

小学生でも分かる量子計算の分類：量子コンピューターには2種類ない

平成 30 年 12 月 12 日

花子ちゃんは量子計算機科学者 Q 博士の研究室があるゴッテスマン大学にやってきました。

花子：えーっと、ここか、北 F 棟の Q 号室。

花子：とんとん、博士、こんにちは。理学部棟はむさいね。

博士：こんにちは、花子ちゃん。よく来たね。ジュースでもどうだい。

花子：さっそく昨日、インターネットで量子コンピューターについてちょっと調べてみたよ。今の時代の意識高い実務家にとってホットなトピックなんだね。

博士：。。。。

博士：で、何かわかった？

花子：きいてきいて。量子コンピューターには2種類ある。一つはゲート型で汎用である。もう一つは**型で組み合わせ最適化に特化したものである。えへん。

博士：。。。

博士：花子ちゃん、そういう文章を国内のメディアのいたるところで見られるけど、**型の人たちが流布しているだけで、量子計算の専門家はそういうことはいわないよ。（ちなみに、3種類あるってのもあったよね。どこまで増えるんじやって感じだよね。）

花子：えっ、そうなんだ。そういう風に二つに分類するのは専門家の間でも一般的な、国際的な学界の定説なのかと思ってた。

博士：ううん。そんなの一度も聞いたことない。僕はずっと海外で量子計算の研究をしていたけど、最近日本に戻ってきて、海外では量子コンピューターと呼ばれているものが、国内では「ゲート型の量子コンピューター」という謎の呼ばれ方をしている、海外では量子コンピューターとは呼ばれていないマシンが2種類目の量子コンピューターということになっていて、びっくりした。

博士：じゃあ、今日はそういう分類がなぜおかしいかについて説明してあげよう。

花子：わーい。

博士：まず、そもそも、国内外の量子計算の専門家の間では、**型は量子コンピューターと呼ばれていない。その理由は、**型は、量子性を使うことにより古典計算機より高速な計算ができているという証拠がまだ無いからだよ [1, 2]。一方で、ゲート型は、いくつかの問題については、量子性を使うことにより古典計算機よりも高速に計算できることが理論的に証明されている。

花子：えっそうなんだ。**型も量子を使って速いのだと思っていた。

博士：ううん。

花子：でも、**型は汎用計算が速くできないというだけで、少なくとも組み合わせ最適化は速いんでしょ？

博士：「特化」という言葉は、高速であるという意味ではなくて、それ専用、という意味だよ。速いという意味は含まれていないよね？

花子：うわっまぎらわしい。

博士：そもそも量子計算は「組み合わせ最適化」は苦手なんだよ [3, 4]。

博士：このように、量子性による高速化が実現できているのかどうか分からないマシンを量子コンピューターと呼ぶのはよろしくないよね？

花子：量子コンピューターの定義はまだ定まっていない。国際学会で定義が制定される予定である。

博士：。。。

博士：「国際学会」の定義がどうであれ、一般の人の持つ量子コンピューターのイメージは「量子性を利用することにより古典計算機より高速な計算を実現してくれるマシン」でしょう。量子コンピューターですとって一般人に買わせておいて、後になって、「実は量子性は無いけど国際学会の定義とは矛盾しないから嘘は言っていない」とか、「実は量子性は高速化にはきいていないけど、国際学会の定義とは矛盾しないから嘘は言っていない」とかいわれたら、一般の人は怒るよね。専門的な定義は可能な限り一般の人のイメージに近いものにすべきだし、実際、現在専門家が共有して持っている量子コンピューターの暗黙の定義 [5] は、そのような一般の人のもつイメージと一致しているよ。つまり、「量子性のおかげで古典計算機では成しえないような高速計算ができるマシン」です。そうでないマシンを量子コンピューターと論文中で呼んだらまともな学術誌なら受理されないよ。

博士：ぶっちゃけ、**型の人も、論文や国際会議といった専門家の前では**型マシンを量子コンピューターと呼んでいないよ。一般の人に対してだけだよ、量子コンピューターと呼んでいるのは。

花子：そういえば、今気づいたけど、ゲート型はどの記事でもゲート型と一貫して呼ばれているけど、もう一つの**型のほうはアオール型とかニューオールネット型とか量子イキング型とか記事によってところどころ名前が変わるよね。むしろそっち側だけ先に集まって「国際会議」で定義を制定したほうがいいんじゃないの？

博士：ぶふっ（コーヒーを吹く。）

博士：また、「2種類あって一つはゲート型、もう一つは**型」と書くとあたかも**型の研究者がゲート型と同じくらい多くいるような錯覚をうけるけど、それは現状を正しく表していないよね。実際は世界的に見ても、**型の研究をしている人はほとんどいないし、量子計算の主要な学術誌や国際会議では**型の人は見ないよね。

博士：というわけで**型はそもそも量子コンピューターではないから、今後はもうこれには触れないよ。今後量子計算機とか量子コンピューターとかいった場合は、**型は含まないから注意してね。

