

# 歌唱指導による歌声中の音響特徴の変化： 歌唱ホルマントとF0動的変動に着目した音響分析\*

齋藤毅, 後藤真孝 (産総研)

## 1 はじめに

卓越した歌唱技量の習得を目指し、歌唱指導を受ける人は少なくない。では、歌唱指導によって歌声中のどのような音響特徴に変化が生じ、更にはその変化が“歌の上手さ”という聴感的印象に影響を与えているのだろうか？この問題が明らかとなれば、音響学的知見・技術の歌唱指導への応用、歌声知覚・生成の相互理解、更には歌声合成システムの発展に貢献することができる。

歌唱技量を規定する音響特徴として、Bartholomewらによる good voice(良い歌声)に関する研究 [1]、Sundberg による vocal ugliness(歌声の不快感)の音響的条件の調査 [2]、更には齋藤らによる歌声らしさの知覚に寄与する音響特徴の分析 [3] 等によって、歌唱ホルマント (singer's formant) やヴィブラートの存在が重要であることが報告されている。また、F0 変化中の動的変動においても、歌唱技量の違いが反映されている可能性も示唆されている [4]。しかし、いずれの研究においても、歌唱指導と各種音響特徴の関係については議論されていない。

そこで本研究では、歌唱指導の影響が歌声中の各種音響特徴 (歌唱ホルマントと F0 動的変動成分) に与える影響を調査する。アマチュア歌唱者が歌唱指導を受ける前、及び受けた後の歌声の音響分析を行うことで、歌唱指導の有無による各種音響特徴の変化を調査する。

## 2 歌声データ

4名のアマチュア歌唱者 (男性3名、女性1名) が、プロの歌唱者による指導を受ける前、及び受けた後の歌声を収録した。収録した歌声は、母音/a/(歌唱者の発声しやすい音高で3回発声したもの)、及び歌謡曲2曲(「川の流れるように」と「千の風になって」)である。尚、どちらも歌謡曲も、歌唱者全員が歌い慣れているものである。歌唱指導は、各歌唱者に対して3時間程度行われ、その指導内容は全歌唱者共通とした。収録は、無響室において行い、収録条件は標準化周波数 48 kHz、量子化ビット数 24 bit である。

聴取実験によって歌唱指導前及び後の各歌唱者の歌声を評価した。実験では、被験者10名に対して指導前と後の歌声データを対にして呈示し、どちらの歌声が上手いかを評定させた (評価尺度は、先の歌声の方が上手い、どちらとも言えない、後の歌声の方が上手い)。その結果、歌謡曲に関しては、被験者全員が全歌唱者において歌唱指導後の方が上手いと評定した。一方で、母音では、全回答の約3割において“どちらとも言えない”と評定される結果となった。この結果から、母音歌唱と歌謡曲歌唱で聴感的な歌の上手さの評定に違いが確認されたが、全体的に指導後の方が上手い歌声と評定されていると判断し、本稿では上記の全歌声データを実験データとして採用した。

