最も感度の良い中心窩に情報が入力されるよう眼球を動かす必要がある。一般的に、注視した対象と注意を向けている領域は一致していることが多いが、視線と注意を独立に移動させることもできる。この眼球運動とは独立した注意を潜在的注意(covert attention)といい、眼球運動を伴う注意を顕在的注意(overt attention)という。1980 年から 2000 年初期にかけて、注意と眼球運動は密接な関係にあると指摘されていた。注意の前運動理論(premotor theory of attention)はその代表例であり、眼球運動に先行して注意が生じると考えられている(Craigero, Nascimben, & Fadiga, 2004; Craigero & Rizzolatti, 2005; Rizzolatti et al., 1987)。しかし、近年の研究から注意は必ずしも眼球運動に付随しないことが指摘されている(Carrasco & Hanning, 2020; Hanning & Deubel, 2020; Hanning, Szinte, & Deubel, 2019; Li, Hanning, & Carrasco, 2021; Masson, et al., 2020)。Hanning, Szinte, & Deubel (2019)は観察者の首の向きを固定することで眼球運動の範囲を制限し、注視できない箇所に提示される手がかりに対して空間的手がかり効果が生じるかを検討した(図 1-2)。その結果、眼球運動が及ばな

い位置に手がかりが提示された場合でも、空間的手がかり効果が生じ、標的の検出感度が上昇することが示された。さらに、後続の研究から眼球運動の及ばない領域に提示される妨害刺激に注意が捕捉されることも明らかとなった(Hanning & Deubel, 2020)。先天的に眼筋に麻痺があり、水平方向に眼球運動ができないメビウス症候群の患者においても、同様の眼球運動とは独立した空間的注意の効果が生じることから(Masson, et al., 2020)、注意は眼球運動とは独立した神経基盤に基づく可能性が考えられる。これらの研究とは別に、中心視野1°内でも空間的注意の効果が生じることが報告されており、注意が柔軟にシフトすることが考えられる(Poletti, Rucci, & Carrasco, 2017; Zhang et al., 2021)。以上の知見から、視覚的注意を検討する際には眼球運動の有無を念頭に置く必要がある。眼球運動を伴う場合でも伴わない場合でも注意の効果は同様に得られるが、異なる認知処理が行われている可能性を考慮すべきである。

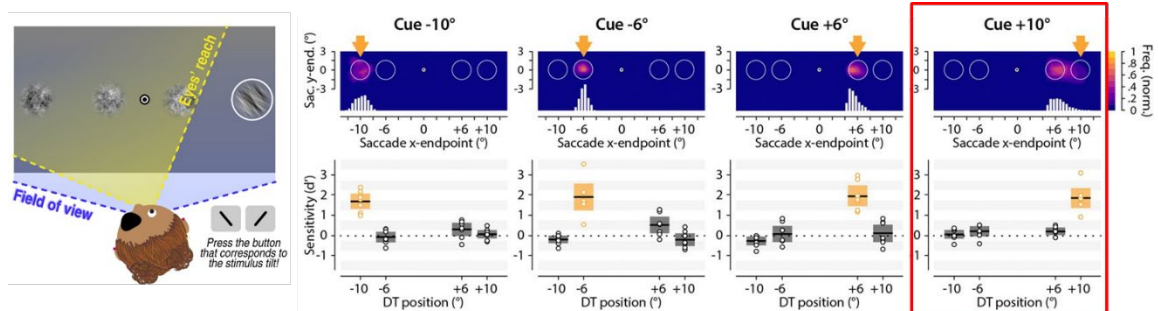


図 1-2. 実験課題と結果(Hanning, Szinte, & Deubel, 2019)。Cue+10°(眼球運動の及ばない領域)で空間的手がかり効果が生じ、標的の検出感度が上昇。

前述の通り、注意が向くことでその領域に含まれる情報の処理が促進される。具体的には反応時間の短縮、検出感度の上昇が挙げられる。これらの認知プロセスの促進に加えて、主観的な知覚の変調も生じることが知られており、コントラスト(Carrasco, Ling, & Read, 2004; Liu, Abrams, & Carrasco, 2009)、空間周波数(Abrams, Barbot, & Carrasco, 2010; Gobell & Carrasco, 2005)、動き(Liu, Fuller, & Carrasco, 2006; Turatto, Vescovi, & Carrasco, 2007),

色(Fuller, Park, & Carrasco, 2009; Kim et al., 2014)の各刺激において主観的な知覚の向上が生じる(for review Carrasco & Barbot, 2019)。空間的注意によって初期の視覚領域における神経活動が上昇し(Dugué et al., 2020; Fernández & Carrasco, 2020), 結果として主観的に知覚する刺激が物理的に提示されている刺激よりもコントラストが高くなったり, 動きが速くなったりして見えるのである(図 1-3)。注意は取捨選択のプロセスを促進するだけでなく, 注意が向いた情報に対する最終的な知覚にも影響を与えている。

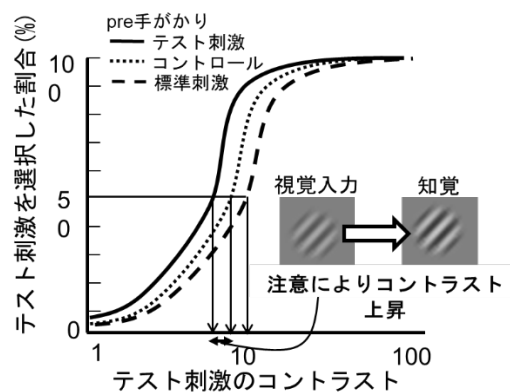


図 1-3. 注意が向くことで実際に提示されるよりもコントラストが高く知覚される。

1-4. 物体に基づく注意(object-based attention)

前節における空間的注意は視野内の特定の領域に注意を向けることであったが, その領域内に複数の情報が混在していた場合にはどうすれば良いのか。そのような状況では, 空間的注意のみで複数の情報の中から円滑に特定の情報を抜き出すことは難しい。このとき, 物体に基づく注意(object-based attention)と次節で述べる特徴に基づく注意(feature-based attention)が機能する。

物体に基づく注意とは, その名前の通り, 物体に対して注意を向けるあるいは注意が向くことであり, 空間的な距離によらず注意した物体の処理が促進される。物体に基づく注意の古典的な研究に, Rock & Gutman (1981)の研究がある。彼らは赤色と緑色の図形の組み合わせを参加者に 1 秒間提示し, どちらか一方の色に注意を向けるよう教示した(図 1-4a)。

その後再認課題を行ったところ、注意を向けていた色の図形を注意が向いていない図形よりも記憶していたことが示され、注意が向いた物体の処理が向いていないものよりも優先される可能性が示唆された。その後の Duncan (1984)の研究から、2つの物体からそれぞれ一つの特徴を判断するよりも、同じ物体内で2つの特徴を判断する方が成績が良くなることが示され、同物体内に注意を向ける方が複数の物体をまたぐよりもコストがかからないことが明らかとなった(図1-4b)。

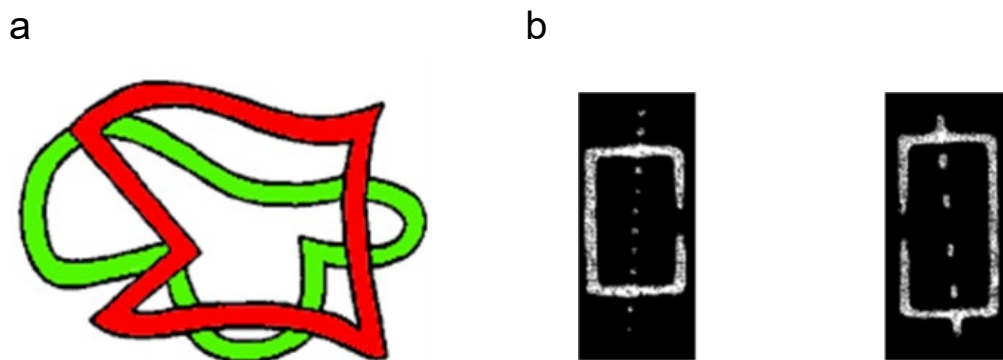


図1-4. (a)Rock & Gutman (1981)で使用された図形の例。(b)Duncan (1984)で使用された図形。

上述した2つの研究から物体単位で注意が向く可能性が得られたが、どちらの物体も同じ空間領域に存在するため、完璧に空間と物体を分離できてはいない。これらの問題を解決し、現在でも物体に基づく注意を調べるのに有効な課題に Egly, Driver, & Rafal (1994)の研究がある(図1-5)。彼らの実験では、2つの長方形が全体として正方形になるように左右あるいは上下に並べて提示され、2つの長方形の計4隅のいずれかに手がかりと標的が提示される。先行する手がかりの提示位置は、(1)標的と同じ位置(同物体同位置)、(2)標的と同じ長方形の反対側(同物体異位置)、(3)標的とは異なる物体(異物体異位置)のどれかであり、(2)と(3)では手がかりと標的の空間的距離は等しかった。実験の結果、手がかりと標的の位置が空間的に同じとき(同物体同位置)の標的検出速度が一番速かった。これは Posner らの一連の空間的手がかり課題の結果と一致している(Posner, 1980; Posner, Snyder, &

Davidson., 1980)。さらに、空間的に同じ位置でなくとも同一の物体内に手がかりと標的が提示されるとき(同物体異位置)のほうが異なる物体に提示されるとき(異物体異位置)よりも反応時間が速くなることが明らかとなった。この結果は、物体単位で注意が向くことを直接的に示しており、空間的な距離によらない物体に基づく注意が存在することを示唆している。Egley, Driver, & Rafal (1994)の課題は物体に基づく注意だけでなく同時に空間的注意も測ることができるため、数十年経つ今でも使われる実験課題である。近年では、物理的に物体が提示されない状況でも、心的イメージを行うだけで物体に基づく注意の効果が生じることや(Ongchoco & Scholl, 2019), 現実に存在する物体を用いた日常生活場面でも起きることが明らかにされている(Malcolm & Shomstein, 2015)。

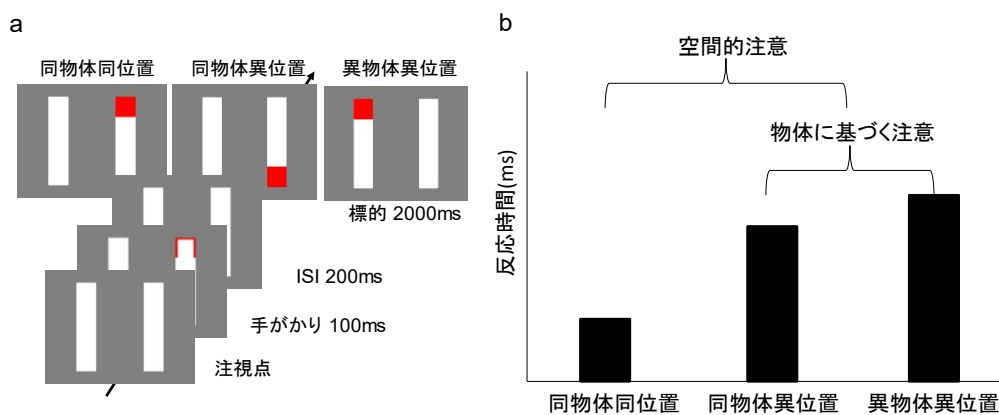


図 1-5. 実験手続き(a)と実験結果(b)。手がかりと標的の位置が空間的に重なるときは空間的注意によって標的の検出が速くなる。手がかりが提示された物体内に出現する標的の検出が異なる物体に出現するときよりも速くなる(物体に基づく注意)。

物体に注意が向いたとき、その物体を処理するのに関わる脳領域で注意の促進効果が生じている(Müller & Kleinschmidt, 2003; Pooresmarili, Poort, & Roelfsema, 2014; Roelfsema, Lamme, & Spekreijse, 1998; Shomstein & Behrmann, 2006)。2つの物体をまたぐときよりも、同一の物体内に注意を向けるときの方が初期視覚領域での活動が高くなる(Müller & Kleinschmidt, 2003; Shomstein & Behrmann, 2006)。比較的初期の視覚領域で生じる活動の

上昇は、高次領域からのフィードバックによるものであると考えられている。マカクサル
の初期視覚野(V1)の細胞の神経活動を記録した際、刺激に対する神経活動の発火が約 30ms 後
に生じたこととは別に、刺激提示の約 200ms 後に同一物体と異物体の間で神経の発火頻度
に差が生じた。この遅い潜時で生じる神経活動の差は、高次からのフィードバックによる変
調効果であると示唆されている(Roelfsema, Lamme, & Spekreijse, 1998)。この注意による変
調効果は前頭眼野(frontal eye field)からよることが指摘されている(Pooresmarili, Poort,
& Roelfsema, 2014)。前頭眼野は眼球運動の制御だけでなく(Marrocco, 1978; Schiller &
Sandell, 1983)、注意シフトにも関わるということが知られており(Goldberg & Bruce, 1985; Ibos,
Duhamel, & Ben Hamed, 2013; Schall & Hanes, 1993)、注意が向く物体や空間位置の対象を
選択する役割を担っている。

物体に基づく注意では、物体の一部分にのみ手がかりが与えられ、その結果物体全体に注
意が向けられる。物体に基づく注意を説明するモデルのうち、感覚促進説(attentional
spreading hypothesis)は手がかりが与えられた空間的な位置を始点として注意が物体全体
に広がることを想定している(Chen, 2012; Hollingworth, Maxcey-Richard, & Vecera, 2012;
Shomstein, 2012)。Hollingworth, Maxcey-Richard, & Vecera (2012)は物体に手がかりと標
的を提示する際にその 2 つの距離を操作した。具体的には手がかりと標的の位置が一致す
るとき、同じ物体内でも手がかりから近い位置と遠い位置を用意した。手がかりと標的の
位置が一致するときの反応時間は速くかつ正答率も高かったが(空間的手がかり効果)、加え
て手がかりと標的の距離が近い方が遠いときよりも反応時間が速く、さらに正答率も高い
ことが示された。この結果は、手がかりと標的の位置が同物体内であってもその距離によっ
て効果の強さが変わることを表しており、手がかりの与えられた箇所から注意が広がって
いく可能性を示唆している(図 1-6 左)。この結果は、空間的注意を調べた研究とも一致し
ている(Henderson & Macquistan, 1993; Mangun & Hillyard, 1988; Posner, Snyder, &
Davidson, 1980)。

感覚促進説では注意が特定の位置から広がることを仮定しているが、優先順位説 (attentional prioritization hypothesis) ではそのような広がりを想定せず、注意の向く場所には優先順位が与えられることを仮定する (Chen, 2012; Drummond & Shomstein, 2010; Drummond & Shomstein, 2013; Shomstein, 2012; Shomstein & Behrmann, 2008; Shomstein & Yantis, 2002)。つまり、注意が向く場所には優先順位があり、物体に基づく注意では手がかりが提示された物体を処理する優先順位があがるため、結果的にその物体に注意が向くと考えられる (図 1-6 右)。Drummond & Shomstein (2013) は Egly ら (1994) の課題を用いて、標的の出現位置を予測できるときには物体に基づく注意の効果がみられないことを示した。あらかじめ探索する標的の出現位置を予測できる状況では、手がかりが向けられた物体の優先順位は標的の出現位置よりも低いため、物体に基づく注意の効果が生じないと示唆される。優先順位説を支持する結果は、単純に注意が物体内を広っていくのではなく、より高次の認知システムも関わってくることを暗に示している。

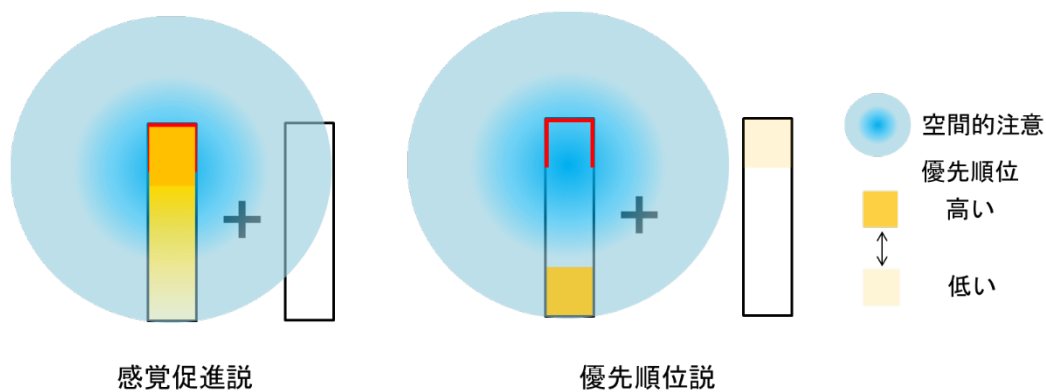


図 1-6. 感覚促進説と優先順位説のモデル (Shomstein, 2012 より改変)。

1-5. 特徴に基づく注意 (feature-based attention)

物体に基づく注意によって我々が物体単位で注意を向けることができることが明らかとなったが、物体全体だけでなく物体を構成する要素、特徴にも細かく注意をシフトできることが知られている。これを特徴に基づく注意と呼び、空間的注意や物体に基づく注意と

並んで広く研究されている(Nobre, 2018)。特定の特徴(方位や色など)に注意を向けることで、その次元に当てはまる特徴への視覚処理を促進させ、視野内における刺激特徴の表象を活性化させる(Carrasco, 2011)。多様な刺激が存在する現実世界において、空間や物体によらず、刺激の特徴次元に注意を向けることも適応的な行動を実行する上で必要不可欠である。

特徴に注意を向けることが顕著に効く場面に視覚探索がある(Liu, 2019; Wolfe, Vö, Evans, & Greene, 2011)。実験場面における視覚探索課題では複数の物体の中で標的となる物体を観察者に探索させるが、この探索状況は現実場面における探索プロセスと類似しているため、実験心理学では重宝される課題である。視覚探索課題で探索させる標的は基本一つであり、妨害刺激と標的の刺激特性の違いで課題の難易度が変化する(Treisman & Gelade, 1980; Wolfe, 2021; Wolfe & Horowitz, 2017)。特徴探索課題では複数の同一妨害刺激の中から異なる標的を探索する(図 1-7a)。標的となる刺激特徴が妨害刺激と唯一異なるため、標的の探索は容易であり(ポップアウト)、セットサイズ(刺激の数)が増えても探索時間は変わらない。結合探索課題では2つ以上の特徴で構成される標的を探索する(図 1-7b)。標的を構成する特徴を妨害刺激も有するため、探索が困難になり、セットサイズが増えると探索時間が長くなる。特徴探索ではセットサイズと探索時間が独立しているため、並列的に特徴を処理していると言われており、一方結合探索ではセットサイズに探索時間が依存するため、逐次的に標的の探索を行っていると言われる(Bichot, Rossi, & Desimone, 2005; Theeuwes & Kooi, 1994; Wolfe, 2021; Wolfe & Horowitz, 2017; Wolfe, Vö, Evans, & Greene, 2011)。並列的に特徴を処理する特徴探索では注意を必要としないと考えられており(Kawahara, Di Lollo, & Enns, 2001; Moore et al., 1996; Wolfe & Horowitz, 2017)、特徴探索に加えて高速逐次視覚提示課題の二重課題を実施した際にも探索効率が変わらないことから、特徴探索に注意は必須ではないことが示唆されている(Braun, 1998)。しかし、課題の熟知度で探索成績が変わることも指摘されており(Braun, 1998;

Joseph, Chun, & Nakayama, 1997), 特徴探索に注意が全く関わっていないとはいきれない。Treisman & Gelade (1980)は特徴統合理論の中で低次の視覚特徴は注意なしで並列的に素早く処理され、個々の特徴を統合する過程で注意が必要になることを提唱した。Wolfe による視覚探索モデルでは、より高次領域からのトップダウンのフィードバックが探索に関わることを指摘している (Wolfe, 1994; Wolfe, 2021; Wolfe et al., 1989)。

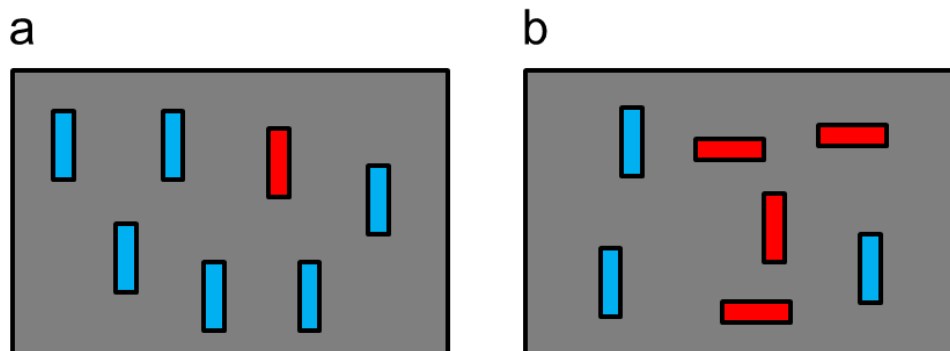


図 1-7. (a)特徴探索と(b)結合探索の例。特徴探索では一つだけ異なる特徴を有する標的を探索し、結合探索では2つの特徴を組み合わせて妨害刺激と異なる標的を探索する。結合探索では特徴を2つ統合して物体を探索しなければならない分、特徴探索と比較すると探索に時間がかかる。

視覚探索課題では標的を構成する特徴に注意を向けることが探索行動にどのような影響を及ぼすのかを調べている。この探索行動は比較的高次元であるが、この背景には低次の視覚処理プロセスにおける特徴に基づく注意による活性化がある (Bichot, Rossi, & Desimone, 2005; Buracas & Albright, 2009; Buschman & Miller, 2007; Schall, Hanes, Thompson, & King, 1995)。視覚探索中のサルの V4 におけるニューロン群の活動を記録すると、標的の有する特徴が受容野内に入ったときの方がそれ以外の特徴が入ったときよりも強い神経活動が生じる (Bichot, Rossi, & Desimone, 2005)。この注意による神経活動の上昇は MT 野でも生じる (Buracas & Albright, 2009)。さらに、より高次領域である前頭眼野も標的の探索時に強く活動することから、前頭眼野からトップダウンに低次の視覚領域で

ある V4, MT に注意の変調効果が送られていることが示唆されている (Buschman & Miller, 2007)。

標的を探索する際、その標的を構成する特徴に注意を向けることで探索効率が上がり、この探索効率の向上の背景には低次と高次における神経活動の上昇が存在する可能性が示された。注意による特徴処理の促進効果は視覚探索だけでなくより単純な課題でも確認されている。McAdams & Maunsell (2000)はサルにマッチング課題を行い、標的の視覚処理が課題非関連な特徴に妨害されることを示した。課題は受容野内に連続して提示される2つのガボールの方位(標的)が一致しているか不一致かを答える単純なものであり、このとき受容野外に①標的の特徴と同じ方位が同時に提示されるときと、②標的の特徴とは異なる色つきのパッチが同時に提示される条件があった。また、注意を受容野内あるいは外に向けさせることで注意を向ける特徴を変化させた。V4のニューロン群の活動を計測した結果、受容野内の標的に注意をむけているときには①と②の条件ともに同程度の活動を示したが、受容野外に注意を向けたときには②の条件において活動が減少した。①では受容野内と外で提示される特徴が同一であるが、②では注意を向ける特徴が受容野内外で異なるため、標的とは異なる特徴に注意を向けたことで、標的の特徴への抑制がかかったと示唆されている。特定の特徴に注意を向けることで、その特徴の処理を活性化すると同時に非関連な特徴の処理を抑制している (McAdams & Maunsell, 1999a, 1999b)。

上述の研究から報告されている通り、特徴に基づく注意は単にその特徴に関する視覚処理を促進するだけではない。促進することに加えて余計な特徴の処理を抑制する働きが生じる。この働きは空間的注意と異なる (Ling, Liu, & Carrasco, 2009; Liu, 2019; Maunsell & Treue, 2006)。空間的注意は注意の向いた領域における処理の活動を単調増加させる (図 1-8 左)。特徴に基づく注意はその特徴に選択的に活動するようにチューニングが生じ、注意が向いている特徴に近い特徴にはより抑制がかかる (図 1-8 右)。このモデルはサルのユニットレコーディングやヒトの生理・心理物理学実験の知見に由来する (Fang, Becker, &

Liu, 2019; Martinez-Trujillo & Treue, 2004; Störmer & Alvarez, 2014; Wang, Miller, Liu, 2015)。

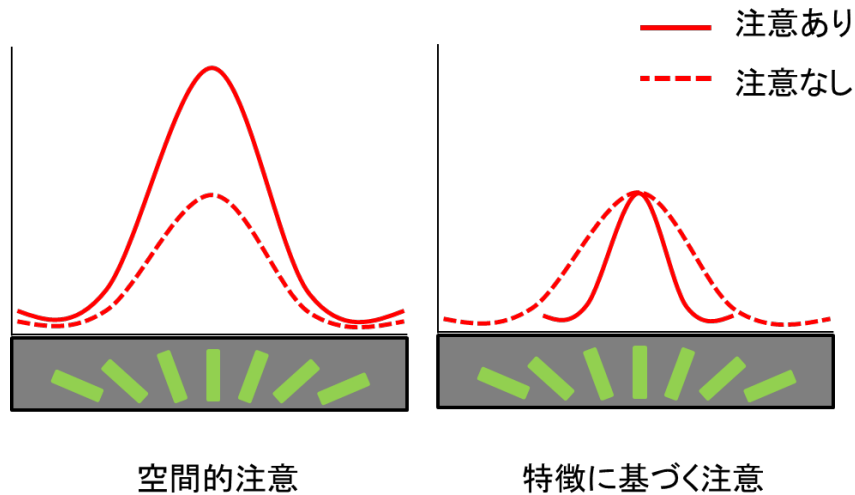


図 1-8. 空間的注意と特徴に基づく注意における神経活動のモデル。空間的注意では注意を向けることで活動の単調増加がみられる。一方、特徴に基づく注意では注意が向いた特徴を中心に活動のチューニングが生じる。

Martinez-Trujillo & Treue (2004)はサルにランダムドットを提示し、運動方向観察中のMT野のニューロン群の活動を記録したところ、どの運動方向に注意を向けるかで受容野内に提示される運動方向に対する活動が変化することを示した。例えば、上方向の運動に選択的に反応する受容野の活動は受容野外に提示される同じあるいは少し傾いた方向への運動に注意を向けたときに活動が強くなるが、反対である下方向への運動に注意を向けると活動が抑制される(図 1-9)。この結果は、注意を向けることでその特徴の処理を促進し、標的特徴と一致しない刺激の処理を積極的に抑制していることを示唆している。このような促進と抑制の関係はヒトを対象とした実験からも明らかにされている。Störmer & Alvarez (2014)は観察者に2種類の色で構成されるランダムドットを左右に対提示し(右視野には青色と赤色、左視野には緑色と赤色)、注視点に提示される色手がかりを元にその色のランダムドットに注意を向けさせた。課題は注意を向けた色のランダムドットでコピー

レント運動を検出することであった。左右で注意を向ける色の差は色相の 0° から 60° で 10° ずつ区切られていた。つまり、 0° は左右で同じ色、 30° は左右で色相が 30° 離れた位置にある色であった。実験の結果、コヒーレント運動の検出成績は 0° から 30° にかけて単調に減少し、 40° から 60° にかけて単調増加することが示された。また、この結果は定常状態視覚誘発電位(Steady State Visual Evoked Potentials, SSVEP)による脳波の活動でも生じ、U字型に活動が変化していることが明らかとなった。これは注意を向ける特徴次元で促進と抑制のバランスがとられていることを示唆しており、注意を向けた特徴の周辺次元で抑制がかかることから、特徴に基づく注意における周辺抑制(surround suppression)とされている(Fang & Liu, 2019; Störmer & Alvarez, 2014; Wang, Miller, Liu, 2015)。

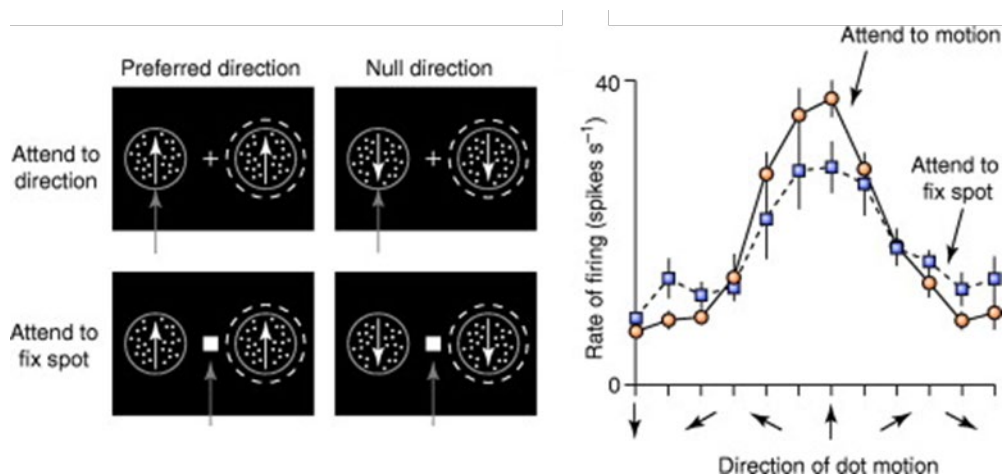


図 1-9. Martinez-Trujillo & Treue (2004)で使用された実験課題と結果。注意が向いた特徴を中心に神経活動は上昇し、特徴次元内で物理的に離れた特徴では活動が弱まる。特定の特徴に注意を向けると神経活動が上昇するのではなく、その受容野が選択的に反応する特徴に注意を向けないと活動は上昇せず、異なる特徴では活動が抑制されてしまう。

1-6. 注意の時間的側面(temporal attention)

1-3 から 5 にかけて視覚的注意の基礎的な機能を概観した。視野内の特定の領域に注意を向けることでその領域内の処理を促進させる空間的注意。物体単位で注意を向けることでその物体の処理を促進する物体に基づく注意。物体を構成する特徴に注意を向けること

でその特徴の処理を促進し、探索効率を向上させる特徴に基づく注意。我々はこれらの注意機能を駆使して外界の情報を知覚・認知している。上述した3つの注意は2次元空間上におけるものであったが、果たして時間軸上ではどのように注意が機能するのだろうか。さらに、物体認知における空間、物体、特徴の選択過程の先にある情報の弁別と記憶といったより深い処理にも注意は影響するのだろうか。現実場面では見ている場所が一定であっても、常に情報が切り替わり変化している。このようなダイナミックに変化する情報の中から必要な情報を選択的に抽出し、その後の処理に影響を与えるのも注意であり、選択した情報を作業記憶へ符号化する過程にも注意が機能していることを意味している(Potter, 1999)。

絶えず変化する情報の中から自身の目的に沿った情報のみを選択する場合、瞬時に注意をその対象に向ける必要がある。瞬間的に注意を向けその情報を同定するのに必要な提示時間は100msほどである(Potter, 1975; Potter, 1976; Potter, Faulconer, 1975; Thorpe, Fize, & Marlot, 1996)。Potterらは空間的に同位置に連続して複数の画像や文字を短時間で提示し、その中に含まれる標的を検出・同定する課題を作り上げた(図1-10)。この刺激の提示方法から高速逐次視覚提示課題と名付けられており(Forster, 1970; Kolers & Katzman, 1966)、現在でも幅広い分野で利用されている注意の時間的側面を検討する課題である(Lees et al., 2018)。近年の研究から、画像1枚の提示時間が13msであってもその画像のカテゴリ弁別ができることが示されており、視覚入力時のフィードフォワード情報のみで刺激の同定ができる可能性を挙げている(Potter, Wyble, Haggmann, & McCourt, 2014)。しかし、Potterら(2014)の実験を追試した研究から、妨害刺激の視覚マスキングとしての強さが標的の検出に影響を与えることが示されており(Maguire & Howe, 2016)、フィードフォワード情報のみで刺激の同定をしている可能性は低いと考えられる。初期視覚野からのフィードフォワードと高次領域からのフィードバックの関係性については議論の余地がある。



図 1-10. 高速逐次視覚提示課題(rapid serial visual presentation)の例。複数の画像が同じ位置に 10/秒の間隔で提示される。

複数の画像が連続提示される中で一つの画像を検出できる時間がおおよそ 100ms であることがわかったが、その画像を処理するのにかかる時間が画像の提示時間と同じとは限らない。100ms で提示される画像であっても、その画像を詳細に知覚し、記憶するまでには時間がかかる。この知覚プロセスの時間的限界は注意の瞬き(attentional blink)によって明らかにされている(図 1-11)。注意の瞬きとは、2つの情報を処理する際にその時間間隔が短い(500ms 以内)と 2つ目の情報を見落とす現象である(Broadbent & Broadbent, 1987; Raymond, Shapiro, & Arnell, 1992; Shapiro, Arnell, & Raymond, 1997; for review Martens & Wyble, 2010)。注意の瞬きは文字だけでなく風景写真や顔を含めた物体を用いた場合にも生じる(Einhäuser, Koch, & Makeig, 2007; Robinson, Plaut, & Behrmann, 2017)。

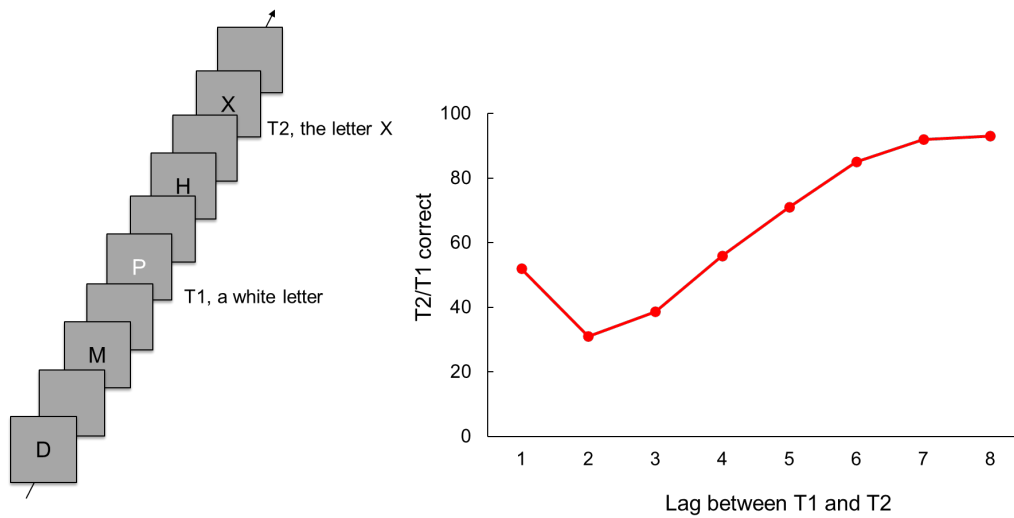


図 1-11. 注意の瞬き実験と結果。第 1 標的(T1)は白色の文字，第 2 標的は x。2 つの標的の時間間隔が約 200ms で第 2 標的の正答率が低下するが(注意の瞬き)，時間が長くなると回復する。

注意の瞬きでみられる第 2 標的の見落としは主に標的の作業記憶(working memory)への固定化¹が不十分で生じるとされている(Dux & Marois, 2007; Dux & Marois, 2009; Martens & Wyble, 2010)。短時間提示された情報を作業記憶へ固定化するには時間がかかる。その結果，1 つ目の情報を固定化している間に 2 つ目の情報が提示されてもその情報の処理がされずに見落とされてしまう。2 つの情報の間の間隔が十分に確保されている場合，1 つ目の情報処理が完了しているため，2 つ目の情報処理を妨害することなく 2 つの情報を処理できる。この 2 つ目の情報も処理できる時間間隔が 1 つの情報処理にかかる時間であり，一般的には 500ms くらいである。しかし，注意の瞬きが生じない non-blinker と呼ばれる人たちも存在し，注意の瞬きには個人差があることが指摘されている(Feinstein, Stein, Castillo, & Paulus, 2004; Martens, Munneke, Smid, & Johnson, 2006; Troche, Indermühle, & Rammsayer, 2012; Troche & Rammsayer, 2013; for review Willems

