

撥音の知覚におけるF0変動の影響

— 3音節語の第2・第3音節間の場合 —

竹 安 大

1. はじめに

日本語の特殊拍である長音・促音・撥音は音韻論的に1モーラ分の長さを持つ音素であると解釈されており(窪園 1999)、日本語の特徴の一つだとされている。日本語の特殊拍の知覚上最も重要な手がかりは時間長であり、長音では母音の持続時間、促音・撥音では子音の持続時間によって特殊拍の有無が判断される(藤崎・杉藤 1977)。持続時間以外で特殊拍の知覚に影響する要因には、当該音節もしくは隣接する音節の母音の基本周波数(以下、F0とする)や、隣接する音節の持続時間、発話速度、摩擦周波数とその遷移(摩擦促音の場合)などがある(Amano et al., 2007; Kinoshita et al., 2002; Kubozono et al., 2010, 2013; Lehnert-LeHouillier, 2007, 2010; Oba et al., 2005; Takiguchi et al., 2010; Toda, 2003; 大深 2003; 大深他 2005; 窪園他 2011; 鮮宇 2007; 竹安 2009, 2012a, 2012b, 2012c, 2013; 竹安・儀利古 2010; 松井 2011; 渡部・平藤 1985)。本研究は、こうした特殊拍の知覚に関連する諸要因のうち、撥音の知覚におけるF0変動の影響を議論するものである。

特殊拍の知覚におけるF0変動の影響を調べる研究の多くは長音を対象としたものであり、それらの研究において共通して指摘されているのは、音節内でF0の顕著な下降があるとそうでない(F0が平坦である)場合と比べて長音の知覚が促進されるという点である。また、長音の知覚において、F0の上昇や語内の位置が影響するという指摘もある(Takiguchi et al., 2010など)。撥音の知覚については、竹安(in press)が第1・第2音節間の撥音の知覚におけるF0の影響を調べるための実験を行い、撥音の知覚においてはF0変動の影響が観察されない(されたとしても、弱い)ことを指摘した。竹安(in press)の実験結果からは、

撥音はF0変動の影響について長音とは異なる特徴を持つことが示唆されるが、竹安(in press)の実験は第1・第2音節間の撥音しか扱っていないため、語内の位置が異なる場合にも同じ結論が得られるとは限らない。そこで本研究では、竹安(in press)とは異なる条件として、3音節語における第2・第3音節間の撥音の知覚において、F0変動がどのような影響を持つかを明らかにするための知覚実験を行い、日本語特殊拍の知覚におけるF0変動の影響の一般化を目指す。以下、第2節では特殊拍のF0変動の影響に関する先行研究の結果を概観し、第3節で第2・第3音節間の撥音の知覚におけるF0変動の影響を調べるために実施した知覚実験の結果を報告する。続く第4節では撥音とそれ以外の特殊拍において報告されているF0変動の影響の現れ方を比較・考察する。

2. 特殊拍の知覚におけるF0変動の影響：先行研究

本研究は、日本語の特殊拍の一つである撥音の知覚においてF0の変動が何らかの影響を持つかを調べるものである。撥音の知覚におけるF0変動の影響を調べるにあたって、まずは特殊拍の知覚におけるF0変動の影響を扱った先行研究を概観する。

2.1. 長音の知覚におけるF0変動の影響

竹安(in press)で指摘した通り、日本語の長音の知覚におけるF0変動の影響を調べた先行研究の多くは、F0変動が無い(平坦な)母音とF0が下降する母音を比較して、長音の知覚が生じやすいかどうかを調べたものである。長音の知覚におけるF0変動の影響については、先行研究より、母音のF0が下降する場合には母音のF0が平坦な場合と比べて長音だと判断されやすいこと、また、

母音のF0が上昇する場合には、F0の変動が無い場合と比べて、語頭では長音の知覚が抑制され、語末では長音の知覚が促進されることが明らかにされている (Kinoshita et al., 2002; Lehnert-LeHoullier, 2007, 2010; Takiguchi et al., 2010; 竹安 2012b, 2012c)。

2.2. 促音の知覚におけるF0変動の影響

竹安 (in press) で指摘した通り、促音の知覚におけるF0変動の影響を調べた研究は、長音に対する研究に比べるとそれほど多くはないが、Kubozono et al. (2011)およびKubozono et al. (2013)において、ターゲットとなる子音が属する音節内でF0下降が生じると、そうでない場合に比べて促音の知覚が促進されることが報告されている。

