

超音波断層撮像を用いた第二言語発音指導に向けて —フランス語母音 /i y u/ を対象として—

Towards Applications of Ultrasound Tongue Imaging in L2 Pronunciation Teaching: On the Analysis of French Vowels /i y u/

大岩昌子
Shoko OIWA

長峯貴幸
Takayuki NAGAMINE

1. はじめに

音声言語は人間の用いるコミュニケーション手段の中で最も基本的かつ効率的であることから、外国語教育においても音声に関わる「聴く」「話す」という二領域がとりわけ重要な位置づけとなる。しかしながら、音声教育の際に多用されるモデル音声のリハーサル（模倣—調音）は、学習者側の「正確に音声聞き取り、自在に調音できる能力」を前提条件に効果が発揮されるため、学習者によっては音声習得が困難となることも想像に難くない。例えば、フランス語の分節音の特徴として、調音点が英語よりも前方寄りであること、また、日本語（5母音）、スペイン語（5母音）やイタリア語（7母音）と比較して、母音（16母音、うち4鼻母音）が豊富である点が挙げられる。さらに、フランス語には円唇性の母音が多く、発音の際に緩みを伴う母音は[ə]以外にはないため、日本語と比較して、唇の筋肉を緊張させる傾向がある。こうした新しい調音特性を習得させるには、音声のリハーサルだけでなく、教授者より調音時の舌の位置、口の開口度や緊張度などの説明が必要であるが、学習者によっては適切な身体適応が難しい場合がある。そこで本研究は、学習者が感覚では把握しづらい分節音の舌の位置および形状を簡便な方法で視覚的に提示するために、「超音波断層撮像」を外国語学習の一部に利

用することを検討する。

これまで、医療現場で用いられる超音波診断装置（いわゆるエコー）は高額なため、教育現場での利用はほぼ不可能とされてきた。しかしながら現在、USBでパソコンやタブレット機器と接続可能な小型のエコーが安価に入手できるようになり、学習者ベースでの利用が現実的となってきている。この画像により、これまで学習者に説明しても実感させることの難しかった舌の位置や形状といった口腔内の状態を、リアルタイムの視覚情報として学習者にフィードバックすることが可能となり、学習者による「分節音」に関する自律的調整が期待される。本研究プロジェクトは、フランス語及び日本語母語話者によるフランス語母音の発音を、超音波診断装置を使用して記録、比較検討し、フランス語発音教育に活かすことを目的とするが、本稿ではまず、音声教育と調音様式の可視化、超音波診断装置による外国語音声教育に関する先行研究を概観したうえで、技術革新により小型化が進んだポータブルタイプの超音波診断装置及びその試行に関する報告を行う。

2. フランス語母音 /i y u/ の音響特性について

世界の言語を眺めると、日本語のように5個の母音を有する言語が最も多く21.5%を占め、3個から10個の母音を有する言語で約80%を占めるとされている (Maddieson, 1984; p. 126)。母音産出や弁別には、第1フォルマントに関係する声道の開閉度と、第2フォルマントに関係する前舌性、後舌性の度合いが関与する。これらの要因と併せて、円唇性、鼻音性などが利用される場合もある。こうした母音は調音的性質と音響的性質という重なり合う二つの性質から分類することができる (Vaissière, 2015)。フランス語の母音について、まず調音的観点から観察すると、舌の位置が主要な要因となるため、口腔内において舌が最も高くなる点が口腔の前方に位置する前舌母音と、舌全体が後方に位置する後舌母音とに分類される。舌の表面と口蓋間の狭窄部の大きさやその位置が変化することで、各母音が生成される。Carton (1974) は、フランス語の [i] [y] [u] について、前舌母音 [i] [y] と後舌母音 [u] とに分け、前舌母音の [i] を円唇、[y] を円唇とグループ化している。一般的に、前舌母

音は平唇化、後舌母音は円唇化しやすいとされるが、フランス語の [y] は、平唇化しやすい前舌母音でありながら円唇性を伴う母音であるため、学習者にとって発音が難しいと予想される。次に、音響的観点からは、前舌母音は、基本的には第2フォルマントが高くなり、第1フォルマントとの距離が大きいことで特徴づけられる。後舌円唇母音は、逆に、第1フォルマントと第2フォルマントの距離が近く、鈍い響きとなる。円唇母音と平唇母音とでは、両唇の形状により口腔前部の大きさが変わるため、声道における共鳴特性に変化が起きる。例えば、後舌円唇母音である [u] は、円唇性と後舌性の影響で口腔前部の共鳴空間が長くなり第2フォルマントの周波数が下がる。[i][y] は同じ前舌母音であるので、第1、第2フォルマントはほぼ同じであるが、第3フォルマントは、[y] が1000Hz 近く低くなる（表1参照）。これは、唇が前に突き出るため声道が長くなることが理由である。以上の [i] [y] [u] のフォルマントの特徴をまとめると、以下のようになる。

