



MRI動画撮像により観測した日本語音節連鎖における 調音結合

朱, 春躍

波多野, 博顕

(Citation)

音声研究, 14(2):45-56

(Issue Date)

2010-08

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90001387>



特集論文

MRI 動画撮像により観測した
日本語音節連鎖における調音結合

朱 春躍*・波多野博顕**

Coarticulation in Japanese Syllable Sequences Observed with MRI Motion Imaging

Chunyue ZHU and Hiroaki HATANO

SUMMARY: This study employs MRI motion imaging to investigate vowel-consonant coarticulation during utterances with /t//c//d//z//k/, and /g/ in the Japanese syllabary. Image analyses were conducted for the variation in horizontal and vertical tongue position. Results show the followings. 1) Variation in tongue position and shape was larger for consonants than for vowels. 2) Articulatory positions for consonants varied depending on concentration of consonants at specific regions. 3) So-called velar consonants /k/ and /g/ in Japanese were realized as post-palatal consonants. 4) Tongue positions for vowels were higher after velar consonants, while they were lower after alveolar consonants. 5) Japanese five vowels were observed in two groups, anterior-mid (/i//e//u/) and posterior-low (/a//o/), with /u/ as a non-back vowel and /a/ as a back vowel.

キーワード：調音結合，MRI 動画撮像，舌高点の水平・垂直移動，舌咽頭面・咽頭後壁間距離

1. はじめに

人間は複数の音を連続して発するときに「調音結合」と言われる現象を生じる。たとえば、母音の音列 [ai] の前部要素 [a] は後部要素 [i] の調音位置に影響されて、単独発話時よりも舌全体が少し前寄りになる。逆に、[i] はその前の [a] の影響を受けて、単独の [i] よりも舌全体が若干奥寄りになり、舌背の高さもやや低くなる。しかし、こうした調音結合は言語によって異なる特徴を示すこともしばしばある。例えば、中国語の「愛」[ai] は日本語の「愛」[ai] に比べて調音結合の度合いが高いので¹⁾、中国語話者と日本語話者が相手の言葉を学習するときに、この調音結合の言語差が学習の障害になることもある。「調音結合には明らかな言語差が認められること、したがって音声学の理論も少なくとも部分的には個別言語ごとに構築される必要がある」との指摘もある（前川

1998: 40）。このような調音結合の実態を明らかにすることが外国語教育にも役立つことから、日本語の調音結合を調音の実態に即して観察し、その特徴を記述することは、理論と実践の両面において大きな意義がある。

日本語の調音結合についての生理的研究は、これまで調音観測用の磁気センサシステム（EMA: electromagnetic articulography）を利用した研究成果があるが（Dang et al. 2002, 鈴木 2005）、舌の動きについては、舌の口腔面（以下、舌上面と呼ぶ）に設置した標識（4点程度）しか観測できないという観測方法上の制限から、調音的特徴として重要な舌の咽頭面（以下、舌根面と呼ぶ）と咽頭後壁との相対的關係²⁾も不明であり、また教育的に利用するには舌上面の標識をつないだ折れ線による舌の輪郭表示では直観的ではないという不利な点がある。これに対し、磁気共鳴画像法（MRI）による観測では、調音器官全体を可視化できると

* 神戸大学コミュニケーションセンター教授（Professor, School of Languages and Communication, Kobe University）

** 神戸大学国際文化学研究所 大学院生（Graduate student, Graduate School of Intercultural Studies, Kobe University）

いう利点がある。MRI を利用した研究では、軟口蓋音 /k/ に母音 /a/i/ が後続するときの調音結合の観察報告もあるが（鈴木ほか 2003）、観察された調音例が少なく、定性的研究に留まっている。その他、日本語の調音実態の研究として、X 線映画撮影を利用した上村・高田（1990）の資料は有名であるが、X 線では舌尖の輪郭が鮮明に見えず、調音結合についても子音の視点からの観察はない。そこで、筆者らは MRI 動画撮像法を利用して、日本語「五十音図」発話時の母音・子音の調音結合を観察した。

本稿では、「ア行音」、「タ・ダ行音」と「カ・ガ行音」における母音・子音の調音結合の実態について、舌高点の水平・垂直移動と、舌全体の相対的位置変化の指標として舌の咽頭面・咽頭後壁間距離を計測した。ア行音は CV 音節中の母音変化を見るための参照基準であり、子音環境は、調音部位が前・後の両極にあり、したがって調音結合の度合いが最も大きいであろう /t/c/d/z/ と /k/g/ を対象とした³⁾。

2. 研究方法

2.1 使用機材と撮像方法

株式会社 ATR-Promotions・脳活動イメージングセンタに設置されている磁気共鳴画像（MRI）装置（島津 Marconi 社製 MAGNEX ECLIPSE 1.5T Power Drive 250）を用いて発話時の動画撮像を実施した⁴⁾。MRI 装置は任意の断面における人体の静止画像を記録する医療画像装置であるが、特殊な同期撮像法（Masaki et al. 1999）を用いることにより動画を撮像することもできる。この撮像法は実時間の画像記録ではなく、2 種類のトリガー信号（スキャン信号とノイズバースト列）により撮像タイミングと単語発話を同期させて記録する方法で、発話を繰り返して収集したデータの後処理により動画データが構成される。実験協力者は装置内で仰臥位をとり、頭部変位を抑える固定具を装着する。撮像が開始すると、実験協力者はノイズバースト列にリズムを合わせて同じ発話語

（この実験ではアイウエオなどの「五十音図」上の 1「行」が「1 発話語」となる）を繰り返し発話する。実験においては、1 発話語あたり 96 回発話を繰り返すことによって、1 ピクセルあたり 1 mm × 1 mm の分解能とスライスあたり 4 mm の厚みを持つ正中矢状断面画像を記録し、秒速 60 フレームの動画画像を構成した。また、実験中の音声も同時に記録した。

2.2 発話材料

ア行音：/a/i/u/e/o/

タ・ダ行音：/ta/ci/cu/te/to/, /da/zi/zu/de/do/

カ・ガ行音：/ka/ki/ku/ke/ko/, /ga/gi/gu/ge/go/

2.3 実験協力者

KI：40 代男性、主な生育地は千葉県松戸市

KH：50 代男性、主な生育地は東京都

（いずれも東京方言話者）

2.4 画像解析の方法

準備作業として、撮像された各発話語の動画画像の子音部や母音定常部に対し、図 1 のようにコンピュータ画面に表示した調音器官の輪郭を市販の描画ソフト（Adobe Photoshop）を用いて目視と手作業によりトレースした。その後、必要に応じて複数のトレース画像を重ね合わせて舌・声道形状の変化を観察し、また、舌高点や舌全体の位置変化の指標となる舌根面（その定義は 2.5 節

