

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：33302
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2020～2022
課題番号：20K03162
研究課題名(和文) AIによるピア・インストラクション型授業の概念形成過程の分析とウェブサイトの開発

研究課題名(英文) Analysis of Concept Formation Process of Peer Instruction Using AI and Development of Website

研究代表者
工藤 知草 (KUDO, Tomoshige)
金沢工業大学・基礎教育部・准教授

研究者番号：90759515
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、数学、数学、数学、線形代数、確率統計、微積分学に関する170問以上の概念問題を新規にWeb上で公開することで、高校や大学で、相互作用型授業の一つのピア・インストラクション型授業を容易に実施できるWeb環境を整えた。また、高校生と大学生が、インタラクティブに回答しながら自学自習で概念形成することを可能にしたWebシステムを新規に開発した。さらに、データから本質的な理解を得て概念形成することを可能にしたインタラクティブVBA(Visual Basic for Applications)教材を開発し、Web上で公開した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
大学入学共通テストでは、本質的な概念理解やデータ分析能力を問う問題が多く出題されている。高校の授業でも概念形成する相互作用型授業に質的転換することが重要な課題となっている。本研究では、高校の教室でも、ピア・インストラクション型授業を容易に実施できるWeb環境を整えるとともに、将来、技術者を目指す高校生や大学生が、データ分析能力を養い、概念形成することを可能にしたWeb環境を整え、技術者教育・工学教育に貢献した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a website with more than 170 concept tests in Mathematics I, Mathematics II, Mathematics III, Linear Algebra, Probability and Statistics, and Calculus. We developed a new website that allows high school teachers to easily conduct classes introducing Peer Instruction, one of the interactive teaching methods. We also developed a new web system that allows high school and university students to answer concept tests and formulate concepts through self-study. In addition, we developed an interactive VBA (Visual Basic for Applications) teaching material that enables students to gain essential understanding from data and formulate concepts, and made it available on the Web.

研究分野：工学教育

キーワード：ピア・インストラクション 概念問題 機械学習 誤概念 数学 データ分析 Webサイト

1. 研究開始当初の背景

相互作用型授業形式には、チュートリアル、相互作用型演示実験授業 (ILDs)、PBI (Physics by Inquiry)、PI (Peer Instruction) 型授業、仮説実験授業、玉田方式、極地方式などがある (覧具博義, 物理教育 vol. 64, no. 1, pp.36-41, 2016.)。研究代表者は、100 名以上の大規模教室において教員 1 名で実施可能な PI 型授業に着目し、実践してきた。ここで、PI 型授業では、授業中に多肢選択問題の概念問題 (Concept Test) を出題し、学生同士の議論により概念形成する。概念問題は通常の演習問題とは異なり、誤答に間違いやすい概念 (ここでは誤概念とよぶ) を入れ、学生同士の議論により効果的に概念形成できるように作問される。6542 名に対する国際的な調査により、相互作用型授業は板書型授業より効果が高いことが FCI (Force Concept Inventory) により示された (R. Hake, Am. J. Phys. vol. 66, no. 1, pp.64-74, 1998.)。FCI は、力学に関する 5 択の概念問題 30 問から構成され、授業の前後に実施し、クラス全体の概念理解の向上を検証するテストになる。ここで、大学入学共通テストのプレテスト (2018 年 11 月実施) では、FCI に関連した問題が出題されている。センター試験から大学入学共通テストに移行し、高校の授業でも概念形成する相互作用型授業に質的転換することが重要な課題となっている。PI 型授業で活用するための物理の概念問題は豊富にあるが、数学の概念問題は少ない。このような背景から、数学の概念問題を体系化した形で Web 上で公開し、高校の先生が容易に数学の PI 型授業を実施できる Web 環境を整えることが重要だと考えた。

2. 研究の目的

本研究では、高校の先生がピア・インストラクションを導入した授業を容易に実施できる Web 環境を整えると同時に、将来、技術者を目指す高校生や大学生が、インタラクティブにデータ分析と概念形成をすることを可能にした Web サイトを新規に開発することを目的とした。機械学習などの手法により、PI 型授業で用いる概念問題を詳細に分析し、誤概念の抽出と分析を通して、概念問題を体系化した形で、Web 上で公開することを目的とした。その一方で、大学入学共通テストのプレテスト (2018 年度 11 月実施) では、コンピュータに関する問題や測定データから概念理解を問う問題が出題されている。そのような背景から、現実の測定データからデータ分析能力を養い、概念形成を可能にしたインタラクティブ教材を Excel VBA (Visual Basic for Applications) により開発し、Web 上で公開することも目的とした。本研究の目的は、以下の (1) ~ (5) になる。

- (1) 機械学習などの手法で概念問題を分析し、誤概念について詳細に分析する。
- (2) 誤答に適切な誤概念を入れた質の高い概念問題を作成する。
- (3) 物理実験の測定データから概念形成するインタラクティブ VBA 教材を開発する。
- (4) 高校生や大学生が自分のモバイルで概念形成できる自学自習型の Web 教材を開発する。
- (5) 高校の教室で、PI 型授業を容易に実施できる Web 環境を整える。

