

先行音が後続する無声軟口蓋破裂音へ与える影響

—自覚的構音難易度と音響分析による検討—

原著▶

南都智紀¹⁾

Tomoki Nanto

青木良太²⁾

Ryota Aoki

齋藤翔太¹⁾

Shota Saito

中尾雄太¹⁾

Yuta Nakao

堀川康平¹⁾

Kohei Horikawa

金森 雅¹⁾

Masaru Kanamori

児玉典彦³⁾

Norihiko Kodama

内山侑紀³⁾

Yuki Uchiyama

道免和久³⁾

Kazuhisa Domen

要旨 本研究では、促音挿入が後続の無声軟口蓋破裂音へ与える影響を検証した。健常発話者9名に、/aka/（基準音条件）、/akaka/（連続音条件）、/aQka/（促音条件）を短文に挿入し、音読させた。後続する/k/の、最大振幅到達時間、VOT、最大振幅、破裂成分のピーク周波数の音圧強度を分析した。連続音条件と比較して、基準音条件や促音条件では最大振幅到達時間が短縮する傾向、最大振幅が増加する傾向がみられた。本研究の結果から、連続音条件と比較すると、基準音条件や促音条件ではより強い破裂成分が生成されていると考えられた。

キーワード▶ 構音練習、促音、音響分析、無声軟口蓋破裂音、構音障害

I. はじめに

神経系の損傷によって生じるディサースリアは、発声発語機構の生理学的障害により発話明瞭度が低下し、社会参加の大きな障壁となる¹⁾。ディサースリアの臨床では、発話明瞭度の向上を目的として、発話志向型アプローチ（Speech-oriented approach）²⁾の1つである構音練習が行われている。構音練習では治療対象となる単音の構音練習から開始し、文章レベルで応用する練習²⁾や、対象となる音を含む音節の反復（例：かかか…）、単語・文（例：かけっこ、崖は危険かい）での練習が行われている³⁾。また長谷川³⁾は構音練習の中で促音を活用することで、構音運動を正確化できるとしており、われわれも治療目標となる無声破裂音の直前に促音がある単語では、無声破裂音の明瞭度が向上する症例を複数例経験してきた。

日本語においては、促音は常に母音の音素に従属し、無声子音の音素の前に出現する無声のさまたげ音⁴⁾とされている。促音が先行および後続の母音に与える影響については、促音を含む語の方が促音に先行する母音が長く、後続する母音が短くなるとされている⁵⁾。また後続の子音に与える影響については、促音が先行する場合、子音の閉鎖持続時間が延長し⁶⁾、後続音の構音の準備に利用できる時間

が延長する⁷⁾とされている。これらの知見より、促音の挿入は、前後の母音や後続の子音の構音動態に影響を与えることを示している。しかし、促音挿入が後続の無声破裂音に与える影響について、音響的特徴や自覚的な構音の難易度の観点から検討した報告はなく、構音練習で促音を挿入する意義については明らかでない。

本研究では、促音が先行する無声軟口蓋破裂音の音響特徴および自覚的難易度へ与える影響を明らかにするため、母音が先行する音節、無声軟口蓋破裂音が連続する音節との差異を検討した。

II. 方法

1. 対象

対象は若年健常者9名（男性4名、女性5名；平均年齢29.8±4.0歳）とした。対象の適格基準として、既往歴に言語聴覚障害がないこととし、実施前に被験者へ既往歴の確認を行った。また1名の言語聴覚士が自由会話を聴取し、聴覚印象で発声や構音の明らかな問題がないことを確認した。本研究は大道会森之宮病院倫理委員会の承認（承認番号：182）を得て実施した。被験者には本研究の趣旨および研究内容に関する説明を行い、書面にて同意を得た。

