

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18505

研究課題名（和文）高大接続に際してプログラミング技能獲得のための能動的な学習支援環境による授業開発

研究課題名（英文）Class development with an active learning support environment for acquiring programming skills when connecting high-school to university education

研究代表者

東田 学（Higashida, Manabu）

大阪大学・サイバーメディアセンター・講師

研究者番号：40263339

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,500,000円

研究成果の概要（和文）：理系・文系分野を問わずデータ・サイエンス教育の強化が求められている。本研究は、プログラミング授業の開発と並行してSNSを模した分散型ノートブック・インターフェイスを導入し、受講者と教師の対話による学習支援環境の構築に挑戦した。研究期間中途に、大規模言語モデルに基づく文字生成AIが普及を始め、生成AIが偶発的に具備したプログラミング支援能力に着目し直した。教師は、対話的にプログラミング操作が可能なノートブック形式による教材を生成AIとの対話によって準備し、受講者に対しては、生成AIとの対話の文脈を深化させながらプログラムの正確性や妥当性を検証する課題を課す反転型授業デザインへの転換を試みた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

対話型プログラミング学習支援環境に対し、適時のおよび事後的な学習解析が可能な学習データ記録機構を導入し、生成AIとの対話も記録する拡張を行った。生成AIが回答するプログラムコードを受講者がどのように活用したかを追跡することが可能となった。受講生がプロンプト・エンジニアリング技能としてプログラムコードの正確性や妥当性の検証を通じて、社会的課題となっている生成AIの応答の正確性や妥当性を検証する技能の獲得を誘導する手法を提案した。引き続き、生成AIとの応答に含まれるプログラミングコードのみならず、自然言語についても自動的に解析し、受講生の活発度や関心の推移を追跡する分析システムの開発を進めている。

研究成果の概要（英文）：Regardless of the area of science or arts, demand is growing for the enhancement of data science education. In this research, we introduced a distributed notebook interface that resembles a Social Networking Service (SNS) in parallel with the development of programming classes, and challenged the creation of a learning support environment through interaction between students and teachers.

Halfway through the research period, text generative AI based on large-scale language models became widely used, and we again focused on the programming support capabilities that generative AI incidentally possesses. Teachers prepares interactive programming materials in the notebook format by interacting with the generative AI, then we attempted to shift to a flipped classroom design by having students verify the accuracy and validity of the program while developing the context with interaction to generative AI.

研究分野：プログラミング教育

キーワード：プログラミング教育 STEM教育 リメディアル教育 高大接続 学習分析

1. 研究開始当初の背景

理系・文系分野を問わず、数理科学を情報学と融合したデータ・サイエンス教育の強化が求められている。データ・サイエンス分野で標準的に使われるプログラミング言語である Julia、Python、R を対話的に操作できる学習支援環境と、それに即した教材の整備が不可欠である。

一方で、コロナ禍を通して、授業形態のあり方が改めて問われ、オンラインを想定した学習形態が緊急的に導入された。しかし、コロナ禍収束を受け、改めて対面を前提としつつオンラインにも対応可能な学習形態への再適用が求められることになった。

2. 研究の目的

本研究は、プログラミング授業の開発と並行して SNS を模した分散型ノートブック・インターフェイスを導入し、受講者と教師の対話による学習支援環境の構築に挑戦した。研究期間中途に、大規模言語モデルに基づく文字生成 AI の導入が始まった。生成 AI が偶発的に具備したプログラミング支援能力に着目し、受講者と生成 AI との対話によるプログラミング支援に改めて着目した。

本研究が構築する学習支援環境によって、大学初年次を想定する受講者が、高大接続において、初等・中等教育における学習内容についてプログラミング学習を通じてリメディアル教育として再獲得すると同時に、リベラル・アーツ教育として体系化することを目指した。さらに受講者がプログラミング技能を高等教育や就業時に求められるアカデミック・スキルとして獲得することを目指した。

