

氏名	そごひろゆき 十河宏行
学位(専攻分野)	博士(文学)
学位記番号	文博第172号
学位授与の日付	平成13年3月23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	サッカー実行時における視覚的空間定位

論文調査委員 (主査) 教授 芋阪直行 教授 藤田和生 助教授 板倉昭二

論文内容の要旨

視野に観察される運動には、自分の身体に由来する運動と、環境や対象に由来する運動がある。視野に含まれる対象の運動が、自らの身体運動によるものなのか、あるいは対象の運動によるものなのかを、人間の視覚系は区別することができる。これは身体運動と対象運動の分離問題と呼ばれており、本論文はこの問題を精緻な実験によって明らかにしたものである。

本論文では人間の視覚において、分離問題がどのように解決されているのかという基本問題にそって議論が展開される。Holst (1951) は眼球運動時における身体運動と対象運動の分離問題について、視覚系は眼球の運動を特定する情報を用いて、視野に含まれる対象像の運動成分のうち眼球運動に由来する成分を相殺している、という相殺仮説を提案した。この仮説は現在まで広く受け入れられてきたもので、観察者を基準として対象の位置を決定する egocentric な定位仮説である。一方、網膜上の像の位置関係を用いて対象の位置の定位を決定する exocentric な定位仮説も提案されており、両者がどのようにかわるのか論議が続いている。

最近、サッカーと呼ばれる随意的な眼球運動を実行する前後に光点を瞬間提示すると、光点のみかけの位置が大きく誤って知覚されたり、あるいは高い時間周波数で点滅する光点をまたいでサッカーをおこなうと、サッカーと反対方向に点列が描かれるように知覚される phantom array と呼ばれる現象が報告されるようになった。いずれも相殺仮説では十分に説明ができないことが知られている。あえてこのような現象を相殺仮説にしたがって解釈すると、サッカー実行時には眼球位置情報は変化していると考えざるを得ない。これは、相殺仮説そのものか、あるいは実験データの解釈に誤りがあるためだと考えられる。

第1章では、分離問題の歴史とそれを説明する諸理論について概観し、問題点を整理している。第2章と第3章では問題点を絞り、詳細に検討するため一連の実験がおこなわれている。第1実験では、phantom array 現象がサッカーと同方向に描かれるように知覚されないことが、眼球位置情報が「瞬時に」変化するという仮説の根拠になっている点に注目して、サッカーと同方向の phantom array が知覚されない理由を検討した。この目的のため、サッカー実行直前に複数の光点を連続的に瞬間提示し、被験者にその位置関係を判断させた。その結果、各光点が提示される時間間隔 (Inter-stimulus Interval: ISI) が短いときには光点の位置関係はその網膜上の位置関係に基づいて知覚されることが明らかにされた。論者はこのような位置の定位方法を網膜上の像の位置関係を利用した exocentric な定位と呼ぶ。第2実験では、サッカー実行前後に2つの光点をさまざまな ISI で瞬間提示し、被験者に各光点の位置を報告させることによって exocentric な定位と ISI の関係を詳細に検討した。これらの実験の結果、まず exocentric な定位がおこなわれる場合、ISI は120~160ミリ秒以下であることが示された。さらに、2つの光点が提示される条件において exocentric な定位がおこなわれたときの知覚された光点の位置を、第2の光点を提示しない条件の結果と比較したところ、第2の光点を提示することによって第1の光点の知覚される位置が変化することが示された。これらの実験結果から、連続提示された光点の ISI が百数十ミリ秒以下ならば、光点の位置関係がそれらの網膜上の位置関係と一致するように、先に提示された光点の知覚された位置が変化すること

が示された。

以上の実験結果より、相殺仮説がサッカード実行の前後に瞬間提示された光点の位置の知覚を説明できない理由が明らかにされた。第4章では、その理由が精緻に考察されている。論者はその理由として、この仮説が時間的な要因を全く考慮していないためであることを指摘している。すなわち、相殺仮説ではおよそ百数十ミリ秒の時間にわたってはたらく exocentric な定位の影響を扱うことが不可能なためであるとした。したがって、サッカード実行時に瞬間提示された光点の位置知覚の原理を理解するためには、exocentric な定位がなぜ、そしてどのようにおこなわれるのかを理解する必要があると考えた。

以上の結果から、一連の実験のデータをよく説明できる新たな説明仮説として計算論的な視点から、対象の構造復元仮説が提案されている。構造復元仮説にしたがえば、網膜上の位置関係情報を利用して exocentric な定位が計算されるためには、網膜像に基づいた繰り返し計算による検証過程が必要とされ、これをおこなうためには百数十ミリ秒という時間が必要不可欠であるという。短い ISI では exocentric な定位が、長い ISI では egocentric な定位がおこなわれることによって分離問題が解かれているのではないかと、というのが論者の推測である。