¹ 固定化(consolidation)とは，知覚した情報を一時的で不安定な状態から長期的に記憶できる状態へと変える過程を指す(Squire, Genzel, Wixted, & Morris, 2015)。

& Martens, 2016)。作業記憶の容量と注意の瞬きの深さに相関があることから、効率よく作業記憶を利用できるヒトでは注意の瞬きが起きにくい可能性が考えられる(Akyürek, Hommel, & Jolicoeur, 2007; Colzato, Slagter, de Rover, & Hommel, 2011; Martens & Johnson, 2009)。また、抑制系の神経伝達物質である GABA を投与することで注意の瞬きが弱まることや(Leonte et al., 2018)、標的の出現タイミングを予測できることで見落としを回避できることも示されており(Meijs et al., 2018)、限られた注意資源を効率よく割り当てるのが標的の見落とし回避につながることを示唆される(Choi et al., 2012)。

行動レベルで2つ目の標的の検出と同定が阻害される一方で、神経レベルでは初期の視覚処理まで第2標的の処理が進むことが報告されている(Finoia et al., 2015; Jacoby et al., 2011; Johnston, Linden, & Shapiro, 2012; Kranczioch et al., 2005; Luck, Vogel, & Shapiro, 1996; Marois, Yi, & Chun, 2004; Robinson, Plaut, Behrmann, 2017; Sergent, Baillet, & Dehaene, 2005; Vogel, Luck, & Shapiro, 1998)。初期の視覚処理を反映する ERP 成分である P1 や N1 が第2標的の見落としの際にもみられるが、作業記憶などのより高次な認知処理を反映する ERP 成分の P3 や N400 の活動が減少する(Finoia et al., 2015; Jacoby et al., 2011; Luck, Vogel, & Shapiro, 1996; Sergent, Baillet, & Dehaene, 2005; Vogel, Luck, & Shapiro, 1998; for review Zivony & Lamy, 2021)。この結果は、標的に関する低次特徴の処理は行われる一方で(Fahrenfort et al., 2017)、標的の詳細な認知処理が中断されていることを示している。さらに、fMRI を用いて注意の瞬きが起きているときの脳活動を計測した研究から、第2標的の見落としが生じなかったときには前頭を含む高次認知領域が活動をしていることが示されており(Kranczioch et al., 2005; Marois, Yi, & Chun, 2004)、前頭領域における活動の有無が意識に上る情報の選択に関与していることを示唆している(Dehaene & Changeux, 2011; Kouider & Dehaene, 2007; Mashour et al., 2020; Raffone, Srinivasan, & van Leeuwen, 2014)。サルの単一細胞を記録した実験では、見落とされた刺激に対するニューロンの発火が知覚できたときよりも弱くなると同時に活動のタイミング

自体が遅れることが明らかにされており、第2標的の意識的な知覚にはニューロンの活動の強さだけでなく時間的に同期することも重要である(Reber et al., 2017)。高速提示される画像系列の中から標的を検出し、意識的にその標的が何かを同定するには視覚領域だけでなく幅広い脳内領域の活動が必要である(図1-12)。

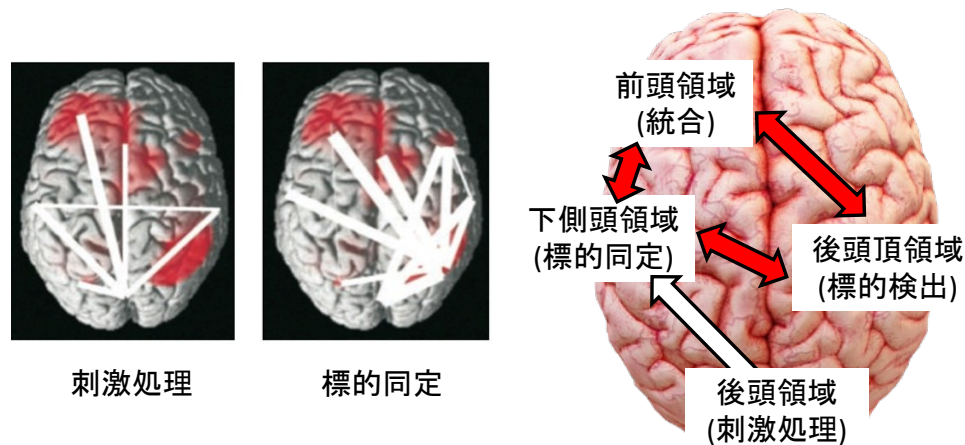


図1-12. 標的の処理に関連する脳領域のネットワーク(Martens & Wyble, 2010 より改変)。標的を同定するためには視覚野を含む後頭領域から前頭へのネットワークが必要であり、フィードフォワードとフィードバックによる情報の伝達が行われている。

1-7. 本章のまとめ

本章では、主に我々ヒトを含む霊長類一般の視覚処理に関わる注意機能について、心理物理学、神経生理学、およびそれらの近接諸領域においてこれまでに明らかにされてきた知見を概観した。まず注意そのものの定義について述べ、その後、視覚的注意の4つの側面(空間、物体、特徴、時間)についてその機能と神経メカニズムについて述べた。注意は我々の情報処理の限界を打破するために存在する機能であり、視覚的注意は大きく空間次元と時間次元に分けられ、空間次元には空間的注意、物体に基づく注意、特徴に基づく注意が、時間次元では注意の時間的側面がそれぞれこれまでに研究されてきたことを述べた。それに関連して各注意次元におけるモデルを概観し、空間的注意では注意が向いた領域の促進、物体に基づく注意では物体そのものの処理を促進、特徴に基づく注意では物体

を構成する特徴次元で注意を向け、注意の向いた特徴を促進させ他の特徴は抑制することを述べた。注意の時間的側面では高次な認知処理に着目し、視覚入力後に注意が向いた情報は処理され、向いていない情報は見落とされる過程をたどることを述べた。さらに、4つの注意次元で用いられている実験手法にも着目し、各注意機能で代表的な実験パラダイムについて述べた。空間的注意では Posner の空間的手がかり課題(Posner, 1980; Posner, Snyder, & Davidson., 1980), 物体に基づく注意では Egly ら(1994)の課題, 特徴に基づく注意では視覚探索課題(e.g. Wolfe & Horowitz, 2017), 時間次元では高速逐次視覚提示課題(Potter, 1999)を主に取り上げ、それぞれの研究で得られた行動データや神経活動のデータを概観した。本章での議論を踏まえ、次章ではヒトの視覚的注意が生後初期においてどのような発達過程をたどるのかについて検討した先行研究を概観する。また、それらの議論に基づいて本研究における問題意識について詳細に述べ、問いを明確化する。

第2章 - 視覚的注意の発達 空間、物体、特徴、時間を検討する意義

2-1. 本章の目的

第1章で、視覚的注意の代表的な4つの次元(空間、物体、特徴、時間)がそれぞれどのような機能とメカニズムで視覚処理に影響しているのかについて、先行研究を概観しながら述べた。本章では、第1章で述べた視覚的注意機能が、我々ヒトではどのように発達するのか、またそうした発達過程がどのような実験によって検討されてきたのかについて紹介する。各次元についての発達研究をまとめ、視覚的注意の発達過程に共通する点を浮き彫りにし、次章以降の実験的検討に向けて、本研究の目的や意義について述べる。

2-2. 視覚的注意の発達研究の流れ

後に第1章で紹介した視覚的注意の4つの次元の発達過程について述べるように、古くから視覚的注意の初期発達過程について検討されており、生後間もない乳児でも注意を含む認知機能を獲得していることが報告されている。

乳児における認知機能の発達指標として古典的に注視時間(looking time)や注視回数(fixation)、サックード潜時(looking/saccade latency)、心拍(heart rate)が用いられてきた(Colombo & Cheatham, 2006)。乳児の刺激弁別能力を測るのに一般的に使用されるのは馴化法である。馴化法では乳児に弁別させる刺激の一方を繰り返し提示し馴化させ、その後馴化した刺激と新規の刺激を対提示し、新規刺激に対して選好が生じるかを検討する。新規選好が生じた場合、刺激の弁別ができた指標とする(Braddick, Atkinson, Wattam-Bell, 1986; Cohen, DeLoache, & Pearl, 1977; Cohen Gelber, & Lazar, 1971)。馴化にかかる時間は発達が進むにつれて短くなることが指摘されており(Colombo, 2002; Colombo, Harlan, & Mitchell, 1999; Rose, Feldman, & Jankowski, 2001; Rose, Feldman, & Jankowski, 2002)、これは刺激の処理にかかる時間が認知機能の発達に伴って短くなることを示唆している。初

期の視覚処理に加えて作業記憶などの高次認知も十分に機能するようになるため、結果的に刺激弁別課題における刺激を同定し記憶するまでにかかる時間が短縮する。これらの研究では、刺激の学習には注意が必要であり、学習の向上には注意が関与していることを前提としているため、注意を学習と同様に検討しているとみなす研究も少なくない(Rose, Feldman, & Jankowski, 2004)。

乳児の視覚的注意は行動だけでなく心拍を用いた生理レベルでも検討されており、生後3-4ヶ月頃の乳児でも刺激に対して注意を保持し続けることができる(Colombo & Richman, 2002; Colombo et al, 2001; Courage, Reynolds, & Richards, 2006; Domsch, Thomas, & Lohaus, 2010; Richards & Hunter, 1997)。刺激に注意を持続的に向けている際心拍は減速(deceleration)するが、この反応が生後3ヶ月頃の乳児でも生じることが示されている(Courage, Reynolds, & Richards, 2006)。さらに、心拍の減速と注視時間の間に相関関係があることから(Colombo et al, 2001; Courage, Reynolds, & Richards, 2006)、発達初期から内的な注意プロセスと注視行動が相互につながっていることが考えられる。前述の注視時間に加えて心拍における注意は観察者の課題に対する取り組み具合に依存し、視覚的注意研究の中でも覚醒(alertness)や持続的注意(sustained attention)といったヒトの内的プロセス全般に関わる注意であった(Colombo & Cheatham, 2006)。そのため、本研究で扱う視覚的注意とは異なるが、これらの基本的な注意機能が背景にあることを留意する必要がある。

2-3. 空間的注意(spatial attention)の発達

前節で覚醒や持続的注意に関する認知機能の発達が比較的初期の頃から始まり、月齢が上がるにつれてより洗練されることがわかったが、空間的注意でも同様の発達を辿るのだろうか。第1章の空間的注意の中で、標的を検出する過程は注意を対象に定位し、新しい対象に注意を向けるために解放し、新しい位置へシフトする流れから成り立つことを紹介した(Posner et al., 1988)。この一連の流れは乳児においても同様であり、この質的な発達は生

後6ヶ月頃に完了することが報告されている(Matsuzawa & Shimojo, 1997)。Matsuzawa & Shimojo (1997)はギャップ課題(gap paradigm)を用いて乳児の空間的注意を検討している。ギャップ課題では注視点の提示後に標的となるプローブ刺激を左右いずれかに提示し、乳児がプローブ刺激を正確に注視できた割合、あるいはプローブまでのサッケード潜時を計測する(図2-1)。注視点と標的が提示されるまでの時間を操作することで、注視点から新しく出現する標的にどれだけ円滑に注意をシフトできたかを調べることができる(Hood & Atkinson, 1993; Johnson, 1994)。実験の結果、注視点と標的の間の時間が短くなるほど、標的へのサッケード潜時が長くなることが示され、注視点から注意を解放するまでに時間を要することが明らかとなった。この傾向は特に低月齢児(2-4ヶ月児)で顕著であった。また、標的の提示に合わせて注視点が消えないとき(注視点と標的が同時提示のとき)、低月齢児では標的に注意をシフトすることが極めて困難であった。この低月齢児でみられる注意の解放の困難さを”obligatory attention”あるいは”sticky fixation”という(Kulke, Atkinson, & Braddick, 2017; Stechler & Latz, 1966)。一方で、6ヶ月以降になると成人と同程度に注意を解放、シフトできることが示され、空間的注意の質的発達が生後6ヶ月頃には完了している可能性が示された。これらの研究では乳児の注視した先に注意が向いていることを前提としているが、成人では注視した先とは独立して他の領域に注意を向けることができるため、乳児が本当に注意を向けているかは不明である。しかし、近年の定常状態視覚誘発電位(ssvep)を用いた研究から標的へ注視する前に乳児の注意が標的へ向いていることを示唆する結果も得られており(Christodoulou, Leland, & Moore, 2018; Robertson, Watamura, & Wilbourn, 2012; Xie & Richards, 2017)、乳児の注視した先に注意が向いているという前提条件を支持している。

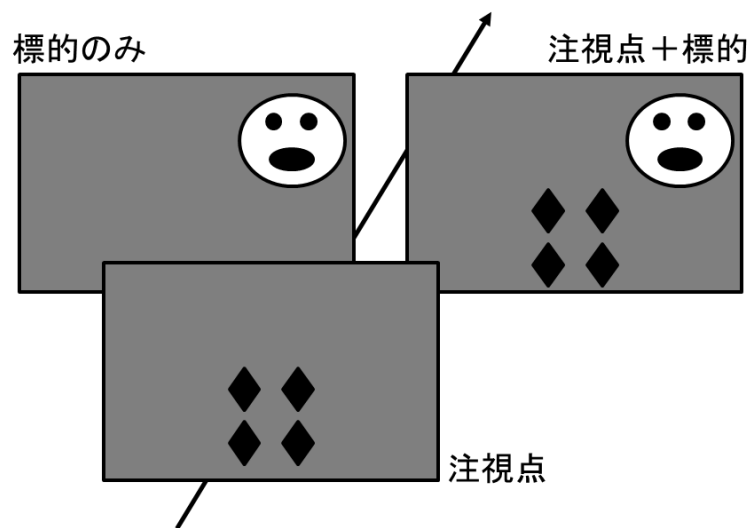


図 2-1. ギャップ課題(Matsuzawa & Shimojo, 1997 より作成)。オーバーラップ条件(overlap)では注視点と標的が同時に提示される。ノーオーバーラップ条件(no-overlap)では標的のみが提示される。また注視点と標的の間の時間間隔が 200, 400, 800ms と設けられており、注視点から標的へスムーズに注意をシフトできるのかを検討する。

注意の定位、解放、シフトによる一連のプロセスが生後 3 ヶ月頃からみられ、6 ヶ月までに急激な発達を遂げることから、空間的注意の基盤は発達初期に既に形成されている。周辺視に提示される刺激に対して正確に注視できるのはこれら基盤の確立によるだろう(Aslin & Salapatek, 1975; Salapatek et al., 1980)。周辺視の標的を検出する際、標的の前に手がかりを先行提示することで標的の検出と同定が向上することは第 1 章でも触れた。この手がかりによる促進効果を空間的手がかり効果(spatial cueing effect)と呼び、空間的注意の基盤が形成される発達初期にもみられることが示されている(Ellis et al., 2021; Johnson, Posner, & Rothbart, 1994; Johnson & Tucker, 1996; Richards, 2005; Ronconi et al., 2016; Ross-Sheehy, Schneegans, & Spencer, 2015)。近年、fMRI を用いて空間的手がかり課題遂行時の 3-12 ヶ月児の脳活動を計測した研究から、成人で賦活する脳領域の前帯状皮質(anterior cingulate cortex)や高次の視覚皮質(lateral occipital cortex)が乳児でも活動することが示さ

れたことから(Ellis et al., 2021), 行動実験の知見を裏付ける脳内メカニズムも比較的初期に確立していることが示唆される(図 2-2)。

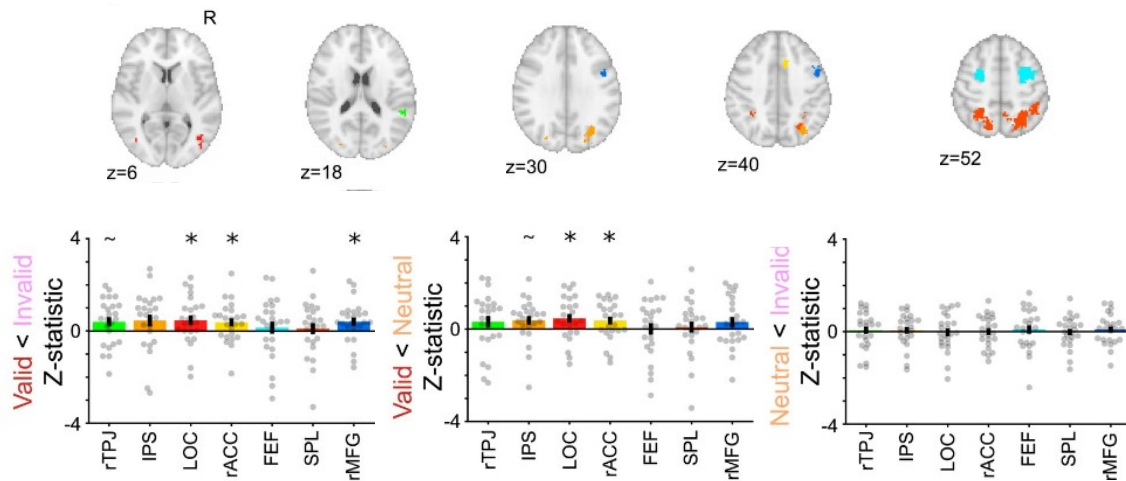


図 2-2. 空間的手がかり課題実施中の 3-12 ヶ月児の脳活動(Ellis et al., 2021)。手がかりと標的の位置が一致するときに前帯状皮質と高次視覚皮質で賦活する。

上述した空間的手がかり効果は外発的手がかりによるものであり、発達初期の 3 ヶ月頃から獲得されていることが示された。これらの外発的手がかり以外にも視線を用いた空間的手がかり効果も存在する。例えば、成人では標的の出現位置に視線を向けている顔画像を標的の 300ms 前に提示すると、標的と視線の空間的位置が一致するときに手がかり効果が生じる(Driver et al., 1999; Friesen & Kingstone, 1998)。この視線による空間的手がかり効果は 1990 年代に 4 ヶ月頃の乳児で生じることが示されたが(Hood, Willen, & Driver, 1998), その後の研究ではもう少し獲得に発達を要することが指摘されている(Gregory et al., 2016; Peña, Arias, & Dehaene-Lambertz, 2014)。これらの乳児研究で設定されている手がかりと標的までの SOA はおよそ 1 秒と成人と比較してとても長いため、成人と同様の視線による空間的手がかりを調べていると結論付けるのは難しい。視線ではなく指による空間的手がかり効果の獲得時期も研究によって異なり、4 と 6 ヶ月児で効果がみられると主張する研究や(Bertenthal, Boyer, & Harding, 2014), 12 ヶ月児で獲得されることを示す研究もある

(Daum, Ulber, & Gredebäck, 2013)。一方で、内発的な手がかりによる空間的 hands-on 効果は観察者自身で注意を意図的に向ける必要があるため比較的発達が遅いと考えられるが (Martinez-Alvarez, Pons, & de Diego-Balaguer, 2017)、手がかりと標的の関係性を予期できるように学習させると低月齢の乳児でも手がかりを利用して標的を素早く検出できる (Haith, Hazan, & Goodman, 1988; Johnson, Posner, & Rothbart, 1991)。

空間的注意の効果は標的の検出のほかにその標的を優先的に記憶することにも影響し、9ヶ月児において注意の向いた標的を向いてない刺激よりも記憶できることが明らかになっている (Markant & Amso, 2013; Markant, Oakes, & Amso, 2016)。しかし、これらの研究では、標的を十分に観察できる時間を乳児に与えてしまっているため、純粋に注意によって刺激の処理が促進されているかは不明である。

以上の発達の知見から、空間的注意の基盤となる標的への定位、解放、シフトは発達初期から獲得されており、空間的 hands-on 効果(特に外発的 hands-on による)は生後 3ヶ月頃からみられる一方で、手がかりによる注意の効果は刺激に依存する可能性が挙げられる。空間的注意の量的な発達は成人まで続くと考えられるが、Matsuzawa & Shimojo(1997)で言及されているように、質的な発達が完了するのは生後 6ヶ月頃であり、この時期が 1つのマーカーになると予測される (Colombo, 2001)。

2-4. 物体に基づく注意(object-based attention)の発達

空間的注意が発達初期に獲得され、生後 6ヶ月頃には成人に劣らないレベルで機能し始めることが明らかとなり、視野上の特定の空間位置に注意をシフトできることがわかった。それでは、物体に基づく注意も空間的注意同様に生後間もない乳児でみられるのだろうか。第 1章でも述べた通り、物体に基づく注意とは物体に対して注意を向けるあるいは注意が向くことであり、空間的な距離によらず、注意した物体の処理が促進されることを指す (Shomstein, 2012)。物体に基づく注意を獲得するためには物体を知覚できることが前提条

件であるが、単純な図形の知覚は新生児から可能である。生まれて数日の新生児であっても顔、トップヘビーの配置(目が上、口が下)を検出できることが示されている(Buiatti et al., 2019; Valenza et al., 1996)。近年では、視覚経験のない胎児であってもトップヘビーの図形に対する選好がみられている(Reid et al., 2017; Reissland et al., 2020)。図形による視覚統計学習ができることや(Bulf, Johnson, & Valenza, 2011)、空間における右と左の位置表象も獲得していることから(Di Giorgio et al., 2019; Gava, Valenza, & Turati, 2009)、基礎的な視覚処理が生得的に備わっている可能性が挙げられる。生後 3 ヶ月頃にはグルーピングによって類似した個別の図形を一つの物体として知覚できる(Hayden, Bhatt, & Quinn, 2006; Hayden, Bhatt, & Quinn, 2008; Quinn & Bhatt, 2005; Quinn, Burke, & Rush, 1993)。より複雑な物体認知にあたる物体の質感知覚の発達は生後 8 ヶ月頃と遅く、この時期に恒常性が確立することが示唆されている(Yang, Kanazawa, & Yamaguchi, 2013; Yang et al., 2015)。成人と同程度の物体認知の獲得には高次領域から低次視覚野へのフィードバックが必要であることが共通オンセットマスキングを用いた研究から明らかにされており(Nakashima, Kanazawa, & Yamaguchi, 2021)、このフィードバックが現れる生後 8 ヶ月頃に複雑な物体の認知が可能になると予測される。以上の研究から初歩的な視覚処理である単純な図形の知覚などは生まれて間もない乳児でも可能であるが、より複雑な物体の処理には発達を必要とし、およそ生後 8 ヶ月頃に物体認知の基盤が築かれる。

物体認知の発達を調べた研究から、発達初期の乳児でも、刺激の複雑さに依存するが、外界の物体を知覚できることが明らかとなった。それでは物体に基づく注意の発達はいつ頃なのだろうか。物体に基づく注意を測る課題として第 1 章で紹介した Egly ら(1994)の長方形の課題を乳児に行ったところ、成人と同様の効果が生後 8 ヶ月頃にみられた(Bulf & Valenza, 2013; Valenza, Franchin, & Bulf, 2014)。Johnson & Gilmore (2003)は Egly ら(1994)の課題を改良して 8 ヶ月児を対象に実験を行い、物体に基づく注意の効果を確認した。これらの先行研究から物体に基づく注意は生後 8 ヶ月頃には獲得されていることが示唆され

るが、発達過程は未検討であり、生後 8 ヶ月時点で獲得されるのかあるいはそれ以前から発達しているのかは不明である。Werchan ら(2019)は 3-5 ヶ月児を対象にプライミング課題を用いてプライムされた物体への選好が生じるかを調べることで物体に基づく注意の効果を検討したが、5 ヶ月以下の乳児ではプライミング効果がみられなかった。しかし、この研究は物体そのものの記憶的な側面を測っており、従来の物体に基づく注意の効果を検討できていない。加えて注意の有無を操作していないため、厳密には物体に基づく注意を調べていない。以上の点から、物体に基づく注意の発達研究は成人と比較すると極めて少なく、その発達過程は未だ不明であることが挙げられる。

物体に基づく注意の発達過程として、生後 8 ヶ月頃に獲得されるのか、あるいはそれ以前から発達が始まっているのかは、広い月齢を調べることで明らかにすることができる。もし物体に基づく注意の発達が物体処理能力に依存する場合、複雑な物体処理が可能となる生後 8 ヶ月頃に物体に基づく注意が獲得されると予測される。一方で、物体処理能力とは独立して注意のみ物体に向けることができるのであれば、空間的注意が発達初期からみられるように 8 ヶ月以前の乳児においても物体に基づく注意の効果が生じると考えられる。つまり、(1)物体に基づく注意は物体処理能力の発達に先行するのか、あるいは(2)物体処理能力がある程度発達した後に注意を物体に向けることができるようになるのか、いずれか一方の発達過程を辿ると予想できる。

2-5. 特徴に基づく注意(feature-based attention)の発達

第 1 章で特徴に基づく注意の機能とそのメカニズムを概観したときに視覚探索課題を紹介した。この課題では参加者にあらかじめ探索する標的について教示し、散在する妨害刺激の中から標的を探し出すことが求められる。標的に関する情報に基づいて注意を向ける必要があるため、手がかりに注意が自動的に向く空間的注意や物体に基づく注意における注意効果とは異なる。トップダウンに注意が特徴に向くことで視覚探索における探索効率の

上昇や、色/運動弁別の向上、ニューロンのチューニングが生じるといわれている。しかし、特徴探索では顕著な特徴を持つ刺激に注意が捕捉されることで探索効率が促進される。これは、前述したトップダウンの注意ではなくボトムアップに注意が特徴に向くことを示しており、標的と妨害刺激が有する特徴の関係によってトップダウンにもボトムアップにもなりうることが示唆される。言語教示が効かない 1 歳未満の乳児では教示によって特定の特徴に注意を向けさせることが不可能であるため、これまでの発達研究はボトムアップのアプローチから視覚探索課題における特徴に基づく注意を検討してきた。

1990 年代の乳児を対象とした発達研究では選好注視法を用いて標的の視覚探索を検討した(Colombo et al., 1995; Nagata & Dannemiller, 1996)。選好注視法とは、乳児に 2 つの刺激を左右対提示し、どちらを選好するのか、各刺激に対する注視時間を計測することで調べる。どちらか一方に注視時間が傾く場合、その刺激を選好したといい、2 つの刺激を弁別できていることを示唆する。Colombo ら(1995)は標的(大文字の Q を模した図形)を含む刺激セットと標的を含まない妨害刺激(大文字の O を模した図形)のみの刺激セットを対提示し、3-4 ヶ月児が標的を含む刺激セットを選好するかを調べた(図 2-3)。標的を検出できるのであれば、一つだけ異なる標的を含む刺激セットの方を選好すると予測される。結果は予測通り、3-4 ヶ月児が標的を検出できることが示された。さらに同月齢児が止まっている図形の中から動いている図形を検出できることも報告されている(Nagata & Dannemiller, 1996)。Quinn & Bhatt (1998)は馴化法を用いて同じく 3-4 ヶ月児が同一の妨害刺激の中から異なる標的を検出できることを示した。彼らの研究では、大文字の L と + 記号を刺激として用い、+ の妨害刺激の中から標的の L を、L の妨害刺激の中から標的の + を検出できることを明らかにした。難しい条件として T と L をそれぞれ標的と妨害刺激に使用した場合には標的の検出ができなかったことから、標的と妨害刺激の類似性が乳児の視覚探索に影響することが示唆される。同様の手続きで他の図形を標的や妨害刺激に使用した研究でも同じく標的の検出ができる結果が得られている(Bertin & Bhatt, 2001; Coldren & Haaf, 2000)。馴

化法はあくまで学習した刺激と新奇刺激との弁別を明らかにしているだけであるため、厳密には成人同様の視覚探索が乳児でも行われているとは言えないが、同一の刺激の中に存在する特異的な標的を検出できていることは確実である。

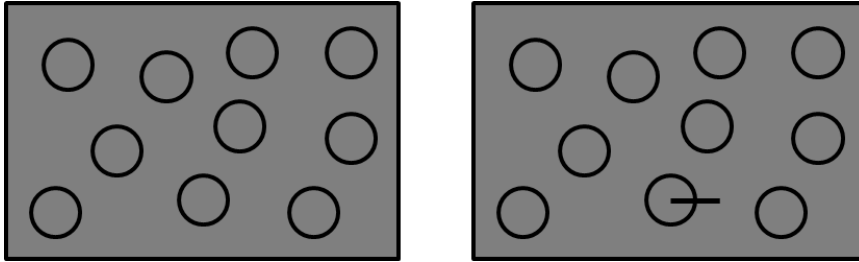


図 2-3. 大文字の O を模した刺激セットとその中に大文字の Q を模した図形を含む刺激セット。乳児は一つだけ異なる Q を含む刺激セットを選好する。

近年は乳児の眼球運動を測定することでより成人との比較を可能にしている (Adler & Gallego, 2014; Adler & Orprecio, 2006; Di Giorgio et al., 2012; Franklin et al., 2010; Goldknopf et al., 2019; Kelly et al., 2019; Pyykkö et al., 2019; Simpson et al., 2019)。3-4 ヶ月児が特徴探索において妨害刺激(L)の中から標的(+)を検出できることに加えて、セットサイズの大きさが標的の検出にかかる時間に影響しないことも明らかとなった (Adler & Gallego, 2014; Adler & Orprecio, 2006; Goldknopf et al., 2019)。これは成人の結果と同様であり、生後 3 ヶ月の乳児が成人と類似した視覚探索を行っている可能性を示唆している。また、より複雑な刺激である顔を標的として提示したとき (図 2-4) にも乳児の注意を捕捉することが示されている (Di Giorgio et al., 2012; Simpson et al., 2019)。日常の風景の中から顔を検出することも容易であり、この能力は発達に伴って向上する (Kelly et al., 2019)。顔は複数の特徴によって成り立っているため、他の特徴と同列に扱うことに議論はあるが (Wolfe & Horowitz, 2017)、乳児にとって注意を捕捉する顕著な刺激であることには間違いがない。視覚探索以外にも、特定の色や模様といった物体を構成する特徴からのプライミング効果が生じることが報告されている (Mitsven et al., 2018; Wilcox & Chapa, 2004)。

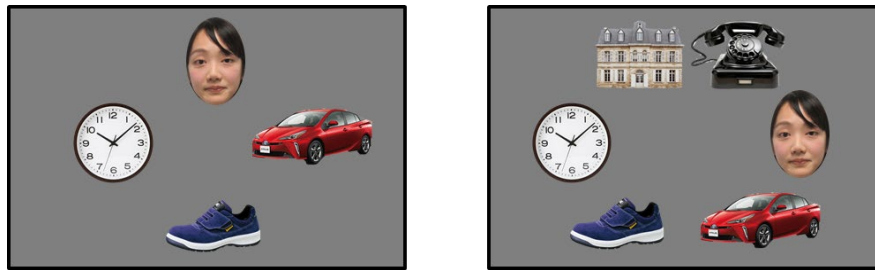


図 2-4. 物体を使用した視覚探索課題(Di Giorgio et al., 2012)。左がセットサイズ 4, 右がセットサイズ 6。乳児は物体の中から顔を見つけ出すことができる。

ここまで挙げてきた乳児対象の視覚探索課題は全て刺激依存の視覚探索である。標的を妨害刺激と全く異なるものにするすることで標的の顕著性を上げ、ボトムアップに注意が向くようにしている(例:青色の丸から赤色の丸を探す)。これにより特定の特徴に注意が自動的に捕捉されることが示されるが、その特徴に本当に注意が向いているのかは明らかでなく、単に一つだけ違うものを注視していた可能性がある。この可能性を排除するためには、自動的に注意が捕捉されているのではなく、トップダウンに注意を向けている証拠が必要になる。トップダウンに注意を標的へ向けさせる方法として学習セッションを乳児に行うことが挙げられる。学習段階で特定の特徴に注意を向けるように学習させ、その後のテスト段階で学習した特徴に注意が向くかを検討する。教示によって注意を切り替える成人対象の課題と必ずしも同一ではないが、学習によってある程度トップダウンに注意を向けている証拠になる。Gerhardstein & Rovee-Collier (2002)は1歳半の乳児を対象に視覚探索課題を行ったが、このとき指で標的をタッチするように学習させた。特定の特徴を持つキャラクタをタッチさせる学習を実施することで標的となる特徴を学習させ、その後のテストで学習させた特徴を検出できるか調べた。実験の結果、学習した特徴を検出できることが示され、学習によって特定の特徴に注意を向けさせることが可能であることが示唆された。この課題における従属変数が身体運動における反応時間のため、身体を十分に動かすことのできない1歳未満の乳児では実施不可能である。しかし、これまでの研究から注視行動を指標と

した場合においても、視覚刺激を繰り返し提示するだけでトップダウンの学習が生じることが明らかになっている(Emberson, Richards, & Aslin, 2015; Kouider et al., 2015; Mandell & Raijmakers, 2012; Werchan & Amso, 2020)。この手法に倣い、特定の特徴に注意が向くように学習を行うことで、特徴に基づく注意の新しい側面を明らかにすることができると予測される。

2-6. 注意の時間的側面(temporal attention)の発達

ここまで空間、物体、特徴における視覚的注意の発達過程を概観してきた。成人の知見と比較すると少ないが、どの注意機能も1歳未満の乳児で発達している可能性が示唆されている。しかし、視覚的注意の時間的側面に関する発達の知見は前述した3つの注意機能よりもさらに少なく、未知の領域として残っている(Colombo, 2001)。

時間的な注意とは別に、低次の視覚処理の時間解像度は乳児においても調べられており、素早い変化を1歳未満の乳児でも知覚できることが明らかにされている。ここでの時間解像度とは黒と白の明暗の変化であり、この点滅の時間周波数(temporal frequency)を操作することで点滅を知覚できる時間的な閾値を計測できる。さらに、この時間周波数に加えて白黒のコントラストも変化させることで時間コントラスト感度関数を求めることができる。単純な点滅の変化であれば成人は60Hzの点滅も知覚できるが、個々の色がなんであったかを知覚するには6-8Hzの時間周波数が必要となる(Battelli et al., 2001; Battelli, Pascual-Leone, & Cavanagh, 2007; van de Grind, Grusser, & Lunkenheimer, 1973)。乳児の明暗の変化に対する時間解像度は成人に匹敵するレベルであり、2ヶ月児が55Hzの点滅を知覚できることが報告されている(Dobkins, Anderson, & Lia, 1999; Dobkins, Lia, & Teller, 1997; Regal, 1981)。コントラストの変化を加えた場合には5-10Hzの点滅を知覚できる(Dobkins et al., 1999; Dobkins & Teller, 1996; Hartmann & Banks, 1992; Rasengane, Allen, & Manny, 1997; Swanson & Birch, 1990; Teller et al., 1992)。近年では、個々の点滅を知覚するのに必

要な時間周波数は1歳児であっても1Hz以下であることが示されており(Farzin, Rivera, & Whitney, 2011a, 2011b), これまで得られた知見よりも乳児期の時間解像度が悪い可能性が示唆されている。