3. 研究の方法

(1)【コロナ禍影響の調査】コロナ禍を通じて、オンライン資源を活用した学習形態への適用の動向を日本とドミニカ共和国の大学を対象に調査を行った。

(2)【学習コース開発】対話的にプログラミング操作が可能なノートブック形式による教材を作成し授業へ導入した。当初の Mathematica から Jupyter 上の Python へ移行し、さらに生成 AI の活用を前提とした教材へと改訂を行った。

(3)【学習支援環境構築】クラウド上の JupyterHub による普遍的な学習支援環境の導入し、最新モジュールの先駆的導入によるプログラミング学習支援を実現した。さらに、プログラミング言語と生成 AI との対話インターフェイスを統合した。

(4)【学習アクティビティ分析】まず、受講者とプログラミング言語との対話を記録し、さらに、生成 AI との対話を記録した。それらを統合したアクティビティ分析を行った。

4. 研究成果

(1)【コロナ禍影響の調査】コロナ禍を通じて、オンライン資源を活用した学習形態への適用の動向を日本とドミニカ共和国の大学を対象に調査を行ない、両国合わせて 120 余りの大学から回答を得て分析を行った。日本では、コロナ禍以前にもクラウドを活用が普及していたが、コロナ禍を通じ、より幅広く導入が行われた実態が明らかになった(引用文献)。

(2)【学習コース開発】

1. ノートブック形式による教材の作成と授業への導入

本研究に先立って、2020 年度から大阪大学における初年次ゼミナール「学問への扉」において、「プログラミングで遡る科学史」を開講している。この講義では、当初、1980 年代から先駆的に一貫してノートブック形式による対話型プログラミング環境を提供してきた数式処理システム Wolfram 社 Mathematica を採用した。知識ベースは同社 Alpha を参照した。

プログラミングによって同調的に学習対象を操作するデザイン・テンプレートに基づいて教材作成を行ない、学習項目を初等・中等教育における算数・数学や理科の学習過程や科学史の発展に沿って系統化することを目指した。

2. Mathematica から Jupyter 上の Python へ移行

それまでに蓄積した講義資料を、類型的なオブジェクト指向型プログラミングが可能な Python へ移植を進め、さらに、本研究で構築した JupyterHub 上の Python を対象とした教材への改版を行った。教材の配布は Jupyter Book 形式で行い、JupyterHub への円滑な接続を提供した。当初、知識ベースへの参照は、Web スクレイピング技巧に依存することとなったが、生成 AI

へのシームレスな参照手法を導入した。

3. 生成 AI の活用を前提とした教材作成

研究期間中途に、大規模言語モデルに基づく文字生成 AI の活用が可能となった。前述した知識ベースとしてのアクセスに留まらず、生成 AI が偶発的に具備したプログラミング支援能力に着目し、受講生の生成 AI に対するプロンプト・エンジニアリング能力開発に付随してプログラミング技能を開発する授業デザインへ転換した。教師が事前に用意する資料は、教師と生成 AI との対話の記録に置き換え再構成した。

これにより、まず、生徒自身による知識を深める対話行動を誘導する効果を見込んだ。同時に、生成 AI のレスポンスの正確性を検証する手順を示すことで、生徒自身が正確性を見極める能力の獲得を誘導するよう配慮した。特に、プログラミングにおいてはコードの正確性や実行効率の検証方法が確立されているため、それらの手法を生成 AI のレスポンスとして引き出し、生徒自身による検証を誘導した。

(3) 【 学習支援環境構築】

1. クラウド上の JupyterHub による普遍的な学習支援環境の導入

コロナ禍の影響調査と並行して、国内外の先行事例を改めて調査し、特に、米国カリフォルニア大学バークレイ校におけるデータ・サイエンスの高等教育機関初年次教育に着目した。同校では、2015 年から JupyterHub を中核とした対話型プログラミング環境の整備を始め、これまでに導入や運用に必要な知見を公開している。並行して、プログラミング実行が可能な教科書の整備を行っており、2018 年から Jupyter Book 形式で公開している。

