発声時体壁振動の研究

坂 倉 淳

Study on the Vibration of the Body Wall during Phonation

Atsushi Sakakura
(Osaka Medical College)

The vibration of the body wall during phonation was measured using acceleration-type pick-ups attached to five different points on the body wall. The voice was recorded simultaneously. The test subjects were 18 amateur singers. Each subject was asked to phonate five Japanese vowels /a/, /i/, /u/, /e/ and /o/ in both trained singing voice (trained voice) and untrained singing voice (untrained voice). This distinction was possible for all subjects after some practice.

Spectral analysis of the body wall vibration was performed. The intensities of the vibration were also analysed with respect to the vibration proportion (VP), which is the ratio of the body wall vibration (G) to the sound pressure level. 'Singing formant' was found not only in the spectral structure of the voice sound but also in that of body wall vibration. The VP of the cheek was greatest with the trained head voice, but it was not so great during the production of trained chest voice. With the untrained voice, there was no difference in the VP among the five locations of the body wall. The VP at the cheek in music students was greater than that of members of a glee club. The difference of VP among five vowels was smaller with the trained voice than with the untrained voice. These results suggest the important role of the vibration of the cheek and great resonance of oral cavity in the trained voice.

Listening tests were also performed. Five vowels of voice sound that had been recorded simultaneously with the vibration of body wall were presented to a group of 18 listeners for identification. Articulation score for trained voices was lower than that for untrained voices. The difference of articulation score among five Japanese vowels was smaller with the trained voice.

These results suggest that the difficulty in perceiving sung vowels arises from 'covering'.

Key words : vibration, body wall, phonation, singing formant, listening test

目 次

第Ⅰ章 緒 言

第Ⅱ章 trained voice と untrained voice の
体壁振動

A. 目 的

B. 方 法

1. 予備実験

- a. ピックアップの圧着方法
- b. エラテックス使用時の振動特性
- c. ピックアップの圧着部位

2. 本実験

- a. 対 象
- b. 発声方法
- c. 測定装置
- d. 音声の記録
- e. 体壁振動の記録

C. 結 果

1. 体壁振動の大きさ

- a. 振動率について
- b. 身体部位別比較
- c. 声区別比較
- d. 5 母音差

2. 体壁振動の周波数分析

- a. パワースペクトル
- b. 頬部における周波数別振動率

D. 考 按

1. 体壁振動の大きさ

- a. 身体部位別比較
- b. 声区別比較
- c. 5 母音差

2. 体壁振動の周波数分析

- a. パワースペクトル
- b. 頬部における周波数別振動率

E. 小 括

第Ⅲ章 体壁振動と声の聴覚印象との関係

A. 目 的

B. 方 法

C. 結 果

D. 考 按

E. 小 括

第Ⅳ章 総括考按

第Ⅴ章 結 語

第Ⅰ章 緒 言

発声に伴い体壁が振動する現象は古くから知られており、医学の方面では胸部疾患の診断に際し、声音振盪の触診として役立てられてきた。また耳鼻科領域では、近年、上顎洞病変や鼻咽腔閉鎖異常に対する診断的有用性^{1)~5)}、嚥舌者の言語訓練への利用価値などが指摘されている⁶⁾。一方、正常者の発声における体壁振動の基礎的研究としては、歌唱発声も含めた種々の発声様式による振動の強さ及び周波数構造の変化、あるいは身体各部での振動状態の違いなどが検討されてきた^{1)7)~11)}。

発声様式による変化については、頭声、胸声における体壁の振動振幅を比較検討した研究が報告されている⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。しかし、被験者にプロやアマチュアの声楽家を選ぶ必要があるためか、1人とか数人以下の少数例を対象とした研究が

多く、未だ不明確な点が多い。

身体部位別の違いに関しては、振動測定装置の重量とこれの体壁への装着法から生じる制約があり、身体各部を同時測定した研究はほとんどない。わずかに大山⁵⁾らの実施した左右犬窩における測定実験をみるのみであり、未だこの点に関する検討は不十分である。

本研究の目的は、声楽的に訓練された「上手な歌唱発声」と、そうではない「下手な歌唱発声」、さらに頭声、胸声といった声区にも注目し、歌唱におけるこれら種々の発声様式の下で身体各所の体壁振動がどのような強さと周波数構造をもつかを明確にすることである。発声にあたっては、声楽的に訓練された発声（以下 trained voice）と声楽的に訓練されていない発声（以下 untrained voice）を区別し、この2種類の発声を同一被験者に行なわせて比較検討した（なお、被験者にこの2つの発声を区別

させることは若干の練習を経た後には例外なく可能となった).

ところで, trained voice, untrained voice という呼称は, 前者が歌声, 後者が話声という意味に理解されやすい. しかし, ここでは両者とも一定の強さと高さで持続発声された歌声という意味である. trained voice は声楽的発声法に基づいた歌声であり, untrained voice は声楽的発声法を意識せずに発せられた歌声という意味で用いた. これに対して話声での母音は, 高さや強さが不随意に変動するものである. 英文抄録では誤解を避けるため, trained singing voice, untrained singing voice と記載した.

第Ⅱ章 trained voice と untrained voice の体壁振動

A. 目的

声楽家は歌唱時, 身体の特定位位に振動を自覚すると言われている. この振動感覚は発声をコントロールする際の指標として, 従来から声楽教育の分野でその重要性が強調されてきた¹²⁾.

しかし, こうした主観的な振動感覚と実際の体壁振動の関係については未だ十分に解明されていない. 著者はアマチュアの声楽家を対象として, 口前音及び身体5ヶ所からの体壁振動を同時記録し, 振動計及びシグナルプロセッサを用いて振動の大きさと周波数構造を分析した. 発声に際しては, 同一被験者に trained voice と untrained voice の両者を出させ, これらの比較検討を試みた.

B. 方法

1. 予備実験

体壁振動の測定には工業計測用の加速度型ピックアップを用いた. このピックアップをいかにして身体各部に装着すればよいか, またその装着部位にはどこを選択すべきか, あるいはピックアップの振動特性に問題はないか, などの点について予め検討した.

a. ピックアップの圧着方法

図1は実験に用いた加速度ピックアップ(リオン PV-85B)を示している. 底面の直径15 mm, 重量23 gである. 身体の数箇所

図1

クアップを装着するには重量の軽いものが適しており、また軽いピックアップを用いた方が測定周波数帯域を広くとれる点で有利である。しかし軽量では逆に S/N 比が悪くなり周波数分析を行なう際には不利であるとされている。以上の点を考慮し、装着が容易でしかも S/N 比のよいピックアップとして上記の機種を選択した。

この PV-85B は圧電型加速度ピックアップで、圧電材料にはジルコン・チタン酸鉛が用いられている。振動特性は図2の通りである。この図が示しているように、ピックアップの固定方法により、接触共振が大きく変化する。手による押しつけの場合は④、⑤の棒状アタッチメントを用いたデータが示されている。③は金属材料などに用いるマグネットアタッチメントによる方法である。これらはいずれも測定可能な振動数範囲が狭いため問題がある。また①のネジでの固定や②の絶縁アタッチメントによる方法は人体には不向きである。⑥の両面テープは簡便だが、重量 23 g の PV-85B を前頭や頬部等に固定しようと試みても実験途中で脱落してしまう。何らかの圧力を手による押

し付け以外の方法で加えられないかと考え、各種の接着テープ、絆創膏などを試みた。その結果、粘着性伸縮包帯エラテックス（東京衛生材料研究所製）が特に装着の容易さなどから最も適していると判断した。

b. エラテックス使用時の振動特性

前述の圧着方法により実際に人体で測定を行なった場合、接触共振が出現しないかどうかを図3に示した実験で検討した。

聴力検査用骨導端子からほぼ一定の強さの振動が各周波数毎に出るように調節しておき、骨導端子の近傍にエラテックスで固定した PV-

図3

図2 PV-85B 型(汎用形)の接触共振

85B を置き、実際に身体へ伝達された振動を導出した。この結果、図4のように著明な接触共振は認められず、エラテックスによる固定で振動測定に問題のないことが確認された。なお、圧着圧力の影響に関しては、従来の報告では $150\text{--}200\text{ g/cm}^2$ の圧力が最も適しているとされている³⁾⁴⁾¹⁰⁾。しかし、実際の測定に際しては、極端に圧力を小さくしたり、極端に圧力を大きくしない限り、導出された振動の実効値に差の生じないことを確認した。但し本実験ではなるべく上記の圧力に近づけるよう配慮した。

c. ピックアップの圧着部位

切替¹⁰⁾は一人の男性被験者における身体各部の発声時体壁振動を振動地図として示している。これによれば振動振幅の大きい部位は頭頂、下顎、頬部、喉頭、鎖骨、胸壁である。今

