

## 演示実験・工作教室での教材開発について ～「ふりこ」「地震」「ろうそくの科学」の実演を通して～

\*生井敏昭

Toshiaki NAMAI

**要旨：**千葉県立現代産業科学館では、演示実験・工作教室を年間を通して実施している。再現性の高い物理現象を中心に新しい実験内容として、「ふりこ」「地震」を考えた。また、クリスマス実験講座として、この講座の由来ともなっているファラデーのクリスマスレクチャー「ろうそくの科学」を実施した。これらの演示実験・工作教室の内容について報告する。

**キーワード：** 演示実験 工作教室 ふりこ 地震 ろうそく クリスマス実験講座 ガリレオ ファラデー

### 1 はじめに

本館の演示実験・工作教室はすでに様々な種類が用意されている。しかし、見直してみると、あまり実施されていない分野もあることに気がついた。また、本館の展示とも関連させ、来館の多い小学生にわかりやすい工作教室を用意することで、さらに科学への興味関心を高めることが期待できると考えられる。

今回は、工作教室として「ふりこマジック」、演示実験の研究として実施した「地震の科学」、そして、クリスマス実験講座として実施した「ろうそくの科学」について報告する。特に、クリスマス講座は、その由来となっているイギリス王立研究所のクリスマスレクチャーとしてファラデーが1860～61年に行ったものであり、世界的な名著「ろうそくの科学」の内容を小学生にわかりやすいように再構成したものである。

### 2 教材開発について

#### (1) 実験工作（ふりこマジック）

##### ア 教材について

1583年ガリレオ・ガリレイはピサの大聖堂で揺れるシャンデリアを見て、大きく揺れても小さく揺れても、1往復する時間は同じという「振り子の等時性」を発見したといわれる。また、この現象を応用して、後に振り子時計が作られた。

学習指導要領によると、小学5年生の理科で振り子のひもの長さやおもりの重さを変えて実験を行い、その規則性について学習している。

### イ 工作教室の内容

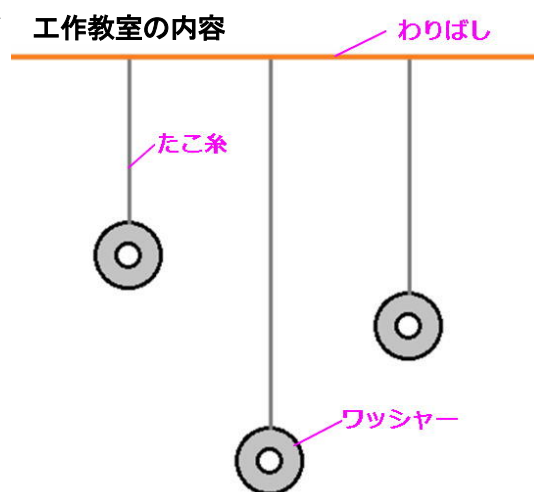


図1 ふりこマジック工作の完成図

まず、図1のような演示用の振り子を示した。「3つの振り子のうち、1つだけを今から揺らしてみます。では、糸が一番長い振り子から……。」

このようにして、順番に1つずつ振り子を揺らしていく。3つついている振り子のうち、1つだけが揺れることを不思議に思ってもらったところで種明かしをする。

「振り子の糸の長さによって、1往復する時間はそれぞれ違います。その振り子の揺れにあわせて棒を揺らすとねらった1つだけを揺らすことができるのです。」

つまり、振り子をうまく共振するように、棒を手で揺らす速さを変えて、1つの振り子だけが揺れるようにしたことを説明する。

続いて工作だが、材料は、表に示したとおりである。

表1 工作の材料

たこ糸	1本	セロハンテープ
わりばし	1本	はさみ 台紙
ワッシャー	3こ	マジックペン

まずは、長さを示した台紙にあわせてひもを切り、3種類の長さのひもを作る。台紙のひもの絵にあわせて糸を置き、赤い点で示された場所をマジックペンでひもに印をつけ、これを結び目の場所とする。

