

〈研究ノート〉

中国人日本語学習者による撥音 /N/ に先行する

母音の音響的特徴と調音運動

Acoustic Analysis and Articulatory Movements of Vowels Preceding /N/ in Japanese by Chinese Learners

孫 静, 金 佳

SUN Jing, JIN Jia

概要

本研究では、中国人日本語学習者による日本語の撥音に先行する母音の発音を、(1) 音響分析、(2) 音韻範疇の推定、(3) 超音波撮像による調音運動の観察の三つの手法を用いて詳細に検討した。その結果、日本語の撥音に先行する母音 /ア/、/イ/ に比べ、/ウ/、/エ/、/オ/ の習得が困難であることが明らかとなった。難易度の結果に関しては先行研究に類似するが、今回はより複雑な音環境であるため、日本語の単母音が単独で発音される際に生じる二重母音化の問題および頭子音が先行しない場合とは異なる音声的特徴を示した。

また、多くの音環境において、初級者と上級者の間で発音に顕著な差異が観察され、上級者の発音は日本語母語話者に近づいており、習得の進展が示唆された。初級者では、単独で発音される際に見られなかった母音間の混同や、中国語の母音に類似した発音がより多く見られ、特に /ウ/ や /エ/ は中国語の母音に近い傾向を示した。一方で、頭子音 /sy/・/zy/ と /ウ/ が同時に出現する特定の音環境では、母音の音色が非常に頭子音の影響を受けやすく、上級者においても、母音間の混同や、母語話者とは異なる発音のバリエーションが観察された。

キーワード

中国人の日本語母音習得、撥音の先行母音、頭子音の影響、音響分析、超音波撮像

I 先行研究と研究目的

分節音としての母音は、第二言語の音声習得において最も基礎的な要素である。東京方言を基盤とする日本語標準語の発音においては、単母音は /ア、イ、ウ、エ、オ/ の5つからなり、音色が「安定」しており、音環境による変化が少ないとされている (朱 2010; 張 2019)。

一方、中国語には、ピンイン表記の *a, o, e, i, u, ü* (以降ピンインはイタリック体で示す) と表される6つの基本母音が存在する (北村 1992; 石 2008) が、同じ音韻表記であっても、実際の音色が異なる場合が多い。例えば、日本語の /e/ は [e] と発音されるが、中国語では [ɨ^A] や [ə] となる。また、日

本語の /o/ は単母音 [o] であるのに対し、中国語では多くの場合は二重母音 [uə] や [ou] で発音される。日本語の /u/ は中舌寄りの [ɯ] である (朱, 2021) が、中国語では後舌母音の [u] である。

中国語を母語とする日本語学習者 (以下、中国人学習者) の母音習得を考察するにあたり、日中両言語の対照分析はすべての習得現象を説明しきれないが、不可欠であることは明白である。金 (2017) で議論されたように、伝統的な「日本語の単母音」対「中国語の単母音」のような同じ音声単位間の比較からでは、母語から借用できる類似音を特定することができず、実際の学習者の代用状況を見て音声習得上の対照音を扱う必要がある。

例えば、中国人学習者は単独の日本語母音を習得する際には、判別能力が非常に高く、問題は音色の自然さに集中している。具体的には、/ウ/ は中国語の [u] で、/エ/ は中国語の [ɤ̞] や [ə] ではなく [ei] を用いて、/オ/ は中国語の [ou] で代用されることが多く、「日本語の単母音」対「中国語の二重母音」をも視野に入れる必要性が指摘されている (金 2017; 金 2019)。

しかしながら、「母音 + 撥音」の音環境では、上記とは異なる問題が生じることが指摘されている (朱, 2010)。例えば、中国人学習者は「すん」を「せん」のように発音したり、「せん」を中国語の *sen*[sən] (「意味: 森」) と発音したりする例が報告されており、単独で発音される際の音色の問題だけではなく、母音間の混同も生じやすい (孫ら, 2021)。

このように、撥音が後続する日本語の音節単位においても、中国語による影響が顕著に現れることがあり、しかも言語間の対照がより複雑である。一方、より複雑な音節構造における単母音に関しては、音節間もしくはモーラ間の等時性によって発音が短くなることが想定され、単独の日本語母音を習得する際に出てくる二重母音性の問題は現れにくくなる。

鮑・林 (2014) は、中国語の [an] と [ɑŋ]、[ən] と [ɤŋ] の各主母音について、鼻音韻尾の種類 ([n]/[ŋ]) によって、主母音の第2フォルマント (F2) が変化することを指摘している。具体的には、音節末鼻音が歯茎鼻音 [n] の場合には F2 (舌の前後位置を示す) がやや高く、軟口蓋鼻音 [ŋ] の場合には F2 が低くなる。このような中国語の特徴から、中国人学習者は日本語の /e+N/ を含む音節を中国語の *en*[ən] や *eng*[ɤŋ] のように発音する傾向が予測される。

坂本 (2003) は中国語のピンイン表記における *ei*, *en*, *ie* などの音について、/e/ の部分が日本語に比べて狭く、特に中国語 *en* の場合には後舌寄りである点を問題視している。これにより、日本語の /エ/ とは音色が大きく異なる可能性が窺える。さらに、坂本 (2003) は中国人学習者が /ウン/、/エン/、/オン/ を中国語の *un*[uən], *en*[ən], *ong*[oŋ] で代用するため、/ウ/、/エ/、/オ/ の部分が後舌で発音されることが多いと指摘した。

データを用いて坂本 (2003) の主張を検証するために、孫ら (2022) は音響分析と知覚評価の両面より、上級の中国人学習者が頭子音 /s/ の「s + 母音 + 撥音」を発音する際に、中国語からの影響について検証した。その結果、特に /ウ/、/エ/、/オ/ の発音においては、日本語母語話者とは異なる音色が生じることが明らかとなった。

以上を踏まえ、本稿では、日本語母語話者および初級と上級の中国人学習者を対象に産出実験を実施し、日本語の撥音に先行する母音発音の比較を行う。具体的には、(1) 音響分析、(2) 音韻範疇の推定、(3) 超音波撮像による調音運動の観察の三つの手法を用い、特に /スン/、/セン/、/ベン/、/ブン/、/ジュン/、/シュン/ のような「多種類」の頭子音による影響を中心に、学習者の発音パフォーマンスを詳細に分析する。また、これらのデータをもとに、学習者の発音に影響を及ぼす母語の要素を把握し、日本語の撥音に先行する母音の習得における課題を議論する。

II 中国人学習者による撥音の先行母音の音響的特徴

3.1 実験参加者

本節では、日本語母語話者と比較した上で、初級と上級の学習者の音響特徴を考察するために、3つのグループが設けられている。詳細なプロフィールを表1～表3に示す。

表1 初級者一覧

	性別	年齢	出身地	母方言	学習歴	在日歴	JLPT
CFE1	女	20代	雲南省	雲南方言	2年	なし	なし
CFE2	女	10代	雲南省	昆明方言	0.5年	なし	なし
CFE3	女	20代	雲南省	昭通方言	1.5年	なし	なし
CFE4	女	10代	雲南省	昭通方言	0.5年	なし	なし
CFE5	女	10代	雲南省	塩津方言	0.5年	なし	なし
CFE6	女	20代	浙江省	杭州方言	1.5年	なし	なし
CFE7	女	10代	福建省	閩南語	1.5年	なし	なし
CFE8	女	10代	雲南省	雲南方言	0.5年	なし	なし
CFE9	女	10代	雲南省	昭通方言	1.5年	なし	なし
CFE10	女	20代	雲南省	全州方言	1年	なし	なし
CFE11	女	20代	吉林省	吉林方言	2年	なし	なし
CFE12	女	20代	河北省	河北方言	0.5年	なし	なし
CFE13	女	20代	黒龍江省	黒龍江方言	1.5年	なし	なし
CFE14	女	20代	四川省	四川方言	0.5年	なし	なし
CME1	男	20代	貴州省	貴州方言	2年	なし	なし
CME2	男	20代	雲南省	雲南方言	2年	なし	なし
CME3	男	20代	雲南省	雲南方言	2年	なし	なし
CME4	男	10代	雲南省	雲南方言	1年	なし	なし
CME5	男	10代	雲南省	雲南方言	1年	なし	なし
CME6	男	10代	雲南省	雲南方言	0.5年	なし	なし

