

搬送周波数の関数としてみた FM-AM 音における 平均的高さ（主要調子）の知覚

岩宮眞一郎, 吉村 知子, 宮倉 隆志

九州芸術工科大学, 音響設計学科

Perceived Average (Principal) Pitch of FM-AM Tones as a Function of the Carrier Frequency

Shin-ichiro IWAMIYA, Tomoko YOSHIMURA, and Takashi MIYAKURA

Department of Acoustic Design, Kyushu Institute of Design, Shiobaru, Minami-ku, Fukuoka, 815 Japan

"FM-AM tones" are defined as fluctuated tones whose frequency and amplitude are periodically modulated by an identical waveform. "Principal pitch" is defined as somewhat steady and average pitch perceived from FM-AM tones with pitch fluctuation. In the present study the principal pitch shift of FM-AM tones on the phase difference between FM and AM was measured by the psychoacoustical experiment using a method of adjustment as a function of the carrier frequency of 200 to 10 kHz sinusoidal carrier wave, and it was measured when the carrier wave brings a 200 Hz residue pitch. Consequently, the principal pitch shift can be predicted by the averaging mechanism model of instantaneous fluctuating pitch weighted with instantaneous loudness fluctuation whether the pitch fluctuation arises on the basis of place information or of time information. Therefore it is suggested that the principal pitch perception is attained on the central nervous system of auditory system. Furthermore not only pitch fluctuation caused from frequency modulation but also that from amplitude modulation must be considered for prediction of principal pitch shift by the model.

Key words: Weighted Pitch Averaging Mechanism Model, Phase Difference between FM and AM, Place Information, Time Information, Effect of Intensity on Pitch

まえがき

人間は、さまざまな音を利用して、情報の伝達や環境への適応などに役立てている。音を規定する物理量は数多いが、心理的には高さ・大きさ・音色のいわゆる「音の三要素」が重要な性質であるとされている。「音の三要素」は、それぞれ音楽・音声・物音等の音響情報を知覚・認知する上で重要な手がかりになっており、音の物理的性質との対応関係については数多くの研究が試みられている。

「音の三要素」のうち、高さの知覚過程は聴覚系の音響情報処理機構を反映するものと考えられ、さまざまな観点から多くの研究者の関心をひいてきた。これまで行われてきた音の高さに関する研究の多くは、定常

音を対象としたものであった。しかし、人間を取り巻くさまざまな音は、ほとんどが定常的なものではなく、通常その周波数や振幅あるいはスペクトル構造に種々の変動を含んでいる。これらの変動は、人間が音響情報を知覚・認知する上で重要な役割を担っている。したがって、聴覚系における音響情報処理機構の反映としての音の高さ知覚過程を解明するためには、変動音の高さをも研究対象としなければならない。

変動音の高さに関する研究は、定常音に関するものと比べるとその歴史は浅いが、音声や音楽知覚研究の基礎となるものとして、また、聴覚系の時間・空間特性を反映させるものとして、さまざまな立場から試みられている。このような研究の一環として、過渡的あ

るいは周期的周波数変調音の高さが、周波数変化範囲のどのような位置に知覚されるのかに関する研究も多い(Tiffin, 1931, 広瀬, 1934, Youtz and Stevens, 1938, McClelland and Brandt, 1969, Nábělek et al., 1970, 早坂ら, 1973, 津村, 1978, Sundberg, 1978, Shonle and Horan, 1980, Iwamiya et al., 1983, 住谷・渕田, 1984)。

特に、周期的周波数変調音(FM音)に関する研究は、音楽演奏技巧としてのヴィブラートと関連づけられ、多くの研究者が関心を寄せている。周期的な高さの変動を伴いながら、ヴィブラート音から知覚される一定の平均的な高さは、「主要調子」と呼ばれ(広瀬, 1934), 定常音の高さと区別されている。最近の研究によると、ヴィブラート音の主要調子は、搬送周波数(周波数変化範囲の中心)付近に知覚されると報告されている(Sundberg, 1978, Shonle and Horan, 1980, Iwamiya et al., 1983, 住谷・渕田, 1984)。

