

令和 2 年 6 月 27 日現在

機関番号：33916

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00988

研究課題名(和文)非物理系の大学初年次物理学教育における系統的演示実験・講義の展開

研究課題名(英文)The development of the series of demonstrations and lectures in introductory physics for non-physics majors

研究代表者

古澤 彰浩 (Furuzawa, Akihiro)

藤田医科大学・医学部・准教授

研究者番号：20362212

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)：初学者にとって知識や理解が断片的なものとなりがちな物理概念・法則相互の関係を、論理的なつながりを持った体系として定着させるため、講義による説明の論理的展開と同時に実験・デモンストレーションを実施することによって体系的な理解に導く教授法の開発を目指した。簡易的な力学概念調査により質点の力学と剛体の力学の相互関係の無理解を明らかにし、それを元に、質点の運動と関連付けて剛体の回転運動の学習へつなげる演示を可能とする教材を設計、製作した。さらに、教材を用いた講義を設計し、高校の物理未履修者を対象とした大学1年生向け物理学講義において実施した。また、この教材の使用例をwebページにおいて公開した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、医学系、文科系を含む非物理系の大学初年次の物理学教育において、物理的概念と法則の体系的な理解に導くために有効な教材作りを目的とし、これまでオリジナルで開発してきた演示実験教材や系統的演示実験を利用、拡張するものである。これらの演示実験や系統的演示実験の効果についてはすでに学会誌等で報告されている実績のあるものである。これを拡張して単元として構築し、講義での活用を板書例や実演例とともに示すことによって、これまで時間的な制約などで不可能と考えてきた教員に演示実験の活用を促すことが期待できる。

研究成果の概要(英文)：Beginners studying physics often feel that various physical concepts and laws seems to be independent each other. The purpose of this research is the development of teaching methods and the instrument to help students to build systematic understanding. Simple tests on the physics concepts of dynamics revealed the lack of understanding of connections among them, especially between point mass dynamics and rigid body dynamics. To lead students to systematic understanding of point mass and rigid body dynamics, we designed and built an instrument to use for demonstrations. Furthermore, we designed the lecture on the rigid body dynamics using the instrument and carried it out in the class. In addition, we publicly released the use example of these teaching materials in web page.

研究分野：物理教育、X線天文学

キーワード：物理教育 教材研究・開発 高等教育

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

高校における物理の履修（物理基礎と物理を履修）、未履修（物理基礎のみもしくは全くなし）によって知識のレベルには大きな差があるが、共通した問題を抱えている。ほとんどの未履修者は基礎知識が非常に乏しく、誤まった概念（例えば、動いているものには常に力が働いているといった誤概念）を持つ学生も多く見られる。一方履修者は知識を持ってはいるが、その知識は表面的であり、受験対策に特化した公式・問題パターン暗記型の学習に染まっているものが少なくない。そのため、問題設定がわずかでも変わると対応できない、演習問題などでは表面化しない誤概念をもつ、実際の現象と知識が乖離している、など、未知の問題に対する応用性に乏しい知識にとどまっているケースが多く見られる。

実用性・応用性の高い体系的な理解へ導き、専門科目で学ぶ内容を理解するうえで役立つ物理学的な視点や、事象・現象の自然科学的な捉え方、未知の問題や現象を解明する手法を習得させることは、物理学を専門としない医学系、文科系を含む非物理系の大学・学部の学生に対しても非常に有益である。しかし、特にそのような非物理系の大学・学部において現在多く行われているオムニバスのもしくは専門（例えば医療）に特化したトピックスのみを扱う講義では、このような理解へ学生を導くことはできないと考えられる。

