

# 初学者を対象とした吹奏楽練習支援システムの基礎検討

## Consideration on a wind instrument practice support system for beginners

小口宙暉<sup>\*1</sup>, 國宗永佳<sup>\*1</sup>, 森下孟<sup>\*1</sup>, 桐原礼<sup>\*1</sup>, 白神晃子<sup>\*1</sup>, 山本樹<sup>\*2</sup>, 倉山めぐみ<sup>\*3</sup>, 金子大輔<sup>\*4</sup>, 新村正明<sup>\*1</sup>  
 Hiroaki OGUCHI<sup>\*1</sup>, Hisayoshi KUNIMUNE<sup>\*1</sup>, Takeshi MORISHITA<sup>\*1</sup>, Aya KIRIHARA<sup>\*1</sup>, Akiko SHIRAGA<sup>\*1</sup>,  
 Tatsuki YAMAMOTO<sup>\*2</sup>, Megumi KURAYAMA<sup>\*3</sup>, Daisuke KANEKO<sup>\*4</sup>, Masaaki NIIMURA<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> 信州大学, <sup>\*2</sup> 尚美学園大学, <sup>\*3</sup> 函館工業高等専門学校, <sup>\*4</sup> 北星学園大学

<sup>\*1</sup> Shinshu University, <sup>\*2</sup> Shobi University,

<sup>\*3</sup> National Institute of Technology, Hakodate College, <sup>\*4</sup> Hokusei Gakuen University  
 oguchi@seclab.shinshu-u.ac.jp

**あらまし**：本研究は、吹奏楽初学者の基礎練習時に、指導者の知見に基づいた評価を行う吹奏楽練習支援システムを開発することを目的としている。本稿ではシステムの概要および、開発の第一段階として行った演奏音の音高検出機能の概要と検出精度の検証について述べる。

**キーワード**：吹奏楽，基礎練習，練習支援システム，音高検出

### 1 はじめに

吹奏楽では様々な形態の練習が行われる。このうちいくつかの基礎的な練習については、個人や数名に分かれて行われる。このような練習には、指導者が常に付き添うことができないため、演奏者自身が評価を行う必要があるが、初学者には適切な評価ができない。また、教員数の削減により、知識、技術、指導経験の乏しい音楽専科教員が吹奏楽部の顧問にならざるを得ない状況があるが<sup>(1)</sup>、このような指導者にも適切な評価を行うことは困難である。

これらの問題を解決するため、本研究では熟達した指導者の知見に基づき演奏評価を行う、初学者向けの吹奏楽練習支援システムを開発する。システム開発の第一段階として、本研究では音高検出機能を開発した。本稿では支援システム及び音高検出機能の概要と音高検出精度の検証について述べる。

### 2 先行研究

玉谷らは複数人による和音演奏を支援するシステムを提案している<sup>(2)</sup>。このシステムでは検出した音高と本来演奏すべき音高の差についてフィードバックを行う。一方、本研究では音高に加えて音量、リズムなどから得られる情報を熟達した指導者の演奏評価基準と関連づけ、フィードバックを行う支援システムの開発を目指している。

### 3 吹奏楽練習支援システムの概要

本研究で開発することを目指している吹奏楽練習支援システムに演奏音を入力すると、音高や音量、音色、リズムなどについて解析を行う。解析結果を熟達した指導者の評価基準に基づいて評価し、その結果を演奏中・演奏後にフィードバックする。演奏中のフィードバックによって演奏者は即時的に演奏の修正を試みることができる。また演奏後のフィードバックによって自己省察を促す。フィードバックされた評価はシステムに蓄積され、形成的評価などに用いることができる。

吹奏楽の基礎練習には様々な種類の練習があるが、本研究ではまずロングトーン練習、音階練習、和音

練習を支援対象とする。ロングトーン練習は1つの音を十数秒程度吹き続ける練習で、音高と音量を一定に保つことが求められる。音階練習は、「ドレミファソラシド、ドシラソファミレド」のような音階を演奏する練習で、音の変化を緩やかにを行い、統一感のある音色で演奏することが求められる。和音練習は複数人で異なる音高を演奏する練習で、各自が和音を構成する適切な音を演奏することが求められる。

