

発声機構解明に向けた音声生成解析モデルの提案と 発声障害診断技術への応用に関する研究

横田, 和哉

<https://hdl.handle.net/2324/4110509>

出版情報 : Kyushu University, 2020, 博士 (工学), 課程博士

バージョン :

権利関係 : Public access to the fulltext file is restricted for unavoidable reason (3)

氏 名 : 横田 和哉

論 文 名 : 発声機構解明に向けた音声生成解析モデルの提案と
発声障害診断技術への応用に関する研究

論 文 の 要 約

喉頭がんなどの声帯付近に発生する病変は声帯の振動に影響を与え、初期症状として嗄声（させい）と呼ばれる発声障害が生じる。このような発声障害に対する音声検査法として GRBAS 尺度と呼ばれる診断手法が広く用いられているが、GRBAS 尺度は医師が患者の声を聴き、声の気息性（Breathy, 息の成分が多い声）や無力性（Asthenic, 弱々しい声）などを評価する診断手法であるため、その客観性は十分に確立されていない。この問題に対し、音声から声帯付近の体積流量波形（声帯音源波形）を逆解析することができれば、声帯付近の病変が直接的に影響するため、正確な診断が可能となると考えられる。これまでに提案されてきた声道の逆フィルタを用いて声帯音源波形を推定する方法では、疾患と発声障害の関係が不明であるという問題がある。この問題に対し本研究では、声道を集中系でモデル化し、声道の音響解析を用いて発声障害患者の音声から声帯音源波形を推定する方法を提案する。この手法を確立すれば、診断の客観性が増すとともに、簡易的な手法であるので、スクリーニング検査にも適用できる。

また、逆解析された声帯音源波形と声帯振動の関係を明らかにすることができれば、病変による声帯音源波形変化のメカニズム考察や発声障害の治療に有用であると考えられる。声帯の振動について検討するためには、声帯の自励振動を正確に表すモデルが必要である。これまでに提案されてきた、声帯を 2 自由度のばね・質点で表すモデルでは、そのモデルの単純さゆえに声帯の取り得る振動モードを正確に表すことができないという問題がある。また、声帯のヤング率などの物性からばね・質点のパラメータを求めることが困難であるという問題がある。この問題に対し、有限要素法などの数値解析手法を用いて実際の声帯に近い形状に対して解析を行う方法もあるが、流体構造連成解析は非常に大きな計算コストがかかり、パラメータスタディによる物理的考察が困難であるという問題がある。これらの問題に対し、本研究では声帯の運動を正確に表し、かつ計算コストが低いモデルとして、モード解析を用いた声帯自励振動モデルを提案する。そして、上述の逆解析手法と声帯自励振動モデルを組み合わせることで、音声生成や発声障害のメカニズムを明確にする。

第 1 章では、研究の背景として発声障害診断手法および声帯振動解析モデルに関する研究の歴史、過去の研究について紹介し、これまでの研究の問題点と本研究の目的についてまとめた。

第 2 章では、音声から声帯音源波形を逆解析する手法を提案した。まず、集中系モデルを用いた声道の音響解析モデルの説明をした。次に、音声から算出したフォルマント周波数を用いて声道形状を同定し、同定された声道形状に対して声道解析モデルを用いて声帯音源波形を逆解析する手法を提案した。

第 3 章では、本研究で提案する声帯音源逆解析手法の妥当性を確認した。まず、声帯音源をピストンの振動とした発声装置の音声から声帯音源波形を逆解析し、ピストンの速度波形と比較することにより逆解析手法の妥当性を確認した。さらに、声帯音源を人工声帯の自励振動とした発声装置を用いて逆解析手法の妥当性を確認した。最後に、声道形状同定時の局所解の影響について検討した。本逆解析手法では複数の声道形状の局所解が存在する。しかしながら、局所解ごとの声帯音源波形は振幅は異なるものの同じ波形であることを数学的に証明し、問題とはならないことを示した。

第 4 章では、声帯自励振動モデルを提案した。声帯の固有モードは有限要素法により計算され、声帯の振動解析にモード解析を用いる。声帯振動解析モデルにベルヌーイの定理を用いた 1 次元流体解析モデルを連成させることで、声帯自励振動モデルを作成した。

第 5 章では、声帯自励振動モデルの妥当性確認と、自励振動の物理的考察を行った。まず、汎用数値解析ソフトウェア(ANSYS)による連成解析結果と、提案モデルによる解析結果を比較し、両者が良く一致することを確認した。また、シリコン製人工声帯を用いた実験装置により、実験結果と解析結果が良く一致することを確認した。次に、声帯の形状を上流側と下流側に分割した 2 自由度のモデルで単純化し、声帯の自励振動に必要なモード形状の条件と、モードの間の位相差を解析的に導出した。そして、モード解析による声帯自励振動モデルを用いてパラメータスタディを行い、2 自由度のモデルで解析的に導出したモードの必要条件を満たす時にのみ声帯が振動することを確認した。

第 6 章では、発声障害患者の病的音声データを用いて声帯音源逆解析を行い、声帯結節および声帯ポリープの音源波形が正弦波的になることを示した。また、モード解析による声帯自励振動モデルを用いて、声帯結節および声帯ポリープの声帯音源波形を解析し、波形が正弦波的になることを示した。そして、解析結果から、声帯結節および声帯ポリープの声帯振動は健康な声帯振動と比較して、結節・ポリープの存在により 1 次のモード振幅が上昇し、声帯音源波形が正弦波的になることを示した。

第 7 章では、得られた結果を総括した。

本論文で提案した声帯音源逆解析手法を用いることで、音声から声帯音源を精度良く逆解析可能であることが示された。また、提案した声帯自励振動モデルは、実際の声帯振動を表すモデルとして妥当であることが示された。提案モデルを用いて声帯自励振動の発生メカニズムを明確にし、声帯結節・声帯ポリープによる声帯音源波形変化のメカニズムを明らかにした。