第1フォルマント：ほぼ同じ

第2フォルマント：[i] [y]（前舌性）> [u]（後舌性）

第3フォルマント：[y] [u]（円唇性）< [i]（平唇性）

一方、フランス語教育で用いられる一般的な発音教本では、[i][y][u] の唇の形や舌の位置を中心とした調音指導がなされているものの（例：阿南，1995）、特に舌の位置に関しては学習者が十分に捉えられないところである。中田・川口（2014）は、日本人フランス語の学習者の中間言語の音韻体系について、[u][y] のフォルマントを中心に観察している。第1フォルマントは、[u][y] とともに円唇性が不十分なため、母語話者より高い傾向にあり、第2フォルマントは、[u] が舌を十分に奥に引いていないため、母語話者よりも高くなり、[y] は逆に舌を十分に前に出していないため、母語話者より低くなる傾向が結果として得られている。

表 1. フランス語母語話者による [i][y][u] の第 1～第 3 フォルマントの平均値
(Georgeton et al. (2012) 表 1 より一部抜粋) (単位: Hz)

	i	y	u	出典
F1 (Hz)	306	305	311	Tubach (1989)
	348	371	404	Gendrot et Adda-Decker (2005)
	275	276	291	Georgeton et al. (2012)
F2 (Hz)	2456	2046	804	Tubach (1989)
	2365	2063	1153	Gendrot et Adda-Decker (2005)
	2585	2091	779	Georgeton et al. (2012)
F3 (Hz)	3389	2535	2485	Tubach (1989)
	3130	2745	2742	Gendrot et Adda-Decker (2005)
	3815	2579	2648	Georgeton et al. (2012)

注. F1: 第 1 フォルマント, F2: 第 2 フォルマント, F3: 第 3 フォルマント

3. 調音様式の可視化と外国語発音教育への応用

母音は、肺からの呼気が喉頭を通る際に声帯を振動させ、咽頭や口腔、鼻腔といった空間で特定の周波数帯が共鳴、増幅されることにより産出される。母音の産出に関わるこれらの器官は外部からは視認が不可能であるため、調音音声学研究ではこれまで、様々な機器の使用や工夫によって、声道や口腔内の形状や調音器官の配置等の可視化や撮像を試みてきた。初期の撮像方法としては、高橋・苦瓜 (1962) に用いられているような X 線高電圧撮影法や、国立国語研究所 (1990) に用いられている X 線マイクロビーム法が知られている。X 線マイクロビーム法は、調音器官の表面に金属球を接着し、細い X 線を照射しそれらの位置を追跡することで調音器官の位置や動態を観察するものである (本多, 2000)。しかし、この撮像手法では、放射線の照射による被験者の被曝が避けられず、人体への影響が大きく懸念されることから、X 線を用いた調音研究は一部の特殊な場合を除き現在ではほとんど用いられていない (Gick et al., 2013; Wilson, 2014)。その後、人体に悪影響を与えない磁気共鳴画像法 (magnetic resonance imaging: MRI) や磁気センサシステム (electro-magnetic articulography: EMA)、エレクトロパラトグラフィー (electropalatography: EPG) 等が調音音声学研究に利用されている。磁気共鳴

