

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K00922

研究課題名(和文) 表情筋活動・下顎運動に着目した調音教示法の構築と発音訓練における効果の検証

研究課題名(英文) Construction of Articulator Movement Instruction focusing on Facial Muscle Activity and Mandibular Movement and Verification of Effect in Pronunciation Training

研究代表者

大浦 泉(花崎泉)(Oura, Izumi)

東京電機大学・未来科学部・教授

研究者番号：50180914

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：コミュニケーションに用いる音声を生成する調音動作は、母語の場合は生まれながらにして獲得する。母語以外の言語の発音訓練では、普段意識していない調音動作を練習することになり、訓練促進には適切な教示が必要である。調音動作では舌、口唇、下顎の動きを制御することになる。本研究では、これらの動きを担っている表情筋に着目して、筋活動量と調音動作の関連を数理的に解析して、音声の音響的特徴であるフォルマントと口輪筋、咬筋、顎二腹筋との関係を確認した。それに基づき、訓練者が理解しやすい筋肉に関する教示、例えば「口を横に引っ張る」「顎を落とす」などの教示の発音訓練効果の検証できる方法を考えてきた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

母語以外の言語の発音練習、例えば母語が日本語である人が英語発音を練習する場合など、多くの訓練方法、教示方法が提案されている。これらの提案は、教示者の経験則に裏付けられていることが多い。本研究では、調音器官である舌、口唇の動きに加え下顎の動きを関連する筋肉の筋活動量を、表面筋電位信号を解析することにより定量化し、筋活動量と音声信号解析より音響学的特徴量であるフォルマント、音声信号から推定した舌形状との関係を数理的に解析している。訓練効果のメカニズムの説明、訓練効果の定量的検証の可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：We naturally acquire articulator movements for mother tongue. In pronunciation training for languages other than the mother tongue, we will practice articulator movements that you are not normally aware of, and will need appropriate instruction for proceeding training. We are going to control the movements of the tongue, lips, and lower jaw in training. In this study, we focus on the facial muscles responsible for these movements, and mathematically analyze the relationship between the amount of muscle activity and articulator movements. It was confirmed that there was a correlation between orbicularis oris muscle, masseter muscle, digastric muscle, and audio features of speech voice. Based on these results, we verified the pronunciation training effect of teachings related to muscles that are easy for trainers to understand, such as teachings such as "pulling the mouth sideways" and "dropping the jaw".

研究分野：信号処理

キーワード：発音訓練 表情筋 表面筋電位信号 口唇運動 下顎運動 声道断面積関数 MR画像

### 1. 研究開始当初の背景

発音訓練では、所望の音韻を生成するための調音器官（舌・口唇）の形状を的確に制御できるようにする調音教示を、訓練者に与えることが必要である。筆者らは訓練者への視覚支援として、音声の音響学的特徴量である第1・2フォルマント、発音時舌形状、口唇開閉度を表示している。訓練者の支援表示の利用の仕方を調査すると、フォルマントは音声信号をスペクトル解析することによって得られる特徴量であるため、訓練者が直接調音器官の制御に用いることはできず、調音した音声の訓練音との違いを認識するために利用している。音韻決定に関連の強い舌形状は訓練者が理解することが困難なため利用しにくいことが判明している。一方で、口唇の開閉度に関する教示が、その他の視覚的表示に比べて訓練者から使いやすいとの評価を受けている。訓練促進のためには、訓練者が理解しやすく実行可能な教示が求められる。

### 2. 研究の目的

訓練者が理解しやすく実行できる教示には、訓練者が意識して制御可能な身体部位に対する指示であること、実行結果を直ちに確認または認識できることが必要である。調音動作を口唇周りの運動・下顎の開閉運動と捉えると、それらの動きを担う筋肉を意識させる指示が理解しやすく実行できる教示の候補と考えられる。訓練者は、教示にしたがって自己の口や顎を動かした程度を直ちに認識することはできる。筋肉や骨格の生体的構造より、表情筋や顎周辺の筋肉の動きは調音器官の形状に変化を誘引する。本研究では、表情筋活動・下顎活動に基づく訓練者が理解しやすい発音教示法を構築するため、口唇・下顎運動に関わる筋活動と、調音器官の形状を介して発音音声の音響学的特徴変化との関係について定量的な数理関係を見いだすことを目的とする。

### 3. 研究の方法

発音時の口唇周りの筋肉を意識させる教示法構築のため、教示に用いる筋肉を特定し、発音時の筋活動量と音声信号の音響学的特徴量であるフォルマント、口唇運動、下顎位置、舌形状との関連を解析した。以下に研究の方法を、順を追って述べる。

#### (1) 口唇運動を記述する特徴量と音声信号のフォルマントの関係の解析

口唇運動を口唇縦・横開き、口唇突出、下顎位置にて記述することとし、モーションキャプチャにより計測する。これらの特徴量と発声した母音のフォルマントとの関係を回帰分析により調べる。

