

大学初年次を対象としたデータサイエンス科目における MCJ-CloudHub の実践活用

矢吹 溪悟¹⁾, 齊藤 智也¹⁾, 大江 和一²⁾, 西井 淳¹⁾, 岡田 耕一¹⁾, 爲末 隆弘¹⁾, 王 躍¹⁾,
リーラーラク スキット¹⁾, 丹生 智也^{2),3)}, 竹房 あつ子^{2),4)}

1) 山口大学

2) 国立情報学研究所

3) 国立遺伝学研究所

4) 総合研究大学院大学

info-cc@ml.cc.yamaguchi-u.ac.jp

Practical Uses of MCJ-CloudHub in Data Science Courses for First-Year University Students

Keigo Yabuki¹⁾, Tomoya Saito¹⁾, Kazuichi Oe²⁾, Jun Nishii¹⁾, Koichi Okada¹⁾,
Takahiro Tamesue¹⁾, Yue Wang¹⁾, Sukrit Leelaluk¹⁾, Tomoya Tanjo^{2),3)},
Atsuko Takefusa^{2),4)}

1) Yamaguchi Univ.

2) National Institute of Informatics

3) National Institute of Genetics

4) The Graduate University for Advanced Studies, SOKENDAI

概要

本研究では、運用組織ごとの計算機環境に応じて構築・運用可能で、かつ単一のシステムにより複数科目が同時利用可能な Web 型プログラミング演習システムの構築・運用技術の確立を目的としている。これにより、情報システム部門が手薄な教育機関等においても、プログラミング演習システムの導入・運用が可能になる。我々は、山口大学のオンプレミス環境で運用中のプログラミング演習システム（JupyterHub 及び nbgrader を独自に改修したほか、Moodle と連携可能にしたシステム）を他の組織にも導入可能とするために汎用化し、国立情報学研究所が提供している学認クラウドオンデマンド構築サービス（OCS）からの構築・運用が可能なシステムの開発を進めている。このシステムを MCJ-CloudHub（Multiple Course Jupyter-based Cloud Hub）と呼ぶ。本稿では、開発した MCJ-CloudHub を実際の大学講義にて実践活用を試み、課題進捗状況の可視化機能や運用上の課題点などを総合的に考察する。

1 はじめに

近年、人工知能 (AI) 及びデータサイエンス (DS) 分野においてプログラミング演習及びデータ処理演習を効率的・効果的に進めるため、Web 型プログラミング演習システムの需要が高まっている [1, 2, 3]。企業や研究機関では、オープンソースの Web 型プログラム開発・実行環境である JupyterHub[4] が広く普及している。そのため、国内・海外の教育機関では JupyterHub の教育利用に関する研究・開発が進められてきた [1, 2, 3, 5]。国内では、Google 社が JupyterHub をベースとして実装した Google Colaboratory の教育利用 [6] の

ほか、Moodle[7] 等の学習管理システムと JupyterHub を連携させたプログラミング教育環境の構築も進められている [8, 9, 10]。

山口大学では、文系学部を含む全学部にわたるデータサイエンス教育科目の演習環境として、Moodle, JupyterHub, 及び nbgrader を組み合わせたプログラミング演習システム（YamaguchiHub と呼ぶ）を導入・運用している [11]。JupyterHub の機能拡張である nbgrader[12] は、Web ブラウザを介して課題の新規作成、課題ファイルの配布、提出物の回収・採点、並びにフィードバック（採点結果及びコメント）の作成・配布が可能であり、多人数の演習に有用である