我々は、物理的概念を実感を持って理解させるため、一連の実験を結果の推論とともに進め、物理法則に到達するという系統的演示実験を開発してきた。この系統的な演示実験は、このような単なる物理学の知識のみにとどまらない「物理学を学ぶ意義」に対して非常に有効であると考えられる。しかし、実際の講義に取り入れるには時間的な制約や受講学生の基礎知識の幅への対応が必要であるが、それらへの対応は実施者にゆだねられており、その負担が実施者に対する障壁となっている。実際、学習意欲を高めるために簡単な演示実験を行うことはあるが、一連の流れを意識した演示実験・講義実験を十分な時間を取って行うことはほぼ不可能であるケースが多く、講義に取り入れられない理由としてこれらの負担を挙げる教員は多い。

2. 研究の目的

本研究では、これまで開発してきた系統的演示実験という手法をさらに拡張し、講義における板書などの論理的な展開や「現象」から「単純化・抽象化・モデル化」をへて「物理的概念・物理法則（公式）」に繋がる流れ（フロー）をステップ的に踏んで行く一連の教材を単元毎に構築することによって、実験と講義を平行して実施し、現象から法則までの流れを体系的に与えることを可能とする教材の開発を目的とした。

また、受講学生の多様性（専門や基礎知識、思考力など）や、理解の仕方の多様性（物理概念や物理法則の捉え方・イメージは学生によって異なる）への対応を視野にいれ、同じ物理概念・物理法則に対して複数の題材、フローに対応することを可能とするフレキシブルな教材を目指した。このようなフレキシビリティをもつ教材は講義に応じてカスタマイズが容易であり、理系・文系、高校での履修・未履修、学部、学生のレベル、カリキュラム、コマ数、教授法、などの多様性に対応可能な広いスペクトルを持つ教材へと発展させることが期待できる。

3. 研究の方法

学生の理解度が低い単元のうち、過去に開発した系統的演示実験がある「剛体の運動」を取り上げ、現象→単純化・モデル化をへて物理概念を導入・説明し、法則に繋げる一連の流れとそれに対応できる教材を考案、検討した。

まず、教材に持たせるべき機能を検討するため、質点の運動について問う概念調査と剛体の回転運動について問う概念調査を行った。これらの調査結果より、質点の力学の理解から質点系への適用、力のモーメント、角運動量、慣性モーメントなどの物理量の導入、剛体回転についての物理法則の説明までの流れにおいて、学生が理解の困難な概念や陥りやすい誤解、などを抽出した。

つぎに、抽出した概念や法則と、それらを順序立てて論理的なつながりを意識させながら説明するシナリオを立て、教材に必要な機能、構造についての検討を行った。

4. 研究成果

概念調査結果

調査は、講演者が担当するコースを履修する一年生(8割は高校で物理基礎のみ履修、残りは物理・物理基礎いずれも未履修)を対象として、物理学の第1回目の講義時間に実施した。調査に用いた問題は、身近な現象や経験を元にした、物体の落下、放物運動、エレベータの中での物体の運動、円運動などを題材とし、現象と物理法則、物理的概念についての知識と理解を問うものを作成した。回答は主に選択肢から選ぶ形式とし、一部については回答の理由も記述させ、誤答に至る理由や理解の仕方についても調査した。この調査では、速度と加速度や力と運動量といった物理概念とその相互関係について誤概念や理解の曖昧さが浮き彫りとなった。

さらに回転や剛体運動についての概念調査から、この曖昧さが剛体運動の学習の際にも強く残り、質点運動と剛体運動においても相互の関連の気づきを阻害し、それぞれが無関係で断片的にしか捕られていないこと、実体験の曖昧な記憶や解釈によって誤概念が強化され、座学によっては修正されないことが明らかになった。

