研 究

正常ならびに病的音声における基本周波数
瞬時変動の電子計算機による解析きた じま かず とも
北 嶋 和 智

I 緒 言

嗄声は各種喉頭疾患に共通した最も頻度の高い症状である。しかし嗄声にも種々の程度、種類があり、それらを分析することによって喉頭疾患の診断治療に貢献しうるのではないかと発想のもとに、従来も多くの研究がなされて来た。最近20年間に電気音響分析器械は著しい進歩をとげ、これらを利用した研究により、嗄声の音響の特徴もかなり解明されて来た。嗄声の分析を臨床的に応用するためには、瞬時に多くの情報量を解析せねばならず、電子計算機はこの目的に極めて適している。本研究においては嗄声の計算機による診断を究極の目的とし、まず嗄声における基本周波数の瞬時変動を計算機を用いて解析した。

II 文献的考察

〔A〕 嗄声の特徴

嗄声に関しては、1) 高速度映画による声帯振動の分析、2) 音響分析ならびに合成、3) 空気力学的研究が行なわれて来た。このうち本論文に関連のある1), 2)について文献的考察を行う。

von Leden ら(1958, 1959, 1960)は各種喉頭疾患における声帯振動を高速度映画で撮影解析し、その結果「病的状態における最も一般的所見は振動パターンがしばしば突然変動する事である」と述べた。Dunker ら(1964)も同様、喉頭疾患における声帯振動パターンの特徴について報告し、嗄声度と振動パターンとの関連性について言及した。

Moore (1968)は roughness は声帯の振幅または周波数の不規則変動によるとのべている。

広戸(1966)は高速度映画分析の結果、声帯に病変が生ずると、その運動が健側に比して、微

弱となり、不規則となるだけでなく、患側声帯それ自体においても、部位によって振動が異なるものであるとのべている。

一方ソナグラフが普及するに伴い、多くの音響学的研究がなされた。

Nessel (1960)は嗄声の特徴として低音成分が雑音に置換され、またほとんどの嗄声で5KC以上の雑音成分がみられると述べている。柳原(1967)は嗄声の分析ならびに合成実験から、嗄声の特徴として、1)各母音ホルマント内の雑音因子、2)3,000Hz以上の高音域雑音、3)高音域周波数成分の消失をあげた。

一色ら(1966)は嗄声の音響的特徴として、1)基本周波数の瞬時変動、2)周波数成分の相対的減少と雑音成分の増加をあげ、ただしこれらの2因子は互いに完全に独立したものではないとした。

Iwata & von Leden (1966)は嗄声の voice

An Analysis of Pitch Perturbation in Normal and Pathologic Voices

Kazutomo Kitajima

高知市立市民病院耳鼻科(院長: 飯塚 治)

京都大学耳鼻咽喉科教室(主任: 森本正紀教授 指導: 一色信彦講師)

print を分析し、第1ホルマント域のエネルギー分布状態が、声帯病変探知に最も有意義であり、嗄声が高度になるにしたがい、ホルマントバーの幅が広がり、周波数、時間の両因子に関し不規則性が増すとのべている。

Bowler (1964) は聴覚印象で harsh 粗糙と判定された声の特徴は、声の高さが平均より低く、周波数が時々中断し (frequency break)、非周期性を示すとのべている。

Koike (1967), Koike & vonLeden (1969) は特に起声時の基本周波数の瞬時変動は各種喉頭疾患における声帯の状態を敏感に反映し、発声の定常状態におけるそれよりも顕著であるとのべている。

Berger (1937) は反回神経麻痺における音声の非周期性を指摘し、基本周期が2種ある2重音声を来すことがあるとした。

Currey (1953) は正常人での非周期性振動は2.7%にすぎないが、脳炎後患者の音声では非周期性声帯振動は37.5%に達するとした。

高橋(1969)はフーリエ解析により嗄声を分析しその程度を客観的に表示する試みを行った。

中津井ら(1970)は、逆フィルターを利用し、嗄声の喉頭原音を抽出して基本周波数変動をしらべている。

Emanuel & Sansone (1969) は模擬嗄声について、3Hzの狭帯域フィルターを用い、周波数—振幅スペクトラムを作り、おのおの雑音レベルを測定、嗄声度の客観的表示への試みを行った。

これらの音響器機により、音声のソナグラムパターンが明らかに認識されたが、より複雑な音色についての分析はなお困難な面が多く、また定量的に表現しにくい欠点が残った。

嗄声の音色のより総合的判断を目的として一色(1966)、丘村ら(1968)はOsgood(1957)により開発された一種の心理測定法、すなわち意味微分法を嗄声の分析に応用した。嗄声の音色は多因子により構成されることを示し、臨床的応用を考慮して、R(粗糙)、B(氣息)、A

(無力)、N(準正常)の4型に分類し、この分類を応用することにより、嗄声の鑑別診断の可能性があることを示した。

広戸(1967)はこれらの定型的な4種の嗄声の音響的特徴をソナグラムを用いて分析した。

これらの分析結果をさらに合成実験により確かめんとする努力もなされた。柳原(1967)は種々のレベルの雑音を正常母音と混合し、合成嗄声の聴覚印象をしらべた。

Wendahl (1963) はLadicという喉頭原音合成機を作り、相隣り合う波形の周波数を種々に変化せしめ、その際の嗄声の聴覚印象に与える影響をしらべた。それによると、基本周波数100Hzで ± 1 Hzの変動でも粗と感じ、また粗糙性の程度は隣接波形の基本周波数差に直接関係していることが判った。しかし平均周波数が高い場合(200Hz)では低い場合(100Hz)に比較し、変動基本周波数幅(ΔF)が同じでも、粗糙性は低く感じているとのべ、もし瞬時変動の幅が同じなら、男声の方が女声より粗と感ずるであろうとのべた。

さらにWendahl (1966) は基本周波数変動(Jitter)と振幅変動(Shimmer)の嗄声度におよぼす影響について、Ladicを利用して研究を行い、Shimmerで振幅変動が6dBをこせば、Jitterのいかなる条件よりも粗に感ずると報告した。

Coleman (1967) はLadicを利用し、瞬時波形の変化(主としてOQ)が嗄声の聴覚印象におよぼす影響について検討した。

さてこれら従来の嗄声の音響器械による研究を総合すると、1) 波形として扱った場合、その特徴は隣接波形の基本周波数あるいは振幅の変動といえ、2) 周波数スペクトラムとして把握した場合には、相対的な倍音成分(ハーモニックス)の減少と雑音の増加であるといえる。ただし1)と2)に関して、同じ現象を別の面から扱っただけなのか、多少とも異った現象を扱っているのか、なお明らかではない。

さてソナグラムなどの音響機器を使用した場

合、嗄声はパターンとして表現され、数値化できない欠点があった。この点計算機の利用により、長足の進歩がなされた。

〔B〕 嗄声の計算機による解析

嗄声の計算機による解析をはじめて試みたのは Lieberman (1961) である。彼は正常者および喉頭疾患患者が文章を読んだ際、相隣りある基本周期の差つまり $\Delta T = T_N - T_{N-1}$ を求め、その値を計算機処理した。すなわち Pitch Perturbation Factor (PF) (基準の base を例えば 0.5msec とすると、 ΔT が 0.5msec を越えるものが全体の何%にあたるかを示す) を求め、正常声の起声、終声部を除く定常部では ΔT が 0.5msec を越すことはないとしている。

Smith & Lieberman (1970) はこの方法をさらに多くの症例 (正常35例、患者144例) について行い PF が喉頭疾患と関連があると述べている。