[13, 14]. YamaguchiHub では、利用者が経由してきた Moodle コースからコース情報及び参加者情報を取得することにより、アカウント登録及びホームディレクトリの作成、科目用の共有ディレクトリ等の作成及びアクセス権限の設定が自動的に処理される。各科目や利用者の環境設定が自動的に作成・適用されるため、単一のシステムを複数科目で同時に利用可能であり、システム管理者の負担も軽減される。しかし、YamaguchiHub は従来の JupyterHub に比べてシステムの構成要素が多く、構築手順も複雑である。加えて、山口大学の計算機環境に固有の設定値等がシステムのソース・コード及び設定ファイルに直接に記述されているため、他の組織への導入が困難である。そこで我々は、YamaguchiHub の構築・運用手順を整理し、国立情報学研究所 (NII) が運営する学認クラウドオンデマンド構築サービス (OCS) [15] に対応したアプリケーション・テンプレートとして開発し、汎用化した。開発したシステムを MCJ-CloudHub (Multiple CourseJupyter-based Cloud Hub) と呼ぶ。OCS は、オンプレミス環境とクラウド環境にまたがるハイブリッド・クラウドにアプリケーションの配置・実行が可能なクラウド構築支援サービスである。OCS は複数のクラウド・プロバイダに対応しているほか、オンプレミス環境とクラウド環境の一方だけでも利用可能であるため、各組織の計算機環境及びネットワーク環境に応じた形でアプリケーションの構築・運用が可能である。2024 年 8 月より、我々は MCJ-CloudHub のアプリケーション・テンプレートを GitHub 上で一般公開している [16]。一般公開に加えて導入機関の利用者及びシステム管理者の間でユーザ・コミュニティを形成することにより、導入機関の間で環境構築、運用、授業実践に関するノウハウの共有が可能になる。

本稿では、開発した MCJ-CloudHub を実際の大学講義にて実践活用を試み、課題進捗状況の可視化機能や運用上の課題点などを総合的に考察する。

2 MCJ-CloudHub

2.1 システム概要

アプリケーション・テンプレートには JupyterHub の Manager ノード及び Worker ノードを生成する手続き、各サーバ上で稼働するアプリケーションの設定内容が含まれる。Manager ノードでは JupyterHub, Nginx (Web サーバ), MariaDB (DB サーバ), OpenLDAP (認証サーバ), NFS サーバ (ファイルサーバ) が稼働する。利用者の Jupyter 環境は、Docker コン

テナにより実現される仮想環境として、Worker ノード上に展開される。1 台の Worker ノードには複数の Jupyter 環境が配置され得る。Manager ノードは NFS サーバを兼務し、外部ストレージを Worker ノードとの間で共有する。ストレージには科目ごとの共有ディレクトリや利用者ごとのホームディレクトリが配置される。また、OCS のアプリケーション・テンプレートにより構築された Moodle を用いているが、運用組織の既存の Moodle とも連携可能である。

MCJ-CloudHub のシステム構成の詳細は参考文献 [17] に示されている。

2.2 課題進捗状況の可視化機能

この章では、MCJ-CloudHub の授業内容を可視化する機能について説明する。

課題進捗状況の可視化機能は大きく分けて二種類あり、授業中の使用が想定されている「リアルタイム分析」と、授業後の使用が想定されている「オフライン分析」がある。

まず、リアルタイム分析は、受講者ごとの JupyterHub のノートブック上におけるセル単位の進捗状況をリアルタイムで可視化する機能である。リアルタイム分析の詳細として、表示例と各項目の見方について、図 1 に示した。このように、ノートブック内のセルの並びを行とし、受講者の並びを列として、進捗状況を一覧表示する。また、色分けとして、白色のセルは未実行または問題文などが記載されているマークダウン形式のセルを、緑色に「OK」と表示されているセルは実行してエラーが出なかったセルを、赤色に「error」と表示されているセルは実行してエラーが表示されたセルをそれぞれ示している。なお、以降は実行してエラーが出なかった状態を正常終了と呼称する。これらの情報をもとに、クラス全体の課題進捗状況を一覧で可視化し、課題の実行が遅れている受講者数の把握などを行うことができる。

