

摩擦音を音源とする人工喉頭について

—北宋の“類叫子”挿話に示唆を得て—

下 村 五三夫* 根 本 慎** 矢 萩 悦 啓***

On Friction Noise Sourced Artificial Larynx

—Suggested by the Episode of a Speaking Device of North Song China—

Isao Shimomura*, Makoto Nemoto** and Etsuhiro Yahagi***

キーワード：北宋代の人工喉頭、発声口琴、摩擦音源人工喉頭、VOCODER
Keywords: artificial larynx of North Song China, speaking jews-harp,
friction noise-sourced artificial larynx, VOCODER

Abstract

In this paper, we propose for laryngectomees a new kind of an artificial larynx, whose source noises are not periodic pulses but random noise. This idea is motivated by a mouth-resonating instrument referred to in a Chinese literature of the North Song period, *Mukei Hitudan* 夢溪筆談. The speech generation mechanism by this instrument is very simple. When, with the instrument applied to the mouth of the performer, the user conducts pantomimed articulations under sustained glottal stop activity, while making noises from it, the friction noises from the mouth instrument will be instantaneously and momentarily transformed into speech sounds.

We designed a speaking system composed of a model larynx with a friction noise generator inside, and a VOCODER attached to it. The speech generation by a laryngectomee using this system proceeds in the following way. In the first step, the user makes friction noises from the artificial larynx being propagated in the mouth cavity, while conducting simultaneous articulations, and then out of the mouth is momentarily

* 北見工業大学教授 Professor, Kitami Institute of Technology

** 札幌医科大学教授 Professor, Sapporo Medical University

*** 日本赤十字北海道看護大学助教授 Associate Professor, The Japanese Red Cross Hokkaido College of Nursing

produced a kind of whispered speech or random noise-sourced speech. In the second step, the random noise-sourced speech is applied to the VOCODER, through which it is by now reshaped in the respects of its spectral envelope into speech sounds with voiced-voiceless distinction.

The paper consists of three chapters. The first chapter is devoted to the problems inherent in three kinds of speech aid methods, Tapia's artificial larynx, an electric buzzer, and an oesophageal phonation. The second chapter deals with interrelations between whispered speech, laryngectomy's speech and jews-harp speech, from which is introduced the idea of a random noise-sourced artificial larynx attached to a VOCODER. The third chapter contains experimental results which are intended to exemplify its voiced-voiceless distinguishing capability.

第1章 問題の発端

1-1 人工喉頭

癌その他の病気や、重い外傷によって、不幸にも喉頭摘出を余儀なくされたひと、英語でラリンジエクトミー (laryngectomy) は、一種の笛から生み出した声帯音の代用音を、残った声道—代用声道 vocal-tract surrogate ともいう—に投入し、この原雑音(source noise) を、これまでと同様の調音運動で変調し、そうすることで音韻情報を帯びた音声に変換することができる。このような笛は一般に人工喉頭 (artificial larynx) と呼ばれる。

これまでに開発され、使用されてきた人工喉頭には、大別して二種類が存在する。開発者であるスペイン人医師 G. Tapia (1875-1950) の名に因む、「タピアの喉笛」と、電動バイブレーター式人工喉頭の二つである。人工喉頭という名称は冠されているものの、前者はリード弁やゴム膜弁を駆動する一種の笛であり、後者も電動の振動音発生器に過ぎない。それぞれの生み出す原雑音は、その明確な音韻を判定できないブザーの音色に近いが、いったん調音運動中の代用声道に導かれ、時々刻々変わる声道共鳴特性によって覆われたとき、実行中の調音運動にはほぼ対応する音韻をもつ音声に変わるのである。

その設計上、人工喉頭の生み出す原雑音を一種の無音韻の音に近づけることは、良質の人工喉頭音声を得るのに大変重要である。被験者の喉仏に当てた聴診器によって録音した喉頭原音は、準三角波の連続するのが特徴である。低音の聴こえの良い声ほど、短時間の 0dB 値—これは声帯が閉鎖している時間である—を挟んで、三角波が連なるようになるが、これを喉頭間歇三角波と呼ぶ。喉頭原音は、被験者がどのような母音や有声音を出していようと、聴診器から聞こえる音声は、鈍くブーと響く音で、明瞭な音韻をもたない。この無音韻という特徴は、間歇的に連続する準三角波パルス列のもつ、そのスペクトル構成に起因するものである。

人工的原音発生装置によらない、食道発声法 (oesophageal speech) というものもある。これは、食道入口と胃の幽門部の間の食道に、嚥気(burp)を意図的に溜め、それが食道入口筋肉を一定の振動数で震わせるように吐きもどし、その時の食道壁の震動音を原音とするものである。上の二つの方法と同じ原理で、この無音韻の原雑音は喉頭摘出者の行う（喉頭が除去されているので）無言の調音運動 (pantomimed articulation) により、音韻を帯びた音声となる。図 1 にアルファベット順に、健常者、タピア式喉笛を使用中の喉頭摘出者、食道発声中の喉頭摘出者の声道、電動バイブレーター式人工喉頭使用時の声道を示す。¹

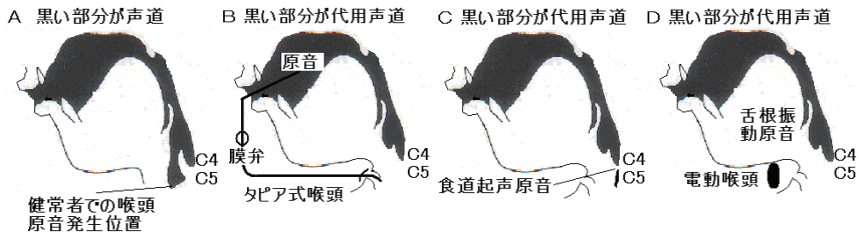


図 1. 健常者の声道 (A)、タピア式喉笛による発声 (B)、食道発声 (C)、電動式人工喉頭による発声 (D). 各図の頸椎に記入された C4 と C5 の記号はそれぞれ第 4、5 頸椎 (the fourth and fifth cervical vertebrae) を意味する。この辺りが声道の開鎖端の位置である。

人工喉頭を使っているひとの口から放出される音声は、人工的な周期音を原音とするゆえに、一種の合成音声である。その聴覚印象もやはり典型的な合成音声のものである。抑揚と強勢に乏しい上に、音韻の明瞭性と発話全体の自然性が著しく劣る。その主な原因は、人工的原音の情報量の少なさにある。

1-2 タピア^{こうてき}喉笛

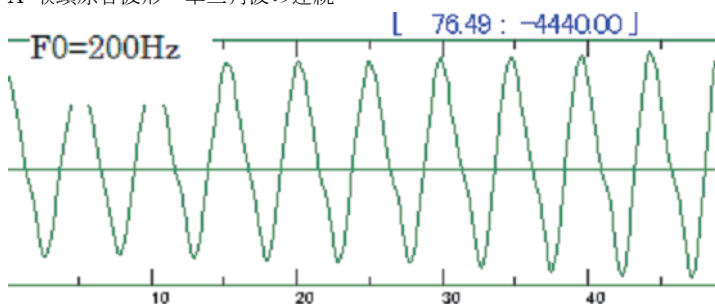
タピアの喉笛では、使用者の喉仏の真下に開けられた、永久呼吸嚥から吐き出される呼気が弁を震わせるエネルギー源となっている (図 1 B を参照)。その使用者の脳は喉頭を失う前の発話運動を記憶しているために、使用者が摘出前の発話習慣に従って呼気を送るだけで、ちょうど望む発話長の分の呼気がこ

¹ もしも健常者が電動剃刀を下顎の同位置に密着させ、声門閉鎖調音を維持したまま、(無言) 調音運動を行うならば、ブーンという振動音は実行中の調音運動に対応する音声に変わる。読者が電動人工喉頭の使用の有様を確認するには、この実験が最も有効である。

の永久呼吸孔から流れ出て、呼吸孔にあてがわれたゴム製の受蓋から誘導管に取り込まれ、弁室に入り、ベルヌーイ効果により、弁を振動せしめる。振動弁にはその張力を調節する押さえがあり、これを手動でスライドさせて振動数を変えることができる。これが、人工喉頭使用者が自分の生み出す合成音声に対してピッチ変化を与える、最も一般的な方法である。

こうして生まれた原雑音は、別の誘導管によって口腔内に投入される。図 1 B では、この管から口腔内の *palatal* の位置に原音が放出される。上で既に言及したが、模擬喉頭原音としては、明確には音韻を特定できないブザーの音に近いものが適当である。およそ 200Hz の喉頭原音振動波形と、その LPC スペクトルを、図 2A と 2B に示す。

A 喉頭原音波形 準三角波の連続



B 上の喉頭原音の LPC スペクトル

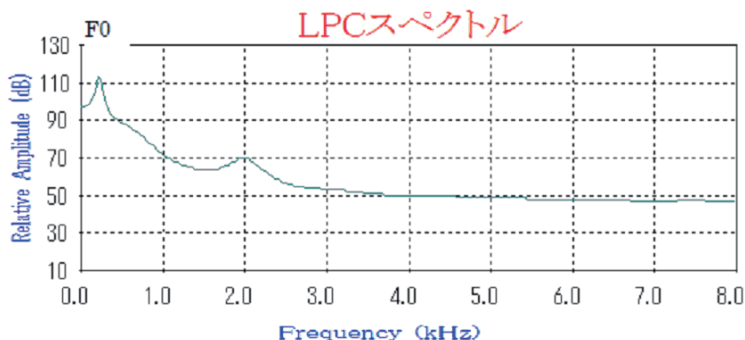
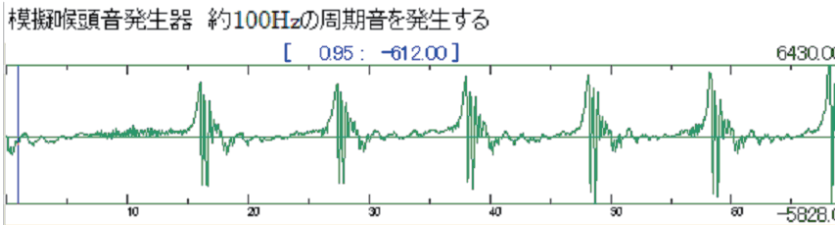


図 2. 喉頭原音波形 (A) とその LPC スペクトル(B) : LPC スペクトルの低域に出現したピークは基本振動数に対応する。包絡線はほぼ平坦であり、ピッチは知覚可能であるが、その音韻を判定することは困難である。

これから行う、タピア式人工喉頭の生み出す周期性原音が、仮声帯 (false vocal chords) やモルガーニ室 (Morgagni chamber) によって、どのような影響を受けるのかを確かめる実験では、我われは市販の声道形状模擬音声合成器に付属した模擬喉頭音発生器を使用した。² この弁はゴム膜を直径約 7mm の管の断面を横断して差し渡したものであり、左右にできた管壁とゴム膜縁との隙間から呼気を通し、そこに生ずるベルヌーイ効果によってゴム膜を振動させるものである。残念ながら、この市販の笛の出力音は、望まれる間歇三角波にはなっていない (図 2C を参照)。また、この笛はピッチ制御の仕掛けも備えていない。しかし、スペクトル包絡は喉頭原音のそれとほぼ同じであり、エネルギーは低域から高域へ単調に減少し、いかなる鋭いピークも見せない (図 2D を参照)。つまり、この笛の出力音の聴覚印象は無音韻に近いのである。

C



D 模擬喉頭音の LPC スペクトル

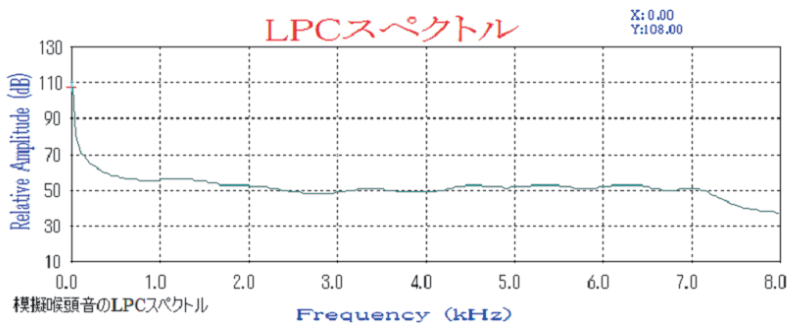


図 2. タピア式喉笛の出力音波形 (C) その LPC スペクトル (D): 二つの大きな振幅をもつ蛇行波 (undulations) があり、厳密には喉頭三角波を模擬してはいないが、ここでの実験には問題は無い。包絡線は平坦であり、これは無音韻の音声の特徴である。

² NTTアドバンステクノロジー社製 声道模型教材

旧いタイプのタピア喉笛^{こうてき}の多くでは、直径約 20mm の管の断面全てを伸展したゴム膜で覆い、ゴム膜の中央にあけた切れ目に呼吸を送り込み、この隙間で発生するベルヌーイ効果で両側の膜を震わせる、膜弁というものがあった。この弁を十九世紀の実験音声学の祖であるスクリプチュア (E.W. Scripture) は “membranous lips” ‘ゴム膜製の二枚の唇’ と呼んでいる。³ ゴム膜製模擬声帯は単純な構造をもつが、ヒト声帯の解剖学的仕組みと運動様式をかなり忠実に模擬したものであって、既に 1840～1879 年の早きに、J. ミュレル (J. Müller)、C. ミュレル (C. Müller)、チェルマク (Czermak)、ルードウィッヒ (Ludwig) によって、音声医学の実験に使われていた。⁴ この笛の音を使用者が声門閉鎖態勢で口腔に導き、上で筆者が行ったように、無言調音運動—声門閉鎖では当然無言とならざるをえないが—を実行するならば、笛の音は音声に変換されるのである。何故に声門閉鎖を維持するのか。その理由は、喉頭摘出者の代用声道は、健常者では、声門閉鎖に維持された声帯をもつ声道と、解剖学的形状において等しいからである。筆者等の管見の範囲では、この時代口腔共鳴音具と声門閉鎖を組み合わせた、かかる音声合成の実験は行われていない。⁵

さて、喉頭摘出者がタピア喉笛^{こうてき}を使い、口を言いたい言葉の構えに設定したとき、この無音韻雑音は言いたい言葉の音韻を帯びた音声へと瞬時に変わる。この〈無音韻雑音→音韻連鎖〉という変換過程で認識すべきは、その喉頭が既に摘出されているので、当然至極のことであるのだが、使用者は無言の調音運動を行っていたという点である。即ち、タピアの喉笛で言葉を話したひとは、人工的な無音韻雑音を、自らの声道の形状変化だけで、音韻情報を帯びた音声へと変換せしめた、と考えてもよいのである。