Iwata & von Leden (1970) は正常声、嗄声について同様の PF を求めているが、文章ではなく、母音/ア/の持続発声について分析し ΔT の積算頻度グラフ (cumulative frequency rate of ΔT) によって正常および各種喉頭疾患の特徴を示した。その結果 PF は正常群と病的群の間で有意の差がある事を示した。

Beckett (1969) は種々の程度に声門部に力を入れて発声した場合のピッチの瞬時変動を岩田と同様の実験方法によって求めた。

Hecker & Kreul (1971) は正常人、喉頭癌患者について文章朗読時のピッチを分析し、Lieberman のいう PF では正常声と癌患者の声とを区別できず、新たに方向変動因子、directional perturbation factor (次の周期が現

在の周期より増しているものを+、減少しているものを-とすると、この+-の符号が変化する率をいう。例えば、+-+-の場合には、符号の変化は3回、したがって $3/5 = 60\%$ となる。) を提案し癌の声では正常よりこの factor が大きかったとのべている。

Hecker らはさらに基本周波数のイントネーションによる変動が、病的声では正常者に比し少い事、つまり単調なイントネーションになることに注目している。

比企ら (1960) は持続母音発声時の気前音を計算機により分析し、正常声の基本周期変動幅は基本周期の平均1.6% (最低0.8%、最高3.2%) であり、ポリープなどの病的例では、 $\pm 15\%$ に達することもあるとのべている。

一方小池 (1967) は新たに振幅の変動に注目し、/ア/ 持続発声時の気前音を分析した。すなわち、正常声および各種喉頭疾患の音声ごとに、オートコレログラムを作製し、振幅変調の周期性につき検討した。その結果、喉頭腫瘍では、声帯麻痺と異なり、3~12周期ごとに振幅の変動をきたす強い傾向をみとめた。

von Leden & Koike (1970) はさらに多数の例で同様の研究を行い、振幅変調には4つの型があり、おのおの、正常また各種喉頭疾患に対応する傾向を示すとのべた。

以上従来の研究により、嗄声の特色として基本周波数ないし振幅の瞬時変動 (cycle-by-cycle variation) があげられ、これの客観的評価により嗄声度の数値化、分類の可能性がある事が判る。そこで従来の方法に若干の改良を試み、正常ならびに嗄声の計算機による解析を行った。

III 研究目的ならびに方針

嗄声の計算機分析による喉頭疾患の鑑別診断なかんづく、喉頭癌早期発見のためのスクリーニングテストを開発する事を目的とし、まず、音声基本周波数瞬時変動の分析を行う。特に本法を実用化するため、処理の高速簡易化を計

り、かつなるべく自然に近い条件での発声を分析する。嗄声度の示標としては、なるべく聴覚印象に近く、正常、病的さらに病的各疾患群を鑑別しうる様な示標を選ぶ。以上の目的ならびに方針の下に以下に述べる研究を行った。

IV 研 究 方 法

(1) 概 説

正常音声および嗄声のピッチ瞬時変動を電子計算機を用いて分析した。まず対象の気管前壁音をテープレコーダに収録し、その再生音を電子計算機に入力せしめた。入力された音声波のピッチ間隔が自動的に測定され、ピッチ変動の状態が経時的に、またヒストグラムにより、CRT-表示装置上に表示される。さらにピッチ瞬時変動の程度が数値でもってタイプされる。

(2) 対 象

(i) 正常音声有する健康な男女おのおの20名づつ計40名。年令分布は男子が24才から74才、女子が18才から77才までであり、以下の嗄声患者の年令分布と大きな差はない。

(ii) 嗄声患者69名。そのうちわけは、喉頭癌13名(すべて男子)、喉頭ポリープ17名(男子10名、女子7名)、反回神経麻痺15名(男子8名、女子7名)、喉頭乳頭腫1名(男子)、嚥人結節8名(男子1名、女子7名)、慢性喉頭炎15名(男子8名、女子7名)である。なお、喉頭癌、反回神経麻痺においては、ピッチ抽出不能の例が認められたが、この様な例は本研究の対象とはしていない。

(3) 被検査語音

検査対象者おのおのに、5母音/ウ/, /オ/, /ア/, /エ/, /イ/の持続発音、次いで単語句、/青い海/をいわせた。ただし、嗄声患者については、持続発音のみ行ったものも相当数あった。

(4) 録音条件および方法

発声に際しては特に条件は指示せず、おのおのの最も楽な強さ、高さで発声させた。録音は気管前壁音を主とし、口前音を補助的に収録した。用いた気管前壁マイクロホンは、コンデンサーマイクロホン(SONY, ECM-51)にゴムのアダプターリングを取り付け、これによって、マイク本体と接着皮ふ面との間に10mmの空気の間隙を持たせた。マイクを密着させる位置は

胸骨上窩で気管の正面皮ふとした。

気管前壁音は、(i) 各音韻に特有の声道の共鳴特性による影響をほとんど受けず、波形が単純で、声帯振動の基本周波数における周期が明確である。(ii) 有声音のはじめや、おわりまたわたりの部分での波形のみだれが少ない。など(Sugimoto & Hiki, 1960)の特徴があるため、ピッチ抽出の目的にはよく合致する。

使用したテープレコーダはTEAC, A-4010Sで第1チャンネルに気前音を、第2チャンネルに口前音を毎秒19cmで収録した。

(5) 計算機処理

本実験に用いた電子計算機はデジタルイクイップメント社の汎用ミニコンPDP-12(コアメモリー8K)である。図1に示す如く、Central Processor Unitを中心に、A-D変換器、CRT表示装置、テレタイプ、磁気テープ(リンクテープ)などの周辺機器を配してある。

(a) A-D 変換

まずテープレコーダーを19cm/secで再生しA-D変換器に入力する。A-D変換速度は毎秒12,315回である。この速度は用いたプログラムによって規定されたものである。±1Vの入力を±256段階でデジタル化する。デジタル化された値は同時に、それぞれの値に対応して、CRT表示装置上に点を投影するため、音声を

図1 使用したDOP-12, テレタイプ, 及びテープレコーダを示す。

入力しながら波形をモニター出来る。次いで計算機のキーボードの操作によって希望する音声をコアーに記憶させ、さらに磁気テープに収録する。収録出来る時間は約1秒間である。

(b) ピッチ間隔の測定

(i) 目測法

(a)の段階が終了すると自動的に測定のプログラムに入る。すなわち先ほど磁気テープに収録された音声波の最初の一部(約40msec)が表示される(図2)。同時に、cursor(図2中、1で示したもの)が表示されるが、このcursorはダイヤル操作により左右に自由に動かせると同時に、スイッチ操作の併用により、cursorのX軸上の値をコアーに記憶させることが出来る。

このcursorを用いて、音声波のピッチに一致したピークを逐次追ってゆくことにより、ピッチ間隔を逐次測定してゆくことが出来る。ピッチ間隔は通常100個まで測定した。

(ii) 自動測定法

(i)の目測法はピッチ抽出の最も確実な方法だが、その反面操作に時間と労力を要する欠点がある。この欠点をなくするため(i)の方法の一部をとり入れた自動計測のプログラムを作り、目測法と比較検討した結果、両法による測定値は差がなかったため、本研究では主としてこの自

最初のピッチ間隔 P_1 のみを目測法により計測する。次いで $P_1 - P_1 \cdot K \sim P_1 + P_1 \cdot K$ の範囲内においてピークを捜し P_2 を決定する。さらに $P_2 - P_2 \cdot K \sim P_2 + P_2 \cdot K$ の範囲内でピークを捜し P_3 を決定する。以後この手順によりピッチ間隔の計測を続けてゆく。Kは、 $0 < K < 1$ の任意の値を選択できるが、通常0.2~0.1で計測を行った。

