

研究概要報告書

(1/3)

研究題目	トランペットの吹奏における声道の音響的役割	報告書作成者	鏑木時彦
研究従事者	鏑木時彦(九州大学)		
研究目的	<p>本研究の目的は、金管楽器、特にトランペットを吹奏する際の口腔の音響学的な働きを、声道形状の観測やその音響モデルを通じた数値計算により、実証的に明らかにしようというものである。金管楽器の奏者は、音程によって口腔形状を調整するように指導されることが普通であり、例えば、低い音では母音の「あ」、高い音では「い」の口の形にすると良い、などということがいわれている。もちろん、この表現は非常に感覚的なものであり、その妥当性については、客観的な方法により実証されたことはなかった。同じ楽器の演奏でも、弦楽器の弓の使い方や打楽器のバチさばきは視覚的に確認できる。しかしながら、管楽器の場合には、口の形や声門の開き具合は、外部から直接的に見ることができない。そこに、管楽器の習得の難しさや、その吹奏状態を研究しようとする際の難しさの一因がある。</p> <p>口腔は、トランペットの吹奏に限らず、話し言葉や口笛など、いろいろな形で「音」と結びついている。母音の「あ」「い」を声に出す時には、舌、唇、顎、軟口蓋といった「調音器官」が働いて、声帯から唇までの口腔部（声道）の形が調整される。これによって、音響的には、口の中での共鳴周波数が異なったものとなる。例えば、「あ」では成人男性で 800Hz や 1300Hz の共鳴が起きるが、「い」の共鳴周波数は 200Hz や 2000Hz である。これらの共鳴は「ホルマント」と呼ばれており、その周波数帯域の音声のエネルギーが強調されるため、母音を知覚する上でも非常に重要となる。同様に、口笛でピッチ感が生じるのも、口の中の共鳴作用によるものである。</p> <p>このように考えると、トランペットの吹奏で口の形を変化させるのは、口の共鳴作用を調節するためである、という仮説が浮かんでくる。本研究は、楽器吹奏中の声道形状の観測や、楽器と声道の音響管モデルを用いた数値計算により、このような仮説の検証を試みる。もし、得られる結果が吹奏ピッチとうまく対応づけられれば、楽器の演奏法への指針となるだけでなく、学術的にも貴重な成果となるに違いない。なお、場合によっては、口の形を変えるのは、呼気の調節のためであると考える人がいるかもしれない。実際に、吹奏時の唇の振動は、肺からの呼気流によって生じる。この振動を生じさせるのは、空気の圧力である。しかしながら、プロの奏者では、声帯と声帯のすきま(声門)はわずかに開かれる程度である。しかも、唇は常に振動しており、その開口面も大きくはない。従って、吹奏中には空気の大きな流れは生じず、口の形を変えても、空気の流れ方が大きく変化することはないと考えられる。また、舌によって声道に隙間をつくると、その場所で空気圧が高められると考える人がいるが、それは大きな間違いである。むしろ、狭めの部分では流速が高くなるため、ベルヌイの法則によって圧力は低下する。いずれにしても、声道形状の違いによる呼気の流れへの影響は、要因としては可能性が低いと考えている。むしろ、楽器内の音響共鳴と同様に、声道内での共鳴効果を検討する方が有効である。</p>		

研究内容

次に研究の内容や方法について具体的に述べる。本研究の内容は、(1)MRI を用いたトランペット吹奏中の声道形状の観測と、(2)楽器と声道の音響管モデルを用いた音響解析、の2点に分けることができる。以下、それぞれのテーマについて説明する。

口腔内の音響的な共鳴特性は、その形状、ならびに声門や唇での境界条件によって定められる。従って、声道の音響特性の影響を検討するには、まず、楽器演奏中の声道の3次元形状を定量的に観測することが不可欠である。従来は、このような目的のためにX線が用いられることがあったが、X線では被爆の問題があるため、同一の被験者に対して長時間の観測を行うことができなかった。これに対して、本研究では、より安全に声道形状を観測するための方法として MRI (磁気共鳴撮像法) を使用する。MRI の大きなメリットは、頭部における任意方向の断面を画像として得ることができる点にある。従って、この観測用の断面を少しずつシフトしながら観測を繰り返すことで、声道の3次元的な画像データを得ることが可能である。一方、MRI では、撮像中に金属類を身につけることができない。従って、実際の楽器を実験に使用することができない。今回は、被験者に対する演奏中の負荷をできるだけ正確に模擬するため、塩ビ管とビニルチューブとを用いて模擬トランペットを作成し、マウスピースにもアクリル製の特注品を用いた。被験者(プロのトランペット奏者)からは、これらの模擬トランペットに対する違和感は小さいという主観的な評価を得た。また、MRI は骨組織を撮像できないので、歯形を得ることができない。歯形は、口唇のすぐ後方の声道形状に大きく影響を与えるため、データが不可欠である。そのため、今回は、造影剤(ブルーベリージュース)を口中に含んで歯形データを求め、実験後に、声道の画像データに歯形の画像を補填する方法を用いた。この歯列補填を施した声道の画像データより、声道の断面積データを求めた。断面積データとは、声道の内部を平面波が伝搬すると考えたとき、この平面波が進行する軸に直交する断面における、声道の断面積である。

