

令和元年6月18日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K02897

研究課題名（和文）発音訓練における調音指示法の効果の検証とそれに基づく視覚的支援表示法の提案

研究課題名（英文）Verification of the effect of articulatory instruction in pronunciation training and proposal of the visual support display based on it

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） 1,000,000円

研究成果の概要（和文）：日本語を母語とする人の英語発音訓練において、訓練効果を音声の音響的特徴量とそれらから推定される口唇や舌形状により評価した。提唱されている発音指示は、発音時舌面最高点の口腔内での前後位置、上下位置を制御するものに大別でき、前後位置は第2フォルマントならびに口の横開きとの相関が強く、上下位置については口の縦開きとの相関は認められるものの訓練を促進するには不十分であった。口唇突出による影響は第2フォルマントには現れないが舌面最高点を前に移動させることを明らかにし、発音の癖を考慮した調音指示の実現に向けて解析ができた。訓練促進に向けて口唇の開きの定量的指示や顎の動きへの指示の必要であることを示唆した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

発音訓練における発音指示という観点から調音動作と音声の音響学的特徴の関係を、数理モデルを構築することにより解析した。発音時の口腔内舌面最高点の位置とフォルマントの相関は強いものの、口唇突出動作による舌面最高点の移動は声道断面積関数による検出が有利であること明らかにした。さらに提唱されている発音指示法の効果を検証することにより、口唇開閉、突出動作に関する発音指示の示唆を得た点に学術的意義がある。社会のグローバル化に伴い母語以外の言語修得が推奨されている。英語はその代表的言語であり、本研究は発音訓練の独学者や不慣れな指導者が訓練、指示の効果や調音のメカニズムの理解の促進に寄与すると期待できる。

研究成果の概要（英文）：In English pronunciation training of Japanese speaker, the inability of the trainee to recognize the auditory features of English phoneme and the inability to understand the articulation method of the inexperienced phoneme hinder the promotion of training. In this study, the training effect was evaluated by the acoustic features of the trainee's voice and by estimated shape of the lip and tongue. As a result, the instructions can be roughly classified into those that control the front-and-back position and the up-and-down position in the oral cavity of the highest point of the tongue. The front-and-back position is strongly correlated with the second formant and the sideways opening of the mouth, while the up-and-down position is correlated with the sideways opening of the mouth but is insufficient to facilitate training. In addition to this, it is shown that the lip protrusion take effect to move the tongue highest position to front and it is detected by vocal tract area function.

研究分野：信号処理

キーワード：英語発音訓練 音声解析 声道断面積 調音指示 発音時頭部矢状MR画像解析

1. 研究開始当初の背景

母語以外の言語の発音訓練では、訓練者が非母語の音韻が識別しにくいことや、調音動作を意識的に実行できないことから独学での習得は難しく、発音に関して専門的知識を有する指導者による発音矯正が必要となる。音声信号解析では、フォルマントやスペクトルグラム、声道断面積の推定の技術が開発されており、MRI（磁気共鳴画像）解析による口腔内舌面形状の測定も加わり、発音時の調音器官の動きの解析が可能となっている。このような技術支援により、発音訓練におけるコンピュータ支援学習システムが開発されているが、利用するにはスペクトルや調音器官の動きなどの専門知識を必要とするため、利用者である訓練者や英語指導者には理解しにくい点がある。訓練効果を促進するには、利用者が理解しやすい教示が望まれる。一方、語学学習では調音に関する教示が種々提唱されている。これらの教示は訓練者が理解しやすく、訓練効果を挙げている教示も多い。

2. 研究の目的

本研究では、非母語の発音訓練を訓練者が指導者なしに独学にて効率よく習得することを支援するシステムにおける適切な発音教示法を見いだすことを目的としている。非母語の発音訓練において訓練者の上達を阻害する要因として、

- 1) 訓練者が調音動作を意識して実行できないこと
- 2) 訓練者が母国語以外の音韻を識別できないこと

に着目している。人は成長の過程で周りの環境から見聞きして自然に調音動作を体得していくため、発音中の口腔内の舌の形状や動きを意識してはいない。そのため舌の形状を指示されたとしても指示通りに動かすことはできない。また聴覚においても言語環境に応じた識別能力が備わるため、非母語の音韻を識別できるまでには長時間の訓練を要することになる。効率的な発音訓練を実現するには、音の識別と的確な調音のフィードバック系が構築されることが必要となる。指導者は訓練者には難しい音韻の識別を補助して調音法を指示することにより訓練上達を牽引している。

