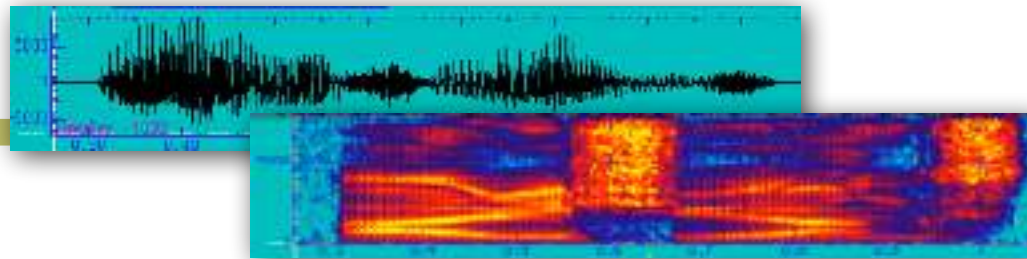


人文社会系研究科基礎文化研究専攻言語学専門分野

# 音響音声学

(Topics in Acoustic Phonetics)



峯松 信明

工学系研究科電気系工学専攻

# 告知 ～音響音声学の社会貢献～

東京大学五月祭にて研究室公開を行ないます。

- 大学院入試説明会@**5/19 (金)**
- 東京大学五月祭@**5/20, 21 (土, 日)**
- このうち, **5/19, 5/21** で研究室公開を行なう予定です。
  - 5/19 (金) 恐らく15時～17時
  - 5/21 (日) 恐らく10時～16時
- デモンストレーション例
  - 日本語韻律読み上げチュータ
  - 英語シャドーイング自動評価
  - 世界諸英語の発音自動分類
  - 英語聴解能力向上のため音声変形
  - 音声からの調音運動推定
  - 音声からの女声度推定
  - 音声からの顔形状推定



峯松・齋藤研究室

東大本郷キャンパス工学部2号館10階

# 音声の音響分析の「いろは」

～初めて音声波形を見る方へ：拡張版～

+α

峯松 信明@東大

日本音声学会音声学普及委員会

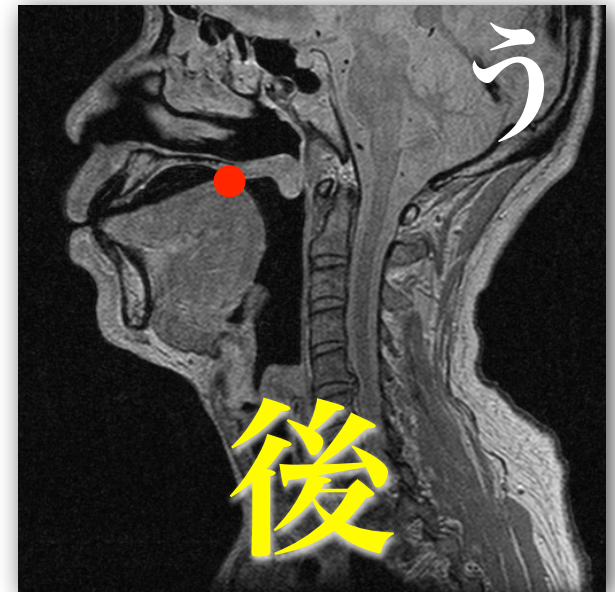
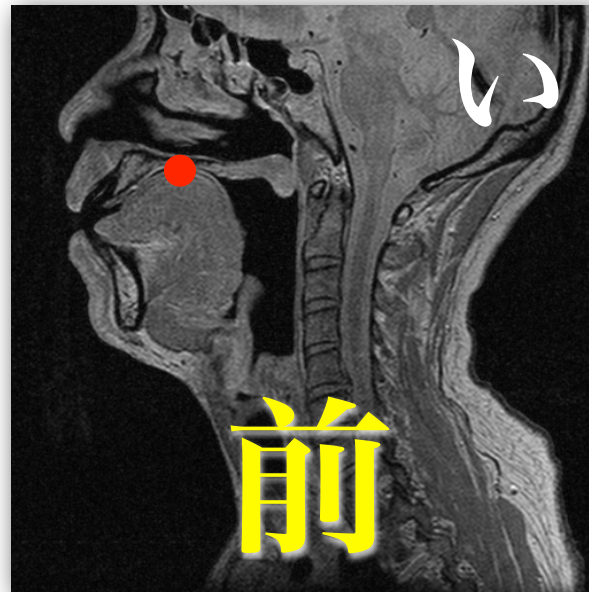
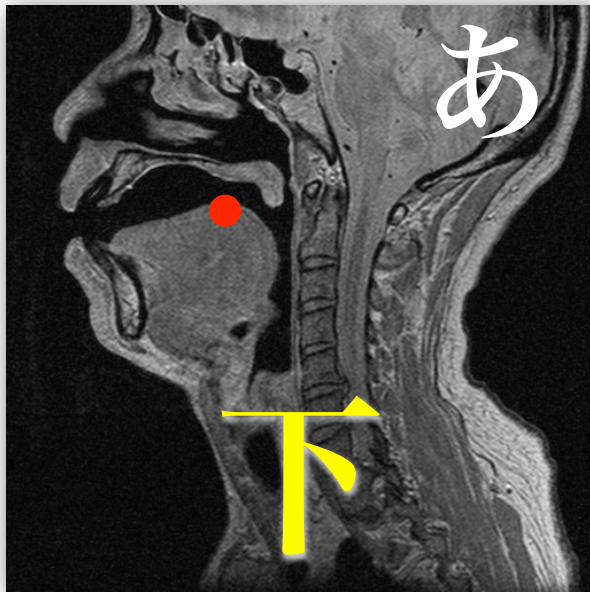




## 言語音声の分類：母音＋子音

- 母音＝肺からの呼気流が妨害を受けずに発せられる言語音
- 子音＝何らかの妨害を受けつつ発せられる言語音

## 母音の生成と分類：どうすれば「あ」は「い」になる？



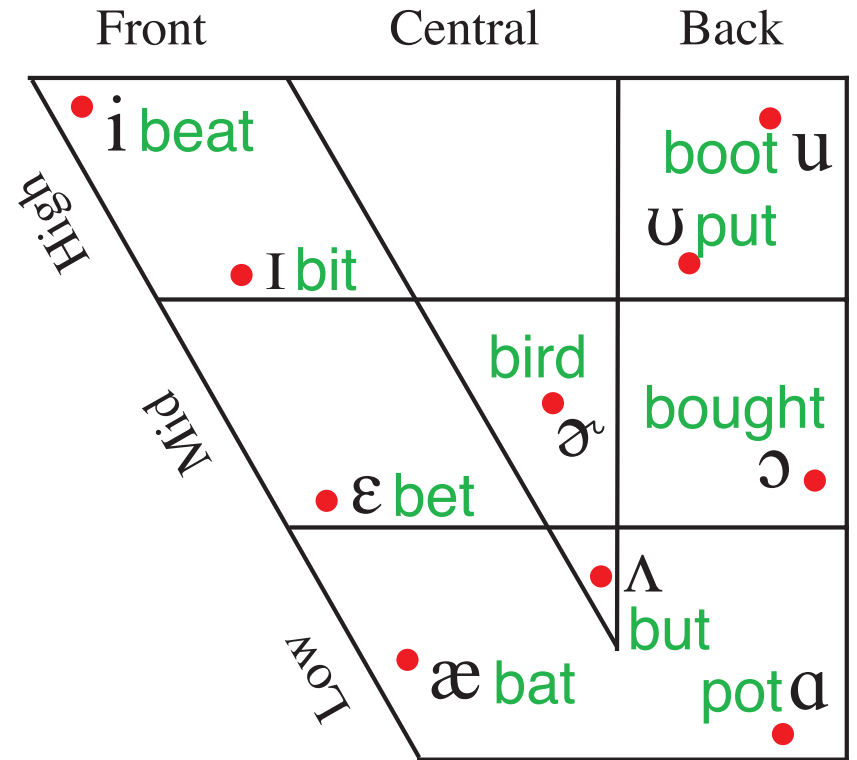
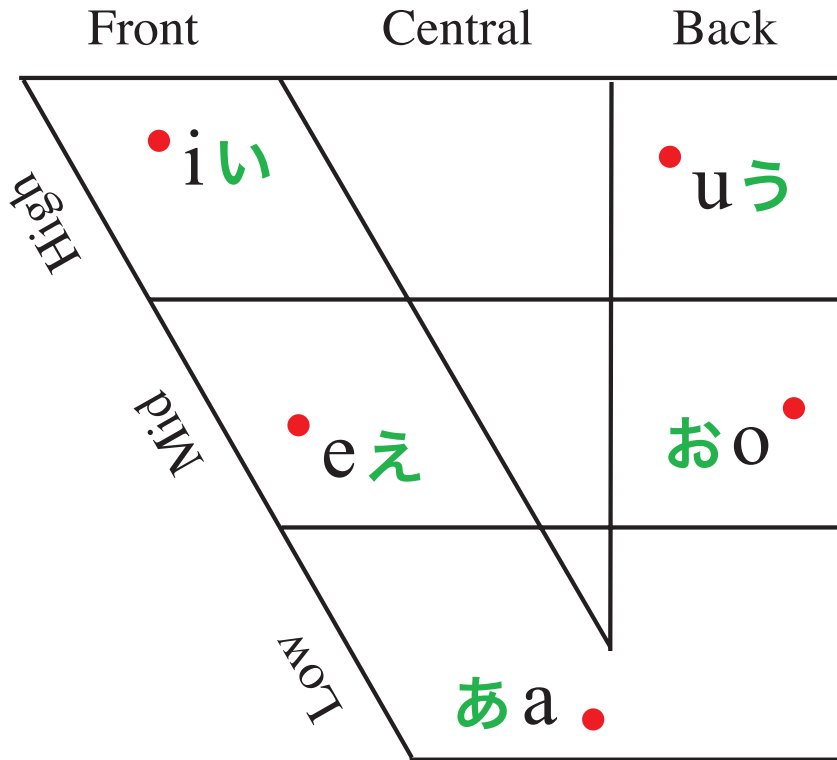
- 口の開き方（＝舌の**高さ**）
- 舌の**前後位置**
- 唇の**丸め**の有無

} 口の構え

（提供：ATR人間情報科学研究所）



あ=下, い=前, う=後

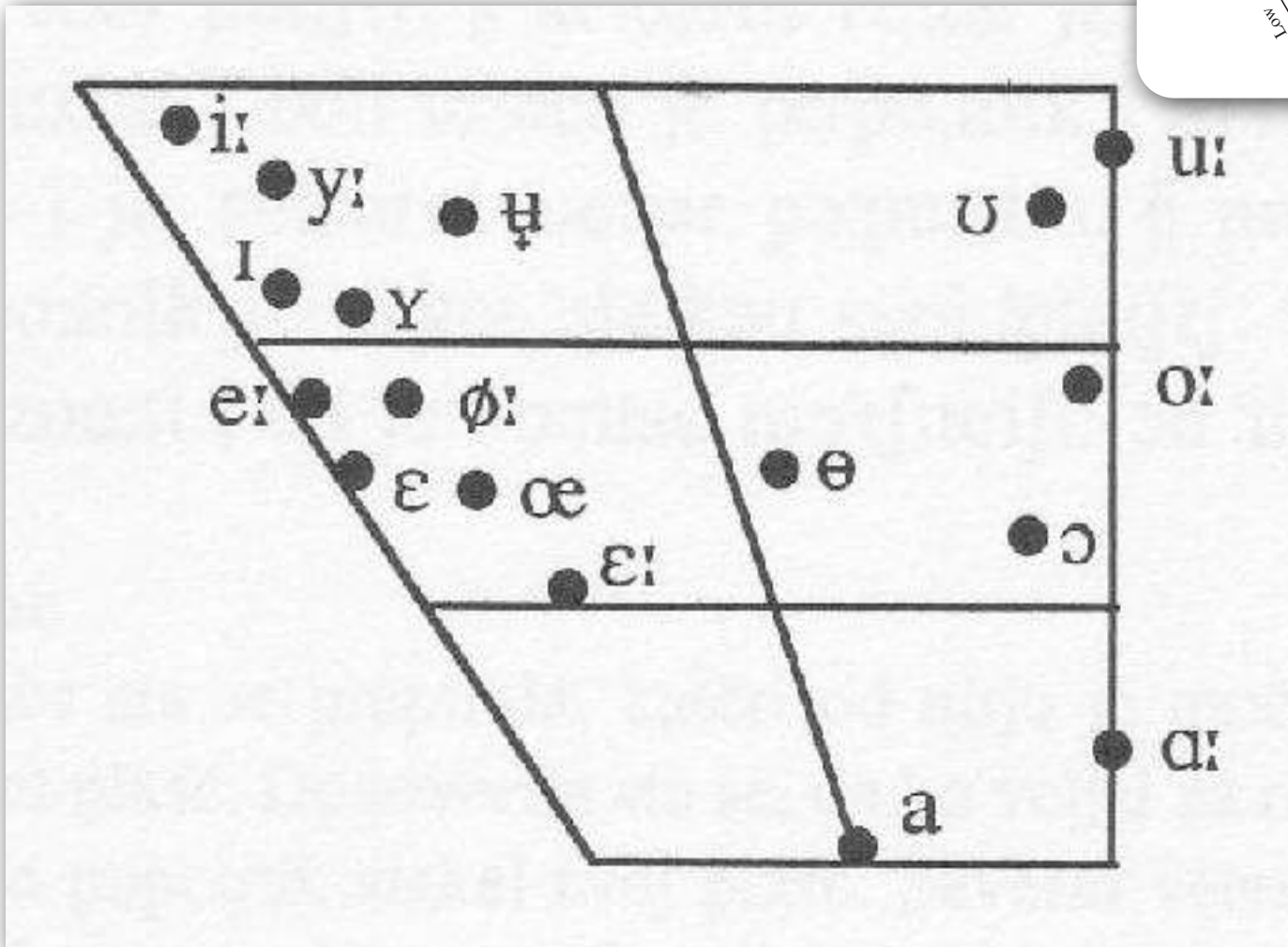
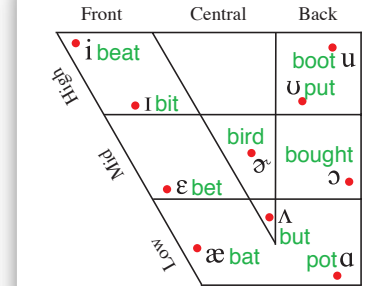
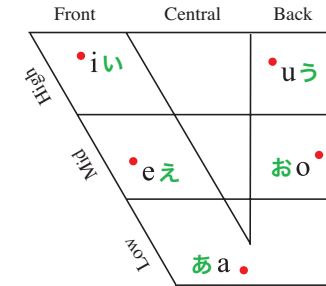


