

令和 6 年 5 月 18 日現在

機関番号：57101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K02765

研究課題名（和文）マルチメディアとAIによる数学の深い学びへの誘いとその効果の検証

研究課題名（英文）Invitation to deep learning of mathematics by multimedia and AI and verification of its effectiveness

研究代表者

酒井 道宏（SAKAI, Michihiro）

久留米工業高等専門学校・一般科目（理科系）・教授

研究者番号：90353276

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,400,000円

研究成果の概要（和文）：学科横断科目「リベラルアーツ特論」受講生に対し、STEAM教育の工学と数学の関連性に着目した学習活動を実践し、自ら課題を見つける力、物事を様々な面から捉え解決する力、新しい価値を創造する力の修得を目指した。工学分野との親和性の高いトポロジー等をテーマに選定し、学習ピラミッドに沿った理解の深化を促した。前期はマルチメディア教材を用いた学習、後期はテーマ毎の協同学習を通して教員の指導の下で主体的・能動的な学習を行った。2022年度はグラフ理論、2023年度はアートをテーマに加えた。さらに、2023年度は遠隔で他高専学生を受け入れた。その結果、シンポジウムで計14件の成果発表に導くことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ICTを活用した教育は、2015年の国連サミットで採択されたSDGsの目標4に掲げられている。ICTを活用した数学教育は、ソフトウェアを用いた教授法が多く実施されている。AIについては、高専では主に低学年向けにグループ学習やプレゼンテーションを中心に実施されている。高学年向けはゼミ形式のようなものが少数ではあるが報告されている。本研究では、学習教材としても活用されているL-S理論と結び目理論、及びTDAを主なテーマとし、協同学習によるAIの手法を取り入れたマルチメディア教育を実践し、効果を検証するものである。

研究成果の概要（英文）：Learning activities focused on the relationship between engineering and mathematics in STEAM education were conducted for students taking the cross-disciplinary "Liberal Arts Seminar" to help them acquire the ability to discover problems on their own, understand and solve problems from various angles, and create new values. Themes such as topology, which have a high affinity with the field of engineering, were selected and students deepened their understanding by following the learning pyramid. Students engaged in independent and active learning under the guidance of faculty members through multimedia learning materials in the first semester and theme-specific cooperative learning in the second semester. Graph theory was added as a theme in FY2022 and art in FY2023. In addition, remote students from other technical colleges were accepted in FY2023. As a result, a total of 14 symposiums were held, leading to the presentation of results.

研究分野：トポロジー、科学教育

キーワード：STEAM教育 トポロジー 結び目理論 位相的データ解析 L-S理論

1. 研究開始当初の背景

STEAM 教育とは、科学(S)・技術(T)・工学(E)・芸術(A)・数学(M)を対象とした理数教育に創造性教育を加えた概念であり、課題を自ら見つける力、物事を様々な面から捉え解決する力、新しい価値を創造する力の習得を目標としている。2018年の文部科学省の報告書「Society5.0に向けた人材育成～社会が変わる、学びが変わる～」では、高度なデジタル社会の中で人間がその強みを発揮しAI等を使いこなすためには、STEAM教育の推進が必要とされている。また、工学系の数学教育の観点では、概念の理解や学習時間の確保が難しいことや、単なる工学の道具として捉えられがちなため、数学への興味や関心が低い等の問題点がある。

2. 研究の目的

学習者を数学への深い学びに導くための手法として「知的好奇心の喚起」と「AL」の提案、及びその効果の提示である。これらの手法を先端的な数学のマルチメディア教材とリベラルアーツ特論で実践し、その効果を検証する。

3. 研究の方法

LS理論、結び目理論、TDAについて、リベラルアーツ特論で学習定着率の向上に効果のある学習ピラミッド(講義、読書、視聴覚、実演説明、議論し合うグループ、実践、他者に教える)に沿って段階的に理解を深化させる。前期はマルチメディア教材による学習、及び課題とその説明で受動的な学びを促し、後期はテーマ毎に協同学習を行い、主体的・能動的な学習を促す。この講座を通して学生が自ら課題を発見し、解決方法を探して解くことができるように「学習から研究への橋渡し」を行い、成果をシンポジウム等での発表に導く。