理工系離れが深刻な問題になっている現在、高校の教室で PI 型授業を容易に実現できる Web 環境を整えると同時に、概念形成とデータ分析をするためのインタラクティブ教材を開発し Web 上で公開することで、将来、技術者を目指す高校生や大学生の学習環境を整えて、技術者教育・工学教育に貢献することを本研究の目的とした。

3. 研究の方法

はじめに、測定データから概念形成するインタラクティブ教材の開発方法について説明する。当初の計画通り、VBA を用いて、CSV データから測定データを読み込み、グラフを作成するプログラムを開発した。また、VBA Project の Form 機能を活用することで、学習者が定量問題と概念問題に回答すると、インタラクティブに解答と解説を表示するプログラムを開発した。開発したインタラクティブ VBA 教材は、Web 上で公開した。

つぎに、誤概念の分析方法について説明する。当初の計画では、クリッカーを学生全員に配布し、PI 型授業を実践することで、授業中に問題を出した概念問題のクリッカーによる回答と、学生同士で議論した内容のデータを収集する予定であった。しかしながら、COVID-19 の影響により、当初、予定していた計画が実施できない状況が続いた。そのため、計画を見直し、これまでに豊富に蓄積してきた PI 型授業の実践によるクリッカーの回答データを詳細に分析し、機械学習としての人工ニューラルネットワーク (Kohonen network) の手法や、統計的仮説検定などの手法を用いて、授業中に実際に問題を出した概念問題のクリッカーの回答データを詳細に分析し、誤概念の抽出と分析を行った。これらの分析を通して概念問題の改善と新規開発を行った。

さいごに、Web システムの開発方法について説明する。当初の計画通り、ユーザーインターフェースとして Web ブラウザを用いて、どのようなモバイルからでも概念問題に回答できるシステムを構築した。また、JavaScript、CSS (Cascading Style Sheets) などのプログラミング言語も活用し、インタラクティブに回答するための Web システムを開発した。概念問題の選択肢 (ラジオボタン) をクリックすると、正解と不正解が表示され、間違えた際には、ハイパーリンクで知識を補完できるように工夫した。シンプルで見やすいレイアウトを CSS で実装した。

4. 研究成果

本研究では、人工ニューラルネットワークの手法や、統計的仮説検定などの手法を用いて、誤概念を抽出し、詳細な分析を行った。学生がつまづきやすい概念を詳細に分析することで、概念形成する授業を効果的に展開することが可能になる。その一方で、学生同士の議論により、効果的に誤概念が改善される概念問題の分析も行った。このような分析を通して、数学の概念問題を体系化し、Web上で新規に公開し、高校と大学の先生が数学のPI型授業を容易に実施できるWeb環境を整えた。さらに、将来、技術者を目指す高校生や大学生が、数学の概念問題に回答し、また、不足している知識を補完しながら、インタラクティブに概念形成することを可能にしたWebシステムを新規に開発した(工藤 知草、中村 晃、概念形成過程の分析による数学の概念形成を実現するウェブサイトの開発, 工学教育, vol. 71, no. 4, 2023, to be published.)。以下で開発したWebシステムの解説をする。多岐選択肢問題の概念問題の下にあるラジオボタン(選択肢番号)をクリックすると、インタラクティブに正解、不正解が表示される。概念問題に間違えた際には、ハイパーリンク先のページで知識を補完できるように工夫した。知識のページがない場合は新たに作成し、概念問題の詳細な解説ページも一部、開発したが、今後、充実させる必要がある。図1で、実際に開発したWebページ(線形代数の行列に関連した概念問題)を示した。概念問題をクリックすると、ラジオボタンで回答するページに移動し、概念問題にインタラクティブに回答しながら、概念形成することが可能になる。本研究では、数学、数学、数学、線形代数、確率統計、微積分学の170問以上の概念問題を新規にWeb上で公開し、インタラクティブに概念問題に回答し、知識を補完しながら自学自習で概念形成できるWebシステムを新規に開発した(https://w3e.kanazawa-it.ac.jp/math/concept_test/)。

行列 (Matrix)

