

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 26 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330208

研究課題名(和文) 修正聴覚フィードバックに基づく発話運動計画機構の解明

研究課題名(英文) Study on speech motor control mechanism based on modified auditory feedback

研究代表者

菅田 雅彰 (Honda, Masaaki)

早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授

研究者番号：90367095

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、人間の発話動作の感覚運動制御機構とその獲得機構の解明を目指し、修正聴覚フィードバックパラダイムに基づき、音声の動的特徴を音声生成と音声知覚を結合した視点から明らかにする。発話音声の動的特徴をリアルタイムに修正して聴覚にフィードバックする修正聴覚フィードバック実験系を構築し、修正聴覚フィードバックに対する発話の補償応答動作を測定した。その結果、補償応答動作の経時的変化を明らかにするとともに、発話動作における感覚運動制御系の適応化の特性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This research is aiming for investigating human speech production and acquisition mechanism. For this purpose, we examined speech dynamic features in speech production and perception based on the modified auditory feedback paradigm. We constructed experimental system which modifies the dynamical acoustic feature of the utterance speech in real time. By using the system, we examined the compensatory response of the speech articulation to the modified auditory feedback and its adaptation characteristics of the auditory-motor control of speech production.

研究分野：音声科学

キーワード：音声生成 聴覚フィードバック 発話運動制御

1. 研究開始当初の背景

発話動作では、聴覚や触覚、固有受容系を介した多様な感覚情報が関わっている。発話動作とこれらの感覚情報との関連性を定量的に明かし、その機能をモデル化することは、発話動作の運動制御、運動計画、さらには発話獲得のメカニズムを解明する上で重要な課題である。

発話動作における感覚運動系の内部構造を解明する手段として、発話動作中の発話器官に対して力学的摂動（パタベーション）を与える方法、発話器官の形状を変化させる構造的摂動を与える方法、聴覚にフィードバックされる音響情報を修正する聴覚的摂動を与える方法など、通常の発話環境を意図的に変化させ、環境変化に対する発話の応答動作を測定するパタベーションパラダイムが広く用いられている。この中でも、聴覚フィードバックが発話動作に与える影響については、古くからランバート効果や時間遅延聴覚フィードバック効果などが知られているが、近年では、発話時における聴覚フィードバック情報をリアルタイムに修正する修正聴覚フィードバック実験系を用いて発話動作の運動制御機構や運動計画機構、さらには発話獲得機構の明らかにしようとする研究が行われている。また、これらの修正聴覚フィードバック実験により、発話運動計画における運動目標が音響的事象であること、発話器官への運動指令（筋力）を生成する運動計画において、運動指令と音響的事象を関連づける内部モデルが用いられること、またこのような内部モデルの形成が発話獲得に密接に関連することなど、発話動作の生成と獲得のメカニズム解明につながる多くの知見や仮説が生まれた。

修正聴覚フィードバックの先駆的研究として Houde 等による母音のホルマント修正聴覚フィードバック実験がある。この研

究では、母音発声時において音声のホルマント周波数をリアルタイムに修正して聴覚にフィードバックすると、発声者が知覚する母音が目標母音に近づくように発話動作の補償が行われること、また異なる子音環境下で発話された母音においても補償動作が持続することを示した。その後、同様な母音を対象とした修正聴覚フィードバック実験が継続的に行われている。これらの研究は、音響的事象を運動目標とする発話運動計画、および音響的事象に基づく発話動作の獲得メカニズムの仮説を支持する有効な知見を与えた。しかしながら、発話対象が母音発話に限定されていること、また修正聴覚フィードバックがホルマント周波数の定常的な修正に限定されていることから、発話動作における運動軌道の生成やタイミング制御、発話器官の協調動作など、発話動作の動的な特徴が聴覚フィードバック情報を介して学習されるか否かについては未だ明らかになっていない。また、発話動作の動的な特徴が重要となる子音の生成においては、発話器官同士の接触に伴う触覚フィードバックや発声器官の運動における力学的な制約が存在するため、修正聴覚フィードバックが発話動作に及ぼす影響が限定される可能性もある。したがって、静的な修正聴覚フィードバックから動的な修正聴覚フィードバックに研究を展開することは、子音を含む発話動作全体の生成と獲得のメカニズムを解明する上で重要となる。

