

サクソフォン奏者のための特殊奏法評価・練習支援システム Extended technique evaluation and practice support system

山崎 友介

Yusuke Yamazaki

法政大学大学情報科学部デジタルメディア学科

yusuke.yamazaki.6j@stu.hosei.ac.jp

Abstract

Learning an extended technique is a useful means for the wind instrument player to improve the performance level, which greatly expands the range of expression. In particular, the saxophone is a new instrument that has been born for less than 200 years, and various extended techniques are still in use. However, there is no acoustic evaluation method for these playing techniques. In this study, a system that objectively evaluates whether the extended technique is correctly performed using acoustic features for a training sound source is proposed. The system has of four main elements. After analyzing the characteristics of the saxophone's extended technique, the target sound source and the training sound source are input, and the two sound sources are determined by acoustic features such as f0 trajectory and spectrogram. Here, while explaining the cause for the extend technique that cannot expand the sound source, an appropriate practice method is proposed. This time, we evaluated the performance of the system, from music college students to those who are not good at extended technique, about the system of whether or not the extended technique called Growl is made. As a result of the experiment, the bass range could not be judged well. Since the overtone structure and the aperiodic component change depending on the fundamental frequency, it must be considered.

1 はじめに

管楽器を練習する者にとって、特殊奏法を習得することは難しい。特に現在はポップスやジャズなどのコンテンポラリーな音楽では特殊奏法が楽譜に書いてあることもある程、特殊奏法の需要がある。このことから、音楽の分野によっては曲が吹けるようになる過程で特殊奏法の習得が重要になる。今回は、特殊奏法の練習音源に対して正しくできているかを、音響的特徴量を用いて客観的に判定するシステムを提案する。

サクソフォンは現代的な楽器であることから、今現在も新たな奏法が増え続けている。サクソフォンはマウスピース、リガチャー、リードの発音部分に加えネック、管体に分けることができ、それぞれの部品毎に多様な製品が開発されている。楽器の音色を変えるパラメータは、部品の他に楽器の奏法がある。サクソフォンは古典的な吹奏楽作品やオーケストラ作品、ジャズの作品の中でタンギングの強さや息の量の変化を変えることで多様なメロディを担当する一方で、現代音楽の中では効果音を作ることも要求され始めている。ここで登場するのが特殊奏法である。

特殊奏法は、声を出しながら楽器を演奏したり、息の圧力や口の使い方をすることでチャープ音を発生させることができ、二つを組み合わせるとパトカーのサイレンの音を作ることでもできる。他にも、息の圧力を速くすることで本来のサクソフォンの音域より高い高音域を出す奏法や、巻き舌をしながら演奏する奏法もある。この他にも管体に息を入れながら音孔を開閉することで波の音を作ったり、二つ以上の音を重ねることで歪んだ音を出したりお寺の鐘の音を出す奏法なども存在することか

ら、無数の特殊奏法が存在することが分かる。

特殊奏法にはいくつかの難しさがある。まずは練習する難しさである。新しい奏法のため、確立した練習方法が明示されていない。指導者によって練習過程が異なるため、変な癖がつくこともあることに加えて、特殊奏法ばかり練習すると普通の奏法ができなくなったり、音色や楽器の抵抗感が変わるような特殊奏法も存在する。

二つ目に習得する難しさである。普段曲を吹いている状態とは違う状態で楽器を吹くため、個人差はあるものの出来る感覚をつかめば、習得できるが、感覚をつかむまでが難しい。

次に判定の難しさである。新しい奏法のため、客観的な判定方法が未確立である。各種奏法に対して言葉による定義や特徴量による奏法特徴はあるものの、出来不出来の評価は経験者が音を聞いて判断するしかないのが現状である。

