

発話速度による有声区間の変動

Effects of speaking rate on the voicing variation in Japanese

前川 喜久雄

MAEKAWA Kikuo

国立国語研究所

National Language Research Institute

あらまし 発話速度の変動が喉頭有声音源の時間的 on/off 制御の変動におよぼす影響を実験的に検討するため (イ) 有声子音の前での /u/ の声の弱化 (ロ) 無声子音間での /a/ の無声化 (ハ) /h/ の有声化の 3 現象をとりあげ、男性 1 名を対象として実験をおこなった。まず (イ) におよぼす隣接音韻環境の影響と「普通」「できるだけはやく」の 2 段階の発話速度の影響を記録し、つづいて発話速度を 7 段階にわたって変化させた実験をおこなった。各現象の生起率は発話速度と明瞭な相関をしめした。また (イ) は最高にちかい速度で、(ロ) は普通よりややはやい速度で、そして (ハ) は普通の速度の発話において生じていることがあきらかとなった。

Abstract The effect of speaking rate on the voicing variation in Japanese was examined by experiments. Three kinds of variations were investigated. (A) the vocal reduction of /u/ preceded by voiceless and followed by voiced consonant, (B) the devoicing of /a/ between voiceless consonants, and (C) voicing of /h/. The followings are the main results. (A) occurs at the fastest speaking rate, while (B) occurs at the rates faster than the normal one. As for (C), it occurs frequently in the speech of normal speaking rate.

1. 目的

発話速度の変動は音声生成に多面的かつ複雑な影響をあたえることが知られており、従来から分節音の持続時間、調音結合、調音器官の運動特性、運動指令のタイミングなどに関して研究がすすめられてきた¹⁻⁴⁾。最近では音声合成の観点からも発話速度を制御しうる規則の検討がはじまっている⁵⁾。しかしながら発話速度のあたえる影響はこれら調音面だけにきられるわけではない。喉頭音源の音響的特性に対する影響が予測されるほかに、喉頭有声音源の on/off の時間制御そのものも影響をこうむる。言語学の領域では音韻論的に指定される分節音の有声/無声に関する素性が音韻環境その他の影響を受ける結果、現実の音声においてかならず

しも指定どおりに実現されるわけではないことが知られているが、この現象に関する多少とも精密な観測は現在までなされていないようである。本稿では発話速度を実験的に制御した発話をスペクトログラムで観察した結果を報告する。

2. 分析対象

有声区間の変動に関しては従来から無声子音に前後をはさまれた狭母音 /i/, /u/ が声をうしなう現象：いわゆる狭母音の「無声化」がさかんに研究されてきている。狭母音の無声化も発話速度との相関をしめすことが報告されているが^{6,7)}、無声化は東京方言など無声化のさかなな方言においてはひくい発話速度においてもほぼ規則的に生じるので、発話速度の影響を評価

するために適当な素材とはいいがたい。そこで本研究では以下のような現象に注目した⁸⁾。

- (a) 無声子音に後続し有声子音に先行する環境での狭母音の無声化／脱落ないし弱化。
以下では無声子音前での「無声化」と区別して「声の弱化」とよぶ。
- (b) 無声子音にはさまれた/a/の無声化。
- (c) /h/の母音間における有声化。

若干の説明をくわえる。Fig.1 は以下で利用する音声資料の一部、音韻連鎖 /anosahakuba/ のスペクトログラムである (10KHzサンプリング; 分析窓6.4msec; 時間軸1.5sec)。2発話が左右に比較されているが両例とも/sa/部分では声帯振動による voice bar が生じていない。これが上記の (b)である。さらに右の発話では/ku/部分も声をうしなって摩擦音化している。これが上記の (a)である。これら無声化ないし弱化が生じた区間の LPC スペクトル包絡を観察すると各母音固有の包絡に類似していることが視認できる。Fig.2 は Fig.1 と同一の発話であり3箇所のスペクトルは左から順番に無声化した/a/、有声の/u/、弱化し無声化した/u/をしめす。Fig.3 はやはり今回の資料から抽出した音韻連鎖 /saha/ の比較である。Voice bar の視認性のために分析窓 51.2msec (狭帯域フィルター相当) で分析した。スペクトログラム下部に注目すると左例では/h/区間で声帯振動が一度とぎれているが右ではとぎれずに連続している。これが上記の(c)である。