2. 研究の目的

本研究は、修正聴覚フィードバックパラダイムに基づいて、音声生成と音声知覚を結合した視点から音声の動的特徴の構造を明らかにすることを目標とする。

(1) 動的修正聴覚フィードバック実験系の構築

発話音声の時間軸を局所的に伸縮修正する実時間聴覚フィードバック実験系

示す。

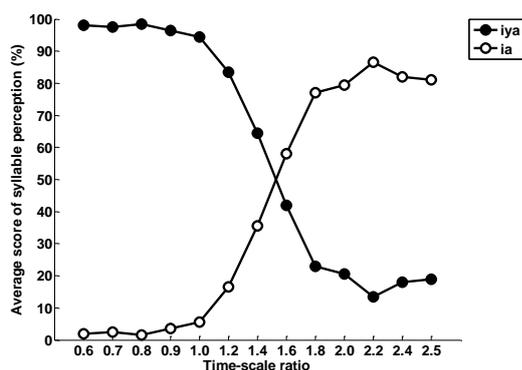


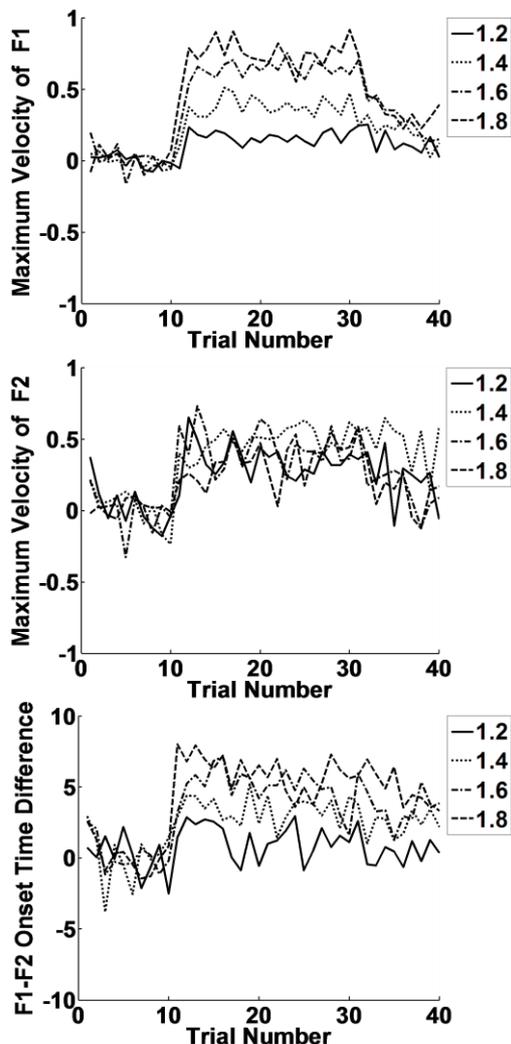
図2 時間軸伸縮に伴う音韻知覚変化

この音声知覚実験の結果より、時間軸が伸長するとともに、半母音/ya/は母音連鎖/ia/に知覚変化が生じ、逆に時間軸を短縮するとともに、母音連鎖/ia/は半母音/ya/に知覚変化が生じることが分かる。

(2) 修正聴覚フィードバックによる発話動作の補償効果

目標となる音声発話を半母音/ya/とし、発声時に実時間時間軸修正聴覚フィードバックを施した場合の補償動作を明らかにした。補償動作は音声の第1および第2ホルマント周波数の速度変化の最大値と第1と第2ホルマント周波数の立ち上がり時間の時間差を音響特徴量として分析した。

図3は、横軸は発話回数で1回から10回までは修正を施さない通常の聴覚フィードバック条件下での発話、11回から30回までは修正聴覚フィードバック条件下での発話、30回から40回までは、再度通常フィードバック条件下での発話を示している。また、修正聴覚フィードバックにおける時間伸長を1.2~1.8まで変化させた。この結果より、いずれの音響特徴に関しても、修正聴覚フィードバックを与えた時点(11回目以降)から発話の補償動作が生じていることが確認された。補償動作は数回の発話後ほぼ一定の状態になることも示された。また、図4に示すように、時間軸の伸長量の大きさの変化に合わ



