

# 日本語母語話者の英語母音の知覚能力と産出能力の 相関関係について

—モーター理論の観点からの考察—

## The Relationship Between Perception and Production of English Vowels in Native Japanese Speakers:

A Perspective from the Motor Theory of Speech Perception

今 川 唯\*

Yui IMAGAWA

本研究は、日本語母語話者における英語母音の知覚能力と産出能力の相関関係を、音声知覚のモーター理論 (Motor Theory of Speech Perception) の観点から検討するものである。モーター理論によれば、音声知覚は単なる聴覚的処理ではなく、発話時の調音運動と密接に連動しており、音を正確に知覚するには、その音を発音する運動表象が脳内に存在することが前提となる。本研究には、日本語を母語とする英語学習者32名と英語母語話者1名が参加した。実験参加者は、英語母音6組 (/i-ɪ/, /ɑ-æ/, /ɛ-æ/, /ɪ-ɛ/, /ʌ-æ/, /ɑ-ʌ/) の最小対識別課題を実施し、さらにこれらの母音を含む単語12語を発音した。産出音声は Praat を用いて  $F1^1 \cdot F2^2$  のフォルマント<sup>3</sup>分析を行い、各話者間の構音器官の生理的差異を統制するため z スコア正規化<sup>4</sup>を適用した。知覚成績は識別課題の正答率により算出し、産出精度は英語母語話者との音響的ユークリッド距離<sup>5</sup>によって評価した。その結果、/ɑ-æ/ および /ʌ-æ/ のペアにおいて、知覚成績と産出精度との間に有意な負の相関が確認された。一方、他の4ペアでは有意な相関は見られなかった。本研究の結果は、母音の中でも、/ɑ-æ/ および /ʌ-æ/ のような音響的に明確な違いを持つ母音においては、知覚能力の高さが産出精度に結びつく可能性を示唆しており、学習者は、これらの明瞭な差異を持つ母音対に対しては、異なる調音運動パターンを構築できることを意味している。

### 1. はじめに

音声知覚の理論的枠組みの中でも、Liberman らによって1950年代に初めて提唱され、その後理論的に発展したモーター理論 (Motor Theory of Speech Perception) は、言語の知覚と産出の関係性に新たな視点を提供するものである (Liberman & Mattingly, 1985)。この理論は、人間が音声を単なる聴覚的な刺激として受け取るのではなく、話し手の発話運動、すなわち音声を生み出すための運動パターンを再構成することによって音声を理解していると主張する。言い換えれば、私たちは音声を「聞いて」いるのではなく、

\* いまがわ ゆい 外国語学研究科外国語学専攻修士課程  
指導教員：中西 弘

「話すようにして」理解しているという仮説である。この理論の重要な含意は、音声知覚と音声産出が神経学的・運動的に密接に結びついているという点にある。すなわち、ある音を正確に知覚するためには、それを発音できる能力が一定程度必要であるという前提が成立する可能性がある。この理論に照らせば、第二言語を学ぶ際に、学習者がある音をうまく聞き取れない理由の一つとして、その音を正確に発音できないことが挙げられると考えられる。「発音できない音は聞き取れないのか?」という問いは、音声知覚と発話運動の関係を探る上で根本的な問題であり、音声学、言語習得研究、さらには神経言語学の分野においても高い関心を集めてきた。

こうした観点から、音声の知覚と産出の関係性を実証的に検討することは、理論的にも実践的にも大きな意義を持つ。とりわけ、近年の神経科学的研究(例: Fadiga et al, 2002; Wilson et al, 2004)は、音声を聴取する際に発話運動領域が活性化することを示しており、音声知覚が発話運動の脳内再現と結びついていることを裏付けている。これは、モーター理論の中核的主張—「発音できる音こそが正確に聞き取れる」—を神経生理学的に支持するものである。したがって、「発音できない音は聞き取れないのか?」という問いに対して、第二言語習得の文脈において科学的に検証することは、モーター理論の妥当性を評価するうえでも極めて重要な試みである。

