



# 3-P-18

## 声道伝達特性における喉頭腔の影響

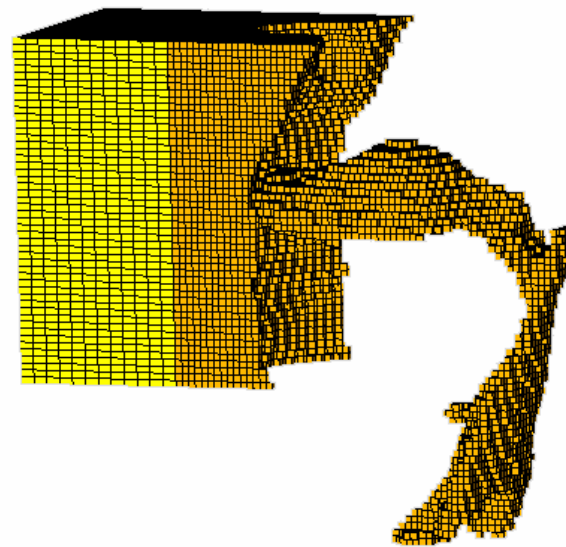
ATR人間情報科学研究所

北村達也 竹本浩典 本多清志

kitamura@atr.jp

[www.atr.jp/his/bpi/kitamura/](http://www.atr.jp/his/bpi/kitamura/)

