

## 呼気量のモデル化に基づく歌唱修正システム\*

木立 真希 (法政大学 情報科学部), 伊藤 克亘 (法政大学 情報科学部)

### 1 まえがき

多くのアマチュア歌唱者は、発声法や呼吸法を習得しておらず、また歌声を発することに対する抵抗や恥ずかしさから小さく通らない歌声になる。特に女性の場合、裏声は頼りない歌声に聴こえる。そこで、そのような元気がなく暗い印象になってしまうアマチュア歌唱をプロの発声のような元気で明るい印象の歌唱に修正するシステムを提案する。

### 2 人間の発声機構と呼気量

発声法や呼吸法を学んでいる人の発声は、肺からの息を送る圧力が高いため大きい声や高い声といった明るく元気な声の特徴になり、一般的に呼気量が関係していると言われている [1]。そこで、呼気量を扱うために人間の発声の仕組みに着目した。

声帯の開閉成分は、発声の過程で受けるインピーダンスの影響により高域にかけて減衰していく。呼気量が多いと減衰の様子が緩やかになり、少ないと急激に減衰する。一般的に、プロ歌唱者のように腹式呼吸等の呼吸法を身に付け、訓練すれば呼気量の多い発声ができる。しかしアマチュアの歌唱者は呼吸法を身に付けていないため呼気量が少ない発声になってしまう。つまり、アマチュア歌唱者の発声はプロ歌唱者に比べ息漏れ成分の影響を受けた発声となる。

**息漏れの音響的特徴量** 正常発声の場合の声門の開き具合が小さい場合、雑音成分は弱い。逆に声門が開きすぎの場合には囁き声になり声帯振動が起こらない。息漏れ発声の場合は、声帯振動は起こるが適度に声門が開いてしまう状態になる [2]。このとき声帯振動に2つの変化が生じる。1つは高調波成分での激しいスペクトルの下降、2つ目は気流による雑音成分の増加である [3]。

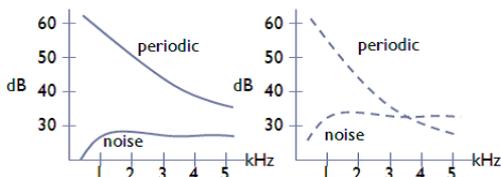


図 1. 右：正常発声 左：息漏れ発声

スペクトルの下降に関しては、第1調波のパワー(H1)と第3フォルマントに最も近い調波のパワー(A3)の差分がスペクトル傾斜の測定量になる [4]。雑音成分の増加に関しては、息漏れ音の場合、第3フォルマントの領域では雑音成分が周期成分よりも強くなる傾向がある [5]。この2つが、息漏れ発声の特徴である。

息漏れ発声は一般的に女性が裏声で発生した場合、ほとんど息漏れが生じていると言われている。このことから、本研究の対象とする歌唱者を女性とする。また、

息漏れ発声を改善することにより、明るい印象を与える呼気量の多い発声にするだけでなく、裏声を地声に近づけることができる可能性がある。

**プロ歌唱とアマチュア歌唱の比較** プロ歌唱者が呼気量の多い発声をしているのかどうか、アマチュア歌唱者が呼気量が少なく息漏れ発声になってしまっているのかどうかに着目し比較を行う。アマチュアのデータは自ら歌ったものを用意する。録音はRolandのポータブルレコーダーR-26を用いる。収録条件44.1kHz,16bitである。プロのデータは、CD音源からボーカルパートを抽出したものを用意する。

図2が「あ」の母音部分を比較したものである。青色の線が声帯振動を表し、赤色の線が声道特性である。プロに比べ、アマチュアの方はスペクトルの傾斜が右下がりになっている。第3フォルマント付近では息漏れによる雑音成分の影響で、プロが14次の調波成分までははっきりと観察出来るのに対し、アマチュアは7次の調波成分までしかきれいに出不出していない。