このように、音声知覚と発話運動の連携が神経レベルで確認されている一方で、第二言語習得の実際の過程では、知覚と産出が必ずしも同時に発達するわけではないという報告も多い。第二言語習得過程においては、知覚と産出の発達が平行に進むとは限らず、知覚能力のほうが先行し、産出能力が遅れて発達する非対称なパターンが報告されている。また、音声知覚には、母語の音韻体系が関与しており、第二言語音が第一言語音に引き寄せられて知覚される可能性がある(Flege, 1995)。これらの背景を踏まえ、本研究では、日本語母語話者における英語母音の知覚能力と産出能力の関係を、音響的手法を用いて実証的に検討することを目的とする。

## 2. 先行研究と本研究の位置づけ

「音声知覚の運動理論(Motor Theory of Speech Perception)」は、音声知覚における聴覚処理と運動処理の統合的な関係性を強調する理論である(Lieberman & Mattingly, 1985)。この理論は、音声を聞くという行為が、単に音響信号を受容するだけの受動的なプロセスではなく、その音声を生成する際に必要な調音運動パターンを聞き手が脳内で再構成することによって成り立つと主張している。つまり、音声の知覚は、発話運動の知識を積極的に参照しながら行われる知覚—運動連携的なプロセスであり、知覚と産出は神経的にも機能的にも密接に結びついていると考えられる。

この主張を裏づける神経生理学的な研究として、Fadiga et al. (2002) および Wilson et al. (2004) の実験が挙げられる。Fadiga et al. (2002) は、経頭蓋磁気刺激(TMS)を用いて、実験参加者が音声を聴取している際の舌筋の興奮性を測定した。その結果、音声を聴取しているだけの場合であっても、発話に必要な筋肉、特に舌筋を制御する運動皮質の活動が増加し、筋電図によって測定された当該筋の興奮性が有意に上昇することが確認された。これは、音声知覚が単なる聴覚的処理ではなく、発話運動の準備状態、または模倣的な運動活性を伴うものであることを示している。音声を聞くことで身体の発話器官が反応するという現象は、知覚が運動的なシミュレーションと結びついていることを強く示唆しており、モーター理論を神経生理学的に支持する証拠となっている。

一方、Wilson et al. (2004) は、機能的磁気共鳴画像法(fMRI)を用いて、実験参加者が他者の発話音声を聴いている際に脳内でどのような活動が生じているかを調査した。彼らの研究では、意味のある語だけでなく無意味語を聴取した場合においても、左半球の運動前野や一次運動野といった発話運動に関与する脳領域が有意に活性化していることが報告された。これは、音声知覚の過程において、話者の発話動作

を聞き手が脳内で再構成、あるいは模倣するような神経処理が起きていることを意味する。Wilson らの知見は、音声知覚があたかも発話運動を「内的に模倣する」プロセスを伴っていることを示しており、聴覚—運動統合の視点から音声知覚を理解することの重要性を浮き彫りにしている。

このような運動理論に関する知見は、第二言語習得研究にも応用されている。梅本・池上・辻 (1985) は、日本人学生20名を対象に、日本語母語話者にとって識別が難しいとされる英語の音素 /l/ と /r/ に焦点を当て、英語の音声弁別能力と発音能力の相関を調べたものである。研究で着目した /l/ と /r/ の音素を含み、それ以外は全く同じ音韻をもつ 1～2 音節の英語の単語 (例: right-light, race-lace, leaf-reef など) を 55 対集め、それぞれの対において提示されるどちらかの音声を聞き、2 つの単語のどちらが提示されたかをできるだけ早く判断して正しい方を選択することによって音声弁別能力を測った。発音能力の測定は、/l/ と /r/ を含む英単語 55 対のうちから 10 対を選び、実験参加者の発音をアメリカ出身の英語母語話者が特に /l/ と /r/ の発音の正しさに着目して各単語を 4 段階で評定した。相関の算出のためには、音声弁別実験と発音実験のそれぞれの評定値を用い、スピアマンの相関係数  $r$  を求めた。すべての被験者 (20 名) における音素識別能力と発音評定の相関係数は  $r=0.3946$  と低い有意な関係が見られ、弁別の成績が極めて低く、発音のみ良かった、他の被験者とかけ離れた結果を示した被験者 2 名のデータを例外と見なすと、音素識別能力と発音評定の相関係数が  $r=0.5589$  と高い値を示し、音声弁別能力と発音能力の間に有意な関連があることを明らかにしている。