表2 上級者一覧

	性別	年齢	出身地	母方言	学習歴	在日歴	JLPT
CF1	女性	20代	安徽省	江淮官話	6年	3.5年	N1
CF2	女性	20代	河北省	冀魯官話	6年	5ヶ月	N1
CF3	女性	20代	四川省	西南官話	6年	4年	N1
CF4	女性	20代	北京市	普通話	6年	5ヶ月	N1
CF5	女性	20代	江蘇省	江淮官話	10年	3年	N1
CF6	女性	20代	江蘇省	江淮官話	10年	3年	N1
CF7	女性	20代	江蘇省	江淮官話	6年	3.5年	N1
CF8	女性	20代	遼寧省	遼寧方言	6年	3年	N1
CF9	女性	20代	浙江省	舟山方言	6年	3年	N1
CF10	女性	20代	浙江省	海寧方言	6年	5ヶ月	N1
CF11	女性	20代	陝西省	河南方言	7年	3年	N1
CF12	女性	30代	安徽省	北方官話	7年	4ヶ月	N1
CF13	女性	30代	河北省	冀魯官話	11年	8ヶ月	N1
CF14	女性	30代	山東省	山東方言	3年	0.5年	N1
CM1	男性	20代	山西省	太原方言	6年	1ヶ月	N1
CM2	男性	20代	湖南省	長沙方言	4年	4年	N1
CM3	男性	20代	天津市	天津方言	6年	6年	N1
CM4	男性	20代	遼寧省	遼寧方言	4年	2年	N1
CM5	男性	20代	広東省	閩南語	7年	3年	N1

表 3 日本語母語話者一覧

	性別	年齢	出身地	母方言
JF1	女性	20代	大阪府	関西方言
JF2	女性	20代	大阪府	関西方言
JF3	女性	20代	大阪府	関西方言
JF4	女性	20代	福井県	北陸方言
JF5	女性	30代	東京都	東京方言
JF6	女性	50代	東京都	東京方言
JF7	女性	50代	東京都	東京方言
JM1	男性	20代	大阪府	関西方言
JM2	男性	20代	大阪府	関西方言
JM3	男性	20代	大阪府	関西方言
JM4	男性	20代	長崎県	肥筑方言

今回は、習熟度による発音の違いを考慮し、中国語の標準語を日常的に使用する中国人学習者を日本語全般のレベルに基づいて「初級者」と「上級者」に分けた。初級者 20 名（男性 6 名、女性 14 名）、上級者 19 名（男性 5 名、女性 14 名）、日本語母語話者 11 名（男性 4 名、女性 7 名）の計 50 名である。

初級者のグループは中国雲南省に所在する複数の大学の 1 年生および 2 年生で、全員日本滞在歴がなく、日本語能力試験（JLPT）未受験の日本語学習者である。上級者は日本関西地域に所在する複数の大学院の学生で、全員日本滞在歴を持ち、JLPT・N1 レベルの合格者であった。日本語母語話者は、日本関西地域にある大学の関係者で構成された。

2.2 調査語

調査語として、撥音を含む日本語の単語リストを以下の通り作成した。

$$\begin{array}{l} /-, b, h, k, s, sy, zy/ + \boxed{V} +N+- \\ /-, b, h, k, s, sy, zy/ + \boxed{V} +N+C \\ /-, b, h, k, s, sy, zy/ + \boxed{V} +N+V \end{array}$$

頭子音は /-, b, h, k, s, sy, zy/（「-」は頭子音を持たない場合）とし、撥音の後続音は /b, d, n^j, g, i/ とした。ただし、日本語に存在しない [si] や使用頻度の比較的到低い「じえ、しえ」は除外した。

母音の後ろに、「撥音」だけではなく、「母音+撥音+子音」と「母音+撥音+母音」のパターンも設定されたのは、項目のバリエーションを増やすためである。また、有声・無声による影響が考えにくいため、参加者の負担を考慮し、撥音の後続音は全部有声音とした。

調査語は、子音と母音を規則的に組み合わせた無意味語として作成したが、有意味語となるものも一部含まれた。調査語は平仮名で表記し、アクセント型は頭高型に統一した。調査語の詳細を表 4 に示す。

表4 調査語リスト

頭子音 母音	-	b	h	k	s	sy	zy
ア	あん	ぼん	ほん	かん	さん	しゃん	じゃん
	あんだ	ぼんだ	ほんだ	かんだ	さんだ	しゃんだ	じゃんだ
	あんば	ぼんば	ほんば	かんば	さんば	しゃんば	じゃんば
	あんが	ぼんが	ほんが	かんが	さんが	しゃんが	じゃんが
	あんに	ぼんに	ほんに	かんに	さんに	しゃんに	じゃんに
	あんい	ぼんい	ほんい	かんい	さんい	しゃんい	じゃんい
イ	いん	びん	ひん	きん	しん		
	いんだ	びんだ	ひんだ	きんだ	しんだ		
	いんば	びんば	ひんば	きんば	しんば		
	いんが	びんが	ひんが	きんが	しんが		
	いんに	びんに	ひんに	きんに	しんに		
	いんい	びんい	ひんい	きんい	しんい		
ウ	うん	ぶん	ふん	くん	すん	しゅん	じゅん
	うんだ	ぶんだ	ふんだ	くんだ	すんだ	しゅんだ	じゅんだ
	うんば	ぶんば	ふんば	くんば	すんば	しゅんば	じゅんば
	うんが	ぶんが	ふんが	くんが	すんが	しゅんが	じゅんが
	うんに	ぶんに	ふんに	くんに	すんに	しゅんに	じゅんに
	うんい	ぶんい	ふんい	くんい	すんい	しゅんい	じゅんい
エ	えん	べん	へん	けん	せん		
	えんだ	べんだ	へんだ	けんだ	せんだ		
	えんば	べんば	へんば	けんば	せんば		
	えんが	べんが	へんが	けんが	せんが		
	えんに	べんに	へんに	けんに	せんに		
	えんい	べんい	へんい	けんい	せんい		
オ	おん	ぼん	ほん	こん	そん	しょん	じょん
	おんだ	ぼんだ	ほんだ	こんだ	そんだ	しょんだ	じょんだ
	おんば	ぼんば	ほんば	こんば	そんば	しょんば	じょんば
	おんが	ぼんが	ほんが	こんが	そんが	しょんが	じょんが
	おんに	ぼんに	ほんに	こんに	そんに	しょんに	じょんに
	おんい	ぼんい	ほんい	こんい	そんい	しょんい	じょんい

2.3 手順

日本語母語話者と上級者の録音は日本関西地域に所在する大学の防音室で行い、初級者は中国の大学内の静かな教室で行った。口とマイクとの距離を一定するために、ピンマイク（SONY、ECM-77）を使用した。ピンマイクは Rubix 22 USB AUDIO INTERFACE を介して PC に接続し、音響分析ソフトウェア Praat¹ を用いて録音した。サンプリング周波数は 44.1 kHz で、量子化ビット数は 16bit であった。

録音する前に、参加者に録音時の注意事項、1) なるべく自然発話の声の大きさとスピードで調査語を読む、2) 読み間違えたら、その調査語を再度読んでそのまま進んでよい、を口頭で指示した。調査語はランダムに番号を付け、リストを参加者に示した。参加者に各語 1 回ずつ、計 9300 語（186 語 × 50 名）を全て頭高型で読み上げてもらい、収録した。

1 Praat（プラート、オランダ語で「話」の意）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。

2.4 音響分析の方法

得られた音声データに対し、Praat のスペクトログラムを利用し、母音の第 1 フォルマント (F1) および第 2 フォルマント (F2) を測定した。各母音のフォルマントは、母音区間の中央の位置を目視で測定した。この実験では母音のフォルマントの値を年齢層が異なる実験参加者間で比較するため、正規化を実施した。本研究は Lobanov 法²でフォルマントの値を正規化し、計算には NORM³を使用した。

2.5 音響分析の結果

正規化したフォルマント値に基づき、各母音のフォルマント図を作成した。ここでは、日本語の母音を様々な音環境において、中国人学習者と日本語母語話者の音響的特徴の相違点について述べる。学習者と日本語母語話者の撥音に先行する母音の音響的特徴を比較するため、フォルマント値を一つの図にまとめて示す。「/-, k, h, b, sy, zy, s/+ (VN、VNC、VNV)」の母音フォルマント図を以下に示す。図の軸は右上を原点とするよう反転させ、縦軸を F1、横軸を F2 とし、二次元座標上にプロットした。図中の楕円は 95% 等確率楕円である。初級者のフォルマント図を図 1.1-A ~ G に、上級者のフォルマント図を図 1.2-A ~ G に示す。図中、赤色の楕円は中国人学習者の母音分布を示す。日本語母語話者のデータはカタカナで表示し、学習者のデータはアルファベットで表示する。具体的には、/ア/ は●、/イ/ は▲、/ウ/ は◆、/エ/ は□、/オ/ は*で示し、日本語母語話者のフォルマントは黒の記号、中国人学習者のフォルマントは赤の記号で表す。

