

氏 名 津 村 尚 志

授 与 学 位 工 学 博 士

学位授与年月日 昭和62年1月14日

学位授与の根拠法規 学位規則第5条第2項

最 終 学 歴 昭和37年3月

東北大学工学部電気工学科卒業

学 位 論 文 題 目 周波数変化音の知覚に関する研究

論 文 審 査 委 員 東北大学教授 曾根 敏夫 東北大学教授 城戸 健一

東北大学教授 清水 洋 東北大学教授 丸山 欣哉

論 文 内 容 要 旨

日常われわれの経験する音は、過渡的变化を伴ったものが殆どであり、定常と見なせるものは少ない。音声の認識や楽器音の識別、変動騒音の評価など物理的的刺激と知覚との対応を調べるには、過渡的に変化する音に対する聴覚系の動的応答特性を知ることが基本的に必要である。しかし、従来の聴覚の研究は、殆ど定常的な音に関するものであり、本質的に重要な過渡的に変動を伴った音、すなわち過渡的变化音については、あまり調べられていない。音を伴って迫ってくる危険に対する生命の維持や、社会生活を営む上で必要なコミュニケーションなどのために、聴覚は音の過渡的变化に、きわめてよく適応しているはずであるが、過渡的变化に含まれる情報を、聴覚系でどのように処理しているのか、その機構はまだ明らかになっていない。

本論文では、音の過渡的变化に含まれる物理的要素を、周波数と振幅の変化に大別すると、聴覚の感度は前者のほうが鋭敏で、かつ、音声や楽器音の知覚上、より重要な情報要素を含んでいることから、音の周波数の変化に着目した。まず、いくつかの単純な変化パターンをもつFM短音に対する聴覚系の動的応答特性を、周波数変化の検知閾、弁別閾、及び周波数変化音のピッチ知覚などの心理物理的側面から検討し、次に、これらの応答特性を予測する機能モデルを構成し、周波数変化音の知覚機構の考察を行った。

第1章では、周波数変化の方が振幅変化よりも知覚上重要な情報を含んでいることを述べ、本論文の背景となる聴覚における音の分析機構について、周波数分析、時間分析、及び両者の間の不確

定性関係から論じ、更に、FM音に対する聴覚生理及び心理的応答に関してこれまで得られている知見を概観している。

第2章では、周波数変化パターンとして、直線変化、ステップ変化、三角変化、及び整数周期の正弦変化を用いて、それぞれの周波数変化の検知閾を求め、

- (1) 一般に、FM音の継続時間が長くなると検知閾が小さくなり、200-300ms以上で純音の周波数弁別閾と同程度になること、
- (2) 同一条件で行った3つの周波数変化パターンの場合、ステップ、直線、三角変化の順に検知が困難になること、
- (3) 周波数変化の初期周波数または中心周波数が250, 1K, 4kHzと高くなるに従い、閾値も高くなること、
- (4) 周波数変化の最高点あるいは最低点を短いノイズでマスクすると、他の中間点をマスクするより検知閾が大きくなること、
- (5) 前記2)及び4)から、周波数変化の検知の手掛かりには、FM音の最大周波数偏位幅を与える2つの部分のピッチ差が主となっており、ピッチの動的知覚の手掛かりは二義的であることを示した。

第3章では、周波数変化の検知閾より十分大きな周波数変化の弁別を問題とし、実質的な意味での変動知覚を扱っている。まず、周波数変化の弁別の手掛かりを被験者の内観報告により調べ、次に、直線周波数変化パターンおよび半周期の正弦周波数変化パターンについて弁別閾を求めた。また、周波数変化による動的知覚の一つとして、ピッチ変化の「速度感」を取り上げ、この知覚が真に可能かどうかを調べた。最後に、二三の周波数変化パターンをもつFM音による短音の同時マスクング時間パターンから、周波数変化に対する聴覚系の追従特性を検討している。その結果、

- (1) 直線周波数変化の弁別の手掛かりは、周波数変化が速い時は変化部分の音色の違い、遅くなると変化部分で聞かれる一定ピッチ (overall pitch) の違い、更に遅くなると、変化の速度によらず、周波数変化時間200-500ms以上でピッチの動きの違いが弁別の手掛かりとなること、
- (2) 同じ周波数変化パターンを用いて、周波数変化速度の弁別閾を求め、その比弁別閾は約0.25となること、
- (3) 正弦半波の周波数変化パターンにおける周波数変化幅の比弁別閾は、約0.02となること、
- (4) 一定の周波数変化速度をもつ基準音に対して、これと異なる継続時間あるいは周波数変化幅をもつ変化音の変化速度をマッチする実験を行い、基準音と変化音の継続時間が200ms程度以上になると、ピッチ変化の「速度感」を正確にとらえることができること、
- (5) FM音による正弦波短音の同時マスクングパターンの時間的変化から、周波数変化に対する聴覚系の興奮は、30msの継続時間をもつ周波数変化にもほぼ追従すること、

がわかった。

周波数変化する音は、ピッチが時間的に変化して聞こえるが、ある条件下では、このピッチ変化以外に、比較的一定なピッチ (overall pitch) が聞こえることがある。このような overall pitch 知覚現象は、聴覚系の時間・周波数平均化機構を反映したものと考えられる。第4章では、この平

均化機構を検討するため、4種類の周波数変化パターン（直線、三角、正弦、ステップ変化）について、FM音の overall pitch に純音のピッチをマッチさせる実験を行った。その結果、

- (1) ピッチマッチング周波数は、一般にFM音の終端側の周波数側に推移し、継続時間が長いほどその傾向が強いこと、
- (2) 直線上昇、下降変化の場合、上記のピッチ推移の程度は、上昇変化の方が大きく、周波数変化の方向の違いで、ピッチマッチング周波数特性に非対称性が現れること、
- (3) 継続時間内に一度以上変化方向が変わる周波数変化パターンの場合、その終端部における周波数変化方向が直線周波数変化のそれと同じなら、これらのピッチマッチング特性は似た傾向を示すこと、

