

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：32601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K00548

研究課題名(和文) 調音動作の組織化と声道形態の個人差：RtMRIと3D-MRIデータに基づく研究

研究課題名(英文) Articulatory Organisation and Individual Differences in Vocal Tract Morphology:  
A Study based on Real-time MRI and 3D-MRI Data

研究代表者

中村 光宏 (Nakamura, Mitsuhiro)

青山学院大学・文学部・教授

研究者番号：10256787

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：話しことばを生み出す調音運動の制御と言語学的条件・生物学的制約との関係を追  
究した。「音声生成に関わる喉頭より上の調音器官(喉頭、咽頭、舌、歯、両唇、顎、軟口蓋)はひとつの機能  
的単位であり、その制御活動は言語学的役割を達成するために組織化される」という仮説にたって、調音動態の  
観測、データ収集と統計的解析を遂行した。4つの主要課題(調音動作の変動性、調音動作の制御にみられる個  
人差、調音動作の制御と声道の形態的特徴、普遍音声学と個人差)について有益な知見が得られた。本研究は、  
調音動作の組織化原理を探究し、音声生成・知覚機構の研究と音韻理論の研究の接点に関する理解を深めること  
に貢献するものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、ことばを生み出す身体器官(舌や両唇など)の動態観測を行い、どのように制御されているかを調  
査分析して、音声コミュニケーションの基盤を解明することを目標としている。調音動作の制御とその個人差を  
探究し、話者間で異なる音声実現(発音の個人差)の要因について明らかにした。本研究で得られた新たな知見  
は、音声学・音韻論研究の発展に貢献するものであり、私たちヒトや日常的な音声コミュニケーションについて  
の理解を深化させることにつながる。本研究は、このような学術的・社会的意義をもつ基礎研究である。

研究成果の概要(英文)： This theoretical and experimental study explores the relationship between  
the control of articulatory gestures and the morphological characteristics of the vocal tract.  
Various supralaryngeal articulators (the larynx, the pharynx, the tongue, the soft palate, the  
teeth, the lips, and the jaw) will work as a functional unit in order to achieve the goals in speech  
communication. Based on this hypothesis, we investigated the organizational principles of  
articulatory gestures and their relation to linguistic structure. This study contributes to a better  
understanding of speech production and phonetics-phonology interface.

研究分野：音声学・言語学

キーワード：音声学 言語学 調音動作 声道形態 個人差

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

話しことばを生成する調音運動の制御には、どのような言語学的条件や生物学的制約が関係するのだろうか。この問いを探究するために、本研究では、磁気共鳴画像法 (MRI) に基づく音声データベースとマルチチャンネル調音データベースを利用して、データ収集・調音動作の動態観測・統計的解析を実施し、集積した音声事実に基づいて、音声学理論・音韻理論に照合した検討・考察を進めることとした。

本研究では、調音音韻論 (Articulatory Phonology : Browman & Goldstein 1992) という研究プログラムにおける「音声言語に対する接近法」を採ることにより、調音動作の動態・心的表示と言語学的モデル化を体系的・組織的に探究することを試みる。調音動作 (articulatory gesture) は、本研究の基盤をなす概念のひとつである。これは調音音韻論に基づく概念で、声道変数 (tract variables ; 舌・両唇・軟口蓋・喉頭など声道を形成する調音器官) によって定義される。調音動作は、発話における最小識別単位であり、語彙項目における音韻対立を形成する機能をもつと共に、調音器官による狭窄の形成・開放を実行するための制御構成としても機能すると仮定されている。このように「調音動作」が言語学的情報の単位と調音運動の単位という2つの役割をもち、音声生成における範疇的 (categorical) 情報と漸次的 (gradient) 情報を直接的に捉えられるところが、他の音韻理論と著しく異なる点である。本研究において、調音音韻論を理論的基盤としたのは、調音動作の制御原理と言語学的モデルに関する検証を進めるためである。

本研究では、本節冒頭に挙げた問いに接近するために、連続音声プロセスや音声変異を選定して、調音運動の動態観測、調査・分析を行う。そして、調音動作の組織化と声道形態の個人差との関係についての考察を進めることとした。

