

# 室内音響学的視点に基づく、伝統芸能・詩吟に関する研究\*

- 歌唱者による主観的声量と歌声のランニング自己相関関数の有効継続時間との関係 -

田中慎一郎、加藤浩介、川井敬二、矢野隆（熊本大）、安藤四一（神戸大名誉教授）

## 1 Introduction

日本の伝統芸能の一つに「詩吟」がある。詩吟とは漢詩や短歌、俳句等の詩歌に独特の節をつけ、節回し、発音、音程等を駆使して、詩歌の心を最大限に表現しようとするものである。伝統的に、詩吟は住居など一般の建築空間で行われてきたが、今日では、練習は一般の部屋で行われる一方で、発表する場所はコンサートホールなどが多い。従って、西洋のクラシック音楽に適した空間で、伝統の文脈を離れて詩吟が行われることになる。一般の部屋で練習してきた歌手が、コンサートホールでいかに自分の声を美しく響かせるかという問題は、多くの詩吟歌唱者にとって困難な課題であると言える。筆者自身、詩吟の15年の経験者であり、今回、詩吟における歌声と室との融合を目指すべく、研究を進めてきた。本研究では、室内音響学的な視点から、詩吟における歌声を分析することで、その指針を示すためのモデルを提案したいと考えた。

音源信号の時間領域において、音場の主観的属性に大きな影響を与えるコヒーレンスを調べるための有力な関数に自己相関関数(以下 ACF)がある。ACF の波形の減衰に着目すると、規則的な成分を多く含んでいる信号ほどゆっくり減衰するという性質がある。Ando ら(2000)は、ACF が 0.1 に減衰する遅れ時間を有効継続時間  $\tau_e$  と定義し、running-ACF (以下 r-ACF) の  $\tau_e$  の最小値  $(\tau_e)_{\min}$  が、聴者や演奏者が音場に対して感じる聴感的印象に重要な影響を及ぼすことを明らかにしてきた<sup>[1]</sup>。最近では Noson ら(2002)が、歌声の  $(\tau_e)_{\min}$  が歌唱者にとって好ましい

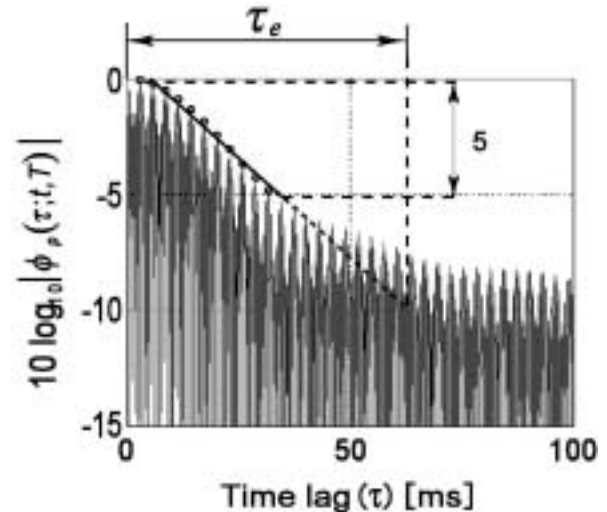


Figure 1 Example of determining the effective duration ( $\tau_e$ ) of the normalized running autocorrelation function (r-ACF:  $\phi_p(\tau)$ )

音場条件に影響することを明らかにしている<sup>[2]</sup>。

これまでの筆者らの研究によって、オペラ歌唱法での主観的声量の強弱における  $(\tau_e)_{\min}$  の差<sup>[3]</sup>、プロオペラ奏者による歌唱母音の  $(\tau_e)_{\min}$  の存在範囲を明らかにしてきた<sup>[4]</sup>。

本稿では詩吟歌唱者が主観的声量を調節することで意図的に  $(\tau_e)_{\min}$  をコントロールできるかどうか検証することを目的とする。

## 2 Method

### 2.1 Subjects and recording conditions

本稿では全体の録音(合計6名)に先立ち、プロの詩吟歌唱者1名を含む十分に経験を積んだ詩吟歌唱者2名を被験者とした。録音は無響室で行った。録音にはコンデンサーマイクロフォン(BK 1/2-inch Microphone Type 4189)を使用し、

\* Traditional Japanese singing “Shigin” described by the effective duration of the running autocorrelation function of variably singing volume voice signals, by Shin-ichiro Tanaka, Kosuke Kato, Keiji Kawai, Takashi Yano(Kumamoto Univ.), and Yoichi Ando(Prof. em. at Kobe Univ.).

