

B NMR量子コンピュータ

神奈川大学理学部、神奈川大学総合理学研究所、東京大学情報基盤センター、熊本学園大学、
産業技術総合研究所、東京水産大学
天野 力、西本右子、横山 宙、峯岸安津子、小澤 宏、坂口 潮、福見俊夫、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 (qubits) 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) が、もっとも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。

データベース検索も量子アルゴリズムが有効に働く一例である。すなわちGrover (1997) は、 n 量子ビットの量子コンピュータによれば、「Bool関数 $f(x)$ 、 $x=0, \dots, N-1$ (N は2の n 乗)、がひとつ与えられたとき、 $f(x)=1$ であるような x を求めよ」という問題が、 f を N の平方根回評価するだけで解けることを示した。古典的にはこの問題を解くには N 回の関数評価が必要であり、よってここでは、量子的効果により平方根倍の高速化が達成される。

我々は、バルク量のスピンを扱う核磁気共鳴 (NMR) 量子コンピュータを用いれば、このデータベース検索においても指数関数的高速化が可能であることを見だし、NMR量子コンピュータがもつ能力の原因について考察した。結論は、ノイズを考慮しない限りにおいては、NMR量子コンピュータは、「計算の最終状態において各ビットの確率が厳密に求められるという条件を満たすような **probabilistic ideal (infinite-size) ensemble computer**」という、きわめて強力な数学モデルを、量子力学的に実現したものだからである、という点に集約される。すなわち我々が示した方法においては、入力として用いる重ね合わせ状態は均一にランダムであり、ユニタリー変換を利用して関数の評価を行なう際は**quantum parallelism**を利用し、出力の確率はバルク量のスピンのアンサンブル平均により厳密に決定されている。有界の誤りを許す場合には、データベース検索の問題は、アンサンブル型量子コンピュータの古典的アナログである単純な**probabilistic ensemble computer**モデルにおいても、指数関数的に高速化できることを考慮すると、我々が示した高速化は、スピンの量子的性質よりは、むしろバルク量スピンのアンサンブルとしての性質によるところが大きいといえる。しかし指数関数的に高速な**probabilistic ensemble computer**を実現するには、量子論に起因する**quantum parallelism**が必要であったことに注目しなければならない。

【会議録】

[1] 小澤 宏: Phase-creation algorithm to solve an extended Deutsch problem with an implementation on an NMR quantum computer, 「量子情報とその周辺分野の解析的研究」, 数理

解析研究所講究録 1266 (京都大学数理解析研究所, 2002年5月), pp.114-124.

[2] 後藤英一、天野 力、吉田宣章、阿部龍蔵: 量子エントロピーと計算発熱シミュレーション
京都大学数理解析研究所考究録 (2002 印刷中)

[3] 小澤 宏: **Identification of a given Boolean function with a mixed-state NMR quantum computer**, 「量子力学系の数理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 (京都大学数理解析研究所, to appear), 16 pages.

【研究会開催】

第15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), 2002年8月14-16日.

天野 力: **Quantum entropy and computational heat minimization.**

小澤 宏: **On the origin of the power of bulk-spin quantum computers.**