

〔原著〕 松本歯学 16 : 133~144, 1990

key words : 実験的口蓋床 - 音声周波数 - 3次元表示

音声周波数の3次元表示とその評価

鷹股哲也, 倉沢郁文, 橋本京一
舛田篤之, 井上義久

松本歯科大学 歯科補綴学第1講座 (主任 橋本京一 教授)

An Evaluation of Three-dimensional Display for Speech Frequency

TETSUYA TAKAMATA, IKUFUMI KURASAWA, KYOICHI HASHIMOTO,
ATSUYUKI MASUDA and YOSHIHISA INOUE

*Department of Complete and Partial Denture Prosthodontics, Matsumoto Dental College
(Chief : Prof. K. Hashimoto)*

Summary

The correlation between the quality of speech and denture morphology is of importance in phonetic research in prosthodontics. Speech spectrograms contain significant information about the quality of speech, and thus together with computer analysis can be used for making an objective diagnosis of the phonetic qualities of dentures. It is important, however, that such spectrographic analysis is backed up by auditory and articulatory information.

The purpose of this study is to analyze the effects on speech sounds caused by alterations of the oral cavity environment with an experimental maxillary complete coverage resin plate. Using three-dimensional spectrogram of laryngeal sound waves, the duration of consonant sounds with and without the plate were compared.

緒 言

歯科補綴物に要求される口腔機能の回復のうち、発音機能の回復は極めてデリケートであり、義歯床の適合状態・厚さ・形態・被覆面積、人工歯の大きさ・排列状態、咬合高径ならびに舌と接触関係を持つ義歯床表面の形態などに特に影響されやすく¹⁾、これらの条件が適切でない義歯を装

着すると、発音障害を招くことが多い。これは義歯を装着することにより発音に伴う調音点と共鳴腔が変化し、また義歯に接触する舌、口唇、頬、口蓋粘膜などの触覚の影響を受けるため、そのフィードバック機構に変化が生じて、舌の運動機能が妨げられることが直接の原因と考えられている^{2,3)}。すなわちすでに習得されている舌の生理的な運動が阻害されることによって、発音障害を訴えることが多くなると考えられている⁴⁻⁸⁾。このような発音障害には第三者にとって聞き取りにくい

他覚的発音障害と発音者自身が発音しにくい自覚的発音障害とに分けることができる。しかしこれら2つの障害は明確に分離しているものばかりではなく、当然のことながら重複して現れる部分もある。人は発音に際して常に自分自身の音声を聴覚によりフィードバックして正しい発音に修正しながら、いわゆる学習機能を通じて獲得していく。発音動作はこの学習によって獲得された言語固有の精密な運動プログラムに従って行われる随意運動である。適切でない義歯を装着することによりこの随意運動が障害され発音障害が現れる。

従来より、自覚的発音障害の検討にはアンケート用紙による方法^{9,10)}が用いられ、発音された音そのものの異常、すなわち他覚的発音障害を客観的に検討する方法として、聴覚的な検査法である語音発語明瞭度試験¹¹⁻¹²⁾、音響的な検査法であるソナグラフ¹²⁻¹⁶⁾、舌の接触範囲を記録するパラトグラフ¹⁷⁻²¹⁾、調音時の舌の動的な接触像を観察する電氣的パラトグラフ²²⁻³²⁾などが用いられてきた。

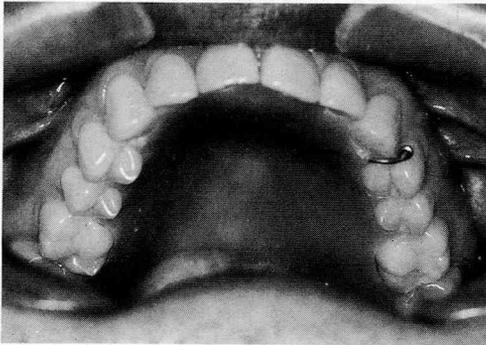


図1：口腔内に装着した実験用全口蓋床

著者らも音声の音響的特徴に着目し、独自の音声周波数3次元表示システムを開発し、このシステムが音声の音響的特徴を分析できるかどうか実験的全口蓋床を用いて、口蓋床装着前後の音声周波数分析を行い若干の知見を得たので報告する。

研究方法

1. 被験者

被験者は発音、聴覚機能ともに特に異常がなく、また上下顎第2大臼歯まで萌出し、欠損ならびに著しい歯列不正のない、いわゆる個性正常咬合を有する成人男子1名である。

2. 実験用全口蓋床

被験者の上顎歯列ならびに口蓋を個人トレーを用いてポリサルファイドラバー弾性印象材にて精密印象採得し、超硬石膏(W/P 0.22)にて作業用模型を製作した。デンタルサベイヤーにて臼歯歯列口蓋側歯面をサーベイングし、口蓋床の維持に有効なアンダーカットの存在位置を確認した後、厚さ約1.5 mmのパラフィンワックスを圧接適合した。この際、臼歯口蓋側歯面のアンダーカットをわずかに利用し、口蓋床の維持に役立たせた。また発音に影響がないと思われる左側犬歯と第1小臼歯との歯間弧形空隙に咬合面方向から着脱用のノブを取り付け、通法に従い埋没、重合、研磨を行い適合の良い実験用口蓋床を作製した(図1)。

