

聴覚障害者の発語に関する音響音声学的特徴 (第二報)

吉野 公喜*

幼児期より言語指導を受け、言語能力を十分高めている重度聴覚障害者の特定発語にみられる超分節的特徴を、音響音声学的に検討した。平均聴力レベルが100dB以上の聴覚障害者のVCVのClosure Duration(CD)は、健聴者のCDよりも著しく短く、一方V₂DはCDの短さを補う形で長くなっている。VCV音節のTotal Duration(TD)は、聴覚障害者と健聴者において近似した値を示している。“How are you?”のTDは、聴覚障害者において、日本人健聴者及び米国人健聴者のTDよりも2倍強も長くなっている。重度聴覚障害者は、連続話発語において、調音運動の適切さと平滑化に困難性のあることを示している。

キーワード： ホルマント 音声環境 音響音声学 ろう的スピーチ 聴覚障害者

1. はじめに

著者(1985¹⁾)及び著者ら(1986¹⁵⁾)は、高度あるいは重度聴覚障害者の特定音声環境(a given phonetic environment)における/V₁CV₂/音節の音響音声学的特徴の一端を明らかにしてきた。

①/V₁CV₂/に占めるセグメントのうち、closure durationは、聴力レベルが95dB以上の場合、たとえ聴能を高めていても、健聴者と比較するとき、著しく短い。聴覚的フィードバックが困難な場合、後続母音の持続時間が著しく長くなる。

②重度聴覚障害者の母音調音にみられる平均基本周波数は、健聴者よりも高いことが認められるが、聴力レベルと必ずしも一義的關係を有しない。高度・重度聴覚障害者の基本周波数は、5母音間で異なる。

③聴力レベルが95dB以上の重度聴覚障害者であっても、聴能を高め、語音に対して十分に高い聴覚的識別能を示している場合には、健聴者と同様の母音調音を達成し得る。

2. 目的

本研究は、日本語の音韻体系を習得し、母音及び子音の調音プログラムを有している聴覚障害者(大学生あるいは大学院生)を対象にして、音声環境(phonetic environment)が特定の語音

及び慣用語の発語にみられる音響音声学的特徴の一端を明らかにすることにある。

3. 方法

(1) 被験者

被験者は、良聴耳の平均聴力レベル($\frac{a+2b+c}{4}$ 法)が70dB(K. H.), 76dB(T. T.), 95dB(S. M.), 104dB(T. M.), 103dB以上(F. W.)の両側感音難聴者5名(Table 1)と健聴者4名である。感音難聴者のうち、日本オージオロジー学会67語表による最高受聴明瞭度(most speech discrimination score)が60%以上の値をとる者は、K. H., T. T., S. M.の3名である。T. M., F. W.の2名は、いずれもチャンスレベル以下か識別不能を示すものである。表中のaided earは、日常的に補聴器を装着している装用耳を示している。健聴者のうち3名(D. H., O. N., D. D.)は、米国の大学を卒業し、筑波大学に籍を置く、言語学専攻の米国人留学生である。年齢は、20歳から29歳までの20歳代の者である。

(2) 音声サンプル

言語音の環境が一定である/V₁CV₂/音節(/apa/, /ata/, /aka/, /aba/, /ada/, /aga/)と英語慣用語(How are you?)を、2度発語させ、2度目のものを音声サンプルとする。母音環境

Table 1. Information regarding audiometric data of hearing-impaired subjects.

Subject	Sex	Average Hearing	Hearing Level							MSDS (%)*	Aided Ear**
			250	500	1,000	2,000	4,000	8,000 (Hz)			
K.H.	M	R 71.3	60	65	70	80	70	75	95	R	
		L 70.0	55	60	70	80	80	75	75		
T.T.	M	R 76.3	45	55	80	90	105	NR	60	R	
		L 87.5	50	75	90	95	95	NR	30		
S.M.	M	R 97.5	80	90	100	100	90	85	95	R	
		L 95.0	70	85	100	95	85	70	95		
T.M.	F	R 103.8	80	95	105	110	120	NR	10	R	
		L 106.3	90	105	105	110	120	NR	—		
F.W.	F	R 102.5↓	85	95	110	NR	NR	NR	—	—	
		L 110↓	NR	110	NR	NR	NR	NR	—		