本システムは学校や自宅、カラオケ店や河原など様々な場所で使用されることが想定されるため、PCやスマートフォン、タブレット端末など様々な端末で動作するWebアプリケーションとして開発する。

### 4 音高検出機能の概要

本研究では支援対象とする3種類の練習に共通して必要となる、音高の検出機能を実装した。以下にこの機能の概要について述べる。

本機能では入力された音声を標準化周波数44.1kHz、量子化ビット数16bitのPCM（以下、音声データ）として扱い、この音声データの20480サンプル（0.46秒）ずつについて音高を検出する。なお、検出する音域を吹奏楽で使われる最低音域楽器チューバの最低音（C1:32.7Hz）から最高音域楽器ピッコロの最高音（C8:4186Hz）までの7オクターブとし、各音とのずれを1cent単位（centの定義については後述）で検出する。

音高の検出は「倍音の消去」、「音高の推定」、「音名の特定」の3つの手順から構成される。

#### 4.1 倍音の除去

一般に楽器音は音高を感じる基音（基本周波数）とその倍音から主に構成される。後述する音高の推定時の倍音による影響を低減するための前処理として、以下の手順で倍音の除去を行う。

まず、音声データに対して高速フーリエ変換（FFT）を行い、周波数成分の構成を確認する。次に、最も大きい成分の周波数から2音分高い周波数を閾値として定める。最後に上記の閾値を遮断周波数としたローパスフィルタを音声データにかける。ここで得

られた最も大きい成分の周波数が音高を示すが、本システムが対象とするデバイスで許容誤差を満たす精度でFFTを行うことは現実的ではない。そのためここでは倍音を除去するために必要となる程度の精度でFFTを行っている。以降の手順ではフィルタをかけた後の音声データを用いる。

## 4.2 音高の推定

音声データは図1のように表すことができる。このうち2つの隣接したサンプル  $s_t, s_{t+1}$  の値  $v_t \geq 0, v_{t+1} < 0$  であるとき時刻  $\frac{t+(t+1)}{2}$  をゼロクロス点と呼ぶ。

音声データ中にゼロクロス点が  $n$  個あったとき、それぞれ隣接するゼロクロス点間の時間  $t_1, t_2, \dots, t_{n-1}$  の平均値  $\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$  の逆数  $f_a = \frac{1}{\bar{t}}$  をこの音声データの音高と推定する。

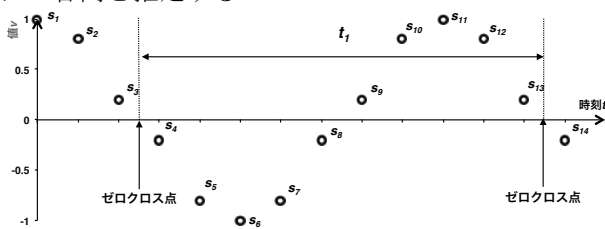


図1：音声データ中のゼロクロス点

## 4.3 音名の特定

音名は C, C#, D, ..., A, A#, H の 12 音からなる。あるオクターブの C の周波数  $f_{C1}$  に対して、1 オクターブ上の C の周波数  $f_{C2} = 2f_{C1}$  という関係があり、平均律という音律（音名と周波数の対応）では隣接する音（例：C, C#）の周波数に  $f_{C\#1} = 2^{\frac{1}{12}}f_{C1}$  という関係が成り立つ（12音上の  $f_{C2} = 2^{\frac{12}{12}}f_{C1} = 2f_{C1}$ ）。

