

# 口笛の音域を拡張するシステム

松岡 拓人\* 宮下 芳明\*

A System that Extends the Musical Range of Whistle

Takuto Matsuoka<sup>\*1</sup> and Homei Miyashita<sup>\*1</sup>

**Abstract** — 口笛の演奏では、「あと少し高い(低い)音が出れば」という局面がしばしば生まれる。訓練によって音域を多少改善することができても、自由に扱える音域は2オクターブ程度にとどまる。そこで本稿では、演奏者が出そうとしている音をリアルタイムで推測し、口笛の音として出力するシステムを開発した。音をBluetoothによって超磁歪素子にワイヤレス伝送することで、身の回りのものから口笛の音を出すことができるほか、演奏者の頭部に装着することで、演奏者の頭の中で音が鳴っているような錯覚を与えることも可能である。本稿ではまた、演奏における支援のあり方と他楽器への応用についても論じる。

**Keywords** : 口笛, 音楽演奏支援, 音域拡張, 超磁歪素子

## 1. はじめに

発音可能な音高・音域に差こそあれ、どんな楽器にも音域の限界が存在する。その原因の一つは楽器の機構の物理的制約によるものである。ピアノやマリンバのような打弦・打鍵楽器の場合、発音機構の構造が予め決まっているため、規格外の設計を行ったとしても、用意されている音を超えた演奏は出来ない。また、トランペットやサクソなどの管楽器、歌声や口笛などでは演奏者の能力的な制約により、発音可能な音域に影響がでる。

演奏者にとっては音域の限界が不便だと感じられることも多い。時には「あともう少しだけ高い(低い)音が出れば…」という願望を抱くこともありうる。

能力的な制約によって音域の限界が生じる楽器の一つとして、本稿では口笛に着目した。口笛は手に何も持つことなく、気軽に演奏ができる特徴を持つ。その気軽さから、ふと頭で流れた音楽を演奏することが可能である。しかし、口笛は音域が狭い楽器であるため、演奏表現に限界が生じることとなる。訓練によって多少の音域を広げられると言われているが、毎日のように口笛を練習するのは負荷が高く、練習の努力によって改善されても、自由に扱える音域は2オクターブ程度にとどまる。森らの調査[1]によると、大学生25名のうち、口笛で曲が吹ける、あるいは少しなら吹けると回答した人と、音域測定の結果1オクターブ以上の音を出せる人が一致した。更に曲が吹けないと回答した人数のうち約半数は、意図した音

は出せるが、音域が1オクターブ未満の人であった。つまり、口笛が吹けるか否かという自覚は、音域によるところが大きいのである。

そこで本稿では、システムによって演奏者が出そうとしている音を推測し、口笛の音域を拡張する方法を提案する。演奏者が訓練によっても改善しきらなかった、かすれてしまう音域をシステムで拡張する。演奏者の努力によって音域が広がれば、システムによって拡張される音域も更に広げられる。

口笛が綺麗に鳴り響いているときと、鳴り響かなくなったときのスペクトルを調査した結果、鳴り響かない場合でもわずかながらではあるが、響きが作られていることが確認できた(図1)。

システムでは、演奏者が出そうとしている、音

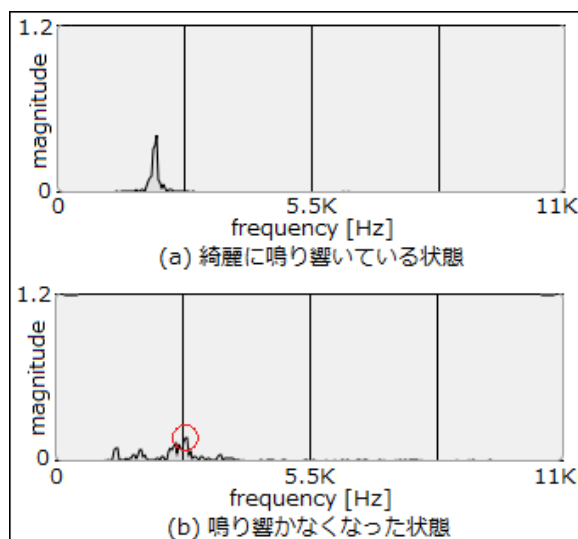


図 1. 口笛のスペクトルのグラフ

\*: 明治大学理工学部情報科学科,

\*: Department of Computer Science, Meiji University

域外のかすれた口笛の音を解析し、その音の周波数を特定する。特定した周波数の振幅を増強させ、他のノイズを除去した音データを作成し、スピーカまたは超磁歪素子から出力する。

