

二状態確率遷移モデルによる人工ニューロンの基礎理論

Theoretical basis of artificial neurons by a two-state stochastic transition model

○(B) 片山 春菜^{1*}, 藤井 敏之², 畠中 憲之¹

(1. 広大総科, 2. 旭川医大物理)

○(B) Haruna Katayama^{1*}, Toshiyuki Fujii², Noriyuki Hatakenaka¹

(1. Hiroshima Univ., 2. Asahikawa Medical Univ.)

*E-mail: halna496@gmail.com

【研究の背景】人工知能は、不確実で多様な現代社会の基盤要素技術として急速に成長している。それを支えているのは、脳神経系を模倣した人工ニューラルネットワークである。そこでは、自己学習機能により事前のプログラムを必要とせず、また不完全な情報でも柔軟に対応でき、従来の情報処理技術では困難な問題に挑むことができる。その人工ニューラルネットワークの基本構成要素が人工ニューロンであり、階層的に配置され、各ニューロンがシナプスで結合されている。これまで半導体や超伝導量子デバイスなどで実装されているが、既存の人工ニューロンにおける入力信号に対する非線形信号応答の物理的起源は必ずしも明確でなかった。

【研究の目的】本研究の目的は、人工ニューロンにおける活性化関数として振舞うシグモイド（ロジスティック）関数の物理的起源を明らかにすることである。人工ニューロンは前の層の各ニューロンからシナプスで重み付けされた信号を受け取ると、非線形な応答を示す活性化関数に基づいて信号を出力する。様々な非線形関数がある中で、シグモイド関数は数学的な取り扱いが容易なため、誤差逆伝播学習法に基づいた学習を行うニューラルネットワークにおいて有効な関数である。

【モデル】シグモイド関数は、二つの状態を非線形に結びつける関数であることから、その物理的起源として、二重井戸ポテンシャルにおける二つの物理的状態間の確率的遷移であることが期待できる（二状態確率遷移モデル）。そこで本研究では、この二状態確率遷移モデルを元に、二状態間で成り立つ確率遷移方程式を用いて、状態の確率遷移とシグモイド関数の関係を調べ、その物理的基盤を確立する（Fig.1 参照）。また、このモデルを既存技術で実現できる超伝導量子干渉計（SQUID）を用いた超伝導人工ニューラルネットワークに応用した。

【結果】確率遷移方程式の定常解は、二重井戸ポテンシャルにおける一方の状態の確率が二つの状態間のエネルギー差を変数とするシグモイド関数になることがわかった。したがって、エネルギー差を変数とする物理系（例えば、ボルツマンマシン）に対して有効なモデルである。一般には、エネルギー差に依存する入力は多くないので、この点には注意する必要がある。SQUIDを用いた人工ニューロンでは、エネルギー差は外部磁束とほぼ線形とみなすことができるので、外部磁束を入力とした非線形信号応答が可能であることがわかった。

【結論】二状態確率遷移モデルは、ニューロンに必須の非線形信号応答を示す活性化関数（シグモイド関数）生成の物理的起源の一つであることを明らかにした。このモデルは対象とする物理系に依存しない普遍的なモデルで、二つの状態を持ったどのような物理系に対しても適応することができる。一例として、二重井戸ポテンシャルで記述できる SQUID が、超伝導人工ニューロンとして動作することを示した。

H. Katayama, et al. J. Appl. Phys. **124**, 152106 (2018).

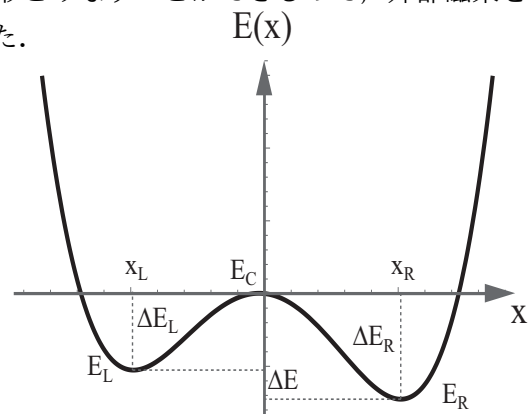


Fig. 1 Schematic diagram of double well potential.