

## 科学館における「声」に関する企画展\*

○荒井隆行（上智大・理工）

## 1 はじめに

2008年9月27日から11月30日までの約2ヶ月間、ソニー・エクスプローラサイエンスにて「声」に関する企画展、「What's Voice? ー声ってなあにー」が開催された (Fig. 1)。この企画展は、「いろいろな声」、「声のしくみ」、「声を見る」、「声を聞く・録る」という、主に4つの展示コーナーから構成されている。

## 1) 「いろいろな声」

このコーナーでは、声を職業としている歌手や声優の方々の自分の声に関するインタビュー（“アーティスト・トーク”と題して、石井竜也さん、中川翔子さん、戸松遥さんらが協力）や、360度に音が放射される特殊なスピーカを用いて世界各国の歌声などが展示された。

## 2) 「声のしくみ」

このコーナーでは、声道模型を用いて母音のしくみを解説した (Fig. 2)。詳細は第2節で概説する。

## 3) 「声を見る」

このコーナーは、基本的に声のスペクトル分析に関する展示で、「ボイス・ビジュアライザー」(Fig. 4)、「ボイス・アナライザー」(Fig. 5)、「声紋パズル」(Fig. 6)から成る。詳細は第3節で概説する。

## 4) 「声を聞く・録る」

このコーナーでは、骨導ヘッドホンやリニア PCM レコーダ等を用いて、自分の声を録音して聞くことなどができる。

本稿では、この企画展の中で筆者が監修を担当した「声のしくみ」と「声を見る」という2つのコーナーを中心に、展示における工夫やその効果について述べる。



Fig. 1 企画展会場入り口（ソニー・エクスプローラサイエンス）



Fig. 2 「声のしくみ」の展示コーナー（左奥に見えるのがアーティスト・トーク）

\* Speech exhibition at a science museum, by ARAI, Takayuki (Sophia University).

## 2 声のしくみ

このコーナーでは、声道模型を用いて母音の生成機構を体験できるような展示を行った。似たような展示に、アメリカ・サンフランシスコにある Exploratorium の展示 (California 大学 Berkeley 校の Ohala 先生が監修) や、静岡科学館の展示 (荒井が監修) がある [1]。今回の展示では静岡科学館の展示と同様、千葉・梶山 [2] による声道形状を透明アクリルの筒によって実現した筒型声道模型を用いた。しかし、今までの展示とはいくつかの点において異なっている。

### 2.1 女性用の声道模型

今までの展示で用いられてきた声道模型は千葉・梶山 [2] の声道形状を復元しているため男性用のものが中心であったが、今回、男性用のものに加え女性用の声道模型も準備した。女性用の声道模型として、男性用に用いている声道の形状を、文献 [3] にならい、長さ方向にだけ 3/4 縮小したものを製作した。

Fig. 3 は今回の展示で用意した全模型であるが、男性用の声道模型 5 本 (それぞれが日本語 5 母音に対応) に加え、比較的短いものが女性用の声道模型 5 本である。

### 2.2 音源について

従来 of 声道模型に関する展示では、ふいごなどで送られた空気がリード式音源や笛式人工喉頭を振るわせて喉頭原音を発生させ、それを音源として声道模型を響かせるものがほ

とんどである。しかし、同じ 1 本の声道模型を異なる音源で駆動できるように、スピーカ (ホーンスピーカ用のドライバユニット [1] を使用) から任意の音源信号を出力する形態をとった。音源の出力装置は、Fig. 2 の写真手前側の声道模型の下にあり、くぼみに合わせて模型を置くとスピーカのネック部中央の穴 (喉頭側のインピーダンスを高くするために開けられた直径 6 mm の小さな穴) がちょうど筒中央の空洞部分 (口腔形状を模擬) へ接続される。そのため、ボタンを押すことで再生された音源信号 (喉頭原音) が、筒型声道模型へと入力される仕掛けとなっている。音源は男性用、女性用、男性のハスキーボイス用と 3 種類用意した。いずれの音源も、実際の声を録音し、それを Praat [4] を用いて音源信号としてのインパルス列に変換したものをを用いた。ボタンを押して音源を流しながら模型を乗せたり外したりすることで、音源信号が声道形状によって決まる共鳴を受け母音に聞こえたり、また再び音韻性の低い喉頭原音に戻ったりする様子が確認できる。また、男性・女性の違いが、音源のみならず声道形状の長さの違いにあることも体験できる。さらに、ハスキーボイス用の音源は 1 つ目の男性用音源と同一話者によるものであることから、同じ話者が異なる声質で発話する母音は主に音源に違いがあることも体得できる。



