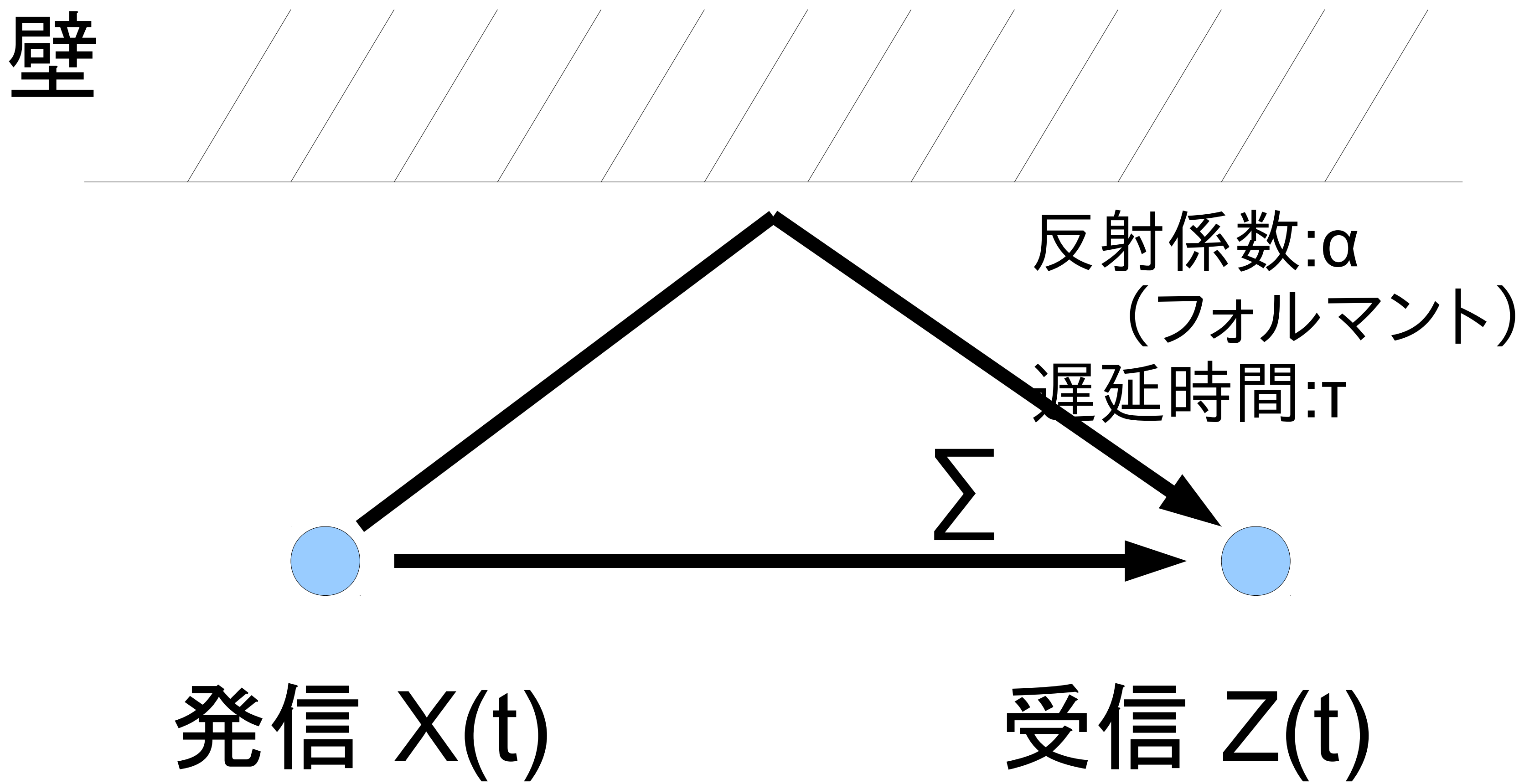
フォルマント

ケプストラム

反射係数



$$Z(t)=X(t)+\alpha X(t+\tau)$$

ピッチ（声帯）

音声波形

問題：Z(t)からαが計算可能か？

フーリエ変換

$X(t) \quad \equiv \quad \Phi(f)$　として

$\Phi(f)\ (1+2\alpha\cos(\pi f\tau + \alpha^2)$

対数を取って

$$\underline{\log\{\Phi(f)\}} + \underline{2\alpha\cos(2\pi f\tau)}$$

↑　　　　　　↑

高周波　　　　低周波

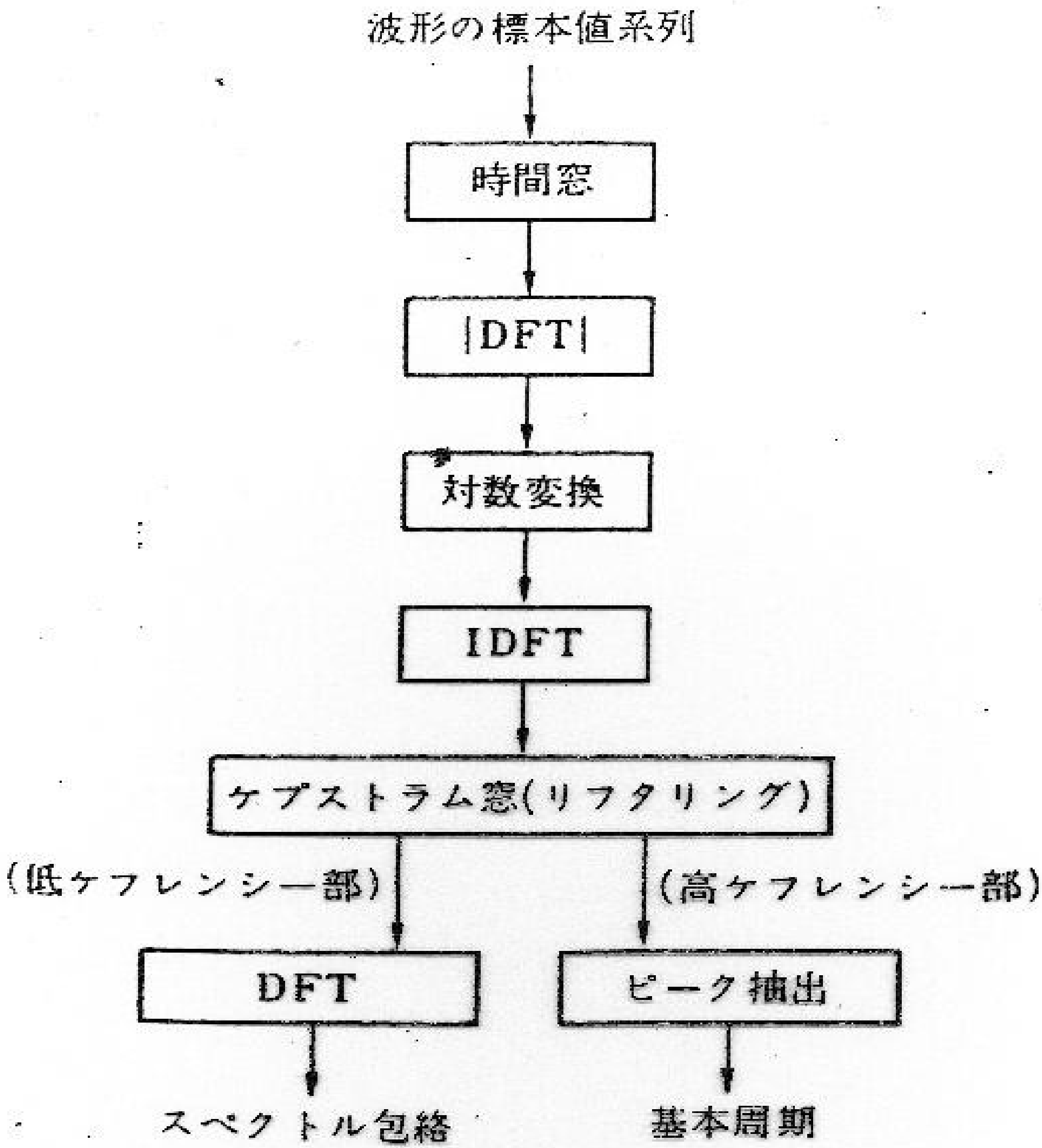


図 4.7　ケプストラム分析の手順

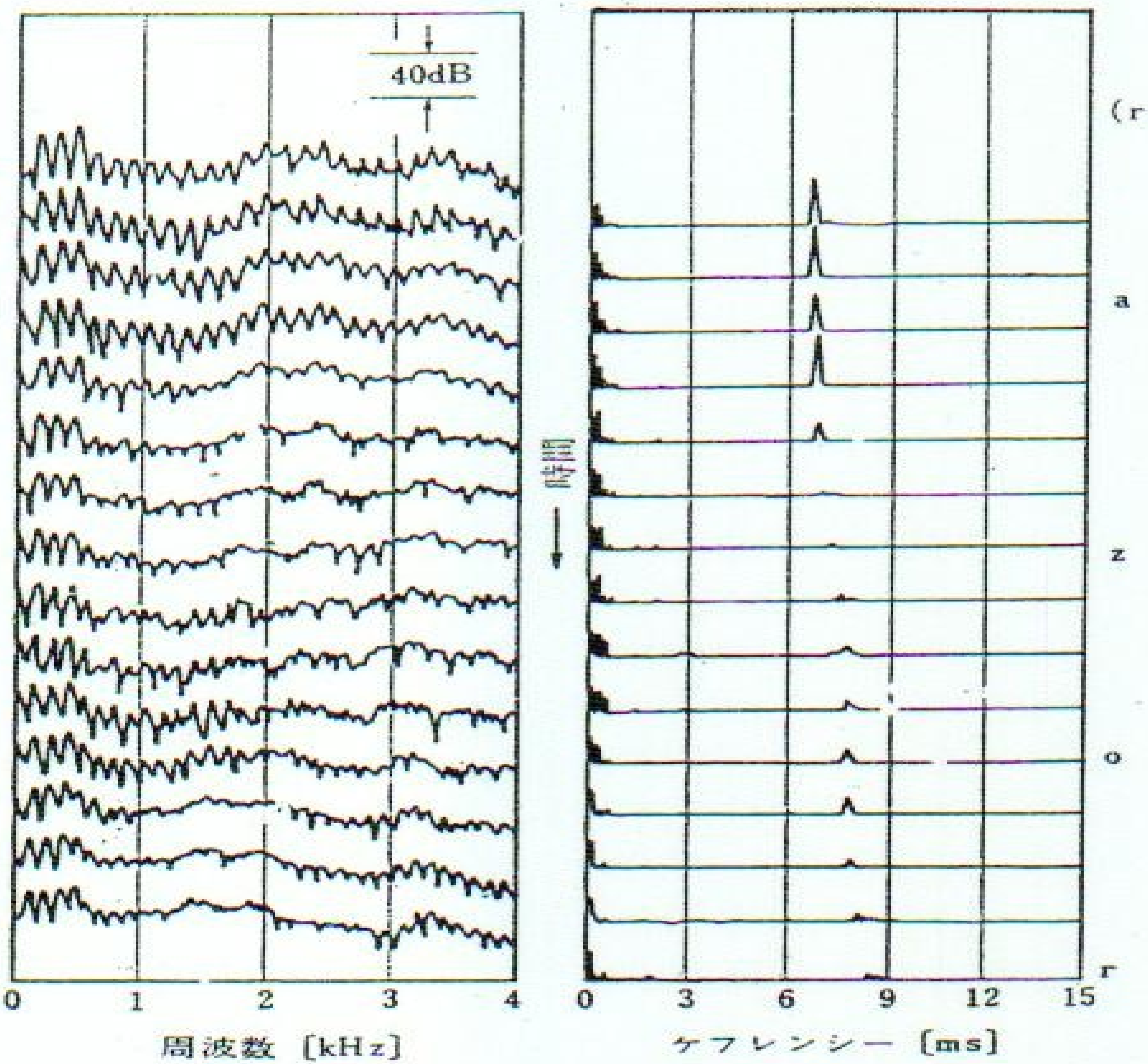


図 4.8　男性が(r)azorと発声したときの短時間スペクトル(左)とケプストラム(右)
