

# 破裂子音および摩擦子音発声時の 声道容積変化の計測

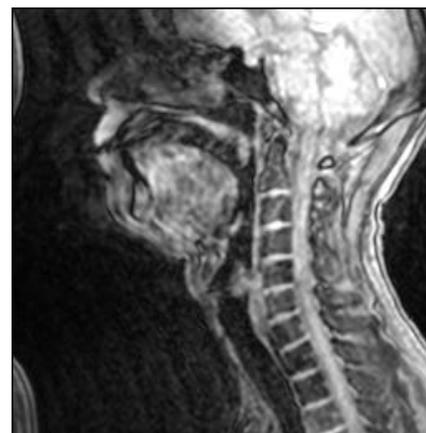
北村達也 波多野博顕

甲南大学知能情報学部

E-mail: [t-kitamu@konan-u.ac.jp](mailto:t-kitamu@konan-u.ac.jp)

# 概要

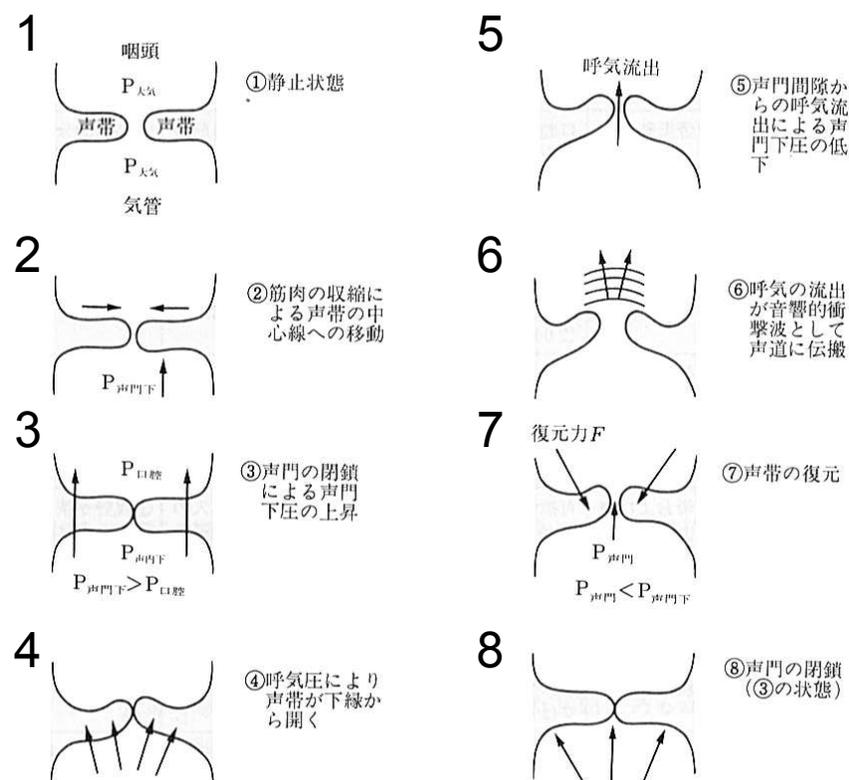
- 目標：有声子音生成時に声帯振動が持続するメカニズムを解明する
- 方法：破裂子音，摩擦子音生成時の声道容積の時間変化を3次元MRI動画から計測した
- 結果：有声子音生成時には声道容積が増大する



/atata/ 生成時の正中面付近のMRI動画

# 有声子音生成時の声帯振動

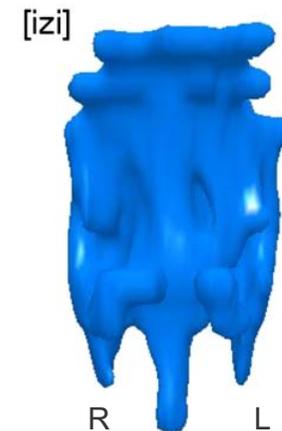
- 声帯振動が持続するためには、声門上下に圧力差が必要
  - 通常は、声門下の圧力 > 声門上の圧力
- 有声破裂子音の生成時には呼気の流出が阻害される
- この状態で声帯振動が維持されるには？



声帯振動の時間的狀態変化 (甘利編, 1990)

