

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

大塚 貞子

1. 研究の目的

英語音声学の授業では、英語の子音や母音の発音を調音的に矯正するが、音素としては5つの母音しか持たない日本語母語話者にとって、単母音だけで少なくとも11以上ある英語の母音¹は、聞き取りも発音も具体的に指導することが困難である。しかし学生の音声を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が可能であり（大塚・小野, 2010）、また、学生音声のスペクトログラムでフォルマント1 (F1) とフォルマント2 (F2) を検出し、周波数値をもとに、耳で聞いた評価と比較して、より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されている（大塚, 2012）。本研究の調査目的は、この母音のF1とF2の周波数値を手掛かりに学生に発音練習を行わせ、その学習効果を測定することである。すなわち、学生に英語母音の音響特性の概要とF1のF2平面図の関係を説明し、スペクトログラムにより得た各自のフォルマントの周波数値と目標値とした米語母語話者のデータとを比較させた。その際に学生は舌などの発音器官の調音位置を修正して目標値に近い母音発音を習得するべく繰り返し発音練習をした。この訓練の効果測定として、授業の初めと終わりにこの母音を含む文を読んだ学生のデータのF1とF2を比較分析した。このようなスペクトログラムによる指導及び学習が発音矯正に有効であるかを調査し、改善点を探り、効果的な発音指導法を提言することを目的としている。

2. 研究の背景

音響音声学の歴史は古く 18・9 世紀にも行われていたが、20 世紀に入り、音声可視化する方法が開発され、急激に音響の研究が進んだ（城生他、2011）。具体的には 1940 年代に開発されたサウンド・スペクトログラム装置を使って、1950 年代から 1960 年代にかけて多くの音声学的研究が行われた（Rogers, 2000）。その音響原理は、音響発生装置としての喉頭が作り出す喉頭原音が口腔内などで調音される時に、声道がフィルター及び共鳴システムとして働き、人間の音声となる音の特質を作り出すことに基づいている（Fry, 1976; ケント・リード, 1992）。スペクトログラムを用いた先駆的研究としてしばしば引用されている Peterson & Barney (1952) の研究では、米語母語話者の母音の F1 と F2 の周波数値をグラフで比較して、母語話者の母音の多様性を調べている。この F1-F2 平面グラフは口腔内の調音位置との相関が概観できることから、母音の音響記述に広く用いられてきた（Ashby & Maidment, 2007; Gimson, 2008 (Revised by Cruttenden); Ogden, 2009; Ladefoged, 2007; Ladefoged & Disner, 2012; Molholt & Hwu, 2008; Yavaş, 2011; Nolan, 2009)。中でも Ladefoged (1993) は同様なスキームを使って、音声学教育の音響の仕組みや調音の説明に应用している。ケント・リード (1992) はこの母音のフォルマント周波数値と母音調音との位置関係の図式における、F1 が舌の高低を表し、F2 が舌の前後の位置を表すという規則は、大まかではあるが多次元尺度法を用いた実験では概して正しいとして、それを証明するいくつかの研究を紹介している²。

3. 調査

3.1 参加者

英語音声学の授業を履修した女子大学生 32 名³を対象に、週 2 回の半期授業のうち、CALL 教室での音響指導及び母音発音練習 90 分を 2 回実施した。学生はコンピュータにインストールされた音声分析装置を使い、目標値を目安に発音練習をした。

3.2 調査対象の母音音素及び文

本研究においては英語の単母音のうち、「中間的」な位置の母音で、微妙な調整が難しい高舌・前方母音 /i/、低舌・前方母音 /æ/、高舌・後方母音 /ɔ/ について調査した。その他の、高舌・前方母音 /i/、中高舌・前方母音 /ɛ/、低舌・後方母音 /a/、高舌・後方母音 /u/などは、その調音場所が日本語の母音に近いことや、口腔内の調音場所をできるだけ当該の調音位置に近づけるという指導により矯正や習得が比較的容易である (Catford, 2001) と考えて調査対象から除外した。

学習の効果測定には、それぞれの音素を多く含む3つの文章⁴を訓練の前後(学期の初めと終わり)に読ませ、そのデータの中からそれぞれの母音の調音位置に近く、文脈的な影響が少ないと思われるそれぞれの2つの単語の母音を分析した。

表1 調査した音素と文

音素	単語	文
/i/	hid	Tim's s ij ster sw im s a l i ttle b i t. It keeps her f i t, s l im and t r im.
/æ/	had	Many animals inh ab it <u>A</u> frica. <u>A</u> frica has camels, giraffes, parrots, and bats.
/ɔ/	hood	Would you <u>l</u> ook for my <u>co</u> okbook? It should be <u>fu</u> ll of hints for <u>g</u> ood <u>co</u> okies and <u>p</u> udding.

4. 学習方法

4.1 フォルマント周波数値による学習法

第1回目のスペクトログラムによる発音訓練では、スペクトログラムの読み方を含む音響の仕組みと調音との関係の解説と、録音音声のスペクトログラムから F1 と F2 の周波数値を得るための操作手順の説明を行った。その後学生は CALL 教室の座席にインストールされたフリーソフトの *Speech Analyzer*⁵ を使い、その音素のみを発音してそれぞれの F1 と F2 を確認し、h_d (hid, had, hood) のパターンでもその F1 と F2 があらかじめ設定した

目標値に近づくまで練習を行った。

第2回目の訓練では、第1回同様に音素のみの練習の後、図1のように調査文の音素を含む単語（Tim's, sister, swims, little, etc.）の発音を同じように練習した。CALL教室のコンピュータや *Speech Analyzer* の操作に関しては、学生は操作法やスペクトログラムの読み方もすぐにマスターした。プリント（巻末 Appendix A 参照）による解説をもとに、隣り合う座席の中間にあるモニターに映し出された母語話者のスペクトログラム画像を見本として参照し、自分のコンピュータ画面上のスペクトログラムとの比較を行いながら練習した。具体的な操作としては、学生は自分の録音音声の広帯域サウンド・スペクトログラムのフォルマント図（図1）を見て、目的の母音部分を拡大し、カーソルで測定位置を特定して、それぞれの F1 と F2 の周波数値を得た。母音は比較的持続時間が長いから、その母音の音を聞きながら、その中でもスペクトログラムの横幅が長く続いている中心点をカーソルで挟んで F1 と F2 を得るように指導した⁶。

