

量子コンピューターは組み合わせ最適化を苦手とする

「古典コンピューターは0と1のビットを使って計算を行うため、100ビットのデータの中から解を見つけるには2の100乗個のパターンをすべてしらみつぶしに探す必要があり、指数時間かかる。一方で、量子コンピューターは、量子的な重ね合わせにより、2の100乗個のパターンをすべて同時に一瞬で処理することができる。したがって、2の100乗倍高速になる。」

こういう説明をメディア等において非常によく目にしますが、この説明はかなり問題です。それはなぜかということについてこれから説明します。

まず、量子計算はすごいといわれていますし、実際すごいんですが、だからといってなんでもできるわけではありません。量子計算の能力の限界については多くの研究がありますが、有名なものとして二つあります。一つ目は、「古典計算機でも指数時間かけていいなら、量子計算がシミュレートできる」ということです。したがって、量子計算は、指数時間かけて行う古典計算には勝てません。言い換えると、古典計算機でものすごくものすごく時間をかけてもいいなら、量子計算は古典計算で代用できるのです。

もう一つの有名な例が、まさに、「最初に述べたような方法による高速化は不可能である」ということです。つまり、「量子的重ね合わせを使って指数個の全てのパターンを一度に処理して一瞬で問題を解く」というのは不可能だろう、と研究者たちは考えています。これは、量子計算のかなり初期の段階からすでに研究者たちの間ではよく知られた事実です。（例えば、素因数分解アルゴリズムは94年ですが、97年の論文

<https://arxiv.org/pdf/quant-ph/9701001.pdf>

でそれが指摘されています。）

実際、量子論を習った学生ならすぐに分かるように、たとえ全てのパターンの量子的重ね合わせを作っても、解の確率は指数的に小さいですから、解を得るためには量子計算を結局指数回繰り返さねばならず、全く高速化できていません。他にももっと難解な理論に基づいた様々な結果があり、それら全て、「最初に述べたような方法による高速化は不可能」ということを支持しています。

一方で、逆に、それが可能であることを示唆する理論的結果は全く存在しません。

このような状況で、最初に述べたような間違った説明を、「量子計算がなぜ速いかの説明」

として世間一般に広く流布させるのは非常に問題ではないでしょうか？専門家たちが長年の研究により、「量子計算が最も苦手なことの一つであり絶対できないだろう」と考えていることを、何の証拠も出さずに「量子計算が最も得意とすること」といって宣伝するのは問題ではないでしょうか？

「指数爆発する組み合わせパターンを量子的重ね合わせで一括処理できる」と説明されると、じゃあ、スケジューリング、創薬、物質探索、金融等ありとあらゆる場面における指数爆発が一瞬で解決されるのではないか！なんでも高速化できる万能のコンピューターだ！という物凄く間違った方向に人々をミスリードしてしまうのではないのでしょうか。

ちなみに、有名な量子計算の研究者である Aaronson のブログ

<https://www.scottaaronson.com/blog/>

を見ると、一番上の個所に、

If you take just one piece of information from this blog: Quantum computers would not solve hard search problems instantaneously by simply trying all the possible solutions at once.

とで一んと書いてあります。

ではなぜ量子計算は速いのか、と言われると実はまだ完全に解明されていません。少なくとも、量子計算と古典計算の違いは、量子計算の場合「確率が負になる」という点だけであり、他は全く同じなので、それを利用してうまく異なる計算パスを干渉で消すことができることが本質であると思われます。しかしながら、どう干渉させれば高速化ができるのか、ということについては、素因数分解等のいくつかの具体例を除いては、一般にこうすればできる、ということはありませんし、これまで書いてきたように、万能な処方箋は存在しないだろうと研究者たちは考えています。

最後に、量子計算の計算能力の限界についてネガティブなことを書きましたので、量子計算の研究は重要でないかのように思われるかもしれませんが、それは間違いです。古典力学に基づく計算機を超えるものを作りたいのなら、量子計算機を作るか、量子論に代わる新しい物理理論を見つけるかどちらかしか選択肢はありません。そしてどちらを選ぶかといわれれば答えは自明です。量子計算の研究は、より強力な計算機を作りたいのであれば避けて通れない唯一の道なのです。それどころか、量子論は物理学者たちの長年の研究によりその正しさが検証されつくされていることや、量子計算が実現した際には多くの恩恵があることがすでに理論的に証明されていることを考えると、量子計算の研究というのはある意味もつとも手堅い投資だといえます。