

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



本講義で対象にする方々



言語や音声に興味を持っている。

パソコンで音声を録音したことはある。

● 音声波形もちょうとは見たことがある。

でも、音響分析に関する知識はあまりない。

● あるいは、全くない。高校で物理とらなかったもん。

例えば・・・

● 音声に関する研究機関に所属したばかりの方

● 学生さん，他分野からこの業界に入られて間もない方

● 仕事柄，音声とのお付き合いが多い方

● 外国語教師

● 言語聴覚士

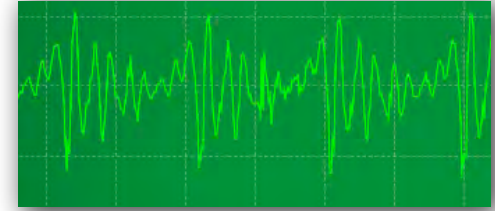
● アナウンサー志望，声優志望の方

● などなど



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・・・

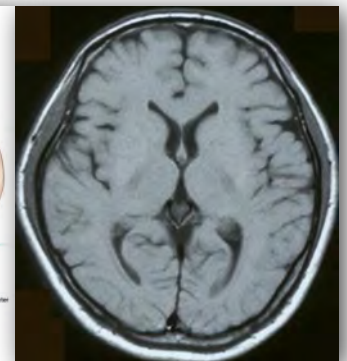
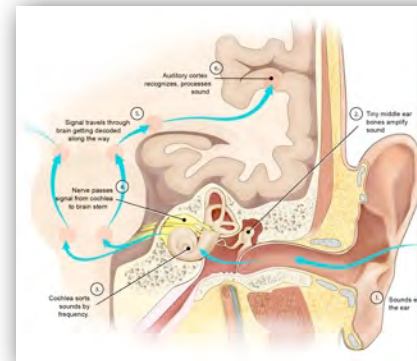
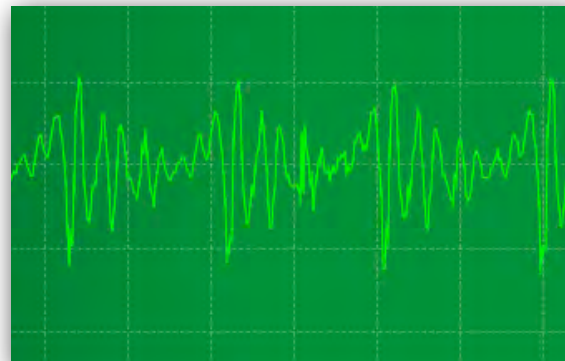
(出典：世界大百科事典第二版)

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？

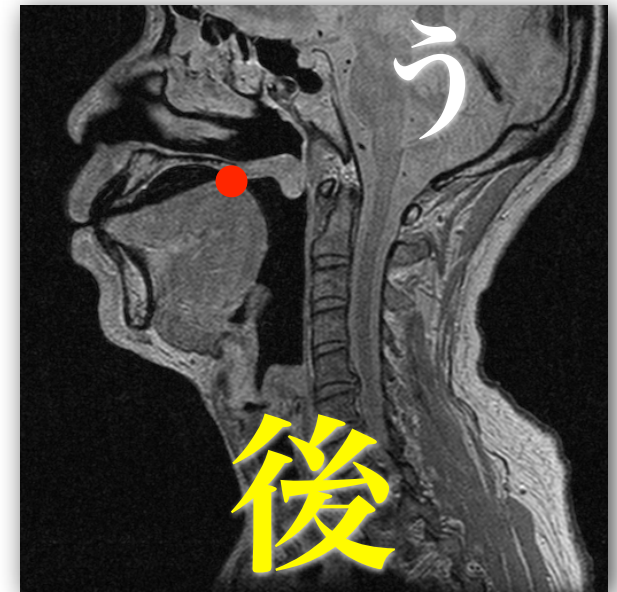
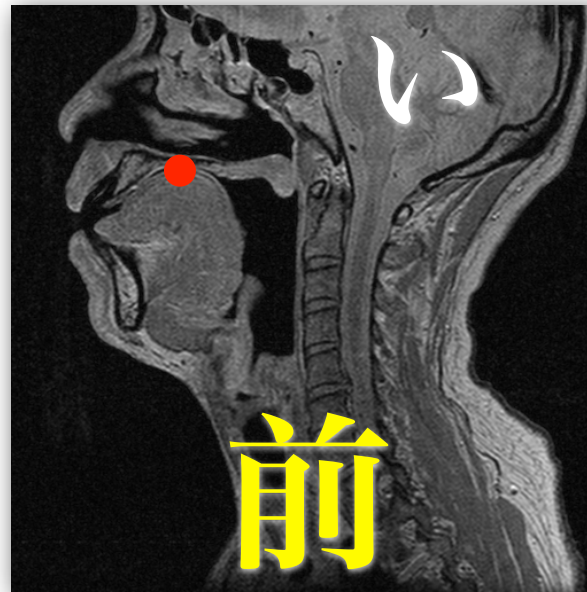
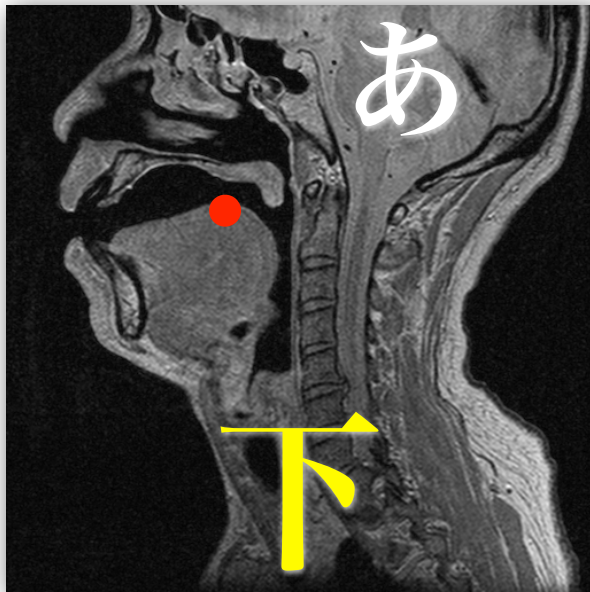
● この順で観測の難易度も上がってくる。



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

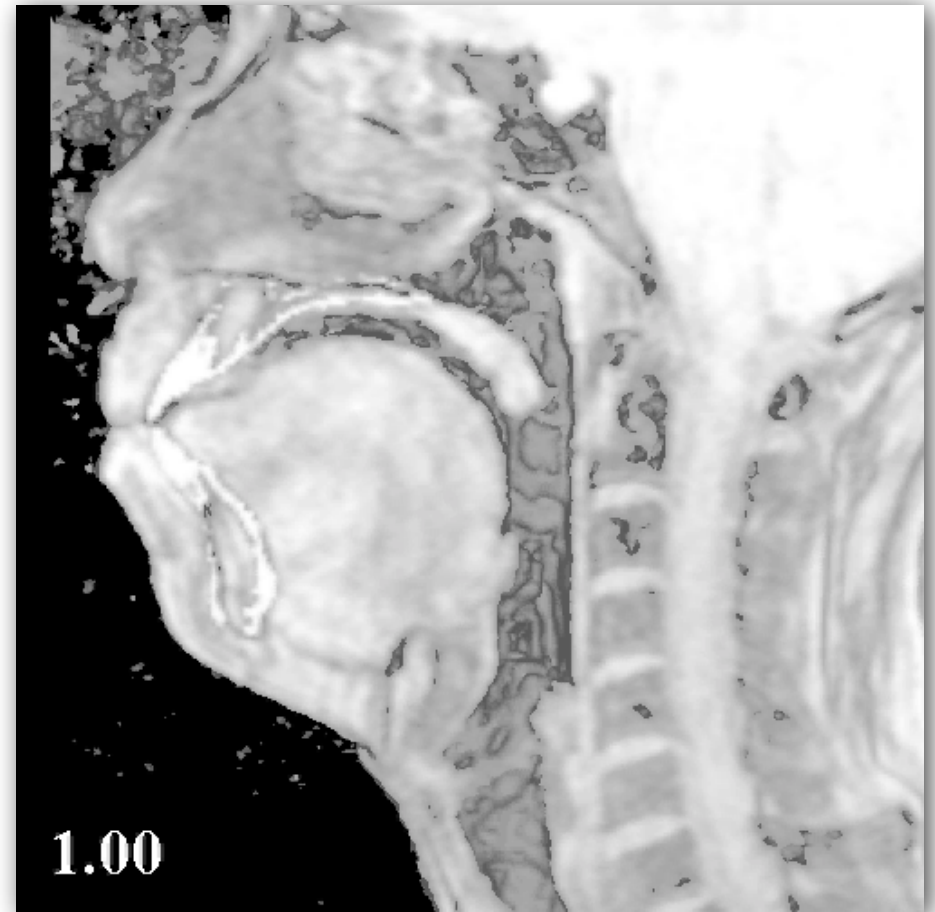
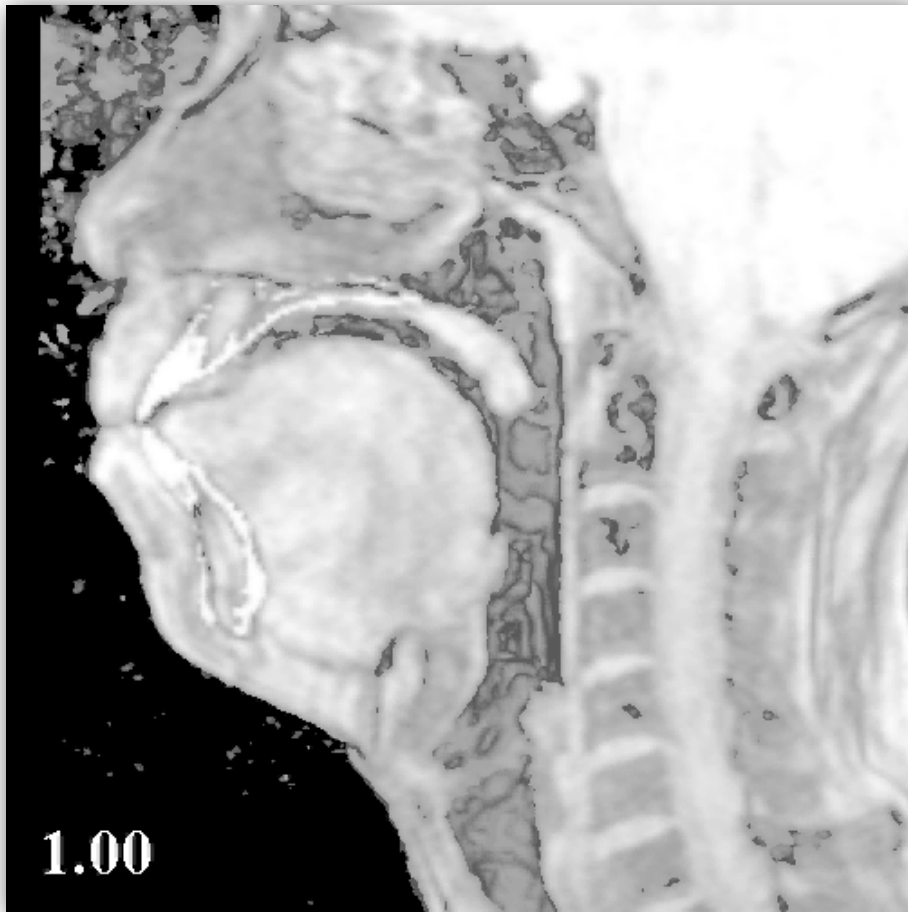
} 口の構え

まずは調音音声学から



「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。



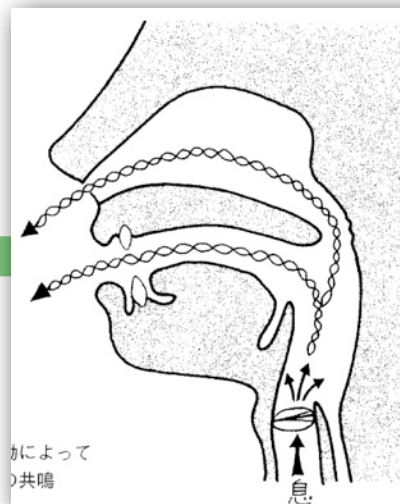
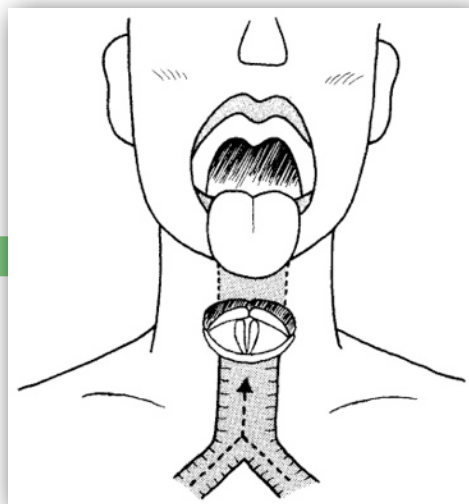
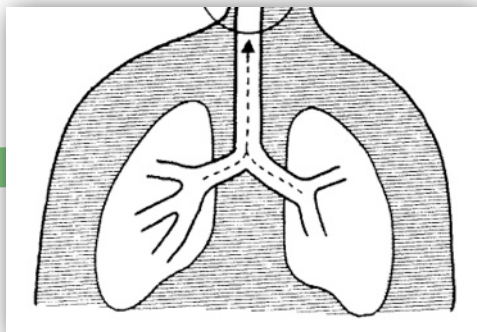
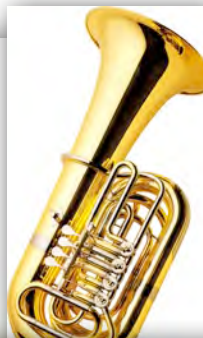
(提供：ATR人間情報科学研究所)

● 「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



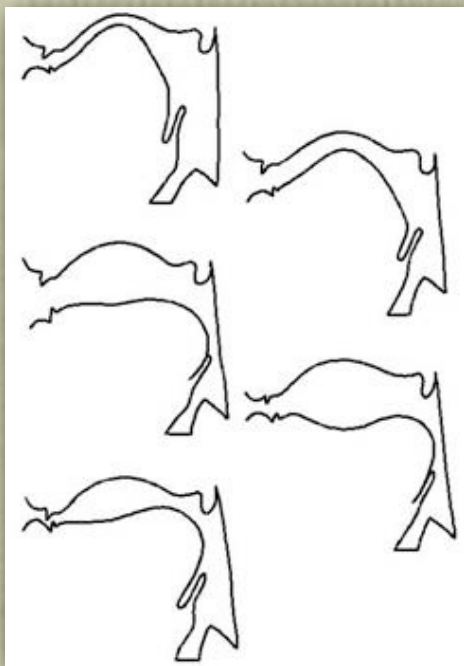
i u
e o
a

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

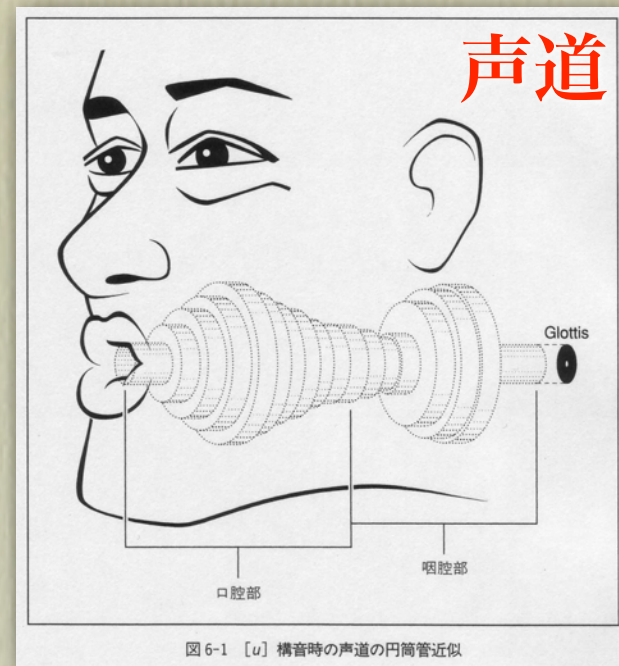
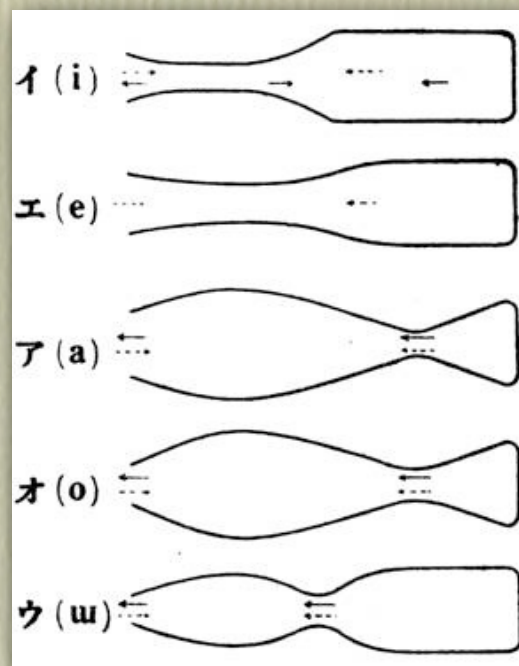


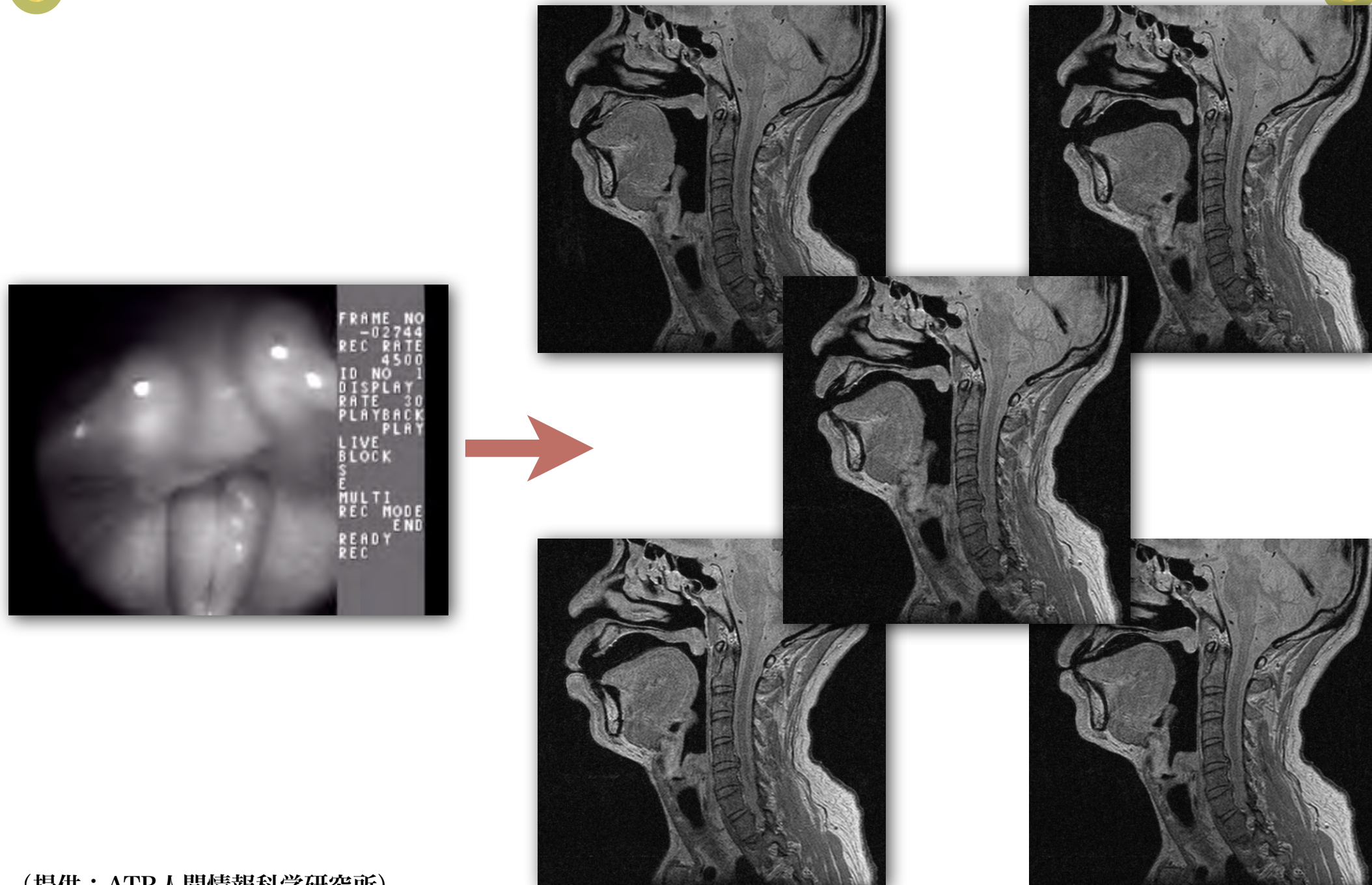
図 6-1 [u] 構音時の声道の円筒管近似

(出典：I. R. Titze 「音声生成の科学」)

