

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20370101

研究課題名(和文)

触覚による情報獲得過程の生理的多型性—ニューロイメージングによるアプローチ

研究課題名(英文)

Physiological polymorphism during information retrieval by tactile perception - an approach using neuro-imaging technique -

研究代表者 小谷 賢太郎 (KOTANI KENTARO)

関西大学・システム理工学部・教授

研究者番号：80288795

研究成果の概要(和文)：本研究は触覚による仮現運動感覚の明瞭性および知覚される運動速度の精度計測ならびに仮現運動感覚呈示時の体性感覚野の脳磁界応答計測について研究を行った。その結果、仮現運動感覚は個人ごとに速度情報を正確に感じ取る姿勢は異なることが示唆され、また、8種類の図形を3種の異なる提示手法を用いてその正答率を求めた結果、提示時間が400msの時に93%以上の正答率を得ることができることが分かった。これらの成果はヒューマンインタフェース学会誌に採録されたのをはじめ、国内外で精力的に発表を行った。

研究成果の概要(英文)：The study focused on the accuracy of perceived velocity generated by tactile apparent motion and the neurophysiological mechanism by using magnetoencephalography. The results revealed that the accuracy depended upon the posture to receive the tactile stimuli and the correct response was dominated when 400msec of duration of stimulus presentation, where 93 % of correct responses were obtained. These findings were presented at national and international conferences along with Journal of Human Interface Society.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2009年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2010年度	2,600,000	780,000	3,380,000
年度			
年度			
総計	10,900,000	3,270,000	14,170,000

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：人類学・応用人類学

キーワード：認知科学 バーチャルリアリティ 人類学

## 1. 研究開始当初の背景

日本人は手先が器用であるといわれることが多いが、この器用さ、すなわち手先の巧緻性に関する研究にはいくつかのアプローチがある。ヒューマノイドロボットの開発における手と眼の協調運動といったロボット工学のアプローチ、運動制御、訓練手法といった運動生理学のアプローチ、皮質脊髄路におけ

る錐体路と運動ニューロンの関係を調べる神経生理学のアプローチである。これらのアプローチはヒトがどのように器用に手を動かすことができるかというメカニズムの解明を目標としている。しかしながら、ヒトは手先の触覚器より情報を巧みに獲得し、得られた知覚情報を統合することによって、感性

を生み、また、それらを精緻な動作のために応用している。この情報獲得のメカニズムについては研究開始当初には未だ研究が立ち遅れているのが現状であった。本研究の着手以前に、研究代表者は先行研究（平成 17～18 年度基盤研究）として、これまで標準刺激が最小でも 100gf 程度の触覚刺激による特性しか調べられてこなかったのに対して、最小呈示刺激を 2 gf まで設定することの出来る空気圧呈示装置を構築した。この装置を用いて、ウェーバー比（刺激の強さと弁別閾の比）は標準刺激が 4 gf 程度まで約 0.1 で一定であり、標準刺激がこれを下回ると、ウェーバー比が他の知覚システムと同様に増加しはじめることを発見した。また、皮膚の表面硬さとその人のもつウェーバー比を知ることが出来れば、呈示刺激を動的に変化させることで、皮膚にピンのような物体を当てることなく空気圧だけで触感の滑らかさや刺激の移動感覚(仮現運動感覚)をヒトに生起させることが出来ることがわかった。上記二点の知見が得られたことから、本研究を開始させる必要性が明確になり、着手するにいたった。

## 2. 研究の目的

本研究は研究背景で述べた先行研究の結果を受け、以下の5点を達成することを目的とした。

- (1) ピンなどの固体を皮膚に当てることなく、各ノズルの噴流に強度と時間差を与えることにより、空気噴流だけで滑らかさや仮現運動感覚を生起させる 8×8 アレイ型触覚ディスプレイを作成する。
- (2) 指先の触覚の各機械受容器にかかる応力分布を有限要素法により求め、その応力分布を生じさせるよう触覚ディスプレイの呈示圧力を制御して、機械受容器の神経インパルス発火の状態と触感との関係を実