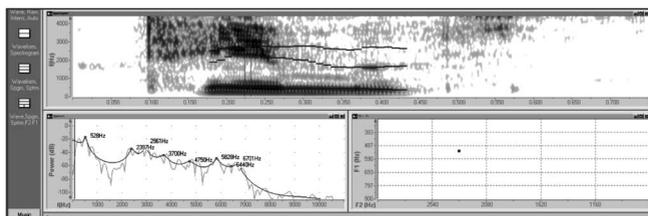


図1 学生音声訓練の単語練習：Tim's の /i/ のスペクトログラム

4.2 練習の目標値の設定

訓練の目標値を設定するには、Peterson & Barney (1952) のデータ（Appendix D 参照）から、調査対象の女性の母音の周波数値を採用した。このデータは米語母語話者（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それぞれ出している。この数値については静的な単純なモデルであるという点と「規定的なものというより、変動する値の平均値である」

(ケント・リード, 2006) ととらえる必要がある。また、Harrington (2010) は、この 50 年の間に、アメリカ英語では母音が前方化、上方化している、すなわち、より口の前の方で発音し、より上あごに近い音で発音するようになってきたことが考えられると述べている。従って、Peterson & Barney (1952) が記録した時代より、50 年以上を経た現在ではもう少し変化していると考えられる。また、母音は母語話者でも住んでいる地域、年齢、社会層などによってもフォルマント値には幅があるという報告 (Labov, 1994) などを考慮すると、実際に練習するときは、目標値としてはある程度の幅のある範囲を定める必要があると考えた。平坂 (2009) は声道の長さの差異が大きい場合は、F1 と F2 が母語話者でもオーバーラップする可能性がある場合を文献から引用して、そのための母音の正規化 (normalization) の方法を幾つか挙げている。母語話者の研究とは性質が異なるが、本研究では目標の値に幅を持たせるために、この中の Fant の正規化の式⁷を参考にして幅のある値とした (表 2)。

表 2 練習する際の目安とする目標の周波数値幅

母音	F1 の目標値 (Hz)	F2 の目標値 (Hz)
/i/	430~462	2500~3125
/æ/	860~1118	2050~2472
/u/	470~502	1150~1323

4.3 練習及び目的値に合わせた調音方法

準備段階での音響解説と操作法に基づいて、学生はそれぞれの音素の発音をして、各自の F1 と F2 の周波数値が目標とする数値幅 (表 2) に当てはまるように、調音位置関係を表す表 3 を見ながら何回も母音の発音練習を繰り返した。測定したフォルマント周波数値と舌の高低・前後の位置との関係を、図 2 を見ながら空間的にも把握した。下記にその流れをまとめる。

- (1) 母音 (/i/、/æ/、/u/) の調音位置の学習

- (2) 音響的性質の解説と IPA 母音図・各母音のフォルマントの関係（図 2）を把握
- (3) *Speech Analyzer* の操作方法とフォルマントの検出法の習得
- (4) 学習の目標値（表 2）に合わせて、表 3 の修正方法により母音発音調音位置の調整
- (5) 母音の音素とそれを含む単語の発音自己矯正

表 3 自分の音声の周波数値を目標値と比較して調音位置を修正する方法

周波数値	F1		F2	
	高い場合	低い場合	高い場合	低い場合
舌の調音位置	高くする	低くする	後ろにする	前にする

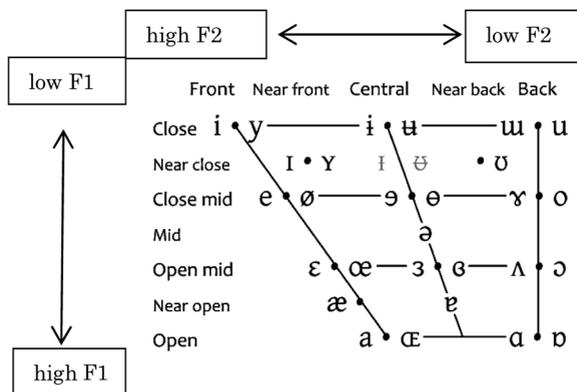


図 2 International Phonetic Alphabet (IPA より) の調音位置に筆者がフォルマントとの関係を描き込んだもの

4.4 調音位置調節の方法と指導の結果

学生に図 2 をもとにして、空間的にフォルマントと口の中の舌の位置関係を把握させ、自分の音声を調節する際に、すぐに舌の位置を前後・上下に変化させることができるように、表 3 を参考にさせた。例えば学生のスペ

クトログラムの F1 の周波数値が表 2 の米語母語話者の目標値の幅から外れて高い場合は、この表の「F1 が高い場合」を見て、「舌を高くする」を実践する。更に、CALL 教室内を巡回して、この表を見ながら練習してもなかなか自分の F1 と F2 の周波数値が目標値の幅に収まらない学生には、個別に舌の位置を動かすように指導を行った。その結果、一つの音素ごとに発音練習させた第 1 回授業における、目標値をもとに舌の位置を再調整して F1 と F2 の値を出すという手続きでは、全員が目標値の範囲内の「正しい」発音を達成することができた。第 2 回目の授業では表 1 の文に含まれる母音の単語についても練習を行い、これも何度か試みた結果、最終的に全員目標値の範囲に収まった。

5. 学習効果の分析方法

5.1 学生の発音の F1 と F2 周波数値の検出

訓練前と後に録音した 3 つの文の音素分析にはフリーソフトの *Praat*⁸ を用いた。*Praat* は複数のウィンドウが何層にもなる不便さはあるが、分析に必要な部分の拡大、音の再生、切り取り、F1 と F2 の検出などを繰り返し行う手順が簡単である。どの場所で F1 と F2 を検出するかについては、学生指導で行ったのと同様に画面上でその母音音素の部分のスペクトログラムを拡大して母音の音を聞きながら、最も安定した中間部分を切り取った。Harrington (2010) も、「入りわたり」、「出わたり」のないフォルマントの *steady-state* である場所、つまりフォルマントの軌跡が殆ど変化しない場所を探って、その中で第 1 フォルマントの周波数値が一番高い点を、その音素のミッドポイントとすると誤差が少ないという手順を紹介している。本研究でも、図 3 のようにスペクトログラムの時間軸を伸ばして、第 1 フォルマントの高い点を選び、フォルマントが濃い場所で、かつ「わたり」の影響のない一番安定したポイントを探して手動で F1 と F2 を検出した。

