

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500220

研究課題名(和文) 舌の調音運動模型作成に関する研究

研究課題名(英文) A research on tongue figure models of speech articulations

研究代表者

平山 亮 (HIRAYAMA, Makoto J.)

大阪工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：70329374

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：粘弾性のある材料を使い、舌の形状模型を制作した。外舌筋(オトガイ舌筋前部、オトガイ舌筋後部、茎突舌筋、舌骨舌筋、口蓋舌筋)、内舌筋(上縦舌筋、下縦舌筋、横舌筋、垂直舌筋)の形状模型を作成し、舌に近い色の顔料及び塗料により着色した。合成ゴム及びナイロン糸による擬似的な筋を埋め込み、主に母音調音における舌形状の変形を模擬できる模型、内舌筋を考慮にいれた舌の反りなどの運動を再現できる模型を制作した。模型作成及び検証のため磁気式モーションキャプチャ及びMRI装置を利用し発話中の舌形状及び運動を計測した。これらにより音声科学教育及び音声研究において、舌の働きの理解を深めるのに貢献することができた。

研究成果の概要(英文)：Figure models of tongue were developed using viscoelastic materials. Extrinsic (Genioglossus anterior and posterior, Styloglossus, Hyoglossus and Palatoglossus) and Intrinsic (Longitudinalis linguae superior and inferior, Transversus and Verticalis linguae) tongue muscles are modeled. Coloring for realistic models was done using pigment and painting ink. Using pseudo muscles developed by rubber bands and nylon threads, simulations of tongue shaping during speech articulations were done.

As tongue shape and motion data for designing and evaluating models, tongue shape and motion were measured using a magnetic field position tracking device and a magnetic resonance imaging device. The results have been contributed to speech science and education.

研究分野：情報科学

キーワード：舌 調音運動 音声生成 外舌筋 模型

1. 研究開始当初の背景

音声は人間の最も基本的なコミュニケーション手段であり、音声生成のメカニズムを解明していくことは、純粋な科学的興味のみならず、言語療法などの臨床応用、音声合成などの工学的応用にとって重要である。音声は、脳内における発話意図から、筋運動指令が生成され、肺、声帯、口蓋帆、顎、舌、唇が運動することによって生成される生理的な信号である。舌・唇・顎は、それらの筋肉運動によって音を調節するという意味で調音器官と呼ばれ、多種の言語音を生成するのに欠かすことができない。調音器官の形状により実現される言語音については、音声学をはじめとする音声科学、例えば Chiba and Kajiyama(1941)による声道形状と母音の対応関係の研究といった優れた研究成果により、ほぼ明らかになっているといえる。音声科学の教育現場においては、数式や図示ではわかりにくい母音生成を、声道模型を用いて実演することにより理解度の向上に役立っている。発声器官及び調音器官の解剖学的形状に関しては立体的に作成された人体模型を用いることで各器官の形状・位置の理解に役立っている。舌に関しては、解剖学的には、構造及び筋の機能が明らかになっているといえる。しかし、複数の筋活動が協調的に起こる結果として、非常に柔軟性があって複雑に多種多様に変形する調音時の舌運動に関しては、十分に明らかになっているとは言い難い。

2. 研究の目的

舌の調音機構解明、音声科学教育、聴覚障害及び構音障害に対する構音指導、外国語発音教育、発話ロボット部品開発などに役立てるため、舌の調音運動模型を作成する。舌とその外部に接続している筋群の位置を図1に示す。舌は、内舌筋（上縦舌筋、下縦舌筋、横舌筋、垂直舌筋）、外舌筋（オトガイ舌筋前部、オトガイ舌筋後部、茎突舌筋、舌骨舌筋、口蓋舌筋）、補助舌筋（オトガイ舌骨筋、顎舌骨筋）といった舌を構成する又は直接接続している筋のほか、舌自体が下顎及び舌骨の上に筋を介して乗っているため、下顎及び舌骨に関する筋群の運動とも協調して調音運動を実現している。本研究では、これらの筋を粘弾性のある素材を使って精密に再現するとともに、各筋を独立して模型化し動かせるようにし、舌の調音機構を理解するために役立てる。解剖図、模型、MRI 断層撮影、コンピュータグラフィックスモデルなどの従来手法により、これらの筋の形状を知ることではあるが、模型や図が固定しているため大抵の場合実態は理解しにくい。粘弾性のある素材によるより精密なモデルを作成することが調音機構の研究や教育に役に立つ。それらの筋が協調して動く調音運動については、生理学的知見及び過去の音声研究から、各筋又は筋群の機能について定性的には明

らかになっているが、筋骨格系の協調的運動から成り立つ調音運動が完全に解明されているとは言い難い。そのため、調音に関連する筋の動作を検討できる精密な模型があると音声研究及び教育に役立つことが期待できる。