3. 分析音ならびに被験音

分析対象音(分析音)ならびに被験音の選択は堀内³³⁾の方法に順じた。すなわち分析音は、松木⁹⁾の報告した総義歯装着により自覚的にも他覚的に

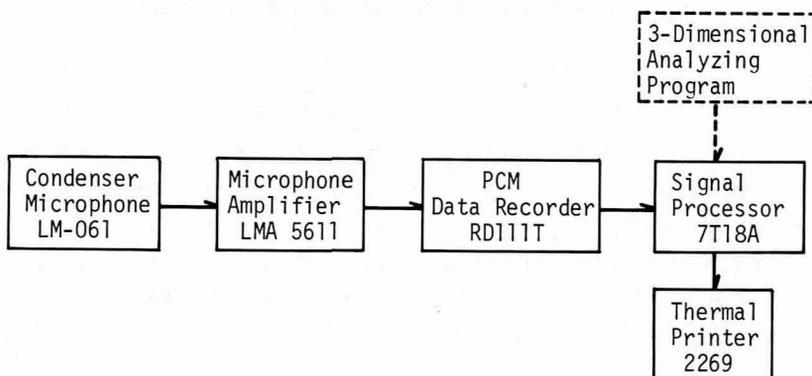


図2：本実験のブロックダイアグラム

も発音障害がでやすいといわれる/ka/, /sa/, /ki/, /shi/, /chi/, /hi/, /ri/の7音のうち今回、/ka/, /ki/, /shi/, /hi/の4音を選び、被験音はこの4音を第2拍目に持つ「はかる」、「あきる」、「はしる」、「おひる」の有意義音を選択し、発音に際しては被験者固有の速さと声の大きさと、しかも第2拍目にアクセントがくるように指示した³⁹⁾。

4. 音声の記録

音声は本学中央スタジオ内の静かな環境下で、周波数特性の平坦なコンデンサーマイク LM-061 (リーダー電子社製) で取り込み、平均値検波方式マイクロホンアンプ LMA-5611 (リーダー電子社製) を通過させた後、PCM データレコーダ RD 111T (TEAC 社製) に収録した。収録した音声はシグナルプロセッサ7T18A (日本電気三栄社製) により FFT analysing し、独自に開発した音声周波数3次元解析ソフト(三栄メデイス社製) を用いて3次元処理した後、音声原波形と同時にサーマルプリンター2269 (日本電気三栄社製) にてプリントアウトした (図2)。

5. 検討項目

1) 時間の経過に伴う周波数と利得の変化
プリントアウトされた3次元表示から各被験音中の分析音について調べた。

2) 先行母音音声波終了時点をO、子音部開始時点をP、後続母音音声波開始時点をQとした時のOからPの時間a、子音継続時間bを求め、口蓋床装着前後を比較した (図3)。

結 果

1. 各分析音の時間 (sec) の経過に伴う周波数 (KHz) と利得 (dB) の変化

1) 分析音/ka/を含む「はかる」では、装着前の波形では低い周波数から高い周波数にかけてdBの差が大きいのにに対して、装着後はその差は少ない。20 msecでは装着前よりも装着後のdB

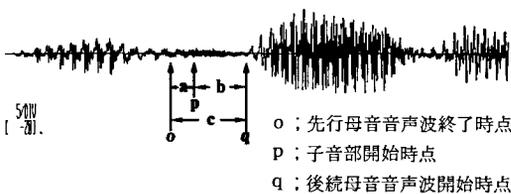


図3：分析音子音部の計測点

が大きく、25~30 msecでは小さな値を示した。(図4, 表1)。

2) 分析音/ki/を含む「あきる」では、装着前では1.5KHz付近でdBは大きく低い値を示しているのに対して、装着後ではその落差は少ない。55 msecでの装着前後のdBは装着後が大きく、60~65 msecでは小さな値を示した(図5, 表2)。

3) 分析音/shi/を含む「はしる」では装着前では1.5 KHz付近までdBは山型に下降しているのに対して、装着後では直線的に下降している。10~20 msecでは装着後は20~30 dB低い値を示した (図6, 表3)。

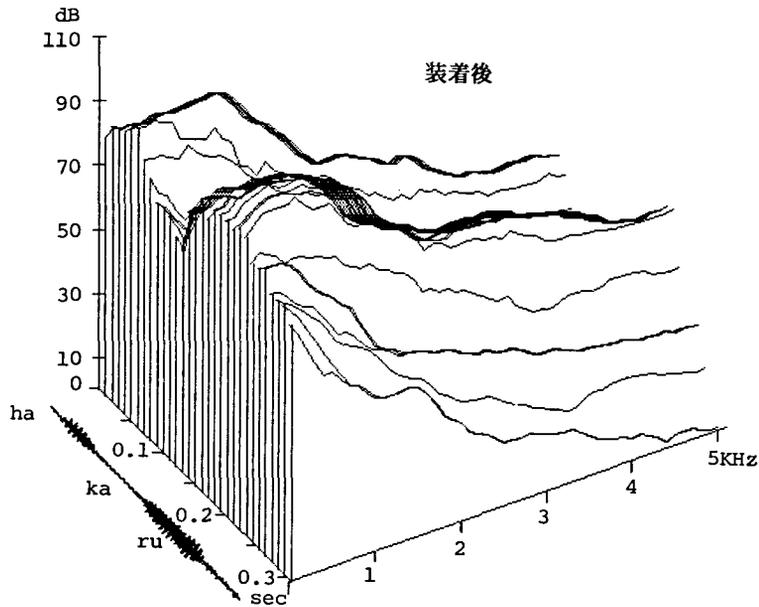
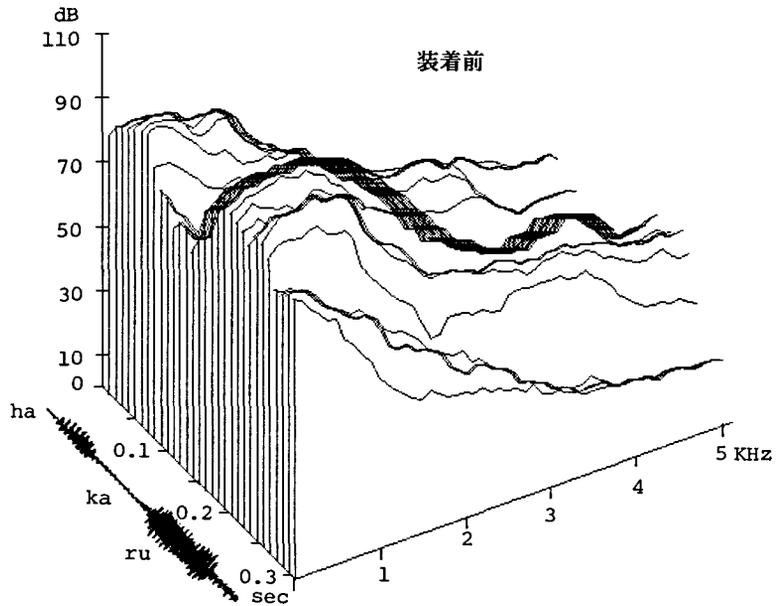
表1：分析対象音/ka/, 被験音「はかる」

