

TR - A - 0080

0009

発声・発話障害の
定量評価に関する研究

大山 玄

1990. 3.30

ATR 視聴覚機構研究所

〒619-02 京都府相楽郡精華町乾谷 ☎07749-5-1411

ATR Auditory and Visual Perception Research Laboratories

Inuidani, Sanpeidani, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto 619-02 Japan

Telephone: +81-7749-5-1411

Facsimile: +81-7749-5-1408

Telex: 5452-516 ATR J

1. はじめに

音声・言語障害の定量評価についての検討を行う。これらの障害の評価は、これまで聴覚的印象に基づく定性評価を用いてきた。今までの研究から、よく訓練された者の聴覚的印象は、麻痺性構音障害の診断に十分役に立つ事が知られている。しかし、主観的定性的評価では評価者による差があり、また長期観察中の障害の変動を安定にとらえるには問題がある。これに対し、音響分析手法等の定量評価を用いればより安定な評価が可能であると考えられる。また、聴覚的印象と音響パラメータ等とを比較することは、障害を詳細に解明するためにも必要であると考えられる。

今回我々は、発話、発声障害の定量評価法について検討を行った。

発話障害（構音障害）は主に舌、顎、唇等の動きに障害のあるもので、大きく次の3つにわかれる。

1. 麻痺性構音障害
2. 器質性構音障害
3. 機能性構音障害

麻痺性構音障害は調音器官には障害はなく、神経、筋系、脳に障害がある場合であり、器質性構音障害は調音器官そのものに障害のある場合で、機能性構音障害は調音器官の使い方の問題のある場合である。ここでは、2章において1.の麻痺性構音障害の定量評価について述べる。

3章において構音障害が現れる別の例として重症筋無力症の定量評価について述べる。

次に喉頭に障害がある発声障害の定量評価について述べる。

4章に於て、調波構造を用いた嘔声の分析について述べる。

5章に於て、ケプストラムを用いた嘔声の分析について述べる

6章に於ては外転性発声障害の分析について述べる。

2. 麻痺性構音障害の定量評価

麻痺性構音障害の評価は、これまでは話言葉の聴覚的印象に基づく評価を用いてきた。例えばDarley等は、様々な神経疾患症例のサンプルを録音し、系統的に聴覚的印象に基づく分類を試みた^{2-1, 2)}。彼らは、仮性球麻痺、パーキンソン氏病等の様々の病体の聴覚印象による分類を試みた。広瀬等も同様の試みをしており、麻痺性構音障害のさまざまなタイプの診断に聴覚印象が役に立つことを示している^{2-3, 4)}。

また、聴覚的印象と音響パラメータとを比較することは、麻痺性構音障害を詳細に解明するためにも必要である。しかしながら、これに関する研究は、麻痺性構音障害の音声の発話速度、及び各音素の持続時間と聴覚印象について調べた²⁻⁵⁾くらいであり、これらの関係は、まだ十分には、解明されていない。例えばZiegler等は音響分析手法を用いて、10人の麻痺性構音障害の音声の分析を試みた²⁻⁶⁾。彼らは、破裂音を含む音声を分析し、子音の音圧による評価を試みた。音圧は、12.6msecの窓をかけて3.2msec毎に計算し、結果をスムージングした。ターゲット母音に、隣接する破裂音のreleaseとclosureの音圧変化の最大値を求め、その結果、子音-母音、母音-子音の間における音圧の差に減少が見られたと報告している程度である。

そこで今回我々は、麻痺性構音障害の基礎的な音響的性質を検討するため、麻痺性構音障害の音響的分析を行ない、数種のパラメータを用い、下記の点についての定量的評価の可能性を検討したので報告する。

1. 正常者と患者との音響パラメータ
2. 疾患の程度と音響パラメータ
3. x線マイクロビーム法と音響パラメータ
4. 同一患者の時期による音響パラメータの違い

2. 1 資料

話者としては、

正常者 数人、

仮性球麻痺性 20数人

を用いた。表2-1、2に患者の年齢、性別、疾患等及び、構音障害の治療にあった者が行った聴覚的主観評価による重症度を示す。表2-1の構音及び総合は福迫等の評価基準²⁻⁴⁾に準じた評価であり、0が軽く、5が重いことを表す。

表2-1の患者に発話させた発話資料を表2-3に、表2-2の患者に発話させた発話資料を表2-4に示す。発話資料はこれらの表に示す様に、主に2モーラの無意味音声V-C-Vを用いた。Vは母音/a/、子音としては、調音器官の動きの速さを調べるために、無音破裂音/p /, /t /, /k /, 有声破裂音/b /, /d /, /g /を用いた。

収録場所及び条件としては正常者は、防音室及び、静かな部屋でDATに録音し、仮性球麻痺患者は病院の静かな部屋で、カセットテープに録音した。

参考までに表2-1の患者の発話の試聴結果を表2-5に示す。

2. 2 分析

収録した音声を9.5KHzのLPFを通した後、20KHzのサンプリング周波数でA/D変換した。この音声を20msecのハミング窓を用い、10msecの分析周期で分析回数24回のLPC分析法、ケプストラム分析法を用いて分析した。

求めたパラメータは

- a. パワーの短期間の変化
- b. パワーの長期間の変化
- c. 子音部と母音部のパワー差

- d. ケプストラムのピークの値
 - e. スペクトル変化
 - f. ホルマント周波数
- 等である。

これらのパラメータについて説明する。

a. パワーの短期間の変化

10 msecごとに求められたパワーの値の前のフレームとの差をパワー変化としてとらえた。これはパワーの速い変化をとらえるためである。無声破裂音において破裂の前の無音部から破裂部及び母音部への移行の変化の早さをパワーの変化として捕らえる。これは動的な特徴を表す。

b. パワーの長期間の変化

同じく10 msec毎に求められたパワーの値を基にしてこの5点を通る最小二乗誤差直線の傾きを求めた。これはゆるやかなパワーの変化を求めるためである。子音部、母音部の境界が不明確の時おおまかな変化をとらえる。これも動的な特徴を表す。

c. 母音、子音のパワーの差

視察により母音の定常部分と子音の破裂の前の無音部を定め、これらの部分のパワーの平均値の差を求めた。声帯振動が止まらないことによる無声音の有性音化及び唇、舌の閉鎖不完全による息洩れをとらえる。これは静的な特徴を表す。

d. ケプストラムのピークの値

ケプストラムの低ケフレンシー部における周期性のよるピークの値を求めた。無声音部の有性音化をとらえる。これは静的な特徴を表す。

e. スペクトルの変化

前のフレームの間とのLPCケプストラム距離を求め、これをスペクトル変化とした。構音器官の動きの早さをとらえる。これは動的な特徴を表す。

f. ホルマント周波数

線形予測係数を係数とする高次代数方程式からホルマント周波数を求めた。母音、子音の構音状態をとらえる。これも静的な特徴を表す。

図2-1に正常発話/a p a/の分析例を示す。図は上から、波形、スペクトル変化、パワーの変化、パワーをそれぞれ示す。波形で、スペクトル変化、パワーの変化、パワーはdBで相対値として示す。スケールはそれぞれが表示に都合が良い様に合わせている。子音から母音への過渡部でスペクトルの変化、パワーの変化が鋭いピークを示している。これは調音器官の速い動きを反映しているものと思われる。

図2-2に麻痺性構音障害(仮性球麻痺)者の発話/a p a/の例を示す。図2-1同様上から、それぞれ波形、スペクトル変化、パワーの変化、パワーを示す。子音から母音への過渡部でスペクトルの変化、パワーの変化が鋭いピークを示していない。これも調音器官の動きが鈍いためと思われる。

2. 3 結果

以下に主な結果を示す。なお疾患者は表2-1に示すものである。

a. パワーの変化

表2-6 Aに正常者の音声の場合を、表2-6 Bに麻痺性構音障害者の音声の場合のパワーの変化をdBでそれぞれ示す。正常者の音声においては常に大きな値を示す。麻痺性構音障害者の音声においては一般に、聴覚印象に基づく障害の程度が重くなるに従って、徐々に値が小さくなる。この傾向は、子音の種類により異なっており、無声破裂音 /p, t, k/ のほうが大きな変化を示している。これらは、調音器官の動きの速さが遅くなるにつれて、パワーの変化が小さくなる事による

ものと考えられる。これに対し、有性破裂音、特に /g/ はあまり大きな変化を示していない。有性音の場合は、子音部でもある程度パワーが大きいと思われる。評価の目的には無声破裂音が適していると考えられる。

b. パワーの長期の時間の変化

表 2-7 A は正常者の音声の場合を、表 2-7 B に麻痺性構音障害者の音声の場合のパワーの長期の時間の変化をそれぞれ示す。これは表 2-6 とほぼ同じ傾向を示す。即ち、正常者の音声においては常に大きな値を示す。麻痺性構音障害者の音声においては一般に、聴覚印象に基づく障害の程度が重くなるに従って、徐々に値が小さくなる。これも、子音の種類によって異なっており、無声破裂音 /p, t, k/ は大きい変化を示している。これらも、調音器官の動きの速さが遅くなるにつれて、パワーの変化が小さくなる事によるものと考えられる。これに対し、有性破裂音、特に /g/ は余り大きな変化を示していない。有性音の場合は、子音部でもある程度パワーが大きいと思われる。評価の目的には無声破裂音が適していると考えられる。

c. 母音と子音のパワーの差

表 2-8 A は正常者の音声の場合を、表 2-8 B に麻痺性構音障害者の音声の場合の母音と子音のパワーの差を dB でそれぞれ示す。各々の条件について値が 2 つあるのは、上が先行母音と子音との差、下が後続母音と子音との差である。正常者の音声においては常に大きな値を示す。また麻痺性構音障害者の音声においては一般に、聴覚印象に基づく障害の程度が重くなるに従って、徐々に値が小さくなる。これらの傾向は子音の種類によって異なっており、この目的のためには、子音部で無音区間のある無声破裂音の方が、無音区間がある場合の少ない有聲破裂音より、ここでの目的には適している。例えば疾患例の No. 8 の /p/ の場合は母音部と子音部の差が小さくなっている。この場合、/apa/ は /aba/ の様に聞こえる。これらは、無声子音部で声帯振動が止まらないことによる無声音の有聲音化および、無音部における息洩れの影響によるものと考えられる。

d. ケプストラムのピーク

表 2-9 A は正常者の音声の場合を、表 2-9 B に麻痺性構音障害者の音声の場合のケプストラムのピークの値をそれぞれ示す。正常者の音声においては常に小さな値を示す。この目的のためには、子音部で無音区間のある無声破裂音の方が、無音区間がある場合の少ない有聲破裂音より適している。有性破裂音は無声破裂音との比較のためである。麻痺性構音障害者の音声においては一般に、聴覚印象に基づく障害の程度が重くなるに従って、徐々に値が大きくなる。これらは、無声子音部で声帯振動が止まらないことによる無声音の有聲音化によるものと考えられる。例えば、疾患例の No. 5 の /t, k/ は大きな値を示している。この場合 /ata/, /aka/ は /ada/, /aga/ の様に聞こえる。

e. スペクトル変化

表 2-10 A は正常者の音声の場合を、表 2-10 B に麻痺性構音障害者の音声の場合のスペクトルの変化をそれぞれ示す。正常者の音声においては常に大きな値を示す。また麻痺性構音障害者の音声においては一般に、聴覚印象に基づく障害の程度が重くなるに従って、徐々に値が小さくなる。これも、子音の種類によって異なっており、無声破裂音 /p, t/ は大きい変化を示している。これらは、調音器官の動きの速さが遅くなるにつれて、スペクトルの変化が少なくなる事によるものと考えられる。これに対し、有性破裂音、/b, d, g/ は余り大きな変化を示していない。

f. ホルマント周波数

表 2-11 に麻痺性構音障害者の音声の場合の母音部の第 1、第 2 ホルマントの値を示す。麻痺性構音障害者の音声において /a/ の標準領域からはみ出した値を示すものもある。これは特に、聴覚印象において母音の構音異常と判定されたものに多く、これらは /e/ か /u/ の様に聞こえる。

図 2-3 に麻痺性構音障害の音声のスペクトル変化とパワー変化を示す。図で X 軸はパワーの変化（表示の関係で dB ではなく、パワーの値を対数軸にプロットしている）を、Y 軸はスペクトルの変化を表す。図中で X 印は聴覚印象に基づく重度、△印は中度、○印は軽度を示す。楕円は 95% の範囲を示す。この図からパワー変化ではあまり軽、中、重度の 3 つが分離されていない。これに反し、スペクトル変化を用いると 3 つがよく分離されている。

2. 4 X線マイクロビーム法との比較

X線マイクロビーム法を用いて観測された構音器官の動きとここで求める音響パラメータとの対応を検討する。これらの資料は以前、別の目的（構音異常）で記録されていた物の音声を今回新たに音声を分析したものである。

a. 正常者 1 (HH) の場合

ペレットは図 2-4 に示す様に顎、唇、ヴィラム、中舌、奥舌の 5ヶ所に取り付けた。位置検出のための座標は図に示すとおり、正中断面において喉のあたりを原点において、水平面で唇の方向 X 軸、頭部の方向を Y 軸にとってある。取り込み速度は 1 フレーム当り 6.76 msec である。発話資料を表 2-12 に示す。図 2-5 に結果の 1 部、/patak/ の例を示す。図は上から顎、唇、ヴィラム、中舌、奥舌の動きを表す。各位置において上の曲線が横方向、下の曲線が縦方向の動きを表す。顎、唇の動きの上の曲線は上方が口を閉じ、下方が口を開くことを表し、下の曲線は上方が前方への突き出し即ち口の閉鎖、下方が後方へ引く即ち口を開くことを表す。舌の動きの上の曲線は上方が声道の狭め、下方が開くことを表し、下の曲線は上方が前方への突き出し、下方が後方へ引くことを表す。ヴィラムの動きの上の曲線は上方が閉鎖、下方が解放を表し、下の曲線は上方が前方への突き出し即ち解放、下方が後方へ引く即ち閉鎖を表す。

/ka/ においては、奥舌、/ta/ では舌尖、/pa/ では唇のが閉じるためこれらの動きがはっきりと示される。

スペクトル変化、パワー変化を表 2-13 に示す。どちらも大きな値を示している。

b. 正常者 2 (SK) の場合

ペレットは図 2-6 に示す様に顎、唇、前舌、奥舌の 4ヶ所に取り付けた。発話資料を表 2-14 に示す。図 2-7 に結果の一部、/kakato/ の例を示す。図は上から音声信号の包絡、顎、唇、前舌、奥舌の動きを表す。取り込みの速さは 5.48 msec/frame である。各位置において上の曲線が横方向、下の曲線が縦方向の動きを表す。顎、唇の動きの上の曲線は上方が口を閉じ、下方が口を開くことを表し、下の曲線は上方が前方への突き出し即ち口の閉鎖、下方が後方へ引く即ち口を開くことを表す。舌の動きの上の曲線は上方が声道の狭め、下方が開くことを表し、下の曲線は上方が前方への突き出し、下方が後方へ引くことを表す。/ka/ においては、奥舌、/to/ では舌尖がとじるためこれらの動きがはっきりとしめされる。

表 2-15 に音響パラメータ、スペクトル変化、パワー変化を示す。どちらも大きな値を示している。

c. 疾患者の場合

疾患者におけるペレットの取り付け位置を図 2-8 に、発話資料を表 2-16 に示す。結果の一部、/kakato/ の例を図 2-9 に示す。スペクトル変化、パワー変化を表 2-17 に示す。図は上から顎、唇、舌尖、ヴィラムの動き及び音声包絡を表す。各位置において上の曲線が横方向、下の曲線が縦方向の動きを表す。顎、唇の動きでは上の曲線は上方が口を閉じ、下方が口を開くことをあわらし、下の曲線は上方が前方への突き出し即ち口の閉鎖、下方が後方へ引く即ち

口を開くことを表す。舌の動きではの上の曲線は上方が声道の狭め、下方が開くことを表し、下の曲線は上方が前方への突き出し、下方が後方へ引くことを表す。ヴィラムの動きの上の曲線は上方が閉鎖、下方が解放を表し、下の曲線は上方が前方への突き出し即ち解放、下方が後方へ引く即ち閉鎖を表す。

正常例と疾患例を比較する。発話資料が異なるので、厳密な比較は出来ないが、 $/p/$ 、 $/t/$ 、 $/k/$ を見比べると、一般的に疾患例では顎、舌の動きが、正常例に比較すると、遅くなっており、またスペクトル変化、パワー変化も小さくなっている。このことより、これらのパラメータは構音器官の動きを反映しているものと思われる。

2. 5 録音時期による違い

表2-18に同一人物の録音時期による音響パラメータであるスペクトル変化、パワー変化の違いを示す。疾患患者a(表2-2のNS)は6か月の間に2回、疾患患者b(表2-2のMK)は6か月の間に3回、録音を行っている。この資料ではあまり顕著な差はでていないが、後の時期ほど高い値が多くなっている。

2. 6 まとめ

麻痺性(運動障害性)構音障害の話し言葉の物理的(音響的)特徴を明らかにするため、音響分析による定量的評価を試みた。仮性球麻痺患者、及び正常者による発話を静かな部屋で録音した。発話資料は、構音器官の早い動きを検討するため、2モーラ無意味語(VCV、 $V=/a/$ 、 $C=/p, t, k, b, d, g/$)等を用いた。求めたパラメータは、波形のパワー、パワーの変化、スペクトル包絡の変化、パワーの数10msecの変化率(傾き)、母音部と子音部のパワーの平均値の差、周期性、ホルマント周波数等である。病的発話は正常発話に比し、子音部におけるスペクトルの変化が少なく、パワーの変化の最大値が小さく、パワーの傾きの最大値も小さく、母音部と子音部とのパワーの差も少ない。この傾向は麻痺の程度が重くなるにつれて強くなり、聴覚印象による構音障害の重さの程度によく対応していた。これは構音器官の動きの鈍さによるものと考えられる。更に、子音母音のパワーの差も閉鎖の不十分さによる息洩れ、及び声帯振動の持続によるものを反映している。X線マイクロビーム法で観測された構音器官の動きと音響パラメータとの対応を見てみると、ある程度の対応はとれており、これらの音響パラメータは構音器官の動きを反映させているものと考えられる。

又、同一人物の録音時期による違いを見てみると、時期的に後の音声から得られた音響パラメータの方が良好な結果を示しており、ある程度訓練、治療の効果を表すのにも使える可能性が有るものと思われる。

しかし、パワーの変化では爆発性の発話等の場合は逆に正常より一見良好な値を示す事になり、今後の検討を要する。

参考文献

- 2-1) Darley, F.L., Aronson, A.E. and Brown, J. R. : Differential diagnostic patterns of dysarthria. J. Speech Hear. Res., 12, p.146-269, 1969.
- 2-2) Darley, F.L., Aronson, A.E., and Brown, J. R. : Clusters of deviant speech dimensions in dysarthrias. J. Speech Hear. Res., 12, p.462-496, 1969.
- 2-3) Hirose, H. : Toward a differential diagnosis of the dysarthrias. In I. Kirikae (Ed.), Approches to the disorders of the Central Nervous system. Kanehara, Tokyo, p.214-232, 1973.
- 2-4) Fukusako, Y., Monoi, h., Tatsumi, I.F., Kumai, K., Hijikata, T. and Hirose, H. : Analysis of characteristics of dysarthric speech based on auditory impressions. Jpn. J. Logop. Phoniater. 24, p.149-164, 1983.
- 2-5) Hirose, H., Kiritani, S. and Tatsumi, I.F. : On the nature of

bradylalia-A preliminary study of the acoustic characteristics of dysarthric speech Ann. Bull.RILP, 16, p.224-234, 1982.

2-6) Ziegler W. and von Cramon, D.,: Spastic dysarthria after acquired brain injury: an acoustic study. Brit.J.Disord.Commun 21,p.173-187,1986.

2-7) Hirose, H., Kiritani, S. and Sawashima, M.: Patterns of dysarthric movement in patients with amyotrophic lateral sclerosis and pseudobulbar palsy. Folia phoniat. 34, p.106-112, 1982.

2-8) Hirose, H.: Pathophysiology of motor speech disorders(dysarthria). Folia phoniat. 38,p.61-88, 1986.