調査対象の母音 /i/ は *Tim* と *sister*、/æ/ は *inhabit* と *bats*、/o/ は *would* と *full* について分析した。このようにして得た学生の訓練前と訓練後の回収

音声の F1 と F2 の周波数値を巻末 Appendix B, C に示す。

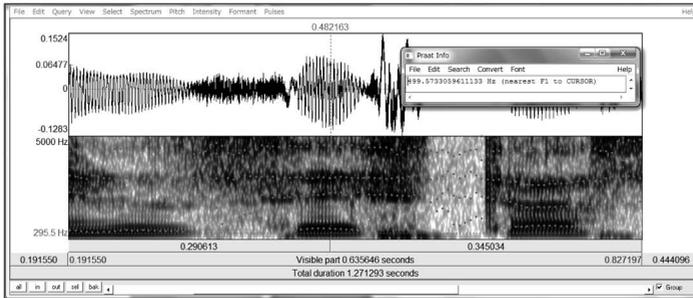


図3 Praatによる訓練後の学生音声スペクトログラム (Tim's sister...) の sister 部分を拡大したもの。/l/ 音の F1 周波数値を検出した Window

5.2 分析

統計分析⁹には二変量の分散図とヒストグラムを使用して考察を行った。前述のように F1 と F2 のスキームは、X 軸に F2 を、Y 軸に F1 をとり、母音調音図 (図2) のような位置と重ね合わせて見る事ができる。縦軸と横軸の目盛数値を反転して、比較のために最大値、最小値を同じ尺度にしたものである。この二変量の分布図において、学生の口腔内の舌の調音位置が目標値と比較して高いか低い、前方か後方であるかについて、訓練前と訓練後を比較して、訓練の成果が上がったかどうかを調べた。学生の発音の周波数値は白丸で示し、黒丸で女性米語母語話者の周波数値 (Peterson & Barney, 1952) を示した。練習の時は幅のある数値としたが、グラフ上では比較のために F1 と F2 の値そのものを表示した。それぞれのグラフには 90% の正規楕円を描き、学生の発音のパラつき具合を比較した。また、学生全体の訓練前と訓練後の F1、F2 の周波数値の平均値 (表4) と目標値幅を比較して、全体としてどのように変化したかをも検討した。

一変量のヒストグラムでは数値ごとのグループ分布を調べ、訓練後の F1、F2 それぞれの一つの分布内の目標値から外れた数値が訓練後はどのように

変化したかを調査した。

表 4 学生の母音 (/i/, /æ/, /ɔ/) の F1、F2 の訓練前 (May) と訓練後 (July) の周波数値の平均 (Hz)

	Tim F1 May	Tim F1 July	Tim F2 May	Tim F2 July	sister F1 May	sister F1 July	sister F2 May	sister F2 July
平均	515.46	498.15	2441.12	2514.65	451.93	459.81	2368.56	2348.46
標準 偏差	102.66	79.74	242.74	215.60	64.36	29.54	173.35	154.16
	inhabit F1 May	inhabit F1 July	inhabit F2 May	inhabit F2 July	bats F1 May	bats F1 July	bats F2 May	bats F2 July
平均	790.81	872.09	1746.40	1742.03	842.21	858.03	1632.93	1666.06
標準 偏差	191.29	129.85	257.20	293.94	122.46	89.93	261.66	250.89
	would f1 May	would f1 July	would f2 May	would f2 July	full f1 May	full f1 July	full f2 May	full f2 July
平均	397.18	420.09	1643.75	2090.0	457.25	470.87	1314.62	1296.65
標準 偏差	52.89	53.66	240.82	2090.0	52.86	60.60	264.92	249.03

6. 考察

6.1 /i/ の音 (Tim と sister) についての訓練前と訓練後の比較

二変量のグラフである F1-F2 平面図の縦軸 (F1) 上の数値の低いものは上あごに近く、高いものは下あごに近く、横軸 (F2) の数値の高いものは口の前の方で、低いものは奥の方で発音されたものとして見る事ができる。図 4 の Tim の /i/ の音の F1 と F2 の分布図を口腔内の舌の調音位置として見ると、訓練前のグラフには、黒丸の米語母語話者の値と比べて、大部分の白丸の F1 の周波数値は下方にある。ということは学生の周波数値が高く、従って大部分の学生の舌の位置は低いということになる。また F2 の周波数値はやや低い方によっているので、舌の位置がやや後ろよりの学生が多くいることがわかる。右の訓練後のグラフでは 90% の二変量正規楕円が 5 月と比べて、やや小さく細くなっているため、目標値である黒丸に近づいて

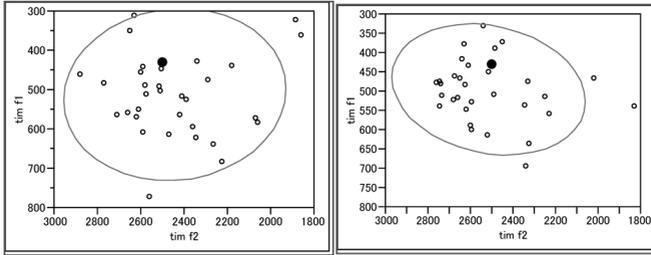


図4 Tim の F1 と F2 の二変量の関係：訓練前（左）と訓練後（右）

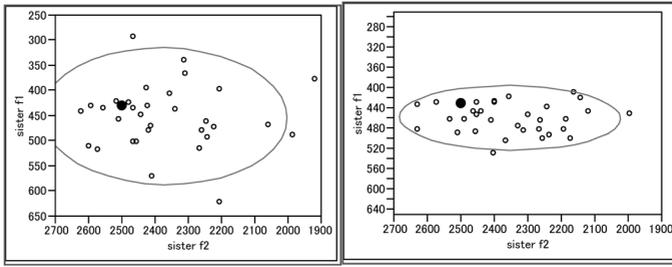


図5 sister の F1 と F2 の二変量の関係：訓練前（左）と訓練後（右）

いることが分かる。図5の sister の訓練前と訓練後を比較してみると楕円の幅がさらに狭まり、F1 に関してはかなり修正された、すなわち舌の高さは非常に良くなったと見て良いであろう。しかし F2 に関しては幅が狭まっているものの、やや改良されたのみで、目標値より低い値が多く、舌の位置が後ろよりであることがわかる。