ただし、これらの研究のうちTiffinのみが振幅も同時に変化する音をも研究対象としているが、他はすべて周波数のみが変化する音だけを対象としたものである。しかも、Tiffinは振幅の変化過程を物理的に規定しておらず、また、ただ1つの実験条件下のデータしか示していない。

岩宮らは、周波数とともに振幅も同一の変調波形で周期的に変化する音(以下、FM-AM音と呼ぶ)の主要調子がどのような位置に知覚されるのかを、聴取実験により系統的に測定している(Iwamiya et al., 1984, 岩宮ら, 1983a, 1983b)。彼らは、一連の実験結果より、FM-AM音の主要調子は音の高さの変動を大きさの変動で荷重平均した位置に知覚されるとする、音の高さ荷重平均化機構モデルを提案している。このモデルによると、FM-AM音から知覚される高さの変動関数をC(t)、大きさの変動関数をW(t)としたとき、主要調子の位置は、 $(1/T) \int_0^T C(t)W(t)dt$ と予測される。ただし、tは時間、Tは変調周期を表わし、W(t)は $(1/T) \int_0^T W(t)dt = 1$ のように規準化されているものとする。このモデルは、FM-AM音を規定する種々の物理量を変化させたとき、主要調子の相対的推移過程を正確に予測することができる。ただし、絶対的位置に関しては、さまざまなバイアス効果の生ずることも合わせて報告されている。

岩宮らのモデルは、音の高さの変動を平均化する機

構の存在を仮定しているので、当然、音の高さを知覚する機能を基礎とするものであると考えられる。音の高さを知覚する機能として、2つの機能が存在する(境・中山, 1978, Moore, 1982)。その1つは、音刺激によって興奮する神経細胞の場所に従って高さを感じる機能で、この機能により知覚される高さは場所ピッチと呼ばれている。もう1つは、刺激によって生ずる神経インパルスの周期性に従って高さを感じる機能で、これによる高さは時間ピッチと呼ばれている。場所ピッチは全可聴周波数帯に渡るピッチ情報を担っているが、時間ピッチは1kHz以下(あるいは5kHz未満)の周波数帯のみに関連する。また、基本波を欠くスペクトル構造を持つ音から基本波の周波数に相当する高さが知覚される場合、この高さはレジデュー・ピッチと呼ばれるが、成分音の周波数間隔が充分に近接しているときのレジデュー・ピッチ知覚は主に時間ピッチ情報に基づくと考えられている。

本研究の第1の目的は、音の高さの変動が場所ピッチ情報によってもたらされる場合と時間ピッチ情報による場合とで、FM-AM音の主要調子知覚過程に何らかの差異が生ずるか否かを明らかにすることである。このためには、広い周波数帯に渡る正弦波およびレジデュー・ピッチを生ずる波を搬送波として用い、FM-AM音における主要調子の位置を測定しなければならない。この問題は、音の高さを研究対象としている以上、必ず検討を要する事項である。

第2の目的は、主要調子の知覚が聴覚系の中核神経系によるものか否かを明らかにすることである。レジデュー・ピッチ知覚は中枢神経系によるとされており(Moore, 1982)、レジデュー・ピッチを生ずる搬送波は、この問題の解明にも役立つ。

Moore(1982)のモデルによると、基本波を欠く音は、まず臨界帯域に相当する特性を持つ聴覚フィルターにより周波数分析され、神経インパルス列に変換される。次に、各帯域ごとの神経インパルスの発火時間間隔が抽出され、最も顕著な発火パターンを示す基本波の周期が選別され、これに対応するレジデュー・ピッチが知覚される。

第3の目的は、主要調子知覚過程におけるバイアス効果に及ぼす搬送周波数の影響を明らかにすることである。岩宮らの報告によると、このバイアス効果は振幅の変化が高さに与える効果により振幅変調自体が高

