

ほん だ ひと し
本 多 仁 視

学位の種類 文学博士
学位記番号 文第68号
学位授与年月日 平成3年11月21日
学位授与の要件 学位規則第5条第2項該当

学位論文題目 眼球運動と空間定位

論文審査委員 (主査)

教授 丸山欣哉 教授 大橋英寿
助教授 畑山俊輝

論文内容の要旨

論文目次

第1章 眼球運動の種類とその一般的特性	
第1節 眼球運動の種類	1
1. 補償性眼球運動	
2. 随意性眼球運動	
3. 微細眼球運動	
第2節 サッケード眼球運動	11
1. 一般的特性	
2. サッケードの潜時	
3. サッケードの振幅	
4. サッケードの持続時間と速度	
第3節 追跡眼球運動	23
1. 一般的特性	
2. 追跡眼球運動のための刺激	

3.	追跡眼球運動の速度	
4.	薬物、アルコール、中枢系の障害と追跡眼球運動	
第4節	輻輳・開散眼球運動	39
1.	非共軛眼球運動の種類	
2.	視差性輻輳と調節性輻輳	
3.	輻輳眼球運動の諸特性	
4.	輻輳とサッケードの結合	
第1章	註	48
第1章	引用文献	49
第2章	眼球位置情報	
第1節	位置の恒常性に関する諸理論	61
1.	相殺説	
2.	サッケード抑制説	
3.	Mackay の評価説	
4.	Bridgeman の順応説	
第2節	眼球位置情報をめぐる古典的論争	68
1.	中枢起源説	
2.	末梢起源説	
第3節	眼球位置情報の起源に関する理論的、実験的研究	71
1.	中枢起源説の理論的根拠	
2.	眼球位置情報の起源に関する実験的研究	
第2章	註	95
第2章	引用文献	96
第3章	研究方法上の基本的問題	
第1節	定位方法の問題	102
1.	知覚的定位と運動的定位	
2.	自己中心的定位と自己外部的定位	
3.	2つの視覚処理様式	
4.	運動定位反応における偏位誤差	
第2節	眼球運動の記録法に関する問題	110
1.	眼球運動記録のための諸方法	
2.	実験場面における眼球運動の記録法	

3. 鞏膜反射法の試作と改良	
4. 眼球運動の記録におけるキャリブレーション	
第3章 註	126
第3章 引用文献	128
第4章 固視時の空間定位	
第1節 固視時の知覚的定位	133
1. 周辺注視条件での正中線、および「眼の高さ」の定位	
2. 継時的に提示された2つの視覚標的の位置判断	
第2節 固視時の運動的定位	140
1. 暗中所ける固視の正確さ	
2. 中断された固視の再生	
第4章 註	143
第4章 引用文献	144
第5章 サッケードと空間定位 I	
第1節 サッケードで捕捉された視覚標的の知覚的定位	146
1. 先行研究	
2. 実験的検討	
2-1. サッケードで捕捉された視覚標的までの距離の知覚的判断 (実験1—条件1)	
2-2. サッケードで捕捉された視覚標的までの距離の知覚的判断—その2 (実験2—条件1)	
第2節 サッケードで捕捉された視覚標的の運動的定位	157
1. 先行研究	
2. 実験的検討	
2-1. サッケードで捕捉された視覚標的に対する指差し反応 (実験1—条件2)	
2-2. サッケードで捕捉された視覚標的に対する指差し反応 — その2 (実験2—条件2)	
2-3. 複数のサッケードで捕捉された視覚標的に対する指差し反応 (実験3)	
第3節 サッケード時に提示された視覚標的の知覚的定位	174
1. 暗中で瞬間提示された視覚標的の定位：先行研究	
2. 暗中で瞬間提示された視覚標的の定位：実験的検討	
2-1. サッケード中に瞬間提示された視覚標的の知覚的定位 (実験4—条件1)	
2-2. サッケードの実行中およびその前後に瞬間提示された視覚標的の知覚的定位	