図3 ピッチ間隔の自動計測

動測定法を用いた。以下その手順を述べる。図3に示す様に、まず最初のピッチ間隔 P_1 を、cursorを用いて、目測する。この実測した P_1 より次のピッチのピークの存在範囲を予想し、その範囲内でピークを捜す。すなわち、Kが $0 < K < 1$ とすれば、次のピークは $P_1 - P_1 \cdot K \sim P_1 + P_1 \cdot K$ だけ先にあることが予想されるので、計算機にこの範囲内でピーク(最高値)を捜させて P_2 を決定する。 P_2 が決定すれば、今度は $P_2 - P_2 \cdot K \sim P_2 + P_2 \cdot K$ の範囲でピークを捜し P_3 を決定する。このようにして次のピークを予想しながら自動的に計測してゆく。Kは任意の値を代入出来るが通常0.1~0.2とした。

このようにピーク(最高値)を捜す範囲を限定することにより、倍音のピークを拾う誤動作から逃れることが出来る。

(iii) 閾値法(パルス法)

この方法は(i)、(ii)の測定法とは原理的に異ったものである。すなわち音声波をまず、ある周波数を中心とするバンドパスフィルターを通すことによって基本周波数成分を抽出し、さらにこの基本周期に一致したパルス列を得る。パルスの高さは一定である。このパルス列を計算機に入力し、あらかじめ定められた閾値を起えた点を獲えてゆくことにより、ピッチ間隔の測定を行うものである。この方法の利点は、フィルター回路と計算機を直結しておけば、音声

1. cursor 2. 音声波
3. zero level
4. 測定したピッチ間隔の個数
5. cursorのX座標値
6. cursorのY座標値

(4, 5, 6の値は8進法表示である)

図2 CRT表示装置に表示された音声波とcursor

の入力から計算結果の判明までほとんど時間を要せず、リアルタイムの処理が可能なことである。問題点はフィルター回路のピッチ抽出の正確度であるが、正常人および嚙声患者について、検討したところ、ピッチ抽出の脱落や、倍音を拾う誤動作が時にみられた。フィルター選択が適当な場合にはこのような事実は認められず、この面での改良がなされれば、その省力度、処理の早さなどから実用性の高い方法であると考えられる。本論文では、閾値法による成績については省略する。

(C) ピッチ瞬時変動の分析

本研究においては、瞬時周波数はすべて、Semitone に変換した上で、すべての処理を行った。Semitone は $39.86 \times \log \frac{f_2}{f_1}$ で表わされる 2 音間の周波数差である。但し規準周波数は $f_1 = C_0 = 16.352\text{cps}$ で計算した。Semitone を用いた理由は、嚙声の聴覚的な印象を如何に客観的に表示するかが、本研究の 1 つの目的であり、対数尺すなわち Semitone で処理するのが人間の聴覚量に最も良く対応しているのではないかと考えたからである。

(i) 時系列表示(パターン表示)

図 4 に示す様に、横軸に時間を、左側縦軸に

図 4 正常人 /ア/ 持続発声時の瞬時周波数変動を CRT 表示装置上に描かせた。横軸に時間、右側縦軸に semi tone スケールを示し左側縦軸には周波数を対数目盛で示してある。

周波数を対数尺で、右側縦軸に Semitone のスケールで基本周波数の逐時変化を表示する。瞬間周波数 100 個まで表示しているが、対象によってはこれ以下の個数のものもある。

(ii) 数値表示

(i) 持続発声音に対しては、相隣り合うピッチ(Semitone スケール)の差の平均を求めた。すなわち、

$$\overline{\Delta F} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} |F_i - F_{i+1}|}{N-1} \dots\dots\dots (1)$$

ただし F_i は瞬時周波数(Semitone スケール)

N は計測個数

従来のデータとの比較のため、%による表示も同時に計算した。すなわち、

$$\overline{\Delta F'} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} |F_i - F_{i+1}|}{\overline{F}} \dots\dots\dots (1')$$

ただし F_i は瞬時周波数(Hz スケール)

$\overline{F}$ は $i=1 \sim N-1$ までの平均周波数

N は計測個数

なお Semitone 値と%値との関係を図 5 に示す。

(ii) 単語句発声に対しては、ピッチ時系列の平滑化処理前後の値の差を求めた。すなわち

$$\overline{\Delta F} = \frac{\sum_{i=3}^{N-2} |F_i - \overline{F}_i|}{N-4} \dots\dots\dots (2)$$

ただし F_i は瞬時周波数(Semitone スケール)

N は計測個数

$\overline{F}_i$ は 5 点間の加重移動平均処理後の値である。すなわち、

$$\overline{F}_i = C_{-2} \cdot F_{i-2} + C_{-1} \cdot F_{i-1} + C_0 \cdot F_i + C_1 \cdot F_{i+1} + C_2 \cdot F_{i+2}$$

ただし C は最小 2 乗放物線近似法より求めた重みの係数であり、

$$C_2 = C_{-2} = -0.0857, C_1 = C_{-1} = 0.3429,$$

$$C_0 = 0.4857$$

である(宮脇 1969)。

計測個数 N 個に対し、5 点間の移動平均を行

図5 基本周波数瞬時変動値の semitone 表示と %表示の対比

うため、最初と最後の2個づつは使用出来ない。したがって、 $N-4$ 個の平均を求めることになる。

持続発声に対して行った計算処理とは異った処理方法を採用した理由は、以下の通りである。単語あるいは文章朗読においては、アクセント、イントネーションがあり、これらは話す言葉、表現方法、各個人により異なる。(1)式をそのまま用いると、これらのアクセントによるピッチの逐時変動差も計算されるため、瞬時変動を正しく把えることは出来ない。そこでまずピッチ時系列について、アクセントによるゆるやかな変動にまで影響がおよばない程度に平滑化処理を行った。その処理前後の、おのおの対応する瞬時周波数間の差の絶対値を求めた。これによって、アクセントの影響を排除し、ピッチの瞬時変動を把えることが出来る。

(6) 測定誤差

分析に用いた計算機のプログラムでの sampling rate は 12315/sec であるから、0.0812

msec ほどの sampling である。

今、ピッチの一定した波を測定している場合ピッチ間隔を、仮に $\tau_i + 0.0406\text{msec}$ とすると、理論的に考えられる最も大きい誤差は、測定したピッチ間隔が、 τ_i と $\tau_i + 0.0812$ を交互にくりかえす場合である。

(1)式にあてはめると、

$$F_i = 39.86 \times \left(\log \frac{C}{\tau_i} - \log 16.35 \right)$$

$$F_{i+1} = 39.86 \times \left(\log \frac{C}{\tau_i + 0.0812} - \log 16.35 \right)$$

$C = 12315$ (サンプリング頻度)

$16.35 = C_0$

従って

$$\begin{aligned} \text{最大誤差} &= \frac{\sum_{i=1}^{N-1} |F_i - F_{i+1}|}{N-1} \\ &= 39.86 \times \log \left(\frac{\tau_i + 0.0812}{\tau_i} \right) \end{aligned}$$

すなわち最大理論誤差はピッチ間隔の関数で示される。この関係を示したのが図6である。100Hz で0.14 semitones, 200Hz で0.28 semitones の誤差が考えられる。

このサンプリング速度による誤差以外に、テープレコーダの録音特性および回転むらによる誤差、デジタル化の精度による誤差が考えられるが、これらの誤差をも含めて、包括的な全体の誤差を検出する目的で既知の一定周波数の鋸歯状波を録音し実測を行った。すなわち100Hz

図6 サンプリング頻度による、起りうる最大の誤差。横軸に周波数を、縦軸に誤差を semitone で示した。

および 200Hz についておのおの 10 回づつくりかえして行ったところ, 100Hz では 0.09~0.13

semitones, 200Hz では 0.10~0.24 semitones であった.