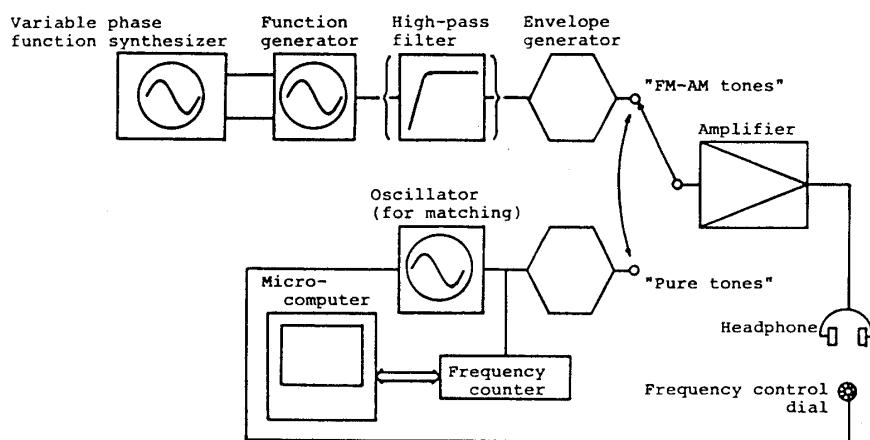


Fig. 1 Schematic drawing of the experiment.

きの変動を伴うことによる、と推論されている。この推論が妥当なものであれば、広域に渡って搬送周波数を変化させれば、振幅の変化が高さに与える効果の周波数による違い (Stevens, 1935) を反映させることができるものであろう。

岩宮らの報告は、すべて440~1500Hzの正弦波を搬送波とした条件下のもので、場所ピッチ・時間ピッチの両情報の影響を受けており、これをもとに両ピッチ情報の影響を分離して論ずることはできない。また、この周波数範囲は、振幅変化の高さに与える効果の周波数依存性を反映できるほど広くない。我々は、200~10kHzの正弦波と200Hzのレジデューア・ピッチを生ずる波を搬送波として用い、岩宮らと同様の実験を行い、以上3つの問題を検討した。

実験方法

実験は調整法によって行った。実験装置のブロック・ダイヤグラムをFig. 1に示す。FM-AM音は、発振周波数と振幅を電圧で制御できるファンクション・ジェネレータ (NF FG-122) によって発生させた。変調波は、可変位相出力付きファンクション・シンセサイザ (NF DF194) により発生させた、7Hzの正弦波である。搬送波は、200, 1k, 5k, 10kHzの正弦波、および200Hzのレジデューア・ピッチを生ずる波(以下、レジデューア波と呼ぶ)である。これらの条件のうち、5kおよび10kHzの正弦波を搬送波とした場合(以下、正弦波条件と呼ぶ)には、場所ピッチ情報に基づく高さの変動の影響をみることができる。200および1kHzの正弦波条件では、場所ピッチと時間ピッチの両情報に基づく高さ変動の影響を得る。また、200~10kHzの周波

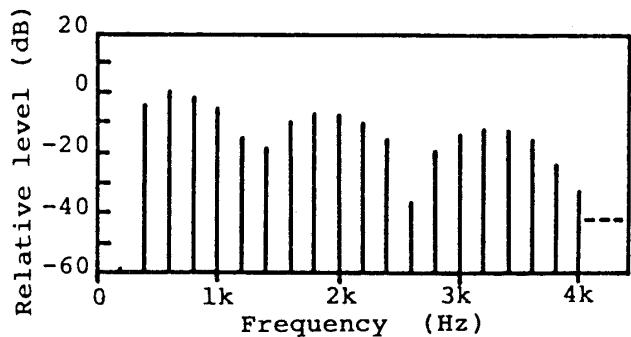


Fig. 2 Spectral representation of the residue tones.