画像法(MRI)はその高い空間分解能、つまり、気管や喉頭、咽頭、口腔、鼻腔を含む声道全体を記録できることが大きな利点の一つである(前川, 2019)。磁気センサシステム(EMA)は、舌や唇といった調音器官にセンサを接着し、それらの位置や動態を磁気によって追跡する方法であり、時間分解能が高いためリアルタイムでの観察が可能である(北村, 2020)。エレクトロパタトグラフィー(EPG)は、微細な電極を埋め込んだ人工的な口蓋を被験者が装着し、舌と口蓋との接触をその電極が検知することで、舌と口蓋の接触をリアルタイムで計測することができる(藤原・山本・前川, 2008)。しかし、これらの利点の一方で、EMAの磁気センサの取り付けには時間や専門的な技術が必要とされる他、MRIによる撮像は費用が高く可搬性も低い(Wilson, 2014; 北村, 2020)。また、EPGは被験者個人にあった人工口蓋の作成が必要であり、その費用も高額である他、得られるデータは舌と口蓋の接触に関するものに限られる(Gick et al., 2013; Wilson, 2014)。したがって、これらの技術を外国語教育へ即座に応用させることは難しい。応用例の一つとしては、これらの技術を用いて収集されたデータによるコーパス(例: MOCHA-TIMIT コーパス(Wrench, 1999)やspan コーパス(Toutios, Lingala, Vaz, Kim, Esling, Keating, Gordon, Byrd, Golstein, Nayak, & Narayanan, 2016; https://sail.usc.edu/span/rtmri_ipa/))の利用が考えられる。こうしたコーパスの利用により、学習者に対して発音に関する視覚情報を提示できるものの、学習者への発音指導における即時性、つまり学習者の舌形状や状態に関してその場での指導はしづらい。そのような中、調音音声学研究では、上述の声道可視化技術に加え、超音波断層撮像(ultrasound tongue imaging: UTI)による舌の可視化が、近年注目を集めている。超音波断層撮像に用いられる機器は、医療用のいわゆる「エコー検査」で用いられる超音波診断機器であり、プローブ(またはトランスデューサー; 図1)と呼ばれる超音波発信器を下顎下部に押し当てることにより、舌の様子が観測可能となる。プローブを舌の前後方向に対して平行になるように下顎に当てることで、正中矢状面の舌の画像や映像を得ることができる(図2)。水分を多く含んだ皮膚や筋肉、脂肪といった組織と空気との境界面で超音波が反射する性質を利用することで、調音器官の可視化

を可能としている (Gick et al., 2013; 北村, 2020)。超音波断層撮像の特徴は、非侵襲的 (人体に害を及ぼさない) かつ安価であり、即時的 (リアルタイム) な観測が可能なのである。ただし、超音波は骨に吸収されるため、骨は暗い影となり観測に影響を及ぼしかねない他、可視化できる調音器官は舌のみに限られるという制約や、音声生成時に下顎が動くためプローブの固定が難しいという課題がある (Wilson, 2014; 北村, 2020)。



図1 超音波断層撮像に用いられる
プローブ



図2 正中矢状断面の観測

図2のようにプローブを下顎に押し当てて得られる正中矢状断面画像の例を図3に示す。正中矢状断面とは、体の中心 (正中) によって左右に分けた際の断面を指す。本研究で用いる機器の特性上、上下が反転した状態で画像が出力されるため、図3では上下を180°回転させている。図3の左側が口腔前方 (舌尖方向)、右側が後方 (舌根方向) であり、図中の白い曲線が舌と口腔内の空気との境界線 (つまり、舌の表面の上部) を示している。図中央下部の弓形の黒い部分が、プローブと下顎との接触面である。こうした正中矢状断面における舌の観測に加え、プローブの方向を90度転換させることにより、冠状面 (体を前後に分ける断面) における舌形状や位置の観測も容易に可能となる点もこの技法の大きな利点の1つである。英語 /r/ の舌冠状断面画像を、図4及び図5に示す。



図3 超音波断層撮像により得られる舌正中矢状断面画像の例

(第二筆者による英語 /i/ の舌形状。左側が舌尖方向を、右側が舌根方向を示す。舌形状は、図中に白い線で示されている舌と口腔内の空気の境界面により観測が可能である。)

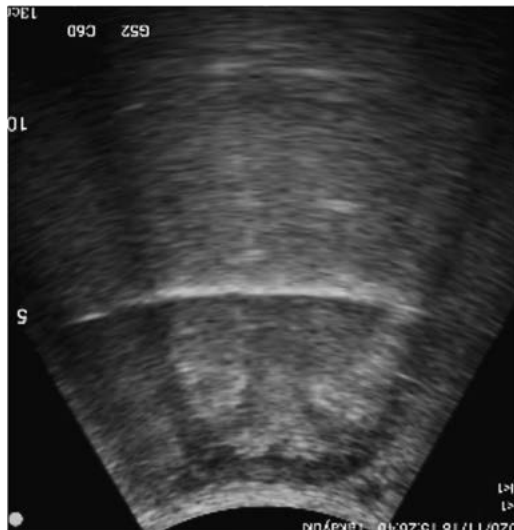


図4 英語 /r/ の舌冠状断面画像
(左右方向の舌形状を示している)