教材設計・製作

概念調査の結果を元に、以下のような項目を特に念頭に置いて、実験用教材を考案、製作した。

- 力のモーメントの概念を捉えやすくする機材の開発：上記機材に任意の力のモーメントを作用させて回転させる機構(作用点と力の大きさをある程度任意に変えられる機構)を加える。ある程度定量化が可能。
- 慣性モーメントの概念を捉えやすくする機材の開発：剛体を回転軸周りの質点群に分解した模型、日常で目にする回転体を想起させるもの、質点の数や相互位置に自由度を持たせる(取り外しや追加を可能にする)。
- 質点の運動において学習した物理法則と関連づける機材の開発：剛体を構成する質点そのものは質点の力学で学んだ法則に支配されていることを示すデモンストレーションを行うことができ、なおかつそれらが剛体の回転運動を学ぶ際に新たに導入される概念である、角運動量や力のモーメント、慣性モーメントに含有されていることを示す。

この教材は自由に回転する水平なアームとアーム上をスライドするステージに取り付けられたおもりからなっている。おもりはステージ上に立てられた軸にささっており、この周りに自由に回転することができる。この構造により、おもりはアームにそった動径方向の運動と回転軸周りの回転(公転)に加え、自身の重心を中心とした回転(自転)が可能となっており、無拘束の場合とおもりの位置を固定するなどの拘束条件を加えた場合の運動の違いを見せられるようになっている(図1)。

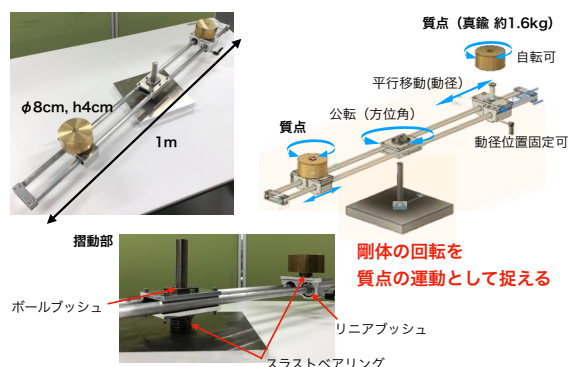


図1: 製作した教材

ステージをアームに固定せずに動径方向に移動可能にした状態では、おもりは水平面内を自由に運動することができる。これを利用して、質点の運動について、ニュートンの3法則や等速円運動についての復習を行う(図2)。

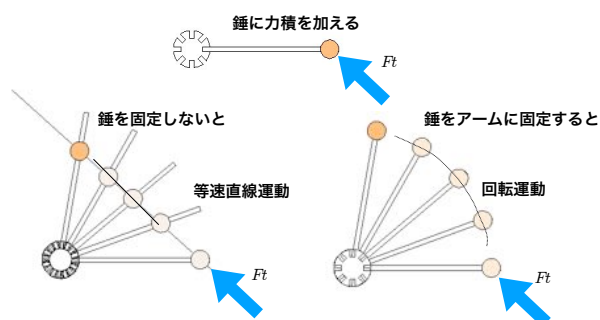


図2: 教材を用いた質点の力学の復習

講義シナリオ・デモンストレーション開発

この教材を用いた質点運動に関する力学の復習を行なったのち、剛体回転の記述に必要な物理概念である、力のモーメント、角運動量、慣性モーメントの導入と説明を行うための一連のシナリオの開発を行なった。

図3はシナリオの一例を示している。このシナリオでは、

- ① 質点の力学との関連を強調する意味で、質点に対する仕事と質点の運動エネルギーの関係を通して力のモーメントとそれによって生じる回転運動の関係を説明する。
 - ② 力のモーメントによって時間変化する、回転運動の大きさを示す物理量として角運動量を導入する。
 - ③ 最後に相互の位置関係が変化しない質点の集まりである剛体の角運動量、回転の方程式から慣性モーメントを導入する。
- という流れで行う講義の板書と教材を用いたデモンストレーションを例示している。

実際に、このシナリオに従って講義を行い、講義前に行った概念調査と半期終了後に行った試験の結果比較と学生への聞き取りを行なった。試験結果についてはまだ限定的ではあるが、傾向として点数の上での向上を見ることができた。学生への聞き取りにおいても、論理的な繋がりを通じた体系的な理解に達していると考えられた学生は限定的であったが、本教材を使用することによって実感とともに法則や式の意味を定性的、イメージ的に捉えることができるようになったと述べた学生は半数以上おり、ある程度の改善を見ることができた。

