

量子アルゴリズムとGroverのあいまい検索

今年の暮れは、量子力学の誕生からちょうど100年にあたる。この間、電子を始めとしたミクロな現象の解明に、この学問の果たしてきた役割は大きい。しかし一方で、マクロな世界における量子現象は材料パラメータに組み込まれてしまうため、量子力学は機械工学に関わる多くの分野で基礎的な立場に留まってきた。ところが近年、“量子コンピュータ”や“量子情報”、“量子アルゴリズム”などといった研究に注目が集まっている。これは、一言で言えば、プログラムといった純粋な思考の世界にも、量子論の応用が現れたことを意味し、革新的、衝撃的な出来事として迎えられている。本文では、量子アルゴリズムの概要を伝えると共に、Groverの検索アルゴリズムについて光学回路とのアナロジーから紹介する。

量子アルゴリズムと従来のアルゴリズム（古典アルゴリズム）の違いは、古典力学と量子力学の違いに等しい。古典力学では、粒子はNewton方程式に従って順を追って変化し、一方、量子粒子である光はホイヘンスの原理（Schrödinger方程式）に従って、一点から球面波となって広がり、相互の干渉により焦点を結び、物理量は観測により確率的に定まる（図1）。アルゴリズムの世界でも、古典計算は、常にどこか一つの状態にあり、順を追って進み、最後に答えに到達する。一方、量子アルゴリズムは、多くの状態の重合わせとして存在し、相互の干渉によって確率的に解へと到達する。ちょうど、回折格子全体から生じた回折点の間隔の逆数が格子溝の距離の平均を表すように、多くのstepを要する計算を瞬時に行う。

それでは、量子アルゴリズムは光で実現可能かと言えば、そう簡単でもない。量子計算では、 2^n 個の重合わせ状態を表すのに、 n 個の量子bit（q-bit：spinや偏光のような2状態の重合わせ）の直積空間を利用する。つまり、 n 個の箱に上下どちらか向きのspinを並べて 2^n 個の組合せを作る。ところが、このままでは従来のbitの概念と変わらず、本質的に n 個しか独立なパラメータは存在しえない。そ

こで量子アルゴリズムでは、複数のq-bit間を量子相関（エンタングル）させることにより、 2^n 個の独立した状態を作り上げる。光は、おのおのが独自性を保ちやすく、この直積空間を作ることが難しいが、非線形光学素子等によりエンタングルした粒子の生成も試みられている。

こうした量子アルゴリズムの一般化は、1985年、Deutschにより始められたばかりであり、その後、提案されたアルゴリズムもまだ多くはない。中でもGroverの検索アルゴリズムは、多数の情報からの高速検索を可能とし、その一般性から量子アルゴリズムの典型と言える。しかし、実際にGroverのアルゴリズムが行っていることは、複素数で表される各状態の位相差の分布を振幅に変換する作業であり、これは、Zernickeが提案した位相差顕微鏡と極めてよく似ている。位相差顕微鏡は、像の屈折率の違いが作る位相差をレンズによるFourier変換（ U ）と局所位置に位相差を反転させる $\lambda/4$ 板を持つフィルタ（ I_s, I_t ）の組合せにより、コントラストの違いを作る。一方、Groverのアルゴリズムは、 U はより一般化される

ものの同じ組合せの繰返しにより、初期状態 ψ_1 から、検索結果を表す ψ_2 へと振幅を推移させる。通常の光回路は、量子粒子間のエンタングルを利用していないため量子計算とは言い難いが、そのイメージは伝わるものと思う（図2）。

最近Groverは、任意の位相差の分布をコントラストとして表す“あいまい検索アルゴリズム”を発表した⁽¹⁾。この考えは機械工学の分野でも、対象数の増加により計算量が発散し、かつ、さまざまな状態量の分布を持つ人工知能や設計・シミュレーション法などへの応用が期待される。量子アルゴリズムは、コンピュータを利用するすべての分野に、今までとはまったく違った手段を提供する夢のハイウェイであり、これを可能とする箱（量子コンピュータ）の実現はまだ遠い将来ではあるものの、思考の可能性を大きく広げてくれる。

（原稿受付 2000年10月23日）

〔小竹茂夫 三重大学〕

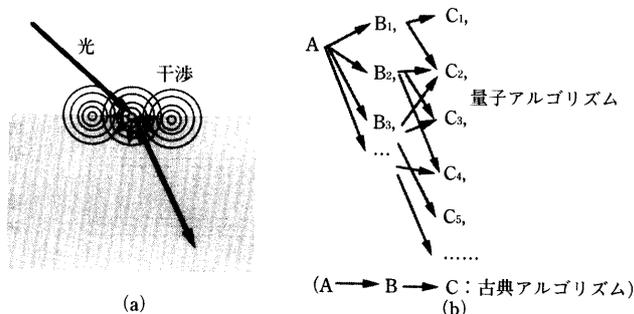


図1 (a) 量子粒子と (b) 量子アルゴリズム

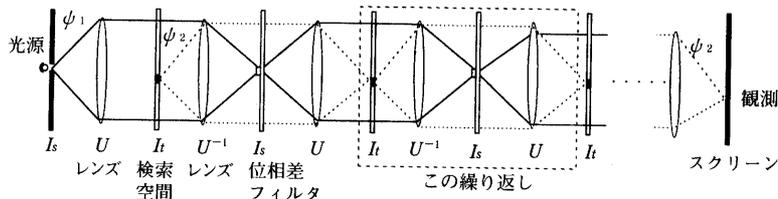


図2 Groverのアルゴリズムの光学回路による模式図

(1) Grover, L.V., <http://xxx.lanl.gov/abs/quant-ph/99120001> (2000)