

Title	Pronunciation Muscle Training Kit : 身体性認知を用いた第二言語としての英語発音学習システム
Sub Title	Pronunciation muscle training kit : the ESL (English as a second language) pronunciation learning system with embodied cognition
Author	助川, 祥(Sukegawa, Shō) 奥出, 直人(Okude, Naohito)
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2019
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2019年度メディアデザイン学 第707号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002019-0707

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文 2019年度（平成31年度）

Pronunciation Muscle Training Kit :
身体性認知を用いた
第二言語としての英語発音学習システム

慶應義塾大学大学院
メディアデザイン研究科

助川 祥

本論文は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に
修士(メディアデザイン学) 授与の要件として提出した修士論文である。

助川 祥

研究指導コミッティ：

奥出 直人 教授 (主指導教員)

南澤 孝太 教授 (副指導教員)

論文審査委員会：

奥出 直人 教授 (主査)

南澤 孝太 教授 (副査)

石戸 奈々子 教授 (副査)

修士論文 2019年度（平成31年度）

Pronunciation Muscle Training Kit :
身体性認知を用いた
第二言語としての英語発音学習システム

カテゴリー：デザイン

論文要旨

本論文では、英語を第二言語とする日本人学習者が、英語によるコミュニケーションにおいて明晰な発音を行うための、口内の筋肉のコントロールの向上を図ることのできる自習システム『Pronunciation Muscle Training Kit』について論じる。『Pronunciation Muscle Training Kit』は母音や子音を含む分節音素、そして、強さ・高さ・長さのような、複数の音素にまたがって現れる超分節音素の発音の習得を支援する自習システムである。日本人学習者は英語の発音の学習において、目標とする音素の習得のために調音音声学に基づいた発音指導を受ける。その後の自習フェーズにおいて、自習システムである『Pronunciation Muscle Training Kit』を用いたトレーニングを行う。本自習システムを使用することで、音声の音響学的特徴から学習者の発音が分析される。ここで、自分の発音と目標とする発音の音に違いが見られた場合、自身の発音に対して、どのような口の筋肉の動かし方をしているのか確認することができ、目標とする発音に対してどのように筋肉を動かせば良いかがアドバイスされる。学習者はこのアドバイスに倣い、理想とする調音方法で自らの発音を矯正する。このサイクルを繰り返すことで学習者は、目標とする音素の正しい発音を身体的に理解し、英語での発話に必要な筋肉を正しくコントロールすることで、明晰な発音を行うことができるようになる。

本学習環境は、イギリスの哲学者であり、エディンバラ大学教授の Andy Clark がする身体性認知の理論に立脚しデザインされている。身体性認知とは脳・身体・環境が相互作用することで一つの認知システムが形成され、そこから複雑な物理現象が生まれるという概念である。この身体性認知の概念に倣い、日常的に英語を用いる指導者への民族誌調査を行い、その分析データに基づいて、本自習システムおよび自習システムを統合した学習環境の設計を行った。

本研究では、設計した自習システムのプロトタイプを用いて、英語を第二言語とする日本人学習者を対象にユーザースタディを行い、コンセプトの有効性を示した。

キーワード：

認知言語学、身体性認知、調音教示、第二言語としての英語学習、コンピューターを利用した語学学習

慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科

助川 祥

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2019

Pronunciation Muscle Training Kit :
the ESL (English as a Second Language)
Pronunciation Learning System with Embodied Cognition

Category: Design

Summary

In this thesis, we propose “Pronunciation Muscle Training Kit”, a learning material that enables Japanese learners who use English as a second language to better understand English words in oral communication contexts. “Pronunciation Muscle Training Kit” supports the acquisition of articulations of segmental phonemes that appear across multiple phonemes, such as vowels and consonants, and suprasegmental phonemes including strength, height, and length. By using this learning material, Japanese learners receive pronunciation instructions based on articulatory phonetics to learn the phonemes: The learner’s pronunciation will be analyzed in terms of the acoustic characteristics of the voices. If there is difference between the learner’s pronunciation and the standard pronunciation sample, the learner will be asked to tell how they had moved their mouth and tongue to make the pronunciation, based on which they will at last receive advice on how to move the muscles to achieve a standard accent. The learner, thus, follows this advice and corrects his pronunciation with the proposed articulation method. By repeating this cycle, the learner will gradually achieve a clearer pronunciation and concurrently be trained into the “English body” that can understand English pronunciation.

This learning material is designed based on the theory of Embodied Cognition by Andy Clark, professor at the University of Edinburgh. Embodied Cognition holds that a brain, body, and environment interact to form a single cognitive system from which complex physical phenomena are born. Based on this concept of somatic cognition, we conducted ethnographic surveys of instructors who used English on a daily basis, and designed a learning material based on the data.

In this study, using the designed learning material prototype, user study was conducted for Japanese learners who speak English as second language, and validated the ESL environment.

Keywords:

Cognitive Linguistics, Embodied Cognition, ESL(English as Second Language), Articulation Teaching, Learning, CALL(Computer-Assisted Language Learning)

Keio University Graduate School of Media Design

Sho Sukegawa

目 次

第1章 序論	1
1.1. イントロダクション	1
1.2. グローバル化の進展と英語学習の現状	2
1.3. 本学習環境における理論的な枠組み	3
1.4. デザイン手法	14
1.5. 本研究の貢献	16
1.6. 本論文の構成	16
注	17
第2章 関連研究	19
2.1. 言語学習のための外部的足場作り	19
2.2. CALL システムを用いた言語学習	21
2.3. 音素、韻律の習得によるリスニング能力の向上	23
2.4. 本研究が貢献する領域	25
注	27
第3章 デザイン	28
3.1. コンセプトのデザイン手法	29
3.2. 民族誌調査とモデリング	30
英語話者による調音方法の指導の民族誌調査	31
発音指導を中心とした英語教育を試みる英語教師への 映像民族誌調査	37
3.3. 身体性認知の概念を用いた民族誌調査	43

英語話者の発音時における身体動作の記録	44
音声の分析にあたって	44
英語話者の身体動作の分析	48
3.4. フォルマント周波数の値を基にした発音の矯正	50
3.5. 理想の発音とするフォルマント周波数の目標値の設定	55
3.6. 「Prosody Muscle Training Kit」の設計と仕様	57
ターゲットペルソナ	57
コンセプトスケッチ	59
コンセプトドローイング	60
ユースケース	63
注	72
第4章 プルーフオブコンセプト	74
4.1. ターゲットユーザー	77
4.2. ユーザースタディの環境	78
4.3. ユーザースタディ1	80
ユーザースタディ1の手順	80
ユーザースタディ1の結果	81
4.4. ユーザースタディ2	101
ユーザースタディ2の手順	101
ユーザースタディ2の結果	102
4.5. 考察	120
ユーザースタディを通して検証された有効性	121
ユーザースタディを通して判明した課題	122
注	125
第5章 結論	126
5.1. 本論文の結論	126
5.2. 本研究における課題	127
5.3. 今後の展望	129

謝辞	130
参考文献	132
付録	137
A. Peterson and Barney による各フォルマント周波数値の比較	137

目 次

1.1	声道の振動による音のスペクトル ¹⁵	7
1.2	閉管の共鳴	8
1.3	音源フィルタ理論 ⁷	9
1.4	日英語の母音 (ファンダメンタル音声学 p.2 より引用) ¹⁸	11
1.5	日英語の母音 (ファンダメンタル音声学 p.22 より引用) ¹⁸	12
3.1	日本人学習者に対して、発音の指導を行う樋口氏	31
3.2	「Prosody Master Club」のフローモデル	32
3.3	「Prosody Master Club」のシークエンスモデル1	32
3.4	「Prosody Master Club」のシークエンスモデル2	33
3.5	「Prosody Master Club」のアーティファクトモデル	33
3.6	「Prosody Master Club」のフィジカルモデル	34
3.7	「Prosody Master Club」のカルチュラルモデル	34
3.8	Prosody Master Club 資料 (/ɔ/の発音)	35
3.9	Prosody Master Club 資料 (LET'S TRY!)	36
3.10	「KMD イングリッシュ」にて発音指導を行う Nisselius 氏	38
3.11	「KMD イングリッシュ」のフローモデル	38
3.12	「KMD イングリッシュ」のシークエンスモデル	39
3.13	「KMD イングリッシュ」のアーティファクトモデル	39
3.14	「KMD イングリッシュ」のフィジカルモデル	40
3.15	「KMD イングリッシュ」のカルチュラルモデル	40
3.16	Praat による /ɑ/ の発音の分析	46
3.17	IPA による母音図	47

3.18	F1-F2 母音図	47
3.19	Martin 氏に対する Ethnography of Embodied Cognition	48
3.20	教師データと筆者の発音のフォルマント周波数比の比較	51
3.21	教師データにおける /a/ と /æ/ の調音方法の比較	52
3.22	筆者の発音における /a/ と /æ/ の調音方法の比較	53
3.23	口の開き方を意識した発音の練習による F1 の変化	54
3.24	発音トレーニング後の教師データと筆者の発音のフォルマント周波数比の比較	54
3.25	ターゲットペルソナ 1: 英語学習の指導を行う英語教師	58
3.26	ターゲットペルソナ 2: 英語を第二言語とする学習者	58
3.27	『Pronunciation Muscle Training Kit』のコンセプトスケッチ 1	59
3.28	『Pronunciation Muscle Training Kit』のコンセプトスケッチ 2	60
3.29	『Pronunciation Muscle Training Kit』のコンセプトドローイング	61
3.30	本学習環境のユースケース	63
3.31	『Pronunciation Muscle Training Kit』のプロトタイプ	64
3.32	理想の調音位置と調音方法の説明	65
3.33	教師の発音の再生	66
3.34	理想の調音方法と音声を基にした学習者の発音	67
3.35	LPC による発音の分析	67
3.36	発音の分析結果からの現状の学習者の調音位置の表示	68
3.37	発音の教師データとの比較	69
3.38	理想の調音位置で発音を行うためのフィードバック	70
3.39	フィードバックを参照した学習者の発音	70
3.40	理想の調音位置での発音の達成	71
4.1	“English Pronunciation Made Simple” による各調音部位の解説 ²	76
4.2	カメラの配置	78
4.3	S02 教室に作成した自習トレーニング環境	78
4.4	B 氏のピンマイク装着図	79
4.5	英語話者による英語の発音の指導を行うためのレッスン環境	80

4.6	B氏のユーザースタディの様子	82
4.7	B氏が/æ/を発音する様子	82
4.8	フォルマント周波数の抽出画面	83
4.9	B氏の1回目の発音と理想の調音位置に向けてのアドバイス	83
4.10	1回目と2回目のB氏の調音方法の変化	84
4.11	B氏の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移	85
4.12	B氏の7回目の発音	86
4.13	1回目と20回目のB氏の調音方法の変化	87
4.14	C氏のユーザースタディの様子	88
4.15	C氏の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移	89
4.16	D氏のユーザースタディの様子	90
4.17	D氏が/æ/を発音する様子	90
4.18	D氏の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移	91
4.19	1回目と20回目のD氏の調音方法の変化	92
4.20	E氏のユーザースタディの様子	93
4.21	E氏の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移	94
4.22	G氏の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移	94
4.23	F氏のユーザースタディの様子	95
4.24	F氏の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移	96
4.25	H氏の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移	98
4.26	I氏の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移	98
4.27	J氏のユーザースタディの様子	99
4.28	J氏の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移	100
4.29	レッスンに用いた教材 (“English Pronunciation Made Simple” ² p.23を抜粋)	104
4.30	Martin氏による調音指導を受けるJ氏	105
4.31	/ɑ/の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移	107
4.32	/ʌ/の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移	108
4.33	/æ/の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移	109

4.34	/ɔ/の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移 . . .	111
4.35	/e/の発音トレーニングのページ	112
4.36	J氏の鏡を使った調音矯正	113
4.37	/e/の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移 . . .	113
4.38	/u:/の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移 . . .	115
4.39	/u/の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移 . . .	116
4.40	/i:/の発音トレーニングのページ	117
4.41	/i:/の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移 . . .	118
4.42	/i/の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移 . . .	118
4.43	/ə/の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移 . . .	119

表 目 次

3.1	学習者の目標とするフォルマント周波数比 (男性)	56
3.2	学習者の目標とするフォルマント周波数比 (女性)	57
4.1	/æ/の発音において目標とするフォルマント周波数 (男性)	82
4.2	/æ/の発音において目標とするフォルマント周波数 (女性)	82
A.1	Comparisons between men, women, and children in 10 vowels (Yavas, 2011)	137

第1章 序

論

1.1. イントロダクション

本研究では、英語を第二言語とする日本人学習者を対象とする、コンピュータを用いた英語学習支援教材『Pronunciation Muscle Training Kit』をデザインする。本自習システムは非英語母語話者である日本人学習者の、明晰な発音を行うための口内の筋肉のコントロールを向上させることを目標とするものである。『Pronunciation Muscle Training Kit』は、英語話者の身体動作および自らの身体動作の教授に対する調査をもとにデザインされている。英語話者を教師とした調音方法の指導、学習者の発音に対してのフィードバック、そして自身の調音方法を、身体性認知のフレームワークを用いて分析を行い、同時に、指導者の発音をデータとして記録し、音声分析ソフトである Praat によって音響学的特徴の抽出を行った。これらの内容に基づき、調音音声学に基づいた発音指導に加え、音響音声学に基づく、認識、音声分析といった音声処理技術を活用することで、学習者の発音矯正に有効な指示を行う CALL(Computer-assisted language learning) システムをデザインする。学習者は英語の発音学習において、目標とする音素の習得のために調音音声学に基づいた発音指導を受ける。その後の自習フェーズにおいて、自習システムである『Pronunciation Muscle Training Kit』を用いたトレーニングを行う。『Pronunciation Muscle Training Kit』では、音声の音響学的特徴から学習者の発音が分析される。ここで、自分の発音と目標とする発音の音に違いが見られた場合、自身の発音に対して、どのような口の筋肉の動かし方をしているのか確認することができ、目標とする発音に対してどのように調音部位を動かせば良いかがアドバイスされる。学習者はこのアドバイスに倣い、理想とする

調音方法で自らの発音を矯正する。このサイクルを繰り返すことで、学習者は目標とする音素の正しい発音を身体的に理解し、明晰な発音ができるようになる。

1.2. グローバル化の進展と英語学習の現状

日々、グローバル化が進む社会。技術の発展とともに国境を越えた人や物、情報の流動が活性化し、コミュニケーションの手段として、実質上の共通の言語である英語の使用頻度が高まっている。しかしながら、多くの日本人にとって、英語を母国語とする話者と実用的なレベルで会話する能力を習得することは決して簡単なことではない。特に、ビジネスにおいて英語を使用する場合、会話能力に対する要求は厳しく、発音、リスニング能力の欠如はそういったシチュエーションにおいて大きな足枷となってしまう。

特に英語の発音学習においては、学習者は信頼できる指導者や英語を母国語とする外国人に自身の発音の発音に対し、フィードバックを受けるということが理想である。しかしながら、そのような教師の数が限定されていること、あるいは時間や経費の面など様々な制約の中で、日常的にそのような人物に指導してもらうことは非常に難しい。また、学習者が英語の発音を行う上では、日本語と英語の音声体系(音素特性、韻律特性)は異なり、英語の発音は、文節音素、音節構成、イントネーション、リズム、ピッチ、接続などのレベルで相互に異なった構造体系をもつことから、英語の発音が苦手な学習者は、発音した際に自分の発音の良し悪しが判別できず、1人で発音のトレーニングを行うことは非常に困難である。

このような問題に対し、大塚(2012)は、学習者の発音をサウンド・スペクトログラムで可視化し、その結果を発音矯正の指導に応用することで、具体的で細かな母音発音指導をすることができると報告した(大塚 2012)¹。本研究では、音響音声学に基づく、認識、音声分析といった音声処理技術を活用し、学習者の調音位置および理想の調音位置を明確に示すことで、認知負荷を減らし、発音矯正に有効な指示を行う CALL(Computer-Assisted Language Learning) システムである『Pronunciation Muscle Training Kit』のデザインを行う。設計にあたっては、日常的に英語を使ってコミュニケーションを行う人物が、指導者として学習者に音

素の調音方法を指導している様子の民族誌調査を行うと同時に、指導者の発音をデータとして記録し、音声分析ソフトである Praat によって音響学的特徴を抽出し、それらに基づいて自習システムをデザインした。次節では、従来の言語学習の概観を行うとともに、本学習環境の根幹である認知言語学や身体性認知をはじめとするいくつかの理論的な枠組みについて述べる。

1.3. 本学習環境における理論的な枠組み

本論文で言及する『Pronunciation Muscle Training Kit』は認知言語学と身体的認知の理論に立脚してデザインされている。本節では従来の言語学習の元となる言語理論を概観し、本研究の位置付けを述べるとともに、認知言語学及び身体的認知のフレームワークの導入と音声学に基づく発音指導の提案を行う。

従来の言語学習

生成文法

これまでの言語習得の根幹となってきた概念として、アメリカの言語学者である Noam Chomsky が 1950 年代半ばに提唱した生成文法という理論がある。Chomsky は、生成文法では、頭の中にあるのは「言語」ではなく、言語の文や表現を無限に作り出すことができる「文法」というシステムが入っているとした (Chomsky 1984)²。すなわち、言語の全ての特徴・特質は「文法」の中に備わっており、その文法が言語表現を生成するシステムであると主張した。また、Chomsky は、人間には生まれながらに備わった言語知識の中核となる機能 (Language Faculty) があり、それによって言語獲得が可能になるとしている。このとき、個別言語のインプットを受け取る前の言語機能の状態を Initial State と呼び、この状態は人間という種に共通であると考えた。Chomsky はこの Initial State の理論を普遍文法 (Universal Grammar) と呼んだ。その後、個別言語のインプットが与えられることにより言語機能は Initial State から Steady State と呼ばれる最終的に言語獲得が安定した状態に移行する。このように Chomsky は経験的な側面を認めず、人間

は普遍文法を生得的に備えているため、最小限の言語データのインプットのみで文法的に正しい文を生成することができると主張した。

身体性に基づく言語学習

認知言語学

この Chomsky の主張に対し、1980 年代になってアメリカの言語学者である George Lakoff、Ronald Langacker、Charles Fillmore らによって認知言語学が誕生した。認知言語学は、人間の一般的な認知能力を想定して、その言語能力を人間の認知能力と環境とのインタラクションを通じ、人間の認知と経験を反映したものとして捉える言語学である (Tyler 2012)³。Lakoff に代表される著書 “Women, Fire and Dangerous Things: What Categories Reveal About the Mind (1987)” における概念メタファー理論では、メタファーの存在理由である動機づけが我々の日常的な身体経験である身体性に根ざしているとされた。Lakoff は、これを経験基盤主義 (experientialism) と呼び、経験基盤主義において、人間の認知は、身体的・心理的経験を基盤に、環境との相互作用によって構成されるという前提に基づいているとした (Lakoff 1987)⁴。そして言語能力とは、人間が他者と交流する中で生成され、発展していくものであると主張した。このように Lakoff ら認知言語学の研究者は、Chomsky の、人間の脳と身体と環境を個別具体的な存在と捉え、言語習得における経験的な側面を認めないとする主張に対して真逆の立場をとっている。

身体性認知

身体性認知とは、身体を介した人間の認知能力の本質について言及する理論である。イギリスの哲学者であり、エディンバラ大学の教授である、Andy Clark は著書 “Natural-Born Cyborgs” において、身体性認知とは、人間は機械を身体に埋め込まずとも、脳、身体、世界を一つのシステムとして活用することで自身の整体能力を拡張することができる、という概念であると述べた (Clark 2003)⁵。つま

り、人間は何らかの行動をとる際に、全てを脳と身体の動きだけで処理しているのではなく、環境とのインタラクションを行い、自らの認知を環境に拡張しているということである。このことを Andy Clark は認知拡張 (Cognitive Extention) と呼んだ (Clark 2008)⁶。この認知拡張について、Clark はバーテンダーの仕事を例に挙げて説明している。バーテンダーはお客から受けた注文を一つずつ順番に作り、提供していくが、決してその順番のすべてを頭の中で覚えているわけではない。まず、あらゆる異なる形のグラスを選び、それぞれがどの飲み物のためのグラスなのかを前もって決めておく。そして、注文された飲み物の順番に沿って、その飲み物用のグラスを並べていく。すると、注文という時系列としての順番と、グラスの並び順、すなわち物理的な順番が紐づけられ、バーテンダーは注文された通りの順番に注文された飲み物を作ることができる。つまり、バーテンダーは「どの順番で何の飲み物を作るのかを把握する」という認知的な作業をグラスという外部環境に拡張することで、自分のとるべき行動を達成しているのである。(Clark 2008)。その他にも、忘れ物をしないようにメモを取る、難しい計算をするために紙とペンを用いて筆算を行うなどといったことも認知拡張によって目標を達成すべく行動している例であると言える (Clark 1998)⁷。このように、人間は、脳や身体の動きだけではなく、外部の環境を活用することによって複雑な課題を解決している。

本研究においては、この身体性認知の理論に基づき自習システムのデザインを行う。この自習システムを用いることで、学習者は音声記号や教師の音声、そして音響音声学的分析による身体動作の可視化などを外部的な足場とし、認知拡張を行うことで、目標とする音素の発音を習得する。

音声学と音韻論

調音音声学と音響音声学

音というものは意味などとは異なり、物理的な現象として捉え考察することが比較的容易である。音声学は、人間がことばを話すときに用いる音、すなわち音声を研究する学問分野であるが、そこでは、音声はその発出・伝播・聴取の三つの面か

ら見ることができる(城生・福盛・斎藤 2011)⁸。ここでいう音声とは、音声器官を用いて作り出される言語音であり、日本人であれば日本語で会話を行う際の、言語として発話される声のことである。分節的なレベルでは母音や子音、超分節的にはアクセントやイントネーションが含まれる。音声学においては言語の音声そのものが研究の対象である。その中でも、発話者の視点に立ち、音声を発する際に口、鼻、のどなどがどのような調節を行なっているのかを観察し、音声記号として記述することを目的とした学問を調音音声学(Articulatory Phonetics)という(Zsiga 2012)⁹。調音音声学は音声学として最も古くに確立した分野であり、一般的には、国際的に共通理解されている国際音声記号(IPA)¹⁰を用いて表記される。一方で、発せられた音声は音波として空気中を伝わっていく中で、その音波は物理的にどのような性質を持ったものなのかを解明する分野を音響音声学(Acoustic phonetics)という(Crystal 1991)¹¹。この分野は19世紀に始まったとされており、1941年の千葉勉と梶山正登による“The Vowel: Its Nature and Structure”¹²での発声と調音という考え方をきっかけにして、現代における音声生成に関して、音響理論でも重要な「母音生成の音源フィルタ理論(Source-filter theory of vowel production)」が確立された(Fant, 1960)¹³。この時期から、様々な測定機械が開発されており、特に1990年代以降は、パーソナルコンピュータ上で音声を録音・再生・編集し、音声の分析を行うことが容易になったことで、実用的な場面にも多く用いられるようになった。

この二つの学問分野において、コンピュータの発展以前より、実用的な目的に最も有効な手段として教育の分野に取り入れられてきたのは、調音音声学であった。調音音声学に基づいた教育法では、はじめに簡単な発声器官の解剖学的知識が学習者に与えられる。そして調音者と調音点の位置とその調音方法(Manner of Articulation)を用いた、人間対人間の発音指導が行われてきた。

一方で近年では、計算機技術の発展に伴い、音声・言語情報処理技術は著しく進歩し、各種技術をツールとして利用することも比較的容易になってきた。これらの技術に支えられ、音響音声学に基づく、外国語学習の更なる高度化・効率化を目的とした研究が広くなされ、種々の有効な技術やツールの提供が行なわれてきている(峯松ほか 2003)¹⁴。この結果、語学教育の現場では、マルチメディア教

材やインターネットなど、コンピュータを利用した教育手法が多く取り入れられるようになってきている。

音響音声学における音声の生成

音響音声学的に音声の生成の仕組みを考える。音声の元である「音源」は声帯の振動によって作られる。音源は、以下のスペクトル(図 1.1, 吉田友敬著「言語聴覚士の音響学入門」, P132, 図 5-2 より引用) (吉田 2005)¹⁵に見られるような周期的な複合波であり、周波数が高くなるほど振幅が小さくなるような多くの周波数成分から生成されている。このとき、声の高さを表す基本周波数は声道の振動によって変化する。つまり、声帯がどの程度で振動してしているかで、発話者の声が高い声なのか、低い声なのかが決定される。

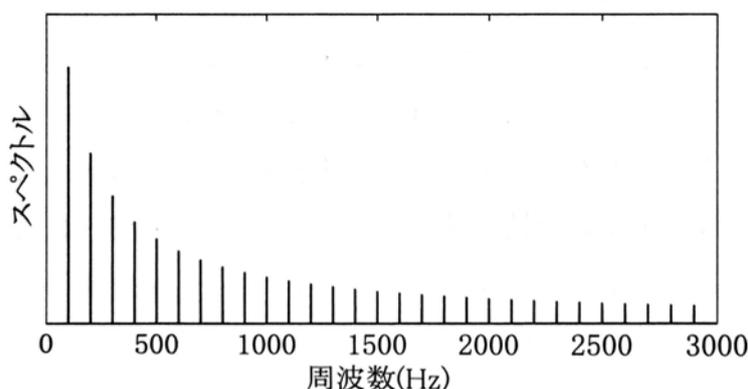


図 1.1: 声道の振動による音のスペクトル¹⁵

一般に、音の伝わる管の長さや形状によって、共鳴する周波数は変わる。音声生成における調音部位の役割は、音声の音韻性を決定することと、無声音の音源である乱流雑音の制御を行うことにある(上江洲 2017)¹⁶。ここで、音声の音韻性は、調音部位、例えば舌、下顎、硬口蓋、軟口蓋、唇などのはたらきによって口腔や咽頭腔の形状が、少なからず変化することにより、声道の形状が決定される。

特に舌は、咽頭腔から口腔にかけての広い範囲にわたって柔軟に変形する唯一の器官であるため、人間の調音動作において、上記の中でも特に重要な役割を担って

いると言える。例えば、図3.17に示すように、母音は/i/や/e/などの前舌母音、/a/や/o/などの後舌母音のように、舌の前後の位置の違いで分類されるほどに舌の位置は調音に大きく影響する。このように人間は、無意識ながらも、巧みに自らの舌や顎、その他の部位を調整することにより、共鳴する周波数を変化させている。また、その声道の共鳴は閉管の共鳴に近似することができる(図1.2)。

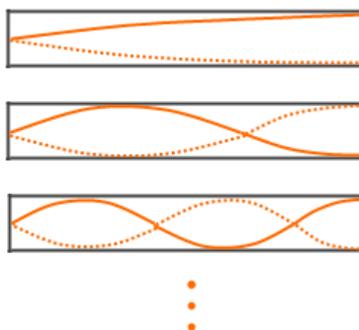


図 1.2: 閉管の共鳴

それによって生じる共鳴周波数帯では音がよく響いて強調され、そうでない周波数帯の音は強調されない。このような、調音部位の働きを「フィルタ」と言い、上記の共鳴周波数帯は「フォルマント」と呼ばれる。

喉頭で音源が作られ、声道がフィルタの働きをして、音声を作られるという音響的な考え方を、先にも述べた「音源フィルタ理論」という。上記の通り、音声の基本周波数は音源で決まり、フォルマントはフィルタで決まる(城生・福盛・斎藤 2011)⁷。図を用いた詳しい解説は、図1.3(城生, 福盛, 斎藤著『音声学基本辞典』, P130, 図4より引用)を参照されたい。

ここで、基本周波数(ピッチとも呼ばれる)は、イントネーションやアクセントを表す。イントネーションは、発話における抑揚のことである。例えば、話者の一番伝えたいところであったり、疑問文か肯定文を区別したりする際に示す。同様に日本語における「雨」と「飴」を区別しているのもこのイントネーションである。一方でフォルマントは、母音を区別する。さらにフォルマント周波数の微妙な変化が、母音に隣接する子音の近くにも役立っている(城生・福盛・斎藤 2011)⁷。

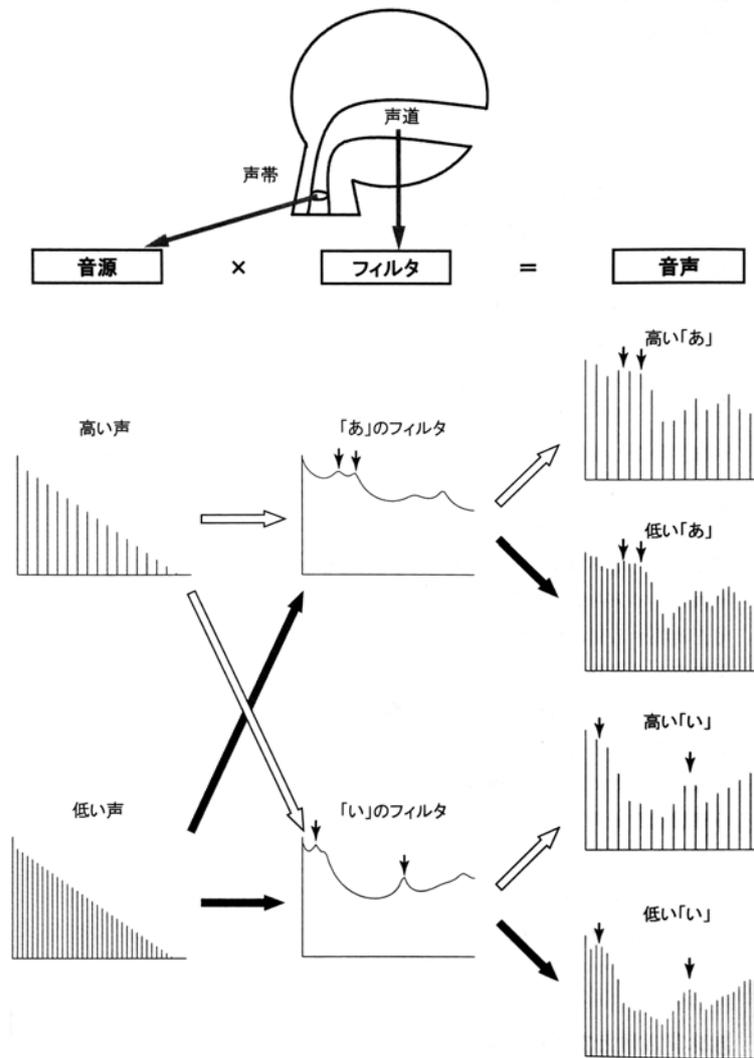


図 1.3: 音源フィルタ理論⁷

音韻論

音韻論は、言語音の体系や構造および言語音の側面に働く文法特性を、主に理論的視点から探求する分野である。古くより音韻の研究は行われていたが、理論および方法論として大きな進展を遂げたのは20世紀初頭に近代言語学の枠組みが構築されて以降のことである(城生・福盛・斎籐 2011)⁷。スイスの言語学者であり、「近代言語学の父」とも呼ばれる Ferdinand de Saussure の共通言語の提唱以降、Vilém Mathesius を中心とする プラーク学派において音韻論 (Phonology) の研究が展開された。また、ロシアの言語学者である Roman Jakobson らを中心に弁別素性の理論が構築された。弁別素性とは音素の成分に相当する示差的特徴であり、例として /t/ と /d/ では声の有声性とその示差性を担っている。このように、Jakobson の弁別素性理論では、調音音声学と音響音声学の特徴を利用して素性の数を可能な限り少なくし、それを用いて可能な限り網羅的に言語音を記述できるような枠組みが設計された。これを連続したものとしてはこれ以上小さく分けられない音韻的単位として音素 (Phoneme) と呼んだ。その後、Noam Chomsky と Morris Halle による著書 “The Sound Patterns of English” において、彼らは Jakobson の弁別素性理論を発展させ、音響音声学の特徴をなくし、能動的調音部位である舌の調音点に基づいた素性を多く設定することで、母音と子音を同じ素性体系で記述した (Chomsky and Halle 1991)¹⁷。

発音における日本語と英語の異同

母音 (Vowel)

英語の母音 (Vowel) を発音する際には、口の形や舌の位置について、日本語と比較してはるかに多くの区別をしなければならない。以下の図 1.4 は母音を調音する際の舌の位置を模式的に表しており、縦軸は舌の高さ、横軸は舌の部位(下の前後位置)を対比的に示した図である(今井邦彦「ファンダメンタル音声学」より、短母音と長母音の図を引用する)。この図に見るとおり、日本語のアイウエオという5つの母音に比べてアメリカ英語は約3倍の種類を持っている(今井 2007)¹⁸。それぞれの音素体系が異なっていることに加え、日本語においては長母音は短母

音の連続として考えることが出来るが、英語の場合は長母音と短母音は全くの別物であるといった点も大きな違いである。

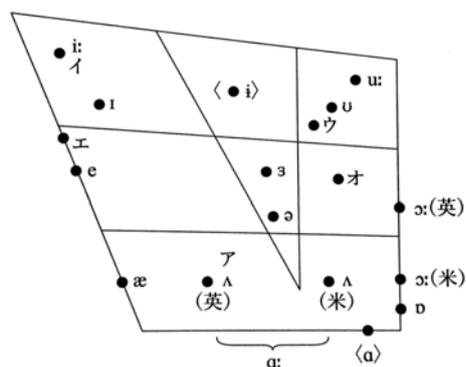


図 1.4: 日英語の母音 (ファンダメンタル音声学 p.2 より引用) ¹⁸

例えば、ボウト (bought)、ボックス (box)、ポリス (police) における「ボ」、「ポ」について、日本人はどの単語もその母音として /o/ を発音するが、実際の英語の発音は /bɔ:t/、/bɒks/、/pəli:s/ であり、/ɔ/、/ɑ/、/ə/ と全く違う。また、英語には図 1.5 に示されるような二重母音 (Diphthong) が存在する (今井邦彦 「ファンダメンタル音声学」 (今井 2007)¹⁸ より、英語の二重母音の図を引用する)。

