

京都大学	博士(文学)	氏名	源 健 宏
論文題目	ワーキングメモリによるトップダウンの注意制御		
(論文内容の要旨) 心理学では、我々は複数の記憶システムを持っていると考えられ、保持期間や情報の質に応じて、感覚記憶、短期記憶、長期記憶という分類がなされてきた。近年では、情報の処理も含めてワーキングメモリという概念が提唱され、広く研究されている。ワーキングメモリは情報の一時的な保持と操作を行うシステムであり、推論や読解、そして思考に至るまでの複雑な認知活動を支える基盤であると考えられている(苧阪, 2000)。特に、システムの中核である実行系は、優勢反応の抑制や課題セットの切換えといった幅広い注意制御に関わることが示されている。近年の研究においては、視覚的な選択的注意も、ワーキングメモリのはたらきに大きく依存することが明らかにされてきた。特に、Lavieら(2004)の認知負荷を用いた研究により、ワーキングメモリが選択的注意の制御に携わることを示す強い証拠が提供された。本研究は、この仮説を補強、発展させることを目的として、ワーキングメモリ容量の個人差比較のアプローチや、偶発学習、そして、認知負荷といった実験心理学的手法と脳イメージング手法を用いて、ワーキングメモリによる選択的注意の制御について検討している。 第1章は序論として、ワーキングメモリと選択的注意および注意制御を担う前頭前野に関する先行研究を詳細にレビューし、本研究の目的として、選択的注意におけるワーキングメモリ実行系の役割と前頭葉を中心とした脳機能との関係について検証することを掲げている。 第2章では、実行系の働きを反映すると考えられているワーキングメモリ容量の個人差に着目し、課題無関連情報の排除中の脳活動をワーキングメモリ容量の高い群(高スパン群)と低い群(低スパン群)で比較をおこなった機能的核磁気共鳴画像法(fMRI)の研究について報告している。実験は連続して呈示される顔写真画像を記憶後、無視すべき妨害刺激のあとに呈示されるプローブ刺激が記憶刺激と一致するかどうかを問うものであった。参加者のワーキングメモリ容量は別途測定され、高スパン群と低スパン群に分けられた。実験の結果から、前頭葉に位置する左側の中前頭回の活動は、高スパン群で低スパン群よりも強く、逆に、下側頭部の両側紡錘状回の活動は、低スパン群で、高スパン群よりも強いことがわかった。左側の中前頭回はトップダウンの注意制御を担い、一方、紡錘状回を含む後部知覚領域は、トップダウンの制御を受けることが示されている。これらの知見を踏まえて実験結果を解釈すると、高スパン群では妨害刺激に対して、左中前頭回から紡錘状回への抑制が効果的に行われていると考えられる。つまり、ワーキングメモリの実行系が、視覚的なトップダウンの注意制			

御に関わり、課題無関連情報の排除を促進していると考えられる。

第3章では、課題無関連情報の長期記憶内への偶発的符号化に着目し、課題無関連情報が長期記憶内へ符号化される際の脳活動についてfMRIを用いて検討した研究について報告している。近年の研究では、課題無関連情報の偶発的符号化は、トップダウンの注意制御機能の低下が原因であることが示されているが(Rissman et al., 2009)、十分な知見は得られていない。そこで、注意制御のはたらきを担う前頭前野や頭頂皮質の機能低下が、課題無関連情報の偶発的符号化に関与すると考え、fMRIを用いてこの仮説を検証した。第2章と同様に視覚刺激として顔画像が用いられた。事後に再認された課題無関連情報呈示時の脳活動と事後に忘却された課題無関連情報呈示時の脳活動を比較したところ、事後に再認された課題無関連情報呈示時に、前頭皮質(BA 8, 9, 46)および頭頂皮質(BA 7, 22, 39)の活動の低下が認められた。一方、左側前部海馬および右側の紡錘状回顔領域では、活動の増加が認められた。BA 46がトップダウンの注意制御に携わることやBA 8が実行系機能に関与することが示されていることから、これらの領域の活動の低下は、トップダウンの注意制御および実行系機能の低下を反映している可能性が考えられる。トップダウン注意制御により活動の変調を受ける後部知覚領域の活動の増加も、トップダウン制御の機能低下の解釈を支持する結果である。これらの結果から、課題無関連情報の長期記憶内への符号化は、実行系機能とトップダウンの注意制御機能が大きく関与する可能性が示される。

