

(論文内容の要旨)

われわれは直観的には、目の前にある全ての物体や風景を知覚し、それらを記憶しているように感じている。しかし、最近の研究によれば、実際には、われわれの脳の情報処理には極めて厳しい制約があり、一度に記憶に保持できる物体はわずかに数個程度でしかないことが明らかにされている。視覚的ワーキングメモリは、このような一度に記憶できる視覚情報を一時的に保持しておく認知システムであり、その脳内メカニズムの研究が進展している。視覚的ワーキングメモリは、容量制約を効率的に生かすために、課題と関連する視覚情報を保持し、課題とは無関連な視覚情報は排除するという適応的な特性をもっている。

この視覚的ワーキングメモリの適応的な認知特性は、一見すると非常に効率的な情報処理方略であるように思われる。しかし、課題とは無関連な情報を完全に排除してしまうと、後にその情報から間接的に得られる情報が失われることになり、かえって非適応的な事態を招くことにつながる。

本論文は、その容量制約の最適化のために課題関連情報のみを処理するとされてきた視覚的ワーキングメモリについて、その容量制約メカニズムの実態を、実験心理学と fMRI (機能的磁気共鳴画像法) の双方の実験により明らかにしようとしたものである。遅延期間を挟んで断続的に呈示される、二画面間の変化を報告させる変化検出課題を用いた実験的な検討の結果、見出された結論は、まず、視覚的ワーキングメモリには課題関連情報のみならず、課題非関連情報も保持されていることであった。次に、視覚的ワーキングメモリのはたらきは、主として大脳皮質の頭頂葉の注意の制御とかかわるとされる頭頂間溝 (IPS) 近傍において担われていることがわかった。

第1章では、容量制約をもつ視覚的ワーキングメモリの心理学的・神経科学的メカニズムについて、関連する概念である注意と視覚的短期記憶についても比較しな

がらレビューしている。視覚的ワーキングメモリは、視覚情報を一時的に保持する認知システムであり、課題と関連する情報のみを保持し、関連しない情報を排除するとされる。一方、同様に視覚情報を保持するシステムとして、視覚的短期記憶という概念も存在する。本章ではこの二つの概念の相違が、注意による情報選択機能の有無にあり、前者がそれを有するのに対し、後者はそれを有しないと仮定されているという点を指摘するとともに、これまで視覚的ワーキングメモリを測定しているとされてきたいくつかの最近の研究が、実は視覚的短期記憶を反映している可能性があることを論じている。

第2章では、その可能性を検討するために、視覚的ワーキングメモリに保持されている物体数と相関する活動を示すとされるIPSについて、この脳領域が実際に課題関連情報のみを保持しているのかどうかをfMRIによって検討している。

参加者の課題は、赤色の長方形（課題関連刺激）の変化のみを報告し、青色の長方形（課題非関連刺激）は無視するという色彩ベースの変化検出課題であった。fMRIによる実験の結果、IPSは関連刺激のみならず非関連刺激に対しても等しく応答していることが明らかになり、IPSが課題関連性を区別せず、呈示された刺激をすべて一時的に符号化・保持する視覚的短期記憶ともいうべき特性をもっている可能性が示唆された。一方、視覚皮質では妨害刺激が呈示された条件で神経活動の低下が確認された。これらの事実から、IPSで関連・非関連の両情報を併せて保持し、その情報を視覚皮質に伝達することによって、関連刺激を優先的に処理し、非関連刺激の処理を抑制するという選択的な脳内情報処理がおこなわれている可能性を示した。

第3章では、視覚的ワーキングメモリに非関連情報が実際に保持されているのかどうかを確認するために、突然に提示される視覚刺激の意識的知覚の失敗である非注意盲という現象を観察することで検討した。

