

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：25405

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03185

研究課題名（和文）後期中等教育段階における数学と物理の双方向性の構築と双方向性指向教材の開発研究

研究課題名（英文）Research on the Construction of Bidirectionality in Mathematics and Physics at the Upper Secondary Education Level and the Development of Bidirectional-Oriented Teaching Materials

研究代表者

南郷 毅（Nango, Tsuyoshi）

尾道市立大学・経済情報学部・教授

研究者番号：30710933

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、後期中等教育段階の学習者（高校生や高等専門学校の低学年生）が、日常的に数学と物理を関連させて学習するために、数学と物理の学びにおける双方向性を構築することを目的とした研究である。本研究では、まず、数学と物理の表面的な双方向性や身につける力の関連を明らかにした。明らかになった双方向性や関連をもとに、双方向性を体感しながら学ぶ教材を開発した。また、その教材を実際に授業で活用し、授業の改善点の導出や教材自体の改良を行った。開発した教材や実践の成果は、Webサイト、学会発表、論文を通じて公開した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、数学と物理の関連を双方向性という視点で捉えて教材を開発したことである。これまで開発されてきた多くの教材や実践は、数学と物理の学習をある程度終えた学習者が、探究活動を通じてそれらを統合し、課題を解決する形式のものであった。本研究では、統合ではなく日常の授業で双方向に学ぶ形で関連を実現した。日常の授業で活用可能な表面的な双方向性を明らかにし、また、より深い双方向性の理解を図るための教材を開発した。本研究の社会的意義は、平成30年改訂の学習指導要領で述べられている関連を図る指導の例やそのための教材を提示できたことである。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to establish bidirectionality in the learning of mathematics and physics for learners at the late secondary education stage (high school students and lower-grade students at KOSEN) to facilitate their daily integration of mathematics and physics studies. In this study, we first clarified the superficial bidirectionality and the related skills acquired in mathematics and physics. Based on the identified bidirectionality and related skills, we developed teaching materials that allow students to experience this bidirectionality in their learning process. Additionally, these materials were utilized in actual classroom settings, leading to the identification of areas for improvement in the lessons and further refinement of the teaching materials themselves. The developed teaching materials and the results of their implementation were disseminated through websites, conference presentations, and academic papers.

研究分野：数学教育

キーワード：双方向性の構築 数学教育 物理教育 工学教育 関連 教材開発

1. 研究開始当初の背景

平成30年に学習指導要領[1]が告示された。高等学校の現場では、主体的・対話的で深い学びの実現に向けた授業改善が求められていた。一方、高等専門学校は学習指導要領に規定されることはないものの、同様の授業改善が求められていた。

学習指導要領では、主体的・対話的で深い学びの実現に向けた授業改善として

- ・「生徒が各教科・科目等の特質に応じた見方・考え方を働かせながら、知識を相互に関連付けてより深く理解」[1](p.17, 総則)
- ・「各科目を履修させるに当たっては、当該科目や数学科に属する他の科目の内容及び理科、家庭科、情報科、この章に示す理数科等の内容を踏まえ、相互の関連を図るとともに、学習内容の系統性に留意すること。」[1](p.127, 数学科)
- ・「相互の連携を一層充実させるとともに、他教科等の目標や学習の内容の関連に留意し、連携を図ること。」[1](p.167, 理科)

と示されている。学習指導要領では、日常の授業改善の一環として、教科や科目を超えた関連を図る指導が特に重視されていた。

学習指導要領に向けた授業の改善と関連を図る教育として、数年前から、スーパー・サイエンス・ハイスクール指定校を中心に、課題学習単元における探究活動や学校設定の探究科目で、数学と物理を用いて問題解決を図る教材が多数開発され、実践事例が蓄積されていた。また、「理数探究基礎」「理数探究」といった新設科目に向けた研究も始まり、教材や指導のあり方が検討されていた。

しかし、これらの教材や実践事例の多くは、数学と物理の学習をある程度終えた学習者が、探究活動を通じてそれらを統合し、課題を解決する形式のものであった。つまり、日常的な学習において、数学と物理を関連づけて学ぶ形にはなっていなかった。平成21年改訂の学習指導要領にも関連を図る教育についての記述はあった。しかし、最も基本的な教材である教科書を見ても、教科を超えた関連を見出すことは困難であった。数学の教科書を見ても、物理のどの分野につながっているかといった記述は見られなかった。多くの高校生や高等専門学校生は、自分の力で数学と物理を関連付けて学ぶことが難しい状況であった。また、教員も数学と物理の双方について相当深い知見を持っていない限り、関連を図る指導を日常的に実施することは困難であった。このように、研究開始当初においては、学習指導要領の理念を実現することは難しい状況があった。