上述した研究ではシンプルな明暗の変化に対する時間解像度を調べており, 実験条件の違いもあるが, 乳児でも1秒以内で生じる変化を知覚できることを示している。この時間解像度がより複雑な刺激に対しても適用されるのかは視覚マスキングを用いた研究から検討されている。視覚マスキングとは標的となる刺激の直前あるいは直後に標的と異なる刺激を提示することで, その標的の知覚を阻害することを指す(Enns & Di Lollo, 2000; Kouider & Dehaene, 2007)。1980年代頃の視覚マスキングを用いた乳児研究から, 5ヶ月児は100msで提示された顔を知覚できず, 顔の同定には提示時間を1秒にする必要があることが示されている(Lasky & Spiro, 1980)。しかし, 2010年以降の研究から1秒未満でも顔を検出できることが示されている。Gelskov & Kouider (2010)は5ヶ月児が150msで提示される顔を検出でき, 15ヶ月児が50msで提示される顔を検出できることを明らかにした(図2-5)。この結果は発達に伴って短時間提示される顔への検出感度が上昇することを示唆している。脳波を用いて顔に対する脳活動が生じるかを調べた研究からは, 100ms前後の提示時間であっても顔に対する脳波成分が5ヶ月児前後の乳児で確認されており(Barry-Anwar et al., 2018; de Heering & Rossion, 2015; Kouider et al., 2013), 注視行動に先行して脳活動自体は短時間提示される刺激に対して生じることが示唆される。以上の視覚マスキングを用いた研究から, 生後1歳未満の乳児が100ms前後で提示される顔刺激を検出できることが行動・生理レベルで明らかとなり, 素早く切り替わる情報を検出する視覚プロセスが確立していることが示された。しかし, 検出した情報が何かを特定することや, その同定するまでにかかる時間などは不明である。少なくとも, 視覚における時間解像度が生後1年の間で成人に劣らないレベルに発達していることを示す根拠であると考えられるが, 注意の時間的側面についてはより詳細な検討が必要である。

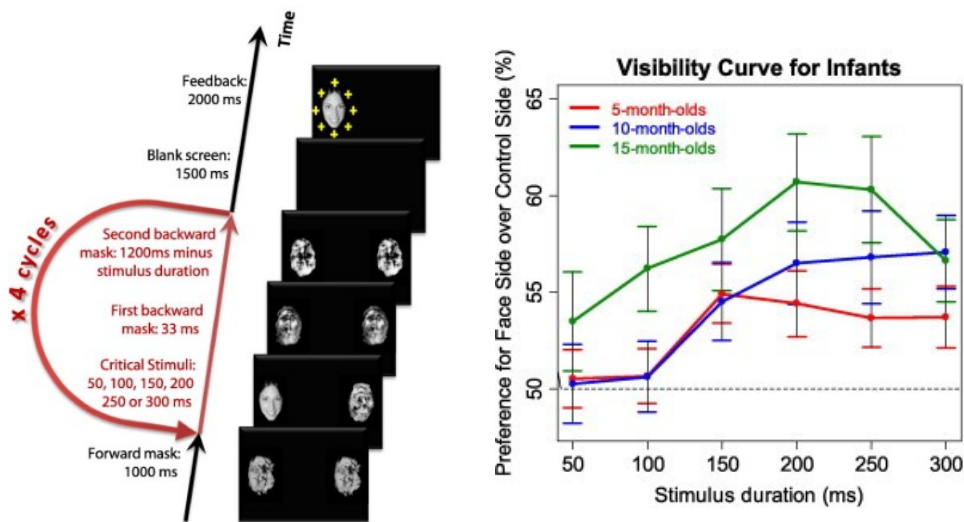


図 2-5. Gelskov & Kouider (2010)における実験課題と結果。実験では標的である顔が左右どちらに提示されていたかを選好注視法を用いて検討した。顔の前後にマスク画像を提示し、顔が4回繰り返し提示されているときの乳児の注視行動を計測した。実験の結果、5と10ヶ月児は150ms以上であれば顔を検出できることが示された。15ヶ月児は100ms以下であっても顔を検出できた。

2-7. 注意に関連する作業記憶の発達

本章におけるここまでの節で空間、物体、特徴、時間に関する視覚的注意の発達過程を述べた。各注意の発達時期についてこれまで得られてきた知見を元に概観し、まだ明かされていない問題点について論じてきた。本節では視覚的注意に関連する高次認知の一つである作業記憶の発達について概観し、これまで挙げてきた4つの次元に共通する点を明確化することで本研究の問題意識の動機付けを行う。

作業記憶(working memory)とは推論や意思決定といった複雑な心的課題に欠かせない情報を一時的に保持したり、処理したりする認知システムのことを指す(Baddeley, 2000; Baddeley, 2003; Baddeley, 2010)。計算をする際に頭の中で暗算を行うことや、外出時に家の鍵を閉め忘れないように覚えておくことなどは作業記憶の働きによるものである。注意と作業記憶の機能的なメカニズムが大きく一致していることから(Awh & Jonides, 2001),

視覚的注意と作業記憶が同じような発達を辿る可能性が考えられる(Reynolds & Romano, 2016)。

前述の通り作業記憶は様々な認知処理に関わっているが、代表的な作業記憶の特徴に保持できる情報量に制限があることが挙げられる。作業記憶に貯蓄できる情報は有限であり、時間の経過とともにその情報は減衰するため意識から消失してしまう(Kouider et al., 2010)。この有限な情報量を効率的に扱うために注意が存在するが、成人の作業記憶の容量は少なくとも視覚刺激4つであることが示されている(Luck & Vogel, 1997)。この刺激は2つの特徴(色とサイズ)から構成されていることから、作業記憶内における刺激は個々の特徴に分解されているのではなく、複数の特徴が統合された状態であると考えられる。乳児で類似した課題を用いて作業記憶の容量を調べた研究から、発達に伴って保持できる容量が増加することが報告されている(Kwon, Luck, & Oakes, 2014; Oakes, Ross-Sheehy, & Luck, 2006; Oakes et al., 2013; Oakes et al., 2017; Oakes et al., 2011; Perone, Simmering, & Spencer, 2011; Ross-Sheehy, Oakes, & Luck, 2003)。Oakesら(2011)は変化検出課題を用いて乳児の作業記憶の容量を調べた。実験では、変化有と変化無の刺激系列を乳児に対提示し、変化が生じる系列を乳児が選好するかを計測している。変化有系列では提示される色付きの丸の位置が変化し、変化無系列では提示される丸の位置が1試行通して変わらない(図2-6)。提示される色付きの丸の個数は1と2, 3と3つあり、記憶する個数が増えても変化に気づく場合、すべての刺激を作業記憶に保持できていることを示唆する証拠となる。実験の結果、8と12ヶ月児は刺激が3つになっても変化に気づいたが、6ヶ月児は1つのときしか変化に気づかなかった。これは8ヶ月児の作業記憶容量は3であり、6ヶ月児の作業記憶容量が1であることを示唆している。この作業記憶の容量の発達の变化は3次元物体を使用した研究からも確認されており(Ross-Sheehy, Oakes, & Luck, 2003)、生後6ヶ月から8ヶ月の間で容量が増加すると考えられる。また、同じグループの研究から乳児の作業記憶内に保持される視覚刺激も特徴ごとに分解されたものではなく、統合された物体として記憶されてい

ることから、成人と同じような作業記憶の働きをしていることが予測される(Oakes et al., 2017; Oakes, Ross-Sheehy, & Luck, 2006)。モニターに提示される刺激を記憶できるか調べた変化検出課題とは異なり、実物体を用いて作業記憶に情報を保持できるか調べた研究からも類似した結果が得られている(Káldy & Leslie, 2003; Káldy & Leslie, 2005; Káldy & Sigala, 2004)。

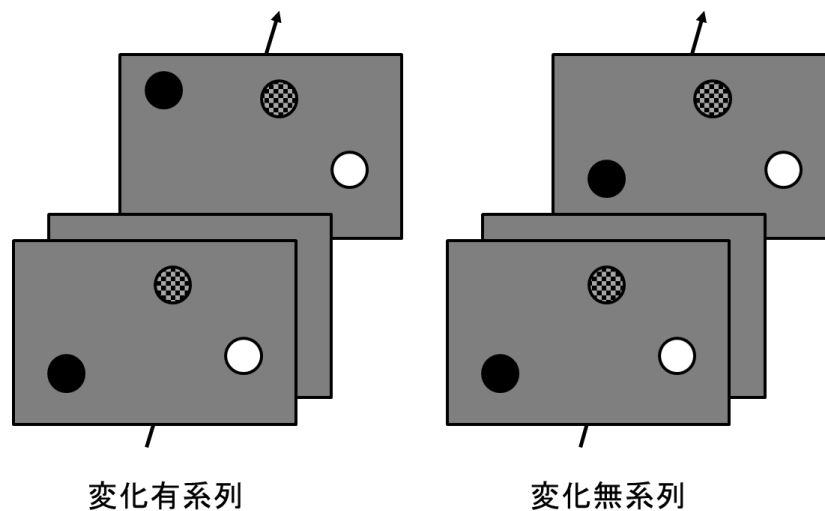


図 2-6. Oakes et al. (2011)における作業記憶容量を調べる変化検出課題(セットサイズ 3)。実験では一つの刺激の位置が変化する変化有系列と、刺激の位置が変わらない変化無系列を対提示し、刺激の位置の変化に気づくかテストする。8 と 12 ヶ月児は 3 つの刺激を作業記憶に保持できるが、6 ヶ月児は 1 つしか保持できなかった。

作業記憶の容量限界を調べた複数の発達研究から、情報の容量は発達とともに増加し、生後 8 ヶ月頃がその増加時期にあたることが示された。この 8 ヶ月頃は視覚処理の発達において一つのピークであり、様々な視覚機能の質的な発達時期にあたる。複雑な物体認知である主観的輪郭、3 次元物体の知覚や質感知覚が生後 8 ヶ月頃に発達し(Csibra et al., 2000; Yamashita et al., 2014; Yang, Kanazawa, Yamaguchi, 2013; Yang et al., 2015)、加えてこの物体処理がフィードフォワードとフィードバック処理によるリカーレントな処理によって遂

行されていることが報告されている(Nakashima, Kanazawa, & Yamaguchi, 2021)。これは成人において意識的な知覚に重要であるとされている視覚処理が 8 ヶ月頃の乳児で既に発達していることを意味しており、視知覚の基盤がこの月齢あたりで完了することが示唆される。さらに前述した通り、これらの視覚処理の発達と並行する形で作業記憶を含む高次認知機能も発達する(Delgado Reyes et al., 2020; Kaldy, Guillory, & Blaser, 2016; Kibbe & Feigenson, 2016; Werchan et al., 2016; Wilcox & Biondi, 2016)。この背景には高次認知機能の担当領域である前頭領域の発達があり、前頭前野(prefrontal cortex)が生後 8 ヶ月付近で機能し始めることが報告されている(Diamond & Goldman-Rakic, 1989; Ellis et al., 2021; Werchan & Amso, 2020; Werchan et al., 2016)。以上の研究から、生後 8 ヶ月頃に後頭領域における視覚処理と前頭領域における認知機能の神経基盤が発達することが考えられる。この時期における発達はあくまで質的なものであり、量的には成人まで発達が続くが(Delgado Reyes et al., 2020; Geier et al., 2009; Kwon, Reiss, & Menon, 2002)、複雑な認知課題に必要な基礎的な機能がこの時期に既に確立しているのは間違いない。

ここまで作業記憶の発達過程について概観してきたが、本章で論じた視覚的注意の発達と共通する点が存在する。まず一つ目として、注意と作業記憶がともに高次認知機能の一つであり、共通のメカニズムを有している点である(Awh & Jonides, 2001; Reynolds & Romano, 2016)。続く二つ目として、注意と作業記憶の発達時期がおおよそ生後 8 ヶ月頃であることが挙げられる。以上の 2 点から、高次認知機能が発達する生後 8 ヶ月の乳児では視覚的注意の基礎的な基盤も確立していると予測される。

2-8. 本研究の目的

本章で視覚的注意の空間、物体、特徴、時間に関する発達過程について議論してきた。また、それらの発達が高次認知機能である作業記憶の発達と密接に関係している可能性を提示した。これまでの研究から得られた各注意機能に関する発達は下記の通りである(図 2-

7)。空間的注意の発達はおよそ 6 ヶ月頃であり、物体に基づく注意の発達は生後 8 ヶ月頃である。特徴に基づく注意の発達は、ボトムアップに刺激を探索する課題において生後 3 ヶ月頃から特徴に注意を向けることができる可能性が示唆されている。時間的な注意の発達に関しては、成人で調べられているような時間的注意の発達の知見はない一方で、短時間提示される刺激の検出自体は、刺激の提示時間に左右されるが、生後 5 ヶ月頃からみられることが報告されている。以上の知見から、発達初期から視覚的注意が機能し始めていることは明らかであるが、全ての注意機能に関連する統一的な見解は得られておらず、それらの背景メカニズムは未だ不明である。例えば、各節でも取り上げたが、物体に基づく注意の発達に関する研究は少なく対象が 8 ヶ月児のみであり、発達過程を検討できていない。特徴に基づく注意では、全てボトムアップに刺激に注意が向く課題となっており、日常場面における「～に注意を向けて対象を探し出す」という特徴に注意を向けるプロセスをよりダイレクトに示すことが必要である。本研究ではこれらの問題について視覚的注意機能ごとに研究を行うことで各機能における最新の知見を提供するとともに、一見独立している注意機能について高次認知機能の働きに焦点をあてることでその背景メカニズムに関する統一的な議論を行うことを目指す。

本研究の目的は、ここで述べたような問題意識に基づいて、高次認知機能の発達に伴う視覚的注意(空間、物体、特徴、時間)の初期発達について、心理物理学的手法を用いて実験的に検討することである。次章以降、具体的な実験的検討の成果について報告を行い、最終章においてそれらの成果や先行研究によって得られた知見を体系的にまとめ、4種類の視覚的注意の発達とそれに伴う高次認知機能の発達について総合的な討議を行う。

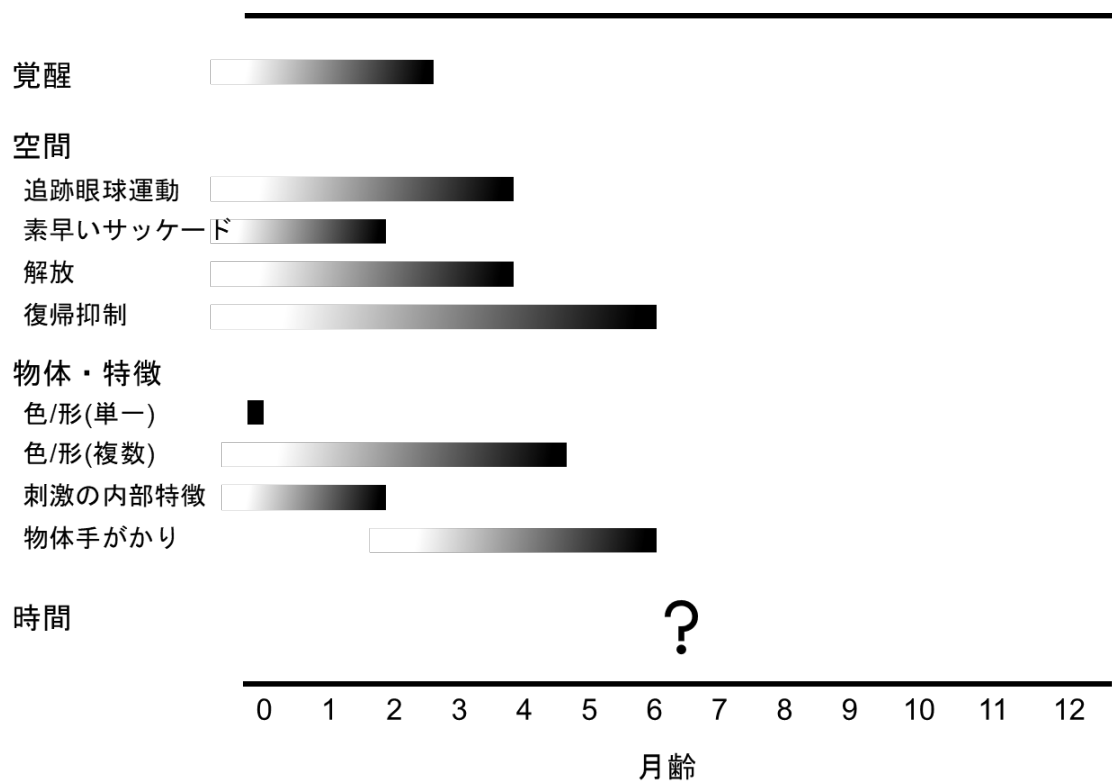


図 2-7. 4つの視覚的注意に関する発達過程(Colombo, 2001 より改変)。時間的な側面については触れられていない。他の知見に関しても古く、特に物体や特徴に関する研究は注意ではなくそれらの知覚そのものの発達に関する研究が多い。

第3章 - 空間的注意と物体に基づく注意の発達実験

3-1 本章の目的

標的を検出する課題において、標的の出現位置に先行して手がかりとなる刺激が提示されるとき、標的の検出が速くかつ正確になる。一方で、手がかりが標的に先行するが空間的な位置が異なる場合には標的の検出が遅くなる。このように空間的な位置にバイアスをかけることで視野内の一部の視覚処理を優先させることを空間的注意(spatial attention)という。空間に基づいて注意が定位するのとは別に、物体に基づいて注意が定位することを物体に基づく注意(object-based attention)といい、特定の物体に注意が向けられたとき、物体外での処理よりも物体内での処理が促進される。これら 2 種類の注意の発達過程を検討することが本章の目的である。

3-2 空間的注意と物体に基づく注意の発達

3-2-1 背景・目的

第2章で空間的注意の発達過程を概観したとおり、空間的注意は新生児からも確認されており、成人に匹敵するレベルの速度と正確さで注意をシフトできるようになるのは生後6ヶ月頃だと報告されている(Matsuzawa & Shimojo, 1997)。標的の直前に手がかり刺激を提示することで標的の検出を促進する空間的手がかり効果も同月齢で確認されている(e.g. Ellis et al., 2021)。一方、物体に基づく注意の発達は生後8ヶ月頃であることが示されているが(Bulf & Valenza, 2013)、乳児を対象に物体に基づく注意を調べた研究は8ヶ月児のみを対象としているため、8ヶ月以前の乳児でも同様の物体に基づく注意の効果が生じるかはわからず、その発達過程は不明である。本研究では、物体に基づく注意の発達過程の検討に加えて、空間的注意の手がかり効果の発達時期の追試も行った。第2章で登場した Egly ら(1994)の課題を用い、生後6-8ヶ月児を対象に空間的注意と物体に基づく注意の発達過程を調べる。Egly ら(1994)の課題は物体に基づく注意に加えて空間的注意も同時に調べるこ

とができるため、本研究の目的に最適である。実験 1 では、Egley ら(1994)の課題を用いて、物体内における標的の検出と物体外での標的の検出の精度に差がみられるかを調べた(図 3-1)。実験 2 では、物体を提示しなかった場合の標的検出の精度を検討した(図 3-4)。実験の結果、空間的注意は 6 ヶ月児からみられたが、物体に基づく注意は 8 ヶ月児のみでみられた。これらの結果は、空間的注意は生後 6 ヶ月頃に発達するが、物体に基づく注意は生後 8 ヶ月頃に発達することが示唆している。

3-2-2 実験 1 空間・物体に基づく注意の発達

方法

参加者：6, 7, 8 ヶ月児各 12 名が実験に参加した(6 ヶ月：男児 5 名, 女児 7 名, 平均年齢 183.8 日齢, $SD=8.71$; 7 ヶ月：男児 3 名, 女児 9 名, 平均年齢 209.7 日齢, $SD=9.14$; 8 ヶ月：男児 3 名, 女児 9 名, 平均年齢 243.17 日齢, $SD=9.20$)。実験中に泣いてしまい、途中で実験を中断した乳児 7 名のデータは分析から除外した。全ての乳児が満期出生児であり、実験中健康であった。新聞の折り込みチラシや、地域の公民館などに実験募集のチラシを配布し、乳児実験参加者のリクルートを行った。本研究は、中央大学の倫理委員会からの承認を受けてから行い、実験参加乳児の保護者に対する事前の実験内容説明後、参加同意書を得てから実験を行った。

装置：中央大学第 1 体育館内に設けられた実験室で実験を行った。刺激提示用の PC と CRT モニター(85Hz, 1024×768 pixels)を用意し、モニターから 40cm 離れた位置で乳児は刺激を観察した。乳児は保護者の膝の上に抱かれた状態で座った。モニター下に設置した CCD カメラで実験中の乳児の注視行動を記録した。

刺激・手続き：Egley ら(1994)の課題を参考に実験を行った。物体として白色の長方形(横 7.2° × 縦 32.9°)を 2 つ注視点から 8.6° の位置に対提示した。長方形の向きは垂直であった。手がかりとして、長方形の一端に赤い枠(横 7.2° × 縦 7.2°)を提示した。標的として、赤色の正方形(横 7.2° × 縦 7.2°)を長方形の一端に提示した(図 3)。

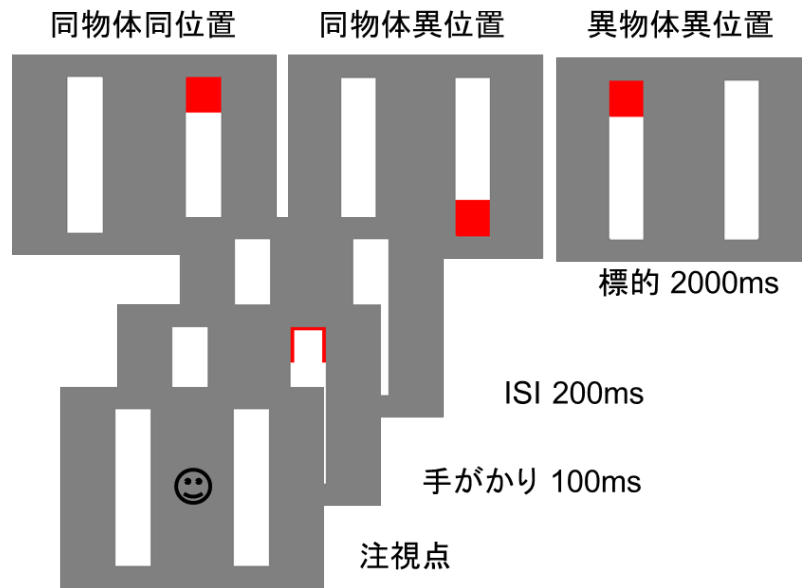


図 3-1. 実験手続き。標的が手がかりと空間的に同位置に提示される同物体同位置条件，同物体内であるが異なる位置に提示される同物体異位置条件，異なる物体に提示される異物体異位置条件の全部で 3 条件が行われた。

注意を操作する条件として 3 条件用意した。同物体同位置条件では、手がかりと標的の提示位置が空間的に一致しており、同物体異位置条件では、手がかりが提示された物体側のもう一方の端に標的が提示された。異物体異位置条件では、手がかりの提示位置とは異なる物体側に標的が提示された。同物体異位置条件と異物体異位置条件では、手がかりと標的の空間的距離が等しく、手がかりの提示位置に対して対角線上に標的が提示されることはなかった。注意分割課題において視野間よりも同じ視野内に手がかりと標的が提示される時の方が注意の効果が強くなることが示されており (Awh & Pashler, 2000)，本実験における同物体の 2 条件ではより強い注意の効果が予測された。

実験では、乳児が注視点を注視したのを確認してから手がかりを提示した。手がかりの提示時間は 100ms で、その後 ISI200ms を挟んで標的を 2000ms 提示した。注視点から標的の提示までを 1 試行とし、計 36 試行行った。1 ブロック 12 試行(4 標的位置×3 条件)とし、

計3ブロックを全参加者に行った。試行の順番はランダムであった。

実験の間、実験者は CCD カメラから乳児の様子を確認することができ、乳児の注視行動をもとに試行を進めた。乳児を抱く保護者には、実験中刺激の提示されるモニターの方を見たり、乳児に話しかけたりしないように教示し、実験はいつでも中断できることを伝えた。

データ分析：本実験では強制選択選好注視法(Forced-choice preferential method)によって乳児の標的検出能力を計測した。各試行乳児が長方形の4隅でどこを注視したかを、手がかりと標的の提示位置を知らないナイーブな2名の評価者が強制的に判断した。各試行において、実際に標的が提示された位置を乳児が注視していた場合、乳児が標的を正確に検出できたとみなした。反対に、標的とは異なる位置を乳児が注視した場合は不正解とした。また、乳児がモニターから視線を外した試行は無効とし、分析から除外した(6ヶ月児：同物体同位置条件 0.33 試行($SE=0.36$)、同物体異位置条件 0.25 試行($SE=0.25$)、異物体異位置条件 0.83 試行($SE=0.26$)；7ヶ月児：同物体同位置条件 1.25 試行($SE=0.26$)、同物体異位置条件 0.83 試行($SE=0.26$)、異物体異位置条件 1.17 試行($SE=0.23$)；8ヶ月児：同物体同位置条件 0.67 試行($SE=0.26$)、同物体異位置条件 0.58 試行($SE=0.08$)、異物体異位置条件 0.5 試行($SE=0.23$))。

各月齢、条件における有効試行数の割合に有意な差はみられず、全条件で均等な有効試行数であった($F(4,66) = .61, p = .655$, 6ヶ月児：同物体同位置条件 11.67 試行($SE=0.26$)、同物体異位置条件 11.75 試行($SE=0.25$)、異物体異位置条件 11.50 試行($SE=0.23$)；7ヶ月児：同物体同位置条件 10.75 試行($SE=0.25$)、同物体異位置条件 11.17 試行($SE=0.21$)、異物体異位置条件 10.83 試行($SE=0.27$)；8ヶ月児：同物体同位置条件 11.33 試行($SE=0.28$)、同物体異位置条件 11.42 試行($SE=0.26$)、異物体異位置条件 11.50 試行($SE=0.23$))。

結果

各月齢における条件ごとの正答率を図3-2に示す。また、各条件でどの位置を乳児が注視したかを表3-1にまとめた。3月齢(6, 7, 8ヶ月)×3条件(同物体同位置条件, 同物体

異位置条件, 異物体異位置条件)の 2 要因混合分散分析の結果, 条件の主効果($F(2,66) = 159.37, p < .01, \eta p^2 = .82$)と交互作用($F(4,66) = 3.81, p < .01, \eta p^2 = .19$)が有意であった。全月齢において, 同物体同位置条件の正答率が他の条件よりも高いことが示され(all $ps < .01$), 空間的手がかり効果がみられた。さらに, 8ヶ月児においてのみ, 同物体異位置条件の正答率が異物体異位置条件よりも高いことが示された(6ヶ月児: $p = .359$; 7ヶ月児: $p = .953$; 8ヶ月児: $p < .01$)。この結果は, 標的の提示位置が空間的に同位置でなくても同物体上にあるとき, 他の物体上よりも正確に標的を検出できることを示しており, 物体に基づく注意の効果が8ヶ月頃にみられることを示唆している。また, 7ヶ月児における異物体異位置条件の正答率が他の月齢よりも高いことが示された(all $ps < .01$)。

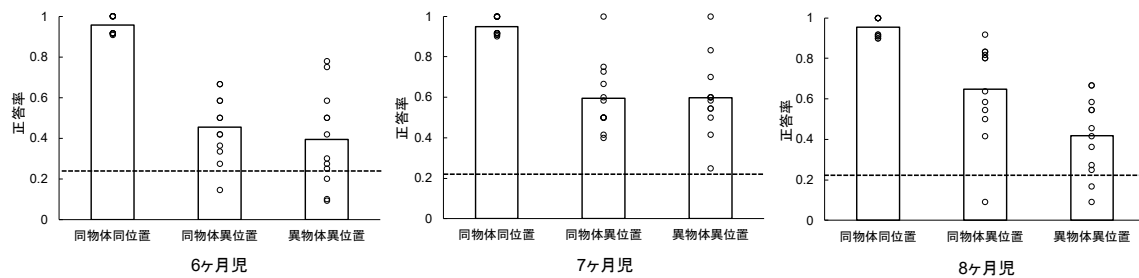


図3-2. 各月齢における条件ごとの正答率。水平の点線はチャンスレベル, 条件ごとの点は個人データを反映している。

表 3-1. 各月齢, 条件において乳児が注視した位置の割合。各条件の有効試行数の幅をそれぞれ記載。

	月齢	条件	標的の位置	手がかり位置	他の位置
実験 1	6 ヶ月児	同物体同位置 (range = 9-12 trials)	0.96 (SE = 0.01)	-----	0.04 (SE = 0.01)
		同物体異位置 (range = 9-12 trials)	0.45 (SE = 0.05)	0.52 (SE = 0.05)	0.03 (SE = 0.02)
		異物体異位置 (range = 10-12 trials)	0.40 (SE = 0.07)	0.55 (SE = 0.07)	0.05 (SE = 0.02)
	7 ヶ月児	同物体同位置 (range = 9-12 trials)	0.95 (SE = 0.01)	-----	0.05 (SE = 0.01)
		同物体異位置 (range = 10-12 trials)	0.60 (SE = 0.05)	0.37 (SE = 0.05)	0.03 (SE = 0.02)
		異物体異位置 (range = 9-12 trials)	0.60 (SE = 0.05)	0.34 (SE = 0.05)	0.06 (SE = 0.03)
	8 ヶ月児	同物体同位置 (range = 9-12 trials)	0.95 (SE = 0.01)	-----	0.05 (SE = 0.01)
		同物体異位置 (range = 10-12 trials)	0.65 (SE = 0.07)	0.32 (SE = 0.07)	0.03 (SE = 0.02)
		異物体異位置 (range = 10-12 trials)	0.42 (SE = 0.06)	0.49 (SE = 0.06)	0.09 (SE = 0.03)
実験 2	8 ヶ月児	同物体同位置 (range = 3-4 trials)	0.96 (SE = 0.03)	-----	0.04 (SE = 0.03)
		同物体異位置 (range = 3-4 trials)	0.65 (SE = 0.05)	0.31 (SE = 0.06)	0.04 (SE = 0.03)
		異物体異位置 (range = 2-4 trials)	0.63 (SE = 0.07)	0.24 (SE = 0.08)	0.13 (SE = 0.04)

各条件の正答率における発達的变化を調べるために、条件ごとに日齢との相関を算出した(図 3-3)。その結果、同物体異位置条件においてのみ正答率と日齢の間に有意な正の相関がみられた($r = .44, p < .01$)。一方で、他の条件では有意な相関がみられなかった(同物体同位置条件： $r = .04, p = .827$ ；異物体異位置条件： $r = .09, p = .615$)。

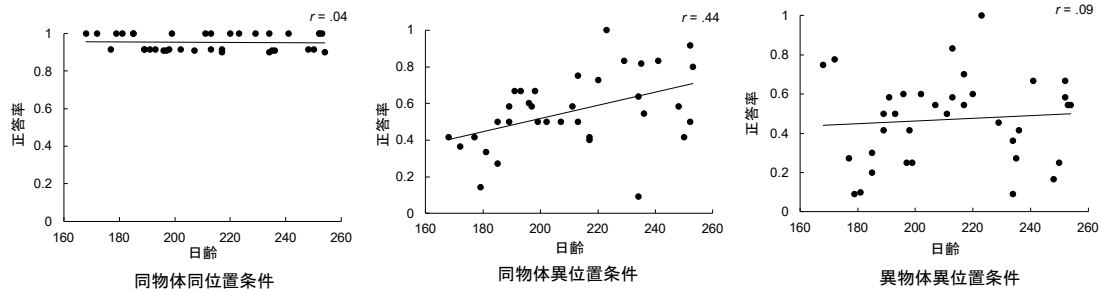


図 3-3. 各条件における日齢ごとの正答率。同物体異位置条件においてのみ有意な正の相関がみられた。

3-2-3 実験 2 物体がないと注意の効果が消失するのか

実験 1 より、空間的手がかり効果は生後 6 ヶ月頃からみられ、物体に基づく注意の効果は生後 8 ヶ月頃に獲得されることが示された。この 8 ヶ月児でみられた物体に基づく注意の効果が物体の影響によるものかをさらに調べるため、実験 2 では物体を提示しないで同様の課題を行った。物体に基づく注意によって手がかりと同物体に提示された標的の検出成績が上昇したのであれば、物体を提示しないときには物体による促進効果が生じず、成績も上昇しないと予測される。

方法

参加者：8 ヶ月児 12 名が実験に参加した(8 ヶ月：男児 7 名、女児 5 名、平均年齢 241.58 日齢， $SD=8.18$)。全ての乳児が満期出生児であり、実験中健康であった。本研究は、中央大学の倫理委員会からの承認を受けてから行い、実験参加乳児の保護者に対する事前の実験内容説明後、参加同意書を得てから実験を行った。

刺激・手続き：実験 2 では、物体となる白色の長方形は提示せずに、灰色背景に手がかりと

標的を実験 1 と同じ位置、サイズ、時間で提示した(図 3-4a)。全部で 12 試行を行った(3 条件×4 位置)。

データ分析: 実験 1 同様、強制選択選好注視法によって 2 名の評価者が乳児の標的検出能力を計測した。乳児がモニターから視線を外した試行は無効とし、分析から除外した(同物体同位置条件 0.08 試行($SE=0.08$), 同物体異位置条件 0.25 試行($SE=0.13$), 異物体異位置条件 0.33 試行($SE=0.19$))。

各条件における有効試行数の割合に有意な差はみられず、全条件で均等な有効試行数であった($F(2,22) = .76, p=.478$, 同物体同位置条件 3.91 試行($SE=0.08$), 同物体異位置条件 3.75 試行($SE=0.13$), 異物体異位置条件 3.67 試行($SE=0.19$))。

結果

8 ヶ月児における条件ごとの正答率を図 3-4b に示す。3 条件(同物体同位置条件, 同物体異位置条件, 異物体異位置条件)を参加者内とする 1 要因参加者内分散分析の結果, 条件の主効果が有意であった($F(2,22) = 15.35, p < .01, \eta p^2 = .58$)。同物体同位置条件の正答率が最も高く($p < .01$), 同物体異位置条件と異物体異位置条件の間に差は見られなかった($p = 1$)。

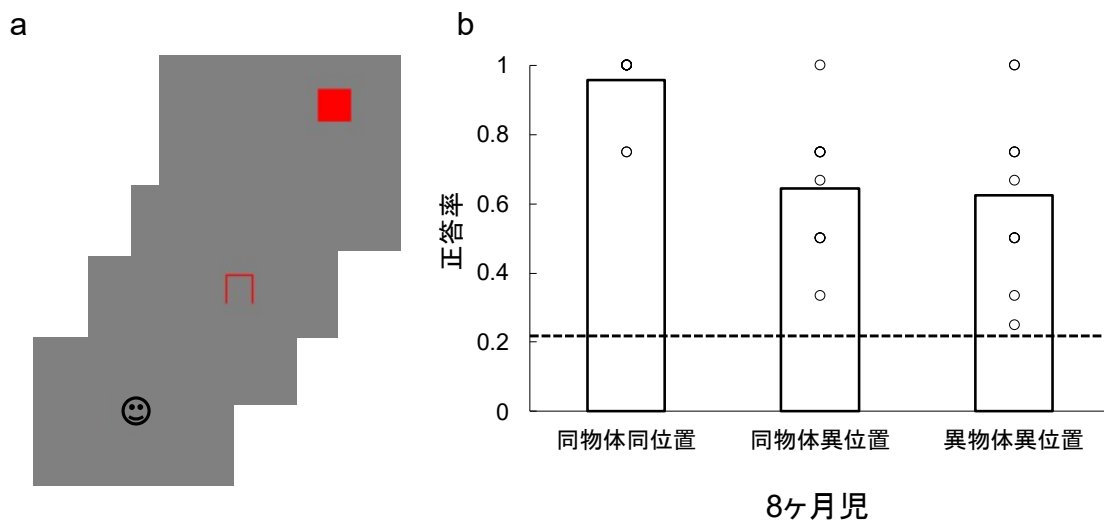


図 3-4. (a)実験手続き, (b)実験結果。物体(白色長方形)がない場合, 物体に基づく注意の効果が消失した。

3-2-4 考察

空間と物体に対する注意の発達を調べた実験 1 から、空間的注意は生後 6 ヶ月頃からみられる一方で、物体に基づく注意は 8 ヶ月頃に機能し始めることが示された。実験 1 の結果が物体による効果であることを調べるため、物体を取り除いて同様の課題を行った実験 2 より、物体がない場合では実験 1 でみられた効果が消失することが示された。これらの実験から、物体に基づく注意が生後 8 ヶ月頃に獲得されることが示され、空間的注意の発達に比べて遅いことが示唆される。