3. 実験1: 普通の発話とできるだけはやい発話の比較

3.1 資料とその分析手段

最初に Table 1 にしめす音声資料を作成した。元来上記(a)に対する隣接音韻環境の影響をさぐることを目的としているが、制御変数のひとつとして発話速度をふくんでいる。またフレーム部分には(b)(c)に関する変数も導入されている。ターゲットとする狭母音/u/に先行する無声子音として /k,s,ts/ の3種、/u/ に後続する有声子音として /b,d,g,z,m,n,r/ の7種、これに後続する母音として /u,a/ の2種をくみあわせた39種類の音韻連鎖を作成し、

これを4種類の単語フレーム /__ka/, /ha__ka/, /saha__ka/, /hasa__ka/ に挿入して合計156種の無意味語をえた。これをキャリア・センテンス「あの __を見た」の下線部に挿入し、発話速度として「普通」と「できるだけやく」

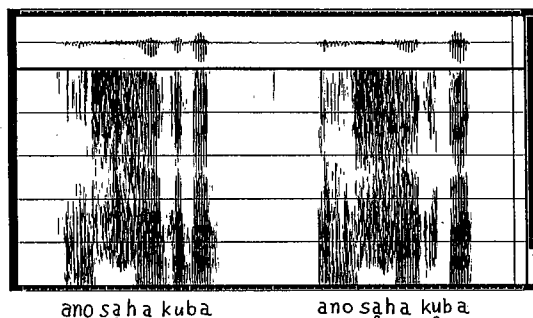


Fig.1 Two tokens of /anosahakuba/ with devoiced /a/ (on the left) and devoiced /a/ and devoiced or reduced /u/ (on the right).

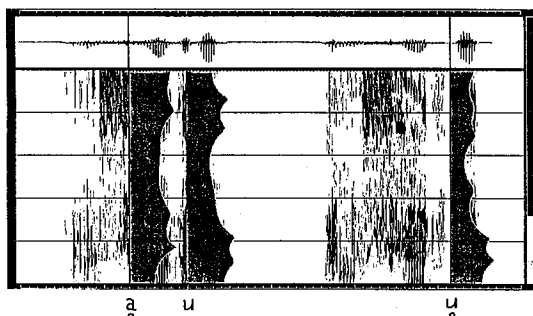


Fig.2 LPC spectra of devoiced /a/, voiced /u/ and devoiced or reduced /u/. The same material as in Fig.1.

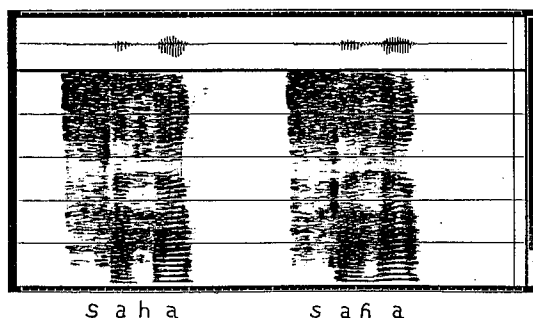


Fig.3 Two tokens of /saha/ with (on the left) and without (on the right) the voicing of /h/.

先行子音 Preceding consonants	狭母音 Target vowel	後続子音 Following consonants	後続母音 Following vowels	フレーム Frames for test words	発話速度 Speaking rates	発話回数 Repeti- tion	
$\left\{ \begin{matrix} k \\ s \\ ts \end{matrix} \right\}$	*	u	*	$\left\{ \begin{matrix} b \\ d \\ g \\ z \\ m \\ n \\ r \end{matrix} \right\}$	$\left\{ \begin{matrix} \#_ka\# \\ \#ha_ka\# \\ \#saha_ka\# \\ \#hasa_ka\# \end{matrix} \right\}$	$\left\{ \begin{matrix} \text{Normal} \\ \text{As fast} \\ \text{as pos-} \\ \text{sible} \end{matrix} \right\}$	* 3 times

----- 39 tokens ----->
----- 156 tokens ----->
----- 312 tokens ----->
----- 936 tokens ----->

Table 1 The structure of speech material for the first experiment. The combination of the first four elements makes 156 different nonsense test words; /kubuka/, /kubaka/, /hasuguka/, /sahatsugaka/, /hasakuraka/ for example. Note that in Japanese the consonant /d/ never occurs with the following vowel /u/. The combination of two rates of speaking and three repetition gives the total of 936 tokens.

