

氏 名	寺 尾 将 彦
学位の専攻分野の名称	博 士 (心理学)
学位記番号	甲文第99号 (文部科学省への報告番号甲第359号)
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与年月日	2011年3月3日
学位論文題目	眼球運動によって変調される時空間知覚特性についての 実験的考察
論文審査委員	(主査) 教授 八 木 昭 宏 (副査) 教授 片 山 順 一 教授 長 田 典 子

論文内容の要旨

人が物を見て認識する際、身体や眼が動くにもかかわらず世の中が静止して見える。そのメカニズムに関してまだ不明なことが多い。今回の論文では、その視覚に関するメカニズムの解明に向け、極めて基本的な現象を解明しようと試みたものである。

視覚系は網膜像からの入力信号に基づいて外界を推定し、知覚として生じさせる情報処理システムである。外界の物体自体の動的な変化に加え、観察者の眼も動くので、網膜像は常に時空間的に動的な変化が生じている。しかし、我々は、実際には画像のブレなどは知覚せずに明瞭な見えが体験できている。視覚系がどのようにして明瞭な見えを実現しているのかを心理物理学的手法を用いて明らかにするのが本論文の主な目的である。それぞれ4つの実験からなる、3つの研究によって、眼球運動時の時空間知覚特性の変化を調べた。

研究1

人が対象を見るとき、眼をキョロキョロと動かす。いわゆるキョロと動く急速な眼球運動はサッカードと呼ばれている。近年サッカード時には、100 ms 程度の時間間隔が実際よりも短く見えるという現象が報告された。この現象に関しては、サッカードに伴う神経系の時空間的な時間変調という仮説が立てられていた。しかし、本研究では、サッカードよりもむしろ、サッカードに付随する視覚的認知機能の低下によるものであるとの仮説を立てて、実験的に検証を行った。サッカードの代わりに、動的輝度ノイズ、コントラストの低下、高空間周波数縞の刺激を提示して、視覚的認知機能の低下が起こるかを調べた。実験の結果、サッカードが無いにもかかわらず、刺激の過渡的応答を弱めると時間間隔は実際よりも短く知覚されることが明らかとなった。また、この時間間隔の減少は100 ms 程度の短い時間帯でしか生じなかった。これらの結果から、過渡的応答を入力信号とした時間差検出メカニズムを新たに提案した。脳の構造から推定すると時間情報は失われやすい。刺激が弱い事態では、外界からの情報に時間差を生じ難くさせるバイアスの働きがあると仮定した。物理的な時間差を比較的早い段階で、符号化した情報に変換してバイアスをかけておくと、脳内で安定した情報として扱えることになる。

研究2

眼球運動には、先に述べたサッカードの他に、ゆっくりした追跡眼球運動がある。研究2では、色知覚

と追跡眼球運動との関係を扱った。赤色と緑色を高速で交互に呈示すると混色して黄色に見える。この色の時間的变化が知覚出来なくなる時間周波数の限界が、色知覚の時間分解能に相当する。従来、色知覚の時間分解能は網膜など、視覚系の初期処理メカニズムによってボトムアップ的に決定されていると考えられてきた。しかし、近年の神経科学的研究では、知覚の時間周波数よりも高い時間周波数に対しては、大脳の皮質レベルで処理されていると示唆されている。本研究では、この色知覚の時間分解能が追跡眼球運動によって向上することを見いだした。時間分解能の向上は、追跡眼球運動中に環境座標系で静止したパターンが引き起こす眼球運動と反対方向の網膜像上の運動軌道に色信号が属するときのみ生じた。このことは視覚系が皮質レベルで色知覚の時間分解能を変調させていると仮定できる。さらに、そのことは、眼球運動時に生じる運動によるブレを解消し、外界の明瞭な見えを実現していることを示唆している。

研究3

輝度の変化を時間的あるいは空間的に変化させると運動としても知覚される。追跡眼球運動によって網膜像の運動が生じるが、網膜像の速度と眼球運動の速度を比較統合することによって補償され、安定した見えが実現されている。一方、輝度の時空間変調は無くても、色調の変化だけで運動が知覚される。この色運動は輝度運動とは知覚特性は異なることや、実現される神経メカニズムが異なる可能性がある。また、追跡眼球運動時に色調が輝度運動と同様の速度比較による運動補償がなされるのかは明らかでない。そこで、色運動が追跡眼球運動中に速度比較が行われるのか、また行われるのであれば、どのように補償されるのかを検討した。色運動でも輝度運動と同様に網膜像の速度と眼球運動速度で比較された。その結果、色運動の見かけの速度低下が、速度比較前に既に生じている結果が得られた。