¹⁾兵庫医科大学病院リハビリテーション部（〒663-8501 兵庫県西宮市武庫川町1-1）

²⁾森之宮病院リハビリテーション部（〒536-0025 大阪府大阪市城東区森之宮2-1-88）

³⁾兵庫医科大学リハビリテーション科（〒663-8501 兵庫県西宮市武庫川町1-1-1）

[連絡先] 南都智紀：兵庫医科大学病院リハビリテーション部（〒663-8501 兵庫県西宮市武庫川町1番1号）

TEL：0798-45-6345 FAX：0798-45-6948 E-mail：to-nanto@hyo-med.ac.jp

受稿日：2021年3月29日 受理日：2021年8月23日

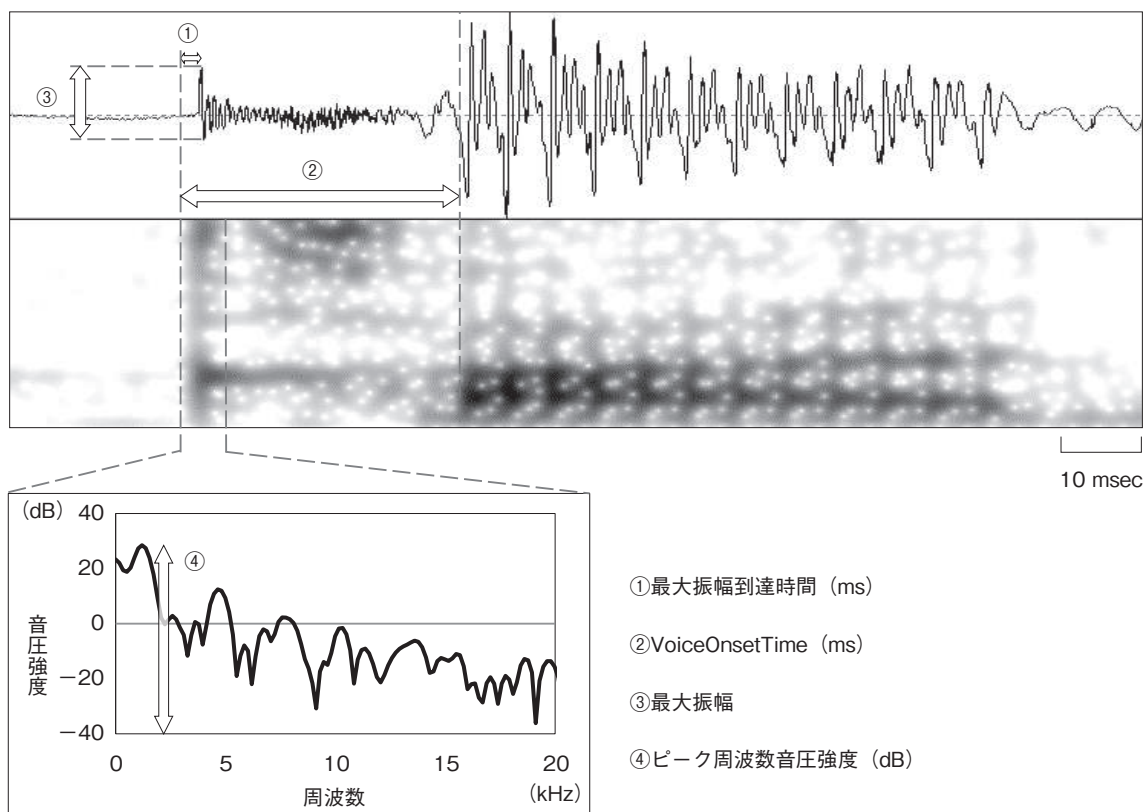


図1 音響分析項目と分析方法

分析を行う/ka/の広帯域サウンドスペクトログラム(上図)と/k/の破裂部分の周波数スペクトル(下図)．最大振幅到達時間，Voice Onset Time(ms)，最大振幅，ピーク周波数音圧強度の分析方法を示す．

2. 発話タスク

「ここに書いてあるのは『 』です」というフレーズの『 』部に、音節/aka/(VCV：基準音条件)、/akaka/(VCVCV：連続音条件)、/aQka/(VQCV：促音条件)を挿入するよう指示した。被験者への音節タスクの提示は平仮名表記(例：「あかか」)とした。音読速度は「発話が不明瞭にならない程度に普通の会話の速さで自然に言ってください」と指示した。各タスクで練習試行(2回)を行った後に、本試行(2回)の録音を行った。

3. 音声録音

発話音声の録音は森之宮病院言語療法室の窓のない静かな部屋で実施した。単一指向型ヘッドマウントマイク(CM-214ULB, JTS)を使用し、オーディオインターフェイス(X2u, Shure)を介して、冷却ファンのないパーソナルコンピュータへ録音した。サンプリング周波数は44.1 kHzとした。録音時のマイクと口唇の距離は5 cmに固定し、発話タスク間でマイクの位置や方向を変えないこととした。

