

音の科学教室 ー音のふしぎ・声をつくろうー*

○荒井隆行（上智大）

1 はじめに

音の中でも「声」は子ども達にも身近なテーマの一つである。母音生成機構は比較的単純に示すことが可能であるから、身近に「音声に関する音響学」を学べる機会がもっとあっても不思議ではない。しかし、本格的に触れることができるような機会は思うほど多くはない。そこで、国立科学博物館にて「音の科学教室 ー音のふしぎ・声をつくろうー」

（第1回は2006年10月、第2回は2007年10月）を開催した。主に小学校高学年を中心とした児童・生徒（第1回11名、第2回13名）が参加。なお本科学教室は、日本音響学会との共催で行われ、運営に当たって本学会音響教育調査研究委員会有志の協力を得た。本プログラムの概要、ならびに組みの様子を以下に記す（第1回の詳細は[1]を参照）。

2 内容

2.1 音に「触れる」

まず、身近に存在する様々な音を聞かせ、音の正体が振動であることを説明した。次に、実際に音さや鉄琴に触れて振動を直接肌で感じてもらい、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体験してもらった。さらに、糸で吊るしたピンポン玉を音さに接触させると跳ねる様を見たり、弦の振動をストロボで可視化（スローモーション）するなどした。糸電話やバネ電話[2]を用いて、音の伝搬や聞こえ方の変化も体験してもらった。

2.2 ストロー笛の工作

リードやエアリードの発音原理をイラストで簡単に説明した後、1つ目の工作としてフィルム容器とストローを使ったストロー笛[2]を製作した。フィルム容器の底には事前に穴を開けておき、ストローの個包装の上から「適度な長さ」に印を付けておく。切ったストローをフィルム容器底の穴に合わせるように置き、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調節し、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。

2.3 スライドホイッスルの工作

2つ目の工作は、楽器の高低がどのように変わるかを観察した後のスライドホイッスルの製作である。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し音程を変化させる構造になっている。発音部には、先ほど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）は丸めて提供、フィルム容器の蓋にも予め針穴を開けておいた。スライド部を筒の反対側から挿入すると完成である。

2.4 声のしくみ

子ども達の興味が高まったところで、音生成の話題に移った。声は他の音とどのように違うか？音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[3]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[4]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形状[5]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。

2.5 スライド式声道模型の工作

声のしくみを説明した後、スライド式声道



Fig. 1 子ども達の様子。スライドホイッスルで試奏（左）、肺の模型を操作する（右）

* Science workshop on sound: Wonderful world of sounds, let's create our voice, by ARAI, Takayuki (Sophia University).

模型[6]を紹介し、それを3つ目の工作として挑戦した (Fig. 2)。アクリル筒と「狭め (スライド部)」はスライドホイッスルと同じものを用い、新たに「リード式音源」を作って組み合わせた。第1回では(a), 第2回では(a')のように竹とプラスチックシートでリード部を製作。新たなフィルム容器に入れて固定すると完成である。

