

歌唱指導による歌声中の音響特徴の変化： 歌唱力評価に寄与する音響特徴の検討*

齋藤毅, 後藤真孝 (産総研)

1 はじめに

歌声の魅力の一つは、歌唱者や歌唱スタイル等によって、その表情が多様に变化することである。とりわけ、プロ歌唱者による歌声は、聴き手に大きな感動を与え、更には卓越した歌唱力への憧れを抱かせることもある。では、歌唱力の違いは、どのような音響特徴に反映され、更にはその違いが“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、歌声合成システムの発展、歌声知覚・生成の理解に繋がり、更には音響学的知見や技術の歌唱指導への応用も期待できる。

歌唱力と音響特徴の関係については、いくつか先行研究が行われている。中でも、Bartholomew らによる good voice(良い歌声)の物理的条件に関する調査 [1], Sundberg による vocal ugliness(歌声の不快感)に寄与する音響特徴の調査 [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) [4] やヴィブラート [5] の存在が重要であることが明らかとなっている。また、F0 変化中の動的な変動成分においても、歌唱力の違いが反映されている可能性も示唆されている [6]。

これに対して、我々は、歌唱指導による歌声の音響特徴の変化に着目し、指導前後の歌声を比較分析することで、歌唱力を規定する音響特徴を調査した [7]。その結果、先行研究で報告されている歌唱ホルマントやヴィブラートに加え、F0 変動成分であるオーバーシュートの各音響特徴が歌唱指導によって変化することを確認した。しかし、各種音響特徴の変化が歌唱力の向上に寄与しているかは検討されておらず、聴取実験を通じて各種音響特徴の変化が歌声知覚に与える影響を調査する課題が残っていた。

そこで本稿では、2種類の聴取実験を通じて、歌唱力評価に寄与する音響特徴の調査を行う。実験1では、F0 とスペクトルに関する情報の歌唱力評価への寄与度を比較することで、音響特徴と歌唱力評価の大局的な関係について調査する。実験2では、先の研究で歌唱指導前後で変化が確認された各種音響特徴の歌唱力評価への寄与度を比較し、歌唱力を規定する重要な音響特徴を明らかにする。

2 歌声データ

3名の男性アマチュア歌唱者 (maleA,B,C) が、プロの歌唱者による指導を受ける前の歌声 (以後、指導前歌声と記述)、及び指導を受けた後の歌声 (以後、指導後歌声と記述) を収録した。収録した歌声は、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、無響室においてマイクロホン (SHURE SM87A) 及びソリッドステートレコーダ (marantz PMD671) を用いて行った。収録条件は、標準化周波数 48 kHz, 量子化ビット数 16 bit である。

聴取実験によって各歌唱者による歌唱指導前後の歌声を評価し、指導によって歌唱力が向上しているかを調査した。実験では、被験者15名に対して指導前歌声と指導後歌声を対にして呈示し、どちらの歌声が上手いかを評価した (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の3段階)。その結果、被験者全員が全歌唱者において指導後歌声の方が上手いと評価した。この結果から、上記すべての歌声データが本実験で使用するデータとして適当であると判断した。

また、アマチュア歌唱とは別に、指導者であるプロ歌唱者1名 (テノール) による歌謡曲歌唱のデータも収録し、本実験で使用した。

3 歌唱指導による音響特徴の変化

先の実験 [7] において、前述した歌声データを対象に調査した歌唱指導前後における音響特徴の変化について説明する。

歌唱ホルマントとは、母音スペクトルの高域における顕著なピーク成分であり、主にプロの男性歌唱者による歌声の 2.5~4 kHz 周辺に生起することが知られている [4, 3, 8]。Fig.1 は、歌唱指導前後の長時間スペクトル (maleA による歌謡曲歌唱中の母音/a/) を示している。ここから、指導後の方が指導前に比べ 2.5 kHz 付近のピーク成分が強いことが確認できる。分析の結果、すべての歌唱者においてこのピークが生起しており、平均で 13 dB 強いことが確認された。

* Effects on acoustic features after singing training: Study on acoustic features affecting singing skill evaluation. by SAITOU, Takeshi, GOTO, Masataka (AIST)

