

Title	MRIデータを用いた軟口蓋の測定と声道音響モデルへの適用に関する研究について
Author(s)	朴, 永男
Citation	
Issue Date	2006-09
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/2038
Rights	
Description	Supervisor:赤木 正人, 情報科学研究科, 修士

修 士 論 文

MRIデータを用いた軟口蓋の測定と声道音響
モデルへの適用に関する研究

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報処理学専攻

朴 永男

2006年9月

修 士 論 文

MRIデータを用いた軟口蓋の測定と声道音響
モデルへの適用に関する研究

指導教官 赤木 正人 教授

審査委員主査 赤木 正人 教授

審査委員 党 建武 教授

審査委員 鷗木 祐史 助教授

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報処理学専攻

310086 朴 永男

提出年月: 2006 年 8 月

概要

発話器官の一つである軟口蓋は鼻音化音声は勿論、非鼻音化音声の生成においても重要な役割を担っている。非鼻音化音声、特に有声破裂子音のバズ区間では、軟口蓋は閉じていても鼻孔から放射音が存在し、それは放射音の大きな割合を占めているのが実測定から明らかになった。このように、非鼻音化音声の生成において、軟口蓋は閉じていても有限の機械インピーダンスを持つ粘弾性体なので口腔内音圧によって振動する。そして、その振動によって口腔と鼻腔が音響的に結合している。そこで、自然度が高い音声を合成するには、音声生成の音響モデルに軟口蓋の音響モデルを導入すべきである。非鼻音化音声における軟口蓋の働きを説明するために軟口蓋の二層の振動板モデルが提案されている。しかし、現在の軟口蓋の振動板モデルには、生理学的検証が不足している問題が存在する。そして、子音区間での口腔内圧によって変化する軟口蓋の受動的な状態(軟らかさ)の変化は定式化し、取入れているが、母音区間での母音ごとに異なる軟口蓋の伝達特性の原因である軟口蓋の能動的な変化についてはまだ分析が行っていない。現実に近く、軟口蓋の音響特性がよく説明できる軟口蓋の振動板モデルを構築するために、本研究では、MRIムービーデータを用いて軟口蓋の厚さと軟口蓋の長さ(閉鎖時の硬口蓋とつながる部位から咽頭壁にいたるまでの範囲)を計測した。その計測結果から、軟口蓋の厚さは母音(子音の場合には後続母音を指す)の種類によって異なることが分かった。そして、軟口蓋の長さの計測結果を用いて軟口蓋の有効振動面積を求めた。以上の生理学的な計測結果を用いて軟口蓋の音響パラメータの中のインダクタンスを直接求めた。さらに、その結果に基づいて軟口蓋の各音響パラメータを推定した。最後に、新たに構築した軟口蓋の振動板モデルを音声生成の音響モデルに導入して5つの母音を合成した。シミュレーションの結果から、今回構築した軟口蓋の振動板モデルは非鼻音化母音区間の軟口蓋の音響特性を良く説明できた。

目次

第1章	序論	1
1.1	はじめに	1
1.2	本研究の背景	1
1.3	本研究の目的と手法	3
1.4	本論文の構成	3
第2章	軟口蓋の振動板モデル	5
2.1	はじめに	5
2.2	軟口蓋の振動板モデル	5
2.2.1	軟口蓋の等価回路	5
2.2.2	軟口蓋の振動板モデルのパラメータ	6
2.3	利点と問題点の分析	7
2.4	おわりに	7
第3章	MRI データを用いた軟口蓋の測定	9
3.1	はじめに	9
3.2	MRI ムービーデータ	9
3.3	軟口蓋の厚さの測定	9
3.3.1	軟口蓋の厚さの測定方法	9
3.3.2	軟口蓋の厚さの計測結果について	10
3.3.3	母音区間での軟口蓋の厚さの計測結果の分析	10
3.3.4	子音区間での軟口蓋の厚さの計測結果の分析	13
3.4	軟口蓋の振動面積の推定	13
3.5	考察	17
3.6	おわりに	19
第4章	声道音響モデルへの適用について	22
4.1	はじめに	22
4.2	軟口蓋の振動板モデルの音響パラメータの推定	22
4.2.1	軟口蓋の音響パラメータ L	22
4.2.2	音声分析合成法による軟口蓋の音響パラメータの推定	23

4.3	シミュレーションとその結果	25
4.4	おわりに	25
第5章	結論	33
5.1	本論文のまとめ	33
5.2	今後の展望	34

目 次

2.1	軟口蓋の振動板モデル:(a) 軟口蓋の機械モデル,(b) 軟口蓋の音響モデル...	8
3.1	軟口蓋の厚さの測定位置図	11
3.2	最初の母音区間の軟口蓋の厚さの測定結果	12
3.3	2番目の母音区間の軟口蓋の厚さの測定結果	12
3.4	母音区間の軟口蓋の厚さの測定結果	14
3.5	最初の子音区間の軟口蓋の厚さの測定結果	15
3.6	2番目の子音区間の軟口蓋の厚さの測定結果	15
3.7	子音区間の軟口蓋の厚さの測定結果	16
3.8	軟口蓋の振動部分の略図	18
3.9	母音区間の鼻孔放射音の大きさ	19
3.10	子音区間の鼻孔放射音の大きさ	20
3.11	被験者 Y の /ga/ を発話時の正中断面 MR 画像	21
4.1	音声生成モデル (文献 [3] による)	24
4.2	実音声の口唇放射と鼻孔放射音のスペクトル: (a) 母音 /a/ (b) 母音 /i/ (文献 [15] により)	26
4.3	合成音声 /i/ の口唇放射のスペクトル	27
4.4	合成音声 /i/ の鼻孔放射音のスペクトル	27
4.5	合成音声 /a/ の口唇放射のスペクトル	28
4.6	合成音声 /a/ の鼻孔放射音のスペクトル	28
4.7	合成音声 /u/ の口唇放射のスペクトル	29
4.8	合成音声 /u/ の鼻孔放射音のスペクトル	29
4.9	合成音声 /e/ の口唇放射のスペクトル	30
4.10	合成音声 /e/ の鼻孔放射音のスペクトル	30
4.11	合成音声 /o/ の口唇放射のスペクトル	31
4.12	合成音声 /o/ の鼻孔放射音のスペクトル	31
4.13	合成音の音圧レベル	32

表 目 次

2.1	軟口蓋の音響パラメータと機械パラメータの関係	6
2.2	軟口蓋の音響パラメータの値	6
3.1	軟口蓋の長さ (短径 d)	17
3.2	軟口蓋の有効振動面積	17
4.1	軟口蓋の音響パラメータ L (単位: g/cm^4)	23

第1章 序論

1.1 はじめに

音声は人間の間の最も基本的な情報伝達の手段である。文字による情報伝達は記録性において音声より優れているが人間の相互間の情報の交換において音声は他の手段にない特徴を持っている。音声の特徴は、他の手段より速いことや、他の仕事と並列的に処理できることや豊富な情報などが含まれていることなどである。音声の情報には大別して2種の情報内容が含まれている。一つは意味内容に関する情報で、話し手の意志や指示を伝えるための基本的な言語情報である。もう一つは発声者に関する情報、発声者の性別、年齢や、発声時の感情、気分など種々のパラ言語情報が含まれる。このような音声の特徴を十分利用するため、人間の音声生成、知覚機能を工学的手法で実現しようとする。

音声生成において、音は発話器官の各部位から放射される。例えば、鼻子音の場合には鼻孔から放射される。鼻音化音声の場合には、口唇と鼻孔の双方から放射される。非鼻音化音声においても、口唇のみならず鼻孔や声道壁からも放射される。このような発話器官の各部位からの放射音は言語音声に様々な音色を与えている。自然度が高く、個人情報豊富な音声を作成するためには、各部位からの放射音の音響特性と各発話器官の放射機構を研究する必要がある。

1.2 本研究の背景

従来の音声生成の音響モデルでは、軟口蓋は鼻音化音声と非鼻音化音声の場合、ONとOFFの二状態のスイッチで切替えられるものとされている。実際の調音過程は単なる切替えではない。鼻音化音声においては、鼻音化の度合により軟口蓋の開口面積が連続的に変化している。非鼻音化音声の場合、口腔と鼻腔の間隔の一部である軟口蓋は有限の機械インピーダンスを持つ粘弾性体なので閉鎖していてもそのインピーダンスによって口腔と鼻腔が音響的に結合する。音声生成の声道音響モデルを改善するために、口腔と鼻腔の間の音響結合を考慮することが必要である。Mollらは鼻子音と母音及び非鼻音化子音などをいろいろ組み合わせた短文を発話する時の軟口蓋の調音過程を高速映画フィルムで撮影して調べた [1]。

現実に近い軟口蓋の音響モデルを構築するため、我々は非鼻音化母音、有声破裂子音及び鼻音化音声の三つの側面から軟口蓋の働きを考察した [15]。我々は非鼻音化音声を発声するときの口唇放射、鼻孔放射と咽頭壁放射を分離して収録し、同時に各放射部位付近の

声道壁の振動加速度を観測した。これらの放射音と振動量の関係を調べた。非鼻音化母音における軟口蓋の働きを推定するために、口唇放射と鼻孔放射を母音の調音特徴と結び付け、この場合の鼻孔放射を軟口蓋の振動による口腔と鼻腔との音響結合として考察する。軟口蓋の解剖学的な特徴を考慮した上で軟口蓋をバネとダッシュポットでつながる二枚の板としてモデル化し、口唇放射と鼻孔放射の関係をを用いて軟口蓋の振動板モデルのパラメータを推定した。シミュレーションの結果から、軟口蓋の振動板モデルを用いて非鼻音化母音における音響放射特性を良く説明できた。

非鼻音化子音、特に有声破裂子音区間では口腔内圧が大幅に変化している。この変動による軟口蓋の状態がどのように変化しているかを鼻孔放射と口腔内圧の関係をを用いて推定した。推定結果では、有声破裂子音区間では軟口蓋の軟らかさが変化しており、この変化には受動的な成分と能動的な成分があることを示した。軟口蓋の受動的な変化を定式化して、軟口蓋の振動板モデルに導入した。さらに、従来の有声破裂子音区間における咽頭腔容積の測定結果に基づいて、咽頭腔容積の能動的な増大を定式化して、有声破裂子音の音響モデルを作成した。有声破裂子音を発声する時、鼻腔の音響的な結合の効果について聴取実験を行ったところ、このモデルで合成した音声は実音声とほぼ同じ結果を示した。

鼻音化音声の考察では、口腔内音圧と放射音の関係をを用いて、軟口蓋の開口面積の等価インピーダンスの関係を考察した。さらにそれらの関係をを用いて軟口蓋の等価開口面積率を推定した。

上述の三つの側面での考察結果をまとめて、党らは連続音声における軟口蓋の音響モデルを提案した。そのモデルでは、非鼻音化音声の場合には軟口蓋は有限のインピーダンスを持つ振動板として働き、鼻音化音声の場合には鼻音化の度合いにより軟口蓋の開口面積が連続的に変化する。鼻音化の度合いが小さい場合には軟口蓋の開口面積による結合が軟口蓋の振動による結合と同時に働く。

党と本多 [17] は口腔内音圧と鼻腔内音圧を測定し、それらの音圧を用い、非鼻音化母音、鼻音化母音、及び鼻子音における口腔から鼻腔への軟口蓋部の伝達特性を求め、軟口蓋の音響特性を検討した。その結果、非鼻音化音声母音、鼻音化母音、鼻子音における軟口蓋部の伝達特性が異なり、狭母音と広母音との違いで大別できることが分かった。狭母音と広母音の軟口蓋部の伝達特性が異なるのは軟口蓋が発話時に状態を変化させることを示していると推測したが、形態的な分析は行われていない。

このように、鼻音化音声にはもちろん非鼻音化音声に関連する発話器官の一つである軟口蓋の研究は数多く行われてきた。しかし、今までの軟口蓋に関する研究はほとんど発話器官の各部位からの放射音による音響的な分析しか行っていない。それらの分析結果には生理学的な検証が含まれていない。そして、発話時の軟口蓋の能動的な働きについても分析されていない。

1.3 本研究の目的と手法

本研究の背景で示した通り、非鼻音化音声における軟口蓋の音響特性には口腔内音圧によって振動する特性と発話時に起きる軟口蓋の自身の状態変化によって伝達特性が変わる特性がある。このような非鼻音化音声における軟口蓋の音響特性を説明するために軟口蓋の振動板モデルが提案されているが、現在の軟口蓋の振動板モデルには生理学的な検証が不足している問題や軟口蓋の受動的状態の変化(軟口蓋の軟らかさ)は定式化できたが、軟口蓋の能動的な状態の変化については分析が行われていない問題がある。そこで本研究では、音響特性がよく説明でき、現実に近い軟口蓋の音響モデルを構築することを目的とする。その他にも、音響的な分析で解明できなかった軟口蓋の調音運動の実態についても分析する。

目的を達成するために、本研究では発話時の被験者三名のMRIムービーデータを用いた生理学的分析法を用いて、軟口蓋の音響特性に影響を与える形状学的要素、すなわち、軟口蓋の振動板モデルの音響パラメータに直接関連する軟口蓋の以下の二つの要素について計測する。