そのような問題について、歌唱や楽器演奏などに対して評価をするシステムであったり、MIDI ピアノやギターなどにおける練習支援システムが存在する。従来の練習支援システムはユーザーの苦手な傾向を判断して、改良した楽譜を提示するもの [2] からドラムの基礎練習ドラム演奏における打叩時刻ずれ及び打叩強度の情報からの演奏の特徴に関する特徴パラメータを抽出し習熟度を算出するもの [3] まで、様々である。また、カラオケやバラエティー番組などにおけるカラオケ採点コンテンツ [4] はもっとも有名な音楽演奏評価システムと言えるだろう。このシステムは音程、安定感、抑揚、ロングトーン加えて、ビブラートやしゃくり、こぶしなどのテクニックをシステム内で採点し、ユーザーの演奏を評価している。

管楽器の分野では、楽器メーカーであるヤマハが開発した「virtana」 [5] という楽器演奏評価技術がある。このシステムは予めシステムの中に目標音源が存在し、演奏する楽器の種類と楽曲を選択した後、練習者が演奏しながらリアルタイムで音響的特徴量により演奏を評価し、演奏後に点数やアドバイスが出るものである。このアプリケーションは基準音源の模倣が目的であり、特殊奏法に関する具体的な話題はなかった。

KORG 社が開発したスマートフォン用アプリ「Cortosia」 [6] は、スマートフォンのマイクに向かって一音を吹くと自動で音色を解析する。観点は、ピッチの安定度、音量の安定度、音色の安定度、音色の豊かさ、アタックの明瞭度の五点である。

この他にも、管楽器全般やサクソフォンの特殊奏法に関する練習方法や原理を説明した論文や参考書などがある。しかしながら、奏法の評価に関する論文や参考書はない。そこで、今回の研究の重要かつ難関な点は、奏法の評価である。

2 システムの概要

予め、サクソフォンでよく使われる特殊奏法を分析する。録音音源から基本周波数や倍音構造などの音響的な特徴量を抽出し、奏法ができているかどうかを判断する為の定義を作る。また、奏法ができていると判断した場合に、出来ていない音源の特徴から、練習方法を提案できるように、練習方法のデータベースも作っておく。

次に練習者の録音音源を読み込み、判定する。読み込みの際に、採点してほしい部分を選択することで、部分ごとに採点をする。またシステムの中で、無音部分や発音部分等倍音構造が崩れ、判定に影響を及ぼす部分を切り取る。その後、最初の段階で定義した特殊奏法について、基本周波数や倍音構造等のスペクトルの情報など、音響的特徴量から奏法の仕上がり具合を判定する。

音源の判定結果を基に、練習者の演奏評価を行う。まず、奏法ができない場合は、原因に応じて練習方法を提案する。できかけている場合は、解決策やどの程度習得に近づいているのかをコメントする。

3 特殊奏法の分析・判定

3.1 音響的特徴量

音響的特徴量により、特殊奏法の奏法特徴を分析する。ここで、特殊奏法の特徴抽出をする上で三つの主要な音響的特徴量を以下に示す。

3.1.1 f_0 軌跡

一つ目に、基本周波数の時間変化に着目した f_0 軌跡である。楽器音を周波数解析すると倍音構造の中には基本波と高調波の二つがある。二つはそれぞれ基音と倍音と呼ばれ、基音の周波数を基本周波数という。基音と各倍音の強度分布により音色が決まる。今まで様々な基本周波数推定法が考案されているが、今回は 2014 年に発表された PYIN 法 [8] を用いる。この方法は自己相関関数を用いた累積平均正規化差分をして、基本周波数推定における高すぎるエラーと低すぎるエラーをそれぞれ低減した手法である。

3.1.2 スペクトログラム

次にスペクトログラムである。これはスペクトルの時間変化を表したもので、色によってパワーの強さを表している三次元のグラフである。今回分析した奏法の中で、時間変化がある物に関してはこの方法で一通り特徴を調べた。声門鑑定や動物の鳴き声の分析に使われることが多い。スペクトログラムから短時間スペクトルを抽出し、倍音構造を調べることも可能である。

3.1.3 ウォーターフォールプロット

次にウォーターフォールプロットである。これはスペクトログラムを立体的に見れるようにしたもので、パワーの強さの変化がより分かりやすく観察することができる。今回分析した奏法の中で、フラッターという奏法に関してはこのグラフを用いて奏法特徴を発見した。