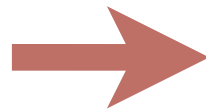
でも我々の楽器はグニャグニャ形が変わる

(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



声帯音源 + 声道 = ブザー + 管

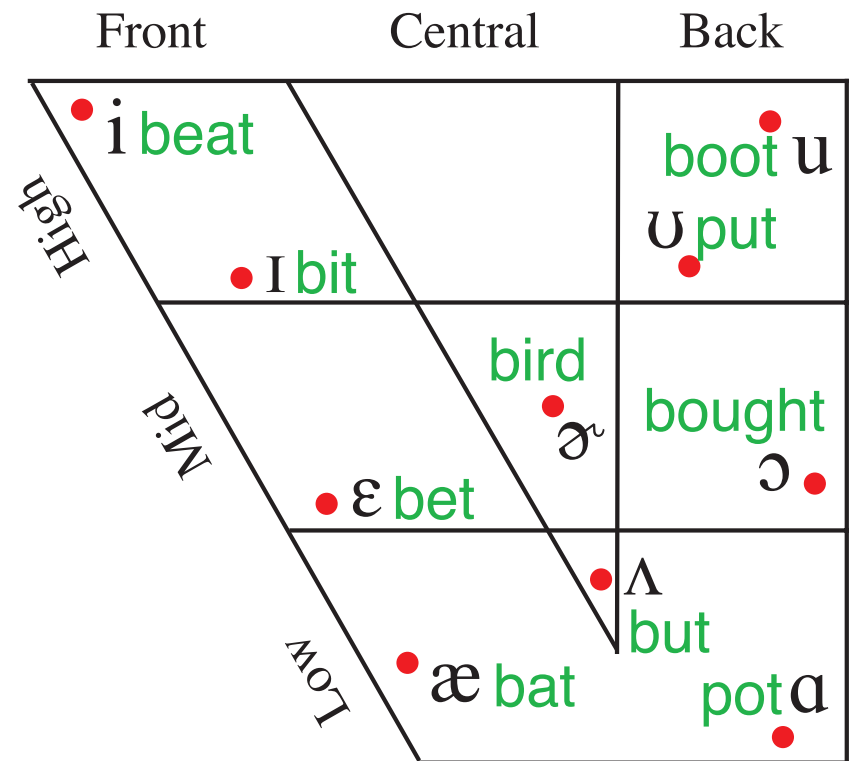
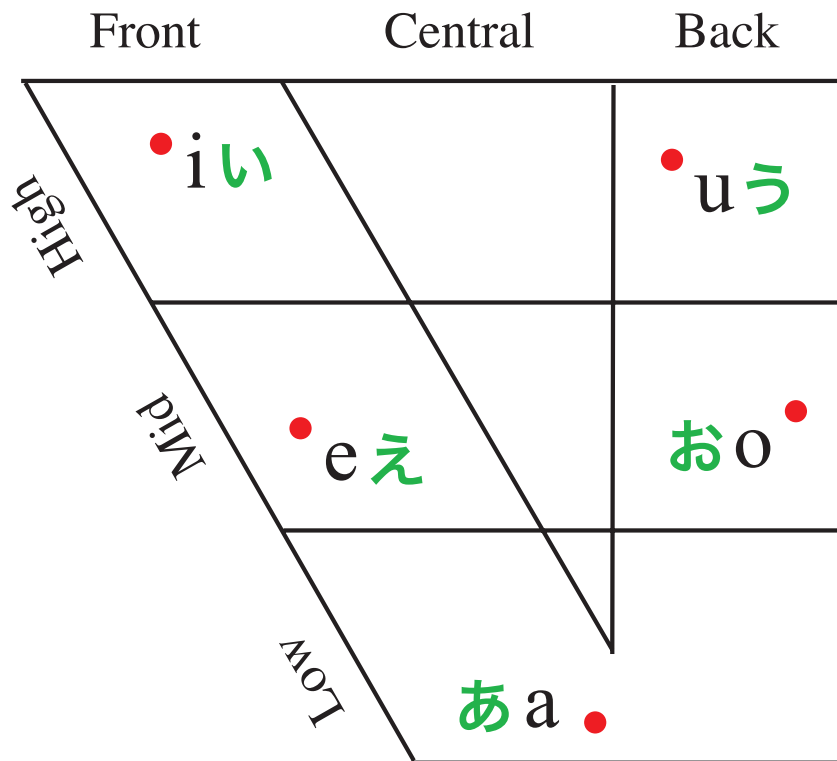


超リアルな声道モデル



(提供：ATR人間情報科学研究所)

あ=下, い=前, う=後



5

2倍+1

まずは調音音声学から



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		t̪ d̪	c ɟ	k ɡ	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				ɬ ɮ							
接近音		ʋ		ɹ		ɻ	j	ɰ			
側面接近音				ɭ		ɭ	ʎ	ʟ			

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/IPA/lab/IPA/lab.htm

色の名前, 英語

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				k ɡ				ʔ
<u>Nasal</u>	m	ɱ		n		ɳ	ɲ	ŋ	ɴ		
<u>Trill</u>	ʙ			r					ʀ		
<u>Tap or Flap</u>				ɾ		ɽ					
<u>Fricative</u>	ɸ β f	v θ	ð s	z ʃ	ʒ ʂ	ʐ ʑ	ç x	ʁ ɣ	ħ	ʕ	h
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/IPA/lab/IPA/lab.htm>

摩擦音とふるえ音を聞いてみる

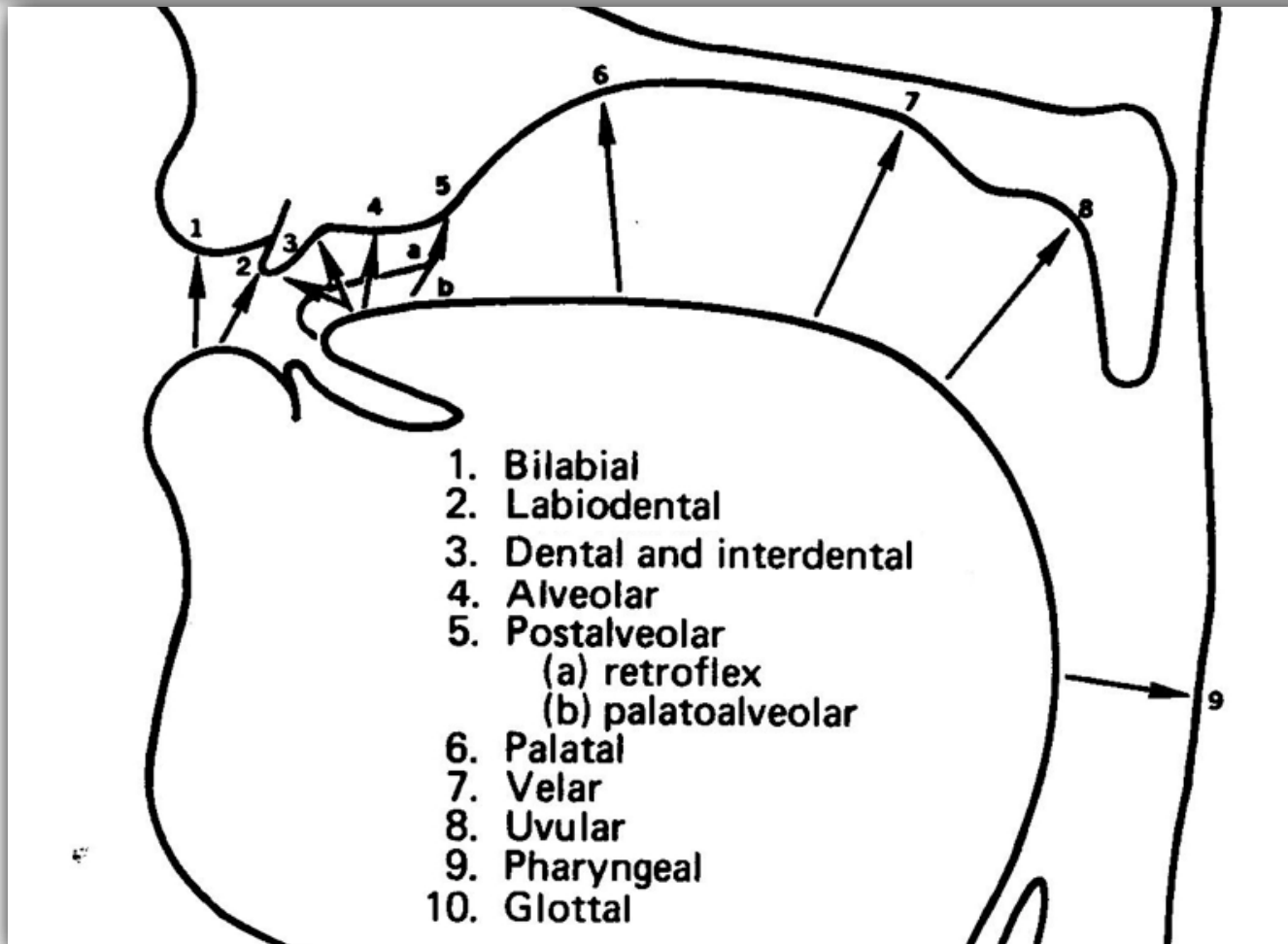


唇から口, そして喉の奥へ

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

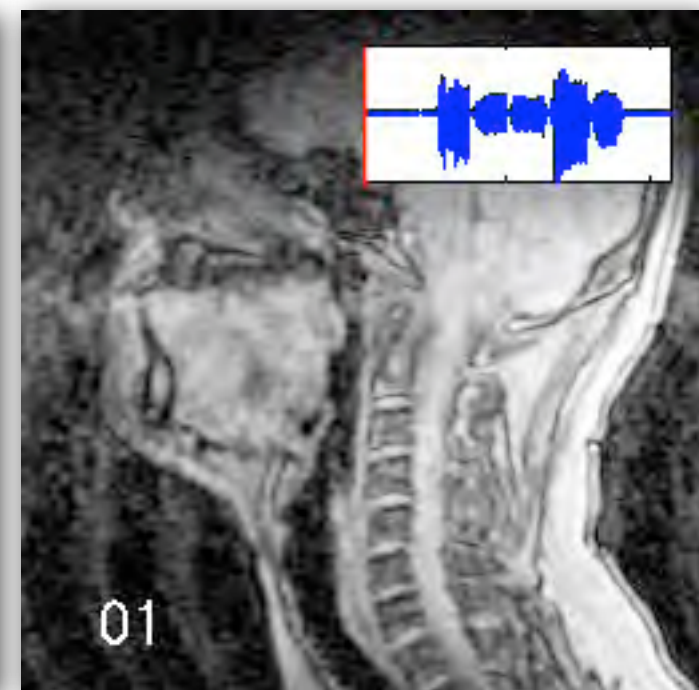
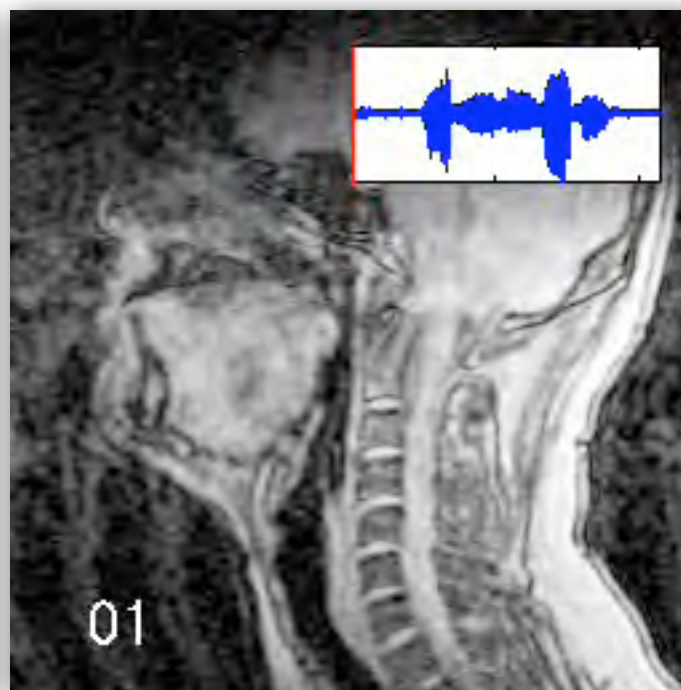
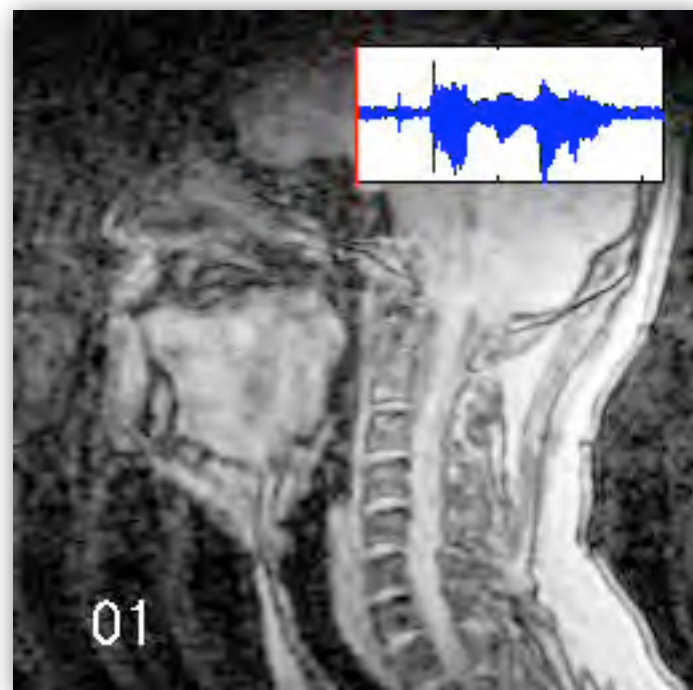
CONSONANTS (PULMONIC)

	Bilabial	Labiodental	Dental	Alveolar	Postalveolar	Retroflex	Palatal	Velar	Uvular	Pharyngeal	Glottal
<u>Fricative</u>	ɸ β f	v θ	ð s	z ʃ	ʒ ʂ	ʐ ɕ	j x	ɣ χ	ʁ ħ	ʕ ħ	h



アクロバティックに動く音声器官たち

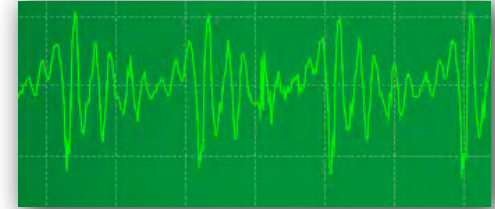
- 舌・口蓋帆・垂（ノドチンコ）の制御による隙間変形の妙技
 - あいうえお → なにぬねの 舌先の様子と鼻腔への接続
 - あいうえお → らりるれる 舌先の様子と鼻腔への非接続
 - 僅かな違いが異なる言語音を生んでいる。





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

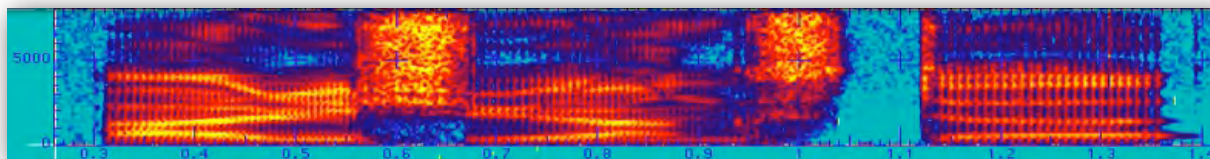
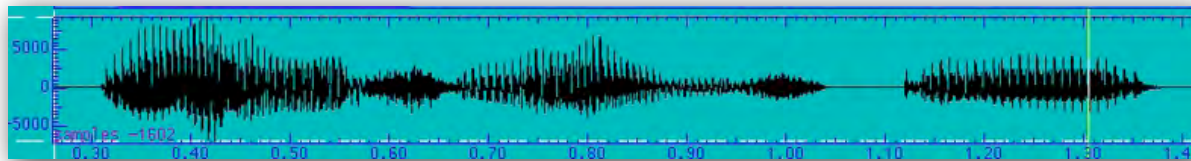
● 管が短くなるとどんな音になる？

● この音は、どんな管形状変形によって作られた？

恐らく皆さんが知りたいこと



- 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 /l/ 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

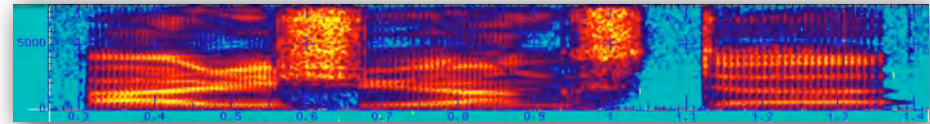
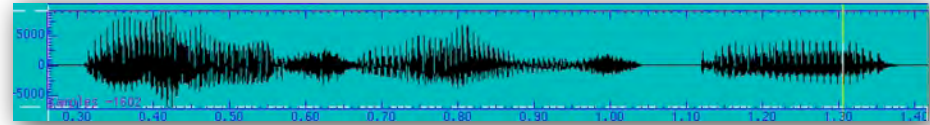
● 長い音, 短い音

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」



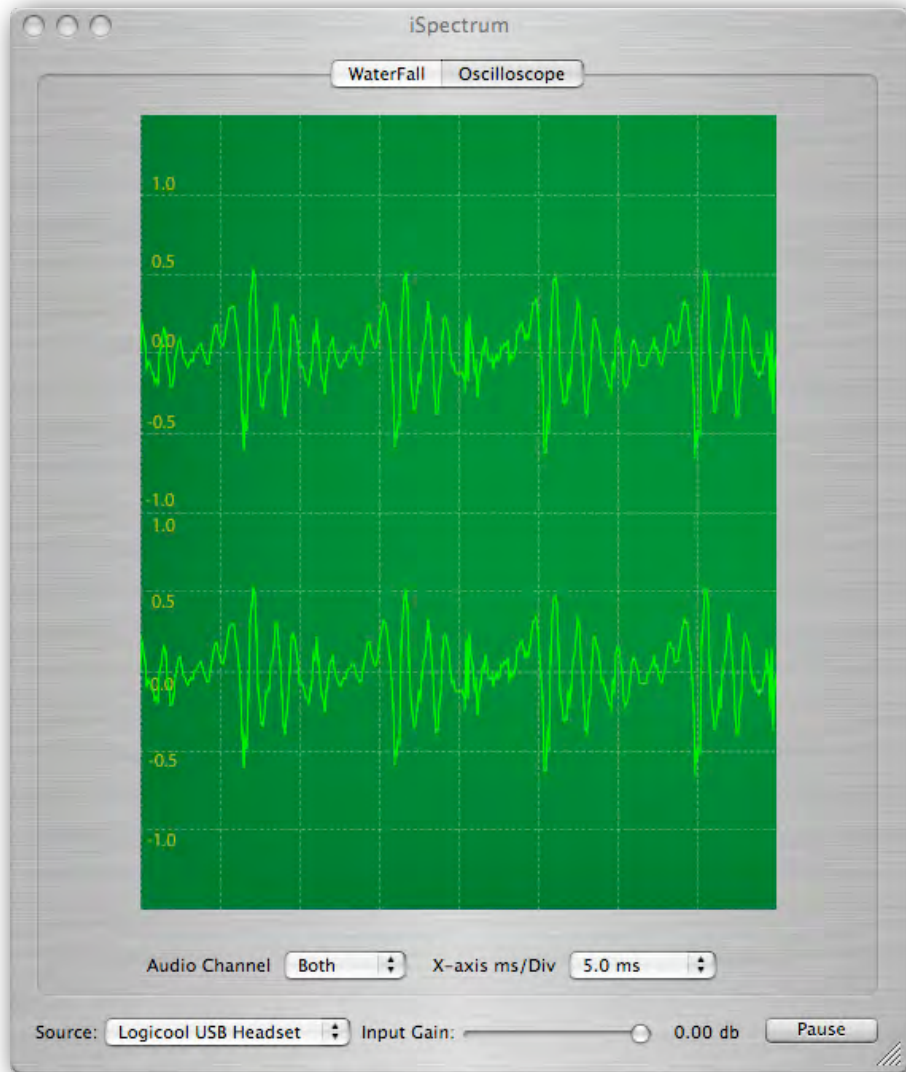
1) 高さ, 2) 大きさ
3) 長さ, 4) 音色

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？



空気の振動？電気の振動？

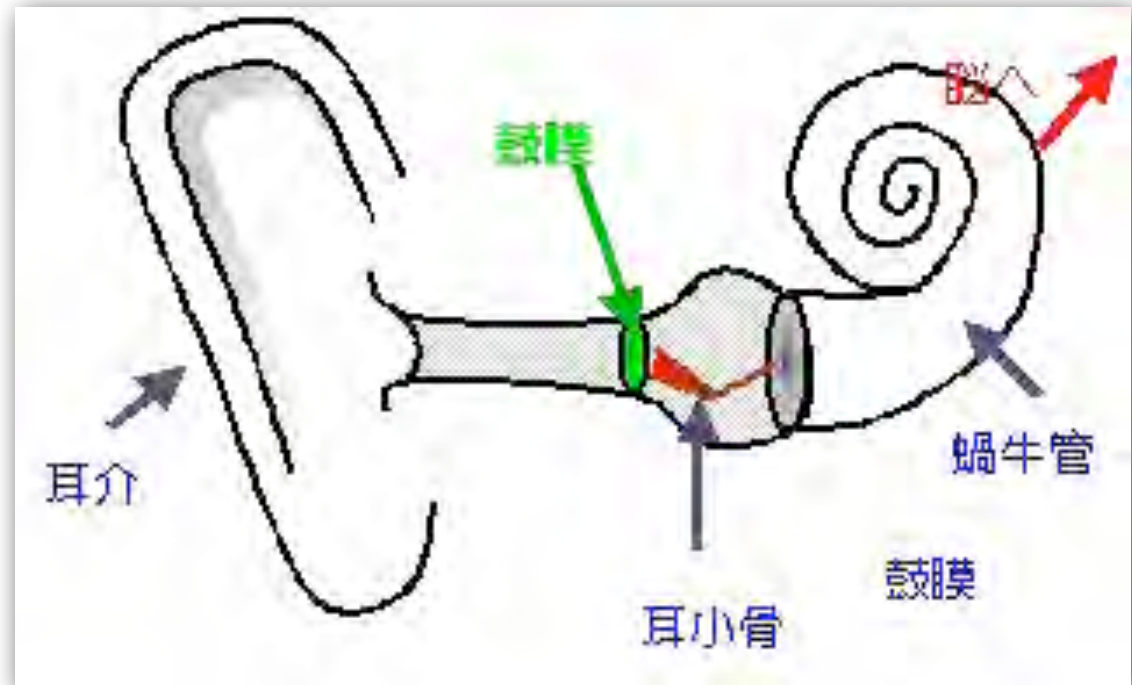
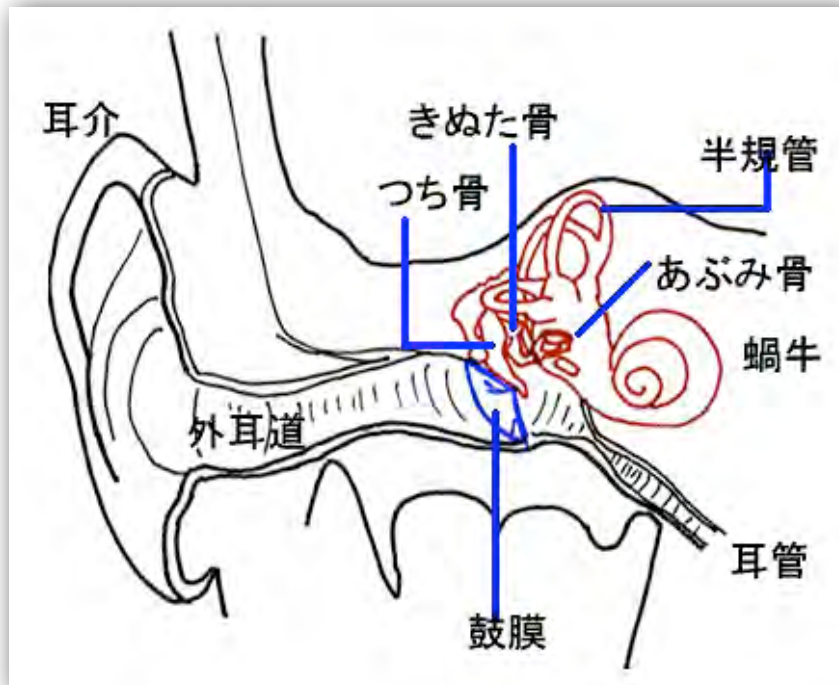


