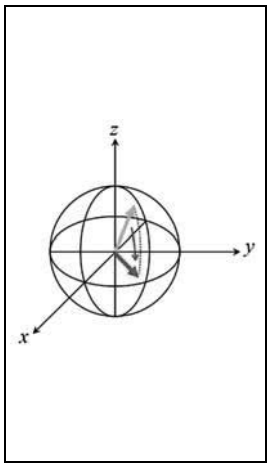

量子ニューラルネットワーク

－量子光学と次世代コンピューティングの接点を探る－

国立研究開発法人科学技術振興機構
山本喜久

本稿では，新しい計算原理である量子散逸計算とこれを物理的に実現する量子ニューラルネットワークの基本概念，動作原理，実装，期待される性能についてレビューする。

１．量子ユニタリ計算

現在，少なくとも 3 つの量子計算モデルが提案されている。それらは，量子ユニタリ計算 [1,2]，量子断熱計算 [3,4]，量子散逸計算 [5,6]である。表 1 にまとめたように，量子ユニタリ計算は外界（熱浴）から完全に遮断された孤立系に実現されるマシンである。この条件が満たされた時，この量子計算機は計算を妨げるデコヒーレンス効果から解放される。そして，全ての計算過程が終了した後，計算結果は量子フーリエ変換などの量子干渉過程を経て，最終的に射影測定により読み出される [1,2]。量子ユニタリ計算の理論的記述は十分に確立されており，物理的描像は明確である。この量子計算モデルはゲート型量子コンピュータ（1 ビットゲートと 2 ビットゲートを時系列的に並べる手法）により実装できるが，雑音とエラーに弱い。この弱点をカバーするため量子誤り訂正を繰り返しながら計算が実行される。このため計算時間のほとんどを誤り訂正に使わなくてはならない上に，多くの物理量子ビットを使って論理量子ビットを実現しなければならない。量子ユニタリ計算は，本質的に線形干渉計であり，与えられた問題に隠れた周期性や特殊な構造がある場合，この周期や構造を見つけ出すことが得意である。有名な P. Shor の因数分解や離散対数アルゴリズム [2]や Deutsch-Jozsa アルゴリズム [1]がこれに相当する。量子断熱計算は量子ユニタリ計算と等価であることが証明されている [7]。

表１　２つの量子計算モデル

	量子ユニタリ計算 [1,2]	量子散逸計算（量子臨界計算）[5,6]
物理系	孤立系（ゲート型）	開放系（ネットワーク型）
原理	外界から遮断された孤立系での状態ベクトルのユニタリ回転	外界からの励起、への散逸のある開放系での自己秩序形成
提案	Deutsch (1985)：量子並列探索 Shor (1994)：量子アルゴリズム	Zurek (2003)：量子カオス, 量子ダーウィニズム Verstraete, Wolf and Cirac (2009)：開放系（散逸）
長所	理論がシンプル、物理が明確	雑音やエラーに対して強靭
短所	雑音やエラーに対して脆弱	理論が複雑、物理が見えにくい
応用分野	隠れた周期性のある問題（現代暗号の解読など）	周期性のない問題（組合せ最適化など）