

# Formant Frequency Estimation of Speech by a Method with a Diminishing Analysis Window

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/20089">http://hdl.handle.net/2297/20089</a>

# 分析窓長漸減法による音声のホルマント周波数推定

三 好 義 昭

## Formant Frequency Estimation of Speech by a Method with a Diminishing Analysis Window

Yoshiaki MIYOSHI

あらまし 音声の合成・認識において重要な音響パラメータであるホルマント周波数の推定手法として線形予測法が広く用いられているが、通常の線形予測法では分析窓内での定常性が仮定されている。このため音声の過渡部におけるホルマント周波数の急激な時間的変化を正確に追尾する場合には、分析窓長を数 ms 程度に短くする必要がある。しかしながら、有声音の場合、分析窓長を 1 ピッチ周期程度以下に短くすると、分析窓と励振点との相対位置の影響を大きく受けるといった問題が生じる。本論文では、通常の線形予測法を用いるが、分析窓の任意の点を固定して窓長を漸減させた一連の分析の結果から、窓長が零になる場合の値を外挿することにより、分析窓長を短くすることによる悪影響を受けることなく、音声の過渡部のホルマント周波数を精度よく推定できる分析手法について述べる。本手法を合成および自然有声破裂音のホルマント周波数追尾、ならびにホルマント空間における有声破裂音識別に適用することにより、その有効性が示されている。

### 1. まえがき

音声の合成・認識において声道伝達特性を正確に推定することが重要であり、特にその極周波数であるホルマント周波数の時間的変化を正確に追尾することは音声分析の重要な課題の一つである。このホルマント周波数の推定手法として、現在では線形予測分析<sup>(1),(2)</sup>が広く活用さ

れているが、通常の線形予測法は分析窓内での定常性が仮定されているため、子音部等におけるホルマント周波数の急激な時間的変化を正確に推定するには、分析窓長を数 ms 程度に短くする必要があると言える。しかしながら、有声音の場合、分析窓長を 1 ピッチ周期程度以下に短くすると、分析窓と励振点との相対位置の影響が生じ、推定値の変動の激しい不安定なものとなるため<sup>(3),(4)</sup>、声門閉止区間分析<sup>(5)~(8)</sup>あるいは励振源を考慮した分析<sup>(9),(10)</sup>等が必要となる。しかしながら、声門閉止区間分析ではホルマント周波数の推定値がピッチ周期毎にしか得られず、ホルマント周波数の急激な時間的変化を追尾するには時間分解能が不十分となり易い。また、励振源を考慮した分析では励振源パラメータの推定が不適切な場合には、ホルマント周波数の推定精度がかえって悪くなると言った問題がある。一方、分析窓内での非定常性を考慮した線形予測法も検討されているが<sup>(11)~(14)</sup>、予測係数の時間的変化の近似が必要であり、最適な近似空間の適否あるいは時間的追従性の問題がある。また、一般に非定常性を考慮した分析手法は処理手順が複雑になるといった問題もあり、今後の研究課題であると言える。

筆者らは先に通常の線形予測分析を用いて、分析窓の任意の点（始点、中心等）を固定し、窓長を徐々に短くしていった一連の分析結果に基づき、分析窓長が零になる場合の値を外挿することにより、分析窓長を極端に短くすることによる弊害を受けることなく、過渡部の任意の

時点のホルマント周波数が安定にかつ精度よく推定できる手法を示した<sup>(15)</sup>。先の論文では、ホルマント周波数を外挿近似の対象としていたので、各窓長での推定極がどのホルマントに対応するかを正確に同定する必要があり、ホルマント周波数の同定ミスは大きな誤差を伴う欠点があった。これは、分析次数を一定としても各窓長で得られる推定極の個数が不定であることに起因する。本論文では、各窓長で得られるパラメータの個数が分析次数のみに依存し、かつパラメータ間の対応関係が一意に定まるLPCケプストラム係数を外挿近似の対象とすることによりこの欠点が克服できることを示す。以下、2.において、分析窓長漸減法の概略を示し、3.において、その理論的基礎としてLPCケプストラム係数の分析窓長依存性を解析的に考察する。4.において、合成音のシミュレーションにより本手法のホルマント周波数推定精度の改善度合を示し、5.では、本手法を実際に自然有声破裂音のホルマント周波数軌跡推定、ならびにホルマント空間における有声破裂音識別に適用して、その有効性を示す。

