

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～

峯松 信明@東大

日本音声学会音声学普及委員会





● 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。

● 音声波形もちょっ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つたもん。

● **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， ボイストレーナー 発声を指導する方

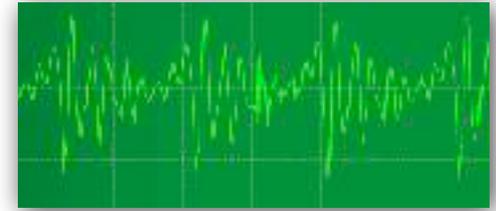
● アナウンサー， 声優， 落語家， 漫才師 発声を生業にする方

● などなど



① 三種類の音声学

- 調音音声学 + 音響音声学 + 聴覚音声学



② 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

③ 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

④ 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？

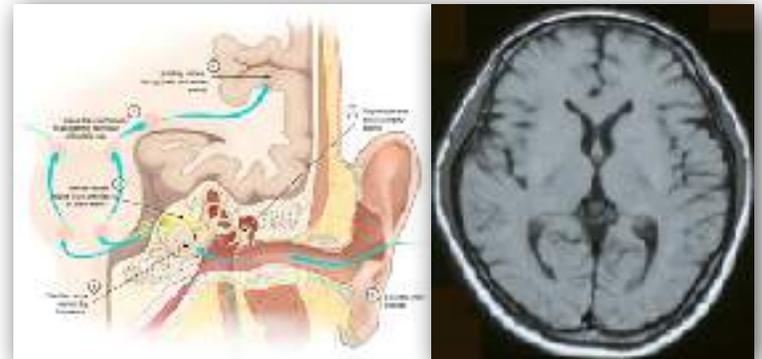
音声は人間の発声器官により発せられる音で，これを言語伝達のために用いるとき言語音声と言う。音声学は言語音声を記述する科学である。音声による言語の伝達には三つの局面がある・・・

(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

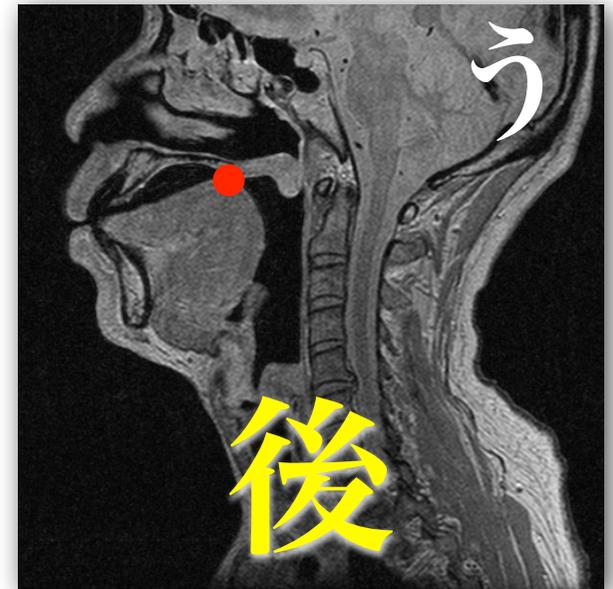
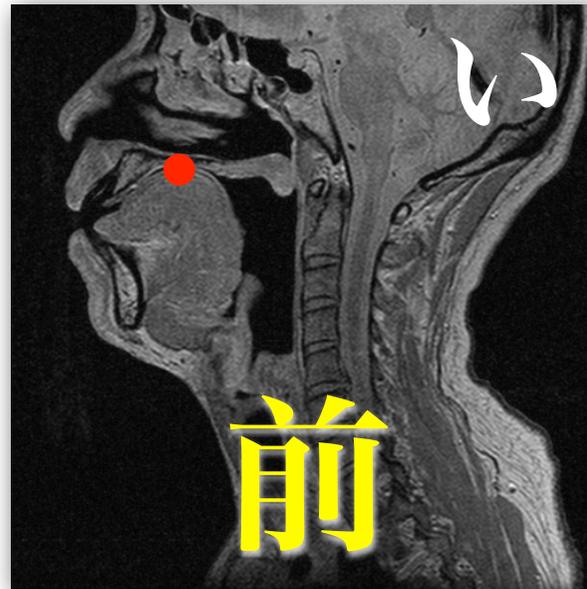
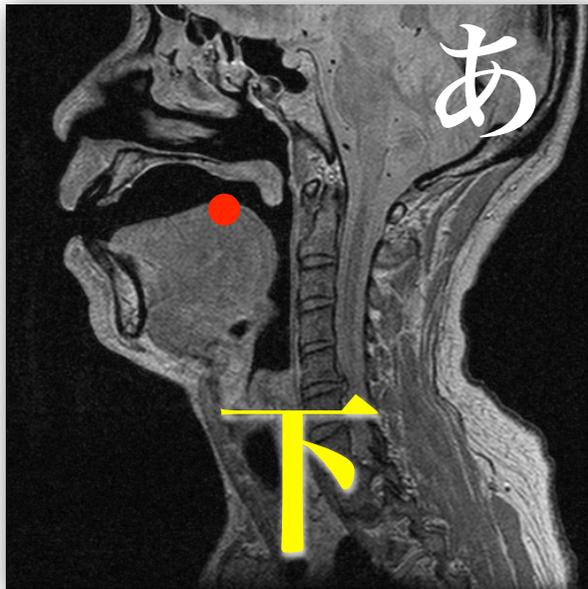
- 「口の中」「音の中」「耳(脳)の中」のいずれを見るのか？
- この順で観測の難易度も上がってくる。