今後、この教材を活用した講義を実施することにより、シナリオの改善を図る。また、現在のバージョンでは定量性については板書による説明によるのみであるが、デモンストレーションにおいても物理量を定量的に示せるように改良する。また、摩擦を介したおもりの自転と公転の間の角運動量の交換といった、さらに発展的な内容についても展開を図りたいと考えている。

この教材の使用例については web ページにおいて公開しており、今後本報告書において例示したシナリオも含め、改良した教材や開発したシナリオについて後悔していく予定である。

力のモーメント

実演
「常に棒に垂直で大きさ一定のF」
「θ回して同じvになるように」

板書(手書き)
力Fのする仕事 ⇒ 質点の運動エネルギー

$$FR\theta = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(r\omega)^2 = \frac{1}{2}mr^2\omega^2$$

$$\omega$$
 : 角速度: 単位時間あたりの回転角度 (回転速度を表す)
 FRが同じなら同じ回転速度になる
 rが2倍ならFは1/2倍必要
 ⇒Rが大きいと「手応え」が小さい(Rに反比例!)

注: 「同じ角度θ」「同じ速さv」と言っているが、定量的ではない(努力はしている) 力の大きさと回転速度の可視化が必要。

力のモーメント

実演
「質点に直接F」
「常に棒に垂直で大きさ一定のF」
「θ回して同じvになるように」

板書(手書き)
質点に直接力Fを加えると?

$$F'r\theta = \frac{1}{2}mv^2 = FR\theta \quad \therefore F'r = FR$$
 であれば 同じように回転
 「こんな小学校で やりましたよね?」
 回転させる向き×回転軸からの距離 が同じなら回転させる向きは同じ
 この説明に対する学生の反応は非常に良かった

注: 「同じ角度θ」「同じ速さv」と言っているが、定量的ではない(努力はしている) 力の大きさと回転速度の可視化が必要。

角運動量と力のモーメント

実演

板書(手書き)
力のモーメントで変化する量は?

$$RF = r \left(\frac{dL}{dt} \right) = r \left(m \frac{dv}{dt} \right) = \frac{d}{dt} (r \cdot mv)$$
 運動方程式
 角運動量
 力のモーメントを受けて 回転の勢いを表す量=角運動量 が時間変化する
 回転の方程式

注: 「同じ角度θ」「同じ速さv」と言っているが、定量的ではない(努力はしている) 力の大きさと回転速度の可視化が必要。

慣性モーメント

実演
「ロックして動かす」
「rが大きいと手応えが大きい」

板書(手書き)
オモリをロックして動かす⇒ψ=90°, r 固定
 回転の方程式

$$(F \sin \phi)R = \frac{d}{dt}(rmv) = \frac{d}{dt}(mr^2\omega) = (mr^2) \frac{d\omega}{dt}$$
 運動方程式

$$F = m \frac{dv}{dt}$$
 対照

$$F = m \frac{dv}{dt} \quad \frac{d\omega}{dt} \text{ 角加速度}$$
 回転の方程式: 運動方程式の回転版
 mr^2 が大きいほど回転を加減しにくい
 「m が大きいほど加速しにくい」に対応
 ⇒rが大きいと「手応え」が大きい(rの2乗で!)