	(実験5-条件1)	
	2-3. 垂直サックード中に瞬間提示された視覚標的の知覚的的定位 (実験6)	
	3. 明るい背景上に提示された視覚標的の定位	
	4. サックード時の定位の誤りと位置の恒常性	
第4節	サックード時に提示された視覚標的の運動的的定位	228
	1. 手による定位	
	2. 眼球運動による定位: 先行研究	
	3. 眼球運動による定位: 実験的検討	
	3-1. サックード中に瞬間提示された視覚標的に対するサックード反応 (実験4-条件2)	
	3-2. サックードの実行中およびその前後に瞬間提示された視覚標的に対するサックード反応 (実験5-条件2)	
	4. 運動的的定位に対する知覚的的定位の優位性	
第5章 註		253
第5章 参考文献		256
第6章	サックードと空間定位II	
第1節	サックードと知覚	261
	1. サックード抑制	
	2. サックードと運動知覚	
	3. サックード抑制および運動知覚の抑制と位置の恒常性	
第2節	サックードの生起機構をめぐる問題	270
	1. サックードはバリスティックか	
	2. 網膜再現モデルと空間モデル	
	3. サックードのプログラミングにおける並列処理	
	4. 修正サックードをめぐる問題	
	5. サックードの生起機構と空間定位	
第6章 註		295
第6章 参考文献		297
第7章	追跡眼球運動と空間定位	
第1節	追跡眼球運動で追視した視覚標的の知覚的的定位	305
	1. 先行研究	
	2. 実験的検討	

2-1.	追跡眼球運動で追視した距離の知覚的判断 (実験 1 - 条件 3)	
2-2.	追跡眼球運動で追視した距離の知覚的判断—その 2 (実験 2 - 条件 3)	
3.	追跡眼球運動時の眼球位置情報	
第 2 節	追跡眼球運動で追視した視覚標的の運動的的定位	324
1.	先行研究	
2.	実験的検討	
2-1.	追跡眼球運動で追視した視覚標的に対する指差し反応 (実験 1 - 条件 4)	
2-2.	追跡眼球運動で追視した視覚標的に対する指差し反応—その 2 (実験 2 - 条件 4)	
3.	追跡眼球運動と自己中心的定位	
第 3 節	追跡眼球運動中に提示された視覚標的の知覚的的定位	343
1.	追跡眼球運動中に提示された 2 つの視覚刺激による仮現運動	
2.	追跡眼球運動中に瞬間提示された視覚標的の知覚的的定位	
第 7 章	註	346
第 7 章	引用文献	347
第 8 章	定位行動と視覚情報	
第 1 節	運動コントロールにおける視覚処理時間	350
1.	視覚処理時間に関する古典的研究	
2.	視覚処理時間に関する最近の研究	
3.	視覚情報の提示時期に関する問題	
第 2 節	両手の機能差と視覚フィードバック情報	357
1.	先行研究	
2.	実験的検討	
2-1.	両手同時のトレース課題時の眼球運動 (実験 7)	
2-2.	両手同時の狙準課題における眼球運動 (実験 8)	
2-3.	両手同時の狙準課題における眼球運動 — その 2 (実験 9)	
2-4.	両手同時の狙準課題における眼球運動 — その 3 (実験 10)	
2-5.	両手の機能差と眼球位置情報 (実験 11)	
第 8 章	註	393
第 8 章	引用文献	394

要 旨

本論文は、視対象の空間定位と眼球運動の関係に関する、実験心理学的的方法による研究の成果をまとめたものである。この研究テーマは、眼を動かすと網膜像の位置が変化するにもかかわらず外界は静止して見える現象、すなわち視覚的位置の恒常性（position constancy）や、暗室内で追視した運動光点のみえ、その他の知覚現象に関する問題として、心理学では古くから研究されてきた。しかしながら、依然として不明な点が多い。本論文では、眼球運動と空間定位の関係に関する定量的な実験結果に基づいて、これらの問題を検討した。

