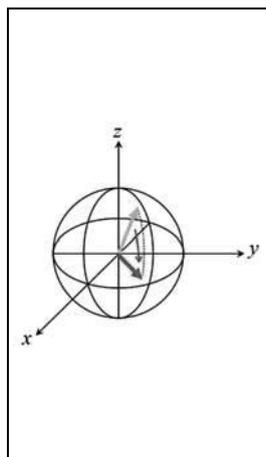


# 光量子コンピュータの実現に向けて

東京大学 大学院工学系研究科  
武田俊太郎, 古澤 明



## 1. なぜ光量子コンピュータか？

近年、量子コンピュータへの注目度と期待が急激に高まっている。Google, Microsoft, IBM, Intel と言った大手 IT 企業が量子コンピュータ開発に本腰を入れ始め、多数のベンチャー企業も生まれている。各種メディアで量子コンピュータ関連のニュースが取り上げられる機会も多くなった。一見すると突然花開いたかに見える量子コンピュータだが、現実には 30 年以上に渡る地道な研究開発の中で唐突に世間の注目度が高まっただけとも言える。現在、超伝導回路を用いた量子コンピュータの研究が最も進んでおり、最大規模のものとしては Google が 2018 年 3 月に 72 個の量子ビットを搭載したマシンを発表している<sup>1)</sup>。とは言え、有益な問題を精度良く解くために必要な量子ビット数は 100 万個かそれ以上とも見積もられており、量子コンピュータ開発はまだまだスタートラインに立った段階である。量子コンピュータには、超伝導回路を用いるもの以外にも多数の実装方式が研究されており、まだどの方式が優位であるとも言い難い。そのような状況の中で、なぜ我々は光を用いた量子コンピュータに着目しているのか？まずはその理由を説明したい。

量子コンピュータの実装方式を考えるにあたり、まず現代のコンピュータがどのように実装されているか再考してみよう。現代のコンピュータは、「0 か 1」というビットを情報の単位とし、全ての情報をデジタル処理している。計算を行う際には、低電圧は 0、高電圧は 1 というようにビットを表現し、トランジスタをベースとした電気回路で演算が実行されている。一方、情報の長期保存に用いるハードディスクでは磁性体の 2 通りの磁化の向きでビットが表現され、コンピュータ間の通信では光のオンとオフでビットを表現して情報をやり取りしている。つまり、情報の担体は 2 値をとるものなら何でもよく、演算・保存・通信など場合に依って適切な物理システムが利用されている。

これに対して、量子コンピュータの情報単位は「0 と 1 の重ね合わせ」である量子ビットである。これを物理的に実装するには、2 つの状態の重ね合わせが実現できるような、量子性の現れる物理システムなら何でも良い。具体例としては、イオン 1 個の 2 種類のエネルギー状態を用いるもの、電子 1 個のスピンのアップとダウンを用いるもの、超伝導ループ回路の左回りと右回りの電流を用いるものなど色々ある<sup>2)</sup>。通常、このような量子 1 個分のエネルギースケールは非常に小さく、重ね合わせの状態は外界との相互作用や環境の熱雑音によって簡単に壊れてしまう。従って、重ね合わせ状態を保ち、量子ビットとして利用するためには、物理システムを真空環境に置いて外乱を排除し、絶対零度付近まで冷却して熱雑音を抑える必要がある。つまり、真空装置や冷却装置などの大掛かりな装置が不可欠となる。

以上で挙げた例と比較すると、光を用いた量子ビットは実に特殊である。光の場合、光子 1 個を用いて、例えば偏光が縦方向なら 0、横方向なら 1 というように量子ビットを表現する。まず光は外界とほとんど相互作用せず、大気中でも光子の状態が壊れにくい。また可視光の周波数は数百 THz と高く、光子 1 個のエネルギースケールはプランク定数  $h$  と光の周波数  $\nu$  を用いて  $h\nu \sim 10^{-19} \text{J}$  と計算される。これは室温における熱雑音のエネルギースケール  $k_B T \sim 10^{-21} \text{J}$  に比べて十分に大きく、熱雑音の