

◎薄木信幸（上智大・理工），吉田道子（上智大・外国語）。

Hasan A. Alwi (Univ. Kebangsaan Malaysia ie), 荒井隆行, 村原雄二（上智大・理工）

1. はじめに

以前から我々は母音生成における音響学的な現象の理解を助けるために、アクリル板を用いた音響管による母音の声道模型を作成し、実際に音響教育の現場で教材として使用してきた^{[1],[3]}。

本報告では、その声道模型を用いて Perturbation 理論から導かれるフォルマント周波数の変位を実験的に確認する。

2. 声道模型

声道模型は、古くは Von Kempelen によって作られた機械式音声合成器があげられる^[4]。また、研究や実験のための声道模型としては実験室レベルで実現されている他、教材としては博物館の展示などの目的で存在するが^{[5][6]}、教材として教室で手軽に使えるものは少ない。そこで我々は、音響教育の講義などに用いることを目的として、透明なアクリル板で声道模型を作成した^{[1][2]}。声道模型の設計に関しては、Chiba and Kajiyama^[7]をもとに声道断面積を近似している。アクリル板1枚の大きさは100mm×100mm、厚さ10mmで中心に径の異なる円形状の穴が開いており、13~17枚程度並べることでくり抜かれた円形状の穴が音響管を形成する。この声道模型の声門側に音源信号を入力することによって、母音が生成される。

3. Perturbation 理論

Perturbation 理論を用いると、音響管の狭めによるフォルマント周波数の変化を予測できるなど、母音生成の理解に役立つ。Stevens^[8]や荒井ら^[9]にあるように、声道内の狭めの位置によって各フォルマントが変位する様子は、式(1)で表される。

$$\Delta W_n = -\frac{1}{4}|P_m|^2 \frac{\Delta l \Delta A}{\rho c^2} \cos \frac{4\pi F_n x}{c} \quad (1)$$

ここで、

$F_n = [(2n - 1)/4]c/l$: フォルマント周波数、

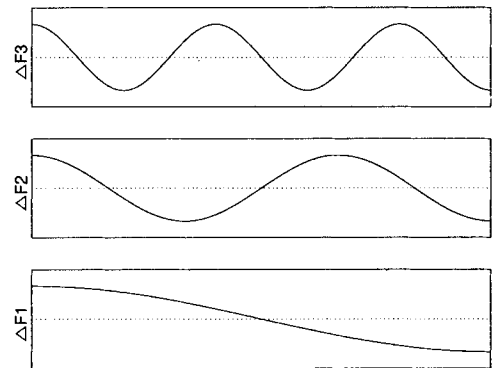
P_m : 最大音圧、 ΔA : 微小断面積、 l : 微小長さ、

ρ : 空気密度、 c : 音速

である。

式(1)の第1フォルマント、第2フォルマント、第3フォルマントに対してプロットしたものを図1に示す。図1から、単一音響管内の狭めが第1フォルマント、第2フォルマント、第3フォルマントの周波数に、どのような影響を及ぼすか予測することが

できる。波形が、基準線(点線)より上側にある場合、その位置での狭めがフォルマント周波数を高くする。また波形が、基準線(点線)より下側にある場合、その位置での狭めがフォルマント周波数を低くすることを表す。例えば、口唇付近の狭めは3つのフォルマントをすべて低くし、喉頭付近の狭めは3つのフォルマントをすべて高くする。狭めが声道を移動するのにもなって、各フォルマント周波数は高域側、あるいは低域側に变化する。



口唇(右側)からの狭めの位置

図1. Perturbation 理論による各フォルマントの変位

4. 測定

4.1 測定方法

本報告では、声道模型を用いて Perturbation 理論を体験できることを確かめる。その声道模型による単一音響管モデルと音響管内に狭めのある様子を図2に示す。まず音響管の直径26mmの穴の開いたアクリル板を17枚並べた単一音響管モデル(長さ:170mm)を対象に測定した(cf.図2(a))。次に、口唇側から、直径26mmの穴の開いたアクリル板を直径10mmの穴の開いたアクリル板に交換し、狭めの箇所を作った(cf.図2(b))。この狭めの位置を口唇側から順番に移動(cf.図2(c), (d))させることで、狭めの位置が異なる17種類の音響管に対して測定した。

4.2 環境

測定は上智大学荒井研究室の防音室で行った。声道模型の声門側に音源(SECOM, マイボイス)を入力し、声道模型の口唇側の出力をマイクロフォン(SONY, ECM-23F)、パーソナルコンピュータ

* Usefulness of a mechanical model of the human vocal tract for education in speech science -- Perturbation theory in vowel production

By Nobuyuki Usuki, Michiko Yoshida (Sophia Univ.), Hasan A. Alwi (Univ. Kebangsaan Malaysia ie), Takayuki Arai and Yuji Murahara (Sophia Univ.)