数範囲は、振幅の変化が音の高さに与える効果の周波数依存性を十分に反映し得るものである。

レジデューア波は、デューティ比15:85、200Hzの非対称矩形波をしゃ断周波数300Hz、周波数特性-96dB/Oct.のハイパス・フィルターを通し基本波を除去することにより、発生させた。Fig. 2に、このレジデューア波のスペクトル構造を示す。レジデューア波を搬送波とした場合(以下、レジデューア波条件と呼ぶ)においては、時間ピッチ情報が主要調子の知覚に及ぼす影響、および主要調子の知覚が聴覚系のどのようなレベルでなされているのかを明らかにすることができる。

刺激音の聴取はヘッドホーン (Stax SR-X/MK3) により行い、両耳に同一の信号を提示した。刺激音の大きさのレベルは、すべて無変調時に70phonに設定した。

FM-AM音における周波数変調(FM)と振幅変調(AM)を規定する物理量の定義をFig. 3に示すが、周波数変化範囲は50セント、振幅変調度は1.0とした。FMとAMの位相は、同相(0度)および逆相(180度)とした。同相条件においては、周波数が上昇するときに

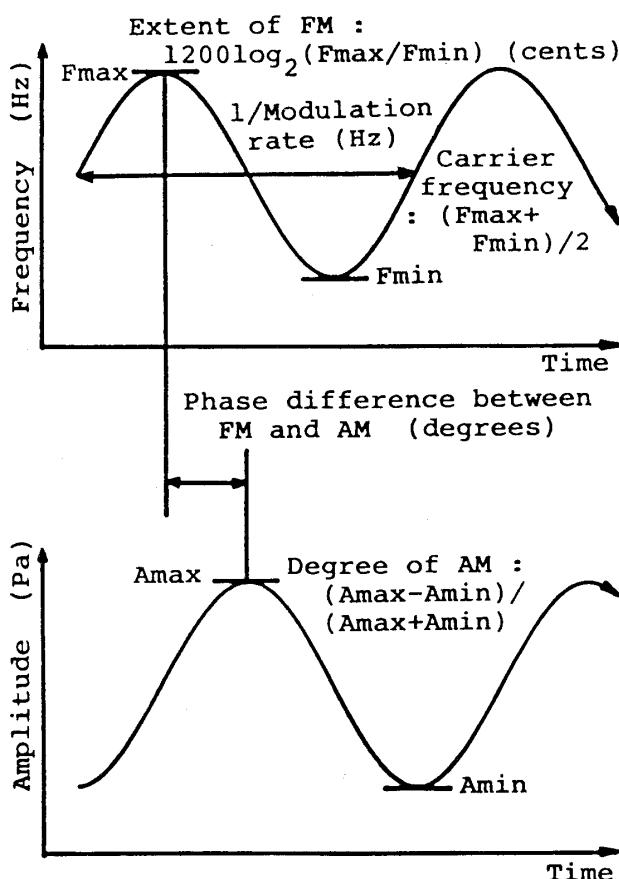


Fig. 3 Physical parameters of FM-AM tones.

振幅が大きくなり、周波数低下時に振幅が小さくなる。これに対して、逆相の場合には、周波数低下時に振幅が大きくなり、周波数上昇時に振幅が小さくなる。

これらの条件とともに、音の高さを調整法により合わせる能力を検討するために、無変調条件での各搬送波を用いた実験も行った。正弦波条件では、純音どおしの高さを合わせる実験となる。さらに、振幅変調による高さ変動の影響を検討するために、各搬送波に振幅変調のみを施した音(AM音)による実験も加えた。

被験者に対して、FM-AM音(またはAM音、無変調音)と調整用純音を交互に聴き比べ、純音の発振周波数制御用ダイアルを調整して、純音の高さをFM-AM音の平均的高さ(主要調子)に合わせるように指示を与えた。ただし、レジデューウェー条件においては、400Hz以上の倍音成分の高さに合わせるのを避けるために、調整範囲を200Hz付近に限定した。被験者は、自分の望むだけ両刺激音を聴き比べることができ、調整に要する時間の制限は設けなかった。刺激音の切り換えは被験者自ら行うが、このとき、クリックの発生を防ぐため、0.18秒の立ち上がりおよび減衰特性を付け