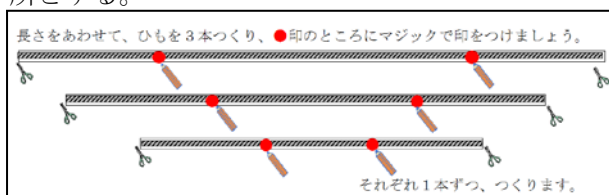


図2 台紙

ひもの準備ができれば、おもりのワッシャーをひもに結ぶ。結ぶのが難しいならば、2、3回巻きつけてセロハンテープで止めても良い。ひもの反対側はわりばしに結ぶ。3本とも結び終われば完成である。

## ウ 工夫した点

子どもの興味を引くようにマジックにしたこと、そして、実際にマジックのようにできるまでには少々練習が必要なことで科学工作として楽しむことができる内容となった。製作にかかる時間の個人差を練習時間にあてることもでき、待っている間、自分で工作した振り子で練習することができた。

台紙を用意したことで、工作教室に参加する小学生未満の幼児でも製作方法がわかりやすくなった。ただし、小学3年生以下については保護者の援助が必要と考え、一緒に参加することをお願いした。

本館創造の広場にある「スウィングクロック」(図3)は振り子の等時性を体験する展示なので、工作の最後に紹介した。また、サイエンスステージでは「ガリレオ」についての楽しい科学実験や人形劇も行っているため、あわせて紹介し、工作教室と本館の演習実験、展示場での体験がつながるように工夫した。



図3 スウィングクロック

## (2) 演習実験 (地震の科学)

### ア 教材について

地震は誰もが経験しているため、具体的な事象を捉えやすい内容である。防災対策として学校では頻りに避難訓練が行われている。しかし、理科の学習としては学習指導要領によると、小学6年生で土地の変化とあわせて扱う程度であり、中学1年生でようやく地震の記録等を基に、その揺れの大きさや伝わり方の規則性を学んでいる。

地震研究については最先端科学であることや生活に密着した重要事項であることから幅広い年齢層に受け入れてもらえる教材であると考えられる。

### イ 実演内容

最初に、緊急地震速報が流れたらどのように一次避難をすればよいかをクイズ形式で質問した。選択肢として次の3つを用意した。

- 1) 火を消す
- 2) 避難路を確保する
- 3) 身の安全をはかる

地震が起きたときの対応については以前からいろいろ言われているが、緊急地震速報の導入後は、まず、3) 身の安全をはかることが最優先とされている。 註(1)

阪神淡路大震災で、建物の倒壊や火災が注目され、耐震基準の見直しや自動消火の器具が増加していること、また、身の安全がなければ、その後

の行動ができないことがポイントとなる。

身の安全をはかる手段としては、どんな場所にいるかによって異なるため、「落ちてこない、倒れてこない、移動してこない」を基本とし、一次避難として一番良い場所を自分自身で判断することになる。 註(2)

次に、日本はなぜ地震が多いかについて、地震発生のメカニズムを簡単に説明する。日本周辺には、大きく4つのプレートが存在する。大陸側のユーラシアプレート、北側の北米プレート、南側のフィリピン海プレート、そして、太平洋プレートである。(図4) これらのプレートは、それぞれ違う方角へと移動しており、プレート同士がぶつかり合う場所ではひずみがたまっていく。そのひずみを解消するために、急激にずれ動く現象が地震である。



図4 日本付近のプレートの様子

土地が動いていく様子は、現在ではGPS（グローバル・ポジショニング・システム）を利用して観測されている。

実際に、プレートが動いて地震が起こる現象を確認するために、図5のような装置を用意した。プラスチックの板やゴムの板の部分はプレートにあたる。ゴムの板がゆっくりと矢印の方に動いていくと、プラスチックの板にひずみがたまっていく。ある時、ひずみをとるためにプラスチックの板がはねあがって地震が起きる。ひずみが大きいと揺れも大きくなり、置いてある家の模型がひっ