1. 発話時の軟口蓋の厚さを計測する。軟口蓋が閉鎖した場合、軟口蓋の密度と振動面積を一定値と仮定すると、軟口蓋の厚さは軟口蓋の有効質量と正比例する。そのため、発話時に軟口蓋の厚さが厚くなると軟口蓋の振動部分の有効質量が大きくなって、振動しにくくなる。逆に、軟口蓋の厚さが薄くなると軟口蓋の振動部分の有効質量が小さくなって、振動しやすくなる。このように、軟口蓋の厚さは軟口蓋の振動に影響を与える重要な要素の一つである。そこで、本研究では、破裂子音と母音からなる連続音素系列を発話する際に収録した被験者三名のMRIムービーデータを用いて軟口蓋の厚さを計測する。軟口蓋の厚さの計測結果を大きく子音区間と母音区間に分けて分析する。さらに、軟口蓋の厚さと鼻孔放射音の相関関係を考察する。
2. 軟口蓋の長さを計測する。軟口蓋の有効振動面積は軟口蓋の振動板モデルの幾つかの音響パラメータに関わっている重要な要素の一つである。そのため、有効振動面積を正確に求める必要がある。そこで、本研究では軟口蓋の有効振動部分を楕円として考え、その楕円の短径に当たる軟口蓋の長さをMRIデータから直接測ることにする。その時、楕円の長径については経験値4cmを用い、軟口蓋の有効振動面積を求める。

以上の結果を用いて軟口蓋の音響パラメータの一つである軟口蓋のインダクタンスを直接求める、その結果に基づいて、音声分析合成法で軟口蓋の振動板モデルの他の音響パラメータを推定する。最後に、新たに構築した軟口蓋の振動板モデルを声道音響モデルに導入して、シミュレーションを行う。

1.4 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す。

第1章 本研究が掲げる目標に対する研究背景と問題点を挙げ、本研究の意義と目的を述べる。

第2章 先行研究で提案した非鼻音化音声における軟口蓋の二層の振動板モデルについて説明する。そして、その軟口蓋の振動板モデルの利点と問題点などについて明らかにする。

第3章 発話時の被験者三名のMRIデータを用いて、軟口蓋の厚さを計測する。そして、その結果を分析し、鼻孔放射音との関係などを分析する。その他、軟口蓋の長さを計測し、軟口蓋の有効振動面積を推定する。

第4章 軟口蓋の厚さと軟口蓋の長さの計測結果に基づいて、軟口蓋の振動板モデルの音響パラメータ L を求める。さらに声道音響モデルを用いた分析合法で他の音響パラメータを推定する。最後に新たに構築した軟口蓋の振動板モデルを声道音響モデルに導入してシミュレーションを行う。

第5章 本研究で明らかになったことと今後の展望について述べる。

第2章 軟口蓋の振動板モデル

2.1 はじめに

非鼻音化音声を発声するとき、鼻孔からも音が放射される。それは軟口蓋が閉じていても有限の機械インピーダンスを持つ粘弾性体なので、口腔内音圧によって振動するためである。党 [15] らは、口腔内音圧によって振動する軟口蓋の音響特性について、粘弾性体からできている軟口蓋をバネとダッシュポットでつなげる二枚の振動板としてモデル化した。本章では、党ら [15] が提案した非鼻音化音声における軟口蓋の振動板モデルについて分析し、そのモデルの利点と問題点について明らかにする。そして、問題点の解決のために用いた本研究の手法などについて述べる。

2.2 軟口蓋の振動板モデル

2.2.1 軟口蓋の等価回路

軟口蓋が閉じた場合、前の部分は硬口蓋と繋がり、後の部分は咽頭壁に密着している。党ら [15] は、この場合の軟口蓋の筋肉板は円形に近いと考え。簡略化のため円板と仮定した。さらに、この円盤は咽頭壁にはまり、周辺はバネで支えられ、機械抵抗が存在し、上下に振動すると仮定した。

軟口蓋はある厚さをもつ粘弾性体なので、口腔内音圧が軟口蓋に力を加える時、鼻腔側の面は口腔側の面と全く同じく動かない。そこで、軟口蓋を図 2.1(a) のような二枚の板の複合でモデル化した。一枚ごとの単位面積あたりの質量、機械抵抗及びステイフネスを軟口蓋の単位面積あたりの質量 M 、機械抵抗 R_m 及びステイフネス K_m の半分にして、それぞれ m 、 r_m 、 k_m で表わす。二枚の板の間に挟まれている粘弾性体は、弾性ステイフネス k_{m0} と粘性抵抗 r_{m0} の並列接続として表わされる。 F は軟口蓋に口腔側から加わった力で、 v_1 と v_2 はそれぞれ軟口蓋の口腔側の面と鼻腔側の面の速度である。それに対応する軟口蓋の音響等価回路は図 2.1(b) のようになる。

音圧を P 、軟口蓋の面積を S 、体積速度を $U_i (i=1,2)$ とすれば、軟口蓋の各音響パラメータは表 2.1 のように機械パラメータを用いて表わされる。

表 2.1: 軟口蓋の音響パラメータと機械パラメータの関係

音響パラメータ	機械パラメータとの関係
R	r_m/S
C	S/k_m
L	m/S
R_0	r_{m0}/S
C_0	S/k_{m0}

2.2.2 軟口蓋の振動板モデルのパラメータ

我らは [15]、軟口蓋の振動板モデルのパラメータの推定には、声道音響モデルによる音声合成法で、上述の機械パラメータ値を現実でありそうな範囲で変化させ、合成した音声の放射量とスペクトルが実音声のそれと合うような値を求めた。手がかりとする音声サンプルとしては、口唇放射が小さく鼻孔放射が大きい/i/と口唇放射が大きく鼻孔放射が小さい/a/を選んだ。軟口蓋の面積は 4cm^2 とし、単位面積あたりのステイフネス $K_m(=2k_m)$ 声道壁と同じ $8.45 \times 10^4 \text{dyne/cm}^3$ と仮定した。声道壁のステイフネスの測定値はいくつかあるがここでは値の小さい方(すなわち、軟らかい方)を選んだ。軟口蓋の密度は人体の平均密度とほぼ同じ 1g/cm^3 であると仮定した。まず、500Hz 以下の帯域で、合成音声の鼻孔放射音の大きさを実音声に合わせるよう、軟口蓋の単位面積あたりの質量 $M(=2m)$ を 0 から 1 の間で変えてみたところ、 0.15g/cm^2 が最適であった。次に 300Hz 付近の鼻孔放射と口唇放射の相対的な大きさについて、合成音声/i/を実音声と同じく鼻孔放射量が口唇放射量より 4dB 程度小さくなるようにすると、単位面積あたりの機械抵抗 $R_m(=2r_m)$ は $50\text{g/s}\cdot\text{cm}^3$ となった。さらに、/a/と/i/の 2000Hz 付近の音響特性を用いて、合成音を実音声と同じく鼻孔放射が口唇放射より約-25dB 小さくなるようにして、弾性ステイフネス k_{m0} は $2.01 \times 10^5 \text{dyne/cm}^3$ と粘性抵抗 r_{m0} は 400g/s/cm^2 となった。このような機械パラメータを音響パラメータに変換すると次のようになった。

表 2.2: 軟口蓋の音響パラメータの値

R	6.25g/s/cm^4
C	$9.47 \times 10^{-5} \text{cm}^4 \text{s}^2/\text{g}$
L	1.875×10^{-2}
R_0	100g/s/cm^4
C_0	$1.99 \times 10^{-5} \text{cm}^4 \text{s}^2/\text{g}$

2.3 利点と問題点の分析

党 [15] らは、構築した軟口蓋の振動板モデルを音声生成の音響モデルに導入して、シミュレーションを行った。5つの母音を合成した結果、構築した軟口蓋の振動板モデルは、非鼻音化母音区間の軟口蓋の働きをよく表わし、非鼻音化母音における鼻孔放射を軟口蓋の振動による口腔と鼻腔の音響的結合の結果として説明できることが分かった。しかし、幾つかの問題点が残っていた。当時には、発話時の軟口蓋の動的特性と変形が観測できる技術的な手段が足りなかったため、軟口蓋の振動板モデルのパラメータは音響的な分析から推定したものであった。そのため、推定したパラメータには生理学的な検証が不足している。そして、発話時の軟口蓋の能動的な変化についても分析が行われていなかった。

発話器官の動的な特性の観測手段として、X線マイクロビームシステムと Electromagnetic Articulograph(EMA), 及び MRI ムービーなどがある。はじめの二つの方法は動的な特性がよいが、発話器官上の離散的なポイントしか観測できない。MRI ムービーでは発話器官の全体像が観測できる。特に最近で開発された3次元のMRI ムービーによりあらゆる角度で発話器官の動きと変形を観測できる。

本研究では、発話時のMRI ムービーデータを用いて、鼻孔放射音の振幅に関わる軟口蓋の厚さ(有効質量)に着目して計測する。そして、軟口蓋の軟組織の幅(閉鎖時の軟口蓋の長さ)を計測して、軟口蓋の振動面積についても考察する。それらの結果を用いて軟口蓋の音響パラメータ L を直接求める、

2.4 おわりに

本章では、非鼻音化音声における従来の軟口蓋の振動板モデルについて説明した。そのモデルは軟口蓋の振動はよく説明できたが、生理学的検証が不足している問題点が存在した。それらの問題点を解決するために、本研究では、発話時のMRI ムービーデータを用いて先行研究とは違う角度から軟口蓋の状態について分析する。軟口蓋の厚さ等の計測結果から、軟口蓋の音響パラメータ L が求められる。さらに、先行研究などで分析できなかった軟口蓋の厚さ等の状態の変化を分析し、軟口蓋の音響モデルに取入れることを試みる。

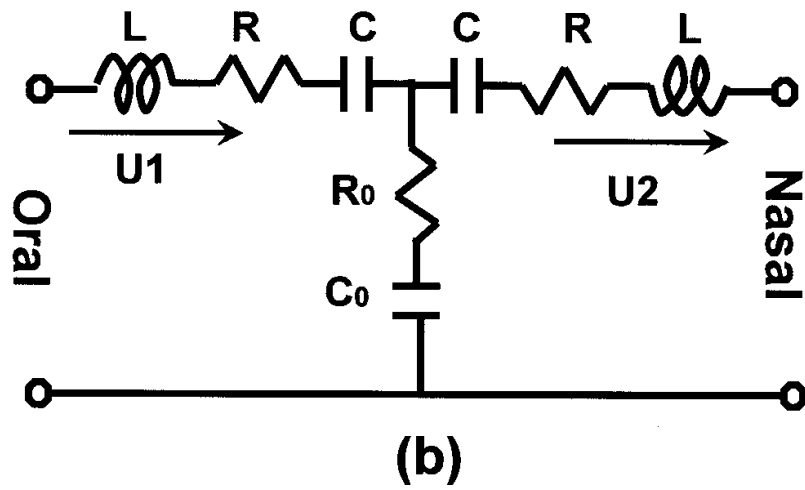
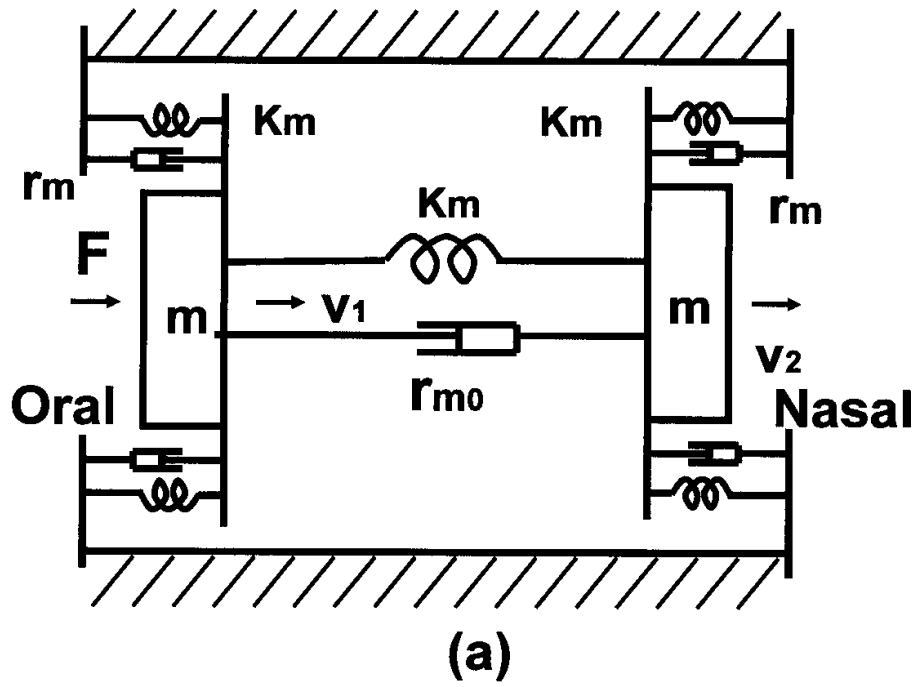


図 2.1: 軟口蓋の振動板モデル:(a) 軟口蓋の機械モデル,(b) 軟口蓋の音響モデル.