の2種を設定してそれぞれ3回発話した。その際、速度の判断は発音者にゆだねている。2名の発話を録音しているが今回は東京在住歴のながい共通語男性話者1名(33歳)の資料を分析した。今川・桐谷(1989)によるデジタル音声分析システムを使用してスペクトログラムの作成およびピッチ抽出をおこない、一部波形観察も併用しながら分節音のセグメンテーションおよび有声区間の決定をおこなった⁹⁾。

3.2 声の弱化に関する結果

有声子音前の狭母音/u/に相当する区間の声の状態を以下の3種類に分類した。Fig.1右側の例は(ハ)に該当する。

- (イ) /u/に固有のフォルマントが一定時間存在することが視認できるケース。
- (ロ) スペクトログラム上で母音を視認することはできないが波形には非周期成分にかさなってごく短時間だけ周期成分がみとめられるケース。おおくは1周期だけで振幅は(イ)にくらべると非常に小さい。
- (ハ) 非周期成分のみが観察されるか無音化しているケース。

以下の議論では(ハ)だけを「声の弱化」と判定

した場合を「基準1」、(ロ)もふくめた場合を「基準2」とよぶことにする。Fig.4は先行子音別の分類結果である。最初に基準1で判定すると普通速度では声の弱化はほとんど生じない。できるだけ早い発話では/s/, /ts/の場合に弱化率が大幅に増加する。一方、基準2を採用すると普通速度でも/s/, /ts/では30%程度の弱化が生じていることになる。ここでも発話速度の顕著な影響がみとめられる。

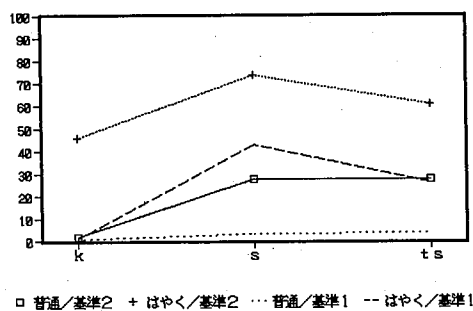


Fig. 4 Voicing reduction of /u/ as the function of the preceding consonants and the speaking rates. The lines without marker represent the judgement by the criterion one. The dotted line stands for the result of normal speech and the broken line for the fastest speech. The lines with markers represent the judgement by criterion two. The real line stands for the normal speech and the dotted line for the fastest speech.

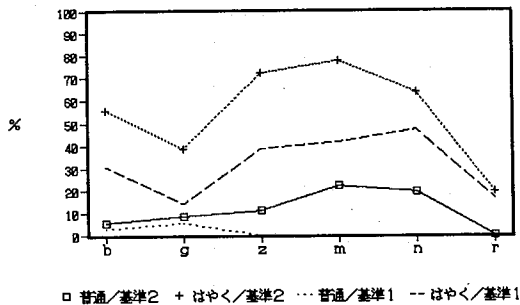


Fig. 5 Voicing reduction of /u/ followed by a syllable containing /u/ as the function of the following consonants and the speaking rates. The same manner of representation as in Fig. 4

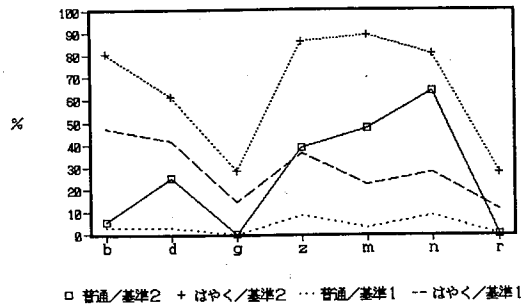


Fig. 6 Voicing reduction of /u/ followed by a syllable containing /a/ as the function of the following consonants and the speaking rates. The same manner of representation as in Fig. 4

