嗄声評価におけるケプストラム分析の応用 (第2報)

—ケプストラム分析の臨床応用—

武田 直也

Quantitative Evaluation of Hoarseness by Means of Cepstrum Analysis —Clinical Application of Cepstrum Analysis—

Naoya Takeda

It has been known that the height of the dominant cepstral peak (C1) is related to perturbation of acoustic speech. In this paper, the possibility of applying C1 to evaluate hoarseness was investigated clinically.

The voice materials were obtained from 100 normal adults for control, and from 105 patients with various laryngeal diseases. The acoustic speech signals were analyzed. The normal group was differentiated from the laryngeal disease group by C1 as well as by PPQ and APQ. However, C1 was the most effective factor to distinguish the normal group from the laryngeal disease groups. On the other hand, C1 increased after laryngomicrosurgery of benign laryngeal lesions. As the degree of perceived hoarseness increased, C1 decreased.

The results suggest that cepstrum might be useful for the screening of pathologic voice, assessment of the success of surgeries for benign lesions of vocal cords, and psychophysical measurement of hoarseness.

Key words : evaluation of hoarseness, cepstrum, perturbation

はじめに

嗄声の客観的評価を目的として多くの音響指標が提唱されている¹⁾。しかし、これらの音響指標が臨床的に有用であるためには分析方法ができるだけ簡単で、嗄声の程度に寄与する音響学的特徴を多く含む必要がある。この様な点を考慮して嗄声評価にケプストラム分析を応用する試みが行われている^{2, 3)}。

比較的簡便であるケプストラム分析は、スペクトル包絡、ピッチ周波数の推定に用いられ、Koikeらは病的音声の持つピッチ周波数の不規則性、つまりゆらぎがケプストラムに影響を与えることに着目し、ケプストラムのドミナントピークの高さが音声のゆらぎに関係していることを報告した^{2, 3)}。さらに、武田はケプストラムの第1ピークとPPQ, APQの間に明瞭な関係が認められたと報告し、ケプストラムがゆらぎの特性を反映しており嗄声の評価に用いることができるのではないかと述べている。そこで、本論文ではケプストラムを用いた嗄声評価について臨床的に検討した。

図1は健康成人の/a/のケプストラムである。図の様にケプストラムの第1ピークの高さを以下、C1とする。

検討目的は以下の3点である。1) 喉頭疾患患者の音声

のスクリーニングについてゆらぎ指標、及びC1を比較、検討する。2) 喉頭微細術前後の音声の変化がC1にどのように反映されるかを検討する。3) 病的音声の聴覚印象的嗄声度とC1の関係を検討する。

図1 健康成人のケプストラム
(第1ピークの高さをC1とする)

方 法

対象は、喉頭疾患及び肺疾患の既往のない健康成人100例（平均年齢：30.7才，男性：56例，女性：44例）から成る正常群と種々の喉頭疾患を有する患者105例（平均年齢：51.7才，男性：60例，女性：45例）から成る嗄声群である。

疾患のうちわけは声帯溝症15例，反回神経麻痺20例，声帯結節13例，声帯ポリープ28例，ポリープ様声帯15例，声帯癌14例（ $T_1N_0M_0$ ：4例， $T_2N_0M_0$ ：6例， $T_3N_0M_0$ ：3例， $T_4N_0M_0$ ：1例）である（表1）。

簡易防音室内で，楽な高さで大きさで持続母音/a/を3回発声させて音声サンプルとした。

口からマイクロフォン（SONY ECM 959-DT）までの距離を20cmとし，デジタルオーディオテープレコーダ（SONY TCD-D10）に音声を録音した。

音声波は4kHzのLow Pass Filter (antialiasing)に通した後，サンプリング周波数10kHz，12bitにてA/D変換しミニコンピュータ（DEC社製PDP11/73）に取り込み分析した。デジタル化した波形をスクリーン上に表示し最も安定した区間を分析した。