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？



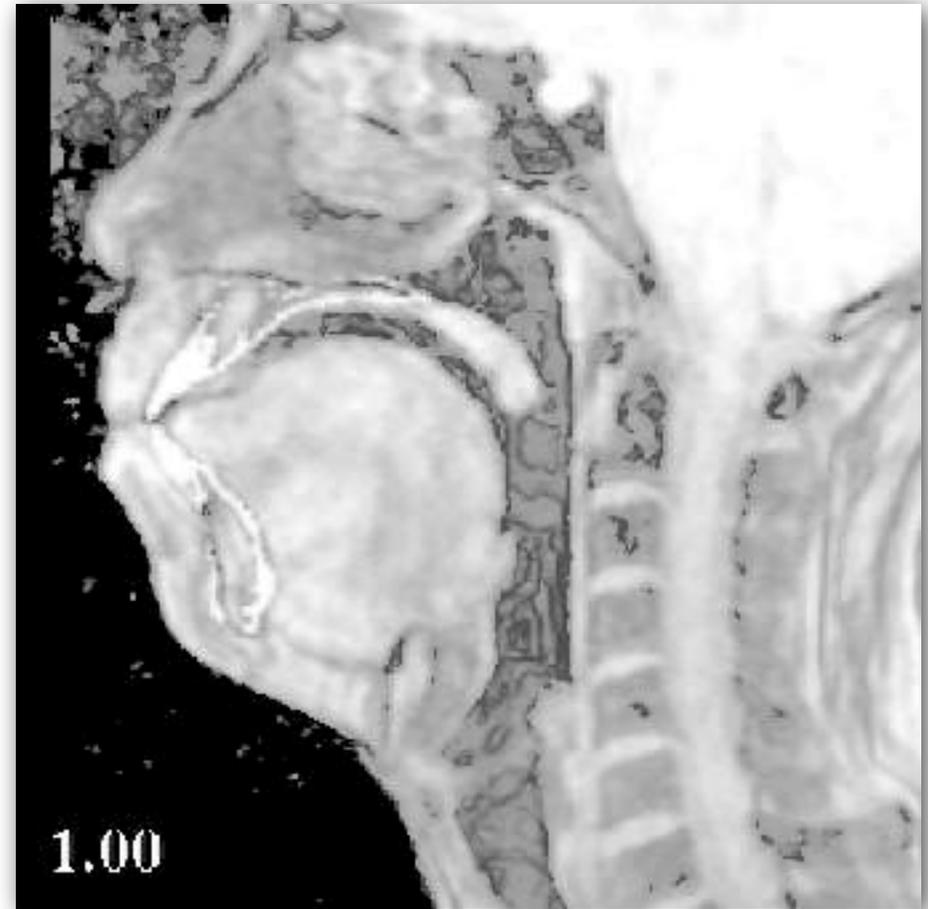
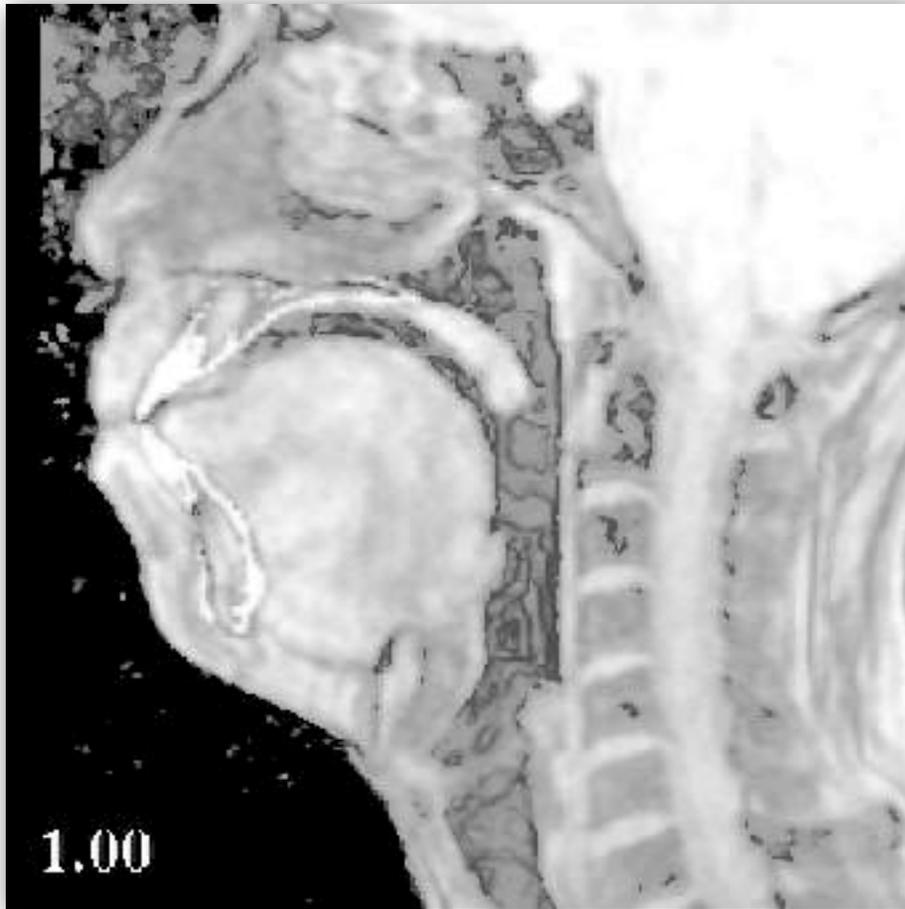
- 口の開き方（＝舌の**高さ**）
- 舌の**前後位置**
- 唇の**丸め**の有無