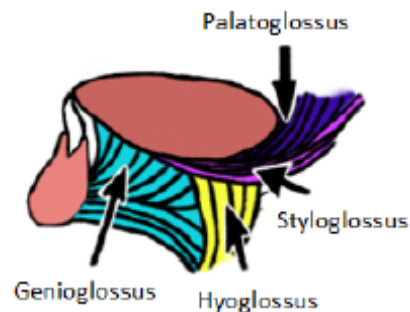


図1. 主な外舌筋

3. 研究の方法

研究手法は、実体模型シミュレーションによる解明方法であり、“合成による分析”の考え方で、実体模型シミュレーションによる舌形状が、MRI や磁気計測装置により計測された実際の舌形状と一致するかどうかを確かめ、不十分であれば擬似筋の埋め込み位置変更などにより模型を改良し、模型と実際を近づけていくというアプローチをとる点である。実体模型を、舌に関連する個々の筋の活動と、それにより引き起こされる舌形状の変形との関係を明らかにするための一手法と位置づける。作成された模型は音声科学教育の教材として、また、聴覚障害・構音障害の構音指導のツールとして用い、障害者のコミュニケーション補助による社会参加に貢献するものである。

4. 研究成果

研究期間を通し、各種の舌模型製作を継続的に行い、研究期間の後半では、より実物に近い精度の高い模型製作を行うため、また、模型と実物の形状及び動きの差異を評価するため、発話中の舌形状及び運動を磁気計測装置及びMRI 装置を用いて計測し分析した。

(1) 粘弾性材料による舌形状模型製作

模型製作においては、まず粘弾性のある材料であるウレタンゲルを使い、舌全体の形状模型を制作した。

その手順は、まず、舌原型を焼成粘土で作成する。解剖学図鑑、MRI 断層画像、既存舌模型、実物の観察と計測など各種資料を参考に、粘土細工の要領で、ヘラなどを用いて手作りする。原型の作成には焼くまで固まらず柔らかい焼成粘土を使用した。原型が完成したら、130℃に温めたオーブンで15分間焼いて固める。次に、原型の型をシリコンで作成する。正中で型が分かれるように左右半分づつシリコンを流し込んで型を作成する。型には、

材料を流し込む穴と空気抜き穴を開けておく。型が完成したら左右の型を合わせて固定し、液体のウレタンゲル材料を真空脱泡器により気泡が入らないように混ぜ、静かに型流し込んでいく。約5時間で硬化して完成となる。図2に製作した型の例、図3にウレタンゲル材料により複製した舌形状模型を示す。



図2. 原型からの型製作例



図3. ウレタンゲル材料による舌形状模型

また実際の舌を写真撮影して舌の色を分析し、それをもとに赤・黄の顔料をウレタンゲル素材に少量ずつ混ぜ込んでいく方法により舌の色に近づけた着色を行った(図4)。



図4. 粘弾性材料による形状模型

(2) 外舌筋分割模型製作

続いて、外舌筋(オトガイ舌筋前部、オトガイ舌筋後部、茎突舌筋、舌骨舌筋、口蓋舌筋)、内舌筋(上縦舌筋、下縦舌筋、横舌筋、垂直舌筋)分割することのできる形状模型を粘弾性素材及び硬質素材を用いて行った。また着色方法について検討し実際の舌に近い色の顔料及び塗料を使用してよりリアリティのある模型を製作した。



図5. 外舌筋分割硬質模型

(3) 外舌筋及び内舌筋調音運動模型製作

最後に、合成ゴム及びナイロン糸による擬似的な筋を埋め込み、外舌筋(オトガイ舌筋前部、オトガイ舌筋後部、茎突舌筋、舌骨舌筋、口蓋舌筋)による、主に母音調音における舌形状の変形を模擬できる模型、内舌筋(上縦舌筋、下縦舌筋、横舌筋、垂直舌筋)を考慮にいれた舌の反りなどの運動を再現できる模型を制作した(図6)。外舌筋4筋に相当する位置に取り付けた合成ゴムを、収縮方向に引っ張る事によって、調音動作特に舌体の移動について確認した。また舌体に取り付けたナイロン糸を上舌側及び下舌側に引くことにより、/t/の調音などにおける舌先の反り動作を確認した。



図6. 外舌筋及び内舌筋調音運動模型部品

(4) 磁気計測装置による舌調音運動計測

舌の形状及び運動計測については、日本語の全ての音韻発話及び日本語短文を発話中の形状及び運動を計測する実験を、音声運動計測専用の磁気式モーションキャプチャ装置(図7)による舌上に貼付した複数のマーカーを計測する実験を行い、舌運動を詳細に分析し、模型製作及び検証データとした(図8)。