表4の訓練前の平均値で見ると Tim の場合 F1 が 515 Hz、F2 が 2441 Hz、訓練後は F1 が 498 Hz、F2 が 2514 Hz なので、F1 も F2 も設定した目標の値（表2）に近いかもしれない。図6のヒストグラムで見ると、訓練前の方は F1 も F2 も大きく外れた値はない。訓練後の F1 は 400 Hz から 500 Hz の棒グラフのあたりに、より集まっているので、全体として見ると改善していることがわかる。また F1 の訓練前の外れ値 700 Hz から 800 Hz の分布をクリックするとその学生が

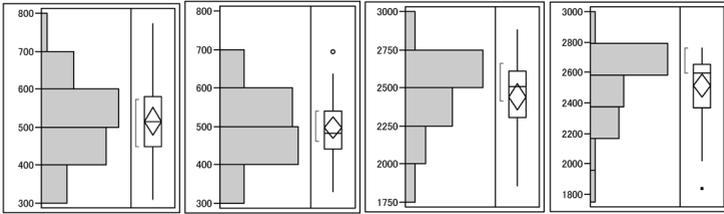


図6 左から Tim F1 訓練前、Tim F1 訓練後、Tim F2 訓練前、Tim F2 訓練後のヒストグラム

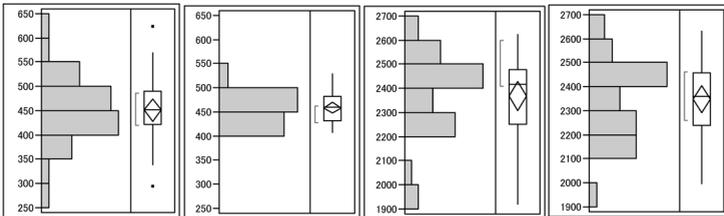


図7 左から sister F1 訓練前、sister F1 訓練後、sister F2 訓練前、sister F2 訓練後のヒストグラム

訓練後には 300 Hz から 400 Hz のグラフに入って、周波数値は低くなり、調音位置を上げて修正していることもわかる。F2 に関しては訓練前には 2500 Hz から 2750 Hz の分布が多かったものが、訓練後には 2600 Hz から 2800 Hz へと移って、より目標値に近づいている。研究の背景で述べたように英語母語話者の母音がより前方で発音する傾向になりつつあることから、この値が高いことはより現実的な目標の発音に近づいていると考えられる。

sister については、表 4 の平均値をみると、訓練前の F1 周波数値は 452 Hz、F2 は 2369 Hz、訓練後の F1、450 Hz と F2、2348 Hz となっていて、表 2 の目標値と比べてみると、F1 は幅内に当てはまっているが F2 の値はやや低めである。しかし図 7 のヒストグラムで個別に調べてみると、F1 に関しては訓練後には、下限値は 400 Hz と上限値は 550 Hz になり、大部分の学生が舌の高さに関してはうまく調整できていると言える。しかし、F2 は

訓練後には訓練前よりも 2500 Hz 以下の学生が多く、目標値と比較して舌の位置が後ろよりであることがわかる。大塚・小野（2010）には /i/ の音は、日本語の影響で /i/ に近く発音される傾向にあるという考察があるが、ここでは逆に /i/ の F2 の値（Peterson & Barney（1952）の女性 F2 周波数値：2800 Hz）から遠ざかって、むしろ /ɛ/ の値（同じく：2350 Hz）に近いことがわかる。意識して変えようとして、過剰修正して、第二言語習得の過程で見られる一種の「ハイパーコレクション」（Ellis, 1994; Bussman, 1996）となっていることが考えられる。スペクトログラムを利用した発音訓練では実現できたが、実際にセンテンスを読んだ時は、その都度目標値を見ながらサウンド・スペクトログラムで確認しているわけではないので、手探り状態で舌を動かしていることが結果に表れている。もう少し練習が必要ではあるが、全体的に見て改善されたと考えられる。

6.2 /æ/ の音（inhabit と bats）についての訓練前と訓練後の比較

訓練前の inhabit の /æ/ の音では図 8 の二変量分布を見ると F1 は目標値を挟んで上下に分散しているのが、舌の位置が高すぎたり、低すぎたりしている傾向の学生がかなりいるということ、また、F2 に関しては全体的に周波数値が低いので、舌が「後ろ」よりであることがわかる。訓練後は 90% の正規楕円でわかるように、訓練前と比べると細長くなっていることから、F1 の拡散が少なくなって改善しているが、F2 についてはあまり変化がない。

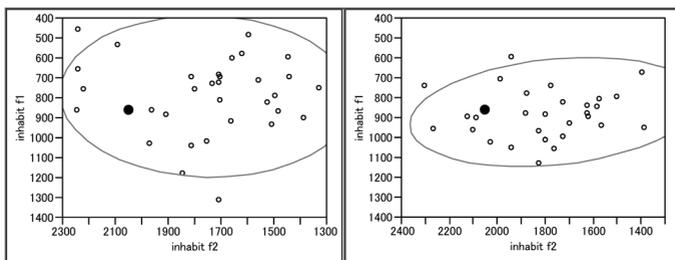


図 8 inhabit の F1 と F2 の二変量の関係：訓練前（左）と訓練後（右）

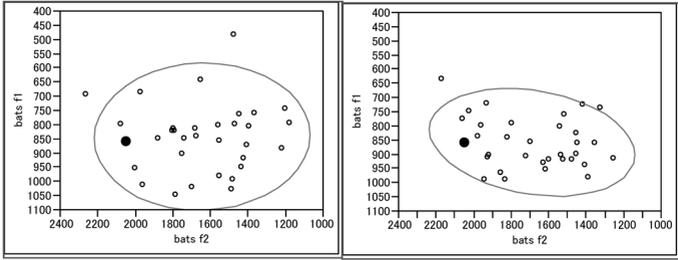


図9 bats のF1とF2の二変量の関係：訓練前（左）と訓練後（右）

図9のbatsについては、訓練前のF1は目標よりやや高い値が多いのとF2については低い値がかなり多いので、舌がやや低めで、後ろにあることが示されている。訓練後のF1は、訓練前の楕円と比較して、やや黒丸を中心に引き締まってその拡散が少なくなり、F1は改善されていることがわかる。F2は訓練前と同様に低めの傾向にあるので、舌がやや低く、後ろ寄りであり、改善はほんの僅かである。

