

氏名(本籍・生年月日) 松浦弘幸(岐阜県 昭和30年2月15日)  
学位の種類 博士(工学)  
学位記番号 甲 第629号  
学位授与の日付 平成27年3月20日  
学位授与の要件 信州大学学位規程 第5条第1項該当  
学位論文題目 Quantum Computing Model of Neurons and Their Networks  
(神経細胞とその回路網の量子計算モデル)  
論文審査委員 主査 教授 和崎克己  
教授 師玉康成  
教授 丸山 稔  
准教授 新村正明  
教授 玉川雅章(九州工業大学)

## 論文内容の要旨

我々は、神経系の工学的モデルとして、神経生理学的知見、エパップス ephapse, そして、量子効果に基づいた神経細胞間の干渉を積極的に評価した仮説を提案してきた。神経軸索やシナプスの干渉効果は、ポラリトン polariton (量子化された分極波であり準粒子) によって伝播されると考えた。ポラリトンの本質は、スピン1を持つ質量を獲得した光子である。ポラリトンは、相対論的な粒子であり、それは、厳密にプロカ方程式、又は4元シュレンディンガー方程式に従う。ポラリトンは、神経細胞のリン脂質膜に存在する2つのイオンチャンネルを結びつける働きをする。軸索を構成する細胞膜は、励起子やポラリトンを利用して活動電位を伝播する。軸索の内側へのNaイオン流は、軸索の外側へのKイオン流を誘起する。そして、これらの一連の過程が、量子化された分極波(つまりポラリトン)を生み出す。エパップス, シナプス, そしてその他の相互作用という名の干渉が、ポラリトンにより媒介される。ポラリトンは、その量子効果によりミエリン鞘すら通り抜けられる(トンネル効果)。1個のポラリトンは、絶対温度300度で、 $9.38 \times 1,012$  bits/polariton の情報を運ぶ。そして、我々は、1bitの情報を運ぶのに、0.693 kBTジュールのエネルギーを必要とする事を知った。このような内容から、脳や神経系の調整に量子干渉が利用されている可能性があることを指摘した。

我々は、神経回路は脳の基本的な構成要素であることを知っている。そこで、我々は、幾つかの回路網を量子論的に記述する方法として経路積分表示を提案した。つまり、アミダ籤、電気回路、古典的神経回路などを記述す

ることである．量子分岐と量子回路網の計算方法はファインマン経路積分法を用いた．古典的分岐理論は，ネルソンの確率過程量子化により容易にシュレディンガー方程式に到達できる．日本の古典的なアミダ籤は，籤の経路の間に干渉が存在しないために一種の古典的分岐問題と言える．アミダ籤の分岐点は，ポラリトンの量子論でいう回折点に相当する．次に，AND，NOT，ORという基本的回路の経路積分による量子記述法を考えた．そこでは，回路の古典的スイッチは，散乱ポテンシャルに対応させた，このために古典手スイッチは，スイッチオペレータとして演算化される．これらが，回路網量子化の基本的概念であり，スイッチオペレータを含む量子化された上記の回路は，q-AND，q-NOT，q-ORと見なされる．

本来，ポラリトンの方程式は，相対論的な式であるプロカ方程式に従うべきである．しかし，ポラリトンの運動速度が，光速と比較して非常に遅い場合には，四元シュレディンガー方程式で近似的に表現できる．この時，積分核 $K(b, a)$ は，量子系の時間発展と伝播を記述し，シュレディンガー方程式の固有方程式と関連する．我々は，神経シナプス間隙は，スイッチポテンシャルに相当すること，そして，この様に考えることで，経路積分法を用いた古典的神経回路網の量子化を可能となる事を見出した．

ポラリトンの波動方程式と経路積分法により古典的ネットワークを量子論的ネットワークへと拡張することで，我々は任意の神経回路網を量子論的に表記する道具を開発できた．古典的回路網と量子論的回路網の最も重要な相違点は，干渉効果の有無にある．量子回路系では，本質的にその回路自体の中に多くの干渉項を持ち，量子系の確率は，一般的に複素数である確率振幅，波動関数，そして伝播関数などで記述される．他方，古典的確率は，実数で表現されるために，干渉効果を示さない．我々は，具体的に，どのように量子効果（干渉の効果）が，情報工学のベイズ理論やエントロピー，そして，多チャンネルの一種の量子2段神経ネットワークに適用されるかを検討した．これにより，多くの量子状態が混在するネットワーク系の出力の近似的表現を得た．その表現には，経路積分法とそれに基づく摂動法が適用された．さらに，我々の量子ネットワークとポラリトンモデルは，一般的な量子情報理論や，古典的ニューラルネットワーク，そして，ソフトサイセンスの幾つかの側面を含んでいることが判明した．つまり，我々の方法は，ファジィ制御やその確率表現，古典的情報理論に密接に関連している．