ケプストラム分析方法についてはハミング窓を102.4msecとして，以下Koikeらの方法に準じて行った³⁾。独立した5区間を分析しその内の最大値をC1とした。また，その5区間を含む区間でPPQ，APQを求めた。ここでのPPQ，APQはKoikeの定義に従った^{4, 5)}。

1)：音声サンプルを正常群と嗄声群に分けてゆらぎ指標，及びC1を比較した。両群の平均値を比較，検討した。次に，嗄声群を各疾患群に分けて，各々の群と正常群のゆらぎ指標，及びC1の平均値を比較，検討した。尚，各群のPPQ，APQ，C1の値は，歪度，尖度を指標としてべき乗変換を行い正規分布に近似させた後にt-検定を行った。

2)：声帯ポリープ5例，ポリープ様声帯5例において，各々喉頭微細術前音声のC1と術後2週間目の音声のC1を比較した。

3)：嗄声群の音声サンプルより，C1について級間隔を1として0から8までの度数分布表をつくり，各級より1つずつ音声サンプルを任意に選び出し，計7個のサンプルをDATテープに録音し測定用テープとした。1.5秒長

の音声を2秒間隔で3回録音し，音声サンプルの間隔は約5秒とした。録音の順はランダムとして2つの異なったパターン（パターン1，パターン2）を作成した。ヘッドフォンにて2種類の測定用テープを7名の聴力正常な耳鼻咽喉科医に聴取させ，嗄声度を7段階評定（0：正常，1：ごく軽度，2：軽度，3：中等度，4：やや高度，5：高度，6：極度）を行った。まず，7名のうち無作為に選ばれた2名についてパターン1とパターン2の評定点を比較し，聴取順による評定点のばらつきを検討した。次に同一評定者間の評価のばらつきを検討すべく7名のうち無作為に選ばれた2名において初回評価の後，約1週間後に再評価を行い評定点を比較した。以上を検討した後に，パターン1とパターン2での評定点の平均値を求め，C1と比較した。

結 果

1)：まず，正常群と嗄声群のPPQ，APQを図2に示す。ゆらぎ指標は正常群で小さくなっており，特にPPQでは正常群のばらつきが小さくっていた。PPQ，APQともに正常群と嗄声群の平均値には危険率1%で有意差を認めた。

図3に正常群と嗄声群のC1を示す。正常群が嗄声群に比して大きくなっていった。同様に正常群と嗄声群の平均値には危険率1%で有意差を認めた。

次に，嗄声群を各疾患群に分け，各群と正常群のPPQ，APQ，及びC1を図4，図5に示す。PPQの絶対値では声帯癌が最も大きく，次いで声帯溝症，反回神経麻痺が大であった。また，APQでも声帯癌が最も大きくなっており，次いでポリープ様声帯が大であった。C1では，声帯癌が最も小さく，次いで反回神経麻痺が小であった。

正常群と各疾患群の平均値の比較では，PPQにおいて

図2 正常群，嗄声群のゆらぎ指標

表1 対 象

		症例数 (人)
正 常 群		100
嗄 声 群	声帯溝症	15
	反回神経麻痺	20
	声帯結節	13
	声帯ポリープ	28
	ポリープ様声帯	15
	声帯癌	14
計		205

図3 正常群, 嗄声群のC1

図4 正常群, 各疾患群のゆらぎ指標

図5 正常群, 各疾患群のC1

声帯結節群と正常群で有意差が見られなかったのに対し, C1では正常群と全ての疾患群との間に危険率1%にて有意差を認めた。

2): 図6に喉頭微細術前後の音声のC1を示す。術前の音声に比して術後の音声のC1は増加した。C1が1以上

図6 手術前後におけるC1の変化

図7 音声サンプル順の違いによる聴覚印象スケールのばらつき

図8 同一評定者における聴覚印象スケールの誤差

増加した例は4例(声帯ポリープ2例, ポリープ様声帯2例)であった。

3): 図7は任意に選ばれた2人の評定者におけるパターン1とパターン2の測定用テープにおける評定点を比較したものである。両者の相関係数は0.913であり聴取順の違いによる評定点のばらつきは無視できると考えられた。

