

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 人間・環境学 )	氏名	近藤あき
論文題目	物体視における特徴間相互作用に関する知覚的及び認知的検討		
論文内容の要旨			
<p>本学位申請論文は、外界の物体の知覚や記憶において、位置情報の果たす役割について、低次の知覚レベルと高次の認知レベルの2つの段階から検討した研究をまとめたものである。低次の知覚レベルにおいて位置情報が果たす役割については、同時色対比という錯視現象に着目し、この錯視が中心の色と周辺の色空間的な距離に依存して生起することを心理物理実験によって示すとともに、錯視を経験している際の実験協力者の脳活動を機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) を用いて観測した。また高次の認知レベルにおいては、特徴を統合した物体を視覚性ワーキングメモリ内に保持する際に、物体の位置特徴は色や形態といった他の特徴と異なり、課題に無関係に物体に統合されることを心理物理実験によって示した。</p> <p>第1章では、本研究の背景と目的が述べられた。我々が外界の物体を知覚するとき、物体の色や形といった特徴は特定の視覚領域で表現されるのに対し、物体の位置の情報は、低次視覚レベルにおける網膜位置中心の表象と、高次視覚レベルにおける物体非依存的な空間位置の表象の複数レベルで符号化されることが示されている。本研究は、物体の位置特徴が果たす役割について、低次の知覚レベルと高次の認知レベルの2つの段階から検討し、その関係を考察することを目的とした。</p> <p>第2章では、同時色対比のテスト刺激の色の強さを心理物理学的に測定する実験を行った。実験に用いたテスト刺激と周辺刺激はL-M錐体反対軸上の等輝度の赤または緑で、周辺刺激の色がテスト刺激と反対色の場合 (テスト刺激の色が濃く見える) と、テスト刺激と同色の場合 (テスト刺激は薄く見える) との間でテスト刺激の色の見えを比較する非対称マッチング実験を行った。その結果、同時色対比効果の強さは、テスト-周辺刺激の色関係が反対色の場合と同色の場合で有意に異なり、色選択的な同時色対比効果が確認された。さらに、テスト刺激と周辺刺激の空間距離が遠ざかるにつれて同時色対比の強さがどう変化するかを調べたところ、同時色対比効果は、テスト刺激と周辺刺激が視角1.0° 離れるとほぼゼロになることが示された。この結果は、同時色対比効果には刺激の空間距離が大きく影響し、色の空間比較は視角1.0° 程度の比較的狭い範囲で行われていることを示唆している。</p>			

第3章では、第2章の同時色対比の神経相関を探索するために行った機能的脳イメージング実験が報告された。テスト-周辺刺激の色関係が反対色の場合と同色の場合の間で脳活動を比較した。その結果、物理的には同じ色のテスト刺激が反対色の周辺刺激によって濃く見えた場合に、ヒト大脳視覚野の、低次視覚野(V1d, V2d, V3, V1v, V2v, VP)から高次の視覚野(V3A, V4d, V7, V4v, V8)の多数の視覚野の活動が色の見えに相関して増加した。また、テスト刺激をレチノトピックに表象する領域が同定された低次視覚野では、賦活部位は、テスト刺激を表象する領域の境界部付近に位置することが確認された。これらの結果は、色の空間比較はある皮質領野に特化した機構ではなく、程度の差はあるが、V1のような初期視覚野から高次視覚野までの各視覚野が色の空間比較に寄与していることを示唆している。さらにテスト刺激と周辺刺激の間に等輝度のギャップを挿入して空間的な距離を離すと、低次視覚野、高次領野ともに視角 $1.0^\circ$ のギャップの挿入で全体的に賦活が消滅することが観察された。この結果は、色の空間比較は視角 $1.0^\circ$ 程度の比較的狭い範囲で行われていることを示唆している。

第4章では、物体の視覚的短期記憶における位置特徴の特異性について検討した。実験では、色、形、位置で定義された複数の物体について、実験協力者が特定の2つの特徴次元についてその組合せが変化するかどうかを検出し、残りの1つの特徴次元の変化を無視する課題(課題関連変化検出課題)を行い、我々が課題に関連する視覚特徴だけを選択的に統合できるのか、もしくは全ての視覚特徴は課題の要求に関わらず自動的に統合されるのか、あるいは特定の特徴だけが課題に関係なく統合されるのかを調べた。その結果、色と形を統合する条件でのみ、課題に無関連な位置情報からの干渉が生じることが示された。この結果から、位置情報は課題に必要な時でも無視できないが、色と形は比較的容易に無視できることを示し、物体の特徴を統合して視覚性ワーキングメモリ内に保持する際には、位置特徴が特異的な役割を果たすことが示唆された。

第5章では、第2-4章の結果、および物体視における位置特徴の役割に関する先行研究で明らかにされている事実を踏まえ、総合考察を行なった。実験結果を総合すると、我々が「物体の色を見る」というようなシンプルな知覚においても、あるいは「物体を一時的に記憶する」というような高次の認知においても、位置特徴が重要な役割を果たすことが明らかになった。さらに、各レベルにおいて寄与する位置情報の性質が異なることから、位置情報の表現は視覚情報処理の中で段階的に変遷する可能性があることを主張した。

(論文審査の結果の要旨)