本研究は情報通信研究機構の研究委託「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。



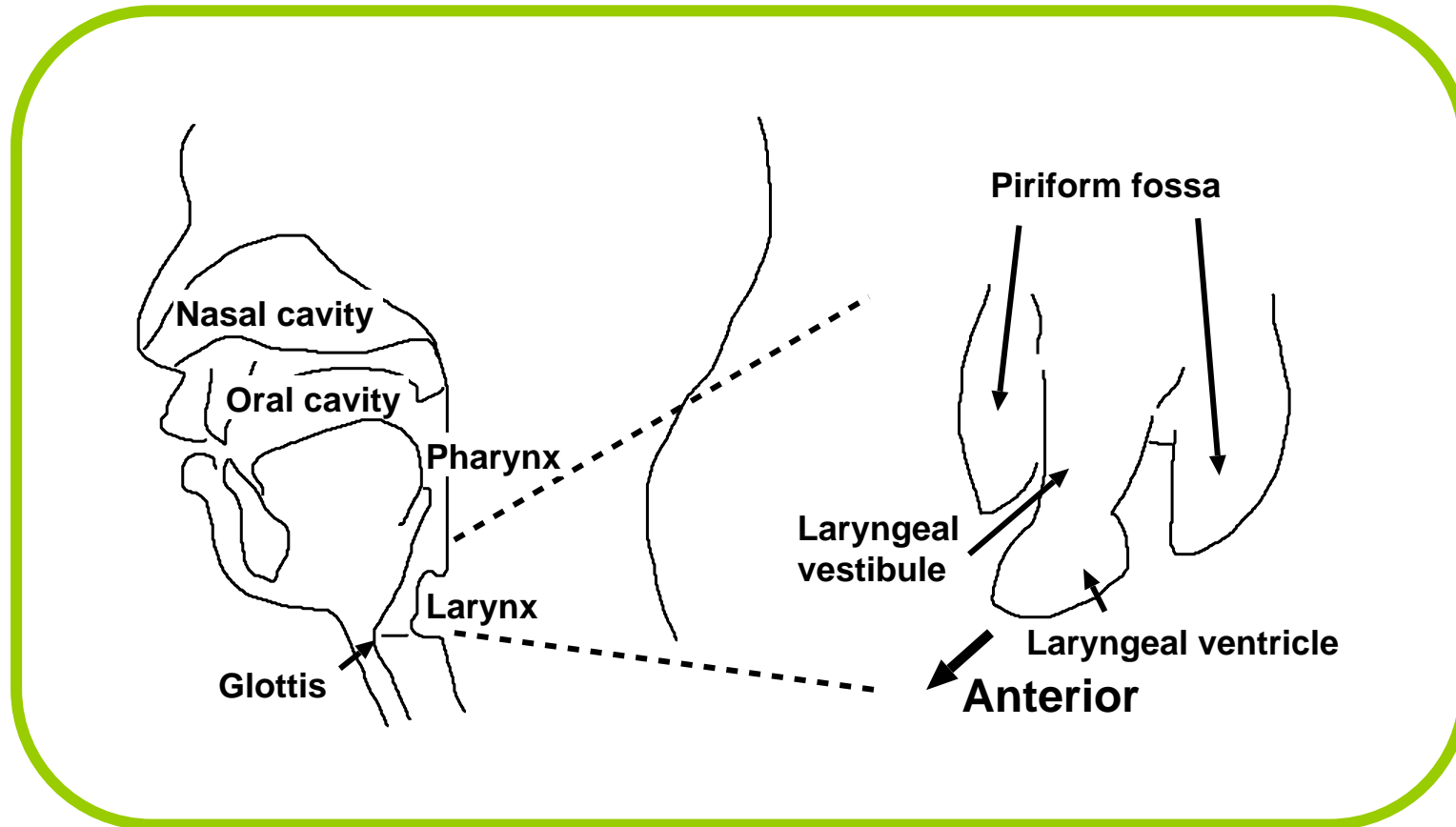
# 概要

声道伝達特性における喉頭腔の音響的効果に関して有限要素法（FEM）による検討を行った。その結果、喉頭腔は2.5 kHzから3.5 kHzの帯域にピークを1つ生じさせるが、それ以外の帯域のピークや谷に対する影響は小さいことが明らかになった。このことは、声道長が短くなったことでは説明できず、喉頭腔による共鳴が主声道による共鳴に対して独立性が高いことに起因すると考えられる。

# 研究の背景と目的

- ・ **目的：喉頭腔の音響的効果の解明.**
- ・ **方法：喉頭腔を除去した有限要素モデルを作成し、影響を調査する.**
- ・ 最近の研究
  - 今川ら2003
    - ・ 喉頭管と喉頭室の断面積変化はF2, F3, F4の周波数および4 kHz以上のスペクトル形状に影響を与える.
  - 竹本ら2003
    - ・ 喉頭腔はヘルムホルツ共鳴器としてはたらしき, その形状変化は音声スペクトルのF4にのみ大きな影響を与える.
  - 本多ら2003, 2004
    - ・ 下咽頭腔(喉頭腔+梨状窩)の音響特性は主声道の音響特性とほぼ独立にはたらくとする新しい音声生成モデル.

# 下咽頭腔の構造



# MRI撮像条件

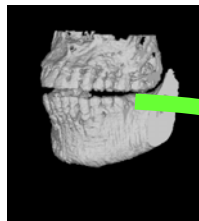
- ・ 条件
  - シーケンス : Fast Spin Echo法
  - TE = 9 ms, TR = 4900 ms, FA = 90度.
  - 撮像領域 : 256x256 mm, 分解能 : 512x512 pixels
  - スライス : 矢状方向, 加算回数1回.
  - 厚み : 2 mm, 間隔 : 2 mm, 41スライス.
  - 撮像時間約8分.
- ・ 被験者
  - 成人男性1名
- ・ タスク
  - 日本語5母音の持続発声.



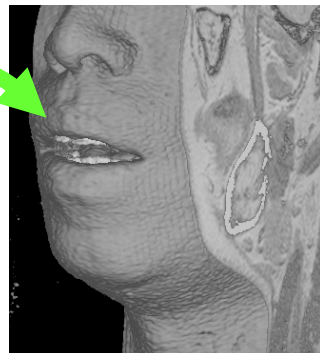
撮像に用いたATR脳活動イメージングセンターのMRI装置.

# 有限要素モデルの作成

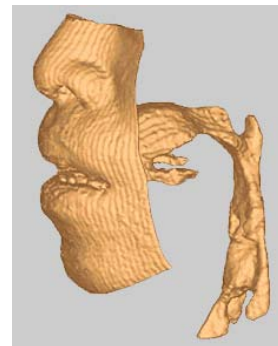
- ・ MR画像をボリウムデータに変換し， 歯列を補填.
- ・ 声道領域および放射領域を抽出し， 6面体で要素分割.
  - 声道および顔近傍の領域：2x2x2 mmの要素.
  - 放射領域：2x2x4 mmの要素(上下約100 mm， 左右70 mm， 前後50 mm).
  - 要素サイズは解析ソフトが扱える要素数の上限から決定.
  - 前鼻孔， 鼻咽腔開口部(母音/a/)をふさいだ.