本稿では、システムの処理の方法について述べ、最後に演奏における支援のあり方と他楽器への応用について述べる。

## 2. 関連研究

楽器の音域の拡張を行う研究事例として、竹川らは持ち歩きに適したモバイル楽器、モバイルクラヴィア[2]及び UnitKeyBoard[3]を開発した。モバイルクラヴィアは、フット・コントローラの操作で行うピッチシフトにより、25 鍵で 88 鍵のキーボードでの演奏と同じ音域での演奏を可能にしている。UnitKeyBoard は、1 オクターブを基本単位とする鍵盤を組み合わせることによって音域や音色を変化させるを行っている。

伏木田は口笛の音を分析して得られたフォルマント周波数を用いて音色を合成し、透明度の高い口笛の音を生成している[4]。これはホワイトノイズを入力とし、あらかじめ分析した口笛の音の音階周波数と合成を行うため、非リアルタイムな処理である。一方で、森らは口笛の指導者や練習する人々を対象とした、口笛音楽検定試験システムの開発を行った[1][5]。口笛の演奏の支援として、正しいピッチの音が鳴らせるかを判定するシステムであり、ピッチ判定に骨導音を用いている。

## 3. システム概要

提案システムは演奏者の口笛の音をマイクから入力し、入力された音データの解析を PC で行い、解析で得られたシグナルから演奏者が出そうとしている音高の推測を行う。入力については、マイクで十分に判定ができると考え、本稿は骨伝導を用いていない。推測結果を元に音データを加工し、スピーカまたは超磁歪素子から音を出力する。図 2 にシステムの処理の流れを示す。この章では音データの解析方法及び加工について述べる。

### 3.1 ノイズ除去

口笛の発音では、呼気による吹音と、吸気による吸音がある。吹音の場合は呼気によるノイズも含まれてしまうため、入力された音データのノイズ除去を行う必要がある。ノイズ除去は、呼気音データを予めサンプリングし、入力された音データから減算する方法をとっている（図 3）。