得られた断面積データを用いて、声道の音響特性を計算する。この計算には、基本的に、声道における種々の損失(壁面振動、摩擦、熱伝導)の効果を考慮した Sondhi モデル[1]を使用する。このモデルは、声道内を平面波が伝搬するという仮定に基づいており、4kHz 以下の周波数帯域では、おおむね妥当な結果を与えられられる。本研究で用いる吹奏ピッチは 4kHz よりも十分に低いため、この仮定は妥当である。さらに、本研究では、マウスピースに入力される音響的な体積速度と、楽器のベルから放出される音圧の比を計算することによって、伝達特性、すなわち吹奏時の音響共鳴特性を求めた。この際に、楽器の特性だけでなく、声道、さらに声門より下部の気管、気管支、肺の音響特性を考慮した。楽器や声道、声門下部の音響特性は、それぞれの部位の中を平面波が伝搬する1次元音響管とみなすことで周波数ごとに計算される。このとき、楽器や声門下部の断面積については従来研究を参考にした[2][3]。

[1] Sondhi and Schroeter, A hybrid time-frequency domain articulatory speech synthesizer, IEEE Trans. ASSP-35, 7, 955-967, 1987.

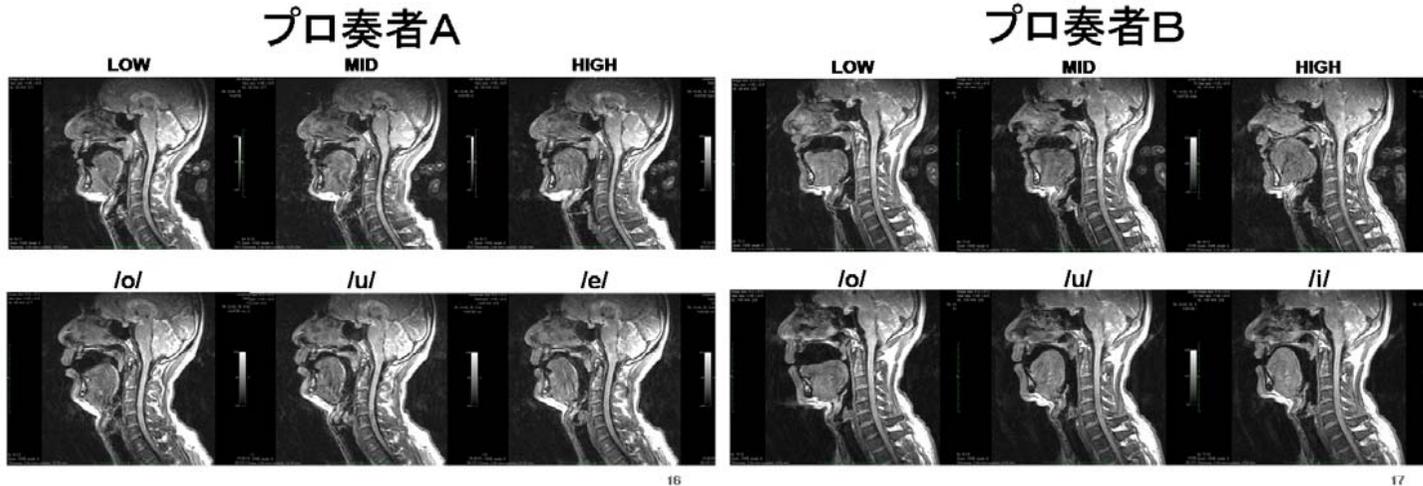
[2] Weibel, Morphometry of the human lung, Springer-Verlag, 1963.

[3] Causse et al., Input impedance of brass musical instruments-comparison experiment and numerical models, J. Acoust. Soc. Am., 75, 1, 241-254, 1984.