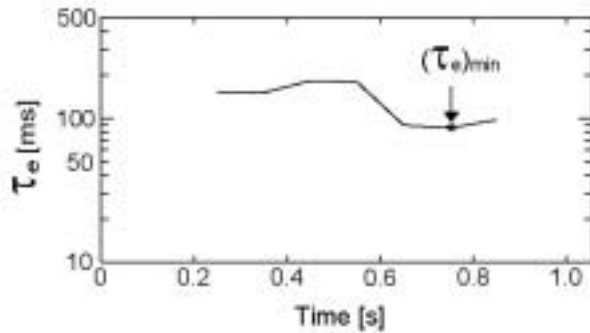


Figure 2 Example of measured  $\tau_e$  values of the r-ACF with 100 ms stepping interval (window size = 500ms) of a recording of A5 “oh” vowel, as sung by a professional “shigin” “8-hon” singer at medium singing volume (chu-sei)

サンプリング周波数は 44.1 kHz とした。歌唱者の口元とマイクロフォンとの距離は 50 cm とした。

## 2.2 Recording tasks

主観的声量 3 段階（弱声、中声、強声） $\times$  音高 3 段階（低音、中音、高音） $\times$  母音 5 種類（ah, eh, ih, oh, uh） $\times$  6 trials（1 人合計 270 samples）による歌唱母音の録音を行い、窓長 500 ms の r-ACF 分析により、 $(\tau_e)_{min}$  の算出を行った (Figs. 1 and 2)。

詩吟歌唱者が歌う場合に使用する音高の範囲は、“本”という単位で決められる。本稿の録音では、“8 本”と“4 本”の歌唱者において行った（1 本は半音にあたり、数字が大きい方が高い音になる）。本稿では、“8 本”の歌唱者が {A4, E4, A5} “4 本”の歌唱者が {F3, C4, F4} となる。本稿における“主観的声量”は、以下のように定義した。

弱声：詩歌の中で、叙情・静寂・哀愁などの場面を歌う時の、柔らかい歌い方

強声：詩歌の中で、雄大・勇壮な場面を歌うときの、強い歌い方

中声：弱声・強声以外で歌う部分の、基本的な声量

- SV (Subjective Singing Volume)  
：主観的声量
- TP (Tone Pitch)：音高

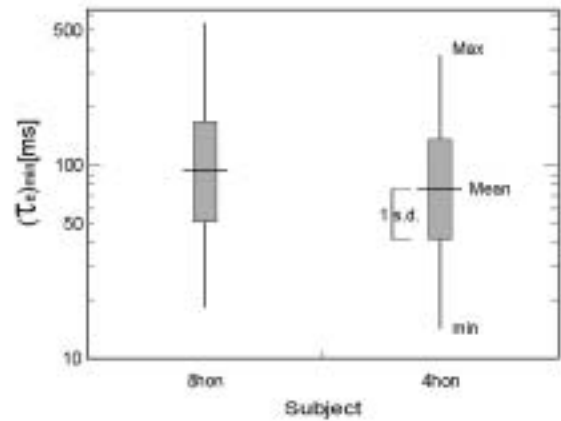


Figure 3 Measured distribution of the values of  $(\tau_e)_{min}$  of sung vowels for two singers

## 3 Results

解析で得られた  $(\tau_e)_{min}$  の分布を Fig. 3 に示す。 $(\tau_e)_{min}$  は対数正規分布した。 $(\tau_e)_{min}$  の存在範囲は 14 ms から 542 ms であった。歌唱者ごとの  $(\tau_e)_{min}$  の幾何平均は“8 本”歌唱者が 112 ms で、“4 本”歌唱者が 91 ms であった。

四元配置分散分析を行った結果、“8 本”歌唱者の場合、 $\log_{10}(\tau_e)_{min}$  に対する 3 要因（“主観的声量”・“音高”・“母音の種類”）の主効果の寄与率はそれぞれ、2.1%、18.6%、27.2% であった (Table 1)。一方、“4 本”歌唱者の  $\log_{10}(\tau_e)_{min}$  に対する 3 要因の主効果の寄与率はそれぞれ、23.3%、1.4%、60.9% であった (Table 2)。