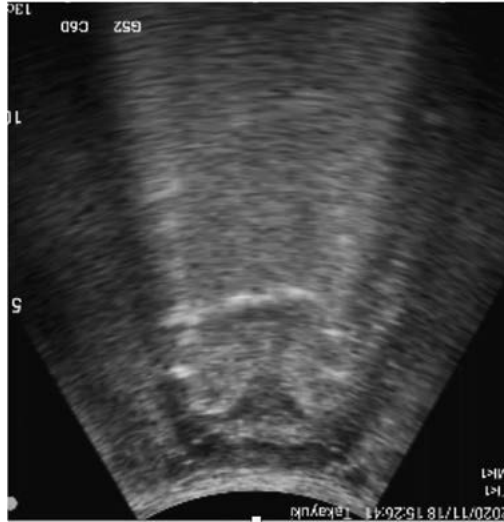


図5 英語 /r/ の舌冠状断面画像

言語音の調音に関して精緻な観測を必要とする定量的な研究においては、機種によってはフレームレートや動画・音声の同期における課題を抱えるものの、超音波断層撮像による舌形状の可視化は、外国語発音指導において大きな利点となる。例えば、日本語を母語とする英語学習者にとって知覚・産出の両面において習得が難しい子音である英語 /r/ の調音には複雑な舌形状の達成が要求される。英語 /r/ の調音様式について、その舌形状は一様ではなく (Delattre & Freeman, 1968)、口蓋や咽頭付近の狭窄や円唇化を同時に行う必要がある (Wilson, 2014)。また英語 /r/ の調音では、舌尖の歯茎部への固定と舌背の後退という2つの動作を同時に達成する必要があり、英語 /r/ 共に日本語を母語とする英語学習者にとっては習得に困難な子音である (Wilson, 2014)。こうした複雑な舌形状を伴う分節音の調音において、自身の舌の形状や状態を確認できることにより、発音に関して、より具体的なフィードバックを学習者に与えることができる。

超音波断層撮像は、母語話者に対する構音¹障害の治療や訓練の一環として多く用いられている一方で (例:加藤他, 2002)、日本語を母語とする英語話

者に対しての発音訓練の一環としてもその有効性が示唆されている。Tateishi (2013) は、日本語を母語とする英語学習者に対して英語 /l r/ の発音指導を行い、その過程で超音波断層撮像を用いたフィードバックを与えた。その結果、英語 /l/ に関しては統計的に有意な差でその調音様式に伸長がみられた。また、Gick, Bernhardt, Bacsfalvi, and Wilson (2008) では、日本語を母語とする英語学習者3名に対し、超音波断層撮像を用いた1時間の英語 /l r/ の発音訓練を行った。訓練前に実施した事前テストにおいて、参加者は英語 /l r/ の調音について、生起する音韻環境によって正確性に個人差が見られたものの、訓練後の事後テストでは、それぞれの苦手としていた英語 /l r/ の調音の正確性が向上した。日本語母語話者以外を対象とした発音指導でも、White, Ganathan, and Mok (2017) が、広東語を母語とする英語学習者に対する英語 /l/ 発音指導において、超音波断層撮像によるフィードバックが有効であったと報告している。

超音波断層撮像を用いた発音訓練の有効性は、フランス語母音 /u y/ の発音指導においても示されている。Antolík, Pillot-Loiseau, and Kamiyama (2019) では、日本語を母語とするフランス語学習者に対し45分間の発音訓練を3度にわたって実施したところ、特に日本語 [u] とフランス語 /u/ との区別について正確性が向上した他、その効果は長期的であり、訓練終了後2ヶ月間にわたって伸長が継続したとされている。他にも、主にオーストラリア英語母語話者を対象とした Inceoglu and Gnevsheva (2020) も同様の結果を報告しているが、音声学実験室ではなく、実際の語学授業の一環として教室に超音波診断装置を持ち込んで研究が実施されたという点で興味深い。ここでは、プローブの固定が難しい教室環境においても超音波断層撮像によるフィードバックは有効であることが示唆された上、学習者は、自身の舌の形状に関して視覚的・直接的に把握することができるという点で、超音波撮像断層法を取り入れた発音訓練について高く評価している。一方で、時間や設備、人的資源の面で制約を受ける教室環境では、プローブを下顎に押し当てる際に塗布されるジェルの拭き取りやプローブの消毒作業の煩雑であることや、1台の機器では学習者1名のみに対する指導となり、他の学習者に対する指示を適切に

