

音声の音響分析の「いろは」

～初めて音声波形を見る方へ～

峯松 信明@東大

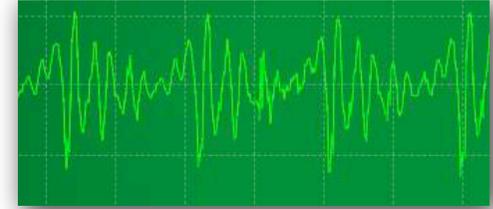
日本音声学会音声学普及委員会





① 三種類の音声学

● 調音音声学 + 音響音声学 + 聴覚音声学



● まずは調音音声学の「いろは」

● 母音の生成と分類 / 子音の生成と分類 / 見て確認する調音活動

● 次に音響音声学の「いろは」

● 空気の粒の振動現象としての音を持つ四つの要素

● 音声波形の中に見る音声の「高さ」と「音色」

● スペクトルの中に見る音声の「高さ」と「音色」

● 様々な音声（波形 / スペクトル）に見る「高さ」と「音色」

● 調音音声学・音響音声学・聴覚音声学の接点

● 面白い耳テスト

● 管が短くなるとどんな音になる？

● この音は、どんな管形状変形によって作られた？

音声学 (phonetics) とは？

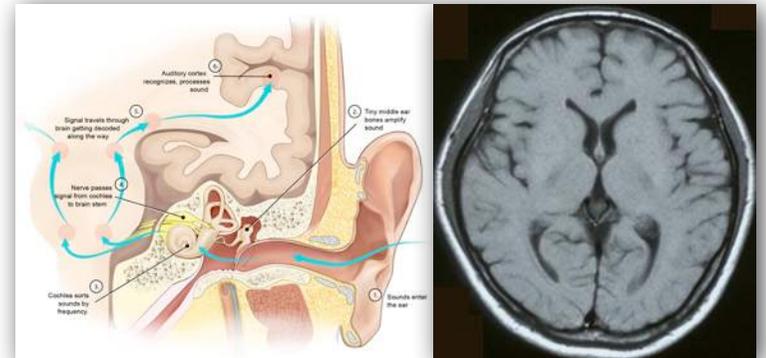
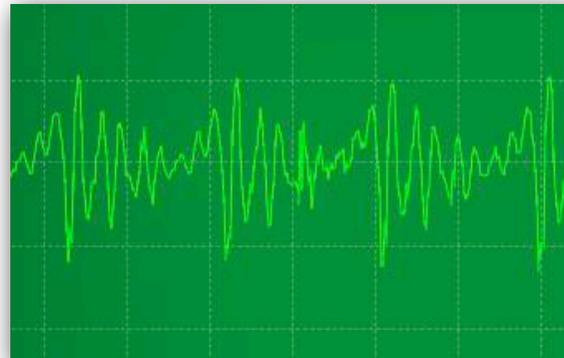
音声は人間の発声器官により発せられる音で，これを言語伝達のために用いるとき言語音声と言う。音声学は言語音声を記述する科学である。音声による言語の伝達には三つの局面がある・・・

(出典：世界大百科事典第二版)

三種類の音声学

● **調音 (構音)** 音声学 + **音響**音声学 + **聴覚**音声学

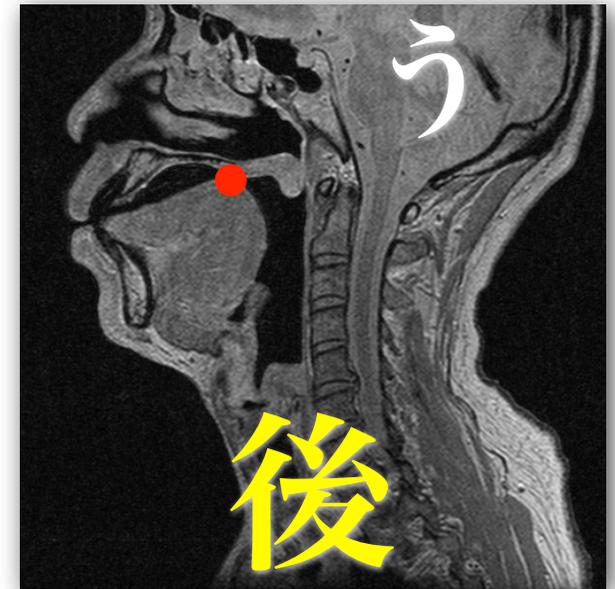
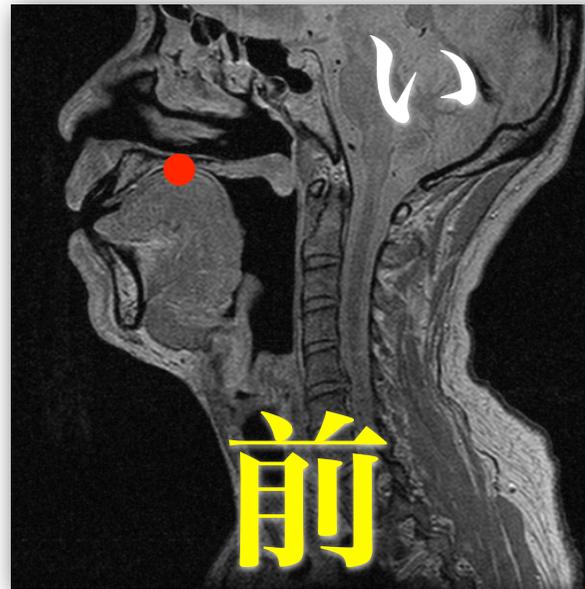
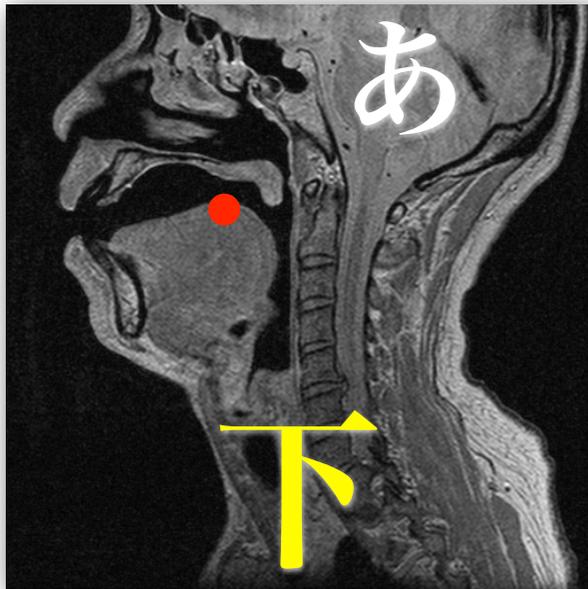
- 「口の中」「音の中」「耳(脳)の中」のいずれを見るのか？
- この順で観測の難易度も上がってくる。



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？



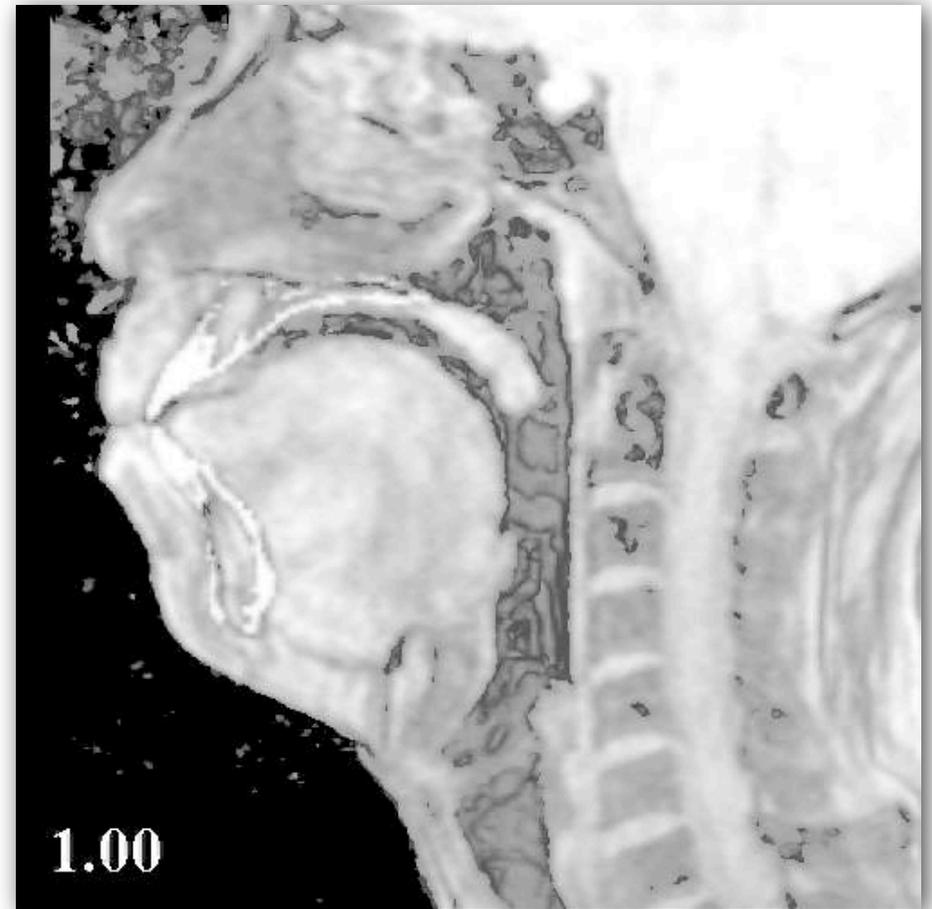
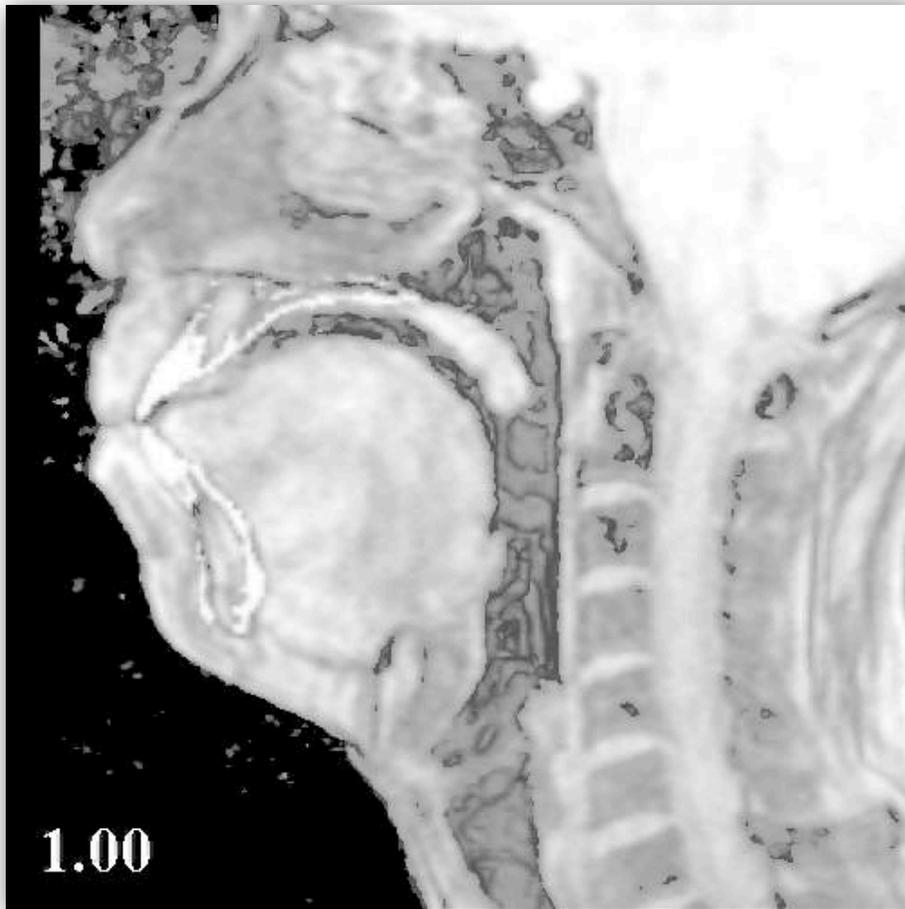
(提供：ATR人間情報科学研究所)

- 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**

「母音の違い」 = 「口の構えの違い」

● ちょっと違った角度からこの等式の意味を考えてみよう。



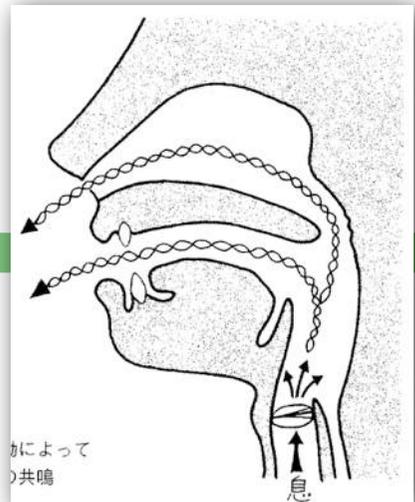
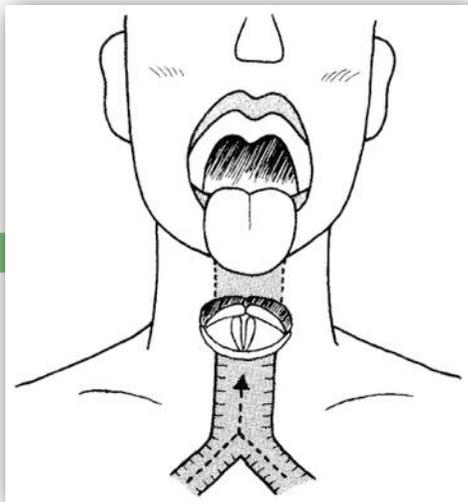
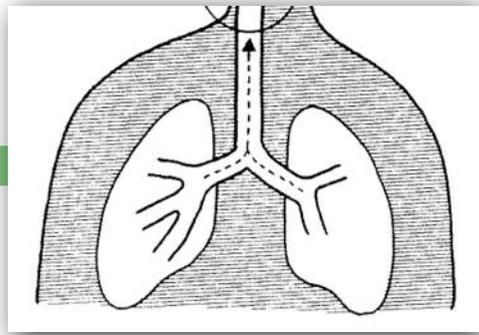
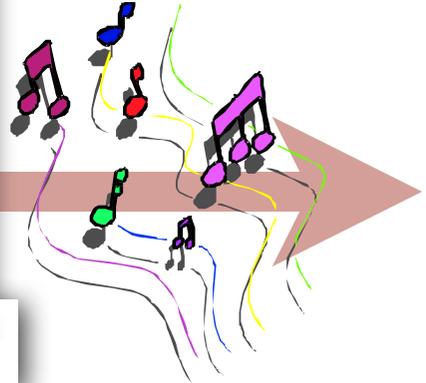
(提供：ATR人間情報科学研究所)

● 「口の構えの違い」 → 「口の中のすき間の形状の違い」

お口は楽器， 色んな音を奏でます



息 → ブー → 色んな形の管 → 色んな音色



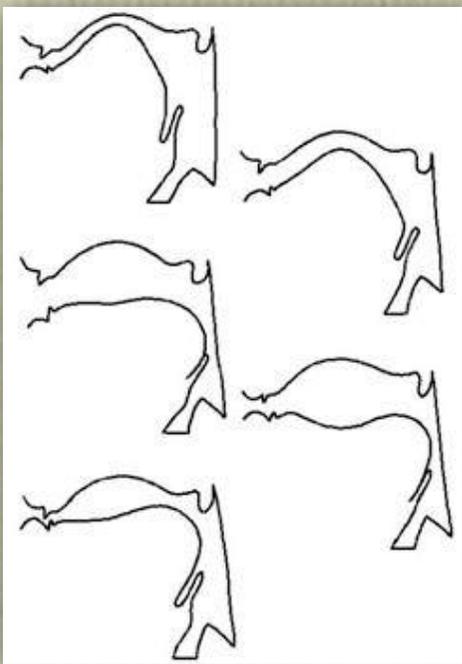
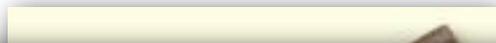
i u
e o
a

管の形の違い = 出てくる音の音色の違い

お口は楽器， 色んな音を奏でます



息 → ブー → 色んな形の管 → 色んな音色



曲げ延ばし
はOK

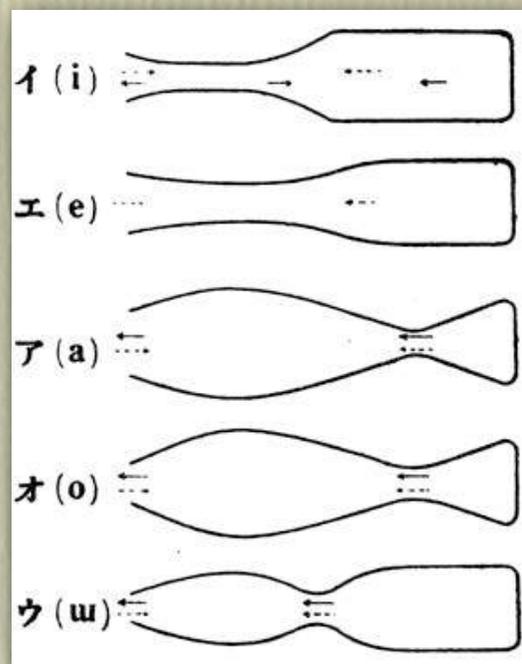


図 6-1 [u] 構音時の声道の円筒管近似

(出典：I. R. Titze 「音声生成の科学」)

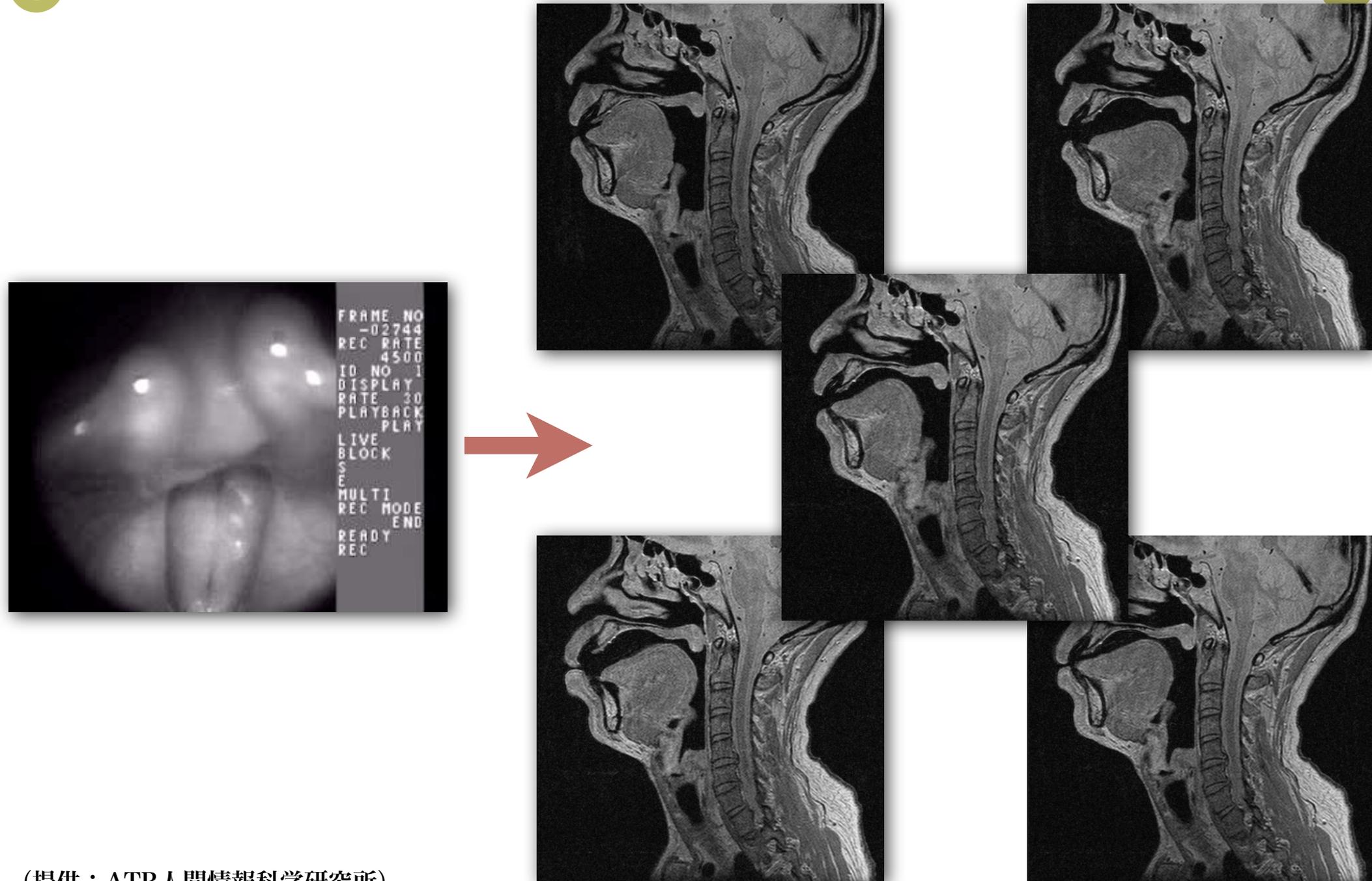


a

でも我々の楽器はグニャグニャ形が変わる

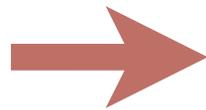
(出典：萩野&後野「発声のメカニズム」音楽之友社)

声帯音源 + 声道 = ブザー + 管



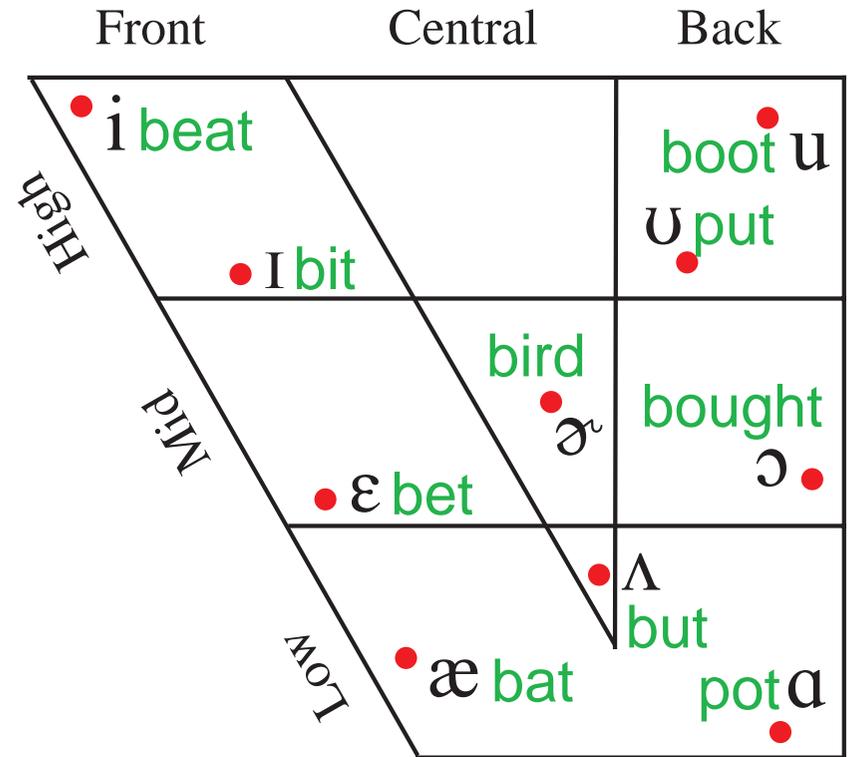
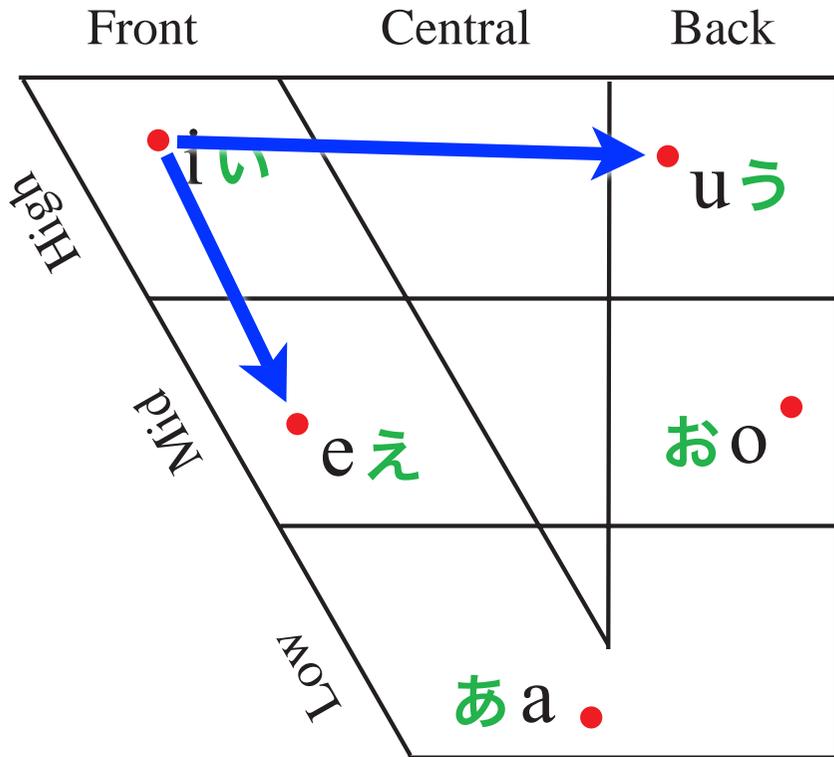
```
FRAME NO  
-02744  
REC RATE  
4500  
ID NO 1  
DISPLAY 1  
RATE 30  
PLAYBACK  
PLAY  
LIVE  
BLOCK  
S  
MULTI  
REC MODE  
END  
READY  
REC
```