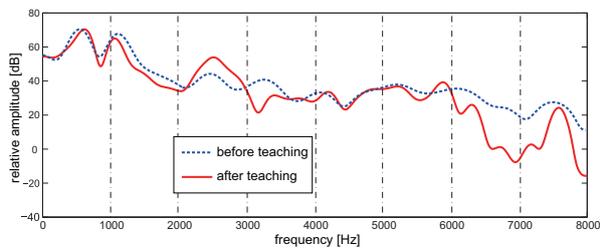


Fig. 1 男性歌唱者の歌唱指導の前後における長時間平均スペクトル。

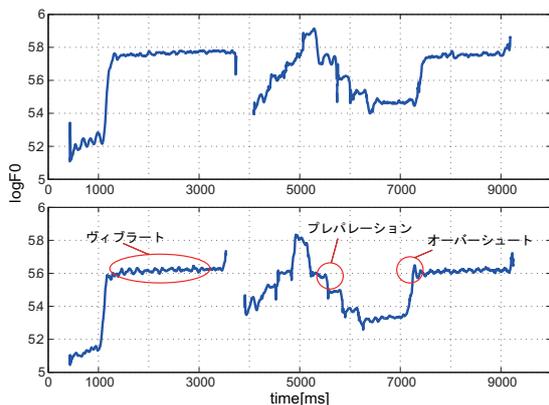


Fig. 2 歌唱指導による F0 変化パターンと F0 変動成分 (上図：指導前，下図：指導後)。

ヴィブラートは、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であり、卓越した歌唱力によって生じられる音響特徴であることが知られている。一方、オーバーシュートは、滑らかな音高変化およびその直後に目標音高を超える瞬時的な変動成分であり、歌声を知覚する上で重要な役割を担っていることが明らかになってきている。Fig.2 は、歌唱指導前後の F0 変化パターン (maleC による歌謡曲歌唱) の一例を示す。表 1 は、3 名の歌唱者の歌唱指導前後でのヴィブラートの速さ (rate) と大きさ (extent)、及びオーバーシュートの大きさ (extent) と持続時間 (time)、及びプロの歌唱者による歌声の同特性をそれぞれ示したものである。ここで、オーバーシュートの大きさは、音高変化量 [Hz] に対して目標音高値を越えた変動量の割合 [%] で表記している。この結果から、全歌唱者において指導後の各特徴が変化しており、それらの値が表中の最下段に示したプロ歌唱者の値、及び先行研究 [6, 9, 10] で報告されているプロ歌唱の特性に近づく傾向が強いことが確認された。

4 実験 1

目的

音響特徴と歌唱力評価の大局的な関係を調査するために、F0 とスペクトルそれぞれを歌唱前から歌唱後の特性に変化 (モーフィング) させた歌声合成音を

Table 1 歌唱指導による F0 変動成分の変化。

歌唱者	F0 動的成分の特性変化 (指導前 / 指導後)			
	ヴィブラート		オーバーシュート	
	rate[Hz]	extent[cent]	time[ms]	extent[%]
maleA	5.2 / 5.3	41 / 52	223 / 196	18 / 14
maleB	4.9 / 4.8	43 / 49	204 / 222	16 / 17
maleC	5.3 / 5.2	48 / 57	198 / 163	17 / 13
pro	6.3	65	126	11

作成し、聴取実験によって歌唱力の変化を調査した。

実験刺激音

実験刺激である歌声合成音の作成には、STRAIGHT-morphing[11] を用いた。指導前歌声の F0 情報 (F0 変化パターンと時間軸) 又はスペクトル情報 (スペクトル包絡と周波数軸) に関して、一方の情報を固定した状態でモーフィング率を 0~100% の間で 10% 刻みで変化させた歌声合成音を作成した。尚、刺激は男性歌唱者 3 名の各歌声データ (2 曲の歌謡曲歌唱) に対して作成し、その総数は 132 個である。

実験方法・条件

A-X 法による聴取実験を行った。A, X の順に刺激音を呈示し、A の歌声が X の歌声に比べてどの程度歌唱力が高いかを 5 段階の評価尺度 (0: 歌唱力が低い, 1: 変わらない, 2: やや高い, 3: 高い, 4: とても高い) に従って評価した。A は前述の歌声合成音のいずれかを呈示し、X ではモーフィング率 0% の歌声合成音 (指導前歌声の分析再合成音と同等) を呈示した。以上の条件で A-X の刺激対をすべての歌声合成音について作成し、実験を行った (A-X の刺激対の数は 132 個)。被験者は正常な聴力を有した成人 15 名 (男性 11 名, 女性 4 名) で、防音室内においてヘッドホン (Sennheiser HDA200) を介して両耳に呈示される刺激音を聴取し、ノート PC のディスプレイ上に表示された評価尺度 0~4 のボタンを押すことで回答した。その際、回答時間の制限は無く、刺激音の聞き直しは 3 回まで許可し、音圧レベルは被験者の聞きやすいレベルに設定した。

結果・考察

Fig.3 に F0 情報及びスペクトル情報をモーフィングした場合の実験結果をそれぞれ示す。横軸はモーフィング率、縦軸は歌声合成音の平均評価値を示し、歌唱者毎に評価結果を示している。

F0 情報をモーフィングした場合、モーフィング率の増加に従って歌唱力が向上していることが確認できる。モーフィング率 100% の歌声合成においては、歌唱者 3 名の平均評価値が 3.3 と高い結果となった。