時間 (msec)	周波数 (KHz)	利得 (dB)	
		装着前	装着後
20	1.56	26.1	52.4
	1.76	22.4	44.7
	1.95	9.6	32.5
25	1.56	61.3	51.5
	1.76	64.4	38.5
	1.95	65.0	28.8
30	1.56	70.9	52.3
	1.76	75.2	46.6
	1.95	67.3	39.7

表2：分析対象音/ki/, 被験音「あきる」

時間 (msec)	周波数 (KHz)	利得 (dB)	
		装着前	装着後
55	2.54	4.9	15.5
	2.73	-2.4	15.9
	2.93	-2.3	15.4
60	2.54	40.1	32.1
	2.73	43.9	39.5
	2.93	49.7	43.5
65	2.54	51.1	25.9
	2.73	53.6	22.3
	2.93	57.1	25.4

NAME _____ NEC SAN-EI ID. NO. 000-111-222 SEX _____ F
 AGE 20 COMMENT 1 PROGRAM TEST COMMENT 2 DEMONSTRATION



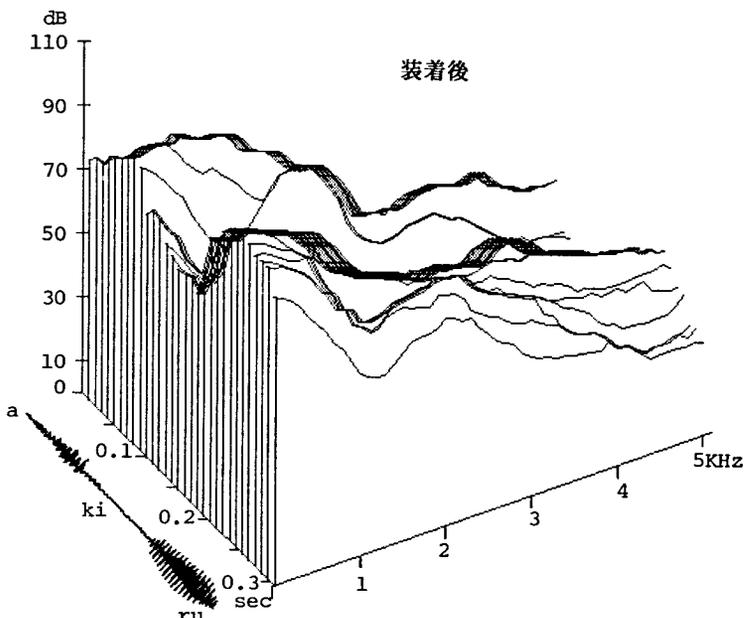
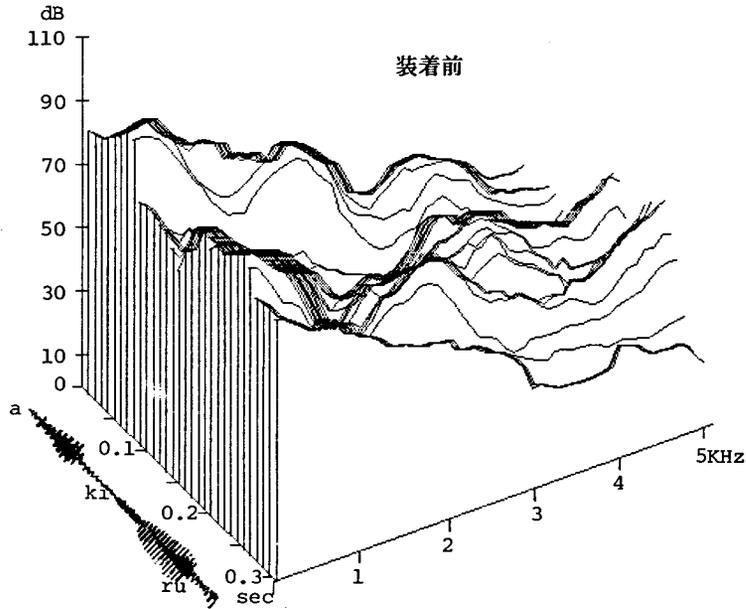
.05SEC/DIV

[0.031 SEC ~ .338 SEC

[4.88 KHz/DIV 5.08 KHz/FS)
 DATA TYPE dB^2 LINE NO 30 ADD NO 1

図4：口蓋床装着前後の音声周波数3次元表示
 「はかる」

NAME _____ NEC SAN-EI ID NO. 000-111-222 SEX F
 AGE 20 COMMENT 1 PROGRAM TEST COMMENT 2 DEMONSTRATION



0.05SEC/DIV

[0.031 SEC ~ 0.338 SEC]

[4.88 KHz/DIV

5.00 KHz/FS]

DATA TYPE dB^2 LINE NO 00 PDP NO 1

図5：口蓋床装着前後の音声周波数3次元表示
「あきる」

4) 分析音/hi/を含む「おひる」では、装着後では1KHz以下の低い周波数において先行母音と子音開始時点までの落差が小さく、先行母音のピークからは装着前が約35 dBに対して装着後では約25 dBである(図7, 表4).