*最高受聴明瞭度

**補聴器装用耳

(vocalic environment) を一定にし、調音点を異にする破裂音 (/p/, /b/, /t/, /d/, /k/, /g/) を/a/ではさむにあたっては、前報の結果、日本語5母音のうち、/a/が発語明瞭度及び母音調音図 (F_1 — F_2 図) において、他の母音よりも比較的良好な値をとっていることによる。^{13,14)}

(3) 手続き

音声サンプルは、防音室内で、被験者の口前15cmにセットされた、コンデンサーマイクロホン (SONY ECM290E) を通して、テープレコーダー (SONY TC8750-2) に、テープ走行38cm/秒で録音された。音声サンプルを得るための検査語は、カード (15×20cm) に印字され、被験者に提示された。

各音声サンプルは、音声切り出し編集装置 (DANAC7000)、音声情報処理システム (TSUKUBA FM)、デジタルソナグラフ (KAY7800, KAY7900) を介して、波形の解析及び処理がなされた。Fig. 1は、本研究に用いた音声波形の解析及び処理システムのブロックダイアグラムである。DANAC7000, TSUKUBA FM による波形解析は、前報と同じ条件でなされた。KAY7800による時間波形の解析は、周波数レンジ8KHz, バンド幅300Hzが、その設定条件とされた。

音声サンプル/ata/ (健聴者 H. T. のもの) の波形の時間構造 (TD; Total Duration, V_1D : Initial Vowel Duration, CD; Closure Duration, VOT: Voice Onset Time, V_2D : Final Vowel

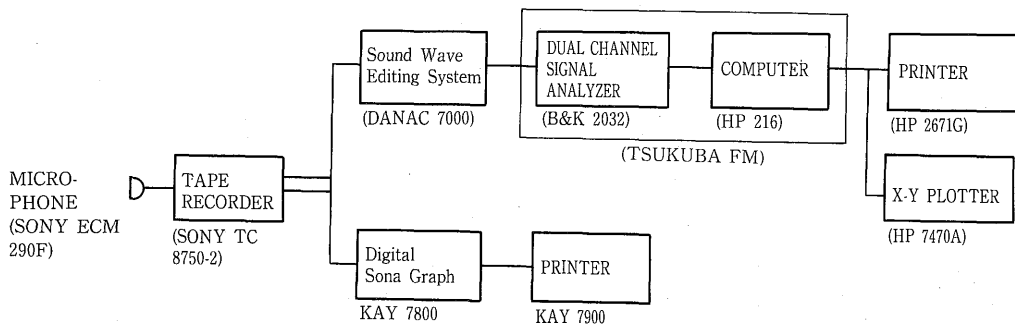


Fig. 1. Block diagram of sound wave editing system and speech sound analysing system.

Duration) の例は, Fig. 2 のように示される。

英語の挨拶にみられる慣用句, How are you? のサンプル波形の時間構造の例は, Fig. 3に示されるものである。

4. 結果

(1) /V₁CV₂/音節の時間構造にみられる特徴前報(吉野1985¹⁴⁾)で述べたように, 重度難聴者の特定環境にみられる母音調音は, /i/, /e/ の中性音化 (neutralization), /o/, /u/ の中心化傾向を, その特徴とする。しかしながら, 聴力レベルが重く, しかも聴覚的フィードバックを著しく欠く難聴者であっても, /a/ の調音は, 健聴者の/a/に範疇化されるほどに近似している。

母音/a/を, それぞれ先行音(V₁), 後続音(V₂)

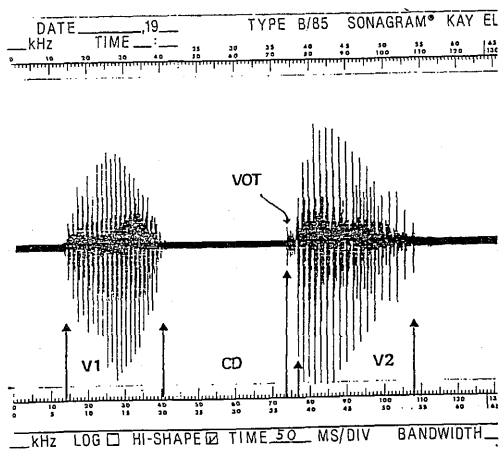


Fig. 2. Sample waveform of /ata/ with measurement boundaries indicated by arrows and operationized intervals for four segments (V₁, CD, VOT, V₂) indicated between arrows.

