## 量子誤りとその検出

ノイズによる qubit の誤りは量子コンピュータの実現に向けての現在の最大の課題の1つです. それに対処するための技術が**誤り訂正**と呼ばれるものです.

誤りはノイズによって qubit の状態が予期せず変わってしまうもので、古典コンピュータの bit でもまれに起こります.しかし、量子コンピュータではエラー率がはるかに高く、計算の遂行を困難にしています.

簡単な誤り訂正の例は多数決です.例えば,古 典コンピュータでは,3回計算を行って,多い方 の結果を採用すれば,同時に2回以上誤りが起き ない限り正しい結果を得られます.(Figure 4.)

しかし,量子コンピュータには状態の重ね合わせという特徴があり,多数決のために qubit の状態が  $|0\rangle$  か  $|1\rangle$  か確かめようとすると,重ね合わせが壊れてしまいます.(Figure 5. 上)

そのため、1 つめと 2 つめ、2 つめと 3 つめの qubit の状態がそれぞれ同一か? という測定で代用するという工夫を行います.(Figure 5. 下)

また, qubit には  $|0\rangle$  と  $|1\rangle$  が反転するビット反転誤りの他に, $|+\rangle$  と  $|-\rangle$  が反転する位相反転誤りというものが存在します.この 2 つに同時に対応しなければならない,という点も量子誤り訂正を難しくしている事実の 1 つです.

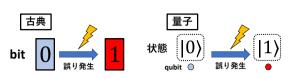


Figure 3. 古典誤りと量子誤り.

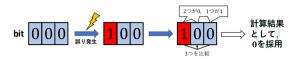


Figure 4. 多数決による古典誤り訂正.

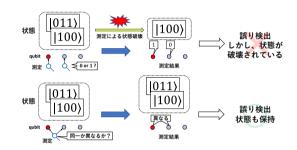


Figure 5. 量子誤り検出における測定.

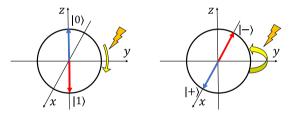


Figure 6. ビット反転誤りと位相反転誤り.

## 表面符号

現在有力と考えられている量子誤り訂正符号の1つに表面符号[1]があります。

この符号ではビット反転誤りと位相反転誤りに対して独立に対応でき、測定から誤りの推定を比較的容易に行うことができます。また、この符号において誤り推定に必要な測定は隣接する高々4つのqubitにわたる測定のみであり、物理的実装も比較的容易であるという面でも優れています。

表面符号の性質は実はトーラスの位相的な性質と 関連がある事が知られています.

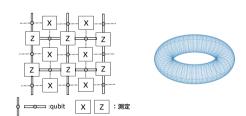


Figure 7. 表面符号. Figure 8. トーラス.

## 参考文献

[1] Bravyi, S. B. and Kitaev, A. Y.: "Quantum codes on a lattice with boundary", arXiv:quant-ph/9811052