喉頭摘出者がタピア喉笛によって言葉を発するとき、母音の発声は比較的容易に行えるのだが、子音の調音では、そうではない。それを無声のものにするか、あるいは有声のものにするかに際して、使用者は大きな困難に直面するのである。無声子音の素はランダム雑音でなければならない、当然タピアの喉笛のリードの振動の生み出す周期雑音は、無声子音の音源として相応しくない。健常者の発する無声子音は、静止状態にある声帯の隙間 (glottis) を通過してくる呼気流が、口腔内の或る調音点でその場所固有の個性をもつ妨害を蒙った結

³ Scripture, E. W.: *The Elements of Experimental Phonetics*, p.257, AMS Press, New York 1973. これは 1902 年出版の同名の書の復刻版である。

⁴ 同書同頁

⁵ ハンガリア生まれのオーストリア人、フォン・ケンペレン (Wolfgang von Kempelen) は既に 1760 年頃、声道模擬機械式音声合成装置—vocal-tract analog mechanical talker—を製作している。このような音声合成器がもつ可変共鳴器の性能評価は、模擬喉頭の出す原音を声門閉鎖中の自らの口腔に響かせ、それを無言調音で音声に変える実験でしか、有効に行うことができない。同合成装置の模型はオーストリアの Deutschen Museum にある。

果、その妨害のされ方と妨害点直近の共鳴空間に特有のスペクトルをもつところのランダム雑音へと変化したものである。もしもこの子音に母音が後続しているならば、声帯はこのランダム雑音が生じてから一定の間無振動を保った後に、振動を開始しなければならない。この無音のインターバルは **voice onset time VOT** ‘声たてまでの時間’ と呼ばれるが、言語間で違いのあることが合成音節の聴取実験から判っている。例えば、合成音節 [ta] の聞き取り試験で、日本人被験者には無声子音と聞こえる **VOT** であっても、中国人被験者には有声子音 [d] で始まる [da] と聞こえることが起こるのである。

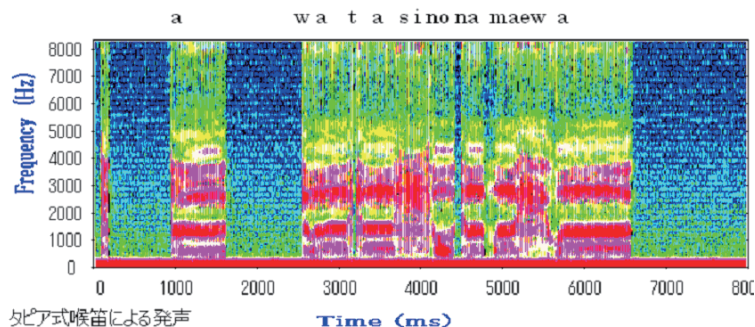
通常の発話活動では、声帯振動による周期音がそのまま有声子音の素として使われる。この周期性雑音は口腔内の調音点で妨害を受け、その共鳴空間の特性により、話者の望む独特の音色をもつ有声子音に変えられる。この場合、素としての原音を作る声帯振動が妨害の起こる“直前に”既に始まっていなければ、生まれた音は有声音としては聞き取られない。

有声摩擦音 [v] [z] のように、調音器官の狭めによって生ずる子音では、有声の呼気は調音点での狭めが確定する寸前に、その隙間を通りぬけることができ、先行有声化を起こすことができる。しかし、有声閉鎖音 [b] [d] [g] の場合のように、声道が調音点で完全に閉塞し、呼气流が動けないならば、そもそも声帯は振動を起こすことができないはずである。閉鎖が確定し、それが解除されて破裂音が生まれるその短い時間に、声帯が既に振動を起すことなど想像できないからである。しかし、実際我われは調音器官による閉塞が維持されている間であっても、声帯が短時間ではあるが振動するものであることを実感できるのである。理由は、ヒトの声道が大きさに余裕のある柔軟なチューブであることにある。声道はある程度は膨らんで、その内容積を増すことが可能な構造となっている。呼気は、声道前方にできた閉塞点から声門までの空洞が最大限まで膨らみきるまでは、声帯を震わせながら、この共鳴管に流れ込むことができる。では、その時生まれた声帯振動音はどこから聞こえてくるのか。声道は閉塞点で上下の調音器官の接触により完全に閉塞されているのであるから、その内部の音声は閉塞点から外側へは漏れるはずがないのではないか。実は、この先行する声帯振動音は、声道中の閉塞点を超えて両唇部分から外界へ放射されたものが聞こえたのではなく、喉仏の皮膚外壁の振動となって外気に伝達されたものが聞こえたのである。

かかる閉鎖調音が確定する直前に声帯運動を起こす高速スイッチ操作は、喉頭筋に対して脳が神経系を通じて行っている。当然のことながら、タピア喉笛の使用者が [b] [d] [g] を出したいならば、呼気を送り出して弁を震わせるタイミングを、閉鎖調音運動の寸前という絶妙の時点に合わせる必要がある。しかし、これは実際上不可能な技量である。手短に言うならば、人工喉頭使用者は、極めて曖昧な方法で有声と無声を設定しているのであり、生み出した合成音の有声無声の判定は、主として聞き手の側の経験的知識に委ねられているのである。

タピア喉笛音を素にして合成した音声のソノグラムを図3に示そう。このソノグラム上では、有声音と無声音の区別をつけるのは容易ではない。しかし、母音と各種の子音の在処は、我われが音声学で習得したソノグラムの読み方をそのまま適用できるので、ローマ字によってそれらを該当する箇所の真上に表記した。

A



B

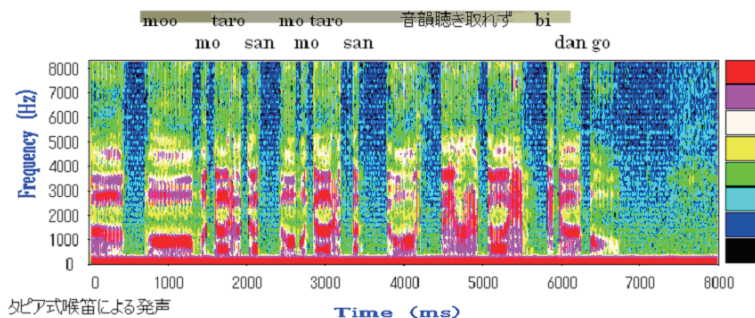


図3. タピア式喉笛（ゴム膜弁式模擬喉頭音発生器）による音声：/あーわたしのなまえわ/[a: watasinonamaewa](A). /もーもたらさんももたらさんおこしにつけたきびだんご/[mo: motarosanimomotaros an okoshinituketakibidango](B).

1-3 電動式人工喉頭

電動式人工喉頭は、電動モーターを内蔵する周期振動発生器である。しかしながら、これを電気回路によって模擬喉頭三角波を発生する、いわゆる関数発生器（function generator）と同じものである、と誤解してはならない。電動

式人工喉頭を使用する場合、振動子部分は下顎の付け根に押し付けられ、そうすることで外部から身体内部の舌根を振動させる（図1Dを参照）。舌根の振動は咽頭の内壁を震わせ、その音が声の素となるのである。

咽頭内で生じた雑音は、その場所の直ぐ下方にある食道入口を閉鎖端とし、外界方向で両唇部分を開放端とする代用声道に共鳴することになる。食道入口は頸椎 C4 と C5 の辺りで、声帯と同じ高さにくる。健常者では、食道入口は食物がそこを飲み下されるときを除き、喉頭後壁と背骨に扼されて常に潰れている。この構造のおかげで、代用声道の寸法は健常者のものと一致することになる。欧米の成人男性で約 17~18cm である。

喉頭摘出者が無言調音運動を行うならば、この無音韻の原音は、両唇と食道入口間の共鳴管内を往復するうちに、代用声道の形状のもつ共振特性を帯び、実行中の無言調音運動にはほぼ対応する音声へと変換されることになる。人工喉頭の使用で決定的に重要なのは、ヒトの食道入口が声帯と同じ高さにあり、通常は潰れた閉鎖端となっていることである。これこそが、タピア式、電動バイブレーター式、また次に述べる食道起声方式によって、喉頭摘出者をして発声能力を回復せしめる理論的前提となっているのである。

図4のような、音声学で使用される顔の断面解剖図の多くでは、食道は空洞として描かれているが、これは音声生成の基本原則を教授するには、実に不適切である。

黒い部分が有効な共鳴腔: 17cmを超える



図4. 声道の不適切な描写：この声道は食道に連続しており、これでは開管 (open pipe) であるので、声道は原音に音韻を付与する能力をもたないことになる。

このような開管 (open pipe) の共鳴管は、無音韻原音を音声へと変換する能力を、そもそももたないからである。健常者では、その食道は声帯と同じ高さの位置で潰れており、もしも息をこらえて声帯を閉じ続けたならば、そこには、両唇という一端で外界に開放され、その反対側にある端で、声門と食道入口の両者によって同時に閉じられた、一本の閉管 (closed pipe) が出現するはずで

ある。これこそがひとの発声機構の要であり、人工喉頭の機能を保障する音響管の構造なのである。図5に第7頸椎で切断した人類部の断面図を示そう。

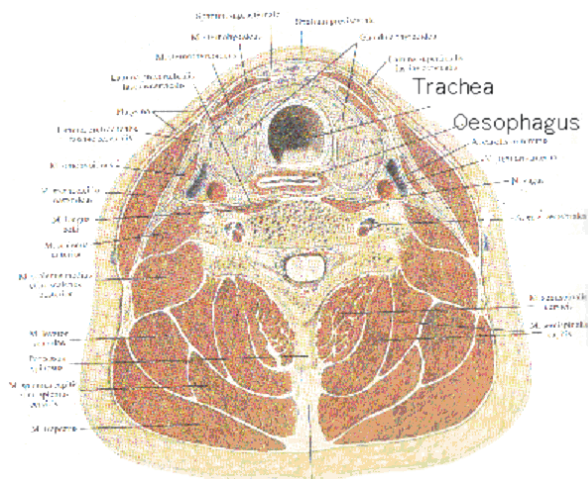


図5. 人類部を第7頸椎(C7)の高さで切断した時の食道の状態：食道(oesophagus)は気管(trachea)と頸椎によって挟まれ、常に平たく潰れた状態にある。⁶

電動バイブレーター式人工喉頭は身体の外側に振動発生部があるので、そこからの雑音が口から放射される出力音声に被さることになる。このことは聞き手の側の音韻判定に悪影響を与える。また、有声音が無声音かの違いを生み出すには、調音運動の開始の直前、最中、直後という大変微妙な時刻時刻で、バイブレーターのスイッチ操作を手動で行うことが求められるが、これは実際上習得不可能な手技である。実際の場合では、タピア喉笛の使用の際に行われるのと同じように、VOTは大雑把な方法で行われているにすぎず、生み出される音の有声・無声の判定は、主として聞き手の側に任されていると言えよう。この人工喉頭で生み出された音声の声質は、タピア喉笛で生み出したものに比べ、劣ると言われている。図6に電動バイブレーター音を素にして作った合成音のソノグラムを示す。周波数の低域に濃い模様が現れているが、これは下顎の付け根におし当てたこの装置からの原雑音が、口の前に置かれたマイクロフォンに侵入したことによる。これが合成音の音韻判定に重大な悪影響を及ぼしてい

⁶ Sinelnikov, R. D. *Atlas of Human Anatomy I*, p.304. Mir Publishers Moscow (1988)

る。

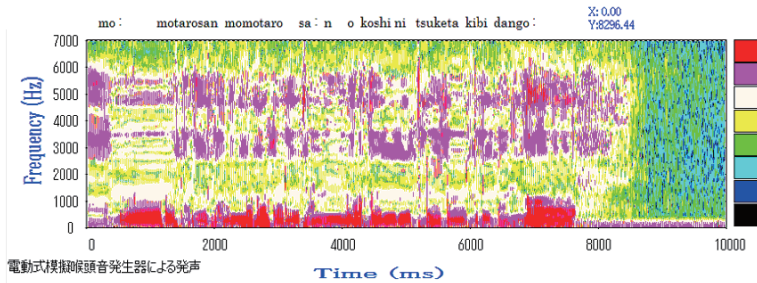


図 6. 電動バイブレーター音を素にした合成音のソノグラム：発声例は/もーもたらさんももたらさんおこしにつけたきびだんご/ [mo: motarosan momotaran okoshinitsuketakibidango]. 周波数領域で 0～1000Hz に被さる強い雑音は、外部からマイクロフォンに侵入した振動音である。

1-4 食道起声による発声

上図で指摘したが、ヒトの食道入口は喉頭後壁と頸椎に挟まれて潰れた構造となっている。それによりヒト声道は両唇で開き、同じ高さにある食道入口と声門部分とで共に閉じた、閉管構造となっているのである。声帯振動は食道入口と同じ高さで起こるので、喉頭摘出者がこの食道入口を暖気の吐き出しによって震わせたとしたら、その雑音 (burp noise) は声帯振動の代用音となるであろう。日常の礼儀作法ではこの方法は下品極まりないものであるが、“げっぷでしゃべる”遊びは、子供によってよく行われるものであった。そして、これは喉頭摘出者によって行われる食道起声 (esophageal phonation) による発声と同じものである (図 1 C を参照)。

食道は平たく押し潰された筋肉であるが、食道起声によって生み出した音声には、筋肉である声帯で生み出した声と同じく、自然性がある。熟練により、暖気の放出の強さと食道入口の緊張度を制御することができ、それによって原音の振動数を変え、最終音声にピッチ変化を盛り込むことが可能となる。欠点は、食道入口から下側の食道に溜め込むことのできる暖気の量が少なく、凡そ一句の発声毎に空気を飲み込まねばならないこと、VOT の設定が容易ではないこと、そして習熟が大変難しいことである。

健常者の話者では喉頭原音の声道上の発生位置は、喉頭内部の声門部という閉鎖端にあるが、上で言及した喉頭者摘出者でタピア式人工喉頭を使うひとでは、原音の発生位置は開放端にごく近い口腔内部にあり、他方、その振動子を

下顎の付け根におし付け、身体内側の咽頭壁に間接的に振動を生じせしめる電気振動式人工喉頭を使うひとでは、閉鎖端—この場合は食道入口—の近くにある。両者の位置の違いは成人で約 17cm にも達するのだが、それは母音の音色の大きな違いとして現われることはない。