第4章では、認知負荷が、課題無関連情報の処理に及ぼす影響について検討した心理学的実験について議論している。Lavie(2005)が提唱した負荷理論では、認知負荷(ワーキングメモリ負荷)の増加により、認知制御の注意資源が減少するため、課題無関連情報の干渉効果が増加すると考えられている。これに対し、Parkら(2007)は、認知負荷は必ずしも干渉効果を増加させるわけではなく、場合によっては、干渉効果を減少させると主張した(特化負荷理論)。これは、認知負荷の種類と課題無関連情報の種類が一致する場合であり、認知負荷の情報に全ての注意資源が向けられるため、課題無関連情報の処理に向ける注意が枯渇するのがその原因であると考えられている。先行研究では、認知負荷の情報と課題無関連情報の種類を操作した研究が行われているが、認知負荷の量を操作した研究は未だ行われていない。そこで、本研究では、認知負荷の量の増加が、課題無関連情報の干渉効果に及ぼす影響を検討した。さらに、その干渉効果をワーキングメモリ容量の高スパン群と低スパン群で比較した。実験は、認知負荷となるいくつかの記憶すべき顔画像の後に、二つの顔画像(妨害刺激)を系統的に呈示し、妨害刺激と同時に呈示されるプローブ刺激の色判断を行わせるというものであった。二つの妨害刺激それぞれにおいて異なった結果が得られた。まず、一つ目の妨害刺激では、認知負荷の増加による干渉効果の減少が認められた。この結果は、Parkらの特化負荷理論を支持するものである。しかしながら、ワーキングメモリ容量と認知負荷の交互作用は認められなかった。認知負荷の低い状況では、課題無関

連情報の干渉効果が強いため、ワーキングメモリ容量の群間差が認められ、認知負荷の増加に応じてその差が消失すると予想されたが、そのような結果は得られなかった。これは、ワーキングメモリ内で保持している顔情報に注意を向けていたために、ディストラクタである顔情報に対しても注意が向けられやすくなっていたためと考えられる。この場合、ワーキングメモリ内で保持している表象により多くの注意資源を向けている高スパン群の方が、ディストラクタの影響を受けやすいと考えられる。二つ目のディストラクタでは、認知負荷の効果は認められなかったが、干渉効果が、高スパン群で低スパン群よりも低いという結果が得られた。この結果は、認知負荷が課されていない状況に近い場合では、実行系によるトップダウンの注意制御が十分に機能することを示している。

第5章では、第2章から第4章の実験結果を踏まえて、ワーキングメモリによるトップダウンの注意制御について総合的な考察がなされている。本研究では、選択的注意には、前頭前野を神経基盤とするワーキングメモリ実行系の働きが関与するという議論に新たな証拠を提供し、議論を精緻化することができた。また、最後に、実行系と注意や記憶の関係、そして実行系と感情制御の関係についての研究の展望が述べられている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、ヒトの認知機能を支える選択的注意とワーキングメモリの関係について、心理実験及び脳機能画像測定実験に基づいて詳細に検討したものである。

われわれは感覚器官を通して常に膨大な情報を受け取っているが、その情報は全て意識され記憶に残るわけではなく、常に必要な情報を取捨選択している。心理学においてこのことは、知覚の観点からは選択的注意として、そして記憶の観点からは容量制約を持つワーキングメモリシステムとして、それぞれ独立に研究されてきた。本論文で紹介されている Lavie らの理論はそれらを統合しうるものとして注目を集めている。しかし、理論の検証と精緻化のためにはさらに多くの証拠の集積が必要である。本論文で論者が目指したのは、まさにそのような新しい実験的証拠を得て理論を発展させることであった。

