

## 日立シビックセンター科学館における声道模型の展示\*

○荒井隆行（上智大・理工）

## 1 はじめに

日立シビックセンター科学館[1]は、1990年に茨城県日立市の日立シビックセンター内にオープンした。現在、130以上もの展示があり、「天球劇場」と呼ばれるプラネタリウムも併設されている。「みて・さわって」体験しようというのがキャッチフレーズで、遊びながら学べるように工夫されており、工作コーナーや科学の面白さを実演するサイエンスショー、夏休みの科学教室なども開催されている。

音に関する展示は複数あり、そのメインが「サウンドサイエンス」と呼ばれるコーナーである（Fig. 1 参照）。Fig. 1の左奥にあるのがパイプフォンで、長さの異なるパイプが音階を成して並んでいる。スリッパのようなゴム板で一端を叩くと、いい音で響く。子どもたちは、ドレミファ…と叩いたり、メロディーを奏でたり、場合によっては両手を使って複雑なメロディーにトライすることもできる。その並びには、音の展示の定番であるクントの実験装置（詳しくは、[2]）がある。他の科学館同様、このクントの実験装置では音の周波数を変えるためのつまみがあり、それを調節し波長を変えることによって透明な円筒管の中で定在波を作り、発泡スチロールの粒が“踊る様子”を見ながら共鳴現象を目で確認できるようになっている。そのさらに隣には、超指向性のパラメトリックスピーカが展示され、「正面から少しでもはずれるととたんに聞こえなくなる」という説明と共に、来館者が実際に立ち位置を変えてその指向性の鋭さを体感できる。また、別のコーナーには「無響回廊」と呼ばれる真っ暗な迷路がある。無響室とまではいかないまでも吸音のための処置が十分施された空間がつながり、手さぐりで進みながら出口を目指す迷路は、子どもたちに人気の体験コーナーの一つである。

この科学館では数年前から改修が進められ、

2010年春には一部展示フロアがリニューアルオープンした。「サウンドサイエンス」のコーナーにある声道模型の展示（Fig. 1の右手前）は、このリニューアルによって新設されたものであるが、その設置に際して、著者が監修をした。同様に著者が以前、監修をした静岡科学館の声道模型の展示[3]と基本的には同じような模型を用い、子どもたちが触りながら母音生成の仕組みの一端を体験できる展示になっている。その一方で、先方の意向や今までの経験を踏まえ、この展示独自の新たな工夫も施されている。

本稿では、その日立シビックセンター科学館における声道模型の展示について紹介すると同時に、代表的な工夫について考察する。

## 2 声道模型の展示

日立シビックセンター科学館の声道模型の展示は、静岡科学館の声道模型の展示[3]と同様、千葉・梶山による声道形状[4]を持つ5本の音響管を並べ、日本語5母音を生成する。基本的な構成には共通点もあるが、いくつかの工夫を施すことで独自性も追求した。

## 2.1 構成

Fig. 2は、声道模型の展示の全貌を示して



Fig. 1. 「サウンドサイエンス」のコーナー。

\* Exhibition of vocal-tract models at the Hitachi Civic Center Science Museum, by ARAI, Takayuki (Sophia University).



Fig. 2. 日立シビックセンター科学館の声道模型の展示の全貌.



Fig. 3. 静岡科学館の声道模型の展示の一部.

いる。基本構成としては、日本語 5 母音に対応した音響管が 5 本並んでいる他、音源部とふいご (Fig. 2 の右側) の組み合わせとなっている。静岡科学館の展示も同じ基本構成であるが、音源部を中心に大きな違いがある。静岡科学館では 5 本の音響管それぞれに音源部とふいごが固定されている (Fig. 3)。これにより、複数の子どもたちが同時に声道模型を鳴らすことも可能である。一方、本展示では音源部とふいごは 1 組のみ用意し、各音響管には固定されていない。これにより、音源部のみの音 (喉頭原音) を確認することができるようになると同時に、その喉頭原音を各音響管に接続すると音がどのように変化するかを体験することが可能となっている。Fig. 4 は、展示に設置された説明用パネルである。

