原 著

ささやき声における /pa/ と /ba/ の出し分け

——ヘリカル CT による声道形態の検討——

東川 雅彦 竹中 洋

要 約 : ささやき声における音声器官での有声・無声子音間の音響学的な差を作り出す調節を知る目的で, multi-sliced helical computed tomography (MSCT) を用いて口腔・咽喉頭の音声生成時の声道形態を観察した。舌尖を含む舌ならびに喉頭の移動が, CV 音節の母音部分での聴覚的な手掛かりを作り出している可能性が示された。

索引用語 : ささやき声, 語音調節, 口唇破裂音, ヘリカル CT

Vocal Tract Features during Whispered Stops in Japanese
Demonstrated by Multi-Sliced Helical CT

Masahiko Higashikawa and Hiroshi Takenaka

Abstract : In order to know the features of the vocal tract during whispered stops, a wide view through the oral cavity to the larynx was obtained using multi-sliced helical computed tomography. Two subjects were asked to maintain the shape of their vocal tract even after they finished producing utterances of whispered /pa/ and /ba/. The data was transferred to a workstation and processed by multiplanar reconstruction.

In both subjects the tip of the tongue formed a lower position and the dorsum of the tongue was raised to a higher position during whispering of /ba/ than whispering of /pa/. We also observed a lower position of the larynx in /ba/ than in /pa/. These findings suggest that these adjustments control the frequency element acoustically, which may affect perception for distinguishing between voiced and voiceless syllables during whispered speech.

Key words : whispered speech, speech motor control, bilabial plosives, multi-sliced helical CT

はじめに

通常発声における対立する有声・無声破裂子音の音響学的な差異として、voice onset time (VOT)¹⁾、基本周波数²⁾、第1ホルマントのcutback³⁾、第2ホルマントの遷移の有無⁴⁾、aspiration noiseの大きさの差⁵⁾が挙げられている。これらが聴覚システムで知覚されることによって、有声・無声破裂子音の出し分けが成立することになる。

一方声帯振動を伴わない発声法であるささやき声においても有声・無声子音の出し分けは、通常発声での明瞭度には及ばないものの可能であることは、すでにいくつかの報告で確認されている⁶⁻⁸⁾。知覚の手掛かりとなる音響学的な特徴については、duration of noiseの差⁶⁾、VCV音節中の閉鎖・狭窄時間の差⁹⁾、子音のaspiration durationの有無⁸⁾、破裂後のF1の遷移の差^{7,8)}、破裂後の母音部分での周波数成分の違い⁷⁾などが挙げられている。

このようなささやき声において有声・無声子音間の音響学的な差を作り出すためには、音声器官でさまざまな調節がなされていることは容易に想像がつく。その調節について明らかにする目的で著者の一人は、口唇破裂音である/pa/と/ba/の出し分けを行う際の口唇、顎の動きを、通常発声とささやき声の場合で比較しつつ検討した。その結果、ささやき声では上下口唇間距離の変化速度が/ba/において速くなっていることが指摘された。また上下口唇間距離の最大値は/ba/において大きい傾向にあることが示された。これらの差は通常発声では見られていない¹⁰⁾。

これまでのささやき声の有声・無声の出し分けにかかわる調節についての検討の多くは子音の生成に注目したものであるが、後続する母音部分でも何らかの調節の差異があることが予想される。特にささやき声では、たとえば有声子音でのVOTが存在しないので、子音の情報を含んでいる時間は通常発声のそれと比べて短い。したがって知覚システムに働きかけるには不十分な時間となっている可能性がある。仮にささやき声において後続母音に有声・無声子音の出し分けにかかわる何らかの情報をもたすことができれば、知覚システムに働きかける時間的余裕も確保できるのではと考えられる。後続母音に有声・無声子音の出し分けにかかわる音響学的特徴としては、破裂後の母音部分での周波数成分の違い⁷⁾が挙げられている。

ここではささやき声における有声・無声子音の出し分けについて、音声器官での後続母音部分での調節に

ついて知することを目的として、multi-sliced helical computed tomography (MSCT) を用い観察領域を口腔・咽喉頭に設定した。音声生成時の声道形態の観察を行い考察を加えた。

