

平成 21 年 5 月 21 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19700420

研究課題名（和文） ヒト摩擦音の原理解明とその臨床応用手法の開発に関する研究

研究課題名（英文） The study of human fricative voice and the development of its application to clinical methods

研究代表者

野崎 一徳（NOZAKI KAZUNORI）

大阪大学・サイバーメディアセンター・教務職員

研究者番号：40379110

研究成果の概要：数値流体力学計算から導き出される歯茎摩擦音発音時の空気の流れと、その流れから発生する音を求め、歯茎摩擦音の数値モデル構築手法として提案した。さらに、口腔医療領域における発音変化、障害に対して、適応するために必要な要素技術として、可視化情報プラットフォームを構築し、具体的には、口腔内形状変化、形状特性の違いから、気流、音源の違いを知識として蓄積していくことが可能となった。これにより、大規模数値計算による数値モデルを用いた、歯茎発音変化の知識体系化を実現するための基盤が完成した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	0	2,200,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	240,000	3,240,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：検査・診断システム，流体音響

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 歯科治療時における歯茎摩擦音の変化予測の必要性

申請者はこれまで、歯科医療に携わった経験から、上顎補綴物の装着時や、顎間関係の位置を変更する処置を歯科治療として行った際に、発音変化が観察されることがわかった。このことは、歯科矯正学の教科書や、歯科補綴学の教科書においても一般に記載されていることである。また、特に前歯部補綴処置時や、顎矯正時に最も発音への違和感、

変化が観察されるのは、[s]音であることが報告されている。これまで、歯科診療における発音問題への取り組みにおいては、パラトグラム、電気的パラトグラム、圧力センサー方式パラトグラム等により、舌と上顎口蓋部との調音に関するコンタクトの位置、タイミングなどに関して研究がなされてきた。

(2) 歯茎摩擦音変化予測実現に向けた課題

歯茎摩擦音を音響学的に分析する手法に

関しては、これまでも様々な研究がなされてきた。一般的に母音の研究よりも摩擦音の研究がまだ盛んに行われているのは、母音が伝達関数によるモデル化を行うことが可能な線形モデルであるのに対し、摩擦音は、非線形であり、この要因として、音源の前後に共鳴腔が存在し、極・零モデルを形成することと、音源自体が比較的高速な空気の流れが障害物と衝突することで発生する、障害物音源であるからと報告されている。現在、母音に関してもより流体力学的側面から考察がなされ始めており、今後より物理的な母音発生原理が解明されると考えられる。

歯茎摩擦音に関しては、流体力学的な側面からのアプローチで研究を行っているのは、申請者と足立、C.H.Shadleのみである。

申請者と足立は、これまで、歯茎摩擦音発生時の実際の口腔形状を用いて、数値流体計算を行ってきたが、共に、乱流騒音の精度という側面では十分な成果が得られていない。

一方で、C.H.Shadle は、口腔内を機械モデルとして簡略化し、管を流れる空気が出付付近に設置された障害物に衝突し、音を発生することを確かめ、その音の特性が実際の摩擦音と類似していることを確かめた。しかし、実際のヒトの歯茎摩擦音に、C.H.Shadle の主張が適応できるわけではない。なぜなら、ヒトの口腔内形状はより複雑で、なおかつ個人差が存在しているからである。

## 2. 研究の目的

こうした研究敵背景を基に、実際に診療時に必要となる指標を考案するという目的を実現するためには、

(A) 詳細な解剖学的モデルを基にした、精度の高い数値流体音響計算とその検証

(B) 個人に適応出来る発音変化予測システムの研究・開発

が必要である。そこで、本プロジェクトでは、これらの課題について取り組んだ。

## 3. 研究の方法

(1) 数値流体音響計算手法による歯茎摩擦音の数理モデル構築手法

本研究では、まず、目的(A)について、口腔内で流れる内部流で比較的低レイノルズ数の流れを対象とした流体音響計算手法の研究開発を行った。

具体的には、実際のヒトからCBCTを用いて発声時の声道形状を取得し、次に、それを用いて六面体による計算メッシュを構築し、DSMを用いたLES解析を行った。また、前歯周囲の形状の影響に関する影響を調べるため、その周囲の形状を変化させた。

次に、非定常流れ場から発生する渦を解析可能なLES解析を用いて、計算メッシュ

数の増加による空間解像度の詳細化を行い流れ場の解析精度を向上させるために、メッシュの各エレメントをN分割することによって、メッシュの細分化を行った。

一方、LES解析結果から得られた流れ場を基に、音源成分を抽出した。音源成分の解釈として、渦の時間的変動そのものを音源として取り扱うか、渦の時間的変動の結果圧力変動が生じ、その影響が結果的に現れた物体表面の圧力変動を音源として取り扱うかがある。本研究では、前者の音源を可視化し、さらに、後者の圧力変動を入力として、ライトヒル・カールの式により遠方場での音の変化を予測手法を採用した。

(2) 発音変化予測システムの研究・開発目的(B)について、目的(A)で大規模データとして得られる歯茎摩擦音の数理モデルを、様々な分野の専門家間で共有する仕組みを構築し、尚かつ、それらの数理モデルに対して空間中に知見を挿入し、蓄積する仕組みを構築した。

具体的には、歯茎摩擦音に関する知識の体系化を実現するために、歯茎摩擦音の数理モデルと、知識体系とを結び、専門家の知識を導入するしくみが必要である。そこで、数理モデル構築に用いた発音解析用データとその結果に関する専門家の評価とを関連付けて蓄積していく大規模可視化情報プラットフォームを提案した。提案する大規模可視化情報プラットフォームは、(i) ウェブポータル、(ii) メタデータ管理部、(iii) データベースから構成された。