声帯音源 + 声道 = ブザー + 管





あ=下, い=前, う=後



5

2倍 + 1

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)	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	j	ɰ			
側面接近音				ɻ		ɻ	ʎ	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。

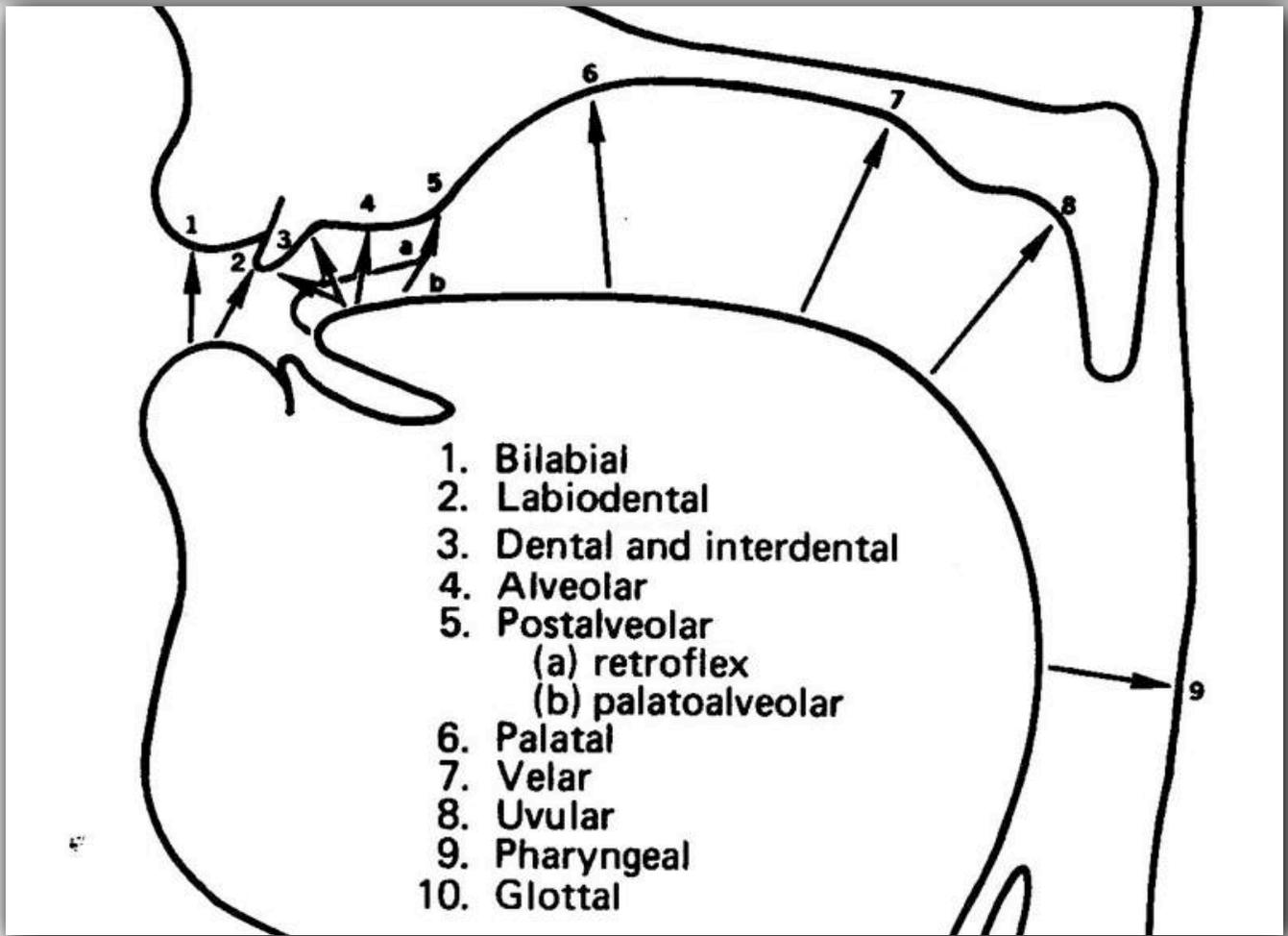
生成が困難な調音位置，調音様式の組み合わせとなっている場合は網かけしている。

摩擦音の調音位置, 区別できますか?

唇から口, そして喉の奥へ

1 2 3 4 5 5(a) 6 7 8 9

CONSONANTS (PULMONIC)											
	Bilabial	Labiodental	Dental	Alveolar	Postalveolar	Retroflex	Palatal	Velar	Uvular	Pharyngeal	Glottal
<u>Fricative</u>	ɸ	βf	vθ	ðs	zʃ	ʒʂ	çx	ɣχ	ħ	ʕh	ɦ



摩擦音とふるえ音を聞いてみる



The International Phonetic Alphabet - Audio Illustrations

http://web.uvic.ca/ling/resources/ipa/charts/IPAlab/IPAlab.htm

IS2010 ▾ アップル (10) ▾ 新聞 ▾ 学会 ▾ 会合 ▾ 組織 ▾ 便利 ▾ 趣味 ▾ MAC ▾ ニュース (3798) ▾ PC ▾ .Mac 柏井当 >>

CONSONANTS (PULMONIC)

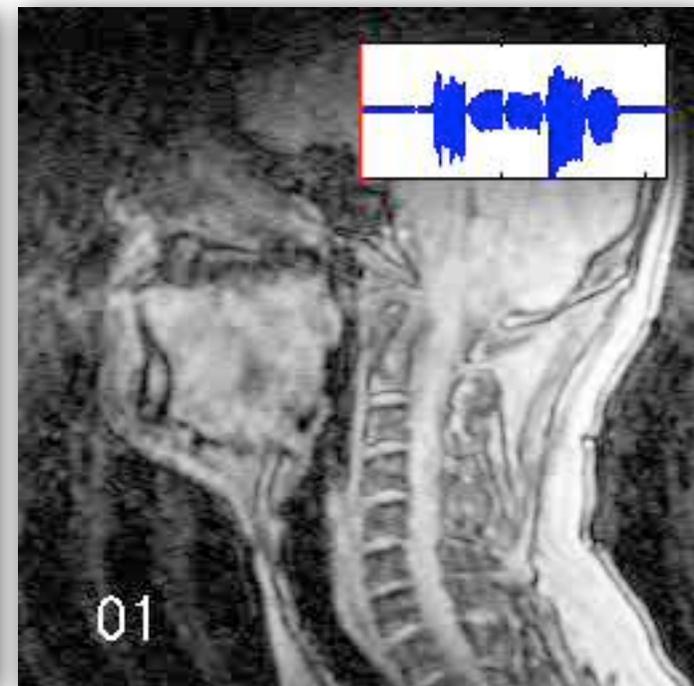
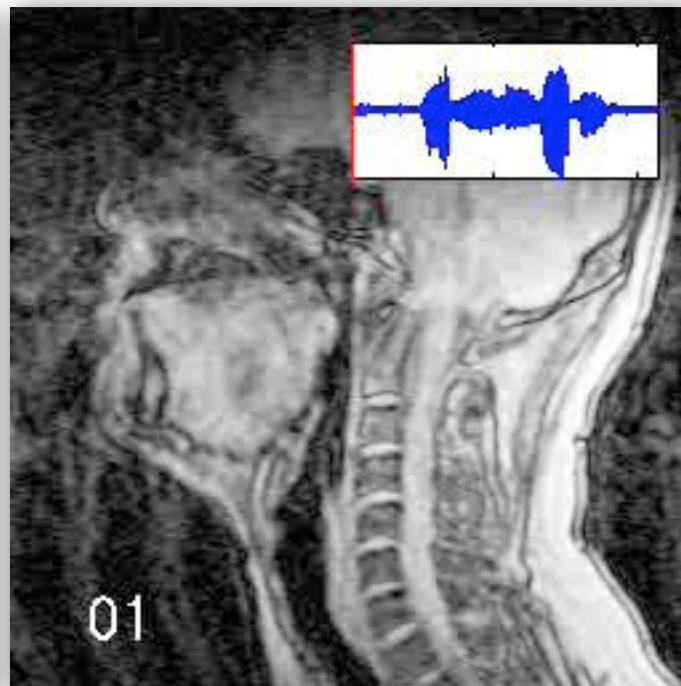
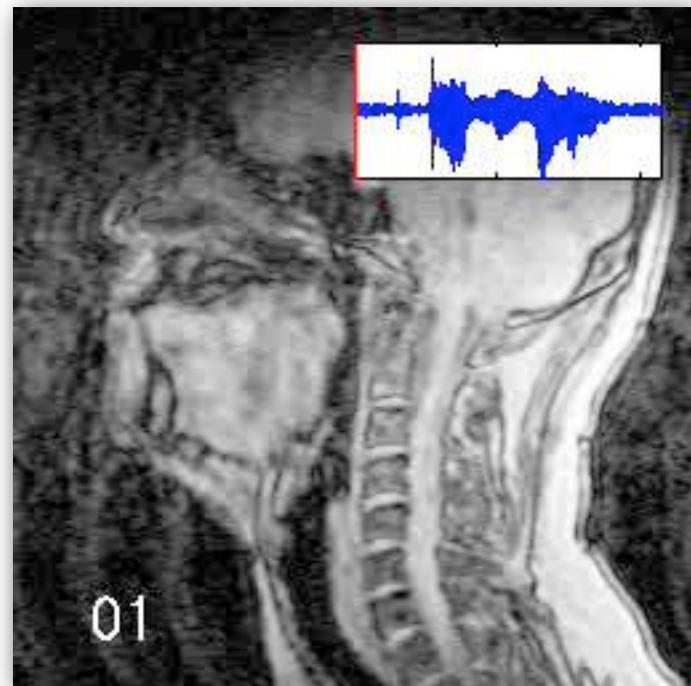
	Bilabial	Labiodental	Dental	Alveolar	Postalveolar	Retroflex	Palatal	Velar	Uvular	Pharyngeal	Glottal
<u>Plosive</u>	p b			t d		ʈ ɖ	c ɟ	k ɡ	q ɢ		ʔ
<u>Nasal</u>		m ɱ		n ɲ			ɲ	ŋ	ɴ		
<u>Trill</u>		ʙ		ɾ					ʀ		
<u>Tap or Flap</u>				ɾ		ɽ					
<u>Fricative</u>	ɸ β	f ɸ	v θ	ð s	z ʃ	ʒ ʂ	ç ʝ	x ɣ	χ ʁ	ħ	ʕ
Lateral fricative				ɬ ɮ							
<u>Approximant</u>			ʋ	ɹ		ɻ	j	ɰ			
Lateral approximant				l		ɭ	ʎ	ʟ			

Where symbols appear in pairs, the one to the right represents a voiced consonant. Shaded areas denote articulations judged impossible.

<http://web.uvic.ca/ling/resources/ipa/charts/IPAlab/IPAlab.htm>

アクロバティックに動く音声器官たち

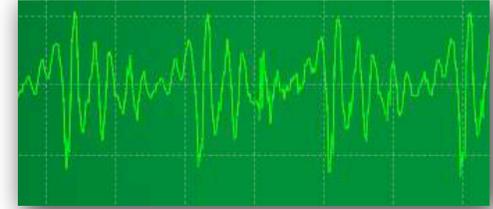
- 舌・口蓋帆・垂（ノドチンコ）の制御による隙間変形の妙技
 - あいうえお → なにぬねの 舌先の様子と鼻腔への接続
 - あいうえお → らりるれる 舌先の様子と鼻腔への非接続
 - 僅かな違いが異なる言語音を生んでいる。





三種類の音声学

● 調音音声学 + 音響音声学 + 聴覚音声学



まずは調音音声学の「いろは」

● 母音の生成と分類 / 子音の生成と分類 / 見て確認する調音活動

次に音響音声学の「いろは」

● 空気の粒の振動現象としての音を持つ四つの要素

● 音声波形の中に見る音声の「高さ」と「音色」

● スペクトルの中に見る音声の「高さ」と「音色」

● 様々な音声（波形 / スペクトル）に見る「高さ」と「音色」

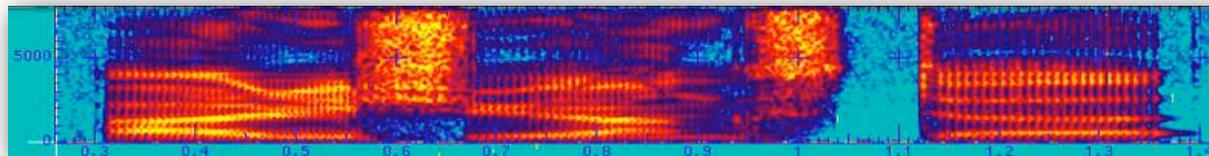
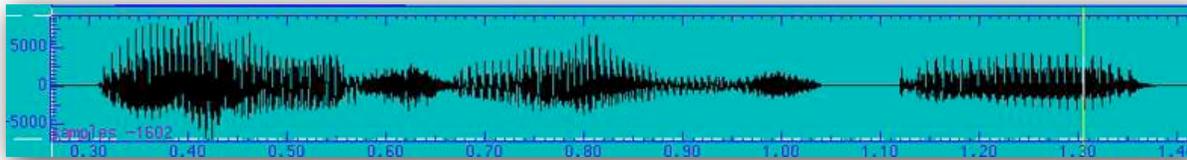
● 調音音声学・音響音声学・聴覚音声学の接点

面白い耳テスト

● 管が短くなるとどんな音になる？

● この音は、どんな管形状変形によって作られた？

- 波形やスペクトログラムがどうなっていると「可愛い声」なの？
- 波形やスペクトログラムがどうなっていると「無声化母音」なの？
- /r/ と // って波形やスペクトログラムはどう違ってんの？
- 音声には様々な情報が含まれているけど、ある特定の情報に着目した場合、波形やスペクトログラムのどこに隠れているの？
 - 我々が受取る情報と、物理的（音響的）な観測量との対応
- そもそも、波形やスペクトログラムって何なの？





様々な情報 = 四要素の組み合わせ

音の高さ

- 高い音, 低い音

音の大きさ

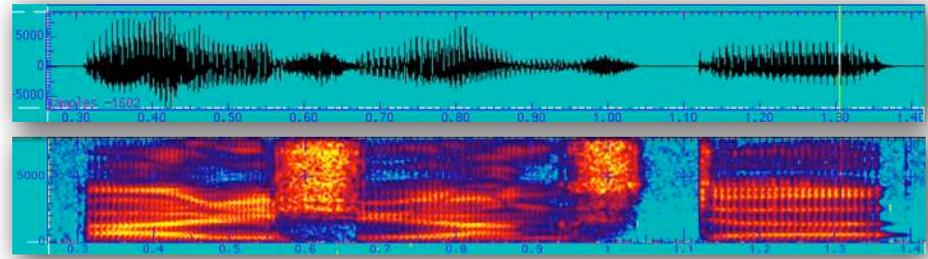
- 大きい音, 小さい音

音の長さ

- 長い音, 短い音

音の音色 (声色)

- 太い声, 細い声, 黄色い声, 甘い声, 渋い声, 色っぽい声 . . .
- 高さ・大きさ・長さが同じ2音を「違う音」と認識した場合, その2音は音色が異なる。
- 「あ」と「い」 「あ」と「あ」



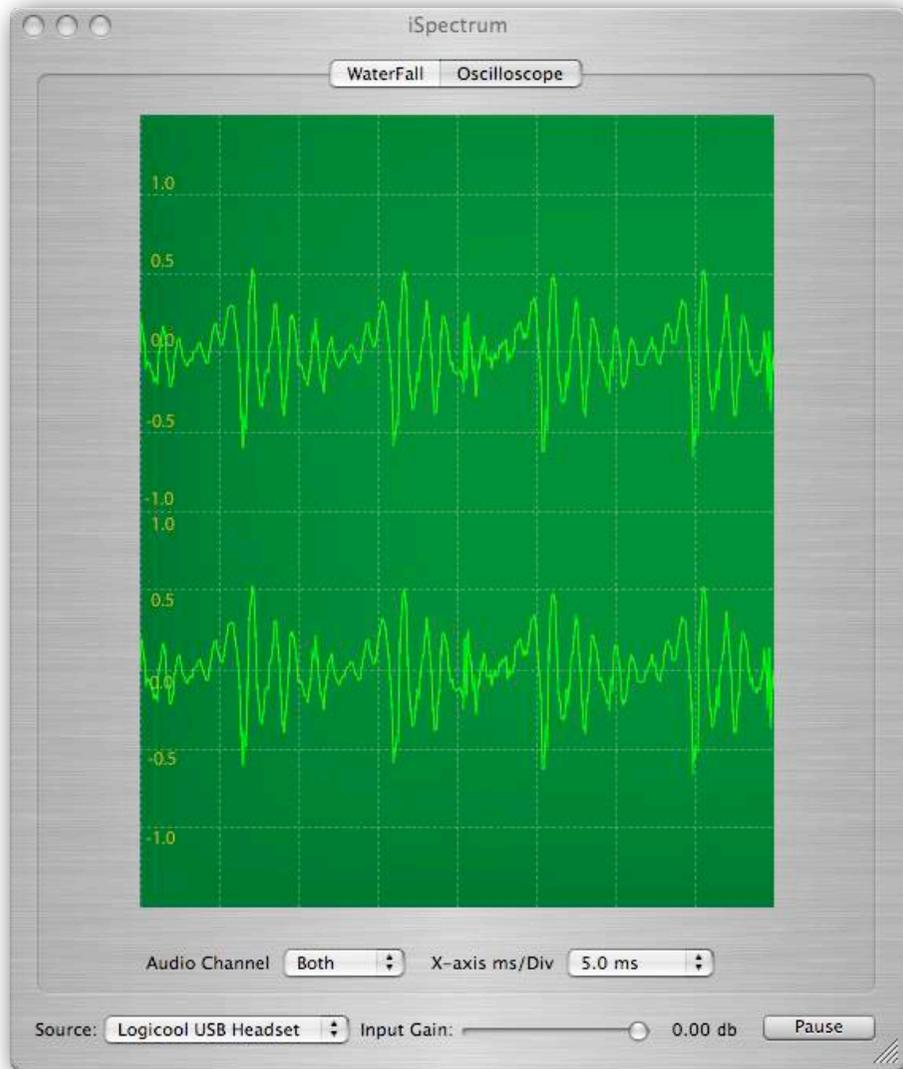
- 1) 高さ, 2) 大きさ
3) 長さ, 4) 音色

ある情報

音は空気の粒の振動現象です



酸素や窒素や二酸化炭素の振動現象です。



それは、マイクとパソコンを接続するケーブルを流れる電気（電流）の振動なのでは？

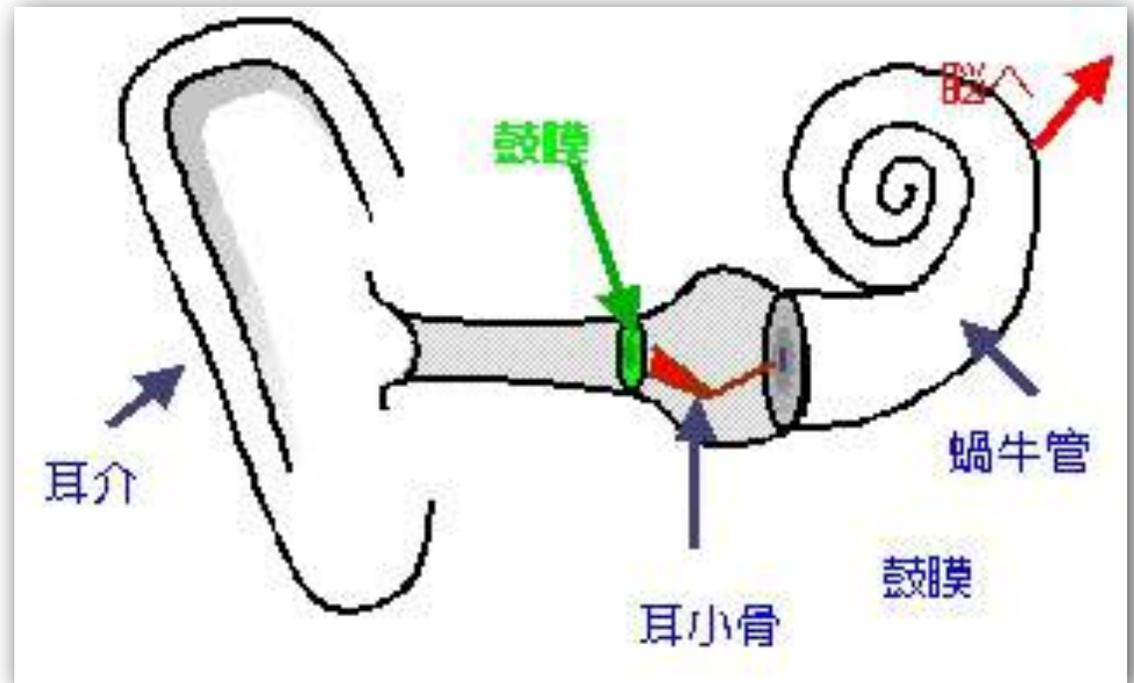
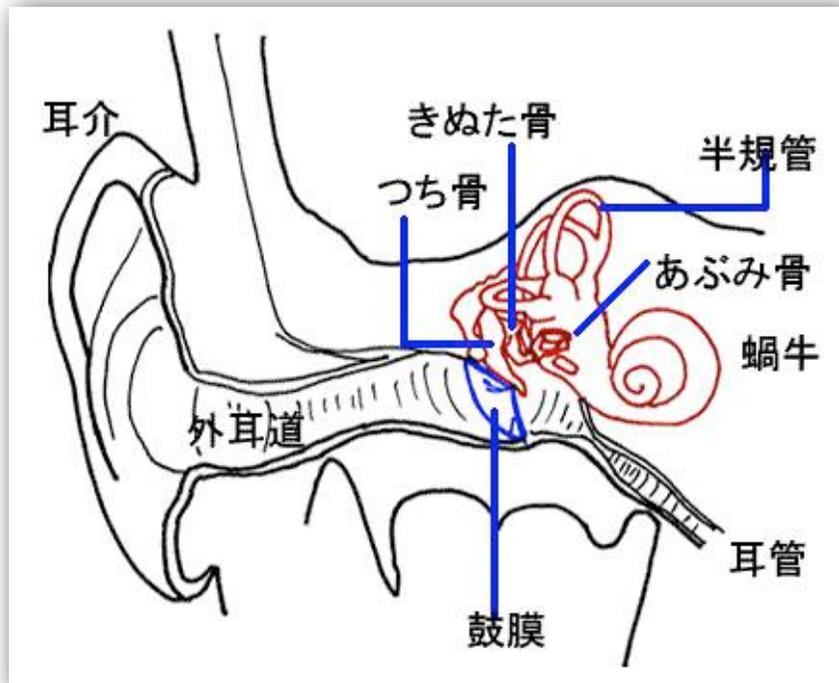