与える必要があることなどの実用面での課題が指摘されている。

教室環境における超音波断層撮像を用いた発音指導には、主に実用面において課題は残るものの、その可搬性や準備の簡便性、そして画像解釈の容易性から、磁気共鳴画像法をはじめとする他の調音可視化の手法や、音響情報だけに頼る従来からの発音指導法と比べても、多くの利点があることがわかる。そこで、教室環境における超音波断層撮像を用いた発音訓練の構築への予備実験として、日本語を母語とするフランス語学習者によるフランス語母音 /i y u/ の調音様式について、可搬性の高いタブレット式の超音波診断装置を用いて観測した結果を以下に報告する。

4. 実施報告

4.1 協力者

協力者は、フランス語学習歴4年の日本語母語話者 (DELF B2取得、女性) 1名と、フランス語母語話者 (Nantes出身、女性) 1名である。今回は、フランス語母音 [i][y][u] を含み、語頭に有声両唇閉鎖音を伴う3単語、1) *bout* [bu] (端)、2) *bu* [by] (*boire* : 「飲む」の過去分詞)、3) *bis* [bi] (灰褐色の) と日本語の4) *ぶ* [bu] (非円唇母音) を対象とした。これらの単語は、母音調音に対する同時調音の影響を最小限にするため、子音が後続しない開音節であることを条件に選定した。

4.2 使用機器

使用した超音波診断装置は、日本シグマックス株式会社製「ポケットエコー *miruco*」である。タブレットはLenovo社製TB-7304F「TAB7 Essential」を使用し、これらに3.5MHzコンベックスプローブ (Bモード) を接続し、タブレットに予めインストールされているソフトウェアを用いて舌画像及び映像を撮影した。この機器では、JPEG形式の画像 (縦横300ピクセル) 及びMPEG-4形式の映像 (8~15フレーム/秒) の撮影及び出力が可能である。

4.3 手順

撮像時にプローブと下顎とを確実に密着させるための超音波ジェルを予めプローブ照射面に塗布した上で、学習者は、プローブ照射面を下顎の正中矢状断面に沿うように自らの手で固定した。

機器の録画可能時間の関係から、撮影は60秒を1セットとして実施した。まず初めに口蓋の位置を確認するため、参加者は水を口に含んだ状態で、口蓋に沿うように前から後ろに舌尖を移動させた。その後、水を飲み込み、観測対象語を順に1度ずつ発話した。

5. 試行によって浮かび上がった利点及び課題

今回、フランス語母語話者及び日本語を母語とするフランス語学習者の2名の協力を得て、超音波診断装置による発音評価の試行を行なった。超音波断層撮像を用いる利点も多く考えられる一方で、外国語教育にその技術を応用するにあたり、考慮すべき課題も見受けられた。それを以下にまとめた。

5.1 外国語教育への応用における利点

a. 舌の状態を視覚的に把握できる

多くの言語学習者にとって発音習得が容易ではない理由の1つとして、学習者・指導者双方にとって、舌をはじめとする調音器官の状態の把握が難しいことがある。従来の発音指導においては、指導者が学習者の調音様式を確認する手段が限られていた。また、音響情報の視覚化はスペクトログラム等が中心であり、それらの解釈は決して学習者にとって容易なものとはいえない(例; Wilson, 2014)。舌の状態を正確に学習者に伝えることや、学習者が自分自身の舌の状態を把握することは外国語の発音習得においては非常に重要である。しかし、自分自身が舌をどのように動かしているのか把握することは容易ではなく、指導者からの指示が明確であったとしても、話者がその指示に忠実に自身の舌をコントロールするのは難しい (Horiguchi, 2012)。この点で超音波断層撮像は、先行研究においても示されているように、従来の調

音声学研究機器に比べ容易に舌の状態を学習者に示すことができるため、今後の外国語教育において有用であるといえる。例えば舌に取り付けたセンサーの位置が空間座標で表示されるEMAとは異なり、超音波断層撮像では舌の様子が直接画面に映し出されるため、実際に学習者はその解釈に大きな困難を伴わなかったとする報告が存在する (Inceoglu & Gnevsheva, 2020)。



図6 ポケットエコー「miruco」のスクリーンショット画像
(機器の特性上、上下左右が反転した映像が出力される。)

b. 可搬性

超音波断層撮像に用いられる機器は、従来は「カート積載型」や「テーブルトップ型」等、大型で移動が容易ではないものが主流であった上、多くは高価であった (Wrench, 2013; Wilson, 2014)。そのため、その使用には十分なスペースや予算等が必要とされ、機器が導入されたにしても、その使用は実験室や設置場所に近接した教室等に限られていた。また、Wilson (2014) の指摘するように、語学指導中に学習者個人々人に対しての機器使用は難しいため、学習者への個別フィードバックを行うには何かしらの工夫を施す必要があり、超音波診断装置の小型化及び価格の低下が待たれていた。(後述する「使用後の消毒の煩雑さ」の項も参照のこと。)