慣性モーメント

実演
「ロックして動かすと中心からの距離によって速さは違うが、角速度は同じ」

板書(手書き)+教材を实际に動かしながら説明
 オモリが複数

$$(F \sin \phi)R = (m_1 r_1^2) \frac{d\omega}{dt} + (m_2 r_2^2) \frac{d\omega}{dt} = (m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2) \frac{d\omega}{dt}$$
 オモリがいっぱい

$$(F \sin \phi)R = I \frac{d\omega}{dt}$$

$$I = \sum_i (m_i r_i^2)$$
 回転させにくさを表す量 形、質量分布で決まる量 物体が変形しない限り一定
 慣性モーメント

➡ 応用問題へ 「どっちが回しやすい?」

図3: 教材を用いた剛体回転の講義シナリオ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 三浦裕一, 齋藤芳子, 中村泰之, 古澤彰浩, 千代勝実, 安田淳一郎, 伊東正人, 小西哲郎, 大藪進喜
2. 発表標題 電磁気学の法則を可視化する演示実験の開発 ガウスの法則、アンペールの法則など
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古澤彰浩, 伊東正人, 大藪進喜, 小西哲郎, 齋藤芳子, 千代勝実, 中村泰之, 藤田あき美, 三浦裕一, 安田淳一郎
2. 発表標題 非物理系の大学初年次物理学教育における系統的演示実験・講義の展開 V
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古澤彰浩, 伊東正人, 大藪進喜, 小西哲郎, 齋藤芳子, 千代勝実, 中村泰之, 藤田あき美, 三浦裕一, 安田淳一郎
2. 発表標題 非物理系の大学初年次物理学教育における系統的演示実験・講義の展開 IV
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三浦裕一, 大藪進喜, 古澤彰浩, 伊東正人, 小西哲郎, 齋藤芳子, 千代勝実, 安田淳一郎, 中村泰之
2. 発表標題 角運動量を理解する演示実験の開発II 運動量-角運動量の相互変換の可視化
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古澤彰浩, 伊東正人, 大藪進喜, 小西哲郎, 齋藤芳子, 千代勝実, 中村泰之, 藤田あき美, 三浦裕一, 安田淳一郎
2. 発表標題 非物理系の大学初年次物理学教育における系統的演示実験・講義の展開 II
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三浦裕一, 大藪進喜, 齋藤芳子, 中村泰之, 古澤彰浩, 伊東正人, 小西哲郎, 千代勝実, 安田淳一郎
2. 発表標題 角運動量を理解する演示実験の開発 - 運動量-角運動量の相互変換の可視化
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古澤彰浩, 伊東正人, 大藪進喜, 小西哲郎, 齋藤芳子, 千代勝実, 中村泰之, 藤田あき美, 三浦裕一, 安田淳一郎
2. 発表標題 非物理系の大学初年次物理学教育における系統的演示実験・講義の展開 III
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小西哲郎, 大藪進喜, 齋藤芳子, 千代勝実, 中村泰之, 藤田あき美, 古澤彰浩, 三浦裕一, 安田淳一郎
2. 発表標題 参加型デモンストレーションによる波動現象の学習
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古澤彰浩, 大藪進喜, 小西哲郎, 齋藤芳子, 千代勝実, 中村泰之, 藤田あき美, 三浦裕一, 安田淳一郎
2. 発表標題 非物理系の大学初年次物理学教育における系統的演示実験・講義の展開
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古澤 彰浩
2. 発表標題 体系的理解を目指した物理学講義実験のシリーズ化
3. 学会等名 大学教育改革フォーラム in 東海 2018
4. 発表年 2018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	安田 淳一郎 (YASUDA Junichiro) (00402446)	山形大学・学士課程基盤教育機構・准教授 (11501)	
研究分担者	小西 哲郎 (KONISHI Tetsuro) (30211238)	中部大学・工学部・教授 (33910)	
研究分担者	千代 勝実 (SENYO Katsumi) (80324391)	山形大学・学士課程基盤教育機構・教授 (11501)	

6. 研究組織（つづき）

	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	齋藤 芳子 (SAITOU Yoshiko) (90344077)	名古屋大学・高等教育研究センター・助教 (13901)	
研究 分担者	伊東 正人 (ITOH Masato) (90378232)	愛知教育大学・教育学部・教授 (13902)	
研究 協力者	三浦 裕一 (MIURA Yuichi)		