

### 1. はじめに

我々は過去にいくつかの声道模型を製作し、それらが音声生成のメカニズムを説明する上で音響教育的に効果があることを確認している[1-6]。Arai (2001) は千葉・梶山 (1941) による声道形状測定[7]に基づいて、パイプ型およびプレート型の声道模型を製作した[1]。そこでは音源として、電気喉頭ならびに笛式人工喉頭を使用した。また、任意の音源信号を声道模型に入力するため、ホーンスピーカのドライバユニットを使用し、アンプを介して信号発生器や PC などから信号を与えることも行っている。また、梅田・寺西 (1966) による声道模型[8]を用いて、やはりドライバユニットを使って様々な音源信号を入力し、教育の現場で使用してきた[9]。

本稿では、今までの声道模型を生かしながらさらなる補強を行うことを目的として、新たに肺の模型と頭部模型とを開発したので紹介する。

### 2. 肺の模型

笛式人工喉頭を音源に用いる場合、呼気を吹き入れるなど気流を与える必要がある。直接、口から呼気を与えることも可能であるが、その様子は見方によっては「声そのもの」を入力しているようにも見え、教育的にも誤解を与えかねない。そこで、ふいごによって得られる気流を用いることが考えられる。

さらに、より発声のメカニズムを模式的に教えるには、Fig. 1 に示すような肺の模型を用いることが有効である。Fig. 1 は、大きな肺のモデル (左2つ) と小さい肺のモデル (右2つ) を示している。どちらの場合も、胸郭を模擬する密閉された容器の中に Y 字管と2つの風船があり、容器の底部には横隔膜を模擬するゴム膜が張られている。

Y 字の二又部分に接続された風船は肺を模擬しており、他方の一端は容器の上部か

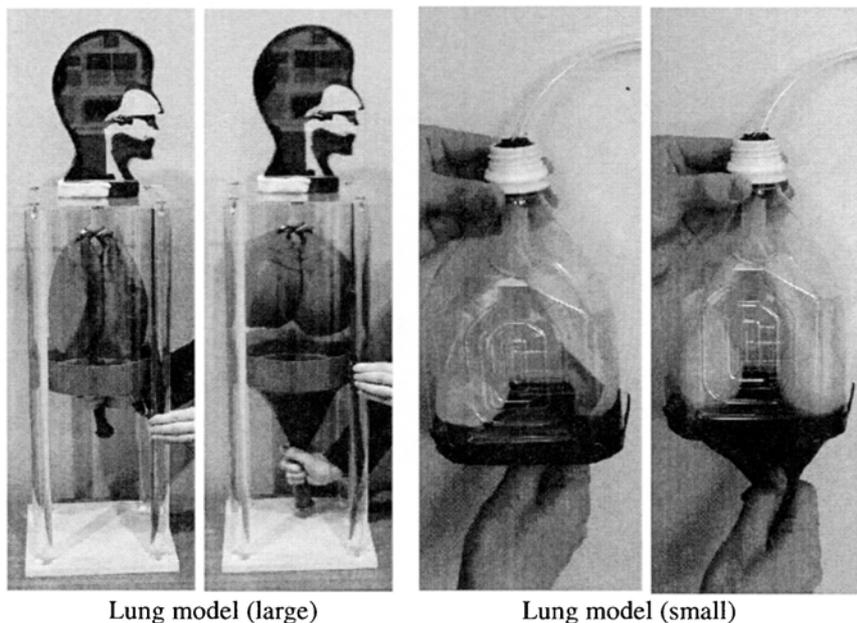
ら外に出て、笛式人工喉頭に接続されている。

横隔膜 (ゴム膜) を引き下げると胸郭 (容器) 内の気圧が陰圧になり、肺 (風船) が膨らむ。これは吸気を模擬しているが、この期間には笛式人工喉頭の振動膜は励振しない。一方、横隔膜を押し上げると胸郭内が陽圧になり、肺から空気が押し出される。この呼気が人工喉頭の振動膜を震わせ音源となり、その先に声道模型を接続することによって音声が発せられる。

### 3. 頭部模型

Arai (2001) や梅田・寺西 (1966) では、声道の断面積関数に重点が置かれ、声道はまっすぐと引き伸ばされた音響管として実現された。しかしその声道模型を目にしても、「それが人間の頭部の中で実際にどのように湾曲して構成されているのか」を想像することは、学習者にとってたやすいことではない。

そこで、Fig. 2 に示すような頭部模型を製作した。これらの模型はいずれも、5枚の亚克力板から出来ており、特に中央の黒い板 (厚さ 10 mm) は母音の正中矢状断面に基づいている。その中央の板の両脇には、透明な板 (厚さ 30 mm) が貼り合わされている。



Lung model (large) Lung model (small)  
Fig. 1: Lung models (exhalation on the left and inhalation on the right within each pair). The head-shaped models are set on the top of the large lung models.

\*Lung Model and Head-shaped Model with Visible Vocal Tract as Educational Tools in Acoustics.