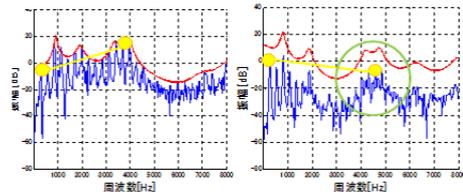


図 2. 右：プロ歌唱 左：アマチュア歌唱

### 3 歌唱修正

高品質音声変換ツールであるSTRAIGHTを用いて修正を行う。STRAIGHTでは、音声データをスペクトル情報・非周期性指標・基本周波数の3つのパラメータとして操作できる [6]。そのため、スペクトル情報と非周期性指標  $(q(t))$  の2つを操作することで息漏れ発声の特徴であるスペクトルとノイズ成分を定量的に扱える。

**ゲイン補てんフィルター** スペクトルが急激に下降していることによるスペクトル傾斜を改善するために、第3フォルマント付近の周波数帯域のゲインを上げるフィルターを設計する。スペクトルの観察より、4kHzが第3フォルマント付近であるとし、指数的に減衰していることから4kHzが平均値になるようなガウス関数  $G(\omega)$  により、0kHz~6kHzの帯域に対して補てんする。式(1)がガウスフィルター設計の式である。アマチュアのスペクトルが2kHzあたりまでしか出していないことから、0kHz~4kHzの区間と4kHz~6kHzの区間で別々の分散を用いている。

$$G(\omega) = g \times \exp\left(-\frac{(\omega - m)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

\*Singing modification system based on modeling of expiratory volume.: Kidachi Maki (Hosei Univ.) et al.

$q(t)$  が 0.85 以上を有音区間とし、対数振幅スペクトル  $F$  にゲイン補てんフィルター  $G(\omega)$  を足し合わせるにより補てんを行う。ゲイン値  $g$  は、重み付平均によってアマチュア歌唱とプロ歌唱それぞれの値を計算し、その差分としている。有音区間、つまり母音部分にのみ処理を行っているため、子音と母音との境目が不連続にならないよう、有音と無音の区間の境はゲイン値  $g$  を線形的に滑らかに変化させる処理を行う。

**ノイズ軽減処理** ノイズの影響を抑えるために、第3フォルマント付近の周波数帯域までの雑音成分を下げる処理を行う。図 3,4 がアマチュアとプロそれぞれの非周期性指標である。青い部分が周期成分を表し、高域にかけてノイズ成分である赤色へ変わっている。プロの非周期性指標を見ると、アマチュアに比べ全体的に青から赤への変わり目が高い。プロは第3フォルマント付近の周波数帯域はまだ青だが、アマチュアはノイズ成分の影響が強く出ている。また、どちらの非周期性指標を見てもその変わり目が時間的に変化している。このことから、時間変化を保ったままノイズ成分の割合を下げる。

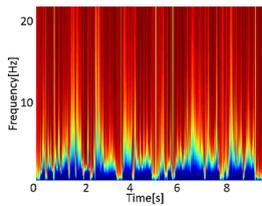


図 3. アマチュア

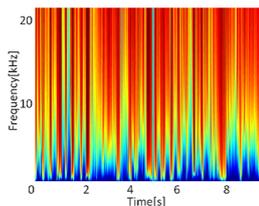


図 4. プロ

まず、周期成分からノイズ成分への変わり目を検出する、次に、検出した変わり目が値する周波数の平均を求める。この値をアマチュアの変わり目値とする。プロの変わり目値は、5 母音のスペクトルの分析により、調波成分がはっきりと観察できる周波数帯域の平均として算出する。最後に、プロとアマチュアの変わり目値の差の分を高域にシフトする。これらの一連の処理は全て、有音区間にのみ行う。

