

運動予測に基づく視覚的運動と自己運動との関連性の認知メカニズムについての分析

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2019-07-30 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 齊藤, 寛人 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10291/20260

「博士学位請求論文」審査報告書

審査委員 (主査) 総合数理学部 専任教授

氏名 福地 健太郎 (印)

(副査) 総合数理学部 専任教授

氏名 宮下 芳明 (印)

(副査) 総合数理学部 専任准教授

氏名 渡邊 恵太 (印)

1 論文提出者 齊藤寛人

2 論文題名

運動予測に基づく視覚的運動と自己運動との関連性の認知メカニズムについての分析

(英文題)

Analysis of the Interpretive Mechanism Based on Motor Prediction about the Relationship between Visual Motion and Self-Motion

3 論文の構成

第1章 序論

第2章 視覚的運動と自己運動との関連性の認知に関する先行研究

第3章 本研究の目的と手法

第4章 能動的回転操作における自己帰属感の生起過程の分析

第5章 視覚的運動の予測可能性が自己帰属感の生起過程に及ぼす影響の調査

第6章 運動伝染が生み出す運動予測の変調を利用した Pseudo-haptics の生起条件の調査

第7章 総合的な議論

第8章 結論

4 論文の概要

本論文は自己運動と視覚的運動との関連性の認知に自己の運動に対する運動予測がどのように

関与するかを検証したものである。

ヒューマンコンピュータインタラクションの分野では、操作者が身体運動によって視覚的対象を操作するインタフェースの有効性が広く知られている。こうしたインタフェースが有効な理由の1つとして、ユーザが自己の運動と操作する視覚的対象がもたらす結果との関連性を認知することで、その対象を自己の身体と同一あるいは延長するものとして捉えていることが挙げられる。このような視覚的な対象を自己として捉えている感覚は“自己帰属感”と呼ばれ、インタフェースデザインの分野での重要なキーワードとなっている。

また近年は視覚と体性感覚間の相互作用による知覚現象が注目されている。その1つに”Pseudo-haptics”がある。Pseudo-hapticsは、ユーザの身体運動に同期して動く視覚的対象の位置や運動速度を変調するとユーザが疑似的な力覚を感じる錯覚現象として広く知られている。このPseudo-hapticsをうまく利用すれば、実際に触力覚を提示するデバイスを用いなくとも視覚的に与えるフィードバックを操作するだけでユーザに触力覚を知覚させることが可能であるためインタフェースデザインの分野で注目されており、数多くの応用例が提案されている。いずれにおいても、操作者が自己の運動と、その結果としての視覚的運動との関連性の認知が、その現象の生起において重要であるとされてきた。つまり、「こう動かした」という感覚と、視覚で捉えた運動の結果とになんらかの一致や相関があることを認知することで、自己帰属感やPseudo-hapticsが生起する、という考え方である。

しかしこの説明には問題があることを論文では指摘している。一つには、関連性の認知において視覚的対象の見た目（形状・テクスチャなど）が従前考えられていたよりも寄与が小さいことが様々な研究で指摘されており、認知過程における寄与の大きい要因を検討する必要があること、またもう一つが、体性感覚と視覚的運動結果との差異が随意運動の変調として捉えられる現象が報告されており、Pseudo-Hapticsの生起要因についてのこれまでの説明では不十分であることである。

本研究はそれらの問題点に対して、生起過程において「運動予測」の寄与が大きいのではないか、という仮説を提示している。すなわち、前述の現象は体性感覚と視覚的運動結果との関連性の認知ではなく、運動結果の予測と、実際に視覚的に観測された運動結果との差異の認知が重要な役割を果たしているのではないか、という考え方である。

本研究は認知科学および脳科学分野における、感覚フィードバックおよび自己運動予測に関する知見を踏まえ、自己帰属感とPseudo-hapticsの2つの知覚現象について、これらの生起過程に運動予測が具体的にどのように関与するかを検証している。なお、これらの生起過程に運動予測が関与することは先行研究で示唆されているが、具体的にどのように関わるのかは詳細には明らかにされていない。その最大の理由は、能動的運動時には「視覚と体性感覚間の一致性の認知」と「運動予測と視覚的運動結果との一致性の認知」の2つの基盤が同時に働くため、それらを個別に検証することが難しいことである。

そこで本研究では「運動予測と視覚的運動結果との一致性の認知」と「視覚と力覚間の一致性の認知」を分離した検証を行う新規実験系を構築することで自己運動と視覚的運動との関連性の解釈における運動予測による具体的な影響の調査を試みている。

その結果、運動予測は両現象の生起に大きく寄与していることを実証した。自己帰属感の生起過程については、視覚的対象の見た目よりも自己の運動予測との一致が大きく寄与していること

