

音に関する子ども向け科学教室の実例

A Case Study of Science Workshop on Sound for Children

荒井 隆行

Takayuki Arai

上智大学 理工学部 電気・電子工学科

Department of Electrical and Electronics Engineering, Sophia University

あらまし 国立科学博物館で実施した「音の科学教室 ―音のふしぎ・声をつくろう―」に関して、90分のプログラムの概要、ならびに取り組みの様子を概説する。参加者は小学1年生から中学1年生の児童・生徒11名（平均年齢11.2歳）、内容として音が振動であることに始まり、楽器のしくみ（音の高低）や音声生成のしくみをテーマに取り上げた。著者が開発したオリジナルの模型を用いて原理を簡単に説明し、子ども達にも工作をしてもらうなど「体験」を通して直感的に理解できる教室を目指した。模型教材が子どもたちの興味を引き、効果的に働くことが再確認された。

キーワード 科学教育、音響教育、声道模型、博物館との連携

1 はじめに

2006年10月15日に「音の科学教室 ―音のふしぎ・声をつくろう―」と題して国立科学博物館で科学教室を実施、小学1年生から中学1年生まで11名の児童・生徒が参加した（平均年齢は11.2歳）。なお本科学教室は、日本音響学会との共催で行われ、運営に当たって日本音響学会音響教育調査研究委員会有志の協力を得た。90分のプログラムの概要、ならびに取り組みの様子を以下に記す。

2 音の科学教室

2.1 音とは何か？

まず、身近に存在する様々な音を聞かせた。例えば、人の声、動物の鳴き声、虫の音、鐘の音、楽器の音などである。そして音の正体が振動であることを説明し、可視化を試みた。ハープを奏でた時に弦が振動する様子をストロボを使ってスローモーションで見せたり、糸で吊るしたピンポン玉を音叉に接触させると跳ねる様を見せ、硬い金属でも音を発しているときに振動して

いることを示した。また実際に音叉に触れて、振動を肌で感じてもらった。糸電話やバネ電話[1]を用いて、音（振動）の伝わり方や聞こえ方も体験してもらい、直感的に捉えられるように配慮した。

次に、リードやエアリードの発音の原理を簡単に説明した後、まず1つ目の工作としてフィルム容器とストローを使ってストロー笛[1]を工作した（図1）。事前にフィルム容器の底に穴を開けておき、衛生面での配慮として個包装のストローを使用、包装袋の上から「適度な長さ」の位置に印を付けておいた。ストローを切り、きれいな音が鳴るようにストローのつぶし加減や置き位置を合わせ、フィルム容器底に開けた穴の横にテープで固定した。フィルム容器の蓋を閉めておく（片方の端を完全に閉じる）ことで、比較的安定した高い音を出すことができた。

2.2 音の高さは何で変わるか？

次に楽器の高低がどのように変わるかを実際に見せて、一般に「長い」あるいは「大きい」方が音が低くなるとことを説明した。その後、2つ目のアクティビティとして

スライドホイッスルを製作した。スライドホイッスルは、図2のように発音部、共鳴管（アクリルの筒）、スライド部から成り、筒の中で「スライド部」を移動させることで共鳴部の長さを調節する。発音部には、2.1節で工作したストロー笛を使用し、共鳴管には長さ20cm、外径4cmのアクリル

の筒を使用。スライド部にはフィルム容器を活用し、操作をしやすいように針金で持ち手を作った。怪我をしないように針金の片先（持ち手側）は予め丸めて提供、フィルム容器の蓋にも予め穴を開けておいた。図2の要領で針金を蓋に通し、先を1円玉くらいの輪にしてフィルム容器に入れ、粘