3.2 様々な特殊奏法の定義

前の節で紹介した音響的特徴量を用いて、様々な特殊奏法を定義することができる。ここでいくつかの奏法を紹介する。

3.2.1 無音区間

まず、音声波形の無音区間がないかを調べることで、循環呼吸の判定ができる。この奏法は一つのフレーズが一息で吹けないほど長い場合に用いる奏法で、完全に奏法ができていない場合は、パワーがゼロになることはない。

3.2.2 倍音構造・パワーの時間変化

次に、ウォーターフォールプロットにより倍音構造・パワーの時間変化からフラッターという巻き舌奏法が定義できる。

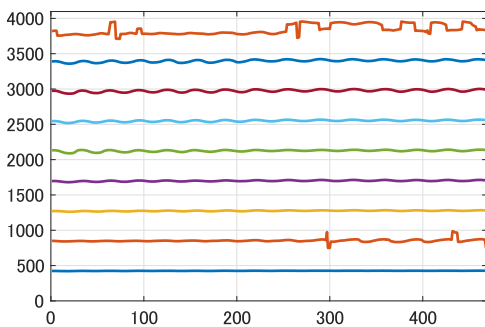


図 1. フラッターの倍音構造の推移

この奏法は、舌の先端で細かくソフトなタンギングをしていることから、リードに舌の先端が接地した瞬間にパワーが落ち、それと同時にリードの振動する範囲が狭くなりより多くの振動するため、上ようになる。またリードが接地している瞬間はソフトタンギングをしていることから、スペクトログラムではタンギングをした時に縦に一本の線が入るような特徴が現れる。

3.2.3 倍音構造の比較

三つ目に、音声の中の二つの運指の倍音構造を比較することでオルタネイト・フィンガリングの判定ができる。この奏法は、周波数が近い二つの運指を交互に変えながら演奏する奏法であ

る。運指の違いにより、基本周波数やスペクトルの違いが出るが、完全に奏法ができていれば、基本周波数は一定なので、二つの運指のスペクトルを比較し、同じ基本周波数を持っていれば出来ていると判定する。以下の図 2 はできている場合とそうでない場合である。

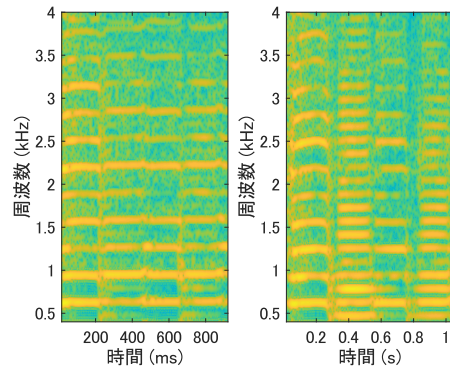


図 2. オルタネイト・フィンガリングの比較 (左:見本, 右:出来ない場合)

図 2 は、 $E\flat_4$ の音で演奏したスペクトログラムである。両方の図で、運指を変える時に倍音成分がにじむ特徴がある。左の図は、運指が変わってもおおよそ $E\flat_4$ の音付近で常に強い基本周波数の成分が出続けているのに対して、右の図では、二つ目の運指に移り変わると基本周波数が一オクターブ下になってしまう。

3.2.4 安定した基本周波数

次に f_0 軌跡やスペクトログラムにより、基本周波数が安定しているかを見ることで、フラジオや微分音という特殊な音高が出るかを判定することができる。音高を調べるツールとして、チューナーというものがあるが、フラジオや微分音は、チューナーでは正確な値を測定できない場合がある。二つの奏法と、なぜチューナーでは不完全なのかについては以下で説明する。フラジオ

この奏法は通常の運指では出せない高音域を出す奏法である。この奏法がチューナーで不完全な理由は、重音の場合である。特殊な運指を使って倍音列の原理を用いるため、本当に出したい音高と、その半分の周波数の音と同時に出てしまうことがあり、音高の判定を難しくする。

