

Title	歌声に含まれる基本周波数の微細変動成分の知覚に関する研究
Author(s)	北風, 裕教
Citation	
Issue Date	2000-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1335
Rights	
Description	Supervisor:赤木 正人, 情報科学研究科, 修士

歌声に含まれる基本周波数の 微細変動成分の知覚に関する研究

北風 裕教

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

2000 年 2 月 15 日

キーワード： 基本周波数、微細変動成分、変調周波数、偏移幅、歌声.

1 はじめに

近年、高品質な歌声合成の実現を目指す研究が行なわれている。品質の良い歌声合成を行うためには、曲の旋律概形成分、歌声特有のビブラート成分などの基本周波数の動特性の制御が重要となり、これまで盛んに研究が行なわれてきた [1]。しかし上述の成分を取り除いた後に残る微細変動成分に対しては重要ではないとされ、定量的な評価や知覚への影響はあまり調べられてない。最近ようやく微細変動成分が歌声の自然性に関与していることが明らかとなり、重要視されてきている [2]。

そこで本研究は大衆声楽曲である日本童謡の歌唱から基本周波数の微細変動成分を抽出し、変調周波数と偏移幅に着目して定量的な評価を行なう。ここで明らかになった結果から「歌声に含まれる基本周波数の微細変動成分は、歌声の知覚に影響を与え、影響の大きさは基本周波数の変調周波数と偏移幅に依存する。」という仮説を立て、この仮説を基に合成音声を作成し順を追って知覚実験を行なうことで仮説の検証を行なう。

2 基本周波数の微細変動成分の分析

採取した歌声から基本周波数の微細変動成分を抽出する。ここで抽出した微細変動成分の変調周波数と偏移幅に着目して分析を行なうことで、知覚に関与すると思われる幾つかの要因を考察する。それを基にして微細変動成分の知覚に関する仮説を立てる。

2.1 歌声データ

歌声は、ボーカスクールまたは声優養成所に通う学生 (男性 2 名、女性 3 名) から実際に採取したものを用いる。実験の簡略化のために対象となる歌は大衆音楽曲でもある日本童謡「七つの子」を日本語母音 /a/ で歌唱したものを用いる。録音された歌声を 4 小節ごとに切りだし、微細変動成分の分析に用いた。

2.2 基本周波数の抽出

歌声に含まれる基本周波数の微細変動成分を分析するために、高精度の基本周波数抽出が可能でなければならない。したがって基本周波数の抽出は河原らによって提案された *TEMPO2* を用いる [3]。 *TEMPO2* では基本周波数 f_0 に対して $f_0/5$ 程度の変調周波数成分を精度良く抽出することができる。図 1 に分析波形の例を示す。

2.3 微細変動成分の抽出

TEMPO2 で抽出した基本周波数に 201 段の *FIR* 型ローパスフィルタ (カットオフ周波数 5Hz) を用いることで曲の旋律概形成分を推定する。図 2 に f_0 と旋律概形成分を示す。基本周波数と旋律概形成分の差を求めることで、微細変動成分の抽出を行なう (図 3)。なお、変位は *cent* で扱う。

2.4 微細変動成分の分析

分析は、抽出した基本周波数の微細変動成分に対して、変調周波数と偏移幅に着目して行なう。変調周波数をランニングスペクトル (図 4 上)、スペクトルの全時間平均 (図 4 下) で分析し、偏移幅をヒストグラム (図 5, サンプル周期: 1ms , bin 幅 1cent) を用いて分析する。