【L-S理論】図形を覆うのに必要な(穴のない)ゴム膜の最小数であるL-S理論は、ゴム膜を彩色することで「図形を最低何色で塗り分けられるか?」という問題に置き換えることができる。そこで、数式処理ソフトを用いたシミュレーションによる計算に挑戦する。

- (1) 2021年度：マルチメディア教材及び課題・説明によって、可縮の概念や長方形から浮き輪、及び長方形からクラインの壺への連続的変形の理解を促す。長方形から浮き輪への連続関数の中でその像が可縮となるものを作成し、浮き輪のL-Sカテゴリ数を計算する。
- (2) 2022年度以降：2021年度と同様の学習後、長方形からクラインの壺への連続関数の中で、その像が可縮となるものを作成し、クラインの壺のL-Sカテゴリ数を計算する。

【結び目理論】結び目は、ほどけるか否か、2つの結び目が同じものか否かを解明することが重要である。そこで、マルチメディア教材を用いて合同式や行列を用いた分類方法(結び目不変量)を学習し、化学や生物で学習した分子やDNA等から得られる様々な結び目を分類することに挑戦する。

- (1) 2021年度：マルチメディア教材及び課題・説明によって、結び目の分類の理解と計算方法の習得を促す。次に、合同式や行列から誘導される結び目不変量を用いて、高分子化合物、分子ナノカーボン、及びDNA等から得られる結び目の性質を解明する。
- (2) 2022年度以降：2021年度と同様の学習後、Jones多項式のような分類能力の高い不変量を用いて、上記の結び目の性質をより詳細に解明する。

【位相的データ解析(TDA)】トポロジーの特徴を使って分析を行うため、マルチメディア教材、課題・発表でホモロジーの概念と計算方法を習得させた後にデータ解析に挑戦する。

- (1) 2021年度：マルチメディア教材及び課題・説明によって、ホモロジーの理解と計算の習得を促す。パーシステント図を用いて、Pythonによるカーボンナノチューブ等の構造のデータ解析を行う。併せて、結び目グループの分子ナノカーボンの調査結果と比較する。
- (2) 2022年度以降：2021年度と同様の学習後、パーシステント図を用いて、Pythonによるセンサーネットワーク及

びタンパク質構造等のデータ解析を行う。

4. 研究成果

学科横断科目「リベラルアーツ特論」受講生に対し、STEAM 教育における工学(E)と数学(M)の関連性に着目した学習活動を実践し、自ら課題を見つける力、物事を様々な面から捉え解決する力、新しい価値を創造する力の修得を目指す。工学分野と親和性の高いトポロジーなどを学習テーマに選定し、学習ピラミッドに沿った段階的な理解の深化を促した。前期はマルチメディア教材を用いた学習や興味を持ったテーマの発表を行い、後期はテーマ毎の協同学習を通して教員の指導の下で主体的・能動的な学習を行った。2022 年度は本校の中村准教授との連携によってグラフ理論を、2023 年度はエッシャーのタイリングに代表されるアート(A)と数学(M)をテーマに加えた。さらに、2023 年度は高専間提供科目として他高専学生を受け入れ、本校学生との協同学習を行った。その他のテーマを含め、研究期間内に高専シンポジウムで受講生による計 14 件の成果発表を行い、参加者から高い評価を得た。

【L-S 理論】

2021 年度～2023 年度：マルチメディア教材を活用した学習によって、可縮の概念や長方形から浮き輪、及び長方形からクラインの壺への連続的変形の視覚的な理解の定着に成功した。

【結び目理論】

2022 年度：マルチメディア教材を活用した学習によって、結び目の分類の理解と計算方法の習得を促した。次に、合同式から誘導される結び目不変量の p -彩色数を用いて、タンパク質の Yibk、AHAIR、UCH-L3 から得られる結び目の p -彩色数の計算を行い、結び目理論の観点からこれらの相違点を解明した。

2023 年度：鎖状錯体と呼ばれる配位化合物について、人工的に編組し作成された材料に対するゲーリッツ不変量を用いて解析し、数学的な分類に成功した。

2024 年度：マルチメディア教材での学習で、彩色数やゲーリッツ不変量などの不変量の計算方法を身につけた。8 の字結び目が自明でないこと、三つ葉結び目と異なることを同不変量の計算で確認した。