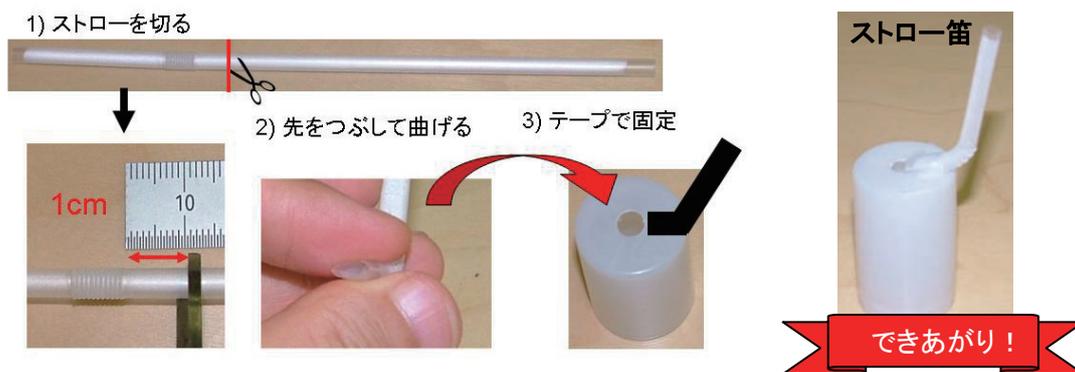


図1：ストロー笛の作り方

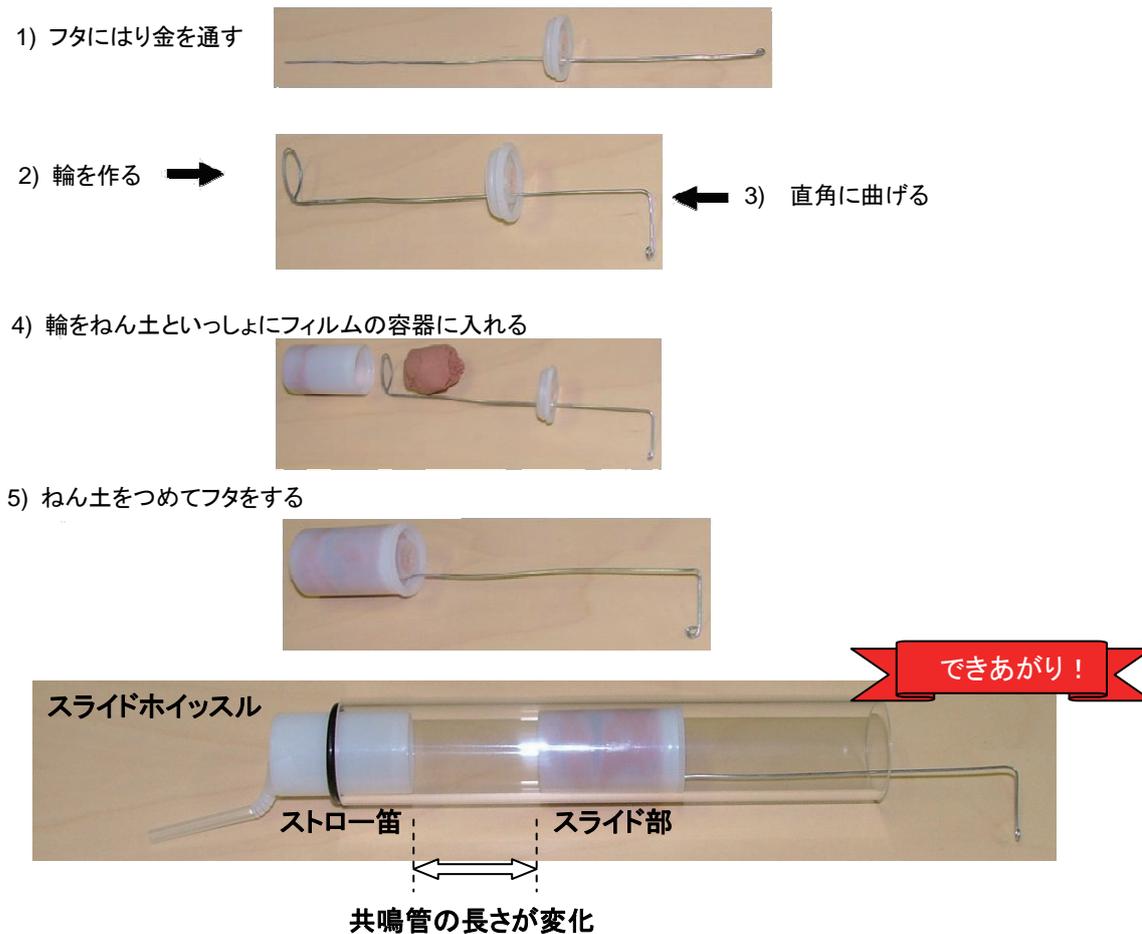


図2：スライドホイッスルの作り方

土を詰めて固定する。フィルム容器から出た針金は、適度な位置で90度に曲げ、持ち手にした。

スライド部が出来上がったら、パーツを組み合わせる。ストロー笛の蓋を外してアクリルパイプに差し込み、スライド部をパイプの反対側から挿入して完成である（空気が漏れないよう、ストロー笛のフィルム容器にはゴム製のOリングを装着した）。1オクターブ弱の音域を演奏可能であるが、実際に音階を実現するのは、子供たちにはかなり難しかったようだ。