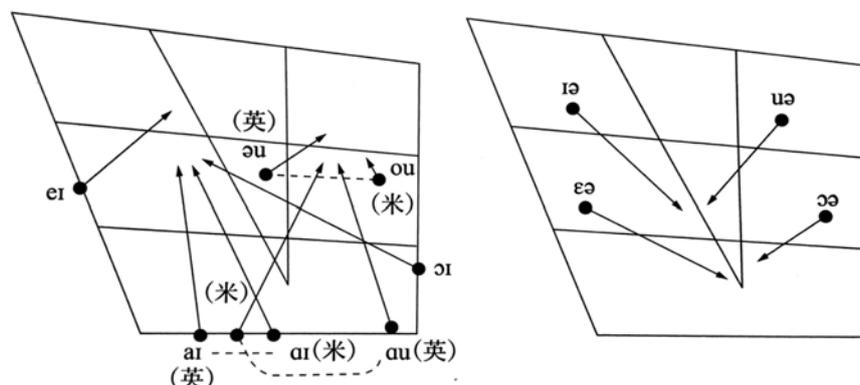


図 1.5: 日英語の母音 (ファンダメンタル音声学 p.22 より引用) ¹⁸

一見、日本語でも「愛」(/ai/)や「問い」(/toi/)のようにも母音が二つ続いているように見える。しかしながら、これらは英語の二重母音とは全く異なるものである。日本語の発音ではこれら二つの母音は、いわば対等に結びついている。一方で英語で発音される I /ai/、toy /toi/の/aɪ/と/oɪ/は二つの音声記号で示されているものの、決して対等ではなく、前部の発音が断然優位を占めているのである(今井 2007)¹⁸。また、英語には弱母音 (Schwa) と呼ばれる、弱く発音されるときにのみ発される母音が存在する。日本語では一音一音が基本的には個別に、同じ強さで発音される。このような複雑さから、日本語を母語とする話者にとって、英語の発音が難しいのは当然である。

子音 (Consonant)

調音法に基づけば、子音は破裂音・摩擦音・破擦音・流音・半母音の6種類に分類され、それぞれに声帯の振動を伴うか否かによって、有声子音・無声子音に分類される。このように、肺からの呼気が口腔内で妨害を受ける音、どこで、どのような妨害を受けるかにより音に違いが現れる。一方で、これらの子音は母音と同様、日本語とは異なる音素体系が存在する。例えば、/f/、/v/、/e/、/ð/、/l/、/r/

は日本語の子音に含まれない。そのため日本人がこのような子音を話す場合には、自身が知っている日本語の子音に置き換わる。したがって、意味解釈の際に聞き手が子音を誤認する場合、使用した語句、言い回し、発声方法などの複合的な理由において誤解が生じる。

以上の理論を踏まえ、本研究では、英語を第二言語とする日本人学習者が、英語によるコミュニケーションにおいて明晰な発音を行うための、口内の筋肉のコントロールの向上を図ることのできる自習システム『Pronunciation Muscle Training Kit』をデザインする。『Pronunciation Muscle Training Kit』は日常的に英語でコミュニケーションを取る指導者のコンテキストや指導方法、調音方法を基にデザインされている。この調査では、指導者が学習者に対してどのように各音素の調音方法を指導しているか、その際にどのような身体動作を行なっているのか、どのように環境を利用しているのかといった要素の抽出を行なった。併せて、日常的に英語を用いる人物に対し、その時の各音素の発音をデータとして記録し、音声分析ソフトである Praat によって音響学的特徴を抽出を行なった。そして、その人物がどのような口の動かし方をしているのか、どのような音を出しているのかと言うことを音響音声学の分野から分析し、解釈を行った。以上の調査および分析を基にした学習カリキュラムを通して、学習者は発音矯正のトレーニングを行う。学習者は、目標とする音素の習得のために調音音声学に基づいた発音指導を受ける。また、音声の音響学的特徴から学習者の発音が分析され、自分の発音と目標とする発音の音に違いが見られた場合、その発音に対して、自分がどのような口の筋肉の動かし方をしているのか確認し、目標とする発音に対してどう筋肉を動かせばいいかがアドバイスされる。学習者はこのアドバイスに倣い、正しい調音方法で自らの発音を矯正する。このサイクルを繰り返すことで学習者は英語を話すための筋肉のコントロールが向上し、明晰な発音ができるようになる。

1.4. デザイン手法

本自習システムのデザインにあたっては、慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の奥出直人教授が提唱するデザイン思考プロセスの一つである民族誌調査を行なった(奥出 2012)¹⁹。民族誌調査においては Karen Holtzblatt と Hue Beyer の提唱する Contextual Inquiry という他者のコンテキストを知るための手法を用い、フィールドワークを行なった(Holtzblatt and Beyer 1997)²⁰。フィールドワークでは、調査の対象を師匠と位置づけ観察を行う。その後、起こった出来事と自らの解釈を交えて「濃い記述」として書き起こす(Geertz 1967)²¹。その記述を基に、5分析という手法を用いて、調査内容を時間・物理・空間・人間関係・文化という5つの角度から分析を行い、調査対象者の「メンタルモデル」を抽出する。メンタルモデルとは、人間が固有に持つ内的表象であり、外的世界で起こることを予測したり、対処したりするために形成する認知と行動のセットのモデルである(Craik 1967)²²。本研究においては、英語学習環境のターゲットである英語発話者の学習者に対する指導を行う場面の民族誌調査において、調査対象者のメンタルモデルを抽出した。そのメンタルモデルに基づき、実際に存在しうるようなターゲットペルソナを設定することでコンセプトのデザインを行なった。

一つ目は、指導者が学習者に対して、言語習得をする際にどのような足場になるのかを知るために、2018年11月2日から同年11月20日まで行われた学習プログラムにおいて、英語を日常的に用い、英語を使ってコミュニケーションを行うことのできる人物として、当時慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科付属メディアデザイン研究所リサーチャーであった樋口氏への民族誌調査を行なった。そこから樋口氏が指導者としての調音方法の指導、そして学習者の発音に対してのフィードバックを行う際の行動のメンタルモデルの抽出を行った。同様にして、慶應義塾大学大学院にて英語教師として教鞭をとる Matthew Nisselius 氏への民族誌調査を行った。以上の調査をもとに、指導者が英語を教授する際に活用している重要な要素を分析し、学習者の大枠のデザインに活用した。

二つ目は、指導者自身が目的の発音を行うために、どのようにして調音を行なっ

ているのかを知るために2019年5月10日に同学修士2年のMartin Yanyuan Chenへの民族誌調査を行なった。この民族誌調査では対象者の身体性認知を解き明かすべく、人間の無意識の身体運動をセンサーなどのデジタル技術を用いて観察し、その観察から発見できるパターンから意味を解釈する。本研究では、英語話者であるMartin Yanyuan Chenの身体動作をビデオカメラにて記録、また、発音をデータとして記録し、音声分析ソフトであるPraatによって音響学的特徴の抽出を行った。その調査をもとに、英語話者が身体的に獲得している英語の発音を観察、そして音響音声学に基づく音声分析を用い、実際の身体動作と物理現象を明らかにした。

これらの調査と分析から、「身体的に認知した英語を教授する人」のメンタルモデルを作成した。そのメンタルモデルを用いて、『Pronunciation Muscle Training Kit』のターゲットペルソナを作成し、ターゲットペルソナに基づくスキットを繰り返すことでコンセプトを具体化し、プロトタイプを作成した。

そして『Pronunciation Muscle Training Kit』の有用性を検証するため、慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科において、英語を第二言語とする日本人とする学生にプロトタイプを体験してもらい、その検証結果を分析して、その有効性と改善点について考察を行った。

1.5. 本研究の貢献

英語を第二言語とする学習者は、『Pronunciation Muscle Training Kit』を使用し、繰り返しトレーニングを行うことで、教師のいない状況下でも正しい調音方法で自らの発音を矯正し、子音や母音をはじめとする文節音素、そしてプロソディの発音を身体的に理解することができる。そして、学習者は英語によるコミュニケーションにおいて、発話に必要な筋肉を正しくコントロールすることで、明晰な発音を行うことが可能となる。加えて、今後設計されるプロソディ領域のトレーニング環境において有用性が示されることで、これらの環境を統合したデスクトップアプリケーションやスマートフォンでのアプリケーションとして提供することができ、学習者はいかなる場所でも本学習環境を利用することができるようになる。このことから、多くの日本における英語を第二言語とする学習者の英語の発音能力がさらに向上すると考えられる。また、英語との言語間距離が遠い他言語地域においても発音の習得が容易になり、他言語環境でも『Pronunciation Muscle Training Kit』の応用が期待できる。

1.6. 本論文の構成

本論文の構成は5章から成る。本章では研究の背景とその理論的枠組み、調査の手法、および『Pronunciation Muscle Training Kit』のコンセプトのデザインに関する概観を示した。第2章では、本研究に関連する分野の先行研究に基づき、本研究の貢献する領域を明確化する。第3章では、『Pronunciation Muscle Training Kit』のコンセプトとそのデザインのプロセスを詳細に述べる。第4章では学習環境のプロトタイプを使用したユーザースタディを通し、デザインした学習環境の効果および有用性を評価を行う。最後の第5章において、本論文の結論と現状の課題、そしてコンセプトを発展させていくための今後の展望について述べる。

注

- 1 大塚貞子 (2012) 『英語発音訓練指導における音声分析ソフトウェア利用の可能性について: 母音/æ/を中心に』: 東京女子大学紀要論集.
- 2 Chomsky, Noam (1984) *Modular Approaches to the Study of the Mind*: San Diego State University Press
- 3 Tyler, Andrea (2012) *Cognitive linguistics and second language learning: Theoretical basics and experimental evidence*: Routledge
- 4 Lakoff, George (1987) *Women, Fire and Dangerous Things: What Category Reveals about the Mind*: University of Chicago Press.
- 5 Clark, Andy (2003) *Natural-born Cyborgs: Minds, Technologies, and the Future of Human Intelligence*: Oxford University Press.
- 6 Clark, Andy (2008) *Supersizing the mind: Embodiment, action, and cognitive extension*: University of Chicago Press.
- 7 Clark, Andy (1998) *Being there: Putting brain, body, and world together again*: The MIT Press.
- 8 城生佰太郎, 福盛貴弘, 斎藤純男 (2011) 音声学基本事典: 勉誠出版.
- 9 Zsiga, Elizabeth C. (2012) *The sounds of language: An introduction to phonetics and phonology*: John Wiley & Sons.
- 10 IPA (International Phonetic Alphabet) は 1886 年に国際音声学会 (International Phonetic Association) により考案された、国際音声記号のことであり、世界中のあらゆる言語の音声を記号によって表記したものであり、調音点と調音方法に対して発せられる音はどのような音であるのかを説明しているものである。
<https://www.internationalphoneticassociation.org/content/full-ipa-chart>
- 11 Crystal, David (2011) *A dictionary of linguistics and phonetics*: John Wiley & Sons.
- 12 Chiba, Tsutomu, and Masato Kajiyama. 1941. The vowel: its nature and structure. Tokyo: Tokyo-Kaiseikan.
- 13 Fant, Gunnar (1960) *Acoustic Theory of Speech Production*: Mouton and Co 's-Gravenhage.
- 14 峯松信明, 富山義弘, 吉本啓, 清水克正, 中川聖一, 壇辻正剛, 牧野正三 (2003) 英語 CALL 構築を目的とした日本人及び米国人による読み上げ英語音声データベースの構築: 日本教育工学会.
- 15 吉田友敬. (2005) 言語聴覚士の音響学入門: 海文堂出版株式会社
- 16 上江洲安史 (2011) 音声生成における音源-フィルタ相互作用の影響に関する研究: 九州大学.
- 17 Chomsky, Noam and Halle, Morris (1991) *The sound pattern of English*: The MIT Press.
- 18 今井邦彦 (2007) ファンダメンタル音声学: ひつじ書房.
- 19 奥出直人 (2012) 『デザイン思考と経営戦略』, エヌティティ出版.

-
- 20 Holtzblatt, Karen and Hue Beyer (1997) *Contextual Design: Defining Customer-Centered Systems*: Morgan Kaufmann.
 - 21 Geertz, Clifford (1997) *The Interpretation of Cultures*: Basic Books.
 - 22 Craik, Kenneth (1967) *The Nature of Explanation*: Cambridge University Press.

第2章

関連研究

本論文で論じる『Pronunciation Muscle Training Kit』は、英語を第二言語とする日本人学習者が、英語によるコミュニケーションにおいて、相手の発する英語の音を聞き取ることができるリスニング能力の獲得を支援する自習システムである。教師による発音指導と本自習システムによる発音トレーニングを統合した学習環境は、CALL(Computer-assisted language learning) システムと呼ばれ、調音音声学に基づいた発音指導に加え、音響音声学に基づく、認識、音声分析といった音声処理技術を活用することで、学習者の発音矯正に有効な指示を行う。本章では、本研究に関連する「言語学習のための外部的足場作り」、「CALL(Computer-Assisted Language Learning) を用いた言語学習」、「音素、韻律の習得によるリスニング能力の向上」の3つの分野における先行研究を概観し、本研究の学術的貢献領域を明確にする。

2.1. 言語学習のための外部的足場作り

『Pronunciation Muscle Training Kit』は Lakoff¹ や Clark² の主張に基づく、身体と環境のインタラクションを重視してデザインされている。よって本節では、身体を利用した言語学習について先行研究を概観する。

手を用いた調音方法の表現

米カリフォルニア州・ミッション大学の Chan らは、発音指導の際に自らの胴体と手を重ねて、声道を表現することで英語を第二言語とする学習者への、発音

における認知負荷を低減させることを試みた (Chan 2007)³。Chan は、この身体を活用した発音指導、例えば、歯、舌、歯茎、口の屋根の位置と示すために自らの丸めた手を頬に重ね、半身になることで二次元的に口の形を表現した。また、イントネーションを示すために、前に腕を伸ばしてピッチの輪郭を描きながら、発音と同期して手を動かすことで、音響的な特徴を疑似的に可視化した。これらを、実際に学習者も行うことで、分節（母音と子音）や超文節的特徴（リズム、ストレス、イントネーション等）を言語として発するよりもわかりやすく表現した。

以上の発音指導の結論として Chen らは、聴覚、視覚、触覚、運動感覚などの感覚モダリティを用いることによって、生徒の、子音、母音、および英語の韻律的特徴の認知的および知覚的感度を高めることができると主張した。

CG アニメーションによる正しい発音の動きの視覚化

豊橋技術科学大学の桂田らは、英語を第二言語とする学習者の誤った発音の動きと正しい発音の動きを CG アニメーションによって視覚化することのできるシステムを開発した (Iribe et al. 2012)⁴。具体的には、(1) 音声から調音動作を数値化した調音特徴を抽出し、(2) 抽出した調音特徴をもとに調音動作を可視化した CG アニメーションを自動的に生成する。音声から調音特徴への変換は、多層ニューラルネットワーク (MLN) を用いる。システムの構成として、予め MRI 動画像と同時に収録した音声から、調音特徴 (Articulatory Feature) を抽出する。次に、調音動作の詳細な動きを把握するために発音の様子を撮影した MRI 動画を用いてアニメーションの特徴点を導出する。具体的には、調音特徴を入力とし、MRI 動画中の各調音部位の特徴点の移動量を出力とする MLN を構築することで、調音特徴を移動量へ変換する。特に発音上、口唇の開閉や舌尖の位置などが重要であるため、それらの部位をアンカーポイントとして音素毎に設けて、アンカーポイントに対して特徴点の移動量を修正する。そして、修正した特徴点を教師信号として MLN に与えることで調音動作アニメの動きを矯正する。アニメーションは MLN から出力された特徴点の移動量をもとに自動生成される。

この提案手法により、学習者と教師の音声から生成した CG アニメーションを比較し、異なる点をハイライトすることで、学習者は誤った発音を矯正するため

にどの調音部位をどのように動作させればよいのか容易に理解することができる。

2.2. CALLシステムを用いた言語学習

『Pronunciation Muscle Training Kit』はCALL(Computer-Assisted Language Learning)を用い、音響音声学に基づく発音の分析や認識といった音声処理技術を用いることで、学習者の発音矯正に有効な指示を行う学習環境である。近年では、国内外の様々な教育機関でコンピューターやタブレットを取り入れたICT(Information and Communication Technology)教育の学習環境が整備されている。

本節では、そのようなICT教育の中で、CALLシステムを利用し、言語の習得を支援する学習環境の先行研究を外観していく。

CALLシステムを利用した発音指導

東京大学のLuo Deanらは、平均的な学習者像を前提とし、教師の平均的な評価戦略を模擬する形で開発が行なわれてきた従来のCALLシステムの開発とは異なり、特定の教師の指導を模擬し、学習者それぞれの習得度に応じて、柔軟な発音検出できるCALLシステムを開発した(Dean 2007)⁵。従来のCALLシステムの場合、技術的問題の解決は技術者の仕事であり、現場の教師は構築されたシステムのユーザとして位置づけられることが多い。そこでLuoらは、学習システムの設計にあたって、日本語教師自身が定義する発音エラーカテゴリ及び、学習者毎の評定項目を準備し、更には、教師自身の学習者音声に対する評価戦略を事前に聴取実験などを通して取得することで、それを模擬する形で、オーストラリア英語の母語話者を対象とした、日本語発音とコミュニケーション能力の育成に焦点をあてた自律学習支援型システムを開発し、評価実験を行なった。結果として、模擬対象となる教師の評定を他の教師の評定およびシステム評定と比較し、その相関を求めたところシステム評定がある程度高い信頼度を持つことを示した。また、学習者による主観的評価では高い評価を得たことで、教育現場におけるこのCALLシステムの有用性を示した。

コンピュータを用いた韻律指導

イラン・イスラーム自由大学の Gorjian らは、コンピュータソフトウェアである Praat⁶を用い、学習者への音響音声学に基づく発音矯正のアプローチが、英語の韻律的特徴を習得に対して有効であるとした (Gorjiana 2013)⁷。ユーザースタディでは、大学に在学しているイラン人学生、40人を対象に韻律の指導を行う。その内の半数に対しては通常通り教師のみの指導を行い、もう半数は通常の指導に加え、自らの発音を、Praatを使って、ネイティブ・スピーカーの発音と比較し振り返ることができるように環境を構築し、実験を行なった。結果として、実験の前後で両群に対してリスニングおよびリーディング技能を測るテストを行なったところ、Praatによるアプローチを通してストレスとイントネーションを練習した学習者は、従来の伝統的な教師による発音指導を受けた学習者と比較して高いスコアを示した。このことから、コンピュータを用いた言語学習は、英語を第二言語とする学習者の韻律的特徴を知覚し、明晰な発音が可能にするという結論を主張した。

また、台湾・逢甲大学の Luo Beate は英語を第二言語とする台湾人の学生の発音の向上を目的とした CAPT(Computer-Assisted Pronunciation Training) の有効性を示した。Luo はオーラルリーディングの指導において、CAPTを用いた学習環境の設計を行った (Luo 2016)⁸。学習者は、毎週、配布テキストを音読し録音を行った。ホームワークとして、学習者は自宅でその録音を聞き、そして自分の録音をネイティブスピーカーの録音音声と比較し、その際を埋めるように繰り返し音読を行うように練習を行った。そして、学習者は回数をこなし、最終的に矯正された発音をオンラインプラットフォームの掲示板に投稿する。授業では、自分とは異なる3名のクラスメイトの録音を聞き、ディスカッションを通してフィードバックをそれぞれに行った。この環境の中で指導を受ける学習者と通常通り授業を受ける学習者とを比較したところ、前者は後者と比較して発音において高い優位性を示した。

2.3. 音素、韻律の習得によるリスニング能力の向上

本自習システム『Pronunciation Muscle Training Kit』は、A社との共同研究である“超短期英語学習環境の開発”における『Pronunciation Master Club』内の自習システムとして開発が進められている。『Pronunciation Master Club』は発音トレーニングを通して、明晰な発音ができるようになることで、英語の発音を聞き取ることのできるリスニング能力を獲得することを目的とする学習環境である。『Pronunciation Master Club』における『Pronunciation Muscle Training Kit』を用いた自習の本旨は、教師がおらずともコンピュータが学習者の発音に対して的確なフィードバックを行い、自然と口の筋肉をコントロールする術を身につけ、明晰な発音を可能にすることにある。

私たちの取る「自分の口から出せる音は、聞き取ることができる」という立場に関して、一見、発音とリスニング能力は異なるものであると思われるかもしれないが、実際は発音と聴覚能力は非常に強く結びついている (Gilbert 2012)⁹。日本の言語学・英語学者である今井 邦彦は二つの著書「ファンダメンタル音声学」(今井 2007)¹⁰と「英語徹底口練」(今井, 外池 2007)¹¹において、「“日本語専用の耳”しか持っていないければ、知らない英語の音は日本語の知っている音に置き換わる」と著している。このことから、逆説的に考えると、自分の口から出せる英語の発音は、容易に聞き取ることができると言える。

本節では、音素、韻律の習得とリスニング能力の向上について述べる、いくつかの関連研究を概観する。

発音の正確さとリスニング能力の関係

イラン・イスラーム自由大学の Ahangari らは、発音の矯正を行い、明晰な発音ができるようになることのようにトレーニングすることで、英語を第二言語とする学習者のリスニング理解力を向上させることができることを主張した (Ahangari 2015)¹²。Ahangari らは、Oxford Online Placement Test の結果に基づいて、200人の学生から42人の参加者を抽出し、参加者のグループを二つに分けて、一方を従来の伝統的な指導を行い、もう一方を発音指導を行う実験グループとした。事

前に両方のグループがテストを受け、学習者のリスニング能力を t 検定を用いて評価したところ、グループから検索された結果に有意差は観察されなかった。その後実験グループに対し、20 分間のセッションで正しい発音形式や韻律的特徴（単語のストレス、イントネーション、およびリズム）を指導し、それから学習者は指導された調音方法に従い繰り返し何度も練習を行った。これら繰り返しの練習を、合計で 30 時間行い、再度テストを行ったところ、通常のグループと実験グループとは大きな差が見受けられ、実験グループの方が高い数値を表し、発音練習を受けた実験グループは、通常のグループよりも高いリスニング能力を達成された。このことから、発音のトレーニングはリスニング能力の向上につながる事が証明された。

韻律の訓練による学習者のリスニング能力向上

オランダ・ライデン大学の Yenkimaleki らは、プロソディの理論の学習とその実践によって学習者のリスニング能力が向上することを示した (Yenkimaleki 2016)¹³。イラン・タフレッシュ大学の翻訳通訳コースに所属する大学 3 年生 68 人からファールシ語を母国語とする 18 名を無作為に抽出した。Yenkimaleki らは、プロソディの理論の学習とその実践プログラムを提供するグループと、従来の言語学習同様リスニング教材だけを用いるグループに分けて、どちらのグループがリスニング能力が向上するのか調査を行なった。条件として、どちらのグループも合計学習時間は 8 時間になるようにトレーニングプログラムが組まれた。プロソディを学ぶグループは、リスニング教材を聞くトレーニングだけでなく、イラン人英語教師によプロソディに関する理論的説明と実践練習に取り組んだ。プログラム終了後、グループ間で TOEFL スコアの有意差はなかった。しかし標準的なリスニング試験を行なったところ、プロソディの訓練を取り入れたグループはリスニング能力を大幅に改善したことを示した。そして、通訳者を目指す人以外にも教材制作者、語学学習や教育に関わる人のリスニング能力向上にも、プロソディ訓練は効果が期待できると述べている。また、Lindfield らは、単語の認識におけるプロソディの役割を調査すべく、ゲーティング法を用いて調査を行なった (Lindfield 1999)¹⁴。また、Grosjean らはセンテンスにおけるプロソディの役割の調査を行なった。そ

これらの結果、プロソディの情報を学習者に与えることによって、単語やセンテンスの認識が向上したことを示した (Grosjean 1987)¹⁵。

以上の研究結果が示すように、英語を学習する日本人英語学習者に対しては、英語のプロソディの知識や実践する環境を提供することにより、リスニング能力が向上することが期待される。

2.4. 本研究が貢献する領域

教師による発音指導と自習システム『Pronunciation Muscle Training Kit』による発音トレーニングを統合した学習環境は、調音音声学に基づいた発音指導に加え、音響音声学に基づく、認識、音声分析といった音声処理技術を活用することで、学習者の発音矯正に有効な指示を行う CALL(Computer-assisted language learning) システムである。学習者はこの学習環境において、目標とする音素の習得のために調音音声学に基づいた発音指導を受ける。また、音声の音響学的特徴から学習者の発音が分析され、自分の発音と目標とする発音の音に違いが見られた場合、その発音に対して、自分がどのような口の筋肉の動かし方をしているのか確認し、目標とする発音に対してどう筋肉を動かせばいいかがアドバイスされる。学習者はこのアドバイスに倣い、正しい調音方法で自らの発音を矯正する。このサイクルを繰り返すことで学習者は明晰な発音ができるようになり、英語の発音を聞き取ることができるリスニング能力を獲得する。

本章の第1節では、身体を介した言語習得の導入を行うとともに、音韻論及び音声学にもとづく発音指導の重要性を述べ、本学習環境のデザインに取り入れた。本章第2節では、言語学習における言語習得のための外部的足場の設計の先行研究を概観し、第3節では、足場としての Computer-assisted language learning システムの有効性を示した。第4節においては、音素、韻律の習得とリスニング能力の関係を、いくつかの先行研究により明らかにした。

以上の先行研究を踏まえた、本研究の学術的貢献は、調音音声学に基づいた発音指導に加え、音響音声学に基づく、認識、音声分析といった音声処理技術を外部的な足場として活用することで、意識的に口の筋肉をコントロールでき、明晰な発音

を行うことのできる身体を獲得することができるという言語学習の有効性を示すことができる点にある。また、日本人学習者だけでなく、英語との言語間距離が遠い他言語地域においても発音の習得が容易になり、他言語環境でも『Pronunciation Muscle Training Kit』の応用が期待できる。

注

- 1 Lakoff, George (1987) *Women, Fire and Dangerous Things: What Category Reveals about the Mind*: University of Chicago Press.
- 2 Clark, Andy (1998) *Being there: Putting brain, body, and world together again*: The MIT Press.
- 3 Chan, Marsha (2007) *Using your hands to teach pronunciation*: Sunburst Media.
- 4 Iribe, Yurie, Manosavan, Silasak, Katsurada, Kouichi, Hayashi, Ryoko, Zhu, Chunyue, and Nitta, Tsuneo (2012) *Improvement of animated articulatory gesture extracted from speech for pronunciation training*: 2012 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP).
- 5 羅徳安, 峯松信明 (2007) 修士論文: 英語話者を対象とした日本語 CALL システムの構築と評価: 東京大学大学院情報理工学系研究科.
- 6 Praat は音声学における音声分析用のフリーソフトウェアである。アムステルダム大学の Paul Boersma と David Weenink の両名を中心として開発された。
<http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>
- 7 Gorjian, Bahman Hayati, Abdolmajid, and Pourkhoni, Parisa (2013) *Using Praat software in teaching prosodic features to EFL learners*: Elsevier.
- 8 Luo, Beate (2016) *Evaluating a computer-assisted pronunciation training (CAPT) technique for efficient classroom instruction*: Computer Assisted Language Learning.
- 9 Gilbert, Judy B. (2012) *Clear speech teacher's resource and assessment book: Pronunciation and listening comprehension in North American English*: Cambridge University Press.
- 10 今井邦彦 (2007) ファンダメンタル音声学: ひつじ書房.
- 11 今井邦彦, 外池滋生 (2007) 英語徹底口練: 実務教育出版.
- 12 Ahangari, S., Rahbar, S., and Entezari Maleki, S. (2012) *Pronunciation or listening enhancement: Two birds with one stone*: International Journal of Language and Applied Linguistics.
- 13 Yenkimaleki, Mahmood and Vincent, J and others (2016) *Effect of explicit teaching of prosodic features on the development of listening comprehension by Farsi-English interpreter trainees: An experimental study*: International Journal of English Language Teaching.
- 14 Lindfield, Kimberly C. and Wingfield, Arther and Goodglass, Harold (1999) *The contribution of prosody to spoken word recognition*: Applied Psycholinguistics.
- 15 Grosjean, François and Gee, James Paul (1999) *Prosodic structure and spoken word recognition*: Cognition.

第3章

デザイン

本研究でデザインする『Pronunciation Muscle Training Kit』は、英語を第二言語とする日本人学習者が、英語によるコミュニケーションにおいて明晰な発音を行うための、口内の筋肉のコントロールの向上を図ることのできる自習システムである。教師による発音指導と学習支援教材『Pronunciation Muscle Training Kit』による発音トレーニングを統合した学習環境は、(1) 調音音声学に基づく英語話者による英語の発音の指導（第2章の3節に示す『Pronunciation Master Club』）と、(2) コンピューターを用い、学習者の発音を音響音声学に基づき物理的に分析し、学習者の口の動きを示すとともに、学習者の現状の口の状態から、目標とする音素に対してどのように口を動かすのかを教授する自己学習という、2つのフェーズによって構成されている。特に、本研究にて設計を行った『Pronunciation Muscle Training Kit』を用いた自習では、教師がおらずともコンピュータが学習者の発音に対して的確なフィードバックを行うことで、学習者は自然と口の筋肉をコントロールする術を身につけ、明晰な発音を行うことが可能になる。

『Pronunciation Muscle Training Kit』は、英語話者の学習者に対する発音指導に対する調査と、実際の英語話者の調音方法に対する身体性認知に基づく調査の分析に基づいてデザインされている。上記の学習環境において、学習者は、目標とする音素の習得のために、英語話者の調音方法に基づいた口、および舌の動かし方の指導を受ける。その後の発音のトレーニングでは、学習者の音声の音響学的特徴から学習者の発音が分析される。自分の発音と目標とする発音の音に違いが見られた場合、その発音に対して、自分がどのような口の筋肉の動かし方をしているのか確認し、目標とする発音に対してどう筋肉を動かせばいいかがアドバイスされる。学習者はこのアドバイスに倣い、正しい調音方法で自らの発音を矯

正する。このサイクルを繰り返すことで、学習者は、英語を発話するための口の筋肉のコントロールを身体的に理解し、明晰な発音ができるようになる。

3.1. コンセプトのデザイン手法

本研究では、『Pronunciation Muscle Training Kit』をデザインするにあたり、民族誌調査を実施した。この民族誌調査は、慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の奥出直人教授が著書『デザイン思考と経営戦略』において提唱したものであり、デザイン思考を用いて新たなコンセプトを創出する際のプロセスのうちの一つである(奥出 2012)¹ 調査にあたっては、デザインするコンセプトに関わりうる他者のコンテキストについて学ぶため、調査対象者を師匠、調査員を弟子と位置付け、師匠の活動に対して参与観察を行う。その調査内容を濃い記述(Thick Description)としてまとめ、5 model analysis(5分析)という5つの分析手法を用いて解釈する。この5つの分析は、(1)フローモデル：民族誌調査で登場した人物がそれぞれのゴールを達成するために、何を使って誰とコミュニケーションをしていたのか、各人の仕事の役割や仕事の調整方法、コミュニケーションの流れ、仕事の分担などをフローにして表したものの、(2)シーケンスモデル：民族誌調査で登場した人物の行動がどのような流れで行われていたかを時系列に表したものの(3)アーティファクトモデル：観察した人物がゴールの達成のために使用していたものを全て絵に描き起こしたものの、(4)フィジカルモデル：民族誌調査の舞台となった現場を図に表したものの、(5)カルチュラルモデル：民族誌調査で観察できた登場人物の関係性や人物と組織の関係性など、観察した行動の背景にある人間の力関係を図で表したものの、の5つのモデルを使って調査内容を分析する。その結果から調査対象者の持つゴールとメンタルモデルを抽出し、コンセプトに関わる人物のターゲットペルソナを作成する(奥出 2018)²。そのターゲットペルソナに基づいてスキットを繰り返し行いながら、コンセプトをデザインし、コンセプトを構成する要素とそれらが統合されて浮かび上がる全体図を表したコンセプトドローイングを作成、そして、デザインしたコンセプトドローイングに基づいて、そのプロトタイプを作成を行う。

3.2. 民族誌調査とモデリング

まず、英語指導者のメンタルモデルを調査するため、2人の英語話者に対しての映像民族誌調査を行なった。ここで、映像民族誌調査とは、映像を通して調査対象者に対して民族誌調査を行うことである。1人目は、当時慶應義塾大学大学院大学院メディアデザイン研究科付属メディアデザイン研究所リサーチャーであった樋口冴子氏である。樋口氏は幼少の頃より英語に触れ、大学院修士1年目にはロンドン・ニューヨークの2都市を横断する留学プログラムに参加している。また、2018年の10月にはVERSANT ENGLISH^{®3}を受験してC1を記録しており、英語を第一言語とする話者とも難なくコミュニケーションを行う身体を有した人物である。2人目は、現在慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科において「KMD イングリッシュ」や「プレゼンテーションスキル」等の科目で教鞭をとる Matthew Nisselius 氏である。Nisselius 氏は、アメリカ出身の言語学者兼英語教育者であり、テンプル大学 TESOL (Teaching English to Speakers of Other Language) という英語教授法の修士課程修了し、18年以上にわたって、日本の企業や機関に対してグローバルな専門家を育成することに重点を置いた英語学習カリキュラムやオンラインプラットフォームを提供してきた。慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科では、「KMD イングリッシュ」において発音指導を中心とした英語教育を行い、研究科の学生の英語力向上を図っている。