さらに、Aoyama et al. (2004) の研究は、日本語を母語とする英語学習者を対象に、英語の子音対、特に /l-r/ を含む複数の子音対 (/b-v/, /r-l/, /w-r/ など) に関する音声知覚能力と発音能力との関連性を検討したものである。音声知覚能力の評価には、三音比較識別課題 (three-alternative forced choice task) を用い、1 セットにつき 3 つの音声が提示され、そのうち 1 つだけ異なる音を含む形式で実施された。実験参加者は異なる音を識別し選択し、識別が正確であれば 1.0 点、識別が困難または曖昧な場合は 0.5 点として得点化し、知覚の正確性を定量的に測定した。一方、発音能力の評価は、実験参加者が提示された単語を発音し、その音声が録音された後、5 名の英語母語話者による聞き取り判定を通じて行われた。具体的には、録音音声に含まれる子音が提示された子音対のどちらとして知覚されるかを評価者が判別し、その判定結果に基づいて発音の正確性が数値化された。結果として、詳細な相関係数の数値は報告されていないものの、音声知覚能力と発音能力の間には統計的に有意な相関関係が認められた。これにより、英語子音の聞き分け能力の向上が発音能力の改善に寄与する可能性が示唆される。すなわち、第二言語習得においては、音声知覚と発音の相互関係が強く、知覚能力の訓練が発音指導において重要な役割を果たすことが示された。

第二言語を対象とした先行研究では、英語の音素の知覚と産出の関係について重要な知見が蓄積されているものの、限界も存在する。例えば、梅本・池上・辻 (1985) は英語音声の識別と発音能力の関連性を示したものの、その範囲が英語の音素 /l/ と /r/ の英語子音に限定されている。同様に、Aoyama et al. (2004) は /l/ と /r/ に加えてその他の複数の子音対 (/b-v/, /r-l/, /w-r/ など) に関して音声知覚能力と発音能力の相関関係を検討しているものの、英語子音に限定されている。さらに、Aoyama et al. (2004) や梅本・池上・辻 (1985) は、音の産出の評価方法が英語母語話者の主観に頼って測定されており、評価基準が明確でない。本研究では、Lieberman らのモーター理論の妥当性を第二言語習得の文脈で再検討し、日本語母語話者の英語母音における産出能力をフォルマント分析を通じて得られた客観的なデータをもとに、知覚—産出の関係性について調査することを目的とする。

### 3. 実験手法

本研究では、英語母語話者 1 名と日本語母語話者 32 名による 6 組の母音ペア (/i-ɪ/, /a-æ/, /ɛ-æ/, /ɪ-ɛ/, /ʌ-æ/, /a-ʌ/) の発話を分析対象とした。各母音は、英語母語話者によって実在する英語単語の最小対<sup>6</sup>に含

まれる語中の母音として発話され、実験参加者の日本語母語話者はそれらの音声を聞き、提示された最小対のどちらの発音であるか識別した。例えば、/i/ と /ε/ を対象とした問題では、“desk” の音声を聞き、選択肢 “disk” と “desk” から正しいものを選ぶ形式であった。同様に、/æ/ と /ʌ/ に関する問題では、“fan” の音声を聞き、選択肢 “fan” と “fun” の中から正しいものを選ぶように求めた。6組の母音ペアそれぞれに対して2問ずつ、計12問を出題した。

英語母音の産出能力を測定するために、被験者32名に以下の12語を発音させ、その音声を録音して提出させた：

bit, bet, bat, but, seat, sit, head, had, block, black, stock, stuck

各単語における母音の第1フォルマント (F1) および第2フォルマント (F2) は、Praat (Boersma & Weenink, 2023) を用い、母音の midpoint において抽出する。話者間の構音器官の生理的差異を統制するため、各話者の F1 および F2 値に対して z スコア正規化 (Lobanov, 1971) を実施する。これにより、個々の話者内における相対的な母音空間を比較可能とした。

