

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 門根 秀樹

本論文は、ヒューマノイドロボットのための運動パターンの記憶と運動パターンからの記号の抽出について論じたものである。ヒューマノイドロボットが人間とのインタラクションを通じてコミュニケーションスキルを獲得するなかで、人間の運動や行動の時系列信号を記憶として蓄え、そこから行動の意味を推論してゆくことで、インタラクションを多様にかつ自然に行うことが可能になる。これは脳科学で言うところの脳と言語の共進化説にそった人工知能獲得のパラダイムでもある。本論文では、はじめに運動パターンの自己相関行列に着目し、それをを用いた運動パターンデータの分節化を論じた。分節化された運動パターンの自己相関行列の主成分分析を行い、それらの間で類似性の高いものがクラスター構造を作ることを明らかにした。次に、主成分の空間においてクラスター分析を自動的に行う方法として、非単調シグモイド関数を用いたニューラルネットワークを用いる方法を開発した。非単調シグモイド関数のスカラーパラメータを掃引することでクラスターの粒度を変化させることができ、クラスター間の階層構造を出現させた。さらに、階層的クラスターをパラメータの掃引によってではなく、自己組織化によって出現させる方法を確立し、その現象の数理構造を明らかにした。最後に、クラスター構造から位相情報を奪い空間に配置したスパースコードを自律的に生成する方法を与えた。

第1章、「Introduction」では、はじめに人間の知能と人工知能、およびその中のシンボルの役割について歴史的文献とともに概観している。さらに、ネモニストやサバン症候群と記憶の問題、ミラーニューロンと模倣の問題から、脳科学におけるシンボルおよびそれに基づく記憶について説き起こし、人間の運動の時系列パターンの記号化とそれに基づく記憶システムのヒューマノイドロボットへの応用が本論文の目標であることを述べている。

第2章は「Symbol Formation by Associative Memory」と題して、文節化された運動パターンの時系列信号の自己相関行列からつくる特徴ベクトルを主成分分析することで、運動パターンの分類を可能にするクラスター構造が現れることを指摘している。さらに特徴ベクトル空間に非単調シグモイド関数をもつ連想記憶ニューラルネットワークを導入することを提案している。非単調シグモイド関数のスカラーパラメータ  $h$  を次第に大きく選ぶことで、連想記憶ニューラルネットワークの引き込み領域が徐々に大きくすることができる。これによって生まれる平衡点の分岐が粒度の異なるクラスタリングを表すことから、 $h$  を掃引することで下位の分類から上位の分類までを系統樹として表す階層的記号化が行えることを述べている。

第3章では、「Processing Motion Patterns for Symbol Formation and Posture Generation」として、短時間の運動パターンの自己相関行列を用いることで、運動パターンの時系列信号の変化点を発見することができることを指摘し、これを運動パターンの教師なし自動的分節化に用いることを提案している。さらに、観察する運動パターンがこれまでのどの分節化された運動パターンに近いかを計算する、認識の問題への応用についても論じている。

第4章では、「Abstraction by Self-Organization and Sparse Coding - Abstract Recognition by Auto-Focused Attention」と題して、第2章で論じた非単調シグモイド関数のスカラーパラメータ  $h$  を掃引によって変化させるのではなく、分岐点が自己組織化によって自律的に現れるようにする方法について述べ、数値実験によってその挙動を確認している。また分岐現象を非線形力学の観点から説明する証明を加えることによって、この方法の普遍性を与えている。あたかもカメラの自動焦点機構のように、階層的記号化が分岐する重要な値にスカラーパラメータ  $h$  を誘導することから、この現象をAuto-Focused Attentionと名付けている。この章の最後では、階層的に出現した記号を互いに直交した空間に配置するスパースコーディング法を提案し、分節化された運動パターンからその類似性によってもつ位相構造を削り取ることによって、記号空間に新たに意味論によって構築する力学構造を導入することができ、これが記号の抽象的な連想構造を作るとの予想を与えている。

最後に、第5章は「Conclusion」として本研究の結論を述べている。

以上を要するに、本論文は、運動パターンデータから抽象度の高い記号空間を構築するまでを教師なしで自律的に行う方法を、自己相関分析、連想記憶ニューラルネットワークなどの数理的方法を用いて確立したものであり、こうして生まれた記号空間に意味論の位相構造を獲得することこそが、記憶獲得の実現に向けた今後の研究方向であることを明示した点においても、知能機械情報学に貢献するところが大きい。

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。