本研究では、発音指導において、どのようにして自らの身体化された調音方法を、学習者にわかりやすく教えているのか、身体的経験を英語学習にどのように応用しているのかをフォーカスポイントとし、上記の2名に対して民族誌調査を行った。

英語話者による調音方法の指導の民族誌調査

一つ目の映像民族誌調査は、2018年11月2日に、英語話者である樋口冴子氏が指導者として教鞭を執る「Prosody Master Club」に対して行った。「Prosody Master Club」とは、英語耳(松澤 2010)⁴を教材として使用し、英語のプロソディや子音や母音を学びつつ、歌でプロソディを実践しながら、段階的に調音音声学の発音方法を学んでいく学習環境である。英語の明晰な発音のために、樋口氏は学習者に対して、英語耳での調音方法の支持を参考にしながら、学習者に対して各音素の発音の仕方を教授していく。なお、学習者として、共同研究を行っている企業であるA社より、A氏に参加していただいた。A氏は英語でコミュニケーションをとることに苦手意識を持っており、特にリスニング、スピーキングに関しては極力避けるように生きてきたと言う。参考として、TOEICの点数は300点台、VERSANT ENGLISHはA1レベルであった。今回は、樋口氏が、そのような自らが身体的に習得している発音の仕方をどのようにして、わかりやすく教授しているのか、ということに焦点を当てて調査を行い、分析結果に基づいて解釈を行った(図3.2, 図3.3, 図3.4, 図3.5, 図3.6, 図3.7)。



図 3.1: 日本人学習者に対して、発音の指導を行う樋口氏

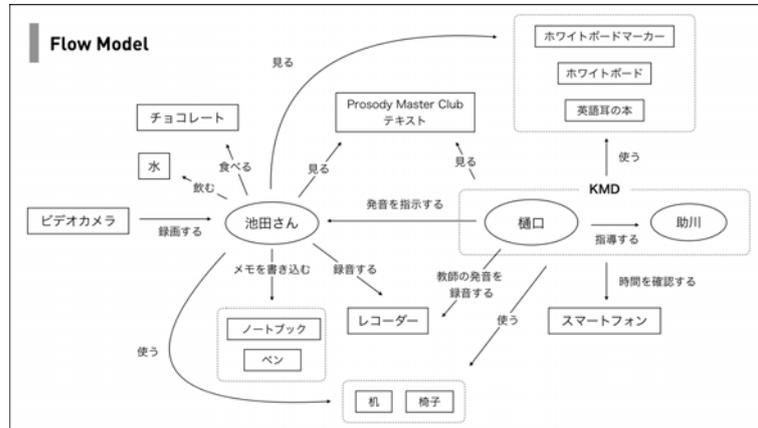


図 3.2: 「Prosody Master Club」のフローモデル

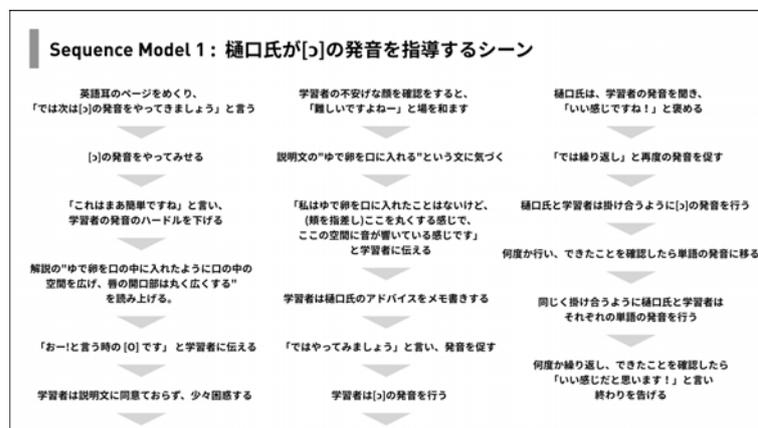


図 3.3: 「Prosody Master Club」のシーケンスモデル 1

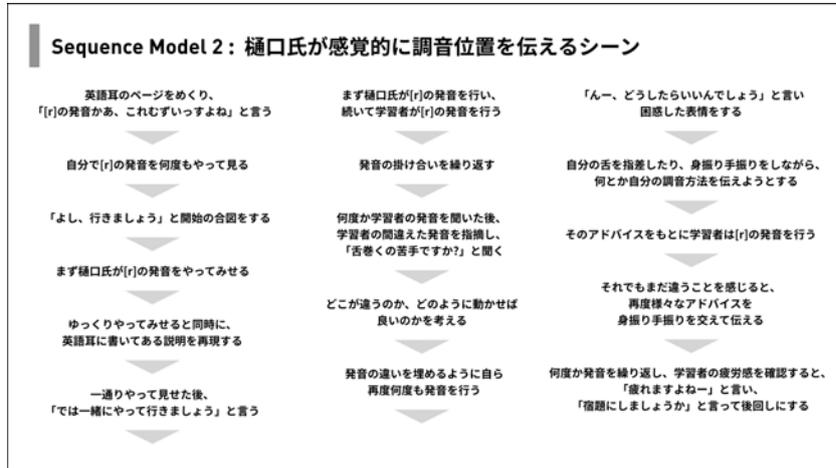


図 3.4: 「Prosody Master Club」のシークエンスモデル 2

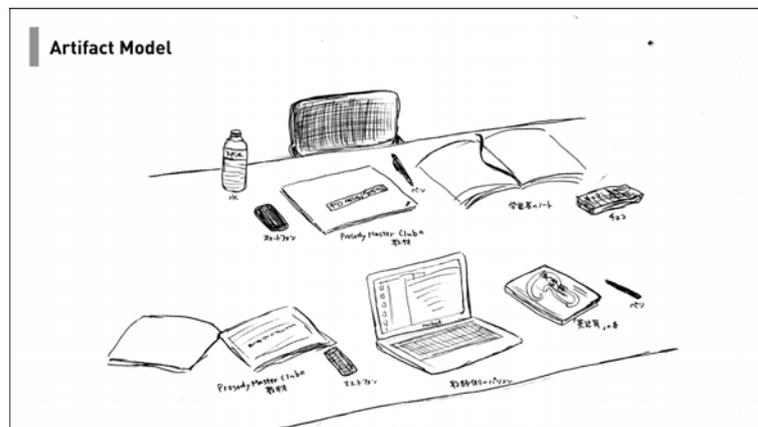


図 3.5: 「Prosody Master Club」のアーティファクトモデル

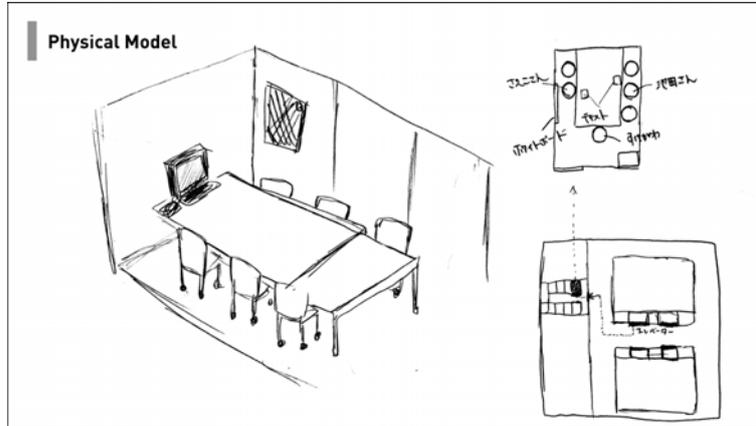


図 3.6: 「Prosody Master Club」のフィジカルモデル

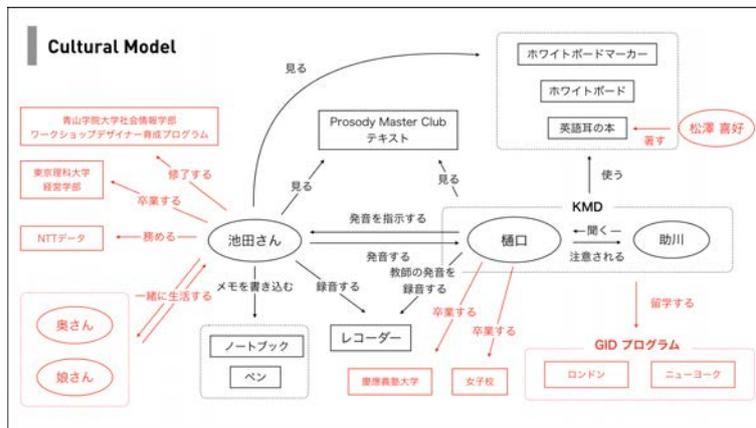


図 3.7: 「Prosody Master Club」のカルチュラルモデル

自らの口の中を指差して調音方法を指導する

Prosody Master Clubの母音の/ɔ/の発音の指導に際して、樋口氏は「ゆで卵を口の中に入れてように口の中の空間を広げる。唇の開口部は丸く広くする。」と英語耳(図3.8)を読み上げ、「オー! という時の/ɔ/です。」と学習者に伝えた。経験したことのない説明文に対して、学習者は説明文に完全に同意はしておらず、少々困惑する。そこで樋口氏は、説明文の“ゆで卵を口に入れる”という文に着目し、「私はゆで卵を口に入れたことはないが、(頬を指差し)ここを丸くする感じで、ここの空間に音が響いている感じです。」と学習者に伝えた。その際に、学習者はここでの樋口氏の調音方法のアドバイスと、音、そして口の動かし方のカップリングを理解することができたため、その言葉をメモとして認めていた。



図 3.8: Prosody Master Club 資料 (/ɔ/の発音)

似ている音素で発音を比較する

Prosody Master Clubにおいて、学習する音素の中でも日本語で「あ」と話される音素は、英語においては/a/,/ʌ/,/æ/,/ə/など英語の発音では数種類になる。英

語の発音を身体的に習得していない学習者は、松澤が主張するように、これら数種類の全ての発音を日本語の発音、すなわち「あ」と言う発音とに置き換えてしまふ⁴(松澤 2010)。そこで樋口氏は以下のような資料(図 3.9)を用い、似ている発音の母音が多く含まれた文章を発音を教授することで、必ずしも口だけでは言い表せない、各音素の発音の違いを示した。



図 3.9: Prosody Master Club 資料 (LET'S TRY!)

感覚的に発音の指示を行う

Prosody Master Club の子音の /r/ の発音の指導に際して、樋口氏は自分の発音と比較し、A 氏の間違った発音を聞くと、「舌巻くの苦手ですか?」と聞き、一体どのように違うのか、実際にどのように動かせば良いのかを考えていた。ここで、その発音の違いを埋めるように自らが何度も何度も発音を行っていた。しかしながら、学習者である A 氏は、その発音を真似て発音しようとしていたが、思うように舌が回らず、単母音である /ɑ/ と同じ音となっていた。それを樋口氏は「んー、どうしたらいいんでしょう。」と困難を感じながらも、自分の舌を指差したり、身振り手振りをしながら、何とか自分の調音方法を伝えようとしていた。

発音指導を中心とした英語教育を試みる英語教師への 映像民族誌調査

同様に、2019年5月24日に、言語学者兼英語教育者である Matthew Nisselius 氏が指導者として教鞭を執る「KMD イングリッシュ」に対して映像民族誌調査を行った。「KMD イングリッシュ」とは、語彙力の向上や、発音の矯正、プロソディの習得を通じて英語でコミュニケーションを行う能力を養う、慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の授業カリキュラムである。この授業カリキュラムは、上記のトピックに基づき、7週間にわたって指導される。加えて Web サイトやポータブルオーディオプレーヤーなど、アナログとデジタルのツールを組み合わせた独自のシステムによってレッスンは展開され、学習者である KMD の学生はこれらのツールを活用しながら英語でコミュニケーションを行う能力を培う。この映像民族誌調査では、アメリカ人のイングリッシュネイティブであり、英語教育者である Nisselius 氏が、複数の日本人学習者に対して、どのように自らの身体化された調音方法を、学習者にわかりやすく教えているのか、そして「KMD イングリッシュ」の構成要素である、CALL システムをどのように活用し、学習者の英語能力を向上させていくのかをフォーカスポイントとして調査を行い、分析結果に基づいて解釈を行った (図 3.11, 図 3.12, 図 3.13, 図 3.14, 図 3.15)。

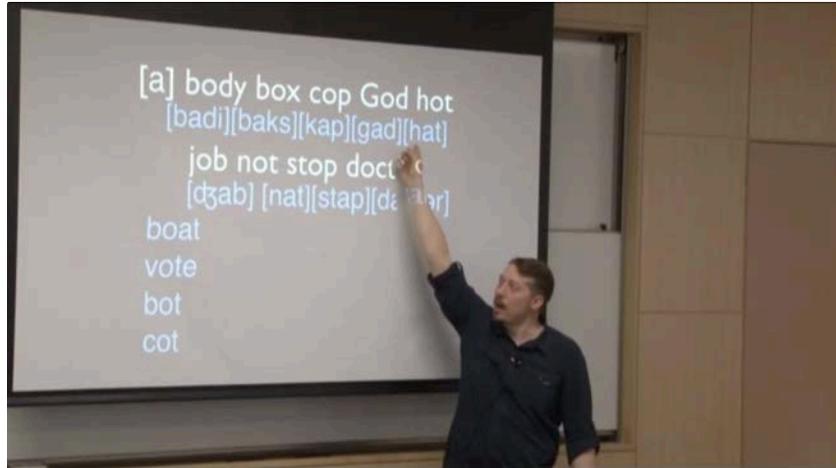


図 3.10: 「KMD イングリッシュ」にて発音指導を行う Nisselius 氏

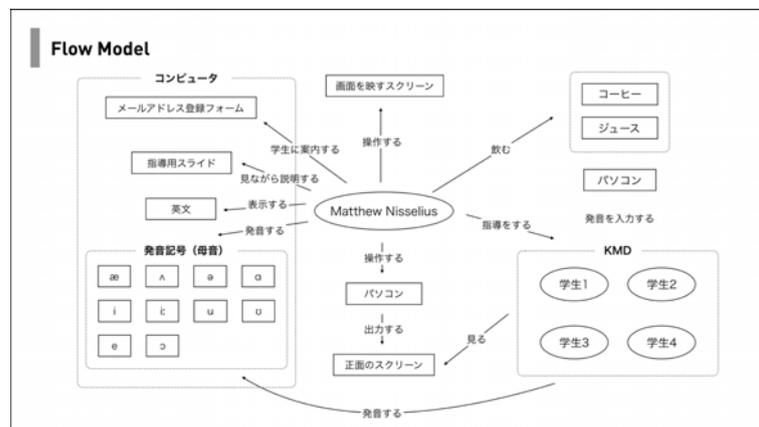


図 3.11: 「KMD イングリッシュ」のフローモデル

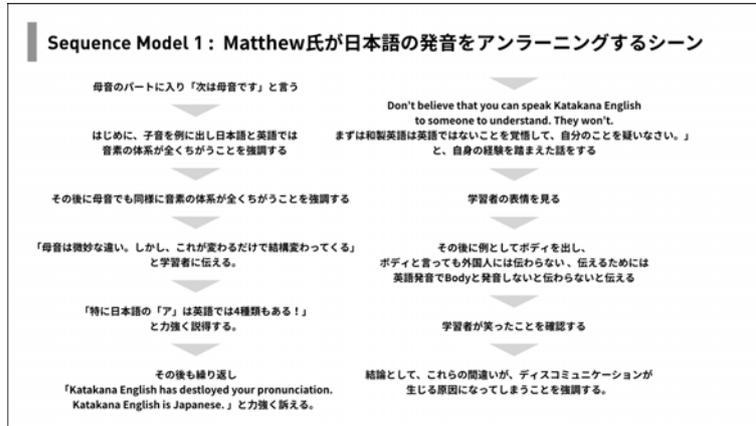


図 3.12: 「KMD イングリッシュ」のシークエンスモデル

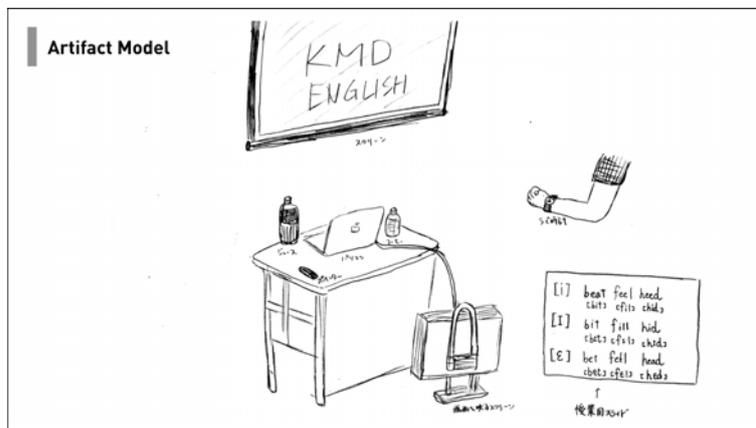


図 3.13: 「KMD イングリッシュ」のアーティファクトモデル

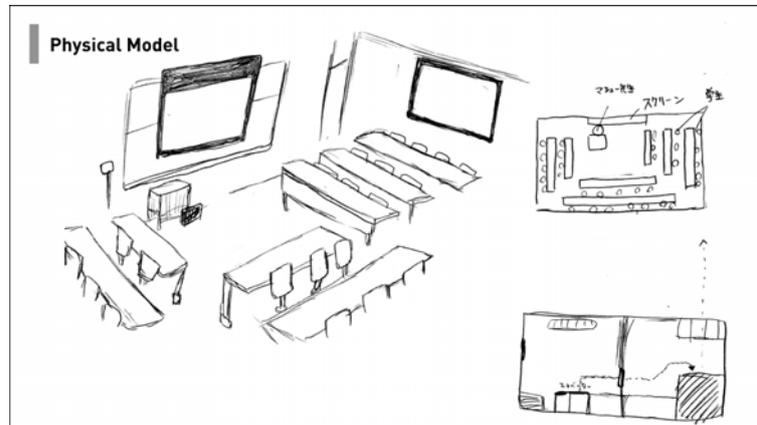


図 3.14: 「KMD イングリッシュ」のフィジカルモデル

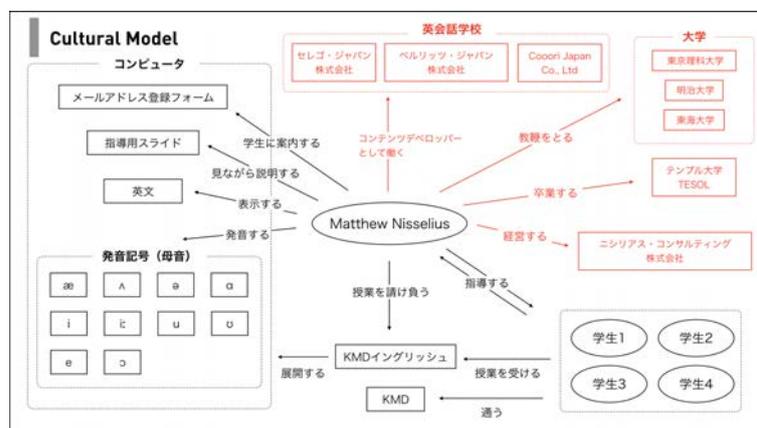


図 3.15: 「KMD イングリッシュ」のカルチュラルモデル

発音をコンピュータに入力して評価する

KMD イングリッシュは 20 から 30 人の学生に対して同時に発音の指導を行う。そのため、授業内で学生一人一人に適切なフィードバックを行うことは非常に困難である。そこで、Nisselius 氏は e-learning による評価システムを導入している。このシステムにおいて、KMD の学生には英語の例文が与えられ、各自が持参したマイクからコンピュータへ発音の入力を行う。ここで、Nisselius 氏は学生に対して、英文を二度読ませ、うち 1 回めはスムーズに発音するための練習、そして二回目は実際に録音を行う、といった流れで進めた。そしてこれらの発音のデータをクラウドデータベースである Coursebase に格納し、Nisselius 氏は、発音トレーニングの前後での発音の変化を評価する。Coursebase とは、LMS (Learning Management System) と呼ばれる、e-learning などの自習システムの配信、受講状況、成績などを統合して管理するシステムであり、Nisselius 氏はこのオンラインプラットフォームを活用し、個々人の能力の管理、そして評価を行なっている。

日本語の発音をアンラーニングする

KMD イングリッシュにおいて、Nisselius 氏は「和製英語は英語ではない。」と主張する。Nisselius 氏は、日本語と英語、それぞれの母音図をスクリーンに映し出し、学習者に対して英語の母音の種類の高さを強調した。その上で「Katakana English has destroyed your pronunciation. Katakana English is Japanese. Don't believe that you can speak Katakana English to someone to understand. They won't. まずは和製英語は英語ではないことを覚悟して、自分のことを疑いなさい。」「ボディ、ボディと言っても外国人には伝わらない。英語発音の Body と日本語発音のボディでは全く異なる。」と自らの経験を用いて学習者に音素レベルで英語の明晰な発音を行うことの重要性を示した。また、母音の発音において Nisselius 氏は、樋口氏と同様に日本語の「あ」を例に出し、「日本語では「あ」という発音で一括りにされてしまっているが、英語の場合では /ɑ/, /ʌ/, /æ/, /ə/ と、4 種類もあり、これらの発音が違うだけで意味が変わったり相手に伝わらなかったりする」と、ディスコミュニケーションが生じる原因になってしまうことを強調した。

調音音声学に則った発音指導では、子音の方が舌や唇などの音声器官の場所、および肺からの呼気の流れを止めたり狭めたりする方法を示すことによって発音方法を比較的説明しやすい。一方で母音の場合、母音を正確に発音するには、主に舌、唇、顎の微妙な動きが決め手となる。また、英語では母音の音長も重要な弁別的特徴となる。英語の母音のレパートリーは、前述の「あ」の発音でも明らかかなように日本語よりも圧倒的に多い。そのため、教師および学習者が、識別する際においても、発音する際においても、最も混乱が起こりやすいパートであることがわかった。したがって、本研究においては、発音のトレーニングが困難である、母音をターゲットとした。

これらの分析より、学習者の発音を物理的に分析することで学習者の口の動きが示されること、そして樋口氏、Nisselius 氏の学習者に対する発音指導の調査に基づき、学習者の現状の口の状態から、目標とする音素に対しての的確な調音方法の指示、すなわち、どのように口を動かすことで目標とする音素を発音することができるのかを教授するシステムの設計を行った。

3.3. 身体性認知の概念を用いた民族誌調査

米 Yahoo! Inc. は 2010 年に「Augmented Ethnography: Designing a Sensor-Based Toolkit for Ethnographers」という研究報告書を発表した (Churchill, Gooen and Shamma 2010)⁵。Yahoo! Inc.、Internet Experiences Group の研究員である Churchill らは、日常の買い物行動について調査するために、センサーツールキットを開発した。キットを構成しているセンサーとしては、ボタンセンサー、プレッシャーセンサー、モーションセンサー、光センサー、オーディオセンサー、近接センサー、イメージセンサー、熱センサーがある。これらを使用し、Data Logging Shield with Arduino を搭載しているショッピングバッグのプロトタイプを開発した。そして、彼らはこのセンサーツールキットが日常の行動を理解する手助けとして有効であったと述べている。ここで用いられている、Ethnography of Embodied Cognition とは、観察対象者の身体運動をセンサー技術を用いて測定する手法である (村田 2016)⁶。本研究の調査において Ethnography of Embodied Cognition を実施するにあたって、はじめに身体性認知を基に設計した調査方法について述べる。1 章でも述べたように、Andy Clark における身体性認知とは、脳・身体・世界を 1 つの認知システムとして捉える概念である。したがって、身体性認知の観点から解釈を行うためには、認知、身体運動、身体運動によって引き起こされる物理現象の 3 つの要素を統合して観察する必要があると考えた。そこで本研究では、民族誌調査を行い認知と行動のカップリングであるメンタルモデルを抽出したのち、センサー技術（本研究では音声のセンシング）とビデオカメラを用いて身体動作を記録、描画、そして物理世界に関して、ビデオカメラを用いて調査を行った。英語話者である Martin Yanyuan Chen 氏の発音を音声のマイクにより入力し、音声分析ソフトを用いて解析を行う。そして、その分析結果を基に、メンタルモデルと物理世界の相互作用を考慮し、Martin 氏の発音の際の身体化された事象を明らかにした。

英語話者の発音時における身体動作の記録

この調査では、英語話者である Martin 氏の身体動作をビデオカメラにて記録、また、発音をデータとして記録し、音声分析ソフトである Praat によって音響学的特徴の抽出を行う。その調査をもとに、英語話者が身体的に獲得している英語の発音を観察、そして音響音声学に基づく音声分析を用い、実際の身体動作と物理現象を明らかにした。録画においては、2台のビデオカメラを用い、対象者の口の動きの観察を行った。録画に使用するビデオカメラとして、SONY 社の HDR-PJ680、Panasonic 社の HDC-HS100 を使用し、Martin 氏の顔の正面、側面を定点多角的に撮影を行った。また、録画に併せて、高解像度で音声を記録するため、別途で Advanced Media 社の超指向性ピンマイクである、AmiVoice Front PM01 を用いて録音を行った。その後、測定した音声を音声分析ソフトである Praat を用い、スペクトログラムで可視化を行い、Martin 氏の発音の際の身体動作を物理現象から明らかにする。

音声の分析にあたって

母音の調音位置の矯正を行うための、学習者の発した発音の解析方法については、本研究ではフォルマント周波数の分析に焦点を絞ることとした。現在、人工知能に機械学習や自然言語分析をさせて、英語の発音や英会話を学習できるコンピュータやスマートフォンのアプリケーションが多く存在する。しかしながら、機械学習による母音の推定は、大量の音声を収集したデータセットのラベリングによって行われるため、何の音なのか、すなわち、どの母音を発音したのかを特定することは可能であるが、実際に自分がどのように調音してその音が出ているのかと言ったことや、どの調音部位をどこに、どの程度動かしたら良いのかという詳細なフィードバックを期待することは、現状では非常に難しく、特に母音は絶妙な舌の動かし方によって音が決定されるため、学習者にとっての混乱の原因の一つとなりうる。その点、1章の3節でも示した通り、フォルマント周波数による母音の推定は舌の上下位置（口の開き具合）に相関のある第一フォルマント周波数と舌の前後位置に相関のある第二フォルマント周波数の2軸で学習者の発音

を推察する事ができるため、人工知能による調音矯正と比較しても、特定の部位に関するフィードバックが行いやすい。したがって、本研究において母音の調音位置の矯正を行うにあたっては、フォルマント周波数の分析に焦点を絞ることとした。以降では、Praatをはじめとするフォルマント周波数の抽出から、それらを用い、実際に行った発音矯正の基礎実験の結果を表す。

フォルマント周波数の推定

人間の声は低い周波数から高い周波数まで、様々な周波数から構成されており、併せて人間は声道の共鳴がフィルタの役割を果たす(岡本 2017)⁷。つまり声道では、ある周波数域は共鳴し、よく響くが、別の周波数領域は共鳴しない。このようなある一定の共鳴する周波数帯をフォルマント'といい、声道の基本振動に対応する、すなわち一番低い共鳴周波数を第1フォルマント(F1)と呼ぶ。そこから順々に第2フォルマント(F2)、第3フォルマント(F3)・・・と続く。母音の生成・弁別と関係しているのは、多くとも第3フォルマントまでとされており、一般的には第1フォルマントと第2フォルマントの周波数比で母音の種類が決定され、このフォルマント周波数の相対的な関係が母音を識別させている(吉田 2005)⁸。

Praat を用いた音声の分析

Praat で音声进行分析する際、横軸に時間、縦軸に周波数、強さを濃淡で表したスペクトログラムが表示され、フォルマントを表示させると、以下の図のように赤い点の連なりで F1、F2、F3 が表示される (図 3.16)。

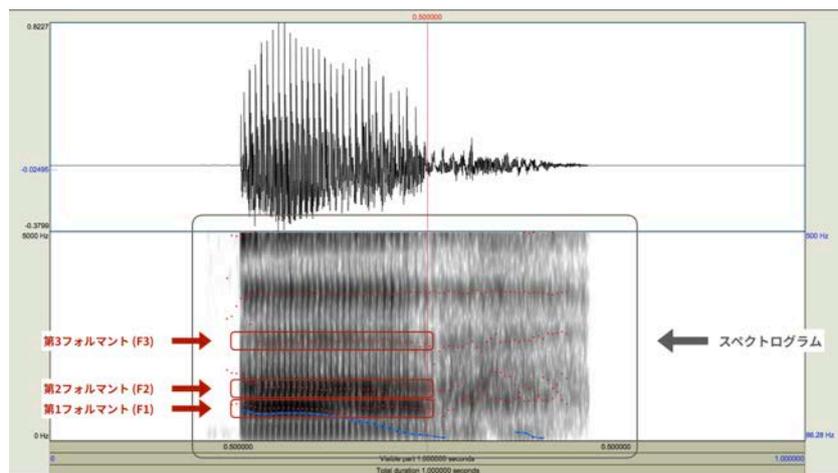


図 3.16: Praat による /a/ の発音の分析

このような母音発音における声道形状と F1、F2 の関係は 母音四角形 (F1-F2 母音図) として古くから知られている。ここで、母音の発音する場合、調音位置と呼ばれる点は調音の際に舌が一番緊張する地点で表される (図 3.17)。これを International Phonetic Association では、世界中の言語の母音を記述するための基本母音を母音四角形として以下の図のように示している (International Phonetic Association, 2015)⁹。位置関係については、舌の高さと F1、舌の前後方向の位置と F2 の間にそれぞれ相関があるため、F1 の数値から、開口に伴う、舌による口腔内の上下の調音位置が推察され、F2 から舌の前後の調音位置が推察される。人によって個人差が生じることから、母音図は図 3.18 のようになる (The National Center for Voice and Speech, 2005)¹⁰。

英語話者の身体動作の分析

その後、身体動作を記録した動画とメンタルモデル、物理環境と分けて、以下のような分析シートを用いてカップリングの分析を行った。なお、Martin 氏には教師データとしての録音も兼ねていたことから、ターゲットの単体の母音を示し、約 1 秒間隔で 3 回発音を行ってもらった。

メンタルモデル	物理環境	身体動作および身体データ
<ul style="list-style-type: none"> 英語耳を見て単語を確認すると、その単語を基に母音の発音を行う。 時間をかけて舌が納得する調音位置で緊張したことを確認すると、喉を鳴らして発音を行う。 一度発音を行い、Martin 氏の中で何かが違うことを認知すると、修正して 2 度目の発音を行う。 	<p>発音記号</p> <p>[ə]</p> <p>英語耳の説明</p> 	 <p>Praatによる[e]の発音の解析</p>

図 3.19: Martin 氏に対する Ethnography of Embodied Cognition

単語を足場にした母音の調音

本調査は、Martin 氏の母音の発音の記録、分析を目的としている。そのため、調査を行う際に筆者は Martin 氏に対して単母音での発音、すなわち上図の例に出している /ə/ では、単語の発音から母音の発音を抽出するのではなく、初めから /ə/ のみの発音を依頼した。Martin 氏は /ə/ の発音に際して、まず録音前に /ə/ を含んだ単語である、about /əbaut/ を何回か発音を行っていた。特に、あいまい母音である Schwa /ə/ の発音は他の発音の比べて、頻出度は高いにも関わらず、ストレス・アクセントを持たないことから意識して発音することは難しい。そのため、Martin 氏は母音単体の録音の前段階として、単語を足場に Schwa の発音を意識しながらなんども発音を行なうことで、単母音での発音を可能とした。

身体化された発音イメージ

Martin氏は/ə/の発音に際して、前述の通り about/əbaut/の発音を何回か行なった後、単母音での/ə/発音を行なった。録音を開始し、/ə/と発音を行ったが、Martin氏は発せられた音に何かしらの違和感を感じたためか、首を傾げ納得いかない様子で次の音素に臨もうとしていた。ここで筆者が「もう一度録音を行いますか?」と問いかけたところ、Martin氏は「お願いします。」と言い、再度の録音が行われた。ここでMartin氏は about/əbaut/を複数回発音、続けて/əb.../とだんだん短くしていき、最終的に/ə/のみの発音を複数回行っていた。準備ができ、「行きます。」と声がかかったため、録音を開始した。Martin氏は練習の延長で/ə/と3度発し、納得がいったようで笑みを浮かべていた。

このことから、Martin氏は、自らが発した音と身体化された/ə/の発音イメージとを照らし合わせ、発音に何かしらの違和感を感じた場合、舌の調音位置を調整することで正しい発音のためのキャリブレーションを行っていることがわかった。すなわち、Martin氏は、目標とする音素に対する身体動作、そして声(音)のカップリングがなされており、その3つが相互作用することによって、Martin氏にとっての正しい発音を行っていると考えられる。

3.4. フォルマント周波数の値を基にした発音の矯正

前節では英語話者である Martin 氏に対して民族誌調査を行い、Martin 氏の発音の際の身体動作を物理現象から明らかにした。ここで得られた発音データおよび身体動作をもとに、筆者自らが教師のいない状態を想定し発音の矯正を試みた。

はじめに、Martin 氏の各音素の発音の録音データ (以後、“教師データ”とする) を自らの発音と比較し、異なる音素の抽出を行う。ここでは全ての母音を録音し、Praat を用いて音声の分析を行うことで、各発音の第一フォルマント周波数 (F1) と第二フォルマント周波数 (F2) の平均を算出し、F1/F2 母音図として表に各音素のフォルマント周波数の比をプロットした。ここで、フォルマント周波数とは、線形音源フィルタ理論 (linear source-filter theory) に基づく、声道の振動の共鳴のことであり、一般に、母音においては F1 周波数は舌の高低、すなわち口の開きと関係し、F2 周波数は舌の前後位置に関する。この調音と音響の対応は、母音のフォルマント周波数についての音響的データから調音に関する類推を行うことを可能にする (Kent et al. 1996)¹¹。教師データおよび筆者の発音のフォルマント周波数比を表計算ソフトである Microsoft 社の Excel を用いて散布図にプロットし比較を行なった (図 3.20)。