以下では、その他の細かい工夫について、各パーツごとに見ていくことにする。

## 2.2 ふいご

Fig. 2 右奥の黒い突起がふいごのレバーで

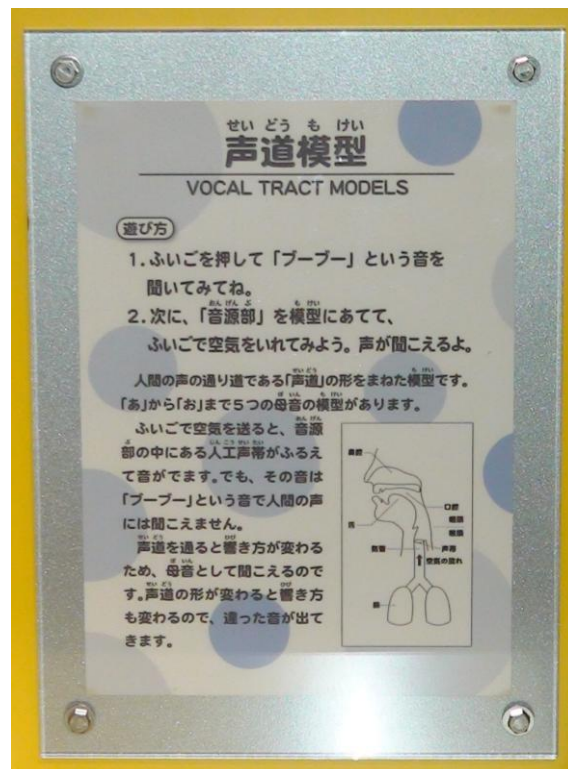


Fig. 4. 声道模型の展示の説明パネル.

ある。子どもが押しやすい高さを考え、レバーは低い位置に設置されている。しかし、レバーが通路に突き出ていると危険であることから、ある程度、奥まった位置に配置されている。

## 2.3 音源部

Fig. 5 は、音源部の写真である。ふいごから送られてきた空気の流れによって、音源部にて喉頭原音が生じる。音源部は、ちょうど握るのに適した直径の亚克力円筒管の中にリードが取り付けられた構造になっている。円筒管を設けることによってそれが気流のバッファとなり、安定したリードの励振を引き起こすことに貢献している。

本展示で最も難しかったのが、リードの調節である。リードにはプラスチック製のシートを用い、斜めにカットされた細い円筒管に乗せている (Fig. 6)。プラスチック製シートの厚さや長さ、さらにはリードが乗るカット面との間隙の幅や傾斜などについて、微調整を繰り返すことによって最適な値を実験的に導いた。声道模型が成人男性に基づく声道形状であるため、音源の振動数も成人男性の基本周波数である 100~125 Hz 前後になる

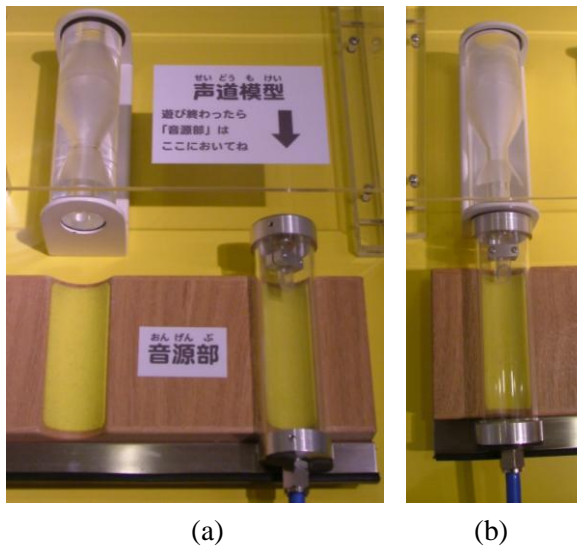


Fig. 5. 音響管と音源部. 音源部の先端にリードが備え付けられている.

ようにリードの長さを調節した。

また、科学館の中は常に子どもたちの活気で溢れているため、それなりの音量が望まれる。さらに、子どもは時としてふいごを強く押すことも多く、空気圧が強すぎるとリードがうまく励振しなくなってしまう。そこで、リードは 0.2 mm と厚くし、さらにリードと細い円筒管のカット面との間隙を約 4 mm に調整した (Fig. 6)。これにより、子どもがある程度強くふいごを押した場合にも (圧が強めでも) 安定してリードが振動すると同時に、リードがいったん振動し始めるとかなり大きな音が出るようになった。

## 2.4 音源部と音響管の接続部

Fig. 5 (b)は、音源部が音響管に接続された様子を示す。音響管が並べられている台にはもともと傾斜が付いており、その手前には音源部を乗せる台座が用意されている。さらに、音響管の下部には穴の開いた金属のプレートを付け、音源部の上部には磁石を取り付けることにより、台座に音源部が乗ると磁石によって音響管と音源部がしっかりと固定されるように工夫されている。音響管と音源部の間に隙間があるときちんと音源が音響管に入力されず正しく共鳴しない。そこで、このようにぴったりと、かつ子どもでも容易に接続されるような工夫が施されている。

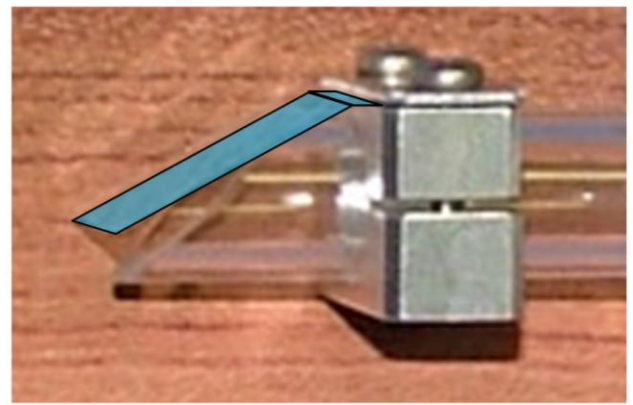


Fig. 6. リードの拡大図. この図では分かりやすいようにリードに縁取りを施した上で色をつけているが、実際は透明. 斜め 45 度にカットされた細い円筒管の上にリードが金属製の止め具で固定されている.