次に、オフライン分析は、複数の可視化機能から構

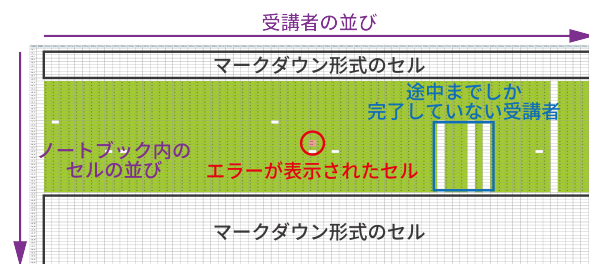


図1 リアルタイム分析

成されており、代表的な三種類の機能について説明する。

一つ目は、「正常終了したセルの割合および時刻」を可視化する機能である（図2参照）。このように、正常終了率を縦軸とし、時刻を横軸とした折れ線グラフにて、任意の時刻間の時間経過に伴う正常終了したセルの割合の変化を可視化する。また、正常終了率とは、クラス全体の正常終了したセルの割合のことであり、「正常終了したセル数」を「対象のノートブックの合計セル数」と「受講者数」の積で除算した値である。なお、現状では、マークダウン形式のセルもカウントされているため、正常終了率が100%にならないという問題点がある。

二つ目は、「セル番号ごとの正常終了したセルの数」を可視化する機能である（図3参照）。このように、クラス全体の正常終了数を縦軸とし、セル番号を横軸とした棒グラフにて、セルごとの正常終了した人数を可視化する。また、同一のユーザが同じセルを複数回実行した場合は最新の結果のみを集計する。なお、現状では、横軸にセル番号がうまく表示されていないという問題点がある。

三つ目は、「セルごとの正常終了した人数」を可視化する機能である（図4参照）。このように、人数を縦軸とし、正常終了率を横軸とした折れ線グラフにて、任意の時刻でのクラス全体の正常終了率ごとの人数（進捗状況）を可視化する。グラフの見方として、まずこのグラフは左端の正常終了率0%の人数を全員とした積み下げ式の折れ線グラフであり、これにより右端の正常終了率100%の人数が把握しやすいように設計されており、例えば図4の場合は約24人となる。また、正常終了率が100%以外の人数は、任意の折れ線グラフ上の点から人数と正常終了率を把握することができ、例えば図4における正常終了率40%弱以上の場合は約34人となる。このとき、積み下げ式の折れ線グラフの性質上、正常終了率が100%以外の人数はその地点の正常終了率「以上」の人数全員となるため注意が必要である。なお、現状では、そもそもグラフが直観的に分かりにくいという問題点がある。

