

論文内容の要旨

論文題目：空間処理と運動処理の相互依存性に関する視覚処理過程

氏名：久方 瑠美

第1章 本研究の目的：人の視覚処理の初期では、色、運動、奥行き、形などさまざまな視覚特性をそれぞれ独立に処理すると考えられている。知覚される世界の座標系を得るための処理である視覚系の空間処理、網膜像の輝度分布から時空間相関を算出しそこから運動情報を検出する視覚系の運動処理は、それぞれ独立で階層的な構造があると考えられてきた。本研究では空間・運動処理の相互依存性に原因を持つと考えられる錯覚現象の解明を通じて、視覚特性処理間にどのような相互関係があるのかを解明する。

第2章 運動処理が空間処理に与える影響の検討：運動処理が空間処理に影響を与える錯視現象として「運動による位置ずれ」現象を取り上げた。運動による位置ずれ現象とは、静止輪郭内に運動情報が存在する場合、その輪郭が内部の運動方向へずれて知覚される現象である。これは、物体位置を定義する輪郭に関係のない運動情報が輪郭へ影響することを示す現象であり、運動処理から空間処理への影響を示すものである。本章では運動処理の階層性の、どの段階の運動が空間処理へ影響するのかを解明するために実験を行った。まず、運動処理後期に処理されるパターン運動が位置ずれを引き起こすのか検討した。パターン運動は2つ以上の異なる運動方向の要素運動を重ねて知覚される統一的な運動である。実験の結果、位置ずれはそれぞれの要素運動方向ではなく知覚されるパターン運動方向へ引き起こされ、その位置ずれ量は要素

運動独立で引き起こされる位置ずれ量からは説明できなかった。この結果は運動処理の比較的后期の運動情報が空間処理に影響することを示している。次に、運動による位置ずれが統合運動によって引き起こされるのか実験により検討した。統合運動は、パターン運動と同じように複数の異なる運動方向の要素運動から成り立つが、それぞれの要素運動が空間的重なりを持たないものである。しかし知覚される統合運動方向は要素運動方向の足し合わせによって決定される。統合運動刺激による位置ずれを測定した結果、やはり位置ずれは知覚される統合運動方向へ引き起こされた。パターン運動による位置ずれの実験と同様、要素運動が統合される運動処理の後期以降が空間処理に影響を与える結果となった。最後に視覚系の座標変換が行われる前の運動情報が位置ずれに重要なのかどうかを検討するため、追跡眼球運動をさせた状態で位置ずれ量を測定した。その際、刺激輪郭の運動、刺激内部の運動、眼球運動の3つの要素をそれぞれ独立に操作した。その結果、網膜上で刺激輪郭が静止している場合には、位置ずれは刺激内部の運動速度に従って発生した。しかし網膜上で刺激輪郭の運動がある場合には、刺激内部の運動が輪郭と逆方向に運動する時により大きな位置ずれが発生することが明らかになった。この結果は、位置ずれ現象において網膜中心座標の刺激内部の運動情報が重要であること、また刺激内部の運動が引き起こす位置ずれ量に網膜上の刺激輪郭の運動が影響を与えることを示している。これらの実験結果から、空間知覚へ影響を与える運動処理段階は運動が統合される後期以降であることが言える。また、網膜中心座標の運動情報が位置ずれに重要であるという可能性を考慮すると、網膜中心座標をもつ領野の神経活動が物体位置の表現に関わるのではないかと考えられる。このことから網膜部位再現をもつ脳領野の、さまざまな種類の運動へ選択性をもつ細胞の受容野位置が運動情報によりシフトすることで位置ずれが発生するという仮説を提案した。

第3章 空間処理が運動処理に与える影響の検討：視覚系の空間処理から運動処理への影響を示す現象として「蛇の回転錯視」についての実験的検討を行った。蛇の回転錯視とは、静止画である刺激図形が動いて知覚される錯覚現象である。この錯視には固視時に発生する微小眼球運動が関与していると言われており、視覚系の空間処理から運動処理への影響を示す現象だと言える。本章では蛇の回転錯視に重要な視覚系の空間特性および時間特性を検討した。まずこの錯視現象に対する視覚系の空間特性を検討するため実験を行った。Hisakata & Murakami (2008)において、蛇の回転錯視は刺激呈示偏心度が大きくなるほど錯視量が多くなることが明らかになっている。偏心度が大きくなるにつれて視覚系の空間解像度が粗くなる（神経細胞受容野が大きくなる）ことが知られており、コントラスト感度やさまざまな視覚処理はこの大きくなる受容野サイズに従って呈示刺激サイズを変化させることによって、異なる偏心度でも同じ感度のパフォーマンスを得ることができると明らかになっている。この操作は空間スケーリン