3-3 本章のまとめ

本章の実験 1 と 2 の結果から、空間的注意と物体に基づく注意の発達時期に違いがあることが示された。Egley ら(1994)の課題を用いた本研究の結果から、6 ヶ月児と 8 ヶ月児の間に空間的手がかり効果に差はみられなかった。空間的注意は生後すぐに機能し始めるが、成人に劣らないレベルに発達するのは生後 6 ヶ月頃であることが指摘されている(Matsuzawa & Shimojo, 1997)。本結果は、空間的注意を調べたこれまでの発達研究と同様に、生後 6 ヶ月頃には空間的注意が機能していることを示す結果となり、先行研究の結果を再現することができた。

一方、物体に基づく注意は生後 6 ヶ月頃にはみられず、8 ヶ月頃に発達することが示された。これまでの研究では、8 ヶ月児のみを対象としていたため、物体に基づく注意の発達過程は不明であったが(Bulf & Valenza, 2013; Valenza, Franchin, & Bulf, 2014)、8 ヶ月以前の乳児を調べた本結果より、物体に基づく注意は 8 ヶ月頃に獲得されることが明らかとなった。さらに、日齢と物体内における標的の検出成績との間に正の相関がみられたことから、物体への注意の効果は発達に伴って獲得されることが示された。

物体に基づく注意の発達が空間的注意の発達よりも遅い理由として、物体認知の発達に依存している可能性が考えられる。単純な図形パターンの知覚は 3 ヶ月頃の低月齢児(Bulf, Johnson, & Valenza, 2011; Hayden, Bhatt, & Quinn, 2006; Hayden, Bhatt, & Quinn, 2008; Quinn & Bhatt, 2005; Quinn, Burke, & Rush, 1993)や顔のトップヘビー図形であれば胎児や

新生児でも検出できることが示されている (Buiatti et al., 2019; Valenza et al., 1996; Reid et al., 2017; Reissland et al., 2020)。反対に、視覚処理のなかでもより高次の知覚を要する 3 次元物体の知覚や質感知覚は生後 8 ヶ月未満の乳児ではできず、8 ヶ月頃に発達することが示されている (Yamashita et al., 2014; Yang, Kanazawa, & Yamaguchi, 2013; Yang et al., 2015)。さらに近年の研究から、物体認知に必要なフィードバック処理が機能し始めるのも生後 8 ヶ月頃であることが示されており (Nakashima, Kanazawa, & Yamaguchi, 2021)、物体認知の土台が完成するのがこの月齢時期であることが示唆される。以上の知見から、物体に基づく注意が高次の物体認知の発達に伴って機能し始めることが考えられる。物体に注意を向けることで複雑な物体認知が可能になるのか、複雑な物体認知が可能になることで注意を物体に向けることができるようになるか、どちらが先に発達するかは本研究からはわからないが、少なくとも両者の発達が影響しあっている可能性が予測される。成人において主観的輪郭や心的イメージでも物体に基づく注意の効果が生じることを踏まえると (Moore, Yantis, & Vaughan, 1998; Ongchoco & Scholl, 2019)、物体として知覚しない限り注意の効果は生じないと考えられる。

本章の結果から、これまで得られていた知見と同様に、空間的注意は生後 6 ヶ月頃から、物体に基づく注意は生後 8 ヶ月頃から発達することが明らかとなった。視野の中で特定の領域ごとに注意を向ける能力は比較的早い時期に発達し、物体単位で注意を向ける能力は物体認知能力が十分に機能する高月齢で発達することが示唆される。次章では、物体を構成する特徴に対する注意の発達について検討し、より細かい単位でも注意をシフトできるのか明らかにする。

第4章 - 特徴に基づく注意の発達実験

4-1 本章の目的

我々は、何か探し物をする際、対象物の特徴を基に探索を行う。例えば家の鍵を探すとき、鍵の形や色の特徴に基づいた情報を利用する。このような特定の特徴に注意を向けることを特徴に基づく注意(feature-based attention)といい、空間的注意や物体に基づく注意と並んで広く調べられている。本章では、特徴に基づく注意の発達を検討する。

4-2 特徴に基づく注意の発達

4-2-1 背景・目的

本研究では、特徴に基づく注意が乳児においてもみられるのかを生後 7-8 ヶ月児を対象に調べた。先行研究より、複数の同一物体(垂直線)の中から異なる特徴を持つ物体(水平線)の検出が生後 3 ヶ月頃からできることが報告されている(Adler & Gallego, 2014; Adler & Orprecio, 2006; Bertin & Bhatt, 2001; Coldren & Haaf, 2000; Goldknopf et al., 2019)。このような単一の特徴の中から異なる特徴に向ける注意の発達は比較的早く、課題の簡便さからよく調べられてきた。これらの課題では、乳児の注意をボトムアップに捕捉するような刺激を使用してきたが、日常の場面を考えたとき、家の鍵を探すといった特定の特徴にトップダウンに注意を向けることの方が頻繁に起こりうる。したがって、自身の目的に沿った情報にトップダウンに注意を向けるという能力の獲得がいつ頃であるかを調べることは重要な課題であるが、言語教示の効かない乳児に対して特定の特徴に注意を向けさせることは困難である。そこで本研究では、乳児用に新しく開発した予期課題(anticipation looking task)を用いて、乳児に特定の特徴(色か方位)に注意が向くよう学習させた(図 4-1)。学習段階で、パックマンが色か方位どちらか一方を食べる映像を 8 回提示する。例えば、赤色に注意を向けさせる場合、パックマンは方位が水平か垂直かによらず赤色の長方形を食べ続けた。学習段階終了後、テスト段階では学習時同様 2 つの長方形を提示するが、パックマンは提

示されない。このとき、乳児がパックマンが特定の特徴を食べるという予測をしているのであれば、パックマンが学習時に食べていた特徴を持つ長方形の方をより注視すると考えられる。実験の結果、テスト段階における学習した特徴への注視の割合が高くなり、7-8ヶ月児が特定の特徴に注意できることが示された。実験4ではテスト段階において新規の方位(45°と135°)を提示し、新規刺激が提示された場合でも特徴の般化ができるかを調べた。実験の結果、般化が生じることが示され、特徴に基づく注意の発達は8ヶ月頃であることが示唆された。

4-2-2 実験3 特徴に基づく注意

方法

参加者：7-8ヶ月児40名が実験に参加した(色条件20名：男児9名，女児11名，平均年齢230.0日齢， $SD=15.28$ ；方位条件：男児5名，女児15名，平均年齢232.4日齢， $SD=16.73$)。実験中に泣いてしまい，途中で実験を中断した乳児22名と，学習試行とテスト試行でサイドバイアス(画面の右あるいは左を9割以上注視)を示した5名のデータは分析から除外した。全ての乳児が満期出生児であり，実験中健康であった。新聞の折り込みチラシや，地域の公民館などに実験募集のチラシを配布し，乳児実験参加者のリクルートを行った。本研究は，中央大学の倫理委員会からの承認を受けてから行い，実験参加乳児の保護者に対する事前の実験内容説明後，参加同意書を得てから実験を行った。

装置：中央大学第1体育館内に設けられた実験室で実験を行った。刺激提示用のPCとLCDモニター(60Hz，1920×1080 pixels)を用意し，モニターから60cm離れた位置で乳児は刺激を観察した。乳児は保護者の膝の上に抱かれた状態で座った。モニター下に設置したCCDカメラで実験中の乳児の注視行動を記録した。乳児の眼球運動計測には，Tobii Pro Spectrum(Tobii Technology, Stockholm, Sweden)を使用した。120Hzのサンプリングレートで左右の眼球運動(x, y座標)を記録した。

刺激・手続き：標的として長方形(横1.91°×縦4.78°)，注意を操作する刺激としてパッ

クマン(横 4.78° × 縦 4.78°)を提示した。長方形の色は赤か青，また方位が垂直と水平であり，2(赤・青)×2(垂直・水平)の4種類作成した。実験条件として色条件と方位条件の2つを参加者間で実施した。

乳児の注意が特徴に向けられるかを調べるために，予期注視課題(anticipation-looking task)を実施した(図 4-1)。課題は学習段階とテスト段階に分かれており，両段階ともに8試行行った。学習段階では，画面中央にパックマン，パックマンの両側の位置(中央から 6.68°)に長方形を提示した。色条件ではパックマンが特定の色(赤あるいは青)に，方位条件では特定の方角(垂直あるいは水平)に向かって口を開閉しながら移動した。パックマンが一方の長方形にたどり着いた時点でその長方形は消失した。このパックマンが特定の特徴を持つ長方形を食べに行く一連の試行から，乳児に一方の特徴に注意が向くよう学習させた。学習段階終了後テスト段階に移行した。テスト段階では，パックマンが注視点後に消失し，2つの長方形のみを2秒間提示し，このとき乳児がどちらの長方形を最初に注視するかを計測した。テスト段階も学習段階同様に計8試行実施した。学習させる色(赤/青)と方位(垂直/水平)は参加者間でカウンターバランスをとった。

本課題の前に，乳児用の5点キャリブレーションを行った。画面中央，左上，右上，左下，右下の各位置に順次キャラクタが音とともに提示され，各点を正確に注視できるまでキャリブレーションを行った。途中で乳児が泣いた，あるいは眼球運動を取得できなかったとき，実験を中止した。キャリブレーション終了後，予期注視課題を行った。各試行乳児が注視点を注視したのを確認後，試行を開始した。

実験の間，実験者は CCD カメラから乳児の様子を確認することができた。乳児を抱く保護者には，実験中刺激の提示されるモニターの方を見たり，乳児に話しかけたりしないように教示し，実験はいつでも中断できることを伝えた。

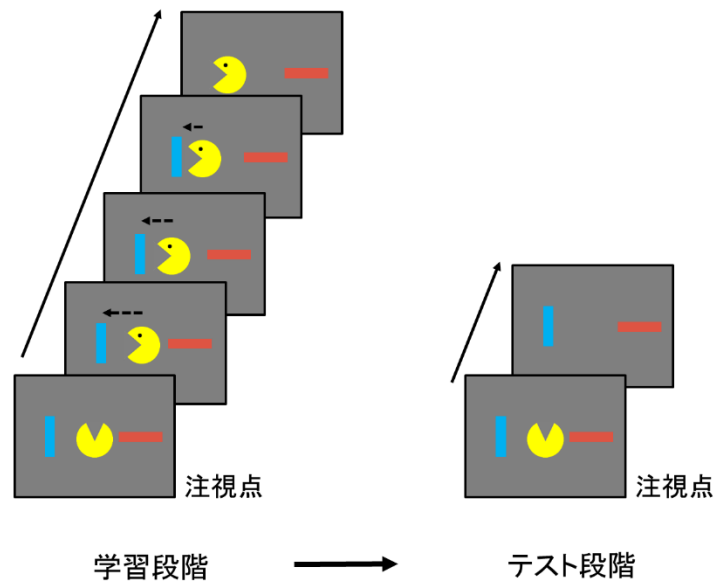


図 4-1. 実験手続き。学習試行では、パックマンが特定の特徴を持つ長方形に向かって移動した。テスト試行では長方形のみを提示し、パックマンが食べに移動していた特徴を持つ長方形の方を乳児が注視するのかを計測した。

データ分析：乳児がモニターから目を逸らした試行を分析から除外し、試行中注視していた試行を有効試行とした。学習段階とテスト段階ともに条件間で有効試行数に差は見られなかった(学習ブロック： $t(38) = -1.26, p = .21$ ；テストブロック： $t(38) = 1.85, p = .07$)。学習段階における各条件の有効試行数は、色条件 5.7 試行($SD=1.17$)，方位条件 5.1 試行($SD=1.77$)であった。テスト段階における各条件の有効試行数は、色条件 5.4 試行($SD=1.54$)，方位条件 4.5 試行($SD=1.54$)であった。

学習段階においてパックマンが食べ続けていた特徴を持つ長方形を標的とし、テスト段階において標的への予期的な眼球運動が生じた割合を参加者ごとに算出した。

結果

各条件における標的への予期的な眼球運動が生じた割合を図 4-2 に示す。条件ごとにチャンスレベル(0.5)と比較した t 検定を行ったところ、両条件において有意な差がみられ、

特徴に注意を向けていた可能性が示された(色条件： $t(19) = 5.62, p < .01, d = 1.74$ ；方位条件： $t(19) = 3.12, p < .01, d = .97$)。条件間では差はみられなかった($t(38) = 1.34, p = .19$)。さらに、色条件では赤色と青色、方位条件では垂直と水平の間でも差は見られず、特徴内で偏りがなかったことが示された(赤色/青色： $t(9) = -1.59, p = .15$ ；垂直/水平： $t(9) = -1.35, p = .20$)。

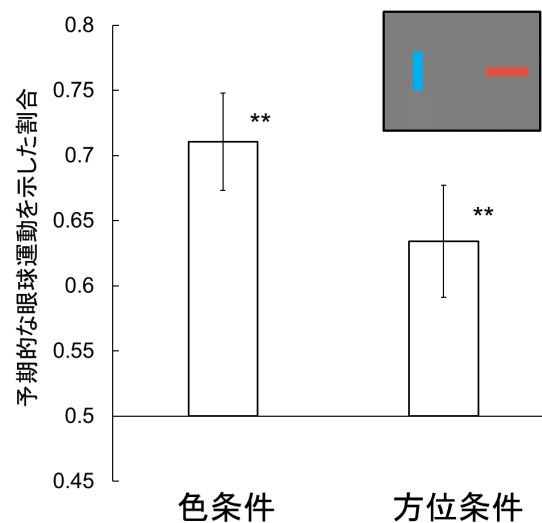


図 4-2. 各条件における標的への予期的な眼球運動を示した割合。エラーバーは標準誤差を示している。** $p < .01$

4-2-3 実験 4 特徴への注意は新しい刺激にも般化するか

実験 3 では学習とテスト段階において同一の刺激を提示していた。実験 4 では、テスト段階において新規の刺激を提示し、学習時に提示された刺激と異なっていたとしても、特定の特徴を持つ新規刺激に対して注意が般化するか検討する。学習段階で特定の特徴のみに注意が向いていれば、その特徴を有する新規刺激に対しても予期的な眼球運動が生じると予測される。

実験手続きは実験 3 と同様であるが、実験 4 では色条件のみを行った。理由は下記の通り 2 つである。1 つ目は、実験 3 の結果より色条件と方位条件の間で予期的な眼球運動の割

合に差がみられなかったため。2つ目は、方位条件において複数の色を用意するのが難しいためである。色知覚の発達は月齢によって異なり、さらに色の選好には個人差があるため (Brown & Lindsey, 2013)、選好に偏りが無い色を選定するのが難しい。そこで、実験4では色条件のみを行い、新規の方位として(45° と 135°)を使用した。

方法

参加者：7-8 ヶ月児 20 名が実験に参加した(男 11 名, 女児 9 名, 平均年齢 226.2 日齢, $SD=18.24$)。実験中に泣いてしまい、途中で実験を中断した乳児 13 名のデータは分析から除外した。全ての乳児が満期出生児であり、実験中健康であった。本研究は、中央大学の倫理委員会からの承認を受けてから行い、実験参加乳児の保護者に対する事前の実験内容説明後、参加同意書を得てから実験を行った。

刺激・手続き：学習段階では垂直と水平の長方形を、テスト段階では新規方位として 45° と 135° の長方形を提示した。それ以外の手続きは実験3と同様であった。

データ分析：乳児がモニターから目を逸らした試行を分析から除外し、試行中注視していた試行を有効試行とした。学習段階における有効試行数は 7.0 試行($SD=1.05$)、テスト段階における有効試行数は 5.5 試行($SD=1.15$)であった。

学習段階においてパックマンが食べ続けていた特徴を標的とし、テスト段階において標的への予期的な眼球運動が生じた割合を参加者ごとに算出した。

結果

標的への予期的な眼球運動が生じた割合を図 4-3 に示す。チャンスレベル(0.5)と比較した t 検定を行ったところ有意差がみられ、特徴に注意を向けていた可能性が示された($t(19) = 4.26, p < .01, d = 1.32$)。注意を向ける色(赤色/青色)では差は見られず、特徴内で偏りが無いことが示された($t(9) = -.28, p = .78$)。

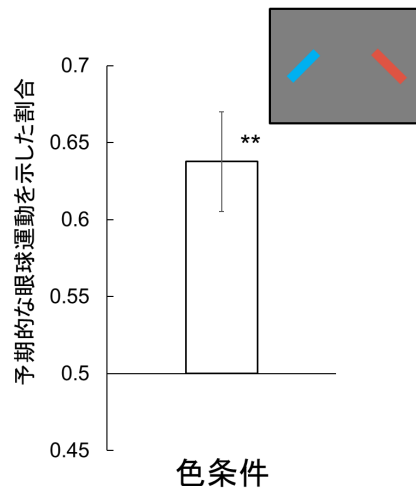


図 4-3. 色条件における標的への予期的な眼球運動を示した割合。エラーバーは標準誤差を示している。** $p < .01$

4-2-4 考察

特徴に基づく注意が 7-8 ヶ月児においてみられるかを調べるために、乳児用に新しく予期注視課題を開発し実験を行った。その結果、学習した特徴に対する予期的な眼球運動が生じることが実験 3 から示された。さらに、実験 4 において学習した図形とは異なる新規の図形をテストで提示した際にも、学習した特徴に基づいて予期的な眼球運動が生じたことから、図形自体を記憶していたのではなく、乳児が特定の特徴に対して注意を向けていることが明らかとなった。特徴に基づく注意の発達は生後 8 ヶ月前後であることが本結果から示された。

4-3 本章のまとめ

本章では特徴に基づく注意の発達を検討した。これまでの乳児を対象とした研究は、刺激の顕著さを高くすることでその刺激に乳児の注意が捕捉されることを示していた(Adler & Gallego, 2014; Adler & Orprecio, 2006; Di Giorgio et al., 2012; Franklin et al., 2010; Goldknopf et al., 2019; Kelly et al., 2019; Pyykkö et al., 2019; Simpson et al., 2019)。これは

ボトムアップに乳児の注意が標的にシフトしていることを示唆する結果であるが、トップダウンに乳児の注意がシフトする可能性についての直接的な証拠はなかった。本研究では刺激の顕著さを均等にし、学習によって特定の特徴に対して注意が向くようにすることで、顕著性が等しい特徴の中から特定の特徴に対して選択的に注意が向く状況を作り出した。近年の乳児研究から、刺激を繰り返し提示することで乳児が特定のルールを学習し、その学習を元に予期的な反応が生じることが示されており、これがトップダウンの処理によって遂行されることが示唆されている(Emberson, Richards, & Aslin, 2015; Kouider et al., 2015; Mandell & Raijmakers, 2012; Werchan & Amso, 2020)。これらの知見を元に、実験3と実験4で7-8ヶ月児における特徴に基づく注意の発達を検討した。トップダウンの学習には前頭領域を含む高次認知機能の働きが求められるため(Emberson, Richards, & Aslin, 2015; Werchan & Amso, 2020)、これらが発達している8ヶ月前後の乳児を対象とした。

実験では、学習段階において特定の特徴を含む図形を繰り返し食べるパックマンを乳児に提示し、パックマンが食べる特徴を学習させた。その後のテスト段階では、同様の図形を左右に提示し、パックマンの消失と同時にどちらを乳児が予期的に注視するのかを計測した。実験3の結果、学習した特徴を持つ図形に対する予期的な注視行動がみられた。テストで学習したときとは異なる図形を提示した実験4においても予期的な眼球運動が生じたことから、図形そのものを記憶していたのではなく、学習した特徴に注意を向けていたことが明らかとなった。本研究における予期的な眼球運動は学習段階において特定の特徴へ注意を向けるように学習しない限り生じることはないため、本結果は乳児が特徴に対して選択的に注意をシフトしていた可能性を示している。

本研究から特徴に基づく注意が生後8ヶ月前後で発達することが示された。これは物体に基づく注意の発達時期と重なっており(Bulf & Valenza, 2013; Valenza, Franchin, & Bulf, 2014)、2つの注意機能が同時期に発達することが示唆される。第3章においても考察した通り、8ヶ月頃には複雑な物体認知能力が発達する(Nakashima, Kanazawa, & Yamaguchi,

2021; Yamashita et al., 2014; Yang, Kanazawa, & Yamaguchi, 2013; Yang et al., 2015)。特徴に基づく注意においても、これらの物体を知覚する基本的な能力が発達している必要があるかもしれない。

本研究の特徴として、これまでのボトムアップ型の課題ではなく、トップダウンによる学習によって特徴に注意を向けていることを示したことが挙げられる。近年、9ヶ月児が標的の探索に際して空間位置と色/形による関係性を利用できることが示されている(Werchan & Amso, 2020)。また、同じく9, 10ヶ月頃の乳児において色によるプライミング(Mitsven, Gantrell, Luck, & Oakes, 2018)や音声によるプライミング(Xiao & Emberson, 2019)が生じることが報告されており、各刺激における特徴がトップダウンに乳児の視覚処理に影響する可能性が指摘されている。本研究の結果はこれらの乳児研究と並び、より低い月齢の乳児においてトップダウンの特徴に基づく注意が生起することを示した。成人と同じように意図的に注意を向けているとは断言できないが、少なくとも学習によって乳児の注意がシフトしている。

本章の結果から、特徴に基づく注意の発達が生後7-8ヶ月頃であることが明らかとなり、学習に基づく特徴への選択的な注意は比較的高月齢にならないと機能し始めない可能性が示唆された。トップダウンの処理には高次脳領域から視覚処理へのフィードバックを要するため(Emberson, Richards, & Aslin, 2015)、高次認知機能に関わる前頭領域が発達している月齢である必要があると考えられる。次章では、2次元平面上における視覚的注意ではなく、時間次元における注意について検討する。時間次元における注意においても高次認知機能の発達している月齢時期に機能し始めるのかを調べ、時間的な注意の発達を明らかにすることを目的とする。

第5章 - 注意の時間的側面の発達実験

5-1 本章の目的

空間、物体、特徴に基づく注意はすべて二次元平面上における注意の効果である。しかし、我々が注意を向ける場面は必ずしもこれらの次元に限られない。例えば、動画などのダイナミックな情報の中から、特定のタイミングにおける情報に注意を向けることや、数秒前の情報に遡って注意を向けることもある。このような時間的な側面における注意の発達は、空間や物体、特徴に基づく注意の発達に比べて検討されていない。本章では、注意の時間的な側面の発達に関する研究を紹介する。

注意の時間的な側面を測る課題として成人を対象に広く使用されている高速逐次視覚提示課題(RSVP)を用いた。この課題では、複数の画像が連続的に同位置に短時間(1枚 100ms)で提示され、その中から標的となる画像を見つけ出す必要がある。成人を対象とした課題では、あらかじめ決められた標的を探すよう教示できるが、乳児には教示できない。そこで、我々は標的として顔画像を使用した。顔は乳児にとって魅力的な刺激であり、どんな物体よりも顔をよく選好することが報告されている(Reid et al., 2017; Reissland et al., 2020)。この乳児の顔選好を利用し、高速逐次視覚提示課題中の乳児の視覚的注意の働きを調べた。

5-2 高速逐次視覚提示中の刺激処理能力の発達

5-2-1 背景と目的

本研究では、5-8ヶ月児を対象に高速逐次視覚提示中の顔検出および同定能力を検討する。実験5では、100msで提示される複数の画像を乳児が知覚できるのかを検討するため、成人において知覚可能なSOA100msと知覚困難なSOA11msの画像系列を左右対提示し、5-8ヶ月児がSOA100msの画像系列を知覚し選好するかを調べた。その結果、7-8ヶ月児がSOA100ms系列を有意に選好することが示され、100msで提示された画像を知覚できる可能性が示唆された。実験6では、SOA100msの画像系列に挿入された標的顔を検出できる

かを検討した。5-8ヶ月児を対象に、女性の正立顔と倒立顔を含む画像系列を左右に提示し、正立顔を含む画像系列への選好を測定したところ、7-8ヶ月児のみ正立顔を含む画像系列に対して選好を示した。実験7では、7-8ヶ月児が高速逐次視覚提示中の顔の個人同定ができるか親近化法を用いて検討した。実験は馴化段階とテスト段階の2つで構成されており、馴化段階で1人の女性顔を含んだ画像系列を提示し、その女性顔を学習させた。その後、テスト段階において、学習した顔と新規の顔を対提示し、新規顔に対する選好がみられるかを計測した。実験の結果、新規選好がみられ、個人弁別ができることが示された。実験8では顔の倒立効果が高速逐次視覚提示中でも生じるのか検討したところ、倒立効果がみられた。これらの結果から、7-8ヶ月児が100msの画像系列の中から標的を検出し、さらに個人同定までできることが示された。

5-2-2 実験5 100ms対11ms

実験5では、高速逐次視覚提示課題が乳児でも実施可能かを検討する。5-8ヶ月児を対象に、1枚あたり100msで提示される画像系列を知覚できるかを調べる。先行研究から、成人が1枚あたり100msで提示される画像系列中の画像を容易に検出、そして認知できることが示されている(e.g. Potter, 1976)。本実験では、乳児に1枚あたりの提示時間が異なる2種類の画像系列(100ms系列と11ms系列)を左右に対提示した。乳児が成人同様100msで提示される画像を知覚できるのであれば、11ms系列に比べて100ms系列をより長く選好すると予測される。反対に、乳児が100msで提示される画像を知覚できなければ、100msと11ms系列への選好に偏りが見られないと予測される。

方法

参加者：5-6ヶ月児20名(男児13名、女児7名、平均年齢164.6日齢、 $SD=18.06$)、7-8ヶ月児20名(男児10名、女児10名、平均年齢230.35日齢、 $SD=17.29$)が実験に参加した。全ての乳児が満期出生児であり、実験中健康であった。新聞の折り込みチラシや、地域の公民館などに実験募集のチラシを配布し、乳児実験参加者のリクルートを行った。本研究は、

中央大学の倫理委員会からの承認を受けてから行い、実験参加乳児の保護者に対する事前の実験内容説明後、参加同意書を得てから実験を行った。

装置: 中央大学第1体育館内に設けられた実験室で実験を行った。刺激提示用のPCとCRTモニター(85Hz, 1024×768 pixels)を用意し、モニターから40cm離れた位置で乳児は刺激を観察した。乳児は保護者の膝の上に抱かれた状態で座った。モニター下に設置したCCDカメラで実験中の乳児の注視行動を記録した。

刺激・手続き: 各試行30枚の風景写真からランダムに選ばれた15枚の写真が1つの画像系列として提示された。全ての画像は横440pix×縦330pix(24.3° × 18.6°)に統一し、モニターの中心から1.4°左右に離れた位置に提示された。左右で提示される画像は同一であったが、提示時間は異なった(11ms/100ms)。

実験では選好注視法を用い、左右に2種類の画像系列を提示した。1つは1枚の画像が100msで提示される100ms系列、もう一方は1枚の画像が11msで提示される11ms系列であった(両系列ともにISIは0ms)。各試行、両画像系列は10秒間繰り返し提示され、画像の提示枚数は100ms系列が100枚、11ms系列が909枚であった。2種類の系列の提示位置は参加者間でカウンターバランスをとった。1試行10秒を計3試行行った(図5-1)。

実験の間、実験者はCCDカメラから乳児の様子を確認することができ、乳児の注視行動をもとに試行を進めた。乳児を抱く保護者には、実験中刺激の提示されるモニターの方を見たり、乳児に話しかけたりしないように教示し、実験はいつでも中断できることを伝えた。

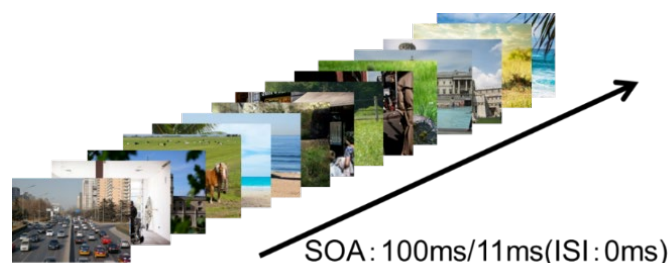


図5-1. 実験で用いた画像系列の例。1枚あたり100msで提示される系列と11msで提示される系列を左右に対提示した。

データ分析：各画像系列に対する乳児の注視時間を計測し、100ms 系列に対する選好率を算出した。

結果

各月齢における 100ms 系列に対する選好率を図 5-2 に示す。月齢ごとにチャンスレベル(0.5)と比較した t 検定を行った結果、7-8 ヶ月児が有意に 100ms 系列を選好し、100ms で提示される画像を知覚していることが示唆された($t(19) = 4.38, p < .01, d = .98$)。一方で、5-6 ヶ月児では選好率に差がみられなかった($t(19) = -.02, p = .98, d = .00$)。

7-8 ヶ月児が成人同様 100ms で提示される画像系列中の画像を知覚できることが示され、高速逐次視覚提示課題が乳児にも応用できることが示された。

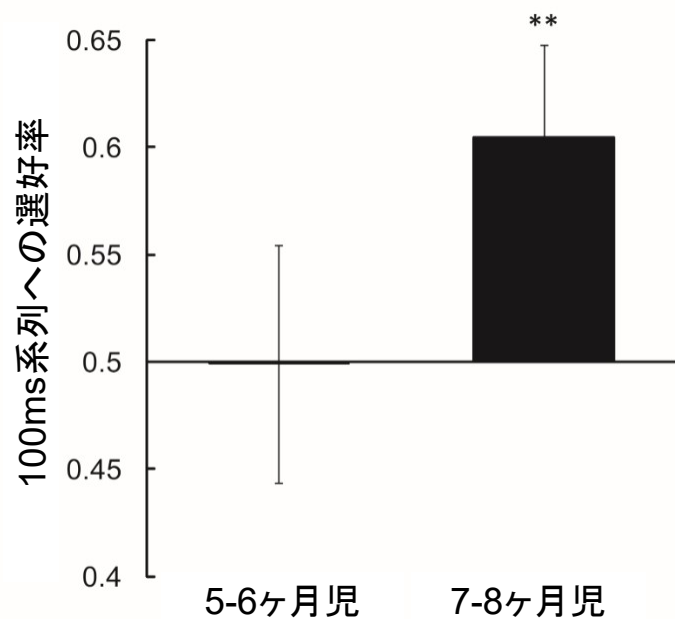


図 5-2. 月齢ごとの 100ms 系列に対する選好率。エラーバーは標準誤差を示している。** $p < .01$

5-2-3 実験6 正立顔対倒立顔

実験5より、7-8ヶ月児が100msで提示される画像系列を知覚できることが示唆された。しかし、この結果から乳児が1枚1枚の画像を正確に知覚できていたかはわからない。そこで実験6では、画像系列中に含まれる標的画像を乳児が検出できるかを検討する。標的画像として女性の正面顔を使用した。乳児にとって顔は魅力的な刺激であり、どんな物体よりも顔をよく選好するため、標的画像として適している。実験では、正立顔を含む画像系列と倒立顔を含む画像系列を対提示し、乳児がどちらの画像系列をより注視するか調べた。先行研究より、乳児は倒立顔よりも正立顔をより選好することが報告されている(Farroni et al., 2005)。もし高速逐次視覚提示中の正立顔を検出できるのであれば、正立顔を含む画像系列を有意に長く選好すると予測される。

方法

実験装置は実験5と同様であった。

参加者：5-6ヶ月児20名(男児9名、女児11名、平均年齢173.4日齢、 $SD=14.39$)、7-8ヶ月児20名(男児9名、女児11名、平均年齢230.15日齢、 $SD=15.31$)が実験に参加した。全ての乳児が満期出生児であり、実験中健康であった。本研究は、中央大学の倫理委員会からの承認を受けてから行い、実験参加乳児の保護者に対する事前の実験内容説明後、参加同意書を得てから実験を行った。

刺激・手続き：非標的画像として実験5で用いた30枚の風景写真と、標的画像として2名の女性顔を使用した。画像のサイズ、提示位置は実験5と同様であった。各試行30枚の風景写真の中からランダムに選ばれた14枚の風景写真と、1名の女性顔が1つの画像系列として提示された。

実験では選好注視法を用い、左右に2種類の画像系列を提示した(図5-3)。1つは正立顔を含む系列、もう1つは倒立顔を含む系列であった(両系列ともにISIは0ms)。標的である顔画像は全試行通して7番目に提示され、1試行における顔の提示回数は7回であった。

2つの画像系列の提示位置は参加者間でカウンターバランスをとり、1試行10秒を計6試行行った。

実験の間、実験者はCCDカメラから乳児の様子を確認することができ、乳児の注視行動をもとに試行を進めた。乳児を抱く保護者には、実験中刺激の提示されるモニターの方を見たり、乳児に話しかけたりしないように教示し、実験はいつでも中断できることを伝えた。

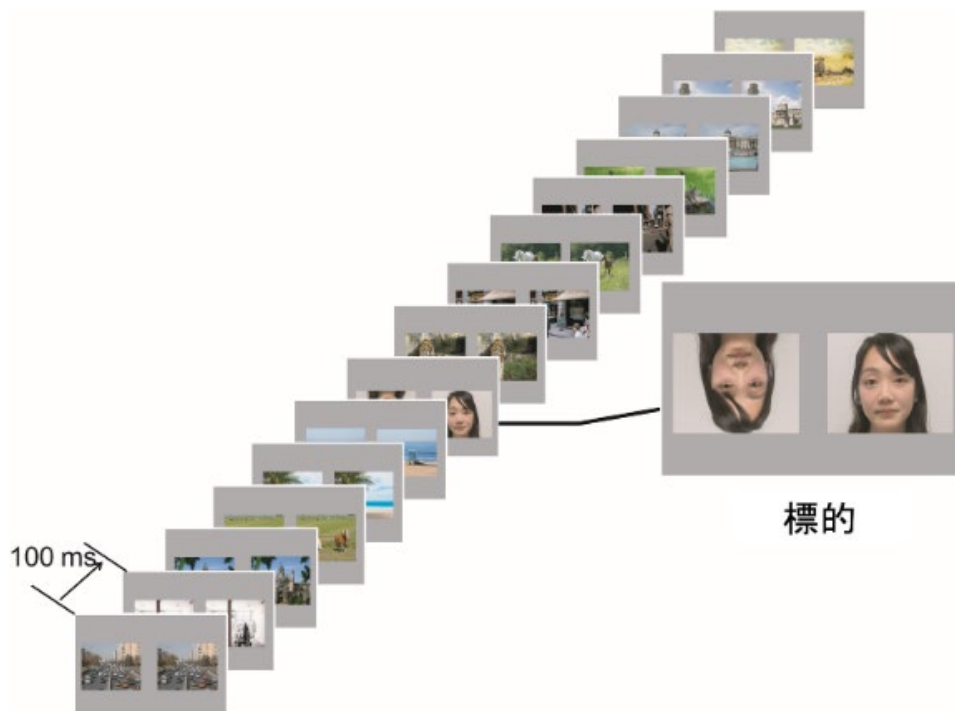


図 5-3. 実験で用いた画像系列の例。正立顔を含む系列と倒立顔を含む系列を左右に対提示した。

データ分析：各画像系列に対する乳児の注視時間を計測し、正立顔を含む系列に対する選好率を算出した。

結果

各月齢における正立顔を含む系列に対する選好率を図 5-4 に示す。月齢ごとにチャンスレベル(0.5)と比較した t 検定を行った結果、7-8 ヶ月児が有意に正立顔を含む系列を選好し、100ms で提示される画像系列の中から標的を検出できることが示された($t(19) = 3.68$,

