

## 1. はじめに

音声の個人性の生成には声道形状の個人差が大きく寄与している。我々は、声道形状に起因する個人性は、声道長、声道概形、微細構造の3要因における個人差により生じると考えている。本研究では声道概形における個人差について調査する。

Yangらは一連の研究で、成人男女3名および子供の声道形状を口腔、咽頭腔、喉頭腔に分割して記述し、さらにこの分割法にもとづいて個人差を正規化する方法を提案した<sup>[1]</sup>。本研究では被験者を男性に絞り、より被験者を増やして声道断面積関数における個人差とその音響的影響について調査する。

まず、母音/i/および/e/発声時のMR画像から声道断面積関数を抽出し、声道長を正規化することにより声道長に現れる個人差を取り除く。その上で、せばめの長さや咽頭腔の長さや容積、および伝達関数のフォルマント周波数を求める。そして、これらのパラメータ間の相関関係を調査する。

## 2. MRI 撮像

日本人成人男性8名について撮像を行った。タスクは日本語5母音/a/, /i/, /u/, /e/, /o/の持続発声である。本研究ではこのうち/i/と/e/のMR画像を用いた。撮像の際、被験者はMRI装置のガントリ内にて仰臥状態で発声した。MR画像へ歯列画像を補填するため、口腔造影剤を用いた撮像も加えた。

撮像に用いたMRI装置は、ATR脳活動イメージングセンターに設置された島津 Marconi 社製 MAGNEX ECLIPSE 1.5T Power Drive 250 である。シーケンスは Fast Spin Echo 法、TE=11 ms, TR=3000 ms, FA=90 度。撮像領域は 256 × 256 mm (分解能 512 × 512 pixels)。スライスは矢状方向で、厚み 2 mm, 間隔 2 mm, 41 もしくは 51 スライス。加算回数は 1 回で、撮像時間は約 3 分である。

## 3. 声道断面積関数の個人差

### 3.1 声道断面積関数の抽出

まず、竹本らの方法<sup>[2]</sup>に従って、MR画像に歯列画像を補填した。次に、正中矢状断面のMR画像上で、声門から口唇までの声道中心線を引いた。開口端の位置は口唇の先端と口角の間とした。そして、その声道中心線上 2 mm 間隔で直交する面の声道断面積を求め声道断面積関数を求めた。

### 3.2 声道長の個人差

声道長は上記の声道中心線の長さとした。被験者8名の/i/の声道長は 15.8 cm から 17.4 cm の範囲に含まれ、平均値は 16.3 cm, 標準偏差は 0.6 cm であった。一方、/e/の声道長は 15.6 cm から 17.6 cm の範囲に含まれ、平均値は 16.2 cm, 標準偏差は 0.6 cm であった。

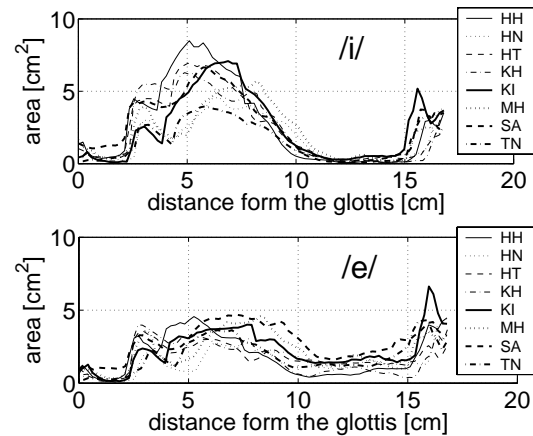


図1. 声道長を 17 cm に正規化した被験者 8 名の声道断面積関数 (上) 母音/i/ (下) 母音/e/.