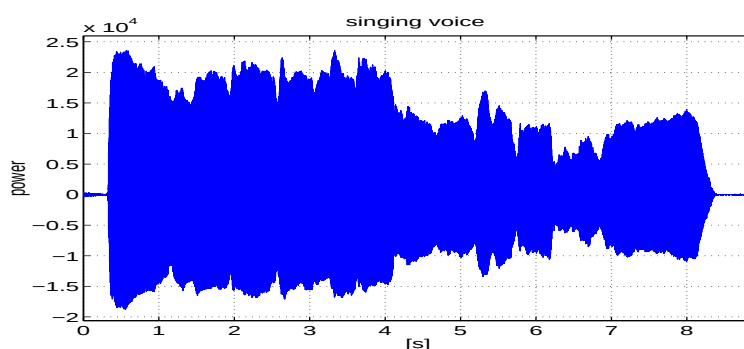


図 1: 分析波形の例

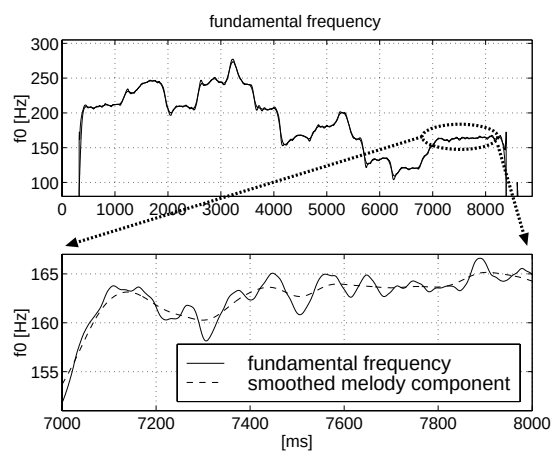


図 2: f_0 と旋律概形成分

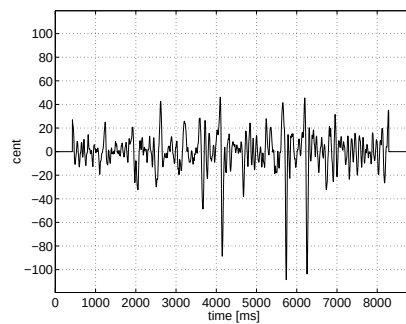


図 3: 抽出した f_0 の微細変動成分

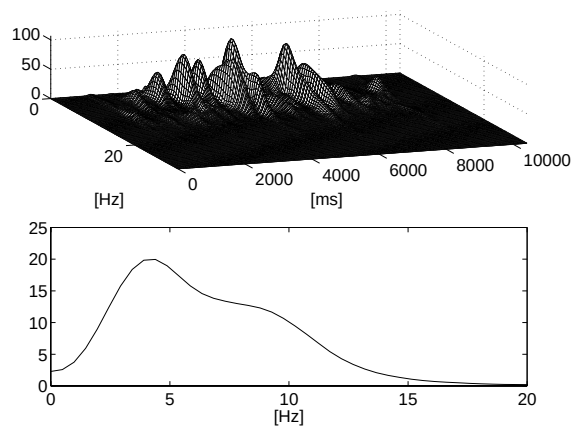


図 4: 微細変動成のスペクトル

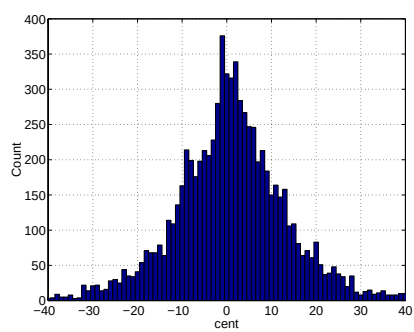


図 5: 微細変動成分のヒストグラム

2.5 結果と考察 (仮説の設定)

変調周波数の分析の結果を次に示す。

- 基本周波数が大きく変動する場合は、変調周波数は $20Hz$ 程度の周波数成分を含む。また、基本周波数に大きな変動がない場合は、変調周波数は $15Hz$ 程度の周波数成分を含む。
- 変調周波数は急激な変化を起こすことはない。

偏移幅の分析の結果を次に示す。

- 偏移幅の標準偏差の平均は $\pm 20cent$ である。
半音階が $100cent$ であることから、音階間の $1/5$ は揺れている。
- 基本周波数が大きく変動する場合は、偏移幅も $\pm 60cent$ と大きな偏移幅となる。

これらの結果から、歌声の微細変動に含まれる変調周波数と偏移幅の範囲は人間が知覚可能な範囲である可能性がある。

したがって、次のような仮説を立てる。

「歌声に含まれる基本周波数の微細変動成分は、歌声の知覚に影響を与え、影響の大きさは基本周波数の変調周波数と偏移幅に依存する。」

次節ではこの仮説に対する検証を行なう。

3 微細変動成分の知覚への影響

3.1 予備実験

3.1.1 実験方法

人間が微細変動を知覚可能であるか確認する。これは上述で立てた仮説が的外れでないという事を確認するためである。実験は実際に採取した歌声から基本周波数を抽出し、微細変動成分を含む合成歌声と LPF により微細変動成分を取り除いた合成歌声の違いを正しく知覚できるか確認するものである。ここで確認ができれば、微細変動成分が歌声の知覚に何らかの影響を与えていることがいえる。

3.1.2 実験結果

実験の結果、平均 78.8% の認知率で両者の差を知覚できることがいえた。よって微細変動成分が歌声の知覚に何らかの影響を与えていることが確認できた。したがって、以後の実験は意味がある実験である。

