

氏名	ひろ せ のぶ ゆき 廣 瀬 信 之
学位(専攻分野)	博 士 (文 学)
学位記番号	文 博 第 420 号
学位授与の日付	平 成 20 年 3 月 24 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	視対象のアウェアネスからの消失 ——オブジェクト置き換えマス킹に関する実験心理学的検討——

論文調査委員 (主査) 教授 苧 阪 直 行 教授 櫻 井 芳 雄 准教授 蘆 田 宏

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、視覚的認知に関わるマス킹現象の実験的解析を中心に、人間の視覚的な見えや気づき（視覚的アウェアネス）のメカニズムについて論じたものである。物理的に視対象が存在し、その情報が網膜に投影されているにも関わらず、意識的なアウェアネスが生じない場合がある。このようなことが生じるのは、われわれの見ている世界が物理的な世界をそのまま写しだしたのではなく、網膜に映った情報が視神経を介して脳に到達し、なんらかの処理された結果が反映されているためであると考えられる。処理の経路の途中で情報の一部が損なわれたり、あるいは必要な情報だけが選択されて不要な情報が捨てられたりすると、物理的な世界と視覚的アウェアネスの間に乖離現象が見られることになる。視対象がアウェアネスから消失する状況とその原因を特定することは、「なぜものが見えるのか」という問いに答えるための重要な手がかりとなる。

短時間しか呈示されなかった刺激（ターゲット）は、時間的かつ空間的に近接した位置に後続呈示される他の刺激（マスク）によってしばしば見落とされる。この逆向マス킹（backward masking）と呼ばれる現象は、物理的な世界と視覚的アウェアネスの乖離を人工的に作りだすための代表的な心理物理学的手法の一つである。

本論文では、視対象がアウェアネスから消失する状況の一つの例として、逆向マス킹の一種であるオブジェクト置き換えマス킹（object substitution masking: OSM）を取り上げている。そしてこの現象がどのようなレベルの表象において生じているのか、また、どのような脳内基盤に支えられているのかを理論的および実験的手法を駆使して解明している。

第一章では、まず OSM の成り立ちについて概観した後、現象の特性、影響を受ける処理段階、説明理論、およびその神経基盤について順次述べられている。同時に、先行実験がもつ問題点についても言及している。

第二章では、視野の中心を基準とした場合にターゲットの周辺側に呈示されたマスクが、中心側に呈示されたマスクよりも大きな OSM を誘発するという非対称性（非対称的 OSM）に注目し、この非対称性を生み出す要因について検討している。先行研究では、非対称的 OSM が固視点を参照点とするターゲットとマスクの相対的な中心-周辺関係に依存し、ターゲットの周囲に非対称的な抑制領域を仮定することによって説明できると考えられてきた。しかし、これらの研究では周辺側と中心側のマスクが、それぞれ常にターゲットから見てターゲットに向かう空間的注意の進行方向と逆向方向に呈示されていた。すなわち先行研究では、空間的な注意シフトの方向を基準とすると周辺マスクと中心マスクが非対称的な配置関係にあった。論者はこの事実に着目し、ターゲットから見て注意のシフト方向に位置するマスクが反対側に位置するマスクよりも大きな OSM を生じるのではないかと考えた。この考えが正しいかどうかを確かめるために、相対的な中心-周辺関係の有無と注意のシフト方向を基準とした非対称的なマスク配置の有無を四つの実験間で直交させて独立に操作している。一連の四つの実験の結果、非対称的 OSM は相対的な中心-周辺関係とは無関係であり、空間的注意シフトの方向を基準とする非対称的なマスク配置に規定されることが明らかにされた。したがって、OSM は空間的注意の移動によるモジュレーションを受けるような表象のレベルで生じるものであることがわかった。OSM の非対称性が生じる理由については、ターゲッ

トを処理するためにその位置に向けて注意をシフトする際に、注意が慣性のようなものを帯びるためであると考えられた。

第三章では、OSMが純粋に高次のオブジェクトレベルの干渉のみによって引き起こされるのかどうかを実験的に検討している。先行研究では、OSMは主に高次のオブジェクトレベルの干渉を反映した現象であることが繰り返し主張されてきた。ところが、ターゲットが消えた後にターゲットの近くにマスクが存在する場合と存在しない場合を比較することしか吟味が行われてこなかった。したがって、従来OSM研究で用いられてきたマスクがターゲットと比べた場合、弱いエネルギーしか持たない刺激であっても、低次のイメージレベルの干渉効果が全体的なOSM効果に寄与していた可能性を否定することはできない。また、イメージレベルの干渉なくしてはオブジェクトレベルの干渉も生じないという可能性も考えられた。そこで論者は、主観的輪郭線によって形成される錯覚的なオブジェクトをマスクとして用いるパラダイムを工夫し、錯覚的なオブジェクトを形成しないよう向きを変えた誘導図形と比較することでイメージレベルの効果を統制することを試みた。二つの実験を行った結果、錯覚的オブジェクトを形成する誘導図形が、ターゲット消失後もそのごく近傍の位置に残存するとOSMを誘発することが判明した。つまり、高次のオブジェクトレベルの干渉効果が、OSMに寄与していることが明らかになったわけで、これは、低次のイメージレベルの干渉効果に帰することができないことを示したものである。物理的に定義された輪郭線ではなく、あくまで主観的な輪郭線から形成される錯覚的なオブジェクトがOSMを引き起こすというこのデータは、われわれが見ているものがそのままの感覚入力ではなく、そこから意味のあるまとも（錯覚的オブジェクト）を抽出した後の表象に基づいていることを示唆している。

