原 著

声門上下圧差の基本周波数におよぼす影響

—有声音音/b/の場合の Fo 低下に関して—

北嶋 和智

要 約 : 有声音音/b/の音声基本周波数 (Fo) の低下が声門上下圧差の低下で説明できるかについて検討した。被験者は男性 3 名, 女性 3 名で, 各被験者について 2 つの条件下での Fo 低下を記録した。すなわち, 1) 持続母音発声中に急速に気道を閉じた際の Fo 低下, 2) 母音/i/の高さと強さを一定に保ったまま, /i: bi: /と発声させた際の Fo 低下である。1) と 2) の Fo 低下の大きさの間には一定の関係が観察されなかった。すなわち, /b/の Fo 低下は声門上下圧差単独では説明できず, 喉頭筋活動が積極的に参加していることを示唆するものであった。

索引用語 : 基本周波数, 声門上下圧差

The Effects of Transglottal Pressure Changes on Vocal Fundamental Frequencies

—control during voiced consonant—

Kazutomo Kitajima

Abstract : This study explored the role of transglottal pressure on the lowering of vocal fundamental frequency (Fo-lowering) during voiced plosive/b/ production. The subjects were 3 males and 3 females. Magnitudes of Fo-lowering were recorded under two different conditions : 1) when the vocal tract was abruptly interrupted during sustained phonation, and 2) when /i: bi: /was uttered. There was no consistent relation between the magnitudes of Fo-lowerings obtained under these two different conditions. In other words, Fo-lowering during /b/ production could not be explained by changes of transglottal pressure only. This implies positive participation of the laryngeal muscles in the mechanism of Fo-lowering.

Key words : fundamental Frequency, transglottal pressure

I. はじめに

話声における音声基本周波数 (Fo) の制御には複数の要素がからんでいる¹⁾が, 重要なものから 2 つあげると喉頭筋と声門上下圧差であるといえる。声門上下圧差の役割に関しては, Monsen²⁾らは平叙文の Fo 低

下において喉頭筋活動より優位にあり, Atkinson³⁾らは平叙文における Fo と声門上下圧差とはよい相関を示したとしている。Collier⁴⁾ら, Gelfer⁵⁾らは平叙文に観察される Fo の緩やかな低下は声門上下圧差により制御されとしている。これらの研究から声門上下圧差は話声の Fo のベースライン的な役割を担い, 特に

Foの緩やかな低下に関連が深いと考えてよい。その単位圧当たりのFo変動の大きさは5 Hz/cmH₂O前後であり⁶⁻¹⁰⁾、喉頭筋に比べてその役割は副次的である¹⁾といえる。

以上の研究は複数の単語を含む文、すなわち、比較的長い時間間隔での声門上下圧差のFo制御に果たす役割についての分析である。ではより短い時間間隔での声門上下圧差についての役割についてはどうか。有声子音の場合構音による声道の狭めのために声門上圧は増加を示すが、声門下圧はほぼ一定に保たれるから、声門上下圧差は減少を示す。その結果としてFoは低下を示してもよい。実際有声子音の際Foは低下を示している。しかし、以下の理由で喉頭筋活動もFo低下に関連が深いと考えられる。有声子音の際、声門は母音時に比較して開大しているが¹¹⁾これ自身でもFoを低下させる可能性がある¹²⁾。有声子音の喉頭筋の変化については、Collier⁴⁾らは/d/の発話の際の横筋、側筋、声帯筋の活動を記録している。子音の開始前後の筋活動をみると横筋と声帯筋は平坦かやや減少、側筋は減少を示している。Hirose¹³⁾らは/b/の声帯筋、横筋、後筋の活動を記録しているが声帯筋と横筋は減少を示し、後筋は増加を示している。これらの筋活動はFoを減少させるものである。以上のごとく、有声子音の場合の喉頭筋活動はFoを低下させるように働くので、声門上下圧差が有声子音のFo低下にどのような役割を果たしているかについては不明である。

本研究の目的は、有声子音のFo低下が声門上下圧差で説明できるかを検討して、この圧差が従来知られている長い時間間隔だけでなく、より短い時間間隔でもFoの変動に関係しているかを検討することにある。

