

リード楽器の奏者が聴く音色に骨導音を与える影響

清水 風[†] 長谷 芳樹[†]

概要: リード楽器など振動部分を人体に密着させて演奏する楽器を演奏する際、観客が聴いている音は気導音のみであるのに対し、奏者は気導音と骨導音を足し合わせたものを聴くこととなる。つまり、観客が聴く音を演奏者が何らかの手段で推測しながら演奏する必要がある。本研究では、気導マイクロホンとコンタクトマイクロホンで演奏音を収録し、音色の物理的な差異を明らかにするとともに、気導音、骨導音、そして骨導音に差分による高域強調処理を施した音の3種を用いて、二つの経路で知覚される音にどのような関係があるのかを心理実験により検討した。それぞれの波形の概形やスペクトル、および心理実験の結果などの詳細な検討から、音域によって変換をおこなう必要がある領域と変換が必要ない領域があることが示された。この結果は、リード楽器演奏者は演奏にあたって奏者と観客の間に起こりうる音の差異を音域毎に意識しなければならない可能性を示している。

キーワード: クラリネット, リード楽器, 音響心理, 骨伝導

The bone-conducted sound of the reed instrument affects the timbre heard by the player

FU SHIMIZU[†] YOSHIKI NAGATANI[†]

Abstract: When playing a reed instrument, which requires the player to strongly bite the vibrating part, the player listens to both the air-conduction sound and the bone-conduction sound, while the audience can hear only the air-conduction sound. Therefore, it is necessary to play the instrument with guessing the sound heard by the audience in some way. In this research, the performance sound is recorded by an air-conduction microphone and a contact microphone to clarify the physical difference of the timbre. Then, we performed psychological experiments to reveal the relationship of the perceived sounds propagating along two different paths. For this purpose, we prepared three kinds of sounds: the air-conduction sound, the bone-conduction sound, and the bone-conduction sound with a signal processing to emphasize the high-frequency component. As a result of detailed examination of the waveform shape, the spectrum, and the result of psychological experiments, it was shown that there are two ranges of sound pitch; one needs to be converted to the high-frequency emphasized sound, and the other does not require any conversions. These interesting results imply that the reed instrument players should be more aware of the characteristics of the sounds heard by the audience which may differ from what they hear depending on the range of the sound pitch.

Keywords: Clarinet, Reed instrument, Psychoacoustics, Bone conduction.

1. はじめに

一般にアコースティック楽器の演奏において、演奏者が聴く音と観客が聴く音の間には一定の差異が存在する。もちろんこれは楽器から発せられる演奏音の指向性やホールの残響などにも影響されるが、特にリード楽器など人体に密着させて演奏する楽器では、観客が聴いている音は気導音のみであるのに対して奏者は気導音と骨導音を足し合わせたものを聴いているために、聞こえる音の差異が非常に大きなものとなる可能性がある。これは、観客が聴く音を演奏者が何らかの手段で推測しながら演奏する必要があることを意味しているが、この点について定量的に評価した例はほとんどないようである。

そこで、本研究では、リード楽器演奏時の気導音と骨導音を同時に収録することでその音色の差異を検討するとともに、得られた骨導音に信号処理を施して気導音への変換を試みることによって、演奏者が聴く音と観客が聴く音

の差異について心理学的な検討をおこなった。加えて、実験参加者を管楽器の経験者と未経験者の2群に分け、演奏者と観客それぞれの音質に対する感覚の違いについても比較検討した。

2. 研究内容

2.1 リード楽器演奏音の録音

演奏には B♭クラリネットを用いた。図1に録音システムの構成図を示す。骨導音と気導音を比較するために、コンタクトマイク (C411PP, AKG) とスタンドマイク (ECM8000, BEHRINGER) をそれぞれ用いてレコーダー (R-26, Roland) に入力した。コンタクトマイクは下顎角部にテープで貼り付け皮膚に密着させた。スタンドマイクは楽器中央から1m離して楽器正面に設置した。録音は無響室内でおこなった。聴取実験では音を単音に切り取って使用するため、テンポを BPM 60 (1分間に60拍) に設定

[†] 神戸市立工業高等専門学校 電気電子工学専攻
Department of Electronic Engineering, Kobe City College of Technology

し、1拍発音して1拍休むという奏法で演奏音を録音した。演奏者は演奏歴5年の男性1人(20歳)とし、最低音(D3)から最高音(D6)までの3オクターブを半音ずつE4以外の音を全音録音した。この最高音は、この演奏者が安定して発音することのできる音高の上限から決定した。1つの音高につき3回繰り返して演奏を録音した。サンプリングレートは96 kHzとした。

