

# クラウド型 Jupyter Notebook 環境を用いた R プログラミング教育

八百幸 大\*1・吉田 賢史\*1・劉 雪峰\*2・齋藤 裕\*3

Email: yaoko@waseda.jp

\*1: 早稲田大学高等学院

\*2: 東京女子大学

\*3: 新潟大学

◎Key Words R 言語, クラウド環境, Jupyter Notebook, 授業外学習, 実技試験

## 1. はじめに

本研究では、高校情報科のプログラミングやデータ分析の授業において R 言語を用いる際に、従来のローカルな Rgui 環境と、クラウド型の Jupyter Notebook 環境を使用した場合で、生徒の学習に対する姿勢や、授業運営の効率性（課題提出・採点管理や授業外学習の継続性）にどのような変化が生じるかを明らかにすることを目的としている。

ここでは、生徒における授業外での自主的なプログラミング演習の実施状況（自宅など学外でのプログラミング課題への取り組み）と、教員における通常の課題回収や、授業内に実施する実技試験の実施での作業時間や負担感について検討する。

## 2. 背景

### 2.1 本校のカリキュラムと R の使用

早稲田大学高等学院では、高等学校で教科「情報」が 2003 年から設置された当初から、1 年次、2 年次で各 1 単位を配当してきた。1 年次では座学中心で、情報倫理や著作権、情報科社会についてだけでなく、コンピュータや情報ネットワークの仕組み、それに付随する情報科学、情報技術の内容を扱っている。それに対して、当初 2 年次では HTML や CSS による Web ページ作成と、Excel による統計処理やグラフの作成を扱っていた。

しかし、2022 年度から施行された現行の学習指導要領において、コンピュータプログラミングが必修になることから、2017 年度から HTML をやめて、新たにプログラミングを扱うことにした<sup>1)</sup>。そこで用いるプログラミング言語について内部で議論があったが、プログラミングだけでなく様々なデータ分析ができること、グラフ作成などのデータの可視化に秀でていることから、最終的には R を採用した。当初、R はプログラミング言語として複雑である、統計処理に特化した言語であることを理由に難色を示す意見もあった。しかし「プログラミングの授業に対する楽しさや、プログラミングに対して感じる難易度は、プログラミング言語には依存しない可能性があると考え<sup>2)</sup>」という意見があること、大学に進学した際にデータサイエンスの授業で R を使用する学部があることから、現時点では授業で R を用いることには意義があると考えている。

### 2.2 コンピュータ室の環境

本校のコンピュータ室は、早稲田大学により管理されており、大学と同じ環境のパソコンが設置されている。大

学のパソコンは様々な授業に対応するため、導入ソフトウェアが豊富で、その標準環境の 1 つとして R が搭載されている。

また、コンピュータ室のパソコンは、学内 LAN 上のネットワークドライブが構築されている。主な用途としては授業資料を保存する、授業内でログインしている受講生が協働作業を行う、授業における成果物を提出するなどがあり、それぞれのフォルダが用意されている。このネットワークドライブを用いて、授業時にファイルのやり取りをすることが可能となっている。

### 2.3 生徒の学習環境

本校では、中学部では 2021 年度から、高校では 2024 年度から推奨スペックを指定して BYOD 端末を購入し、LMS による学習管理や、レポート作成やプレゼンテーションなどの授業内や課外活動で活用できるようにしている。BYOD 導入以前は、提出課題などでパソコンを使用する必要がある場合、生徒自身が端末を所持していなければ、主な選択肢として、コンピュータ室に設置された端末を用いるか、家庭で共有するパソコンを使用するかに分かれる。しかし、コンピュータ室の使用は時間が限定されており、家庭内のパソコンは必ずしも生徒自身が希望するタイミングで使用できるとは限らない。また、家庭内のパソコンは、他の家族が使用するために自分自身の作業ができないことも考えられる。そのため、例えばプログラミングの課題を出題したとしても、予習や復習などを含めて満足に行うことができないことがあると考えられる。

また、BYOD 端末導入によって、自由な時間の中で、可能であればインターネットに接続可能な環境のもとで Web 上での情報検索やレポートの作成などが可能になった。しかし、プログラミングやデータ分析に関しては、その環境を自身で設定できるだけのコンピュータリテラシーを備えているかについては保証されていない。自分のパソコンを所持している場合、その機材でプログラミングなどの課題ができないことも考えられる。また、プログラミングなどの作業を効率的に行うための統合開発環境を構築することも困難なことが考えられる。

### 2.4 プログラミング実技試験

2 年次においては、各学期に 1~2 回、R 言語を用いたプログラミング、統計処理、ならびにデータの可視化に関する実技試験を実施している。具体的には、配布された問題用紙および作業用 R ファイルに記載された指示に従い、R を用いて、指定条件に一致するデータフレームからの