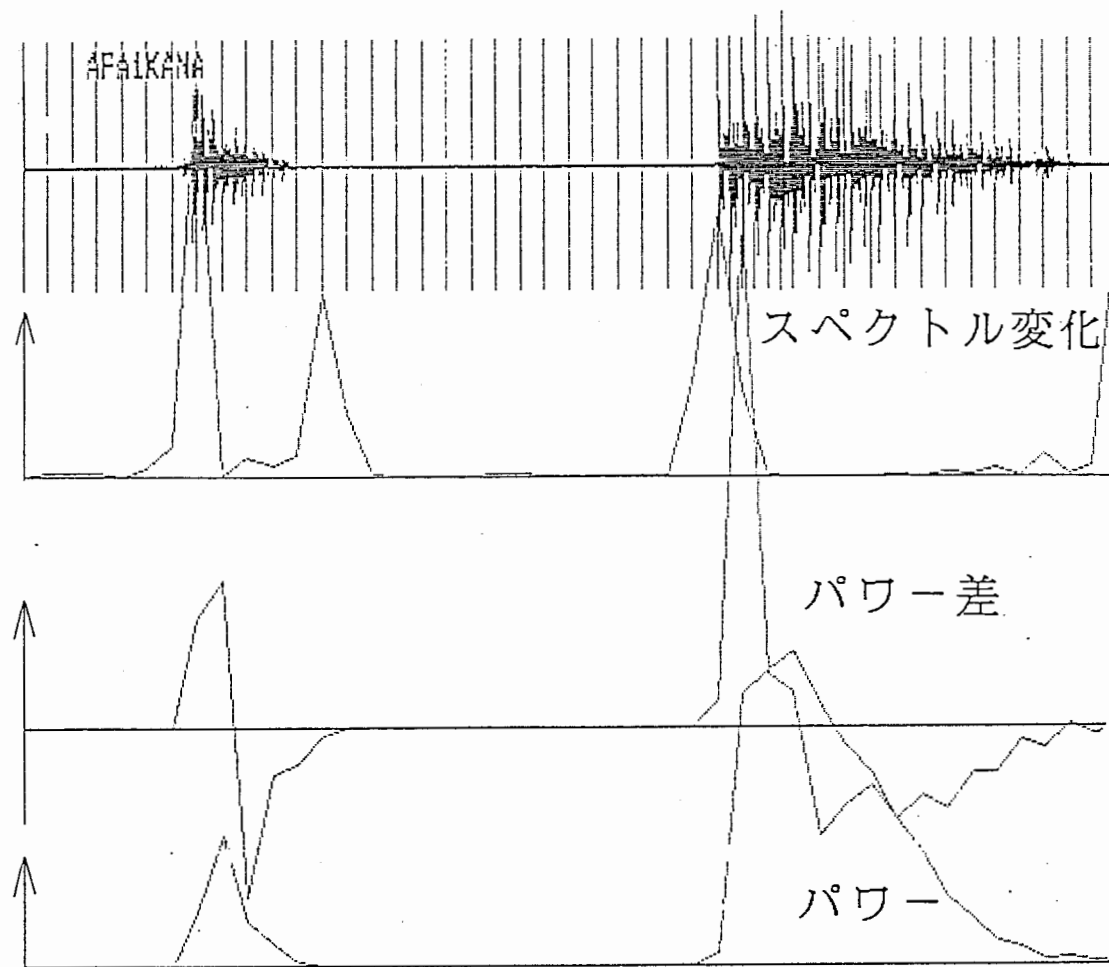


図 2 - 1 正常者発話の / a p a / の分析例

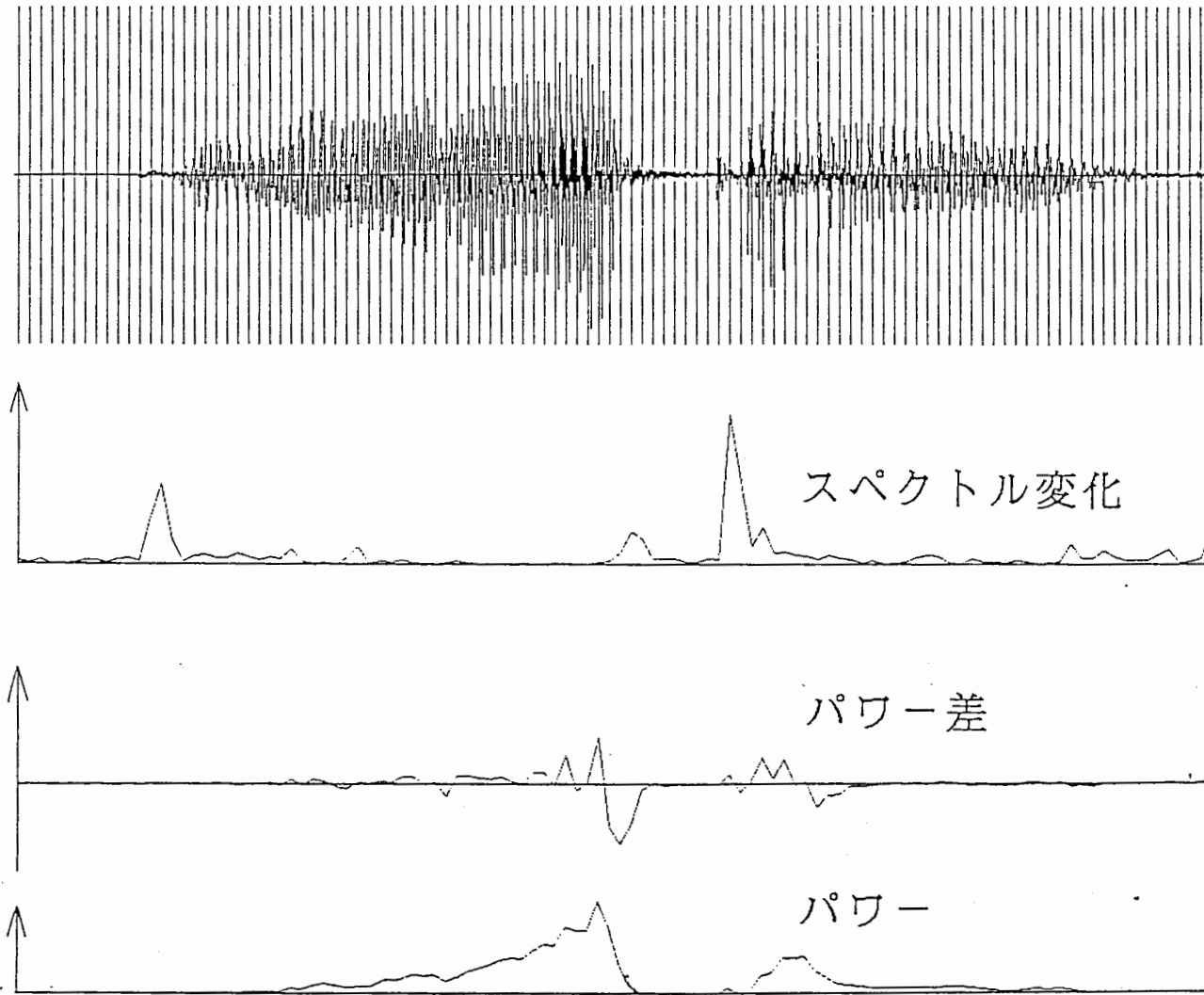


図 2 - 2 麻痺性構音障害者の発話の / a p a / の分析例

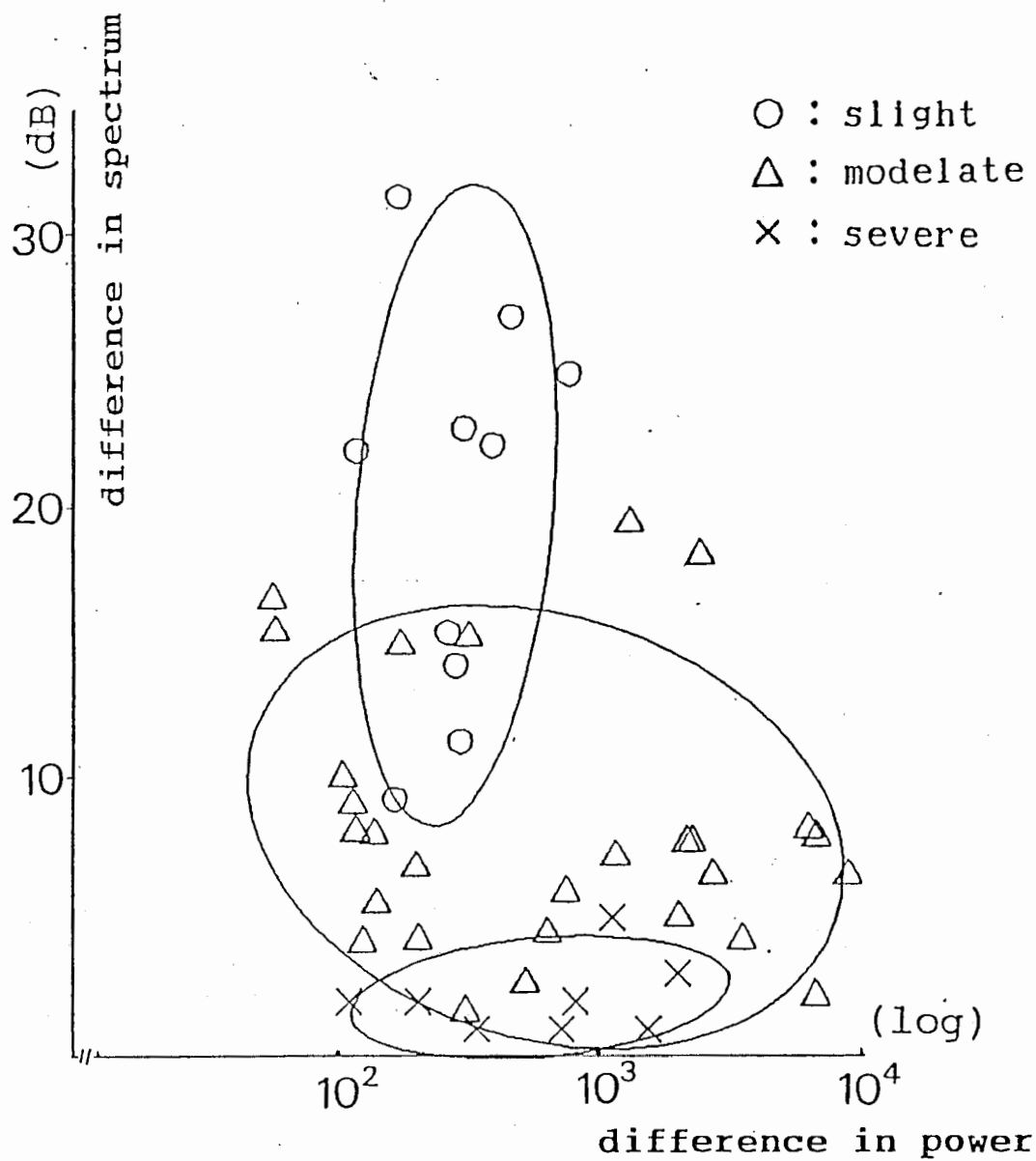


図 2 - 3 軽度 (○印)、中度 (△印)、重度 (×印) の疾患におけるスペクトル変化とパワー変化

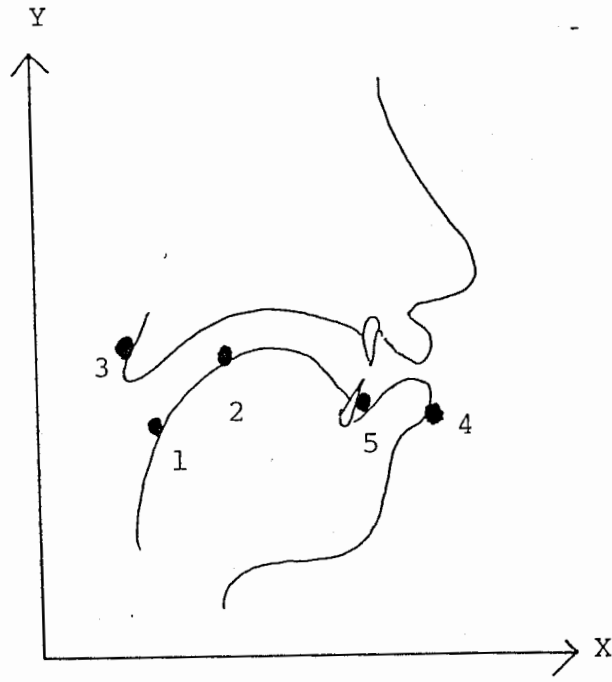


図 2 - 4 正常者 1 (H H) におけるペレットの取り付け位置

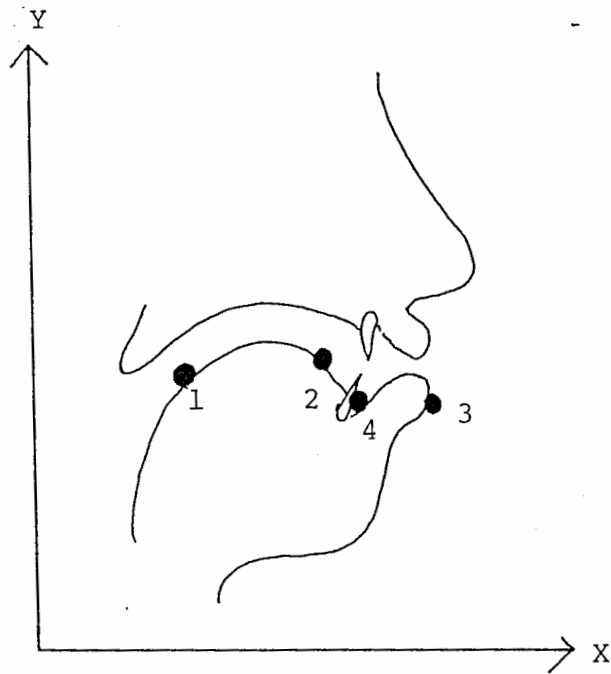


図 2 - 6 正常者 2 (S K) におけるペレットの取り付け位置

pataka pataka

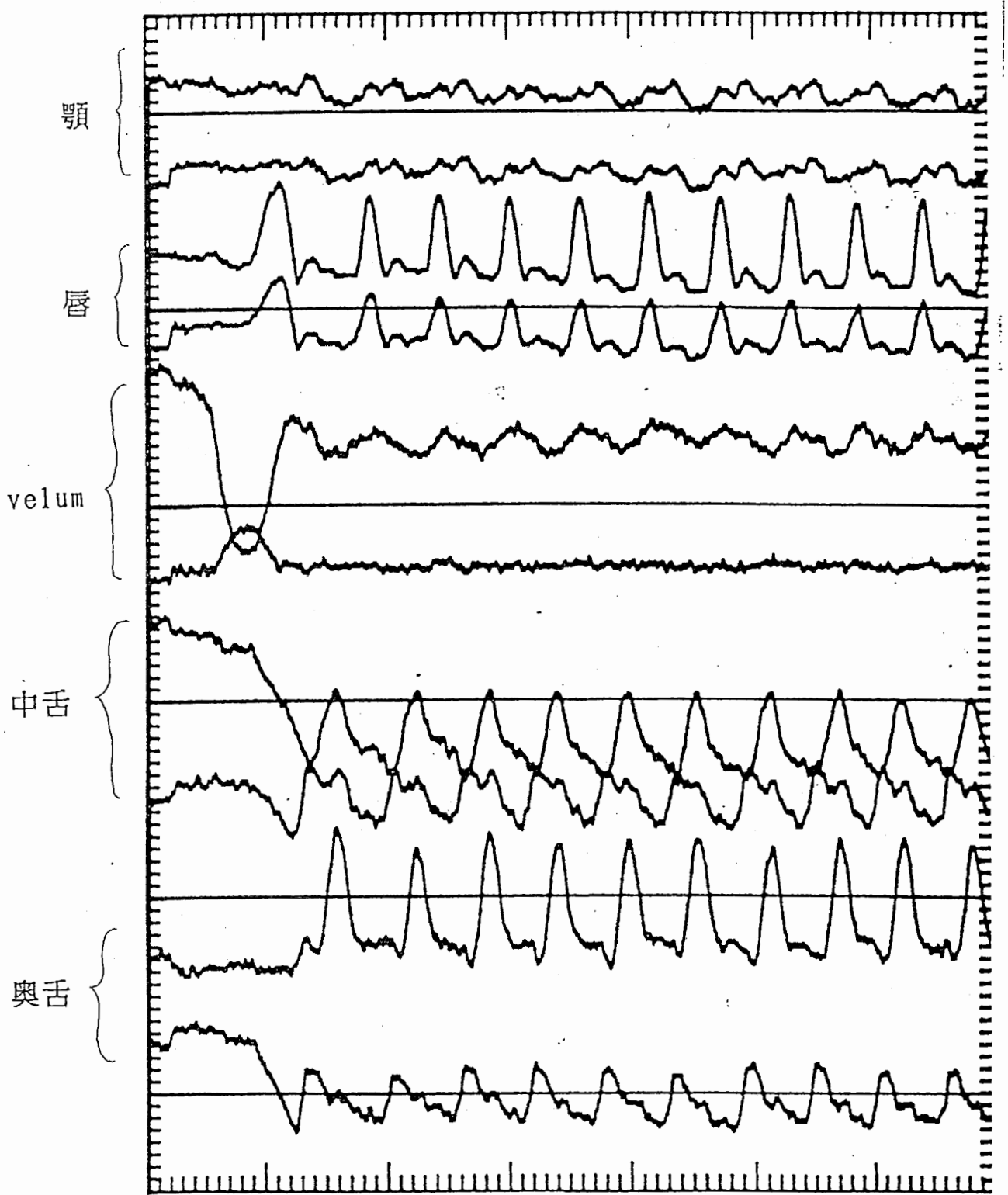


図 2 - 5 正常者 1 の発話の / p a t a k a / の結果

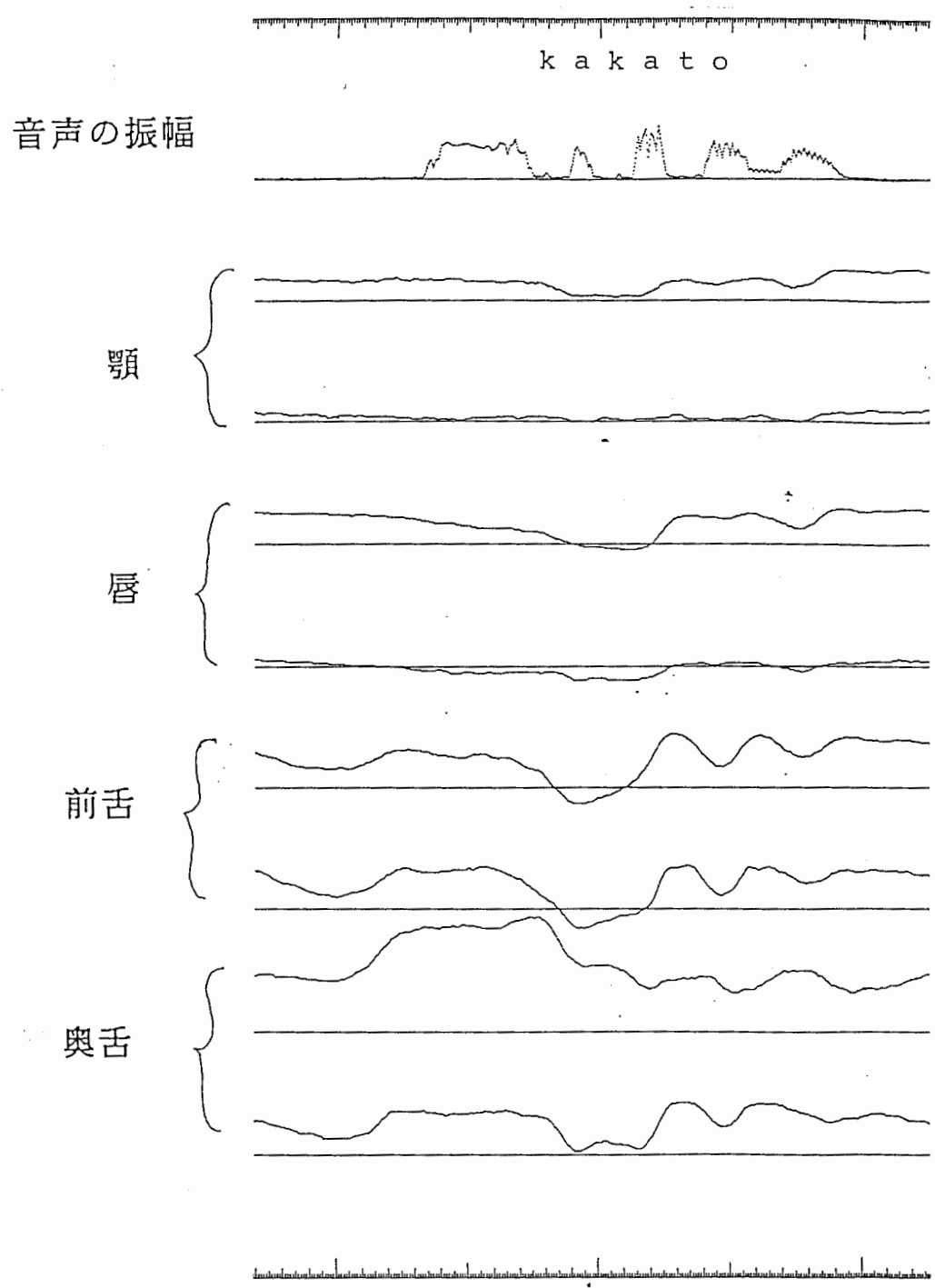


図 2 - 7 正常者 2 の発話の / kakato / の結果

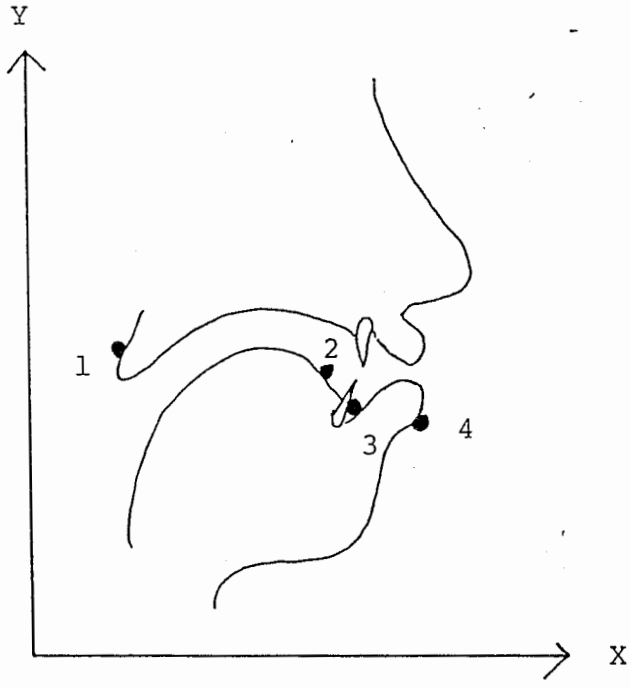


図 2 - 8 疾患者のベレットの取り付け位置

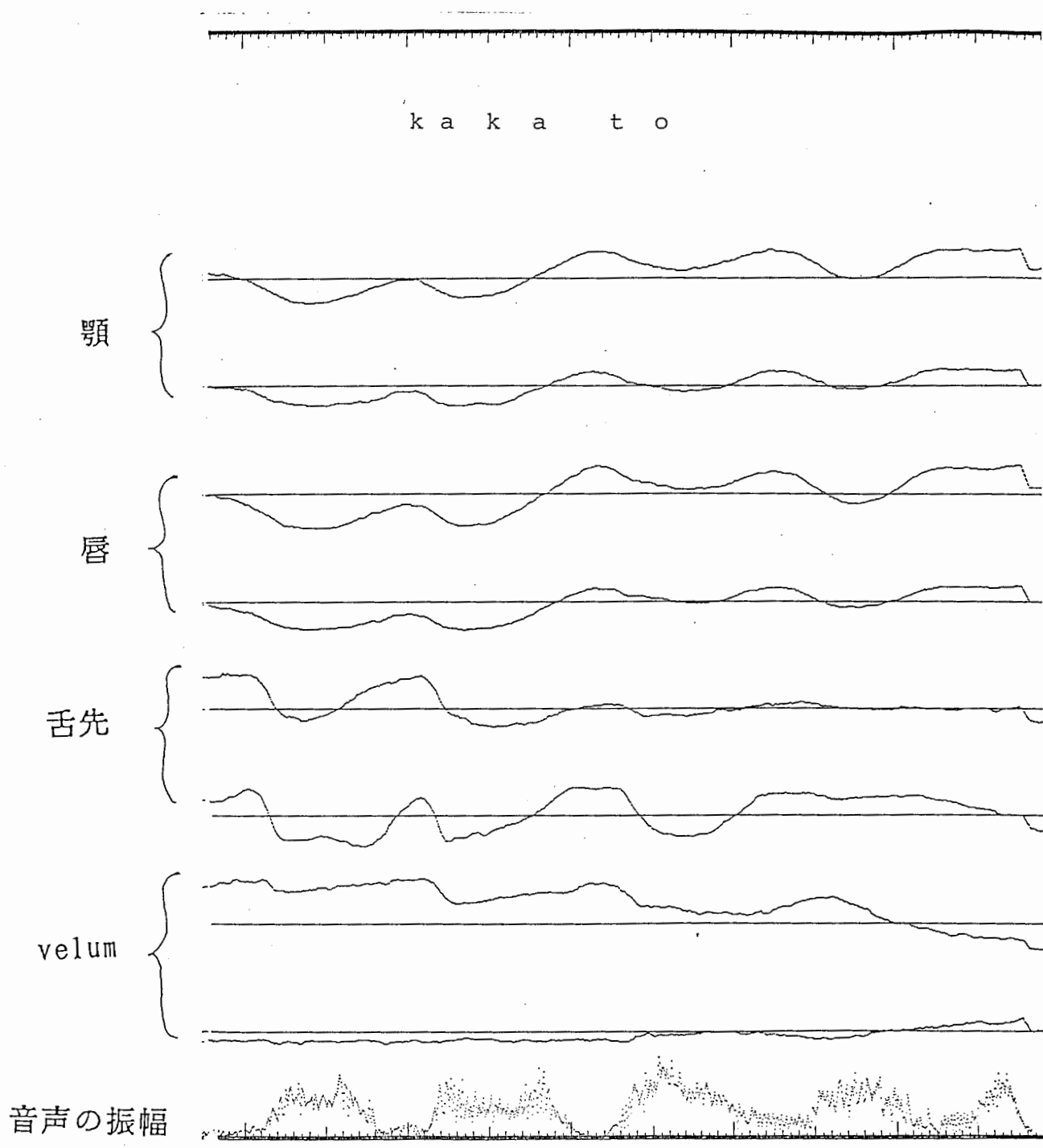


図 2 - 9 疾患者の発話の / k a k a t o / の結果

表 2 - 1 疾患者の性別、年齢、主観評価の結果

話者	性	年齢	重症度	構音		総合	
				母音	子音	異常度	明瞭度
sub 1	M	72	軽	0	0	0	1
sub 2	M	64	軽	0	1	1	1
sub 3	M	58	軽	0	1	1	1
sub 4	M	72	軽	0	1	1	1
sub 5	M	74	中	2	2	2	2
sub 6	M	63	中	0	1	1	2
sub 7	M	?	中	0	2	2	2
sub 8	M	73	重	2	3	3	3
sub 9	F	?	重	1	2	3	3
sub 10	M	38	重	3	4	4	5

