

学位論文題名

Attentional mechanisms underlying top-down modulation of distractor processing

(ディストラクター処理のトップダウン変容における注意メカニズム)

学位論文内容の要旨

時々刻々と変化する環境の中で、私たちは非常に多くの情報に直面する。しかしながら、私たちの処理容量には限界があるため、一度に全ての情報を処理することは出来ない。注意機能の重要な働きの一つは、より重要な情報を選択し優先的に処理することである。この選択的注意制御には二つのメカニズムがある。一つは、課題や目標との関連性に基づいて注意を制御する「トップダウン注意制御」、もう一つは、情報をもつ物理的顕著性に基づいて注意を制御する「ボトムアップ注意制御」である。当面する課題や目標とは関連しないが物理的顕著性が高い情報、すなわち「ディストラクター」が環境中に出現すると、私たちはそのディストラクターに強く注意が惹き付けられる。このディストラクター処理にはボトムアップ注意制御が関与し、潜在的に危険な情報や有用な情報を検出して環境に適応する上で重要な働きがある。そして、これはヒトの広汎な行動の基盤となる基本的認知機能であると考えられている。しかしながら、ディストラクター処理の注意メカニズムについて明らかになっていないことは多い。特に、視覚的注意の研究の中で現在論争になっている問題は、「トップダウン注意制御」がこの逸脱情報処理にどのように関わっているのかについてである。この論争の一方の主張は、ディストラクター処理はボトムアップ的な情報の物理的顕著性により自動的に決定され、トップダウン注意制御の影響を受けないというものであり、そして他方の主張は、ディストラクター処理はトップダウン注意制御によりダイナミックに変容するというものである。

本研究では、トップダウン注意制御とディストラクター処理の関係性を解明することを目的として、事象関連脳電位(ERP)を用いた4つの実験を行った。これまでの先行研究から、標的弁別性によりディストラクターへの神経活動が変化する現象が知られていた。刺激系列中に呈示される標的の検出が求められている状況下において、低頻度で課題非関連なディストラクターが出現すると、そのディストラクターに対してERP成分の一つであるP3が惹起される。そして、標的弁別が容易な刺激文脈に比べ、難しい刺激文脈においてディストラクターへのP3反応が増大する。二つの刺激文脈事態において、ディストラクターの物理的顕著性は等価なため、ディストラクターへの神経活動の変化にはトップダウン注意制御が関与していることが示唆されたが、そのメカニズムの実態はわかっていなかった。

本研究の第2章では、標的弁別性によりディストラクター処理の何が変容するのかを明らかにするために二つの実験を行った。実験1では、標的弁別性によりディストラクターへの「注意捕捉」プロセスが変容するのか、または「反応抑制」プロセスが変容するのかを明らかにするために、逸脱刺激が標的の事態とディストラクターの事態でのERPを検討した。結果から、逸脱刺激の課題関連性

(標的／ディストラクター)に関わらず、P3 反応に対する標的弁別性の効果が示された。注意捕捉は標的及びディストラクターの両方に生じ得るが、反応抑制はディストラクターにのみ生じ得るため、標的弁別性によりディストラクターへの「注意捕捉」プロセスが変容するという仮説が支持された。

しかしながら、標的弁別性による P3 反応への効果が、ディストラクターの出現による標準表象維持への認知的干渉を反映している可能性も考えられた。そこで実験 2 では、ディストラクターが中央に単独で呈示される事態に加え、ディストラクターが標準刺激の両側に呈示される事態での ERP を検討した。結果から、標的弁別性に関わらず、両側呈示タイプのディストラクターへの P3 反応の増大が示された。両側呈示タイプのディストラクターは、物理的顕著性は高いが標準表象維持への認知的干渉を生じさせない。そのため、標的弁別が難しい刺激文脈におけるディストラクターへの P3 反応の増大は、認知的干渉の増強ではなく、注意捕捉プロセスの増強を反映している可能性がさらに支持された。以上のことから、標的弁別性により「ディストラクターへの注意捕捉」が変容することが明らかになった。

本研究の第 3 章では、どのようなメカニズムで標的弁別性により注意捕捉が変容するのかを明らかにするために二つの実験を行った。仮説として、標的弁別性により課題要求が変化し、その結果、知覚的負荷に応じてトップダウン注意制御による「空間的注意の焦点化」の程度が変わるため、注意捕捉の変容が生じることが考えられた。実験 3 では、標的弁別性により課題要求が変化するという仮説の前提を確かめるため、標的弁別性と標的／ディストラクター間の類似性を操作した実験を行い、結果からこの前提が正しいことが支持された。

視覚探索事態ではトップダウン注意制御による注意捕捉の変容メカニズムとして「逸脱への注意的構え」及び「認知的ワーキングメモリ」の影響がこれまで報告されてきた。そこで実験 4 では、標的弁別性による注意捕捉の変容が、「空間的注意の焦点化」の影響により生じるのか、又は視覚探索事態と同様に「逸脱への注意的構え」や「認知的ワーキングメモリ」の影響により生じているのかを明らかにするため、ディストラクターが標的と同じ中心位置に出現する事態に加え、逸脱情報は周辺位置に出現する事態での ERP を検討した。標的弁別性による注意捕捉の変容に「空間的注意の焦点化」が関与しているのであれば、標的弁別が難しくなると中心位置では P3 反応が増大するが、周辺位置では P3 反応が減衰することが予想された。一方、「逸脱への注意的構え」や「認知的ワーキングメモリ」が関与しているのであれば、逸脱情報の出現位置に関わらず、標的弁別が難しくなると P3 反応が増大することが予想された。結果から、前者の仮説が支持された。つまり、標的弁別が難しい事態では、(1) 標的が出現する位置へと空間的注意が焦点化し、(2) 情報処理は空間的注意の焦点内では促進し、焦点外では減衰するため、(3) 空間的注意の焦点内に出現したディストラクターへの注意資源配分は増大し、焦点外では減少する、というメカニズムによって、ディストラクター処理は変容することが明らかになった。