微分音

通常、音楽的に使う音は、一オクターブの中に 12 個存在し、ピアノをはじめとした楽器は 12 音を均等に分けた平均律に基づいて設計・調弦されている。

この原理を踏まえた上で、半音を 100 等分した単位をセントと呼ぶ。これが微分音の考え方に直結しており、例えば A_4 の 50 セント上の音高は半音の半分の音なので四分音と言われる。

チューナーは、12 音ある半音の音程を対象としているため、それより細かい微分音がどれだけ適正な音程感で演奏されているかは判別できない。

3.2.5 基本周波数の時間変化

また、同じく f_0 軌跡により基本周波数の変化をみることで、ポルタメントというチャープ音を出す奏法の判定ができる。人間の口と運指の変化により生成される音なので、きれいな関数のような音高の変化を作ることは難しい。そこで、実際の音声の基本周波数 f_0 の変化とそれを基に作成した曲線近似・区分的線形二乗近似等の滑らかな値との差を求め、滑らかさとする。以下に例を示す。

4 練習方法と難しさ

4.1 グロウル

4.1.1 一般的な練習方法

フラッターの練習方法は大きく三段階からなる。まず初めにハニングである。ハニングは唇を閉じて「m」の発音で口の中

で共鳴させるが、ハニングは鼻を鳴らすイメージである。次に、楽器でハニングをしながら練習する。この時、低音域

や高音域だとコントロールがしにくいので、中音域で練習する。最後に息圧を強くする。この奏法の中で重要なのは、ハニングと息のバランスである。最初は息だけの状態から、ゆっくり

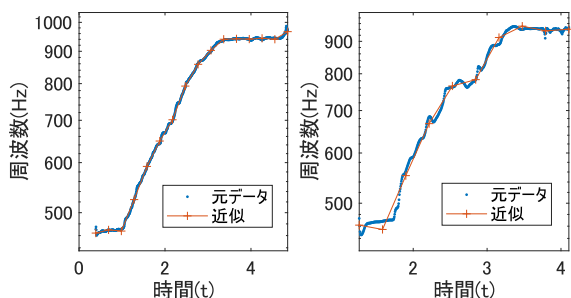


図 3. ポルタメントの比較 (左:滑らかなデータ, 右:滑らかでないデータ)

とハニングの成分を加えていくことで、適度なグロウルができる。

4.1.2 できない原因と解決策

この奏法ができない原因は主に二つある。一つ目は声の成分が多すぎて楽器がならないことである。楽器を鳴らすためには人間が普段会話する数倍の息が必要なため、声の成分が多くなると楽器が鳴らない。この場合の解決方法は、口だけでハニングの練習をすることである。ここで、ハニングは息もれ声ことを指す。通常の息量で練習するのではなく、息の成分を増やしてハニングができた状態で楽器で練習することが望ましい。

二つ目は、声の成分が不足し、普通の音が出てしまうことである。この場合も同じくハニングの練習をすることが望ましい。少しだけグロウルの成分ができていた時は、高周波数帯に非周期成分のピークが出る。ここで無理矢理声の成分を増やそうとしても喉を閉めた状態で声を出すことになり、そうすると元の楽器の音色が損なわれ、何かが詰まっているような音色になってしまうので、注意が必要である。

4.2 フラッター

4.2.1 一般的な練習方法

練習方法は大きく四段階からなる。まず初めに、口だけでフラッターを練習することである。このときに注意することは、声帯を震わせずに息だけで練習することである。理由は楽器を吹くときは声帯を振動させないからである。また、この時に口を開ける面積が、楽器を吹くときにマウスピースを加える時の面積でできるとさらに良い。

次に、楽器で練習してみる。最初は、巻き舌がやりやすい中音域の音でやってみる。最初に口で練習した時の状態をイメージしながら練習する。この時一番難しいのが、口のどの部分で巻き舌をするかである。楽器を吹くときはマウスピースを加えた状態でやることから、マウスピースに当たらない場所でやるのが求められる。

三つ目に、息と巻き舌の丁度良いバランスを作ることである。だいたい人は巻き舌の成分が多くなってしまっているので、息の圧力をかけてあげると、丁度良いバランスができる。