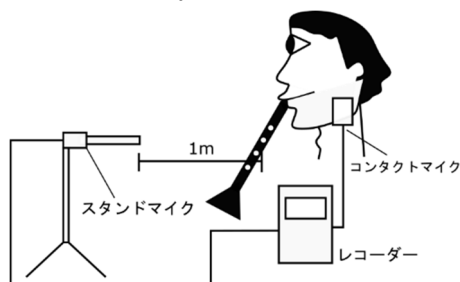


図1 録音系

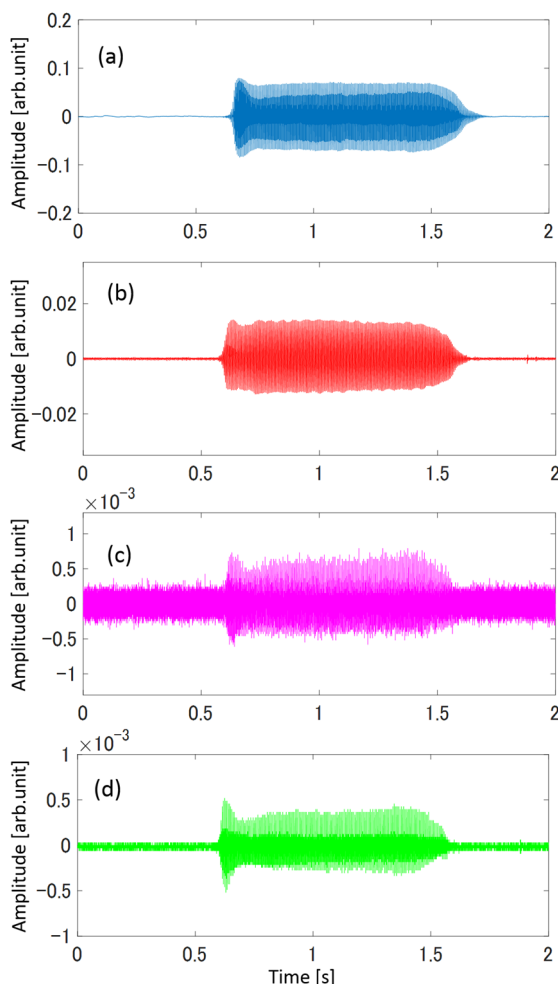


図2 それぞれの処理段階での波形の差異(G3音の例)。(a)録音した気導音,(b)録音した骨導音,(c)差分処理を施した骨導音,(d)差分処理後にウィナーフィルタをかけた骨導音。

2.2 収録音に対する信号処理

Nakayamaら^[1]は差分処理(疑似微分)により声の骨導音が気導音に似たものに変換できる可能性を報告している。本研究でも同様に、式(1)により骨導音に差分処理を施した。

$$x_{\text{differential}}(i) = x(i+1) - x(i) \quad (1)$$

次に、差分をおこなうことで増加するノイズを除去する処理をおこなった。本研究ではウィナーフィルタ^[2]を用いることで高周波ノイズを除去した。図2に例としてG3音での気導音、骨導音、差分処理を行った骨導音そしてさらにウィナーフィルタをかけた波形を示す。差分処理を施した直後の図2(c)と比べてウィナーフィルタを適用した(d)では無音区間のノイズが低減されていることがわかる。