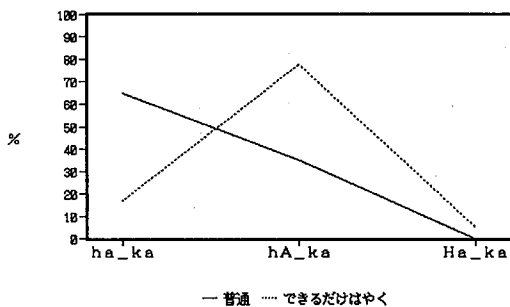


Fig. 7 Devoicing of /ha/ and voicing of /h/ in the frame /ha_ka/ as the function of the speaking rates. The real line stands for the result of normal speech and the dotted line for the fastest speech. A and H represent the devoiced /a/ and the voiced /h/ here and elsewhere.

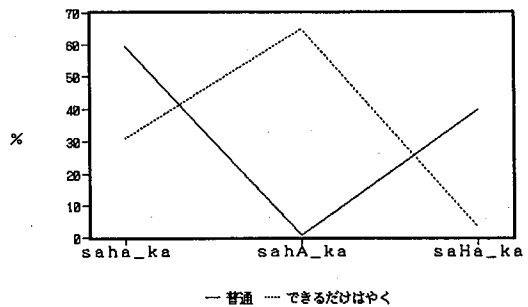


Fig. 8 Devoicing of /ha/ and voicing of /h/ in the frame /saha_ka/ as the function of the speaking rates. The same manner of representation as in Fig. 7.

Fig. 5, 6 は後続子音と後続母音のくみあわせによる分類である。全体として後続母音が狭母音 /u/ である Fig. 5 よりも広母音 /a/ である Fig. 6 の方が弱化率が上昇することがわかる。発話速度の影響はここでもあきらかである。Fig. 6 では後続子音が /b/, /z/, /m/ の場合、Fig. 5 ではこれにくわえて /n/ の場合ことに顕著である。後続子音が /r/ の場合に弱化率が低下し速度差がめだたないのも共通した傾向である。

3.3 広母音 /a/ の無声化に関する結果

今回使用した 4 種のフレームには /ha/ が 3 箇所、/sa/ が 2 箇所ふくまれており、いずれも無声化の可能性がある。以下の図では印刷の便宜のため無声化した [a] を A であらわすことにする。また声の弱化の場合のように複数の判定基

準をもちいることはせず、/ha/ ないし /sa/ の区間にわずかでも周期的波形が観察された場合は有声と判定している。

まず /ha/ にふくまれる [a] の無声化を検討する。Fig. 7 はフレーム /ha__ka/ の /ha/ の母音についての観察結果である。普通速度においても /ha/ の無声化は約 40% 生じているが、できるだけはやい発話になると 80% 以上が無声化する。Fig. 8 はフレーム /saha__ka/ の結果である。普通速度では無声化は生じていない。しかしできるだけはやい発話になると 70% ちかい無声化が生じる。これらに対し、Fig. 9 にしめされたフレーム /hasa__ka/ の結果は普通速度でもたかい無声化率が記録されており速度差が影響していない点が特異である。この点はのちに問題になる。

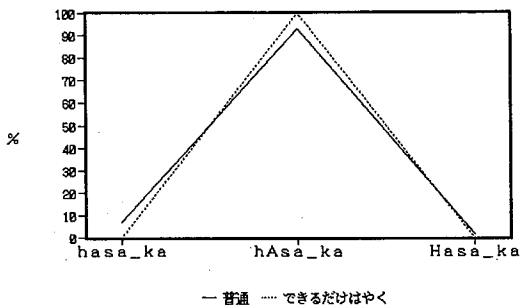


Fig. 9 Devoicing of /h/ and voicing of /h/ in the frame /hasa_ka/ as the function of the speaking rates. The same manner of representation as in Fig. 7.