最後に、全ての音域でできるようにすることである。特に低音を吹くときに、口の中が広がっており、あまり強くマウスピースを噛んでいないので、コントロールが難しい。

4.2.2 できない原因と解決策

この奏法ができない原因は主に三つある。一つ目はそもそも巻き舌ができないことである。この奏法は巻き舌ができる前提で成り立つ奏法である。巻き舌ができない原因は様々であるが、一番多くの原因は口元が力んでしまっているためである。巻き舌は口元がリラックスした状態で少し口を開けてやるとやりやすい。また英語で r の発音をする時に意識的に舌を動かすことで下の動きが柔軟になり、できるようになる。

二つ目に巻き舌の成分が多すぎて楽器がならないことである。人の声でやる際には、声帯から出た声が声道を通り、巻き舌を通して音が出ているが、楽器を吹く際は息を楽器に入れる時に巻き舌の成分を載せるので、巻き舌の成分が多くなると楽器が鳴る最低限の息が入らない。この場合は前述のグロウル奏法と同じく、口だけで息の成分を多めにして、調整するのが良い。

三つ目は、巻き舌の成分が少なすぎて、普通の音が出てしまうことである。少しでも巻き舌をしていれば、倍音成分が揺れることがあるが、音を聞いたときには普通の音が聞こえる。

5 判定方法

5.1 グロウル

5.1.1 入力

このシステムは楽器音の 1 秒以上の音声とノート (音名) の二つを入力引数とする。基本周波数推定が難しいことに加えて、グロウル奏法は倍音成分以外に非周期成分が加わる奏法なので、更に推定を難しくするため、あらかじめ練習者が音名を入力することで、正しく判定する。今回は技術計算言語 MATLAB を使用するものとして説明する。

5.1.2 必要ない部分の切除

安定した音声部分を判定するために、無音部分を切り取る。短時間ごとにパワーを求め、以下の式により閾値を設定し、閾値以下の部分を切り取る。

加えて、タンギング部分も切り取る。これは、タンギングの部分が倍音構造が崩れることがあるからである。ここで、タンギングの時間は舌がリードから離れ、リードが振動し始めてから安定した倍音構造が現れる 0.2 秒として計算する。

5.1.3 スペクトログラム

スペクトルを出すために短時間フーリエ変換を使用したスペクトログラムを用いる。あらかじめ判定しやすいようにサンプリング周波数を 8kHz までダウンサンプリングする。スペクトログラムは、フレーム長、オーバーラップ、点数を入力とするが、この三つの入力を調整することによって見たいものが変わってくる。

まずフレーム長は 512 点とした。サンプリング周波数 8kHz に対して 512 点今回のグロウル奏法は、15.6 ミリ秒になる。フレーム長は短いと基本周波数や倍音構造、非周期成分がぼやけてにじんでしまうが、長すぎるとスペクトルのわずかな変化が分からなくなるため、今回は 512 点にした。

次にオーバーラップは 496 点で、これはフレーム長から 16 点を引くとこの数字になる。このオーバーラップはフレーム長より短い値という条件の下で値が大きいほど、細かい変化が見られる。

三つ目にフーリエ変換の点数である。これは楽器音に関する研究なので、特に低音部は細かければ細かいほど正確な周波数が出せるが、点数が多いと処理速度が重くなることもあり、4096 点にした。これにより 512 点のフレームに対して 4096 点でフーリエ変換をすると、0.125Hz 間隔でビンが生成されるので、楽音の分析には十分なものができる。

5.1.4 非周期成分の推定

スペクトログラムから短時間フレーム毎にスペクトルが抽出できるので、正規化し、絶対値の実数部を抽出、縦軸をデシベルに変換する。これによりどんな音量の音声であっても正しく判定できる。システムの入力の第二引数である音名を周波数に変換しておき、その周波数から一番近いピークを基本周波数として、倍音成分も求める。

