

平成 30 年 6 月 24 日現在

機関番号：30110

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K13221

研究課題名(和文) 調音運動の時間パタン分析に基づく音声言語に内在する時間構造の解明

研究課題名(英文) Investigation of the temporal structure in human speech by analyzing the temporal pattern of articulation and phonation

研究代表者

榊原 健一 (Sakakibara, Ken-Ichi)

北海道医療大学・リハビリテーション科学部・准教授

研究者番号：80396168

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：軟性ファイバースコープを用いた高速度デジタル撮像、EGG、PGGを用いて、話速を変化させた発話データに関し、発話運動の時間構造の分析をおこなった。声帯の開大運動の時間長は話速に関し線形かつ同じ比率で短縮して行く。一方、声帯の閉小運動の時間長は、話速に関し線形に短縮するが、短縮する比率は話速変化による割合よりも小さかった。声門の内転・外転運動における時間的制約が、先行・後続する母音に依存せずCV音節の時間長に制約を与えることが示唆された。音声における発話速度を規定する要因として、声門の内転・外転運動、すなわち、披裂軟骨の内外転運動、が大きな影響を与えていることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：We analyzed motor dynamics of articulation and phonation for speech data performed at various different speech rate using electroglottograph, photoglottograph, and high-speed digital imaging. The duration of the glottal opening decreased linearly and almost in equal portion to the duration of each segment regulated by the speech rate. On the other hand, the duration of the glottal closing decreased linearly to the duration of each segment, however, does not decrease less than expected from the decrease of the duration of each segment. This suggested that the motor dynamics of the adduction/abduction motion of the arytenoid cartilages may regulate the range of the duration of the CV segment. This also suggests that dynamics of the adduction/abduction motion of the arytenoids or vocal folds, i.e. phonation strongly affect on the regulation of human speech rate.

研究分野：音声科学

キーワード：音声学 音声情報処理 話速 調音運動 喉頭調節

### 1. 研究開始当初の背景

言語に用いられる音素の音声的実現(単音)には、母音、子音とも、(i) 許容される時間内で実現可能な調音運動という制約; (ii) 分節として聴取可能な音響的特徴という制約; という、言語に依存しないヒトの生理学的な発声運動・聴覚知覚の両面での制約を満たすことが必要である。また、特定の言語内では、それらの音が、(i) 話し分けが可能であること; (ii) 聞き分けが可能であること; により、音素体系が構成される。

従来研究において、特定の言語の音素体系が成立する必要条件としての生成および知覚の弁別範疇境界に関しては多くの報告があるが、音素として可能な分節音の決定および音素体系の構成についての必要十分条件の研究については、感覚運動の静的な制約を考慮した母音の分化過程の計算論的研究[1]は存在するものの、動的に変化する感覚運動を考慮した子音を含む音素全体についての研究報告は皆無であった。

したがって、喉頭の動態および舌・顎などの調音運動の動的な生理計測により、感覚運動のループかに起因する運動的制約が、ヒト音声における分節音の形成へどのように関与するかを明らかにするために、音素が分節音として満たすべき条件、音素対立など音素体系の構成する条件を、感覚運動の視点から明らかにし、音素の分化、音素体系の構成される過程を明らかにすることが、ヒト音声の進化論的観点からも重要であると考えられる。

母音の感覚運動における範疇境界は、運動では調音時の舌形状や口の開大の程度、知覚ではフォルマント周波数と、分節内での静的特徴により規定される。一方、子音は、許容される分節の時間長での動的な調音運動により実現され、知覚においても動的な音響特徴(雑音、無音区間、遷移的特徴など)が本質的である。また、ヒトの筋肉の特性に関する研究[2]によれば、喉頭が他の調音器官よりも時間応答が速く、この事実は、音声に内在する時間構造を喉頭の運動が規定する可能性を示唆しており、様々な話速での発話タスクを用い、発声器官それぞれの時間応答特徴を計測し、運動・知覚の類似度関数を定義することにより、音素体系を成立させる子音の進化論的な計算理論の基礎的検討が可能となると考えられる。