F1/F2-based vowel chart

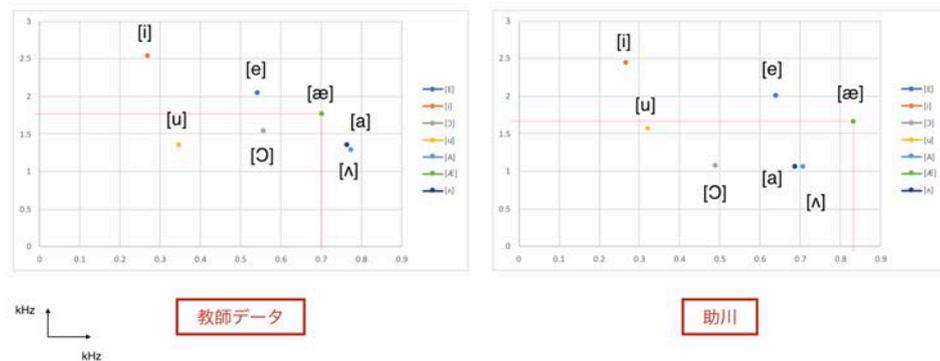


図 3.20: 教師データと筆者の発音のフォルマント周波数比の比較

以上の二つの図を概観すると、音声記号における /æ/ において教師データと筆者の発音に大きな差異がみられた。したがって、発音矯正の基礎検討として /æ/ の発音に注視し、調音方法の矯正を行うこととした。

/æ/ の発音を矯正するにあたり、Martin 氏の /æ/ の発音から抽出した F1 と F2 の値を参照し併せて、自らが正確な調音を認知し発音を行うことができている /a/ の発音を参考に /æ/ の調音の矯正を行なった。また、参照資料として、Martin 氏の発音を記録した動画と、英語の発音指導講師である松澤喜好氏の著書“英語耳”を用い、口の開き具合や舌の前後位置を随時確認しながらトレーニングを行った。

/a/ と /æ/ のそれぞれの調音方法を確認すると、英語耳においては、/a/ の発音は“矢印の方向に勢い良く口を開ける。日本語の「ア」よりも2倍くらい開けるイメージ。”とされている。一方で /æ/ の発音は“「ア」に聞こえる音の中では、舌を一番前に運ぶ。”と示されている。また、これらを音響音声学的に分析を行うと、第一フォルマント周波数に大きな違いはないが、第二フォルマント周波数で示される調音位置、その舌の前後位置に違いがあることが明らかとなった(図 3.21)。

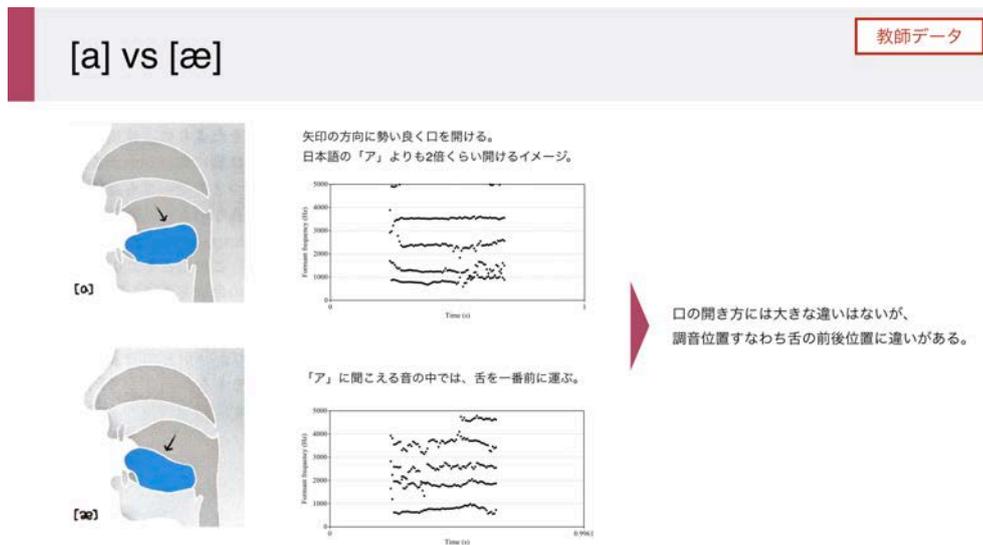


図 3.21: 教師データにおける/a/と/æ/の調音方法の比較

ここで/æ/の発音について、筆者の発音の際の調音方法を写真(図3.22)から確認すると、それらしく発音したように思っている、実際には/a/の調音から日本語の「エ」というような発音にするという意識が強すぎて、大きく口が開きすぎていることがわかった。この発音を参照資料を基に考えると、/a/の発音からは、口の開け方はそのままに舌の前後位置を調整するだけで/æ/の発音となる。

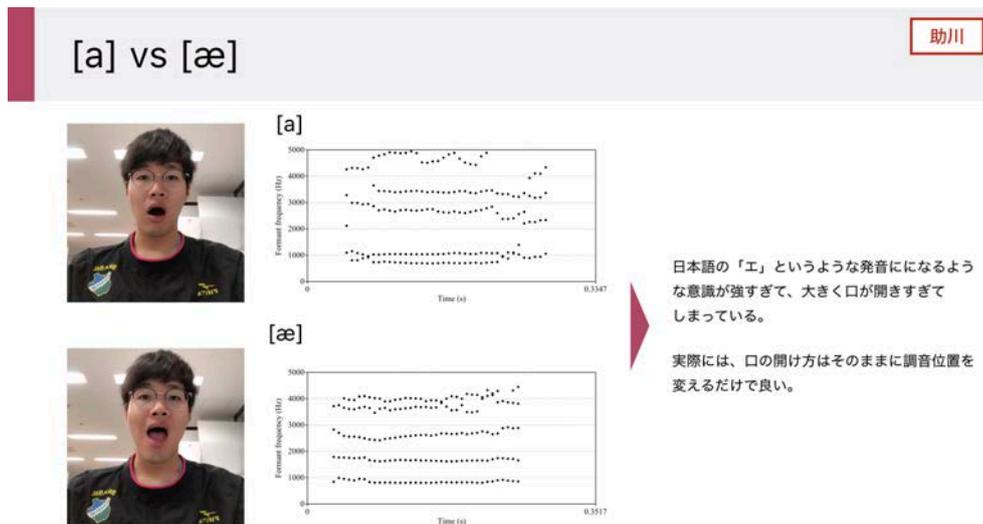


図 3.22: 筆者の発音における/a/と/æ/の調音方法の比較

参照資料を踏まえ、口の開け方はそのままに舌の前後位置を調整するようトレーニングを行った。その結果として、図 3.23 に示す (before) では F1 が教師データの値と比較しても 100[Hz] 以上高かったのに対して、(after) では F2 はそのままに F1 のみ減少し、教師データと比較しても 20[Hz] 未満に収まっている (図 3.23)。

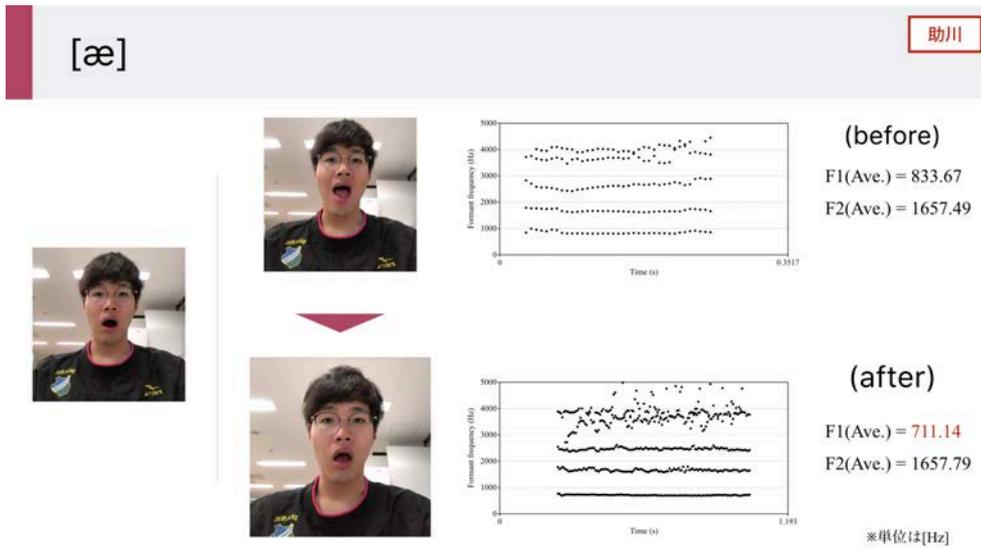


図 3.23: 口の開き方を意識した発音の練習による F1 の変化



図 3.24: 発音トレーニング後の教師データと筆者の発音のフォルマント周波数比の比較

以上の結果より、母音においては、教師と自らの F1、F2 の比を比較し、口の開き方を意識して発音の練習をしたことで、自分の意識の元でそれぞれのフォル

マント周波数を増減させ、調音位置の矯正を行うことができた(図3.24)。そして、教師データに近い値、すなわち教師の口、下の動かし方に近い調音を繰り返すことにより、日本語には存在しない/æ/にあたる音声記号の発音を習得することができた。一方で、発音矯正の際に、Praatの分析結果に現れるフォルマント周波数の遷移が示す意味を理解するためには、少なからず音声学の知識が必要である。英語学習に加え、音声学を学習することは英語学習者にとって大きな負担になると考えられる。そのため本研究では、フォルマント周波数がそのまま示された値によって調音位置を示すのではなく、フォルマント周波数によって導き出されたプロット位置を口内の散布図に示すことにより、学習者にとって自らの調音位置を認知しやすいシステムの設計を試みることにした。

3.5. 理想の発音とするフォルマント周波数の目標値の設定

各フォルマント周波数の幅

『Pronunciation Muscle Training Kit』を用いた自習においては、学習者は口や舌などの調音器官を調整して、目標とする値に近い母音の発音を習得するべく、繰り返しの発音を行い、調音部位の矯正を行う。前節では、英語話者および学習者の第一フォルマント周波数(F1)と第二フォルマント周波数(F2)の値を手掛かりに、繰り返し発音練習を行うことで母音の調音位置の矯正が行えることを確認した。一方で、母音は英語の母語話者でも住んでいる地域や年齢など、様々な背景により各フォルマントの値に差が生じる(Labov, 1994)¹²。また、Harringtonは、著書“*The Phonetic Analysis of Speech Corpora*”を著した2010年の時点で、「この50年の間に、アメリカ英語では母音が前方化かつ上方化、すなわち、より口の中の前の方で発音し、より上顎に近い部分で発音するようになってきた」と述べている(Harrington 2010)¹³。以上のことを考慮すると、学習者が発音練習を行う際に目標とする各フォルマントの値についても、男女を問わずある程度の範囲を与えることが必要であると考えられた(大塚 2014)¹⁴。そこで、本論文においても

大塚氏が用いたものと同様に Fant の正規化の式 (式 3.1)¹⁵を用い、フォルマント周波数値の範囲を算出した。

$$k = 100 \left(\frac{F_{\text{female}}}{F_{\text{male}}} - 1 \right) [\%] \quad (3.1)$$

発音における目標値を設定するため、Peterson, Barney の実験のデータ (Peterson and Barney, 1952)¹⁶より、調査対象である男性および女性の特定の母音の周波数値を採用した。用いられるデータは、英語 (アメリカンイングリッシュ) を母国語とする話者 (成人男性、女性、子供)76 人のフォルマント周波数値の平均を算出したものである。このデータを基に Fant の提唱する母音正規化の式を用い、幅のあるフォルマントの値を新たに算出した。算出結果を以下の表 (表 3.1, 表 3.2) に示す。

表 3.1: 学習者の目標とするフォルマント周波数比 (男性)

母音	F1 の目標値 [Hz]	F2 の目標値 [Hz]
/ɑ/	730~850	1100~1200
/ʌ/	640~760	1200~1400
/æ/	660~860	1700~2050
/ɔ:/	570~590	850~900
/e/	530~600	1850~2350
/u:/	300~370	850~950
/u/	440~470	1000~1150
/i:/	270~300	2300~2800
/i/	400~430	2000~2500
/ə/	490~500	1350~1650

表 3.2: 学習者の目標とするフォルマント周波数比 (女性)

母音	F1 の目標値 [Hz]	F2 の目標値 [Hz]
/ɑ/	850~990	1200~1309
/ʌ/	760~903	1400~1633
/æ/	860~1121	2050~2472
/ɔ:/	590~611	900~953
/e/	600~679	2350~2985
/u:/	370~456	950~1062
/u/	470~502	1150~1323
/i:/	300~333	2800~3409
/i/	430~462	2500~3125
/ə/	500~510	1650~2017

3.6. 「Prosody Muscle Training Kit」の設計と仕様

ターゲットペルソナ

民族誌の調査結果を踏まえた、詳細な『Pronunciation Muscle Training Kit』の設計を行うにあたり、はじめにターゲットペルソナを作成した。ターゲットペルソナとは、民族誌調査により集めたデータから作られた仮想のユーザーモデルである。民族誌調査から得られたゴールとメンタルモデルに基づいてペルソナを設計することで、ユーザーが何を達成するために、どのように考え、どのように行動するかをデザインに反映することができる(奥出 2018)²。本研究では、2人のターゲットペルソナを設定した。一人目は、自らの経験を通して“発音”に重きを置き、英語学習の指導を行う英語教師(図 3.25)¹⁷、二人目は、教師からの発音指導および『Pronunciation Muscle Training Kit』による発音トレーニングを通して英語の発音を学習する、日本人学習者である(図 3.26)¹⁸。

Target Persona 1: 英語学習の指導を行う英語教師



斎藤 香織 (31)

カリフォルニア州サンノゼ出身
東京都渋谷区在住
英語教師

Goal

- ・自分が得意とする英語を使って仕事をしたい。
- ・英語教師として培ってきた経験を通して、いつかは本を出版してみたい。
- ・英語は難しい言語であるという概念をひっくり返したい。

Mental Model

見ると: 笑う、頷く、説明する、納得する
聞くと: 褒める、ゆっくり発音する、指示する、手本を見せる、復唱する
話すと: ジェスチャーする

Personal Profile

12歳までカリフォルニア州サンノゼで過ごしたのち、両親の仕事の関係で日本に帰国。
帰国後は、国際教育に力を入れた学校に転入。そこから将来の夢として英語教師を目指すようになる。
現在の趣味はヨガであり、週末は大きな公園へ出かけて自然の中でのヨガを楽しんでいる。

Working Profile

東京外国語大学言語文化学部を卒業後、言語教育のプロフェッショナルになるためTESOL(英語教授法)専攻でSan Jose State Universityの修士課程に進学、日本に帰国後はGABAに勤め、5年目でカリキュラムディレクターを経験。現在は独立し、千葉大学、明治大学、早稲田大学大学院ほか複数企業において講師として勤務。

図 3.25: ターゲットペルソナ 1: 英語学習の指導を行う英語教師

Target Persona 2: 英語を第二言語とする学習者



櫻井 輝義 (27)

山形県山形市出身
東京都豊島区在住
NTT Communications 勤務
システムエンジニア

Goal

- ・外国人社員と仕事をするにあたって、支障のない程度の英語のコミュニケーション能力を身に付けたい。
- ・「相手の言っていることが分からない」、「自分の言ったことが相手に伝わらない」などの状態を改善したい。
- ・外国人を前にすると萎縮してしまう自分をなんとかしたい。

Mental Model

見ると: 喋る、口を動かす、うなずく、検索する、質問する
聞くと: 声をかける、画面をみる、書き込む
話すと: ジェスチャーする

Personal Profile

小さい頃からゲームが好きで、高校上がる頃には自作のブラウザゲームを作ったりしていた。
また、ゲームのプログラム改造にも興味を持っており、改造するに当たって外国のwebサイトをよく閲覧していたことから、英語に対してさほど苦手意識はないが、決して得意というわけではない。
大学生の頃、オンラインゲームで外国人とマッチングしたこともあったが、知っている英単語の量のわりには、喋ったり聞いたりすることはできなかった。

Working Profile

東北大学大学院工学研究科卒業後、NTT Communicationsに就職。入社以来、SEとしてビジネスにおけるコミュニケーションを効率化させるアプリケーション「Weber」の開発・運用を担当。近年では発達上国語圏とのビジネス周りの開発も担当する。

図 3.26: ターゲットペルソナ 2: 英語を第二言語とする学習者

コンセプトスケッチ

設定したペルソナと合わせてコンセプトの全体図をイラストで描き、モデルを作成した(図 3.27, 図 3.28)。『Pronunciation Muscle Training Kit』を使用するにあたり、はじめに学習者は、目標とする音素の習得のために、英語話者の調音方法に基づいた口、および舌の動かし方の指導を受ける(図 3.27 図中(1.),(2.))。その後学習者は、自習ツールを用いて発音のトレーニングを行う(図 3.27 図中(3.))。自習ツールを用いた発音のトレーニングでは、学習者の音声の音響学的特徴から学習者の発音が分析される(図 3.27 図中(4.))。自分の発音と目標とする発音の音に違いが見られた場合、その発音に対して、自分がどのような口の筋肉の動かし方をしているのか確認し、目標とする発音に対してどう筋肉を動かせば良いかをアドバイスされる(4.)。学習者はこのアドバイスに倣い、正しい調音方法で自らの発音を矯正する(図 3.27 図中(5.))。もしここで、発音の難しい音素がある場合、音声データと分析された数値を教師に提出することで、後日、自習の内容、結果を考慮した大人の発音指導が行われる(図 3.27 図中(7.),(8.))。このサイクルを繰り返すことで学習者は、英語での発話に必要な筋肉をコントロールすることができ、明晰な発音が行えるようになる(図 3.27 図中(6.))。

Concept Sketch

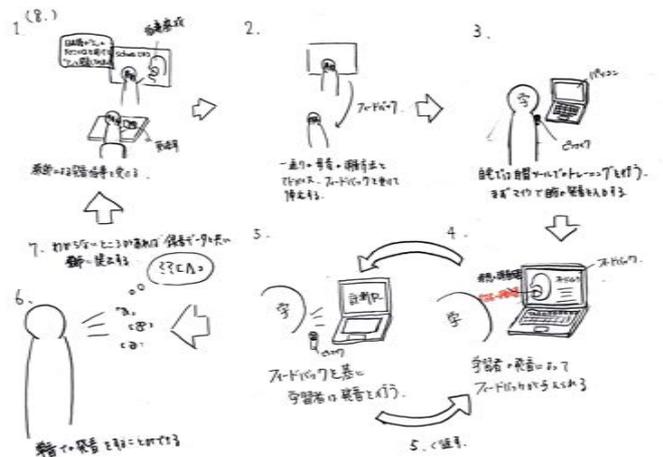


図 3.27: 『Pronunciation Muscle Training Kit』のコンセプトスケッチ 1

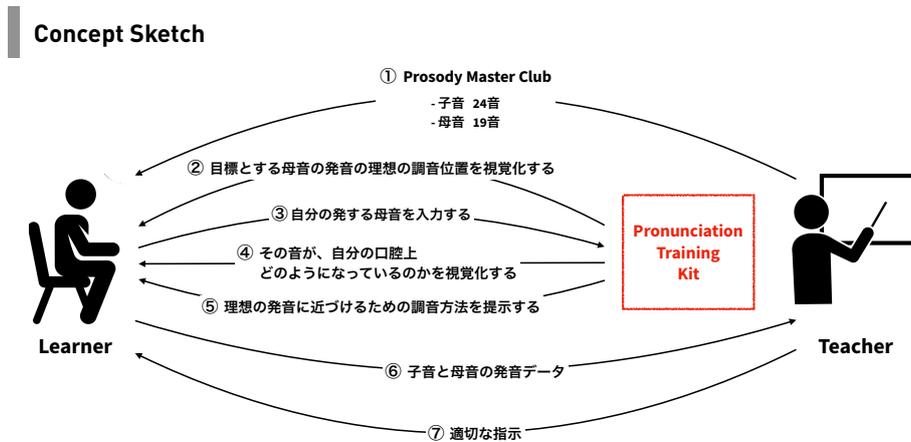


図 3.28: 『Pronunciation Muscle Training Kit』のコンセプトスケッチ 2

コンセプトドローイング

前述した3つの民族誌調査と、調査を基に行ったユーザーテスト、前述のスケッチを通してコンセプトを具現化し、コンセプトドローイングとして作成した(図3.29)。ここで、コンセプトドローイングとは、コンセプトを構成する要素と要素がどのように統合され、システムの動きを可能にしているのかを明示するものである。本学習環境は、教師による発音指導と学習支援教材『Pronunciation Muscle Training Kit』による発音トレーニングを統合した学習環境は、(1) 調音音声学に基づく英語話者による英語の発音の指導(第2章の3節に示す『Pronunciation Master Club』)と、(2) コンピューターを用い、学習者の発音を音響音声学に基づき物理的に分析し、学習者の口の動きを示すとともに、学習者の現状の口のの状態から、目標とする音素に対してどのように口を動かすのかを教授する自己学習という、2つのフェーズによって構成されている。また、学習環境を構成するプロップスには、レッスンを行うための資料や録音を行うためのレコーダー、そして自習環境としてのCALL(Computer-Assisted Language Learning)システムが存在する。特に、本研究において設計を行うCALLシステム『Pronunciation Muscle Training Kit』

は外部装置としての学習者の発音を録音するマイクを用い、理想の調音方法、理想の調音方法に基づいて発音した音声と理想の調音位置に対して現状の学習者の調音位置を示す図、そして理想の調音位置に近づくための解説によって構成されている。

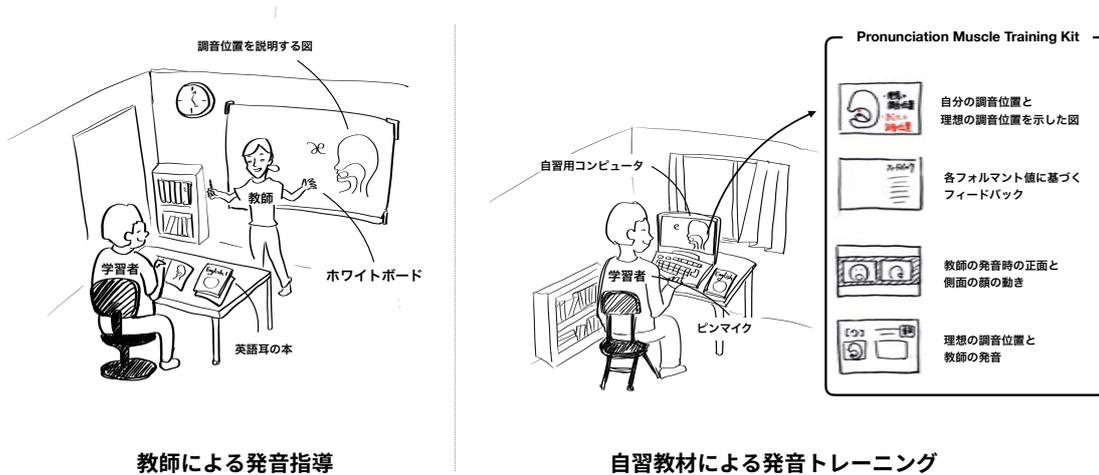


図 3.29: 『Pronunciation Muscle Training Kit』のコンセプトドローイング

理想の調音方法を示す図とその調音方法に基づいて発音した音声

『Pronunciation Muscle Training Kit』は Andy Clark の身体性認知の身体性認知の概念に立脚した自習支援教材である。したがって、本教材には学習者が明晰な発音を行う上で外部的な足場となりうる、各音素のシンボル、理想の調音方法を示す図とその調音方法に基づいて発音した音声構成要素として含まれている(図 3.31(1))。学習者は、発音記号とその発音のを行うための身体動作の図を目視しながら、教師の発音を聞くことで、自らの調音、そして発される音声との比較を行う。ここで、理想の身体動作とされる図は、松澤喜好著「英語耳」より、各母音調音方法の図を引用した。また、理想の音声についても、同様に「英語耳」付属のメディアより抽出し、各ページに配置した。

理想の調音位置に対して現状の学習者の調音位置を示す図

本学習支援ツールは、教師では把握することのできない学習者の舌の動かし方について、音響音声学の分野から周波数解析を行うことで現状の学習者の調音位置を示すとともに、目標とする音素の調音位置との比較を表す(図 3.31(2))。ここで、目標とする音素の調音位置については前の 3.5 節で表 3.1, 表 3.2 において算出した値を用いる。学習者は自らの調音位置である第一フォルマントと第二フォルマントの周波数比と目標とする調音位置の周波数比の二つのポイントを参照し、自らの調音位置の矯正を行う。また、調音位置は図だけではなく数値としても現れることから、学習者は周波数の増減でも調音位置を把握し、調整することができる。

理想の調音位置に近づくための解説

3.4 節において、筆者はフォルマント周波数の変化のみで発音の矯正を行った。ここでは、Martin 氏の発音を教師データとして Praat を用いて解析し、フォルマント周波数を求めた。そして、各音素の第一フォルマント周波数と第二フォルマント周波数の比を散布図に起こし、F1-F2 母音図として自らのものと比較し、間違った発音をしている音素を洗い出した。その音素について F1, F2 周波数の二点で比較し口の開き方、下の前後位置をキューとしてそれぞれの発音を矯正し、目標とする教師データの値に近づけた。しかしながら、音声学を学ぶという前提条件を満たさなければ数値や母音図で矯正を行うことは難しい。したがって、本自習システムを設計する上では、Praat を用いて手作業で行っていたフォルマント周波数の抽出を自動化し、母音図を口腔内に表すことで自らの調音位置の認知を行えるようにした。加えて、調音部位をどのように動かせば良いのかという調音指示を F1 と F2 の値に応じて変化する“解説”として文字に起こし、学習者が調音方法を簡単に理解できる形で表示するシステムを作成した(図 3.31(3))。学習者は、前述した自らの調音位置を確認し、その下に示される理想の調音位置に向けて的確な解説を参照することで、明晰な発音のための矯正を行うことができる。

ユースケース

前節において作成したコンセプトドローイングをもとに、『Pronunciation Muscle Training Kit』のプロトタイプを設計する上で、学習者がシステムを利用して行なう一連のイベントをユースケースとして書き出した。学習環境のユースケースを図 3.30 に示す。

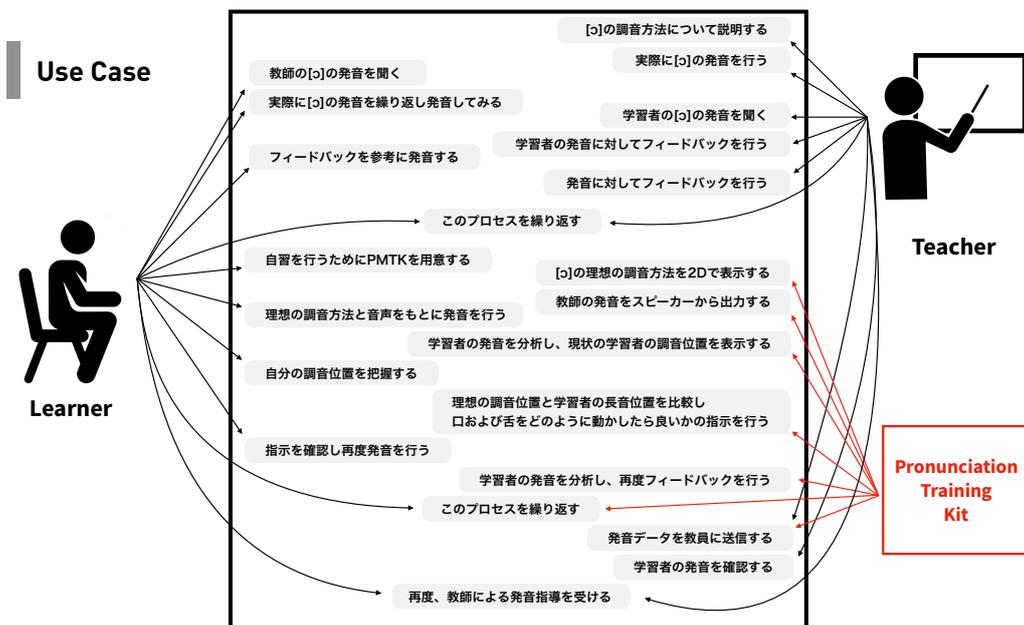


図 3.30: 本学習環境のユースケース

『Pronunciation Muscle Training Kit』は(1)理想の調音方法、理想の調音方法に基づいて発音した音声(2)理想の調音位置に対して現状の学習者の調音位置を示す図(3)理想の調音位置に近づくための解説、の3つの要素を統合した自習システムとなっている。また、上記の要素に加え、自習の前に行われる英語話者による調音指導を考慮し、レッスンにおいて発音を学習する、目標とする音素を含んだ単語や発音の際の Tips、アドバイスを画面内に配置した。学習者は、一つ一つの母音の発音において、教師データを参考に発音を行うことで発音の矯正を行う。図 3.32 - 図 3.40 に学習者と『Pronunciation Muscle Training Kit』の詳細なインタラクションを /æ/ の発音トレーニングを例に挙げて示す。

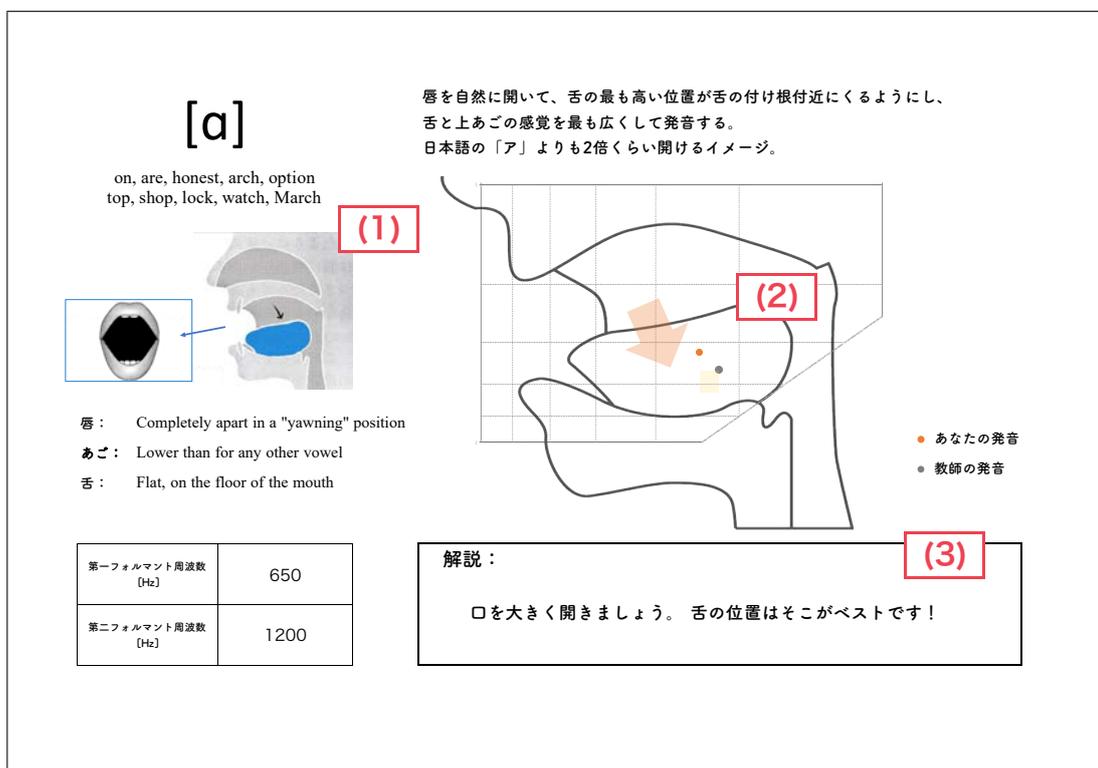


図 3.31: 『Pronunciation Muscle Training Kit』のプロトタイプ

/æ/の理想の調音方法を表示する

はじめに、学習者はトレーニングを行う母音/æ/のページを開く(図 3.32)。母音/æ/のページには、/æ/を正しく発音するための理想の調音方法、特に舌の動かし方と口の形が図として描かれており、その図の下に、唇、あご、舌の3つの観点からの調音部位の動かし方が記されている。また、図 3.32 中の右側の角丸四角に囲まれたグレーのプロットは Peterson, Barney の実験データにおける男性もしくは女性のフォルマント周波数の平均値であり、プロットより左下に描かれる橙の四角形は Fant の提唱する母音正規化の式を用いた、幅のあるフォルマントの値である。本研究においては、この橙の四角形が理想とする調音位置での発音であるとし、学習者は、この理想の調音方法を示す顔の側面図およびプロットされた自身の調音位置を発音の足場として、イメージしながらトレーニングを行うことで、発音記号と身体動作のカップリングを行う。