（提供：ATR人間情報科学研究所）

} 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。



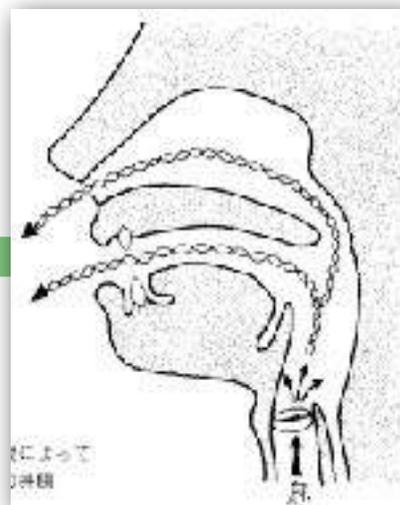
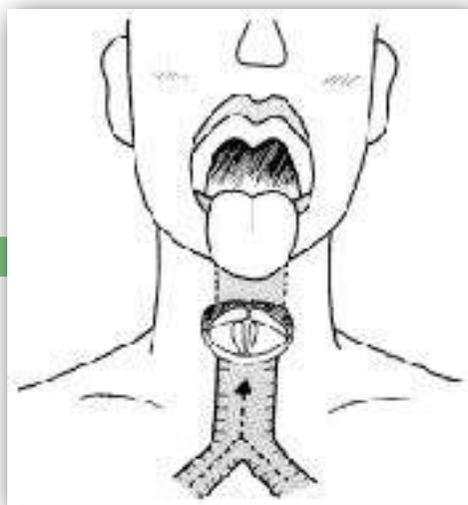
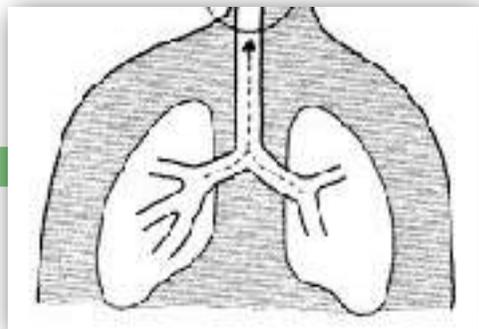
(提供：ATR人間情報科学研究所)

