

スマートフォンを用いたクラリネットマウスピース比較のための 音波形観察の有用性

堀越 哲郎*¹ 藤原 正明*²

Usefulness of the Observation of Sound Waveform Using a Smartphone for Comparison among Clarinet Mouthpieces

by

Tetsuro HORIKOSHI*¹ and Masaaki FUJIWARA*²

(Received on Sep. 20, 2017 and accepted on Nov. 9, 2017)

Abstract

For clarinet players, the choice of mouthpiece has a strong effect on sound generation, tone color, pitch and controllability of articulation. In this study, we compared sound waveforms among different models of mouthpieces using an oscilloscope app installed on a smartphone, based on temporal coding (temporal pitch) theory. This is the first report of the preliminary analysis of clarinet sound by temporal coding theory. The results showed that the waveforms differed between mouthpiece models, such as the rise time of sound, the timing of waveform peaks and troughs, and their amplitude. Some differences were also observed among different individuals using the same model of mouthpiece. Using artificially-made laterally unbalanced reed, the waveform was different from that of a normal one. These results suggest that a smartphone can observe sound waveforms and provide useful data for comparing clarinet mouthpieces for players. When comparing mouthpiece models, the perception of the rise time of sound and the tone color are not easy to describe and memorize precisely, but may be helped by using a comparison of visualized waveform data. The observation of sound waveforms may also become a useful means for acquiring and storing indexable data concerning tonal quality in musical training.

Keywords: Clarinet, Mouthpiece, Smartphone, Observation of sound waveform

1. はじめに

クラリネットやサクソフォンといったシングルリード楽器を演奏する上で、マウスピースは大きな影響力を持っている。マウスピースのわずかな形状の違い、そしてリードとの組合せによって、吹奏感や音高、音色が左右され、結果的に演奏に大きな影響を与えることは、多くの奏者が認識していることと思われる。それに対応するように、過去から現在に渡って多くのメーカーが様々なモデルのマウスピースを提供してきている。また、多くの奏者は同じモデルであっても複数のマウスピースを吹き比べ、より良いと思われるものを選定して使うことが通常行われる。従って、どのマウスピースを選択するか、マウスピースを替えたらどのような影響があるのかといった点は、奏者にとっては重要な関心事の一つと考えられる。各演奏者が通常これを判断するにあたっては、練習や演奏を積み重ねる過程での多くの試行錯誤とそれらを通して得た経験の積み重ねにより、総合的に判断しているものと思われる。こういった演奏感覚とでも言うべ

きものや、音を聴いて受ける感性的な認識までを含めて工学的に扱うのは簡単ではないが、一方、音という物理現象の中にこういった感覚を生じさせる要素が入っているのも確かなはずである。これについてはFFTによるスペクトル解析を中心に多くの研究が行われており、音色に対する理解もある程度進んでいる¹⁾。しかし、音楽を演奏する際に重要になってくる音のニュアンス、例えば音の始まり方、立ち上がり時の音色の変化、次の音へのつながり方といった要素は、音波形の時間経過に注目した解析が必要だと思われるが、一般奏者に利用できるような解析方法の形では未だに示されていない。

楽音の音の立ち上がりは、言語音声に例えれば子音の部分に相当するであろう。ヒトが言語を聞き分ける際に、母音に先立って発せられる子音の部分は短いものでは10 ms程度であり^{2,3)}、加えて、有声開始時間(voice onset time, VOT)の研究でよく知られるようにVOTが40~50 msを境にして/ba/が/pa/へと知覚が変わることや、無音ギャップの知覚は同音だと数ms、異なる音だと約50msが閾値になることが示されている⁴⁾。従って、楽音においてもミリ秒単位の音の立ち上がり部分をヒトの聴覚は感じ取っていると考えるのが妥当であり、その時間経過

*1 工学部医用生体工学科教授

*2 MASA Music 音楽事務所

も感覚に与える重要な要素となっているであろう。また、聴覚の生理学的研究によれば哺乳動物では約 4 kHz までの音に対しては位相固定(phase locking)した活動電位の発火が見られ^{5,6)}、音源定位を行う上で左右の両耳に到達する時差の検出感度は、ヒトでは 10~20 μ s とされている^{5,7)}。これらのことは、楽音の波形を複数の正弦波の合成によっていると考える場合にも、それを聴覚として感じ取るうえでは蝸牛での単なるパワースペクトル解析というだけではなく、ミリ秒以下の精度での位相情報も感覚に関与している可能性があることにも注意すべきであろう。実際、音声合成の研究において、周波数成分が同じでも倍音を合成する際の位相によっては鼻づまり音(buzzy)と呼ばれるような音色の違いを感じさせることが知られている⁸⁾。楽音においても合成する音の位相の変化が音色の違いとして感じられることが指摘されている⁹⁾。また近年、音のピッチや音色の知覚の機構については、いわゆる場所ピッチ(place pitch, place coding)と呼ばれるスペクトル解析を中心に据える考え方よりも、時間ピッチ(temporal pitch, temporal coding)と呼ばれる聴覚末梢感覚器で生じる音波形の位相に同期して発火する活動電位の時間パターンの情報がより重要であるという考え方になってきている^{10,11)}。しかし、この音波形の時間情報に注目してクラリネットの音を分析することや、それに対するマウスピースの影響を検討した研究は未だ報告されていない。