験的に調べる。

- (3) 触覚による仮現運動感覚が生じる呈示条件を詳細に求め、ヒトが仮現運動感覚により獲得する速度情報の精度を求め、比較による仮現運動感覚と比較検討する。
- (4) 触覚によるファントムセンセーションが生じる呈示条件を詳細に求める。
- (5) 仮現運動感覚とファントムセンセーションをヒトが獲得する際の脳内の情報処理過程を、脳磁界応答を用いたニューロイメージング手法により明らかにし、ヒトの触覚による情報獲得・統合過程の生理的多型性を探る。

## 3. 研究の方法

### 空気噴流アレイ型触覚ディスプレイの開発および予備実験

研究代表者および研究分担者が先行研究において構築した圧力呈示システムに、今回検討した機器を組み合わせることでアレイ型触覚ディスプレイの構築をおこなった。構築には 1) エアコンプレッサからノズルまでの空気圧の流路の部分と空気圧の出力を制御するバルブからスイッチまでの電気回路の部分の組み立て、 2) 空気圧の出力制御のプログラマブルコントローラを駆動するためのリレー制御用ソフトウェアの設計および実装、 3) デジタル出力ボードを経由してコンピュータで電空レギュレータと電磁バルブの制御を行う。特に 3) の作業により、空気圧の設定、空気噴流の出力をプログラムによって自動化することで先行研究よりも空気圧の流路部分が単純化され、定常圧力変動が一層少なくなると考えられたため、この様子を確認するために予備実験をおこなうこととした。予備実験では立ち上がりの異なる呈示刺

激を準備し、出力結果を観測した。

### 有限要素法を用いた指内部モデルにおける機械受容器の動的応力分布シミュレーション

空気噴流呈示時の指内部にかかる応力分布の解析のために、指断面の有限要素モデルを作成した。表皮、真皮、および皮下組織の弾性係数、ポアソン比などのモデル作成のパラメータについては先行研究を参照した。このモデルを用いて、指内部にあるメルケル盤、マイスナー小体、ルフィニ終末、パチニ小体が分布している深さにおける応力分布、皮膚表面からの変位、およびひずみエネルギーの変化を、外部からの空気噴流呈示開始時から定常状態に至るまでシミュレーションにより求めた。また、先行研究における機械受容器近傍のひずみエネルギーと機械受容器の神経インパルス発射頻度の関係を先行研究により確認し、空気噴流による圧力と神経インパルス発射頻度との関係について検討を加えることとした。

### 触覚による仮現運動感覚の明瞭性および知覚される運動速度の精度計測

製作した触覚ディスプレイを用いて呈示時間と呈示時間間隔を調整し、仮現運動感覚を生成し、その明瞭度を心理物理学的手法により計測した。呈示時間は視覚による仮現運動の先行研究より 50ms から 250ms、呈示時間間隔は 50ms から 200ms までの範囲を対象とする。同時に LED を点列上に配置する視覚による仮現運動を呈示するシステムを製作し、同様に明瞭度を計測し、触覚によるデータと比較した。さらに、生体信号計測システムを用いて、指伸筋、屈筋、前腕の主要筋の筋活動を計測し、触覚情報獲得・統合

時にアクティブタッチが存在しているかをモニタリングし、刺激パターンを仮現運動感覚の明瞭生成群と不明瞭群に分類した。

### ファントムセンセーション呈示実験

製作した触覚ディスプレイを機械式ステージユニットに取り付け、空気噴流の呈示面を精細に移動できるようにした。振動型触覚ディスプレイで行われた先行研究の実験条件を元に、刺激呈示時間と刺激呈示時間間隔を予備実験により定め、校正実験を行い、定常値が呈示時間の範囲内で維持できているかを確認した。その後、ファントムセンセーションの呈示実験を行い、呈示条件と、生成されるファントムセンセーションの知覚パターンとの関係を調べ、指伸筋、屈筋、前腕の主要筋の筋活動を計測し、触覚情報獲得・統合時にアクティブタッチが存在しているかをモニタリングする。さらに最も明瞭に感じることのできる呈示条件に関する個体差が他の状況変数とどのように相関しているかを探った。

