

科学館・博物館における展示を目的とした声道模型の工夫*

○荒井隆行（上智大・理工）

1 はじめに

本稿では、人間の音声生成機構を模擬する声道模型に関する科学館・博物館での展示において、著者が今までに試みた、あるいは現在取り組んでいる工夫など紹介し、このような展示が今後より発展するための議論を展開する。なお、ここで扱う声道模型は母音中心ではあるが、本来その対象は音声全体であり、母音に限った話ではない。また、母音中心であるがゆえに声道模型に入力することになる音源も声帯振動源が中心となるが、音声全体を対象とした場合、複数の種類の音源を扱うことも当然視野に入れなければならない。それらを踏まえ、今までに監修した声道模型に関する展示を中心に、現在取り組んでいる例なども交え、問題点や工夫などを議論する。

2 従来の展示

この節では、著者が監修を行った展示を中心に、その様子を概観する。まず、Table 1 にその概要をまとめた。この表を見ると分かるように、著者は国内外それぞれ4件ずつに主に関わっており、そのうち、現在も続いている常設展示が4件、現在、準備中のものが2件ある。本節では特に従来の展示6件について紹介する。なお、静岡科学館における展示については本学会の小特集記事[1]など、日立シビックセンター科学館については文献[2]など、ソニー・エクスプローラサイエンスについては文献[3]など、沖縄こどもの国と Estonian National Museum については文献[4]などにて触れられている。

2.1 音源

音源は大きく分けて2種類が存在する。1つは「ふいご」などを使って気流を生み出し、リードなどを振動させる物理現象に基づくもの、もう1つは電子ファイルに格納された波形データを再生し、スピーカを介して声道模型を駆動する方式である。過去

に監修した展示の中で、後者を採用したのは1回だけであるが、その利点は複数あり、ボタンを押せばいつも同じ音源を得ることができるし、誰でも容易に操作できる。また、同じ声道模型であっても音源の種類を瞬時に変えられるので、音源によってどのように出力音声が変わるかが簡単に確認できる。その具体的な例としては、通常の発声とささやき声を比較するなどである。また男性・女性・子どもなど、複数の声道模型のセットを用いる場合でも、音源に関わるハードウェアは1つあれば後はソフト的な切り替えで複数の音源を扱うことが可能となる。具体的な展示例は、文献[3]を参照されたい。

一方、ふいごとリード式音源の組み合わせなど、物理現象に基づく音源では、来場者は実際に音が生まれる様子から体験することが可能となる。ふいごを押すなどの物理的な動作から「音」が作られて「声」が聞こえるという一連の展開から、より直感に訴える体験型展示が可能となるといった利点もある（例えば、[2]など）。ただし、物理現象を扱う関係で、いろいろと条件を調整する必要がある。それにまつわる取り組みや工夫については3節にて述べることにする。

2.2 声道模型

声道模型についてはもともと、Chiba and Kajiyama に基づいた日本語5母音の声道形状を実現した筒型のもの（VTM-C10）[5,6]が出発点になっており、その後、バリエーションを増やした結果、VTM-C10、-P10、-T50、-T20、-T38などと複数のモデルを用いている。VTM-P10は、VTM-C10の形状を0次近似した階段状の断面積関数を実現するプレート型の声道模型である[5,6]。このプレート型の声道模型については、直径が異なる穴が中央に開いた厚さ10mmの亚克力板（透明）を複数枚並べ、声道形状を実現するものとなっている。静岡科学館

* Ideas for exhibiting vocal-tract models at science museums, by ARAI, Takayuki (Sophia Univ.).

では、子どもたちがパズル感覚で任意の形状を実現できるようにした。

一方、VTM-T50、-T20、-T38はともにその内側の形状はいずれも共通しており、VTM-C10の形状をさらに簡素化したものになっている[7]。これらの「Tシリーズ」は基本がC10であるため、(少なくとも現時点では)日本語5母音が対象となっている。T50とT20とT38の違いは、その外形にある。T20は内側の形状をそのまま外側にも反映させているため、触っても形状の違いがわかる。そのため、視覚障害者などの方々にも広く利用していただける。ただし、強度が弱いいため、筒が折れないようにするなどの注意が必要である。一方、T38やT50は外形がφ38やφ50の円柱になっており、より強度が強い。これらの模型はすべて透明なアクリル素材で出来ているため、内側の形状は外から視覚的に確認できる。

Table 1には一部、VTM-S20の表示がある。これは3音響管に基づくスライド式の声道模型である[8,9]。外筒の内側にスライド部を挿入し、そのスライド部の位置を変えることにより、複数の母音が生成可能となる。ただし、より多くの母音を生成するためには、スライド部の断面積を変える、あるいは口唇部に狭めを作れるような機構を準備するなど、より複雑な機構が必要となるため、現在のところ、そこまでの展示は存在していない。

また、スイスのTechnoramaでは頭部形状の模型[6]も展示した。この模型の利点としては、実際に声道が頭部の中でどのあたりに位置しており、どのように折れ曲がっているかなどが直感的に理解できる点などがあげられる。