### 2. 研究の目的

本研究は、音声生成・知覚機構における言語学的情報と調音運動の制御原理との関係を解明することを目的とする実験音声学的・実験音韻論的研究である。「言語音の調音に関与する喉頭より上の調音器官 (喉頭、咽頭、舌、歯、両唇、顎、軟口蓋) はひとつの機能的単位であり、その制御活動は言語学的役割を達成するために組織化される」という仮説にたって、調査分析を遂行した。本研究は、調音音声学研究を深化させるとともに、音声生成の生物学的基礎、そして音声生成・知覚機構の研究と音韻論の研究との接点 (インターフェイス) に関する理解を深めることを目標としている。

### 3. 研究の方法

本研究における調音動作の観察、データの収集、調査分析は、次の3つの音声コーパスを使用して進めた。以下に各コーパスの内容を概略的に記述する。

#### (1) リアルタイム MRI データベース (USC-TIMIT)

南カリフォルニア大学 (University of Southern California、USC) の研究チーム SPAN によって構築されたアメリカ英語の調音・音響・RtMRI データベースである。本データベースは、MOCHA-TIMIT (以下の(3)を参照) と同じ460のテスト文を使用し、リアルタイム MRI による声道全体の動きを正中矢状面で捉えたデータと共に、MOCHA-TIMIT と同様に、Electromagnetic Articulograph (EMA : 唇・舌など調音器官に金属小片を接着し、その動きを追跡する機器) を使用した口腔内の調音器官の運動データも収録されている。本研究開始時において、このデータベースは話者10名のデータで構成されていた。

#### (2) 3次元 MRI データベース (USC Speech and Vocal Tract Morphology MRI Database)

南カリフォルニア大学の研究チーム SPAN によって構築されたアメリカ英語の調音・音響・RtMRI・3D-MRI データベースである。本データベースには、話者17名の音声収録されており、それらは、全ての母音・子音の調音 (3D-MRI)、「北風と太陽」など音声診断用文章の読み上げ (rtMRI)、完全な自発的発話 (rtMRI) である。

#### (3) マルチチャンネル調音データベース (MOCHA-TIMIT)

Queen Margaret University (スコットランド) の Alan Wrench 博士によって構築されたイギリス標準発音の調音・音響データベースである。音声的にバランスのとれた460のテスト文を7名の話者が読み上げ、その収録には多様な音声記録機器 (動的人工口蓋 (Electropalatograph : 舌と上顎の接触パターンを記録する機器)、ラリノグラフ (Laryngograph : 声帯振動の有無を記録する機器)、EMA、音響録音) が利用されている。

### 4. 研究成果

本節では、次の4つの観点から研究成果を概観する。それらは、(1) 調音動作の変動性、(2) 調音動作の制御にみられる個人差、(3) 調音運動の制御と声道の形態的特徴、そして、(4) 普

遍音声学と個人差である。

### (1) 調音動作の変動性

伝統的音声学の接近法に基づく研究によって、例えば、earn more や corn candy のような単語連続では、それぞれ ear[m]more や cor[ŋ]candy のように、語末の歯茎鼻音/n/が後続する両唇音/m/や軟口蓋音/k/の影響を受け、しばしば、両唇鼻音 [m]や軟口蓋鼻音 [ŋ] となることが明らかにされている。多くの音声学・音韻論的記述では、調音位置同化を引き起こす音に分析の関心が集中しており、同化の目標となっている音(この場合 /n/)については、その実態が十分に解明されていない。本研究では、調音位置同化の目標である歯茎鼻音/n/ に対する舌尖・舌端調音 (tip/blade gesture) の実態を調査分析し、調音動作の変動性について検討した。

調査分析の結果、語末 /n/ に対する舌尖・舌端調音 (tip/blade gesture) が実現されない傾向が観察された。舌尖・舌端調音の実現には個人差があり、完全閉鎖の形成と上昇動作の未実行という2つのタイプに大別される範疇的傾向が明らかになった。この結果は、先行研究において報告されている結果と異なるものである(先行研究では、舌尖・舌端の上昇動作は連続的性質をもち、中間的な調音が観察されるという報告がなされている)。この不一致については、更なる調査分析が必要である。また、本研究の結果は、調音動作の構成性の観点から、/n/ は、舌尖・舌端の上昇動作と軟口蓋の下降動作という複数の調音動作で構成されるが、その実現は個別に選択できることを示唆しており、Tilsen & Goldstein(2012)が提案する「調音動作の個別選択」を支持する結果であると言えるだろう。この点については、舌尖・舌端動作と軟口蓋動作との協調タイミングを検討することで有益な知見が得られると考えられる。そして、調音動作の変動性に関する本調査分析結果は、調音音韻論において仮定される語彙表示が、経験によって変化するか、それとも不変かという新たな問題を提起するものでもあることを付言したい。