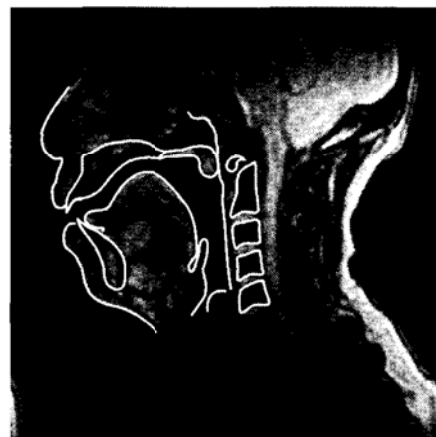


図 1 調音器官輪郭のトレース

を参照)・咽頭後壁間距離を 2.5 節で紹介する方法により 0.00 mm の数値精度単位で計測した。

2.5 計測方法

頭頸部の MRI 画像では実験協力者ごと、あるいは実験ごとに頭部の位置と角度が異なるため、解剖学的基準平面に従った規格化を必要とする。正中矢状断面においては口蓋平面と交わる前鼻棘(上顎骨の前端)と後鼻棘(口蓋骨水平板の後端)を結ぶ直線を基準線として用いることができる。そこで、図 2 に示したように、前鼻棘(a_1)から後鼻棘(a_2)を通過する線を基準線 X_0 とし、 X_0 が画面上で水平になるよう画像全体を回転する。

高舌性⁵⁾の測定には、舌高点(規格化画像上の舌背の最高点)から口蓋の口腔側表面への垂直距離を用いた。 X_0 に平行する線 X_1 と直交する Y_1 を舌上面の最高点 t_1 の位置に置き、 Y_1 が口蓋の口腔側表面と接触する点を h とした。両点の垂直距離(t_1 - h 間距離)を計測し、高舌性の数値的指標とした。数値が相対的に小さいほど「舌面が高い」ことを意味し、大きいほど「舌面が低い」ことを示す。

舌の前後位置を示す指標として、下記に示すように「舌高点(t_1)の前後位置」と、「舌根面(t_2)の前後位置」の 2 点を用い計測した。便宜的に、以下では前者を「前舌性」、後者を「後舌性」とする⁵⁾。前舌性の計測には、後鼻棘から舌高点までの水平距離(図 2 に示した t_1 - W_1 間直線距離がこれにあ

たる)を用いた。後鼻棘 a_2 の位置は同一話者では不動であり、概ね口腔の中央からやや奥寄りの位置にあるため、定性的には、 t_1 - W_1 の値の符号は弁別的な前舌性特徴を仮定したときの「+」「-」に概ね対応する。

後舌性については、舌根面と咽頭後壁との水平距離(図 2 上の t_2 - W_2 間距離)によって求めた。実測値が相対的に小さいほど「舌全体が奥寄り」で、大きいほど「舌全体が前寄り」を意味する。

また、カ・ガ行子音については、図 3 に示したように、舌背・口蓋接触部(調音部位)の両端である C_s , C_e を直線で結んだ線分 C_s - C_e の中間点 p を「調音点」と定義する。子音ごとに a_2 - p , a_2 - C_s , a_2 - C_e の水平距離(図 3 ではそれぞれ Y_1 - Y_2 , Y_1 - Y_3 , Y_1 - Y_4 間の直線距離にあたる)を求めた。なお、 p が a_2 より後ろに来る場合はマイナス値となる。

3. 実験の結果

3.1 子音について

2.4 の方法で得たタ・ダ行とカ・ガ行子音閉鎖部の調音器官輪郭トレース図を、調音時動くことのない上顎骨・口蓋骨を基準にして、「行」ごとに重ねあわせたものをそれぞれ図 4, 図 5 に示す。

カ・ガ行子音については、また舌背・口蓋接触範囲、舌根面・咽頭後壁間距離を測定した。その値は表 1, 表 2 に示す。

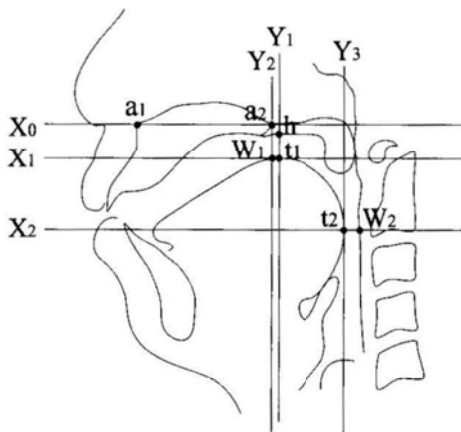


図 2 調音器官位置の計測方法

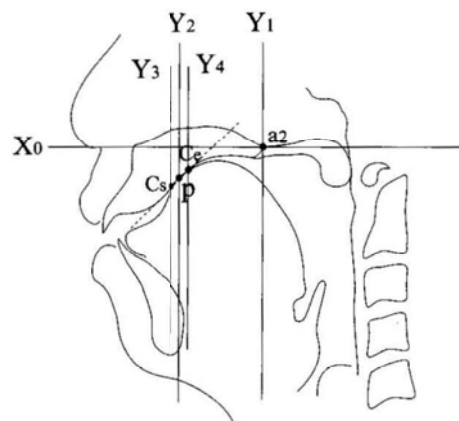


図 3 調音部位の計測方法

3.2 母音について

まずア行とタ・ダ・カ・ガ各行の母音定常部における調音器官の輪郭をトレースし、上顎骨・口蓋骨を基準に5枚のトレース図を重ねあわせた。

図6はその一部である（観察の結果、タ行とガ行は同じ調音部位のタ・カ行と類似の特徴を有するため、紙幅の都合により省くことにする）。

次に、各母音について、CV発話時におけるも

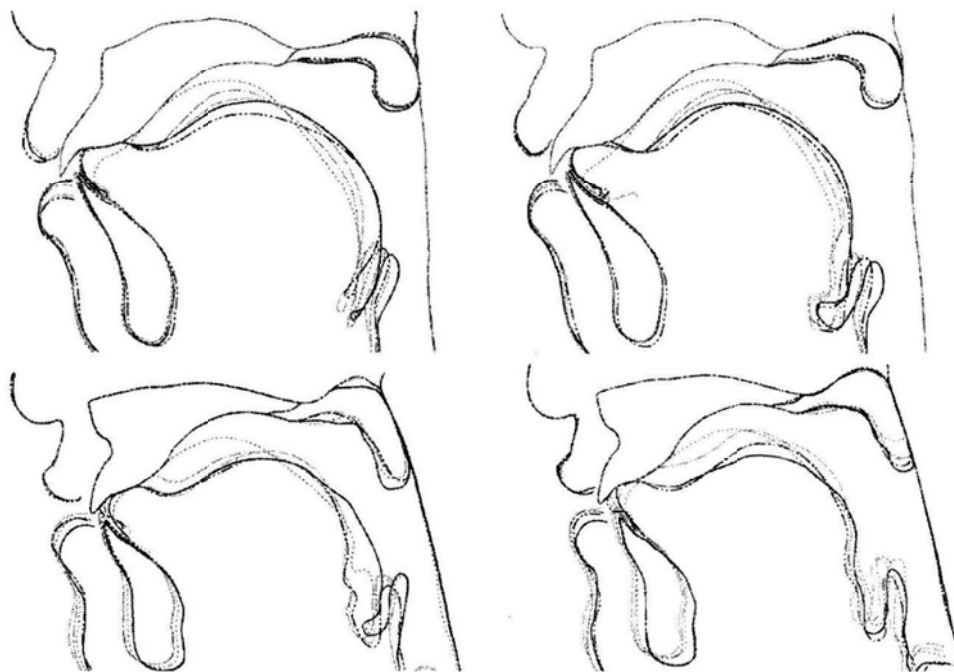


図4 タ行子音（左）・ダ行子音（右）の調音結合
点線 = C(i) 1点鎖 = C(u) 破線 = C(e) 実線 = C(a) 2点鎖 = C(o) 発話者：上段 = KH 下段 = KI

