

E-027

# 骨導音を用いた口笛音楽検定試験システムの開発

## Development of a Musical Whistling Test System Using Bone-Transmitted Sounds

森 幹男† 萩原 慎洋†  
Mikio Mori Mitsuhiro Ogihara

谷口 秀次† 高橋 謙三†  
Shuji Taniguchi Kenzo Takahashi

### 1. はじめに

最近、主に伴奏をバックにして口笛を楽器のように用いて曲を演奏する口笛音楽がテレビやラジオ、新聞でも取り上げられ流行の兆しがある。そして、口笛奏者による口笛音楽教室も存在する。しかし、現在のところ口笛音楽には、そろばんやピアノ教室のような能力検定試験がない。これは、口笛音楽は楽器を必要としないため利益のない楽器メーカーが積極的に口笛音楽検定を提案しないことも一因と考えられる。

そこで、本研究では口笛音楽検定試験システム開発を目的とする。口笛音楽検定試験システムは口笛音楽教室に通っている口笛奏者の目標を生み出すと同時に、広く家庭での受験を可能とする。従来技術としてカラオケの採点システムがあるが、後で述べるように口笛音を入力した場合、正しく採点されない。また、骨導音入力の部分に関しては骨導音を用いた歌声評価システムが提案されているが[1]、口笛音入力に骨導音を用いる利点として次の3点が挙げられる。

- (1) 騒音耐性に優れている。
- (2) 音声入力で問題となる音がこもる現象が起こらない(\*1)。
- (3) 息による雑音が入らない。また、このため、吹いて出す音(吹音)と、息を吸って音を出す音(吸音)が同じように収録できる(\*2)。

(\*1) 口笛音は純音に近く、高調波成分をほとんど含まないため[2]、音声入力の場合とは異なり、骨導音を用いても音がこもる現象が起こらない。

(\*2) 口笛音楽には吹いて音を出すだけでなく、息を吸って音を出すことが必要であり、口笛教室でもこの点が重要視されている。しかし、通常の(気導)マイクロホンでは吹いて音を出すときの息による雑音により、両方の音を同じ音質で収録することが困難である。骨導音入力を用いることによって、この問題が解決できる。

しかし、口笛音入力に骨導音を用いることについての分析・調査研究は従来なされていない。

小文では、まず口笛音の音域を実験によって調べた結果について述べ、次に提案する口笛音楽検定試験システムのピッチ判定処理について述べる。そして最後にシステムの評価実験結果について述べる。

† 福井大学大学院工学研究科

### 2. 口笛音の音域

予備実験としてまず口笛を吹くことができる大学生4名(男性2名、女性2名)に対して2ヶ月間に渡り、週1回のペースで7セットの収録を行い、音域の測定を行った。計7回の音域推移の例を図1に示す。

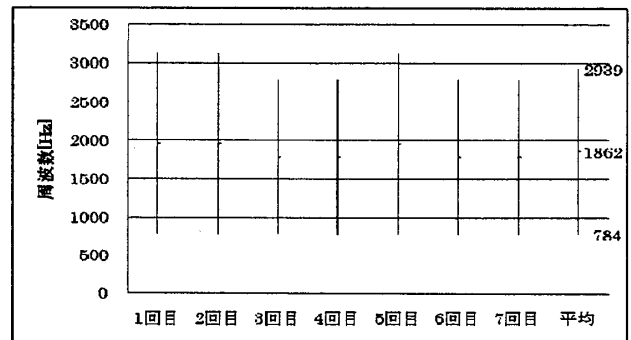


図1 2ヶ月間の音域推移(女性 A)

2ヶ月間の音域の変化は比較的小さいことが明らかになったので、以下の音域測定では測定回数を1回とした。

次に口笛の音域測定を無作為に選んだ大学生25名(20歳~22歳)に対して行った。上昇音階、下降音階それぞれ半音階で音を出すことの出来る限界まで口笛を吹いてもらいチューナ(SEIKO ST-1100)を用いて音域を測定した。なお、正しいピッチを確認して覚えるため、電子ピアノを用いた。ところが25名中8名は音が全く出ない、または提示された音を正しく出すことが出来ないため音域の測定が出来なかった。音域の測定が出来た17名の音域を図2に示す。

平均すると1オクターブを少し超える程度という結果になった。これは簡単な曲なら演奏できる音域である。

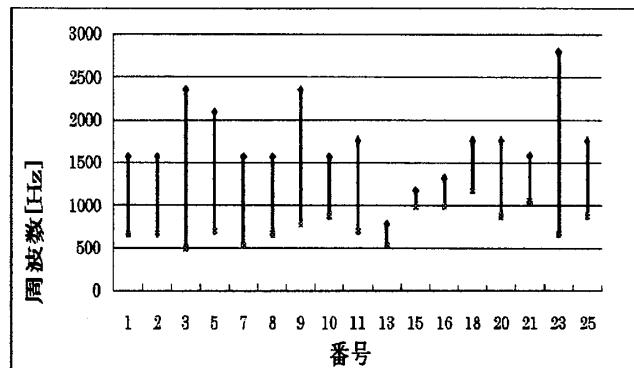


図2 音域測定結果

次に最低音のピッチ周波数に着目すると 500Hz より少し低い周波数となっており、声道の長さが 17cm と考えると、これが口笛で出すことのできる最低音の物理的な限界だと考えられる。また、最高音の周波数は訓練次第で上げることが可能で、3kHz 以上のピッチ周波数で吹くこともできる。また、口笛で曲を演奏する場合、実際の(楽譜上の)1オクターブ上の音で演奏されることが多い。この実験でも指定した音階と演奏した音階に1オクターブのズレが生じることが判明した。これにより、システムには、指定音階の1オクターブ上の周波数との比較を行う必要があることが分かった。カラオケの採点システムに口笛音を入力した場合、正しく採点されないのはこのためである。

