

# 軟らかい舌による声道模型教材\*

○荒井隆行（上智大・理工）

## 1 はじめに

Arai (2001) [1]では、Chiba and Kajiyama (1942) [2]による声道模型を透明なアクリル素材で復元し、音響教育における教材として有効であることを示している。それ以来、特に音声科学の分野において、このような声道模型が幅広く教育目的に利用されるべきとの観点から、我々は教材開発を続けてきた[3-12]。

Arai (2001) [1]は、Chiba and Kajiyama (1942) [2]の測定した声道形状から、それを再現した筒型の模型と、それを階段近似し直径の異なる穴の開いた複数の板を並べることによって任意の声道形状を実現するプレート型の模型を提案している。声道形状と出力される音の関係を容易に理解することができることから、Arai の声道模型は有益な教材と言える。

頭部の内部で声道がどこに位置しているかを可視化することを目的に、我々の教育システムではいくつもの頭部形状模型を開発してきている[3,11,12]。それらは主に、舌固定式と舌可動式に分けられる。両者に共通した大きな目標として、

- 1) 外から舌の形が見えること、
- 2) 実際に母音が生成できること

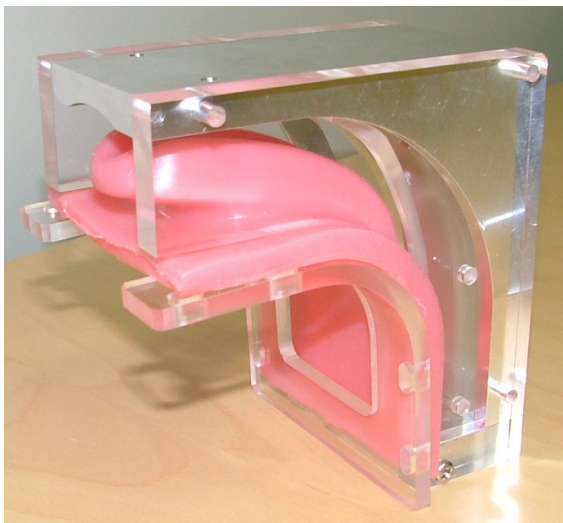


Fig. 1 Physical model of the human vocal tract with a gel-type tongue.

というのがあった。第1の目標について、透明のアクリル板を使うことで外からでも舌の形状が見えるようにした。第2の目標については、各母音に対して妥当な断面積関数になるような3次元形状を実現した。

舌固定式の頭部形状模型では声道形状は固定されているので、異なる母音ごとに異なるモデルを準備しなければならない。舌可動式の場合、学習者が舌の位置を変えることで1つのモデルでも様々な声道形状を変えることができ、音声生成のダイナミクスをより理解できるようになる[3,11,12]。文献[3,11,12]で述べた舌可動式模型の舌は、アクリル、ゴム管、フェルトなどからできており、両側の透明アクリル板の間に舌を挟んでスライドさせながらその位置を変えられるようになっていた。

本稿では、この舌可動式モデル[3]をさらに発展させ、ゲル素材による軟らかい舌を用いた声道模型教材[13]を紹介する (Fig. 1 参照)。この声道模型は[14]などとは違い、手で操作できる。

## 2 ゲル素材を用いた軟らかい舌

Fig. 1 に示す模型は、ゲル素材の部分、透明アクリルの部分、不透明の金属部分から出来ている (Fig. 2)。ゲル素材の部分は舌、口腔の底から咽頭前壁に対応している。一方、

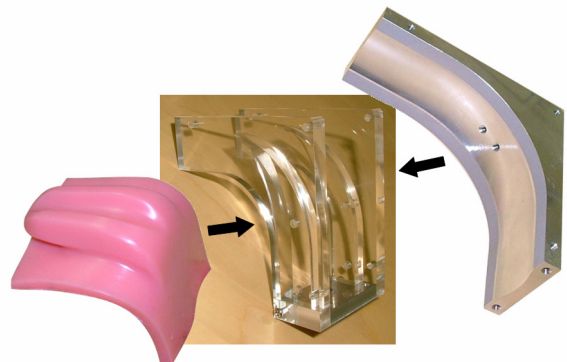


Fig. 2 The model consists of the gel part, the transparent part with acrylic plates, and the non-transparent part with metal.

\* Vocal tract model with flexible tongue as an education tool, by ARAI, Takayuki (Sophia University).