2. 各分析音の音声波形の計測点における時間(表5)

1) 先行母音音声波終了時点から子音部開始時点までの時間

先行母音音声波終了時点から子音部開始時点までの時間では装着後は/ka/以外は長くなる傾向にあった。

表3：分析対象音/shi/, 被験音「はしる」

時間 (msec)	周波数 (KHz)	利得 (dB)	
		装着前	装着後
10	4.49	51.7	32.7
	4.69	52.3	30.9
	4.88	57.8	31.2
15	4.49	53.0	31.9
	4.69	52.4	29.8
	4.88	50.6	31.4
20	4.49	56.5	28.3
	4.69	57.9	27.6
	4.88	58.0	29.0

表4：分析対象音/hi/, 被験音「おひる」

時間 (msec)	周波数 (KHz)	利得 (dB)	
		装着前	装着後
25	4.49	38.3	14.6
	4.69	35.7	8.3
	4.88	35.4	10.1
30	4.49	44.3	21.3
	4.69	46.3	23.9
	4.88	46.7	20.0
35	4.49	32.4	19.6
	4.69	34.5	20.9
	4.88	30.6	22.0

2) 子音部開始時点から後続母音音声波開始時点までの時間

すなわち子音継続時間の装着前後の比較では/ka/はほぼ等しく、/ki/, /hi/は短く、/shi/は長かった。

考 察

歯科補綴学の立場から補綴物と発音との関係、特に舌と協調して構音に関与する上顎義歯床の口蓋形態との関連については古くから論じられてきている。発音動作は音声信号のエネルギー源として肺から呼吸を送り出す「呼吸調節」、呼吸流を変調して音の音源を作る「喉頭調節」、音声信号を完成して放射する「付属管腔調節」の3段階に分けて考えることができ³⁴⁾、歯科補綴学の分野では主として構音(調音)に関与する「付属管腔調節」、すなわち声門より上部を構成する調音器官のうち歯、口腔、硬軟口蓋そして随意に調節できる可動部分、口唇、舌、下顎骨などがしばしば対象となる。その評価方法も自覚的発音障害の検討にはアンケート調査^{9,10)}、他覚的発音障害の検討には最も一般的な語音発語明瞭度試験^{11,12)}を始めとしていろいろな電気的方法が使われている¹²⁻³²⁾。また近年、音声波の鼻腔出力と口腔出力を別々にしかも同時にコンピュータに入力して摩擦音・破擦音を識別する方法³⁵⁾、あるいは発音時の口腔鼻腔流出量を測定し鼻咽腔閉鎖機能について論じている報告もある³⁶⁾。

表4：各分析音の音声波形の計測点における時間

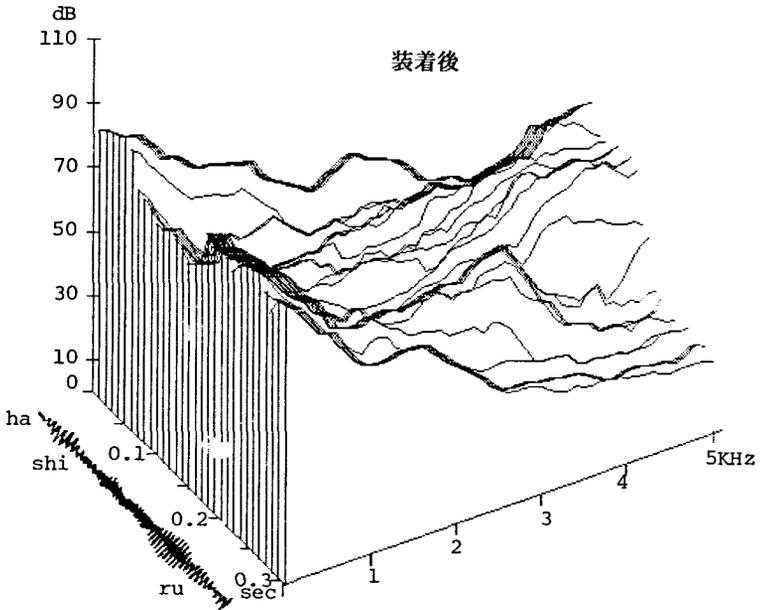
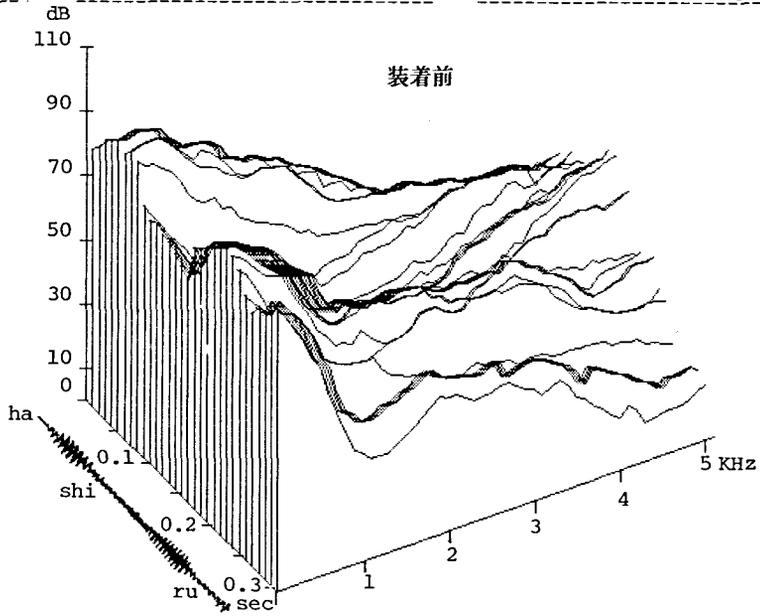
分析対象音	被験音		a (msec)	b (msec)	c (msec)
/ka/	「はかる」	前	21	18	39
		後	17	20	37
/ki/	「あきる」	前	29	40	69
		後	44	18	62
/shi/	「はしる」	前	22	38	60
		後	30	86	116
/hi/	「おひる」	前	29	41	70
		後	35	26	61