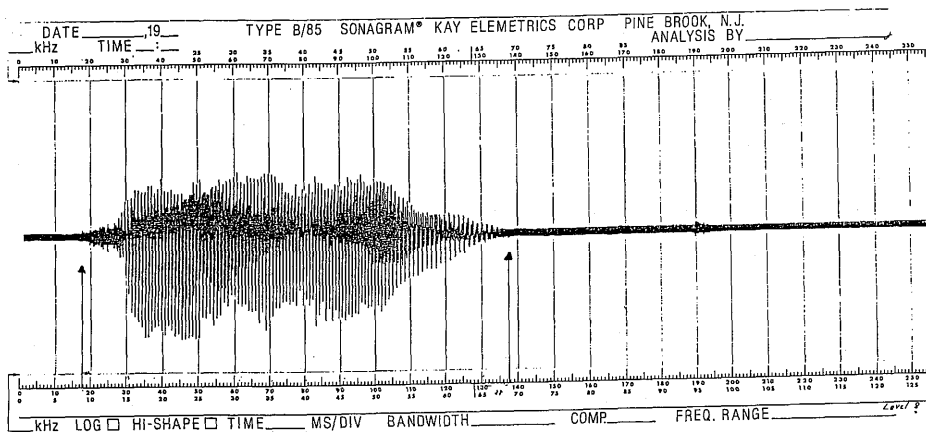


Fig. 3-1. Sample waveform of "How are you?" pronounced by a hearing speaker (American female, O. N.).

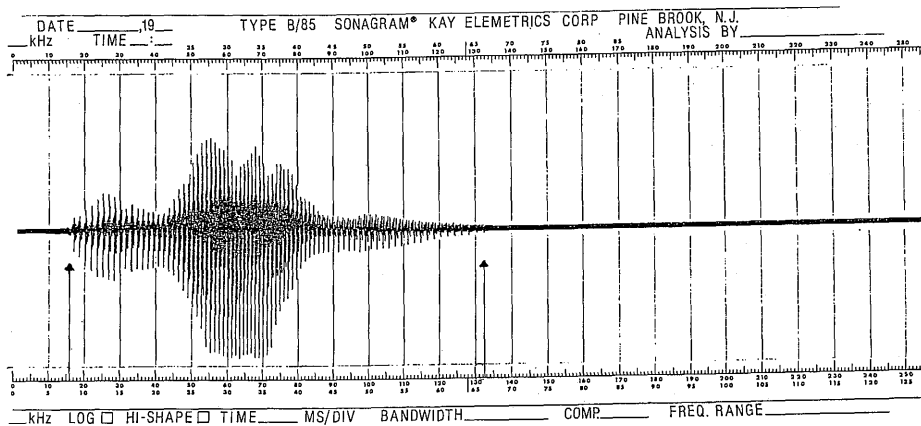


Fig. 3-2. Sample waveform of "How are you?" pronounced by a hearing speaker (Japanese male, H. T.).