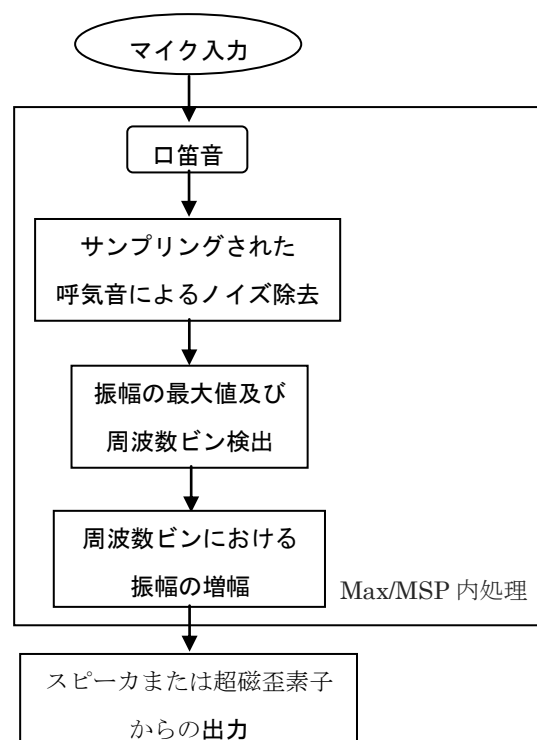


図 2. システムの処理の流れ

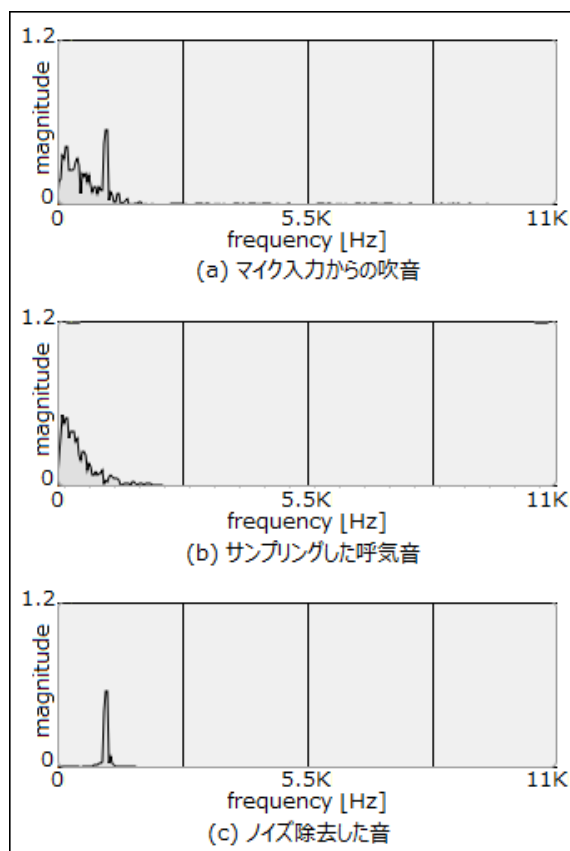


図 3. 呼気音のノイズ除去

### 3.2 振幅の最大値

吹音のノイズが除去されたデータから、振幅の最大値を検出する。リアルタイム演奏を阻害しないレイテンシとなる調整したところ、以下の設定とした。サンプリング周波数を 22.05kHz、量子化ビット数を 16 ビットとし、ハミング窓をかけて FFT サイズを 1024 サンプルとした。このときの周波数分解能は約 21.5Hz である。振幅の大きい周波数ビンを演奏者が出そうとしている音高であると仮定し、FFT フレームごとの振幅の最大値を求める。

### 3.3 周波数ビンの特定

全周波数ビンの中から、振幅の最も大きい周波数ビン进行特定する。また、振幅の小さい周波数ビンに関してはフィルタをかけてカットし、特定した周波数ビンのみを通す（図 4）。

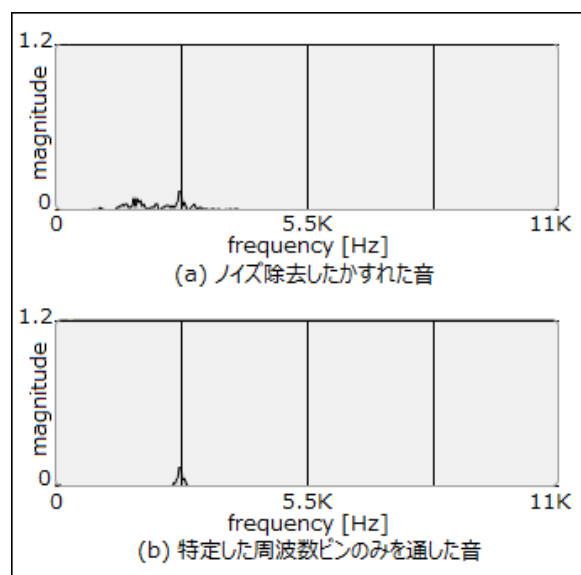


図 4. 周波数ビンの特定

### 3.4 周波数ビンにおける振幅の増幅

綺麗に鳴り響かせなくなっかすれた音は、綺麗に鳴り響く音に比べて振幅が非常に小さい。そこで、推測した周波数ビンの振幅を増幅し、かすれた音を綺麗に鳴り響くように加工する。振幅の増幅レベルは、それまでに検知した入力音レベルを元に決定付ける。

### 3.5 出力

システムが生成した音は、PC に接続したスピーカもしくは、Bluetooth を経由して超磁歪素子にワイヤレス伝送される。超磁歪素子は、それが接するあらゆる物体をスピーカに変えることができるもので、これによって身の回りのものから

口笛の音を出すことができるほか、演奏者の頭部に装着することで、演奏者の頭の中で音が鳴っているような錯覚を与えることも可能である。

## 4. 考察

演奏における支援の目的は、演奏者がより幅広い演奏表現をできるようになることではないだろうか。筆者は、そのためにシステムが支援すべきことは以下の 2 つが重要ではないかと考えている。

- ・演奏者の「技術の向上」及び「学習」の手助け
- ・表現不可能な領域の拡張

口笛における演奏技術の向上支援として、口笛音楽検定試験システム[1][5]は、演奏者が正しいピッチの音を出せるように練習するためのシステムである。指定された音に対してピッチのズレを計測し、OK、低い or 高い、要練習といった評価が下される。これは演奏者の技術の向上の手助けの一つであると言える。

一方本稿における提案システムでは、演奏者が出そうとしている音を予測して出力し、音域の限界という、演奏者の表現不可能な領域の拡張を行った。本システムは、中小路の支援するツールの役割としての分類[6]によれば、ツールの使用がパフォーマンス向上に影響を与えるようなランニングシューズ型の支援であると言える。