初級者に対する音響分析の結果について、図に従って以下にまとめる。

図 1.1-A (頭子音なしの場合) : /ア/ において初級者の発音は母語話者の分布範囲とほぼ一致していた。一方、/イ/ では、初級者は母語話者と比較して F1 が低く、F2 が高い母音を示しており、母音 /イ/ の分布範囲が広がる傾向が確認された。/ウ/ では、F1 が高く、F2 が低い母音が観察され、特に F1 が高い母音は日本語の /エ/ と /オ/ の中間的な位置に分布していた。/エ/ では、F2 が低い母音が多く観察され、/オ/ では、F1 と F2 が共に高い母音を確認された。

図 1.1-B (頭子音が /b/ の場合) : /ア/ において初級者の F1 にはばらつきが見られ、高いものと低いものの両方が観察された。/イ/ では、F2 が高いものと低いものの両方が確認され、母音の分布に多様性が見られた。/ウ/ では、F1 が高く、F2 が低い母音が観察され、/エ/ では F2 が低い母音が主に確認された。/オ/ では、F1 が高い母音が多く観察された。

図 1.1-C と図 1.1-D (頭子音が /h, k/ の場合) : /ア/ において初級者の F1 が低い母音は /オ/ の分布範囲に近づく傾向が確認された。/イ/ では、F1 が高く、F2 も高い母音が観察された。/ウ/ では、F1 が高く、F2 が低い傾向が顕著に見られた。/エ/ では、F2 が高い母音と低い母音が混在し、/オ/ では F1 と F2 が共に高い母音を確認された。

2 Lobanov 法 : $F_{-}(n[V]) N = (F_{-}(n[V]) - \text{MEAN}_n) / S_n$ ($[F_{-}(n[V]) N = F_{-}(n[V])$ の正規化した値, $\text{MEAN}_n =$ 協力者によるすべての母音における第 n フォルマントの平均値, $S_n =$ 協力者によるすべての母音における第 n フォルマントの標準偏差]) (http://lingtools.uoregon.edu/norm/norm_methods.php 2024 年 12 月 20 日閲覧)

3 NORM は母音 R パッケージへの Web ベースのインターフェイス。

(http://lingtools.uoregon.edu/norm/about_norm.php 2024 年 12 月 20 日閲覧)

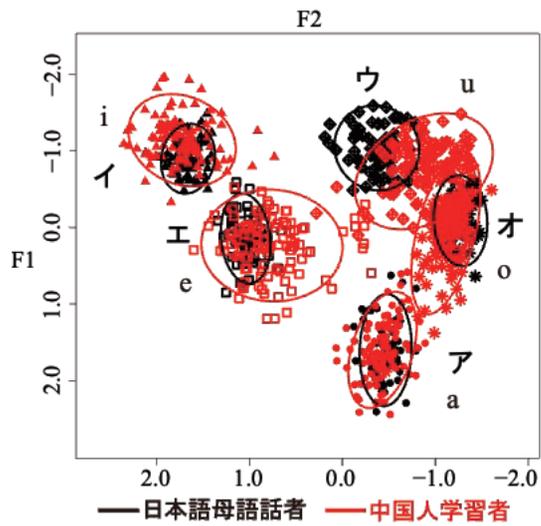


図 1.1-A 頭子音 - (初級者)

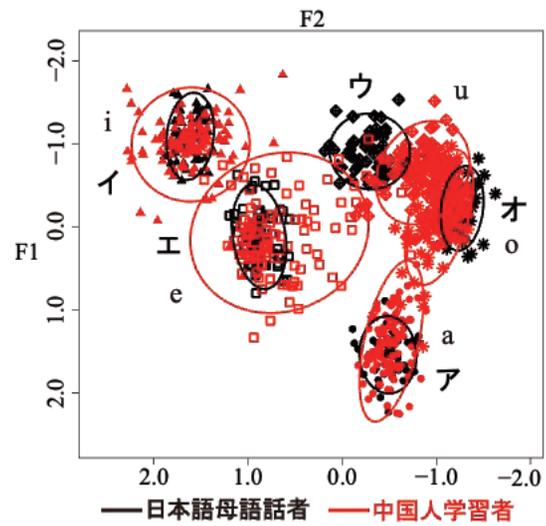


図 1.1-B 頭子音 /b/ (初級者)

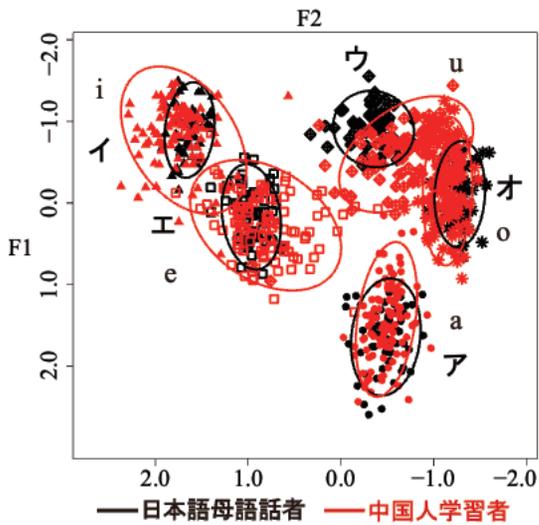


図 1.1-C 頭子音 /h/ (初級者)

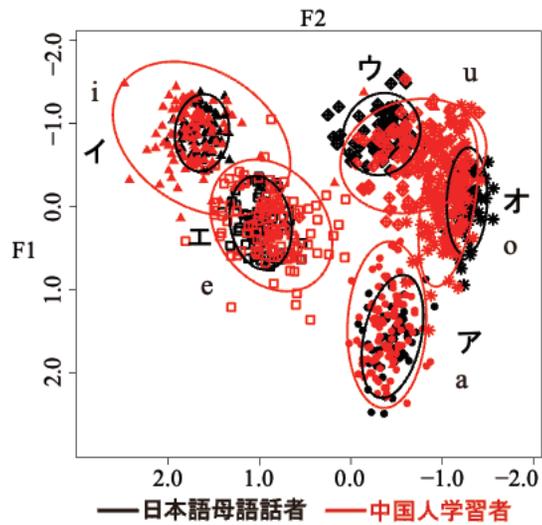


図 1.1-D 頭子音 /k/ (初級者)

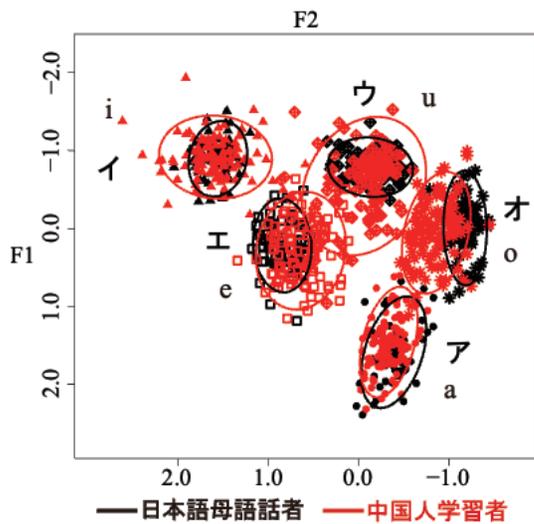


図 1.1-E 頭子音 /s/ (初級者)

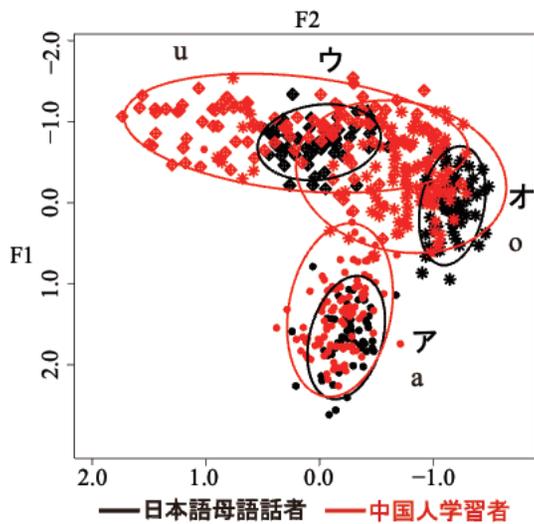


図 1.1-F 頭子音 /sy/ (初級者)