空気の粒が一齐に同一方向に移動する現象

- 「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？



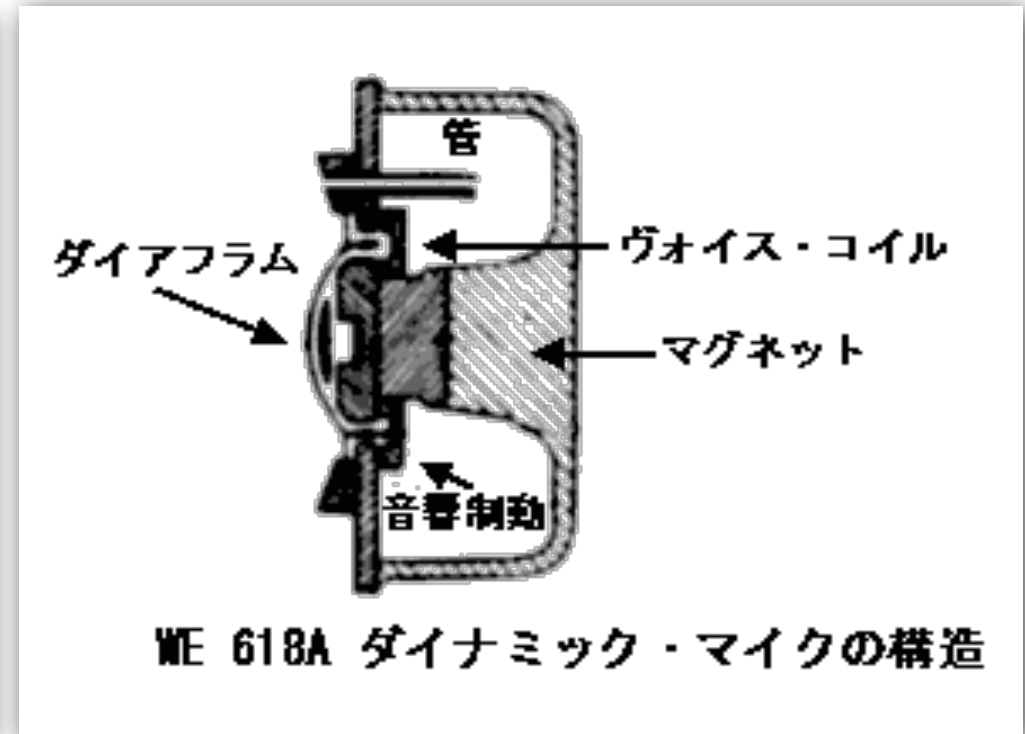
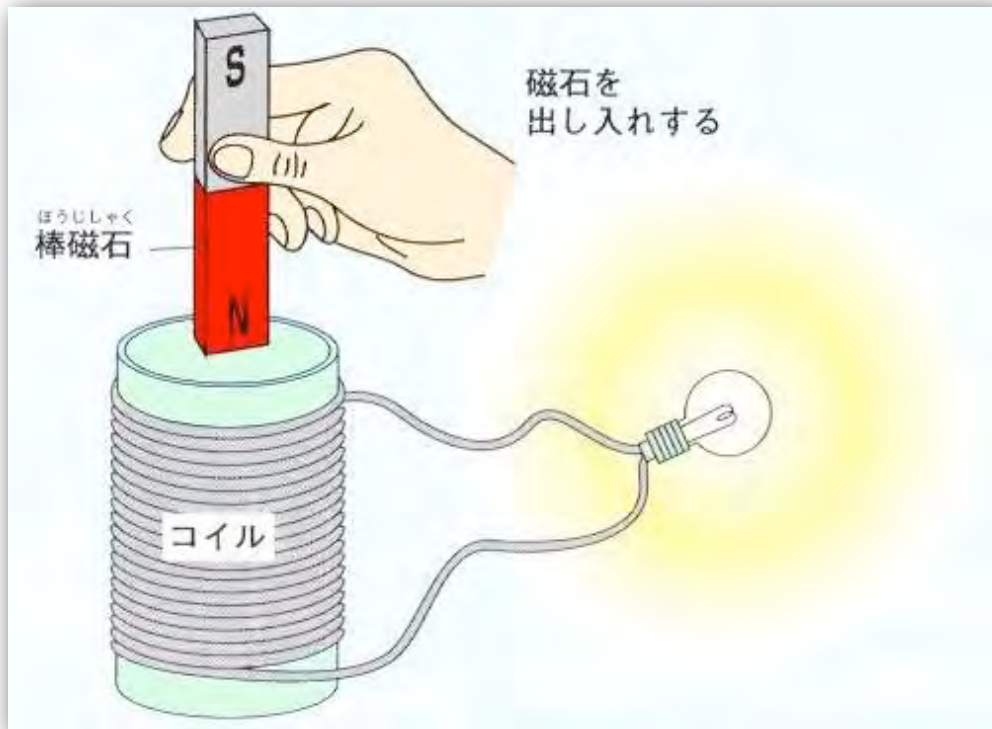
空気の振動？電気の振動？



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？

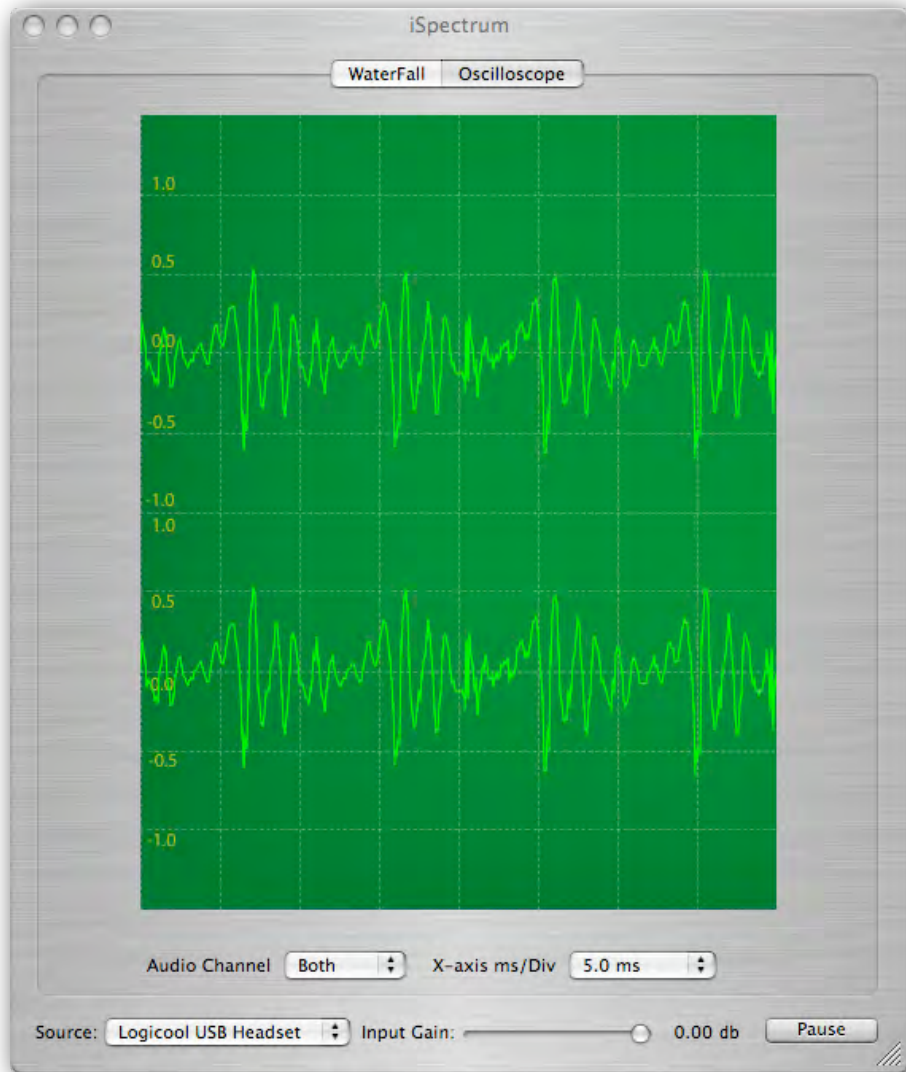


電気が流れる!!

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

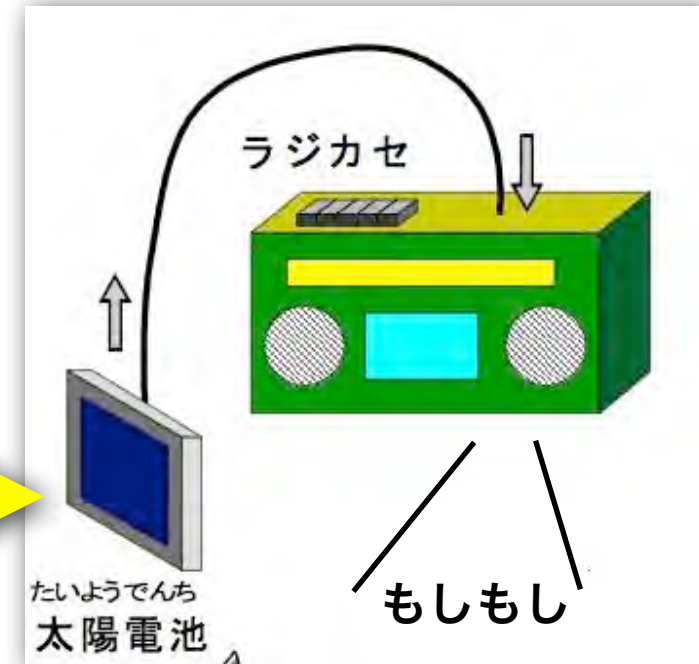
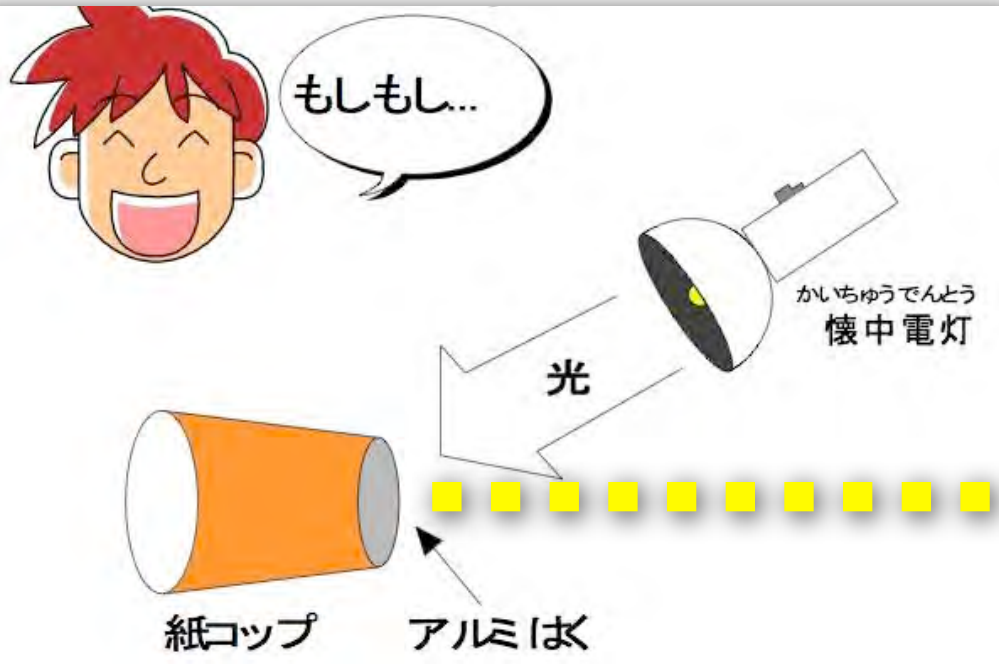
それは、マイクとパソコンを
接続するケーブルを流れる電
気（電流）の振動なのでは？



電気以外の振動にすることだって

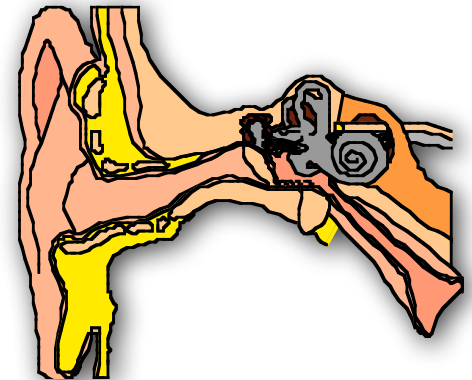


振動する対象は空気である必要は全然ない？



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
→コーンの機械的振動→空気分子の音響的振動
- ヒトの感覚器が捉えられるのは空気振動だけ



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

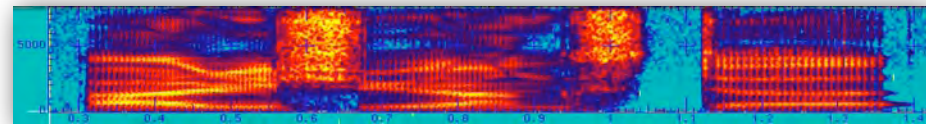
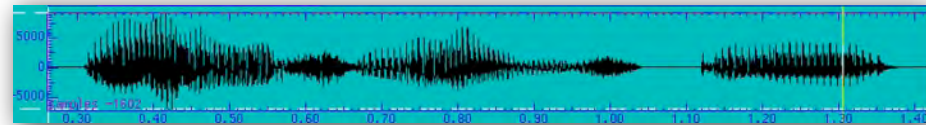
● 長い音, 短い音

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」



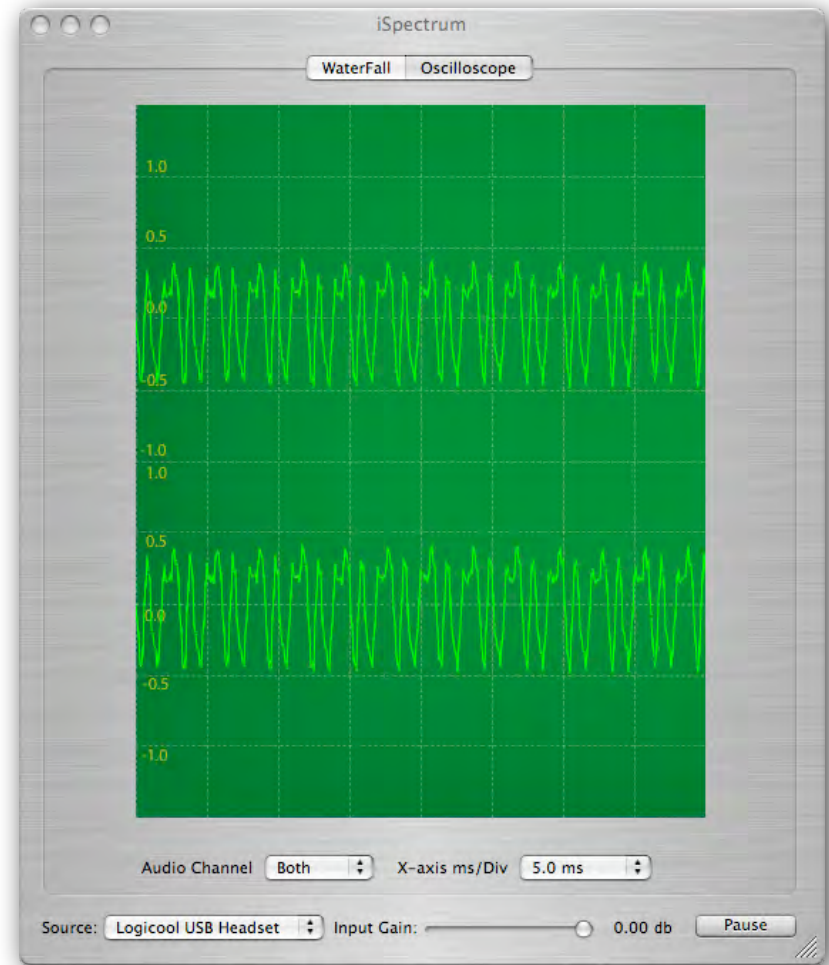
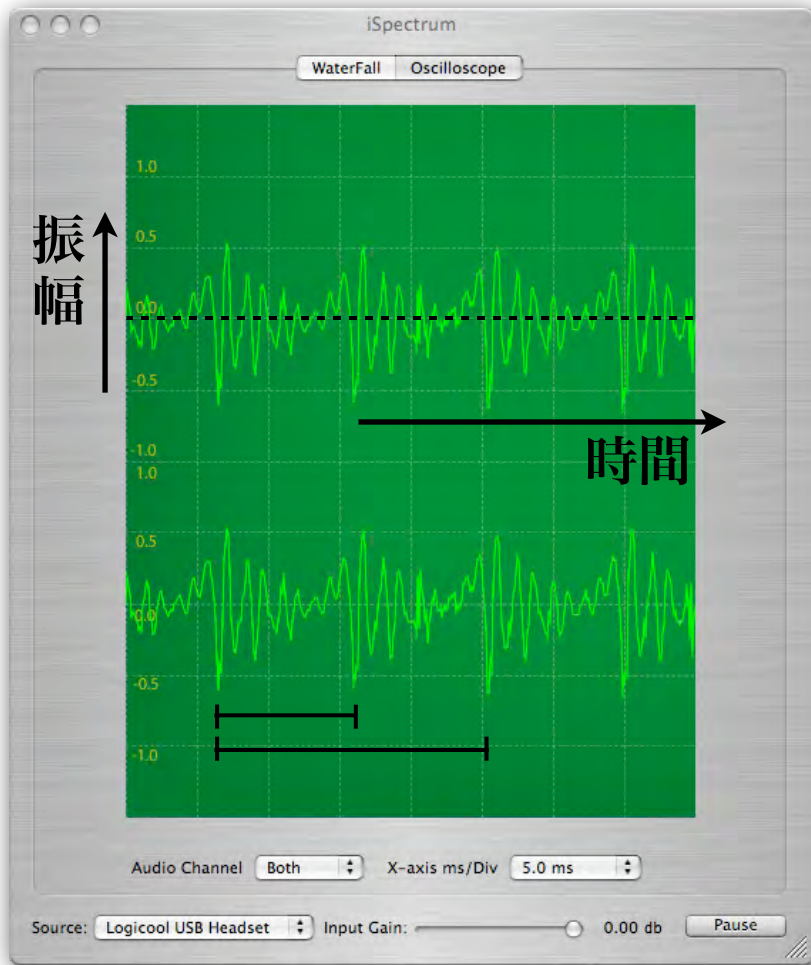
1) 高さ, 2) 大きさ
3) 長さ, 4) 音色