表 2 - 2 疾患者の年齢、性別、病名、総合的疾患の程度

	名前	録音日	性別	年齢	病名	疾患の程度
1.	S Y	88/7	F	5 8	Meige synd	中
2.	T S	88/7	M	6 3	脳梗塞	軽(中)
3.	N S ①	88/8/6	M	2 7	脳挫傷	軽
4.	M S	88/8/23	M	6 0	脳梗塞	中(重)
5.	M K ①	88/8/23	F	3 3	脳出血	中(重)
6.	Y O	88/8/23	M	5 3	脳梗塞	中(重)
7.	M K ②	88/11/8	F	3 3	脳出血	中
8.	S N	88/11/12	F	6 0	脳梗塞	軽
9.	Y Y	88/11/29	M	4 7	脳梗塞	重
1 0.	K O	88/12/9	M	5 0	脳梗塞	軽
1 1.	A K	88/12/13	M	?	脳梗塞	軽
1 2.	K E	88/12/14	F	7 6	脳梗塞	中
1 3.	M K ③	88/1/14	F	3 3	脳出血	中
1 4.	N S ②	89/1/14	M	2 7	脳挫傷	軽
1 5.	M A	89/1/23	M	6 7	小脳出血	軽

表 2 - 3 発話資料 1

1. apa apa apa apa apa
2. ata ata ata ata ata
3. aka aka aka aka aka

4. aba aba aba aba aba
5. ada ada ada ada ada
6. aga aga aga aga aga

7. apapa
8. atata
9. akaka

10. adada
11. ababa
12. agaga

表 2 - 4 発話資料 2

1. a-
2. i-
3. u-
4. e-
5. o-

6. aiai desu
7. iaia desu
8. apapa desu
9. ababa desu
10. atata desu
11. adada desu
12. akaka desu
13. agaga desu
14. asasa desu
15. azaza desu
16. arara desu
17. amama desu
18. mamama desu

表2-5 疾患者の発話とその試聴結果

話者	発話内容 (回目)	試聴結果
HS (sub 5)	apa 1	イー アンバ アンマ アンマ アンマ アマ
	apa 2	イー アンバ アンバ アンバ アンバ アンバ
	ata	イー アザ アザ アザ アンザ アザ
	aka	イー アカ アガ アガ アガ アガ
	aba	イー アンバ アンバ アンマ アンマ アンバ
	ada	イー アダ アダ アング アダ ガダ
	aga 1	イー アガ アガ アー アー アー
	aga 2	イー アー アー アー アー アー
JY (sub 8)	apa	イー アバ アバ アワ アワ
	ata	イー アダ アダ アタ アダ
	apa 2	イー アバ アワ アワ アワ ソー
	ata 2	イー アタ アダ アダ アダ アザ
	aka	イー アガ アガ アガ アガ アー
	aba	イー アバ アー アー アー ハー
	ada	イー アガ アダ アダ アダ アダ
	aga	イー アガ アー アー アー ガー
NH (sub 2)	apa	イー アバ アバ アバ アバ アバ
	ata	イー アタ アタ アタ アタ アタ
	aka	イー アカ アカ アカ アカ アカ
	aba	イー アバ アバ アバ アバ アバ
	ada	イー アダ アザ アザ アザ アザ
	aga	イー アガ アンガ アンガ アンガ アンガ
HT (sub 3)	apa	イー アバ アバ アバ アバ アバ
	ata	イー アタ アタ アダ アタ アタ
	aka	イー アカ アカ アガ アカ アガ
	aba	イー アバ アバ アンバ アンバ アワ
	ada	イー アダ アダ アダ アダ アダ
	aga	イー アガ アガ アー アー アー
TU (sub 1)	apa	イー アバ アバ アバ アバ アバ
	ata	イー アタ アタ アタ アタ アタ
	aka	イー アカ アカ アカ アカ アカ
	aba	イー アバ アバ アバ アバ アバ
	ada	イー アダ アダ アダ アダ アダ
	aga	イー アガ アガ アガ アガ アガ
KI (sub 4)	apa	ジー アバ アバ アバ アバ アバ
	ata	ジー アタ アタ アタ アタ アタ
	aka	ジー アカ アカ アカ アカ アカ
	aba	ジー アバ アバ アバ アバ アバ
	ada	ジー アダ アダ アダ アダ アダ
	aga	ジーア アンガ アンガ アンガ アンガ アンガ

TY	apa	イー	アパ	アパ	アパ	アパ	アパ
(sub 6)	ata	アタ	アタ	アタ	アタ	アタ	
	aka	アカ	アカ	ハカ	ハカ	ハカ	
	aba	イー	アバ	アバ	ハバ	ハバ	アバ
	ada	アダ	アダ	アダ	アザ	アダ	
	aga	アガ	アガ	ハガ	ハガ	ハガ	

SH	apa1	イー	マー	マー	ガマー	マー	マー	マー
(sub 10)	ata1	ヌー	マー	マー	アーマ	アーマ	ガーマ	
	aka1	ナー	ン	ナー	ン	ナー	ニ	
	ada1	ウー	ン	ン	ナー	ナー	ノ	ナー
	aba1	ヌー	マー	マー	アーマ	アーマ	ガーマ	
	aga1	ハガ	ナー	ナー	ハナー	ハナー	ウナー	ン
	ata2	ナー	ン	ヌー	ナー	ン	ノ	ナー
	apa2	アン	モ	アーマ	アーマ	アーマ	アーマ	モ
	ata3	アーン	モ	アーン	ノ	アーン	ゴ	アーン
	aka2	アーン	ガ	アーン	ガ	アーン	ガ	アーン
	aba2	アーマ	アーマ	アーマ	アーマ	アーマ	ナー	マ
	ada2	アーナ	アーナ	ナー	ノ	ナー	ノ	ナー
	aga2	ナー	ン	ナー	ア	ウー	ウー	ア

SE	???	イン	アパ	ネス	、	イン	アパ	ネス	、	イン	アパ	ネ
	???	イン	アパ	ネ	、	イン	アハ	ネ	、	イン	アサ	ネ
	???	イン	アサ	ネス	、	イン	アサ	ネス	、	イン	アサ	ネ
	???	イン	アサ	ネ	、	イン	アハ	ネ	、	ニー	ア	ネー
	???	ニー	ア	ネー	、	ニー	アハ	ネ	、	ニー	ア	ネー

SS	apa1	アパ	アパ	アパ	アパ	アパ
(sub 7)	ata1	アタ	アタ	アタ	アタ	アタ
	aka1	アカ	アカ	アカ	アカ	アカ
	aba1	アバ	アバ	アバ	アバ	アバ
	ada1	アダ	アダ	アダ	アダ	アダ
	aga1	ハガ	ハガ	アガ	アガ	アガ
	apa2	アパ	アパ	アパ	アパ	アパ
	ata2	アタ	アタ	アタ	アタ	アタ
	aka2	アカ	アカ	アカ	アカ	アカ
	aba2	アバ	アバ	アバ	アバ	アバ
	ada2	アダ	アダ	アダ	ハダ	ハダ
	aga2	アガ	ハガ	アガ	アガ	ハガ

YO a p a
(s u b 9) a p a 2
a p a 3
a t a
a t a 2
a t a 3
a k a
a k a 2
a k a 3
a b a
a b a 2
a b a 3
a d a
a d a 2
a d a 3
a g a
a g a 2
a g a 3

イーエ アバ アバ アバ アバ アバ
イーエ アバ アバ アバ アバ アバ
イーエ アバ アバ アバ アバ アバ
イー アタ アタ アタ アタ アタ
イーエ アタ アタ アタ アタ アタ
イーエ アタ アタ アタ アタ アタ
イーエ アカ アカ アカ アカ アカ
イー アカ アカ アカ アカ アカ
イーエ アカ アカ アカ アカ アカ
イーエ アバ アバ アバ アバ
イーエ アバ アバ アバ アバ アバ
イー アバ アバ アバ アバ アバ
イー アダ アダ アダ アダ アダ
イー アダ アダ アダ アダ アダ
イー アダ アダ アダ アダ アダ
イーエ アガ アガ アガ アガ アガ
イーエ アガ アガ アガ アガ アガ
イー アガ アガ アガ アガ アガ

表 2-6 A 正常者発話のパワー差 (dB)

	P	T	K	B	D	G
SUB1	42.5	43.2	39.3	10.1	10.3	1.2
SUB2	30.3	35.4	31.2	25.3	14.1	2.7
SUB3	34.7	36.0	33.8	16.6	14.7	4.0
SUB4	21.7	15.6	16.4	14.1	16.5	9.1

表 2-6 B 麻痺性構音障害者発話のパワー差 (dB)

	P	T	K	B	D	G
SUB 1	23.4	23.3	19.9	32.4	13.6	3.4
SUB 2	15.1	10.6	11.4	5.1	4.6	1.6
SUB 3	25.1	19.1	18.0	6.4	6.0	1.6
SUB 4	20.8	10.2	21.5	16.0	12.7	9.2
SUB 5	9.0	3.4	4.0	2.8	2.4	8.9
SUB 6	14.7	15.5	10.7	13.7	15.7	3.3
SUB 7	19.6	28.3	30.5	15.1	19.1	28.2
SUB 8	3.8	6.5	1.6	2.5	3.4	7.0
SUB 9	11.2	10.5	11.7	7.4	5.3	3.7
SUB10	3.9	1.4	13.1	3.2	1.3	1.2

表 2-7 A 正常発話のパワー 5 点の傾き

	P	T	K	B	D	G
SUB 1	14.0	13.1	12.1	2.4	2.1	1.1
SUB 2	13.9	13.1	10.7	5.5	4.0	0.6
SUB 3	12.1	10.9	9.8	4.9	4.4	0.8

表 2-7 B 麻痺性構音障害者発話のパワー 5 点の傾き

	P	T	K	B	D	G
SUB 1	8.96	8.09	5.71	5.52	4.06	0.68
SUB 2	6.79	6.10	6.05	2.28	2.00	0.40
SUB 3	6.92	6.68	5.56	1.90	1.45	0.66
SUB 4	6.60	4.58	4.47	6.11	3.53	0.62
SUB 5	1.11	1.26	0.46	1.24	0.77	1.51
SUB 6	6.43	5.59	4.22	6.04	5.12	1.66
SUB 7	9.09	7.90	8.70	7.46	5.20	5.54
SUB 8	0.52	0.72	0.73	0.69	0.78	0.53
SUB 9	6.93	5.53	4.28	1.83	2.75	2.03
SUB10	0.78	1.15	0.42	0.92	5.12	0.32

表 2-8 A 正常者発話の母音、子音のパワー差 (dB)

	P	T	K	B	D	G
SUB 1	47.5	44.5	45.3	11.9	9.1	2.0
	40.9	42.9	43.0	9.5	6.4	1.0
SUB 2	40.6	43.6	45.1	28.6	16.1	3.2
	32.9	39.6	36.2	28.1	10.3	1.0
SUB 3	41.1	42.5	42.4	18.1	15.1	11.4
	39.5	38.6	40.8	13.4	15.7	7.1
SUB 4	30.3	27.6	26.8	22.1	19.4	13.9
	34.8	34.5	33.2	27.3	23.7	20.7

表 2-8 B 麻痺性構音障害発話の母音、子音のパワー差 (dB)

	P	T	K	B	D	G
SUB 1	27.4	24.8	11.4	14.6	9.5	5.9
	24.1	25.3	10.4	15.0	9.6	4.2
SUB 2	17.4	15.5	18.4	10.0	6.7	0.4
	15.5	18.5	18.9	10.2	11.9	-4.2
SUB 3	19.9	19.3	13.2	8.4	8.4	3.4
	13.1	15.1	4.7	0.3	0.5	-1.5
SUB 4	17.9	12.9	12.3	11.2	13.9	4.3
	19.7	10.7	14.1	9.9	9.7	-4.2
SUB 5	12.6	1.5	1.7	-0.2	1.7	14.1
	13.5	-2.5	2.1	-0.6	0.7	6.9
SUB 6	3.8	19.9	13.8	15.3	17.3	9.5
	-2.3	8.3	2.8	16.4	16.6	3.6
SUB 7	18.7	22.4	18.0	16.5	12.7	10.2
	21.7	19.1	25.2	11.7	8.6	11.6
SUB 8	1.3	9.6	3.9	3.4	4.1	4.1
	-1.0	8.8	2.4	-4.4	1.0	2.3
SUB 9	19.1	20.9	22.2	12.4	12.0	11.1
	16.4	18.6	21.1	11.7	7.8	8.1
SUB10	3.8	1.3	1.8	5.4	3.5	1.6
	-14	-9.9	5.6	6.8	-13	1.0

表 2-9 A 正常者発話のケプストラムのピーク値

	P	T	K	B	D	G
SUB 1	455.0	477.0	194.1	441.3	412.7	421.1
SUB 2	487.2	287.7	495.1	399.5	418.8	369.1
SUB 3	420.6	280.2	471.0	495.3	380.2	746.1
SUB 4	438.6	461.6	484.3	401.2	453.9	490.8

表 2-9 B 麻痺性構音障害者発話のケプストラムのピーク値

	P	T	K	B	D	G
SUB 1	422.7	224.3	477.7	247.6	304.8	850.8
SUB 2	412.8	563.3	529.4	654.2	1042.3	854.8
SUB 3	519.4	543.8	501.9	390.7	416.2	943.0
SUB 4	464.1	360.5	606.6	377.6	300.0	417.0
SUB 5	444.3	1088.1	1162.9	695.5	585.3	688.0
SUB 6	319.1	416.3	485.7	391.2	431.4	461.9
SUB 7	381.3	529.6	583.2	384.2	609.0	343.8
SUB 8	472.7	507.3	1157.3	944.8	1197.6	649.4
SUB 9	485.0	403.5	489.3	510.5	488.2	410.9
SUB10	1077.5	1162.6	1182.2	1630.1	1340.8	1998.5

表 2-10 A 正常者のスペクトル差 (dB)

	P	T	K	B	D	G
SUB1	1.94	1.20	1.50	0.78	1.61	0.85
SUB2	2.16	1.47	2.12	1.10	1.50	0.74
SUB3	1.26	1.42	1.21	1.10	1.11	1.09
SUB4	1.22	1.26	1.16	1.09	0.83	0.51

表 2-10 B 麻痺性構音障害者のスペクトル差 (dB)

	P	T	K	B	D	G
SUB 1	8.9	20.2	0.7	1.1	1.0	0.2
SUB 2	13.5	11.2	1.0	0.6	0.8	0.4
SUB 3	14.1	13.3	1.0	0.6	0.7	0.2
SUB 4	6.7	7.8	0.8	0.9	1.0	0.6
SUB 5	2.8	1.0	0.2	0.5	0.5	0.7
SUB 6	4.5	7.4	0.8	0.6	0.9	0.2
SUB 7	10.6	29.6	1.3	0.8	1.2	0.7
SUB 8	0.6	8.7	0.3	0.2	0.4	0.2
SUB 9	1.3	1.8	0.7	0.5	0.4	0.5
SUB10	1.5	0.5	0.8	0.5	0.4	1.0

表 2-11 麻痺性構音障害の発話における第 1 (F1)、第 2 (F2) ホルマント周波数 (Hz)

	P		T		K		B		D		G	
	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
SUB 1	840	1500	700	1510	760	1510	730	1480	680	1560	600	1600
SUB 2	640	1180	410	1340	400	1650	730	1180	650	1330	870	1410
SUB 3	700	1220	540	1450	510	1490	720	1230	670	1410	700	1370
SUB 4	650	1120	730	1270	630	1170	890	1190	670	1220	860	1240
SUB 5	780	1140	780	1470	800	1260	840	1140	770	1490	850	1270
SUB 6	500	920	650	2400	440	1460	410	1060	490	1430	490	1030
SUB 7	740	1130	650	1290	650	1320	720	970	840	1300	570	1370
SUB 8	640	1060	640	1350	370	1180	570	1020	550	1140	650	1170
SUB 9	710	1540	740	1830	650	1320	690	1400	760	1540	720	1760
SUB10	320	1110	410	1260	360	1160	380	1020	300	1350	330	1050

表2-12 X線マイクロビーム法でのペレットの位置と発話資料
正常話者1 (HH)

ch1 奥舌
ch2 中舌
ch3 velum
ch4 唇
ch5 顎

No. 1 t a t a t a t a t a . . .
No. 2 k a k a k a k a k a . . .
No. 3 p a t a k a p a t a k a

表2-14 X線マイクロビーム法でのペレットの位置と発話資料
正常話者2 (SK)

ch1 奥舌
ch2 前舌
ch3 下唇
ch4 顎

No. 1 p a t a k a p a t a k a . . .
No. 2 p a t a k a p a t a k a . . .
No. 3 p a t a k a p a t a k a . . . (速い)
No. 4 p a t a k a p a t a k a . . . (速い)
No. 5 イー タタミ デス、
 イー カタマリ デス、
 イー タバコ デス
No. 6 イー カカト デス、
 イー カラダ デス、
 イー タカラ デス

表 2-13 正常者HHのパワー変化とスペクトル変化

	パワー変化	スペクトル変化
/p/	14.8	1.0
/t/	15.1	3.25
/k/	13.0	2.46
/p/	9.8	1.1
/t/	13.1	2.0
/k/	12.7	1.8
/p/	13.5	1.0
/t/	14.4	2.3
/k/	12.1	4.2

表 2-15 正常者SKのパワー変化とスペクトル変化(カカト)

	パワー差	スペクトル差
/k/	12.9	1.5
/k/	15.8	1.5
/t/	11.3	1.1

表 2-17 患者のパワー変化とスペクトル変化

	パワー変化	スペクトル変化
/k/	3.7	1.4
/k/	2.3	1.1
/t/	6.8	0.4

表2-16 X線マイクロビーム法の発話資料

ch1	velum
ch2	舌尖
ch3	唇
ch4	顎
1.	あいうえお
2.	“
3.	まままま
4.	“
5.	ぱぱぱぱ
6.	ぱんぱんぱんぱん
7.	“
8.	ぴんぴんぴんぴん
9.	いいかかとです
10.	いいかかとです
11.	いいかかとです
12.	いいパパです
13.	“
14.	いいかまぼこです
15.	“
16.	“
17.	いいまごとです
18.	いいまごとです
19.	いいかかとです
20.	ぱんぱんぱんぱん
21.	ぱぱぱぱ
22.	かかかか (Velum不可)
23.	“ (“)
24.	ぱぱぱぱ
25.	ぱぱぱぱ

表 2-18 疾患者 a の録音時期での音響パラメータの相違
 パワー変化 (dB)

	88/6	89/1
/p/	8.9	14.3
/t/	10.7	13.0
/k/	10.3	12.0

スペクトル変化

	88/6	89/1
/p/	0.87	0.67
/t/	0.95	0.69
/k/	0.49	2.01

表 2-19 疾患者 b の録音時期での音響パラメータの相違

パワー変化

	88/8	88/11	89/1
/p/	9.3	13.4	20.2
/t/	8.9	10.2	12.0
/k/	7.0	10.9	13.2

スペクトル変化

	88/8	88/11	89/1
/p/	7.1	2.3	6.1
/t/	2.3	5.2	9.3
/k/	0.6	1.2	9.2

3. 重症筋無力症の音声の分析について

3. 1 はじめに

重症筋無力症は、神経筋接合部にある科学伝導物質（アセチルコリン）の受容体に対する抗体が生じ、神経から筋肉への伝達がブロックされて筋力が低下する自己免疫疾患である。運動を繰り返すことによって筋力の低下がすすみ、休息によって一時的に回復する特徴がある。全身の骨格筋の障害を来す全身型や眼瞼下垂や複視などの眼症状のみを筋型などに分類されているが、時に鼻咽腔閉鎖不全による構音障害が主な臨床症状となる場合がある。

重症筋無力症の音声には、発話の持続により開鼻声が増強し、休息することにより回復する特徴がみられる。薬理的診断法として、即効性の抗コリンエステラーゼ剤を注射して臨床症状の改善が見られれば重症筋無力症と診断される。また、抗コリンエステラーゼ剤の過剰投与で生命に危険な副作用が生じる場合があるため、薬物治療時は臨床症状の改善が得られる最小量の投薬を指す必要がある。しかしながら主な臨床症状が構音障害である場合は、抗コリンエステラーゼ剤の注射前後での構音障害の改善の確認や、薬物療法による治療成績の判定は、これまで聴覚的印象に基づく主観的評価法に基づいて行われており、それらを客観的かつ定量的に評価するのは困難である。今回、重症筋無力症により構音障害の音声の音響分析を行い、臨床症状の定性的な評価を試みた。