II. 方 法

1) 図1に示すように被験者は途中にバルブを設けた中空管をくわえて各自に最も楽な強さと高さで数秒間発声する。バルブを発声の途中で急速に閉じる。被験者はバルブがいつ閉じるかは知らない。マウスピースをくわえて発声するために/a/と/e/の中間のような母音が発声される。管内圧を口腔内圧と等しいと考え圧トランスデューサーで記録する。同時に基本周波数を検出、モニターするために気管前壁に装着したコンタクトマイクで音声波を記録する。さらに発声の強さはバルブの近傍にマイクを置いた音圧計でモニターする。同じ強さと高さを保ちながら20回繰り返す。図2に示すような波形が得られる。口腔内圧が上昇を始める前の3周期と上昇をはじめてから30 msec-60 msecの時間帯で3周期の音声波を選びそれらの平均Foを求めた。すなわち、F₁を口腔内圧上昇前の基本周波数、F₂を口腔内圧上昇後の基本周波数とした。この30 msec-60 msecを選んだのは、この時間であれば圧変化に対応する喉頭筋活動の影響を最小限度にできると考えたからである^{3,7,8)}。測定には汎用波形処理装置(日本電気三栄製7T-18)を使用した。F₂からF₁を減じた値をdelta Foとし、F₁とF₂を計算した時間長に対応する部分の平均口腔内圧をPo₁、Po₂と定義し、Po₂からPo₁を減じた値をdelta Poと定義した。delta Foをdelta Poで除して単位圧あたりのFo変動を求めた。この作業を20回のサンプルについて行い、その平均を求め、これを各被験者のdF/dP valveと定義した。

2) 被験者に/i:bi:/と発声させる。被験者に最も楽な強さで発声させたが、高さについては1)の場合と同じ高さを前後の母音/i:/について維持するように指示した。口腔内圧を口角より挿入したチューブで圧

図1 持続発声中に急速にバルブを閉じ声門上下圧差を変化させる

図2 バルブを閉じた際の音声波と口腔内圧波を示す

図3 /i: bi:/と発声させた時の音声波と口腔内圧波を示す。分析の手順をA, B, ……., Gの順に示す

トランスデューサーに導いて記録し、同時に音声波を気管前壁に装着したコンタクトマイクで記録した。20回繰り返し発声させた。得られた記録について、口腔内圧の変化分に対する F_0 の変化分を求めた。ただし、求め方は1)の場合と異なる。図3にその実際を示す。2つの波を時間軸で示しているが、上が音声波、下が口腔内圧波である。以下図中の円で囲ったアルファベ

ット大文字に沿って測定の手順を説明する。(A)口腔内圧が上昇を始める前の3周期の平均から F_0 を計算し F_1 とする。(B)この3周期に相当する口腔内圧を P_{01} とする。(C)口腔内圧がその最大値の約1/2を示す時間を起点として1周期ごとに F_0 を求めて口腔内圧が最大値を示すまで続け、 $F_2(i)$ のシリーズを作成する。(D) $F_2(i)$ シリーズの各 F_0 に対応する点での口腔内

圧の値を測定し F_{o2} (i) シリーズを作成する。(E) F_2 (i) シリーズのそれぞれの値から F_1 を差し引き ΔF_{o2} (i) シリーズを作成する。(F) P_{o2} (i) シリーズのそれぞれの値から F_{o1} を差し引き ΔP_{o2} (i) シリーズを作成する。(G) ΔF_{o2} (i) シリーズのそれぞれの値を対応する ΔP_{o2} (i) シリーズの値で除してその平均を dF/dP speech とする。(1) のバルブ閉鎖の場合と違った方法を採用した理由は、(1) の場合と異なり口腔内圧がプラトーを形成せずに急速に減少を示すため、図 2 の P_{o2} に相当する値が得られないからである。20 のサンプルについて同じ作業を繰り返して、その平均を求め、最終的にその被験者の dF/dP speech と定義した。

被験者

男 3 名 (年齢: 27, 35, 50), 女 3 名 (年齢: 28, 30, 33) の計 6 名である。

III. 結 果

表 1 に各被験者の dF/dP valve と標準偏差, dF/dP speech と標準偏差を示す。 dF/dP valve の値は、過去

表 1 各被験者の dF/dP valve と dF/dP speech

	dF/dP valve (Hz/cmH ₂ O)		dF/dP speech (Hz/cmH ₂ O)
男性			
TK	-3.91 (0.65)	>	-3.23 (1.01)
KK	-6.65 (0.99)	=	-5.73 (1.26)
KA	-6.95 (0.84)	>	-3.45 (1.47)
女性			
FF	-7.60 (4.15)	<	-11.72 (5.73)
IK	-1.99 (0.67)	<	-6.15 (0.67)
IS	-3.00 (2.04)	<	-8.08 (2.04)
平均	-5.02 (2.98)	<	-6.39 (3.96)

に報告された値^{6~10)}と一致する。個人別にみるとそれらの間には有意の差がみられた ($p < 0.01$)。Titze¹⁴⁾ は、 dF/dP の値を声帯の安静時の長さ と 振動時の長さの関数で実験的に説明している。どちらの長さとも、個々の対象間で差はあるはずであるから、 dF/dP の値が個人間で差を示したことは Titze の結果と矛盾しない。 dF/dP speech も個人間で差を示したが、この場合は随意発話であるから予想されたことである。

dF/dP valve の値と dF/dP speech の値を比較すると、男女全体では前者の方が小さい値を示した。しかし、男女別にみると、男性では前者が後者より大きいか同等の値を示し、女性では前者が後者より小さい値を示した ($p < 0.01$)。Fo 低下において、声門上下圧差以外の要素すなわち喉頭筋による制御が働いていることを示唆するものである。