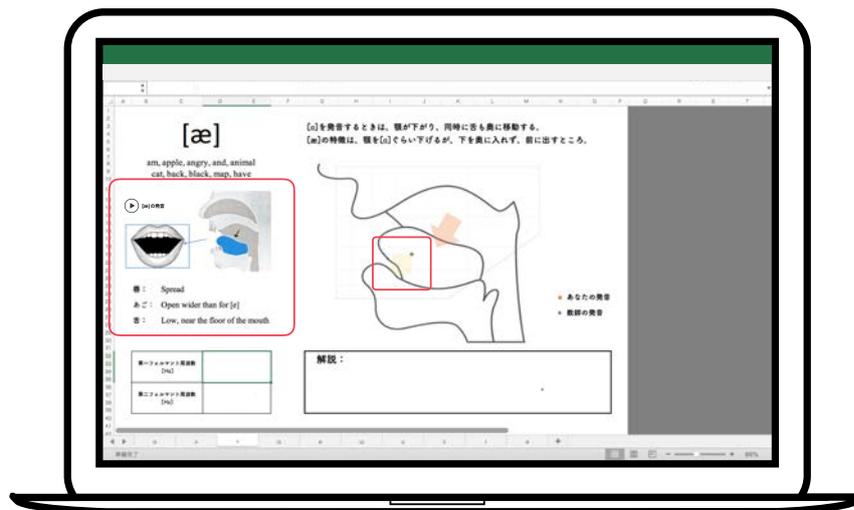


図 3.32: 理想の調音位置と調音方法の説明

教師の発音をスピーカーから出力する

次に学習者は、『Pronunciation Muscle Training Kit』のシート内に埋め込まれた教師の発音データのオーディオファイル(「英語耳」付属CDより抽出した各母音の発音)を再生し、教師の/æ/の発音を音として確認する。学習者は音を聞いたのち、教師の/æ/の発音を参考にしながら、何度か発音練習を行う。その際に、教師の/æ/の発音と自身の/æ/の発音のギャップ、例えば、教師の/æ/の発音と自分が発した/æ/の発音にはどのような違いがあるのか、何が足りていないのかを別途、レコーダー等で録音をしながら確認する。

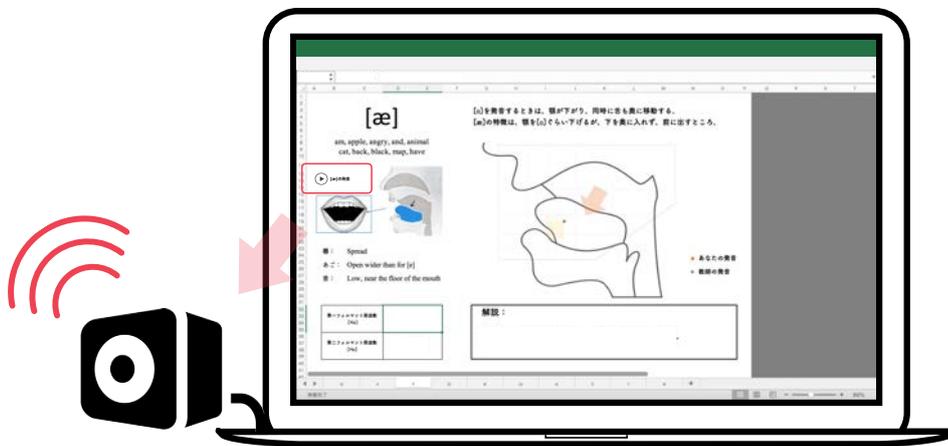


図 3.33: 教師の発音の再生

理想の調音方法と音声をもとに発音を行う

学習者はまず、図 3.31 とは別のファイルである、フォルマント周波数の抽出プログラム (バッチファイルに内包) である formant analysis.bat を起動する (図 3.35)。画面には、“Please press ENTER key if you are ready.” と表示されており、学習者は発音の準備ができた段階でエンターキーを押し、理想の調音方法を示す顔の側面図と教師の発音の両方をイメージしながらマイクに向かって発音を行う。

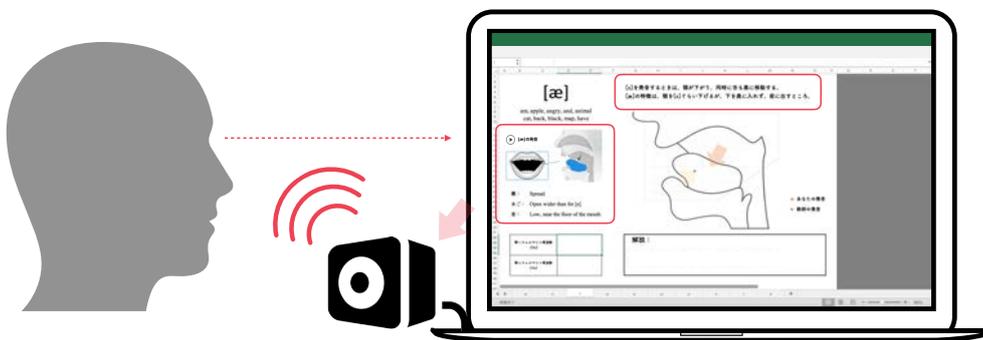


図 3.34: 理想の調音方法と音声を基にした学習者の発音

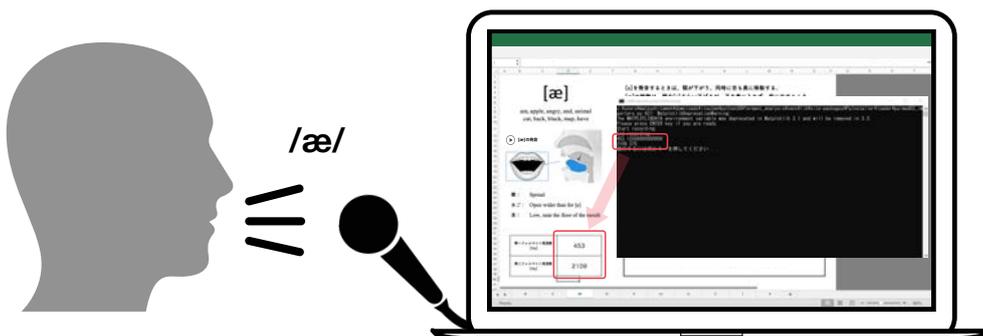


図 3.35: LPC による発音の分析

学習者の発音を分析し、現状の学習者の調音位置を表示する

発された/æ/の発音はマイクを通してコンピューターにインプットされ、線形予測分析 (LPC: Linear Predictive Coding) を利用した解析が行われる。発音を開始して1秒後に、発された音の第一フォルマント周波数および第二フォルマント周波数が数値として表示される (図 3.35)。学習者は出力された2つの周波数を『Pronunciation Muscle Training Kit』左下の周波数入力欄に入力する。二つの周波数が入力されると画面右上の、口の形を示した図に、現状の学習者の調音位置が表示される (図 3.36)。

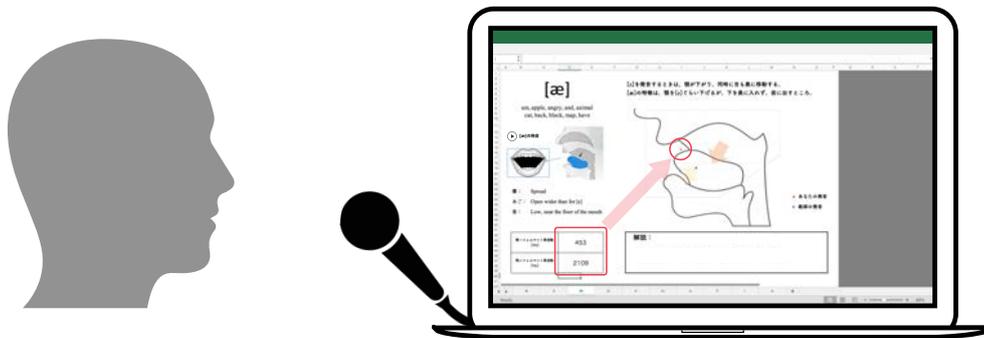


図 3.36: 発音の分析結果からの現状の学習者の調音位置の表示

自分の調音位置を把握する

『Pronunciation Muscle Training Kit』は教師データの調音位置と学習者の調音位置を比較し、両フォルマント周波数を用いた、学習者の現状の口腔の状態から、どの部位をどのように動かすことで理想の調音位置に近づくのかを教授する。

学習者は、表示された調音位置を確認し、教師データの調音位置と比較する。その際に口はどの程度開いているのか、舌はどの位置に存在しているのかを鏡等を用いて確認を行い、また、画面右下に表示されるフィードバックを参考に、母音/æ/の調音に向けた調音部位の動かし方を理解する。

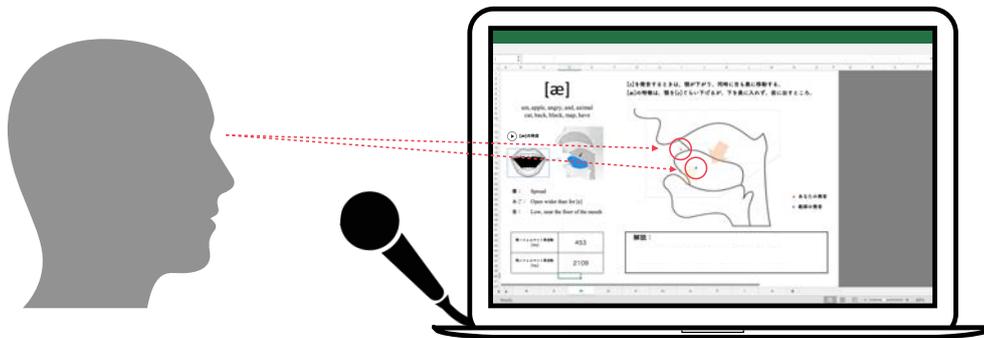


図 3.37: 発音の教師データとの比較

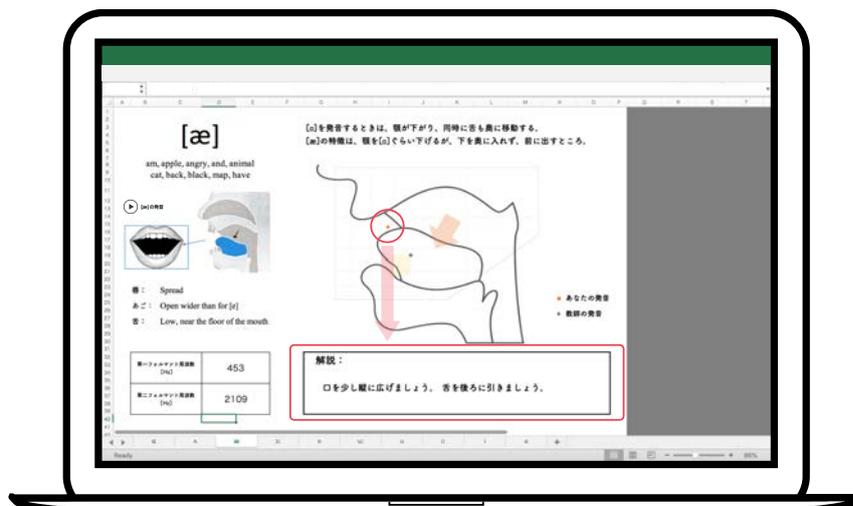


図 3.38: 理想の調音位置で発音を行うためのフィードバック

指示を確認し再度発音を行う

学習者は、表示されたフィードバックと示されている理想の調音方法を表す顔の側面図を再度確認し、自らの調音位置を意識しながら発音し、同様にして録音を行う。

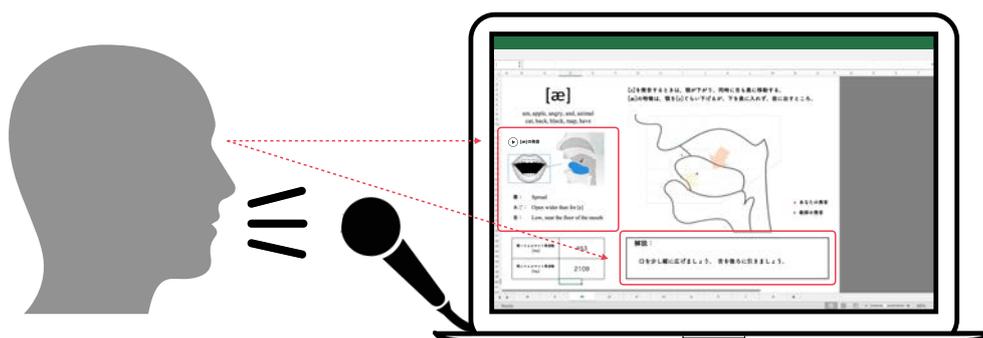


図 3.39: フィードバックを参照した学習者の発音

学習者の発音を再度分析し、理想の調音位置であればその旨のフィードバックを行う

学習者は以上のプロセスを何度も繰り返す。『Pronunciation Muscle Training Kit』は、学習者の発音に対して各フォルマント周波数の値を返し、その後に表示された調音位置が理想の調音位置と近い値を取っていれば、その旨のフィードバックを学習者に行う。学習者は矯正された発音で何度も発音を繰り返すことで明晰な発音を行うことが可能になる。

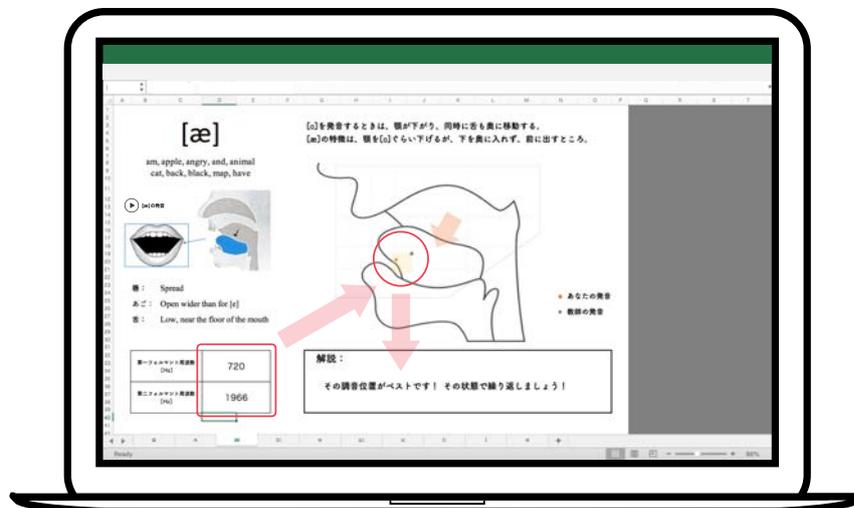


図 3.40: 理想の調音位置での発音の達成

注

- 1 奥出直人 (2012) 『デザイン思考と経営戦略』: エヌティティ出版.
- 2 奥出直人 (2018) 『デザイン思考とヴァリデーション』: 月間品質委員会.
- 3 VERSANT[®] は、仕事で使える実践的な英語力を測るテストである。ピアソンで開発された高度な自動言語認識システムを利用しており、スマホアプリやパソコンがあれば日時や場所を問わず受験をすることができ、試験の実施と採点までを短時間で行うことができる。VERSANT[®] は、国内外の大手グローバル企業での採用のほか、米国国防総省やオランダ政府移民局などの政府機関でもそのシステムが導入されるなど、信頼性の高いテストである。
<https://www.versant.jp/>
- 4 松澤喜好 (2010) 『英語耳: 発音ができるとリスニングができる』: アスキー・メディアワークス.
- 5 Churchill, Elizabeth F., Gooen, Ozzie and Shamma, David A. (2010) *Augmented ethnography: designing a sensor-based toolkit for ethnographers*: ACM.
- 6 村田智士, 奥出直人 (2016) 修士論文 MirrorTone : 身体性認知を用いて我流トロンボーン奏者が豊かに響く音を生み出せるプラクティスシステムのデザイン: 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科.
- 7 岡本真砂夫. (2017) 音声学に基づく, ICT を活用した小学校外国語活動での発音評価システムについて: 音声分析ソフト Praat を活用した評価と指導 (英語能力向上をめざす教育実践): Eiken bulletin = 「英検」 研究助成報告
- 8 吉田友敬. (2005) 言語聴覚士の音響学入門: 海文堂出版株式会社
- 9 available under a Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Unported License. Copyright ©2015 International Phonetic Association.
<http://www.internationalphoneticassociation.org/content/ipa-chart>
- 10 The National Center for Voice and Speech is a Division of The Denver Center for the Performing Arts and a Center at The University of Iowa. ©2005 National Center for Voice and Speech,
<http://www.ncvs.org/ncvs/tutorials/voiceprod/tutorial/filter.html>
- 11 Kent, Raymond D., Read, Charles, 荒井, 隆行 and 菅原, 勉 (1996) 『音声の音響分析』: 海文堂出版.
- 12 Labov, William (1994) *Principles of language change: Internal factors*: Oxford: Blackwell.
- 13 Jonathan Harrington (2010) *The Phonetic Analysis of Speech Corpora*: Wiley & Sons.
- 14 大塚貞子. (2014) フォルマント周波数値を利用した母音発音指導の可能性についての一考察: 東京女子大学論集編集委員会
- 15 Fant, Gunnar (1973) *Speech sounds and features*: The MIT Press.
- 16 Peterson, Gordon E and Barney, Harold L (1952) *Control methods used in a study of the vowels*: Acoustical Society of America.

- 17 画像引用元: 熊本学園大学 (URL: https://www.kumagaku.ac.jp/international/message_member06)
- 18 画像引用元: 株式会社アビリティ (URL: <https://www.abinet.co.jp/recruit/voice/detail/12/>)

第4章

プルーフオブコンセプト

本章では、英語を第二言語とする日本人学習者が、自習支援教材である『Pronunciation Muscle Training Kit』を使うことで、自らの調音位置を視覚的に確認し、アドバイスやフィードバックを基に正しい調音方法で自らの発音の矯正を行うことができるかをユーザースタディによってプルーフオブコンセプトを行う。プルーフオブコンセプトとは、コンセプトをプロトタイプにしたものを使ってコンセプトの価値が顧客に伝わったかを検討する方法である(奥出 2018)¹。プルーフオブコンセプトを行うにあたって、『Pronunciation Muscle Training Kit』のプロトタイプを、英語を第二言語とする日本人学習者、特に英語でのコミュニケーションに対して抵抗を感じている人物を学習者として、実際に自分の発音を分析、調音位置を表示し、理想値と比較することで発音矯正を行うように使用してもらい、そこで発音トレーニングを行う様子を観察すると同時に、録画と指向性ピンマイクによる録音を行った。本研究においては、先ずはじめに企業 A 社の社員、大学院の学生を含む計 9 名(男性 7 名、女性 2 名)を対象とし、20 分間『Pronunciation Muscle Training Kit』を用いた 1 つの単母音の発音を習得するトレーニングを行ってもらい、そのトレーニングの中で『Pronunciation Muscle Training Kit』が理想の調音方法を理解する足場となりうるかを確認した。次に、大学院の男子学生 1 名を対象とし、1 時間半を 4 日間、教師による発音指導のカリキュラムに自習システムとして『Pronunciation Muscle Training Kit』を組み込んだ統合的な学習環境で、10 個の母音 /ɑ/, /ʌ/, /æ/, /ɔ:/, /e/, /u:/, /u/, /i:/, /i/, /ə/ の発音トレーニング発音トレーニングを実施し、学習者が複数の母音の理想の調音を身体的に理解し、明晰な発音が行うために口や舌をコントロールできるようになるのかを確認した。

ユーザースタディの詳細として、1つ目のユーザースタディでは、2019年6月中に英語を第二言語とする学習者9名に、自習システム『Pronunciation Muscle Training Kit』を使用し、1つの単母音 [æ] の発音を習得するための約20分程度のトレーニングを行ってもらった。9名にはユーザースタディの前後でターゲットとする母音を含む文章を読んでもらい、ピンマイクを用いて録音を行った。トレーニング中は、学習者の行動を近くで観察を行うとともに、録画、ピンマイクを用いた録音により記録を行った。そして、それらの記録データを各フォルマント周波数値の推移、そして前後のフォルマント周波数値の比較から、発音矯正を行う上で第3章の6節で示した3つの要素が学習者に有効に働いていたか、そして学習者は調音の矯正を行い、明晰な発音ができるようになっていったかの2つのフォーカスポイントに沿って考察を行なった。

2つ目のユーザースタディでは、2019年7月2日から7月4日にかけて、英語を第二言語とする学習者1名に対し、前述したユースケースに基づく学習環境(図3.30)を設計し、発音トレーニングを行ってもらった。この学習環境では、はじめに学習者は目標とする音素の調音の仕方を理解するために、教師による調音音声学に基づいた1対1の発音指導のレッスンを受ける。学習者は教師による実際の発音を聞いたのち、教材に載っている発音記号を見ながら口の動かし方と音の出し方を何度も繰り返し練習を行う。その際に教師は、学習者の発音を聞き、適宜調音位置と音に関するフィードバックを行った。なお、教師の調音方法の指導においては、Paulette Dale氏・Lillian Poms氏の著書“English Pronunciation Made Simple”(Paulette and Lillian, 2005)²(図4.1)を用い、自身の口を動かしながら解説を行うとともに、調音の仕方を“Lips(唇の開き)”、“Jaw(顎の引き)”、“Tongue(舌の位置)”の3点から教授を行なった。このプロセスを通して、『Pronunciation Muscle Training Kit』を使用した発音トレーニング、そして教師による調音の矯正を受けながら何度も発音することで各音素における理想の調音方法を理解する。その後、ユーザースタディ1と同様、自習としての各音素の発音トレーニングを行い、何度も理想の調音位置による発音を繰り返すことで、それぞれの音素の発音の身体化を図っていく。

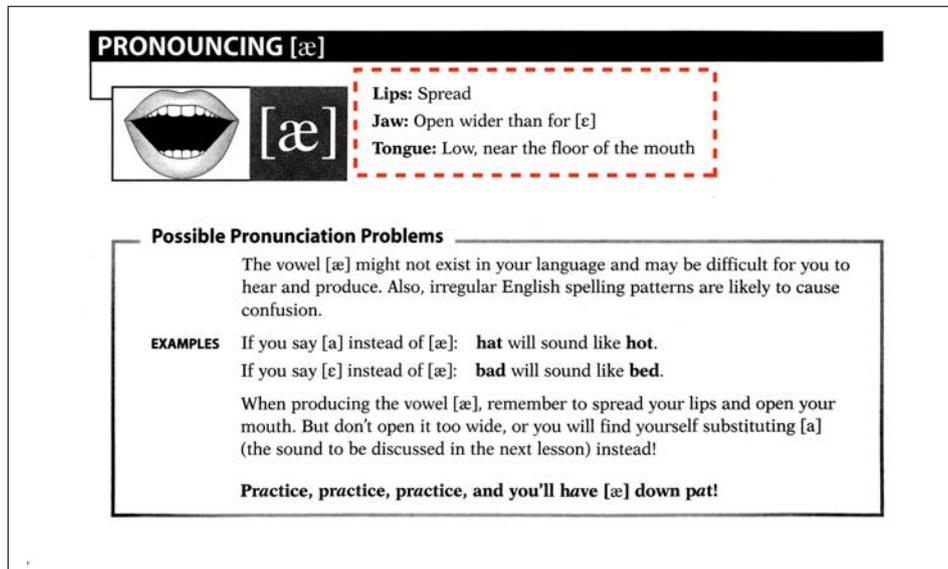


図 4.1: “English Pronunciation Made Simple” による各調音部位の解説²

ユーザースタディの期間中、全ての学習時間で観察を行うとともに、録音・録画により記録を行った。そして、それらの記録データから、『Pronunciation Muscle Training Kit』は自習支援教材として有効に働いていたか、そして学習者はこの学習環境を通じて、明晰な発音ができるようになったか、という2つのフォーカスポイントに沿って同様に考察を行った。

4.1. ターゲットユーザー

『Pronunciation Muscle Training Kit』の学習者としてデザインしたターゲットペルソナは、英語に対して苦手意識を持っている日本人学習者である。このユーザースタディでは、ターゲットユーザーとしてデザインしたペルソナに近いイメージを持つ人物を選出した。

ユーザースタディ 1 のターゲットユーザー

1つ目のユーザースタディでは、慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の修士過程の学生7名とA社の社員2名に『Pronunciation Muscle Training Kit』のプロトタイプのユーザーとして参加を依頼した。1名を除き、ユーザースタディ1に参加する学習者は、大学受験やTOEICやVERSANTなどの各種英語能力テストを受ける上では英語を勉強はしていたが、話すための英語はあまり学んでおらず、英語を使った会話を不得意とする人物である。特に大学院の学生は、数カ月以内に英語による学内での口頭発表や学会でのポスター発表を控えており、英語によるコミュニケーション能力を必要とする、デザインしたペルソナに近いイメージを持つ人物である。ユーザースタディ1では、上に示す9名を対象に1つの単母音 [æ] の発音を習得するための約20分間のトレーニングを行った。

ユーザースタディ 2 のターゲットユーザー

2つ目のユーザースタディでは、慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の修士過程に在学するJ氏に学習者として参加を依頼した。現在入学1年目であるJ氏は、英語に対して昔から苦手意識が非常に強く、学生の頃からできるだけ避けてきた。特に人前で話すことに抵抗を感じており、外国人との英語でのディスカッションはおろか、旅行中に喋る日常英会話にさえ不安を感じている。各種英語テストのスコアに関しては、高校生の時に英検準二級をとったきりで他には受験をしていない。上記の1名を対象に、4日間で1日1時間半、設計した学習環境のなかで単母音10個の発音を習得するためのトレーニングを行なう。

4.2. ユーザースタディの環境

本ユーザースタディにおいては、慶應義塾大学日吉キャンパス 協生館 S02 教室と A 社の社内ミーティングルームを使用し、以下の図 4.3 のような環境で検証を行った。自習環境内には、学習者が自習に使用するための机・椅子を用意し、座って正面に向き合うようにコンピュータを配置した。また、机の横にはカメラを設置して、自習の様子を録画できるようにした。録画においては、2 台のビデオカメラを用い、学習者の録画を行なった。録画に使用するビデオカメラとして、SONY 社の HDR-PJ680、Panasonic 社の HDC-HS100 を使用した。学習者のトレーニングの様子は、2 台のビデオカメラを用いて正面、斜面からの 2 点で定点多角的に撮影を行った (図 4.2)。



図 4.2: カメラの配置



図 4.3: S02 教室に作成した自習トレーニング環境

録画に併せて、音声を分析する上で、高解像度で音声を記録するため、別途で Advanced Media 社の超指向性ピンマイクである、AmiVoice Front PM01 を用いて録音を行った。学習者はこのピンマイクをシャツの襟にとめる形で使用する (図 4.4)。使用したコンピュータは Panasonic 社の Let's note SZ6 であり、OS は Windows 10 Enterprise 2016 (64bit) を用いた。このコンピュータの中で、『Pronunciation Muscle Training Kit』のプロトタイプである Excel によるファイルとフォルマント周波数の自動検出ファイルをデスクトップ上に配置した。学習者は二つのソフトウェアを手動で開き、操作を行う。



図 4.4: B 氏のピンマイク装着図

また、ユーザースタディ 2 においては、上記の自習環境に加えて、前章の 6 節のコンセプトドローイングにおける“教師による発音指導”を行うためのレッスン環境を、慶應義塾大学日吉キャンパス 協生館 S06 教室に作成した。このレッスン環境では、図 4.5 に示すように、学習者に調音指導を行う教師が存在する。ここでは教師と学習者が対面し、お互いの口や舌、そのほかの身体動作が確認できるように机と椅子を配置した。学習者および教師の手元には指導教材が置いてあり、レッスンにおいて教師は、先述の“English Pronunciation Made Simple”を用いて、調音部位の動かし方の指導を行う。また、録画については以下に示す 3 台のビデオカメラを用い、レッスンの様子を記録した。



図 4.5: 英語話者による英語の発音の指導を行うためのレッスン環境

4.3. ユーザースタディ 1

ユーザースタディ 1 の手順

1つ目のユーザースタディは、2019年の7月中に慶應義塾大学日吉キャンパス協生館3階のS02教室とA社の社内ミーティングルームに『Pronunciation Muscle Training Kit』を配置した自習環境を設計し、9名の英語を第二言語とする日本人学習者に対して単母音/ æ /の発音トレーニングを実施した。1回のユーザースタディに要した時間は9名とも40分程度であり、そのうち学習者の自習時間に充てた時間は20分程度であった。

発音トレーニングの基本的なフローは以下の通りである。

1. はじめに、基本的なソフトウェアの使い方とフォルマント周波数と口腔の動作の関係の説明を行う。
2. 著者がソフトウェアを使ってみせる。
3. 学習者は著者の使用感と説明に倣って、試しに一度使用する。使用できることを確認したら発音トレーニングを始める。
4. デスクトップ上の `formant_analysis-v0.0.1 > formant_analysis.bat` を起動して、自動でフォルマント周波数の抽出を行う。
5. 表示された二つのフォルマント周波数第一フォルマント周波数, 第二フォルマント周波数を自習システムの、「第二フォルマント」欄に入力する。
6. 入力したことで得られた調音位置と目標の調音位置までの調音方法の解説を確認する。
7. それらに倣って発音の練習を行う。
8. 再度録音を行ない、4から7のステップを繰り返しトレーニングを行う。

ユーザースタディ 1 の結果

1回目のユーザースタディでは、先述した9名に対して、/æ/の発音の習得を目指し20分間のトレーニングを行なった。以下の表4.1と表4.2は第3章の5節に示した/æ/の発音における、理想とする第一フォルマント周波数、第二フォルマント周波数の値の範囲、すなわち理想の調音位置と定める範囲である。例として、図4.11はA氏の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移のグラフであるが、このグラフ内の赤い帯状の周波数域が先述した/æ/の発音における、理想とする第一フォルマント周波数、第二フォルマント周波数の値の範囲である。学習者はこの範囲に収まるように、繰り返し発音の練習を行った。

表 4.1: /æ/の発音において目標とするフォルマント周波数 (男性)

母音	第一フォルマント周波数の目標値 [Hz]	第二フォルマント周波数の目標値 [Hz]
/æ/	660~860	1700~2040

表 4.2: /æ/の発音において目標とするフォルマント周波数 (女性)

母音	第一フォルマント周波数の目標値 [Hz]	第二フォルマント周波数の目標値 [Hz]
/æ/	860~1121	2040~2472

B 氏の単母音 /æ/ の発音トレーニング

ユーザースタディを行うにあたり、『Pronunciation Muscle Training Kit』および各種ソフトウェアの使い方の説明を行った。また、『Pronunciation Muscle Training Kit』を扱う際に用いる、フォルマント周波数と口の開き、舌の前後位置の関係の説明を行った。ここでは特に疑問に思っている様子もなく、一通り、説明と使い方の共有が終わると、『Pronunciation Muscle Training Kit』を使用した /æ/ の発音のトレーニングを始めた。(以降に記す 8 名の学習者に対してこのプロセスを行った。)



図 4.6: B 氏のユーザースタディの様子



図 4.7: B 氏が /æ/ を発音する様子

最初の発音解析でB氏は、機械の動作を確認しながら、ゆっくりと操作を行っていた。その際に音声の録音からフォルマントの入力、そして調音位置が表示されるまで約15秒程度の時間がかかっていた。調音位置を見ながら「あれ、どう発音してたっけ?」と言葉を漏らしていたことから、今後はこの間の時間を可能な限り減らす工夫が必要であると考えた。結果として出力された結果は、理想とする範囲からは大きく外れていた。その結果を確認するなりB氏は、「口を縦に開きましょう、舌を後ろに引きましょう」というアドバイスを確認するなり、次の発音に移った。

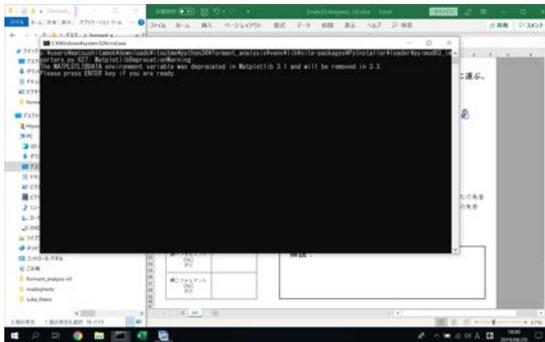


図 4.8: フォルマント周波数の抽出画面

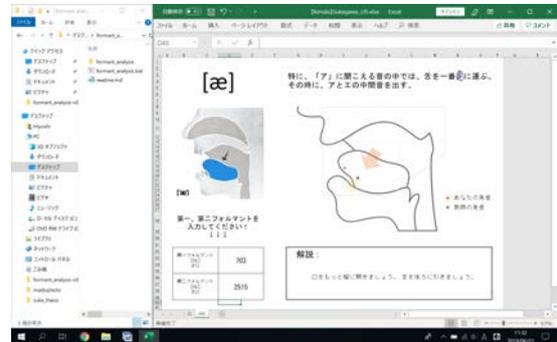


図 4.9: B 氏の 1 回目の発音と理想の調音位置に向けてのアドバイス

2 度目の発音では最初の発音と比べてもアドバイスの通り (1) 口を大きく開き、(2) 舌を後ろにたたんで発音を行っている (図 4.10)。



図 4.10: 1 回目と 2 回目の B 氏の調音方法の変化

その後何度も発音を行い、フィードバックを受けるというサイクルで発音トレーニングを繰り返していた。時折、思った通りに自分の調音位置が動いていないことを確認すると、「あれ？ 結構動かしてるんだけどな」と言い、理想の調音方法やそのアドバイス(図 3.31)を確認し、何度か発音を繰り返したのちに録音を行っていた。以下の図 4.11 は B 氏の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移である。