非周期成分は基本周波数と第二倍音の区間、高次倍音の区間でそれぞれ求める。これは、できかけている際に、基本周波数と第二倍音の区間に非周期成分が現れなくとも、高次倍音の区間に非周期成分が現れるためである。

二つの区間で非周期成分を求める。ここでの非周期成分は findpeaks 関数を用いており、しきい値として、高さプロミネンス、ピークの最小間隔距離を指定した上で判定する。

5.1.5 判定

求めた倍音構造の中の倍音成分の区間の中にあるしきい値を上回った非周期成分のピークの個数を数え、全フレームのピーク数を格納した行列の移動平均を平滑化したものを用いて、音声全体でできてるか、後半ができてるか、音声の最後ができてるか、またはできてないかを判定する。

5.2 フラッター奏法

5.2.1 入力

グロウル奏法と同じく楽器音とノート (音名) の二つを入力引数とする。この奏法も判定の際に倍音成分を正確に抽出することが求められるからである。

5.3 スペクトログラムと倍音抽出

倍音構造の変化を見るために、短時間フーリエ変換を使用したスペクトログラムを用いる。まずフレーム長は 256 点とした。サンプリング周波数 8kHz に対して 256 点なので 1 フレームは、32 ミリ秒になる。グロウル奏法はスペクトルが時間変化

に関係なく一定であるが、フラッター奏法は倍音構造が時間変化によって変化する奏法なので、グロウルより短くした。

次にオーバーラップは248点で、これはフレーム長から8点分を引くとこの数字になる。

三つ目にフーリエ変換の点数である。フラッター奏法の判定では8192点にした。これにより256点のフレームに対して8192点でフーリエ変換をすると、約0.035Hz間隔でビンが生成され、時間変化を捉えるために十分なものができる。

5.3.1 判定

基本周波数は変化量が少ないため、判断が困難である。また第二倍音は弱くなってしまうことがあるので、判定は第三倍音以上の倍音を利用し、自己相関により倍音構造の波の周期を求める。周波数が200Hz以上だったら出来ると判定する。

6 評価実験

実装したグロウル奏法の判定方法の評価として、四人の全音域のグロウル奏法について実験を行った。通常の(出来ない)判定される)奏法、グロウル奏法、グロウルと判定できる境界程度の音源を用意した。今回は一般的な奏法評価かどうかを確認するため、聴取者を用意し、実際に奏法の判定方法は適切かを質問し、システムの評価と照らし合わせる。また、できていなかった演奏音源について、練習支援のためのコメントの分かりやすさ、適切さを観点とする。

6.1 結果

奏法が使われやすい中音域から高音域にかけては四人中四人で判定できたが、Ab₃から下の音で、奏法ができていない音源を入力しても四人中二人の音源はうまく判定されなかった。以下の図は同じ音高 (Ab₃) で上手く判定されたものとできていないと誤って判定されたものである。

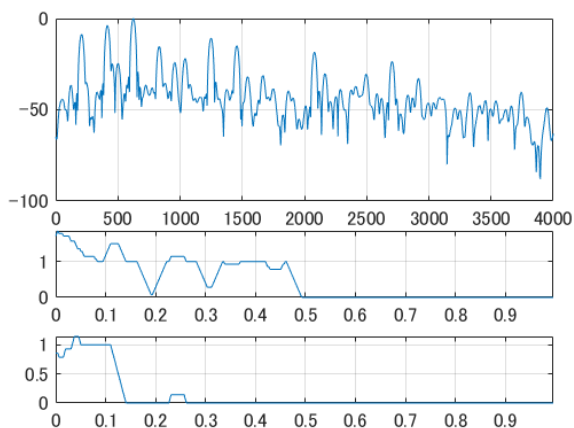


図4. Ab₃で出来ると正しく判定されたデータ(上:スペクトル, 中:高次倍音区間のピークの推移, 下:基本周波数と第二倍音区間のピークの推移)

