

(続紙 1)

京都大学	博士 (人間・環境学)	氏名	上田 祥行
論文題目	視覚と触覚を通じて形成される三次元物体の脳内表象の解明		
論文内容の要旨			
本学位申請論文は、ヒトの情報処理の最も基礎的な機能の一つである三次元物体認識を支える脳内表象の性質とその形成過程を明らかにするために行われた実験をまとめたものである。特に本研究では、三次元物体の形状が視覚と触覚の二つのモダリティで共有できることに着目し、視覚と触覚を通じて形成される三次元物体の脳内表象を行動実験と眼球運動解析の面から検討した。 第1章では、三次元物体認識過程を解明することの意義と先行研究で提唱されている視覚における三次元物体表現の理論が述べられた。三次元物体の脳内表現については、これまでに様々な理論が提唱されており、それらは三次元構造を表現する心的表象に基づいたボリュームベースな物体表現理論と、三次元物体をさまざまな視点から見たときの二次元イメージに基づいたイメージベースな物体表現理論の二つに大別することができる。行動実験・脳機能計測・神経生理学の知見から、三次元物体の脳内表現は単一ではなく、これら二つの物体表現が併用されていると考えられる。一方、ヒトは視覚以外に触覚からも三次元物体の形状に関する情報を得ることができ、これらの情報はあたかも同一感覚でやり取りするかのように、互いの感覚間でやり取りすることが可能である。しかし、こういったクロスモーダルな物体の情報処理において用いられている物体表現は不明なままである。本研究の目的は、三次元物体の学習・再認課題における学習中の眼球運動と、再認課題の再認成績の二つを関連づけて検討することで、視覚と触覚を通じて形成される三次元物体の脳内表象を明らかにすることであった。 第2章では、視覚と触覚において、同一感覚で新奇な三次元物体を学習・再認する場合と、異種感覚で物体を学習・再認する場合の再認成績の違いを検討した実験が報告された。実験では、新奇な三次元物体が垂直軸を中心に回転した5つの視点から視覚または触覚に呈示され、その後、様々な視点から呈示されるテスト刺激に対して、視覚または触覚を用いた再認課題が行われた。その結果、異種感覚で再認を行う場合には再認成績は視点独立的な行動パターンを示したが、同一感覚で再認を行う場合には学習した景観での再認成績			

が新奇な景観での再認成績に比べて高かった。この結果は、同一感覚内で用いられる物体表現はイメージベースであり、異種感覚間で用いられる物体表現はボリュームベースであることを示唆している。

第3章では、同一感覚再認と異種感覚再認の再認成績の違いと学習戦略の違いの関連を検討する実験が報告された。観察者は、再認感覚をあらかじめ教示された状態で視覚呈示された新奇な三次元物体を学習し、その後、再認課題を行った。その結果、三次元物体学習中の眼球運動は、同一感覚で再認するために学習している場合と異種感覚で再認するために学習している場合で異なった。異種感覚で再認する場合では注視が広い範囲に分散し、同一感覚で再認する場合では画像情報量の多い箇所に注視が集まっていた。また、異種感覚で再認する場合には注視時間がより長くなった。これらの結果は、再認感覚によって、異なる学習戦略で三次元物体の表象を形成していることを示唆している。

第4章では、同一感覚で用いられる物体表象と異種感覚で用いられる物体表象が、それぞれイメージベースな物体表現あるいはボリュームベースな物体表現であるかを明らかにするために、イメージベースな物体表現とボリュームベースな物体表現を形成するときの学習戦略を検討する実験が報告された。その結果、ボリュームベースな物体表現が形成される場合には、物体の要素に注目するような眼球運動が行われていた。また、学習が進むと、物体の要素間の空間関係を記銘していると考えられるサッカードが観察された。一方、イメージベースな物体表現が形成される場合には、画像情報量の多い箇所に注視が集まっていたが、物体の要素の同定や要素間の空間関係を記銘しているような眼球運動は見られなかった。

第5章では、第2-4章の結果を踏まえて、視覚と触覚を通じて形成される物体表現、およびそれらの表現とイメージベースな物体表現・ボリュームベースな物体表現との関連性について総合考察が行われた。本研究によって得られた知見は次の5点である。1) 視覚・触覚のそれぞれでは、視点依存的な表現と視点独立的な表現が併用されている。2) 視覚・触覚のそれぞれで三次元物体の学習・再認が行われる場合、視点依存的な表現が優勢になる。3) 視覚・触覚で共有される物体表現は視点独立的な表現が優勢である。4) 単一感覚内で使用される視点依存的な物体表現はイメージベースな物体表現である。5) 異種感覚間で使用される視点独立的な物体表現は、ボリュームベースな物体表現とは異なる学習戦略で形成されている。