本研究は、トップダウン注意制御によるディストラクター処理の変容において、空間的注意が重要な要因であることを証明した。ボトムアップ注意制御が強く関与すると考えられるディストラクター処理において、トップダウン注意制御がどのように関わっているのかという問題は、長年決着がつかない視覚的注意研究の主要な論争の一つであった。本研究は、実験心理学と認知神経科学の融合によりこの問題の解明にアプローチしたものであり、ヒトの注意機能の本質を理解することに貢献すると考える。

学位論文審査の要旨

主 査 准教授 片 山 順 一

副 査 教 授 室 橋 春 光

副 査 教 授 陳 省 仁

副 査 准教授 渡 邊 克 巳 (東京大学先端科学技術

研究センター)

学 位 論 文 題 名

Attentional mechanisms underlying top-down modulation of distractor processing

(ディストラクター処理のトップダウン変容における注意メカニズム)

我々の情報処理容量には限界があるため、時々刻々と変化する環境中の全ての情報を処理することはできない。そこで、優先的に処理すべき情報を選択する必要がある。この選択的注意は、目標との関連性に基づく「トップダウン注意制御」と、情報（刺激）の持つ物理的顕著性に基づく「ボトムアップ注意制御」からなる。目標とは関連しないが物理的顕著性の高い刺激、すなわち「ディストラクター」は我々の注意を強く惹きつける。ディストラクター処理は、危険や潜在的に有用な情報を検出するために必須の機能であり、適応行動のための基本的な認知機能であるにも関わらず、その注意メカニズムの詳細は未解明である。特に、「トップダウン注意制御」がこの逸脱情報処理にどのように関わっているかは、現在の視覚的注意研究で論争となっている問題である。

本論文は、事象関連脳電位（ERP）を指標として、この問題の解明を試みた。高頻度で反復呈示される「標準刺激」系列中にランダムに低頻度で呈示される「標的刺激」の検出を求められている事態で、低頻度で呈示されるが課題とは非関連な「ディストラクター刺激」は ERP の P3 成分を惹起する。標的の弁別が容易な時に比べて困難な時に、この P3 振幅が増大することが知られていた。この刺激文脈によるディストラクター処理の変容にはトップダウン注意制御が関与していることが示唆されていたが、そのメカニズムは未解明であった。著者は、このメカニズムを解明することにより、上に挙げた問題へアプローチを行った。

第1章では先行研究のレビューおよび問題提起を行い、続く第2章では2つの実験から、

標的弁別性によりディストラクター処理の何が変わるのかを明らかにした。実験1では逸脱刺激の課題関連性を操作することにより、標的弁別性によりディストラクターへの「注意捕捉」プロセスが変わるのか「反応抑制」プロセスが変わるのかを検討した。実験2では、ディストラクターを標準刺激の両側に呈示する事態を加えることにより、この効果が認知的干渉を反映している可能性を検討した。そして、この2つの実験結果から、標的弁別性によりディストラクターへの「注意捕捉」が変わることを明らかにした。

続く第3章では、どのようなメカニズムで標的弁別性により注意捕捉が変わるのかを明らかにするため、2つの実験から、標的弁別性により課題要求が変化し、その結果、知覚的負荷に応じてトップダウン注意制御による「空間的注意の焦点化」の程度が変わるため注意捕捉の変容が生じる、という仮説を検証した。実験3では、標的弁別性により課題要求が変化するという仮説の前提を確かめるため、標的弁別性と標的/ディストラクター間の類似性を操作した実験を行い、この前提が正しいことを示した。実験4では、ディストラクターが標的と同じ中心位置に出現する事態に加え、逸脱情報が周辺位置に出現する事態でのERPを検討し、標的弁別が難しくなると中心位置ではP3反応が増大するが、周辺位置ではP3反応が減衰することを示した。この結果は、標的弁別性による注意捕捉の変容が「空間的注意の焦点化」によるものであることを示している。

第4章ではこれらの結果を総合考察し、標的弁別が難しい事態では、標的が出現する位置へと空間的注意が焦点化し、空間的注意の焦点内に出現したディストラクターへの注意資源配分は増大し、焦点外では減少する、というメカニズムによって、ディストラクター処理が変わることを明らかにした。

興味深い現象として知られてはいたが、そのメカニズムの詳細は未解明であった現象に挑み、緻密な実験を丁寧に積み重ねることにより、そのメカニズムを解明したことは非常に高く評価できる。個々の実験の完成度も非常に高く、これは本研究で報告されているすべての実験が、一流の国際誌に掲載されていることから支持される（実験1：*Psychophysiology*、実験2および3：*Clinical Neurophysiology*、実験4：*Journal of Cognitive Neuroscience*）。また、従来は主として複数のオブジェクトが同時呈示される視覚探索事態で扱われてきた注意捕捉の問題を、オブジェクトが系列的に呈示される事態で詳細に検討し、空間的な注意捕捉と時間的な注意捕捉の関係を論じ、視覚注意研究に新たな視点を持ち込んだ。ERPの指標としての特性を十分に生かしたこれらの成果は、注意研究にとって重要な知見を付加したと評価できる。

以上の成果より、審査委員会は全員一致して、著者は北海道大学博士（教育学）の学位を授与される資格があるものと認める。