

## …平成17年度助成研究より…

# 「音」に興味を抱かせる 声道模型教材の開発

上智大学 理工学部 電気・電子工学科

助教授 博士（工学）

**荒井 隆行**

### 1. はじめに

近年、子供たちの理科離れが叫ばれているが、意外と身近なところに科学的な好奇心を満たす話題は転がっているものである。例えば言葉の獲得は、ヒト（特に子供）にとって重要なことであるし、子供のときから、多かれ少なかれ「音」に対する興味を持っているのではあるまいか。声を作り出すメカニズムは比較的単純に示すことが可能であり、その割にかなりインパクトの強い現象である。にもかかわらず、音声の生成に関する教材は極めて少なく、あっても一部の博物館において展示されているに過ぎない。

そこで、多くの子供たちに「声の不思議」に触れてもらい、音に興味を抱かせる声道模型教材や音響教育プログラムを開発したいと考えようになった。最近ではコンピュータの発達により、コンピュータ・シミュレーションに基づく教育も盛んになってきている。そのような中、あえて物理模型を用いた「ハンズオン」の実験を通して、子供たちに「なぜだろう?」「すごい!」という新鮮な驚き（＝好奇心）を感じて欲しいと考えた。

### 2. 母音研究と声道模型

～ Chiba & Kajiyama ～

近代の音声科学における母音研究は、意外にも日本からスタートしている。60年以上前、千葉・梶山（1942）は「母音」を音声学という立

場からだけではなく、その生成と知覚に関して生理学、物理学、心理学の各方面から論じ、それを英文で出版している（図1）。当時としては先端であったX線による測定などを駆使して、声道の形状を3次的に捉えることに成功。その形状からスペクトルや共鳴周波数を計算したり、電気回路モデルを導入したりしている。

さらに彼らは、測定した声道形状に基づいて声道模型を製作した。残念ながら、戦争のため

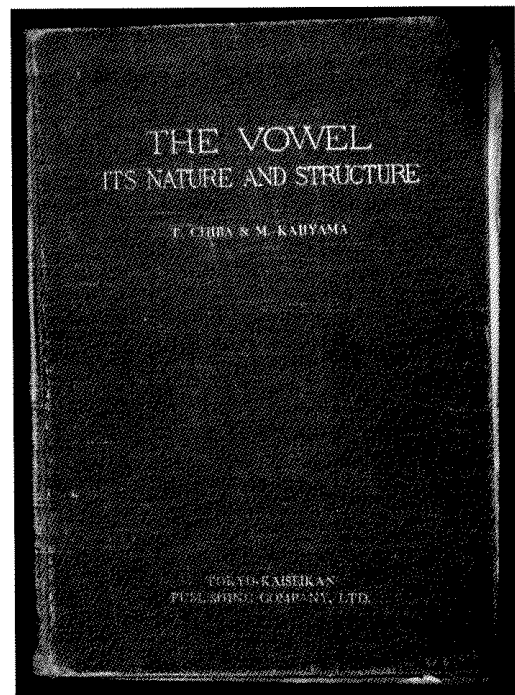


図1 T. Chiba and M. Kajiyama, The Vowel : Its Nature and Structure, Tokyo-Kaiseikan, 1942. (この写真は、MITのKenneth N. Stevens教授が所有する第1版。)

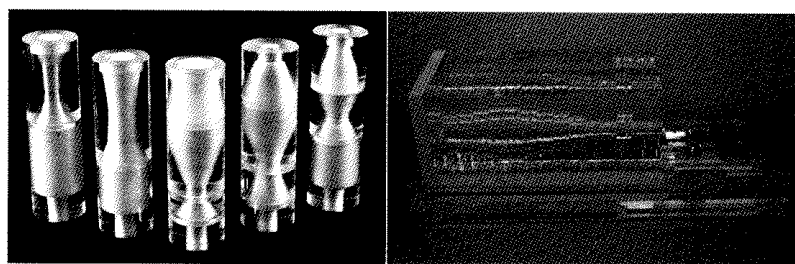


図2 T. Arai (音声研究, 5 : 31-38, 2001) のモデル 左：筒型の声道模型（日本語5母音の声道模型で、1模型で1母音に対応。Chiba & Kajiyama (1942) の測定結果より復元。）右：プレート型の声道模型（中央に異なる大きさの穴が開いたプレートを組み合わせて使用。組み合わせによって中の空洞の形状を任意に変化させることができ、無限の調音が可能。）

そのオリジナル模型は残っていないようであるが、我々は2001年に彼らの測定結果に基づき声道模型を復元した。図2の写真は左が筒型、右がプレート型の声道模型である。音源として電気喉頭や笛式の人工喉頭などを用いることによって、人間の発するような母音を生成することができる。千葉・梶山 (1942) の復元である「筒型」が注目されがちであるが、学習者が自分で並べ替え可能な「プレート型」の模型も、実際に音を聞きながら理論を体感できると評価されている。

### 3. 声道の形状が母音の韻質を決める

異なる母音 (/a/, /i/, /u/, /e/, /o/ など) は、声道の形状を変えることによって作り出され

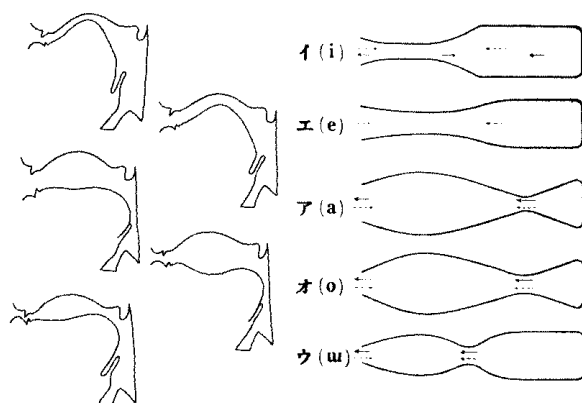


図3 日本語5母音の声道断面図とその形状に対する模式図 (Chiba & Kajiyama (1942) より、一部改変)