By Takayuki Arai (Sophia Univ., Tokyo, Japan)

この板は、妥当な声道断面積関数を実現するために設けられており、必要に応じて穴が開けられている。さらに外側には透明な板（厚さ 10 mm）で覆われていて、声道形状が外部からも見られるようになっている。

ところで、この模型には簡略化された鼻腔も設けられている。軟口蓋は硬いゴムで出来ており、軟口蓋と硬口蓋の境界付近を軸に軟口蓋部が上下に回転するようになっている。これが弁のように働くことで鼻咽腔結合が実現され、鼻音化母音も作り出すことが可能となっている。

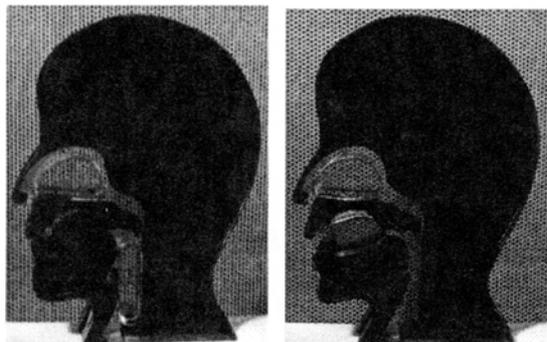


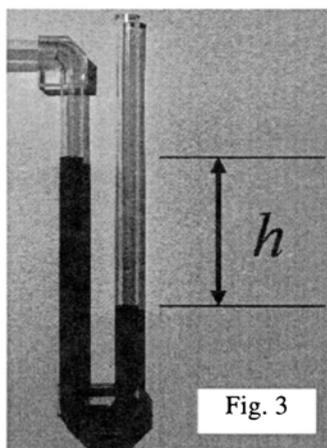
Fig. 2: Head-shaped models with vocal tract and simplified nasal passage: /i/ (left) and /a/ (right)

#### 4. 各模型の改良

肺の模型と頭部模型はそれぞれにおいて教育現場で大きな教育的効果をもたらすことを確認した [10]。ここでは、さらなる改良を試みた。

##### 4.1 肺の模型で声門下圧を可視化

大きい肺の模型において、胸郭を模擬する容器の一部に穴を開け、そこに Fig. 3 に示すような U 字の管を取り付けた。そして、その U 字管に水を満たすことで、胸郭内の気圧、つまりは声門下圧を cm H<sub>2</sub>O を単位として可視化することを行った。発声には  $h = 6-10$  cm H<sub>2</sub>O が必要であるが、ここで用いた笛式人工喉頭も同程度の気圧で励振するので、学習者に発声に必要な声門下圧を体験してもらえるようになった。



##### 4.2 口腔形状を手で変えられる頭部模型

Fig. 2 の頭部模型は母音ごとに模型を取り替え

なければならない。また、学習者に声道形状による音の変化を教えるには、梅田・寺西モデルのように学習者が自らの手で声道形状を変えられることが望ましい。そこで、口腔形状が可変の頭部模型を製作した。その結果、母音ごとに模型を交換する必要がなくなるばかりでなく、学習者自らが自分の手で音声生成のダイナミクスを学び取ることが可能となった。

#### 5. おわりに

本稿では、音響教育教材として肺の模型と頭部模型の両者を紹介した。これらの教材は、従来から我々が提案してきた声道模型（Arai のモデルや梅田・寺西モデル）と併用することにより、音声の生成機構を学ぶ優れた教材となる。そして、これらを系統的に扱うことによって、音声分野のみならず、音楽や言語障害、そして発音教育などの分野にも広く応用され得るものとなる。本研究の一部は、科学研究費補助金（A-2, 16203041）の助成を受けて行った。

#### References

- [1] T. Arai, "The replication of Chiba and Kajiyama's mechanical models of the human vocal cavity," *J. Phonet. Soc.*, Vol. 5, No. 2, pp. 31-38, 2001.
- [2] T. Arai et al., "Prototype of a vocal-tract model for vowel production designed for education in speech science," *Eurospeech*, Vol. 4, pp. 2791-2794, 2001.
- [3] 荒井隆行, "「より直感に訴える音響教育」を音声科学に取り入れるには," 日本音響学会春季研究発表会講演論文集, Vol. 2, pp. 1219-1220, 2002.
- [4] T. Arai, "An effective method for education in acoustics and speech science: Integrating textbooks, computer simulation and physical models," *Forum Acusticum Sevilla*, 2002.
- [5] T. Arai, E. Maeda, N. Saika and Y. Murahara, "Physical models of the human vocal tract as tools for education in acoustics," *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 112, p. 2345, 2002.
- [6] 荒井隆行, 前田絵理, "音声科学における声道模型を用いた音響教育," 日本音響学会音響教育調査研究会資料, Vol. EDU 2003-05, pp. 1-5, 2003.
- [7] T. Chiba and M. Kajiyama, *The Vowel: Its Nature and Structure*, Tokyo-Kaiseikan Pub. Co., Ltd., Tokyo, 1942.
- [8] 梅田規子, 寺西立年, "声の韻質と声質: 音響的声道模型による音声の合成," 日本音響学会誌, Vol. 22, No. 4, pp. 195-203, 1966.
- [9] 荒井隆行, 前田絵理, 梅田規子, "梅田・寺西による声道模型を用いた音響教育," 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, Vol. 1, pp. 341-342, 2003.
- [10] T. Arai, "Education in Acoustics using physical models of the human vocal tract," *Int'l Congress on Acoustics*, Vol. III, pp. 1969-1972, 2004.