回の実験ではこの結果を参考にしつつ、エラテックスによるピックアップの圧着が容易で安定した部位として、前頭、右頬部（両側頬部は圧着が困難となるので片側だけ選択した。左ではなく右を選んだことには特別の理由はない。）、右鎖骨、左鎖骨、胸骨の5ヶ所を選択した。

なお、実験に使用したピックアップは通常のマイクロホンと比較して機械インピーダンスが大きく、空気振動を拾うような事はないとされている。実際の測定に際しても、ピックアップを体壁からわずかに浮かせた状態で発声を行なうと波形は全く導出されなくなった。このことから問題のないことが確認された。

2. 本実験

a. 対象

検査対象にはアマチュアの声楽家18名を選んだ。内訳はグリークラブ員（合唱クラブ員）6名、声楽専攻の音楽大学学生12名である。声種はソプラノ7名、メゾソプラノ1名、テノール5名、バリトン2名、バス3名であった。年齢は20歳から30歳まで平均22歳で、男性10名、女性8名、体重は43～83 kg、身長は152 cm～183 cmであった。

グリークラブ員と音大生との間では声楽の専門教育を受けた年数に差があり、また歌唱時の音声も聴覚印象上、明らかに音大生の方がグリークラブ員よりも典型的で優れた trained voice を出し得ると判断された。本実験では必要に応じて、グリークラブの群と音大生の群を対比させながら検討を加えていくこととした。

b. 発声方法

被験者は trained voice と untrained voice の2種類の音声を一定の強さと高さで数秒間、それぞれ5母音別に持続発声した。実際の測定は予め2～3回の発声練習をした後に実施した。発声は同一の音声について6～7回繰り返行ない、そのうちで高さや強さが安定した記録のみを測定結果として採用した。声の強さは口前20 cm で約100 dB SPLを目安とし、声の高さはグリークラブ員の場合は各自最も楽に発声でき

図4

る高さとした。音大生の場合は trained voice で頭声区と胸声区の2種類の発声を区別した(図5)。声の高さについては頭声区で高く、胸声区で低い。

c. 測定装置

測定装置の概略を図6に示した。各装置の詳細は表1にまとめた。

d. 音声の記録

被験者の口前20 cmの位置にマイクロホンを設置し、精密騒音計を介してデータレコーダに音声を記録した。精密騒音計を用いたのは口前音圧 SPL の表示値を直読するためである。

e. 体壁振動の記録

予備実験の結果に基づき、図6のように身体各部の振動は被験者の前頭正中部、右頬部(犬歯窩に対応する皮膚部分)、右鎖骨中央部、左

鎖骨中央部、胸骨体で測定した。ピックアップを各部にエラテックスで固定圧着し、得られた振動波は振動計を通してデータレコーダに音声と同時に記録した。振動実効値(G)は振動計の表示値を直読した。記録されたデータはシグナルプロセッサを用いて周波数分析を行なった。

C. 結果

1. 体壁振動の大きさ

a. 振動率について

体壁振動の大きさを評価するにあたって、本

- (i) trained voice
 - head voice
 - chest voice
- (ii) untrained voice

図5

表1

使用計器

圧電型加速度ピックアップ	PV85B (リオン) ×5
多チャンネル振動計測ユニット	
チャージ・アンプ	UV-01 (リオン) ×5
メータ・ユニット	UV-02 (リオン)
ユニット収納ケース	UV-10 (リオン)
コンデンサマイクロホン	UC-27 (リオン)
精密騒音計	NA-81 (リオン)
カセットデータレコーダ	XR-50H (ティアック)
シグナルプロセッサ	7T-17 (日本電気三栄)

図6 ブロックダイアグラム

研究では振動の加速度単位 G を口前音圧 dBS PL で除した G/dBSPL という単位を導入した(仮に振動率と呼ぶ)。発声時に口前音圧が異なれば、それに伴い体壁振動の大きさも当然変化する。一方、口前音圧を同一にして被験者に何回も発声させたり、あるいは異なる被験者間で発声時口前音圧を等しく保つことは非常にむずかしい。無理に口前音圧をあわせようとするれば音色が犠牲になることもある。体壁振動に関する過去の研究報告では口前音圧の規定の仕方はまちまちで、上述の問題に十分な配慮が払われていないものが多い。本研究ではこのような事情を考慮して振動率 (G/dB) を新しく導入した。振動率は体壁振動の口前音圧に対する相対的な大きさを示すものであり、個人内データの比較や個人間データの比較を口前音圧にとらわれずに行なうことができると考えた(もっとも、実際に被験者が発声する際には、個人内及び個人間で口前音圧が可及的等しく保たれるよう努力した。すなわち、 $100 \pm 1 \text{ dB}$ の範囲に収まることを目標とした)。

振動率 (G/dB) は分子が linear, 分母が logarithm であるから物理的な意味づけを与えようとする場合には望ましくないと考えられる。しかしこの場合、 dB は大きく変化する訳ではない。実際には $100 \pm 1 \text{ dB}$ の範囲内に大部分の実験値が収まるよう配慮した。したがって、 100 dB 程度の口前音圧に対する相対的な体壁振動の大きさを G/dB は表わすことになる。このような意味を持つ G/dB を本稿では仮に振動率と呼び使用した。

b. 身体部位別比較

実験に参加した音大生は 12 名であるが、胸声を発声できない者が 4 名あったので除外し、残りの 8 名のデータを用いた。声種の内訳はソプラノ 3 名、メゾソプラノ 1 名、テノール 2 名、バリトン 1 名、バス 1 名であった。各被験者に 1) trained voice での頭声, 2) trained voice での胸声, 3) untrained voice, 以上 3 種類の発声を行なわせ、8 名の平均値を算出して

グラフ化した(図 7～図 11)。縦軸は体壁上の各部位を示し、横軸は G/dB で振動の大きさを表わした。

これらの図から頭声では頬部で他部位よりも振動率 (G/dB) の高いことが判明した。一方、胸声は頬部で他の身体部位よりもやや高い振動率を示したが、頭声ほどではなかった。untrained voice では身体部位別の振動率に差が認められなかった。

図 12～図 16 では、グリークラブ員 6 名中、trained voice と untrained voice の区別が聴覚印象上明瞭と判断された者 4 名の結果を示した。なお、被験者達は頭声と胸声を区別して発声できなかったので trained voice として一括した。この結果、trained voice, untrained voice の間で身体部位別の振動率の分布パターンに大きな差は認められなかった。

図 17 は音大生の中でも、最も典型的な trained voice を出し得ると聴覚的に判断された者の結果である。頭声では頬部で振動率が高く、一方、胸声と untrained voice では体壁の各部位で振動率の差が頭声ほどには目立たなかった。しかし、胸声では右鎖骨で他の身体部位よりも高い振動率を得た。

c. 声区別比較

図 18 では音大生 8 名の平均値により、身体各部の声区別振動率を比較した。声区間で一定の大小関係は認められず、測定部位ごとに大小関係は変化した。

d. 5 母音差

図 19 では音大生 8 名の平均値をグラフ化し、5 母音別の振動率を比較した。後述するごとく本実験では頬部の振動率が他部位に比較して特異的な値をとった。このため特に頬部の振動率に着目した。頬部では trained voice で [イ], [ウ], [エ] の振動率が接近し、互いに近い値を示す結果となった。またレーダーチャート全体のパターンをみると、各母音の示す線の交差が少なく、5 母音間でいわば相似の五角形を作る傾向が認められた。これに対し、untrained

ア 身体部位別振動率 (音大生)

