

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 1 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350191

研究課題名(和文) 大学で学生に自主的に企画させる物理学体験学習と評価法の開発

研究課題名(英文) Development of the physics experiment which students plan, and measurement of the education effect

研究代表者

三浦 裕一 (Miura, Yuichi)

名古屋大学・理学研究科・准教授

研究者番号：30175608

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：大学初年次の物理学の授業において、学生に一連の系統的な物理学実験を企画させ、物理法則を自ら再発見させる体験学習の方法と、その教育効果の測定方法を開発した。学生の自主性を引き出すため、物理法則を発見する一連の実験内容と手順を自分たちで企画させた。そのために適切な実験素材を提供し、得られた実験結果について互いに議論させ、次に行うべき実験を企画させた。このとき必要に応じて適切な忠告を行った。また学生の議論の様子を観察し、理解の進展を追跡調査した。成果は物理学会の口頭発表と論文3編で発表した。開発した実験教材を冊子にまとめて関係者に配布するとともに、英文及び和文のWEBサイトで公開している。

研究成果の概要(英文)：In order to rediscover a physical law, students were made to plan a systematic experiment in a university. The student argued mutually about the obtained experimental result, and planned the next experiment. The suitable advice for students was given by the teacher. The situation of the argument of students was observed and a follow-up survey of progress of an understanding was conducted.

研究分野：低温物理学、物理学教育

キーワード：物理学教育 実験教材開発 教育効果測定 アクティブ・ラーニング

## 1. 研究開始当初の背景

高校で物理未履修の学生に対し、黒板を用いた通常の講義では、物理的概念や法則を伝えることが困難であった。そこで我々は系統的な演示実験を通して、学生に物理法則を実感して理解させる方法を開発してきた。その教育効果を調査し、一定の有効性も確認できた。これを更に進めて、学生に自主的に実験を企画させることが着想された。学生が実験を通して物理法則を自ら再発見できれば理解が深まり、知識が定着することが期待された。

## 2. 研究の目的

大学初年次の物理学の授業において、学生に一連の系統的な物理学実験を企画させ、物理法則を自ら再発見させる体験学習の方法と、その教育効果の測定方法を開発することが目的である。

物理的概念を実感して理解させるため、これまで系統的演示実験を開発し、実験結果を元に推論させ、物理法則の発見過程を学生に「追体験」させた。これを更に進めて学生の自主性を引き出すため、物理法則を発見する一連の実験内容と手順を自分たちで企画させる。

そのため適切な実験素材を提供し、得られた実験結果を中間段階でまとめて、学生どうして議論させ、次の段階の実験を企画させる。このとき誤った方向に暴走しないよう、必要に応じて忠告する。学生の議論内容から理解の進展を追跡調査し、教育方法を改善する。

## 3. 研究の方法

物理法則を解明するための系統的な実験方法を学生に自主的に企画させる方法には、学生の自由度に応じて方針を分類できる。

① 最も学生の自由度が最も大きい方法は「課題のみ設定して、方法は全く学生に任せる」方法である。この方法は学生の自主性を最も引き出せるが、得られる結果は学生の予備知識や実験のセンス、及び意欲に大きく依存する。また、

長い実験時間も必要であり、カリキュラムに特別な枠を設定する必要がある。

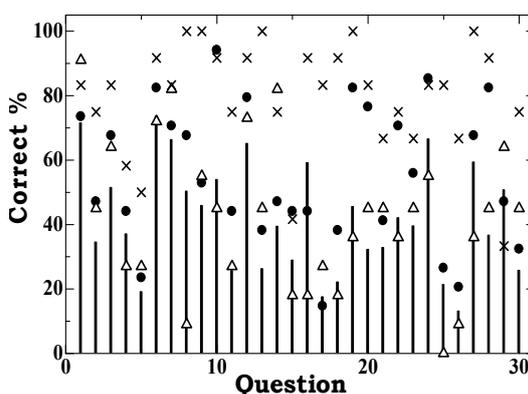
② 次の方法は、事前に方向性を限定し、結果に至る道筋を短縮する方法である。例えば、いくつかの実験道具を用意しておき、目標とする物理法則を解明する方法を考えさせる。どの実験を、どの順番で行うことが合理的か、考えさせることになる。この方法は、事前に用意する実験道具の設定に十分な配慮が必要である。あえて関係の薄い道具も混ぜておくことも、教育的だと思われる。あらかじめ方向性が限定されているので、目標に到達するための必要な時間が短縮でき、従来のセミナーの時間枠内でも実践できる。

実験は系統的に段階的に進める。学生はそれまでに得られた実験結果を互いに議論し、次の段階の実験を企画する。教員は議論の内容を観察し、目標から大きく逸脱しないように、適切な助言を行う。

