

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：32678

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K02964

研究課題名(和文)理工系大学初年度物理受講生の思考過程調査に基づいた物理教科書開発の研究

研究課題名(英文) Study of development of an introductory physics textbook based on survey of thought processes of first-year engineering students

研究代表者

右近 修治 (Ukon, Shuji)

東京都市大学・共通教育部・教授

研究者番号：60735629

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：物理教育研究(PER)による調査結果に基づき、標準的な理工系大学入門力学教科書を開発した。教科書に求められるものは1.深い概念的理解,2.問題解決スキルの育成,3.望ましい学習観の育成の3点である。学生は授業や教材群に対し、どのような態度で臨み、どのような思考過程を経て物理を把握するのか、またどのようにして素朴概念や誤概念を克服していくのかを分析し、教科書を開発した。文章、図解、グラフ、数式等の多様表現に着目すると共に、学生の問題解決方略指導に十分な配慮がなされている。完成した教科書は力学の基礎的分野からなる316頁ほどのテキストで、紙媒体、電子媒体、それぞれに対応している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

物理教育研究(PER)は科学的思考法に基づいた学問固有の科学的題材についての学習と教授に関する教育研究(DBER)である。通常教育研究同様、認知科学や脳神経科学の最新の成果を取り入れ、学生の学習過程を科学的に探求する分野である。一方、学生の物理法則理解に基づいた推論の過程を支援し、学生が物理概念を効果的に獲得することを目指すため、研究者は物理学領域固有の専門性を必要とする。本研究の特色は、こうしたDBERのプログラムに沿って入門力学教科書を開発した点にある。特に物理学の概念的理解と多様表現の関わり、そして学生の問題解決スキルの育成に焦点を当てた本研究は、今後の物理教育への新たな一歩となる。

研究成果の概要(英文)：An introductory physics textbook for first-year engineering students has been developed based on Physics Education Research. Generally, developing powerful problem-solving skills, developing desirable learning attitudes about science, and a deep conceptual understanding are required for textbooks. We analyzed how students approach teaching materials and how they overcome misconceptions. At the same time, attention was paid to students' multiple representations such as sentences, illustrations, graphs, and mathematical formulas, and sufficient consideration was given to students' problem-solving strategies. Based on these studies, a 316-page textbook on basic mechanics was developed, including Newton's law, impulse, and linear momentum, work and energy, and so on, which corresponds to both paper and electronic media.

研究分野：物理教育研究

キーワード：物理教育研究(PER) 多様表現 物理スイート 理工系大学入門教科書 思考過程調査 力学概念調査(FI) 概念的理解 問題解決スキル

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

(1)科学をどう教えるか 平成 18 年に東京で物理教育国際会議(ICPE2006)が開催され、アメリカにおける新しい物理教育の流れである物理教育研究(PER)が大きく注目された。覧具博義(東京農工大学教授(当時))を代表とした、初等中等から高等教育にわたる 20 名ほどの構成員(右近修治(研究代表者)、新田英雄(研究分担者)を含む)からなる物理教育研究グループが結成され、アメリカ物理教育界において長年 PER の牽引的役割を果たしてきた Edward F. Redish による著作 "Teaching Physics with the Physics Suite" の、実践的検証に基づいた研究を進め、調査結果は「初等中等教育と大学教育の連携による物理教育の改善」(研究代表者:覧具博義, 基盤研究(C)課題番号 18500654, 新田英雄(研究分担者)はその研究分担者, 右近修治(研究代表者)はその研究協力者であった)として報告された。同グループによる研究活動の成果は同書の翻訳本「科学をどう教えるか:アメリカにおける新しい物理教育の実践」出版として結実した。

(2)物理教育研究(Physics education research:PER)と DBER 物理教育研究(PER)は、科学的思考法に基づいた科学的題材についての学習と教授に関する教育研究(Discipline-based education research:DBER)であり、一般的な教育研究とは異なる新しい学問分野である(L.C.McDermott,Am.J.Phys.82(8),2014)。PER は、通常の研究同様、認知科学や脳神経科学の最新の成果を取り入れ、学生の学習過程を科学的に探求する分野である一方、学生の物理法則理解に基づいた推論の過程を支援し、学生が物理概念を効果的に獲得することを目指すため、その研究者は物理学領域固有の専門性を必要とする。それゆえ、物理教育研究(PER)は DBER である。2020 年、日本学術会議は「物理学における学問分野に基づく教育研究(DBER)の推進」を提言するに至った。

