

簡易形状モデルを用いた有限要素法による調音運動 /ei/ の筋活動の検討*

○高野佐代子¹ 松崎博季² 元木邦俊² ライナー・ウィルヘルム-トリカリコ³

(¹RWTH アーヘン工科大・大学病院 ² 北海学園大・工 ³MIT)

はじめに

筋肉の集合体である舌は筋活動によって部分的な組織の圧縮と膨張を生じて変形運動を行い、音声生成において重要な役割を果たす声道を適切に作り出す。人間を模擬する音声生成モデルを構築するには、機能的および形態的な観点から舌内部の変形を詳細に調べた上で舌の変形メカニズムをモデル化する必要がある。

筋電計測による研究では、母音 /i/ 発声時には舌の中央部を扇状に走るオトガイ舌筋全体の強い活動が見られ、舌根部を前方に引き寄せると同時に、舌上面に溝を形成しつつ前上方に押し上げる機構が考えられてきた [1]。この仮説に対し、舌を粘弾性連続体と仮定した有限要素法を用いたシミュレーションによって、母音 /i/ の生成メカニズムとして外舌筋の関与が確認されている [2]。

一方で、組織の内部変形が計測可能なタギング MRI (tagged-MRI) 法 [3] を用いて調べた結果、Fig.1, 2 および 3 に示すように、母音 /i/ の発声時には舌前方表面付近での上方移動に加え、同部位でのより早い時刻での運動開始、高速度の変形および正中方向への圧縮が見られ、従来の外舌筋機構に加えて内舌筋 (特に舌内部を左右方向に走る横舌筋) の関与が示唆されている [3]。

本報告では上記タギング MRI の結果に基づいて舌を簡易形状でモデル化し、内舌筋の活動による舌変形メカニズムを有限要素法シミュレーションを用いて確認し、母音 /i/ の生成メカニズムについて再検討する。

方法

タギング MRI 法の結果に基づいて舌を簡易形状でモデル化し、FEM シミュレーションによって内舌筋 (横舌筋) の収縮による変形効果を調べる。

これまで多くの舌モデルは解剖学的な筋配置に基づき比較的要素数の多いメッシュ形状で構築されてきたが [2]、ここでは内舌筋 (横舌筋) の関与を確認する目的で Fig.2 の tagging-MRI の結果に基づ

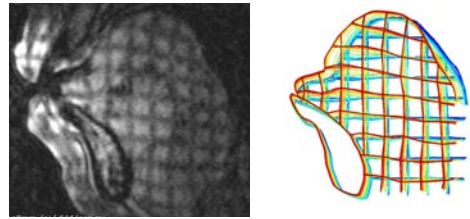


Fig. 1 タギング MRI と tag のトレース (文献 [3])

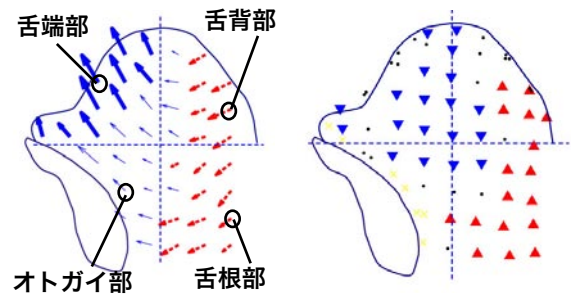


Fig. 2 母音発声 /ei/ 時の舌内部変形 (文献 [3])

左: tag 交点変位のベクトル図

右: 左右方向膨張圧縮図 (▼圧縮、▲膨張)

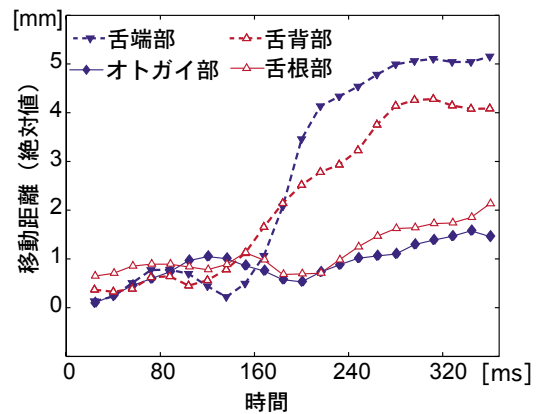


Fig. 3. 母音発声 /ei/ に伴う舌内の点の時間推移図 (文献 [3])

いて舌を前後および上下に分割した 1 辺が 4 cm の 4 つの立方体で近似する (Fig.4)。この 4 つの立方体に対し、下顎より生じ舌内を後方へ走行するオトガイ舌筋後部 (genioglossus posterior, GGp)、下顎より生じ舌内を後上方へ走行するオトガイ舌筋中部 (genioglossus middle, GGm)、舌前方上部で横行に走る横舌筋前部 (transverse anterior, Ta) をそれぞれ舌内に配置した。下顎の固定として、

*The Investigation of the tongue muscle activation during /ei/ based on four-cube model using FEM by ¹TAKANO Sayoko, ²MATSUZAKI Hiroki, MOTOKI Kunitoshi, and WILHELMS-TRICARICO Reiner (¹RWTH-Aachen · Rad., ²Hokkai-Gakuen University, ³MIT).