つぎに/sa/にふくまれる[a]を検討する。Fig. 10をみると普通の速度では語中にある/sa/は無声化せず、語頭位置で20%強が無声化するにとどまっている。しかし、できるだけはやい発話になると語中で30%、語頭では90%をこす無声化率をしめす。

3.4 /h/の有声化に関する結果

Fig. 7~9には/h/の有声化率も記録されている。以下の図では有聲化した[h]をHであらわす。Fig. 7, 9のように/ha/が語頭の位置にある場合、有聲化は発話速度にかかわらずほとんど生じない。Fig. 8のように語中位置にあると普通の速度では約40%の有声化が生じるが、できるだけはやい発話ではほとんど生じていない。

4. 実験2: 発話速度を7段階に変化させた場合

4.1 資料

実験1の結果、(a)(b)(c)の各現象はいずれも発話速度のつよい影響をうけることが判明した。しかし観察1では(a)の分析のために種々の音韻環境を変数としたため、発話速度は2段階しか設定していない。この不備をおぎなうため第二の実験をおこなった。この実験では電気式メトロノームの発生する一定間隔のパルスに同期させて発話をおこなうこととし、パルス速度を7段階にわたって変化させた。Table 2に各段階のパルス間隔をしめす。無意味語/sahakubaka/および/hasakubuka/を実験1と同じキャリア・センテンスにいれて発話した。無意味語の第一音節/sa/ないし/ha/における母音始端とキャリア・センテンス後半「~を見た」の音節

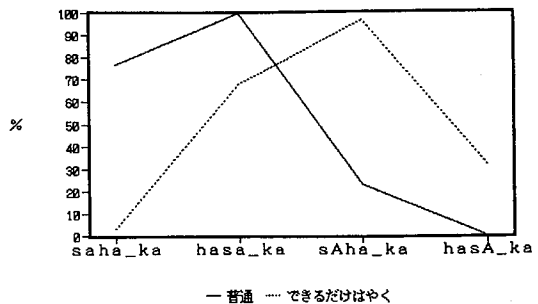


Fig. 10 Devoicing of /sa/ in the frame /saha_ka/ as the function of the speaking rates. The same representation as in Fig. 7.

Speaking rate	Pulse interval	Speaking rate	Pulse interval
R1	1.39 sec.	R5	0.49 sec.
R2	0.90 sec.	R6	0.42 sec.
R3	0.69 sec.	R7	0.37 sec.
R4	0.57 sec.		

Table 2 The intervals of electric pulses used in order to control the speaking rate in the second experiment.

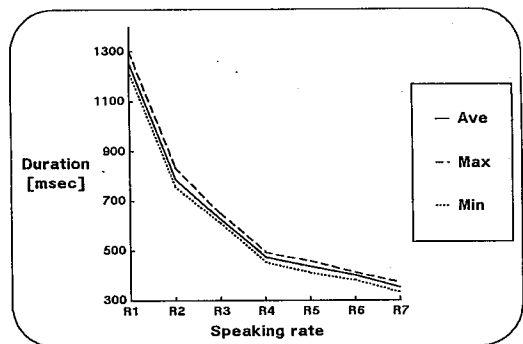


Fig. 11 The duration of /sahakubaka/ uttered with seven different speaking rates. The real line stands for the mean duration of ten tokens. The broken and the dotted lines represent the maximal and the minimal durations measured.

/mi/の母音始端との2タイミング・ポイントを連続する2パルスに同期させて発話をおこない、同期がとれたとおもわれる発話を各語10回ずつ録音した。主観的印象ではR1はきわめておそい発話、R7はきわめてはやい発話である。R3、R4あたりが「普通」の範疇にはいる。Fig. 11に/sahakubaka/の発話持続時間の平均値・最大値・最小値をしめす。/sa/の子音始端から/ka/の子音の破裂時点までを測定した。

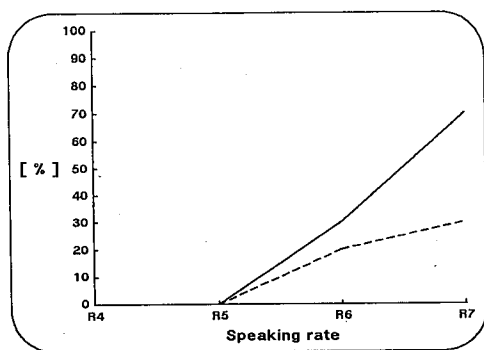


Fig. 12 Voicing reduction of /sahakubaka/ (real line) and /hasakubuka/ (broken line) as the function of speaking rates.