図 7

イ 身体部位別振動率 (音大生)

図 8

ウ 身体部位別振動率 (音大生)

図 9

工 身体部位別振動率 (音大生)

図10

オ 身体部位別振動率 (音大生)

図11

ア 身体部位別振動率 (グリークラブ員)

図12

イ 身体部位別振動率（グリークラブ員）

図13

ウ 身体部位別振動率（グリークラブ員）

図14

エ 身体部位別振動率 (グリークラブ員)

図15

オ 身体部位別振動率 (グリークラブ員)

図16

図17 ある音大生の振動率

図18 声区別振動率（音大生平均）

図19 5 母音別振動率 (音大生平均)

図20 5 母音別振動率 (ソプラノ平均)

図21 5 母音別振動率 (ある音大生)

voice では各母音の示す線が多くの点で交差し、相似の関係が乱れた。頬部での振動率 [ア] と [イ] が接近した。

図20では被験者をソプラノに限定した場合の trained voice と untrained voice のレーダーチャートである (ソプラノを選択した理由は各声種のうちで最も被験者数が多かったからである)。頬部では [イ], [ウ], [エ] 群及び [ア], [オ] 群の2群に5母音がグループ化した。一方, untrained voice ではこのようなグループ化は認められなかった。

図21は聴覚印象上, 最も典型的な trained voice を出し得ると判断された被験者の場合である。trained voice では5母音の振動率が接近し, ほとんど重なってしまう程であったが, untrained voice では5母音の振動率の差は明瞭であった。

2. 体壁振動の周波数分析

a. パワースペクトル

図22～図26は1名の被験者の trained voice での体壁振動と口前音をパワースペクトルで表示したものである。

口前音に注目すると, 5母音の別に拘らず高

周波域では3 kHz 付近に強い音響エネルギーが認められた。これは sundberg¹³⁾ により singing formant と名付けられたもので, trained voice に特徴的とされている。この singing formant は口前音のみならず, 体壁振動にも認められることがこの図より判明した (singing formant は本来, 口前音に関する概念であるが, 本研究では以後体壁振動にもこの名称を用いる)。また, [ア] では頬部, [ウ] では左右鎖骨, [エ] では頬部においてそうであるように, 母音毎に singing formant の出にくい体壁部位と出やすい体壁部位の存在することがわかった。

他方, 図27は同じ被験者による untrained voice [ア] をパワースペクトルで表示したものである。singing formant は口前音にも体壁振動にも認められなかった。[イ] ～ [オ] についても同様の結果が得られた。

次に以上の点に注目しながら被験者14名 (音大8名及びグリーククラブ員6名: ソプラノ3名, メゾソプラノ1名, テノール7名, バリトン2名, バス1名) について, trained voice における singing formant の有無を口前音と

trained voice [a]

50~110dB : 10dB/DIV

図22

trained voice [i]

50~110dB : 10dB/DIV

図23

trained voice [u]

50~110dB : 10dB/DIV

図24

trained voice [e]

50~110dB : 10dB/DIV

図25

trained voice [o]

50~110dB : 10dB/DIV

図26

untrained voice [a]

50~110dB : 10dB/DIV

図27

体壁振動の双方で調べて集計した。集計にあたっては、図28で凡例を示したが、3 kHz 付近にホルマントが認められれば表の左下隅に○印を記入し、存在しなければ×印を記入した。また singing formant の peak amplitude (dB) を表の右下隅に記入した (図28のB)。さらに、特徴周波数帯域の最大ピークと singing formant のピークとの差を dB 値で表示した (図28のA)。この値は、口前音のスペクトル分析に関して HK Schutte^{14) 15)} らが提唱した 'Resonance Balance' (以後 RB と呼ぶ) にほぼ一致する。RB を図28表右上隅に記入し、その値が 20 dB 未満であれば表左上隅に○印、20 dB 以上なら×印を記入した。以上のような集計を14名全員の第1～第6 ch 各々について行なったものが表2～表6の一覧表である。

一覧表の各 ch 下段 (○, ×印) をみると、どの被験者にも体壁の一部で3 kHz 付近にホルマントの現れたことがわかる。

ところで singing formant を定量的に計測

するための尺度として、本研究では RB を参考にし、一覧表上段に 20 dB での判定を記載した。すなわち 20 dB 未満なら singing formant が存在すると解釈して○印を記入した。20 dB 以上の場合は存在しないとみなし×印を記入した。20 dB という数字は Schutte が口前音の分析の際に用いたものであるが、本研究では体壁振動に対してもそのまま適用してみた。その結果、口前音では男声で例外なく singing formant が認められ、女声ではごく一部の被験者のみに認められた。一方、体壁振動では少数例において singing formant が認められるのみであった。すなわち 20 dB の判定基準では口前音にくらべ、体壁振動の方が出現率は低いという結果が得られた。

どの体壁部位から最も singing formant が出現しやすいかは表7に集計した。その結果、前頭、頬部、胸骨で singing formant が出現しやすいことが判明した。

b. 頬部における周波数別振動率

凡 例

集 計 表

パワースペクトル

図28

表 2
〔ア〕 trained voice

被験者 ch	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1 (前頭)	○ 16	× 35	× 23	× 33	○ 7	× 30	○ 30	× 33	○ 14	× 22	× 31	× 25	× 23	○ 19
	○ 62	× 30	○ 43	○ 45	○ 61	○ 47	○ 46	○ 44	○ 68	× 58	○ 56	× 56	○ 65	○ 56
2 (頬部)	× 35	× 24	× 27	× 37	× 26	× 22	○ 17	× 21	× 38	× 39	× 32	× 28	× 39	× 23
	○ 56	○ 48	○ 59	○ 55	○ 58	○ 50	○ 59	○ 49	○ 67	× 50	× 50	○ 59	× 55	○ 70
3 (右鎖骨)	○ 16	× 44	× 43	× 37	× 28	× 46	× 47	× 44	× 37	× 40	× 53	× 41	× 25	× 42
	○ 53	× 30	× 34	× 30	× 46	× 30	× 35	× 35	○ 63	× 58	× 55	× 59	○ 65	× 63
4 (左鎖骨)	○ 17	× 21	× 40	× 39	× 44	× 54	× 47	× 45	× 46	× 35	× 42	× 36	× 33	× 46
	○ 50	× 32	× 34	× 35	× 37	× 30	× 36	× 40	× 54	○ 61	× 58	× 59	× 65	× 64
5 (胸骨)	○ 18	× 24	× 46	× 24	○ 18	× 50	× 36	× 43	○ 18	× 27	× 38	× 24	○ 17	× 32
	○ 63	× 50	× 37	○ 55	○ 56	× 34	× 44	× 30	○ 67	○ 61	× 55	○ 55	○ 74	○ 66
6 (口前音)	○ -7	× 30	× 23	× 23	○ 2	○ 9	○ 14	○ 9	○ 6	○ 12	○ 5	○ 11	○ 11	○ 4
	○ 87	× 45	○ 55	○ 65	○ 70	○ 63	○ 60	○ 60	○ 77	○ 79	○ 80	○ 73	○ 79	○ 76

表 3
〔イ〕 trained voice

被験者 ch	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1 (前頭)	○ 19	○ 19	○ 4	× 37	○ 17	× 32	× 39	× 41	× 21	× 30	× 35	× 30	○ 17	○ 10
	○ 59	○ 53	○ 66	○ 46	○ 63	○ 50	○ 48	× 46	○ 65	× 58	○ 65	○ 70	○ 65	○ 72
2 (頬部)	× 32	○ 16	× 26	× 42	× 28	× 25	× 25	× 29	× 24	× 41	× 25	○ 7	○ 20	× 28
	○ 58	○ 59	○ 74	○ 50	○ 63	○ 59	○ 59	○ 47	○ 65	× 59	× 60	○ 81	○ 70	○ 72
3 (右鎖骨)	○ 14	× 24	× 35	× 29	× 41	× 45	× 45	× 44	× 44	× 33	× 37	× 39	× 29	× 40
	○ 45	○ 44	× 50	× 38	× 47	× 35	× 40	× 34	× 62	× 55	× 55	× 60	○ 63	× 65
4 (左鎖骨)	× 23	○ -5	× 25	× 36	× 45	× 43	× 45	× 45	× 30	× 32	× 28	× 33	× 33	× 39
	○ 45	○ 45	× 50	× 38	× 38	× 42	× 42	× 42	○ 62	× 58	× 50	× 60	○ 65	○ 64
5 (胸骨)	○ 11	○ 8	× 28	× 36	× 35	× 40	× 43	× 41	× 38	○ 18	× 37	○ 10	○ 19	× 30
	○ 62	○ 55	× 57	○ 43	× 47	× 40	× 40	× 35	× 60	○ 68	× 58	○ 60	○ 73	○ 60
6 (口前音)	○ 14	○ 1	○ 13	× 34	○ 11	○ 6	○ 7	○ 2	○ -7	○ 0	○ 4	○ -6	○ 9	○ -4
	○ 70	○ 68	○ 74	○ 56	○ 68	○ 59	○ 60	○ 56	○ 79	○ 75	○ 90	○ 81	○ 83	○ 77