グと呼ばれる。偏心度によって異なる錯視量になる蛇の回転錯視にも空間スケーリングは可能であろうか。刺激サイズおよび呈示偏心度を操作し錯視量を測定した。その結果、刺激サイズを操作することにより偏心度による錯視量の違いはなくなった。この実験から蛇の回転錯視が空間スケーリング可能であることが明らかになり、この結果は偏心度によって錯視量が増加するのは機能的な処理の違いを反映しているわけではなく、同一処理内の受容野サイズの増加を反映しているだけだということを示している。さらに蛇の回転錯視に対するスケーリング係数を求め、先行研究で得られたさまざまなスケーリング係数と比較した結果、錯視に対するスケーリング係数は初期の視覚処理や V1、V2 など初期視覚野のスケーリング係数と一致する傾向にあった。これらの結果から、蛇の回転錯視に関わる視覚処理は初期に存在する可能性が示唆された。次に、蛇の回転錯視の時間特性を検討した。Hisakata & Murakami (2008)において、蛇の回転錯視と網膜照度、網膜照度に伴い変化する視覚系の時間応答特性との関係が明らかになった。本研究ではこの研究結果を元に、さらに視覚系時間応答特性と錯視量の関係を検討した。視覚系の時間特性には主に過渡系と定常系の 2 種類が存在すると考えられており、先行研究で測定した時間応答特性はこの 2 つの加算により得られていると考えられている。先の研究で得られた時間応答特性を過渡系成分と定常系成分に分解し、網膜照度ごとのそれぞれの割合を算出した。その結果、蛇の回転錯視は視覚系の時間特性のうち過渡系成分の割合とよく関係する傾向にあった。このことから、視覚系過渡系応答成分が蛇の回転錯視に重要であることが示された。本研究結果は、視覚処理初期の過渡系応答時間成分を含む処理メカニズムが蛇の回転錯視を引き起こすことを示唆している。固視時の微小眼球運動に関与する視覚系空間処理は、初期の処理段階において運動処理へ影響を与えている可能性がある。これらの結果から、固視時の微小眼球運動を網膜像から取り除く補正メカニズムが錯視運動を発生させるという可能性を論じた。

第 4 章 総合考察：物体位置の表現に影響を与える運動処理は比較的後期であり、運動知覚に影響を与える空間処理は比較的初期に存在する可能性が示された。ここから、各視覚特性に対する処理の相互関係もそれぞれの処理の階層性を保って影響を与え合っていることが示唆される。さらに物体の空間表現には、網膜中心座標系での表現が重要であることが示された。色や形、運動などの各視覚特性を処理する脳内の領野はそれぞれ網膜部位再現(レチノトピー)をもつ。脳内の視覚処理には 2 つの経路があり、腹側経路(色や形などの処理)と背側経路(運動の処理)という。これまでの先行研究から、運動や位置の処理には背側経路の視覚野の活動が重要であることが示されている。本研究結果と過去の生理学や行動実験の研究結果から、網膜部位再現をもつ背側経路内領野の、神経細胞の受容野位置が知覚位置の脳内表現に重要であることが考えられる。しかしそれぞれの領野で処理される各視覚特性の位置表現はどのように統合されるのだろうか。視覚特性処理間の相互関係は感覚統合問題に関わるものであると言える。ある生理

学の研究では、初期視覚野からのフィードバックが外側膝状体の神経活動同期に重要であることが明らかになっている。これと同様に、それぞれの領野から網膜位置を手がかりに各視覚野にフィードバックがあることにより、異なる領野の同刺激に対する神経活動が同期し、この神経発火同期が感覚統合に重要な役割をもつのではないだろうか。物体に関わるさまざまな視覚特性間の統合や相互関係には、視野上の位置、特に網膜中心座標系での位置がその結びつきに重要な役割を担っていると考えられる。