3. 2. 資料

開鼻声を主訴として大阪大学耳鼻咽喉科に来院した重症筋無力症の2症例を対象とした。症例1は15歳の女児で、症例2は20歳の女性である。両症例ともその音声の聴覚的印象は一般に開鼻声で聞きづらい。主な異聴を表3-1に示す。ほとんどの場合に / b / が / m / に / d / が / n / に異聴され、 / g / が鼻音になり、一部 / p / が / h / に / t / が / s / に / k / が / h / に異聴された。発話の持続によりそれらは悪化した。また経鼻的に挿入したファイバースコープの観察により、発話の持続とともに悪化する軟口蓋の運動障害がみられた。嚥下時の鼻咽腔への逆流を訴えていたが、他の部位の筋力低下による著しい臨床症状は認めなかった。両症例とも抗コリンエステラーゼ剤投与で一時的に構音障害が改善したため、重症筋無力症による鼻咽腔閉鎖不全と診断した。

比較的静かな外来診察室で音声を録音した。口の前に置いた1本のマイクロホンで口と、鼻からの両方の音を録音した。発話資料は表3-2に示すように、無意味2モーラ語V1CV2を用い、各6回づつひと息で発声させた。V1とV2は母音 / a / を、Cは無声破裂音、有声破裂音 / p, t, k, b, d, g / を用いた。

3. 3. 分析方法

収録した音声を4.5KHzのLPFを通したあと10KHzのサンプリング周波数でA/D変換して計算機に取り込み。10msごとにパワーを計算した。視察により先行母音と後続母音の母音の定常部と子音の破裂の前のbuzz部および無音部を定め、次式に示すように、これらの部分のパワーの平均値の比を求めた。

$$\text{パワー比} = (\text{子音部のパワー}) / (\text{母音部のパワー})$$

これ値は子音が有声破裂音の場合の方が無声破裂音の場合より小さいので、どれだけ / m / に近いかが評価できると思われる。従って、同一人物の音声において、相対的にみて、この比が大きい程重症で、小さいほど改善されたと考えられる。

3. 4. 結果と考察

資料を試聴したところ、 $/ba/$ と $/da/$ がほとんど $/ma/$ と $/na/$ に異聴されるのに対し、 $/pa/$ や $/ta/$ や $/ka/$ の異聴は少なかった。これは声帯の外転運動により声帯振動を停止させていることと、他の構音器官の代償運動によって破裂を得ているためと思われる。

症例1の治療前、治療中、治療後のそれぞれ1回目から6回目のV1/CとV2/Cのパワー比をdBで、図3-1に $/aba/$ の場合を、図3-2に $/ada/$ の場合についての結果の例を示す。細かい点線が治療前、荒い点線が治療中、実線が治療後であり、白抜きが前の母音と子音、黒く塗り潰したのが後の母音との比である。発話の途中の代償努力により、一時的にパワー比が改善する場合もあるが、全体的に発話を繰り返すに従って、V1/CとV2/Cのパワー比が小さくなる傾向が明らかに認められる。図3-3、4に症例2の $/apa/$ 、 $/ata/$ 、 $/ada/$ 、 $/aga/$ についてのそれぞれ1回目と6回目の母音と子音のパワー比を示す。図3-3が前の母音と子音、図3-4が後の母音と子音のCパワー比を示す。 $/aba/$ の場合の鼻音化が著しく、6回の繰り返しが不可能であった。両症例ともとも発話を繰り返すことにより、V1/CとV2/Cのパワー比が増加していくことが示された。これらの結果は、重症筋無力症の構音障害に特徴的な、発話を繰り返すことで鼻咽腔閉鎖不全が悪化し鼻からもれる子音のパワーが増加を反映しているものと考えられる。

3. 5. まとめ

重症筋無力症は眼筋麻痺による眼症状が初発症状となることが多いが、主なる臨床症状が鼻咽腔閉鎖不全による構音障害で発症した場合は、他の神経疾患や筋疾患による麻痺性構音障害との鑑別診断が困難である場合がある。特に本疾患に特徴的な発話を繰り返すことによる悪化する開鼻声を客観的に定量評価することか困難であった。音響分析を用いて構音障害を定量評価することは、重症筋無力症の補助診断法として有用であるばかりでなく、薬物の維持投与量の設定や臨床症状の経過観察などに有益な評価法になると考えられる。

表 3 - 1 主な異聴

／ b ／	→	／ m ／
／ d ／	→	／ n ／
／ g ／	→	／ g ° ／
／ p ／	→	／ h ／
／ t ／	→	／ s ／
／ k ／	→	／ h ／

表 3 - 2 発話資料

／ a p a,	a p a,	a p a,	a p a,	a p a,	a p a ／
／ a t a,	a t a,	a t a,	a t a,	a t a,	a t a ／
／ a k a,	a k a,	a k a,	a k a,	a k a,	a k a ／
／ a b a,	a b a,	a b a,	a b a,	a b a,	a b a ／
／ a d a,	a d a,	a d a,	a d a,	a d a,	a d a ／
／ a g a,	a g a,	a g a,	a g a,	a g a,	a g a ／

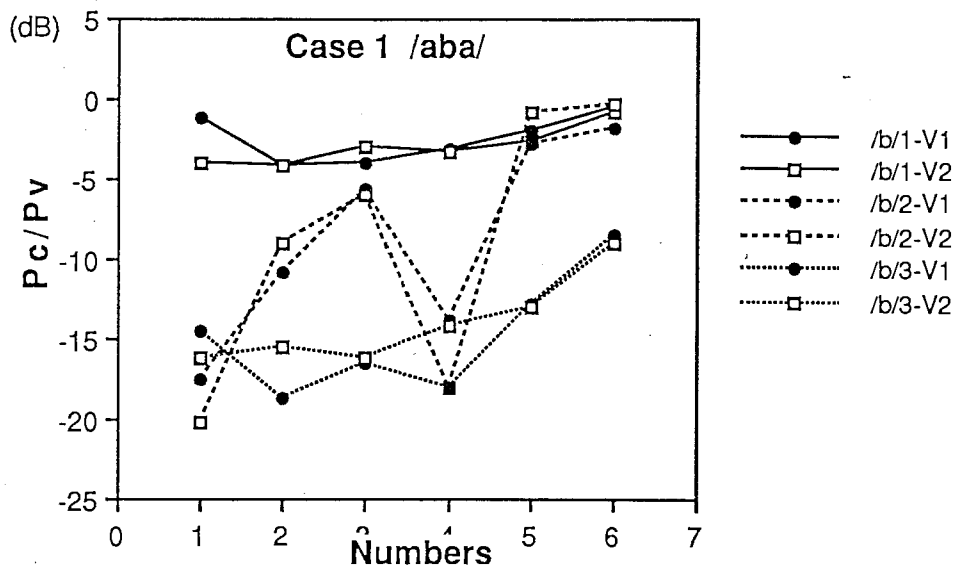


図 3 - 1 症例 1 の / a b a / の分析結果。細かい点線が治療前、荒い点線が治療中、実戦が治療後であり、白抜きが前の母音と子音、黒く塗り潰したのが後の母音との比を表す。

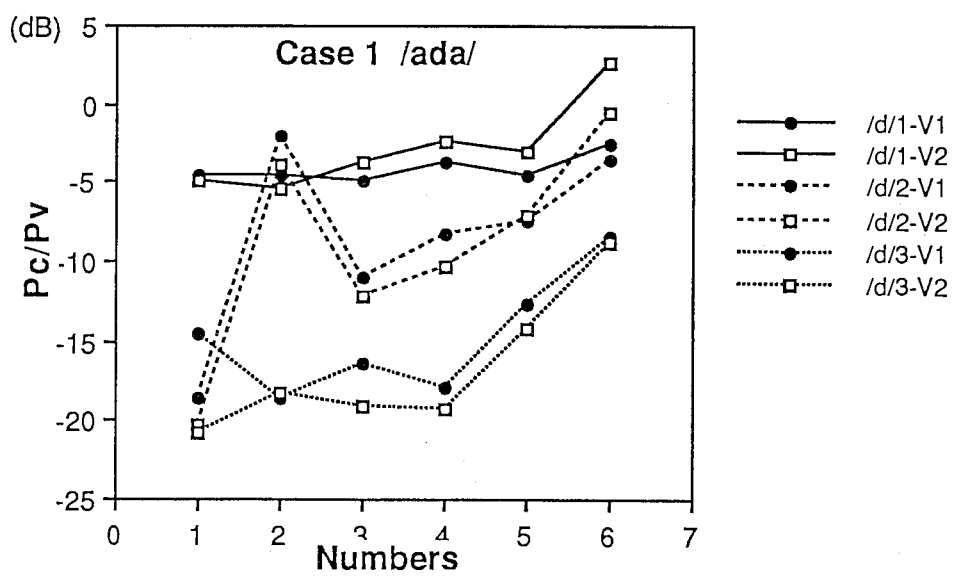


図 3 - 2 症例 1 の / a d a / の分析結果。細かい点線が治療前、荒い点線が治療中、実戦が治療後であり、白抜きが前の母音と子音、黒く塗り潰したのが後の母音との比を表す。

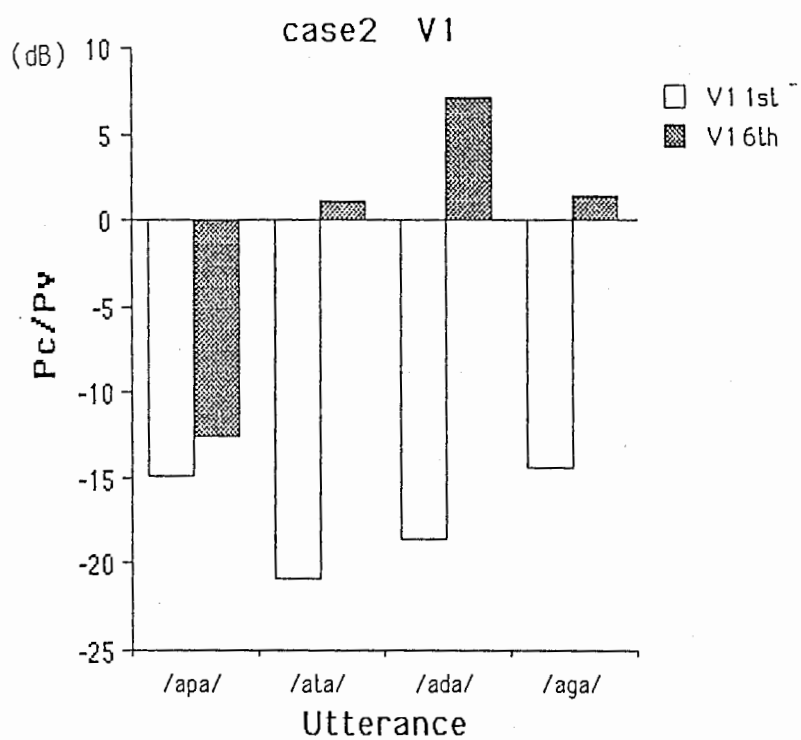


図 3-3 症例 2 の / a p a / , / a t a / , / a d a / , / a g a / についてのそれぞれ 1 回目と 6 回目の前の母音と子音のパワー比。

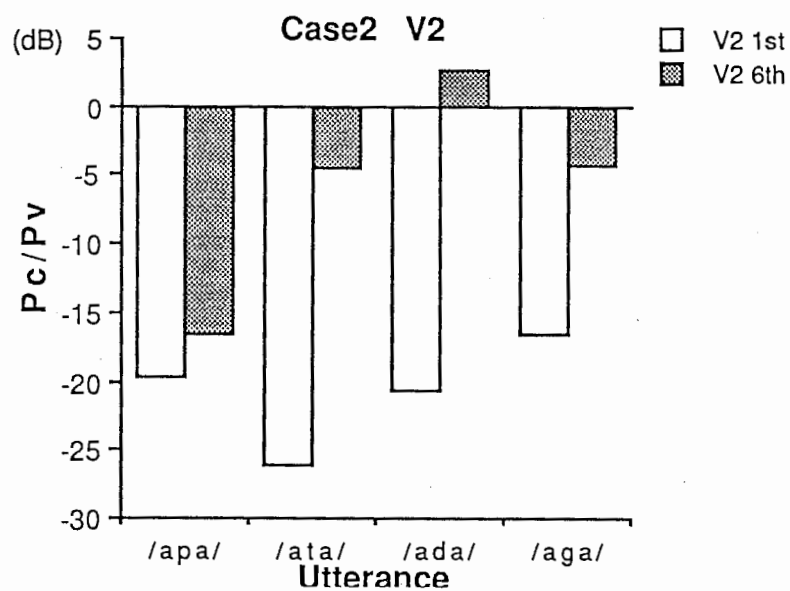


図 3-4 症例 2 の / a p a / , / a t a / , / a d a / , / a g a / についてのそれぞれ 1 回目と 6 回目の後の母音と子音のパワー比。

4. 調波構造を利用した嘔声の定量評価

パワースペクトルの調波構造による山と谷のエネルギーの比を用いて声帯振動の規則性を評価する試みを行う⁴⁻¹⁾。更に逆フィルターを用いて声道の共鳴の影響を軽減したのち同様の方法で評価する方法も試みる。

4. 1 はじめに

ここでは正常・疾患のスクリーニングを目的にはしておらず、嘔声の治療前、治療後の定量評価を行うことを目的としている。この特徴はピッチ同期分析で調波構造を評価し、さらに声道の共鳴の特性の影響を軽減することである。

4. 2 原理

調波構造から周期の正確さを求める原理を説明する。音声波形を正確に3周期切り出し、これに同じ長さのハミング窓をかけて同じポイント数のフーリエ変換をし、パワースペクトルを求める。調波構造の山のエネルギーを規則的振動による信号成分とし、谷のエネルギーを声帯振動の揺らぎにより生ずるノイズ成分とし、これらの比をN/S比と定義しこの値により振動の周期性の強さを評価する。実例を図4-1、2に示す。図4-1は術前、図4-2は術後の音声の場合である。上に音声波形と下にスペクトル16調波分を示す。

実際の患者の術前、術後の音声をこの方法で評価した結果を表4-1に示す。音声治療に従事する者数人により主観評価の結果、術後に明らかに改善が見られた例の殆どにおいて、この方法でも改善したとされている。

4. 3 逆フィルターによる共鳴の軽減

しかし、主観評価の結果、術後に明らかに改善が見られた例でも、この方法でも改善しなかった例が若干見られた。これを見ると術後においていわゆる響きが豊になった例である。即ち共鳴の影響が現れている。そこでこれを取り除くことを試みる。

声道の共鳴を軽減する原理を図4-3図に示す。線形予測法を用いて声道の共鳴(スペクトル)包絡を推定する。推定されたスペクトル包絡の逆の特性を持つフィルターを構成し、これに音声を入力し、共鳴の影響を軽減した残差信号を求める。図4-1、2に示した音声の共鳴軽減後の例を図4-4、5に示す。図4-4は術前、図4-5は術後の音声の場合である。図の上部に残差波形と下部にパワースペクトル16調波分を示す。共鳴の影響が軽減されて、スペクトルが平坦になっていることがわかる。

術前、術後の音声波形を図4-6に示す。図の上部が術前、下部が術後の者である。波形を見る限りあまり変化が見られない。これに対し、図4-7に術前、術後の残差波形を示す。前図同様、図の上部が術前、下部が術後の物である。術前では励振が明かでないが、術後では励振が明らかになっていることがわかる。異なる母音の3人分の結果をまとめて図4-8に示す。音声では各母音の分散が大きい、残差では小さくなっており共鳴軽減の効果が示されている。

5人分の音声及び残差の術前、術後のN/Sを表4-2に、その内の3人ぶんを図にしたものを図4-9、10、11に示す。

聴覚的には明らかに、術後において改善がみられるにも関わらず、音声の場合にはN/Sが術後が悪くなった様に見える。これに対し、残差では術後N/Sでもよくなっている。

4. 4 まとめ

調波構造を利用して声帯振動の規則性を評価する試みを行った。更に逆フィルターを用いて声道の共鳴の影響を軽減したのち同様の方法で評価する方法も試みた。

音声治療に従事する者数人により主観評価の結果、術後に明らかに改善が見られた例の殆どにおいて、この方法でも改善したとされている。

しかし、主観評価の結果、術後に明らかに改善が見られた例でも、音声信号か

ら N / S を求める方法では改善したとなされていない例が若干見られた。これらの症例は術後においていわゆる響きが豊になった例であり、共鳴の影響のためと考えられる。そこでこれを軽減することを試みた。その結果、これらの症例は術後 N / S でも改善がしめされた。

参考文献

4 - 1) H. Muta. et. al. " A Pitch-Synchronous Analysis of Harseness in running Speech", Ann. Bull. RILP, No. 22 p.85-96 (1988)

表 4 - 1 術前・術後の音声信号による N / S 比

Subject	F0 (Hz)		N/S (dB)	
	Pre	Post	Pre	Post
1	144.1	134.5	-17.4	-25.5
2	182.7	149.2	-31.5	-25.3
3	128.7	138.8	-24.5	-27.5
4	145.5	120.4	-22.1	-26.8
5	130.7	115.4	-14.4	-25.4
6	127.7	115.3	-22.0	-24.8
7	137.8	115.5	-23.8	-21.8
8	246.2	232.5	-26.0	-29.3
9	118.8	159.2	-7.8	-22.8
10	236.3	203.0	-19.3	-28.8
11	301.6	247.7	-16.8	-29.9
12	214.7	225.1	-22.0	-26.3
13	236.0	259.0	-27.4	-29.8
14	120.5	104.3	-7.8	-25.2
15	176.7	188.5	-29.8	-33.2
16	130.1	110.9	-17.9	-25.9
17	121.5	140.9	-6.1	-23.2
18	117.9	98.8	-18.7	-20.4
19	103.0	105.1	-13.7	-22.7
20	144.9	138.1	-21.9	-26.0
21	228.0	278.6	-27.1	-30.1
22	238.7	294.8	-29.4	-31.4
23	219.9	213.6	-22.2	-28.2
24	109.4	127.4	-24.1	-27.6
25	112.0	107.8	-19.1	-21.6
26	116.2	143.7	-19.6	-27.5
27	223.2	233.5	-25.1	-25.3
28	205.0	229.8	-26.6	-29.0
29	113.4	85.0	-28.9	-23.9
30	165.2	142.5	-28.6	-16.8
31	163.8	149.2	-21.8	-28.5
32	216.6	217.8	-27.3	-28.2
33	181.2	222.2	-27.7	-23.5
34	249.5	264.5	-24.6	-19.6
35	131.2	139.4	-22.1	-28.9
36	124.9	107.6	-25.4	-24.1
37	147.4	152.4	-23.1	-29.1
38	84.7	107.2	-9.9	-17.6
39	233.3	193.3	-26.3	-24.5
40	127.6	160.7	-27.8	-29.6
41	200.6	201.7	-19.3	-18.9
42	133.3	148.3	-19.2	-27.7
43	223.8	257.8	-23.3	-27.9
44	254.3	245.4	-17.1	-26.1
45	140.3	188.1	-18.8	-25.6
46	225.9	223.9	-27.1	-21.1
47	249.1	244.3	-32.0	-28.9

表 4 - 2 術前・術後の残差信号による N / S 比

No. 2

	pre	post
/a/	-24.8	-24.9
/i/	-39.0	-34.9
/u/	-36.3	-32.8
/e/	-30.6	-25.8
/o/	-32.5	-32.7

No. 7

	pre	post
/a/	-24.8	-26.6
/i/	-35.1	-36.5
/u/	-27.3	-32.0
/e/	-28.5	-30.6
/o/	-23.9	-31.3

No. 13

	pre	post
/a/	-22.5	-26.4
/i/	-37.1	-31.8
/u/	-30.5	-31.9
/e/	-27.5	-30.3
/o/	-22.8	-31.3

No. 18

	pre	post
/a/	-18.2	-20.2
/i/	-30.7	-31.9
/u/	-24.9	-30.2
/e/	-22.9	-25.1
/o/	23.3	-26.9

No. 29

	pre	post
/a/	-26.6	-24.0
/i/	-30.6	-30.1
/u/	-7.9	-14.7
/e/	-28.9	-28.8
/o/	-30.9	-26.1

No. 30

	pre	post
/a/	-26.9	-24.0
/i/	-34.7	-34.2
/u/	-24.3	-27.4
/e/	-31.6	-32.8
/o/	-30.6	-7.8