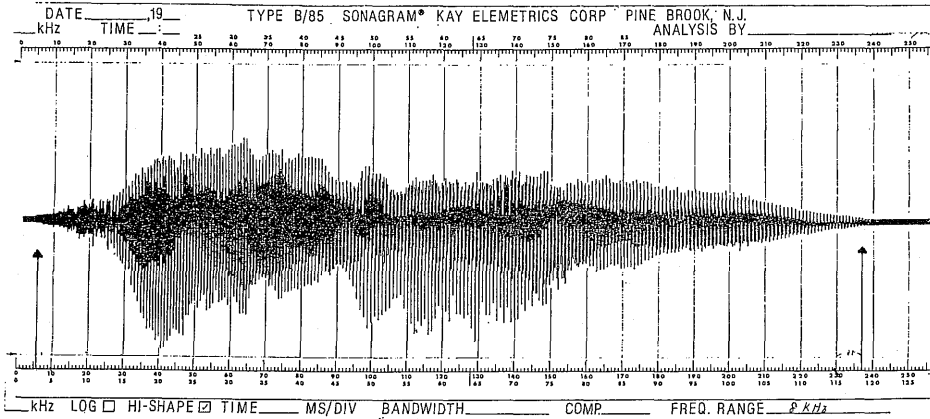


Fig. 3-3. Sample waveform of "How are you?" uttered by a deaf person (Japanese female, F.W.).

として、無声破裂音/p/, /t/, /k/をはさむ VCV 音節 (/apa/, /ata/, /aka/) にみられる時間構造、すなわち各セグメントの持続時間には、以下のような特徴が認められる。(Table 2)。

①聴力レベルが100dB以上のT. M., F. M.のTDは、健聴者のTDと近似した値を示している。聴力レベルが95dBであるが、日常のコミュニケーションにおいて、聴覚の活用を図っているS. M.にあつては、TDは592.5msとやや長くなっている。

②/apɑ/, /atɑ/, /akɑ/のTDは、/apɑ/, /akɑ/, /atɑ/の順になっており、この傾向は被験者4名において同様である。

③難聴者3名の initial vowel (V₁) の持続時間 (V₁D) 及び閉止時間 (closure duration ; CD) は、健聴者 H. T.と比較して、V₁Dが長く、CDが短くなっている。この傾向は、F. W.において著しい。F. W.の時間構造は、V₁D, V₂Dがともに長く、CDが極端に短くなっている。このセグメントの超分節的特徴は、deaf speech を特徴づける一要因と言い得る。

④VOTは、被験者4名とも、13~16msときわめて近似した値を示している。VOTは、平均聴力レベルが70~103dBの範囲では、聴力レベルに影響されない。

⑤ final vowel (V₂) の持続時間 (V₂D) は、F. W.にあつて、258.7msと著しくひきのばされている。

⑥V₂DのTDに占める割合は、重度難聴者と健聴者の間に差はないが、V₂DのCDに対する割合は、重度難聴者において健聴者よりも大きな値を示している。補聴器の活用及び聴覚的フィードバックの確立が十分ではないF. W.のV₂D/CDは、6.21で、その値は健聴者H. T.の6.54倍にもなっている。

一方、有声破裂音/b/, /d/, /g/をはさむ VCV 音節 (/aba/, /ada/, /aga/) にみられる時間構造は、次のような特徴を示している。(Table 3)。

①TDにみられる特徴は、無声破裂音節の場合とほぼ同じであるが、個人間の差が大となっている。S. M.のTDは、無声破裂音節同様632.2msとやや長くなっている。

Table 2. Mean durations for four segments (V₁, CD, VOT, V₂) of /apɑ/, /atɑ/, /akɑ/ syllables uttered by subjects.

Subject	TD	V ₁ D	CD	VOT	V ₂ D	V ₂ D/TD	V ₂ D/CD
S. M.	592.5	238.0	150.7	15.8	188.2	0.31	1.28
T. M.	474.8	152.3	123.3	13.3	185.7	0.39	1.55
F. W.	533.7	216.2	42.8	16.0	258.7	0.48	6.21
H. T. (Normal)	501.2	129.0	184.3	13.7	174.3	0.35	0.95

Table 3. Mean durations for three segments (V₁, CD•VOT, V₂,) of /aba/, /ada/, /aga/ syllables uttered by subjects.