第2章 摩擦音を音源とする人工喉頭の可能性

2-1 囁き声を含む音韻情報の豊かさ

これまで述べてきたタピア喉笛と電動バイブレーター式の人工喉頭では、その音源は人工的な周期性の無音韻雑音である。数学的には、この原音 G を使用者の声道伝達関数 $f(x)$ に代入し、時々刻々得られる解の値 $f(G)$ が合成音声であるのだから、人工喉頭による話者に於いては、喉頭音源情報 G と声道伝達特性 $f(x)$ が完全に分離していると言えるのである。このように、音源情報と伝達関数とが分離している、あるいは分離している状態に近い、音声の例を日常に求めるならば、囁き声による発声が挙げられよう。

日常生活では、囁き声で会話を行うことが起こるが、囁き声というものは非周期性のランダム雑音を音源とし、それが話者の声道伝達特性によって覆われた結果生まれた音声である。音源情報は極端に希薄であり、囁き声を聞くことは、話者の声道伝達特性そのものを聞いているに等しい。しかし、音源情報の希薄さにも拘わらず、囁き声はある程度のピッチ情報と、かなりの程度の音韻情報を積載しているものである。否、ピッチや音韻情報どころか、その囁き声の主が誰であるかの、話者同定をも可能にする情報をも積載していると言ってよい。

欧州では既に 1840 年頃から、ヒト喉頭の解剖学的知識を基に、音声生成の機序に関する研究がなされている。母音の音色の違いが声帯振動の違いそのものに由来するという、当時の考えを実証しようと、死体から摘出したヒト喉頭を実験材料としたが、その実験の有様は次のように大変科学的なものであった。まず、頸部から切り離された喉頭が支持台に固定され、喉頭の下方の切り口にパイプが挿入される。⁷ 実験者はそこから死者の喉頭に息を吹き込み、喉頭をして人為的に“言わしめる”のが目的である。次に、声帯を駆動する様ざまな軟骨に付着した筋肉に錘を掛け、それによって声帯を内転せしめる。最後に、取り付けたパイプから息を喉頭に吹き込み、声帯を振動せしめる。錘の重さを順次変えながら、息を送り込み、喉頭の上部から生み出されてくる“母音”—実際は母音ではなく、喉頭原音に近い音—と、錘の関係を定量的に把握しようというのである。

彼らの得た結論は、喉頭付随の筋肉や軟骨の仕組みが、いかに複雑精妙に見

⁷ *Tone* (ed. by Victoria A. Fromkin, Academic Press, 1978) 掲載 John J. Ohala の論文には、Müller の論文が引用されているが、その銅版画では、現代の我われの感覚から見て悪趣味と思われるのだが、仮面が死体から取り出した喉頭に被されている。

えようと、母音の生成には関与しないというものであった。そして、かかる結論を支えたものこそ、声帯振動の関与しないはずの、囁き声の母音が異なる音色をもつという、厳然たる言語事実であった。この科学的実験の結果と囁き声の考察とから、母音の相異なる音色の生まれる仕組みが、声帯そのものの振動様式の違いにあるのではなく、喉頭より上部の声道の形状変化に由来するのではないかという考えを導くのである。

囁き声の原音は、ごく接近してはいるが静止状態にある声帯の間を、呼気が無理に擦り抜けるときに生ずるランダム雑音である。ならば、このランダム雑音を人工喉頭に原音として組み込むならば、喉頭摘出者は非周期性雑音を原音とする喉笛を使い、囁き声を出すことができるのではないか。健常者の囁き声は十分な音韻情報をもつのであるのだから、装置によって増幅するならば、合成囁き声で会話することも可能となるのではないだろうか。

図7に通常の発声による発話と、囁き声による発話のソノグラムを示す。ソノグラム左半分の通常発話“*This is a church*”は、基本振動数 F_0 とその倍音群、および高い周波数の非周期性雑音から成り立っている。一方、ソノグラム右半分の囁き発話“*This is a church*”は、調音音声学的に見れば、非周期性雑音のみから構成されている。通常発話では低周波領域に高いエネルギーの倍音が密集しているのが特徴であり、囁き発話では同じ領域でのエネルギーの希薄さが特徴である。しかし、中域と高域では時間の流れに沿い、左右で類似する模様が現れており、およそ同一の発話が行われたことを明瞭に示している。

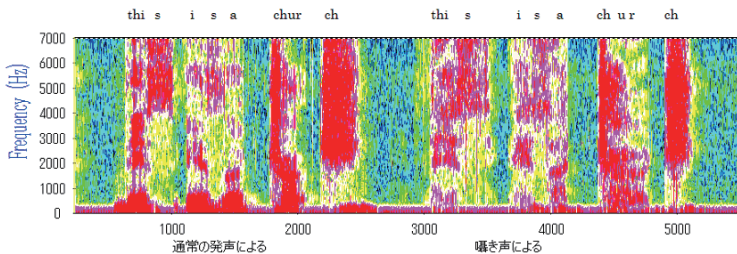


図7. 通常の発声による“*This is a church*”のソノグラム(左)；囁き発声による“*This is a church*”のソノグラム(右)。

2-2 摩擦音を音源とする人工喉頭は北宋時代の中国にあったのではないか

中国北宋時代の文献、『夢溪筆談』には、喉の病で発声能力を失った人が、ある笛を喉の中に置いたところ、それで話をする事ができたとする興味深い挿話が載っている。タピア喉笛のように、その弁が周期音を生み出すものであったのか、それともアイヌ口琴ムックリのように、その風舌が摩擦音を生み出すものであったのかは、絵がないために想像するしかない。しかし、今から凡そ一千年もの前の時代に、人工喉頭に似た音具があったことに驚かざるをえないのである。日本の『古事類苑』に収録された、その話は次のようなものである：

〔名物六帖 器財三 玩好遊戯〕 類叫子サルマツノフエ

夢溪筆談 世人以竹木牙骨之類類叫、置之喉吹之、能作人言、謂之類叫子、嘗有病瘧者、為人所苦、煩冤無以自言、聽訟者試取叫子、令呼作聲、如傀儡子、粗能弁其一二、其冤護申、此亦可記也

要旨

世間には、竹、木、牙、骨等で喉一類 san は日本語では額を意味するが、中国語では喉を意味する一の笛一叫子 jiaocu は笛を指す一を作った人がいる。それは喉の中に置くと人の声を出したという。類叫子と呼ばれた。言葉を言うことのできない病の人が、他人に罪を着せられたが、喉の病の故に弁護する言葉を出せなかった。この笛の噂を聞いたことのある、訴えを聴く役目の人が、この笛をこの哑者に与え、それで言葉を作らせた。出てきた言葉は、傀儡子の声のように騒がしいものであったが、弁護の役にはたった。彼は無実を申し開くことができたのである。こうしてこの話も（本書『夢溪筆談』に）記録しておくべきであろう。

記述は北宋の沈括(著)『夢溪筆談』中の「類叫子」の項からの引用である。⁸ この濡れ衣を着せられた人物の喉の病がなにであったにせよ、彼は喉頭摘出者では勿論ない。喉頭摘出者でない彼が笛の原音を自らの無言調音運動で音声へ変換するには、彼は調音運動の実行中、その声帯をしっかりと閉じ合わせていなくてはならない。さらに、笛の原音は共鳴音であってはならない。つまり、問題の叫子（笛）は、フルートのような楽器ではなく、タピア喉笛のように弁を震わせて周期音を出すものか、アイヌ口琴のように風舌式で摩擦音を出すものかのどちらかである。

『夢溪筆談』の記述には、声門閉鎖を示唆する語句は見えない。声門閉鎖調

⁸ 『古事類苑』【遊戯部】〈兒戯具〉頁 1257

音は、健常者が口腔共鳴音具の雑音を音声に変えるためには、必須の調音運動である。訴えられた人がこれを知っていたのか、それとも役人が知っていたのだろうか。筆者等は、中国語音韻体系のある通時的特色と、北宋という時代の音韻体系が蒙ったある共時的特色の二つが協同し、この音具の使用者に声門閉鎖調音の重要性を気づかせた、と想像するものである。一つは、歴史的に中国語には声門閉鎖音で始まる音節が多々あることであり、二つは、北宋代の入声韻尾 /p, t, k/ は、唇、歯茎、軟口蓋の三つの区別を失い、3 音素皆一様に声門閉鎖音素—『廣韻』などの中国の韻書では、声門閉鎖音は「影」の字で表わす—に推移し、例えば、C·V·p~C·V·t~C·V·k は全て C·V·? と発音されるようになったことである。⁹ あの訴えられた人物の言いたい言葉が、声門閉鎖音で終わっても、あるいは始まって、その局面では声帯は自動的に閉じられる。そして、声帯が閉じられるや否や、叫子の発する無音韻の原音は瞬時に音韻を獲得したことであろう。

2-3 “頼叫子”は口琴か

上記の北宋の時代の発声用の笛が、摩擦音を生み出す仕掛けの口琴の一種であったことは、明清時代の民族誌所載の口琴に関する記述からも納得できるように思われる。そのような民族誌の一つ、『東西洋考』には東蕃—大陸中国から見て、「隣接して住む東方の民族」の意味で、ここでは今の台湾の非漢系民族を指す—の風習が記されているが、その条には、想いを寄せる女性の家の外で夜中、男が口琴を鳴らすと、女性はその音色を聞き分けた上で、人物を同定し、彼を室内に招き入れる云々、という場面が描かれている。¹⁰

東蕃考

雞籠淡水

雞籠山淡水… 刺紋男子惟女所悦娶則視女可室者遣以瑤瑤一雙女不受則他往受則夜抵其家彈口琴挑之口琴薄鐵所製鑿而鼓之錚錚有聲女延之宿未明便去

要旨

(台湾の) 雞籠山淡水…の男子は、妻にしたい女性に瑤瑤の装身具を贈る。受け取ってもらえないならば、男は去る。もし女性がそれを受け取れば、夜その家を探りあて、口琴を鳴らし「僕…だよ」と彼女を挑発する。口琴は薄い鉄製で、歯でくわえて弾くと、錚錚という音が出る。明け方になって男は去る。

⁹ 藤堂明保『中国語音韻論』頁 173 光生館 (1980)

¹⁰ 原文は『叢書集成新編』〈九十七〉頁 552 (台北市新文豊出版公司刊) に読むことができる。

明代の台湾の山中では、夜灯火も少ないことであつたろう。外の闇の中から聞こえてくる口琴の音色を聞いて、その人物が自分の男であると判定させたのは、そのどのような特徴であつたのであろうか。リズムとか旋律などのもつ、彼女には馴染みのある個人的特徴がそのように判定させたのであろうか、それとも奏者が口琴で自分の名前を名乗つたのであろうか。筆者等は、彼が口琴で自分の名を、囁き声に似た声で名乗つたのではないかと考える。別の民族誌『蕃社采風図考』の〈口琴〉の項には次のように、ひそひそ声（囁き声）を意味する「私語」という表現があるからである。¹¹

蕃社采風圖考六十七纂 口琴

削竹為片如紙薄長四五寸以鐵糸環其端銜于口吹名曰口琴又有制類琴狀大如拇指長可四寸窪其中二寸許釘以銅片吊繫一柄以手按循唇探動之銅片間有聲娓娓相爾 女麻達于朗月清夜吹行社中番女悅則和而應之潛通情夏待御有詩云不須挑逗苦勞心竹片沿絲巧作琴遠韻低微傳齒類依稀私語夜來深

（下線は筆者による）

要旨

口琴は竹を薄く削った四五寸の細長い片であり、その一端には鉄糸が環として貫かれている。親指大の琴に似せて作ったものもある。琴体に挟みがあり、そこに二寸程の銅片が嵌め込まれている。銅片の間から娓娓という音色がする。月の美しい夜にこれを吹き、村内をねり歩く。親しい間柄の女性はそれが誰の吹くものか分かる。よって逢引の約束を交わすことができる。これに関連するこんな話がある：待御の官職¹²にある夏という人がこんな詩を作った。「女の子には甘い言葉を口で言う必要はない。口琴の薄い音色は他の人には聞こえないが、歯と頬の様に近い間柄の人同士には誰が吹いているかがよく伝わるのである。巧みに製作された口琴の声色は高下に響き、二人は他人には聞こえないひそひそ声で会話することができる」。

口琴が人の声を出したことを暗示する上の記述は、この音具の音色を象徴的に表現したものなのだろうか。そうではない。これらの挿話は、叫子や口琴が人の声を出すアクチュアルな事実を述べたものなのである。その証拠として、図 8 に、ごく薄い黄銅片から切り出して製作した口琴による合成音声 /ぼくわやはぎです/ のソノグラムを、原雑音および倍音構成とともに挙げよう。この口琴の原雑音は摩擦音そのものであり、囁き声と同じように非周期性雑音をそ

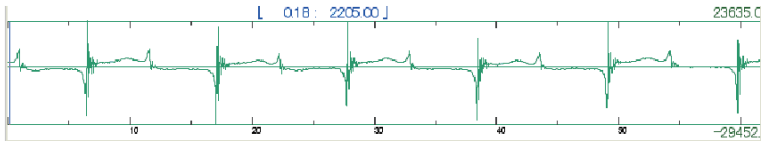
¹¹ 原文は『叢書集成新編』〈九十一〉頁 237 に読むことができる。

¹² 「侍御は侍御史の略称で、検察官に相当する職」（頁 339）。前野直彬註解『唐詩選（中）』2000 年（岩波書店）。

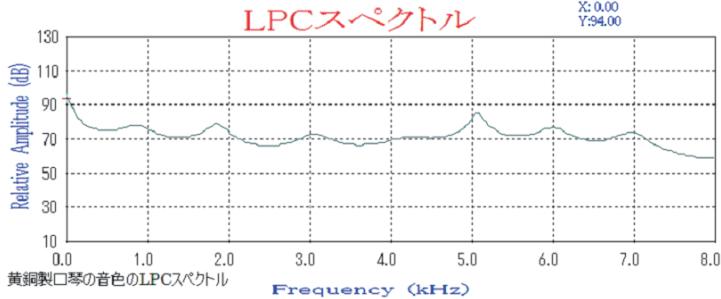
の素材としているものである。この口琴による合成音からは [bokuwa yahagidesu] という音声を聞き取ることができ、その上ソノグラムにはこれらの音韻情報に対応するフォルマント軌跡を同定できるのである。

A

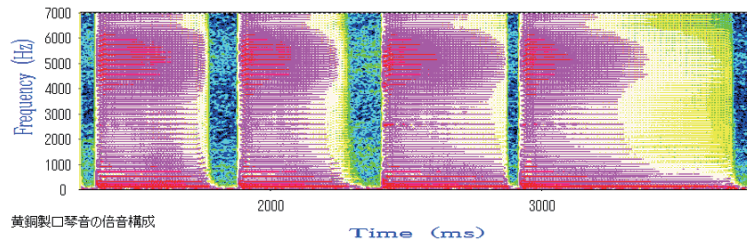
黄銅製口琴の出力音波形



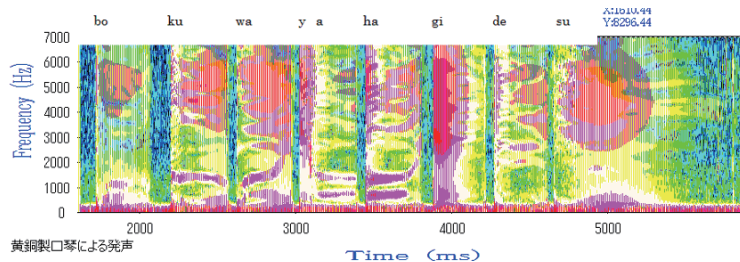
B



C



D



E

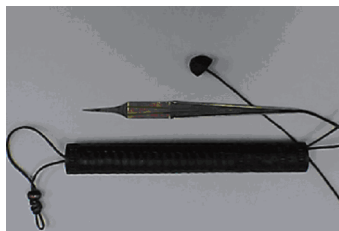


図 8. 黄銅製口琴の原音の波形 (A) と倍音構成 (B,C), および無言調音運動 /ぼくわやはぎです/ [bokuwa yahagidesu] によって音韻情報を付与した例 (D), 使用口琴の写真 (E).