2.3 声は他の音とどう違うか？

子どもたちの興味が高まったところで、メイン・トピックである音声生成の話題に

移った。声は他の音とどのように違うか？音声生成のしくみに関して、我々が開発した肺の模型と頭部形状模型[2]を使ってデモンストレーションを行いながら説明した。次に、「筒型の声道模型」[3]でも発声して見せた。音源フィルタ理論に基づき、母音の韻質を決定する声道フィルタの特徴（共鳴管の形状）[4]を可視化、単純な機構ながら「人間の声」のような音を手軽にデモンストレーションすることが可能である。理論上はそうなることを理解している研究者でさえも、初めて目にする時は驚きの声を上げる模型だ。

その上で、新たに開発した「スライド式声道模型」[5]を紹介し、3つ目のアクティビティとしてこのスライド式声道模型作りに挑戦した。アクリルの筒と「狭め（スラ

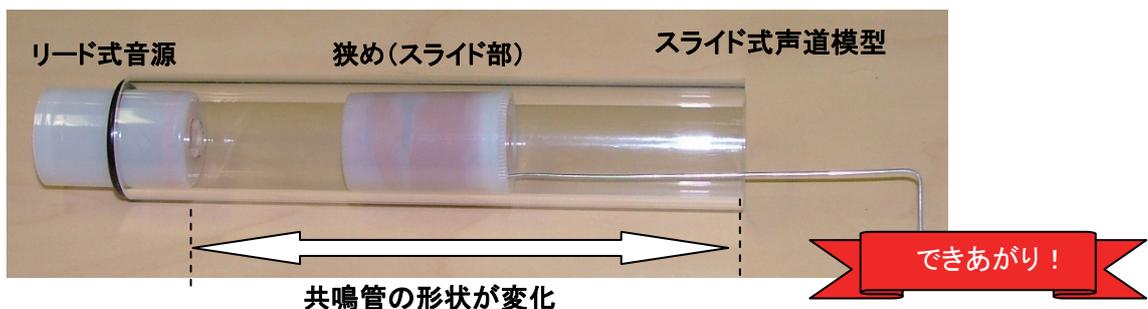


図3：スライド式声道模型の作り方

イド部)は2.2節のものを用い、新たに「リード式音源」を作って組み合わせた。

図3のように竹とプラスチックシートでリード部を製作、アクリルの筒と接続できるように新たなフィルム容器に入れて固定する。竹の形状(削り方)が、理想の音が出るかどうかを決める要となることから作業がそこに集中した。が、その苦労の甲斐あってか完成時の達成感も高かったようで、何とか「声」らしき音が出た時の子どもたちの笑顔は大変印象的であった。

3 考察

3.1 テーマとねらい

今回は初めての子ども向け講座ということで手探りのスタートだったが、「音の科学教室 一音のふしぎ・声をつくろう」と題して、対象とした小学校高学年の子どもの達の発達段階も考慮しながら、主に3つのテーマに取り組んだ。

- 1) 音は「振動」である
- 2) 振動数により音の高低が決まる
(楽器を例として)
- 3) 音声生成のしくみ
(声は他の音とどのように違うか?)

それぞれのテーマに関して、模型を使ったデモンストレーションや工作を取り入れた。原理は理解できないところがあっても体験として直感的に理解し、「おもしろい」「不思議だな」「もっと知りたい」「またやってみよう」等、わくわくした気持ちを抱いて帰ってもらえることを目標とした。

講義と工作により、理論も現象もまるごと体得することができれば相乗効果が期待できる。直感的なイメージだけでも頭の片隅に残ってくれることを願って、小学生でも理解が可能と思われる部分はやさしく解説した。

3.2 工作活動に関して

材料は、家庭で簡単に応用が出来るように、なるべく手軽で安価なものを検討した。100円ショップで手に入るような品や、家庭用品のリサイクルまでいろいろと試してみた。例えば、アクリルの筒の代わりに同じくらいの大きさのビニール管を試用してみた。しかし、「狭め」のすべりが悪く、思うようにスライドできなかった。一方、ラップの芯に関しては紙製であるものの厚みが厚いものに関しては十分に共鳴管の役目を果たした。ただし、透明ではないので狭めの位置を直接目で確認することはできない。