- 「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



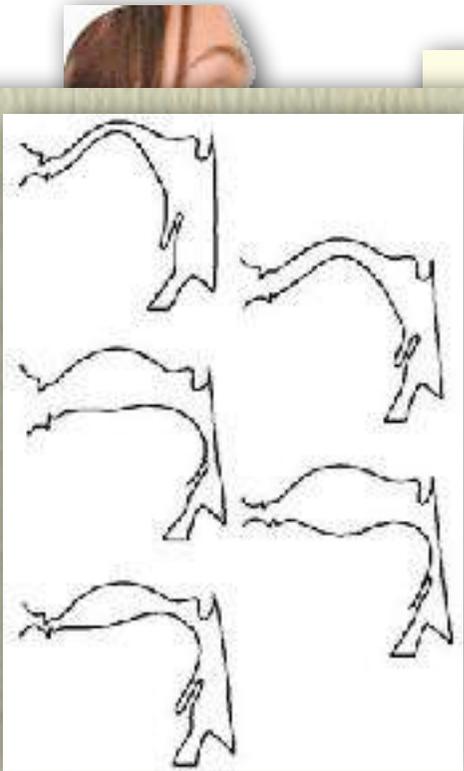
i u
e o
a

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

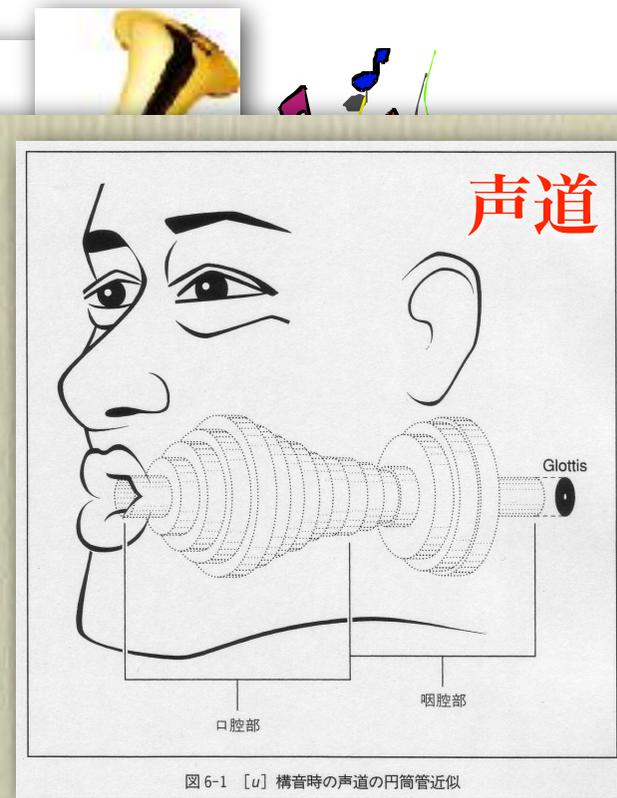
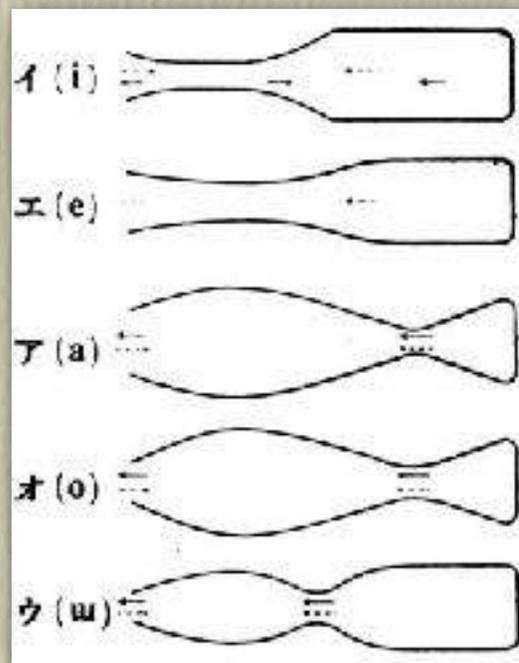


図 6-1 [u] 構音時の声道の円筒管近似

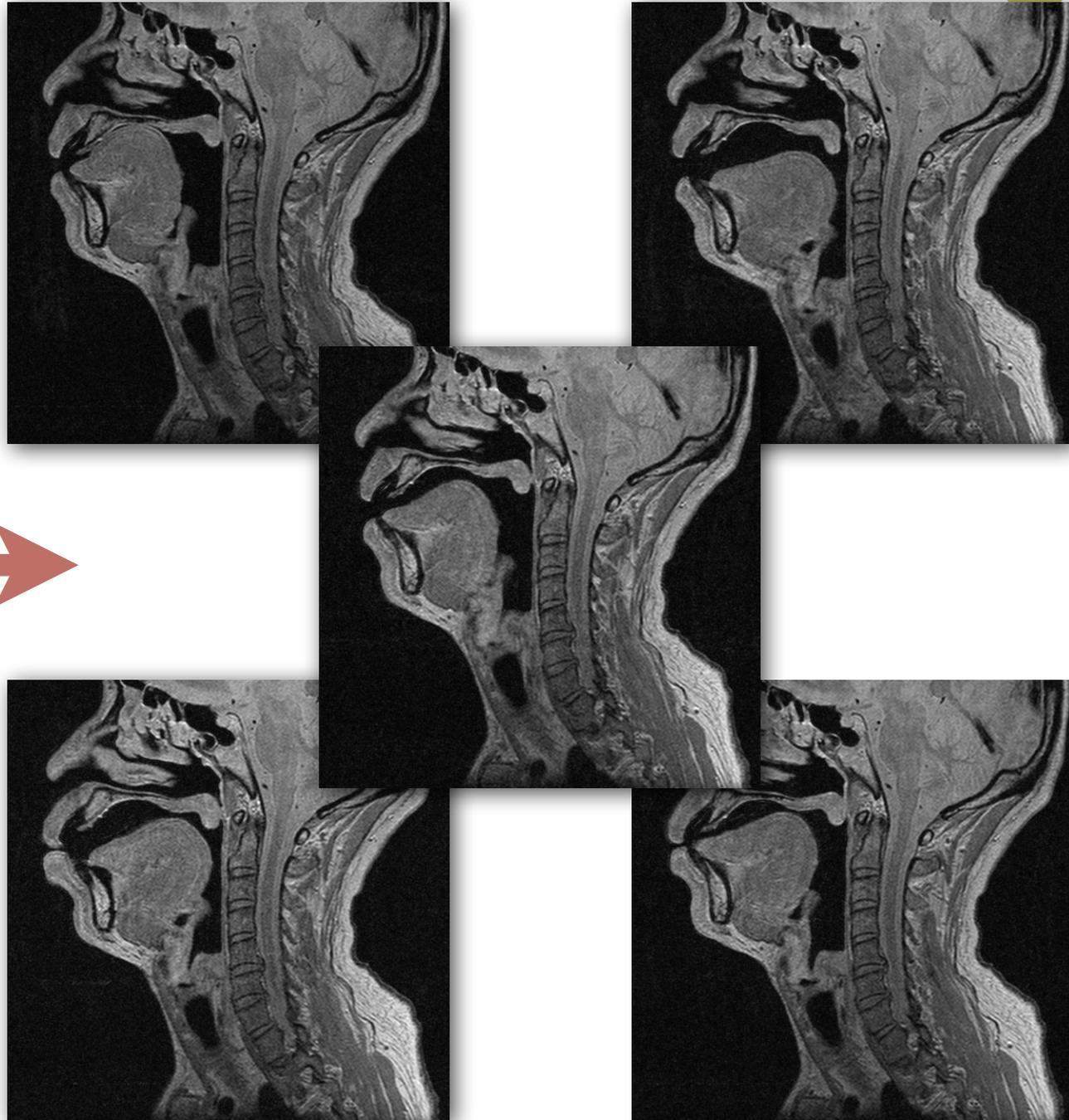
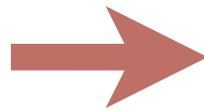
(出典：I. R. Titze 「音声生成の科学」)