考察

今までの視覚研究は固視時の研究が大部分を占めていた。しかし、網膜像には、眼球運動など常に我々自身の動きによって動きが生じている。視覚系の機能の役割は網膜像の画像（網膜座標）の復元ではなく、外界（環境座標）の復元である。眼球運動時の知覚特性を調べることによって、固視時に測定した知見からでは明らかに出来ない視覚系の真の情報処理メカニズムの解明が出来、さらに新たな工学への応用が期待される。

論文審査結果の要旨

ビデオカメラを撮影中に動かすと、画像がブレたり周りの物が動き回って見える。しかし人は眼を動かしても、それらは静止して見える。そのメカニズムに関しては、心理学的にも神経科学的にも十分解明されたとは言えない。眼球運動には、サッカードと呼ばれる急速な眼球運動と、ゆっくりと対象を追いかける追跡眼球運動とに分けられる。本論文で申請者は、それら眼球運動に係わる視覚機能の内、最も基本的な心理学的、神経学的メカニズムを明らかにするため、心理物理学的手法を駆使して、微弱な刺激変化の見え方を検討した。外界から眼に入った刺激情報は、先ず網膜に投射される。その画像と脳内で認知されたものとの間には、時間的にも空間的にもズレがある。本論文の中心課題として、眼の網膜上の像と脳内での認知処理を取り上げ、3つの研究として、まとめたものである。それぞれが4つの実験研究から構成されている。

本論文の研究に先立つて、海外でサッカードの運動中に100ms程度の時間間隔が、実際よりも短く見えるという現象が報告された。研究1では、申請者は、それが、サッカード眼球運動の際に付随する、刺激に対する知覚の処理の低下によるものとの仮説を立てて実験的に検証を行った。その結果、仮説通り

サッカードが生じ無くとも時間が短く知覚されることが明らかになった。この結果に基づき、外界の情報が弱いと、脳内では時間差が生じていないと処理される新たな仮説を提案している。この研究の成果は、これまでの研究者の考えを改変する最先端の研究成果であり、国際的にも極めて評価が高い Nature Neuroscience 誌に掲載された。既に海外の研究誌にも引用され始めている。

研究2では、追跡眼球運動中に生じる混色現象を検討している。申請者は、追跡眼球運動中の混色に関わる色知覚に関する時間分解能を調べ、追跡眼球運動中に向上することを明らかにした。その結果は、外部からの色知覚に関する視覚情報にブレがあっても、脳内で調整する働きがあると仮定している。これらの研究成果も国際学会や審査付きの国際誌で発表している。

研究3では、色運動と輝度の変化による運動情報との比較を、追跡眼球運動の事態で検討している。追跡眼球運動中には、外界の刺激からくる網膜像は変動している。実験の結果、色運動に見かけの速度低下が生じ、それは速度の比較前に行われていることを明らかにした。内容の一部は、既に学会等で発表されており、現在、学術誌への投稿準備中である。

本論文では、一貫して、外部からくる視覚刺激情報における微弱な時間的、空間的な差違の情報処理に関して、眼球運動と関連させて心理物理学の実験を実施している。それらの処理が、網膜の早い段階か、あるいは脳内の段階での予測的な調整によって行われるかを眼球運動の事態で詳細に比較検討した。

申請者は、本学の学部、大学院博士課程の、前期課程および後期課程で、主査のゼミを終了した。後期課程在籍中より、NTTの厚木研究所と本学を行き来しながら精力的に実験研究を続けた。その後、東大の研究員に採用され実験研究を続け、これまでの研究成果を今回の博士論文としてまとめた。それぞれの研究成果は世界の最先端に行く優れたもので、国際誌で採択されており高く評価できる。

申請者の寺尾氏は、本大学院文学研究科の後期課程に進学後も、規定に従って2007年1月12日に論文計画書が承認され、2007年12月20日に予備論文が、また2010年12月15日の、博士申請論文の受理審査に合格している。寺尾氏の論文内容と、これまでに行ってきた国際的な学術誌での成果の出版、国内外での学会発表などの学術的活動、さらに、2011年1月22日に総合心理科学専攻主催として開催された博士論文発表会での発表内容、その後に行われた口頭試問の結果から判断して、寺尾将彦氏が、博士学位（心理学）を授与するにふさわしいと、審査員一同判断したので報告する。