くり返るような大地震になる。

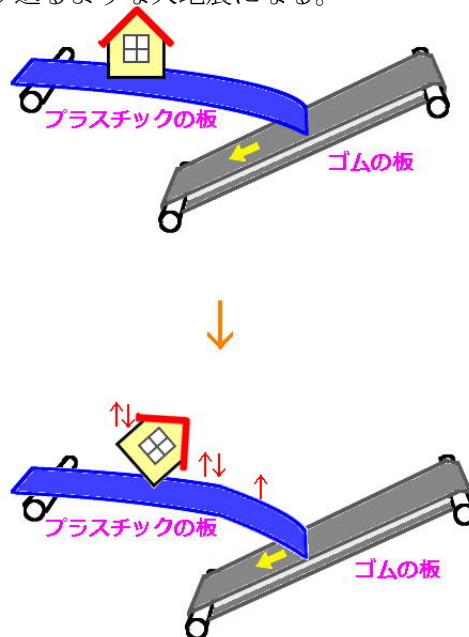


図5 地震実験装置図

実際の地震を感じた経験を思い起こすと、大きな揺れが来る前に、地震が来るとわかることがある。これは、地震が起きるとき、最初は「カタカタ」という小さい揺れがおき、その後「グワングワン」と大きく揺れるためである。つまり、地震波は、伝わる速さが違う2種類の波があることがわかる。

波については、本館創造の広場にある「のぼる波」(図6)で体験ができる。この展示では、波の長さや振幅に関係なく、波が天井に到達して、また戻ってくる時間、つまり波の伝わる速さは常に一定になることがわかる。



図6 のぼる波



では、なぜ地震波の場合は、2種類の速さが違う波があるのか。これは、地震波には縦波と横波があるためである。縦波と横波の違いを確かめるために、専用のバネを使ってみる。図7のように、横波は写真では上下方向に揺れており、波が進む向きとは垂直になる。それに対して、縦波は波が進む向きと同じ水平方向に揺れる。地震波はこの2種類の波が伝わるのである。

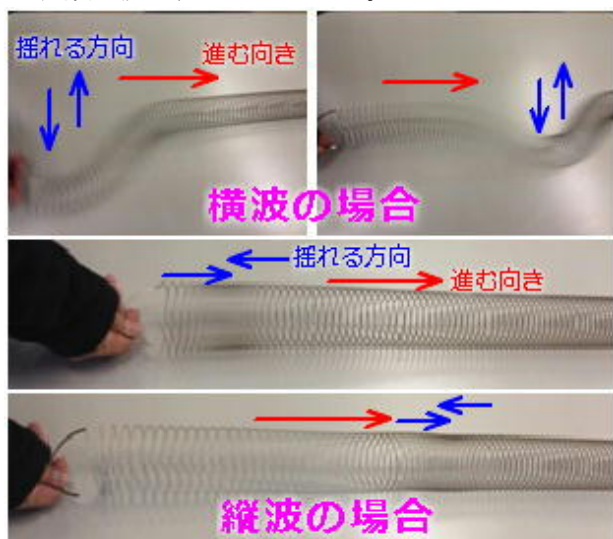


図7 縦波と横波

では、実際に地震波の伝わる速さを地震波モデル実験装置（図8）で確かめてみる。註(3)