5

2倍 + 1

# ちなみに、スウェーデン語

あ=下, い=前, う=後





## 言語音声の分類：母音＋子音

- 母音＝肺からの呼気流が妨害を受けずに発せられる言語音
- 子音＝何らかの妨害を受けつつ発せられる言語音

## 子音の生成と分類：どこで，どのように妨害する？

- どこで＝調音位置， どのように＝調音様式

調音位置

調音様式

子音 (肺気流)	調音位置 →										
	両唇音	唇歯音	歯音	歯茎音	後部歯茎音	そり舌音	硬口蓋音	軟口蓋音	口蓋歯音	咽喉音	声門音
破裂音	p b			t d		t d	c ɟ	k g	q ɢ		ʔ
鼻音	m	ɱ		n		ɳ	ɲ	ŋ	ɴ		
顫動音	ʙ			r					ʀ		
単顫動音 もしくは弾音				ɾ		ɽ					
摩擦音	ɸ β	f v	θ ð	s z	ʃ ʒ	ʂ ʐ	ç ʝ	x ɣ	χ ʁ	ħ ʕ	h ɦ
側面摩擦音				ɸ ɸ							
接近音		ʋ		ɹ		ɻ	ɰ	ɯ			
側面接近音				ɻ		ɻ	ɻ	ɻ			

表示が対になっているものは，（無声，有声）の対となっている。

生成が困難な調音位置， 調音様式の組み合わせとなっている場合は網かけしている。

# IPAが定める基本母音

## 音声学の分類

- 調音音声学 / 音響音声学 / 聴覚音声学
- 一般音声学 / 各言語の音声学 (日本語音声学, 米語音声学)
  - 言語非依存に音声現象を記述する

## 基本母音 (cardinal vowels)

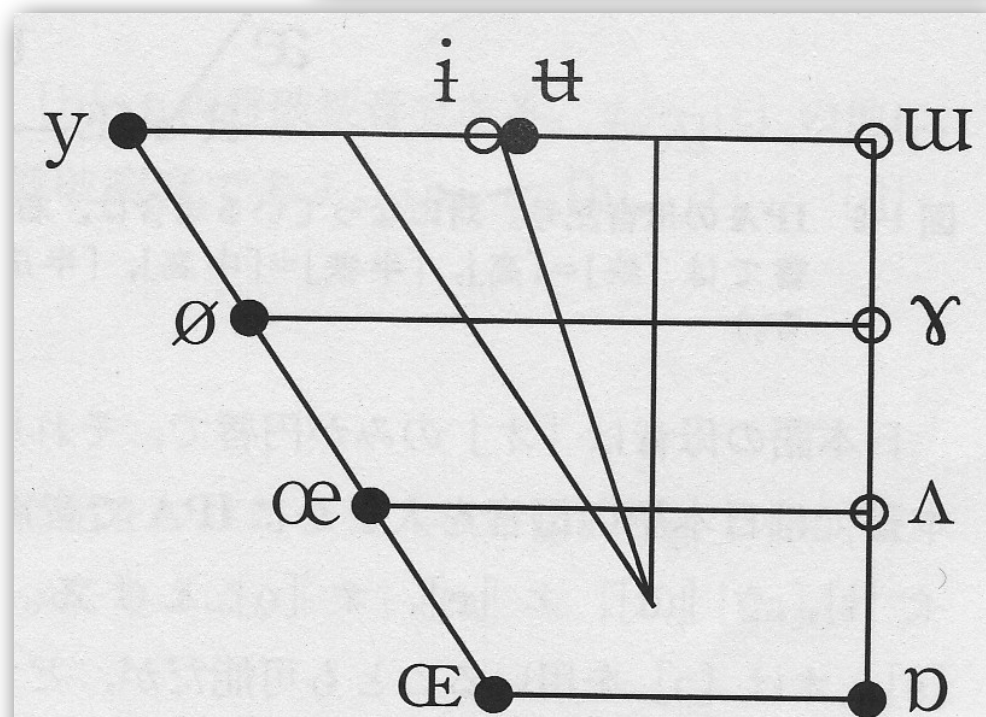
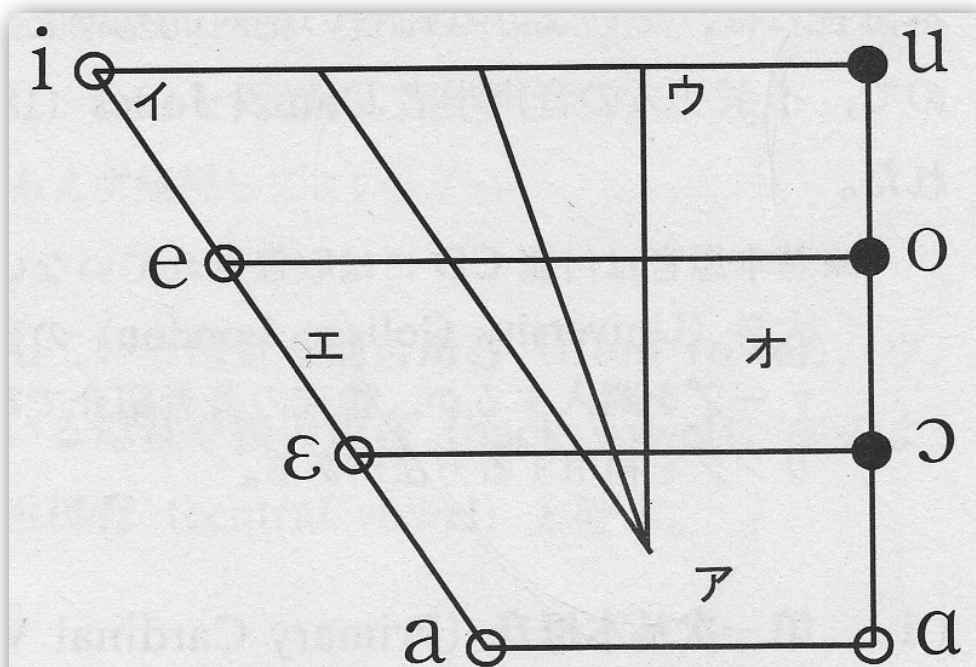
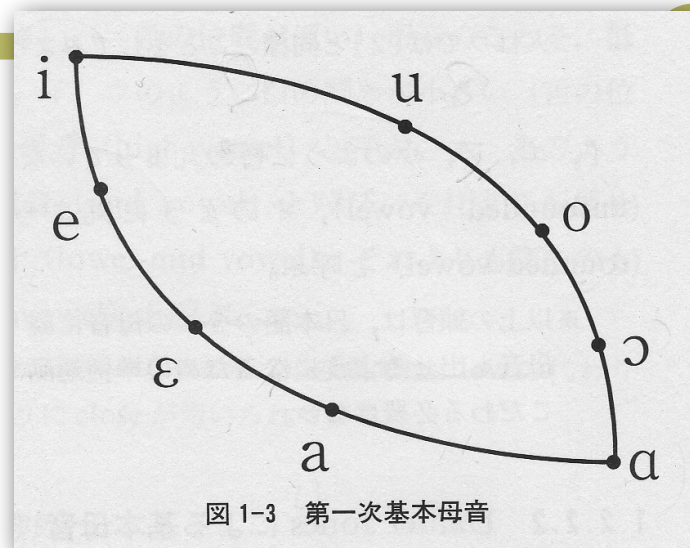
- 一般音声学が考える基本的な母音
  - ある言語の母音ではない。理論的 (人工的) に定義される母音
  - 舌の高低 / 舌の前後 / 唇の円唇性, の三要素により規定
  - 各言語 / 方言の母音を検討する際の, 基準・参照用となる母音
- 第一基本母音と第二基本母音
  - Primary cardinal vowels & Secondary cardinal vowels



# IPAが定める基本母音

## 第一次基本母音と第二次基本母音

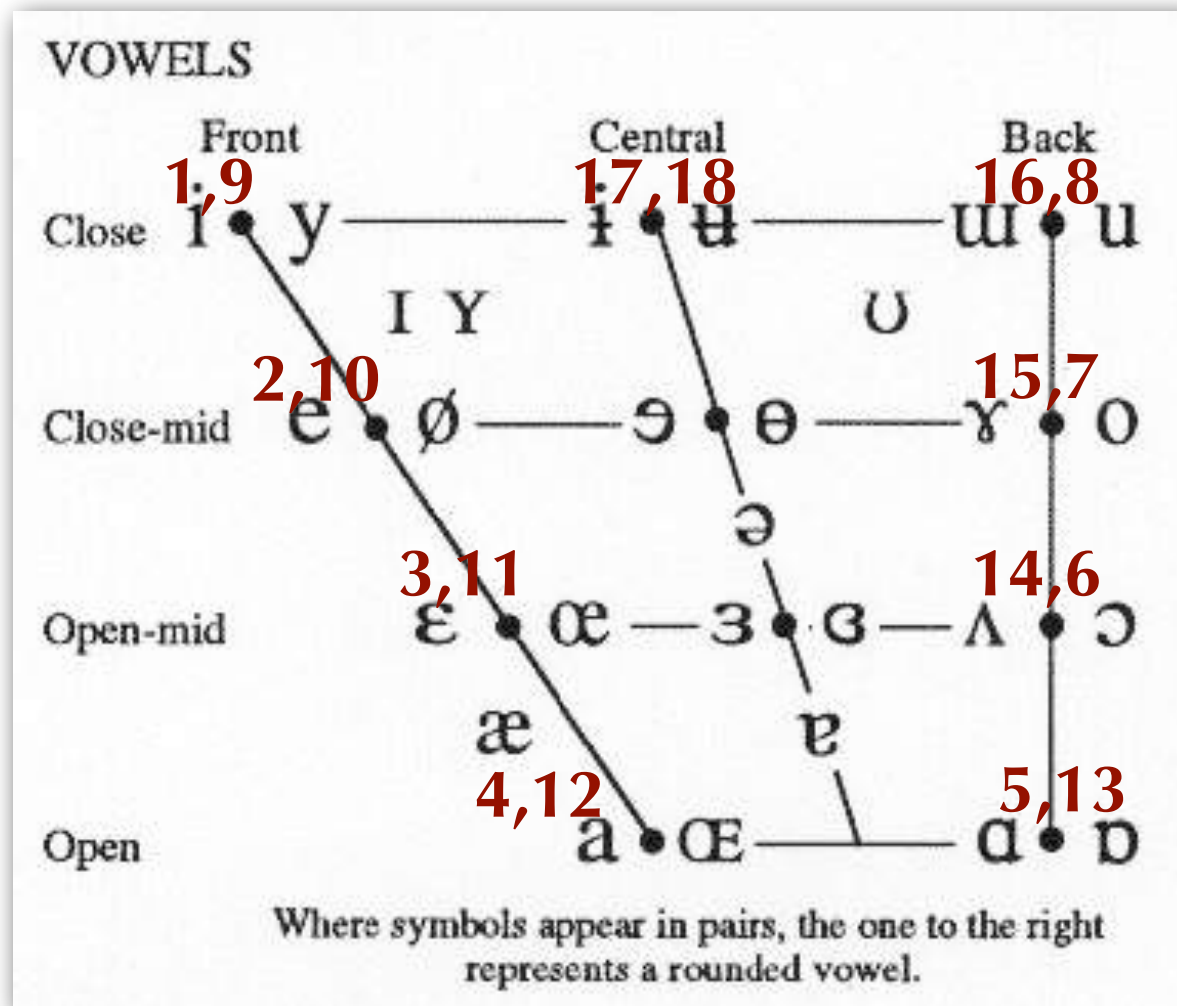
- front & high と back & low を等分割
- 円唇性を考慮して第一次と第二次へ
  - 正直、幾つかはかなり発音し難い？



# Daniel Jones' productions

## YouTube より

- The Cardinal Vowels with Daniel Jones
- <http://www.youtube.com/watch?v=6UIAe4p2I74>



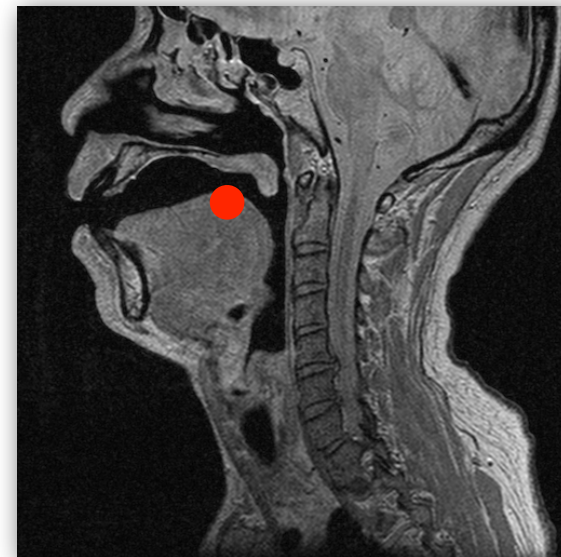
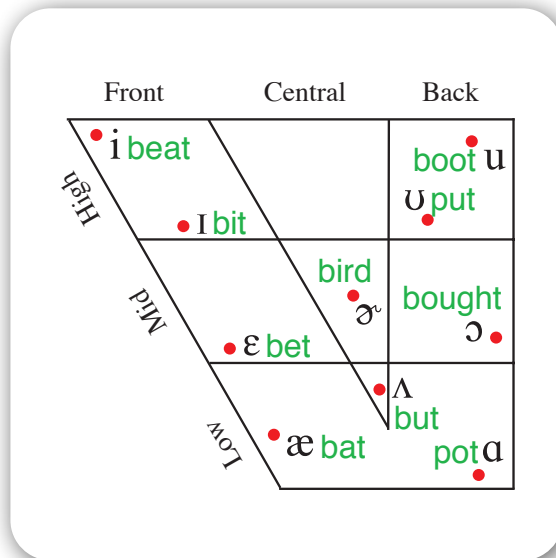
# 母音図に対するとある考察

