

# 日本語を母語とする習熟度別ドイツ語学習者の弱化母音の知覚 —習熟度が母音のフォルマント周波数と持続時間に与える影響—\*

☆粕谷麻里乃, 荒井隆行 (上智大院・理工)

## 1 はじめに

学習者の母語の韻律特性は、外国語の韻律習得に大きく影響する。リズムに関する母音弱化や語尾縮約、子音同化等は母語の韻律特性や音素体系の影響を受けやすく、母音を明示的に知覚・生成する日本語母語話者への影響も大きい。これらは、音響特性としてスペクトルや時間波形上に観察することができる。しかし、音響特性について、ドイツ語を対象に、日本語を母語とする学習者を、習熟度の観点を考慮して調査したものはまだ少ない。

本研究は、日本語を母語とする習熟度別ドイツ語学習者が弱化特性を考慮して作成した音声をもどのように聞くか調査する。Praat[1]で合成した刺激音は、対応するドイツ語の持続時間とフォルマント周波数を連続的に変化させることによって、緊張母音と弛緩母音の間において連続体を作成したものである。これを実験協力者に聞かせ、母語話者と習熟度別学習者が緊張母音と弛緩母音との間でどう知覚を行っているかについて検討する。これにより、ドイツ語非母語話者の弱化母音の知覚について母語話者とのギャップを明らかにし、ドイツ語音声教育への貢献を目的とする。

## 2 強勢リズム由来のドイツ語弱化母音

### 2.1 日本語母語話者による弱化の生成

言語リズム構造に起因する母音弱化は、日独の言語を特徴づける違いの一つであり、学習者の知覚・生成上の問題を誘発するとして注目される。ドイツ語は発話中の強勢間で等時性を保ち、強勢拍リズム規定に関わる母音弱化は発話中に母音の質変化や同時調音による子音連続をもたらす[2]。弱化は、強勢の有無、子音環境、話速、語の種類等を生起の要因とし、程度によって、明示的な母音が /a/ へ、次第に母音が脱落する以下のような段階があ

る [3]。母音の質か持続時間化、弱化段階の過程についての議論はこれまでもされてきた。

de:m → dem → dām → dm → bm → m  
これらは音響特性上、スペクトル、並びに時間波形では、フォルマント周波数（母音の質は特に F1, F2）や持続時間に影響する。ここでは、持続時間の短縮がフォルマント周波数に影響を及ぼすこと[4]、いずれも順位づけ難いという[5]の議論が未だ対峙している。

このように、母音弱化は様々な要因の影響を受けながら、近接した音へとフォルマント周波数を変化させ、持続時間を短縮する。弱化の進行に伴う音変化を検討する上では、ドイツ語の音素体系について触れる必要がある。日本語は「あ、い、う、え、お」の5母音しかない一方で、ドイツ語は母音の音素数は遥かに多く、また各音素には緊張母音と弛緩母音の対立がある。このような母音の対立は、基本的な長さ、音質、舌面位置の相違等により音色の違いが的確に調音されなければならない。この音素対立における音質区別ができないと、識別に際して意味上の問題が生じ、母語話者と学習者の間にミスコミュニケーションを生じさせる。これら母音の音響特性も、持続時間やフォルマント周波数に観察される。

日本語を母語とするドイツ語学習者の発話の音響特性について、習熟度別調査の研究がある[6]。結果、習熟度が増すに従い、[3]でもみられた段階的弱化の進行が観察された。特に、持続時間だけに敏感であった日本語を母語とする初級者の発話は、習熟度を増すに従いフォルマント周波数 (F1, F2) にも母語話者に類似した弱化傾向を示すようになり、学習者のリズム習得の可能性も示唆された。

本調査では、それを知覚面からアプローチし、弱化の進行に伴う母音の質や長さの変化を学習者はどう聞くか習熟度別に調査する。

\*Perception of vowel reduction by Japanese German learners with different proficiency levels: Effect of learners' proficiency on vowel formant frequency and duration, by KASUYA, Marino and ARAI, Takayuki (Sophia University).