ある情報

波形の中に見る高さ



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=？

高さの違いはブザーの間隔の違い

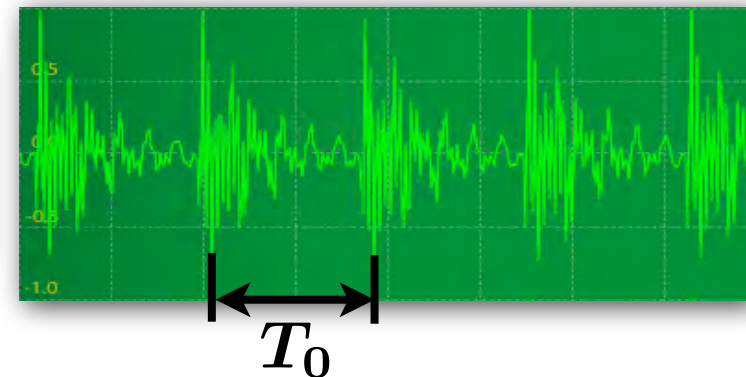
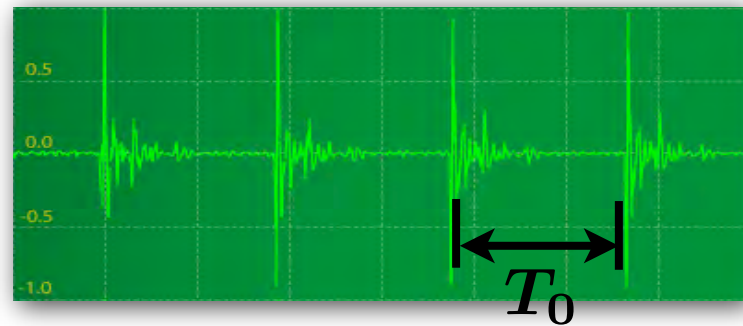


ブザー (パルス列的) → 管 → 「あ～」

● パルス＝瞬時的に振幅が大きくなり、すぐ減衰する波形

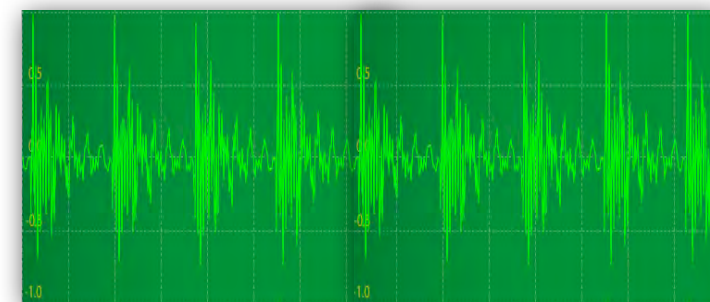
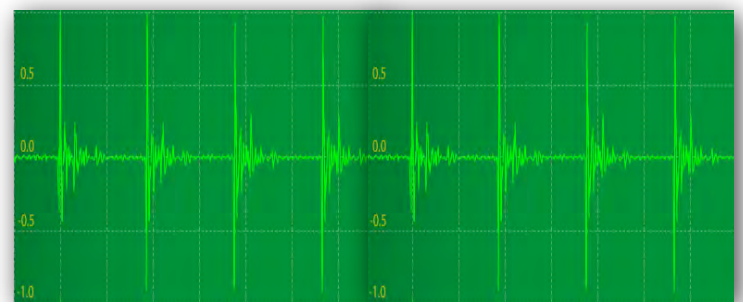
● 男性の場合：波形の間隔が長くなる。

● 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

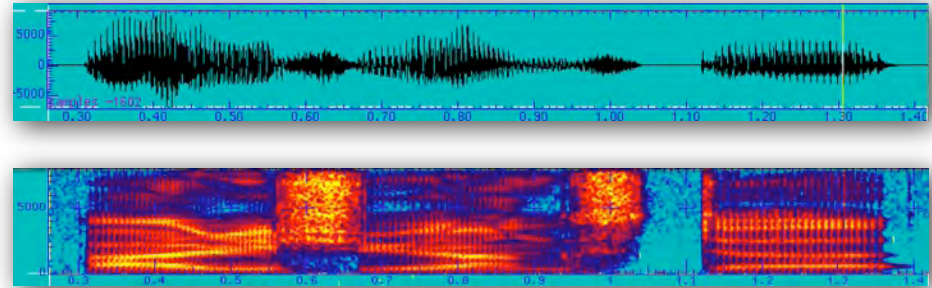
● 長い音, 短い音

● 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」



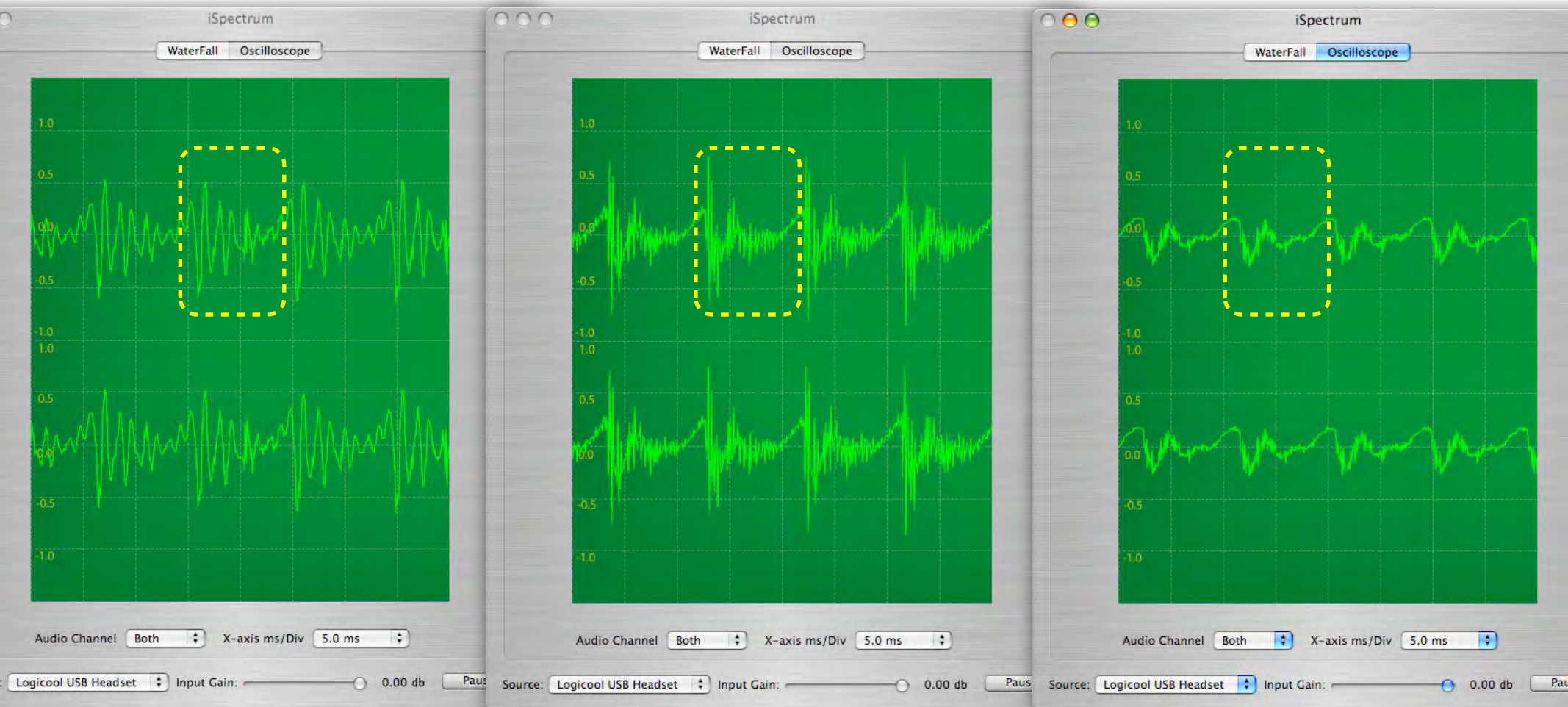
1) 高さ, 2) 強さ
3) 長さ, 4) 音色

ある情報



波形表示ソフトで見る「あ」と「い」と「う」

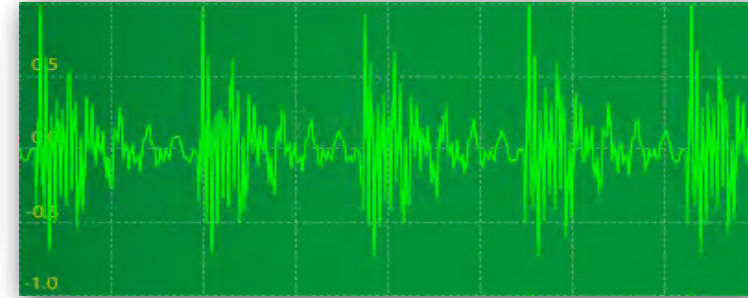
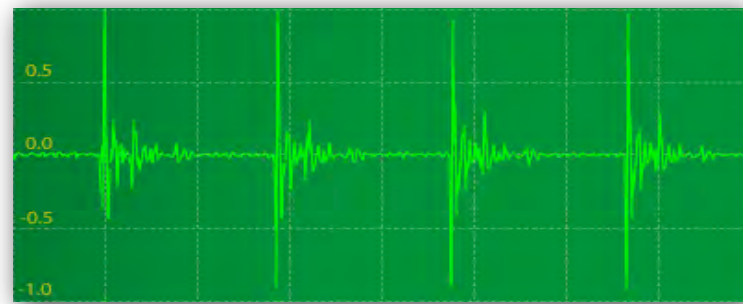
- 同じ高さ = 同じ周期 = 一秒間当りの振動回数が同じ
- 一つ一つの波形形状の違いが音色の違い？



どうして大きく聞こえるの？



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

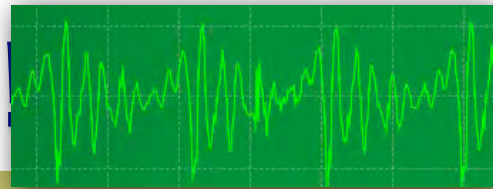
● 波形の違い ≡ 音色の違い，だった。ブザーと「あ」も音色は異なる。

● 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？



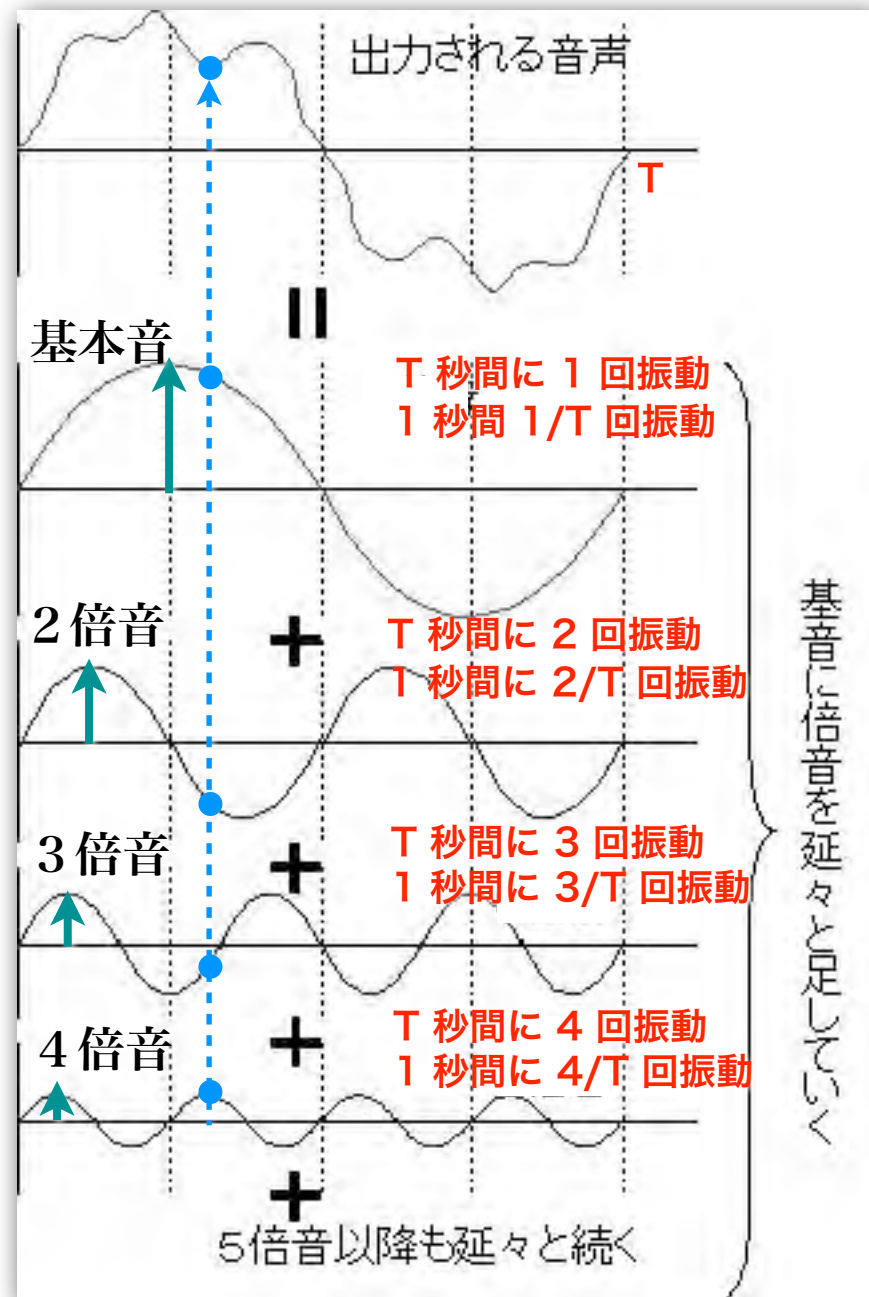
波形を分解する!



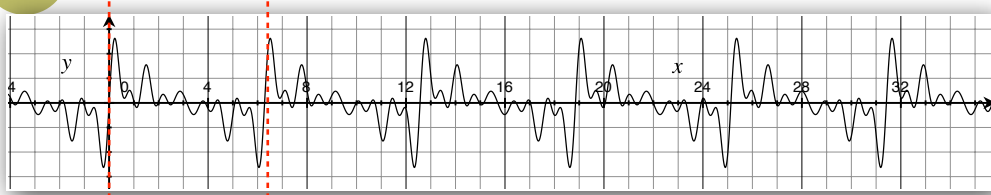
基本音とその倍音の足合わせ

- 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!?

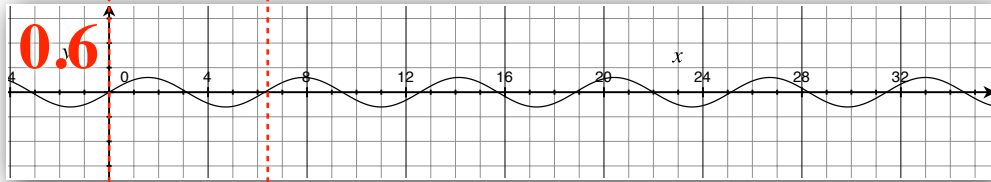
$1/T$ [Hz]



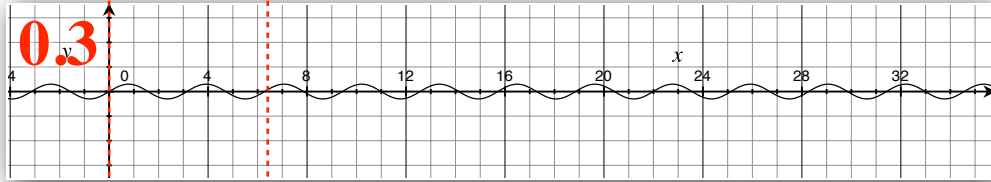
波形の分解と合成



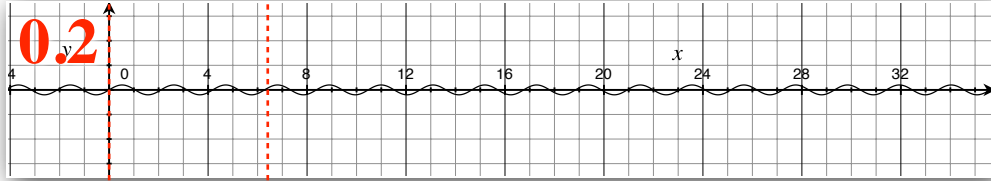
1



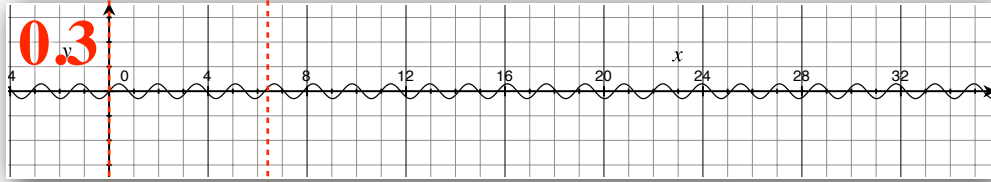
2



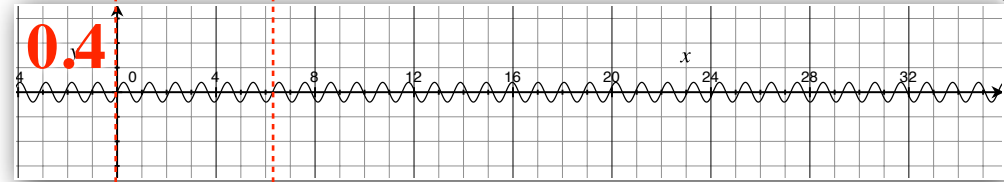
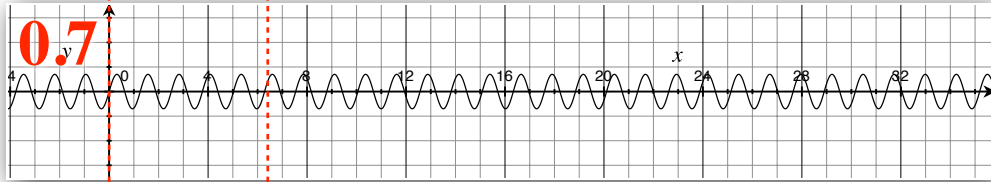
3