$p < .01$, $d = .82$)。一方で、5-6ヶ月児では選好率に差がみられなかった($t(19) = -.43$, $p = .67$, $d = .09$)。

7-8ヶ月児が100msの画像系列の中から標的である顔を検出できることが示された。

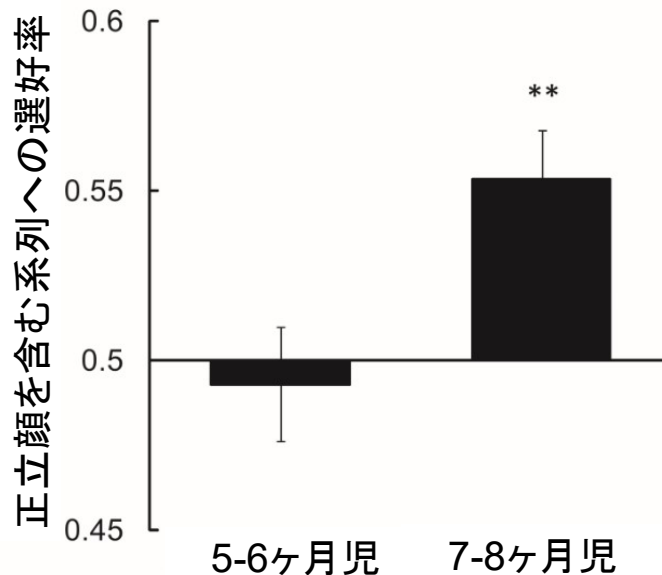


図 5-4. 月齢ごとの正立顔を含む系列に対する選好率。エラーバーは標準誤差を示している。** $p < .01$

5-2-4 実験7 個人同定

実験6の結果より、7-8ヶ月児が100msの画像系列の中から顔を検出できることが示された。実験7では、検出した顔をどこまで処理できているかを調べる。具体的には、検出した顔の個人弁別ができるか親近化法を用いて明らかにする。実験では、馴化試行において乳児に1名の女性顔を学習させた後、テスト試行で学習した女性顔と新規の女性顔の弁別ができるかを検討する。結果の予測として、馴化試行で画像系列中に提示される標的顔を同定することができるのであれば、テスト試行で新規の女性顔に対する選好がみられ、学習顔と新規顔の弁別ができると考えられる。

方法

実験装置と刺激は実験6と同様であった。

参加者：7-8ヶ月児 20名(男児 11名，女児 9名，平均年齢 230.15日齢， $SD=14.67$)が実験に参加した。全ての乳児が満期出生児であり，実験中健康であった。本研究は，中央大学の倫理委員会からの承認を受けてから行い，実験参加乳児の保護者に対する事前の実験内容説明後，参加同意書を得てから実験を行った。

手続き：親近化法を用いて画像系列中に含まれる個人顔の弁別能力を検討した。実験は馴化試行とテスト試行の2つから構成されており，馴化試行の前にプレテストを行った。プレテストでは2名の女性顔(学習させる顔と新規顔)を対提示し，どちらの顔に対しても選好の偏りが無いことを調べた。プレテスト終了後，馴化試行を行った。馴化試行では，30枚の風景写真からランダムに選ばれた14枚の風景写真と，1名の女性顔が1つの画像系列として1枚あたり100msの速度($ISI=0ms$)で提示された。顔は全試行通して7番目に提示され，1つの画像系列が繰り返し提示された。馴化試行でどちらか一方の女性顔を学習させた後，ポストテストを行った。プレテスト同様2名の女性顔を対提示し，個人の弁別ができるかを調べた。馴化試行で学習させる顔は参加者間でカウンターバランスをとった(図5-5)。

実験の間，実験者はCCDカメラから乳児の様子を確認することができ，乳児の注視行動をもとに試行を進めた。乳児を抱く保護者には，実験中刺激の提示されるモニターの方を見たり，乳児に話しかけたりしないように教示し，実験はいつでも中断できることを伝えた。

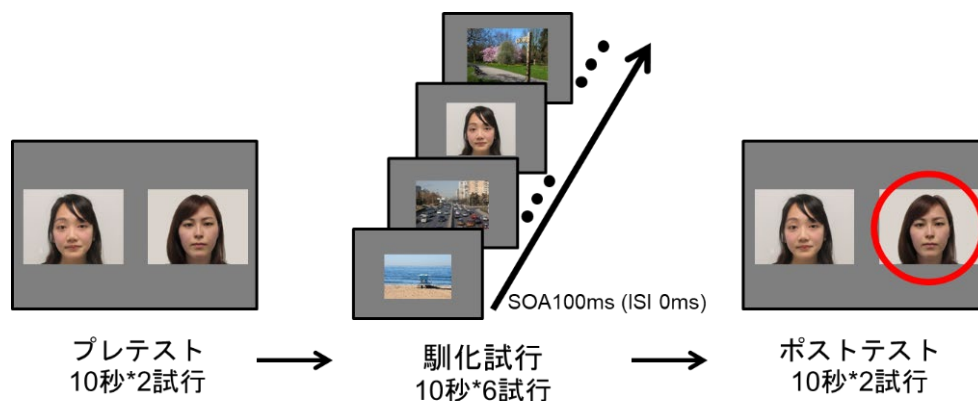


図5-5. 実験手続き。馴化試行において1名の女性顔を学習させ，その後新規顔に対する選好がみられるかを調べた。

データ分析：馴化試行における画像系列に対する注視時間と、テスト試行における各顔画像に対する注視時間を計測した。テストにおいて新規顔に対する選好率を算出した。

結果

馴化試行

馴化試行における前半 3 試行と後半 3 試行の総注視時間の平均を算出したところ、前半 3 試行の平均注視時間は 8.64 秒($SD=1.27$)、後半 3 試行の平均注視時間は 7.95 秒($SD=1.29$)であった。前半と後半の間で注視時間に差がみられるかを調べるため、 t 検定を行った結果、後半 3 試行の注視時間が前半より減少したことが示され($t(19) = 2.41, p < .05, d = .54$)、乳児が画像系列中の顔に馴化したことが確認された。

テスト試行

馴化前後におけるテスト試行での新規顔に対する選好率を図 5-6 左に示す。乳児が学習顔と新規顔を弁別できたかを調べるために、馴化前後での選好率に対して t 検定を行った結果、ポストテストにおける選好率がプレテストよりも有意に高かった($t(19) = 3.43, p < .01, d = .77$)。また、馴化前後においてチャンスレベル(0.5)との t 検定を行ったところ、馴化前では差はみられなかったが($t(19) = .52, p = .60, d = .12$)、馴化後ではチャンスレベルよりも有意に高いことが示された($t(19) = 5.01, p < .01, d = 1.12$)。これらの結果から、7-8 ヶ月児が 100ms の画像系列中に含まれる顔の個人弁別ができることが明らかとなった。

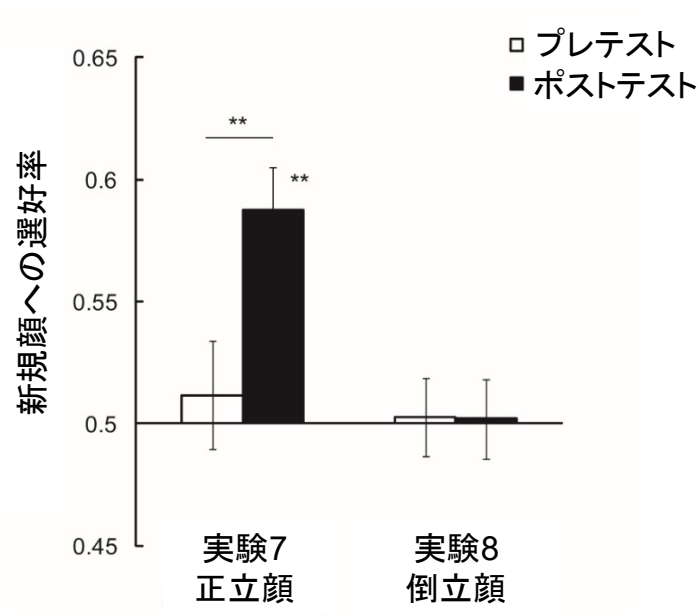


図 5-6. 実験 7(正立顔)と実験 8(倒立顔)における新規顔への選好率。エラーバーは標準誤差を示している。** $p < .01$

5-2-5 実験 8 顔の倒立効果

実験 7 から、7-8 ヶ月児が 100ms で提示される画像系列の中から個人の顔を弁別できることが示された。実験 8 では、実験 7 での個人顔弁別が低次の特徴(髪型など)によるものでないことを確認するために、顔の倒立効果が生じるかを検討する。顔の倒立効果は生後 4 ヶ月頃からみられることが報告されている(Turati et al., 2004)。高速逐次視覚提示課題においても顔の倒立効果が生じるのであれば、倒立顔では顔の個人弁別ができなくなると予測される。

方法

顔が倒立で提示される以外は実験 7 と同様であった。

参加者：7-8 ヶ月児 20 名(男児 15 名，女児 5 名，平均年齢 233.75 日齢， $SD=16.22$)が実験に参加した。全ての乳児が満期出生児であり，実験中健康であった。本研究は，中央大学の倫理委員会からの承認を受けてから行い，実験参加乳児の保護者に対する事前の実験内容説明後，参加同意書を得てから実験を行った。

結果

馴化試行

馴化試行における前半 3 試行と後半 3 試行の総注視時間の平均を算出したところ、前半 3 試行の平均注視時間は 9.28 秒($SD=0.85$)、後半 3 試行の平均注視時間は 8.23 秒($SD=1.54$)であった。前半と後半の間で注視時間に差がみられるかを調べるため、 t 検定を行った結果、後半 3 試行の注視時間が前半より減少したことが示され($t(19) = 3.41, p < .01, d = .76$)、乳児が画像系列中の顔に馴化したことが確認された。

テスト試行

馴化前後におけるテスト試行での新規顔に対する選好率を図 5-6 右に示す。乳児が学習顔と新規顔を弁別できたかを調べるために、馴化前後での選好率に対して t 検定を行った結果、馴化前後での選好率に差はみられなかった($t(19) = .04, p = .97, d = .01$)。また、馴化前後においてチャンスレベル(0.5)との t 検定を行ったところ、馴化前後においてチャンスレベルとの間に有意な差は見られなかった(馴化前： $t(19) = .18, p = .86, d = .04$ ；馴化後： $t(19) = .12, p = .91, d = .03$)。これらの結果は、7-8 ヶ月児が画像系列中の倒立顔を弁別できなかったことを示しており、顔の倒立効果が生じたことを示唆している。

5-2-5 考察

高速逐次視覚提示課題を用いた 4 つの実験から、乳児において高速逐次視覚提示課題が実験可能なこと、さらに、7-8 ヶ月児が 100ms の画像系列の中から標的である顔を検出し、個人の同定までできることが示された。一方で、生後 7 ヶ月未満の乳児では刺激系列中の顔を検出できず、100ms で提示される画像を知覚できないことが明らかとなった。これらの結果は、生後 7 ヶ月以降の乳児が複雑な情報の中から特定の情報のみを選択的に処理できる可能性を示唆している。

5-3 注意の瞬きの発達

5-3-1 背景と目的

5-2 の研究から、乳児が短時間で提示された画像の中から特定の標的に注意を向けることができることが示されたが、標的をどのくらいの速度で処理できているのかはわからない。本研究では、乳児の視覚処理の時間的な限界を注意の瞬き現象に着目して検討した。注意の瞬きとは、高速逐次視覚提示中に含まれる 2 つの標的を同定する際、標的間の時間が短いとき(200ms)に 2 つめの標的を見落としてしまう現象を指す(Broadbent & Broadbent, 1987)。この現象の背景メカニズムとして、1 つめの標的の処理が完了していない間に 2 つめの標的が入力されることで、2 つめの標的に十分な注意を向けることができずに見落としてしまうことがいわれている。標的を同定するためには作業記憶へと書き込み、固定化することが求められるが、この一連の処理におよそ 500ms の時間がかかるため、その処理の過程で入力された新規の情報を知覚できない。本研究では、注意の瞬き現象がいつ頃みられるのかを調べることで、乳児の視覚的注意の時間的側面とその処理における時間的限界を明らかにすることを目的とする。実験 9 では生後 7-8 ヶ月児を対象に高速逐次視覚提示課題を行った。1 枚あたり 100ms で提示される画像の中から 2 つの標的(女性顔)を学習させ、それぞれの顔の個人弁別ができるのかを調べた。2 つの標的間の時間として成人で注意の瞬きがみられる 200ms とみられない 800ms 条件を用意した。実験の結果、800ms では 2 つの標的の弁別ができたが、200ms では 1 つ目の標的のみ弁別できた。200ms で 2 つ目の標的を弁別できなかったことから、注意の瞬きが乳児においても生じることが示された。成人においても同じ時間幅で注意の瞬きが生じるかを確認するため、実験 10 では成人を対象に実験を行った。その結果、成人においても 200ms で注意の瞬きがみられ、乳児が成人同様に標的の処理を行っている可能性が示唆された。

5-3-2 実験 9 乳児における注意の瞬き

方法

参加者： 7-8 ヶ月児 40 名が実験に参加した。2 つの標的間隔が短い 200ms と長い 800ms

の条件を参加者間で実施した(Lag200ms: 男児 9 名, 女児 11 名, 平均年齢 235.3 日齢, $SD=16.31$; Lag800ms: 男児 9 名, 女児 11 名, 平均年齢 232.35 日齢, $SD=19.97$)。他に 13 名の乳児(Lag200ms: 6 名, Lag800ms: 7 名)に対して実験を行ったが, 泣いて実験中断, あるいはテスト試行においてサイドバイアス(片側を 90%以上注視)を示したため分析から除外した。全ての乳児が満期出生児であり, 実験中健康であった。新聞の折り込みチラシや, 地域の公民館などに実験募集のチラシを配布し, 乳児実験参加者のリクルートを行った。本研究は, 中央大学の倫理委員会からの承認を受けてから行い, 実験参加乳児の保護者に対する事前の実験内容説明後, 参加同意書を得てから実験を行った。

装置: 中央大学第 1 体育館内に設けられた実験室で実験を行った。刺激提示用の PC と LCD モニター(60Hz, 1920×1080 pixels)を用意し, モニターから 40cm 離れた位置で乳児は刺激を観察した。乳児は保護者の膝の上に抱かれた状態で座った。モニター下に設置した CCD カメラで実験中の乳児の注視行動を記録した。

刺激・手続き: 非標的画像として 30 枚の風景写真と, 標的画像として 4 名の女性顔を使用した。4 名の女性顔のうち 2 名の女性顔は実験 6-8 で使用したものであった。実験前に, 第 1 標的と第 2 標的として提示される女性顔を参加者ごとに決め, 残りの 2 名の女性顔はテスト試行における新規顔として使用した。全ての画像は横 10.56° × 縦 7.03° のサイズで提示された。

親近化法を用いて乳児の標的弁別能力を検討した(図 5-7)。実験は親近化試行とテスト試行の 2 つから構成されており, 馴化試行の前にプレテストを行った。プレテストでは第 1 標的と第 2 標的ともに新規の女性顔と対提示し, どちらの顔に対しても選好の偏りがないことを調べた。プレテスト終了後, 馴化試行を行った。馴化試行では, 妨害刺激として 30 枚の風景写真からランダムに選ばれた 16 枚の風景写真と, 標的として 2 名の女性顔を 1 つの画像系列として 1 枚あたり 100ms の速度(ISI0ms)で提示した。2 つの標的間の時間は 200ms あるいは 800ms であった。第 1 標的の前に提示される妨害刺激の数は 1 枚から 5 枚

であり、毎試行ランダムであった。計 50 試行の馴化試行を行った。馴化試行で 2 つの標的を学習させた後、ポストテストを行った。プレテスト同様第 1 標的と第 2 標的ともに新規の女性顔と対提示し、2 つの標的を弁別ができるかを調べた。テスト試行における顔の提示位置はモニターの中心から 5.02° の位置であった。毎試行音ともにキャラクタを注視点として提示し、乳児が注視したのを確認した後に試行を開始した。

実験の間、実験者は CCD カメラから乳児の様子を確認することができ、乳児の注視行動をもとに試行を進めた。乳児を抱く保護者には、実験中刺激の提示されるモニターの方を見たり、乳児に話しかけたりしないように教示し、実験はいつでも中断できることを伝えた。

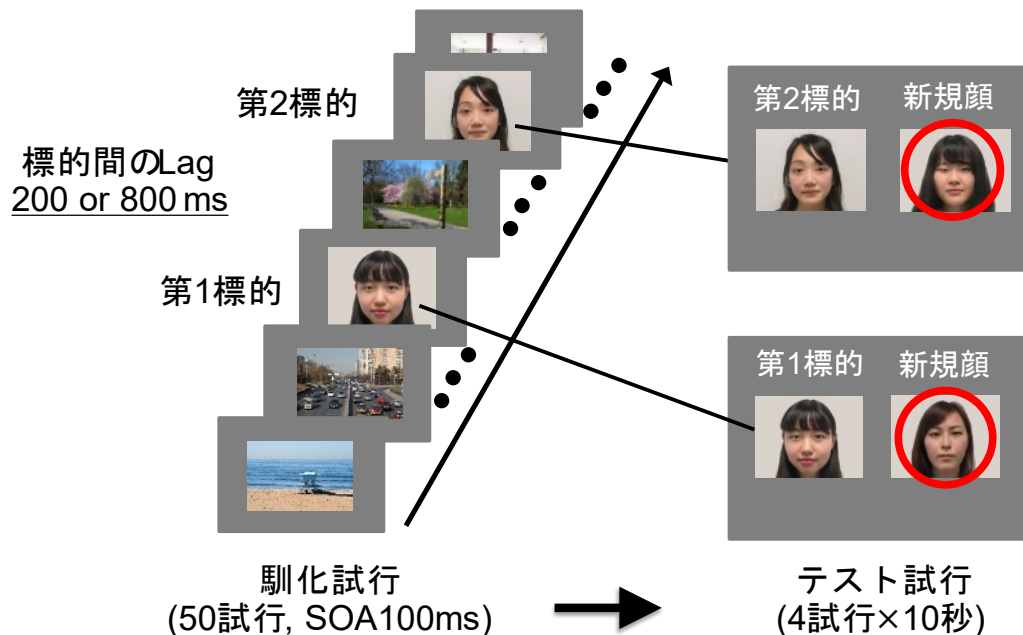


図 5-7. 実験手続き。2 つの標的を含む画像系列を馴化試行で提示し、その後テスト試行においてそれぞれの標的を新規顔と弁別できるか調べた。

データ分析: 馴化試行における画像系列を注視していた回数、テスト試行における各顔画像に対する注視時間を計測した。テストにおいて新規顔に対する選好率を算出した。

結果

馴化試行

馴化 50 試行において、乳児が画像系列を提示終了まで注視していた回数を計測し、平均試行数を算出した。Lag200ms の平均試行数は 43.4 試行($SD=2.18$)、Lag800ms の平均試行数は 41.0 試行($SD=6.36$)であった。条件間で注視回数に差がないかを確認するために、両条件を比較した t 検定を行った結果、両者の間に差がないことが示された($t(19) = -1.57, p = .13, d = .46$)。

テスト試行

各標的におけるプレとポストテストでの新規顔に対する選好率を図 5-8 に示す。プレテストにおいて、各顔に対する選好に偏りがなかったことが示された(vs. チャンスレベル(0.5), Lag 200 ms: 第 1 標的, $t(19) = .76, p = .46, d = .24$, 第 2 標的, $t(19) = -.55, p = .59, d = -.17$; Lag 800 ms: 第 1 標的, $t(19) = -.56, p = .58, d = -.17$, 第 2 標的, $t(19) = -.15, p = .88, d = -.05$)。

乳児が各標的を新規顔と弁別できたかを調べるために、3 要因混合分散分析(Lag×標的×テスト)を行ったところ、テストの主効果($F(1,38) = 21.69, p < .01, \eta p^2 = .36$)と Lag と標的の交互作用($F(1,38) = 4.77, p < .05, \eta p^2 = .11$)がみられた。単純主効果検定の結果、Lag200ms における第 2 標的の選好率が Lag800ms よりも有意に低いことが示された($F(1,38) = 5.34, p < .05, \eta p^2 = .12$)。また、Lag200ms における第 2 標的の選好率が第 1 標的よりも低かった($F(1,19) = 6.87, p < .05, \eta p^2 = .27$)。

乳児が第 1 標的と第 2 標的を弁別できたかをより詳細に検討するため、条件ごとにプレテストとポストテストの比較を行った。その結果、Lag800ms では第 1 標的、第 2 標的ともにプレとポストテスト間で差がみられ、両標的ともに弁別できたことが示された(第 1 標的: $t(19) = 3.74, p < .01, d = 1.2$; 第 2 標的: $t(19) = 3.51, p < .01, d = 1.09$)。一方、Lag200ms では第 1 標的のみ差がみられ、第 2 標的は弁別できず見落としたことが示された(第 1 標

的: $t(19) = 3.30, p < .01, d = .90$; 第 2 標的: $t(19) = .11, p = .91, d = .03$ 。

これらの結果から, (1)標的間隔が長いとき(800ms)には 2 つの標的を同定できるが, (2)標的間隔が短いとき(200ms)には 2 つ目の標的を見落とすことが明らかとなり, 乳児においても注意の瞬きが生じたことを示している。

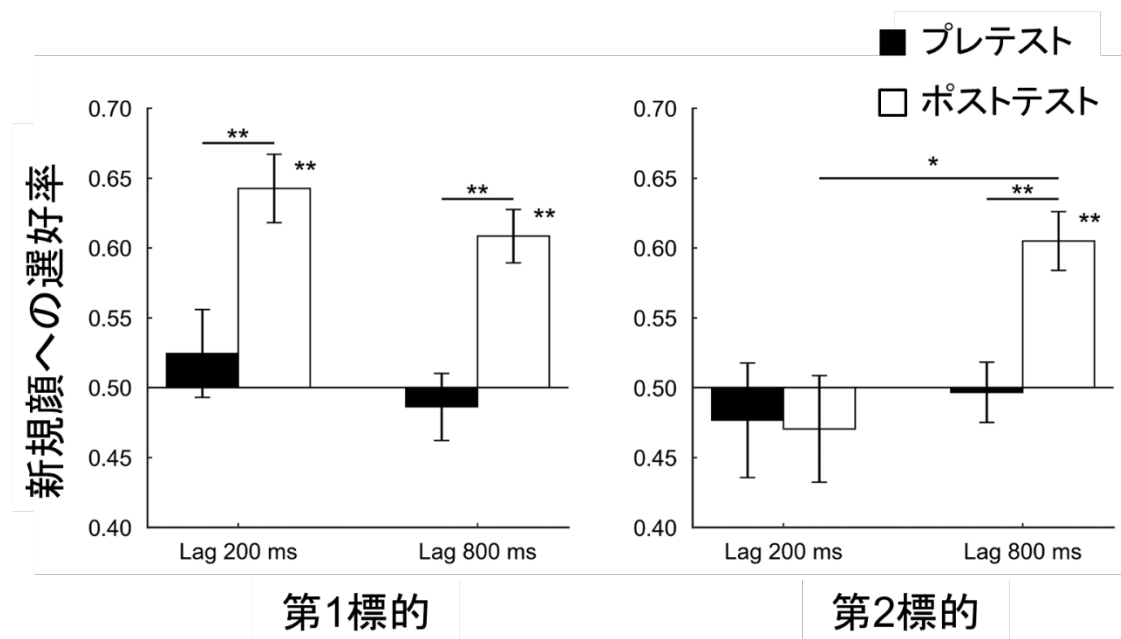


図 5-8. 各標的における条件ごとの新規顔への選好率。エラーバーは標準誤差を示している。* $p < .05$ ** $p < .01$

5-3-3 実験 10 成人における注意の瞬き

乳児でみられた注意の瞬きが成人でも生じるかを検討する。

方法

参加者: 成人 28 名(男性 12 名, 女性 16 名, 18-25 歳)が実験に参加した。全ての参加者は正常な視力を有していた(矯正視力含む)。第 1 標的の正答率が全体の平均の -2SD を超えた 1 名のデータを分析から除外した。この参加者の第 1 標的の正答率は Lag200ms で 0.45, Lag800ms で 0.55 であり, 課題の教示を理解していなかった可能性が考えられる。実

験参加前に実験内容説明後、参加同意書を得てから実験を行った。

装置：北海道大学認知行動科学研究室で実験を行った。刺激提示用の PC と LCD モニター (60Hz, 1920×1080 pixels) を用意し、モニターから 57cm 離れた位置で参加者は刺激を観察した。

刺激・手続き：妨害刺激として 100 枚の風景写真と、標的画像としてアジア人女性顔 180 枚を使用した(180 のうち 20 を練習試行で使用)。AI が作成した顔データベースからアジア人女性顔を取得した(<https://generated.photos/>)。全ての女性顔は正面を向いた中立顔であった。全ての画像は横 10.56° × 縦 7.03° のサイズで提示され、コントラストは 70% であった。

1 試行の流れを図 5-9a に示す。参加者は毎試行黒丸の注視点を注視し、スペースキーを押して試行を開始した。注視点消失後、1 枚あたり 100ms で提示される画像系列がモニター中央に提示された (ISI 0ms)。画像系列の中には 2 つの標的が含まれており、標的間隔は乳児実験同様 200ms と 800ms の 2 つの条件が用意された。第 1 標的の前に提示される妨害刺激の枚数は 1 枚から 5 枚であり、毎試行ランダムであった。第 2 標的後の非標的画像の枚数は 9 枚であった。画像系列終了後、第 1 標的と第 2 標的がそれぞれ新規顔と対提示され (画面中央から 5.02° の位置)、どちらが画像系列中に含まれていたかを 2 肢強制選択で回答させた。参加者はキーボードの矢印キー (→/←) で左右どちらの顔が提示されていたかを選択した。回答に制限時間は設けず、できるだけ正確に回答するよう教示した。第 1 標的の回答後、続けて第 2 標的の回答を行った。

同じ顔が提示されることはなく、計 40 試行実施した (Lag200ms : 20 試行, Lag800ms : 20 試行)。本試行の前に練習試行を 10 試行行った。練習試行で提示された顔は本試行では提示されなかった。

データ分析：第 1 標的と第 2 標的における正答率を算出した。第 2 標的の正答率は、第 1 標的を正答した試行のみを用いて算出された。

結果

第1標的の正答率について、Lag200msで0.69、Lag800msで0.86であった。条件間で差がみられるかを調べた結果、Lag800msにおける正答率が高いことが示された($t(52) = 2.44, p < .02, d = .65$)。この結果は、標的間隔が短いときに正答率が減少する成人の結果と一致している(Kawahara & Enns, 2009)。

第2標的の正答率を図5-9bに示す。注意の瞬きが生じたかを確認するため、条件間の比較を行ったところ、Lag200msの成績がLag800msよりも有意に低かったことが示された($t(52) = 2.97, p < .01, d = .80$)。この結果から、成人においても乳児同様の注意の瞬きが生じることが明らかとなった。

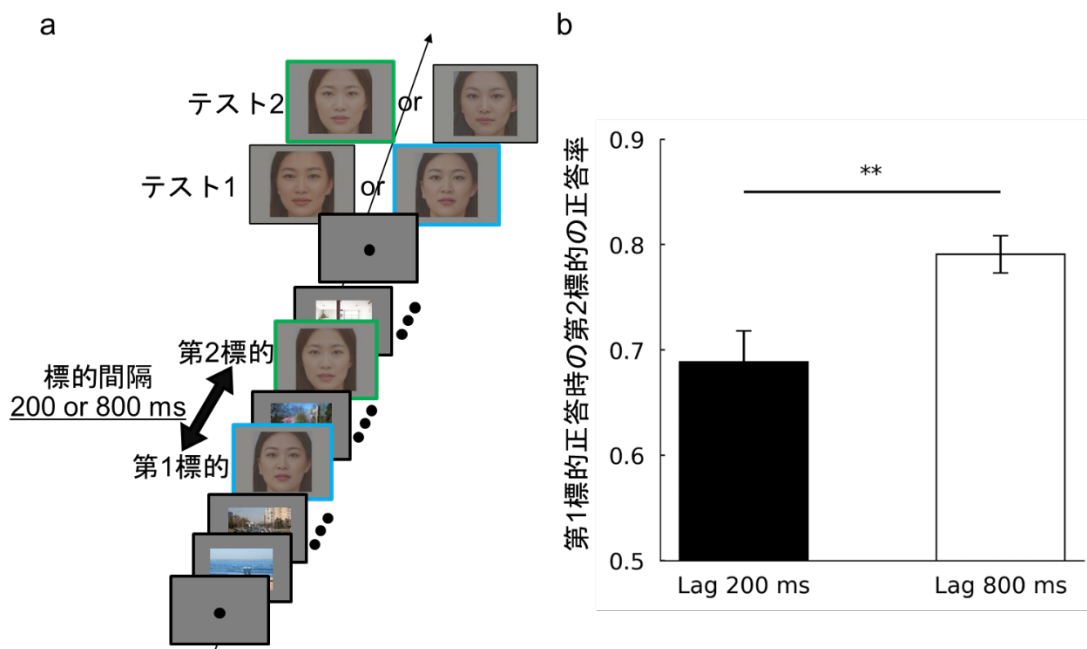


図5-9. (a)実験手続き, (b)実験結果。エラーバーは標準誤差を示している。** $p < .01$

5-3-4 考察

乳児の注意機能における時間的な制約が成人と同じようにみられるかを明らかにするため、注意の瞬き現象に焦点をあてて実験を行った。その結果、2つの標的を同定する際、その標的間隔が短い(200ms)と2つめの標的を見落とし、長ければ(800ms)2つの標的ともに同定できることが示された。さらに、成人においても同様の実験課題で注意の瞬きが生じたことから、7-8ヶ月児の時間的な処理能力が成人に匹敵している可能性が示唆された。

5-4 本章のまとめ

本章では高速逐次視覚提示課題を用いて注意の時間的側面の発達を検討した。具体的には、乳児に標的となる顔刺激を含む刺激系列を提示し、標的を検出し、個人同定できるかを調べた(実験5-8)。実験の結果、7ヶ月未満の乳児では100msで提示される標的の検出ができなかったが、それ以上の乳児では顔の検出と個人の弁別ができることが示された。続く実験9では標的の個数を2つに増やし、標的の処理にかかる時間を調べることで、視覚処理における時間的限界を検討した。その結果、2つの標的間の時間が800msと長いときには2つの標的を同定でき、この標的間の時間が200msと短い場合には2つめの標的を見落とすことが示された。この見落とし現象は注意の瞬きといわれており、これまで児童や成人でしか確認されていなかったが、本結果から乳児においても注意の瞬きが生じることが明らかとなった。また、成人を対象とした実験10においても同様の結果が得られた。以上の結果から、成人の実験手続きとは異なり乳児の馴化実験において標的の反復提示が行われているが、生後8ヶ月前後の乳児における視覚処理の時間的限界が200msから800msの間であることが示され、単一の視覚情報処理に1秒もかからないことが示唆される。

ダイナミックに変化する視覚情報の中から短時間提示される標的を見つけ出すことは生後8ヶ月頃にならないとできないことが明らかとなり、この時期に時間的な注意が成人に匹敵するレベルに発達することが示唆された。空間次元でシフトする注意とは異なり、同位置に連続して提示される情報の中から一つの情報を処理するためにはその情報を一時的に

記憶する必要がある。この認知システムとして作業記憶が提唱されており、この作業記憶の発達本研究における時間的な視覚的注意の発達と一致すると考えられる。これは視覚的注意と作業記憶の機能的なメカニズムが重なっていること(Awh & Jonides, 2001; Reynolds & Romano, 2016)を支持する結果であり、作業記憶が機能し始める生後8ヶ月頃に視覚的注意の時間的側面が現れると予測される。

時間次元における作業記憶の容量についても空間次元で報告されていた容量(Oakes et al., 2011; Ross-sheehy et al., 2003)と同等であり、空間次元と時間次元の発達時期が重なることが示された。初期視覚処理では空間と時間的な感度の間で発達に差がみられるが(Banks, 1982-1983)、高次な認知処理では発達に差がみられない。これは高次認知処理が共通の神経メカニズムに由来している可能性を示唆しており、前述した作業記憶を含む高次認知機能が前頭領域で処理されていることから(Diamond & Goldman-Rakic, 1989; Kranczioch et al., 2005; Marois, Yi, & Chun, 2004)、作業記憶における空間と時間次元の間に発達差がみられないと考えられる。

第6章 - 総合考察

6-1 本研究のまとめ

本研究の目的は、ヒトの視覚的注意(空間、物体、特徴、時間)の発達について、心理物理学的手法を用いて実験的に検討することであった。視覚的注意を含む高次認知機能は生後8ヶ月頃に発達する(e.g. Reynolds & Romano, 2016)。この高次認知の発達に着目して、本研究は生後8ヶ月前後の乳児を対象とした。本研究では、まず第1章と第2章において視覚的注意の働きを俯瞰し、空間的注意と物体に基づく注意、特徴に基づく注意、時間的注意に関する機能的な役割とその発達を概説した。次に、空間的注意と物体に基づく注意、特徴に基づく注意、時間的注意の4つの視覚的注意について合計10の実験的検討を行い、第3章、第4章、および第5章においてそれぞれ議論を進めた。本節では一連の実験について、章ごとにその要点を述べる。

第3章要約

第3章では、空間的注意と物体に基づく注意の発達について生後6-8ヶ月児を対象に検討を行った。先行研究から、成人と生後8ヶ月以前の乳児において、標的に先行して手がかりが同じ位置に提示されるときに標的の検出が素早くかつ正確になることが報告されている(空間的注意)。さらに、成人と生後8ヶ月の乳児において、手がかりと標的の位置が空間的には一致しないが同じ物体内に提示されるとき、異なる物体に手がかりと標的がそれぞれ提示されるときよりも標的の検出が素早くかつ正確になることが示されている(物体に基づく注意)。これまで物体に基づく注意は8ヶ月児でしか検討されておらず(Bulf & Valenza, 2013; Valenza, Franchin, & Bulf, 2014)、その発達は不明であった。本研究では、Egleyら(1994)の課題を用いて、空間的注意と物体に基づく注意の発達過程を調べた。

実験1では空間的注意と物体に基づく注意の効果が6-8ヶ月児でみられるのか検討した。

実験の結果、空間的注意は生後 6 ヶ月からみられたが、物体に基づく注意は生後 8 ヶ月頃に発達し、物体に基づく注意の発達が空間的注意よりも遅いことが示された。

実験 2 では、実験 1 の 8 ヶ月児でみられた物体に基づく注意の効果の妥当性を調べるため、物体をなくしてコントロール実験を行った。その結果、空間的注意の効果は実験 1 と同様確認されたが、物体に基づく注意の効果は消失した。これにより 8 ヶ月児が物体に注意を向けていたことが確認され、物体に基づく注意が生後 8 ヶ月頃に発達することを強く示すことができた。

第 3 章の 2 つの実験から、空間的注意は生後 6 ヶ月頃から発達し、物体に基づく注意は 8 ヶ月頃に機能し始めることが明らかとなり、空間的注意と物体に基づく注意の間に発達差がみられた。

第 4 章要約

第 4 章では、特徴に基づく注意の発達を検討した。先行研究から乳児の注意が顕著性の高い特徴に対して自動的に捕捉されることが報告されている (Adler & Gallego, 2014; Adler & Orprecio, 2006; Di Giorgio et al., 2012; Franklin et al., 2010; Goldknopf et al., 2019; Kelly et al., 2019; Pyykkö et al., 2019; Simpson et al., 2019)。例えば、静止している線分の中から動いている線分を (Nagata & Dannemiller, 1996)、物体の中から顔を検出できることが知られている (Di Giorgio et al., 2012; Simpson et al., 2019)。しかし、これらの注意は全て刺激に依存し、ボトムアップに乳児の注意が向くことを示したに過ぎず、トップダウンによる特徴に基づく注意がいつ発達するのかは明らかではない。本研究では、乳児の注意がトップダウンに特定の特徴に向くのかを調べた。具体的には、乳児に特定の特徴に注意を向けるように学習を行い、その後のテストで学習した特徴に対する予期的な眼球運動が生じるのかを検討した。