V 実 験 結 果

1 正常人音声

(a) 持続発声の場合

(i) CRT 表示装置による観察

正常人男子/ア/持続発声時の一例を図 7 に示す. 多少のピッチのばらつきがみられるが, ほぼ一定の値を示している. このピッチ列について相隣あう瞬時周波数の差を計算し, そのヒストグラムを描かせたのが, 図 8 である. O 点より左側に負の瞬時周波数差を右側に正の瞬時周波数差をとっている. O 点に鋭いピークを

図 7 正常声男 /ア/ 持続発声
 $\overline{\Delta F} = 0.13$ semitones

図 8 図 7 の音声について ΔF をヒストグラムで示した. 横軸 0 点より左に負の ΔF を右に正の ΔF をとっている. $\Delta F = 0$ に鋭いピークをつくり, 左右に軽いばらつきをみる.

み, 左右に軽いばらつきをみている.

(ii) $\overline{\Delta F}$ 値

(i) で示されたばらつきの度合を客観的に表現するために, 先にのべた(1)式により, $\overline{\Delta F}$ の計算を行った.

(i) 母音の種類による $\overline{\Delta F}$ の差

正常人男女 40 名のうちからおのおの 10 名づつ計 20 名を選び 5 母音/ウ/, /オ/, /ア/, /エ/, /イ/のそれぞれの $\overline{\Delta F}$ 値について有意差の検定を行ったが, 1% 水準で母音間に有意差はみられなかった.

(ii) 正常音声における $\overline{\Delta F}$ 値の範囲

正常人男女おのおの 20 名計 40 名の/ア/の持続発声について $\overline{\Delta F}$ 値の計算を行った. その結果男子は最小 0.13 semitones, 最大 0.21 semitones を示し, 女子は最小 0.15 semitones 最大 0.24 semitones であった. 得られた値について棄却限界を求めると, 男子は 5% 水準で 0.08 semitones~0.23 semitones, 女子は 0.14 semitones~0.25 semitones である. 従って, 男子では 0.23 semitones 以上, 女子では 0.25 semitones 以上は異常であると考えて良い. 男女間には 1% 水準で有意の差がみられるが, 先にも述べた様に, 周波数が高くなると測定誤差も大きくなるので, 女子が男子より瞬時変動が大きいとはいえない.

(b) 単語発声の場合

(i) CRT 表示装置による観察

図 9 は男子の/青い海/の表示例である. 大きくゆるやかな変動はアクセントによるものであり, この変動に乗って細かいピッチの瞬時変動が観察される. 図 10 は 5 点移動平均処理後の表示である. アクセントによる変動は保持されているが, 細かいピッチ瞬時変動は平滑化され, 消去されている.

図9 正常声(男)/青い海/平均化処理前

図10 正常声(男)/青い海/平均処理後

(ii) $\overline{\Delta F}$ 値の計算

対象は持続発声の場合と同じく正常人男女、20名づつ計40名である。

その結果は男子で 0.10 semitones から 0.17 semitones 女子で 0.11 semitones から 0.19 semitones の値を示した。 $\overline{\Delta F}$ 値と異なり男女間に有意の差がなく(1%水準)、棄却限界は男女共にして、5%水準で 0.08~0.19 semitones であった。

$\overline{\Delta F}$ 値と比較すると、全般的に $\overline{\Delta F}$ の方が値が小さい。この違いは、 $\overline{\Delta F}$ が相隣り合うピッチの差そのものであったのに対し、 $\overline{\Delta F}$ はいわば平均よりのへだたりであるので、単語句発声にもかかわらず比較的小さい値になったものと推察される。

2 嘔声について

(i) 持続発声/ア/

(a) CRT 表示装置による観察

1) 喉頭癌の嘔声

喉頭癌において注目された所見は、ピッチの瞬時変動が全くのランダムではなく、ある周期性を持って変化するものがあるという点である。すなわち図11, 12に示される様に比較的高いものと低いものの2つのピッチが交互に連続する。このようなくり返しのパターンが発声の全経過にわたってみられたのではないが、聴覚印象上粗糙性因子の強い部分によくみられた。

2) 喉頭ポリープ

喉頭癌におけると同様のくり返しのパターンが観察された。図13, 14が代表的な例であるが、後の例では3種のピッチによるくりかえしがみられる。これは喉頭癌、喉頭ポリープ、す

図11 喉頭癌 /ウ/ 持続発声
 $\overline{\Delta F}=0.87$ semitones 図12 喉頭癌(男)/イ/ 持続発声
 $\overline{\Delta F}=0.93$ semitones

図13 喉頭ポリープ (男), /ア/ 持続発声
 $\Delta F = 1.16$ semitones

図15 反回神経麻痺 (男), /ア/ 持続発声
 $\Delta F = 0.50$ semitone

図14 喉頭ポリープ (女), /ア/ 持続発声
 $\Delta F = 1.69$

図16 謠人結節 (女), /ア/ 持続発声
 $\Delta F = 0.24$ semitones

なわち声帯に別の固有振動をする Mass のあるもの以外にはみられない所見であった。丘村一色ら (1968) はこれらの疾患はともに R 因子の強い嘎声であることを指摘しているが、このようなくれかえしのパターンと R 因子とは何らかの関連があると考えられる。

3) 反回神経麻痺

本例においては、基本周期の抽出が不能な例が多かった。ピッチの抽出しえたものでは、喉頭癌、ポリープとやや異なるパターンが観察された。すなわち、細かい不規則な変動に加えて 4~6 周期ごとの変動 (相隣りあうピッチ差の増加分を +, 減少分を - とすれば - - - - + + - - - - とした変動) がみられた (図15)。すべてにこのような型が観察されたのではないが、 ΔF 値の大きいものは、この型にみられ

図17 喉頭炎 (男), /ア/ 持続発声
 $\Delta F = 0.24$ semitones

た。

4) 謠人結節, 5) 慢性喉頭炎

以上の2疾患では特に注意をひく所見はみられなかった。微細で不規則な変動が一様に観察された (図16, 図17)。

喉頭癌, ポリープ, 声帯麻痺においても, 軽度嗄声では同様の型を示し, したがってこの細かい不規則なパターンが謠人結節, 慢性喉頭炎に特異的というのではなく, 両疾患の嗄声は一般に軽度であるというに他ならない。

(b) $\overline{\Delta F}$ 値

図18は正常人男女の値とともに, 男女別に69例の嗄声患者の $\overline{\Delta F}$ 値を示したものである。左側縦軸に semitone のスケールを示し, 右側縦軸に参考のため%値をとっている。%値と値と semitone の関係は図5に示した通りである。この表より以下の事が観察される。

1. 0.5semitone 以上を示すものは, 喉頭癌, 乳頭腫, ポリープいずれも声帯に別個の Mass のあるもののみであり, CRT 表示のところでのべた特異なくりかえしパターンを示すものが多い。逆に慢性喉頭炎はすべて 0.39 semitone 以下である。謠人結節も最高 0.60 semitone と癌やポリープに比し, 小さい値である。

反回神経麻痺は予想に反し最高0.95semitone とさほど大きい値でない。嗄声度の高い反回神経麻痺では, 基本周期の抽出が出来なかったものが多く, 必然的に嗄声度の低いものが対象となったためと考えられる。