この口琴による発声方法を人工喉頭に応用することは、自然な考えである。しかし、この合成音声を手電氣的に増幅するだけでは、良好な音声は生まれない。様々な子音の固有の帯域に注目せず、声のスペクトル包絡全体を漫然と増幅するのであれば、しばしばその音質が悪化することが起こるのである。

さて、口琴による紛れも無い発声の事実があることを考えるならば、『夢溪筆談』の喉を病む啞者も、闇夜に逢引相手の男を同定できる女も、実は口琴によって言葉を交わしていたのだという推測は、十分根拠のあるものとなる。更には、音声学を学ぶものはかかる民族誌に、真剣な注意を払うべきである。

ついでながら一つ捕捉しておきたい。健常者が口琴の奏者である場合、口腔共鳴音具をして発声せしめるには、奏者は自らの喉を閉鎖しておかなければならないことは、これまで折に触れて指摘した。アイヌ語で口琴はムックリまたはムクンと言うのであるが、筆者の一人(下村)はその名称派生の有様を、① {kut 喉が + muk 塞がる} という文が、② 分詞構造 {muk~muu 塞がっている + kut 喉} に変換され、さらに、③ 名詞 ni に複合して {{muk~muu 塞がっている + kut 喉} + ni~ri 木の楽器 (n ⇔ r)}, になったと推定している。¹³

2-4 声門と食道入口との密接な位置関係

口琴をはじめ口腔に雑音を投入して、それらの原音を口腔内容積の変化で変調せしめて楽しむ音具遊びでは、奏者や喉声の受け手が自らの声帯をしっかりと閉じ合わせて調音運動を行ったときにのみ、本来無音韻の原音は音韻を帯びた声に変換される。この場合、行われる口腔調音運動は、声帯が閉じられてい

¹³ 下村五三夫『アイヌ発声口琴習俗の研究』(アイヌ文化振興・研究推進機構助成出版). ノース・アカデミー(2005年2月). 頁124. 表記を一部改変.

るために、必然的にパントマイム調音とならざるをえない。口琴音を音声へ変換している途中、実験者が声門閉鎖を解除し、喉を楽に息のできる態勢に戻すとき、それまで聞こえていた音韻が直ちに消失する。このことから、声門閉鎖が無音韻の原音への音韻情報の賦与に、決定的な役割をもっているものであることが認識される。

しかしながら、意図的な声門閉鎖のみが音韻生成を可能ならしめているのではない。我われの声道と食道では、前者の声門と後者の食道入口が C4 や C5 と呼ばれる頸椎と同じ高さにある。声門は普段は呼吸のために最大に開いている。一方、食道入口は、前方からは喉頭後壁により、後方からは頸椎と筋肉によって強く圧迫され潰れており、常に絞まっているのである。この構造のおかげで、食物が胃の噴門方向から逆流することが防がれている。しかし、この解剖学的事実こそが、我われが声門を閉じるだけで、声道が唇部分で開き、声門と食道口の双方が同一端で閉じた、一本の閉鎖音響管となることを保証してくれると言えよう。

勿論の事、発声中の声門は開閉運動を行っているのであって、厳密に表現するならば、声道は声門開の相では開管である。しかしその場合でも、開口面積はその周囲の声帯襞面積の 1/4 以下であり、このような狭い隙間は、声門パルスのような強い気流の内行波一唇部で顔の外側の空気に反射し、喉頭方向に戻る波のこと一に対しては、“目には見えない流体力学的ゲート” (invisible aerodynamic gate) として振舞うのであり、声道全体の挙動は閉管のものと同一である。

一方、口琴のパルス流は声門パルス流に比べてその音響エネルギーは非常に弱いものである。口琴原音が唇方面から口腔に投入され、咽頭を経て喉頭に入り、声門に達したところには、それは極度に減衰している。このエネルギーの弱まった口琴パルスは、わずかに開いた声門さえも容易に通過し、喉頭下腔に入り込み、やがて消滅してしまうであろう。つまり、息の通るほどの小さな声門であっても、もはや口琴パルスを反射せしめることができず、口琴原音はそこを気管支方向へすりぬける。この場合の声道は 17.5cm を大きく超える長さをもつ共鳴管であり、もはや口琴原音に音韻を付与することはないのである。

音声学の教科書は声門開口度と喉頭内径面積との大きな差に注意を払わない。その上、咽頭は食道と繋がった一本の管として描かれることが多い。これは音声学の初学者に、声道が咽頭からは喉頭と食道管の二つに分岐するかのような、重大な誤解を与えるものである。咽頭は食道入口で背骨と喉頭後壁によっておし潰されておられ、解剖学教室での解剖死体の頸部の観察の際、その食道入口に指を挿入すると、喉頭後壁と背骨とから強い圧迫を受けるほどである。¹⁴ 音声

¹⁴ 筆者等は札幌医科大学解剖学教室に於いて、乗安整而教授の指導の下、ヒト声道と咽頭喉頭部の詳細な解剖学的観察を行った。乗安教授に心からの謝意を表わしたい。

生成の基本であるモデルが閉管であることは、解剖観察によって実感されよう。図9に筆者等が提案する、閉管声道モデルと声門の流体力学的ゲートとしての挙動を表わす概念図を示す。

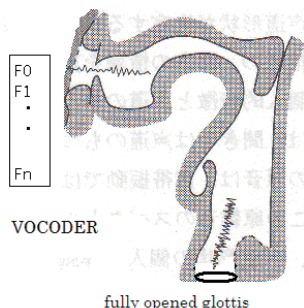


図9. 声道は両唇部分で外界に開かれ、頸椎 C4-5 の高さで閉じた閉管である：声道内部に生じた波は両唇部分では外気によって跳ね返され、閉鎖端では両声帯と声門によって反射される。開いた声門であっても、それはそこを通過する流体の速度に応じて、“目には見えない流体力学的ゲート”として機能するのである。（Flanagan 1972, p.189, Fig.35a の声道輪郭を下絵として使用した）

第3章 摩擦音源人工喉頭を VOCODER に連結する

3-1 VOCODER とは

上で、中国北宋時代の民族誌の挿話に刺激を受け、黄銅製口琴による発声実験を試み、その合成音の例を示した。基本周期の音色を欠く、この合成音声は凡そ囁き声と同じものと考えてよいだろう。そのソノグラムには、エネルギーは低いものの、F1 と F2 の軌跡が鮮やかに描き出されている。また、子音領域でも子音特有の模様が痕跡状に現われている。この有り様を見ると、口琴の出す摩擦音の分布模様に、奏者の声道伝達特性の時々刻々の変化（momentary transition）が、まるで「影絵」のように映し出されているかの如くである。影絵を陽画に変換する方法はないものであろうか。合成音全体を電氣的に増幅しても、得られる音声はむしろその音質が劣化する場合が多く、全く別の方式が必要とされる。

我われは、声道伝達特性と喉頭音源特性とに分離し、再合成する VOCODER という装置に注目する。囁き声をこの装置に通すならば、その変調された出力音声はどのように聞き取られるのであろうか。この実験の結果は、囁き声には存在しないはずの有声音が、再合成された音声に聞き取られる場合がある、というものであった。囁き声は周期性喉頭音源をもたず、音韻情報に相当する声道伝達特性だけをもつとされる。しかしこの場合、VOCODER の基本周波数検出回路は、明らかに、囁き声から抽出分離されたスペクトル成分の低域に潜む或る成分から、F0 に相当する信号を検出し、その信号の持続時間分、内蔵の関数発生器に対し、スペクトル包絡に人工的周期音の投入を指令した、と考えられるのである。

口琴による発声が可能であって、この音声は原理的には囁き声と同じ音源素材に基づくものであり、その上音韻情報を含むという事実は、この音具が人工

喉頭として応用できることを示唆するに十分である。口琴発声も囁き発声も、その意義は音源素材としての摩擦音のもつ、声道伝達特性の効率良い‘吸着する’能力であろう。摩擦音を音源とする人工喉頭があり、その音源が吸着した声道伝達関数を **VOCODER** に導き、低中高域の帯域濾波器のパラメーターを適正に設定するならば、**VOCODER** からは有声・無声の区別がなされた音声列が復元されるのではなかろうか。

ところで、この **VOCODER** というシステムは、当時使用料が高額であった、米国・欧州間海底電話ケーブルを経済的に使う目的で、米国ベル研究所の研究员、ダッドリー (H. Dudley) によって 1939 年に開発された装置である。**VOCODER** には多くの種類があるが、本論文の分析で使用した古典的なチャンネル型ヴォコーダーの概念図を示そう。

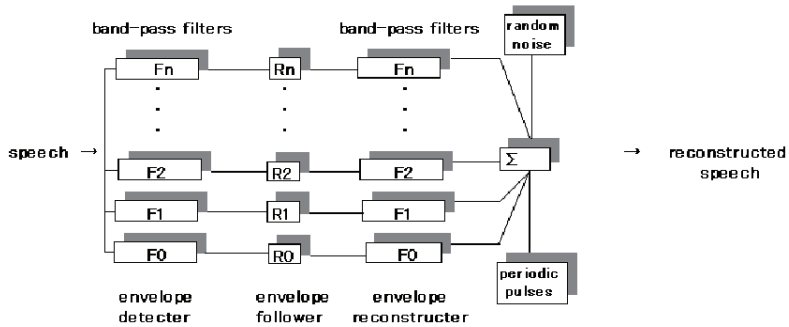


図 10. 古典的 channel VOCODER の概念図：左方の帯域濾波器群は入力音声からスペクトル包絡を抽出する。R のバンクはスペクトル包絡の追尾装置。右方の帯域濾波器群はスペクトル包絡を復元するためのもの。分析用帯域濾波器が入力音声に F0 を検知したとき、R0 はその信号を **periodic pulse generator** に送る。復元側では R0 からの信号の持続時間分、矩形波をスペクトル包絡に投入する。これが有声音となる。F0 が検出されない場合は、**random noise generator** からランダム雑音がスペクトル包絡に投入される。これが無声音となる。

欧州・米国間の通信装置としての使われ方は次のようなものであった。包絡線検出回路と包絡線追尾回路までのブロックが送信側—例えばロンドン—に置かれ、米国の受信側には包絡線復元回路と、それに内蔵された周期音・ノイズ発生器のみが置かれる。海底ケーブルで伝送される情報は、送話者の音声に含まれる声道形状情報と、有声・無声の別を示す時系列の信号のみである。入力される音声のもつ膨大な情報は、入力音声からそのスペクトル包絡を検出する

役目をもつ **band-pass filter bank** によって、声道形状情報と喉頭音源のもつ情報と二つに分離されるが、この段階で大幅な情報圧縮が実現する。この場合、喉頭音源情報が削減される効果が最も大きいとされる。

分析側の **F0** 番帯域濾波器は有声音か無声音かの識別を行うもので、ここからの信号が合成側 **Fn** 番の帯域濾波器に送られ、有声音であれば内蔵関数発生器から周期的な矩形波が、無声音であればノイズが、復元側の帯域濾波器群に投入される。両側にある個々の帯域濾波器のパラメーター設定は全く同一である。言い換えるならば、送話者の音声の声道形状情報のみが復元側で再構成され、これが‘喉頭’の役割をもつ関数発生器からの人工音を素材にして、**VOCODER** が‘話をする’ということになる。

囁き声も口琴音声も、喩えるならば、**VOCODER** の復元側で、矩形波ではなくノイズのみが再構成された声道伝達特性に投入され、その結果生まれた合成音声である、と言えるだろう。また、上に示された機構から判断して、囁き声や口琴音声がもつ声道伝達特性は、**VOCODER** の分析側と復元波側の濾波器のパラメーターを適切に設定するならば、**VOT** に類似する特徴を再構成音声に付与することができるのではないか、という期待を抱かせる。この期待が幻想ではないことを例証するものとして、以下に幾つかの通常の発話と、喉頭摩擦音を音源とする音声である囁き声を **VOCODER** に通し、そうして得た音声のソノグラムを挙げておこう。囁き声には有声音は存在しない筈だが、**VOCODER** 処理したその囁き声のソノグラムには、周期をもつ有声音として復元されたフォルマント模様が描き出されている様子が確認されるだろう。

囁き声に **F0** に相当する成分が含まれている可能性は、その生成機序からも想像がつく。囁き声の音源素材は、呼気流が狭められた声門を無理に通過する際に生ずる乱流である。声門を取り巻く声帯は筋肉組織であるので、呼気流の粘性と摩擦抵抗によって、**F0** の周期で振動させられた、と考えることができるのである（図 11）。