第3章 MRIデータを用いた軟口蓋の測定

3.1 はじめに

発話器官の動的な特性の観測手法としてMRIムービーがある。MRIムービーでは発話器官の全体像が観測できる。3次元のMRIムービーによりあらゆる角度で発話器官の動きと変形を観測することが可能となった。本研究では、破裂子音と母音からなる無意味な連続音素系列CVCVの発話時に記録したMRIムービーデータを用いて、軟口蓋の音響パラメータ L に直接関連する軟口蓋の厚さと軟口蓋の振動面積を直接あるいは間接的に計測することにする。そして、発話時における軟口蓋の厚さの変化が軟口蓋の音響特性に与える影響を考察するために、軟口蓋の厚さと鼻孔放射音との関係を考察する。

3.2 MRIムービーデータ

軟口蓋の厚さの測定には健常な日本人男性三名(Y、N、Y)の発話時におけるMRIデータを用いることにする。それに対応する音声資料は日本語の破裂子音と母音からなる無意味な連続音素系列/baba/、/bibi/、/bubu/、/bebe/、/bobo/、/gaga/、/gigi/である。破裂子音と母音からなる連続音素系の音声資料を用いた理由は非鼻音化音声区間では軟口蓋が閉じていても鼻孔からの放射音が存在し、特に破裂子音区間では鼻孔からの放射音をもっとも大きいからである。

被験者は上記の七つの音素系列をそれぞれトリガーに合わせて繰り返して発話する際に、1秒間65枚のフレームで正中矢状断面と1cmずらした傍矢状断面を同時に収録した。各音素系列に対して正中矢状断面と傍矢状断面をそれぞれ録画した。MRIムービーデータ分析するために"IMAGEJ"というフリーソフトを用いる。

3.3 軟口蓋の厚さの測定

3.3.1 軟口蓋の厚さの測定方法

軟口蓋の正中断面図から観察できるように軟口蓋の厚さは各部位によって異なっている。本研究では、有効に軟口蓋の厚さを測定するために、硬口蓋とつながる部位の厚さ

h_1 と口蓋垂部分の厚さ h_2 を計測して、それらの平均厚さ h を求める。このように一つの連続音素系列の軟口蓋の閉鎖区間に属する各スライスの平均厚さ h を求める。結果については、CVCV の四つの区間に分けて各区間の平均値を求めて、その平均値をその音素区間での軟口蓋の厚さとする。このような操作を各連続音素系列、各被験者に対して行う。

3.3.2 軟口蓋の厚さの計測結果について

各被験者、各音素区間の軟口蓋の厚さの結果について、大きく子音区間と母音区間に分けて以下の三つの項目の内容に着目して詳しく分析を行う。

- 同じ音素における被験者ごとの軟口蓋の厚さの個人性について
- 同じ連続音素系列の前後の子音区間、あるいは母音区間での厚さについて、たとえば、連続音素系列の最初の子音区間と 2 番目の子音区間での軟口蓋の厚さの関係について、あるいは最初の母音区間と 2 番目の母音区間での軟口蓋の厚さの関係について
- 音素ごとの軟口蓋の厚さの変化について、たとえば、同じ子音に対する後続母音の変化による軟口蓋の厚さの変化、あるいは、異なる子音に対する同じ後続母音区間での軟口蓋の厚さの関係について

3.3.3 母音区間での軟口蓋の厚さの計測結果の分析

被験者三名の最初の母音区間と 2 番目の母音区間の軟口蓋の厚さの測定結果について図 3.2 と図 3.3 に示す。最初の母音区間と 2 番目の母音区間の軟口蓋の厚さの計測結果を上記の項目の内容に従って詳しく分析した。その結果、

- 同じ音素において軟口蓋の厚さは被験者ごとに異なっており、被験者 N の軟口蓋の厚さが最も大きくなっていることが分かった。この結果から、軟口蓋の厚さには個人差があることが分かった。
- 同じ音素系列における二つの母音区間では軟口蓋の厚さはほぼ一致する。被験者三名とも同様な結果が見られている。
- 異なる子音に対する同じ母音区間の軟口蓋の厚さはほぼ一致した。たとえば、/gi/ の母音 /i/ での軟口蓋の厚さと /bi/ の母音 /i/ での軟口蓋の厚さはほぼ同じであった。そして、同じ子音に対する異なる後続母音の種類による軟口蓋の厚さの変化は被験者三名ともほぼ一致した。

被験者三名とも同じ連続音素系列の最初の母音区間と 2 番目の母音区間での軟口蓋の厚さの計測結果が同じであることから、二つの区間の平均値を求め、母音区間の軟口蓋の厚

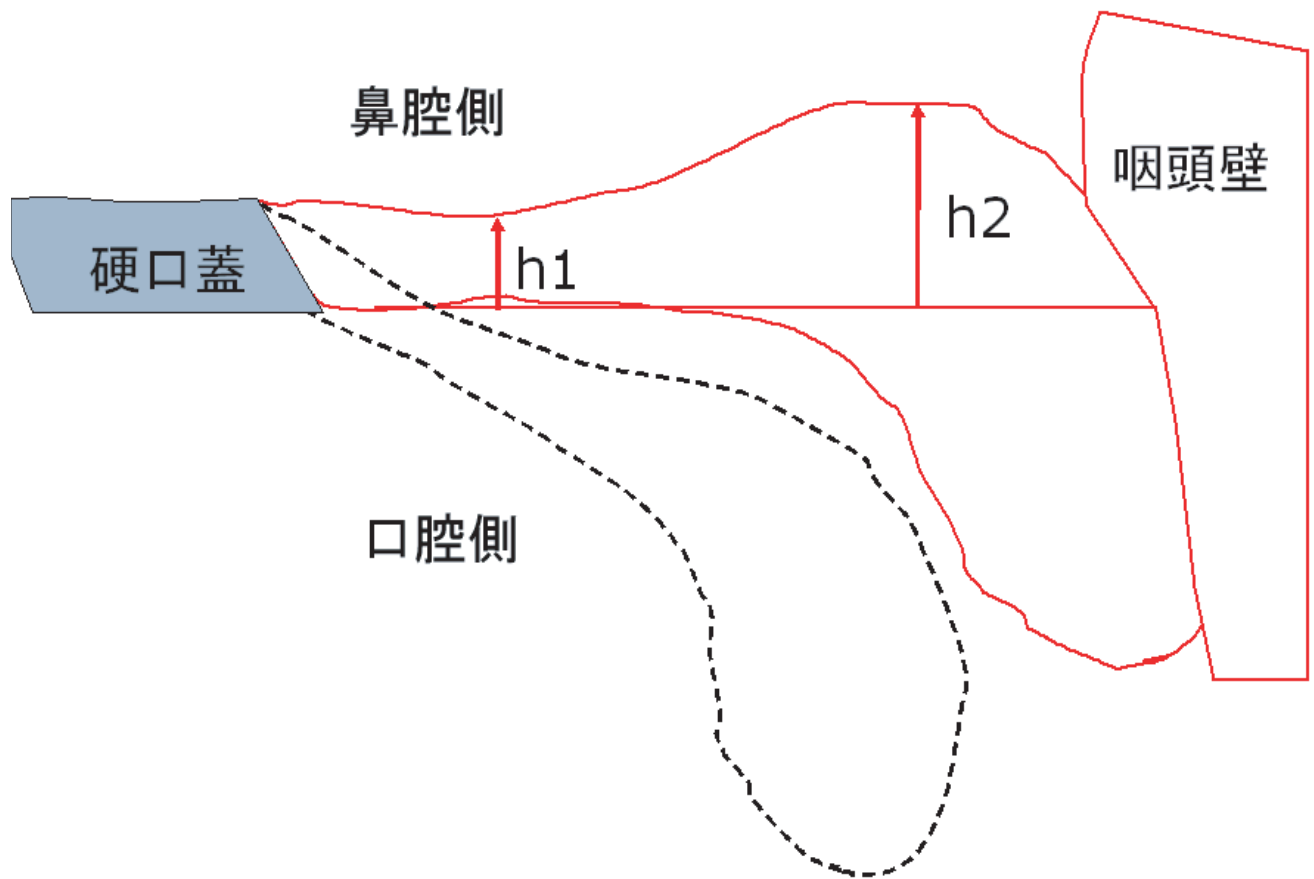


図 3.1: 軟口蓋の厚さの測定位置図

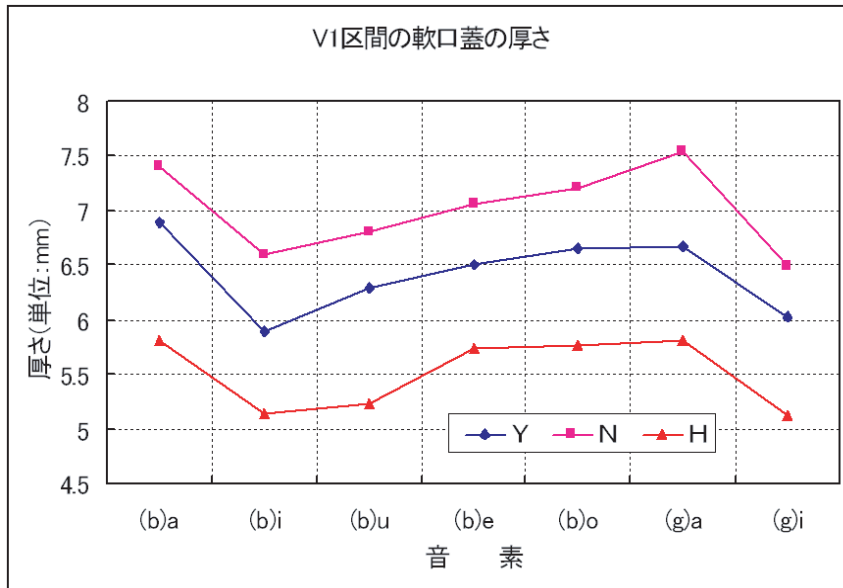


図 3.2: 最初の母音区間の軟口蓋の厚さの測定結果

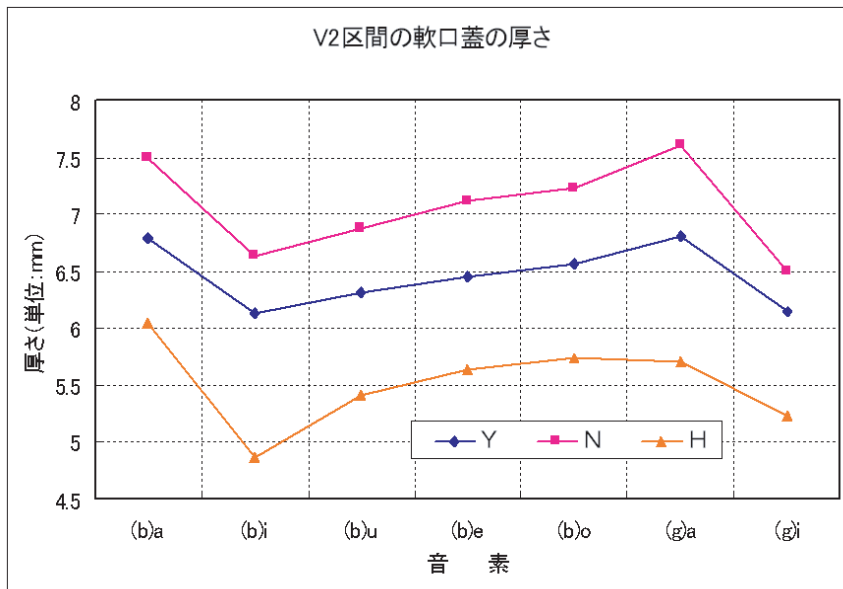


図 3.3: 2番目の母音区間の軟口蓋の厚さの測定結果

さとする。その結果を図 3.4 に示す。結果から、母音区間では軟口蓋の厚さは母音ごとに变化しており、狭母音では広母音より軟口蓋の厚さが薄くなっていることが分かった。

3.3.4 子音区間での軟口蓋の厚さの計測結果の分析

被験者三名の最初の子音区間と 2 番目の子音区間の軟口蓋の厚さの測定結果について図 3.5 と図 3.6 に示す。母音区間と同じく、子音区間でも最初の子音区間と 2 番目の子音区間の軟口蓋の厚さの計測結果を上記の項目の内容に従って詳しく分析した。その結果、

- 同じ音素において軟口蓋の厚さは被験者によって異なっており、被験者 N の軟口蓋の厚さが最も大きくなっていることが分かった。この結果から、子音区間での軟口蓋の厚さにも個人差があることが分かった。
- 同じ音素系列における二つの子音区間では軟口蓋の厚さはほぼ一致した。被験者三名とも同様な結果が見られている。
- 同じ後続母音に対する異なる子音区間の軟口蓋の厚さはほぼ一致する。たとえば、/gi/の子音/g/での軟口蓋の厚さと /bi/の子音/b/での軟口蓋の厚さはほぼ同じであった。そして、同じ子音に対する異なる後続母音の種類による軟口蓋の厚さは変化しており、その変化は被験者三名ともほぼ一致した。

被験者三名とも同じ連続音素系列の最初の子音区間と 2 番目の子音区間での軟口蓋の厚さの計測結果が同じであることから、二つの区間の平均値をもとめ、子音区間の軟口蓋の厚さとする。その結果を図 3.7 に示す。結果から、子音区間では軟口蓋の厚さは後続母音ごとに变化しており、狭母音では広母音より軟口蓋の厚さが薄くなっていることが分かった。

3.4 軟口蓋の振動面積の推定

非鼻音化音声における軟口蓋の振動板モデルの機械パラメータと音響パラメータの関係から分かるように、軟口蓋の振動板モデルにおいて軟口蓋の振動面積は重要な要素である。軟口蓋の有効振動面積値を正しく設定することによってそのモデルはよく現実的に働く。本研究ではその有効振動面積について推定することにする。解剖学的分析から口腔と鼻腔の間の穴の部分は楕円の形に近いことが分かった。本研究では、その楕円の領域を軟口蓋の振動部分と考え、その楕円の面積を推定することにする。

本研究では、正中矢状断面での軟口蓋の長さ(軟口蓋の硬口蓋とつながる部位から咽頭壁までに至る範囲)を楕円の短径と考え、収録した被験者三名の MRI データから直接測ることにする。しかし、楕円の長径に当たる部分の長さは今回の MRI データからは計測できず、経験値 4cm を用いた。軟口蓋の長さの計測方法は図 3.8 に示す。そして、軟口蓋の長さの計測結果を表 3.1 に示す。そして、楕円の面積公式 $A=\pi Dd/4$ から軟口蓋の有