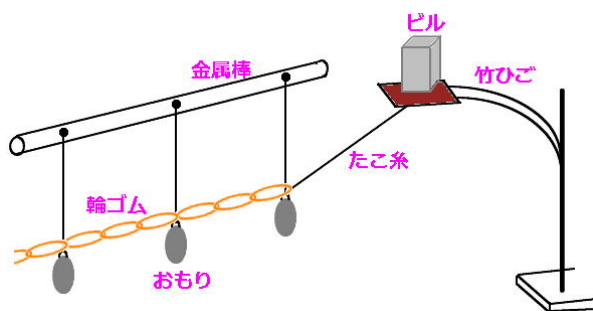


図8 地震波モデル実験装置

30cmのたこ糸におもりを結び、長さ2mの金属棒に20cmの間隔でつり下げていく。また、金属棒は鉄製スタンドで固定する。おもり同士は、3本の輪ゴムを結んで作ったゴムひもでつなげ、いちばん端のおもりからたこ糸を地面に見立てた板につなぎ、板の上にはビルの絵を描いた箱を置く。板には2本の竹ひごをとりつけ、反対側は鉄製スタンドに固定する。

地震の震源にあたる最も端にあるおもりを金

属棒と直角に手で斜めにゆっくりと引き上げた後、おもりを離すとおもりの振動が伝わる様子がよく観察できる。まずは、縦揺れの振動が地面に見立てた板に伝わり揺れ始める。しばらくすると、横揺れの振動が到達し、板の上に置いたビルが大きく揺れ始める。実際に、揺れが到達する時間をストップウォッチで測定し、縦波と横波の到達時間を比べてみると、確かに縦波は早く到達し、遅れて横波が到達することがわかる。この2種類の波の到達時刻の違いをうまく利用して、緊急地震速報は出されている。

最後に、緊急地震速報が出たときの一次避難のポイントを再度確認する。

「落ちてこない、倒れてこない、移動してこない」

どんな場所でいつ地震に遭遇するかはわからない。この基本をしっかりと押さえ、いざという時に落ち着いて、身の安全を守る行動ができることを期待したい。

## ウ エ夫した点

理科の学習として、詳しく地震を扱おうと考えると基本的には高校の物理の知識が必要になる。そのため、できるだけ幅広い年齢層にわかりやすく伝えるために視覚に訴えるような実験のアイデアや、大地震の際にどのような行動をすれば良いかなど、生活に密着した内容を最も重視した。

東日本大震災では、たいへん大きな被害と犠牲者が出た。そして、現在でもその影響は続いている。地震はこのような大きな被害をもたらすが、少しでも減災につながるような研究も確実に進んでいる。今回は、地震に関する基本的な内容に絞ったため、先端技術としては、緊急地震速報と土地の動きをGPSで観測していることのみとした。

昔から恐いものの1つにあげられる地震。しかし、本館では、同じように恐いものの1つの雷の放電実験を毎日行っている。地震も科学的に見つめることでよく理解できること、減災につながることを今後、来館者の方々に講演できるようにしていきたい。

## (3) 演示実験(ろうそくの科学)

### ア 教材について

この教材は、イギリス王立研究所のクリスマスレクチャーとして計6回にわたってファラデーが若者を対象に行った「ろうそくの科学」をもとにした。

ファラデーはイギリスの科学者で、1791年に貧しい家庭に生まれ、小学生の頃から製本屋で働いていた。製本途中の書物を読んでは科学の知識を深めていき、街角で見つけた科学講演のポスターが彼を科学者へ進めるきっかけとなった。そのような経験から、ファラデーは若者への講義を非常に大切に考えていた。

1860～61年当時は、電球がまだ発明される前であり、ろうそくは灯りをとむすために必要なものだった。ファラデーは、ろうそくが燃えることが、実は様々な科学現象を説明する基礎にあたると語り、興味深い科学の話を展開している。

今回のクリスマス特別講義では、主に身の周りの気体に注目して、ろうそくの美しい炎についての話を進めた。また、本館の来場者は、クリスマスの時期特に親子連れが多いことから、対象を小学校低学年と考えると準備することとした。

## イ 実演内容

「ろうそくといえばどんな時に使いますか？」

ファラデーの時代は、灯りのためだろうが、電球が発明された現在でもろうそくには大切な役割がある。

「クリスマス」「ケーキ」「お誕生日」

「結婚式」「お葬式」「停電の時」……

「いろいろな意見が出ましたね。でも、こうしてみると、特別な日に使うことが多いみたいですね。では、美しいろうそくの火を見てみましょう。」  
大きなろうそくに点灯する。少々暗くすると、意外と明るいろうそくの光の明るさを感じることができる。

