

# エンタングルメント変換における触媒効果

工学部 物理工学科 03380411

橋本麻美

2007年2月

現在、古典的な計算機では、情報はすべて2進数で表され、ビット(bit)で表される。量子力学でこれに対応するのが、2つの状態しか持たない系であり、qubit と呼ばれている。qubit は量子力学の基本的性質である、「量子重ね合わせ」、「観測による射影」を用いることができる。よって、bit は0か1のどちらか一方の値しかとらないのに対し、qubit は0と1の重ね合わせの状態もとることができるのである。また、「量子もつれ合い」の状態をとることもでき、量子エンタングルメントと呼ばれている。

近年、このように、原子や素粒子などの微小な世界の力学である量子力学の性質を持った qubit を情報処理に利用しようとする研究が盛んである。

現在の電気や光などの「波」の性質を利用して情報を伝達する古典情報通信では不可能・不得意な情報処理の実行を目指すもので、電子や光などの「粒子」の性質を利用して情報を処理・伝送しようというものである。例えば、超高速で計算できる量子計算機や絶対に盗聴されない量子暗号などがある。このような分野は量子情報と呼ばれており、物理学のなかで最も新しい分野の一つである。

本研究では、量子情報処理で有効的に使われ、重要な資源である、量子エンタングルメントの変換について考える。2人の観測者が遠く離れていても、共有している状態を変換できるということは重要な問題である。そこでエンタングルした状態を別の状態に変換する場合、どのような条件が必要であるかについて考察し、エンタングルメントを変換する際に深い関係があると言われている majorization の紹介をする。

さらに、 $x \prec y$  とエンタングルメント変換の関係を利用して、状態  $|\psi\rangle$  を LOCC で  $|\phi\rangle$  に変換できないものが触媒によって、状態  $|\psi\rangle|c\rangle$  を LOCC で  $|\phi\rangle|c\rangle$  に変換できる触媒作用について考察した。すると、変換できる最も簡単な系は4準位システムの状態  $|\psi\rangle$ 、 $|\phi\rangle$  であること分かり、ある条件を導くことができた。また変換できる具体的な  $x$ 、 $y$  を数値的に探しだし、4準位システムで状態  $|\psi\rangle|c\rangle$  を LOCC で  $|\phi\rangle|c\rangle$  に変換できる触媒  $|c\rangle$  の存在を確認できたが、この条件を満たしたからといって、変換できるとは限らないことが分かった。つまり、導かれた条件は必要条件であり、十分条件でないことが分かった。

次に自分自身を触媒として扱うことを考え、自己触媒というものが存在することを発見した。自己触媒は、触媒同様、4準位システム以上の状態  $|\psi\rangle$ 、 $|\phi\rangle$  で、状態  $|\psi\rangle|\psi\rangle$  を LOCC で  $|\phi\rangle|\phi\rangle$  に変換できる可能性があることが分かった。そして、数値的に探した結果、状態  $|\psi\rangle|\psi\rangle$  を  $|\phi\rangle|\phi\rangle$  に変換できる  $x$ 、 $y$  の具体的な組合せを得ることができた。導いた条件も、触媒の存在のための必要条件と同じものとなったが、同じく必要条件であって、十分条件でないことが分かった。

さらに、自己触媒の数を変えたとき、その関係はどうなっているか考察した。すると、数値的に検証した結果、 $xx \prec yy$  を満たす  $x$ 、 $y$  はすべて  $xxx \prec yyy$  を満たし、LOCC で状態  $|\psi\rangle|\psi\rangle$  を  $|\phi\rangle|\phi\rangle$  に変換できれば  $|\psi\rangle|\psi\rangle|\psi\rangle$  も LOCC で  $|\phi\rangle|\phi\rangle|\phi\rangle$  に変換できると思われることが分かった。