

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650520

研究課題名(和文) 大学生が講義中に1人ずつ実験をして学ぶ大学の物理学講義法の開発

研究課題名(英文) Development of method of physics lectures in which each student can do experiments

## 研究代表者

柴田 利明 (Shibata, Toshi-Aki)

東京工業大学・理工学研究科・教授

研究者番号：80251601

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：物理学の教育では抽象的、数学的な法則性の把握と、具体的な現象の理解の両面が重要である。大学においては、学生実験のみならず、講義においても、教える内容と直接に関係する実験を講義中に取り入れて行うことが有効である。このような方法を開発し、しかも学生が主体的に関われるような方法にする。学部における物理の講義は、科目間に深い関係があるので、それをよく分析し、科目を順次履修する学生の立場にたつて、体系的で効果的な実験を開発する。

研究成果の概要(英文)：In physics education, teaching the abstract and mathematical laws and concrete phenomena are both important. In the lectures, it is effective to demonstrate physics experiments which are directly related to the contents of the lectures, in addition to labo courses. The aim of this research is to develop such a method, so that students can actively participate in experiments during the lectures. The different physics lectures in the undergraduate course have deep relations among themselves. So I will analyze the relations and develop a systematic and effective set of experiments, so that students can learn step by step.

研究分野：素粒子・原子核物理学、物理教育

キーワード：物理実験 授業 演示実験 科目間の相互関係

1. 研究開始当初の背景

物理学は自然科学の1分野であるから実験や観測が重要な役割を果たす。実験や観測の結果の数値的な分析、理論的な理解、更に発展した実験・観測法の考案、というように循環をしながら物理学は発展してきた。大学の物理学の授業でも、このような物理学の性質を実感できるような形を取ることが望ましい。学生実験の科目のほかに、授業中にも授業の内容に則して実験を行うことが有効である。その中でも、学生が1人ずつ実験できるような形態を工夫すると効果が大きいと期待される。

本研究を始める段階では、この分野は今後の発展が更に期待される分野であると考えることができた。

古典物理学については、ヨーロッパで発展したものを日本に移入した側面があるので、国内で行われた実験の歴史が浅い。したがって古典物理学の実験は、授業への活用という観点から見て、日本には蓄積が多いとは言えない。このような背景のもとで大学の授業を行うので、古典物理学をわかりやすく示すための実験を適切に開発することが重要である。それに接続して、より進んだレベルの物理学の授業があるので、その中でも実験の導入を検討する。

2. 研究の目的

大学の物理学の授業内容の理解を助ける適切な実験を授業中に行えるように実験を開発することが目的である。教室で行うには様々な制約があるので、数十人の学生が聴講する教室であることを念頭に、実験を検討する。

大学初年級の科目である力学、電磁気学、振動と波、熱学には共通の概念、例えば復元力や保存する場など、があるので、文献を調査し、科目間の関連を検討して、どの科目でどのような実験を行うことが有効かを検討する。文献は大学初年級の学生が使う教科書、参考書、などである。その後、実験装置は、同じテーマを扱うものでも複数検討し、順次簡素なものを選び、一見簡単な実験でも工夫をして行えば物理学の本質的な問題を考察できる、ということを示す。学生が、後で自ら容易に作って実験できるようなものであることが望ましい。

大学初年級に続く科目では、発展内容を含んでいるので、どのような実験をどの段階で行えばよいかを検討する。大学4年間、および大学院で全体としてどのような内容を授業中の実験から習得できるかを検討して実験装置を作る。

3. 研究の方法

まず文献調査では、大学の授業科目で使われている教科書、学生が使う参考書などをリストアップし、その内容を検討して科目間の関連と共通する概念などを整理する。電磁気学で扱う概念を力学の実験として示すとわかりやすい場合などがあり、科目ごとの縦割りではなくて全体として最も有効になるように実験を配置する。

類似した実験が、再び出てきて少し発展した新しい内容に導くようにすると、授業を聴講する学生にとって効果的な場合もある。異なる実験を並べるだけでなく、一度見たものに近いが、視点が違うとこのように理解できる、ということを示すのも有効な方法である。

製作段階に学生が参加できるように様々な機会を提供した。学生は最先端の研究だけでなく教育に用いられる実験装置の開発からも学ぶことが多くあるので、製作過程自体も重要な役割を果たす。

大学初年級の内容としては、次の項目を検討対象とする：

- (1) 力学では、
  - 1次元の運動
  - 2次元の運動
  - 単振動
  - 復元力
  - 保存的な場
  - 減衰運動
  - エネルギーの保存
- (2) 電磁気学では
  - 静電気
  - 摩擦電気
  - 電気力線
  - 等電位線
  - コンデンサー
  - 偏光
- (3) 振動と波では
  - 連成振動
  - 強制振動
  - 共鳴
- (4) 熱学では、
  - 熱エネルギーの互換性
  - 断熱過程
  - 等温過程
  - 気化による冷却
  - 永久機関の否定

4. 研究成果

成果としては主要科目について、その授業内容に則した実験をできるようにになった。実験装置の製作には、なるべく既存の壊れた装置などの部品を再利用するなどして、簡単な装置をつくり、学生が興味を持てば自分で製作できるようなものになるように努めた。同じ目的の装置を順次簡単化して複数作り、最も簡単でしかも目的を果たし得る装置を採用した。