u

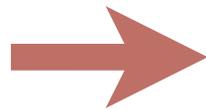
でも我々の楽器はグニャグニャ形が変わる

(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



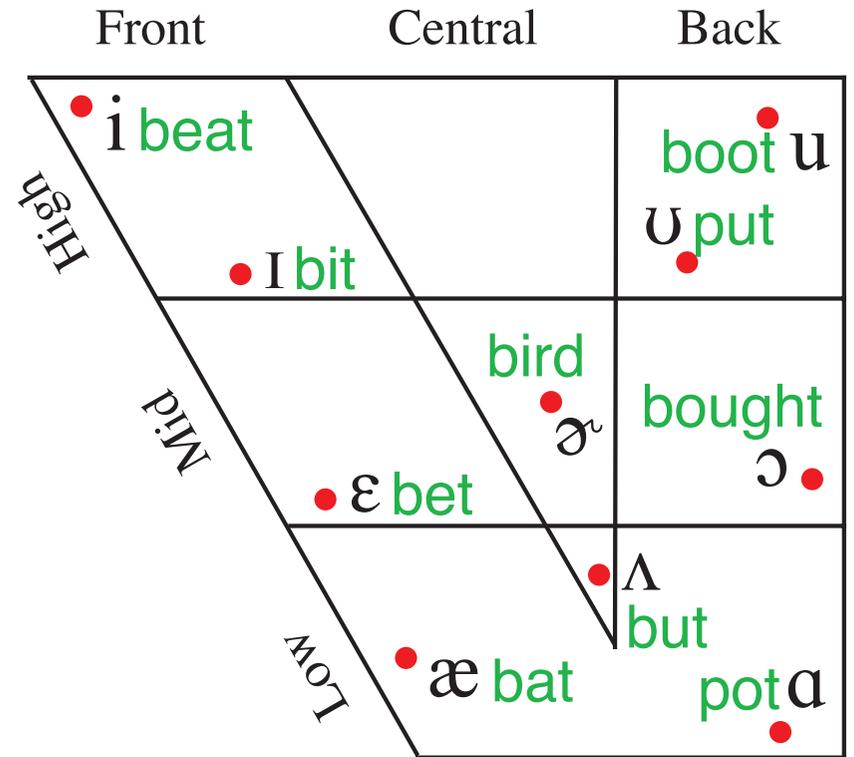
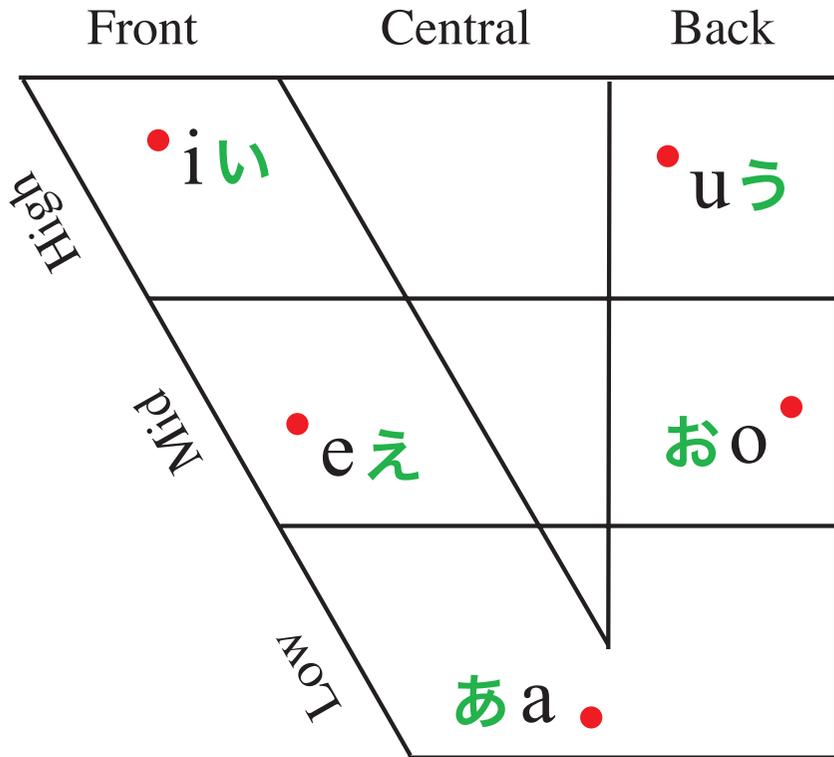
声帯音源 + 声道 = ブザー + 管







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)	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	ɹ	ɰ			
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。