3 授業概要と計画

この章では、MCJ-CloudHubの実践活用を行った授業の概要と計画について記載する。

まず、MCJ-CloudHubの実践活用を行った授業の全体概要について記載する。まず授業名は「データ科学と社会Ⅰ」であり、山口大学の学部初年次を対象と

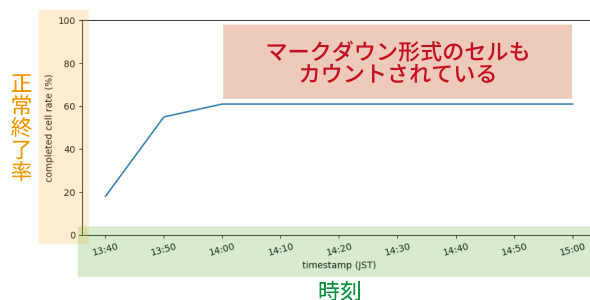


図2 正常終了したセルの割合および時刻

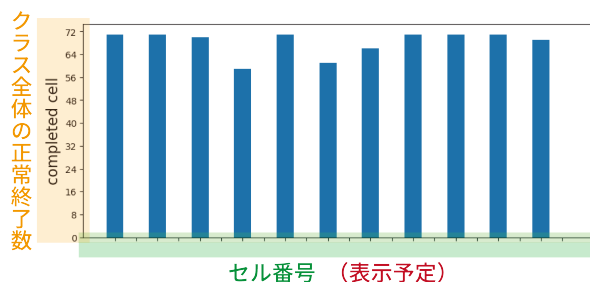


図3 セル番号ごとの正常終了したセルの数

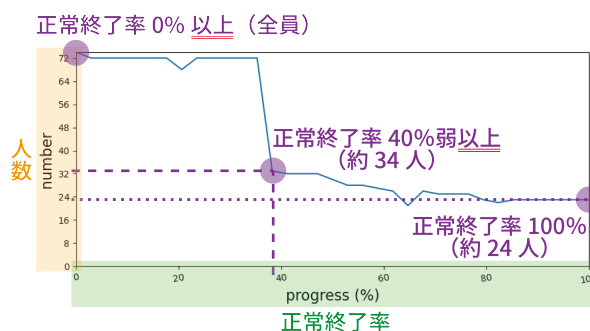
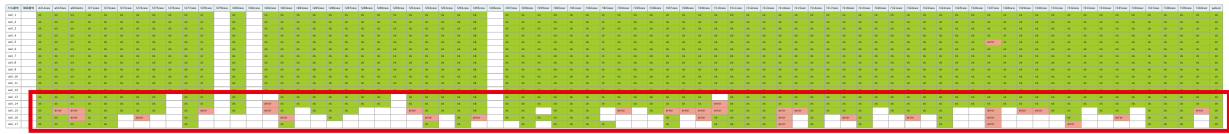


図4 セルごとの正常終了した人数

した必修科目で、データサイエンス基礎科目であった。授業の目的としては、AIをはじめとする技術が急速に発展し、社会のあらゆる分野で利活用が進んでいることを背景として、これらの技術を支えるデータサイエンスを学ぶ意義を知るとともに、その基礎となるデータリテラシー（データを的確に理解し解釈し分析する能力）を習得することを目的とした。また、受講者数は72名であり、所属学部は全員経済学部であった。さらに、実施時期は2025年度の前期前半（4月14日～6月2日）の全8回からなる授業であり、授業時間は13:00～14:30であった。なお、このうち、第6回（5月19日）と第7回（5月26日）の2回の授業で、MCJ-CloudHubを活用した。

次に、MCJ-CloudHubを活用した2回分の授業についての計画について記載する。まず前提として、本



後半部分

図 8 気象データの課題のリアルタイム分析

```
#このセルをクリックして、上の「Run」ボタンをクリックしてください
#####グラフの設定#####
x = df['年月']
y = df['宇部市 | 平均気温(°C)']

#グラフの大きさは例
yoko = 16
tate = 10
plt.figure(figsize=(yoko,tate))

plt.plot(x, y)

#X軸（横）にラベル（データの名前）を描画するプログラム
#ラベルの名称は例
plt.xlabel('年月')
#Y軸（縦）にラベル（データの名前）を描画するプログラム
#ラベルの名称は例
plt.ylabel('気温')

#グラフのタイトルを描画するプログラム
#タイトルの名称は例
plt.title('宇部市の2024年5月から2025年4月までの気温')
#####グラフの設定#####

plt.show()

#「raise NotImplementedError()」を削除してください（授業内課題の採点のため）
# YOUR CODE HERE
raise NotImplementedError() 削除する行
```

図 9 気象データの課題の前半部分の例

に第 4 回（5 月 8 日）の 3 回分の授業の最後にて実施し、各回で学習したデータサイエンスや AI についての授業内容に対しての感想を調査した。参考として、図 6 に授業で作成するワードクラウドの例を示した。なお、Python の WordCloud および形態素解析エンジンの Janome パッケージを使用した。

4 授業の振り返り

この章では、MCJ-CloudHub を実践活用した際に生じた問題点とその改善対応を、可視化機能を踏まえながら振り返る。

まず、気象データの課題についての振り返りを行う。

前述の通り、気象データの課題では、前半に折れ線グラフのデザインの変更方法を体験し、後半に気象データを比較する折れ線グラフの作成を行う流れで構成されていた。このとき、図 7 に第 6 回終了時点での気象データの課題のセルごとの正常終了した人数を示した。なお、前半部分が緑枠に相当し、後半部分が赤枠に相当する。このように、前半部分ではほぼ全員が正常終了している一方で、後半部分では正常終了した

受講者数が極端に減少している。また、図 8 に第 6 回終了時点での気象データの課題のリアルタイム分析の結果を示した。この図のうち、赤枠の部分が後半部分であり、前半部分と比べて未実行のセルや実行してエラーとなったセルが極端に増加している。

