老人の音声の音響学的特徴

森 一功・児嶋 久剛*・土師 知行・本庄 巖

Voice Characteristics of Aged Persons

Kazunori Mori, Tomoyuki Haji and Iwao Honjo

(Kyoto University)

Hisayoshi Kojima

(Kurashiki Central Hospital)

The voices of 20 males with a mean age of 78 years and 24 females with a mean age of 75 years were examined with a micro-computer and a phonation analyzer. In this study we examined the voice quality and phonatory function of aged persons.

The voice of aged male is characterized by a decrease of harmonics and that of aged female is characterized by a decrease of fundamental frequency. These changes may be caused by an atrophy of vocal fold in aged males and by an edematous change of vocal fold in aged females. In both aged males and females, amplitude perturbation becomes large and especially in aged males frequency perturbation also becomes large. These changes are thought to be caused by several factors related to aging, such as atrophy or edematous change of vocal fold mucosa, clumsiness of fine regulation of laryngeal muscles or a decrease of lubrication.

As a phonatory function test, both aged males and females showed a decrease of maximal phonation time. And aged males showed an increase of air flow rate. These changes may be caused by a decrease of lung function, and especially in aged males, these changes are thought to be related to the glottal gap.

Key words: voice characteristics, aging, micro-computer, phonatory function

緒 言

加齢により音声に変化することは周知のこと
で、特に変声期には顕著である。一方、成人の
音声も加齢とともに変化していき、特に老人の
音声は若年成人のそれとはかなり異なる。その
ため、臨床上、老人の音声変化が生理的なもの
か、病的なものか判断に迷う事は少なくない。
これは老人の音声変化についての総合的な情報
が不十分であることも一因と考えられる。我々
は老人の音声の特徴を知ることを目的にして、
正常老人の音声の音響分析と音声機能検査を行
ない、その正常範囲を調べた。

方 法

対象は喉頭疾患、呼吸器疾患のない健康な老
人男性20名（平均年齢 78 ± 6 才）、老人女性24
名（同 75 ± 9 才）であり、コントロールとして
健康な若年男性10名（同 30 ± 5 才）若年女性10
名（同 26 ± 4 才）である。

方法は母音/a/を最も楽な高さと強さで発声
させ、その音声をPCM録音して20KHz、12
ビットでA/D変換してマイクロ・コンピュー
ター（NEC PC-9801VM 2）にとりこんだ。
1024ポイント（51.2msec）のこの音声データ
から基本周波数、基本周波数変動と振幅変動、

調和成分のエネルギー比を算出した。

図1のように、類似性をもった、周期性のある波形のそれぞれの持続時間 T_i から各波形の周波数を求め、51.2msec のピックアップ・データ内に含まれるこの周期性波形の周波数の平均値を基本周波数とした。

また、各周波数をセミトーン・スケール（対数）に換算した後、あい隣合う波形のセミトーン（対数）の差の絶対値の和を波形の数で除したものを基本周波数変動として求めた。さらにそれぞれの周期性波形での最大振幅値の標準偏差値をその平均値で除したものを振幅変動とした。

調和成分のエネルギー比は以下のようにして求めた。1024ポイントの音声データを高速フーリエ変換してパワースペクトラムを求める。すると、A/D 変換率が 20KHz なので、そのパワースペクトラムは 10KHz まで求まり、512ポイントが 10KHz に対応するようになる。基本周波数はすでに求めてあるので、基本周波数の整数倍の周波数の時のパワー（調和成分のパワー）は、このパワースペクトラムの包絡線から近似的ではあるがほぼ正確に求めることが出来る（ピーク・ピッキング法）。このようにして、基本周波数の n 倍に相当する調和成分のパワーを求めることが出来る。調和成分のパワーを基本周波数の20倍の周波数まで加算し、全体のパワーで除したものを調和成分のエネルギー比とした。20倍としたのは、特に男性の場合、第2ホルマント周波数がほぼ20倍前後となるからである。もっとも、10倍以上であれば、男女とも以下の結果に大差は生じなかった。