研究概要報告書

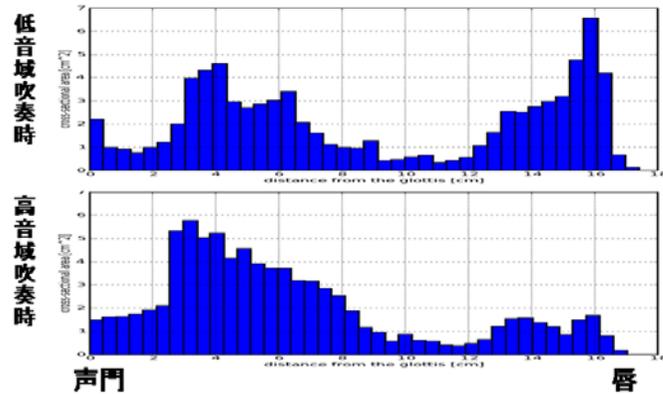
(3/3)

<p>研究のポイント</p>	<p>今回の研究のポイントは、以下の2点である。(1)金管楽器の吹奏における声道の働きを特定するため、外部からは見ることのできない声道の形状を MRI によって観測した。(2)楽器とともに声道や声門下部を含めた総合的な音響特性を推定した。(1)については、MRI を使用することによって、従来の X 線のような被爆の問題を解消し、さらに(2)の検討で必要となる声道の3次元的なイメージデータを得ることができた。実験では、2名のプロの奏者を被験者として用い、さらに、楽器吹奏と同時に母音発声におけるイメージを計測し、両者の比較を行った。(2)については、従来は楽器の音響特性のみに注目して研究が行われたのに対し、本研究では、声道、さらには声門より下部の気管や肺などの音響特性を考慮した。これによって、より厳密で実際の演奏状態に近い解析が可能となった。</p>
<p>研究結果</p>	<p>MRI による声道形状の観測実験の結果、プロの奏者においては、吹奏音に応じてシステムティックに口の形状を変化させていることが明らかになった。口の形や大きさには個人差があるため、複数の奏者を直接比較することは困難であるが、定性的には、従来の指導法の通り、音程が低い場合には舌の位置はより後方にあり、音程が高くなるに従って、声道の前方に移動することがわかった。この声道形状の違いは、確かに、母音「あ」「い」の特徴を大雑把に表したものであるが、実際の母音の調音形状とは明らかに異なっているため、演奏指導の際には誤解をまねく可能性があり、注意が必要である。また、声道や声門下部を含めた音響特性の計算の結果、吹奏時の共鳴特性において声道の寄与があることが示唆され、さらに、それは吹奏ピッチと対応した共鳴の形成に関係のあることがわかった。一方、声門より下部の部分については、プロの奏者では声門の開口面積が非常に小さいため、寄与はあまりないことが示唆された。次の「今後の課題」で述べるような問題点が残っているものの、本研究の結果は、声道調節の寄与が音響的なものであることを強く示唆した。</p>
<p>今後の課題</p>	<p>今回の楽器と声道を含めた音響伝達特性の計算では、MRI 観測で用いた模擬トランペットではなく、実際の楽器(トランペット)についての特性データを用いている。模擬トランペットの形状や材質は、実際の楽器とは異なるため、正確にはその音響特性も差異がある。そこで、今後は、その違いから生じ得るアーチファクトを解消するため、模擬トランペットの入力インピーダンスや反射関数を音響計測によって求め、伝達特性を再吟味することが必要である。また、トランペットの演奏においては、音程だけでなく、多様な音色の生成においても、声道の使い方が制御されている可能性がある。そこで、それらの要因についても、今回と同様の手法を用いて検討する余地がある。また、トランペットだけでなく、ホルンを含む他の金管楽器についても同様に検討の価値がある。</p>

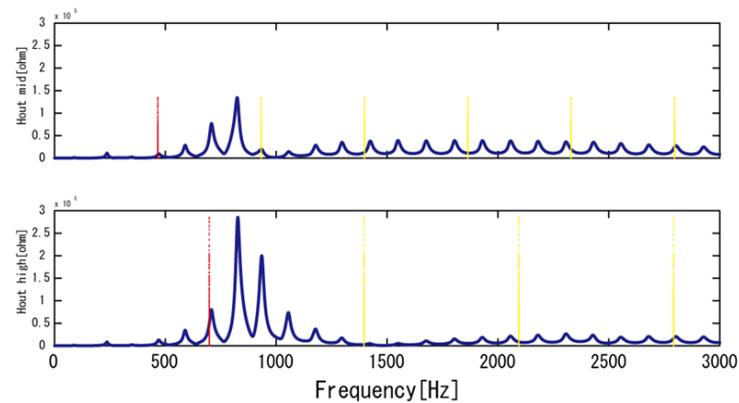


左図は、2名のプロのトランペット奏者について、低音(Low)、中音(MID)、高音(HIGH)を吹奏した際、ならびに、母音を発声した際の、声道の正中断面形状を表わしている。音域による声道形状の差異が明確に把握できる。このような声道形状の調節は、音声においても見られるものであるが、両者における声道形状は、必ずしも一致したものではない。

推定された声道断面積



推定された楽器と声道の伝達特性



(注:フローチャート図, ブロック図, 構成図, 写真, データ表, グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。)