この原因として考えられることは、作成した気象データの課題の性質が影響していると考えられる。まず、前半部分のグラフデザインの変更課題の例を、図 9 に示した。この例では、折れ線グラフに、横軸や縦軸にラベルを、グラフ自体にタイトルをそれぞれ付与する課題であった。この課題では、次の三ステップで課題を実行できる。はじめに、図 9 の最下部にある「raise NotImplementedError()」を削除する。次に、「Run」ボタンをクリックする。最後に、プログラムの実行結果として、グラフが出力されるか、エラーが表示される。このとき、エラーが表示される主な原因は、最初の最下部にある「raise NotImplementedError()」を削除するステップにおいて、例えば「raise」しか消さないなどといった削除の不十分さが主な原因である。

一方で、後半部分の折れ線グラフの作成課題の例を、図 10 に示した。この例では、山口市と宇部市の二つの都市の一年間の気象データ（平均風速）を比較する折れ線グラフの作成する課題であった。この課題では、次の四ステップで課題を実行できる。はじめに、図 10 の最下部にある「raise NotImplementedError()」を削除する。次に、コメントアウトされたメモをもとに、コピペでプログラム編集し、グラフのデザインを変更する。そして、「Run」ボタンをクリックする。最後に、プログラムの実行結果として、グラフが出力されるか、エラーが表示される。このとき、エラーが表示される主な原因は、前半部分での要素に加えて、不要な文字列ごとコピペしたり、ペースト時に他のプログラムを上書きしたりといった、コピペミスが主な原因である。

そもそも、本構成にした理由として、前半部分で紹介した事柄を、後半部分にてコピペのみで簡単にプログラミングを体験させることを狙いとして課題を作成したが、コピペミスによって、かえってプログラミン

#このセルをクリックして、「ここだけ編集」の部分を変更して、上の「Run」ボタンをクリックしてください

```
#####グラフの設定#####  
#↓ここだけ編集↓  
#グラフの大きさを自由に変更  
# 'yoko' と 'tate' の数値を「1」から任意の数値に変更  
yoko = 1  
tate = 1  
plt.figure(figsize=(yoko,tate))  
  
#以下のプログラムをコピーして、グラフのデザインを自由に変更（凡例の名称は例）  
#plt.plot(x, y5, color=' ', linewidth=1, linestyle=' ', marker=' ', label='宇部市 | 平均風速 (m/s)')  
#plt.plot(x, y6, color=' ', linewidth=1, linestyle=' ', marker=' ', label='山口市 | 平均風速 (m/s)')  
  
#ラベルの名称は例  
plt.xlabel('年月')  
plt.ylabel('平均風速')  
  
#タイトルを自由に変更  
#例：宇部市と山口市の2024年5月から2025年4月までの平均風速  
plt.title('あああ')  
#↑ここだけ編集↑  
  
plt.legend()  
#####グラフの設定#####  
  
#グラフを出力（書き出す）プログラム  
# 'f' の中に任意のファイル名を記述します  
plt.savefig('graph3.png')  
  
#####メモ#####  
#線の太さ（「linestyle="線のスタイル"」）  
##数字が大きくなるほど太くなる  
  
#線の色（「color="線の色"」）：  
##白黒：「black」「gray」「silver」「whitesmoke」「white」  
##カラー：「red」「green」「blue」「lightblue」「pink」「yellow」「purple」「orange」  
  
#線のスタイルの例（「linestyle="線のスタイル"」）：  
##実線：「solid」  
##破線（点線）：「dotted」（点が細かい）|「dashed」（点が粗い）  
##変則的：「dashdot」  
  
#線のマーカーの例（「marker="線のマーカー"」）：  
##丸印：「o」（アルファベットの小文字のオー）  
##バツ印：「x」（アルファベットの小文字のエックス）  
#####メモ#####  
  
#「raise NotImplementedError()」を削除してください（授業内課題の採点のため）  
# YOUR CODE HERE  
raise NotImplementedError() 削除する行
```

