

量子状態の複製とその転送

発表者 玉那覇 有基

指導教員 賀数 清孝

現在、量子情報の研究が急速に進められている。そして、その集大成として量子コンピュータが実現するであろう。量子コンピュータは、超スピードの演算処理を行なうコンピュータで、それが実現すれば、現在我々が使用しているコンピュータで数億年かかると言われている計算が数時間で出来てしまう。そうすると、膨大な計算を必要としている学問が急速に進歩する。量子コンピュータは、これまで不可能とされてきた問題の解決に多大な影響を与えるコンピュータになるであろうと私は思っている。

私がこれまで勉強してきた量子情報の分野は、演算処理の分野ではなく量子状態の複製と転送の分野である。現在のコンピュータで例えるなら、コンピュータ内でのファイルのコピー、離れた場所にいる受信者達への情報の転送にあたり、量子コンピュータの実現とその応用に不可欠な機能である。

量子状態の複製は、非クローン定理により不可能とされてきた。しかし、完全な複製は不可能だが“似た”状態を作り出せることがわかった。このような複製方法は量子クローニングと呼ばれている。

量子コンピュータの転送は、量子テレポーテーションとテレクローニングで行なわれる。量子テレポーテーションは、送信者1人、受信者1人の間での通信に使用され、テレクローニングは、送信者1人、複数の受信者の間での通信に使用される。量子テレポーテーションを実行する際、送受信者は互いにベル状態という2粒子系のエンタングルメント状態を共有しなければならない。このエンタングルメント状態は、量子情報の転送に不可欠な状態で、ベル状態はその中でも最も強いエンタングルメント状態である。ここでいう転送とは、送信者が送りたい状態の粒子をそのまま受信者に転送するわけではなく、受信者が保持している粒子で送信者が送りたい状態を作りあげるという意味である事に注意してもらいたい。

転送方法を大まかに説明する。送信者と受信者はベル状態（下記参照）を共有しており、ベル状態の1つの粒子は送信者の方へ、もう1つの粒子は受信者の方へ飛んでいく。そこで送信者はベル状態を作っている。ベル状態は4つあり、ベル測定という測定でどのベル状態になっているのかを判別できる。送信

者はベル測定を行ない自らがどのベル状態を保持しているのかがわかると、その結果を受信者へ古典通信で知らせる。受信者は、それに適したユニタリー演算子を自らが保持している粒子に作用させる。そうすることで送信者が送りたい状態を作りあげる事ができる。

テレクローニングは、量子クローニングと量子テレポーテーションを合わせたものである。量子テレポーテーションと異なっている点は、送信者と受信者が共有しているエンタングルメント状態がベル状態ではなく、テレクローニング状態（下記参照）という 4 粒子系のエンタングルメント状態を共有する点だけで、転送方法は量子テレポーテーションと変わらない。

以上の事から量子状態を複製でき、それを転送できる。

ベル状態

$$|\Phi_+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$$

$$|\Phi_-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle - |11\rangle)$$

$$|\Psi_+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$$

$$|\Psi_-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle - |10\rangle)$$

テレクローニング状態

$$|\Phi_+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle|\psi_0\rangle + |1\rangle|\psi_1\rangle)$$

$$|\Phi_-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle|\psi_0\rangle - |1\rangle|\psi_1\rangle)$$

$$|\Psi_+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle|\psi_1\rangle + |1\rangle|\psi_0\rangle)$$

$$|\Psi_-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle|\psi_1\rangle - |1\rangle|\psi_0\rangle)$$