## 母音図はどこまで「正確」なのか？

- 本来は声道（声の通り道）の隙間の形状が母音の音色を決定
- 「舌の一番上の点」だけで，隙間形状は表現できるのか？

## 英語母音図の比較（by 五十嵐康男）

- その実際の姿はどうなっているのか？
- <http://www.seijo.ac.jp/graduate/gslit/orig/journal/english/pdf/seng-37-01.pdf>

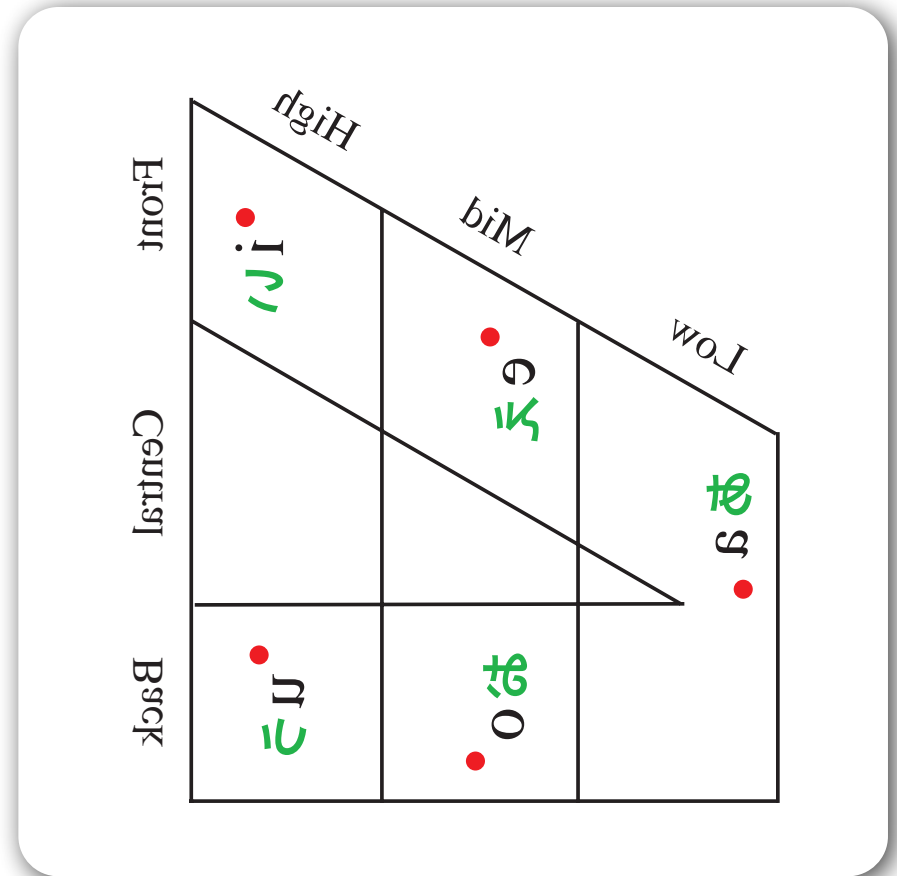
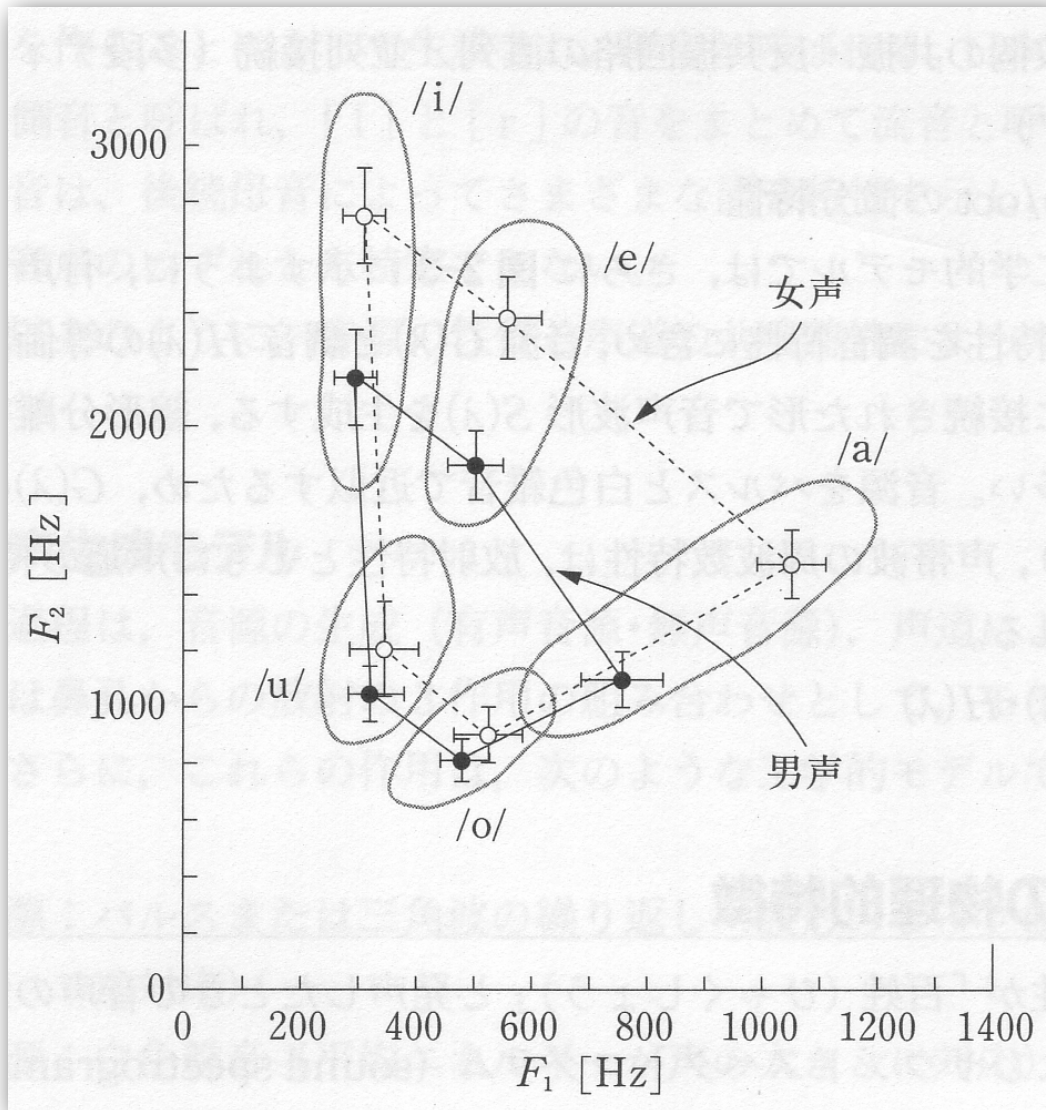


# 母音の違いと話者の違い



「母音の違い」も「話者の違い」も共振周波数の違い

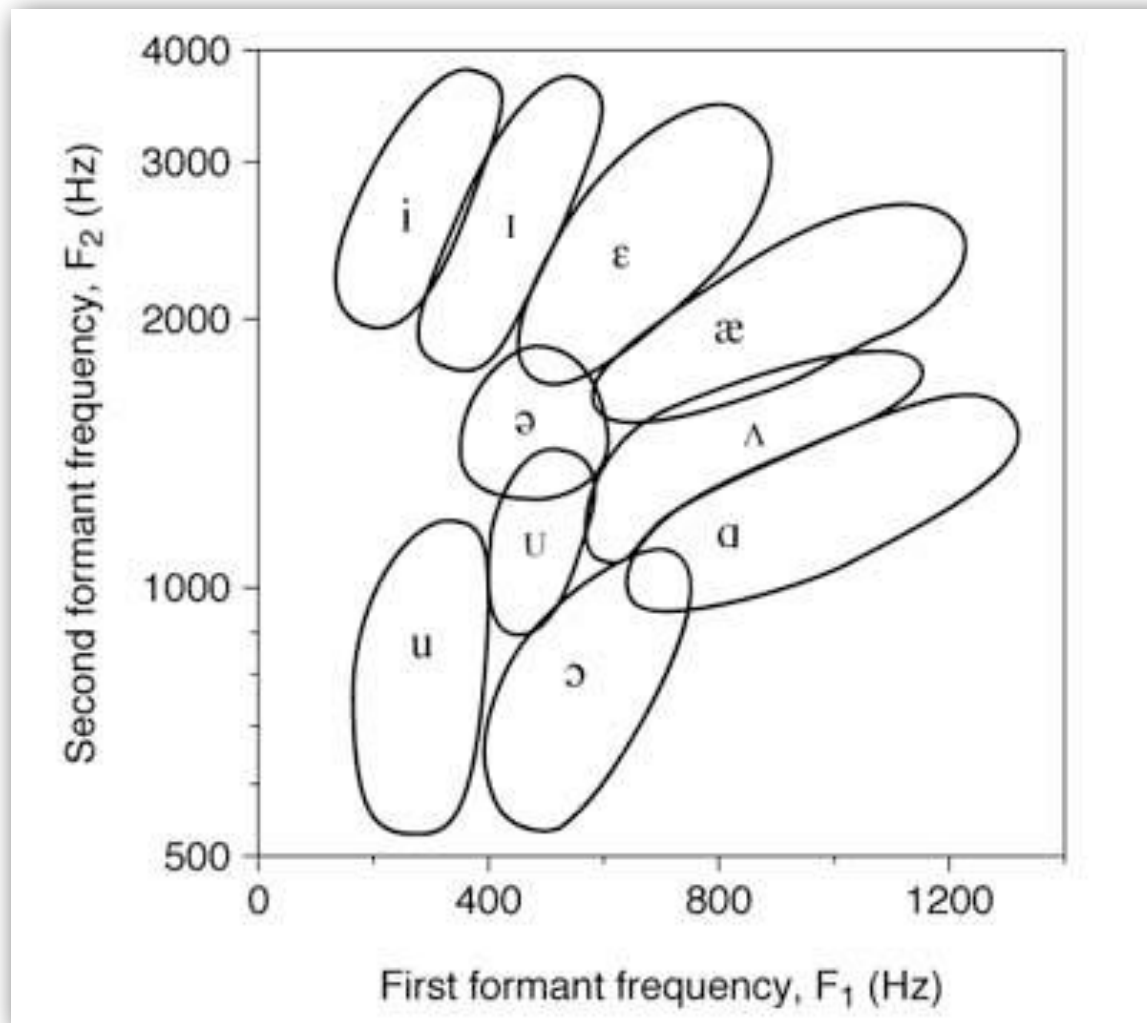
● 日本語 5 母音の第一・第二フォルマント周波数



# F1 / F2-based vowel chart

## F1 / F2 と母音の対応

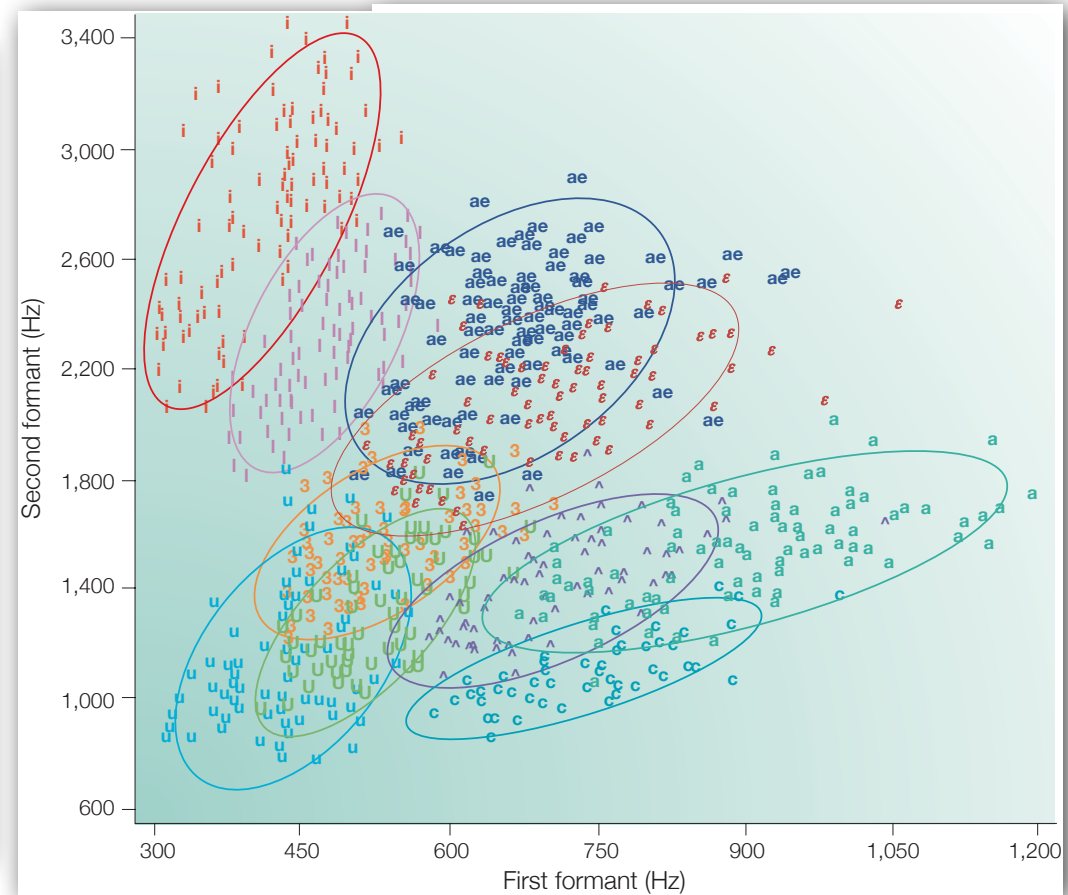
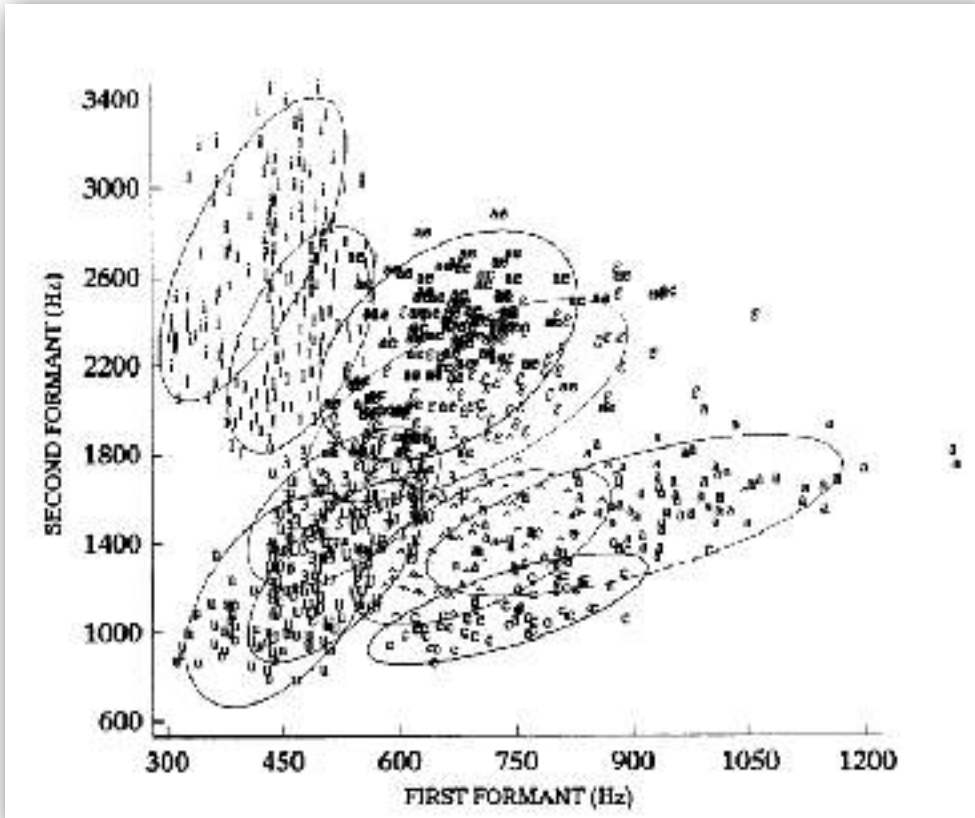
- <http://www.ncvs.org/ncvs/tutorials/voiceprod/tutorial/filter.html>