4. 音響分析

上述の下線を引いた無声軟口蓋破裂音/k/の分析は、音響分析ソフトPraatを用いて、パーソナルコンピュータ

(E130, Lenovo)の11.6インチモニタに表示して行った。音声波形と広帯域サウンドスペクトログラム(以下、SSPG)を表示し、/k/を含む区間を200 msecの幅に拡大した。SSPGの設定は、View range：0 Hzから5000 Hz、Window length：0.005 sec、Dynamic range：60 dBに設定した。音響分析による分析項目は以下の項目とした(図1)。1) 最大振幅到達時間：SSPGで同定された破裂成分の開始から、音声波形上で無声破裂音区間の最大振幅までの時間。2) Voice Onset Time (VOT)：SSPGでの子音の破裂成分開始から定常的な声帯振動の開始が見られるまでの時間。VOTは先行研究の方法^{8,9)}を参考に測定した。定常的な声帯振動開始は、SSPG上での第2フォルマント相当部での縦方向の声紋(Glottal pulse)と母音の音声波形上で最初に現れる下方向へのピークがみられる部分とした。3) 最大振幅：子音/k/での音声波形の最大振幅。4) ピーク周波数音圧強度：周波数スペクトル上で、最大となる部分の音圧強度。子音の破裂部をSSPGで同定し、高速フーリエ変換により子音/k/の周波数スペクトルを表示。周波数スペクトル上で、最大の音圧強度(dB)を測定。以上の4項目を音響分析項目とした。なお最大振幅とピーク周波数音圧強度に関しては、基準音環境での値を100%として正規

化した。

5. 自覚的構音難易度

上述の下線を引いた無声軟口蓋破裂音/k/における自覚的な構音の難しさ（自覚的構音難易度）を Visual Analogue Scale（以下、VAS）を用いて非独立記入方式で評価した。VASは10 cmの直線を呈示し、左端は「最大限に言いやすい」、右端は「最大限に言いにくい」とした。被験者は音読した後に、直線上で該当する難易度の部分に線を入れた。検査者1名がデジタルノギスを用いて0.1 mm単位で左端からの距離を計測し、その値を自覚的構音難易度とした（図2）。

6. 統計解析

統計解析ソフト R（ver. 3.5.0）を用いて音響分析の各項

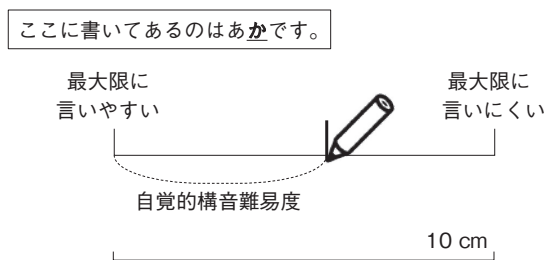


図2 Visual Analogue Scale を用いた自覚的構音難易度の評価

VASは10 cmの直線を呈示し、左端から被験者が線を引いた位置までの距離を自覚的構音難易度とした。

目および構音の自覚的構音難易度を条件間で比較した。音響分析項目（最大振幅到達時間、VOT、最大振幅、ピーク周波数音圧）については2回の平均値を解析した。最大振幅到達時間、VOTは一元配置分散分析を行い、有意差がみられた場合に、多重比較として対応のあるt検定（Holmの補正）を実施した。最大振幅、ピーク周波数音圧強度、自覚的構音難易度に関しては、Friedman検定を行い、有意差がみられた場合には、Wilcoxon符号付順位検定（Holmの補正）を行った。有意水準は0.05に設定した。

III. 結果

1名の言語聴覚士が課題実施時の発話を聴取し、全ての被験者において構音の誤りがないことを確認した。音響分析項目の結果（最大振幅到達時間、VOT、最大振幅、ピーク周波数音圧）を図3に示す。統計解析の結果、最大振幅到達時間（ $p < 0.05$ ）、最大振幅（ $p < 0.005$ ）において、有意差を認めた。最大振幅到達時間は、連続音条件（ 13.3 ± 10.4 ms）と比較して、基準音条件（ 6.1 ± 4.5 ms, $p < 0.05$ ）、促音条件（ 5.6 ± 4.3 ms, $p < 0.05$ ）で有意に短縮した。最大振幅は、連続音条件（ $74.1 \pm 27.0\%$ ）と比較し、基準音条件（100.0%, $p < 0.05$ ）、促音条件（ $108.5 \pm 25.2\%$, $p < 0.05$ ）で有意に増加した。VOT（ $p = 0.45$ ）、ピーク周波数音圧（ $p = 0.17$ ）においては3条件間で有意差を認めなかったが、後続する/k/のピーク周波数強度が連続音条件で最も低い