を示した。また Pseudo-haptics の生起については、運動伝染と呼ばれる現象を利用し、運動予測と視覚的運動結果との一致性の認知について独立に調査できる新規実験系を提案・構築して実験しており、運動予測との一致によって Pseudo-haptics が生起することを確認している。

これらの結果は、新規性があるのみならず、今後の同分野の研究について新しい指針を示すものであり、意義が大きい。

以下、博士論文の構成について概説する。

第1章では、これまでの研究によって示唆されている身体感覚を利用したインタフェースの有効性およびその発展と認知科学的視点からの運動予測の重要性についてまとめ、自己の運動と視覚的運動の関連性の解釈メカニズムの解明の必要性を概説する。その上で本研究の目的および本論文の構成について述べている。

第2章では、自己運動と視覚的運動結果との関連性の認知によって生起する自己帰属感と Pseudo-Haptics の2つの知覚現象と、本研究で重要視する運動予測についての先行研究を整理し、本研究が研究対象とする問題領域について説明している。

第3章では、本研究の目的について述べ、自己運動と視覚的運動との関連性の解釈によって生じる自己帰属感と Pseudo-Haptics の生起過程について本研究での具体的な問題意識とその解決手法についてまとめている。

第4章では、「運動予測と視覚的運動結果との一致性の認知」はしやすいが、「視覚と体性感覚間の一致性の認知」が難しい条件で、視覚的運動と自己運動との随伴関係を認知でき、自己帰属感の生起につながるかを新規実験系により検証した結果から、運動結果を予測しやすければ、視覚と体性感覚間の一致性の認知が難しい条件であっても運動の随伴関係の認知ができることを示した。

第5章では、自己運動と視覚的運動との随伴関係の認知に対する運動の空間的不一致による影響が、実行する運動の様相や視覚的対象の見た目によってどのように変化するかを検証した結果について述べている。その結果、自己運動と視覚的運動の随伴関係の認知では視覚的運動結果を予測できることが重要であること、また予測のしやすさは運動結果の空間的整合性だけでなく実行する運動の様相や視覚的対象の見た目など様々な要因に影響されることを示した。

第6章では、Pseudo-haptics が外力として解釈される条件は、運動予測と運動結果との差を認知するか否かであるという仮説を検証した結果について述べている。結論として、視覚情報による力覚情報の変容が生じない状況においても、運動予測と知覚された運動結果との差を認知することが外力の錯覚を引き起こすことを示している。

第7章では、第4章から第6章で述べた各研究で得られた知見から総合的な議論を行っている。各研究で得られた学術的知見から本研究全体の知見についてまとめ、インタフェースデザイン分野、認知科学分野における本研究の貢献と応用可能性について述べている。

第8章では、本論文の成果と貢献について最終的なまとめを述べている。

5 論文の特質

本論文の特質は、自己帰属感の生起および Pseudo-Haptics の生起のそれぞれにおいて、自己の運動についての体性感覚と視覚で捉えた運動の結果との差の認知がその主要因であるというこれまでの説明に対して疑義を示し、運動予測と運動結果との差の認知が要因であるという説を提

示し、またそれを支持する実験結果を示したところにある。左記仮説を検証する上で障害となるのは、運動予測がどのように発生しているかを計測し、またその予測を他者によって変化させることが難しいことにある。齊藤氏はこれを解決するための工夫を施した実験系を考案している。一つは被験者の運動方向に制約を課し、運動予測の可能性を2通りに制限したもの、もう一つは「運動伝染」と呼ばれる、他者の運動に運動予測が影響される現象を利用したものである。これにより運動結果は変調せず運動予測のみ変調することが可能となり、詳細な検証ができるようになった。その結果、自己の運動予測が体性感覚の認知よりも優位に働く場面があることを示すことに成功している。

6 論文の評価

「論文の特質」で述べたように、本論文はインタフェース研究分野で注目されている自己帰属感やPseudo-haptics 研究において、これまで重視されてこなかった運動予測可能性について、その重要性を示唆するものであり、今後同分野における研究に影響を与えるであろうと評価できる。

本博士論文を構成する研究からは、2件の論文誌論文および1件の査読つき国内会議口頭発表採録、また1件の査読つき国際会議ポスター発表が公表されており、対外的にもすでに評価が与えられている。

7 論文の判定

本学位請求論文は、先端数理科学研究科において必要な研究指導を受けたうえ提出されたものであり、本学学位規程の手続きに従い、審査委員全員による所定の審査及び最終試験に合格したので、博士（理学）の学位を授与するに値するものと判定する。

以 上