る。図3に、日本語5母音の声道断面図とその形状に対する模式図を示す。/i/と/e/の場合には前腔 (図の左側に相当する) に狭めが存在し、それに比べて後腔である咽頭腔 (図の右側に相当する) が大きくなっている。/i/では前腔に強い狭めが存在すると同時に後腔が広い。/e/は/i/に似ているが、前腔が/i/よりも広い。一方、/a/は後腔に狭めが存在すると同時に、口唇側の開口部が比較的開いている。/o/では/a/と同様、後腔に狭めが存在するが、口唇側の開口部は比較的細い。/u/は声道の中央付近に狭めがあると同時に、口唇側の開口部も細くなっている。

### 4. 声道模型教材の活用と発展

我々は既に千葉・梶山 (1942) の声道形状測定に基づく声道模型を製作し、国内外における大学の授業などに使用することで教育効果を実証してきた。その中で、専門的に学ぶ方々だけでなく、もっと幅広く活用できないものかという思いが深まってきた。幸い、Arai (2001) の声道模型は、2004年から静岡科学館に展示されることとなり、子供たちに“見て、聴いて、触って”もらう機会を得た。展示は「人間の発声メカニズム」を意識し、声道模型と笛式人工喉頭 (音源)、そしてふいごを組み合わせ、空気を送って音を出す仕掛けになっている (図4)。

私は、わくわくしながら開館したばかりの科学館を訪れた。

春休み中ということもあり、館内は子供たちであふれていたが、残念ながら声道模型の展示スペースは人影もまばらであった。子供たちは適当に押ししてみるものの、思うように音が出ない。何だか分からないままに通り過ぎて行く。私は思わず声をかけて、見本を示しながらふいごの押し方をアドバイスしてみた。すると少年の目が輝いた！そばにいた父親も近寄ってきて「あれ～、今、何て聞こえた？」などと親子で会話をしながら、次々と音を出していく。音が人を呼ぶせいもあるのだろう、たちまちコーナーは子供たちでいっぱいになり、今度は私が驚く番であった。

そのとき、改めて子供はすごいなあと思った。少しヒントを与えるだけで根気強くトライするようになり、明らかに何かを感じてくれているようであった。幼児期、児童期は興味を持った



図4 「静岡科学館る・く・る」に展示されているArai (2001) のモデル

ことをまねしたり、繰り返したりしながら様々なことを習得していく。まだ耳が敏感な時期でもあるので、良い音質が実現できることの重要性や、正しい使い方ができるように適宜援助する必要性を実感した。的確なサポートをしつつ、あとは子供の自主性や好奇心を尊重しながら工夫した使い方ができると良いと思った。

現在、「実態に近くて、(専門的に学ぶ人のみならず) 誰にでも親しみやすい教材を」ということで、直線的な形状の声道模型を頭部形状型に発展させたり、肺の模型と併用したりと、改良を加えている(図5)。「小さな肺の模型」は以前から知られていたものであるが、「声道模型と組み合わせる」というアイデアをきっか



図5 左：頭部形状の声道模型(実際の形状がイメージしやすい。) 中・右：肺の模型(風船を使って肺の機能を模擬。発声における呼吸の働きを体得できる。) 発声のデモンストレーションは次のURLでご覧いただけます：[http://www.splab.ee.sophia.ac.jp/Vocal\\_Tract\\_Model/](http://www.splab.ee.sophia.ac.jp/Vocal_Tract_Model/)

けに、実際に教育の現場で活用してくださる方が増えている。ペットボトルと風船で手軽に作れることが人気の理由のようだ。「大きな肺の模型」は広い会場でも聴衆から見やすく、適度な長さの発声を作り出すことも可能なので、講義や講演をする時に重宝している。

開発・製作にあたっては様々な葛藤がある。例えば、リアリティを出すために「本物そっくり」を目指すのか、仕組みを単純に再現できる「シンプルさ」を優先させるのか。精巧で複雑な模型は完成度こそ高いものの、逆に「複雑でないとその音は生成できないのだ」という印象を与えてしまう恐れがある。無駄を省いた素朴な模型の方が、かえって本質を突いていたりする。複雑 vs. 単純。立派 vs. 手軽。音質の良さ、見栄え、安全性、耐久性、コスト、運搬や操作の容易さ、技術的な問題などに加え、教材としての分かりやすさ、面白さ、発達段階に応じた教育カリキュラムを考慮することも大切になってくる。

## 5. おわりに

大学の教員も最近、専門教育だけに留まらず、オープンキャンパスなどで高校生を対象に体験授業をしたり、公開講座などで一般の方向けに講演をしたりする機会が増えてきた。他大学の先生方にお話を伺うと、声道模型も意外とそのような場でお役に立っているようである。模型で実際に音を出しながら（可聴化）、同時に視覚的にメカニズムを捉えられ（可視化）、直感的に仕組みを理解できる。気軽に「音声生成のメカニズム」に触れてもらうことが可能となる。

もともとは、私自身が大学で教えるにあたり「こんな教材が欲しいなあ」というところに端を発した研究であった。それが大きく枝を広げ始めた今、それぞれの模型の利点を活かし目的に応じて使い分けることで、カスタマイズされた教育プログラムが生まれていく。夢が広がる毎日である。

最後に、本研究に対して助成を賜りました(財)サウンド技術振興財団に心より感謝申し上げます。