# 先行研究

- 閉鎖/せばめ区間において咽頭腔拡大
  - X線動画
    - Perkell (1969), Kent & Moll (1969)
    - Westbury (1983)
  - 筋電位
    - Bell-Berti (1975)
  - MRI
    - Proctor *et al.* (2010)
  - シミュレーション
    - 党ら (1993)
- 閉鎖/せばめ区間において鼻咽腔結合
  - 確認されず



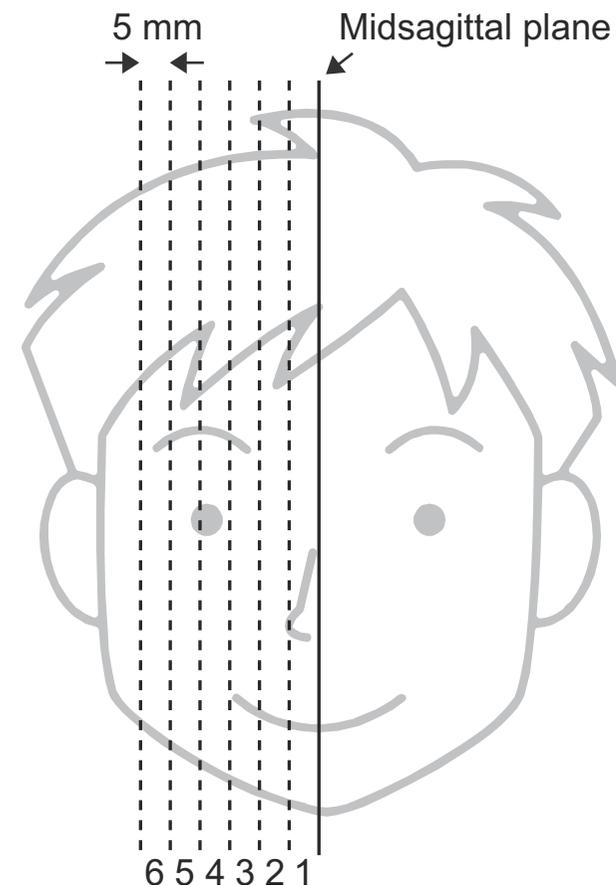
Proctor *et al.* (2010)

# 方法

- 実験協力者：成人男性1名 (40代)
- 発話資料：
  - /adada/, /atata/
  - /azaza/, /asasa/
- MRI撮像条件
  - 装置：Siemens社製MAGNETOM Verio (3T)
  - TE=1.62 ms, TR=11 ms, FA=15°, FOV=256x256 mm, Pixel Size=1x1 mm, Slice: Sagittal, Thickness=5 mm, NA=1, Frame rate=90 frames/sec

# 方法(続き)

- 右半側を撮像
- 発話同期撮像 (Masaki *et al.*, 1999)
  - ガイド音にあわせて128回繰り返し発話 
  - 約4分
- 平板アクセント
- 1度の撮像で3断面
- 2回の撮像で6断面 (30 mm)