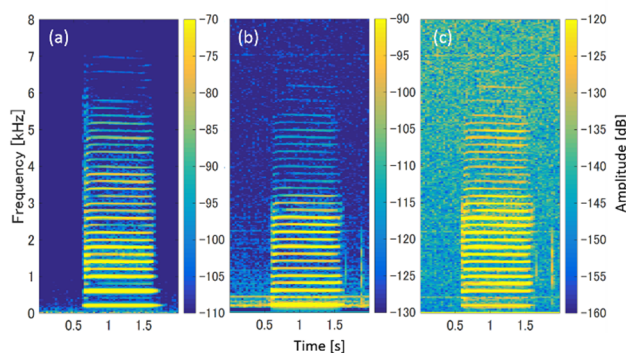


図3 低音域の演奏音のスペクトログラムの比較(G3音)。(a)録音した気導音,(b)録音した骨導音,(c)差分処理を施した骨導音。

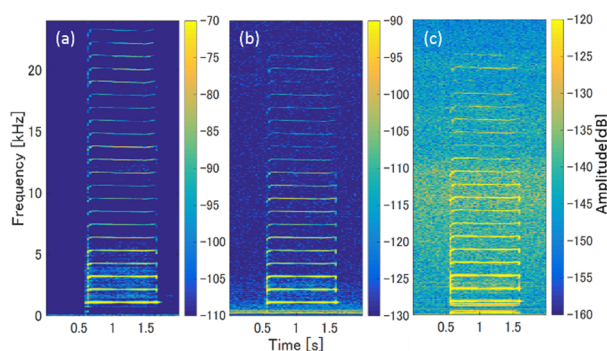


図4 高音域の演奏音のスペクトログラムの比較(G6音)。(a)録音した気導音,(b)録音した骨導音,(c)差分処理を施した骨導音。

次に、この一連の信号処理によって倍音成分がどのように変化したのかを確認する。代表として低音域（G3音）、高音域（C6音）での演奏音について、気導音、骨導音、差分処理を施してノイズフィルタをかけた骨導音のスペクトログラムを図3、図4の(a)、(b)、(c)の順にそれぞれ示す。低音域の演奏音のスペクトログラム（図3(a)と(b)）より、気導音に比べ骨導音では倍音の周波数が高くなるにつれ振幅が減衰していることがわかる。この音源に対して差分処理をおこなう（図3(c)）と、減衰していた倍音が強調されていることがわかる。この差異が聴感上の音色に影響を与えると考えられる。それに対し、高音域の演奏音のスペクトログラム（図4(a)と(b)）では差分処理を施していない骨導音でも低音域の演奏音に比べると倍音の振幅に差が少ないことがわかる。このように音域毎に気導音と骨導音および差分処理をおこなった骨導音の間に倍音構造の差異がある可能性が考えられたため、聴取実験をおこなってこの3つの音刺激の音色について検討した。

3. 心理実験

実験参加者10名を、管楽器を3年以上経験している計5人（男性4人、女性1人、年齢 19.6 ± 0.5 歳）と、未経験者5人（男性3人、女性2人、年齢 19.4 ± 1.3 歳）の2群に分けた。実験参加者に対し、ヘッドホン（MDR-CD900ST, SONY）を装着させ、PCからオーディオインターフェイス（DUO-CAPTURE EX UA-22, Roland）を介して呈示音を聴取させた。実験系を図5に示す。実験にはABX法を用いており、最後に呈示するX（差分処理をした骨導音）がはじめに呈示したA（気導音または骨導音）または次に呈示したB（気導音または骨導音）とのどちらかに似ているか選択させるものである。AとB間のオンセットインターバルは1500msとし、BとX間のオンセットインターバルは2000msとした。これは、AとBを聴いて覚えたのちにXがAとBどちらにより近いかが判断するためである。3種類の刺激呈示にあたっては、元の音量から $-20\text{dB} \sim +17\text{dB}$ の範囲で音量をランダムに変化させることにより、音量に影響されずに音質（音色）のみに着目して選択をおこなえるように配慮した。さらに、AとBの呈示順序による影響を無くすために、同一の音につき気導音と骨導音の呈示順序を入れ替えたものを同じ数だけ用意した。この結果、各音高につき3録音分を呈示するため、呈示パターンの総数は、計 $36 \text{音} \times 3 \times 2$ （AとBをいれかえたもの）= 216パターンとなった。呈示はランダムな順序でおこなった。



図5 聴取実験系

4. 結果と考察

図6に管楽器未経験者5人の平均値と標準偏差を示す。プロット点は5人の平均値を示している。また、エラーバーは、骨導音を1、気導音を0としたときの5人それぞれの被験者内平均値の標準偏差を示したものである。同様に、図7に管楽器経験者5人の平均値と標準偏差を示す。

図6より、管楽器未経験者群では、差分処理をおこなった音が低音域においては気導音により近づく（差分処理をおこなった骨導音が気導音と似通っていると判断されている）ことが見て取れ、逆に中音域から高音域にかけては骨導音を選択する頻度が多くなる（骨導音に差分処理をおこなっても骨導音と似通っていると判断されている）ことがわかる。このことから、骨導音を気導音に近い音質に変換するために、低音域では差分処理が有効である可能性が示唆される。この結果は、図3に示したように低音域の演奏音では骨伝導により減衰した倍音が差分により強調されていた結果と整合している。他方、高音域では低音域とは異なり、気導音においても倍音の周波数が高くなると振幅が減衰しており（図4）、特段の信号処理をおこなわなくても骨導音と差が少なかったが、このことも心理実験結果と整合している。従って、高音域では気導音の音色を模擬するために差分処理をおこなう必要がない可能性がある。

ところで、この特徴が反転する音域の境界はA4音のあたりにあるように見えるが、これはクラリネットの音色の特徴を表す音域の境界とよく一致している。図8に示すように、クラシック音楽界で経験的に受け入れられてきた分類において^[1]クラリネットの音域を例えば最低音D3~E♭4が低音域、E4~A4が中音域、そしてB♭4以上が高音域とされている例があるが、本実験結果から読み取れる差分処理の必要性が反転するA4音は、この分類においてちょうど中音域に当たる。また、「偶数部分音が低音域では共鳴せず、中音域で徐々に加わり、高音域で初めて出揃う」