一方、Phonation analyzer（ミナトPA-500）を用いて呼気流率を計測し、最大発声持続時間も計測した。

結 果

基本周波数と年齢との関係を図2に示す。上段が男性、下段が女性で、左端に正常範囲を示し、以下、これと同様である。男性では全体として、若年成人との差がないが、基本周波数の

高い例が散見される。一方、女性では0.1%の水準で基本周波数が低くなることがわかった。つまり、男性では音声の高い例も見られるが全体として若年成人とで高さは変わらないこと、女性では加齢により音声は低くなることがわかった。

図3に基本周波数変動と年齢との関係を示す。男性では1%の水準で増加しているが、女性では若年成人とに差がないことがわかった。

振幅変動の変化を図4に示す。男性、女性とも0.5%の水準で増加していた。

嗄声の特徴として、従来、基本周波数変動の増加、振幅変動の増加、雑音成分の増加、調和成分の減少等が指摘されており、上記2つの結果から、特に老人男性は嗄声になることがわかった。

図5は調和成分比と年齢との関係である。男性では1%の水準で減少していたが、女性では正常範囲であった。調和成分の減少は雑音成分の増加と等価であり、老人男性の音声は雑音成分が増加している、といえる。

呼気流率と年齢との関係は図6であるが、男性でやや増加するが女性では正常範囲内であった。

図7に最大発声持続時間と年齢との関係を示す。男女とも若年成人よりは減少しているが、特に男性でその程度が強いことがわかった。

以上のことを要約すると、表1の如くなる。つまり、音響分析では老人男性の音声の特徴は基本周波数変動の増加、振幅変動の増加と調和成分比の減少、老人女性のそれは基本周波数の低下と振幅変動の増加であった。音声機能では老人男性での呼気流率の増加が特徴的であった。

考 按

乳幼児から思春期を経て成人に至る際の音声の変化については以前より多くの報告があるが、それ以後の変化についての報告は比較的少ない。さらに呼吸機能を考慮した、発声機能の変化についての報告はほとんどなく、この領域

での研究の立ち遅れが認められる。一方、人口の高齢化に伴い、临床上、嗄声を訴える老人の来院が増加しており、老人の音声についての総合的な情報が必須となりつつある。そのために我々は、老人の音声及び音声機能についてその

正常範囲を求めてみた。

なお、喉頭の老人性変化には、血圧の変化や

表 I

	老人男性	老人女性
基本周波数	↔	↓
基本周波数変動	↑	→
振幅変動	↑	↑
調和成分比	↓	→
呼気流率	↑	→
最大発声持続時間	↓↓	↓

図 I

図2 基本周波数と年齢

中枢神経系の萎縮, 内分泌の変化など **physiological** な変化と, 社会的情緒的な **psychological** な変化とが関与すると思われる. 今回の調査対象は, 某老人ホームに居住する裕福な, 社会的に恵まれた老人である. また, 全身的には軽度の高血圧がある程度で, 他にいわゆる成人病を持たず, 喫煙も行わない健康な老人を選んだ.

音声の基本周波数は対象に母音/a/を無関位発声させたものを使用した. 厳密には話声位から測定すべきであろうが, 無関位発声の母音使用は簡便かつ実用的と思われるので, 今回はこれを使用した. Hollien and Shipp¹⁾ は老人男

性の文章朗読時の基本周波数を求め, 老齡化とともに上昇していくことを示した. また, Honjo and Isshiki²⁾, Mysak³⁾ も男性の音声は加齢により基本周波数は上昇すると報告している. 我々の調査では老人男性の基本周波数は若年成人のそれと有意差が認められなかった. しかしながら図 2 からわかるように, 音声の基本周波数の高い老人がかなり存在することは確かであった. 一方, 女性の基本周波数については, McGlone and Hollien⁴⁾ は健康な老人女性 2 群の比較から, 加齢による基本周波数の変化は少ない, としている. しかし Honjo and Isshiki²⁾ は加齢により女性の基本周波数

図 3 基本周波数変動と年齢

は低くなるとし、我々の結果と一致した。Mc-Glone and Hollien⁴⁾ の報告は65才以上の女性についての基本周波数の変化は少ないというものであり、若年成人と老人との比較を求めたものではない。我々の結果と Honjo and Isshiki²⁾ の報告と併せて、男性では基本周波数が高くなる傾向があり、女性では低くなる傾向があるといえる。Böhme und Hecker⁵⁾ は632人について調べ、成人特に60才までは声域と話声位に変化はないことを報告したが、男性ではそれ以上の高齢者でその話声位の上昇、女性では少しの低下を報告し、我々の結果とはほぼ一致している。