レコード抽出、基本統計量の計算、グラフの作成、ならびにプログラミングコードの作成を行わせている。

従来は、解答のコードを記述した R ファイル、作成したグラフを貼付したドキュメントファイル等、複数のファイルを生徒から回収していた。その際、各ファイルの内容を突き合わせて評価する作業が煩雑であった。また、ファイル提出に際しては、生徒にネットワークドライブ(2.2節で述べた「課題提出用」フォルダ)にファイルを提出させ、それを教員が USB メモリに保存するという手順を踏んでいた。

しかし、教員用端末をシャットダウンすると「課題提出用」フォルダ内のデータが揮発する仕様であり、回答ファイルの保存を失念した場合には、試験の再実施を余儀なくされる事態が発生する。実際に、過去にはこのようなトラブルが複数報告されている。

### 3. CES-Alpha について

そこで、本校では、2.3 節で述べた生徒の学習環境の改善や、2.4 節で述べたプログラミング実技試験における課題提出や評価作業、試験実施に関する問題点を解消するため、クラウド型プログラミング環境「CES-Alpha」の導入を行った。

CES-Alpha は、数理・プログラミング教育に特化したクラウドベースの教育支援システムである。本システムは、ブラウザ上で動作し、プログラミング課題の自動採点機能、AI による学習サポート機能、数学演習問題の自動出題および自動採点機能などを備えている。特に、Jupyter Lab を基盤とした統一的なクラウドプログラミング環境を提供しており、インターネット接続さえあれば、利用端末の性能に依存せず、Python、C 言語、Java、Julia、R など複数のプログラミング言語に対応している。

加えて、本校では CES-Alpha における「試験実施モード」(開発中機能)を用いて、プログラミングの実技試験を実施している。このモードでは、通常的环境とは異なる仮想マシン上に試験環境を構築し、以下の手順で運用される。

まず、生徒には試験実施モードの初期画面を表示させ、教員側の操作画面から各生徒に対して試験用 Jupyter Notebook の URL を提示する。生徒は画面のリロードを通じて試験用 Notebook を起動し、試験を開始する。試験終了時には、教員側の設定により該当 URL の表示を停止し、各生徒にはファイルの上書き保存と Notebook の終了を促す。これにより、生徒によるファイル編集が以後不可能となる。

その後、教員側が「回収」ボタンを押下することにより、各生徒の仮想マシンから回答ファイルが自動的に回収され、zip 形式で圧縮された上で教員が一括してダウンロードする仕組みが構築されている。仮想マシンのシャットダウン後も、成果物ファイルはサーバ上に保持されるため、従来のように端末シャットダウンによりデータが失われる心配はない。また、ファイル回収が完了するまでは、教員側の操作画面にダウンロード機能が表示されないように設計されており、データ安全性も確保されている。

## 4. 新環境導入による影響

### 4.1 生徒の学習行動に関する変化

#### 4.1.1 学習へのアクセス性と質問機会の増加

CES-Alpha 導入以降、生徒から R 言語に関する質問数の増加が確認されている。従来、ローカル環境で R を使用する際には、プログラミング環境の構築や設定ミス、動作不良などが生徒の学習意欲を削ぐ要因となっていた。しかし、ブラウザベースで統一された Jupyter Notebook 環境の導入により、技術的な障壁が低減され、プログラミング学習そのものに意識が向くようになった。これにより、授業中、または授業時間外においても、生徒が積極的に質問を行う傾向が見られるようになった。

#### 4.1.2 課題の質的向上と試行錯誤の促進

クラウド環境の安定性と再現性は、生徒が継続的に試行錯誤を行うことを可能にし、提出される課題の完成度向上にも寄与している。具体的には、構文エラーの減少、視覚的に優れたグラフの作成、変数名や関数設計への工夫などが観察されている。これらは、学習活動における「中断のなさ」と「即時確認」の効果により、フィードバックの質と速度が改善されたことに起因する可能性が高い。

#### 4.1.3 自主学習機会の拡大と習慣化の兆し

実技試験を控えた期間を中心に、生徒による自発的な復習やプログラミング演習が増加する傾向が確認されている。特に、放課後や週末の時間帯におけるクラウド環境へのアクセスを注視すると、授業外での学習活動の活発化が読み取れる。これは、BYOD 端末とクラウド環境の併用により、学習の時間的・空間的な制約が緩和されたことが大きく寄与していると考えられる。