### 3.3 声道長を正規化した声道断面積関数の個人差

声道断面積関数の変化パターンに現れる個人差を調べるために、声道断面積関数の声道長を 17 cm に正規化した。以降で用いる声道断面積関数はこのようにして求めたものである。被験者 8 名の声道断面積関数を図 1 に示す。この図において被験者間の差が顕著に現れているのは、口腔におけるせばめの長さや咽頭腔における断面積関数のパターンである。

### 3.4 せばめの長さの個人差

上記の声道断面積関数から口腔でのせばめの長さを計測した。せばめ区間は、口腔の断面積関数において曲率が最大になる位置にもとづいて、目視による判断も含めて決定した。このようにして求めた/i/のせばめの長さは、4.3 cm から 5.7 cm の範囲に含まれ、平均値は 5.0 cm, 標準偏差は 0.6 cm であった。一方、/e/のせばめの長さは、4.1 cm から 5.4 cm の範囲に含まれ、平均値は 4.8 cm, 標準偏差は 0.5 cm であった。

### 3.5 咽頭腔の個人差

咽頭腔の断面積関数パターンを表す指標として咽頭腔の長さや容積を用いた。咽頭腔の区間は解剖学的区分と異なりせばめの咽頭側の端点から喉頭腔との接続部までとした。/i/の咽頭腔長は、7.1 cm から 8.8 cm の範囲に含まれ、平均値は 8.0 cm, 標準偏差は 0.6 cm であった。一方、/e/の咽頭腔長は、6.8 cm から 8.5 cm の範囲に含まれ、平均値は 7.8 cm, 標準偏差は 0.6 cm であった。

喉頭腔容積は声道断面積関数から積分により求めた。/i/の咽頭腔容積は 19.8 cm<sup>3</sup> から 39.4 cm<sup>3</sup> の範囲に含まれ、平均値は 31.5 cm<sup>3</sup>, 標準偏差は 6.5 cm<sup>3</sup> であった。一方、/e/の咽頭腔容積は 15.0 cm<sup>3</sup> から 30.0 cm<sup>3</sup> の範囲に含まれ、平均値は 21.1 cm<sup>3</sup>, 標準偏差は 4.7 cm<sup>3</sup> であった。

\* Individualities in vocal tract area functions during vowel production.

#### 4. 声道断面積関数の伝達関数の個人差

声道断面積関数の個人差が音声に与える影響を調べるために、等価回路モデルを用いて図1に示した声道断面積関数の伝達関数を求めた。その際には、熱、粘性、および壁振動による損失を考慮したが、梨状窩や鼻腔などの分岐管については考慮していない。得られた伝達関数を図2に示す。F2以上の周波数帯域において顕著な個人差がみられる。

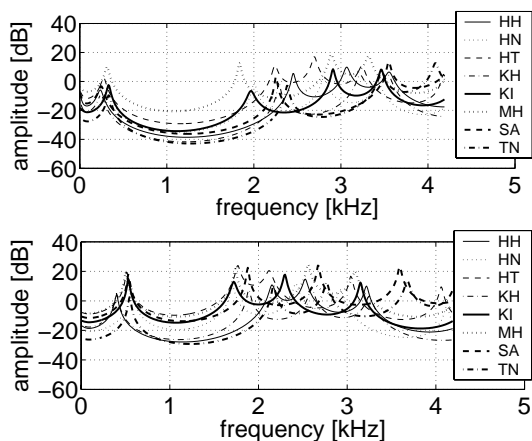


図2. 図1に示した声道断面積関数の伝達関数(上)母音/i/ (下)母音/e/。

#### 5. パラメータ間の相関

せばめの長さ、咽頭腔長、咽頭腔容積、および伝達関数のF1, F2, F3の6種のパラメータ間の相関を分析した。せばめの長さとの相関関係を図3に、咽頭腔長との相関関係を図4に、咽頭腔容積との相関関係を図5に示す。

/i/に関しては、F1とせばめの長さおよび咽頭腔容積との間に負の相関がみられる。これは、従来の報告にある通り、/i/のF1は近似的にヘルムホルツ共鳴器による共鳴とみなせることを示している。また、F2とせばめの長さ、F3と咽頭腔長との間に高い相関がみられる。これらの結果は、せばめの長さ、咽頭腔長、および咽頭腔容積の個人差は/i/のF1, F2, F3に強い影響を与えることを示している。