### 3. 口笛音楽検定試験システム

提案する口笛音楽検定試験システムは PC (パーソナルコンピュータ) 上で能力検定試験を自動的に実施するシステムである。

演奏者の額に装着したピックアップマイク (STM-10) から入力した口笛骨導音をサンプリング周波数 22.05kHz、量子化ビット 16 ビットでデジタル化し、ハミング窓をかけ、8192 点で FFT を行い、対数パワースペクトルを求める。このときの周波数分解能は約 2.7Hz となる。口笛音は極めて純音に近いため FFT 対数パワースペクトルから最大値を検出することによってピッチを求めることが可能である。そして、正しい音(提示音)とのピッチの差を求め、その差が一定の範囲内であれば正しいピッチで発音していると判定する。図3に口笛音楽検定試験システムのピッチ判定処理の流れを示す。評価は「OK」、「おいしい(高い)」、「おいしい(低い)」、「要練習」の4種

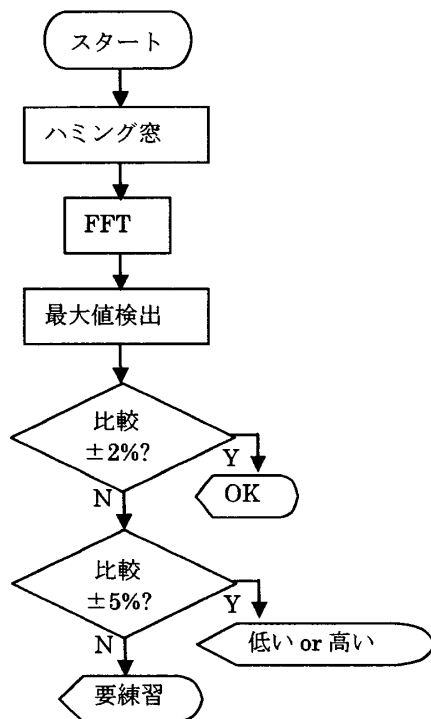


図3 ピッチ判定処理の流れ

類とした。上で述べた例は、検定グレード 10 級に相当し、現在のところ以下のような検定グレードを考えている。

<初級>

10級 単一の音階を正確なピッチで発音できる。

9級 10級の内容を吹音・吸音で行うことができる。

8級 1オクターブの音階を上昇音階・下降音階でそれぞれ発音できる。

7級 8級の内容を吹音・吸音で行うことができる。

<中級><上級>では課題曲を演奏する。

### 4. システムの評価実験

成人 10 名 (A~J) にシステムを騒音レベル 60dB の環境下で実際に使用してもらい連続 10 回評価した結果を表 1 に示す。なお、10 名のうち A~F の 6 名は簡単なメロディを演奏することが出来る。

評価実験の結果、期待通りに動作することを確認した。結果のうち、失敗に分類された要因は録音した声の継続時間が短かったためである。また、本システムは、60~100dB の騒音下では、問題なく動作した。

表1 システム評価実験結果(騒音レベル 60dB)

|     | A  | B  | C  | D  | E  | F  | G  | H  | I  | J  |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 演奏音 | E5 | E5 | E5 | E5 | E5 | A5 | E5 | E5 | E5 | E5 |
| 高い  | 1  |    | 1  | 2  | 3  | 1  |    | 1  |    | 5  |
| OK  | 9  | 7  | 8  | 8  | 5  | 7  | 2  | 1  |    | 3  |
| 低い  |    | 3  |    |    | 1  | 1  | 1  | 2  |    | 1  |
| 要練習 |    |    |    |    |    |    | 5  | 4  | 7  | 1  |
| 失敗  |    |    | 1  |    | 1  | 1  | 2  | 2  | 3  |    |

### 5. まとめ

25 名に対し音域測定を行い、最低音のピッチは約 500Hz で音域は約 1.2 オクターブであること、提示音よりピッチが 1 オクターブ高くなることを明らかにした。また、ピッチ判定処理システムの動作確認を 60dB の騒音下で 10 名に対して行い、正常に動作することを確認した。

将来的には中級・上級を対象に、課題曲に対してピッチやリズムに加え、ビブラート・音の立ち上がり・抑揚といった評価項目を総合的に判断し、上手く吹けているかを評価するシステムの作成を考えている。

### 謝辞

本口笛音楽検定試験システムの開発にあたり、助言いただきましたプロ口笛奏者の日本口笛音楽協会もくまさあき氏に感謝いたします。

### 参考文献

- [1] 森 幹男, 荻原慎洋, 谷口秀次, 高橋謙三, 佐川晋也: “骨導音声による歌声の評価,” FIT2004, 分冊 2, G-015, pp.375-376, 2004.
- [2] 森 幹男, 黒谷直人, 上野有輝, 荻原慎洋, 谷口秀次, 高橋謙三: “口笛音楽検定試験システムの開発,” 信学総大 2008, A-10-12, 2008.