どこで摩擦させるのだろうか？

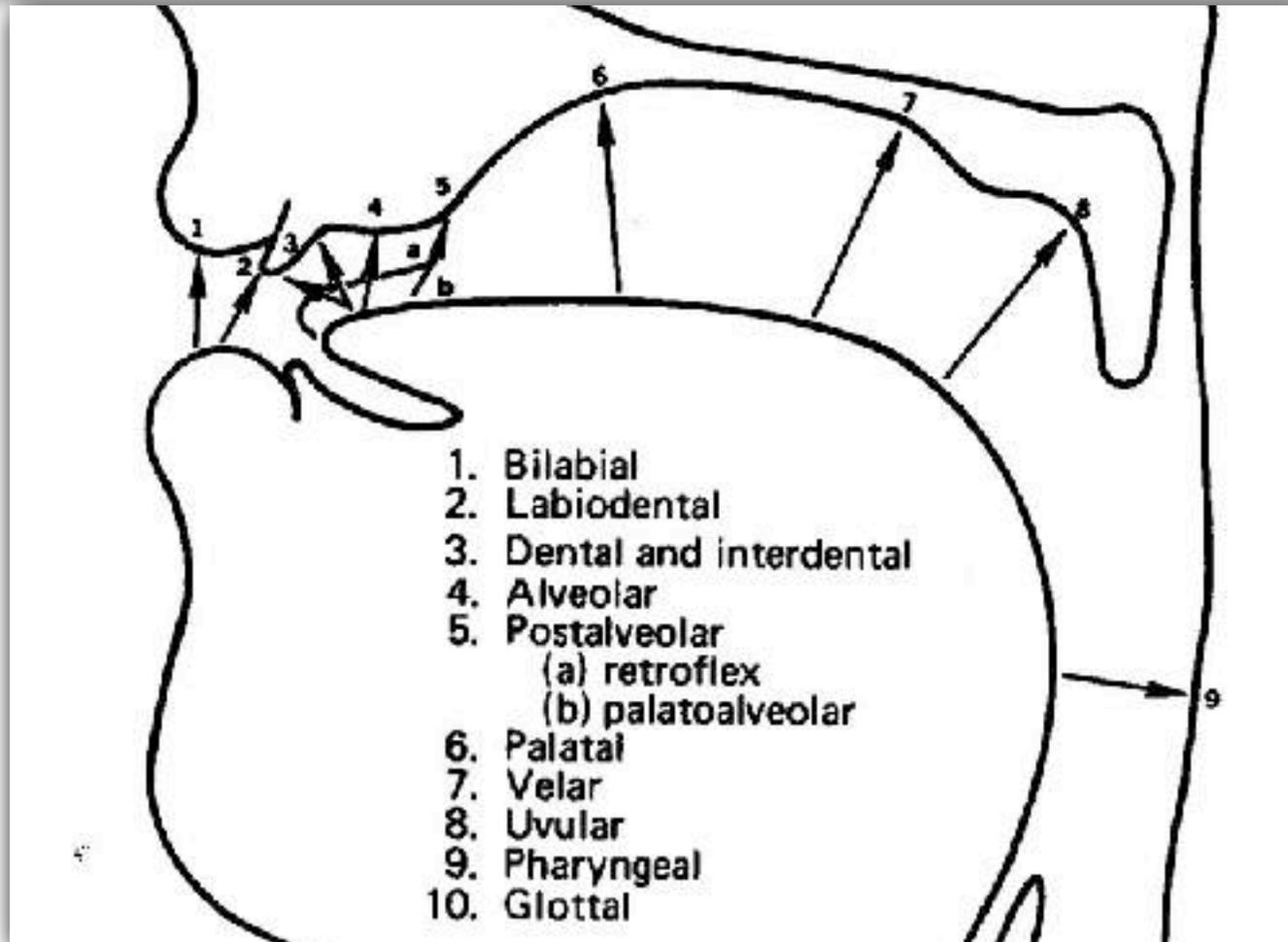


唇から口, そして喉の奥へ

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	ʝx	ɣχ	ʁh	ħh	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/IPA/lab/IPA/lab.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)