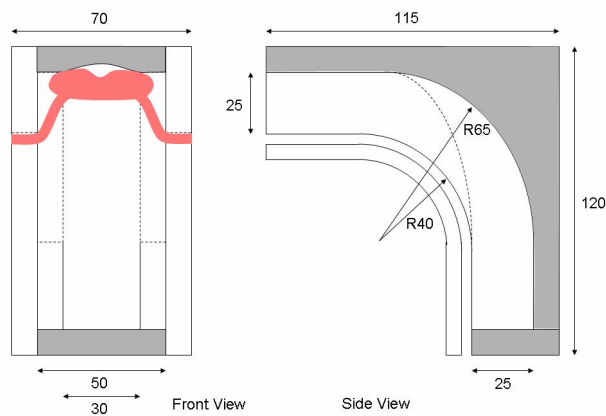


Fig. 3 The dimensions of the proposed vocal-tract model (the unit is in mm).

透明部分は口腔の両側壁に、金属部分は口蓋と咽頭後壁に対応している。用いたゲル素材は、ポリエチレン・スチレン共重合体である。ゲルの硬度については、硬度4と15（共にアスカ-C硬度）と、異なる2つの硬度で製作を行った。以下の実験では、軟らかさがより人間に近く操作し易い硬度4のものを用いた。Fig. 3に声道模型の寸法を示す。

提案するモデルでは必ずしも舌全体が復元されているわけではなく、機能性や操作性の観点からゲル素材で実現されているのは主に舌尖から舌根までの舌上面が中心である。その結果、舌の下側から手で舌を操作することが可能となり、声道内の狭窄の位置を前後・上下に比較的楽に移動することができるようになった。

Fig. 4は、母音/i/, /a/, /u/のときの写真である。母音/i/の場合、舌が硬口蓋に接している（Fig. 4の左）。舌上面には半円（直径が約13 mm）の溝が中心線に沿って設けられている。舌が

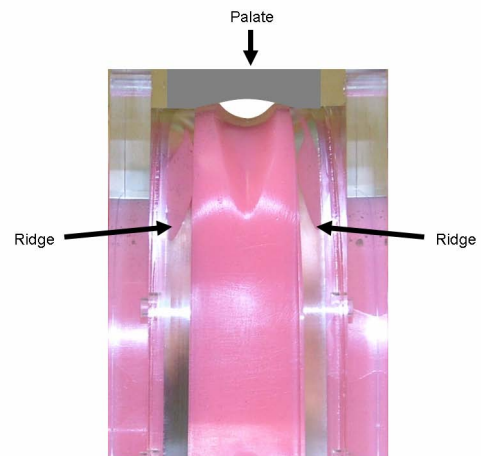


Fig. 5 The model from the back side when producing vowel /i/ (the rear panel is temporarily removed).

高い位置にあるとき、口蓋と舌が接すると溝が長さ約50 mmの狭窄となり、母音/i/を作る。この場合、音波は狭窄部のみを通り、舌の側方から漏れてはならない。そこで、Fig. 5のような隆起部を両側に設けている（この図では後壁を一時的に外し後ろから見ている）。母音/i/よりも狭窄が狭くない場合、/e/が作られる。母音/a/の場合、舌体が低く舌根（の表面）が後方に押されている（Fig. 4中央）。母音/u/では、声道が屈曲する辺りで舌が押し上げられている（Fig. 4の右）。

このモデルの場合、舌と口腔の底は一体化しているので、Fig. 4のように両者は一緒に動く。舌が高い位置にありながら、口腔の底が低い位置に留まるような形状はこのモデルで実現することは難しいが、実際に母音を発する際にそのような形状になることはあまりなく、両者が一体に動くことは特に問題ないものと考えられる。