表 4
〔ウ〕 trained voice

被験者 ch	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1 (前頭)	○ 10 ○ 66	○ 17 ○ 48	○ 19 ○ 46	× 33 × 48	○ 6 ○ 69	× 32 ○ 57	× 33 ○ 53	× 38 × 44	× 34 ○ 60	× 32 × 50	× 29 ○ 65	× 25 × 56	× 30 ○ 60	○ 9 ○ 72
2 (頬部)	× 25 ○ 58	× 28 ○ 50	× 24 ○ 76	× 40 × 54	× 24 ○ 63	× 33 ○ 50	× 23 ○ 57	× 26 × 50	× 38 × 57	× 32 × 50	× 29 ○ 59	× 28 ○ 59	× 36 ○ 60	× 23 ○ 75
3 (右鎖骨)	× 26 ○ 50	× 39 × 30	× 44 × 43	○ 17 × 42	× 36 × 56	× 40 × 35	× 50 × 38	× 42 × 35	× 37 × 50	× 41 × 50	× 32 × 56	× 41 × 59	× 36 × 54	× 38 × 59
4 (左鎖骨)	× 33 ○ 46	× 22 × 30	× 44 × 30	× 34 × 39	× 41 × 46	× 42 × 39	× 46 × 40	× 43 × 44	× 30 × 50	× 33 × 55	× 25 × 50	× 36 × 59	× 41 × 54	× 39 × 58
5 (胸骨)	○ 13 ○ 66	× 21 × 39	× 47 × 35	× 32 ○ 44	× 46 × 35	× 42 × 39	× 40 × 42	× 44 × 30	× 42 × 62	× 35 ○ 55	× 40 × 55	× 24 × 55	× 32 ○ 62	× 38 × 61
6 (口前音)	○ 8 ○ 74	× 28 ○ 42	× 35 ○ 50	× 28 ○ 60	× 38 ○ 47	○ 2 ○ 63	○ 13 ○ 58	○ 12 ○ 53	○ 5 ○ 73	○ 20 ○ 65	× 21 ○ 79	○ 11 ○ 73	○ 10 ○ 80	○ 2 ○ 75

表 5
〔エ〕 trained voice

被験者 ch	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1 (前頭)	× 27 ○ 58	○ 10 ○ 56	○ 10 ○ 48	× 41 ○ 42	○ 12 ○ 54	× 28 ○ 48	× 21 ○ 57	× 37 × 42	× 24 ○ 65	○ 20 × 50	× 25 ○ 60	○ 10 ○ 72	○ 18 ○ 70	○ 10 ○ 68
2 (頬部)	× 33 ○ 60	○ 20 ○ 60	× 32 × 32	× 47 ○ 48	○ 20 ○ 54	○ 20 ○ 54	× 22 ○ 63	○ 19 ○ 51	× 33 ○ 62	× 29 × 50	○ 17 ○ 65	○ 3 ○ 79	× 40 × 60	○ 11 ○ 74
3 (右鎖骨)	× 26 ○ 50	× 38 × 38	× 33 × 39	○ 19 × 35	× 38 × 34	× 46 × 30	× 40 × 40	× 41 × 35	× 24 ○ 71	× 34 × 50	× 45 × 62	× 39 × 61	× 26 ○ 64	× 42 × 59
4 (左鎖骨)	× 25 ○ 48	○ 6 ○ 51	× 35 × 39	× 39 × 35	× 35 × 30	× 41 × 39	× 44 × 44	× 45 × 42	× 32 × 58	× 35 × 50	× 43 × 55	× 35 ○ 65	× 24 ○ 70	× 39 × 55
5 (胸骨)	○ 10 ○ 69	○ 9 ○ 55	× 37 × 46	× 36 ○ 47	× 34 × 36	× 43 × 36	× 25 ○ 55	× 38 × 36	× 36 × 58	× 22 ○ 60	× 28 × 62	○ 15 ○ 69	○ 12 ○ 78	× 38 × 59
6 (口前音)	○ 14 ○ 68	○ 2 ○ 68	○ 14 ○ 61	× 36 ○ 55	○ 4 ○ 60	○ 1 ○ 59	○ 11 ○ 71	○ 14 ○ 56	○ 18 ○ 70	○ 16 ○ 69	○ 10 ○ 90	○ -16 ○ 88	○ 7 ○ 85	○ -8 ○ 79

表 6

〔オ〕 trained voice

被験者 ch	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1 (前頭)	× 23 ○ 63	○ 15 ○ 50	○ 20 ○ 50	× 45 × 35	○ 15 ○ 65	× 25 ○ 49	× 25 ○ 52	× 37 × 39	× 21 ○ 63	× 28 × 50	× 24 ○ 58	○ 20 ○ 60	× 24 ○ 64	× 25 × 50
2 (頬部)	× 37 ○ 55	× 25 ○ 55	× 28 ○ 62	× 42 ○ 49	× 31 ○ 58	○ 19 ○ 54	× 26 ○ 61	× 27 ○ 45	○ 19 ○ 70	× 34 × 50	○ 18 ○ 67	× 25 ○ 66	× 36 ○ 60	× 24 ○ 67
3 (右鎖骨)	× 22 ○ 50	× 48 × 30	× 46 × 36	○ 27 × 30	× 49 × 40	× 41 × 30	× 42 × 38	× 40 × 36	× 37 ○ 65	× 42 × 50	× 38 × 50	× 36 × 59	× 30 ○ 64	× 38 × 61
4 (左鎖骨)	× 23 ○ 45	× 24 × 30	× 44 × 32	× 38 × 35	× 44 × 40	× 40 × 37	× 42 × 45	× 43 × 42	× 34 × 56	× 35 × 55	× 30 × 50	× 37 × 59	× 30 ○ 64	× 45 × 60
5 (胸骨)	○ 6 ○ 69	× 35 × 35	× 32 ○ 50	× 33 ○ 45	× 35 ○ 49	× 45 × 34	× 31 ○ 48	× 45 × 30	× 38 × 57	× 26 ○ 60	× 33 ○ 58	○ 20 ○ 62	○ 20 ○ 71	× 33 × 60
6 (口前音)	○ 6 ○ 75	× 30 ○ 50	× 21 ○ 57	× 30 ○ 60	○ 12 ○ 65	○ -5 ○ 65	○ 15 ○ 69	○ 18 ○ 52	○ 4 ○ 74	○ 14 ○ 72	○ 14 ○ 87	○ 5 ○ 80	○ 11 ○ 83	○ -4 ○ 83

表 7

体壁振動での Singing formant 出現頻度

	ア	イ	ウ	エ	オ
前 頭	5 (11)	6 (12)	5 (10)	7 (12)	4 (10)
頬 部	1 (10)	3 (12)	0 (10)	7 (11)	3 (13)
右鎖骨	1 (3)	1 (3)	1 (1)	1 (3)	1 (3)
左鎖骨	1 (2)	1 (5)	0 (1)	1 (4)	0 (2)
胸 骨	4 (7)	5 (7)	1 (4)	4 (7)	3 (9)