2.3 音源と声道模型が一体型か分離可能か

Table 1の一番右の欄には、「分離」と書かれた列がある。これは、音源と声道模型が一体型であるか分離が可能であるかを示している(Y: YesとN: Noで表示)。一体型の利点としては、ふいごなどを押すことによって、すぐに母音を生成できる。次の母音を出したいときは、別のふいごを押す。欠点としては、音源だけの音を確認できないこと、そして声道模型の分だけふいごと

音源部が必要であることなどである。一方、分離可能な場合、音源だけの音を確認し、それを声道模型に接続して出力される音の違いを観察するなど、より幅の広い体験が可能となる。ただし、音源と声道模型がうまく接続されないと明瞭度の高い音声が発生されなくなるなど問題点があるため、スムーズに接続できる機構の工夫などがキーとなる。

3 展示における改良や新たな工夫

この節では、展示の監修を行っていく上で、新たに経験した問題点やそのための改良点、そして新しい展示に際しての工夫などを議論する。

3.1 リード式音源

静岡科学館ではもともとVTM-C10を開発した時に使用していた笛式人工喉頭を利用した。この笛式人工喉頭はゴム膜を利用しており、その音源がかなり自然な母音を作り出す。一方、ゴムを使用するため、経年劣化が避けられない。一方、リード式音源では、リード部にプラスチックシートを利用している。そのため、耐久性は一気に高まった。

さらに、日立シビックセンター科学館では、母音生成時の音量を大きくするため、リードの受けに細い筒を斜めカットしたものを利用した[10]。その上に厚めのシート(0.2 mm)を使用することで、大きな音の実現可能となった(Table 1においてリード式音源A)。沖縄こどもの国においても、同様の機構を当初は採用した。しかし、この機構でリードを振動させるためには、より強くふいごを押す必要があった。その結果、小さい子どもがふいごを押してもリードが振動するのに十分な気流が得られず音が出ない、そしていずれ音を出すのを諦めてしまうというような事態にしばしば陥った。そこで、リードの受けをR=30 mmのカーブをもたせた形状[10]に変更したところ、より小さい力で安定したリードの振動を得ることに成功した。そこで、そのような改良を施してからは、他でも後者の機構を採用することとした(Table 1においてリード式音源B)。

3.2 ふいご式とピストン式

Table 1 を見るとわかるように、今まで多くの場合において、ふいご、あるいはそれに類似した機構を採用し、気流を生成してきた。この機構は楽器でも、パイプオルガンやアコーディオンなどに同様の機構が使われていることからごく自然な選択である。ふいごは、空気入れのためのポンプなどでもよく、実際にスイスの Technorama では、足踏みポンプを利用していた。これらの展示では、ふいごで作りに出された気流は、ダイレクトに音源部に送られるため、押し方によって音の出方が左右される。それがまた体験型の展示では押し加減による音の違いを観測できて優れている反面、安定して音が出ないという問題点があった。

そこで、「利用者が広がったふいごを押して縮める」のではなく、「利用者がふいごを広げる動作のみを行い、その後、手を離すとおもりがふいごを押す」という機構を採用することも考えられた。これはパイプオルガンのふいごにおける「レギュレータ」の役割に相当し、von Kempelen の声道模型でも採用されている機構である[11]。これをさらに発展させたものがピストン式である (Fig. 1 参照)。この場合、ある一定の質量をもったピストンを垂直に立てられた管の中に配置し、利用者はひもなどでピストンを上方に引き上げる動作を行う。その後、手を離すとピストンは自重で落下し、それによって作られた気流が音源部に送られる。

この際、何らかの抵抗をもたせることで落下速度の加速を抑制する工夫なども考えられる。

3.3 日本語以外の言語への対応

今までのほとんどは、日本語 5 母音がベースになっていた。しかし、海外の科学館や博物館にて展示をする際、現地の言語で展示をしたいというニーズはごく自然な要求である。実際、Estonian National Museum においては、エストニア語の 9 母音に対応するように設計を依頼され、声道形状に修正を加えることでそれを実現した (詳細は、[4])。この場合、プレート型の P10 を用い声道形状を階段近似して最終的な形状を決定したが、それをさらに外形が $\phi 70 \text{ mm}$ の円柱になるように仕上げた (Table 1 の VTM-P70)。今後は、各言語における母音体系に応じた形状を検討・準備することを予定している。

3.4 その他の工夫

それぞれの展示では、細かい工夫が施されている。例えば、スイスの Technorama (Fig. 2 参照) では、手前にポンプが押しやすいように配置され、利用者自身が自分で音源部と声道模型を接続する。そしてポンプを押すとリードが振動し音源が生成され、接続された声道模型から母音が生成される。その声道模型の 1 つとしてスライド式の S20 も並べられており、外筒の外側から磁石で内部のスライド部を動かす仕組みを採用している。