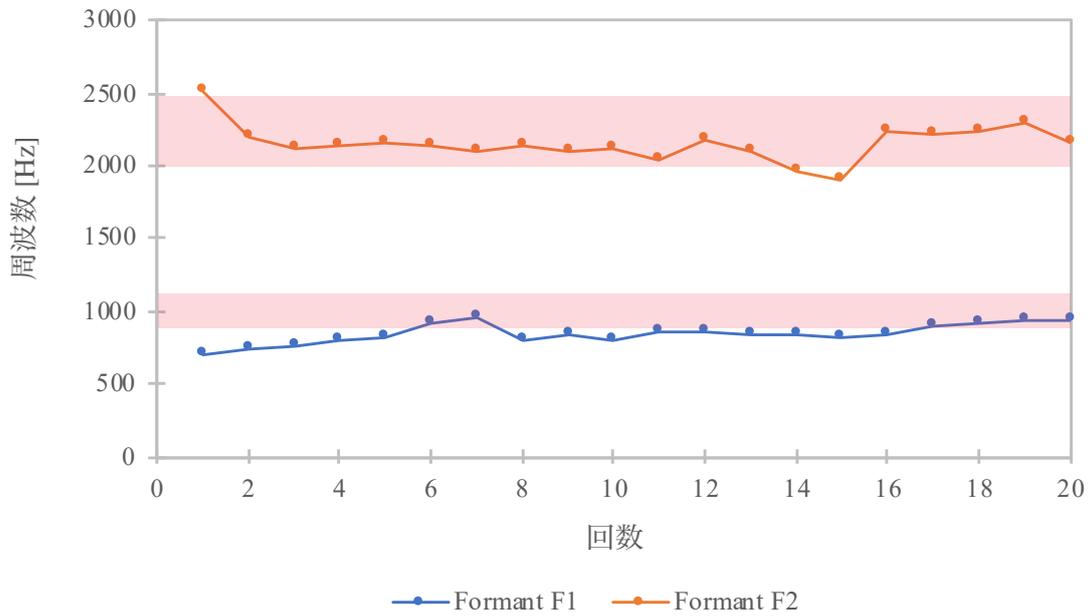


図 4.11: B 氏の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移

図 4.11 のフォルマント周波数の推移を見ると、第二フォルマント周波数すなわち舌の前後位置はうまく矯正できているものの、口の開き方と関係のある第一フォルマント周波数はなかなか理想とする範囲になかなか収まってはいなかった。しかし、6 回目と 7 回目では第一フォルマント周波数と第二フォルマント周波数が理想の範囲内に収まっている。図 4.12 は B 氏の 7 回目の発音の際の口の動きである。

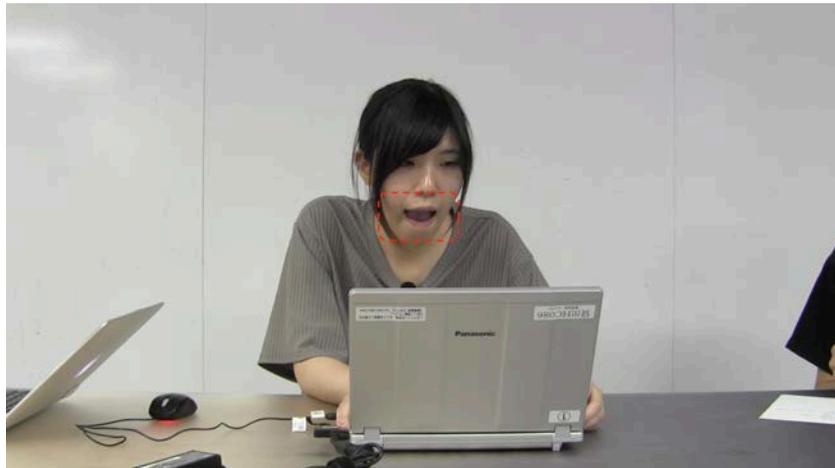


図 4.12: B 氏の 7 回目の発音

この図からも明らかなように、(図 4.10 の 1 回目と 2 回目の発音と比較しても、口を“縦に”広く開けることができていることがわかる。このことから、これまでの B 氏は日本語で言う「え」の発音を意識しすぎており、口が“横に”広がりすぎていた。調音方法のフィードバックでは「口を縦に開きましょう」とのアドバイスがあったが、「え」の口の動きで発音を行っていたために、縦に開く意思はあっても、さらに広げられない状態になってしまっていたものだと考えられる。その人の口の大きさにフォーカスするだけでなく、縦と横の大きさをパラメータとして扱い、その状況に応じた、口の開き方をアドバイスする必要があると考えられる。8 回目以降から、B 氏は再度第一フォルマント周波数の値が外れてしまっており、11 回目からは第二フォルマント周波数の値も理想の範囲とは遠い箇所に位置している。ここで B 氏は、「あれ、わかんなくなっちゃった...」と言った。このことから、確実な意識のもとで調音をすることができておらず、時間がたつてどのように調音すればいいのかを忘れてしまい、手探りの状態で正しい調音位置を探す状態になってしまったと考えられる。これには B 氏も「あれ？ あれ？」と困惑しながら「どうしたらいいんだろ...」と打つ手なしといった状態だった。しかしながら、何度も発音していく中で感覚をつかむことができたことで 16 回目では第二フォルマント周波数の値を合わせ、続く 17,18,19,20 回では第二フォルマント周波数の値そのままに第一フォルマント周波数すなわち口の開き方を調整できて

いる。4度連続して発音を行えたことで、B氏は意識のもとで調音位置を移動させ、理想の調音位置で発音ができるようになったと考えられる。また、図4.13より、20度目に行われた発音は1度目の発音と比較して、口を縦に大きく広げることができており、舌の位置も最初と比較して後方で発音が行えている。



図 4.13: 1回目と20回目のB氏の調音方法の変化

C氏の単母音/æ/の発音トレーニング

C氏は女性の大学院生であり、幼少の頃からピアノを習い、音楽とは常に近い距離にいた。非常に耳が良い学生で、音を簡単に真似る事ができる人物である。しかし、C氏は英語に対して苦手意識を極めて抱いており、自身が発音することにも全く慣れてはいない。



図 4.14: C 氏のユーザースタディの様子

B氏と同様『Pronunciation Muscle Training Kit』の使用方法和フォルマント周波数と口の開き、舌の前後位置の関係の説明を行った。その後、単母音/æ/について紹介し、何度かその音を聞いてもらった後にトレーニングを開始した。C氏はまずは第一フォルマント周波数、すなわち口の開き方を固定して、次に舌の前後位置を調整しようと試みていた。1回目の発音は第一フォルマント周波数、第二フォルマント周波数共に大きく外れ、理想とは離れた調音を行っていた。C氏は1回目の発音を行った後に「んー、なんか違うなあ」と呟き、自分の聞いた音と発した音にギャップがあることを確認した。そこで彼女は、舌を前に出し、第二フォルマント周波数の値を高くしようと調整したが、実際には無意識のうちに第一フォルマント周波数の値までもが下がって変わってしまっていた。そこでも彼女は「んー、違う、難しい」と呟き、模索していた。8回目には再び理想とする音声を聞き、再度発音を行った。その結果、第二フォルマント周波数は理想とす

る周波数域に収め「あ、こんな感じか！」と納得し、前半の1から7回目とは逆に、第一フォルマント周波数、すなわち舌の前後位置を固定することを意識しながら、口の開き方を変えようと試みていた。しかしながら、図 4.15 が示すように5回目以降は、第一フォルマント周波数は理想の周波数域には届かず、約 700[Hz]以上に高くなることはなかった。このことについて本人に伺ったところ、「舌の位置を固定しながら口を大きく開けるのはなかなか勇気がいる」と述べ、舌の位置を維持しつつ、口を広げることは本人が思っているよりも難しいということが明らかになった。

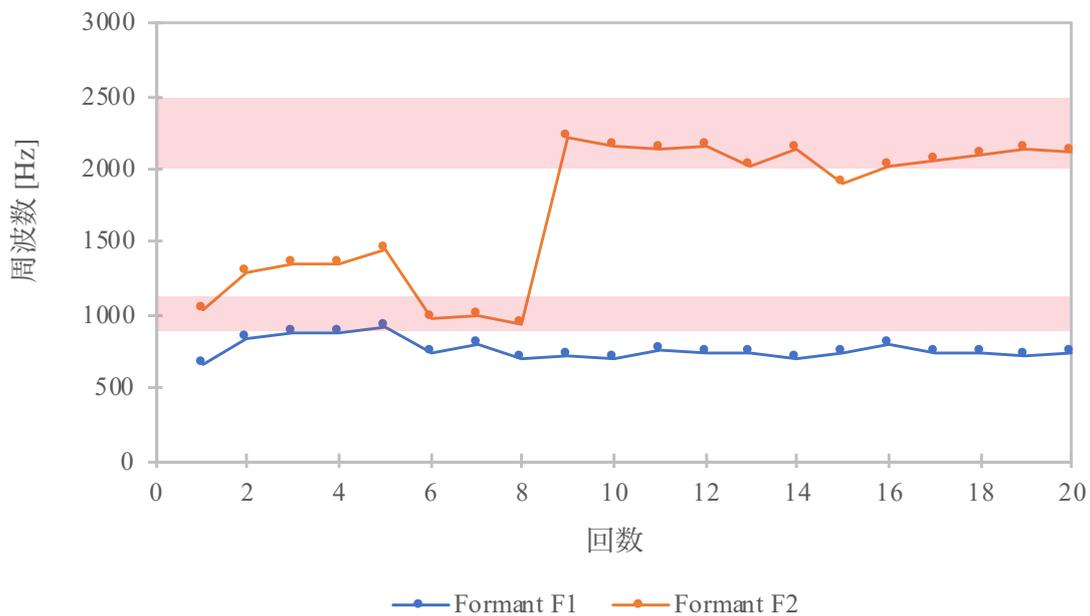


図 4.15: C 氏の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移

D 氏の単母音 /æ/ の発音トレーニング



図 4.16: D 氏のユーザースタディの様子



図 4.17: D 氏が /æ/ を発音する様子

D 氏には、B 氏と同様『Pronunciation Muscle Training Kit』の使用方法和フォルマント周波数と口の開き、舌の前後位置の關係の説明を行い、発音のトレーニングを行う /æ/ について紹介した。D 氏は音声記号である /æ/ の発音を見るなり、「あれこれどうやって発音するんだっけ、前にやった気がする」と言って、何かを思い出したようにスムーズに発音を行っていた。D 氏は説明の最中にもコンピュータを触りだし、興味津々な感じであった。一通り、説明と使い方の共有が終わると、『Pronunciation Muscle Training Kit』を使用した /æ/ の発音のトレーニングを始めた。初めての使用にも関わらず、D 氏は『Pronunciation Muscle Training Kit』を器用に使いこなしていた。

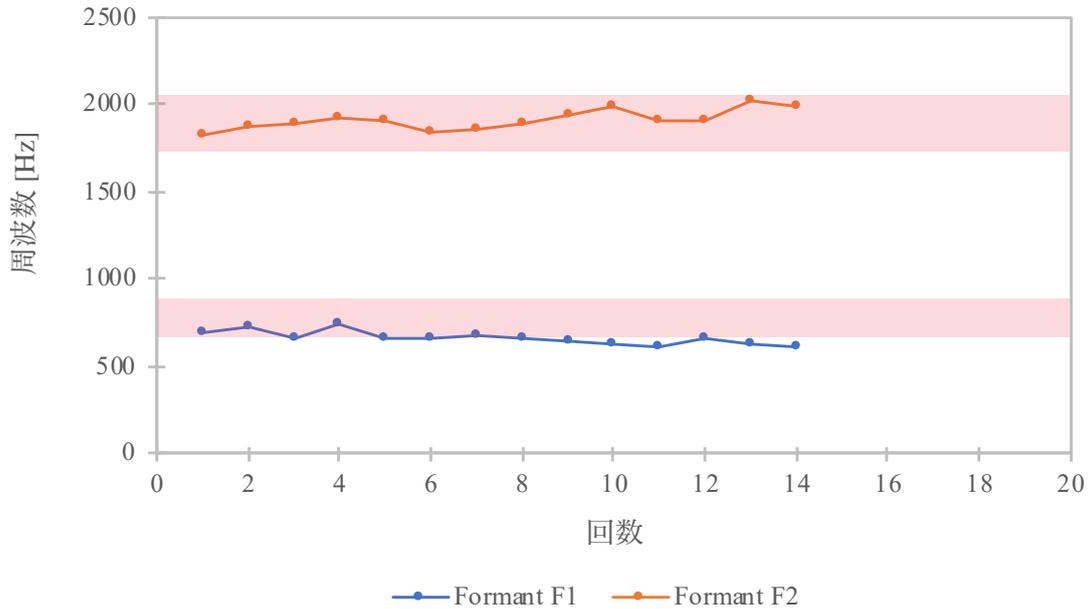


図 4.18: D 氏の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移

D 氏は初めての発音にも関わらず、早速、図 4.18 に示すように、表 4.1 の理想の調音位置と定めた周波数域で調音を行うことができていた。本人は特に意識しているそぶりも見せず、いきなりの発音であってもまるで日本語を話すように /æ/ の発音を行って見せた。その後も連続して理想値に近い位置で発音を何度も行っていた。時折、その範囲から外れることはあっても、「あれ？」と言いながら発音の解説のアドバイスを確認し、「口を開かなきゃなのね」と口ずさみ前回と比べて縦に大きく口を開けて発音を行なったところ、難なく理想の調音位置と定めた範囲に再度収まるような発音を行っていた。図 4.18 にも見られるように、D 氏に対しては計 13 回の発音のトレーニングを行ったが、3 回目以降こそ第一フォルマント周波数の値が理想の調音位置と定めた調音範囲から外れることもあったが、その差異は大きくとも 31[Hz] であり、大きく外れることはなく理想の範囲近傍をにとどまっていた。一方で第二フォルマント周波数の値は、終始理想の調音位置と定めた調音範囲に収まっており、外れたときにのみ調音位置や解説を参考に調音位置を直していた。このことから D 氏は下の前後位置においてはすでに身体化

した状態であり、発音記号に合わせて意識せずとも調音できていると考えられる。図4.19においても見られるように、発音、および調音位置に大きな違いは見られなかった。



図 4.19: 1 回目と 20 回目の D 氏の調音方法の変化

E氏とG氏の単母音/æ/の発音トレーニング

E氏とG氏は、D氏と同様、操作の説明をするなり『Pronunciation Muscle Training Kit』を簡単に使いこなしていた。フォルマント周波数の抽出から Excel ファイルの第二フォルマント周波数の入力までの時間はB氏が約20秒であったのに対して、E氏はそれらにかかった時間が10秒前後と、かなりスムーズにフォルマント周波数の抽出から入力までを行うことができていた。



図 4.20: E氏のユーザースタディの様子

E氏とG氏は、以前に母音単体の発音の指導を教師から受けたことがあるとのことで、図 4.21, 図 4.26 に示すように、1回目の発音から第一フォルマント周波数、第二フォルマント周波数ともに表 4.1 の理想の調音位置と定めた周波数域で発音を行うことができていた。また、その後の20回までの発音を見ても、それぞれのフォルマント周波数の値は大きく振れることもなく理想とする周波数域で発音を行っていた。(G氏の16回目の発音は、音声が入力されず、空気中のノイズを拾ったために約3000[Hz]近い第二フォルマント周波数になったと考えられる。)

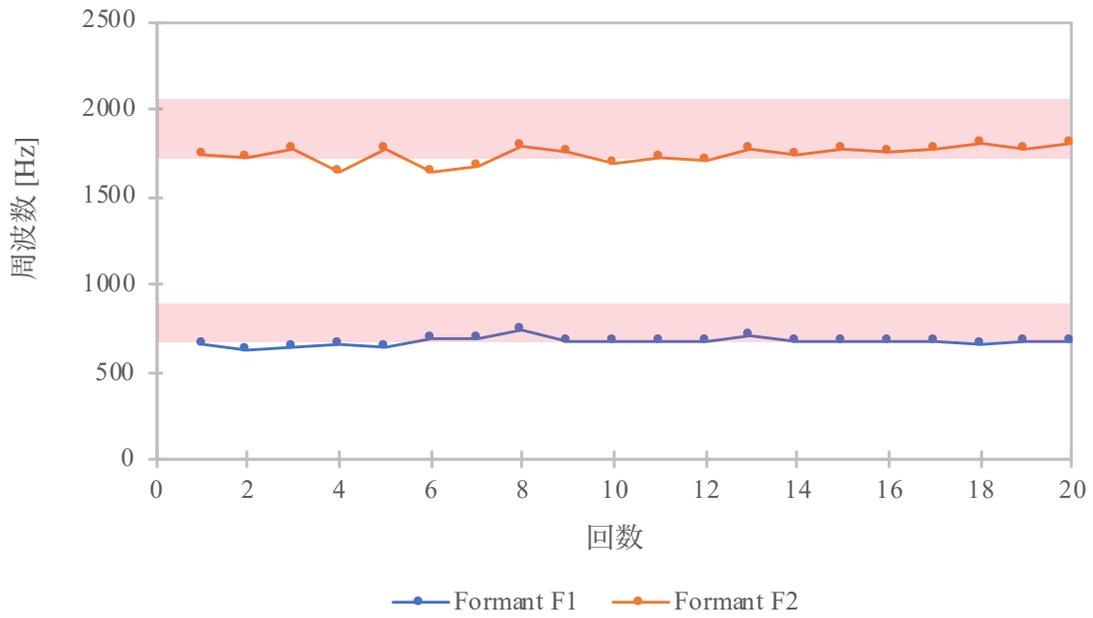


図 4.21: E 氏の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移

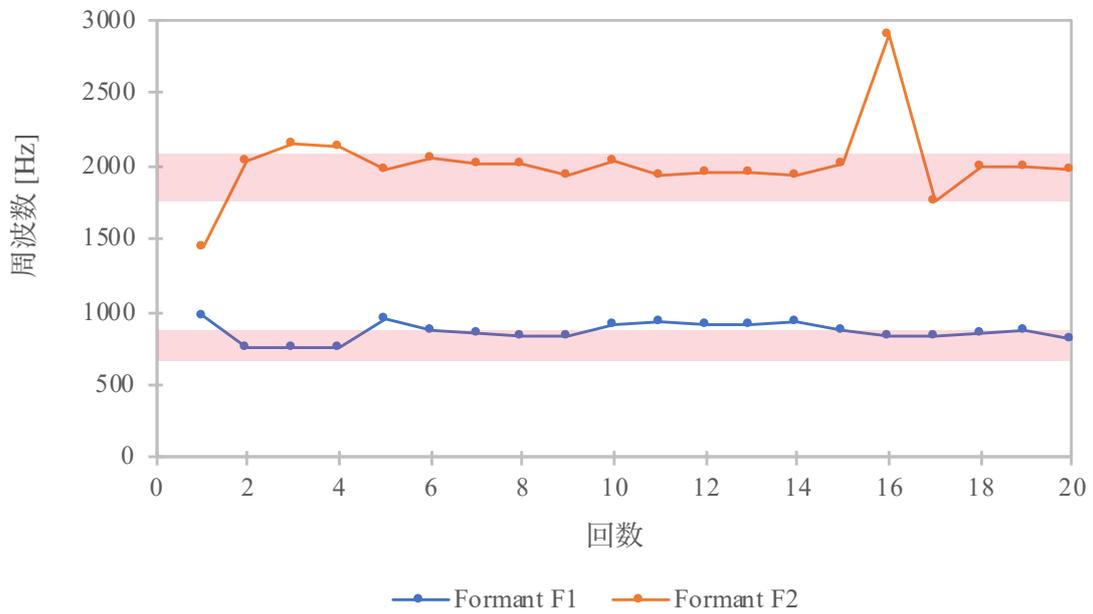


図 4.22: G 氏の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移

この結果より、E氏とG氏はユーザースタディ以前より/ æ /の発音が既に身体化されていたと考えられる。特にE氏のフォルマント周波数の推移においては、4回目や6回目の発音では第一フォルマント周波数が僅かながら低い値を取っている。つまり、口の開け方が少々小さくなってしまっていたが、その数値もしくは調音位置を見るなりすぐさま口を若干大きく開くよう修正を行い、赤い帯の範囲内に収まるような発音を行っていた。E氏とG氏は、自分の身体化された発音が、音として本当に正しい発音なのかを数値として確認し、外れてしまった場合でも大きく動かすわけでもなく若干の修正を行い、理想の調音方法を理解しながら何度も発音を行うことができていたと考えられる。

F氏の単母音/ æ /の発音トレーニング

F氏はTOEIC800点代を所持する大学院の男子学生である。しかしながら、本人曰く、英語を使ったコミュニケーションには自信がなく、苦勞する場面も多々あると言う。外国人との会話の際は単語を紡ぐように話し、相手の話に対する返答は、多くの場合でジェスチャーや、yes. といった一言の返答のみであった。



図 4.23: F氏のユーザースタディの様子

F氏は、一通りの説明を受けたあと、「とりあえずやってみます」と言い、音を聞くなり/ æ /の発音を行った。1度目の発音では第一、第二フォルマント周波数の

両方が外れてしまっていた。しかしながら、深く考えることはなく、「ちょっと口の開き方だけそれっぽくやります。」と言い、2度目の発音を行った。2度目の発音以降は、第一フォルマント周波数については大きく振れることもなく、660[Hz]から860[Hz]の範囲内もしくは近傍で発音を何度も行っていたが、第二フォルマント周波数の値は大小に大きく振れ、比較的[a]に近い発音を行っていた。F氏は7回目の発音以降、鏡を使い自分の口の中、特に舌の状態を見ながら発音を行った。このことにより、理想の周波数域を外れてしまった際に、ただコンピュータの指示する調音位置を確認するだけではなく、実際に自分の舌がどの位置にあるのか、そしてどう動いているのかを確認しながら調音を行い、正しい発音を行うように心がけていた。一方で、第二フォルマント周波数を増減しようとする際の、微妙な舌の移動が難しく、7回目以降についても大きく振れてしまっている。このことから、学習者の調音を、より細かく、繊細に指示する事が必要であると考えられる。

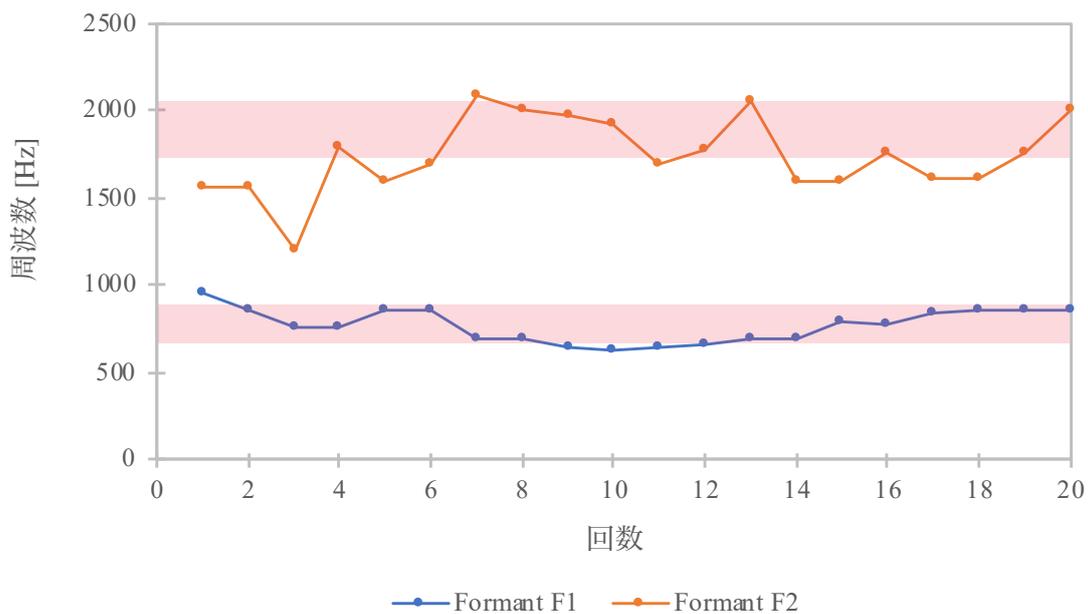


図 4.24: F 氏の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移

H氏とI氏の単母音/æ/の発音トレーニング

H氏とI氏は発音の際に舌を意識的に動かすことに難を感じていた。今回のユーザースタディでは日本語にはない音素である単母音/æ/を選び、調音方法の習得を目指した。この/æ/という母音は英語の多母音の中でも「中間的」な位置の母音で、絶妙な調整が難しい低舌・前方母音である。この2人の学習者は、第一フォルマント周波数こそ理想の調音位置、すなわち正しい口の開き方をしながら発音を行う事ができていたが、第二フォルマント周波数は理想の周波数域と比較しても低い値をとっている。I氏に関しては、舌の前後移動を試み試行錯誤を行いそれに伴って調音位置も大きく動いているが、H氏は約1500[Hz]で停滞し、それ以上高くなることはなかった。大塚(2012)では、日本人学生は/æ/の発音を、日本語の「ア」の影響から、/ʌ/の発音に近い発音で代用される傾向があり、これまでの英語学習の過程で身についたと思われる、口の中の後ろで発音するという「くせ」が矯正されていないことから、舌の前後位置の矯正はかなり難しい³と述べられている。H氏とI氏についても同様であり、発音トレーニング20回では習得する事ができなかった。今後は、ただ単母音を一個一個練習するのではなく、まずはフォルマント周波数というものに慣れ、舌を自在に動かせるよう、複数の母音と比較しながらトレーニングを行えるように教材をアップデートする必要がある。例えば、口や舌の動きに対してリアルタイムでフォルマント周波数比を表示するプログラム等を発音トレーニングの前に用い、周波数の変化を見ながら準備体操のように舌を動かす事で、より簡単にフォルマント周波数ないし調音位置のプロット点と調音動作のカップリングを行う事ができると考えられる。

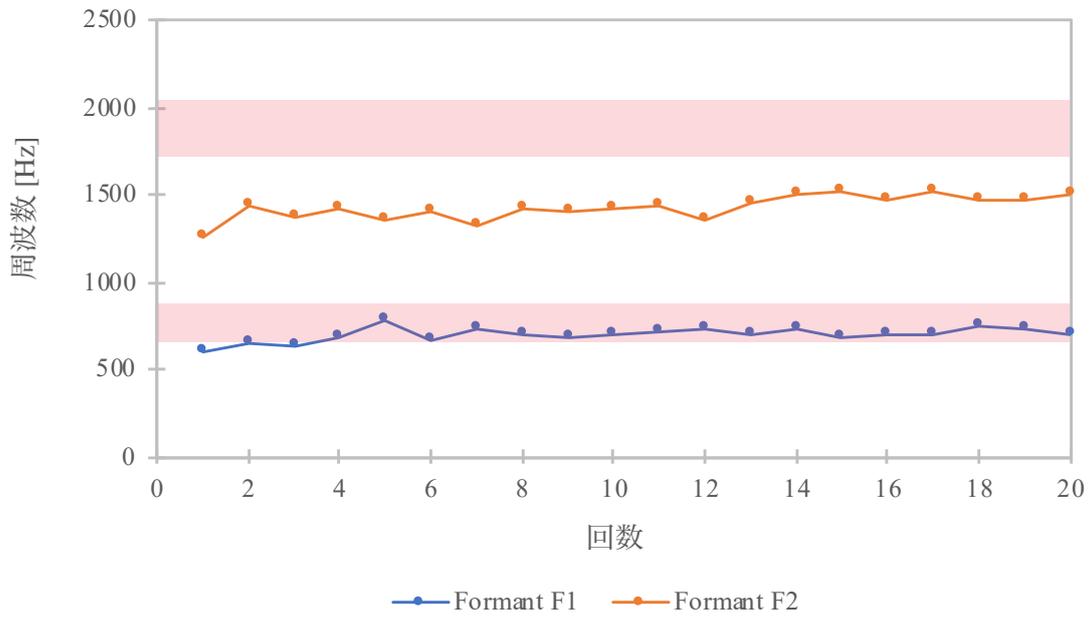


図 4.25: H 氏の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移

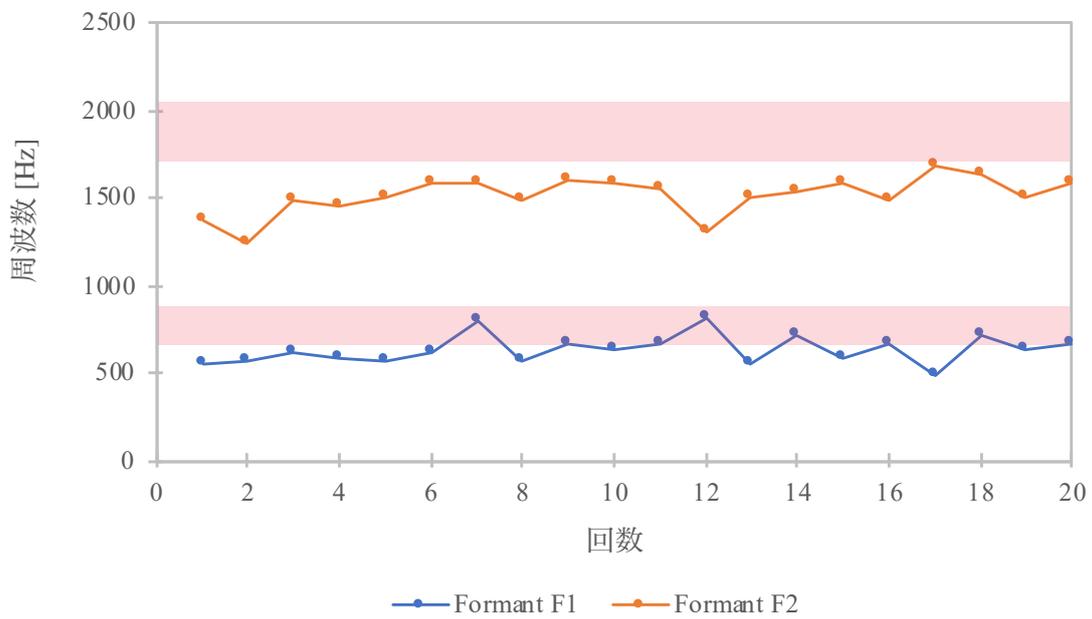


図 4.26: I 氏の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移

J氏の単母音/æ/の発音トレーニング

J氏は男性の学習者である。図4.28に示すように、第一フォルマント周波数および第二フォルマント周波数は初めの二回こそ理想の周波数域に収まったものの、その後の3回目以降は近づくこともなく横一線に近い推移になっている。前章の図3.31に示すように学習者に対してはアドバイスが表示されているにも関わらず、学習者の口や舌の動かし方が変化してはいなかった。つまり、J氏に対しては、このフィードバックが有効に働いていなかったと言える。



図 4.27: J氏のユーザースタディの様子

終了後に本人のバックグラウンドについて伺ったところ、「英語、特に発音にはほとんど触れてきておらず、口をどう動かせばいいのかもわからない。ましてや[æ]なんて、音を意識して聞いたことがなかったため、日本語の「あ」という発音と何が違うのかが全くわからなかった。ちなみに最初はテキトーに喋ったらヒットした」と述べていた。

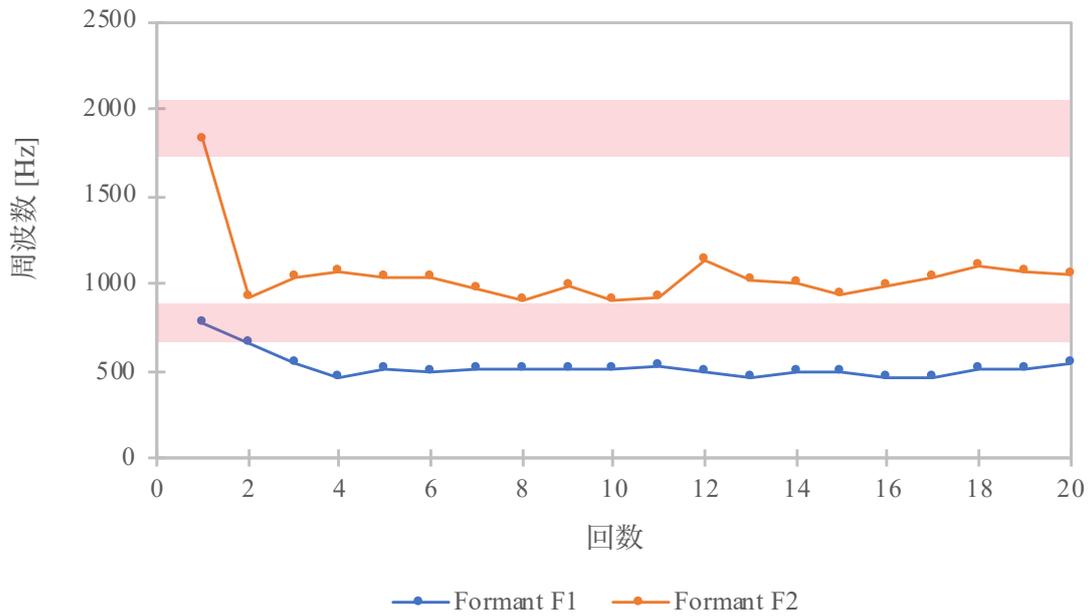


図 4.28: J 氏の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移

この結果から、この『Pronunciation Muscle Training Kit』は決して独学で発音を学習するためのツールではなく、あくまでも自習を行うためのトレーニングツールであるということ、そしてまずは教師による調音指導を行なった上で使用する、そして教師の教授したことを振り返り、繰り返し発音のトレーニングを行うことが望ましいと考えられる。

4.4. ユーザースタディ 2

ユーザースタディ 2 の手順

2つ目のユーザースタディは、英語を第二言語とする日本人学習者 J 氏に対して、/ɑ/, /ʌ/, /æ/, /ɔ:/, /e/, /u:/, /u/, /i:/, /i/, /ə/ の10個の母音の発音トレーニングを実施した。なお期間は、2019年7月2日から7月4日にかけて、場所は慶應義塾大学日吉キャンパス 協生館内のS06教室にて行った。

はじめに学習者は、英語話者の母音 (/ɑ/, /ʌ/, /æ/, /ɔ:/, /e/, /u:/, /u/, /i:/, /i/, /ə/) の発音指導を一時間半程度の時間をかけて受講する。その後、前述したユーザースタディ 1 に基づく自習トレーニングを行う。ユーザースタディ 1 の結果より、ユーザースタディ 2 では学習する母音が10個であることから300分近い学習時間が必要であると考えられた。したがってユーザースタディ 2 における、自習トレーニングの時間は1日1時間半程度を3日間設けた。一通りの自習を終えた後、学習者は不安に思う音素を記録し、再度英語話者による発音指導を受ける、といった形をとった。

教師による発音指導および自習による発音トレーニングの基本的なフローは以下の通りである。

・英語話者(教師)による発音指導

1. 教師が、目標とする音素の発音を行なってみせる。その際に調音方法のアドバイスをを行う。
2. 学習者は、そのアドバイスに倣って発音を行う。
3. 教師は、学習者の発音を確認し、間違いがある場合に調音方法のフィードバックを行う。
4. 学習者は、そのそのフィードバックに倣って発音を行う。
5. 教師は、再度確認しながら3, 4のステップを繰り返す。

6. 教師が正しい発音であると判断した場合には、次の母音へ進み1から5のステップを繰り返す。

・自習システムによるトレーニング

1. はじめに、基本的なソフトウェアの使い方とフォルマント周波数と口腔の動作の関係の説明を行う。
2. 著者が、ソフトウェアを使ってみせる。
3. 学習者は、著者の使用感と説明に倣って、一度試しに使用する。使用できることを確認したらトレーニングを始める。
4. デスクトップ上の `formant_analysis-v0.0.1 > formant_analysis.bat` を起動して、自動でフォルマント周波数の抽出を行う。
5. 表示された二つのフォルマント周波数第一フォルマント周波数, 第二フォルマント周波数を指導教材の、「第二フォルマント」欄に入力する。
6. 入力したことで得られた調音位置と目標の調音位置までの調音方法の解説を確認する。
7. それらに倣って発音の練習を行う。
8. 再度録音を行ない、4から7のステップを繰り返してトレーニングを行う。

ユーザースタディ 2 の結果

2つ目のユーザースタディは、英語を第二言語とする学習者として、4章の2節にユーザースタディ2のターゲットユーザーに示したJ氏に協力いただき、前述したユースケースに基づく学習環境を設計した。また、大学院の修士課程に在籍するMartin氏に教師を依頼し、J氏に対する発音トレーニングを行った。ここで、Martin氏の英語能力のプロフィールについて記す。Martin氏は慶應義塾大

学大学院メディアデザイン研究科の9月入学の学生であり、修士課程に在籍している。出身は中国で、幼い頃から英語に触れてきた。特に、初学者の頃から発音を中心に学習を行ってきており、現在は大学院で多国籍な学生と、常に英語でコミュニケーションをとっている。各種英語能力テストの評価は、TOEFLは110点、VERSANTはB2レベルである。

今回のユーザースタディ2では、1日目はMartin氏による、以下に示す10個の単母音の発音指導のレッスン、その後、母音を5個ずつ、2日間に分け、トータル4時間をかけてJ氏は『Pronunciation Muscle Training Kit』を用いて自習での発音トレーニングを行った。最終日には3日間を通して、調音の仕方をつかむことができなかった発音について、再びMartin氏による発音指導を行った。

1日目：2019年7月2日 10:00-11:30 (Martin氏による発音指導)

1日目は、Martin氏がJ氏に対して単母音/a/, /ʌ/, /æ/, /ɔ:/, /e/, /u:/, /u/, /i:/, /i/, /ə/の発音指導を行う。J氏は目標とする音素の調音の仕方を理解するために、調音音声学に基づいた、教師との1対1の発音指導のレッスンを受ける。J氏はMartin氏の実際の発音を聞いたのち、教材に載っている発音記号を見ながら口の動かし方と音の出し方を何度も繰り返し練習を行う。

Lesson 5
[æ] as in *at, fat, and happy*

1.