また、従来研究では、音声の時間構造を規定する生理学的要因として、顎の動きが母音、子音支配的な役割をするモデルが提案されてきたが[3]、(1) ヒト喉頭が鰓弓(魚類のエラ)由来であり呼吸などリズムカルな運動をおこなう; (2) ヒトの筋活動では、眼筋と内喉頭筋のみが、時間応答の速いミオシン重鎖を有している; という事実からも、音声に内在する時間構造の規定において喉頭が支配的な役割を果たしているという仮説は有力であると考えられた。

### 2. 研究の目的

本研究は、音声に内在する時間構造を規定する生理学的メカニズムを明らかにし、有限時間長において実現される調音運動の自由度/制約を生理的計測に基づきモデル化し、聴覚の時間特性による制約を加えることにより、言語における音素および音素体系を規定する生理学的基盤を、感覚運動の視点から明らかにすることを目的とした。

### 3. 研究の方法

喉頭の動態、および、舌・顎などの調音運動の生理計測および音響信号からの運動推定により、音素が分節音として満たすべき条件、音素対立など音素体系の構成する条件を明らかにし、音素の分化、音素体系の構成される過程を明らかにする。

喉頭、舌、顎その他の発声器官に関し、(1) 喉頭の動態、特に声帯の内外転運動; (2) 舌や顎などの調音器官の運動; を音声および生理計測から推定し、計測結果に基づき子音の分化・進化に関し計算理論を構築する。様々な話速での発話タスクを用い、発声器官それぞれの時間応答特徴を計測し、運動・知覚の類似度関数を定義することにより、音素体系を成立させる子音の進化論的な計算理論の考察をおこなう。

本研究では、発声時の動的な運動を、喉頭の動態の直接的な方法(ファイバースコープを用いた高速度デジタル撮像)および間接的方法(電気式声門図 EGG, 光電式声門図 PGG)による計測、舌、顎を中心とした調音器官の運動の音声信号からの推定を、同時におこない、調音器官それぞれの運動の時間応答を、極限までに遅い/速いものを含む様々な話速によるタスクを用いて、音声に内在する時間構造、および、分節として許される時間長における分節音の動的な特徴を明らかにし、言語の分節音として可能な母音/子音の集合を決定し、それらの分節音の集合に対して、同様の様々な話速によるタスクにより、生成、知覚の範疇境界を動的に捉え、音素の分化過程、音素体系の進化を解明する。

### 4. 研究成果

軟性ファイバースコープを用いた高速度デジタル撮像、EGG、PGGを用いて、話速を変化させた発話データの分析をおこなった。

話速を極端に速くしていくと、声帯の開閉運動の時間長は短くなるが、声帯の内外転運動に関しては、話速の影響が内転運動と外転運動とでは非対称な影響が生じることが明らかになった。

開大運動の時間長は話速が速くなるにつれて線形かつ、話速と同じ比率で短縮して行く。一方、閉小運動の時間長は、話速が速くなるにつれて線形に短縮するが、短縮する比率は話速変化による割合よりも小さい。極端に速い話速では、下限値に漸近する傾向が認め

られた[4].

また、開大の開始時刻は後続母音の持続時間を短縮し、声帯の開大時間では、声帯が開大する時間内で停止し、停止とともにすぐに閉小運動に転じることが明らかになった。破裂音の無音区間、摩擦音の摩擦区間の長さの変化は、話速が速い場合は、声門の閉小運動の速度が主な要因となっていることが分かった。この現象は、開大運動は主に、上昇する声門下圧と声帯の内転力との拮抗関係が崩れることにより開始し、外転させる声門内圧により運動速度が決まるが、閉小運動は、内喉頭筋による能動的な内転運動により、随意的に運動の速度が決まることによると考えられる。VOT など子音の時間構造を決定する上で、速い話速では、声門の内転・外転運動における時間的制約が、先行・後続する母音に依存せず、子音の時間長に制約を与えることが示唆された。音声における発話速度を規定する要因として、声門の内転・外転運動、すなわち、披裂軟骨の内外転運動、また、その運動を実現するミオシン重鎖を有している時間応答の速い内喉頭筋（内転：外側輪状甲状筋、披裂筋、外転：後輪状披裂筋）の運動特性が大きな影響を与えていることが示唆された。