最初の実験は、ろうそくの状態変化させていき、燃えるかどうかを調べる。

「なぜ、ろうそくは燃えるのでしょうか。ろうのかたまり（固体）に火をつけてみましょう。」

ビーカーに芯を抜いたろうのかたまりをいくつか入れて、直接、火を近づけ、燃えるかどうか調べるが、ろうが燃え上がることはなかった。

「では、ろうをとかして、液体にして火をつけてみましょう。」

ガスバーナーを用意し、火をつけ、ビーカーごと加熱する。(図9)

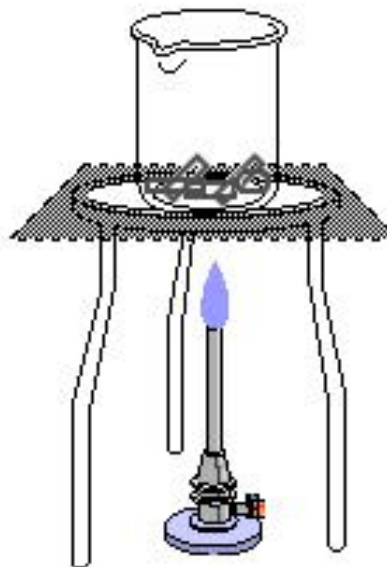


図9 ろうを液体にする。

しばらくして、液体になったろうに火を近づけても、やはり燃えることはない。

「ろうのかたまりやとけたろうに火を近づけても燃えませんでした。つまり、ろうは固体や液体では燃えないのです。」

固体、液体の次に、気体ではどうかを調べてみる。気体を取り出すため、次は燃えているろうそくを使うことにする。ろうそくの炎の中にガラス管を差し込むと、白い煙のようなろうの気体が出てくる。そこに火をつけてみる。

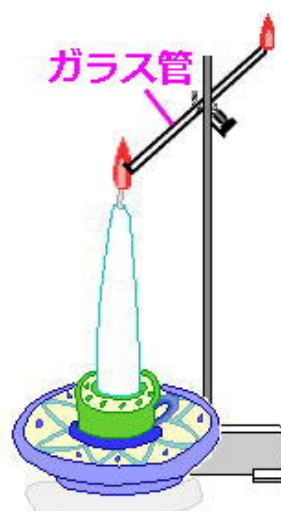


図10 ろうそくの火からろうの気体を取り出す。

「火がつけました。ということは、ろうそくが燃えるためには、最初に固まりのろうがまずとけます。そして、とけたろうが芯をのぼっていきます。芯から気体となり、はじめて燃えるわけですね。」

次に、ろうそくの燃焼によってできる物質を確かめる。燃えているろうそくの上にとろうとをかざすと、数秒でろうとのガラスはくもり始める。つまり、水滴がついたのである。ろうそくが燃えることで、水ができた。水ができるのは、ろうそくの中に含まれている水素という物質が関わっているからである。

水素だけを集めると、通常の状態では気体になる。その性質である空気よりも軽いこと、そして、燃えることを演示する。

「まず、実験用に缶に入った水素を使ってシャボン玉をつくってみましょう。」

シャボン液をストローの先につけて、シャボン玉をつくと、勢いよく上の方へとあがっていく。続いて、燃える気体であることを確かめるために、あがっていくシャボン玉に火をつけて燃えることを確かめる。(図 11)