本研究で用いた「ポケットエコー miruco」は、特に小型化が達成された超音波診断装置の例の一つであるといえる。タブレット・プローブ (コンベックス型) を含めた重量は約 434g である。また、市販のタブレット機器を改良したディスプレイ (幅 102mm × 奥行き 195mm × 高さ 9mm 程度) を使用していることから、上述のようにカートやテーブルに機器を設置する必要がなく、持ち運びが非常に容易である (機器の仕様は、「ポケットエコー miruco 取扱説明書」p.41 より引用)。加えて、本機器は本来、医療現場における病棟間の移動や往診、訪問看護等における使用が想定されているが、この可搬性により、超音波断層撮像を外国語教育に応用する際の「大きさ」の課題が克服でき、教室内における手軽な利用を可能としている。こうした小型の超音波診断装置を複数導入することにより、学習者の外国語発音に対して小グループや個人単位でのフィードバックを与えることも可能となる。

c. 操作性

上述の「可搬性」にも関連するが、市販と同様のタブレットを用いる「ポケットエコー miruco」は、学習者への画像の提示が簡単である他、学習者自身による機器の操作も容易であることも利点の一つであるといえる。超音波断層撮像は、従来の調音音声学研究機器に比べて準備の手間が少なく、その導入が比較的容易である。本研究で使用する「ポケットエコー」は、タブレッ

ト上でのタッチ操作が容易である上、USBでタブレットとプローブとを接続し、アプリを立ち上げるだけで利用可能となることから、超音波断層撮像に用いられる他の機器と比較しても、操作性に優れているといえる。

5.2 外国語教育への応用における課題

a. 分析的な利用

上述のように、指導者と学習者、研究者と被験者が同じ空間で超音波診断装置により発音指導及び研究を行うと想定する場合は、画像解釈の容易さや優れた可搬性が大きな利点となる。しかし、超音波診断装置は元来医療現場において、人間の体内を視覚的に診断・観察を行うことが目的であり、言語学や音声学、発音教育への使用は想定されていない。そのため、舌画像（映像）と音声との同期が難しいという点が課題として挙げられる。超音波断層撮像では舌の画像しか映し出されないため、口腔内に時間の流れの手がかりが映し出されない限り、映像のみから音声録音のタイミングを知ることは不可能である。また本機器は、可搬性や場所を選ばず使用できる実用性による利点の一方で、フレームレートが比較的低いため、口腔内の狭窄が短時間である子音（例えば日本語ラ行子音）の観測には不向きであるといえる。

b. 舌以外の調音器官について、学習者への意識付けを行う等の配慮が必要

超音波診断装置は、容易に舌の状態や形状を示すことができるという点において優れていると述べた。ただ、北村（2020）も指摘する通り、言語音の産出において我々は舌以外の調音器官（例えば、両唇による円唇性の実現や、口蓋帆の上下による鼻腔への気流の調節）も用いているため、超音波断層撮像では舌の状態や形状しか映し出されない点は十分に念頭に置かれねばならない。例えば、フランス語母音[i]と[y]のように、円唇性の有無による声道長の変化により母音の共鳴パターンが変化することがわかっている。学習者の意識を舌に向けさせることは、超音波断層撮像を用いた発音指導における大きな利点となるが、それ以外の調音器官の動きにも留意させる必要があるだろう。

c. 学習者への配慮とその対応

超音波断層撮像による発音指導では、学習者の下顎下部にプローブを直接押し当て、舌断面画像を得ることにより、舌の形状や状態の把握が容易になるということは先に述べたとおりである。プローブと下顎とを確実に密着させるために、超音波断層撮像では「超音波ジェル」と呼ばれるジェルをプローブの超音波放射面に塗布して使用するが、この超音波ジェルに対して抵抗感を抱く学習者も想定される。また、複数人で1つのプローブを共有する場合は、1回プローブを使用するごとに確実に消毒を行う必要がある。Inceoglu and Gnevsheva (2020) においても報告されているように、指導者が1名のみで、授業を進行しながらこれらの機器の操作及び清掃・消毒等を全て行うことはあまり現実的ではない。そのため、外国語教育においては、例えば発音に困難を覚える学習者に絞り、超音波診断装置を用いた発音指導を行う等の手立てを講ずる必要があるといえる。もっとも、これは人員が確保できるのであれば、解決は比較的容易であろう。