この変化は Honjo and Isshiki²⁾, Muller et al⁶⁾ の指摘するように、両性とも、内分泌の変化による喉頭の変化の影響が大きいと考えられる。つまり、女性では閉経後のエストロゲン系の変化、男性では老化によるアンドロゲン系の変化による喉頭の形態的な変化が示唆されるが、これらは今後の検討が必要となろう。

基本周波数変動は男性では増加し、女性では正常範囲内であった。Wilcox and Horii⁷⁾ は男性での基本周波数変動の増加を報告したが、Honjo and Isshiki²⁾ は男性では正常、女性では増加、と我々の結果とは正反対を報告している。また Linville and Fisher⁸⁾⁹⁾ も女性

図4 振幅変動と年齢

での基本周波数変動の増加を報告している。この差は音声データの **sampling rate** や **sampling duration** の違い, 被験者のサンプリング等が関係していると思われる。

Kitajima & Gould¹⁰⁾ は振幅変動を求めるのに, 音声波形の平滑化を行ったが, 我々は発声の基本周波数, 振幅のほぼ安定した状態の時の波形について平滑化を行わずに検討した。その結果, 男女とも振幅変動の増加がみられた。振幅変動と加齢との関係を調べた報告は少ないが, Ramig and Ringel¹¹⁾ は男性では振幅変動は加齢とともに増加することを報告している。

従来, 基本周波数変動の増加, 振幅変動の増加は嗄声の特徴と指摘されており, 上記 2 つの結果から, 特に老人男性は嗄声になることがわかった。老化による喉頭の変化としては, 声帯の萎縮あるいは浮腫状変化, 喉頭筋群の **fine regulation** の低下, 湿潤度 (**lubrication**) の低下等が考えられる。これらの生理的变化が基本周波数変動の増加, 振幅変動の増加へどのように影響するかは今後の課題と思われる。

嗄声の特徴の一つとして, 雑音成分の増加もあげられる。雑音成分の増加度の定量化として, Kojima and Gould¹²⁾, Yumoto and Gould¹³⁾ らが報告しているが, 今回我々は別の方法で求

図 5 調和成分比と年齢

めた。つまり、調和成分のエネルギーを高速フーリエ変換によるパワー・スペクトラムから近似的に求めて、全エネルギーとの比を求めた。Yumoto and Gould¹³⁾の方法は音声波形の平均により雑音成分はキャンセルされるという仮定の上に求められており、ダイレクトに調和成分を求めたものではない。また、Kojima and Gould¹²⁾の方法は音声波形3つをフーリエ変換すると3つめごとに調和成分が求まるとしているが、これも音声波形の調和成分を直接求めているのではない。我々はピーク・ピッキング法によりかなりの精度で調和成分のパワーそのものを求めることができた。その結果、老人男性では

調和成分は若年成人より減少しており、老人女性では変化がないことがわかった。調和成分の減少は雑音成分の増加と等価と考えられるから、老人男性では雑音成分が増加しているといえる。Kojima and Gould¹²⁾は調和成分の減少度と嚙声の聴覚心理的評価との相関を指摘している。また Hiroto¹⁴⁾はソナグラフによる解析で嚙声の **Breathy Quality** は主に雑音成分の増加によると指摘した。つまり老人男性ではその音声は **Breathy** になる傾向があることを定量的に示すことができた。

呼吸流率は老人男性では増加しており、女性老人では正常範囲内であった。これは老人男性

図6 吸気流率と年齢

では声門閉鎖不全が多く見られ、女性老人では声帯の浮腫状変化が多くて声門閉鎖不全は少ないという Honjo and Isshiki²⁾ の報告と符合すると思われる。一方、吹鳴実験において摘出喉頭が乾燥してくると雑音成分が増加して来、さらには吹鳴に必要な呼気流量が大きくなることはよく経験することであるが、老人でも **lubrication** が低下していることは十分予想される。つまり、老人男性の呼気流率の増加には **lubrication** の低下も関与しているものと思われる。