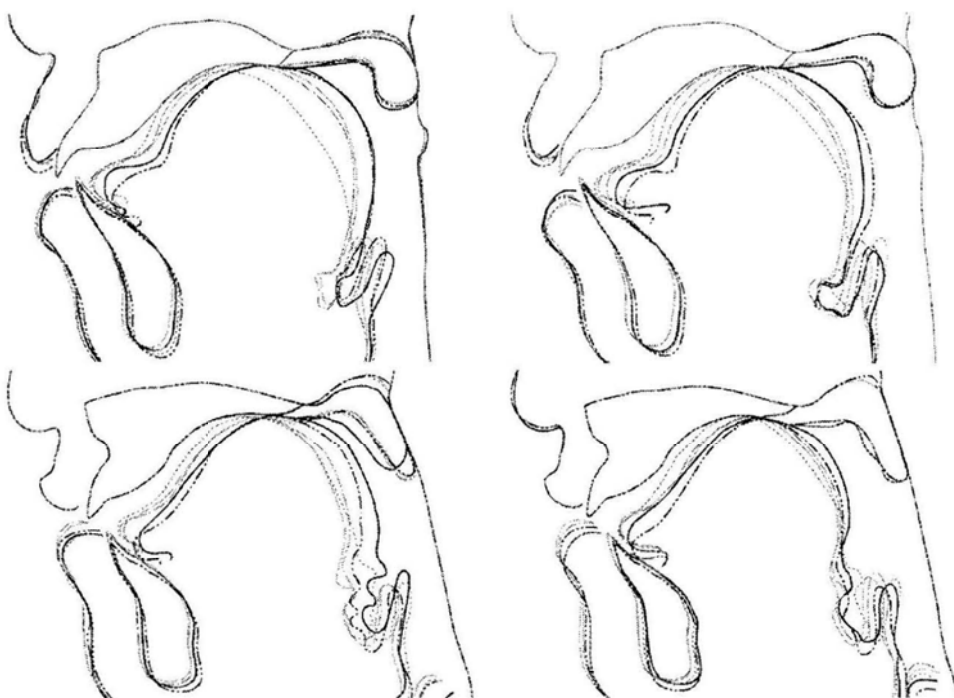


図5 カ行子音（左）・ガ行子音（右）の調音結合
点線 = C(i) 1点鎖 = C(u) 破線 = C(e) 実線 = C(a) 2点鎖 = C(o) 発話者：上段 = KH 下段 = KI

表 1 子音調音部位の相対的位置 [mm]

KH	k			g		
	Cs	Ce	p	Cs	Ce	p
i	34.18	28.49	31.34	35.99	22.99	29.49
e	13.61	4.80	9.21	10.55	4.99	7.77
u	17.49	10.24	13.87	20.61	13.68	17.15
a	10.61	-1.14	4.74	10.49	2.49	6.49
o	9.86	-0.14	4.86	6.86	4.30	5.58
KI						
i	12.90	5.21	9.06	14.90	9.03	11.97
e	11.71	5.90	8.81	9.65	5.77	7.71
u	10.34	5.21	7.78	9.21	6.02	7.62
a	7.40	-0.60	3.40	9.03	0.34	4.69
o	7.40	2.96	5.18	7.02	3.77	5.40

表 2 子音における舌根面・咽頭後壁間距離 [mm]

KH	t(c)	d(z)	k	g
i	16.53	21.25	18.06	19.06
e	15.87	18.44	15.94	18.25
u	17.10	19.27	16.50	19.63
a	11.63	16.38	10.75	15.19
o	11.63	17.18	11.69	12.56
KI				
i	16.38	17.50	16.50	17.06
e	17.59	17.92	18.25	18.63
u	18.07	17.81	17.13	17.63
a	12.59	17.29	11.25	15.50
o	18.13	18.88	14.11	16.13

のと、ア行発話時（即ち母音単独発話）におけるものとを比較し、母音が前後の子音にどの程度影響されているかを観察する。

ここで計測に用いた値は、a. 舌高点・口蓋間垂直距離 (t_1-h)、b. 舌高点・後鼻棘間水平距離 (t_1-W_1)、c. 舌根面・咽頭後壁間水平距離 (t_2-W_2) である。

c も計測した理由は、後舌母音の場合、舌根面・

咽頭後壁間の狭めが母音フォルマントを決める狭窄部位となり（Chiba and Kajiyama 1942: 日本語版 pp.110-122）、且つ非後舌母音の場合にも舌の位置を観察するために重要な参考になるためである。

表 3, 4, 5 の「0」欄はそれぞれ母音単独発話時の実測値で、この欄のマイナス値（表 4, KH の /o/）は「後鼻棘よりも舌高点の水平位置が後ろにある」ことを示す。その他の欄の数値は、CV 発話における母音定常部の実測値ではなく、

