

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：12604

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23650502

研究課題名(和文)身近な物理現象を安全な機器で体感的に理解させる教員養成系大学の物理学実験の構築

研究課題名(英文) Alternative physics experiments for students in teacher training university using commercial products

研究代表者

荒川 悦雄 (Etsuo, Arakawa)

東京学芸大学・教育学部・准教授

研究者番号：10272626

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)：教員養成系大学での物理学実験として、理工学部的な専門的実験の要素を含み、かつ小中学校の現場にて即応できる実験教材を開発した。物理学の主要4分野(力学・波動・電磁気学・原子)について、3つの観点「身近な物理現象を題材」、「安全な民生用機器を活用(教育現場に出たときに即応可能)」、「物理量を体感(視聴覚化を含む)して理解」を基に、小中学高校及び大学教養物理と身近な現象の理解へと接続できる実験教材を開発した。本研究では、放射線学習の副教材、高速録画機能付民生用デジタルカメラを用いた吹き矢の運動、電子楽器テルミンの開発、自然対数の学習教材など教材・カリキュラムを開発した。

研究成果の概要(英文)：We developed alternative physics experiments for students in the teacher training university which include not only professional but also educative contents. The concepts of the experiments are to investigate familiar phenomena, to use commercial products as an experimental instruments, and to visualize the physical quantity. The experiments are intended to contribute to connecting between junior high school physics and university physics. Some of our experiments and curriculum were textbook for radiation physics, the physics of blow pipe, and electronic musical instrument, Theremin.

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 力学 電磁気学 放射線

## 1. 研究開始当初の背景

東京都立教育研究所の調査結果をもとに、1993年の科学技術白書で「若者の科学技術離れ」が取り上げられ、大きな問題になっている。また、入学試験の多様化や高校での理科科目の選択自由度が高まったことから入学時に学生が自然科学分野の数学および理科、とりわけ物理を学んでおらず、大学での授業を理解せず教員になる場合が多くなってきた。そのためリメディアル教育(大学教育を受けるにあたって不足している基礎学力を補うために行われる教育)の必要性も言われている。

研究代表者らは、既存の授業、特に実験授業の改定を行い、物理を専門としない学生にも興味をもって取り組みたくなるような題材を取り扱うことで、効果的な実験教材を開発することを提案している。実際に、スポーツや芸術のクラブ活動等で児童や生徒が真剣に取り組む身近な活動の中心的な役割を担う物理現象を題材にし、安全で身近な物品を使い、研究代表者らが得意とする高度な専門分野の視点で、最新の計測機器の助けを借り、体感的に現象を解析したり検出したりする試みを教員養成系大学の物理学分野の実験授業にて行った。先行して開発した力学分野[1]と原子分野[2]に限った教材の導入は、受講生に好評であった。

[1] 荒川悦雄「球速の測定」、楽しい理科授業、(続)一歩踏み出す勇氣!理科授業で使える面白教材 13、明治図書、2008年4月号、表3・4頁。

[2] 荒川悦雄, 山田修平, 鴨川仁, 相澤則行, 「自然放射線によって励起する蛍光X線元素分析」, 大学の物理教育, 16, 102-104 (2010).

## 2. 研究の目的

教員養成系大学での理科実験、特に、物理学実験においては、理工学部的な専門の実験の要素を含み、かつ小中学校の現場にて即応できる実験教材が望ましい。本研究では、物理学の主要4分野(力学・波動・電磁気学・原子)について、3つの観点「身近な物理現象(野球ボールの運動や弦の振動)を題材」、「安全な民生用機器を活用(教育現場に出たときに即応可能)」、「物理量を体感(視聴覚化を含む)して理解」を基に、小中学高校及び大学教養物理と身近な現象の理解へと接続できる実験教材を開発し教材化する。

## 3. 研究の方法

物理学の4分野(力学・波動・電磁気学・

原子)における実験を開発・教材化し、研究代表者らの所属大学の物理学実験において教育実践を行う。いずれの実験も身近な物ないし現象に焦点をあて、教員を目指す学生にとって現場における理科実験の礎になるものを目指す。