## 2. 分析窓長漸減法

図1に示すように、分析窓の始端から $\gamma T_a$ （但し、 $0 \leq \gamma \leq 1$ 、 $T_a$ ：分析窓長）の分析窓中の時点をも音声の特徴パラメータの瞬時的な値を推定しようとする時点に一致させ、 $\gamma$ を一定値に保ったまま、窓長 $T_a$ を漸減した一連の分析窓を設定し、それらの窓に対応する各々の分析の結果から、分析窓長が零になる場合の特徴パラメータの値を外挿推定する手法を分析窓長漸減法と名付ける。ここで、 $\gamma$ は $0 \leq \gamma \leq 1$ の任意の値を取り得るが、分析窓長漸減法の典型としては、 $\gamma = 0$ とした始点固定型、 $\gamma = 0.5$ とした中心固定型、 $\gamma = 1$ とした終点固定型などが考えられる。

分析窓長漸減法は分析窓長を極端に短くすることなく、窓長が零になる場合の値を推定する

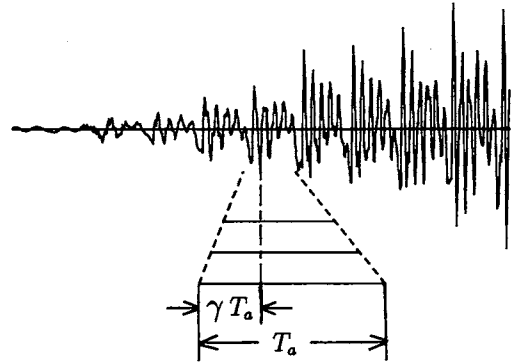


図1 分析窓長漸減法

手法であるため、例えば、通常の線形予測分析で問題となる分析窓長を実際に有声音の1ピッチ周期程度以下に短くした場合に生じる難点を避けることのできる分析手法と言える。したがって、本手法は音声の過渡部のホルマント周波数推定に、特に有用であると考えられるので、この点について詳細に検討した結果を以下に述べる。なお、始点固定型、中心固定型および終点固定型はそれぞれ語頭、語中および語尾における音声の特徴パラメータ推定に有用と考えられるが、終点固定型は基本的には始点固定型で時間軸を反転したものと言えるので、本論文では、始点固定型と中心固定型に関して検討した結果を述べる。

## 3. LPCケプストラム係数の分析窓長依存性

本手法の基本的な特性を明らかにするため、振幅および周波数が時間と共に線形に変化している式(1)の過渡モデル音を用いて、通常の線形予測分析により得られるLPCケプストラム係数の分析窓長依存性の解析的検討を行う。

$$s(t) = \{1 + (t - t_0)\Delta A\} \sin \{ \omega_0 t + (t - t_0) \frac{\Delta \omega}{2} - \omega_0 t_0 \} \quad (1)$$

但し、 $\Delta A$  および  $\Delta\omega$  はそれぞれ振幅および周波数の時間的変化率である。

通常の線形予測法では、周知のように、信号波の自己相関係数に基づく正規方程式の解として得られる予測係数から、式(2)により L P C ケプストラム係数  $C_n$  が算出される<sup>(16)</sup>。

$$C_n = \alpha_n - \sum_{m=1}^{n-1} \frac{m}{n} C_m \alpha_{n-m}, \quad 1 \leq n \leq p \quad (2)$$

但し、 $\alpha_n$ ：第  $n$  予測係数、 $p$ ：分析次数である。今、分析次数  $p=2$  で線形予測分析する場合を考える。この場合、予測係数  $\alpha_1$  及び  $\alpha_2$  は、

$$\alpha_1 = \frac{r_1(r_2 - r_0)}{r_0^2 - r_1^2}, \quad \alpha_2 = \frac{r_1^2 - r_0 r_2}{r_0^2 - r_1^2} \quad (3)$$

となる。但し、 $r_n$ ：遅延  $nT$  の自己相関係数、 $T$ ：標準化周期である。ところで、信号  $s(t)$  の振幅の時間的変化率  $\Delta A$  が比較的小さい場合には、 $\alpha_1$  及び  $\alpha_2$  を係数とする  $1 + \alpha_1 Z^{-1} + \alpha_2 Z^{-2} = 0$  の根は  $Z$  平面のほぼ単位円上付近にあると言えるので、 $\alpha_2 \doteq 1$  となる。したがって、(2)、(3)より、

$$C_1 \doteq -2 \frac{r_1}{r_0}, \quad C_2 \doteq 1 - 2 \left( \frac{r_1}{r_0} \right)^2 \quad (4)$$

となる。すなわち、L P C ケプストラム係数は自己相関係数  $r_n$  の関数として表せる。したがって、L P C ケプストラム係数の分析窓長依存性を解析するために、信号  $s(t)$  の任意の時刻  $t=t_s$  から  $t=t_s+T_a$  までの区間における自己相関係数  $R(\tau, t_s, T_a)$  を式(5)のように定義する。

$$R(\tau, t_s, T_a) = \frac{\int_{t_s}^{t_s+T_a} s(t)s(t+\tau) dt}{\int_{t_s}^{t_s+T_a} s^2(t) dt} \quad (5)$$

