

氏名	たけうちしゅうじ 竹内章司
授与学位	工学博士
学位授与年月日	昭和50年3月25日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第1項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程)電気及通信工学専攻
学位論文題目	鼻音性に寄与する音響的特徴に関する研究
指導教官	東北大学教授 城戸 健一
論文審査委員	東北大学教授 城戸 健一      東北大学教授 大泉 充郎 東北大学教授 二村 忠元

## 論文内容要旨

### 要 約

音声のもつ種々の言語学的な属性と、音声の音声波としての音響的特性との対応関係を解明することは、音声の研究として基本的な課題である。本論文は、その言語学的属性の1つである鼻音性について、その属性に寄与している音響的特徴を一般的かつ定量的な形で明らかにすることを目的として、種々の検討を行ったものである。

本論文では、まず、鼻音のスペクトル分析を行って、鼻音化によるスペクトルの特徴を現象的に明らかにした後(第2章)、スペクトルの特徴と発声側の物理的特性(第3章)、および鼻音性知覚の機能上の特性(第4章)との関連について検討した。

次に、以上の検討から得られた知見をもとに、鼻音性の静的な音響的特徴(鼻音性パラメータ)の物理的定義とその抽出モデルの設定を行い、抽出された鼻音性パラメータと鼻音性知覚との対応

について検証を行った(第5章)。

続いて、動的特徴を含む場合(鼻子音)について、その知覚に寄与している調音、およびスペクトルの特性について、合成的検討を行い(第6章)、最後に、第6章までの知見を総合して、連続音声の中から鼻音性を表わすスペクトルの特徴を実際に抽出して、その鼻音識別への有効性を明らかにした(第7章)。

## 第1章 序 論

鼻音性は言語学的には基本的かつ普遍的な属性であるが、従来その音響的特徴については個別的、定性的な検討しか行われておらず、十分に解明されているとは言えない。したがって、その音響的特徴を一般的、定量的な形で明らかにすることは、音声の基礎研究として重要であると同時に、音声認識のための特徴抽出といった工学的応用にも貢献する所が大きい。

研究の方法としては、従来の研究経過なども考慮して、スペクトルの形態上の特徴に着目し、鼻音性知覚の機能上の特性をとり入れた特徴抽出モデルを構築することにより、鼻音性の音響的特徴を明らかにして行く。同時に、鼻音性の基礎的理解を得る意味で、スペクトルの特徴と発声側の物理的特性との対応についても合わせて検討を行う。

## 第2章 鼻音の静的なスペクトルの特徴

自然発声された母音、鼻音化母音、および nasal murmur のスペクトル分析を行って、鼻音化によるスペクトルの特徴を現象的に明らかにした。特徴の記述は、発声器官の伝達特性を表わす極零周波数に着目した場合と、スペクトルの形状に着目した場合について行い、特に後者の検討では、鼻音化すると種々の形で母音のスペクトル包絡からの形態上の偏差が生じ、それらの偏差に着目することにより、鼻音性の音響的特徴について一般性のある記述を得る可能性を述べた。

## 第3章 鼻音のスペクトルに及ぼす鼻副鼻腔の影響

第2章で明らかにした鼻音化母音と nasal murmur のスペクトルの特徴と、発声過程の物理的特性との対応について検討した。

まず、固有鼻腔や副鼻腔の解剖学的構造を考慮して、鼻音生成のモデルのシミュレーションを行った。次に、シミュレーションで得られたスペクトルと第2章の分析で得られたスペクトルを比較することにより、第2章で明らかにしたスペクトルの特徴と固有鼻腔や副鼻腔のスペクトルへの影響との関連について考察した。それらの考察の結果、第2章で明らかにした鼻音化によるスペクトルの特徴の中には、固有鼻腔だけでなく副鼻腔の影響も受けている特徴が存在することなどを明らかにした。

さらに本章では、鼻音化によって生じ得ると考えられるスペクトルの形態上の特徴について検討し、鼻音化によって母音スペクトルからどのような形態上の偏差が起り得るかを明らかにした。しかし同時に、鼻音化に起因する具体的なスペクトルの特徴を一般的な形で発声側から規定することは困難であることも示した。