実験 3 において 7-8 ヶ月児を対象に特徴に基づく注意の発達を調べたところ、乳児が特

定の特徴に対して注意を向けることができることが示された。続く実験 4 では、テストの刺激を学習したものと異なる刺激にすることで、特徴に基づく注意の効果が新規の刺激に対して般化するか検討した。実験の結果、新規の刺激に対しても注意は般化することが示され、実験 4 で乳児が単に刺激そのものを記憶しているのではなく、刺激を構成する特徴に注意を向けていることが明らかとなった。

第 4 章の 2 つの実験から、特徴に基づく注意は生後 8 ヶ月頃に発達し、第 3 章でみられた物体に基づく注意の発達時期と一致することが示された。

第 5 章要約

第 5 章では、時間次元における視覚的注意の発達を検討した。時間次元における注意の発達はこれまでの注意発達モデルに取り入れられておらず(Colombo, 2001)、未検討であった。これは、注意の時間的側面を測る課題が言語教示を要することから、言語による教示の効かない乳児では課題が困難であると考えられていたためであろう。本章では、成人で広く使用されている高速逐次視覚提示課題を乳児用に開発し、視覚的注意の時間的側面の発達を調べた。

実験 5 から 8 において、高速逐次視覚提示課題が乳児にも応用できるか検討した。実験 5 では、乳児が成人のように画像系列を知覚できるのかを調べるため、成人で知覚可能な SOA100ms の系列と知覚不可能な SOA11ms 系列を乳児に提示し、SOA100ms 系列を選好するか検討した。実験の結果、7-8 ヶ月児は SOA100ms 系列を選好したが、5-6 ヶ月児はどちらの系列も選好しなかった。この結果から、生後 7-8 ヶ月頃の乳児は成人と同様に 100ms で提示される画像を知覚している可能性が示唆された。これを踏まえて実験 6 では、画像系列中に含まれる標的を検出できるか調べることにした。実験では標的として乳児にとって魅力的で注意を自動的に捕捉する顔を使用した。実験の結果、生後 7-8 ヶ月の乳児は SOA100ms の画像系列中に含まれる顔標的を検出できることが示された。また、実験 5 で

100ms の系列に選好を示さなかった 5-6 ヶ月児は、同じ条件で顔の検出ができなかった。続く実験 7 と 8 では、標的として提示される顔について個人の同定ができるかを 7-8 ヶ月児対象に検討した。実験 7 では正立顔を標的として乳児に繰り返し提示し、その後のテストで学習した顔と新規の顔を対提示して、新規選好が生じるか(人物同定ができるか)を調べた。実験 8 では同じく 7-8 ヶ月児を対象に倒立顔を標的として提示し、倒立顔では学習ができない顔の倒立効果が生じるのか検討した。実験の結果、正立顔では顔の個人同定ができたが、倒立顔ではできなかった(顔の倒立効果)。これらの結果から、7-8 ヶ月児が 100ms で提示される画像系列の中から顔を検出し、さらにその顔の個人同定までできることが明らかとなった。ダイナミックに素早く変化する刺激の中から特定の情報を処理する時間次元における視覚的注意の機能は生後 8 ヶ月頃に発達することが考えられる。

実験 9 では、生後 7-8 ヶ月の乳児を対象に注意の瞬きが生じるかを調べることで、視覚処理の時間的限界の発達を明らかにした。注意の瞬き(attentional blink)とは、2 つの情報を処理する際にその間の時間間隔が短い(500ms 以内)と 2 つめの情報を見落とす現象であり(Raymond et al., 1992)、作業記憶の時間的限界を表す指標となる。実験では、2 名の女性顔(標的)を含む刺激系列を繰り返し乳児に提示し学習させた。2 つの標的の時間間隔として、成人で注意の瞬きが生じる 200ms と生じない 800ms の 2 条件を用い、各条件において乳児が 2 名の顔を同定できるかを調べた。実験の結果、800ms 条件では 2 名の個人同定ができたが、200ms 条件では 2 つめの顔を同定できず注意の瞬きが生じた。実験 10 において成人を対象に同様の実験を行ったところ、乳児用の手続きでも乳児と同様の時間(200ms)で注意の瞬きが生じることが示された。これらの結果から、乳児における作業記憶への書き込みが成人に劣らず 800ms 以内には完了することが示唆された。

第 5 章における高速逐次視覚提示課題を用いた一連の実験から、時間的な注意の発達が生後 7-8 ヶ月頃であることが示された。

6-2 生後8ヶ月頃における視覚的注意機能の獲得

本研究における一連の実験から、物体、特徴、時間次元における視覚的注意機能が生後8ヶ月頃に発達することが明らかとなった。一方、空間的注意の発達も物体、特徴、時間的注意よりも早く、生後6ヶ月頃には成人に劣らず機能している可能性が示唆された。これまで提唱された注意発達モデル(Colombo, 2001)に本研究で得られた成果を加えた新しい視覚的注意発達モデルを図6-1に示す。各注意機能に関してこれまでのモデルとの違いについて以下考察を行う。

視覚的注意の発達過程

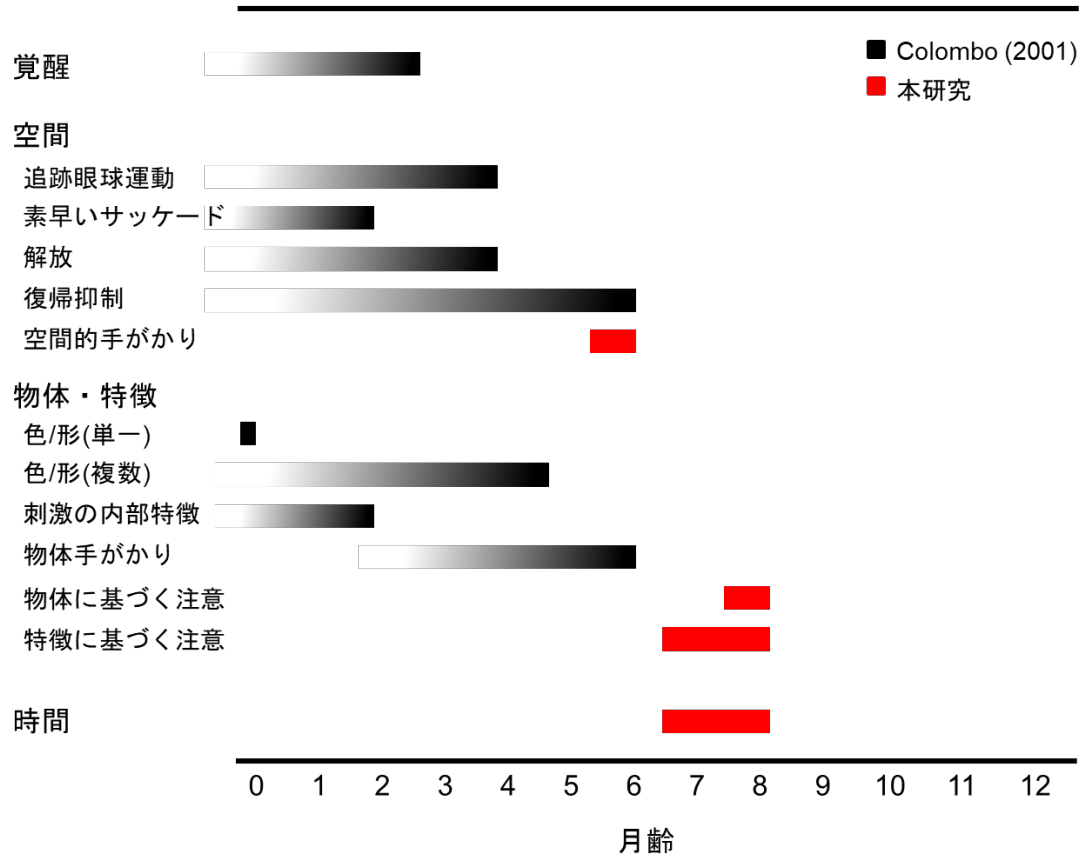


図 6-1. Colombo(2001)を改変した視覚的注意の発達モデル。空間的注意の発達はColombo(2001)と同じく生後6ヶ月頃であるが、物体と特徴、時間的注意の発達は遅く、8ヶ月頃に完了する。Colombo(2001)では含まれていなかった時間的注意の発達も加えた。

空間的注意

第 3 章における空間的注意を検討した実験から、空間的注意は生後 6 ヶ月頃には既に発達し、先行研究と一致することが示された。これまでの研究から、生まれて間もない乳児においても視覚的注意が空間次元でシフトすることは選好注視法を用いた実験からも示されており(e.g. Fantz, 1961)、空間的注意そのものは生後 6 ヶ月以前から機能し始めているが、成人に劣らないレベルに発達するのは生後 6 ヶ月頃であることが指摘されている(Harman et al., 1994; Hood, 1993; Hood & Atkinson, 1993; Johnson, 1994; Matsuzawa & Shimojo, 1997; 量的な発達 は 児童 まで 続く Konrad et al., 2005; Rueda et al., 2004)。この発達の背景には空間的注意に関わる神経メカニズムの確立が考えられる(Csibra, Tucker, & Johnson, 1998; Ellis et al., 2021)。空間的注意が機能しているときの脳活動を fMRI で計測すると、下前頭回(inferior frontal gyrus)や中前頭回(middle frontal gyrus)を含む前頭領域が賦活するが、この領域における強い脳血流活動が生後 6 ヶ月前後の乳児でもみられる(Ellis et al., 2021)。成人でみられる空間的注意のネットワークが生後 1 年未満で構築されていることが、本研究における 6 ヶ月児でみられた空間的注意の手がかり効果の背景にあると考えられる。視野の中で特定の領域に注意をシフトする空間的注意はヒトの探索行動(forage)の根幹にある最も基礎的な注意機能であることから、他の視覚的注意機能に先駆けて発達すると推定できる。

物体に基づく注意

第 3 章では空間的注意だけでなく物体に基づく注意の発達も検討したが、物体に基づく注意の発達は空間的注意よりも遅く生後 8 ヶ月頃に獲得されることが明らかとなった。この結果は本研究と同様の手続きで乳児を対象に物体に基づく注意を調べた先行研究(Bulf & Valenza, 2013; Valenza, Franchin, & Bulf, 2014)と一致するものである。

物体に基づく注意の発達が先に述べた空間的注意の発達よりも遅い理由として、物体に

基づく注意が物体認知の発達に依存している可能性を第 3 章のまとめで議論した。単純な図形や顔のトップヘビー図形の知覚は新生児や生後 3 ヶ月頃の乳児でも可能であるが(Bulf, Johnson, & Valenza, 2011; Hayden, Bhatt, & Quinn, 2006; Hayden, Bhatt, & Quinn, 2008; Quinn & Bhatt, 2005; Quinn, Burke, & Rush, 1993; Reid et al., 2017; Reissland et al., 2020), 高次の物体認知に関わる 3 次元構造や質感知覚は生後 8 ヶ月頃に発達する(Yamashita et al., 2014; Yang, Kanazawa, & Yamaguchi, 2013; Yang et al., 2015)。さらに, 物体認知に必要なフィードバック処理が成人と同様に機能するのが生後 8 ヶ月頃であることから(Nakashima, Kanazawa, & Yamaguchi, 2021), 物体認知の基盤は 8 ヶ月頃に完成することが示唆される。これらの物体認知機能の獲得に合わせて物体に基づく注意が確立すると考えられる。なぜなら, 提示された刺激を一つの物体として知覚することでその物体に注意が向き, 後続の処理に影響(促進/抑制)を与えると予測するからである。

Colombo(2001)の発達モデルでは, 物体への視覚的注意は 6 ヶ月までに発達することが指摘されており, 本研究や同様の手続きを用いた先行研究(Bulf & Valenza, 2013; Valenza, Franchin, & Bulf, 2014)の結果とは異なる。この発達のずれの理由として, Colombo(2001)の物体への注意が本研究で調べた物体に基づく注意と異なる可能性が挙げられる。Colombo(2001)における物体への注意の定義は広く, 注意だけでなく物体の知覚や特徴の弁別なども含まれている。例えば, 複数の色や形から構成された模式顔図形を提示したときの各刺激に対する注視時間の長さから, 特定の特徴や物体に注意が向いたと判断している(Catherwood, Skoien, & Holt, 1996)。また, 空間的注意の効果と物体への注意効果が混在している研究(Harman et al., 1994)も, Colombo(2001)では物体への注意という枠組みに入れている。古典的な乳児研究では, 提示された刺激に対する乳児の注視時間の長さを刺激に対する注意の強さとして置き換えてしまうものが多い(Cohen, DeLache, & Pearl, 1977; Cohen, Gelber, & Lazar, 1971)。これは言語教示が不可能な乳児で注意を調べるための考え方ではあるが, 成人と同じ注意の効果と一致しているとは断言できない。こうした背景を考

慮すると、Colombo(2001)で挙げられた物体への注意の発達には注意とは無関係な能力も組み込まれているため、モデルの修正が必要になると考える。本研究における生後6-8ヶ月児を対象とした実験と、同様の手続きを用いた8ヶ月児対象の先行研究の結果から、物体に基づく注意の発達は生後8ヶ月頃であることが示唆される(図6-1物体)。

特徴に基づく注意

第4章では特徴に基づく注意の発達を検討した。視覚探索課題を乳児に行った先行研究から、顕著性の高い特徴を有する刺激に対して乳児の注意がボトムアップに捕捉されることは報告されていたが(Adler & Gallego, 2014; Adler & Orprecio, 2006; Di Giorgio et al., 2012; Franklin et al., 2010; Goldknopf et al., 2019; Kelly et al., 2019; Nagata & Dannemiller, 1996; Pyykkö et al., 2019; Simpson et al., 2019), トップダウンに特定の特徴に対して乳児の注意が向くのかは不明であった。実験3と4では、パックマンが繰り返し特定の特徴(色/方位)を食べる動画を7-8ヶ月児に提示することで、その特徴に対してトップダウンに注意が向くよう学習させた。学習した特徴に注意が向いていたかを示す指標として、パックマンが食べるであろう特徴に対して予期的な眼球運動が生じた割合を算出した。実験の結果、予期的な眼球運動が生じ、色と方位の両方で特徴への注意がみられたことから、このトップダウンによる特徴への注意が生後8ヶ月頃に発達することが明らかとなった。特徴へのボトムアップの注意は生後3ヶ月頃からみられたが(e.g. Goldknopf et al., 2019), トップダウンによる注意はより遅い月齢で発達する可能性が挙げられる。トップダウンの学習には前頭領域を含む高次認知機能の働きが求められるため(Emberson, Richards, & Aslin, 2015; Werchan & Amso, 2020), これらが発達している8ヶ月前後の乳児で成人と同様の特徴に対する注意がみられると考えられる。

本研究で検討した特徴に基づく注意はトップダウンによる注意を想定していることから、これまでのボトムアップベースの注意発達モデルに新たな視点を提供できる。

Colombo(2001)のモデルでは特徴への注意は新生児からみられ、生後 3 ヶ月までには発達
が完了するとされている。これは物体に基づく注意の発達の議論でも述べた通り、形や色の
違う刺激の弁別能力を調べた研究も含まれているため(Catherwood, Skoien, & Holt, 1996;
Cohen, DeLache, & Pearl, 1977; Cohen, Gelber, & Lazar, 1971), 単なる弁別を示すだけで、
注意の発達そのものを示しているとはいえない可能性もある。しかし、視覚探索課題を用い
た研究から、顕著性の高い刺激に対して 3 ヶ月児の注意が捕捉されることから(Adler &
Gallego, 2014; Adler & Orprecio, 2006; Di Giorgio et al., 2012; Goldknopf et al., 2019; Kelly
et al., 2019; Nagata & Dannemiller, 1996; Simpson et al., 2019), 生後 3 ヶ月の時点でボトム
アップの特徴への注意がみられることは断言できるだろう。ただし補足すべき点として、探
索する標的の属性によってボトムアップの注意がみられる発達時期に差が生じ(Franklin et
al., 2010; Pyykkö et al., 2019), 発達に伴ってボトムアップの注意効果が強くなることが挙
げられる(Kelly et al., 2019)。これらの知見に加えて、本研究からトップダウンによる特徴
への注意が 8 ヶ月頃の乳児でもみられたことから、特徴に基づく注意の発達は新生児から
生後 8 ヶ月頃まで続くと考えられる(図 6-1 特徴)。

時間的注意

Colombo(2001)の注意発達モデルの中で視覚的注意の時間的側面が含まれていないよう
に、乳児を対象に時間的注意の発達を調べた研究は少ない。点滅する刺激の弁別といった時
間的な解像度の発達(Dobkins, Anderson, & Lia, 1999; Dobkins, Lia, & Teller, 1997; Dobkins
& Teller, 1996; Farzin, Rivera, & Whitney, 2011a, 2011b; Hartmann & Banks, 1992;
Rasengane, Allen, & Manny, 1997; Regal, 1981; Swanson & Birch, 1990; Teller et al., 1992)
や、短時間提示された顔刺激の検出能力(Barry-Anwar et al., 2018; de Heering & Rossion,
2015; Gelskov & Kouider, 2010; Kouider et al., 2013; Lasky & Spiro, 1980)は乳児でも調べら
れているが、ダイナミックに変化する刺激の中から特定の刺激に対して乳児の注意が向く

のかは不明であった。成人では高速逐次視覚提示課題を用いて注意の時間的側面が調べられてきたが(e.g. Potter, 1999), この課題では標的となる刺激に関する情報を事前あるいは回答時に言語教示するため、乳児で同様の課題を行うことがこれまで不可能であった。本研究では顔を標的として使用することで教示による問題を解決し、乳児の視覚的注意の時間的側面を調べることに成功した。その結果、生後 8 ヶ月頃に時間的な注意が発達することが示され、8 ヶ月頃の乳児が成人と同様に高速刺激提示下の標的を処理できることが明らかとなった(図 6-1 時間)。さらに、注意の時間的な制約を示す注意の瞬きが 7-8 ヶ月児でもみられた本研究の結果は、注意と密接な関係にある作業記憶の働きも成人と同様に機能していることを示唆している。

6-3 視覚的注意の発達過程に関する仮説的モデル

前節において、空間、物体、特徴、時間次元における視覚的注意の発達過程を概観し、空間的注意は生後 6 ヶ月、物体と特徴、時間次元の注意機能の獲得が生後 8 ヶ月頃であることを述べた。低次の視覚機能が月齢とともに発達するように(Atkinson, 2017; Braddick & Atkinson, 2011; Kiat et al., 2021), 注意を含めた高次の認知機能も月齢に従って発達する(Amsó & Scerif, 2015; Buss, Ross-Sheehy, & Reynolds, 2018; Kwon, Reiss, & Menon, 2002)。本章では、注意と密接な関係にある作業記憶を含む高次認知機能の発達に着目し、視覚的注意の発達に関する脳内機構の仮説的モデルを提案する。

本研究で取り上げた視覚的注意(空間、物体、特徴、時間)が発達する生後 8 ヶ月頃には、作業記憶の発達(Delgado Reyes et al., 2020; Kaldy, Guillory, & Blaser, 2016; Kibbe & Feigenson, 2016; Oakes et al., 2011; Werchan et al., 2016; Wilcox & Biondi, 2016)や抑制機能の獲得(Diamond & Goldman-Rakic, 1989; Ellis et al., 2021; Nakashima, Kanazawa, & Yamaguchi, 2021; Nakashima, Yamaguchi, & Kanazawa, 2019)がみられ、成人と同様の認知システムが構築され始める。これらの認知機能は前頭に位置する前頭前野(prefrontal

cortex)が責任領域であることが言われており、成人において作業記憶やトップダウンの注意を要する課題を行う際に前頭前野領域の活動が生じる(Bichot et al., 2015; Buschman & Miller, 2007; Corbetta & Shulman, 2002; Eriksson et al., 2015; Katsuki & Constantinidis, 2012; Raffone, Srinivasan, & van Leeuwen, 2014; Theeuwes, 2010)。この前頭前野(PFC)の領域は背外側前頭前野(dIPFC)と腹外側前頭前野(vlPFC)、眼窩前頭前野(OFC)の3つに大きくわかれており、それぞれが視覚的な作業記憶の働きを担っていることが報告されている(Duncan & Owen, 2000; Jonides et al., 1993)。各領域の機能的な細かい違いは以下の通りである。背外側前頭前野は計画の立案や問題解決、それに伴った結果の解釈に関わるとされている(O'Reilly, 2020)。腹外側前頭前野はゴールまでの道のりを見つけ出すときに活動し(Patai & Spiers, 2021)、さらに近年では物体認知におけるフィードバック処理に必要な領域であることが指摘されている(Kar & DiCarlo, 2021)。眼窩前頭前野は情動の処理(Pourtois et al., 2006)や意思決定に関わる認知マップの作成と抑制機能(Bari et al., 2020; O'Reilly, 2020; Patai & Spiers, 2021)を担っている。空間、物体、特徴、時間次元における注意が発達する生後8ヶ月頃には、前頭前野における高次認知機能が機能し始めると考えられる。

ヒトやサルの見聞を元に作られた視覚処理における注意ネットワークの脳内モデルでは、前頭領域から後頭領域への注意によるトップダウン信号を想定している(図6-2a; Mueller et al., 2017)。網膜からの視覚入力後、後頭領域で低次の視覚処理が始まり、これに伴うボトムアップの注意が前頭へと伝達されるが、トップダウンの注意はこの逆方向の伝達である。低次の視覚処理から伝達される情報は前頭領域にある前頭前野(PFC)へと最終的に送られ、再度後頭へのトップダウン信号が伝達される。このように、ボトムアップとトップダウンの相互伝達が繰り返し行われることで、ヒトの認知処理は遂行される。トップダウンの注意をあらかじめ特定の領域や物体、特徴へ向けるときには前頭領域から前頭眼野(frontal eye field)、外側頭頂間溝(lateral intraparietal cortex)を通して高次/低次の視覚処理に対するトップダウンの信号が伝達され、ボトムアップの注意では刺激の入力後に顕著性の高い刺

激に対するボトムアップ注意が外側頭頂間溝、前頭眼野の順に伝達する(Ibos, Duhamel, & Ben Hamed, 2013)。トップダウンにどこに注意を向けるのか、あるいはボトムアップに注意がどこに向くのかは外側頭頂間溝や前頭眼野で決められる(Ibos, Duhamel, & Ben Hamed, 2013; Khorsand, Moore, & Soltani, 2015)。ボトムアップだけでなくトップダウンにも注意を向けることができるのは、前頭前野が十分に機能している成人だからであると考えられる。

生後 8 ヶ月頃は成人でみられるこれらの注意ネットワークが十分に形成されている時期にあたりと考えられる(図 6-2b)。近赤外分光法(fNIRS)を用いた研究から前頭領域の活動が認知課題遂行時にみられることや(Diamond & Goldman-Rakic, 1989; Ellis et al., 2021; Werchan & Amso, 2020; Werchan et al., 2016)、行動実験からこの時期の作業記憶の容量が空間的にも時間的にも成人に匹敵していることから(Oakes et al., 2011; Ross-Sheehy, Oakes, & Luck, 2003)、前頭領域の機能は成人に劣らないことが推測できる。さらに、前頭からのトップダウンによるフィードバックもこの時期に成立することから(Nakashima, Kanazawa, & Yamaguchi, 2021)、生後 8 ヶ月頃に前頭から後頭への相互伝達システムが構築されている可能性が挙げられる。これら前頭領域の発達を考慮すると、本研究における視覚的注意の発達が生後 8 ヶ月頃に生じるのは妥当であると考えられる。生後 8 ヶ月頃に作業記憶や注意機能を担う前頭領域が活動し、その活動に伴う他の脳領域へのネットワークが築かれることにより、空間、物体、特徴、時間次元における視覚的注意が成人に劣らないレベルに到達すると考えられる。物体認知や作業記憶の量的な発達は成人まで続くため(Delgado Reyes et al., 2020; Geier et al., 2009; Kwon, Reiss, & Menon, 2002)、注意ネットワークの発達も生後 8 ヶ月時点で完全に完了しているとは断言できないが、質的な基盤がこの月齢で既に形成されていると想定される。

一方で、生後 6 ヶ月以前の乳児では成人と生後 8 ヶ月頃にみられる注意ネットワークが十分に成立していないと予想される(図 6-2c)。前頭領域の機能として代表的な作業記憶は

生後 6 ヶ月頃には十分に機能していない(Káldy & Leslie, 2005; Oakes et al., 2011; Ross-Sheehy, Oakes, & Luck, 2003)。また、視覚処理の成立に重要なフィードバックの役割もこの時期では機能していないことから(Nakashima, Kanazawa, & Yamaguchi, 2021)、前頭前野を含む前頭領域の活動が未完成であると推定される。そのため、トップダウンによる注意の効果が弱く、ボトムアップの注意ベースの視覚処理に依存している可能性が考えられる。空間的注意が生後数ヶ月の乳児から生じるのは、このボトムアップベースの注意によるものであると推測される。

まとめると、後頭から前頭へのボトムアップによる注意に加えて、前頭領域から後頭へのトップダウンによる注意が成人ではみられる。このボトムアップとトップダウンによる注意の相互伝達システムが前頭領域が機能し始める生後 8 ヶ月頃に形成されるモデルを示した。一方で、前頭領域の活動が不完全な生後 6 ヶ月以下の乳児ではトップダウンによる注意が完全には機能しないため、ボトムアップの注意ベースの視覚処理を基盤とするモデルが考えられる。ここで提案した視覚的注意の仮説的モデルの妥当性を検証するためには、さらなる心理物理実験に加えて、脳波(EEG)や fNIRS を用いた生理学的実験も行う必要がある。また、全月齢対象に実施できる視覚的注意の課題を開発することで、本研究で検討できなかった月齢もカバーできると考えられる。

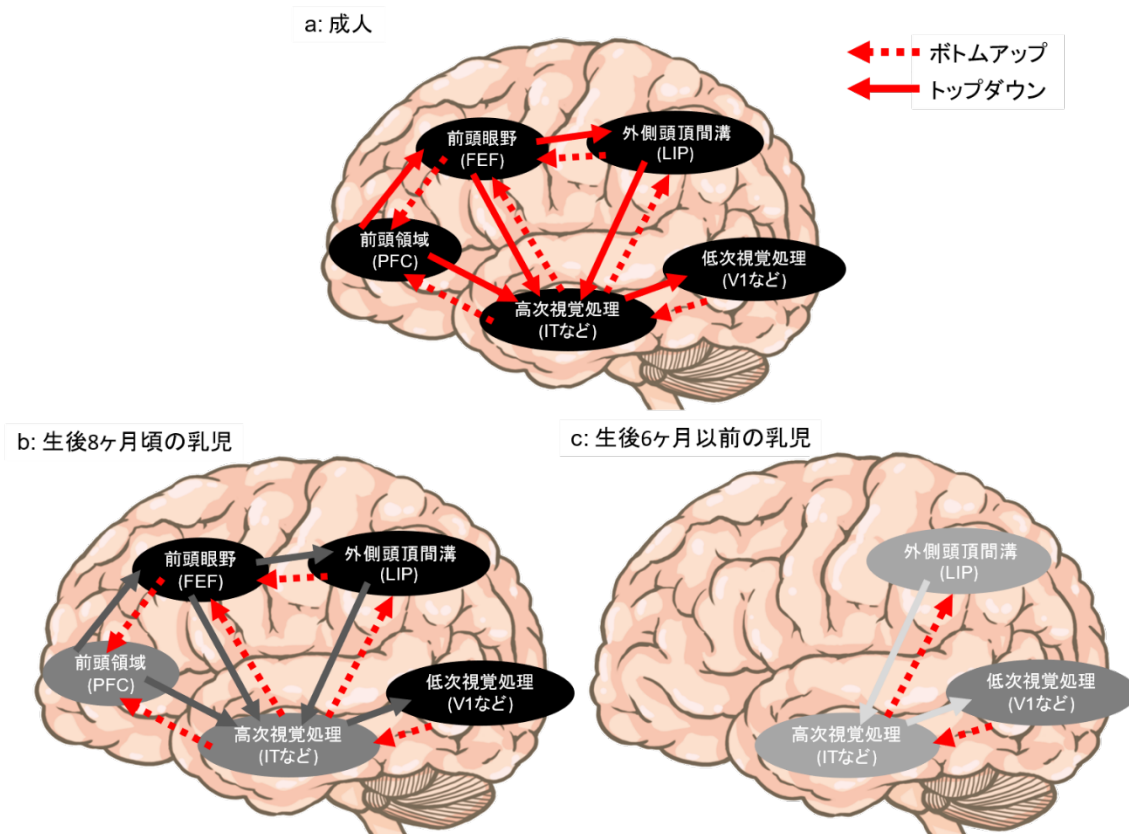


図 6-2. Mueller et al. (2017)を元に作成した視覚的注意の仮説的モデル。(a)成人のモデル。成人では低次の視覚処理から前頭の活動まで全体的に機能しており、後頭からのボトムアップ、前頭からのトップダウン信号が領域間で伝達される。(b)生後 8 ヶ月頃の乳児のモデル。生後 8 ヶ月頃には成人と同様にトップダウンとボトムアップの注意が機能している。成人との色の違いはその領域の発達の成熟度を指している。生後 8 ヶ月頃でも前頭領域の発達は完了していないため、成人と比較すると未熟ではあるが、ネットワークの構築は既に確立されている。(c)生後 6 ヶ月以前の乳児のモデル。どの領域も未成熟であるが、後頭における低次視覚処理からボトムアップの注意による信号は伝達される。前頭領域も全く機能していないわけではないが、生後 8 ヶ月頃の乳児や成人と比較すると注意ネットワークの強度は弱い。

6-4 今後の展望

本研究の実験的検討を通して、空間、物体、特徴、時間における視覚的注意の発達について一定の知見を得ることができた。特に生後 8 ヶ月頃には前述した各注意機能が成人並みに機能していることから、作業記憶を含む高次認知機能が成人と同様に働いていると結論づけた。これらの議論から、生後 8 ヶ月頃にボトムアップの注意をベースとした発達初期の視覚処理からトップダウンの注意が関与する視覚処理へと切り替わると考えられる。しかし、日常生活における 8 ヶ月前後の乳児の行動を見る限り、このトップダウンの注意をベースとした視覚処理は十分に完成されておらず、成人レベルに成熟しているとは考えにくい。成人の完成された認知プロセスに到達するのに必要な発達が何であるかは不明であり、注意が重要な役割を果たすのか、あるいは他の認知機能の発達が成人レベルの認知行動につながるのかは謎である。注意と高次認知機能の発達についてさらに検討することで、視覚的注意の発達を明らかにすると同時に、ヒト特有の高度な認知行動のメカニズムを解明することができると思う。

注意はヒトの意識の機序を考える上でも重要な研究テーマである。なぜヒトに意識があるのか、物理的な世界をどのように主観的に知覚しているのかなど、意識の謎は多い(e.g. Koch, 2018)。特に生まれて間もない乳児や動物にも意識があるのかはこれまで度々議論されてきたが(Ben-Haim et al., 2021; Birch, Schnell, & Clayton, 2020; Hampton, 2021; Tononi & Koch, 2015)、未だ統一的な見解はない。乳児では言語報告が不可能であることや、乳児期の記憶が残っていないことから、意識の有無を直接調べることは困難であるとされてきた。しかし、近年乳児でも成人と同じように外界の刺激を意識的な気づき(perceptual awareness)を持って知覚していることや(Kouider et al., 2013)、外界の情報を海馬に記憶していること(Ellis et al., 2021)が報告されている。これら 2 つの知見は、乳児にも意識が存在する可能性を示唆するが、どちらの研究も乳児が受動的に画像を観察しているときの脳活動の記録から成り立っており、能動的に外界の情報を処理するトップダウンの側面につい

ては未解明である。本研究において、視覚的注意の発達が生後8ヶ月頃であり、特にトップダウンによる注意がこの月齢時期に獲得される可能性を報告したが、このトップダウンによる注意の発達時期が意識の発生メカニズムの基盤になるかもしれない。このトップダウンの注意の発達をより詳細に行動実験と生理学的実験から検討することで、意識的な知覚の発達過程を注意の観点から明らかにできると考える。

また、視覚的注意の発達を明らかにすることは、発達障害のメカニズムや原因の理解にもつながるだろう。注意欠陥多動性障害(ADHD)や自閉症(ASD)などの発達障害では、注意を含む高次認知機能の発達の遅れや障害がみられる(Cortese et al., 2012; Müller & Fishman, 2018; Sjöwall & Thorell, 2014)。特にADHDでは、課題に取り組む際に注意を維持し続けることが困難であることや(Van den Driessche et al., 2017)、健常者と比較して抑制機能が弱いこと(Barkley, 1997)が報告されており、前頭領域を中心とした認知機能不全が問題になっている。ADHDの発現率は早期出産による低体重によって高まることが指摘されており(Atkinson & Braddick, 2012; Botting et al., 1997; Franz et al., 2018)、医学的な診断がつく前にADHDの有無を乳児の段階である程度予測できると考えられる。このような早期段階におけるスクリーニングが可能になれば、臨床トレーニングによる早期介入によって彼/彼女らの認知機能を鍛えることができるため、より快適な日常生活の実現につながると期待できる。一般的にADHDの診断にはDSM-5(American Psychiatric Association, 2013)が使用されており、不注意(inattention)や多動性(hyperactivity)、衝動性(impulsivity)が6ヶ月以上みられるかが診断の基準となるが、この診断でみている注意の定義は広く、具体的にどの注意機能が障害されているのかを特定することが難しい。本研究で検討した空間、物体、特徴、時間次元における注意機能のどれが障害されているのかを詳細に検討することで個々人のバラつきが浮き彫りとなり、その結果一人一人に合わせた臨床的アプローチが可能になると考える。最終的にはADHDの原因特定や臨床的なアプローチの開発につながる研究が展開されると予測される。

ADHDとは異なり、ASDでは特に社会認知(social cognition)が損なわれていることがいわれており(Müller & Fishman, 2018; Pelphrey et al., 2011)、他者の視線に対する感受性が低いことが報告されている(Grice et al., 2005)。このASDにおける他者の視線に対する感受性の低さは、視線に対して注意が向きにくく、社会的注意に障害があることを示唆している。他者の視線に対して注意が向かないASD特有の現象は乳児期からみられることから(Jones & Klin, 2013)、注意機能を指標とした早期スクリーニングの実現が考えられる。またこの社会的注意の欠如とは別に、健常者とは異なるASDに特異的な注意システムが存在することも報告されている(Mottron et al., 2006)。例えば、ASDでは視覚探索課題における標的の検出が課題の難易度の影響を受けないことが示されており(Kaldy et al., 2011; Kaldy et al., 2016)、健常者とは異なり提示された刺激全てに対して並列的に注意が向いている可能性が考えられる。ASDを有する人たちは健常者とは異なる視覚世界を体験している可能性があり(Kuhn, Kourkoulou, & Leekam, 2010; Ronconi et al., 2018)、ASDの有無による違いを明らかにすることで、さらなる視覚システムの解明につながると考える。

