

摘 要

相互結合型ニューラルネットワークの代表的なモデルとして Hopfield Model が挙げられる。ここでは、時間の経過とともに減少するエネルギー関数が定義されており、エネルギーが最小値になったとき最適解が出力される。しかし、エネルギーが局所的な最小値になるとそこから変化することができず、最適解を出力することができなくなってしまう。そこで、近年この問題を解決するため、ニューラルネットワークにカオスを用いる方法が多く研究されている。また、ヒトの脳は複数のニューラルネットワークが結合しているような系と考えられているが、1つのニューラルネットワークの研究は行われているものの、複数のニューラルネットワークを結合させた例は少ない。

そこで、本研究では、ニューロンの内部状態が調和振動子の運動方程式に従って変化し、ニューロン同士がカオス的な力で相互作用するニューラルネットワークを構築した。そして、このようなニューラルネットワークを2組作成し、これらの同じ位置のニューロンが結合している新しいタイプのネットワークを提案することにより、複数のネットワークが結合している系のメカニズムの解明を目指した。

さらに、これまで構築されてきたニューラルネットワークはシミュレーションによって評価されており、その応用まで発展させた研究例はほとんど見られない。ここで、ロボット工学に着目してみると、現在、人間との共同生活や共同作業を目的としたパーソナルロボットの開発が盛んに行われているが、未だある刺激に対する認識が一意的で、決められた行動しか出力することができない。しかし、パーソナルロボットには、人間とコミュニケーションをとり、人間と同様に過去の経験に基づいて自ら行動を変化させていくことが求められている。

そこで、本研究では、脳科学的な視点からニューラルネットワークの応用を推進するため、新しく提案したネットワークを用いてヒトの記憶モデルを構築し、これをロボットに適用することを第2の目的とした。これにより、ロボットが自分自身の記憶を参照し、同一刺激に対してもそのときの気分に従って認識結果を変化させ、行動を多様化することが可能となる。

本論文は、以下に示す7章からなる。

まず、第1章では、序論として本研究の研究背景と目的、その意義について述べる。

第2章では、脳生理学や心理学で研究されてきたヒトの脳とニューラルネットワーク、および記憶のメカニズムについて述べる。

次に、第3章から第4章にかけて、ニューロンの内部状態が調和振動子の運動方程式に従って変化し、ニューロン同士がカオス的な力で相互作用するニューラルネット

ワークモデルについて報告する。まず、第3章では、ニューラルネットワークのニューロンモデルとして、カオス的な力によって駆動する1つの調和振動子と、カオス的な力によって結合した2つの調和振動子のモデルを示す。また、それぞれにおいて、調和振動子がどのような振舞いをするかシミュレーションを用いて説明する。カオス的な力は、分岐パラメータによって周期的にもカオス的にも変化するが、本研究では1つの調和振動子においては、分岐パラメータをその調和振動子の位置によって変調し、2つの調和振動子においては、それぞれの分岐パラメータを他方の調和振動子の位置によって変調することにより、調和振動子自身がカオス的な力の力学的性質をコントロール可能とした。ここで、調和振動子の外力がカオス的に変化すると、周期的な振動をしようとする調和振動子と、カオス的な振動をしようとする外力とが影響し合い、これまで見られなかった振舞いが発生するものと考えられる。シミュレーションの結果、1つの調和振動子においては、カオス的な挙動を伴う共振現象、2つの調和振動子においては、カオス的な挙動を伴ううなり現象というまったく新しいタイプの振舞いが確認された。

第4章では、第3章で提案したモデルをニューロンにもつニューラルネットワークを示す。つまり、ニューロンの内部状態が調和振動子の運動方程式に従って変化し、ニューロン同士がカオス的な力で相互作用するネットワークである。さらに、このようなニューラルネットワークを2組作成し、これらの同じ位置のニューロンが結合している新しいタイプのネットワークを構築した。ここで、それぞれのネットワークに異なるパターンを保存した場合、ネットワーク同士が結合されていないと、それぞれ自身が保存しているパターンしか想起することはできない。しかし、ネットワークを結合すると、自身が保存しているパターンに加えて、他方のネットワークが保存しているパターンも想起可能となった。