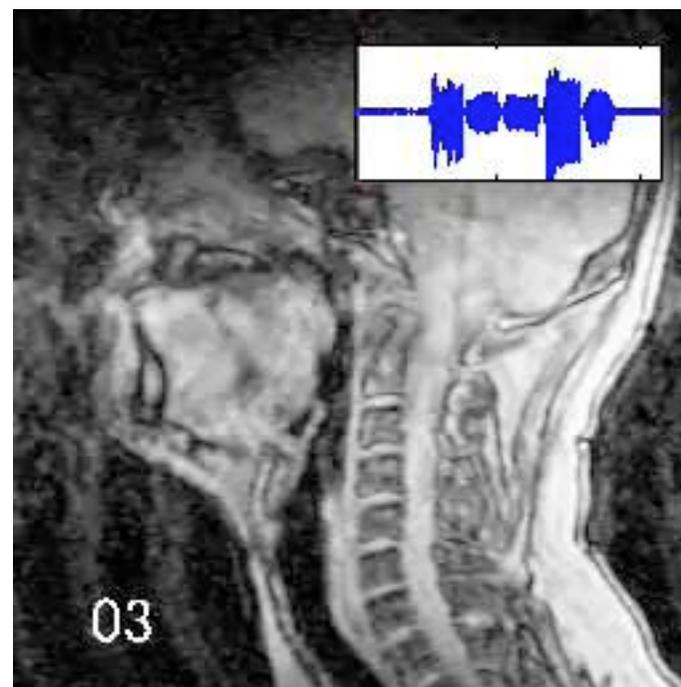
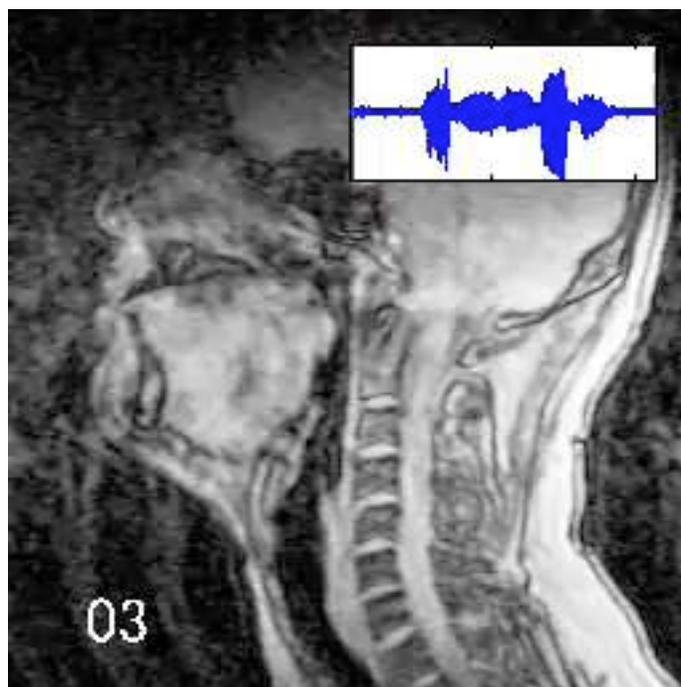
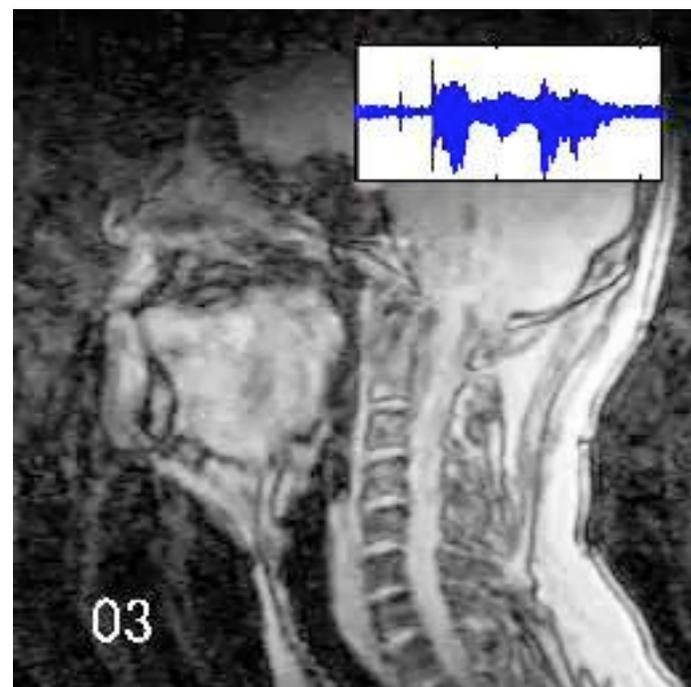
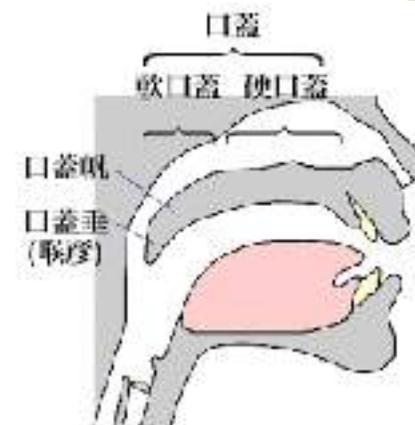
	Labial	Labiodental	Dental	Alveolar	Postalveolar	Retroflex	Palatal	Velar	Uvular	Pharyngeal	Glottal
<u>Plosive</u>	p b			t d		ʈ ɖ	c ɟ	k ɡ	q ɢ		ʔ
<u>Nasal</u>		m ɱ		n		ɳ	ɲ	ŋ	ɴ		
<u>Trill</u>		ʙ		ʀ					ʀ		
<u>Tap or Flap</u>				ɾ		ɽ					
<u>Fricative</u>	ɸ β	f ɸ	v θ	ð s	z ʃ	ʒ ʂ	ç ʝ	x ɣ	ħ	ʕ	h
Lateral fricative				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>

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）の制御と隙間変形
 - あいう → なにぬ 舌先の様子と鼻腔への接続
 - あいう → らりる 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

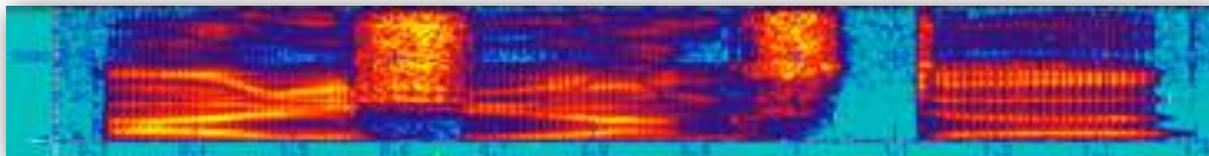
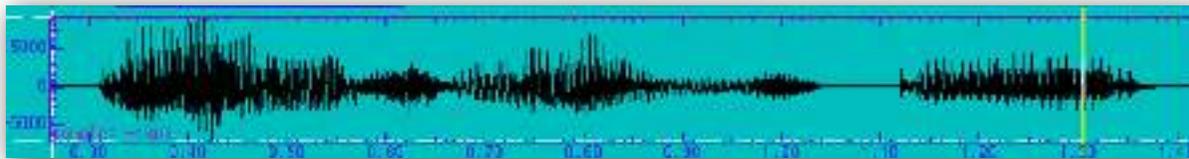
次に音響音声学の「いろは」

