

## マイクロ科学館：新しい科学教育法の開発

白井 仁人

(一関工業高等専門学校)

### Micro-Museum of Science: Development of a New Method of Science Education

Hisato SHIRAI

(Ichinoseki National College of Technology)

(Received October 31, 2017)

We have developed a new method in science education. We call this method the “Micro-Museum of Science” (MMS). The aim of the development is to create a scientific experience for children in rural areas. The MMS was designed as a compact system that can be adapted for small schools. It consists of five series to facilitate experiential learning: (A) Energy, (B) Light, (C) Heat, (D) Mathematics, and (E) Sound. Since each series can be separated from the MMS, it is easily portable. These features allow us to hold events on science education in schools located far from our college. In general, children in rural areas have fewer opportunities to experience science because of the lack of facilities like science museums. We propose an educational method that will provide these children with valuable opportunities to experience science. In this paper, we report that the MMS was successful in achieving this goal, and most participants of the MMS stated that this method was more effective than other methods of teaching like science lectures.

**Key Words:** science education, scientific experience, active learning

#### 1. はじめに

子供たちの「科学力(理数系の能力)」を育成することは、科学技術立国を目指す我が国にとって重要課題である。特に、地域の子供たち(小学生, 中学生)の理数系の能力を育てることは、技術者を育てることを目的とした高等専門学校(以下, 高専)や大学の重要な役割とも言える。近年, 多くの高専や大学が「科学教室」や「科学講演会」を開くようになり, 子供たちにも科学の話を聞く機会は格段に増えた。しかし, 真の科学力を育てるには, 科学講演会を開いて, 科学の楽しさを伝えるだけでは足りない。単に科学に興味を持たせるだけではなく, 科学の基礎概念の理解へと導くような, 本当の意味での「科学力」を育てる必要がある。そして, 科学への興味という「小さな芽」を本当の「科学力」へと育成する新しい教育システムが必要である。

われわれは一関高専において, 真の科学力や技術力をもつ学生の育成を目指し, 科学教育に関する研究を続

けてきた。その中でさまざまな教育の手法を試み, アンケート調査によってその効果を検証しながら, 子供たちの科学力の育成において「意欲増大」や「学力向上」の効果をもたらすなど, いくつかの成果を挙げてきた(白井, 2003; 白井ら, 2009; 白井ら, 2009; 白井ら, 2011; 白井・平野, 2011; 平野・白井, 2011; 平野・白井, 2012)。

今回, われわれは, これらの成果を地域の子供たち(小中学生)の科学力の育成に活かすことを考えた。その中で, 「実験・体験・対話型」の小型科学実験をシリーズ化し, 子供たちが「試行錯誤」しながら系統的に科学の基礎概念の理解に至るような, 体験型の科学教育システムを開発することにした。

本稿の目的は, その新しい手法の詳細を紹介し, その開発状況について報告することである。また, 実際に実施した「マイクロ科学館」の参加者に対して行ったアンケート調査の結果についても分析する。

## 2. 新しい科学教育手法「マイクロ科学館」

われわれが開発した「マイクロ科学館」という方法を紹介します。「マイクロ科学館」とは、「実験・体験・対話型」で行う小型の科学実験をシリーズ化し、双方向型の科学コミュニケーションを重視した体験型の科学教育システムである。その目的は、参加者（とくに非都市部の小中学生）がさまざまな科学実験を自ら体験し、科学コミュニケーターとコミュニケーションをとりながら系統的に科学的理解に至ることにある。自ら多数の「試行錯誤」を繰り返して、その科学的内容を理解していく。それこそが本当の「科学力」の育成につながると期待できる。

「マイクロ科学館」は5つのシリーズにより構成される。各シリーズにはいくつかの実験装置が配置され、また数人の科学コミュニケーターがつく。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ついた（手作りの）小さな科学館だと思えば良いだろう。参加者は自分の好みのシリーズから順にまわり、各実験装置を自由に扱って実験を楽しみ、試行錯誤し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。しかも、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。