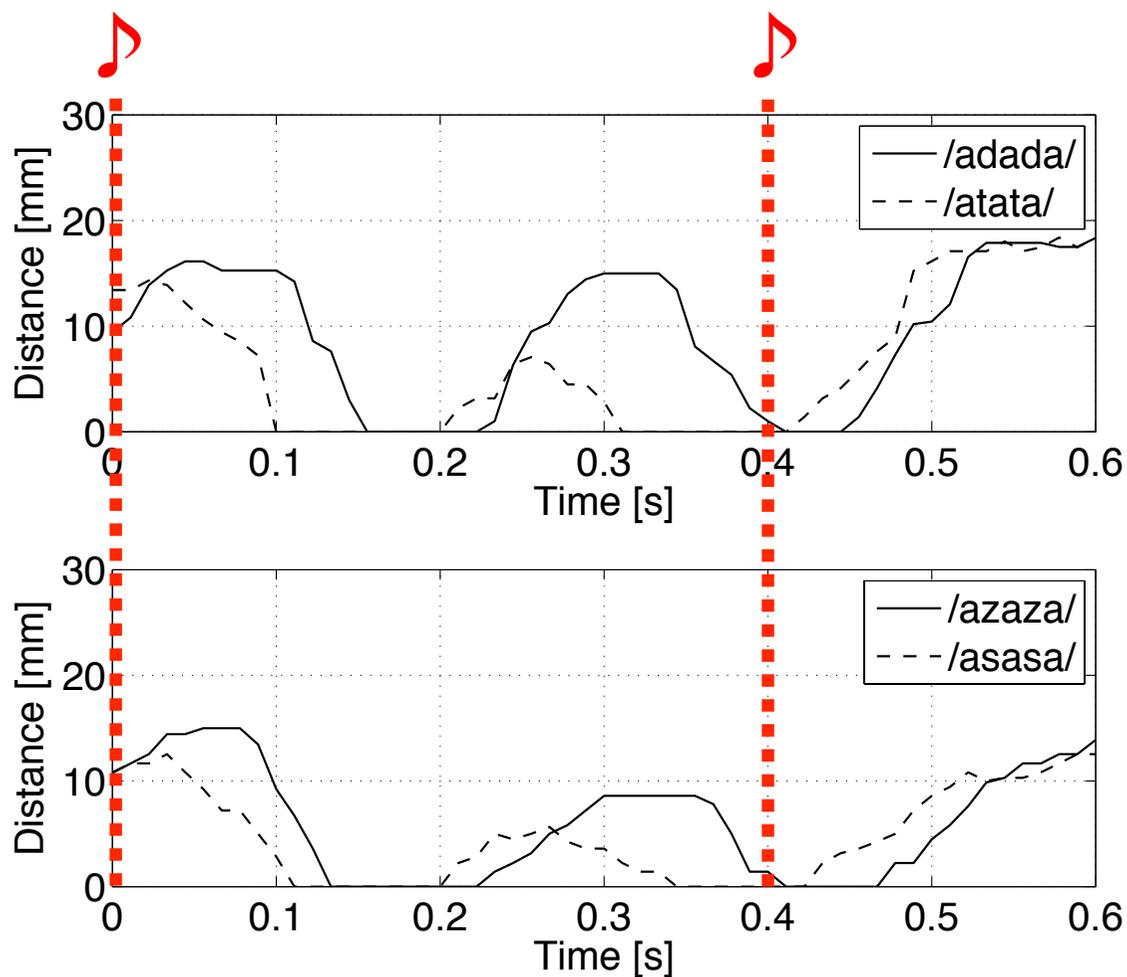


撮像対象の矢状断面

# 分析方法

- 調音タイミングの分析
  - 断面1における舌尖と歯茎部の距離を計測
- 声道容積の計測
  - 声道内に閉鎖/せばめが生じている時間区間
  - 声道が含まれる断面
  - 目視でトレース
    - 時間方向と断面方向の一貫性に配慮
  - 声道領域の画素数に $5 \text{ mm}^3$ をかけて容積を算出

