

令和元年6月21日現在

機関番号：51201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26350253

研究課題名(和文)「小さな科学の芽」を本当の「科学力」へと育てる体験型科学教育システムの開発

研究課題名(英文) Development for science ability of children through various types of science experience

研究代表者

白井 仁人 (Shirai, Hisato)

一関工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：00310996

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：我々は真の科学力をもつ学生の育成を目指し、科学教育方法に関する研究を行ってきた。その中で様々な手法を試み、実際に学生の意欲増大や学力向上につながる要素として体験型教育や科学コミュニケーションが重要なことを見出した。本研究では、学生だけでなく地域の小中学生のため、それら要素を取り入れた新しい教育システム「マイクロ科学館」を開発した。マイクロ科学館は5つの実験シリーズで構成され、各シリーズは簡単に持ち運べる。我々は毎年、マイクロ科学館を実施し、小中学生に貴重な科学体験の場を提供した。また、アンケート調査を行いその教育効果を調べた。さらに、体験型科学教育等を取り入れた科学教育の長期分析を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々は「マイクロ科学館」という新しい科学教育手法を開発した。そして、実際にそれをを用いて地域の子供たちに科学教育を実施した。その成果には3つの意義がある。第一は、マイクロ科学館という新しい手法を開発し、試みたという学術的意義である。第二は、普段はなかなか科学に触れることのない田舎の子供たちに、科学体験ができる重要な機会を実際に与えることができたという社会的意義である。第三は、マイクロ科学館のアンケート結果の分析、及び、体験型学習を取り入れた本校の科学教育の長期データ分析から、科学体験や科学コミュニケーションを伴う科学教育が非常に有効であることが示せたという学術的意義である。

研究成果の概要(英文)：We have found in our previous study that the methods of experiential learning and science communications are effective to develop science ability of students. In this study, we create a new education system taking the above two methods. We call this system the “Micro-Museum of Science” (MMS). We designed the MMS as a compact system to bring them easily and hold science events in a small space. Using the MMS, we could provide children in rural areas with valuable opportunities to experience science every year. We also made a long-term data analysis of the science education in our college to examine the educational effect of our method. The result shows successively that the effect is remarkable.

研究分野：科学教育(特に体験型教育)、物理教育、環境教育。

キーワード：新しい科学教育手法の開発 体験型科学教育手法 マイクロ科学館 科学コミュニケーション 物理教育の実践的研究 環境教育の実践的研究

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

我が国は科学技術創造立国を目指し、科学教育に大きな力を注いでいるが、その一方で、いまだに子供たちの「理科離れ」が指摘され続けている（例えば、長沼、2015）。そのため、大学や高等専門学校など高等教育機関は年々、地域の子供たちの科学教育に力を入れるようになり、今では毎年、盛んに小中学生向けの科学教育活動を行っている。ただ、そこで用いられている教育手法はあまり種類が多くなく、普通は（1）「科学講演会」や「サイエンス・カフェ」（例えば、上田・毛利、2012；野原、2011）など科学者が子供たちに最先端の科学成果や科学の面白い内容を紹介する方法か、（2）「実験教室」や「工作教室」など科学者の指導の下で子供たちが実際に工作や実験などを行い、体験的に科学や工学について学ぶ方法、あるいは、（3）「科学館を利用した方法」など、子供の好奇心を刺激するだけでなく、さらに深く理解したいときに好きなだけ時間をかけてその展示に触れ、考え続けることができるような手法が用いられている。そして、これら3種類の手法にはそれぞれに欠点がある。例えば、第一の方法では講演者からの一方的なコミュニケーションになりやすく、第二の方法は好奇心を刺激しただけで終わる可能性がある。また、第三の方法は科学館のない非都市部では実現できない。