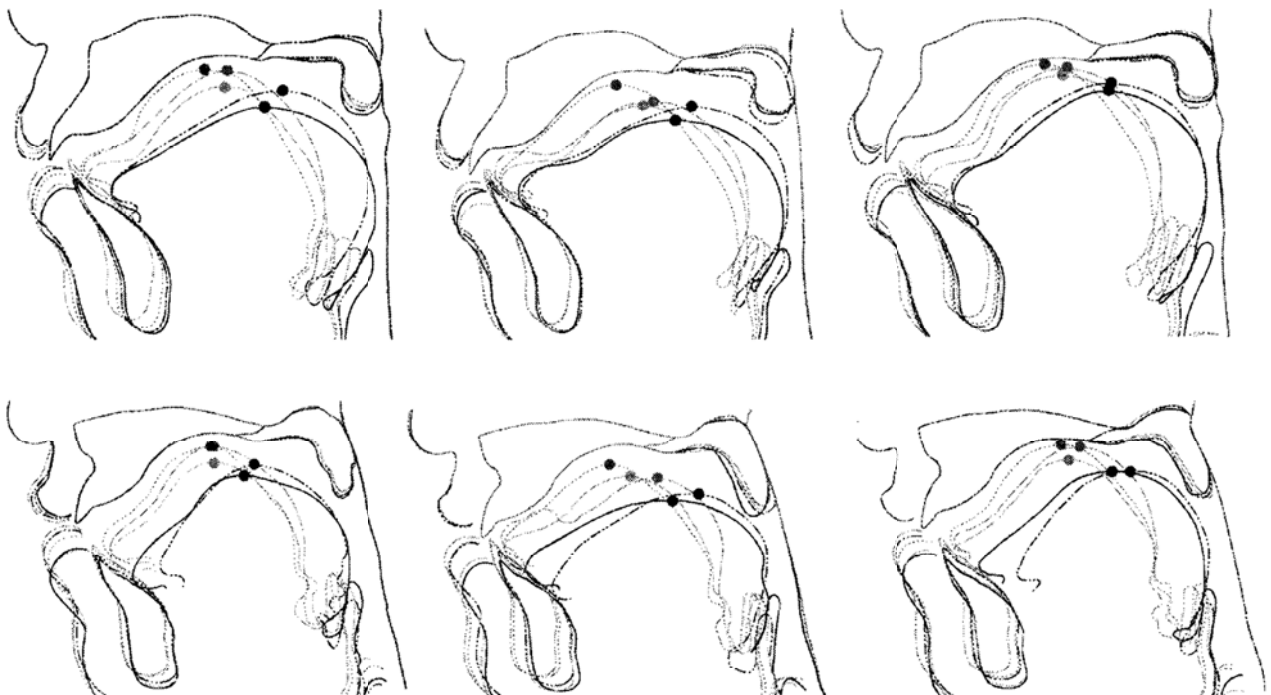


図 6 ア行（左）、タ行（中）、カ行（右）の 5 母音
点線 = (C)i 1 点鎖 = (C)u 破線 = (C)e 実線 = (C)a 2 点鎖 = (C)o 発話者：上段 = KH 下段 = KI

表3 母音の舌高点・口蓋間垂直距離 [mm]

KH	∅	t(c)	d(z)	k	g
i	3.39	0.09	-0.83	1.94	1.78
e	8.24	-1.51	-1.04	3.67	3.58
u	4.29	-3.98	-2.91	1.53	1.61
a	12.37	0.30	-2.32	4.26	3.24
o	8.89	-0.65	-2.57	3.65	1.50
KI					
i	3.12	-1.31	-1.33	1.56	0.43
e	7.30	-0.19	0.24	2.24	1.83
u	3.34	-3.25	-1.85	1.40	0.65
a	9.06	-2.07	-2.57	2.68	1.56
o	6.00	-3.81	-2.69	-1.09	1.25

表4 母音の舌高点・口蓋骨後端間水平距離 [mm]

KH	∅	t(c)	d(z)	k	g
i	18.69	1.12	1.35	-1.75	-3.05
e	13.34	-1.57	1.15	-1.33	-2.79
u	11.97	-3.08	0.72	-0.57	-1.90
a	2.56	1.86	0.18	-2.71	-4.83
o	-1.29	-0.09	0.12	0.37	-0.20
KI					
i	13.72	1.45	1.20	-1.01	-0.04
e	12.41	-1.45	-1.88	-0.82	-0.79
u	12.76	-7.74	-8.80	-3.61	-3.80
a	5.27	-3.68	-5.68	-3.93	-4.06
o	2.59	-4.44	-7.69	-5.63	-3.25

「∅」欄との差とした。したがって、プラス値は母音単独発話時より数値分高い／前寄りの意味であり、マイナス値は母音発話時と比較して数値分低い／奥寄りであることを示す。

4. 考察

4.1 子音の調音結合

図4に示したように、タ・ダ行音の子音部は後続母音の影響を受けて舌面の形が異なっているが、/i/に先行する /c/ と /z/ (点線) 以外は、いずれも「舌尖・舌端と歯茎による閉鎖」という [t][d] 音の特徴を維持しており、閉鎖の部位も歯茎からのズレは見当たらない(話者 KI の [ts][dz] には舌端・歯茎接触面の後への顕著な拡大は見られるものの、歯茎から離れていない点では /ta/te/to/ の場合と共通している)。MRI から確認できた点として、[t][d] 音の調音部位は「舌尖・舌端と歯茎による閉鎖」が他の子音と区別される大きな特徴であり、後続母音との調音結合によって多様に変化する舌背の位置自体は関与的ではない、ということである。逆に、「舌尖・舌端と歯茎による閉鎖」を逸脱すれば、別の子音に転移することになる。

チ・ヂ (=ジ) の子音 [tɕ][dʑ] は通時的には [t][d] の「口蓋化」の結果とされ(上野 2009: 228)、そのため、「舌尖・舌端と歯茎による閉鎖」の [t][d] 音の調音的特徴を失い、前舌面と歯茎後部・硬口

表5 母音の舌根面・咽頭後壁間水平距離 [mm]

KH	∅	t(c)	d(z)	k	g
i	19.68	-1.54	1.43	-0.89	0.29
e	16.31	-0.89	1.33	-0.63	0.27
u	16.90	-2.18	1.15	-0.83	0.45
a	3.48	0.77	3.35	-0.16	2.37
o	5.49	-1.38	0.56	-1.31	-0.83
KI					
i	20.53	-0.92	-2.23	-1.90	-2.45
e	19.50	0.02	-0.69	-0.62	-0.76
u	17.79	-2.36	-1.91	-0.35	-0.16
a	8.00	-1.62	0.69	-0.87	-1.69
o	7.88	-2.07	-2.25	-2.17	-1.13

蓋前部の広範囲の接触による閉鎖を必要とすることになり、「舌尖」的子音の範疇を逸脱し、現代日本語においては同じ「行」の [t][d] とは別の子音音素と考えるべきものになるに至った。チ・ヂ(ジ) 調音時に子音と母音の調音部位がほとんど同じなのは調音結合の結果には違いないが、タ・ダ行のその他の子音と同じレベルでは論じられない。

カ・ガ行子音の調音部位は図5に示したとおり、後続母音の影響を受けて、前後に大きく揺れているのが観察される。

表1には /k/ と /g/ における舌背・口蓋接触の前端 Cs、接触後端 Ce、それらの中間である調音点 p の計測値が示されている(計測点が後鼻棘から後にあるものはマイナス値となる)。この表を

見れば、調音点 *p* の揺れには個人差があり、KI より KH のほうが揺れ幅は遥かに大きかった。「行」内における調音点 *p* の前後方向の移動範囲（最大値と最小値の差：mm）は、

KH: *k* = 26.60 *g* = 23.91

KI: *k* = 5.66 *g* = 6.57

であり、Ce の前後方向の移動範囲は

KH: *k* = 29.63 *g* = 20.50

KI: *k* = 6.50 *g* = 8.68

であった。

上記の差は、主として話者 KH の /*ki*//*gi*/ における口蓋化の程度が強く、閉鎖の行われる場所が硬口蓋の中前部にまで達していることによるものである。しかし、移動範囲が小さい話者 KI も、その数値は決して小さいとは言えない。