調査で得られた知見に基づいて、大阪大学の情報教育システムにおいて JupyterHub サービスを構築し提供を開始した。授業時間や受講生の構成に対応し資源提供するための自律的資源拡張機構を導入した。これは GPU 利用にも対応しており、高性能演算や機械学習を活用した授業から研究への活用も可能である (図 1)。

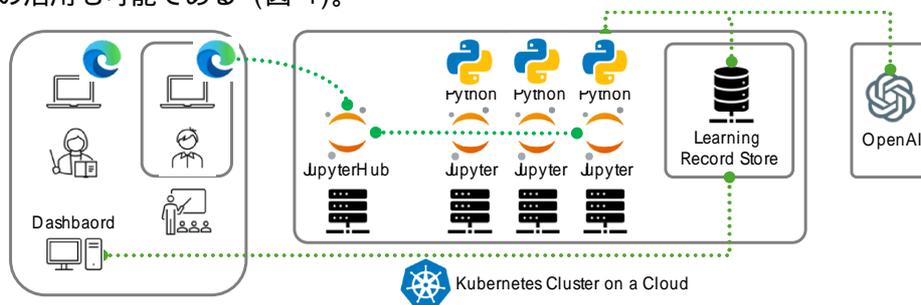


図 1: 学習支援環境として構築した JupyterHub と独自の LRS

2. 最新のモジュールの先駆的導入によるプログラミング学習支援の実現とプログラミング言語と生成 AI との対話インターフェイスの統合

UI が固定した既存のプログラミング学習支援環境では得られないコンテンツと UI の相乗効果による学習効果の向上を目指した。同時に、開発する学習コースを対面や遠隔、その融合など様々な授業形態で活用するために、SNS を模したユーザ・インターフェイスを有し複数の学生と対話可能な分散・共有型のプログラミング・ノートブックの開発を試みた。

本研究では、オンライン授業でのプログラミング支援ための対話を実現するため、Jupyter ノートブック形式の対話環境に SNS を模したユーザ・インターフェイスを導入するための開発を行った。生徒とプログラミング言語との対話的操作を支援する学習環境を整備した上で、教師と受講者が逐次的にプログラミング実行の入出力を共有するためのユーザ・インターフェイスの開発に取り組んだ。最終的に、操作を切り替えることなく受講生と生成 AI との対話を支援するインターフェイスとして再構成を行った (図 2)。