図8は任意に選ばれた2人の評定者における, 初回評定点と1週間後の評定点の差を示したものである。同一評定者における評価のばらつきは±1以内で86%と90%であり比較的少なくなっていた。

図9にC1と聴覚印象的嗄声度の関係を示す。C1が大きい

図9 聴覚印象スケールとC1

くなるほど嗄声度は軽度となった。C1と評定点のスピアマン順位相関係数は、 -0.81 であり比較的な相関が認められた。しかし、C1が3以上になると嗄声度は聴覚印象スケールにおいて2以下となり聴覚印象的な変化は小さくなった。

考 察

嗄声の客観的評価は臨床的に喉頭病変のスクリーニングの目的で、また手術や音声治療による音声改善の指標として有用であると考えられる。そこで、ケプストラムを嗄声評価に応用しその有用性を検討した。

PPQ, APQは病的音声のゆらぎを表した指標で嗄声の評価において有用とされている^{4, 5)}。今回の検討でも正常群と嗄声群におけるゆらぎ指標の平均値間に有意差が認められ、嗄声群つまり喉頭疾患患者のスクリーニングにおいて有用と考えられた。C1は周期ゆらぎ、振幅ゆらぎを合わせて表現できると報告されている。C1においてもPPQ, APQ同様、正常群と嗄声群の平均値間に有意差を認めた。以上よりC1もPPQ, APQと同様に喉頭疾患患者のスクリーニングに用いることが可能であると考えられた。

次に嗄声群を各疾患群に分けて、各々の群と正常群のゆらぎ指標、及びC1の平均値を比較した。声帯癌ではPPQ, APQともに大きくなっており、癌病変による声帯振動の変化が音声のゆらぎに大きく反映された。また、C1では声帯癌が最も小さくなっておりゆらぎの増加を表していると考えられた。PPQにおいては正常群と声帯結節群間で平均値に有意差が見られなかった。今回検討対象とした声帯結節群に比較的軽度の症例が多かったためではないかと考えられるが、APQ, C1では、全疾患群で正常群との間に危険率1%にて平均値に有意差を認めた。C1はPPQ, APQを合わせて表現できるため、PPQ, APQのどちらか一方でも有意に変化すればその影響がC1に反映されることが考えられる。声帯結節群においてもPPQでは正常群との間に平均値の有意差が見られなかったが、APQでは有意差が見られたためC1でも有意差が認められたのではない

かと考えられる。

声帯ポリープ、ポリープ様声帯の患者で手術前後の音声の変化をC1でとらえる試みを行った。Koikeらは喉頭微細術後の音声改善に伴ってケプストラムのドミナントピークが大きくなったと報告している³⁾。今回の検討でも、C1は手術後に増加した。ケプストラムでは軽度の嗄声を訴える患者の手術前後の音声の変化は比較的とらえにくいとされている³⁾。今回対象とした症例は高度の嗄声を持つ患者であり、手術前後の変化は比較的明らかに認められた。このように手術後の音声の改善度の指標としてC1は有用であると考えられた。また、ピークの変化は患者に対して直観的にとらえやすく、臨床的にも病状改善の説明に用いることができると考えられる。さらに、音声治療中の音声の経過を見る場合などにも応用が可能ではないかと考えられる。

