

研究の背景と目的

発話運動の2次元リアルタイム観測の実用化と普及

- MRI動画
- 磁気センサシステム
- 超音波

一方で発話運動の3次元リアルタイム観測は困難

声道音響シミュレーションには3次元形状が必要！

2次元形状(正中面)から3次元形状を推定できないか？

弾性体である舌や口蓋帆で推定できるかが問題

目的：3次元MRIデータに基づき舌の正中面形状から外側形状を推定するモデルを作成し、評価する

方法

MRIデータ

MRI装置：Siemens MAGNETOM Verio (ATR-Promotions)

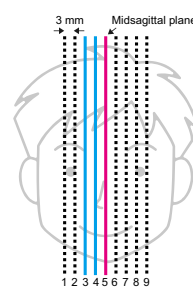
実験協力者：日本語を母語とする成人男性1名

発話資料：/aiueo/, /iuaoe/

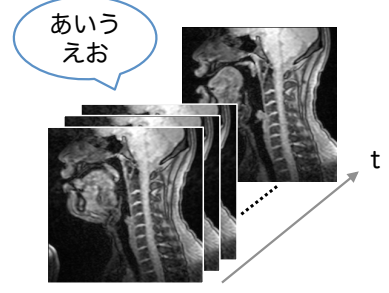
撮像方法：同期撮像法 (Masaki et al., 1999)

右図の9断面を30 fpsで撮像，59フレーム

スライス厚 3mm，スライス間隔 3mm



撮像断面



MRI動画

舌断面形状の抽出

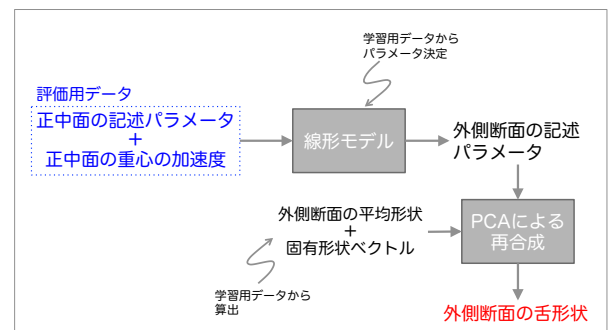
- 正中面 (#5)，外側の2断面 (#4, #3) の舌形状を手作業でトレース
- 抽出した舌形状を平滑化

舌断面形状のモデリング

- 主成分分析によりパラメータ削減 (下顎の動きに対する補正はせず)
- 平均形状，固有形状ベクトル，記述パラメータで表現
- 第8主成分までを利用

舌断面形状の推定と評価

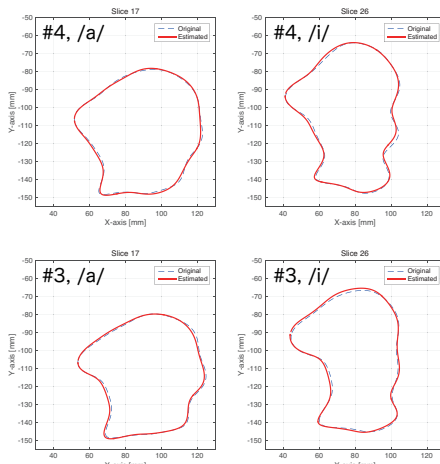
- 正中面 (#5) の舌形状と重心の加速度から外側 (#4, #3) の舌形状を推定する線形モデルを導出
- /aiueo/のデータで線形モデルを学習，/iuaoe/のデータで評価