空気の粒が一斉に同一方向に移動する現象

- 「ふーっ」と手に向かって吹きかけてみる（息・風）
- 音ではない。圧力が生まれ、モノを動かすことができる。

空気の粒の振動は、周りの粒も振動させる（伝搬）

- 「あーっ」と手に向かって話してみる（声）
- では、空気振動によって、モノは振動し始めるか？



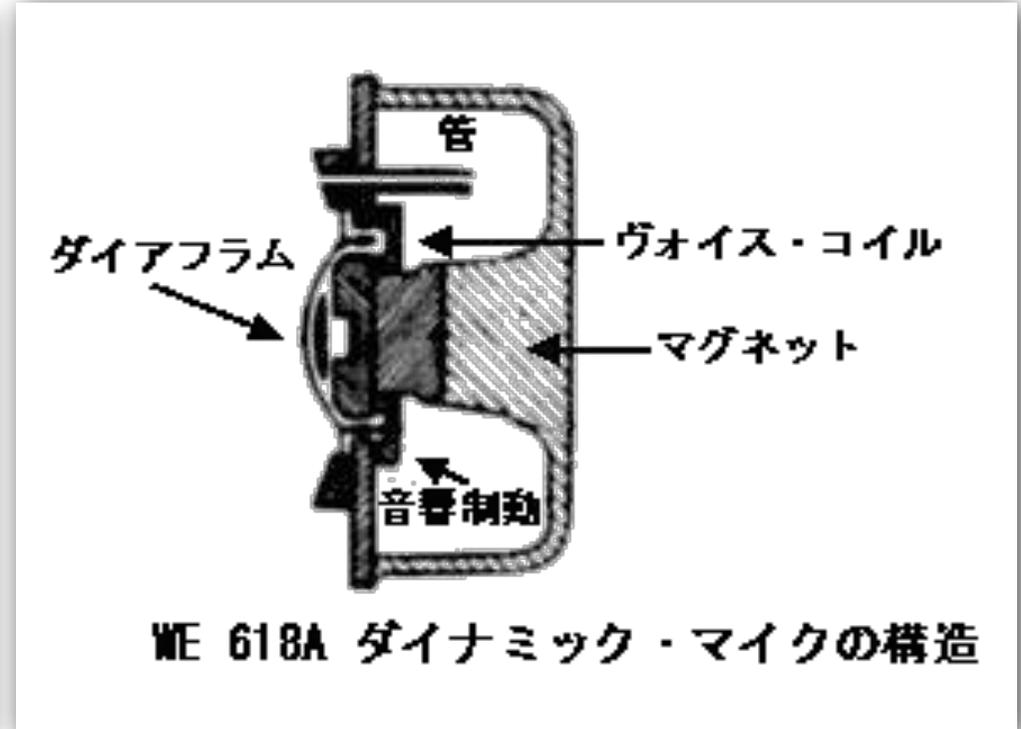
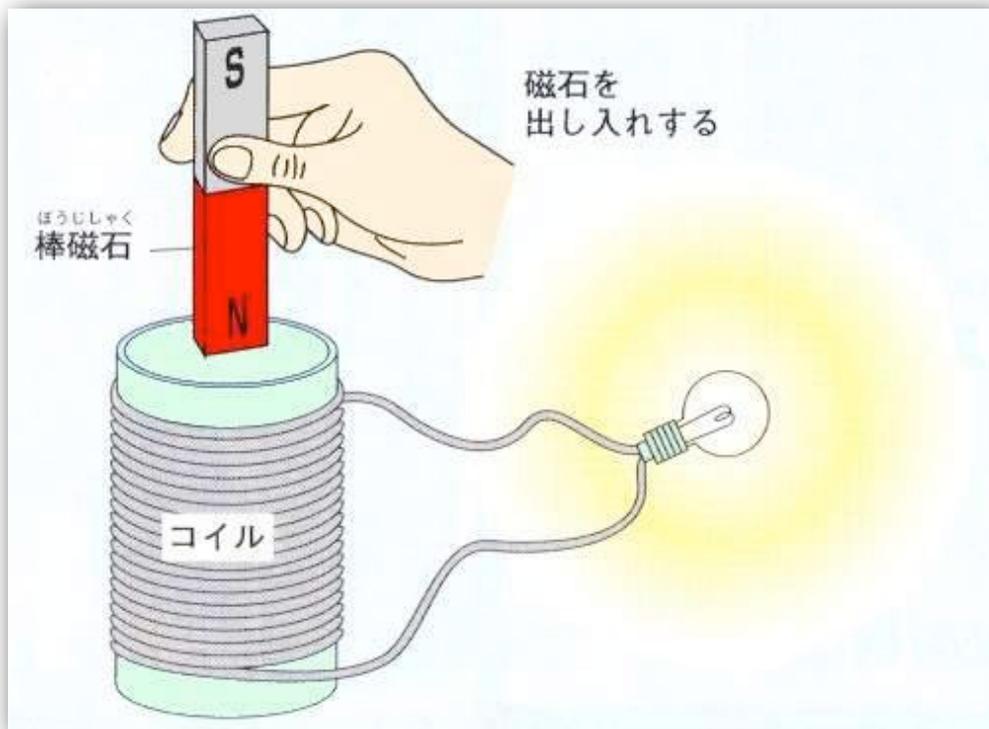
空気の振動？電気の振動？



空気振動によって振動する導体があったとします。

● 導体＝電気を通す物質。超軽いアルミホイル？

● その振動の近くに磁石を置くと何が起きる？

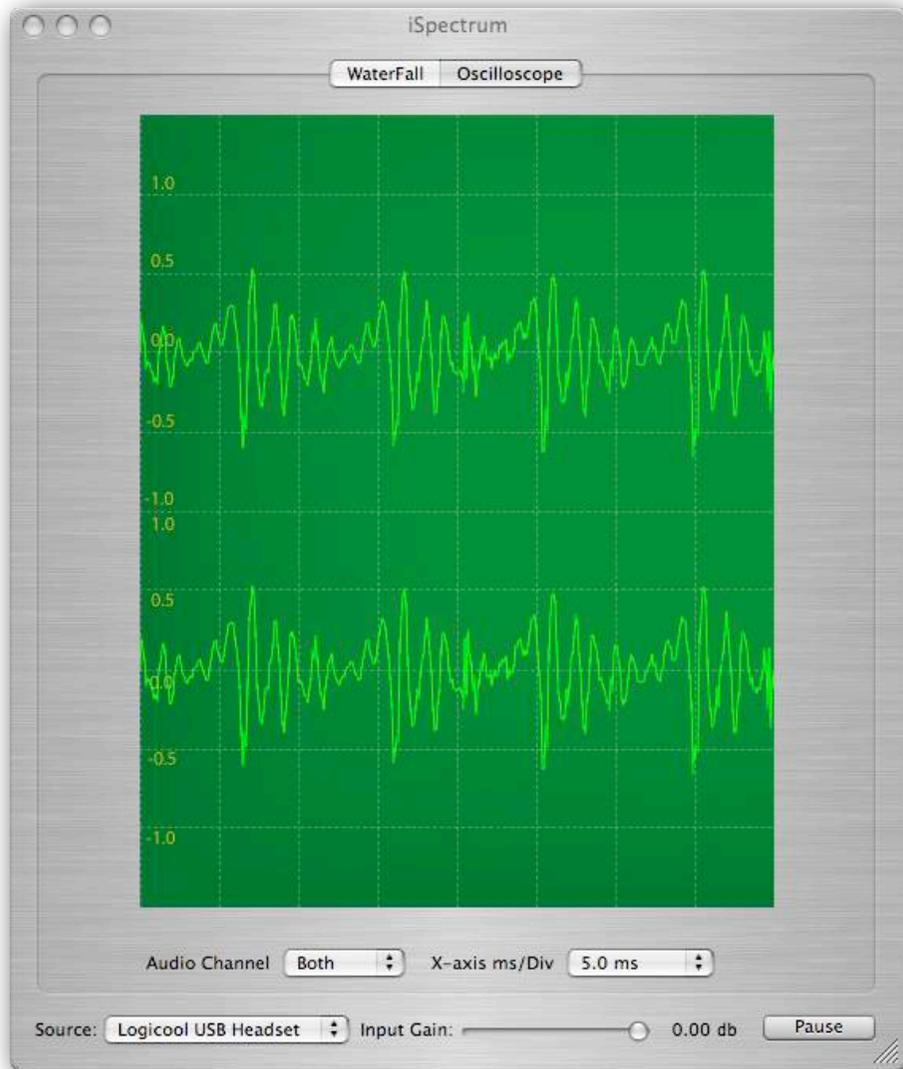


電気が流れる!!

音は空気の粒の振動現象です



酸素や窒素や二酸化炭素の振動現象です。



電気の振動 = 空気の振動

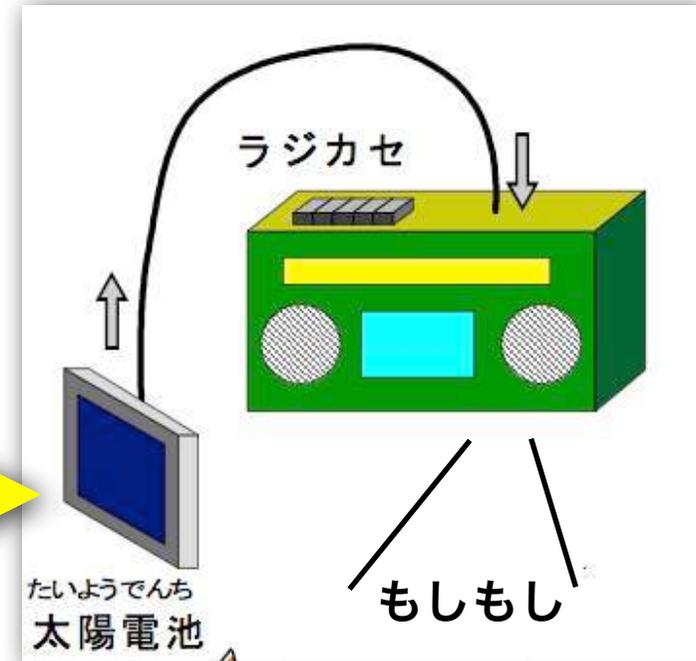
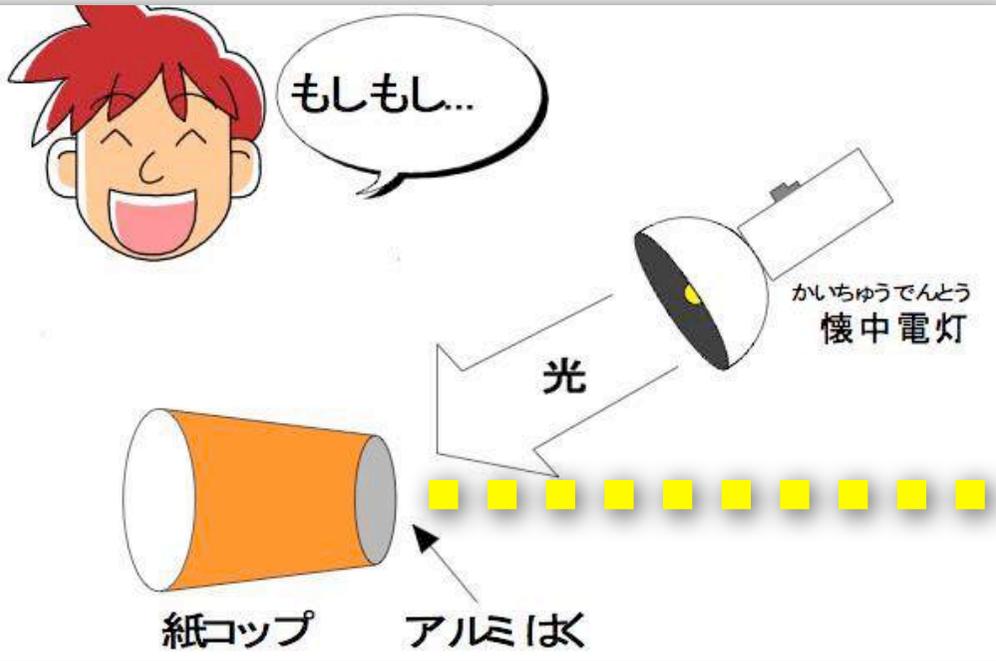
それは、マイクとパソコンを接続するケーブルを流れる電気（電流）の振動なのでは？



電気以外の振動にすることだって

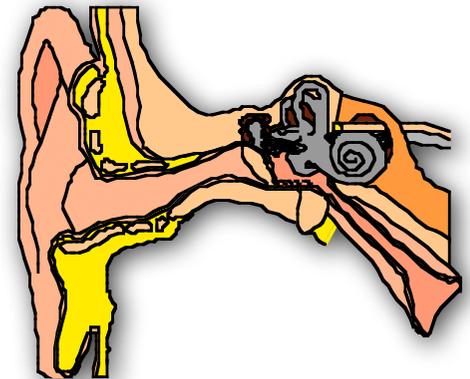


振動する対象は空気である必要は全然ない？



振動 → 振動 → 振動 → 振動 → 振動 → 振動

- 空気分子の音響的振動 → アルミ箔の機械的振動
→ 光強度の光学的振動 → 電子の電氣的振動
→ コーン（紙コップ）の機械的振動 → 空気分子の音響的振動
- 鼓膜は非常に敏感な空気分子の振動センサー



様々な情報 = 四要素の組み合わせ

音の高さ

- 高い音, 低い音

音の大きさ

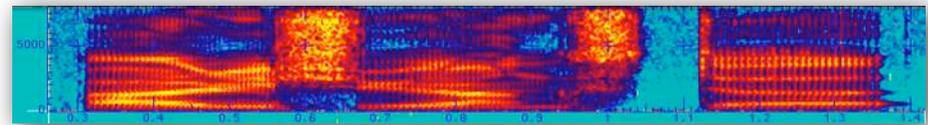
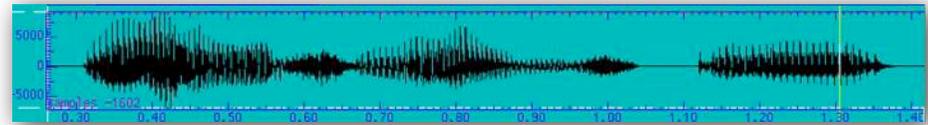
- 大きい音, 小さい音

音の長さ

- 長い音, 短い音

音の音色 (声色)

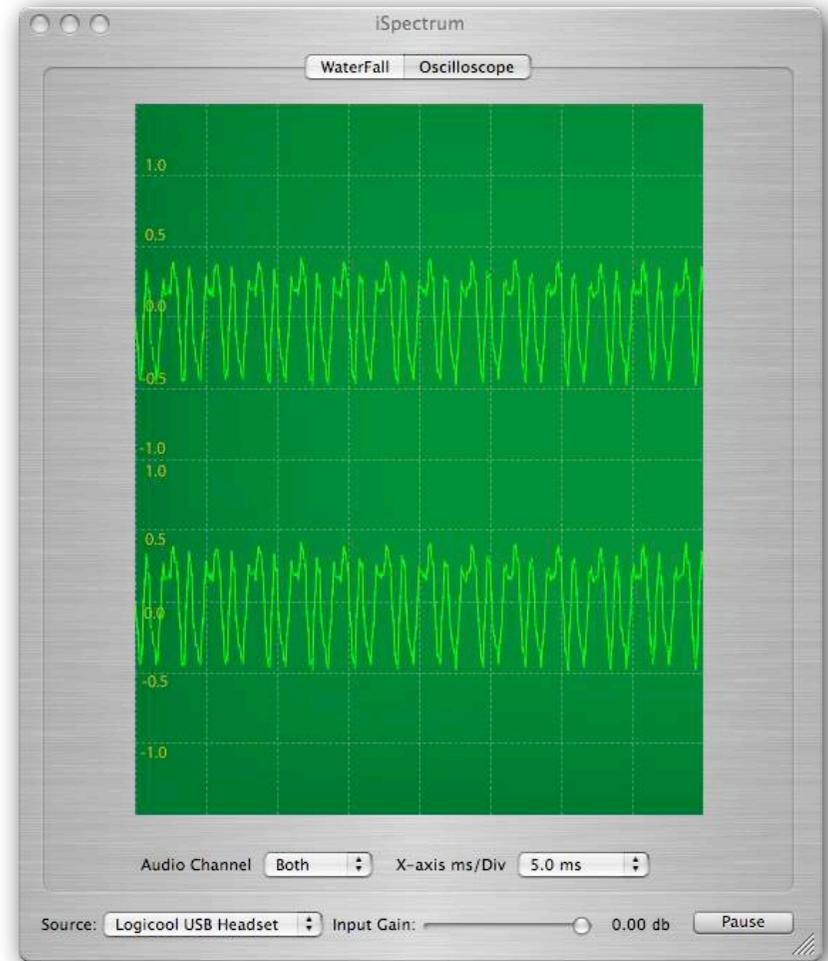
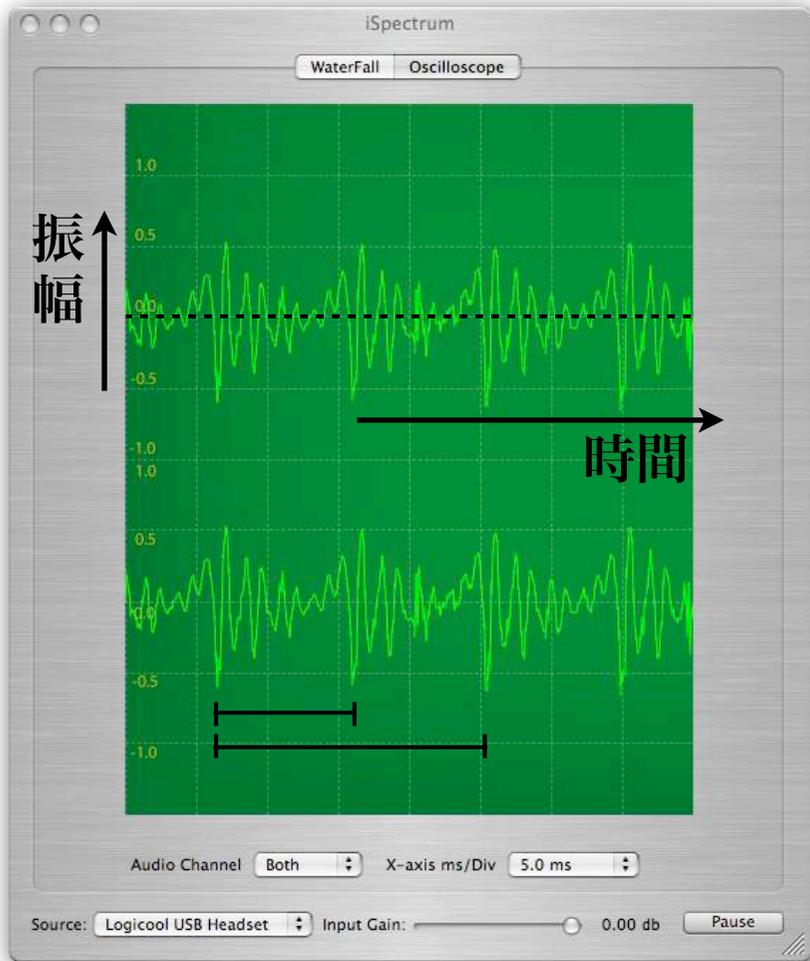
- 太い声, 細い声, 黄色い声, 甘い声, 渋い声, 色っぽい声 . . .
- 高さ・大きさ・長さが同じ2音を「違う音」と認識した場合, その2音は**音色**が異なる。
- 「あ」と「い」 「あ」と「あ」



- 1) 高さ, 2) 大きさ
3) 長さ, 4) 音色

ある情報

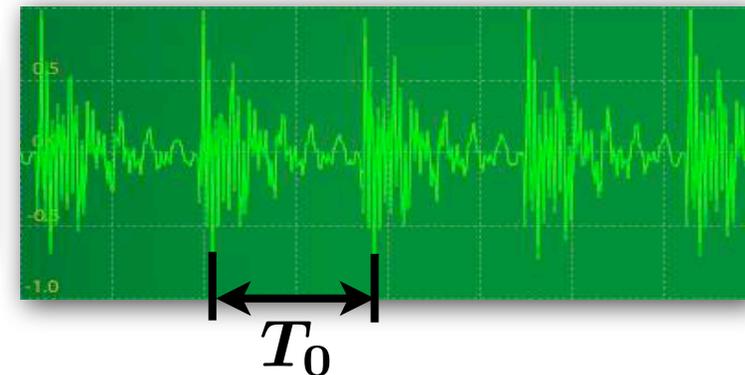
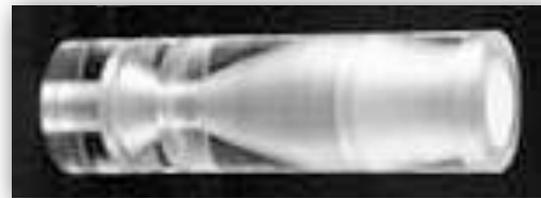
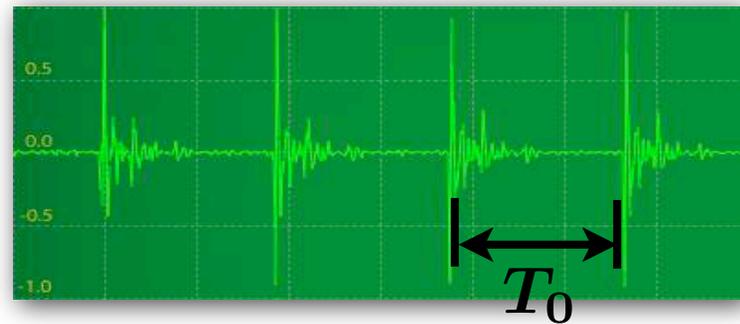
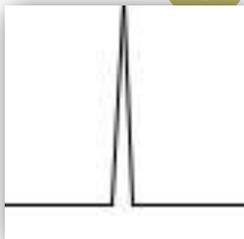
波形表示ソフトで見る「低いあ」と「高いあ」



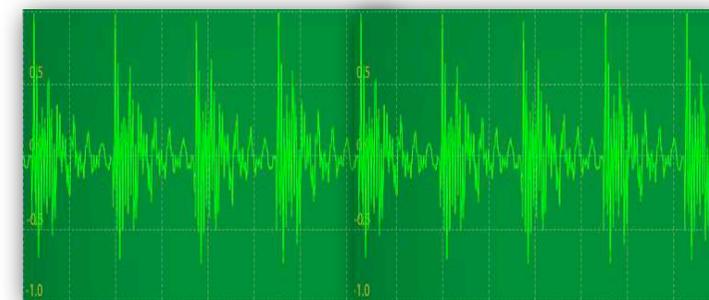
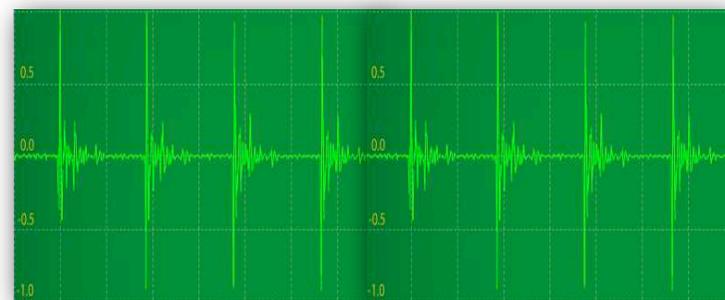
- 同じものが繰り返される時に使われる単位：周波数（振動数）
- = frequency = 回/秒 = サイクル/秒 = Hz（ヘルツ, Hertz）
- 1秒当り5回 = 5Hz, 4秒当り1回 = 0.25Hz, 1/16000秒当り1回 = ?

