

## 残響下における日本語促音と撥音のカテゴリー知覚 母語話者と非母語話者の比較\*

☆大澤恵里（上智大院・理工研），荒井隆行（上智大・理工），  
北原真冬（上智大・外国語）

### 1 はじめに

大きなホールのような広い空間では残響が音の聞こえに影響する。特に長い残響は音楽の聞こえを豊かにする一方、言語音に対しては明瞭度を低下させる。明瞭度低下の要因として、*overlap-masking* ならびに *self-masking* の影響が指摘されている[1]。前者は先行する音声に伴う残響が後続する音声をマスキングすることで音声が聞き取りにくくなる現象を指す。一方後者は残響によって音声の時間構造が崩れる現象を指す。こうした残響による明瞭度の低下は、特に高齢者や聴覚障害者、非母語話者により大きな影響を与えることが報告されている ([2]など)。

日本語には、例えば「地図」と「チーズ」や「着て」と「切手」, 「骨」と「本音」のように、母音や子音の長短によって語の意味が変化する特殊拍（長母音・促音・撥音）がある。日本語母語話者がこれらの長短を判別する際の知覚様式はカテゴリー知覚であることが知られている[3, 4]。判別に際しては母音や子音の時間長が重要な役割を果たしていることが報告されており、音声の時間構造が重要とされる[3, 4]。

残響下における日本語特殊拍のカテゴリー知覚について調べた研究では、残響時間が長い (2.7 秒) 場合日本語を母語とする聴取者でも長短判別が残響のない条件に比べ正確にできなくなることが報告されており、特に語末の長短母音知覚でその影響が顕著だった[5]。また、日本語を母語としない聴取者で同じ実験を行ったところ、同様に語末母音長知覚で残響の影響が顕著であった[6]。

前述の先行研究[5,6]では、促音の知覚について閉鎖音しか調査対象に含んでいなかった。さらに長短判別には話速も影響を与えることが報告されており[7]、異なる話速での調査も

必要であると考えられる。

そこで、本稿では残響下での促音と撥音のカテゴリー知覚について、日本語の母語話者と非母語話者を対象に、子音の種類と話速を変化させた刺激音声を用いて調査を行った。

### 2 聴取実験

#### 2.1 音声資料

本研究では子音長で対立するミニマルペアを用いて実験を行った。具体的には、/ata/ - /atta/ (閉鎖音促音), /asa/ - /assa/ (摩擦音促音), そして/ama/ - /amma/ (撥音) を用いた。また、話速は *fast* (8 モーラ/秒), *normal* (6 モーラ/秒), *slow* (4 モーラ/秒) の3種類を用いた。なお、アクセント型は頭高型に統一した。

音声資料として、20代の東京方言話者(女性)の発話を使用した。発話はキャリア文の「これから聞こえてくるのは\_\_\_です」に入れたものと単語単体のものを録音した。

#### 2.2 刺激音声

カテゴリー知覚に対する残響の影響を調査するため子音の閉鎖区間、摩擦区間および鼻音マーマーの時間長を段階的に変化させた連続体を作成した。促音語・撥音語として単語単体で発話された音声を使用し、それぞれの子音長を一定の間隔ずつ切り取ることでより等間隔の10段階で変化する連続体を作成した。各子音の連続体の最短(*Min*)と最長(*Max*)の子音時間長を Table 1 に示す。

Table 1 Consonant durations (ms) of the shortest (*Min*) and the longest (*Max*) stimulus.

	Consonant duration (ms)					
	Fast		Normal		Slow	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
t	85	158	128	254	144	298
s	89	161	125	242	127	303
m	61	125	98	196	94	273

\* The categorical perception of Japanese single/geminate contrast in reverberation by native and non-native listeners, by OSAWA, Eri, ARAI, Takayuki, KITAHARA Mafuyu (Sophia Univ.).

なお、本研究ではキャリア文からの overlap-masking の影響を最小限にするため、刺激音声は単語単体で参加者に提示した。

### 2.3 参加者

聴取実験には日本語を母語とする聴取者 (JL) と英語を母語とする聴取者 (EL) がそれぞれ 10 名ずつ参加した。JL は 20 歳から 27 歳 (平均: 23.4 歳) の健聴者であった。

EL は 20 歳から 27 歳 (平均: 23.5 歳) の健聴者で、出身地は限定しなかった。EL はみな上智大学で日本語を学ぶ学生で、日本にきた年齢 (AOA) の平均は 23.0 歳 (SD = 2.5) で、日本滞在年数 (LOR) は平均 6.7 ヶ月 (SD = 5.7) だった。また、日本語学習年数 (母国と日本での学習を合わせた年数) は平均 3.0 年 (SD = 2.5) であった。