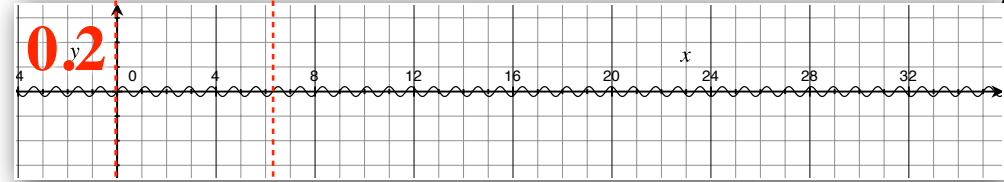
4



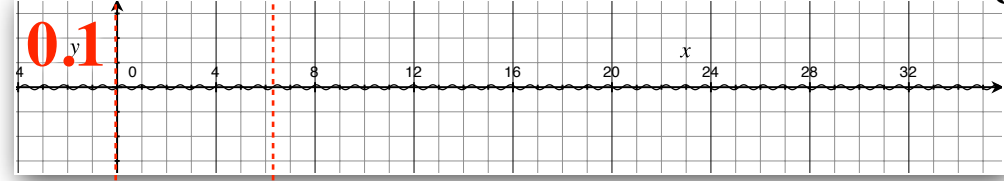
5



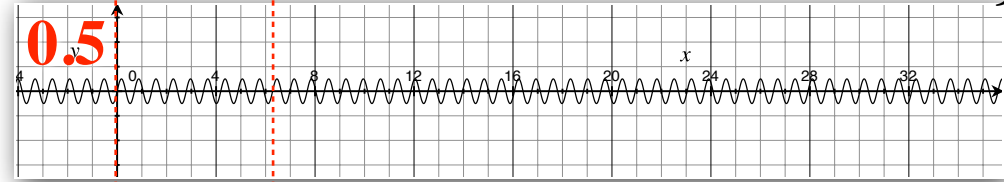
6



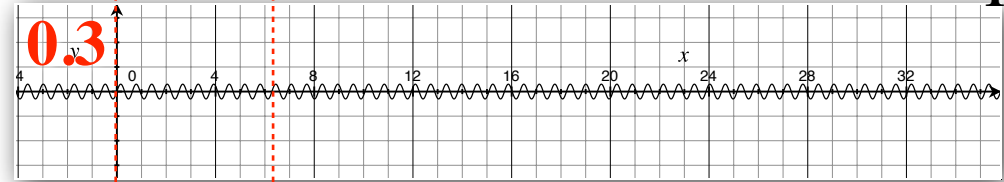
7



8

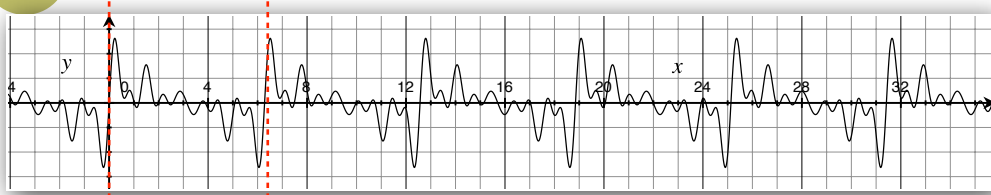


9

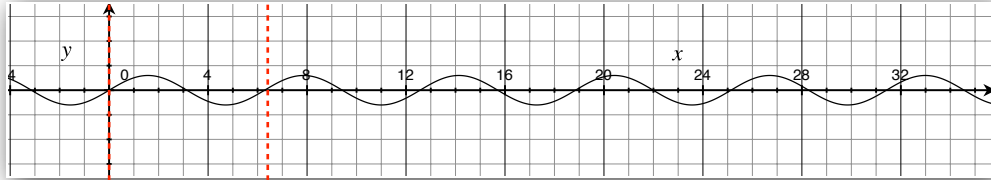


10

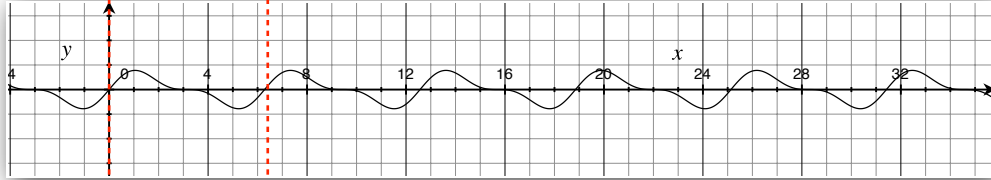
波形の分解と合成



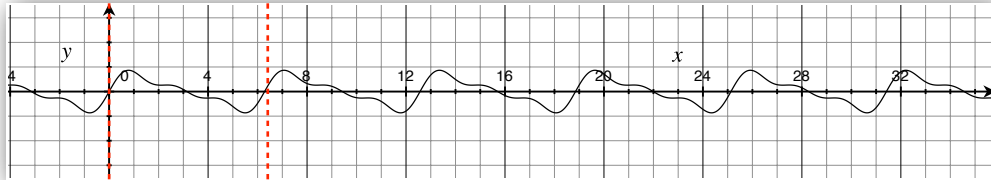
1



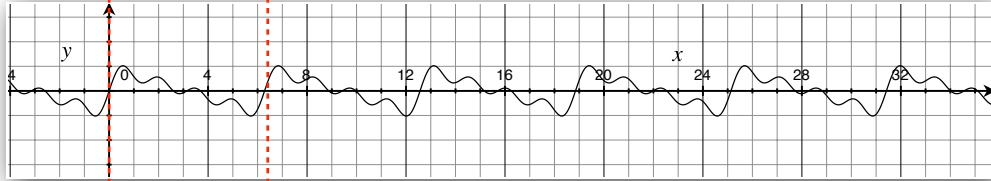
2



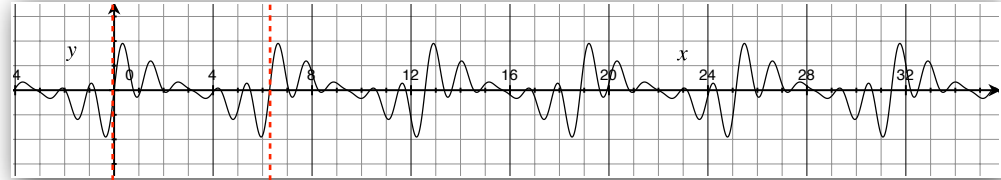
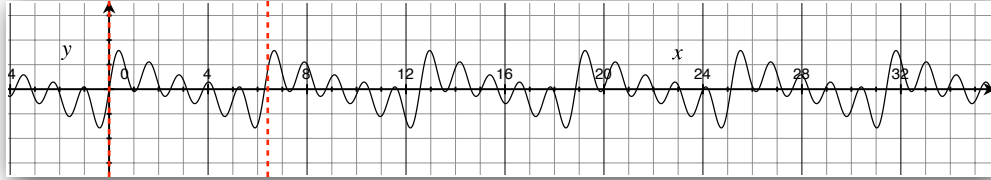
3



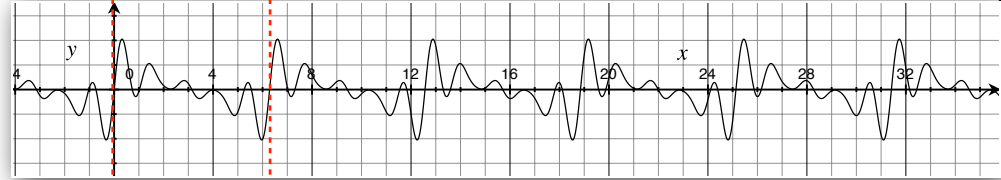
4



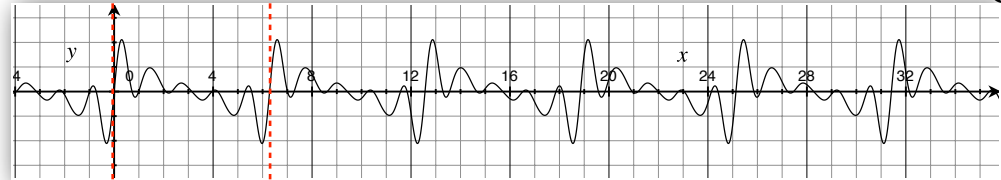
5



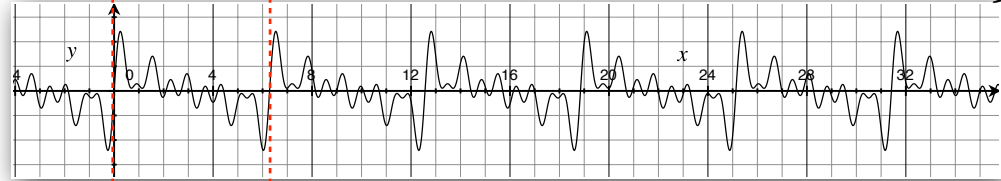
6



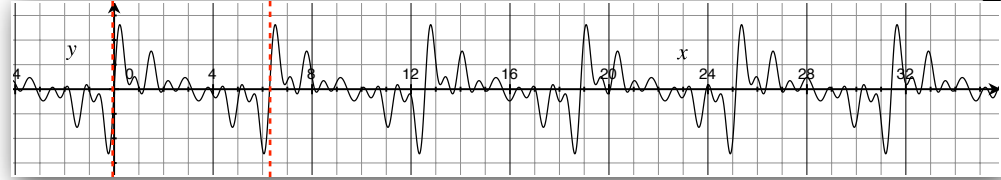
7



8

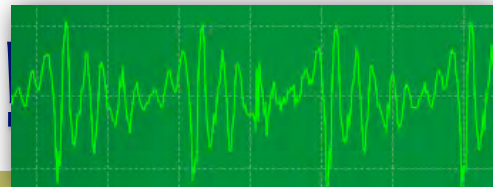


9



10

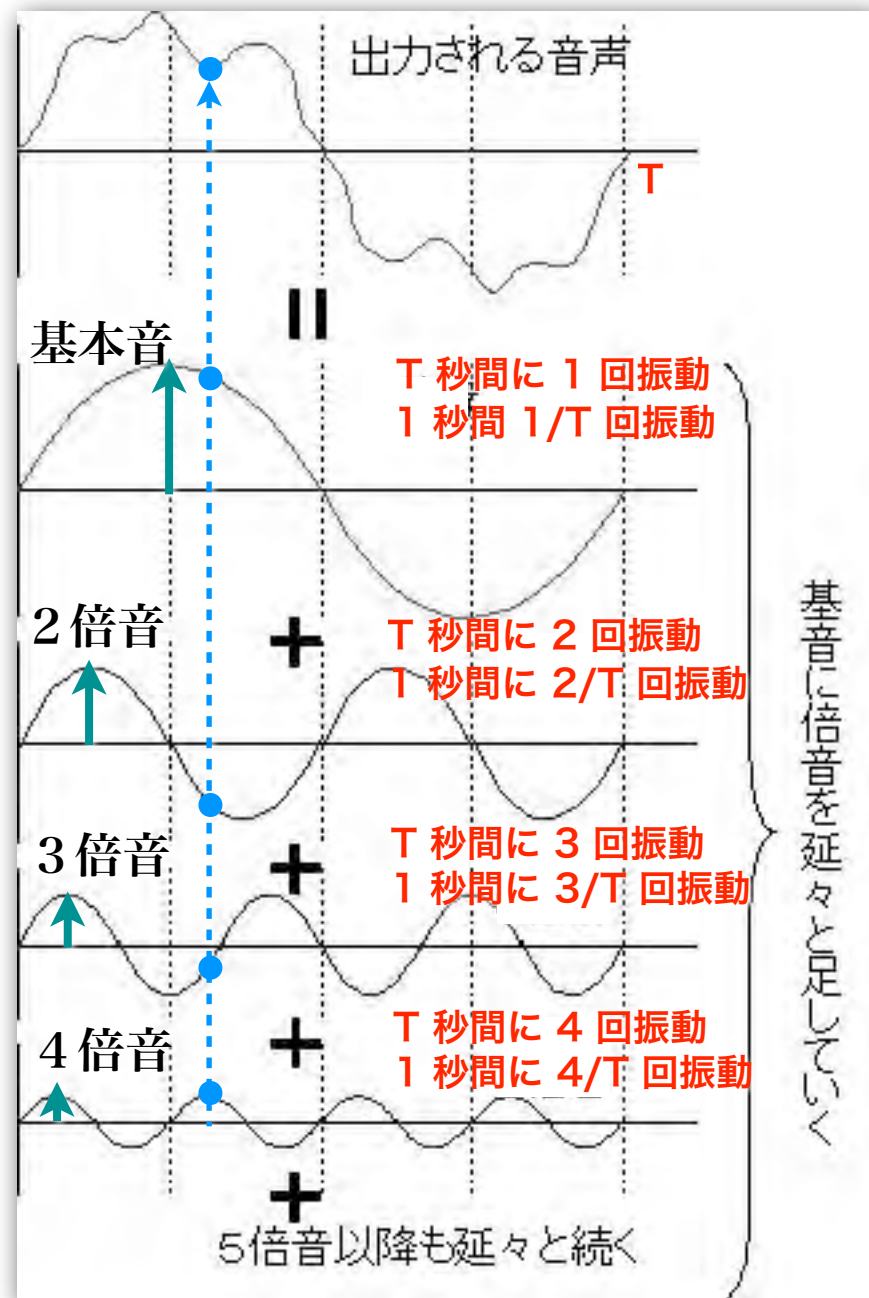
波形を分解する!



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]

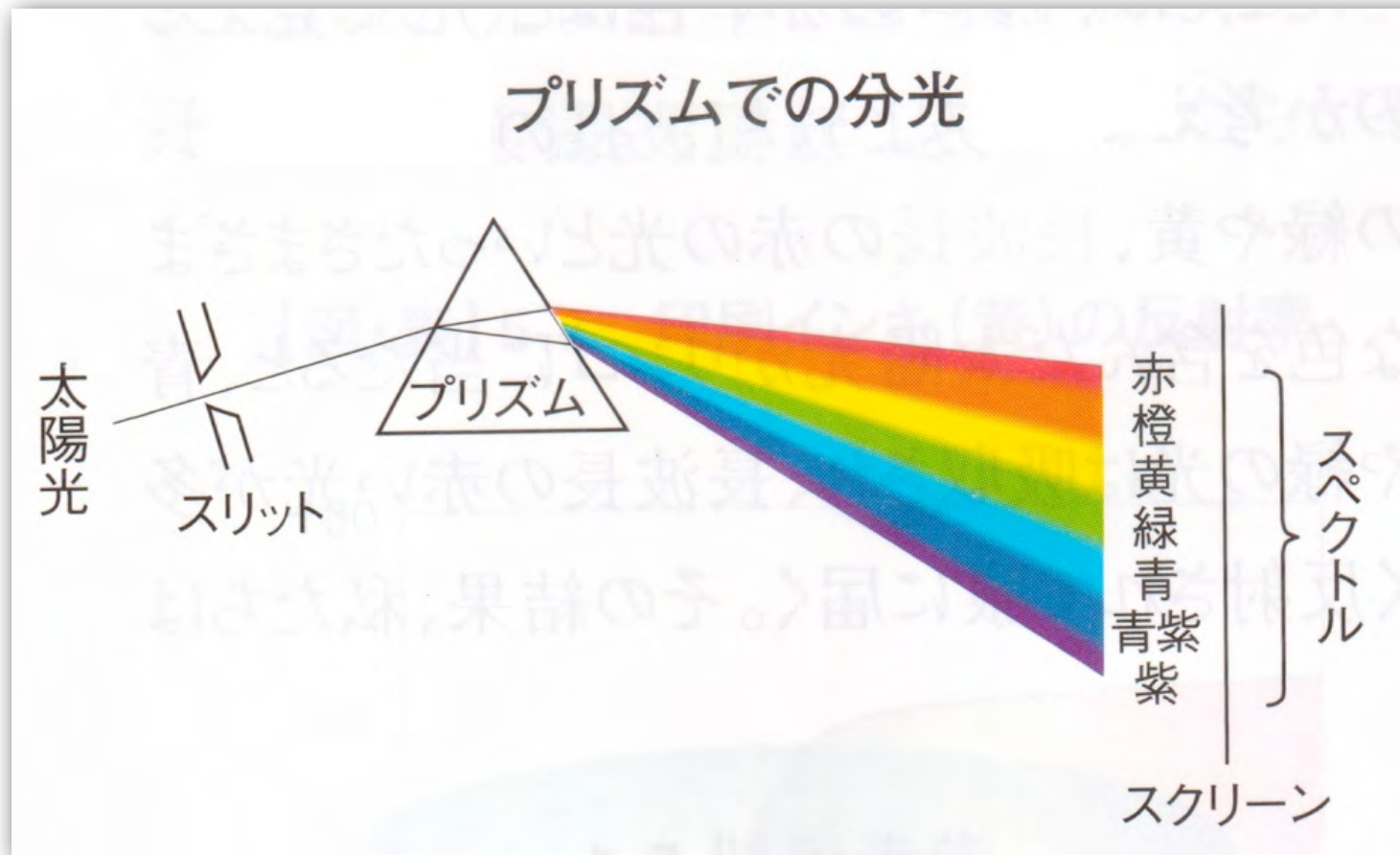


スペクトルって・・・プリズム？



光の成分分解（分光）

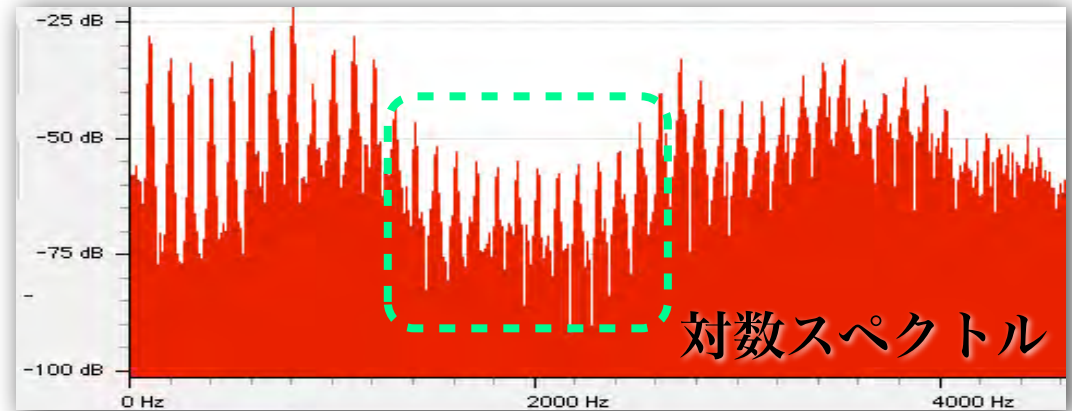
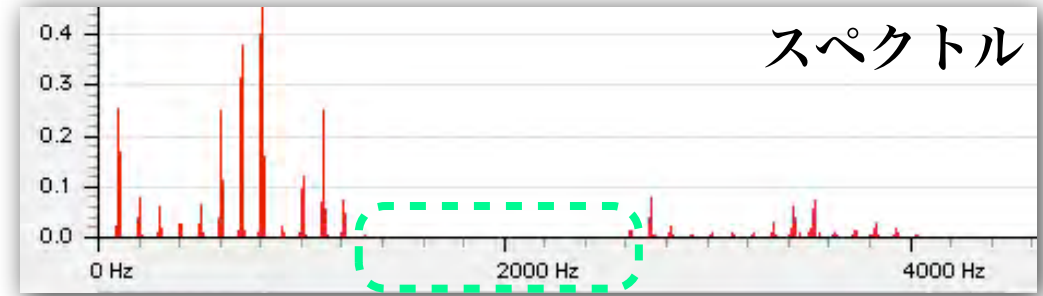
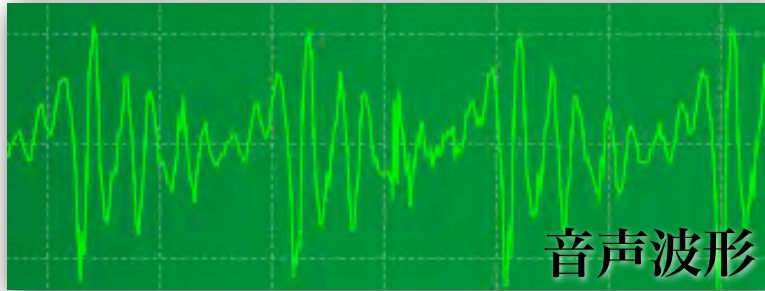
- 白色光（太陽光）：光の各成分が等しい強度で混ざったもの



スペクトル → 対数スペクトル

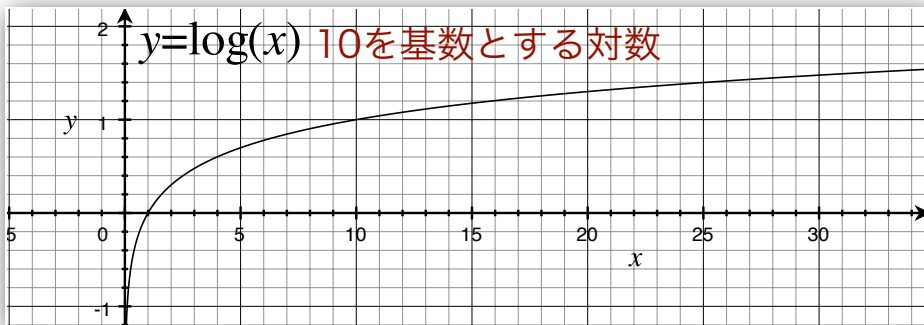


縦軸を単なる振幅 → 対数振幅へ変更



- 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

$\times 1.059$

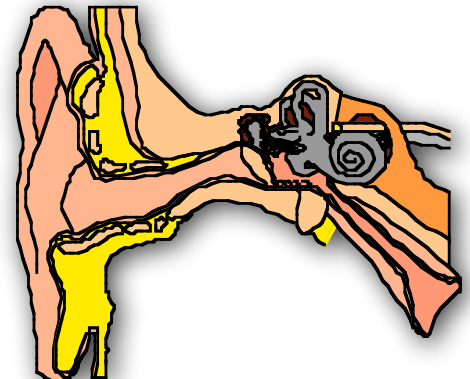
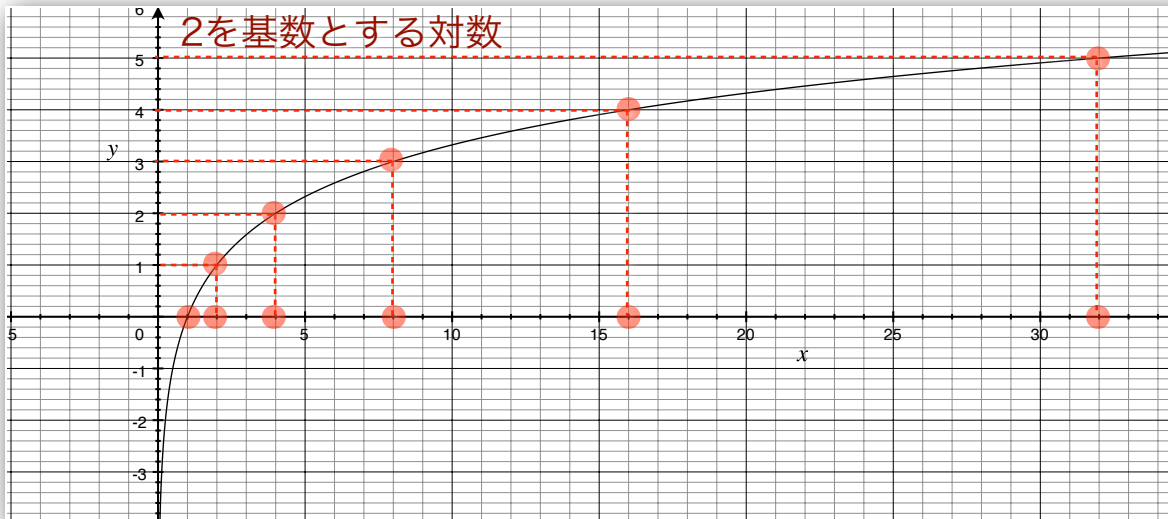
$\times 1.059$

