

# 多層化カオスニューラルネットワークにおける逐次学習に関する基礎的研究

## Fundamental Study on Incremental Learning in Multi-layered Chaotic Neural Networks

2019y17 小寺智仁(Tomohito Kodera)

担当教員 出口 利憲 (Toshinori Deguchi) ・ 山田 博文 (Hirobumi Yamada)

### 1. 序論

人間の脳には 1000 億を超えるニューロンが存在することが知られており、このニューロン同士をシナプス結合することで大規模で複雑なネットワークが構築されている。一つ一つのニューロンが行う活動は単純なものであるが、これらが集まることで優れた記憶能力や処理能力、思考能力といったものを実現している。<sup>(1)</sup>

このニューロンによる活動を模倣し、計算機に取り入れたものがニューラルネットワークである。ニューラルネットワークは様々な分野で使用されており、クラスター分類や画像処理、ロボット制御など使われ方は多岐にわたる。

記憶能力を最も具体的にモデル化したものが、ホップフィールドニューラルネットワークによる連想記憶モデルである。しかし、時間経過とともにネットワークが初期状態からエネルギーの低い安定平衡状態へと緩和してゆくだけでは不十分である。そこで、自然界ではごく自然に存在すると言われているカオス要素を取り入れたカオスニューラルネットワークを用いることで動的想起が実現されている。

本研究では多層化したカオスニューラルネットワークのモデルを用意し、ネットワークが学習している過程での各ニューロンの状態を観察しその振る舞いに対して考察することでカオスニューラルネットワークの新たな可能性を模索する。

### 2. 実験モデル

本研究で用いたカオスニューラルネットワークモデル (Fig 1) は、入力層と中間層、出力層の三層構造となっている。各層には複数のニューロンが存在し、中間層、出力層ではニューロン同士が自ニューロン以外と相互結合している。層間では各ニューロンが 1 対 1 に結合している。カオスニューロンは式 (1)、式 (2)、式 (3) の三つの項の総和を-1 から 1 の範囲で出力するシグモイド関

数を用いることでニューロンの値を決定している。そのため、ニューロンの値を決定する式は式 (4) となる。式 (4) において、式 (1) は外部入力に関する第一項、式 (2) はニューロン結合に関する第二項、式 (3) は不応性 (ニューロンの興奮状態が続くとそれに応じてニューロンが興奮しにくくなる性質) に関する第三項を示している。

$$\xi_i(t+1) = k_s \xi_i(t) + \sum_{j=1}^M v_{ij} A_j(t) \quad (1)$$

$$\eta_i(t+1) = k_m \eta_i(t) + \sum_{j=1}^N \omega_{ij} x_j(t) \quad (2)$$

$$\zeta_i(t+1) = k_r \zeta_i(t) - \alpha x_i(t) - \theta_i(1 - k_r) \quad (3)$$

$$x_i(t) = f[\xi_i(t) + \eta_i(t) + \zeta_i(t)] \quad (4)$$

式 (4) において、第一項の正負の向きと第二項、第三項の和の正負の向きが反対を向いている際、入力パターンを素早く想起できるよう結合荷重の更新を行う。互いのニューロンの正負が同じであるとき、結合荷重を大きくし、正負が反対であれば結合荷重を小さくすることによって学習をしている。<sup>(2)</sup>

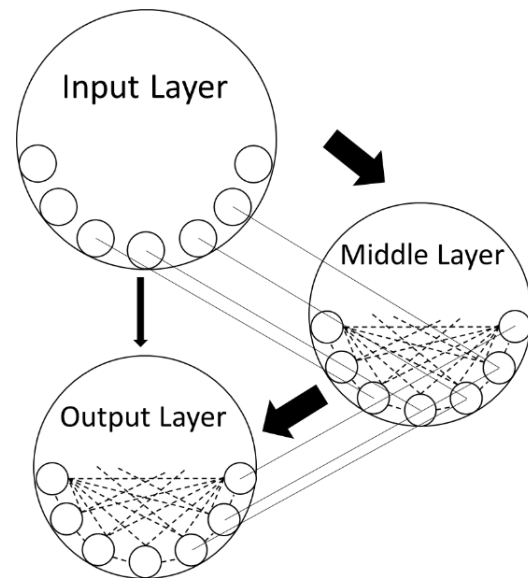


Fig 1 Chaos Neural Network model

こうして学習した結合荷重を別の相互結合型ニューラルネットに適用し、学習パターンを再度入力した結果、同一の出力が得られたならば学習成功としている。

### 3. 研究方法

今回は-1と1が49:51の割合で存在する100個のデータを5パターン分ネットワークに学習させる。パターン1を100回入力し、その後パターン2、パターン3、パターン4、パターン5と100回ずつ入力する。この一連の流れを1セットと定め、100セット行う。この学習方法のもと、同じ入力パターンで入力層-中間層間や中間層-出力層間の結合荷重を0から1の範囲でそれぞれ変化させ、その学習過程のニューロンの状態を観察した。

### 4. 実験結果

層から層へ結合されている結合荷重 $v_{ij}$ は対角行列であり、対角成分はすべて同じ数値としている。入力層-中間層間の結合荷重を0から1の範囲で変化させた際に学習を行い、その結果が特徴的であった中間層のニューロンの第二項の挙動をFig 2に示す。0.1から1.0の範囲では学習が成功しているものの結合荷重が0.3以下では、入力データに対して上昇下降を頻繁に繰り返す結果となった。この不安定な挙動は第三項でも、確認できた。また、結合荷重を大きくすると入力データに対してニューロンの値の正負が反転するまでに数回分の時間が発生することも確認できている。

次に、入力層-中間層の結合荷重を0.6とし、中間層-出力層間の結合荷重を0から1の範囲で変化させた際に特徴的な変動を見せた出力層の一つのニューロンの第二項をFig 3に示す。Fig 2と同様に0.1から1.0の範囲で学習が成功しており、0.4以下では入力データに対して、上昇下降を繰り返す不安定な挙動を示していた。これは第三項でも同様な挙動が確認できたが、中間層とは違い出力層では少ない入力回数で上昇下降を繰り返していた。出力層では常に中間層から入力データを受け取るため、少ない入力回数でデータの安定化に向かいやすくなっていると考察できる。また、出力層では上昇下降を繰り返しても0を跨ぐ変化はしておらず、正負の向きという観点において、安定した挙動と言える。これは、中間層では第二項と第三項の絶対値が近く、学習条件を満たす状態と満たさない状態を繰り返していることが原因

と考えられる。逆に、出力層では第三項に比べて第二項の絶対値が小さく、学習の頻度が高いことから細かい学習が行われ0を跨がない値が出力できていると考えられる。

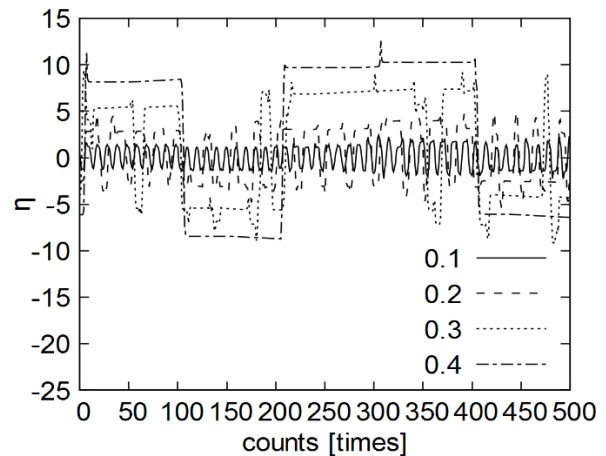


Fig 2  $\eta$  of middle layer

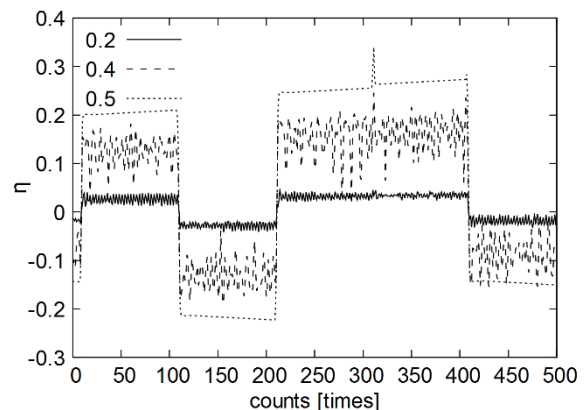


Fig 3  $\eta$  of output layer

### 5. 結論

今回の中間発表の内容では、入力層-中間層間と中間層-出力層間の結合荷重を変化させ学習途中のニューロンの挙動を確認することで式(4)における第二項と第三項の違いを確認した。

今後は入力層-出力層間の結合荷重を変化させ、中間層と出力層が互いに補完しあう仕組みを提案し、新たな挙動の確認を調査していく。

### 参考文献

- (1) 合原一幸: ニューラルネットワークにおけるカオス, 東京電機大学出版局 (1993)
- (2) 浅川新也: カオスニューラルネットによる未知パターンの学習, 岐阜工業高等専門学校 校専攻科電子システム工学専攻 特別研究報告 (2000)