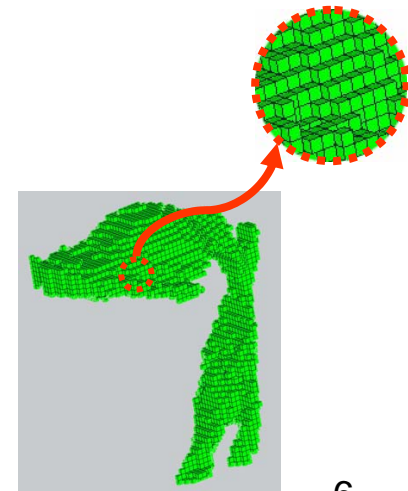
歯列補填  
[Takemoto et. al 2004]



領域抽出

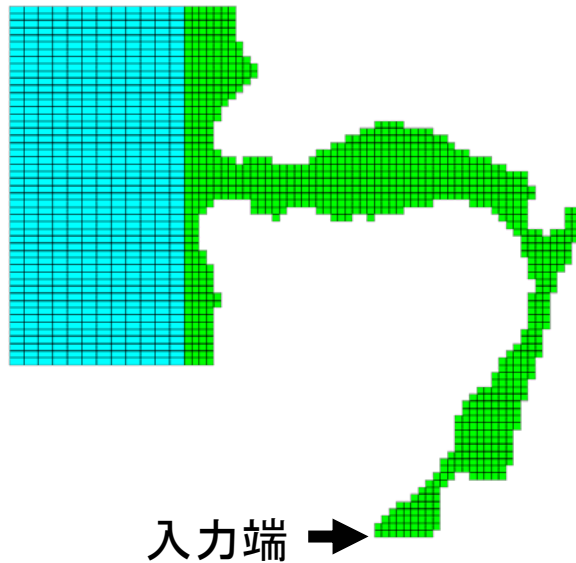


要素分割

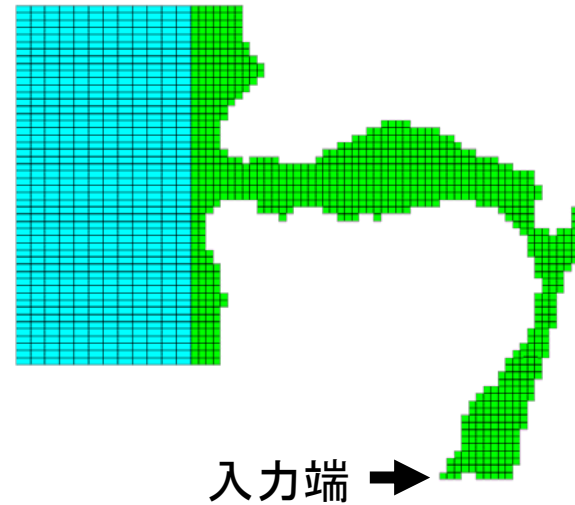


# 有限要素モデルの作成 (2)

- ・ オリジナルモデル
- ・ 喉頭腔除去モデル
  - 喉頭腔を2 mmだけ残して除去



(a) 母音/a/のオリジナルモデルの正中矢状断面.



(b) 母音/a/の喉頭腔除去モデルの正中矢状断面.

# 伝達関数の推定法 (1)

- ・ 音圧  $p$  に関する波動方程式

$$\nabla^2 p + k^2 p = 0$$

$k$  : 波数 ( $k = \omega / c$ )

$\omega$  : 周波数

$c$  : 音速

- ・ 境界条件

- 入力端 : 声門部. 正弦波振幅 1.0 m/secの体積速度で励振.

- 出力端 : 放射領域の境界面. 空気の固有インピーダンス  $\rho c$

- 入力端と出力端以外は剛壁.

- ・ 音速  $c = 352.33$  m/sec, 空気密度  $\rho = 1.1255$  kg/m<sup>3</sup>

- ・ この条件で上の波動方程式をガラーキン法で解いた.