〔R.B. <20 dB で判定
〔 () 内は3KHz 付近のフォルマント有無で判定〕

図29, 図30は最も典型的な trained voice を出し得ると聴覚印象で判断された被験者における頬部の振動率を各周波数別に算出したものである。横軸は周波数, 縦軸は振動率を表している。●印の各点はパワースペクトル上ピークを示す特徴周波数に対応した G/dB を示している。

trained voice の場合と untrained voice の

場合を比較すると, trained voice では100 Hz 以下の低周波数領域での振動率が untrained voice に比べ, 著しく高値を示している。このような傾向は頬部での振動率が高値を示す被験者全員に共通して認められた。

D. 考 按

1. 体壁振動の大きさ

発声に伴う体壁振動と歌唱時に声楽家が感じる振動感覚との関係については, 頭声, 胸声といった声区面からの研究が過去にいくつか報告されている^{1)8)~10)}。これらの報告を要約すると次のようになる。(1) いずれの声区においても体壁振動の振幅は, 前頭 > 胸壁の関係が成立する。(2) 声区別に振幅を比較すると鼻背部で頭声 > 胸声となり, 鼻背部以外では胸声 > 頭声の関係が認められる。

ところで本研究では前述の理由により振動率 (G/dB) を用いて体壁振動の大きさを評価した。これは颯田・菅原¹⁾⁹⁾が鼻腔共鳴を分析するために創案した「共振率 (μ/μ bar)」と

類似の概念である。しかし他の研究報告では振動振幅または Gal 値の測定が行なわれているだけで、口前音圧と体壁振動の関係は十分に配慮されていない。従って、本研究と過去の研究との厳密な比較は難しいと考えられる。

本研究により判明した特徴的な諸点を以下に述べる。

a. 身体部位別比較

身体部位別に振動の大きさを比較したところ、trained head voice では頬部での振動率が他の身体部位よりも明らかに高値を示した。声楽家は頭声では頭部に振動を自覚するといわれているが、こうした経験的事実はこの実験結果で一部説明が可能である。しかし、trained chest voice でも頬部での振動率が他の身体部位よりも母音によって高値を示した（図7、図9）。すなわち、胸壁（鎖骨及び胸骨）において振動率が上昇しないという結果が得られた。これは胸声では胸部に振動を自覚するという経験的事

実からの予想に反する結果である。野村¹⁹⁾は石本式小型地震計を用いて振動振幅を測定し、著者とほぼ同様の結果を報告している。しかし野村は前額が最も大きく振動するとしているのに対し、本実験では頬部が最大の振動率を示したという点で部位的に異なる。また野村の言うように、胸声でも頭声と全く同じように「頭蓋の振動＞胸壁の振動」の関係が成立するとは限らず、たとえば図17で示した被験者の場合は胸声では常に右鎖骨が身体で最も大きい振動率を示した。この被験者の場合は頭声では頬部、胸声では右鎖骨が最大の振動率を示し、振動感覚の知覚部位とかなり一致した。一方、untrained voice では頬部での振動率に大きな差は認められなかった（図7～11）。このことは trained voice や untrained voice という音色の差に応じて身体部位別の振動率が変化したことを意味しており、興味深い。

声区が体壁の共鳴(固有振動数での強制振動)

図29

図30

に基づくとする考えは誤りで、声区の本質は声帯の振動様式にあることは野村⁸⁾、颯田⁹⁾の実験ですでに確認されている。しかし発声に伴って体壁が振動するのは事実であり、胸声区の声を発した時に前胸部が震える現象や、ハミングで鼻骨の辺りに振動が生じることなどは指先の触覚で確認できる。本研究では体壁の振動が trained voice と untrained voice で大きく異なり、頬部振動率が trained voice では上昇すること、とくに trained head voice でこの傾向は顕著であることが示された。大山³⁾と谷口⁴⁾は犬歯窩での振動を詳細に分析し、その振動レベル値（ガル値）には軟口蓋も含めた口蓋の振動が大きく影響すると述べている。その考えに従うと、本実験において trained voice での頬部振動率が最大値を示した原因は、口蓋を経て伝播された口腔内共鳴であることが推察された。すなわち、trained voice は untrained voice よりも口腔内共鳴の大きいことが示唆された。

また音大生の群とグリークラブ員の群では、同じ trained voice でも頬部における振動率上昇の仕方に差が認められた。これは声楽的訓練の程度に応じて頬部の振動に差が生じる得ることを示している。このことより声区の問題に限らず、声楽教育の分野で強調されている様々な振動点の理論¹²⁾や振動感覚は単なる仮説ではなく生理学的にもある程度根拠を持つものであることが示唆された。

b. 声区別比較

振動の大きさを声区別に比較すると、振動率でみる限り必ずしも一定した声区間の大小関係は認められず、身体部位により、あるいは母音により大小関係が変化した（図18）。これは過去の報告⁸⁾¹⁰⁾と異なる結果である。しかし頬部において頭声＞胸声という関係が得られた。このことは頬部と解剖学的に近い鼻背部での共振率を測定した颯田⁹⁾・菅原¹⁾の実験結果に一致した。

c. 5 母音差

5 母音別に振動の大きさを比較すると、測定部位や発声法ごとに変化した（図19）。しかし狭舌母音が広舌母音よりも高値をとる傾向があり、とくに前頭や頬部では顕著であった。これは頭蓋の振動範囲を5母音別に比較した Hopmann¹⁶⁾や Stern¹⁷⁾の報告、鼻背部で5母音間の振幅及び共振率の比較を行なった颯田・菅原の研究¹⁾⁹⁾、頭蓋各所の振動レベル（ガル値）を5母音間で比較した大山³⁾の報告とほぼ一致した。また全身各所の振動振幅を調べた切替¹⁰⁾は、被験者及び発声法や体壁部位の差により振動振幅の5母音別順序が変化するを示しているが、頭部（頭頂、鼻背、下顎）については著者と同様の結果を報告している。

次に振動の5母音差が個人間で違った現れ方をするかどうかを1)音大生8名の平均、2)ソプラノだけの平均、3)聴覚印象上最も典型的な trained voice を出し得ると判断された被験者、の3群を比較して検討した。trained voice では5母音の如何に拘らず、頬部の振動率が身体各部位中で最大値をとることはすでに述べたところである。そこでこの3群を比較する目安としてレーダーチャート（図19～図21）における頬部の振動率に着目した。またレーダーチャート全体のパターンにも留意した。

図19～図21の結果をみると、前記3群のうち群の番号が進む程 trained voice における頬部での5母音振動率の差が不明確となり、5母音がいわば3母音化〔1)群〕、2母音化〔2)群〕、1母音化〔3)群〕する傾向が認められた。5母音のレーダーチャート全体のパターンについては、群番号が進むにつれて trained voice での5母音差がはっきりせず、ほとんど重なってしまうようなパターンへと変化した。

従ってレーダーチャートに現れた5母音別の振動率には明らかに個人差が存在すること、特に同じ音大生の中でも優れた音声の持ち主では trained voice で5母音が1母音化する傾向のあること、またそれ以外の音大生の場合にも5母音がいくつかの母音にまとまる傾向をもつこ

とが判明した。一方, untrained voice ではそのような傾向は認められなかった。

trained voice では covering (Deckung) の影響により 5 母音ごとの調音点の特徴が曖昧になることが予想される。前述の所見はこうした予想と符合するものである。しかし, 5 母音差は各母音の明瞭度と深く関係する問題であるからⅢ章で改めてとり上げることにする。

2. 体壁振動の周波数分析

a. パワースペクトル

大山³⁾らは骨導音のスペクトル構造は、概して low pass の傾向を示すと指摘し、他の諸家⁷⁾¹⁰⁾も同様の報告をしている。概ね 2 kHz 以上の高域成分は体壁振動に与らないとみなされる。しかしながら、本実験では 3 kHz 付近の singing formant が体壁振動にも出現するという事実が確認された。但し、音声のスペクトルと振動のスペクトルを比較すると、振動では音声にくらべて高い周波数成分が低下していた。

また体壁振動への singing formant の出現頻度を身体部位別に被験者14名の 5 母音すべてについて検討したところ、表7で示したように前頭、頬部及び胸骨で多く認められた。