$\times 1.059$

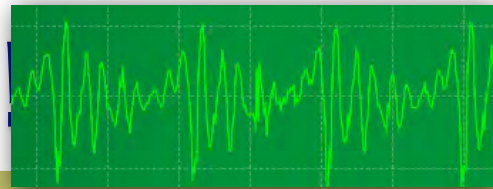
$\times 1.059$

$\times 2.0$

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



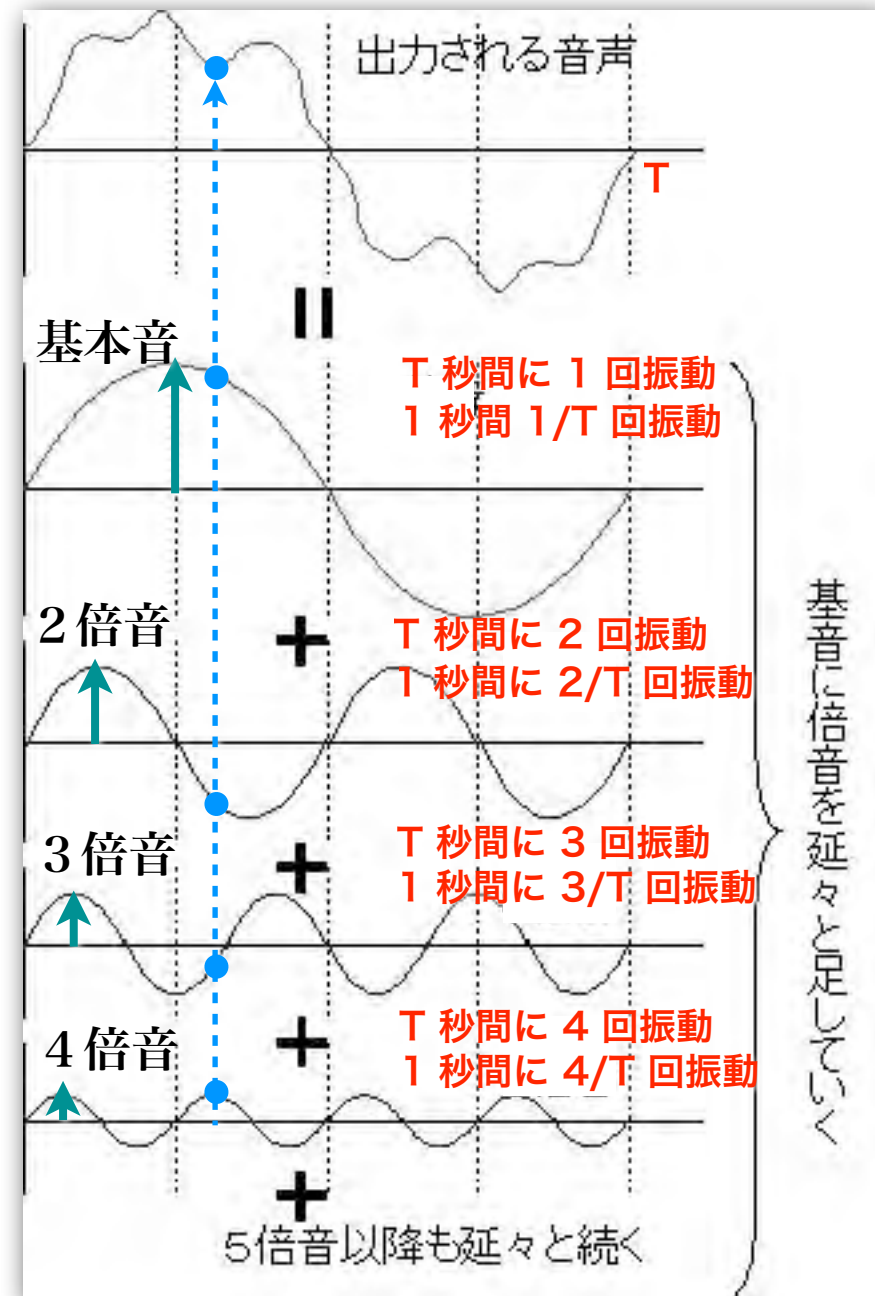
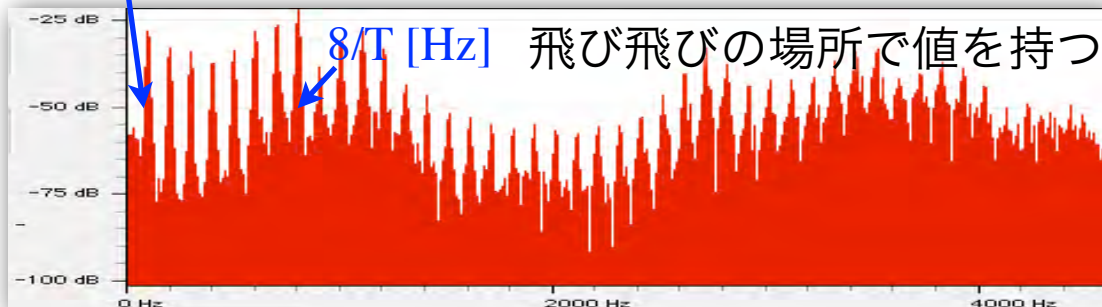
波形を分解する!



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]

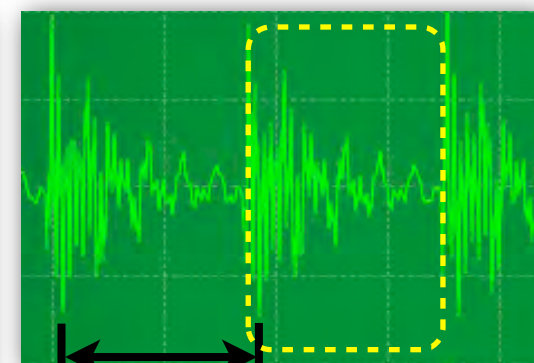
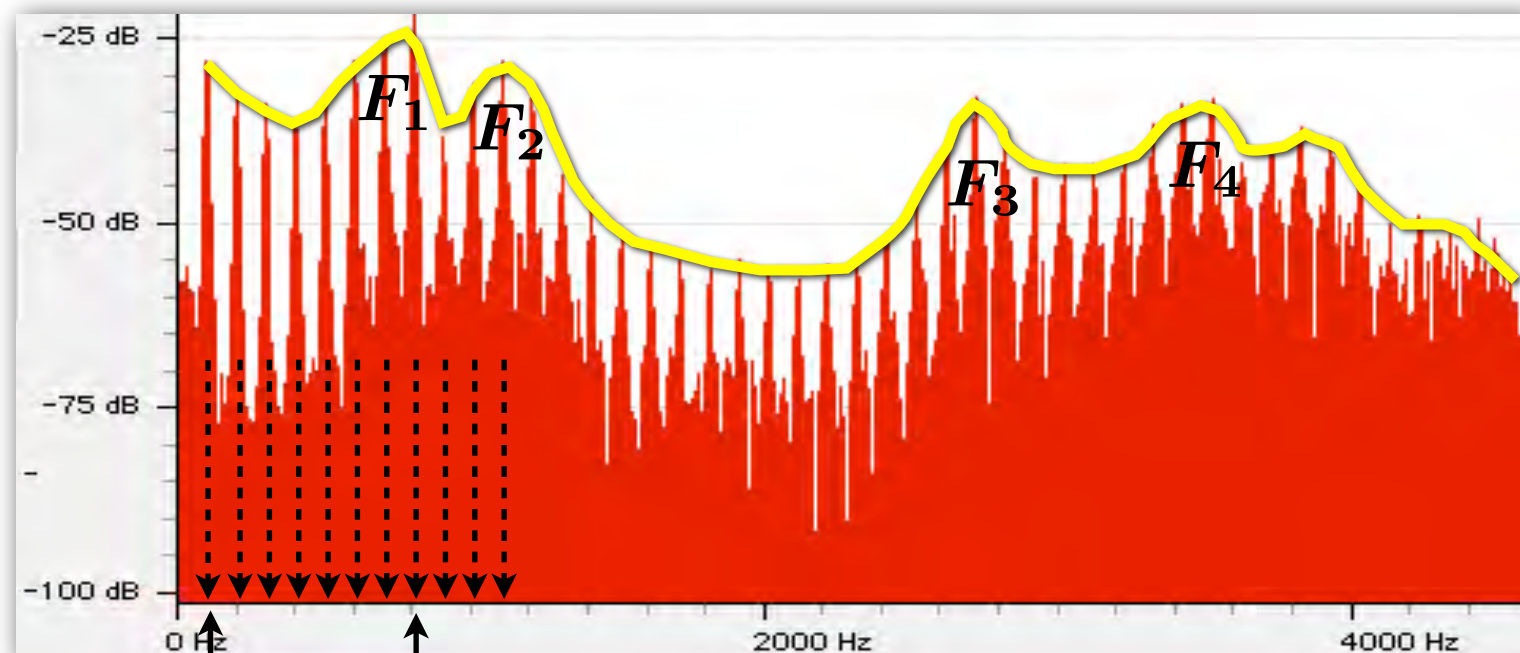


スペクトルに見る高さと音色



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

$1/T_0$
 $= F_0$ 男声 : 狭く
 $8/T_0$
 $= 8F_0$ 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。 $F_1, F_2...$

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

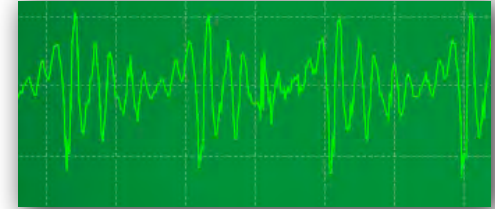
● 基本波・二倍音・三倍音・四倍音・・・

● 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 。



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

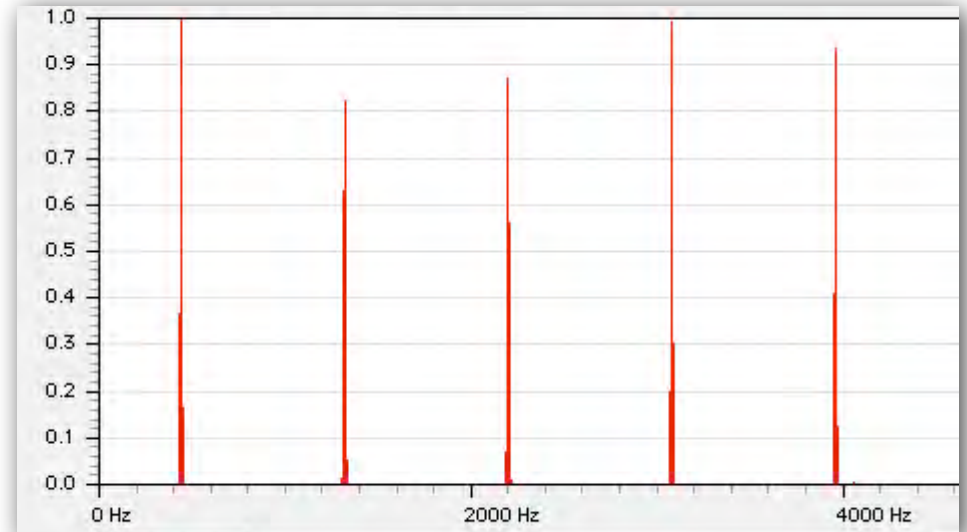
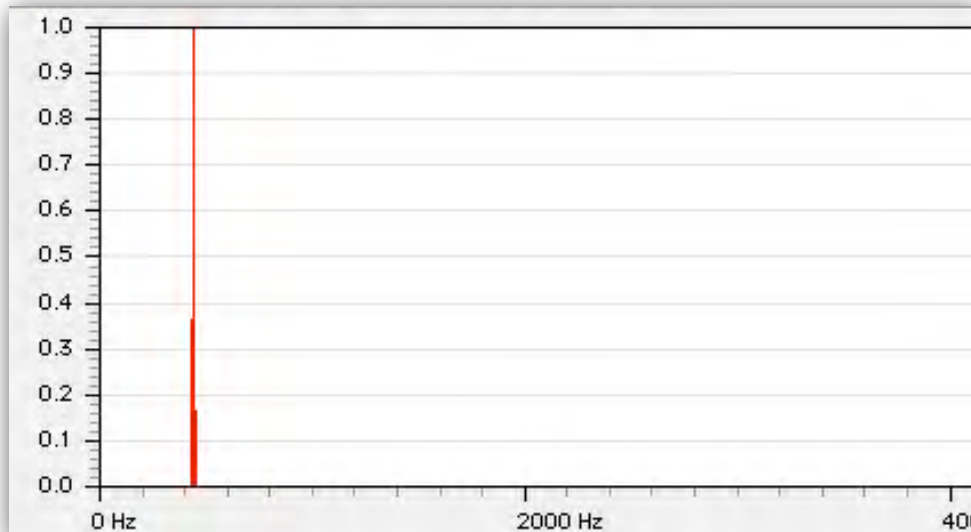
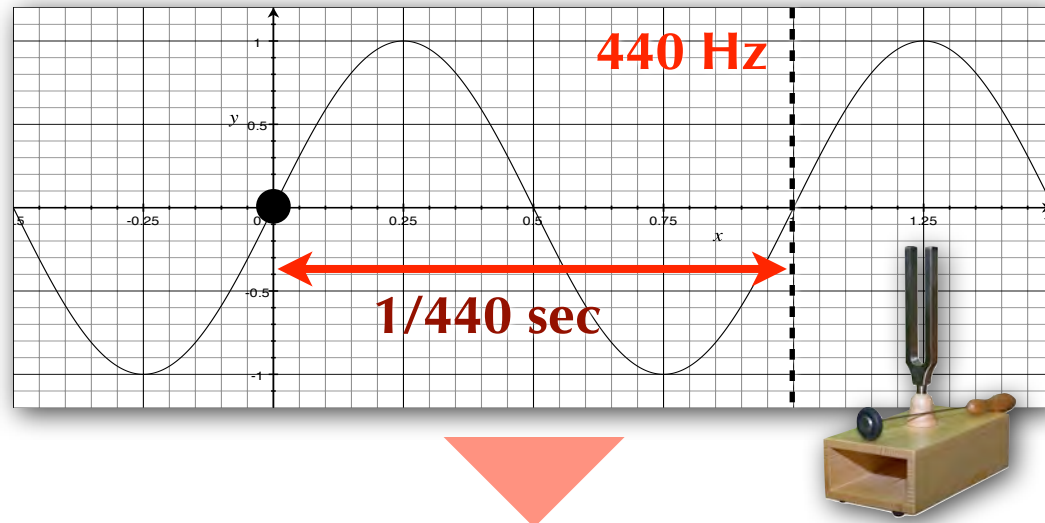
面白い耳テスト

● 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

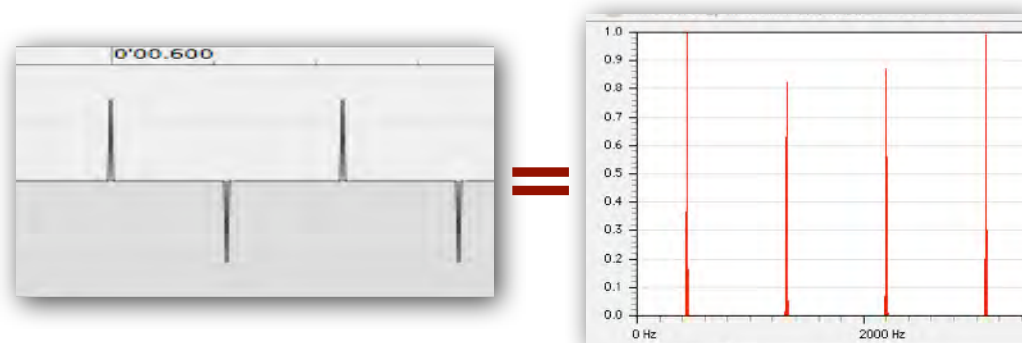
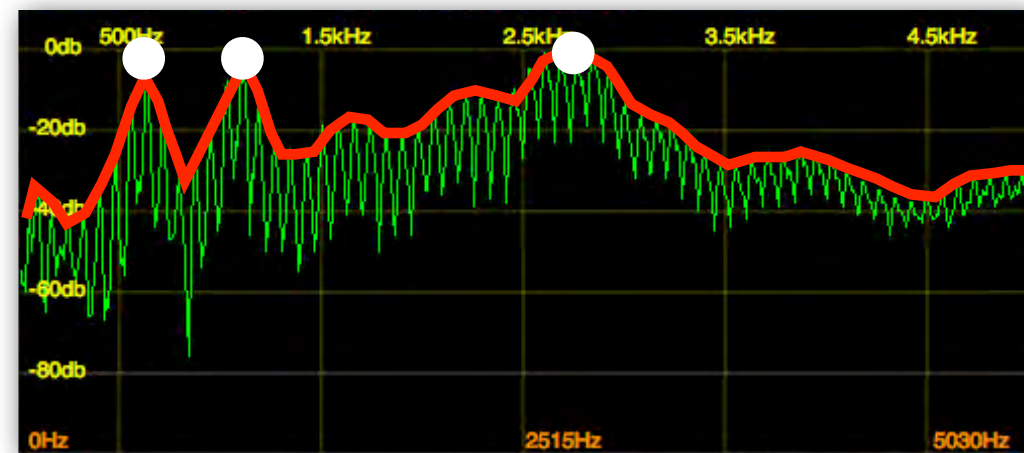
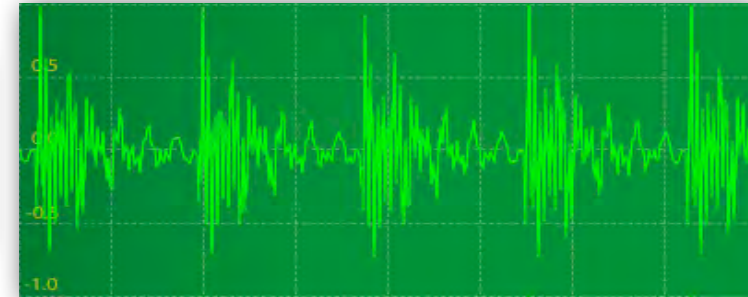
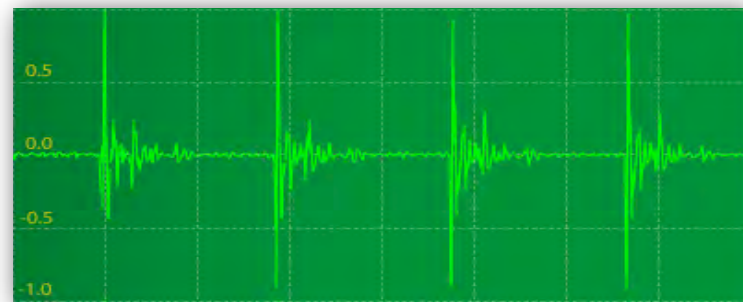
● 周期が等しければ，同じ高さとして聞こえるはず・・・



音声波形とスペクトル (2/3)



ブザー (パルス列) → 管 → 「あ～」

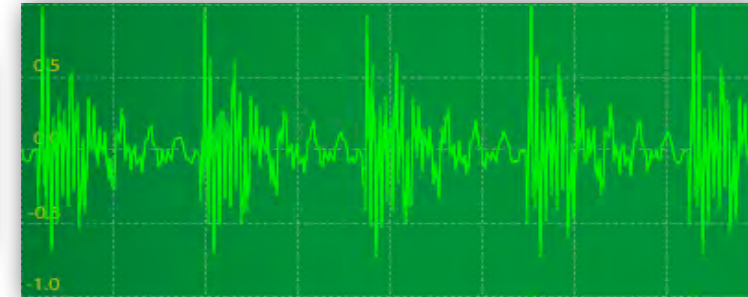
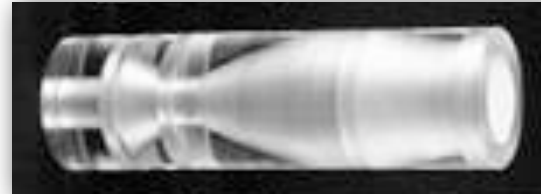
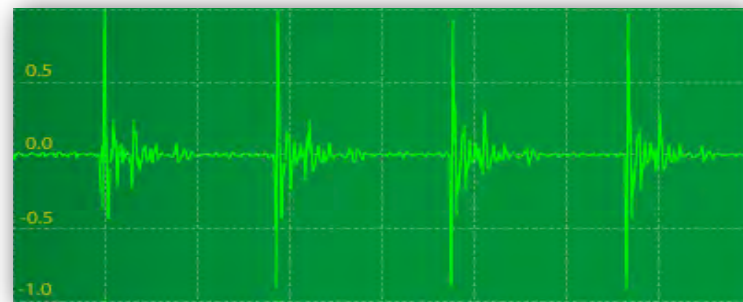