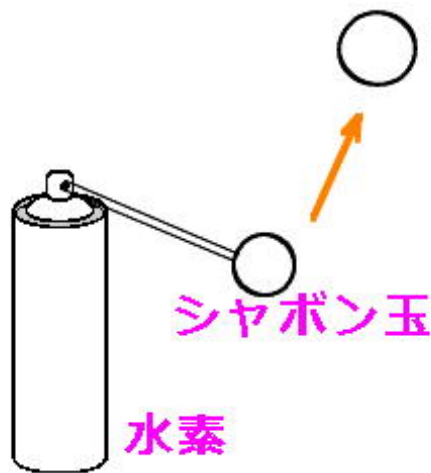


図 11 シャボン玉を使った水素の実験

また、化学変化で水素を発生させる方法も紹介する。うすい塩酸を入れた試験管にマグネシウムリボンを入れ、もう 1 本の試験管を逆さまにしてふたをして、発生する水素を集める。水素がたまったら、試験管を逆さまのまま、火のついたマッチに近づける。(図 12)

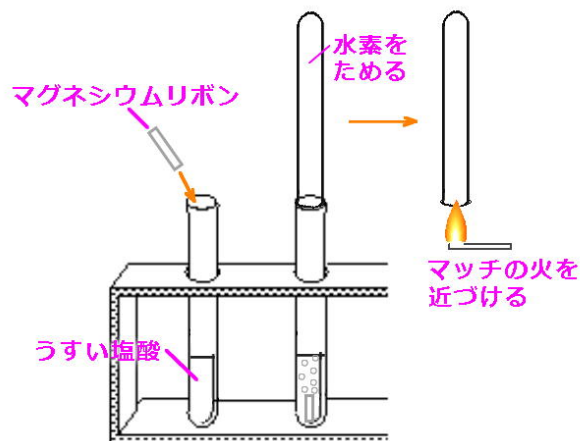


図 12 水素が燃えることを確かめる実験

「ポンってびっくりするような音がしましたね。音とともに水素が今、燃えたのです。」

さて、水ができる時に、水素の他にもう一つ必要なものが酸素である。酸素の性質は、ものを燃やすはたらきである。これを確かめるために、うすい過酸化水素水と二酸化マンガンを使って酸素を発生させる。

「集気びんの中に酸素をためました。この中に火のついたろうそくを入れると、このように、炎がとともきれいに明るくなります。」

続いて、鉄を細く糸状にしたスチールウールに火をつけて、集気びんの中に入れると、花火のようにまぶしい光と熱が放たれる。(図 13)

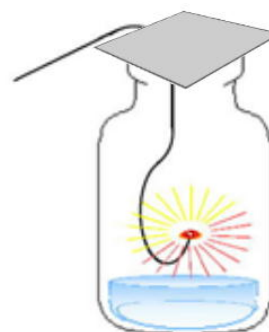


図 13 酸素の性質を調べる実験

「このように、水ができるためには、水素と酸素が必要です。ここで、みなさんにも実験に参加していただきます。」

あらかじめ、来場者に配ってあったビニール袋を準備してもらい、ビニール袋に自分の息を入れてもらおう。ビニール袋の中がくもる。

「実は、人間もろうそくと同じように水をつくっ



ているのです。そのしくみは、基本的に今説明したと同じです。」

人間は呼吸により、酸素を取り入れ、体内で不要となる水、そして、二酸化炭素を放出する。

「では、最後に二酸化炭素について、調べましょう。」

二酸化炭素の性質としては、空気より重い気体で、石灰水と反応し、白くにごる。

「私が息を吹き込んだ、ビニール袋の中に石灰水を入れてみると、このように、白くにごります。」

(図 14)

