

そこに立つだけで 音域が広がる「口笛拡張場」

松岡 拓人[†] 宮下 芳明[†]

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改善できても、自由に扱える音域は2オクターブ程度に留まる。本稿では、そこに立つだけで口笛の音域が拡張される「口笛拡張場」を提案する。システム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。ガンマイクと超指向性スピーカの使用により、何ら道具を装着しない演奏を可能にし、更に演奏者から音が出ているかのような錯覚を聴取者と演奏者自身に与える。本稿ではまた、演奏における支援のあり方とシステム的应用についても論じた。

A Space that Extends Musical Range of Whistle

TAKUTO MATSUOKA[†] HOMEI MIYASHITA[†]

When whistling, performers sometimes wish they could play higher or lower tones. They may improve the range a little by training, however it is said that the general limit is about two octaves. In this paper, we propose a space which lets performer extend musical range of whistle just by standing there. Using shotgun microphone and parametric speaker, the performer standing the space can play in good range without holding tools in their hands, and the parametric speaker gives the illusion as if the whistle sound rings from the performer.

1. はじめに

本稿で提案する「口笛拡張場」（図1）は演奏者がそこに立つだけで口笛の音域が広がり、そこで口笛の演奏をすると、通常では鳴らすことのできない音域の音でも吹き鳴らすことができるものである。



図1 口笛拡張場

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。その原因として、楽器の機構の物理的制約と、演奏者の技量による能力的制約が

考えられる。物理的制約によるものとして、ピアノやマリンバのような打弦・打鍵楽器がある。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。それに対し、管楽器、歌声や口笛などでは演奏者の能力的制約により、発音可能な音域に影響が出る。すなわち音域が演奏者の能力によって決まるため、音域を広げることができる楽器である。逆に、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も可能である。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。訓練によって音域を多少は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、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²⁾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たちと、音域測定の結果1オクターブ以上の音を出せる人たちが一致した。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

[†] 明治大学 理工学部 情報科学科

Department of Computer Science, Meiji University

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、そこに立って口笛の演奏をすると音域が拡張される、という「口笛拡張場」を提案する。提案システムによって、演奏者が出そうとしている音域外の音を推測し、推測結果から特定した周波数の振幅の増幅と、サンプリングした音域内の口笛の音の波形を合わせることで、口笛の音域を拡張する。

2. 発見

演奏者が、口笛を音域内で綺麗に鳴らしているときと、音域外で鳴らしていないときのスペクトルを調査した結果、音域外でもわずかながらではあるが響きが作られていることを筆者らは発見した¹⁾。鳴らしていない音であれ、その音を解析すると、演奏者の出そうとしている音を推測できることがわかった(図2)。

音域内の口笛の音では、鳴っている音高の振幅が突出しており、続いて倍音成分の振幅が大きい値をとっている。一方音域外の口笛の音では、出そうとしている音高と、その周辺の音高の振幅に大差が無い。

3. 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³⁾及びUnitKeyBoard⁴⁾を開発した。モバイルクラヴィアは、フット・コントローラでの操作で行うピッチシフトにより、25鍵で88鍵のキーボードと同様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⁵⁾。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、口笛の音楽検定試験システムの開発を行った²⁾⁶⁾。口笛の演奏支援として、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。

4. システム

提案システムは図1に示した通りである。入力用の超指向性ガンマイクと、出力用の超指向性スピーカが「口笛拡張場」に向けて設置されている。超指向性ガンマイクを使用するのは、演奏者の口笛の音のみの取得と、演奏者が何も身に付けずに演奏することができることを目的としているためである。超指向性スピーカは、「口笛拡張場」に立つ演奏者の顔に向けて出力することで、演奏者自身から音が出ているかのように自他共に錯覚させるために用いる。

ガンマイクから入力された演奏者の口笛の音をPCで解析する。解析結果から音域内の音であると推測した場合は、入力された音をそのまま出力する。音域外のかすれた音であれば演奏者が出そうとしている音を推測し、その音高に基づき音データの補完を行うことで口笛の音を生成して出力をする。

リアルタイム演奏を阻害しないレイテンシとなる調整をし、以下の設通りに設定した。サンプリング周波数を22.05kHz、量子化ビット数を16ビット、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1フレームの時間幅は46.4msecほどになり、周波数分解能は約21.5Hzである。

図3はシステムの処理の流れである。この章では、Max/MSPで行っている入力音の解析から口笛の音の生成までの処理について述べる。

4.1 呼気音のノイズ除去

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、呼気の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。

