

一般方向のスピン成分に関する King 問題

福井大学 工学部 物理工学科 杉本 宏行

2008 年 2 月

量子力学の基礎はシュレーディンガーやハイゼンベルクらによって波動力学・行列力学という形式で与えられ、光の二重性 (粒子性と波動性)、「粒子の位置と運動量は同時に正確には決まらない」といった不確定性原理、「導かれる結論は粒子状態の存在確率である」とする確率解釈などの理論を柱としている。このような量子力学特有の理論を用いて、情報処理に応用したのが量子情報と呼ばれる分野である。

量子情報の最小単位である qubit は 0 と 1 の 2 値 (1 ビット) だけではなく、0 と 1 の重ね合わせの状態をとることができる。この qubit により古典計算機では不可能な並列処理が可能となる量子コンピュータが理論上可能となる。この量子コンピュータが実現すれば、現在情報通信分野で使用されている暗号システムが破られることになる。これは現在の暗号システムは、大きな桁数の素因数分解が時間がかかりすぎて事実上不可能であることを前提として成り立っているためである。

また、ここに 2 qubit があるとする。1 つの qubit の測定結果が 1 だったらもう 1 つの qubit の測定結果も 1 とただちに決まるような状態が存在する。このように 1 つの qubit の測定結果がもう 1 つの qubit の測定結果に影響する、すなわち測定結果が絡み合っている状態のことをエンタングルした状態と呼ぶ。この状態を利用し、量子テレポーテーションや量子暗号と呼ばれる技術が可能となる。

本研究では、量子情報分野では一般的な King 問題 (Mean King Problem) について取り上げた。この King 問題には Alice と意地悪な King が登場する。意地悪な King は物理学者である Alice に対して、問題を出す。その問題に答えられなければ、Alice は殺されてしまう、というような童話をモチーフによく登場する。

この King 問題を考える目的としては一般に複数の非可換な物理量を 1 つ測定した時の結果を、他の測定結果から推定するというものが挙げられる。非可換な物理量では 1 つの物理量の測定結果が決まっても、他の物理量の測定結果は決まらず、測定結果も確率的にしか現れないため、自明な答えがない。したがって、測定結果を推定することは非常に困難である。この研究では非可換な物理量の例として大きさが $\frac{1}{2}$ のスピンの成分を考えることにする。

1987 年、Vaidman らの研究によって、エンタングルした状態を使えば、スピンの成分が直交している場合、すなわち、 σ_x , σ_y , σ_z のどれか 1 つを測定した場合の測定結果を他の測定結果から 100% 正しく推定することができることが示された。しかし、 σ_x , σ_y , σ_z のどれか 1 つを測定した場合でエンタングルした状態を使わない場合ではどうなるのだろうか。この疑問を解決するため、本研究では、エンタングルした状態を使わないでも測定結果を正しく推定することができる確率を求め、正しく推定することが可能なのかを調べてみる。そして、エンタングルした状態を使った場合と比較して qubit のエンタングルした状態にはどのくらい有効性があるのかをみてみる。

また、測定するスピンの成分が直交しない一般の 3 方向の成分だったときにはどうだろうか。エンタングルした状態を使った場合と使わない場合について、それぞれ正しく推定することができる確率を求め、どの程度正しく推定することが可能なのか調べてみる。そして、測定するスピンの成分の方向が変化すると、確率の変化にどのような特徴があるのか調べてみる。