

令和元年6月24日現在

機関番号：12103

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K16414

研究課題名(和文) 吃音における構音のフィードバック制御機構の解明

研究課題名(英文) The vocal response on auditory pseudo-feedback with perturbation of formant frequency in adults who stutter

研究代表者

安 啓一 (Yasu, Keiichi)

筑波技術大学・産業技術学部・助教

研究者番号：70407352

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：発達性吃音は幼児期に約5%の割合で発症することばの非流暢性であり、約1%が成人しても残ると言われている (Bloodstein 1995)。吃音の原因の一つとして発話と聴覚のフィードバック(帰還)制御に異常があることが知られている。本研究で開発した母音の第1共鳴周波数をステップ状に変化させたものを聞かせることによって得られるステップ応答の微分成分であるインパルス応答を分析した。早い潜時においては補償応答(変化と逆の方向)、遅い潜時では追従応答(変化と同じ方向)が得られた。脳画像測定により吃音者において有意な白質のFA低下が左弓状束の特に角回および弁蓋部の接続部において観察された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では聴覚のフィードバック(帰還)制御機能および脳の神経接続的側面から吃音に特徴的な結果を得られた。これらの知見から吃音の症状に柔軟に対応したモデルが確立すれば訓練前後の比較などをより客観的に行える指標となり得るため、国内外に広めることができれば、より吃音者の訓練に対する選択肢が広がり、吃音者のQoL向上に役立つと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Developmental stuttering is characterized by frequent speech production disfluencies, which affects 5% of preschool children and nearly 1% of adults (Bloodstein 1995). Delayed auditory feedback (DAF) affects proficiency of speech while helping some of those who stutter. In this study, we developed an open-loop auditory pseudo-feedback measurement system so that the formant frequency stimulation is delivered exactly as specified. We differentiated the response of formant frequency to obtain impulse response which represents the control of articulation. As a result, there are early compensatory peaks of the impulse response, which represent a quick adaptation to both direction of perturbation, and also showed the following response after compensatory response. A fractional anisotropy (FA) of the white matter decrease beneath the left angular gyrus, previously reported for children who stutter (Chang et al. 2015), was also found in adults who stutter in the present study.

研究分野：音声科学

キーワード：吃音 聴覚フィードバック 変調 開ループ 角回 弓状束

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

#### (1) 吃音について

吃音(きつおん、どもり)とは発話の滑らかさが損なわれた非流暢な話し方が頻発する状態であり、その原因や病態、神経基盤は十分には明らかにされていない。吃音の症状には様々な特徴がある(Guitar, 2013)。成人の吃音者に多い二次的行動として、Vanrychehemら(2004)は、吃音者が、吃音症状が発生した際、もしくは発生しそうになった際にどのような行動を行なっているかを調査した。その結果、単語の置換、言う前に間を置く、出にくい語の前でフィラーを入れる、開始句を使う、言う直前に声に出さずにリハーサルをする、深く息を吸い込む、言いにくい語を省略する、準備行動を行うことが明らかになった。このように、発話行為に対して意識を向け、様々な準備行動を取ろうとするために吃症状が現れることが考えられる。

吃音の治療・訓練に際して、様々な手法が取り込まれているが、吃音の病態と脳機能の関係についての関係について分析的かつ総合的なモデルを立てた例は少ない。そこで本研究では、吃音者が発話する際にどのようなことが脳内で起こっているのかに着目し変換聴覚フィードバック(transformed auditory feedback, TAF)や脳の白質繊維の接続、安静時の脳活動であるデフォルトモードネットワーク(default mode network, DMN)の測定を通して吃音に関係する部位の特定を行い、脳機能学的な裏付けを得ることを試みる。様々な吃音の症状に対応したモデルを作成できれば、訓練前後の評価によって、適切な訓練が行われたかなどの指標にもつながる。このように吃音の病態解明のみならず、今後の吃音治療・訓練に役立てることができると考えられる。

#### (2) 構音のフィードバック制御機構

吃音の治療法として聴覚フィードバックを用いる方法では、自身が発話した音声を遅延させて聴覚提示する遅延聴覚フィードバックによる治療が試みられ、吃音者において効果がみられるが、常に効果が現れるわけではなく、有効率は3-5割程度である(Armson et al., 2006; Ratyńska et al., 2012)。また、音声のピッチ(F0)を操作する変換聴覚フィードバックでは非吃音話者に比べ吃音者ではフィードバックゲインが低い(Loucks et al., 2012; Okazaki et al., 2009)。一方、舌などの構音運動では音声のホルマント周波数が変化する。構音に対する実時間フィードバックでは第1ホルマント(F1)の変調に対して補償応答が得られる(Houde et al., 1998; Purcell et al., 2006; Cai et al., 2012)。フィードバックでの変調ありから変調なしへと切り替えた場合も、適応(学習)によって補償応答が持続する(Villacorta et al., 2007)。