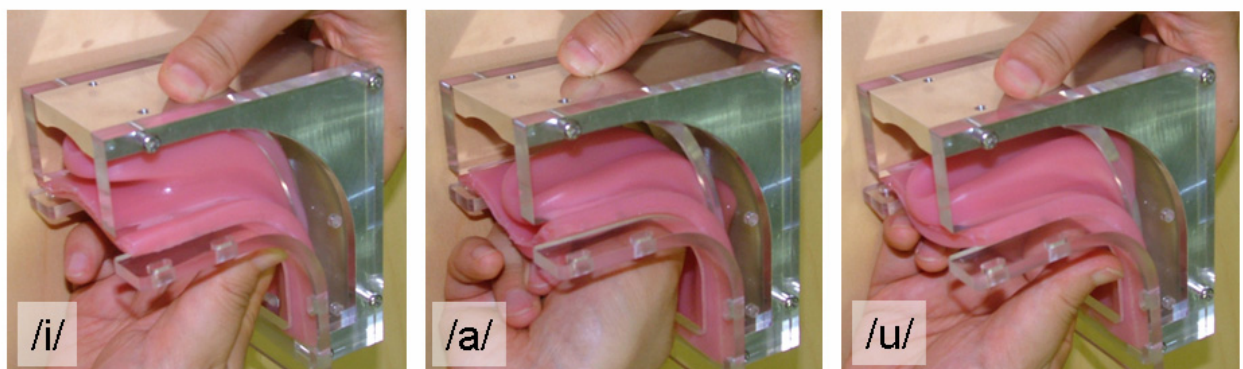


Fig. 4 How to produce different vowels; /i/ (left), /a/ (middle), and /u/ (right).

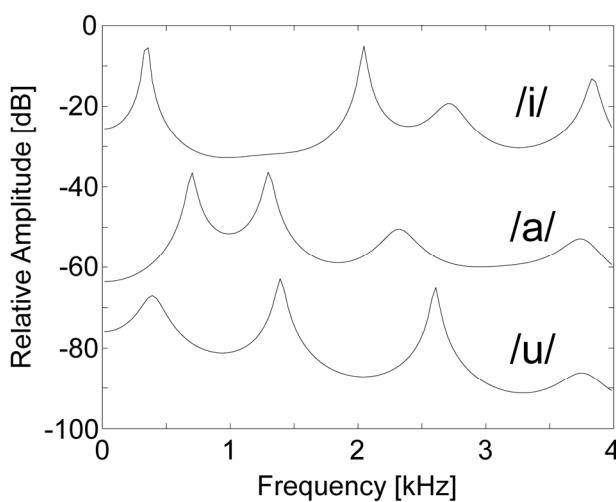


Fig. 6 Measured spectra for vowels /i/, /a/, and /u/.

### 3 考察

提案する模型は、今までの我々の声道模型教材[3]と同様、側面が透明なので、声道内の狭窄の位置、そして声道全体の形状を目で確認することができると同時にその形状がもたらす音を確認することができる。その結果、学習者が直感的に母音の韻質と狭窄の位置と

の関係を理解するのを助ける。

この模型は、子どもに対する科学教室でも活躍した。2007年10月に国立科学博物館にて開催された「音の科学教室 -音のふしぎ・声をつくろう-」でこの模型を用いた音声生成のデモンストレーションを行った。その結果、参加した小学校高学年を中心とする子ども達の興味を引くと同時に、舌がどこの位置にあると「ア」になるか、あるいは「イ」になるかなどを実演する際、大いに威力を発揮した。

子どもを含め、学習者に舌の位置を示すと同時に、母音らしい「音」を提示するためには、生成される音のスペクトルも母音らしくなくてはならない。Fig. 6に、母音/i/, /a/, /u/のスペクトル包絡を示す。このスペクトル包絡は、音源として笛式人工喉頭[3]を用い、生成音を口唇端から約20 cmの位置に置いたマイクロフォンを介して、USB デジタル・オーディオ・インターフェース (SE-U33GX, Onkyo) を用いて収録した (標準化周波数は 16 kHz)。スペクトル分析には、Hamming 窓の後、20次の線形予測分析を用いた。この図を見ると分かるように、低次のフォルマントがはっきり現れていることがわかる。