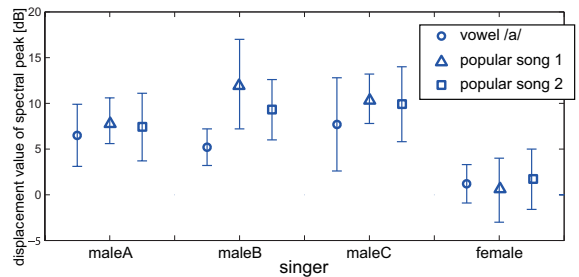


Fig. 1 歌唱者毎の歌唱指導の前後における 3 kHz 付近のスペクトルピーク値の変位差。

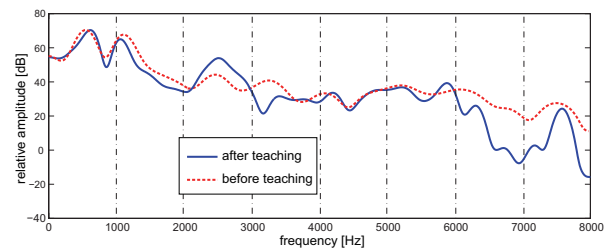


Fig. 2 男性歌唱者の歌唱指導の前後における長時間平均スペクトル。

## 3 歌唱ホルマントの分析

歌唱ホルマントとは、主に男性オペラ歌唱の母音スペクトルにおける 2.4~3.2 kHz 付近に存在する顕著なピーク成分である [5]。歌声に聴感的な響きを与える要因と考えられており、邦楽歌唱においても存在することが報告されている [3, 6]。そこで、歌声データの母音区間を対象に、2.4~3.2 kHz 付近のスペクトルピークの振幅値 (以後、振幅値と表記を) を分析し、歌唱指導前及び後での振幅値の変位差を調査した。

Fig.1 に各歌唱者の母音、及び歌謡曲の歌唱データにおける指導前後の振幅値の変位差を示す。ここで、変位差が大きいほど指導後の歌声の方が振幅値が大きいことを表す。また、Fig.2 に男性歌唱者 (Fig.1 中の maleA) の指導前後それぞれにおける長時間平均スペクトル (歌謡曲歌唱中の母音/a/) を示す。この結果から、男性歌唱者すべてにおいて Fig.2 に示したような指導前後での振幅値の変位が確認され、その変位量は平均で約 8.5 dB であった。一方で女性歌唱者においては、歌唱指導前後で明確な違いは観測されなかった。この結果は、歌唱ホルマントが主に男性歌唱中心に生起するとしている先行研究の知見 [5] を支持するものである。歌唱ホルマントの生起は、喉頭全体を下げることで生じる声帯直上部の声道形状に起因すると考えられている。上記の分析結果は、歌唱指導によって、男性歌唱者全員が歌唱ホルマントを生起させる喉頭及び声道形状制御を習得した可能性を示唆するものである。

\* Effects on acoustic features after singing training: Acoustical analysis focusing on singer's formant and F0 fluctuations. by SAITOU, Takeshi, GOTO, Masataka (AIST)

Table 1 歌唱指導による F0 動的変動成分の特性変化.

歌唱者	F0 動的変動成分の特性変化 (指導前 / 指導後)					
	ヴィブラート (括弧内は分散)		オーバーシュート		プレバレーション	
	rate[Hz]	extent[cent]	extent[%]	time[ms]	extent[%]	time[ms]
maleA	5.2(2.6) / 5.3(1.4)	41(10.2) / 52(6.6)	18 / 14	223 / 196	10.7 / 10.3	126 / 130
maleB	4.9(3.1) / 4.8(3.3)	43(23.4) / 49(26.1)	16 / 17	204 / 222	11.6 / 10.9	136 / 128
maleC	5.3(3.3) / 5.2(2.6)	48(20.8) / 57(18.3)	17 / 13	198 / 163	9.3 / 8.9	113 / 115
female	4.8(2.7) / 5.0(2.2)	38(19.5) / 49(10.8)	18 / 14	259 / 205	10.2 / 10.3	121 / 119

#### 4 F0 動的変動の分析

筆者らは、以下に示す 4 種の F0 動的変動成分に着目することで、各成分を制御・生成可能な歌声 F0 制御モデルを構築し、更には各成分の歌声知覚における重要性を示している [7] .

オーバーシュート : 滑らかな音高変化、およびその直後に目標音高を超える時間的な変動成分

ヴィブラート : 同一音高区間で観測される 4~8 Hz の準周期的な変動成分

プレバレーション : 音高変化直前に変化とは逆方向に触れる瞬時的な変動成分

微細変動 : 発声区間全体に観測される不規則で細かい変動成分

そこで、歌声 F0 制御モデルを用いて、モデル中の各 F0 動的変動成分 (微細変動を除く) の制御パラメータ値を歌声データから推定した F0 変化パターンにフィッティングすることにより、歌唱指導前後における各成分の特性の変化を調査した. Fig.3 に男性歌唱者 (maleC) の指導前後における F0 変化パターン及び F0 動的変動成分の一例を示す. また、Table 1 に歌唱指導前及び後の各 F0 動的変動成分の特性を歌唱者毎に分析した結果を示す.