### 仮現運動感覚呈示時の体性感覚野の脳磁界応答計測

122 チャンネル全頭型脳磁計を用いて、仮現運動感覚を生じさせたときの脳磁界応答を計測した。呈示時間は 50ms から 250ms、呈示時間間隔は 50ms から 200ms までの範囲を対象とした。被験者の MRI 画像を計測し、触覚情報の獲得過程における脳内の賦活領域と解剖学的位置とを対応付けた。

### ファントムセンセーション呈示時における脳磁界応答の計測

122 チャンネル全頭型脳磁計と開発した触

覚ディスプレイを用いて、ファントムセンサーションを呈示し、これを獲得する過程における脳磁界応答を計測した。実験条件として、ファントムセンサーション明瞭群と非明瞭群に分け、この群間の相違を体性感覚野と前頭前野、頭頂葉との活動連関を中心に調べた。仮現運動呈示実験と同様、被験者の MRI 画像から、触覚情報の獲得・統合過程における脳内の賦活領域と解剖学的位置とを対応付けた。

#### 4. 研究成果

##### 触覚による仮現運動知覚の明瞭度と脳磁界応答の関係

2点刺激を用いて、呈示時間を変化させることによって作成した明瞭度の異なる仮現運動刺激を示指に呈示したときの脳磁界応答を計測した結果、明瞭刺激課題では、第二刺激呈示による体性感覚野のピークが現れた後、約 70ms 後に左運動野で活動源が推定された。同時刺激課題、離散刺激課題では、左運動野に活動源は推定されなかった。詳細な脳部位として捉えたダイポール推定の結果、左運動野で推定された活動は、Karageorgiou らの結果と同様の部位であり、触覚の仮現運動知覚に運動野の活動が関与することを支持する結果となった。結論として、触覚刺激呈示による体性感覚野の反応後、運動野が触覚の仮現運動の明瞭度の高い刺激条件に強く関与するという可能性が示唆された。

##### 触覚における速度情報の効果的提示手法

人間の受容姿勢および提示方向の違いにおける速度識別の正確度を測定することで、触覚における速度情報の認知に適した提示手法について検討することを目的として実験を行った。速度識別の正確度は分散分析の結

果、各受容姿勢によって速度識別の正答率には有意差は得られなかった。被験者の主観報告では 7 名中 5 名が受容姿勢の違いで速度識別の判断のしやすさに違いがあったと報告しており、被験者内では受容姿勢の違いで速度情報の認知のしやすさに違いがあるのではないかと考えられる。本研究と同様に受容姿勢に着目している研究として、同じパターンの触文字が与えられても、頭や腕や手の向き、すなわち姿勢に依存してその文字が正しく知覚されたりされなかったりするという報告がある。これに対して東山らは、触覚の認知は自己受容感覚の影響を受けて複雑に変化すると解釈することができると推測している。本研究においても受容姿勢の違いにより自己受容感覚から得られる情報が変化したことで、受容姿勢の違いで速度知覚の正確度に変化が生じたのではないかと考えられるが、特定の姿勢が被験者間で共通して高い正解率を得られる受容姿勢があるとは言えなかった。しかしながら、被験者内では受容姿勢の違いにより速度知覚の正確度が異なった結果となったため、速度知覚においても自己受容感覚の影響を受けるような複雑な情報取得プロセスが存在するのではないかと考えられる。提示方向が速度知覚に与える影響についてみると、どの受容姿勢においても提示方向による速度識別の誤答数の変化は小さいことが分かった。このことから、速度知覚の正確度は提示方向に依存せず、触覚に対して速度情報を提示する際は、提示方向が異なっても速度知覚の正確さには違いがないと考えられる。触覚は、時間分解能に大変優れており、今回実験の提示部位として用いた掌は皮膚感覚の中でも、受容器の分布密度が高く解像度が高い。そのため提示方向が異なっても、速度情報を形成する時空間情報の情報取得の差は大きくなく、速度知覚の

正確度に差が生じなかったのではないかと考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

①庚徹、小谷賢太郎、朝尾隆文、堀井健、触覚の仮現運動における知覚速度の定量的評価、ヒューマンインタフェース学会論文誌、査読有、12 巻、2010、167-176

〔学会発表〕(計 13 件)