6. 結語

本稿では、外国語教育において近年注目を集めている超音波診断装置について、フランス語母語話者及び日本語を母語とするフランス語学習者の協力を得ながら、小型装置を用いて実施した発音の観測について報告を行った。舌の形状や状態はその観測が難しい一方で、調音音声学研究はもちろんのこと、外国語教育における発音指導には欠かすことのできない側面があり、これまで様々な工夫が講じられてきた。他の調音音声学研究手法に比べ、準備にかかる手間が少なく、使用や画像の解釈が容易であるという超音波断層撮像そのものの利点に加え、近年の技術革新により、本研究で用いた「ポケットエコー miruco」のような小型な機器も登場し、舌の状態や形状の可視化や、それを踏まえた視覚的な発音指導は、以前に比べて容易になってきていると言える。一方で、今回の試行により、こうした小型化した超音波診断装置による外国語教育上の課題も浮かび上がってきた。特に、動画と音声の同期の難しさに起因する分析能力の制限は、調音データと音声データとを関連させ

ながら研究を進める上では大きな障壁となり得るため、何かしらの対策を講じる必要がある。しかし、こうした克服すべき課題はいくつか存在するものの、今回の試行を通して、小型化した超音波診断装置の外国語発音指導における有用性を確認することができた。今後は、小型超音波診断装置がどのような場面においてその効果を最大限発揮させることができるのかを検討し、フランス語母音 [i] [y] [u] の効果的な習得に向けた知見を集積していきたいと考える。

謝辞

本研究は、名古屋外国語大学2020年度教育研究活動推進助成および株式会社アルカディア受託研究費による助成を受けたものである。また、今回の試行に参加した2名の協力者に感謝したい。

注

¹ 音声学や工学系分野で用いられる「調音」に対応する用語として、医学では「構音」が用いられる。(本多, 2009)

参考文献

- Antolík, T. K., Pillot-Loiseau, C., & Kamiyama, T. (2019). The effectiveness of real-time ultrasound visual feedback on tongue movements in L2 pronunciation training. *Journal of Second Language Pronunciation*, 5(1), 72–97. <https://doi.org/10.1075/jslp.16022.ant>
- Carton, F. (1974). *Introduciton à la phonétique du français*. DUNOD.
- Delattre, P., & Freeman, D. C. (1968). A Dialect Study of American R's by X-Ray Motion Picture. *Linguistics and Philosophy*, 6(44), 29–68. <https://doi.org/10.1515/ling.1968.6.44.29>
- Gendrot, C., & Adda-Decher, M. (2005). Impact of duration on F1/F2 formant values of oral vowels: an automatic analysis of large broadcast news corpora in French and German. In *Proceedings of Interspeech 2005*. (pp. 2453–2456).
- Georgeton, L., Paillereau, N., Landron, S., Gao, J., Kamiyama, T. (2012). Analyse formatique des voyelles orales du français en contexte isolé: à la recherche d'une référence pour les apprenants de FLE. In *Proceedings of the Joint Conference JEP-TALN-RECITAL, volume 1: JEP*. (pp. 145–152).
- Gick, B., Berghardt, B. M., Bacsfalvi, P., & Wilson, I. (2008). Ultrasound imaging applications in second language acquisition. In J. G. H. Edwards & M. L. Zampini (Eds.), *Phonology and Second Language Acquisition* (pp. 309–322). John Benjamins.