JL と EL ともに健聴か否かに関しては参加者の自己申告であった。

### 2.4 実験方法

実験は上智大学荒井研究室の防音室で行った。防音室に設置された PC 上で音声研究用ソフトウェア Praat[8]を用いて行った。刺激音声を再生した後に PC 画面上に子音長で対立するミニマルペアを対で表示し、聞こえた音声を二者択一で答えてもらった。また、長短の回答と合わせてその回答に対する自信度も 5 段階スケール (5: 自信あり, 1: 自信なし) で評価してもらった。なお、それぞれの話速の本実験に入る前に話速に慣れるための練習を行っており、練習では本実験で使用する刺激音声をキャリア文に入れて提示した。本実験では全ての参加者が残響あり条件のあとに残響なし条件の実験に参加したが、話速は fast - normal - slow と slow - normal - fast の 2 パターンの順番で行い、この 2 パターンは参加者間でカウンターバランスを取った。

刺激音声は実験に用いた PC からオーディオインターフェース (RME Fireface 800) を介してデジタルミキサー (Yamaha DME24N) に送られた。同機にはスピーカー (Genelec 8020A) が 4 台接続されており、参加者は 4 台のスピーカーの中央に着席した。各スピーカーから受聴位置までの距離は約 1.3m であった。デジタルミキサーにはデジタルリバーブ (Roland RSS-303) が接続されており、このリバーブによって刺激音声に擬似的に残響を付加した。付加した残響について、swept

sine 信号を用いて音場における受聴位置でのインパルス応答を計測した結果、残響時間は 1.2 秒であった (500-2kHz における 1/1 オクターブ毎の分析結果の平均値)。なお、残響なし条件はデジタルミキサーの設定によりデジタルリバーブをバイパスすることにより実現した。この場合の受聴位置でのインパルス応答を計測した結果、残響時間は 0.1 秒であった。

## 3 分析方法

回答から参加者のカテゴリ知覚をモデル化するため、本研究では二項ロジスティック回帰分析を用いた。従属変数は参加者の長短の回答で、独立変数は 10 段階で変化する刺激のステップ番号である。近似曲線を得るため (1) の数式を用いた。

$$y = \frac{1}{1 + \exp(-a - bx)} \quad (1)$$

$x$  は刺激のステップ番号を表し、 $y$  はその刺激に対する「促音 (撥音)」回答の割合を表している。 $a$  と  $b$  は二項ロジスティック回帰分析から得られる係数である。

また、カテゴリ境界を算出するため、独立変数にそれぞれの刺激音声の子音時間長を使用し、二項ロジスティック回帰分析を行った。カテゴリ境界は「促音 (撥音)」回答の割合が 50% の箇所とし、(2) の数式を用いて算出した。

$$x = \frac{\log\left(\frac{y}{1-y}\right) - a}{b} \quad (2)$$

$x$  は子音時間長を示し、 $y$  は「促音 (撥音)」回答の割合を示す。 $a$  と  $b$  は二項ロジスティック回帰分析から得られる係数である。

## 4 結果

### 4.1 JL の結果

JL の残響なし条件 (non-Rev) とあり条件 (Rev) の結果を Table 2 に示す。表中の B はカテゴリ境界 (子音時間長) を示し、S は近似曲線の傾きを示している。残響の有無によるカテゴリ境界の大きな変化は見られなかったが、近似曲線の傾きは fast での /ama/-/amma/ 判別において残響あり条件で低下が見られた。

Table 2 Category boundaries (B) (ms) and slopes of the fitted logistic curves (S) for JL.

		non-Rev		Rev	
		B	S	B	S
<b>t</b>	fast	116.7	0.7	122.8	0.7
	normal	179.4	1.1	182.8	1.4
	slow	186.7	1.0	196.1	1.1
<b>s</b>	fast	123.9	1.5	129.4	1.2
	normal	166.0	1.6	159.3	1.3
	slow	209.6	1.0	207.9	1.1
<b>m</b>	fast	96.2	1.1	99.5	0.4
	normal	136.0	1.0	133.8	1.0
	slow	164.9	1.5	155.2	1.1

また, Fig. 1, 2, 3 に JL のそれぞれ /ata-/atta/, /asa-/assa/, /ama-/amma/ の話速別での近似曲線を示す. /asa-/assa/ の判別ではそれぞれの話速でカテゴリー境界が均等に分布していたのに対し, /ata-/atta/ では normal と slow の曲線が近かった. また, Fig. 3 から /ama-/amma/ 判別では fast において曲線の傾きが大きく変化していたことがわかる.