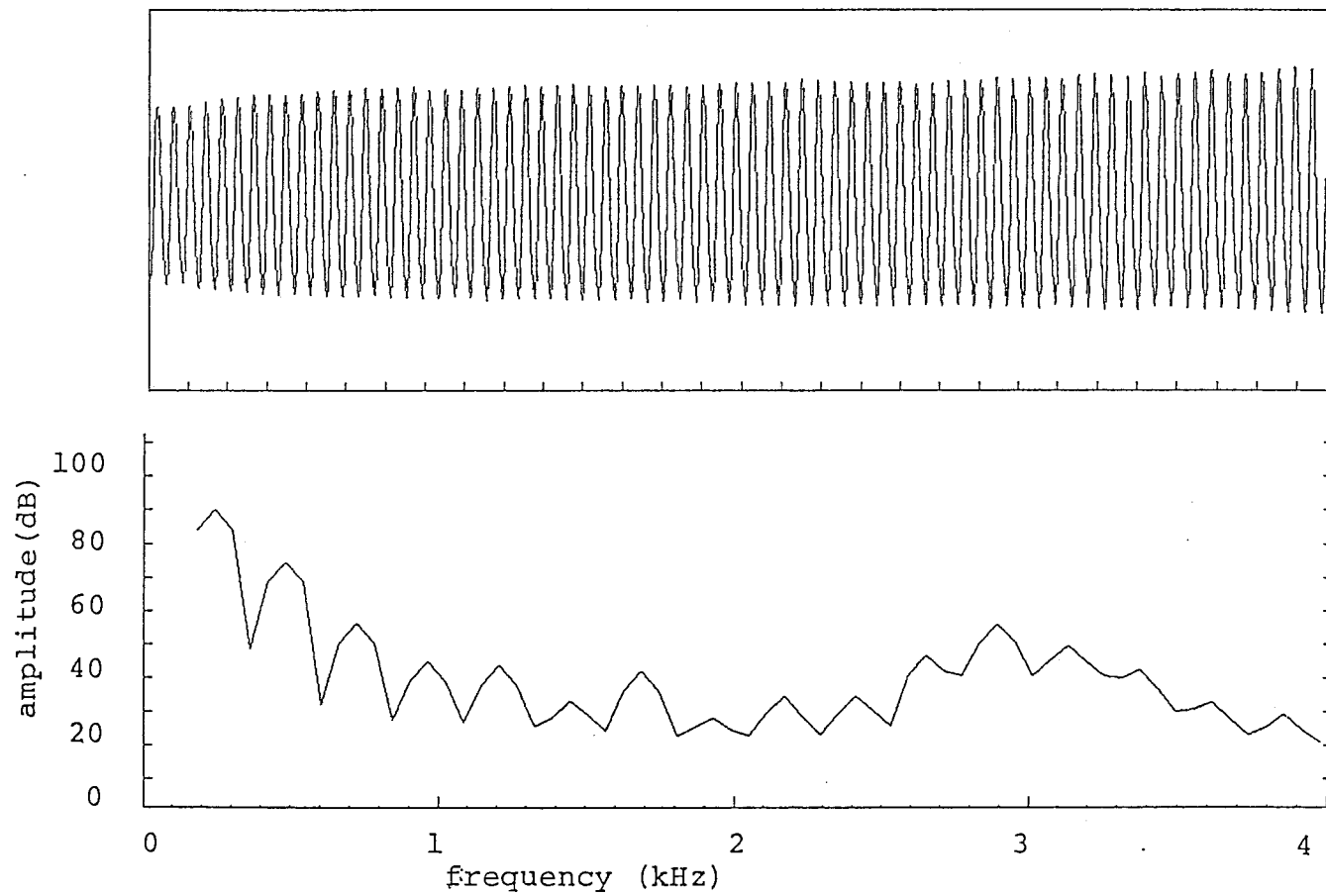


図 4 - 1 術前の音声波形（上部）とそのパワースペクトル 16 高調波（下部）

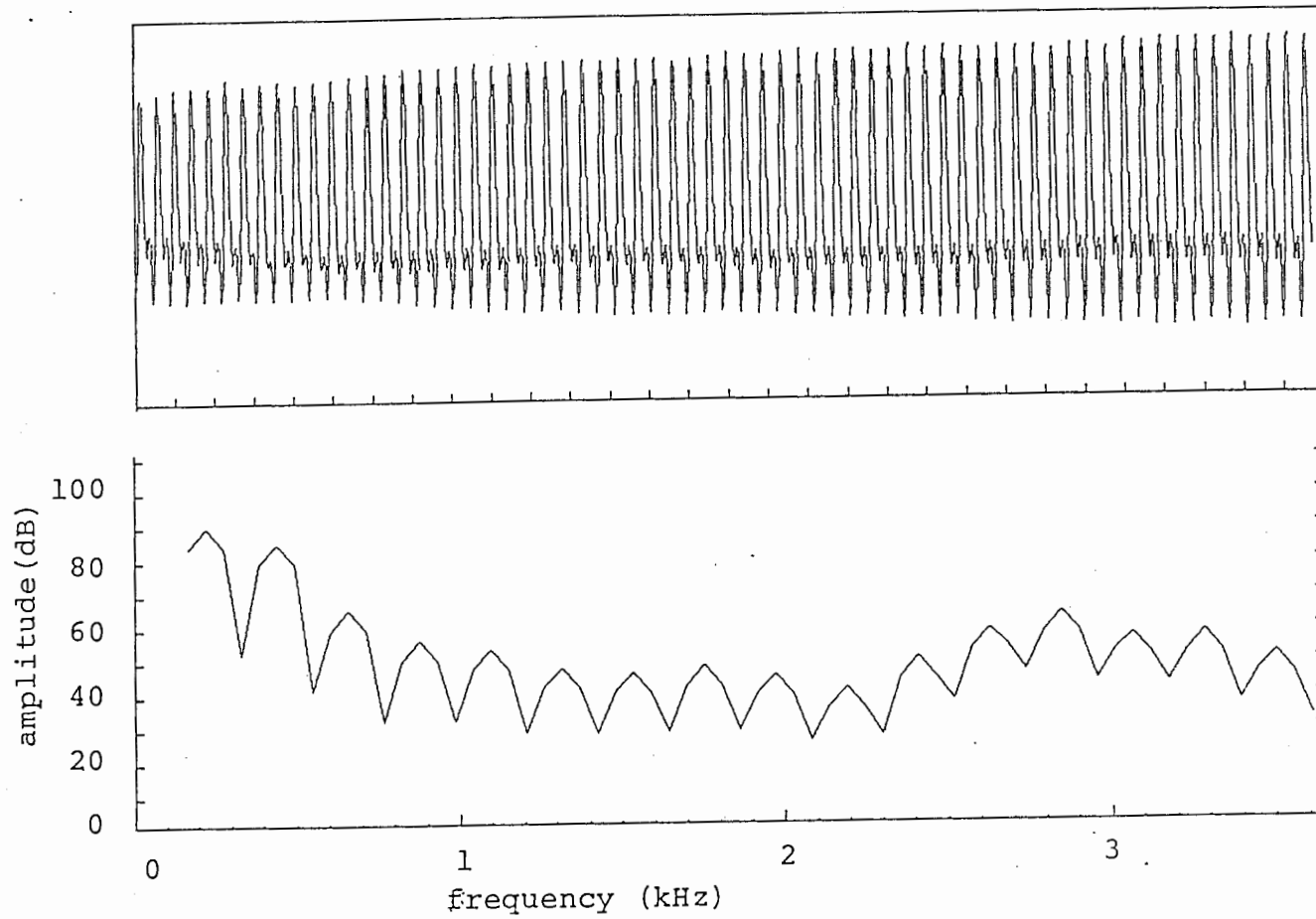


図 4 - 2 術後の音声波形 (上部) とそのパワースペクトル 16 高調波 (下部)

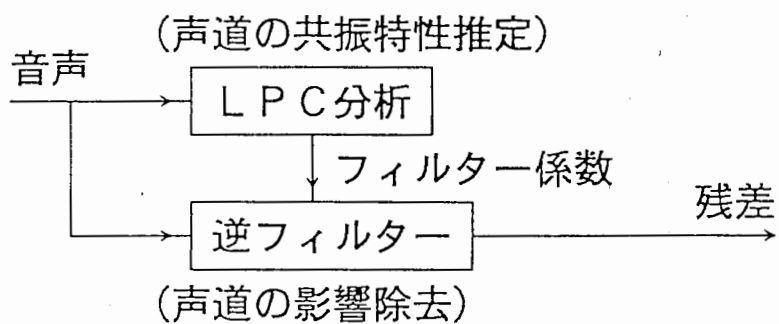


図 4 - 3 声道の共鳴軽減の原理図

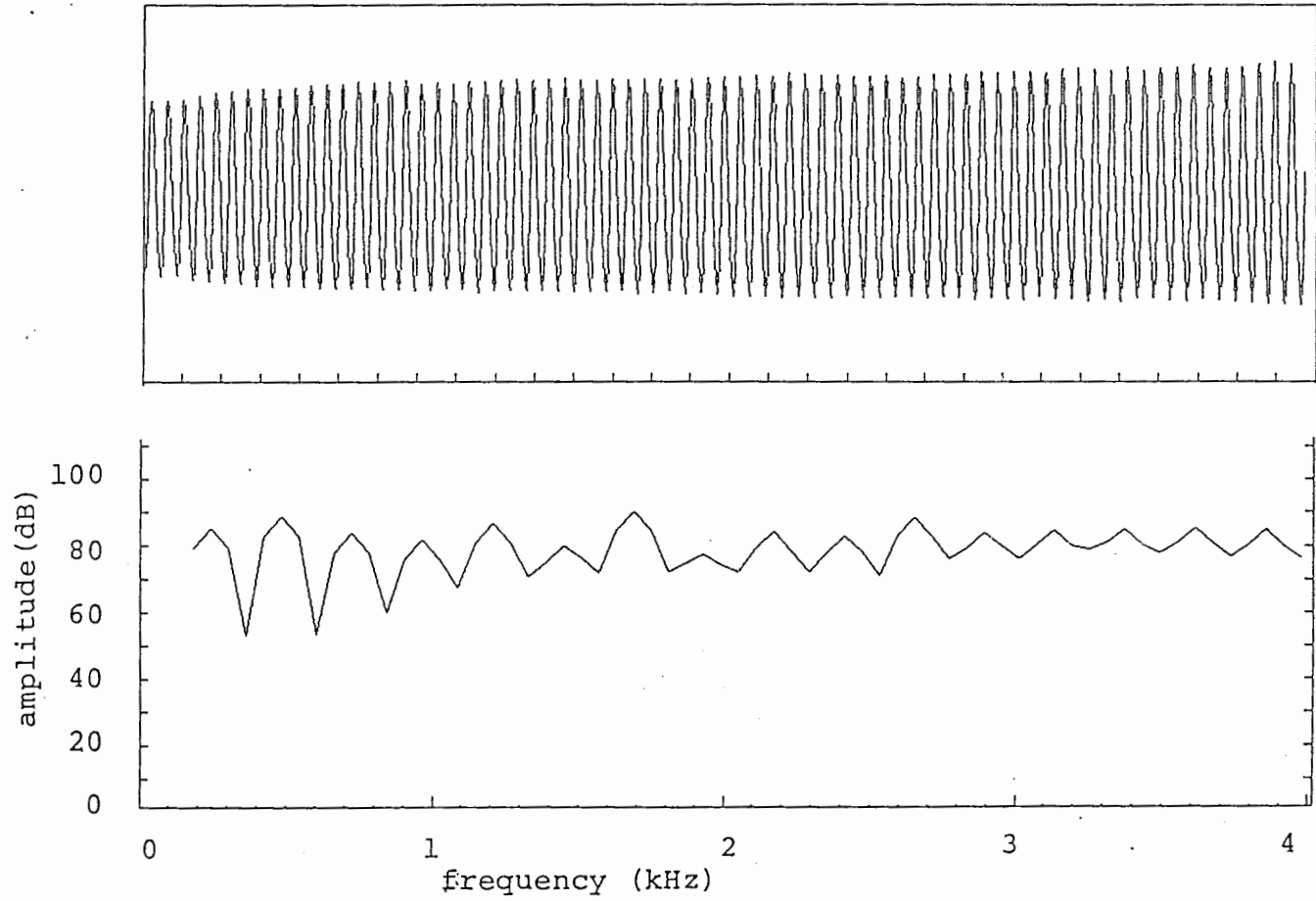


図4-4 術前の共鳴軽減後の音声波形（残差波形）（上部）とそのパワースペクトル16高調波（下部）

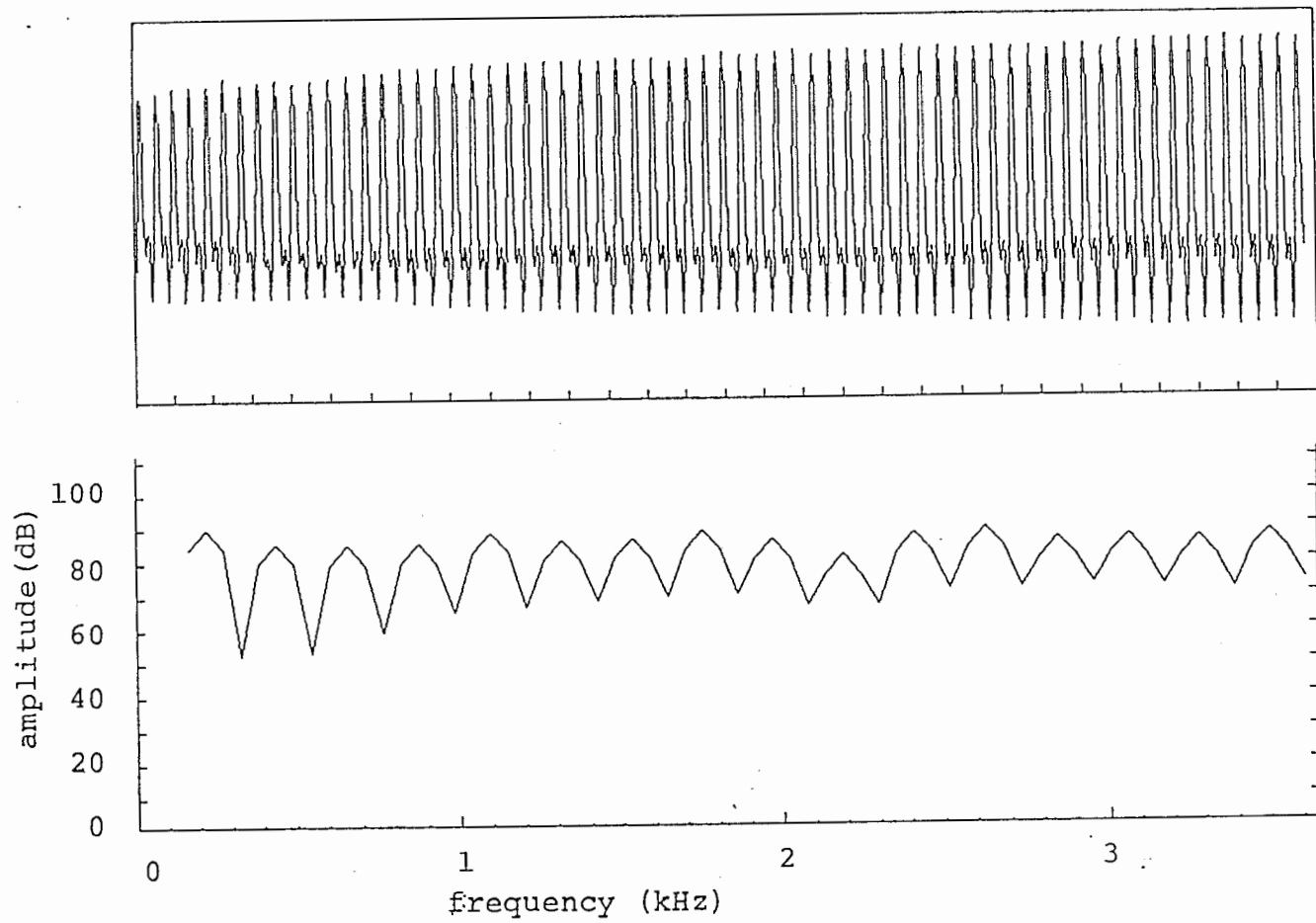


図4-5 術後の共鳴軽減後の音声波形（残差波形）（上部）とそのパワースペクトル16高調波（下部）

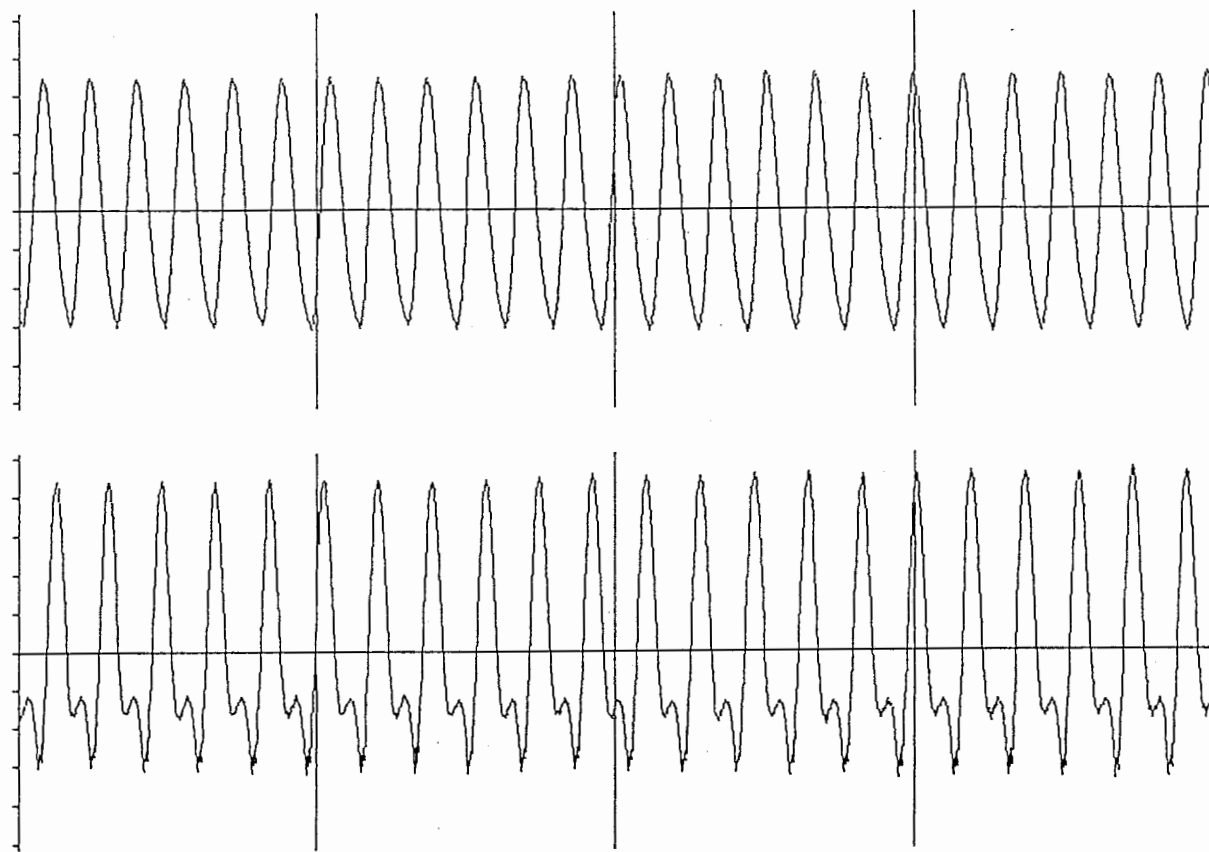


図 4 - 6 術前の音声波形（上部）と術後の音声波形（下部）

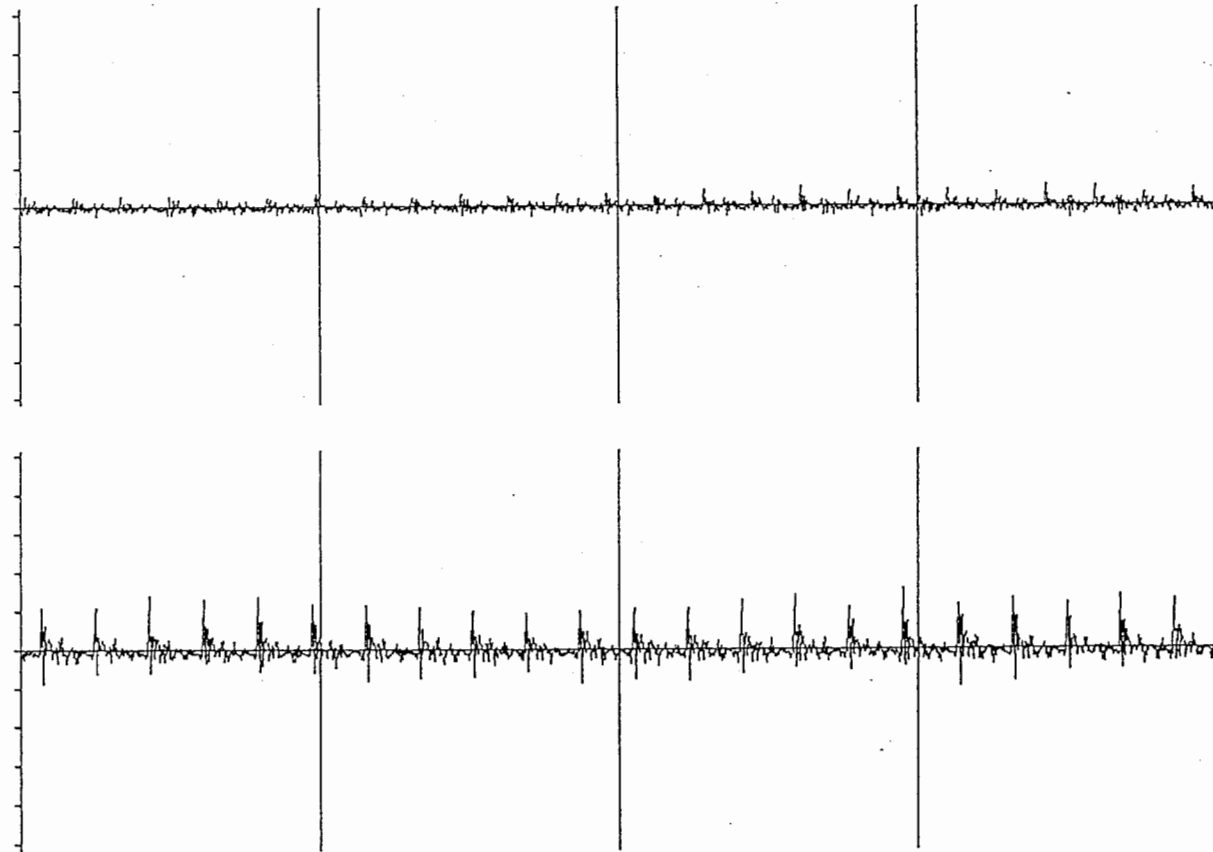


図 4 - 7 術前の残差波形 (上部) と術後の残差波形 (下部)