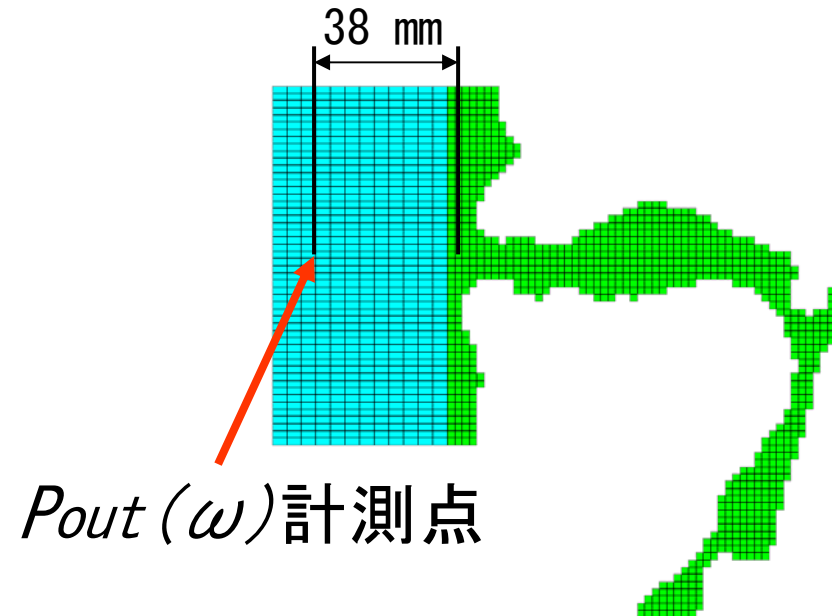
- ・ 解析プログラム : LMS社SYSNOISE ver. 5.6



## 伝達関数の推定法 (2)

- ・ 伝達特性  $H(\omega)$

$$H(\omega) = \frac{P_{out}(\omega)}{U_{in}(\omega)}$$



- ・  $P_{out}(\omega)$ : 正中矢状面における口唇先端から水平方向 38 mmの点の音圧.
- ・  $U_{in}(\omega)$ : 入力端の体積速度.
- ・ 100 Hzから4 kHzまでを50 Hzきざみで計算.