a：先行母音音声波終了時点から子音部開始時点

b：子音部開始時点から後続母音音声波開始時点

c：a + b

NAME _____ NEC SAN-EI ID NO. _____ 000-111-222 SEX _____ F
 AGE _____ 20 COMMENT 1 _____ PROGRAM TEST COMMENT 2 _____ DEMONSTRATION



0.05SEC/DIV

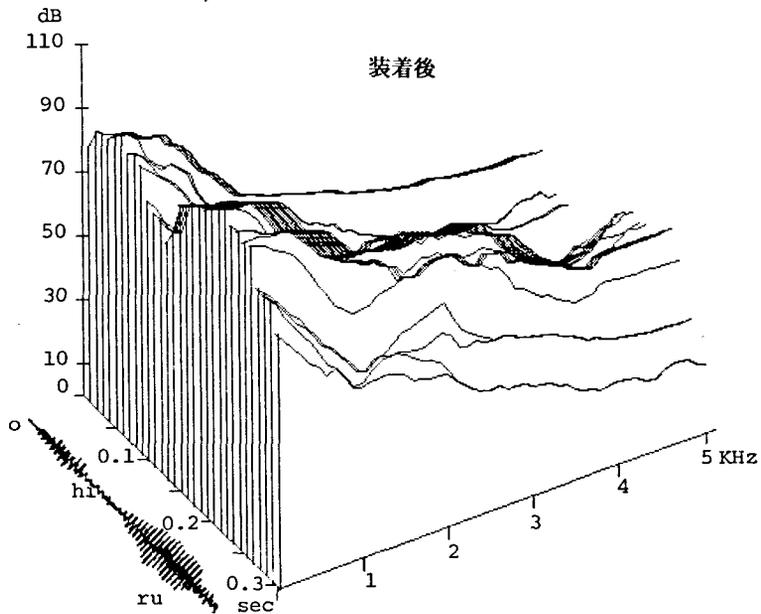
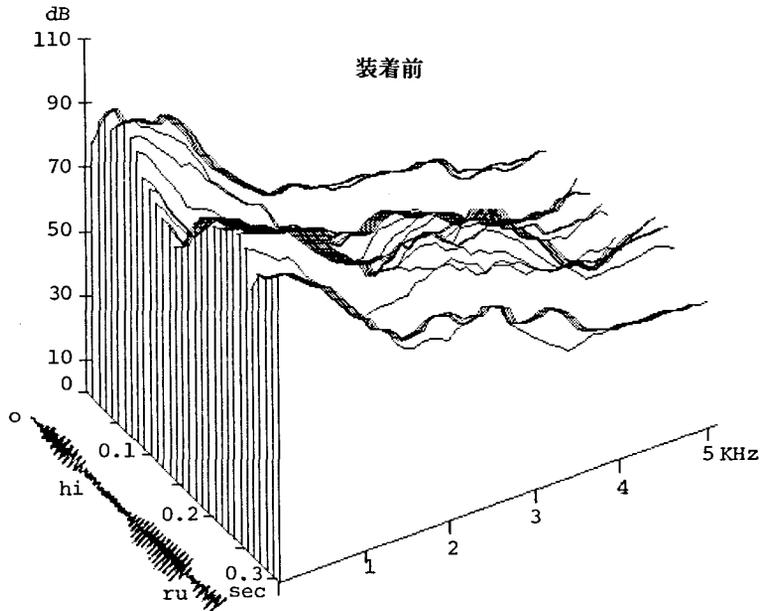
[0.031 SEC ~ 0.338 SEC]

[4.88 KHz/DIV 5.08 KHz/FS]

DATA TYPE dB^2 LINE NO 30 ADD NO 1

図6：口蓋床装着前後の音声周波数3次元表示
 「はしる」

NAME _____ NEC SAN-EI ID NO. _____ 000-111-222 SEX _____ F
 AGF _____ 20 COMMENT 1 _____ PROGRAM TEST COMMENT 2 _____ DEMONSTRATION _____



0.05SEC/DIV

[0.031 SEC ~ 0.338 SEC]

[4.88 KHz/DIV 5.08 KHz/FS]

DATA TYPE dB^2 LINE NO 30 END NO 1

図7：口蓋床装着前後の音声周波数3次元表示
 「おひる」

歯科補綴学領域において音声原波形を3次元表示する試みは多数報告されており³⁷⁻⁴⁰⁾、中でも Petrović³⁷⁾の報告はその先駆的役割を担っているように思われる。著者らはこれら先人の業績を参考として新たに独自に開発した音声周波数3次元表示ソフトを用いて、音声波形の時間、周波数、利得を視覚化し、義歯装着後の発音障害の客観的な把握を目的としてその有用性について検討した。