5つの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」（力学の諸概念）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、エネルギー保存則や角運動量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）や温度と体積の関係などについて理解する。

【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】「メカニズムを探る」（機械の原理）自由に触れるリンク機構を多数用意し、それを動かして動作原理を理解する。

各シリーズには複数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年をかけて全シリーズを完成させる予定である。2017年10月現在において、シリーズA、B、Dの3シリーズが完成し、すでに実践している。シリーズCもほぼ完成しているが、スペースの都合上、実践には至っていない。シリーズE（メカニズム）については、体験型実験装置の作成段階で問題が生じたため、現在、新しいテーマ（「音のふしぎ」）に変更して作成中である。各シリーズの科学教育手法には、たとえばコミュニケーション重視であるとか、実験重視であるなどの個性がある。教育効果におけるそれらの違いについても調査する予定である。

## 3. 平成28年度の開発

平成28年度までに、上記5シリーズのうち3シリーズの実験装置を開発した。その3シリーズとは、シリーズA「エネルギーとは何か」、シリーズB「光とは何か」、シリーズD「数に隠れた法則」の3つである。以下に各シリーズで開発した装置について説明する。

### 3-1. シリーズAの開発

タイトル：「エネルギーとはなにか」

目標：エネルギーの概念を理解する。

実験装置A1：「飛べ！鉄球(1)」（高さ・飛距離）

方法：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。鉄球は斜面に沿って転がり、水平方向に何cmか進んだのち、ホースの出口と同じ高さにもどる。その高さ・飛距離の関係を試行錯誤しながら実験し、調べる。これにより参加者は、高さ（位置エネルギー）と速さ（運動エネルギー）に関係があることを理解する（図1）。



図1 シリーズAの装置A1とA2

実験装置A2：「飛べ！鉄球(2)」(角度と飛距離)  
 方法：A1と同様に、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。鉄球は斜面に沿って転がり、水平方向に何cmか進んだのち、ホースの出口と同じ高さにもどる。その角度と飛距離の関係を自ら行う実験によって調べる。これにより、角度と飛距離に関係があることを理解する。

実験装置A3：「飛べ！鉄球(3)」(高さと角度)  
 方法：実験A1とA2の結果から、飛距離を最大にするのにどのような高さや角度が最適か考えさせる。そして、高さや角度を自由に決めて、参加者たちに飛距離を競わせる。これにより、理論的に考えて予測することと、実験でそれを確かめることの楽しさ、つまり、科学的活動の楽しさを理解する(図2)。

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。



図2 シリーズAの装置A3

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。

### 3-2. シリーズBの開発

タイトル：「光とはなにか」  
 目標：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。

実験装置B1：「目の錯覚？光の不思議」  
 方法：凹面鏡、水槽、光ファイバー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、光ファイバーなど、実際に見て触れて楽しい装置を多数用意する(図3a, b)。

実験装置B2：「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光があり、それが飛び交っていることを理解させる。



図 3 a シリーズBの装置の一部

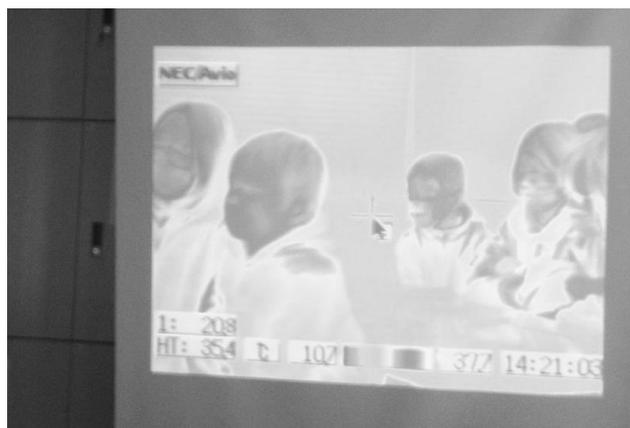


図 3 c シリーズC (イメージ)



図 3 b 平成26年度シリーズBの装置の一部

### 3-3. シリーズCの開発

タイトル: 「熱とはなにか」

目標: 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)や温度と体積の関係などについて理解する.