Subject	TD	V ₁ D	[CD•VOT]	V ₂ D	V ₂ D/TD	V ₂ D/[CD•VOT]
S.M.	632.2	248.2	154.0	230.2	0.36	1.50
T.M.	435.8	148.5	82.7	204.7	0.47	2.48
F.W.	541.7	200.3	70.3	271.0	0.50	3.86
H.T. (Normal)	470.3	150.8	128.5	191.2	0.41	1.49

② V₁DとV₂Dを比較するとき、V₂Dが長くなる傾向にある。重度難聴者のV₂Dは、有声、無声を問わず、健聴者H.T.のV₂Dよりも長い傾向にある。V₂Dの[CD•VOT]に対する割合は、T.M., F.M.において著しく大となっている。

③ [CD•VOT]は、S.M.において、健聴者H.T.に近似するほどに十分長くなっているが、T.M., F.W.においては著しく短くなっている。

母音調音において、ホルマント構造が安定している/a/を特定環境音としたVCV音節の発語にあっては、聴力レベルが100dB以上で、聴覚的識別能が低く、聴覚-音声フィードバックの確立が不十分な場合、CDは短く、それを補う形でV₂Dを長くしているという特徴が見いだされた。T.M., F.W.は、幼児期から適切な言語指導を受け、それによって読話能力を高め、筋運動的-触覚的フィードバック(kinesthetic-tactual feedback)を確立して、それらを発声・発語に役立てている。T.M., F.W.のTDは、健聴者H.T.と近似した時間構造をもつにいたっている。

有声音節の発語においては、重度難聴者に無声

音化が認められたことは、重度難聴者は、多音節、単語レベルでのvoicingに著しい困難性を示すことを明らかにしている。重度難聴者は、単語の明瞭さにおいて、単音節の明瞭さよりも著しい低下を招来することになる。

(2) 慣用句の時間構造にみられる特徴

英語圏の慣用句“How are you?”の発語にみられる持続時間(TD)は、Table 4に示すとおりである。日本人健聴者H.T.のTDは、1165.0msで、米国出身の言語学専攻の留学生、D.H., O.N., D.D.のTDと近似した値を示している。D.H., D.D., O.N.の平均TDは、1136.7msとなっている。

幼児期からの言語指導により、言語学習を十分に高めているが、聴覚の活用が著しく制限されているT.M., F.W.の場合、TDはきわだって遷延されている。彼らのTDは、米国人健聴者のほぼ2倍にもなっている。T.M., F.W.は学習によって、“How are you?”の発語運動プログラムを習得してはいるが、調音結合と調音運動の平滑化に困難性のあることを示している。

Table 4. Total duration of the conventional phrase, “How are you?” pronounced by subjects.

Subject	Sex	Age	Duration(ms)
K.H.	M	20	1100.0
T.T.	M	21	1235.0
S.M.	M	25	1625.0
T.M.	F	26	1720.0
F.W.	F	24	2310.0
H.T. (Japan)	M	26	1165.0
D.H. (Amer.)	M	26	1220.0
O.N. (Amer.)	F	25	1195.0
D.D. (Amer.)	M	29	995.0

} 1136.7

平均聴力レベルが、70～104dBの聴覚障害者群にあって、TDは、聴力レベルの度合と比例して長くなる傾向にある。

(3) 慣用句の基本周波数の時間的変移にみられる特徴

“How are you?”の自然発語を音声サンプルとし、それぞれにつき、音声情報処理システム(TSUKUBA FM)を介して、75%アレー重複(27.8msずつシリアルにリフタリング処理を行う)をかけて、各アレー毎のケプストラムが求められた。Dual Channel Signal Analyzer (B & K 2032)による波形解析は、時間分解能61.0 μ s、分析周波数6.4KHz、周波数分解能8 Hzが、分析条件として設定された。

Fig. 4は、抽出された基本周波数を、平均基本周波数(MF₀)を軸にして、基本周波数の時間的変移値をプロットしたものである。平均基本周波数と、平均聴力レベル及び聴能との関係を見ると、その間には、必ずしも一義性は認められない。聴覚の活用を図り、聴覚的識別力を高めているK. H., S. M.の基本周波数の時間的変移値は、ともに大きくなっており、話声位あるいは抑揚を、健聴者のそれらと近似させている。一方、F. W.の基本周波数の時間的変移値は、その幅がきわめて小さく、monotonousとなっている。話声位の高低の差は、K. H., S. M.がそれぞれ185Hz, 170 Hz、であるのに対して、F. W.のそれは72Hzと著しく小さい。