これまでの研究では、非注意盲は視覚的ワーキングメモリ負荷に伴って、刺激駆

動型の注意を担う側頭頭頂接合部の活動が低下することによって、それに随伴する刺激の注意捕捉に不全が起こるために生じると説明されてきた。しかし、視覚的ワーキングメモリ負荷の増大に伴って IPS の活動の活性化も同時に確認できるため、非注意盲の原因がどちらの領域にあるのかは不明確であった。この問題を解明するため、第 2 章と同様の変化検出課題を用いて、IPS が非関連情報に対しても応答する一方、側頭頭頂接合部は課題非関連情報に応答しないというデータを示した。また、非注意盲の生起が課題非関連な記憶負荷によっても生じることを明らかにした。これによって、IPS の視覚的短期記憶容量が課題非関連な情報によって占有されることによって、非注意盲が誘発されることを明らかにしている。

第 4 章では、視覚的ワーキングメモリの個人差を検討している。これまで、視覚的ワーキングメモリ容量の大きい個人の方が、注意制御に優れており、課題非関連情報をより適切に制御できると考えられてきた。そこで本章では、視覚的ワーキングメモリ容量の大きい個人の方が、実際に課題非関連情報を有効に排除できるのかどうかを、やはり変化検出課題によって検討している。

実験的な検討の結果、従来の知見とは逆に、視覚的ワーキングメモリ容量の増加に伴って妨害刺激からの干渉が増大して、課題成績が低下することが明らかになった。これは変化検出課題によって測定されている記憶容量は、妨害刺激排除の効率性と相関するようなワーキングメモリ容量を反映しているのではなく、むしろ比較的受動的な視覚情報の貯蔵庫である視覚的短期記憶容量を反映していることを示唆している。容量の大きい個人ほど目標刺激も妨害刺激もともに記憶に留まっているため、容量の増加に伴って干渉効果が強くなったためであろうと推定している。

第 5 章では、第 2 章—第 4 章までの実験を踏まえ、視覚的ワーキングメモリと視覚的短期記憶とを巡る諸問題について議論している。

まず、実験を振り返り、これまで視覚的ワーキングメモリを反映するとされてきた変化検出課題が、ワーキングメモリの定義である関連する情報だけを保持すると

いう特性をもたず、課題関連性を区別せずに外界の基本的な特徴情報を表象する、視覚的短期記憶の特性をもつと考えた。さらに、ワーキングメモリは単一の脳領域や神経ネットワークにそのはたらきを帰せられるシステムではないという議論を展開しながら、変化検出課題はその性質上、視覚的短期記憶課題とよぶべきであることを提案している。

第6章では、前章までの議論を踏まえ、IPSに反映される視覚的短期記憶の機能についてのモデル化を行うとともに、今後の研究の方向性と展望について論じている。

IPSはこれまで、トップダウン的な注意制御からボトムアップな処理過程まで、広範な認知課題においてその活動が報告されてきており、そのために、IPSの機能がどのような過程を反映したものであるのかかについて、統一的な理論やモデルは存在しなかった。そこで本章では、IPSはその保持している短期記憶表象に対して、注意すべき表象とそうでない表象というように、課題関連性に基づくタグ付けを行い、その情報を視覚皮質へとフィードバックする役割を担う、中間的な制御系であるという仮説を提唱している。この仮説は、IPSがボトムアップ的処理によって視覚的短期記憶表象を形成しつつも、さらにそれらの表象に対してトップダウン的処理によって課題関連性の判別を行うことを想定するものであり、これまでトップダウンからボトムアップまで様々な課題への関与が指摘されてきたIPSの機能を、包括的に説明しうるモデルを導いている。

氏 名	まつ 松	よし 吉	だい 大	すけ 輔
-----	---------	---------	---------	---------

(論文審査の結果の要旨)

われわれの眼前に広がる視覚的世界には多くの対象が存在するが、われわれはそれらすべての対象を同時に認知することはできない。その理由は、視覚的ワーキングメモリが容量制約をもつためである。たとえば、視覚的ワーキングメモリには物体で数えてせいぜい4個程度しか保持できないことが知られている。