1. 3次元表示解析ソフトについて

本プログラムでは音声信号を最大5秒間取り込み周波数解析が行えるようになっている。解析区間はグラフィックカーソルにより任意に指定することができ、得られたパワーアレイは解析区間の波形データと共に本体画面(シグナルプロセッサ7T18A)にX軸を時間(t)、Y軸を利得(dB)、Z軸を周波数(f)として表示させる。またこれらのデータはフロッピーディスク、サーマルプリンター、X-Yプロッターへの出力が行える。本体のメモリー容量は4 Mbyte以上を必要としている。プログラムの機能概要は1チャンネル毎の構成波形を取り込み、測定ならびに表示条件設定後、実験属性コメントを入力して最高周波数(Fmax)、周波数分解能(ΔF)、ライン数(加算回数)などの周波数解析条件を設定する。最大5秒間の音声信号を取り込み、データを表示する。取り込みデータの表示は表示ゲインの変更、表示区間の変更、グラフィックカーソル周波数解析区間の設定などである。周波数解析結果の表示では解析条件に従って、設定された区間のパワーアレイが表示され、表示ゲイン、表示周波数区間、表示角度、表示タイプ等の諸変更とパワーアレイのデータリストをプリンターまたは本体画面に出力できる。

2. 被験音ならびに発音条件について

分析音は松木⁹⁾の報告した総義歯装着者において自覚的にも他覚的にも発音障害が現れやすいといわれる日本語単音節の中から/ka/, /ki/, /shi/, /hi/の4音を選んだ。しかし、単音節のみを発音させると発音時の“構え”により自然で滑らかな発音が得られにくいことが報告されており³⁹⁾、3拍からなる有意味音でしかも分析音が第2拍目にくる言葉を選択し発音させた。しかしこのような連続音を用いると前後の音、アクセント、

発音、速度などが分析音に影響をおよぼす変動要因として考えられるため⁴⁰⁾、本実験では堀内³³⁾³⁹⁾の報告した被験音、すなわち先行母音が大開き母音/a/あるいは中開き母音/o/で第3拍目が/ru/になるように統一し、アクセントも中高型となる単語を選んだ⁴¹⁾。発音の速度は通常会話時の速さで発音するように指示した。

3. 結果について

1) 各分析音の時間の経過に伴う周波数と利得の変化

(1)「はかる」、「あきる」

口蓋帆音であり破裂音でもある/ka/, /ki/は調音点でいったん声道を閉じ、その後方の音声気流の気圧を高めた後、調音点で声道を開きながら急激に空気を放出し後続音の発音に移行する⁴²⁾。すなわちこれらの子音の構音様式は気流が急激に遮断され、再び爆発的に飛び出す音と考えられ、音響的には時間経過の極めて短い雑音である⁴³⁾。この破裂部の周波数スペクトルは後続する母音の特徴を反映したもので、後続母音により子音部のスペクトルは変化する。従って同じ子音/k/でも後続母音の異なる/ka/, /ki/ではその周波数は変化する。本実験でも口蓋床を装着していない状態での分析音/ka/, /ki/を比較すると(図4, 図5)、子音が開始する1.15 sec付近で母音/a/を持つ/ka/では3 KHz付近までdBが大きくなりその後4KHz付近まで下降して山型の曲線を描くのに対して、母音/i/を持つ/ki/では逆に3 KHz付近までdBが大きくなり下降し、その後4.5 KHz付近までdBが上昇するボタンが見られた。これは母音の持つそれぞれ特徴的な周波数帯域(フォルマント)に影響されるものと考えられ、/a/の第1フォルマントは0.75 KHzから1.5 KHz、第2フォルマントは1 KHzから2 KHzにあるのに対して、/i/の第1フォルマントは0.25 KHzから0.5 KHz、第2フォルマントは2 KHzから3.5 KHzである⁴³⁾。

口蓋床装着後の分析音/ka/の子音/k/をみると3 KHz付近からの落ち込みは少なく、次のピークである5 KHz付近ではほぼ平坦に滑らかに移行している。これはdBの大小が平坦になっていることになり、音の強弱に差がなくなっていると考えられる。母音/a/は大開き母音で喉頭は上方に位置し、舌は口腔底に低く平らに横たわってい

るのが一般的である。従って、舌は口蓋に装着されている人工物の影響を受けにくいと考えられるが、このとき口蓋帆は上方に押し上げられ口腔と鼻腔とを閉鎖しているため、呼気流は全て口腔に流入することになり、口蓋にある人工物によって気流が妨げられる。すなわち共鳴腔の変化により、音の周波数に変化が生じたものと思われる。また/ki/でも3 KHz 付近の落ち込みは少なく、/ka/と同様の傾向が現れた。後続母音/i/は小開き母音、非円唇母音、高母音、前舌母音という性質を持ち³⁹⁾、舌と口蓋でセバメをつくることにより発音される。このセバメをつくるには舌と口蓋との精密な位置関係が必要であり、セバメより後方の共鳴空間は第2フォルマントが、その前方の共鳴空間は第3フォルマントが依存することが報告されていることから⁴⁴⁾、気流の変化に加え、舌の口蓋への接触位置の変化によりdBの強弱に影響が現れたものと考えられる。

