無反射管による喉頭原音の抽出法

田辺 正博*・一色 信彦**・北嶋 和智*

Measurement of the Glottal Waveform by a Reflectionless Tube

Masahiro Tanabe, Nobuhiko Isshiki and Kazutomo Kitajima

(Kyoto Univ.)

A reflectionless tube described by Sondhi is utilized to obtain the glottal waveform.

The rationale of this method is that the effect of vocal-tract resonances on glottal waveform is considerably reduced by phonating into a reflectionless uniform tube.

Measurement of the transmission characteristic (frequency response) of the tube proved minimal attenuation caused by the tube.

The obtained glottal waveform in four normal subjects and in nine patients with laryngeal pathologies are reported herein and methods presently available for estimating the glottal waveform are also discussed. The glottal waveform with reflectionless tube proved to be simpler and more practical for clinical use.

は じ め に

喉頭疾患の診断, および嗄声のメカニズム解明の手段のひとつに音声の分析が挙げられる. 発声された音声波形には喉頭原音(声門波形)の特徴のみならず声道の形に応じたスペクトル構造が含まれている. 即ち, 声帯振動に伴う声門波形は声門より口唇に至る声道の形に応じた音色の変化を受ける. より明確にいうならば, 声門波形の各倍音成分(harmonics)の振幅を $S(f)$, その周波数における声道の伝達関数を $T(f)$ とするならば, 結果として, 口前で聞かれる音声の周波数成分の振幅 $P(f)$ は両者 $S(f)$ と $T(f)$ の積となる.

$$P(f) = S(f) \cdot T(f)$$

これを対数(dB)で表せば

$$20 \log_{10} P(f) = 20 \log_{10} S(f) + 20 \log_{10} T(f)$$

*京都大学医学部耳鼻咽喉科学教室(主任: 桧 学教授)

**京都大学医学部形成外科

図1：声門波，声道の伝達関数，放射音声の周波数スペクトラム．(Fant, 1960)

図2：Sondhi の無反射管

の如く和となる．この関係を図示すると図1のようになる．声門波は図1上段左に示す如く単純な波形で，そのスペクトラムは図1下段左の如く一般に高い周波数ほど減衰している（減衰特性約 -12 dB/oct, 鋭い三角波に似た声門波形の場合は高調波成分が強く減衰特性は緩かになる）．図1下段中央は声道伝達特性を示したもので，口前音波形は上段右，その周波数スペクトラムは下段右の如くなる (Fant¹⁾, 1960)．

発声障害の場合，問題になるのは声門波形であるから，できれば声道の影響をうけない声門波形を直接抽出分析することが望ましい．今回我々は Sondhi²⁾ (1975) の考案になる無反射管を作製し声門波形の抽出を試みたのでその結果を報告する．

実 験

1. 無反射管の原理

声門で生じた比較的単純な波形（先端のなまった三角波ないし鋸歯状波）が声道断面積の急激な変化のある所では反射される．特に声道断端である口唇部で反射され，その反射波は声門に帰り声門波形と重畳する．重畳した波形は再び口唇部で反射され，さらに声門波と重畳することになる．声門と反射部位（主に口唇）との

距離ならびに音速との関係で何個の反射波が原波形に重畳するかが決定される．換言すれば反射がなければ音源そのものが記録されることになる．理論的には断面積の変化のない声道が同一断面積の剛性の壁をもつ無反射管に連続していれば反射波は起らず，管のどの部分にマイクロフォンを置いても声門波形と同じ波形が記録される．

図3：無反射管の周波数特性の測定

図4：Tubeの遠位端を閉鎖した時の周波数特性

図5：Tubeの遠位端を開放した時の周波数特性

2. 無反射管の作製

無反射管は Sondhi²⁾ (1975) の原型にもとづいて作製した。図2にその概略を示す。内径 2.65cm, 長さ 180cmの真鍮チューブの一端を開放にし, 他端より長さ90cmのグラスファイバー製の円錐形の楔を挿入した。発声時呼吸の息抜きのため楔には内径0.22cmのトンネルを作っている。マイクロフォンは SONY ECM-51 を用い, 無反射管の開放端より30cmの部に小孔を開け管内に突出しない様, 密着固定した。