### (2) 調音動作の制御にみられる個人差

英語における有声歯茎側面接音 /l/ の調音動作の空間的・時間的特徴を調査分析した。/l/ に関する先行研究においては、その調音動作が舌尖調音 (apical) と舌端調音 (laminal) に大別されるが、これら2種類の調音動作を時間的制御の観点から検討した研究はほとんど見あたらない。更に、2種類の調音動作は独特の舌全体の形状を生成するが、その生成プロセスは十分に理解されていない。本調査分析では、リアルタイムMRIデータベースを使用し、歯茎部における完全閉鎖の形成過程、舌全体の形状の形成過程、舌尖・舌端調音と舌背調音との協調タイミングを観測し、調音動作の制御構成の観点から考察した。

3つの主要な結果が得られた。構音時の正中矢状面画像の観察・分析により、10名の被験者のうち8名が舌尖調音話者、2名が舌端調音話者であることが分かった。舌尖調音による完全閉鎖形成過程は3段階に分れる。(a)正中矢状面において舌前方に「くぼみ」が形成され、(b)舌尖が歯茎部方向に伸長して完全閉鎖を実現し、舌全体は凹面状(concave)になる。そして、(c)舌背が咽頭壁方向に後退する。くぼみの形成は母音化した/l/の調音にも観察されたが、舌端調音話者では観察されなかった。舌尖調音に独特のくぼみの形成は、歯茎部に対する舌尖動作の接近角度(orientation angle)調整のための準備動作であるとともに、舌尖調音の開始動作でもあり、完全閉鎖形成時に、凹面の舌形状を生成すると考えられる。音節頭/l/における協調タイミングは、舌尖・舌端調音 (tip/blade gesture) が舌背調音 (dorsum gesture) に先行するパターンが観測され、音節末/l/では逆のパターンが観察された。この協調タイミングに関する結果は先行研究のものと一致する。このような結果は、調音動作の制御構成には個人差が認められることを示唆するものである。この仮説の検証を進めるひとつの方法として、2種類の調音に関する調音動作と音響的特徴との対応関係を更に詳細に調査分析することを計画している。

このような英語/l/の生成における舌の全体的形状と、舌尖調音・舌端調音の区別は、先行研究の調査分析と合わせて考えることができる。オーストラリアのWubury語の研究(Best et al. 2014)では、舌尖調音において、舌尖を適切な角度で上昇させ、完全閉鎖を形成する動きを助けるように舌背(動作)がほとんど停止しているが、一方、舌端調音では、舌背は舌尖・舌端に連動して動くことが報告されている。このような運動パターンは、英語の阻害音にも観察されている(Derrick et al. 2014)。これらの先行研究が対象としているのは単一分節音(simplex segment)であるが、本研究の/l/は複合分節音(complex segment)であり、子音動作と母音動作で構成される。このような特徴をもつことから、分節音の調音的特性や、舌尖調音・舌端調音の音韻的位置づけは十分に考慮されなければならないと考えられる。最後に、英語/l/の2種類の調音動作の区別を探究することにより、次のような新たな問いが生まれた:話し手がどのようにして一方の調音動作を選択するか。今後の研究課題として継続的に探究していく考えである。

### (3) 調音運動の制御と声道の形態的特徴

声道の形態的特徴と調音動作の制御との関係について、本研究課題を遂行することによって得られた成果の一部を含め、サーベイ論文を執筆・公表した。先行研究では、音声実現の変動の実態を捉えるために、調音・音響・知覚に関わる特徴や、言語学的・社会言語学的要因が調査されてきた。本研究では、音声的変動の生物学的要因に焦点を絞り、主要な先行研究を復習し、声道の形態的特徴と調音動作の制御との関係を検討して、今後の研究課題を整理した。主要な調査結果を以下に記述する。