また、奏法ができない人の特徴としては息もれ声ができないという点があった。息を吐きながら少量の音を出すのが難しいとのことだった。

7 考察

今回、提案手法で達成した点は、グロウル奏法がよく使われる中音域以上に関して、良い精度で判定できたことである。音名を入力引数にしたことにより、基本周波数と倍音構造が適切に抽出できたことに加え、非周期成分のピークの求め方を細かく設定したことで、おおむね正解したためである。

一方で、改善点・今後の課題としては、低音域の判定制度の向上である。実験の演奏を聞いて感じたこととしては、低音域は楽器音と同じ音高で声帯が振動しているものはうまく判定出来たがそれ以外の音源に関しては誤ってできないと判定された。この課題に対しては、低音域についてより多くの被験者のデータを集めることが必要である。

また、評価システムとして、様々な人に使ってもらおうという点で、被験者数が少なかった。奏法の出来不出来の判定の際に非周期成分のピークを出すしきい値の設定をロバストにするべ

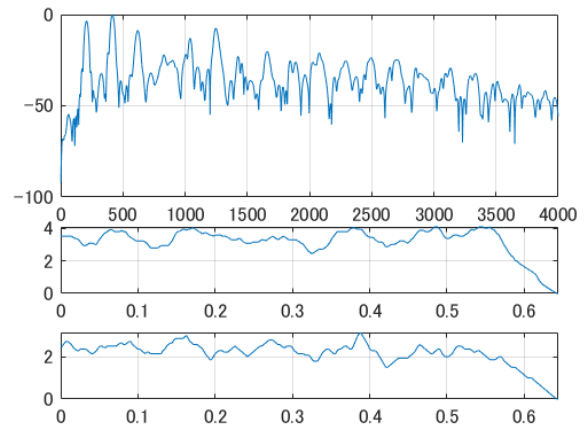


図5. Ab₃で誤ってできない判定されたデータ(上:スペクトル, 中:高次倍音区間のピークの推移, 下:基本周波数と第二倍音区間のピークの推移)

きだと考える。

また、息を吐く動作をベースにして声帯振動の割合をコントロールしながら出すということができない人は、グロウルの習得は困難と考える。

8 おわりに

今回、特殊奏法を正しく演奏できているかを判定するシステムを提案した。グロウルについてはよく使う音域の判定ができていた。このシステムの有用性として、今回取り扱った特殊奏法の中でフラジオやポルタメントはシングルリード族のクラリネットにも応用が利き、フラッターやオルタネイトフィンガリングはシングルリード楽器だけでなく金管楽器にも応用が利くことから、他の管楽器でも同じ手法を用いて特殊奏法の評価ができるのではないかと考える。

参考文献

- [1] Olympus Ltd, The Saxophone: The History and Evolution, <https://olympusmusic.com/saxophones-history-evolution/>.
- [2] 福田翼, 中村栄太, 糸山克寿, 吉井和佳, “楽譜簡素化と自動補間伴奏によるピアノ演奏練習支援システム”, 情報処理学会研究報告, 2017, Vol.2017-MUS-114, No.21.
- [3] 安井希子, 三浦雅展, “ドラム基礎演奏の練習支援システム”, 日本音響学会誌, 2015, 71 卷 11 号, pp.601-604.
- [4] Joy Sound, “分析採点マスター”, <https://www.joysound.com/web/s/joy/bunseki>.
- [5] Y2 Project, “楽器演奏評価技術”virtana(ヴィルターナ)”, <http://www.y2lab.com/project/virtana/>.
- [6] KORG 社, “Cortosia - GOOD SOUND TUNER”, <https://www.korg.com/jp/products/software/cortosia/>.
- [7] Alain.de Cheveigne, H.Kawahara. YIN, a fundamental frequency estimator for speech and music, Acoustical Society of America, April 2002, Vol. 111, No.4.
- [8] Matthias.Mauch, S.Dixon. PYIN, A FUNDAMENTAL FREQUENCY ESTIMATOR USING PROBABILISTIC THRESHOLD DISTRIBUTIONS, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, July 2014, 14449016.
- [9] Curtis R MacDonald, “Introducing Extended Saxophone Techniques”, MEL BAY PUBN INC, 2013, 9780786685653.