ブザー (パルス列的) → 管 → 「あ～」

- パルス = 瞬時的に振幅が大きくなり、すぐ減衰する波形
- 男性の場合：波形の間隔が**長くなる**。
- 1秒当たりのパルスの回数（振動回数）は**低くなる**。約 100 Hz



- 女性の場合：波形の間隔が**短くなる**。
- 1秒当たりのパルスの回数（振動回数）は**高くなる**。約 200 Hz



● $T_0 =$ **基本周期**, $F_0 = (1/T_0) =$ **基本周波数 [Hz]**

様々な情報 = 四要素の組み合わせ

音の高さ

● 高い音, 低い音

音の強さ

● 強い音, 弱い音

音の長さ

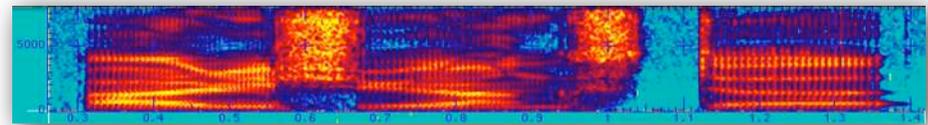
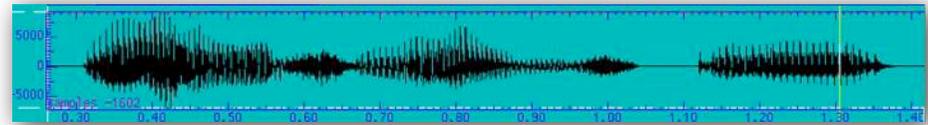
● 長い音, 短い音

音の音色 (声色)

● 太い声, 細い声, 黄色い声, 甘い声, 渋い声, 色っぽい声 . .

● 高さ・強さ・長さが同じ2音を「違う音」と認識した場合, その2音は**音色**が異なる。

● 「あ」と「い」 「あ」と「あ」

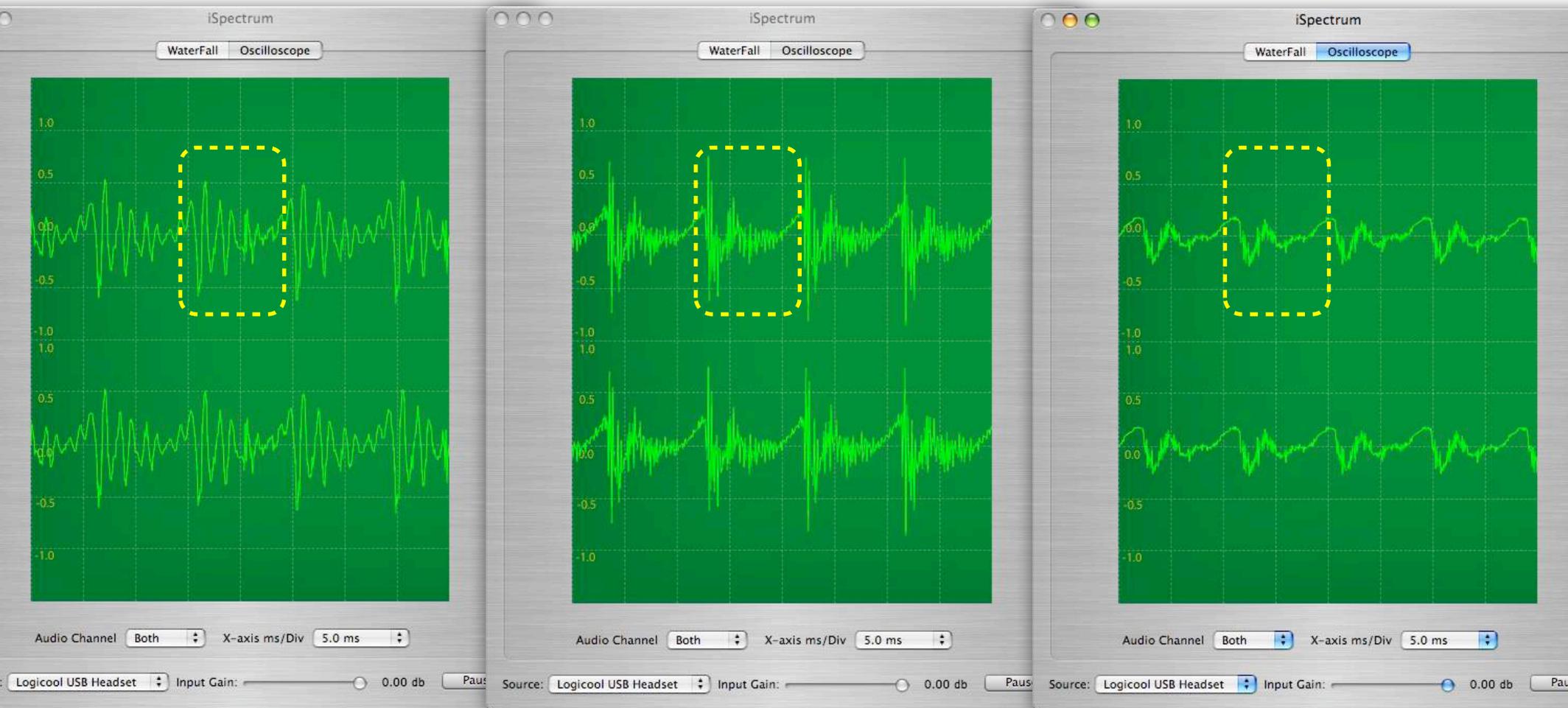


1) 高さ, 2) 強さ
3) 長さ, 4) 音色

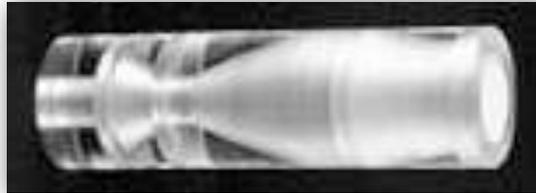
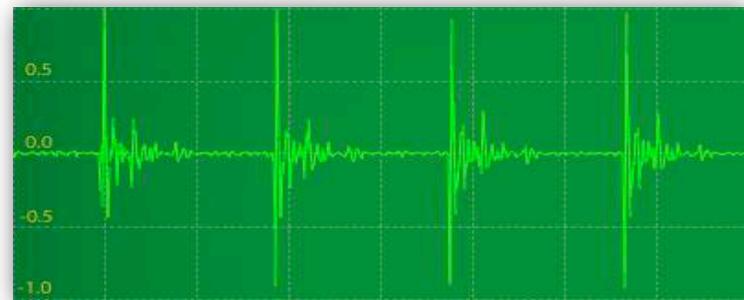
ある情報

波形表示ソフトで見る「あ」と「い」と「う」

- 同じ高さ = 同じ周期 = 一秒間当りの振動回数が同じ
- 一つ一つの波形形状の違いが音色の違い？



管の前後で音が大きく聞こえるのは何故？



● 波形の振幅が大きくなってる？

● 管はアンプ（増幅器）じゃない。電池もコンセントも無いじゃない。

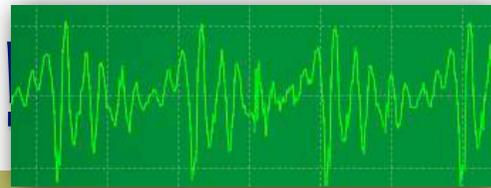
● 管の違い＝音色の違い

● 波形の違い ≡ 音色の違い， だった。ブザーと「あ」も音色は異なる。

● じゃ， 音色の違いが大きく感じさせてるだけなのか？

● 物理的には大きくなってないけど， 大きくなったと感じてるだけ？

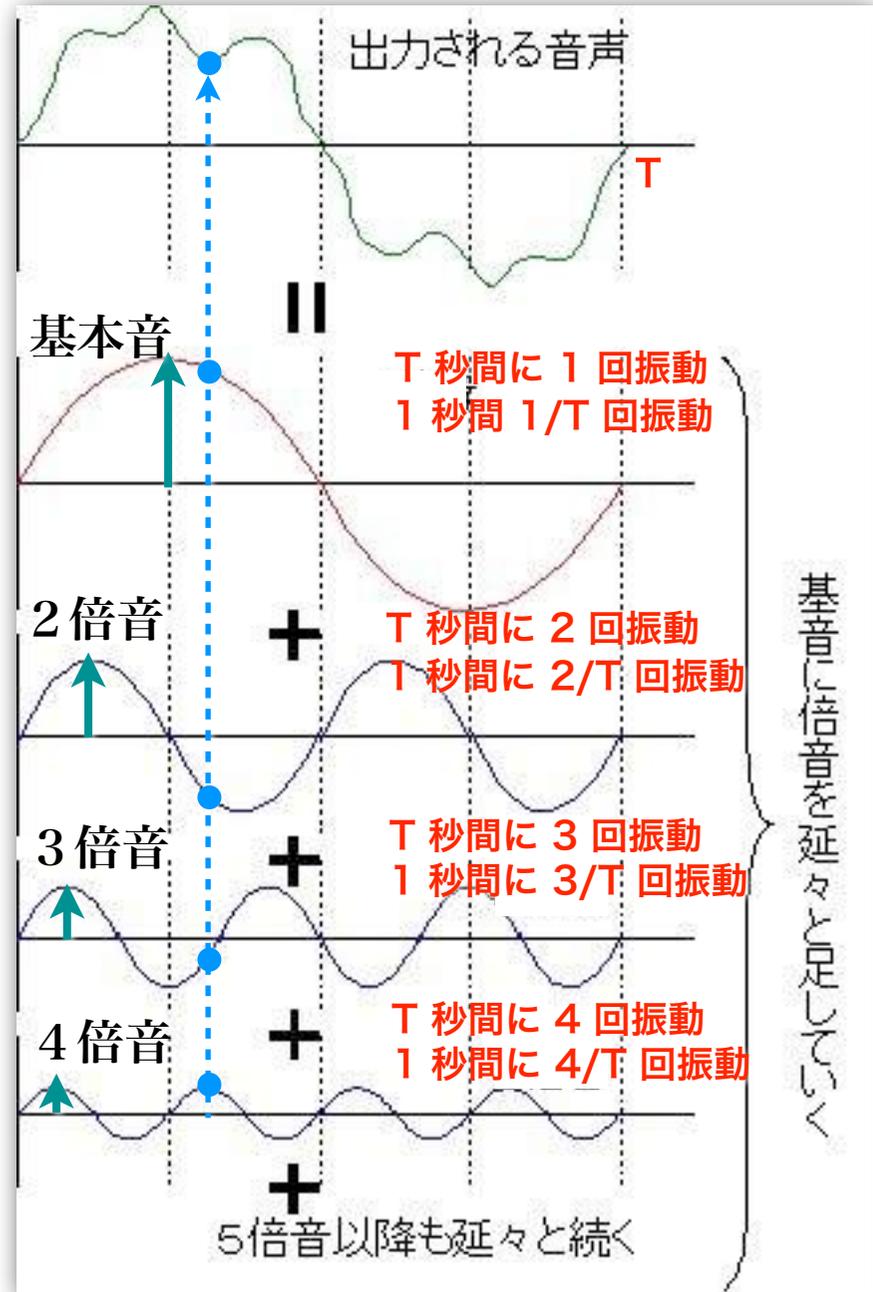




基本音とその倍音の足合わせ

- 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!?

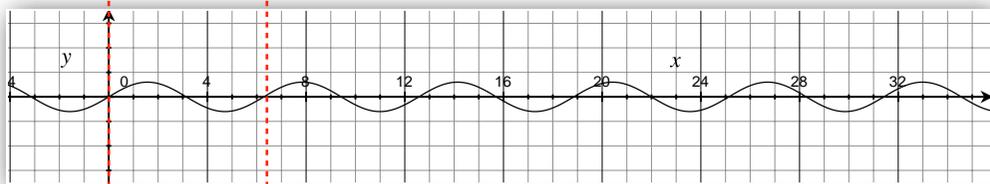
1/T [Hz]



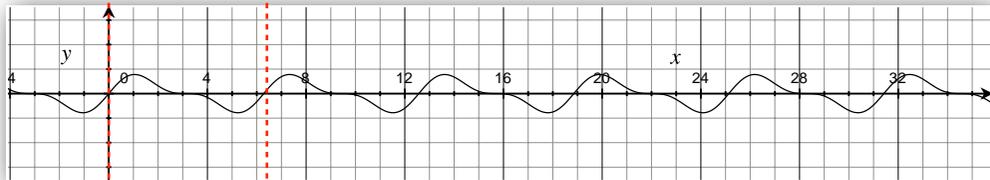
波形の分解と合成



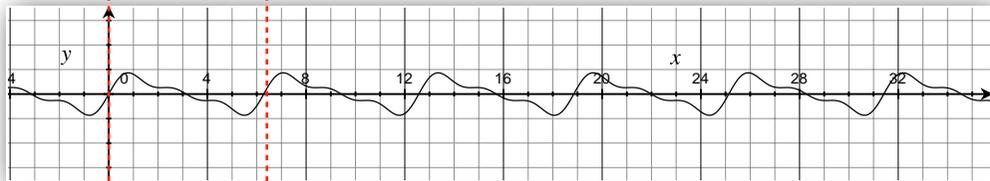
1



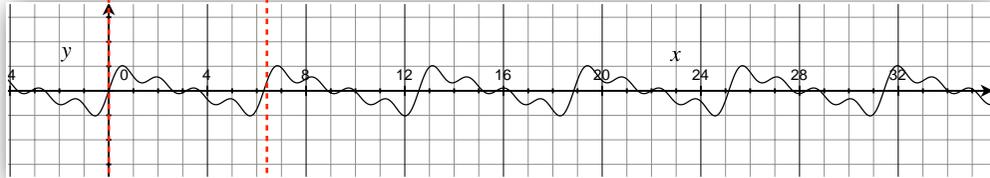
2



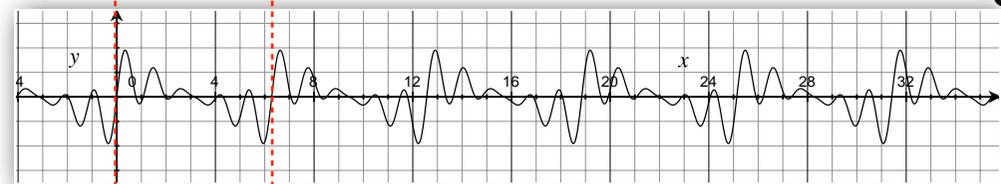
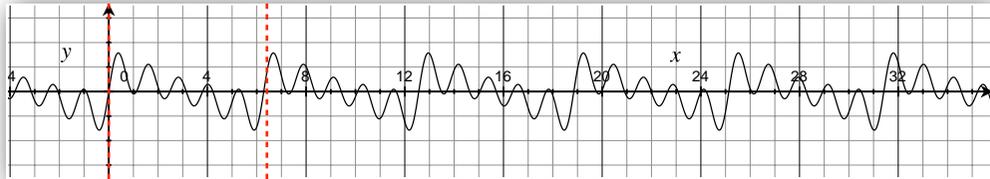
3



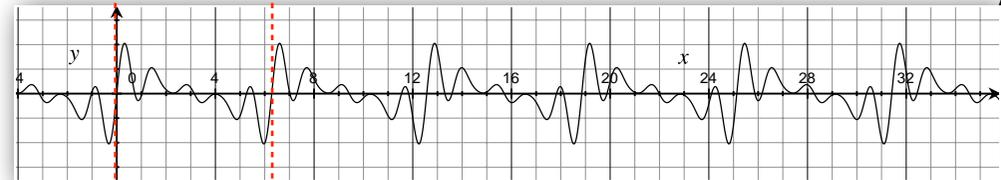
4



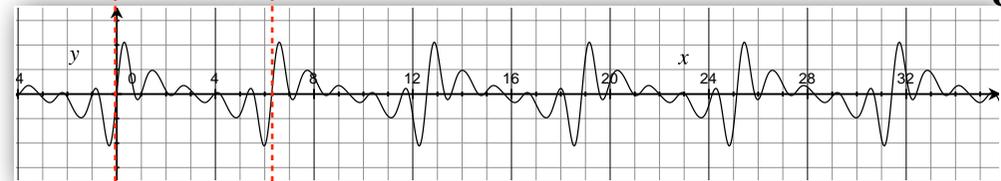
5



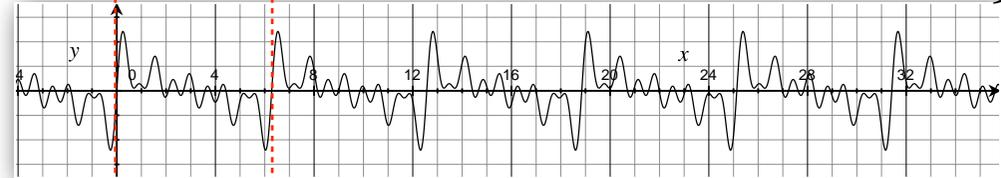
6



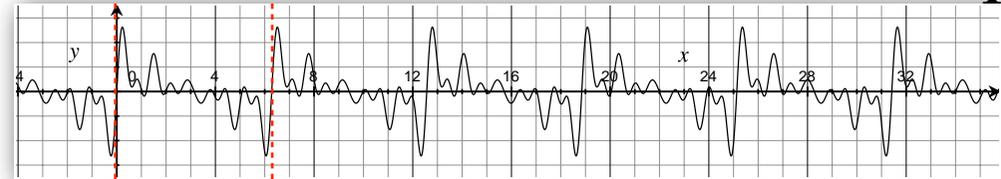
7



8

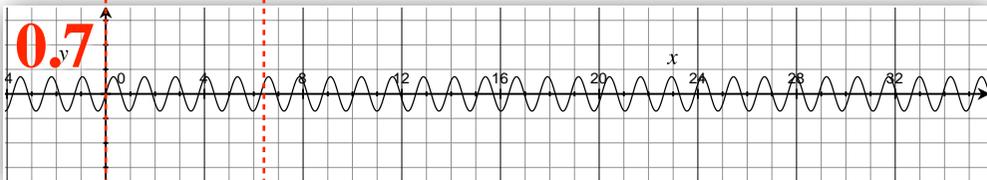
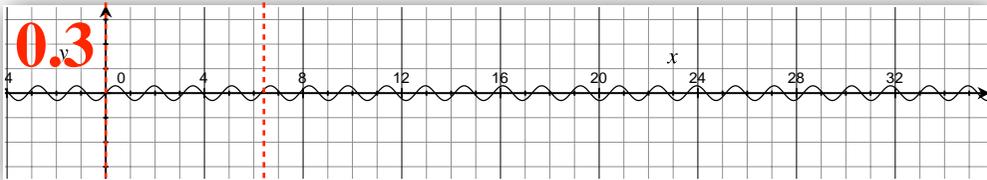
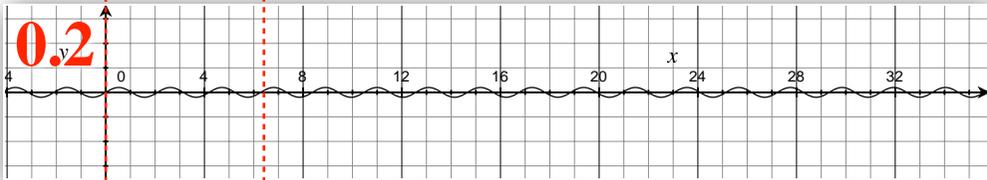
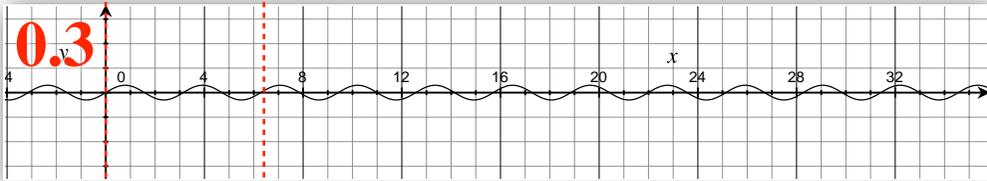
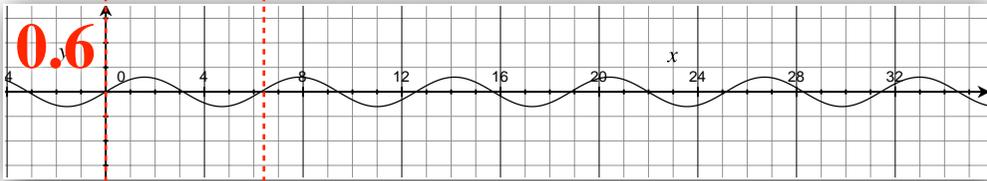
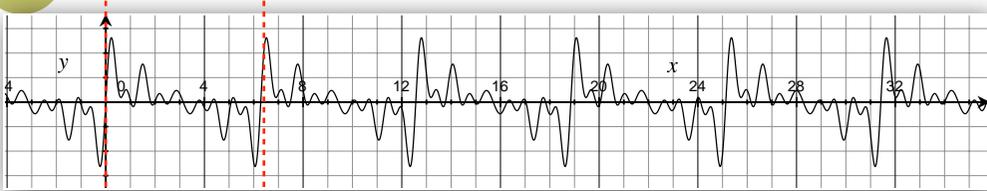


9



10

波形の分解と合成



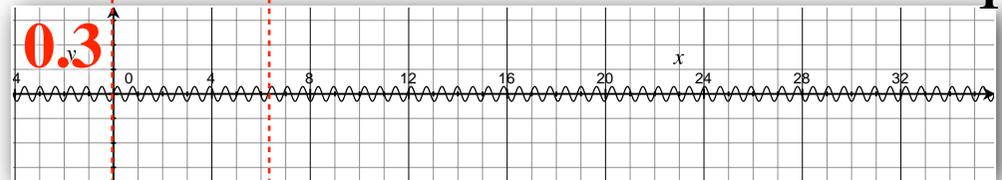
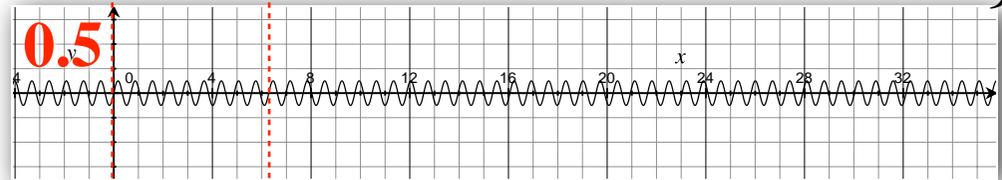
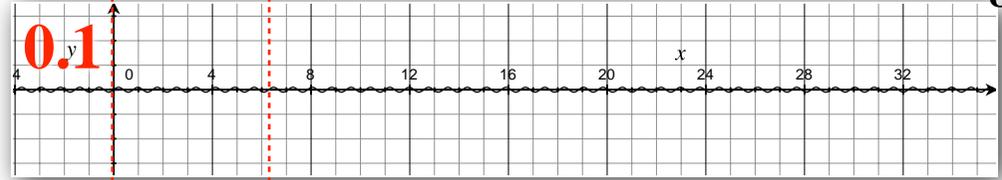
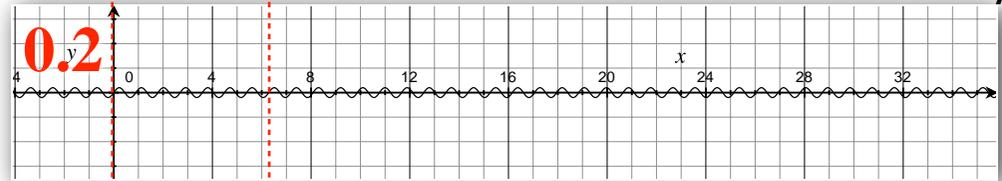
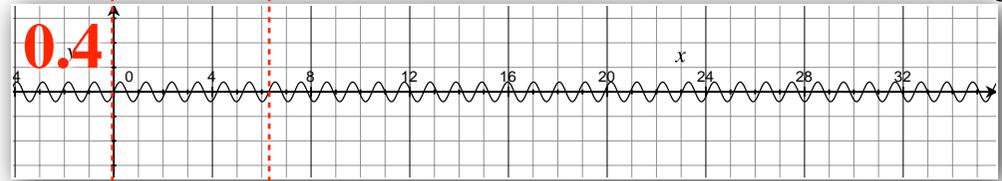
1

