

論文の内容の要旨

視覚運動刺激の特性操作に基づくベクシオンメカニズムの検討

妹尾武治

本論文では、運動刺激の成分とその処理水準の違いを利用することで、ベクシオンのメカニズムを明らかにすることを試みた。静止している身体に視覚刺激のみを提示することで、自己移動感覚を誘発させることが出来ることが知られている。その錯覚をさして、ベクシオンという名称が使われる (Fischer & Kornmuller, 1930)。ベクシオンの心理物理学研究では、その時間特性と刺激の特性を調べるのが重点的に行われてきた。また近年では、脳イメージングによってその生理学的な基盤について指摘が加えられている。しかしながら、これまでに、運動刺激の成分とベクシオンの関係については検討が十分になされてこなかった。そのため、初期視覚システムや皮質下といった、低次なメカニズムによってベクシオンがどの程度媒介されているのかは不明であった。本論文ではこの点を明らかにすることでベクシオンメカニズムの全体像を描き出した。

第二章では、 $2f+3f$ 刺激という複合波状に輝度を変調した縞刺激を用いて実験を行った。この刺激は輝度運動成分と高次運動成分が同時に提示され、その運動方向が拮抗するような刺激であった。これによって、運動成分とそれを処理するメカニズムがベクシオンに対してどの程度の寄与をするかを直接検討することが可能となった。実験 1 では刺激のコントラストを操作することで、輝度運動と高次運動の運動知覚における内部表象の強度を変化させた。実験 2 では刺激の提示視野を操作することで、同じく、両運動の内部表象の強度を変化させた。その結果、運動知覚における両運動の内的な強度によらず、輝度運動で高次運動よりも高いベクシオンへの寄与が確認された。さらに、実験 3 でこの差が、刺激の空間周波数や速度によるものではないことが示された。このことから、初期視覚システムのベクシオンへの寄与が高いことが示された。また、運動知覚時間とベクシオン生起時間が対応しないことから、運動知覚以前に存在する、運動視のサブメカニズムが直接ベクシオンメカニズムに出力しているという可能性が示された。

第三章では、単眼観察、片側視野提示という OKN(Optokinetic Nystagmus)で用いられている手法を、ベクシオン測定に援用した。OKN 研究では、鼻側への運動の頑健な優位性が、サル等の動物で確認されていた(Distler, Vital-Durand, Korte, Korbmacher & Hoffmann, 1999)。人間でも乳児においてその優位性は確認され(Atkinson, 1979)、弱いながら成人でもそれが残存している(Van den Berg & Collewijn, 1988)ことが報告されている。Ohmi, Howard and Eveleigh(1986)では、単眼観察、片側視野提示によって、鼻側網膜に鼻側への運動を提示した時に OKN がより強く駆動されることを報告している。多くの研究者によって、この優位性の原因は、網膜から皮質下への情報の投射パターンと、皮質下の細胞の運動方向選択性であることが指摘されている(e.g. Ohmi et al, 1986; Atkinson, 2000; Braddick, 1996)。この手法を用いることで、皮質対皮質下という構図をベクシオンに持ち込むことが可能となった。

実験の結果(実験 4)、鼻側網膜の優位性と鼻側への運動の優位性がベクシオンにおいても確認された。これは、ベクシオンの皮質下処理を反映した結果であると考えることが出来た。

実験 5 では、皮質下の処理が想定されない、コントラスト変調刺激で実験 4 と同一の提示方法、観察方法を取り、実験を行った。実験 4 で確認されたベクシオンの二つのバイアスが、皮質下由来のものであれば、皮質処理しか関与しないと想定される、コントラスト変調刺激では、バイアスが消失することが予期された。その結果、ベクシオンの二つのバイアスは共に消失し、実験 4 で得られたベクシオンバイアスが皮質下由来のものであることが強く示唆された。

さらに実験 6 では、実験 4 で用いた刺激が運動知覚の印象強度に差を生じさせるかを調べた。その結果、運動知覚レベルでは、印象強度に差がないことが示された。これは、MST 野からのフィードバックによってベクシオンバイアスが生じた可能性を否定するものと言える。さらに、運動知覚レベルでは差が生じ得ない刺激によって、ベクシオンにおいては差が生じていることから、運動視のメカニズムとベクシオンのメカニズムの情報統合段階のメカニズムが並列して、独立に存在している可能性が示唆された。

高次な運動刺激がベクシオンを引き起こすことは、Gurnsey, Fleet and Potechin(1998)が指摘し、本論文第二章および、第三章によっても示されている。このことは、皮質下を介さない、皮質のみの媒介によるベクシオン生起経路が存在することを示唆する。第四章では、この経路についての検討を加えた。

実際には静止している物体から得られる運動印象のことを心理物理学では近年、インプライドモーションと呼ぶ(cf. Cutting, 2002)。Fujimoto and Sato(2006)では、その場で歩行する人物を位相反転する縞刺激に重ねて提示することで、位相反転縞の運動方向が人物が示唆する歩行方向とは反対側に安定して見えることを報告している(バックスクロール錯視)。この歩行者を背景無しで用いることで、意味処理水準からのトップダウン情報によるベクシオン駆動を検討した。実験の結果(実験 8)、このような高次な視覚処理のみを駆動させる刺激からでもベクシオンが誘発されることが確認された。

以上の実験を総合的に解釈して、ベクシオンメカニズムの全体像を描いた。まず、運動視のサブメカニズム、具体的には輝度運動処理メカニズムやコントラスト変調刺激処理メカニズムといったものから得られる出力をベクシオンメカニズムが用いていると考えてよいと思われる。各サブメカニズムからの出力は上位メカニズムである統合処理段階において、重み付けされている。重み付けの値はある程度固定化されており、そのバランスは運動視のものと大幅に異なっている。これが、運動知覚とベクシオンの強度に乖離が起こる原因となっていると考えられる。

皮質下処理もベクシオンの統合処理段階に出力している。皮質下のベクシオンへの寄与は、その運動視への寄与に比べて極めて大きいものであると考えられる。この皮質下の寄与の度合いが運動視メカニズムとベクシオンメカニズムの大きな違いである。

高次脳機能からのトップダウン情報の影響としては、意味処理水準からのトップダウン情報が一度運動視のサブメカニズムを介してから、ベクシオンに影響を及ぼすとするモデルの妥当性が高いと考えられる。

このように、本論文ではベクシオンメカニズムの全体像の理解に一定の進展をもたらすことができた。これまで見過ごされてきた、初期視覚システムや皮質下といった視点をベクシオンに持ち込むことの重要性が指摘できるとともに、ベクシオン研究に新しい切り込み口を作ったことによって、貢献が出来たものと言えるだろう。