2.3. 撥音の知覚におけるF0変動の影響

竹安 (in press) は、第1・第2音節間の撥音の知覚におけるF0の影響を調べるための実験を行い、撥音の知覚においてはF0変動の影響が観察されない (されたとしても、弱い) ことを指摘した。竹安 (in press) の実験結果からは、撥音はF0変動の影響について長音とは異なる特徴を持つことが示唆される。ただし、竹安 (in press) の実験は第1・第2音節間の撥音しか扱っていないため、語内の位置が異なる場合にも同じ結論が得られるとは限らない。次節では、語内の位置が異なる場合でも、竹安 (in press) と同様の結論が得られるかどうかを知覚実験によって検証する。

3. 知覚実験

この実験では、3音節語の第2・第3音節間に生じる撥音を対象とし、鼻音を含む無意味語の子音持続時間とF0を操作して作成した非撥音から撥音に至る音声連続体を用いて知覚実験を行うことで、撥音の知覚においてF0の変動がどのように影響するかを調べる。

3.1. 被験者

17名の日本語母語話者が実験に参加した。被験者の出身地の内訳は、福岡県7名、熊本県4名、大分県2名、長崎県2名、佐賀県1名、宮崎県1名、島根県1名であった。被験者はいずれも別府大学に通う学生であり、実験は2013年11月から2014年2月にかけて別府大学にて実施された。各被験者には、実験参加後に謝礼が渡された。なお、この実験の被験者のうち10名は、竹安 (in press) に参加した被験者と同じ人物である。

3.2. 刺激

日本語母語話者 (女性、熊本県出身) に無意味語「マママ」と「ママンマ」 (いずれもアクセント型は平板型) を単独で5回ずつ発音してもらい、それを録音したり。刺激作成の際の参考にするため、録音した「マママ」と「ママンマ」のそれぞれについてセグメントの平均持続時間を求めたところ、表1のとおりであった。

「マママ」のトークンの中から、各セグメント持続時間が総合的に見て平均持続時間に最も近かったものを一つ選び、このトークンを以下のように操作することで「マママ」～「ママンマ」に至る音声連続体を作成した。なお、選択されたトークンは竹安 (in press) と同一のもので、セグメント持続時間は、C₁が52ms、V₁が104ms、C₂が88ms、V₂が111ms、C₃が84ms、V₃が151msであった。

まず、選び出した「マママ」のトークンのF0を200Hzで平坦になるように加工し、第2音節子音 (C₃) の持続時間を、84msから20ms刻みで204msまで延長し、「マママ」から「ママンマ」に至る音声連続体を作成した。子音持続時間の延長の操作は、前後の母音に遷移する部分を除いた子音区間の声帯振動周期をランダムに複製・挿入して行った。さらに、作成した音声連続体のそれぞれについて、表2のようにF0のポイント

表1. 「マママ」と「ママンマ」のセグメントの平均持続時間とSD (単位はms)

	C ₁ (/m/)	V ₁ (/a/)	C ₂ (/m/)	V ₂ (/a/)	C ₃ (/N)m/)	V ₃ (/a/)
マママ	48.6 (19.2)	110.2 (6.7)	88.0 (6.7)	116.6 (5.3)	84.4 (6.7)	147.8 (13.9)
ママンマ	39.6 (4.9)	90.8 (5.6)	86.0 (3.4)	136.4 (2.1)	224.4 (11.1)	91.6 (23.4)

表 2. 刺激の系列と F0 操作および 50%撥音判断境界値

系列	V ₁ 開始点	V ₂ 開始点	V ₂ 終了点	V ₃ 開始点	V ₃ 終了点	C ₃ 内での F0 変動	50%撥音判 断境界値
HHHHH	200 Hz	200 Hz	200 Hz	200 Hz	200 Hz	なし	154.9 ms
HHHLL	200 Hz	200 Hz	200 Hz	150 Hz	130 Hz	下降 (大)	147.4 ms
HHLLL	200 Hz	200 Hz	150 Hz	—	130 Hz	下降 (小)	153.2 ms
HHMLL	200 Hz	200 Hz	170 Hz	150 Hz	130 Hz	下降 (中)	151.2 ms
LHHHH	150 Hz	200 Hz	200 Hz	200 Hz	200 Hz	なし	154.0 ms
LLLHH	150 Hz	150 Hz	—	200 Hz	200 Hz	上昇 (小)	153.5 ms