## 4. 分析結果

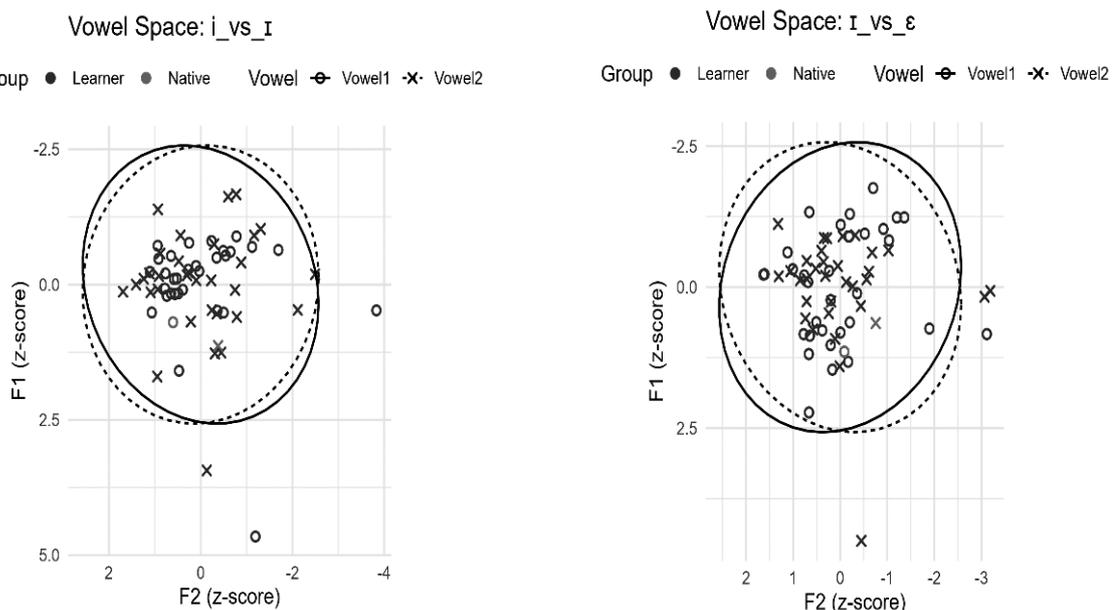
フォルマント値の正規化処理、視覚化 (母音チャート作成)、および95%信頼楕円の描画は、R (Version 4.4.1, R Core Team, 2024) および ggplot2 パッケージ (Wickham, 2016) を用いて行った。