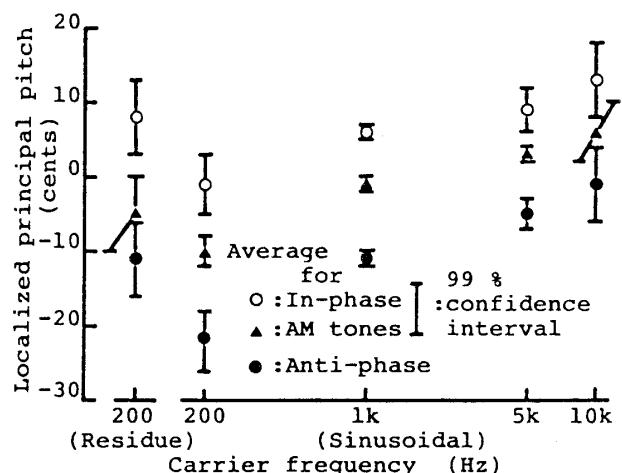


Fig. 4 Average settings and 99% confidence intervals in cents, referred to the carrier frequency, for in-phase, anti-phase, and AM conditions as a function of the carrier frequency.

である。調整実験は防音室内で行い、調整の終了はインターホンを通じて実験者に知らされた。調整用純音の最終設定周波数を、マイクロコンピュータで制御された周波数カウンタによって計測し、主要調子の主観的等価点とした。被験者は、聴力正常な22~31才の男子5名で、十分な練習の後、各条件10回ずつ調整を行った。ただし、他と著しく傾向の異なる調整を行ったときには、追加の調整を課し、これに換えた。

結果

各被験者の各調整における最終設定周波数を搬送周波数から何セント隔っているかに変換し、各条件ごとに10個の設定値の平均と標準偏差を求めた。設定周波数を fmatch Hz、搬送周波数を fc Hz としたとき、設定値は $1200 \log_2(f\text{match}/f\text{c})$ セントと表わされる。この定義によると、音楽用語としての1オクターブが1200セント、半音程が100セントに相当する。設定値が正である場合には、刺激音の高さの主観的等価点が搬送周波数より高く、負である場合には低く知覚されていることを示す。これらのデータの集計は、マイクロコンピュータによりリアルタイムで行った。Table 1に、各被験者の各条件ごとに、平均設定値と標準偏差を示す。

Fig. 4 に、無変調条件以外の各条件における全被験者のデータの平均値と平均値の99%信頼区間を、搬送周波数の関数として表わす。

Table 1 Average settings and standard deviations in cents, referred to the carrier frequency, for each condition for each subject.

Sub- ject	Modulation condition	(Residue) 200 Hz	Carrier frequency (Sinusoidal)		
			200 Hz	1 kHz	5 kHz
A	No modulation	-3.3±3.7	-3.0±2.1	-0.3±1.6	-1.2±1.8
	In-phase	22.4±4.9	7.2±2.3	8.4±1.4	10.4±2.9
	AM tones	13.6±3.9	-4.7±2.2	1.0±1.3	7.2±1.5
	Anti-phase	6.4±5.3	-16.2±2.1	-9.3±2.5	-4.1±1.7
B	No modulation	-2.5±4.2	1.4±3.4	-0.5±1.8	1.2±1.0
	In-phase	5.2±3.6	-18.2±5.5	5.8±1.8	0.3±2.4
	AM tones	5.0±4.0	-15.9±3.8	-0.6±2.8	-1.6±3.3
	Anti-phase	-23.5±3.7	-43.1±7.5	-8.5±3.1	-6.0±3.2
C	No modulation	-21.5±2.8	-1.0±4.8	0.9±0.6	-1.5±0.7
	In-phase	-15.3±1.9	-2.7±3.8	4.6±3.4	8.0±1.7
	AM tones	-25.3±3.8	-8.7±5.6	-0.7±1.4	4.1±1.2
	Anti-phase	-28.5±3.4	-20.6±5.2	-8.6±1.5	-0.3±1.9
D	No modulation	16.7±7.0	-0.9±3.3	-1.2±1.8	-2.3±1.4
	In-phase	23.3±4.0	11.6±9.0	9.7±3.0	21.1±4.2
	AM tones	-15.4±5.5	-11.0±4.3	-1.7±2.7	3.8±3.2
	Anti-phase	-2.8±10.4	-19.9±4.8	15.5±4.0	-3.9±6.7
E	No modulation	-7.0±2.6	0.3±1.2	-0.3±0.4	0.3±0.4
	In-phase	5.1±1.4	-3.1±3.8	2.3±2.3	3.2±1.2
	AM tones	-4.1±3.4	-10.7±4.3	-2.8±0.9	-0.7±0.5
	Anti-phase	-6.8±1.1	-12.4±4.2	-11.2±1.5	-9.4±1.2