図 10 気象データの課題の後半部分の例

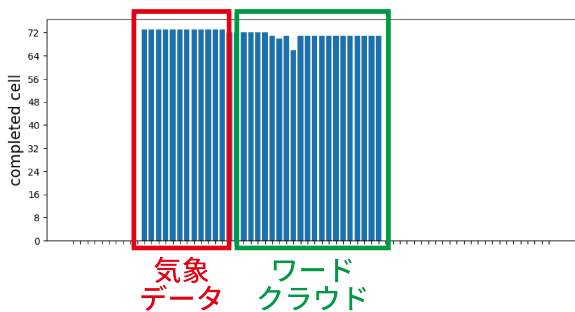


図 11 第 7 回の課題のセルごとの正常終了した人数

グを体験できない事態に陥った。これを踏まえて、当初の予定では、第 7 回の授業にて後半部分の途中から再開予定であったが、前半部分と同様のステップで実行可能に課題を再編集し、そのうえでデザインを変更したい受講者は変更可という課題に改善を試みた。その結果として、第 7 回での気象データとワードクラウドの課題のセルごとの正常終了した人数を、図 11 示した。この図の赤枠の部分からわかる通り、ほぼ全員が正常終了し、プログラミングの体験を行うことができるように改善された。これは、オフライン分析の機能を用いて、改善が必要な課題をセル単位で効果的に特定でき、授業内容の改善に貢献できることが実証されたと考えられる。

次に、ワードクラウドの課題についての振り返りを

行う。

まず、この課題は、第 7 回の 13:30 頃から 14:30 まで行われ、このうち 13:30 から 14:00 までの 15 分おきのセルごとの正常終了した人数を、図 12 に示した。なお、紫色の縦の破線は正常終了率が「40 %弱以上」の地点を示し、その地点に対する人数を紫色の横の破線が示している。この図からわかる通り、14:00 時点で正常終了率が「40 %弱以上」および「100 %」がほぼ同数の約 34 人となっており、半数の受講者が進行不能に陥った。これを踏まえて、正常終了率が 40 %弱以上の地点のセル周辺を調査したところ、WordCloud および Janome パッケージのインストールを行うセルが進行不能に陥った原因のセルであった。また、実際の授業では、リアルタイム分析やそれを踏まえた受講者への挙手での確認にて、半数の受講者が進行不能に陥っている状況を把握した。

この原因として考えられることは、いくつかの可能性があり、一番有力なものとしては受講者ごとのメモリの割り当て不足により処理が極めて低速になったことが原因として考えられる。なお、受講者 1 人あたり 1GB のメモリを割り当てていた。そのため、実際の授業では、まず 13:50 頃からリアルタイム分析の内容を受講者に公開し、リアルタイム分析を現状の説明資料として活用した。そのうえで、14:00 頃から正常終了

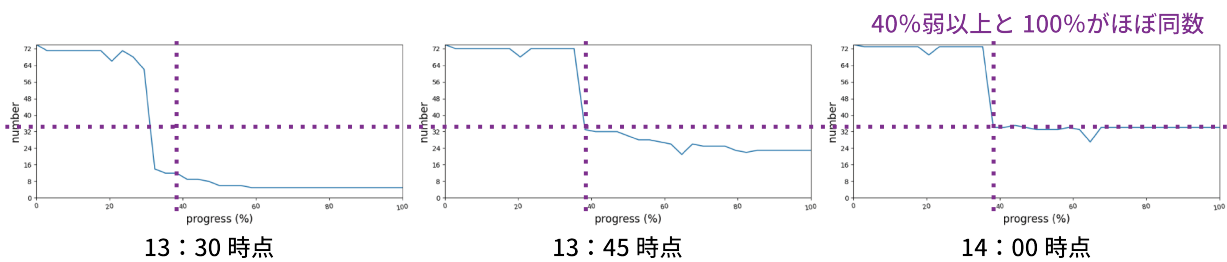


図 12 ワードクラウドの課題のセルごとの正常終了した人数 (13:30 から 14:00 まで 15 分おき)