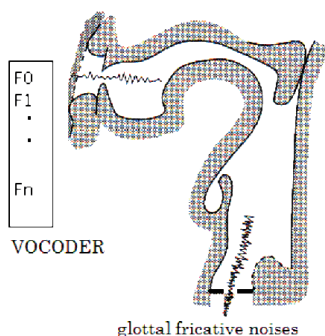
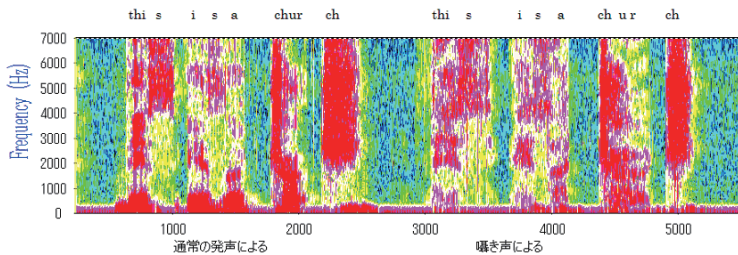


図 11. 囁き声の音源 (glottal fricative) は、声門通過に際し、声帯縁辺の **F0** (基本振動数) 相当の揺らぎを吸着すると考えた場合の図. **VOCODER** の **F0** 検出用 BPF がこれに応答する. (Flanagan 1972, p.189, Fig.35a の声道輪郭を下絵として使用した)

よって、これから先の実験は、囁き声を VOCODER で変調する方向と、摩擦音源人工喉頭を製作し、その出力音声を VOCODER によって成型復元し、最終出力音声を評価しながら、VOT の設定の可能性を探るという方向に向かわなければならない。

3-2 囁き声を VOCODER で成型する

A



通常の発声による“*This is a church*”（左）と、囁き発話での“*This is a church*”（右）のソノグラム。通常発声は喉頭原音と声道で生まれたノイズがその素材であり、囁き発声は喉頭摩擦音と声道で生まれたノイズがその素材である。

VOCODER で ↓ 成型

B

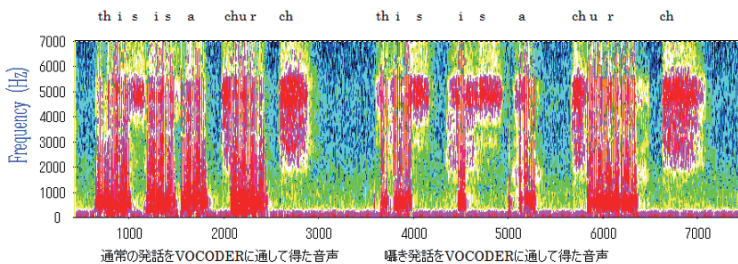


図 12. 通常発話“*This is a church*”と、囁き発話“*This is a church*”を、VOCODER で処理する前（A）と後（B）で比較したもの。囁き声は本来周期音をもたないのだが、この VOCODER 出力の或るフォルマント模様は、関数発生器からの周期音が素材となったものと考えられる。

上の A と B は、通常発話 “This is a church” と、囁き発話 “This is a church” を、VOCODER で処理する前 (A) と後で (B) 比較したものである。VOCODER 出力の音声は、フィルターバンクを通したことにより、大幅な情報圧縮がなされた結果、“ロボット音声” として聞こえる。また、そのフォルマント模様の素材は VOCODER 内蔵の関数発生器から生み出された周期音とノイズのみである。ここで注目すべきは B の右側のソノグラムである。VOCODER で処理した、この囁き声のソノグラムは、自然な囁き声には F0 以外のなんらかの代替的特徴が隠れていて、それに対して VOCODER の F0 感知機構が応答し、関数発生器から周期音を放出せしめた、と思わせるフォルマントを見せているからである。

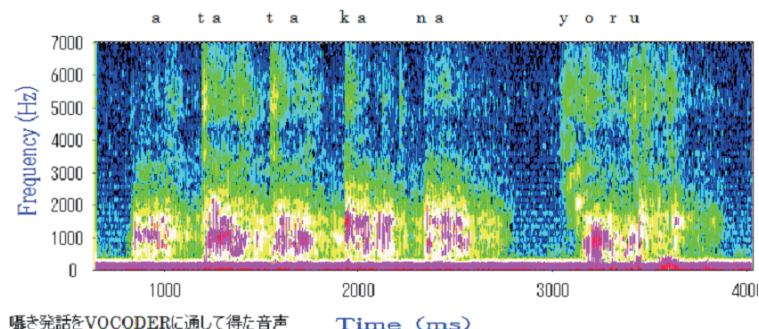


図 13. 囁き発話 “あたたかいよる” [atatakaiyoru] を VOCODER に通して得た音声のソノグラム。

上は、自然な囁き発話 “あたたかなよる” を同装置で処理した結果である。出力音声は “ロボット音声” である。この VOCODER 出力の 300~2000Hz 領域のフォルマント模様は、明らかに関数発生器からの周期音が素材となったものであることを示している。

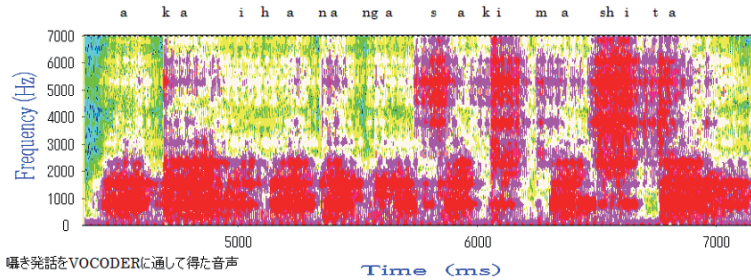


図 14. 囁き発話“あかいはながさきました”[akai hananga sakimashita] を VOCODER に通して得た音声のソノグラム。

上は、自然な囁き発話“あかいはながさきました”を VOCODER で処理した結果である。出力音声は“ロボット音声”である。既例と同様に、この VOCODER 出力の低域のフォルマント模様は、明らかに関数発生器からの周期音が素材となったものであることを示している。

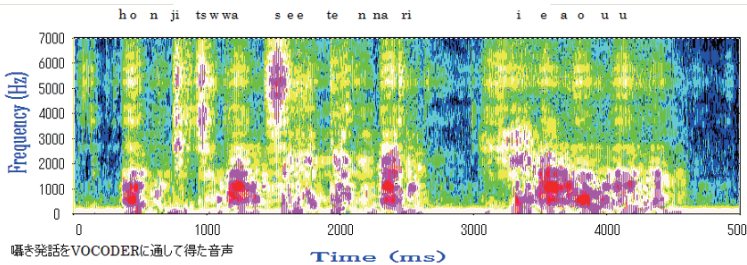


図 15. 囁き発話“ほんじつわせてんなり いえあおう”[honjitswwa seetennari ieaou:] を VOCODER に通して得た音声のソノグラム。

上は、自然な囁き発話“ほんじつわせてんなり いえあおう”を VOCODER で処理した結果である。出力音声は“ロボット音声”である。既例と異なり、低域のフォルマント模様は、関数発生器からのランダム雑音が素材となったものであることを示している。

本来周期性をもたない音源を素材とする囁き声にも、周期性を担った要素が隠れているらしいことが、上の一連の分析から示唆された。この説明としては、喉頭摩擦音が狭い声門を通過する際に、両声帯の縁辺の F_0 に等しい振動の影響を蒙った結果、ごく低域の倍音にその揺らぎが反映された、というものが考えられる。

3-3 摩擦音源人工喉頭

囁き音声の素は声門で生ずる摩擦音であるが、これらを発声している時の喉頭内部の様子は、鼻腔経由で声門直上にまで降ろしたファイバースコープや、グロットグラフ、CT、MRI 等による分析から、かなり詳細に解明されている。本来囁き声は声帯振動によらないものなので、有声音は存在せず、音声ピッチは実現しない筈である。しかし、我われの日常体験からしても、囁き声には有声音に聞こえるものがあるし、この声にある程度の抑揚付けをすることも可能である。

考えられる機構は、喉頭内部の諸器官、会厭、仮声帯、真声帯、等が協同し、声門を通過してきた気流に対して、喉頭内で組織的な妨害工作を行うというものである。¹⁵ このような喉頭内での現象の多くは、ソノグラムでは低域に独特の模様となって現れるが、これを有声音・無声音の区別に使う方法は、喉頭摘出者には使えない。喉頭は存在しないからである。しかし、音声医学を専門とする研究者の中には、multi-sliced helical computed tomography (MSCT) という先端医療機械を使い、囁き声に聴取される有声・無声子音間の音響学的な差は、舌尖を含む舌ならびに喉頭の移動によるものでありこと、またこれが CV 音節の母音部分の聴覚的な手掛かりを作り出している可能性があるとして主張する人々もいる。¹⁶ 喉頭をぬけた上部声道の形状変化の多くは、ソノグラムでは中高域に描き出される性質のものである。もしも、この変化を敏感に‘吸着’する能力をもつ摩擦音を音源とする人工喉頭があり、それによる人工的囁き声を VOCODER に接続したとしよう。その場合、VOCODER 復元回路で、該当の口腔形状を担当する周波数帯域の BPF の応答特性を上げてやるならば、声道形状の変化がソノグラムの模様の明瞭な差となって出現し、その復元音声にはその音質差が聞き取られるかもしれない。もしそれが実験で確認されるならば、有声音か無声音の識別が、基本周波数の ON-OFF によって実現されるのではなく、人工的摩擦音源を素材とする囁き声のもつ音色の違い—これは声道形状の違いに起因するものである—によって実現されるという、全く新しい人工喉頭が考えられるのである。

上部声道での機械的妨害に敏感に応答する摩擦音こそ、我われが最も望むものである。そのような雑音を生み出す模擬声門の形状がいかなるものであるのかを探る目的で、シリコン、蠟、粘土、プラスチック等による模擬喉頭を複数製作した。実験の目的は、異なる声門形状をもつ模擬真声帯が、モルガーニ室

¹⁵ 田中弘樹氏（函館大学助教授）の喉頭観察研究によれば、会厭、仮声帯、真声帯の三器官が複雑に協同運動を行い、囁き声に抑揚を付けるという。氏からのご教授による。

¹⁶ 東川雅彦・竹中洋「ささやき声における/pa/と/ba/の出し分け」（大阪医科大学耳鼻咽喉科学教室）2003年7月8日受理原稿 Internet version.

(Morgagni cavity) に相当する腔を備えた模擬仮声帯や、モルガーニ室をもたない模擬仮声帯と組み合わせられた場合、どのような性質の摩擦音を生み出すのかを探ることにある。その一つ、図 16 の模擬喉頭は、模擬真声帯を納めたパイプと模擬仮声帯を納めたパイプの二つからなり、両者は螺旋込み式で連結分離が可能となっているものである。模擬喉頭内径、模擬真声帯、仮声帯、およびモルガーニ室の寸法と相互の配置の有様は、筆者等のヒト喉頭の解剖観察の際に獲得した知識に基づいている。

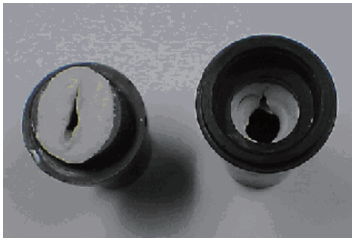


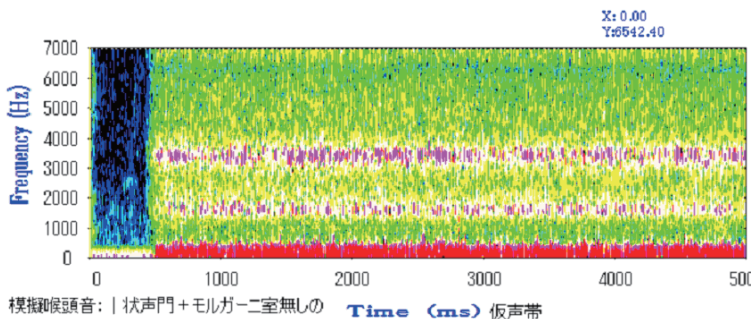
図 16. プラスチック製模擬喉頭：粘土製の模擬真声帯（写真左）と粘土製模擬仮声帯（写真右）とに分離した様子。写真左は声帯上面を仮声帯方向から見下ろした場合、写真右は仮声帯をモルガーニ室（Morgagni cavity）越しに見上げた場合である。

3-5 摩擦音源人工喉頭の特性

以下で、我われが模擬喉頭によって行った実験と、それによって得られた結果について述べることにする。

実験 1

最初の実験では、模擬喉頭に「」状の隙間（声門）をもつ模擬声帯と模擬仮声帯が納められているが、仮声帯にはモルガーニ腔に相当する抉りはほどこされていない。この状態で、声門下側から呼気を自然な強さで吹き込み、模型の出口で出力摩擦音を録音した。



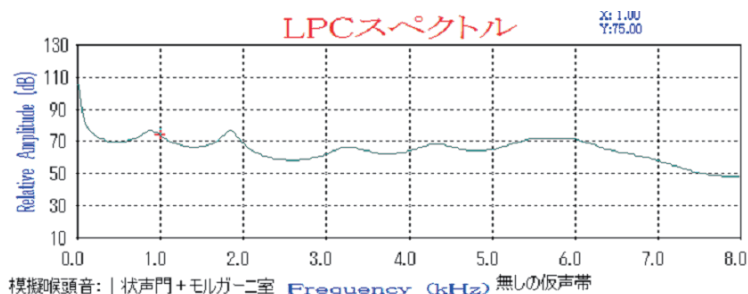


図 17. モルガーニ室をもたない仮声帯で、模擬声門摩擦音を妨害し、それで得られた摩擦音のソノグラム (上) とその LPC スペクトル.