舌尖・舌端子音 [*t*]/[*d*] における調音部位変化の自由度は比較的小さく（/*ci*//*zi*/ を除き調音点自体は変わらなかった）、後舌面子音 /*k*//*g*/ の自由度が大きい理由は、子音の弁別度が異なるためと考えられる。日本語において舌尖から前舌面にかけの「前舌」子音の種類は多く、正確に区別する必要があるが、後舌面子音は /*k*//*g*/ のペアしかなく、後続母音による調音結合が子音の調音点自体を大きく変動させても、他の子音と干渉し音韻体系に影響を与えることはない。

表 2 の数値は口腔中における舌全体の相対的位置の指標になるが、かなりの個人差が現れている。

KH には規則性があり、舌根面・咽頭後壁間距離の大小順は後続母音の場合と大体同じで、/*i*//*u*//*e*/ が「口腔前部グループ」、/*a*//*o*/ が「口腔後部グループ」であることも同様であった。さらに、子音自体の特徴も数値に出ている。つまり、後舌子音 /*k*//*g*/ の場合は前舌子音 /*t*//*c*//*d*//*z*/ などより「行内」の変動値が大きかった。

KI では、母音の「前舌性」と「後舌性」の子音への影響は現れているが、KH ほどの強い規則性が現れず、「行内」の変動値から見れば、むしろ子音の有声・無声の対立が舌全体の相対的位置を大きく影響しているようである（有声子音の「行内」変動値は無声子音に比べ格段に高い）。

上記の事実は、子音は「調音点」よりも、「調音担当器官」⁶⁾ がどこであるかの情報がもっと重要であり、それ以外の舌形状・位置は後続母音による影響を受けやすいことが示唆される。

なお、表 1 の数値を見れば、子音 /*k*//*g*/ の調音部位は軟口蓋にあらず、硬口蓋後部にあることが明らかである。調音点 *p* の位置はもちろん、口蓋・舌背接触の最後部である Ce も、マイナス値となっているのは KH の /*k*(*a*)/ (−1.14 mm)、/*k*(*o*)/ (−0.14 mm) と KI の /*k*(*a*)/ (−0.6 mm) のみである。この事実から、日本語のいわゆる「軟口蓋子音」の閉鎖が行われる範囲は、口蓋化する /*gi*/ を除けば、「硬口蓋後部－軟口蓋前部」であり、しかも大半の場合は軟口蓋から離れているので、「軟口蓋・後舌面子音」よりも、「硬口蓋後部・後舌面子音」と見たほうがより現実に近い。

4.2 母音の調音結合

4.2.1 トレース画像から見た日本語各母音の性質と調音結合の様相

図 6 からまず 5 母音の全体像を観察する。2 話者の間で微妙な個人差も見られるが、共通点のほうが多い。舌高点の分布や舌全体の相対的位置により総合的に考察すれば、特徴は次の 2 点ある。

- (1) 「ウ」 /*u*/ は、舌高点が「前舌母音」の /*i*//*e*/ の近くにあり、舌全体の位置も口腔中前部にあり、調音的には「後舌母音」ではないこと。
- (2) 日本語の 5 母音は舌の相対的位置から、「口腔中前部グループ：/*i*//*e*//*u*/」と「口腔後部グループ：/*a*//*o*/」に大別し、/*a*/ は「[*a*] と [*ɑ*] の間ぐらいの中舌母音」とする従来の見解（斎藤 2009: 84 など）が事実と合致しないこと。

この 2 点は、特に外国語と比較したとき、標準的日本語母音の特徴として重要だと思われる（朱 2010 参照）。

4.2.2 実測値から見た母音の調音結合

以下に、CV 発話時の調音結合を母音別に考察する。

/-i/ の場合

両話者とも、後舌子音に後続する場合は母音

単独発話時より舌高点がわずかに（2 mm 以内）上がり（表 3）、少し（3 mm 以内）後寄りになる（表 4）。舌根面の相対的位置は、KI の場合、全体的に母音単独発話時に比べて奥寄りになるが、有声子音の場合にわずかながら更に奥寄りになる。これに対し、KH では反対の動きを示しているので、共通した規則の存在は考えにくい。

/i/ は舌高点や舌根面の口腔奥へのわずかな移動距離から、子音が「キ・ギ」の母音に与える影響は軽微であり、/ki//gi/ の調音結合において口蓋化、即ち母音の影響が大きいといえる。

チ・ヂ（ジ）の母音は母音単独発話時に比べて、舌高点が若干（2 mm 以内）前寄りで（表 4）、わずかに低くなる傾向である（表 3、ただし KH の「チ」は数値的に母音単独発話時とほとんど変わらない）。これは子音環境から受けた調音結合の影響と思われる。つまり、母音単独時に比べて、チ・ヂ（ジ）調音時には舌端部を持ち上げ続けていることにより、舌背隆起部の高さが若干下がったためと推測される。舌根面がわずかに咽頭後壁へ接近しているのは（表 5）、舌背の高さを下げたときの自然変形のためで、舌を筋静水圧装置（muscular hydrostat）とみなす機構により説明できるとされる⁷⁾。これらの点から、/ki//gi/ と異なり /ci//zi/ では子音の母音に与える調音結合の影響が大きいといえる。

/-e/ の場合

舌高点の垂直位置変化からみれば（表 3）、子音環境が /t//d/ の場合は母音単独発話時よりわずかに下がる（KH）か、ほぼ変わらない（KI）。子音環境が /k//g/ の場合は母音発話時より少し上昇している。そして、舌高点の水平位置変化は（表 4）、概ね奥のほうへ若干移動するが、/de/ の場合だけ少し前寄りになる発話も見られた（KH）。舌根面の咽頭後壁への接近は両話者ともわずかであるが（表 5）、KH の /de/ は舌根面と舌高点が同時に口腔前方へ移動しているので、舌全体が口腔前方に位置するとみなせる。しかし、KI にはその傾向がまったく見られず、KH も /te/ の場合舌全体が少し口腔後方に移動しているので、共通の

規則が見出せない。

以上の観察結果から、母音 /-e/ の場合は子音から受ける最も顕著な影響は舌高点の垂直位置変化とみなすことが妥当である。

/-u/ の場合

CV 発話では、舌高点の垂直位置の変化は両話者とも同じ傾向を示している（表 3）。つまり、/k//g/ では上昇し、[ts][dz] では下降する。舌高点が下降する理由は、図 6 でも確認できるように、[ts] や [dz] が「破擦音」であり、後続母音持続中でも舌端部を上げ続ける必要があるからであろう。舌端部を持ち上げながら母音 /u/ を調音する結果、舌端と舌背の盛り上がりの間に大きな窪みができ、そのため、舌高点の位置が下がったと推測される。KI の場合、舌高点が下降すると同時に、口腔中央部に向かい大幅に移動する（/(c)u/ = -7.74; /(z)u/ = -8.80）という「中舌化」現象⁸⁾が顕著に表れているが（表 4）、KH の場合は「中舌化」の現象があまり鮮明ではない。