声楽教育の世界では、現在のところ頭声、胸声といった概念は大きな役割を果たしていると考えられている。その理由は声が正しく出せたときだけ現れる振動感覚のパターンをうまく表現しているからであり、おそらく歌唱発声をコントロールする最も有効な方法であろうと言われている¹⁸⁾。一方, trained voice を口前音の音響学的分析の側面からみれば, singing formant が最大の特徴である¹³⁾¹⁸⁾。この singing formant が本実験で示したように体壁振動にも現れたという事実は前述の振動感覚と何らかの関連をもつのではないかと推察されるが、今回の実験結果だけでは明確な関係は指摘できない。

b. 頬部における周波数別振動率

trained head voice では頬部における振動率が高値を示すことはすでに述べたところであ

るが、その周波数帯域は 1000 Hz 以下の低周波領域に存在することが図29より判明した。singing formant は 3 kHz 付近に現れるものであるから、それが頬部での振動率上昇にはとくに関与していないと考えられた。一方、頭蓋骨の共振周波数は 1.8 kHz 以上であることが知られている¹⁹⁾。従って頬部での振動率上昇は頭蓋骨の共振に由来するものではないことも明らかとなった。

E. 小括

アマチュアの声楽家 18 名を対象とし、身体 5 ケ所における体壁振動と口前音を同時記録した。振動の大きさは振動率 (G/dB) で評価した。振動波形はシグナルプロセッサによるパワースペクトル分析を行なった。結果は以下のよう

にまとめられる。

- 1) 身体部位別に振動率を比較すると, trained head voice では頬部での振動率が他の身体部位よりも明らかに高値を示した。trained chest voice でも概ね同様の傾向が認められたが、被験者によっては胸壁の振動率の方が高値であった。untrained voice では身体部位別の振動率に差は認められなかった。これらの結果より, trained voice, untrained voice という音色の差に応じて体壁振動の強さが異なることを指摘した。trained voice で頬部振動率が高値を示す現象と声楽家が歌唱時に自覚する振動感覚との関係を考察した。また口腔内共鳴との関連についても言及した。

- 2) 音大生の群とグリークラブ員の群の比較では, trained voice での頬部振動率上昇に差を認めた。この結果から、声楽的訓練の程度に応じて頬部での振動に差が生じ得ることが示唆された。

- 3) 声区別に振動率を比較すると、従来の報告とは異なり、必ずしも声区間に一定した大小関係は見い出せなかった。ただし、頬部での振動率に関しては颯田・菅原の報告と一致した。

- 4) 5 母音別には、前頭及び頬部で狭舌母音の振動率が広舌母音のそれより高い傾向が認め

られた. trained voice では untrained voice に比べ, 5 母音別の振動率の差が不明確となる傾向が認められた. またその不明確化の程度には個人差が存在し, 優れた発声をなし得る者ほどその程度は強く認められた.

5) 体壁振動を周波数分析した結果, trained voice に特徴的とされる singing formant が口前音のみならず体壁振動にも認められる事が判明した. singing formant の身体各部における出現頻度についても検討した.

6) trained voice で認められた高い頬部振動率の原因は 1000 Hz 以下の低周波成分に求められた. したがって singing formant (3 kHz 付近) や頭蓋骨共振周波数 (1.8 kHz 以上) とは無関係であることが判明した.

第Ⅲ章 体壁振動と声の聴覚印象との関係

A. 目的

第Ⅱ章では trained voice と untrained voice の両者における体壁振動の相違について詳述した. その中で trained voice では 5 母音差が不明瞭になる傾向が認められることを指摘した. 本章ではこの傾向の原因を知る目的で体壁振動と同時記録した口前音の聴取テストを実施し, その結果と体壁振動との関係を分析した.

B. 方法

1. 使用装置

- 1) データレコーダ (TEAC : XR-50H)
- 2) テープレコーダ (TEAC : T 3400)
- 3) アンプ (DIATONE : Monitor-7-25-2503 P)
- 4) 録音テープ (Maxell : UD XL)

2. 聴取テープ作製方法

第Ⅱ章の実験でデータレコーダに記録された音声 (口前音) を刺激音として用いた. 第Ⅱ章の実験で被験者となった 12 名の音大生のうち音圧の安定した者, trained voice と untrained voice を区別して発声し得た者 9 名 (ソプラノ 4 名, メゾソプラノ 1 名, テノール 2 名,

バリトン 1 名, バス 1 名) を選択し, 計 90 音声を入力用 VU メータの読みが一定 (−3 dB) となるよう調節して再録音した. このテープを 1 音声 が 1 秒 (19 cm) となるよう切断した. 計 90 の音声を乱数表を用いて random な順序で編集し, 各音声の間隔が 2 秒となるようにスプライシングテープを挿入して聴取用テープとした.

3. 聴取テスト

聴取者は聴力正常な大阪医大耳鼻咽喉科学教室員 18 名. 聴取場所には周囲からの騒音の少ない大学会議室を用いた. テープレコーダ, アンプ, スピーカを用いて聴取テープを再生し, 聴取者は提示される音声 がどの母音としてきこえたかを解答用紙に記載した. なお再生音量は聴取者全員が快適に聴きとれる大きさとした.

4. 記載法及び採点法

歌唱発声は話声と異なり 5 母音間の区別が曖昧になる傾向が予想されるので, 母音間の中間音を考慮して表 8 のような記載法を用いた. 表はアとイの中間音として聴取した場合を示している. 表の右端には採点法を併記した. 採点にあたっては 6 点のみを正解として扱う場合を狭義, 4 点以上を正解として扱う場合を広義としてそれぞれ明瞭度を算出した.

C. 結果

表 9 は聴取テストの正解率 (明瞭度) を示したものである. 5 母音それぞれについて trained voice と untrained voice の明瞭度を比較したところ, 狭義の正解率に関してはいずれも trained voice の明瞭度が untrained voice の明瞭度よりも低値を示した. また 5 母音間の比

表 8

母音アを提示した場合

ア	アとして聴取	6 点
アイ	アとイの中間であるが, アに近い	4 点
アイ	アとイの中間, どちらとも言えない	3 点
アイ	アとイの中間, イに近い	2 点
イ	イとして聴取	0 点

表 9

聴取テスト結果 1)正解率

狭義 1音声に対し6点満点のみ正解
 広義 // 部分点も加味

	trained voice		untrained voice	
	狭 義	広 義	狭 義	広 義
ア	49%	68%	96%	98%
イ	62%	66%	90%	95%
ウ	15%	26%	22%	29%
エ	41%	52%	75%	89%
オ	18%	29%	24%	31%

採点例 $\left\{ \begin{array}{l} \text{ア} \cdots \cdots 6 \text{点} \\ \text{アオ} \cdots \cdots 4 \text{点} \\ \text{アオ} \cdots \cdots 3 \text{点} \\ \text{オア} \cdots \cdots 2 \text{点} \end{array} \right.$
 正解「ア」

表10

Confusion matrix

trained voice						untrained voice					
受 発	ア	イ	ウ	エ	オ	受 発	ア	イ	ウ	エ	オ
ア	110	5	10	11	26	ア	161				1
イ	8	106	5	41	4	イ		155		7	
ウ	35	18	39	28	48	ウ	29	26	47	54	14
エ	13	46	16	80	10	エ	3	12	2	144	
オ	85	4	22	14	43	オ	109	1	2		50

(注) 各音声毎の解答総数は $\frac{9}{(\text{被検者数})} \times \frac{18}{(\text{検者数})} = 162$ 。ただし、母音Bが母音CとDの完全な中間音として聴取された場合
 (3点の時) CとDの双方を異聴音として扱った。

較では [ウ] の明瞭度が最も低く、次いで [オ], [エ], [ア], [イ] の順となった。一方, untrained voice では [ウ] と [オ] の明瞭度が他の [ア], [イ], [エ], に比べ低値をとった。