(3)物理スイート(Physics Suite) PER は、科学的評価手段とセットとなった教科書、試金石問題(Touchstone Example)、チュートリアルワーク、相互作用型演習実験講義(Interactive Lecture Demonstrations:ILDs)、ピア・インストラクション(Peer Instruction)等の一連の教材、授業法の全体を物理スイート(物理教育一式)と呼び、中核に著作「科学をどう教えるか」を位置づけている。日本の後期中等教育から高等教育にかけての物理教育の実情に応じた物理スイートの研究が注目されている。

2. 研究の目的

いかなる物理教科書が学生に高い学習効果をもたらすのか。学生の持つ誤概念を変容させ、問題解決スキルを向上させるなど、高い学習効果をもたらす教科書を構成する要素・教材は何か。物理スイートが含む教科書と授業形態は不可分離の関係にあるが、日本の大学で実現可能なもののうち、どのように構成された教科書と、どのような授業形態の組み合わせが学生に高い達成度をもたらすのか。本研究の目的は、理工系大学初年度生を対象とした物理教育研究(PER)による調査結果に基づき、高大接続改革に沿った標準的な大学入門力学教科書を開発することにある。PER と区別される従来型の物理教育の主流は教材開発である。しかしその多くは、教育にとって有効であると開発者が「思う」教材の開発であり、その効果に関する研究が持続し、科学的検証が続けられていくものは希である。PER、DBER に基づく研究プログラムに沿った本研究の目的は、聞き取り調査と各種統計調査とを結合した新たな解析「統合解析」による事実に基づいて、教科書と授業形態の効果を検証し、日本の教育環境に応じた新たな物理スイートを構成する教科書を開発することである。

3. 研究の方法

学生は授業や教材群に対し、どのような態度で臨み、どのような思考過程を経て物理を把握するのか、またどのようにして物理に対する素朴概念、誤概念を克服していくのかを、すでに PER によって蓄積されている研究成果を取り入れつつ分析する。こうした調査結果に基づき、効果的であることの証拠が得られた教材群によって構成される紙媒体、デジタル、双方の形式の物理(力学)教科書を開発する。

学生の概念的理解を促進させ、学習観・学習姿勢を好ましい形に転換させる力学教科書を検証作業と並行させながら開発する。開発された教科書は改善サイクルに投入し、完成度が高められる。教科書開発は、高大接続改革の観点を重視し、高、大を通じて豊富な授業研究、教材開発・教科書の執筆経験を持つ右近修治(研究代表者)、山本明利(研究分担者)が中心となり、新田英雄(研究分担者)、岸澤眞一(研究協力者)、長谷川大和(研究協力者)、宮崎幸一(研究協力者)と共に企画・編集・執筆する。様々な授業形態への教科書の実践的投入は右近修治、中村正人(研究分担者)によって企画され、岸澤眞一、長谷川大和、宮崎幸一と共に実行される。また分析は中村正人が設計・解析を主導する。本研究の総括は新田英雄、右近修治によってなされる。

本研究期間に上記 7 名を構成員として 15 回のミーティング(各回 6 時間程度)を開き、その都度調査結果と執筆内容を共有しながら研究を続けた。

4. 研究成果

(1)「SUPER 入門力学」 本研究の成果物である「SUPER 入門力学」(Student-centered Understanding based on Physics Education Research) (全 316 頁) は次の各章から成る。第 1 章測定, 第 2 章 1 次元の運動, 第 3 章ベクトル, 第 4 章 2 次元の運動, 第 5 章力と運動, 第 6 章ニュートンの法則の応用, 第 7 章力が変化する運動, 第 8 章仕事とエネルギー, 第 9 章エネルギー保存の法則の活用, 第 10 章運動量, 第 11 章衝突。以下の記述は本「SUPER 入門力学」開発に関するものである。

(2)理工系入門物理教育の到達目標 大学理工系入門物理教育が目指す目標は, 深い概念的理解(a deep conceptual understandings), 問題解決スキルの育成(powerful problem solving skills), 好ましい学習観の育成(learning attitudes about science)の 3 つである。学生が問題解決スキルを獲得するためには概念的理解は必要条件である [1]。