こうした背景の中で我々は科学教育の手法について研究を続け、先行研究において、体験型科学教育や科学コミュニケーションを重視した教育手法が効果的であることを見出した。そして、この方法を発展させれば、地域の子供たちにもっと効果的な科学教育を与えられると気が付いた。そこで、「マイクロ科学館」と呼ぶ新しい科学教育手法を開発し、実際に地域の子供たちに科学体験の機会を与えるとともに、その教育効果を調べることにした。この教育手法は我々が探究し、本校の学生に実施してきた体験型科学教育や科学コミュニケーションを発展させたものであり、しかも従来の3種類の科学教育手法（上記）の欠点を克服した方法になっている。本研究が実現すれば、実際に非都市部（地域）の子供達（小中学生）に科学体験の機会を多く提供できるようになることは間違いなく、小中学生から本校の学生まで含む大きな科学教育の体系が実現できることが期待できた。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は3つある。第一は、これまでに行われてきた子供向け（一般市民向け）の科学教育手法の欠点を克服した新しい科学手法として「マイクロ科学館」を開発することである。マイクロ科学館とは、5種類程度の実験シリーズから構成された科学教育システムで、各実験シリーズには複数の実験装置が配置されている。子供たちはそれらに自由に触れることができ、しかも各シリーズに配置された「科学コミュニケーター」とコミュニケーションを取りながら、思う存分、好きなだけ科学的な考察を行えるようになっている。これにより子供たちは、科学の表面上の面白さに触れるだけでなく、真の面白さ（概念的に理解することや論理的に思考することの面白さ）に気付くことができるだろう。

第二は、開発した「マイクロ科学館」を用いて、実際に地域の子供たちに対して科学教育イベントを実施することである。毎年、1～2回実施することで、科学館のない非都市部の子供たちに科学体験のできる貴重な機会を提供できる。しかも、このような手法は今まで行われていないため、これが成功すれば、①「科学講演会」（「サイエンス・カフェ」を含む）、②「実験教室」（「工作教室」を含む）、③「科学館を用いた方法」に次ぐ第4の一般市民向け科学教育手法として新しい科学教育活動のモデルとなりえる。

本研究の第三の目的は、マイクロ科学館を用いた科学教育の実践の中で、体験型教育や科学コミュニケーションを重視した我々の科学教育手法の教育効果を調べることである。まず、マイクロ科学館の手法が有効で実用的かを見るため、アンケート調査を行い、その結果について調べる。さらに、これまで行ってきた本校学生への科学教育の長期データも分析し、我々の手法の教育効果について解析を行う。

### 3. 研究の方法

本研究は、次の3つの方法で行う。

- (1) マイクロ科学館の開発
- (2) マイクロ科学館の実践
- (3) 調査結果の分析（アンケートおよび本校学生の長期データ）

各方法について以下に具体的に示す。

#### 3-1. マイクロ科学館の開発

「マイクロ科学館」は、5つの実験シリーズにより構成された科学教育システムである。各実験シリーズには複数の実験装置が置かれ、また数人の科学コミュニケーターが配置される。つまり、「マイクロ科学館」とは、各コーナーに科学コミュニケーターが数人配置された（手作りの）小さな科学館だと思えば良いだろう。参加者（子供たち）は自分の好きな内容の実験シリーズから順にまわり、各実験装置に自由に触れて実験を楽しむことができる。そして、試行

錯誤を楽しみながら、科学的内容を体験的に理解していくことができる。しかし、科学コミュニケーターが補助して深い理解へと導いてくれるので、興味が刺激されて終わりということがない。これは、本校学生に向けた授業（ここでは演示実験など体験型学習や、またプリントを用いた対話型学習などによる科学コミュニケーションが重視されている）の良い部分を抽出したもになっている。

さて、我々が開発した5つの実験シリーズは以下の通りである。

【シリーズA】「エネルギーとはなにか」（エネルギーの概念）いくつかの力学実験を順に体験し、運動エネルギーや位置エネルギー、エネルギー保存則などの概念について系統的に理解する。

【シリーズB】「光とはなにか」（光の概念）シリーズ化された光学装置に触れながら、反射、屈折、全反射、干渉など光の諸性質と赤外線など見えない光について理解する。

【シリーズC】「熱とはなにか」（熱の概念）系統的に熱実験を体験し、温度とはなにか、熱の概念（熱が分子の熱運動のエネルギーであること）などを理解する。

【シリーズD】「数に隠れた法則」（論理思考）楽しい数学ゲームや数学パズルを準備する。試行錯誤しながら徐々に正解に近づく中で数学法則に気付かせ、科学に必要な論理思考を養う。