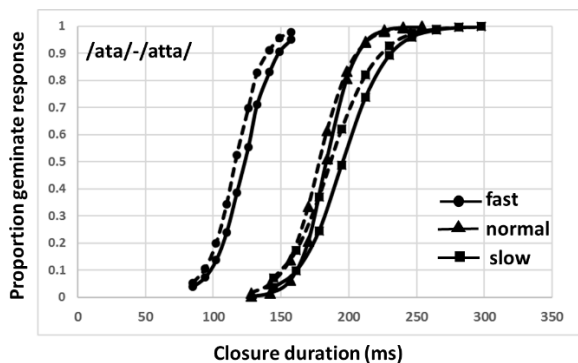


Fig. 1 | /ata-/atta/ distinction.

Proportion of “geminate” responses as a function of closure duration for reverberant condition (solid lines) and non-reverberant condition (dotted lines).

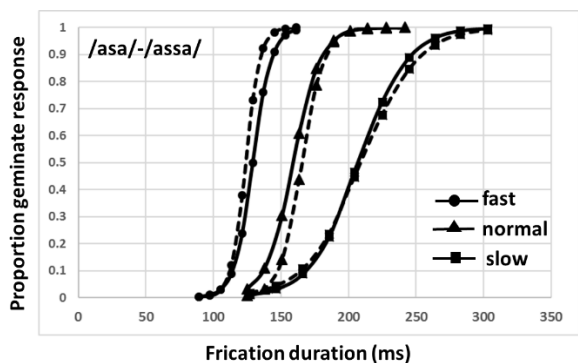


Fig. 2 | /asa-/assa/ distinction.

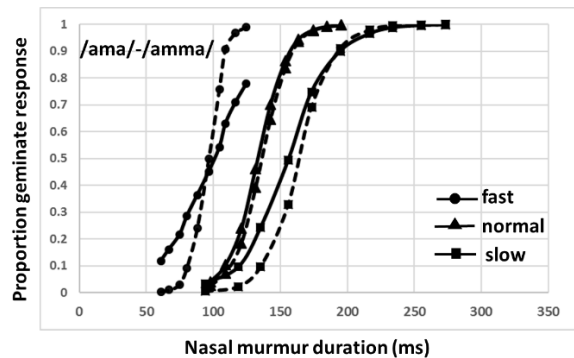


Fig. 3 | /ama-/amma/ distinction.

## 4.2 EL の結果

EL の結果を残響条件別に Table 3 に示す. JL の結果と同様, 残響の有無によるカテゴリー境界 (B) の大きな変化は見られなかった. また傾き (S) では, fast での /ama-/amma/ 判別において残響あり条件で低下が見られた.

Table 3 Category boundaries (B) (ms) and slopes of the fitted logistic curves (S) for EL.

		non-Rev		Rev	
		B	S	B	S
<b>t</b>	fast	115.8	0.5	121.9	0.5
	normal	174.4	0.7	172.9	1.0
	slow	195.4	0.7	208.6	0.7
<b>s</b>	fast	128.3	0.9	128.1	0.6
	normal	176.1	1.0	177.4	1.1
	slow	208.2	0.8	215.0	0.7
<b>m</b>	fast	91.3	0.7	94.4	0.3
	normal	132.3	0.5	132.6	0.5
	slow	165.8	0.9	174.3	0.8

## 5 考察

### 5.1 残響の影響

JL と EL ともに促音知覚では残響条件間で大きな差がなかったが, 撥音は fast で傾きが低下した. 先行研究[5, 6]では, 語末の長短母音知覚に比べ促音・撥音知覚は長い残響下でも残響の影響が少ないことを報告しているが, 撥音に関しては話速が fast になると残響の影響が大きくなることが示された.

### 5.2 子音別の比較

fast での /ama-/amma/ 判別への残響の影響について, overlap-masking の影響が大きくなったことにより鼻音マーマーの持続時間がいまなくなったことが傾きの低下の一因と考えられる. Fig. 4 に残響のかかった /amma/ (連続体上最長の刺激音声) (fast) の波形とスペ

クトログラムを示す。先行母音である/a/が鼻音のマーマに被さり/m/の開始点が不明瞭になったことに加え、鼻音マーマも後続母音に被さることで後続母音の開始点（鼻音マーマの終点）も不明瞭になっていた。

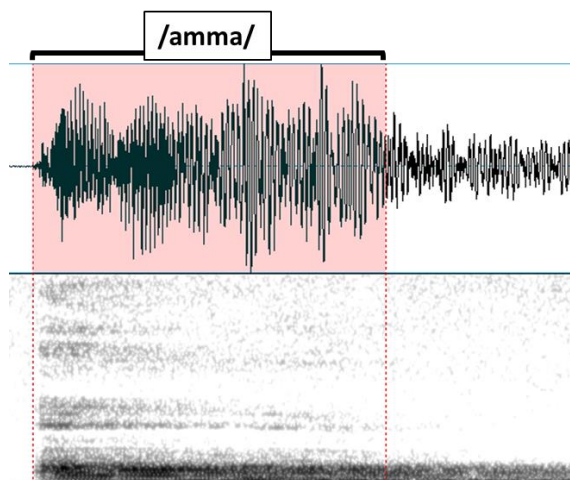


Fig. 4 | The waveform and the spectrogram of the reverberant stimulus /amma/ (fast). The original stimulus duration is shown by the shaded area.

