

審査の結果の要旨

氏 名 黒 木 忍

本研究は人間の初期触知覚において最も基本的な機能である短時間に加えられた 2 信号の関連付けを取り上げ、その情報処理過程を心理実験により解明し、機能モデルを構築することを目指したものである。

これまでに提案されている触覚における簡単な時空間判断についての機能モデルの多くでは、知覚の違いは入力皮膚変形の物理的なパラメータとの対応づけのみで解釈されてきたが、本研究では触知覚の基本的な判断に関しては受容器-神経系（チャンネル）ごとに異なる機能メカニズムを持つ可能性があるという仮説を立て、末梢において時間精度の高い速順応系の RA/PC の 2 チャンネルについて比較を行っている。具体的には、低周波振動するピンないし高周波振動する円柱を用いて選択刺激を片手の人差し指・中指の 2 か所に対して短時間間隔で加え、その 2 つの刺激が「同時」「どちらからどちらかへ運動」「別々」のいずれと感じるかという主観的な知覚状態と、「右」「左」という方向を調べた結果、低周波振動覚と高周波振動覚とでは、この状態と方向それぞれの判断傾向が異なり、また両者の関係性も異なる事を明らかにした。即ち、振動周波数に依存して知覚状態の推移する時間帯そのものが変化する事が実験的に示され、振動周波数に依存して振動そのものがもつ”粗さ”のような知覚だけでなく、2 信号の関係性の解釈までもが変化する事が示唆された。また、高周波の方向判断精度が低い事も示され、小型にデバイスを設計可能なことから商業的に多用されてきた高周波振動が時空間情報提示に不向きである可能性を示した。

高い時空間判断精度を持つ低周波振動覚においては、被験者の知覚がどの状態に分類されるかが方向判断の精度に影響を与えないという結果が示された事から、状態の分類と方向の判断という 2 つの処理が独立に処理される機能モデルを構築し、これら 2 処理について、入力が皮膚感覚のみであるのか、あるいは姿勢覚を持つのかを調べる事でその独立・従属の可能性について検討を行なっている。その結果、低周波振動覚において指を交差した際には、方向判断は大きく悪化する一方で、知覚状態には大きな変化は生じないという結果が得られている。この方向判断への姿勢の影響が機能モデルの入力として表現されるのか、出力への変調として表現されるのかを明確にするため、運動知覚メカニズムに関してその存在や特性の調査に有効である事が視覚研究において知られる”運動残効”を触覚に適用し、方向判断メカニズムへの入力を検証しているが、今回観測した指間運動による触運動残効の存在は、触覚系において生理学的な裏づけの未だ取れていない指間運動の処理

メカニズムが存在していることを示唆している。更に、順応時の指姿勢が残効の方向を変調するという結果が示されたが、この結果は、従来、被験者の主観報告によって間接的に示されて来た方向判断への指姿勢の影響について、方向判断メカニズムが指の姿勢を入力に持つ事を直接的に示している。更に、この指間運動残効について詳しく調べた結果、この残効が反映するメカニズムは運動知覚(高次)と局所への入力(低次)のどちらが欠けても消失してしまう事から、状態の知覚は皮膚感覚のみを入力として持ち、一方、方向判断は皮膚感覚に加えて指姿勢覚と高次の運動感覚を入力に持つ事が示され、入力についても両者の乖離が示された。

以上は片手に対する入力系についての実験であるが、片手系よりも上位に受容野に持つ両手系についても、腕姿勢を変更した際に判断に対するどのような影響が生じるのかを調べており、方向判断だけではなく状態の知覚も姿勢により変調される事が示された事から、今回立てた低周波振動覚の機能モデルは両手系を入力に持たない可能性を示唆している。

以上、片手系では、触覚においては状態の分類のような”時間判断”は初期触覚野の早い段階に”高速な処理”が行われている可能性が、一方、方向判断のような”時空間判断”は他モデルとの整合性の高い座標において”ロバストな処理”が行われている可能性が示され、この分業化により、時間判断によって例えば滑りなどの状態を迅速に判別する事で器用な操作を可能とし、また時空間判断をロバストに行う事で視覚的な Cue を元にするリーチングタスクなどにおける正確な動作を可能としている事が示唆された。

要約すると、本論文では、電気刺激による選択刺激、運動残効といった新しい手法を触覚知覚心理へ導入する事により人間の初期時空間触覚の情報処理過程を心理実験により解析したものである。低周波振動覚片手系において時間判断と時空間判断の機能的な独立性を捉え、各判断への皮膚感覚と姿勢覚の入力の有無を検証し、その結果をもとに機能的なモデルの構築と、初期時空間触覚における情報処理過程の知覚心理による動的解析を行なったものであり、人間が外界の物理次元の情報をどのように知覚次元の情報と結びつけているのかを知る事で、今後の効率的な情報提示への応用や、脳内信号処理の理解・解明などに対する大きな貢献が期待される。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。