学生の思考する過程を調査して得られた成果を、通常の講義にも生かすことができる。

## 4. 研究成果

### (4-1) 力学概念調査



1図 FCI調査結果

まず、学生の力学に関する予備知識と、ありがちな誤解を調査した。1図は予備知識の異なる集団に対する力学概念調査 (FCI調査) の結果を比較し、誤答の原因を調査した結果である。1年生に対し、4月の最初の授業で行った。横軸が問題番号、縦軸が正答率 (%) である。棒が

Morris (2012)、●名大理学部・非物理系、×名大・物理系、△放送大学(社会人)、の結果である。

異なる集団でも正答率の低い問題が共通していることが分かる。よって誤答には、国籍や予備知識に依らない共通の原因があると思われる。特に、「力と運動の方向が一致する」という誤答が多かった。授業の効果を調査するため、力学の授業終了後、特に誤答の多い問題8問を選び、理学部非物理系で再調査した。それぞれの問題で20% から30% の正答率の増加が見られた。しかし、改善したものの、例えば「力と運動の方向が一致する」という「直感的な誤り」は根強く残ることが分かった。

#### (4-2) 斜面転がしによる「慣性モーメント」の理解



2図 回転体の例、球、糸巻、パイプなど

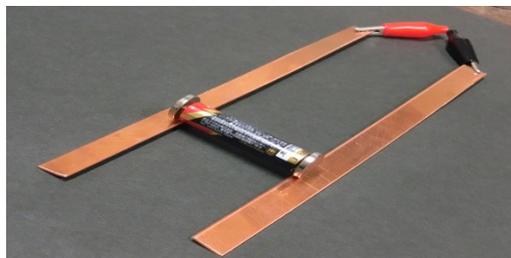
「慣性モーメント」の概念を理解するため、斜面で異なる形状の回転体を転がし、加速度を比較した。以前は転がす順序を指定していたが、今回は学生に自由に実験させた。回転体を教材として与え授業中に実験させる方法の他、自宅で自由に実験させる方法も試みられた。後者の方法は時間の制約が無いため有効であった。

#### (4-3) 単極モーターの回転力の起源の理解

3図はよく知られた単極モーターの実験で、電池の両端に円盤磁石をつけ、導体板(銅板)の上に置くとローレンツ力が生じて転がる。このトルクは、「導体板に流れる電流によるローレンツ力による」とする解釈が報告されている。この解釈が正しいか、以下の実験で検討した。



3図 銅板を転がる単極モーター



4図 銅レールの上の単極モーター、無限遠で短絡した様子

実験する前に、学生にワークシートで次の事項を質問した。

- (1) 電池両極間に流れる電流の流路を図示、
- (2) ローレンツ力の方向を図示、
- (3) 電池両端の磁石の向きを図示、
- (4) 磁石を流れる電流と、導体板(面内)を流れる電流により、それぞれローレンツ力が生じる。どちらが大きいか？

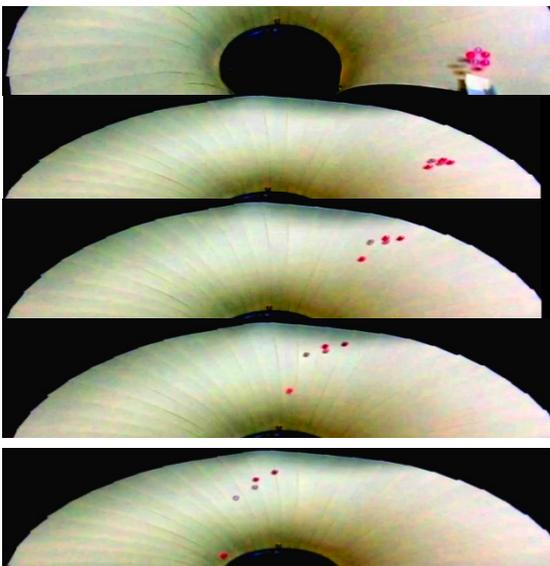
今回考案した検証実験を4図に示す。円板磁石の両輪は無限に長い導体のレールに乗っている。無限遠で導体レールを短絡すると転がった。よって、円板磁石を動径方向に流れる電流によるローレンツ力(トルク)が、回転する主な原因であることが示された。

#### (4-4) 音波を用いた波の干渉実験

高校で物理を履修した1年のセミナーにおいて、二個のスピーカー、発信器、及び巻尺を与え、自分の耳をセンサーとして、音の波長と音速を測定する方法を考案させた。高校で習った「ヤングの干渉実験」をヒントにして、音の強弱を与える行路差に着目し波長を求めた。さらに、波長と周波数の積から音速を決定した。実験では、400Hzから500Hzの音波が分かりやすいことが分かった。音波による干渉実験は、波長がメートル単位なので教室のサイズに適している。し