**歌唱修正方法** 修正を行うデータは、10sec 程度のフレーズに分割しておく。ゲイン補てんフィルターのゲイン値  $g$  を適切に求めるためである。入力、修正を行うアマチュアデータとゲイン値  $g$ 、プロのノイズ成分の変わり目値である。これらを入力として STRAIGHT での分析を行う。まずを入力された  $g$  でゲイン補てんフィルターを設計し、スペクトル情報である  $F$  に補てん処理を行う。次に入力されたアマチュアデータの周期成分からノイズ成分への変わり目となる周波数を計算し、プロのノイズ成分との差分を計算する。この差分、非周期性指標のノイズの成分を高域にシフトする。ゲインが補てんされたスペクトル情報とノイズ成分の割合が下がった非周期性指標へと変換されたパラメータを用いて STRAIGHT での再合成が行われ、修正されたアマチュアデータが出力される。各フレーズに対し同様に修正データを得た後、それらを連結する。

## 4 評価

聴取実験による主観評価を行う。被験者は女性 4 人を対象に、目標歌唱者の曲を各 1 曲ずつ選らび 1 コーラスを歌ってもらう。曲のパラメータでの修正、各目標歌唱者のパラメータでの修正、目標歌唱者全体のパラメータでの修正を行い、明るい印象の歌唱に修正されたか、音質はどうか、裏声が地声/ミックスボイスのように聴こえるようになったかの 3 項目に関して、5 段階評価を行う。今回実験に用いる楽曲は、呼吸法や発声法を学び息漏れの少ない力強い発声で歌っていると推測できる楽曲とする。

項目	曲	目標歌唱者	目標歌唱者全体
明るさ	4.5	3.25	3.5
音質	4	3.5	3.75
裏声	3.25	2.75	3

曲によるパラメータでの修正は、全ての項目において 3 以上の評価を得られた。パラメータの設定がうまくできていると推測できる。目標歌唱者・目標歌唱者全体でのパラメータでの修正は、明るさの項目が曲によるパラメータでの修正より低い評価となっている。曲によるパラメータと比べ、ゲイン値  $g$  やノイズ成分の変わり目値の設定が適切ではなかったため、修正度合いが弱くなったが、パラメータにない曲を修正する場合でも、ある程度の修正ができることは示された。

裏声が地声/ミックスボイスになったかという項目は、息漏れが少なくなったがまだ裏声だというコメントがあったことから、息漏れを少なくすることだけでは裏声を修正するのは難しく、他の特徴も分析する必要がある。

また、もともと声量がある元気な発声の被験者の歌唱は、この手法でのパラメータではあまり修正されないことも分かった。息漏れ発声でない歌唱を修正するには、口の開け具合や強弱のつけ方など、他の観点からの分析が必要である。

## 5 あとがき

アマチュア歌唱者の呼気量が少ないことが原因で息漏れ発声となっている歌唱をプロ歌唱者のように呼気量が多く息漏れの少ない力強い発声に修正するシステムを構築した。今後は息漏れ以外の特徴に関しても分析することが課題である。

## 参考文献

- [1] Johan Sundberg, “歌声の科学,” 東京電機大学出版局, 6-24, 2007.
- [2] 石井 カロス寿憲, “息漏れの自動検出における音響パラメータの提案” 信学技報, 104(253), 19-23, 2004.
- [3] Stevens, K., “Turbulence Noise at the Glottis During Breathy and Modal Voicing” In Acoustic Phonetics, The MIT Press, 445-450, 2000.
- [4] Hanson, H., “Glottal characteristics of female speakers: Acoustic correlates” J.Acoustic. Soc.Amer., Vol.101:466-481, 1997.
- [5] Klatt, D., et al. “Analysis, synthesis, and perception of voice quality variations among female and male talkers” J.Acoustic. Soc.Amer., Vol.87:820-857, 1990.
- [6] 河原 英紀, “高品質音声分析変換合成法 STRAIGHT の出自・経歴・前途 ((SS) 高品質音声分析変換合成法 STRAIGHT” 信学技報, 105(571), 13-18, 2006.