引用文献

- Abrams, J., Barbot, A., & Carrasco, M. (2010). Voluntary attention increases perceived spatial frequency. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72(6), 1510–1521.
<https://doi.org/10.3758/APP>
- Adler, S. A., & Gallego, P. (2014). Search asymmetry and eye movements in infants and adults. *Attention, Perception, and Psychophysics*, 76(6), 1590–1608.
<https://doi.org/10.3758/s13414-014-0667-6>
- Adler, S. A., & Orprecio, J. (2006). The eyes have it: Visual pop-out in infants and adults. *Developmental Science*, 9(2), 189–206. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2006.00479.x>
- Akyürek, E. G., Hommel, B., & Jolicoeur, P. (2007). Direct evidence for a role of working memory in the attentional blink. *Memory and Cognition*, 35(4), 621–627.
<https://doi.org/10.3758/BF03193300>
- American Psychiatric Association (2013) Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders: DSM-5, American Psychiatric Publishing
- Amso, D., & Scerif, G. (2015). The attentive brain: Insights from developmental cognitive neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, 16(10), 606–619.
<https://doi.org/10.1038/nrn4025>
- Aslin, R. N., & Salapatek, P. (1975). Saccadic localization of visual targets by the very young human infant. *Perception & Psychophysics*, 17(3), 293–302.
<https://doi.org/10.3758/BF03203214>
- Atkinson, J. (2017). The Davida Teller Award Lecture, 2016 Visual Brain Development: A review of “Dorsal Stream Vulnerability” -motion, mathematics, amblyopia, actions, and attention. *Journal of Vision*, 17(3), 26. <https://doi.org/10.1167/17.3.26>

- Atkinson, J., & Braddick, O. (2012). Visual attention in the first years: Typical development and developmental disorders. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 54(7), 589–595. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2012.04294.x>
- Awh, E., & Jonides, J. (2001). Overlapping mechanisms of attention and spatial working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(3), 119–126. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01593-X](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01593-X)
- Awh, E., & Pashler, H. (2000). Evidence for split attentional foci. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26(2), 834–846. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.26.2.834>
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417–423. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)
- Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4, 829–839. <https://doi.org/10.1038/nrn1201>
- Baddeley, A. (2010). Working memory. *Current Biology*, 31(5), 136–140. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.12.014>
- Banks, M. S. (1982–1983). The development of spatial and temporal contrast sensitivity. *Current Eye Research*, 2, 191–198. <https://doi.org/10.3109/02713688208997694>.
- Bari, A., Xu, S., Pignatelli, M., Takeuchi, D., Feng, J., Li, Y., & Tonegawa, S. (2020). Differential attentional control mechanisms by two distinct noradrenergic coeruleo-frontal cortical pathways. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(46), 202015635. <https://doi.org/10.1073/pnas.2015635117>
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 121(1), 65–94. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.121.1.65>

- Barry-Anwar, R., Hadley, H., Conte, S., Keil, A., & Scott, L. S. (2018). The developmental time course and topographic distribution of individual-level monkey face discrimination in the infant brain. *Neuropsychologia*, 108(June 2017), 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.11.019>
- Battelli, L., Cavanagh, P., Intriligator, J., Tramo, M. J., Hénaff, M. A., Michèl, F., & Barton, J. J. S. (2001). Unilateral right parietal damage leads to bilateral deficit for high-level motion. *Neuron*, 32(6), 985–995. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(01\)00536-0](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(01)00536-0)
- Battelli, L., Pascual-Leone, A., & Cavanagh, P. (2007). The “when” pathway of the right parietal lobe. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(5), 204–210. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2007.03.001>
- Ben-Haim, M. S., Dal Monte, O., Fagan, N. A., Dunham, Y., Hassin, R. R., Chang, S. W. C., & Santos, L. R. (2021). Disentangling perceptual awareness from nonconscious processing in rhesus monkeys (*Macaca mulatta*). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(15), e2017543118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2017543118>
- Bertenthal, B. I., Boyer, T. W., & Harding, S. (2014). When do infants begin to follow a point? *Developmental Psychology*, 50(8), 2036–2048. <https://doi.org/10.1037/a0037152>
- Bertin, E., & Bhatt, R. S. (2001). Dissociations between Featural versus Conjunction-Based Texture Processing in Infancy: Analyses of Three Potential Contributing Factors. *Journal of Experimental Child Psychology*, 78(3), 291–311. <https://doi.org/10.1006/jecp.2000.2568>
- Bichot, N. P., Heard, M. T., DeGennaro, E. M., & Desimone, R. (2015). A Source for Feature-Based Attention in the Prefrontal Cortex. *Neuron*, 88(4), 832–844. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.10.001>

- Bichot, N. P., Rossi, A. F., & Desimone, R. (2005). Parallel and serial neural mechanisms for visual search in macaque area V4. *Science*, 308(5721), 529–534. <https://doi.org/10.1126/science.1109676>
- Birch, J., Schnell, A. K., & Clayton, N. S. (2020). Dimensions of Animal Consciousness. *Trends in Cognitive Sciences*, 24(10), 789–801. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2020.07.007>
- Braddick, O., & Atkinson, J. (2011). Development of human visual function. *Vision Research*, 51(13), 1588–1609. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2011.02.018>
- Braddick, O. J., Atkinson, J., & Wattam-Bell, J. R. (1986). Development of the discrimination of spatial phase in infancy. *Vision Research*, 26(8), 1223–1239. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(86\)90103-3](https://doi.org/10.1016/0042-6989(86)90103-3)
- Braun, J. (1998). Vision and attention: The role of training. *Nature*, 393(6684), 424–425. <https://doi.org/10.1038/30875>
- Broadbent, D. E. (1952). Failures of attention in selective listening. *Journal of Experimental Psychology*, 44(6), 428–433. <https://doi.org/10.1037/h0057163>
- Broadbent, D. E., & Broadbent, M. H. P. (1987). From detection to identification: Response to multiple targets in rapid serial visual presentation. *Perception & Psychophysics*, 42(2), 105–113. <https://doi.org/10.3758/BF03210498>
- Buiatti, M., Di Giorgio, E., Piazza, M., Polloni, C., Menna, G., Taddei, F., Baldo, E., & Vallortigara, G. (2019). Cortical route for facelike pattern processing in human newborns. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(10), 4625–4630. <https://doi.org/10.1073/pnas.1812419116>
- Bulf, H., Johnson, S. P., & Valenza, E. (2011). Visual statistical learning in the newborn infant. *Cognition*, 121(1), 127–132. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2011.06.010>

- Bulf, H., & Valenza, E. (2013). Object-based visual attention in 8-month-old infants: Evidence from an eye-tracking study. *Developmental Psychology*, 49(10), 1909–1918. <https://doi.org/10.1037/a0031310>
- Buracas, G. T., & Albright, T. D. (2009). Modulation of neuronal responses during covert search for visual feature conjunctions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(39), 16853–16858. <https://doi.org/10.1073/pnas.0908455106>
- Buschman, T. J., & Miller, E. K. (2007). Top-down versus bottom-up control of attention in the prefrontal and posterior parietal cortices. *Science*, 315(5820), 1860–1862. [10.1126/science.1138071](https://doi.org/10.1126/science.1138071)
- Buss, A. T., Ross-Sheehy, S., & Reynolds, G. D. (2018). Visual working memory in early development: A developmental cognitive neuroscience perspective. *Journal of Neurophysiology*, 120(4), 1472–1483. <https://doi.org/10.1152/jn.00087.2018>
- Carrasco, M. (2011). Visual attention: The past 25 years. *Vision Research*, 51(13), 1484–1525. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2011.04.012>
- Carrasco, M., & Barbot, A. (2014). How attention affects spatial resolution. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 79, 149–160. <https://doi.org/10.1101/sqb.2014.79.024687>
- Carrasco, M., & Barbot, A. (2019). Spatial attention alters visual appearance. *Current Opinion in Psychology*, 29, 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2018.10.010>
- Carrasco, M., & Hanning, N. M. (2020). Visual perception: Attending beyond the eyes' reach. *Current Biology*, 30(21), R1322–R1324. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.08.095>
- Carrasco, M., Ling, S., & Read, S. (2004). Attention alters appearance. *Nature Neuroscience*, 7(3), 308–313. <https://doi.org/10.1038/nn1194>

- Catherwood, D., Skoien, P., & Holt, C. (1996). Colour pop-out in infant response to visual arrays. *British Journal of Developmental Psychology*, 14(3), 315–326. <https://doi.org/10.1111/j.2044-835X.1996.tb00708.x>
- Chen, Z. (2012). Object-based attention: A tutorial review. *Attention, Perception, and Psychophysics*, 74(5), 784–802. <https://doi.org/10.3758/s13414-012-0322-z>
- Choi, H., Chang, L. H., Shibata, K., Sasaki, Y., & Watanabe, T. (2012). Resetting capacity limitations revealed by long-lasting elimination of attentional blink through training. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(30), 12242–12247. <https://doi.org/10.1073/pnas.1203972109>
- Christodoulou, J., Leland, D. S., & Moore, D. S. (2018). Overt and covert attention in infants revealed using steady-state visually evoked potentials. *Developmental Psychology*, 54(5), 803–815. <https://doi.org/10.1037/dev0000486>
- Cohen, M. A., Botch, T. L., & Robertson, C. E. (2020). The limits of color awareness during active, real-world vision. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(24), 13821–13827. <https://doi.org/10.1073/pnas.1922294117>
- Cohen, L. B., DeLoache, J. S., & Pearl, R. A. (1977). An examination of interference effects in infants' memory for faces. *Child Development*, 48(1), 88–96. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1977.tb04246.x>
- Cohen, L. B., Gelber, E. R., & Lazar, M. A. (1971). Infant habituation and generalization to differing degrees of stimulus novelty. *Journal of Experimental Child Psychology*, 11(3), 379–389. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(71\)90043-9](https://doi.org/10.1016/0022-0965(71)90043-9)
- Coldren, J. T., & Haaf, R. A. (2000). Asymmetries in infants' attention to the presence or absence of features. *Journal of Genetic Psychology*, 161(4), 420–434. <https://doi.org/10.1080/00221320009596722>

- Colombo, J. (2001). The development of visual attention in infancy. *Annual Review of Psychology*, 52(1), 337–367. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.52.1.337>
- Colombo, J. (2002). Infant attention grows up: The emergence of a developmental cognitive neuroscience perspective. *Current Directions in Psychological Science*, 11(6), 196–200. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.00199>
- Colombo, J., & Cheatham, Carol, L. (2006). The emergence and basis of endogenous attention in infancy and early childhood. *Advances in Child Development and Behavior*, 77(3), 725–730. <https://doi.org/10.1210/jcem.77.3.7690363>
- Colombo, J., Harlan, J. E., & Mitchell, D. W. (1999, April). The development of look duration in infancy: Evidence for a triphasic course. Paper presented at the annual meeting of the Society for Research in Child Development, Albuquerque, NM
- Colombo, J., & Richman, W. A. (2002). Infant timekeeping: Attention and temporal estimation in 4-month-olds. *Psychological Science*, 13(5), 475–479. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00484>
- Colombo, J., Richman, W. A., Shaddy, D. J., & Greenhoot, A. F. (2001). Heart Rate-Defined Phases of Attention, Look Duration, and Infant Performance in the Paired-Comparison Paradigm. *Child Development*, 72(6), 1605–1616. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00368>
- Colombo, J., Ryther, J. S., Frick, J. E., & Gifford, J. J. (1995). Visual pop-out in infants: Evidence for preattentive search in 3- and 4-month-olds. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2(2), 266–268. <https://doi.org/10.3758/BF03210968>
- Colzato, L. S., Slagter, H. A., de Rover, M., & Hommel, B. (2011). Dopamine and the management of attentional resources: genetic markers of striatal D2 dopamine predict individual differences in the attentional blink. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(11),

3576–3585. <https://doi.org/10.1162/jocn>

Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(3), 201–215. <https://doi.org/10.1038/nrn755>

Cortese, S., Kelly, C., Chabernaud, C., Proal, E., Di Martino, A., Milham, M. P., & Castellanos, F. X. (2012). Toward Systems Neuroscience of ADHD: A Meta-Analysis of 55 fMRI Studies. *American Journal of Psychiatry*, 169(10), 1038–1055. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2012.11101521>

Courage, M. L., Reynolds, G. D., & Richards, J. E. (2006). Infants' attention to patterned stimuli: developmental change from 3 to 12 months of age. *Child Development*, 77(3), 680–695. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2006.00897.x>

Craighero, L., Nascimben, M., & Fadiga, L. (2004). Eye Position Affects Orienting of Visuospatial Attention. *Current Biology*, 14(4), 331–333. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2004.01.054>

Craighero, L., & Rizzolatti, G. (2005). The premotor theory of attention. *Neurobiology of Attention*, 181–186. <https://doi.org/10.1016/B978-012375731-9/50035-5>

Csibra, G., Davis, G., Spratling, M. W., & Johnson, M. H. (2000). Gamma oscillations and object processing in the infant brain. *Science*, 290(5496), 1582–1585. <https://doi.org/10.1126/science.290.5496.1582>

Csibra, G., Tucker, L. A., & Johnson, M. H. (1998). Neural correlates of saccade planning in infants: A high-density ERP study. *International Journal of Psychophysiology*, 29(2), 201–215. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(98\)00016-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(98)00016-6)

Daum, M. M., Ulber, J., & Gredebäck, G. (2013). The development of pointing perception in infancy: Effects of communicative signals on covert shifts of attention. *Developmental*

- Psychology*, 49(10), 1898–1908. <https://doi.org/10.1037/a0031111>
- de Heering, A., & Rossion, B. (2015). Rapid categorization of natural face images in the infant right hemisphere. *eLife*, 4, 1–14. <https://doi.org/10.7554/elife.06564>
- Dehaene, S., & Changeux, J. P. (2011). Experimental and theoretical approaches to conscious processing. *Neuron*, 70(2), 200–227. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2011.03.018>
- Delgado Reyes, L., Wijekumar, S., Magnotta, V. A., Forbes, S. H., & Spencer, J. P. (2020). The functional brain networks that underlie visual working memory in the first two years of life. *NeuroImage*, 219, 116971. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116971>
- Deutsch, J. A., & Deutsch, D. (1963). Attention: Some theoretical considerations. *Psychological Review*, 70(1), 51–60. <https://doi.org/10.1037/h0042712>
- Di Giorgio, Lunghi, M., Rugani, R., Regolin, L., Dalla Barba, B., & Vallortigara, G. (2019). A mental number line in human newborns. *Developmental Science*, 22(16). e12801. <https://doi.org/10.1111/desc.12801>
- Di Giorgio, E., Turati, C., Altoè, G., & Simion, F. (2012). Face detection in complex visual displays: An eye-tracking study with 3- and 6-month-old infants and adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, 113(1), 66–77. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2012.04.012>
- Diamond, A., & Goldman-Rakic, P. S. (1989). Comparison of human infants and rhesus monkeys on Piaget’s AB task: evidence for dependence on dorsolateral prefrontal cortex. *Experimental Brain Research*, 74(1), 24–40.
- Dobkins, K. R., Anderson, C. M., & Lia, B. (1999). Infant temporal contrast sensitivity functions (tCSFs) mature earlier for luminance than for chromatic stimuli: Evidence for precocious magnocellular development? *Vision Research*, 39(19), 3223–3239.

[https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(99\)00020-6](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(99)00020-6)

Dobkins, K. R., Barry, L., & Teller, D. Y. (1997). Infant color vision: Temporal contrast sensitivity functions for chromatic (Red/Green) stimuli in 3-month-olds. *Vision Research*, 37(19), 2699–2716. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(97\)81180-7](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(97)81180-7)

Dobkins, K. R., & Teller, D. Y. (1996). Infant contrast detectors are selective for direction of motion. *Vision Research*, 36(2), 281–294. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(95\)00094-G](https://doi.org/10.1016/0042-6989(95)00094-G)

Domsch, H., Thomas, H., & Lohaus, A. (2010). Infant attention, heart rate, and looking time during habituation/dishabituation. *Infant Behavior and Development*, 33(3), 321–329. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2010.03.008>

Driver, J., Davis, G., Ricciardelli, P., Kidd, P., Maxwell, E., & Baron-Cohen, S. (1999). Gaze perception triggers reflexive visuospatial orienting. *Visual Cognition*, 6(5), 509–540. <https://doi.org/10.1080/135062899394920>

Drummond, L., & Shomstein, S. (2010). Object-based attention: shifting or uncertainty? *Attention, perception & psychophysics*, 72(7), 1743–1755. <https://doi.org/10.3758/APP.72.7.1743>

Drummond, L. & Shomstein, S. (2013) The timecourse of space- and object-based attentional prioritization with varying degrees of certainty. *Front. Integr. Neurosci.* 7:88. doi: 10.3389/fnint.2013.00088

Dugué, L., Merriam, E. P., Heeger, D. J., & Carrasco, M. (2020). Differential impact of endogenous and exogenous attention on activity in human visual cortex. *Scientific Reports*, 10(1), 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78172-x>

Duncan, J. (1984). Selective attention and the organization of visual information. *Journal of Experimental Psychology. General*, 113(4), 501–517. 10.1037//0096-3445.113.4.501

- Duncan, J., & Owen, A. M. (2000). Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands. *Trends in Neurosciences*, 23(10), 475–483. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(00\)01633-7](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(00)01633-7)
- Dux, P. E., & Marois, R. (2007). Repetition blindness is immune to the central bottleneck. *Psychonomic Bulletin and Review*, 14(4), 729–734. <https://doi.org/10.3758/BF03196829>
- Dux, P. E., & Marois, R. (2009). The attentional blink : A review of data and theory. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 71(8), 1683–1700. <https://doi.org/10.3758/APP>
- Egly, R., Driver, J., & Rafal, R. D. (1994). Shifting visual attention between objects and locations: Evidence from normal and parietal lesion subjects. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123(2), 161–177. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.123.2.161>
- Einhäuser, W., Koch, C., & Makeig, S. (2007). The duration of the attentional blink in natural scenes depends on stimulus category. *Vision Research*, 47(5), 597–607. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2006.12.007>
- Ellis, C. T., Skalaban, L. J., Yates, T. S., Bejjanki, V. R., Córdova, N. I., & Turk-Browne, N. B. (2021). Evidence of hippocampal learning in human infants. *Current Biology*, 31(15), 3358–3364.e4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.04.072>
- Ellis, C. T., Skalaban, L. J., Yates, T. S., & Turk-Browne, N. B. (2021). Attention recruits frontal cortex in human infants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118. <https://doi.org/10.1101/2020.10.14.340216>
- Emberson, L. L., Richards, J. E., & Aslin, R. N. (2015). Top-down modulation in the infant brain: Learning-induced expectations rapidly affect the sensory cortex at 6 months. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(31), 9585–9590. <https://doi.org/10.1073/pnas.1510343112>

- Enns, J. T., & Di Lollo, V. (2000). What's new in visual masking? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(9), 345–352. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01520-5](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01520-5)
- Eriksson, J., Vogel, E. K., Lansner, A., Bergström, F., & Nyberg, L. (2015). Neurocognitive Architecture of Working Memory. *Neuron*, 88(1), 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.09.020>
- Eriksen, C. W., & Hoffman, J. E. (1972). Some characteristics of selective attention in visual perception determined by vocal reaction time. *Perception & Psychophysics*, 11(2), 169–171. <https://doi.org/10.3758/BF03210367>
- Eugenie Hartmann, E., & Banks, M. S. (1992). Temporal contrast sensitivity in human infants. *Vision Research*, 32(6), 1163–1168. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(92\)90018-E](https://doi.org/10.1016/0042-6989(92)90018-E)
- Fahrenfort, J. J., Van Leeuwen, J., Olivers, C. N. L., & Hogendoorn, H. (2017). Perceptual integration without conscious access. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(14), 3744–3749. <https://doi.org/10.1073/pnas.1617268114>
- Fang, M. W. H., Becker, M. W., & Liu, T. (2019). Attention to colors induces surround suppression at category boundaries. *Scientific Reports*, 9(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37610-7>
- Fang, M. W. H., & Liu, T. (2019). The profile of attentional modulation to visual features. *Journal of Vision*, 19(13), 1–16. <https://doi.org/10.1167/19.13.13>
- Fantz, R. L. (1961). The Origin of Form Perception. *Scientific American*, 204(5), 66–73. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0561-66>
- Farroni, T., Simion, F., Umiltà, C., & Dalla Barba, B. (1999). The gap effect in newborns. *Developmental Science*, 2(2), 174–186. <https://doi.org/10.1111/1467-7687.00066>
- Farzin, F., Rivera, S. M., & Whitney, D. (2011a). Time crawls: The temporal resolution of

- infants' visual attention. *Psychological Science*, 22(8), 1004–1010.
<https://doi.org/10.1177/0956797611413291>
- Farzin, F., Rivera, S. M., & Whitney, D. (2011b). Resolution of spatial and temporal visual attention in infants with fragile X syndrome. *Brain*, 134(11), 3355–3368.
<https://doi.org/10.1093/brain/awr249>
- Feinstein, J. S., Stein, M. B., Castillo, G. N., & Paulus, M. P. (2004). From sensory processes to conscious perception. *Consciousness and Cognition*, 13(2), 323–335.
<https://doi.org/10.1016/j.concog.2003.10.004>
- Fernández, A., & Carrasco, M. (2020). Extinguishing Exogenous Attention via Transcranial Magnetic Stimulation. *Current Biology*, 30(20), 4078-4084.e3.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.07.068>
- Finoia, P., Mitchell, D. J., Hauk, O., Beste, C., Pizzella, V., & Duncan, J. (2015). Concurrent brain responses to separate auditory and visual targets. *Journal of Neurophysiology*, 114(2), 1239–1247. <https://doi.org/10.1152/jn.01050.2014>
- Forster, K. (1970). Visual perception of rapidly presented text segments of varying complexity. *Perception & Psychophysics*, 8(4), 215–221. <https://doi.org/10.3758/BF03210208>
- Franklin, A., Catherwood, D., Alvarez, J., & Axelsson, E. (2010). Hemispheric asymmetries in categorical perception of orientation in infants and adults. *Neuropsychologia*, 48(9), 2648–2657. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.05.011>
- Franz, A. P., Bolat, G. U., Bolat, H., Matijasevich, A., Santos, I. S., Silveira, R. C., Procianoy, R. S., Rohde, L. A., & Moreira-Maia, C. R. (2018). Attention-deficit/hyperactivity disorder and very preterm/very low birth weight: A meta-analysis. *Pediatrics*, 141(1).
<https://doi.org/10.1542/peds.2017-1645>
- Freeman, J., & Simoncelli, E. P. (2011). Metamers of the ventral stream. *Nature Neuroscience*,

14(9), 1195–1204. <https://doi.org/10.1038/nn.2889>

Friesen, C.K., Kingstone, A. The eyes have it! Reflexive orienting is triggered by nonpredictive gaze. *Psychonomic Bulletin & Review*, 5, 490–495 (1998).

<https://doi.org/10.3758/BF03208827>

Fuller, S., Park, Y., & Carrasco, M. (2009). Cue contrast modulates the effects of exogenous attention on appearance. *Vision Research*, 49(14), 1825–1837.

<https://doi.org/10.1016/j.visres.2009.04.019>

Gava, L., Valenza, E., & Turati, C. (2009). Newborns' perception of left-right spatial relations. *Child Development*, 80(6), 1797–1810. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2009.01368.x>

Geier, C. F., Garver, K., Terwilliger, R., & Luna, B. (2009). Development of working memory maintenance. *Journal of Neurophysiology*, 101(1), 84–99.

<https://doi.org/10.1152/jn.90562.2008>

Gelskov, S. V., & Kouider, S. (2010). Psychophysical thresholds of face visibility during infancy. *Cognition*, 114(2), 285–292. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2009.09.012>

Gerhardstein, P., & Rovee-Collier, C. (2002). The development of visual search in infants and very young children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 81(2), 194–215.

<https://doi.org/10.1006/jecp.2001.2649>

Gobell, J., & Carrasco, M. (2005). Attention alters the appearance of spatial frequency and gap size. *Psychological Science*, 16(8), 644–651. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2005.01588.x>

Goldberg, M. E., & Bruce, C. J. (1985). Cerebral cortical activity associated with the orientation of visual attention in the rhesus monkey. *Vision Research*, 25(3), 471–481.

[https://doi.org/10.1016/0042-6989\(85\)90072-0](https://doi.org/10.1016/0042-6989(85)90072-0)

- Goldknopf, E. J., Gillespie-Lynch, K., Marroquín, A. D., Nguyen, B. D., & Johnson, S. P. (2019). Spontaneous visual search during the first two years: Improvement with age but no evidence of efficient search. *Infant Behavior and Development*, 57(June), 101331. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2019.101331>
- Gregory, N. J., Hermens, F., Facey, R., & Hodgson, T. L. (2016). The developmental trajectory of attentional orienting to socio-biological cues. *Experimental Brain Research*, 234(6), 1351–1362. <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4627-3>
- Grice, S. J., Halit, H., Farroni, T., Baron-Cohen, S., Bolton, P., & Johnson, M. H. (2005). Neural Correlates of Eye-Gaze Detection in Young Children with Autism. *Cortex*, 41(3), 342–353. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70271-5](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70271-5)
- Haith, M. M., Hazan, C., & Goodman, G. S. (1988). Expectation and Anticipation of Dynamic Visual Events by 3.5-Month-Old Babies. *Child Development*, 59(2), 467–479. <https://doi.org/10.2307/1130325>
- Hampton, R. R. (2021). Animal consciousness: Should a new behavioral correlate in monkeys persuade agnostics? *Current Biology*, 31(12), R801–R803. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.05.020>
- Hanning, N. M., & Deubel, H. (2020). Attention capture outside the oculomotor range. *Current Biology*, 30(22), 32–34. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.09.054>
- Hanning, N. M., Szinte, M., & Deubel, H. (2019). Visual attention is not limited to the oculomotor range. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(19), 9665–9670. <https://doi.org/10.1073/pnas.1813465116>
- Harman, C., Posner, M. I., Rothbart, M. K., & Thomas-Thrapp, L. (1994). Development of orienting to locations and objects in human infants. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 48(2), 301–318. <https://doi.org/10.1037/1196-1961.48.2.301>

- Hayden, A., Bhatt, R. S., & Quinn, P. C. (2006). Infants' sensitivity to uniform connectedness as a cue for perceptual organization. *Psychonomic Bulletin and Review*, 13(2), 257–261. <https://doi.org/10.3758/BF03193840>
- Hayden, A., Bhatt, R. S., & Quinn, P. C. (2008). Perceptual organization based on illusory regions in infancy. *Psychonomic Bulletin and Review*, 15(2), 443–447. <https://doi.org/10.3758/PBR.15.2.443>
- Henderson, J. M., & Macquistan, A. D. (1993). The spatial distribution of attention following an exogenous cue. *Perception & Psychophysics*, 53(2), 221–230. <https://doi.org/10.3758/BF03211732>
- Hollingworth, A., Maxcey-Richard, A. M., & Vecera, S. P. (2012). The spatial distribution of attention within and across objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38(1), 135–151. <https://doi.org/10.1037/a0024463>
- Hood, B. M. (1993). Inhibition of return produced by covert shifts of visual attention in 6-month-old infants. *Infant Behavior and Development*, 16(2), 245–254. [https://doi.org/10.1016/0163-6383\(93\)80020-9](https://doi.org/10.1016/0163-6383(93)80020-9)
- Hood, B. M., & Atkinson, J. (1993). Disengaging visual attention in the infant and adult. *Infant Behavior and Development*, 16(4), 405–422. [https://doi.org/10.1016/0163-6383\(93\)80001-O](https://doi.org/10.1016/0163-6383(93)80001-O)
- Hood, B. M., Willen, J. D., & Driver, J. (1998). Adults' eyes trigger shifts of visual attention in human infants. *Psychological Science*, 9(2), 131–134. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00024>
- Ibos, G., Duhamel, J. R., & Ben Hamed, S. (2013). A functional hierarchy within the parietofrontal network in stimulus selection and attention control. *Journal of Neuroscience*, 33(19), 8359–8369. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4058->

12.2013

- Jacoby, O., Visser, T. A. W., Hart, B. C., Cunnington, R., & Mattingley, J. B. (2011). No evidence for early modulation of evoked responses in primary visual cortex to irrelevant probe stimuli presented during the attentional blink. *PLoS ONE*, 6(8), 1–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0024255>
- Jigo, M., Heeger, D. J., & Carrasco, M. (2021). An image-computable model of how endogenous and exogenous attention differentially alter visual perception. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(33), e2106436118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2106436118>
- Johnson, M. H. (1994). Visual attention and the control of eye movements in early infancy. In C. Umiltà & M. Moscovitch (Eds.), *Attention and performance XV: Conscious and Nonconscious information processing* (pp. 291-310). The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/1478.003.0018>
- Johnson, M. H., & Gilmore, R. O. (2003). Object-centered attention in 8-month-old infants. *Developmental Science*, 1(2), 221–225. <https://doi.org/10.1111/1467-7687.00034>
- Johnson, M. H., Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (1991). Components of visual orienting in early infancy: Contingency learning, anticipatory looking, and disengaging. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 3(4), 335–344. <https://doi.org/10.1162/jocn.1991.3.4.335>
- Johnson, M. H., Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (1994). Facilitation of saccades toward a covertly attended location in early infancy. *Psychological Science*, 5(2), 90–92. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1994.tb00636.x>
- Johnson, M. H., & Tucker, L. A. (1996). The development and temporal dynamics of spatial orienting in infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, 63(1), 171–188.

- <https://doi.org/10.1006/jecp.1996.0046>
- Johnston, S. J., Linden, D. E. J., & Shapiro, K. L. (2012). Functional Imaging Reveals Working Memory and Attention Interact to Produce the Attentional Blink. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(1), 28–38. <https://doi.org/10.1162/jocn>
- Jones, W., & Klin, A. (2013). Attention to eyes is present but in decline in 2-6-month-old infants later diagnosed with autism. *Nature*, 504(7480), 427–431. <https://doi.org/10.1038/nature12715>
- Jonides, J., Smith, E. E., Koeppe, R. A., Awh, E., Minoshima, S., & Mintun, M. A. (1993). Spatial working memory in humans as revealed by PET. *Nature*, 363(6430), 623–625. <https://doi.org/10.1038/363623a0>
- Joseph, J. S., Chun, M. M., & Nakayama, K. (1997). Attentional requirements in a “preattentive” feature search task. *Nature*, 387(6635), 806–807. <https://doi.org/10.1038/42940>
- Kaldy, Z., Giserman, I., Carter, A. S., & Blaser, E. (2016). The Mechanisms Underlying the ASD Advantage in Visual Search. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 46(5), 1513–1527. <https://doi.org/10.1007/s10803-013-1957-x>
- Kaldy, Z., Guillory, S. B., & Blaser, E. (2016). Delayed Match Retrieval: a novel anticipation-based visual working memory paradigm. *Developmental Science*, 19(6), 892–900. <https://doi.org/10.1111/desc.12335>
- Kaldy, Z., Kraper, C., Carter, A. S., & Blaser, E. (2011). Toddlers with Autism Spectrum Disorder are more successful at visual search than typically developing toddlers. *Developmental Science*, 14(5), 980–988. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2011.01053.x>
- Káldy, Z., & Leslie, A. M. (2003). Identification of objects in 9-month-old infants:

- Integrating “what” and “where” information. *Developmental Science*, 6(3), 360–373.
<https://doi.org/10.1111/1467-7687.00290>
- Káldy, Z., & Leslie, A. M. (2005). A memory span of one? Object identification in 6.5-month-old infants. *Cognition*, 97(2), 153–177.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2004.09.009>
- Káldy, Z., & Sigala, N. (2004). The neural mechanisms of object working memory: What is where in the infant brain? *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 28(2), 113–121.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2004.01.002>
- Kar, K., & DiCarlo, J. J. (2021). Fast Recurrent Processing via Ventrolateral Prefrontal Cortex Is Needed by the Primate Ventral Stream for Robust Core Visual Object Recognition. *Neuron*, 109(1), 164-176.e5.
<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2020.09.035>
- Katsuki, F., & Constantinidis, C. (2012). Early involvement of prefrontal cortex in visual bottom-up attention. *Nature Neuroscience*, 15(8), 1160–1166.
<https://doi.org/10.1038/nn.3164>
- Kawahara, J., Di Lollo, V., & Enns, J. T. (2001). Attentional requirements in visual detection and identification: Evidence from the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 969-984.
<https://doi.org/10.1037/0096-1523.27.4.969>
- Kawahara, J. ichiro, & Enns, J. T. (2009). Selection Difficulty and Interitem Competition Are Independent Factors in Rapid Visual Stream Perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(1), 146–158.
<https://doi.org/10.1037/a0013164>
- 河原純一郎・横澤一彦 (2015). 「注意 選択と統合 シリーズ統合的認知(第 1 巻)」勁草

書房

- Kelly, D. J., Duarte, S., Meary, D., Bindemann, M., & Pascalis, O. (2019). Infants rapidly detect human faces in complex naturalistic visual scenes. *Developmental Science*, March, 1–10. <https://doi.org/10.1111/desc.12829>
- Khorsand, P., Moore, T., & Soltani, A. (2015). Combined contributions of feedforward and feedback inputs to bottom-up attention. *Frontiers in Psychology*, 6(155), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00155>
- Kiat, J. E., Luck, S. J., Beckner, A. G., Hayes, T. R., Pomaranski, K. I., Henderson, J. M., & Oakes, L. M. (2021). Linking patterns of infant eye movements to a neural network model of the ventral stream using representational similarity analysis. *Developmental Science*, e13155. <https://doi.org/10.1111/desc.13155>
- Kibbe, M. M., & Feigenson, L. (2016). Infants use temporal regularities to chunk objects in memory. *Cognition*, 146, 251–263. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2015.09.022>
- Kim, S., Al-Haj, M., Fuller, S., Chen, S., Jain, U., Carrasco, M., & Tannock, R. (2014). Color vision in ADHD: Part 2 - Does attention influence color perception? *Behavioral and Brain Functions*, 10(1), 39. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-10-39>
- Koch, C. (2018). What Is Consciousness? *Nature*, 557(7704), S8–S12. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-05097-x>
- Koch, C., & Tsuchiya, N. (2007). Attention and consciousness: two distinct brain processes. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(1), 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.10.012>
- Kolers, P. A., & Katzman, M. T. (1966). Naming Sequentially Presented Letters and Words. *Language and Speech*, 9(2), 84–95. <https://doi.org/10.1177/002383096600900202>
- Konrad, K., Neufang, S., Thiel, C. M., Specht, K., Hanisch, C., Fan, J., Herpertz-Dahlmann,

- B., & Fink, G. R. (2005). Development of attentional networks: An fMRI study with children and adults. *NeuroImage*, 28(2), 429–439.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.06.065>
- Kouider, S., de Gardelle, V., Sackur, J., & Dupoux, E. (2010). How rich is consciousness? The partial awareness hypothesis. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(7), 301–307.
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.04.006>
- Kouider, S., & Dehaene, S. (2007). Levels of processing during non-conscious perception: A critical review of visual masking. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362(1481), 857–875. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2093>
- Kouider, S., Stahlhut, C., Gelskov, S. V., Barbosa, L. S., Dutat, M., De Gardelle, V., Christophe, A., Dehaene, S., Dehaene-Lambertz, G., & Sid Kouider, Carsten Stahlhut, Sofie V. Gelskov, Leonardo S. Barbosa, Michel Dutat, Vincent de Gardelle, Anne Christophe, Stanislas Dehaene, G. D.-L. (2013). A neural marker of perceptual consciousness in infants. *Science*, 340(6130), 376–380.
<https://doi.org/10.1126/science.1232509>
- Kranczioch, C., Debener, S., Schwarzbach, J., Goebel, R., & Engel, A. K. (2005). Neural correlates of conscious perception in the attentional blink. *NeuroImage*, 24(3), 704–714. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.09.024>
- Kuhn, G., Kourkoulou, A., & Leekam, S. R. (2010). How Magic Changes Our Expectations About Autism. *Psychological Science*, 21(10), 1487–1493.
<https://doi.org/10.1177/0956797610383435>
- Kulke, L., Atkinson, J., & Braddick, O. (2017). Neural mechanisms of attention become more specialised during infancy: Insights from combined eye tracking and EEG. *Developmental Psychobiology*, 59(2), 250–260. <https://doi.org/10.1002/dev.21494>