## 4. 研究成果

### 4.1 ハイスピードデジカメを使った吹き矢の運動解析

吹き矢は吹き筒の長さによって、矢が飛び出す際の速度、すなわち出口速度が異なることが知られている[3]。長さの異なる吹き筒を用意し、吹き矢を吹く演示実験から出口速度を比較することは、力学を初めて学ぶ人が運動の法則を考えるために有効であることが報告されている[3]。実験は吹き筒にアクリルパイプを、矢に綿棒を用いて行い、出口速度は光学式速度測定玩具やスピードガンを用いて測定されている。これまで矢の出口速度は、摩擦を考慮しないエネルギー保存則を用いて解析され、吹き筒の長さの平方根に比例するとされていた。3m以下の吹き筒ではエネルギー保存則を用いて実験結果を説明することができていたが、3mを超える長さの吹き筒での矢の出口速度に関しては説明できていなかった。また、彼らの実験では出口速度のみ測定され、吹き筒内での矢の加速過程は測定されていなかった。物体の運動について初めて学ぶ児童や生徒、または学生などにおいて、3m以下の吹き筒を用いた吹き矢を題材とすることは有効である。しかし、高等学校の理科教師をはじめとする力学を専門的に扱う人においては、どのような長さの吹き筒でも矢の運動を解析できる、摩擦を考慮した式をたてる必要があった。そこで本研究の目的は、摩擦を考慮した、如何なる長さの吹き筒でも吹き矢の運動を記述できる運動方程式をたて厳密解を求めた。さらに実際に吹き矢を吹き、求めた厳密解が成り立つことを調べた。そのため本研究では10mまでの吹き筒を用意し、吹き筒内で矢が移動する様子をハイスピードカメラで撮影することで、矢の出口速度だけでなく吹き筒内での瞬間速度も測定した。摩擦を考慮した運動方程式をたてた結果、吹き矢には固有のパラメータが2種類存在することが分かった。1つは流体力学的な量と個人の能力に関係する量の組み合わせであり、もう1つは摩擦に関係する量であった。また、吹き筒内を移動している吹き矢をハイスピードカメラで撮影することで矢の瞬間速度を求めることができ

た。得られた瞬間速度と運動方程式の解とを比較して、従来のエネルギー保存則で説明できていた比較的短い吹き筒の領域と共に、エネルギー保存則では適応できなかった長い吹き筒の領域に関しても、吹き矢の速度を説明することができた。さらに、運動方程式から導かれた、我々の吹き矢に対する固有の2種類のパラメータを実験的に決定することができた。

[3] Koji Tsukamoto, Masanori Uchino, "The Blowgun Demonstration Experiment," THE PHYSICS TEACHER vol.46, pp.334-336 (2008).

#### 4.2 電子楽器テルミンの開発

電子楽器の草創期に生まれたテルミンはロシアの物理学者レフ・テルミンによって発明された。現代ではテルミンによる演奏はまれであるとはいえ、現代電子楽器の一つの潮流を生み出したといえる。テルミンは、古典かつアナログの楽器には見られない独特な音色、基本となる電子回路の単純さ、奏者が非接触で音程・音量を変化させられるなどの特色を持つ。本研究では、これらの特色を活かした教員養成大学用の音楽・理科・ものづくり学習教材として、テルミンを取り上げ、教育実践を試みた。

テルミンは電子楽器創世期に生まれた電子であり、以後のオンド・マルトノなどの電子楽器はテルミンがもとになっている。音楽教育の観点においては、音を発生させる仕組みを理解できるよい教材となり、手軽に楽しみながら合奏を学ぶことができる。小中高の理科教育現場において、目に見えない電気・磁気理解には優れた実験教材が必要である。磁気は方位磁石で地磁気を調べることで簡単にイメージ化できるが、電気はイメージ化できる教材がほとんどない。テルミンは電気の変化が音程・音量になるため、小学生でも電気の変化を体感できる。また中高生ではテルミンの製作を通して電子工作を学べる。