### 3 生成実験

#### 3.1 録音と測定

知覚実験で使用するデータとして、標準ドイツ語母語話者（男性1名）の発話音声を録音した。弱化の強まりに伴う母音の持続時間とフォルマント周波数（F1, F2）の変化に対する知覚能力を測定するため、ドイツ語に実在するミニマルペア（[i-i e-ε]）3組6語（/bieten/ -/bitten/, /bete/ -/bäte/, /beten/ -/betten/）を対象とした。これら6語は、“Ich habe ... gesagt.”（私は...と言った。）の下線部に挿入され、30回（6語×5回繰返し）発話された。その時の話速は発話者自身に委ねた。次に30回の録音データにおいて、Fig. 1に記されるような音素境界となる2点を特定し、その2点の間を母音部 Segment A とした。そして、この Segment A に対し持続時間とフォルマント周波数を測定した。測定した母音の持続時間とフォルマント周波数は、Table 1のパラメータ設定のための基準（Step 1とStep 6）とした。

- (1) 周期的な時間波形の始まり
- (2) 後続子音/t/の始まり

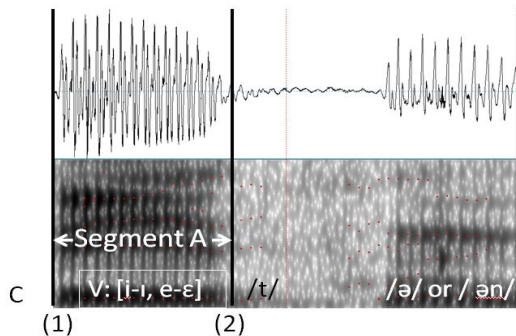


Fig. 1 Schematic representation within the target word. The measurement interval (Segment A) between boundary points (1)-(2) are shown.

#### 3.2 刺激音の作成

刺激音の作成は、Praatによって行った。知覚実験では、刺激語（/beten/等）だけを再生するため、録音時に刺激語を挿入するために用いたキャリア文は削除した。キャリア文を除いた刺激語に対し、Fig. 1のSegment Aが緊張母音から弛緩母音へと移行するように、Segment Aを入れ替えた。Segment Aの母音のフォルマント周波数と持続時間は以下Table 10のような要領で目標値を定め、そのフォルマント周波数に一番近い母音を選んだ後、持続時間についてはPraatを用いて短くした。

Segment Aの母音のフォルマント周波数は、緊張母音から弛緩母音へ6段階を設けた。波形信号は、3.1節で録音したデータとkasuya [4]で録音した同一話者によるデータが混在している。また、Segment Aの持続時間は、10msずつ6段階まで段階的に短縮させた。その際、入れ替えた音環境は、3.1節で録音したデータで統一している。

この手法は、スウェーデン語の長短母音の区別に関する研究として取り組まれた、Behne, Czigler and Sullivan[7][8]に倣った。彼らは、スウェーデン人が長短母音を識別する時に、本来スウェーデン語に優勢だとされる持続時間だけではなく、フォルマント周波数も影響している可能性に着眼した。その結果、スウェーデン語母語話者が、母音の長短母音を識別するためにフォルマント周波数も活用していることがわかった。ここでは、持続時間とフォルマント周波数の両方を10段階で変化させた10×10の合成音声を聞かせている。本研究では、この手法に倣うものの、刺激音は自然発話から得られた生の音声を用意した。これにより6×6（持続時間×フォルマント周波数）の刺激音を作成した。各パラメータのステップサイズ等の詳細は、以下Table 1にまとめた。

Table 1 Vowel parameter settings for the sets of materials

Word pairs	Steps	Vowel spectrum		Vowel duration (ms)
		F1 (Hz)	F2 (Hz)	
/bieten/ ↓ /bitten/	Step 1  Step size  Step 6	250 29±5 422	2131 -45±5 1860	132 -10 72
/bete/ ↓ /bäte/ ↓ /beten/ ↓ /Betten/	Step 1  Step size  Step 6	307 24±5 451	2080 -67±5 1663	128 -10 68

### 4 知覚実験

#### 4.1 実験協力者

ドイツ語母語話者（男性4名）と日本語を母語とする習熟度別学習者（男性8名：上級4名、初級4名）に協力を仰いだ。

## 4.2 実験方法

刺激は(1 話者×(6×6 ステップ)×3 回)、各刺激の結果を習熟度別に合計し平均した。全 108 刺激はランダムに提示され、実験時間は約 20 分程であった。実験協力者はモニター前にヘッドフォンを着用して着席し、流れてきた刺激音を聞いた。音声はコンピュータからオーディオインタフェース (Marantz PMD 671) を介してヘッドフォン (SONY ECM-959DT) を用いて呈示した。同時に、モニター上に刺激語 (ミニマルペア) が表示され、どちらに聞こえるかを強制選択させた。

