

(続紙 1)

京都大学	博士 (人間・環境学)	氏名	藤道宗人
論文題目	質感の視覚性ワーキングメモリを支える神経基盤の解明		
(論文内容の要旨)			
<p>ヒトの視覚の研究においては、物体の形状や色の知覚が主として研究されヒトが物体の質感を知覚するメカニズムは技術的な制約もあって研究が進んでいない。近年、コンピューターグラフィックスによるリアルな質感の再現が可能になると質感知覚の心理学研究が行われるようになってきた。質感知覚においては、照明環境の変化によらず質感を恒常的に知覚できるが、この背後にはワーキングメモリの機能が重要であり、最近質感の視覚性ワーキングメモリの行動実験研究の知見が得られつつある。本論文は、質感の視覚性ワーキングメモリの神経基盤を解明することを目的として行われた遅延弁別課題を用いたfMRI実験研究をまとめたものである。</p> <p>本論文では、まず質感の知覚と視覚性ワーキングメモリに関する先行研究、及び視覚性ワーキングメモリの神経基盤に関する先行研究をレビューし、先行研究の問題点と本研究の目的やアプローチについて述べた(第1章)。次に、実際に行った三つの研究を記述した(第2-4章)。その後、得られた結果、ならびにこれまでの知見を踏まえ、総合的な考察を展開した(第5章)。最後に結論を述べた(第6章)。</p> <p>第1章では、質感知覚研究の状況を概観し、照明環境によらず物体表面の質感を知覚できる恒常性が重要であること、また、質感知覚の恒常性は知覚のみならず、視覚性ワーキングメモリが重要な役割を果たすことを述べ、質感の視覚性ワーキングメモリの研究状況を記述した。続いて、視覚性ワーキングメモリの神経基盤に関するfMRI研究の歴史が概観され、多次元的な構造を持つ質感刺激の記憶を検討するためにマルチボクセルパターン解析が有効であることが議論された。これらの議論を踏まえ、本研究で取り上げるテーマ、用いる実験課題、解析手法、注目する脳領域などとそれらの質感研究における位置づけについて記述した。</p> <p>第2章では、照明変化に対して頑健な質感の視覚性ワーキングメモリを支える神経基盤を検討した。物体表面の粗さに関する遅延弁別課題を作成し、fMRIを用いて保持期間中の脳活動を測定した。先行研究に基づき初期視覚野、腹側高次視覚野、頭頂間溝を関心領域としてマルチボクセルパターン解析を適用した結果、初期視覚野ではなく腹側高次視覚野や頭頂間溝が関与することが示された。したがって、輝度ヒストグラムの歪度や色など低次の視覚特徴は質感知覚のために必要となる情報ではあるが、照明変化に対して頑健な視覚性ワーキングメモリにおいてこれらの情報は保持されているわけではないことが明らかになった。</p> <p>第3章では、第2章で質感の視覚性ワーキングメモリに関与することが示された腹側高次視覚野と頭頂間溝の機能差について検討した。質感の遅延弁別課題における選択的符号化と保持のプロセスに着目し、これらを比較検討するために光沢感と粗さの次元で質感を変化させ、参加者が選択的に符号化した質感を保持する過程に腹側高次視覚野と頭頂間溝がどのように機能するのかを検討した。その結果、腹側高次視覚野と頭頂間溝の間には異なる脳活動の時系列パターンがあることが示された。つまり、腹側高次視覚野は選択的符</p>			

号化に、頭頂間溝は保持に主要な役割を果たすことが明らかになった。

第4章では保持期間中に呈示される視覚的干渉が腹側高次視覚野と頭頂間溝に与える影響について検討した。日常場面で視覚情報を記憶する場合、保持期間にも視覚入力が続いていることから、干渉に対する頑健な記憶保持は視覚性ワーキングメモリの重要な機能である。視覚的干渉がランダムな試行に呈示される粗さ遅延弁別課題を実施した結果、予想に反し、腹側高次視覚野や頭頂間溝で安定した関与が確認されなかった。そこで、全脳を対象としたサーチライト分析の結果、腹側高次視覚野だけでなく、触覚的な処理に寄与する領域の関与が新たに確認された。したがって、照明変化や視覚的干渉を伴う複雑な視環境における粗さの視覚性ワーキングメモリが視覚だけでなく触覚も含めた多感覚処理によって支えられていることが示唆された。

第5章では、第2章から第4章までの研究成果を総括し、その理論的意義について考察した。特に、選択的符号化と保持に関して主に関与する脳領域が異なる、視覚関連領野だけでなく多感覚的な領野が関与しているという本研究の新たな知見と、先行研究との関連が議論された。特に、先行研究で報告されている初期視覚野の活動が本研究で見られなかった理由について考察がなされた。また、機能的結合解析、個人差の問題、他の質感への一般化など、未解決の問題と今後の課題が述べられた。