(3)深い概念的理解と問題解決スキル 基盤研究(C)(15K00933 代表:右近修治)による調査から得られた, 学生がやや複雑な 2 体問題を解く全過程を記録した 34 名のビデオ画像を新たに詳細に検討し, 評価した。調査問題は, チワワ(犬)と人が摩擦の無視できる床上に立ち, 人が犬に結び付けた紐を一定の力で引き続けた場合, 両者が会おうときの犬の速さを求める問題である。解に至るまでの経路が多様であると共に, その行程は比較的長い。単純な "plug and chug" 方略(暗記した公式に数値を代入して答を求める方略)は役立たない。一方, 等加速度運動や運動方程式の基本を理解していれば完全正答が可能である。もちろん, 仕事と運動エネルギーの関係や運動量保存の法則, 2 物体系の扱い方等を知っていれば, より有利に進めることができる。学生面接の記録から, 学生が問題を解く過程を「図解」「記号の割り振り」「物体系の認識」「座標軸の設定」「運動方程式」「等加速度運動の方程式」「変位」等 16 の観点から評価し, 5 人の評価者による平均点(1 点満点)をその学生が持つ問題解決スキルの数値評価(問題解決評価)とした。表 1 は 3 名の学生 A, B, C に与えられた数値評価とその学生が記述した特徴的な関係式, 図解の例である。

表 1 学生の問題解決の実例

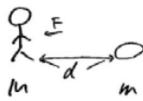
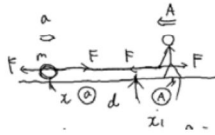

学生	数値評価	取り組み状況	特徴的な関係式	図解
A	0.06	右の図解をした後で, しばらく黙考する。「おそらく文字で答えるのですが, これはちょっとわからないでしょうね。厳密な答の値はわからないけど, 一応チワワの速さは, 男と全く同じだと思います。質量が M と m , 不等号はないけれども, 一般的にチワワの方が軽い。軽いものを引っ張ると, …質量に関わりなく両者とも(力は)一緒。その速さをどう求めるかはわからない。導き出す手順が全くわからない。」で段階 I を終了。	-	
B	0.54	チワワ, 人が受ける張力が等しく, それぞれに別の大きさの加速度が生じることを認識している。符号の混乱があるものの運動方程式を書くことができた。「チワワは人より軽いかなと思った。そうすると加速度はチワワの方が大きくなって人の方が小さくなると思った。チワワは真ん中より右で人と合うかなと思った。どこで会おうかと思ったところで, 人とチワワの質量と加速度の比で出るかなと思った。でもここでわからなくなった。」と発言し, 段階 I を終了する。	$m: M = a: A = a$ $a = \frac{M}{m} A$ $x: d = a: A + a$ $x = \frac{a}{A+a} d$	
C	0.97	開始から 2 分, 相対速度, 相対加速度を考え始め, 解法の方針を固める。チワワ, 人, それぞれの運動方程式より, 人に対するチワワの相対加速度を求め, 等加速度運動の関係式より, チワワが人に対して d 進む時間を求める。これよりチワワの速度を求めるが, 計算間違いに気が付かず段階 I を終了する。段階 II でも再度同じ手順で計算を繰り返すが, チワワの地上に対する速度, 人に対する速度の違いを明確にするなど, より慎重に進め, 解を得る。	$v_{rel}^2 = v_c^2 = 2a_{rel}d$ $v_{rel} = v_c - v_p = \frac{m}{m+M} F t$ $v_{rel} = (1 - \frac{M}{m+M}) v_p = (\frac{m}{m+M}) v_p$	

表 1 に, 数値評価の低い学生 A, 中程度の学生 B, 高い学生 C と, それぞれの学生の実際の調査取組状況を示す。学生 A は, 明らかに数式表現, 図解表現に大きな課題を抱えている。力学の出発点である, 人が受ける力, チワワが受ける力を図解することさえできない。問題を理解することは問題解決の第一歩であるが, この段階ですでに失敗している。一方この資料からは, B, C の学生で, 数式表現, 図解表現に質の違いがあるのかまではよくわからない。問題解決スキルと, 学生による多様表現との関わりについての詳細な分析は今後の研究課題である。