最大持続発声時間は男女とも低下しており、これは Ptacek and Sander¹⁵⁾ の報告と一致

した。その原因として彼らは、Segre and Aires¹⁶⁾ と同じく、呼吸機能特に肺活量の低下を指摘している。またその低下度は男性の方が高度であった。これは男性では声門閉鎖不全により呼気流率が増加していることと、最大呼気中間流量の加齢による減少は男性で顕著であることとによると考えられる。

ま と め

1) 老人の音声について音響分析として基本周波数、基本周波数変動、振幅変動、調和成分比を求め、音声機能として呼気流率、最大発声持続時間を求め、若年成人と比較した。

2) 音響分析では、老人男性では調和成分の

図 7 最大持続発声時間と年齢

減少, 老人女性では基本周波数の低下が特徴である。これらは老化により男性では声帯萎縮, 女性では声帯浮腫が多く見られることと符合する。また, 男性では基本周波数変動の増加が見られ, 男女とも振幅変動の増加が見られた。

3) 音声機能では, 両性とも最大持続発声時間は減少するが, 特に老人男性では呼気流率の増加が特徴である。これは男女とも呼吸機能の減少によるが, 特に男性では声門閉鎖不全が増加していることによると考えられ, また lubrication の低下も関与していると考えられた。

本論文の要旨は第49回耳鼻咽喉科臨床学会にて発表した。

文 献

- 1) Hollien H and Shipp T : Speaking fundamental frequency and chronologic age in males. *J Speech Hear Res* 15 : 155~159, 1972.
- 2) Honjo I and Isshiki N : Laryngoscopic and voice characteristics of aged persons. *Arch Otolaryngol* 106 : 149~150, 1980.
- 3) Mysak ED : Pitch and duration characteristics of older males. *J Speech Hear Res* 2 : 46~54, 1959.
- 4) McGlone RE and Hollien H : Vocal pitch characteristics of aged women. *J Speech Hear Res* 6 : 164~170, 1963.
- 5) Böhme G und Hecker G : Gerontologische Untersuchungen über Stimmumfang und Sprechstimmlage. *Folia phoniati* 22 : 176~184, 1970.
- 6) Mueller PB, Sweeney RJ and Baribeau LJ : Senescence of the voice : Morphology of excised male larynges. *Folia Phoniati* 37 : 134~138, 1985.
- 7) Wilcox KA and Horii Y : Age and changes in vocal jitter. *J Gerontology* 35 : 194~198, 1980.
- 8) Linville SE and Fisher HB : Acoustic characteristics of perceived versus actual vocal age in controlled phonation by adult females. *J Acoust Soc Am* 78 : 40~48, 1985.
- 9) Linville SE and Fisher HB : Acoustic characteristics of women's voice with advancing age. *J Gerontology* 40 : 324~330, 1985.
- 10) Kitazima K and Gould WJ : Vocal shimmer in sustained phonation of normal and pathologic voice. *Ann Otol* 85 : 377~381, 1976.
- 11) Ramig LA and Ringel RL : Effect of physiological aging on selected acoustic characteristics of voice. *J Speech Hear Res* 26 : 22~30, 1983.
- 12) Kojima H and Gould WJ : Computer analysis of hoarseness. *Acta Otolaryngol* 89 : 547~554, 1980.
- 13) Yumoto E and Gould WJ : Harmonics-to-noise ratio as an index of the degree of hoarseness. *J Acoust Soc Am* 71 : 1544~1550, 1982.
- 14) Hiroto I : Hoarseness—view points of voice physiology. *Jap J Logoped Phoniat* 8 : 1~9, 1967.
- 15) Ptacek PH and Sander EK : Phonatory and related changes with advanced age. *J Speech Hear Res* 9 : 353~360, 1966.
- 16) Segre R and Aires B : Senescence of the voice. *EENT Monthly* 50 : 223~227, 1971.

(原稿採択 : 昭和62年12月18日
別刷請求先 : 森 一功
〒606 京都市左京区聖護院川原町54
京都大学医学部耳鼻咽喉科学教室)