せて補償動作も増

図3 修正聴覚フィードバックによる発話補償効果 上から第1、第2ホルマントの最大速度、第1と第2ホルマントの立ち上がり時間の時間差

大することが、第1ホルマントの最大速度と第1第2ホルマントの立ち上がり時点の時間差に関して確認され、第2ホルマントの最大速度に関してはその傾向が認められなかった。修正聴覚フィードバックを切断した時点(31回目以降)では、いずれの音響特徴量も徐々に通常発声の値に戻る傾向があるが、第2ホルマントの最高速度と時間差に関しては、戻る傾向が弱く、修正聴覚フィードバックの影響がフィードバック切断後も残るアフターエフェクトが確認された。

このような修正聴覚フィードバックに対する音響特徴量にみられる補償効果を発話動

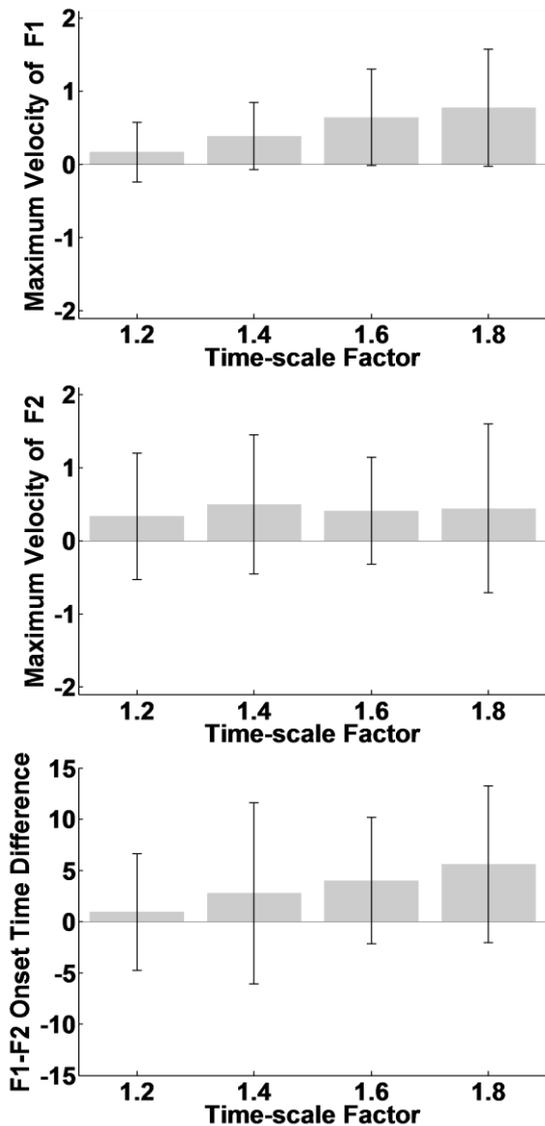


図4 最大補償量と時間伸縮量の関係

上から第1, 第2ホルマントの最大速度, 第1と第2ホルマントの立ち上がり時間の時間差

作に関して見ると, 主として下顎による補償動作が主であり, 舌による補償動作は相対的に小さいことが確認された. また, 補償動作に伴って発話者が聴取する音声の知覚実験を行った結果, 音声 that 所望の音韻の/ya/となっていることが確認された.

これらの実験結果より, 聴覚フィードバックは音声の発話制御に深くかかわっており, 動的な発話特徴に関しても, 聴覚フィードバックに基づいて発話動作の修正が行われることが示された. また, 修正聴覚フィードバック

クに対する発話保障動作は, 数回の発話でほぼ完了しており, 比較的短時間で発話運動制御の適応化が行えることを示している.

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 1 件)

Ogane R. and Honda M., Speech Compensation for Time-Scale-Modified Auditory Feedback, Journal of Speech, Language and Hearing Research, vol.57, 2014

[学会発表] (計 1 件)

Honda, M., Introduction of Speech Robotics, 5th Joint Meeting of ASA and ASJ, 2016.

[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]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

誉田 雅彰 (Honda Masaaki)

早稲田大学スポーツ科学学術院・教授

研究者番号: 90367095

(2) 研究分担者

なし

研究者番号:

(3) 連携研究者

なし

(3) 研究協力者

なし