表 2 の左から右へ、 ΔP_{o2} (i) (/i : bi : /での声門上下圧差の最大値) と dF/dP valve の被験者ごとの値を示す。ついで、 ΔP_{o2} (i) に dF/dP valve を乗じて得られた値を示す。この値は/i : bi : /時の Fo の低下が声門上下圧差のみによって決まると仮定した際の Fo 低下の予想値と考えてよい。これに続いて、 ΔF_{o2} (i) シリーズのうちの最大値、すなわち、Fo 低下の実測値を示す。予想値と実測値を比較すると、男女間で逆の結果を示した。男性では実測の Fo 低下は予想より小さく、女性では予想より大きい値を示した。Fo 低下の実測値は男女間で差がなかった ($p < 0.01$) ので、一定の Fo 低下をきたすような方向へ喉頭筋の制御が働いたとも想像できる。

IV. 考 察

dF/dP valve と dF/dP speech では測定法が異なる。前者は声門上下圧差が一定の減少に達してからの値、後者はこの圧差が減少しつつある時の値である。

表 2 各被験者の Fo 低下の予想値と実測値

	ΔP_{o2} (i) (声門上下圧差の最大値) (cmH ₂ O)	dF/dP valve (Hz/cmH ₂ O)	ΔP_{o2} (i) $\times$ dF/dP valve (Fo 低下の予想値) (Hz)		Fo 低下の実測値 (Hz)
男性					
TK	5.24	-3.91	20.49	>	15.81
KK	6.53	-6.65	43.40	>	33.35
KA	4.99	-7.00	34.93	>	16.85
女性					
FF	2.34	-7.60	17.78	<	20.70
IK	5.59	-1.99	11.12	<	30.35
IS	3.51	-2.96	10.39	<	24.85

しかし、Fo と声門上下圧差との関係は直線的である^{7,14,15)}ので、測定の時間的位置の違いによる影響はないと考えられる。

個々の被験者について Fo 低下の予想値と実測値とを比較すると、被験者により予想値と実測値の大小関係は異なった結果が得られた。つまり、声門上下圧差のみでは Fo 低下の実測値を説明することはできない。予想値と実測値の差を男女別にみると、男性では前者より後者が小さく、女性では前者より後者が大きく、逆の結果が得られている。ただし、実測値そのものは男女間で差がなかった。男女の比較に限れば、声門上下圧差の違いにかかわらず同じ大きさの Fo 変動を達成する方向へ喉頭筋が働いたとも考えられる。予想値より実測値が大きい場合は圧変動と喉頭筋の効果が加算的に働いたと推測される。予想値より実測値が小さい場合の理由としては、廣瀬¹⁶⁾や、Collier⁴⁾らが観察したように喉頭筋の活動が後続母音の用意のためにすでに始まっており、この筋活動が声門上下圧差による Fo 低下に逆らうように働いたのではないかと想像される。いずれの場合にしても、喉頭筋が有声子音の場合の Fo 低下に積極的に参加していると考えられる。

Baken¹⁷⁾らは英語の有声子音に注目し、声門上下圧差の変動と Fo 低下の大きさを検討した結果、英語における有声子音の Fo 減少は、構音操作による声門上下圧差に由来するもので、喉頭筋の制御は及んでいないとしている。比較的範囲の狭い Fo の変動は、英語のような stress language では言語学的意味に乏しく、矛盾しない結果であると結論している。本研究の結果とは異なっている。日本語は中国語のような典型的な tonal language ではないがそれに近い modified tonal language といわれている²⁾ので、比較的範囲の狭い Fo 変動でも言語学的意味を有すると思われる。すなわち日本語では英語の場合と異なった結果が得られても不思議ではない。

声門上下圧差は声門の開大と密接に関連していること¹⁸⁾が判明している。したがって、声門上下圧差の大きさもまた喉頭筋の制御を受けているとも考えられる。話声における喉頭筋の活動が、常に先を見越しながら進むシステムで制御されているとすると、有声子音の際の比較的小さい Fo 変動に関しても喉頭筋が制御していることを示唆するものである。

母音の固有ピッチとして知られているように、構音と基本周波数との間には一定の結びつきが観察されている¹⁹⁾。今回の研究においてはバルブの閉鎖にせよ/b/発声にせよ、声門上の空気圧以外の形態的、物理的変