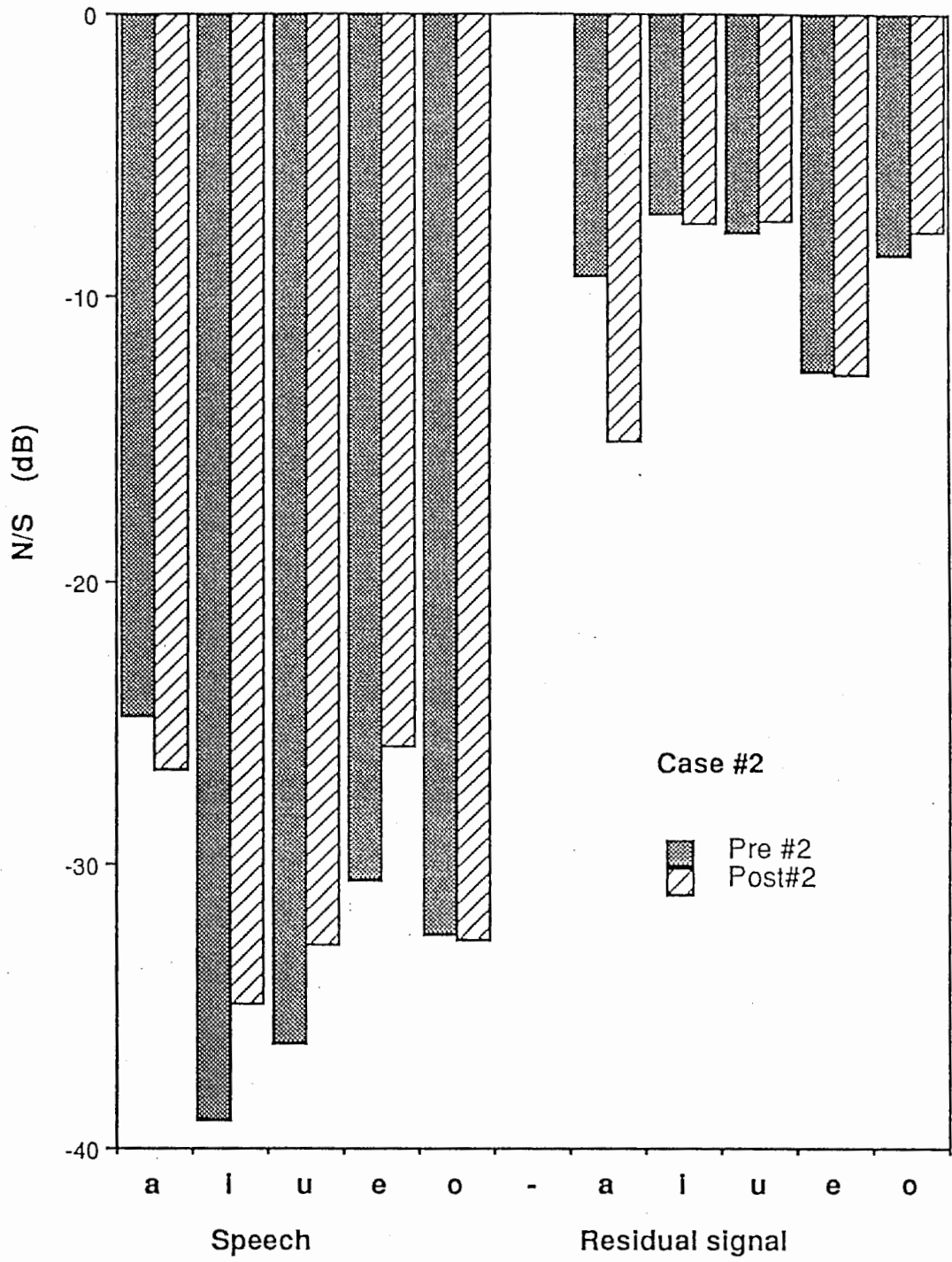


図 4 - 8 5 母音の術前の音声信号及び残差信号の N / S 比

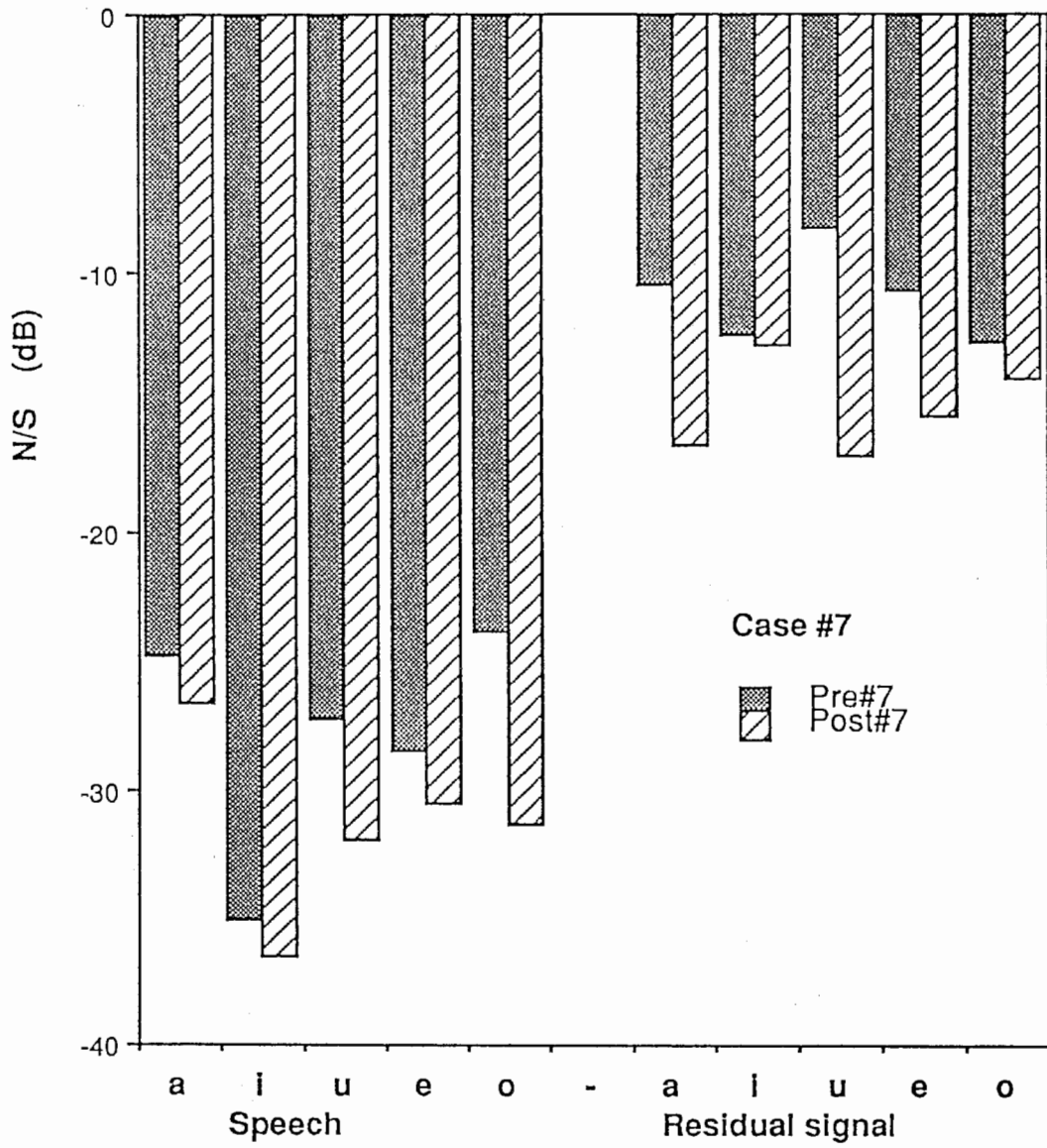


図 4 - 9 5 母音の音声信号及び残差信号の術前術後の N / S 比

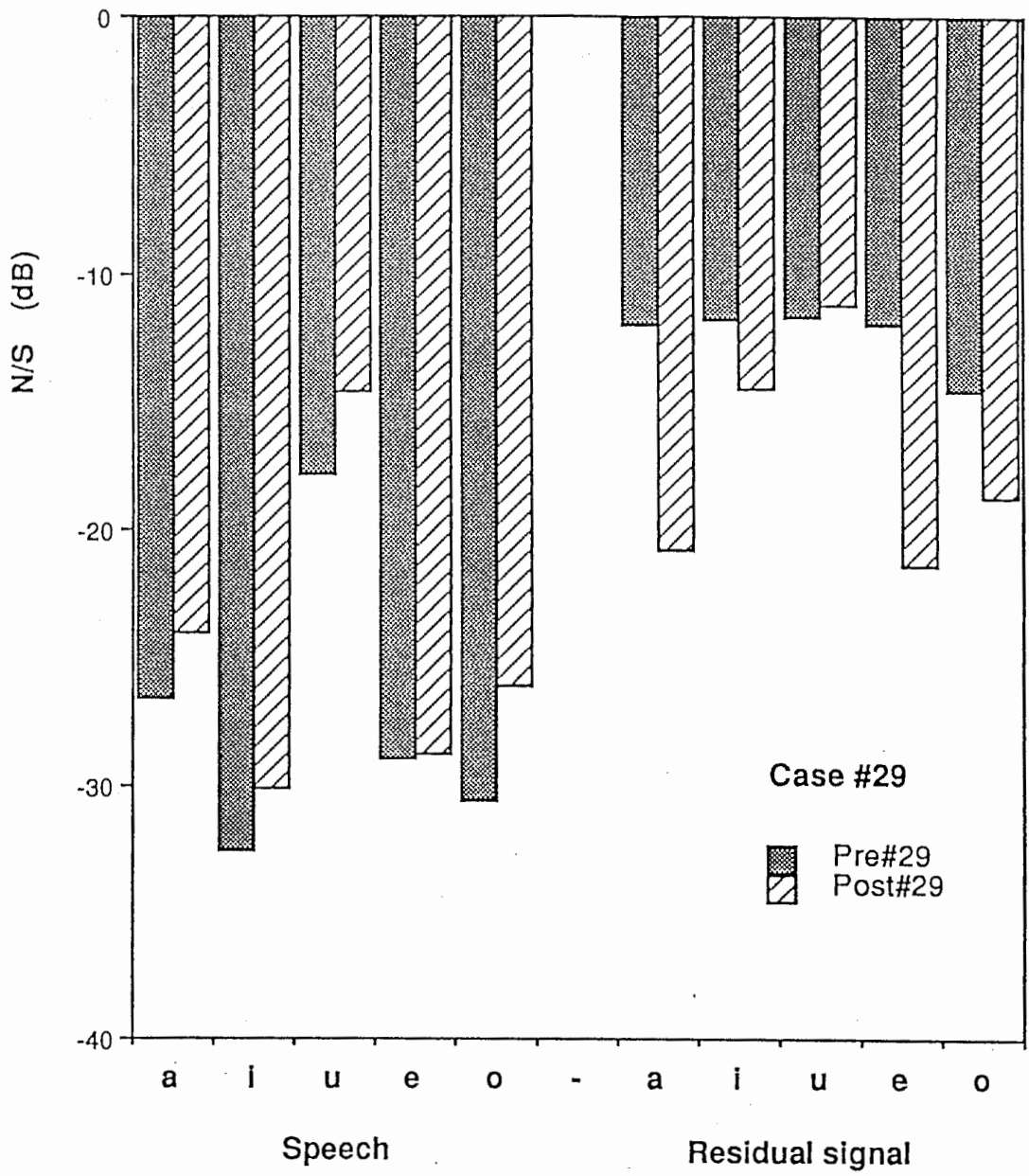


図 4 - 1 0 5 母音の音声信号及び残差信号の術前術後の N / S 比

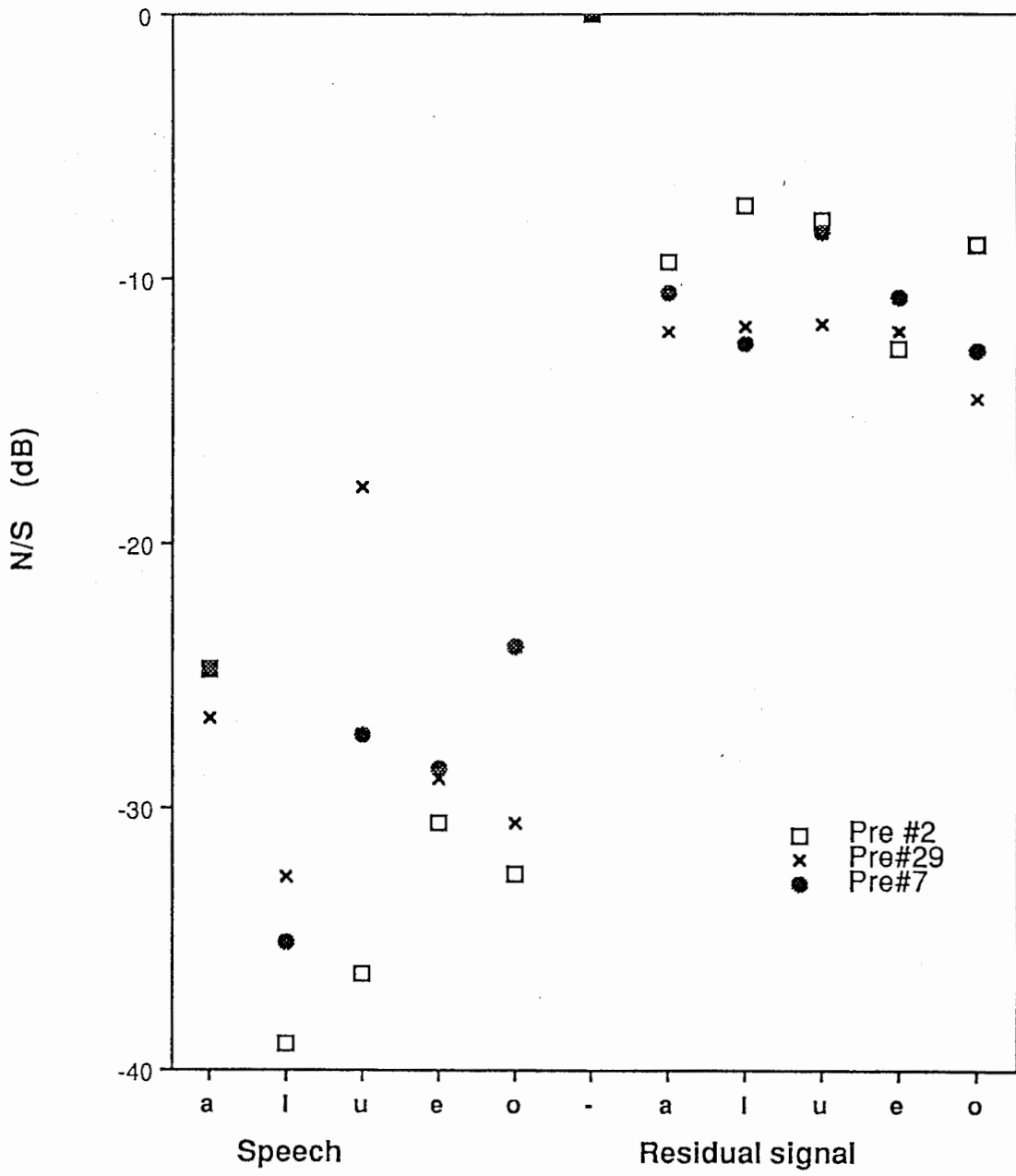


図 4 - 1 1 5 母音の音声信号及び残差信号の術前術後の N / S 比

5 ケプストラムを用いた嘔声の分析

5. 1 はじめに

嘔声の定量評価方法としてはこれまで各種の方法が提案されているが、ここでは比較的簡単な分析方法であるケプストラム分析を基にした方法についての検討を行う。この方法では音声の周期性によるケプストラムのピークの値に着目する。基本周期及び振幅に揺らぎの無い場合は、基本周期による第1ピークは基本周期の2倍の周期による第2ピークの値よりはるかに大きい。しかし、周期等に揺らぎがある場合は第1ピークの値は第2ピークの値より小さくなる。合成音声を用いて、周期揺らぎ、振幅揺らぎがある場合のピークの値について考察を行い、更に及び実際の患者の声で検討した。その結果、周期及び振幅の揺らぎが聴覚的に判らない程度の小さい場合でも、この方法で揺らぎが検出でき、又振幅揺らぎと周期揺らぎが区別できることが示された。

5. 2 ケプストラム分析

図5-1にケプストラムを求める原理図を示す。音声信号をフーリエ変換しその絶対値をとり、更に対数を取って、対数パワースペクトルを得る。その対数パワースペクトルを波形と見なして再度そのフーリエ逆変換を行って得られたのがケプストラムである。ケプストラム (cepstrum) の名前はスペクトル (spectrum) の前後を入れ換えて作られている。その単位は *quency* と呼ばれ、これも *frequency* の前後入れ換えて作られている。図5-2に合成音の例、図5-3に自然音の正常例を示す。図の左が対数パワースペクトル、図の右上が波形で、右下がケプストラムである。対数パワースペクトルを波形と見なすと、音声の周期成分は、基本周波数の整数倍のところでピークを持つ調波構造となって現れるので早い動きとなる。このためケプストラム上で音声の調波構造による成分は高ケフレンシー部に鋭いピークとなって現れる。ケフレンシーは疑似的な時間軸であるため、ピッチ周期と同じ時点に音声の調波構造による第1のピークがある。更に、その2倍、3倍の所にも低調波によるピークが現れる。合成音の様に基本周期にも振幅にも揺らぎの無い音声においては第1ピークの値は第2ピークの値よりはるかに大きい。一方、口空の共振特性は、パワースペクトル上では遅い動きとして現れるため、ケプストラム上では、その成分は低ケフレンシーに現れる。

図5-4に示すように音声は声帯の振動による音原と口空の共振の特性との畳み込みで表される。フーリエ変換を行うと2つの成分の畳み込みは各々の成分の積になるので、スペクトル上では各々の積で表される。更に対数を取ることにより、各々の積は各々の和に成るので、対数パワースペクトルでは、和で表される。2つの成分の和のフーリエ変換はそれぞれのフーリエ変換の和で表されるので、ケプストラム上では線形和で表される。この性質より、ケプストラムの低ケフレンシー部をリフター (フィルターに相当する) を通して取り出し、これを逆フーリエ変換することによりスペクトル包絡 (口空の共振の特性) が求まる。この様に、ケプストラム分析では、ピッチ周波数推定とスペクトル包

絡の推定が出来る。

5. 3 病的音声の分析

図5-5、6に疾患例を示す。周期性が無くなると、ケプストラムのピークが小さくなったり、ピークの幅がひろくなる。更に、周期性がよくても周期や振幅に揺らぎがあるとケプストラムの第1ピークは第2ピークの値より小さくなる。この性質を嚔声の分析に応用する。はじめに合成音を用いてケプストラムのピークの値とその場所を詳しく検討する。

5. 3. 1 振幅揺らぎがある場合

例としてピッチ周波数200 Hz、ピッチ周期5 msecで、振幅が1周期毎に増加、減少するような合成音を用いて、そのケプストラムを求める。図5-7にケプストラムを表5-1にケフレンシーとケプストラムの値を数値で示す。第1ピークは第2ピークより値が小さい。第1ピークは5 msecの所に、第2ピークは10 msecの所にあり、第1ピークの2倍の周期のケフレンシーの所に第2ピークがある。

5. 3. 2 周期揺らぎがある場合

例として周期が5 msecと5.1 msecの交互になっている合成音を用いて、そのケプストラムを求める。図5-8にケプストラムを表5-2に結果を数値で示す。振幅揺らぎが有る場合と同様に、第1ピークは第2ピークより値が小さい。しかし、第1ピークはよく見ると5 msecと5.1 msecのそれぞれの周期の所に現れ、第2ピークはそれぞれの周期の和10.1 msecの所に現れる。

この様に、振幅揺らぎが有る場合と周期揺らぎが有る場合とでは、ケプストラムのピークの型に相違が有ることが示される。

5. 3. 3 実際の疾患例

疾患の分析例を図5-9と表5-3に示す。これは術後の例であり、聴覚的には殆ど正常に聞こえる例である。この例では、表に示す様に、4.2 msecと4.3 msecに第一のピークがあり、8.5 msecに第2のピークがある。2つの第一ピークのケフレンシーの和のケフレンシーに第2ピークがあり、これは僅かの周期揺らぎのある例であることがわかる。

5. 4 まとめ

ケプストラムを用いた病的音声の定量評価の可能性について、合成音を用いて、検討を行った。更に実際の疾患例に適用したところ聴覚的にはあまり判らない程度の小さな振幅、周期揺らぎでもこの方法でより簡単に検出できることが示された。今後、EGG、ファイバースコープ等を用いて観測した声帯の動きとケプストラム等の音声パラメータとの関係、ケプストラムのピークの値とPPQ、APQ等についての関係について検討を行う予定である。

表 5 - 1 振幅揺らぎがある合成音のケプストラムの値

振幅揺らぎの例

合成音

ピッチ周期 5.0 msec

1 周期毎に振幅が変化

ケフレンシー (msec)	ケプストラムの値
4.8	0. 1 2
4.9	- 0. 1 2
5.0	3. 1 7
5.1	- 0. 1 3
5.2	0. 0 1
9.8	0. 6 7
9.9	0. 4 8
1 0.0	4. 1 4
1 0.1	0. 5 7
1 0.2	0. 7 2

表 5 - 2 周期揺らぎがある合成音のケプストラムの値

基本周期揺らぎの例

合成音

ピッチ周期 5.0 msec と 5.1 msec
が 1 周期毎に交代

ケフレンシー (msec)	ケプストラムの値
4.9	0. 2 3
5.0	1. 2 3
5.1	1. 3 3
5.2	0. 4 1
9.9	0. 3 2
1 0.0	- 0. 3 0
1 0.1	7. 0 6
1 0.2	- 0. 5 0
1 0.3	0. 1 4

表 5 - 3 疾患者の音声のケプストラムの値

quefreny(msec)	cepstrum
4.1	0.0
4.2	1.72
4.3	1.91
4.4	0.37
8.3	0.18
8.4	0.28
8.5	2.79
8.6	0.64
8.7	0.15

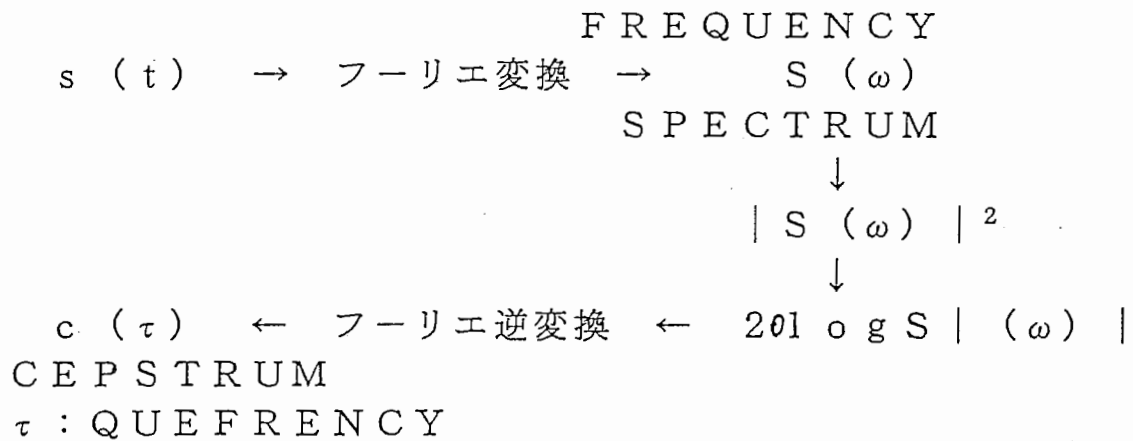


図 5 - 1 ケプストラム分析の原理図

$$\begin{array}{l}
 s(t) = g(t) \otimes r(t) \\
 \quad \text{音源} \quad \quad \quad \text{共鳴} \\
 S(\omega) = G(\omega) \times R(\omega) \\
 \log S(\omega) \\
 \quad = \log G(\omega) + \log R(\omega) \\
 C(\tau) = C_g(\tau) + C_r(\tau)
 \end{array}$$