音声学研究では、音声器官の習慣的制御の検討に重点が置かれ、個人差については(その存在は認識されていたが)ほとんど検討されてこなかった。これは音声学研究における理論的仮説と関連している。

先行研究の接近法や調査対象は様々であったが、共通する仮説が存在しており、その検証が目的のひとつであった。その仮説は「話者は生成される言語音を適切な聴覚範囲内に収め、意図した音が正しく伝達されるように、話者自身の声道形態に合わせて調音動作を調整している」である。現時点では、更なる音声学的事実の集積が必要と判断できる。

音声学的変動の生物学的要因を探る試みは、音声学・音韻論研究に新たな問題を提起するものでもある。例えば、音声生成モデルにおける個人差の位置づけや、声道の形態的特徴と言語の音体系との関係が挙げられる。音韻論の生物学的基礎の探求は、音声科学、話ことばの進化、ことばの多様性等の課題と関連性をもつことにより、研究分野としての深化と多様化が進むことが予期される。

#### (4) 普遍音声学と個人差

本研究の調査分析結果に基づき、普遍音声学の位置づけを再検討した。生成文法理論に基づく生成音韻論の枠組みにおいて、普遍音声学(Universal Phonetics)は、文法(Grammar)には含まれない自動的で予測可能な構成要素と位置づけられている(Chomsky & Halle 1968)。音韻部門で適切な出力表示が構築されれば、普遍音声学(音声部門)において自動的に調音運動が実現されるという考えである。しかし、一見すると低レベルの音声現象(例えば、母音の持続時間や有声タイミング)にも言語ごとに独特の特徴があることが示され(Keating 1985, Diehl 1991)、自動的で予測可能という特徴づけに疑問が投げかけられている。また、音声学・音韻論のインターフェイスモデルとして、音韻表示と音声表示を区別しない調音音韻論(Browman & Goldstein 1992)が提案され、そこでは音韻表示 音声表示 音声生成という「翻訳」が廃止されている。そして、音韻論の生物学的基盤を探究する研究(Fuchs et al. 2007)においては、音声生成における個人差に新たな光が当てられ、生物学が音韻論の限界や基本的枠組みに強い影響を与えることが示唆されている。このような研究背景を念頭におき、関連する先行研究と共に、普遍音声学の位置づけを検討した。

本研究における調音動態の観測・分析結果、口蓋形状と母音調音の分析結果(例えば、Lammert et al. 2013)および調音基底(articulatory settings)の分析結果(例えば、Ramanarayanan et al. 2013)に基づいて、声道形態の違いが調音変動の要因のひとつであり、話者が口蓋形状の違いに対応するために調音タスクを開発および学習している可能性があることを明らかにした。従来、個人差は当該言語の音声運用上の問題とされていたが、現在においては、話者間にみられる類似点と相違点は重要なデータであり、音声学と音韻論がどのように相互作用するかという根本的問題を提起していることを明示した。

本研究では、上の4つの課題(調音動作の変動性、調音動作の制御にみられる個人差、調音動作の制御と声道の形態的特徴、普遍音声学と個人差)について有益な知見が得られた。加えて、更なる音声事実を集積することが必要であることが明らかになった。近年の音声生成研究・調音音声学研究において、リアルタイム磁気共鳴画像法(RtMRI)と3次元/ポリウム磁気画像法(3D-MRI)は重要な技術として注目されてきている。RtMRI技術は、連続音声における声道全体の形状とその動態観測を可能とし、声道形成と調音器官の包括的な協調タイミングに関する情報を提供する。3D-MRI技術は、調音器官(上顎、舌、咽頭など)の形状やサイズに関する詳細な情報を提供する。現在、新しい音声分析機器の導入によって、調音器官の形態や調音動作の動態を詳細に観察できるようになりつつある。本研究における音声学的変動の生物学的要因を探る試みは、音声学・音韻論インターフェイスに関する興味深い問題を提起しており、話者間変動性の研究と音韻論の生物学的基礎の研究が今後更に発展することが望まれる。