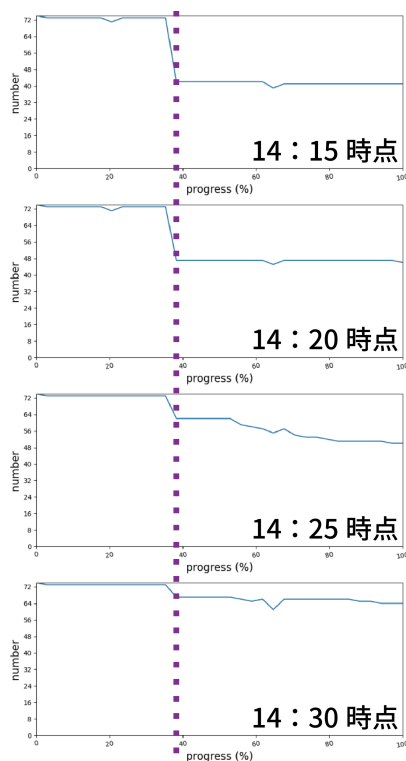


図 13 ワードクラウドの課題のセルごとの正常終了した人数 (14:15 から 14:30 まで 5 分おき)

率 100 % の受講者に課題の保存および提出を促し、これらを完了した受講者から MCJ-CloudHub からログアウトさせ、サーバの負荷を軽減する処置を取った。

これらの結果として、14:15 から 14:30 までの 5 分おきの正常終了した人数を、図 13 に示した。なお、紫色の縦の破線が正常終了率が「40 % 弱以上」の地点を示している。このように、14:15 から正常終了率 100 % (グラフ右端) の受講者が徐々に増加し、授業終了時刻の 14:30 時点では、図 11 の緑枠の部分からもわかる通り、ほとんどの受講者が正常終了率 100 % となった。

ただし、処理が極めて低速になった主な原因は利用者ごとのメモリの割り当て不足である可能性は高いものの、先に処理が終了した受講者がログアウトを開始

した時点で偶然ほかの受講者の処理が完了し始めた可能性や、何度か再試行する過程でメモリ使用量が 1GB に到達せずに処理が進んだ可能性も考えられる。そのため、問題の解決策として、先に処理が終了した受講者にログアウトを促し、サーバの負荷を軽減したことは無関係ではないと考えられるが、実際にどの程度の影響があるかどうかについては検証の余地があると思われる。

また、授業中の状況としては、授業終了時間の 14:30 頃になっても処理が終了していない受講者に挙手を求めると、半数以上の受講者が挙手を行った。しかしながら、前述の図 13 の通り、実際には 14:00 を過ぎてから時間の経過に応じて処理が終了している受講者が増えていた。これは、受講者の多くが自分の Jupyter 環境でプログラムの処理が終了したかどうか判別ができないことにより、プログラムが終了していないと誤解していた可能性があったと推察できる。さらに、教師側からも Jupyter 環境の再起動やログアウトおよび再ログインを試みたが、Worker ノードの全体としてメモリが不足している場合には新たな Jupyter 環境が起動しないため、Jupyter 環境の再起動などを行うことができていたことから、Worker ノードの全体としてのメモリには余裕があったと考えられる。

5 まとめと展望

本論文では、2025 年度前期にて山口大学で実施された、学部初年次を対象としたデータサイエンス基礎科目における、MCJ-CloudHub の実践活用の試みについて述べた。本授業では 72 名の受講者を対象とし、オープンデータの気象データを集計し、Python の matplotlib パッケージを用いて折れ線グラフを作成する演習を実施したほか、WordCloud 及び Janome パッケージを用いて、授業アンケートの回答データからワードクラウドを生成する演習を実施した。

実践活用の結果から、MCJ-CloudHub の課題進捗状況の可視化機能のうち、リアルタイム分析を用いて、

教員が受講者の進捗状況を追跡できることが評価された。これに加えて、オフライン分析の機能を用いて、演習課題ごとの正常終了率を可視化し、改善が必要な課題をセル単位で効果的に特定でき、授業内容の改善に貢献できることが実証された。