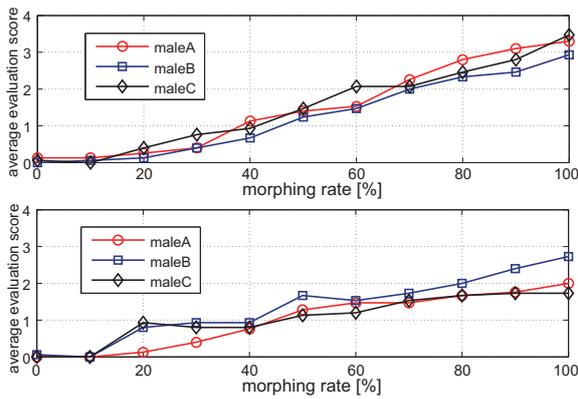


Fig. 3 指導前歌声から指導後歌声へ F0 及びスペクトル情報をモーフィングした時の歌唱力変化 (上: F0 情報, 下: スペクトル情報)。

以上の結果は, F0 情報には歌唱力評価に重要な特徴が含まれている可能性が高いことを示唆している。

一方で, スペクトル情報をモーフィングした場合は, モーフィング率の増加に対する歌唱力の向上が F0 情報の場合と比べて小さいことが確認できる。maleA, C に関しては, モーフィング率 100% の歌声合成音の評価値が 1.8 と低い結果となった。この結果は, スペクトル情報にも歌唱力評価に寄与する特徴は存在するものの, その影響は F0 情報に比べて小さいことを示唆している。一方で, maleB の場合は, 他の 2 名に比べ歌唱力の向上が大きく, モーフィング率 100% 時の平均評価値が 2.7 と高い値を示す結果となった。これは, maleB の場合, F0 とスペクトルの両情報が歌唱力評価に強く寄与していることを示している。maleB は他の歌唱者と比べて指導後の singer's formant が強いことが確認されており [7], この違いが上記の結果に反映されている可能性が考えられる。

5 実験 2

目的

3 章で述べた各種音響特徴の歌唱力評価への影響を調査するため, 各特徴の特性を様々に変化させた歌声合成音を作成し, 聴取実験によって各特徴を操作した場合の歌唱力変化を調査した。

実験刺激

実験刺激である歌声合成音の作成には, 筆者らが提案している歌声合成システム SingBySpeaking[12] を用いた。このシステムは, 話声と譜面情報 (メロディ変化の概形) に対して歌声特有の各種音響特徴を付与することで歌声に変換するシステムである。2 章で述べたプロ歌唱者による「千の風になって」の歌詞の朗読音声と譜面情報に対して, オーバーシュート,

ヴィブラート, 歌唱ホルマントを付与した以下の 9 種を作成した。

刺激音 A : すべての特徴を指導前歌声の特性で付与した合成音

刺激音 B : 刺激音 A のオーバーシュートのみプロ歌唱の特性に変更した合成音。

刺激音 C : 刺激音 A のヴィブラートのみプロ歌唱の特性に変更した合成音。

刺激音 D : 刺激音 A の歌唱ホルマントのみプロ歌唱の特性に変更した合成音。

刺激音 E : 刺激音 A のオーバーシュートとヴィブラートをプロ歌唱の特性に変更した合成音。

刺激音 F : 刺激音 A のオーバーシュートと歌唱ホルマントをプロ歌唱の特性に変更した合成音。

刺激音 G : 刺激音 A のヴィブラートと歌唱ホルマントをプロ歌唱の特性に変更した合成音。

刺激音 H : すべての特徴をプロ歌唱の特性で付与した合成音。

刺激音 I : プロ歌唱者の歌声の分析・再合成音。

尚, 指導前歌声の特性とは, F0 変動に関しては表 1 中の maleA の特性 (指導前) を, 歌唱ホルマントに関しては付与しない (3kHz 付近のスペクトルピークを強調しない) ことを意味する。また, プロ歌唱の特性とは, F0 変動に関しては表 1 中の pro の特性を, 歌唱ホルマントに関しては 3kHz 付近のスペクトルピークを 18dB 強調することを意味する。SingBySpeaking では, 上記 3 種の特徴以外にも歌声特有の音響特徴を付与できるが, 上記合成音 (刺激音 A~H) はそれらを制御せずに作成した。

実験方法

シェッフェの一対比較法 (浦の変法) [13] による聴取実験を行った。9 種の刺激音のいずれか 2 つを対にして呈示し, 歌唱力に関する 7 段階の評価尺度 (+3: 先の刺激音の方がとても上手い, +2: 上手い, +1: やや上手い, 0: どちらとも言えない, -3: 後の刺激音の方がとても上手い, -2: 上手い, -1: やや上手い) に従って評価した。刺激対の総数は, 順序の違いも考慮した計 72 個である。被験者及び実験条件は, 実験 1 と同様である。