第四章では、第一章で触れたOSMに関する説明理論の一つであるオブジェクト更新説に基づいて、OSMの脳内機構の一端を明らかにしている。オブジェクト更新説では、視覚系が後続マスクを先行ターゲットの続きであると見なす場合に、オブジェクトレベルの表象の中で情報更新（オブジェクト更新）が行われるためにOSMが生じると考えられている。論者は、オブジェクト更新プロセスが大脳皮質における高次視覚運動処理に関わっていると推定した。この考え方が妥当であれば、脳の新皮質における運動検出の処理過程を何らかの方法で抑制すればOSMからの回復が生じると予測することができる。この予測を検証すべく、低頻度の反復経頭蓋磁気刺激（repetitive transcranial magnetic stimulation: rTMS）法によって運動処理に重要であるとされている脳部位を機能的に抑制し、その前後で課題パフォーマンスを比較した。rTMS法とは実験に先立って、頭骨を介して脳表面に強い磁場刺激を継続的に与えることで当該脳領域のはたらきを抑制する最新の認知脳科学的手法の一つである。運動検出に関わる当該脳領域として、初期視覚処理モジュールである後頭葉のV1領域と高次運動検出モジュールである頭頂・側頭・後頭接合領域であるV5/MT+領域を想定しそれらの領域を検討した。二つの実験の結果、V5/MT+およびV5/MT+と相互に神経投射を有するV1にrTMSを施行してその機能を抑制すると、OSMが減少することが確認された。また、音は出るもの実際には脳皮質を刺激することのないsham刺激（偽刺激）ではOSMが減少しなかった。さらに、コントロール条件として、V5/MT+から2 cm後方の領域に対してrTMSを実施したところOSMの減少は認められなかった。つまり、OSMの有意な減少は学習効果や聴覚的アーチファクトに起因するものではなく、実際の皮質刺激に関連するその他の非特異的な効果によるものでもなかった。以上より、OSMは少なくとも部分的には視覚運動処理システムが正常に作動することで生じるターゲット視認性低下を反映している可能性が示唆された。仮現運動とマスクキングの関連については昔から賛否両論があったが、両者の間に因果関係があることを示した。

第五章では、第二章から第四章までで得られた結果をまとめ、そこに反映された視覚系の機能について、関連分野の先行知見と関連づけながら論じている。OSMを引き起こすオブジェクト置き換えのプロセスについては、基本的には腹側経路内の特にV1とオブジェクト認知に関与する外側後頭皮質の間の再入力処理が、注意の焦点の周りに生みだされる周辺抑制野と組み合わせることでその脳内機構が実現されていると考えた。視覚運動処理の抑制によるOSMからの回復は、V1とV5/MT+を含む背側経路の運動処理ネットワークが上述の腹側経路におけるオブジェクト置き換えプロセスをモジュレートしている可能性を示唆している。オブジェクト更新プロセスを、このような背側経路による腹側経路のモジュレーションとして実現されていると推定した。おそらくターゲットへの注意定位が生みだす注意慣性が引き起こす非対称的OSMについては、視空間的注意を制御する前頭-頭頂ネットワークが、注意慣性方向へのオブジェクト更新プロセスを強力にするように、あるいはターゲットから見て注意慣性方向に残存するマスクが駆動する周辺抑制野を強力にするようにモジュレーションをかけていると考えた。また、錯覚的オブジェクトによるOSMは、外側後頭皮質で高速で検出される主観的な面表象

がオブジェクト置き換えプロセスを駆動しうることを示唆した。

まとめると、腹側経路内の再入力処理、背側経路と腹側経路の相互作用、前頭-頭頂ネットワークによるこれらへのモジュレーションが組み合わさった結果として、OSMを生じうる刺激条件下で視対象がアウェアネスにのぼるか否かが決定されると考えた。同様の議論はOSMに限らず、視知覚全般にも当てはめられると思われる。