3. 無反射管の較正

a. 反射波減衰率

無反射管開放端よりパルスを出し, その反射波の減衰率を測定した(松下電気, 音響研究所後藤敏幸部長の協力による)。その結果反射波の減衰は $\frac{1}{4}$ すなわち 23dB であった。

b. 無反射管の周波数特性

図3に実験のブロック, ダイアグラムを示

す。無反射管の開放端にスピーカーを密着, スイープ発振器を用い, 各周波数を連続的に発振, 開放端より30cmにおいたマイクロフォンの出力レベルをレベルレコーダーに記録, 周波数の函数として表わした。実験の結果を図4, 5, 6に示す。図4は管の遠位端を閉鎖した場合, 図5は管の遠位端を開放とした場合の周波数特性を表わしている。図6は管の遠位端に図2に示したグラスファイバー製の円錐形の楔を挿入した場合の結果である。無反射管での共鳴が極めてよく抑えられているのがわかる。

4. 声門波形の抽出実験

声門波形の抽出を正常音声, 病的音声について行った。図7の如く被験者は口に Sondhi の無反射管をくわえ, 歯のところまで入れ, できるだけ声道断面と無反射管内腔とがなめらかに移行する様にする。特に母音を指定しない neutral vowel, 中性母音を発声せしめ, 図2に示した如く無反射管に挿入したマイクロフォン

図 6 : Sondhi の無反射管の周波数特性

図 7 : 無反射管による声門波形抽出実験

(SONY ECM-51) より記録した。マイクロフォンの出力は on line でオシロスコープ (TEXTRONIX 5103 N) に描出, ポラロイドカメラ (C-5 Oscilloscope Camera) を用い記録した。同時に抽出された声門波形をテープレコーダー (SONY TC707MC) により記録し, 後の詳細な分析に供する様にした。

結 果

図 8 は喉頭疾患のない正常者で口前で録音した音声波形と Sondhi の無反射管により抽出した声門波形 (近似声門波形) を示したものである (両者は同時記録ではないので位相は対応しない)。上段の口前音波形と比較すれば判る如く, 無反射管で抽出された波形は単純で基本周波数, 同時時変動等の分析は極めて容易になる。

正常声者 4 名 (男 3 名, 女 1 名) で, 種々の高さの発声について声門波形の抽出を行った。結果を図 9~12 に示す。いずれの case でも反射波はよく抑えられ, 単純な形の近似声門波形

が得られた。

図 13~18 に嗄声を伴う喉頭疾患例で抽出した声門波形を示す。図 13 上下は左反回神経麻痺とともに中等度以下の声門閉鎖不全を伴う症例, 図 14 上下は高度の声門閉鎖不全を伴う症例で, 抽出された声門波形は非常に不規則である。次にポリープ様声帯の 2 症例の声門波形を図 15 上下に示す。図 15 下に示す例では音声は 2 重声 (Diplophonia) と表現できるもので, その声門波形は 3 つずつがグループを成している。図 16 は喉頭癌症例, 図 17 は男性化音声, 図 18 は喉頭外傷症例で抽出された声門波形である。