表中にある段階 I とは問題の文章以外, 何の情報も与えずに, 自由に問題と取り組ませる段階である。段階 II は, 取り組みを終了したと判断した時点で, 学生にポリアによる問題解決の手法を説明し, それを参考にしてさらに取り組ませる段階である。段階 III, 共, 学生はいつやめてもよい。

基盤研究(C)(課題番号: 15K00933 研究代表者: 右近修治)による調査結果によれば, FCIPost の成績と問題解決評価との間には相関がある(相関係数 0.57)。しかし詳しく見ると, FCIPost 20 点(30 点満点)以上の者(N=15)ではほとんど相関がない。概念的理解なくして問題解決スキルは発揮できないが, 概念的理解さえあれば, ただちに問題が解けるようになるというわけでもない, これは当然の結果と言える。しかしさらに調査時期が前期必修物理学終了時から 2 か月以内の者(N=22)と 3 か月以上の者(N=12)とで改めて相関を調べると, 相関係数は前者で 0.53, 後者で 0.82 であった。講義終了時から時間が経過するほど, 問題解決スキルと概念的理解との相関が増大している。この調査結果は, 入門物理教科書開発の出発点となった。学生の概念的理解を促進することのできる教科書を開発することが第 1 の目標として定められた。

(4)到達目標を実現する教科書 教科書は素材と形式によって構成される。素材は教材の内容で

ある。教科書の内容として 物理教育研究(PER)として長年検討され、有効であることの証拠が得られている教材、身近な問題・日常的な問題に根差した教材を多く取り入れる方針を取った。また形式として 問題解法指導の充実、多様表現 (multiple representations) の導入、多彩なアナロジー、モデルの導入を目指した。

(5)問題解法指導の充実 (3)で既述した、調査問題に段階、を設定したことによって得られた知見から、学生に対する問題解法指導の重要性が着目された。数学者ポリアは有名な著作「いかにして問題を解くか (How to solve it)」において、数学の難問を解くための方略を次の4つのステップに整理している。ステップ1 問題を理解する、ステップ2 計画を立てる、ステップ3 計画を実行する、ステップ4 振り返る。「SUPER 入門力学」の各章本文中に設けられている例題の解法例は、全てポリアの指針に従って記述されている。日々の例題演習の過程で、学生が自然に問題解法方略を身に付けることができるようにするためである。その際、ステップ2における図解表現の充実が強調されている。表1の学生による図解参照から、数値評価の低い学生ほど図解表現に乏しいことが示唆されたためである。

(6)多様表現 物理学では的確な情報伝達のため、文章、写真、表、物理図解、概念図、数式図解、グラフ、数式表現等々の多様表現 (multiple representations) を駆使する。エネルギーバンドやファインマン・ダイアグラム (数式図解) などの「学問的図解」のような、その解読に一定水準以上の学力が要求されるものがほとんどである。一方、理工系基礎教育としての入門物理学の現場で、上記した学術的多様表現を不用意に提示すれば、学習者の認知的負荷を増大させるだけの結果となる。数ある教科の中で、学生が特に物理に対して持つ突出した苦手意識造成の主因は、不用意に提示される学術的多様表現にあると考えられる。Ainsworthによれば、単に文章と図の組み合わせというだけに限らず、文章、オーラル、写真、図解、グラフ、表、数式等あらゆる形式の適切な多様表現 (multiple representations) の組み合わせが、複雑で新規な事柄を学習することに対して効果的であり、学生の物理概念獲得に関わって次の3つの機能がある (S. Ainsworth, 2006)。

1. 複数の多様表現を活用することにより、これらが互いに補完しあって情報をより正確に伝えることができる (complementary roles)、2. 多くの多様表現を同時に提示することにより、解釈を絞ることができる (constrain interpretation)、3. より深い理解に到達することができる (construct deeper understanding)。「SUPER 入門力学」第2章34頁の例題4では斜面を遡る力学台車の運動が取り上げられている。図1はそこで示されている5つの多様表現である。学習者は同一内容に対する異なる表現から、これらの相互関連、補足関係を見いだすことにより、各表現の意味の理解を通してより深い概念的理解へと導かれる。こうした多様表現を駆使した記述は、本文各章で配慮されている[2]。