表4によるとinhabitの訓練前の平均のF1値は790 Hz、F2値は1746 Hz、訓練後のF1値は872 Hz、F2値は1742 Hzとなっている。目標値と比べてみると訓練後にF1は目標の範囲内に収まったが、F2は殆ど同じ値である。すなわち舌が後ろよりのままであることを示している。図10のヒストグラムを見ると、訓練後は訓練前よりF1に関しては800 Hz~900 Hzを中心にとまどまって分布しているので大部分の学生が舌の高さについてはかなり改善されたと言える。しかしF2については練習の結果、目標値の幅2050 Hz~2472 Hzに6人はいるものの、全体としてはやはり舌の位置が後ろにある。

表4 batsの平均値では、訓練前のF1は842 Hz、F2は1633 Hz、訓練後のF1は858 Hz、F2は1666 Hzで、目標値と比べてF1は良いが、F2はinhabitよりも低く、従って舌がさらに後ろよりであることが示されている。図11のヒストグラムを見ると、F1に関して、訓練後は訓練前と比べて全体の分布が800 Hz以上にとまどまっているが、一方F2の分布の拡がり小さくなっているものの、2000 Hz以下の学生は多く、舌の位置が依然として後

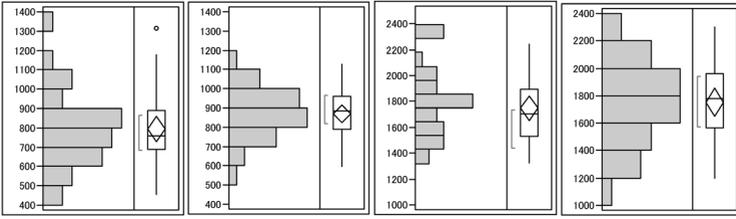


図 10 左から inhabit F1 訓練前、inhabit F1 訓練後、inhabit F2 訓練前、inhabit F2 訓練後のヒストグラム

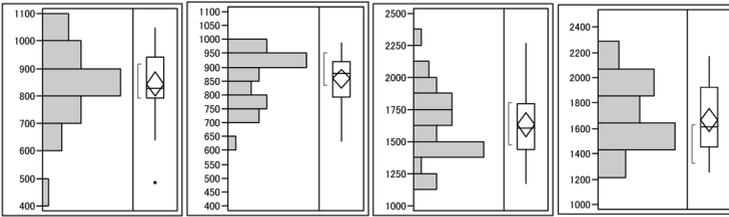


図 11 左から bats F1 訓練前、bats F1 訓練後、bats F2 訓練前、bats F2 訓練後のヒストグラム

ろよりであることがわかる。大塚（2012）で日本人学生は /æ/ の音を、日本語の「ア」の影響から、/ʌ/ の音に近い発音で代用されている傾向があると報告されている。本研究でも同様の傾向が示され、Peterson & Barney（1952）の /ʌ/ の女性 F2 周波数値：1400 Hz に近づいている。練習にもかかわらず、この /æ/ の音素では舌の前後の位置の矯正はかなり難しいことがわかった。母語話者の発音の前方化を考慮すると、この母音に関しては学生の舌の位置は母語話者と比べてかなり後ろで発音をしていると言える。/æ/ の音素だけ、またはそれを含む単語を発音して、目標値を見ながらスペクトログラムを見て試行錯誤の訓練をした時は、目標値の幅に近い発音が習得できたが、文の中で出てくると、他の音素や超分節の要素などに気をとられて、無意識には直すことができない。また、改善の努力をしていることが、グラフからも読み取れない。これはこれまでの英語学習の過程で身に付いたと思われる、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

とを示している。母国語の転移として化石化 (fossilization) (Ellis, 1994; Malmkjær, 2010) となっているのか、もしくは 90 分 2 回の指導では学習量が少なく、より音響的な指導と練習をすれば改善するのか、今後さらに検討して見極める必要がある。

6.3 /ʊ/ の音 (would と full) についての訓練前と訓練後の比較

would の /ʊ/ の音 (図 12) を訓練前と訓練後で比較してみると、90%の楕円により拡散の具合は殆ど変わらないように見える。黒丸のターゲット値 F1 の値がやや低く、F2 の値は殆どの学生が高い。つまり舌の位置が前方であることになるが、この /ʊ/ という音の判定には前述の 2 つの母音とは違って、舌の高低、前後だけでなく、もう一つの要因である円唇が加わる。Ladefoged & Disner (2012) や Johnson (2012) によると口腔内を筒型の共鳴

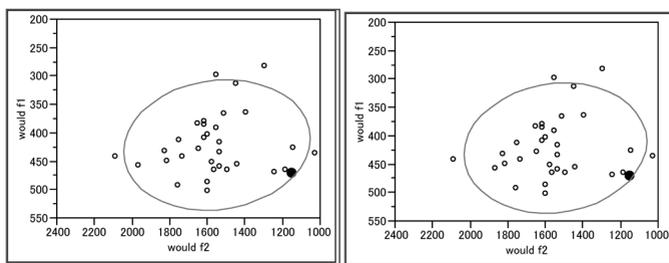


図 12 would の F1 と F2 の二変量の関係: 訓練前 (左) と訓練後 (右)

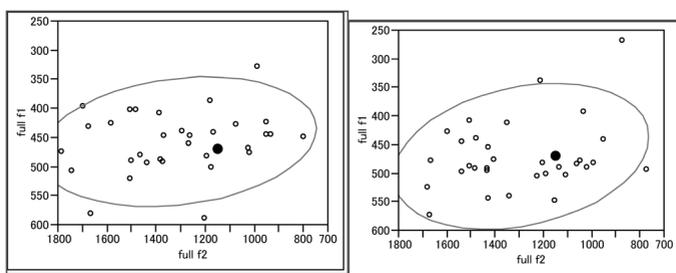


図 13 full の F1 と F2 の二変量の関係: 訓練前 (左) と訓練後 (右)