を設定し、ポイントの間を線形で置換することによって、平坦（高起；HHHHH）、下降（大；HHHLL）、下降（小；HHLLL）、下降（中；HHMLL）、平坦（低起；LHHHH）、上昇（LLLHH）の6つの系列を作成した²⁾。なお、F0下降を伴う刺激については、自然なピッチ型に聞こえるようにすることを目的として、アクセントによる下降後の自然下降を再現するためにV₃終了点に向かって緩やかな下降をつけている。各系列を表すアルファベットはF0を設定したポイントのF0の値に概ね対応しており、下降、上昇などの表現はC₃内（V₂終了点-V₃開始点間）でのF0の変動の仕方に対応している。

こうして得られた42個の刺激（6種類のF0×7種類のC₃持続時間）を実験の刺激として用いた。以上の操作はpraat (Boersma & Weenink, 2012)を用いて行った。

3.3. 実験手続き

実験は練習と本番の2つのブロックから成り、練習のブロックではC₃が84msである刺激と204msである刺激のみが、本番ではすべての刺激がランダムな順序で提示された。刺激間間隔は3秒とし、各刺激はヘッドフォン経由で計10回ずつ被験者に提示した。被験者は聞こえた音が「マママ」と「ママンマ」のどちらに聞こえるかをコンピュータの画面をクリックすることにより回答した。刺激の提示、回答の記録はパソコンのプログラムにより制御された。

3.4. 結果

各系列につき、プロビット分析により求めた系列別の50%判断境界値を表2に、また、系列ご

とにC₃持続時間と撥音判断率の関係をプロットしたものを図1（次頁）に示す。図1から明らかなように、多くの系列間には明確な差が見られず、視覚上判別しにくいことから、以下では判断境界値に基づいて議論する。

撥音の50%判断境界値が最も高かったのは、C₃内にF0下降のないHHHHH系列（154.9ms）およびLHHHH系列（154.0ms）であった。F0下降のあった系列の50%判断境界値については、HHLLL系列が153.2ms、HHMLL系列が151.2ms、HHHLL系列が147.4msとなっており、下降の度合いが大きいほど判断境界値が低くなる傾向が観察された。また、F0上昇の影響については、F0の上昇を有するLLLHH系列で50%判断境界値が153.5msと、HHHHH系列よりは若干低い値を示したが、判断境界値の差はF0下降に見られたものに比べて小さかった³⁾。

被験者の回答を従属変数に、C₃持続時間（連続変数）と刺激系列（名義変数：HHHHH系列、HHHLL系列、HHLLL系列、HHMLL系列、LHHHH系列、LLLHH系列の6水準）を独立変数とするロジスティック回帰分析の結果、C₃持続時間の主効果が有意であり（ $B=0.083$, $df=1$, $W^2=1843.086$, $p<0.001$ ）、刺激系列の主効果も有意だった（ $W^2=23.563$, $df=5$, $p<0.001$ ）。また、C₃持続時間と刺激系列の交互作用は有意でなく（ $W^2=10.489$, $df=5$, $p=0.063$ (n.s.))、モデルへの投入によるCox-Snellの R^2 やNagelkerkeの R^2 の値の変化も非常に小さいものであったため、モデルから除外された。刺激系列間の差について調べるため、ピッチ変動のないHHHHH系列とその他の系列の間で対数オッズ比を用い