花子：**型については分かったよ。じゃあ、もう一つの主張「ゲート型は汎用」というのも間違いなの？

博士：うーん、それ自身は間違っていないけど、なんかピントがずれているよね。まず、「ゲート型」という用語は我々は使わない。量子ゲートを次々に作用させていって量子計算を行う方法は回路モデル (quantum circuit model)、と呼ばれているよ。ゲート型、という不思議な呼び名も**型の人たちが言い出したものだよ。さっきも言ったけど、海外では普通に量子コンピューターと呼ばれているものが、なぜか国内だけでは「ゲート型の量子コンピューター」という謎の呼ばれ方をしているんだ。

花子：そうなんだ。

博士：量子計算を実行するには、量子ゲートを次々に作用させる方法以外にも、チューリングマシンを量子化した量子チューリングマシン、測定の反作用を利用して計算をする測定型量子計算、エニオンの交差によりユニタリ演算を実現するトポロジカル量子計算、ハミルトニアンを断熱的に変えることにより量子計算を行う断熱量子計算、等非常に多くのモデルがあるんだよ。そして、重要なこととして、それらは多項式時間のオーバーヘッドで互いにシミュレートすることが可能なんだ。つまり、簡単に言うと、それらの計算能力は全て等価だということさ。

花子：そうなんだ。ゲート型しか無いのかと思ってた。

博士：そう思うよね。実は量子計算には様々な方式があるわけだけど [6]、その中から回路モデルだけしか選ばずに説明すると、量子計算を実現するにはゲートを作用させるしか無いのか、という間違っただけ的印象を一般の人に与えてしまうよね。上記で述べたような様々な方法があり、どの方法が良いのかいろいろ模索しつつ、いろんな実験が行われている、という現状を一般の人にきちんと伝えるべきだよ。

花子：じゃあ、汎用というのも間違い？

博士：それは正しいよ。汎用というのは任意の量子計算が実現できるということだね。

花子：ということは、**型と比べて、ゲート型のメリットは汎用であるということなんだね？そして、ゲート型の人たちは汎用マシンの実現を目指

しているんだね？

博士：うーん。。。やっぱりそう解違いしてしまうよね。「ゲート型は汎用、**型は組み合わせ最適化に特化」と書くと、やっぱり一般の人はそう誤解してしまうよね。実はそれは正しくないよ。

博士：汎用、汎用、となぜか汎用ばかり連呼されているけど、我々からしたら、「そりゃあたしかに汎用ではあるけど、だから何？」って感じだよ。別に、汎用であることはゲート型の重大な長所というわけではない。

花子：え、そうなんだ。

博士：さっきも言ったように、(ゲート型の)量子計算は、ある種の問題については古典計算より高速であることが理論的に証明されているんだ。したがって、汎用であれば、任意の量子計算ができるので、そのように高速化が保証されている量子計算もできるわけだよ。つまり、汎用なら高速化は保証されている。しかし、汎用でなくても高速化が証明されている量子計算というのは数多くあるんだ。特に、汎用とは程遠いような非常にシンプルな量子計算機であっても高速化を理論的に証明することができ、それは量子スプレマシーと呼ばれ、現在 Google 等により実験的実現が目指されているんだ。量子スプレマシーについてはまた今度詳しく説明してあげるよ [7, 8, 9]。

花子：なるほど。つまり、汎用なら高速化は保証されているけど、高速化のためには別に汎用である必要は無いんだ。

博士：うん。そういうこと。

博士：そして、そもそも、汎用ができれば何か特別うれしい、というようなことはまだなにも知られていないよ。量子計算はまだ、高速になるような方法が数パターンしか知られていないので、それらを組み合わせて何かする、ということしかできず、汎用であることが大きなアドバンテージになるという感じではないんだよ。

博士：つまり、ゲート型の人たちがゲート型をやっている理由は汎用だからではなくて、ゲート型は古典計算機より高速であることが理論的に証明されているからだ。汎用であることは事実だけど、別にそれは何か取り立てて騒ぐことでもないし、なぜ汎用であることばかり強調しているのかさっぱり分からないよね。

花子：なるほどー。「汎用」ばかり強調すると、現在の量子計算の研究者が何を狙っているのかが一般の人に正確に伝わらなくなってしまうね。

博士：まとめると、方式の違いがどうだの、専用機か汎用機かの違いがどうだの、いろいろいわれているけど、本質的に一番重要な違いは、一方は量子を使って古典より高速な計算ができることが理論的に示されている、もう一方はそういう証拠が無い、というところだよ。

参考文献

- [1] J. Preskill, Quantum 2, 79 (2018).
- [2] <http://www.theory.caltech.edu/~preskill/talks/Preskill-Q2B-2018.pdf>
- [3] <http://tomoyukimorimae.web.fc2.com/nigate.pdf>
- [4] http://tomoyukimorimae.web.fc2.com/query_complexity_j.pdf
- [5] いままで量子コンピューターの明確な定義がなかった理由は、量子性により高速化が実現できていないようなマシンを量子コンピューターと呼ぶ人がこれまでは出てこなかったからです。別に、専門家の間でも意見が分かれている、とかそういう話ではありません。
- [6] ここでいう「様々な方式」には**型は含まれていない。
- [7] http://tomoyukimorimae.web.fc2.com/q_supremacy.pdf
- [8] <http://tomoyukimorimae.web.fc2.com/90.pdf>
- [9] 量子計算理論、森前智行、森北出版