そこで、語学学習で提唱されている発音教示法の効果を音響学や調音動作の見知から検証することにより、効果的な調音器官の動かし方と音声の音響学的特徴に与える影響の分析を通して、1) 2) を補い適切な調音指示と評価を与える視覚的支援方法の開発を目指す。

3. 研究の方法

申請者は、音声信号の音響学的特徴量であるフォルマントに基づき調音動作の口の開きや舌の形状を推定して訓練者に視覚的に表示する発音訓練支援システムを開発中である。視覚的支援表示を図1に示す。上記1) に対しては、第1・2フォルマントにより構成されるフォルマント空間に規範音韻と訓練者の発音の差異を示すことにより認識を促す。2) については、音韻に見合った口の開き(縦／横開き)を示す。発音中のMRI(磁気共鳴画像)の頸部矢状断面図から抽出した舌形状とフォルマントとの数理モデルを構成することにより、訓練者の舌形状と規範音韻の舌形状を同時に表示して訓練者の調音の仕方の違いを認識させる。本システムの視覚支援表示機能を用いて、下記の方法にて研究を進める。



図1 発音訓練の視覚的支援表示

ことにより、訓練者の舌形状と規範音韻の舌形状を同時に表示して訓練者の調音の仕方の違いを認識させる。本システムの視覚支援表示機能を用いて、下記の方法にて研究を進める。

- (1) 語学学習において提唱されている調音教示の効果を、フォルマント空間ならびに口腔内舌面最高点の位置において検証する。
- (2) 発音時頸部矢状断面MRI(磁気共鳴画像)より舌面最高点の口腔内位置を抽出し、最高点の移動に寄与する調音器官の動きを特定する。
- (3) 舌面最高点の移動量と特定した調音器官の動きの定量的な関係の推定法を考案する。

4. 研究成果

(1) 図1に示されている視覚的支援表示を用いた発音訓練した訓練者の事後インタビューでは、口唇形状に関する表示は理解しやすく活用できたが、舌形状の表示は違いの認識はできるが舌形状の制御法はわからない、との見解が示された。英語の発音学習では、IPA(International Phonetic Alphabet)チャートを用いて、調音器官の形状や動かし方を学ぶ。IPAチャートは第1・2フォルマントとの関係、舌面最高点の口腔内の位置との対応関係を表しているとしてされている。本研究では、日本語母音発音時の頸部矢状断面MRIと録音データ((株)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)ATR-Promotionsが公開した『ATR声道MRIデータ』の一部)より舌面最高点の位置を抽出し、第1・2フォルマント空間、IPAチャートと比較検討した。その結果、第1・2フォルマント空間とIPAチャートにおける5母音の相対的位置関係は一致するが、MRIから抽出された舌面最高点の前後位置では母音' u 'がIPAチャート、フォルマント空間では後舌とされているが後舌と前舌の位置に抽出された。母音' u 'は口唇突出にて発音する場合も多く、MRIから口唇突出量を抽出し舌面最高点の位置の

関係を調べると、突出量の多い訓練者は舌面最高点が前舌に移動する傾向が強いことが判明した。しかし、突出量に関わらずフォルマント空間では後舌位置に推定されることがわかった。さらに、突出量を含めた声道長を以て口腔内の舌面最高点の相対的な位置関係を推定したところ、フォルマント空間と同様の後舌位置に推定された。

口唇突出は調音の癖であり、発音教示において考慮すべき要因となる。音声信号からの抽出されるフォルマントでは口唇突出による舌面最高点の移動は検出できない。本研究では、発音時の調音器官を断面積の異なる円筒音響管接続と見なした Kelly の音響管モデルに基づき、自己回帰モデルによる音声からのフォルマント抽出過程で算出される反射係数を用いて舌面最高点の前後位置を推定するアルゴリズムを開発した。

(2) 日本語を母語とする英語発音訓練者に、英語母音調音のための指示法の音響学的な効果を検証する実験の準備として、英語母音に対する指示法を調査・分類するために、英語発音学習にて用いられる教示法「喉の奥を開いて発音する」「喉の奥を詰まらせた感じで発音する」「口を小指/人差し指/親指/を噛む程度に開いて発音する」などを選定して舌面最高点の位置を検証した。検証実験では個人差は大きいが教示法による最高点の移動は認められ、概ね最高点の前後位置の移動に効果が見受けられた。舌面の上下位置の移動については口の縦開きならびに第1フォルマントの関連は認められるが、教授法の効果を判定するには至らなかった。