#### 引用文献

- Chomsky, N. and M. Halle. (1968) *The Sound Pattern of English*. New York: Harper & Row.
- Best, C.T., C.H. Kroos, R.L. Bundgaard-Nielsen, B. Baker, M. Harvey, M. Tiede, and L. Goldstein. (2014) 'Articulatory basis of the apical/laminal distinction: Tongue tip/body coordination in the Wubury 4-way coronal stop contrast.' *Proceedings of the 10th International Seminar on Speech Production, Cologne, Germany*, pp. 33-36.
- Browman, C.P. and L. Goldstein. (1992) 'Articulatory Phonology: an overview.' *Phonetica*, 49, pp. 155-180.
- Derrick, D., R. Fiasson, and C.T. Best. (2014) 'Coordination of tongue tip and body in place differences among English coronal obstruents.' *Proceedings of the 10th International Seminar on Speech Production, Cologne, Germany*, pp. 94-97.
- Diehl, R.L. (1991) 'The Role of Phonetics within the Study of Language.' *Phonetica*, 48, pp. 120-134.

- Fuchs, S., B. Pompino-Marschall, and P. Perrier. (2007) 'Is There a Biological Grounding of Phonology?: Determining Factors, Optimization, and Communicative Usage.' In *Proceedings of ICPHS XVI, Saarbrücken*, pp. 219-223.
- Keating, P.A. (1985) 'Universal Phonetics and the Organization of Grammars.' In V.A. Fromkin (ed.) *Phonetic Linguistics*. New York: Academic Press, pp. 115-132.
- Lammert, A., M. Proctor, and S. Narayanan. (2013) 'Interspeaker Variability in Hard Palate Morphology and Vowel Production.' *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 56, pp. S1924-S1933.
- Ramanarayanan, V., L. Goldstein, D. Byrd, and S. Narayanan. (2013) 'An investigation of articulatory setting using real time magnetic resonance imaging.' *Journal of the Acoustical Society of America*, 134(1), pp.510-519.
- Tilsen, S. and L. Goldstein.(2012) 'Articulatory gestures are individually selected in production.' *Journal of Phonetics*, 40(6), pp. 764-779.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 中村光宏	4. 巻 62
2. 論文標題 英語鼻音の調音位置同化における調音動作の弱化：EPGとEMAによる分析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 青山学院大学文学部紀要	6. 最初と最後の頁 75-93
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.34321/21758	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 中村光宏	4. 巻 94
2. 論文標題 声道の形態的特徴と調音動作の制御	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 『英文学思潮』	6. 最初と最後の頁 97-113
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.34321/22129	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Mitsuhiro Nakamura	4. 巻 1
2. 論文標題 Exploring temporal characteristics of lingual gestures in American English //	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 19th International Congress of Phonetic Sciences, Melbourne, Australia	6. 最初と最後の頁 2806-2810
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Mitsuhiro Nakamura	4. 巻 1
2. 論文標題 What can Individual Phonetic Variation Tell us about Phonology?	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Book of Abstracts, The 25th International Scientific Conference of Jonas Jablonskis, Variation across Languages and their Varieties, Vilnius University, Lithuania	6. 最初と最後の頁 52-54
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4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 中村光宏
2. 発表標題 話しことばの観測と音声変異の特徴づけ
3. 学会等名 第53回青山学院大学英文学会（オンライン開催）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mitsuhiro Nakamura
2. 発表標題 Exploring temporal characteristics of lingual gestures in American English //
3. 学会等名 The 19th International Congress of Phonetic Sciences, Melbourne, Australia（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mitsuhiro Nakamura
2. 発表標題 What can Individual Phonetic Variation Tell us about Phonology?
3. 学会等名 The 25th International Scientific Conference of Jonas Jablonskis, "Variation across Languages and their Varieties." Vilnius University, Vilnius, Lithuania（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mitsuhiro Nakamura
2. 発表標題 Universal Phonetics, or Searching for the Biological Grounding of Phonology.
3. 学会等名 The 6th Meeting of Linguistics Beyond and Within, International Linguistic Conference in Lublin, John Paul II Catholic University of Lublin, Poland（国際学会）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

調音パラメタを基盤とする接近法（本研究課題の理論的基盤のひとつ）に基づき、英語子音を解説した次の執筆（共著）を記録しておきたい。

中村光宏・市崎一章（2022）「第4章 英語の分節音 - 子音 - .」長瀬慶來教授古希記念出版刊行委員会（編）『英語音声学・音韻論 - 理論と実践』大阪市：大阪教育図書，pp. 61-84.（ISBN978-4-271-21078-8）

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
---------	---------