ここで注目すべきことは、KH はもちろんのこと、舌高点が口腔中央部へ大幅に移動する KI にしても、/u/ における舌高点と舌根面の相対的位置は「前舌母音」の /i//e/ と同じグループ内に入っており、数値的には /a//o/ と大きくかけ離れていることである。子音が /k//g/ の場合でもこの特徴が全く変わらないこと、また筆者の過去の実験において /u/ は連続発話だけでなく、母音 1 個だけの単独発話の場合でも同じ傾向を示していること（朱 2010）から、調音的に /u/ を「奥舌母音」とする従来の分類（今田 1989: 28、猪塚・猪塚 2003: 32-33、斎藤 2009: 84）は事実と合致せず、日本語教育の現場でも注意すべきであろう⁹⁾。

/-a/ の場合

両話者とも /k//g/ では舌高点が上昇し、後寄りになっている（表 3、4）。これは子音からの影響とみなすことができる。また、舌根面・咽頭後壁間距離から明らかなことは（表 5）、子音環境によって狭くなったり広くなったりするが、母音 /a/ の「後舌性」は始終変わらないことである。

/-o/ の場合

母音単独発話時のアとオの違いは前者の舌高点が比較的低く、前寄りになっていることで、この点両話者とも共通している（表3, 4）。舌根面・咽頭後壁間距離はほぼ同じか（KI）、アのほうが若干狭い（KH）（表5）。図6でも確認できるように、KHの場合は舌上面の形状がKIに比べてより平坦になっている。KHの母音単独のアの舌根面・咽頭後壁間距離が若干狭い理由は、上述の筋静水圧装置の機構により説明されるであろう。

CV発話では、子音が/k/g/の場合、両話者とも母音単独発話時に比べて舌高点の上昇・後寄りと舌根面・咽頭後壁間距離縮小の傾向が見られたが、時には逆の動きも見せている（舌高点の下降 = KIの/ko/, 前寄り = KHの/ko/）。子音が/t/d/の場合、話者KIには舌高点の下降・後寄りと舌根面・咽頭後壁間距離の縮小などの特徴が出ているが、話者KHの場合、舌高点の水平移動は母音単独発話時とほぼ同じレベルであった。

以上、母音ごとに観察したが、CV発話における調音結合の全体的特徴は、観測点の位置変化から見れば、母音単独発話時に比べて、3つの観測点とも同時に激しく変化し、その結果、他の母音の調音域に入ってしまうようなことはないと言断できる。例えば、話者KIの/-u/-a/-o/の場合、舌高点の水平位置は母音単独時に比べて口腔後方へ大きく移動しているが（表4）、舌根面・咽頭後壁間距離は2.5 mm以上の大きな変化はない。このことから、舌高点は調音結合により大きく変化するが、舌根面は比較的安定して目標母音の位置に留まることが分かり、舌全体の位置を示す指標として舌根面・咽頭後壁間距離は有効なものであることがわかる。

4.3 子音・母音の双方向調音結合

CV発話時、子音と母音は互いに影響を与えながら調音されていると思われるが、調音結合が双方向に行われているだけに、分析は難しい。ここでは、計測データを基にして、タ・ダ行については子音から母音への舌高点の移動方向や距離、カ・

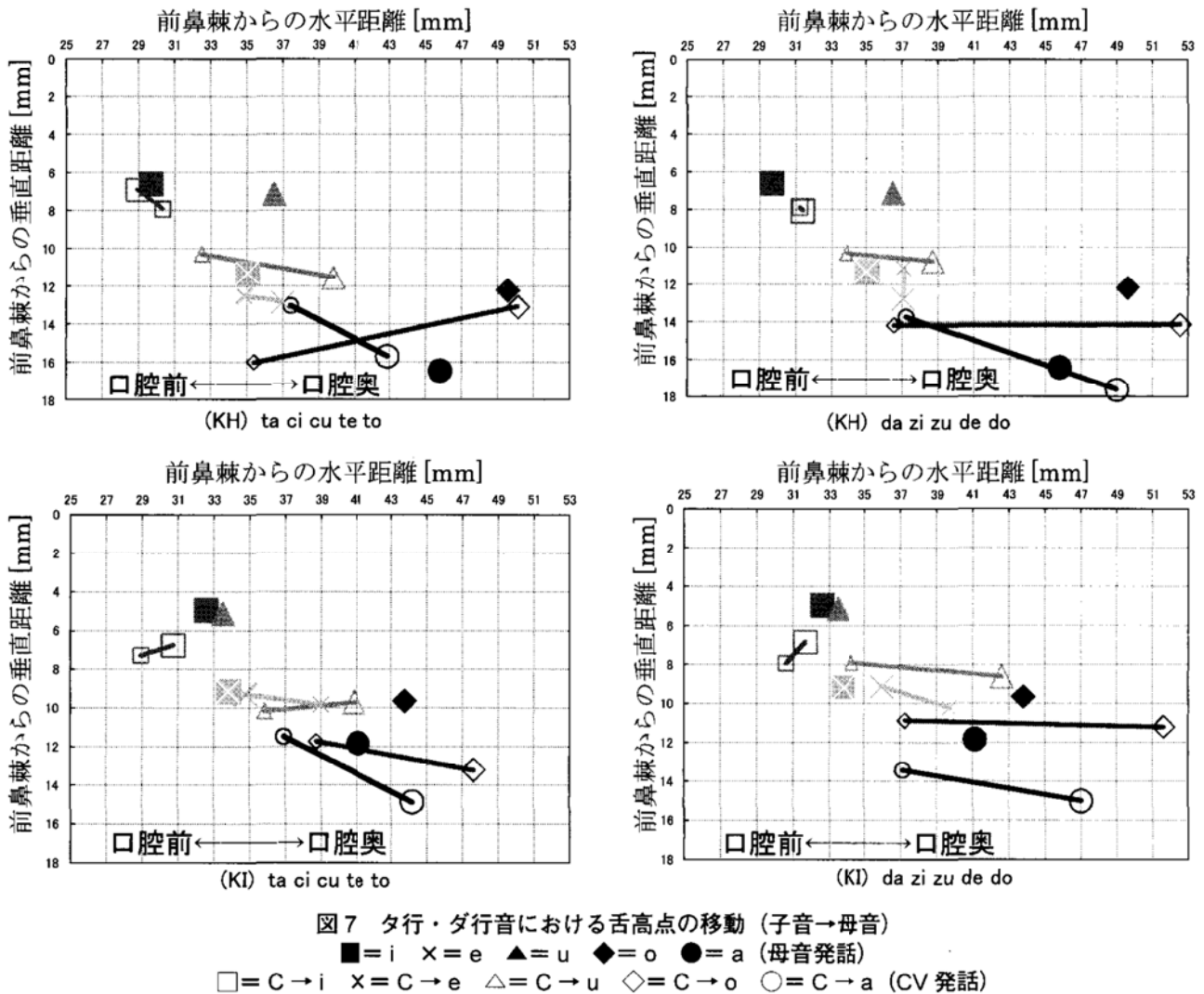
ガ行については子音の調音点から母音の舌高点への移動方向・距離を、直観的に視認しやすいようにグラフ表を作成した。図7, 8に示したとおりである。この図では前鼻棘を座標の原点として図の左上に置いた。また、比較のため5母音単独発話における舌高点を中黒の■, ◆などにより示した。中抜き□, ◇などはCV発話時の子音（小さいマーク）から母音（大きいマーク）への移動軌跡である。

