

## 1. まえがき

歌手のホルマント(Singer's Formant, 以下SF) [1]とは、西洋オペラの男性歌手の歌声の母音スペクトルに現れる2.7kHz付近におけるピークである。SFのある歌声は、“鳴り響き(ring)” [2]のある音として聴こえ、オーケストラの大きな音の中で、ホールの最後部からでも明瞭に聞き取ることができると言われている。

SFのある歌声のこのような特徴の要因は、次のように考えられている。

- (1) SFは音声スペクトルの高域におけるピークであるので、オーケストラの音のこの帯域の成分によりマスキングされにくい[3]。
- (2) 口から発せられ伝播していく音声波のスペクトル成分のうち高域成分は、低域成分に比べ減衰が小さい[4]。しかし、これまで音の大きさに対するSFの効果は定量的に検討されていなかった。

そこで本研究では、音の大きさに対するSFの効果を検証するため、人工的にSFを付加した合成音を用いて聴取実験を行い、上記のことを検討する。また、SFの効果と聴覚特性との関係について検討する。

## 2. 聴取実験

定量的にSFのある歌声の大きさを検討するため、合成音を用いて聴取実験を行った。

### 2.1 刺激音

音声データは、西洋オペラの発声法で歌声を発声できるバリトンの男性1人により発声されたものである。音声は、日本語の5母音を、西洋オペラの発声法および話し声の発声法で、高さA3で2秒間発声させた。発声された声は48kHzサンプリングで録音し、その後10kHzに再サンプリングした。

歌声および通常の発声を比較するため、ケプストラム法とLMAフィルタを用いて合成音声を生成した。歌声の分析合成音と、通常の発声に図1に示すような人工的なSFを付加した合成音を用意した。それぞれの20個のデータ(=5母音×4種類)に対して、式(1)により10段階のパワー、-15dB, -20dB, …, -60dBの刺激音を用意した。

$$p = \frac{1}{N} \sum_{t=0}^{N-1} x[t]^2 \quad (1)$$

$x[t]$ は音声波形で、 $N$ はその長さである。最大振幅値30000より15dB小さい波形のパワーを標準パワー(-15dB)とする。

### 2.2 実験方法

実験は1,100人の観客が座ることのできるコンサートホールで行なった。前述の理由(1)を除くため、オーケストラ音がない条件で実験を行った。聴取者は、

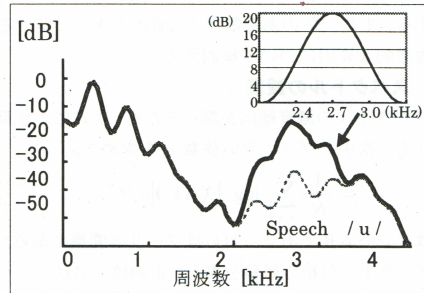


図1. 人工的に付加した歌手のホルマント

正常な聴覚を持つ大学生男性5名である。音声データはパワーアンプ(DENON PMA2000/3R)を介して、2つのスピーカ(JBL S3500)から発せられる。ステージの中央のスピーカから中央最後部座席の聴取者までの距離は28mである。

アンプのボリュームは、被験者の1人を対象として、-45dBの通常発声の音声データ「あ」が聞こえ、-50dBが聞こえない状態になるように設定した。

200個の音声データをランダムに再生し、被験者には、大きさを0(何も聞えなかった)から4(基準音と同じかそれよりも大きい)の5段階で評価させた。

### 2.3 実験結果と考察

実験結果を図2に示す。横軸は音声の種類であり、歌声の原音声(歌原)、歌声の分析合成音(歌分合)、通常の話し声の発声(話原)、そして通常の話し声に人工的にSFを付加した合成音(SF)を表す。縦軸は聞き取ることに出来た最小のパワー(最小可聴限)を表す。この値は、5人の被験者の結果のうち、最高と最低のデータを除いた3人のデータの平均である。

図2から、SFのある歌声は、最小可聴限が通常の話し声のそれよりも小さいことから、話し声に比べ、より遠くまで届いていると言える。このことは、話し声の最小可聴限が、SFを付加したときに、より小さくなったことや、分析合成音の結果が原音声と同様の値になっていることから、十分に正しいと言える。

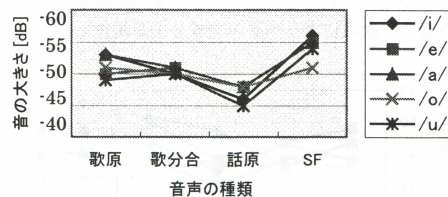


図2. 聴取実験の結果(最小可聴限)

Study on Loudness of Singing Voice with Singer's Formant  
By Tomio TAKARA, Kazuto IZUMI (University of the Ryukyus)