第5章では、自己組織化マップと上記のカオスニューラルネットワークを用いた記憶モデルについて述べる。ヒトの記憶は、コード化、保存、想起という3つの過程に分けられる。外部刺激の情報を取り込める信号に変換し、記憶として取り込む過程がコード化、コード化された記憶を維持している過程が保存、保存していた記憶を思い出す過程が想起である。まず、人間は目が覚めて刺激を受容できる状態になると、無制限に刺激を知覚するが、意識が向かなければ入力された刺激のコード化は行わず、記憶として保存することはない。自己組織化マップは、多数の多次元ベクトルを、特徴の類似したベクトルごとにネットワーク上にマッピングすることが可能であるため、最も意識の向いた刺激の情報を正規化し、自己組織化マップへ入力することによりコード化を実現した。

また、ヒトの記憶は、気分の影響を受けるとされている。その1つが気分適合性で、

ある一定の気分はその気分と一致する記憶を呼び起こす傾向があることをいう。第4章で作成したカオスニューラルネットワークの一方のネットワーク（以下、Network B とする）から他方のネットワーク（以下、Network A とする）への結合定数を大きくすると、Network A が自身に保存されているパターンを想起する回数は減少し、Network B に保存されているパターンを想起する回数は増加することを確認した。そこで、Network A に不快記憶、Network B に快記憶を保存し、Network B から Network A への結合定数を気分の快度によって変化させることにより、気分適合性に従った想起を可能とした。

さらに、人間は覚醒度が高すぎたり低すぎたりすると適当な行動ができず、中程度の覚醒が最適な遂行を導くと言われている。そこで、情動の覚醒成分によって、ある刺激を認識するまでの時間、つまりニューラルネットワークの計算に要する時間を決定し、覚醒度が中程度のときは刺激をすぐに認識できるが、覚醒度が高ければ高いほど、また低ければ低いほど、刺激を認識するまでに時間がかかるようにした。また、覚醒度が中程度のときは気分適合性に従って刺激を認識するが、覚醒度が高すぎたり低すぎたりするときは、Network A から Network B への結合定数を変化させ、気分と一致した認識ができない場合も現れるようにした。

次に、第6章では、第5章で構築した記憶モデルを情動表出ヒューマノイドロボット WE-4RII(Waseda Eye No.4 Refined II)へ適用し、評価実験を行った。WE-4RII は、視覚、聴覚、触覚、嗅覚の4感覚器を有しており、入力された刺激に対して心理モデルに従って情動を変化させ、59自由度（顔: 22, 首: 4, 肺: 1, 体幹: 2, 腕: 18, ハンド: 12）を用いて様々な行動を出力することができる。この心理モデルでは、快度・覚醒度・確信度からなる3次元の心理空間内に、ロボットの心理状態を表す情動ベクトルが定義されている。これは情動方程式により数式化されており、快度・覚醒度からなる気分、ロボットが自律的に行動を出力するための欲求、ロボットの行動の対象を明確にする意識等の影響を受け決定される。

本研究では、新しく構築した記憶モデルを心理モデルに統合し、WE-4RII に適用することにより、ロボットが刺激をどのように認識するか評価を行った。その結果、まずコード化モデルにより、ロボットの入力刺激の情報と、その刺激を受けたときの気分がパターン化され、記憶として保存されることを確認した。また、想起モデルにより、ロボットがある刺激に対して快い気分のときはその刺激に関連した快記憶を、不快な気分のときは不快記憶を想起した。つまり、同一刺激に対してそのときの気分に従って認識結果を変化させることを確認した。

最後に、第7章では、結論として以上の研究成果をまとめ、今後の展望として保存する記憶数の検討、およびニューラルネットワークのさらなる応用の可能性について

述べる.

以上のように、本論文では、カオスニューラルネットワークを用いて記憶モデルを構築し、ヒューマノイドロボットに適用することによって、新しいネットワークモデルの提案、およびその応用の可能性を示すことを目的としている。その成果として、ニューロンの内部状態が調和振動子の運動方程式に従って変化し、ニューロン同士がカオス的な力で相互作用するニューラルネットワークを2組作成した。そして、それらの同じ位置のニューロンが結合している新しいタイプのネットワークを考案し、それぞれのネットワークに保存されている記憶がネットワーク間で伝達されることを確認した。また、自己組織化マップと新しいカオスニューラルネットワークを用いて記憶モデルを構築し、情動表出ヒューマノイドロボット WE-4RII に適用することによって、ロボットが自分自身の記憶を参照し、同一刺激に対してもそのときの気分に従って認識結果を変化させることが可能となった。

本研究は、脳科学、心理学、ロボット工学を融合することにより、ニューラルネットワークの他分野への応用の可能性、ヒトの心理モデルの解明、ロボットのコミュニケーション機能の向上を示したものであり、上記3分野をはじめ、生体工学、機械工学など関連分野における将来に大きく貢献するものである。