# 結果および考察

## 声道伝達特性の比較 (1)

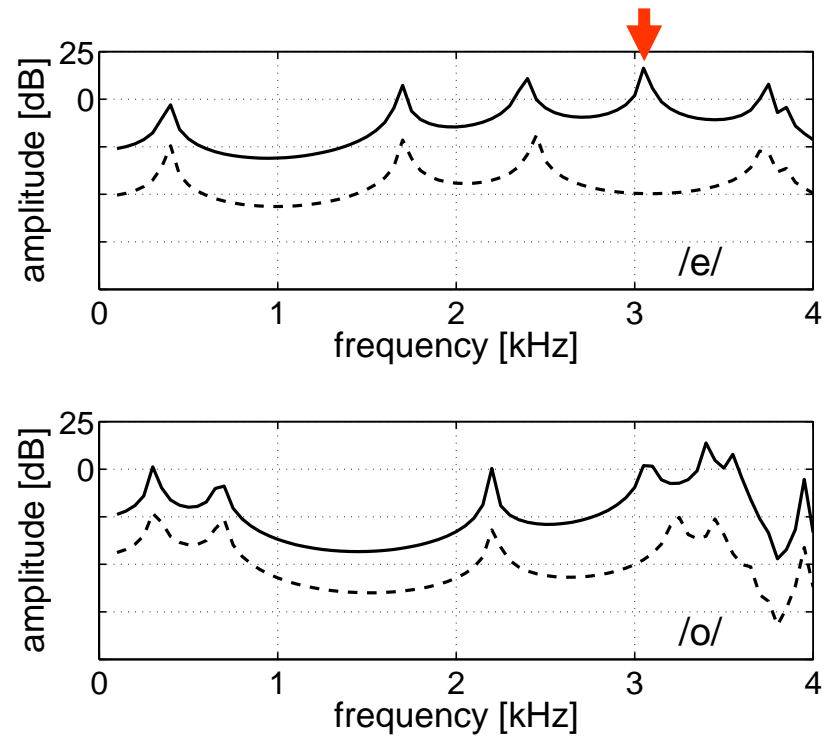
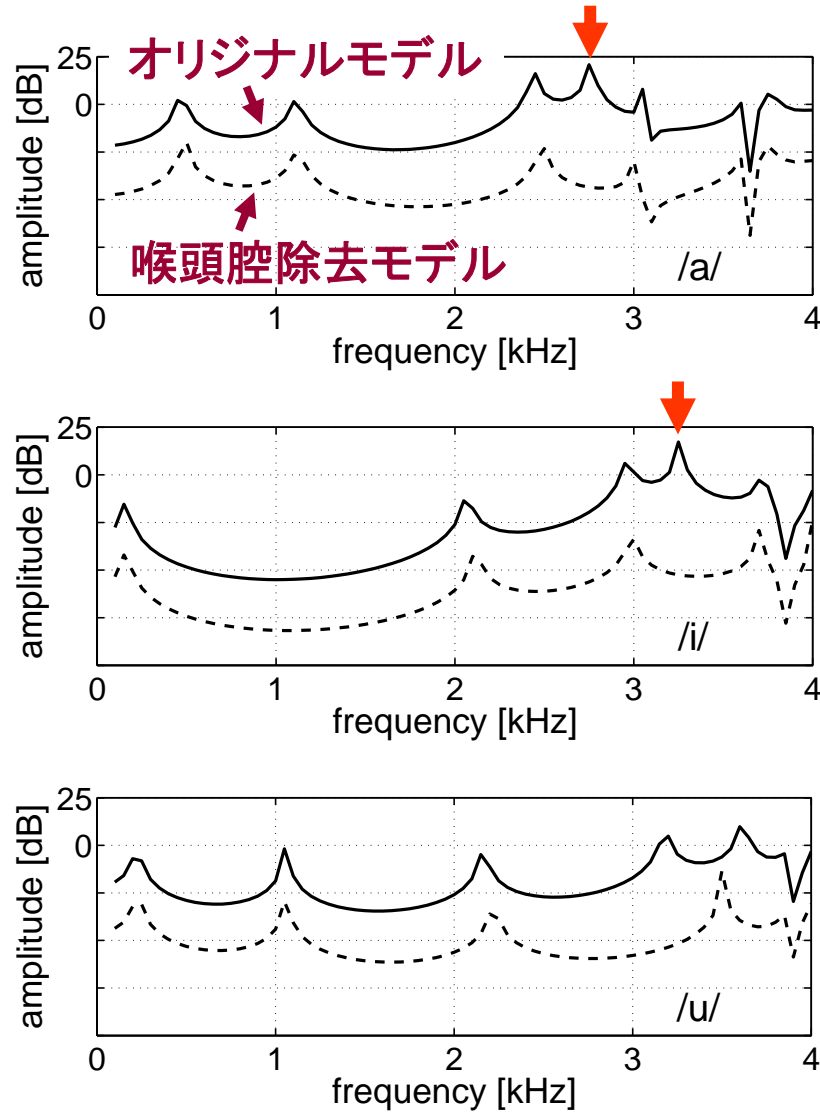
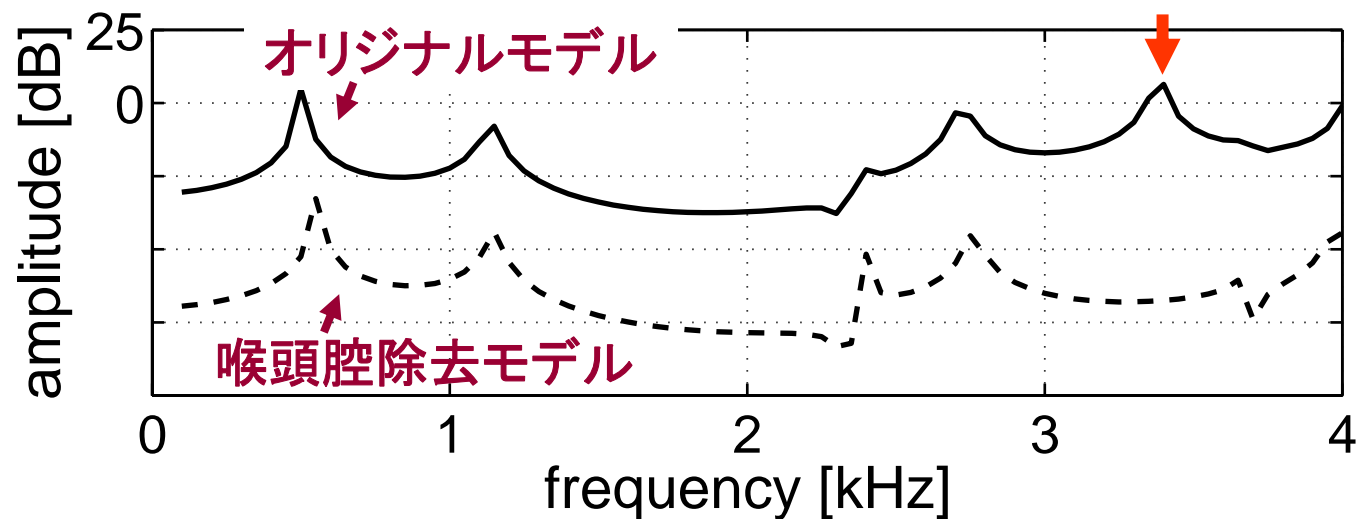


図:オリジナルモデル(実線)および喉頭腔除去モデル(破線)の声道伝達特性.