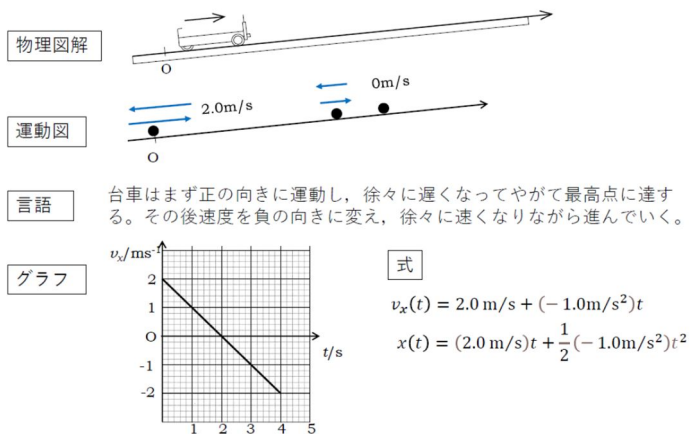


図1 斜面を遡る運動の多様表現

(7)多様表現と問題解法スキル 学生の問題解法スキルに関する研究には長い研究史がある (F. Reif, J.H. Larkin, G.C. Brackett (1976), L. Hsu, E. Brewster, T.M. Foster, K.A. Harper (2004))。新しい問題と直面したとき、専門家は定量的に評価する前に、図解、式、グラフ等の多様表現を活用することによって問題を質的に検討することから始める。一方、初学者は公式に数値を代入することから始める (plug and chug)。初学者の問題解法プロセス指導に、次の4点で示される様な多様表現の活用を導入することにより、大きな改善が見られることが知られている。1. 問題(与えられた条件、何を求めるのか等)を自分の言葉で説明させる言語表現、2. 状況、あるいはプロセスを図解させる、3. 物理的表現の導入、物理量、記号、フリーボディダイアグラム、グラフ等、4. 物理法則やプロセスの数学的表現、数式的表現。「SUPER 入門力学」ではこれらの点を十分に配慮した。

(8)バーチャート導入と多様表現変換課題 Van Heuvelen らは、学生に多様表現変換課題を課すことにより、学生の問題解法スキルが向上することを明らかにした (A. Van Heuvelen, X. Zou, (2001))。彼らは量的把握のできる図解 バーチャート (bar charts) を考案し、この表現が概念的理解に効果的であることを調査結果に基づいて示している。エネルギーバーチャートは、エネルギー保存の法則における各種エネルギーの量的変化を表した図解である。Van Heuvelen らは、これを含めた多様表現間で、ある表現から他の表現を求める変換課題を学生に課した。これを Jeopardy 問題と呼んでいる。図2に調査問題として使用したエネルギーバーチャートと Jeopardy 問題の例を示す。図のエネルギーバーチャートには、系の初めの状態と後の状態における運動エネルギー、重力による位置エネルギー、弾性エネルギーが定量的に示されている。各記号の意味は図に与えられている通りである。被験者はこの図から元の問題を推測することが求められる[2]。

【4】図はある問題を解いている学生の描いたバーチャートである。各記号は
 K_i …初めの運動エネルギー,
 U_{gi} …初めの重力による位置エネルギー,
 U_{si} …初めの弾性力による位置エネルギー,
 K_f …終わりの運動エネルギー,
 U_{gf} …終わりの重力による位置エネルギー,
 U_{sf} …終わりの弾性力による位置エネルギー,
 を意味する。学生の解いている問題の実例を一つ書け。

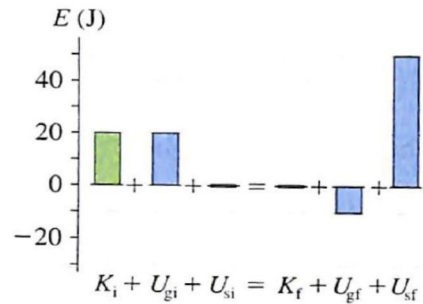


図2 調査で用いられた Jeopardy 問題

(9)教科書開発の改善サイクルと学生調査 「SUPER 入門力学」第8章,第9章執筆の折には,図2の問題を含む「仕事とエネルギー」に関する調査が実施された。東京都市大学初年度物理学(力学)履修修了者27名に対し,第8章,第9章の1次原稿(A4,20頁)を貸与し,2週間学習の上で Jeopardy 問題を含む調査問題を解き,アンケートに答える調査を行った。調査問題回答結果を評価し,1次原稿の問題点を検討した。貸与された1次原稿が「仕事とエネルギー」理解に役だったかの問いに対して,55%が同意,あるいは強く同意している。また,「仕事とエネルギー」における系選択の重要性は,PERにおいて以前から注目されているが[3],本教科書においても強調されている点である。エネルギーを検討する際に系を確定することが重要であることが認識できたかの問いに対しては67%が同意,あるいは強く同意している。しかしバーチャートの活用に対して同意,あるいは強く同意は37%と振るわなかった[2]。