# F1 / F2-based vowel chart

## F1 / F2 と母音の対応

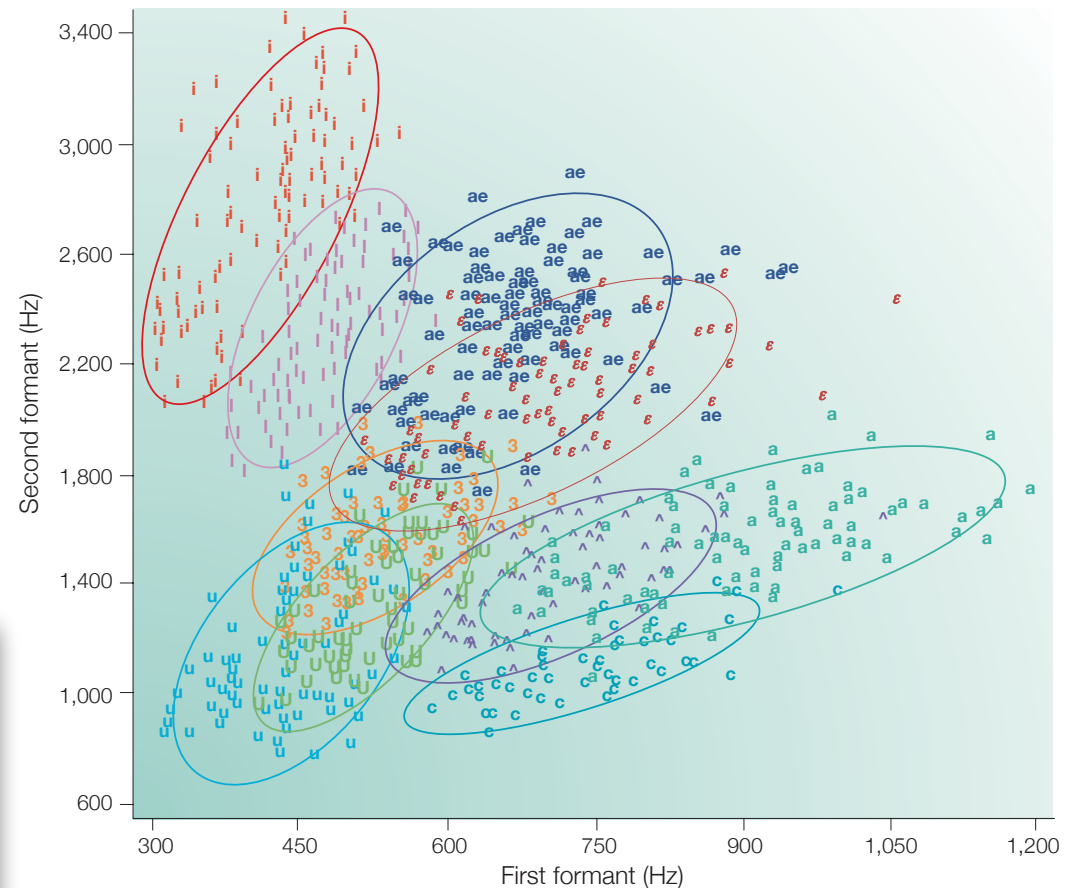
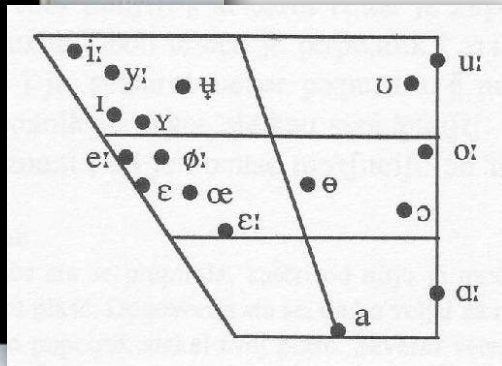
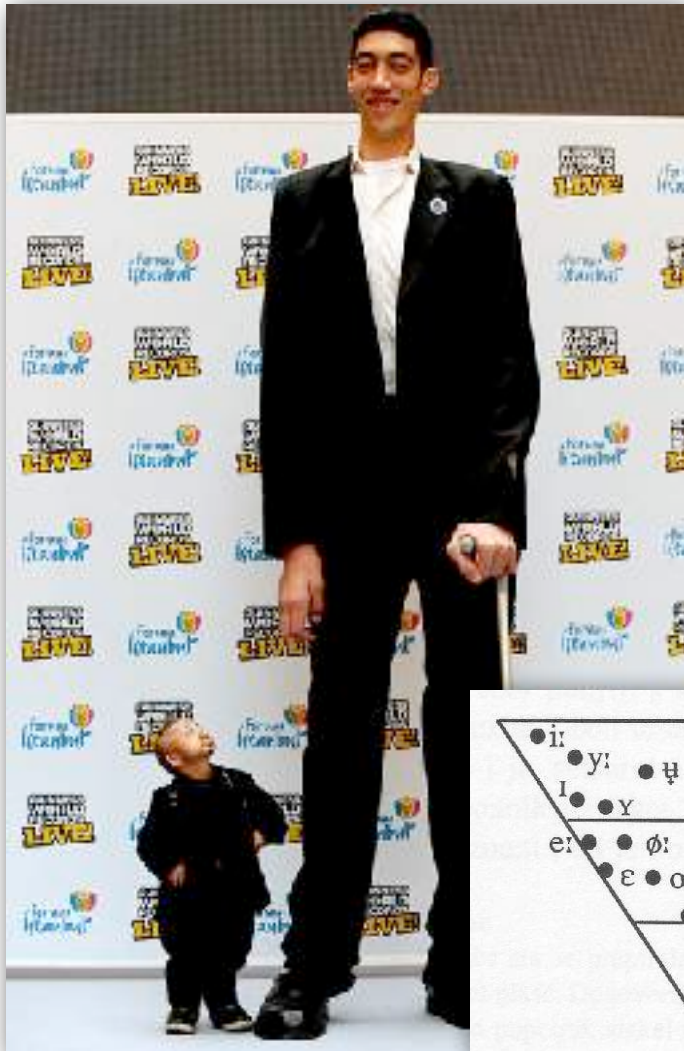
<http://www.ling.upenn.edu/courses/cogs501/Hillenbrand.html>



# F1 / F2-based vowel chart

## F1 / F2 と母音の対応

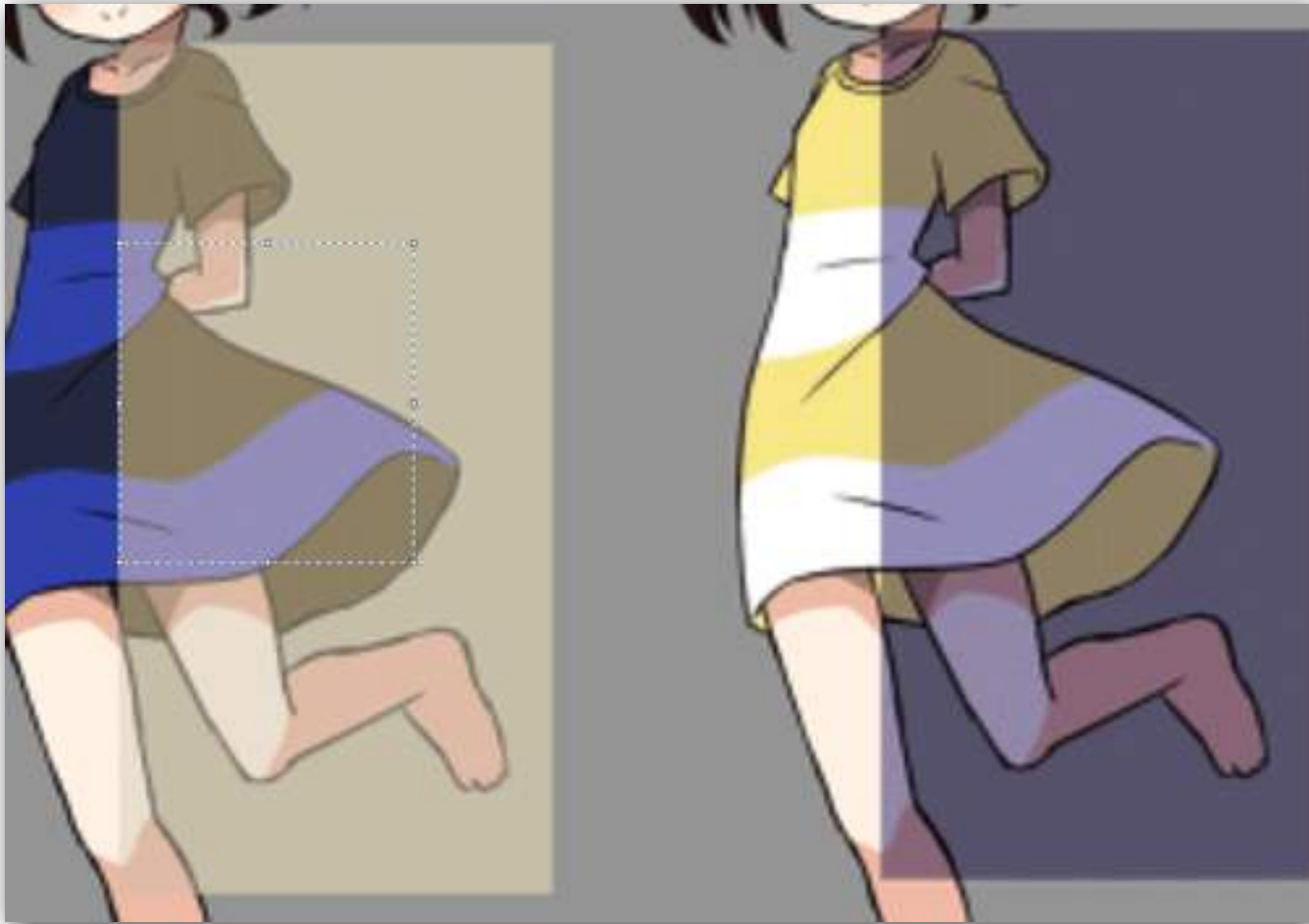
<http://www.ling.upenn.edu/courses/cogs501/Hillenbrand.html>



# 刺激そのものを知覚しているのではない？

音声（母音）の知覚ってこれと似ている？

[http://wx4.sinaimg.cn/  
mw690/8245bf01ly1ff9a6aqx7sg20dw09rdp4.gif](http://wx4.sinaimg.cn/mw690/8245bf01ly1ff9a6aqx7sg20dw09rdp4.gif)

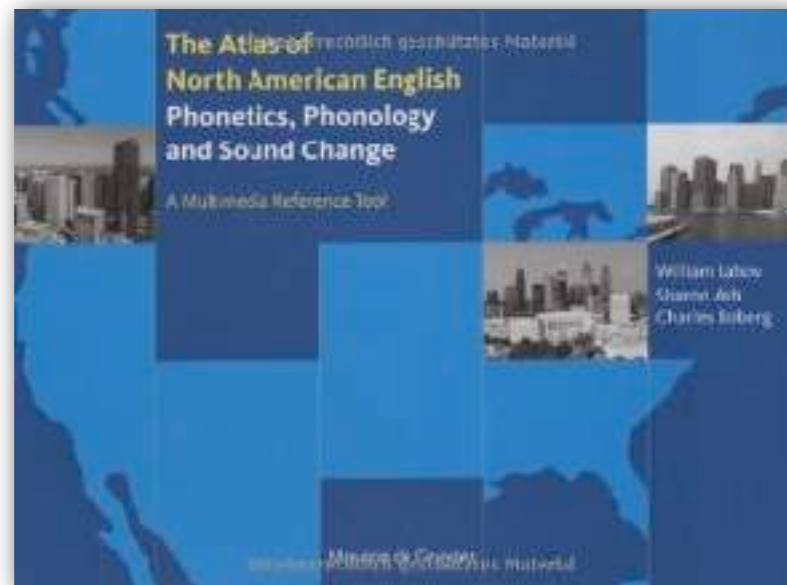
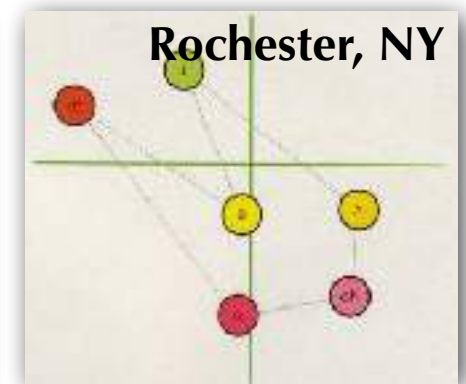
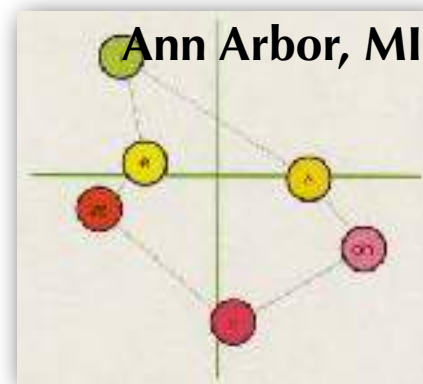
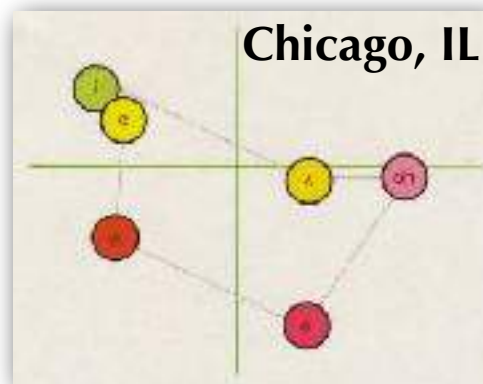
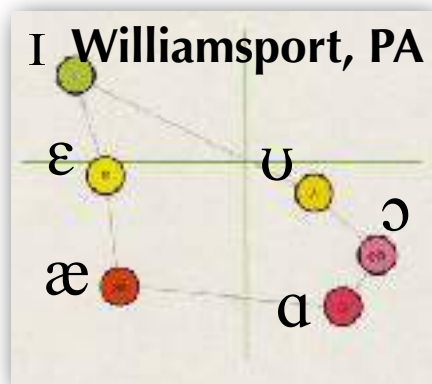