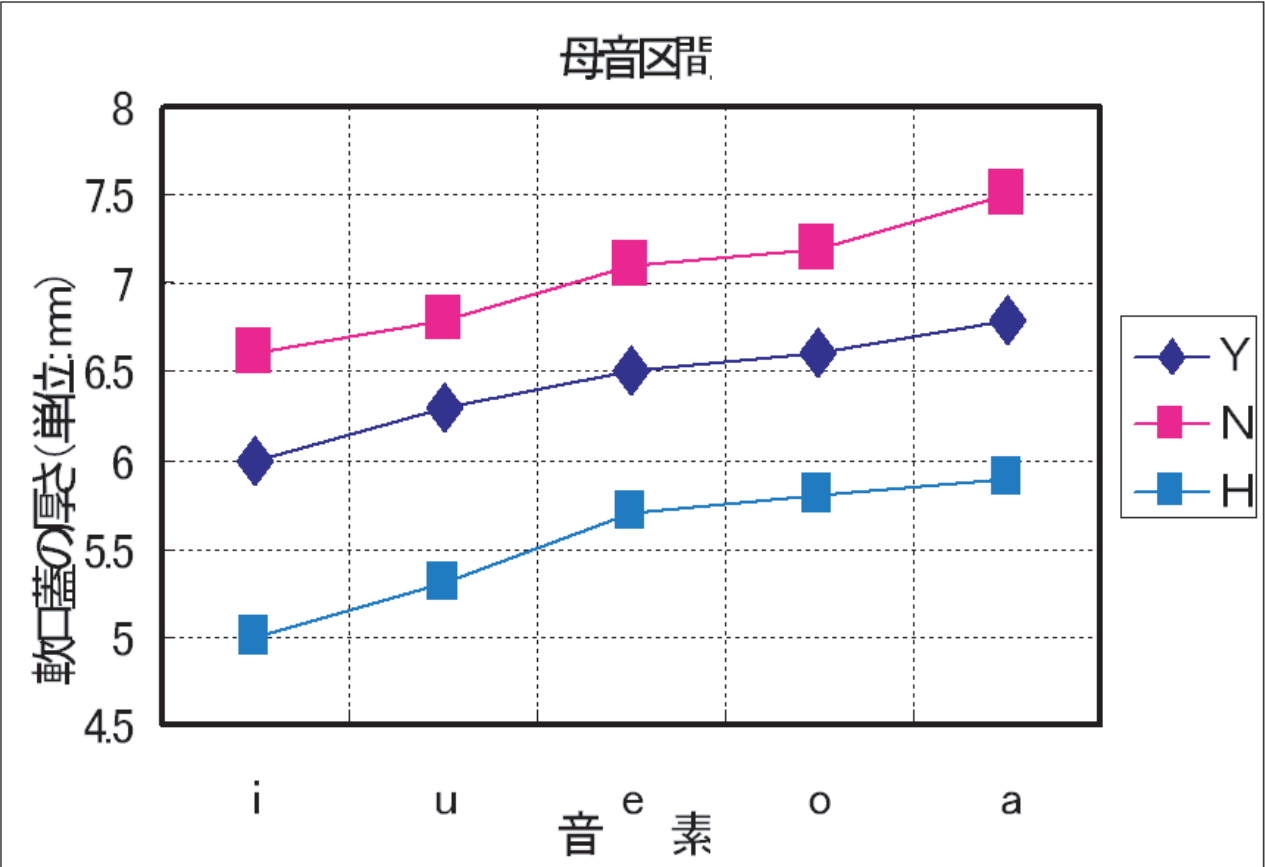


図 3.4: 母音区間の軟口蓋の厚さの測定結果

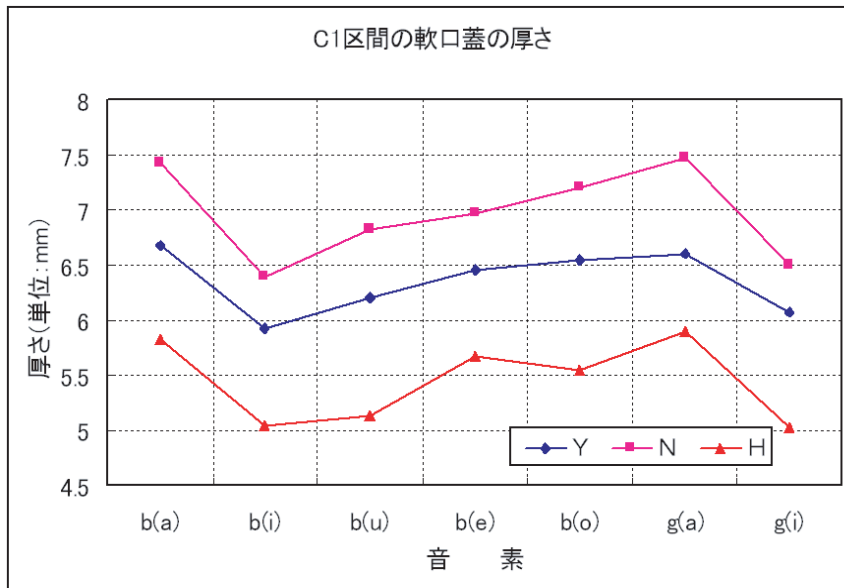


図 3.5: 最初の子音区間の軟口蓋の厚さの測定結果

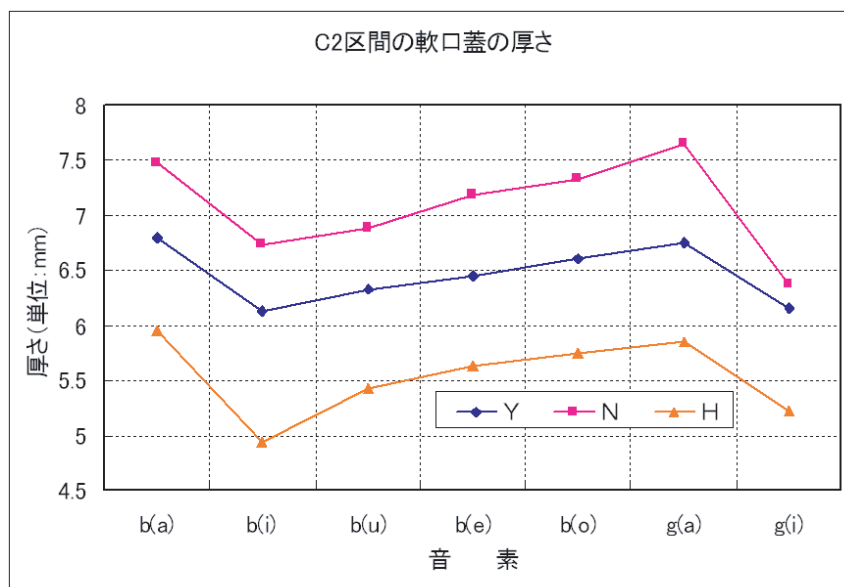


図 3.6: 2 番目の子音区間の軟口蓋の厚さの測定結果

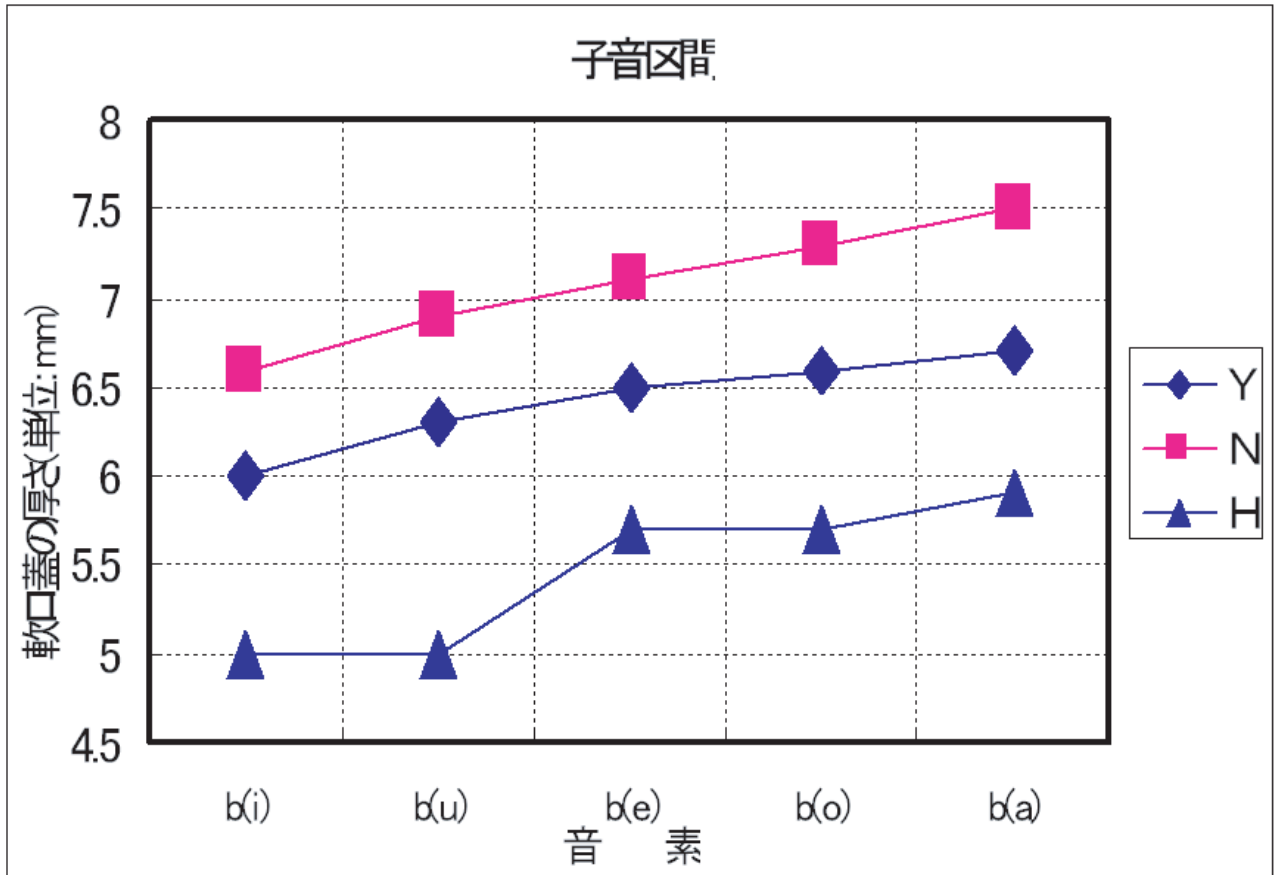


図 3.7: 子音区間の軟口蓋の厚さの測定結果

表 3.1: 軟口蓋の長さ (短径 d)

被験者	軟口蓋の長さ d
Y	3.1cm
H	3.3cm
N	3.5cm

効振動面積を求める。その結果を表 3.2 に示す。

表 3.2: 軟口蓋の有効振動面積

被験者	軟口蓋の有効振動面積の値
Y	$9.7cm^2$
H	$10.4cm^2$
N	$11.1cm^2$

3.5 考察

本節では、発話時の MRI ムービーデータから軟口蓋の厚さを計測し、その結果について分析した。その結果、軟口蓋の厚さには個人差が存在し、軟口蓋の厚さは母音によって決められることが分かった。さらに狭母音で広母音より軟口蓋の厚さが薄くなっていることが分かった。軟口蓋の厚さが薄いということは軟口蓋の有効質量が小さく、振動しやすいことを示している。逆に軟口蓋の厚さが厚くなると軟口蓋の有効質量が大きく、振動しにくいことを示している。

ここで本研究では、同じ被験者三名の子音区間と母音区間の鼻孔からの放射音の大きさの測定結果を用いて、軟口蓋の厚さとの関係を分析して、軟口蓋の音響特性における軟口蓋の厚さの働きを考察する。まずは、母音区間での鼻孔放射音の大きさを図 3.9 に示す。その中で、有効な結果である被験者 H、Y の鼻孔放射音と軟口蓋の厚さの関係を調べる。厚さが薄い被験者 Y の鼻孔からの放射音は大きく、被験者二人とも狭母音で広母音より大きくなっている。このような結果から、母音区間では軟口蓋の厚さが鼻孔放射音の大きさに影響する重要な要素の一つであることが分かった。被験者 N は各音素における鼻孔放射音はほぼ同じであり、他の被験者より大きく、鼻子音の鼻孔からの放射音の大きさに近いのである。それは、被験者 N は非鼻音化音声を発声する時に軟口蓋はしっかり閉じておらず、軟口蓋部から音が漏れる可能性があると考え、考察対象から外すことにする。

