

# 量子プログラム自動採点システムの開発による量子人材育成及び 量子プログラムの巨大データセット作成 —Qookbook: 量子コンピュータ学習のための Web サービス—

## 1. 背景

量子人材の不足が社会問題となり、新たな量子人材を育成すべく様々な教育プログラムが開発されている。これらの教育プログラムでは、主に講義ベースでの教育が進められている。講義ベースでの学習は一定の教育効果を上げることが期待できる一方で、教える側の人材不足や理解度を測る機会の不足など、様々な問題を有している。

これらの問題を解決するためには、講義ベースに限らない新たな学習方法を確立する必要がある。遠隔/録画講義や標準カリキュラムの検討など様々な視点からの取り組みがなされているが、これらの手法は教員から学生への一方通行的な知識の伝授になってしまうため、学習効率を上げるためには学生から教員への質問の機会が別途必要になり教員の人手を要してしまう。理想的な学習方法は、学生が一人で自走して深い知識を正しく身に付けることができるような学習方法である。

## 2. 目的

本プロジェクトの主目的は、ソフトウェアエンジニアや情報系の学生/研究者といった、古典コンピュータ上で動作するプログラムを書くための訓練を受けてきた人材にとって効率的な学習方法を提案し、実際に利用していただくことである。情報系の人材はプログラムを記述することが得意な一方で、物理学の知識は人によって異なることが想定される。そのため、必要な物理学の知識をフォローしながらプログラミング主体で学習していく手法を確立することが必要である。

本プロジェクトの副目的は、量子に関係するプログラムを収集しデータベース化することで、教育学やソフトウェア工学的な分析を行うための基盤を構築することである。これまでの教科書などによる学習は、学習成果を低頻度のテストや課題で測るほかになく、学習過程でどのような思考の動きがあるのかを見ることができなかった。本プロジェクトはその学習過程を細かい単位で明らかにし、もって量子プログラミング特有の思考方法を明らかにするための基盤を作り出すことを一つの目的としている。

## 3. ソフトウェア開発内容

本プロジェクトでは、自動採点システムを用いた効率的な学習ができる Web サービス Qookbook(クックブック)を開発し公開した。Qookbook の特徴は高頻度な演習問題と自動採点によって一人でも着実に学習を進めていける点にある。テキストを読み進め、演習問題に辿り着いた時には演習問題の要求を満たすプログラムを記述して自動採点システムに提出する。提出されたプログラムは迅速に評価され、採点結果としてフィードバックされるため概念の理解度を簡単に確認することができる。これらの機能は Web ブラウザ上のみで完結するように作成されているため、煩雑な環境構築作業を行うことなくすぐに学習に取り組むことができる。



図 1: テキスト/演習問題表示画面

## Qookbook による学習

Qookbook で最も表示される画面は図 1 に示すテキスト/演習問題表示画面である。画面の左側にはテキストや演習問題の文章が表示されており、自由にスクロールして文章を閲覧することができる。画面の右上にはプログラムエディタが表示されており、Python でプログラムを記述することができる。画面の右下にはツール群が表示されており、Python コードを Web ブラウザ上で実行することや、自動採点システムへの Python コードの提出、採点結果の表示などが可能である。

ユーザーはこの画面を操作することによって学習を進めていく。左側のテキストなどが表示されている部分は内部的に複数のページ構成となっており、上部にあるページ番号を押すことで文章を読み進めていくことができる。演習問題のページに入ると右側のプログラムエディタにテンプレートコードが読み込まれる。ユーザーは与えられたテンプレートコードを改変することによって演習問題の解答を作成し、Web ブラウザ上で Python コードを実行することで動作確認を行い、満足がいく出来になれば自動採点システムに提出する。提出されたプログラムは迅速に採点され、採点結果がユーザーの画面に表示される。採点結果が正解であった場合には次のテキストを読み進め、採点結果が不正解であった場合にはテキストを読み返すなどしてもう一度概念を学びなおすことで、高速かつ着実に学習を進めていくことができる。

提出された Python コードは収集され、採点結果と共に閲覧可能な形で残される。この機能により、ユーザーは自分が作成した Python コードと他人が作成した Python コードを見比べ、可読性の高いコードの書き方などの様々な知識を吸収することが可能となる。その他にも近年発展しているコード生成 AI の学習データに利用するなど、様々な用途が考えられる。これらの有意義な活動に、ユーザーは演習問題を解きプログラムを提出するだけで貢献することができる。