2

3

4

5



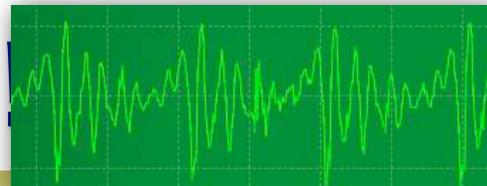
6

7

8

9

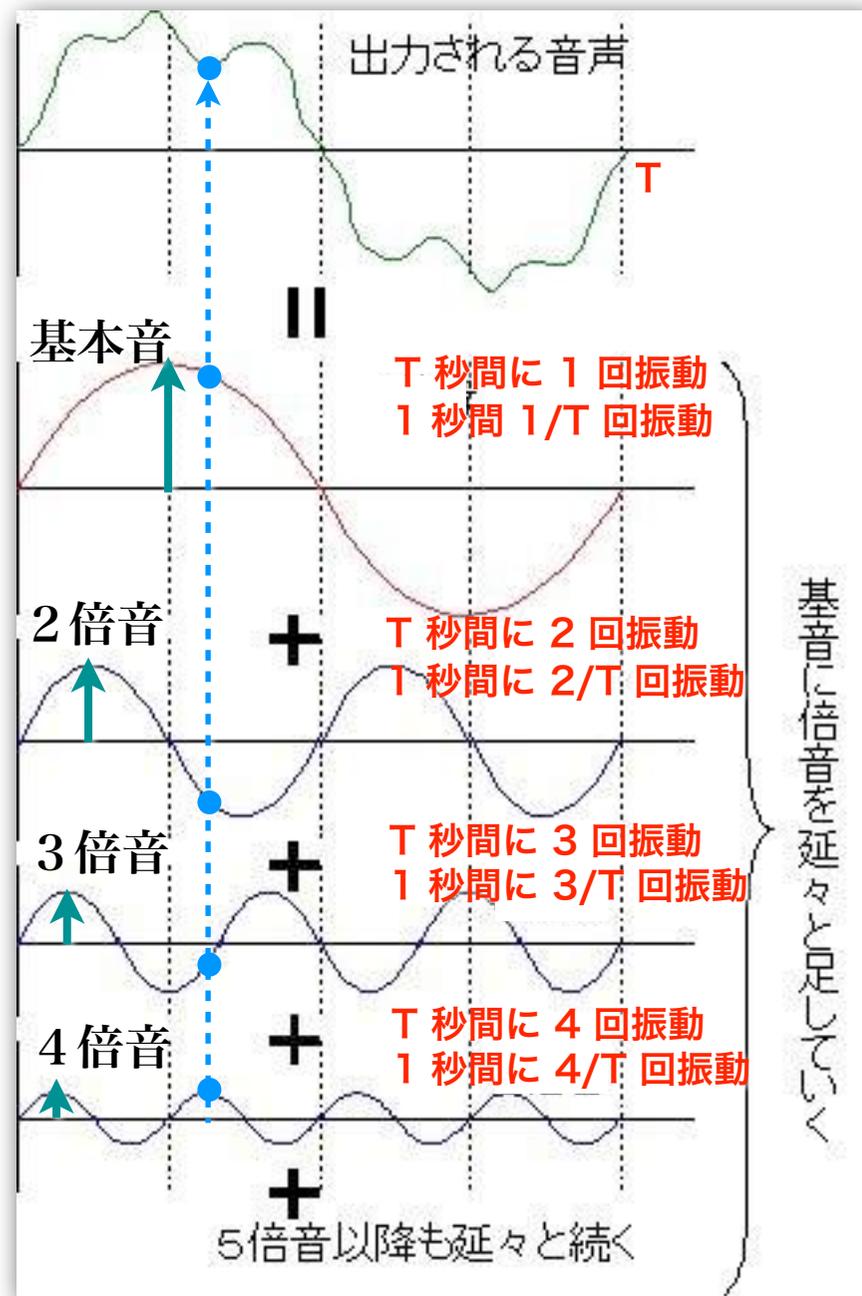
10



基本音とその倍音の足合わせ

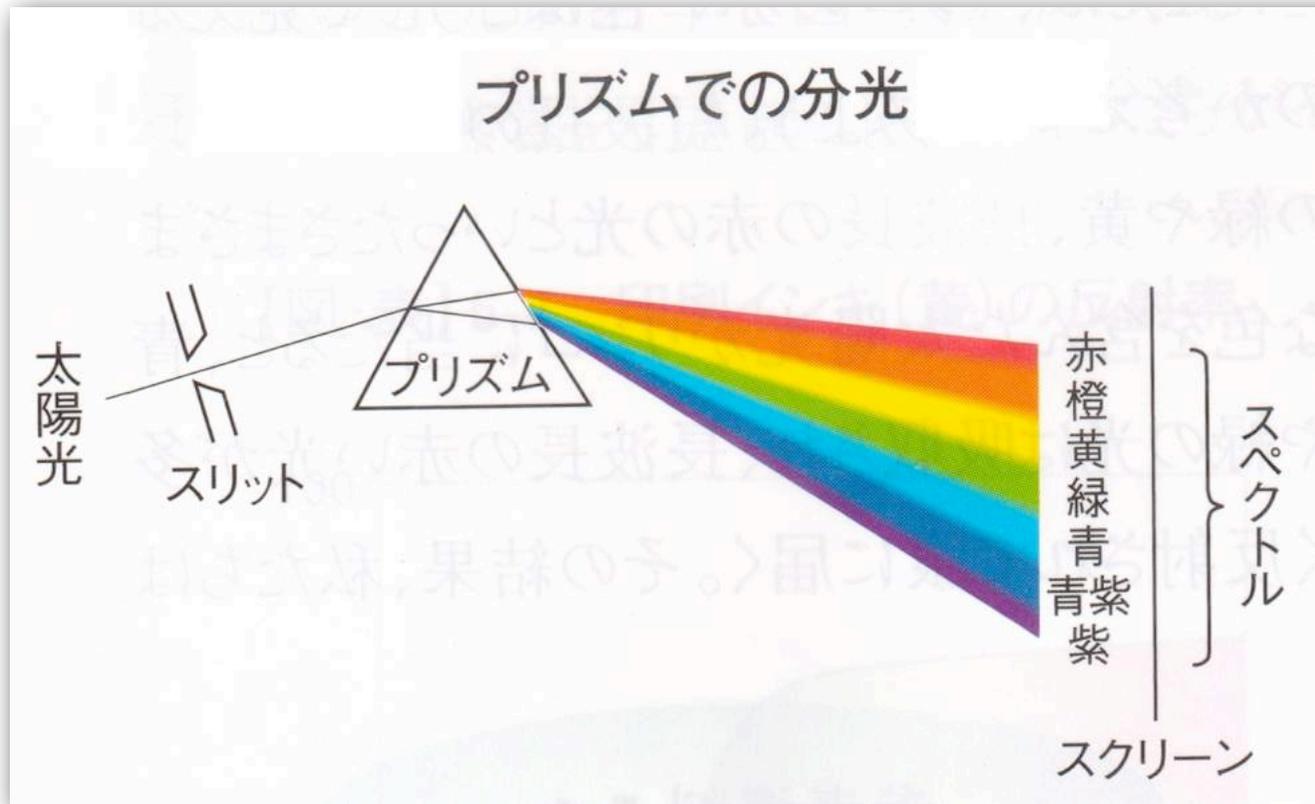
- 波 = 基本音 + 2倍音 + 3倍音 + ...
- n倍音 : n倍の周波数のサイン波形
- 周波数 : 振動回数 / 秒 [Hz]
- 波 = これらを適切な強さにして足しあわせた結果
- どの周波数のサイン波は強く, どの周波数のサイン波は弱いのか?
- 横軸を周波数, 縦軸を強度としてグラフを書く → **スペクトル**
- 通知表だってスペクトル!?

1/T [Hz]



光の成分分解（分光）

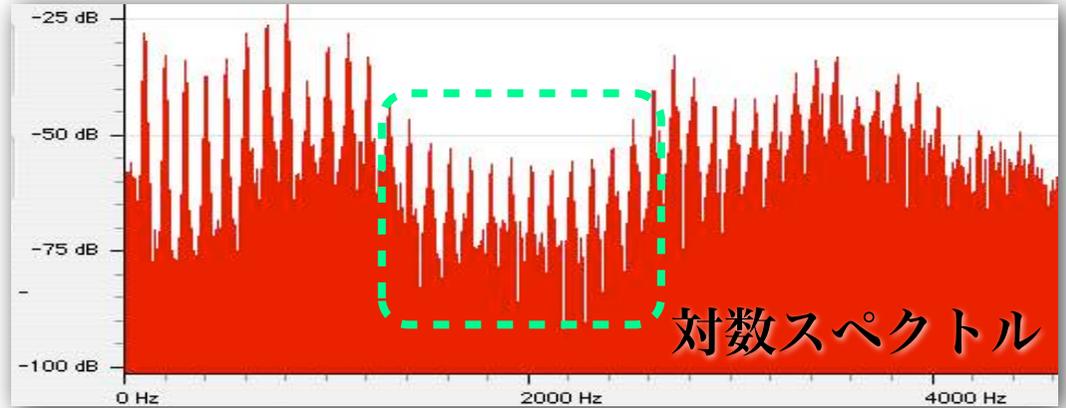
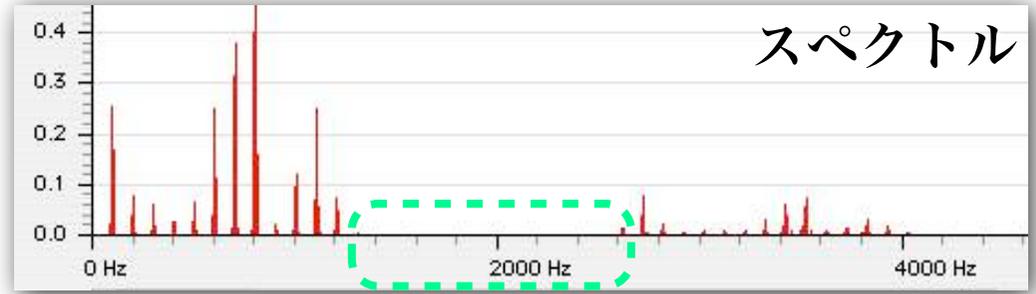
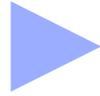
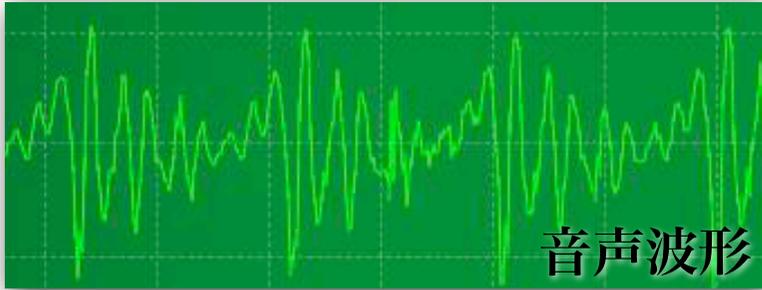
- 白色光（太陽光）：光の各成分が等しい強度で混ざったもの
- 色の違い = 光の波長の違い = （個々の成分の）周波数の違い
- 光の速度（一定） = [波長] × [周波数]
- 音の速度（一定） = [波長] × [周波数]



スペクトル → 対数スペクトル

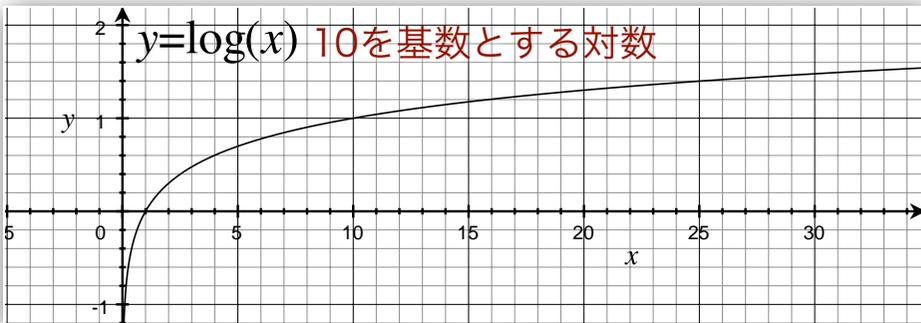


縦軸を単なる振幅 → 対数振幅へ変更



- 縦軸=0付近の解像度を高めて表示できる。
- 聴覚の特性が対数でよく近似できる。

(実はスペクトルは飛び飛びではない。これは音声波形が完全な周期波形ではないことが原因の一つ)



		10倍	10倍	10倍	10倍	10倍
x	0.001	0.01	0.1	1	10	100
log(x)	-3	-2	-1	0	1	2

音で対数と言えば・・・オクターブ



1オクターブの音高変化 = x [Hz] \rightarrow $2x$ [Hz]



C \rightarrow C# \rightarrow D \rightarrow D# \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow F# \rightarrow G \rightarrow G# \rightarrow A \rightarrow A# \rightarrow B \rightarrow C

$\times 1.059$

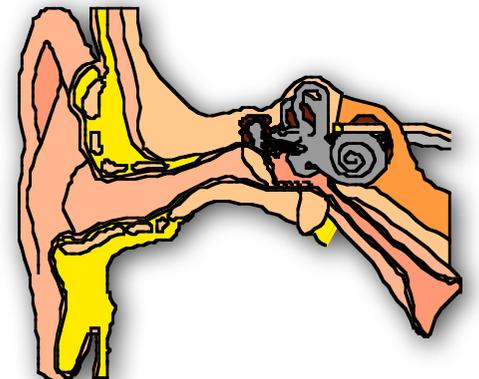
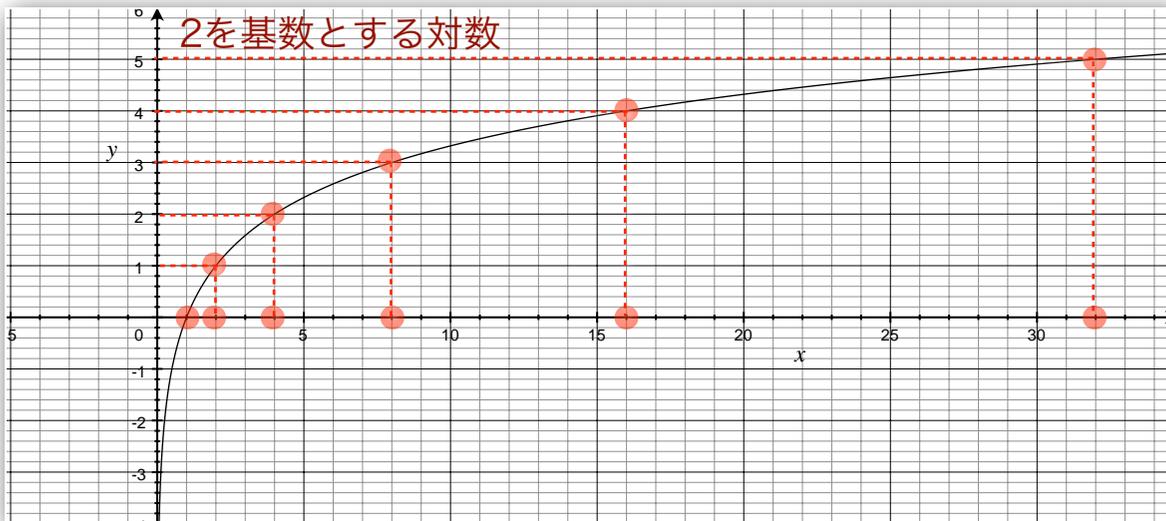
$\times 1.059$

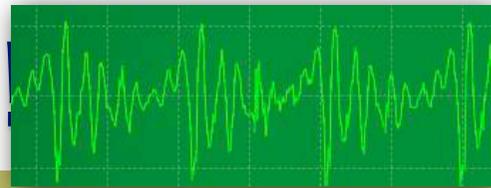
$\times 1.059$

$\times 1.059$

$\times 2.0$

$1.059 = 2^{\frac{1}{12}}$

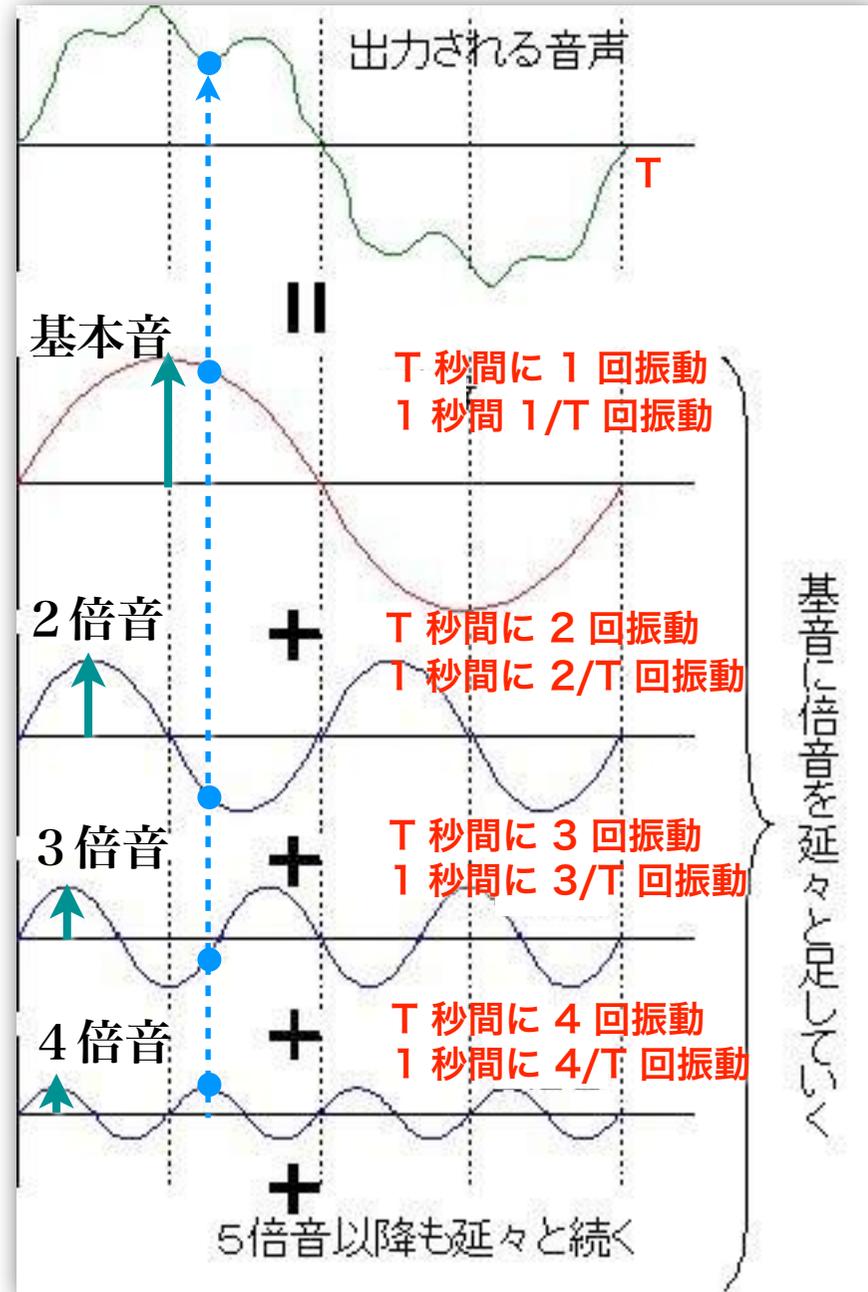
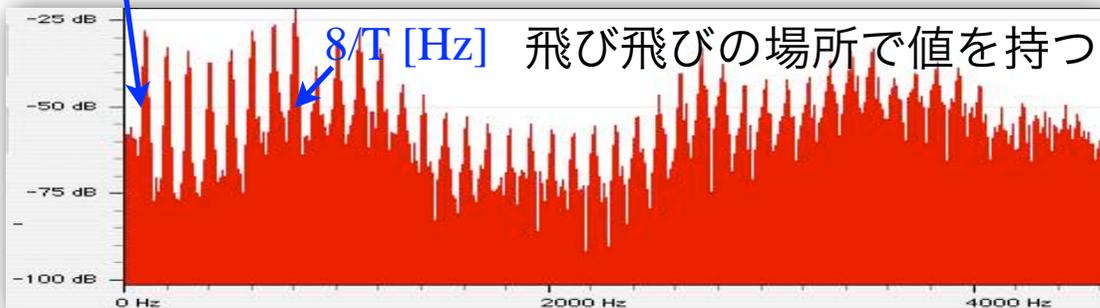




基本音とその倍音の足合わせ

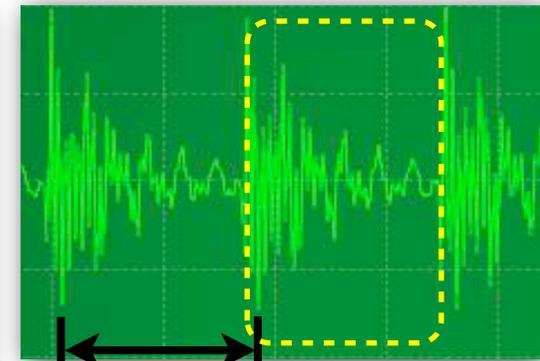
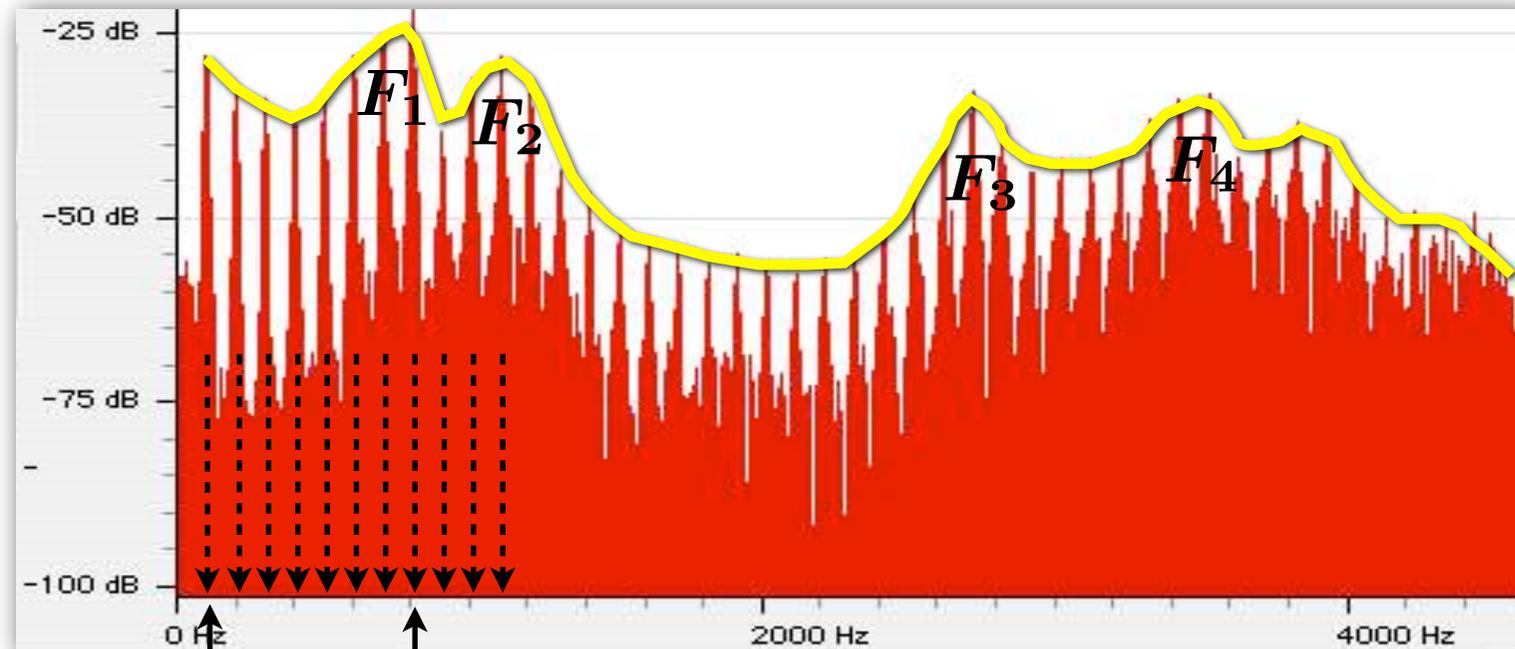
- 波 = 基本音 + 2倍音 + 3倍音 + ...
- n倍音 : n倍の周波数のサイン波形
- 周波数 : 振動回数 / 秒 [Hz]
- 波 = これらを適切な強さにして足しあわせた結果
- どの周波数のサイン波は強く, どの周波数のサイン波は弱いのか?
- 横軸を周波数, 縦軸を強度としてグラフを書く → **スペクトル**
- 通知表だってスペクトル!?