本論文はこの容量制約にかかわる神経基盤の問題を、実験心理学的および認知神経科学的な検討によって明らかにしたものである。また、容量制約が視覚的認知におよぼす影響を検討し、視覚的ワーキングメモリを基盤とした物体認識の認知神経科学的モデルを構築する試みをおこなっている。仮説の検証には行動実験と機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) を組み合わせて行うことで、実験心理学と神経科学の両面から検討している。

第1章では、本論文の前提となるワーキングメモリの概念が短期記憶の実験的研究から生まれ、課題に即した能動的な注意を基盤に情報の選択、保持と処理をおこなう心的機構であることを歴史的なレビューを含めて概観している。

第2章では、認知神経科学的な視点から容量制約問題を実験的に検討している。最近の研究は脳の頭頂葉領域にある頭頂間溝 (IPS) が視覚的ワーキングメモリに保持している物体数と相関して活動を上昇させることを明らかにしているが、この領域がワーキングメモリの伝統的な定義である「課題と関連する情報のみを保持する」という特性を有しているのか否かは明らかでなかった。そこで、本章では、遅延期間を挟んで断続的に呈示される画面間の変化を報告させる変化検出課題について、特定の色彩をもつ刺激のみに着目してその変化を報告させることで、実際に IPS が課題と関連する情報のみを保持しているのか否かを検討した。その結果、IPS は課題と関連する情報のみならず課題とは非関連な情報も保持していることが示され、

視覚的ワーキングメモリには、課題非関連な情報も保持されていることを見出した。

第3章では、視覚的ワーキングメモリの負荷によってもたらされる意識的知覚の失敗として知られる非注意盲の神経的・行動的基盤を探っている。これまで、視覚的ワーキングメモリの過負荷に伴う非注意盲は、注意捕捉の失敗によるものとされてきたが、本章では、工夫した実験手続きを用いて、視覚的短期記憶容量の不足によっても非注意盲が生じるという新たなデータを見出している。

第4章では、妨害刺激排除の効率性を反映するとされてきた視覚的ワーキングメモリ容量の個人差が、行動的な妨害刺激排除の効率性と逆相関をすることを実験的に示し、変化検出課題によって測定されているのは、実は視覚的ワーキングメモリ容量というよりも、より受動的な視覚的短期記憶容量である可能性を示した。

第5章および第6章では、上記の研究を包括的に考察し、視覚的ワーキングメモリと視覚的短期記憶という2つの概念を区別する必要性を議論している。つまり、視覚的ワーキングメモリの容量制約性とその脳内メカニズムを、情報選択をおこなう視覚的注意、および情報の一時的保持をおこなう視覚的短期記憶という2つの下位システムの相互作用によって説明している。つまり、変化検出課題によって測定できる記憶システムは、情報選択機能をもたない視覚的短期記憶であること、そしてこの視覚的短期記憶は、主として大脳のIPSがそのはたらきを担っており、適切な注意制御をおこなう場合に、参照枠として役立っているということである。また、物体の意識的知覚が生じるためには、視覚的短期記憶に十分な余裕がある必要があることを示した。

本論文はこれまで、課題と関連する情報のみを保持するという適応的な特性が仮定されてきた視覚的ワーキングメモリについて、その基本的な仮定に疑義をもち、実験心理学と認知神経科学の手法を有機的に組み合わせ、実際はIPSなどでは、課

題と関連しない情報も保持されているという新たな事実を確認した点で高く評価できる。論者は、容量制約のある記憶資源を、課題と関連する情報だけを処理するように特化させることが、必ずしも適応的ではないと考えている。つまり、論者は、課題と関連しない、一見冗長で不必要な情報も記憶に保持することで、その情報を注意のコントロール下に置き、その後の課題解決過程で不必要な場合は、抑制するほうが合理的だと論考している。

論者は IPS の機能にかかわる問題に論議を尽くしているが、一方では、前頭前野や前部帯状皮質、大脳基底核など、注意のコントロールとかかわる脳の領域についての吟味が弱いのが惜しまれる。しかし、この問題は fMRI 実験と行動実験をうまく切り分けることが困難であることを考えると、将来的に残された問題であるといえる。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 21 年 10 月 14 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。