このような状況を改善するためには、数学や物理の授業の中で、学んでいることが互いのどの学習とつながるのかといったことや、それぞれの科目の見方や考え方のつながりを明らかにすることが必要である。さらに、明確になったつながりを学習者が認識できるような指導や教材を開発することが必要である。本研究では、このような互いの科目間の様々なつながりを双方向性と呼ぶ。

2. 研究の目的

本研究の目的は、後期中等教育段階の学習者（高校生や高等専門学校の低学年生）が、日常的に数学と物理を関連させて学習するために、数学と物理の学びにおける双方向性を構築することである。

本研究により、数学と物理の教員間の議論が活発化し、互いの学習事項を題材とした教材の作成や指導が促進されると期待される。また、学習者は、物理で学ぶ内容に数学が、数学で学ぶ内容に物理が存在することを認識し、学習事項を相互に関連づけて理解する力を向上させることができる。

3. 研究の方法

本研究では、数学と物理の双方向性を構築するために、次の4項目を実施する。

- ① 数学と物理の教科書における単元ごとの関連を調べ、表面的な双方向性を構築する。
- ② 数学と物理の学習事項において、それぞれの科目間で身につけるべき力の関連を導出し、身につける力の双方向性を構築する。
- ③ 数学と物理の双方向性を体感しながら学ぶ、双方向性指向教材を開発する。
- ④ 開発した教材を実際に高等専門学校1、2年の授業で活用、改善したのち公開する。

研究代表者(南郷)の役割：研究統括、①②③④における主に数学分野担当、教材のWeb公開
研究分担者(牧山)の役割：①②③④における主に物理分野担当、教材化する物理実験の開発

学習指導要領、学習指導要領解説、数学と物理の教科書の内容を単元ごとに詳細に調べ、研究チーム内で定期的に議論を繰り返し、単元間の関連を明らかにする。数学と物理、物理と数学のそれぞれからみた関連を表にまとめ、教科書に見られる表面的な双方向性を構築する(①)。また、①の調査と同時に、数学で身につく力を物理で活かす事例や物理で身につく力を数学で活かす事例についても、調査、議論し、授業で使える説明事例集としてまとめる(②)。①②で構築した

双方向性を活用し、表面的な関連を日常的に意識させる表面的双方向性指向教材、数学と物理のより深い関連を意識させる総合的双方向性指向教材を開発する。④のアンケートを開発する。開発した教材を実際に授業で活用し、改善点を洗い出す。学生のレポートの記述や、関連の意識についてのアンケート結果を収集、分析し、実際の学校現場で使えるように改善する。改訂後の学習指導要領に対応した教科書を調達し、教材を微修正する。また、研究成果をまとめた論文を執筆、投稿する。最後に、開発した教材群をWeb上で公開する。

4. 研究成果

本研究の成果は次のとおりである。

(1) 数学と物理の表面的な双方向性について

高等学校や高等専門学校で数学と物理の教科書を取得し、数学から見た数学と物理の関連、物理から見た物理と数学の関連を調査した。調査結果を研究グループで議論し、数学と物理の表面的な双方向性を構築した。物理の各分野には、前提となる数学として、ベクトルと三角関数が共通していることが明確になった。また、高等学校では、物理基礎の段階から微分の考えや区分求積法などの考え方が現れていることが確認された。物理の教科書では数学との関連に触れるような記述が多数見られるが、数学の教科書では物理との関連についてほとんど触れていない現状等が明らかになった。調査結果を論文にまとめ、弓削商船高等専門学校紀要にて公表した。表1のように、各教科の分野別に数学から見た物理、物理から見た数学がわかる形で、数学と物理の表面的な関連を明示した。これにより、数学教員、物理教員がともに利用可能な、数学と物理の関連の一覧表を提供することができた。