(2) 「はしる」, 「おひる」

無声の摩擦音である/s/, /h/は調音点の相違によって/s/は歯茎音, /h/は声門音あるいは喉頭音と呼ばれそれぞれ固有の性質を持つ⁴⁴⁾。摩擦音は音道の一部が狭められる結果生じる摩擦的騒音であり、構音様式から見れば完全に閉鎖しない狭い構音点で気流が摩擦しながら流れていくものと解釈できる。/s/音の補綴学的意義は大きく補綴臨床にも応用されている。代表的なものとしては/s/発音時の調音運動を利用した咬合高径の決定方法⁴⁵⁾あるいは総義歯の前歯排列位置を決める術式など^{46,47)}である。/shi/の時間の経過に伴う周波数とdBの変化を装着前後で比較して見ると(図6)、分析音の子音開始時点約0.15 sec 付近では装着前は時間の経過に伴い70 dB から90 dB に変化し、装着後では70 dB から80 dB 程度であった。すなわち装着後では音の強弱に差が見られず、後続母音の/a/とそれに続く子音/r/まで影響している様子が窺えた。被験音「おひる」の分析音/hi/を見ると、約0.15 sec 付近の子音開始時点では時間の経過に伴うdBの大きな変化はなく、むしろ装着後では後続母音/i/により影響され、これに続く子音/r/の立ち上がりが遅くなる傾向が見られた。同じ摩擦音で、しかも後続子音が/i/という共通した音を持つ/shi/, /hi/も前者が歯茎音、後者が声門音という性質の違いからこのような傾向が見られ

たものと考えられる。

2) 子音継続時間について

子音継続時間に関しては、口蓋形態との関連^{16),39)}、全部床義歯装着者³⁰⁾、正常有歯顎者^{38),49)}について詳細な報告がなされている。この中で本研究と関係の深い口蓋形態ならびに全部床義歯装着者に関連した報告を見てみると、/ka/, /ki/は口蓋床装着者の方が未装着者に比べて子音継続時間は長く¹⁶⁾、全部床義歯装着者の「サ」行音における単音節発音時の子音継続時間は正常有歯顎者に比べ大幅に長く、連続音節の場合は単音節発音時に比べ大幅に減少する³⁰⁾。また、正常者の/ki/発音と口蓋床装着者のそれとでは子音継続時間に変化はなく、/hi/発音時は口蓋床装着者の子音継続時間が短くなる³⁹⁾などその様相は様々である。本研究結果では口蓋床装着後の子音継続時間は/ka/, /shi/は装着前よりも長く、/ki/, /hi/では短かった。従って/ka/, /shi/, /hi/については一致することになるが/ki/については異なる。これは先の報告が複数の被験者についてその平均値で論じているのに対して本研究の場合被験者が1名のみのものであることによるものと思われる。また「慣れ」によってこれらの測定結果がどのように変わるか文献も少ないが、一般的に有歯顎者に実験的口蓋床を製作、装着した場合、調音障害は装着直後に最も著しいが漸次減少し、これは1ないし3日で著明な回復をすることを考えられる。しかしこれらの調音障害は全く無くなったわけではなく障害は残るが意思を伝える言葉として最小限の要求が満たされているに過ぎないと思われる。

結 論

発音、聴覚機能ともに異常がなく、上下顎第2大臼歯まで萌出し、欠損ならびに著しい歯列不正のない、いわゆる個性正常咬合を有する成人男子に対して、独自に開発した音声周波数3次元表示システムを用いて、実験用全口蓋床装着前後の音声波形の時間一利得一周波数の変化と子音継続時間について検討した結果次の結論を得た。

- 1) 音声波形の3次元表示により、時間一利得一周波数の関係が視覚化できた。
- 2) 被験音「はかる」、「あきる」の分析音/ka/, /ki/では口蓋床装着前に比べて低周波域から高周波域にかけて利得の差が少なかった。

3) 被験音「はしる」、「おひる」の分析音/shi/, /hi/では口蓋床装着後の/shi/は1 KHz以内では利得は直線的に下降した。また/hi/では1 KHz以内の利得はむしろ装着前の方が高かった。