Fig. 1 ピストン式リード音源

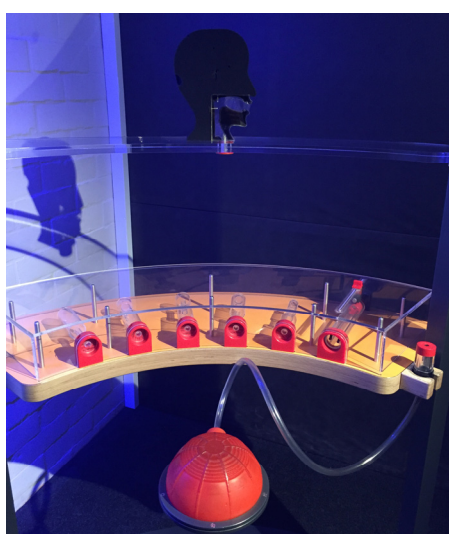


Fig. 2 Technorama での展示例



Fig. 3 Händel-Haus での展示例

Table 1 著者が監修した科学館・博物館における声道模型の展示

名称	所在地	期間	音源	声道模型	分離
静岡科学館「る・く・る」	静岡県	常設	ふいご+笛式人工喉頭	VTM-C10 / P10	N/Y
日立シビックセンター科学館	茨城県	常設	ふいご+リード式音源 A	VTM-C10	Yes
沖縄こどもの国・ワンダーミュージアム	沖縄県	常設	ふいご+リード式音源 B	VTM-T50	No
ソニー・エクスプローラサイエンス	東京都	限定(既に終了)	電子ファイル+スピーカ	VTM-C10(男女)	Yes
Technorama	スイス	限定(既に終了)	ふいご+リード式音源 B	VTM-T20/S20/頭	Yes
Händel-Haus	ドイツ	常設	ふいご+リード式音源 B	VTM-T38	Yes
Estonian National Museum	エストニア	常設(準備中)	ふいご+リード式音源 B	VTM-P70 / S20	No
Technische Universität Dresden	ドイツ	常設(準備中)	ピストン+リード式音源 B	VTM-T38	Yes

ドイツの Händel-Haus では、まずふいごが壁に組み込まれている (Fig. 3)。利用者は足のもなどを使って壁に押し当てるようにふいごを押す。手では力が入りにく場合などにも、この方式だと力が入れやすい。また、音源部がスライドする仕組みになっており、スライドする音源が 5 本ある声道模型の 1 つの真下にくると、LED が点灯してセット完了であることを知らせると同時に、どの母音に注目すべきかがわかるように工夫されている。

4 おわりに

本稿では、著者が監修した科学館や博物館での声道模型に関する声の仕組みの展示について、その取り組みや工夫について紹介し議論した。今後は、さらなる発展のために、様々な言語に拡充したり、子音をも対象にした展示を検討したり、またより hands-on に適した展示の工夫を展開するなど、検討を進めていきたい。

謝辞

本研究にあたり、協力いただいた各科学館・博物館の関係者の皆様に心から感謝申し上げます。内容の一部は日本学術振興会の科学研究費 (15K00930) の助成を得た。

注釈

声道模型の T シリーズでは、文献[7]に記載されている声道形状において、母音/u/は日本語に近いものに変更している。また、沖縄こどもの国では、母音/o/の口唇部は ϕ 20 mm から ϕ 12~14 mm に変更している。また、リード式音源 B のリード長は 36 mm。

参考文献

- [1] 荒井隆行, “小中学生に対する音響教育,” 日本音響学会誌, 64(1), 29-34, 2008.
- [2] 荒井隆行, “日立シビックセンター科学館における声道模型の展示,” 日本音響学会春季研究発表会講演論文集, 1587-1590, 2011.
- [3] 荒井隆行, “科学館における「声」に関する企画展,” 日本音響学会春季研究発表会講演論文集, 1387-1390, 2009.
- [4] 荒井隆行, “エストニア語の母音を声道模型から生成する試み,” 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, 345-348, 2015.
- [5] T. Arai, “The replication of Chiba and Kajiyama's mechanical models of the human vocal cavity,” *Journal of the Phonetic Society of Japan*, 5(2), 31-38, 2001.
- [6] T. Arai, “Education system in acoustics of speech production using physical models of the human vocal tract,” *Acoust. Sci. & Tech.*, 28(3), 190-201, 2007.
- [7] T. Arai, “Simple physical models of the vocal tract for education in speech science,” *Proc. of the INTERSPEECH*, 756-759, Brighton, 2009.
- [8] T. Arai, “Sliding three-tube model as a simple educational tool for vowel production,” *Acoust. Sci. & Tech.*, 27(6), 384-388, 2006.
- [9] T. Arai, “Education in acoustics and speech science using vocal-tract models,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 131(3), 2444-2454, 2012.
- [10] 荒井隆行, “スライド式声道模型のためのリード式簡易音源の比較,” 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, 1563-1566, 2008.
- [11] T. Arai, “Mechanical models of the human vocal tract,” *Acoustics Today*, 9(4), 25-30, 2013.