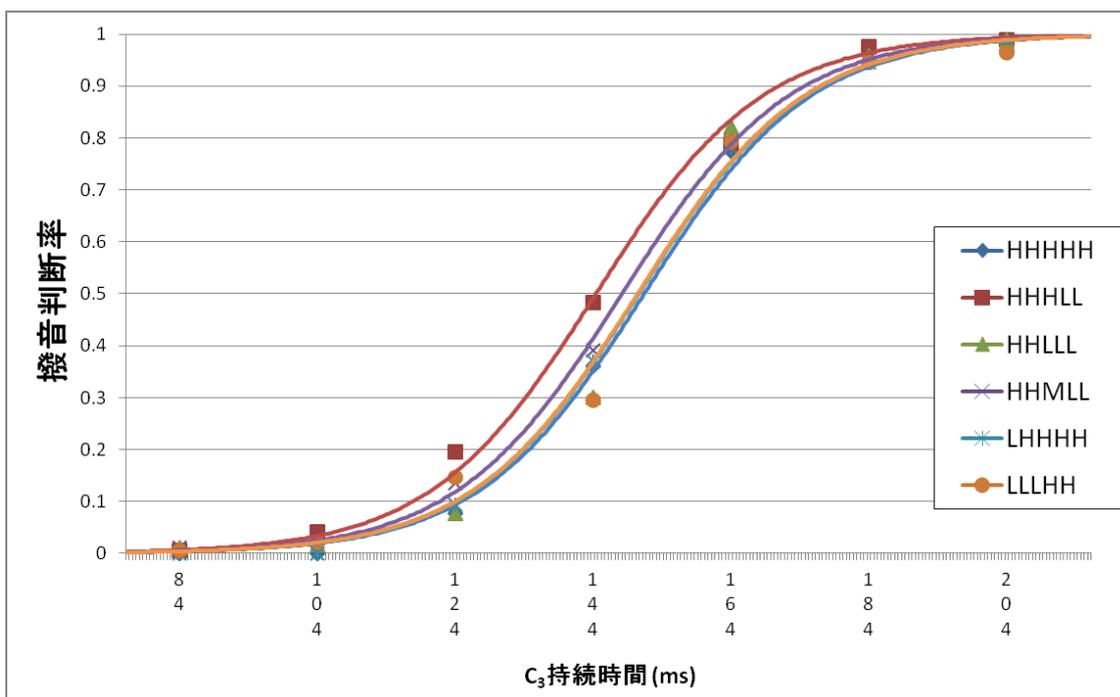


図 1. C₃ 持続時間 (ms) と撥音判断率

た多重比較（調整後の $\alpha = 0.05 \div 5 = 0.01$ ）を行ったところ、HHHHH系列とHHHLL系列の間に有意差があり ($p < 0.001$)、HHHHH系列とHHMLL系列の間にも有意傾向が観察されたが ($p = 0.057$)、調整後の α の値からすると、後者については差があると判断できない。HHHHH系列とそれ以外の系列間には、いずれも有意な差は観察されなかった。

4. 考察

第2・第3音節間の撥音の知覚においては、F0が下降する場合にはそうでない場合と比較して撥音の知覚が促進される傾向が観察された。これは長音の知覚において様々な先行研究で指摘されてきたことと同様の傾向であるが、第1・第2音節間の撥音の知覚においてはF0変動の影響が観察されないとする竹安 (in press) の実験結果とは異なるものであった。撥音の知覚について、このような食い違いが見られることについて、以下でその原因を考察する。

竹安 (in press) は、第1・第2音節間の撥音の知覚においてF0変動が実質的な影響を及ぼさなかったことについて、検定力の問題を挙げていた。そこで本研究では、竹安 (in press) の追実験として、被験者数をさらに増やして実験を実施

し、結果の再分析を行った。被験者数は、竹安 (in press) の10名に7名加えて17名とし⁴⁾、実験の刺激、手順は竹安 (in press) と同様とした。その結果、撥音の50%判断境界値は、上昇系列が136.8ms、平坦系列が134.4ms、下降系列では132.8msであり、ロジスティック回帰分析後の多重比較においては、上昇系列と下降系列の間に有意な差が観察された⁵⁾。竹安 (in press) における下降系列は、267Hzから200Hzに下降する刺激であり、本研究の刺激におけるF0下降とは値の指定が異なるため、直接比較することは必ずしも適切とは言えないが、少なくともF0下降が判断境界値を下げる（撥音の知覚を促進する）という点は、竹安 (in press) と本研究との間で共通する結果だと言える。

先行研究および本研究の結果から、長音・促音の知覚において観察されるようなF0変動（特に、F0下降）の影響は、撥音にも観察されることが明らかとなった。これは、長音・促音・撥音の知覚における共通点として捉える事ができる。撥音は長音・促音とともに特殊拍に分類され、音韻論的に1モーラの長さを有する音素であるという共通点を持つため、長音・促音と知覚上の特徴を共有していたとしても不思議ではない。しかしながら、1モーラ分の長さを持つという点で同じ