“8 本”歌唱者では(1)式に示す要因の独立性を仮定した数量化 I 類モデルの当てはめによって  $R^2 = 0.479$  程度の精度で予測できた (Table 1)。また、“4 本”歌唱者に関しては、 $R^2 = 0.855$  の精度で予測することができた (Table 2 and Fig.5)。

$$[\log_{10}(\tau_e)_{min}]_j \approx a_{1(j)}(\text{Subjective Singing Volume}) + a_{2(j)}(\text{Pitch}) + a_{3(j)}(\text{Vowel}) + c_j \quad (1)$$

歌唱者ごとの数量化 I 類モデルの当てはめによって得られた偏回帰係数  $a_1 \sim a_3$  を Fig. 4 に示す。偏回帰係数は個人によって異なるものの、2 名分のデータに共通して“母音の種類”の寄与率が高かった (Tables 1 and 2)。

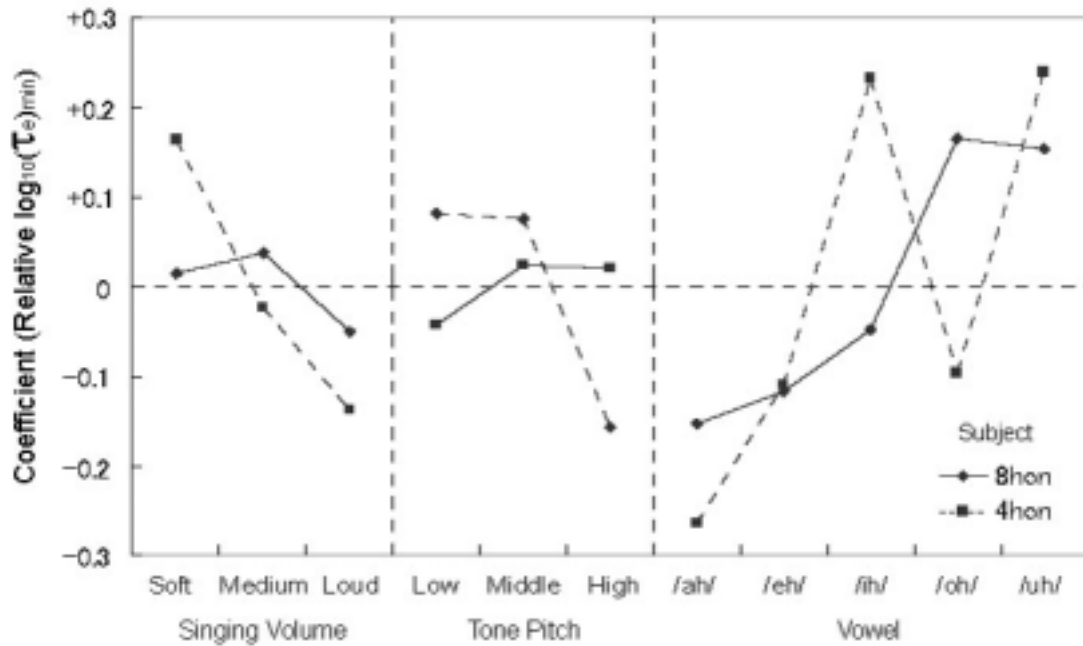


Figure 4 Coefficients obtained from multiple regression analyses with dummy variables for two singers

Table 1 Results of AVOVA and effect test applying a fitting model formulated by Eq. (1) for a “8-hon” singer.

(a) Analysis of Variance(ANOVA) :

Factor	DF	Sum of square	Mean square	F-ratio
Model	44	12.5	0.28	11.82
Error	225	5.4	0.02	
Total	269	<b>17.9</b>		p<0.001

(b) Effect test :

Factor	DF	Sum of square	Contribution ratio [%]
SV	2	0.4	2.1**
TP	2	3.3	<b>18.6**</b>
Vowel	4	4.9	<b>27.2**</b>
SV*TP	4	0.4	2.3**
SV*Vowel	8	0.6	3.3**
TP*Vowel	8	2.6	<b>14.8**</b>
SV*TP*Vowel	16	0.2	1.2
Total		12.5	<b>69.6</b>

\*\* p < 0.01, \* p < 0.05

Table 2 Results of AVOVA and effect test applying a fitting model formulated by Eq. (1) for a “4-hon” singer.