予測/例示インタフェースにおいては「ユーザを驚かせてしまうことがある」と増井は指摘している[7]が、この問題は本システムの運用においても見受けられる。この問題に対しては、新たな入力装置を加え、ユーザが出したい時にだけシステムが推測した音を出すように改良することで打開できるかもしれない。

## 5. 展望

本稿では、演奏者の能力的な制約によって生じる、口笛の音域の拡張を行った。今後は演奏者の技術の向上を手助けするシステムの導入を目指す。我々は演奏者が表現不可能な領域の拡張と、演奏者の技術の向上を手助けするという 2 つの支援を取り入れることで演奏表現の幅がもっと広がるのではないかと考えている。ランナーを例にあげると、彼らはより良い記録を出すために、ランニングシューズを使用するだけでなく、身体能力を向上させるために筋力トレーニングも行うはずである。中小路の支援する役割としての分類[6]によれば、ランナーはランニングシューズ型の支援と共に、使うことによって能力を向上さ

せるダンベル型支援も取り入れていると言える。

口笛の演奏にも同じことが言えるのではないだろうか。口笛の音域の限界も、演奏者の技術的な限界に起因しているところについては、訓練によって多少解決できる可能性があり、上達の余地があると考えられる。音域の拡張の訓練をするシステムを導入すれば、苦手音域の訓練ができると同時に、演奏者は自分の得意な音域や、音域の限界点を知ることができる。演奏者自身の努力による技術の向上により、本システムが推測せねばならない音域が狭まるため、更に正確な推測と高い音域の拡張が狙える。演奏表現が広がるだけでなく、人の努力によってシステムの性能の向上が狙えることを考えると、人とシステムの相互支援とも言えるのではないだろうか。

また、今後は管楽器への応用についても考えたい。口笛は正弦波に極めて近いため、振幅の最大値を取得することによって推測し、その周波数ビンを増幅することで実現できた。それに対し、管楽器は倍音成分を持つため、処理が異なると予想される。楽器ごとに、振幅の最大値を基準としてどの程度の倍音成分を持つのかを記憶させ、そのデータを元に音を加工する必要がある。管楽器に対応できるように、リアルタイムで音色の特徴を出力に反映できる機能の作成を行う。

筆者は音楽を自己表現、あるいはコミュニケーション手段の一つと考えている。言語の場合、母国語が異なる国同士では壁が生じる。例えば海外の新聞を読んだときやテレビを見たときに、日本のものに比べて理解が困難であることが挙げられる。一方で音楽はどうだろうか。海外の譜面を見たり、オーケストラの演奏を聴いたりして、言語の壁のような理解の差は生まれないはずである。そうだとすると、音楽は言語よりも優れたコミュニケーションツールと言えるかもしれない。しかし誰もが音楽で自己表現できるわけではない。そこで、音楽で自己表現が可能になるような、演奏者の支援ツールが必要なのだと考えている。

## 参考文献

- [1] 森幹男, 荻原慎洋. 気導音と骨導音を用いた口笛音楽検定試験システムの開発. 情報処理学会研究報告, 2008-MUS-76, Vol.2008, No.78, pp.5-10, 2008.
- [2] 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦, 西尾章治郎. 追加黒鍵をもつ小型鍵盤楽器モバイルクラヴィア II の設計と実装. 情報処理学会研究報告, 2004-MUS-56, Vol.2004, No.84, pp.83-88, 2004.
- [3] 竹川佳成, 寺田 努, 西尾章治郎. さまざまな演奏スタイルに適応可能な電子鍵盤楽器 UnitKeyboard の設計と実装. コンピュータソフトウェア(日本ソフトウェア科学会論文誌) インタラクティブソフトウェア特集, Vol. 26, No. 1, pp. 38-50, 2009.
- [4] 伏木田勝信. フォルマントパラメータを用いた口笛の分析と合成. 情報処理学会第 70 回全国大会講演論文集, “2-59”-“2-60”, 2008.
- [5] HITO-FUE 検定.  
<http://www.hito-fue.jp/kentei-1.htm>
- [6] 中小路久美代. 「ツール」による「支援」とそれを「使う」ということ. エンターテインメントコンピューティング 2006, EC2006, pp.3-4, 2006.
- [7] 増井俊之. 予測/例示インタフェースの研究動向. コンピュータソフトウェア, Vol.14, No.3, pp.4-19, 1997.