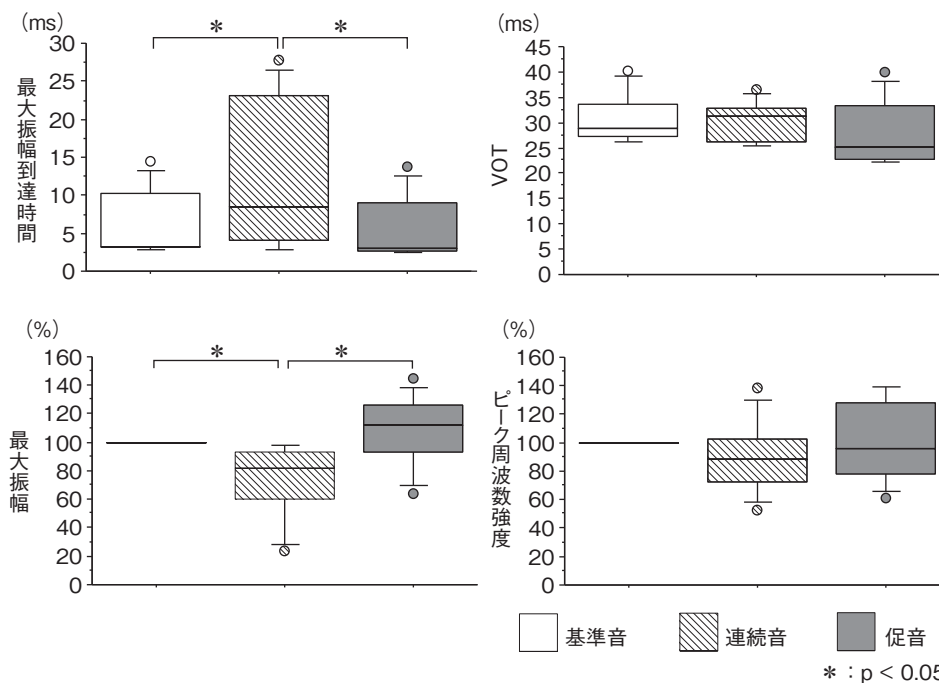


図3 3条件での音響分析の結果

3条件間での最大振幅到達時間(左上図)、Voice Onset Time(ms)(右上図)、最大振幅(左下図)、ピーク周波数音圧強度(右下図)の結果を示す。

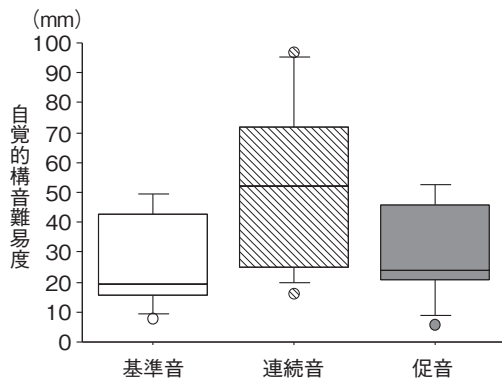


図4 3条件での自覚的構音難易度の結果

3条件間での自覚的構音難易度の結果。縦軸は Visual Analogue Scale の値を示し、値が高いほど自覚的構音難易度が高いことを示す。

値となったのは9名中6名(66.7%)であった。

音響分析項目では、基準音条件と促音条件の間に有意差を認めなかったが、促音条件において、最大振幅到達時間が最も短くなったのは9名中6名(66.7%)、最大振幅が最も大きい値を示したのは9名中6名(66.7%)であった。自覚的構音難易度は基準音条件(26.7±16.0 mm)や促音条件(30.3±16.5 mm)と比較し、連続音条件(52.5±29.6 mm)で高い値を示したが、有意差はみられなかった(p=0.97)(図4)。被験者ごとに3条件の自覚的構音難易度を比較すると、連続音条件が最も難易度が高いと判断したのは5名(55.6%)であり、基準音条件および促音条件で最も難易度が低いと判断した被験者はそれぞれ5名(55.6%)、3名(33.3%)であった。

IV. 考察

本研究では、先行する促音が後続の無声軟口蓋破裂音の音響学的特徴や自覚的な構音難易度へ与える影響について、基準音条件、連続音条件、促音条件間で比較した。VOT、子音のピーク周波数音圧強度、自覚的構音難易度は条件間で有意差を認めなかったが、連続音条件と比較すると、基準音条件や促音条件では最大振幅到達時間の短縮、最大振幅の増加を認めた。基準音条件と促音条件間では音響学的特徴や自覚的な構音難易度に有意差を認めなかった。