方 法

被験者は音声障害のない男性2名(発話者1, 2)である。発話者1は41歳、発話者2は28歳で、ともに近畿方言話者である。2名の被験者は被爆量が生体に与える影響などについて理解のうえ、実験に参加した。

被験者の与えた課題は、検者の指示により発話サンプルをささやき声の楽な高さ強さで発声開始すること、ささやき声の持続は5秒未満であるので被験者は発声終了後も検者の合図があるまで声道の形態を保つこと、の2点である。発話のタスクは/pa/と/ba/とした。

MSCTによるスキャンは発話開始の指示の直後(約0.5秒)から開始した。撮像にはAquilion Multi(東芝)を用いた。再構成画像作成のためのピッチは0.5mmとした。スキャンに要した時間は約17秒であった。モニター画面上で舌の形態ならびに喉頭の高さに注目し、動きなどによるアーチファクトが検討に問題ない程度であることを確認し実験を終了した。得られたデータはzioM 900 (Zio soft) に転送して三次元構築を行い、多断面再構成(multi planar reconstruction; MPR)で矢状断像を表示し、舌の形態、喉頭の位置を検討した。

なお、被験者の発した音声の録音・分析も試みたが、装置からのノイズにより音声は著しく歪んでいたので、検討の対象からははずした。

得られた画像から、口腔・咽喉頭については舌尖、舌背の最高点、舌体の最後部、舌骨の位置、ならびに舌骨と舌体との相対的な位置関係を観察した。喉頭では声帯の高さを観察した。得られた画像よりそれぞれのパラメータについて/pa/, /ba/間での差異の有無、被験者間に共通する傾向について検討を加えた。

今回の撮像は、大阪医科大学附属病院における発声障害患者に対する発声時の口腔・咽喉頭の観察を行うにあたり、本装置による標準撮像法を設定する必要性から行ったものである。その際、発声のタスクを前記のように設定することで附随的にデータを得られる環境を作り、実験の形態を整えた。

図1 発話者1の音声器官の矢状断
左は/pa/生成時, 右は/ba/生成時の音声器官を示す。

図2 発話者2の音声器官の矢状断
左は/pa/生成時, 右は/ba/生成時の音声器官を示す。

結 果

得られた/pa/生成時 ba/生成時の2画像を, それぞれの発話者について環椎の高さを基準に垂直方向を調節したものを並べて表示した(図1, 2). 図には各パラメータの位置の検討のために, 舌背の最高点, 舌尖の先端, 舌骨の位置, 声帯の位置について, /pa/生成時を基準とした水平方向の補助線を加えた. さらに舌骨については垂直線も加えた.

舌尖は, /pa/生成時の時に比べて/ba/生成時では低くかつ後方に移動していた. この傾向は2名の被験者に共通していた.

舌背の最高点は, 発話者2では/pa/生成時の時に比べて/ba/生成時では低くかつ後方に移動していた. しかし発話者1では2つのタスク間での差は認めなかつ

た.

舌体の最後部については, /pa/, /ba/間での明らかな差は認めなかった.

舌骨の位置は, 2名の被験者に共通して/ba/生成時で下降していた. 下顎骨(オトガイ部)との距離の差は2つのタスク間で明らかでなかった. 舌骨の位置から見た舌体の相対的な形態は, /ba/生成時では/pa/生成時に比べて全体が後方に移動していることが2名の被験者に共通して観察された.

声帯の高さは2名の被験者に共通して/ba/生成時で下降していた.

考 察

今回の検討方法では, ささやき声の音声生成の過程のうち, 破裂後の母音部分での解析を行っている. 2

図3 音声器官の特徴
/ba/生成時では/pa/生成時と比較して各器官(部)は矢印に示す方向へシフトする傾向を認めた。

名の被験者の共通した音声器官のかたちの傾向を図3にまとめた。/ba/生成時には/pa/生成時に比べて図の矢印の方向に移動する形態をとっていることが示された。

ささやき声による破裂音の有声・無声子音の出し分けについての検討のなかで、破裂後の母音部分の音響学的な特徴としては、音響スペクトルのパターンから2 kHzを境とした周波数成分の割合に差があると予想されている。すなわち無声子音では2 kHz前後の周波数成分の差は少ないのに対して、有声子音では2 kHz以上の成分の割合がかなり低くなっていることが示されている⁷⁾。