### 3.1 始点固定型

始点固定型は図1において  $\gamma=0$  として分析窓の始点を特徴パラメータ推定時点  $t_0$  に固定し、分析窓長  $T_a$  を変化させるので、この場合の自己相関係数は式(5)において  $t_s=t_0$  とし、これに式(1)を代入すれば、

$$R(\tau, t_0, T_a) = \frac{\sin(\Delta\omega\tau T_a/2)}{\Delta\omega\tau T_a/2} \cos(\omega_0\tau + \Delta\omega\tau T_a/2 + \phi_1) \quad (6)$$

$$\text{但し、} \phi_1 = \tan^{-1} \frac{2\Delta A}{(1 + \Delta A T_a) \Delta\omega\tau} \{1 - \Delta\omega\tau T_a/2 \cot(\Delta\omega\tau T_a/2)\}$$

となる<sup>(15)</sup>。したがって、式(1)の信号  $s(t)$  を分析次数  $p=2$ 、分析窓長  $T_a$  の線形予測分析を行って得られる L P C ケプストラム係数  $C_1$  及び  $C_2$  は、式(4)、(6)より、

$$C_1 = -2 \frac{\sin(\Delta\omega T T_a/2)}{\Delta\omega T T_a/2} \cos(\omega_0 T + \Delta\omega T T_a/2 + \phi_1) \quad (7a)$$

$$C_2 = 1 - 2 \left\{ \frac{\sin(\Delta\omega T T_a/2)}{\Delta\omega T T_a/2} \right\}^2 \cos^2(\omega_0 T + \Delta\omega T T_a/2 + \phi_1) \quad (7b)$$

$$\text{但し、} \phi_1 = \tan^{-1} \frac{2\Delta A}{(1 + \Delta A T_a) \Delta\omega T} \{1 - \Delta\omega T T_a/2 \cot(\Delta\omega T T_a/2)\}$$

となる。

### 3.2 中心固定型

中心固定型は図1において  $\gamma=0.5$  として分析窓の中心を特徴パラメータ推定時点  $t_0$  に固定し、分析窓長  $T_a$  を変化させるので、この場合の自己相関係数は式(2)において  $t_s=t_0-T_a/2$  とし、これに式(1)を代入すれば、前節と同様の導出過程より、

$$R(\tau, t_0, T_a) = \frac{\sin(\Delta\omega\tau T_a/2)}{\Delta\omega\tau T_a/2} \cos(\omega_0\tau + \phi_2) \quad (8)$$

$$\text{但し、} \phi_2 = \tan^{-1} \frac{2\Delta A}{\Delta\omega\tau} \{1 - \Delta\omega\tau T_a/2 \cot(\Delta\omega\tau T_a/2)\}$$

となる。したがって、式(1)の信号  $S(t)$  を分析次数  $p=2$ 、分析窓長  $T_a$  の線形予測分析を行って得られる L P C ケプストラム係数  $C_1$  及び  $C_2$

は、中心固定型の場合、式(4)、(8)より、

$$C_1 = -2 \frac{\sin(\Delta\omega\tau T_a/2)}{\Delta\omega T_a/2} \cos(\omega_0 T + \phi_2) \quad (9a)$$

$$C_2 = 1 - 2 \left\{ \frac{\sin(\Delta\omega T_a/2)}{\Delta\omega T_a/2} \right\}^2 \cos^2(\omega_0 T + \phi_2) \quad (9b)$$

$$\text{但し、} \phi_2 = \tan^{-1} \frac{2\Delta A}{\Delta\omega T} \{1 - \Delta\omega T_a/2 \cot(\Delta\omega T_a/2)\}$$

となる。

### 3.3 数値計算例

式(1)に示す過渡モデル音の時刻  $t=t_0$  における LPC ケプストラム係数推定値  $\hat{C}_i$  の分析窓長  $T_a$  依存性を図 2 に示す。但し、標準化周期  $T=0.1\text{ms}$ ,  $F_0 = \omega_0/2\pi = 1000\text{Hz}$ ,  $\Delta F = \Delta\omega/2\pi = 15\text{Hz/ms}$ ,  $\Delta A = 0.03/\text{ms}$  とし、図中の○, △, □ および●印はそれぞれ  $\gamma = 0, 0.2, 0.4$  および  $0.5$  とし分析窓中の  $\gamma T_a$  の時点を  $t=t_0$  に一致させ通常の線形予測分析 (分析次数  $p=2$ ) を行って得られた値、また図中の○印近傍の実線は式(7)、そして●印近傍の実線は式(9)による計算値である (図中の点線は後述)。