## 5 結果

Fig. 2~Fig. 5 に実験結果を示す。各 Figure に記載した記号は、上からドイツ語母語話者 (GN)、日本語を母語とする上級学習者 (Jad)、初級学習者 (Jel) とする。また、Fig. 2、Fig. 3 は、同じ持続時間ステップの全刺激の平均、Fig. 4、Fig. 5 は、同じフォルマント周波数ステップの全刺激の平均を図示した。

Fig. 2 は [i-i]、Fig. 3 は [e-ε] の持続時間ステップの結果を示す。まず、Fig. 2 では、上級学習者 (Jad) の回答は母語話者 (GN) にほぼ等しい傾向を示した。初級学習者 (Jel) だけが持続時間の短縮が伴っても急激な傾きを示すことはなく、判断境界値はみられない。その理由として、日本語は持続時間優位の言語であることが考えられる。Fig. 3 でも同様に、上級学習者 (Jad) の回答が母語話者 (GN) にほぼ等しい傾向を示した。

Fig. 2 の [i-i] と Fig. 3 の [e-ε] の持続時間ステップについて、母語話者 (GN) と上級学習者 (Jad) において [i-i] より [e-ε] の方が緊張母音から弛緩母音だと判断するのに持続時間の短縮を要した。つまり、持続時間が [i-i] よりも短くならないと [ε] とは知覚できなかった。

Fig. 4 は [i-i]、Fig. 5 は [e-ε] のフォルマント周波数ステップ結果を示す。[i-i] の Fig. 4 では、上級学習者 (Jad) の回答は、母語話者 (GN) にほぼ等しい傾向を示した。持続時間同様に、初級学習者 (Jel) に限っては、フォルマント周波数が変化してもほぼ回答は一樣であった。持続時間と同様に、上級学習者 (Jad) の回答は母語話者 (GN) に等しい傾向を示した。少し異なる結果を示したのが、Fig. 5 のフォルマント周波数を /e/ から /ε/ へと変化させた場合

である。これは全知覚実験の中で習熟度間に最も回答にばらつきがあった。上級学習者 (Jad) と母語話者 (GN) の回答割合は唯一一致しなかった。とはいえ、持続時間ほどではないが、フォルマント周波数の変化に伴い /e/ を選択する割合は一定に減少傾向を示した。

また、Fig. 4 の [i-i] と Fig. 5 の [e-ε] を比較したところ、いずれも判断境界値がみられた母語話者 (GN) をみても、[i-i] よりも [e-ε] の方が、緊張母音から弛緩母音の判断にわずかに差がみられた。また、Fig. 5 では上級者の判断境界値が定まらないことから、日本語母語話者にとって、[e-ε] の方が母音の質の変化を知覚することが難しいともいえる。[e-ε] に限っては、初級学習者 (Jel) は一樣に、フォルマント周波数が変化しても /e/ を選択していた。

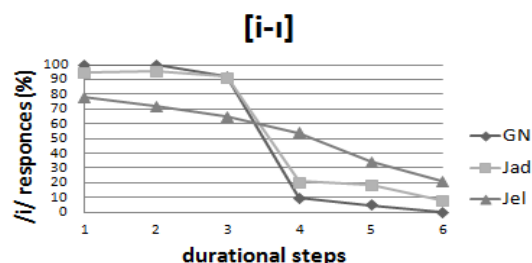


Fig. 2 For vowel set [i-i], the mean percent /i/ responses are plotted for the 6 durational steps.

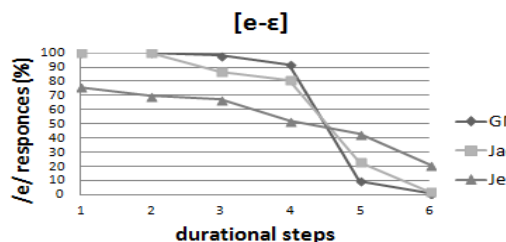


Fig. 3 For vowel set [e-ε], the mean percent /e/ responses are plotted for the 6 durational steps.

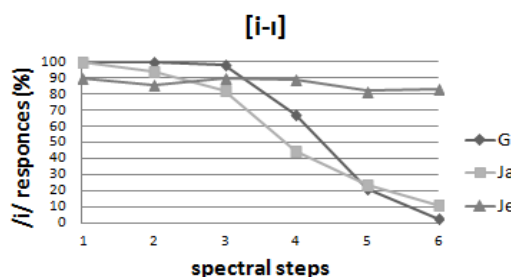


Fig. 4 For vowel set [i-i], the mean percent /i/ responses are plotted for the 6 spectral steps.