かし、壁からの反射による擾乱には注意が必要であった。

#### (4-5) ケプラーの法則の理解と潮汐破壊

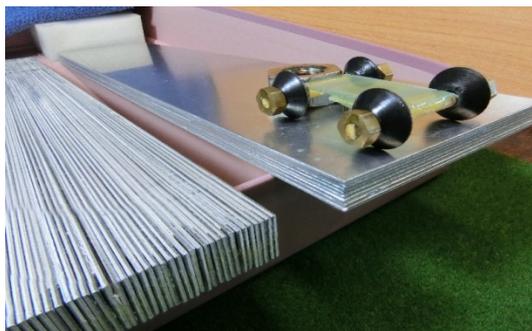


6図 重力ポテンシャルによる潮汐破壊を示す実験 各粒子の軌道は異なるため散らばる

ケプラーの法則が理解されているか調べるため、農学部1年、及び放送大学の学生に対してアンケート調査した。その結果、1日に干満が2回あることは78%が正解した。しかし、地球の片側だけ満潮になるという回答が55%もあった。この結果は論理的に矛盾しており、干満の回数を単なる知識で正解していることが分かる。「月や太陽に面した側が引力で満潮になる」と直観的に誤解されている。誤解の理由として、一般に授業では円運動を質点で議論するため、一定の大きさを持つ惑星が場所により異なる軌道に乗っている感覚が無いためと思われる。

図6は重力勾配がある場合の潮汐破壊を示すモデル実験である。潮汐力の起源について質問した結果、名大農学部と放送大(社会人)全体の正解率は、月とするもの45%、太陽とするもの34%、であった。

#### (4-6) 電磁誘導の理解と効果的な渦電流ブレーキの考案



8図 渦電流によるブレーキの理解

8図は互いに絶縁したアルミ板を縦・横に貼合わせた基盤上で磁石車を降下させ、渦電流によるブレーキ効果を示す実験である。降下速度の違いにより、電磁誘導による電流が基盤に平行であることが分かる。次の段階として、学生に3個の磁石を用いて、より効果的な渦電流ブレーキを考案させた。3個の磁石の極性について議論された。磁場の絶対値を大きくするため、同じ方向に3個並べる方法(上向きにNNN)と、磁場勾配を大きくするため磁石の向きを反転させる方法(上向きにNSN)が提案された。実験の結果、後者の方法が有効であることが示された。

#### (4-6) 分光を用いたエネルギー準位の理解

各種の元素気体の放電管を光源として、回折格子を用いて肉眼で輝線スペクトルを観察し、原子の離散的なエネルギー準位を確認した。また、赤色と青色のLEDの発光に必要な電位の差から、光の波長とエネルギーの関係を理解した。次に、赤色の光で青色LEDが発電できるかどうか議論された。実験の結果、エネルギー準位差から予想されたように、青色の光で赤色と青色のLEDは発電できたが、赤色の光では青色LEDは発電できないことが分かった。

#### 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 藤田あき美、分光実験でアクティブラーニング天文学、天文教育、査読有、28巻、2016、7-17
- ② 安田 淳一郎、千代 勝実、三浦 裕一、系統的講義実験を通じた科学的推論能力の獲得と評価—斜面で物体を転がす実験を題材として—、科学教育研究、査読有、39巻4号、2015、327-334
- ③ 藤田あき美、空手で力学--誘導発見型ワークショップ物理の導入、大学の物理教育、査読有、22巻、2016、83-86

[学会発表](計 9件)