本論文の前半は、この問題に関連する研究領域において、これまで明らかにされた諸事実、諸知見を整理することを目的とする。

第1章「眼球運動の種類とその一般的特性」では、人において観察される様々な眼球運動を、その機能的観点から、補償性眼球運動、随意性眼球運動、および微細眼球運動に大別した上で、特に、随意性眼球運動に含まれる3つのタイプの眼球運動、すなわち、サッケード、追跡眼球運動、および輻輳・開散運動について、これまで報告された多数の研究成果を検討し、その生起要因、時間的特性などを明らかにした。

第2章「眼球位置情報」では、いわゆる視覚的位置の恒常性を説明する際の重要な心理学的・生理学的概念である、眼球位置情報（eye position information）をめぐる問題について、研究史的に考察した。位置の恒常性は、眼球運動と空間定位の関係に関する問題の中でもとりわけ重要な研究テーマとして、心理学では古くからとりあげられてきた。本章では、まずこの現象についての4つの有力な説明理論、すなわち、相殺説、サッケード抑制説、評価説、順応説をとりあげ、その特徴と問題点を明らかにした。眼球位置情報は、これらの説明理論の中でも最もよく知られ、かつ多くの研究の理論的基礎となった相殺説（subtraction theory）において想定された概念であり、眼窩内における眼球の位置、すなわち視線の方向に関する動眼系からの情報を意味する。相殺説によれば、位置の恒常性は、眼球を動かすことによって生じる網膜像の変化が、眼球位置情報によって相殺されることによって達成されると説明される。しかし、眼球位置情報が動眼系のどのレベルから生じるかについては、古くから末梢起源説と中枢起源説の2つの考え方があり、それぞれの説を主張する研究者の間で論争がなされてきた。本章の後半では、この眼球位置情報の起源をめぐる問題について、これまで公表された様々な心理学的・生理学的研究の結果を整理し、その意味を明らかにした。

第3章「研究方法上の基本的問題」では、眼球運動と空間定位の関係について、実験心理学的に

分析するにあたって、あらかじめ検討すべき、2つの研究方法上の問題について論じた。その1つは、定位方法に関する問題である。一般に、視対象の定位成績は、知覚反応あるいは運動反応のいずれかを指標として評価される。しかし、この区分は必ずしも厳密ではなく、たとえば運動反応による定位は、部分的に知覚反応による定位を含んでいると考えることができる。さらに明確な区分としては、定位の際の基準の違いに基づく、自己中心的定位と自己外部的定位の区分がある。しかしながら、知覚的定位と運動的定位の区分は、両者の結果が必ずしも一致しないことや、いわゆる「2つの視覚系」説との関連において重要である。

第2の問題は、眼球運動の記録法の問題である。まず、現在用いられている主要な記録法の原理と特徴を述べた後、実験場面での実際的問題について論じた。さらに、著者自身の実験研究で試作、使用された鞏膜法による記録装置について述べた。

論文の後半、第4章以降では、眼球運動と空間定位の関係について、実験心理学的方法によって明らかにされた事実に基づいて検討した。

第4章「固視時の空間定位」では、固視、すなわち、眼を動かさない状態での空間定位能力に関する研究結果に基づいて、眼球位置情報の精度について考察した。眼を第1眼位（眼が正面に向いている状態）から大きく離れた位置に保った時に、みかけの正中線を判断させた研究や、暗中で固視状態にある時に2つの光点を継時的に瞬間提示し、その位置関係を判断させた研究の結果から、固視時の眼球位置情報の精度を推定した。また、固視時の眼球位置情報の精度を示す別の実験として、暗中で数秒間、あるいは数十秒間固視を保った時の実際の眼球の動きを測定した実験をとりあげ、その結果について検討した。

第5章「サッケードと空間定位 I」では、サッケード眼球運動が生じた時の定位の変化について、これまでの諸研究について触れた後、著者自身の実験データに基づいて検討した。その結果、以下の点が明らかとなった。