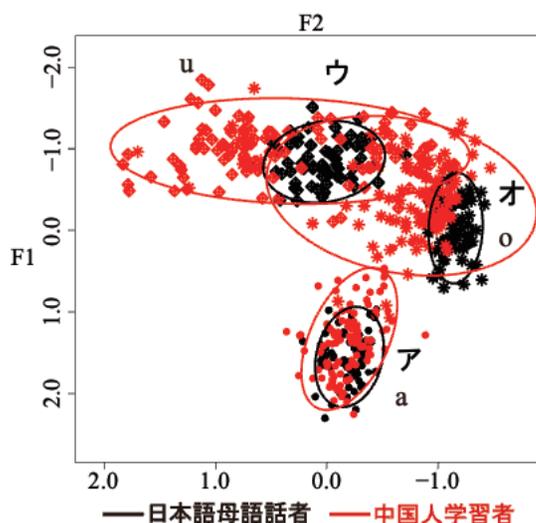


図 1.1-G 頭子音 /zy/ (初級者)

図 1.1-E (頭子音が /s/ の場合) : /ア/ において初級者の発音は母語話者の分布範囲とほぼ一致していた。/イ/ では、F2 が低い母音と高い母音の両方が観察され、/ウ/ では F1 が高く、F2 も高い母音が確認された。/エ/ では F2 が低い母音が主に観察され、/オ/ では F2 が高い母音が多く確認された。

図 1.1-F と図 1.1-G (頭子音が /sy, zy/ の場合) : /ア/ においては、初級者の F1 が母語話者よりも低い母音が多く観察された。/ウ/ では、F2 が高い母音と低い母音の両方が存在し、母音の分布範囲が広がる傾向が見られた。/オ/ では、F2 が高い母音が多く観察され、/ウ/ の分布範囲に近接する傾向が確認された。

次に、上級者に対する音響分析の結果を述べる。

図 1.2-A (頭子音を持たない場合) : /ア/ と /イ/ では、上級者の母音分布は母語話者の範囲から一部逸脱する例があるものの、大部分は範囲内に収まった。/ウ/ では F2 が低い母音が顕著に観察された。/エ/ では F1 が高く、F2 が低い母音が確認された。/オ/ では F1 が低く、F2 が高い母音が多く観察された。

図 1.2-B (頭子音が /b/ の場合) : /ア/ では母語話者と比較して F1 が低い母音が確認された。/イ/ では F2 が低い母音が観察された。/ウ/ では F1 が高く、F2 が低い母音が顕著であった。/エ/ では F2 が低い母音が主に確認された。/オ/ では、上級者による /ウ/ の分布範囲と重複していることが観察された。

図 1.2-C (頭子音が /h/ の場合) : /ア/ と /イ/ では、大部分の母音が母語話者の範囲内に位置するものの、一部逸脱する例も存在した。/ウ/ では F1 が高く、F2 の分布範囲が広範囲にわたっていた。/エ/ では F1 が高く、F2 が低い母音が観察された。/オ/ では F1 と F2 の値に高低両方の傾向が混在していた。

図 1.2-D (頭子音が /k/ の場合) : /ア/ と /イ/ では、上級者の発音が母語話者の分布範囲から一部逸脱する例があるものの、大部分は範囲内に位置していた。/ウ/ では F1 が高く、F2 が低い母音が顕著であった。/エ/ では F1 が高く、F2 が低い母音が観察された。/オ/ では F1 が低い母音が確認され、F2 が高い母音は /ウ/ の分布範囲と近接していた。

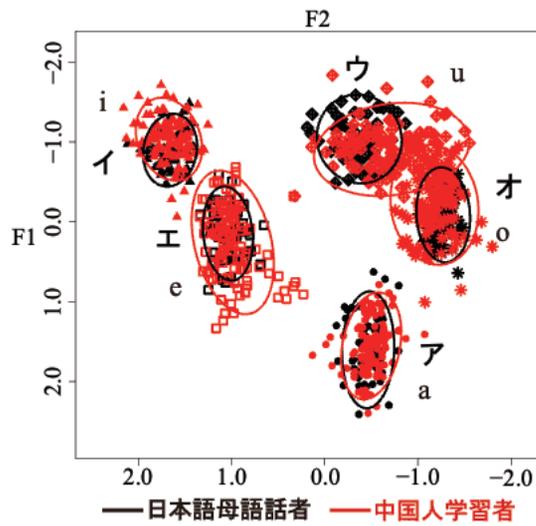


図 1.2-A 頭子音 - (上級者)

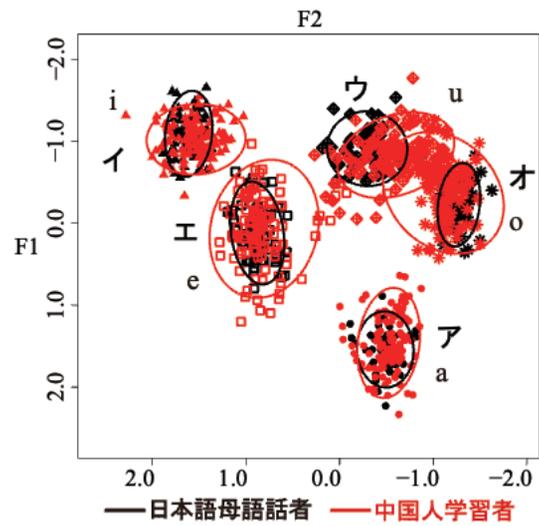


図 1.2-B 頭子音 /b/ (上級者)

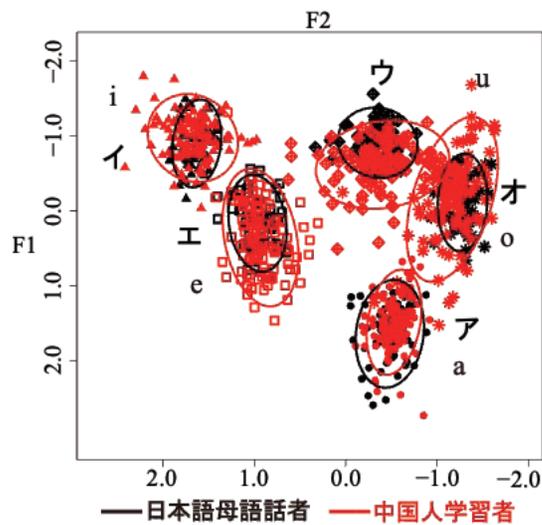


図 1.2-C 頭子音 /h/ (上級者)

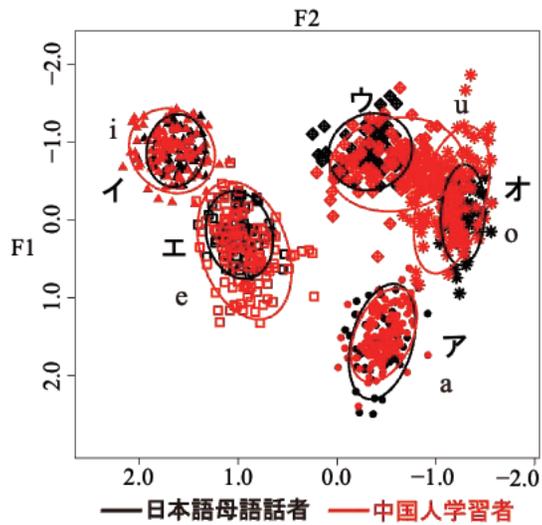


図 1.2-D 頭子音 /k/ (上級者)

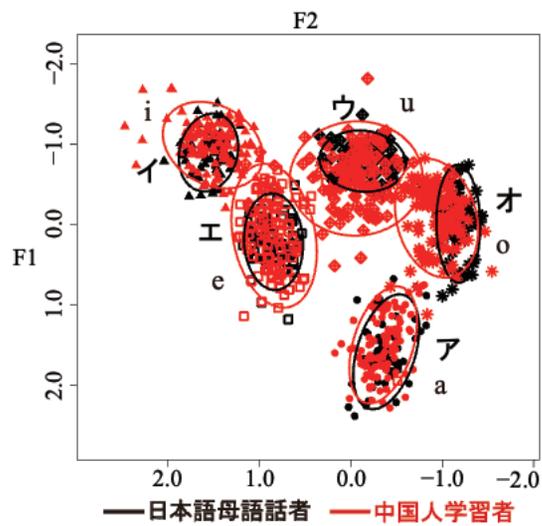


図 1.2-E 頭子音 /s/ (上級者)