音源に関しても、「はじく」、「たたく」、「こする」、「吹く」など様々なタイプに関して、ゴム、紙、木材、プラスチック、金属、糸など多彩な材質で試し、事前に比較検討を行った。「音の科学教室」であるので、簡易模型であっても音の「質」にはこだわりたい。一番の課題はこの「音源」をどのように実現するかであった。明瞭な母音を作るには、音源の周波数特性が3kHzほどの高い周波数まで伸び、かつ局所的にエネルギーの集中する周波数帯域が存在しないことが好ましい。試行錯誤の末、声道模型にはリード式音源を接続することとし、材料には竹とプラスチックシートを用いることとした。竹とシートが接する部分に隙間ができないよう、なめらかな曲線に仕上げられるかどうか音が音質を大きく左右する[5]。鉛筆をナイフで削ることもほとんどない現在、竹をカッターで削っていく作業は、安全面と難易度で不安もあったが、実際に工作することで「振動」と音の関係も良く分かるし、一番面白いところでもあるので挑戦してもらうことにした。

竹は2つに割って配布し、シートを組み合わせた時にちゃんと振動するように、竹の先端をカッターやヤスリで丸く削っていく。音が適切に鳴るようになったら先生にチェックを受け、OKならば、アシスタントが長さ調節をする。(適度な振動数になるように、のこぎりを使って4cm程度に切断する)。子ども達のアンケートには「苦労し

たのに失敗…」という感想も見受けられたものの、「難しかったけど、やっているうちに楽しくなった」という意見の方が断然多く、私の予想以上に皆健闘していた。簡単ではなかった分、音源の重要性や振動の微妙な加減も理解できたようであるし、完成した時の達成感も大きかったようだ。ただ時間配分を考えたときに、竹を削る作業にかなりの時間が割かれてしまったこと、頑張ったのに結果が残せず（思ったような音が鳴らず）、挫折感を味わった児童がいたことも事実である。その改善として、今回は Riesz [6]による「リード式音源」を応用し、竹を削らずに「節」を利用してカールさせたプラスチックシートと組み合わせる予定である。

また、90分は子どもたちにとって決して短い時間ではない。スタッフの方の助言もあり、子ども達が飽きないように、少し話を聞いたらすぐに手を動かすと言った具合に、「工作の合間に短い講義をはさむ」感じで全体を構成した。最後まで子どもたちの興味や集中力をどのように持続させるかだけでなく、理解度や作業スピードの個人差をどのようにフォローするかも大きな課題となった。作業をしながら、子どもたちが聞きたいときにすぐに質問できる体制、あるいは指導者側が様子を見守りつつ、彼らに適切な声かけ（アドバイス）が出来る環境を整える必要があり、アシスタントの協力は必須であった。

一方、進度の早い子ども達が飽きないよ



図4：子どもたちの様子
スライドホイッスルで演奏（左）、肺の模型を操作する（右）

うな工夫も必要であったが、今回取り組んだのは3種類とも音が出る工作であったこともあり、彼らは思い思いに音を出していたので概ね良かったと思う。楽器であれば、どの位置で「ド」「レ」「ミ」の音が出るのか、声道模型であれば、どの位置で「ア」「イ」「ウ」が発声できるのか？自分で発音するのは意外と難しく、また、自由な発想からは思いがけない音が生まれることもあるので、飽きてしまう子どもはいなかったようだ。ただ、完成していても吹き方が悪いと音が上手に鳴らない場合がある。そうすると「作り方が悪い」と誤解してしまう子どもも出てくるので、そのあたりの見極めが必要であった。スライドホイッスルも声道模型も、直接口をつけて操作する構造なので、実際に「同じ物」で吹いてみせるということが難しいのだが、吹き方のアドバイスも大切であった。

このように、少人数で細やかな配慮をするためには、アシスタントとの連携が大切になってくる。メンバーには事前に電子メールなどで科学教室の概要を説明し、当日に簡単な打ち合わせの時間を持ったが、スムーズな進行のためにはもう少し入念な打ち合わせができるとなお良かった。

工作に関しては、上述の3つの小テーマごとに一つずつ体験ができるように考慮したが、同じスライド部を使って「楽器」と「声」の両方を実現できるようにした点がこだわりである。1)で「ストロー笛」を作り、実際に音を鳴らしてみる。2)では「スライド部」を作り、1)で作った「ストロー笛」を音源として接続、「スライドホイッスル」として演奏してみる。3)では新たに「リード式音源」を作り、「スライドホイッスル」の発音部を取り替えて「声道模型」として母音を発してみる。一つひとつが立派なアクティビティとして完成しているが、組み合わせるとまた別の可能性が広がる「連鎖する」工作。材料や構造が違えば出来上がる物も変わると思われるかもしれないが、ほとんど同じ材料なのに、ほんの少し条件が違うだけで「声にもなり、楽器にもなる」というのは面白いのではな