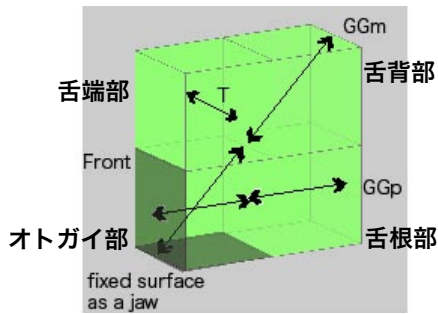


Fig. 4 4つの立方体で近似した簡易形状舌モデル

前面下方と下面前方を固定し、それ以外は自由端とした。なお正中溝を作るといわれるオトガイ舌筋前部 (genioglossus anterior, GGA) については、今回は厚みを持った正中断面のモデルであり、正中溝を実現できないので対象には入れない。

この簡易形状モデルに対し、有限要素法 [2] を用いてシミュレーションを行った。筋の収縮力は最大値 0.022 N/cm² で、筋肉活性化パラメータは 0 から 0.05sec まで線形に上昇、その後一定とした。その他の定数は [2] に従った。筋の活性を (1) GGm+GGp (従来モデル)、(2) GGm+GGp+Ta (内舌筋を考慮したモデル) とし、内舌筋 Ta による変形効果を検討した。

結果と考察

Fig. 5 に FEM シミュレーションによる 500ms 後の舌の変形を示す。平衡状態に達した後の舌の変形は酷似しており、どちらも前上方向への変形が実現されている。/i/ を実現するための変形方向自体には大きな差異はみられない (Fig. 5)。

さらに各点の推移について詳しく観察すると (Fig. 6 上部)、(1)GGm+GGp では舌端点、舌高点、舌背点はいずれも類似した推移であるが、(2)GGm+GGp+Ta では特に舌端点における

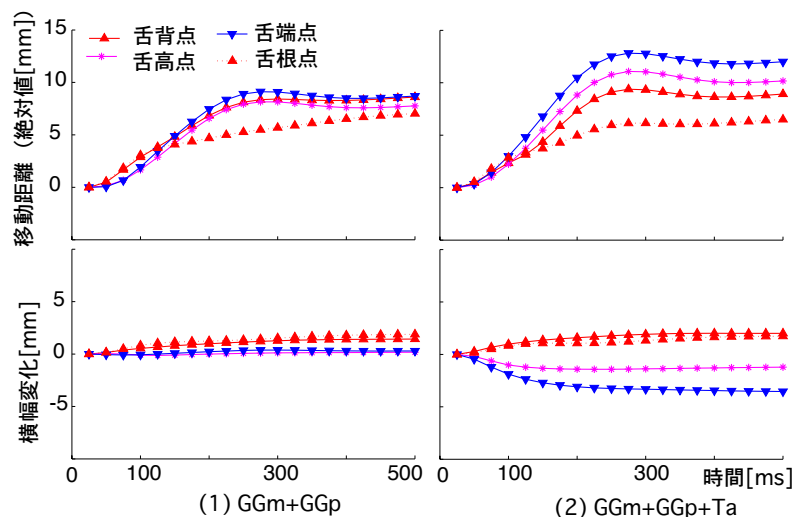
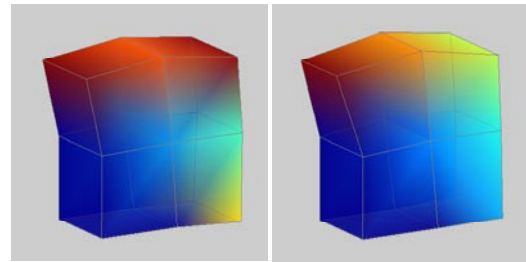


Fig. 6 FEM シミュレーションによる舌の各点の移動



(1) GGm+GGp (2) GGm+GGp+Ta

Fig. 5 FEM シミュレーションによる舌変形 (500 [ms] 後)

100-300 [ms] 付近の高速運動と顕著な移動がみられる。移動距離は筋収縮力に依存するので最大移動距離で正規化した時間推移について評価すると、Fig. 3 のグラフで示した tagging-MRI による計測結果と Fig.6 の時間推移はほぼ一致する。

また、Fig. 6 下部の各点の横幅の変化 (左右方向の膨張圧縮) について、(1)GGm+GGp では膨張のみであり、(2)GGm+GGp+Ta の各点では圧縮と膨張が生じている。内舌筋を考慮したモデル (2)GGm+GGp+Ta は Fig.2(右) で示した tagging-MRI の左右方向の膨張圧縮の結果に一致する。

まとめ

以上の FEM シミュレーションの結果は内舌筋 Ta が舌端を左右方向を圧縮しながら、前上方向への高速で大きな運動に関与するという説を支持する。ただし、本モデルは左右方向を考慮した 2.5 次元的なモデルであり、母音 /i/ において特徴的な正中溝を実現できておらず、今後さらに詳細な観察とモデル化が必要である。

謝辞

本研究の一部は、平成 18 年度文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (B) 課題番号 18300069 からの支援により行われた。舌モデル構築に御支援いただいた NTT コミュニケーション科学基礎研究所に感謝いたします。

参考文献

- [1] Baer, et. al. (1988). Ann. Bull. Res. Inst. Logopedics and Phoniatrics, 22: 7-19.
- [2] Wilhelms-Tricarico (1995). Acoust. Soc. Am. 97(5), Pt. 1, pp.3085-3098.
- [3] 高野ら (2006). 日本音声言語医学 47(3). 283-290.