(10)反論テキスト(refutation text) 学生が誤概念を乗り越え,概念変化により物理の概念を獲得することを助ける教科書の記述として,反論テキストが注目されている[4]。一般に反論テキストは基本的に次の2つの要素からなる。1.一般的に信じられている誤概念に関する記述,2.現在受け入れられている科学的な説明。3番目の要素として,反論の合図(refutation cue)を含む場合がある。反論の合図は,読者に誤概念と科学的な説明との対決を鮮明に伝えるためにある。また場合により,第3の可能性を示唆する場合もある。図3に反論テキストの構成を示す。

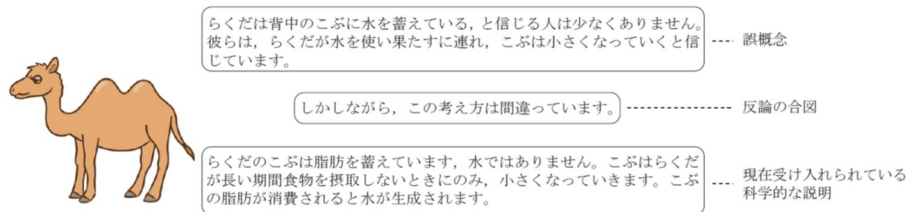


図3 反論テキストの構成

反論テキストは,一般的に抱かれている誤概念を明確に提示してこれを反駁し,その代替として科学的な検討,解説を与える,という構成になっている。こうした反論テキストが,従来からの解説テキストと比較して生徒の概念変化を促すことに効果的であることを,多くの研究が報告している[4]。「SUPER 入門力学」第9章冒頭の記述はこの反論テキスト構成を採用している。

(11)シミュレーション教材の導入 第7章ではシミュレーション教材が効果的に活用されている。例えば気体の分子運動の単元で,教員が指導に先立ち気体分子運動のシミュレーション動画を生徒に視聴させる場面は,従来から広く行われている。しかし,生徒自らが表計算ソフトを用い,運動のシミュレーション(図4)を作成することによって,運動方程式の概念的理解が促進されることが以前の研究から指摘されている[5]。第7章では自由落下運動のシミュレーションとまったく同様にして単振動のシミュレーションが実行できること,その結果と理論との比較・検討を通し,より深い概念的理解を目指している。またこれは,空気抵抗を受ける落体の運動にも容易に拡張できる。