喉頭癌では正常範囲にあるものはないが, 喉頭ポリープ17例中5例, 謠人結節8例中3例, 喉頭炎15例中7例, 反回神経麻痺15例中1例が

正常範囲にある。これらの嗄声をあらためて聴覚判定すると, いずれも気息性因子(B因子)の優位の嗄声である。本研究では気管前壁音を採用しておりまたサンプリング定理より 6,000Hz 以上は cut されることを考慮に入れると, 気息性因子は本法では表現されにくい。ピッチ瞬時変動はあくまで, 嗄声の側面を示すものであることが再認識される。

(ii) 単語句発声

(a) CRT 表示および (b) $\overline{\Delta F}$ 値

対象とした嗄声患者は20例, その内分けは, 喉頭癌2例(男子), 喉頭ポリープ9例(男子7例, 女子2例), 謠人結節5例(全て女子), 反回神経麻痺3例(男子1例, 女子2例), 喉頭炎1例(女子)である。

CRT 表示によるパターンの観察では持続発声の場合と特に変わった所見はなかった。

図19は喉頭癌患者の/青い海/である。図20は同一例の5点移動平均後の/青い海/であるが, 細かいピッチの瞬時変動が平滑化され, アクセントによる変動が残っている。図19と図20のおのおの対応するピッチの平均処理前後の値の差を求めたのが $\overline{\Delta F}$ であるが, 図21に各疾患についての $\overline{\Delta F}$ 値を示す。各疾患の傾向については $\overline{\Delta F}$ 値とほぼ同じ傾向を示し, $\overline{\Delta F}$ に特有な所見は認められない。本研究では, 単語は/青い海/と, 母音と鼻音のみより成り, しかも起声と終声部は測定していないので, 持続発声に比

図18 正常人及び嗄声患者の $\overline{\Delta F}$ 値。各疾患ごとに男女別で示す。

図19 喉頭癌 /青い海/ 平均化処理前

図20 喉頭癌 / 青い海 / 図19の平均化処理後

して、特徴的な所見が得られなかったのである

VI 考

A 技術的問題点

(1) ピッチ抽出の困難性について

正常会話音声でピッチを正確に自動的に抽出する事は極めて困難なことである。音声合成、人工声などと関連し、工学関係でも重要な課題として取り上げられて、研究されて来たが未だ自然の会話からピッチを即時に正確に抽出する方法はない。その理由は会話声では、1) 多くの倍音が含まれているため、基本より上の倍音を拾ってしまう可能性がある事、2) 会話音声は過渡現象ともいえるべきもので周期振巾が刻々変化し、ピッチのない雑音成分のみの子音なども現われ、とらえにくい。まして嗄声という、雑音成分をふくみ、規則性成分(倍音)が減弱している音声でのピッチ抽出は、そのままの自然会話声では至難というべきであろう。

従来の研究では上記の困難性の故に2つの面が考慮されて来た。1つはピッチ抽出が容易となる様に音声ならびに録音方法を選ぶことであり(サンプル選定) 2にはピッチ抽出の自動化をあきらめ、波形観察による総合判定を行い周期を測る事である(ピッチ計測法)。

(i) サンプル選定について

嗄声の瞬時ピッチないし振巾変動に関連した従来の文献では会話声(文章朗読)を被験サン

図21 正常人及び嗄声患者の $\overline{F_0}$ 値、各疾患ごとに男女別で示す。

う。本法はまず第1歩であり、今後は、起声、終声部、さらに子音部前後の変動を如何に表現するかが問題となるであろう。

按

プルとしているもの(Lieberman 1961, Smith & Lieberman 1964, Hecker & Kreul 1971)と、持続母音発声時気前音を用いたもの(Hiki, Sugawara & Oizumi 1966, Beckett 1969, Koike 1969, von Leden & Koike 1970, Iwata & von Leden 1970)がある。

ピッチ抽出の容易性という点からは後者が優れている事は明らかである。気管前壁音がピッチ抽出に便利である事は Sugimoto & Hiki によって発見され(1960)、以来ピッチ抽出に広く応用されている。Sugimoto & Hiki が示す如く、気管前壁録音は一種の low pass filter の働きをなし、高次倍音をカットするわけである。つまり高周波帯域の情報は省却されるので、嗄声の気前音は口前録音した嗄声と比較するとかなり軽度となる。嗄声に關与する情報が幾分失われるわけである。しかしながらピッチ変動のみを問題にする場合には、気前音すなわち low pass filter による歪みは基本周期に影響しないものとみなし得る。

次にサンプルを持続母音にするか子音にするかの問題であるが各々長短所がある。一般に音声の起始、終止部では Lieberman (1961) Koike (1967) の指摘する如く周期変動が著明で測定し難い傾向がある。Hecker & Kreul

も (1971) 朗読文章を用いながら、文章起始部終止部の不明瞭部は無視し測定対象外としている。ピッチ抽出の容易性、安定性という観点からは持続母音発声の方がより適しているといえる。

しかしながら嗄声は一般に持続発声では、会話時より軽度感じられる。軽度嗄声では、会話時のみ嗄声と感ずる事もある。

Koike (1969) は嗄声のピッチ変動は定常部より起始部でより著明になるとのべ、起始部での音声パラメーターの重要性を指摘している。また Hecker & Kreul (1971) も声帯癌による嗄声では、正常声に比し子音部附近の母音部でピッチ瞬時変動がより著明になるとのべている。これらの研究はいずれも嗄声は過渡的な過程でより著明になる事を示している。従って嗄声に関するより多くの情報、軽度嗄声でも現われる敏感な情報を得るためには会話や文章朗読の方が持続母音より適しているといえる。つまり問題はピッチ抽出の容易性、安定性と、より自然に近い条件でより多くの情報、のいずれをとるか、どこにその妥協点を求めるかである。

以上の考察にもとづき本研究ではまず安定かつ信頼しうる情報を得る目的で母音持続発声時気前音をサンプルとして用い、第2段階として、多少非定常性(アクセント)の現われる単語発声をサンプルとして用いた。

気前音はピッチ抽出に利点こそあれ、不利となる点はないので、文章を被験音とするにしても気前音をとるべきと思われる。音声の起始部、終止部は確かに変動が激しく、測定はやや困難となる。本研究ではこれらの部分の測定は行っていない。次段階で起始部、終止部のみの測定、比較検討を行う予定である。

(ii) ピッチ計測法について

従来の研究は何れも、音声を録音後一旦オシロペーパーに記録し (phonellograph) その波形を目でみながら、周期を判定し、計測する方法 (visual inspection) を用いている。

Gold (1962) が述べている如く、音声波形を

見てピッチを計測するのが最も確実な方法である。サンプルが文章朗読の場合には特に、この方法以外は困難であろう。しかしながら1秒間の音声を200cmの記録紙に描記し、1サイクルづつ手で周期を測っていたのでは、到底臨床診断に応用することは出来ない。

本研究では音声基本周波数(又は周期)の全自動計測に至る前段階として、波形を観察し、初期条件のみを計算機に与え、あとは計算機によるサンプリングポイントの逐時比較による最高値選定法を行い自動測定した。この準自動計測法を種々の程度の嗄声に試み、ついで同一音声サンプルを cursor 移動による、いわば用手法の値と比較したところ、両者間には差がなく一致することが判明した。この準自動法は、波形が第2倍音以上を多く含まぬかぎり、信頼すべき方法といえる。

さらに計測、処理時間を短縮しリアルタイムで処理するためピッチのパルス変換とパルス間隔測定法も試みたが、パルス変換過程とくにフィルターの選択に問題があり、倍音を拾ったり、ピッチの脱落を起すことがあった。しかしながらこの方法は、計測、処理時間が短かい。今後実用化への改良を続ける予定である。

(2) ピッチ瞬時変動の表現法

Lieberman (1961) はピッチ瞬時変動 (pitch perturbation) の程度を示す指標として pitch perturbation factor (PF) —— ΔT (相隣りある基本周期の差) がある規準値 (例えば 0.5 msec) を越える場合のその頻度を%で現わしたもの——を提起した。しかし Lieberman 自身がのべている如く、PF は平均基本周波数つまり、声の高さにより影響をうけ、従って男女差も当然考慮されなければならない。この平均基本周波数の PF に及ぼす影響については Wendahl (1963) は合成実験によりさらに詳しく検討して、嗄声度に関係しているのは ΔF または ΔT (相隣る基本周波数または周期の差) ではなく、 $\frac{\Delta F}{F}$ であると述べている。

Iwata & von Leden (1970) は Lieberman の PF に改良を加え, pitch perturbation の程度を $/\Delta T/$ と積算頻度 (%) の函数として表示した. Hecker & Kreul (1971) は変動の方向性を重視している.