本研究を推進する上で、電子回路については音楽教育、ものづくり教育、理科教育の目的をそれぞれ満足するものでなければならない。音楽教育については、楽器が最低限の演奏に耐えうるものであること、理科教育については、音程が音波の振動数であるということが理解できるような回路を目標とした。ものづくり教育については、回路が複雑になり過ぎず、高等学校の学生でも慣れればすべてハンダ付けして装置の完成をさせるような回路であることを目標とした。そ

のために本研究では、センサー部が異なる2つの回路を設計した。ひとつは、音程を決める手とアンテナの感覚を、テルミンで用いられているような、手とアンテナ間の静電容量の変化ではなく、手の位置をフォトダイオードによって照射した発光ダイオードの反射強度に比例するようにしてコンデンサの容量を定めるタイプのものである。これらは非接触演奏が可能という点ではテルミンと同じであるが、物理的原理が異なる。もう一つのセンサーは古典的にテルミンと同様に、演奏する手とテルミン上のアンテナ間の静電容量の変化で音程を変化させるタイプのものである。いずれの回路も試作したが、前者はテルミン風の新しいタイプの楽器とも言える新規性があるが設計時点での簡易回路ではノイズが乗りやすく演奏の観点では後者に劣り、ノイズを減らすためには回路が複雑になりものづくりの観点で適さないことから後者を採択することにした。

開発された装置を教育実践として2010年11月12日に学芸カフェテリア(キャリア支援講座)による「大人の科学・世界初の電子楽器テルミンを奏でよう」で行った[業績]。

#### 5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計6件)

大洞行星, 織原義明, 鈴木裕子, 荒川悦雄, 藤原博伸, 鴨川仁, 簡易放射線測定器「はかるくん」を用いた自然放射線の観測, 東京学芸大学紀要自然科学系, 64, 25-30 (2012) 【査読無】

<http://ir.u-gakugei.ac.jp/handle/2309/131812>

鴨川仁, 藤原博伸, 稲崎弘次, 織原義明, 岩崎洋, 川原庸照, 鈴木裕子, 大洞行星, 土器屋由紀子, 小型化した環境データ記録システムの製作, 東京学芸大学 環境教育学研究, 第22号, 3-10 (2013) 【査読無】

鴨川仁, 山本訓久, 番田清美, 稲崎弘次, 藤原博伸, 荒川悦雄, 織原義明, 中村真帆, 佐藤良衛, 阪井陸真, 高崎瑞希, 電子楽器「テルミン」による音楽・理科・ものづくり教育, 東京学芸大学紀要 芸術・スポーツ科学系, 66, 15-23, (2013) 【査読無】  
<http://ir.u-gakugei.ac.jp/handle/2309/134254>

鈴木智幸, 鴨川仁, 早川正士, スプライト観測を行っている高校生のための新しい教材開発の試み, 東京学芸大学紀要自然科学系, 65, 9-15 (2013) 【査読無】

<http://hdl.handle.net/2309/134194>

亀沢千夏, 鴨川仁, 金井祐子, 西浦慎悟, 番田清美, 荒川悦雄, 中学生向け放射線教育のパンフレットの出版, Radioisotopes, 63, 145-149 (2014) 【査読有】

東郷翔帆, 須藤雄志, 織原義明, 田中利佳, 中村真帆, 藤原博伸, 稲崎弘次, 岩崎洋, 川原庸照, 土器屋由紀子, 鴨川仁, 開発された小型測定機器による環境データの観測 - 富士山測候所における試験観測 -, 東海大学海洋研究所研究報告, 35, 35-41 (2014) 【査読有】

[http://www.iord.u-tokai.ac.jp/publication/kenpo/num\\_35/35\\_35-togo.pdf](http://www.iord.u-tokai.ac.jp/publication/kenpo/num_35/35_35-togo.pdf)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

荒川 悦雄 (ARAKAWA, Etsuo)  
東京学芸大学・教育学部・准教授  
研究者番号: 10272626

### (2) 連携研究者

鴨川 仁 (KAMOGAWA, Masashi)  
東京学芸大学・教育学部・助教  
研究者番号: 00329111

相澤 則行 (AIZAWA, Noriyuki)  
東京学芸大学・教育学部・元教授  
研究者番号: 40014807