【シリーズE】「音の不思議」（音の概念）さまざまな音の実験を通して、音が空気の振動であることや、音の高さが装置の大きさと関係していることを見出す。その中で体験的に音に法則があることを理解し、共鳴・共振などの不思議な現象を体験する。（シリーズEは当初、「機械の原理」を考えていたが、実験装置作成段階でいくつか問題（例えば安価な器具では予定した機構がうまく作動しないなど）が生じたため「音の不思議」に変更した。）

各シリーズには3つ以上の実験装置が配置されている。平成26年度から各シリーズを開発し始め、5年をかけて徐々に5シリーズを完成させた。そのため、平成26、27年度のマイクロ科学館の実施はA、B、Dの3シリーズで行い、平成28、29年度はA-Dの4シリーズで実施し、最終年度の平成30年度はA-Eの5シリーズで実施した。各シリーズの科学教育手法には、たとえば科学体験より科学コミュニケーションの方に重点が置かれているとか、逆に科学体験重視であるとか、それぞれに個性がある。

### 3-2. マイクロ科学館の実施

5年間、毎年1回以上、マイクロ科学館を実施し、子供たちに科学体験と科学コミュニケーションのできる場を提供した。具体的には以下の「4. 成果」に示した通りである。

### 3-3. アンケート調査結果の分析、及び、長期データ分析による教育効果の研究

マイクロ科学館においてアンケート調査を実施した。その分析結果をまとめ、出版した。また、我々の科学教育手法に関して長期データ分析を行い、その結果についてもまとめ、論文として出版した。また、途中経過の段階において、学会や研究会などでこの新しい科学教育手法について紹介した。

## 4. 研究成果

本研究には、上記の3つの目的に対応した3種類の成果がある。第一の成果は、新しい科学教育活動の手法として「マイクロ科学館」というシステムを開発したことである。このような科学教育システムはこれまでなかったものであるため、開発自体に意義があると言える。第二の成果は、それを用いて実際に地域の子供たちに対して新しい形の科学教育活動を行った（現在も継続して行っている）ことである。子供たちへの実践は、学術的な価値は大きいと言えないかもしれないが、社会的な価値（地域貢献）としては非常に大きいと考える。実際、この活動により、本校に進学し、科学技術者を目指すようになった子供もいる。本研究の第三の成果は、こうした体験型科学教育や科学コミュニケーションを重視した手法には大きな教育効果があることを示したことである。マイクロ科学館でのアンケート調査の分析結果も、本校学生の学力に関する長期データ分析の結果も、どちらも教育効果が大きいことを示していた。

以下にこれらの成果について具体的に示していこう。

### 4-1. マイクロ科学館（5つの実験シリーズ）の開発

#### 4-1-2. シリーズA：「エネルギーとはなにか」

実験装置 A1~A3（3種類）：「飛べ！鉄球」、方法：(A1) 半径1cm程度の鉄球を、ある高さにあるホースの入り口から入れて、ホースの出口から斜め上方に射出する。その高さと飛距離の関係を試行錯誤しながら実験する。これにより、高さ（位置エネルギー）と速さ（運動エネルギー）の関係を理解できる。(A2) 同様に、角度と飛距離の関係を調べる実験を行い、



装置 A1, A2

その関係を理解する。(A3) これらの結果をもとに飛距離を最大にする高さや角度を自分で考え、実際に参加者たちに自由な角度で飛ばさせて飛距離を競わせる。これにより、理論的に考えて予測し、実験で確かめる楽しさ(科学的な試行錯誤の楽しさ)を理解する。

実験装置 A4:「鉄球の競争」、方法:半径 1cm 程度の鉄球に 5 つのコースを進ませる。コースはどれも水平方向に同じ距離を進むが、どのコースが最も短時間でゴールにたどり着けるかを考え(予想)させる。これにより、高さ(位置エネルギー)と速さ(運動エネルギー)と距離の関係によって時間が決まることを理解する。