同じく、子音区間での鼻孔放射音と軟口蓋の厚さの関係を分析する。子音区間での鼻孔

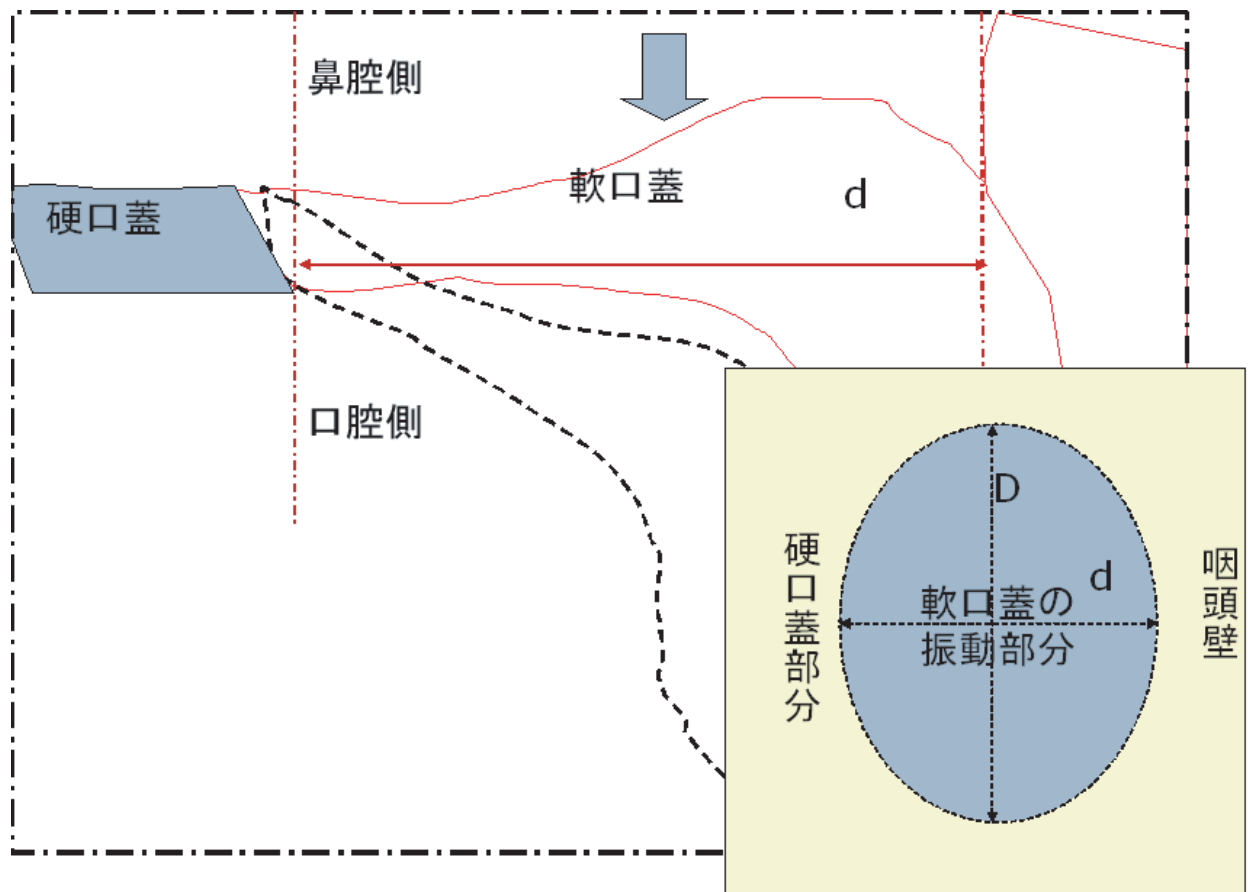


図 3.8: 軟口蓋の振動部分の略図

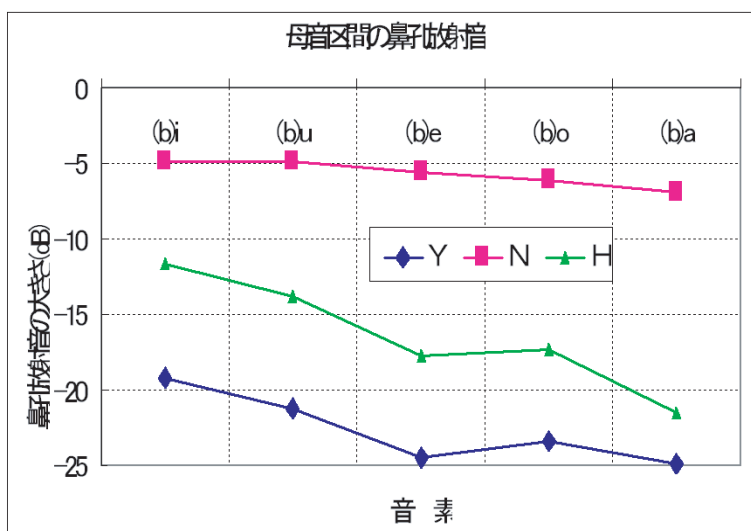


図 3.9: 母音区間の鼻孔放射音の大きさ

放射音の大きさを図 3.10 に示す。子音区間では母音区間とは異なって、軟口蓋の厚さと鼻孔放射音の大きさに関連性見られなかった。このような結果は、子音区間では軟口蓋の厚さの他にも異なる要素が影響していると考えられる。たとえば、破裂子音区間では口腔内圧の変化が激しく、軟口蓋の柔らかさなどが変化していると考えられる。

それ以外にも、今回の MRI ムービーデータを用いて、破裂子音からなる /ga/ の子音区間での軟口蓋の重要な音響特性を解明することができた。子音区間での鼻孔放射音の大きさから見ると被験者三名とも /ga/ の子音 /g/ 区間では /gi/ の /g/ 区間より鼻孔放射音が大幅に小さくなっている。MRI ムービーから分析してみると /ga/ の子音区間では舌の上部が軟口蓋に接触していることが分かった。このような現象は軟口蓋の有効振動面積が小さくなって鼻孔からの放射音が小さいのである。このような音響特性は、鼻孔からの放射音は軟口蓋の振動によるものであること的有力な証拠にもなる。

3.6 おわりに

本章では、発話時の MRI ムービーデータから軟口蓋の厚さと閉鎖時の軟口蓋の長さなどの形状学的な要素を計測した。軟口蓋の厚さは軟口蓋の有効質量に直接関連し、軟口蓋の長さは軟口蓋の有効振動面積に関連する。軟口蓋の厚さの計測結果を分析すると、軟口蓋の厚さは母音によって決められること、狭母音で広母音より薄くなっている重要な特性を解明できた。そして、軟口蓋の厚さと鼻孔放射音との関係を分析すると、母音区間では軟口蓋の厚さは鼻孔放射音の大きさに影響を与える重要な要素の一つであり、子音区間で

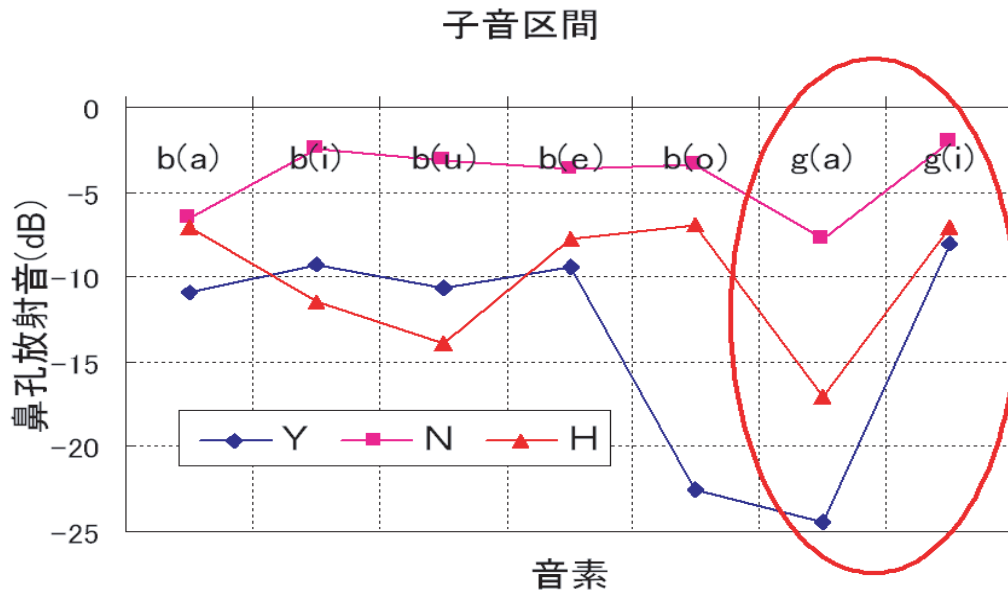


図 3.10: 子音区間の鼻孔放射音の大きさ

は軟口蓋の厚さだけではなく、複数の要素が存在することが分かった。同じく、得られた軟口蓋の振動面積は先行研究の仮定値より異なっていた。



図 3.11: 被験者 Y の /ga/ を発話時の正中断面 MR 画像

第4章 声道音響モデルへの適用について

4.1 はじめに

前章までは、発話時のMRIムービーデータを用いて軟口蓋の厚さと軟口蓋の軟組織の幅を計測した。軟口蓋の厚さの計測結果について分析した結果、発話時に軟口蓋の厚さには個人差があり、各音素区間においても異なっていた。軟口蓋の厚さは主に母音あるいは後続母音によって決められることも分かった。さらに、厚さは狭母音で広母音より薄くなっていることが分かった。軟口蓋の厚さと鼻孔放射音との関係を考察すると、軟口蓋の厚さは鼻孔放射音に影響を与える要素の一つであることが分かった。このような結果は、軟口蓋の厚さは軟口蓋の音響特性に関連する重要なパラメータであることを示している。軟口蓋の長さの計測結果から推定した軟口蓋の有効振動面積の値は先行研究の仮定値とは異なっていることが分かった。本章では、まず、軟口蓋の厚さと軟口蓋の振動面積値を用いて軟口蓋の音響パラメータ L を直接求める。それらの結果に基づいて、音声生成の音響モデルを用いた音声分析合成法で軟口蓋の振動板モデルの各パラメータを推定する。次は構築した軟口蓋の振動板モデルを音声生成の声道音響モデルに導入して、シミュレーションを行う。

4.2 軟口蓋の振動板モデルの音響パラメータの推定

4.2.1 軟口蓋の音響パラメータ L

第2章で説明した軟口蓋の振動板モデルの音響パラメータと機械パラメータとの関係式 $L=m/S$ から、音響パラメータ L は軟口蓋の一枚の単位面積あたりの有効振動質量 m と有効振動面積 S の比で表わされる。軟口蓋の密度は人体の平均密度 $1g/cm^3$ と仮定すると、一枚の軟口蓋の有効振動質量 $M=hS/2$ のような関係になる。つまり、軟口蓋の振動板モデルの音響パラメータ L は軟口蓋の厚さと有効振動面積値によって計算できる。そこで、前章で計測した軟口蓋の厚さと有効振動面積値を用いて軟口蓋の音響パラメータ L を求める。軟口蓋の厚さは母音あるいは後続母音によって決められるという前章の分析結果から、母音区間の厚さの計測結果を用いることにする。求めた音響パラメータ L の結果を表4.1に示す。このように軟口蓋の音響パラメータ L は各被験者、各音素によって異なる。本研究では、このような実際の形状の測定値から求めた音響パラメータ L を用いることによって軟口蓋の音響特性がよく説明できたと考えている。その中でも平均値に最も

表 4.1: 軟口蓋の音響パラメータ L (単位: g/cm^4)

	/i/	/u/	/e/	/o/	/a/
N	0.032	0.033	0.034	0.035	0.036
Y	0.029	0.030	0.031	0.032	0.033
H	0.024	0.026	0.027	0.028	0.029

近い被験者 Y の音響パラメータ L の値を用いて、他の音響パラメータを推定することにする。

4.2.2 音声分析合成法による軟口蓋の音響パラメータの推定

他の音響パラメータについては、今回の手法では分析することができなかった。そのため、本研究では、声道音響モデルによる音声分析合成法を用いて軟口蓋の音響パラメータを推定することにする。そのため、図 4.1 示した Flanagan-Ishizaka らの音声合成システム³⁾を用いた。声帯モデルは 2 質量モデルで、鼻腔の断面積は Fant のデータ⁴⁾を用いた。

音声分析合成法とは、実音声の放射量とスペクトルを分析して、軟口蓋のパラメータを現実でありそうな範囲で変化させ、合成した音声の放射量とスペクトルが実音声のそれと合うような値を求める方法のことを言う。今回は手がかりとする音声サンプルとしては、口唇放射が小さく鼻孔放射が大きい/i/と口唇放射が大きく鼻孔放射が小さい/a/を選んだ。その実音声の母音/a/と/i/の口唇放射と鼻孔放射のスペクトルを図 4.2 の (a) と (b) に示す。/a/の場合、鼻孔放射音のスペクトルに第一、第二ホルマントが現れているが、口唇放射に比べて 30dB 程度小さくほとんど影響がない。母音/i/では、鼻孔放射音の第一ホルマントに当たる部分に鼻孔放射のエネルギーの大部分があり、口唇放射の比でも 4dB 程度低いだけなので第一ホルマントに影響があると思われる。

まずは、合成音声の鼻孔放射の共振周波数を実音声のそれと合うように音響パラメータ C を調整すると、 $6.16 \times 10^{-5} cm^4 s^2 / g$ が最適であった。合成音声/i/を実音声と同じく鼻孔放射のスペクトルの第一ホルマントのエネルギーが口唇放射のそれより 4dB 程度小さくなるように音響パラメータ R を調整すると、 $10.25 g / s / cm^4$ が最適であった。さらに、/a/の合成音を実音声と同じく鼻孔放射が口唇放射より約 30dB 程度小さくなるように音響パラメータ C_0 と R_0 を調整すると、各 $1.90 \times 10^{-5} cm^4 s^2 / g$ 、 $9600 g / s / cm^4$ が最適であった。このような軟口蓋の音響パラメータを用いて新たに振動板モデルを構築する。