音響学的に2 kHz以上の成分を減じるための調節の一つとして、声道の特に口前に近い部位での呼気の乱流が生じにくくする調節が考えられる¹⁰⁾。今回見られた形態のうち、/ba/生成時において舌尖を低く後方に構える動きや舌体を後方に移動する傾向がそれにかかわっている可能性がある。すなわち口腔前庭のレベルでの断面積を大きくする調節がかかわっていると考えられる。

もう一つの調節として声道長の調節が挙げられる。今回の実験の結果では、/pa/生成時に比べて/ba/生成時には喉頭の高さは低くなっていた。すなわち/ba/生成時には声道長は長くなっているといえる。Helmholtzは声道が長くなると、ホルマント周波数は全体

として低いほうに移動するとしている¹¹⁾。一方ささやき声の高さの知覚とホルマント周波数の移動との間には、強い関連があることが示されている¹²⁾。母音部分が低く知覚されることが無声子音ではなく有声子音と知覚される手掛かりとなるか否かについては検討を要するが、喉頭の上下の移動はささやき声の有声・無声子音の出し分けに大きくかかわる調節であると予想される。

以上のように今回の実験により、ささやき声による破裂音の有声・無声子音の出し分けにおいては、口唇の動きに見られたような子音部分での関与¹⁰⁾に加えて、母音部分でも声道で種々の調節がなされていることが十分に予想される結果が示された。

本実験の遂行にあたりご協力いただいた大阪医科大学放射線医学教室、上杉康夫講師に深謝する。本論文の要旨は、Meeting of American Speech Hearing Association (2001年11月, New Orleans), 第47回日本音声言語医学会総会(2002年10月, 大阪)において発表した。

文 献

- 1) Lisker, L. and Abramson, A.S.: A cross-language study of voicing in initial stops: acoustical measurements. *Word*, 20 : 384-422, 1964.
- 2) Haggard, M., Ambler, S. and Callow, M.: Pitch as a voicing cue. *J Acoust Soc Am*, 47 : 613-617, 1970.
- 3) Liberman, A.M., Delattre, P.C. and Cooper, F. S.: Some cues for the distinction between voiced and voiceless stops in initial position. *Lang Speech*, 1 : 153-167, 1958.
- 4) Stevens, K.N. and Klatt, D.H.: Role of formant transitions in the voiced-voiceless distinction for stops. *J Acoust Soc Am*, 55 : 653-659, 1974.
- 5) Repp, B.H.: Relative amplitude of aspiration noise as a voicing cue for syllable-initial stop consonants. *Lang Speech*, 22 : 173-189, 1979.
- 6) Dannenbring, G.L.: Perceptual discrimination of whispered phoneme pairs. *Percept Mot Skills*, 51 : 979-985, 1980.
- 7) 東川雅彦：囁語の聴覚的、音響学的ならびに空気力学的研究。日耳鼻, 97 : 1268-1280, 1994.
- 8) Tartter, V.C.: What's in a whisper? *J Acoust Soc Am*, 86 : 1678-1683, 1989.
- 9) Schwartz, M.F.: Bilabial closure durations

- for /p/, /b/, and /m/ in voiced and whispered vowels environments. J Acoust Soc Am, 51 : 2025-2029, 1972.
- 10) Higashikawa, M., Green, J.R., Moore, C.A., et al: Lip Kinematics for /p/ and /b/ production during whispered and voiced speech. Folia Phoniatr Logop, 55 : 17-27, 2003.
- 11) von Helmholtz, H.L.F.: On the Sensations of Tone as a Physiological Basis for the Theory of Music, Dover Publications, New York, pp. 103-111, 1958.
- 12) Higashikawa, M. and Minifie, F.D.: Acoustical-perceptual correlates of "whisper pitch" in synthetically generated vowels. J Speech Lang Hear Res, 42 : 583-591, 1999.

別刷請求先：〒 569-8686 高槻市大学町 2 番 7 号

大阪医科大学耳鼻咽喉科学教室

東川雅彦