エネルギー配分に偏りが生じる
この様子が管形状によって異なる
エネルギーの局所的集中＝共鳴

どうして大きく聞こえるの？



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。

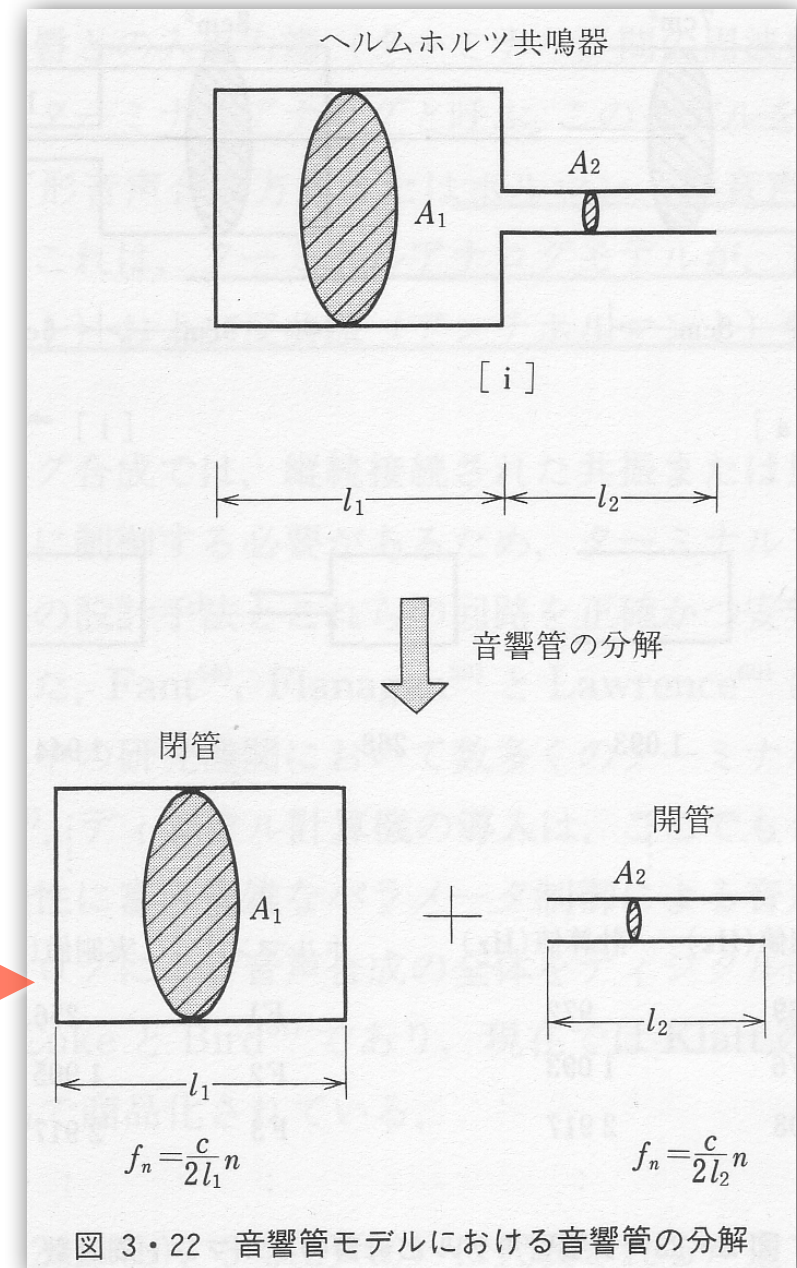
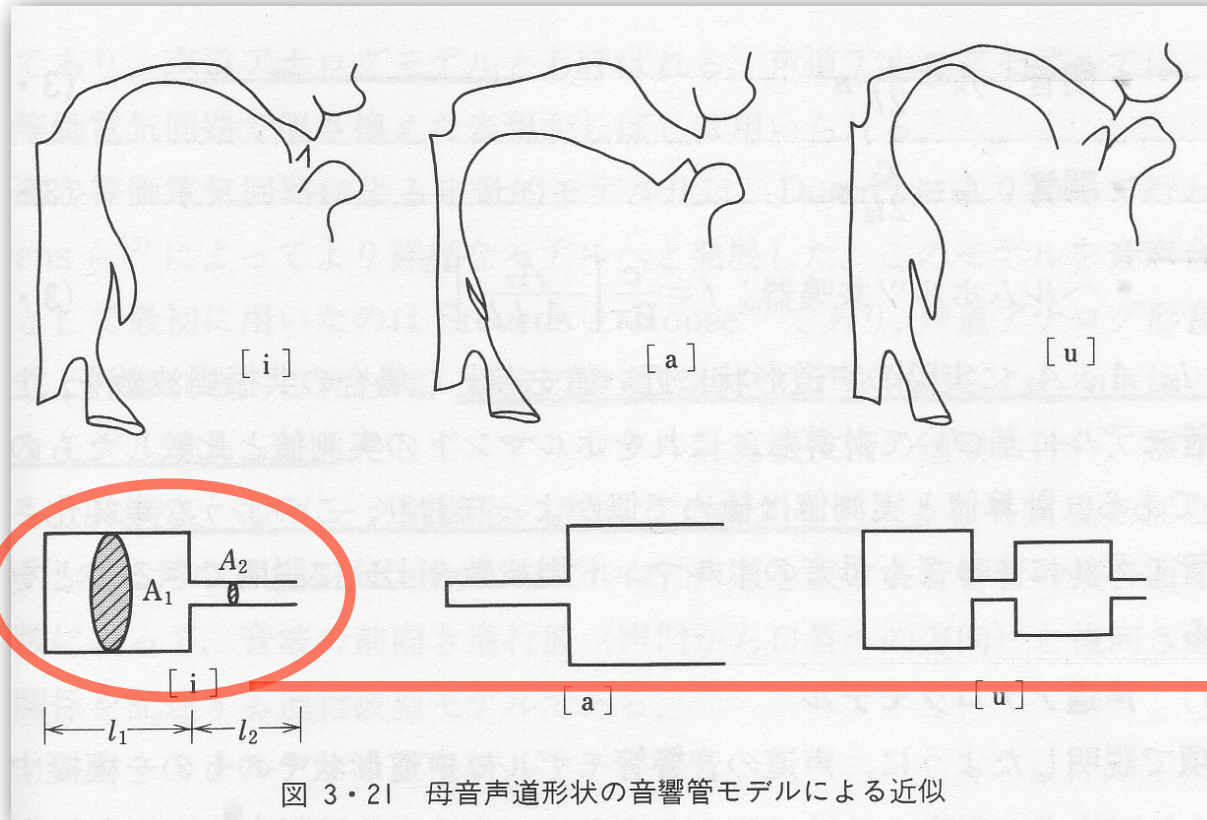
● じゃ，音色の違いが大きく感じさせてるだけなのか？

● 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？



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

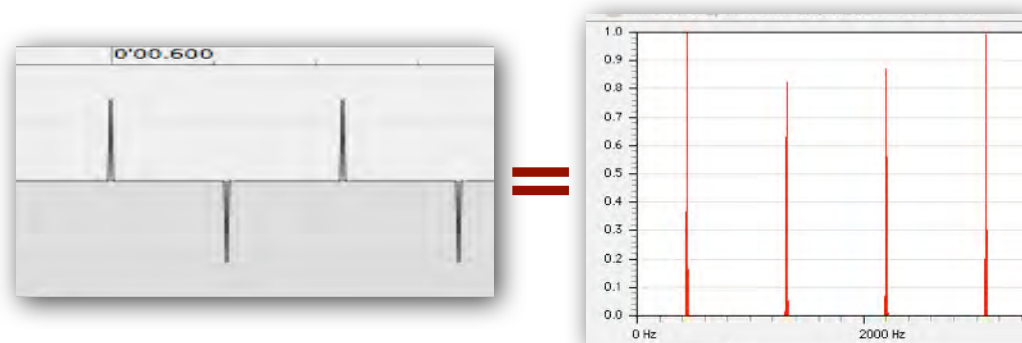
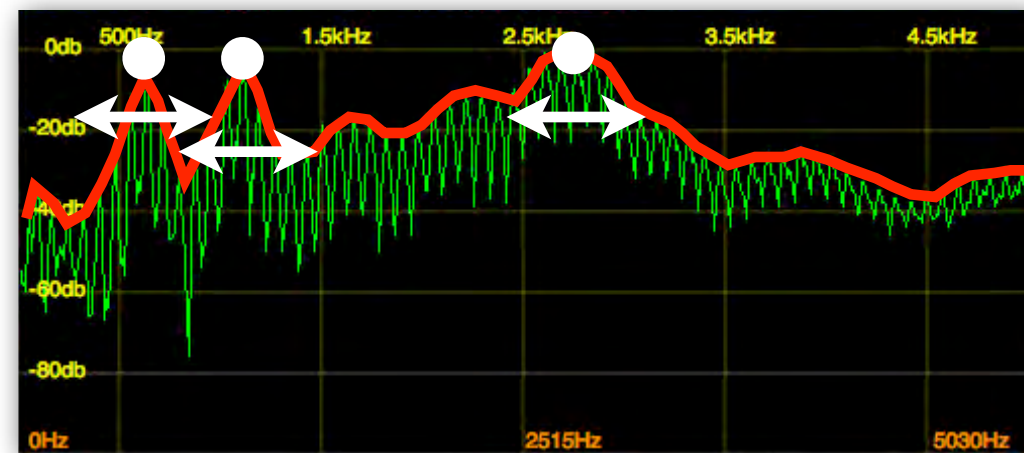
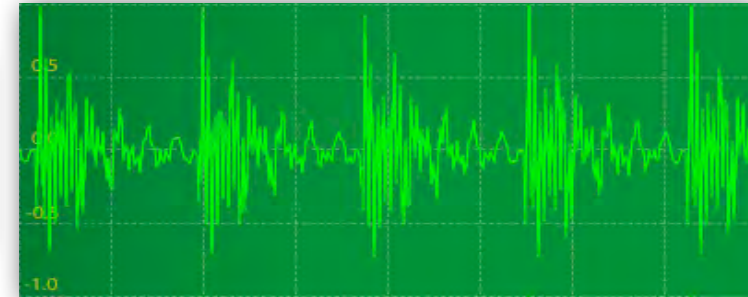
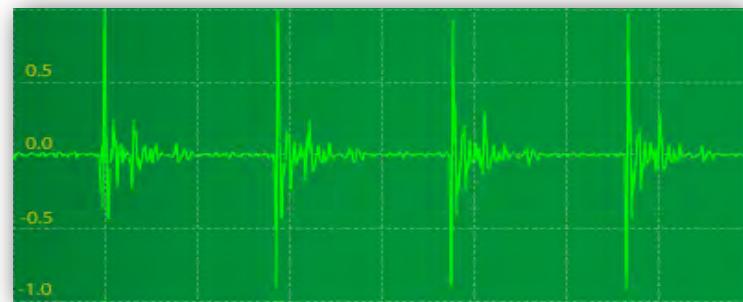


$$f_n = \frac{c}{2l_1}n \quad f_n = \frac{c}{2l_2}n \quad f = \frac{c}{2\pi} \left[\frac{A_2}{A_1 l_1 l_2} \right]^{1/2}$$

音声波形とスペクトル (2/3)



ブザー (パルス列) → 管 → 「あ～」

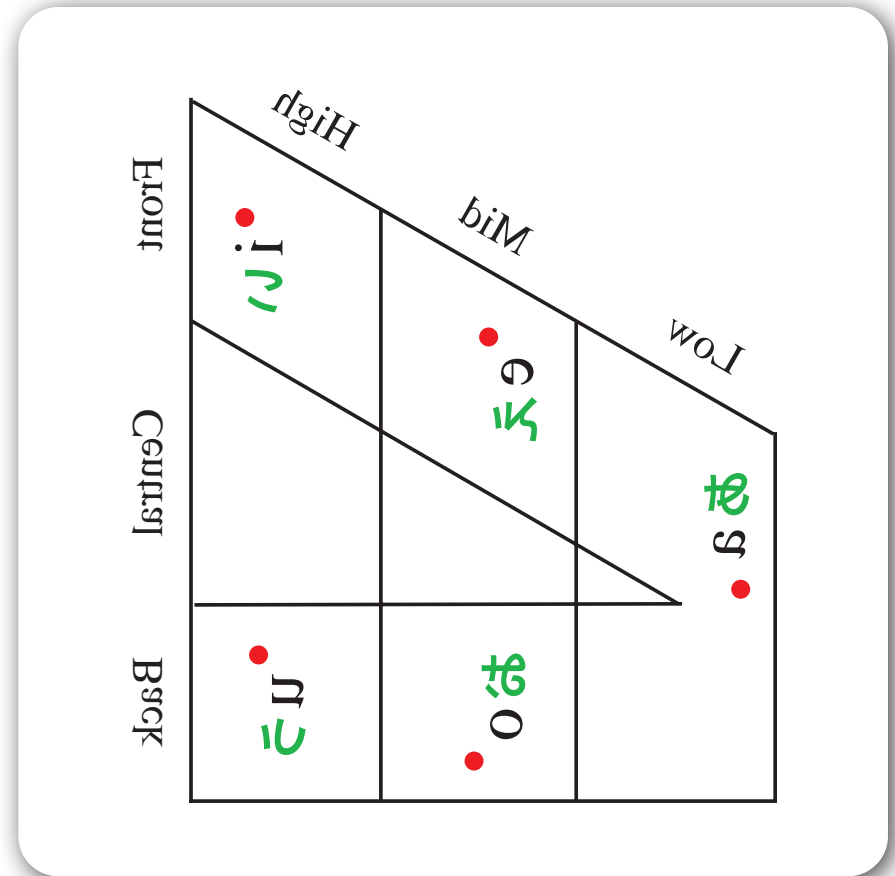
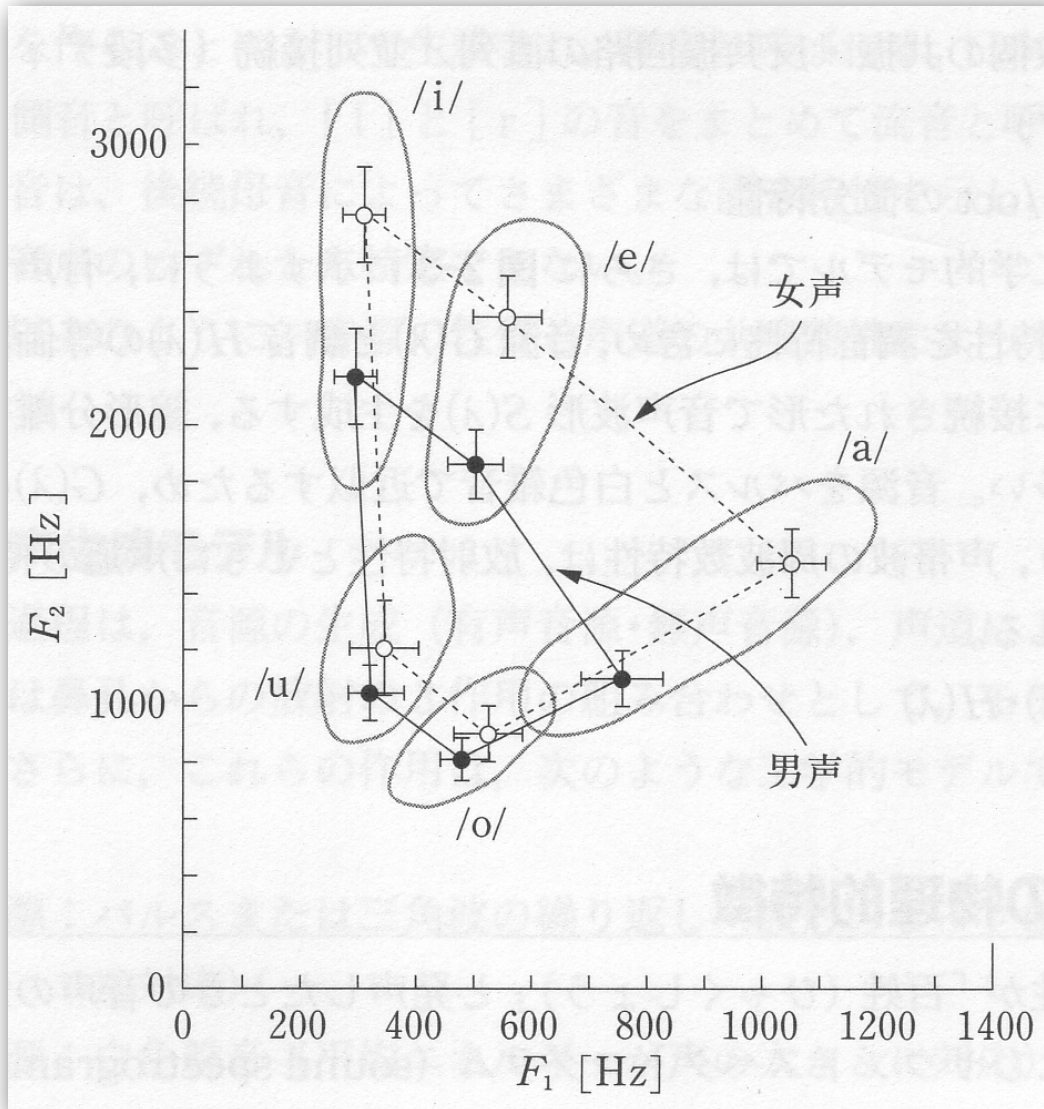


エネルギー配分に偏りが生じる
この様子が管形状によって異なる
エネルギーの局所的集中＝共鳴

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





/l/, /s/, /h/

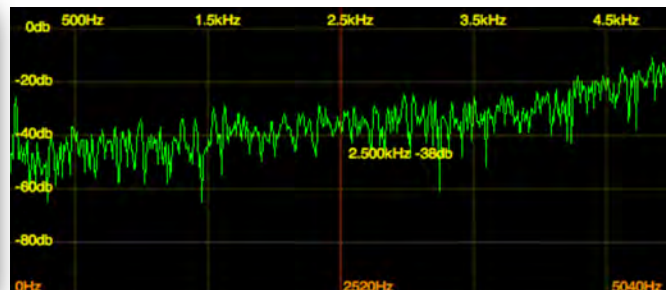
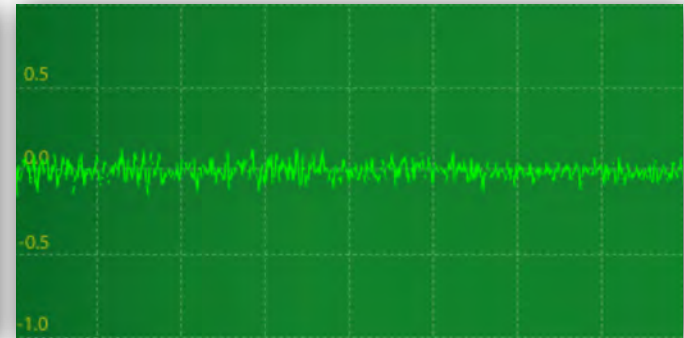
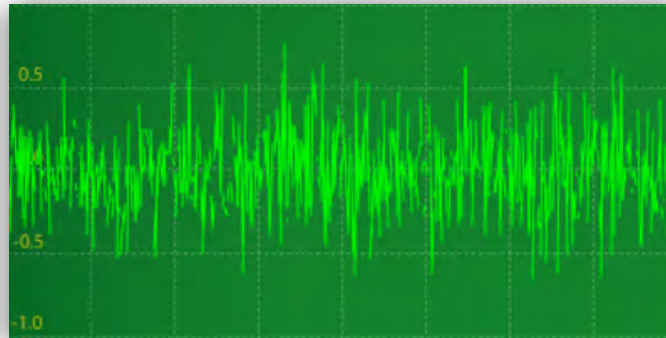
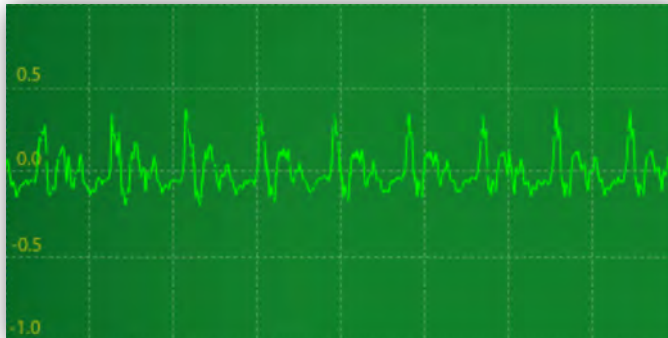
● /l/ 側面接近音 (有声音)