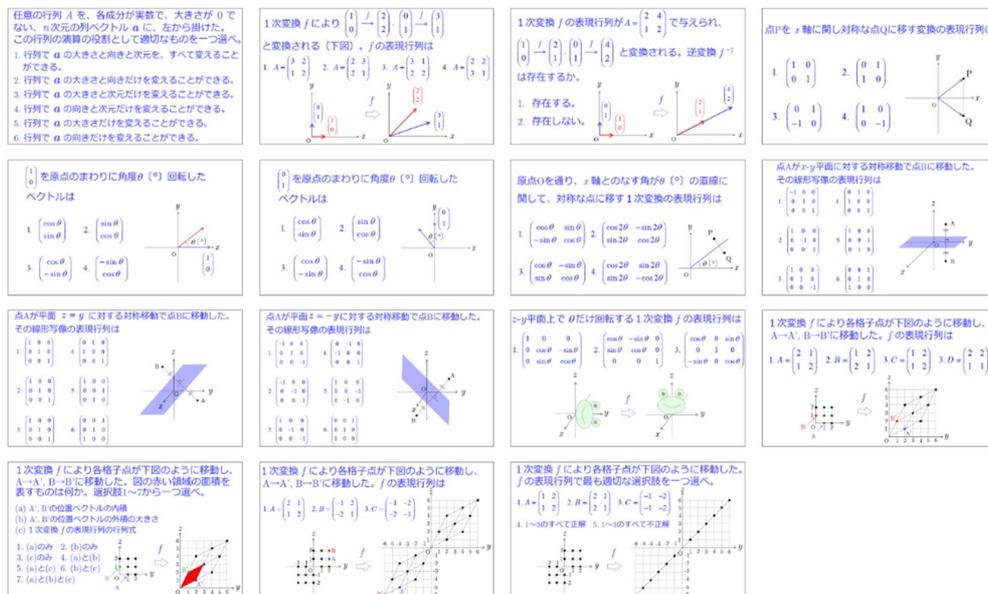


図1 新規に開発したWebページ(線形代数の行列に関連した概念問題)

本研究では、さらに、データから本質的な理解を得ることを可能にしたインタラクティブVBA教材を開発し、Web上で公開した。データ分析に慣れていない高校生が、データ分析能力を養う教材として、汎用性のあるMicrosoft Excelを活用した。以下で、振り子を例とし、インタラクティブVBA教材の解説をする(工藤 知草、データ分析と概念形成のためのインタラクティブ教材の開発, KIT Progress, vol. 31, pp. 126-135, 2023.)。Excelシート上のボタンを押すと、8つの異なる測定データからランダムにデータを取り込み、自動的に表が生成される。さらに、ボタンを押すと、x-t, v-t, a-t グラフが表示され、表とグラフに関連した定量問題が出題される。定量問題に回答すると、正解と不正解が表示されるが、その際、ランダムに読み込んだ測定データ(CSVファイル)から自動的に正解の値が算出され、その値を用いて詳細な解説を出力するシステムをVBA ProjectのFormにより開発した。一方で、データ分析のプロセスを自学自習で学習できるように、表のセルに色をつけ、表の数値データから物理量を算出できるように工夫した。ランダムに異なる測定データを読み込むため、定量問題に繰り返しトライすることができ、自学自習によりデータ分析能力を培うことができる。さらに、データに関連した概念問題に回答することで、概念理解を促進させることもできる。

今後の課題について説明する。概念問題のWebページの課題として、概念問題をさらに開発し、繰り返し学習により概念形成することを可能にしたWebサイトに発展させる。インタラクティブVBA教材の課題として、実験をさらにに行い、その測定データ(CSVファイル)を準備

し、どのようなデバイスからでも動作する教材に発展させる。

本研究をまとめると、高校や大学の先生が、数学のピア・インストラクションを導入した授業を容易に実施できる Web 環境を新規に整えるとともに、将来、技術者を目指す高校生や大学生が、インタラクティブにデータ分析と概念形成をすることを可能にした Web サイトを新規に開発し、技術者教育・工学教育に貢献した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 工藤 知草	4. 巻 31
2. 論文標題 データ分析と概念形成のためのインタラクティブ教材の開発	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 KIT Progress	6. 最初と最後の頁 126 - 135
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 工藤 知草、中村 晃	4. 巻 71-4
2. 論文標題 概念形成過程の分析による数学の概念形成を実現するウェブサイトの開発	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 工学教育	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 工藤 知草
2. 発表標題 データから読み解く作用・反作用の法則 - 概念形成するインタラクティブVBA教材の開発 -
3. 学会等名 2021年度工学教育研究講演会 講演論文集, pp.90 - 91.
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 工藤 知草
2. 発表標題 等速円運動の概念理解を目指したインタラクティブVBA教材の開発
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集 vol. 1, p. 139.
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 工藤 知草
2. 発表標題 マシンラーニングによる物理学の概念形成の分析
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集, vol. 1, p. 105
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 工藤 知草
2. 発表標題 データから概念形成するインタラクティブVBA教材の開発
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集, vol. 1, p. 106
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 工藤 知草, 中村 晃
2. 発表標題 Text-To-Speech を活用した遠隔教育に適したモジュール学習教材の開発
3. 学会等名 2020年度工学教育研究講演会講演論文集, pp.258 - 259
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 工藤 知草
2. 発表標題 ニューラルネットワークによるConcept Testの誤概念の抽出
3. 学会等名 2022年度工学教育研究講演会講演論文集, pp.364 - 365
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

https://w3e.kanazawa-it.ac.jp/math/concept_test/
数学、数学、数学、線形代数、確率統計、微積分学の170問以上の概念問題を新規にWeb上で公開し、高校や大学の先生が、ピア・インストラクションを導入した数学の授業を容易に実施できるWeb環境を整えるとともに、将来、技術者を目指す高校生や大学生が、インタラクティブにデータ分析と概念形成をすることを可能にしたWebサイトを、新規に開発した。

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	中村 晃 (NAKAMURA Akira) (60387355)	金沢工業大学・教育支援機構・教授 (33302)	

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
---------	---------