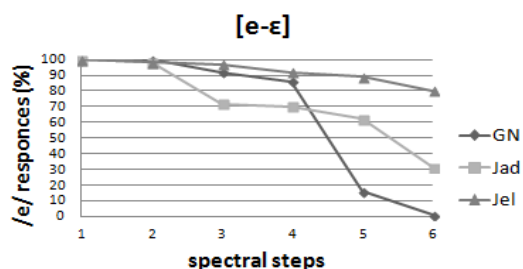


Fig. 5 For vowel set [e-ε], the mean percent /e/ responses are plotted for the 6 spectral steps.

## 6 考察

本研究では、ドイツ語母語話者と日本語を母語とする学習者の弱化的知覚特性に習熟度効果を認めた。

母語話者は、緊張母音から弛緩母音への段階的な弱化的母音の知覚に持続時間とフォルマント周波数の双方を用いていた。母音の持続時間やスペクトル共に、同じステップ間を比較しても持続時間の方が緊張母音を選択する割合が高かったこと。また、母音の持続時間の方がスペクトルより知覚の判断境界が早く起こったこと。これらは、母音の質よりも持続時間が、母語話者の弱化的知覚に優勢となっていることが考えられる。これにより、2.1節で言及した段階的な弱化的過程について、[4]を支持する結果が得られたといえる。

初級学習者は、フォルマント情報を十分に活用できなかったのは、持続時間が優勢な日本語の影響と考える。母音の長さを判断するための知覚的なキューとして、持続時間が強い影響を残していることを示している。

一方で、上級学習者になると、ドイツ語の母音の長さの判別に、フォルマント情報を用いるようになることが明らかとなった。これは、習熟度の上昇に伴う知覚能力の向上を示しており、学習効果として認められる。これは生成調査[4]結果と同じであり、外国語の韻律習得の可能性を知覚面からもサポートしている。なお、[i-I]よりも [e-ε]のスペクトル段階の成績に母語話者と学習者間に差がみられたことは、日本語母語話者にとって[e-ε]音の習得が困難であることを示唆している。

本研究は、生成実験[4]の後続研究として取り組んだ。学習者能力の臨界域は永年の課題であるが、学習者の現状からどこに問題があるかを分析することで解決の一助となる

う。特に、ドイツ語は英語と同様視されやすく調査の意義は大きい。今後は、知覚と生成能力の相関も検討したい。また、今回はより自然発話に近い音声を意識し、刺激音には生のデータを利用したが、合成音によってより厳密に調整されたデータでの検証も行いたい。

## 謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金 (24・10524) の助成を得て行われました。

## 参考文献

- [1] P. Boersma and D. Weenink, "Praat, a system for doing phonetics by computer," *Glott International* 5:9-10, pp. 341-345 (2001).
- [2] B. Lindblom, "Explaining phonetic variation: A sketch of the H&H theory," in *Speech Production and Speech Modelling*, W. J. Hardcastle and A. Marchal, Eds. (Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1990), pp. 403 - 439.
- [3] C. Widera and T. Portele, "Levels of reduction of German tense vowels," *Proc. Eurospeech '99*, 4, pp. 1695 - 1698 (1999).
- [4] G. Meinhold, *Deutsche Standardausprache. Lautschwächung und Formstufen*, Friedlich-Schiller-Universität, Jena (1973).
- [5] M. Jessen, "Stress conditions on vowel quality and quantity in German," *Working Papers of the Cornell Phonetics Laboratory* 8, pp. 1-27 (1993).
- [6] M. Kasuya and T. Arai, "Pronunciation of German suffixes by Japanese native speakers of different proficiency levels," *Proc. Meet. Acoust. of the Acoust. Soc. Am.*, 19, (2013).
- [7] D. M. Behne, P. Czigler and K. Sullivan, "Acoustic characteristics of perceived quantity and quality in Swedish vowels," *Speech Science and Technology '96*, 6, Adelaide, pp. 49 - 54 (1996).
- [8] D. M. Behne, P. Czigler and K. Sullivan, "Perceived vowel quantity in Swedish: Effects of postvocalic voicing," *Proc. Of the 16th International Congress of Acoustics and the 135th meetings of the Acoustical Society of America*, pp. 1963 - 1964 (1998).