

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23501062

研究課題名(和文) 大学講義で物理的概念の理解を促進させる系統的演示実験とリアルタイム評価の開発

研究課題名(英文) Development of the systematic physics demonstrations which promotes an understanding of a physical concept at a university lecture, and real-time evaluation

研究代表者

三浦 裕一 (Miura, Yuichi)

名古屋大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：30175608

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：学生が物理的概念を理解することを促進するため、講義内容と連携した系統的演示実験を開発した。

学生が自主的に考えて論理的に物理法則に到達できるように、視覚的に明瞭な実験を開発して段階的に導入することが有効であった。論理的に考えて物理法則を自分で再発見するためには、一連の実験を計画的に配列し、各段階で適切な情報を過不足なく学生に提示することが重要であった。具体例を挙げると、開発した演示実験により「質量と重量」の違いを視覚的、直観的に理解させ、「単振り子」と「剛体振り子」の周期を比較することにより「慣性モーメントと振り子の周期との関係」を理解させることができた。

研究成果の概要(英文)： We have been developing interactive lecture demonstrations that help students grasp the concept of physics. Our observations show that students think actively and can logically explain an underlying physical law when visual demonstrations are introduced in sequence. For that purpose, it is necessary to arrange a series of experiments intentionally so that proper information may be given to students in each stage.

For example, our developed demonstrations successfully visualize the difference between mass and weight. We show clearly that logical relation between the period of a pendulum and a moment of inertia, by comparing a simple pendulum with a rigid body pendulum.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学

キーワード：物理教育 物理学の教材開発 能動的教育 授業改善

1. 研究開始当初の背景

生命科学系や化学系など、いわゆる非物理系の学生を対象とした基礎物理学の講義において、教員側の努力にも関わらず教育効果が上がらない事例を、しばしば経験してきた。講義では重要事項を絞り、演習も含めて数回も繰り返したにも関わらず、期末試験の結果が思わしくない例が珍しくなかった。その原因を探るため、学生から詳しく聞いてみると、「物理的な概念」が把握できておらず、例題として取り上げた物理現象に対し「現実的なイメージが浮かばない」という状況が明らかになった。これでは授業で繰り返しても、徒労に終わる。そこで、教壇で演示実験を導入したところ、改善が見られたものの、「単発な演示実験」を見ただけでは、教育効果に限界があった。そこで、H21年度に総長裁量経費の助成を受け、学生自らが講義中に考えながら連続して行う実験を開発し試行した。その結果、有望な反応が得られたため、更にこの方法を発展させることを目指した。

2. 研究の目的

大学の基礎物理学の授業において、学生が把握し難い物理的概念を、実感を持って理解させるため、講義中に体験させる一連の系統の実験を開発した。「単発の演示実験」を発展させ、先ず各実験の前に学生に結果を予想させ、次に自ら実験して確認させる。その結果を元に、次の結果を推論させる。この手順を繰り返して、学生に物理的概念や物理法則の発見の過程を「追体験」させる。この過程で、学生の推論を論理的に導くために、過不足の無い適切なヒントを順次与えることとした。一連の実験の予想の正答率をリアルタイムで追跡調査することにより、学生の理解の進展を追跡、確認し、より効果的な実験とその導入方法を開発した。

3. 研究の方法

学生自らが講義中に考えながら連続して段階的に行う実験を開発して試行し、有望な反

応が得られた。

物理的概念を理解させる試みの例として、「慣性モーメントの理解」のため、二種類の物体を斜面で転がし、その速度を比較する実験を8段階に分けて講義中に行った。何をどの順番で比較すれば「慣性モーメント」の概念に到達できるか、事前に検討した。実験ごとに学生に予想を記録させたところ、正答率が段階的に上昇し、概念が構築されて理解が進む過程が明らかになった。

学生は、論理的関係を考えるより個別の問題として記憶する傾向があるため、それを改善するため、「単振り子と剛体振り子」の論理的関係を明らかにする実験を開発した。振り子の駆動力は「単振り子」と等しいが、「慣性モーメント」が4倍の「剛体振り子」を作り、同時に振って見せた。周期が2倍になることが容易に見て分かる。これは、演習問題の可視化とも言える。

実験の各段階で学生に予想を記録させたところ、正答率が段階的に上昇し、概念が構築され理解が進む過程が明らかになった。また、予想した理由も記述させたところ、思わぬ誤解も明らかになり、実験の導入方法や実験条件の改善に役立てることができた。

4. 研究成果

通常の授業だけでは学生が把握しにくい基本的な物理的概念や法則を理解させるため、先ず「問題意識」を喚起することが重要である。そこで、最初に学生の予想と異なる現象を実験により提示した。そして、予想が外れた原因を考察させ、仮説を立てさせた。次に、その仮説から導かれる結果を実験で検証した。この一連の実験は、学生に現実感を持たせること、及び科学的に推論する姿勢を養うことが目的である。そして、実験の各段階で学生に予想した根拠をシートに記述させた。これは学生に物理法則の発見を「追体験」させる試みであった。この調査により、系統的演示実験をさらに改善する手がかりが得られた。実験では、物理法則を直観的に見て取れるように工夫した。