(a) Analysis of Variance(ANOVA) :

Factor	DF	Sum of square	Mean square	F-ratio
Model	44	15.8	0.36	38.94
Error	225	2.1	0.01	
Total	269	<b>17.9</b>		p<0.001

(b) Effect test :

Factor	DF	Sum of square	Contribution ratio [%]
SV	2	4.2	<b>23.3**</b>
TP	2	0.3	1.4**
Vowel	4	10.9	<b>60.9**</b>
SV*TP	4	<0.1	0.3
SV*Vowel	8	0.1	0.7
TP*Vowel	8	0.1	0.6
SV*TP*Vowel	16	0.2	1.3
Total		15.8	<b>88.3</b>

\*\* p < 0.01, \* p < 0.05

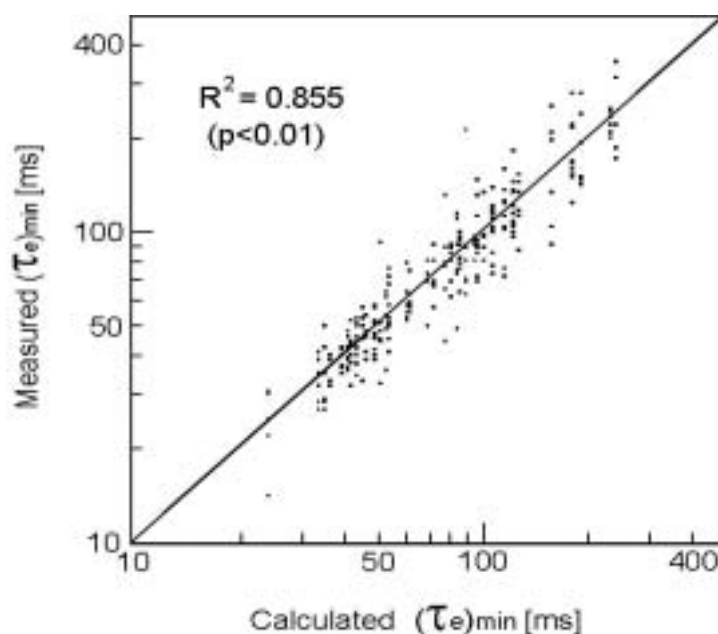


Figure 5 Relationship between measured values of  $(\tau_e)_{\min}$  and values of  $(\tau_e)_{\min}$  calculated by fitting models formulated by Eq. (1) for a “4-hon” singer.

#### 4 Discussion & Conclusions

Fig. 3 で得られた結果から、今回の詩吟歌唱者による歌唱母音の $(\tau_e)_{\min}$  は、10名のオペラ歌唱者における幾何平均の 39 ms<sup>[3]</sup>と比較して、それぞれ 112 ms、91 msと、いずれも長かった。これは、詩吟歌唱母音に関する限り、比較的長い遅れ時間の反射音と長い残響時間が好ましいと考えられる<sup>[1]</sup>。

分散分析の結果から、歌唱者は、一様なモデルによって $(\tau_e)_{\min}$ の値を予測することは困難であると考えられる。ただし、主観的声量・音高・母音の種類によって、個人の傾向を見ることは可能である。その傾向を踏まえたうえで、個人が $(\tau_e)_{\min}$ の値をコントロールすることはできると考えられる。歌唱者が自身の $(\tau_e)_{\min}$ の傾向を学ぶことは $(\tau_e)_{\min}$ を意図的にコントロールする上で意義深い。

#### Acknowledgements

本研究を進めるにあたって、梅田櫻先生をはじめ、録音に協力して下さった皆様に感謝申し上げます。また、本研究において有益な御指導と助言を賜りました榊原健一氏、藤井健司氏に謹んで感謝の意を表します。

#### References

- [1] 安藤四一著・酒井博之・佐藤伸一共訳，“建築音響学 音楽演奏・音響空間と聴衆との融合”，シュプリンガーフェアラーク東京，2000.
- [2] D. Noson, S. Sato, and H. Sakai, and Y. Ando, “Melisma singing and preferred stage acoustics for singers”, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 258. pp. 473-485, 2002.
- [3] K. Kato, T. Hirawa, K. Kawai, T. Yano, and Y. Ando, “A method of the blending of operatic singing voices with a given sound field by varying subject sound volume” Proc. of Forum Acusticum 2005 Budapest (in CD-ROM), pp. 499-504, 2005.
- [4] K. Kato, K. Fujii, K. Kawai, Y. Ando, and T. Yano, Blending vocal music with the sound field –the effective duration of autocorrelation function of Western professional singing voices with different vowels and pitches’, Proc.Int. Symp. on Musical Acoustics 2004, Nara, pp.37-40, 2004.