#### <引用文献>

- [1] B. de Boer, *The origins of vowel systems*, Oxford Univ. Press, 2001.
- [2] A. Shiotani et al., Myosin heavy chain composition in human laryngeal muscles, *Laryngoscope*, 109:1521--1524, 1999.
- [3] O. Fujimura, The C/D model and prosodic control of articulation behavior, *Phonetica*, 57: 128—138, 2000.
- [4] K.-I. Sakakibara, K. Yamakawa, H. Imagawa, A. Yamauchi, T. Goto, K. Maki, and S. Amano, Physiological features of geminate depending on the spaking rate, *J. Acoust. Soc. Am.*, 2016, 140:4, 3223-3223  
<https://doi.org/10.1121/1.4970173>

#### 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2件)

1. K.-I. Sakakibara, K. Yamakawa, H. Imagawa, A. Yamauchi, T. Goto, K. Maki, and S. Amano, Physiological features of geminate depending on the spaking rate, *J. Acoust. Soc. Am.*, 査読無, 2016, 140(4):3223—3223,  
<https://doi.org/10.1121/1.4970173>
2. 山川 仁子, 天野 成昭, 日本語の無声摩擦音・摩擦音を表すハングル表記の知覚的妥当性の検討, 日本語学研究, 査読

有, 2018, 55:128-139.

##### [学会発表](計5件)

1. K.-I. Sakakibara, K. Yamakawa, H. Imagawa, A. Yamauchi, T. Goto, K. Maki, and S. Amano, Physiological features of geminate depending on the spaking rate, 5th Joint meeting of the Acoust. Soc. of Am., and Acoust. Soc. Jpn., 2016, Hawaii, USA.
2. S. Amano, and K. Yamakawa, Perception boundary of Japanese singleton and geminate stop with devoiced vowels, The International Symposium on Monolingual and Bilingual Speech (ISMBS 2017), Chania, Greece.
3. 天野 成昭, 山川 仁子, 母音の無声化を伴う促音・非促音の知覚範疇境界を表す変数, 日本音響学会秋季研究発表会, 2017, 愛媛, 日本.
4. 天野 成昭, 近藤 真理子, 山川 仁子, 促音・非促音を含む単語における発話速度と母音無声化率, 日本音響学会春季研究発表会, 2018, 埼玉, 日本.
5. 松本 遙, 水町 光徳, 榊原 健一, 日本語母音発話の主観印象と母音空間パラメータの関係, 電子情報通信学会応用音響研究会, 2018, 沖縄, 日本.

##### [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

榊原 健一 (SAKAKIBARA, Ken-Ichi)  
北海道医療大学・リハビリテーション科学部・准教授  
研究者番号：80396168

##### (2)研究分担者

山内 彰人 (Yamauchi, Akihito)  
国立研究開発法人国立国際医療研究センター・その他部局・耳鼻咽喉科医師  
研究者番号：90612507

後藤 多嘉緒 (Goto, Takao)  
東京大学・医学部附属病院・助教

研究者番号：20735930

天野 成昭 (Amano, Shigeaki)  
愛知淑徳大学・人間情報学部・教授  
研究者番号：90396119

牧 勝弘 (Maki, Katuhiro)  
愛知淑徳大学・人間情報学部・教授  
研究者番号：50447033

山川 仁子 (Yamakawa, Kimiko)  
尚絅大学・文化言語学部・准教授  
研究者番号：80455196

(3)連携研究者  
なし

(4)研究協力者  
なし