ヴィブラートに関しては、揺れ (rate) と振幅 (extent) , 及びそれらのヴィブラート区間における分散を求めた. すべての歌唱者において、揺れ (rate) には大きな変化が見られないが、振幅は歌唱指導後の方が大きくなる傾向が確認された. また、この傾向とヴィブラート特性と歌唱技量の関係を調査した先行研究 [8] とを比較した結果、歌唱指導後のヴィブラートがプロの歌唱者の特性に近づいていることが明らかとなった. また、3 名の歌唱者において、歌唱指導後の両特性の標準偏差が小さくなっていることから、安定した振動のヴィブラートが生起していることが確認された.

オーバーシュートに関しては、目標音高を越える変動幅 (extent) とその変動の持続時間 (time) を分析した. ここで、変動幅は、音高変化量 [Hz] に対して目標音高値を越えた割合 [%] で表記する. 歌唱指導の結果、3 名 (maleA, maleC, female) の歌唱者において、変動幅は小さく、持続時間は短くなる傾向が確認された. また、Table 1 からは確認できないが、変動幅の減少は、特に音高下降時において顕著であることも明らかとなった. プロの歌唱者のオーバーシュートの方がアマチュアに比べて小さい変動幅で短時間に生起することが報告されており [4] , これらの結果は、歌唱指導によってオーバーシュート制御が改善された可能性を示唆するものである.

プレバレーションに関しては、音高変化と逆方向に揺れる変動幅 (extent) とその変動の持続時間 (time) を分析した. 全歌唱者において両特性の変化は確認

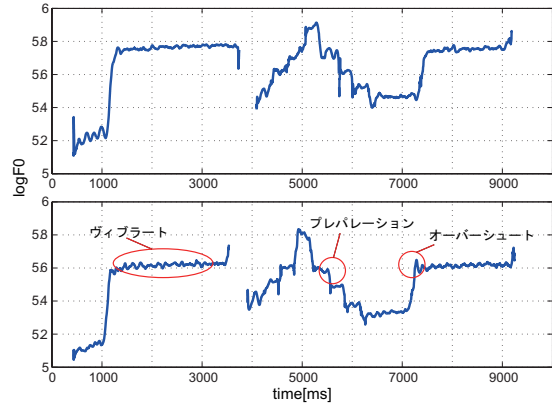


Fig. 3 歌唱指導による F0 変化パターンと F0 動的変動成分 (上図: 指導前, 下図: 指導後) .

できるものの、その傾向は様々であり、変化量も小さい結果となった. プレバレーション特性も歌唱技量との相関が強いと考えられるが、今回の結果からは歌唱指導によってプレバレーション制御が改善された可能性は低いと考えられる.

#### 5 おわりに

本稿では、歌唱指導による歌声の変化を定量的に調査する為に、指導前及び後の歌声を対象に、各種音響特徴の変化を調査した. その結果、指導後の歌声では、3 kHz 付近のスペクトルピークが指導前に比べ強くなり、歌唱ホルマントの特性に近い成分が生起することが確認された. また、F0 動的変動成分に関しては、ヴィブラートとオーバーシュートの特性に明確な変化が確認され、いずれの変化も歌唱技量の向上と相関が高い可能性が示された. 今後は、今回得られた各種音響特徴の特性の変化が聴感的な歌の上手さに与える影響を調査する予定である.

謝辞 本研究は、科学技術振興機構 CrestMuse プロジェクトによる支援を受けた.

#### 参考文献

- [1] W. T. Bartholomew, J. Acoust. Soc. Am., Vol.55, 838-844, 1934.
- [2] J. Sundberg, Advances in Cognitive Psychology. Special issue on Music Performance, 2(2-3), 131-143, 2006.
- [3] 齋藤 他, 音響学会論文誌, 64 (5), 267-277, 2008.
- [4] 齋藤 他, 音響学会聴覚研資, H-2006-109, 2006.
- [5] J. Sundberg, "The Science of Singing Voice," Northern Illinois University Press, 1987.
- [6] I. Nakayama, Proc. ICA2004, 1295-1296, 2004.
- [7] T. Saitou *et al.*, Speech Commun., 46, 405-417, 2005.
- [8] 齋藤 他, 信学技報, TL2005-10, 2005.