



Title	Multimodal body representation based on visuo-proprioceptive association triggered by attention and synchrony
Author(s)	福家, 佐和
Citation	大阪大学, 2010, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/57541">https://hdl.handle.net/11094/57541</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	ふ 福 け 佐 さ わ
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 2 3 8 0 1 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 22 年 3 月 23 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科知能・機能創成工学専攻
学 位 論 文 名	Multimodal body representation based on visuo-proprioceptive association triggered by attention and synchrony (注意と同期性に着目した視覚体性感覚統合に基づくマルチモーダルな身体表現の獲得)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 浅田 稔 (副査) 教 授 石黒 浩 教 授 南埜 宜俊 教 授 安田 秀幸 教 授 中田 彰宏 教 授 平田 勝弘 教 授 菅沼 克昭 准教授 細田 耕

#### 論 文 内 容 の 要 旨

私達人間は、脳内における自己の”身体表現”を基盤に、環境と身体パーツの相互作用を把握し、様々なタスクを柔軟に実現していると考えられる。この身体表現は、脳神経科学や心理学の研究により、知覚した異種感覚を迅速に統合し、動的に構成されることが示されている。一方で、道具使用時等での一時的な、更に発達過程での長期的な身体構造や感覚感度の変化に関わらず、人間がどのような情報処理メカニズムに基づいて身体表現を獲得・再学習されているのかを観察実験にて示すことは困難であり、未解明となっている。そこで本研究では、上記メカニズム解明へ近づけることを目的とし、ヒューマノイドロボットを利用し、人間特有な構造に起因する入力感覚信号の再現・計算論的モデルの提案および実装・学習した機能の検証を行った。

第一章での序論、第二章での従来研究の紹介に統いて、第三章では自身が直接視覚によって観測不可能なパーツ（顔）の身体表現を、手先をプローブとして使用する探索行動を通して学習するモデルを提案した。具体的には、腕の関節角度を、注意を向けていた手先のカメラ座標上位置に変換するヤコビアン（空間表現）をニューラルネットワークによって学習した。そして、このヤコビアンの汎化能力を利用して、手先接触時に反応した顔表面の触覚センサの空間的位置を推測・統合可能となった。

しかし、この空間表現には眼球（カメラ）角度が考慮されていない。そこで第四章では、上記同様注意していた手先のカメラ座標上での位置・眼球角度・腕の関節角度の統合を、HEBB則に基づいて学習する手法を提案した。腕の関節角度を参照情報として利用することにより、カメラと眼球角度のセ

ンサ値自体は異なっているにもかかわらず同じ空間的位置を示す組み合わせを、算出することが可能となった。そして、獲得した眼球角度に依らない空間表現と顔表面の触覚センサの統合を学習した。

一方で上記2つの研究では、ロボットは予めトップダウン的に手先に注意を向け、それを腕の関節角度に関連する情報として抽出可能であることが前提となっていた。そこで第五章では、運動学や身体の視覚的特徴の事前知識なしに、ボトムアップ的な注意システム（Saliency Map）を用い腕の身体表現が獲得可能か、HEBB則やSOMを用いてモデル化・検討を行った。本手法では、最終効果器（手・道具）の種類に依らず、そのカメラ画像上の位置と腕の関節角度の関係を、触覚反応を契機として学習することができた。

これらモデルについては各章にて、その学習過程および結果が、人間の0歳児から5、6ヶ月児に観察される認知行動を説明可能か、また脳神経科学分野で発見された脳部位の機能と類似しているか議論することで、人間の認知・発達メカニズムとしての可能性を示した。第六章では本研究のまとめと、今後更なるロボットの知能化および、人間のメカニズムの理解に向けて取り組むべき課題を述べた。

#### 論文審査の結果の要旨

申請者は、自律ロボットシステムの設計論の提案、および人間の内部メカニズムの構成論的理験を目的として異種感覚統合（例：道具使用や障害物回避等のタスクを行う際に基盤となる、姿勢情報と身体表面の触覚センサ配置、視覚画像内での自身の身体領域の関係）の学習手法を提案した。特に申請者は、既存の研究では議論されてこなかった、センサ信号（特にカメラという視覚センサ）を扱う場合に存在する検出範囲の限界の存在、つまり死角の存在に着目し、カメラで直接観察できない部位（例：顔）表面に存在する触覚センサの視空間的配置をどのように学習すればよいのか提案を行った。この結果にて、手先への注意能力および腕の視覚体性感覚統合に汎化能力があれば、異種感覚統合が実現できるということを示したことで、人間の発達過程における初期の顔の身体表現の学習の可能性をサポートできることは、新規な結果であると認められる。また申請者は、これまでの既存研究では信号間の同期性・随伴性などに着目して実現してきた、画像内からの身体領域抽出およびその領域と姿勢情報との統合の課題にも取り組んだ。上記の手法では解決することが困難であった、身体領域のうち更に効果器（手先・道具の先端等）の領域を検出するという機能が、画像において様々な画像特徴を基に注意点を算出するセイレンシーマップという手法を採用すると、学習可能となることを示した。これは、ロボットが事前に知識を与えられることなく、新規な道具を把持した場合にも、適応的にリーチング行動を算出可能となるための重要な基盤となる機能である。また、これら申請者の研究で獲得された機能は、実際に人間を対象とした研究で観察されているものと定性的に類似しており、新たに計算論的神経科学分野、発達心理学等の異分野に提案可能な大変興味深いものとなっており、協議の結果、合格と判断した。

なお、審査会では申請者の研究アプローチの今後の方向性に対して、今回の成果をもとに生産的な議論がなされ、申請者は、現状の脳計測技術やその発展に対して、その欠点を補うべく、構成論的手法が有利に働くと考えられると主張した。今後、構成論的研究の立場としては、これら他分野での問題を強く意識して研究を遂行する申請者の意志を確認し、改めて認識した申請者の今後の活躍に期待することとした。