タイミング・ポイント間を測定しようとするとき無声化の生じた発話では/sa/の母音始端を決定しにくいためである。そのため Fig. 11の持続時間は Table 2 に比較すると一定の比率で短縮されている。発話ごとの分散は小さくほぼ正確に同期がおこなわれていることがわかる。

4.2 結果

「声の弱化」に関する結果を Fig. 12 にしめす。ここでは実験 1 の基準 1 だけを判定基準とした。R 1 ~ R 5 では弱化は生じておらず最後の 2 段階でのみ発生している。実験 1 とおなじくターゲット母音 /u/ に後続する音節の母音が /a/ の場合 (/sahakubaka/) に /u/ の場合 (/hasakubuka/) よりも弱化率がたかくなっている。

/a/ の無声化、/h/ の有声化に関する結果をまとめて Fig. 13 にしめす。/sahakubaka/ における語中の /h/ の有声化 (曲線 1) は R 2 というかなりひくい発話速度ではじまり「普通」と感じられる R 3 では一気に 100% に達する。グラフでは R 4 以上の値をしめしていない。その理由は R 4 以上の速度では /sa/ の母音が 100% 無声化するために /h/ 区間の精密な決定に困難が生じるせいである。/hasakubuka/ における語頭の /h/ の有声化 (曲線 4) は R 5 以上の速度で発生し、単調に増加していく。実験 1 ではできるだけはやい発話でも語頭位置では /h/ の有声化がほとんど生じていないこと (Fig. 9) と矛盾する結果である。実験 1 の「普通」の平均実測値が R 3 と R 4 の中間に「できるだけやく」が R 5 と R 6 の中間に位置することから推論すると実験

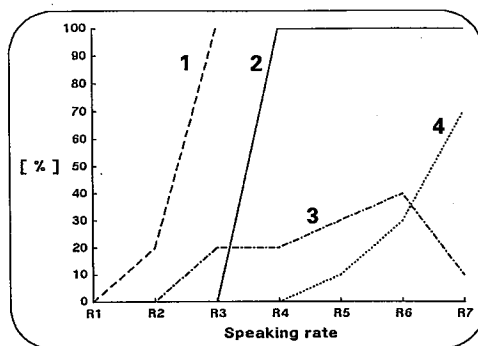


Fig. 13 Devoicing of /a/ and voicing of /h/ as the function of seven speaking rates. 1: /saHa/, 2: /sAha/, 3: /hasA/, and 4: /Hasa/.

1 でもっとと有声化が生じてよいことになる。

最後に /sahakubaka/ と /hasakubuka/ の /sa/ の無声化。/sa/ が語頭に位置する前者 (曲線 2) が R 4 以上で 100% を維持するのにに対し、語中の後者 (曲線 3) は 50% に達しない。語頭位置で無声化率が上昇する点も速度軸上の関係も実験 1 (Fig. 10) とほぼ一致する。なお実験 2 に関しては両者の無声化率の差には後続音節の母音の狭/広に影響している可能性がある。

5. 解釈・考察

今回の実験は喉頭音源の on/off 制御の変動が語中位置や隣接音韻環境の影響を受けつつも全体としては発話速度のつよい影響をこうむることをあきらかにした。また実験 2 によって変動をまったく生じない発話はきわめて低速の場合 (R 1) にしか観察されることが判明しており、日常の「自然な」音声には多少ともこの種の変動が生じているとみることができる。ちなみに今回とりあげたような変動を高速の調音活動にともなう喉頭の誤動作に還元しようとする解釈は適当でない。有声区間の変動は、母音にせよ子音 /h/ にせよ、声帯音源の有無が音韻論的対立にむすびつかない分節音に対して選択的に生じており、その意味で言語固有の情報に依存した現象である。(もちろん日常発話で調音運動にしばしばあやまりが生じることは事実である。しかし実験全般をとおしていえるのは、正確な発音を意図した場合、最高速度の発話においてもわれわれは正確な調音運動を実行できるということである。今回、実験 2 では /h

asakubaka/の/ka/音節の子音が有声化している例が速度R7にかぎって2例観察されたが、この場合も/ga/とはきこえるわけではない。)