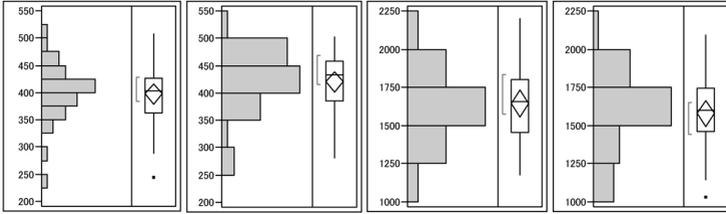


図 14 左から would F1 訓練前、would F1 訓練後、would F2 訓練前、would F2 訓練後のヒストグラム

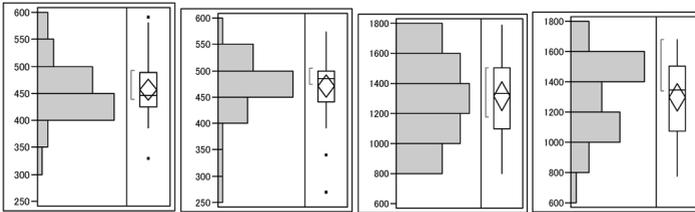


図 15 左から full F1 訓練前、full F1 訓練後、full F2 訓練前、full F2 訓練後のヒストグラム

装置と考えれば、円唇によって喉の奥から口先までの距離が伸び、従って F2 が低くなるという。would の結果をみると、ほとんどの学生の F2 が高く、舌の位置が前であり、唇の丸めを伴っていないという結果になっている。/u/ の音だけでなくその前の音である would (/wóud/) の/w/ もやはり円唇をしないで発音していることになる。一方 full (図 13) は、F1 も F2 も目標値である黒丸の位置がやや中央に寄っているの、would よりは目標値に近いことがわかる。しかし訓練後には目標値を中心に同じような広がりを示していて、あまり改善されていない。

平均値で調べてみると、would は目標値 (表 2) と比べて、F1 の訓練前平均値 398 Hz、訓練後 420 Hz では、訓練後がやや高くなり、目標に近づいて改善されている。F2 では、訓練前 1644 Hz、訓練後 1578 Hz と低くなり、これも僅かであるが改善されていることがわかる。図 14 のヒストグラムで見ると、訓練後の F1 では全体に高めの方向に移っているが、F2 ではあ

まり変わっていないが、高めの学生がやや減って、目標値あたりの学生がやや増えていて、改善の試みが見える。full の F1 平均値（訓練前：457 Hz, 訓練後：471 Hz）、F2 平均値（訓練前：1315 Hz, 訓練後：1297 Hz）で、目標値と比べて見ると、F1 は改善され、F2 も僅かながら修正されていると言える。would と比べると full の方が F1 も F2 も低くなり、全体としては目標値に近くなっているため学習効果はあったと見てよいだろう。図 15 のヒストグラムを見ると、F1 は全体に中央に固まっていて、舌の高さに関しては問題がないが、F2 を見ると、訓練後はバラつきがあり、これも過剰修正のためか、800 Hz 以下の学生も見られることから、唇の丸めや舌の前後の位置を探って努力していることが見られる。

7. まとめ

英語音声学の授業で、学生は /i/、/æ/、/u/ の母音発音の F1 と F2 周波数値を米語母語話者の平均数値と比べながら、発音練習した。この 2 回の練習の授業を間に挟んで学期の初めと終わりに、その学習効果を確認するための文章を読ませて、その音声を回収して測定し、指導法と学習効果について考察した。

その結果、/i/、/æ/、/u/ のそれぞれの F1 については改善が観察されたが、F2 に関して結果は均一ではなかった。すなわち学生は舌の高低については改善できるが、全体的に見ると舌の前後の微妙な位置を修正することが困難であるということが示された。/i/ の音の F2 では目標値を達成でき、/u/ の音の F2 では僅かであるが改善が見られたことと、舌の位置を動かして調整している様子も見られた。しかし、/æ/ の音については、舌の前後の位置がかなり後ろのままであった。スペクトログラムを用いた音素・単語の練習では実現できた音が、文中での /æ/ の発音の際には、舌の前後の位置が目標値から外れて発音している上に、改善の様子が見られていない。すなわち当該母音の音素を単独では作ることができるが、無意識にいつもその音が出せるという「定着」が難しい。この点に関して、今後、調音授業でもこの結果を

活かして、今回矯正が難しかった音素は特にその矯正指導により力を入れる必要がある。具体的に調音指導をする場合にも舌の高低はアゴの上げ下げで調節できるが、舌の前後の位置を自覚的に動かす練習を工夫してみたい。

個別の二変量変化のグラフでは、学生の発音の傾向を全体として把握することができるが、ヒストグラムでは訓練前の時は正規分布であったグラフが、訓練後ではかなりバラつきが見られたり、外れ値の分布に該当した学生は、訓練後には目標値の範囲の分布場所に移動していたり、訓練前には目標値に近い発音をしていたのに訓練後には外れた値に移っていたりしている。訓練の結果、学生は母音調音位置を調整するために努めて舌を動かして改善の試みを行っていることが推察された。今後は今回のスペクトログラフ指導と学習の量を増やし、より効果的な母音指導法を探り、学生の発音改善に役立てたい。定着するための指導法としては、ただ量を増やすだけでなく、90分の訓練を2回行うよりは、より短時間の訓練を毎回の授業で行うような方法を考えてみたい。

¹ 例えば、Jones, D & Gimson, A. C. (1988). *Daniel Jones Everyman's English*. London: Dent. では RP (Received Pronunciation) の 13 vowels を、Pullum, G. k. & Ladusaw, W. A. (1986). *Phonetic Symbol Guide*. Chicago: University Chicago Press. では 15 American Usage Vowel Symbols を、Kenyon, J. S. & Knott, T. (1953). *A Pronunciation Dictionary of American English*. Springfield: Merriam Webster. では 15 の母音を、Prator Jr., C. H. & Robinett, B. W. (1985). *Manual of American English Pronunciation*. New York: Harcourt Brace Jovanovich. では 11 の単母音を示している。