一方、/e/に関しては咽頭腔長とF1との間に弱い相関がみられるのみである。1つの原因として、/e/の声道断面積関数では口腔と咽頭腔の境界が明確でないため、フォルマント周波数との相関が低くなった可能性がある。また、声道断面積関数の個人差を表す特徴としてより適切なものを用いる必要性も示唆される。

#### 6. おわりに

本研究では、母音/i/と/e/の声道断面積関数の個人差と音響的特徴との関係について調査した。今後は他の母音に関しても同様の調査を行う。

大きさのみが異なる相似形の調音器官を持つ2人の話者を想定した場合、一つの母音を発声する際に必ずしも同じ調音をするとは限らない。従って、声道断面積関数の声道長を正規化するという手法自体も再検討する必要がある。

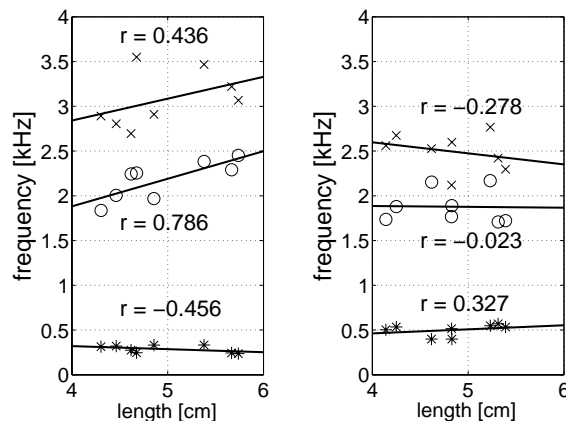


図3. せばめの長さとの伝達関数のフォルマント周波数との相関関係(左)母音/i/ (右)母音/e/ (\*:F1, o:F2, x:F3)。

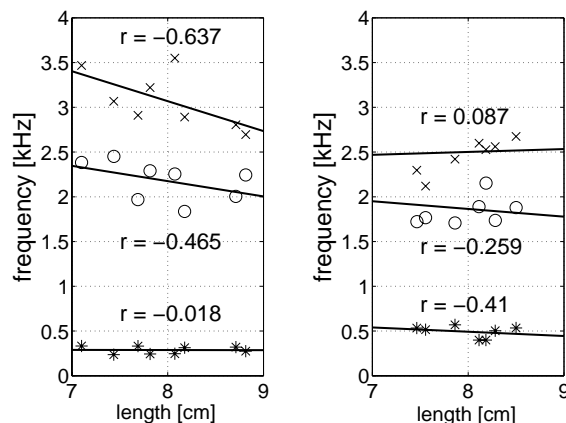


図4. 咽頭腔長との伝達関数のフォルマント周波数との相関関係(左)母音/i/ (右)母音/e/ (\*:F1, o:F2, x:F3)。

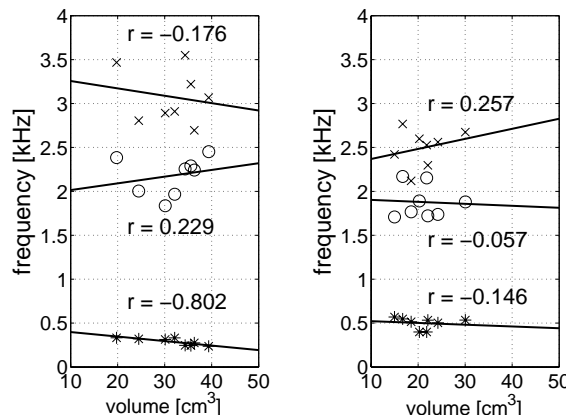


図5. 咽頭腔容積との伝達関数のフォルマント周波数との相関関係(左)母音/i/ (右)母音/e/ (\*:F1, o:F2, x:F3)。

謝辞 本研究は通信・放送機構の研究委託「人間情報コミュニケーションの研究開発」により実施したものである。

#### 参考文献

- [1] Yang and Kasuya, "Uniform and non-uniform normalization of vocal tracts measured by MRI across male, female and child subjects," IEICE trans. inf. & syst., E78-D, 6, 732-737 (1995).
- [2] 竹本, 北村, 西本, 本多, "声道形状のMRI計測における歯列補填法," 音響講論(春) 293-294 (2003).