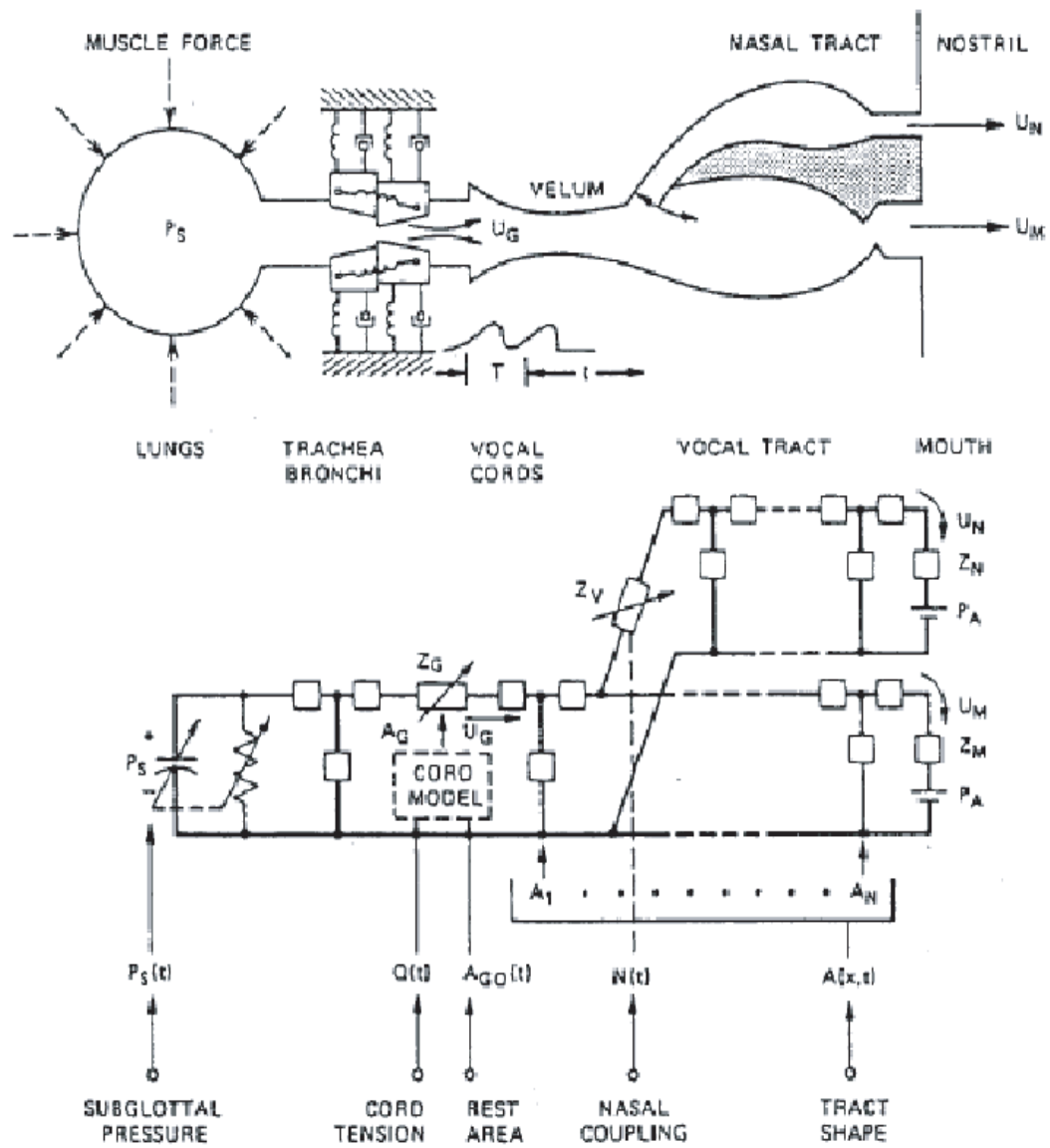


図 4.1: 音声生成モデル (文献 [3] による)

4.3 シミュレーションとその結果

図 4.1 の音声生成の声道音響モデルに上述の軟口蓋の振動板モデルを入れた音響回路を用いて、五つの母音を合成した。合成した五母音の口唇放射と鼻孔放射音のスペクトルを図 4.3、図 4.4、図 4.5、図 4.6、図 4.7、図 4.8、図 4.9、図 4.10、図 4.12 に示す。スペクトルから見ると軟口蓋の振動板モデルを用いて合成した五母音のスペクトルは実音声の測定値とほぼ一致することが分かった。たとえば、/a/ の場合、目標通り鼻孔放射音圧の最大値は口唇放射音圧の対応値より 30dB 程度低くなっている。そして、鼻孔放射音は第 3、第 4 高調波成分が小さくなっている。口唇放射音の第一ホルマントにあたるものは鼻孔放射音にも現れた。1KHz 以上の領域では意味のあるピークと谷はない。母音/i/ の場合もほぼ目標どおり鼻孔放射音の最大値は口唇放射音の対応値より 3dB 程度低くなっている。2.5KHz 付近には第二ホルマントに対応するピークが現れた。

本研究では、合成した五母音に対して、口唇放射と鼻孔放射の音圧レベルをそれぞれ求めた。その結果を図 4.13 に示す。母音/i/ では実音声より 3dB 大きくなっているが、他の母音ではほぼ同じであった。実音声の測定結果では、広母音/a/、/e/、/o/ は口唇放射が大きくて、それに比べて鼻孔放射が無視できる程度小さかった。広母音に反して狭母音/i/、/u/ では口唇放射は小さくなるが鼻孔放射が大きくなった。今回の合成音の口唇と鼻孔放射音の音圧レベルの結果でも同じ傾向性が見えた。

4.4 おわりに

本章では、軟口蓋の厚さの計測値と軟口蓋の振動面積を用いて、軟口蓋の音響パラメータ L を直接求めた。そして、その結果に基づいて、音声生成の声道音響モデルを用いた音声分析合成法で他の四つの音響パラメータを推定した。このように新たに構築した軟口蓋の振動板モデルを音声生成の音響モデルに導入して、シミュレーションを行った。シミュレーションの結果、合成した 5 つの母音の鼻孔と口唇放射量とスペクトルは実音声にほぼ一致した。このような結果から、今回構築した軟口蓋の音響モデルは軟口蓋の音響特性をよく説明できたと考えられる。そして、軟口蓋の音響パラメータの一部は軟口蓋の実測定値から求めたものであるため、現実に近い音響モデルであると考えられる。

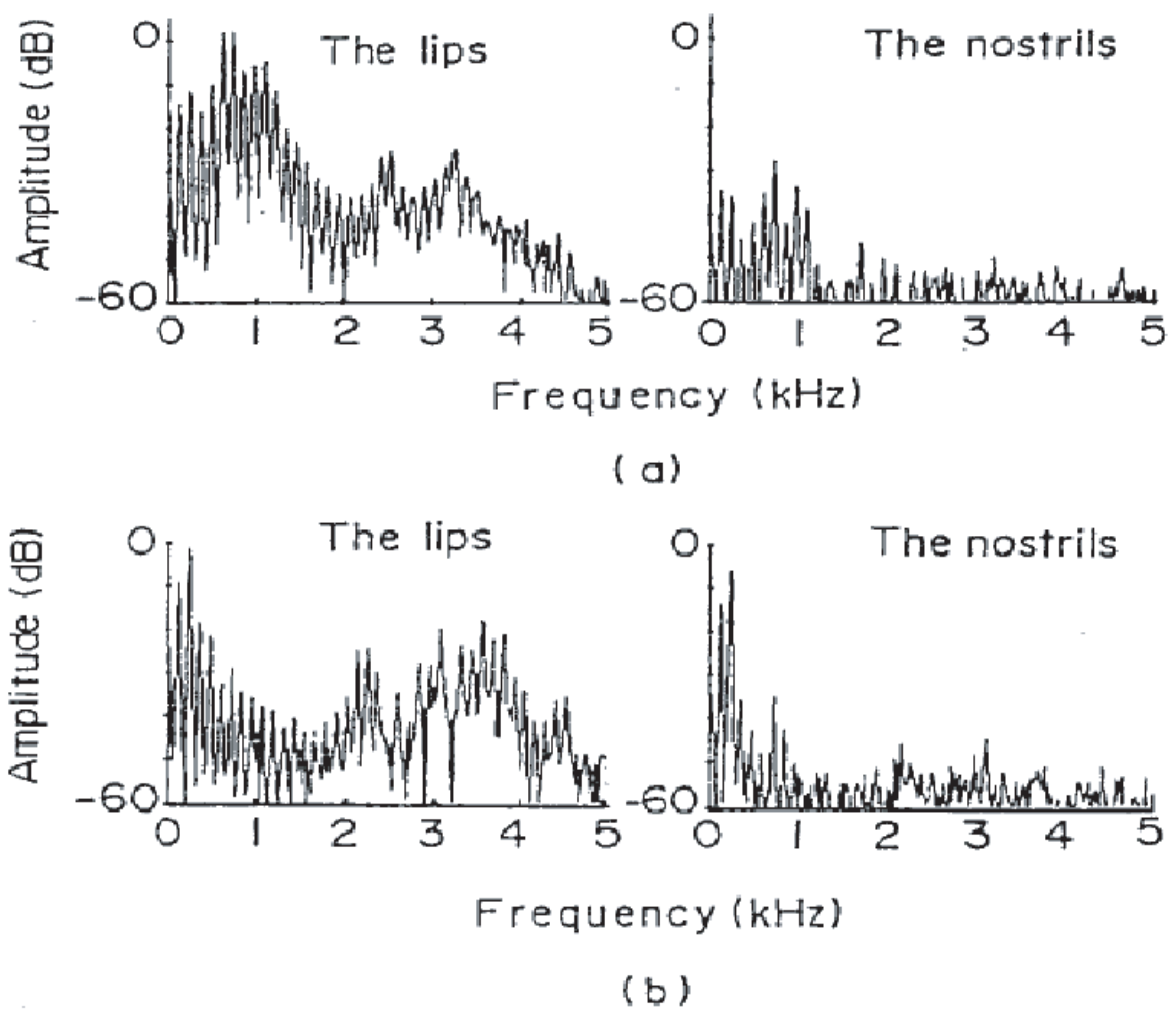


図 4.2: 実音声の口唇放射と鼻孔放射音のスペクトル: (a) 母音/a/ (b) 母音/i/ (文献 [15] により)