#### (3) 脳機能・構造分析

吃音のある者では発話に関連する左の運動野と前後の言語に関連する脳部位をつなぐ神経線維(白質)である弓状束の異方性比率(fractional anisotropy: FA, 神経線維がどの程度同じ方向に揃っているかを示す指標。0から1の間をとる。)が低く、神経接続が乱れていることが印欧語母語話者で報告されている(Chang et al., 2008, 2015; Connally et al., 2013; Cykowski et al., 2010; Sommer et al., 2002; Watkins et al., 2008)。しかし、日本語母語話者ではまだ報告がなかった。

### 2. 研究の目的

#### (1) 開ループによるホルマント周波数変調

従来の研究では、ホルマント周波数変調に対する応答を含んだ音声にさらに変調をかけて応答を観察する閉ループ構成が使われていたため、ホルマントの変化と応答の切り分けが難しい。また、短時間の変調を用いる方法では、変調の開始と終了に対する応答が重複して分離困難になる。そこでホルマント周波数を階段状に変化させる開ループによって聴覚帰還制御特性を測定することとした。

#### (2) 白質の異方性比率低下

本研究では日本語を母語とする吃音者と非吃音者のFAを比較することを目的とした。吃音のある成人および吃音のない成人を対象に拡散テンソル画像撮影を行い、白質のFAを求め、吃音特有の神経接続性低下を解明することを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 開ループによるホルマント周波数変調実験

フィードバックに用いる刺激音は、被験者毎に録音した持続発声/e/を分析しF1の平均値を元に音声分析ソフトPraatによって合成された。合成音の持続音は5秒であり、開始から1.5秒、2秒、2.5秒でF1をステップ状に+または-100 Hzもしくは+または-200 Hz変化させた。ピンクノイズによる聴覚遮蔽下で持続母音/e/を5秒間発話させ、発話と同時に刺激を提示した。録音した発話をPraatにより分析し、得られたF1軌跡を刺激の変化時点に同期して加算平均して分析した。応答を微分しインパルス応答を求めた。得られたすべてのピークについてそれぞれの点においてt検定を行い、有意確率5%以下の応答のみを採用した。

#### (2) 白質の異方性の測定

拡散強調画像取得には以下のパラメータを用いた。繰り返し時間: 7000 ms, エコー時間: 74

ms, 有効視野: 281 x 281 mm, スライス厚: 3mm, スライス数: 45, ボクセルの大きさ: 2.2 x 2.2 x 3.0 mm, 断面解像度: 128x128, 拡散モード: Multi-directional diffusion weighting (MDDR), 方向数: 64, b0: 1000)。解析ソフトウェアFSLにて、FAマップの取得、頭蓋・脳脊髄液の除外、渦電流補正、標準脳への変換、マスクの作成を行い、SPM(version 12)にて統計処理を行った。得られたデータのうち、主に言語野・運動野を中心とした白質のFAを比較することで、吃音者が示すパターンを調べた。従来の統計手法であるTBSS(Tract-Based Spatial Statistics)ではマスクが細くなり、分析対象者全員の白質を含まない部分もあったため、全被験者でFAの閾値を0.3とした共通部分(論理積)でマスク作成し、より白質の実態に合わせた分析を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) ホルマント周波数変調に対する応答

日本語を母語とする成人男女18名(19-38歳、平均24.4歳、男性15名女性3名)が実験に参加した。そのうち吃音者が11名、非吃音者が7名であった。いずれの参加者も正常な聴力を持ち神経学的または精神疾患はなかった。

F1に $\pm 100$  Hzと $\pm 200$  Hzのステップ状の変調をかけた擬似音声フィードバック音声に対する発声F1の応答の例を図1に示す。また微分したインパルス応答を図2に示す。実線はすべてプラスで、0.4 s以降は比較的一定の値を取っている(プラトー)。点線は0.5 sにマイナスのピークがあり、1.5 s~2.0 sにプラスのピークを認めた。実時間の閉ループフィードバックを行った先行研究(阿栄娜ら2014, Cai et al., 2012, Villacorta et al., 2007)においても1 s以下の早い時間においては直線的な補償応答が得られているが、本報告の1 s以上でも直線の応答が得られたのは開ループで測定したためと考えられる。

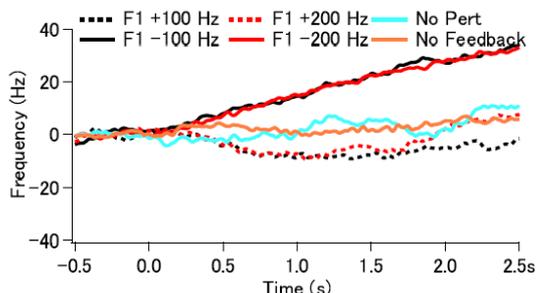


Fig. 1. 代表的な被験者のF1の応答.