を見出し、以上から、

- (4) FM短音のピッチは、短音の終端部に近い周波数ほど大きい重みをもつある種の周波数平均化機構を通して知覚されること、
- (5) 周波数変化方向の違いによるピッチマッチング特性の非対称性は、周波数平均における重み特性の相違で説明できること、

を述べている。

第5章では、純音あるいは狭帯域ノイズのマスクングパターンから想定される心理音響的興奮パターンの概念に基づき、過渡的周波数変化の検知モデル、弁別モデル、平均ピッチ知覚モデルを構成し、周波数変化の知覚機構について考察している。

- (1) 平均ピッチ知覚のモデルとして、音の終端側の周波数ほどFM音の興奮パターンに大きな重みをかけ、音の終端における荷重興奮パターンが単一ピークを与える周波数を overall pitch 周波数と仮定した。まずステップ周波数変化音の結果に当てはめることにより、興奮パターンの尖鋭度 Q が10、重みの時定数は上昇ステップで30ms、下降ステップで80msを得、この値を直線変化、三角変化、前後に定常周波数部をもつ直線周波数変化音それぞれに用いて計算したところ、実測と比較的良好一致が見られ、1波の正弦変化音の場合にも同様にほぼ実測が再現できた。また、周波数変化方向の違いによる overall pitch の非対称な振舞いは、重みの時定数の違いで説明できた。
- (2) 検知モデルは、周波数変化を overall pitch 周波数を中心とした変化に置き換え、これを興奮パターン上のレベル変化に変換したものを、周波数変調に対する聴覚の感度特性として、13msの単純なRCローパスフィルタで重み付け、このエネルギーがある一定の閾値を越えると周波数変化を検知するというものである。検知閾の実測データについて理論値の当てはまりを検討したところ、大略良好であった。
- (3) 弁別モデルとして、標準刺激に対する変化刺激の重み付き変動成分のエネルギー比が、ある一定閾値を越えると弁別されるという検知モデルの拡張を行うことにより、理論は実測の傾向を再現できた。

以上から、心理音響的興奮パターンの概念は、定常音ばかりでなく、周波数変化音の知覚にも基本的に重要なことがわかった。

第6章では、以上の結果をまとめている。

刺激音に含まれる過渡的周波数変化は、音の認識に重要な貢献をしているが、これまで、このような過渡的周波数変化は感覚、知覚レベルにおいては扱われることが少なかった。音の認識は、音に含まれる聴覚的に重要なパターンの認識であり、音の知覚研究の最終目標もここにある。本研究で得られた知見は、そのための基礎的データを提供するものと考えられる。ここでは、周波数変化しか扱わなかったが、レベル変化も同時に含んだ刺激音など、単純な刺激音から、より複雑な音に対する知覚研究の積み重ねによって、最終的には、音一般の認識機構の理解に至ること、及びその機能が工学的に有効に利用されることが期待される。

審査結果の要旨

人間が社会生活を営む上で、音は不可欠の情報伝達手段であるが、音声、楽器音など、それに利用される音の殆どは非定常な音であり、音に含まれる変化自体が、多くの情報を担っている。特に、周波数の変化は重要であり、周波数変化音に対する聴覚系の情報処理機構の解明は、その機能の工学的利用の点からも強く望まれているところである。

本論文は、過渡的に周波数変化する短音に対する聴覚系の動的応答特性を、周波数変化の検知、弁別、ピッチ知覚などの心理物理的側面から詳細に調べ、その応答特性を予測するモデルを構成して、周波数変化音の知覚機構に考察を加えた研究の結果をまとめたもので、全編6章からなる。

第1章は序論であり、周波数変化の知覚的重要性、及び聴覚における周波数分析、時間分析など、聴覚生理・心理学的知見に基づいて本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、いくつかの単純な周波数変化パターンをもつFM音を用いて、周波数変化の検知閾を求め、周波数変化の検知の聴覚的手掛りは、FM音の最高及び最低周波数部に対応するピッチ差が主なものであり、ピッチの動的知覚の手掛りは、むしろ二義的であることを明らかにした。

第3章では、周波数変化がその検知閾より十分大きい音の変化の弁別特性を調べ、弁別の手掛りが周波数変化速度の違いによって三分類されること、及び継続時間が約200ms以上のFM音では、ピッチ変化の動的感覚を正確に捉えることができることを見出した。また、マスキング実験から、周波数変化に対する聴覚末梢の興奮の追従特性を明らかにしている。これらは、有用な知見である。

第4章では、FM音に対して一定ピッチを知覚できる現象を、FM音と純音とのピッチマッチング実験によって調べ、周波数変化の方向の違いでピッチマッチング特性に非対称性が見られることを見出した。著者は、この一定ピッチ知覚現象が、FM音の終端側を大きく重みづけるある種の時間・周波数平均化機構に基づいていると結論している。

第5章では、聴覚系内に想定した心理的興奮パターンに基づいて、過渡的周波数変化の検知モデル、弁別モデル、一定ピッチ知覚モデルを構成し、周波数変化の知覚機構について考察している。実験値とモデルに基づく計算値との対応は比較的良く、周波数変化音の知覚機構の解釈には、心理的興奮パターンの概念が有用であることが示されている。

第6章は、結論である。

以上要するに本論文は、音の周波数の過渡的变化に含まれる情報を、聴覚系でどのように処理しているかの機構の解明に有用な基礎的知見を与えたもので、音響工学の発展に寄与するところが少なくない。

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。