

【学位論文審査の要旨】

近年、様々な分野で自律行動可能なロボットの実用化が期待されている．複雑な環境と相互作用するロボットは、行動や知識の獲得だけでなく、環境条件の変化に伴う適応を行う必要がある．例えば、知識獲得のために深層学習を始め、様々なニューラルネットワークのモデルが適用されてきたが、新しい情報が追加され、追加学習が行われると、既存の知識が書き換えられ、性能を大幅に劣化させるような破壊的な忘却が起こりうるという問題がある．一方、人間の長期記憶は、陳述記憶のように新しい情報を統合しつつ、過去の経験を記憶することができる．陳述記憶は、エピソード記憶と意味記憶に分けられ、エピソード記憶は、経験や特別なイベントを記憶し、意味記憶は、エピソード記憶から、より一般化された知識として構成される．人間の脳にある海馬は記憶や空間学習に深く関わっており、海馬に関する計算論的モデルの一つとして相補的学習システム（CLS）が提案されてきた．CLS では、主に海馬が、再度、想起可能なエピソード記憶を担っていると言われており、記憶した経験を内部で繰り返し想起させることにより、忘却を防ぎつつ、記憶をより強化することができる．

このような背景のもと、本論文では、時々刻々と変化する計測データに適応しつつ、学習し続けるライフロング学習を実現するために、ワーキングメモリ、エピソード記憶、意味記憶の 3 つの階層から構成されるリカレントニューラルモデルを提案している．次に、提案手法の有効性を示すために、（１）ロボットの地図構築とナビゲーション、（２）人間の動作認識に関するタスクに適用し、実験結果より、時々刻々と変化する時系列データに対し、局所的に追加学習を行いながら、大域的な学習ができることを示している．

本論文で得られた成果は、以下のように要約できる．

（１）時々刻々と変化する時系列データを学習させるために、ライフロング学習に関する議論を行い、自己組織化に基づく教師無し学習の一つである自己増殖型ニューラルネットワークを拡張した複数のリカレントニューラルモデルを提案した．まず、連想記憶に基づく長期記憶を実現するための基本モデルを提案した．次に、短期記憶から状況にあわせてワーキングメモリを構成する方法論を拡張したエピソード記憶を行うための方法論を提案した．さらに、人間とのコミュニケーションを通して得られる言語ラベルを用いることにより、エピソード記憶から意味記憶へと知識を抽出する方法論を提案した．様々な数値実験を行い、提案手法が時々刻々と変化する時系列パターンを忘却すること無く学習できることを示した．

（２）エピソード記憶に関する提案手法の有効性を示すために、トポロジカルマップを用いた移動ロボットの地図構築とナビゲーションに関する問題に適用した．具体的には、二次元測域センサから計測される時系列距離データを用いた地図構築を行い、提案手法の有効性を示した．実験結果より、移動ロボットの移動に伴い、逐次的にニューロンを追加しながら、トポロジカルマップを構築できることを示した．さらに、構築されたトポロジカルマップ上のニューロンには、エピソード記憶に基づく時系列パターンが含まれているため、

これを参照することにより，ロボットのナビゲーションを容易に行えることを示した．

（３）意味記憶に関する提案手法の有効性を示すために，時々刻々と変化する人間の動作認識に関する問題に適用し，人間の動作分節をワーキングメモリとして保持しつつ，様々な動作パターンをエピソード記憶として学習できることを示した．人間の動作は，上述の地図構築とは異なり，場所や状況にあわせて異なる動作を取りうるため，逐次的に追加学習が行われると，忘却が起こる可能性がある．そのため，エピソード記憶を内部で仮想的に想起する方法論を提案することにより，長期記憶において忘却を抑制しつつ，追加学習を効率よく行えることを示した．さらに，人間とのコミュニケーションを通して得られる動作に関する言語ラベルを用いて，エピソード記憶から意味記憶へと知識を抽出しつつ，動作分類が行えることを示した．

以上のように，本論文では，時々刻々と変化する計測データに適応しつつ，ワーキングメモリとエピソード記憶，意味記憶に基づき，忘却を抑制しながら追加的に学習し続けることができる新しいライフロング学習に関する方法論を提案した．得られた成果は工学的に高く評価でき，知能ロボットに関する研究分野だけでなく，機械学習に関する研究分野への貢献も大きいものと考えられる．よって，本論文は博士（工学）の学位を授与するに十分な価値があるものと認められる．

（最終試験又は試験の結果）

本学の学位規則に従い，最終試験を行った．公開の席上で論文発表を行い，主査及び 3 名の副査委員を含む多数の出席者による質疑応答を行った．また，論文審査委員により本論文及び関連分野に関する試問を行った．これらの結果を総合的に審査した結果，専門科目についても十分な学力があるものと認め，合格と判定した．