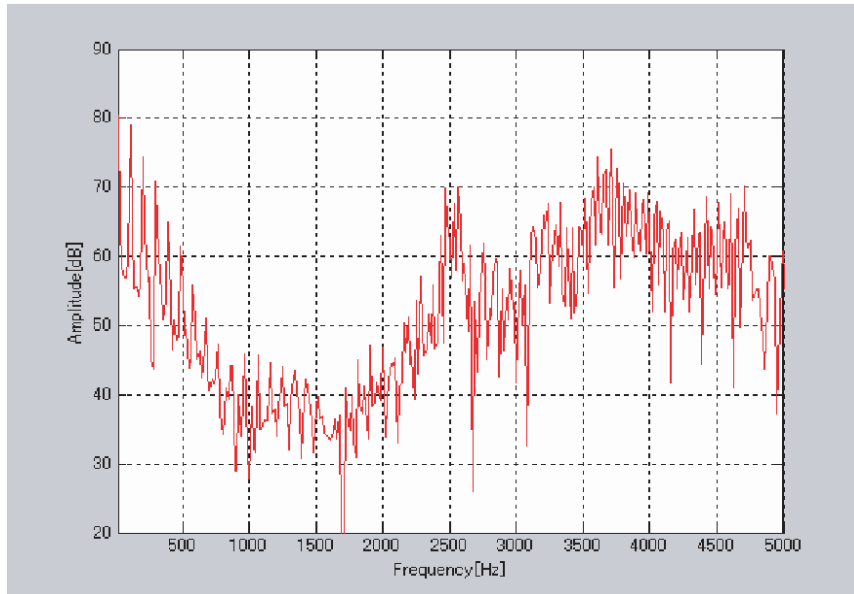


図 4.3: 合成音声/i/の口唇放射のスペクトル

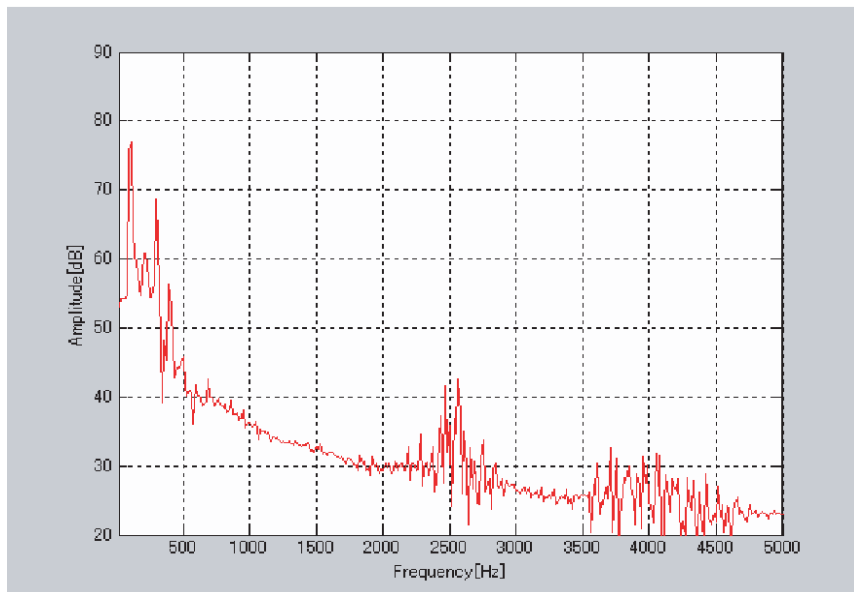


図 4.4: 合成音声/i/の鼻孔放射音のスペクトル

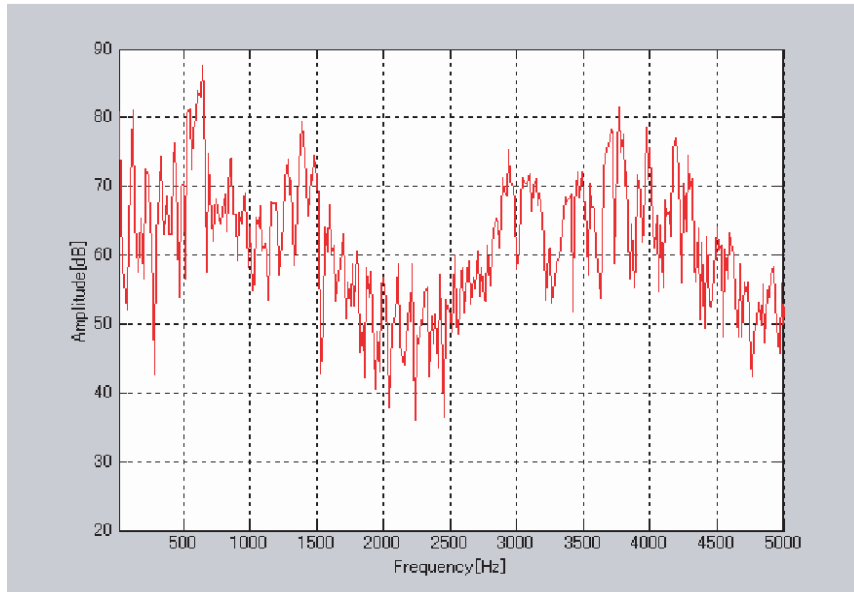


図 4.5: 合成音声/a/の口唇放射のスペクトル

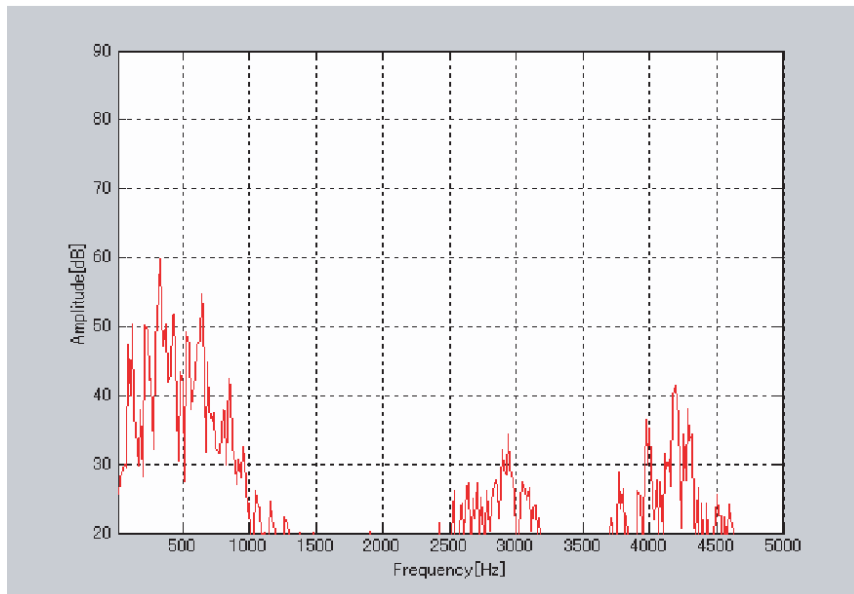


図 4.6: 合成音声/a/の鼻孔放射音のスペクトル

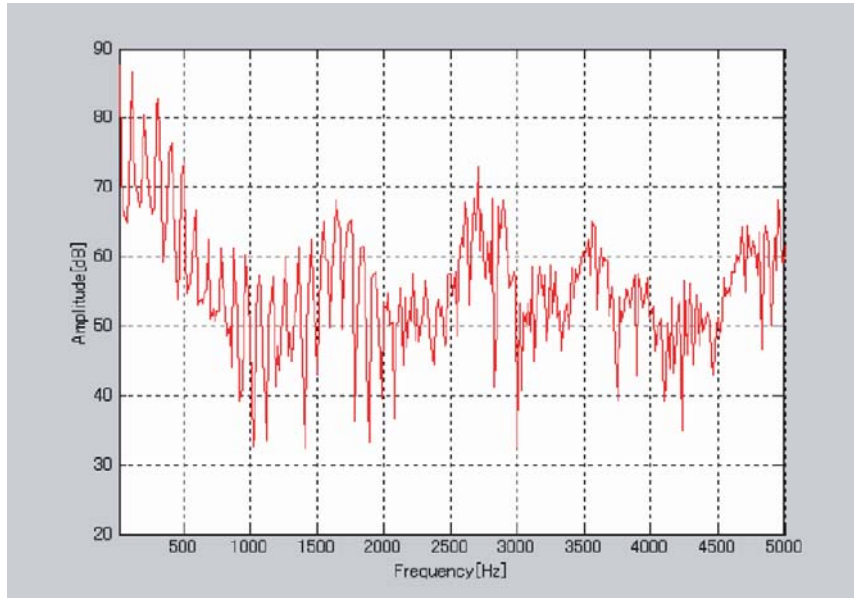


図 4.7: 合成音声/u/の口唇放射のスペクトル

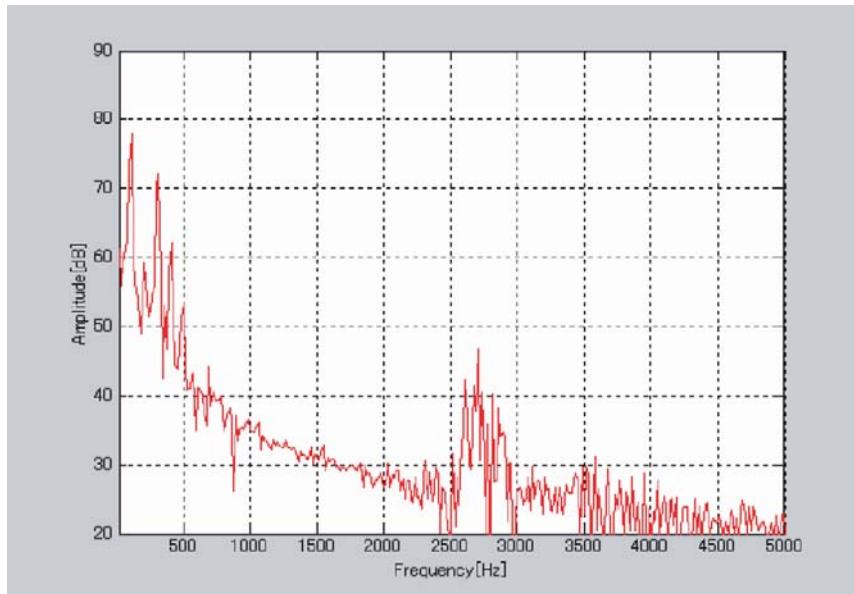


図 4.8: 合成音声/u/の鼻孔放射音のスペクトル

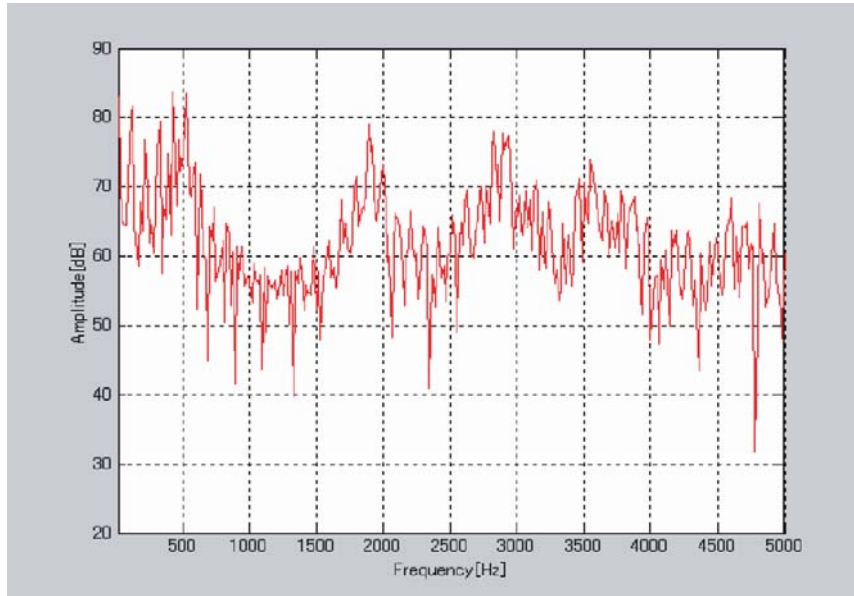


図 4.9: 合成音声/e/の口唇放射のスペクトル

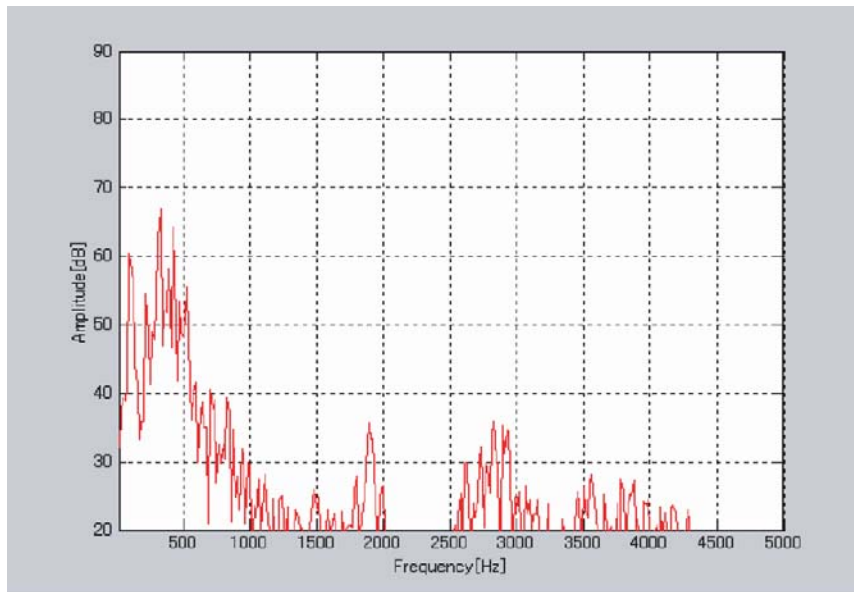


図 4.10: 合成音声/e/の鼻孔放射音のスペクトル

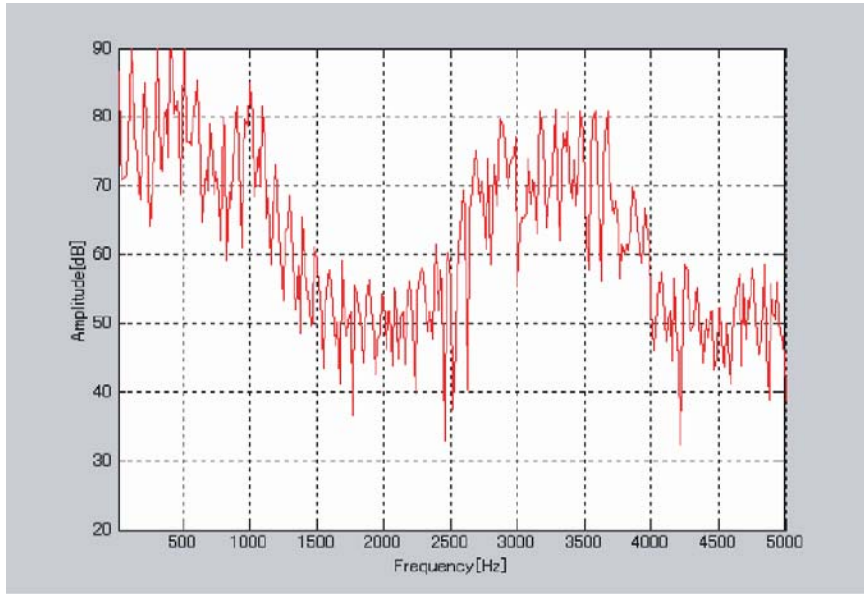


図 4.11: 合成音声/o/の口唇放射のスペクトル

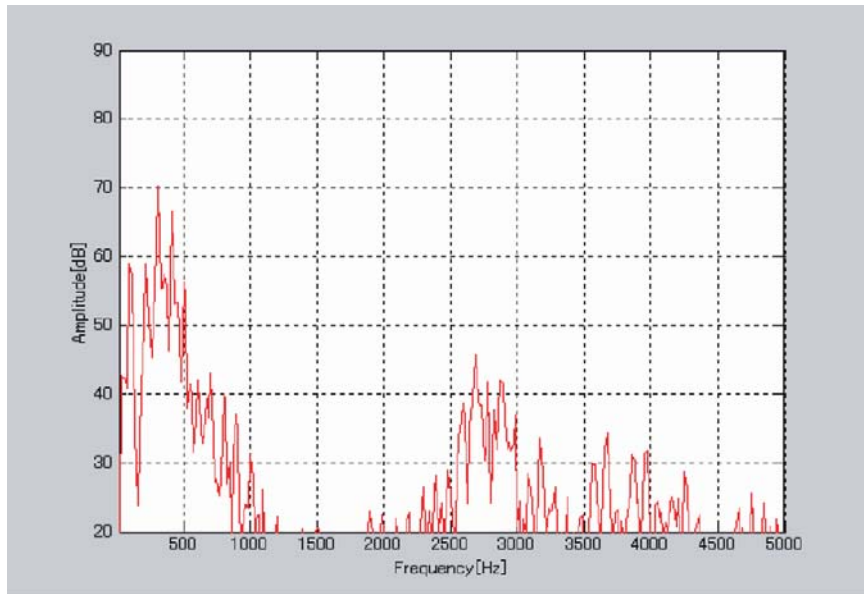


図 4.12: 合成音声/o/の鼻孔放射音のスペクトル

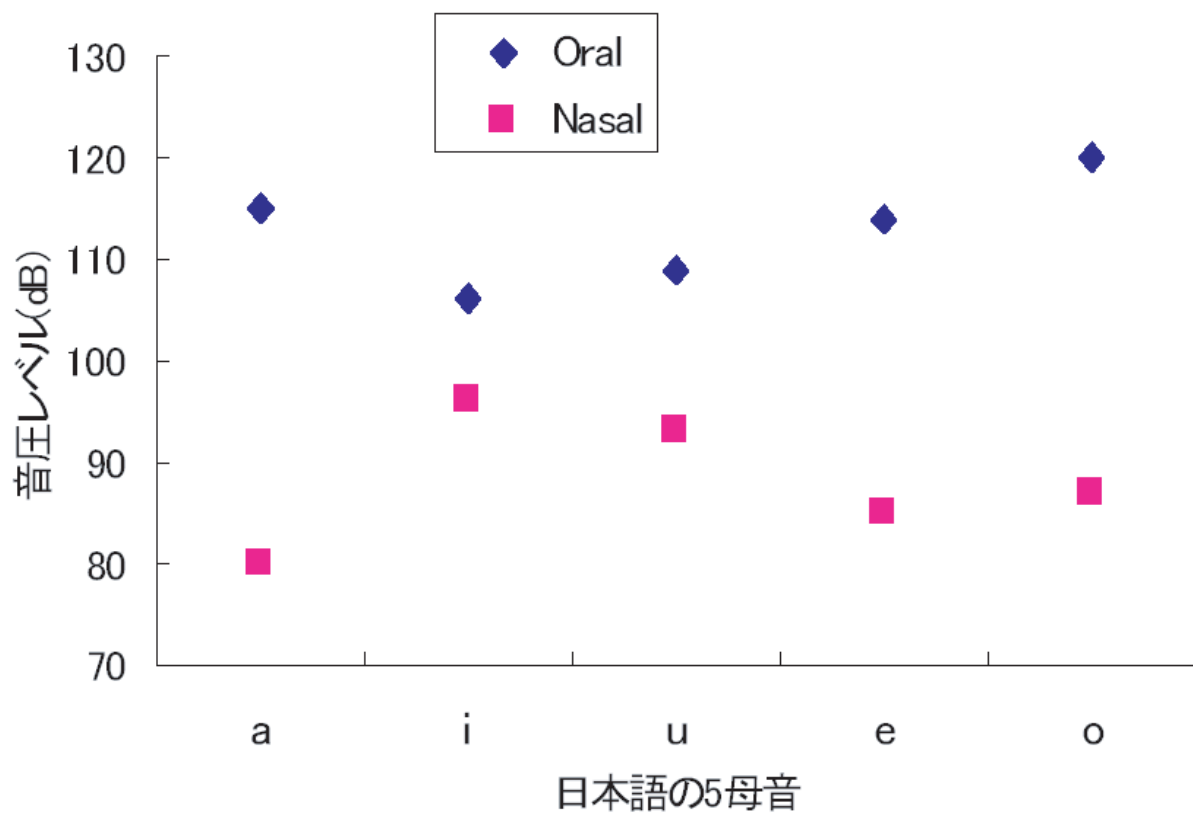


図 4.13: 合成音の音圧レベル

第5章 結論

5.1 本論文のまとめ

本研究では、現実近く、軟口蓋の音響特性がよく説明できる軟口蓋の振動板モデルを構築することを目的として、以下の項目について検討を行った。

1. 発話時に撮像したMRIムービーデータから軟口蓋の厚さの計測。(第3章)
2. 発話時に撮像したMRIムービーデータから軟口蓋の長さの計測(閉鎖時、硬口蓋とつながる部位から咽頭壁に至るまでの範囲)。(第3章)
3. 軟口蓋の厚さと長さの計測結果を用いて軟口蓋のインダクタンスを求めた。さらに、音声分析合成法を用いて軟口蓋の各音響パラメータを求めた。(第4章)
4. 軟口蓋の振動板モデルを音声生成のモデルに導入してシミュレーションを行い、そのシミュレーションの結果を分析することによって、非鼻音化母音区間における今回に構築した軟口蓋の振動板モデルについて評価を行った。(第4章)

各項目の詳細について述べ、これによって得られた成果、知見について述べる。

まず、発話時に撮像した被験者三名のMRIムービーデータを用いた軟口蓋の厚さの計測結果からは、軟口蓋の厚さには話者による個人性があることが分かった。そして、軟口蓋の厚さは主に母音(子音の場合には後続母音を指す)の種類によって決められることが分かった。さらに、軟口蓋の厚さは狭母音で薄く、広母音で厚くなっていることが分かった。軟口蓋の厚さは軟口蓋の有効振動質量と正比例するため、軟口蓋の振動特性に影響を与えると考えられる。すなわち、軟口蓋の厚さが薄くなると振動しやすい状態になり、軟口蓋の厚さが厚くなると振動しにくい状態になる。軟口蓋の厚さと同じ被験者の鼻孔放射音との関係を調べた結果、母音区間では、軟口蓋の厚さは鼻孔放射音の大きさに影響する重要な要素であることが分かった。しかし、子音区間では軟口蓋の厚さと鼻孔放射音との相関関係が見られず、軟口蓋の厚さ以外にも複数の要素が存在することが分かった。その一つとして、口腔内圧によって変化する軟口蓋の軟らかさであると考えられる。

次に、本研究では、同じMRIムービーデータを用いて軟口蓋の長さを計測した。口腔と鼻腔の間の楕円の領域を軟口蓋の有効振動部分と考え、軟口蓋の長さが楕円の短径に対応すると考え、楕円の長径についてはMRIムービーデータから測定できなかったため、経験値として4cmと仮定した。以上の結果を用いて軟口蓋の有効振動面積を求めた。その結果は先行研究で仮定した振動面積値 4cm^2 より異なっていた。このように現実に近い軟口蓋の振動面積が得られた。

さらに、軟口蓋の密度を一定と仮定して、軟口蓋の厚さと軟口蓋の振動面積値を用いて軟口蓋のインダクタンスを直接求めた。その結果は先行研究と異なって、同じ母音においても被験者によって異なり、同じ被験者の場合でも、母音(子音の場合には後続母音)の種類によって異なった。先行研究では、母音の種類によって軟口蓋の伝達特性が異なることを明らかにした。軟口蓋が閉鎖した場合、軟口蓋部の口腔から鼻腔までの伝達関数の可変要素として軟口蓋のパラメータだけである。そこで本研究では、母音区間において、一人の被験者の母音ごとに異なる軟口蓋のインダクタンスを用いることにした。すなわち、母音ごとに異なる軟口蓋の振動板モデルの音響パラメータを用いることにした。それによって、母音区間における軟口蓋の伝達特性がよく表現できたと考えられる。

最後に、軟口蓋のインダクタンスの以外の軟口蓋のパラメータを推定した。推定には声道の音響モデルによる音声分析合成法で、各パラメータを現実でありそうな範囲で変化させ、合成した音声の放射量とスペクトルが実音声のそれに合うような値を求めた。構築した軟口蓋の振動板モデルの音響特性を考察するために、軟口蓋の振動板モデルを声道音響モデルに導入して、日本語の5母音を合成した。合成した音声の放射量とスペクトルを実音声のそれと比べるとほぼ一致していた。各母音における口唇放射音と鼻孔放射音の音圧レベル差を求めた。その結果も実音声のそれとほぼ一致していた。

本研究は先行研究と異なって生理学的な手法を用いて軟口蓋の音響パラメータの中のインダクタンスを直接に求めた。このように、軟口蓋のすべてのパラメータが実際の測定から得られなかったが、その音響パラメータの一つである軟口蓋のインダクタンスが現実に近い値が得られたため、生理学的な根拠に基づいた軟口蓋の振動板モデルが構築できた。さらに、各音素ごとに異なる軟口蓋のインダクタンスを用いることによって、口腔内音圧によって振動する軟口蓋の音響特性はもちろん、音素ごとに軟口蓋の伝達特性が異なる軟口蓋の音響特性をよく説明できる軟口蓋の振動板モデルが構築できた。

本研究で構築した軟口蓋の振動板モデルは、音質が高く、個人情報豊富である音声を合成するための声道音響モデルを用いた音声合成システムに応用されることが期待できる。

5.2 今後の展望

今までの研究と違い、本研究では生理学的角度から軟口蓋の状態について考察した。そして、軟口蓋の音響特性に大きく関わっている軟口蓋の厚さの変化を非鼻音化母音における軟口蓋の振動板モデルに取入れた。しかし、子音区間では、軟口蓋の厚さの変化だけではなく、他の軟口蓋の状態が変化している。子音に関しては、党らの先行研究[10]では有声破裂子音などと放射特性を用いて口腔内圧と放射音圧、口腔内圧と軟口蓋の状態を考察した。放射音の結果では、有声子音だけでなく、無声子音の一部でも声道閉鎖区間に鼻孔と咽頭壁から音が放射されていることが分かった。有声破裂子音のバズー区間では、鼻孔からの放射音が大きな割合を占めていた。そして、口腔内圧と放射音圧の関係により、軟口蓋の軟らかさの変化を定式化した。今後は、その結果を今回構築した軟口蓋の振動板

