

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 シナパヤ ラナ

学位論文として提出されたシナパヤ ラナ氏の論文は、脳の学習機構に関する新しいモデル実験の研究成果をまとめたものである。可塑的な神経細胞ネットワークが示す「刺激を避ける学習」、神経細胞の数が自発的に増減することで入力動画データの原因構造を抽出できる「イプシロン・ネットワーク」、この二つのモデルを独自に考え、その考察を行ったものである。本論文では特に、環境の因果関係と入力イメージの複雑さ認知に注目し、この2つのモデル、刺激を避ける学習とイプシロン・ネットワークの両方の性質をあわせ、認知現象の新しいモデル化について端緒を与えるものである。

本博士論文は全4章から成っている。第1章では、エージェントにとっての複雑さとはなにか、それをエージェントの行為・予測・分類の3つの内的プロセスの関係から考えるというフレームワークを紹介している。エージェントは行為をすることで、情報の予測とその分類がもたらされる。これを計算機のモデルを構築することで理解・発展させることが論文全体の通奏低音となり、特に3章の根幹をなしている。先行研究としての J. Crutchfield の epsilon-Machine や D. Hoffman の ”The Interface Theory of Perception” を引き合いに出すことで、議論を強化している。

第2章では、提出者によって新しく提案された、神経細胞ネットワークの「刺激を避ける学習 (LSA=Learning by Stimulus Avoidance)」について説明がなされる。この研究は、G. Shahaf と S. Marom が 2001 年に実際の神経細胞を使って見出した自発的な学習実験に注目し、これを人工神経モデルを使ってコンピュータ実験により再現することに成功した。モデルは、STDP (Stimulus Time Dependent Plasticity) をベースとしたスパイク人工神経細胞モデル (Izhikevich モデル) を用い、学習の目的関数を必要としない強みがある。さらに LSA をロボットを用いた衝突回避行動にも応用し、ロボットの学習が進むことが本論文中で報告されている。通常の学習が脳の中に閉じさせるのに対し、ここでは環境の中にある因果関係をうまく利用し、結果として学習が成立するところがユニークであると評価される。G. Shahaf と S. Marom の実験を正しく再解釈しただけではなく、ロボット実験に応用できる形にまで整備できたのは、論文提出者の重要な貢献である。

第 3 章では、神経細胞の数そのものが増減する新しい人工神経細胞モデルを独自に考案し、その学習能力を解析した。このモデルでは、スクリーン上の画像ピクセルを神経細胞の受容野に対応させ、時々刻々として入ってくる画像入力データのパターンに対応する神経細胞の間の結合ネットワークで、画像入力の予測ができるように学習が進む。同じような役割を持つ神経細胞は取り除かれ、新しい時系列パターンに対しては神経細胞を増やすことで対処する。このアルゴリズムを用いて神経細胞ネットワークを成長させ、時系列パターンの背後の因果関係を抜き出すことに成功した。特にノイズの入った画像入力に対しても正しく因果関係を抜き出し、その入力イメージの複雑性を定量化できることが示されている。複雑さの定量化としては、複雑系科学では epsilon-machine が知られているが、同様のシステムを神経回路ネットワークとして構築できたことが評価できる。

第 4 章は、全体のまとめをしつつ、2 章のモデルと 3 章のモデルを組み合わせることで、例えば予測がうまくいかないとき刺激が入る仕組みを作っておき、これを LSA により回避して予測精度を上げるように行うエージェントが構成できる、といった提案がなされる。こうした提案は最近さかんに議論されている K. Friston の自由エネルギー仮説とも通じるもので、この研究分野の流れに一石を投じるものとして、大きな意義がある。

まとめると本論文はオリジナルな人工神経細胞モデルを独自に開発し、計算機実験をもとに予測・分類・行為の関係をつける新しい認知モデルの考察を行ったものである、ということができる。本論文は、身体性と認知の問題を具体的なかたちでつなげて議論し、認知における複雑性の問題を新しく定式化したといえよう。これは今後の知覚のモデルアプローチの新しい論点となり、新しく分野を切り拓くものとして期待される。

以上、当博士論文の研究は、人工神経細胞による認知のモデル化と解析において、独創的な提案をなしていると考えられる。以上の点から本論文は、博士（学術）の学位を与えるのにふさわしい内容であると、審査委員会は全員一致で判定した。