いかと考えた。科学的に根拠のある手品の
ようなものだ。答えをあえて言わないこと
で、そこから子ども達が、「なぜだろう？」
と想像力をふくらませ、学びとっていく。
そして願わくは、そのときに受けた強い印
象、疑問などが、大人になるまでずっと続
いて欲しい。帰宅後に本やインターネット
で調べて終了、というような単純なもの
ではなく、もっと心の深いところに作用す
るようなもの。それをきっかけに科学に興
味を持ち将来に渡って研究者を続ける者
が出てきたり、ことばやコミュニケーション
を大切に思う気持ちを培う一助となったり、
また、そこまでの強烈なインパクトでは
なくても、潜在意識の中に留まって、後
で振り返ったときに何かつながりを感じ
たり、彼らの人生にプラスの作用をもた
らすような糧になれば嬉しいと思った。

4 おわりに

学校教育とは違い、他者による「評価」
が伴わないので、子どもたちは純粋な興
味で90分間楽しんでくれたことと思う。学
習指導要領とは関係の少ない分野である
が、教科指導の延長というよりも、人間
のコミュニケーション活動に興味を抱き、
身近な「科学」の面白さを知ってもらえ
れば嬉しい。子ども達に参加のきっかけ
を尋ねたところ、「音楽が好き」など音に
興味がある者は3名ほどで、「親に勧めら
れて」が4名で最も多かった。事前に申
し込みが必要なので、保護者も意識の
高い家庭が多いのかもしれない。音声
という身近なテーマだけに、学校や年
齢という枠を越え、家庭でも皆で楽し
める話題だと思う。この科学教室は小
さな出発点にすぎないが、音波のよう
に自然に人々の間を広がっていくと良
いと思う。

普段の学習から離れて、大学の先生か
らちょっと専門的なことを「楽習」する
と考えたとき、橋渡ししてくれる模型
の効果は絶大であった。アンケートに
科学教室で一番印象に残ったことを書
いてもらったところ、スライド式声道
模型の工作が8名、

肺の模型と頭部形状模型によるデモン
ストレーションが2名、糸電話が1名
(小学1年生)であり、模型教材が子
どもたちの興味を引き、効果的に働
いていることを実感した。「また参加
してみたいか」という問いには、「と
ても」が8名、「内容によって」が3
名、工作が成功しなかった児童も含
めて全員が、「機会があればまたやっ
てみたい」という気持ちを持ってく
れたことになる。

様々なイベントを企画されている博
物館のスタッフの方からも概ね合格
点をいただくことが出来た。ほぼ全
員が「楽しかった」という感想を残
してくれたことは、私にとって大き
な力となった。今回の教訓を活かし
て、今後とも活動を続けていきたい。

謝 辞

本科学教室を開催するにあたり、ご
協力いただきました国立科学博物館
の皆様、特に前島正裕さんに心より
感謝申し上げます。また、日本音響
学会音響教育調査研究委員会の先
生方や当日お手伝いをしてくださ
った皆様にも、心より感謝を申し
上げます。科学研究費補助金(C-17
500603, C-19500758)、守谷
育英会、サウンド技術振興財団より
助成を受けた。

参 考 文 献

- [1] 岐阜物理サークル編, のらねこ先生の科学で
いこう!, 日本評論社, 東京, 2005.
- [2] T. Arai, "Education system in acoustics of speech
production using physical models of the human
vocal tract," *Acoust. Sci. Tech.*, vol. 28, no. 3, pp.
190-201, 2007.
- [3] T. Arai, "The replication of Chiba and Kajiyama's
mechanical models of the human vocal cavity," *J.
Phonetic Soc. Jpn.*, vol. 5, no. 2, pp. 31-38, 2001.
- [4] T. Chiba and M. Kajiyama, *The Vowel, Its Nature
and Structure*, Tokyo-Kaiseikan, Tokyo, 1942.
- [5] T. Arai, "Sliding three-tube model as a simple
educational tool for vowel production," *Acoust.
Soc. Tech.*, vol. 27, no. 6, pp. 384-388, 2006.
- [6] R. R. Riesz, "Description and demonstration of
an artificial larynx," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 1,
no. 2A, pp. 273-279, 1930.