【位相的データ解析】

2021 年度：マルチメディア教材を活用した学習によって、位相的データ解析の理解と計算方法の習得を促した。次に、位相的データ解析ソフトウェアの HomCloud を用いて、炭素の同素体であるダイヤモンド、グラファイト、フラーレンのパーシステントホモロジーの計算を行い、これらの分子構造のデータ分析に成功した。

2022 年度～2023 年度：マルチメディア教材を活用した学習で、位相的データ解析の概念と計算方法の習得を促した。さらに、手法の 1 つであるパーシステントホモロジーの理解に必要なホモロジー群に関する講義を行い、数学的な理解を促した。

【グラフ理論】

2022 年度：あるモノクロ画像を元にノイズを付加した画像を複数用意して画像を復元することを考え、復元した画像の精度と使用した画像の枚数との関係について検証を行った。また、街封鎖のような外乱を考慮した最短経路をシミュレーションする方法を提案し、ダイクストラ法との比較を行った。

2023 年度：マルチメディア教材での学習で、オイラーやハミルトングラフなどの性質を学習後、応用として Ramsey 問題、テンソルネットワークとの関連、地図分布、GNN による交通網の解析を行った。

【アートと数学】

2023 年度：黄金比に着目し、黄金螺旋のデザイン、フラクタル、黄金三角形とペンローズタイル、準結晶との関係、3DCG による植物のデザインなどへの応用の調査を行った。