本学位申請論文は、視覚による外界の物体の知覚や記憶において、位置情報の果たす役割について検討した研究をまとめたものである。視覚情報処理において、物体の位置情報は、低次視覚野では網膜位置中心の表象として特徴表象に埋め込まれた形で表現されるのに対し、高次視覚野では物体特徴非依存的な空間位置の表象が存在する。低次、高次の視覚処理における位置情報の機能を検討するために、低次処理については同時色対比という錯視現象、高次処理については物体の視覚的短期記憶に着目した。同時色対比では、錯視現象と中心の色と周辺の色との空間的な距離との関連性を心理物理実験と機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) を用いた脳機能計測によって検討した。視覚的短期記憶では、特定の特徴次元の選択的記憶課題を用い、選択的記憶の容易さを位置特徴と他の特徴とで比較検討した。これらの実験から知覚や記憶における位置情報の役割の共通性と差異について新たな知見を見出した。

申請者が行った実験は、以下のことを明らかにした。

1. 同時色対比のテスト刺激の色の強さを心理物理学的に測定した。空間的色対比効果のみを抽出するために時間的な色対比の大きさを等価にしたうえでテスト刺激と周辺刺激の色配置関係を操作し、周辺刺激の色がテスト刺激と反対色の場合と、テスト刺激と同色の場合との間でテスト刺激の色の見えを比較した結果、同時色対比効果の強さは、テスト-周辺刺激の色関係が反対色の場合と同色の場合で有意に異なり、色選択的な同時色対比効果が確認された。これは時間的な色対比の効果を含まない純粋な空間的な色対比を測定した初めてのデータである。さらに、テスト刺激と周辺刺激の空間距離と同時色対比の強さの関係を調べ、同時色対比効果は、テスト刺激と周辺刺激が視角 $1.0^\circ$  離れるとほぼゼロになることを明らかにした。この結果は、色の空間比較は視角 $1.0^\circ$  程度の比較的狭い範囲で行われていることを、厳密に統制された実験によって明確に示した点で重要な知見である。

2. 同時色対比の神経相関を探索するために機能的脳イメージング実験を行った。テスト-周辺刺激の色関係が反対色の場合と同色の場合の間で脳活動を比較した。心理物理実験で示された同時色対比効果が視覚領野の比較的限定された部分で生じているのか、広範な領域に及ぶのかが検討され、ヒト大脳視覚野の、低次視覚野から高次視覚野の多数の視覚野の活動が物理色ではなく、同時色対比による色の見えに相関して変化した。また、低次視覚野の活動の詳細を見ると、賦活部位は、テスト刺激を表象する領域の境界部付近に集中することが確認された。これらの結果は、初期視覚野から高次視覚野

までの広範な視覚領野が色の空間比較に寄与し、視野位置対応を持つ低次視覚野では空間比較が色の境界部周辺に集中し、比較過程が局所的であることを示唆する。この結果と符合して、テスト刺激と周辺刺激の間に等輝度のギャップを挿入すると、低次視覚野、高次領野ともに視角 $1.0^\circ$ のギャップの挿入で全体的に賦活が消滅することが観察された。全体として機能的脳イメージングの結果は心理物理実験の結果と符合して、色の空間比較が視角 $1.0^\circ$ 程度の比較的狭い範囲で生じることを明らかにし、同時色対比の神経相関を理解するうえで興味深いデータを提供している。

3. 物体の視覚的短期記憶における位置特徴の特異性について検討した。複数の特徴からなる物体の特定の特徴次元の選択的記憶に関しては、先行研究において一貫した知見がなく、柔軟な選択を示唆する結果、すべての特徴の自動的記憶を示唆する結果が混在する。実験では、色、形、位置で定義された複数の物体について、実験協力者が特定の2つの特徴次元の組合せが変化するかどうかを検出し、残りの1つの特徴次元の変化を無視する課題を行い、その結果、色と形を統合する条件でのみ、課題に無関連な位置情報からの干渉が生じることが示された。この結果から、位置情報は課題に必要な時でも無視できないが、色と形は比較的容易に無視できることを示し、物体の特徴を統合して視覚性ワーキングメモリ内に保持する際には、位置特徴が特異的な役割を果たすことが示唆された。この成果は、選択的記憶の可能性に関する一般的な議論の限界を明確にし、特徴次元に固有の効果を検討する必要性を示す重要なものである。本研究成果は、重要な国際誌であるPLoS ONE誌に掲載された。

申請者は、以上の実験結果、及び先行研究などを総合して、視覚情報の知覚、短期記憶の双方で位置特徴が重要な役割を果たすこと、また、知覚と短期記憶において寄与する位置情報の性質が異なることから、位置情報の表現は視覚情報処理の中で段階的に変遷する可能性があるかと主張した。本研究は厳密に統制された心理物理実験と機能的脳イメージング実験を通して今後の研究の基盤となる重要な知見を報告している。

このように、本学位申請論文は、人間の共生的認知機能研究をめざして創設された共生人間学専攻、認知・行動科学講座にふさわしい内容を備えたものと言える。よって、本論文は博士（人間・環境学）の学位論文として価値のあるものと認める。また、平成25年2月12日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

Webでの即日公開を希望しない場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日：                      年                      月                      日以降