表10は異聴の内訳を confusion matrix で表示したものである。一音声につき4点以上を正解とし、3点以下を異聴として扱った(広義)。表11は各母音ごとに不正解例の何%がどの母音として異聴されたかを示したものである。trained voice では [ア] と [オ] は相互に異聴されやすく、[イ] と [エ] も互いに異聴されやすいことがわかった。[ウ] は一定の傾向が認められなかった。すなわち [ア] は [オ] と聴き間違えられる割合が51%と最も高い。[イ] は異聴例の70%が [エ] として聴かれている。[ウ] は一定の傾向がなく、[エ] は異聴例の54%が [イ] となり、[オ] は異聴例の69%が [ア] と聴かれている。これらの結果を図31にまとめた。trained voice の各母音はア・オ群、イ・エ群及びウの3者に聴覚印象上大別さ

れた。

表12, 13は聴覚印象上最も典型的な trained voice を出し得ると判断された被験者だけに限った聴取テストの結果である。明瞭度は trained voice が untrained voice より著明に低い。異聴の内訳については音大生全員の場合と異なり、一定の傾向は認められなかった。

D. 考按

声楽家の歌唱を演奏会などで聴く際に、美しい音色ではあるけれども歌詞が聞きわけられないという印象を我々はよく受ける。こうした歌

図31

表11

聴取テスト結果 2) 異聴例の内訳

	trained voice		untrained voice	
	不正解数	内 容	不正解数	内 容
ア	51	→イ 9% →ウ 20% →エ 20% →オ 51%	1	→イ) 0% →ウ) →エ →オ 100%
イ	58	→ア 14% →ウ 9% →エ 70% →オ 7%	7	→ア) 0% →ウ) →エ 100% →オ 0%
ウ	129	→ア 27% →イ 14% →エ 22% →オ 37%	123	→ア 24% →イ 21% →エ 44% →オ 11%
エ	85	→ア 15% →イ 54% →ウ 19% →オ 12%	18	→ア 17% →イ 66% →ウ 11% →オ 6%
オ	123	→ア 69% →イ 3% →ウ 17% →エ 11%	113	→ア 97% →イ 1% →ウ 2% →エ 0%

(注) 各音声毎の解答総数は $9 \times 18 = 162$
(被検者数) (検者数)

表12
Confusion matrix

trained voice						untrained voice					
受 発	ア	イ	ウ	エ	オ	受 発	ア	イ	ウ	エ	オ
ア	8	3		6	1	ア	17				1
イ	7	1		9	1	イ		18			
ウ	5	1	2	8	2	ウ			13	4	1
エ	1	10		7		エ				18	
オ	8	2	1	4	3	オ	17				1

表13
異聴例の内訳

	trained voice		untrained voice	
	不正解数	内 容	不正解数	内 容
ア	10	⇒イ 30% ⇒ウ 0% ⇒エ 60% ⇒オ 10%	1	⇒イ 0% ⇒ウ 0% ⇒エ 0% ⇒オ 100%
イ	17	⇒ア 41% ⇒ウ 0% ⇒エ 53% ⇒イ 6%	0	
ウ	16	⇒ア 31% ⇒イ 6% ⇒エ 50% ⇒オ 13%	5	⇒ア 0% ⇒イ 0% ⇒エ 80% ⇒オ 20%
エ	11	⇒ア 9% ⇒イ 91% ⇒ウ 0% ⇒オ 0%	0	
オ	15	⇒ア 53% ⇒イ 13% ⇒ウ 7% ⇒エ 27%	17	⇒ア 100% ⇒イ 0% ⇒ウ 0% ⇒エ 0%

唱における語音了解度低下の機序については未だよく解明されておらず、子音の影響²⁰⁾、基本周波数の問題²¹⁾、声区との関係²²⁾などさまざまな検討が行なわれている。

今回日本語5母音の持続発声についての聴取テストを実施し、その結果 trained voice の明瞭度は untrained voice の明瞭度より低くなることが確認された。ただし untrained voice でも母音によっては低値を示すものが認められたが、これは被験者である音大生が長い間の声楽訓練の影響により、untrained voice の発声に際しても“cover”を行なう癖がついたためと考えられる。

異聴の内訳について図31のように3つの群に大別されることが判明した。すなわち5母音が3母音化したと聴覚上判断され、これは体壁振動で5母音が2～3母音化した結果と対応した。同じ音大生の中でも最も優れた音声の持ち主だけに限って5母音明瞭度を検討したところでは、明瞭度が音大生全員の平均より一層低下し、異聴の傾向も定まらない非常に曖昧な母音として聴取されることが明示された。この結果も体壁振動と対応しており、5母音が1母音化して、しかも [ア], [イ], [ウ], [エ], [オ] のいずれにも近くない母音として聴取されていることが示された。このように体壁振動の振動率と口前音の聴覚印象はよく対応する結果となった。したがって、発声に際しての随伴現象である体壁振動は口腔内共鳴をよく反映していると言える。trained voice について言えば、5母音が2母音ないし3母音（被験者によっては1母音）化し、それが母音間の口腔内インピーダンスの差に応じて口蓋から頬部の振動へと伝播されたり、また別の経路を経て身体各部の振動となることが示唆された。

E. 小括

体壁振動と同時記録した口前音を用いて聴取テストを実施し、体壁振動と口前音の聴覚印象との関係を検討した。結果は以下のようにまとめられる。

1) 5母音の明瞭度は trained voice が untrained voice より低値を示した。

2) 異聴の内訳は trained voice ではア・オ群、イ・エ群、ウの3群に大別され、同じ群に属する母音同士で異聴されやすい傾向が認められた。これらの結果は第Ⅱ章で調べた体壁振動の5母音差の分析結果と対応した。したがって、発声時の体壁振動は口腔内共鳴をよく反映することが推察された。

第Ⅳ章 総括考按

1. 体壁振動の身体部位別比較

オペラ歌手などが発する演奏会場全体に「響く」「良い声」の音響学的な最大の特徴は口前音圧や基本周波数ではなく、singing formant であるとされている^{13)18)23)~25)}。

ではそのような特徴をもつ声を出すにはどうすればよいのか？ 歌声の発声機構に関しては音響分析のほか筋電図学的研究などの報告^{26)~30)}がある。しかし、実際の演奏の場や声楽教育の分野では前述の振動感覚が重視され、非常に大きな位置を占めている。「よく響く」聴覚印象を与えるような声を出すには、歌唱の際、体壁の一部に生じる振動感覚が大切であるとされてきた¹²⁾¹⁸⁾³⁰⁾。ところが、このような振動感覚は生理学的に充分解明されている訳ではなく、振動感覚に対応する他覚的所見すら未だ報告されていない。

本研究では体壁振動の大きさを身体部位別に比較し、振動感覚との関係を検討した。その結果、trained voice では頬部において他の身体部位より高い振動率を認め、一方 untrained voice では頬部の振動率は高値を示さないことが判明した。そしてこの傾向は音大生では顕著であるが、グリークラブ員では明瞭でないことが示された。すなわち、声楽的訓練の程度の高い者ほど頬部の振動率が高値を示した。

以上の結果から、前述の振動感覚をひきおこす原因のひとつとして頬部の振動率上昇が示唆された。ただし、文献的には振動感覚を知覚す

る部位としては頭部、胸部を中心に多くの箇所が指摘されている¹²⁾。したがって、すべての振動感覚を頬部の振動率上昇で説明することは困難であった。

2. singing formant

本研究において singing formant は口前音のみならず体壁振動にも明瞭に現れることが確認された。また体壁における singing formant の出現頻度は前頭、頬部、胸骨で高値をとった。

3. 体壁振動の声区別比較

声区別の体壁振動の大きさを比較した。過去の報告と異なり、振動率でみる限り、必ずしも声区間で一定の大小関係は成立しなかった。

4. 5 母音差

5 母音別に体壁振動の大きさを比較すると、前頭と頬部で狭舌母音の振動率が広舌母音のそれを上まわる傾向を示したが、これは5母音別の口腔内インピーダンスの差に応じたものと考えられ、従来の報告とも一致した。ところで、trained voice の5母音差は untrained voice の5母音差より不明確になる傾向を示した。しかも、被験者のうち優れた発声をなし得る者ほどこの傾向は強く現れた。このような体壁振動上の5母音差の不明確化傾向は口前音の聴取テストによる5母音の明瞭度低下及び異聴内訳の結果と概ね一致した。すなわち、trained voice は5母音としてではなく、3母音や2母音あるいは1母音として聴取された。したがって、trained voice での5母音差は体壁振動の面からも口前音の聴覚印象の面からも不明確化することが明示された。また不明確化の程度が増すほど音色は美しくなる傾向も明らかとなった。ただし、この傾向は声楽専攻の音大生を対象とした研究結果より得られたものなので、プロ歌手については今後検討されるべき問題と考えられた。また日本語5母音の持続発声に限定した結果なので、これを実際の歌唱にまでそのまま適用するのは困難であるとみなされた。実際の歌唱においては子音、基本周波数、声区の影響などを考慮する必要がある、語音の明瞭度あるい