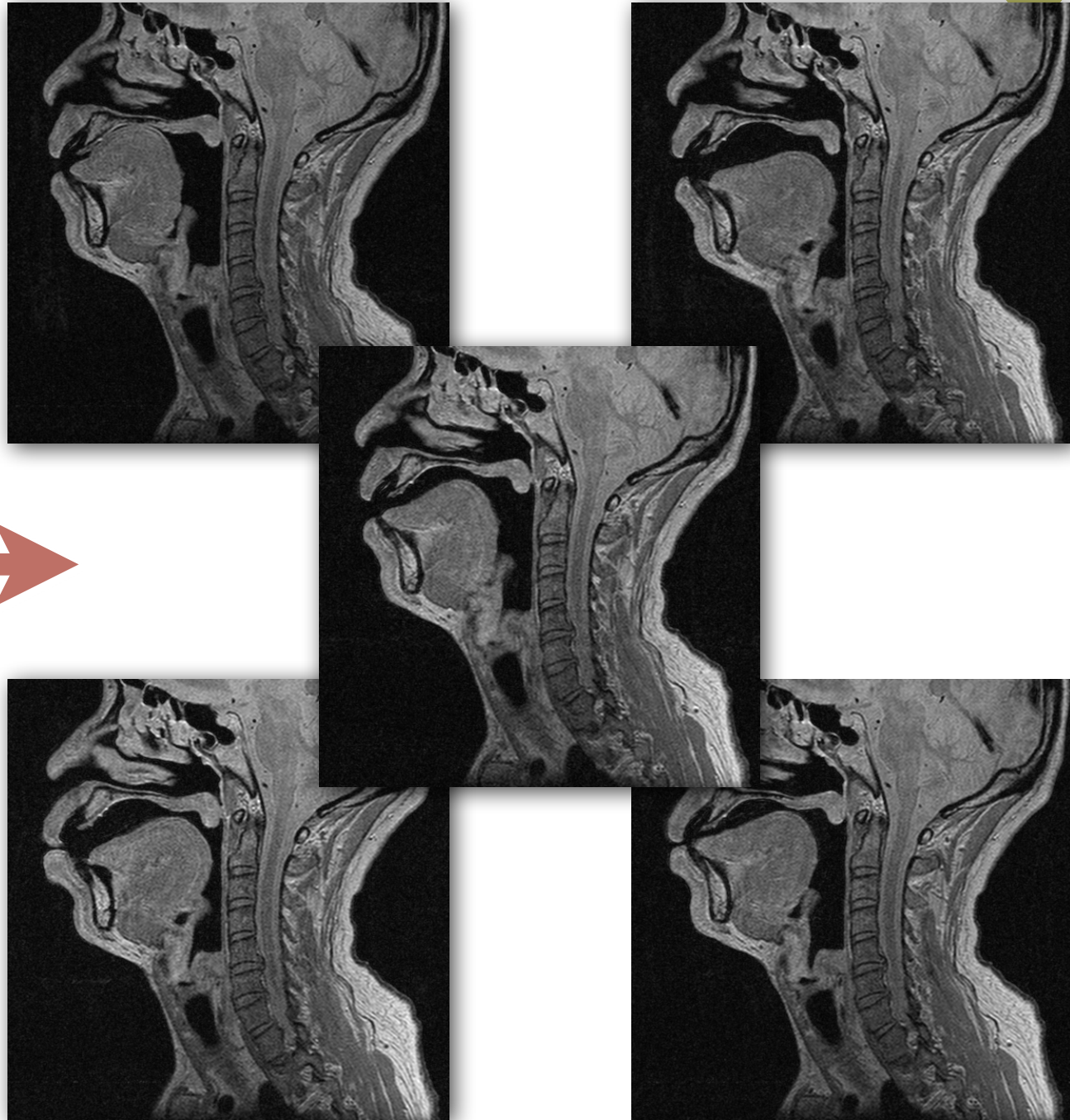
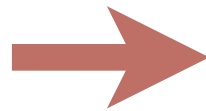
# F1 / F2-based vowel chart

## 方言による母音分布の違い

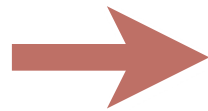
- Atlas of North American English
- 声道長を正規化 (17cm) にしてプロット



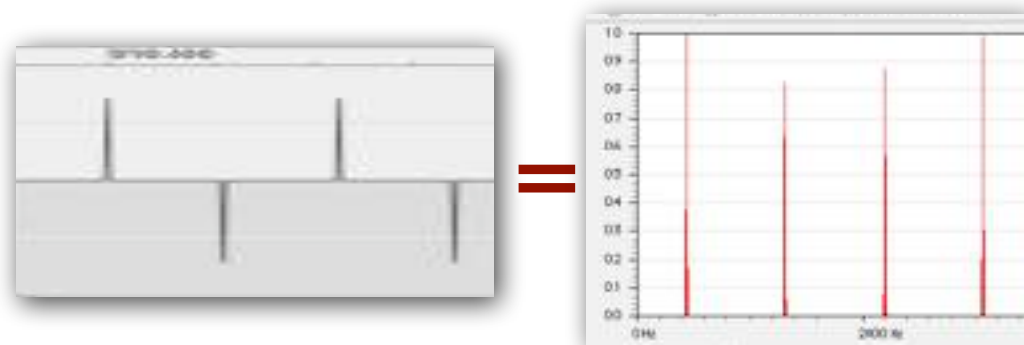
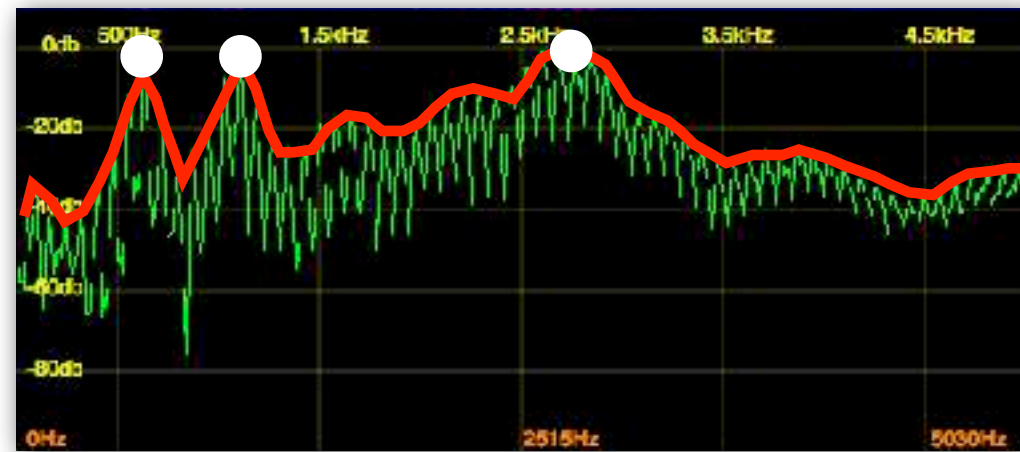
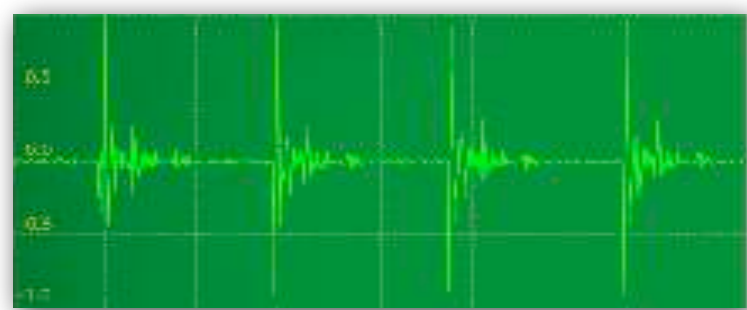
# 声帯音源 + 声道 = ブザー + 管



# 声帯音源 + 声道 = ブザー + 管



ブザー (パルス列) → 管 → 「あ〜」



エネルギー配分に偏りが生じる  
 この様子が管形状によって異なる  
 エネルギーの局所的集中 = 共鳴

# 音源波形ってどんな形？

声帯が震えることで生じるブザーのような音



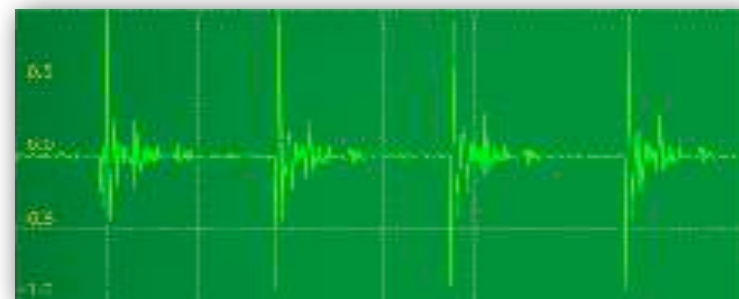
=



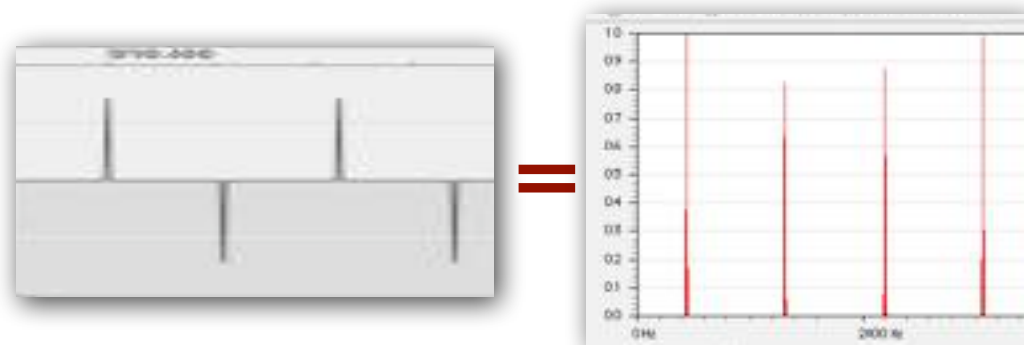
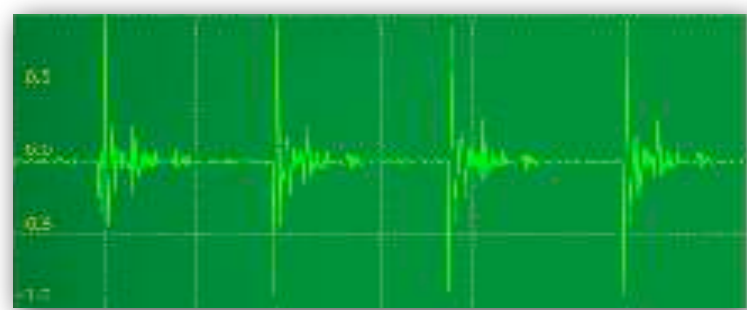
||