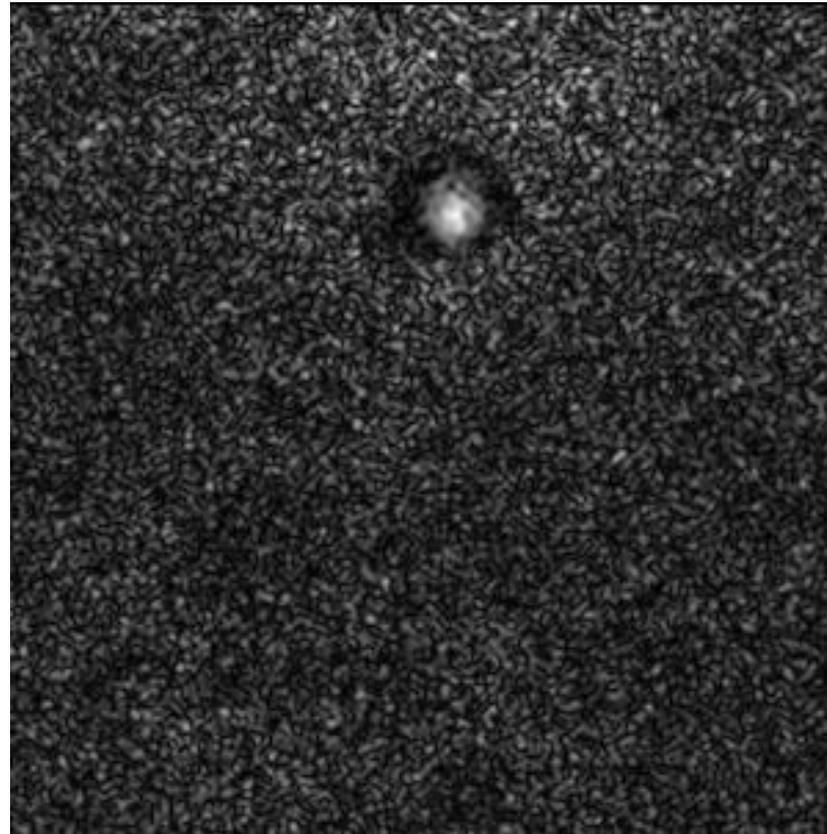
# 結果：調音運動の比較



舌尖と歯茎部の距離

- 摩擦子音のせばめ区間で距離0 ← MRIの空間分解能が原因
- 有声/無声子音の調音運動は異なる
  - 閉鎖/せばめが形成されはじめるタイミング
  - /a/生成区間の舌尖と歯茎部の距離が異なる

# /s/生成時のせばめ(前→後)

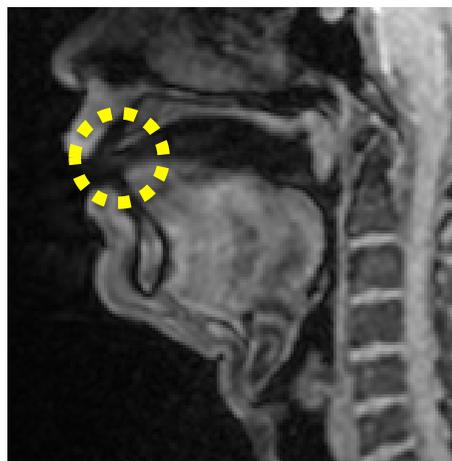


高分解能MRI用コイルを用いた画像  
(提供：NICT竹本氏)