論文審査の結果の要旨

本論文は、オブジェクト置き換えマス킹 (object substitution masking: OSM) と呼ばれる知覚現象を取り上げ、その生起のメカニズムを一連の実験により解明している。主観的な視覚的世界が、物理的な世界をそのまま写し取ったものではないことは多くの心理学の実験で判明しているが、これは網膜に投影された情報がすべて意識的なアウェアネス (気づき) を伴っているわけではないことを示している。網膜から脳に至る情報処理の経路の途中で必要な情報だけが選択され、不必要な情報が抑制されると、このような物理的な世界と主観的経験の間に乖離現象が見られる。視対象が視覚的アウェアネスから消失する条件とその原因を特定することは、「なぜものがそのように見えるのか」という問いに答える重要な手がかりとなる。視対象の消失の検討の手がかりとなるのが逆向マス킹現象である。これは短時間呈示された刺激 (ターゲット) が、時空間的に近接した位置に後続呈示される他の刺激 (マスク) によって見落とされる現象をさし、OSMがその典型例であると考えられている。

第一章では、OSMの定義と説明理論、さらにその神経基盤について概観している。

第二章では、OSMの非対称性に注目し、非対称性を生み出す要因について四つの実験を通して検討している。非対称的OSMとは、視野の中心を基準とした場合にターゲットの周辺側に呈示されたマスクが、中心側に呈示されたマスクよりも大きなOSMを誘発する現象である。論者は、ターゲットから見て注意のシフト方向に位置するマスクが反対側に位置するマスクよりも大きなOSMを生じることから、非対称性は相対的な中心-周辺関係とは無関係であることなどを見出し、OSMは空間的注意の移動によるモジュレーションを受ける表象のレベルで生じるという知見を報告している。

第三章では、OSMが高次のオブジェクトレベルの干渉で誘導されるかどうかを検討している。論者は、主観的輪郭線によって形成される錯覚的なオブジェクトをマスクとして用いる新たなパラダイムを考案した。二つの実験を行った結果、錯覚的オブジェクトを形成する誘導図形がターゲット消失後、その近傍に残存するとOSMが生じることを明らかにした。つまり、高次のオブジェクトレベルの干渉効果が、OSMと関わることを初めて明らかにした。物理的に定義された輪郭線ではなく、主観的な輪郭線から形成される錯覚的なオブジェクトがOSMを誘導するというデータは、OSMが低次の感覚入力ではなく高次レベルで錯覚的オブジェクトを抽出した後の表象に基づいていることを示したものである。

第四章では、第一章で触れたOSMに関する説明理論の一つであるオブジェクト更新説を、その脳内機構の一端を明らかにすることで支持している。オブジェクト更新説では、視覚系が後続マスクを先行ターゲットと連続性を持つと見なす。つまり、オブジェクトレベルの表象の中で情報更新が行われるためにOSMが生じると考える。オブジェクト更新説を検討するため、論者は、仮現運動を利用し、大脳皮質における高次の視覚運動処理と関わるかどうかを検討した。運動処理に関わる脳部位を反復経頭蓋磁気刺激 (repetitive transcranial magnetic stimulation: rTMS) を用いて抑制し、その前後でパフォーマンスを比較することで検討した。rTMS法は実験に先立って、脳表面に強い磁場刺激を継続的に与えることで特定の脳領域のはたらきを抑制する最新の認知脳科学的手法の一つである。初期視覚処理モジュールであるV1領域と、高次運動検出モジュールであるV5/MT+領域に注目し、両領域にrTMSを施行してその機能を抑制した結果、予測どおりOSMが減少することが確認された。これにより、OSMが視覚運動処理システムと密接に関わり、またオブジェクト更新説で説明できることが判明した。

第五章では、第二章から第四章までで得られた結果について総合考察している。OSMを引き起こすオブジェクト置き換えのプロセスについては、基本的には脳の腹側経路、特にV1とオブジェクト認知に関与する外側後頭皮質の間の再入力処理が関わると考えた。一方、運動処理に関わるデータからは、V1とV5/MT+を含む背側経路が、腹側経路におけるオブジェクト置き換えプロセスをモジュレートしていると推定した。オブジェクト更新プロセスを、このような背側経路による腹側経路のモジュレーションとしてとらえる論者のモデルはユニークであり高く評価できる。錯覚的オブジェクトによる

OSMについては、外側後頭皮質で検出される主観的な面の表象が、オブジェクト置き換えプロセスを駆動していると考えた。仮現運動とマスキングの関連についても、両者間に因果関係があることをはじめて明らかにしている。

論者は腹側経路内の再入力処理、背側経路と腹側経路の相互作用、前頭-頭頂ネットワークによるこれらへのモジュレーションが組み合わさった結果、視対象がアウェアネスから消失するというOSMの現象が生じると考えた。一連の精緻な実験に裏づけられた論議はOSMに限らず、視覚的意識全般にも当てはめることが可能であり、論者の論理展開には説得力がある。

本論文は論者が考案したユニークなOSMの実験的吟味とその理論的解釈を主軸としたもので、その知見の新奇性と意義は十分に認められてよい。脳内基盤の検討については、今後検討すべきいくつかの問題が残されているものの、本論文がOSMのメカニズムについて、新たな知見とその説明モデルを提案した優れた論文であることの価値を損なうものではなく、高く評価できる。

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。平成二十年一月七日、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。