# 別話者での検証

- 別話者（成人男性）の母音/a/の有限要素モデルで調査.



喉頭腔の除去によってオリジナルモデルの伝達特性に現れていた第4ピークが消えた。

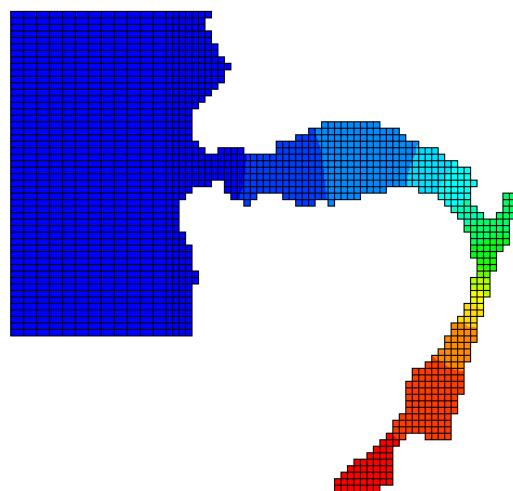
# 結果および考察

## 声道伝達特性の比較 (2)

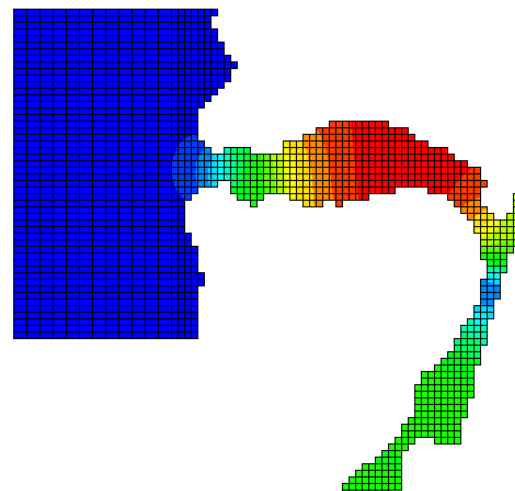
- ・ 喉頭腔を除去することによって、オリジナルモデルの伝達特性の2.5 kHzから3.5 kHzに現れていた第4ピークが消えた.
- ・ そのピークが現れていた周波数帯域のパワーが減少した.
- ・ それ以外のピークや谷の周波数の変化は小さかった.
- ・ **喉頭腔の長さが約20 mmであることを考えれば、単に声道長が短くなったことでは説明できない.**
- ・ **喉頭腔による共鳴は主声道による共鳴に対して独立性が高いと考えるのが妥当 (本多ら2003, 2004) .**

# 結果および考察

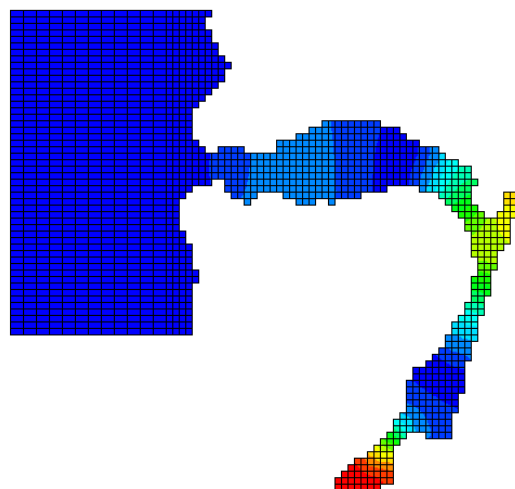
## ピーク周波数での音圧分布 (1) 母音 /a/



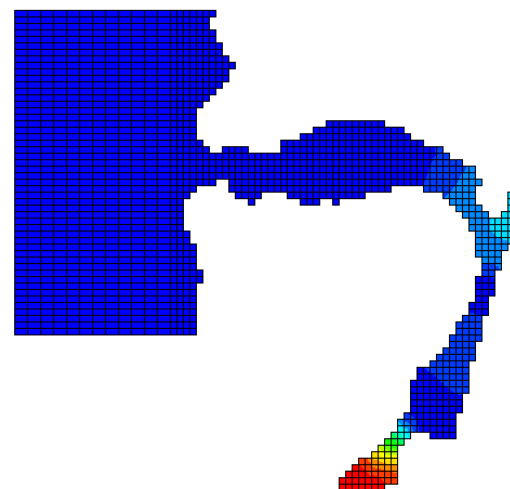
(a) 第1ピーク (450 Hz)