また、楽器間での音高の差異をなくするための基準として、4 オクターブ目の A (A4) を例えば  $f_{A4} = 440[\text{Hz}]$  のように定める。この時、式(1)によって A4 を 60 番目の音として  $f_a$  が  $i$  番目の音に最も近いことを特定できる。なお、特定した音と  $f_a$  のズレについては周波数の差で表すだけでなく、上下に隣接する音との間を  $\pm 100$  の数値で示す単位である cent で表すことが多い。式(2)より周波数  $f$  を基準とした時に  $f_a$  が  $c_f[\text{cent}]$  離れていることが求められる。

$$i = \left\lfloor 60 + 12 \left( \log_2 \frac{f_a}{f_{A4}} \right) + 0.5 \right\rfloor \quad (1)$$

$$c_f = 1200 * \log_2 \frac{f_a}{f} \quad (2)$$

## 5 評価実験

### 5.1 実験の概要

この実験では開発した音高検出機能と同様の機能を有するソフトウェアチューナとの比較を行った。比較対象は Apple 社製の音楽制作ソフトウェア GarageBand に内蔵されたチューナである。

両者に対して、事前に録音したクラリネットの演奏（32秒の練習曲）を入力し、それぞれが検出した音高を比較した。検出される音高は、演奏のゆれや

検出誤差などにより随時変動するため、0.5秒ごとの瞬間的な値を記録した。

## 5.2 実験結果

実験で使用した演奏では、何度も音階が切り替わっている。音階が切り替わる前後に比較的大きい演奏音のずれや、音高の推定方法に起因する推定結果の変動が生じるため、切り替わりの前後を「不安定期」（計 9.5 秒）、不安定期を除く時間帯を「安定期」（計 22.5 秒）として分類した。基礎練習の支援を行う上では、安定期の音高検出を適切に行うことが重要であるため、評価の対象を安定期のみとする。なお、安定期であっても音高の変動は存在する。

図2に安定期における、開発した機能とソフトウェアチューナとの検出音高のずれ（1cent単位）の頻度を示す。横軸の数値  $x$  は「 $x[\text{cent}]$ のずれ」を示す。

安定期が 22.5 秒あり、0.5 秒毎に値を記録しているにもかかわらず、ヒストグラムに示された総データ数が 35 となっている。これは、ソフトウェアチューナで無音状態と判定され比較不可能であった 5 つのデータを除外したことと、安定期の 22.5 秒が不連続であることに起因する。

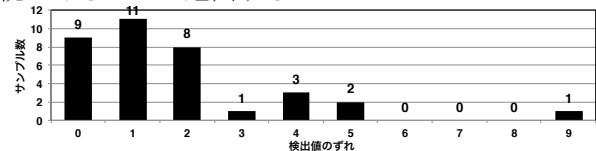


図2：検出値のずれ

安定期では 80% のデータが 2cent 以下のずれに収まっており、概ね良好な精度で音高を検知できていると判断した。3cent 以上のずれについては、楽器音以外に録音されたキー操作の音について音高検知が行われたことと、音高検知に誤差が発生していることが原因と考えている。

## 6 まとめ

本稿では吹奏楽練習支援システムの概要および、音高検出機能の概要と精度について述べた。その結果、概ね実用的な精度が得られることを確認した。

今後は音高検出の妨げとなるキー操作音や環境音への対応手法について検討を行う。また、音高以外のデータについても取り扱うための機能開発と、学習者へのフィードバックについての検討を行う。

## 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP16K13583 および信州大学「URA ファンド」の助成を受けたものである。

## 参考文献

- (1) 新山王政和, 矢崎佑: “学校吹奏楽における外部指導者システムの確立をめざした一考察 -自治体による試行錯誤事例と諸外国コミュニティ支援システムの比較を参考にして-”, 日本管打・吹奏楽学会アコール付属研究論文, Vol.28, pp.30-39 (2005)
- (2) 玉谷栄教, 新浩一, 西正博, 吉田彰顕: “アンサンブルのための和音チューニング支援システム”, 電子情報通信学会 2012 年総合大会講演論文集, p.197 (2012)