² ケント・リード (1992) によれば、F1・F2 の単純ターゲットモデルの問題がある研究もあるとしているが、Fox (1983), Rakerd & Verbrugge (1985) などの多次元尺度法を用いた実験ではこの規則が概して正しいことを証明しているとしている。

³ 東京女子大学の選択科目である英語音声学授業の1年から4年生までの学生の協力を得て、学習とデータ収集を行った。

⁴ Dale, P., & Poms, L. (2005). *English Pronunciation Made Simple*. New York: Longman. より採用。

⁵ *Speech Analyzer* は音響分析フリーソフトとして、SIL (Summer Institute of Linguistics) が提供しているインターネット上のサイト <http://www.sil.org/computing/sa/> で入手できる。

⁶ スペクトログラフから当該音素の切り取りの特定が難しい場合は、音声を聞きながら必要な場所以外を切り取って拡張してから、場所を特定させた。

⁷ Fant の正規化の式: $K=100 \times ((F \text{ female} \div F \text{ male}) - 1)$ (%) (Fant, 1973, p. 45)

⁸ Praat はアムステルダム大学の Paul Boersma 氏と David Weenink 氏によって開発された音響分析のフリーソフトで、<http://www.fon.hum.uva.nl/praat/> で入手できる。

⁹ JMP6 日本語版を用いて分析を行った。

参考文献

- 新井隆行・菅原勉監訳 (2004). 『音声の音響分析』レイ・D・ケント／チャールズ・リード著 (*The Acoustic Analysis of Speech* by Ray D. Kent and Charles Read: 1992) Kaibundo.
- Ashby, M and Maidment, J. (2007). *Introducing Phonetic Science*. New York: Cambridge University Press.
- Catford, J. C. (1977). *Fundamental Problems in Phonetics*. Edinburgh: Edinburgh University Press.
- Catford, J. C. (2001). *A Practical Introduction to Phonetics* (2nd ed.). Oxford: Oxford University Press.
- Cruttenden, A. (Rev.) (2008). *Gimson's Pronunciation of English*. London: Hodder Education.
- Ellis, R. (1994). *The Study of Second language Acquisition*. Oxford: Oxford University Press.
- Fant, G. (1973). *Speech Sounds and Features*, Massachusetts, The MIT Press.
- 藤村靖 (2007). 『音声科学原論—言語の本質を考える』岩波書店.
- Fry, D. B. (Ed.) (1976). *Acoustic Phonetics: A course of basic readings*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Harrington, J. (2010). *Phonetic Analysis of Speech Corpora*. Malden: Wiley-Blackwell.
- 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.
- 城生伯太郎・副盛貴弘・斉藤純男編著 (2011). 『音声学基本事典』勉誠出版.
- Ladefoged, P. (1993). *A Course in Phonetics* (3rd ed.). Orlando: Harcourt Brace Jovanovich College Publishers.
- Ladefoged, P. (2003). *Phonetic Data Analysis: An introduction to fieldwork and instrumental techniques*. Malden: Blackwell Publishing.
- Ladefoged, P. & Disner, S. F. (2012). *Vowels and Consonants* (3rd ed.). Malden: Wiley-Blackwell.
- Malmkjær, K. (Ed.) (2010). *The Routledge Linguistic encyclopedia*. 3rd ed. New York: Routledge.
- Molholt, G & Hwu, F. (2008). Visualization of speech patterns for language learning. In V. M. Holland & F.P. Fisher (Eds.), *The path of speech technologies in computer assisted language learning: from research toward practice* (pp. 91–122). New York: Routledge.
- Ogden, R. (2009). *An Introduction to English Phonetics*. Edinburgh: Edinburgh University Press.
- Peterson, G.E. & Barney, H.L. (1952). Control method used in a study of the vowels. *Journal of the Acoustic Society of America*. 24. 157–84.
- Rogers, H. (2000). *The Sound of Language: An introduction to phonetics*. Edinburgh: Pearson Education Limited.

- Trauth, G.P. & Kazzazi, K. (1996). *Routledge Dictionary of Language and Linguistics* by Hadumod Bussman. London: Routledge.
- Yavaş, M. (2011). *Applied English Phonology* (2nd ed.). Malden: Wiley-Blackwell.

Appendices

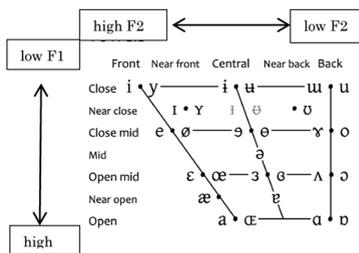
Appendix A:

音響音声学に基づいた母音の訓練用プリント

1. 学習する母音と単語とそれを含む文

音素	単語	文
/ɪ/	hid	Tj'm's s'jstə sw'jms ə l'ltl b'jt. It ke'ps hɜ' f'jt. sl'jm ənd tr'j:m.
/æ/	had	Məni 'ænj'mls 'nhæb'ɪt 'æfr'kə. 'æfr'kə hæs kə'məls, dʒ'ɪf'fəs, pə'rəʊts, ənd b'æts.
/ʊ/	hood	'Wʊld ju:l'k f'ɔ:m' kʊk'bu:k? It 'shʊld bi: f'ʊl' əv h'ɪnts f'ɔ: 'gʊd kʊk'is ənd p'ʊd'ɪŋ.