(論文審査の結果の要旨)

本学位申請論文は、ヒトの三次元物体認識を支える脳内表象の性質とその形成過程を明らかにするために、視覚と触覚を通じて形成される三次元物体表象に焦点を当て、心理物理実験と眼球運動測定実験を併用して詳細に調べた研究を中心にまとめたものである。視覚による三次元物体認識においては三次元構造を表現し視点独立的なボリュームベースの表現と、二次元的見えを表現し視点依存的なイメージベースの表現が併用されていると考えられている。一方、視覚、触覚双方の情報を用いたクロスモーダルな物体認識で用いられる表現形式は不明なままである。また、物体認識研究では再認時の成績のみが指標とされ学習時の行動が検討されてこなかった。本論文は、行動実験と眼球運動測定を併用することにより、クロスモーダルな物体認識とモダリティ内に限定された物体認識の質的差異、及び学習時の戦略の違い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. 新奇な三次元物体を視覚、触覚を通して学習、再認する場合の学習時と再認時のモダリティを操作し、物体認知における視点依存性を検討した。5つの異なる視点から物体を学習し、学習した視点、新規な視点でのテスト成績が比較された。先行研究とは異なり多数の視点を用いて一般的な視点依存性を検討したことが本研究の独創的な点である。本研究は、同一モダリティで学習とテストを行った場合、視点依存性を示すのに対し、学習とテストでモダリティが異なる場合は視点独立的な振る舞いを示すことを報告した。また、テストで用いる感覚モダリティが未知の場合は一貫して視点独立的になることも示された。この結果は同一感覚内で用いられる物体表現はイメージベースであり、異種感覚間で用いられる物体表現はボリュームベースであること、学習時にテストの感覚が未知の場合は異種感覚間と同様ボリュームベースの表現が用いられることを示唆する。この成果は、クロスモーダルな物体認識における視点依存性を体系的に検討した最初の研究であり、物体認識研究に大きく貢献している。本研究成果は、心理学分野の重要な学術誌である『基礎心理学研究』に掲載された。

2. 心理物理実験で明らかとなったクロスモーダルな物体再認時の視点依存性と物体学習時の行動の関係を明らかにするために、視覚的に呈示された物体学習時の眼球運動測定を行った。新奇な三次元物体を視覚呈示によりテストすると教示された条件と、触覚呈示によりテストすると教示された条件を

設定し、学習時に視覚呈示された際の眼球運動と再認成績が分析された。再認成績は、同一感覚内では視点依存、異種感覚間では視点独立で上記の行動実験結果を追試した。眼球運動は、異種感覚条件ではより注視点が分散し、注視時間が長くなることが報告され、同一の視覚刺激に対し再認感覚によって異なるストラテジーを用いて物体表現が形成されていることを示唆する。三次元物体学習時の眼球運動解析研究は少なく、特にクロスモーダルな物体認識との関連が検討されたのは初めてであり、大きな価値のある研究と言える。本研究成果は、知覚心理学分野の重要な国際誌である **Perception** に掲載された。

3. 上述の眼球運動実験で明らかにされた学習ストラテジーの差異とイメージベース、ボリュームベースの物体表現との関連を明確にするために、視覚による物体認識においてイメージベース、ボリュームベースの表現を形成するように教示した場合の眼球運動を解析した。この結果、ボリュームベースの表現を形成した条件では物体の要素への注視や要素間の空間関係を記録するサッカードが多いのに対し、イメージベースの表現を形成した条件では、画像特徴量の多い箇所に注視が集中する傾向が示された。これは上述のクロスモーダル実験の結果と部分的に符合しており、クロスモーダルな物体認識における物体表象を理解するうえで、興味深い知見である。一方で、両者の差異も多く、表現形成のストラテジーは異なると結論されている。異種感覚で共有される表現とボリュームベースの物体表現の関係を明らかにするためにはより洗練された解析が必要で、今後の研究の発展が期待される。

申請者は、以上の実験結果、及び先行研究などを総合して、視覚と触覚とで共有される物体表現は視点独立的であること、同一感覚内で使用される視点依存的な物体表現はイメージベースであること、また、異種感覚間で共有される物体表現はボリュームベースの表現とは異なるストラテジーで学習されることを主張した。クロスモーダルな物体認識を支える神経機構の解明は萌芽的段階で、解決すべき問題は多いが、本研究が用いた学習時の眼球運動の解析は有効な手法であり、今後の研究にとって重要な貢献を果たしている。

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1月24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