=



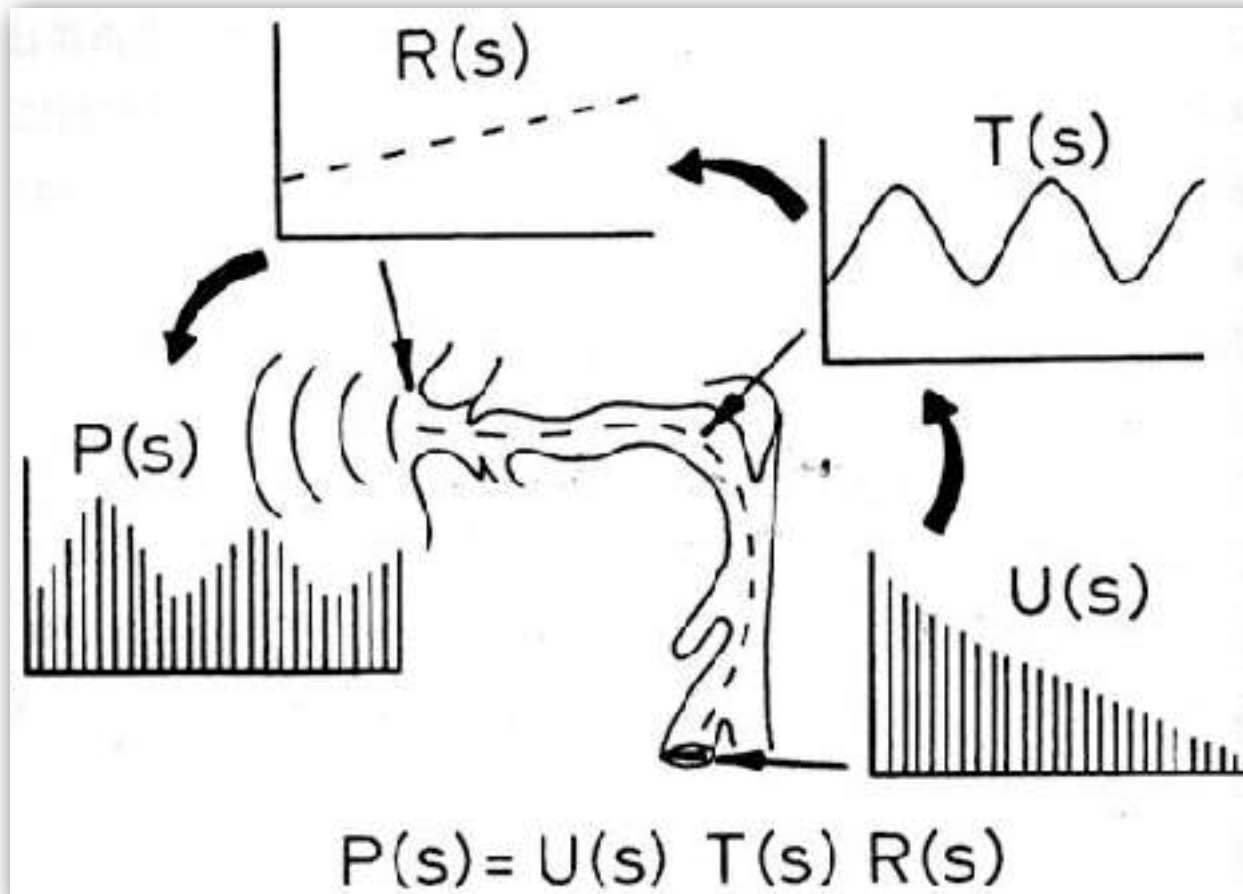
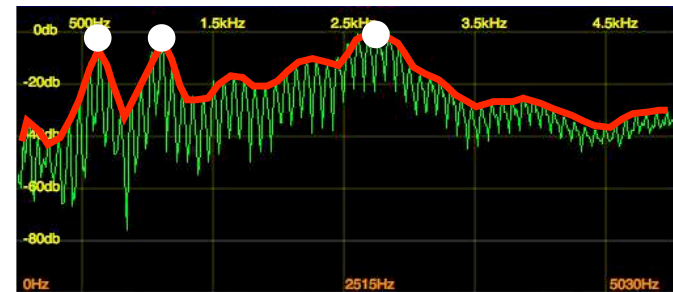
ブザー (パルス列) → 管 → 「あ〜」



エネルギー配分に偏りが生じる  
 この様子が管形状によって異なる  
 エネルギーの局所的集中 = 共鳴

# 本当の音声生成

実は「フラットな分布 → デコボコの分布」ではない



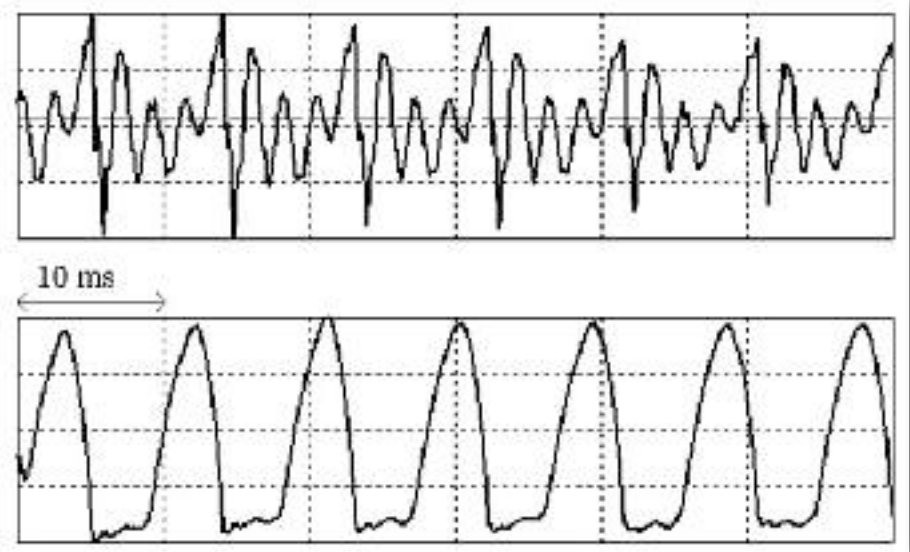
$$P(s) = U(s)T(s)R(s)$$

$$|P(s)| = |U(s)||T(s)||R(s)|$$

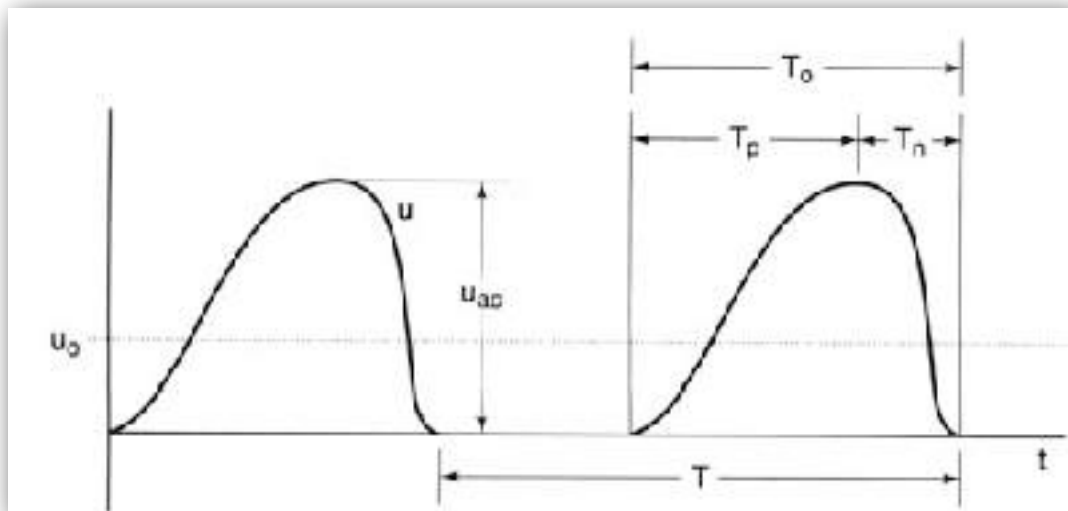
$$\log |P(s)| = \log |U(s)| + \log |T(s)| + \log |R(s)|$$

# 本当の音源波形

## 測定された音源波形



## 音源波形を記述する各種パラメータ



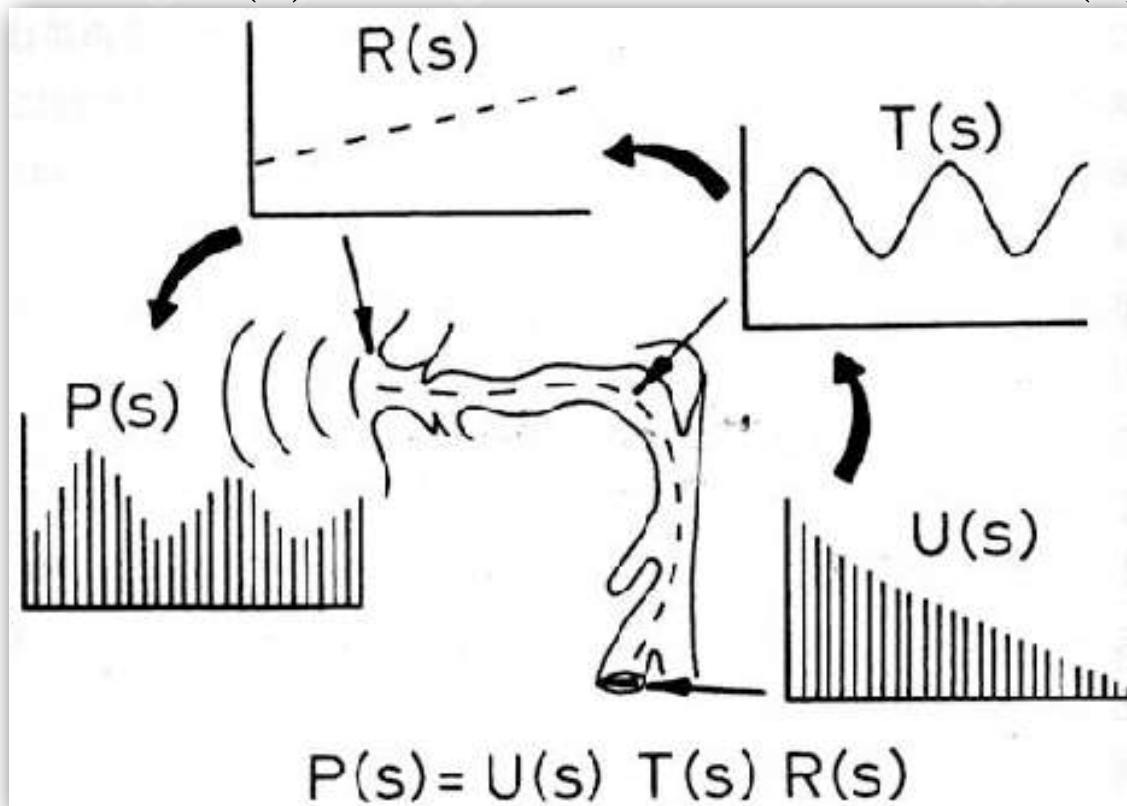
<http://www.ncvs.org/ncvs/tutorials/voiceprod/tutorial/graphing.html>



# 何故ウソをつくのか？

ウソ・・・ではない。

- しばしば数式を恒等的にいじっただけ。
- $|P(s)| = |U(s)||T(s)||R(s)| \rightarrow |P(s)| = \alpha|U(s)/\alpha||T(s)||R(s)|$
- $\log |P(s)| = \log \alpha + \log(|U(s)/\alpha||T(s)||R(s)|) = \log G(s) + \log V(s)$
- $\log G(s) = \log \alpha = \text{const.} \quad \log V(s) = \log |U(s)T(s)R(s)| - \log \alpha$

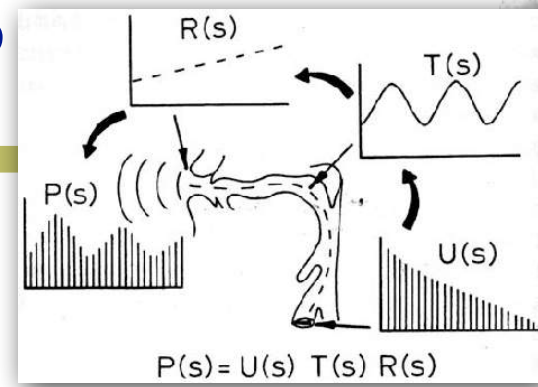


$$P(s) = U(s)T(s)R(s)$$

$$|P(s)| = |U(s)||T(s)||R(s)|$$

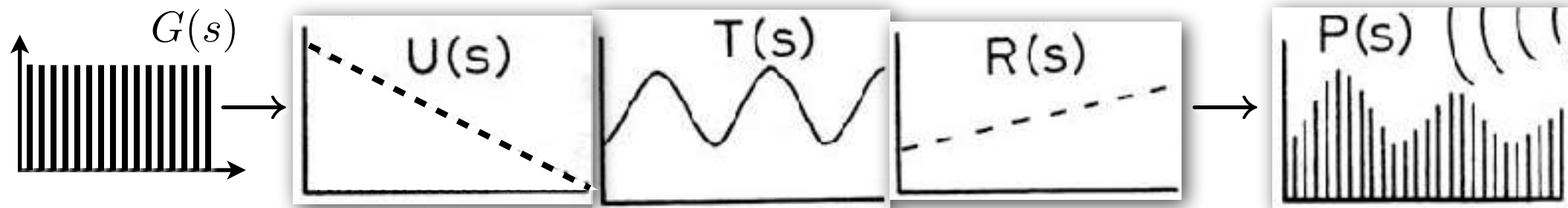
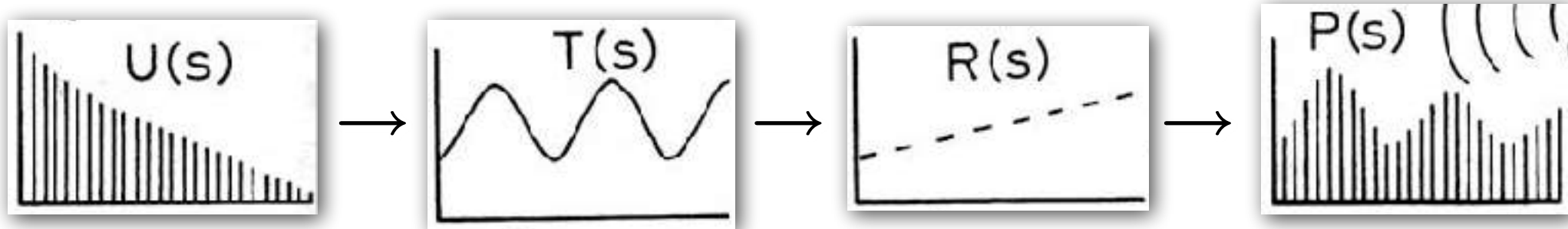
$$\begin{aligned} \log |P(s)| &= \log |U(s)| + \\ &\log |T(s)| + \\ &\log |R(s)| \end{aligned}$$

# 何故ウソをつくのか？

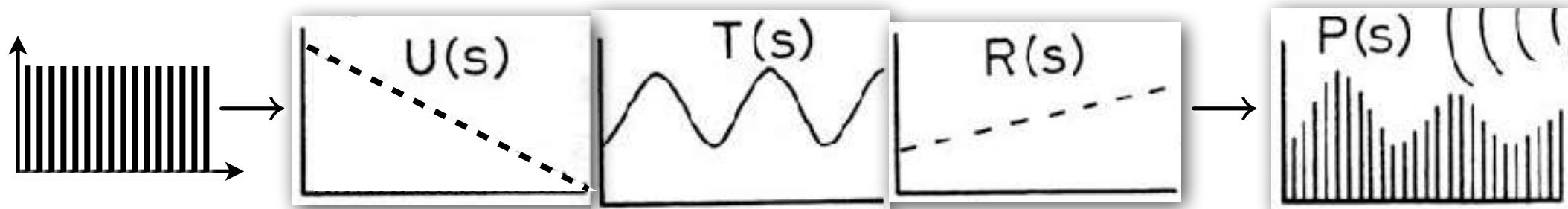
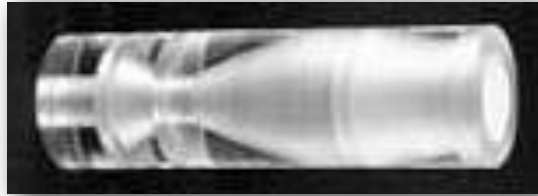
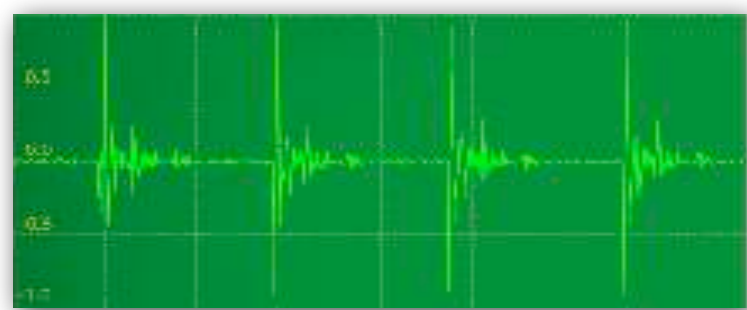