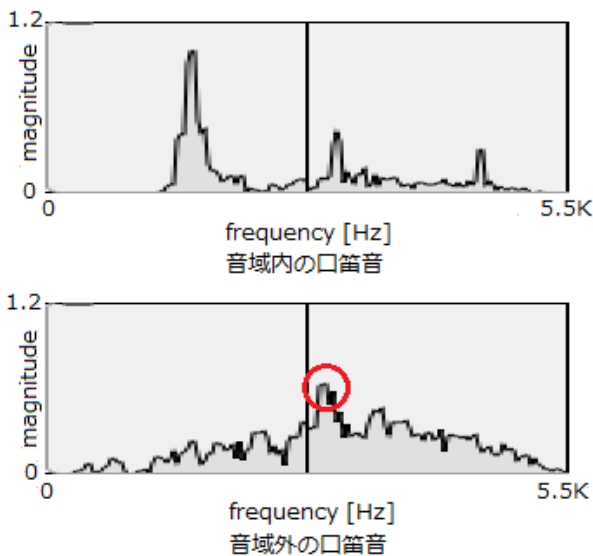


図2 口笛のスペクトルグラフ

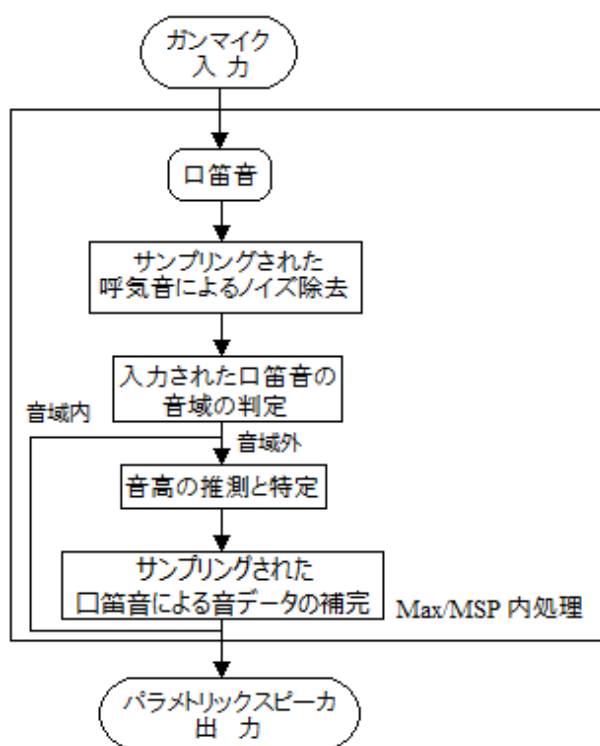


図3 システムの処理

4.2 音域の判定

口笛の音を解析すると、音域内の音は演奏者が出している音高の振幅が突出し、続いて倍音成分の振幅が大きくなっている。一方音域外の音は、演奏者が出そうとしている音高の振幅と、その周辺の音高の振幅の大きさに大差はない(図2)。振幅の大きい上位二つの周波数ビンを取得する。二位の周波数ビンが一位の周波数ビンの倍音成分であるかどうかを調べ、倍音成分であれば音域内、そうでなければ音域外と判定する。音域内の音であればそのまま出力をし、音域外の音であれば音高の推測を行う。

4.3 音高の推測と特定

ここでは、最も振幅の大きい周波数ビンが演奏者の出そうとしている音高であると推測し、吹音のノイズが除去された音データから振幅の最も大きい周波数ビンを探して音高の特定を行う。

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処理を行う(図4)。これは、出そうとしている音とそれ以外の音の振幅の大きさに大差がないため、音の補完をする際に不適切な音が入ってしまうからである。