また、一部の生徒においては、授業外でも積極的に情報科の課題に取り組む様子が見られる。これは、プログラミング学習が生徒の興味関心と結びつきやすく、クラウド環境によるアクセスの容易さが、自然と学習意欲を日常生活へと広げる要因となっていると考えられる。このような学習行動の広がりには、学習の習慣化と主体的な学びの定着を促すものとして、今後の教育実践において注目すべき変化といえる。

### 4.2 教員側の授業運営に関する変化

#### 4.2.1 環境構築負担の軽減と DX による教育効率化

クラウド型 Jupyter Notebook 環境の導入により、教員の授業運営に関して顕著な改善が確認された。従来のローカル環境では、家庭学習を実現するために、教員は生徒各自の端末への R 言語環境のインストール指導を行う必要があった。しかし、CES-Alpha 導入後は、ブラウザベースでの統一環境が提供されるため、こうした技術的な指導が不要となり、教員は本来の教育内容に専念できるようになった。

#### 4.2.2 クラウド化による作業効率向上

課題提出・回収プロセスにおいても大幅な効率化が実現された。従来は、生徒が LMS へのアップロード・ダウンロード操作や、電子メールへのソースファイル添付など、煩雑な手順を経る必要があり、これらの技術的トラブル

ルへの対応も教員の負担となっていた。クラウド環境では、生徒は自宅でも学校と同一の環境で学習を継続でき、ファイル管理に関する余分な操作が排除されることで、学習の本質的部分により集中できる環境が整備された。

#### 4.2.3 実技試験運営の改善

実技試験の実施においては、特に劇的な改善効果が確認された。従来の運営では、教員は生徒一人ひとりの答案ファイルを手元の R 環境で個別に開き、プログラムを実行して動作確認を行う必要があった。さらに、各採点作業時には R のカーネル再起動が必要であり、採点作業に相当な時間を要していた。

これに対して、CES-Alpha の仮想サーバ環境では、回答ファイルの自動回収機能により、教員の手動によるファイル収集作業が完全に自動化された。また、統一された実行環境下での採点により、環境依存による動作不具合のリスクが排除され、採点作業の時間的負担が大幅に軽減された。

### 5. おわりに

今後の課題として、教育効果の向上と試験の信頼性確保を目的とした以下の機能拡張が必要である。

第一に、Safe Exam Browser (SEB) との連携によるセキュアな試験環境の構築である。SEB は、オンライン試験を安全に実施するための専用ウェブブラウザ環境であり、コンピュータを一時的にセキュアなワークステーションに変換する機能を持つ。具体的には、画面全体を占有し、選択肢選択やテキスト入力など試験受験に必須な操作以外のすべての操作をトラップし、ローカルファイルや Web の参照、ローカルアプリの実行を禁止することで、カンニング等の不正行為を効果的に防止できる。Moodle と CES-Alpha の連携により、プログラミング実技試験においても高い公正性を担保した評価が実現される。

第二に、演習機能の充実である。現在の基本的なプログラミング環境に加えて、段階的な学習支援機能、自動ヒント機能、コードの部分実行機能等を実装し、初学者から上級者まで幅広い学習ニーズに対応できる環境を構築する必要がある。

第三に、学習進捗レポート機能の導入である。生徒個人の学習時間、課題の取り組み状況、プログラムの実行回数やエラー頻度等を可視化し、教員が個別指導の必要性を客観的に判断できるダッシュボード機能の実現が求められる。これにより、データドリブンな教育指導が可能となり、学習者一人ひとりに最適化された教育支援が実現される。

長期的には、AI 技術を活用した自動的なコード添削機能、個別学習パスの提案機能等の実装も視野に入れている。これらの取り組みにより、情報教育における個別最適化と教育効果の最大化を追求していく。

### 6. 謝辞

本稿は、早稲田大学特定課題研究助成費（課題番号 2025C-626）による研究成果の一部である。

また、システムの改善・開発において、高等学院と CES-Alpha 者の間に立ち、的確な要件定義をしてくださった早稲田大学 理工学術院 国際理工学センターの田中一成氏

に深謝の意を表します。

### 参考文献

- (1) 八百幸大, 荒巻恵子, 武沢護, 橋孝博, 金田千恵子, 斎藤翔一郎: “協働学習における評価の検討Ⅱ —プログラミング学習におけるループリックによる評価の提案—”, 2017PC カンファレンス論文集, pp.145-146, (2017).
- (2) 井手広康: “情報 I における micro:bit を用いたプログラミング教育の学習意欲に関する比較調査”, 情報処理学会論文誌「教育とコンピュータ」, Vol.10, No.2, pp.1-11 (2024) .
- (3) CES-Alpha : “CES-Alpha 機能”, <https://www.ces-alpha.jp/services> (2025 年 6 月 30 日閲覧).