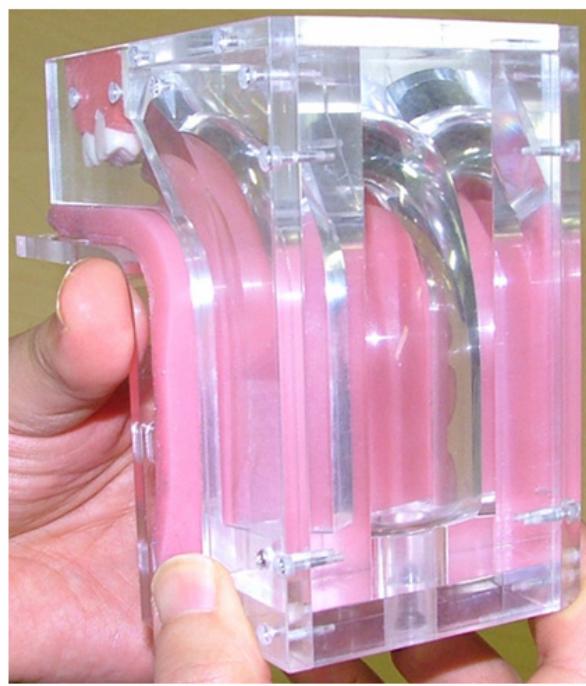
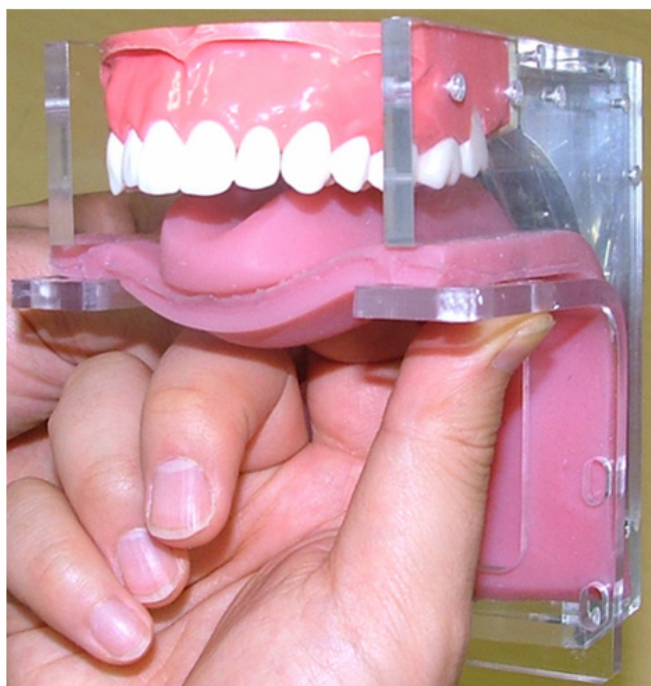


Fig. 7 Another type of the vocal tract model with a gel-type tongue.  
This model has teeth and the back wall is transparent.





Fig. 8 Vocal-tract model with a gel-type tongue mounted in a head-shaped model.

#### 4 おわりに

我々が今まで開発してきた声道の物理模型を用いた教育システムの一環として、ゲル素材による軟らかい舌による声道模型教材を紹介した。この模型を用いることによって、学習者は舌の位置を手で操作しながらいろいろと変えることができ、目と耳で確認しながら母音生成を理解することができる。この模型のバリエーションの1つとして、歯が付いて後壁が透明なものを Fig. 7 に示す。これにより、学習者がより口腔内の様子を理解できるようになると同時に、後方からも舌の様子を確認することができるようになる。

この声道模型では、操作性を考慮したため、舌全体が忠実に再現されているわけではないが、教育上必要な程度に舌が再現され、かつより良い操作性を追及することは今後の課題である。

#### 謝辞

本研究の一部は日本学術振興会の科学研究費補助金 (16203041, 17500603, 19500758), 文部科学省私立大学学術研究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」から助成を得た。

#### 参考文献

- [1] Arai, *Journal of the Phonetic Society of Japan*, 5(2), 31-38, 2001.
- [2] Chiba and Kajiyama, "The Vowel, Its Nature and Structure," Tokyo-Kaiseikan, 1942.
- [3] Arai, *Acoust. Sci. Tech.*, 28(3), 190-201, 2007.
- [4] Arai, *Proc. of the Forum Acusticum Sevilla*, 2002.
- [5] Arai *et al.*, *Proc. of the First Pan-American/Iberian Meeting on Acoustics*, 2002.
- [6] 荒井, 音講論 (春), 1219-1220, 2002.
- [7] 荒井, 前田, 日本音響学会音響教育調査研究委員会資料, EDU-2003-08, 1-5, 2003.
- [8] Arai, *Proc. of the International Congress of Phonetic Sciences*, 1, 305-308, 2003.
- [9] Arai, *Proc. International Congress on Acoustics, III, 1969-1972*, 2004.
- [10] Arai, *J. Acoust. Soc. Am.*, 118(3), Pt. 2, 1862, 2005.
- [11] 荒井, 音講論 (春), 273-274, 2005.
- [12] Arai, *Acoust. Sci. Tech.*, 27(2), 111-113, 2006.
- [13] Arai, *Acoust. Sci. Tech.*, 29 (2), 2008.
- [14] 榊原他, 音講論 (秋), 341-344, 2007.
- [15] 荒井, 音講論 (春), 2008.