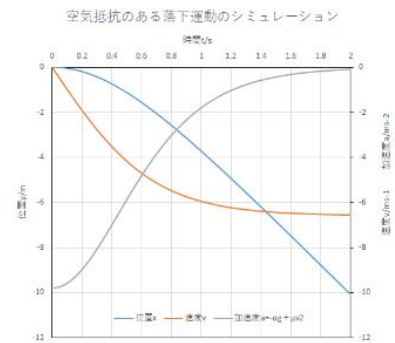


図4 運動のシミュレーション

<引用文献>

[1] 右近修治, 理工系入門物理教科書に求められるもの, 大学の物理教育 25(2019).
 [2] 右近修治, 物理教育における多様表現の活用, 青山学院大学 教職研究, 6(2020).
 [3] 右近修治「仕事とエネルギー」概念の検討 「系」選択の重要性 物理教育通信 178(2020).
 [4] 右近修治,教科書の研究 物理教科書は生徒の学びとどう関わるのか, 青山学院大学 教職研究, 8(2021).
 [5] R. Landua, Resource Letter CP-2:Computational Physics, Am.J.Phys.76 (2008)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 右近修治	4. 巻 25
2. 論文標題 理工系入門物理教科書に求められるもの	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 大学の物理教育	6. 最初と最後の頁 86～90
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11316/peu.25.2_86	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 右近修治	4. 巻 62, 11
2. 論文標題 「仕事とエネルギー」概念の再検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 理科教室	6. 最初と最後の頁 81～85
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 右近修治	4. 巻 63, 1
2. 論文標題 電気の学習が目指すもの	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 理科教室	6. 最初と最後の頁 37～44
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 右近修治	4. 巻 178
2. 論文標題 「仕事とエネルギー」概念の検討 「系」選択の重要性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 物理教育通信	6. 最初と最後の頁 6～14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.24594/apej.178.0_2	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 右近修治	4. 巻 6
2. 論文標題 物理教育における多様表現の活用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 青山学院大学 教職研究	6. 最初と最後の頁 39～55
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 右近修治	4. 巻 62,3
2. 論文標題 力学概念形成を手助けする ICT	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 理科教室	6. 最初と最後の頁 43-49
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 右近修治	4. 巻 61,11
2. 論文標題 力学の相互型演示実験授業 (ILDs)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 理科教室	6. 最初と最後の頁 37-44
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 右近修治	4. 巻 61,5
2. 論文標題 力学の相互型演示実験授業 (ILDs)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 理科教室	6. 最初と最後の頁 32-38
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 右近修治	4. 巻 12
2. 論文標題 相互型演示実験授業 (ILDs) による授業研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 東京都市大学共通教育部紀要	6. 最初と最後の頁 49-67
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 右近修治	4. 巻 175
2. 論文標題 都市大ソコロフ先生研究会報告	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 物理教育通信	6. 最初と最後の頁 17-40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24594/apej.175.0_17	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 右近修治	4. 巻 68
2. 論文標題 ハークロッツ氏講演: 英国Aレベル物理における探究活動	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 物理教育	6. 最初と最後の頁 132-136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20653/pesj.68.2_132	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 右近修治	4. 巻 8
2. 論文標題 教科書の研究 物理教科書は生徒の学びとどう関わるのか	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 青山学院大学 教職研究	6. 最初と最後の頁 15-33
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 右近修治	4. 巻 184
2. 論文標題 意外と使える質量中心系 2次元衝突の概念的理解に向けて	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 物理教育通信	6. 最初と最後の頁 24-39
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 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 右近修治
2. 発表標題 理工系入門力学教育における問題解法方略 多様表現の活用
3. 学会等名 日本物理教育学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 右近修治
2. 発表標題 入門物理教科書における効果的な問題解法方略と概念形成のための多様表現の活用(1)
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 右近修治
2. 発表標題 「仕事とエネルギー」概念の再検討
3. 学会等名 物理教育研究会 (APEJ)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 右近修治
2. 発表標題 多様表現と物理問題解法方略(1)
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 右近修治
2. 発表標題 理工系大学初年度物理受講者の問題解法スキル
3. 学会等名 日本物理教育学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 右近修治
2. 発表標題 物理教育研究(PER)に基づいた理工系入門物理教科書開発の研究
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 右近修治
2. 発表標題 物理教育研究(PER)に基づいた理工系入門物理教科書開発の研究()
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 右近修治
2. 発表標題 学生の思考過程に基づいた理工系入門物理教科書開発の研究
3. 学会等名 第5回新潟大学レッスンスタディとアクティブ・ラーニングのシンポジウム兼ワークショップ(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 右近修治
2. 発表標題 多様表現と物理問題解法方略(1)
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 右近修治
2. 発表標題 入門物理コース, 力学オンライン授業の有効性(1)
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 右近修治
2. 発表標題 物理教育研究に基づいた入門物理教科書の開発(1)
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 右近修治
2. 発表標題 意外と役立つ質量中心系 衝突の解析
3. 学会等名 物理教育研究会
4. 発表年 2021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	新田 英雄 (Nitta Hideo) (50198529)	東京学芸大学・教育学部・教授 (12604)	
研究分担者	山本 明利 (Yamamoto Akitoshi) (70751105)	北里大学・理学部・教授 (32607)	
研究分担者	中村 正人 (Nakamura Masato) (90247130)	東京都市大学・共通教育部・講師 (32678)	

	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
研究協力者	岸澤 眞一 (Kishizawa Shinichi)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	長谷川 大和 (Hasegawa Yamato)		
研究協力者	宮崎 幸一 (Miyazaki Kouichi)		

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