[Average settings±Standard deviations (cents)]

考 察

Table 1 に示す無変調正弦波条件での実験結果によると、各被験者の各条件での平均設定値は、いずれも搬送周波数付近に一致し、標準偏差も小さく、各被験者の高さを調整して合わせる能力が十分なものであることが確認された。無変調レジデューウェー条件においては、平均値が必ずしも200Hzと一致しておらず、標準偏差も一般に正弦波条件に比べ少し大きい。しかし、レジデューウェー・ピッチは基本音の高さと少しずれることもあり得ること(大串, 1976)、200Hzという周波数帯では1kHz付近に比べ周波数の弁別限が上昇すること(Shower and Biddulph, 1981)、およびレジデューウェー条件でのピッチ感の弱さ(Fastl and Stoll, 1979)を考えると、この条件下でも各被験者の高さ調整能力は十分なものであろう。

FM-AM 音の主要調子に関して、レジデューウェー条件を含むすべての条件において全被験者に共通した傾向として、FM と AM が同相の場合における平均設定値は逆相条件の平均値よりも高く位置している。また、ほとんどの場合、AM 音の平均設定値は、同相・逆相条件の中間付近に位置する。特に、1kHz の正弦波条件では、同相条件の平均値は搬送周波数より高く、逆相条件での平均値は低く位置しており、音の高さ荷重平均化機構モデルによる予測と一致している。しかし、他の場合には両条件の平均値とも搬送周波数より高く

あるいは低く推移している場合も多く、モデルによる予測位置に正あるいは負方向のバイアス効果が存在することが認められる。バイアスの方向および量は被験者により若干異なるが、正弦波条件における一般的傾向としては、Fig. 4 に示すように、200Hz の場合には負方向、5k および10kHz の場合には正方向のバイアスが顕著である。

まず始めに、正弦波条件におけるバイアス効果が振幅変調自体に伴う高さ変動によるとする推論の妥当性を検討する。一般に、1kHz 以下の純音の高さは、振幅が大きくなると下降し、振幅が小さくなると上昇する。逆に、1kHz 以上の純音の高さは、振幅が大きくなると上昇し、振幅が小さくなると下降する (Stevens, 1935)。したがって、搬送周波数1kHz 以下の AM 音は振幅変調と逆相関係の高さの変動を、1kHz 以上の AM 音は同相関係の高さ変動を伴う。主要調子は高さの変動を大きさの変動で荷重平均した位置に知覚されるので、AM 音の主要調子は、搬送周波数が1kHz 以下では搬送周波数より低く、1kHz 以上では高く推移する。1kHz 付近の純音の高さは振幅の変化にあまり影響されないので、搬送周波数1kHz の AM 音の主要調子は搬送周波数付近に一致する。

FM-AM 音の主要調子は、音の高さ荷重平均化機構モデルによる予測位置に、AM 音の主要調子推移に応じたバイアス効果をうける。したがって、FM-AM

音の主要調子は同相条件では AM 音より高く、逆相条件では AM 音より低く位置するが、搬送周波数1kHz 以下のときには搬送周波数より負方向に、1kHz 以上では正方向にバイアスされる。Fig. 4 に示す実験結果は、以上述べてきた振幅変調によるバイアス効果に関する推論の妥当性を支持する傾向を示す。

振幅の変化が高さに与える効果は、かなり個人差があることが指摘されており (Vershuure and Meeteren, 1975)，振幅変調によるバイアス効果に関しても、方向・量ともかなり個人差があると考えられる。Table 1においても、このバイアス効果の個人差が認められる。