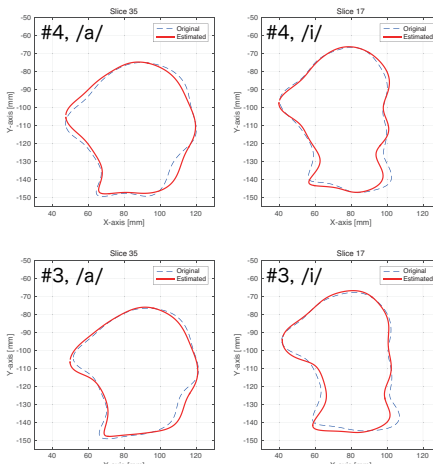
舌断面形状推定の流れ

推定結果と考察

学習用データ

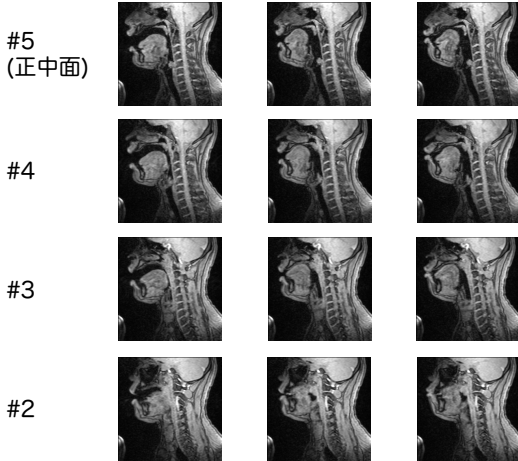


評価用データ

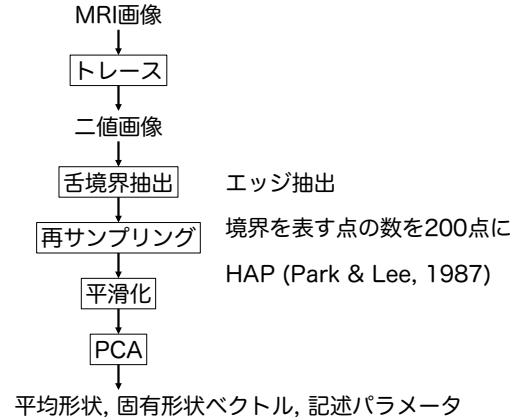


- 学習用データではほぼ正確に推定できている
- 評価用データでは数mmの誤差が見られる
 - 調音結合による影響か
 - 下部についてはトレースのぶれが原因か
- 学習用データの量は十分か？
- 推定精度の評価法が必要

MRIデータの例



各断面に対する処理

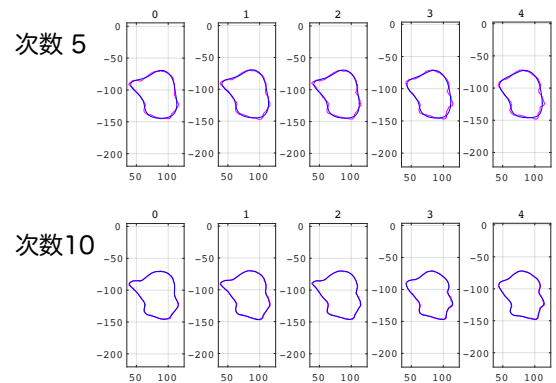


舌断面形状の平滑化

- 舌断面形状をトレースし、その境界を抽出
- 舌境界を200点で再標本化
- 舌境界を構成する点の座標を複素数で表現 (Park & Lee, 1987)

$$f_i = X_i + jY_i \quad \begin{array}{l} X_i : \text{フレーム } i \text{ における舌断面形状の } x \text{ 座標} \\ Y_i : \text{フレーム } i \text{ における舌断面形状の } y \text{ 座標} \end{array}$$

- f_i にDFTを施し、Harmonic amplitude profiles (HAP)を得る
- HAPの10次以上を0で置換し、IDFTを施し平滑化された舌断面形状を得た



マゼンタ：処理前，青：平滑化後

舌断面形状のモデリング

分析

- 主成分分析を行い、パラメータを削減 (永田ら, 1996)
- f_i とフレーム間平均 $\bar{f}$ の差分 (差分形状ベクトル) を求める

$$\Psi_i = f_i - \bar{f}$$

- Ψ_i の分散行列の固有ベクトル a_{ki} を求め、固有形状ベクトルを得る

$$u_k = \sum_{i=1}^N a_{ki} \Psi_i$$

- ここで、 $N < M$ (M はフレーム数) とすれば M 個より少ないベクトルで差分形状ベクトルを代表させられる

f_i の再合成

- 記述パラメータを求める。

$$r_k = \Psi_t \cdot \frac{u_k}{||u_k||}$$

Ψ_t は推定対象の舌断面形状の差分形状ベクトル

- N 個の u_k と r_k を用いて f_i を再合成する

$$f'_t = \sum_{k=1}^N \left(r_k \frac{u_k}{||u_k||} \right) + \bar{f}$$

舌断面形状の推定

- 正中面 (p_1) の記述パラメータ $r_{(p_1,k)}$ と舌断面形状の重心の加速度 $\Delta^2 c$ から外側の断面 (p_2) の記述パラメータ $r_{(p_2,k)}$ を推定
- 重心の加速度：筋力の作用方向を考慮するため
- 行列Bの各要素は学習用データから重回帰分析により算出
- 評価用データの正中面の舌断面形状から外側の断面の $r_{(p_2,k)}$ を推定し、舌断面形状を再合成する

線形モデル

$$y = Bx$$

$$x = (1, r_{(p_1,1)}, r_{(p_1,2)}, \dots, r_{(p_1,N)}, \Delta^2 c)'$$

$$y = (r_{(p_2,1)}, r_{(p_2,2)}, \dots, r_{(p_2,N)})'$$

$$B = \begin{pmatrix} b_{(1,0)} & b_{(1,1)} & \cdots & b_{(1,N+2)} \\ b_{(2,0)} & b_{(2,1)} & \cdots & b_{(2,N+2)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{(N,0)} & b_{(N,1)} & \cdots & b_{(N,N+2)} \end{pmatrix}$$