論文審査の結果の要旨

人間の視覚系は視野に含まれる対象の運動が、自らの身体運動によるものなのか、あるいは対象の運動によるものなのかを区別できる。これを身体運動と対象運動の分離問題と呼ぶが、本論文ではこの問題を眼球運動を用いた実験を通して厳密に検証している。分離問題をはじめて定式化したのは Holst (1954) である。彼は眼球運動時における身体運動と対象運動の分離問題について、視覚系は眼球運動を特定する情報を用いて、視野に含まれる対象の像がもつ運動成分のうち眼球運動に由来する成分を相殺しているという相殺仮説を提案した。

この仮説は半世紀にわたり受け入れられてきたが、近年、相殺仮説の妥当性に疑問を投げかける2つの知覚現象が報告されている。第1の現象は、サッカードと呼ばれる随意的に視線方向を変化させる眼球運動を実行する前後に小さな光点を瞬間提示すると、光点提示とサッカード開始時間の間隔が短くなるほど、光点の位置が大きく誤って知覚されるというものである。この結果を論者のいう相殺仮説にしたがって解釈すると、サッカード実行時には眼球位置情報は「ゆるやかに」変化していることになる。第2の現象は、高速に点滅する光点をまたいでサッカードをおこなうと、サッカードと反対方向に点列が描かれるように知覚されるという現象である。この点列は phantom array と呼ばれている。Phantom array を論者のいう相殺仮説にしたがって解釈すると、サッカード実行時には眼球位置情報が「瞬時に」変化していることになる。どちらも同じ相殺仮説に基づいた解釈であるにも関わらずこのような矛盾が発生するのは、この仮説か、実験そのものに誤りがあるためだと推定される。本論では、この矛盾を一連の心理実験を通して明らかにする試みがおこなわれている。

まず第1章では分離問題を概観している。第2章では、論者はサッカード運動前後における phantom array などの成立条件を厳密に再検討することの重要性を指摘し、問題を整理しなおしている。その上でそれが眼球位置の情報に依存しているのか、あるいは網膜情報に由来しているのかを一連の精緻にデザインされた実験で検討している。第3章では第2章で明らかにされた光点間の提示時間間隔 (Inter-stimulus Interval: ISI) について詳細な実験的検討が加えられている。第4章では実験データとモデルの両面から詳細な考察を加えるとともに、新たに対象の構造復元仮説を提案している。

ここでは本論で重要な位置を占める2つの実験を中心にみてみたい。第1実験では、phantom array がサッカードと同じ方向に描かれるように知覚されないことが、眼球位置情報が「瞬時に」変化するという仮説の根拠になっている点に注目して、サッカードと同方向の phantom array が知覚されない理由を検討している。この目的のため、サッカード実行直前に複数の光点を連続的に瞬間提示し、被験者にその位置関係を判断させた。その結果、ISI が短いときには、光点の位置関係はその網膜上の位置関係に基づいて知覚されることを見いだした。論者はこのような位置の定位方法を exocentric な定位と呼んでいる。第2実験では、第1実験の結果を受け exocentric な定位と ISI の関係について詳細に吟味した。ここでは、サッカード実行前後に2つの光点をさまざまな ISI で瞬間提示し、exocentric な定位がおこなわれるには ISI が120~160ミリ秒以下であることを見いだしている。

以上から論者は、相殺仮説が時間的な要因を全く考慮していないため、およそ百数十ミリ秒の時間にわたってはたらく

exocentric な定位の影響を検討できなかったことを明らかにした。そして、このような定位がなぜ、どのようにおこなわれるのかを理解するための新しい仮説を提案している。

論者が提案する仮説は、対象の構造復元仮説である。これによれば、網膜像から周囲に存在する対象の構造を復元するときに、高次視覚系は復元された対象の構造から与えられた網膜像が得られるかを検証し、復元された対象の構造を必要に応じて修正するという処理を数回にわたって繰り返していると仮定される。論者によれば、このような処理の繰り返しには時間が必要なため、ISI が短い場合は繰り返し計算中に次の光点に関する情報が入力され、先行する光点に対する処理と干渉を起こす可能性があるという。つまり、exocentric な定位が網膜上の位置関係を利用するのは、網膜像に基づいた検証をおこなっているためであり、この繰り返しの要する時間が百数十ミリ秒の時間に対応すると考える。以上から、論者は ISI が短いときは exocentric な定位が、長いときは egocentric な定位がおこなわれ、これによって分離問題が解決されているのではないかと推測している。

本論文において論者が展開する時間的制約についての考察は興味深くまた重要なものであるが、いくつかの点でさらなる吟味が必要であると考えられる。その一つは、対象の構造復元仮説が視覚系にかかわる記憶システムとどのようにかかわるのかについて必ずしも十分に考察されているとはいえない点である。しかしながら、本論で展開されている exocentric な定位の時間制約についての発見は、精緻な実験により確認され、十分な成功を収めており高く評価できる。上記の問題点は論者による今後の研究に期待したいと考える。

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。なお2001年1月30日に調査委員3名が論文内容とそれに関連した事項について口頭試問を行った結果、合格と認めた。