ただし、レジデューウェー波においては、その複雑なスペクトル構造のため、以上の推論をそのまま適用することはできない。

次に、高さの変動が場所ピッチ情報によってもたらされる場合と時間ピッチ情報による場合とで、FM-AM 音の主要調子知覚過程に何らかの相異があるか否かについて検討する。先に述べたように、レジデューウェー波条件を含むすべての条件下において、同相条件の平均値が逆相条件の平均値より高く位置していることから、主要調子の推移方向に関しては、高さの変動がどのようなピッチ情報に基づくかによる違いはないと考えられる。

ただし、推移量に関しては条件により若干の違いがみられ、これが統計的に有意なものかどうかを検討しなければならない。推移量の指標としては、振幅変調によるバイアス効果の影響をとり除くために、同相・逆相条件の平均設定値間の音程（何セント隔たっているか）を用いる。これについても個人差はみられるが、Fig. 4 に示す正弦波条件の一般的傾向として、同相・逆相間の音程は、搬送周波数1kHz の場合に比べ、謹かではあるが、200Hz の場合には増加し、5k および10kHz の場合には減少している。また、200Hz のとき、レジデューウェー波条件と正弦波条件で、同相・逆相間音程はほとんど変わらない。Fig. 5 に、同相・逆相条件の平均設定値間音程における99%信頼区間を、搬送周波数の関数として表わす。信頼区間は、各条件ごとに全被験者の全設定値をもとに求めた。各条件ごとの信頼区間は、すべて点線で示す15~16セントの区間を共有する。したがって、各条件での同相・逆相間音程の違いは、99% の有意水準では統計的に有意なものではない。つまり、

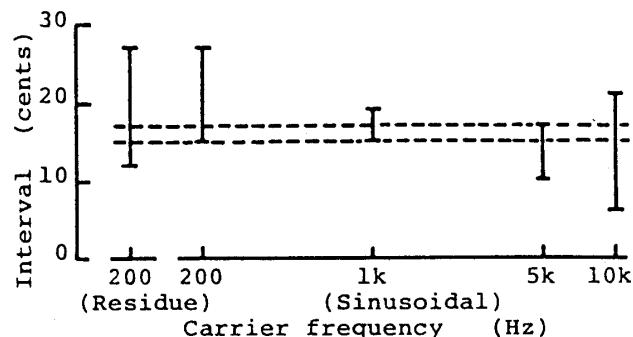


Fig. 5 99% confidence intervals between in-phase and anti-phase averages as a function of the carrier frequency.

主要調子の推移量に関しても、高さの変動が場所ピッチ情報によってもたらされる場合、時間ピッチ情報による場合、および両ピッチ情報による場合で、有意な差は認められない。

しかし、有意水準を95%まで下げると、正弦波条件での200Hz と5kHz の間に共通区間が無くなり、同相・逆相間の音程差が有意なものになる。しかし、この水準においても、他の条件間の組み合わせはすべて共通部分を有するので、この差もピッチ情報の違いによるとは限らない。

最後に、主要調子の知覚が聴覚系のどのようなレベルでなされているのかについて検討をする。すでに述べてきたように、レジデューウェー波条件においても、正弦波条件と同様の主要調子推移がみられることが確認されている。したがって、主要調子の知覚は、聴覚系の中枢神経系においてなされているのではないかと考えられている。

結論

1) 音の高さ変動が場所ピッチ情報によってもたらされる場合でも、時間ピッチ情報による場合でも、FM-AM 音の主要調子知覚過程に本質的な差異は認められなかった。したがって、音の高さ変動がどのようなピッチ情報によってもたらされようと、FM-AM 音の主要調子は音の高さ変動を大きさ変動で重み付けて平均した位置に知覚されるとする、音の高さ荷重平均化機構モデルは妥当なものであると考えられる。