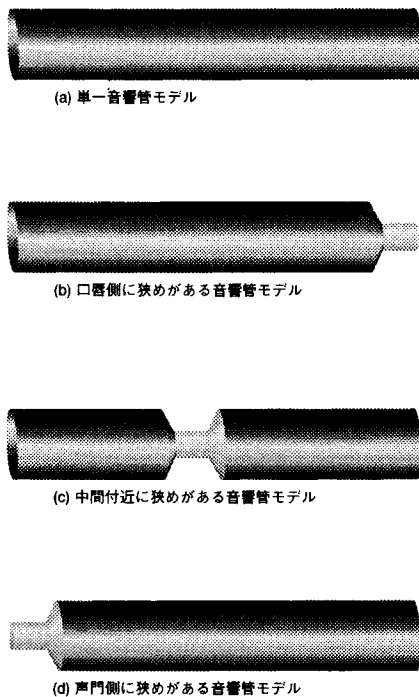


図 2. 単一音響管と狭めのある音響管の外形

(TOSHIBA, Dynabook SS) を用いて、16bit、8kHz サンプル、モノラルで収録した。声道模型とマイクロフォンの距離は 14cm とした。

4.3 フォルマント分析

声道模型による合成音に対して 16 次の LPC 分析を行い、第 1 フォルマント、第 2 フォルマント、第 3 フォルマントをそれぞれ求めた。単一音響管を基準とし狭めの位置を変えることで、第 1 フォルマント、第 2 フォルマント、第 3 フォルマントがどのように変化するのか調べた。

5. 結果

単一音響管と狭めの位置が異なる 17 種類の声道模型から得られた第 1 フォルマント、第 2 フォルマント、第 3 フォルマントの変位の様子を図 3 に示す。図中の点線は、単一音響管モデルから得られた第 1 フォルマント (531Hz)、第 2 フォルマント (1438Hz)、第 3 フォルマント (2421Hz) である。

図 3 の横軸は、声道模型における狭めの位置を表し、右側が口唇側、左側が声門側に対応する。声道模型を用いた場合でも、口唇付近に狭めがあるときは、第 1 フォルマント、第 2 フォルマント、第 3 フォルマントすべての周波数が低くなり、喉頭付近に狭めがあるときは第 1 フォルマント、第 2 フォルマント、第 3 フォルマントすべての周波数が高くなっていることが分かる。

このように、第 1 フォルマント、第 2 フォルマント、第 3 フォルマントの変位の様子は、理論値 (図

1) と類似した結果が得られたが、変位の値は単一音響管の場合から得られる基準線に比べて低い結果が得られた。

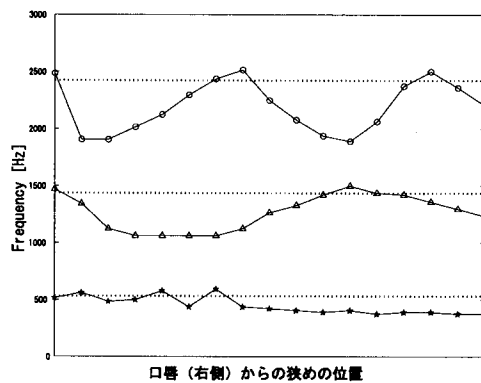


図 3. 狭めの位置による各フォルマントの変位

6. まとめ

本報告では、以前に音響教育のために作成したアクリル板による声道模型の有効性について、特に、音声生成における音響学の理解に必要な不可欠な Perturbation 理論について実験を行い考察した。その結果、Perturbation 理論で言われているような声道内の狭め位置によってフォルマント周波数が変化する様子を実際に確認することができた。このことから、以前に作成した声道模型が音響的な理論を裏付けるものであり、この声道模型は音響教育に有効であることが分かった。今後、この声道模型をさらに幅広く多くの人々に触れてもらい、音響教育の向上を目指したい。

参考文献

- [1] 薄木, 荒井, 村原, “母音生成に対する音響教育を目的とした声道模型の作成,” 日本音響学会講演論文集, pp. 399-400, Mar. 2001.
- [2] T. Arai, N. Usuki and Y. Murahara, “Prototype of a Vocal-Tract Model for Vowel Production Designed for Education in Speech Science,” *Proc. of Eurospeech*, 2001.
- [3] T. Arai, “The Replication of Chiba and Kajiyama’s mechanical models of the human vocal cavity,” *J. Phonetic Soc. Japan*, Vol. 5, No. 2, August. 2001.
- [4] B. Gold and N. Morgan, *Speech and Audio Signal Processing*, John Wiley & Sons, pp.9-10, 2000.
- [5] 浜松科学館, <http://www.kagakukan.city.hamamatsu.shizuoka.jp/tenji/index.html>
- [6] Vocal Vowels, http://www.exploratorium.edu/exhibits/vocal_vowels/vocal_vowels.html
- [7] T. Chiba and M. Kajiyama, *The Vowel: Its Nature and Structure*, Tokyo-Kaiseikan Pub. Co., Ltd., Tokyo, 1941.
- [8] K. N. Stevens, *Acoustic Phonetics*, The MIT Press, Cambridge, 1998.
- [9] 荒井隆行, 菅原 勉 監訳, 音声の音響分析, 海文堂出版, pp.15-36, 1997.