そこで本研究では、クラリネットの音としては安定性の高い最低音を対象として音の立ち上がり時を含めた波形を観察することで、マウスピースのモデルによる違いを見出すことができるのかを検討した。それにあたっては一般奏者でも実行可能な測定として、近年急速に高機能化し普及しているスマートフォンを使用することとした。スマートフォンを使用した音圧レベル測定やFFT解析は厳密な精度を要求しないのであれば簡易的な測定器として実用的に使用可能なことが示されている¹²⁾。我々の実験の結果、スマートフォンで表示した音波形の山谷の時間系列の観察から、マウスピースのモデルによる違いだけでなく、同一モデル内でも個体による違いも明らかとされる可能性が示された。この波形観察方法は、一般の演奏家がマウスピースを選択する際や奏法を研究する際にも有用な情報を提供するものと考えられる。

2. 実験方法

音波形の表示には iPhone 5 (Apple 社, iOS 9.3) にインストールした音波形をオシロスコープ同様に表示できるアプリケーションソフト、e-skett 社製 e-scope 3-in-1 (ver.2.2)を使用した。なお、この組み合わせでの波形のサンプリング周波数は 44.1 kHz である。実際に波形を記録するにあたっては、Orsi 社製の B \flat 管クラリネット(O21-S)に各種のマウスピースを付け、リードは樹脂製である Légère Reeds Ltd.社製のクラリネット用スタンダード(強度 3 \cdot 1/2)、リガチャーは Rovner 社の合成皮革製の Dark (1R)を共通に使用した。Fig. 1はクラリ

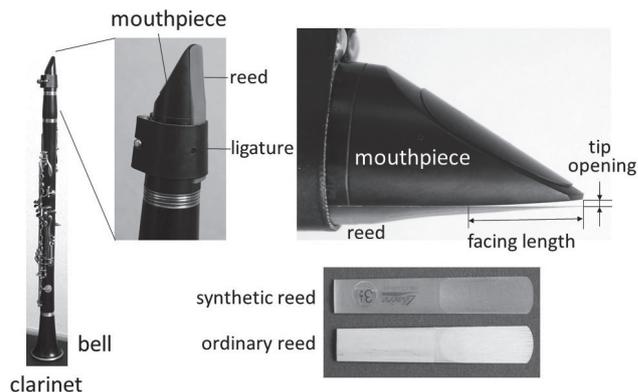


Fig.1 Clarinet mouthpiece and setting of reed.

Table 1 Major specification of tested mouthpieces.

Maker	Model	Facing length	Tip opening (mm)
Vandoren	M15	Long	1.035
	5RV lyre	Medium	1.09+
	B45 lyre	Medium long	1.27
D'Addario	X15E	Long	1.18
Selmer	Concept	23 mm(Long)	1.10

ネットの全体像、マウスピースの位置とリードの取り付け方法、マウスピースの仕様の代表的な値として使用されるフェイスングの長さやティップオープニング、そして使用した樹脂製のリードと一般的なリードの写真を示したものである。クラリネットを吹鳴させるためには、マウスピースにリードをリガチャーで固定し、マウスピースの先端部を口に入れ、マウスピースとリードの間に息を入れることによりリードが振動し音が発せられる。この時のリードの振動は、リードとマウスピースが離れている空間、つまりフェイスング長とティップオープニングによって制限された空間を中心に行われることになる。今回テストに使用したマウスピースのメーカー名、モデル名、メーカーが公表しているフェイスング長とティップオープニングの一覧を Table 1 に示した。なお、内部構造もメーカーやモデルによって設計が少しずつ異なっているのだが、それについては公表されていない。今回の目的はマウスピースのモデルの違いで音波形の違いが生じるのかという点に焦点を当てているため、各モデルの内部形態の違いと音波形との関連性までは扱っていない。実験に樹脂製のリードを使用したのは、天然材のリードでは吹鳴中の水分含量の違いや変化などの影響を受けやすく、それによって波形データが変化することを避けるためである。また、金属製のリガチャーを使用しなかったのは、各メーカーのマウスピースは外形が若干違っており、それによってリードの保持具合が変わる可能性があるが、合成皮革系のリガチャーであれば柔軟性が高くマウスピース外形の違いによって受ける影響が少ないであろうと判断したためである。テストに使用する音は B \flat 管クラリネットの最低音(記譜音 E, 実音 D3, 約 148Hz)とした。波形を記録する際は、環境音の影響と反射音の影響を抑えるために簡易防音

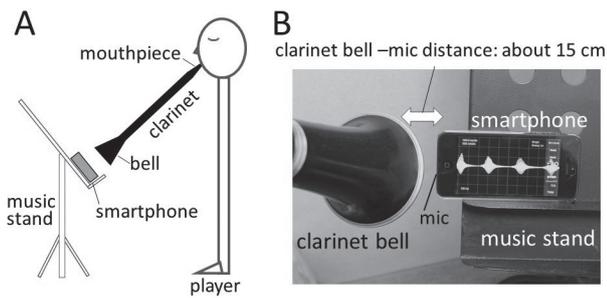


Fig.2 Experimental setup.