【その他のテーマ】

3年間の期間内では、上記テーマに加えて、曲線や曲面の曲率と工学との関連性に関するテーマ、トポロジー最適化に関して自作のプログラムと3D CADのツールとの比較、及び八面体分子構造と群の関連性をテーマにしたグループができ、学生による成果発表を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5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 酒井道宏, 田中利史	4. 巻 72
2. 論文標題 分子グラフを用いた中学生向けの早期STEAM教育用数学教材の開発と実践	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 工学教育	6. 最初と最後の頁 44-49
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 M. Sakai, M. Aizawa, K. Kawashima, M. Okita, Y. Matsuda	4. 巻 -
2. 論文標題 A report on open courses in finance for citizens, taught by female students (RIKEJO) at NIT, Kurume College	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of ISATE 2023, the 16th International Symposium on Advances in Technology Education	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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M.Sakai, S.Nakamura, H.Miki	4. 巻 11
2. 論文標題 Early STEAM Education Practice: Application of Graph Theory through Teaching Assistants	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Athens Journal of Technology & Engineering 2024	6. 最初と最後の頁 1-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.30958/ajte.X-Y-Z	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 Michihiro Sakai, Toshifumi Tanaka	4. 巻 なし
2. 論文標題 A practice of deep learning by knot theory and DNA	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of ISATE 2022, the 15th International Symposium on Advances in Technology Education	6. 最初と最後の頁 306-310
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Katsutoshi Kawashima, Michihiro Sakai, Yasuo Matsuda	4. 巻 1
2. 論文標題 A practice of deep learning by geometry	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of ISATE 2021, the 14th International Symposium on Advances in Technology Education	6. 最初と最後の頁 124 ~ 128
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Keita Nakano, Michihiro Sakai, Hiroshi Miki	4. 巻 1
2. 論文標題 Topological data analysis for molecular structures of allotropes of carbon	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Symposium on Innovative Engineering 2021	6. 最初と最後の頁 5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 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計24件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Michihiro Sakai, Toshifumi Tanaka
2. 発表標題 A practice of deep learning by knot theory and DNA
3. 学会等名 Proceedings of ISATE 2022, the 15th International Symposium on Advances in Technology Education (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井道宏, 田中利史
2. 発表標題 分子グラフを用いた中学生向けの数学教材の提案
3. 学会等名 数学教育学会2023年度秋季例会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 M.Sakai, H.Miki, S.Nakamura
2. 発表標題 Early STEAM Education Practice: Application of Graph Theory through Teaching Assistants
3. 学会等名 7th Annual International Symposium on the Future of STEAM (sciences, technology, engineering, arts and mathematics) Education (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 M. Sakai, M. Aizawa, K. Kawashima, M. Okita, Y. Matsuda
2. 発表標題 A report on open courses in finance for citizens, taught by female students (RIKEJO) at NIT, Kurume College
3. 学会等名 ISATE2023, the 16th International Symposium on Advances in Technology Education (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 酒井道宏, 田中利史
2. 発表標題 分子グラフを用いた中学生向けの数学教材の提案
3. 学会等名 第29回高専シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 酒井道宏
2. 発表標題 アートと数学を融合させた STEAM 教材の開発
3. 学会等名 第29回高専シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 長岡央士, 福元崇眞, 佐藤理央, 内村真豊, レウエティ要, 山田永久, 酒井 道宏
2. 発表標題 身近な曲率～バドミントン編～
3. 学会等名 第29回高専シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 樋口智也, 杉村晃紳, 多田拓樹, 酒井道宏
2. 発表標題 八面体分子構造の点群への帰属
3. 学会等名 第29回高専シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 樋口禎一郎, 山内雅也, 野口夏樹, 三浦理稀, 河田颯天, 酒井道宏
2. 発表標題 トポロジー最適化を用いた構造設計
3. 学会等名 第29回高専シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 河内悠眞, 井川創一朗, 則包創太, 酒井道宏
2. 発表標題 グラフ理論の応用的側面の検討
3. 学会等名 第29回高専シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 澁谷陽来, 小森悠矢, 江隅一心, 上田ゆみこ, 白木沙羅, 古澤七音, 豆田高翔, 酒井道宏
2. 発表標題 黄金比の世界
3. 学会等名 第29回高専シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 廣田航大, 芳谷太樹, 貞方海生, 酒井道宏
2. 発表標題 誰でもできる曲率の生成方法
3. 学会等名 第28回高専シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松尾陵, 野崎悠斗, 蓑毛響介, 酒井道宏
2. 発表標題 結び目不変量を用いた鎖状錯体の比較
3. 学会等名 第28回高専シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 河北多聞, 中村倫太郎, 花岡端生, 酒井道宏
2. 発表標題 点群を用いた分子の対称性の定量化・分類
3. 学会等名 第28回高専シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 江田光来, 貞方海生, 永江周助, 酒井道宏
2. 発表標題 曲率の違いによる不平等電界の大きさ
3. 学会等名 第28回高専シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 徳富好古 1・アンダーソン彪ヤルマル, 岡翼, 淡田みこ, 酒井道宏, 中村駿介
2. 発表標題 ノイズ除去に関わる画像数の最適化について
3. 学会等名 第28回高専シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 明石凜太郎, 寺元一耕, 中村開斗, 近藤碧, 酒井道宏, 中村駿介
2. 発表標題 ダイクストラ法を用いた外乱の影響をシミュレーション する方法の提案
3. 学会等名 第28回高専シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Katsutoshi Kawashima, Michihiro Sakai, Yasuo Matsuda
2. 発表標題 A practice of deep learning by geometry
3. 学会等名 The International Symposium on Advances in Technology Education 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keita Nakano, Michihiro Sakai, Hiroshi Miki
2. 発表標題 Topological data analysis for molecular structures of allotropes of carbon
3. 学会等名 International Symposium on Innovative Engineering 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 深海陽向子, 本梅航羽, 柳沙乙里, 酒井道宏
2. 発表標題 彩色数を用いたタンパク質の分類
3. 学会等名 第27回高専シンポジウムオンライン
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 未安洸樹, 青山知弘, 田村拓磨, 酒井道宏
2. 発表標題 曲面曲率のプロット
3. 学会等名 第27回高専シンポジウムオンライン
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 副島央登, 佐藤美菜, 益田光, 酒井道宏
2. 発表標題 トポロジカル絶縁体
3. 学会等名 第27回高専シンポジウムオンライン
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石橋和弥, 大國廣人, 河野凌也, 高橋翼, 酒井道宏
2. 発表標題 パーシステントホモロジーを用いた炭素同素体の解析
3. 学会等名 第27回高専シンポジウムオンライン
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石橋和弥, 大國廣人, 河野凌也, 高橋翼, 酒井道宏
2. 発表標題 パーシステントホモロジーを用いた炭素同素体の解析
3. 学会等名 第27回高専シンポジウムオンライン
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

researchmap https://researchmap.jp/m.sakai
--

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	田中 利史 (TANAKA Toshifumi) (60396851)	岐阜大学・教育学部・准教授 (13701)	

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