0.8kHz, 1.8kHz, 3.4kHz, 4.3kHz の約四箇所にはピークが生まれ、4.0kHz～5.3kHz には楕状の盛り上がりが見られる。

実験 2

この実験の目的はモルガーニ腔の働きを探るところにある。模擬仮声帯の下方には挟りを設けており、これをモルガーニ室に対応させている。

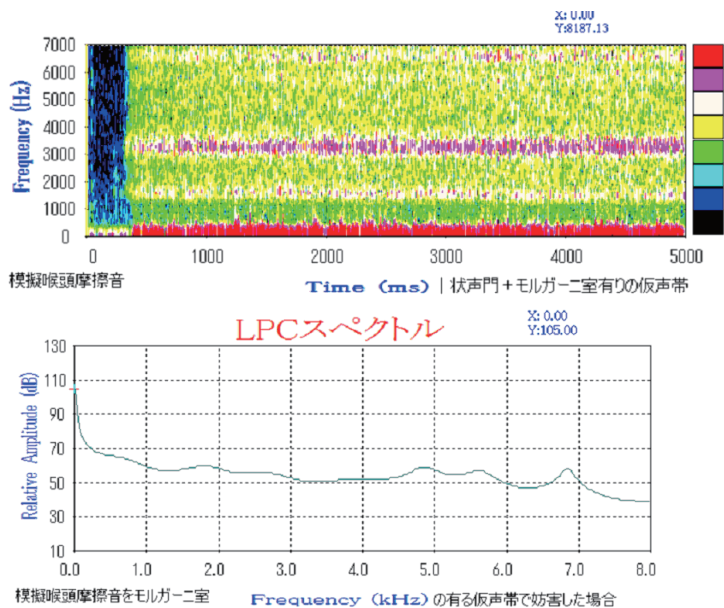


図 18. モルガーニ室に相当する挟りを設けた仮声帯で、模擬喉頭摩擦音を妨害し、それによって得た摩擦音のソノグラム (上) とその LPC スペクトル (下).

モルガーニ室の働きは、音響エネルギーを低域と中域で平坦化し、歯擦子音 [s] の周波数帯域でもある高い領域に、鋭いピークを生み出すもののように見える。しかしながら、この様な狭い腔は、進入してくる気流の速度によって、その振る舞いを大きく変えるものであるので、模擬声門下方から吹き込む呼吸の強さを、組織的に変えての実験が必要であることは言うまでもない。

実験 3

ところで、ヒト喉頭内部の真声帯と仮声帯の配置は、お互いが平行するように、喉頭内壁に張り出している。この配置には意味があるのであろうか。模擬喉頭を使うならば、模擬の真声帯と模擬の仮声帯を、お互いが交差するように配置することが可能である。以下は両者を交差するように配置し、呼吸を自然な強さで送り込んだ場合の出力音の分析結果である。

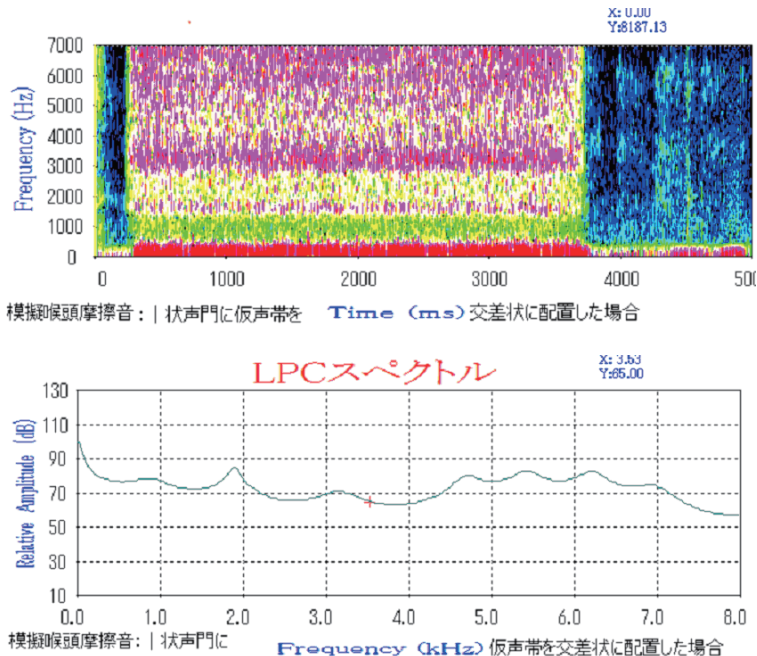


図 19. 模擬喉頭内部で、模擬仮声帯と模擬真声帯を意図的に交差するように配置した場合の出力摩擦音の分析：最終出力摩擦音のソノグラム（上）とその LPC スペクトル（下）。スペクトル包絡に多重フォルマント構造の現われるのが特徴である。

スペクトル包絡には1.8kHz, 3.3kHz, 4.8kHz, 5.4kHz, 6.3kHzの5箇所ピークが現われるが、この成分構成自体は浪曲師の所謂だみ声や、西南シベリアのトゥーヴァ民族の喉歌のうち、カルグィラア *kargyraa* (←[チュルク語] *karga* 交霊する + *yraa* 歌) という形式の歌にも見られるものである。これについては、筆者等のうち下村 (1991) ¹⁷ を参照されたい。

実験4

この実験の目的はモルガーニ腔が周期音源に対してどのように振舞うのかを探るところにある。以下に、モルガーニ室の無い仮声帯による妨害で得た音声の分析 (A) と、モルガーニ室を設けた場合の音声の分析 (B) を示すことにする。両方の実験では、タピア喉笛がそのまま真声帯の代用物として使用されている。

A

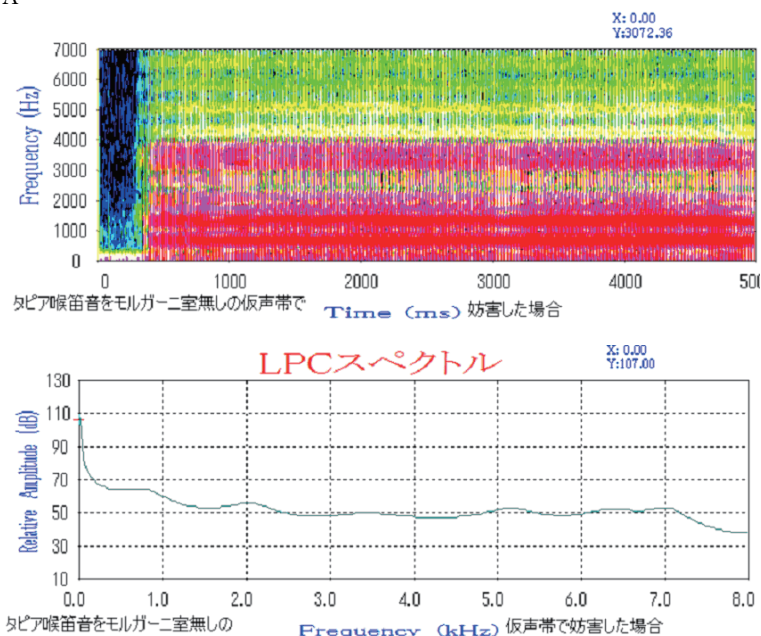


図 20A. モルガーニ室無しの仮声帯でタピア喉笛からの周期音を妨害した場合：それによって得た最終出力音のソノグラム (上) と、その LPC スペクトル (下)。

¹⁷ 下村五三夫「トゥーヴァの喉声歌唱の分析」『音声学会会報』(第 196 号) 日本音声学会

B

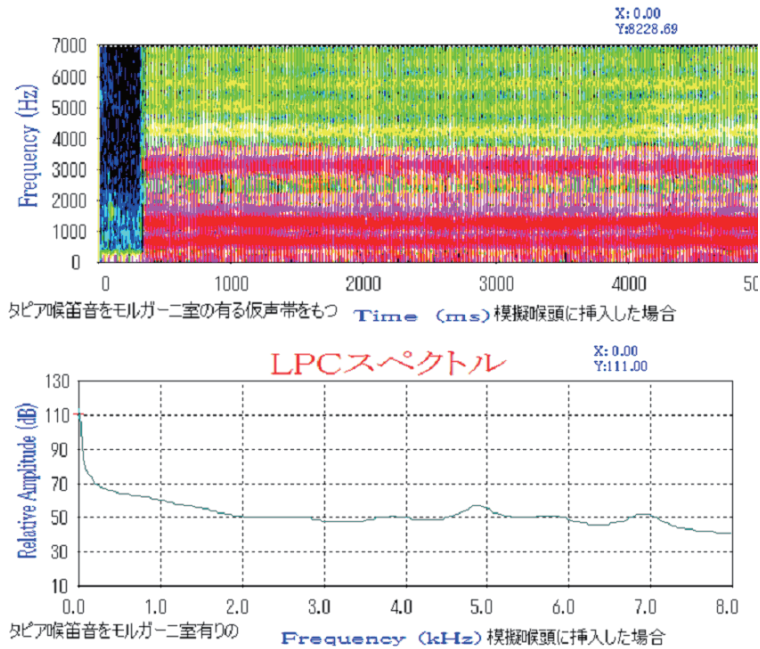


図 20B. モルガーニ腔をもつ仮声帯でタピア喉笛からの周期音を妨害した場合：それによって得た最終出力音のソノグラム（上）と、その LPC スペクトル（下）。

A と B を比較した限りでは、モルガーニ室は周期音に対して、有意な影響を及ぼさないものであるように見える。しかし、実験 2 で指摘したが、進入してくる周期音の強さを組織的に変えての実験が必要であるように思われる。

3-6 摩擦音源人工喉頭による合成音声 VOCODER に通す実験

次に、摩擦音源人工喉頭による合成音声を VOCODER に通す実験のうち、興味深い例を紹介する。使用した模擬喉頭は、聴覚上良質の音韻情報をもつ出力音声の素材となる種類の摩擦音を生み出すもので、その模擬声帯を縦に切り開いた様子を図 21 に示す。両模擬声帯はほぼ 2mm の隔たりをもち、約 2cm にわたって狭窄している。この実験ではモルガーニ室をもつ模擬仮声帯も、モルガーニ室をもたない模擬仮声帯も、実験の条件を単純にする目的で、いずれも装着されていない。呼吸は使用されず、軟らかい風船の圧縮空気をその代用とした。模擬喉頭の出口には誘導歌口が付けられ、その先は話者の左右どちら

かの口端に咥えられる。両唇音 /p, b, m, w/ はこの状態で問題なく調音できる。口をしっかりと閉じると、風船張力と口腔内圧力が釣り合い、発話運動によって口が開かれると同時に、歌口の先から口腔内に摩擦音が放出される。

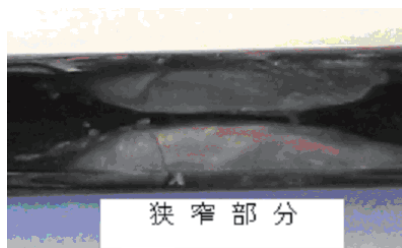


図 21. 横に寝かせた模擬声帯の縦断面：
約 2mm の隙間がおおよそ 2cm 長の狭
窄を形成している。

断っておくが、実験者は喉頭摘出者ではなく、健全な喉頭をもつ筆者達であるので、実験は、厳密な意味では無喉頭者の代用声道の音響特性を分析したものではない。音声例は健常者の声門閉鎖状態での無言調音によるものであり、その声道形状は喉頭摘出者のそれとは、下部声道の容積と形状に於いて、かなりの違いのあることを、予め断っておかねばならない。

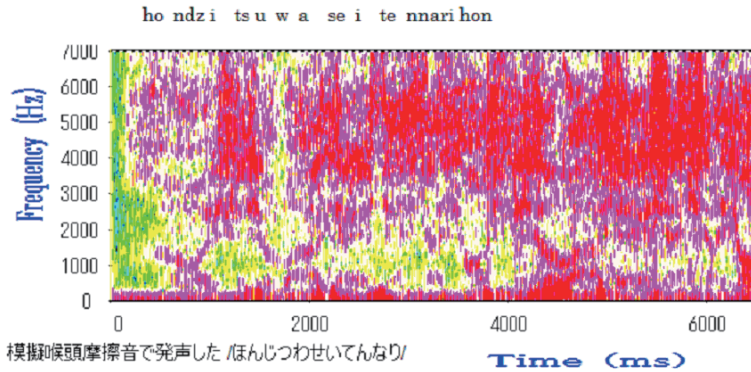
VOCODER はドイツ Music And More 社製の多重チャンネル型のものであり¹⁸、11 チャンネルの帯域濾波器 (BPF) は任意の制御が可能である。また、夫々の BPF の中心周波数は、低いほうから順に、100Hz—225Hz—330Hz—470Hz—700Hz—1030Hz—1500Hz—2280Hz—3300Hz—4700Hz—9000Hz である。

実験 1

まずは VOCODER を介さない、摩擦音源人工喉頭の直接出力音声を下に示そう。発話例は“ほんじつわせてんなり” [hondzitsuwa seitennari] (A) および“あかいくつはいてたおーんなー” [akaikutsu ha:iteta o:nna:] (B) である。

¹⁸ NAM VF-11 made in Bavaria by MAM.

A



B

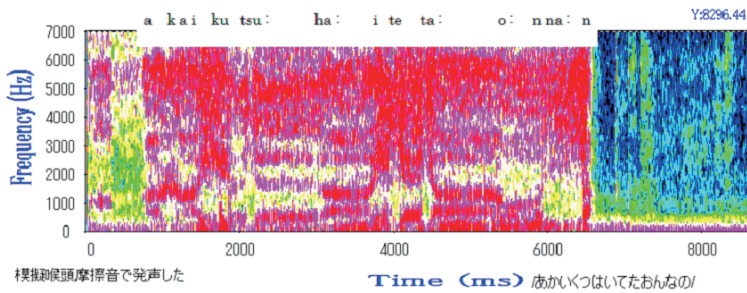


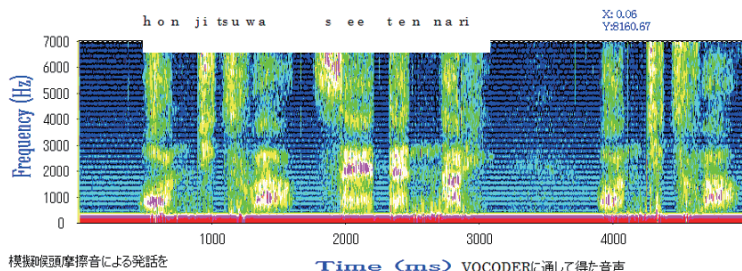
図 22. 摩擦音源人工喉頭の直接出力音声“ほんじつわせいてんなり” [hondzitsuwa seitennari] (A) ; “あかいくつは一いてたおんなー” [akaikutsu: ha:iteta: o:nna:] (B) .