#### (2) 調音時舌形状の推定モデル構築

母音発音時の頭部矢状断面 MR 画像より、舌面形状を画像処理により抽出する。同時録音した音声信号のフォルマントを AR (自己回帰) モデルにより Burg 法にて推定し、その推定過程から算出される反射係数より声道断面積関数を推定する。MR 画像より抽出した舌面形状を、第1・2フォルマント、声道断面積関数を説明変数とする重回帰モデルで推定する。得られた重回帰モデルに基づき個人性を正規化することにより、訓練者の音声信号より調音器官である舌形状を推定するモデルを構築する。

#### (3) 口唇周り筋電位信号、音声信号、口唇形状の同時計測実験

口唇運動に関連する口輪筋、笑筋、咬筋、顎二腹筋前腹、顎舌骨筋を対象として、発音時の表面筋電位信号、音声信号、口唇形状を同時計測して相関分析して調音運動に関連する筋肉を特定する。注目した筋活動量と、フォルマント、口唇開閉度、下顎位置との重回帰モデルを構築して、この関係を分析・評価する。

### 4. 研究成果

#### (1) 口唇運動を記述する特徴量と音声信号のフォルマントの関係の解析

口唇運動・下顎運動を記述する特徴量として、口唇の縦・横開き、口唇突出、下顎位置をモーションキャプチャにより取得する。図1に示すように、鼻、上唇、下唇、唇の両端、顎の計6点に取り付けた。縦開きは、口唇の上唇と下唇に取り付けたマーカ間の距離、横開きは、口唇の左右に取り付けたマーカ間の距離から抽出する。口唇突出については、 から の測定方法を表1に示す。口唇突出は/u調音時の声道長を変化させ、舌面最高点の位置を前舌に移動させる要因となっている。口唇突出の定量的な測定は、外部からは判別しにくいいため、複数の測定法を候補とし、フォルマントとの関連から適切な候補を選定することにする。

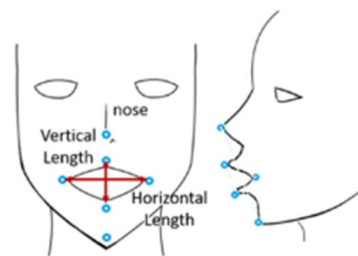


図1 モーションキャプチャ測定時のマーカの装着位置

日本語母音/a/, /i/, /u/, /e/, /o/を発音したときの口唇形状と第1・2・3フォルマント F1・F2・F3 及び声道断面積関数  $A_{1-16}$  との関係重回帰モデルにより分析し、自由度修正済み決定係数と二乗平均平方根誤差

(RMSE)を用いて評価する。

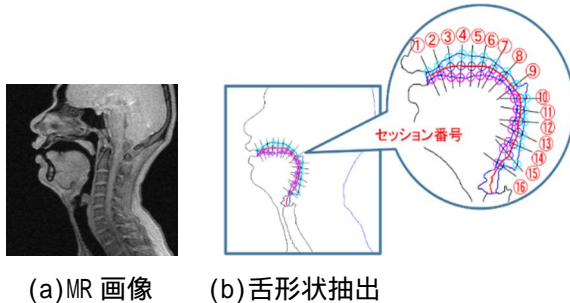
番号	詳細
①	上唇と下唇の midpoint と鼻先と顎の midpoint の距離
	口の両端の midpoint と上唇の距離
	口の両端の midpoint と下唇の距離
	上唇と下唇の midpoint と口の両端の midpoint との距離
	鼻先と顎の midpoint と上唇の距離
	鼻先と顎の midpoint と下唇の距離

評価結果より、説明変数としてフォルマントのみでは口唇形状の記述は不十分であり声道断面積関数を加えることにより精度が向上することが判明した。特に、口唇突出によるフォルマントの変動を捉えるには、声道断面積関数の導入が必要であった。声道断面積関数は口唇から声門までを表す特徴量であるが、口腔内に当たる声道断面積関数部分を利用することにより、口唇形状の推定が可能であるとの結論に至った。

音声信号に関わる特徴量より調音器官である口唇形状が記述できることは、発音訓練の支援システムの実現には利用しやすいモデルが構築できたといえる。

### (2) 調音時舌形状の推定モデル構築

発音時頭部矢状断面 MR 画像より、図2に示すように声道を等長に分割したセッションの舌面と口蓋の垂線の長さを、舌形状を記述する舌形状特徴量とする。MR 画像と同時録音された日本語母音音声信号よりフォルマントならびに声道断面積関数を説明変数として舌形状特徴量を重回帰分析して舌形状の推定モデルと構築する。構築にあたっては、MR 画像と同時録音音声のデータセットを、モデル構築用データセットと検証用データセットに分割し、検証用データセットにより推定モデルの評価を行い、第1・2・3フォルマントならびに口唇から8番目のセッション