2) レジデューウェー波条件においても、音の高さ荷重平均化機構モデルの妥当性が確かめられたことにより、主要調子の知覚が聴覚系の中枢神経系でなされているこ

とが示唆された。

3) 正弦波条件におけるFM-AM音の主要調子に、搬送周波数1kHz以下では負方向、1kHz以上では正方向のバイアス効果が認められた。このようなバイアス効果の周波数依存性により、このバイアス効果が振幅変化の高さに与える効果に基づくことが確認された。したがって、高さ変動として、周波数変調によるものだけでなく振幅変調によるものも考慮に入れれば、音の高さ荷重平均化機構モデルにより、バイアス効果も含めた主要調子位置の予測が可能となる。

謝 辞

日頃御指導いただき、九州芸術工科大学佐々木實教授に深く感謝いたします。なお、本研究は、實吉奨学会から研究助成金の補助を受けた。

参考文献

- Fastl, H., and Stoll, G., 1979: Scaling of pitch strength. *Hearing Research*, 1: 293-301.
- 早坂栄二, 曾根敏夫, 二村忠元, 1973: 周波数変化音のピッチに関する考察. 日本音響学会講演論文集(10月): 445-446.
- 広瀬綿一, 1934: 震音或ひはヴィブラートに於ける主要調子の問題. 心理学研究, 9: 793-845.
- Iwamiya, S., Kosugi, K., and Kitamura, O., 1983: Perceived principal pitch of vibrato tones. *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, 4: 73-82.
- Iwamiya, S., Nishikawa, S., and Kitamura, O., 1984: Perceived principal pitch of FM-AM tones when the phase difference between frequency modulation and amplitude modulation is in-phase and anti-phase. *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, 5: 59-69.
- 岩宮眞一郎, 不二原一也, 北村音一, 1983a: 周波数変調と振幅変調の位相差の関数としてみたFM-AM音における主要調子の推移. 聴覚研究会資料, H-83-72.
- 岩宮眞一郎, 松原邦裕, 北村音一, 1983b: FM-AM音の主要調子推移に及ぼす変調周波数の影響(搬送波の周波数440Hzの場合), 日本音響学会講演論文集(10月): 233-234.
- 大串健吾, 1976: 複合音の高さの知覚における時間情報の役割. 日本音響学会誌, 32: 710-719.
- McClelland, K. D., and Brandt, J. F., 1969: Pitch of frequency modulated tones. *J. Acoust. Soc. Am.*, 45: 1489-1498.
- Moore, B. C. J., 1982: *An Introduction to the Psychology of Hearing*, Academic Press, London: 115-149.
- Nábělek, I. V., Nábělek, A. K., and Hirsh, I. R., 1970: Pitch of tone bursts of changing frequency. *J. Acoust. Soc. Am.*, 48: 536-553.
- 境久雄, 中山剛, 1978: 聴覚と音響心理, コロナ社, 東京: 95-105.
- Shonle, J. I., and Horan, K. E., 1980: The pitch of vibrato tones. *J. Acoust. Soc. Am.*, 67: 246-252.
- Shower, E.G., and Biddulph, R., 1931: Differential pitch sensitivity of the ear. *J. Acoust. Soc. Am.*, 3: 275-287.
- Stevens, S. S., 1935: The relation of pitch to intensity. *J. Acoust. Soc. Am.*, 6: 150-154.
- 住谷秀夫, 渕田和子, 1984: ヴィブラート音の聴取ピッチー中心周波数440Hzの音を用いてー. 大阪音楽大学音楽研究所年報, 2: 142-156.
- Sundberg, J., 1978: Effects of the vibrato and the 'singing formant' on pitch. *Musicologica Slovaca (in Memoriam M. Filip)*, 6: 51-69.
- Tiffin, J., 1931: Some aspects of the psychophysics of the vibrato. *Psychol. Rev. Monogr.*, 41: 153-200.
- 津村尚志, 1978: 周波数変化する短音のピッチ. 聴覚研究会資料, H-51-9.
- Vershure, J., and van Meeteren, A. A., 1975: The effect of intensity on pitch. *Acustica*, 32: 33-44.
- Youtz, R.E.P., and Stevens, S. S., 1938: On the pitch of frequency modulated tones, *Am. J. Psychol.*, 50: 521-526.

(1984年11月20日受付)