フォルマント模様の素材は、悉く人工喉頭に備えられた模擬声帯からの摩擦音である。3.5kHz より上の周波数領域には、過度のエネルギーがあり、多少の煩さを感じられる。しかし、300Hz～3.5 k Hz の領域では、フォルマントが明瞭にその軌跡を描いており、非周期性の摩擦音でありながら、よく声道形状の変化に追従していることが分かる。

実 験 2

これは、摩擦音源人工喉頭の出力音声 /ほんじつわせいてんなり/ (A) と /あかいくつ/ (B) を、VOCODER を経由して出力せしめた例である。

A



コンピューターで合成したかのような、無抑揚の特徴的な“音声ロボット音声”に聞き取られるが、音韻は明瞭である。関数発生器から投入された音源は、ランダム雑音のみである。

B

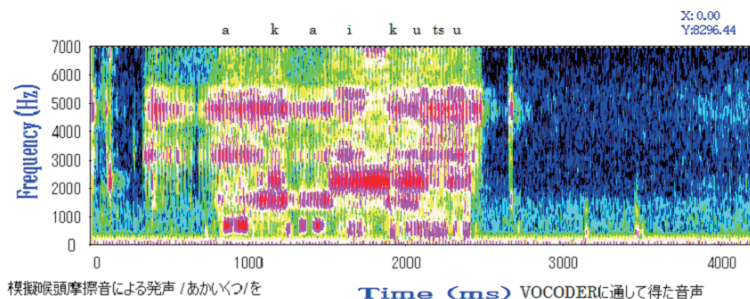


図 23. 摩擦音源人工喉頭の出力音声/ほんじつわせいてんなり/ [honjitsuwa seetennari] (A) ; “あかいくつ” [akaikutsu] (B) を, VOCODER で成型した例.

このフォルマント模様の素材は関数発生器からの周期音であると考えられる。元の音声は、声門閉鎖状態の話者に投入された人工的摩擦音であり、声帯縁辺の F0 相当の揺らぎは関与しない筈である。しかし、フォルマントには、関数発生器からの周期音が素材となっていることを示す、縦の筋模様一条線 **striations**—が見える。人工喉頭摩擦音が、声道伝達特性に含まれる F0 代替情報を吸着し、それに VOCODER の F0 情報感知機構が応答した結果である、周期音が関数発生器から放出され、典型的な母音フォルマントを描き出したものと考えられる。我われにとっては予想もしない結果である。F0 相当の情報は、声道を奥に向かって進行した摩擦音源が、閉鎖端である声帯面に反射した時、

その揺らぎを‘吸着した’ことに起因するものなのであろうか。この考え方を図 24 に示す。

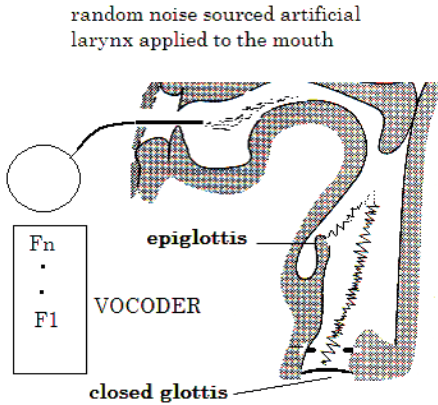


図 24. 口にあてがわれた人工喉頭から口腔に投入された摩擦音は、閉じた声帯や会厭に反射する際、そこで生まれた F_0 相当の揺らぎを吸着すると考えた場合の図. VOCODER の F_0 検出用 BPF がこれに応答する.

(Flanagan 1972, p.189, Fig.35a の声道輪郭を下絵として使用した)

入力音声の含む多量の情報は、かなりの量が BPF によって間引かれるため、実験 1 AB に見られるフォルマント軌跡とはかなり異なる、階段状の様相が実験 2B に描き出されている。この様な階段状の急峻な渡りのパターンが、VOCODER 音声によって復元した音声のソノグラムの特徴である。

実験 3

ここには、日本語の五母音/いえあおう/[ieaou] (A)、“わたしのなまえわしもむらいさおです”[watashinonamaewa shimomura isaodesu] (B)、“このつづきわたらいしゅう”[konotsuzukiwa mataraishuu] (C)、“わたしのなまえわ”[watashinonamewa] (D)、英語の“student”の五例を挙げよう。

A

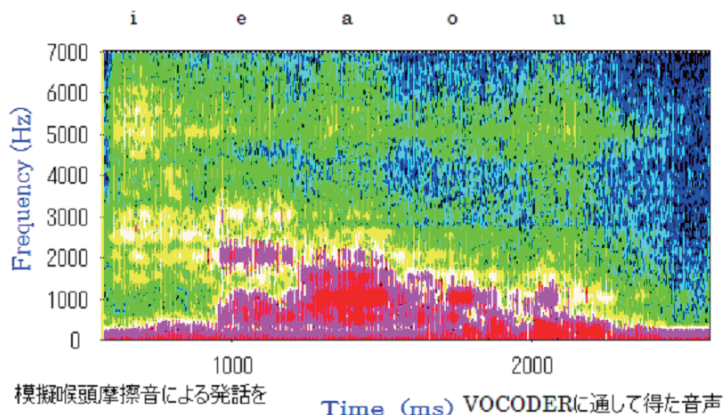


図 25A. 日本語の五母音/いえあおう/[ieaou]

この VOCODER 出力の音声は、もはや囁き声ではなく、有声音の連続としての/いえあおう/と聞き取られる。フォルマントには、関数発生器からの周期音が素材となっていることを示す条線が見える。

B

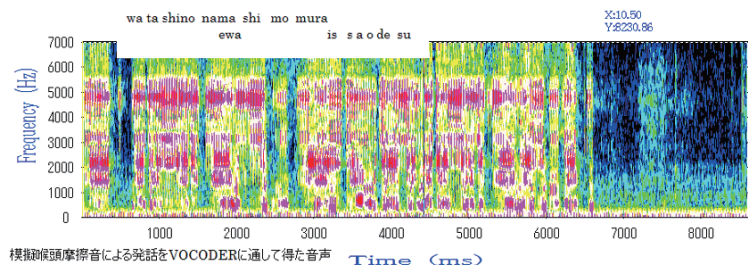


図 25B. /わたしのなわしもむらいさおです/[watashinonamaewa shimomura isaodesu]

上の例と同じく、この VOCODER 出力の音声は、もはや囁き声ではなく、有声音と無声音の交じり合ったものとして聞き取られる。フォルマントには、関数発生器からの周期音が素材となっていることを示す条線が見える。周波数軸 5kHz にはエネルギーの集中が見られるが、筆者等がこれを不要と考え、当該 BPF の感度を下げたところ、子音の聞こえが低下した。よって、ここには

5kHz 周辺のフォルマントが強化された、子音の聞こえの良好なソノグラムを提示した。

C

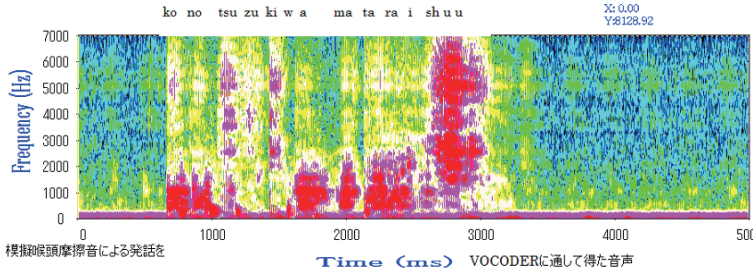


図 25C. /このつづきわまたらいしゅう/[konotsuzukiwa mataraishuu]

上の例 AB と同じく、VOCODER 出力の音声は、もはや囁き声ではない。有声音と無声音が交じり合ったものと聞き取られ、その上、破擦音音節/つ/と摩擦音音節/しゅう/の摩擦音は特に明瞭である。

D

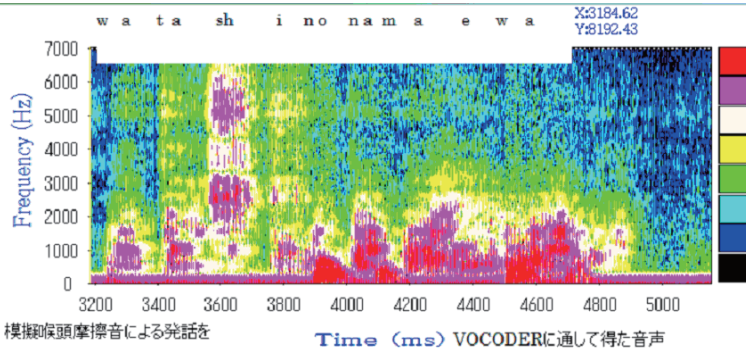


図 25D. /わたしのなまえわ/[watashinonamaewa]

上例と同様に、VOCODER 出力の音声は、有声音と子音を含む音声連鎖として聞き取られる。フォルマント模様には、関数発生器からは周期音が投入されたことを示す、条線が現れている。鼻音音節/の/、/な/、/ま/のうち、後者二つが特に興味を惹く。[na] のもつ鼻音フォルマント軌跡と、[ma] のもつそれとは、

お互い明瞭な違いをもち、両者ともエネルギーは十分である。これは、人工的摩擦音が口腔に連結した鼻腔に、非常によく共鳴したことを例証している。

E

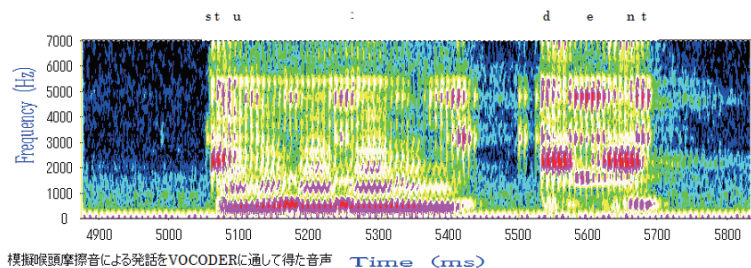


図 25E. 英語の例/student/

英単語“student”の調音例である。有声音と無声音が交じり合った音声連鎖として聞き取られる。フォルマント模様には、関数発生器からは周期音が投入されたことを示す、条線が現れている。語頭の *stu* の部分では、[st] とは聞き取られない。口腔内に挿入された歌口が邪魔をしたため、別の子音が生じたと思われる。時間軸 5400 に現れた、3500Hz と 4800Hz 周辺の二つのフォルマント模様は、[d] を調音するために口を閉じたことで生じたものである。時間軸 5500 に出現した縦の筋模様は、-*dent* の連鎖を調音するために口を開いた時、人工喉頭の摩擦音が口腔内に放出され、その瞬間の声道伝達特性を帯びた結果生じたフォルマントである。

実験 4

A

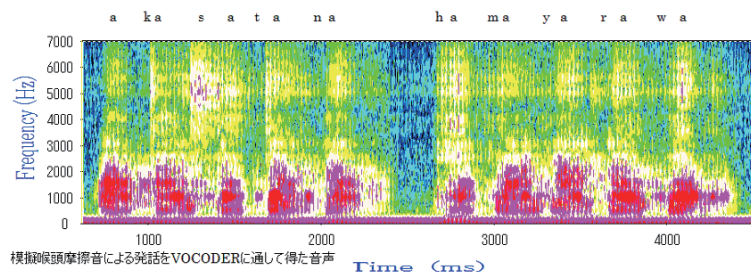


図 26A. 日本語五十音図の/あかさたなはまやらわ/[akasatana hamayarawa]

周波数領域 0–2000Hz の近辺に見える縦の縞模様は、VOCODER の F0 検出機構が働き、その場所で周期音を発生させたものである。

B

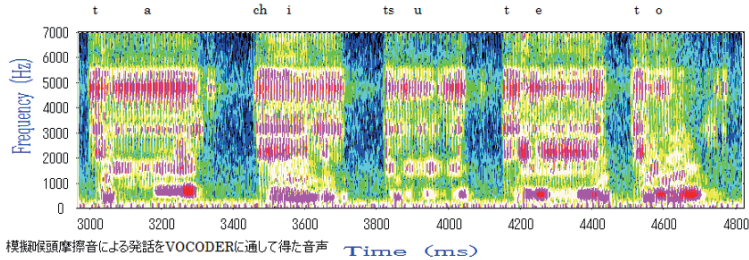


図 26B. 日本語五十音図の /たちつてと/ [tachitsuteto]

五十音図 /たちつてと/ の例である。A と同じく、縦の縞模様は、VOCODER の F0 検出機構が働き、その場所で周期音を発生させたものである。各母音部分で F1 と F2 の値が計測可能であり、その凡その値は、[a] (F1=600Hz: F2=1.5kHz)、[i] (F1=300Hz: F2=2.3Hz)、[u] (F1=400Hz: F2=1.6kHz)、[e] (F1=500Hz: F2=2.2kHz)、[o] (F1=300Hz: F2=800Hz)である。

C

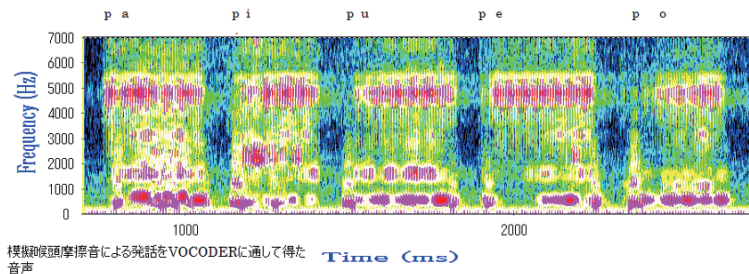


図 26C. 日本語五十音図の /ぱぴぷぺぽ/ [papipupepo]

五十音図 /ぱぴぷぺぽ/ の例である。A と B 同様に、条線は周期音の発生を意味する。各母音部分で F1 と F2 の値が計測可能である。[a] (F1=600Hz: F2=1.5kHz)、[i] (F1=300Hz: F2=2.3Hz)、[u] (F1=400Hz: F2=1.6kHz)、[e] (F1=500Hz: F2=1.6kHz)、[o] (F1=300Hz: F2=600Hz)である。

D

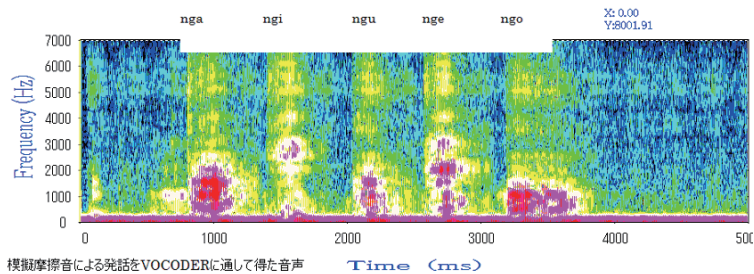


図 26D. 日本語鼻音節/[nga ŋgi ŋgu ŋge ŋgo]

鼻音音節 /んがんぎんぐんげんご/ [nga ŋgi ŋgu ŋge ŋgo] の例である。[ŋgi] のエネルギーが弱い、これは例 F の鼻音音節 [ni] にも見られることである。