結果・考察

Fig.5 に実験によって得られた各刺激音の歌唱力に関する評価結果を示す。横軸は歌唱力を示し, 右に布置されている刺激ほど歌唱力評価が高いことを示す。この結果から, ヴィブラート, 歌唱ホルマント, オーバーシュートの順で歌唱力評価に寄与していることが

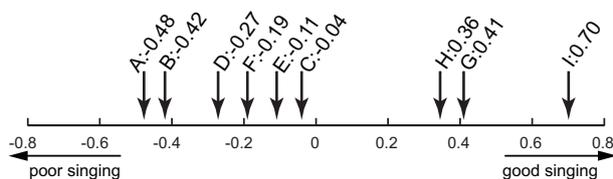


Fig. 4 各種音響特徴を指導前歌声からプロ歌唱の特性に変化した時の歌唱力評価。

分かる。しかし、オーバーシュートの影響は、他の特徴に比べて非常に小さい結果となった。また、ヴィブラートと歌唱ホルマントをプロ歌唱の特性に変更した刺激音 G と、全特徴を変更した刺激音 H の評価値の差が小さい結果となった。以上の結果から、ヴィブラートと歌唱ホルマントが歌唱力評価において非常に重要な役割を果たしていることが明らかとなった。一方で、全特徴をプロ歌唱の変更しても、その評価値はプロ歌唱者の歌声である刺激音 I に比べて低い結果となった。これは、今回対象としている音響特徴以外に、歌唱力評価に寄与する特徴が存在することを示唆するものである。先行研究においては、音源スペクトルの強い基本波成分も歌唱力に寄与していると報告されており、今後はこれらの特徴も考慮したより詳細な調査が必要である。

6 おわりに

本稿では、2種類の聴取実験を通じて、歌唱力評価に寄与する音響特徴について検討した。実験1では、歌唱指導の前後で収録した歌声データ間でF0とスペクトルの各情報を段階的にモーフィングした歌声合成音を作成し、その歌唱力の変化を調査した。その結果、F0情報をモーフィングした場合、スペクトル情報の場合に比べて歌唱力が明確に向上する結果となった。実験2では、歌唱指導前後で顕著な変化が確認されたオーバーシュート、ヴィブラート、歌唱法ホルマントに着目し、指導前歌声における各種特徴をプロ歌唱の特性に変化させた場合の歌唱力変化を調査した。その結果、ヴィブラート、歌唱ホルマント、オーバーシュートの順で歌唱力評価に寄与し、とりわけ前者2つの特徴の影響が大きいことが確認された。しかし、これら以外にも歌唱力を規定する上で重要な音響特徴が存在する可能性を示唆する結果を得られ、今後はより詳細に歌唱力と音響特徴の関係を検討する予定である。

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, "A Physical Definition of "Good Voice-Quality" in the Male Voice," J. Acoust. Soc. Am., Vol.55, 838-844, 1934.
- [2] J. Sundberg, "The KTH synthesis of singing," Advances in Cognitive Psychology. Special issue on Music Performance, 2(2-3), 131-143, 2006.
- [3] 齋藤 他, "歌声らしさの知覚モデルに基づいた歌声特有の音響特徴量の分析," 音響学会論文誌, 64(5), 267-277, 2008.
- [4] J. Sundberg, "The Science of Singing Voice," Northern Illinois University Press, 1987.
- [5] Seashore, C., "Studies in the Psychology of Music Vol. 1: The vibrato," University of Iowa City.
- [6] 齋藤 他, "歌声の基本周波数変化に含まれるオーバーシュートの知覚への影響に関する検討" 音響学会聴覚研資, H-2006-109, 2006.
- [7] 齋藤 他, "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," 音講論, 1-R-21, 2008.
- [8] I. Nakayama, "Comparative studies on vocal expression in Japanese traditional and western classical-style singing, using a common verse," Proc. ICA2004, 1295-1296, 2004.
- [9] 齋藤 他, "自然性の高い歌声合成のためのヴィブラート変調周波数の制御法の検討" 信学技報, TL2005-10, 2005.
- [10] T. Saitou *et al.*, "Development of an F0 control model based on F0 dynamic characteristics for singing-voice synthesis," Speech Commun., 46, 405-417, 2005.
- [11] H. Kawahara, and H. Matsui, "Auditory Morphing based on an Elastic Perceptual Distance Metric in an Interference-free Time-frequency Representation," Proc. ICASSP2003, I, pp. 256-259 (2003).
- [12] 齋藤 他, "SingBySpeaking: 歌声知覚に重要な音響特徴を制御して話声を歌声に変換するシステム," 情処研報, 2008-MUS-74-5, 2008.
- [13] 佐藤 他, 統計的官能検査法, 日科技連 2000.