1. 暗中で視対象をサッケードで捕捉した場合、視対象までの距離は、知覚的に正しく判断され、また視対象の自己中心的位置も、運動反応によって正しく定位された（実験1-条件1および実験2-条件1）。これらの結果は、視対象をサッケードで捕捉した場合には、サッケード生起に先立って（すなわち、サッケードの潜時の間に）、視対象が網膜上の中心窩から離れた位置に投射されるために、有効な網膜情報が存在すること、かつ、サッケードの大きさに関してサッケード・システムから正しい情報もたらされることによると考えられる。ただし、連続的な複数のサッケードで視対象を捕捉した時には、必ずしも正確な定位はなされなかったが、これは視対象の運動の知覚的印象の影響によると考えられる（実験3）。

2. サッケード中に視対象が瞬間的に提示されると、その視対象は実際の位置とは異なる位置に誤って定位される。この現象は従来からある程度知られていたが、その詳細については不明な点が

多かった。そこで、このような知覚的定位の誤りの時間的経過などを明らかにするための実験的検討がなされた。その結果、定位の誤りは、サッケードの生起約100ミリ秒前から生じ、特徴的な変化を経て、サッケードの終了後も、しばらくの間持続することが明らかとなった。さらに、定位の誤りの時間的経過に関するデータに基づいて、サッケード時の眼球位置情報の時間的経過が推定された。眼球位置情報の時間的経過は、必ずしも実際の眼球位置の変化を忠実に反映していないことが示された。このことが、サッケード時の知覚的定位の誤りをもたらす原因であると推測された(実験4-条件1および実験5-条件1)。また、これまでの諸研究では、いずれも水平サッケードに関して調べられている。そこで、垂直サッケードを行った時の定位の誤りについて実験的に検討したところ、垂直サッケード時の定位の誤りと、それに基づいて推定された眼球位置情報の時間的経過は、水平サッケードの場合と同様であることが示された(実験6)。

3. サッケード時に視対象が瞬間的に提示された場合、その視対象に対する眼球運動反応(サッケード反応)に関する従来の研究によれば、その視対象の位置は知覚的には誤って定位されるにもかかわらず、眼球運動反応は、視対象の実際の位置に向ったと報告されている。この知見は、サッケードの生起機構に関する「空間モデル」を支持する有力な証拠とされてきた。しかしながら、この点を実験的に再検討したところ、眼球は視対象の実際の位置ではなく、知覚的に誤って定位された位置に向うことが示された。従来知見と、著者の実験結果との違いは、従来研究に方法上の欠陥があったためと結論された(実験4-条件2および実験5-条件2)。

最後に、これらの実験結果と位置の恒常性との関係が考察された。実験室的には、位置の恒常性は成立たないこと、すなわちサッケード時に瞬間的に提示された視対象の位置は誤って定位されることが示された。さらに、実験データに基づいて推定された眼球位置情報は、実際の眼球位置を正確に示していないことが明らかとなった。このことは、日常生活で体験される位置の恒常性を、古典的な相殺説では説明できないことを意味している。そこで、相殺説に代る説明として、視覚的マスキングや順応現象による説明が有力であると結論された。

第6章「サッケードと空間定位Ⅱ」では、サッケードに伴うその他の知覚変化と、サッケードの生起機構に関するいくつかの問題を、位置の恒常性の観点から考察した。

サッケード時には、一時的に視覚刺激の検出閾が上昇する。この現象は、サッケード抑制と呼ばれている。本章では、まず、このサッケード抑制に関する知見と説明理論について、また、同じくサッケード時に生じる、運動知覚の抑制現象に関する知見について述べた。サッケードに伴って生じるこれらの視覚機能の低下と、位置の恒常性との関係が考察された。

次に、サッケードの生起機構をめぐる最近の問題、すなわち、サッケードのバリストック特性、サッケードの目標位置の決定要因、サッケード・プログラミングにおける並列処理、および、修正サッケードをめぐる問題について、そのいくつかについては位置の恒常性の問題と関連づけて考察した。