今後の展望としては、既存の可視化機能のブラッシュアップを行うとともに、BI ツールなどの導入を検討していく。

謝辞

この研究は情報・システム研究機構「戦略的研究プロジェクト」(2024-SRP-06)の助成を受けています。

本研究にご協力いただいた株式会社アスケイドの那須野淳様、羽鳥文子様、増山隆様、神田千暁様、鳥井貴史様、寺山流晟様に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] J.W. Johnson and K.H. Jin, "Jupyter notebooks in education, Journal of Computing Sciences in Colleges", Vol.35, No.8, pp.268-269, 2020.
- [2] A. Al-Gahmi, Y. Zhang and H. Valle, "Jupyter in the Classroom: An Experience Report", Proceedings of the 53rd ACM Technical Symposium on Computer Science Education, Vol.1, No.1, pp.425-431, 2022.
- [3] H. Go, S.-W. Kim and Y. Lee, "Design and Implementation of a Programming Automatic Assessment System in Jupyter Notebook", International Journal on Advanced Science, Engineering & Information Technology, Vol.13, No.3, pp.1080-1086, 2023.
- [4] Project Jupyter, "JupyterHub", <https://jupyter.org/hub>, 2024年10月15日確認.
- [5] 田浦健次朗, 「Jupyterhub と nbgrader で授業・試験・レポートをDXしてみた件」, 第39回大学等におけるオンライン教育とデジタル変革に関するサイバーシンポジウム, 2021.
- [6] 山口健二, 「Google Colaboratory による自宅学習教材の作成と遠隔授業方法の検討」, 高等教育と受講者支援: お茶の水女子大学紀要, Vol.10, pp.59-63, 2019.
- [7] Moodle HQ, "Moodle: Open-source learning-platform", <https://moodle.org/>, 2024年10月

15日確認.

- [8] 石坂徹, 桑田喜隆, 合田憲人, 政谷好伸, 横山重俊, 浜元信州, 「Moodle と Jupyter Notebook の連携によるプログラミング教育環境の構築」, 日本ムードル協会全国大会(2019)発表論文集, pp.32-37, 2019.
- [9] 井関文一, 浦野真典, 「LTI カスタムパラメータによる Moodle-JupyterHub 連携に関する研究」, 日本ムードル協会全国大会(2022)発表論文集, pp.20-25, 2022.
- [10] 池田裕希, 長尾和彦, 田房友典, Moodle と JupyterHub を用いたプログラミング環境の構築, 情報処理学会第84回全国大会講演論文集, Vol.2022, No.1, pp.205-206, 2022.
- [11] 齊藤智也, 王躍, 西井淳, 河野綸華, レールマルク, 「Moodle と JupyterHub を用いた Web 型プログラミング教育環境の改善および運用」, 情報処理学会研究報告(CLE), Vol.2023-CLE-39, No.8, pp.1-8, 2023.
- [12] Jupyter Development Team, "nbgrader", <https://nbgrader.readthedocs.io/en/stable/>, 2024年10月15日確認.
- [13] N. Klever, Jupyter Notebook, "JupyterHub and Nbgrader, University of Applied Sciences Augsburg", https://klever.hs-augsburg.de/nb/OWL/LAB.2020_02.Klever_Jupyter_Notebook_JupyterHub_Nbgrader.pdf, 2024年10月15日確認.
- [14] R.D. Smet, S. Thielemans, J. Lemeire, A. Braeken and K. Steenhaut, "Educational software-as-a-service based on JupyterHub and nbgrader running on Kubernetes", 2022 IEEE 9th International Conference on e-Learning in Industrial Electronics (ICELIE), 2022.
- [15] 国立情報学研究所, 「学認クラウドオンデマンド構築サービス」, <https://cloud.gakunin.jp/ocs/>, 2024年10月15日確認.
- [16] 山口大学, 国立情報学研究所, 「MCJ-CloudHub」, <https://github.com/nii-gakunin-cloud/mcj-cloudhub>, 2024年10月15日確認.
- [17] 齊藤智也, 大江和一, 西井淳, 岡田耕一, 爲末隆弘, 王躍, 筒井優子, 丹生智也, 竹房あつ子, 「複数科目で同時利用可能な Web 型プログラミング演習システムの構築・運用方法の汎用化」, 学術情報処理研究, Vol.28, No.1, 2024年.