

「ノイズがある場合の量子状態識別」

物理工学科 04380525 若林 隼吾

現在我々が日常的に使用しているコンピュータは「0」または「1」の値をとる「ビット」というものを操作することにより計算を行っている。情報処理分野ではこの古典ビットを用いることによって様々な処理を行っているのである。しかし量子情報の分野では古典ビットではなく量子ビット (qubit) というものを用いる。この量子ビットは量子力学の性質である重ね合わせの原理を用いるため「0」と「1」状態だけでなく「0」と「1」の重ね合わせの状態をとることができる。この量子力学の性質を利用した qubit を用いることによって量子コンピュータや量子暗号などの技術が可能になるのである。そして、このように量子力学の性質を情報処理に積極的に使用するのが量子情報という分野である。

量子情報では量子力学の性質を利用するため重ね合わせの原理だけでなく不確定性原理や測定後の状態が壊れるといった性質も絡んでくる。そのため、ある量子状態の qubit に正規直交基底で測定を行うと測定は確率的で測定結果が確定することはなく、測定後の状態は壊れてしまうのである。したがって同じ qubit を何度も測定するということはできない。そのため最適な量子状態の識別方法というものが重要になってくる。

そこで本研究では、qubit がある確率で2つの状態のどちらかに準備されているとき、この2つの状態を識別する最適な測定方法について考える。まず、qubit が1個の場合の最適な測定方法の確認からはじまり、qubit の個数を増やしていったときに、qubit を個々に測定し多数決で状態を識別する個別測定 (多数決法) や前の qubit に対する測定結果の情報から測定方法を変更する個別測定 (適応法)、そして qubit 全体を一つの系とみなし測定する集団測定といった測定方法での識別成功確率はどのように変化するのかを確認した。その結果、優れた測定方法である集団測定と個別測定 (適応法) での識別成功確率が一致することが分かり、個別測定 (適応法) と個別測定 (多数決法) での比較では個別測定 (多数決法) の識別成功確率が劣るということが確認できた。したがってノイズが存在しない場合では個別測定 (適応法) を用いることが有効であるといえる。

次に本研究の目的であるノイズの影響を調べるため、準備される状態にノイズがある場合を想定し個別測定 (多数決法) と個別測定 (適応法) で識別成功確率の比較を行ったところ、ノイズがある場合を計算する際に導入したノイズの大きさの指標となる r ($r = 1$ のときはノイズ無しで r が小さくなるとノイズが大きくなる) が 0.98 の場合では qubit の個数を増やしていくと多数決法と適応法で識別成功確率の大小が逆転し、個別測定 (多数決法) の識別成功確率が個別測定 (適応法) よりも高くなることが確認された。そして、さらにノイズを大きくして識別成功確率の比較を行ったところ、qubit の個数が少ない段階で大小が逆転することが分かった。この結果から個別測定 (適応法) は個別測定 (多数決法) に比べノイズの影響を大きく受けるということが分かる。したがってノイズが存在する場合では個別測定 (多数決法) を用いることが有効であるという結論に至った。今後は今回の研究を材料としノイズ影響下における最適な測定方法を作り出すことが大きな課題としてあげられる。