

量子アルゴリズム論文に見る図解表現の機能と形式

Graphical representation in quantum algorithm papers

笹倉万里子* 岩田健一†
Mariko Sasakura Kenichi Iwata

1 はじめに

一般に、図を使うと、わかりにくかった概念のイメージを掴みやすくなると言われている。筆者らはわかりにくい概念の例として量子コンピュータを取り上げ、量子コンピュータの教科書にどのような図が使われているかを、4つの英文書籍について分析した [1]。その結果、教科書においては、「概念図」すなわち、ノードとエッジで表されたグラフやイラスト等の抽象的な概念を表す図が多く使われていることがわかった。これは、教科書という、比較的初心者を対象とした書物であるからではないかと推測される。それでは、論文ではどうだろうか。

論文の場合は、教科書と違って、基本的には専門家を対象として書かれているので、「概念図」の使用は少ないのではないかと予想される。それを、実際にある分野の論文について調べてみるのが本研究の目的である。

本研究では、教科書ではなく、論文、特に量子アルゴリズムの論文を対象とし、そこでの図解表現としてどのようなものが多く使われているかを分析し、その機能を考察する。図解表現とは、一般的には図やグラフなどを指すが、コンピュータサイエンスにおける視覚化 (visualization) の分野では、一般に文章以外の表現をすべて視覚化表現と考える。本論文では、数式、表も図解表現の一種として扱う。

2 調査対象

本研究では、量子アルゴリズムをまとめた Web ページである Quantum Algorithm Zoo [2] の日本語訳である Quantum Algorithm Zoo 全訳 [3] に掲載されている論文のうち 159 本を調査する。Quantum Algorithm Zoo

[2] は現在も更新され続けているが、日本語訳は 2018 年に行われたものなので、本研究の調査対象となっている論文は 2017 年までに発表されたものとなっている。

Quantum Algorithm Zoo 全訳では、紹介するアルゴリズムを「代数アルゴリズム、数論アルゴリズム」「オラクルアルゴリズム」「近似アルゴリズム、シミュレーション」の 3 つに分類している。本論文ではそのうち「代数アルゴリズム、数論アルゴリズム」全部と「オラクルアルゴリズム」の一部の論文のに対して行なった調査の結果を報告する。なお、調査の際、60 ページを超えるものは、書籍の性格があるとみなし、調査対象から外している。また、本文にアクセスできなかったものも調査対象から外している。

3 図の分類区分

教科書に関する調査 [1] では、図をおおまかに量的グラフ、概念図、その他に分類して調査を行った。その結果、予想より概念図が多く使われているということがわかった。

本研究では、量子アルゴリズムの論文を対象とするので、図を以下の 7 つに分類する。

1. 数式
2. 表
3. 量的グラフ (折れ線グラフ等)
4. 説明図
5. イラスト
6. 量子回路図
7. アルゴリズム表現

説明図とイラストは、教科書に関する調査 [1] で概念図と一つに分類していたものを二つに分けた。ここでいう説明図とは、たとえばノードとエッジによって描かれたグラフのように、物あるいは概念の関係を端的に示すために書かれる図のことである。イラストとは、ここでは

* 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 図解表現を使った論文の数

	全論文数	数式	表	量的グラフ	説明図	イラスト	量子回路	アルゴリズム
分野 1	47	47	17	6	16	0	10	22
分野 2	117	117	24	14	31	0	8	37
全体	159	159	40	20	45	0	17	56

イメージ的に図を書いたものを示す。量子アルゴリズムの教科書ではここでいうイラストに相当するののを使った本があったことが特徴的であった。

本研究で対象とするのが量子アルゴリズムの論文であるため、論文の中でアルゴリズムが書かれていることがしばしばあった。アルゴリズム表現も視覚化の一種と考えられるので、本研究では図解の分類の一つとして挙げている。

4 結果と考察

調査の結果を表 1 に示す。対象としたのは、159 本の論文である。Quantum Algorithm Zoo 全訳 [3] で「代数アルゴリズム、数論アルゴリズム」に分類されている論文を分野 1、「オラクルアルゴリズム」に分類されているものを分野 2 としている。分野 1 は代数問題や数論問題を量子コンピュータを用いて解くアルゴリズムに関連した論文である。分野 2 は、入力に対してある決まった規則で出力を返す「オラクル」があったとき、そのオラクルに対する問い合わせを最小限にするようなアルゴリズムに関係する論文である。分野 1 が問題の分野で分けられたものであるのに対し、分野 2 はアルゴリズムの方法の種類によって分けられたものであるため、この二つの両方に該当する論文も存在する。今回の調査対象となった論文のうち 5 本が分野 1 でありかつ分野 2 である。そのため、分野 1 と分野 2 の論文数の合計は全体の論文数の合計より 5 本多くなっている。

予想通り、イラストが含まれる論文はない。論文の場合、数式による表現が主流であろう予想していたが、すべての論文において数式は使われており、その予想は裏付けられた。説明図が含まれている論文は全体の 28.3% で、量的グラフが含まれている論文は全体の 12.5% であった。量子アルゴリズムの動きには、確率的なものが多いので、実際の実験から得られる量的グラフより説明図を用いて説明されることの方が多いのではないかと推

測できる。

意外に多かったのが、アルゴリズム表現で、全体の約 1/3 の論文で使われていた。量子アルゴリズムは、従来のアルゴリズムとは異なり、必ずしも手順を示すものではないものも多い。この表でのアルゴリズム表現というのは、従来のアルゴリズムを記述するような擬似コードによるアルゴリズムの表現のことを指しており、量子アルゴリズムの論文でもかなり使われていることは興味深い。

調査した論文の中で、数式のみが含まれているもの、数式以外の図解表現が一つ含まれているもの、数式以外の図解表現が二つ以上含まれているものを数えたところ、それぞれ 50 本、59 本、50 本であった。数式以外の図解表現を用いている論文が約 2/3 であった。

5 おわりに

Quantum Algorithm Zoo 全訳 [3] に掲載されている論文のうちの 159 本について、どのような図解表現が用いられているかを分析した。量子アルゴリズムの論文であっても、数式だけで説明するものは全体の約 1/3 であり、それ以外の多数の論文ではその他の図解表現を使って読者の理解を深めようとしていると推測できる。

参考文献

- [1] 笹倉万里子, 岩田健一, 量子コンピュータ教科書に見る図の分類, 2024 年 情報科学技術フォーラム (FIT), D-002, 2024.
- [2] Stephen P. Jordan, Quantum Algorithm Zoo, <https://quantumalgorithmzoo.org> (2025 年 6 月 12 日閲覧).
- [3] Quantum Algorithm Zoo 全訳, <https://www.qmedia.jp/algorithm-zoo/> (2025 年 6 月 12 日閲覧).