A, Schematic drawing of experimental setup. B, Position of smartphone and clarinet bell during recording.

室（ヤマハ社，アビテックスミニ AMAC12H）内で行った。Fig. 2A に実験測定時の吹奏者とクラリネットと測定用のスマートフォンの位置関係を模式的に示し，Fig. 2B にクラリネットのベルとスマートフォンのマイク部との位置関係を示している。譜面台上に置いたスマートフォンはマイク部へ壁と譜面台からの直接反射音が大きくなるように注意し，Fig. 2B のように譜面台の背板部にマイク部がかからないように置き，ベルから放射される音が直接マイク部に届くようにした。マイク部から斜め上方約 15 cm の位置にクラリネットのベル先端がくるようにして，概ね mf の音量でおよそ $\text{♩} = 60$ のテンポで十六分音符をスタッカートで吹くよう心掛けて記録を取った。なお，使用したソフトウェアの仕様でトリガーレベルは任意で設定できずプレトリガーも設定できないため，最初の音で掃引をスタートさせるシングルモードで記録し，2 音目以降の観察したい部分，つまり音の立ち上がり部分や振幅最大時の波形を適宜拡大し画像データとして保存した(Fig. 3)。ただし，ソフトウェアの仕様により，波形を比較するための拡大した画像を記録する際に，波形を表示フレームの同じ位置に揃えて表示することはできなかった。

なお，著者らはこの研究に関連したいかなる利益相反もない。

3. 結果および考察

Fig. 3 は今回の測定記録の様子を示したものである。Fig. 3A は記録の全体像を示しており，1 回目の発音でトリガーが掛り記録が開始され，1 秒間のうちに 4 回の発音の様子が示されている。なお，今回使用したアプリケーションソフトの仕様で，トリガーの値は一定に設定されており変更できず，またプレトリガー記録の機能も無いので，1 回目の音の立ち上がりは見ることはできない。図中の矢印はタンギングのタイミングを示している。Fig. 3B は発音開始部を拡大したものである。タンギングによる音のスタート直後から振幅が大きくなり約 60 ms 後には振幅が最大になっている。本研究ではこの時間を立ち上がり時間とした。なお，タンギング前の無

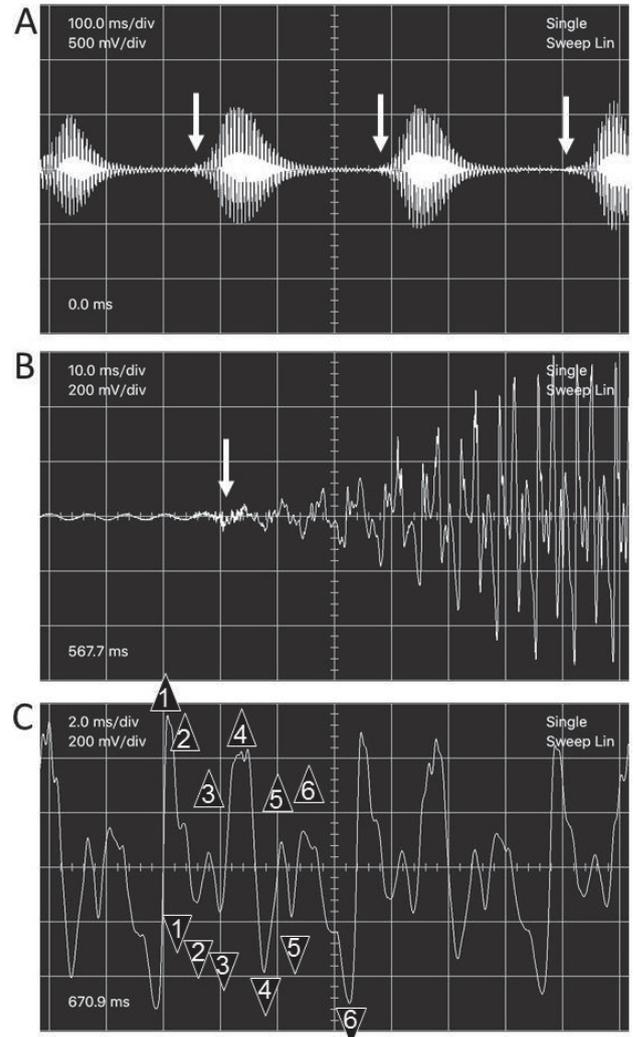


Fig.3 Example of recorded waveform of clarinet lowest note.