図 5 - 4 音声の生成モデルとケプストラム分析

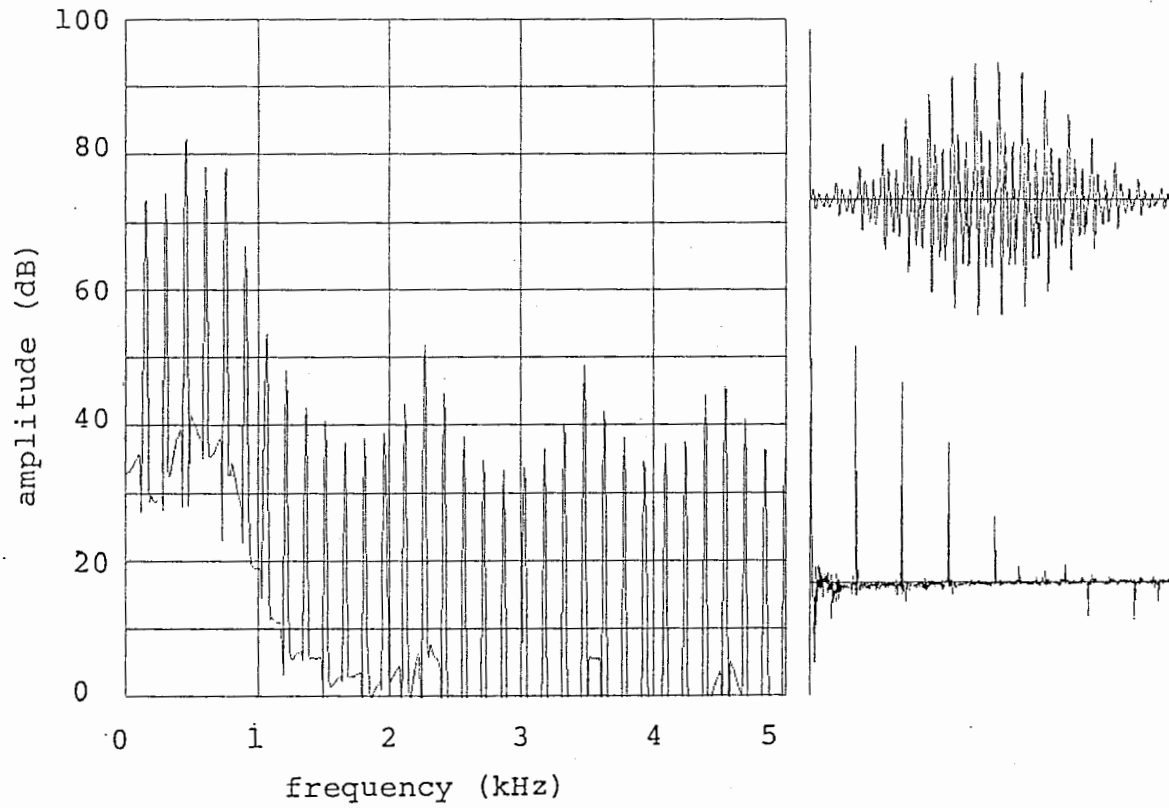


図 5 - 2 合成音のケプストラム分析結果の例
左がパワースペクトル、右上が波形、右下がケプストラムを示す

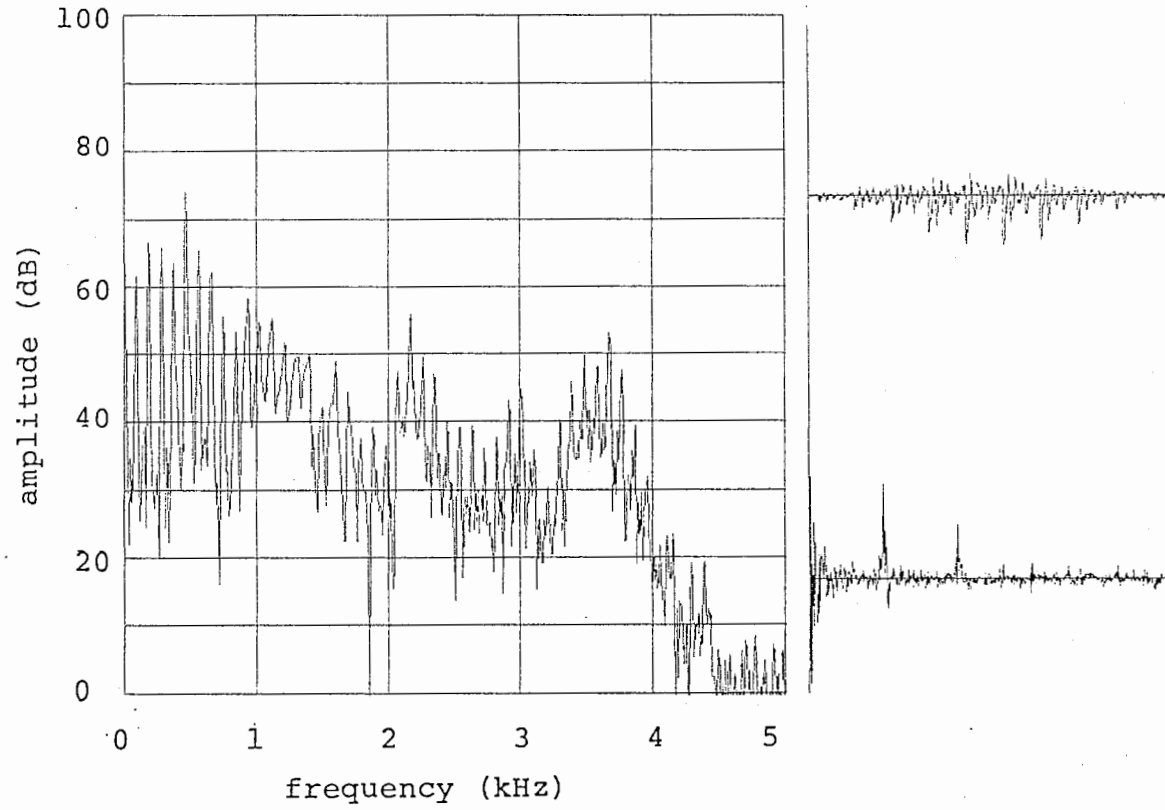


図 5 - 3 自然音のケプストラム分析結果の例
左がパワースペクトル、右上が波形、右下がケプストラムを示す

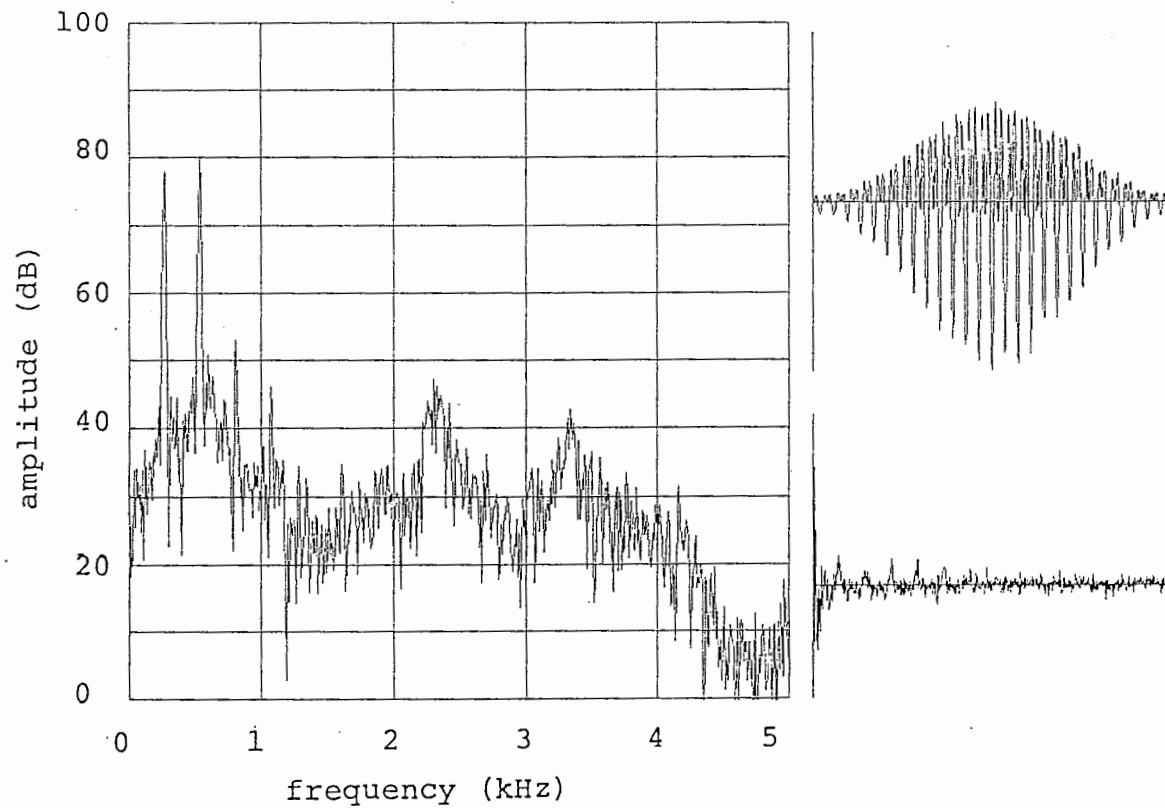


図 5 - 5 疾患者の音声のケプストラム分析結果 (その 1)
左がパワースペクトル、右上が波形、右下がケプストラムを示す

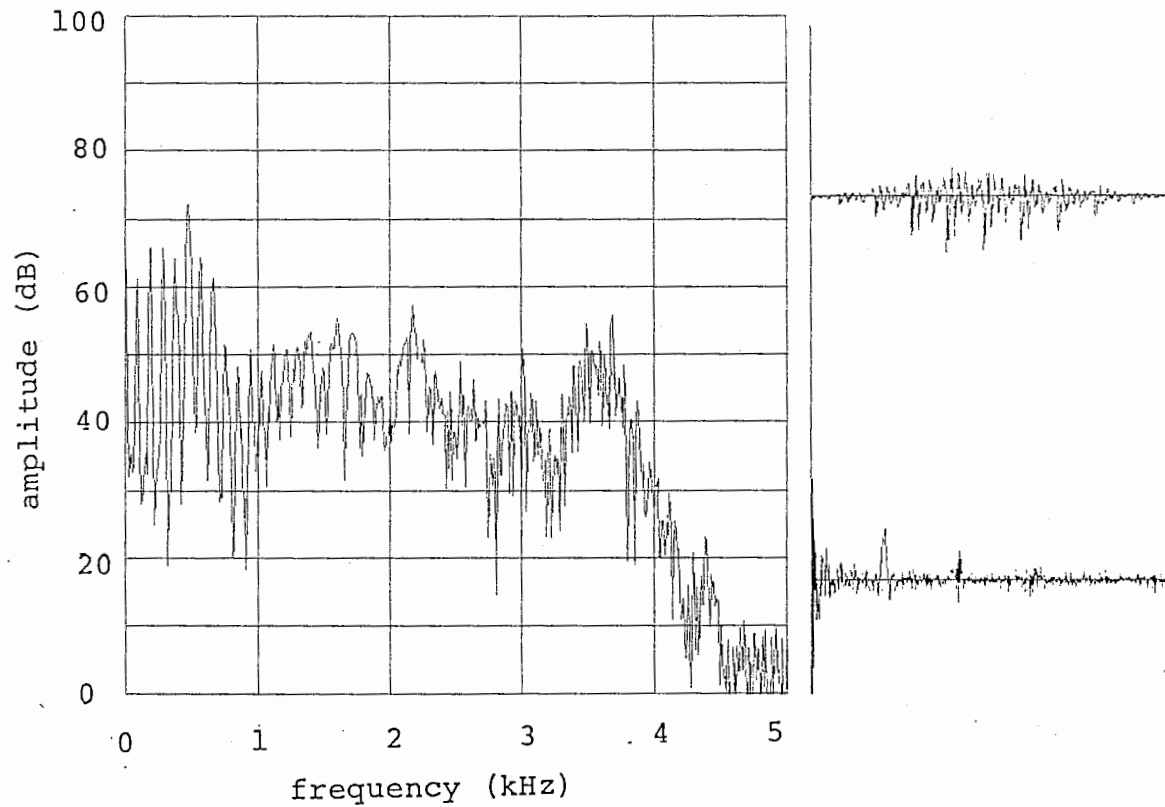


図 5 - 6 疾患者の音声のケプストラム分析結果 (その 2)
左がパワースペクトル、右上が波形、右下がケプストラムを示す

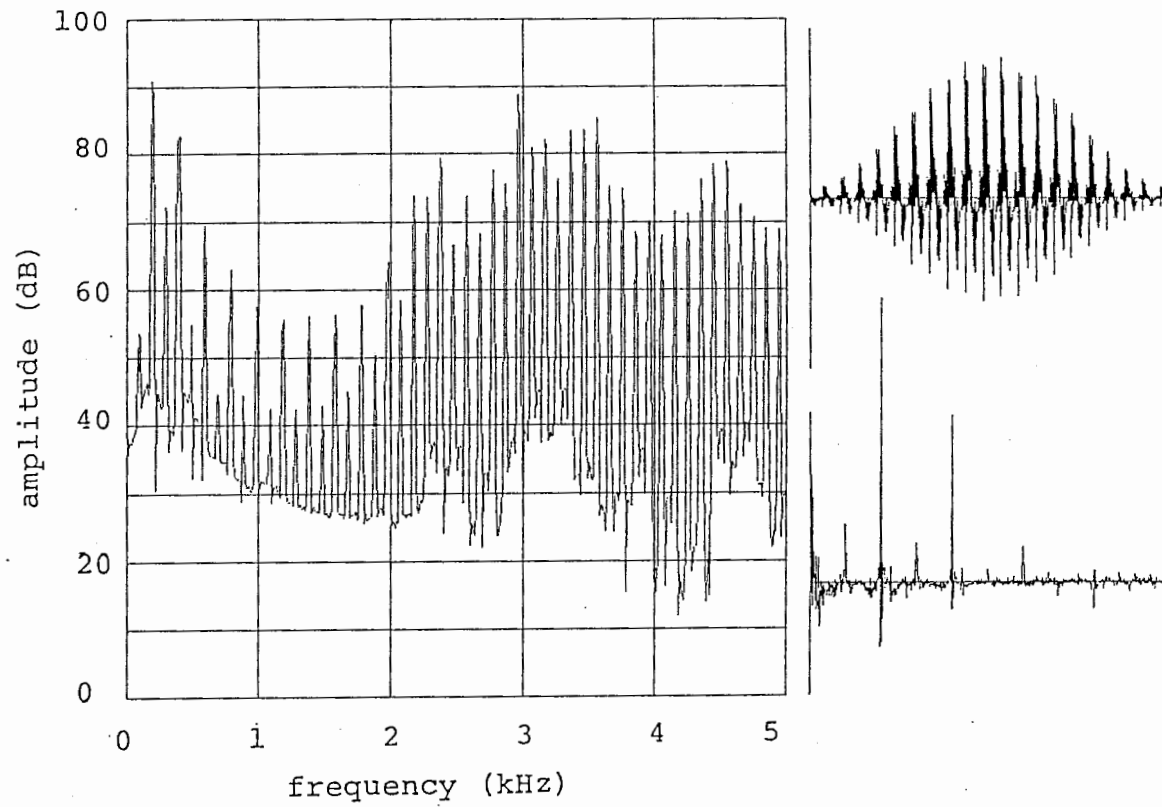


図 5 - 7 振幅揺らぎがある合成音のケプストラム分析結果
左がパワースペクトル、右上が波形、右下がケプストラムを示す

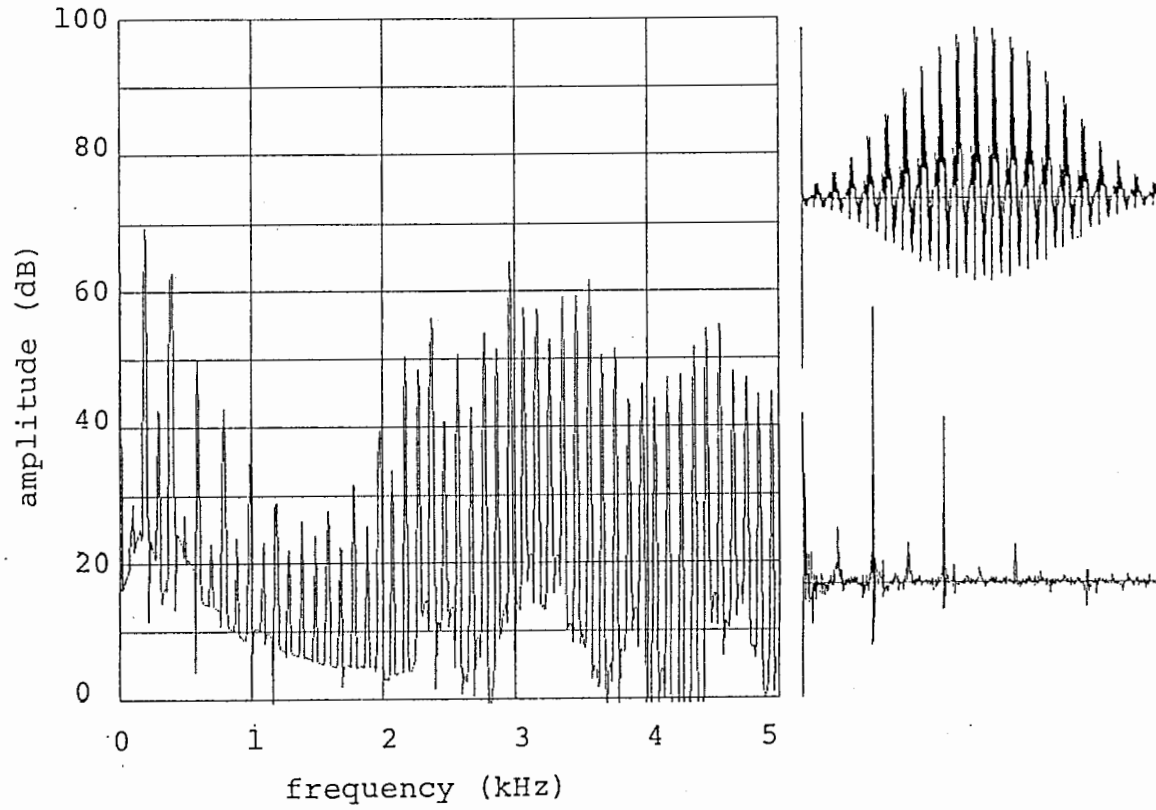


図 5 - 8 周期揺らぎがある合成音のケプストラム分析結果
左がパワースペクトル、右上が波形、右下がケプストラムを示す

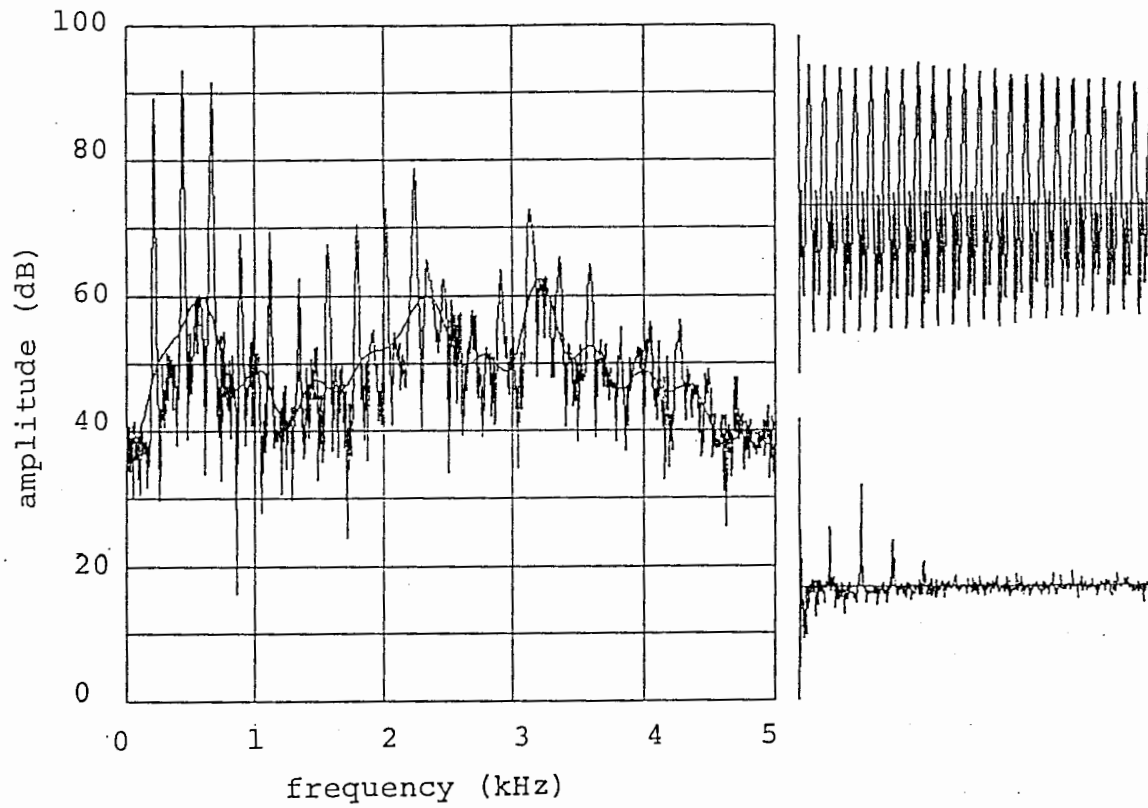


図 5 - 9 疾患者の音声のケプストラム分析結果
左がパワースペクトル、右上が波形、右下がケプストラムを示す

6. 外転性痙攣発声障害と考えられた機能性発声障害の音響分析

6. 1 はじめに

痙攣性発声障害は主に、声帯が強く内側に寄る内転による内転型とこの逆の外転型がある。ここでは外転性痙攣性発声障害と思われる1例の音響分析を試みる。

6. 2 資料

症例は53歳の男性、中学校の英語の教師である。昭和62年8月頃より、声がかすれて大きな声ができなくなった。耳鼻咽喉科を数カ所受診するも改善は得られなかった。

既往歴として、昭和63年3月左聴神経腫瘍摘出術を受けていた。その他、筋神経疾患はなかった。

音声は響きがなく、いわゆる有響性に乏しく、痙攣性に声がうわずり、流暢性が大きく障害されていた。特に「おはよう」など無声子音を含む語句の発声が困難であった。

6. 3 空気力学的検査

発声機能検査の結果を図6-1 A、B、C、D、に示す。A(左上)は横軸にピッチ(Hz)を、縦軸に気流阻止法で求めた声門下圧(mmH₂O)を示す。B(右上)は横軸に音圧(dB)を縦軸に気流阻止法で求めた声門下圧(mmH₂O)を示す。C(左下)は横軸にピッチ(Hz)を、縦軸に呼気流率(ml/s)を示す。Dは横軸に音圧(dB)を縦軸に呼気流率(ml/s)を示す。図でNは楽な発声を、Hは高い声を、LWは低い声を、LDは大きい声を、Sは弱い声の場合をそれぞれ示す。図に示す様に持続母音で大きな声を出そうとするとピッチが148Hzから249Hzに上昇し、ピッチを一定に保つように指示すると呼気流率が127ml/sから342ml/sに上昇して音圧は逆に低下した。有響性に富んだ場合と乏しい場合の発声の音声波形を図6-2にElectro Glotto Gram (EGG)を図6-3にそれぞれ示す。図は上部が有響性に富んだ場合であり、下部が有響性に乏しい場合である。症状が悪化した場合は、基本周波数が上昇するとともにEGG及び音声波の振幅が著しく減少し、エネルギーが極度に減少することが示された。内転を強調するように咽頭の位置をさげさせて発声させると、有響性に富んだ持続母音を誘導させることができた。