第7章「追跡眼球運動と空間定位」では、まず視対象の動きを追跡眼球運動で追視した場合に体験される錯視現象について、最近の研究結果を示しながら検討した。これまでの研究結果より、これらの錯視現象は、追跡眼球運動システムが正確な眼球位置情報を視覚系に提供しないことによるものであることが示唆されている。そこでこの点をさらに詳しく調べるために実験的検討を行い、以下の点を明らかにした。

1. 追跡眼球運動で追視した視対象の移動距離は、実際の移動距離よりも短く知覚されることを確認した（実験1－条件3および実験2－条件3）。追視中の眼球運動を精密に分析した結果によれば、この距離の過小評価は、追跡眼球運動システムが、追視速度とは関係なく、追視距離を一定の割合だけ短く見積ることによることが示された（実験2－条件3）。

2. 追跡眼球運動で追視した視対象の自己中心的位置は、運動反応によって正しい位置に定位されることが示された（実験1－条件4および実験2－条件4）。この結果は、自己中心的定位系が、知覚系の誤った判断に影響されないことを示していると解釈された。さらにこの結果より、追跡眼球運動時の眼球位置情報は、追視距離に関する情報と、追視時の眼球位置に関する情報の、2つの異なる情報を含んでいる可能性があることが示された（実験2－条件4）。

最後に第8章「定位行動と視覚情報」においては、定位行動における視覚フィードバック情報の役割に関するいくつかの問題を考察した。まず、運動コントロールにおける視覚フィードバック情報の処理時間をめぐる問題について、研究史的に論じた。

さらに、運動コントロールにおける視覚情報の役割は、左右の手の機能差をもたらす1つの要因として研究されている。左右の手の機能差については、現在のところ、視覚フィードバック説と運動系のノイズ説の2つの説明がある。そこで、この問題について眼球運動を指標とした実験的検討を行い、以下の点を明らかにした。

1. 両手同時のトレース課題（実験7）や狙準課題時の眼球運動（実験8および実験9）を調べた結果、課題の遂行中、眼はもっぱら右手（利き手）の方向に向うことが示された。このことは、右手の運動は左手（非利き手）よりも、視覚的フィードバック情報に強く依存していることを示唆しており、視覚フィードバック説を支持する。

2. 両手同時の狙準課題における眼球運動を、左右視野に同時に提示された数字の異同判断課題における眼球運動と比較した結果、前者の課題で示された眼球運動反応の右側（利き手方向）優位は、単に読字習慣の反映でないことが示された（実験9）。また、狙準課題中の被験者の眼球運動を教示によって操作したところ、右手の成績は被験者の視線の方向によって影響されることが示された（実験10）。この結果も、右手の運動は左手の運動よりも、視覚フィードバック情報と密接に結びついていることを示す証拠と考えられた。

3. サッケードで捕捉、あるいは追跡眼球運動で追視した視対象の最終位置を、右手あるいは左

手で定位させたところ、眼球運動のタイプの違いの効果は、右手で強く示された。運動視対象を追跡眼球運動で追視すると、その視対象に対する定位反応は、運動の知覚的印象の影響を受けやすいことが知られている。ゆえに、この実験結果は、右手の運動が視覚情報に強く依存していることを示唆している（実験11）。

4. 以上に述べた一連の実験結果は、視覚フィードバック説に有利なものであった。しかしながら、両手同時のトレース課題において、その課題の難易度が増すと、被験者の眼は左右の手に交互に向けられるようになり、それゆえ左右両手が等しく視覚的にモニターされたにもかかわらず、左手（非利き手）の成績は低下した（実験7）。この結果は、運動系のノイズ説を支持する。ゆえに、視覚フィードバック説と運動系のノイズ説は、二者択一的な関係にあるのではなく、その妥当性は、定位運動の内容に依存していると結論された。