A, Whole record. Arrows indicate the timing of tonguing. B, Onset of one note. C, Waveform of the constant region. Peaks and troughs 1 to 6 are labeled. (Used mouthpiece was Vandoren M15 model.)

音と考えられる期間にも約 148 Hz の小さな振動が見られているが，これは無音時にも僅かに息が流れており，それにより音として感じられないレベルであっても空気の振動がありそれがマイクで検出されたものと考えている。

Fig. 3C は振幅が最大になった時点での波形を拡大して記録したものを示している。波形を見るといくつかの特徴的な山(peak)と谷(trough)が見られ，本研究では peak 1 から peak 6, trough 1 から trough 6 と名付けて(Fig. 3C 中のラベル参照) そのタイミングを検討した。Peak 1 を時間の基準として各々の山と谷のおよその時間をいくつかテストしたマウスピースで調べると (Fig. 4), peak 2 は約 0.6 ms, peak 3 は約 1.5 ms に見られた。peak 4 は約 3.4 ms であったが，ただしマウスピースによっては複数の山に分かれることも見られた。Peak 5 は約 4.3 ms,

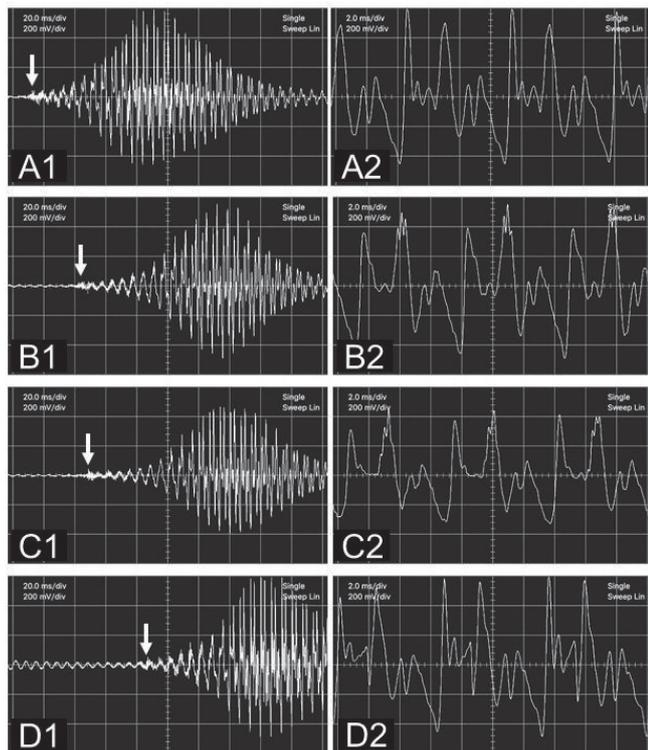


Fig. 4 Difference of sound waveform between each model of mouthpiece.

Left panels, Timing of tonguing (arrows) and onset of one note. Right panels, Waveform of the constant region. (A, Vandoren 5RV lyre; B, Vandoren B45 lyre; C, D'Addario X15E; D, Selmer Concept. Each model was used for recording.)

peak 6 は約 4.7 ms, そして次の peak 1 までの 1 周期は約 6.75 ms であり, この 1 周期は約 148 Hz つまりクラリネットの最低音 (D3) と一致している. 一方, 谷は trough 1 が約 0.4 ms, trough 2 が約 1.1 ms, trough 3 が約 1.8 ms, trough 4 が約 3.4 ms, trough 5 が約 4.3 ms, trough 6 が約 6.3 ms であった. これらの波形をクラリネットの倍音構成を考慮しながら見ると, trough 4 は peak 1 から次の peak 1 のちょうど中間にあたっており, これらの山と谷によって基音である D3 音の基本周期が構成されると考えられる. peak 4 はマウスピースの種類によっては最大 3 つの山に分かれるなどタイミングは必ずしも統一的ではないが, 約 1/3 周期に相当しており, 第 3 倍音の A4 音の構成に寄与していると考えられる. Peak 2 と peak 3 はマウスピースによってタイミング, 振幅の違いが大きい, それぞれおよそ第 11 倍音と第 5 倍音もしくは第 4 倍音に近いものと思われた. peak 5 は約 3/5 周期, peak 6 は約 2/3 周期に近いものと思われた. 本研究では倍音構成に関しては詳細に検討しておらず, 今後スペクトル解析の結果を合わせるなどして検討する必要があると考えている. なお, 今回使用したアプリケーションソフトではスペクトル解析も可能であるのだが, 記録して一時保存した波形に対しては実行できない仕様であり, 今回記録した波形に対するスペ

クトル解析は行えなかった.

