

量子コンピュータ教科書に見る図の分類

Classification of diagrams in quantum computer textbooks

笹倉万里子* 岩田健一†

Mariko Sasakura Kenichi Iwata

1 はじめに

量子コンピュータは次世代のコンピュータアーキテクチャとして注目を集めている。しかし、量子コンピュータの動作原理は量子力学を基礎としており、理解が難しい。また、量子コンピュータの特性を活かした量子アルゴリズムは、従来のコンピュータのプログラムの考え方とは大きく異なり、これもまた理解が難しい。

一般に、理解が難しい概念や複雑なデータを理解しやすくするために、視覚化、つまり図を用いるというアプローチが行われることが多い。例えば、数値データの傾向を見やすくするために折れ線グラフや円グラフを用いることは日常的に行われている。ドラマの登場人物の関係を示すために相関図を用いることもよくある。一見するとわかりにくい情報やそれらの情報の間の関係を図を用いることで理解を助けるという手法は、今日では非常にありふれた手法といえることができる。

従来のコンピュータの動作原理とは異なる量子コンピュータやその量子コンピュータ上で動作する量子アルゴリズムの考え方の理解を支援するために図を利用しようとするのは自然な発想であると思われる。しかし、実際にどのような図を用いれば理解支援となるのかは自明ではない。

本研究では、量子コンピュータおよび量子アルゴリズムの教科書で、どのような図が使われているかを調査し、それを大まかに分類する。その結果を、量子プログラミングの教育支援としてどのような視覚化手法が適切かを考察する一助とする。

2 図の分類区分

量子の考え方を表現する方法として使われる代表的なものは数式と行列表現である。これらも視覚化手法の一種である。ただ、それを理解するには知識が必要であり、直観的に理解できるものではない。

量子コンピュータのプログラムを表現する方法として量子ゲートの図を用いる方法がある。これは従来の論理ゲートからの連想で作られたもので、行列表現と対応しており、優れた視覚化手法であると言える。ただ、量子ゲートで表現された量子プログラムを理解するのに知識が必要であり、また、複雑な図になることが多い。

そこで、本研究では、数式、行列表現、量子ゲートを除いた、他の図表現が量子コンピュータおよび量子アルゴリズムに関する書籍でどの程度使われているのかを調べる。図をおおまかに以下の3つに区分して教科書等にどのくらい出現するかを調べる。

1. 量的グラフ：棒グラフ・折れ線グラフなどの量的データを表す2次元もしくは3次元グラフ。
2. 概念図：ノードとエッジで表されたグラフやイラスト等抽象的な概念を表す図。
3. その他：上記どちらもにも当てはまらないもの。またこの中をさらに以下の3つに細分化する。
 - (a) プロット
 - (b) ベクトル表示 (2次元)
 - (c) その他

3 結果と考察

今回調査を行ったのは参考文献にあげた4つの英文の書籍である。特に Nielsen らの本 [3] は標準的な教科書として広く知られている。これらの書籍について、2節に示した分類にしたがってどのくらい図が掲載されているかを調べた。この調査では図が掲載されているページ

* 鳥取大学国際乾燥地研究教育機構, International Platform for Dryland Research and Education, Tottori University

† 鳥取大学情報戦略機構, Organization for Information Strategy and Management, Tottori University

表 1 それぞれの本における図の出現回数

	量的グラフ	概念図	その他		
			ブロッホ球	ベクトル表示	その他
文献 [1] (189 ページ)	0	9	0	3	0
文献 [2] (334 ページ)	7	5	4	1	0
文献 [3] (648 ページ)	9	23	6	1	1
文献 [4] (372 ページ)	5	31	2	2	0

表 2 それぞれの本における図の出現回数 (100 ページあたり)

	量的グラフ	概念図	その他		
			ブロッホ球	ベクトル表示	その他
文献 [1] (189 ページ)	0	4.76	0	1.59	0
文献 [2] (334 ページ)	2.10	1.50	1.20	0.30	0
文献 [3] (648 ページ)	1.39	3.55	0.93	0.15	0.15
文献 [4] (372 ページ)	1.34	8.33	0.54	0.54	0

数を数えている。すなわち、一つのページに複数の図が掲載されていても出現回数は 1 としている。

調査の結果を表 1 と表 2 に示す。表 1 は、実際の出現回数を示している。それぞれの書籍によってページ数が違うので、その出現回数を 100 ページあたりに換算したものが表 2 である。

この表を見ると、文献 [2] 以外は量的グラフよりも概念図の方を多く使っていることがわかる。量子の動きは、シンプルな棒グラフや折れ線グラフで示すことは難しいので、量的グラフが少なくなると考えられる。実際の書籍に掲載されていた量的グラフはほとんどが、量子を観測した場合にどの状態になるかの確率を棒グラフとして示したものであった。

ブロッホ球は、量子力学で一般的に使われている視覚化法で、量子の重ね合わせ状態を表す図である。4 つの書籍のうち 3 つにはブロッホ球の図があるが、それほど多用されているわけではない。

ベクトル表示は、量子の状態を行列で表したものをベクトルとして図示したものである。これも使われているが、それほど多用はされていない。

全体的にもっとも多く使われているのは、概念図である。量子とその振る舞いに関する概念の理解が難しいため、その理解を促進しようとして多くの概念図が使われていることがわかる。概念図とは例えば、状態遷移図、集合を表すベン図、木構造を表す図などである。中には全くのイラストも含まれている。

4 おわりに

量子コンピュータに関係する 4 つの書籍において、図がどの程度使用されているかを調べた。調査の結果、多くの図が使われていることがわかった。具体的なデータに関する図よりも、概念を説明するための図が多く使われていることがわかった。

多くの図が使われているが、それにより概念の理解が促進されたかどうかは定かではない。今後は、これらの図が概念の理解を支援することができるのかを調べるとともに、より理解支援を促進する図はどのようなものかについて研究を進めていきたい。

参考文献

- [1] Chris Bernhardt, *Quantum Computing for Everyone*, The MIT Press, 2019.
- [2] Robert Hundt, *Quantum Computing for Programmers*, Cambridge University Press, 2022.
- [3] Michael A. Nielsen and Isaac L. Chuang, *Quantum Computation and Quantum Information*, Cambridge University Press, 2016.
- [4] Noson S. Yanofsky and Mirco A. Mannucci, *Quantum computing for computer scientists*, Cambridge University Press, 2008.