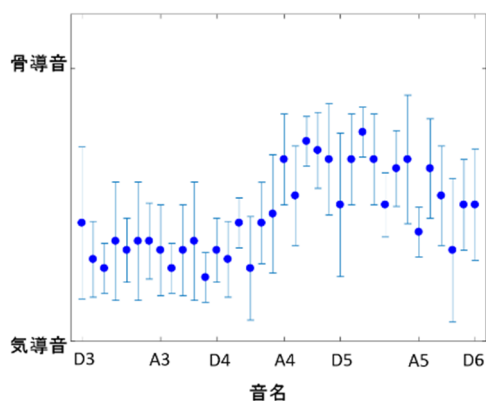


図6 心理実験結果 (管楽器未経験者)

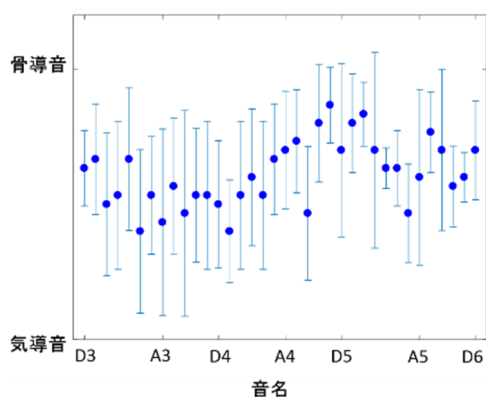


図7 心理実験結果 (管楽器経験者)



図8 クラリネットの音域の区分

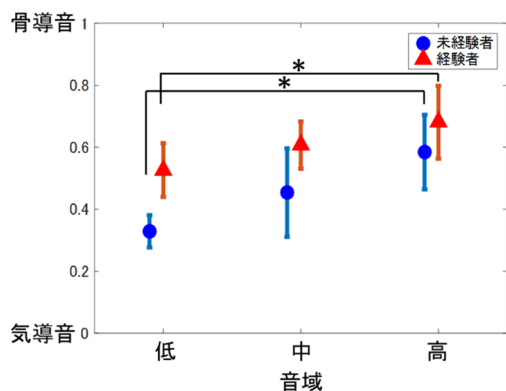


図9 クラリネット音域別の未経験者および経験者の回答の平均値と標準偏差 (* : $p < 0.01$)

とも言われている ([3]p.53) ように、音域によって楽器の発音モードが大きく異なることが広く知られている。これらのことからクラリネットでは音域の境目で倍音構造が変化することは明白であり、これが差分処理の必要性が音域によって異なるという結果を裏付ける。

次に、音域ごとの心理実験における管楽器未経験者と経験者の平均値を表したものを図9に示す。音域の分類は図8の区分に従った。結果、未経験者、経験者ともに、低音域と高音域との間で心理実験における回答の差異に統計的有意性が示された。中音域についてはデータ数が少ないことと、発音原理の遷移部分であると考えられるため統計処理の対象から除外した。

以上のように、本実験により、骨導音から気導音への変換において差分処理が有効である音域と不必要な音域とが存在する可能性が見出された。この新しい知見は、リード楽器演奏時に音域によっては気導音と骨導音では全く違った音を聴いている可能性を明らかにしているものであり、リード楽器演奏者は演奏にあたって奏者と観客の間に起こりうる音のギャップを意識しなければならないことを示している。

他方、図7および図9に示すように経験者群の結果でも同じような傾向は見られるが、未経験者群に対して標準偏差が大きくなっていることがわかる。実験参加者に実験後に内観報告を求めたところ、「響きや、発音の音に着目した」といった独自の観点で判断していた参加者も含まれており、管楽器未経験者に比べ経験者は、個人それぞれの音質に対する独自の着眼点を持っている可能性が示唆された。これらの結果を総合すると、経験者は無意識に骨導音から気導音を推察する能力が高い可能性があるものの、これは観客が聴取する気導音の推測という目的からは離れてしまっている結果でもある可能性も否定できないため、今後より詳細な検討が必要である。

なお、本研究では奏者1名のみ演奏を用いて検討を行っているため、他の奏者の演奏音やクラリネット以外のリード楽器でも再現性があるか、他の部位で収録した演奏音に対しても同様の結果が得られるか、等についての確認が必要である。加えて、アマチュア奏者とプロ奏者との差異等についての検討も興味深いと考える。

参考文献

- [1] M. Nakayama *et al.*, "Speech recognition with body-conducted speech using differential acceleration," Acoustics 08 Paris 2008, pp.1407-1412.
- [2] D. Li *et al.*, "Speech Processing: A Dynamic and Optimization-Oriented Approach," Marcel Dekker Inc 2003.
- [3] 角倉一朗. 図解音楽辞典. 白水社, 1989, pp.52-53.