Fig. 4 はマウスピースのモデルの違いによって波形の違いが見られるのか比較したものである. 立ち上がり時間はいずれも 60 ms から 80 ms の間に入っていた. ただし, この間の波形の遷移には少し違いも見られた. タンギング直後より基本周期である約 148 Hz の波により高調の波が重なるのだが, その振幅が比較的小さいもの (Fig. 4B1, C1) と大きいもの (Fig. 4A1, D1) が見られた. 一方, 振幅がほぼ最大になった時の波形を比較すると peak 2 と peak 3 のタイミングと振幅の違いが見られた. 例えば, Fig. 3C や Fig. 4B2 と Fig. 4C2 ではこの 2 つの山がとても低く peak 2 は peak 1 のショルダーの形になっている. また, trough 3 の特に深いものが Fig. 3C と Fig. 4D2 に見られた. なお Fig. 3C では trough 2 も深かった. タイミングで見ると peak 2 は Fig. 4B2 が 0.46 ms と他 (約 0.6 ms) に比べて早めで, peak 3 は Fig. 4D2 が 1.64 ms と他 (約 1.4 ms) に比べ遅い傾向が見られた. また, peak 4 は最大 3 つと複数に分かれるもの (Fig. 3C, Fig. 4B2, C2) と単数なもの (Fig. 4A2, D2) が見られた. Trough 4 以降のタイミングについては今回示したデータの間では大きな差異は見られなかった. なお, マウスピースによっては今回の注目した peak 1~6, trough 1~6 に加えてより短い周期の山谷も見られたが, 今回は詳しく検討しなかった. このように同じリードと楽器を用いているのにも関わらず, 波の各成分の大きさやタイミングが明らかに異なるのはマウスピースのモデルの違いによるものと考えられる. マウスピースの形状に関して検討した Tachibana & Takahashi の研究¹³⁾によれば, マウスピース内に作られている段差によって反射波が生じ, それが全体の音色に影響を与えているとされている. 加えて, マウスピースのパッフル部は大きな気流圧力がかかる部分であり, これによりリードの運動が影響されることが示されている^{14,15)}. また, マウスピースの主な仕様として用いられるフェイスング長とティップオープニングは, リードの運動を直接制限する要因になっている. 本研究で見られたマウスピースによる波形の違いは, そのような形状の違いを反映したものと考えられる. 今回示した波形パターンの違いとマウスピースの構造との関係, そして音色との関係は今後検討されるべき重要な点だと考えている. ただし, 音色の定義は感性に基づく主観的な判断の要素が強いので定量化が難しく, 簡単には結論が出せる問題ではない可能性がある. 他方, 本研究に示す様に波形を可視的に記録することで各奏者個人が自分の望む音色と波形の山谷の時間パターンとの関連付けが可能になると考えられ, 各奏者がマウスピースの選択を行う場面においては, これまでのような各自の感性と記憶に基づいた比較に加え, 客観的な指標として波形が有効に利用できるものと考えられる.

これらの結果より, 波形を記録することでマウスピースのモデルによる違いを示すことが可能であることが示された. 更に, 同じモデルであっても個々のマウスピースによって波形の違いが見られるのかを検討したのが Fig. 5 である. ここでは同一モデルであるが異なる 3 個体をテストした. まず音の立ち上がりを見ると Fig. 5A1

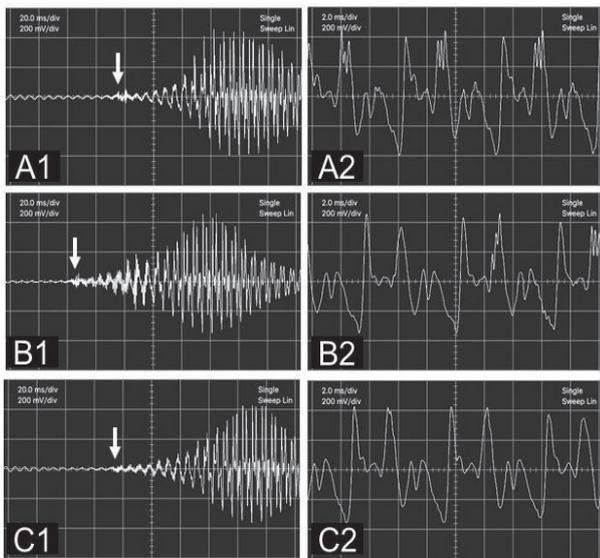


Fig. 5 Difference in individual three mouthpieces of the same model (Vandoren M15).