以下に開発した主な実験の具体例と、その教育項目を挙げる。

(1) 電磁誘導による摩擦現象

金属板の上を移動する磁石は電磁誘導により「電気的な摩擦抵抗」を受ける。その誘導電流の方向を示すため、金属板を平面に垂直方向と水平方向に分割して比較した。分割した金属は互いに絶縁した。その結果、金属板を平面に垂直方向に分割した場合に小さな「摩擦抵抗」が得られることから、誘導電流の流れる方向は、金属板に水平であることが分かった。この実験のため、アルミ板を60枚張り合わせた基板を作り、磁石を乗せた微小台車も作成した。

(2) 直観的に質量と重量の違いを示す実験

自由落下する容器内部は無重力となる。この中で「重量と質量」の違いを示す実験を行った。無重力で同じように浮遊する「風船と石」に人形を強く衝突させると、「風船は吹き飛ばすのに対し、石は動かず人形は大きな衝撃を受けた」。このことから、「重量が消えても質量はそのまま残っている」事実を直観的に示すことができた。実験の様子は自由落下する実験容器内の高速カメラで撮影し、ビデオを公開している。

(3) 「剛体振り子と単振り子の周期」を比較して「慣性モーメント」の理解を深める実験

調査により、学生は「単振り子」と「剛体振り子」の論理的関係がつかめず、「別の現象」として記憶している傾向が分かった。その原因として、教科書の別の章で扱うためと思われる。もちろん講義では論理関係を説明しているが、定着していなかった。受験勉強の影響のためか、論理的関係を考えるよりも個別の問題としてパターン化して記憶する傾向が感じられる。これでは将来直面する未知の問題に挑戦できない。そこで、振り子の駆動力は「単振り子」と等しいが、「慣性モーメント」が4倍の「剛体振り子」を作り、同時に振って見せた。周期が2倍になることが容易に見て分かる。これは、演習問題の可視化とも言える。学生はその場で計算して実験結果を説明できることになり、物理法則を現実的に理解できる。

(4) 剛体回転体の加速実験

慣性モーメントの表式を求めるため、剛体回転体の加速実験を行った。同じ「力のモーメント」を加えたとき、質量分布の異なる回転体の角速度の加速を比較した。直径が半分的位置に、質量が2倍と4倍を配置した回転体を比較した。その結果、直径が半分で質量が4倍の回転体が、元の回転体と同じように角速度が加速した。よって、慣性モーメントは「半径の2乗と質量の積」に比例することが分かった。この実験動画を公開している。

(5) 「最速降下線」に関する、シミュレーションと実験の比較

最速降下線について、数値計算と実験の両面から理解を促進させる方法を開発した。同じ位置エネルギーなのに、なぜ到達時間が異なるか、考えさせる実験である。シミュレーションは実験が困難な現象も示すことができる利点があるが、一部を実際に実験で示すことにより、学生に現象の現実感を持たせることができた。

(6) 高圧送電線の構造の観察

高圧送電線のサンプルを4種類入手し、講義中に回覧して理解を深めた。サンプルは電力会社に依頼して提供を受けた。実際に使用された電線であり、ふだん見えているが触れることができない点で印象的であった。電流はアルミ部分の流れ、張力を鋼線で受ける構造である。電気抵抗による送電損失だけでなく、力学の問題としても授業で議論することができた。

これらの開発した系統的演示実験について国際会議(APPC 12)、及び物理学会で発表するとともに、一部を論文にまとめた。さらに冊子体のハンドブックにまとめ、WEBサイトでも公開している。

また、年に一回、近隣大学から物理教育担当者を講師として招いてワークショップを開催し、互いに実験を披露し合い、意見交換を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3 件)

- (1) The systematic demonstrations of physical phenomena in a weightless environment - Examples of active learning
Y. Miura, Y. Nakamura, J. Yasuda, T. Konishi, K. Senyo, A. Furuzawa, Y. Saitoh, J. Phys. Soc. Jpn. Conference Proceedings, vol. 1, 017012 p. 1-4, 2014.
 - (2) Concurrent Use of Demonstration and Simulation for Basic Physics
Y. Nakamura, J. Yasuda, T. Konishi, K. Senyo, A. Furuzawa, Y. Saitoh, Y. Miura, J. Phys. Soc. Jpn. Conference Proceedings, vol. 1, 017037 p. 1-4, 2014.
 - (3) 科学者の思考・行動様式を念頭においた物理教育における体験型学習の変革
安田淳一郎, 三浦裕一, 名古屋高等教育研究, 14 巻, p. 21-36, 2014.
- 〔学会発表〕(計 15 件)
- (1) 27aAG-8 物理学講義における系統的演示実験と学生主体型授業の可能性
千代勝実, 安田淳一郎, 藤田あき美, 小西哲郎, 三浦裕一, 中村泰之, 古澤彰浩, 齋藤芳子,
2014 年 3 月 27 日, 東海大学
 - (2) 27aAG-9 物理学講義における系統的演示実験 - 実測を起点にした議論の展開
三浦裕一, 千代勝実, 小西哲郎, 中村泰之, 古澤彰浩, 齋藤芳子, 安田淳一郎, 藤田あき美,
2014 年 3 月 27 日, 東海大学
 - (3) 27aAG-10 物理学講義における系統的演示実験 - 科学的思考力の評価方法の検討