いかなる示標が最も優れているか, それは理論的根拠, 疾患診断における鑑別能力, 嚥声程度の評価力, 簡易性などの点より総合判断せねばならぬ問題であるが, 本研究においては聴覚に出来るだけ対応したものを選ぶべきであるという観点から, ピッチ瞬時変動を semitone で表わし, 平均基本周波数自体の影響を除外する様試みた.

さらにより自然な会話声に近いサンプル, すなわちピッチ抽出に支障を来さない範囲で非正常性をとり入れようとの考えから摩擦音破裂音をふくまない単語をサンプルとして, 解析してみた. そのピッチ変動の様子は図9に示す如く, アクセントによる基本周波数の変動が明らかである. 先にのべた如く, 真のピッチ瞬時変動はこのアクセントの影響を除いてからはじめて得られる. 本研究ではこのアクセント曲線を求めるため, 加重移動平均法を用いた. 何点間の平均を求めるか問題となるが, 本研究では, 13点, 11点, 9点, 7点, 5点 3点の6種について, 実際に平均を試み, アクセント曲線を保持しながら, しかも瞬時変動分は極力平滑化されて, 正常, 病的の鑑別能力にすぐれた5点法を選んだ. これは純経験的な根拠によるものである. 平均する点の個数が少ないと, 平滑(平均)後の曲線になお瞬時変動分が残り, 得られた最終結果は実際より少なく, 算出される. 平均する点の個数が大きすぎると, アクセント曲線がなまり, アクセントによる影響があらわれる. 本研究において, 用いた持続発声時と単語発声時の測定法は原理的に全く異なるので直接比較はできない.

(3) サンプルング頻度

A-D 変換のサンプルング頻度を増せば, 周期計測の精度もます. 本研究では実験方法の項

でのべた如く, 12,315/sec, 0.08msec の rate である. またこれに基づく, 起りうる最大の誤差は図6の通りである.

本研究の一つの制約はあらかじめサンプルング頻度にあり, 実際の正常基本周期瞬時変動はここに報告した値よりなお小さな値と推定される. しかしながら, 正常声, 嚥声の鑑別能力に関してはこのサンプルング頻度にて, 優れた結果が得られたといえる.

なお閾値法においては, A-D 変換をせずに, ピッチ間隔が測定出来る (20KC を用いた) ので, この面での誤差は少なくなる.

(4) その他

(i) 基本周波数の定義に関連して厳密には周期とは, どこからどこまでかが問題となる. ピークからピークまでを周期とする特別の根拠はなく, 理論的にはむしろ声門開大の瞬間, つまり音声の立ち上りから立ち上りまでを1周期とすべきであろう. 現実には, 計測技術上それは困難であり, また臨床的にはさほどの精密さを要求されることもないので, 一応ピークからピークを1周期として計測した.

(ii) 嚥声が高度になると, 雑音のみで, 周期性が全くなくなる. この様な状態ないしこれに近い状態ではピッチ抽出は意味がなく, 不可能でもある. 高度嚥声の場合, 気前音波形をCRT表示装置にて観察し, 目でみてピッチ判読可能か否かを判定した (図22). ΔF が 4 semitones

図22 喉頭癌音声 この様な例では基本周波数の抽出は不可能である.

以上ではピッチ判読が困難なものであったものが多く、それ以上の値はあまり意味がない。

B 実験成績についての考按

本実験では semitone を用いたので、実験成績を直接従来の実験結果と比較することは出来ない。しかし概略の対応をみるため図5に%と semitone の関係を示しておいた。

(計算方法の詳細は省略するが、

$$P = (10^{\frac{S}{39.87}} - 1) \times 100$$

Pは%, Sは Semitone である。)

基本周波数瞬時変動 ΔF が 1 semitone をこえる高度変動例はいずれも、声帯に大きな腫瘍をのせている場合であり、振動質量ないし容積の変化、非対称が ΔF 値に大いに関与している事が判る。反回神経麻痺の、高度声門閉鎖不全例ではいわゆる失声の状態であり、そもそも基本周期(周波数)を抽出する事が出来ない。従って本実験で得られた ΔF 値のみが反回神経麻痺音声不代表するものではなく、この成績はあくまでピッチ抽出可能例つまり声門閉鎖不全の軽度例での所見である。声帯に大腫瘍のない嗄声つまり急性喉頭炎、声帯結節、小ポリープでは ΔF 値は予想外に低く、正常域内に入るものもかなりあった。等しく嗄声といっても、基本周波数瞬時変動の大きいものは一般に声帯上のある程度以上の大きさの腫瘍に起因するものが多い事を知った。換言すれば、嗄声の一側面を分析しえたといえる。喉頭炎、声帯結節、反回神経麻痺(声門間隙が小さいもの)の例では、

口前音はかなり氣息性因子の優勢なものが多かったが、 ΔF 値はこの因子はあまりはっきり反映されていない様に思われた。事実これらの例では氣息性に対応の予想される、高周波雑音は消去され口前音に比し嗄声度の軽くなっている場合が多かった。今後さらに、聴覚印象との対比、口前音、気前音のソナグラムの分析により嗄声を構成するピッチ瞬時変動以外の因子の解明に努める計画である。

基本周波数の変動のパターンを観察すると、交互に増減をくりかえす、いわば+-+-の型と、数個増加を続け、減少する例えば+++++といった型がみられる。後者では+のはじまりから-に移るまでの変動巾は一般に大きく、腫瘍による嗄声で、このパターンが頻々観察された。この所見は Hecker & Kreul (1971) の報告と一致する。

これらの所見はピッチ瞬時変動が、ゆっくりした周期で変調をうけているとも考えられるが、パターン観察のみでは、その規則性をはっきりと認め難いものも多く、客観的に Koike (1969) が振幅変動で行なった如く、自己相関係数を求め検討すべきで今後の課題と思われる。

本実験の結果、一様に嗄声といっても、大腫瘍による嗄声は基本周波数変動が、それ以外の原因による嗄声と比較し大きい。換言すれば、基本周波数変動を測定することにより、大腫瘍嗄声か否かをある程度予測することが出来ると推察された。

Ⅶ ま と め

- (1) 電子計算機により音声基本周波数の瞬時変動を分析した。
- (2) 嗄声度を示す示標として、持続発声については、相隣りあう瞬時周波数の差の平均を、単語発声についてはピッチ時系列の平滑化(5点間の加重移動平均法)前後の周波数差をそれぞれ、semitone 値で示した。
- (3) 基本周波数瞬時変動値は持続発声 /ア/ においては、正常域は男子 0.08 semitones ~ 0.23 semitones, 女子 0.14 semitones ~ 0.25 semitones である。単語発声 /青い海/ においては、正常域は男女とも 0.08 semitones ~ 0.19 semitones である。(ただしサンプリング頻度は12,315回/秒)
- (4) 嗄声においては、持続発声、単語発声とも、喉頭癌では全例、反回神経麻痺では1例を除