ウソ・・・ではない。

- しばしば数式を恒等的にいじっただけ。
- $|P(s)| = |U(s)||T(s)||R(s)| \rightarrow |P(s)| = \alpha|U(s)/\alpha||T(s)||R(s)|$
- $\log |P(s)| = \log \alpha + \log(|U(s)/\alpha||T(s)||R(s)|) = \log G(s) + \log V(s)$
- $\log G(s) = \log \alpha = \text{const.} \quad \log V(s) = \log |U(s)T(s)R(s)| - \log \alpha$



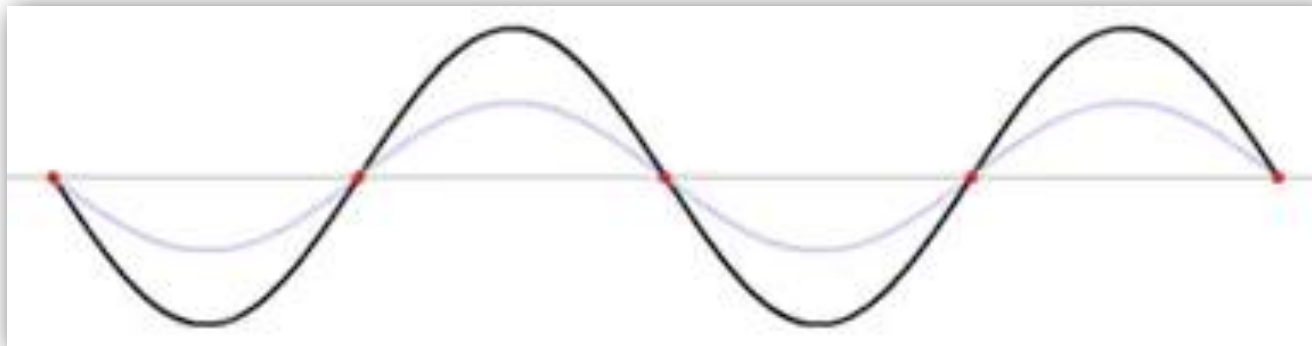
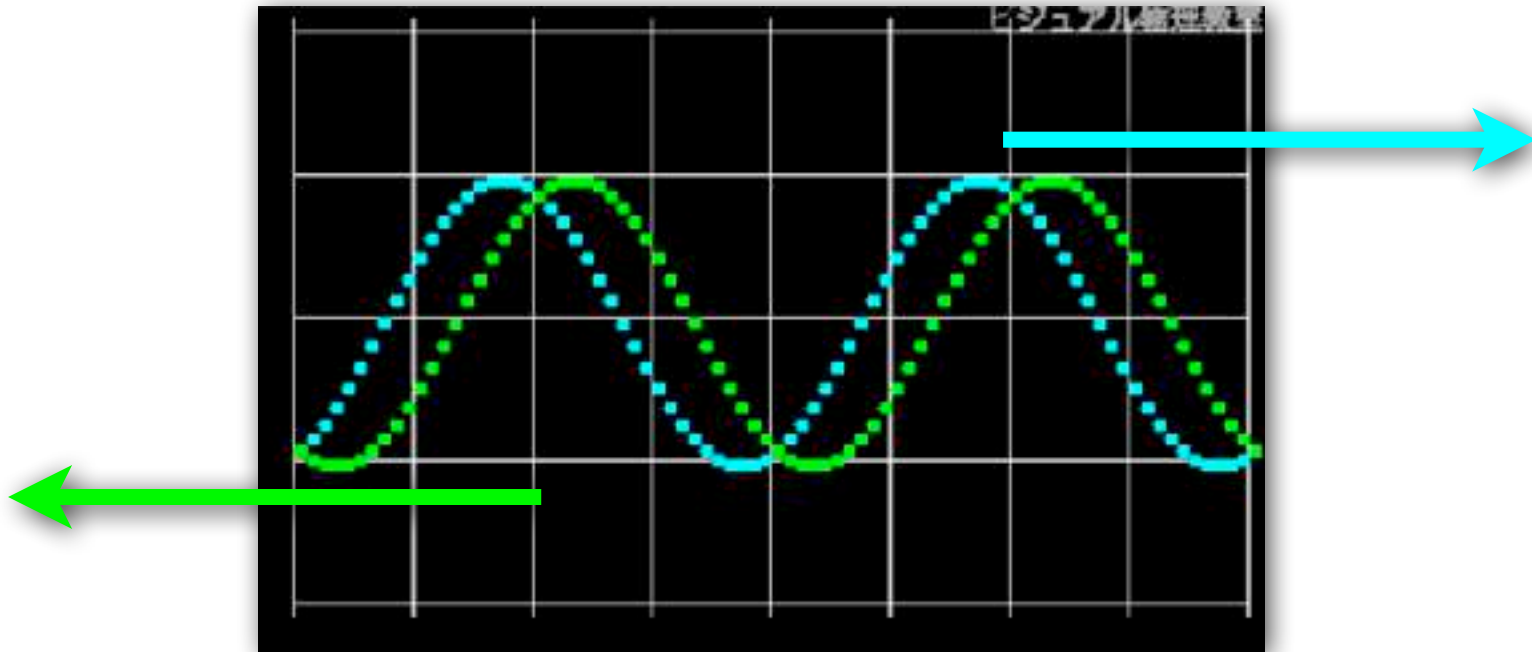
ブザー (パルス列) → 管 → 「あ〜」



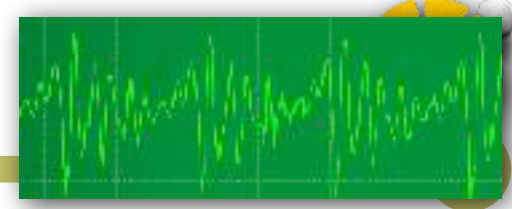
# 共振・共鳴現象と定常波・定在波

進行波と後退波（反射波）が重なると・・・

● <http://www.ne.jp/asahi/tokyo/nkgw/gakusyu/gakusyuu.html>



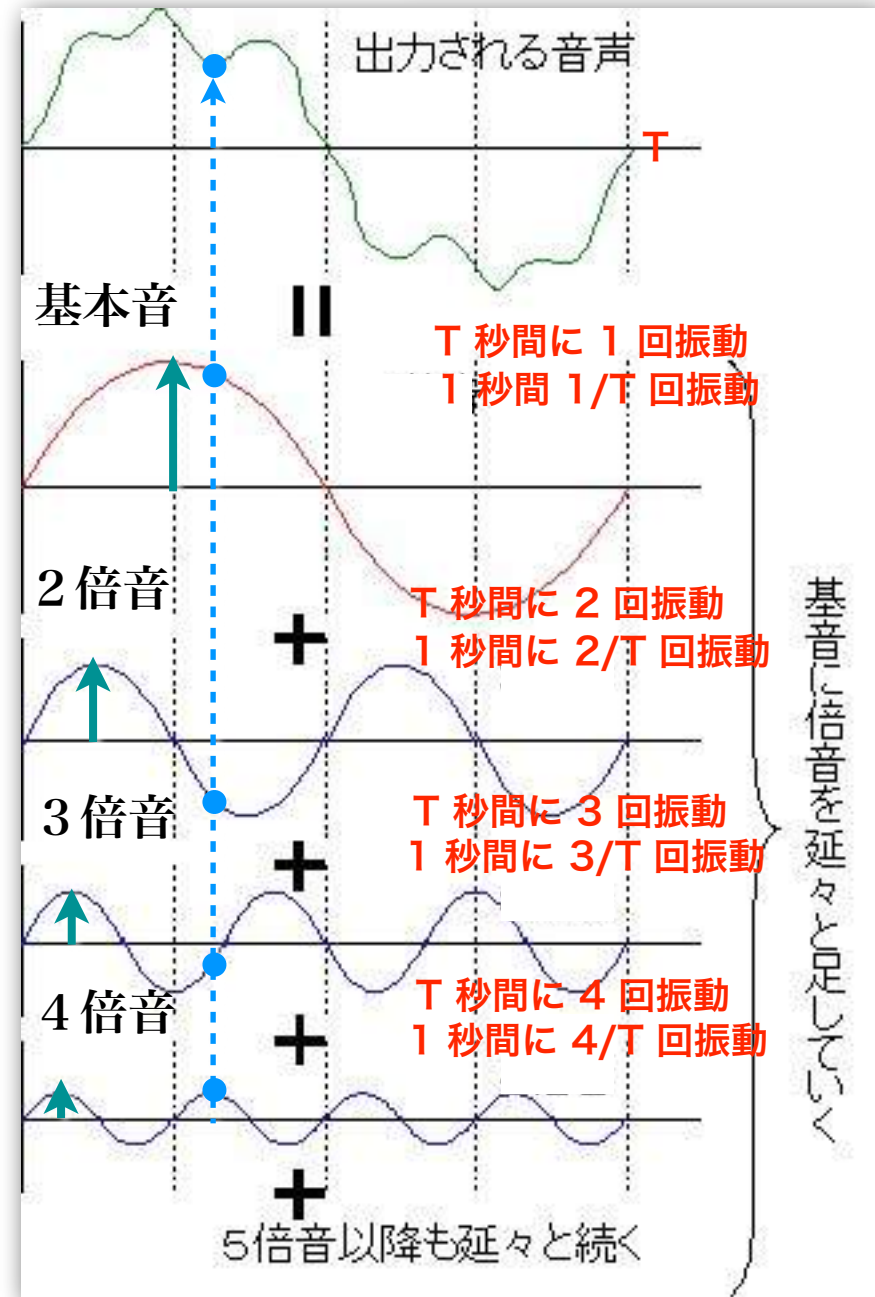
# 波形を分解する!!



## 基本音とその倍音の足合わせ

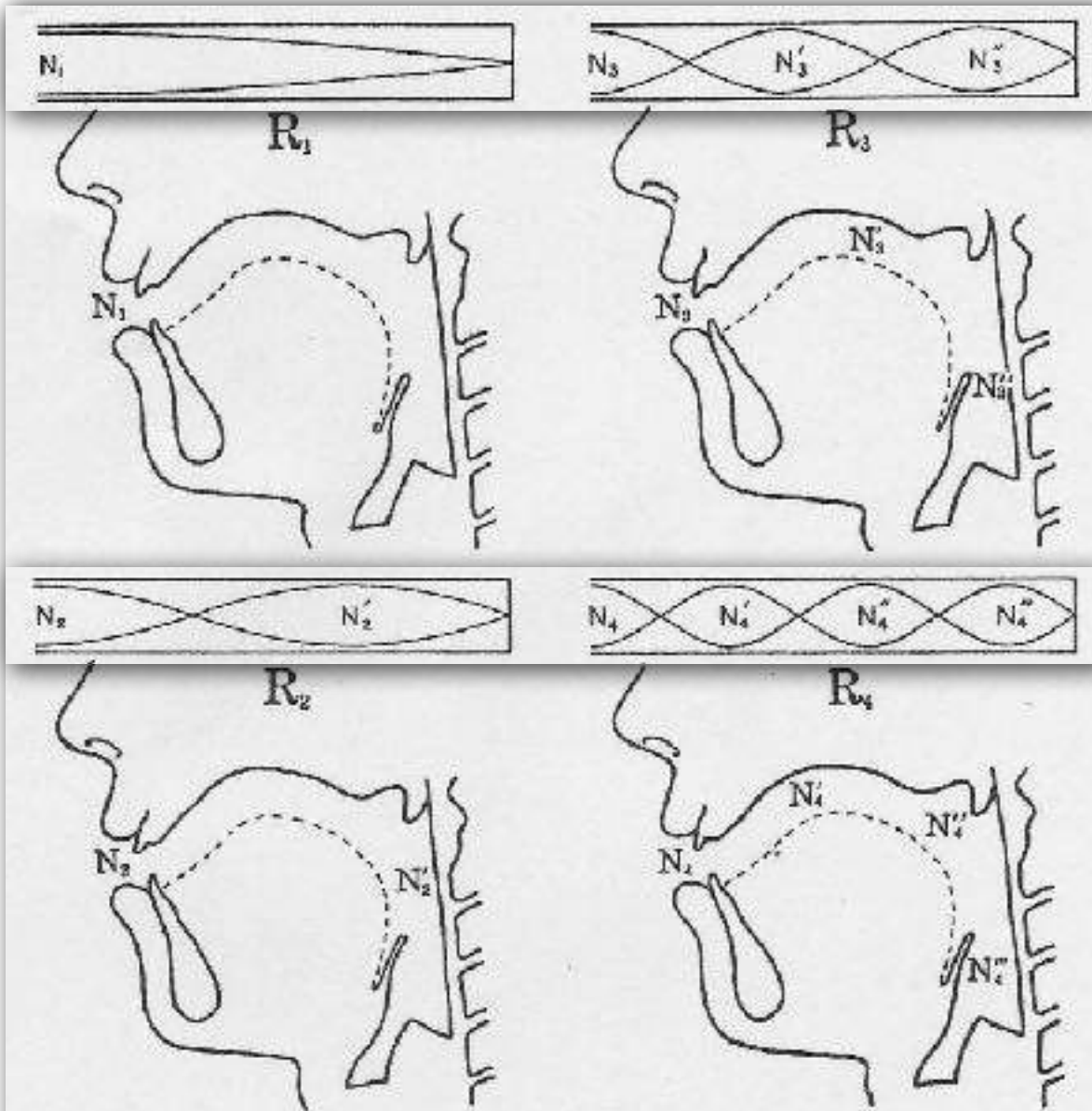
- 波 = 基本音 + 2倍音 + 3倍音 + ...
- n倍音：n倍の周波数のサイン波形
- 周波数：振動回数 / 秒 [Hz]
- 波 = これらを適切な強さにして足しあわせた結果
- どの周波数のサイン波は強く、どの周波数のサイン波は弱いのか？
- 横軸を周波数、縦軸を強度としてグラフを書く → **スペクトル**
- 通知表だってスペクトル!?