1/T [Hz]



高さ = ぎざぎざ, 音色 = 山

- 櫛状のぎざぎざ = $F_0, 2F_0, 3F_0, 4F_0 \dots$ = 音の高さ (調波構造)
 - 一番初めのぎざぎざ : 基本周波数 (F_0)
- 山脈状の包絡 = エネルギー分配状況 = 音の音色
 - ピーク位置の周波数 : フォルマント周波数・共振周波数 ($F_1, F_2 \dots$)



T_0
 男声 : 広く
 女声 : 狭く

$1/T_0$ $8/T_0$ 男声 : 狭く
 = F_0 = $8F_0$ 女声 : 広く



周波数(frequency) = 頻度(frequency)

- 一秒間当たり（その出来事が）何回生起するのか？

共振周波数：声道の形状によって決まる→音色

- 音声波形 = サイン波形の足し合わせ
 - どの周波数のサイン波が周りのサイン波より強いのか = ピークを構成
- 第一フォルマント・第二フォルマント・・・
 - 各フォルマント周波数（共振周波数）の間隔は色々。 $F_1, F_2 \dots$

基本周波数：声帯の振動頻度によって決まる→ピッチ

- 音声波形に直接観測される周期（基本周期）の逆数
 - 声帯の開け閉めに起因する周期波形一つ分の周期
- 基本波・二倍音・三倍音・四倍音・・・
 - スペクトルには「ぎざぎざ」が一定間隔で並ぶ。その間隔が F_0 。

様々な情報 = 四要素の組み合わせ

音の高さ

- 高い音, 低い音

音の大きさ

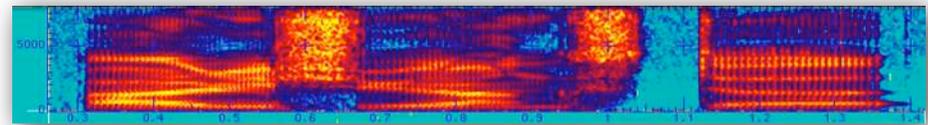
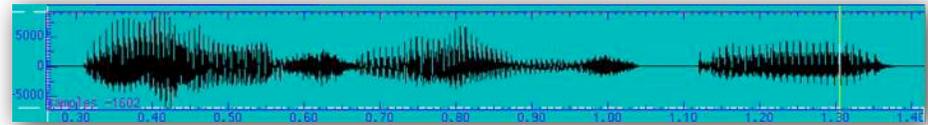
- 大きい音, 小さい音

音の長さ

- 長い音, 短い音

音の音色 (声色)

- 太い声, 細い声, 黄色い声, 甘い声, 渋い声, 色っぽい声 . . .
- 高さ・大きさ・長さが同じ2音を「違う音」と認識した場合, その2音は**音色**が異なる。
- 「あ」と「い」 「あ」と「あ」



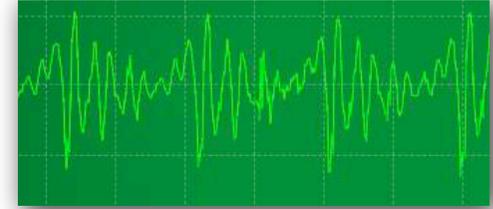
- 1) 高さ, 2) 大きさ
3) 長さ, 4) 音色

ある情報



三種類の音声学

● 調音音声学 + 音響音声学 + 聴覚音声学



まずは調音音声学の「いろは」

● 母音の生成と分類 / 子音の生成と分類 / 見て確認する調音活動

次に音響音声学の「いろは」

● 空気の粒の振動現象としての音を持つ四つの要素

● 音声波形の中に見る音声の「高さ」と「音色」

● スペクトルの中に見る音声の「高さ」と「音色」

● 様々な音声（波形 / スペクトル）に見る「高さ」と「音色」

● 調音音声学・音響音声学・聴覚音声学の接点

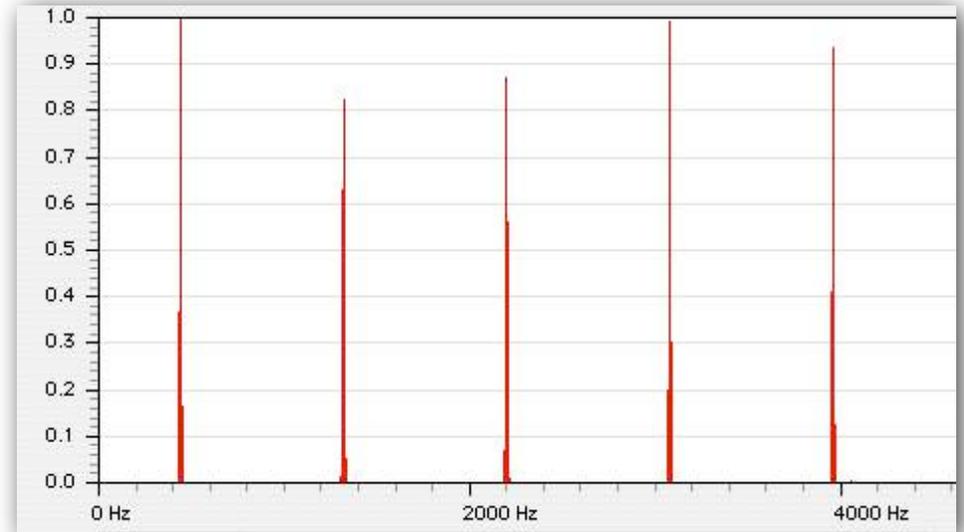
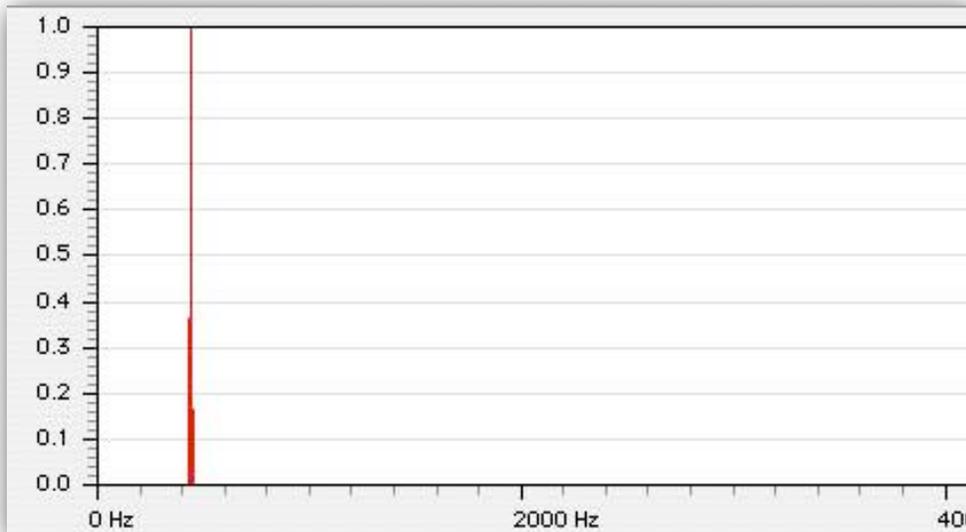
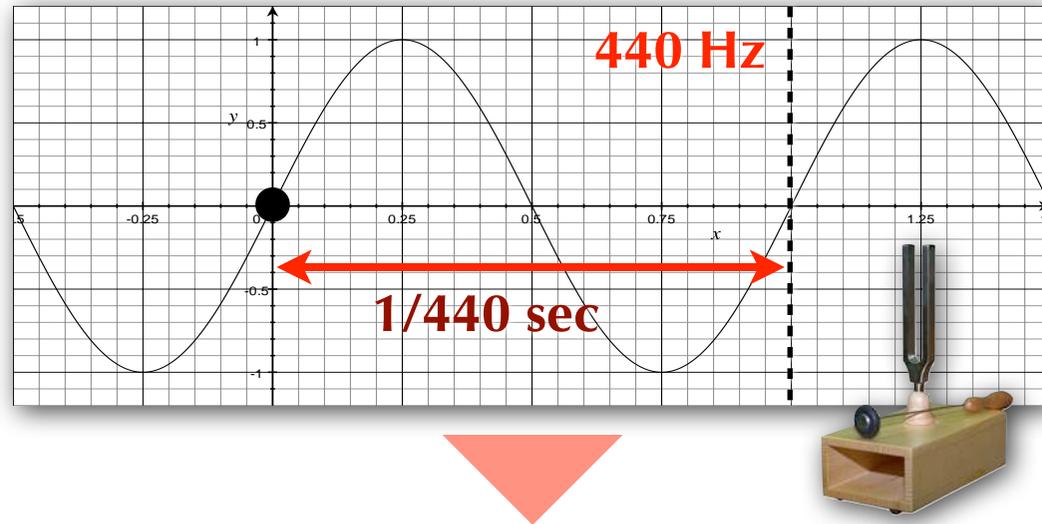
面白い耳テスト

● 管が短くなるとどんな音になる？

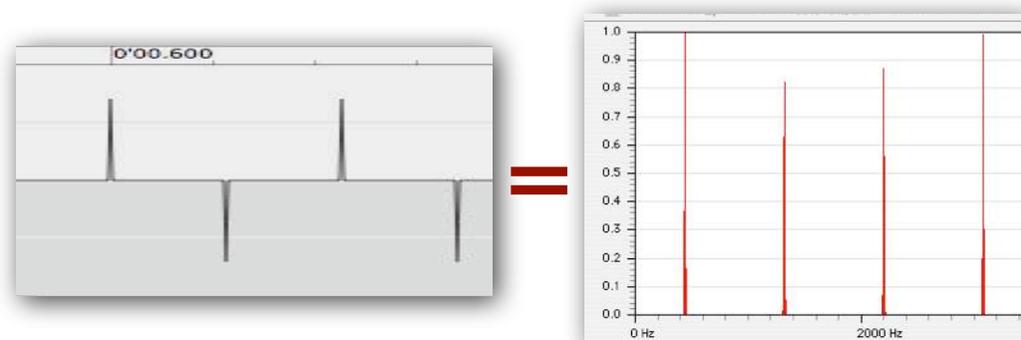
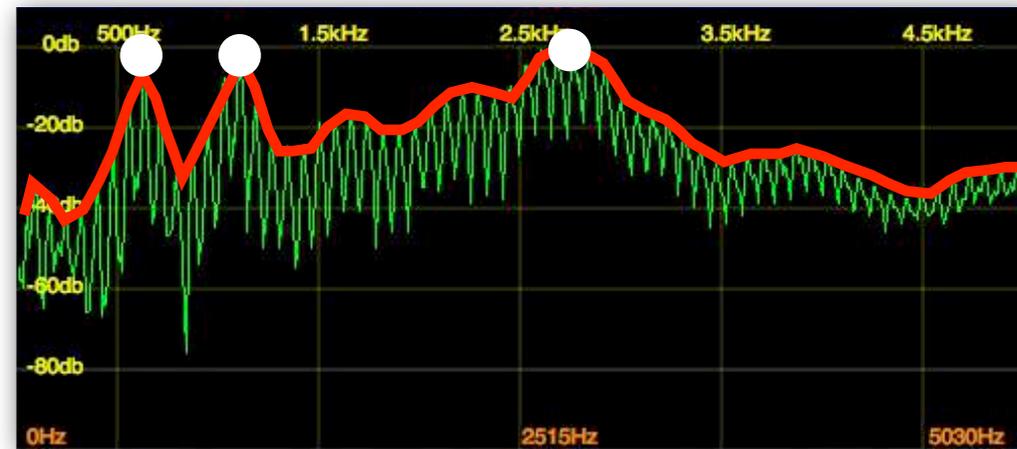
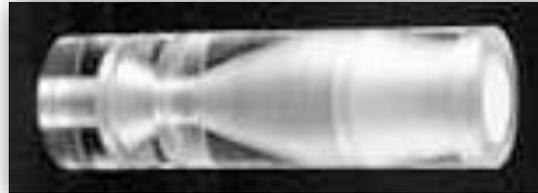
● この音は、どんな管形状変形によって作られた？

同じ高さに聞こえる二つの音

● 周期が等しければ，同じ高さとして聞こえるはず・・・

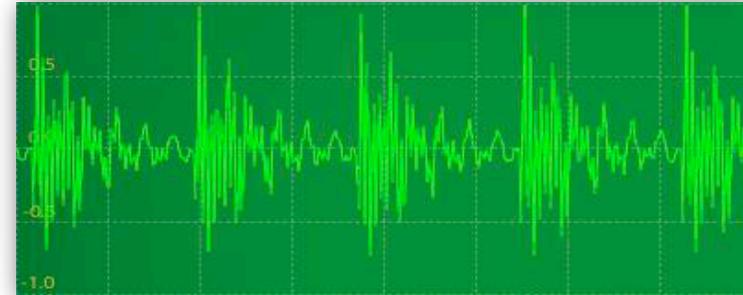
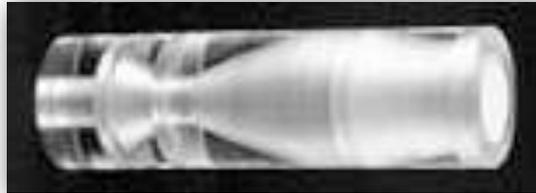
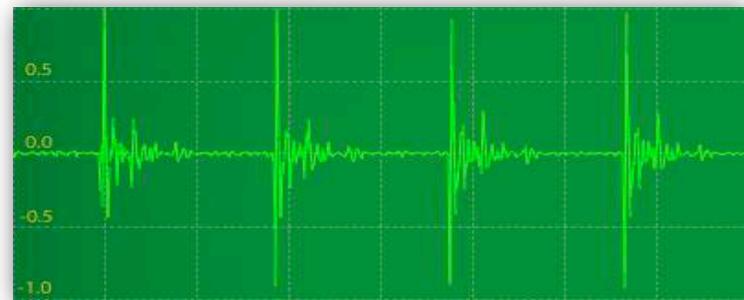


ブザー (パルス列) → 管 → 「あ～」



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

管の前後で音が大きく聞こえるのは何故？



● 波形の振幅が大きくなってる？

● 管はアンプ（増幅器）じゃない。電池もコンセントも無いじゃない。

● 管の違い＝音色の違い

● 波形の違い ≡ 音色の違い， だった。ブザーと「あ」も音色は異なる。

● じゃ， 音色の違いが大きく感じさせてるだけなのか？

● 物理的には大きくなってないけど， 大きくなったと感じてるだけ？



母音は疎密波, , , でも, ちょっと特殊な疎密波

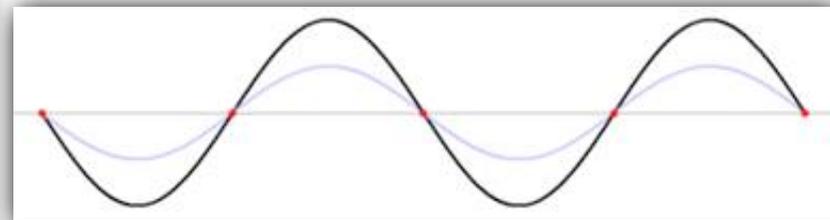
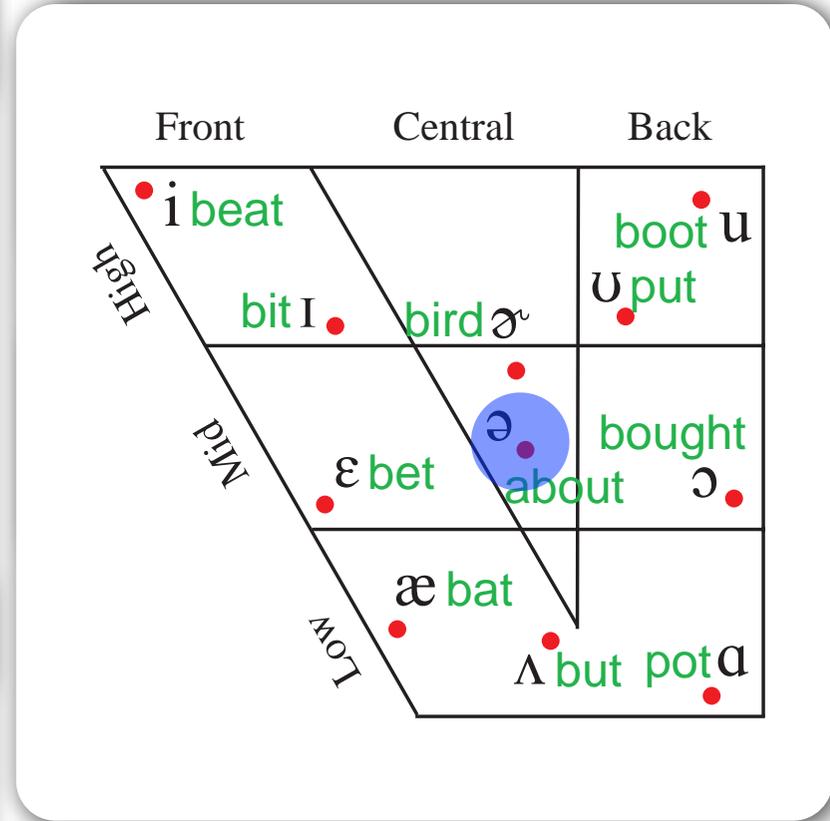
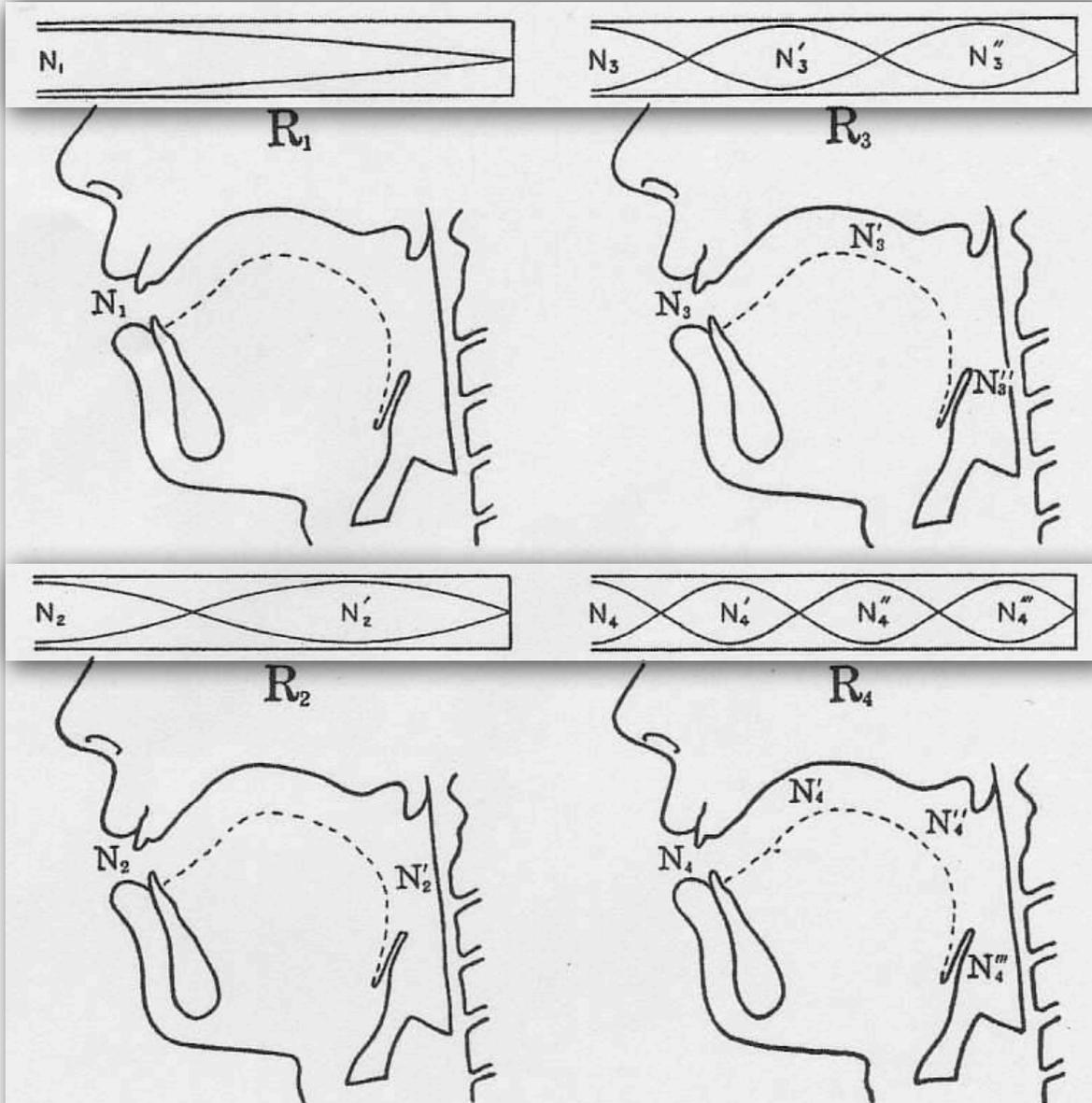
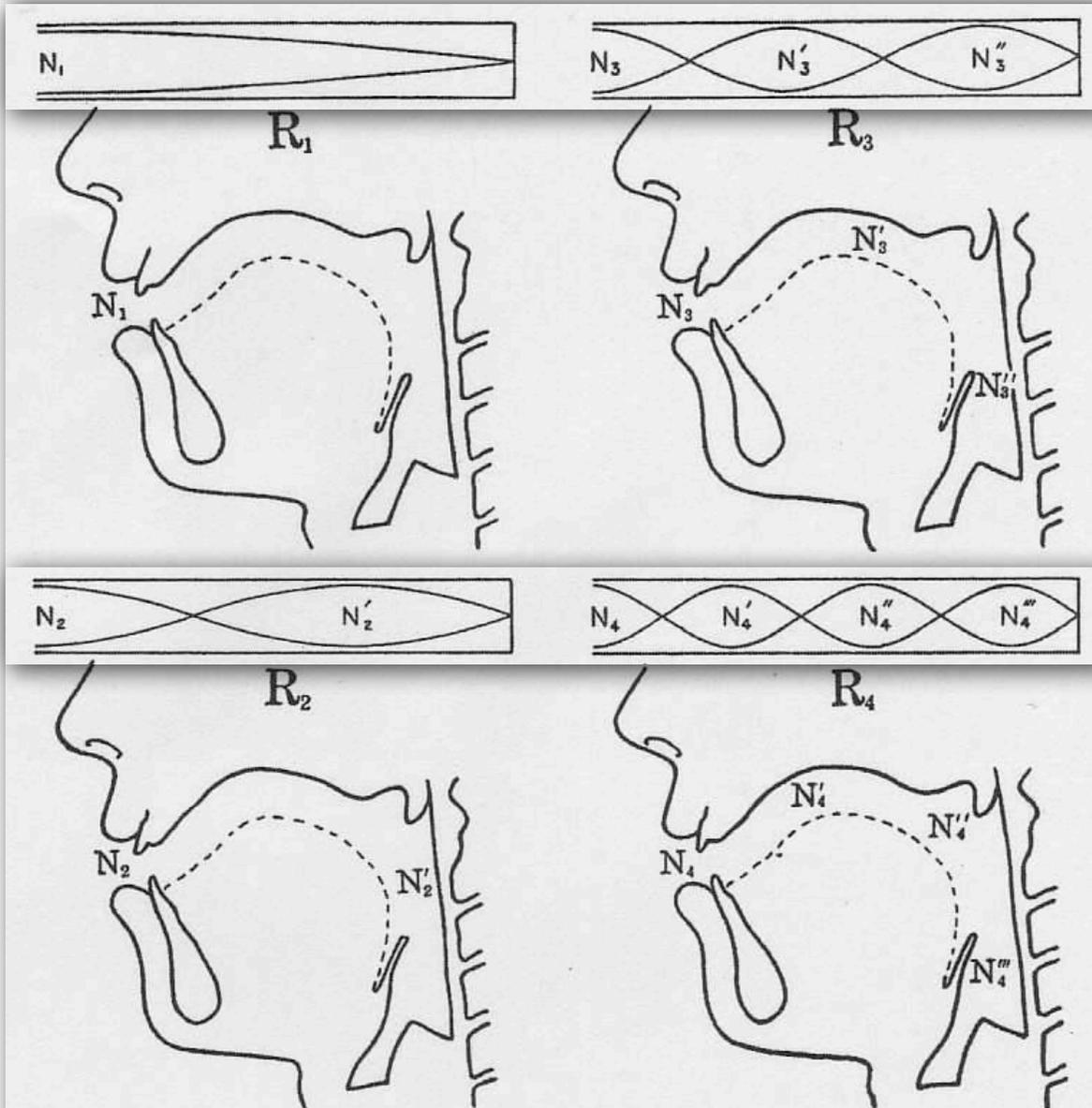