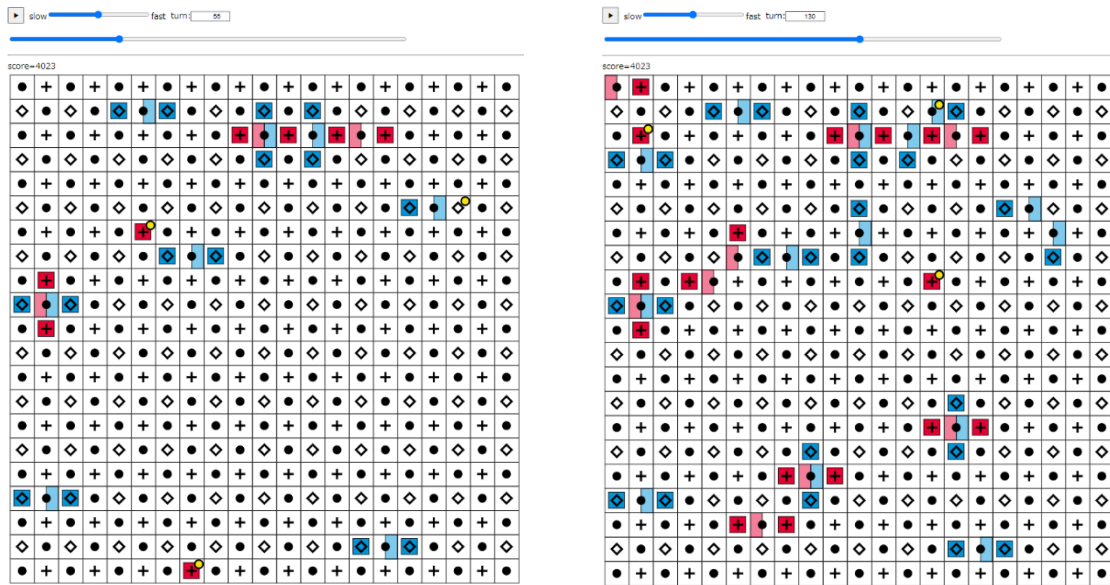


図 2: ビジュアルライザの画像

## コンテスト開催

Qookbook では学習した内容を実践的に試す場として Quantum x Heuristic Contest 001(QHC001) を 2024 年 1 月 14 日 13:00~17:00 に開催した。コンテストの題材は表面符号による量子誤り訂正としており、低レイヤ技術寄りではありながらも親しみやすい内容を取り上げている。

QHC001 の大きな特徴は、ビジュアルライザ(可視化ツール)が提供されており解答プログラムの性能を見やすく可視化することが出来る点である。ビジュアルライザで表示される画面の例を図 2 に示す。ビジュアルライザは、混入した誤りの種類や場所、解答プログラムによる量子誤り訂正の結果をアニメーションとして表示する。ビジュアルライザを利用することで、解答プログラムが訂正できていない誤りが発見できる。この情報を元に解答プログラムを改良し、再度ビジュアルライザで結果を確認する、という繰り返しによって段階的にプログラムを改良していくことができる。

QHC001 では、Qookbook の機能を利用することで快適なコンテスト体験が得られる。最初に画面を開いた時には QHC001 用のサンプルコードが予め読み込まれた状態で表示され、Qookbook の Web ブラウザ上で Python コードを実行する機能を利用することですぐにビジュアルライザを利用することができる。問題に立ち向かうための手がかりがあるという点で、ヒントなしで問題に取り組む場合と比較してより快適にコンテストに没入することが可能となる。

提出プログラムの採点基準は問題文中に明示されており、客観的な指標を用いて公平に評価される。自動採点システムによって、提出プログラムを同一実行環境下で同一入力を用いて採点することが可能となる。この方法では、ユーザーが所有するマシン性能や運などといった実力以外の要素に影響されることなく、純粋な力を評価することができ、コンテストとして求められる競技性を担保している。

#### 4. 新規性・優位性

Qookbook は単純な量子版競技プログラミングコンテストシステムに留まらず、自動採点システムを活用した新たな学習方法の可能性を実証しており、既存サービスと一線を画すサービスとなっている。競技プログラミングに利用される技術は、コンテストによって成績を評価するという用途の他にも多様な用途が存在する。Qookbook では教育面での活用方法を探求し、高頻度な演習問題への解答によって確実に実力を付けていくという学習方法を提案した。その有用性は、自動採点システムに対して 5000 件を超える提出がなされたという実績からわかるように非常に高い。

育成された量子人材がコンテストによって腕を競い磨き合う、というエコシステムもまた Qookbook の魅力である。コンテストでより良い成績を挙げるという目標意識は学習意欲を駆り立てる。また、コンテストの内容として実問題を扱い、コンテストの成果物が直接的に活用されるという構図を作り出すことで、コンテストに取り組むことが腕を競い合う娯楽のみならず量子コンピュータ開発への貢献となることが期待される。QHC001 においても上位層は短時間で工夫されたヒューリスティクス解法を実装しており、最適化技術に優れた人材の考え方を量子コンピュータの世界に導入するという面で Qookbook のエコシステムの重要性は極めて高い。

#### 5. 期待されるユーザー価値と社会へのインパクト

Qookbook は既に 600 人以上のユーザーにご利用いただき、量子コンピュータに関する知識を身に付けた人材を輩出している。提出データの分析から、演習問題を解くことによって概念理解の誤りを発見し、再学習によって正しい知識を身に付けたと推測されるユーザーがいらっしゃるということがわかった。つまづきを早期に発見し対処することは学習効率の向上に重要であり、学習内容に対するユーザーの満足度を大きく引き上げる。そのため、ユーザーは Qookbook を利用することで従来の学習方法と比較してより短い時間で濃密な学習体験を得ることができ、高いユーザー価値を持つ。

Qookbook の利用が拡大することで、量子コンピュータの知識が一般に普及し、最先端の研究開発に挑む人材が増えることを期待している。資金があったとしても、優れた人材がいなければ開発を大きく進めることはできない。私は、物理学者だけでなく情報系を含む多様な人材が集い、知恵を出し合うことで研究開発が飛躍的に進みより良い未来を作り出せると信じている。その第一歩を踏み出すための機会を創造するという点で、Qookbook が及ぼす社会へのインパクトは計り知れないものがある。

#### 6. 氏名（所属）

青山 昂生（大阪大学大学院情報科学研究科）

（参考）関連 URL

制作物 Qookbook: <https://qookbook.net>