## 3 考察

ふいごからの空気が音源部で喉頭原音を発するのだが、この展示ではふいごと音源部を各母音に設置せず 1 組だけ用意した。その結果、音源だけの音も確認でき、筒に接続するとその形状に対応した母音が聞こえてくる。この原理は音声生成における「音源フィルタ理論」として説明されるが、本展示を通して子ども達が自ら操作しながら「音源の原音」と、「声道模型に接続した際に生成される音」の変化を体験できる。浜松科学館の声道模型の展示[5]や、そのモデルになったと思われるアメリカ・サンフランシスコの Exploratorium [6]の展示でも、同じように音源だけの原音を確認でき、さらに音響管と接続して音の変化を確認できるようになっている。静岡科学館では日本語 5 母音に対応した 5 本の音響管による展示の他、異なる直径の穴の開いた厚さ 10 mm の板を複数枚組み合わせることによって任意の声道形状を模擬することができるような展示も隣に併設されている。その展示では、やはり喉頭原音が声道形状によって異なる母音になる様子が体験できる。著者が監修した別の「声のしくみ」に関する展示に、ソニー・エクスプローラ・サイエンスの企画展 [7]がある。そこでは、音源としてスピーカから喉頭原音を再生する方式を採用している。その際も、音源のみの音を確認できるように

した。いずれの場合においても、「声のしくみ」に関する展示の場合、何らかの形で音源フィルタ理論に関する音声生成の原理[8]を学べる仕組みを工夫することが重要である。

音源部については、静岡科学館のようにゴム膜の振動を利用した音源にするか、今回のようなリード式の音源にするか、あるいはソニー・エクスプローラ・サイエンスにおける企画展のようにスピーカを利用する方法など、いくつかの可能性があった。結果的にリード式音源を採用したが、子どもがふいごを強く押してもリードが安定して励振でき、しかも大きな音量で母音を出すことができるようになった。その一方、小さな子どもだと力が弱くリードがうまく励振しない場面も散見された。音源がなかなか鳴らず、あきらめてしまうようなケースは極力避けたい。強い場合でも弱い場合でもうまくリードが励振することが望ましいが、その両者を両立することは難しく、そこには少なからずトレードオフが存在する。その中で、最適になるように調整したが、小さな子どもにとってはレバーの位置が高めとなるためより力が入らず音をなかなか鳴らせなくなってしまった。その改善が課題である。一方、静岡科学館ではゴム膜による音源で経年劣化により音源の入れ替えが必要であった。今回の展示ではプラスチックシートによるリードを用いているため、耐久性に優れている。また、リードを固定する止め具についても、誰が作業をしても同じように止められるように工夫した結果、維持や管理がし易くなったものと考えられる。

科学館には家族連れや友達と連れ立って訪れることも多い。今回の展示では音源部と音響管を分けたことから、複数で展示を体験するケースもある。親子であれば、親が説明パネルを見ながら子どもに「遊び方」を説明し

たり、親が声掛けをしながら子どもと体験をする、あるいは友達同士であればふいごを押す係と音響管を切り替える係とに分かれて遊ぶなど、体験の仕方も多様になる。

#### 4 おわりに

日立シビックセンター科学館における声道模型の展示について述べた。リニューアルオープンした本科学館を 2010 年春に訪問したが、声道模型の展示では子どもたちが興味津津にふいごのレバーを押し下げ聞こえてくる音に耳を傾けていた。声道模型につなげると「声」に変わるのに一様に驚き、その後、真剣にやり直す姿が印象的であった。

本稿を通じて、科学館展示により適するようにハードウェアの開発・改良と調整を行った結果、高い圧力でも適度に励振するリードの設計、子どもの操作性を考慮した調整、維持・管理が容易な仕組みなどを実現した。

#### 謝辞

内容の一部は日本学術振興会の科学研究費補助金(21500841)、及び文部科学省私立大学学術研究高度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] <http://www.civic.jp/science/>.
- [2] 上野, 日本音響学会誌, 63, 116, 2007.
- [3] 荒井, 日本音響学会誌, 63, 470, 2007.
- [4] Arai, 音声研究, 5(2), 31-38, 2001.
- [5] 荒井, 日本音響学会誌, 64, 490, 2008.
- [6] <http://www.exploratorium.edu/>
- [7] 荒井, 音講論(春), 1387-1390, 2009.
- [8] Arai, *Acoust. Sci. Tech.*, 28(3), 190-201, 2007.