4.4 音データの補完と口笛の音の生成

音域外の口笛の音は音域内の音に比べて振幅が非常に小さいため、解析をして特定した音高に基づき、音データを補完して口笛の音を生成する必要がある。補

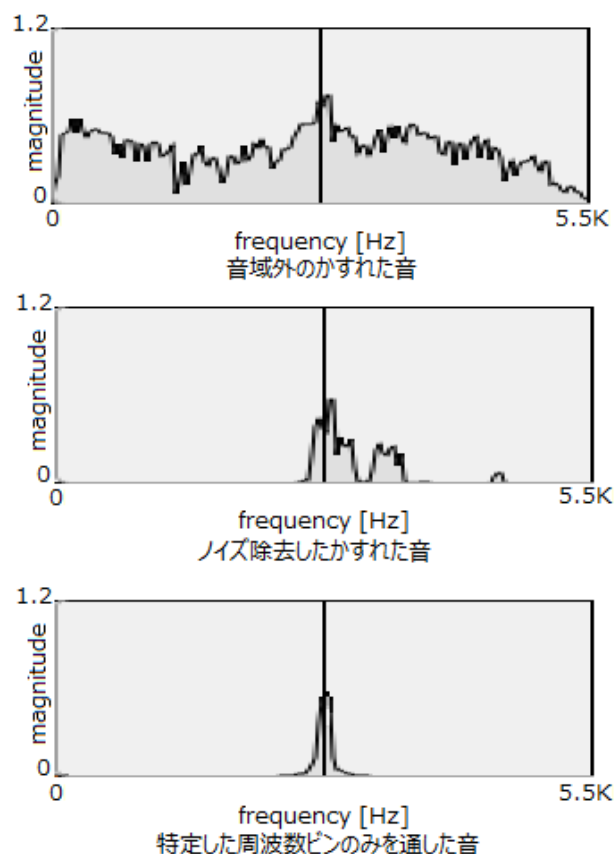


図4 音高の推測と特定

完は、特定した周波数ビンの振幅を増幅したものと、サンプリングした音域内の口笛の音の波形をシフト移動させて合成する。振幅の増幅具合は入力音レベルを元に決定する。

5. 考察

音楽演奏の枠組みにとどまらず、あらゆる「支援システム」は、ユーザが何も身に付けることなく支援できるのが理想である。何かを身につけるということは、ユーザに煩わしさを与えてしまう可能性が大いにある。また、第三者に支援を受けていることを悟られないことも大切である。ユーザのみが支援に気づき、第三者に悟られない支援として、プロンプタによる演説支援や、加納らの主観的輪郭を用いたラッピング支援⁷⁾が挙げられる。

口笛拡張場は、それらの条件を満たした支援を行うことができる場である。もし究極の支援システムが、「ユーザでさえ支援されていることに気がつかないもの」であるならば、口笛拡張場はその可能性を秘めているかもしれない。

演奏における支援のひとつ目的は、演奏者がより幅

広い演奏表現をできるようにすることである。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、口笛の音楽検定試験システム²⁶⁾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⁸⁾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。

なお、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⁹⁾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、演奏者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。

6. まとめ

本稿では、そこで演奏をすると口笛の音域が拡張される「口笛拡張場」を提案した。口笛拡張場では、演奏者が普段は出すことのできない音域の音を提示してくれる。超指向性ガンマイクの使用によって何も身につけずに演奏が可能となり、超指向性スピーカの使用により、演奏者から音が出ているかのように錯覚させることに成功した。

入力にヘッドセットマイクを用いたプロトタイプシステムについては、既にエンターテインメントコンピューティング 2010 でデモ発表を行っている。口笛が吹ける、吹けないに問わず体験をしてもらったところ、口笛が吹ける人は、普段鳴らすことのできない音まで出力でき、最大4オクターブまで拡張された被験者もいた。口笛が吹けない人でも、かすれた響きを作り出している被験者は口笛の音を出すことに成功し、出力の結果に対し喜ぶことが多々あった。口笛が吹ける人を対象としてきたが、吹けない人への支援としても有効性がみてとれた。

ただし被験者によっては、意図した音と違う音が出

力されたという意見があった。この問題は、入力の特徴包絡からのパターン認識による、推測の学習機能を導入することで打開することを考えている。また音色が口笛と違うという意見も出た。この問題はセンササイズの音と超指向性スピーカによる音割れが主要因であったと考えられる。出力方法については検討していく必要がある。また、音高の特定にかなりの時間を費やし、遅延が大きくなってしまった。現在周波数ビンの探索に時間がかかる場合、入力から出力までおよそ 150msec かかっている。アルゴリズムの改良・オーディオインタフェースの置換によってリアルタイム演奏が可能なレイテンシに収めたい。

またシステムの更なる応用として、KINECTの使用を考えている。演奏者のモーションを新たな入力として取り入れることで、何も身につけないという特徴を失うことなく、演奏パフォーマンスの向上につなげることができる。

参 考 文 献

- 1) 松岡拓人, 宮下芳明. 口笛の音域を拡張するシステム. エンターテインメントコンピューティング 2010, 2010.
- 2) 森幹男, 荻原慎洋. 気導音と骨導音を用いた口笛の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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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
- 6) HITO-FUE 検定.
<http://www.hito-fue.jp/kentei-1.htm>
- 7) 加納崇光, 宮下芳明. 主観的輪郭を用いたラッピング支援. インタラクシオン 2010 論文集, pp.173-176, 2010.
- 8) 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, pp.3-4, 2006.
- 9) 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.