特殊拍に分類されているとはいえ、長音・撥音は基本的に有声音であるのに対し、促音は基本的に無声音であることなど、特殊拍間には相違点も存在する。従って、F0変動の影響について、長音・促音・撥音の間に共通した特徴が観察されたとしても、それは表面的なものにすぎない（実際には異なるメカニズムによって見かけ上の共通点が生じた）可能性も否定できない。今後は、本研究で見られたようなF0変動の影響が生じる理由を音声学・音韻論の両面から検討するとともに、通言語的な観点⁶⁾も加えて研究することにより、特殊拍の知覚においてF0変動の影響が生じるメカニズムを解明していく必要がある。

5. 結論

本研究では、日本語母語話者を対象に、日本語の撥音の知覚に対して当該子音の基本周波数（F0）がどのような影響を与えるのかを明らかにすることを目的とし、第2・第3音節間に鼻音を含む3音節の無意味語について、鼻音の持続時間と語のF0を操作した刺激を用いて知覚実験を行った。実験の結果、第2・第3音節間の撥音の有無の判断において、F0の下降が撥音の知覚を促進することが明らかとなった。

謝辞

本研究は、科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）・若手(B)「日本語の特殊拍の知覚に対する韻律情報の影響とその習得過程に関する研究」（課題番号：25871012）に関連する研究成果の一部である。

注

1) 実際には、「マママ」と「ママンマ」のみを発音してもらったのではなく、この2つの語を含む様々な無意味語を並べたリストを作成し、リストを一通り読み上げてもらうことを5回繰り返すことによって「マママ」と「ママンマ」について5つのトークンを得た。なお、竹安 (in press) での録音と本研究の録音はまとめて行われているため、「マママ」については同一のものが使用されている。

- 2) 本研究では、母音の開始時点および終了時点にF0のポイントをおいて、その間のF0を直線的に補完することでピッチ型の異なる刺激を作成している。従って、本研究の刺激は、C₃の延長に伴って、V₂終了点とV₃開始点の間隔が広がることによりC₃内部での時間当たりのF0変動幅が小さくなっている。時間当たりのF0変動幅が変わらないように操作した場合と比較して、これが実験結果にどのような影響をもたらすのかは定かではないが、先行研究（例えば、Takiguchi et al., 2010など）でも本研究と同様に時間当たりのF0変動幅が異なってくるような手法で刺激を作成しているため、先行研究との比較をするという観点からは本研究の手法で問題がないと言えよう。
- 3) 今回の実験では、C₃内でF0上昇を持つのは1つの系列のみであり、かつ上昇の度合いも大きなものではなかったため、F0上昇の影響の有無については結論付けられない。この点は今後の課題としたい。
- 4) この17名は、本研究の被験者と同一である。
- 5) 被験者の回答を従属変数に、C₂持続時間（連続変数）と刺激系列（名義変数：上昇、平坦、下降の3水準）を独立変数とするロジスティック回帰分析の結果、C₂持続時間の主効果が有意であり（ $B=0.102, df=1, W^2=782.142, p<0.001$ ）、刺激系列の主効果も有意だった（ $W^2=6.164, df=2, p<0.05$ ）。また、C₂持続時間と刺激系列の交互作用は有意ではなかった（ $W^2=2.766, df=2, p=0.251(n.s.)$ ）。なお、刺激系列の主効果は、刺激系列を開始点のF0の値により連続変数と見なして分析した場合にも有意であった（ $B=0.003, W^2=5.634, p<0.05$ ）。
- 6) 例えば、母音のF0の変動が知覚される母音の持続時間に影響することは、英語でも観察されている（Lehiste, 1976）。F0変動の影響について、言語普遍的なパターンが観察されるのか、それとも個別言語によって異なるパターンが観察されるのか（されるとすれば、それはなぜなのか）を明らかにすることは有意義である。