モデルに取入れることで、非鼻音化母音でも、非鼻音化子音でも働く軟口蓋の振動板モデルが構築する必要がある。さらに、将来には鼻音化音声における軟口蓋の音響モデルと結合して、連続音声における軟口蓋の音響モデルが構築する必要がある。以上の課題を達成することで、より現実に近い音声生成の音響モデルが構築できると考えている。そこで、本研究およびこれらの課題から得られた知見が、人間の発話メカニズムや会話の科学的理解に役に立つばかりではなく、豊富な個人情報を含む音声合成技術にも寄与することを期待している。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、多大なる御指導並びに御鞭撻賜りました、北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 党建武 教授、赤木正人 教授に深く感謝致します。

本研究を遂行するにあたり、熱心な御指導並びに御協力賜りました、北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 鷗木祐史 助教授に深く感謝致します。

本研究を遂行するにあたり、日頃から熱心な議論並びに貴重な御助言賜りました、北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 XugangLu 助手に深く感謝致します。

日頃の研究生生活において、多くの御助言ならびに激励を賜りました、北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 研究生西本博則さん、博士後期課程の羽二生篤さん、錦戸信和さん、藤田覚さん、Jianguo Wei さん、qiangFang さん、並びに、音情報処理学講座、知能情報処理学講座の皆様、及び諸先輩方に厚く御礼申し上げます。

最後になりましたが、石川県での研究生生活を、いつも暖かく見守ってくれて、心の支えとなってくれた家族、並びに多くの友人たち、諸先輩方、後輩たち、生徒たち、そして多くの知人の方々に心より感謝致します。

これまでの人生の中で出会った多くの方々の支えがあって、本論文を執筆することができました。本当にありがとうございました。

参考文献

- [1] Moll, K. L., Daniliff, R. D., "Investigation of timing of velar movements during speech," J. Acoust. Soc. Am., 678-684 (1971).
- [2] Fant, G., "Acoustic theory of speech production," (Mouton, The Hague), 2nd Ed., (1970).
- [3] J.L. Flanagan, K. Ishizaka, and K.L. Shipley: "Synthesis of speech from a dynamic model of the vocal tract," Bell System Techn. J., 54, 3, (1975).
- [4] G. Fant, Acoustic theory of speech production, (Mouton, 1970), p. 139.
- [5] Dang, J., Honda, K., "An improved vocal tract model of vowel production implementing piriform fossa resonance and transvelar nasal coupling," ICSLP96, 965-968 (1996).
- [6] 太田 光雄, "基礎情報音響工学", page: 13-53. 朝倉書店, 新宿, 東京, 日本, (1992).
- [7] 党 建武, 中井 孝芳, 鈴木 久喜, "発声器官の各部位の振動と放射の測定," 日本音響学会講演論文集 pp. 229-230. (1989, 10).
- [8] 党 建武, 中井 孝芳, 鈴木 久喜, "鼻腔と口腔の相互作用及び副鼻腔の影響," 日本音響学会講演論文集 pp. 259-260. (1990, 3).
- [9] 中井 孝芳, 党 建武, 鈴木 久喜, "閉鎖軟口蓋の振動による鼻腔口腔結合を考慮した音声生成モデル," 信学技報 Vol. 89 No. 454SP89-145, pp. 23-30 (1990, 3).
- [10] 党 建武, 中井 孝芳, 鈴木 久喜, "発声時の口腔内圧と発声器官各部位からの放射音の測定," 日本音響学会講演論文集 pp. 295-296. (1991, 3).
- [11] 党 建武, 中井 孝芳, 鈴木 久喜, "連続音声発声時の鼻孔からの放射音圧の測定," 信学技報 SP90-103 pp. 9-16 (1991, 3).
- [12] 党 建武, 中井 孝芳, 鈴木 久喜, "有声破裂子音バズ区間の音響特性による声道壁インピーダンスの推定," 日本音響学会講演論文集 pp. 215-216. (1991, 10).
- [13] 党 建武, 中井 孝芳, 鈴木 久喜, "連続音声における軟口蓋の音響モデル," 信学技報 SP91-126 pp. 31-38 (1992).

- [14] 党 建武, 本多 清志, 鈴木 久喜, "連続音声における鼻咽頭等価開口面積の推定," 日本音響学会講演論文集 pp.345-346.(1992,10).
- [15] 党 建武, "軟口蓋と声道壁の振動を考慮した音声生成機構の音響モデルに関する研究," 静岡大学博士論文,1992.
- [16] 党 建武, 本多 清志, 鈴木 久喜, "連続音声における鼻咽頭等価開口面積の推定," 日本音響学会講演論文集 pp.345-346.(1992,10).
- [17] 党 建武, 本多清志, "発話時の軟口蓋の形態の観測と音圧の測定," 日本音響学会講演論文集 pp.197-198.(1993,3).

本研究に関する研究業績

口頭発表

朴 永男, 党 建武, 中井 孝芳, "MRI データを用いた軟口蓋の測定について," 音声学例会 (2005.12).

朴 永男, 党 建武, 中井 孝芳, 赤木 正人, "音声生成における軟口蓋の働きのモデル化に関する研究," 信学技報 Vol.106 No.178 SP2006-07, pp.37-42(2006.7).

朴 永男, 党 建武, 中井 孝芳, 赤木 正人, "MRI データを用いた軟口蓋の測定と声道音響モデルへの適用に関する研究について," 日本音響学会秋季講演論文, 1-Q-6, (2006.9) (発表予定).