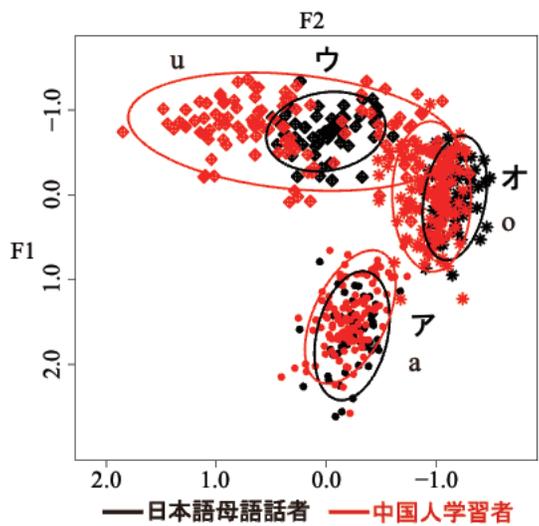


図 1.2-F 頭子音 /sy/ (上級者)

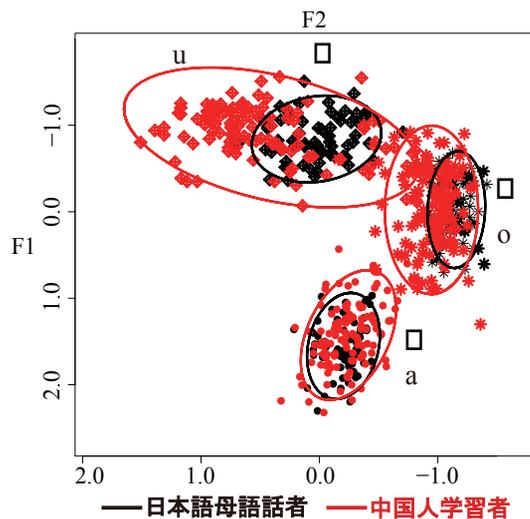


図 1.2-G 頭子音 /zy/ (上級者)

図 1.2-E (頭子音が /s/ の場合) : /ア/ と /イ/ では、上級者の発音が母語話者の分布範囲から部分的に逸脱する例があるものの、大部分は範囲内に位置していた。/ウ/ では F1 および F2 が高い母音が目立ちつつ、F2 が低い母音も存在した。/エ/ では F1 が高く、F2 が低い母音が若干確認された。/オ/ では F2 が高い母音が多く、/ウ/ の分布範囲に近接していた。

図 1.2-F と図 1.2-G (頭子音が /sy, zy/ の場合) : /ア/ では一部の上級者が母語話者の分布範囲から逸脱したが、大部分は範囲内に位置していた。/ウ/ では F2 が高い母音は /イ/ の分布範囲に近づき、F2 が低い母音は /オ/ と部分的に重複していた。/オ/ では F2 が高い母音が多く、/ウ/ の分布範囲に近接していた。

上級者の発音は初級者に比べ母語話者に近づいているが、完全に母語(中国語)の影響が排除されているわけではない。特に、頭子音の種類や母音の調音環境によって、母語話者との差異が依然として確認された。例えば、頭子音が /sy, zy/ の場合、F2 の分布範囲が広がり、/ウ/ が /イ/ や /オ/ の音響特性に近づく傾向が見られた。また、習得度は学習年数よりも音環境(頭子音の種類)や母音の特性に強く依存することが明らかとなった。特に、/h, k/ を含む環境では F1 が高い母音が頻繁に現れ、/b, s/ を含む環境では F2 が低いまたは高い母音が過剰に現れる傾向があった。さらに、上級者においても母音間の混同(例: /ウ/ と /オ/ の分布範囲の重複)が観察され、F2 が不安定になる傾向が顕著であった。

III 音韻範疇の近似率

音響分析の結果を用いて、中国人学習者による撥音に先行する母音が日本語母語話者の母音とどの程度類似しているかを検討するため、マハラノビス距離を用いて音韻範疇の近似率を計算した。マハラノビス距離は、2 点の座標データの距離を求めるユークリッド距離とは異なり、任意のデータとあるデータ群との距離を、データ群の散らばり具合を考慮した上で算出するものである。つまり、この方法を使って中国人学習者が産出した任意の母音が、日本語母語話者の産出する母音データ群に近いのかを判定することができる。

マハラノビス距離の算出は、井下田・廣谷・荒井(2017)に倣い、以下の式を用いた。

$$D^2 = \begin{pmatrix} F_1 - \mu_1 & F_2 - \mu_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_{1,1} & \sigma_{1,2} \\ \sigma_{2,1} & \sigma_{2,2} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} F_1 - \mu_1 \\ F_2 - \mu_2 \end{pmatrix}$$

式に表示されている D^2 はマハラノビス距離の二乗で、変数 F_1 と F_2 は日本語母語話者もしくは、中国人学習者が発話した任意の撥音に先行する母音の第1、第2フォルマントである。 μ_1 と μ_2 はそれぞれ変数 F_1 と F_2 の平均値で、 $\sigma_{1,1}$ と $\sigma_{2,2}$ はそれぞれ F_1 と F_2 の分散、 $\sigma_{1,2}$ と $\sigma_{2,1}$ は F_1 と F_2 の共分散を表わす。

中国人学習者が産出した母音のマハラノビス距離が、日本語母語話者の平均に対して、中国人学習者の平均よりも近い場合、その母音は日本語母語話者に近いと判断される。表5に、学習者による音韻範疇の近似率を示す。ここでの近似率は、中国人学習者が産出した母音が、日本語母語話者の母音群とどの程度一致するかを示す指標である。

表5 中国人学習者による音韻範疇の近似率

	/ア/		/イ/		/ウ/		/エ/		/オ/	
	初級	上級								
-	84%	93%	58%	82%	35%	60%	50%	77%	75%	82%
b	79%	82%	64%	75%	21%	58%	55%	77%	55%	65%
h	89%	95%	59%	78%	39%	65%	64%	78%	81%	68%
k	84%	95%	69%	79%	44%	58%	67%	73%	50%	64%
s	97%	94%	78%	80%	59%	63%	69%	82%	37%	60%
sy	79%	88%			40%	22%			32%	70%
zy	37%	79%			37%	37%			39%	54%

表6 音韻範疇の近似率に基づく解釈

	近似率	解釈
高	90% 以上	ほぼ確実に日本語母語話者に同分類される
	80 ~ 89%	かなり日本語母語話者に近いと見なせる
	70 ~ 79%	明確に同じとは言いがたいが、日本語母語話者とは近い
中	50 ~ 69%	母語話者に近いかの判断が難しく、バラつきが大きい
低	49% 以下	日本語母語話者とは明らかに異なる

今回は、表5の結果を表6の解釈に基づいて3つの階層に分けた。

頭子音を持たない場合、初級者では/ア/と/オ/は近似率が75%以上と高い一方、/イ/、/ウ/、/エ/は60%以下であり、特に/ウ/は35%と低かった。上級者では/ア/、/イ/、/エ/、/オ/が77%以上と高く、/ウ/は60%と近似率が中程度に止まっている。

頭子音が/b/の場合、初級者は/ア/は79%と高いが、/イ/、/エ/、/オ/は50~69%の範囲であり、/ウ/は21%と極めて低い。上級者では/ア/、/イ/、/エ/が75%以上と高いが、/オ/は65%と中程度、/ウ/は58%と中程度に止まっている。

頭子音が/h/の場合、初級者は/ア/と/オ/は80%以上と非常に高いが、/イ/、/エ/は50~69%の範囲であり、/ウ/は39%と低い。上級者では/ア/は95%と極めて高く、/イ/も/エ/も78%以上と高いが、/ウ/と/オ/は65~68%と中程度に止まっている。

頭子音が/k/の場合、初級者では/ア/のみが84%と高く、他の母音は69%以下で、特に/ウ/は44%と低い。上級者では/ア/、/イ/、/エ/が73%以上と高いが、/ウ/と/オ/は64%以下。

頭子音が /s/ の場合、初級者の /ア/ と /イ/ は 78% 以上だが、/ウ/、/エ/、/オ/ は 69% 以下で、特に /オ/ は 37% と低い。上級者では /ア/、/イ/、/エ/ が 80% 以上と高く、/ウ/ と /オ/ は 63% 以下。

頭子音が /sy/ の場合、初級者の /ア/ は 79% だが、/ウ/ と /オ/ は 40% 以下だった。上級者では /ア/ と /オ/ が 70% 以上だが、/ウ/ は 22% と非常に低かった。