E

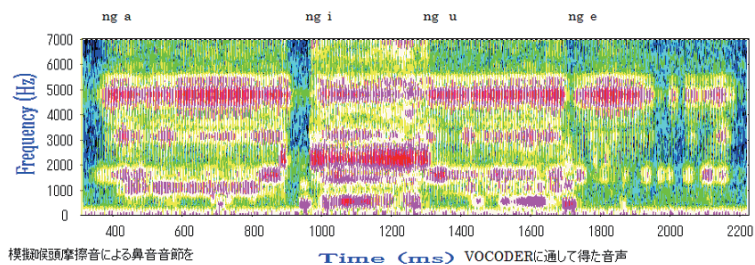
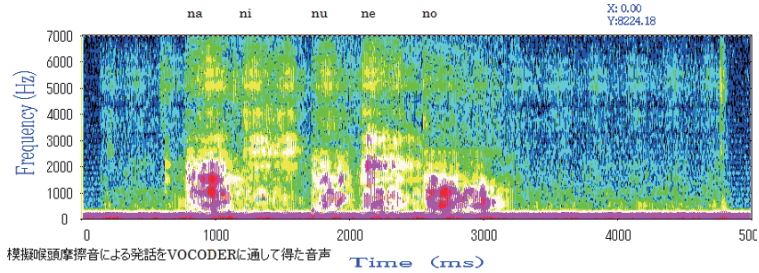


図 26E. 日本語鼻音節 /がぎぐげ/ [nga ŋgi ŋgu ŋge]

D とは別の、[nga ŋgi ŋgu ŋge] の鼻音音節の例である。各調音が相互に異なるものであることが分かる。最後の [ŋgo] に対応するフォルマントからは、音韻は聞き取ることができない。よって表記をしない。[nga ŋgi ŋgu] の三つを見る限り、摩擦性音源は口腔と連結した鼻腔によく共鳴することを示す。

F



鼻音音節 /なにぬね/ の例である。/に/ [ni] は痕跡程度にしか描かれていないが、音韻は聞き取りが可能である。

G

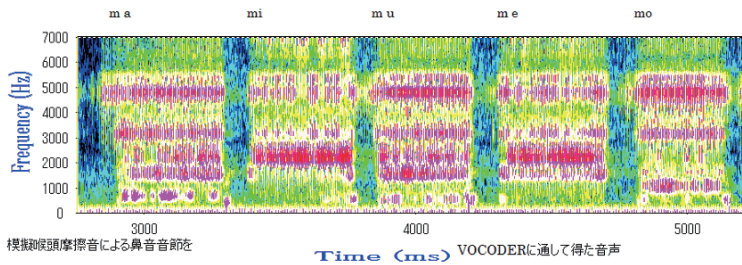


図 26F. 日本語鼻音節 /まみむめも/ [mamimumemo]

鼻音音節/まみむめも/ の例である。

H

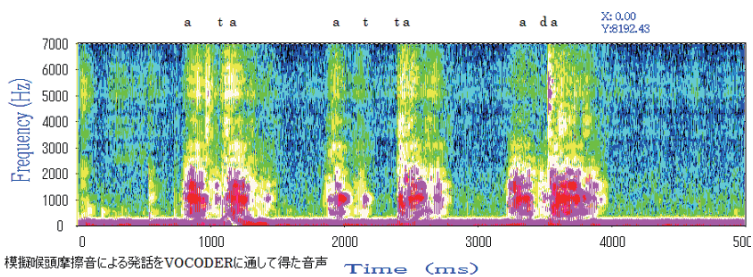


図 26H. 日本語/あた あった あだ/ [ata atta ada]

上は、無声音を含む音節 あた/、促音を含む音節 /あった/、有声音を含む音節 /あだ/を比較したものである。促音音節 /atta/ の例には、二重子音 /-tt-/ の表記に対応するかのように、第1音節末で時間軸2200周波数軸1000の周辺に、フォルマントが現れている。更に、[t]~[-tt]~[d] のそれぞれが、異なるフォルマント軌跡で描き出されているのも特徴的である。

[ata] と [ada] に見られる違いは重要と思われる。ランダムノイズを素にしているのであるから、調音音声学上 [ata] と [ada] は区別がなされえない筈のものであるのに、フォルマント軌跡は相互に異なっているからである。このように、無声音と有声音の違いが、素材の原音のもつ周期性の有無によってではなく、摩擦音を素材とした合成音のフォルマント軌跡—調音軌跡—の違いにも反映している事実は、人工喉頭の設計上応用性が高い。何故ならば、VOCODER 援用の摩擦音源人工喉頭を使って話そうとする喉頭摘出者は、単に喉を失う前の長い年月の間に獲得した調音様式で‘話す’だけで、VOCODERは無声・有聲の識別の手掛かりとなり得る、フォルマント軌跡の違いに起因する音色の違いをもった音声を復元してみせるからである。

I

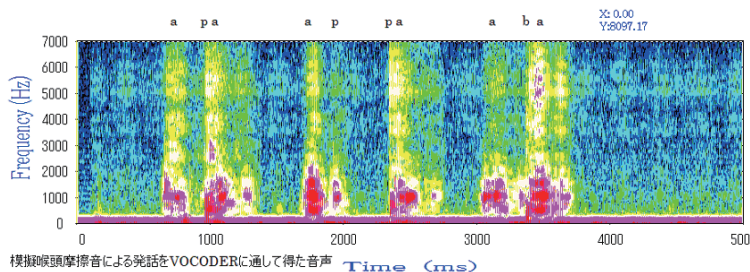


図 26I. 日本語/あば あっぱ あば/ [apa appa aba]

上の例は、無声音を含む音節 /あば/、促音を含む音節 /あっぱ/、有声音を含む音節 /あだ/ を比較したものである。促音音節 [appa] の第1音節末には、やはり、二重子音 **-pp-** の **p** に対応するフォルマントが出現している。また、[p] ~[-pp]~[b] のそれぞれが異なるフォルマント軌跡で描き出されている。H と同様に、ランダムノイズを素にしているのであるから、調音音声学上 [apa] と [aba] は区別がなされえない筈のものだが、両調音の違いはフォルマント軌跡の違いとして反映されている。

J

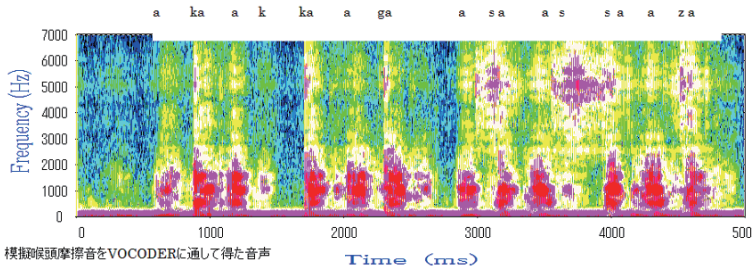


図 26J. 日本語/あか あっか あが あさ あっさ あざ/
[aka akka aga asa assa aza]

これは、無声音を含む音節 /あか/、促音を含む音節 /あっか/、有声音を含む音節 /あが/、および、無声音を含む音節 /あさ/、促音を含む音節 あっさ/、有声音を含む音節 /あざ/ を比較したものである。促音音節 [akka] [assa] の第1音節末には、二重子音・**kk**・と・**ss**・の **k** と **s** に対応するフォルマントが出現している。上の例と同様に、調音音声学上は区別がなされえない筈の [aka-aga]、および [asa-aza] が、ここでもまた、フォルマント軌跡の違いとして反映されている。

K

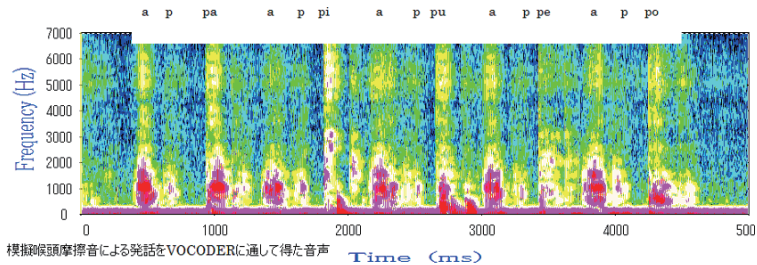


図 26K. 日本語/あっぱ あっぴ あっぷ あっぺ あっぽ/
[appa appi appu appe appo]

これは全て促音を含む音節 /あっぱ/、/あっぴ/、/あっぷ/、/あっぺ/、/あっぽ/ の、VOCODER による復元例である。促音の感覚はどれからも聞き取ることが可能である。ソノグラム上は二重子音構造の、[**ap**·pa]、[**ap**·pi]、[**ap**·pu]、[**ap**·pe]、[**ap**·po] と表記できる。第一音節末には破裂音（太字の **p** で示す）が明瞭に現れている。

L

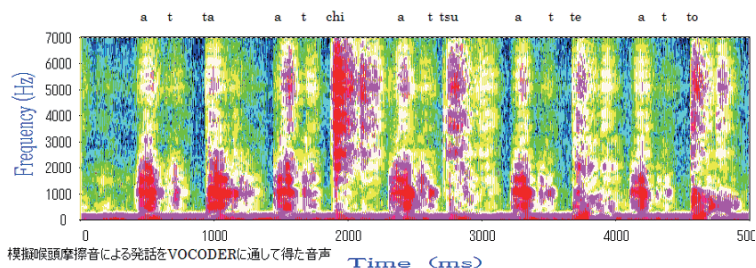


図 26L. 日本語/あった あっち あっつ あって あっと/
[atta atchi attsu atte atto]

これも全て促音を含む音節 /あった/, /あっち/, /あっつ/, /あって/, /あっと/ の、VOCODER によって成型した例である。促音の感覚はどれからも聞き取ることが可能である。ソノグラム上は、[at·ta]、[at·tʃi]、[at·tsu]、[at·te]、[at·to] と記述でき、第一音節末には破裂音（太字の **t** で示す）が明瞭に現れている。

M

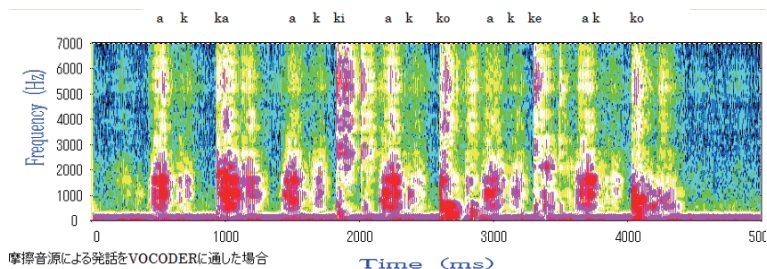


図 26M. 日本語/あっか あっき あっく あっけ あっこ/
[akka akki akku akke akko]

これも全て促音を含む音節 /あっか/, /あっき/, /あっく/, /あっけ/, /あっこ/ の、VOCODER を通して得た例である。促音の感覚はどれからも聞き取ることが可能である。ソノグラム上はやはり二重子音構造の、[ak·ka]、[ak·ki]、[ak·ku]¹⁹、[ak·ke]、[ak·ko]と表記できる。上の例の多くと同様に、第一音節末には破裂音（太字の **k** で示す）が明瞭に現れている。

¹⁹ このソノグラムの音韻表記 a k k o は a k k u の誤り。ここに訂正する。

結 論

我われは、中国北宋の時代の文献に現れた、人の声を出す“類叫子”挿話に示唆を得て、様々な非周期性摩擦音を音源とする人工喉頭を製作し、**VOCODER**を援用しての、一連の音声の合成実験を行った。実験の結果は、この人工喉頭から生み出される原音が、持続声門閉鎖を実行中で、同時に無言調音運動—**pantomimed articulation**—実行中の話者の声道形状変化に、よく追従するものであること、および、そのスペクトル包絡をよく吸着するものであることを例証した。また、**VOCODER**から出力せしめた合成音声のソノグラムも多くは、摩擦音源が吸着した声道伝達特性に、基本喉頭振動数 (**F0**) に相当する情報が隠れていることを示唆した。それが如何なるものであるのかは、これまでのところ全く不明である。話者は喉頭摘出者ではない筆者等であり、話者は喉頭摘出者の声道を、自らの声門を持続閉鎖することによって模擬している。そのため、声門閉鎖中の喉頭に共鳴した摩擦音が、閉じた声帯面に衝突した結果、声帯から **F0** に相当する周期性がこの音源成分に吸着された可能性、仮声帯が寄生的に振動した可能性、さらには、会厭が寄生的に振動した可能性、等々も否定できない。しかし、摩擦性音源が声道変化への良好な追従性をもつこと、隠れた **F0** 情報を吸着する性質があるらしいことは、我われの提案する非周期性摩擦音を音源とする人工喉頭が有望であることを示唆する。これが **VOCODER** の支援のもとで使用されるならば、喉頭摘出者は聞き手に有声・無声の識別の代替の手掛かりを与え、同時に、音韻識別の手がかりをも与える音声を生み出せることになるからである。

引用文献一覧

- 1 Scripture, E. W.: *The Elements of Experimental Phonetics*. AMS Press, New York 1973. これは 1902 年出版の同名の書の復刻版である.
- 2 『古事類苑』【遊戯部 十七】古事類苑刊行会 (1933)
- 3 藤堂明保『中国語音韻論』光生館 (1980)
- 4 『叢書集成新編』〈九十七〉(台北市新文豊出版公司刊)
- 5 Sinelnikov, R. D. *Atlas of Human Anatomy I*, Mir Publishers Moscow (1988)
- 6 下村五三夫『アイヌ発声口琴習俗の研究』(アイヌ文化振興・研究推進機構助成出版)ノース・アカデミー(2005)
- 7 Flanagan, J. L.: *Speech Analysis, Synthesis, and Perception*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (1972).
- 8 Fromkin A. Victoria (ed.). *Tone*. Academic Press, Inc., London (1978)
- 9 『叢書集成新編』〈九十七〉台北市新文豊出版公司刊
- 10 『叢書集成新編』〈九十一〉台北市新文豊出版公司刊
- 11 前野直彬註解『唐詩選 (中)』2000 年 (岩波書店)
- 12 東川雅彦・竹中洋「ささやき声における/pa/と/ba/の出し分け」(大阪医科大学耳鼻咽喉科学教室) 2003 年 7 月 8 日受理原稿 Internet version.
- 13 下村五三夫「トゥーヴァの喉声歌唱の分析」『音声学会会報』(第 196 号) 日本音声学会 (1991)