が約 70 ms であるのに対して Fig. 5B1 と C1 が約 90 ms と少し長い傾向であった。なお、今回データには示さないが、予備実験では用いるリードが硬すぎるなどして発音に遅れを感じたケースでは、立ち上がり時間は 100 ms を超えていた。また、Fig. 5B1 では音の立ち上がり時に基音に重なる約 1.3 kHz の高調波の振幅が大きかった。一方、振幅がほぼ最大付近の波形を見ると Fig. 5A2 では peak 4 が 3 つの山で構成されているのに対して、Fig. 5B2 では 1 つから 3 つと変化するという安定性が低いこと、Fig. 5C2 ではほぼ 1 つの山となるといった違いが見られた。また Fig. 5B2 と C2 では peak 2 と peak 3 が低く trough 3 も浅い傾向であった。これら同一モデルの 3 個のマウスピースのうちどれを選ぶかの判断は、今回データを取ったような単音のみでの比較ではなく、実際の演奏に近いテストで選ぶ必要があり、加えて、奏者の好みによるべきものであろう。しかし、マウスピースの製造過程での微細な形状の差異が波形の違いとして明らかに示される可能性が高いことが本研究によって示されたと考えられる。なお著者 2 名の意見では、Fig. 5 の 3 個体のうちでは Fig. 5A の個体が安定して吹きやすいという意見で一致していた。

マウスピースのフェイスの左右バランスが僅かにずれていることが波形に影響するかどうかを検査するために、リードの片側のハート部外側をナイフであえて少し削って薄くしたもので波形を記録した。Fig. 6 に示したのが使用したリードの写真であり、ハート部と呼ばれる中央部より側方の片側のみについて一部をナイフで削り、約 0.7 mm の厚さから約 0.5 mm に変更したものを使用した。なお厚さの計測は、読み取り最小表示 0.01 mm のデジタルノギスを用い該当領域を 10 回計測しその平均値を算出することによって。その音波形結果が Fig. 7 である。Fig. 7A は対照として通常のケーンのリードで波形を記録したものを示している。なお、使用したマウスピースは Fig. 5A で使用したものと同一である。立ち

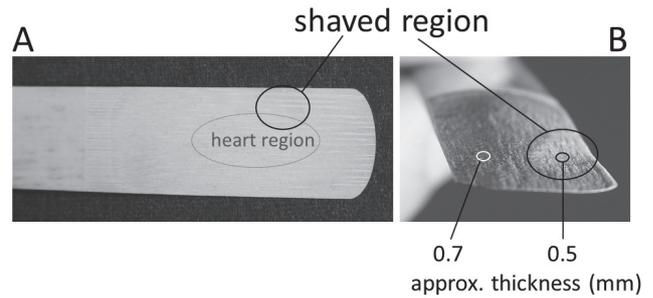


Fig. 6 Artificially-made laterally unbalanced reed.

A, One side of lateral region on reed was shaved by knife. B, At shaved region and its symmetric part, each thickness of the reed was measured by caliper.

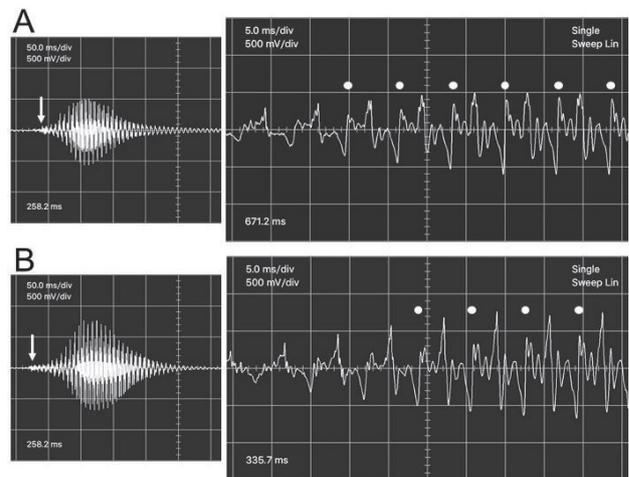


Fig. 7 Effect of left-right balance of the reed on sound waveform.

Normal reed (A) and artificially-made unbalanced reed (B) were used on the same mouthpiece (Vandoren M15 model). White dots indicate the timing of peak 1.

上がり時間について見ると、対照の通常のリードでは約 70 ms であり、樹脂製のリードを使用した際とほぼ同じであった。一方、左右バランスを崩したリードでは約 80 ms と長くなる傾向が見られた (Fig. 7B)。定常状態での波形を見ると、通常のリードでは樹脂製リードと似ているが、peak 4 がはっきりとは 3 つに分かれずそのうち一つが高い傾向が見られている。これが天然材のリードの特性なのか、使用したリードの硬さといった個体の問題なのかは、今後例数を増やして比較しないと判断できない。一方、バランスを崩したリード (Fig. 7B) では peak 1 が peak 4 に比べ明らかに低くなり peak 2 が高くなるという特徴や、peak 4 が複数ではなく単数になり高くなる特徴、加えて、trough 4 が trough 6 と近いところまで深くなる特徴などが見られた。またタイミングで見ると、バランスを崩したリードでは trough 3 以降のタイミングが peak 4 を除いて 0.1~0.2 ms 遅れるのが見られた。Peak 4 のタイミングが一番高い部分で見るとバランスを崩したリードでは約 1 ms 遅れていた。なお、peak 4 については複数