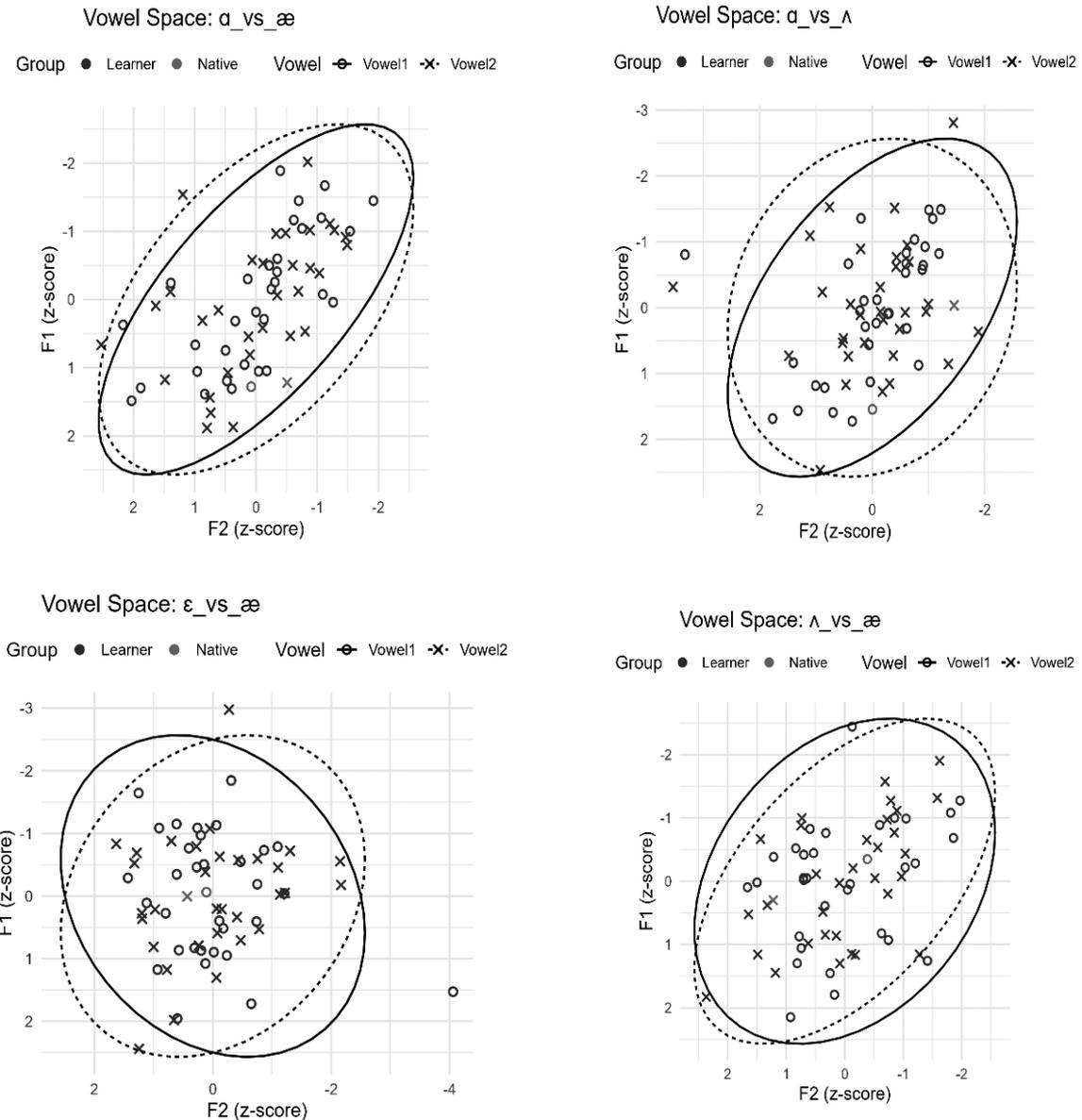
正規化された F1-F2 (z スコア) 値は、母音ペアごとに母音チャートとして R の ggplot2 パッケージを用いてプロットした。チャート上では、日本語母語話者の発話を○ (Vowel1) および× (Vowel2) で青色にて示し、英語母語話者の発話は同様の記号 (赤色) で表示した。また、学習者の母音分布に関しては、正規分布を仮定した95%信頼楕円を R の stat\_ellipse () 関数を用いて重ねることで、母音空間内における分布の広がりや中心傾向を視覚的に把握できるようにした。これらの図示により、各ペアにおける体系的な母音のずれやばらつきが明らかとなった。

図1. 母音ペア (例: /i-/) における z スコア正規化後の F1-F2 空間プロット

○は Vowel1 (例: seat)、×は Vowel2 (例: sit) を示す。青は日本人英語学習者、赤は英語母語話者を示す。学習者の分布には95%信頼楕円を重ねて表示している。

※本図は視認性向上のために色分けされていますが、掲載時はモノクロ印刷となります。なお、本図は全体的傾向の把握を目的としており、各色の区別は考察上重要な意味を持ちません。





次に、母音ペア (/ɪ-ε/, /ʌ-æ/, /i-ɪ/, /ε-æ/, /a-æ/, /a-ʌ/) ごとに発音の正確性と知覚成績との関連性を検証した。発音の正確性は、英語母語話者の平均フォルマント値 (F1, F2) とのユークリッド距離 (zスコア化) により定量化し、知覚成績は最小対立語の識別課題 (2点満点) によって測定した。

統計分析には R (R version 4.4.1) を使い、readxl および tidyverse パッケージを使用してデータ整形と集計を行った。各ペアにおける発音スコア (z 値) と知覚スコアの間におけるピアソンの積率相関係数 (Pearson's  $r$ ) を求めた。group\_by () と cor () 関数を用いてペア別の相関係数と p 値を算出した結果を表 1 に示す。6 つの母音ペアのうち、/a-æ/ ( $r = -.44, p = .013$ ) および /ʌ-æ/ ( $r = -.41, p = .019$ ) において有意な負の相関が認められた。他方、/ɪ-ε/, /i-ɪ/, /ε-æ/, /a-ʌ/ のペアでは統計的に有意な相関は確認されなかった。