1/T [Hz]



基本音「倍音」を延々と続ける

母音は波，でも，ちょっと特殊な波



## 定常波

## 共振周波数

$$F_n = \frac{c}{4l} (2n + 1)$$

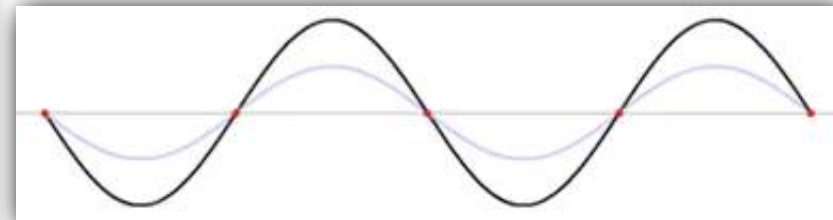


図 93 断面積が均一の音響管または声道における体積流の最大点の分布

# ビデオ教材

## 定常波の秘密（日本語版）

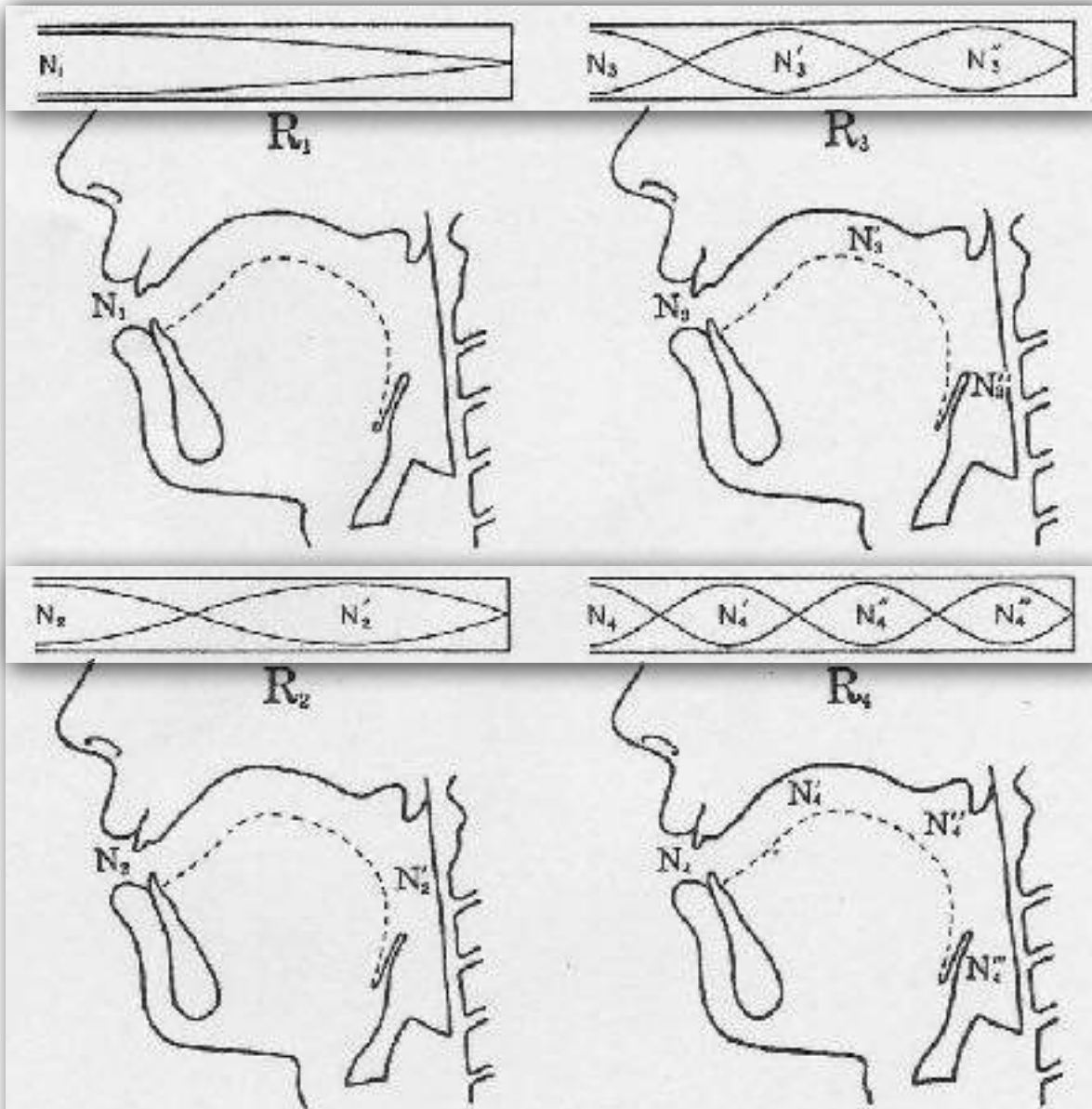
- 監修：大槻義彦（早稲田大学理工学部教授）  
小牧研一郎（東京大学大学院総合文化研究科教授）
- 丸善出版株式会社
- 素晴らしいサイエンスの世界（15）
  - 定常波とは、上下に振動するだけで波形が進行しない波、つまりエネルギーを運ばない波です。楽器の奏でる音色は、全て定常波によるものなのです。また、定常波は形のあるものならどんなものにも発生する現象です。定常波とはどういうものか、楽器（グラドニー図形）やビルの模型、さらには不思議な「漢代魚洗鍋」の実験などを通して具体的に解説します。原子中の電子波動の定常波にもふれます。
  - <http://pub.maruzen.co.jp/videosoft/shop/1122870.html>

# ビデオ教材





母音は波，でも，ちょっと特殊な波



定常波

フォルマント

$$F_n = \frac{c}{4l} (2n + 1)$$

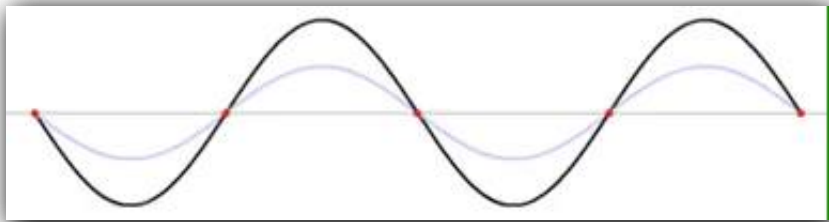
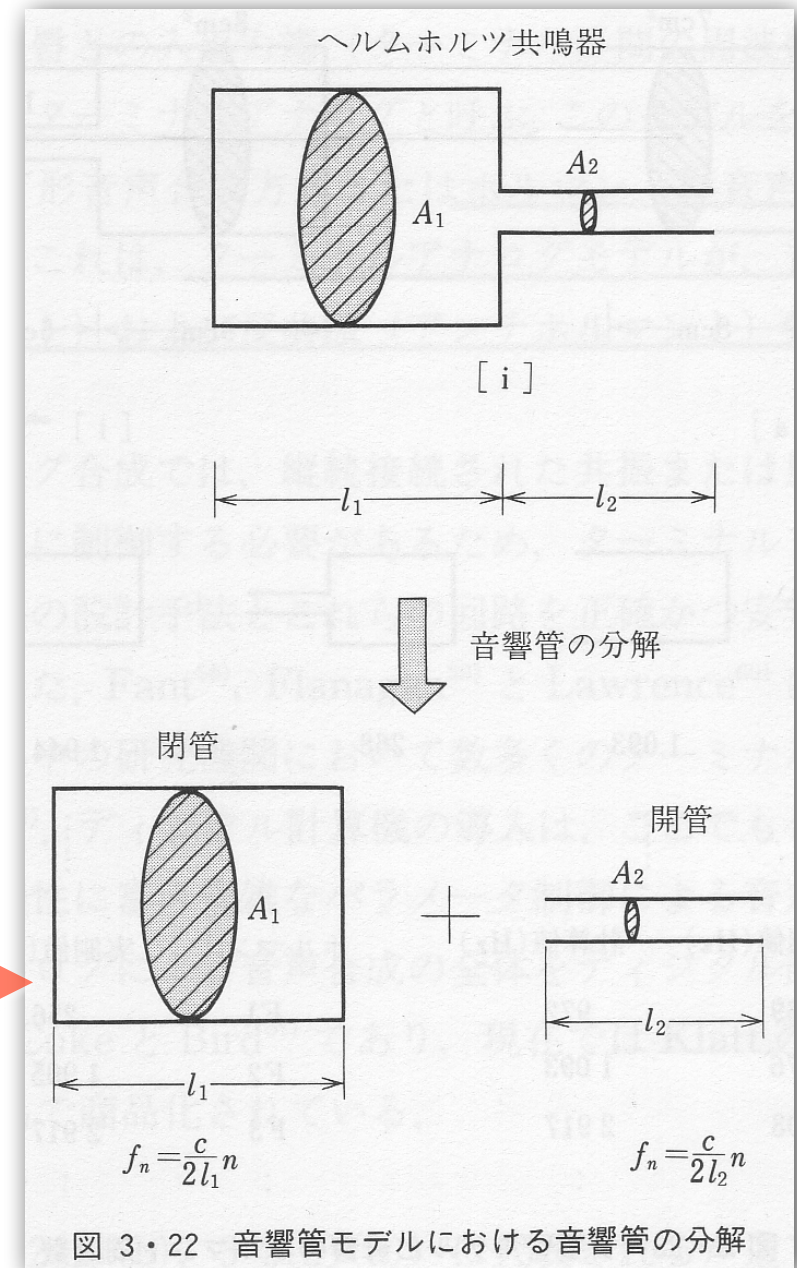
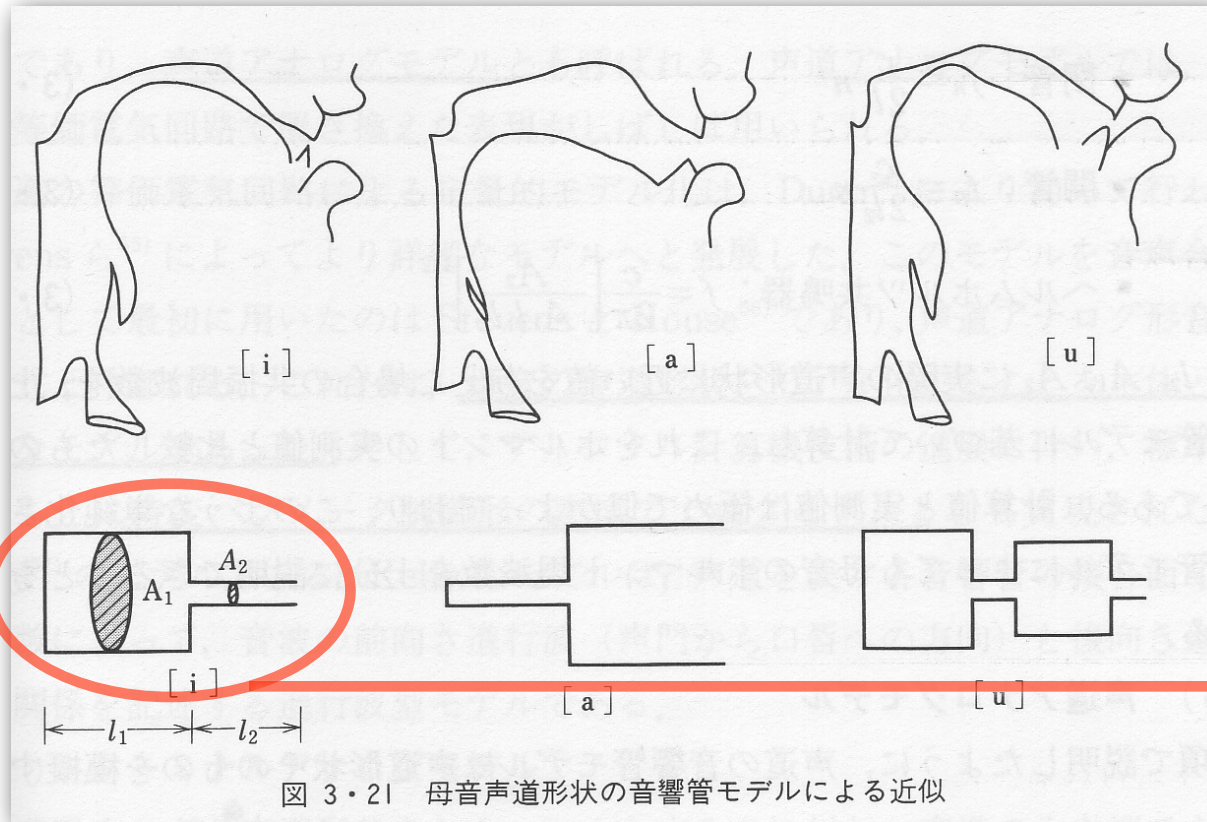


図 93 断面積が均一の音響管または声道における体積流の最大点の分布

## 管の形状が共鳴の様子を決める

- 音声の共振（共鳴）周波数を求めて
- = フォルマント周波数



$$f_n = \frac{c}{2l_1}n \quad f_n = \frac{c}{2l_2}n \quad f = \frac{c}{2\pi} \left[ \frac{A_2}{A_1 l_1 l_2} \right]^{1/2}$$

# 告知 ～音響音声学の社会貢献～

東京大学五月祭にて研究室公開を行ないます。

- 大学院入試説明会@**5/19 (金)**
- 東京大学五月祭@**5/20, 21 (土, 日)**
- このうち、**5/19, 5/21** で研究室公開を行なう予定です。
  - 5/19 (金) 恐らく15時～17時
  - 5/21 (日) 恐らく10時～16時
- デモンストレーション例
  - 日本語韻律読み上げチュータ
  - 英語シャドーイング自動評価
  - 世界諸英語の発音自動分類
  - 英語聴解能力向上のため音声変形
  - 音声からの調音運動推定
  - 音声からの女声度推定
  - 音声からの顔形状推定



峯松・齋藤研究室

東大本郷キャンパス工学部2号館10階