に分かれる傾向をもともと持っている可能性が高く、そのうちのどの peak に収束するかでタイミングが比較的大きく違ってくる可能性が考えられる。Peak 4 がクラリネットという閉管楽器に特徴的な第3倍音を構成することを考え合わせ、今後詳しく検討する必要があると考えている。なお、Fig.7A, 7Bともに周期は約6.75 msであり約148 Hz (D3)と一致していた。これらの波形に見られた違いは、左右バランスの違いでリードの振動特性に変化が生じ、それが波形に反映されているものと考えられる。どの程度リードのバランスやフェイシングの左右差を変化させたらどの程度波形に影響するのかという定量的な比較は、今後の検討課題として残されているが、一方演奏者の立場からすると、波形を観察することでマウスピースのフェイシングの左右のバランスやリードの影響も可視的に把握できる可能性を示していると考えられ、自分の出している音を客観的に捉える指標として波形の観察が有用であると考えられる。なお、Fig. 7Bの最大の振幅つまり音量をみるとバランスを崩したリードでは大きい傾向が見られるが、これは吹鳴の際にこのリードでは息の入りが悪くなり発音が重く感じられたため、無意識的にそれに対応するために息圧を上げたためと考えている。クラリネットでは音量の変化によって音色が変化するので波形にも違いが表れると予想されるが、本研究では検討しておらず、これについては今後の検討課題となっている。

今回は概ね mf と固定した音量でテストしたが、p や f といった音量の違い、もしくは音色や発音ニュアンスの違いがどのような形で波形に現れるのか、今後見ていく必要がある。例えば、タンギング直後から音量が上がっていく過程において波形の遷移の仕方についてである。今回、系統的な検討ができていないが、Fig. 5B1 の様に基本周期の振動に比べて短い周期の振幅が大きい場合は、音の立ち上がり初期に感覚にのぼるであろう音高と実際に定常になった時の音高が違うことになり、奏者もしくは聴衆に違和感もしくは特定の発音のニュアンスを与える可能性が考えられる。このような波形の遷移パターンがマウスピースを含めたセッティングや吹き方でどのように変化するのか、それが音のニュアンスの表現にどうつながるのか今後検討する必要がある。音声の認識に関する研究によれば、VOT-20 ms を/mba/、VT -10 ms を/ba/と 10 ms の差を聞き分けられること、これが訓練によって成績が向上すること、成績の向上は聴覚中枢の可塑性によるものであろうことが示されている¹⁶⁾。これからすると訓練を積んだ奏者が 10 ms 以下の音現象の違いを感じ取ることは当然予想できるものであろう。どういった波形の遷移の仕方がどのような感覚につながるのかは、演奏表現という点ではとても重要な点だと思われる。音のニュアンスをどう感じるかという問題は、現状では各個人の感覚による判断が大きいので、感性をどのように定量化してかという問題に対する解決法を考えたいと取り組む必要があると考えている。ただ、一般的に言われるようなタンギング時のシラ

ブルの使い分け、例えば[tu]と[ru] というようなものであれば、多くの奏者で共通するような波形の違いが表れる可能性が高いと予想され、今後調べる必要があると考えている。

一方、奏者が vocal tract を変化させることによって身体の共鳴周波数に変化を与え音程や音色を変化させることができることが知られている¹⁷⁻¹⁹⁾。それが波形の違いにどの程度現れるか調べることが必要であろう。これは別の面から見れば、各奏者が音色の幅を広げる訓練を行う際に視覚的に捉え保存することができるデータを提供することになり、本研究のように波形を観察することが練習支援の方法として役立つことが考えられる。

他方、波形にどの程度の違いがあれば感覚としての違いとして意識にのぼるのか、という聴覚としての音色認識の観点から検討を加えることも必要であろう。現在一般に提供されている波形編集ソフトウェアを用いれば、デジタル化された波形をサンプリングした1サンプルレベルから変更を加えていくことが可能であり、今回特徴的な違いに見えた peak 2, 3, 4 や trough 3 の振幅やタイミングを変更した波形を作成することは可能である。このような加工がどのような音色感の違いを与えるのかといったアプローチは、聴覚の機構として音色をどのようにして捉えているのかについて調べるため、今後より重要な方法になることが予想される。