6. 4 喉頭所見

間接喉頭鏡所見は異常なく、喉頭ファイバースコープ上にて声帯の過内転や声門上部の攣縮を認めなかった。

喉頭ストロボスコープによる声帯運動の観察では、有響性に富んだ発声の時は、声帯の閉鎖期があり、粘膜の波動も正常であったが、有響性の乏しい発声の時には、閉鎖期がみられず、粘膜の波動が前後左右に非対称で、均一ではなかった。同時に記録したEGGの振幅もより小さく、閉鎖期にあたる部分がみられなかった。しかし、ファルセットにおいては上記とは異なった正常の所見が得られた。

6. 5 音響分析

/ede/, /ete/, /eze/, /ese/等、有声子音と無声子音を交互に発声させたところ、無声子音の前後の母音の発声において有響性に乏しい音声となったが、つぎの有声子音の部分では、有響性が回復した。図6-4に有響性に富んだ場合及び、図6-5に有響性に乏しい場合の音声のパワースペクトルをそれぞれ示す。有響性に乏しいときのパワースペクトルでは有響性に富んだ時と比較し、高音域において調波構造が乱れ、エネルギーが低下していた。

図 6-6 に有響性に乏しい場合の音源に相当する信号の平均パワースペクトルを示す。声道の型は有響性に富んだ場合でも乏しい場合でも大きな相違がないことを仮定し、有響性に富んだ場合の音声の母音部から推定した声道の逆特性のフィルターに、有響性に乏しい場合の音声を通して求めている。このスペクトルを見ると、声帯の閉鎖が無いことにより起こったと思われる零点がみられる。有響性に乏しい場合は声門上下のカップリングがみられる例として興味のある例である。

6. 6 まとめ

外転性痙攣性発声障害と思われる 1 例の音響分析を試みた。

音声は響きがなく、いわゆる有響性に乏しく、痙攣性に声がうわずり、流暢性が大きく障害されていた。特に「おはよう」など無声子音を含む語句の発声が困難であった。

又 /ede/, /ete/, /eze/, /ese/ 等、有声子音と無声子音を交互に発声させたところ、無声子音の前後の母音の発声において有響性に乏しい音声となったが、つぎの有声子音の部分では、有響性が回復した。

有響性に乏しいときのパワースペクトルでは有響性に富んだ時と比較し、高音域において調波構造が乱れ、エネルギーが低下していた。

有響性に乏しい場合は声門上下のカップリングがみられる例として興味のある例である

今後この点について検討を要する。

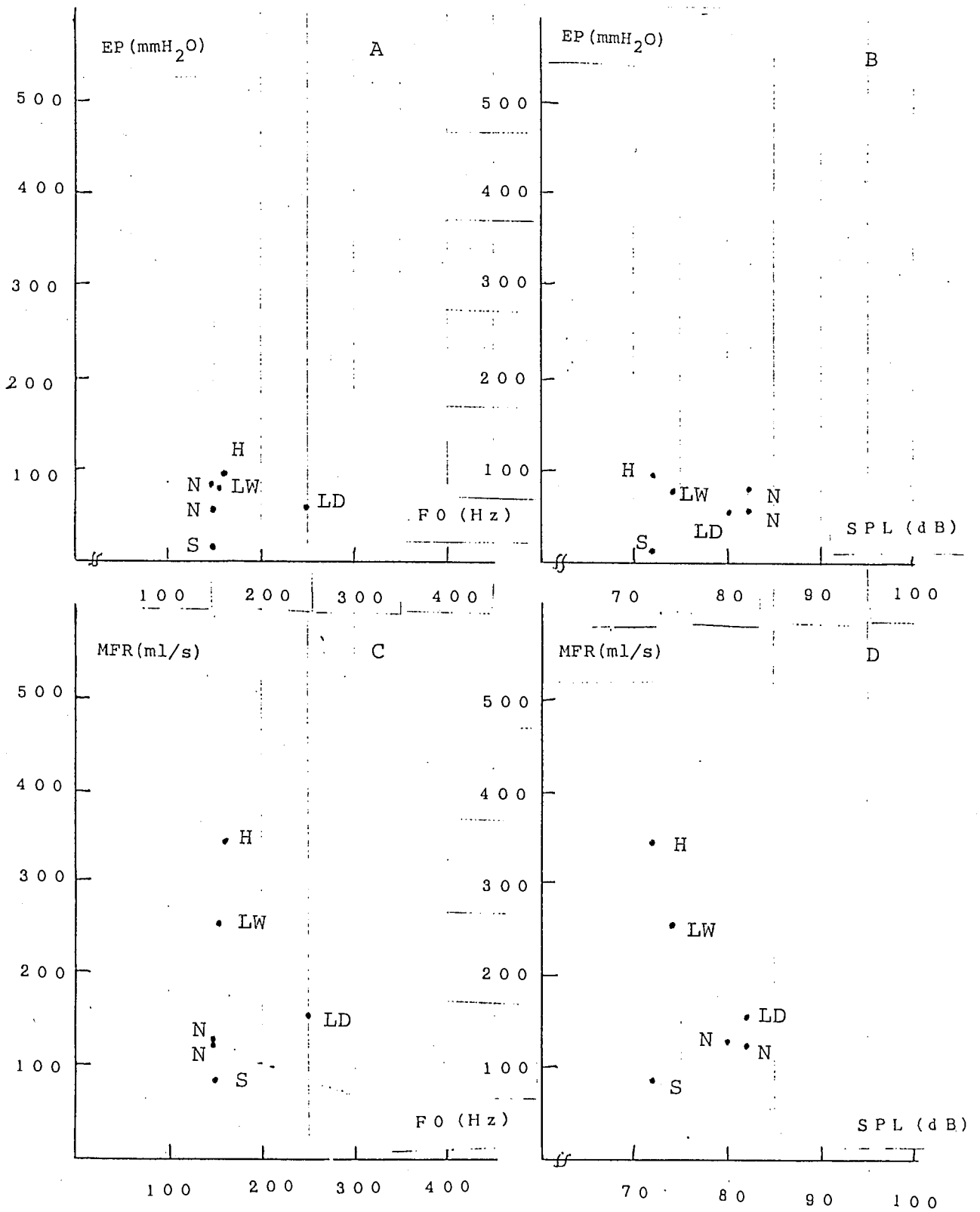


図 6 - 1 空気力学的発声機能検査の結果

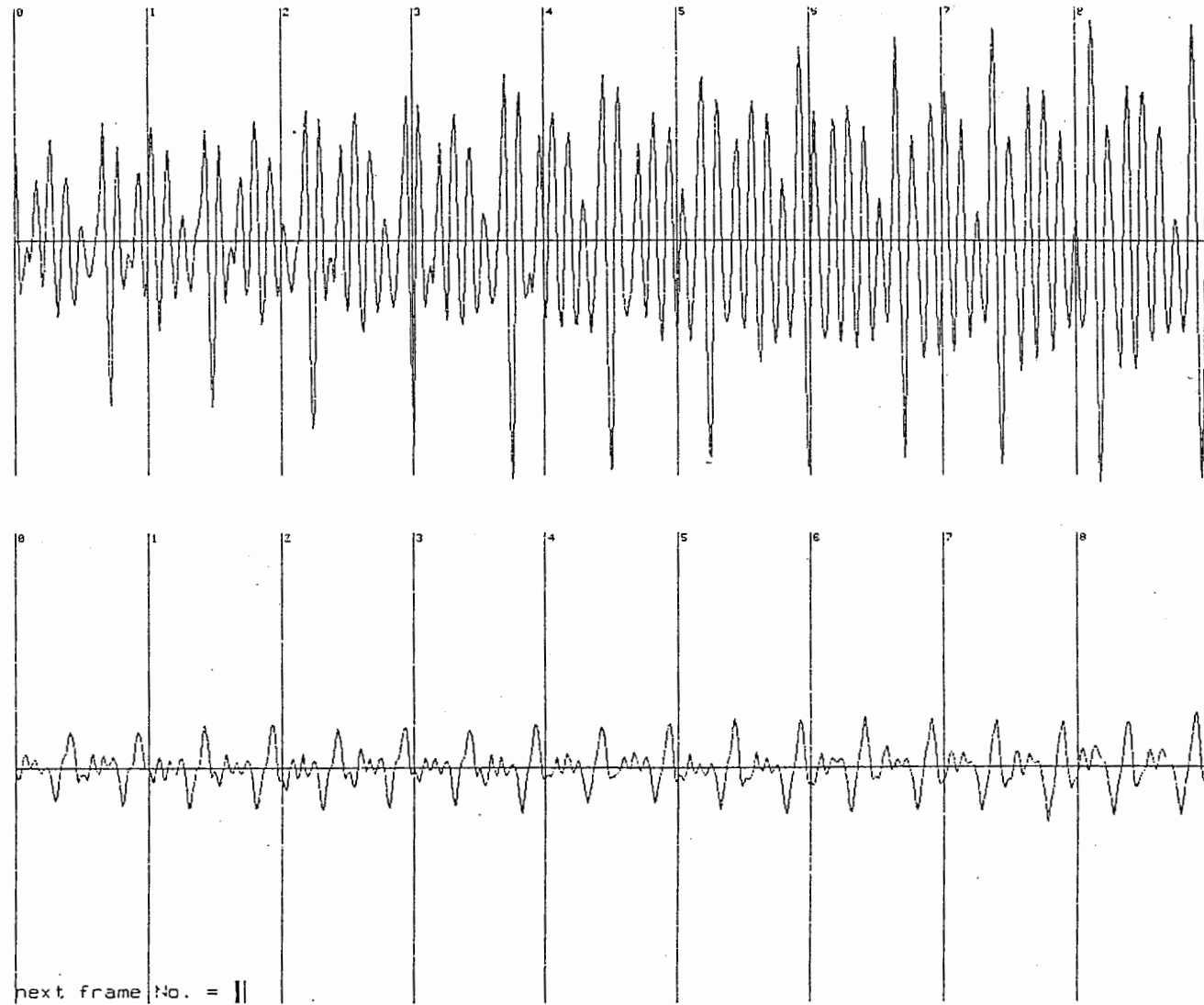


図 6 - 2 有響性に富んだ場合の音声波形（上部）と乏しい場合の発声の音声波形（下部）

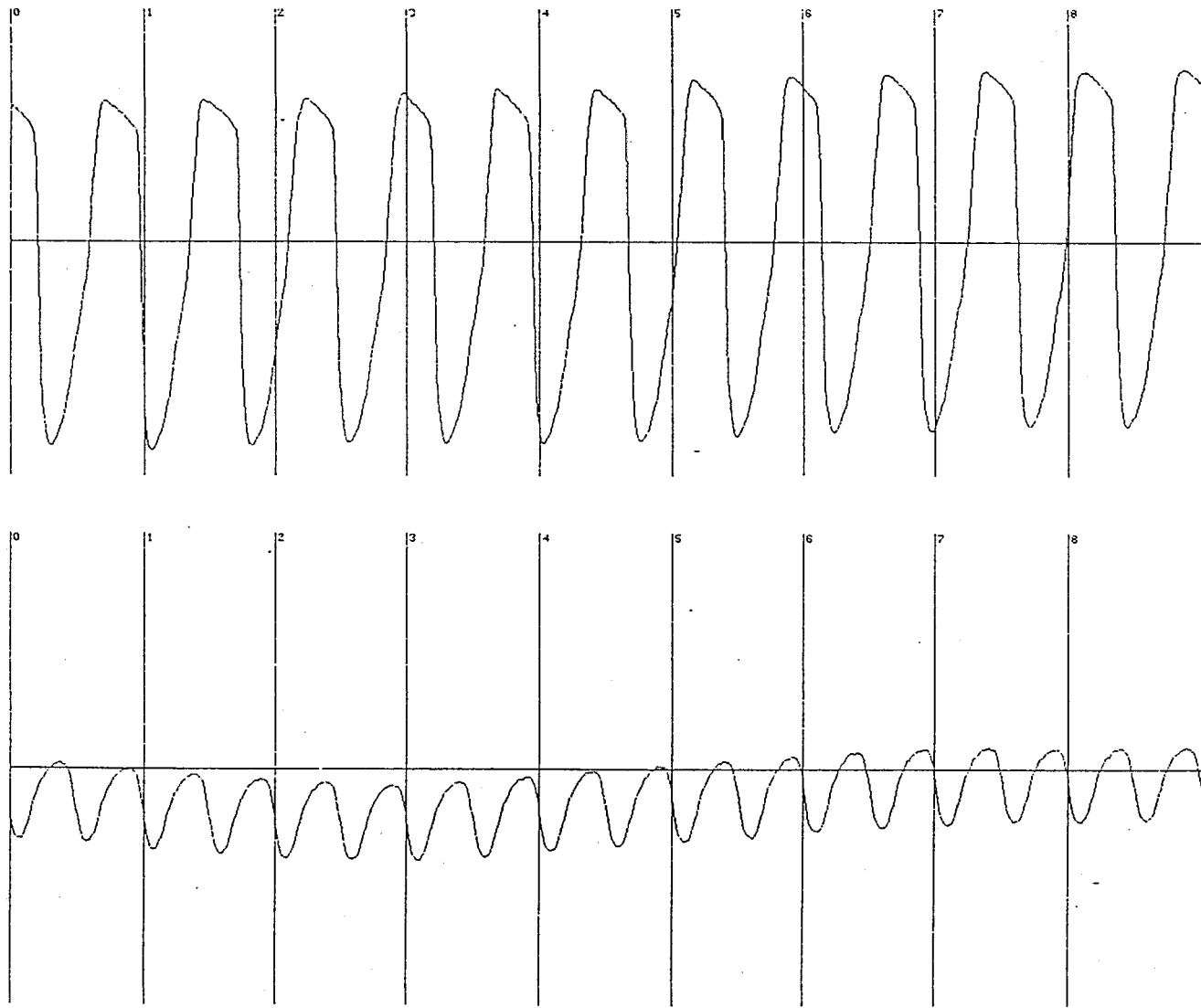


図 6 - 3 有響性に富んだ場合の Electro Glotto Gram (EGG) (上部) と乏しい場合の発声の EGG (下部)

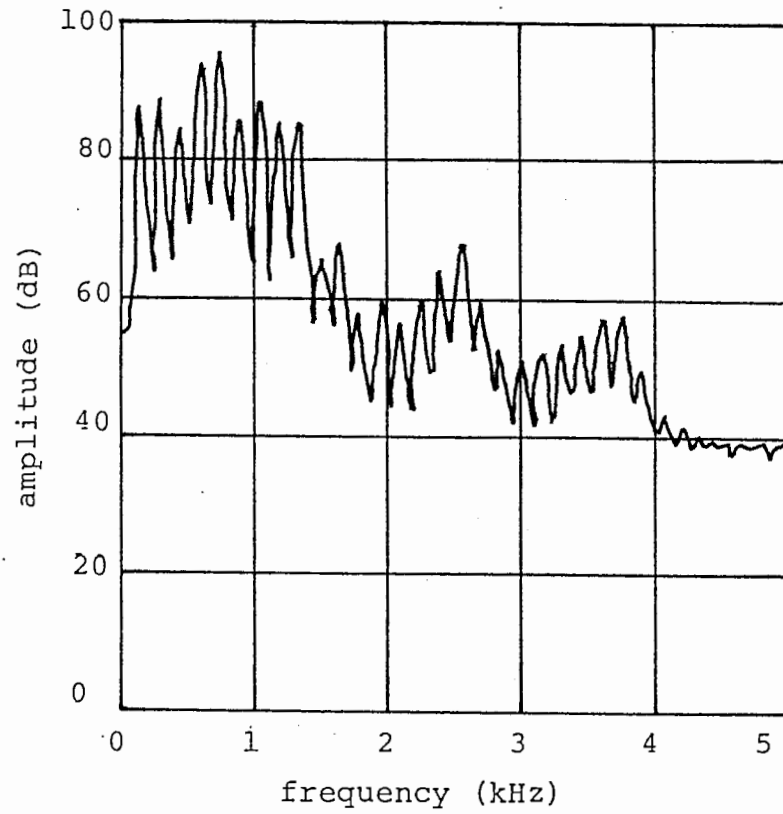


図 6 - 4 有響性に富んだ場合の音声のパワースクトル

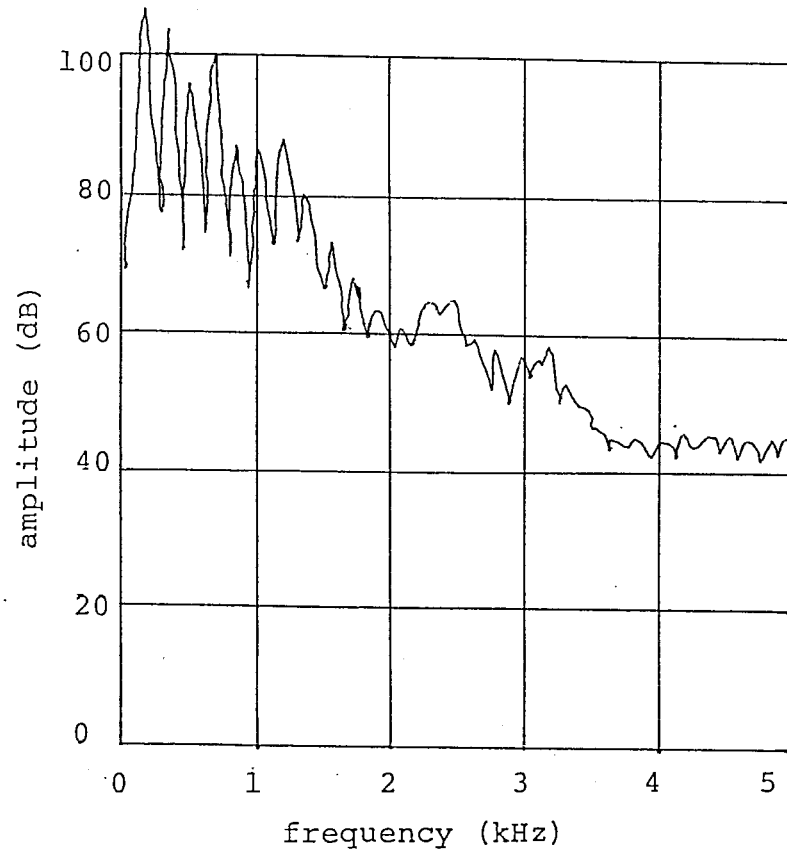


図 6 - 5 有響性に乏しい場合の音声のパワースクトル

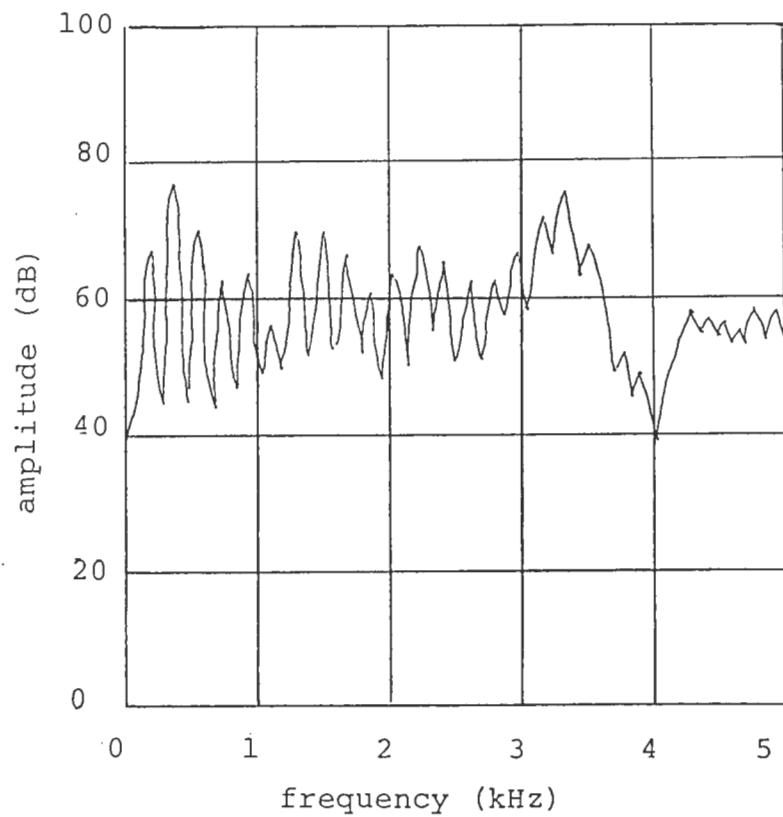


図 6 - 6 有響性に乏しい場合の音源に相当する信号の平均パワースペクトル

7. まとめ

音声・言語障害の定量評価についての2、3の検討を行った。これらの障害の評価は、これまでは聴覚的印象に基づく定性評価を用いてきた。今までの研究から、よく訓練された者の聴覚的印象は、麻痺性構音障害の診断に十分役に立つ事が知られている。しかし、主観的定性的評価では評価者による差があり、また長期観察中の障害の変動を安定にとらえるには問題がある。これに対し、音響分析法等の定量評価を用いればより安定な評価が可能であると考えられる。また、聴覚的印象と音響パラメータ等とを比較することは、障害を詳細に解明するためにも必要であると考えられる。

今回我々は、様々な発話、発声障害の定量評価法についての検討を行った。

2章において麻痺性構音障害の定量評価について検討を行い、スペクトル変化と、パワー変化が有効であること、X線マイクロビーム法による構音器官の動きをこれらの音響パラメータが反映していること、長期治療中の疾患者の経過観察にもある程度利用出来るようなことが示された。

3章において構音障害が現れる別の例として重症筋無力症を例に取り、母音部、子音部エネルギー差を利用した定量評価について検討を行い、治療効果の判定に利用出来る可能性を示した。

4章に於て、調波構造を利用して声帯疾患の術前、術後の音声の評価する方法について検討を行い、更に声道の共鳴の影響を軽減した後同様の方法で評価する方法について検討を行った。

5章に於ては、音声の繰り返しによるケプストラム上のピークの値、及びその2倍のケフレンシーの位置のケプストラムのピークの値等を用いた音声の分析について検討を行った。

6章に於ては外転性発声障害と思われる音声の分析に関する検討を行った。
謝辞

これらの研究を行うにあたって様々なご援助をいただいた東京大学広瀬教授、東京専売病院渡辺先生、東大阪中央病院牟田先生、元神経研藤原先生に深く感謝致します。