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 II

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

○(M1) 片山 春菜[1*]，藤井 敏之[2]，畠中 憲之[1]

(1. 広大院総科，2. 旭川医大物理)

○(M1)Haruna Katayama[1*], Toshiyuki Fujii[2], Noriyuki Hatakenaka[1]

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

*E-mail: halna496@gmail.com

【研究の背景】人工知能は，近年急速に成長し，現代社会において欠かせない基盤要素技術になっている．これを支えているのが，脳神経系を模倣した人工ニューラルネットワークで，人工ニューロンはその基本構成要素である．階層的に配置された各ニューロンは，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．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人工ニューラルネットワークにおいて有効な活性化関数である．

我々はこれまでに（11a-W810-7），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を基にしたモデル（確率遷移モデル）を用いて，人工ニューロンにおいて活性化関数として振舞うシグモイド関数の物理的起源を古典力学的領域において明らかにすることに成功した [1]．そして，物理系に依存しない確率遷移モデルを，超伝導量子干渉計（SQUID）に応用し，既存技術で超伝導人工ニューロンが実現できる具体的な提案を行った．しかし，近年のナノテクノロジーの進歩によってデバイスは微細化され，その動作を古典力学の代わりに量子力学によって議論することが必要となってきた．

【研究の目的・概要】本研究の目的は，古典力学的領域において議論した二重井戸ポテンシャルにおける確率遷移モデルを量子力学的領域に拡張し，シグモイド関数生成の定式化を行い，SQUID が量子力学的領域においても人工ニューロンとして振舞うことを示すことである．

量子力学的領域では，磁束量子に対する二重井戸ポテンシャル内にエネルギー準位が形成される．量子的確率遷移モデルでは，二つの準位間の量子遷移を考える（Fig. 1）．この際，左 ($|L\rangle$) 右 ($|R\rangle$) の基底では，二重井戸ポテンシャルに対する固有状態でないため，時間に依存する存在確率を与えることになる．そこで，トンネル効果によって形成される結合状態 ($|B\rangle$) と反結合状態 ($|A\rangle$) の基底をもとに，時間に依存しない存在確率をもとめ，その確率のバイアス依存性がシグモイド関数となることを示す．

【結論】確率遷移モデルを量子力学的領域に拡張し，一方の井戸に存在する磁束量子の存在確率が，二つの準位間のエネルギー差とトンネル分裂エネルギーの比を変数とするシグモイド関数になることが分かった．エネルギー差は，信号バイアス（外部磁束）に比例することから [1]，信号バイアスに対するシグモイド関数になることが分かる．これより，SQUID が量子力学的領域においても人工ニューロンとして振舞うことが分かった．その結果，確率遷移モデルが，古典・量子の双方で有効であると結論付けられる．

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

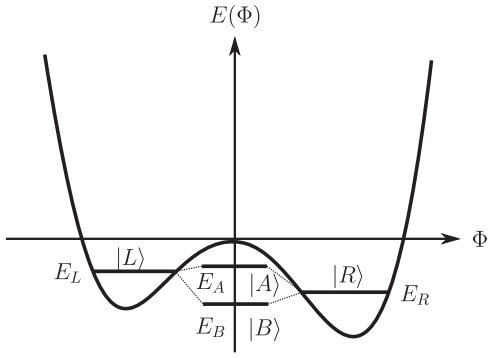

Fig. 1 Schematic diagram of double well potential.

© 2019年 応用物理学会