図 2 より、式(1)に示す過渡モデル音を通常の線形予測分析して得られる LPC ケプストラム係数は実線すなわち  $\gamma=0$  (始点固定型) の場合には式(7)による計算値、また  $\gamma=0.5$  (中心固定型) の場合には式(9)による計算値とほぼ一致し、本解析の妥当性が示されていると言える。さらに重要な特徴は、分析窓長  $T_a$  と共に、 $\gamma=0$  の場合にはほぼ直線的に、また、 $\gamma=0.5$  の場合には  $T_a=0$  に対称軸を持つほぼ 2 次曲線的に変化し、 $0 < \gamma < 0.5$  の場合にはその中間となっていることである。すなわち、分析窓中の  $\gamma T_a$  の時点を固定にした窓長の異なる線形予測分析の結果を、

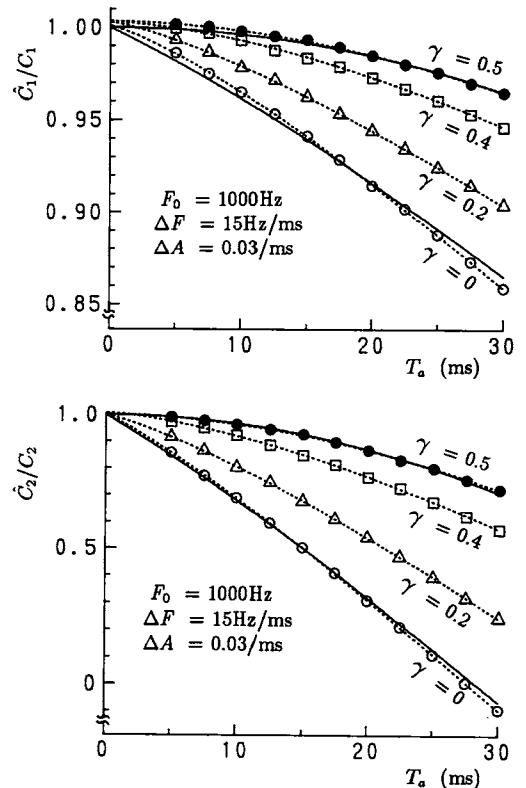


図 2 LPC ケプストラム係数推定値  $\hat{C}_i$  の分析窓長  $T_a$  依存性 (過渡モデル音)

$$f(T_a) = a(T_a)^\zeta + b, \quad 1 \leq \zeta \leq 2 \quad (10)$$

なる関数で最小 2 乗近似し、 $T_a \rightarrow 0$  ms の値を外挿すれば、非定常な場合でも分析窓長を極端に短くすることなく、通常の線形予測分析で正確な LPC ケプストラム係数が推定可能と期待できる (この関数において、 $\zeta$  を 0.01 の精度で  $T_a = 10 \sim 30\text{ms}$  の分析結果を最小 2 乗近似した場合、図中の各点線となり、各点線は  $T_a = 0$  ms に於いていずれも  $\hat{C}_i/C_i \doteq 1$ ,  $i=1, 2$  となる)。なお、今の場合、 $\gamma=0.5$  とし、分析窓長を十分短く  $T_a = 5$  ms とすれば、ほぼ正確な推定値が得られているが、これは本過渡モデル音が励振源のない、いわゆる AM・FM 音のため励振源の影響がないからである。