図 93 断面積が均一の音響管または声道における体積流の最大点の分布

母音は疎密波, , , でも, ちょっと特殊な疎密波



定常波

フォルマント

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

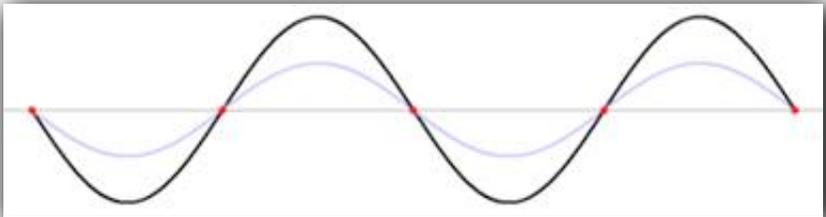
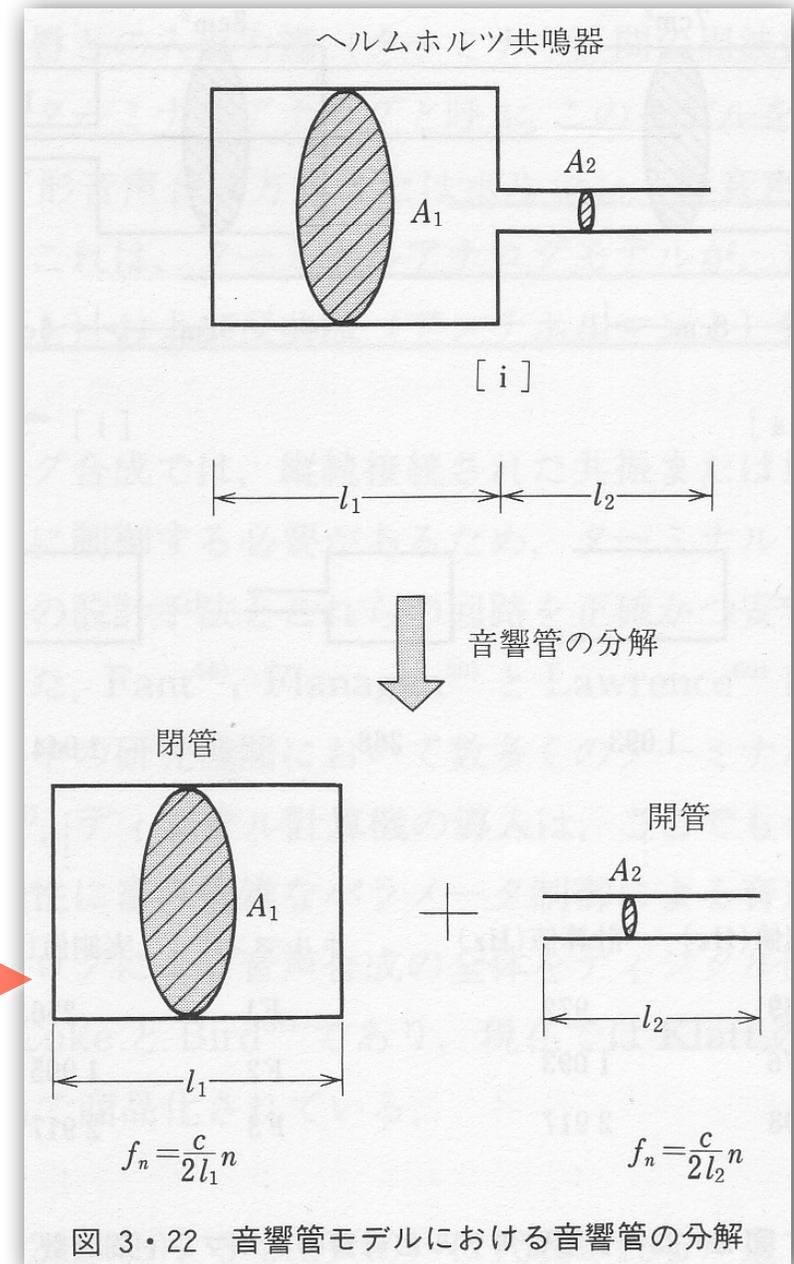
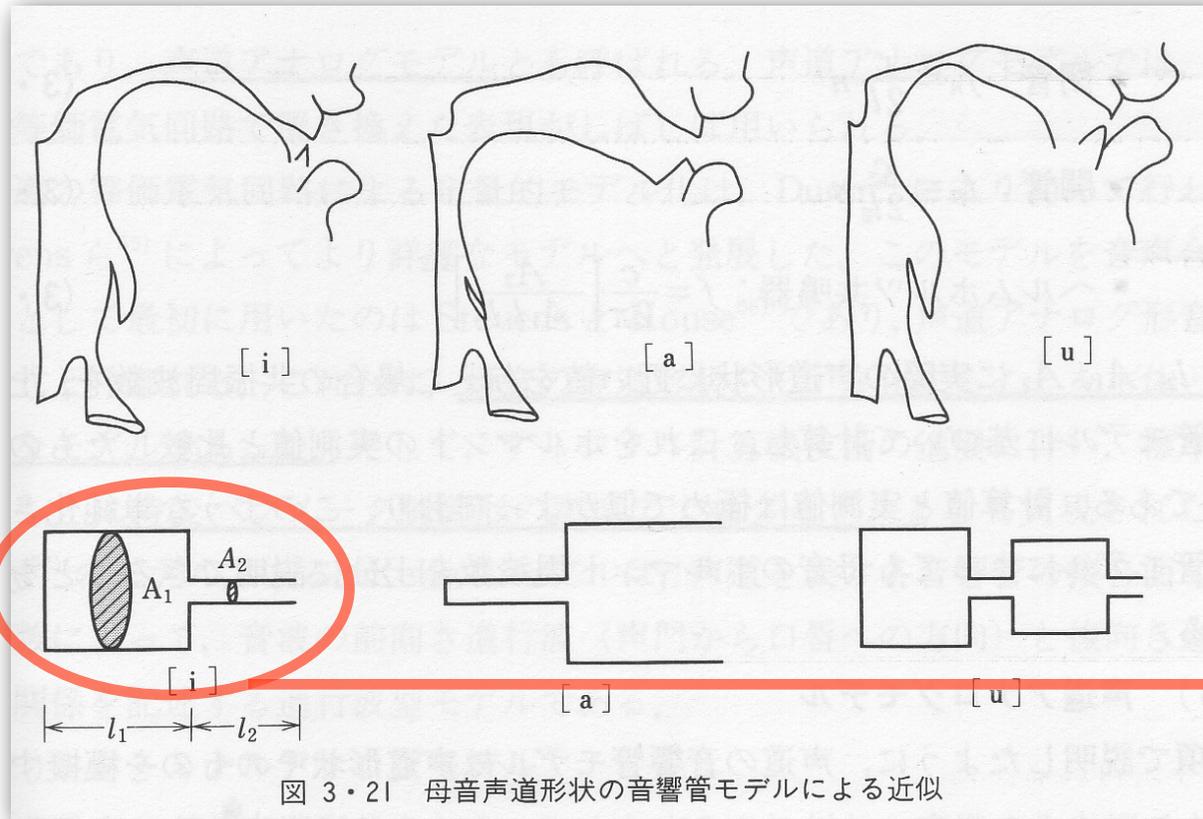


図 93 断面積が均一の音響管または声道における体積流の最大点の分布

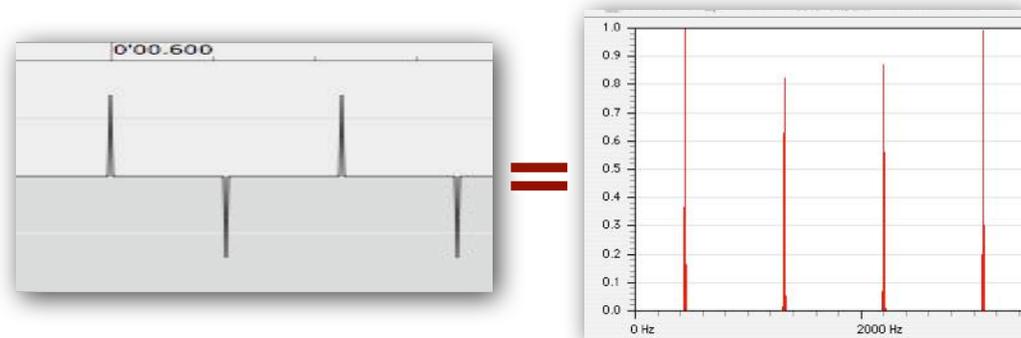
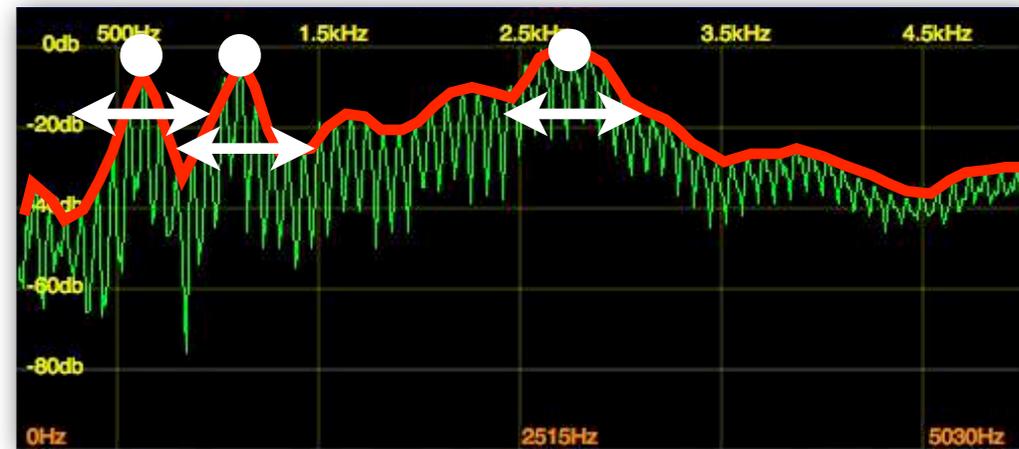
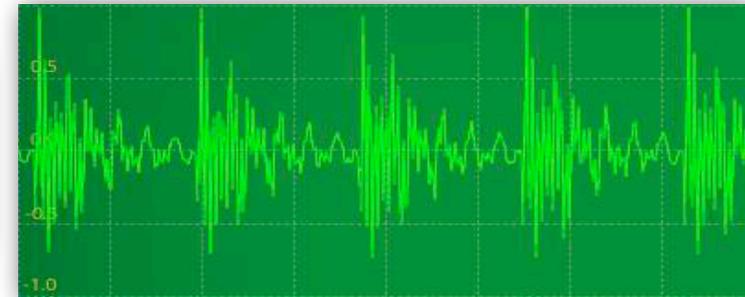
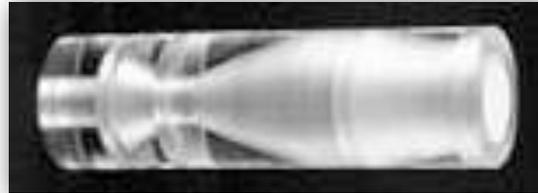
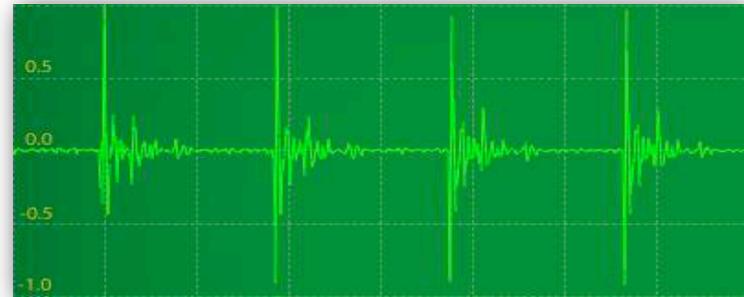
管の形状が共鳴の様子を決める

- 音声の共振（共鳴）周波数を求めて
- = フォルマント周波数



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

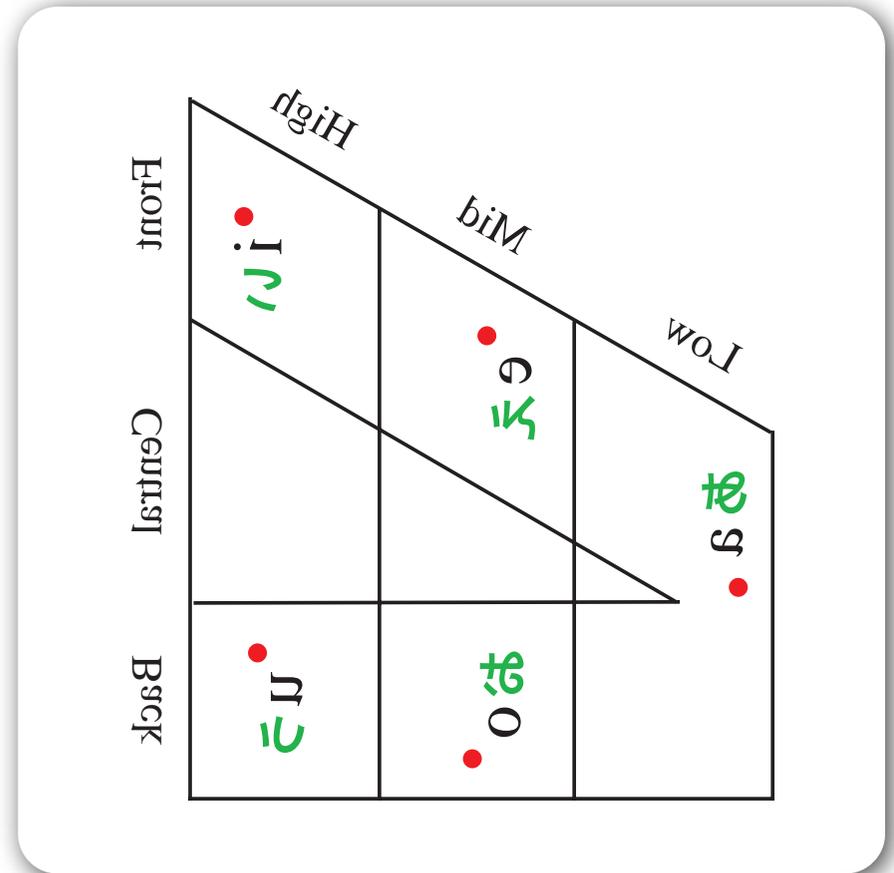
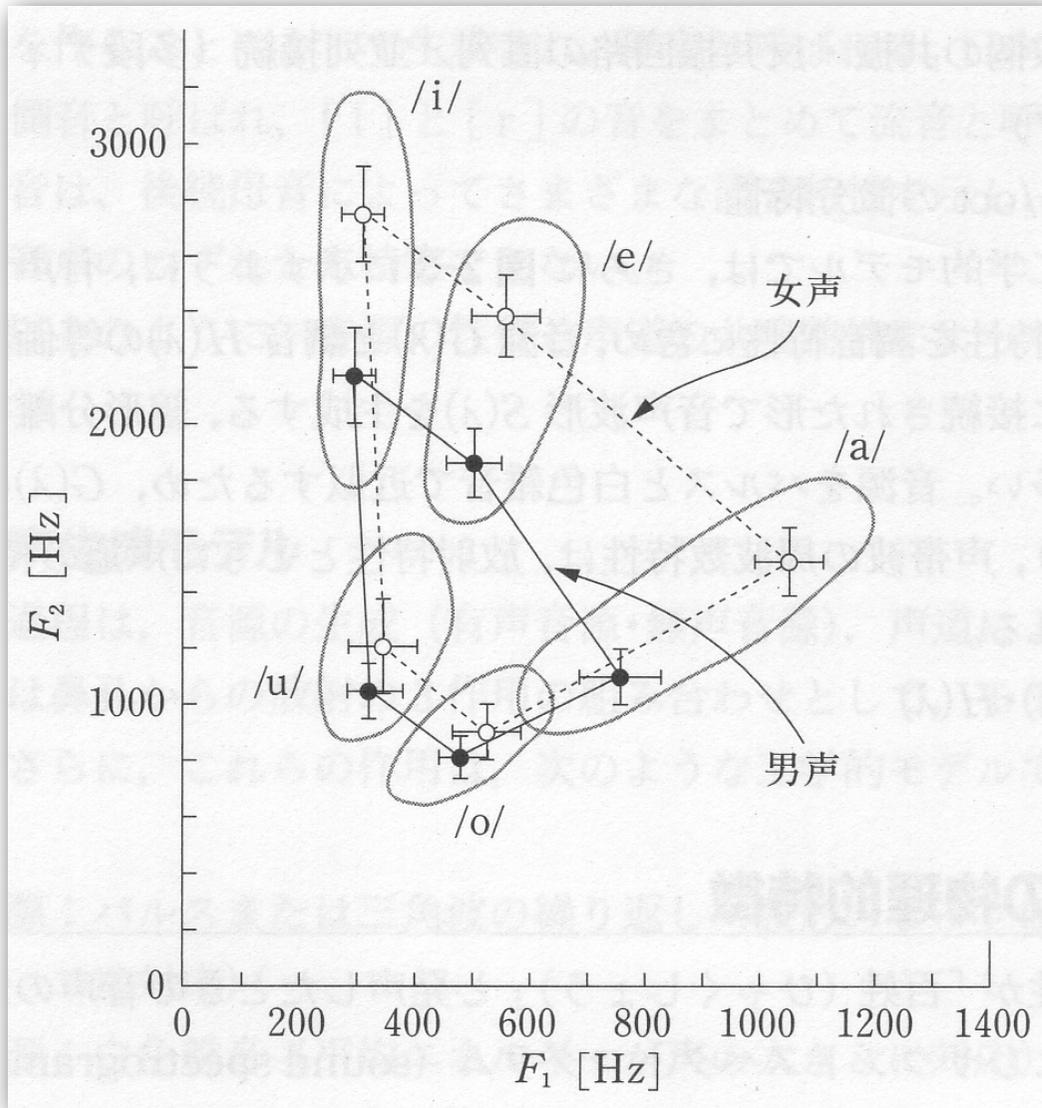
ブザー (パルス列) → 管 → 「あ～」



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

「母音の違い」も「話者の違い」も共振周波数の違い

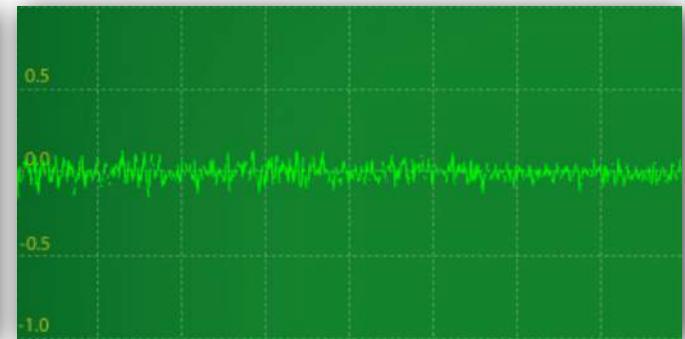
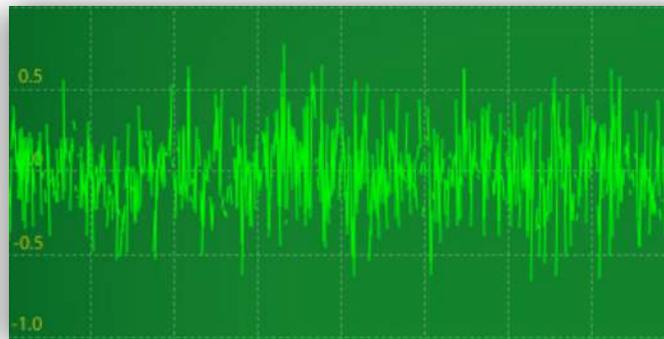
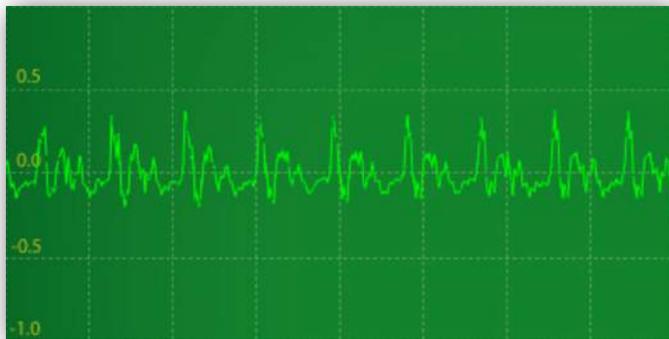
● 日本語5母音の第一・第二フォルマント周波数



/l/, /s/, /h/

- /l/ 側面接近音 (有声音)
- /s/ 歯茎摩擦音 (無声音)
- /h/ 声門摩擦音 (無声音)

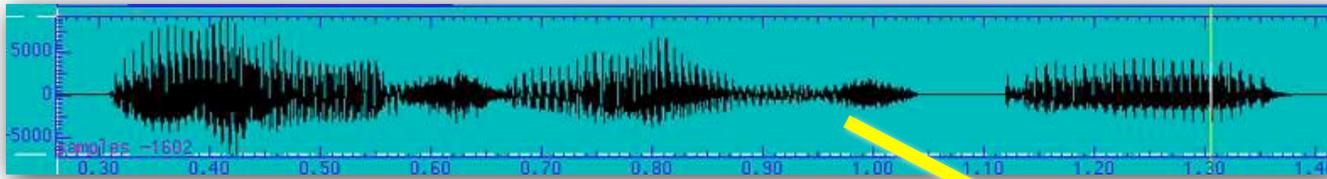
- 有声音：声帯の振動が音源（の一部）に。波形は周期的になる。
- 無声音：声帯の振動が伴わずに生成される言語音声