は了解度の問題はさらに複雑であろうと推察されたが、これらの点については今後の課題である。

第V章 結 語

発声に伴う体壁振動を研究するためアマチュアの声楽家を対象として身体5ヶ所の体壁振動と口前音と同時測定した。発声にあたっては trained voice と untrained voice で5母音を持続発声させた。体壁振動と同時記録した口前音を用いて聴取テストを実施した。これらの結果は以下に述べる通りである。

1. 身体部位別に体壁振動の大きさを比較すると、trained voice では頬部において振動率(G/dB)が最大値を示し、特に trained head voice で著明であった。

2. untrained voice では身体部位別の振動率に差は認められなかった。

3. 声楽的訓練の程度が高い音大生の群は声楽的訓練の程度が低いグリークラブの群よりも頬部振動率が著明に高値を示した。

4. 声楽家が歌唱時に自覚するという振動感覚を頬部振動率の高値で一部説明できた。また trained voice では口腔内共鳴の大きいことが示唆された。

5. 体壁振動の周波数分析において singing formant が口前音のみならず体壁振動にも出現することが明示された。また身体部位別の出現頻度についても検討した。

6. 声区別に体壁振動の大きさを比較すると、振動率でみる限り、声区間で一定の大小関係は成立しなかった。

7. 体壁振動の5母音差を検討すると、trained voice の5母音差は untrained voice の5母音差より不明確になる傾向を示した。

8. 5母音の明瞭度は trained voice が untrained voice より低値をとり、'covering'の影響と考えられた。

9. 異聴の内訳結果より、trained voice では5母音が3母音ないし2母音化、被験者に

よっては1母音化する傾向が認められ、体壁振動の結果と概ね対応した。

10. trained voice における音色の向上と明瞭度低下の関係が確認された。

稿を終えるにあたり、御指導、御校閲を頂いた高橋宏明教授に深謝いたします。また、御助言と御協力を頂いた山崎隆博士に謝意を表します。

なお、本研究の一部は第30回日本音声言語医学会総会、第87回、第88回日本耳鼻咽喉科学会総会、XXth Congress of International Association of Logopedics and Phoniatrics, 5th Conference of Vocal Fold Physiology で口演した。

参考文献

- 1) 菅原淳夫：鼻腔共鳴に関する実験的研究。日耳鼻 57：7～33, 1954.
- 2) 前田秀夫：Nasality meter に関する研究。耳鼻臨床 67：895～912, 1974.
- 3) 大山 勝、三吉康郎、荏司邦夫、他：頭蓋振動（骨導音声）の音響学的分析。日耳鼻 79：963～972, 1976.
- 4) 谷口知恵子：骨導音声の音響学的分析に関する研究—臨床応用を中心として—。耳鼻臨床 74：1110～1125, 1980.
- 5) 大山 勝：骨導音声解析検査。第85回日耳鼻宿題報告 上気道粘膜の病態生化学—診断と治療への結びつき—。100～103頁、鹿児島大学医学部耳鼻咽喉科教室、鹿児島、1984.
- 6) Stevens KN, Kalikow DN and Willemain TR：A miniature accelerometer for detecting glottal wave forms and nasalization. J Speech Hear Res 18：594～599, 1975.
- 7) Moser HM and Oyer HJ：Relative intensities of sounds at various anatomical locations of the head and neck during phonation of the vowels. J Acoust Soc Am 30：275～277, 1958.
- 8) 野村新太郎：発声に伴う体壁共振の実験的研究。大日耳鼻 48：64～87, 1942.
- 9) 颯田琴次、菅原淳夫、小橋 豊：ピエゾビクアップによる発声時体壁共振の測定に就て—特に鼻腔共鳴に関する問題—。日音響会誌 8：97～103, 1952.
- 10) Kirikae I, Sato T and Oshima H：Vibration of the body wall during phonation of the vowels. Rev Laryngol Otol Rhinol 85：317～345, 1964.
- 11) Sundberg J：Chest wall vibrations in singers. J Speech Hear Res 26：329～340, 1983.
- 12) Husler F and Rodd-Marling Y：Singing；the physical nature of the vocal organ. pp 1～141 Faber and Faber Limited, London, 1965.
- 13) Sundberg J：Formant structure and articulation of spoken and sung vowels. Folia phoniat 22：28～48, 1970.
- 14) Schutte HK and Miller R：Resonance balance in register categories of singing voice；a spectral analysis study. Folia phoniat 36：289～295, 1984.
- 15) Schutte HK and Miller R：Intraindividual parameters of the singer's formant. Folia phoniat 37：31～35, 1985.
- 16) Hopmann (1909)
野村新太郎：発声に伴う体壁共振の実験的研究。大日耳鼻 48：64～87, 1942. より引用.
- 17) Stern H：Gesangsphysiologie und Gesangspädagogik in ihren Beziehungen zur Frage der Muskelempfindungen und der beim Singer am Schädel und am Thorax fühlbaren Vibrationen. Mschr f O-L-R 46：337～353, 1912.
- 18) Sundberg J：Articulatory interpretation of the “singing formant”. J Acoust Soc Am 55：838～844, 1974.
- 19) 切替一郎：伝音機構と骨導に関する基礎的研究。日耳鼻 60：1786～1795, 1957.
- 20) Smith LA and Scott BL：Increasing the intelligibility of sung vowels. J Acoust Soc Am 67：1795～1797, 1980.
- 21) Morozov VP：Intelligibility in singing as a function of fundamental frequency. Sov Phys Acoust 10：3：279～283, 1965.
- 22) Russo V and Large J：Psychoacoustic

- study of the Bel Canto model for register equalization ; male chest and falsetto. J Res Singing 1 : 3 ; 1 ~ 25, 1978.
- 23) Sundberg J : The acoustics of the singing voice. Scient Am 236 : 82 ~ 91, 1977.
- 24) Bartholomew WT : A physical definition of 'good voice' quality in the male voice. J Acoust Soc Am 6 : 25 ~ 33, 1934.
- 25) Winckel F : How to measure the effectiveness of stage singers voices. Folia phoniat 23 : 228 ~ 233, 1971.
- 26) 平野 実 : 歌声の調節機構. 音声言語医学 11 : 1 ~ 11, 1971.
- 27) Hirano M, Vennard W and Ohala J : Regulation of register, pitch and intensity of voice. Folia phoniat 22 : 1 ~ 20, 1970.
- 28) Hirano M and Ohara J : Use of hooked-wire electrodes for electromyography of the intrinsic laryngeal muscles. J Speech Hear Res 12 : 362 ~ 373, 1969.
- 29) 平野 実, 宮原卓也, 宮城 平, 他 : 歌唱における声の調節. 日耳鼻 74 : 1189 ~ 1201, 1971.
- 30) 須永義雄 : 声楽発声の研究. 音声言語医学 12 : 53 ~ 61, 1971.
- 31) 宮原卓也, 平野 実, 国武博道 : 声の音色と喉頭調節. 音声言語医学 18 : 14 ~ 23, 1977.
- 32) Sakakura A and Takahashi H : Body wall vibration in trained and untrained voices. Vocal Fold Physiology vol2, Vocal Physiology : Voice Production, Mechanisms and Functions (ed by O. Fujimura). pp 391~401, Raven Press, New York, 1988

〔 原稿採択 : 昭和63年 8 月13日
別刷請求先 : 坂 倉 淳
〒569 大阪府高槻市大学町 2 - 7
大阪医科大学耳鼻咽喉科学教室 〕