4) 各分析音の子音継続時間では口蓋床装着後/ka/, /shi/は長く、/ki/, /hi/は短くなる傾向にあった。

以上の結論は本研究に用いた音声周波数3次元表示システムが義歯装着後に生ずる発音障害の客観的な把握に有用であることを示唆するものである。

文 献

- 1) 櫻井和人, 荒井賢一, 吉沢典男, 関根 弘(1958) 口蓋床の発音に及ぼす影響について。歯科学報, 58: 417-423.
- 2) 村本 敏(1970) 全口蓋床装着後の発音の適応について。歯科医学, 33: 155-156.
- 3) 別当 敏(1972) 全口蓋床に対する発音の適応に関する実験的研究。歯科医学, 37: 557-591.
- 4) Silverman, M. M. (1956) Determination of vertical dimension by phonetics. J. Prosthet. Dent. 6: 465-471.
- 5) Allen, L. R. (1958) Improved phonetics in denture construction. J. Prosthet. Dent. 8: 753-763.
- 6) 森田啓一(1967) 正常者のパラトグラム。口病誌, 34: 279-309.
- 7) Pound, E. (1976) Controlling anomalies of vertical dimension and speech. J. Prosthet. Dent. 36: 124-135.
- 8) 園田秀明(1977) 発音明瞭度とパラトグラム。補綴誌, 20: 633-650.
- 9) 松木教夫(1971) 全部床義歯患者の発音の研究(その1) 自覚的障害について。口病誌, 38: 252-265.
- 10) 鷹股哲也, 杉藤庄平, 舩田篤之, 倉沢郁文, 橋本京一(1988) 実験的全口蓋床装着者のアンケート調査表による検討—発音ならびに口腔感覚について— 松本歯学, 14: 329-338.
- 11) 吉川 弥(1965) 全口蓋床が破裂音構成におよぼす影響。歯科医学, 28: 167-207.
- 12) 清水健吾(1971) 日本語子音の発音明瞭度とソナグラム。口病誌, 38: 496-518.
- 13) 牟田悟朗, 関谷俊治, 戸高勝之, 高林成日己, 土田 裕, 清水玲子, 竹内敏郎, 積田正和, 山縣健佑(1982) 義歯装着者の発音時下顎運動に関する研究。補綴誌, 26: 697-709.
- 14) 山縣健佑(1964) 発音試験用標準日本語彙に関する研究。補綴誌, 8: 173-217.
- 15) 桑原 勉(1981) 義歯口蓋形態が音声に及ぼす影響についての基礎的研究。岐歯学誌, 9: 231-247.
- 16) 倉知正和(1981) 日本語5母音の補綴学的分析。岐歯学誌, 9: 322-348.
- 17) 懸田克躬(1937) 日本語の構音に関する考察, 第一: 日本語の口蓋ならびに舌図について。口病誌, 11: 136-145.
- 18) 懸田克躬(1937) 日本語の構音に関する考察, 第二: 語音の発音に及ぼす人工口蓋および前歯舌面の厚さの影響。口病誌, 11: 195-205.
- 19) 荒井賢一(1958) パラトグラムによる日本語調音の生理学的研究。歯科学報, 58: 1-19.
- 20) 山本 陽(1961) 不正咬合者のサ行変化について—特にパラトグラムの計測について— 一日矯歯誌, 20: 158-162.
- 21) 大井基道(1972) 口蓋裂における構音異常の研究, 第1編, パラトグラムについて 歯科学報, 11: 1-18.
- 22) Kydd, W. L. and Belt, D. A. (1964) Continuous palatography. J. Speech and Hearing Disorders, 29: 489-491.
- 23) Hardcastle, W. J. (1969) A system of dynamic palatography, Work in Progress, Department of Phonetics and Linguistics, Edinburgh University, 1: 47-52.
- 24) 藤村 靖(1967) 電気的パラトグラフによる調音運動の記録。音響学会講演論文集, 243-244.
- 25) Miyawaki, K. (1972) A study of lingual articulation by use of dynamic Palatography, M. A. thesis, University of Tokyo: 1-30.
- 26) Harley, W. H. (1972) Dynamic Palatography-A study of lingual palatal contacts during the production of selected consonant sounds, J. Prosthet. Dent. 27: 364-376.
- 27) 比企静雄, 今泉 敏(1973) 舌の動きの左右対称性—ダイナミック・パラトグラムによる観測。音響学会講演論文集, 15-16.
- 28) 宮脇邦子, 桐谷 滋, 比企静雄(1974) ダイナミック・パラトグラフィによる日本語の調音の観察。音響学会音声研究委員会, S73:1-11.
- 29) 伊藤秀美, 根本一男(1978) 電気的パラトグラフによる舌の調音と口蓋形態に関する基礎的研究—単音節について— 補綴誌, 22: 580-598.
- 30) 佐藤修斎(1987) 発音のメカニズムに関する研究, 第2報 全部床義歯装着者。補綴誌, 31: 389-402.
- 31) 伊藤秀美(1983) 電気的パラトグラフによる舌の調音と口蓋形態に関する研究—「桜の花が咲きました」— 補綴誌, 27: 593-607.
- 32) 柴田貞夫, 井野朝二, 山下真司(1979) エレクトロパラトグラフによる構音訓練法 特リオン, 東京.
- 33) 堀内政信(1989) デジタル音声処理の補綴学的応

- 用。補綴誌, 33: 654-666.
- 34) 澤島政行(1982) 新生理学, 上巻 動物の機能編, 1056-1068. 第5版, 医学書院, 東京.
- 35) 神内教博, 芳井 隆(1983) 口腔出力と鼻腔出力の分離ピックアップ方式による摩擦音・破擦音の識別. 日本音響学会誌, 39: 310-320.
- 36) 松井義郎, 鈴木規子, 今井智子, 山下夕香理, 道健一(1987) 発音時口腔鼻腔流出気量について, フローネイザリテイグラフとサウンドスペクトログラフによる同期観察. 日口蓋誌, 12: 175-192.
- 37) Petrović, A. (1974) The use of spectrograms for speech analysis in full denture wearers. *J. Oral Rehabil.* 1: 353-360.
- 38) Petrović, A. (1985) Speech sound distortions caused by changes in complete denture morphology. *J. Oral Rehabil.* 12: 69-79.
- 39) 堀内政信(1989) 人工口蓋床の形態が発音に及ぼす影響に関する研究. 補綴誌, 33: 863-877.
- 40) Gloria, J. B. and Katherine, S. H. (廣瀬 肇訳)(1984) ことばの科学入門, 123-127. メディカルリサーチセンター, 東京.
- 41) 日本放送協会編(1986) 日本語発音アクセント辞典, 日本放送出版協会, 東京.
- 42) 中田和男(1960) 日本語まさつ音およびはれつ音の合成. 電波研究所季報, 6: 364-382.
- 43) 亀田和夫(1986) 声と言葉のしくみ, 125-113, 156. 口腔保健協会, 東京.
- 44) 電気通信学会編(1982) 新版聴覚と音声, 265-267, 285. 電気通信学会, 東京.
- 45) Silverman, M. M. (1951) Accurate measurement of vertical dimension by phonetics and the speaking centric space. *Dentl Digest*, 57: 261-265.
- 46) Pound, E. (1966) The mandibular movements of speech and their seven related values. *J. Prosthet. Dent.* 16: 835-843.
- 47) Pound, E. and Murrell, G. A. (1971) An introduction to denture simplification, *J. Prosthet. Dent.* 26: 570-580.
- 48) 積田正和(1983) 咬合高径の変化がバラトグラムと発音明瞭度に及ぼす影響. 補綴誌, 27: 1-19.
- 49) 松本直之, 多田芳雄, 佐藤修斎, 市川哲雄, 河野文昭, 羽田 勝(1984) 発音のメカニズムに関する研究 第1報 正常有歯顎者. 補綴誌, 28: 748-759.