以上の結果は正弦的振動波において振幅ならびに周波数が線形に変化している場合の解析結

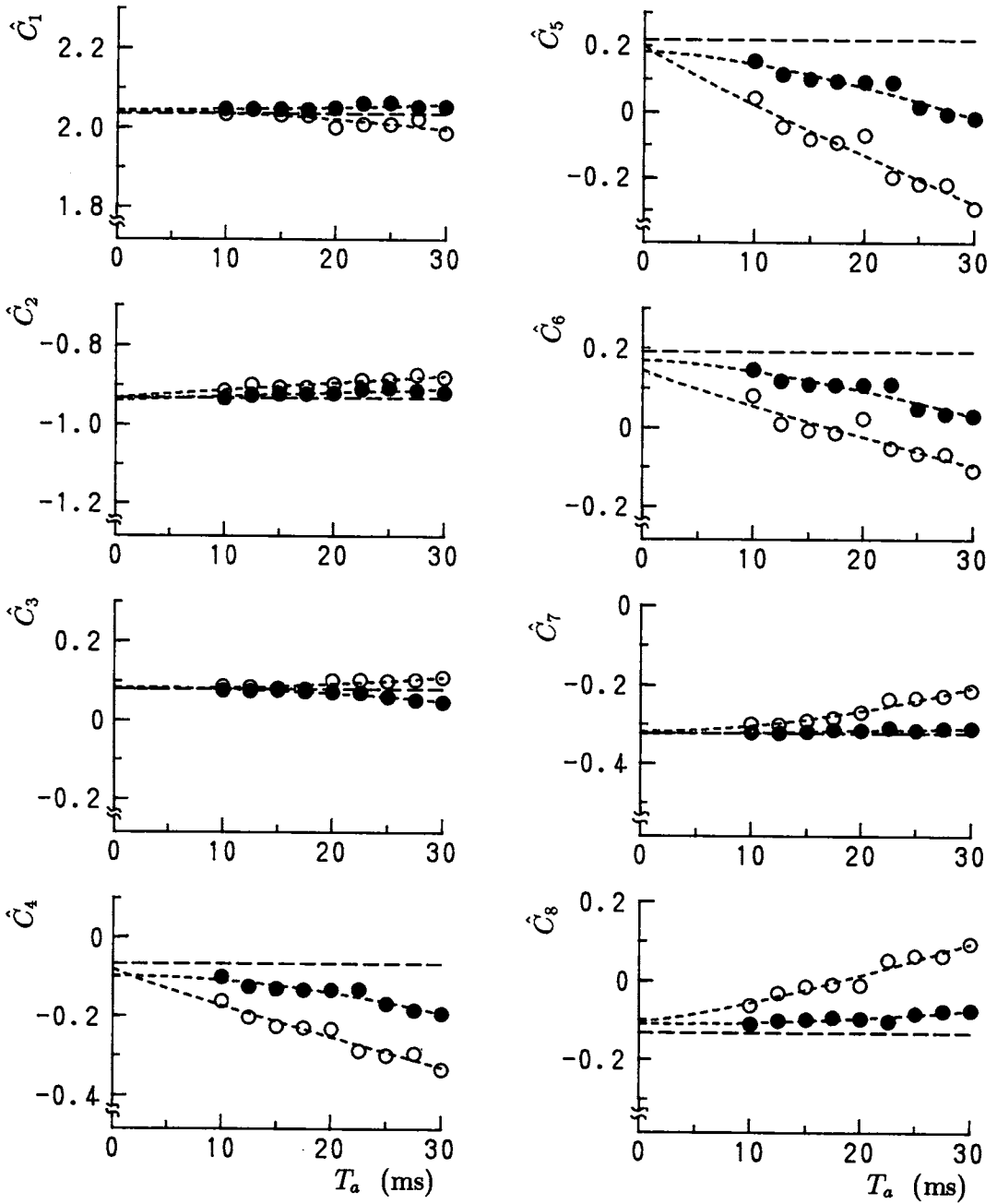


図3 LPCケプストラム係数推定値  $\hat{C}_i$  の分析窓長  $T_a$  依存性  
 (合成有声破裂音 /ga/, ○印:  $\gamma=0$ , ●印:  $\gamma=0.5$ )

果であるが、実際の音声の過渡部では数個の極が一般には指数関数的に変化していると考えられる。しかし、このような場合にも同様のことが結論できるかどうかを解析的に導出するのは困難であるため、以下、合成音を用いたシミュレーションによりその検証を行った結果について述べる。

#### 4. 合成音による検証

過渡的音声の代表例と言える有声破裂音を用いて前章の検証を行う。図3に合成有声破裂音 /ga/ におけるLPCケプストラム係数推定値の分析窓長  $T_a$  依存性を示す。但し、合成条件は標準化周波数 10KHz, 励振源：ピッチ周期 8 ms の Rosenberg 波<sup>(17)</sup> (但し、破裂時点から 2 ms 長のノイズバースト付加), ホルマント周波数:  $F_1 \sim F_3$  は時変 (図4の実線参照),  $F_4 = 3437.5\text{KHz}$  一定 (但し、図4で  $t \geq 10\text{ms}$ ), 放射特性: 6 dB/oct であり、分析は前処理として1階差分後、分析窓の始点から  $\gamma T_a$  の時点を破裂時点から 17ms 後の過渡部に固定し、分析次数  $p=8$  で通常の線形予測分析を行ったもので、○および●印はそれぞれ  $\gamma=0$  (始点固定型) および  $\gamma=0.5$  (中心固定型) とした場合の結果である。なお、図中の破線は分析時点における合成音のLPCケプストラム係数である。

図3より、複数の極が時間と共に指数関数的に変化している場合でも、前章の解析結果と同様、各窓長に対する個々の極周波数推定値は  $T_a$  と共に、 $\gamma=0$  の場合には、ほぼ直線的に、また  $\gamma=0.5$  の場合には、ほぼ2次曲線的に変化していることがわかる。前章と同様、 $T_a=10 \sim 30\text{ms}$  の分析結果を式(10)で最小2乗近似した場合、それぞれ図中の点線となり、これらの点線の  $T_a=0\text{ms}$  における値はいずれも合成音のLPCケプストラム係数とほぼ等しくなると言える。すなわち、分析窓の始点から  $\gamma T_a$  の時点を固定にした分析窓長の異なる通常の線形予測分析により得られる各LPCケプストラム係数を

