

NMR量子コンピュータ

神奈川大学理学部	天野	力
神奈川大学理学部	西本	右子
神奈川大学理学部	横山	宙
神奈川大学理学部	峯岸	安津子
東京大学情報基盤センター	小澤	宏
熊本学園大学	坂口	潮
松山大学	福見	俊夫
東京海洋大学	渡部	徳子

量子コンピュータ (Deutsch, 1985; Feynman, 1986) は、相互作用する量子2準位系の集合 (例えば分子内核スピン) を量子的なビット (qubit) として用いることにより、情報処理を行なおうという発想である。量子ビットの状態をユニタリー変換して計算を実行し、その最終状態を観測して結果を得る。量子コンピュータが魅力的なのは、量子コンピュータによれば、ある種の問題 (例えば整数の素因数分解 (Shor, 1994)) が、もともと優れた古典的な方法に比べ、指数関数的に高速に解けるからである。

Gottesman(1998)らは、Hadamard、 $\pi/4$ 、controlled-NOTおよびPauliゲートのみを用いる任意の量子コンピュータによる計算は、古典的コンピュータによっても効率よくシミュレートできることを示した。我々は、controlled-controlled-NOTは、位相回転の軸を x 、 y 、 z に限る場合、7個の $\pi/8$ 、3個の $\pi/4$ 、および6個の controlled-NOT で実現できることを示し、さらに、controlの数が3以上の controlled-NOT は controlled-controlled-NOT の組み合わせにより実現できることが知られている。これらの諸点を総合すると、量子コンピュータが有する古典に勝る能力は、量子系においてのみ実現可能な位相ゲート、とりわけ $\pi/8$ ゲート、の存在と密接に関連するものと推測され、本研究ではこのことについて考察を深めた。結論は、 n qubitの2準位ユニタリーオペレータは1 qubitユニタリーと controlled-NOTとの2乗個の積で表すことができ、さらに1 qubitユニタリーオペレータは Hadamardと $\pi/8$ により任意の精度で効率よく近似できる、という数学的考察に合致するものであり、量子系においては任意数qubitの2準位ユニタリーがHadamard、 $\pi/8$ および controlled-NOTのみを用いて効率よく実現できることが、量子コンピュータが持つ能力の本質であると言える。量子コンピュータによってもなお困難な問題 (例えばNP問題) も多数存在するが、これは任意の n qubitユニタリーオペレータを2準位ユニタリーの積で表すには、指数的に多数 (4の n 乗個) の2準位ユニタリーが必要であることに起因する。

[会議録]

- [1] 後藤英一、天野力、吉田宣章、阿部龍蔵：計算発熱損失の最小値とその速度依存性

「量子力学系の数理解析とその量子コンピュータへの応用」、数理解析研究所講究録
No. 1350 (京都大学数理解析研究所、2004年1月)、pp. 135-140

- [2] 小澤宏: Identification of a given Boolean function with a mixed-state NMR
quantum computer

「量子力学系の数理解析とその量子コンピュータへの応用」、数理解析研究所講究録
No. 1350 (京都大学数理解析研究所、2004年1月)、pp. 10-25

【学会発表】

松野勇一、榊原和久、小澤宏: NMR量子コンピュータ分子の合成と物性
第33回構造有機化学討論会、2003年10月、富山大学

【研究会開催】

第16回量子情報研究会

国立情報学研究所国際高等セミナーハウス (軽井沢)、2003年8月27-29日

小澤宏: $\pi/8$ Gate as the origin of the power of quantum computation