上記の/amma/とは対照的に、/assa/は残響下においても摩擦区間が知覚しやすい。Fig. 5に残響のかかった刺激音声/assa/ (fast) の波形とスペクトログラムを示す。/s/に先行母音の/a/が被さっているものの/s/の周波数成分が母音よりも高いため摩擦区間が明確である。つまり、/asa/-/assa/判別は overlap-masking の影響を受けにくく、残響下においても摩擦区間を正確に知覚ができたと考えられる。

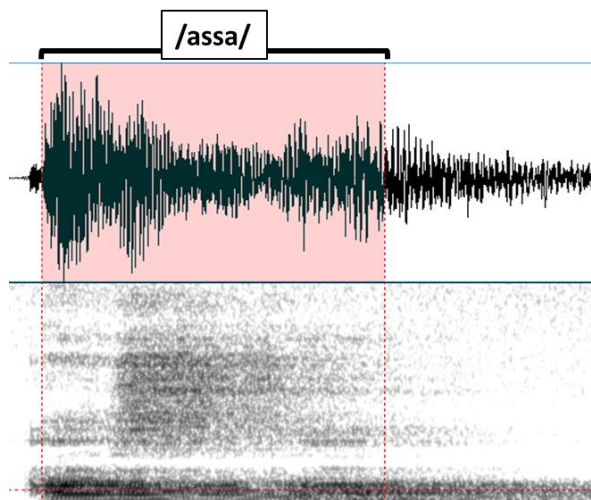


Fig. 5 | The waveform and the spectrogram of the reverberant stimulus /assa/ (fast).

/ata/-/atta/判別では閉鎖区間の知覚が重要となるが、摩擦区間とは異なり先行母音の

overlap-masking の影響でその始まりが不明瞭になる。/atta/と/assa/の結果では残響条件によるカテゴリー境界のシフトの方向に違いが見られた。促音知覚においては子音によって残響の影響が異なる可能性が示された。

### 5.3 JL と EL の比較

本稿では、カテゴリー知覚に対する残響の影響に JL と EL 間で大きな差は見られなかった。先行研究[2, 6]では the Modified Rhyme Test (MRT)等を用いて子音や母音の知覚を調査していたが、本稿では時間長知覚やモーラ感覚(リズム)が重要となる特殊拍を扱った。残響なし条件における JL と EL 間での知覚の差が残響下で大きく広がることはなかったことから、時間長やリズムに関する知覚への残響の影響は、音素の知覚に比べ、母語話者・非母語話者間で差が小さい可能性が示された。

## 6 おわりに

促音知覚には当該子音長だけでなく隣接する母音や単語全体の長さも影響するため[9]、本稿の結果に関してもそれらのパラメータを用いた分析を行う必要がある。また、子音の音響特性によって残響下での特殊拍知覚が変化することが示唆されたため、今後、残響下での特殊拍のカテゴリー知覚について、時間長判断の要因を明らかにしていきたい。

### 参考文献

- [1] A. K. Nábělek, T. R. Letowski, and F. M. Tucker, J. Acoust. Soc. Am., 86(4), 1259-1265, 1989.
- [2] Y. Takata, and A. K. Nábělek, J. Acoust. Soc. Am., 88(2), 663-666, 1990.
- [3] 藤崎博也, 杉藤美代子, 岩波講座日本語 5, 音韻, 63-98, 1975.
- [4] H. Fujisaki, K. Nakamura, and T. Imoto. Auditory Analysis and Perception of Speech., 197-219, 1975.
- [5] 荒井隆行, 大澤恵里, 程島奈緒, 井下田貴子, 日本音響学会2016年秋季研究発表会予稿集, 293-296, 2016.
- [6] E. Osawa, T. Arai, N. Hodoshima, and T. Igeta, 5th Joint Meeting of ASA and ASJ, poster session, 2016.
- [7] S. Amano, and Y. Hirata, J. Acoust. Soc. Am., 128(4), 2049-2058, 2010.
- [8] P. Boersma, Glot International, 5(9/10), 341-345, 2001.
- [9] K. Idemaru, and S. Guion-Anderson, Phonetica, 67(1-2), 25-46, 2010.