

氏名	つば みる ひろ ゆき 坪 見 博 之
学位(専攻分野)	博士(文学)
学位記番号	文博第391号
学位授与の日付	平成19年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	文学研究科行動文化学専攻
学位論文題目	視覚アウェアネスにおける注意の特性

論文調査委員 (主査) 教授 苧阪直行 教授 櫻井芳雄 助教授 蘆田 宏

### 論文内容の要旨

本論文は、視覚的注意の情報選択機能の時空間特性とその脳内機構を明らかにすることを目的としている。視覚的な意識(アウェアネス)は網膜に映った光情報が脳内で処理された結果生じるが、それは物理的な出来事と同一ではない。なぜなら、脳は巨大な並列分散処理システムであるにもかかわらず、時間的にも空間的にも厳しい処理制約をもっているからである。そのような厳しい処理制約の中で、目標行動に必要な情報のみを意識に上らせるのが視覚的注意の役割であると考えられている。本論文は、この視覚的注意機能の時空間特性と、情報を選択する際の脳内機構を明らかにするため、行動実験とfMRI実験(functional magnetic resonance imaging: 機能的磁気共鳴画像法)を行っている。

第一章では、視覚処理における時間的、空間的な処理制約に関して、これまでの研究史を紹介している。特に、並列分散処理を行う脳が、なぜ厳しい処理制約をもつのかを論じ、さまざまな知見から、脳の階層的な処理という構造そのものが処理制約を持たざるを得ないのだと考える。つまり、大量の入力情報をすべて処理し続ければ情報の干渉と混乱が生じるため、処理を一部に制約することの方が適応的であると考えられる。この観点からも、多くの情報を処理するのではなく、むしろ現在必要な情報のみに処理を集中することの方が重要であり、この絞込み機能を担うのが視覚的注意の役割であると考えられる。

第二章では、視覚における時間的処理制約と注意の役割を実験的に検討している。途切れのない意識を体験しているという私たちの直観に反して、これまでの研究では、視覚システムは五百ミリ秒に一度の割合でしか意識を生じさせていないことが示されている(Raymond, Shapiro, & Arnell, 1992)。具体的には、同じ位置に次々と視覚刺激を提示し(高速逐次視覚提示法: RSVP)、その中に埋め込まれた二つのターゲット刺激が何であるかの報告を求めると(例えば数字の中の文字)、一つ目の報告成績は良好だが五百ミリ秒以内に提示される二つ目の刺激の報告率は著しく低下する。このAttentional Blink(以下AB)と呼ばれる現象は、ワーキングメモリに新規な情報を取り込む(consolidation)ときに生じると想定されてきた(Chun & Potter, 1995)。しかし、実際にはこれを実証するデータが提出されたことはなかった。そこで本研究は、ABとワーキングメモリ容量の関係を操作した実験を行った。その結果、ABがワーキングメモリに関わっていることが示された。つまり、ワーキングメモリに新しく視覚情報を取り入れる際に妨害刺激が存在すると、五百ミリ秒の間、他の視覚情報をワーキングメモリへ取得しないよう注意が制限していることが確認された。

第三章では、ABの生起メカニズムについて検討がなされた。これまでの多くの研究では、視覚情報が妨害刺激とともに提示されると、ワーキングメモリへの情報の取得に時間がかかるために、短時間の間隔で提示される二つ目の刺激の報告ができなくなると想定されてきた(Raymond, Shapiro, & Arnell, 1992; Chun & Potter, 1995; Jolicoeur, 1998)。しかし、この説明はこれまでのABの実験から推測されたにすぎなかった。また、最近提案されている説明モデルは、これとは別のメカニズムによってABが生じている可能性を示唆している(Di Lollo, Kawahara, Ghorashi, & Enns, 2004; Nieuwenstein, Chun, van der Lubbe, & Hooge, 2006)。そこで、本研究では、ABが生じる際には視覚情報の取得に要する時間が長くなっているのかを直接反応時間を計測することで検討した。その結果、視覚情報の取得に要する時間はABが生じた

ときでも生じていないときでも変わらなかった。この結果は、多くの研究で想定されていたようなメカニズムではなく、異なるメカニズムを想定したモデルを構築する必要があることを強く示唆するものであった。そこで実験結果をふまえて、最近提案されている知見と合わせて考察した結果、視覚情報をワーキングメモリに固定する際に妨害刺激が存在すると、他の視覚情報を抑制するメカニズムがあり、それが AB を引き起こすのだと考えた。

第四章では、視覚情報を選択する際の効率を表現する脳内機構を明らかにするため、fMRI 実験を行っている。これまでのニューロイメージング研究では、視覚野の活動が高いときほど、トップダウンの空間的注意の効果が高いことが報告されてきた (Ress, Benjamin, & Heeger, 2000)。また、この視覚野の活動は、前頭葉や頭頂葉のネットワークによってコントロールされていると推定されてきたが (Kastner, Pinsk, De Weerd, Desimone, & Ungerleider, 1999)、前頭—頭頂ネットワークのどのような特性が空間的注意の効果に影響するのかは明らかではなかった。本研究では、トップダウンの空間的注意が視覚アウェアネスを変化させることを行動実験で確認した後で、fMRI を用いて空間的注意の効果に関わる脳内機構を検討している。特に注意効果の個人差に注目して、注意効果の高い群と低い群の脳内機構の違いを共分散構造分析によって検討している。その結果、注意効果の高い被験者群は、初期視覚皮質を含んだ後頭視覚皮質の活動値が高く、その活動増強は、右頭頂葉から左右の有線外視覚皮質への強い機能的結合によって支えられていることが明らかになった。つまり、前頭葉で生じたトップダウン信号を頭頂葉に送り、頭頂葉がスムーズに視覚野の活動を引き起こすことができれば、目標行動に適切な情報を選択できることが示された。この結果によって、注意効果を表現する脳内ネットワークが明らかにされた。