# 結果：断面1のMR画像



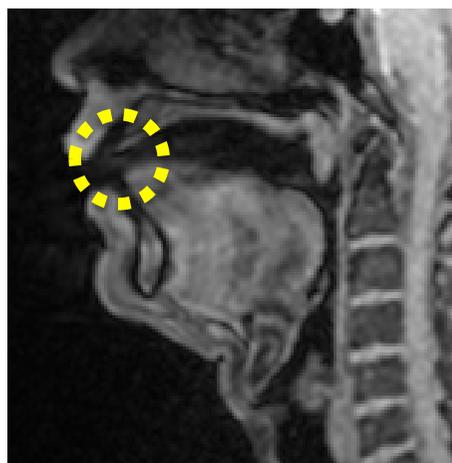
/ada**da**/



/ata**ta**/



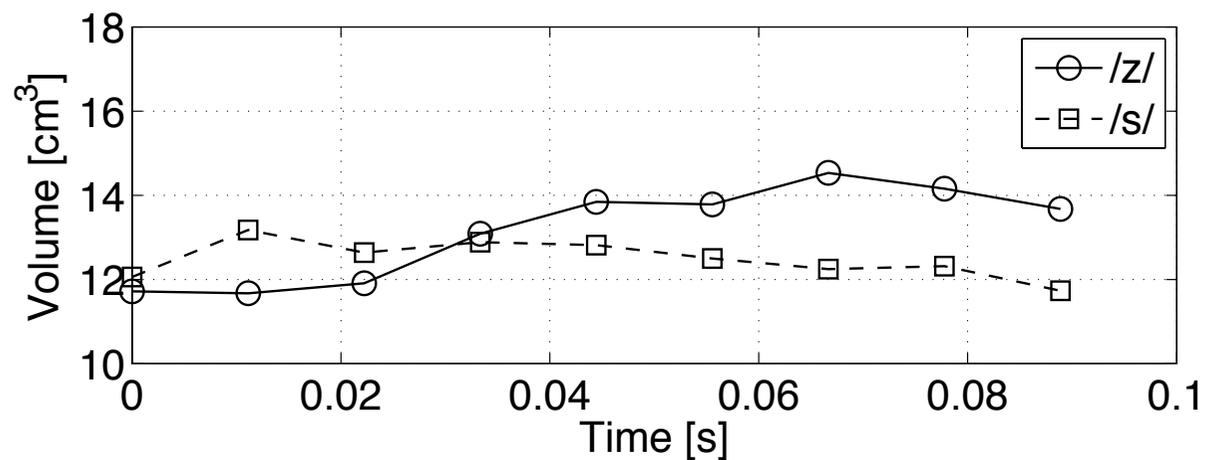
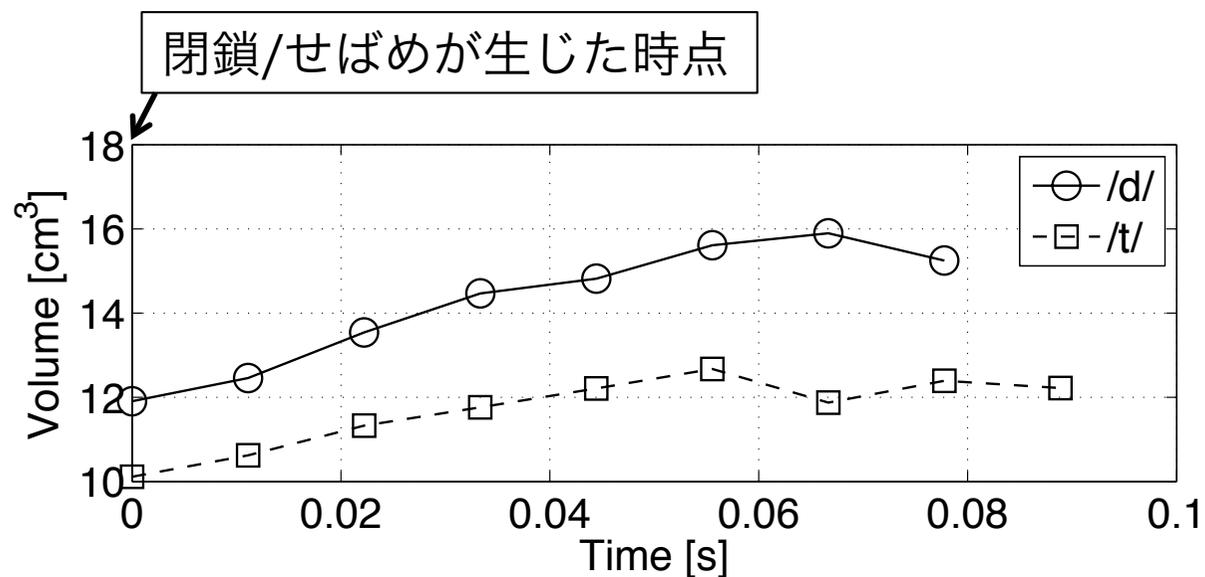
/aza**za**/