3.2 実験 1

3.2.1 実験方法

基本周波数の変調が存在する場合と存在しない場合の合成音声の検知限を確認する。これは仮説の検証を行なうにあたり、幾つかの制約条件を与えた合成音声を用いて研究の基盤となる検知限を調べておく必要があるためである。また、変調周波数と偏移幅の依存関係も確認する。ここで確認が行なえれば、微細変動成分が歌声の知覚に与える影響を定量的に示すことができる。

3.2.2 実験結果

対比較実験を行なった結果、基本周波数が 125Hz で偏移幅 1% の場合では、変調周波数を 20Hz まで知覚可能であった。また基本周波数が 250Hz で偏移幅 1% の場合では、変調周波数を 60Hz まで知覚可能であった。更に偏移幅が上昇した場合には、検知限も上昇することがいえた。これらの結果と歌声の分析結果を比較すると、歌声に含まれる基本周波数の微細変動成分は知覚可能であることがいえる。逆に変調周波数が 15Hz 存在する歌声を知覚するには何%の偏移幅が必要か考察した場合、実験 1 の結果から偏移幅が 1.1% 存在すればよいことが分かった。歌声の分析では偏移幅が平均で 1.2% 存在したことから、微細変動成分は知覚可能である。実際、予備実験では微細変動成分は知覚されていた。

この他にも、変調周波数が変われば基本周波数に対する偏移幅の検知限が変化し、依存性があることを示すことができた。

3.3 実験 2

3.3.1 実験方法

基本周波数の変調が共に存在する合成音声の検知限を確認する。実験 1 では変調の有無に対する実験であったが、実際には変調が存在しないものからの距離を知覚しているわけではなく、変調の変化成分も知覚に影響している可能性がある。したがって、変調周波数が時々刻々と変化する実際の歌声を考慮にいれ、対の音声において共に変調が存在する場合の検知限を調べる実験である。この結果からは、変調周波数の幅がどのように知覚に影響を与えているかが考察でき、仮説の内容の「影響の大きさ」について検討ができる。

3.3.2 実験結果

基本周波数 125Hz で変調周波数の差が 5Hz と 10Hz を知覚した場合、検知限は 9Hz と 12Hz であった。したがって音声対の変調周波数の差が大きいほど敏感に認知できる可能性があることを示した。歌声分析では、音程変化により変調周波数の変化がみられるという結果が得られている。これらのことから、仮説の可能性をより強く示すことができた。

3.4 実験 3

3.4.1 実験方法

低い変調周波数に高い変調周波数が存在する場合の合成音声の検知限を確認する。これは旋律概形成分や規則的変動成分(ビブラート)などの要因によって微細変動成分の検知限が変化するかを考察するためである。この実験から、より歌声の条件に近い状態で、微細な変動成分が仮説どおりに知覚できるのかを検討することができる。

3.4.2 実験結果

基本周波数 125Hz の検知限は 20Hz であり、基本周波数 250Hz では検知限が 60Hz であった。この結果は実験 1 の検知限の結果と同じである。このことから、この条件の下では規則的変動成分の影響は受けないという可能性があることが分かった。したがって規則的変動成分の影響は受けることなく微細な変動成分を知覚することができるといえる。

4 おわりに

これらの実験結果から仮説の検証を行なうと、実験 1 では、基本周波数 $125\text{Hz} - 250\text{Hz}$ という条件の下で歌声の微細変動成分の知覚の可能性を定量的に示すことができ、「知覚に影響を与える」ことと、「変調周波数と偏移幅に依存する」ことを示すことができた。実験 2 では実際の歌声知覚において変調の有無による距離の違いだけでなく、変調の変化成分も知覚に影響を及ぼすことを示すことができた。実験 3 では規則的変動成分が微細変動成分の知覚に与える影響があるか検討した。この結果、知覚にはそれほど関与していないことを明らかにした。これらの結果及び考察から、「歌声に含まれる基本周波数の微細変動成分は、歌声の知覚に影響を与え、影響の大きさは基本周波数の変調周波数と偏移幅に依存する。」という仮説を立証することができた。

参考文献

- [1] 矢田部 学, 遠藤 康男, 粕谷 英樹, 神戸 孝夫, '歌声の基本周波数の動特性', 音響論集, 3-8-6, (1998).
- [2] 小田切 わか菜, 粕谷 英樹, '歌声のビブラートの分析・合成・知覚に関する検討', 音響論集, 1-4-6, (1999).
- [3] Hideki Kawahara, Parham Zolfaghari, Alain de Cheveigné, Roy D. Patterson, 'Source Information Extraction using Fixed Points of a Frequency to Instantaneous Frequency Map', The Acoustical Society of Japan H-99-46, July 8, (1999).