第五章では本研究の実験結果をまとめ、処理制約の生物学的意味を考察している。一連の実験から明らかになったことは、ワーキングメモリに視覚情報を取り込む際に妨害情報が存在すると、それから五百ミリ秒の間は他の視覚情報の取り込みを制限する機能がヒトの視覚システムに備わっていることである。また、fMRI の研究結果は、大量の視覚情報の中から目標行動に必要な情報を効率的に選択するには、前頭—頭頂ネットワークのトップダウン信号を視覚野にスムーズに伝達し、視覚野の活動にバイアスをかけることが重要であることを示唆している。以上より、処理容量に制約があることは、視覚システムの欠陥のように扱われがちであるが、本研究では、処理制約はむしろ効率を高めるための優れた機能だと考えられた。そして、この考え方は、多くの情報が意識に上る方がよいという考え方よりも、生物の脳構造と整合性が高いという結論を導いている。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、視覚的注意の情報選択機能の時間特性とその脳内機構を明らかにするため、心理実験と fMRI (機能的磁気共鳴画像法) 実験を巧みな組み合わせを用いて行っている。

脳は巨大な並列分散処理システムであるにもかかわらず、時間的にも空間的にも厳しい処理制約をもっている。論者はこの制約の中で、目標行動に必要な情報のみを意識化するのが視覚的注意の役割であると考えた。

第一章では、論者は視覚処理における時空間的な処理制約について概観し、制約の意義が情報の干渉と混乱を防ぎ、処理を一部に限ることで適応性を高めるところにあると論じる。

第二章および第三章では、時間的処理制約の役割を Attentional Blink (以下 AB) と呼ばれる現象を通して実験的に検討している。AB とは同じ空間位置に次々と視覚刺激を提示し、その中に埋め込まれた二つのターゲット刺激 (例えば数字の中の文字) が何であるかの報告を求めると、一つ目の検出成績は高いが五百ミリ秒以内に提示される二つ目の刺激の報告率が著しく低下するような現象をさす。これは、途切れのない意識を経験しているという私たちの直観に反するものであるが、視覚システムは五百ミリ秒に一度の割合でしか意識を生じさせていないことが示されている。AB は、ワーキングメモリに新規な情報を取り込むときに生じると想定されてきたが、実際にはこれを実証するデータが提出されたことはなかった。これらの章では、AB とワーキングメモリ容量の関係を操作した精緻な実験を報告し、ワーキングメモリに新しく視覚情報を取り入れる際に妨害刺激が存在すると、五百ミリ秒の間、他の視覚情報がワーキングメモリに入らないように抑制する注意のメカニズムがあり、それが AB を引き起こすことを明らかにしている。

第四章では、視覚情報の選択時の効率を表現する脳内機構を、時間に加え空間的注意をも視野に入れて明らかにするため、fMRI 実験を行っている。従来の研究では、脳の視覚野の活動が高いとトップダウンの空間的注意の効果も高くなるのは、

前頭葉と頭頂葉の神経ネットワークの制御がかかわるのではないかと推定されてきた。しかし、前頭—頭頂ネットワークのどのような特性が空間的注意の効果に影響するのかは明らかではなかった。そこで論者は、トップダウンの空間的注意が視覚アウェアネスを変化させることを心理実験で確認した後で、fMRIを用いてその脳内機構を個人差に注目して検討した。注意効果について高低二群の被験者の脳内機構の違いを信号変化率データの共分散構造分析によって検討した結果、効果の高い被験者群は、後頭視覚皮質の活性値が高く、それは右頭頂葉から左右の有線外視覚皮質への強い機能的結合によって支えられていることを明らかにしている。つまり、前頭葉で発生したトップダウン信号を頭頂葉に送り、頭頂葉が視覚野の活動を引き起こすことができれば、目標行動に適した情報を選択できることを解明している。これは、トップダウンの注意効果について、その脳内表現をはじめて明らかにした業績であり高く評価できる。

第五章では、以上の実験をもとに処理制約の生物学的意義を総合的に論じている。処理容量に制約があることは、視覚システムの欠陥のように扱われがちであるが、論者は逆に、処理制約はむしろ効率を高めるための優れた機能だと主張し、その証拠をfMRIを用いた脳内機構の実験データを根拠に論じている。

第二、第三章で示されたワーキングメモリの容量制約問題とAB効果を結びつける野心的な試みには、計算論的な裏付けがやや不足しているが、新たな展開の糸口を見出している点で十分に評価できる。第四章のfMRIと共分散構造分析法を併用した注意のトップダウン処理の脳内機構の解明は独創性に富み、新しいアプローチの有効性を示唆するもので大いに評価できる。本論文は生物の記憶システムに見られる時空間的容量制約が、それを裏付ける脳構造をもつことを心理学および認知脳科学的手法を用いて解明した点で高く評価できる。今後の論者の研究のさらなる展開を期待したい。

以上、審査したところにより、本論文は博士（文学）の学位論文として価値あるものと認められる。平成十九年一月十六日、調査委員三名が論文内容とそれに関連した事柄について口頭試問を行った結果、合格と認めた。