5. 考 察

Chomsky and Halle (1968²⁾)は、英語の音形(sound pattern)を弁別的特徴の観点から、大きく基本的特徴(major class feature)、声道特徴(cavity feature)、調音様式特徴(manner of articulation feature)、音源特徴(source feature)に分類し、これらをさらに27の弁別素性で説明しようとする。

聴覚障害者の発声・発語の音響音声学的特徴を明らかにする場合、これらの弁別素性はいかなる関連をもつものであろうか。

(1) 聴覚障害と母音調音

一般に、聴覚障害児・者の母音調音の分節的特徴は、置換(substitution)、中性音化(neutralization)、二重母音化(diphthongization)、鼻音化(nasalization)に代表される(Smith, 1975¹²⁾;

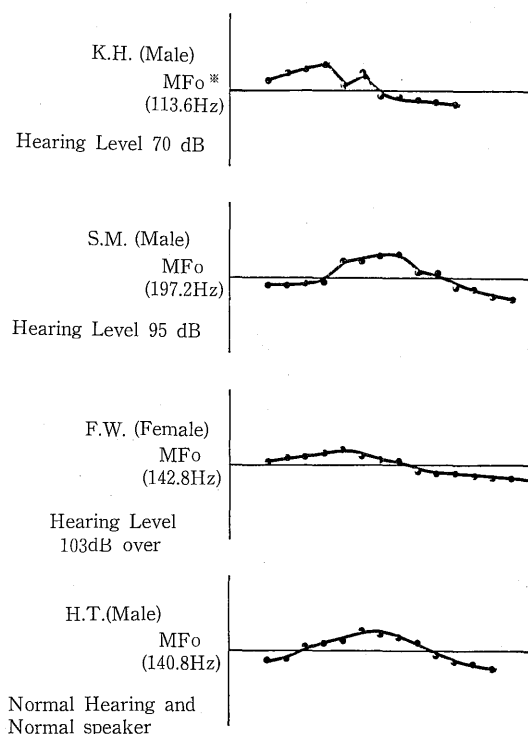


Fig. 4. Fundamental frequency pattern of four hearing-impaired persons and a normal speaker.

※MF₀: Mean Fundamental Frequency

Nickerson, 1975⁹⁾; Pronovost, 1979¹¹⁾。

母音調音は、音源特徴としての有声性(voiced)、基本的特徴としての母音性(vocalic)、声道特徴としての舌尖挙上性(coronal)、前舌性(anterior)、円唇性(rounded)、拡散性(distributed)、鼻音性(nasal)、音源特徴としての持続性(continuant)と深く結びついている。Picket (1980)は、母音ホルマント周波数は、口唇の開き加減、舌の高さ等の調音運動の際の声道の型(actual vocal tract shape)による伝達関数を反映すると言う。

相応の言語指導を受けている重度聴覚障害児・者の聴覚的印象による母音明瞭度の研究は、米語及び日本語でそれぞれ、/a/>/u/>/o/>/i/>/e/ (Geffener and Frener, 1980⁴⁾), /a/>/u/>/i/>/e/>/o/ (星・齊藤, 1980⁹⁾)の順であることを報告している。

英語と日本語の違いを考慮しても、重度聴覚障害児・者は、/a/, /u/を比較的明瞭に調音し得ることを示している。吉野(1985¹⁴⁾), 加藤他(1986⁷⁾)

は、平均聴力レベルが95dB以上の聴覚障害者の母音ホルマントを抽出し、その F_1 — F_2 図(横軸に第1ホルマント周波数を、縦軸に第2ホルマント周波数をKoenigの軸で表示したもの)より、/a/, /u/は、健聴者のそれと近似していることを明らかにしている。彼らはまた、/i/, /e/の第2ホルマントの周波数下降化と第1ホルマントの周波数上昇化、すなわち母音の中性音化(neutralization)及び/o/の/u/への接近化のみられることを示し、 V_1CV_2 音節における/i/, /e/, /o/の調音の困難性を指摘している。このことは、重度聴覚障害者は、顎及び口唇の開き加減である円唇性において良好さを保っているものの、舌の移動運動や挙上性に困難性のあることを示すものである。加藤他(1985⁶⁾)は、平均聴力レベルが95dB以上の聴覚障害者の連母音における変動値を求め、重度聴覚障害者は、舌の移動運動に困難性を示すことを報告している。