安田淳一郎, 千代勝実, 中村泰之, 小西哲郎, 古澤彰浩, 藤田あき美, 齋藤芳子, 三浦裕一,

2014 年 3 月 27 日, 東海大学

- (4) The systematic demonstration of the physical phenomenon in weightless environment - Examples of an active learning
Y. Miura, Y. Nakamura, J. Yasuda, T. Konishi, K. Senyo, A. Furuzawa, Y. Saitoh,
The 12 th Asia Pacific Physics Conference,
Makuhari Messe, International Convention Complex, Chiba, Japan, F-4-O3,
July 18, 2013.
- (5) 26aBD-7 物理学講義における系統的演示実験 - 重力、向心力、及びエネルギー保存則の関係を理解させる教材開発
三浦裕一, 小西哲郎, 中村泰之, 古澤彰浩, 安田淳一郎, 千代勝実,
2013 年 9 月 26 日, 徳島大学
- (6) 26aBD-8 物理学講義における系統的演示実験 - 実験とシミュレーションの共存
中村泰之, 安田淳一郎, 小西哲郎, 千代勝実, 古澤彰浩, 齋藤芳子, 藤田あき美, 三浦裕一,
2013 年 9 月 26 日, 徳島大学
- (7) 26aBD-9 物理学講義における系統的演示実験 - 山形大学基盤教育「体感する科学」での実施例
千代勝実, 安田淳一郎, 藤田あき美, 小西哲郎, 三浦裕一, 中村泰之, 古澤彰浩, 齋藤芳子,
2013 年 9 月 26 日, 徳島大学
- (8) 26pXD-5 物理学講義における系統的演示実験 - 作用・反作用の理解を促進する教材開発 -
三浦裕一, 安田淳一郎, 中村泰之, 小西

哲郎, 千代勝実, 古澤彰浩, 齋藤芳子,

2013年3月26日, 広島大学

- (9) 26pXD-6 物理学講義における系統的演示
実験-科学的推論能力の評価-

安田淳一郎, 小西哲郎, 中村泰之, 千代

勝実, 古澤彰浩, 齋藤芳子, 三浦裕一,

2013年3月26日, 広島大学

- (10) 26pXD-7 物理学講義における系統的演
示実験-シミュレーション教材の調査と効果
的活用法の検討-

中村泰之, 安田淳一郎, 小西哲郎, 千代

勝実, 古澤彰浩, 齋藤芳子, 三浦裕一,

2013年3月26日, 広島大学

- (11) 21aFN1 物理学講義における系統的演示
実験-自由落下と放物運動の誤解と理解,
三浦裕一, 2012年9月21日, 横浜国立
大学

- (12) 27aCG-8 物理学講義における系統的演
示実験-電磁誘導を理解させるシリーズ実
験,
三浦裕一, 安田淳一郎, 小西哲郎, 中村
泰之, 古澤彰浩, 齋藤芳子, 千代勝実,
2012年3月27日, 関西学院大学

- (13) 22aRF-1 物理学講義における系統的演
示実験-提示方法の理論的な検討-
安田淳一郎, 齋藤芳子, 小西哲郎, 中村
泰之, 千代勝実, 古澤彰浩, 三浦裕一,
2011年9月22日, 富山大学

- (14) 22aRF-2 物理学講義における系統的演
示実験-リアルタイム評価の試行-,
齋藤芳子, 安田淳一郎, 小西哲郎, 中村
泰之, 古澤彰浩, 千代勝実, 三浦裕一,
2011年9月22日, 富山大学

- (15) 22aRF-3 物理学講義における系統的演
示実験-回転運動の教材開発と誤解の原因
分析,

三浦裕一, 安田淳一郎, 小西哲郎, 中村

泰之, 千代勝実, 古澤彰浩, 齋藤芳子,

2011年9月22日, 富山大学

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等
<http://physicsdemo.org/>

6. 研究組織
(1)研究代表者
三浦 裕一(Yuichi Miura)
研究者番号: 30175608

(2)研究分担者
中村 泰之(Yasuyuki Nakamura)
研究者番号: 70273208

小西 哲郎(Tetsuro Konishi)
研究者番号: 30211238

千代 勝実(Katsumi Senyo)
研究者番号: 80324391

安田 淳一郎(Junichiro Yasuda)
研究者番号: 00402446

古澤 彰浩(Akihiro Furuzawa)
研究者番号: 20362212

(3)連携研究者
()

研究者番号: