



| | |
|--------------|--|
| Title | Experimental and Computational Analysis on Aeroacoustic Mechanisms of Sibilant Fricative |
| Author(s) | 吉永, 司 |
| Citation | 大阪大学, 2018, 博士論文 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://doi.org/10.18910/69618 |
| rights | |
| Note | |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

| | |
|--|--|
| 氏 名 (吉 永 司) | |
| 論文題名 | Experimental and Computational Analysis on Aeroacoustic Mechanisms of Sibilant Fricative Production (摩擦音発音の空力音響メカニズムに関する実験及び計算による解析) |
| 論文内容の要旨 | |
| <p>歯茎摩擦音とは、口腔内においてジェット気流から発生することが知られている子音の一種である。本研究では、実験による計測、理論音響解析、数値流体解析という3つの観点から、歯茎摩擦音発音の空力音響メカニズムを明らかにする。実験による計測では、発音時の口腔模型から単純形状モデルを構築することにより、摩擦音の周波数特性を形成するのに必要な口腔形状を探索した。模型は、アクリル又は石膏で作製し、コンプレッサから空気を流入して、発生する音をマイクロフォンにより計測した。その結果、舌の位置、舌尖端と口蓋による狭窄流路の形状が、摩擦音/s/と/f/の音響特性の形成に重要であることが明らかとなった。</p> <p>理論音響解析では、単純形状モデルを用いて高次モードを考慮した音響解析を行い、音源の位置が発生音の音響特性に与える影響を調べた。音源を狭窄流路後流に設置することにより、/s/の特徴となる4 kHz周辺のスペクトルピークを再現した。また、音源を上前歯の裏側に設置することにより、9 kHz周辺のピークを再現した。これらの結果より、上前歯裏側に発生する音源が/s/の高周波数帯における周波数特性を形成していることが示唆された。</p> <p>数値流体解析では、単純形状モデルに対して空力音響シミュレーションを行うことにより、モデル内に発生する流れ場、音源、音伝播の関係性について調べた。さらに、単純モデルが被験者の口腔内の流れ場及び音源をどの程度表現出来ているか調べた。空力音響シミュレーションでは、圧縮性流体のラージエディシミュレーションを行うことにより、ジェット流の乱流と音の発生を同時に計算した。シミュレーションにより予測した音のスペクトルを実験結果と比較することにより、/s/と/f/の音響特性を捉えるのに十分な精度で計算できることが示された。音源と音圧分布に対して周波数解析を行うことにより、狭窄流路後流の共鳴によって/s/と/f/の音響特性の違いが生まれることが明らかとなった。また、単純モデルと実形状内の流れ場及び音源分布を比較することにより、単純モデルによって被験者の発音メカニズムが表現出来ることがわかった。</p> <p>3つの観点から歯茎摩擦音の空力音響メカニズムを調べることにより、口腔内における3つの要素：狭窄流路によるジェット流の発生、音源の位置、口腔形状の共鳴特性が重要であることが明らかとなった。本研究により提案した手法は、その他の言語や音素の解析に用いることができるだけでなく、発音障害の支援や言語進化学に応用できると考えられる。</p> | |

論文審査の結果の要旨及び担当者

| 氏 名 (吉 永 司) | | | |
|---------------|-----|--------|---|
| | (職) | 氏 名 | |
| 論文審査担当者 | 主 査 | 教 授 | 和田 成生 |
| | 副 査 | 教 授 | 杉山 和靖 |
| | 副 査 | 教 授 | 出口 真次 |
| | 副 査 | 特任准教授 | 伊井 仁志 |
| | 副 査 | シニア研究員 | Annemie Van Hirtum (CNRS, Grenoble Alpes Univ.) |

論文審査の結果の要旨

本論文は、/s/および/j/に代表される歯茎摩擦音を発生する空力音響メカニズムの解明を目指し、実験計測、理論音響解析、および数値流体解析により得られた研究成果をまとめたものである。まず、実験計測では、口腔実形状モデルを用いて得られた歯茎摩擦音発音時の口腔内での気流分布の特徴と流路断面積の変化に着目することにより、従来の実験モデルでは表すことができていなかった/s/音の周波数特性を再現する新しい口腔単純形状モデルを提案した。これにより、舌の位置、舌尖端と口蓋による狭窄流路の形状が、摩擦音/s/と/j/の音響特性の形成に重要な役割を果たしていることを実証した。理論音響解析では、この単純形状モデルを用いて音源の位置が発生音の音響特性に及ぼす影響について詳細な検討を行った。そこでは、音圧分布の高次モードを考慮することにより、狭窄流路後流および上前歯裏側に発生する音源が、それぞれ/s/音の4 kHzおよび9 kHz近傍の高周波数帯における周波数特性を形成していることを明らかにした。数値流体解析では、単純形状モデルおよび実形状モデルに対して圧縮性流体のLarge Eddy Simulationを実行し、狭窄流路で形成されたジェット流が前歯に衝突することにより発生する乱流が生み出す歯茎摩擦音の直接計算を行った。これにより、単純形状モデルを用いた実験計測および理論音響解析で得られた結果を矛盾なく結びつけ、モデル内に発生する乱流場と音源、音伝播との関係を明らかにすることができた。このような音の直接計算には高精度の数値流体解析が必要であるが、得られた計算結果と実験結果とを比較することにより、/s/と/j/の音響特性を捉えるのに十分な精度で解析が行われていることが確認された。以上のように本論文では、これまで未解明であった歯茎摩擦音の発生に関わる口腔内の流れと音源、音伝播の関係を実験と理論の両面から検討し、その空力音響メカニズムを明らかにしたものであり、学術的意義は大きい。また、解析手法の開発も含め、得られた研究成果は、発話障害に対する歯科治療支援などの医療工学への応用や、音声学と物理学の新たな融合分野の創成につながるものであり、博士(工学)の学位論文として価値のあるものと認める。