Fig. 3 「声のしくみ」の展示コーナー (日本語 5 母音の声道模型, 男性用・女性用)



Fig. 4 ボイス・ビジュアライザー



Fig. 5 ボイス・アナライザー

### 3 声を見る

#### 3.1 ボイス・ビジュアルライザー

ボイス・ビジュアルライザーでは、会場に流れる BGM や来場者の声の実時間でスペクトルに応じた 3 次元物体の形状としてディスプレイ上に投影される。形状は複雑な形をしているものの基本的には球状で、半径がインテンシティ、角度が周波数に対応する (Fig. 4)。

子どもから大人まで楽しめる展示であったが、特に大人については声のどのような成分が物体の何に対応するのか説明を求めるケースが目立った。

#### 3.2 ボイス・アナライザー

ボイス・アナライザーは、基本的にサウンド・スペクトログラムによるいわゆる「声紋分析」を行うものである (Fig. 5)。このスペクトログラム分析では、「いろいろな声」の展示で登場した歌手や声優の声を分析することも可能であると同時に、来場者の声を録音し分析することも可能である。母音区間や子音区間など分析結果の見方の解説を一緒に展示し、必要に応じてスタッフが説明を追加することで、大人の来場者にも興味を持ってもらったようである。

また、同じ声優が地声 (大人の声) で発声した場合と、子どもの声で発声した場合の分析結果を比較できるようにも工夫した。その結果、同じ話者でも大人と子どもの声の違い

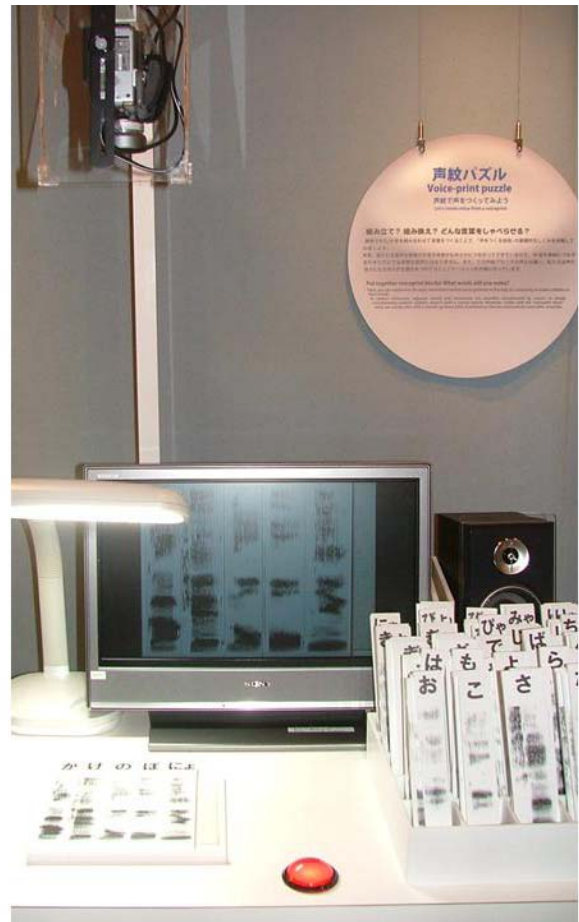


Fig. 6 声紋パズル

を体感できるようになっている。

#### 3.3 声紋パズル

声紋パズルの展示は、日本語 101 モーラに対応するスペクトログラムの素片を組み合わせ、任意の言葉を作り、デジタル・パターン・プレイバック [5,6] の技術を使って再び音声に再合成するものである。Fig. 6 にその全貌を示す。写真の右下は、モーラごとのスペクトログラムの素片である。それらを組み合わせ、それを写真の左上にあるカメラで捉えている。カメラから得た画像情報はそのまま写真中央下にあるモニタディスプレイに映し出され、写真下の赤いボタンを押すと繋がれた PC 上で画像情報が音声信号に変換され、直後にスピーカから音声が出てくる。