(入力の標本化周波数：10 kHz，ハミング窓の窓長：40 ms，分析周期：10 ms)

ケプストラムの計算方法

LPC　自己回帰モデル
周波数分解能：非常に高い
計算量：小
信頼性：低
20年ほど前，利用

FFT　周波数分解能：計測時間に依存
計算量：大
信頼性：高
現在，一般的に利用

Yule-Walker 法 の計算アルゴリズム[3)]
(PARCOR)

1 自己相関係数

$$C_i = \frac{1}{N-i} \sum_{k=0}^{N-i-1} X_k \cdot X_{k+i} \quad , i=0,1,2.\cdots m$$

2 自己回帰係数の計算
(直接テイプリッツ行列を解いてもよいが
次の計算式を使用する。)

$$a_{mm} = \frac{-\sum_{k=0}^{m-1} a_{m-1\,k} \cdot C_{m-k}}{e_{m-1}}$$

$$a_{mk} = a_{m-1\,k} + a_{mm} \cdot a_{m-1\,m-k} \quad ,(k=1,2,\cdots,m-1)$$

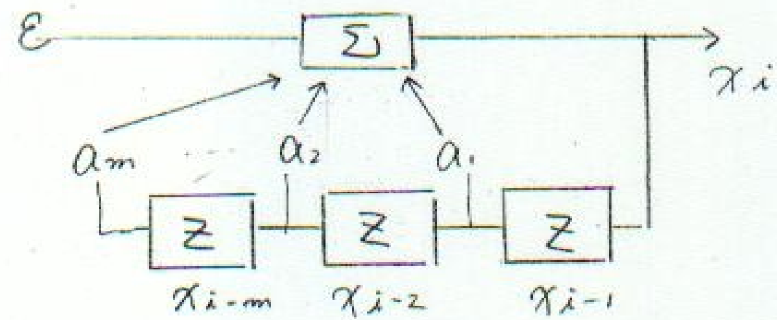