4.1節でも述べたように、タ・ダ行の子音は調音部位等の特徴を維持する必要から、舌尖・舌端部や前舌面はほぼしかるべき位置を守り、調音結合の影響が強く出るのは舌背の位置と形である。図7では舌高点の情報しか見られないが、/t/と/d/の子音調音時の舌高点（それぞれ図中の小さい○, ◇, ×）が微妙に離れているところが母音からの影響だと思われる。そして、KHの/ci/と/ta/, KIの/ci/と/zi/を除く全ての/-V/（CV音節中の母音）が母音単独発話時に比較して舌高点が口腔の奥の方へ移動しているのは、子音から受けた影響である。ただ、「子音の調音部位が口腔前部にあるから、後続母音の舌高点も前寄りになる」との予測に反して舌高点が口腔の奥の方向へ移動したのは、[t][d]における閉鎖解除時の力の反動と、破擦音[ts]における摩擦部の舌の形状からの影響と説明される。

図8から分かることは、カ・ガ行の場合、子音の調音点（中抜きの小さいマーク）は口腔の前後に比較的広く分布していることである。母音の舌高点の分布との関連から、これは母音からの影響とはっきり断定できる。一方、母音の舌高点（中抜きの大きいマーク）の位置が母音単独発話時より高い傾向にあるのは、子音から受けた影響であることも明白である。

5. まとめと展望

本研究では、MRI動画撮像の手法を用いて、「五十音図」発話のア行音を比較の基準として、タ・ダ・カ・ガ行における母音・子音の調音結合を観



測し、舌高点の垂直・水平移動と舌根面・咽頭後壁間距離を計測した。その結果、主として以下の5点が明らかになった。

- (1) 子音における調音器官の形状・位置変化は大きい。母音は比較的安定している。言い換えれば、調音結合の程度は子音が大きく、母音は小さい。
- (2) 子音の調音部位の位置変化の程度は子音によって異なる。舌尖・舌端子音 [t][ts][d][dz] の場合は調音部位の変化は比較的小さいが、その理由は、日本語において、舌尖から前舌面にかけての「前舌」子音の種類が多く、正確に区別する必要があるためと考えられる。後舌面子音の場合、調音部位の位置変化が大きく、調音点が広い範囲に分布しているのも、

同じ原理から説明できる。

- (3) 日本語のいわゆる「軟口蓋・後舌面子音」/k/g/ は、今回の2話者のデータで見た限り、「硬口蓋後部・後舌面子音」としたほうが妥当である。
- (4) 母音は後舌面子音 /k/g/ に後続する際、舌高点が高くなる傾向がある。これは子音から受けた影響と考えられる。一方、タ・ダ行の前舌子音に後続する母音は舌高点が下降傾向を示している。個人差や調音方法による影響もあることが示唆されている。
- (5) 日本語の5母音は、舌の相対的位置により「口腔中前部グループ：/i/e/u/」と「口腔後部グループ：/a/o/」に大別され、ウ /u/ は、舌高点が「前舌母音」の /i/e/ のすぐ近くにあり、

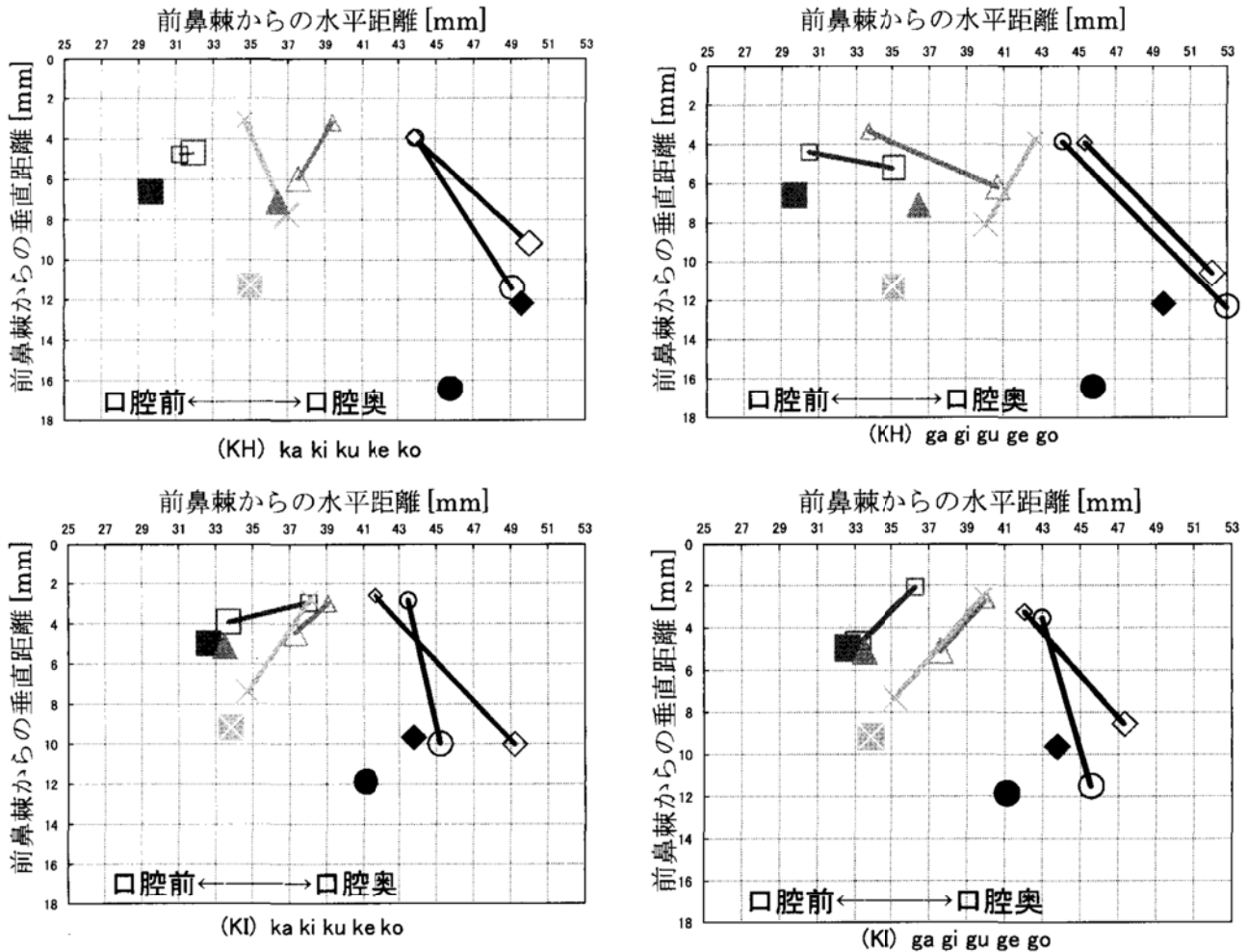


図8 カ・ガ行音における調音点→舌高点の移動(子音→母音)