現状: ほぼ完成しているが, 図 3 cにあるように, 大きな装置を含むため, スペースの都合上, まだ実験を行ってはいない. まず, 大きなスペースを必要としない装置群から順にマイクロ科学館の一部として配置する予定である.

### 3-4. シリーズDの開発

タイトル: 「数に隠れた法則」

目標: 数学ゲームや数学パズルを通して, 論理的な思考の能力を養い, ゲームやパズルの中に数学的な法則があることを理解する.

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(図3d).



図 3 d 平成26年度シリーズD

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う。次に、必ず勝つ方法があることを伝え、その方法を見つけ出してもらい、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出す。

### 3-5. シリーズEの開発

タイトル：「メカニズムを探る」

実験装置作成において問題が生じたため、タイトルを変更することにした。

新タイトル：「音の不思議」（開発中）

目標：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。

## 4. 平成26年度の実施

平成26年度からすでに数回に渡り、マイクロ科学館を開催してきた。ただし、アンケート調査については、平成27年度以降の結果を分析できていないので、本稿では平成26年度の実施概要とアンケート調査結果について紹介する。

### 4-1. 実施概要

実施対象、実施日時、場所、参加人数、実施方法などについて説明する。平成26年度は中学生を対象として実施したため、参加者はすべて中学生である。平成27年度以降は、小学生から大人まで広く一般市民に対して実施する予定である。

対象：中学生、保護者

日時：平成26年8月30－31日

場所：一関工業高等専門学校

参加人数：88名（2日間）

方法：(1) 参加者には、まず専用教材が配布される。

参加者はそれを見て、どのシリーズから順に見ていくかを自由に決める。その後、見たいシリーズの場所へ行き、各種実験を楽しむ。(2) 各シリーズには数人ずつサイエンス・コミュニケーター（SC）が配置されており、参加者はSCが見守る中、自由に実験を行う。必要があれば、実験方法や科学的内容についてSCに相談したり、質問したりしながら進めることができる。(3) 各シリーズを十分に楽しみ、内容を理解したら、好きなタイミングで次のシリーズへと移動する。再度、そのシリーズへと戻ることも可能であるし、ひとつの場にとどまり、ひとつのシリーズで見つけた課題を探究し続けることも可能である(図4a, b)。



図4a シリーズAで実験する参加者の様子



図4b シリーズDで試行錯誤する参加者たち

「マイクロ科学館」の参加者は2日間で88名であり、とても盛況で各シリーズで順番待ちが出るほどであった。そして、

参加者には全員、アンケート調査への協力を依頼し、「マイクロ科学館」を楽しんだ後、最後にアンケートへの回答を必ず記入してもらった。

#### 4-2. アンケート調査

「マイクロ科学館」では、参加者全員にアンケート調査を行っている。その調査内容と結果について紹介しよう。アンケートで行った第一の質問(質問1)では、科学教育手法の効果を確かめるため、「科学実験教室」や「科学講演会」との比較を行った。それらと比較した理由は以下の通りである。

近年、一般向けの科学教育活動の重要性が広く認識されるようになり、多くの教育機関や研究機関が、毎年、一般市民向け(あるいは小中学生向け)の科学教育活動を多数行うようになった。そうした科学教育活動にはいくつかの方法がある。たとえば、先端科学の話を講義形式でわかりやすく聞くことのできる「科学講演会」はしばしば用いられる方法である。最近では、さらに気軽に講演を聞けるスタイルとして「サイエンスカフェ」という方法もしばしば用いられる(例えば、野原, 2011; 上田・毛利, 2012)。