一方、今回対象とした3種の変動に対する発話速度の影響のありかたは一樣でない。Fig.12, 13の結果は発話速度との関係においてすくなくとも3種の分類が可能なることを示唆している。まず普通速度(R3)において頻繁に生じている現象として語中における/h/の有声化が位置づけられる。もうすこし速度が上昇した場合(R4)に生じはじめる現象が/sa/や/ha/の母音無声化であり、語中位置によってはほぼ規則化する。そして最高にちかい速度(R6・7)で生じる現象として有声子音の前での狭母音の声の弱化が位置づけられる。

一方、実験1でコントロールした各種の音韻環境も発話速度の影響を解釈する際に無視することのできない影響をあたえている。声の弱化現象では後続母音や前後の子音からの影響が観察されたが、これらは日本語の等時性制御と関係している可能性があることを指摘しておく。後続母音が狭母音である場合に弱化率が低下するのは一般に狭母音の固有持続時間が広母音よりみじかいためVC単位の等時性制御¹⁰⁾によってターゲット母音の持続時間に余裕が生じるためと解釈することができる。後続母音が広母音である場合の弱化率の上昇も逆のプロセスを想定することによって説明できる。さらに後続子音が/r/の場合にもっとも弱化率が低下する事実もこの子音がもっとも固有持続時間の短い子音であることによって後続母音の影響と統一されたかたちで説明可能である。

6. 結語:今後の問題

今回の分析はただ1名の話者を対象としたものであり、これがどの程度一般化できるかは不明である。語頭位置における/h/の有声化に関して実験1・2が矛盾した結果をしめしたことは発話速度のコントロールに独立した複数の方策が存在する可能性をうかがわせる。また、実験2が対象としたような広範囲の速度制御に関してモーター・コマンドのレベルではどのような変化が生じているのかなど基本問題のおおくが解明をまつ状態である。

謝辞: 本稿の前半、実験1の結果の一部を国立国語研究所研究部会議および東京大学医学部音声言語医学研究施設コロキウムにて報告した際、貴重なコメントをいただきました。

参考文献

- 1) 比企静雄・金森吉成・大泉充郎: 連続音声の中の各音韻の持続時間の性質, 東北大学電気通信研究所サイバネティクス研究会, 1965.
- 2) T.Gay and H.Hirose: Effect of speaking rate on labial consonant production, Phonetica, 27, 44-56, 1973.
- 3) T.Gay: Mechanisms in the control of speech rate, Phonetica 38, 148-158, 1981.
- 4) J.E.Flege: Effects of speaking rate on tongue position and velocity of movements in vowel production, JASA, 84, 901-916, 1988.
- 5) 今泉敏・桐谷滋・高橋正浩・白井克彦: 速度可変型ホルマント合成規則の検討, 信学技報, SP89-64, 1989.
- 6) M.S.Han: Unvoicing of vowels in Japanese, Study of sounds, 10, 81-100, 1962.
- 7) F.Kuriyagawa and M.Sawashima: Word accent, devoicing and duration of vowels in Japanese, Annual bulletin RILP, 23, 85-108, 1989.
- 8) 前川喜久雄: 母音の無声化, 「講座日本語と日本語教育2 音声・音韻(上)」明治書院, 1989.
- 9) 今川博・桐谷滋: DSPを用いたピッチ、フォルマント実時間抽出とその発音訓練への応用, 信学技報, SP89-36, 1989.
- 10) 佐藤大和: 単語における音韻継続時間と発声のタイミング, 音声研究会資料, S77-31, 1977.