上記のことを数理的に検証するため、声道断面積関数を導出するための反射係数について主成分分析を行った。5 母音のクラスターが形成されていることがわかる。水平方向のクラスターの順は、口腔内の舌面最高点の口腔内前後位置と一致する。その結果第1主成分が舌面最高点の前後位置を表すことが明らかとなった。舌面の上下位置については口の縦開きの他にも影響を与える調音動作の存在が示唆され、発音時の MRI からは、下顎の動きが口腔前部の空間の広がりに関連することが認められた。

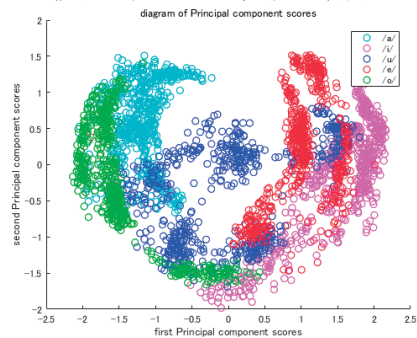


図2 日本語 5 母音の反射係数主成分分析結果、第1・2主成分の散布図

(3) 発音訓練における教示法として、検証実験より訓練者にとっては口唇の動きに関する指示が理解しやすい。表示項目は、口唇の横/縦開きと口唇突出である。これらを動かす表情に対して定量的な指示を構築するため、発音時の下顎の動きも含めた口唇周りの表情筋電位信号から口唇運動を記述する数理モデルを作成した。図3に用いた調音に寄与する表情筋を示す。数理モデルは、表情筋電位信号を入力、口唇の横・縦の開口度、口唇突出量を出力とする ARMA(線形自己回帰移動平均)モデルを用いた。まず、発音時の表情筋電位信号の解析より、日本語発音時と英語発音時での表情筋の使い方に違いがあることが確認できた。日本語発音時に比べ英語発音時は、口の横開きを担う笑筋の活動量が顕著であった。英単語発音時の口唇の動きに着目したモデル検証実験では、本モデルによって英語母音の発音時の口唇の動きを推定可能であるとの所見を得ることができた。

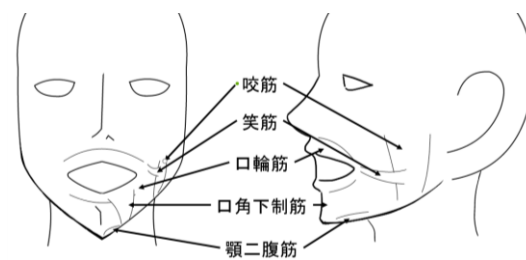


図3 調音に関する表情筋

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 荻米 亮介、松平 圭一、花崎 泉、英語発音訓練支援システムにおける視覚支援法の検討と発音教示法にむけての一考察、電気学会論文誌C、査読有り、vol. 138 No. 10、2018、pp. 1248-1259
DOI: <https://doi.org/10.1541/ieejeiss.138.1248>
- ② Ryosuke Karigome, Izumi Hanazaki, Use of Reflection Coefficients of Burg's Method for Improvement of Visual Support Way in Pronunciation Practice, Transactions of the Institute of Systems, Control and Information Engineers, 査読有り, Vol. 31, No. 6, 2018, pp. 220-227
DOI: <https://doi.org/10.5687/iscie.31.220>

[学会発表] (計 11 件)

- ① Kyoko Yoshiwara, Izumi Hanazaki, Construction of Pronunciation Instructions on

Tongue and Lips Movements based on Formants of Speech Signal, SCIE International Symposium on Stochastic Systems and Its Applications, 2018

- ② 吉原 恭子、大西 将史、松平 圭一、花崎 泉、表情筋電位信号による英語／日本語調音時の口唇運動の解析、電気学会電子・情報・システム部門大会、2018
- ③ 苅米 亮介、松平 圭一、花崎 泉、発音訓練における調音教示法と音響的特徴の関係、電気学会電子・情報・システム部門大会、2017
- ④ 佐藤 広健、花崎 泉、部分空間法を用いた表情筋電位信号による口唇動作同定と発音訓練への応用、電気学会電子・情報・システム部門大会、2017
- ⑤ 苅米 亮介、花崎 泉、Burg 法の反射係数を用いた発音訓練支援システムにおけるリアルタイム性の向上、システム制御情報学会研究発表講演会、2016

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：松平 圭一

ローマ字氏名：Matsudaira Keiichi

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。