嗄声評価の指標として聴覚印象との関係は重要である。様々な音響分析法を用いて得られた音響パラメーターと音声の聴覚印象との関係を検討した報告も見られる⁶⁻⁸⁾。Koikeらは喉頭微細術後の聴覚印象的な音声改善に伴ってケプストラムのドミナントピークが大きくなったことを報告し、音声改善とピーク変化の関係は重要であると述べている³⁾。阿部らは合成音声を用いた実験において、聴覚印象的嗄声度とPPQの間には相関が見られると報告した⁹⁾。C1とPPQの間に相反関係が認められたという報告が見られることより、C1と聴覚印象的嗄声度との間にも何らかの関係が認められることが推察される。代表的なC1を持つ音声をランダムに聴取させて聴覚印象的嗄声度の評価を行った。一連の音声を聞かせた場合、前後の音声を比較してしまう危険があり聴取順による評価の誤差が問題となる。そこで、聴取順をランダムに変えて2回評価を行った。1回目の評定点と2回目の評定点の相関係数は 0.913 であり、聴取順が変わっても比較的稳定した評価が行い得ていた。次に同一評定者における評価のばらつきについて検討した。任意に選んだ2人で一定期間後、再評価を行ったが評定点において ± 1 の誤差を含めると86%と90%で比較的稳定した評価を行い得ていたと考えられた。以上の様に聴取順による誤差、同一評定者間における誤差はほぼ無視できる事を確認した。聴覚印象スケールとC1のスピアマン順位相関係数は -0.81 であった。つまり、聴覚印象スケールが増加して嗄声度が増すにつれてC1は減少し、また聴覚印象スケールが減少して嗄声度が減るにつれてC1は増加するという関係が明瞭に認められた。しかし、この関係は直線的関係ではなく、C1が3以上になると聴覚印象的嗄声度は2以下となり変化が極めて小さくなった。聴覚的にとらえることのできる限界を越えた軽度の嗄声ではC1は3以上となり、このような嗄声の評価を行う時や軽度の嗄声の経過を追う場合においてC1は有用な指標となり得ると考えられた。

ま と め

1. ケプストラムを用いた嗄声評価について臨床的に検討した。
2. 健常成人100例, 喉頭疾患患者105例の音声进行分析し, C1 (ケプストラムの第1ピーク値) を求め, ゆらぎ指標 (PPQ, APQ) と比較検討した。
3. 正常群と嗄声群間, 及び正常群と各疾患群間において C1 の平均値に有意差を認めた。C1 による喉頭疾患患者のスクリーニングの可能性が示唆された。
4. 声帯ポリープ5例, ポリープ様声帯5例において喉頭微細術後の音声の改善にともなって C1 は増加した。C1 は術後の音声改善の指標として有用と考えられた。
5. 聴覚印象的嗄声度と C1 には明かな関係が認められた。嗄声評価の指標として C1 は有用と考えられた。

お わ り に

稿を終えるにあたり, 御指導, 御校閲を賜りました徳島大学医学部耳鼻咽喉科学教室主任, 小池靖夫教授, ならびに当教室講師, 大山玄先生に深甚なる謝意を捧げます。また, 御協力を頂きました徳島大学医学部耳鼻咽喉科学教室各位に感謝の意を表します。

尚, 本論文の要旨の1部は第4回, 第5回日本喉頭科学会総会, および第37回日本音声言語医学会において発表した。

参 考 文 献

- 1) 武田直也: 病的音声の評価—文献的考察—。耳鼻臨床 suppl 61: 91~95, 1993.
- 2) Koike Y: Cepstrum analysis of pathologic voices. J. of Phonetics 14: 501~507, 1986.
- 3) Koike Y, Koda J: The effect of laryngeal surgery on the speech cepstrum. Ann Bull RILP No.22, 75~83, 1988.
- 4) Koike Y: Application of some acoustic measures for evaluation of laryngeal dysfunction. Studia Phonologica VII, 12~23, 1973.
- 5) Koike Y, Takahashi H and Calcaterra, TC: Acoustic measures for detecting laryngeal pathology. Acta Otolaryngol 84: 105~117, 1977.
- 6) 平野 実ほか: 病的音声における聴覚心理的パラメータ。耳鼻臨床 70(6): 525~531, 1977.
- 7) 湯本英二: 嗄声度の定量的指標に関する研究。耳鼻臨床 76(9): 2151~2168, 1983.
- 8) 今泉 敏ほか: サウンド・スペクトログラフによる病的音声の分析。日本音響学会誌 36: 9~16, 1980.
- 9) 阿部博香ほか: 嗄声の聴覚心理的評価と PPQ, APQ の関係。音声言語医学 27: 1~8, 1986.

別刷請求先 〒770 徳島市蔵本町3丁目18-15

徳島大学医学部耳鼻咽喉科学教室 武田直也