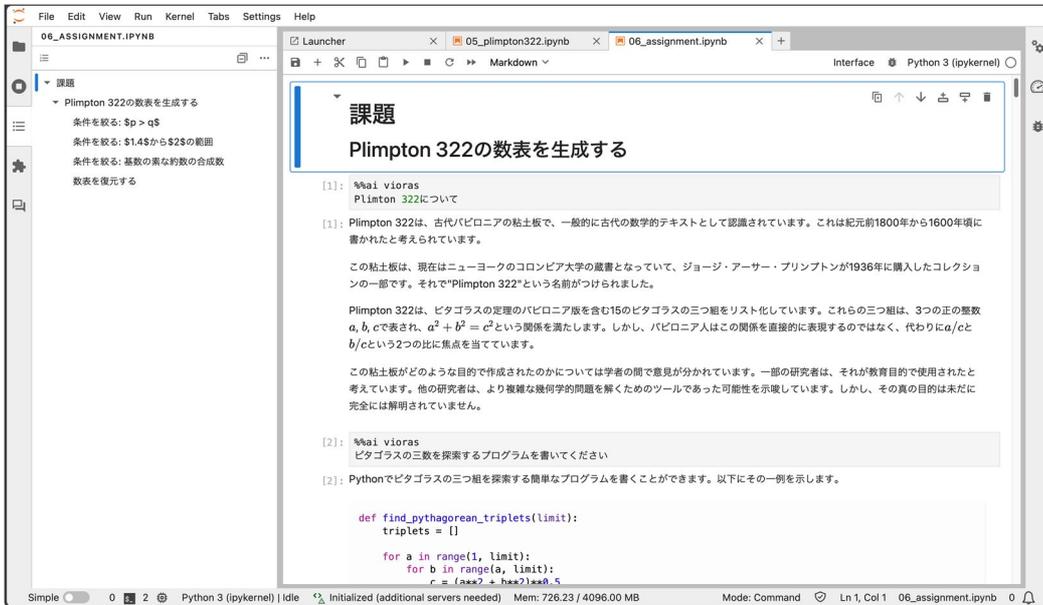


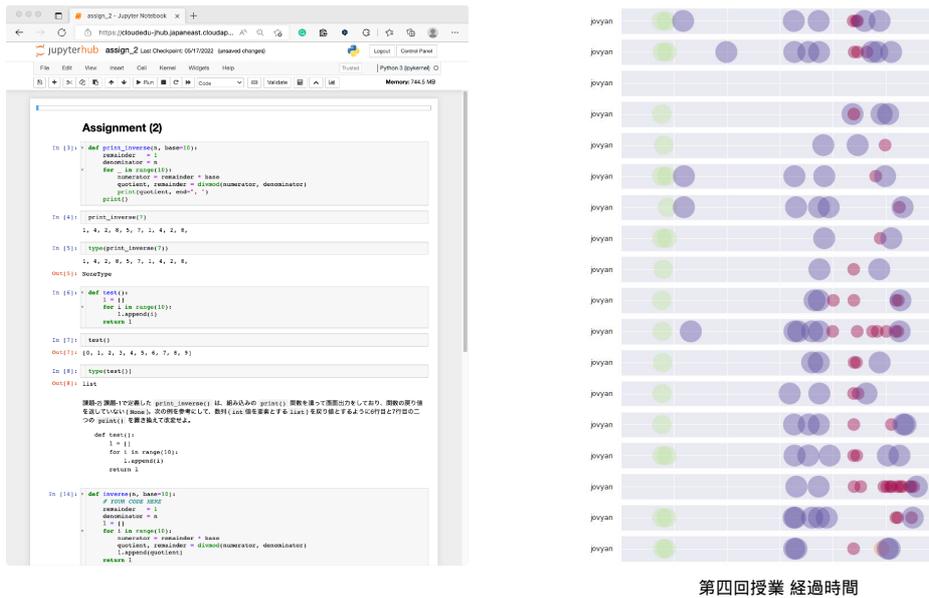
図 2: 操作を切り替えることなく受講生と生成 AI との対話を支援するインターフェイス

(4) 【学習アクティビティ分析】

1. プログラミング言語との対話の記録と分析

対話型プログラミング学習支援環境に、適宜および事後的な学習解析が可能なデータ記録機構として独自の LRS (Learning Record Store) を導入した (図 1)。講師が配付資料で提供した模範コードを受講生がどのように実行したかを追跡する。具体的には、配付資料のダウンロード、配付資料に記載された模範コードの実行、実行に際する受講生による改変や、それに伴って発生したエラーの種別やエラー発生箇所などをすべて記録する。

さらに、授業実施時に講師が受講生のプログラムの実行状況やエラーの発生を一瞥し判読できるダッシュボードを開発した (図 3、引用文献)。



第四回授業 経過時間

図 3: LRS に記録されたアクティビティを適宜的に可視化するダッシュボード (右)

2. 生成 AI との対話の記録と分析

LRS に生成 AI との対話を含む受講生の応答を蓄積する改変を行った。授業時間内、さらに自習時間を通じて受講生が適正なプロンプトを得るまでの試行の過程を分析する。特に、授業時間内の試行では、授業での集中度判定にも活用する (引用文献)。

これまでの授業では、限られた時間内でプログラムの正確性の検証や実行速度向上などのプログラムの妥当性の評価まで実践させることが難しかった。これに対し、生成 AI との対話の文脈を深化させながらプログラムの正確性や妥当性を検証する課題を課すことで、生成 AI のレスポンスの正確性や妥当性の検証の訓練としても適していると考えられる。これを反映して、授業