また、たとえばペットボトル・ロケットを自作し、それを飛ばす実験を行うというような「科学実験教室」の方法もよく用いられる。さらに、科学館を利用した科学教育というのも一つの新しい手法として挙げられる(例えば、大山, 2011)。この他にもいくつか方法があるかもしれないが、主に小中学生向けの科学教育を考えた場合、その方法としてしばしば採用されているのは、「科学講演会」と「科学実験教室」だろう。そこで、本研究ではこれら2種類と比較する形でアンケートを実施した。

具体的なアンケートの内容とそれに対する回答は以下のとおりである。

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する科学教室。
- (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。

質問1への回答:

(ア) 32人 (イ) 21人 (ウ) 8人

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。

アンケート調査で行った第二の質問(質問2)と回答は以下の通りである。

質問2. 今回の「マイクロ科学館」には次の3つのコーナーがありました。どれが一番楽しめましたか。

- (A) シリーズA: エネルギーとはなにか
- (B) シリーズB: 光とはなにか
- (D) シリーズD: 数に隠れた法則

質問2への回答:

(A) 37人 (B) 18人 (D) 33人

これを見ると、「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。

## 5. 議論と今後の展開

本研究では、一般向けの科学教育の新しい手法として「マイクロ科学館」という方法を開発した。平成26年度にはその方法による科学教育を実践し、アンケート調査により確かにそれが効果的な手法であることがわかった。

しかし、アンケート調査結果からは「科学講演会」や「科学実験教室」などの従来の手法も決して教育効果の小さい方法(内容が理解しづらい方法)だと参加者が考えているわけではないこともわかった。そこで、もう一度それぞれの方法の長所について考察したい。

本論文では、従来の各方法の問題点を指摘し、新しい手法(マイクロ科学館)の開発理由について述べた。そして、アンケート調査の結果について紹介した。多くの人々が「科学講演会」や「科学実験教室」などの従来の手法よりも「マイクロ科学館」の方が「内容を深く理解できる」と答えたが、中には前者を選ぶ人が何人かいた。彼らがそのように答えた理由はなんだろうか。その理由を推測してみる。

まず、「科学講演会」がもっともわかりやすいと答えた人は、「科学講演会」で話される内容の深さや広さなどが理由であったかもしれない。通常、科学講演会では1～2時間の長時間を使って、ひとつのテーマに関して深く説明される。内容を理解するには、そうした深い説明の方が良いと考える人がいたのかもしれない。この方法は確かにコミュニケーションとしては一方的ではあるが、説明の奥深さという点で長所があるとと言える。

われわれの今後の研究の展開を考えた場合、「科学講演会」の方法がもつこの長所を「マイクロ科学館」にもうまく取り入れられないかということが、今後考えるべき課題のひとつと言えるだろう。

次に、「科学実験教室」の方法について考えると、これが一番わかりやすいと答えた人は、「ひとつのテーマについて長時間じっくりと実験をした方が内容がわかりやすい」と考えた可能性がある。実際、われわれが実施した「マイクロ科学館」でも、自分の好みに応じて、3つのシリーズのうちのひとつに長時間とどまる参加者が多数いた。したがって、ひとつのテーマに集中できるという点が「科学実験教室」の強みなのかもしれない。

したがって、いかにして「マイクロ科学館」の各シリーズの内容を深めて、「科学実験教室」と同程度に、ひとつのテーマに集中できるようにするかが、われわれの今後の課題と言える。

さて、本章では従来の手法の長所について推測したわけ

だが、推測による議論しかできなかった理由は、アンケート調査においてその手法を選んだ理由を尋ねなかったためである。したがって、われわれの次のステップにおいて行うべき重要な改善点は、アンケート調査の質問1において各方法を選んだ理由を尋ねる項目を付け加えることだと言える。

## 6. まとめ

本研究で、一般向け科学教育の新しい手法として「マイクロ科学館」という方法を開発した。そして、平成26年度に「マイクロ科学館」を実施し、その効果を検証するため、簡単なアンケート調査を行った。結果をまとめると以下となる。