2. フォルマント 1 (F1) とフォルマント 2 (F2) と舌の調音位置の関係



(International Phonetic Alphabet に加筆)

3. 目標とする周波数値

Peterson & Barney (1952) の米語母語話者の平均値を基にして作成

練習する際の目安とする目標の周波数値の幅

母音	F1 の目標値 (Hz)	F2 の目標値 (HZ)
/ɪ/	430~462	2500~3125
/æ/	860~1118	2050~2472
/ʊ/	470~502	1150~1323

4. 舌の位置の修正法

自分の音声の周波数値を目標値と比較して調音位置を修正する方法

	F1		F2	
周波数値	高い場合	低い場合	高い場合	低い場合
舌の調音位置	高くする	低くする	後ろにする	前にする

Appendix B

訓練前の F1 と F2 の周波数値 (Hz)

	Tim	tim	sister	sister	inhabit	inhabit	bats	bats	would	would	full	Full
	f1	f2	f1	f2	f1	f2	f1	f2	f1	f2	f1	f2
1	549	2608	501	2457	1313	1708	798	1474	463	1704	487	1385
2	490	2580	431	2593	757	2221	820	1794	396	1615	468	1024
3	518	2410	514	2267	655	2242	812	1685	359	1371	327	989
4	439	2180	377	1919	456	2243	641	1654	389	1707	402	1505
5	558	2662	423	2480	823	1524	872	1411	375	1225	424	952
6	512	2576	500	2467	867	1482	839	1676	454	1598	580	1668
7	456	2598	448	2444	481	1597	762	1449	403	1851	396	1698
8	524	2389	396	2208	751	1329	806	1397	459	1986	481	1195
9	582	2059	470	2412	916	1663	978	1556	428	1721	431	1678
10	482	2770	394	2428	861	2244	846	1878	426	1280	475	1023
11	572	2071	516	2575	710	1560	811	1800	336	1999	445	933
12	564	2711	509	2600	812	1705	1018	1699	419	1177	492	1373
13	613	2469	570	2411	787	1497	801	1561	507	1822	589	1203
14	322	1884	405	2358	695	1813	854	1552	403	1439	460	1267
15	621	2343	479	2261	1029	1972	954	2005	412	1447	426	1074
16	474	2292	473	2222	534	2091	743	1207	475	1576	441	1166
17	442	2590	441	2622	931	1508	917	1428	407	1712	425	1584
18	607	2590	478	2420	694	1441	990	1485	395	1675	445	950
19	502	2512	420	2516	600	1658	792	1178	408	2202	474	1788
20	311	2629	338	2312	1016	1753	949	1438	242	1646	401	1483
21	565	2418	622	2207	594	1446	756	1366	417	1833	507	1746
22	682	2224	487	1988	1179	1845	1027	1488	439	1372	501	1178
23	360	1859	434	2558	1037	1811	1046	1788	383	1349	493	1437
24	351	2648	292	2467	696	1703	884	1221	330	1591	407	1386
25	491	2515	434	2467	859	1962	693	2264	407	1751	446	1262
26	427	2341	365	2311	730	1735	682	1973	358	2060	448	800
27	448	2506	492	2242	899	1386	847	1742	403	1646	386	1182
28	460	2879	457	2509	684	1710	903	1755	288	1569	480	1465
29	639	2264	462	2248	755	1798	819	1805	356	1832	489	1502
30	771	2561	436	2340	578	1620	483	1481	392	1673	446	1369
31	594	2360	468	2060	724	1708	1011	1964	425	1704	521	1506
32	569	2618	430	2425	883	1910	797	2080	356	1467	439	1297

Appendix C

訓練後の F1 と F2 の周波数値 (Hz)

	tim	Tim	sister	sister	inhabit	inhabit	bats	bats	would	would	full	full
	f1	f2	f1	f2	f1	f2	f1	f2	f1	f2	f1	f2
1	601	2595	445	2439	902	2087	919	1603	298	1556	492	1435
2	468	2021	475	2330	738	2303	790	1798	411	1751	496	1538
3	432	2612	463	2410	897	2127	857	1356	366	1512	268	874
4	430	2506	449	1997	955	2265	836	1980	502	1601	491	1485
5	449	2517	461	2532	837	1625	902	1536	465	1566	501	1191
6	589	2601	528	2403	797	1500	717	1934	455	1441	573	1673
7	480	2738	425	2400	842	1583	898	1456	432	1828	408	1508

8	389	2484	408	2165	1024	2027	911	1928	364	1399	494	773
9	540	2747	482	2266	734	1239	723	1420	433	1536	427	1599
10	510	2734	499	2258	936	1282	917	1479	465	1498	484	1062
11	416	2638	452	2299	778	1876	795	1961	465	1184	490	1020
12	479	2762	486	2458	995	1724	919	1524	415	1538	540	1340
13	522	2680	433	2630	803	1574	758	1518	457	1868	440	950
14	695	2340	463	2264	739	1778	854	1702	282	1298	411	1353
15	548	2619	504	2367	963	2100	633	2170	426	1148	481	995
16	476	2329	419	2143	597	1940	799	1543	486	1601	489	1137
17	482	2626	480	2629	896	1620	913	1259	428	1646	487	1506
18	515	2248	437	2242	821	1727	858	1447	312	1449	338	1213
19	529	2593	446	2462	941	1564	736	1324	448	1616	478	1669
20	475	2747	427	2452	674	1398	841	1821	391	1557	481	1203
21	518	2658	460	2186	950	1388	938	1411	384	1616	547	1153
22	539	1830	493	2237	884	1798	986	1832	458	1539	505	1227
23	378	2629	488	2509	1011	1800	988	1944	435	1027	503	1108
24	462	2673	427	2400	964	1826	978	1388	378	1619	392	1033
25	330	2538	428	2572	879	1880	965	1860	402	1599	544	1431
26	557	2231	445	2119	876	1490	745	2026	442	2090	454	1429
27	509	2489	460	2489	1057	1763	927	1628	383	1653	438	1480
28	467	2649	416	2356	1049	1940	822	1456	409	1618	444	1539
29	635	2323	481	2194	707	1989	775	2059	442	1733	475	1405
30	371	2449	453	2454	608	1203	951	1621	450	1796	495	1435
31	536	2343	498	2175	925	1701	905	1721	491	1760	524	1679
32	614	2520	483	2314	1128	1828	901	1920	468	1246	478	1050

Appendix D

Formant data comparison between men, women and children in 10 vowels

Yavaş (2011) より (Original data from Peterson & Barney, 1952)

Vowel	Men			Women			Children		
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₁	F ₂	F ₃	F ₁	F ₂	F ₃
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
ε	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
o	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
ɚ	490	1,350	1,700	500	1,650	1,950	560	1,650	2,150

キーワード

スペクトログラム、フォルマント、母音発音訓練、英語音声学、CALL