$$e_m = e_{m-1} \cdot [\,1 - a_{mm}{}^2]$$

ただし $C_0 = e_0, a_{k0} = 1$,(k=1,2・・・m)

Levinsonアルゴリズム

自己回帰パワースペクトル法の概念

$$x_i = -a_1 \cdot x_{i-1} - a_2 \cdot x_{i-2} - \cdots - a_m \cdot x_{i-m} + \varepsilon i \qquad (1)$$



$C_m = E[x_N \cdot x_{N+m}]$　　C_m ; 自己相関関数

(1) 式の両辺に $x_N, x_{N-1}, \cdots, x_{N-m}$ をかけて期待値をとる。

$$\begin{vmatrix} C_0 & C_1 & C_2 & \cdots & C_m \\ C_1 & C_0 & C_1 & \cdots & C_{m-1} \\ C_2 & C_1 & C_0 & \cdots & C_{m-2} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ C_m & C_{m-1} & C_{m-2} & \cdots & C_0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ a_1 \\ a_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ a_m \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} e \\ 0 \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \end{vmatrix}$$

(1) 式をフーリエ変換してWiener-Khinchien の公式を適用。

$$P(\theta) = \frac{e}{2\pi \quad 1+\sum_{k=1}^{m} a_k \cdot \exp(i\theta k) \quad {}^{2}}$$

a_i ; 自己回帰係数　　　　e ;誤差平均自乗出力

$\theta = 2\pi f t_s$　　　　t_s;sumpling time