き全例，正常範囲より高い値を示すが，喉頭炎，声帯結節では正常範囲内のものもかなりあった。氣息性嗄声では基本周波数瞬時変動値が相対的に低いものと推察された。

基本周波数瞬時変動値が，持続発声で 1.0 semitone 以上の場合，その嗄声は声帯の大きな腫瘍によることが多い。

(稿を終るに臨み，電子計算機 PDP-12 使用の機会を与えて戴いた高知市民病院，飯塚治院長に深謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) Beckett, R.L. : Pitch Perturbation as a Function of Subjective Vocal Constriction. *Folia phoniat.* 21 : 416, 1969.
- 2) Berger, W. : Beiträge zur Analyse pathologischen Stimmlänge. *Arch. Sprach. Stimmheilk. Phonetik* 1 : 18, 1937.
- 3) Bowler, N.W. : A Fundamental Frequency Analysis of Harsh Vocal Quality. *Speech Monogr.* 31 : 128, 1964.
- 4) Burger, D. and Van Der Berg, J.W. : Experimental Huskiness (Hoarseness). *Pract. ORL*, 24 : 192, 1962.
- 5) Coleman, R.F. : Decay Characteristics of Vocal Fry. *Folia phoniat.* 15 : 256, 1963.
- 6) Coleman, R.F. and Wendahl, R.W. : Vocal Roughness and Stimulus Duration. *Speech Monogr.* 34 : 241, 1967.
- 7) Coleman, R.F. : Effect of Waveform Changes upon Roughness Perception. *Folia phoniat.* 23 : 314, 1971.
- 8) Cooper, F.S. : Research Potential in Voice Physiology, D.W. Brewer, International Conference, State University of New York, University Publishers, Inc. New York, N.Y. 194, 1964.
- 9) Dunker, E. und Schlosshauer, B. : Klinische und experimentelle Studien über Stimmlippen-Schwingungen. *Arch. Ohr.-Nas.-Kehlk.-Heilk.* 172 : 363, 1958.
- 10) Dunker, E. und Schlosshauer, B. : Über Anspannung und Schwingungsform der Stimmlippen. *Arch. Ohr.-Nas.-Kehlk.-Heilk.* 173 : 497, 1958.
- 11) Dunker, E. und Schlosshauer, B. : Unregelmäßige Stimmlippen-Schwingungen bei funktionellen Stimmstörungen. *Z. Laryng. Rhinol.* 40 : 919, 1961.
- 12) Dunker, E. and Schlosshauer, B. : Irregularities of the Laryngeal Vibratory Patterns in Healthy and Hoarse Persons. 151-184, Research Potentials in Voice Physiology, D.W. Brewer International Conference, State University of New York, University Publishers, Inc. New York, N.Y. 1964.
- 13) Emanuel, F.W. and Sansone, F.E. : Same Spectral Features of Normal and Simulated Rough Vowels. *Folia phoniat.* 21 : 401, 1969.
- 14) Gerull, G., Giesen, M., Mrowinski, D. and Rudolph, N. : Einsatz der Frequenzanalyse zur objektiven Untersuchung von Stimmstörungen. *Z. Laryng. Rhinol.* 51 : 815, 1972.
- 15) Gold, B. : Computer Programm for Pitch Extraction. *J. Acoust. Soc. Amer.* 34 : 916, 1962.
- 16) Harris, C.M. and Weiss, M.R. : Pitch Extraction by Computer Processing of High-Resolution Fourier Analysis Data. *J. Acoust. Soc. Amer.* 35 : 3 ; 339, 1963.
- 17) Hecker, M.H.L. and Kreul, E.J. : Descriptions of the Speech of Patients with Cancer of the Vocal Folds. Part 1 : Measurements of Fundamental Frequency. *J. Acoust. Soc. Amer.* 49 : 4 ; 1275, 1971.
- 18) Hiki, S., Sugawara, K. and Oizumi, J. : On the Rapid Fluctuation of Voice Pitch. *J. Acoust. Soc. Japan.* 22 : 5 ; 290, 1966.
- 19) 広戸幾一郎 : 発声機構の面よりみた喉頭の病態生理，耳鼻臨床 39 : 増刊 1，229, 1966.
- 20) 広戸幾一郎 : 嗄声—その音声生理学的考察—音声言語医学 8 : 1 ; 9, 1967.
- 21) Hollien, H., Moore, P., Wendahl, R. and Michel, J. : On the Nature of Vocal Fry. *J. Spe-*

- ech Hearing Res. 9 : 245, 1966.
- 22) Inomata, S. : A New Method of Pitch Extraction Using a Digital Computer. Logos, May, 1960.
- 23) Isshiki, N. and von Leden, H. : Hoarseness : Aerodynamic Studies. Arch. Otolaryng. 80 : 206, 1964.
- 24) Isshiki, N., Yanagihara, N. and Morimoto, M. : Approach to the Objective Diagnosis of Hoarseness. Folia phoniat. 18 : 6 ; 393, 1966.
- 25) Isshiki, N., Okamura, Tanabe, M. and Morimoto, M. : Differential Diagnosis of Hoarseness. Folia phoniat. 21 : 1 ; 9, 1969.
- 26) Iwata, S. and von Leden, H. : Pitch Perturbations in Normal and Pathologic Voices. Folia phoniat. 22 : 413, 1970.
- 27) Iwata, S. and von Leden, H. : Voice Prints in Laryngeal Disease. Arch. Otolaryng. 91 : 346, 1970.
- 28) Jeschek, J. : Das Schwingungsverhalten der Stimmbänder bei Lähmung in Paramedian und Intermediärstellung. Zentralblatt für H-N-O heilk. 64 : 239, 1959.
- 29) 柏戸貞一 : 嚔声の医学, 音声言語医学 13 : 1 ; 5, 1972.
- 30) Koike, Y. : Experimental Studies on Vocal Attack. 耳鼻臨床 60 : 8 ; 663, 1967.
- 31) Koike, Y. : Application of Some Acoustic Measures for the Evaluation of Laryngeal Dysfunction. J. Acoust. Soc. Amer. 42 : 1209, 1967.
- 32) Koike, Y. and von Leden, H. : Pathologic Vocal Initiation. Annals Otol. 78 : 138, 1969.
- 33) Koike, Y. : Vowel Amplitude Modulations in Patients with Laryngeal Diseases. J. Acoust. Soc. Amer. 45 : 4 ; 839, 1969.
- 34) Kreul, E.J. and Hecker M.H.L. : Description of the Speech of Patients with Cancer of the Vocal Folds. Part II : Judgements of Age and Voice Quality. J. Acoust. Soc. Amer. 49 : 1283, 1971.
- 35) Laguaite, J. and Waldrop, W.F. : Acoustic Analysis of Fundamental Frequency of Voice before and after Therapy. Speech Therapist J. 18 : 23, 1963.
- 36) Levitt, H. and Rabiner, L.R. : Analysis of Fundamental Frequency Contours in Speech. J. Acoust. Soc. Amer. 49 : 2 ; 569, 1971.
- 37) Lieberman, P. : Perturbations in Vocal Pitch. J. Acoust. Soc. Amer. 33 : 5 ; 597, 1961.
- 38) Lieberman, P. and Michaels, SB. : Some Aspects of Fundamental Frequency and Envelope Amplitude as Related to the Emotional Content of Speech. J. Acoust. Soc. Amer. 34 : 7 ; 922, 1962.
- 39) Lieberman, P. : Some Acoustic Measures of the Fundamental Periodicity of Normal and Pathologic Larynges. J. Acoust. Soc. Amer. 35 : 344, 1963.
- 40) Lively, M.A. and Emanuel, F.W. : Spectral Noise Levels and Roughness Severity Ratings for the Normal and Simulated Rough Vowels Produced by Adult Females. J. Speech Hearing Res. 13 : 3 ; 503, 1970.
- 41) Michel, J.F. : Fundamental Frequency Investigation of Vocal Fry and Harshness. J. Speech Hearing Res. 11 : 590, 1968.
- 42) Micnel, J. and Hollien, H. : Perceptual Differentiation of Vocal Fry and Harshness. J. Speech Hearing Res. 11 : 600, 1968.
- 43) 宮脇一男 : 生体情報処理, コロナ社, 1969.
- 44) Moore, P. and Thompson, C.L. : Comments on Physiology of Hoarseness. Arch. Otolaryng. (Chicago) 81 : 97 ; 1965.
- 45) Mysak, E.D. : Pitch and Duration Characteristics of Older Males J. Speech Hearing Res. 2 : 46, 1959.
- 46) Nakatsui, M. and Suzuki, J. : Method of Observation of Glottal-Source Wave Using Digital Filtering in time domain. J. Acoust. Soc. Amer. 47 : 2 ; 664, 1970.
- 47) Nessel, E. : Über das Tonfrequenzspektrum der Pathologisch veränderten Stimme. Acta Otolaryng. Stockh. Suppl. 157 : 1 ; 1960.
- 48) Noll, A.M. : Short-Time Spectrum and "Cepstrum Techniques" for Vocal-Pitch Detection. J. Acoust. Soc. Amer. 36 : 2 : 296, 1962.