3 考察

3.1 テーマ・ねらい・工夫

この「音の科学教室 一音のふしぎ・声を

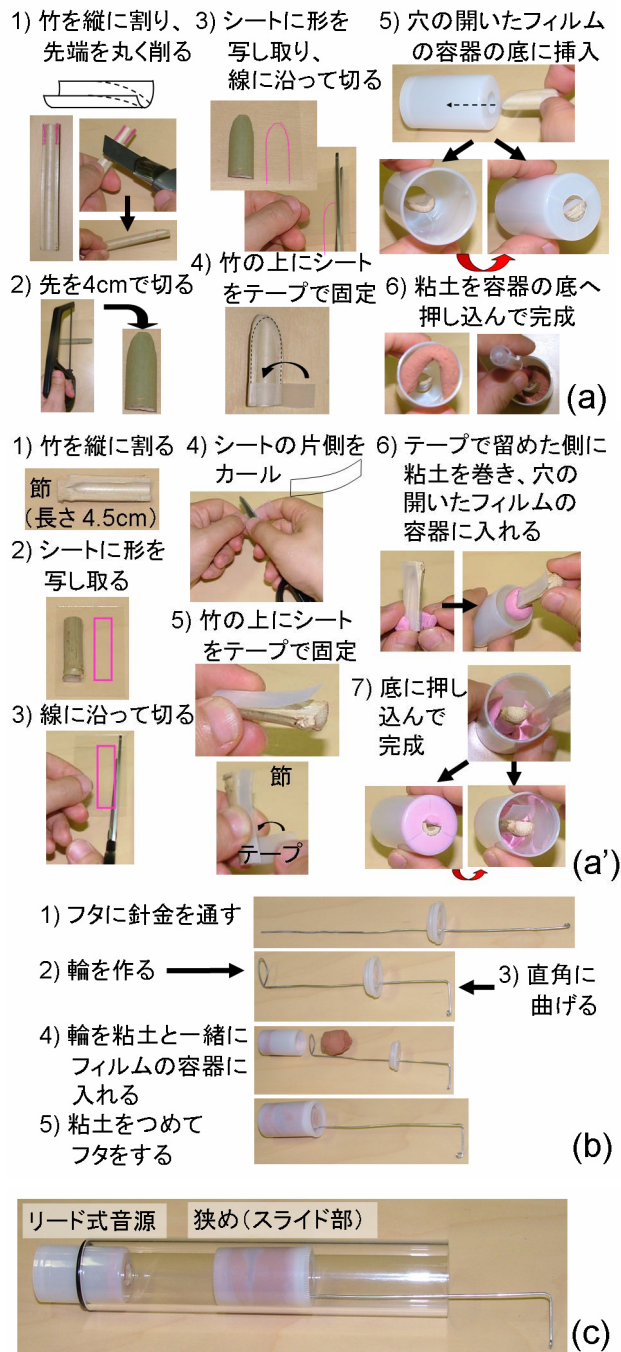


Fig. 2 スライド式声道模型の製作手順 (a) リード式音源, (b) スライド部, (c) 組立後

つくろうー」では、対象とした小学校高学年を中心とする子ども達の発達段階も考慮しながら、1) 音は「振動」、2) 音の高低はどう決まるか、3) 音声生成のしくみ (声は他の音とどのように違うか) という主に3つのテーマに取り組んだ。

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ていた。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、「面白い」「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。

第2回のアンケート結果を見ると、もともと音に興味を持っていた参加者ほとんどおらず、半数以上 (13人中7人) が本科学教室に参加して音への興味が沸いたと答えている。

「理科は好き」と答えていた参加者も同時に半数以上 (13人中8人) いたものの、「理科は好き」と答えなかった参加者5人全員が「参加して興味が沸いた」や「音のことをもっと知りたい」と答えていたことから、本科学教室の目標が少なからず達成できたと言えよう。

講義と工作により、理論も現象も丸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。

2回の科学教室を行ってみて、何かを体験させるときに子どもたちの目が輝くことを実感した。特に第2回ではそうであったが、音が振動であることを体験してもらう際に実際に鉄琴のプレートが振動しているのをじかに触ってもらったり、声道模型のデモンストレーションを行う際は模型の周りに子ども達を集合させて間近で実演を見せたり声道模型に実際に触ってもらったりした。また、楽器の実演する際も、なじみのあるメロディーを奏でたり、トライアングルひとつをとってみてもリズムカルなパターンを披露するだけでも効果的であった。

声道模型を見せる順番にも注意した。いったん、原寸大の肺の模型の上に音源部を含む首を乗せ、さらに頭部形状模型を乗せた状態で発声の様子を見せた。これにより、人間と同じような発声が可能であることが実感される。第2回では、頭部模型を舌が動く模

型に交換し発声の実演を行った。この舌が動く模型は、ゲルで出来た舌を持つ声道模型 [7,8]で、舌が軟らかいためにある程度自由に舌の位置を手で動かすことができる。この模型を用いることによって、舌の位置が変わると発声される母音の韻質が変わることが実感できる。実際、子ども達にも舌を触ってもらった。舌の位置で母音が変わることを体験した後、筒型の声道模型に交換して5つ母音の形状と音を確認した。これにより、口の中の空間の形がどのような場合に「ア」や「イ」などになるかを見て聞いてもらった。

3.2 工作活動に関して

工作の材料は、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つた。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難しい。