横軸は変調開始を0とした時間(s), 縦軸は応答周波数(Hz). 変調開始前の0.5秒間の応答の平均値を0 Hzとした. 点線: 上向き変調への応答, 実線: 下向き変調への応答, 黒: 100 Hzの変調, 赤: 200 Hzの変調, 水色: 変調なし, 橙色: フィードバックなし

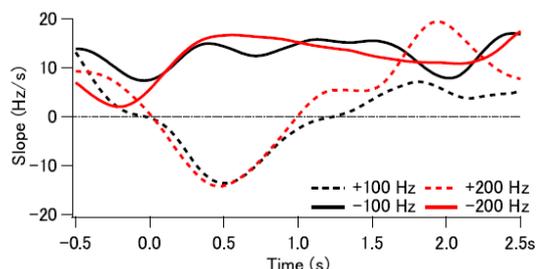


Fig. 2. F1の応答(Fig. 1)に対するインパルス応答. 横軸は変調開始を0とした時間(s), 縦軸は応答の傾き(Hz/s)(各線についてはFig. 1と同様).

t検定により有意なピーク潜時のみを求め図3に示した。0.9秒以降では刺激の変調と同じ方向に変化する追従応答がみられた。後者の応答はその潜時分布から、1.5秒以内とそれ以降の2群に分かれる可能性が示唆された。他のF1の聴覚フィードバック研究でも同様に応答の利得や潜時に変調周波数の方向による応答の非対称性が報告されている(Tourville et al., 2008)。

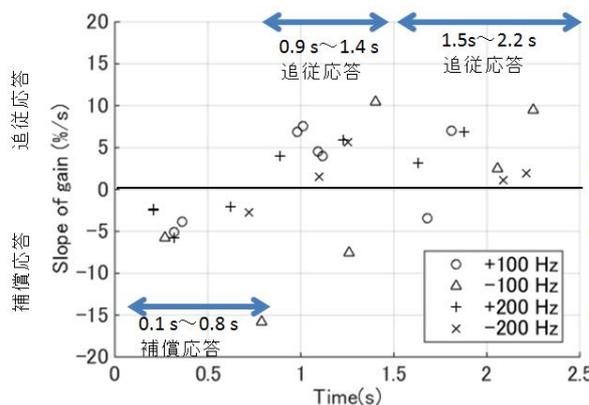


Fig. 3. インパルス応答のピークの利得と潜時の関係(t検定により有意な点のみ) 横軸は潜時, 縦軸は応答の傾きを示す。

当初の計画では、構音への意識の影響を調査するため2重課題を設定した実験環境を構築し、予備実験を行う予定であったが開ループによる変換聴覚フィードバック(TAF)に関するデータの

収集を基礎とし、吃音者・非吃音者の構音フィードバック制御に関する研究において分析が進んだため保留となった。具体的には、構音のフィードバック応答の分析において、今までに無かった試みとして応答曲線を微分することによって構音の制御特性を表すことが出来た。

## (2) 白質異方性の分析

日本語を母語とする吃音がある成人 18 名(平均 29.3 歳)、吃音のない成人 17 名(平均 27.3 歳)を対象に病院放射線科の MRI 装置(SIEMENS Skyra 3T 64 ch ヘッドコイル)を用いて拡散テンソル画像法(diffusion tensor imaging, DTI)による測定を行った。吃音者群は、病院の吃音外来受診の患者のうち実験協力を希望した者と研究所の被験者を含む。

吃音者において有意な白質の FA 低下が左弓状束の特に角回および弁蓋部の接続部において観察された。角回は発話に関するネットワークの経路となっており、発話のセルフモニタリングや言語理解に関係する(Lu et al., 2009)。また角回は高親密度の単語想起に関わり、機能的 MRI の測定では吃音者で賦活が低下する(森ら, 音声研究, 17:29, 2013) が、今回の結果は神経接続の低下からの裏付けとなった。弁蓋部では先行研究(Chang et al., 2015, 2008; Connally et al., 2013; Cykowski et al., 2010)に比べ、内側にて FA 低下が見られ、吃音者における神経線維のばらつきが大きいことが示唆された。先行研究の印欧語母語話者のみならず、日本語母語話者の吃音者においても左弓状束白質に乱れがみられることがわかった(図 4)。