以上の結果は、第4章の検討で用いる合成音の基礎資料となっている。

#### 第4章 スペクトル特徴と鼻音性知覚との関係

本章では、スペクトルの特徴と鼻音性知覚との関係について検討した。

まず、第3章の鼻音生成モデルによる合成音や、自然発声の母音、鼻音化母音、および nasal murmur の切り出し再生音を用いて、その伝達特性やスペクトルの形態上の特徴と鼻音性知覚との関係について検討し、鼻音性知覚に寄与しているスペクトルの特徴が、その伝達関数が鼻音化による極零対を含むかどうかよりも、そのスペクトルピークの部分における母音スペクトルからの形態上の偏差によって規定されることを明らかにした。

次に、スペクトルの形状を多少モデル化し、母音のスペクトルに極あるいは極零対を付加してスペクトルの形態上の偏差を与えた合成音を用いて検討し、一般に低域に加わったスペクトル偏差の方が鼻音性知覚に寄与する度合いが大きいこと、および鼻音性知覚に寄与する偏差の周波数領域は元の母音の種類によって異っていることなどを明らかにした。

以上明らかにした知見は、第5章で鼻音性の静的な音響的特徴を定量的に定義する上で重要な資料となっている。

#### 第5章 鼻音性の静的な音響的特徴の定義とその抽出モデル

本章では、鼻音性に寄与する静的な音響的特徴（本論文ではこれを鼻音性パラメータと呼ぶ）の物理的定義とその抽出モデルの設定、およびそれらの知覚的検証を行った。

鼻音性パラメータは、第4章で明らかにした鼻音性知覚の特性に従い、与えられたスペクトルと母音スペクトルとの形態上の偏差量として定義し、音声知覚の能動的機能を考慮した鼻音性抽出の能動的モデル（A-b-Sモデル）を設定した。これは、スペクトルからまず信号としての母音の音質を最適整合の母音スペクトルとして検出し、鼻音性をその母音スペクトルに対する一種の歪（整合誤差）として検出するという方法であり、鼻音性の抽出に新しい観点をとり入れたものである。

モデルでは、入力スペクトルは合成された非鼻音性の母音スペクトルと比較、整合され、最適整合のとき得られる整合誤差（最小整合誤差）が鼻音性パラメータとして抽出される。モデルで合成される母音スペクトルの計算式を以下に示す。

$$|H_s(f)| = A \cdot S(f) \cdot Kr_4(f) \cdot \prod_{n=1}^4 \frac{F_n^2 + (B_n/2)^2}{\sqrt{\{(F_n+f)^2 + (B_n/2)^2\} \{(F_n-f)^2 + (B_n/2)^2\}}}$$

ただし,

$$\left\{ \begin{array}{l} 20 \log A = \beta, \quad 20 \log S(f) = 3.32 \alpha \log f \\ 20 \log Kr_4(f) = 0.54 (f/f_c)^2 + 0.00143 (f/f_c)^4 \\ B_n = 50 (1 + F_n^2 / 6 \times 10^6), \quad f_c = 500 \text{ (Hz)} \\ F_n : n \text{ 番目のホルマント周波数} \end{array} \right\}$$

整合誤差は、対数スペクトル上の平均 2 乗誤差として計算し、第 4 章の知見に従って、スペクトルピークの部分の誤差を重視する重み関数を整合誤差の計算式に導入している。

続いて、設定されたモデルを第 2 章の分析で用いた母音、鼻音化母音、nasal murmur に適用して、実際に鼻音性パラメータを抽出し、第 4 章で行った知覚実験の結果を用いて、抽出した鼻音性パラメータと鼻音性知覚との対応を定量的に評価した。その結果、本章で定義された鼻音性パラメータは、スペクトル偏差の周波数領域を第 4 章の知見に従って適切に選ぶことにより、鼻音性知覚とかなり良い対応がつくことを明らかにし、特に、母音と非常に鼻音化の強い鼻音 (nasal murmur など) との識別に関しては十分な結果を得た。

## 第 6 章 鼻子音の知覚に寄与する調音およびスペクトルの特性

本章では、動的な音響的特徴を含む鼻子音 (/m/) の知覚に寄与している調音およびスペクトルの特性について検討した。

まず、/m/ を含む両唇音 /b, w, m/ の合成のための調音モデルを設定し、モデルによる合成音を用いて聴取実験を行った。その結果、/b/-/w/, /m/-/w/ の識別にはともに唇の閉じる程度 (唇の開口面積の最小値) が非常に重要な役割を果たしていること、その調音パラメータの識別への寄与の仕方は鼻音化、非鼻音化に依らないことなどを明らかにした。これらの結果は、広く音声の調音次元、音響次元、心理次元の相互の関係を総合的に把握する上での第一段階となると考えられる。