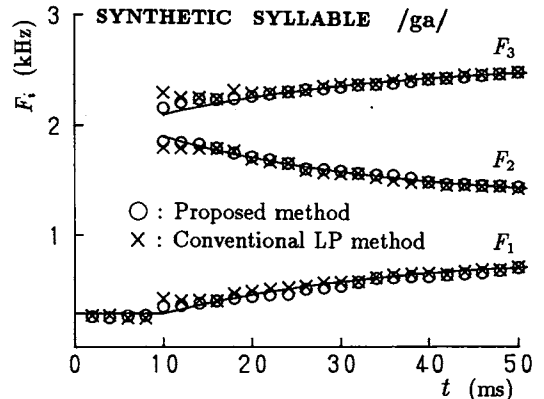


図4 ホルマント周波数軌跡推定の比較  
(合成有声破裂音 /ga/)

式(10)で最小2乗近似した時の  $T_a \rightarrow 0\text{ms}$  における値をそれぞれ求め、それらの値に基づきホルマント周波数を算出すれば、分析窓長を極端に短くすることなく正確なホルマント周波数が推定できると言える。

合成有声破裂音 /ga/ のホルマント周波数軌跡推定例を図4に示す。但し、前処理として1階差分後、分析次数  $p=10$ , フレーム間隔は 2 ms とし、○印は本手法による推定値 (窓長を 30 ms から 10ms まで 1 ms ずつ減少させた線形予測分析を行って得られるLPCケプストラム係数を式(10)で最小2乗近似した時の  $T_a \rightarrow 0\text{ms}$  における値に基づきホルマント周波数を算出), ×印は通常の線形予測分析による推定値 (分析窓長 10ms, 分析窓の中心を分析時点とみなす) であり、実線は合成音のホルマント周波数を示す。なお、分析窓内に声道特性が急変する破裂時点を含む窓と含まない窓が混在し推定値が不安定となるのを避けるため、 $\gamma$  は分析窓の始点が破裂時点以前とならないように式(11)により設定した。

$$\gamma = \frac{t_0 - t_b}{T_{a0}} \quad (11)$$

但し、 $t_0$ : 分析時点,  $t_b$ : 破裂時点,  $T_{a0}$ : 漸減窓長の初期値 (最長値) であり、 $\gamma > 0.5$  となる場合には  $\gamma=0.5$  とする。

図4より、通常の線形予測分析において、分析窓長を10msと1ピッチ周期以上にすると、分析位置と励振点との相対位置関係が原因でホルマント周波数推定誤差が極端に大きくなるようなことは起こらないが ( $t=18\text{ms}$  付近の第3ホルマント周波数推定値に若干の影響がみられる)、通常の方法では有声破裂音の相互識別に重要となるホルマントローカス (遷移開始時点、今の場合  $t=10\text{ms}$  時点) 付近の推定誤差が大きいものに対して、本方法での最小の分析窓長は10msと今の場合の通常の線形予測分析の分析窓長と同じに設定してあるにもかかわらず、本方法の方がより正確なホルマント軌跡が推定でき、特にホルマントローカス付近の推定誤差が大幅に改善されていると言える。

表1に破裂時点から破裂時点後10msまでの区間の計6フレームの第1～第3ホルマント軌跡推定誤差を他の合成有声破裂音 /ba/ および /da/ と共に示す。

表1より、ホルマント軌跡推定誤差がいずれの有声破裂音においても改善しており、特に /da/ においては53.2Hzから19.4Hzに大幅に改善し、平均して61.7Hzから26.1Hzに改善することがわかる。

表1 ホルマント軌跡推定誤差

(Hz)		
合成有声破裂音	分析窓長漸減法	通常の線形予測法
/ba/	30.8	69.4
/da/	19.4	53.2
/ga/	28.0	52.5
平均	26.1	61.7

### 5. 自然音声への適用例

成人男性が発声した単音節 /ba/, /da/ および /ga/ のホルマント周波数軌跡推定例を図5に示す。但し、前処理として1階差分を行い、分析次数  $p=12$ 、フレーム間隔 2ms で分析した結果であり、図中の○印および×印の意味は図4と同じである。そして、視察により求めた破裂時点 (図5で  $t=10\text{ms}$  の時点) 以前は  $\gamma=1.0$  とし、第1ホルマント周波数のみを推定した。

図5より、通常の線形予測分析では、/da/ および /ga/ の第1ホルマントの推定値が破裂時点付近で大きく変動しているのに加えて、有声破裂音の相互識別に重要となるホルマントローカス付近の第2、第3ホルマント軌跡が不安定 (特に /ga/ の第3ホルマント) であるのに対し、本手法では、これらのホルマント軌跡の連続性