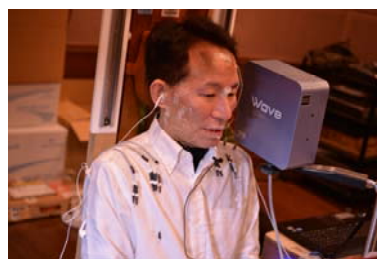


図7. 舌運動計測実験

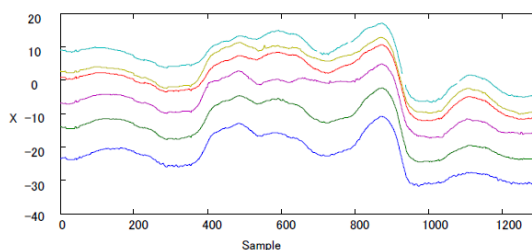


図8. 磁気計測装置による舌運動解析(短文発話時の舌上マーカー上下運動)

(5) MRI 装置による舌形状計測及び舌調音運動動画計測

強磁場の MRI 装置を使って舌の形状を高精度に計測する実験、及び発話運動を動画として計測する実験を行い、舌形状及び運動を詳細に分析し、模型製作及び検証データとした。

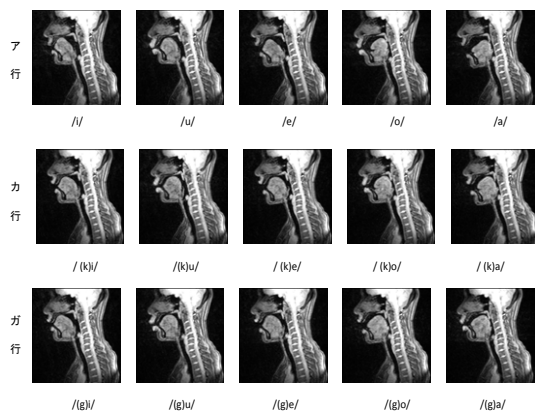


図 9. MRI 計測による母音調音時の舌形状

また、この MRI 動画を使って、画像処理ソフトウェアによって、舌の各部分の口蓋との距離を計測しグラフ化してカイモグラフ (Kymograph) の作成を行った。これらは、舌運動の基礎研究データとするとともに、舌模型の運動シミュレーションを検証するためのデータとしても使用する。図 10 は舌上 3 点について、カ行とガ行の発話における口蓋との距離の時間変化を表わしたカイモグラフの例である。

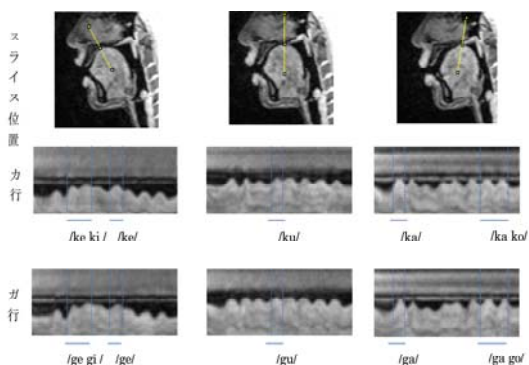


図 10. MRI 動画からのカイモグラフ作成例

これらの一連の模型製作及び舌形状・運動計測により、従来は直感的に理解するのが難しく未解明の部分もある発話における舌の役割について、音声科学教育及び音声研究の分野において、より理解を深めるのに貢献することができた。

今後は本研究をさらに発展させ、特に舌運動模型に埋め込めるアクチュエータを開発し、外部からの制御により発話調音運動動作を実行できる発話ロボットの作成などに挑戦していきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 7 件)

- ① 平山 亮、調音動作を実現する舌模型の試作、日本音響学会 2013 年春季研究発表会、2013 年 3 月 14 日、東京
- ② 平野 善之、藤井 貴矢、梨木 喬斗、平山 亮、外舌筋を模擬する舌模型の試作、日本音響学会 2014 年春季研究発表会、2014 年 3 月 11 日、東京
- ③ Makoto J. Hirayama, Image analysis, computer animation and physical modeling of tongue during speech, International Congress of Imaging Science, 2014/5/12-14, Tel Aviv (Israel)
- ④ 平山 亮、オトガイ舌筋・舌骨舌筋・茎突舌筋・口蓋舌筋及び舌体の粘弾性舌模型、日本音響学会 2014 年秋季研究発表会、2014 年 9 月 3 日～5 日、札幌
- ⑤ Makoto J. Hirayama, Sayoko Takano, Visualization of tongue movements during speech - magnetic sensor tracking study, International Workshop on Image Electronics and Visual Computing (IEVC2014), 2014/10/7-10, Koh Samul (Thailand)
- ⑥ Makoto J. Hirayama, A physical figure model of tongue muscles, 168th Meeting of the Acoustical Society of America, 2014/10/27-31, Indianapolis Indiana (U. S. A.)
- ⑦ 平山亮, 高野佐代子, MRI 動画による舌運動の分析, 画像電子学会第 272 回研究会, 2015 年 2 月 27 日～28 日, 和歌山
〔図書〕(計 0 件)
〔産業財産権〕
○出願状況 (計 0 件)
○取得状況 (計 0 件)
〔その他〕
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平山 亮 (HIRAYAMA, Makoto J.)

大阪工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：70329374