表1 各母音ペアにおける発音スコアと知覚スコアの相関係数 (Pearson's r)

| 母音ペア  | r     | p    |
|-------|-------|------|
| /i-ɪ/ | .11   | .540 |
| /a-æ/ | -.44* | .013 |
| /a-ʌ/ | -.19  | .300 |
| /ε-æ/ | .16   | .371 |
| /ɪ-ε/ | -.11  | .548 |
| /ʌ-æ/ | -.41* | .019 |

## 5. 分析結果による考察

本研究では、日本語母語話者における英語母音の知覚と産出の関係性を検討し、Lieberman らによる音声知覚のモーター理論の妥当性を第二言語環境において実証的に検討した。6組の英語母音ペアのうち、/a-æ/ および /ʌ-æ/ において、知覚の正確性と産出の精度との間に有意な負の相関が確認された。これは、知覚成績が高い学習者ほど、より目標に近い音響的特徴で該当母音を再現できていたことを示しており、音声知覚と発話運動との神経的連動を主張するモーター理論の根幹を支持する結果である。

モーター理論 (Lieberman & Mattingly, 1985) によれば、音声知覚は単なる音響信号の受動的処理ではなく、聞き手が話し手の調音運動を神経的に再構成する能動的な過程である。すなわち、音声の正確な知覚には、その音に対応する調音運動の内部表象が必要不可欠である。したがって、ある音を正確に知覚するためには、少なくとも脳内でその音を産出するための運動計画が利用可能であることが前提となる。

本研究において相関が確認された /a-æ/ および /ʌ-æ/ のペアは、音響的にも調音的にも明瞭な差異を持つ。たとえば、/æ/ は前舌・低母音、/a/ は後舌・低母音、/ʌ/ は中舌・中母音と分類され、これらの母音ペア内では舌の前後位置および高さにおいて顕著な調音的差異が存在する。加えて、z スコア正規化された F1 および F2 の値を比較すると、これらのペアでは F2 (舌の前後位置) および F1 (口の開き・舌の高さ) において十分な音響的差異が認められ、図1に示されるように、信頼楕円の分布も両母音間で明瞭に分離されていた。そのため、/æ/、/a/、/ʌ/ の各母音については異なる運動表象を構築しやすく、それを知覚時にも活用することができたと考えられる。すなわち、知覚成績が高い学習者は、その知覚表象に基づき、精度の高い音響的産出を行うことが出来、モーター理論の主張する「知覚=運動再構成」という仮説に合致する結果となった。

一方で、/i-ɪ/、/ɪ-ε/、/ε-æ/、/a-ʌ/ の4組では、知覚成績と産出スコアとの間に有意な相関は認められなかった。この要因としては、主に以下の3点が考えられる。1点目に、これらのペアは、いずれも F1・F2の差が小さく、調音的にも微細な違いしか持たないことである。たとえば、/i-ɪ/ および /ɪ-ε/ はすべて前舌母音であり、F2は高く保たれたまま、舌の高さや口の開きのみで区別される。図1に示されるように、これらの母音は、フォルマント空間上で信頼楕円の重なりが大きく、また、F1・F2の分布が広範囲に拡散している。これは、学習者の母音間の区別が不明瞭であり、各音が安定していないことを示している。2点目に、Flege (1995) の Second Language Speech Learning (SLM) 理論では、L2<sup>7</sup>の音が L1の音に近接している場合、学習者はその L2音を新しい音として認識せず、既存の L1カテゴリに吸収してしまうとされる。例えば、日本語の「イ」に類似する /i/ と /ɪ/ は、L2音として分化されず、一つのカテゴリとして処理される可能性が高い。この「同化 (assimilation)」は知覚の精度を下げるだけでなく、誤ったカテゴリに基づく産出を引き起こし、結果的に知覚と産出の非対応=相関の不出現へとつながる。3点目に、Major (2001) は、L2音を正確に産出するには、L1とは異なる新たな運動制御を習得する必要があるが、L1で獲得された運動パターンがそれを阻害することを指摘している。これは Odlin (1989) が「Negative Transfer<sup>8</sup>」として言及する現象であり、本研究における相関非成立ペアにおいても、L1の影響が調音運動の形成を妨げ、知覚との整合性を阻んだ可能性が高い。図1においても、これらのペアのフォルマント空間における