実験装置 A5:「振り子 de 衝突実験!」、方法:半径 3cm 程度の鉄球の振り子を複数並べた実験装置を用意し、ひとつの振り子を振動させて、衝突実験を行う。これにより参加者は、運動エネルギーが隣へ移っていくことを理解する。



装置 A3



装置 B1

#### 4-1-2. シリーズ B:「光とはなにか」の開発

実験装置 B1:「目の錯覚?光の不思議」、方法:凹面鏡、水槽などで反射や屈折がつくる不思議な像を見せ、子供たちの心に「なぜ?」を生じさせる。そして、それが反射や屈折によって説明できることを理解させる。ここでは、凹面鏡、水槽、など、実際に見て触れて楽しい装置を多数用意する。

実験装置 B2:「光が曲がる!」、方法:屈折率の大きい透明な物質を準備し、レーザー光がその中を曲がりながら進むのを見せる。そして、光ファイバーの中に実際に光を通して、光ファイバーがどのような原理で光の進路を曲げながら光を運ぶのか理解させる。



装置 B2

#### 4-1-3. シリーズ C:「熱とはなにか」の開発

実験装置 C1:「見えない光を見る!」、方法:人の目では見えないテレビのリモコンからの赤外線が、デジタルカメラでは見えることを実験で示す。また、赤外線カメラにより人の体などからも赤外線が出ていることを示す。これを通して、人の目には見えない赤外線という光があり、その色は温度によって変わること理解させる。

実験装置 C2:「熱を目で見よう!」、方法:赤外線カメラでとらえた人々や室内の様子を映し出し、人間や室内の物体の温度が赤外線の色に反映されていることを見せる赤外線カメラを通して熱を見たり、自分の手のひらの温度を熱シートで体感するなど、系統的に熱実験を体験し、温度とはなにか、熱の概念(熱が分子の熱運動のエネルギーであること)などについて理解する(右図)。



装置 C2

#### 4-1-4. シリーズ D:「数に隠れた法則」の開発

実験装置 D1:「見つけ出せ!数学法則」、方法:数学の法則が隠されたパズルを用意する。参加者にはまずパズルを与え、それを解くことを楽しんでもらう。次に、そのパズルにあるいくつかの法則が隠されていることを伝え、その法則を試行錯誤しながら見出してもらい、最後に、なぜその法則が成り立つか論理的に考察する。

実験装置 D2:「数学ゲーム 1・2・3!」、方法:サイエンス・ナビゲーターと数学ゲームを行う。それは一種の数学的な実験であり、必勝法則に気付けば必ず勝てるようになっている。いくつかのゲームを体験する中で、参加者にはまず負けてもらい、次に、必ず勝つ方法があることを伝え、その方法を見つけて出してもらい、最後に、その方法ならばなぜ必ず勝てるのかを考えてもらい、論理的な原理を見つけて出す。



装置 D1, D2

#### 4-1-5. シリーズE:「音の不思議」の開発

実験装置 E1:「物の大きさと音」、方法:さまざまな大きさの物体を用意し、それをたたいて音を出してみる。物体の大きさと音の高さには関係があることがわかる。音は空気の振動で、物体の振動が音を発せさせるため、そのような関係があることを理解させる。

実験装置 E2:「うなる音」、方法:音の共鳴やうなりを発生させ、振動数が近い場合や同じ場合にそうした現象が生じることを理解させる。



#### 4-2. マイクロ科学館の開催

5年間、毎年1回以上、マイクロ科学館を実施し、子供たちに科学体験と科学コミュニケーションのできる場を提供した。具体的には以下の通りである。(そのときの参加者の様子は図1、図2に示す通り。)

平成 26 年 8 月 30, 31 日 (場所:一関高専)  
平成 27 年 8 月 22, 23 日 (場所:一関高専)  
平成 27 年 10 月 31 日, 11 月 1 日 (場所:一関高専)  
平成 28 年 7 月 17, 18 日 (場所:交流センター)  
平成 29 年 11 月 4, 5 日 (場所:一関高専)  
平成 30 年 11 月 3, 5 日 (場所:一関高専)