- (1) われわれは一般向け科学教育の新しい手法として「マイクロ科学館」という方法を開発している。
- (2) 平成26年度に開発と実践を開始し、毎年、教育効果を検証していく。そして、徐々に「マイクロ科学館」で展示する実験装置のシリーズを増やし、平成29～30年度に完成させる予定である。
- (3) 参加者が科学的内容を最も理解できると答えた科学教育の方法は「マイクロ科学館」であった。2番目が「科学実験教室」で、3番目は「科学講演会」であった。このことから、期待した通り「マイクロ科学館」の方法は一般向けの科学教育の手法として有効であることがわかる。
- (4) 参加者がもっとも楽しいと答えた実験のシリーズは、シリーズ A「エネルギーとはなにか」であった。2番目はシリーズ D「数に隠れた法則」で、3番目はシリーズ B「光とはなにか」であった。双方向コミュニケーションの多い2つのシリーズが選ばれたことから、一般向け科学教育において双方向コミュニケーションが重要であることがわかった。
- (5) 平成26年度の実施により「マイクロ科学館」の教育効果の有効性は確認できたが、今後さらにこの手法を洗練させていくためには、アンケート調査において「ほかの方法の方がわかりやすい」と答えた参加者にその理由を尋ねる項目を加えて、それについて分析していく必要がある。

## 謝辞

本研究はJSPS科学研究費補助金(課題番号21500889, 課題番号26350253)の助成を受けて実施したものです。

## 参 考 文 献

- 1) 白井仁人:「4種類の科学的話題導入による高専学生の物理学学習への動機付けの試み」, 高専教育, 513-518, 2003.
- 2) 白井仁人, 平林一隆, 梅野善雄, 千葉圭, 西山憲夫, 渡辺仁史, 二本柳譲治, 尾上利美, 星朗, 明石尚之, 佐藤要, 菅野昭吉, 貝原巳樹雄<sup>6</sup>, 福村卓也, 長田光正, 照井教文, 埜上洋, 佐藤昌也, 安東宏晃, 若嶋振一郎, 一関高専における学科横断・科目連携型の総合的環境教育の実施, 論文集「高専教育」第32号, pp. 645-649 (2009).
- 3) 白井仁人, 平林一隆, 梅野善雄, 千葉圭, 西山憲夫, 渡辺仁史, 二本柳譲治, 平野耕一, 星朗, 若嶋振一郎, 明石尚之, 郷富夫, 佐藤要, 貝原巳樹雄, 福村卓也, 長田光正, 照井教文, 埜上洋, 佐藤昌也: 学科横断・科目連携型環境教育の展開, 一関高専研究紀要, 第44号, pp. 15-21 (2009).
- 4) 白井仁人, 他3名:「未来の創造的技術者育成に向けた全学的環境教育の展開」, 工学教育, 59, 167-172, 2011.
- 5) 白井仁人・平野耕一, 「学習意欲向上を目指した物理教育とその効果 -見て聞いて楽しむ物理学-」, 平成23年度 全国高専教育フォーラム, 2011
- 6) 平野耕一・白井仁人:「物理教科教育における物理現象のコンピューターグラフィクスによる可視化の効果」, 高専教育, 41-46, 2011.
- 7) 平野耕一・白井仁人:「物理教科教育における『実験レポートノート』の利点と欠点」, 高専教育, 167-172, 2012.
- 8) 野原佳代子:「理工系学生の国際性とコミュニケーションデザイン力のためのサイエンスカフェ活動効果」, 工学教育, 59(2), 79-84, 2011.
- 10) 上田晴彦・毛利春治:「サイエンスライティング・サイエンスカフェ企画を取り入れた大学新入生に対する教育実践報告」, 秋田大学教養基礎教育研究年報 14, 89-96, 2012.
- 9) 大山真実, 他4名:「科学館展示物を利用した学習プログラムの実践」, 仙台市科学館研究報告, 20, 56-59, 2011