表1 基礎数学分野と物理の関連

分野名	単元名	学習事項	関連する物理の学習事項	関連する物理の単元名	関連する物理の分野名
2次関数とグラフ、方程式・不等式	2次関数	平方根	物体の運動		
		運動方程式	物体の運動		
		運動方程式のグラフ	物体の運動		
		2次関数のグラフ	物体の運動		
		2次関数のグラフ	物体の運動		
		2次関数のグラフ	物体の運動		
		2次関数のグラフ	物体の運動		
		2次関数のグラフ	物体の運動		
		2次関数のグラフ	物体の運動		
		2次関数のグラフ	物体の運動		
微分積分・対数関数	微分積分	微分	物体の運動		
		積分	物体の運動		
		対数関数	物体の運動		
		微分	物体の運動		
		積分	物体の運動		
		対数関数	物体の運動		
		微分	物体の運動		
		積分	物体の運動		
		対数関数	物体の運動		
		微分	物体の運動		
三角比	三角比	三角関数	物体の運動		
		三角関数	物体の運動		
		三角関数	物体の運動		
		三角関数	物体の運動		
		三角関数	物体の運動		
		三角関数	物体の運動		
		三角関数	物体の運動		
		三角関数	物体の運動		
		三角関数	物体の運動		
		三角関数	物体の運動		
微分積分	微分積分	微分	物体の運動		
		積分	物体の運動		
		対数関数	物体の運動		
		微分	物体の運動		
		積分	物体の運動		
		対数関数	物体の運動		
		微分	物体の運動		
		積分	物体の運動		
		対数関数	物体の運動		
		微分	物体の運動		
基礎数学 三角関数	三角関数	三角関数	物体の運動		
		三角関数	物体の運動		
		三角関数	物体の運動		
		三角関数	物体の運動		
		三角関数	物体の運動		
		三角関数	物体の運動		
		三角関数	物体の運動		
		三角関数	物体の運動		
		三角関数	物体の運動		
		三角関数	物体の運動		

(2) 数学と物理を日常的に関連づけて学ぶための教材について

新型コロナウイルス感染症対策でオンライン授業が求められるようになったこと、学生のインターネット環境が劇的に改善したことを受けて、当初の予定を変更し、動画教材を開発することにした。5分以内で完結するように要点を絞って解説する、物理の単元に対応した数学解説動画集「物理のための数学」を作成した。物理分野の大半で基礎となっている、基礎数学分野を中心に38本の動画を作成し、Webサイトで公開した。

(3) 双方向性指向教材について

本研究で開発した教材は、作図器を利用した双方向性指向教材、双方向性指向教材の基礎となる物理実験動画教材、考察した双方向性を確認するためのシミュレータ教材に分類される。表2にまとめる。また、作図器2点を図1に示す。

表2 開発した双方向性指向教材

区分	教材名
作図器	楕円コンパス、放物線作図器
物理実験動画教材	ボトルクロック、ガリレオ振り子時計、ホイヘンス時計、垂揺球儀、ニューコメンの大气圧エンジン、スターリングエンジン、ワットの蒸気エンジン、ワルシャート弁の機構
シミュレータ教材	津波シミュレータ、積分シミュレータ、サイコロシミュレータ

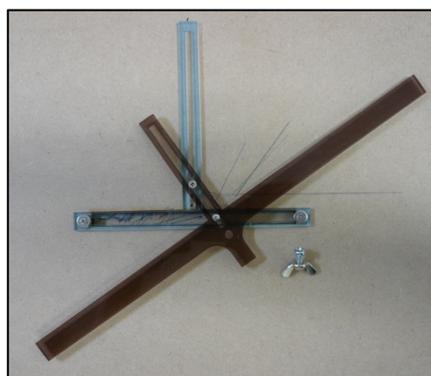


図1 楕円コンパス (左) と放物線作図器 (右)

楯円コンパスについては、詳細な解析だけでなく、実際の授業で活用するための学習指導案も開発した。さらに、コンパス、楯円コンパス、放物線作図器と、それらが描く曲線についての問とワークシートからなる教材群も開発した。開発した教材は、論文や学会発表で報告し、Web サイトにて公開している。

(4) 双方向性指向教材を用いた授業について

楯円コンパス教材を用いた実践を高等専門学校や大学で実施し、データを収集した。開発した教材を用いた授業のアンケート結果やワークシートからは、教材が学生の関連の認識を深めるきっかけになることが明らかになった。また、学生のを数学で表現する力が極めて弱いことや、その力を伸ばすための教材の必要性が明らかになった。

(5) その他

動画教材を多数開発したことをきっかけに、動画を活用したオンデマンド型の数学教育についても検討した。大学での授業の分析結果を論文にまとめて発表した。

開発した動画教材やシミュレータ等を組み込んだ学習 Web サイト『まな Bits』を、公益財団法人学習情報研究センターが主催する令和4年度第38回学習デジタル教材コンクールに出品したところ、佳作となった。

【参考文献】

[1] 文部科学省(2018), 「高等学校学習指導要領」

http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2018/07/11/1384661_6_1_2.pdf

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5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 3件）

1. 著者名 南郷 毅, 牧山 隆洋	4. 巻 46
2. 論文標題 楢岡コンパス教材を活用した教育実践	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 弓削商船高等専門学校紀要	6. 最初と最後の頁 44-52
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 南郷 毅	4. 巻 28
2. 論文標題 オンデマンド型の数学授業における取り組みについて	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本数学教育学会高専・大学部会論文誌	6. 最初と最後の頁 111-116
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 -