図8：上段；口前音波形 下段；無反射管による声門波形 両者は同時記録ではないので，位相は一致しない

図9：正常声，男，1目盛：2 msec

図10：正常声，男，1目盛：2 msec

図11：正常声，男，1目盛：2 msec

図12：正常声，女，1目盛：2 msec

図13：反回神経麻痺症例（声門閉鎖不全中等度以下）の嘔声，1目盛：5 msec

図14：反回神経麻痺症例（声門閉鎖不全高度）の嘔声，1目盛：5 msec

図15：ポリープ様声帯症例の嘔声，1目盛：5 msec

図16：喉頭癌症例の嘔声，1目盛：5 msec

図17：男性化音声，1目盛：5 msec

図18：喉頭外傷例の嘔声，1目盛：5 msec

考

喉頭疾患の診断には声道の影響をうけない声門波形を直接測定できれば理想的だが、現在のところ技術的に困難であり、種々の間接法ないし近似法が行なわれている。

我々の今回行なった声門波形の抽出法との比較のため現在行われている種々の方法について、以下簡単に検討を加える。

まず1) 喉頭の高速度映画による方法ではフィルムを毎毎に分析することにより声門面積の変化は可なり正確に得られるが声門波形は声門面積変化より推定しなければならない。2) 光電グロトグラム (Sonesson³⁾, 1960) では声門を通過する光の強さの変化より声門面積変化を求める。3) 電気グロトグラム (Fabre⁴⁾, 1958) は声門の開閉に伴う電気容量変化を応用するものである。2) 3) では1) と同様に声門波形は声門面積変化より推定されるが、声門面積変化自体が間接的に測定されるため得られる声門波は1) の方法より信頼性が劣るといえる。しかし測定方法が1) より簡単で実用的だという利点がある。より実用的には4) 気管前壁音 (気前音) (杉本, 比企⁵⁾, 1960) がピッチ抽出の目的で特に医学領域で用いられてきた。経験的には声門波形に似ており簡単で実用

按

的だが、周波数成分に関する較正の面で定量的に難点がある。その他に5) 超音波利用 (金子他⁶⁾, 1970)。6) 声門下圧の直接測定 (比企他⁷⁾, 1970) なども行なわれているが実用性という面で問題がある。

また最近では7) 逆フィルター法 (Mathews et al⁸⁾, 1961; Rothenberg⁹⁾, 1973) が頻用されている。その原理は声道の伝達関数の逆数に相当するフィルターを通し、口前音波形より直接、声門波形を抽出するものである。この方法には、適切なフィルターの決定が容易でないこと、患者に on-line で使用できないことなどの欠点があり、未だ臨床的実用段階にいたっていない。

今回我々の使用した Sondhi の無反射管と7) 逆フィルター法の根本的な違いは7) が声道の形により影響をうけた口前音波形から声道の影響をとりのぞくのに対し、本法では最初から声門波形が最少のひずみで伝達される条件を作る様にし、逆フィルターを必要としないことである。

本実験の結果が示す様に Sondhi の無反射管を使用することにより声門波形 (厳密には近似声門波形) が比較的簡単に得られることがわ

かった。

断に有用な手段となり得ると考える。

本法は嚥声のメカニズム解明，喉頭疾患の診

ま と め

Sondhi の考案になる無反射管を作製，較正を行ない，喉頭原音（声門波形）の抽出に使用した。発声障害のない正常例および嚥声を伴う喉頭疾患例で声門波形の抽出を試みた結果，いずれの例でも反射波はよく抑えられ単純な近似声門波が得られた。

本法は他の声門波抽出法に比し簡単な方法で近似声門波抽出が可能であり，実地臨床上きわめて実用的であるとの結論を得た。

参 考 文 献

- 1) Fant, G: Acoustic theory of speech production. Mouton Co., 's-Gravenhage, 1960.
- 2) Sondhi, M. M.: Measurement of the glottal waveform. J. Acoust. Soc. Am. 57: 228~232 1975.
- 3) Sonesson, B.: On the anatomy and vibratory pattern of the human vocal folds—with special reference to a photoelectrical method for studying the vibratory movements. Acta Otolaryng. 156: 1, 1960.
- 4) Fabre, M. P.: Etude comparée des glottogrammes et des phonogrammes de la voix humaine. Ann. d'otolaryng. 75: 767~767, 1958.
- 5) 杉本利孝，比企静雄：気管外壁の振動による音声の基本周波数の抽出。音声の分析合成委員会資料。1~12, 1960.
- 6) 金子敏郎，他：発声時の両側声帯面積比の経時的変化について。日本超音波医学会講演論文集。1970.
- 7) Hiki, S., Koike, Y and Takahashi, H.: Simultaneous measurement of subglottal pressure variations. J. Acoust. Soc. Am. 48: 118~119, 1970.
- 8) Mathews, M. V., Miller, J. E. and David, E. E.: An accurate estimate of the glottal waveshape. J. Acoust. Soc. Am. 33: 843, 1961.
- 9) Rothenberg, M.: A new inverse-filtering technique for deriving the glottal air flow waveform during voicing. J. Acoust. Soc. Am. 53: 1632~1644, 1973.

原稿到着：昭和53年4月7日

別刷請求先：田辺正博

〒606 京都市左京区聖護院川原町53
京都大学医学部耳鼻咽喉科学教室