(b) 第2ピーク (1,100 Hz)



(c) 第3ピーク (2,400 Hz)

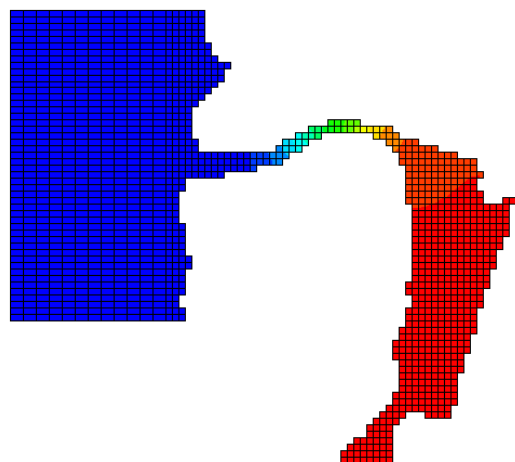


(d) 第4ピーク (2,750 Hz)

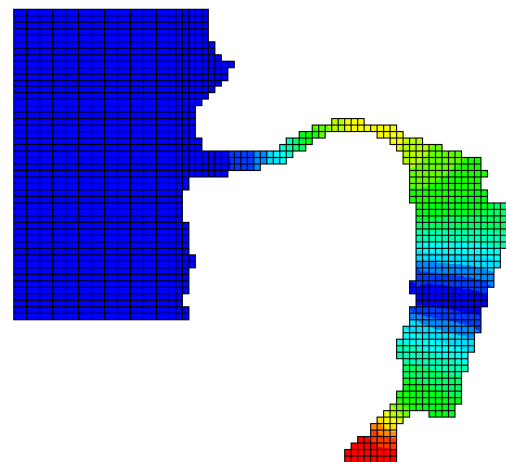


# 結果および考察

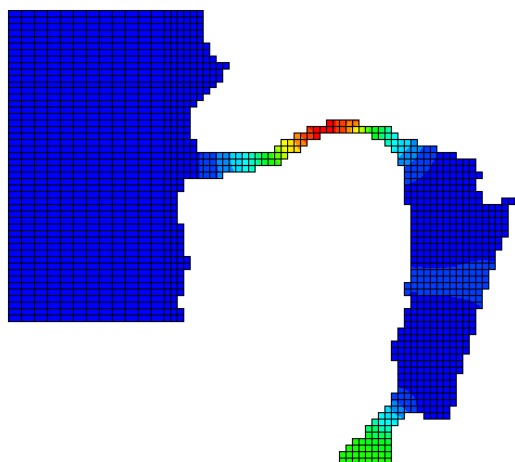
## ピーク周波数での音圧分布 (2) 母音 /i/



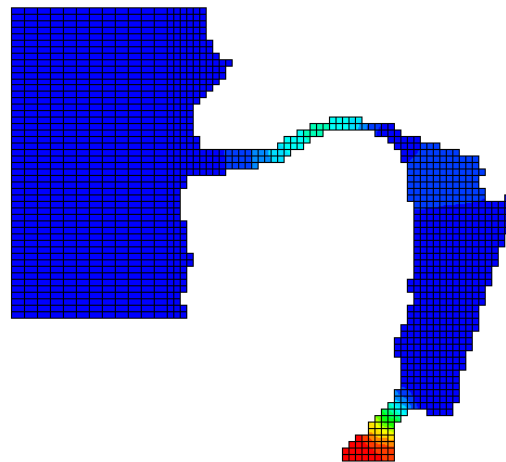
(a) 第1ピーク (150 Hz)



(b) 第2ピーク (2,050 Hz)



(c) 第3ピーク (2,950 Hz)