音源に関しては、簡易模型であっても「音の科学教室」である以上、音質は追求した。「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。一番の課題は「適切な音源」をどのように実現するかにあった。明瞭な母音を作るため、音源の周波数特性が3kHz以上まで伸び、かつ局所的にエネルギーの集中する周波数帯域が存在せず、基本周波数も低めになるよう工夫した。様々な音源を比較した結果、竹とプラスチックシートによるリード式音源を用いることとした。竹とシートが接する際にいかに隙間ができないよう仕上げられるかが音質を大きく左右する[6]。ナイフで鉛筆を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なところでもある。

第1回では、Fig. 2 (a)に示すように長めの竹を縦に2つに割って配布し、シートがたわんだ際にぴったり竹筒を蓋するように、子どもには竹の先端をカッターやヤスリで丸く削

ってもらった。音が適切に鳴るようになったらチェックを受け、OKならばアシスタントが長さ調節をした。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、こちらの予想以上に皆健闘していた。簡単ではない分、構造や原理についてもより理解できたようで、完成したときの達成感も大きかったようである。ただ時間配分を考えたときに、竹を削る作業にそれなりの時間が必要である。時間に余裕がある場合には、削らせるのも良い経験になる。

第2回では時間配分なども考慮に入れ、Riesz [9]によるリード式音源の応用を検討した。Fig. 2 (a)'に示すように竹は片方の端が「節」で終わり長さが4cm強ほどになるように予め切った上で、縦方向に2つに割っておく。割った面は平らになるようにヤスリをかけておき、その面の上にカールさせたプラスチックシートを乗せ、カールさせていない側をテープで固定。これにより時間はセーブされ、また作業の個人差によるばらつきも減った。しかし、プラスチックシートをカールさせるのもその加減が難しく、なかなかうまく音がならないケースも見受けられた。

90分は子ども達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いった具合に、「工作の合間に短い講義を挟む」という形式で全体を構成した。最後まで子ども達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る。作業をしながら、子ども達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る。

一方で、進度の早い子ども達が飽きないような工夫も必要となる。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?進度の早い子どもにはこのような高度な課題も有効である。自分で発見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。

工作活動を追ってみると、1)で「ストロー笛」を作り、実際に音を鳴らす。2)では「スライド部」を作り、1)で製作した「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。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」工作となっている。同じスライド部を用いて「楽器」と「声」の両方が実現できるように工夫を凝らした。少し条件が違うだけで、楽器にもなり声にもなるのはどうしてか？「なぜだろう」と想像力を膨らませ、何かを感じとり、学びとって行って欲しい。そして願わくは、素朴な疑問や強い印象などが大人になってもずっと消えずに残って欲しいと考えた。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って研究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になる一助となれば幸いである。

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という回答のほか、「親に勧められて」という回答も目立った。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。

参加した動機が「音のことを知りたかったから」という子どもは声道模型の工作が、「学校で少し音の勉強をしたから」という子どもは「音がブルブル」が、「音のことが全く分からなかったから」という子どもは「スライドホイッスルの工作」がそれぞれ一番面白かったと答えてくれている。今後、このように広く親しみやすい「音」に関するテーマをいろいろ検討し、「音の科学教室」としてもさらにバリエーションを膨らませていきたい。

謝辞

科学教室を開催するにあたり、ご協力頂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、本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下さった皆様にも、心より感謝を申し上げます。内容の一部は日本学術振興会の科学研究費補助金(16203041, 17500603, 19500758)、守谷育英会、サウンド技術振興財団及び文部科学省私立大学学術研究化推進事業上智大学オープン・リサーチ・センター「人間情報科学研究プロジェクト」の助成を得た。

参考文献

- [1] 荒井, 日本音響学会音響教育研究会資料, EDU-2007-04 (2007).
- [2] 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, 2005.
- [3] Arai, Acoust. Sci. Tech., 28 (3), 190-201, 2007.
- [4] Arai, Journal of the Phonetic Society of Japan, 5(2), 31-38, 2001.
- [5] Chiba and Kajimaya, “The Vowel, Its Nature and Structure,” Tokyo-Kaiseikan, 1942.
- [6] Arai, Acoust. Sci. Tech., 27 (6), 384-388, 2006.
- [7] Arai, Acoust. Sci. Tech., 29 (2), 2008.
- [8] 荒井, 音講論 (春), 2008.
- [9] Riesz, J. Acoust. Soc. Am., 1 (2A), 273-279, 1930.