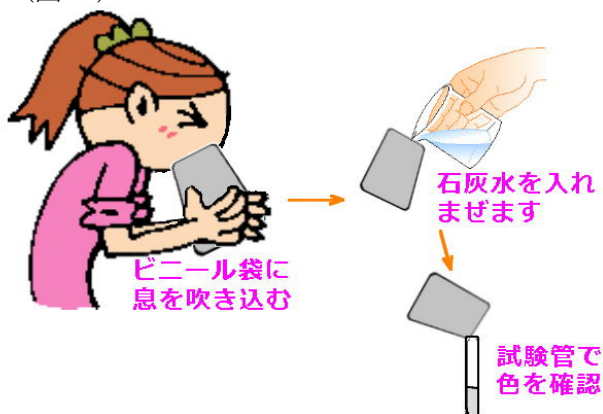


図 14 二酸化炭素を確かめる実験

ろうそくが燃えると二酸化炭素が出ているのか、実際に気体を集めて調べる。燃えているろうそくの上に、ビニール袋をつけたろうとをかざして、出てくる気体を集める。1分程度たったら、ビニール袋に石灰水を入れてみて、変化を見比べる。「ビニール袋の中の液体を試験管に移しました。このように、白くにごっています。ろうそくも人間も同じように二酸化炭素を出しているのです。」

ろうそくが燃えると水、二酸化炭素ができる。また、酸素が使われる。このことは、人が息をすることと同じである。我々はこの息をとめることはできない。つまり、生きるためにすること、そのしくみがろうそくが燃えることと同じなのである。

「みなさんの、ろうそくの炎のような美しい光をぜひ多くの人のために役立ててほしいと思います。今日、この時間の最初から燃え続けたろうそくのように、みなさんのいのちの炎が長く燃え続けてほしいと願っています。今日のこの講義によって、お集まりの皆さんが科学にもっと関心を持



図 15 クリスマス実験講座の様子

ってこのろうそくのように美しい光をともし続けてもらえれば幸いです。」

実際にファラデーが講演、最後に聴衆に送ったメッセージと同じ内容で、実験講座を終了した。

### ウ エ夫した点

演示実験した内容のほとんどは、小学6年生の理科で学ぶ内容であった。また、固体、液体、気体などの三態変化については4年生の内容である。小さい子にもわかりやすいように、ファラデーの実験の内容を吟味したが、結果的には数種類の気体を扱うことになった。目に見えない気体を空気と区別しながらイメージするのは、小さい子にとっては少々きつい部分があったかもしれない。しかし、できるだけ視覚的にわかりやすい実験をするように心がけた。水素のシャボン玉が上にのぼっていく様子や火をつけると燃えること、酸素中での花火のような光のまぶしさなど、興味を引く内容を行うことができた。

ろうそくの炎を落ち着いてじっくりと見ることができるようになることを大切にしたい。そのために、照明装置の操作も行い、注目できる時間も確保した。また、一番最初につけた炎を最後まで消さないで済むように構成を考えた。いちばん最後のメッセージであるろうそくの炎が、人間の命につながるイメージを持たせることができたと考えている。

### 3 おわりに

今年度は、演示実験を行う機会に恵まれ、3つ

の内容を考え実際に行うことができた。来館するお客様は、科学について関心を持っており、本館に来れば、新しいことを学ぶことができると期待して来ていただいている。その期待に十分に応えられるよう、また、幅広い年齢層になお一層わかりやすく科学を伝えられるよう、今後とも、教材開発を進めていきたい。

註(1)

「緊急地震速報リーフレット」国土交通省気象庁 平成 25 年 3 月

註(2)

「学校防災マニュアル (地震・津波災害)作成の手引き」文部科学省 平成 24 年 3 月

註(3)

岡久保幸 高橋文明 松田義章 志佐彰彦：「地震波を視覚化するモデル実験」北海道立教育研究所附属理科教育センター研究紀要第 9 号 (平成 9 年 3 月) - 第 29 回 東レ理科教育賞本賞受賞 -

参考文献

米村でんじろう監修：「みんなびっくり！でんじろう先生の超ウケる実験ルーム」 pp. 38-39, 主婦と生活社 (平成 20 年 6 月)

矢島祐利訳：「ロウソクの科学」岩波文庫 (昭和 31 年改版)  
「小学校学習指導要領解説 理科編」文部科学省 (平成 20 年 8 月)

「中学校学習指導要領解説 理科編」文部科学省 (平成 20 年 9 月)