分布は広く拡散しており、個々の発話が一貫性に欠けていたことが視覚的に示されている。

## 6. 本研究の限界と今後の課題

本研究では、日本語母語話者における英語母音の知覚と産出の関係性を検討し、Liberman らによる音声知覚のモーター理論 (Motor Theory of Speech Perception) の妥当性を第二言語環境において実証的に検討した。その結果、6組の英語母音ペア (/ɪ-ɛ/, /ʌ-æ/, /i-ɪ/, /ɛ-æ/, /ɑ-æ/, /ɑ-ʌ/) のうち、/ɑ-æ/ および /ʌ-æ/ において、知覚の正確性と産出の精度との間に有意な負の相関が確認された。しかしながら、以上の研究結果からは、音声の知覚能力だけが産出能力を決定する唯一の要因であるとは断言できない。つまり、知覚能力が高くても、必ずしもそれが正確な発音に直結するとは限らないということである。本研究では、知覚と産出の間に有意な相関が見られなかった母音ペアが複数存在したが、その要因をすべて解明することはできなかった。以下のような方法論的な限界が関与していた可能性がある。

第一に、本研究で使用した知覚課題は2択の最小対選択形式であったが、この形式では実験参加者がどの程度「確信を持って」識別しているか、あるいは「消去法」や「語彙知識」に頼って正答している可能性があるかといった認知過程の違いを評価することは難しい。したがって、今後は三択や四択の forced-choice 課題、あるいは AX 形式<sup>9</sup>や AXB 形式<sup>10</sup>などの音声弁別課題を用いることで、より純粋な音声弁別能力を測定する必要がある。さらに、各母音ペアにつき提示された問題数が2問ずつと極めて少なかったため、個人差を反映しにくいものとなっていた。

第二に、本研究における「正解モデル」としての英語母語話者は1名のみであったが、母語話者間にも個人差 (年齢、地域、性別など) に基づく音響的ばらつきが存在することは多くの音声学研究で指摘されている。そのため、今回使用したモデル音声の F1・F2値は、あくまで1人の話者に限定された基準であり、それに基づいて計算されたユークリッド距離が「どの程度、英語として妥当な距離なのか」を一般化するには限界がある。今後は複数名の母語話者を用いた平均値ベースのモデル構築や、バラつきも含めた「許容範囲の設定」など、評価基準の拡張が求められる。

これらの改善を踏まえることで、第二言語習得における知覚・産出の運動メカニズムをより正確にとらえることが出来ると考えられる。今後の展望としては、学習者の属性を考慮した分析や、知覚と産出の関係を時間的に捉える縦断的研究が必要である。これらの要素もまた、知覚と産出の関係に重要な影響を及ぼしている可能性があるため、今後の研究ではこれらの個人差を考慮した設計が望まれる。

## 7. おわりに

本研究は、日本語母語話者による英語母音の知覚能力と産出能力の関係を音響分析によって明らかにし、モーター理論の観点から第二言語習得において検証することを目的とした。6組の英語母音ペア (/ɪ-ɛ/, /ʌ-æ/, /i-ɪ/, /ɛ-æ/, /ɑ-æ/, /ɑ-ʌ/) のうち、/ɑ-æ/ および /ʌ-æ/ においては、知覚の正確性と産出の精度の間に有意な負の相関が確認され、音声知覚が調音運動の内部表象に基づいて行われるというモーター理論の主張を、第二言語学習者にも適用可能であることが示唆された。一方で、他の4組の母音ペアでは有意な相関は見られず、知覚と産出の関係が音素によって異なることも明らかになった。これは、L1音韻体系との近接性や調音的干渉、音響的な識別困難性、知覚課題や産出評価の方法、さらには学習者個人の背景要因など、複数の要因が知覚・産出間関係性に影響を与えている可能性を示している。