頭子音が /zy/ の場合、初級者の /ア/、/ウ/、/オ/ は 39% 以下。上級者では /ア/ が 79% と高いが、/オ/ は 54% で、/ウ/ は 37% と非常に低かった。

母音別に見ると、初級者の /ウ/ の近似率は頭子音に関わらず全体的に低く、上級者でも 65% 以下。/エ/ も初級者では 69% 以下。/オ/ は初級者で頭子音を持たない場合と /h/ のときに 75% 以上だが、他は 50% 以下。/ア/ は初級者で頭子音が /zy/ のときのみ 37% と低かった。/ア/ も /イ/ も上級者は近似率が高かった。

このように、上級者は初級者よりも全体的に近似率が高い（例外あり）。t 検定で行ったところ、上級者は初級者より有意に近似率が高かった ($t(60) = 2.87$, $p < .01$)。これは日本語学習歴が長いほど母音の近似率が向上し、発音が母語話者に近づくことを示唆している。

IV 中国人学習者による撥音に先行する母音の調音運動の観察

本節では、撥音に先行する母音が実際にどのような調音運動によって産出されているのかを明らかにする。具体的には、数例をピックアップし、超音波撮像による調音運動の観察を行い、音響分析の結果と照らし合わせることを試みる。

4.1 実験参加者と調査語

超音波実験は、2 節で述べた産出実験と同時に行った。実験参加者と調査語は産出実験と同じであるため、詳細な説明は 3 節をご参照ください。

4.2 実験方法

本研究では、GE Healthcare 社のポータブル超音波診断装置 LOGIQ e Premium に 8C-Rs マイクロコンベックスプローブを接続し、B モードで下顎矢状断面の舌運動を記録した。超音波ゼリー塗布後、プローブを下顎下部に垂直設置し（実験配置は図 2 参照）、66 fps で撮影した。頭部固定のため Articulate Instruments 製ヘッドセットを装着し、発話時の頭部移動を抑制した。

音声収録には SONY ECM-77 ピンマイクを胸元に設置し、Rubix 22 USB AUDIO INTERFACE 経由で PC 接続した。超音波画像と音声の同期は IO Data GV-HUVC によるビデオキャプチャで実現し、OBS Studio で 60 fps・1280 × 720 ピクセルの MP4 動画として保存した。音声品質維持のため、Audacity で 44.1 kHz/16bit WAV 形式の並列録音を実施した。



図2 実験風景の写真（左図：実験に使用した装置 LOGIQ e Premium（GE）、右図：ヘッドセットを装着した実験協力者。下顎にはプローブを当てている）

4.3 実験方法

超音波診断装置のキャプチャ画像（1280 × 720 ピクセル）から不要部分（メニュー・サムネイル等）を除去し、舌尖（左）・舌根（右）を含む観測領域を抽出した（図3参照）。動画処理は Adobe Premiere Pro で実施し、舌輪郭の抽出には自動抽出ソフト GetContours（Tiede, 2016）を使用した。同ソフトではマウスクリックまたは手動トレース（図中の黄色実線）により舌輪郭を抽出し、座標データ（ピクセル単位）を保存する。これにより複数データの重ね合わせが可能となるが、分析には必要に応じて座標をミリメートル単位へ変換した。

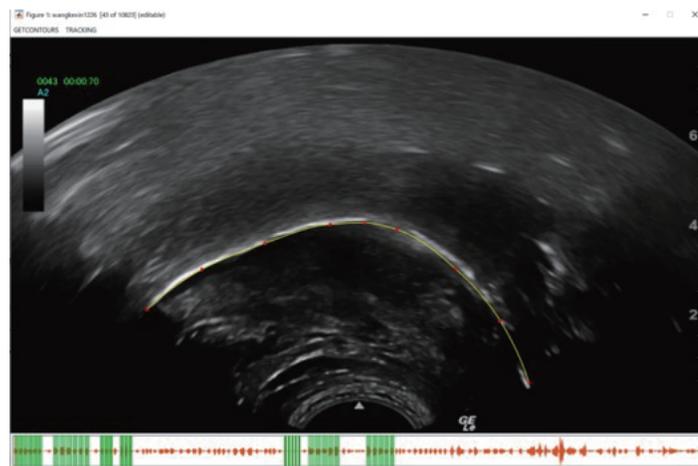


図3 超音波画像および GetContours の操作画面

4.4 実験結果

以下に、日本語母語話者（JF4）、初級者（CME2）、上級者（CF12）各1名ずつのすべての母音データの重ね描きを図4に代表例として示す。各図では、/ア、イ、ウ、エ、オ/の舌の形状を、それぞれ黒、青、黄、赤、水色の実線で示している。

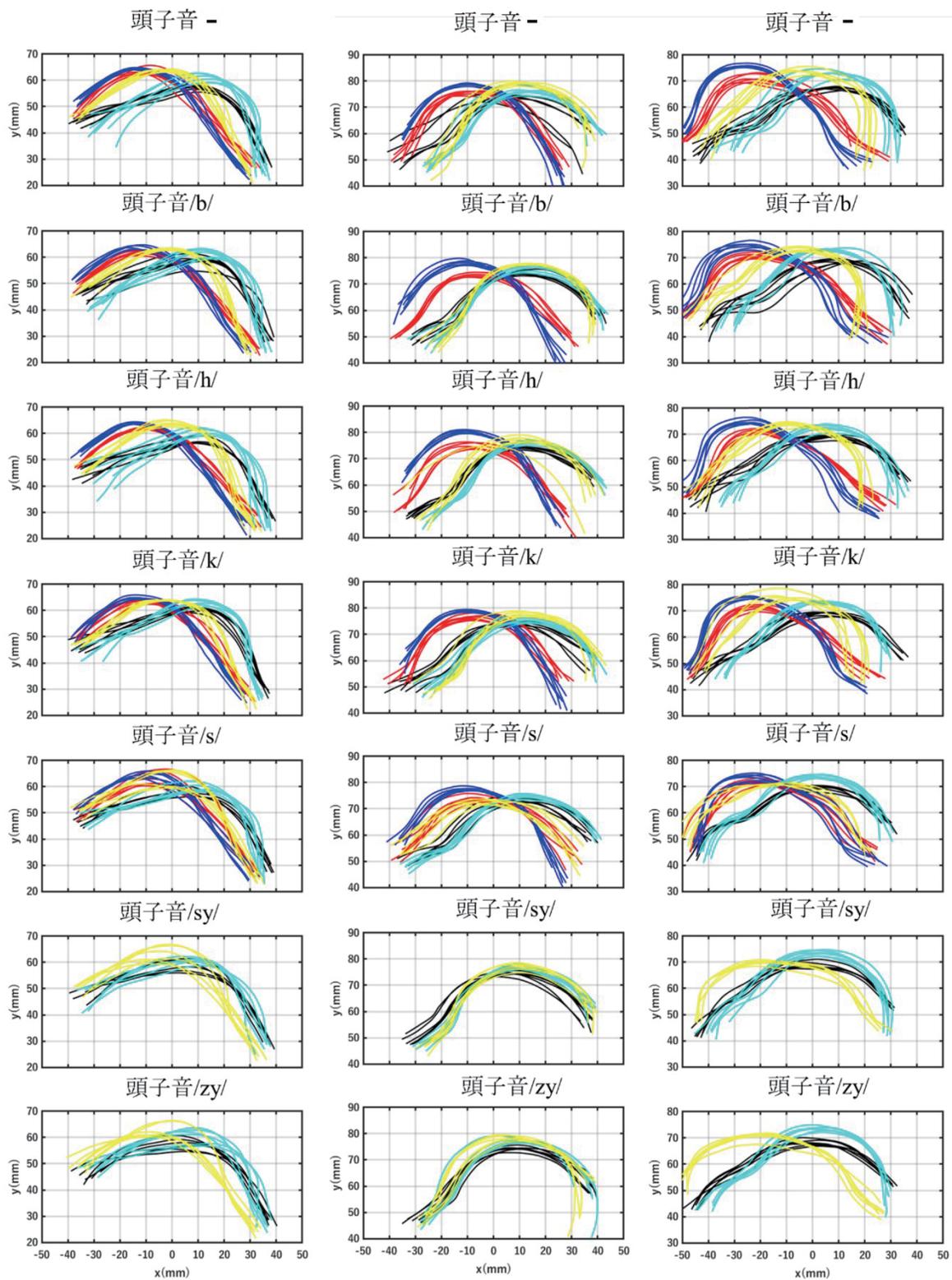


図4 撥音に先行する母音の舌形状

(ア-黒、イ-青、ウ-黄、エ-赤、オ-水)