次に、調音モデルにより合成されたスペクトル構造を簡略化した合成音を用いて聴取実験を行い、/m/ の知覚には、唇の動きに関係する主要なスペクトルピークの動的特徴と、nasal murmur 区間の鼻音性の静的特徴を与えれば十分であること、さらに、静的特徴が欠如した場合でも、動的特徴にある程度の /m/ の特徴が含まれていることなどを明らかにした。これらの結果は、第 7 章で鼻子音の特徴抽出を考える上で重要な示唆を与えている。

## 第7章 鼻音性抽出モデルの連続音声への拡張

本章では、第6章の知見をとり入れ、第5章で設定された鼻音性抽出のモデルを拡張して、連続音声中の鼻子音や撥音/N/に適用することを試みた。そのためにスペクトルの特徴的ピークの物理的定義を行い、A-b-Sを用いた機械的な抽出アルゴリズムについても検討した。拡張されたモデルにより、2音節単語と都市名単語中の鼻音からスペクトルの特徴的ピークの動的パターンと第5章の定義による鼻音性パラメータを抽出した。

2音節単語においては、抽出された鼻音性パラメータは、大きな値をとる持続時間やスペクトルの変化速度に関する付帯条件をつけることにより、鼻音区間の検出に有効なことが示された。その結果、鼻音性パラメータと抽出されたスペクトルの特徴的ピークの動的パターンとを併用することにより、半母音、流音、鼻子音相互の識別が可能なることを示した。都市名単語についてはまだ種々の問題が生じたが、それらの問題点について整理、検討した。

本章で得られた結果は、今後連続音声中の鼻音の識別を行うための第一段階となると同時に、広く子音の特徴抽出を考える上で重要な示唆を与えることになると思われる。

## 第8章 結 論

本論文は、鼻音性知覚の機能上の特性をとり入れた特徴抽出モデルを構築することにより、鼻音性に寄与している音響的特徴を一般的、定量的に明らかにし、その特徴が連続音声中の鼻音の識別にも有効であることを実験的に示した。

本論文をまとめるにあたり、終始御指導下さった城戸健一教授、粕谷英樹助手をはじめ、熱心に討論下さった音声研究グループ、多くの御協力をいただいた学内外の方々へ感謝致します。

## 審査結果の要旨

音声のもつ種々の言語学的属性と、音声の音波としての音響的特性との対応関係を明らかにすることは、音声情報処理に関する基本的な課題である。これに関する研究は、母音については比較的良好に行われて、種々の成果が上げられているが、鼻音は聴覚による識別が容易であるにもかかわらず、発声器官の概略の構造に基づく音響的特徴が音響理論によって与えられているだけで、如何なる特徴によって鼻音化している音として聞えるかという知覚上の問題については、解明されていなかった。本論文の著者は、鼻音性の知覚に寄与している音響的特徴を、一般的、かつ定量的な形で記述することを目的とし、自然音声および合成音声を用いて詳細な実験的研究を行った。本論文はその成果をまとめたもので、8章からなる。

第1章は序論である。第2章では、鼻音化母音と nasal murmur のスペクトルの特徴を声道の伝達特性およびスペクトルの形状に着目して論じている。第3章では、鼻副鼻腔が鼻音のスペクトルに与える影響を理論的、実験的に解明し、従来の理論では説明のつかないスペクトルの変化の原因を明らかにしている。これは、著者のすぐれた着想に基づくものである。第4章では、鼻音生成のモデルを用いた合成音および自然音声から切り出した鼻音を用いて聴取実験を行い、鼻音性知覚に寄与するスペクトルの特徴として低周波領域のスペクトルピークの部分の、鼻音化しない母音との形態上の偏差が重要であることを明らかにしている。第5章では鼻音性の静的な音響的特徴を物理的に定義し、その抽出のモデルを設定し、その有効なことを実験的に検証している。

第6章では、鼻子音の知覚に寄与する生成系およびスペクトルの特性を調べ、母音の場合とちがって動的な特徴も重要なことを示している。

第7章では、前章までに述べた鼻音化に寄与する静的特徴と動的特徴をあわせて、連続音声から鼻音化した部分を抽出する方法を与え、2音節単語と都市名単語を用いて検討し、その有効なことを示している。第8章は結論である。

以上要するに、本論文は、音声生成の機構と知覚の過程に基づき、従来困難とされていた音声の鼻音性に寄与する音響的特徴を一般的かつ定量的に明らかにしたもので、音声情報処理並びに通信工学に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。