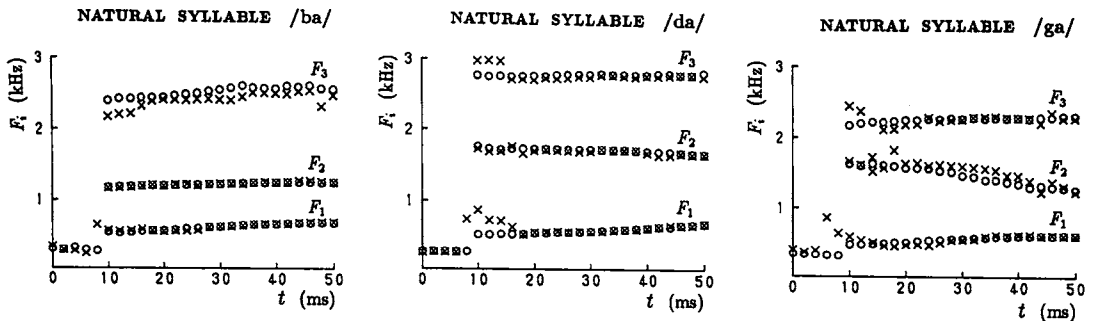
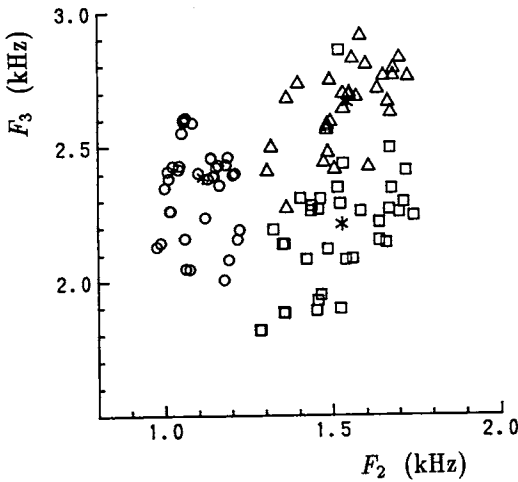


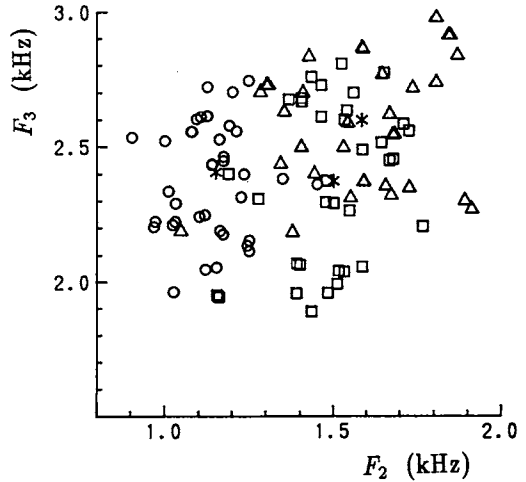
図5 ホルマント周波数軌跡推定の比較  
 (自然有声破裂音 /ba/, /da/, /ga/  
 ○印：本方法による推定値  
 ×印：通常の線形予測分析による推定値)



○ : /b/, △ : /d/, □ : /g/, \* : The center of gravity of each syllable



(a) Proposed method



(b) Conventional LP method

図6 自然有声破裂音 (後続母音 /a/) の第2-第3ホルマント分布

がよく、より妥当なホルマント周波数が推定できていると考えられる。しかしながら、自然音声の場合、その真値が不明のため誤差を算出できないので、推定値の妥当性の検証として、ホルマントローカス点における第2, 第3ホルマント分布を図6に示す。但し、音声資料は単音節 /ba/, /da/, /ga/ を成人男性37名が各1回発声したもので、分析条件は図5と同じであり、図中の○, △, □および\*印はそれぞれ /b/, /d/, /g/ および各有声破裂音の重心位置を示す。

図6より、通常の線形予測分析では /b/, /d/, /g/ の分布が入り乱れており、特に /d/ と /g/ の分布がオーバーラップしているのに対し、本方法では /b/, /d/, /g/ がそれぞれよりまとまった分布となっていると言える。この分布の違いを評価するため、/b/, /d/, /g/ 相互を各重心からのユークリッド距離により識別した結果を表2に示す。表2より、通常の線形予測法では、正しく /g/ として識別できていたのは音声資料37個中16個しかなく、それよりも多い