● /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

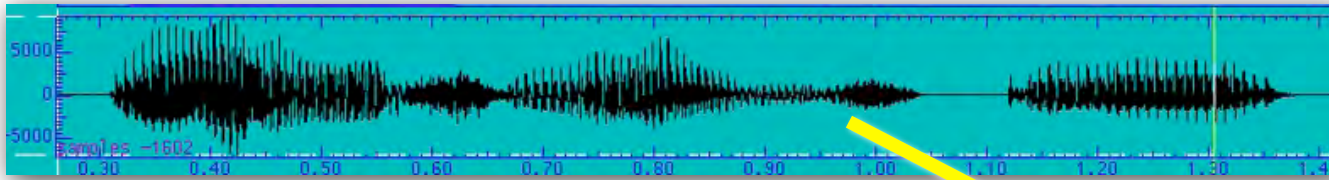


スペクトルからスペクトログラムへ

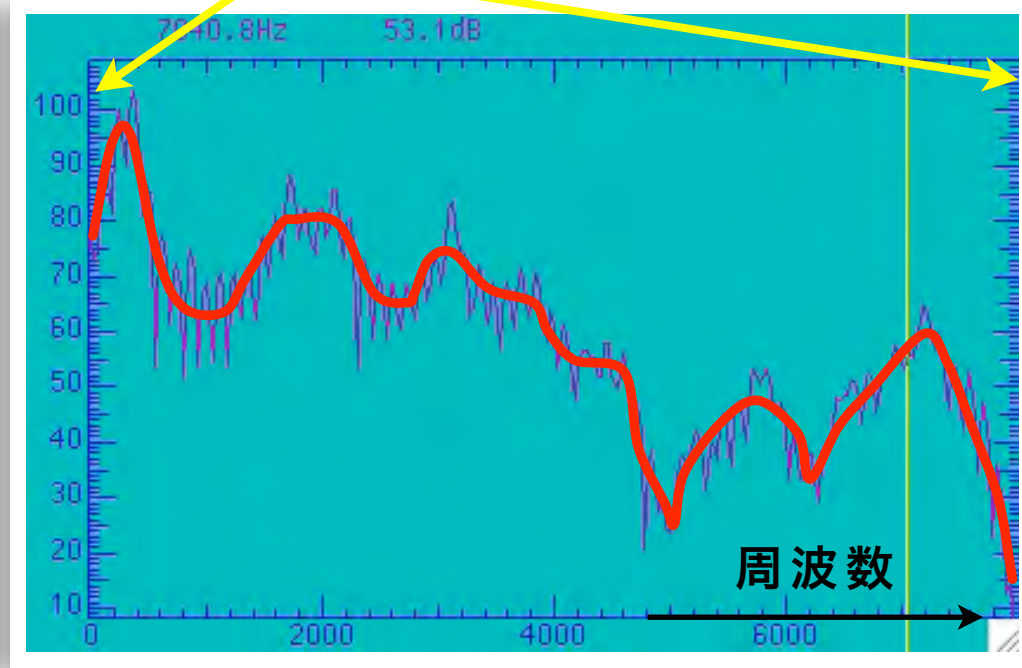
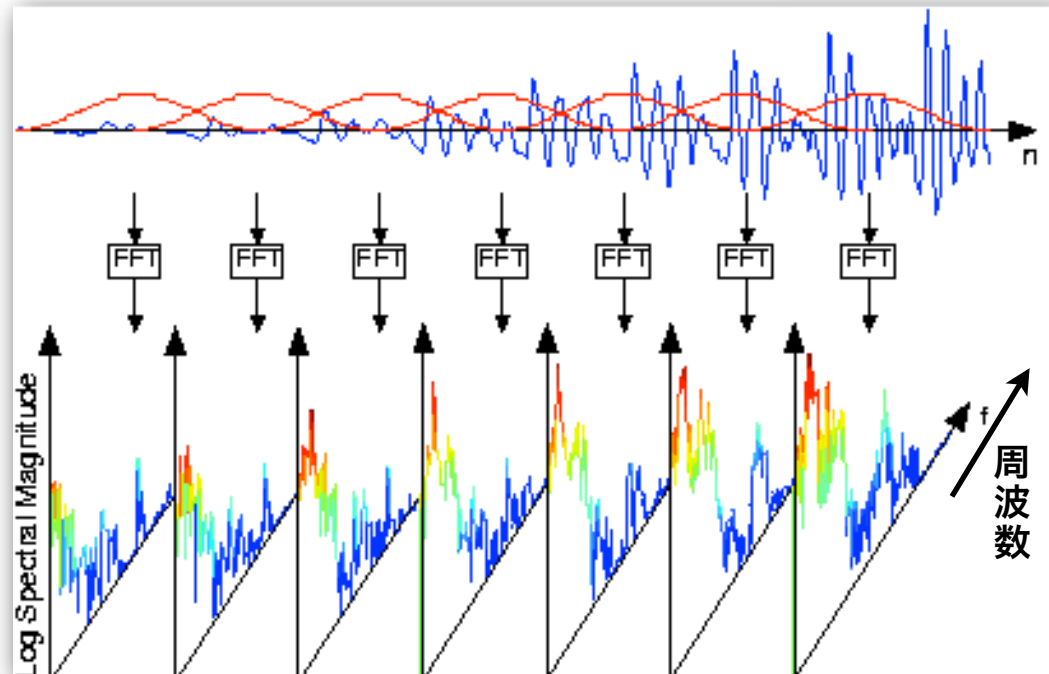
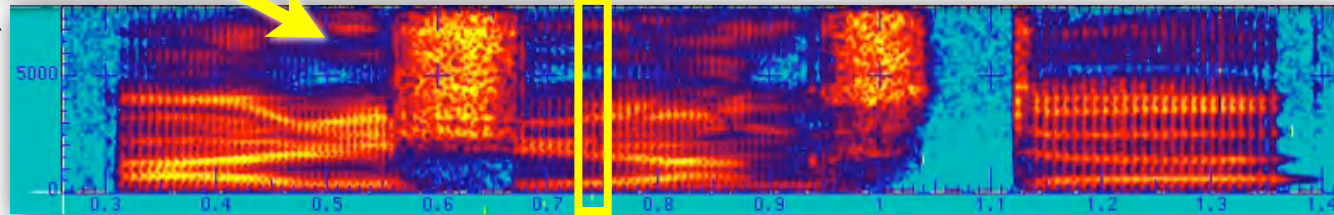


連続的に発声された音声の分析

● 波形の区分化→波形の分解（スペクトル）→スペクトログラム

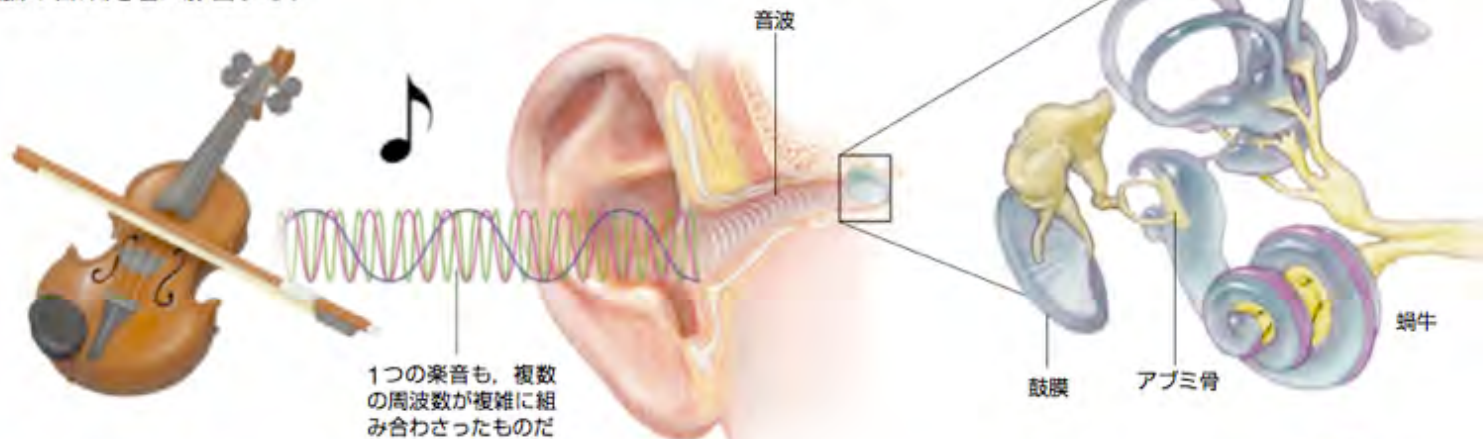


↑
周波数



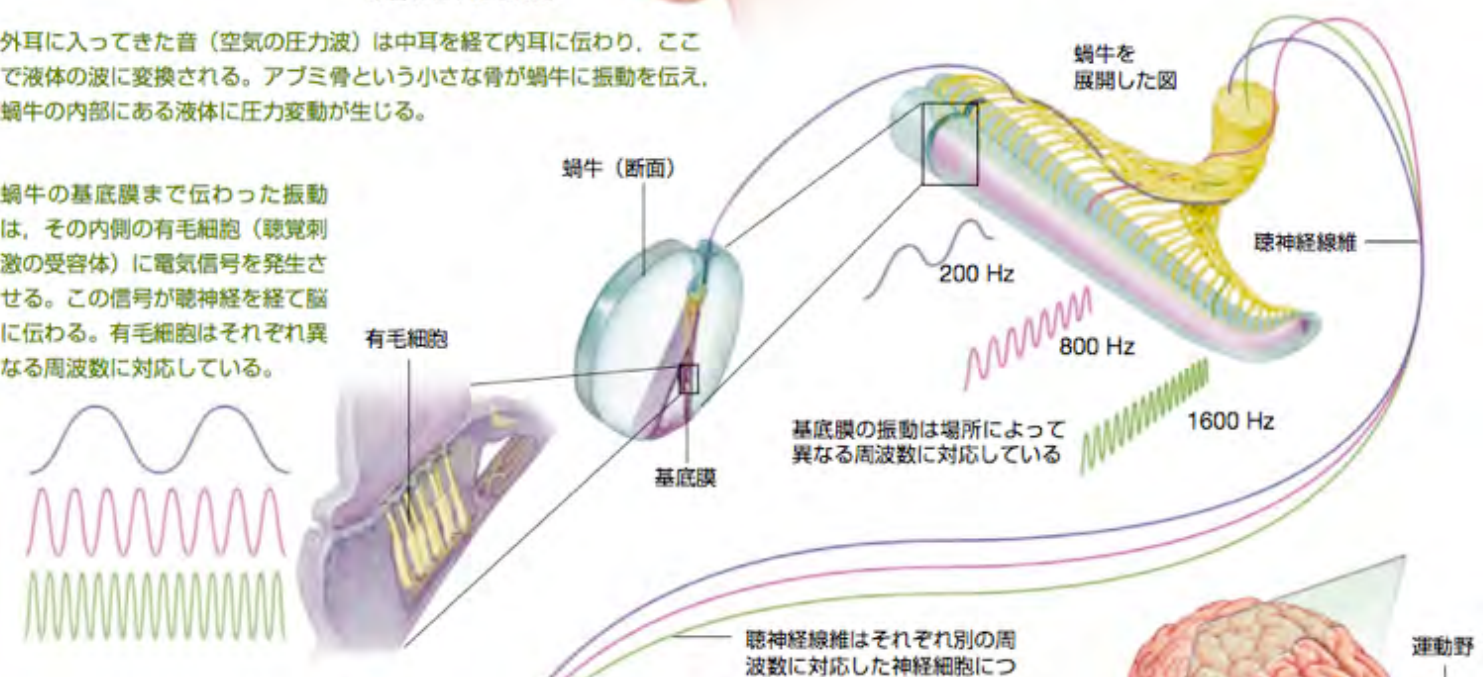
耳から脳へ 音楽の通り道

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。

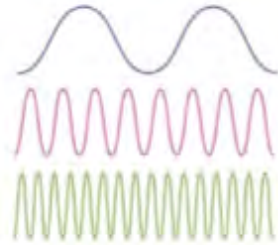
蝸牛の基底膜まで伝わった振動は、その内側の有毛細胞（聴覚刺激の受容体）に電気信号を発生させる。この信号が聴神経を経て脳に伝わる。有毛細胞はそれぞれ異なる周波数に対応している。



耳から脳へ



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。



有毛細胞

蝸牛（断面）

基底膜

200 Hz

800 Hz

1600 Hz

基底膜の振動は場所によって異なる周波数に対応している

聴神経線維

聴神経線維はそれぞれ別の周波数に対応した神経細胞につながっている

脳による音楽の処理は階層的な面もあるし、分散的な処理による部分もある。聴覚野のうち、一次聴覚野という部分が音楽知覚の最初の段階にかかわっている。耳など下位聴覚系（大脳新皮質以外の聴覚システム）からの信号が視床を経由して一次聴覚野に伝わり、ここで音程（周波数）や音調曲線（音の高低変化のパターン）といった旋律の基礎をなす要素が認識される。

一次聴覚野は経験に応じて“再調整”され、重要な音や楽音に対してはより多くの細胞が最大限に反応するようになる。学習によるこの調整は、大脳新皮質の二次聴覚野や聴覚連合野など、高次の関連領域での処理にも影響を及ぼす。これらの領域は和声や旋律、リズムなど、より複雑な要素を処理していると考えられる。

聴覚野

聴覚野

運動野

左図の断面

視床

小脳

脳幹

音楽家が楽器を演奏する際には、運動野や小脳など聴覚野とは別の領域も活性化している。これらの領域は運動をつかさどり、身体の特定部分を正確なタイミングで動かすことに深くかかわっている。

聴覚（蝸牛）＝音声波形の分解器

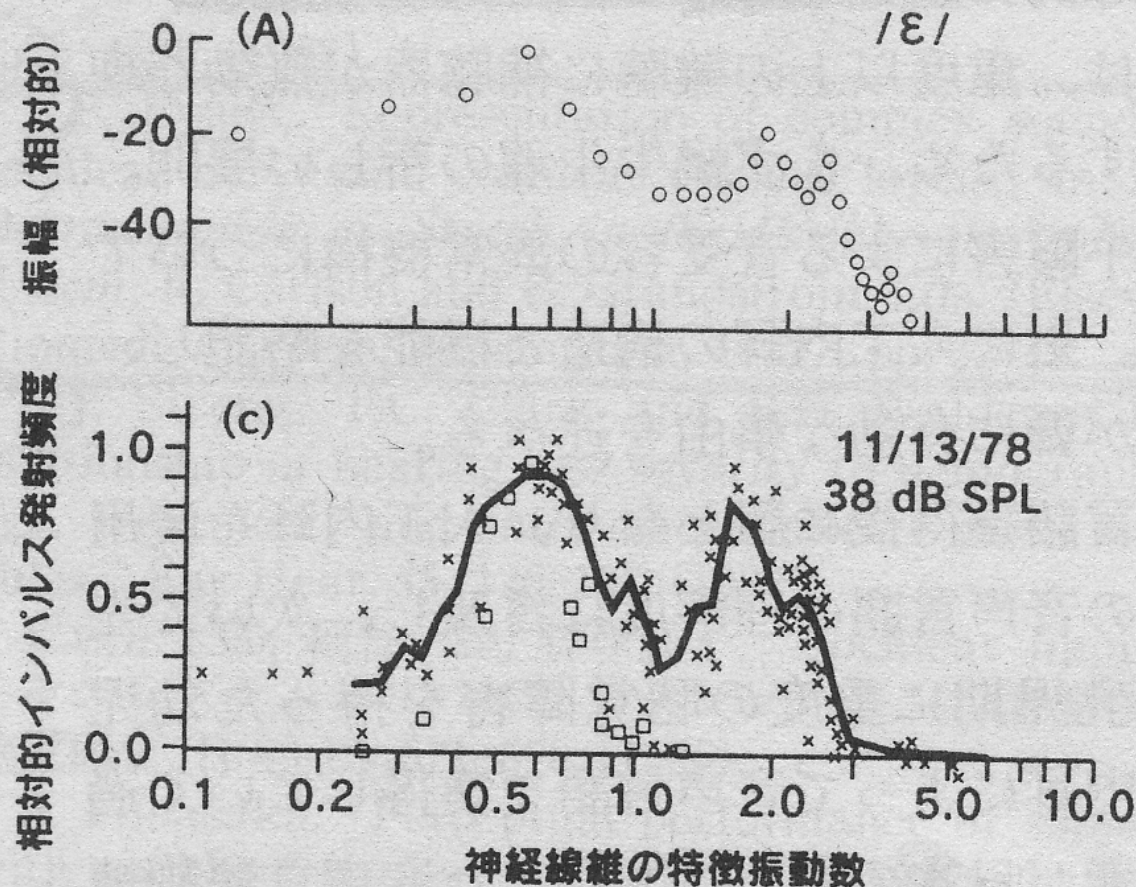


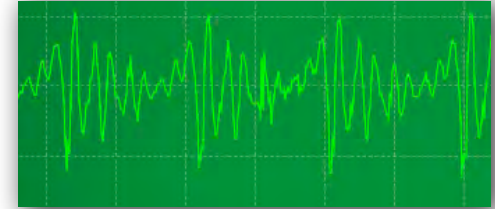
図-3 合成母音/ε/に対する聴神経の反応

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

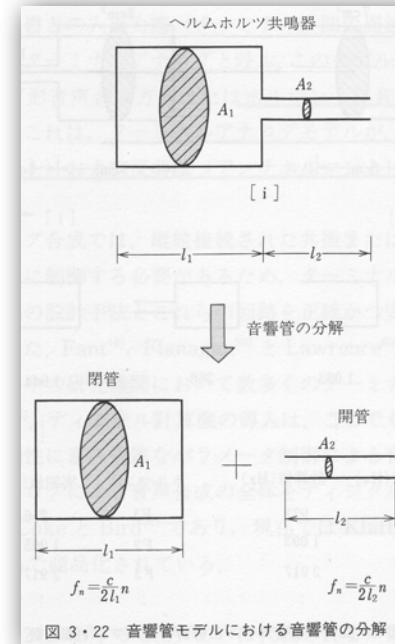
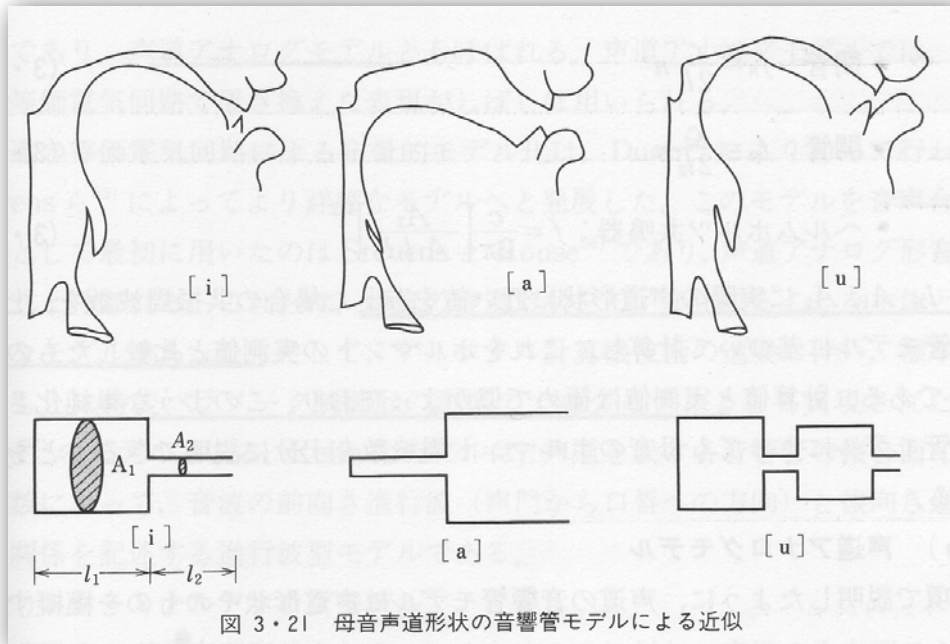
● 管が短くなるとどんな音になる？

● この音は、どんな管形状変形によって作られた？

質問 1



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

質問 2



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



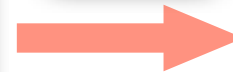
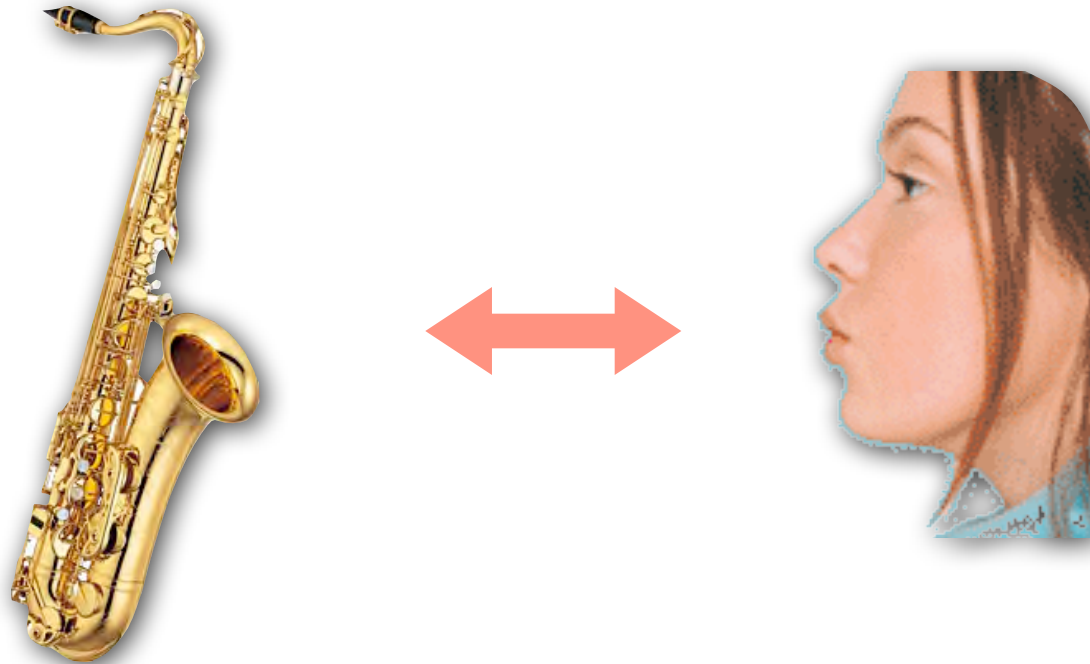
A

質問 2



Q : 管を「あ」から何の形に変えたのか当てなさい。

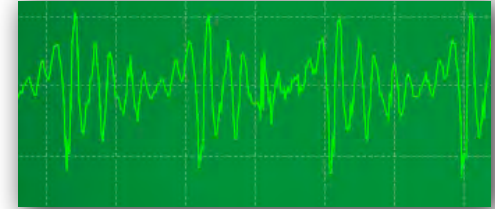
● この人の「あ」の管の形から変えていきます。





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？



質問ある人、手～挙げて！