## 4. 研究成果

(1) 数値流体音響計算手法による歯茎摩擦音の数理モデル構築

CBCTによる歯茎摩擦音発生持続時間内での三次元顎顔面ボリュームデータ取得が可能であったことから、これまでMRIを用いては不可能であった、歯茎摩擦音発生時の三次元での口腔形状を取得でき、さらに、その形状を用いた計算メッシュを作成することができた。

その細分化されたメッシュによってLES解析においても十分な精度を保った非定常計算を行うことが可能となった。その結果、7215万メッシュという大規模なメッシュを用いる事で上顎前歯部先端に局在する乱流剥離から発生する渦を捉える事が出来た。また、上顎前歯部の形状変更によって、流れ場の主流方向の変化や、側壁付着噴流の発生が観察された。その際に、メッシュサイズによる流れ場への影響や、壁面境界層における解像度の違いを検証した。

歯茎摩擦音発生時の口腔内流れ場から発生する音を、ライトヒル・カールの式を用

いて算出し、7215 万メッシュの大規模メッシュを用いた場合のみ観察された、上顎前歯付近での剥離から発生する渦より放射される音が示したピーク値が、実験値に見られたスペクトルのピーク値と良く一致することを明らかにした。

また、上顎前歯部を変形による遠方場での音圧への影響に関しては、ライトヒル・カールの式より、広帯域音は算出されたが、スペクトルピークは得られなかった。

さらに、パウエル音源を流れ場を用いて算出し、ライトヒル・カールの式に与える前歯表面圧力の変動とパウエル音源との関連性を調べた。前歯表面での P, すなわち、瞬時圧力の空間的勾配とパウエル音源とを同時に可視化することで、それらの間に空間的関連性が存在することを示した。その結果、パウエル音源を用いたヘルムホルツ方程式による解法を用いずとも、ライトヒル・カールの式を用いた音響解析によって、妥当な解が得られる事を明らかにした。

このような歯茎摩擦音の数値流体音響解析手法によって、歯科治療時における前歯部分、特に上顎前歯先端の形状の変更は、流れ場と発生する音に影響を与えることが明らかとなった。この発見は、これまで、咬むこと(咀嚼機能)や見た目の美しさ(審美性)を評価基準として前歯の修復処置を行ってきた歯科治療において、新たに、発音機能の変化予測という評価基準を加えるものであると考えられる。提案する歯茎摩擦音の数値モデルが、日常的に実行可能な環境が整えば、歯科治療の進歩につながると考えられる。ただし、それぞれの患者に対して、数値モデルを構築することは現実的ではないことが分かった。

#### (2) 発音変化予測システムの研究・開発

歯茎摩擦音の数値モデルを基にして、発音に関する知識体系化を帰納的推論により実現するため、発音解析結果に関する専門家の評価をデータベース化する際に必要となる、大規模可視化情報プラットフォームを設計・実装した。この大規模可視化情報プラットフォーム Penetrator は、ウェブポータルを通じたインタフェース機能、メタデータ管理機能、大規模データ蓄積と連携したメタデータのデータベース機能から構成される。Penetrator によって、専門家等による発音時の気流のシミュレーション結果に関する評価の蓄積が可能となった。それと共に、発音研究者、流体研究者、歯科医師が地理的に分散していた場合であっても、それぞれの専門性によって醸出されるアノテーションを解析結果中の三次元座標上に付記していくことで、有用な知識が得られることが確認で

きた。また、地理的に離れた研究者間であっても、高速転送プロトコルを分散ファイルシステムに適應することで、数値モデルを用いた、専門家による知見の追加、編集が行えることを確認した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

- [1] 野崎一徳, 伊達進, 中川真志, 馬場健一, 下條真司: 発音解析のための大規模可視化情報プラットフォーム, 情報処理学会論文誌: コンピューティングシステム, Vol. 65, No. SIG 28 (ACS 27), 査読あり, 2009 (in printing).
- [2] Naohisa Sakamoto, Koji Koyamada, Kazunori Nozaki: Visualization of Dental Fricative Sound Sources Using Particle-Based Volume Rendering, International Journal of Emerging Multidisciplinary Fluid Sciences, 査読あり, 2009 (in printing).

[学会発表](計3件)

- [1] Xavier Grandchamp, Annemie Van Hirtum, Xavier Pelorson, Kazunori Nozaki, and Shinji Shimojo: Towards Sibilant /s/ Modeling: Preliminary Computational Results, The Journal of Acoustical Society of America, Vol. 123, No. 5, p. 3579 (1 May 2008, Paris, France).
- [2] 野崎一徳, 玉川裕夫, 下條真司: 数値流体シミュレーションによるヒト摩擦音の原理解明, 数値流体力学シンポジウム(CFD 2007) 講演要旨集(CD ROM) B2-5 (17 Dec. 2007, ダイビル秋葉原, 東京).
- [3] 野崎一徳, 野呂正明, 中川真志, 桑原世輝, 馬場健一, 下條真司: e-Scienceを支える大規模データ処理環境の構築, 電子情報通信学会総合大会講演論文集 BK-1-7, pp. 13 14 (19 May 2008, 北九州市立大学).

[図書](計1件)

- [1] Kazunori Nozaki, Kenichi Baba, Masaaki Noro, Masashi Nakagawa, Susumu Date, and Shinji Shimojo: Distributed E-Science Application for Computational Speech Science, Remote Instrumentation Services on the eInfrastructure: Applications and Tools, 査読あり, 2009 (in printing).

[その他]

ホームページ等

<http://dentgrid.ais.cmc.osaka-u.ac.jp/nozaki/>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

野崎 一徳 (NOZAKI KAZUNORI)

大阪大学・サイバーメディアセンター・  
教務職員

研究者番号：40379110

(2)研究分担者

該当なし

(3)連携研究者

該当なし