1. 著者名 牧山 隆洋, 中神 悠太, 猪本 修	4. 巻 70
2. 論文標題 津波シミュレーションアプリの開発と教育実践	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 物理教育	6. 最初と最後の頁 8-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20653/pesj.70.1_8	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 南郷 毅, 牧山 隆洋	4. 巻 44
2. 論文標題 高等専門学校一般科目における数学と物理の双方向性の構築	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 弓削商船高等専門学校紀要	6. 最初と最後の頁 67-75
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 南郷 毅, 牧山 隆洋	4. 巻 26
2. 論文標題 楢岡コンパスを用いた数学と工学の関連を図る高等専門学校向け基礎教材の開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本数学教育学会高専・大学部会論文誌	6. 最初と最後の頁 11 - 24
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 -

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 南郷 毅
2. 発表標題 目標を達成できなかった取り組みの分析
3. 学会等名 日本数学教育学会第105回全国算数・数学教育研究(青森)大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 南郷 毅
2. 発表標題 数学と工学の関連の認識を深める教材の開発-実習工場で作成した教材-
3. 学会等名 KOSENフォーラム2023 OS-31 理工系教育のための教材開発と実践
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 牧山 隆洋
2. 発表標題 蒸気機関模型作製からたどるニューコメンの思考
3. 学会等名 日本科学史学会第70回年会(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 牧山 隆洋, 金田 伸, 南郷 毅
2. 発表標題 理工系教育のための教材開発
3. 学会等名 KOSENフォーラム2023 OS-31 理工系教育のための教材開発と実践
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 牧山 隆洋
2. 発表標題 ワルシャート式弁装置の教材開発
3. 学会等名 2023年度日本技術史教育学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 南郷 毅, 牧山 隆洋
2. 発表標題 楢円コンパス教材を用いた教育実践
3. 学会等名 日本数学教育学会第104回全国算数・数学教育研究(島根)大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 牧山 隆洋
2. 発表標題 コンデンサーの動きが分かる熱力学教材JAMESの開発
3. 学会等名 日本物理教育学会年会第38回物理教育研究大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 牧山 隆洋, 南郷 毅, 益崎 智成
2. 発表標題 理工系教育のための教材開発
3. 学会等名 KOSENフォーラム2022 OS-53 理工系教育のための教材開発と実践
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 南郷 毅
2. 発表標題 作図器の教材化と実践
3. 学会等名 KOSENフォーラム2022 OS-53 理工系教育のための教材開発と実践
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 牧山 隆洋, 南郷 毅, 池上 彰, 八原 瑠里
2. 発表標題 物理シミュレーションアプリ群PAKについて
3. 学会等名 KOSENフォーラム2021 OS-42 物理のシミュレーションアプリ群PAKについて
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 南郷 毅
2. 発表標題 学習支援サイト「まなBits」の 数学コンテンツについて
3. 学会等名 KOSENフォーラム2021 OS-42 物理のシミュレーションアプリ群PAKについて
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 南郷 毅
2. 発表標題 情報工学科の学生から見た数学と情報の関連
3. 学会等名 日本数学教育学会 第103回全国算数・数学教育研究(埼玉)大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 牧山 隆洋
2. 発表標題 物理シミュレーションアプリ群PAKの開発
3. 学会等名 日本物理教育学会 第37回物理教育研究大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 南郷 毅
2. 発表標題 学生から見た数学と情報の関連
3. 学会等名 日本数学教育学会 第102回全国算数・数学教育研究(茨城)大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 南郷 毅
2. 発表標題 数学のよさの強調事例について-数学と日常や他教科などとの関連-
3. 学会等名 日本数学教育学会 第101回全国算数・数学教育研究(沖縄)大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 牧山 隆洋
2. 発表標題 自作エンジンの授業への応用
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会 [物性]
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 牧山 隆洋
2. 発表標題 自作時計の製作と授業への応用
3. 学会等名 日本物理教育学会 第36回物理教育研究大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 牧山 隆洋, 内海 優作, 中神 悠太, 続木 章三, 中村 純	4. 発行年 2021年
2. 出版社 栄譜情報システム	5. 総ページ数 122
3. 書名 目からうるこの技術工作	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>まなBits https://bits.makiyama-phoenix.jp 目からうるこの技術工作 https://products.makiyama-phoenix.jp 物理実験動画公開ページ https://products.makiyama-phoenix.jp 楕円コンパスCADデータ https://github.com/TakahiroMakiyama/EllipticTrammels</p>

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	牧山 隆洋 (Makiyama Takahiro) (20804553)	弓削商船高等専門学校・総合教育科・准教授 (56302)	

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