- Gick, B., Wilson, I., & Derrick, D. (2013). *Articulatory Phonetics*. John Wiley & Sons.
- Hazan, V., Sennema, A., Faulkner, A., Ortega-Llebaria, M., Iba, M., & Chunge, H. (2006). The use of visual cues in the perception of non-native consonant contrasts. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 119(3), 1740–1751. <https://doi.org/10.1121/1.2166611>
- Horiguchi, N. (2012). *How L2 pronunciation learners interpret articulation instructions: An ultrasound study of the tongue* (Unpublished master's thesis). University of Aizu.
- Inceoglu, S., & Gnevshva, K. (2020). Ultrasound imaging in the foreign language classroom: Outcomes, challenges, and students' perceptions. In O. Kang, S. Staples, K. Yaw, & K. Hirschi (Eds.), *Proceedings of the 11th Pronunciation in Second Language Learning and Teaching conference*, ISSN 2380-9566, Northern Arizona University, September 2019 (pp. 115–126). Ames, IA: Iowa State University.
- Léon, P. R. (2000). *Phonétisme et prononciations du français* (4ème édition). Nathan.
- Maddieson, I. (1984). *Patterns of Sounds*. Cambridge University Press.
- Tateishi, M. (2013). *Effects of the Use of Ultrasound in Production Training on the Perception of English /r/ and /l/ by Native Japanese Speakers* (Unpublished master's thesis). University of Calgary. <http://hdl.handle.net/11023/1097>
- Toutios, A., Lingala, S.G., Vaz, C., Kim, J., Esling, J., Keating, P., Gordon, M., Byrd, D., Goldstein, L., Nayak, K.S., Narayanan, S.S. (2016) Illustrating the Production of the International Phonetic Alphabet Sounds Using Fast Real-Time Magnetic Resonance Imaging. *Proceedings of Interspeech 2016*, 2428–2432. doi:10.21437/Interspeech. 2016-605
- Tubach, J.-P. (1989). *La parole et son traitement automatique*, Calliope. Masson.
- Wrench, A. (1999). *MultiChannel Articulatory database (MOCHA-TIMIT)*. Retrieved March 28, 2021 from <https://www.cstr.ed.ac.uk/research/projects/artic/mocha.html>
- Wrench, A. (2013). *Ultrasound speech analysis: State of the art*. [Powerpoint slides]. Ultrafast 6, Edinburgh, Scotland. http://materials.articulateinstruments.com/Technical/State_of_Art.ppt
- Vaissière J. (2015). *La phonétique, Collection QUE SAIS-JE?* (川口裕司訳『音声の科学』白水社)
- White, D., Ganathan, R., Mok, P. (2017) Teaching dark /l/ with ultrasound technology. In M. O'Brien & J. Levis (Eds). *Proceedings of the 8th Pronunciation in Second Language Learning and Teaching Conference*, ISSN 2380-9566, Calgary, AB, August 2016 (pp. 155–175). Ames, IA: Iowa State University.
- Wilson, I. (2014). Using ultrasound for teaching and researching articulation. *Acoustical Science and Technology*, 35(6), 285–289. <https://doi.org/10.1250/ast.35.285>
- 阿南婦美代 (1995). 『コミュニケーションのためのフランス語発音法 — 発音の規則と練習 —』駿河台出版社.
- 加藤正子, 大塚義顕, 向井美恵, 今富摂子, 木村智江, 出世富久子 (2002). 「超音波前額断規格撮影法による側音化構音の観察」. 『音声言語医学』, 43(1), 30–39. <https://doi.org/10.5112/jjlp.43.30>
- 北村達也 (2020). 「やさしい解説動画で見る音声生成系の観測手法」. 『日本音響学会誌』, 76(12), 700–705. https://doi.org/10.20697/jasj.76.12_700

- 国立国語研究所 (1990). 『日本語の母音, 子音, 音節: 調音運動の実験音声学的研究』, 国立国語研究所. <https://doi.org/10.15084/00001212>
- 高橋宏明, 苦瓜安彦 (1962). 「口の構えと舌の形が日本語母音明瞭度に及ぼす影響について」. 『音声科学研究』, 2, 71-82. <http://hdl.handle.net/2433/52631>
- 中田俊介, 川口裕司 (2014). 「日本人学習者によるフランス語母音の習得——IPFC学習者中間言語コーパスの音響分析を通じて——」外国語教育学会発表原稿. http://www.tufs.ac.jp/ts/personal/ykawa/art/2014_JAFLE_Nakata_Kawaguchi.pdf
- 藤原百合, 山本一郎, 前川圭子 (2008). 「エレクトロパラトグラフィ (EPG) 臨床活用に向けた日本語音韻目標パターンの作成と構音点の定量的評価指標の算定」. 『音声言語医学』, 49(2), 101-106. <https://doi.org/10.5112/jjlp.49.101>
- 本多清志 (2000). 「X線マイクロビームによる子音調音時の舌位置の分析」. 『音声言語医学』, 41(2), 154-158. <https://doi.org/10.5112/jjlp.41.154>
- 本多清志 (2009). 「第2章 音声学」今泉敏・小澤由嗣編『言語聴覚士のための基礎知識 音声学・言語学 (第2版)』(pp. 6-19). 医学書院.
- 前川喜久雄 (2019). 「日本語ラ行子音の調音: リアルタイムMRIによる観察」. 『日本音声学会第33回全国大会予稿集』, 98-103.