- 49) 丘村 熙, 一色信彦, 田辺正博 : 嗄声の分類記載法と喉頭疾患, 耳鼻臨床 61 : 9 ; 1098, 1968.
- 50) Osgood, L.E. et al : The Mechanism of Meaning. Univ. of Illinois Press, Urbana, 1957.
- 51) Porter, H.C. : Extraction of Pitch from the Trachea., AFCRL, Communication Sciences Laboratory, L.G. Hanscom Field Mass. Research Note (AFCRL-63-24), Feb. 1963.
- 52) Ptacek, P.H. and Sander, E.K. : Age Recognition from Voice. J. Speech Hearing Res. 9 : 273, 1966.
- 53) Ptacek, P.H., Sander, E.K., Maloney, W.H. and Jackson, C.C.R. : Phonatory and Related Changes with Advanced Age. J. Speech Hearing Res. 9 : 353, 1966.
- 54) Ramsey, J.L. : Logical Techniques for Glottal Source Measurements. AFCRL-64-661, Air Force Cambridge Research Lab. 1964.
- 55) Rees, M. : Some Variables Affecting Perceived Harshness. J. Speech Hearing Res. 1 : 155, 1958.
- 56) Sansone, F.E. and Emanuel, F.W. : Spectral Noise Levels and Roughness Severity Ratings for Normal and Simulated Rough Vowels Produced by Adult Male. J. Speech Hearing Res. 13 : 489, 1970.
- 57) Schroeder, M.R. : Period Histogram and Product Spectrum : New Methods for Fundamental-Frequency Measurement. J. Acoust. Soc. Amer. 43 : 4 ; 829, 1968.
- 58) Sherman, D. and Linke, E. : The Influence of Certain Vowel Types on Degree of Harsh Voice Quality. J. Speech Hearing Dis. 17 : 401, 1952.
- 59) Shipp, T. and Huntington, D.A. : Some Acoustic Perceptual Factors in Acute-Laryngitic Hoarseness. J. Speech Hearing Dis. 30 : 350, 1965.
- 60) Shipp, T. and Hollien, H. : Perception of the Aging Male Voice. J. Speech Hearing Res. 12 : 703, 1969.
- 61) Smith, W.R. and Lieberman, P. : Studies in Pathologic Speech Production, Contract No. AF 19 (628)-1678, Project No. 5628, Task No. 5628-2, Air Force Cambridge Research Laboratories, June 1964.
- 62) Smith, W.R. and Lieberman, P. : Computer Diagnosis of Laryngeal Lesion. Comput. Biomed. Res. 2, 291, 1969.
- 63) Sonninen, A. : Phoniatric Viewpoints on Hoarseness. Acta Otolaryng. 263 : 68, 1970.
- 64) Sugimoto, T. and Hiki, S. : Extraction of the pitch of the Voice from the Vibration of the outer Skin of the Trachea. J. Acoust. Soc. Japan 16 : 291, 1960.
- 65) Sugimoto, T. and Hiki, S. : On the Extraction of the Pitch Signal Using the Body Vibration at the Throat of the Talker, paper C 10, Proceedings of the Speech Communication Seminar, Stockholm, 1963.
- 66) 高橋 誠 : 嗄声の調和分解的研究, 日耳鼻 72 : 3, 1969.
- 67) von Leden, H., Timke, R. and Moore, P. : Laryngeal Vibrations : Measurements of the Glottic Wave. Part I The Normal Vibratory Cycle. Arch. Otolaryng. 68 : 1, 1958. Part II Physiologic Variations. Arch. Otolaryng. 69 : 438, 1959. Part III The Pathologic Larynx. Arch. Otolaryng. 71 : 16, 1960.
- 68) von Leden H. : Vibratory Pattern of the Vocal Cords in Unilateral laryngeal Paralysis. Acta Otolaryng. 53 : 493, 1961.
- 69) von Leden, H. and Yanagihara, N. : Respiration and Phonation : The Functional Examination of Laryngeal Disease. Folia phoniat. 19 : 153, 1967.
- 70) von Leden, H. and Koike, Y. : Detection of Laryngeal Disease by Computer Technique. Arch Otolaryng 91 : 3, 1970.
- 71) Wartak, J. : Computers in Electrocardiography Charles C. Thomas. Publishers, 1970.
- 72) Wendahl, R.W. : Laryngeal Analog Synthesis of Harsh Voice Quality. Folia phoniat. 15 : 4 ; 241, 1963.
- 73) Wendahl, R.W., Moore, G.P. and Hollien, H. : Comments on Vocal Fry. Folia phoniat. 15 :

- 251, 1963.
- 74) Wendahl, R.W. : Some Parameters of Auditory Roughness. *Folia phoniat.* **18** : 26, 1966.
- 75) Wendahl, R.W. : Laryngeal Analog Synthesis of Jitter and Shimmer. : Auditory Parameters of Harshness. *Folia phoniat.* **18** : 2 ; 98, 1966.
- 76) Weiss, M.R. and Vogel, R.P. : Implementation of a Pitch Extractor of the Double-Spectrum-Analysis Type. *J. Acoust. Soc. Amer.* **40** : 3 ; 657, 1966.
- 77) 柳原尚明 : 嘎声の音声学的研究, 耳鼻臨床 **55** : 9 ; 357, 1962.
- 78) Yanagihara, N. : Hoarseness : Investigation of the Physiological Mechanisms. *Ann. Otol. Rhinol. Laryng. St. Louis* **76** : 2 ; 472, 1967.
- 79) 柳原尚明 : 嘎声の発生機構に関する研究, 耳鼻臨床 **60** : 8 ; 653, 1967.
- 80) Yanagihara, N. : Significance of Harmonic Changes and Noise Components in Hoarseness. *J. Speech and Hearing Res.* **10** : 531, 1967.
- (原稿到着 : 昭和48年6月5日
別刷請求先 : 一色 信彦
〒606 京都市左京区聖護院川原町
京都大学医学部耳鼻咽喉科)