本研究の成果は、知覚と発音が神経的かつ機能的に連動しているという視点に基づき、第二言語音声習得における知覚と調音の統合的アプローチの必要性を理論的・実証的に支持するものである。同時に、相関が成立しない音素の存在や、課題設計・実験参加者変数の影響など、今後の研究で明らかにすべき課題

も発見された。今回の結果は、英語母音の発音指導においても重要な示唆を提供するものである。本研究の主な結果は、英語母音の中でも、/a-æ/ や /ʌ-æ/ のように音響的に明確な差異を持つ母音においては、知覚産出の連携が強まる可能性があることを示した。つまり、このような差異が明瞭な母音対は、知覚訓練のみの指導でも産出改善が起こる可能性があるが、音響的に微細な差異しか持たないペア (i-I/、/I-E/ など) は、知覚訓練のみではなく、調音指導・動画等によるフィードバックなど産出指導も併用が必要であり、指導者は母音の音響的特質に応じて指導方法を使い分ける必要があるだろう。今後は、音響的に微細な差異しか持たないペアにおいて、どのような教育的介入が効果的であるのかについて縦断的研究を行う予定である。

## 注

1. 母音の口の開き（舌の高さ）に対応する音響的指標。F1が高いほど、口は広く開かれている。
2. 母音の舌の前後位置に対応する音響的指標。F2が高いほど舌は前方に位置する。
3. 母音などの音声に特徴的な周波数のピーク。F1は口の開き具合、F2は舌の前後位置に対応する。
4. 個人差（例：声道の長さなど）を補正するため、各話者のフォルマント値を平均0、標準偏差1に変換する統計的処理。
5. 二点間の直線距離を計算する方法。ここでは、学習者の母音の音響的特徴が母語話者の基準とどれだけ離れているかを測る指標。
6. 一つの音素だけが異なる語の対。例：bit と bet。音素の違いが意味の違いに直結することを示す。(minimal pair)
7. 第一言語（母語）／第二言語。L1は習得済みの言語、L2は後から学習される言語を指す。
8. 母語の習慣が第二言語の学習を妨げる現象。発音の誤りや学習の困難の一因となる。
9. A と X の 2 つの音を聞き、同じか違うかを判断する。
10. A・X・B の 3 つの音を聞き、X が A と B のどちらに近いかを判断する。

## 参考文献

- Aoyama, K., Flege, J. E., Guion, S. G., Akahane-Yamada, R., & Yamada, T. (2004). Perceived phonetic dissimilarity and L2 speech learning: The case of Japanese /r/ and English /l/ and /r/. *Journal of Phonetics*, 32(2), 233-250.
- Boersma, P., & Weenink, D. (2023). Praat: Doing phonetics by computer (Version 6.x) [Computer program].
- Fadiga, L., Craighero, L., Buccino, G., & Rizzolatti, G. (2002). Speech listening specifically modulates the excitability of tongue muscles: a TMS study. *European Journal of Neuroscience*, 15(2), 399-402.
- Flege, J. E. (1995). Second language speech learning: Theory, findings, and problems. In W. Strange (Ed.), *Speech perception and linguistic experience: Issues in cross-language research* (pp. 233-277). Timonium, MD: York Press.
- Lieberman, A. M., & Mattingly, I. G. (1985). The motor theory of speech perception revised. *Cognition*, 21(1), 1-36.
- Major, R. C. (2001). *Foreign Accent: The Ontogeny and Phylogeny of Second Language Phonology*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Odlin, T. (1989). *Language Transfer: Cross-linguistic influence in language learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- R Core Team. (2024). R: A language and environment for statistical computing (Version 4.4.1). R Foundation for Statistical Computing.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer.
- Wilson, S. M., Saygin, A. P., Sereno, M. I., & Iacoboni, M. (2004). Listening to speech activates motor areas involved in speech production. *Nature Neuroscience*, 7(7), 701-702.
- 梅本 堯夫・池上 和子・辻 斉 (1985). 「音声弁別と発音」. 科学研究費補助『認知と遂行の関係に関する研究』研究成果報告書, 17-20.