- ① 三浦裕一、中村泰之、齋藤芳子、安田淳一郎、千代勝実、小西哲郎、古澤彰浩、藤田あき美、学生が自主的に考案する演示実験—より効果的な渦電流ブレーキの開発、物理学会、2017年3月17日、大阪大学
- ② 三浦裕一、中村泰之、齋藤芳子、安田淳一郎、千代勝実、小西哲郎、古澤彰浩、藤田あき美、学生が自主的に考案する演示実験 - 音波の干渉を利用した波長の測定、物理学会、2016年9月16日、金沢大学
- ③ 三浦裕一、中村泰之、古澤彰浩、齋藤芳子、安田淳一郎、千代勝実、小西哲郎、藤田あき美、潮汐現象に関する誤解を正すモデル実験開発、物理学会、2016年3月19日、東北学院大学
- ④ 三浦裕一、中村泰之、古澤彰浩、齋藤芳子、安田淳一郎、千代勝実、小西哲郎、藤田あき美、異なる学生集団に対する FCI 調査と誤解を正す実験開発、物理学会、2015年9月18日、関西大学
- ⑤ 安田淳一郎、千代勝実、小西哲郎、中村泰之、古澤彰浩、藤田あき美、齋藤芳子、三浦裕一、18pAL-10 斜面で物体を転がす実験を用いた科学的推論能力の習得と評価、物理学会、2015年9月18日、関西大学
- ⑥ 千代勝実、安田淳一郎、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、24pCK-2 大学物理学講義における学生主体型・プロジェクト型実験の実施と評価、物理学会、2015年3月24日、早稲田大学、
- ⑦ 三浦裕一、中村泰之、古澤彰浩、齋藤芳子、千代勝実、安田淳一郎、小西哲郎、藤田あき美、物理学講義における系統的講義実験—ローレンツ力に関する誤解を解く実験、物理学会、2015年3月24日、早稲田大学、
- ⑧ 三浦裕一、物理学講義における系統的講義実験-学生に企画させる熱力学実験、物理学会、2014年9月8日、中部大学、
- ⑨ 中村泰之、安田淳一郎、千代勝実、小西哲郎、古澤彰浩、藤田あき美、齋藤芳子、三浦裕一、物理学講義における系統的演示実験

-講義実験 Web サイトの構築とその効果的活用、物理学会、2014年9月8日、中部大学

[シンポジウム発表](計11件)

- ① 三浦裕一、異なる学生集団に対する力学概念調査と理解を深める教材開発、大学教育改革フォーラム in 東海 2017、2017年3月25日、金城学院大学
- ② 安田淳一郎、山形大学における基盤力テストの現状と課題、大学教育改革フォーラム in 東海 2017、2017年3月25日、金城学院大学
- ③ 齋藤芳子、物理学講義実験とアクティブラーニング、大学教育改革フォーラム in 東海 2016、2016年3月12日、愛知大学
- ④ 小西哲郎、予習してのぞむ分光実習、大学教育改革フォーラム in 東海 2016、2016年3月12日、愛知大学
- ⑤ 千代勝実、学生主体型物理学実験と教育効果測定、大学教育改革フォーラム in 東海 2016、2016年3月12日、愛知大学
- ⑥ 藤田あき美、空手チョップと力学：空手ボードテスター、大学教育改革フォーラム in 東海 2016、2016年3月12日、愛知大学
- ⑦ 三浦裕一、古澤 彰浩、中村 泰之、潮汐現象の理解と誤解、大学教育改革フォーラム in 東海 2016、2016年3月12日、愛知大学
- ⑧ 千代 勝実、課題解決型の物理学実験～音速の測定と空気の質量測定、大学教育改革フォーラム in 東海 2015、2015年3月7日、名古屋大学
- ⑨ 安田淳一郎、斜面で物体を転がす実験を用いた科学的推論能力の習得と評価、大学教育改革フォーラム in 東海 2015、2015年3月7日、名古屋大学、
- ⑩ 小西哲郎、人間ドップラー効果の体験、大学教育改革フォーラム in 東海 2015、2015年3月7日、名古屋大学
- ⑪ 三浦裕一、単極モーターによるローレンツ力の理解、大学教育改革フォーラム in 東海 2015、2015年3月7日、名古屋大学

[図書](計 1件)

物理学講義実験ハンドブック 第4版、講義実験研究会(代表 三浦裕一)、2017年3月発行、

[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;

① <http://physicsdemo.org/>

② 物理学教材実験動画 DVD;  
Verior Interpretatio Naturae  
2015年3月6日、講義実験研究会・名古屋  
大学高等教育研究センター 製作

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

三浦 裕一(MIURA, Yuichi)  
名古屋大学 理学研究科 准教授  
研究者番号:30175608

### (2)研究分担者

中村 泰之(NAKAMURA, Yasuyuki)  
名古屋大学 情報科学研究科 准教授

研究者番号: 70273208

斎藤 芳子(SAITOH, Yoshiko)  
名古屋大学・高等教育研究センター・助教  
研究者番号: 90344077

千代 勝実(SENYO, Katsumi)  
山形大学 基盤教育院 教授  
研究者番号: 80324391

安田 淳一郎(YASUDA, Jyun ichiro)  
山形大学 基盤教育院 准教授  
研究者番号: 402446

古澤 彰浩(HURUZAWA, Akihiro)  
藤田保健衛生大学 医学部 准教授  
研究者番号: 20362212

小西 哲郎(KONISHI, Tetsuro)  
中部大学 工学部 教授  
研究者番号: 30211238

藤田 あき美(HUJITA, Akimi)  
信州大学 学術研究院工学系 講師  
研究者番号:50729506

(3)連携研究者 ( )

研究者番号:

(4)研究協力者 ( )