



Neural Network qua an Information Processing System through the Medium of Rhythmic Oscillation

Tsutsumi, Kazuyoshi

(Degree)

博士 (学術)

(Date of Degree)

1985-03-31

(Date of Publication)

2014-03-10

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲0521

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1000521>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・(本籍)	つみ 堤	かず 一	よし 義	(大阪府)
学位の種類	学 術 博 士			
学位記番号	学博い第 54 号			
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当			
学位授与の日付	昭和 60 年 3 月 31 日			
学位論文題目	Neural Network qua an Information Processing System through the Medium of Rhythmic Oscillation (Rhythmic Oscillation を媒体とする情報処理システムとしての神経回路網)			
審査委員	主査 教授	松 本 治 弥		
	教授	平 井 一 正	教授	足 立 千 鶴 子

論 文 内 容 の 要 旨

神経回路網に於いて神経細胞に時間特性を考慮すると、その内部状態は急激に複雑になり、これまでに提案されている神経回路網の学習モデルでは議論されていない Rhythmic Oscillation が出現し得る。パーセプトロンに始まる神経回路網研究は、並列処理、学習機能、連想機能等、パターン認識の一つの方向として期待されていることから、時間特性を考慮することによる複雑さを嫌う傾向がある。これは、シミュレーションの手段として用いる計算機の速度の制約も重要な要因である。しかしながら、生体内で記録される神経インパルスは、時間的に一定ではなく時間と共にその密度を変化させており、その典型がバースト状神経インパルス (Rhythmic Oscillation) である。現在の処、こうしたインパルス形態と神経系での情報処理メカニズムとの関連を説明する理論はまだなく、言わばミクロからマクロへ至るすべてを説明し得る理論が待望されている。これを見出す事は、生体の情報処理メカニズムを知る科学的見地からだけでなく、新しい情報処理システムの形態を模索する為の工学的見地からも極めて興味深い。

本論文では、シナプス修正アルゴリズム、記憶モデル、Rhythmic Oscillation の発生器及び小脳の学習モデルを提案することにより、Rhythmic Oscillation が神経回路網に於ける情報処理メカニズムにどのように係わっているのかについてその解明を試みた。第二章では、先ず、神経回路網に於

ける自己組織化の核を担うシナプス修正アルゴリズムを新たに提案した。シナプス修正に関する理論は、Hebb の考案したアルゴリズムが知られており、基本的にこれまでの殆どの神経回路網モデルでは、これが用いられている。しかし、これを時間特性を考慮した神経回路網に適用した場合、前述のように、Rhythmic Oscillation を発生する場合に不都合が生じる。規則的構造を持つ環状神経回路網で発生する Rhythmic Oscillation の性質について実験を行なった結果、平均インパルス密度 (AID) なる量が、Rhythmic Oscillation 発生の際、安定であることが確認された。「シナプスは、高密度のインパルスが長時間通過すると、その伝達効率を減少させる」という生理学的知見に注目し、これに前述の AID なる量を導入し、更に、後シナプス側の情報として平均膜ポテンシャル (AMP) を採用して構成したものが、ここで提案したシナプス修正アルゴリズムである。このアルゴリズムは、乱れによって Rhythmic Oscillation が消滅させられた環状神経回路網に、再び Rhythmic Oscillation を発生させる作用をもつ。また、一旦 Rhythmic Oscillation が発生すると、AID はアルゴリズム中の閾値付近に急速に収束し、アルゴリズムはこの Rhythmic Oscillation を捕捉して逃がさない。

第三章では、前章で提案したシナプス修正アルゴリズムを用いて、バースト状神経インパルスを積極的に位置付けた神経回路網の記憶モデルを提案した。この記憶モデルでは、情報の記録をバースト状神経インパルスの発生と維持、想起をその存在の有無の問い合わせに対応させ、情報と想起の二つのモードは、興奮性細胞への一様入力のレベルのみによって選択可能である。我々は、精神の集中によって記憶能力が向上することを経験的に知っているが、集中が興奮性細胞への入力の増加に繋がるならば、ここで得られた結果は我々の経験と一致する。さらに実験では、二つの環状回路が重なり合った神経回路網に於いても、バースト状神経インパルスの形で情報を記録、想起可能であることが確認された。