4. おわりに

本研究は、クラリネットのマウスピースの微細な違いが発音や音色に影響を与えることを音波形の観察によって可視的に把握できる可能性が高いことを示したものである。このような時間情報(temporal coding)に注目したクラリネットの音波形の観察はこれまで報告されていない。本研究の結果は、波形のどの成分をどのように定量的に解析することが有効かという観点からは、ごく予備的なデータを得たに過ぎず、今後、波形の特徴の統計的な定量化といったより詳しい解析が必要である。また、その際にはマウスピースの微細と思われる形態の違いとの相関を明らかにすることが必要であろう。本研究では、そのような定量的な解析や、それらと音色との関係性については検討ができていない。しかしながら、今回報告した時間情報に注目した波形の観察方法が、マウスピース微細な違いであってもそれを音波形から検出できるものであり、奏者にとっての有益なツールになる可能性が高いことが示されていると考えている。本研究の方法は、スマートフォンという日常的に様々な場で使用可能な機材で実行可能であるため、各奏者個人のレベルでの奏法の研究や、マウスピースやリガチャー、リードの選択といったセッティングの検討、そして教育の場での発音や音色に関する指導や練習の支援ツールといった、日常的に使用できるツールとして実用的な利便性を持つものとして発展することが予想される。

参考文献

- 1) 岩宮眞一郎 (編著): 音色の感性学——音色・音質の評価と創造—— (日本音響学会編, 音響サイエンスシリーズ 1), コロナ社 (2010).
- 2) P. Auzou, C. Özsancak, R.J. Morriss, M. Jan, F. Eustache and D. Hannequin: Voice onset time in aphasia, apraxia of speech and dysarthria: a review, *Clinical Linguistics and Phonetics*, 14, pp.131-150 (2000).
- 3) 中尾睦彦, 岸本昌也, 濱田憲治: 子音/t/をもつ日本語の音声合成, 明石工業高等専門学校研究紀要, Vol.48, pp.11-18 (2005).
- 4) S. Elangovan and A. Stuart: Natural boundaries in gap detection are related to categorical perception of stop consonants, *Ear and Hearing*, 29, pp.761-774 (2008).
- 5) M.F. ベアー, B.W. コノーズ, M.A. パラディーソ (加藤宏司, 後藤薫, 藤井聡, 山崎良彦 監訳): 神経科学—脳の探求—, 西村書店, pp.283-288 (2007).
- 6) J.O. Pickles, *An Introduction to the Physiology of Hearing* (3rd ed.), Emerald Group Publishing Limited, pp.82-84 (2008).
- 7) 佐藤真彦: 脳・神経と行動 (生物化学入門コース 6), 岩波書店, pp.145-146 (1996).
- 8) 板野秀樹, 陸金林, 中村哲, 鹿野清宏, 河原英紀: 時間領域平滑群遅延を用いた短時間位相の効率的表現方法, 電子情報通信学会論文誌, Vol. 84-D- II, pp.621-628 (2001).
- 9) 山本由紀子, 仁科エミ, 大西仁: 協和感研究の動向と課題—聴覚的協和感を中心として—, *Cognitive Studies*, 22, pp.282-296 (2015).
- 10) B.C.J. Moor: The role of temporal fine structure processing in pitch perception, masking, and speech perception of normal-hearing and hearing-impaired people, *J. Assoc. Res. Otolaryngol.*, 9, pp.399-406 (2008).
- 11) 大串健吾: 音のピッチ知覚 (日本音響学会編, 音響サイエンスシリーズ 15), コロナ社 (2016).
- 12) F. Satoh, K. Sakagami and A. Omoto: Application of a smartphone for introductory teaching of sound environment: Validation of the precision of the devices and examples of students' work, *Acoust. Sci. & Tech.*, 37, pp.165-172 (2016).
- 13) T. Tachibana and K. Takahashi: Sounding mechanism of a cylindrical pipe fitted with a clarinet mouthpiece, *Progress of Theoretical Physics*, 104, pp.265-288 (2000).
- 14) V. Lorenzoni and D. Ragni: Experimental investigation of the inside a saxophone mouthpiece by particle image velocimetry, *J. Acoust. Soc. Am.*, 131, pp.715-721 (2012).
- 15) Y. Shi, A.R. da Silva and G.P. Scavone: LBM stimulation of the quasi-static flow in a clarinet, *Proceedings of the Third Vienna Talk on Music Acoustics*, pp.35-42 (2015).
- 16) K. Tremblay, N. Kraus, T. McGee, C. Ponton and B. Otis: Central auditory plasticity: Changes in the N1-P2 complex after speech-sound training, *Ear & Hearing*, 22, pp.79-90 (2001).
- 17) C. Frits and J. Wolfe: How do clarinet players adjust the resonances of their vocal tracts of different playing effect?, *J. Acoust. Soc. Am.*, 118, pp.3306-3315 (2005).
- 18) J.-M. Chen, J. Smith and J. Wolfe: Pitch bending and glissandi on the clarinet: Roles of the vocal tract and partial tone hole closure, *J. Acoust. Soc. Am.*, 126, pp. 1511-1520 (2009).
- 19) J.-M. Chen, J. Smith and J. Wolfe: Saxophonists tune vocal tract resonances in advanced performance techniques, *J. Acoust. Soc. Am.*, 129, pp. 415-426 (2011).