(2) 聴覚障害と持続時間

聴覚障害者の発語を検討するとき、分節の特徴の他に、超分節の特徴あるいは韻律の特徴である基本周波数、基本周波数のゆらぎ、持続時間、休止時間、音圧、スペクトル包絡等の音響パラメータがまた重要となる(Nickerson, 1975⁹⁾)。

加藤他(1986⁷⁾)は、「deaf speech」の判別に関与する上記音響パラメータの要因分析を行い、単独要因では、「持続時間」が、そして複数要因では、「持続時間×音圧」が決定的に重要となることを明らかにしている。

① V_1CV_2 音節 (V_1 : initial vowel /a/, Cn: /p/, /t/, /k/, /b/, /d/, /g/, V_2 : final vowel /a/) にみられる時間構造の特徴

重度聴覚障害者の日本語5母音の単独発語の持続時間は、母音間に異なりがあるとは言え、健聴者の持続時間よりも1.4~1.8倍の長さを示すことが報告されている。日本語破裂音を母音/a/ではさむVCV音節の発語にみられる時間構造は、 V_1D , CD, VOT, V_2D のセグメントからなっている。吉野(1985¹⁴⁾)は、特定破裂音/p/を、それぞれ5母音ではさんだVCV音節の発語における重度聴覚障害者の時間構造を明らかにし、CDが短く V_2D が著しく長くなることを報告している。

本研究は、ホルマント構造が安定している/a/を特定環境音とし、無声破裂音(/p/, /t/, /k/)及び有声破裂音(/b/, /d/, /g/)をはさんだVCV音

節の発語における音響的解析を試みたものである。

聴力レベルが100dB以上で、聴覚的フィードバックが得られない場合、音韻規則を獲得し、調音運動プログラムを持ち得ていても、TDでは健聴者と近似した値を示すが、CDが短く、それを補う形で V_2D が著しく長くなっていることが認められる。すなわち、 V_2D のCDに対する値は、健聴者のそれと著しく異なったものになる。

健聴者及び聴力レベルが95dBであっても、auditory-oral communicationを高めている聴覚障害者は、CDあるいは[CD・VOT]を十分に長くとしている。

② 慣用句(How are you?)にみられる時間構造の特徴

聴覚障害児・者のconnected discourseの超分節的な特徴として、持続時間の過度な遷延や短縮、話声位の極度の上昇や下降、音圧の異常な変動、息つぎの不安定さなどが報告されている(Hudgins and Numbers, 1942⁵⁾, Nickerson, 1975⁹⁾)。

英語圏の挨拶文、“How are you?”の自然発話にみられる持続時間は、聴力レベルが100dB以上の重度聴覚障害者の場合、同年齢の日本人の健聴者及び米国人健聴者の2倍強となっている。

読話能力を十分に高めてはいるが、聴覚的フィードバックが期待できない重度聴覚障害者は、慣用的表現である“How are you?”の発語運動プログラムを持ち得ていても、調音結合の適切さと調音運動の平滑化に困難性を示す。持続時間が異常に遷延する場合、その結果として発話の明瞭さ、会話の明瞭さが低下することになるものと考えられる。

6. まとめ

日本語の音韻体系を学習し、母音及び子音の調音プログラムを有している、高度聴覚障害者、重度聴覚障害者のVCV音節及び慣用的表現句の発語にみられる超分節の特徴の1つである時間構造の音響音声学的分析を試みた。

(1) VCV音節の発語にみられる時間構造の特徴

日本語破裂音を母音ではさむVCV音節の発語にみられる時間構造は、 V_1D , CD, VOT, V_2D のセグメントからなっている。このVCV音節の発語において、聴力レベルが100dB以上で、聴覚的

フィードバックの確立が不十分な重度聴覚障害者にあつては、日本語の音韻規則を獲得し、調音プログラムを持ち得ていても、CDが短く、V₂Dが著しく長くなることが認められた。

