

5 母音の音色の分析

5.1 母音の生成過程

母音が生成される過程を簡単にまとめると次のようになる。まず、声帯を周期的にふるわせて音を出す。次に、舌の位置や口の形で/a/ や /i/ など生成したい音韻にあわせて音色を決定する。最後に、口から空気中に放射される。それぞれの段階の周波数特性を $G(f), V(f), L(f)$ とすると、観測された音の周波数特性 $X(f)$ は次の式でかける。

$$X(f) = G(f) \cdot V(f) \cdot L(f) \quad (8)$$

演習 53 母音の特徴だけを明確に捉えるためには、上記の $V(f)$ にだけ着目するのがよい。なぜか、その理由を述べよ。

演習 54 $L(f)$ の部分の影響を軽減するためには、演習 40 で適用したフィルタを利用するのがよい。このようなフィルタをかける処理は、プリエンファシスと呼ばれることが多い。適当な母音のデータを用いてプリエンファシスが対数振幅スペクトルにあたえる影響を観察せよ。

5.2 線形予測法

式 (8) の $V(f)$ を、観測された (録音した) 母音のデータから推測する方法として線形予測法 (Linear Prediction) がある¹。

線形予測法では、声帯での振動を入力 u_n とし、声道の形状で変化する特性をフィルタ $H(z)$ とみなし、観測される音声を s_n とみなす (Tutorial Fig.1)。このようなモデルはソースフィルタモデルとよばれることがある。

このときフィルタ係数 a_n, b_n を用いて s_n, u_n の関係を一般的にあらわすと Tutorial の式 (1) となる。この式をより単純な形にしたのが Tutorial の式 (4) である。

$$s_n = - \sum_{k=1}^p a_k s_{n-k} + G u_n \quad (9)$$

ここで、 G はゲインであるが、とりあえず無視してよい。この式は、入力信号 u_n と観測された過去の p サンプル s_{n-p}, \dots, s_{n-1} に適切な係数をかけて和をとることで、現在の値 s_n が予測されることを意味している。

MATLAB には式 (9) の a_k を求める関数として `lpc` が用意されている。

sin 波を予測する例を以下に示す。

```
>> t=0:1/100:1;
>> s=sin(2*pi*10*t);
>> a=lpc(s,3);
>> s(1:4)
ans =
    0    0.5878    0.9511    0.9511
>> -sum(a(2:4).*s(3:-1:1))
ans =
    0.9473
```

3行目の `lpc` で、過去 3 点を用いて、次の点を予測する (つまり、式 (9) で $p=3$) ような a_n を求めている。

$s(4)$ の実際の値は 0.9511 で、 $s(1), s(2), s(3)$ を用いて予測した値は 0.9473 なので、それなりに近い値が予測できていることがわかる。(とりあえず、式 (9) の $G u_n$ の項は無視すること)

¹ここから先は 適宜 “Linear Prediction: A Tutorial Review” を参照しながら説明する

演習 55 適当な周期的な信号を作成し、 $p = 3$ および $p = 5$ として lpc 係数を求め、実際の値と予測した値を重ねてプロットして比較せよ。

上記の MATLAB の例のように、過去の観測信号だけから次の観測信号の値を予測するのを式にすると、Tutorial の (6) 式となる。

$$\hat{s}_n = - \sum_{k=1}^p a_k s_{n-k} \quad (10)$$

\hat{s}_n というのは s_n の推定値ということであらわす。この推定値の真の値に対する誤差 e_n は、Tutorial の (7) 式となる。

$$e_n = s_n - \hat{s}_n = s_n + \sum_{k=1}^p a_k s_{n-k} \quad (11)$$

e_n は残差 (residual) ともよばれる。

この e_n を声帯での信号 u_n とみなし、係数 a_n を声道のフィルタ係数とみなして母音のモデル化を行う方法がある。

演習 56 いくつかの母音の声道のフィルタ係数を lpc を用いて求めよ。母音の中でも定常的な部分を分析せよ。 p は 10 以上でいろいろ試してみよ。求めたフィルタ係数の周波数特性を図示して母音ごとの違いを観察せよ。

演習 57 プリエンファシスをおこなって演習 56 と同様のことを行え。

課題

以下の課題をパワーポイントファイルに作成し、授業支援システムのみ Navi の第 7 回目の「準備課題」のところでアップロードすること。パワーポイントファイルは、18 ポイント以上の大きさの文字を使って作成すること。締切は 5/26(水)11 時とします。(毎回、締切時間が変わっていますが、ギリギリまで遅くしている都合上だと考えてもらえるとありがたいです。) 自動で締め切ってしまうので、十分に注意して下さい。

1. 演習 53 を解答せよ。
2. 演習 55 を解答せよ。
3. 演習 57 を解答せよ。
4. この資料を読んで、わからなかった点があれば、わからなかった点が解消されるような回答が期待できるような具体的な質問を考えて書くこと。