- Kwon, M. K., Luck, S. J., & Oakes, L. M. (2014). Visual Short-Term Memory for Complex Objects in 6- and 8-Month-Old Infants. *Child Development*, 85(2), 564–577.
<https://doi.org/10.1111/cdev.12161>
- Kwon, H., Reiss, A. L., & Menon, V. (2002). Neural basis of protracted developmental changes in visuo-spatial working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(20), 13336–13341.
<https://doi.org/10.1073/pnas.162486399>
- Lees, S., Dayan, N., Cecotti, H., McCullagh, P., Maguire, L., Lotte, F., & Coyle, D. (2018). A review of rapid serial visual presentation-based brain-computer interfaces. *Journal of Neural Engineering*, 15(2). <https://doi.org/10.1088/1741-2552/aa9817>
- Leonte, A., Colzato, L. S., Steenbergen, L., Hommel, B., & Akyürek, E. G. (2018). Supplementation of gamma-aminobutyric acid (GABA) affects temporal, but not spatial visual attention. *Brain and Cognition*, 120(July 2017), 8–16.
<https://doi.org/10.1016/j.bandc.2017.11.004>
- Li, H.-H., Hanning, N. M., & Carrasco, M. (2021). To look or not to look: dissociating presaccadic and covert spatial attention. *Trends in Neurosciences*, 44(8), 669–686.
<https://doi.org/10.1016/j.tins.2021.05.002>
- Ling, S., Liu, T., & Carrasco, M. (2009). How spatial and feature-based attention affect the gain and tuning of population responses. *Vision Research*, 49(10), 1194–1204.
<https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.05.025>
- Liu, T. (2019). Feature-based attention: effects and control. *Current Opinion in Psychology*, 29, 187–192. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2019.03.013>
- Liu, T., Abrams, J., & Carrasco, M. (2009). Voluntary attention enhances contrast appearance. *Psychological Science*, 20(3), 354–362. <https://doi.org/10.1111/j.1467->

9280.2009.02300.x

- Liu, T., Fuller, S., & Carrasco, M. (2006). Attention alters the appearance of motion coherence. *Psychonomic Bulletin and Review*, 13(6), 1091–1096.
<https://doi.org/10.3758/BF03213931>
- Liu, J., Kanwisher, N., & Downing, P. (2001). Testing cognitive models of visual attention with fMRI and MEG. *Neuropsychologia*, 39(12), 1329–1342. 10.1016/s0028-3932(01)00121-x
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657), 279–281. <https://doi.org/10.1038/36846>
- Luck, S. J., Vogel, E. K., & Shapiro, K. L. (1996). Word meanings can be accessed but not reported during the attentional blink. *Nature*, 383(6601), 616–618.
<https://doi.org/10.1038/383616a0>
- Maguire, J. F., & Howe, P. D. L. (2016). Failure to detect meaning in RSVP at 27 ms per picture. *Attention, Perception, and Psychophysics*, 78(5), 1405–1413.
<https://doi.org/10.3758/s13414-016-1096-5>
- Malcolm, G. L., & Shomstein, S. (2015). Object-based attention in real-world scenes. *Journal of Experimental Psychology: General*, 144(2), 257–263.
<https://doi.org/10.1037/xge0000060>
- Mandell, D. J., & Raijmakers, M. E. J. (2012). Using a single feature to discriminate and form categories: The interaction between color, form and exemplar number. *Infant Behavior and Development*, 35(3), 348–359. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2012.04.003>
- Mangun, G. R., & Hillyard, S. A. (1988). Spatial gradients of visual attention: behavioral and electrophysiological evidence. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 70(5), 417–428. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(88\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0013-4694(88)90019-3)

- Markant, J., & Amso, D. (2013). Selective memories: Infants' encoding is enhanced in selection via suppression. *Developmental Science*, 16(6), 926–940. <https://doi.org/10.1111/desc.12084>
- Markant, J., Oakes, L. M., & Amso, D. (2016). Visual selective attention biases contribute to the other-race effect among 9-month-old infants. *Developmental Psychobiology*, 58(3), 355–365. <https://doi.org/10.1002/dev.21375>
- Marois, R., Yi, D. J., & Chun, M. M. (2004). The Neural Fate of Consciously Perceived and Missed Events in the Attentional Blink. *Neuron*, 41(3), 465–472. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(04\)00012-1](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(04)00012-1)
- Marrocco, R. T. (1978). Saccades induced by stimulation of the frontal eye fields: Interaction with voluntary and reflexive eye movements. *Brain Research*, 146(1), 23–34. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(78\)90215-9](https://doi.org/10.1016/0006-8993(78)90215-9)
- Martens, S., & Johnson, A. (2009). Working memory capacity, intelligence, and the magnitude of the attentional blink revisited. *Experimental Brain Research*, 192(1), 43–52. <https://doi.org/10.1007/s00221-008-1551-1>
- Martens, S., Munneke, J., Smid, H., & Johnson, A. (2006). Quick minds don't blink: Electrophysiological correlates of individual differences in attentional selection. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(9), 1423–1438. <https://doi.org/10.1162/jocn.2006.18.9.1423>
- Martens, S., & Wyble, B. (2010). The attentional blink: Past, present, and future of a blind spot in perceptual awareness. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 34(6), 947–957. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.12.005>
- Martinez-Alvarez, A., Pons, F., & De Diego-Balaguer, R. (2017). Endogenous temporal attention in the absence of stimulus-driven cues emerges in the second year of life. *PLoS*

ONE, 12(9), 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184698>

Martinez-Trujillo, J. C., & Treue, S. (2004). Feature-based attention increases the selectivity of population responses in primate visual cortex. *Current Biology*, 14, 1118. [10.1016/j.cub.2004.04.028](https://doi.org/10.1016/j.cub.2004.04.028)

Mashour, G. A., Roelfsema, P., Changeux, J. P., & Dehaene, S. (2020). Conscious Processing and the Global Neuronal Workspace Hypothesis. *Neuron*, 105(5), 776–798. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2020.01.026>

Masson, N., Andres, M., Pereira, S. C., Pesenti, M., & Vannuscorps, G. (2020). Exogenous covert shift of attention without the ability to plan eye movements. *Current Biology*, 30(18), R1032–R1033. [10.1016/j.cub.2020.07.074](https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.07.074)

Matsuzawa, M. & Shimojo, S. (1997). Infants' fast saccades in the gap paradigm and development of visual attention. *Infant Behavior and Development*, 20(4), 449–455. [https://doi.org/10.1016/S0163-6383\(97\)90035-7](https://doi.org/10.1016/S0163-6383(97)90035-7)

Maunsell, J. H. R., & Treue, S. (2006). Feature-based attention in visual cortex. *Trends in Neurosciences*, 29(6), 317–322. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2006.04.001>

McAdams, C. J., & Maunsell, J. H. R. (1999a). Effects of attention on orientation-tuning functions of single neurons in macaque cortical area V4. *Journal of Neuroscience*, 19(1), 431–441. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.19-01-00431.1999>

McAdams, C. J., & Maunsell, J. H. R. (1999b). Effects of Attention on the Reliability of Individual Neurons in Monkey Visual Cortex. *Neuron*, 23, 765–773. https://journals.scholarsportal.info/pdf/08966273/v23i0004/765_eoatrinimvc.xml

McAdams, C. J., & Maunsell, J. H. R. (2000). Attention to both space and feature modulates neuronal responses in macaque area V4. *Journal of Neurophysiology*, 83(3), 1751–1755. <https://doi.org/10.1152/jn.2000.83.3.1751>

- Meijs, E. L., Slagter, H. A., de Lange, F. P., & van Gaal, S. (2018). Dynamic Interactions between Top-Down Expectations and Conscious Awareness. *Journal of Neuroscience*, 38(9), 2318–2327. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.1952-17.2017>
- Mitsven, S. G., Cantrell, L. M., Luck, S. J., & Oakes, L. M. (2018). Visual short-term memory guides infants' visual attention. *Cognition*, 177(July 2017), 189–197. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2018.04.016>
- Moore, C. M., Egeth, H., Berglan, L. R., & Luck, S. J. (1996). Are attentional dwell times inconsistent with serial visual search? *Psychonomic Bulletin and Review*, 3(3), 360–365. <https://doi.org/10.3758/BF03210761>
- Moore, C. M., Yantis, S., & Vaughan, B. (1998). Object-based visual selection: Evidence from Perceptual Completion. *Psychological Science*, 9(2), 104–110. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00019>
- Mottron, L., Dawson, M., Soulières, I., Hubert, B., & Burack, J. (2006). Enhanced perceptual functioning in autism: An update, and eight principles of autistic perception. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(1), 27–43. <https://doi.org/10.1007/s10803-005-0040-7>
- Mueller, A., Hong, D. S., Shepard, S., & Moore, T. (2017). Linking ADHD to the Neural Circuitry of Attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 21(6), 474–488. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.03.009>
- Müller, N. G., & Kleinschmidt, A. (2003). Dynamic interaction of object- and space-based attention in retinotopic visual areas. *Journal of Neuroscience*, 23(30), 9812–9816. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-30-09812.2003>
- Müller, R.-A., & Fishman, I. (2018). Brain Connectivity and Neuroimaging of Social Networks in Autism. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(12), 1103–1116.

<https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.09.008>

Nagata, Y., & Dannemiller, J. L. (1996). The Selectivity of Motion-Driven Visual Attention in Infants. *Child Development*, 67(6), 2608–2620. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1996.tb01878.x>

Nakashima, Y., Kanazawa, S., Yamaguchi, M. K., & Initiative, D. (2021). Perception of invisible masked objects in early infancy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 26, 1–23. <https://doi.org/10.1073/pnas.2103040118>

Nakashima, Y., Yamaguchi, M. K., & Kanazawa, S. (2019). Development of Center-Surround Suppression in Infant Motion Processing. *Current Biology*, 29(18), 3059-3064.e2. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.07.044>

New, J., Cosmides, L., & Tooby, J. (2007). Category-specific attention for animals reflects ancestral priorities, not expertise. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(42), 16598–16603. <https://doi.org/10.1073/pnas.0703913104>

Nobre, A. C. (2018). Attention. Serences, J. T., Wixted, J. T., (Eds.), *Stevens' handbook of experimental psychology and cognitive neuroscience Vol (2)*, (pp. 241-315). New York, NY: John Wiley & Sons, Inc

Botting, N., Powls, A., Cooke, R. W., & Marlow, N. (1997). Attention deficit hyperactivity disorders and other psychiatric outcomes in very low birthweight children at 12 years. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines*, 38(8), 931–941. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1997.tb01612.x>

Oakes, L. M., Ross-sheehy, S., & Luck, S. J. (2006). Rapid Development of Feature Binding in Visual Short-Term Memory. *Psychological Science*, 17(9), 781–787. [10.1111/j.1467-](https://doi.org/10.1111/j.1467-)

9280.2006.01782.x

- Oakes LM, Baumgartner HA, Barrett FS, Messenger IM and Luck SJ (2013) Developmental changes in visual short-term memory in infancy: evidence from eye-tracking. *Front. Psychol.* 4:697. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00697
- Oakes, L. M., Baumgartner, H. A., Kanjlia, S., & Luck, S. J. (2017). An eye tracking investigation of color-location binding in infants' visual short-term memory. *Infancy*, 22(5), 584–607. <https://doi.org/10.1111/inf.12184>.An
- Oakes, L. M., Hurley, K. B., Ross-Sheehy, S., & Luck, S. J. (2011). Developmental changes in infants' visual short-term memory for location. *Cognition*, 118(3), 293–305. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2010.11.007>
- O'Craven, K. M., Downing, P. E., & Kanwisher, N. (1999). fMRI evidence for objects as the units of attentional selection. *Nature*, 401(6753), 584–587. <https://doi.org/10.1038/44134>
- Ongchoco, J. D. K., & Scholl, B. J. (2019). How to Create Objects With Your Mind: From Object-Based Attention to Attention-Based Objects. *Psychological Science*, 30, 1648–1655. <https://doi.org/10.1177/0956797619863072>
- O'Reilly, R. C. (2020). Unraveling the Mysteries of Motivation. *Trends in Cognitive Sciences*, 24(6), 425–434. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2020.03.001>
- Patai, E. Z., & Spiers, H. J. (2021). The Versatile Wayfinder: Prefrontal Contributions to Spatial Navigation. *Trends in Cognitive Sciences*, 25(6), 520–533. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2021.02.010>
- Pelphrey, K. A., Shultz, S., Hudac, C. M., & Vander Wyk, B. C. (2011). Research Review: Constraining heterogeneity: the social brain and its development in autism spectrum disorder. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 52(6), 631–644.

<https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2010.02349.x>

Peña, M., Arias, D., & Dehaene-Lambertz, G. (2014). Gaze Following Is Accelerated in Healthy Preterm Infants. *Psychological Science*, 25(10), 1884–1892. <https://doi.org/10.1177/0956797614544307>

Perone, S., Simmering, V. R., & Spencer, J. P. (2011). Stronger neural dynamics capture changes in infants' visual working memory capacity over development. *Developmental Science*, 14(6), 1379–1392. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2011.01083.x>

Poletti, M., Rucci, M., & Carrasco, M. (2017). Selective attention within the foveola. *Nature Neuroscience*, 20, 1413–1417. <https://doi.org/10.1038/nn.4622>

Pooresmaeili, A., Poort, J., & Roelfsema, P. R. (2014). Simultaneous selection by object-based attention in visual and frontal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(17), 6467–6472. <https://doi.org/10.1073/pnas.1316181111>

Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32(1), 3–25. <https://doi.org/10.1080/00335558008248231>

Posner, M. I., Nissen, M. J., & Ogden, W. C. (1978). Attended and Unattended Processing Modes: The Role of Set for Spatial Location. In Pick HL, Saltzman E, editors. *Modes of perceiving and processing information*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1978., 145–166. <https://www.taylorfrancis.com/%0Apapers3://publication/doi/10.4324/9781315802565-13>

Posner, M. I., Petersen, S. E., Fox, P. T., & Raichle, M. E. (1988). Localization of cognitive operations in the human brain. *Science*, 240(4859), 1627–1631. <https://doi.org/10.1126/science.3289116>

- Posner, M. I., Snyder, C. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109(2), 160–174.
<https://doi.org/10.1037/0096-3445.109.2.160>
- Potter, M. (1975). Meaning in visual search. *Science*, 187(4180), 965–966.
<https://doi.org/10.1126/science.1145183>
- Potter, M. C. (1976). Short-term conceptual memory for pictures. *Journal of Experimental Psychology. Human Learning and Memory*, 2(5), 509–522.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1003124>
- Potter, M. C. (1999). Understanding sentences and scenes: The role of conceptual short-term memory. In V. Coltheart (Ed.), *Fleeting memories: Cognition of brief visual stimuli* (pp. 13–46). The MIT Press.
- Potter, M. C., & Faulconer, B. A. (1975). Time to understand pictures and words. *Nature*, 253(5491), 437–438. <https://doi.org/10.1038/253437a0>
- Potter, M. C., Wyble, B., Haggmann, C. E., & McCourt, E. S. (2014). Detecting meaning in RSVP at 13 ms per picture. *Attention, Perception, and Psychophysics*, 76(2), 270–279.
<https://doi.org/10.3758/s13414-013-0605-z>
- Pourtois, G., Schwartz, S., Seghier, M. L., Lazeyras, F., & Vuilleumier, P. (2006). Neural systems for orienting attention to the location of threat signals: An event-related fMRI study. *NeuroImage*, 31(2), 920–933. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.12.034>
- Pyykkö, J., Forssman, L., Maleta, K., Ashorn, P., Ashorn, U., & Leppänen, J. M. (2019). Early development of visual attention in infants in rural Malawi. *Developmental Science*, 1–17.
<https://doi.org/10.1111/desc.12761>
- Quinn, P. C., & Bhatt, R. S. (1998). Visual pop-out in young infants: Convergent evidence and an extension. *Infant Behavior and Development*, 21(2), 273–288.

[https://doi.org/10.1016/S0163-6383\(98\)90006-6](https://doi.org/10.1016/S0163-6383(98)90006-6)

Quinn, P. C., & Bhatt, R. S. (2005). Learning perceptual organization in infancy. *Psychological Science*, 16(7), 511–515. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2005.01567.x>

Quinn, P. C., Burke, S., & Rush, A. (1993). Part-whole perception in early infancy: Evidence for perceptual grouping produced by lightness similarity. *Infant Behavior and Development*, 16(1), 19–42. [https://doi.org/10.1016/0163-6383\(93\)80026-5](https://doi.org/10.1016/0163-6383(93)80026-5)

Raffone, A., Srinivasan, N., & van Leeuwen, C. (2014). The interplay of attention and consciousness in visual search, attentional blink and working memory consolidation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1641). <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0215>

Rasengane, T. A., Allen, D., & Manny, R. E. (1997). Development of temporal contrast sensitivity in human infants. *Vision Research*, 37(13), 1747–1754. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(96\)00300-8](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(96)00300-8)

Raymond, Jane E., Shapiro, K. L., Arnell, K. M. (1992). Temporary Suppression of Visual Processing in an RSVP Task: An Attentional Blink? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(3), 849–860. [10.1037//0096-1523.18.3.849](https://doi.org/10.1037//0096-1523.18.3.849)

Reber, T. P., Faber, J., Niediek, J., Boström, J., Elger, C. E., & Mormann, F. (2017). Single-Neuron Correlates of Conscious Perception in the Human Medial Temporal Lobe. *Current Biology*, 27(19), 2991-2998.e2. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.08.025>

Regal, D. M. (1981). Development of critical flicker frequency in human infants. *Vision Research*, 21(4), 549–555. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(81\)90100-0](https://doi.org/10.1016/0042-6989(81)90100-0)

Reid, V. M., Dunn, K., Young, R. J., Amu, J., Donovan, T., & Reissland, N. (2017). The Human Fetus Preferentially Engages with Face-like Visual Stimuli. *Current Biology*,

27(12), 1825-1828.e3. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.05.044>

Reissland, N., Wood, R., Einbeck, J., & Lane, A. (2020). Effects of maternal mental health on fetal visual preference for face-like compared to non-face like light stimulation. *Early Human Development*, 151(December 2020), 105227. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2020.105227>

Reynolds GD and Romano AC (2016) The Development of Attention Systems and Working Memory in Infancy. *Front. Syst. Neurosci.* 10:15. doi: 10.3389/fnsys.2016.00015

Richards, J. E. (2005). Development of covert orienting in young infants. In: Itti L, Rees G, Tsotsos J, eds. *Neurobiology of Attention*. Academic Press/Elsevier; 2004, Chapter 14, 82–88. <https://doi.org/10.1016/B978-012375731-9/50018-5>

Richards, J. E., & Hunter, S. K. (1997). Peripheral stimulus localization by infants with eye and head movements during visual attention. *Vision Research*, 37(21), 3021–3035. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(97\)00082-5](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(97)00082-5)

Rizzolatti, G., Riggio, L., Dascola, I., & Umiltá, C. (1987). Reorienting attention across the horizontal and vertical meridians: Evidence in favor of a premotor theory of attention. *Neuropsychologia*, 25(1A), 31-40. [10.1016/0028-3932\(87\)90041-8](https://doi.org/10.1016/0028-3932(87)90041-8)

Robertson, S. S., Watamura, S. E., & Wilbourn, M. P. (2012). Attentional dynamics of infant visual foraging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(28), 11460–11464. <https://doi.org/10.1073/pnas.1203482109>

Robinson, A. K., Plaut, D. C., & Behrmann, M. (2017). Word and face processing engage overlapping distributed networks: Evidence from RSVP and EEG investigations. *Journal of Experimental Psychology: General*, 146(7), 943–961. <https://doi.org/10.1037/xge0000302>

Rock, I., & Gutman, D. (1981). The effect of inattention on form perception. *Journal of*

- Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7(2), 275–285.
<https://doi.org/10.1037/0096-1523.7.2.275>
- Roelfsema, P. R., Lamme, V. A. F., & Spekreijse, H. (1998). Object-based attention in the primary visual cortex of the macaque monkey. *Nature*, 395, 376–381.
<https://doi.org/10.1038/26475>
- Ronconi, L., Franchin, L., Valenza, E., Gori, S., & Facoetti, A. (2016). The attentional “zoom-lens” in 8-month-old infants. *Developmental Science*, 19(1), 145–154.
<https://doi.org/10.1111/desc.12288>
- Ronconi, L., Gori, S., Federici, A., Devita, M., Carna, S., Sali, M. E., Molteni, M., Casartelli, L., & Facoetti, A. (2018). Weak surround suppression of the attentional focus characterizes visual selection in the ventral stream in autism. *NeuroImage: Clinical*, 18(February), 912–922. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2018.02.014>
- Rose, S. A., Feldman, J. F., & Jankowski, J. J. (2001). Attention and recognition memory in the 1st year of life: a longitudinal study of preterm and full-term infants. *Developmental Psychology*, 37(1), 135–151. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.37.1.135>
- Rose, S. A., Feldman, J. F., & Jankowski, J. J. (2002). Processing speed in the 1st year of life: a longitudinal study of preterm and full-term infants. *Developmental Psychology*, 38(6), 895–902. <https://doi.org/10.1037//0012-1649.38.6.895>
- Rose, S. A., Feldman, J. F., & Jankowski, J. J. (2004). Infant visual recognition memory. *Developmental Review*, 24(1), 74–100. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2003.09.004>
- Ross-Sheehy, S., Oakes, L. M., & Luck, S. J. (2003). The Development of Visual Short-Term Memory Capacity in Infants. *Child Development*, 74(6), 1807–1822.
<https://doi.org/10.1046/j.1467-8624.2003.00639.x>
- Ross-Sheehy, S., Schneegans, S., & Spencer, J. P. (2015). The infant orienting with attention

- task: Assessing the neural basis of spatial attention in infancy. *Infancy*, 20(5), 467–506.
<https://doi.org/110.1016/j.bbi.2017.04.008>
- Rueda, M. R., Fan, J., McCandliss, B. D., Halparin, J. D., Gruber, D. B., Lercari, L. P., & Posner, M. I. (2004). Development of attentional networks in childhood. *Neuropsychologia*, 42(8), 1029–1040.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2003.12.012>
- Salapatek, P., Aslin, R. N., Simonson, J., & Pulos, E. (1980). Infant saccadic eye movements to visible and previously visible targets. *Child Development*, 51(4), 1090–1094.
<https://doi.org/10.2307/1129548>
- Schall, J. D., & Hanes, D. P. (1993). Neural basis of saccade target selection in frontal eye field during visual search. *Nature*, 366(6454), 467–469.
<https://doi.org/10.1038/366467a0>
- Schall, J. D., Hanes, D. P., Thompson, K. G., & King, D. J. (1995). Saccade target selection in frontal eye field of macaque. I. Visual and premovement activation. *Journal of Neuroscience*, 15(10), 6905–6918. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.15-10-06905.1995>
- Schiller, P. H., & Sandell, J. H. (1983). Interactions between visually and electrically elicited saccades before and after superior colliculus and frontal eye field ablations in the rhesus monkey. *Experimental Brain Research*, 49(3), 381–392.
<https://doi.org/10.1007/BF00238780>
- Sergent, C., Baillet, S., & Dehaene, S. (2005). Timing of the brain events underlying access to consciousness during the attentional blink. *Nature Neuroscience*, 8(10), 1391–1400.
<https://doi.org/10.1038/nn1549>
- Shapiro, K. L., Arnell, K. M., & Raymond, J. E. (1997). The attentional blink. *Trends in*

- Cognitive Sciences*, 1(8), 291–295. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(97\)01094-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(97)01094-2)
- Shomstein, S. (2012). Object-based attention: Strategy versus automaticity. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 3(2), 163–169. <https://doi.org/10.1002/wcs.1162>
- Shomstein, S., & Behrmann, M. (2006). Cortical systems mediating visual attention to both objects and spatial locations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(30), 11387–11392. <https://doi.org/10.1073/pnas.0601813103>
- Shomstein, S., & Behrmann, M. (2008). Object-based attention: Strength of object representation and attentional guidance. *Perception & Psychophysics*, 70(3), 132–144. <https://doi.org/10.3758/PP.70.1.132>
- Shomstein, S., & Yantis, S. (2002). Object-based attention: Sensory modulation or priority setting? *Perception and Psychophysics*, 64(1), 41–51. <https://doi.org/10.3758/BF03194556>
- Simpson, E. A., Maylott, S. E., Leonard, K., Lazo, R. J., & Jakobsen, K. V. (2019). Face detection in infants and adults: Effects of orientation and color. *Journal of Experimental Child Psychology*, 186, 17–32. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2019.05.001>
- Sjöwall, D., & Thorell, L. B. (2014). Functional impairments in attention deficit hyperactivity disorder: The mediating role of neuropsychological functioning. *Developmental Neuropsychology*, 39(3), 187–204. <https://doi.org/10.1080/87565641.2014.886691>
- Spiro, R. E. . L. and D. (1980). The Processing of Tachistoscopically Presented Visual Stimuli by Five-Month-Old Infants. *Child Development*, 51(4), 1292–1294.
- Squire, L. R., Genzel, L., Wixted, J. T., & Morris, R. G. (2015). Memory consolidation. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 1–22. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12->

809324-5.21493-4

- Stechler, G., & Latz, E. (1966). Some Observations on Attention and Arousal in the Human Infant. *Journal of the American Academy of Child Psychiatry*, 5(3), 517–525. [https://doi.org/10.1016/S0002-7138\(09\)62098-7](https://doi.org/10.1016/S0002-7138(09)62098-7)
- Störmer, V. S., & Alvarez, G. A. (2014). Feature-based attention elicits surround suppression in feature space. *Current Biology*, 24(17), 1985–1988. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.07.030>
- Swanson, W. H., & Birch, E. E. (1990). Infant spatiotemporal vision: Dependence of spatial contrast sensitivity on temporal frequency. *Vision Research*, 30(7), 1033–1048. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(90\)90113-Y](https://doi.org/10.1016/0042-6989(90)90113-Y)
- Teller, D. Y., Lindsey, D. T., Mar, C. M., Succop, A., & Mahal, M. R. (1992). Infant temporal contrast sensitivity at low temporal frequencies. *Vision Research*, 32(6), 1157–1162. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(92\)90017-D](https://doi.org/10.1016/0042-6989(92)90017-D)
- Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta Psychologica*, 135(2), 77–99. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.02.006>
- Theeuwes, J. (2019). Goal-driven, stimulus-driven, and history-driven selection. *Current Opinion in Psychology*, 29, 97–101. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2018.12.024>
- Theeuwes, J., & Kooi, F. L. (1994). Parallel search for a conjunction of contrast polarity and shape. *Vision Research*, 34(22), 3013–3016. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(94\)90274-7](https://doi.org/10.1016/0042-6989(94)90274-7)
- Thorpe, S., Fize, D., & Marlot, C. (1996). Speed of processing in the human visual system. *Nature*, 381(6582), 520–522. <https://doi.org/10.1038/381520a0>
- Tononi, G., & Koch, C. (2015). Consciousness: here, there, and everywhere? *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 370(4), 20140167.

<https://doi.org/10.15184/aqy.2014.3>

Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97–136. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(80\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0010-0285(80)90005-5)

Troche, S. J., Indermühle, R., & Rammsayer, T. H. (2012). Evidence for mental ability related individual differences in the attentional blink obtained by an analysis of the P300 component. *Brain and Cognition*, 78(3), 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2011.12.009>

Troche, S. J., & Rammsayer, T. H. (2013). Attentional blink and impulsiveness: Evidence for higher functional impulsivity in non-blinkers compared to blinkers. *Cognitive Processing*, 14(3), 273–281. <https://doi.org/10.1007/s10339-013-0553-5>

Turatto, M., Vescovi, M., & Valsecchi, M. (2007). Attention makes moving objects be perceived to move faster. *Vision Research*, 47(2), 166–178. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2006.10.002>

Valenza, E., Franchin, L., & Bulf, H. (2014). How a face may affect object-based attention: evidence from adults and 8-month-old infants. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 8(March), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fnint.2014.00027>

Valenza, E., Otsuka, Y., Bulf, H., Ichikawa, H., Kanazawa, S., & Yamaguchi, M. K. (2015). Face orientation and motion differently affect the deployment of visual attention in newborns and 4-month-old infants. *PLoS ONE*, 10(9), 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136965>

Valenza, E., Simion, F., Cassia, V. M., & Umiltà, C. (1996). Face Preference at Birth. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22(4), 892–903. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.22.4.892>

van de Grind, W. A., Grusser, O. J., & Lunkenheimer, H. U. (1973). Temporal transfer

- properties of the afferent visual system: Psychophysical, neurophysiological and theoretical investigations. In R. Jung (Ed.), *Handbook of sensory physiology* (pp. 431–573). Berlin, Germany: Springer.
- Van den Driessche, C., Bastian, M., Peyre, H., Stordeur, C., Acquaviva, É., Bahadori, S., Delorme, R., & Sackur, J. (2017). Attentional Lapses in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: Blank Rather Than Wandering Thoughts. *Psychological Science*, 28(10), 1375–1386. <https://doi.org/10.1177/0956797617708234>
- Vogel, E. K., Luck, S. J., & Shapiro, K. L. (1998). Electrophysiological evidence for a postperceptual locus of suppression during the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(6), 1656–1674. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.24.6.1656>
- Wang, Y., Miller, J., & Liu, T. (2015). Suppression effects in feature-based attention. *Journal of Vision*, 15(5), 1–6. <https://doi.org/10.1167/15.5.15>
- Welford, A. T. (1952). The “psychological refractory period” and the timing of high-speed performance. *British Journal of Psychology*, 43, 2-19. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1952.tb00322.x>
- Werchan, D. M., & Amso, D. (2020). Top-down knowledge rapidly acquired through abstract rule learning biases subsequent visual attention in 9-month-old infants. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 42, 100761. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2020.100761>
- Werchan, D. M., Collins, A. G. E., Frank, M. J., & Amso, D. (2016). Role of prefrontal cortex in learning and generalizing hierarchical rules in 8-month-old infants. *Journal of Neuroscience*, 36(40), 10314–10322. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1351-16.2016>
- Werchan, D. M., Lynn, A., Kirkham, N. Z., & Amso, D. (2019). The emergence of object -

- based visual attention in infancy: A role for family socioeconomic status and competing visual features. *Infancy*, 24(5), 752–767. <https://doi.org/10.1111/infa.12309>
- Wilcox, T. & Biondi, M. (2016) Functional Activation in the Ventral Object Processing Pathway during the First Year. *Front. Syst. Neurosci.* 9:180. doi: 10.3389/fnsys.2015.00180
- Wilcox, T., & Chapa, C. (2004). Priming infants to attend to color and pattern information in an individuation task. *Cognition*, 90(3), 265–302. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(03\)00147-1](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(03)00147-1)
- Willems, C., & Martens, S. (2016). Time to see the bigger picture: Individual differences in the attentional blink. *Psychonomic Bulletin and Review*, 23(5), 1289–1299. <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0977-2>
- Wolfe, J. M. (1994). Guided Search 2.0 A revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1(2), 202–238. <https://doi.org/10.3758/BF03200774>
- Wolfe, J. M. (2021). Guided Search 6.0: An updated model of visual search. *Psychon Bull Rev*, 28, 1060–1092. <https://doi.org/10.3758/s13423-020-01859-9>
- 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(3), 419–433. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.15.3.419>
- Wolfe, J. M., & Horowitz, T. S. (2017). Five factors that guide attention in visual search. *Nature Human Behaviour*, 1(3), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41562-017-0058>
- Wolfe, J. M., Võ, M. L. H., Evans, K. K., & Greene, M. R. (2011). Visual search in scenes involves selective and nonselective pathways. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(2), 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.12.001>

- Xie, W., & Richards, J. E. (2017). The Relation between Infant Covert Orienting, Sustained Attention and Brain Activity. *Brain Topography*, 30(2), 198–219. <https://doi.org/10.1007/s10548-016-0505-3>
- Xiao, N. G., & Emberson, L. L. (2019). Infants use knowledge of emotions to augment face perception: Evidence of top-down modulation of perception early in life. *Cognition*, 193, 104019. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2019.104019>
- Yamashita, W., Niimi, R., Kanazawa, S., Yamaguchi, M. K., & Yokosawa, K. (2014). Three-quarter view preference for three-dimensional objects in 8-month-old infants. *Journal of Vision*, 14(5). <https://doi.org/10.1167/14.4.5>
- Yang, J., Kanazawa, S., & Yamaguchi, M. K. (2013). Can infants tell the difference between gold and yellow? *PLoS One*, 8(6), e67535. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067535>
- Yang, J., Kanazawa, S., Yang, J., Kanazawa, S., Yamaguchi, M. K., & Motoyoshi, I. (2015). Pre-constancy Vision in Infants Report Pre-constancy Vision in Infants. *Current Biology*, 25(24), 3209–3212. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.10.053>
- Yantis, S., & Serences, J. T. (2003). Cortical mechanisms of space-based and object-based attentional control. *Current Opinion in Neurobiology*, 13(2), 187–193. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(03\)00033-3](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(03)00033-3)
- Zhang, Y., Shelchkova, N., Ezzo, R., & Poletti, M. (2021). Transient perceptual enhancements resulting from selective shifts of exogenous attention in the central fovea. *Current Biology*, 31(12), 2698-2703.e2. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.03.105>
- Zivony, A., & Lamy, D. (2021). What processes are disrupted during the attentional blink? An integrative review of event-related potential research. *Psychonomic Bulletin and Review*. <https://doi.org/10.3758/s13423-021-01973-2>

謝辞

本研究の遂行にあたり多くの方々からご指導、ご支援を頂きました。指導教授である中央大学・山口真美先生には、学部3年次から現在に至るまでご指導頂きました。知覚発達研究の基礎から実践までご教示頂くだけでなく、論文の書き方や研究発表の仕方などもご指導頂きました。論文の執筆や発表練習で躓く筆者を、根気強く、時には厳しく、時には温かく励ましてくださいました。この場を借りて心からお礼申し上げます。

また本研究の実施にあたり各分野をご専門とされる先生方から多くのご指導を頂きました。日本女子大学・金沢創先生には、実験計画の立案および実験刺激の作成にあたり数々のご助言を頂きました。北海道大学・河原純一郎先生には、注意の基礎から応用までご教示頂き、乳児で注意を研究するにあたりたくさん議論させて頂きました。心から感謝申し上げます。

中央大学で乳児の知覚実験を行う上で、山口研究室の皆様のご協力を頂きました。中島悠介氏には、実験実施にご協力頂いただけでなく、筆者の研究について多くのアドバイスを頂き、研究発表の資料や練習について数々のご指導を頂きました。また、実験の実施にあたり、氏家悠太氏、楊嘉楽氏、都地裕樹氏、山中七菜子氏、菅井万智氏、小林恵氏、佐藤夏月氏にご協力頂きました。みなさまのご協力なくして本研究は行えませんでした。心からお礼申し上げます。

最後に実験に参加して下さった多くの赤ちゃんのご家族の方々、日々支えとなって下さった家族や友人に、この場を借りてお礼申し上げます。

なお本研究の一部は、文部科学省 科学研究費補助金 新学術領域研究「トランスカルチャー状況下における顔身体学の構築—多文化をつなぐ顔と身体表現-」(研究代表者：山口真美, 番号 17H06343), 日本学術振興会科学研究費(研究代表者：山口真美, 番号 19H01774), 及び同特別研究員奨励費(研究代表者：鶴見周摩, 番号 19J21422)からご支援を頂きました。ここに記して感謝いたします。