最後に課題を出し、生成 AI との対話による課外活動を促す反転型の授業デザインに転換を行った。

3. それらを統合したアクティビティ分析

受講生の授業への集中度を評価するため、講師が配付資料で提供した模範コードを受講生がどのように実行したかを追跡した。

さらに、生成 AI が回答するコードを受講生がどのように活用したかを追跡するため、生徒と生成 AI との対話におけるプログラミングコードを抜きだし、構文解析器によるトークン化によってコードの変化を追跡し、生徒のコーディングの活発度を評価する分析手法の開発に取り組んだ。

今後の研究課題として、プログラミングコード以外の自然言語部分についても、プログラミングコードと同様に自然言語解析器によってトークン化した上で、教師による提示資料、生徒のプロンプト、生成 AI のレスポンスにおける類似度を追跡し、生徒の関心の推移を追跡できる分析システムの構築を進めている。

<引用文献>

D. Soto, S. Shirai, M. Ueda, M. Higashida, and H. Takemura. "The Adoption of Learning Analytics in Higher Education: An Exploratory Study in the Dominican Republic", Companion Proceedings of the 13th International Learning Analytics and Knowledge Conference (LAK '23), (pp. 77-79). Online. March 13-17, 2023. Society for Learning Analytics Research (SOLAR).

D. Soto, S. Shirai, M. Ueda, M. Higashida, and H. Takemura. "Describing the Factors Influencing the Adoption of Cloud Computing in Higher Education Institutions: A Technology-Organization-Environment (TOE) Model Based Exploratory Study in the Dominican Republic", Proceedings of EdMedia + Innovate Learning, (pp. 1-10). Vienna, Austria. March 13-17, 2023. Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).

M. Higashida, D. Soto, S. Shirai, and M. Ueda. "Building an Scalable Programming Classroom Environment with Data Science Ecosystem", Research Report on Educational Learning Support Information Systems (CLE), SIG Technical Report. Number 8. Jun 2022. Information Processing Society of Japan (IPSJ).

M. Higashida, D. Soto, S. Shirai, and M. Ueda. "Exploring Learning Analytics Approach Using Log Data of Programming Environment Integrating Generative AI", Companion Proceedings of the 14th International Learning Analytics and Knowledge Conference (LAK '24), (pp. 227-229). Kyoto, Japan. March 18-22, 2024. Society for Learning Analytics Research (SOLAR).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 David Soto, Shizuka Shirai, Mayumi Ueda, Manabu Higashida, and Haruo Takemura
2. 発表標題 Describing the Factors Influencing the Adoption of Cloud Computing in Higher Education Institutions: A Technology-Organization-Environment (TOE) Model Based Exploratory Study in the Dominican Republic
3. 学会等名 EdMedia + Innovate Learning, Association for the Advancement of Computing in Education (AACE) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Manabu Higashida, David Soto, Shizuka Shirai, and Mayumi Ueda
2. 発表標題 Exploring Learning Analytics Approach Using Log Data of Programming Environment Integrating Generative AI
3. 学会等名 LAK24 (14th International Learning Analytics and Knowledge Conference), Society for Learning Analytics Research (SOLAR) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 David Soto, Shizuka Shirai, Mayumi Ueda, Manabu Higashida, and Haruo Takemura
2. 発表標題 The Adoption of Learning Analytics in Higher Education: An Exploratory Study in the Dominican Republic (Poster)
3. 学会等名 LAK23 (23th International Conference on Learning Analytics and Knowledge) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 東田 学、David Soto、白井 詩沙香、上田 真由美
2. 発表標題 データサイエンスのエコシステムによる拡張可能なプログラミング授業環境の構築
3. 学会等名 情報処理学会 教育学習支援情報システム研究会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	白井 詩沙香 (Shirai Shizuka) (30757430)	大阪大学・サイバーメディアセンター・講師 (14401)	
研究 分担者	上田 真由美 (Ueda Mayumi) (30402407)	流通科学大学・経済学部・教授 (34522)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------