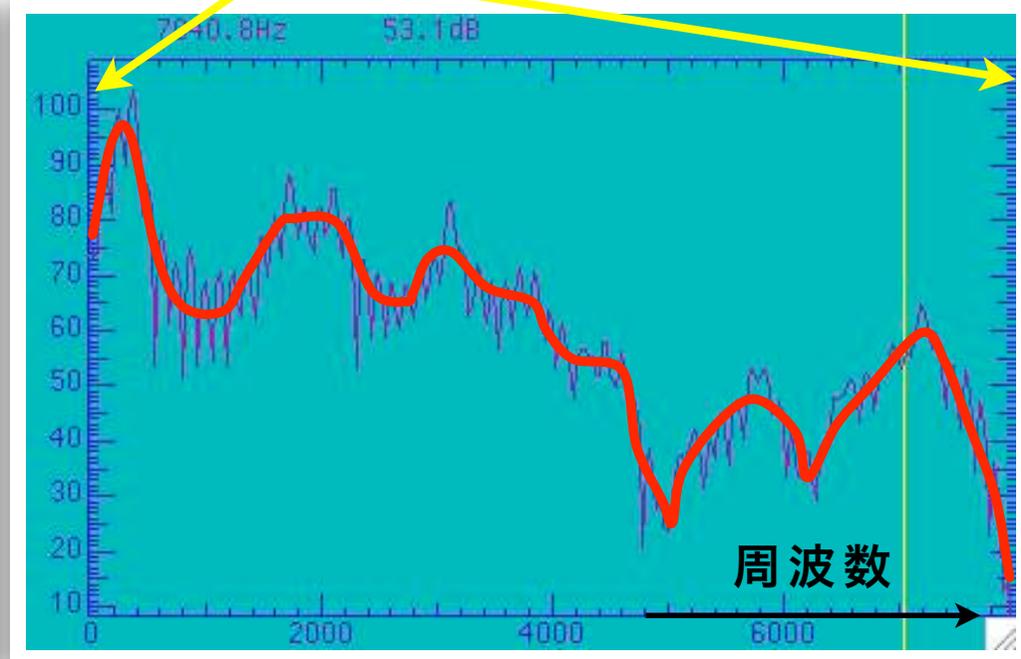
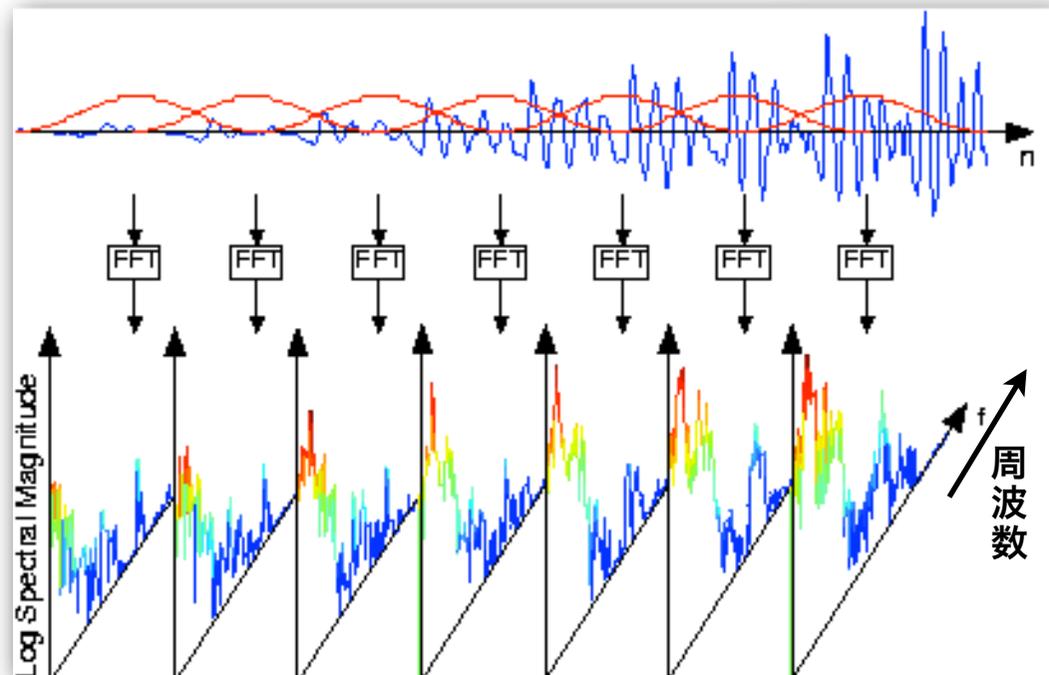
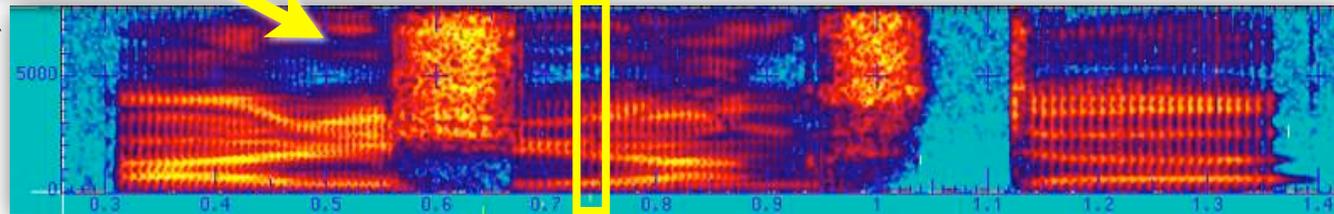
スペクトルからスペクトログラムへ

連続的に発声された音声の分析

● 波形の区分化 → 波形の分解 (スペクトル) → スペクトログラム

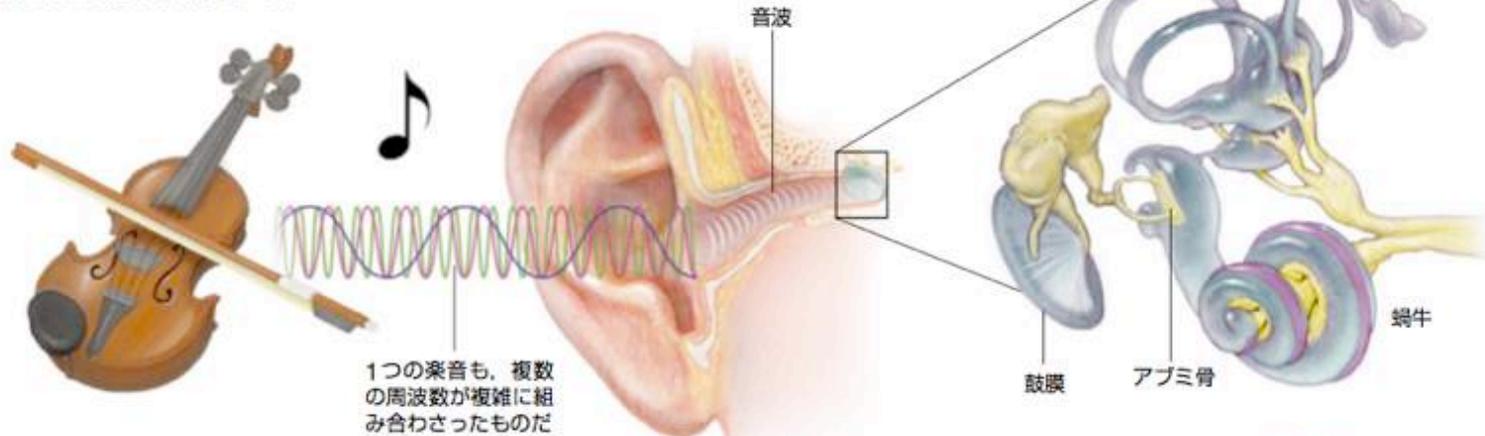


↑
周波数



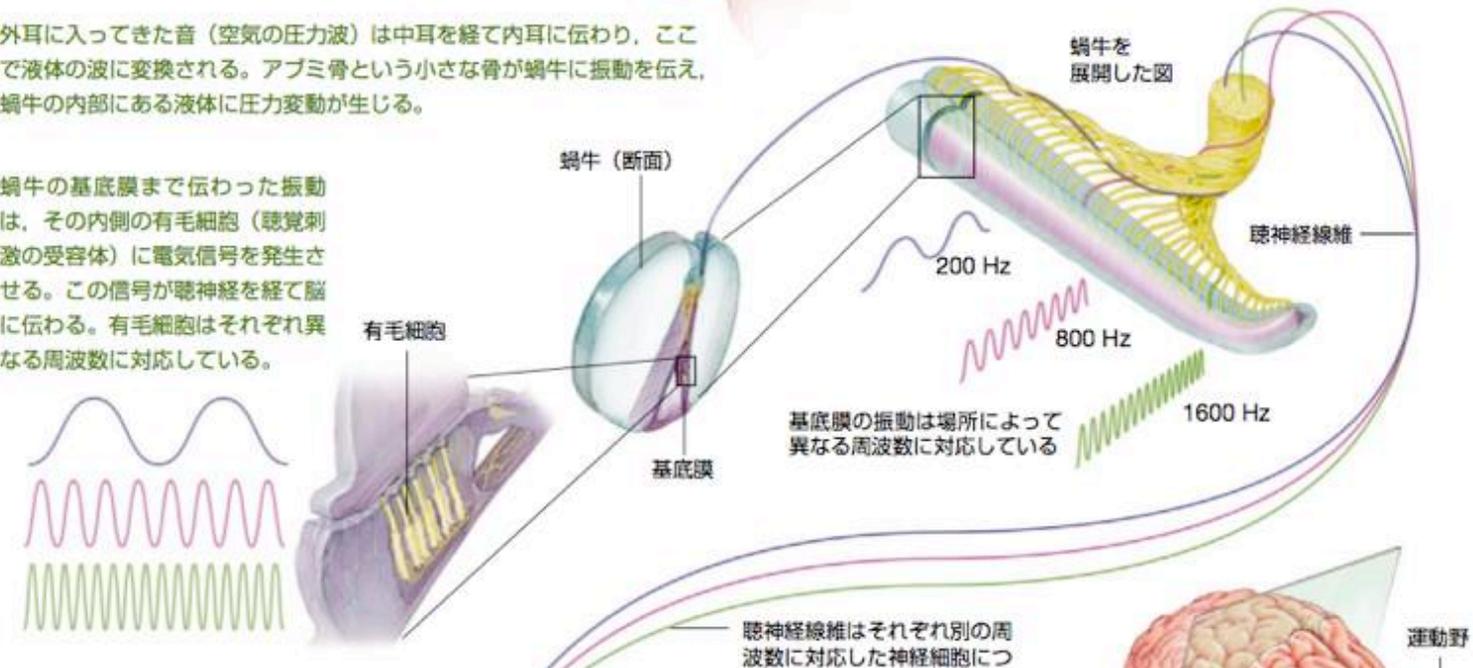
耳から脳へ 音楽の通り道

音楽を聴くと、脳では聴覚野だけでなく、さまざまな領域が反応する。通常なら音とは別の処理に関係している領域も加わり、視覚や触覚、感情といった体験すべてが脳の音楽処理に影響する。

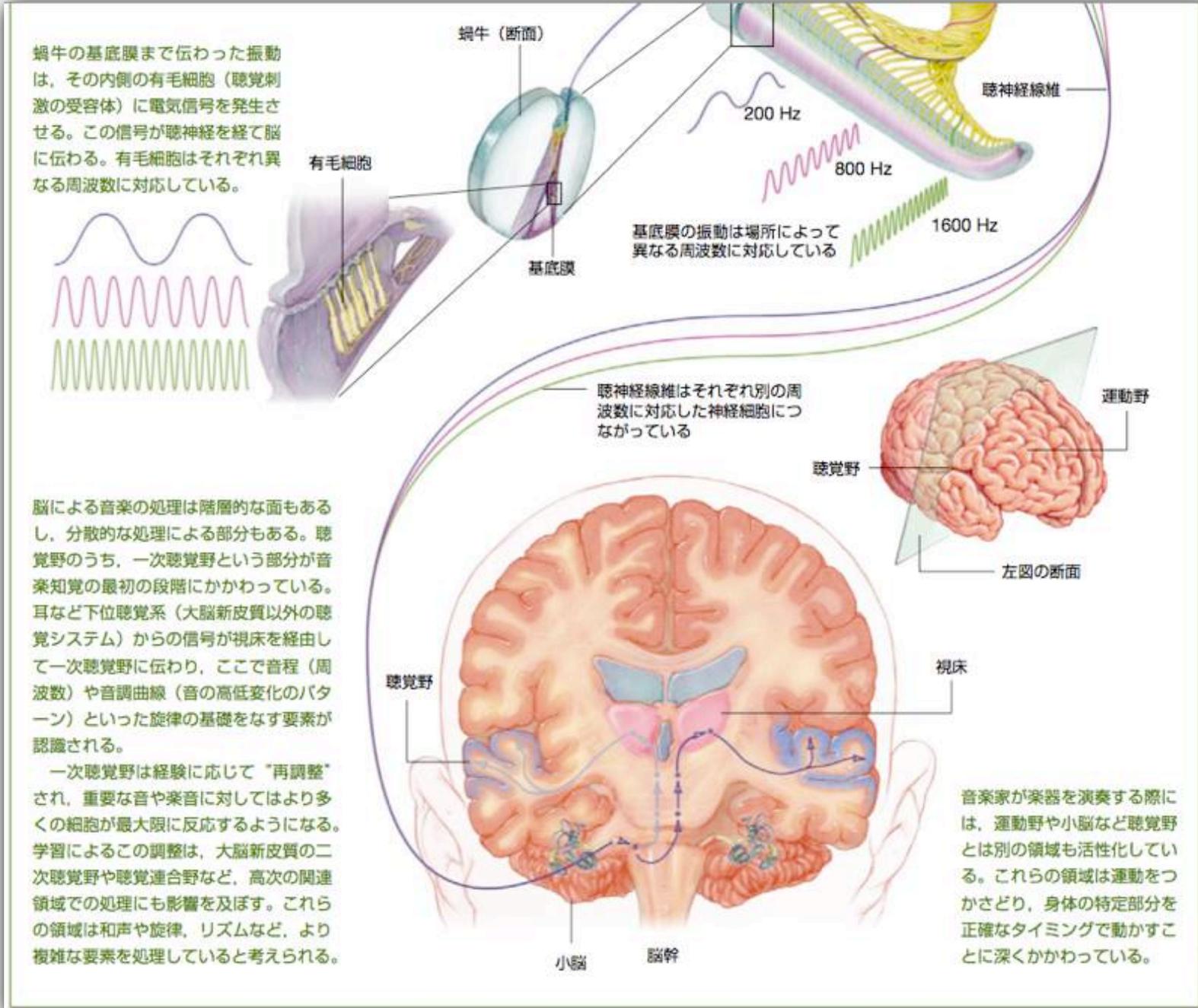


外耳に入ってきた音（空気の圧力波）は中耳を経て内耳に伝わり、ここで液体の波に変換される。アブミ骨という小さな骨が蝸牛に振動を伝え、蝸牛の内部にある液体に圧力変動が生じる。

蝸牛の基底膜まで伝わった振動は、その内側の有毛細胞（聴覚刺激の受容体）に電気信号を発生させる。この信号が聴神経を経て脳に伝わる。有毛細胞はそれぞれ異なる周波数に対応している。



耳から脳へ



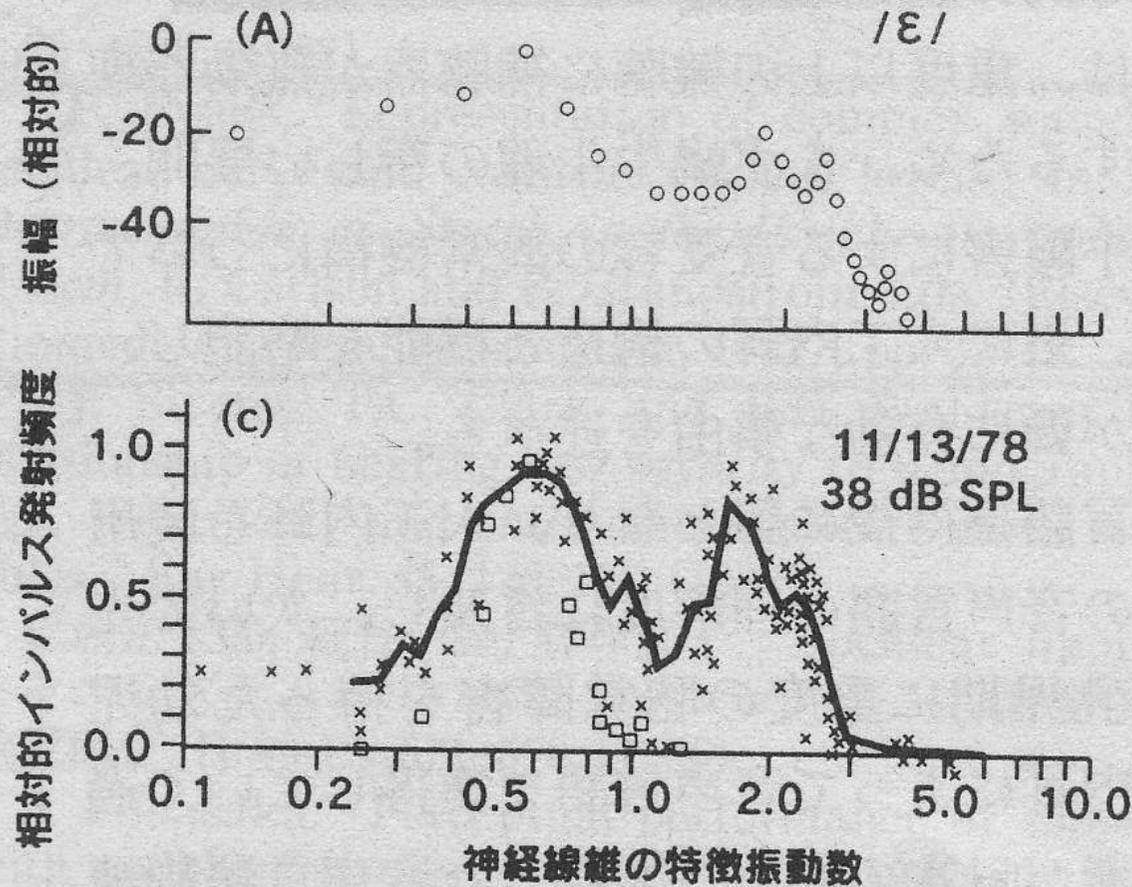


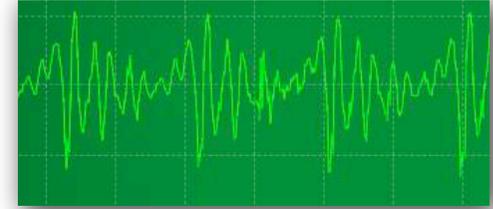
図-3 合成母音/ε/に対する聴神経の反応

正常蝸牛は時々刻々と入力音のフーリエ解析をしている。この機能は蝸牛障害で失われる。A：/ε/の振幅スペクトル，C：様々な特徴振動数の神経繊維の/ε/に対する相対的インパルス発射頻度（文献5）より引用



三種類の音声学

● 調音音声学 + 音響音声学 + 聴覚音声学



まずは調音音声学の「いろは」

● 母音の生成と分類 / 子音の生成と分類 / 見て確認する調音活動

次に音響音声学の「いろは」

● 空気の粒の振動現象としての音を持つ四つの要素

● 音声波形の中に見る音声の「高さ」と「音色」

● スペクトルの中に見る音声の「高さ」と「音色」

● 様々な音声（波形 / スペクトル）に見る「高さ」と「音色」

● 調音音声学・音響音声学・聴覚音声学の接点

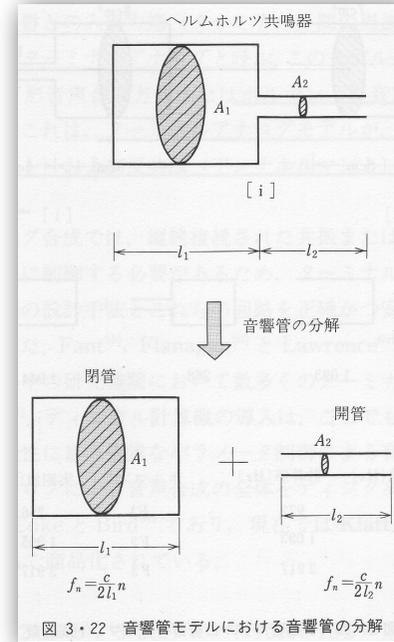
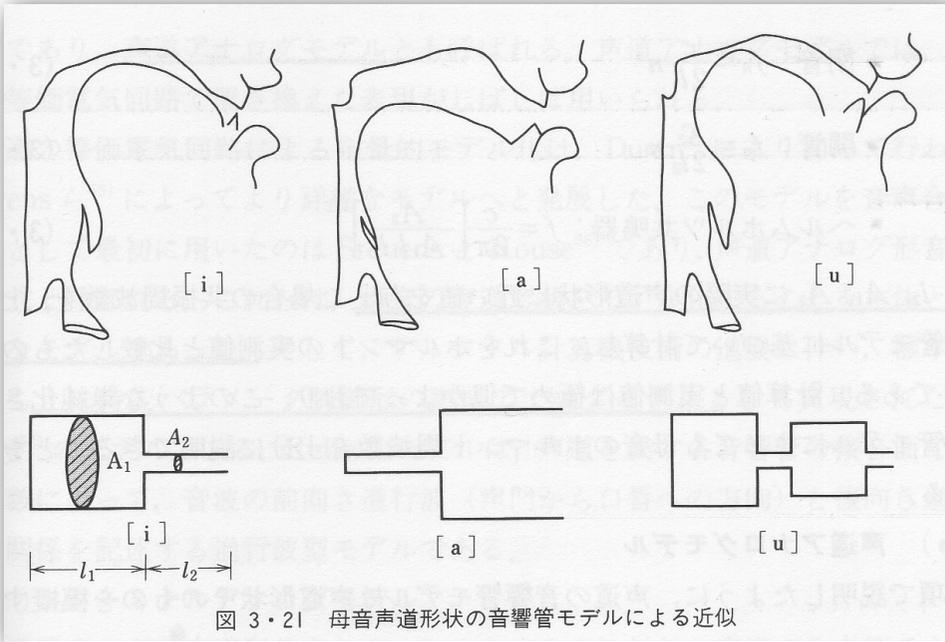
面白い耳テスト

● 管が短くなるとどんな音になる？

● この音は、どんな管形状変形によって作られた？



Q : 管を短くするとどんな声になるのか？



$$f_n = \frac{c}{2l_1} n$$

$$f_n = \frac{c}{2l_2} n$$

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

A → B → C



Q : 管を「あ」から何の形に変えたのか当てなさい。

● この人の「あ」の管の形から変えていきます。

A

=



A



B

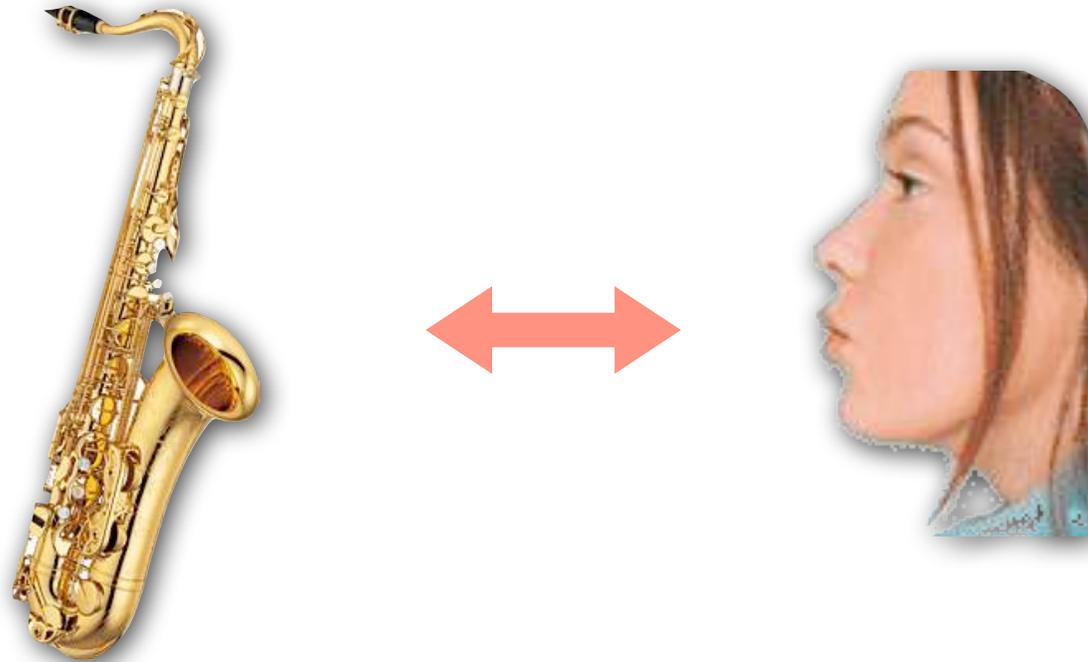
B



A

Q : 管を「あ」から何の形に変えたのか当てなさい。

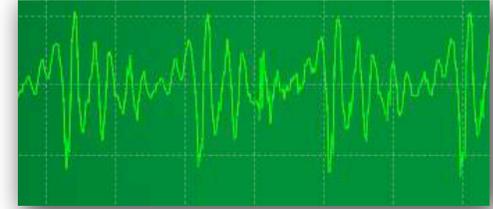
● この人の「あ」の管の形から変えていきます。





三種類の音声学

● 調音音声学 + 音響音声学 + 聴覚音声学



まずは調音音声学の「いろは」

● 母音の生成と分類 / 子音の生成と分類 / 見て確認する調音活動

次に音響音声学の「いろは」

● 空気の粒の振動現象としての音を持つ四つの要素

● 音声波形の中に見る音声の「高さ」と「音色」

● スペクトルの中に見る音声の「高さ」と「音色」

● 様々な音声（波形 / スペクトル）に見る「高さ」と「音色」

● 調音音声学・音響音声学・聴覚音声学の接点

面白い耳テスト

● 管が短くなるとどんな音になる？

● この音は、どんな管形状変形によって作られた？



宿題

- 本講座「音声の音響分析の”いるは”」は素人向けの講座である。
 - つまり、つっこみ箇所、説明を省いた箇所、は結構沢山ある。
- レポート課題
 - 説明を省いているのではないかと思われる箇所、を指摘せよ。
 - 更に、何故、省いてもよいのか、についても考察せよ。
 - なお「詳細を述べると聴講者が寝るから」という回答は無視する。
- 提出先
 - PDF ファイルとして作成し、メール添付で提出。
 - ファイル名：[学籍番号]_[苗字].pdf, 例) 03140432_Suzuki.pdf
 - 提出先：mine@gavo.t.u-tokyo.ac.jp
 - 所属学科・学籍番号・氏名を、レポート冒頭に記すこと。
- ✂切
 - 本日23:59:59 (明日になる直前)