第1章では、まず、心理学における記憶システムの分類と、ワーキングメモリの概念が紹介される。ワーキングメモリは情報の保持と処理の両方を行うシステムであり、Lavie らは、その制御において選択的注意が用いられるという統合モデルを提案したことが説明される。また、ワーキングメモリと注意の脳内機構に関する数々の研究についてレビューされ、ワーキングメモリ実行系の神経基盤として的大脑前頭葉の関与について論じられている。

第2章では、機能的脳機能画像化 (fMRI) を用いた実験研究によって、前頭前野から後部の視知覚関連領域への注意制御について検討している。記憶課題の題材として顔の画像が用いられ、これは後の章における実験でも同様である。また、実験的なパラダイムとしてワーキングメモリ容量の個人差比較が行われた。ここでいう個人差比較とは、参加者をワーキングメモリ課題における成績がよい高スパン群と成績が悪い低スパン群に分けて比較することを指している。実際に個人ごとに違いを分析するものではないが、この方法及び呼称は当該分野では一般的なものである。記憶すべきでない妨害刺激に対する脳活動を調べた結果、相対的に高スパン群では左中前頭回の活動が高く、顔情報を処理する紡錘状回の活動が低いことが明らかになった。つまり、低スパン群に比べて高スパン群では前頭葉による注意制御が強く働き、不必要な知覚情報処理をより効率的に抑制していると考えられる。1章で述べられたワーキングメモリの神経基盤に関する知見と照らしあわせると、選択的注意に実行系が関与しているという結論が支持される。

第3章では続いて行われた fMRI 実験について報告されている。結果として、記憶課題による認知負荷が高い場合に、課題に関係がない妨害刺激が長期的に記憶されてしまうことがあり、その場合には前頭皮質の活動低下が見られることが明らかになった。また、記憶の符号化に関わると考えられる海馬の活動が、記憶された刺激と記憶されなかった刺激への応答に分けて詳細に分析された。総合すると、注意制御を担う

前頭葉の活動が、紡錘状回などの知覚関連領野と海馬を含む長期記憶符号化に深く関わっていることが示されたといえる。

第4章では、心理学実験によって、認知負荷が課題無関連情報の処理に及ぼす影響がさらに詳細に検討された。実験参加者は、認知負荷となる顔画像の記憶に続き、妨害刺激と同時に呈示される検査刺激の色判断課題を遂行した。Lavie (2005) の理論によると、認知負荷の増加によって注意資源が少なくなるため、関係ない課題への干渉の増大が予想される。逆に、後の Park ら (2007) の主張に即して考えると、認知負荷増大によってむしろ妨害刺激の影響が小さくなることもあり得る。実験の結果は、確かに負荷増大によって干渉が小さくなりうることを示した。一方、ワーキングメモリ容量の個人差の影響は小さく、一回目と二回目の色判断課題の結果に違いが出るなど、予想と異なる部分もあった。そのように概ね Park らの主張を支持する結果であったが、同時に今後さらに検討すべき課題が明らかになった。

第5章では、三つの実験研究全体を通した総合的な考察がなされている。

総じて、先行研究によって積み重ねられてきた、選択的注意とワーキングメモリを統合する理論を緻密な実験によって検証するという試みは成功したと言えるだろう。理論の枠組みは先行研究に従うものであるが、検証のための実験は論者自身が考案した独創的なものである。また、今後へ向けての課題も浮かび上がってきており、本研究独自の価値があることは疑いない。惜しまれるのは、その新たな問題を追及し、理論を発展した形で明示するまでには至らなかったことである。しかしながら、実験心理学および神経科学においては、基本的な訓練がきわめて重要であり、また、仮説を互いに検証し合いながら理解を進めることが不可欠である。本研究は、そのような問題意識をもって真摯に検証に取り組み、有意義な結果を得たという点で高く評価されるべきであろう。論者が本研究の経験を活かして研究の発展に挑み、より独創的な成果を成し遂げていくことは大いに期待できる。

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23年2月21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。