論文審査結果の要旨

本論文は、これまで不明の点が少なくなかった「眼球運動と空間内における視覚の対象の定位との関係」について、11系列から成る精密な実験的検討を行い、新知見を見出すことによって、従来の理論に修正を加えるなどの考察を行ったものである。

第1章と第2章では、まず、眼球運動に関するこれまでの大量な研究成果を整理しつつ、空間定位との関係について考察を与え、問題点を浮き彫りにしている。

これらの問題点は、逐次実験的に検討されるのであるが、その実験で使用された眼球運動の測定法は、従来の鞏膜法に独自の工夫を与えた極めて精密なものである（第3章）。

得られた知見は、それに基づく旧理論の修正の提案とともに、第4章から第8章にわたって詳細に述べられている。その大要は以下の通りである。

(1) 急速弾道運動であるサッケード眼球運動によって、暗に出される視対象を捕捉させた場合、従来いわれているように、視対象までの距離が正確に知覚されるのは、サッケード開始の潜時中に、有効な網膜情報が瞬時に読みとられるためであり、かつ、サッケードの大きさに関して正しい情報がフィードバックされるためと確定した。

(2) サッケード中に瞬間的に視対象が提示されると、その位置が少し誤って定位される。この現象は古くから知られていたが、詳細な点検を欠くものであった。この点を詳しく調べた結果、定位の誤りはサッケードの生起100ミリ秒前から生じ、サッケード時の眼球位置情報の時間経過を推定すると、位置情報は必ずしも眼球位置を忠実に反映していないことが示され、これこそがサッケード時の知覚的定位の誤りをもたらす原因であると推測されたのである。

(3) サッケード時に視対象が瞬間的に提示されると、その位置が少し誤って定位されるものの、サッケード運動は視対象の実際の位置に向かうというのが定説であって、この現象がサッケード生

起機構の「空間モデル」を支持する有効な証拠とされた。しかしこの点を詳細に再検討したところ、眼球は視対象の実際の位置ではなく、知覚的に誤って定位された位置に向かうことが示された。このくいちがいは従来の測定法のもつ欠陥のためと結論された。

そして視対象の位置は誤って定位されることから、定説である「位置の恒常性」は徹視的には成り立たないと主張している。しかも眼球定位情報は定説通りには正確なものではないことにより、「位置の恒常性」を伝統的な「相殺説」では説明しきれないことが導かれ、これに代わるものとして「視覚マスキング」や「順応現象」による説明が有効、という修正案が提出された。

(4) 対象の動きを追視した時に体験される錯視現象については、その原因は対象の移動距離が実際よりも短く知覚されるためであり、さらに追跡時の眼球位置情報は、追跡距離に関する情報と眼球位置に関する情報との、二つの異なる情報を含む可能性があることが示唆された。

(5) 最後に実験は定位行動と視覚情報との関係に及んでいる。左右手の運動コントロールにおいては、眼はもっぱら右手（利き手）に向かう事情が示され、右手は視覚フィードバック情報に強く依存するという従来の「視覚フィードバック説」に有利となる結果を得た。しかし両手同時のトレース課題においては、左右両手が等しく視覚的にモニターされたにも拘らず、左手の成績は低下したことにより、もう一つの左右手機能差の説明理論である「運動ノイズ説」をも支持する結果となった。したがって、両説はどちらが正しいかという関係のものではなく、その妥当性は定位運動の内容に依存するものと結論している。

以上の知見はみるべきものであるが、そのほとんどが暗闇の暗室内において求められたものであって、日常生活場面の明所への適用性についていささかの懸念が残る。今後空間枠のはっきりした明所での実験の追加が期待されるが、ここまでの結果には、国外の研究者の追試による保証もあって、疑念をさしはさむ余地はない。計画は創意に満ちて的を射ており、実験は緻密であって、新知見に基づく修正理論は説得力をもつものである。当該領域に寄与するところ多大であると評価される。

よって、本論文の提出者は、博士（文学）の学位を授与されるに十分な資格を有するものと認められる。