#### 4-3. データの分析

##### 4-3-1. マイクロ科学館のアンケート結果分析

以下のような内容でアンケート調査を行った。

質問 1. 一般向け科学教育の方法には、次の 3 つがあります。どれが一番内容を深く理解できると思いましたか。

(ア) 「マイクロ科学館」・・・さまざまな科学体験ができ、科学コミュニケーターとコミュニケーションできる今回のような方法。

(イ) 「科学実験教室」・・・ロケットづくりなど工作をして実験などをやる科学教室。

(ウ) 「科学講演会」・・・大学の先生などが最先端の科学について講演するような方法。

調査結果: (ア) 32人 (イ) 21人 (ウ) 8人

分析: この結果からわかることは、第一に、「科学講演会」と「科学実験教室」、「マイクロ科学館」の 3 つの方法を比べたとき、最も科学的内容を理解できる方法は「マイクロ科学館」であると答えた人が最も多いということである。つまり、期待した通り、科学的興味の喚起だけでなく、科学的内容の理解という面でも効果的な方法だと言える。第二にわかることは、各方法を選んだ人数の比率がだいたい 3 : 2 : 1 で、(イ) や (ウ) の方が理解できると答える人もいることである。とくに、(イ) の「科学実験教室」が最も理解しやすい方法だと考える人が予想以上に多かった。したがって、「マイクロ科学館」という手法の今後の開発における目標は、(ア) を選ぶ人の数が (イ) を選ぶ人の数よりもはるかに多くなるように、学習効果の高い装置開発に努めることだろう。

質問 2. 「マイクロ科学館」ではシリーズ(A), (B), (D)のどれが一番楽しめましたか。(H27 年度実施結果)

調査結果: (A) 37人 (B) 18人 (D) 33人

分析: 「エネルギー」のシリーズ A と「数」のシリーズ D が一番楽しかったと答えた人が多く、シリーズ B 「光」を選んだ人があまりいなかったことがわかる。その最大の理由として考えられることは、シリーズ A と D ではサイエンス・コミュニケーターとの双方向のコミュニケーションがとても多いのに比べ、シリーズ B では装置の前で実験の説明を受けるだけのことが多く、コミュニケーションが一方向的になりがちだという点である。したがって、双方向コミュニケーションを行うことが、参加者を科学的内容にひきつけるのにとっても重要であると推測できる。

##### 4-3-2. 学生の長期データ分析

本研究の中心はマイクロ科学館の開発と実践だが、これまでの一連の研究「科学コミュニケーションを重視した体験型科学教育方法の開発」の一部でもある。そこで、継続して行ってきた科学教育方法に関する長期データ分析を行った。その結果、体験型教育と科学コミュニケーションを重視した科学教育手法は非常に有効であり、実際に科学的能力を向上させることがわかった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計2件）

- ① 白井仁人、一関高専における物理教育評価のための学習到達度試験の長期データ分析、工学教育、査読有、第65巻、第3号、2017、37-41
- ② 白井仁人、マイクロ科学館：新しい科学教育法の開発、一関高専研究紀要、査読無、第52号、2017、1-8

〔学会発表〕（計3件）

- ① 白井仁人、科学コミュニケーションを取り入れた小中学生向けミニ科学館の開発、2016 高専フォーラム 2016
- ② 白井仁人、小中学生向け体験型科学教育「マイクロ科学館」の試み、2017 高専フォーラム、2017
- ③ 白井仁人、科学教育と科学基礎論、2017 科学基礎論夏のセミナー、2017

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

○取得状況（計0件）

〔その他〕

ホームページ等：作成中

## 6. 研究組織

(1) 研究分担者（2014-2016）

研究分担者氏名：福村 卓也

ローマ字氏名：FUKUMURA, Takuya

所属研究機関名：一関工業高等専門学校

部局名：物質化学工学科

職名：准教授

研究者番号（8桁）：50360326

(2) 研究分担者（2017-2018）

研究分担者氏名：谷川 享行

ローマ字氏名：TANIGAWA, Takayuki

所属研究機関名：一関工業高等専門学校

部局名：総合科学・自然科学領域

職名：准教授

研究者番号（8桁）：30422554

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。