PRONOUNCING [æ]



Lips: Spread

Jaw: Open wider than for [e]

Tongue: Low, near the floor of the mouth

2.

Possible Pronunciation Problems

The vowel [æ] might not exist in your language and may be difficult for you to hear and produce. Also, irregular English spelling patterns are likely to cause confusion.

EXAMPLES If you say [a] instead of [æ]: **hat** will sound like **hot**.

If you say [e] instead of [æ]: **bad** will sound like **bed**.

When producing the vowel [æ], remember to spread your lips and open your mouth. But don't open it too wide, or you will find yourself substituting [a] (the sound to be discussed in the next lesson) instead!

Practice, practice, practice, and you'll have [æ] down pat!

Practice

EXERCISE A Listen and repeat.

[æ] At the Beginning of Words	[æ] In the Middle of Words
am apple angry	cat back black
and after absent	map happy last
ask actor animal	have rapid classroom

The vowel [æ] does not occur at the end of words in English.

note A less frequent spelling pattern for [æ] consists of the letters *au*.

laugh laughter

23

図 4.29: レッスンに用いた教材 (“English Pronunciation Made Simple”² p.23 を抜粋)

上記の教材は先述した “English Pronunciation Made Simple”²の /æ/の音素に関するページである。Martin氏はまずはじめに単母音の口の開き方について指導を行った。教材の1.に示すように、まずは表面的に見える口の形をやって見せ、右側に示す、唇、顎、舌の動かし方をそれぞれ指導し、実際に発音を行った。J氏

はそれを真似るように、発音を繰り返す。その際に Martin 氏は、発音を聞き違和感を感じた場合に、適宜調音位置と音に関するフィードバックを J 氏に対して行った。単母音の発音は 5 回程度繰り返した。次に、Martin 氏は教材の 2. に示すような発音に関する注意事項や各母音の混同、そして自身の持つ Tips を学習者に伝えた。最後に、教材の 3. に示されている各単母音を使用した単語を発音し、J 氏は Martin 氏の発音に続く形で、“Repeat after me” 方式で、一つの単語につき何度も発音を行った。



図 4.30: Martin 氏による調音指導を受ける J 氏

1 日目のユーザースタディにおいて J 氏は、やはり日本語にはないような英語の音素に苦手意識を持っていた。例えば、/æ/や/ə/などである。特に/æ/は先述のユーザースタディ 1 と同様、日本語の「あ」や意識しすぎることによって「え」に近い発音になってしまったりと、ちょうど「中間の音」として発音する事を非常に難しく感じていた。Martin 氏についても「“え”っぽく発音して」と言ったり、「それでは行き過ぎ、“え”と聞こえてしまう」と言ったり非常に労力を使っていた。さらに/i/や/u/などの音素は、/i:/や/u:/のただ短いものという覚えがあったようで、単音としての使い分けに苦労していた。これらの音素は/i:/や/u:/をただただ短くしたものではなく、口を若干緩めたり、若干「あ」っぽく発音したりと、難しい音である。Martin 氏は J 氏の口元をじっと見つめて、「もう少し緩めて」と言ったり「口を開けすぎ」と言い、口の開き方に関して多くのアドバイスをを行なっ

ており、J氏自身は口の形を変えたように思っているも、実際に出ている音はかなり違った音であることから、自分の調音位置、調音部位の動かし方を認知することはJ氏にとって難しいことである、ということが確認できた。また、J氏は、レッスンの時間は1時間半と限られており、その中で発音をマスターするのは難しいと述べた。

2日目：2019年7月2日 16:00-18:00（自習による/a/, /ʌ/, /æ/, /ɔ:/, /e/の発音トレーニング）

2日目は『Pronunciation Muscle Training Kit』を用い、/a/, /ʌ/, /æ/, /ɔ:/, /e/の発音トレーニングを行った。J氏は、最初はカリキュラム通りに順々に進めようと試みた。しかしながら、最初の/a/という発音では、第一フォルマント周波数が理想の調音位置で発音する事ができず、いわゆる日本語の「あ」の発音になってしまっていた。一方で、第二フォルマント周波数は4回目の発音を除き、帯の範囲内に収まるように発音を行う事ができている。このことから、J氏は口の開き方の調整に難を感じている事が確認できた。11回目の発音を終えたあと、筆者に対して「別の発音から始めてもいいですか？」と問いかけ、続く/ʌ/の発音トレーニングを開始した。

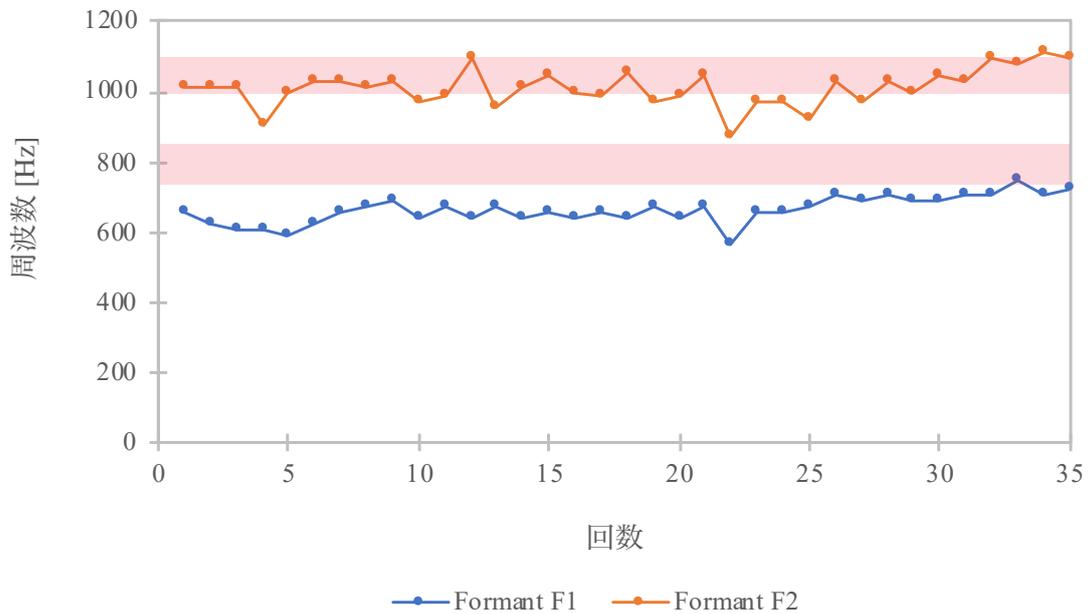


図 4.31: /ɑ/の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移

/ʌ/の発音では、最初の/a/の発音と打って変わって第一フォルマント周波数、第二フォルマント周波数ともに理想の周波数行きで発音を行う事ができている。/ʌ/の発音は比較的日本語の「あ」という発音とも近く、『Pronunciation Muscle Training Kit』にはそのようにアドバイスを行う記載はなかったが、Martin氏のレッスンでの「/ʌ/は英語の母音の中でも一番日本語の「あ」に近い音です」という教えを思い出して、そのように発音を行っていた。J氏はそのまま5回発音を行い、「これはなんかイケそうなので」と言い、次の/æ/の発音に移った。

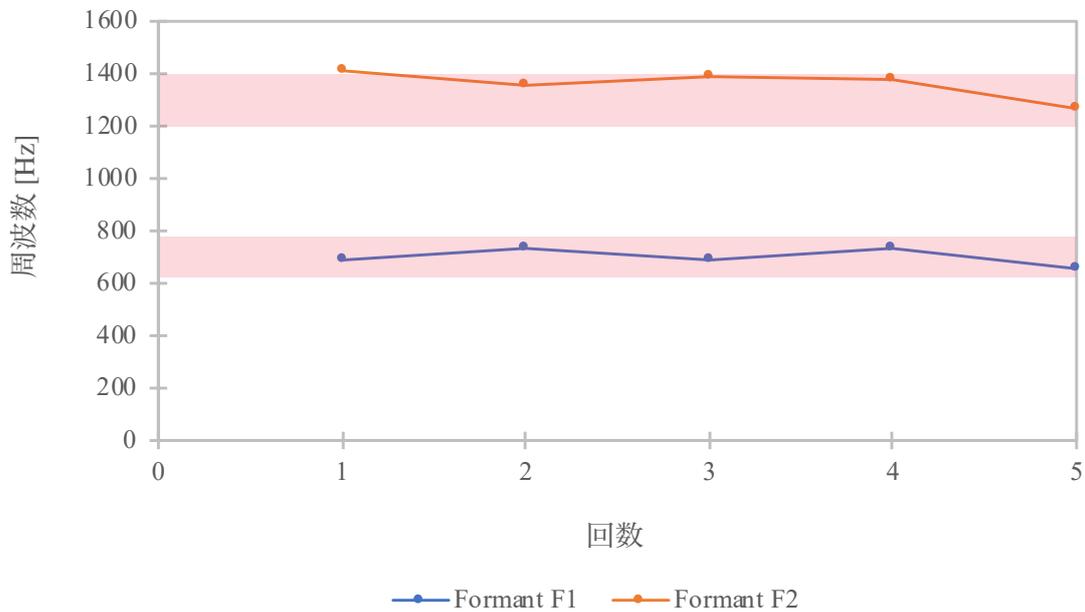


図 4.32: /ʌ/の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移

/æ/の発音は Martin 氏とのレッスンの中でも苦手としていた音素の一つであった。J氏は/æ/と発音を行ったが、第一フォルマント周波数こそ理想とする周波数域で発音ができているものの、第二フォルマント周波数はその理想とする周波数帯域とはかなりかけ離れていた。その後何度か/æ/の発音を行うが、第二フォルマント周波数も大きく変わることはなく、約 1500[Hz] で停滞をしていた。8回目の発音を終えた後に、J氏は筆者に対して「このマイクちょっと確認してもらってもいいですか?」と言い、あまりにも周波数が変化しないことにマイクの故障を疑っていた。ここで、筆者が試しに発音を行って見たところ、第二フォルマント周波数は 1921[Hz] と、しっかりと 1500[Hz] 以上の値も表示されることを確認した。その後、J氏にサイドマイクを取り付け、合計で 15 回ほど発音を行ってもらったが、矯正はされてはいなかった。その後 2 度発音を行った後、J氏は「とりあえず次のやつ行きます」と言い、次の音素のトレーニングへと移った。

2 日目にトレーニングするすべての音素を一通り練習した後、再び/æ/の発音トレーニングを行った。J氏は、以降に示す/e/の発音と同様、鏡を用いて調音動作

の確認を行った。ここでJ氏は、単音の発音のみならずレッスンで学習した bat や have の単語の発音を足場に、「/bæt/, /bæt/, /bæ:ɪ:t/」というような発音を行い、調音位置の調整を試みていた。なぜこのような発音をするのか、と伺ったところ、J氏は「このように練習を行うことで、ターゲットとする音を固定したまま、あまりブレることなく発音することができるし、レッスンでこの音は何度も練習したから単語に乗せて発音する方が何と無く思い出しやすい」と述べた。

その後J氏は十数回発音を行ったが、第二フォルマント周波数が示す理想の調音位置で発音することはできてはいなかった。ユーザースタディ 1でも同様の事象が見られたことから、/æ/の口の開け方に対するアプローチは従来の「口を縦に広げましょう」というシンプルなアドバイスだけではなく、さらに細かく、具体的に形を指定したり、縦にどのくらい、横にどのくらいと言ったような指示を行い、また、舌の前後位置については、ただ闇雲に舌を前に出すのではなく、舌の「緊張している位置」を前に出すということをわかりやすく学習者に伝える事が必要であると考えられる。

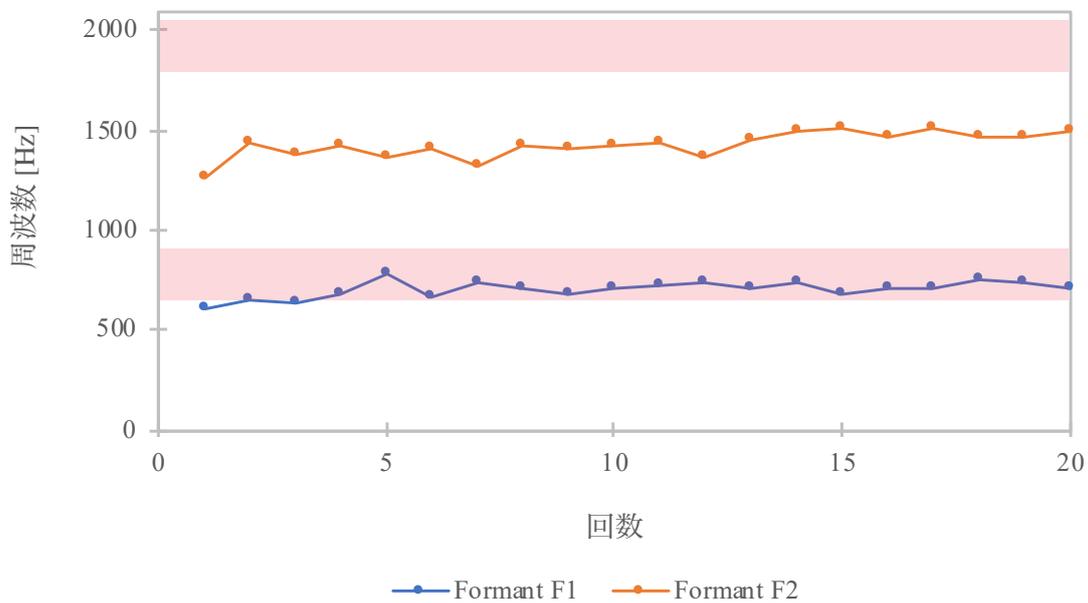


図 4.33: /æ/の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移

続いては/o/の発音である。J氏は「これ、日本語の発音と若干違うから難しい。けどすごくイメージはしやすいからなんとなくできそう」と述べた。J氏の/o/の発音は、Martin氏とのレッスンにおいても全く問題視されておらず、「この発音は綺麗だから次に行こう」と全く時間を取らなかった。一方で、『Pronunciation Muscle Training Kit』を用いたトレーニングにおいては、J氏の発音における両フォルマント周波数は理想とされる周波数域をまたぎ、上下に推移しており、本研究において定めた理想の調音位置で発音しているとは言い難い。特に第一フォルマント周波数に着目すると、J氏は理想とする周波数域である570[Hz]から590[Hz]の範囲内での発音を目指して調音位置を動かしているが、ピッタリと収まることなく上下に大きく振れてしまっている。この理想の周波数域はFantの母音正規化の式を用い算出した。そのため、/o/のような男女間のフォルマント周波数に差があまりなかった場合、図4.34に示す第一フォルマント周波数の理想とする周波数領域のように、限りなく狭い範囲となり、学習者にとってはこの限りなく狭い範囲で発音を行うことは非常に難しい。このことから、理想の周波数域を見直し、第3章の図3.18に示すような弁別的かつ比較的広い周波数域を定める必要があると思われた。J氏は十数回の発音を終え、教師による/o/の発音を聞き、自身の発した音と大きなギャップがなかったことを確認すると次の音素のトレーニングへと移った。

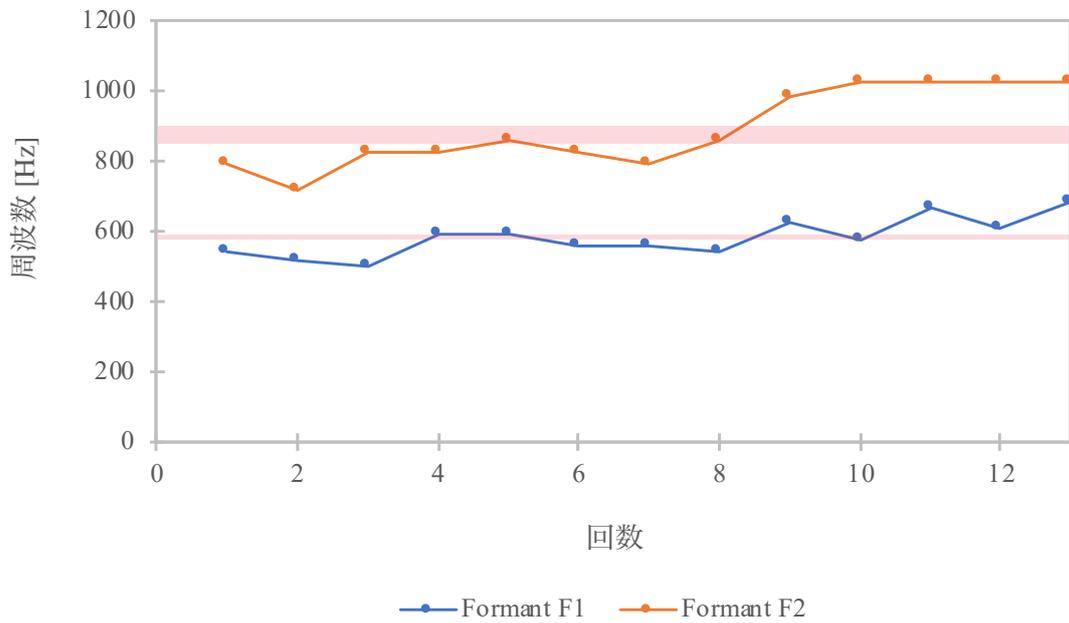
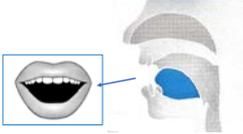


図 4.34: /ɔ/の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移

続く発音は/e/である。J氏は、『Pronunciation Muscle Training Kit』の調音に関するアドバイス「発音の仕方は日本語の「エ」とほとんど同じ。」という箇所を見るなり、「日本語の「エ」とほとんど同じ。」と呟き、試しに5回発音を行った。

[e]

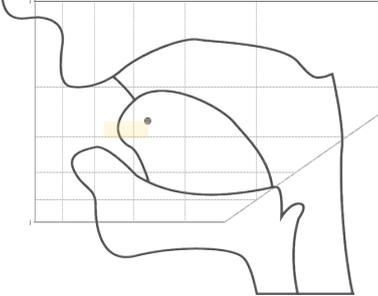
any, edge, end, else, egg
bed, many, next, west, present



唇: Slightly spread and unrounded
あご: Open wider than for [ei]
舌: High, near the roof of the mouth

第一フォルマント周波数 [Hz]	
第二フォルマント周波数 [Hz]	

発音の仕方は日本語の「エ」とほとんど同じ。
唇は自然に開いた状態で、舌の最も高い位置が舌先付近になるようにし、
舌と上あごの感覚を中くらいにとって発音する。



● あなたの発音
● 教師の発音

解説:

図 4.35: /e/の発音トレーニングのページ

この5回の発音では、図 4.37にも表れているように、第一フォルマント周波数は理想とする周波数域近傍で発音できているのに対して、第二フォルマント周波数の示す舌の前後位置は、理想的な調音とはなっておらず、後舌での発音となっている。6回目以降は下の図 4.36が示すような鏡で見る自分の身体の動きと、『Pronunciation Muscle Training Kit』に示される調音動作とを照らし合わせ、違いがある場合には調整し、再度発音を行うということを繰り返しており、「あー、いー、うー、えー」と一通り日本語の発音を確認したのちに「え」に近い/e/の発音を行った。



図 4.36: J 氏の鏡を使った調音矯正

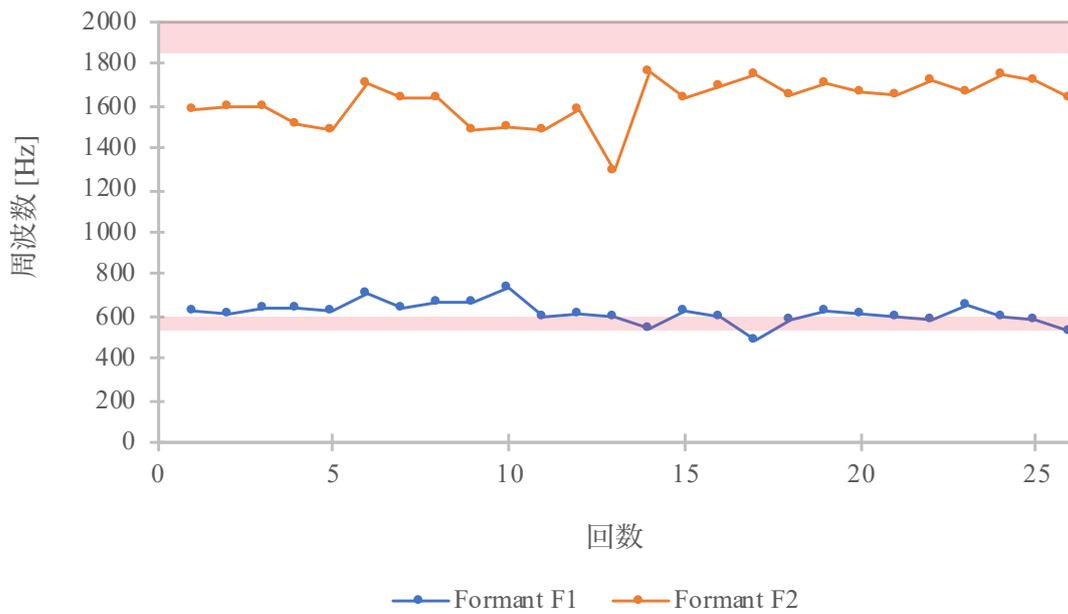


図 4.37: /e/の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移

3日目：2019年7月2日 9:00-11:00（自習による/u:/, /u/, /i:/, /i/, /ə/の発音トレーニング）

3日目は『Pronunciation Muscle Training Kit』を用い、/u:/, /u/, /i:/, /i/, /ə/の発音トレーニングを行った。

初日のMartin氏による発音トレーニングで、J氏は/i:/や/u:/の口の開きを緩めた/i/, /u/について苦手意識を持っていた。Martin氏から「口をもう少し緩めて」、「若干“え”っぽく発音して」といった指示を受けても自分の調音部位の動きを把握する事ができず、何度か発音していくうちに、Martin氏に「その音は良い」と、正しい音を発することができたことを諭されてもJ氏自身は何が“正しかった”のかを理解することはできず「結局“正しい”発音がわからなかった」と述べた。

まずはじめにJ氏は/u:/の発音のトレーニングを行った。/u:/の発音では、「この発音は口を丸めるやつだからわかりやすいし、自分がちゃんとした音を出せているのがわかる」と述べ、発音のトレーニングに取り掛かった。図4.38に示すフォルマント周波数の推移が表すように、J氏は初めから理想とする周波数域近傍で発音を行うことができていた。その後も鏡を見ながら口を動かし、外れた場合にはフィードバックを参考に調音位置を調整した。J氏は、僅か9回の発音トレーニングで「これはもういけます。」と述べ、次の音素のトレーニングへと移った。次にJ氏は/u/の発音の練習を行った。/u/と/u:/を区別する上で重要なことは、/u/は「あ」の発音の意識に近く、顎の開きの大小の違いであるの対して、/u:/は「お」の発音の意識に近く、円唇化がその音の特徴づけるポイントとなる。また、/u/は舌の後部を高くして発音しなければならない。J氏は「単語に入れば無意識でもできるけど、単体で発音しようとするのが難しい」と述べ、『Pronunciation Muscle Training Kit』に示された理想の調音方法の指示を参考に発音を行った。図4.39からもわかるように、第一フォルマント周波数、すなわち口の開き方、円唇化に関しては、理想とする調音方法で発音することができている。J氏は4回目の発音を終えた後、「やっぱりF2（第二フォルマント周波数）は難しいな」と述べ、舌の前後位置を調整することに困難を感じていた。特に、7回目以降は第二フォルマント周波数の値が大きく触れていることからわかるように、舌を大きく動かしている。また、時折理想の調音位置での発音を行う事ができていたが、その調

音方法で口の動きを固定することはできていない。このことから、実施時間1時間半で、一つの母音にかけることのできる時間は約20分程度という中で、調音位置理解し、固定しながら何度も繰り返し練習を行うことは難しいということが確認できた。今後は学習者に合わせた時間設計を行う必要がある。

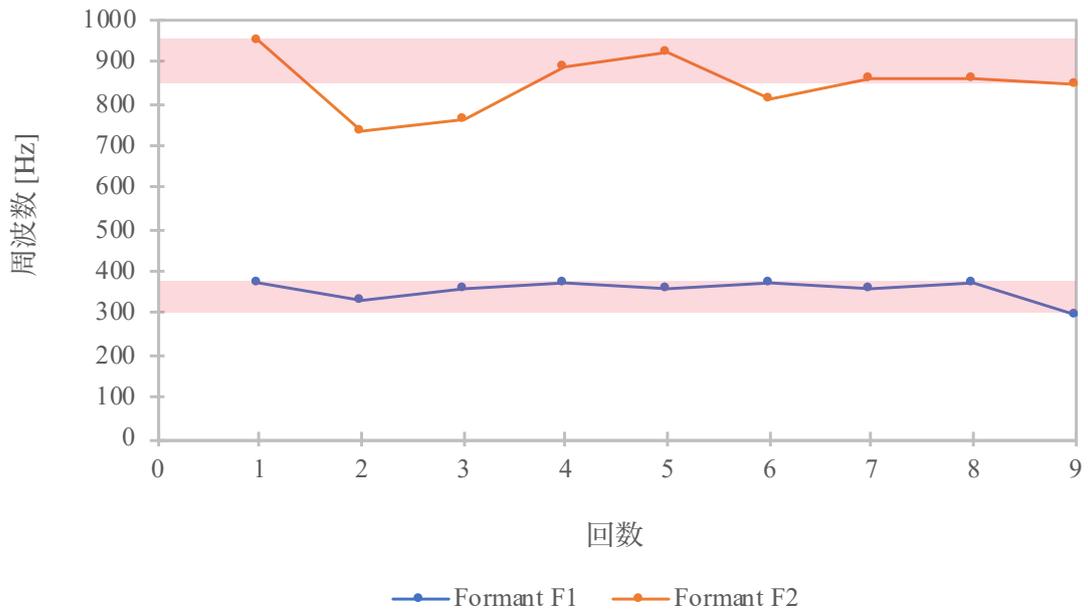


図 4.38: /u:/の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移

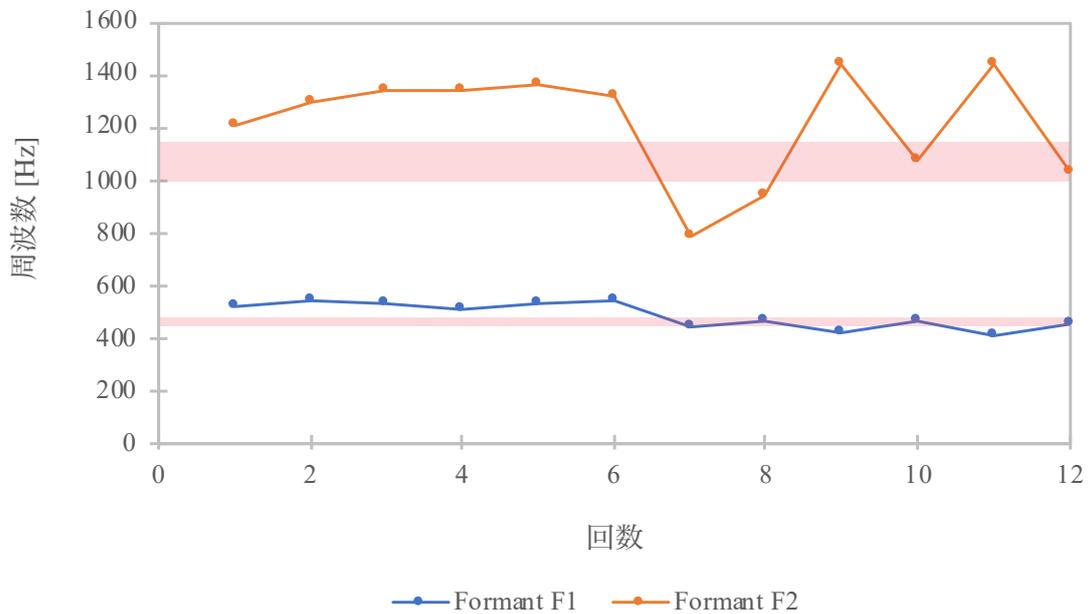
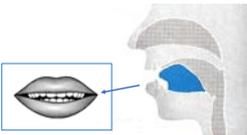


図 4.39: /u/の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移

次にJ氏は/i/の発音の練習を行った。1章の3節で引用した(今井 2007)⁴の母音図(図 1.4)からもわかるように、日本語の「い」の発音と英語の/i/の発音はかなり接近した位置にあり、非常に似た音であると言える。そのためJ氏は戸惑うことなく容易に正しい発音を行っていた。一方で/i:/の発音では、J氏は困難を感じていた。なぜなら、/i/と/i:/の音の違いは、発された音の「長さ」ではなく、「質」そのものが違うためである。『Pronunciation Muscle Training Kit』では「唇を自然に開いた(もしくは横に開いた)状態で、舌の最も高い位置が舌尖付近になるようにし、舌と上あごの感覚を一番狭くして発音する。子供が「イーだ!」という時の声に近い。」と記している(図 4.41)。すなわち、学習者は口の形を横に開きつつ、意識的に口の中の舌の前の部分をかなり持ち上げて上あごの方に近づけなければならない。

[i:]

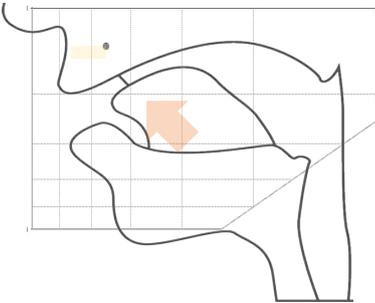
eat, each, eager, even, either
mean, seal, need, leave, keep



唇: Tense and in a "smile" position
あご: Almost completely raised
舌: High, near the roof of the mouth

第一フォルマント周波数 [Hz]	
第二フォルマント周波数 [Hz]	

[i:]は、唇を自然に開いた（もしくは横に開いた）状態で、舌の最も高い位置が舌先付近にくるようにし、舌と上あごの感覚を一番狭くして発音する。子供が「イーだ!」という時の声に近い。



● あなたの発音
 ● 教師の発音

解説:

図 4.40: /i:/の発音トレーニングのページ

/i:/の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移の図（図 4.41）を見ると、20 回までに理想の調音位置で発する事ができた回数は一度もなく、23 回のみ舌の位置を合わせる事ができたが、それ以降は収まることがなかった。J 氏は 40 回を超える発音を行っていたが、正しい発音のコツをつかむ事ができず、第二フォルマント周波数に関して「舌がこれ以上前にいかない」と述べた。続く /ə/ の発音は、図 4.43 からわかるように、容易に理想の調音方法で発する事ができている。J 氏は「レッスンの時に口の中に空間を作る感じがわかったから、できそうな気はしてた」と述べ、7 回程度の発音でトレーニングを終えた。

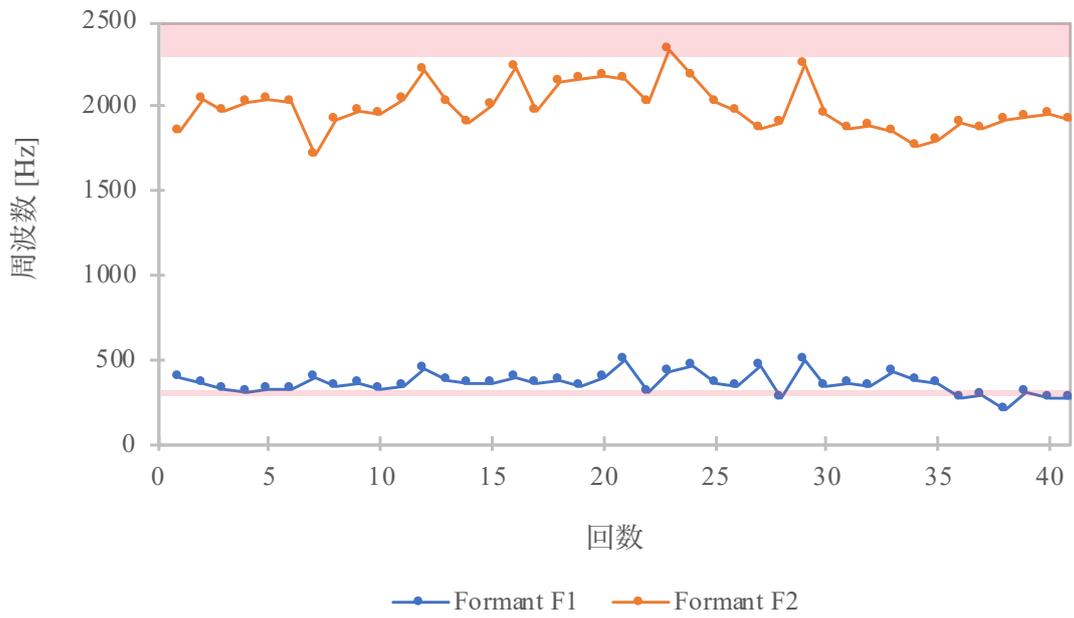


図 4.41: /i:/の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移

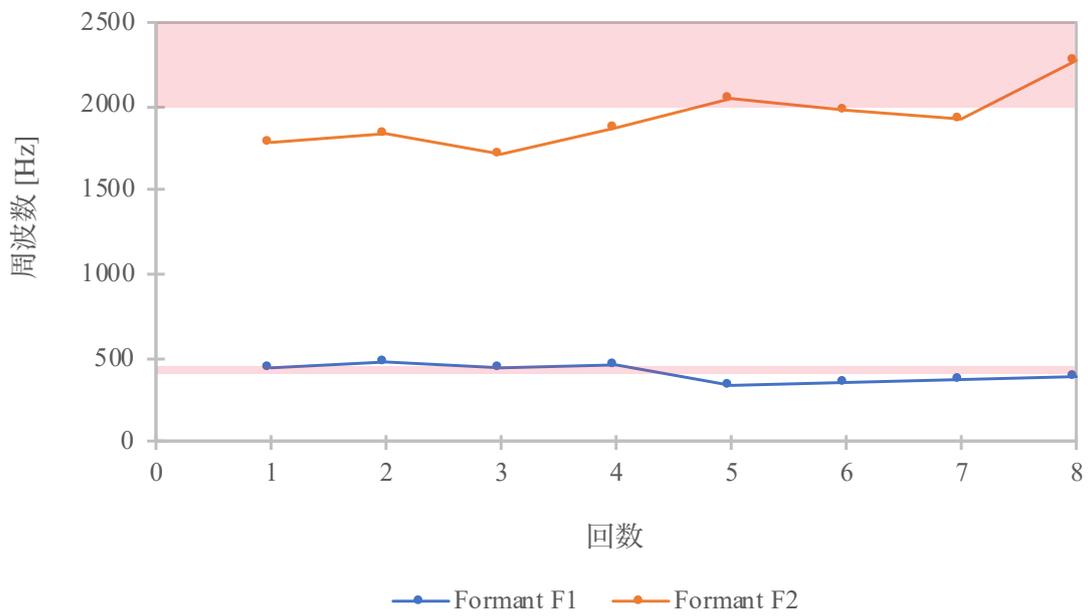


図 4.42: /i:/の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移

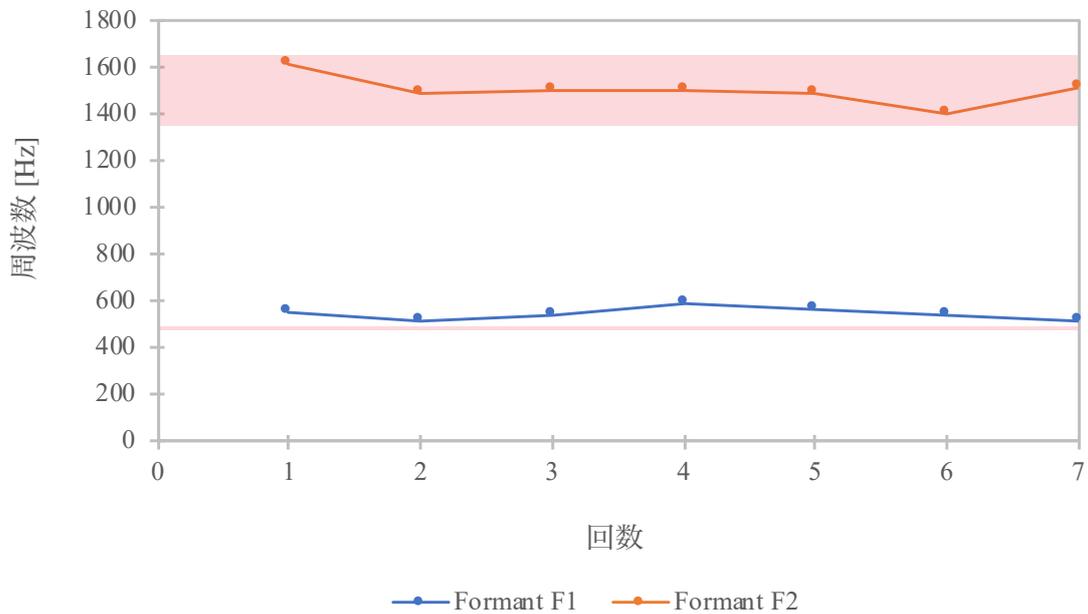


図 4.43: /ə/の発音トレーニングにおけるフォルマント周波数の推移

これまでを見ても J 氏は理想の口の開き方は容易に行う事ができるが、第二フォルマント周波数を理想の周波数域で発することは非常に困難に感じていた。先述の通り、舌の前後位置にを矯正する上では、ただ闇雲に舌を前に出すのではなく、舌の「緊張している位置」を前に出すということをわかりやすく学習者に伝えなければならない。したがって、『Pronunciation Muscle Training Kit』のアドバイスのみならず、教師がどのように調音方法を指導するのかというところについても、焦点を当て、学習環境の設計を行う。

4日目：2019年7月2日 10:30-11:20（Martin氏との発音の復習）

4日目は、J氏が3日間を通して正しい発音が行えているのか不安に思っている音素/ʌ/, /æ/, /u:/, /i:/についてMartin氏が再び発音指導を行った。Martin氏は、それぞれの音素について、調音方法を把握するためにJ氏に対して一度発音してみることを指示した。J氏は、Martin氏に言われた通りにまずは単母音での発音そして、その音素を含む単語の発音を行った。一通りの発音を行った後、Martin氏は「全部OKだともう、発音も綺麗だし」と言い、十分に聞き取ることのできる発音担っていることをJ氏に伝えた。J氏は「え、まじですか」と驚いた様子であったが、まだ納得できていない様子も見受けられた。しかしながら、J氏のこれまでの両フォルマント周波数の推移を見ても、J氏が教材のアドバイスやフィードバック、そして鏡を見ながら繰り返し口の開きや舌の動きを確認し発音を行っており、しっかりと理想の調音位置を理解し、その調音位置を目指して発音を行うことができていた。

4.5. 考察

2019年6月に実施した『Pronunciation Muscle Training Kit』のプロトタイプを用い、9名を学習者として行なったユーザースタディ、そして2019年7月2日から2019年7月5日にかけて、第3章で示したユースケースに基づく自習支援教材を統合した学習環境を用いたユーザースタディを行い、『Pronunciation Muscle Training Kit』のプルーフオブコンセプトを行なった。各回で行なったユーザースタディの調査および、録音音声の分析を行い、そのデータをもとに、(1)発音矯正を行う上で『Pronunciation Muscle Training Kit』が学習者に有効に働いていたか(2)学習者は母音の理想の調音を身体的に理解し、口や舌の筋肉をコントロールし、明瞭な発音ができるようになったかという2つのフォーカスポイントに沿って考察を行った。

ユーザースタディを通して検証された有効性

調音位置の提示による発音の矯正

ユーザースタディ1における発音の矯正において、学習者は発音のフォルマント周波数を解析、抽出し、自らの調音位置をグラフへのプロットによって確認した。その後、各フォルマント周波数の値に応じてあらかじめ設定されたフィードバックを画面上に表示する事で、調音部位を意識しながら調節した。また、時には両フォルマント周波数の高低に自らの調音部位の変化を重ね合わせ、位置の把握を行っていた。ユーザースタディ2においては、自らの調音位置をグラフへのプロットに加えて、鏡や自分の発音を聞くことによって確認し、同様に教師の発音を確認したり、画面上に表示されたフィードバックを確認することで、調音部位の矯正を行うことができていた。このことから、学習者の音声から抽出されたフォルマント周波数により調音位置を矯正することが有用であることが示された。

自習システムとしての『Pronunciation Muscle Training Kit』

『Pronunciation Muscle Training Kit』を用いた自習の本旨は、教師がおらずともコンピュータが学習者の発音に対して的確なフィードバックを行い、自然と口の筋肉をコントロールする術を身につけ、明晰な発音を可能にすることにある。先述の通り、ユーザースタディ2における発音の矯正において学習者は、グラフへのプロットや鏡や自分の発音を聞くことによって確認し調音位置の確認を行い、画面上に表示されたフィードバックを確認することで、調音部位の矯正を行った。その結果、学習者は自身の意識の元でフォルマント周波数、すなわち調音位置を変化させることができ、理想の調音位置ないしその近傍で発音を行うことができていた。また、学習者であるJ氏は、自分の発音のしやすい音、例えば/ʌ/や/ə/は他の母音の発音と比較しても5回、7回と非常に少ない回数でトレーニングを終えたり、反対に/i:/は40回を超える発音を行ったりと、自身の得意不得意によって発音の回数を変え、トレーニングの時間配分を行っていた。特に、なかなか理想の調音位置で発音ができなかった音素に関しては、30回、40回と時間をかけて

トレーニングを行えていることから、『Pronunciation Muscle Training Kit』は学習者の苦手な発音の矯正に寄与することが確認できた。

今回のユーザースタディ2における自習では、検証の日程が限られていたこともあり、発音トレーニングに1時間30分という時間を設定し、なおかつその間に母音5個のトレーニングを行うように、学習者に制約をつけた。その結果として各音素で、最少の発音の回数は/ʌ/の5回、最大の発音の回数で/i:/の42回と大きなばらつきが確認された。しかしながら、実際に使用する場合には学習者はそのような厳しい制約を設けることはない為、スポーツの基礎トレーニングのようにどの音素もなんども繰り返すことによって、学習者はより効率的に発音を身体化することができると考えられる。

ユーザースタディを通して判明した課題

理想とする周波数域の設定

ユーザースタディ2を概観すると、殆どの音素の発音において、J氏は自身の調音位置を鏡や画面などで確認し、フィードバックに沿って発音繰り返すことで、発音の矯正を行えることが確認できた。しかしながら、必ずしも本研究において定めた理想の調音位置の範囲内で発音しているとは言い難い。例えば/o/の発音では、J氏は理想とする第一フォルマント周波数の範囲である570[Hz]から590[Hz]の範囲内での発音を目指して調音位置を動かしているが、ピッタリと収まることなく上下に大きく振れてしまっている。

本研究においては、英語の母語話者の研究と性質が異なるものではあるが、学習者が発音トレーニングを行うにあたって、目標の値に幅を持たせるためにFantの母音正規化の式(式3.1)を参考にして幅のある値を算出した。そのため、/o/のような男女間のフォルマント周波数に差があまりなかった場合、図4.34に示す第一フォルマント周波数の理想とする周波数領域のように、限りなく狭い範囲となり、学習者にとってはこの限りなく狭い範囲で発音を行うことは困難である。しかし実際は、この狭い範囲から外れ、理想とする周波数域近傍での発音になった場合でも、第3章の3節、図3.18のように学習者が/o/の発音を弁別的に行うこ

とができていれば、会話相手にとっても十分に伝わる発音にはなると考えられる。このことから、プロトタイプを改善する上では、今一度理想の周波数域を見直し、図 3.18 に示すような弁別的かつ比較的広い周波数域を定め、より学習者にとってわかりやすい足場を設計する必要がある。

調音位置を矯正するための詳細な指示

ユーザースタディによって得られた各学習者のフォルマント周波数の推移を概観すると、ほとんどの学習者は理想の口の開き方は容易に行う事ができているが、第二フォルマント周波数を理想の周波数域で発することは非常に困難に感じていた。口の開け方に対するアプローチは従来の「口を縦に広げましょう」というシンプルなアドバイスだけではなく、例えば、コンピュータのカメラで取得した顔領域の画像から、OpenCV 等を用いて口唇検知を行なうことで、より詳しく、縦にどのくらい、横にどのくらいといったような、的確な指示を行う事ができる。また、舌の前後位置については、ただ舌全体を前後に出し入れするわけではなく、舌の「緊張している位置」を動かすということをわかりやすく学習者に伝える事が必要である。したがって、『Pronunciation Muscle Training Kit』のアドバイスのみならず、教師がどのように調音方法を指導するのかというところについても、焦点を当て、学習環境の設計を行う。

フォルマント周波数の抽出、入力と解説の表示までにかかる時間

本研究で作成したプロトタイプでは、フォルマント周波数の抽出を行うためのファイルとそのフォルマント周波数から得られる調音位置の推定・解説が二つの独立したファイルとして別れている。そのため、ユーザースタディ 1 では各ユーザーによって母音の発音を行ってから解説を読み始めるまでの時間に差異が見受けられた。特に 2 名の学習者からは、「発音してから解説まで時間がかかるため、一通り見ている間に自分がどのように調音を行なったのか忘れてしまう」とのコメントを受けた。また、発音矯正を行おうとする人物は必ずしもコンピュータを使うことに慣れ親しんだ人物ではないと思われ、仮に小学生や中学生など日常的

にコンピュータを扱わない人物が使用した場合、解説までに要する時間はさらに長くなると考えられる。このことから、利便性と学習効果のさらなる向上を考えれば、この手動で時間をかけて操作を行うという無駄な動作と時間を限りなく小さくする必要がある。

注

- 1 奥出直人 (2018) 『デザイン思考とヴァリデーション』: 月間品質委員会.
- 2 Dale, Paulette and Poms, Lillian (2005) *English pronunciation made simple*: Longman.
- 3 大塚貞子 (2012) 『英語発音訓練指導における音声分析ソフトウェア利用の可能性について: 母音/æ/を中心に』: 東京女子大学紀要論集.
- 4 今井邦彦 (2007) ファンダメンタル音声学: ひつじ書房.

第5章

結 論

5.1. 本論文の結論

本論文では、英語を第二言語とする日本人学習者が、正しい調音方法で自らの発音を矯正することで、子音、母音をはじめとする文節音素、そしてプロソディを明晰に発音することができるようになるための自習支援教材『Pronunciation Muscle Training Kit』のデザインについて論じた。本文第1章では、言語学習と身体の関係性について述べ、本研究の目的を示した。英語を第二言語とする日本人学習者が、英語を聞き取ることのできるリスニング能力を獲得するための足場となりうる、CALLシステムを用いた言語学習に着目した。

第2章では、本研究に関連する「言語学習のための外部的足場作り」、「CALL (Computer-Assisted Language Learning) を用いた言語学習」について外観し、さらに音素、韻律の発音の習得とリスニング能力の関係性、それらがリスニング能力の向上に寄与するという結果を示す研究の紹介をした。

第3章では、子音、母音をはじめとする文節音素、そしてプロソディを明晰に発音することができるようになるための自習支援教材『Pronunciation Muscle Training Kit』のコンセプトについて述べ、ユースケースを示し、学習者と本学習支援教材とのインタラクションを明確にすることで、コンセプトを具現化していき、プロトタイプを製作した。

第4章では、英語を第二言語とする日本人学習者が、自習支援教材である『Pronunciation Muscle Training Kit』を使うことで、正しい調音方法で自らの発音を矯正し、子音、母音をはじめとする文節音素、そしてプロソディを明晰に発音することができるようになるかをユーザースタディによってプルーフオブコンセプト

を行い、ビデオによる録画と学習者の音声を音響学的観点から分析を行い、得られたデータをもとに考察を行った。『Pronunciation Muscle Training Kit』を使用したトレーニング、約20分を通して、学習者は音声を分析し、抽出されたフォルマント周波数の数値と、その数値から導かれる自らの調音位置の図を参考に、調音位置を変化させることができていた。特に第4章で紹介したB氏は、初めこそ調音位置が理想の位置からは大きく外れていたが、回数を重ねるごとに、だんだんと理想の調音位置に近づき、最終的には何度もその調音位置の範囲で発音することができていた。その結果から『Pronunciation Muscle Training Kit』の発音トレーニングにおける有効性が示されたと考えられる。また、J氏のユーザースタディにおいては、教師による発音指導で教授されたことを振り返り、各音素の調音における要点を抑えて、発音トレーニングを行う事ができた。このことから、従来の教師でのみ行っていた発音指導に『Pronunciation Muscle Training Kit』を用いた自習を組み込むことで、教師の負担を減らすとともに、学習者は自由に時間を使って発音のトレーニングを行う事ができるようになると考えられる。一方で、後述の5.2に示すような課題も見受けられた。

5.2. 本研究における課題

子音や音声変化、プロソディ領域への展開

本研究では、英語を第二言語とする日本人学習者が、正しい調音方法で自らの発音を矯正することで、子音、母音をはじめとする文節音素、そしてプロソディを明晰に発音することができるようになるための自習支援教材と打ち出して『Pronunciation Muscle Training Kit』のコンセプトのデザインを行なった。一方で、現時点では単母音の発音トレーニングのみにとどまっており、学習者は英語を話すという行為においては、子音や二重子音、そしてそれらに伴う音声変化等、明晰な発話を行うためにはまだまだ欠けている要素が多い。第3章で行なった調査で Matthew 氏が述べていたように、英語は、日本語と比較しても音素の数や種類だけでなく、リズムやイントネーションから全く違うことが特徴的である。したがって、より明晰な発音を行うということを図るためには、母音のみならず、子音、音声変化、

そしてプロソディを含んだ発話の中で生じるリズムやイントネーション、ストレスなどを体系的に学ぶことのできる学習環境を設計することが求められ、それに伴う自習支援教材の設計が求められる。

独立した機能の統合

前章で述べたように、本研究で作成したプロトタイプでは、フォルマント周波数の抽出とそのフォルマント周波数から得られる調音位置の推定、そして解説が二つの別のファイルとして別れている。そのため、学習者はマイクで音声を録音したのち、Microsoft 社の Excel を用いた調音位置と解説を示すファイルの方にカーソルを移動し、フォルマント周波数を入力しなければならない。ユーザースタディ時には、学習者が母音の発音を行ってから解説を読み始めるまでに、長い人で約 30 秒ほどの時間を要していた。発音してから発音位置を調整するまでの時間があまりにも長いと、学習者はその発音の状態が維持できず、忘れてしまい、解説が全く無意味なものになってしまう。今回はコンピュータに慣れ親しんでいる人が多く、学習者に対して大きい不便さは与えなかったが、しかしながら、もし学習者が機械の操作に不慣れな人であったり、その他の不利なコンテキストを持つ人が利用した場合、この時間はさらに長くなると考えられる。利便性と学習効果のさらなる向上を考えれば、この手動で時間をかけて操作を行うという無駄な動作と時間を限りなく小さくする必要がある。また、今回はプロトタイプとして Excel を用いて設計を行なったが、拡張性や汎用性を考えると表計算ソフトを使用することは決して好ましいことではないと考えられる。したがって、今後の課題としては、フォルマント周波数の抽出から解説までを自動かつシームレスで行うことのできるソフトウェアの開発が求められる。

5.3. 今後の展望

本論文は、『Pronunciation Muscle Training Kit』の今後の展望を述べて、擱筆することとする。本論文において論じた『Pronunciation Muscle Training Kit』を自習支援教材として統合した学習プログラムは、身体性認知の概念に立脚してデザインされており、従来の英会話学校などの教師による調音音声学的指導、もしくはスマートフォンなどのデバイスを用いた学習アプリケーションとは異なり、調音音声学と音響音声学の両方の面からアプローチを行う先駆的なものである。今後は、『Pronunciation Muscle Training Kit』の実用化に向けて、文節音素における子音の自習パートや、超文節音素にまで展開するソフトウェアの開発を進めていきたい。そして、いずれ『Pronunciation Muscle Training Kit』がある特定のコンテキストをもつ層だけでなく、日本の多くの教育現場に導入され、英語に恐怖心をもつ人が少しでも減るとともに多くの日本人英語学習者の英語でのコミュニケーション能力の向上につながれば本望である。

謝 辞

本研究は多くの方のご指導・ご協力のもとに行なわれました。

本研究の指導教員であり、幅広い知見からの的確な指導やご指摘をしていただきました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の奥出直人教授に心より感謝申し上げます。奥出先生による懇切なるご指導の元で得られた学びは、私の人生においてかけがえのない財産となりました。

また、同研究科の南澤孝太教授には、研究の方向性についての的確なご助言やご指導をいただきました。本当に有り難うございました。南澤先生のような聡明な人間になれるよう、努力いたします。

また、ご多忙中、研究に関する助言を賜りました同研究科の大川恵子教授、前川マルコス貞夫専任講師に深く感謝いたします。

プロジェクトの指導教員としてご指導いただくと同時に、共に研究に取り組んでくださり、研究に関してだけでなく大学院生活におけるあらゆる点において親身なアドバイスをくださった同研究科の佐藤千尋特任講師に心より感謝申し上げます。特に論文提出前や公聴会前には、お忙しいところ日中に何度も時間を作っていただき、本論文や発表資料に対するフィードバックをいただきました。佐藤先生がいなければ、本論文が完成することはなかったですし、卒業はすごく遠い存在になっていたと思います。本当に有り難うございました。そして、私たちの研究生活を支えてくださった、奥出先生の秘書である鈴木節さんに心より感謝申し上げます。

共同研究のパートナーとして、多大なるご援助をいただきました株式会社NTTデータ技術開発本部の相原理氏、板屋一嗣氏、松下正樹氏、寺澤美恵氏、池田裕之氏、伊藤寛祥氏、樋口冴子氏に心より感謝申し上げます。ことに伊藤氏には、研究の相談や協力だけに留まらず、実験の準備から分析プログラムの作成まで惜し

みないご協力をいただきました。本当に有り難うございました。また、本研究のメンバーである、浦瀬裕基さん、箕輪慶介さん、奥田蓉子さん、Martin Yanyuan Chen さんからは多大なる支援をいただきました。本当に有り難うございました。

グローバルイノベーションデザイン (GID) プログラムで共に勉学に励んだ5期生の皆様、そして現地で出会った学生・教授の方々に心より感謝いたします。また、KMD に入学してから今日まで可愛がっていただき、論文執筆期間中も特別お世話になりました、打越武さんに心から感謝します。

OIKOS で共に過ごした、同期の池田くん、伊藤さん、森田くん、高崎さん、成田さん、Chang くん、田中くん、そして個性の豊かな修士2年生のみなさん、本当に有り難うございました。最後に、幼い頃から現在に至るまで私の希望を第一に尊重し続け、生活面や精神面など多くのことで私のことを支え、温かく見守ってくれた家族に万謝いたします。

参 考 文 献

- Ahangari, S., S. Rahbar, and S. Entezari Maleki (2015) “Pronunciation or listening enhancement: Two birds with one stone,” *International Journal of Language and Applied Linguistics*, Vol. 1, No. 2, pp. 13–19.
- Beyer, Hugh and Karen Holtzblatt (1997) *Contextual design: defining customer-centered systems*: Elsevier.
- Chan, Marsha (2007) *Using your hands to teach pronunciation*: Sunburst Media.
- Chiba, Tsutomu and Masato Kajiyama (1958) *The vowel: Its nature and structure*, Vol. 652: Phonetic society of Japan Tokyo.
- Chomsky, Noam (1984) *Modular Approaches to the Study of the Mind*, Vol. 1: San Diego State University Press.
- Chomsky, Noam and Morris Halle (1991) *The sound pattern of English*: The MIT Press.
- Churchill, Elizabeth F, Ozzie Gooen, and David A Shamma (2010) “Augmented ethnography: designing a sensor-based toolkit for ethnographers,” in *Proceedings of the 22nd Conference of the Computer-Human Interaction Special Interest Group of Australia on Computer-Human Interaction*, pp. 416–417, ACM.
- Clark, Andy (1998) *Being there: Putting brain, body, and world together again*: The MIT Press.

- Clark, Andy (2003) *Natural-born Cyborgs: Minds, Technologies, and the Future of Human Intelligence*: Oxford University Press.
- Clark, Andy (2008) *Supersizing the mind: Embodiment, action, and cognitive extension*: Oxford University Press.
- Craik, Kenneth (1952) *The nature of explanation*, Vol. 445: Cambridge University Press Archive.
- Crystal, David (2011) *A dictionary of linguistics and phonetics*, Vol. 30: John Wiley & Sons.
- Dale, Paulette and Lillian Poms (2005) *English pronunciation made simple*: Longman.
- Fant, Gunnar (1960) *Acoustic Theory of Speech Production*: Mouton and Co 's-Gravenhage.
- Fant, Gunnar (1973) *Speech sounds and features.*: The MIT Press.
- Geertz, Clifford (1973) *The interpretation of cultures*, Vol. 5019: Basic books.
- Gilbert, Judy B. (2012) *Clear speech teacher's resource and assessment book: Pronunciation and listening comprehension in North American English*: Cambridge University Press.
- Gorjian, Bahman, Abdolmajid Hayati, and Parisa Pourkhoni (2013) "Using Praat software in teaching prosodic features to EFL learners," *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 84, pp. 34–40.
- Grosjean, François and James Paul Gee (1987) "Prosodic structure and spoken word recognition," *Cognition*, Vol. 25, No. 1-2, pp. 135–155.
- Harrington, Jonathan (2010) *Phonetic analysis of speech corpora*: John Wiley & Sons.

- Iribe, Yurie, Silasak Manosavan, Kouichi Katsurada, Ryoko Hayashi, Chunyue Zhu, and Tsuneo Nitta (2012) “Improvement of animated articulatory gesture extracted from speech for pronunciation training,” in *2012 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp. 5133–5136, IEEE.
- Labov, William (1994) “Principles of language change: Internal factors.”
- Ladefoged, Peter (1996) *Elements of acoustic phonetics*: University of Chicago Press.
- Ladefoged, Peter and Keith Johnson (2014) *A course in phonetics*: Nelson Education.
- Lakoff, George (1987) *Women, Fire and Dangerous Things: What Categories Reveal About the Mind*: University of Chicago Press.
- Lindfield, Kimberly C., Arther Wingfield, and Harold Goodglass (1999) “The contribution of prosody to spoken word recognition,” *Applied Psycholinguistics*, Vol. 20, pp. 395 - 405, 09.
- Luo, Beate (2016) “Evaluating a computer-assisted pronunciation training (CAPT) technique for efficient classroom instruction,” *Computer Assisted Language Learning*, Vol. 29, pp. 451-476, 03.
- Peterson, Gordon E and Harold L Barney (1952) “Control methods used in a study of the vowels,” *The Journal of the acoustical society of America*, Vol. 24, No. 2, pp. 175–184.
- Kent, Raymond D., Charles Read, 隆行荒井, 勉菅原 (1996) 『音声の音響分析』, 海文堂出版.
- Shapiro, Lawrence (2019) *Embodied cognition*: Routledge.

- Tyler, Andrea (2012) *Cognitive linguistics and second language learning: Theoretical basics and experimental evidence*: Routledge.
- Yavas, Mehmet S (2006) *Applied English Phonology*: Wiley Online Library.
- Yenkimaleki, Mahmood, J Vincent et al. (2016) “Effect of explicit teaching of prosodic features on the development of listening comprehension by Farsi-English interpreter trainees: An experimental study,” *International Journal of English Language Teaching*, Vol. 4, p. 10.
- Zsiga, Elizabeth C. (2012) *The sounds of language: An introduction to phonetics and phonology*: John Wiley & Sons.
- 奥出直人 (2012) 『デザイン思考と経営戦略』, NTT 出版.
- 奥出直人 (2018) 『デザイン思考とヴァリデーション』, 第 432 巻, 品質月間委員会.
- 岡本真砂夫 (2017) 「音声学に基づく, ICT を活用した小学校外国語活動での発音評価システムについて: 音声分析ソフト Praat を活用した評価と指導 (英語能力向上をめざす教育実践)」, 『Eiken bulletin = 「英検」 研究助成報告』, 第 29 巻, 66–83 頁.
- 義弘服部 (2012) 『音声学』, 朝倉日英対照言語学シリーズ / 中野弘三, 服部義弘, 西原哲雄監修, 第 2 号, 朝倉書店.
- 吉田友敬 (2005) 『言語聴覚士の音響学入門』, 海文堂出版株式会社.
- 今井邦彦 (2007) 『ファンダメンタル音声学』, ひつじ書房.
- 今井邦彦, 外池滋生, Joseph T McKim (2007) 『英語徹底口練!—発音とリスニングの力を同時に高める本』, 実務教育出版.
- 今井邦彦, 外池滋生 (2007) 「英語徹底口練」.
- 松澤喜好 (2010) 『英語耳: 発音ができるとリスニングができる』, アスキー・メディアワークス.

- 上江洲安史, ヤスフミウエズ (2017) 「音声生成における音源-フィルタ相互作用の影響に関する研究」, 博士論文, 九州大学.
- 城生佰太郎, 福盛貴弘, 斎藤純男 (2011) 『音声学基本事典』, 勉誠出版.
- 真冬北原, 圭一田嶋, 邦佳田中 (2017) 『音声学を学ぶ人のための Praat 入門』, ひつじ書房.
- 村田智士, 奥出直人 (2016) 「MirrorTone : 身体性認知を用いて我流トロンボーン奏者が豊かに響く音を生み出せるプラクティスシステムのデザイン」, 修士論文, 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科.
- 大塚貞子 (2012) 「英語発音訓練指導における音声分析ソフトウェア利用の可能性について:母音/æ/を中心に」, 『東京女子大学紀要論集』, 第62巻, 第2号, 131-156頁.
- 大塚貞子 (2014) 「フォルマント周波数値を利用した母音発音指導の可能性についての一考察」, 『東京女子大学紀要論集』, 第64巻, 第2号, 311-333頁.
- 平坂文男 (2009) 『実験音声学のための音声分析』, 関東学院大学出版会.
- 峯松信明, 富山義弘, 吉本啓, 清水克正, 中川聖一, 壇辻正剛, 牧野正三 (2003) 「英語 CALL 構築を目的とした日本人及び米国人による読み上げ英語音声データベースの構築 (< 特集 > 第二言語学習とその支援に関する教育工学研究)」, 『日本教育工学雑誌』, 第27巻, 第3号, 259-272頁.
- 羅徳安, 峯松信明 (2007) 「英語話者を対象とした日本語 CALL システムの構築と評価」, 修士論文, 東京大学大学院情報理工学系研究科.

付 録

A. Peterson and Barney による各フォルマント周波数値の比較

プロトタイプ的设计において採用した、発音トレーニングにおいて目標とするフォルマント周波数値を以下の表 A.1 に示す。データは、米語を母語とする成人男性、成人女性、子供の計 76 人のフォルマント周波数値の平均 (単位は [Hz]) をそれぞれ算出している。

表 A.1: Comparisons between men, women, and children in 10 vowels (Yavas, 2011)
Original data from (Peterson & Barney, 1952)

Vowel	Men			Women			Children		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3
i	270	2,300	3,000	300	2,800	3,300	370	3,200	3,700
ɪ	400	2,000	2,550	430	2,500	3,100	530	2,750	3,600
ɛ	530	1,850	2,500	600	2,350	3,000	700	2,600	3,550
æ	660	1,700	2,400	860	2,050	2,850	1,000	2,300	3,300
ɑ	730	1,100	2,450	850	1,200	2,800	1,030	1,350	3,200
ɔ	570	850	2,400	590	900	2,700	680	1,050	3,200
ʊ	440	1,000	2,250	470	1,150	2,700	560	1,400	3,300
u	300	850	2,250	370	950	2,650	430	1,150	3,250
ʌ	640	1,200	2,400	760	1,400	2,800	850	1,600	3,350
ɜ	490	1,350	1,700	500	1,650	1,950	560	1,650	2,150