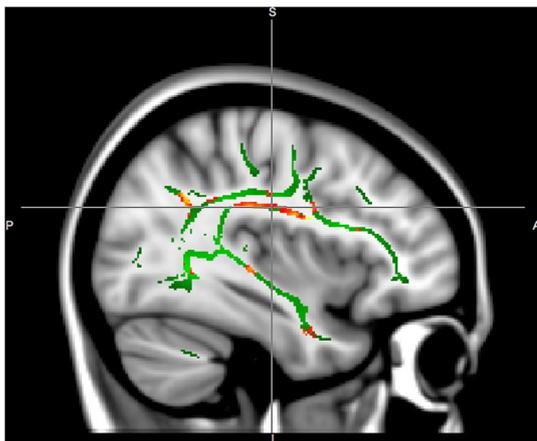


Fig. 4. FA が有意に低下した部位(黄-赤)を MNI 標準座標にマッピングした被験者全員の白質のスケルトン画像(緑)に示す ( $x=-31$ )。(画像中央の左右に伸びる赤い部位が弓状束)

本研究の最終的な目的は吃音治療に向けた発話の神経モデル化であった。本研究期間中は発話中の脳賦活位置の吃音者・非吃音者での差異についてターゲットとなる脳部位の検討を進めた。吃音者での白質の接続のモデル化に向けての基礎が得られた。

## 5 . 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計 2 件)

阿栄娜, 酒井奈緒美, 安啓一, 森浩一: スピーチ・シャドーイングの自宅訓練により改善が見られた成人吃音の 1 例, 音声言語医学, 59, pp. 169-177, 2018. 査読有.  
<https://doi.org/10.5112/jjlp.59.169>

井手正和, 矢口彩子, 渥美剛史, 安啓一, 和田真, “時間的に過剰な処理という視点からみた自閉スペクトラム症の感覚過敏,” BRAIN and NERVE - 神経研究の進歩, 69(11), pp. 1281-1289, 2017. 「査読論文」

### 〔学会発表〕(計 10 件)

K. Yasu, Rongna A, N. Sakai, and K. Mori, Fractional anisotropy decreases in the left arcuate fasciculus in people who stutter (PWS): A tractography study, 2018 Joint world congress One World Many Voices, 2018, Hiroshima

安啓一, “チュートリアル「障害とコミュニケーション」,” 音学シンポジウム 2017 (第 115 回 音楽情報科学研究会) Vol.2017-MUS-115, pp. 1-2, 招待講演, 2017-06-17.

M. Ide, T. Atsumi, K. Yasu, M. Wada, “Extraordinary enhanced temporal resolution in a person with autism-spectrum disorders: a voxel based morphometry MRI study,” Neuroscience 2017, 2P-357 2017-07-21.

K. Yasu, A Rongna, K. Mori and N. Sakai, Fractional anisotropy decreases at extended segments in the left arcuate fasciculus in people who stutter,” In Proc. of the Neuroscience 2016, 363.08, LLL53;2016-11-14.

A Rongna, K. Ochi, K. Yasu, N. Sakai, K. Mori, “Articulation rates of people who do and do not stutter during oral reading and speech shadowing,” The 5th joint meeting of acoustical society of America and Japan;2016-12-3.

安啓二, 阿栄娜, 森浩一, 酒井奈緒美, 日本語を母語とする吃音者における白質の異方性比率低下, 第4回吃音・流暢性障害学会研究発表抄録集, 2016-09-01.

阿栄娜, 越智景子, 安啓二, 森浩一, “吃音者と非吃音者の構音速度の比較,” 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, pp. 605-608, 2016-09-14.

阿栄娜, 酒井奈緒美, 安啓二, 森浩一, “在宅シャドーイング訓練により顕著な改善が見られた成人吃音の1例,” 第61回日本音声言語医学会講演論文集, 85, 2016-11-03.

安啓二, 阿栄娜, 森浩一, 酒井奈緒美, “合成音声を用いた開ループによる構音フィードバックの吃音者での応答,” 第60回日本音声言語医学会講演論文集, 71, 2015-11-03.

安啓二, 阿栄娜, 森浩一, “合成音による疑似聴覚フィードバック応答のピーク潜時と利得の関係,” 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, pp. 349-350, 2015-09-18.

〔図書〕(計2件)

イヴォンヌ・ヴァンザーレン イザベラ・K・レイチェル著, 森浩一・宮本昌子 監訳, クラタリング 早口言語症 特徴・診断・治療の最新知見, 学苑社, 2018, 総ページ数 206 (共著) 安啓二: 2章翻訳担当

日本音響学会 編.: 音響用語キーワードブック. コロナ社(東京). 2016; 総494ページ.(共著) 安啓二: pp. 314-315 “聴覚フィルタ”を分担執筆

〔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)研究分担者

なし

(2)研究協力者

なし