化の基本周波数変動に及ぼす影響は考慮していない。基本周波数の低下における喉頭筋の関与についての確証をうるためにはこれらの影響を考慮に入れた分析が必要であろう。また今回の研究では被験者数が少なく、年齢の影響は分析できていない。しかし、加齢は声帯の stiffness に影響を与え²⁰⁾、声帯の stiffness は dF/dP の大きさに影響を与えること¹⁴⁾が知られており、被験者の年齢についてもさらに検討が必要である。

V. 結 論

少なくとも日本語においては、有声子音/b/の Fo 低下は声門上下圧差の減少によって偶発的に観察されるものではなく、言語の生成プログラムに沿って積極的に制御されることが示唆された。

文 献

- 1) 廣瀬 肇：語音の韻律の調節について喉頭，1：105-110, 1989.
- 2) Monsen, R. B., Engebretson, A. M. Vemula, N. R. : Indirect Assessment of the Contribution of Subglottal Air Pressure and Vocal-Fold Tension to Changes of Fundamental Frequency in English. *J. Acoust. Soc. Am.*, 64 : 65-80, 1978.
- 3) Atkinson, J. E. : Correlation Analysis of the Physiological Factors Controlling Fundamental Voice Frequency. *J. Acoust. Soc. Am.*, 63 : 211-222, 1978.
- 4) Collier, R., Lisker, L., Hirose, H., Ushijima, T. : Voicing in Intervocalic Stops and Fricatives in Dutch. *Journal of Phonetics*, 7 : 357-373, 1979.
- 5) Gelfer, C. E., Harris, K. S., Collier, R., Baer, T. : Is Declination Activity Controlled ? Titze, I. R., Scherer, R. C. eds. : *Vocal Fold Physiology*. The Denver Center for the Performing Arts, Inc. 1983.
- 6) Isshiki, N. : Regulatory Mechanism of the Pitch and Volume of Voice. *耳鼻臨床*, 52 : 1065-1094, 1959.
- 7) Baer, T. : Reflex Activation of Laryngeal Muscles by Sudden Induced Subglottal Pressure Changes. *J. Acoust. Soc. Amer.*, 65 : 1271-1275, 1979.
- 8) Rothenberg, M., Mahshie, J. : Induced Transglottal Pressure Variations during Voicing. *Journal of Phonetics*, 14 : 365-371, 1986.
- 9) Hixon, T. J., Klatt, D. H., Mead, J. : Influence of

- Forced Transglottal Pressure Changes on Vocal Fundamental Frequency. *J. Acoust. Soc. Amer.*, 49 : 105(A), 1971.
- 10) Ladefoged, P. : Some Physiological Parameters in Speech. *Lang., Speech.*, 6 : 109-119, 1963.
- 11) Sawasima, M., Abramson, A. S., Cooper, F. S., Lisker, L. : Observing Laryngeal Adjustments during Running Speech by Use of a Fiberoptic System. *Phonetica*, 22 : 193-201, 1970.
- 12) 垣田有紀 : 声門間隙の調節による基本周波数の変化. *日耳鼻*, 91 : 1706, 1988.
- 13) Hirose, H., Gay, T. : The Activity of the Intrinsic Laryngeal Muscles in Voicing Control. *Ponetica*, 1972, 25 : 140-164.
- 14) Titze, I. R. : On the Relation between Subglottal Pressure and Fundamental Frequency in Phonation. *J. Acoust. Soc. Amer.*, 85 : 901-906, 1989.
- 15) 北嶋和智 : 声門上下圧差と基本周波数. *喉頭*, 1 : 111-114, 1989.
- 16) 廣瀬 肇 : 声門閉鎖筋の機能分化. *日耳鼻*, 77 : 46-57, 1974.
- 17) Baken, R. J., Orlikoff, R. F. : Changes in Vocal Fundamental Frequency at the Segmental Level : Control during Voiced Fricatives. *J. Speech Hearing Research*, 31 : 207-211, 1988.
- 18) Hirose, H., Niimi, S. : The Relationship between Glottal Opening and Transglottal Pressure Difference during Consonant Production. *Laryngeal Function in Phonation and Respiration*. Baer, T., Sasaki, K., Harris, K. S. eds 381-390, College-Hill Press, 1987.
- 19) Sapir, S. : The intrinsic pitch of vowels : theoretical, physiological, and clinical considerations. *Journal of Voice*, 3 : 44-51, 1989.
- 20) Hirano, M., Kurita, S., Sakaguchi, S. : Aging of the Vibratory Tissue of Human Vocal Folds. *Acta Otolaryngol*, 107 : 428-433, 1989.

別刷請求先 : 〒 520-21 大津市瀬田月輪町
滋賀医科大学耳鼻咽喉科
北嶋和智