左：日本語母語話者、中央：初級学習者、右：上級学習者)

図4によると、日本語母語話者は、頭子音の影響をほぼ受けず、/イ、エ/の調音点は前方に、/ア、オ/は後方に位置する。一方、/ウ/の調音点はこれらの母音の中間的な位置にある。

初級者では、/イ、エ/は前方に位置する一方、特に頭子音なしの場合の/ア/は調音位置が不安

定である。多くの頭子音の環境下での /ウ/ は後舌母音であるが、頭子音が /k/ の場合はその傾向が異なる。頭子音が /s/ のときの舌の形状は平坦であり、中国語の *si*[si]([sɿ]) の母音部分 [i] の特性と類似していると考えられる。/エ/ の舌の先端と終端はほぼ同じ高さで、山型となっており、曖昧母音 [ə] の特徴に類似する。さらに、頭子音が /s/ を除く環境下での /ウ/ と /オ/ の舌輪郭はほぼ重なるため、初級者はこれらの母音を区別せずに発音していると推察される。

上級者の発音特性は、おおむね日本語母語話者と類似していた。ただし、特定の頭子音環境、特に /sy, zy/ の際の /ウ/ の発音は、日本語母語話者とも初級学習者とも異なり、舌が前方に位置し、/イ/ よりも低い位置を示している。また、頭子音が /s/ のときは初級者と同様に、舌が平坦に調音される傾向が見られた。上級者の調音データのうち、このような特徴を示したのは、協力者 19 人中 14 名であった。上級者のデータにおいても、母語の調音特徴が日本語の母音発音に影響を及ぼしていると考えられる。

V 結果と考察

本研究では、日本語の撥音に先行する母音について、中国人学習者（初級者・上級者）を対象として、音響分析、音韻範疇の近似率の分析および超音波撮像による調音運動の観測を行った。初級者と上級者の発音特性を比較すると、以下のような傾向が明らかになった。

まず、全体的には上級者の母音発音は、初級者と比較して日本語母語話者に近いものとなっていた。これは、継続的な学習や実践を通じて、上級者が日本語の音声的特徴を習得してきたことを示唆している。一方、母音間の混同や中国語の母音での代用が観察され、特に初級者において顕著であった。例えば、日本語の /ウ/ や /エ/ の発音が、中国語の一部の母音に近いものとなっている可能性が示された。上級者でも、母語の要素が部分的に見られた。特に、頭子音が /sy, zy/ の際の /ウ/ の発音は、日本語母語話者や初級者とは異なり、中国語の [y] のように発音される傾向があった。また、頭子音が /s/ のときは、初級者と同様に舌が平坦に調音されることが確認された。これらの結果から、頭子音が後続母音の発音に影響を及ぼしていることが示唆される。

音韻範疇の近似率の分析では、初級者と上級者の日本語母音の近似率に顕著な差が見られた。特に、頭子音がない場合や /b, h, k, s/ のような頭子音がある場合、初級者の近似率は比較的高いものの、上級者は全般的に高い近似率を示した。注目すべきは、頭子音が /sy/ や /zy/ の場合の /ウ/ の近似率の低さで、特定の頭子音が母音の発音に影響を与えることが示された。

超音波撮像による調音運動の観察では、初級者において /イ、エ/ は前方に位置するものの、頭子音を持たない /ア/ の位置は不安定であった。また、頭子音が /s/ のときの /ウ/ の調音は、中国語の *si* の母音部分 [i] の調音位置と類似していた。上級者では、特定の頭子音環境（特に /sy, zy/）での /ウ/ の発音が、日本語母語話者や初級者と異なり、中国語の [y] のような発音をしていることが観察された。

以上の結果をまとめ、中国人学習者による撥音に先行する母音の発音傾向および発音のパフォーマンスを表 7 に示す。

表7 中国人学習者による撥音に先行する母音の発音傾向および発音のパフォーマンス

頭子音の種類	撥音に先行する母音の種類	発音の傾向	全体的なパフォーマンス
なし, /b, h, k, s/	/ア/	中国語の <i>-an</i> [an], <i>-ang</i> [aŋ] のように発音	高
/sy, zy/		中国語の <i>-ang</i> [aŋ] のよ うに発音	高
全ての頭子音	/イ/	容易に習得	高
なし, /b, k/	/ウ/	中国語の <i>-un</i> [uən], <i>-en</i> [ən] または日本語 /oN/ のように発音	低
/h/		中国語の <i>hun</i> [huən], <i>hen</i> [hən] または日本語 「ほん」、「フォン」のよ うに発音	低
/s/		中国語の <i>sun</i> [suən], <i>sen</i> [sən] または [sin] も しくは日本語「せん」「そ ん」のように発音	中
/sy, zy/		中国語の <i>xun</i> [çyn], <i>jun</i> [tçyn] または日本語 の /oN/ のように発音	非常に低い
なし, /b, h, k, s/		/エ/	中国語の <i>-en</i> [ən], <i>-eng</i> [ɛŋ] または日本語の /uN, iN/ のように発音
なし, /b, h, k, s/	/オ/	中国語の <i>-ong</i> [oŋ] また は日本語の /uN/ のよう に発音	低～中

表7を見ると、/ア、イ/は頭子音にかかわらず習得が容易であるが、/ウ、エ、オ/は特定の頭子音環境で発音が難しくなる。例えば、/ウ/は頭子音が/s/の場合に中国語の*sun*や*sen*、または日本語の/seN/のように発音されることがある。今回の結果では、母音間の混同や、母語で見られる要素もしくは母語に近いパフォーマンスが観察され、孫ら（2022）と一致することが確認できた。

これらの発音の問題は、中国語の母音体系が第二言語としての日本語の発音に影響を与えている可能性を示唆する。しかし、この影響が母語に起因するものか、あるいは学習過程に由来するものかを特定するには、さらなる検討が必要である。特に、日本語の母音が中国語に存在しない音色や、特定の音環境での母音の発音は、学習者にとって困難である。これらの結果は、日本語教育において、特定の母音や音節構造に対する注意深い指導と練習の重要性を示している。また、学習者が日本語母語話者の発音を正しく理解し聞き取る能力は比較的高いものの、自身の発音においては母語の要素が残っていることが確認された。これは、日本語の音声的特徴を十分に理解し、模倣するとともに、母語の音韻体系から脱却することが、日本語学習において重要なステップであることを示している。

VI 本研究の限界および今後の課題

本研究では、中国語を母語とする日本語学習者における撥音に先行する母音の発音特性を分析し、発音のバリエーションについて明らかにした。しかし、研究手法や対象の選定にはいくつかの限界があり、今後の研究においてさらなる検討が求められる。

5.1 研究手法の限界

本研究では、標準中国語を日常的に使用する学習者に限定したが、中国語には多様な方言が存在し、それぞれ異なる音韻体系を持つ。したがって、母方言の違いによる影響をより詳細に検討するには、方言別のデータを収集し、発音の特徴を比較する必要がある。本研究の方法では、特定の発音のずれが母方言に起因するのか、それ以外の要因によるものかを特定することは難しく、今後の課題となる。

そして、発話速度のコントロールについてである。本研究の分析では、比較的自然的な発話を対象とした。しかし、中国人学習者においては、発話スピードが極端に遅くなると、日本語の単母音が単独で発音される際に見られる二重母音化の問題が顕著に現れる可能性がある。例えば、一部の学習者は /オ/ を /ア/ のように発音されているのは、確かに舌位置の隣接に起因する可能性があるが、もう一つの可能性として、/オ/ を二重母音の /ao/ のように発音された（金, 2019）ため、/ア/ の要素がデータ上に示されていることも考えられる。

今回の実験では、「母音+撥音」の持続時間を計測した結果、日本語母語話者の平均持続時間(319ms)、初級者(328ms)、上級者(309ms)の間で有意差は認められなかった($F(2) = 0.76, p = .47$)。ただし、初級者が最も長い持続時間を示しており、発音に慣れていないためゆっくり発音する傾向があると考えられる。上級者は母語話者に近い持続時間を示し、スムーズな発音能力が向上していることが示唆される。

上記を踏まえ、発話速度の違いが発音に与える影響を詳細に検討するためには、異なる発話速度を制御した実験デザインを導入し、速度変化に伴う発音変化を測定する手法を別途確立する必要がある。また、本研究では読み上げ形式を採用したが、/ぼ/と/ぼ/の表記は類似性が高いため、誤読の可能性を完全に排除することはできない。この点についても、今後の研究において手法の改善が求められる。