表2 第2-第3ホルマント空間における有声破裂音識別

(a) 分析窓長漸減法

	/b/	/d/	/g/	識別率
/b/	37			100.0%
/d/	2	34	1	91.9%
/g/		4	33	89.2%
	平均			93.7%

(b) 通常の線形予測法

	/b/	/d/	/g/	識別率
/b/	34	1	2	91.9%
/d/	1	21	15	56.8%
/g/	4	17	16	43.2%
	平均			64.0%

17個が /d/ と誤識別され、識別率が43.2%にしかならないのに対し、本方法では4個が /d/ と誤識別されてはいるが、他の33個は正しく /g/ と識別され、識別率が89.2%と大幅に改善することがわかる。他の有声破裂音においても識別率がいずれも改善しており、平均して

64.0%から93.7%に改善し、本方法の有効性が示されていると言える。

## 6. む す び

分析窓の任意の点を固定して窓長を漸減させた一連の線形予測分析の結果から、分析窓長が零になる場合の値を外挿する分析窓長漸減法において、外挿のための特徴量としてとLPCケプストラム係数を用いた場合について詳細な検討を行った。その結果、分析窓の始点あるいは中心を固定して窓長を漸減させた一連の線形予測分析を行って得られるLPCケプストラム係数は音声の過渡部においては分析窓長と共にそれぞれほぼ直線的あるいは2次曲線的に変化することが過渡モデル音による解析ならびに合成音によるシミュレーションにより明らかとなった。この性質を利用すれば、分析窓長を極端に短くすることなく、分析窓長を零にした場合の値が推定できるため、特に語頭における音声の過渡部の任意の時点のホルマント周波数が分析窓と励振点との相対位置の影響等を受けずに安定かつより正確に推定できることを合成および自然有声破裂音のホルマント周波数軌跡推定、ならびにホルマント空間における有声破裂音識別に適用することにより示した。

なお、本論文では外挿のための特徴量として、線形予測分析により得られるLPCケプストラム係数を用いた場合について検討したが、線形予測係数あるいは偏自己相関係数等を用いた場合の検討が今後の課題と言える。

## 文 献

- (1) 板倉, 齊藤: “統計的手法による音声スペクトル密度とホルマント周波数の推定”, 信学論(A), 53-A, 1, pp.35-42(1970-01).
- (2) B.S.Atal and S.L.Hanauer: “Speech analysis and synthesis by linear prediction of the speech wave”, J.Acoust.Soc.Amer., 50, pp.637-655(1971).
- (3) 藤崎, 佐藤: “各種ホルマン周波数抽出方式における短区間分析の時間窓の影響”, 音響学会講演論文集, 2-2-2(1974-06).
- (4) 三好, 大和, 角所: “線形予測法による有声音の1ピッチ周期内分析”, 信学技報, EA76-53(1977-01).
- (5) 河原, 枋内, 永田: “小区間の線形予測分析とその誤差評価”, 日本音響学会誌, 33, 9, pp.470-479(1977-09).
- (6) 片桐, 松井, 牧野, 城戸: “高ピッチ音声に対する短区間線形予測分析の検討”, 信学技報, EA80-31(1980-08).
- (7) S.Chandra and W.C.Lin: “Experimental comparison between stationary and nonstationary formulations of linear prediction applied to voiced speech analysis”, IEEE Trans. Acoust., Speech & Signal Process., ASSP-22, pp.403-415(1974).
- (8) K.Steiglitz and B.Dickinson: “The use of time-domain selection for improved linear prediction”, IEEE Trans. Acoust., Speech & Signal Process., ASSP-25, pp.34-39(1977).
- (9) 深林: “線形予測法による音声分析の精度向上”, 信学論(A), J61-A, 11, pp.1168-1169(1978-11).
- (10) M.Ljungqvist, 藤崎: “線形予測分析にもとづく声帯音源・声道パラメータの同時推定法”, 音響学会音声研資, S85-21(1985-06).
- (11) 中島, 鈴木: “非定常態音声分析法”, 音響学会講演論文集, 2-7-2(1980-05).
- (12) Y.Grenier: “Time-dependent ARMA modeling of nonstationary signals”, IEEE Trans. Acoust., Speech & Signal Process., ASSP-31, pp.899-911(1983).
- (13) 宮永, 三木, 永井, 羽鳥: “時変ARMAパラメータの適応的同時推定”, 信学論(D), J64-D, 4, pp.308-315(1981-04).
- (14) 芹沢, 三木, 宮永, 永井: “時変ARMAモデルに基づく適応的音声分析法”, 信学論(A), J71-A, 2, pp.434-442(1988-02).
- (15) 三好, 大和, 柳田, 角所: “窓長漸減型線形予測分析による過渡の音声のホルマント周波数抽出”, 信学論(A), J71-A, 10, pp.1771-1779(1988-10).
- (16) J.Makoul: “Linear prediction: a tutorial review”, IEEE Proc., 63, 4, pp.561-580(1975).
- (17) A.E.Rosenberg: “Effect of glottal pulse shape on the quality of natural vowels”, J.Acoust.Soc. Amer., 49, pp.583-590(1971).