1. 子音の最大振幅への影響

本研究で行った連続音条件/akaka/と比較し、基準音条件/aka/と促音条件/aQka/では、後続の無声軟口蓋破裂音の音響特徴が異なった。

モーラ数は同一であるものの、分析対象とした/k/の直前の音節において、舌後方部の挙上(/k/)と舌の下降(/a/)を要する連続音条件と、後続音の準備を行うことができる促音条件⁷⁾では、3モーラ目の無声軟口蓋破裂音に与

える影響が異なると考えられる。本研究では連続音条件と比較すると、促音条件では短時間で振幅の大きいバーストが得られる傾向が示されたことから、声道閉鎖開放直前により高い口腔内圧の上昇が生じていた可能性が考えられる。

破裂音は、声道閉鎖による口腔内圧の上昇¹⁰⁾に続き、声道が開放されることで、バーストが生じ¹¹⁾、破裂音として認識される。破裂音においては声道閉鎖が必須であり、麻痺などにより発声発語器官が目標運動地点まで到達しない場合(undershoot)¹²⁾には、口腔内圧が不足する。しかし、促音挿入では、声道狭窄時間が延長⁶⁾し、構音の準備時間の確保⁷⁾や、後続子音の閉鎖の調整⁴⁾が行われるため、ディサースリア症例では、無声軟口蓋破裂音の明瞭度が改善する可能性も考えられる。

一方、最大振幅到達時間、最大振幅は基準音条件においても、連続音条件と有意差を認め、促音条件との間には有意差を認めなかった。このことから基準音条件でも促音条件と同様に、短時間で振幅の大きいバーストが生じていたと考えられる。この理由として、音節数の減少に伴って構音の難易度は低くなるとされている²⁾ため、唯一2モーラであった基準音条件で最も難易度が低く、促音条件と同等の声道閉鎖が得られた可能性がある。しかし、本研究では基準音条件と促音条件での声道閉鎖の差異については明らかではないため、構音時の口腔内圧の比較や、エレクトロパラトグラフィ等による舌口蓋接触の比較を行う必要がある。

これらのことから、構音訓練の順序を考慮する上では、連続音条件よりも基準音条件や促音条件の方が容易である可能性が考えられる。基準音条件、促音条件の効果やその2条件間の訓練順序について検討するためには、ディサースリア症例やその他の構音障害症例での検討が必要である。

2. 子音のピーク周波数、VOTへの影響

無声破裂音では、雑音成分の中で最も強いスペクトル成分が音韻の特徴要素¹³⁾とされている。本研究では/k/の破裂部分の周波数スペクトルからピークとなる音圧強度を測定し、3条件間で比較した。ピーク周波数音圧強度の平均値が同程度となった3条件間では有意差を認めなかったが、半数以上の被験者において、連続音条件でのピーク周波数強度が最も低い値を示していた。周波数スペクトルのピークの音圧増減は子音の明瞭度と関連しており¹³⁾、無声軟口蓋破裂音/k/で音の誤りを認め、ピーク周波数音圧強度が低いと予想されるディサースリア症例では、3条件間での差が生じる可能性が考えられる。

VOTに関しても3条件間で有意差は認めなかった。VOTは破裂と声帯振動の時間の差を示しており⁹⁾、子音の有声、無声の識別に重要である。城¹⁴⁾が報告した日本語(名古屋方言)の無声軟口蓋破裂音ではVOTは47.8±11.4

msであり、有声軟口蓋破裂音ではVOTが正の値をとる場合には 23.5 ± 5.1 ms、負の値をとる場合には -69.8 ± 22.8 msとなる。本研究での3条件の平均VOTは23.5 ms以上であり、同程度の値を示したことから、条件の違いにより有声音に聴取される可能性は低いと考える。しかし、ディサースリア症例では、個人内でのVOT変動幅の増加やSpasticタイプでのVOT短縮など健常者とは異なるパターンを示す¹⁵⁾。そのため、連続音環境では、不完全な声道閉鎖によりVOTの短縮が観察されたり、明瞭な構音を維持するために発話速度を調整した場合にはVOTの延長が観察される可能性がある。またそれらの変化により、個人内でのVOT変動がタスク間において異なる可能性も考えられる。