/asa**sa**/

/adada/ 以外で  
舌尖の下降が弱化

# 結果：声道容積の変化



断面1～3から抽出した声道右半側の容積

# 声道容積の変化のまとめ

声道が左右対称であることを仮定

/d/生成時の声道容積変化

約8 cm<sup>3</sup>

約24 cm<sup>3</sup> → 約32 cm<sup>3</sup>

/t/生成時の声道容積変化

約5 cm<sup>3</sup>

約20 cm<sup>3</sup> → 約25 cm<sup>3</sup>

/z/生成時の声道容積変化

約5 cm<sup>3</sup>

約24 cm<sup>3</sup> → 約29 cm<sup>3</sup>

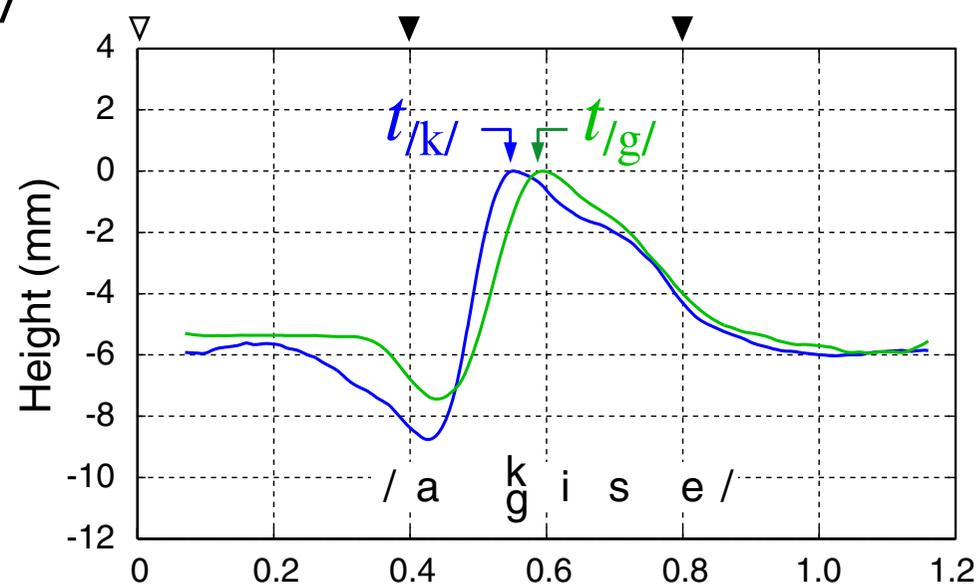
/s/生成時の声道容積変化

約2 cm<sup>3</sup>

約24 cm<sup>3</sup> → 約26 cm<sup>3</sup>

# 考察(1)：調音運動タイミング

- 閉鎖/せばめの形成されるタイミング：無声子音が先行
- Tachibana *et al.* (2012)でも報告あり
  - 軟口蓋破裂子音 /k/, /g/
- pre-fortis clipping



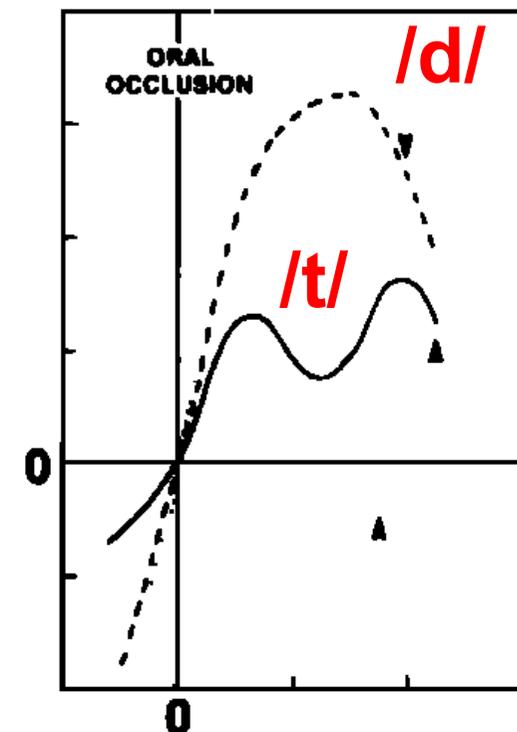
/akise/, /agise/生成時の調音点の高さ  
 (Tachibana *et al.*, 2012)

# 考察(2) : Stevens(1998) との比較

- 下顎を閉じた状態の声道容積
  - 成人男性 : 約60 cm<sup>3</sup>
  - 成人女性 : 約40 cm<sup>3</sup>
- 本研究の被験者 : 約20 cm<sup>3</sup>~32 cm<sup>3</sup>
  - 値が小さい
  - 男性にしては頭が小さいことが影響？
  - 声道内に閉鎖/せばめが存在する状態の容積であるため？
- 後ほど再度議論

# 考察(3) : Westbury(1983) との比較

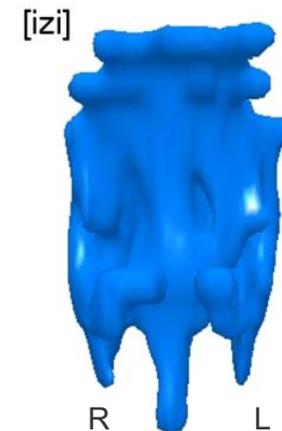
- X線動画から声道容積を推定
- /padap/中の/d/の生成時に  
80 msの間に約6 cm<sup>3</sup>の増大
- /batab/中の/t/の生成時には  
声道容積が増減し, 最大で  
約3 cm<sup>3</sup>の増大
- 本研究の値に近い



/d/, /t/生成時の声道容積の  
推定値 (Westbury, 1983)

# 考察(4) : Proctor *et al.* (2010)との比較

- 歯茎摩擦子音を /aCa/ の文脈で持続生成 (36 s)
- 4名の平均 : 有声子音の声道容積は無声子音の約1.5倍
- 本研究の結果ではそこまでの差異はない (1.2倍)
- Proctorらの実験では over-articulation が生じた ?



