Osaka University Knowledge Archive

Title	A Phase Locking Theory of Neural Networks
Author(s)	青西, 亨
Citation	大阪大学, 1998, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/40652
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

【132】

氏　　名	青西　亨（あおにし　とおる）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学　位　記　番　号	第　13937　号
学位授与年月日	平成10年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科物理系専攻
学　位　論　文　名	A Phase Locking Theory of Neural Networks （神経回路における位相同調理論）
論文審査委員	（主査） 教　授　福島　邦彦 （副査） 教　授　佐藤　俊輔　　教　授　中野　馨　　講　師　倉田　耕治

論文内容の要旨

本研究では，弱い摂動が加わった神経回路システムにおける位相同調現象に着目する。中立安定モードをもったシステムに，弱い摂動を与えることにより引き起こされる遷移過程は，大変ゆっくりとしたものであり，小数の自由度で記述される。我々は，摂動法を用いて，大自由度の神経回路システムを小数自由度の発展方程式すなわち位相方程式への縮約を行う。これにより，神経回路システムの数学的本質を明らかにする。

具体的には，ダイナミックリンクマッチングと振動子ニューラルネットワークを位相同調理論により解析する。これらのモデルは，バインディング問題の議論を発端に，最近注目を集めている。数値シミュレーションにより，工学的な観点からこれらのモデルの有用性が示されているが，数学的には十分に理解されていない。

本論文の前半では，ダイナミックリンクマッチングを解析する。ここで取り扱うモデルは，マップ形成項に，類似した局所的な特徴どうしを結ぼうとする効果を表す微小摂動を加えたものと理解できる。システムが形成するマップはこの微小摂動に対し位相同調をおこす。この位相同調現象を数学的に明らかにすること（位相方程式の導出）により，ダイナミックリンクの数学的原理が明らかになる。また，ダイナミックリンクと標準正則化理論との関係が理解できる。

本論文の後半では，振動子ニューラルネットワークを解析する。弱く結合した神経振動子系は位相方程式への縮約が可能である。位相方程式で記述されたモデルは，イジングスピンを2次元に拡張したXYスピンを用いたモデルと等価になる。よって，統計力学的手法で議論することが出来る。これにより，多体結合振動子系の本質が明らかになる。最初に，self-consistent signal-to-noise analysis にて，Hopfield モデルと同じ Hebb 学習を用いた振動子ネットワークの記憶容量を求める。このネットワークには in-phase か anti-phase かという2値化された相対的位相情報を埋め込むことができて，従来のモデルと比べてより生理学的に自然なモデルである。また，シミュレーションにより，結合関数の形状が記憶容量の増大をもたらすことを示す。次に，神経細胞としてより自然な固有振動数をバラつかせた振動子ネットワークにおいて，同期・非同期の違いにより偽記憶の識別が可能であることをシミュレーションにより示す。

論文審査の結果の要旨

脳の情報処理モデルのような大自由度システムの本質を明らかにする数学的方法の一つは，それを小自由度の系で近似する，すなわち簡約することである。申請者は，神経回路システムにおける位相同調現象に着目した。申請者は，摂動法を用いて，大自由度の神経回路システムを少数自由度の位相方程式への簡約を行い，神経回路システムの本質を明らかにした。

パターン認識において取り扱いが難しいとされるパターンの歪みを始め，位置ずれや回転などを極めて有効に処理する手法として，von der Malsburg らが提案したダイナミックリンクマッチング（DLM）がある。DLM は，二枚の画像間になるべく歪みの少ない写像を作ろうとするマップ形成項に，類似した局所特徴どうしを対応付けようとする効果を摂動として加えたものと理解できる。形成されるマップはこの摂動に対し位相同調をおこす。申請者は，この位相同調を記述する位相方程式を導出して DLM の動作原理を明らかにし，DLM と標準正則化理論との理論的関係を示した。

近年，神経活動の時間的な側面が注目を集め，ニューロンの振動的活動を考慮した神経回路モデルが提案されている。本論文の後半では，振動子連想記憶回路を解析している。弱く結合した神経振動子系は位相方程式群への簡約が可能であり，その方程式群は磁性体モデルのスピン系の一種と看做せる。申請者は，この系を統計力学的手法で解析した。従来のモデルより，生理学的に自然な学習方法に基づいたモデルを解析し，振動子連想記憶回路の記憶容量が少ないという問題点を，位相の結合関数を変化させることで改善した。さらに，振動子の固有振動数をバラつかせることで，偽記憶の識別という連想記憶モデル共通の最重要問題を解決した。

以上のように，本論文は大自由度の神経回路システムを位相同調という観点から数学的に明らかにしたものであり，博士の学位論文（工学）として価値のあるものと認める。