3. 自覚的構音難易度への影響

今回、/ka/の自覚的な構音難易度も検証するため、VASを用いた評価も行った。基準音条件、促音条件と比較し、連続音で難易度が上昇する傾向があったが、3条件で有意差は認めなかった。この理由として、本研究に参加した被験者数が9名と少数であり、サンプル数の不足により第二種の過誤が生じていた可能性がある。また音響分析項目および自覚的構音難易度に関して、基準音条件と促音条件間では有意差を認めず、値も同程度の値を示していた。この理由として、自覚的構音難易度は基準音条件： 26.7 ± 16.0 mm、促音条件： 30.3 ± 16.5 mmであり、健常発話者にとって容易な発話タスクであったため、音響的特徴に差が生じなかった可能性も考えられる。今後はより多くの症例での検討や、構音の能力に応じた音節タスクの検討が必要である。

4. 展望

本研究の結果より、連続音条件と比較して、基準音条件や促音条件において短時間で振幅の強い破裂成分が得られる傾向が示された。このことより、無声軟口蓋破裂音で問題を認めるディサースリア症例に対しては、無声軟口蓋破裂音と母音の反復/CVCV/を行うことで、子音の破裂成分が減弱する可能性が考えられ、初期の練習条件としては避けるべきであると考えられる。本研究では基準音条件と促音条件での音響分析項目に有意差を認めなかったが、促音条件において最大振幅時間が最も小さくなる被験者や最大振幅が最も大きくなる被験者が過半数を占めていたことから、ディサースリア症例に対し促音条件が有効であるか

については今後検討する価値があると考えられる。

今後は音の組み合わせが発話の聴覚印象評価や音響情報に与える影響を検討し、構音練習を行う上で参考となるエビデンスの蓄積が必要である。

文 献

- 1) Brady MC, Clark AM, Dickson S, et al : The impact of stroke-related dysarthria on social participation and implications for rehabilitation. *Disabil Rehabil*, 33 : 178-186, 2011.
- 2) Duffy JR : *Motor Speech Disorders Third Edition*. Mosby, St. Louis, pp379-404, 2013.
- 3) 長谷川和子 : 18章 構音に対するアプローチ. 梶浦一郎, 紀伊克昌, 鈴木恒彦 (編)「脳卒中の治療・実践神経リハビリテーション」, 市村出版, 東京, 174-178頁, 2010.
- 4) 高田正治 : 促音の調音上の特徴について. 国立国語研究所 (著)「国立国語研究所報告 83 研究報告集—6—」, 秀英出版, 東京, 17-40頁, 1985.
- 5) 大深悦子, 森 庸子, 桐谷 滋 : 促音の知覚に対する先行・後続母音長の影響. *音声研究*, 9 : 59-65, 2005.
- 6) 川原繁人 : 日本語の特殊拍の音響と知覚—促音を中心として—. *日本音響学会誌*, 69 : 191-196, 2013.
- 7) 前川喜久雄 : 日本語有声破裂音における閉鎖調音の弱化. *音声研究*, 14 : 1-15, 2010.
- 8) McCrea CR, Morris RJ : Comparisons of voice onset time for trained male singers and male nonsingers during speaking and singing. *J Voice*, 19 : 420-430, 2005.
- 9) Lisker L, Abramson AS : A cross-language study of voicing in initial stops : acoustical measurements. *Word*, 20 : 384-422, 1964.
- 10) Löfqvist A, Gracco VL : Control of oral closure in lingual stop consonant production. *J Acoust Soc Am*, 111 : 2811-2827, 2002.
- 11) Dorman MF, Studdert-Kennedy M, Raphael LJ : Stop-consonant recognition : Release bursts and formant transitions as functionally equivalent, context-dependent cues. *Perception & Psychophysics*, 22 : 109-122, 1977.
- 12) Ackermann H, Ziegler W : Articulatory deficits in parkinsonian dysarthria : an acoustic analysis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 54 : 1093-1098, 1991.
- 13) 星野 聖 : スペクトルのローカル・ピーク強調による子音明瞭度の改善. *Audiology Japan*, 37 : 57-63, 1994.
- 14) 城 哲也 : 名古屋方言話者における破裂音の発音実相—Voice Onset Timeの分析を通して—. *名古屋学院大学論集言語・文化篇*, 19 : 57-65, 2008.
- 15) Auzou P, Ozsancak C, Morris RJ, et al : Voice onset time in aphasia, apraxia of speech and dysarthria: a review. *Clin Linguist Phon*, 14 : 131-150, 2000.