実験装置の製作の試行の際には、前述

のように、学生もいろいろな形で参加し、製作された結果を見るだけでなく、自ら工夫する機会も多くあった。例えば4年生が1年生用の実験装置をつくる、という機会を提供した。平易な実験であるが比較的高度な内容も含む実験は、大学院の物理基本実験としてまとめて、約70ページのテキストを製作し、標準化した。これは大学院で科目として学ぶし、学部の授業中の実験としても活用するようにしている。学生が1人ずつ実験できる形態の実験もつくるようにした。実験装置の回路類は、複数の実験に共通な部分もあるので、各実験装置のために新規に製作しなくてもよいように共通化するようにした。

研究成果の評価の方法としては、学生に期末試験のときなどに授業の感想を書いてもらい、実験の意図が伝わっていたか、理解しやすかったどうか、などの声を聞いて検討した。実験が授業内容の理解の助けになった、興味がわいた、等の感想が多かった。

実験装置の製作の段階での、学生の参加は、具体的には、教員の指導のもとで、次のようにして実現した。まず4年生の卒業研究の中には授業科目に応用できるものがあり、学生は卒業研究を完成したのちに、授業科目で活用できる形に実験装置を変更するなどして貢献した。次いで、大学では一般への研究室公開を年に数回行っているため、そのときの展示の準備の一環として実験装置も準備するが、それらの中には授業科目で使っても有効な実験が多数あり、改良を加えて活用できるように学生が検討をした。

大学院の物理基本実験は、1つの科目であるが、その内容は今回テキストとしてまとめたので、それを基盤にした学部での応用を複数考案した。その際に、学生が重要な役割を果たした。

本研究で時間をかけて検討したのは次のような点である：

数十人の学生が聴講する授業では、場所の関係から実験を上からでなく、横から見る配置になるので、そのような配置でも見やすい実験装置を作ることである。ビデオカメラなどで上から撮影してそれをスクリーンに投影することはできるが、予め録画したものを再生するのと余り変わりがなくなるので、スクリーンへの投影はなるべく避け、直接に見えるものに限るようにした。その結果、例えば鉛直面内での運動するものは容易に実験に使えるが、水平面内で運動するものは見えるようにしにくい、という制約があった。重力を伴う運動は鉛直平面内でいろいろ実現し得るが、水平面内

の、重力に関係しない運動をどのように実験として見えるようにするか、は工夫を要した。

実験装置の大きさももう1つの要素である。十分大きくて教室において見やすいものであることが要求される。一方で、持ち運びが容易であること、学生が自分で簡単に製作できるような実験装置であることも要求しているため、それが両立するように配慮した。

実験時間は、短いものでは10分程度で実験と説明ができるようにして、時間的余裕があれば更に拡張して内容を足すことを想定している。授業時間は黒板で説明する部分だけでも時間的にあまり余裕がない場合が多く、実験に使える時間はたいへん長いとは予想できないので、短い時間でも完結できる実験の装置にしている。

更には、授業における実験は、授業における時間配分の中で、アクセントに成り得る。黒板での説明だけだと集中力が続かないので、途中で実験を挟むと1回の授業の中の時間配分が組みやすいという効果がある。この点も考慮した。

実験と授業の相互作用、という要素もあった。実験を行い、様々な質問が出るので、次の授業の際にはそれも黒板で説明する内容に取り入れて授業をすることができる。授業で配るプリントにも、実験に関して出た質問、疑問と誤解を扱って、学生の理解を深めることができる。このように実験と黒板での説明を関連させて授業を進めることは、学生の理解度を把握するにも役立つし、説明が不足だったところを補足するにも役立つ。

実際にどれくらいの大きさの力か、どれくらいの速度か、等々は黒板でも説明するが実感を得ることが困難な場合もあるので、実験によってそれを示すと有効であるし、まず実験で示した後に、それをどのように記述するか、という観点から定式化の方法を教える、という順番をとることもできる。

本研究に関連する授業科目としては、次のような科目がある：

(1)大学初年級では、  
力学  
電磁気学  
振動と波  
熱学、熱力学  
大学初年級のための少人数講義

(2)学部のより進んだレベルでは、  
電磁気学  
物理実験学  
現代物理学  
原子核物理学

(3)大学院では  
原子核物理学  
ハドロン物理学  
物理基本実験

東工大には授業参観の制度があり、教員が他の教員の授業を参観できるので、それに参加して、他の教員の授業参観を受けつけて、参考になるように努めた。

これらの結果は、学生実験の科目に加えて、授業科目においても実験を取り入れることにより、学生が授業内容を理解するのを助けることに寄与するものであり、物理学を本来の形に近い姿で学生に示すのに貢献すると考えられる。

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 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔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：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等  
東工大には教員が授業を参観する制度があるのでそれに参加し、他の教員の参観を受け付けて、参考になるように努めた。

6. 研究組織

(1)研究代表者

柴田 利明 (SHIBATA, Toshi-Aki)  
東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：80251601

(2)研究分担者  
( )

研究者番号：

(3)連携研究者  
( )

研究者番号：