



|              |                                                                                                                                                 |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | カオスニューラルネットワークの解析とその摂動系に関する研究                                                                                                                   |
| Author(s)    | 水谷, 伸                                                                                                                                           |
| Citation     | 大阪大学, 1999, 博士論文                                                                                                                                |
| Version Type |                                                                                                                                                 |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/41157">https://hdl.handle.net/11094/41157</a>                                                             |
| 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、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

|               |                                                                        |
|---------------|------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名           | 水 谷 伸                                                                  |
| 博士の専攻分野の名称    | 博 士 (理 学)                                                              |
| 学 位 記 番 号     | 第 1 4 2 4 6 号                                                          |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平 成 11 年 1 月 28 日                                                      |
| 学 位 授 与 の 要 件 | 学位規則第 4 条第 2 項該当                                                       |
| 学 位 論 文 名     | カオスニューラルネットワークの解析とその摂動系に関する研究                                          |
| 論 文 審 査 委 員   | (主査)<br>教 授 福 島 邦 彦<br>(副査)<br>教 授 佐 藤 俊 輔    教 授 中 野 馨    講 師 倉 田 耕 治 |

## 論 文 内 容 の 要 旨

生体情報処理におけるカオスの重要性を示す実験結果が数多く報告されている。ニューラルネットワークモデルの分野では、ヤリイカの神経細胞の巨大軸索や、そのモデルである Hodgkin-Huxley 方程式の研究をもとに、カオスニューラルネットワークが考案された。このネットワークのダイナミクスは、連想記憶モデルの想起や最適化問題に応用した場合、従来のエネルギー関数での極小点から逃れる自発的なゆらぎとして使われていた。

カオスニューラルネットの解析は、従来、少数のニューロン、もしくは、乱雑な相互作用からなるネットのみに行なわれ、普遍的な時空間カオスとしての理解は得られていない。そこで、多数のニューロンからなる、等方的な最近接結合を持つ 1 次元状ネットでの時空間カオスの性質を、数値計算により解析した。各々のニューロンの独立したカオスのふるまいに近い相では、空間、時間とも相関が指数的に減少することを、相互作用を持つネットにおいて初めて示した。この性質は、系を熱力学的に扱うことを保証するため、部分系での解析から全系の熱力学的示量変数を計算できる。また、相関の程度を情報量で表すと、観測精度に依らず、同等に情報量が分散していることを示した。この性質は、非線形写像の研究に多く用いられているロジスティック写像と全く異なるものであり、カオスニューラルネットで新たに見出した。このような系は、観測する部分系のサイズに依らない、また、観測精度に依らない情報の分散表現がなされている。

これらの解析結果に基づいて、高次元系に対する時空間カオス制御法を新たに提案し、カオスニューラルネットに適用した。カオス制御とは、カオス系が持つ任意の不安定周期軌道を状態フィードバックにより、安定化させることを指す。従来、カオス制御の研究は、少数次元系に対して盛んに行なわれていた。高次元系の制御は、制御法自身の困難さに加えて、相空間の次元の大きさから、目標とする軌道への接近が困難になるため、研究が進んでいない。このような困難を克服するため、(1)従来の線形フィードバックを非線形に拡張する、(2)制御量に制限を設け、発散を防ぐ、(3)多周期点への制御は、周期毎に制御目標、強度を変更する、以上の拡張を新たに提案した。これらにより、系の状態が目標軌道に接近していなくても、フィードバック制御することができ、引き込み領域を大きくすることができた。提案法により、従来法では不可能であったカオスニューラルネットの制御を、等方的な相互作用を持つネット

において、初めて実現した。

制御フィードバックと同様に、外部からの摂動として、微小振幅の周期信号を考え、カオスニューロンモデルの駆動系を解析した。周期信号の周波数にピークが見られ、確率共振に似た共振反応を示した。確率共振は、双安定系をノイズと微小振幅の周期信号で駆動すると、その周波数分布において周期信号の周波数にピークが現れ、ノイズに埋もれた微小信号が強調される非線形効果である。決定論的なカオス系での確率共振に似た共振現象の研究は、分岐点付近での周期的変調という単純な場合のみである。確率共振が観測できるしきい系、興奮系としての従来のニューロンモデルに基づいたカオスニューロンにおいて、共振現象が見られることを初めて指摘し、分岐点付近でないカオス系における共振現象を新たに示した。この共振特性を数値計算により解析し、そのメカニズムは、分岐パラメータの周期的変調によるアトラクタの幾何学的構造の変化として理解できることを初めて指摘した。また、ネットでの協調作用による共振現象の変化を解析し、共振反応を強調できることを示した。非線形系での相互作用は、従来、協調効果を生むことを知られているが、新たにカオス領域でも、協調効果を確認した。

## 論文審査の結果の要旨

ヤリイカの巨大神経軸索や、そのモデルの Hodgkin-Huxley 方程式に見られるカオス的反応を定性的に表現するモデルとして、カオスニューラルネットワークが提案された。連想記憶や最適化問題において、このモデルはエネルギー関数の極小点から逃れるために応用されていたが、その性質は、未知の部分が多い。

従来、カオスニューラルネットの解析は、少数のニューロンや乱雑な相互作用からなるネットのみに行なわれ、普遍的な時空間カオスとしての理解は進んでいなかった。そこで申請者は、多数のニューロンが1次元的に並び、隣り合ったニューロンとだけ対称的に結合された等方的なネットを数値計算により解析した。相互作用を持つネットにおいて、各ニューロンの独立した振る舞いに近い相では、相関が空間と時間とともに指数的に減少することを初めて示した。これにより、系を熱力学的に扱うことができ、部分系から全系の熱力学的示量変数を計算できる。また、相関の程度を情報量で表すと、観測精度によらず同等に情報量が分散していることを、カオスニューラルネットで見出した。このような系での情報の分散状態は、観測する部分系の大きさや観測精度にはよらない。

以上の結果に基づいて、申請者は時空間カオス制御法を新たに提案し、これをカオスニューラルネットに適用した。カオス制御とは、カオスが持つ任意の不安定周期軌道を、状態フィードバックにより安定化させることを指す。高次元系の制御は、制御法自身の困難さと、目標軌道への接近の困難さから、研究が進んでいなかった。これらを克服するため、申請者は新たにフィードバックを非線形に拡張し、制御量に制限を設け、多周期点に関して、周期毎に制御目標と強度を変える制御法を提案した。これらにより、系の状態が目標軌道に接近していなくても、フィードバック制御することができ、引き込み領域を大きくすることができた。提案法により、従来法では不可能であったカオスニューラルネットの制御が、等方的な相互作用を持つネットにおいて初めて実現した。

申請者は、フィードバック制御と同様に、外部からの摂動として、微小振幅の周期信号を考え、カオスニューロンモデルの駆動系を解析した。周期信号の周波数にピークが現われ、確率共振に似た共振反応が見られた。決定論的なカオス系での確率共振に似た共振現象は、分岐点付近での周期的変調という単純な場合だけしか研究されていなかったが、申請者はカオスニューロンに共振現象が起こり、しかもそれが分岐点から遠く離れたところで発生するカオスにも見られることを新たに示した。またそのメカニズムが、分岐パラメータの周期的変調によるアトラクタの幾何学的構造の変化として理解できることも初めて指摘した。さらに、ネットでの協調作用により、共振反応を強調できることを示した。非線形系での相互作用は協調効果を生むことが知られているが、新たにカオス領域でも、協調効果を確認した。

以上のように、本論文の内容は、カオスニューラルネットワークの時空間カオスの理解の進展とその摂動系における新たな現象の発見に寄与するものであり、博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。