もともとデジタル・パターン・プレイバックのアルゴリズムでは一定の基本周波数で音声信号に変換されるため、不自然な音声となる。さらに、自然な音声は調音結合によっ



て前後の音素が滑らかに連結されている。しかし、この声紋パズルでは1モーラ内での調音結合はスペクトログラムに反映されているものの、該当するモーラの前後の環境の影響は考慮されない。その結果、さらなる不自然さが合成音声に加わることになる。

それにも関わらず、パズル感覚で並べて自分の好きな言葉をしゃべらせることが可能なことから、特に子どもたちに人気が高かったようである。また、隣にボイス・アナライザーがあり、スペクトログラムに少なからず触れてからこの声紋パズルをトライするケースも多く、その連携が来場者の理解を助けていたようである。

#### 4 おわりに

ソニー・エクスプローラサイエンスにて行われた声に関する企画展について、監修の際に工夫した点などを中心に紹介した。このような科学の基礎を展示する際、声道模型のような物理模型と、声紋パズルのような参加型の展示、そしてそれをサポートするPCや電子機器などをうまく組み合わせることによって、より魅力のある展示が行えることを今回の企画展監修でも改めて再認識した。また、来場者が必ずしも各々の展示にじっくり向き合うとは限らないので、解説パネルをつけても展示だけでは十分理解できないことも多い。せっかく声道模型の展示に足を留めて操作をしてくれても、何がどうなっているのか分からない来場者もいたということなどを考えると、その裏に潜む科学的な背景を理解してもらうためには、タイムリーなスタッフの声かけなどが大事であることを実感した。

今回「声のしくみ」の展示では、従来の声道模型に加えて女性用も試作して男女の比較を行ったり、スピーカから出力される任意の音源信号と組み合わせ、1本の声道模型を数種の音源で駆動できるようにしてみたりと新たな工夫を行った。「声紋パズル」では、デジタル・パターン・プレイバックの技術を応用し、1モーラのスペクトログラム素片を組み合わせて任意の言葉を再生できるようにした。「音を見る」という観点からはどの程度子どもにとっての理解に貢献できたか分からないが、「スペクトログラムの模様が(たとえ不

自然な音声であっても)音に変換されて聞こえてくる」という体験は、予想以上に子どもたちには面白かったようだ。

さらなる工夫を施すことによって、声に関する展示もより発展するものと期待されるが、今回の企画展で取り入れた新たな工夫もその一歩となるであろう。

#### 謝辞

本企画展にあたり、立案・展示制作・運営に携わったソニー・エクスプローラサイエンスの皆様、特に挾間雅行様、他スタッフメンバーに感謝申し上げます。また、デジタル・パターン・プレイバックのプログラム準備に協力いただいた上智大学理工学部荒井研究室の安啓一さんにも感謝申し上げます。

内容の一部は日本学術振興会の科学研究費補助金(19500758)、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] Arai, T., "Education system in acoustics of speech production using physical models of the human vocal tract," *Acoust. Sci. Tech.*, 28(3), 190-201, 2007.
- [2] Chiba, T. and Kajiyama, M., *The Vowel, Its Nature and Structure*, Tokyo-Kaiseikan, Tokyo, 1942.
- [3] Stevens, K. N., *Acoustic Phonetics*, MIT Press, Cambridge, 1998.
- [4] Boersma, P., "Praat, a system for doing phonetics by computer," *Glott International*, 5:9/10, 341-345, 2001.
- [5] 荒井隆行, 安啓一, 後藤崇公, "デジタル・パターン・プレイバック," 音講演, 429-430, 2005.9.
- [6] Arai, T., Yasu, K. and Goto, T., "Digital pattern playback: Converting spectrograms to sound for educational purposes," *Acoust. Sci. Tech.*, 27(6), 393-395, 2006.