

氏名	北野勝則
学位(専攻分野)	博士(情報学)
学位記番号	情博第8号
学位授与の日付	平成12年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	情報学研究科数理工学専攻
学位論文題目	Properties of associative memory neural networks concerning biological information encoding (生物における情報符号化に関係した連想記憶ニューラルネットワークの性質について)
論文調査委員	(主査) 教授 宗像豊哲 教授 酒井英昭 教授 藤坂博一

論文内容の要旨

本論文は、生物の神経系における情報表現と関わりがあると考えられるいくつかの知見を連想記憶型ニューラルネットワークモデルに採り入れた場合の連想性能を論じた結果をまとめたもので、4章からなっている。

第1章は序論で、本論文の背景、つまり、現在に至る神経情報処理の理論的モデルの経緯について触れている。次に、本論文の基礎になる連想記憶モデルの概要とその代表的モデルであるホップフィールドモデルを紹介し、連想記憶モデルの性能評価において議論すべき特質について述べている。また、本論文の動機と構成についても述べている。

第2章は、スパースコーディングされたパターンを処理する連想記憶型ニューラルネットワークモデルの連想性能について論じている。

生物学的、また工学的な観点からも、ホップフィールドモデルで仮定しているランダムなビットで構成されるパターンにより情報処理が行われているとするのは非現実的であり、その拡張としてビット生成に一定の偏りがあるパターン、特に偏りが顕著であるスパースパターンを処理できるモデルの研究が盛んになされてきた。しかしながら、静的パターンの場合には、強いフィードバック信号により状態の時間相関が高くなるため、その連想の過程に関しては定性的な理解しか得られていなかった。本論文では系列パターンの想起という問題に注目し、連想の過程を記述する方程式を導出することにより、記憶容量、想起の精度、エラー訂正能力、結合破壊に対する耐性という特性について定量的な解析に成功している。このモデルにおいて、活動率制御の機構に依存したエラー訂正能力やスパース極限における最大記憶容量の実現などが解析結果として得られた。また、想起の過程における結合破壊に対する耐性を議論するという新しい試みも行った。

第3章は、振動子ニューラルネットワークの連想性能について論じている。従来モデルでは情報は発火頻度で表現されていると仮定し、個々のニューロンも平均発火率で定式化されていた。しかし、近年の幾つかの生理実験により、発火タイミングが情報処理に利用されていることを示唆するような報告がなされている。そこで、本論文では、発火のタイミングで情報を表現できるモデルを構築し、かつ、その場合の情報処理能力を評価するという目的のもとで振動子ニューラルネットワークの連想記憶モデルを提案している。提案したモデルは、個々のニューロンの周期的発火状態つまり振動状態を仮定した時、発火の時間差を意味する位相差で情報を表現できる定式化になっている。このモデルにおける連想の過程を記述する時間発展方程式を導出し、その連想性能を評価している。このモデルでは、理論的解析が計算機実験の良い予測となる為には、高次の時間相関を考慮する必要があることが明らかにされた。振動子モデルの連想性能に関わる特徴としては、記憶容量付近でも高いエラー訂正能力を持つこと、加えて比較的高い結合破壊率(4, 5割)に達しても、性能の劣化が起りにくい、つまり、ロバストであること、などを明らかにしている。また、このロバスト性に関して、ホップフィールドモデルとの性能比較においては、振動子モデルの方がよりロバストであることも示されている。

第4章は結論であり、本論文で得られた成果がまとめられている。つまり、本論文で取り上げた2つの情報表現に関するモデル、スパースコーディングモデルと振動子モデル、の連想過程を記述する方程式を導出し、それにより記憶容量、想起の精度、エラー訂正能力、結合破壊に対するロバスト性をその連想性能として議論している。特に振動子モデルに関する研究は、詳細な時間構造で情報を表現したモデルでも従来モデルに匹敵する能力を示すことが明らかになり、テンポラルコーディングの潜在性を示したと言える。

論文審査の結果の要旨

本論文は、神経系において情報表現と関わりがあると考えられる知見を神経情報処理の代表的な数理モデルである連想記憶型ニューラルネットワークに取り入れた場合の処理能力について理論的に解析したものをまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

連想記憶モデルの性能を正しく評価するには、連想の過程に関わる性質を総合的に理解しなければならず、その為には連想過程のダイナミクスを論ずる必要がある。本論文では、統計神経力学という連想過程を記述する理論を、情報表現に関して拡張された二つのモデル、スパースコーディングモデルと振動子モデル、について適用し、そのダイナミクスを記述する時間発展方程式を導出し、その妥当性を計算機実験により確認している。さらにこの理論を、連想性能の重要な指標の一つであるロバスト性をダイナミクスのレベルで議論する為に新たに拡張している。また、本論文で扱っている振動子モデルは、従来用いられている発火頻度といった時間的に平均化された情報でなく、発火タイミングというスパイクの持つ詳細な時間情報を利用し、かつ、数学的に解析可能なモデルとして提案されている。この提案されたモデルを理論的に解析した結果、従来モデルと比較しても遜色のない情報処理能力を保持することに加え、従来モデル以上のロバスト性を備えていることが明らかにされた。このことは、単一スパイクレベルでの時間情報を利用した情報処理の有益性を示唆しており、今後、このテーマに関する研究の重要性を指摘していると言える。

以上要するに本論文は、生物学的な知見を考慮した連想記憶型ニューラルネットワークモデルを提案し、理論的解析を行うことによって、神経情報処理の機構に対するより深い理解を与え、学術上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成12年1月28日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。