(a)MR 画像 (b)舌形状抽出

図2 MR 画像からの舌形状抽出

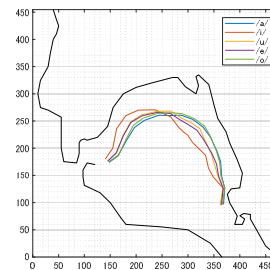


図3 日本語母音撥音時の舌形状推定

ンまでの声道断面積関数を説明変数として利用することを決定した。

発音時 MR 画像の取得は発音訓練では現実的ではないので、訓練者が発音した音声信号より舌形状推定できるように音声信号のばらつきを緩和する正規化処理を導入して音声信号から直接舌形状を推定するモデルを構築した。図3に、本モデルによる日本語母音の舌形状推定状況を示す。母音による舌形状の違い、舌面最高点の違いを訓練者が確認することが可能となっている。

付記) 本研究で使用した MRI データおよび録音データは、株式会社国際電気通信基礎技術研究所(ATR)の人間情報科学研究所が収録し、株式会社 ATR-Promotions が公開した『ATR 声道 MRI データ』の一部です。本データの使用許諾権等は、株式会社 ATR-Promotions との使用許諾契約に基づいております。

### (3) 口唇周り筋電位信号、音声信号、口唇形状の同時計測実験

調音動作に関連する筋肉として、口輪筋、笑筋、咬筋顎二腹、腹顎舌骨筋を候補として表面筋電位信号を測定し、筋活動量を推定する。表面筋電位センサの装着位置を図4に示す。筋電位信号は前処理としてハムノイズの除去とローパスフィルタによる高周波数ノイズを除去したのち、RMS(Root Mean Square)による平滑化を行う。MVC(Maximum Voluntary Contraction)を用いて正規化を行い、最大筋収縮を行った際の筋活動量に対して収縮した割合を示す%MVC を用いて筋活動量を時間分割フレームの積

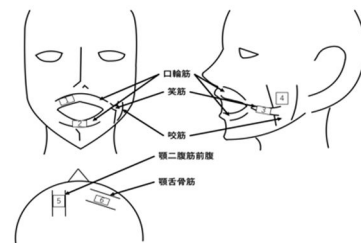


図4 表面筋電位センサ装着位置

分値にて推定する。表情筋を意識した発音を指示して筋電位信号、音声信号、口唇形状の同時計測を行う。

筋活動量とフォルマントの相関分析を行った結果、第1フォルマントと口輪筋下、咬筋、顎二腹筋、第2フォルマントは口輪筋下、顎二腹筋に弱い相関が認められた。筋活動量の主成分分析の結果からは、第3主成分で寄与率80%に達していることがわかり、口輪筋の因子負荷量が高いことが認められた。

筋活動量をフォルマントと声道断面積関数との重回帰モデルにて推定も試みているが、現時点では実験データが不足していることも一因としてあるが、顕著な関係を見出すには至っていない。発音教示法を考慮して実験条件を再設定して詳細信号を取得する必要があるといえる。

発音訓練の支援システムでは、訓練者の音声信号より支援・教示に必要な情報が得られる、訓練者が自己の発音を評価可能な指標が得られることが重要である。本研究では、調音動作を構成している口唇周り運動、舌形状を、音声信号の音響学的特徴量、ならびにARモデルによるフォルマント推定によりフォルマント推定過程で取得できる声道断面積関数により推定可能であることが示唆されている。このことは、支援・教示を構築のために有用で利用可能な調音運動推定モデルが構築されていると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Shogo Saito , Tomoki Yanagida , Taiga Sasame, Keisuke Ota , Izumi Hanazaki	4. 巻 2022
2. 論文標題 Analysing Relationship between Muscle of Facial Activity and Voice Formant / Vocal Organs Shape during Sound Adjustments	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and its Applications	6. 最初と最後の頁 119~123
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 野城圭介 永山寛也 吉原恭子 花崎泉
2. 発表標題 発音訓練教示法構築のための音声信号を用いた口唇モデルの推定
3. 学会等名 システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shogo Saito, Hiroya Nagayama, Keisuke Nogi , Izumi Hanazaki
2. 発表標題 Modelling of Articulator Using Vocal Tract Area Function by Reflection Coefficients of Burg's Method
3. 学会等名 International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉原恭子 花崎泉
2. 発表標題 音声信号とMR画像を用いた開口長と舌面最高点の推定
3. 学会等名 システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永山寛也, 野城圭佑, 花崎 泉
2. 発表標題 発音訓練教示法構築のための発音時頭部矢状断面MR画像を用いた舌位置推定の改善
3. 学会等名 電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤匠悟, 柳田知毅, 笹目大雅, 太田圭亮, 花崎 泉
2. 発表標題 調音時表情筋活動量と音声フォルマント・調音器官形状との関係解析
3. 学会等名 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関