■ = i × = e ▲ = u ◆ = o ● = a (母音発話)

□ = C → i × = C → e △ = C → u ◇ = C → o ○ = C → a (CV 発話)

舌全体の位置も口腔中前部にあるため、調音的には「後舌母音」とは言えない。また、アも、「少し奥寄りの中舌母音」ではなく、オと同グループの奥舌母音である¹⁰⁾。

今回の研究では研究材料が五十音図発話という制限があり、音声学の観点から見て、同じ「行」の内部に異なる子音が存在するため(タ行・ダ行の[t]と[te][ts], [d]と[dz][dz]), 子音間の比較に多少の無理が生じた。また、課題の重要度の割には発話者が少ないのも問題点である。今後は実験材料に工夫を凝らし、さらに発話者を増やして研究を続けたい。

6. 謝 辞

本研究は、科学研究費補助金による基盤研究(A)「日本語・英語・中国語の対照に基づく、日本語の音声言語の教育に役立つ基礎資料の作成」(課題番号:16202006)および基盤研究(A)「人物像に応じた音声文法」(課題番号:19202013)による研究成果の一部である。

本稿の研究内容の一部は「音声文法研究会」で口頭発表している。杉藤美代子先生、藤村靖先生はじめ、参会者から貴重なご意見をいただいた。記して深謝したい。

〔注〕

- 1) 中国語の「愛」[ai]は1音節の二重母音であり、厳密には日本語の2モーラ語「愛」[ai]とは若干異なるが、音声学的には両者とも1音節なので、あえて比較した。
- 2) 本研究では、口腔における舌の相対的位置を観測するため、舌の表面を「舌口腔面（つまり舌面が口蓋と向かい合う面のこと。論文中では「舌上面」と呼ぶ）と「舌咽頭面」（つまり舌面が咽頭後壁と向かい合う面のこと。論文中では「舌根面」と呼ぶ）と二分する。二つの境界は口腔と咽頭を分ける境界線で、概ね口蓋垂から前下方に向かう斜めの直線である。
- 3) タ行・ダ行子音の音韻論的解釈は服部（1960: 362）に従う。
- 4) 現在ではSiemens社の3TのMRI装置が運用されている。Tは静磁場強度を示す単位（テスラ）。
- 5) 本稿の「高舌性」や「前舌性」「後舌性」などの用語は口腔における舌の相対的位置を把握するためのものであり、音韻論的記述ではない。
- 6) articulatorの訳。上顎の向かい側にある舌などの、積極的に動いて調音運動をする器官を指す。「調音者」とも言う。
- 7) 筋のみで構成される運動器官である舌の変形機構については「筋静水圧装置 muscular hydrostat」という生物機構によって説明されることがある（Smith K. K. and Kier W. M. 1986）。この機構に従うならば、たとえば舌背の位置を下げる筋が働いた場合に、力の作用は筋の作用点に下方に向かうだけでなく、後方の舌根を咽頭に向かって押し出すなどの結果をもたらす。
- 8) 「ウ」の「中舌化」は古くから言われてきたが、その用語が指している言語現象は、/su/や/cu//zu/などの場合、/u/が本来の「奥舌母音」から「中舌化」し、[i]または[ɨ]になることである（今田1989: 30、中條1989: 18-19）。しかし、本研究で観察した「中舌化」は、もともと舌全体の位置が口腔前部にある/u/が/cu//zu/などの環境において口腔の中央に向けて大きく移動することであるので、従来の理解とは異なる。
- 9) 多くの教科書では「ウ」のIPA表記で[u]または[ɯ]にした上、補助記号や言葉を使って「非円唇的」「やや前寄り」と補足説明するが、「ウ」を「奥舌母音」と見ていることには変わらない。日本語教育の現場では、事実上「非円唇」のみが強調されているのもまた事実である。
- 10) この資料は「カキケコ」「タチツテト」などを1単語として発話されたものである。5音節からなる長い単語では、語頭子音の強化や第1母音の短縮

が生じる場合がある。語末母音においても延長や弱化がありうる。この研究で得た結論は母音を個別発話した動画データによる観測（朱2010）とは矛盾しないが、語頭と語末の音節が音声学的に特異であることを考慮し、今後統制のとれた検査語を用いて再確認する意義がある。

参考文献

- 今田滋子（1989）『教師用日本語教育ハンドブック 6 発音 改訂版』国際交流基金 日本語国際センター、凡人社。
- 上村幸雄・高田正治（1990）『日本語の母音、子音、音節 調音運動の実験的研究』国立国語研究所。
- 上野善道（2009）「服部音韻論の再評価」『東京大学言語学論集』28, 219-246。
- 斎藤純男（2009）『日本語音声学入門 改訂版』三省堂。
- 鈴木丈晴（2005）「発話時における調音運動に基づいた調音結合の分析」Jaist 情報科学研究科修士論文。
- 鈴木規子・北村達也・本多清志・正木信夫・古崎幸恵（2003）「軟口蓋音における調音結合：—MR 動画撮像法による観察—」『日本音響学会研究発表会講演論文集』2003(1), 297-298。
- 朱春躍（2010）「構音の面から見た中国語話者の日本語5母音の習得」『コミュニケーション、どうする？ どうなる？』ひつじ書房。
- 中條修（1989）『日本語の音韻とアクセント』勁草書房。
- 服部四郎（1960）『言語学の方法』岩波書店。
- 前川喜久雄（1998）「1 音声学」『岩波講座 言語の科学 2 音声』1-52、岩波書店。
- 猪塚元・猪塚恵美子（2003）『日本語音声学のしくみ』研究社。
- Chiba, T. and Kajiyama, M. (1942) *The Vowel: Its Nature and Structure*. Tokyo: Tokyo-Kaiseikan (杉藤美代子・本多清志訳『母音—その性質と構造—』岩波書店, 2003年)。
- Dang, J., Honda, M. and Honda, K. (2002) "Analysis of coarticulation based on electromagnetic articulographic data." *TECHNICAL REPORT OF IEICE*, SP2002-61.
- Masaki, S., Tiede, M. K., Honda, K., Shimada, Y., Fujimoto, I., Nakamura, Y. and Ninomiya, N. (1999) "MRI-based speech production study using a synchronized sampling method." *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)* 20, 375-379.
- Smith, K. K. and Kier, W. M. (1986) "Trunks, tongues and tentacles: moving with skeletons of muscle." *American Science* 77, 29-35.

(Received Aug. 21, 2010, Accepted Aug. 24, 2010)