5.2 言語習得のプロセスに関する観察

本研究は学習者の発話データを基に音響分析を行ったが、言語習得のプロセスにおいて個人ごとの発音ストラテジーがどのように異なるのかを検討することも重要な課題である。例えば、学習者が日本語の発音において母語の要素をどの程度意識し、どのような調整を試みるのかについては、縦断的な観察を通じた分析が求められる。

さらに、学習者の発音には教師の指導方針や学習環境が大きく影響を与える可能性がある。教師の発音モデルや指導方法の違いが学習者の発音習得にどのような影響を与えるのかについて、実際の教育現場でのデータ収集を行い、教育的要因との関連を明らかにすることも今後の課題となる。

5.3 教育上の課題

本研究の結果は、中国人日本語学習者の発音指導に応用できる可能性がある。特に、学習者の母語音韻体系との比較や、特定の音環境における発音の違いを考慮した教授法や教材の開発が求められる。具体的には、音韻体系の違いを意識したトレーニング、発音が困難な音環境を考慮した練習方法、学習者一人一人の発音の傾向に応じたフィードバックの仕組みなど、より効果的な指導方法の確立が必要である。例えば、頭子音の種類によって母音の発音がどのように変化するかを理解し、それに基づいた練習方法を開発することが、学習者の発音習得にとって効果的と考えられる。

また、個々の話者に特化した指導のみならず、日本語教育全般において発音指導を強化する必要性もある。発音教育は、文法や語彙の指導と比べて体系的な指導法が確立されていないことが多く、特に外国人学習者向けの発音指導においては、音韻体系の違いを踏まえた実践的なカリキュラムの整備が不可欠である。

今後の研究では、音響分析や調音運動の観察をさらに発展させ、言語習得プロセスや教育的要因を統合した包括的なアプローチを構築することが求められる。これにより、中国人日本語学習者にとって、より効果的な発音習得支援が可能になると考えられる。

【謝辞】

本研究は、科研費 20H05630（基盤 S）・21H04348（基盤 A）・21K20029（研究活動スタート支援）の研究成果の一部である。

参考文献

- 今泉敏（2013）『言語聴覚士のための基礎知識 音声学・言語学』医学書院．
- 井下田貴子・廣谷定男・荒井隆行（2017）「若年層韓国語ソウル方言における o と u の言語変化の一側面－先行子音種と発話単位の違いが 2 母音の重なりに与える影響－」『音声研究』21（2），53-50.
- 磯村一弘（2018）『国際交流基金 日本語教授法シリーズ 2 音声を教える』ひつじ書房．
- 今田滋子著・国際交流基金国際センター編（2002）『教師用日本語教育ハンドブック⑥発音改訂版』凡人社．
- 岡田英樹（1976）「日本語・中国語音声の比較」『日本語教育のための日本語主要外国語との音声の対照研究』131-150.
- 鹿島央（2011）『日本語教育をめざす人のための基礎から学ぶ音声学』スリーエーネットワーク．
- 加藤重弘・安藤智子（2016）『基礎から学ぶ音声学講義』研究社．
- 北村よう（1992）「中国語話者から見た日本語の発音：母音を中心にして」『東海大学紀要』12，13-21.
- 金佳（2017）「中国人日本語学習者における単母音習得の実態」『言語学論叢』36，16-27.
- 金佳（2019）「中国人日本語学習者の単母音習得における類似音及び『訓練上の転移』－ / エ / と / オ / の発音の二重母音化現象を中心に－」『日中言語対照研究論集』21，203-223.
- 坂本恵（2003）「中国人学習者のための発音指導について」『留学生日本語センター紀要』29，171-181.
- 斎藤純男（2009）『日本語音声学入門 改訂版』三省堂．

- 朱春躍 (2010) 『中国語・日本語音声の実験的研究』 くろしお出版.
- 朱春躍 (2021) 「日本語の母音 /u/ は「非円唇後舌狭母音」ではない—「ウ」の調音的特徴の再・再認識—」 『日語偏誤与日語教学研究 第六輯』 003-022.
- 孫静・林良子・高田三枝子 (2021) 「中国人学習者による日本語撥音に先行する母音の音声的特徴」 『第35回日本音声学全国大会予稿集』 107-111.
- 孫静・林良子・高田三枝子 (2022) 「中国人日本語学習者による日本語撥音に先行する母音の音声的特徴」 『音声研究』 26 (2), 1-11.
- 吐師道子・小玉明菜・三浦貴生・大門正太郎・高倉祐樹・林良子 (2016) 「日本語語尾撥音の調音実態：X線マイクロビーム日本語発話データベースを用いて」 『音声研究』 18 (2), 95-105.
- 服部四郎 (1984) 『音声学』 岩波書店.
- 馮蘊澤 (2007) 『中国語の音声』 白帝社.
- 町田健・靱山洋介 (2012) 『日本語教師トレーニングマニュアル③ よくわかる言語学入門』 バベルプレス.
- 松井理直 (2018) 「日本語特殊拍音素の要素と構造について」 『Theoretical and applied linguistics at Kobe Shoin : トークス』 29, 105-150.
- 松岡榮志・古川裕 (2004) 『現代中国語総説』 三省堂.
- 松崎寛・河野俊之 (2002) 『日本語教師・分野別マスターシリーズ よくわかる音声』 アルク.
- 松崎寛・河野俊之 (2018) 『日本語教育 よくわかる音声』 アルク.
- 鮑怀翹・林茂灿 (2014) 『实验语音学概要』 北京大学出版社.
- 陈彧 (2011) 「基于超声波检测的汉语普通话基础元音发音的舌体运动研究」 『博士学位論文』 南開大学研究生院.
- 丁崇明・荣晶 (2019) 『现代汉语语音教程』 北京大学出版社.
- 林鸿 (2018) 『普通话语音与发音 第四版』 浙江大学出版社.
- 林焘・王理嘉 (2019) 『语音学教程』 北京大学出版社.
- 宋清逸 (2020) 「基于超声波检测的拉萨藏语元音发音舌位运动研究」 『修士學位論文』 上海師範大学.
- 宋欣桥 (2023) 『普通话语音训练教程 (第三版)』 商务印书馆出版.
- 石峰 (2008) 『语音格局——语音学与音系学的交汇点』 商务印书馆.
- 吴宗济 (1986) 『汉语普通话单音节语图册』 中国社会科学出版社.
- 吴宗济 (1992) 『现代汉语语音概要』 华语教学出版社出版.
- 杨诒・邱忠 (2007) 『日语语音语调 日本語の発音とイントネーション』 世界图书出版公司.
- 徐世荣 (1980) 『普通话语音知识』 文字改革出版社.
- 张岩宏 (2019) 『汉日对比语言学』 高等教育出版社.
- 朱晓农 (2018) 『语音学』 商務印書館.
- Mizoguchi, A., Mark K. Tiede and D. H. Whalen (2022) “Inter-Speaker Variability of Articulation for the Japanese Moraic Nasal: An Ultrasound Study.” *Phonological Studies* 25, 121-132.
- Lindblom, B (1963) “Spectrographic study of vowel reduction.” *Journal of the Acoustical Society of America*, 35, 1773-1781.

- Morimoto, M., A. Mizoguchi., W. Y. Li and T. Arai (2023) "Articulatory timing of the Japanese singleton and geminate /t/ produced by speakers of Standard Chinese." *Proceedings of the 20th International Congress of Phonetic Sciences*, 2691-2695.
- Meunier C. and R. Espesser (2011) "Vowel reduction in conversational speech: the role of lexical factors." *Journal of Phonetics*, 39, 3, 271-278.
- Tateishi, M and S. Winters (2013) "Does ultrasound training lead to improved perception of a non-native sound contrast? Evidence from Japanese learners of English." *Paper presented at the Annual Conference of the Canadian Linguistic Association, Victoria, BC*, 1-15.
- Tiede, Mark K (2021) GetContours. Version 3.5. Retrieved from <https://github.com/mktiede/GetContours>
- Wilson, I and B. Gick (2006) "Ultrasound technology and second language acquisition research." In *Grantham O'Brien, Mary, Christine Shea & John Archibald (eds.), Proceedings of the 8th Generative Approaches to Second Language Acquisition Conference (GASLA 2006)*, 148-152.
- Wilson, Ian (2014) "Using ultrasound for teaching and researching articulation." *Acoustical Science and Technology* 35(6), 285-289.
- Yamane, N., J. Abel, B. Allen., S. Burton., Mi. Kazama., M. Noguchi., A. Tsuda and B. Gick. (2015) "Ultrasound-integrated pronunciation teaching and learning." *Paper presented at Ultrafest VII, Hong Kong*, 1-4.