神経回路網が Rhythmic Oscillation の発生器として機能する為には、その発生と維持に加えて、その周期の制御が可能でなければならない。

第四章では、このメカニズムが、第二章で提案されたアルゴリズムと、興奮性細胞及び抑制性細胞への外部入力によって実現可能であることを示した。周期の変化は、抑制性細胞に対する抑制性の一様入力によっても起こるが、希望の周期に合わせる目的では、抑制性細胞への興奮性の Rhythmic Oscillation の印加が効果的である。周期を制御する為の抑制性細胞への周期信号の印加は、各細胞の AID にばらつきを生じさせる。この AID のばらつきは、屢々、シナプス修正を再開させ Period Locking を解くことがある。しかしながら、第三章で述べた Two-mode Selection Mechanism に従って興奮性細胞への一様入力を減少させれば、この再修正の問題は解決可能である。

第五章では、第二章から第四章までで得られた結果を総合し、更に、小脳に存在する全ての種類の細胞の働きに関する予備実験の結果を元にして、小脳の学習モデルを新たに提案した。このモデルでは、可塑シナプスに対して第二章で提案したシナプス修正アルゴリズムが適用され、これによって、小脳前段部の顆粒細胞とゴルジ細胞による回路網が周期制御可能な Rhythmic Oscillation の発生器として、又、後段部のバスケット細胞、星状細胞及びプルキンエ細胞による回路網が波形合成器として機能する。学習によって得られるプルキンエ細胞からの最終出力は、登上線維から印加されるパー

スト状信号と逆位相となる。この結果は、「皮質下核の背景興奮の上にプルキンエ細胞の抑制が施されて、彫刻の様な方式で、信号を作り出しているであろう」という小脳機能に関する仮説を裏付けるものである。尚、このモデルでは、登上線維よりプルキンエ細胞に印加される信号は、パーセプトロン等に於いて採用されている正誤情報ではなく、直接効果器を制御し得る詳細な時間情報を含んでおり、しかも、これを真似ることによって学習が実現される。この意味から、この信号を「教師 (Teacher)」ではなく「師匠 (Master)」と名付けた。

論文審査の結果の要旨

生体の神経細胞の結合システム、すなわち神経回路網の研究はその情報処理メカニズムを知るためだけでなく新しい情報処理システムの形態を探る工学的な見地からも精力的に行われてきた。しかし神経回路網の従来の学習モデルでは神経細胞の時間特性が考慮されていない。一方生体内ではその密度が周期的に変化するバースト状神経インパルス (Rhythmic Oscillation) が発生することが知られており、そしてこのようなインパルス形態と生体の情報処理メカニズムとの関連を説明する理論は現在のところまだない。

本研究は神経細胞の時間特性を考慮した神経回路網において生理学的知見に基づいた独自のシナプス修正アルゴリズムを提案し神経回路網でのバースト状インパルスの発生、繊維の機構の解明、バーストによる記憶モデルの構築、バーストの周期制御機構の検討、これらを総合した小脳の学習モデルの提案などを行ったものである。この研究により次のような結果を得ている。

1. 「シナプスは高密度のインパルスが長時間通過するとその伝達効率を减小させる」という生理学的知見に基づくシナプス修正アルゴリズムを、時間特性を考慮した細胞よりなる環状回路に適用すると回路はバーストを安定に捕捉する。
2. このバーストを記憶の本体として積極的に位置づけた記憶モデルでは記銘と想起の二つのモードが興奮性細胞への入力レベルのみにより選択可能である。
3. 上記バーストの周期の制御も提案したアルゴリズムと興奮性及び抑制性細胞への外部入力によって実現可能である。
4. 以上の結果を総合し、また小脳に存在するすべての種類の細胞の働きに関する実験結果をもとにして小脳の学習モデルが考えられる。このとき小脳前段部の顆粒細胞とゴルジ細胞による回路がバースト発生器として、また、後段部のバスケット細胞、星状細胞及びプルキンエ細胞による回路が波形合成器として機能する。

以上のように本論文は実験事実に基づいた多くの独創的な仮説を取り入れ、解明困難な生体の神経回路網の機能、とくに記憶機能を説明し、更に小脳の働きについても現在の知見に反することなく説明を加えたものでその成果は高く評価され価値あるものと認める。また本研究は電気・電子工学、計測・情報工学、計算機科学、生理学、心理学に関連する総合的研究であり、それらの分野に寄与する

ところが大きい。よって論文提出者堤 一義君は学術博士の学位を得る資格があると認める。