参考文献

- 大深悦子 (2003) 「促音/tt/の知覚：アクセント型と促音・非促音語の音響的特徴による違い」, 『音声研究』 7(1), pp.70-76.
- ・森庸子・桐谷滋 (2005) 「促音の知覚に対する先行・後続母音長の影響」 『音声研究』 9(2), pp.59-65.
- 窪蘭晴夫 (1999) 『日本語の音声』 岩波書店.
- ・竹安大・儀利古幹雄 (2011) 「日本語促音の『位置効果について』」, 口頭発表: *International Workshop on Geminate Consonants (GEMCON)*, 神戸大学, 2011年1月9日.
- 鮮于媚 (2007) 「促音の知覚における近接音環境の影響：音節内補償効果を中心に」, 『情報処理学会研究報告』 SLP-69-24, pp.137-142.
- 竹安大 (2009) 「摩擦音の促音知覚における摩擦周波数特性の影響」, 『音韻研究』 12, pp.43-50.
- (2012a) 「促音の知覚に対する先行音節子音・母音の持続時間の影響」, 『音韻研究』 15, pp.67-78.
- (2012b) 「F0変動と母音の長短判断について：愛知および三重方言話者の場合」, 『Philologia』 43, pp.81-93, 三重大学英語研究会.
- (2012c) 「語頭におけるF0変動と母音の長短の知覚」, 『名古屋芸術大学研究紀要』 33, pp.133-139.
- (2013) 「破擦促音の知覚に対する閉鎖区間および摩擦区間持続時間の影響について」 『別府大学紀要』 54, pp.79-86.
- (in press) 「撥音の知覚におけるF0変動の影響：3音節語の第1・第2音節間の場合」, 『別府大学紀要』 55.
- ・儀利古幹雄 (2010) 「母音の長短の判断における非対称性：隣接音節の母音持続時間の影響」, 日本音韻論学会編 『音韻研究』 13, pp.13-20, 開拓社.
- 藤崎博也・杉藤美代子 (1977) 「音声の物理的性質」, 『音韻』 (岩波講座日本語5), pp.63-106, 岩波書店.
- 松井理直 (2011) 「日本語における摩擦促音の知覚的手がかりについて」, 口頭発表: *International Workshop on Geminate Consonants (GEMCON)*, 神戸大学, 2011年1月9日.
- 渡部真一郎・平藤暢夫 (1985) 「二音節語における無声破裂音と促音の判断境界と先行母音の長さの関係」 『音声言語』 1, pp.1-8, 近畿音声言語研究会.
- Amano, S., Mugitani, R., & Kobayashi, T. 2007. Perceptual boundary between a single and a geminate stop in Japanese. *Proceedings of the 16th International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS XVI)*.733-736.
- Boersma, P. & Weenink, D. 2012. Praat: doing phonetics by computer. Online: <http://www.praat.org/>
- Inoue, M. 2009. Perception of Japanese quantity by Swedish speaking learners: a preliminary analysis. *Proceedings of the XXIIth Swedish Phonetics Conference (FONETIK 2009)*, 112-115.
- Kinoshita, K., Behne, D. M., & Arai, T. 2002. “Duration and F0 as perceptual cues to Japanese vowel quantity”, *Proceedings of the 7th International Conference on Spoken Language Processing (ICSLP)*, pp.757-760. Online: http://www.splab.ee.sophia.ac.jp/papers/2002/2002_03.pdf, accessed on 2 Sep, 2009.
- Kubozono, H., Takeyasu, H., Giriko, M., & Hirayama, M. 2011. Pitch cues to the perception of consonant length in Japanese. *Proceedings of the 17th International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS XVII)*, 1150-1153.
- Kubozono, H., Takeyasu, H., & Giriko, M. 2013. On the positional asymmetry of consonant gemination in Japanese loanwords. *Journal of East Asian Linguistics*, 22(4), 339-371.
- Lehiste, I. 1976. Influence of fundamental frequency pattern on the perception of duration. *Journal of Phonetics*, 4, 113-117.
- Lehnert-LeHouillier, H. 2007. The influence of dynamic F0 on the perception of vowel duration: cross-linguistic evidence. *Proceedings of ICPhS Saarbrücken*, 16, 757-760.

- Lehnert-LeHouillier, H. 2010. A cross-linguistic investigation of cues to vowel length perception. *Journal of Phonetics*, 38, 472-482.
- Oba, R., Braun, A., & Handke, J. 2005. The perception of Japanese geminates by native and nonnative listeners. *The Phonetician*, 92, 9-29.
- Takiguchi, I., Takeyasu, H., & Giriko, M. 2010. Effects of a dynamic F0 on the perceived vowel duration in Japanese. *Proceedings of Speech Prosody 2010* (the 5th International Conference of the Speech Prosody Special Interest Group (SProSIG) of the International Speech Communication Association (ISCA))[CD-ROM], 100944: 1-4. (pdf: <http://speechprosody2010.illinois.edu/papers/100944.pdf>)
- Toda, T. 2003. *Second language speech perception and production: acquisition of phonological contrasts in Japanese*. Lanham, Maryland: University Press of America.

(2014年3月10日受付)