(2) 慣用句にみられる時間構造の特徴

重度聴覚障害者の「How are you?」の自然発話にみられる持続時間は、日本人健聴者及び米国人健聴者の2倍強ほどに遷延されている。重度聴覚障害者の場合、慣用句に対する発語運動プログラムを持ち得ていても、調音結合の適切さと調音運動の平滑化において、著しい困難性を示していた。

本研究は、文部省科研費一般研究(B) (発語困難児・者の音声言語発信装置の開発と応用)、課題番号61450032による研究の一部である。

文 献

- 1) Angellocci, A. A., Kopp, G. A. and Holbrook, A. (1964): The vowel formant of deaf and normal hearing eleven to fourteen years old boys. *J. S. H. D.*, 29; 156—170.
- 2) Chomsky, N, and Halle, M. (1968): *The Sound Pattern of English*. New York: Harper and Row.
- 3) 星龍雄, 斉藤佐和 編著(1980): 聴覚障害児の発音—その実態分析と指導法への提言—聾教育研究会.
- 4) Geffner, D. and Frener, L. R. (1980): Speech assessment at the primary level; Interpretation relative to speech training. In J. Subtelny (Ed.) *Speech Assessment and Speech Improvement to the Hearing Impaired*. A. G. Bell Association for the Deaf, Washington.
- 5) Hudgins, C. V. and Numbers, F. C. (1942): An investigation of the intelligibility of the speech of the deaf. *Genetic Psychology Monographs*, 25; 289—392.
- 6) 加藤靖佳, 吉野公喜, 太田富雄(1985): 聴覚障害者の音声産出における音響音声学的研究, 一二連母音における第3ホルマント変移について—日本特殊教育学会第23回大会発表論文集, 95—95.
- 7) 加藤靖佳, 吉野公喜, 太田富雄(1986): 聴覚障害者における音声産生の音響音声学的研究, —VCV音節発語の音響パラメータについて—日本特殊教育学会第24回大会発表論文集, 112—113.
- 8) Monsen, R. B. (1979): Acoustic qualities of phonation in young hearing-impaired children. *J. S. H. R.* 22; 270—288.
- 9) Nickerson, R. S. (1975): Characteristics of the speech of deaf persons. *The Volta Review*, 77; 342—362.
- 10) Picket, J. M. (1980): *The Sounds of Speech Communication*. University Park Press.
- 11) Pronovost, W. (1979): Speech assessment and speech improvement for the hearing-impaired. *The Volta Review*, 81; 511—514.
- 12) Smith, C. (1975): Residual hearing and speech production in deaf children. *J. S. H. R.*, 18; 795—811.
- 13) 津根三恵子, 吉野公喜, 太田富雄(1985): 聴覚障害者における周波数弁別能の聴能学的検討, 日本特殊教育学会第23回大会発表論文集, 84—85.
- 14) 吉野公喜(1985): 聴覚障害者の発語に関する音響音声学的研究, 心身障害学研究, 10; 9—18.
- 15) 吉野公喜, 太田富雄, 加藤靖佳, 浅見勝己(1986): 聴覚障害者の発語に関する音響音声学的研究(2), 日本特殊教育学会第24回大会発表論文集, 116—117.

Summary

Acoustic Phonetic Characteristics of the Speech of Persons with Profoundly Hearing-Impairment (part II).

Tomoyoshi Yoshino

Congenital deafness prevents the normal acquisition of speech. Temporal aspects that constitute four segments (Initial Vowel, Closure Duration, Voice Onset Time, Final Vowel) and total duration (TD) of Japanese VCV syllable and English conventional phrase (How are you?) were measured. Persons with profoundly hearing-impairment (deaf persons) tended to speak more slowly than the slowest hearing speakers.

(1) The closure durations of VCV syllable pronounced by deaf persons were shorter than those of hearing speakers. Deaf persons had prolonged the durations of the final vowel (V_2D).

(2) The total durations of conventional phrase pronounced spontaneously by deaf persons were longer than those of Japanese and American hearing persons.

Key word: formant phonetic environment acoustic-phonetics deaf speech
persons with hearing-impairment