Proctor *et al.* (2010)

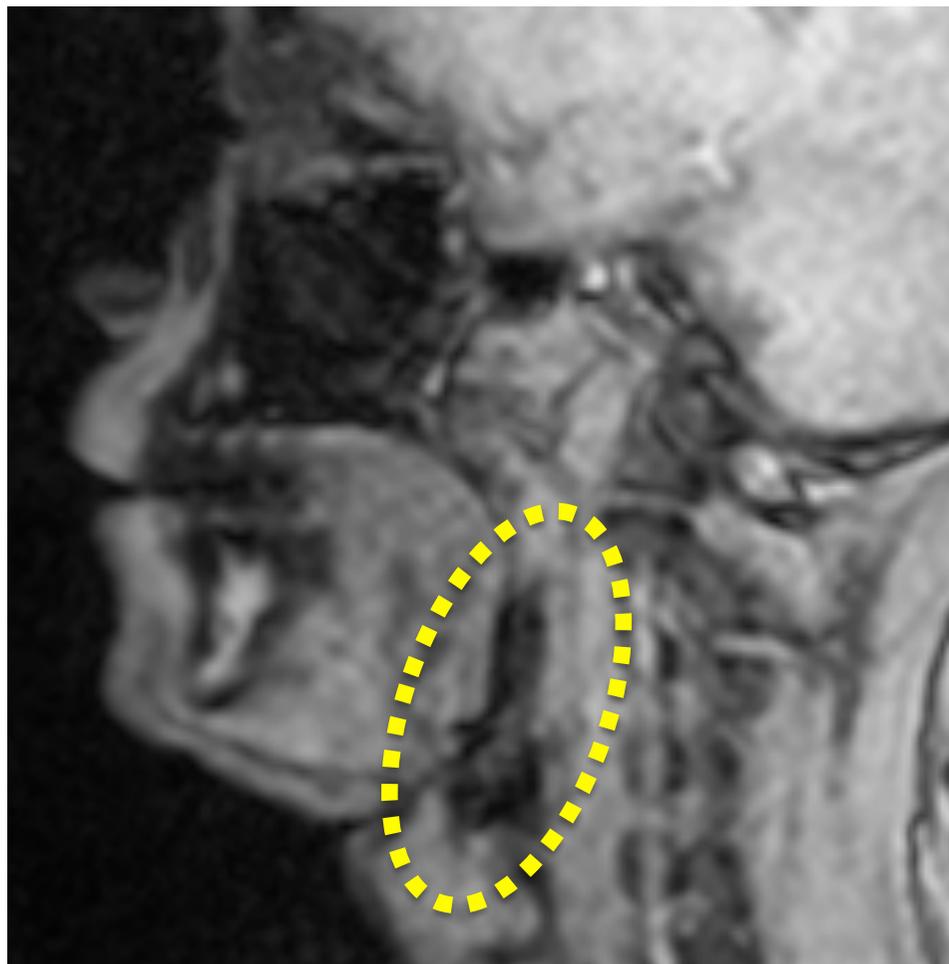
## 考察(5)：声道容積増大と声帯振動

- Rothenberg (1968)
  - 咽頭腔の容積が1 cm<sup>3</sup>増加すると、声帯振動の持続時間が10 ms延びる
- 本研究の/d/の結果に適用
  - 8 cm<sup>3</sup>の増加 → 声帯振動が80 ms延びる
  - 声門閉鎖区間の時間長とほぼ一致
- /d/生成時の方が/z/生成時よりも声道容積の最大値と増加幅が大きい
  - /z/の場合には、せばめから呼気が流出するためではないか

## 考察(6)：MRI動画の難点

- 発話同期撮像の難点：正確なタイミングで同じ発話運動を繰り返す必要あり
  - さもないと，画像にぶれが生じる
- スライス厚5 mmでは，厚さ方向に声道形状が変化することがある
  - その場合，画像のコントラストが低下
  - 5 mmのうち2 mmが声道だったら？(次スライド)
  - スライスを薄くすればよいというものでもない
- 声道の境界部のコントラストが低い部分がある
- 声道容積がStevensの記述よりも小さい原因？

# 断面4の画像



# おわりに

- MRI動画を用いて，有声，無声の破裂子音および摩擦子音生成時の声道容積の時間変化計測を試みた
- 今後の検討事項
  - MRI観測の誤差の見積もり
  - 横断面の撮像による本研究の結果の検証
  - 矢状面と横断面の組み合わせによる声道容積の推定

謝辞：本研究は2012年度科研費(21300071)により行われた。