第6章では、結論として、視覚情報として与えられる質感の記憶においても視覚処理にとどまらず、触覚処理を含む多感覚的な処理によって記憶されていることが述べられた。

(論文審査の結果の要旨)

本学位申請論文は、質感の視覚性ワーキングメモリの神経基盤の解明を目指して行われた3つの実証的研究を取りまとめたものである。コンピューターグラフィックスの進歩により、リアルな質感の再現が可能となり質感知覚の理解が進んできた。しかし、照明環境に依存しない頑健な質感知覚は知覚のみならず、視覚性ワーキングメモリが重要な役割を果たしている。視覚性ワーキングメモリは認知神経科学の中心テーマの一つと言えるほど多くの研究が行われているが、複雑な視覚質感刺激を用いた研究はほとんどなく、その神経基盤の多くは不明である。申請者は物体の表面質感の特性推定を要する実験課題を用いて、fMRI実験により質感の視覚性ワーキングメモリの神経基盤を検討し、いくつかの重要な知見を得た。

学位申請者が行った研究は、以下のことを明らかにした。

(1) 照明変化に対して頑健な物体表面の粗さに関する視覚性ワーキングメモリには、腹側高次視覚野と頭頂間溝が主に関与し、初期視覚野は関与していないことを明らかにした。表面の粗さに関する遅延弁別課題を作成し、fMRIを用いて測定した保持期間中の脳活動パターンデータをマルチボクセルパターン解析した結果、腹側高次視覚野と頭頂間溝は粗さの視覚性ワーキングメモリの保持に関与しているのに対し、初期視覚野の関与はみられなかった。この結果は、輝度ヒストグラムの変位や色など低次の視覚特徴が照明変化に対して頑健な視覚性ワーキングメモリ中に保持されているわけではないことを示している。視覚性ワーキングメモリの神経基盤の先行研究とは異なる結果であるが、結果の差異をもたらした原因についても詳細に考察されており、本研究の知見の信頼性は評価できる。

(2) 質感の遅延弁別課題における選択的符号化と保持のプロセスに着目し、腹側高次視覚野は選択的符号化、頭頂間溝は保持において主要な役割を果たすことを明らかにした。先行研究において、腹側高次視覚野は主に質感の知覚の研究で関与が報告され、頭頂間溝は単純な視覚特徴の視覚性ワーキングメモリ研究で関与が報告されてきた。本研究で示された腹側高次視覚野と頭頂間溝の機能差はこれらの先行研究の知見と整合性を持っている。本研究では、選択的符号化と保持を区別するために光沢感と粗さの次元で質感を変化させ、参加者が選択的に符号化した質感を保持する課題を作成し、脳活動の時系列パターンに着目するなど実験手法に独創的な工夫がみられ、その点は高く評価できる。

(3) 保持期間中に呈示される視覚的干渉が腹側高次視覚野と頭頂間溝に与える影響について検討し、視覚的干渉を伴う状況においては、視覚処理領域に加えて、触覚的処理に寄与する領域が関与することを明らかにした。干渉に対する頑健な記憶保持は視覚性ワーキングメモリ研究の重要なテーマの一つで、先行研究では頭頂間溝が重要な役割を果たすことが報告されている。本研究では、予想に

反し腹側高次視覚野や頭頂間溝で関与がみられず、サーチライト分析の結果、腹側高次視覚野と触覚関連領域の関与が確認された。この結果は照明変化や視覚的干渉を伴う複雑な視環境における粗さの視覚性ワーキングメモリが視覚だけでなく触覚も含めた多感覚処理によって支えられていることを示唆しており興味深い。他方、先行研究との違い、特に頭頂間溝の関与に関しては、その理由を詳細に考察しているものの多少説得力に欠ける部分があり、この点については今後の研究を通じて明らかにしていく必要がある。

申請者は、以上の実験結果、及び先行研究の知見を総合し、視覚情報として与えられる質感の記憶においても視覚処理にとどまらず、触覚処理を含む多感覚的な処理によって記憶されていると主張した。また、初期視覚野が関与しないこと等、質感刺激の記憶が単純な視覚刺激の記憶とは異なる特性を明らかにした。さらに、3つの実験研究を通じて、課題状況の変化により様々な脳領域の関与の仕方が大きく変化することを示し、この背後にあるメカニズムを解明するためには、今後領域間の結合性分析なども含めたさらなる検討が必要であることを明らかにした。全体として、本研究は質感の視覚性ワーキングメモリの神経基盤に関する理解を大きく前進させたと評価できる。視覚的干渉に関する研究にはいくつか課題もあるが、本研究は、質感の視覚性ワーキングメモリの神経基盤の理解に向けた基礎的知見と方法論、今後の研究の指針を示したと言える。

よって、本論文は博士（人間・環境学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和3年1月21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。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公表可能日： 令和 年 月 日以降