①

K. Kotani, T. Yu, T. Asao, K. Horii, Effective Presentation for Velocity and Direction Information Produced by Using Tactile Actuator, Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, 2010. 7.19, Miami, USA

②那須歩、小谷賢太郎、朝尾隆文、中川誠司、触覚刺激の移動感に対する脳内情報処理過程、第 25 回生体・生理工学シンポジウム、2010. 9. 25、岡山大学

③蔵野豪、小谷賢太郎、朝尾隆文、触覚の速度識別におよぼす受容姿勢の影響、ヒューマンインタフェース学会第 2 回研究会、2010. 11. 15、石川県生涯学習センター

④林勝佳、木戸順規、近藤和久、小谷賢太郎、朝尾隆文、掌上の刺激呈示位置が Phantom Sensation の知覚に与える影響、平成 22 年度日本人間工学会関西支部大会、2010. 12. 4、大阪工業大学

⑤玉利雄祐、小谷賢太郎、朝尾隆文、堀井健、触覚による仮現運動知覚の明瞭度と脳磁界応答の関係、第 24 回日本生体磁気学会大会、2009. 5. 28、石川県金沢市文化ホール

⑥小谷賢太郎、触覚による情報認知メカニズムの脳磁界応答による検討、日本人間工学会第 50 回記念大会、2009. 6. 10、産業技術研究所

⑦林勝佳、小谷賢太郎、朝尾隆文、堀井健、空気噴流刺激による触覚ディスプレイを用いたヒトの形状認知メカニズムの検討、日本人間工学会第 50 回記念大会、2009. 6. 10、産業技術研究所

⑧

T. Asao, H. Hayashi, M. Hayashi, K. kotani, K. Horii, A Study on Fundamental Information Transmission Characteristics of an Airjet Driven Tactile Display, HCI International2009, 2009. 7. 24, Town and Country Resort&Convention Center

⑨

K. Kotani, T. Yu, T. Asao, K. Horii, Represetat

ion of Velocity Information by Using Tactile Apparent Motion, HCI International2009, 2009. 7. 24, Town and Country Resort&Convention Center

⑩庚徹、小谷賢太郎、朝尾隆文、堀井健、触覚の仮現運動を利用した速度情報提示手法の可能性、第 49 回ヒューマンインタフェース学会研究会、2008. 8. 7、公立ほこだて未来大学

⑪玉利雄祐、小谷賢太郎、朝尾隆文、堀井健、中川誠司、示指に触覚刺激を呈示した際の体性感覚誘発脳磁界—刺激媒体の違いによる賦活部位の比較—、日本人間工学会関西支部平成 20 年度支部大会、2008. 12. 6、京都工芸繊維大学

⑫林紘章、林勝佳、小谷賢太郎、朝尾隆文、堀井健、空気噴流を用いた触覚ディスプレイの情報伝達能力の基礎的検討、日本人間工学会関西支部平成 20 年度支部大会、2008. 12. 6、京都工芸繊維大学

⑬山本浩一、山林翔太、小谷賢太郎、朝尾隆文、堀井健、触刺激時の指先形状と力学性推定のための有限要素モデルの構築、日本人間工学会関西支部平成 20 年度支部大会、2008. 12. 6、京都工芸繊維大学

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

小谷賢太郎 (KOTANI KENTARO )  
関西大学・システム理工学部・教授  
研究者番号：80288795

##### (2) 研究分担者

朝尾隆文 (ASAO TAKAFUMI )  
関西大学・システム理工学部・助教  
研究者番号：10454597  
中川誠司 (NAKAGAWA SEIJI)  
独立行政法人産業技術総合研究所・  
人間福祉工学研究部門・主任研究員  
研究者番号：70357614

##### (3) 連携研究者

堀井健 (HORII KEN )  
関西大学・システム理工学部・教授  
研究者番号：00067711

##### (4) 連携研究者

三浦敏弘 (MIURA TOSHIHIRO )  
関西大学・人間健康学部・教授  
研究者番号：70141512