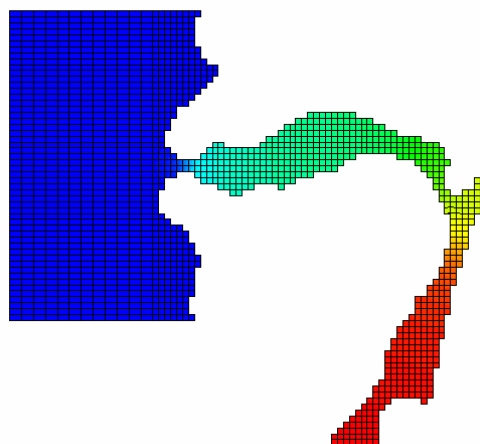


(d) 第4ピーク (3,250 Hz)

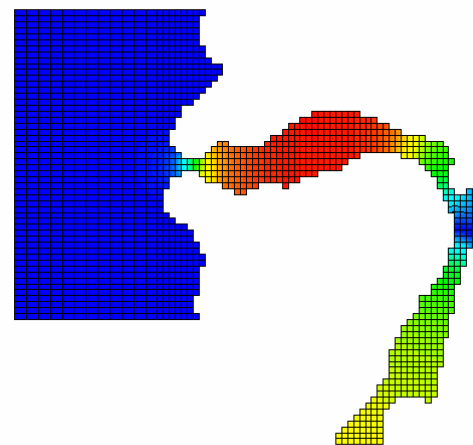


# 結果および考察

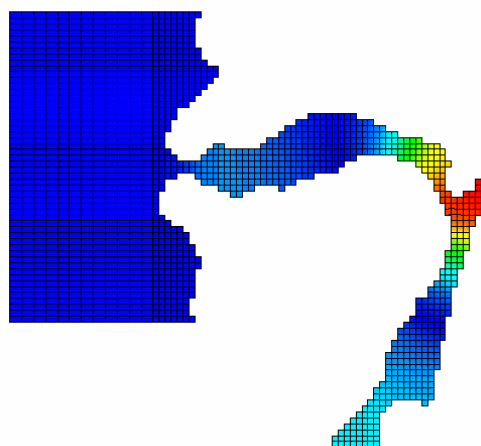
## ピーク周波数での音圧分布 (3) 母音 /o/



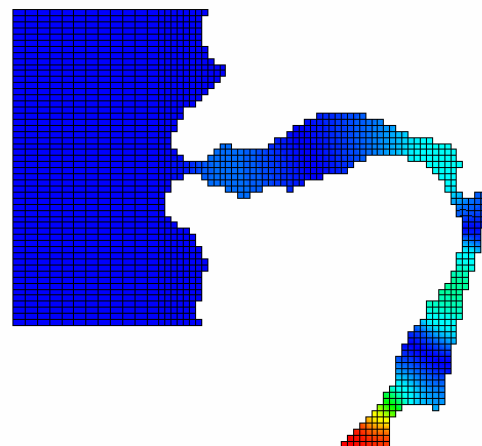
(a) 第1ピーク (300 Hz)



(b) 第2ピーク (650 Hz)



(c) 第3ピーク (2,200 Hz)



(d) 第4ピーク (3,100 Hz)



# 結果および考察

## ピーク周波数での音圧分布 (4)

- ・ 母音 /a/, /i/, /e/
  - 第4ピークの周波数では音圧の高い部分が喉頭腔に集中.
- ・ 母音 /u/, /o/
  - 音圧の喉頭腔への集中の程度が低い.
- ・ 第4ピークの音響的独立性と関連か？



# まとめ

1. FEMを用いて喉頭腔の有無による音響的影響を調査した.
2. 喉頭腔は2.5 kHzから3.5 kHz付近の帯域にピークを1つ生じさせる.
3. それ以外の帯域のピークや谷に対する影響は小さい.
4. 2および3の減少は別の話者でも確認された.
5. 2および3は, 声道長が短くなったことでは説明できない. 喉頭腔共鳴の独立性によると考えるのが妥当.
6. 今後は喉頭腔共鳴の理論的解明を行う.



- ・ 日本語5母音発声時のMRI静止画像を公開.
- ・ 話者：成人男性1名，東京方言
- ・ 発話同期撮像法で撮像された高分解能 (0.5x0.5mm/pixel)，高S/Nな画像データ
- ・ 歯列画像補填済みデータ付き
- ・ 話者による5母音音声データ付き
- ・ 問い合わせ先
  - ATR人間情報科学研究所 生体イメージング研究室
  - hismridata@atr.jp
  - [www.atr.jp/his/bpi/mridata/](http://www.atr.jp/his/bpi/mridata/)