- 空気の粒の振動現象としての音が持つ四つの要素
- 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

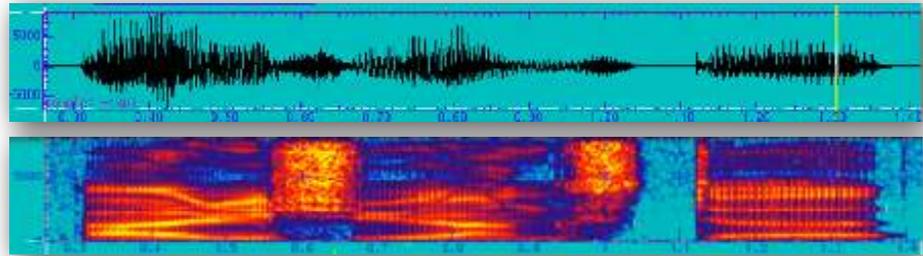
- 大きい音, 小さい音

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

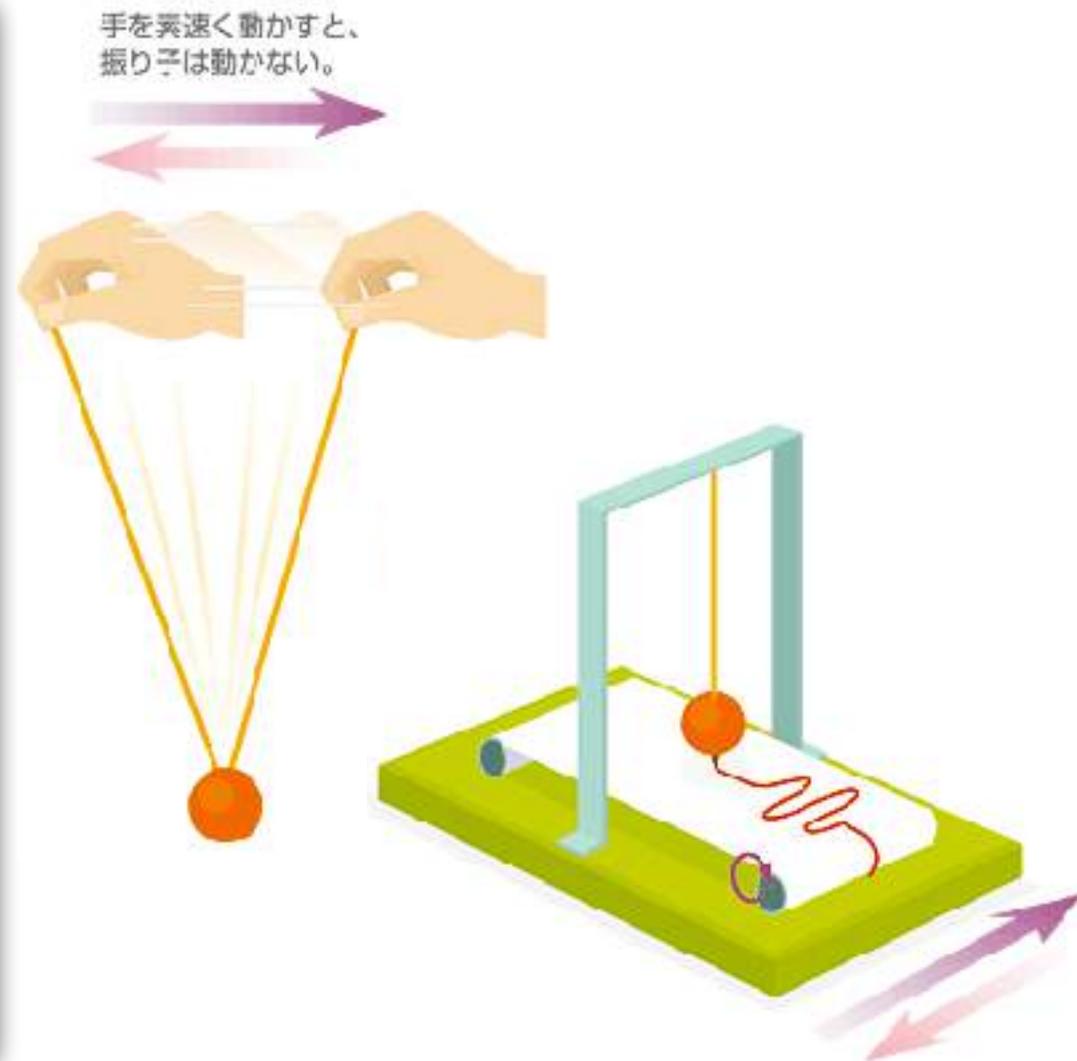
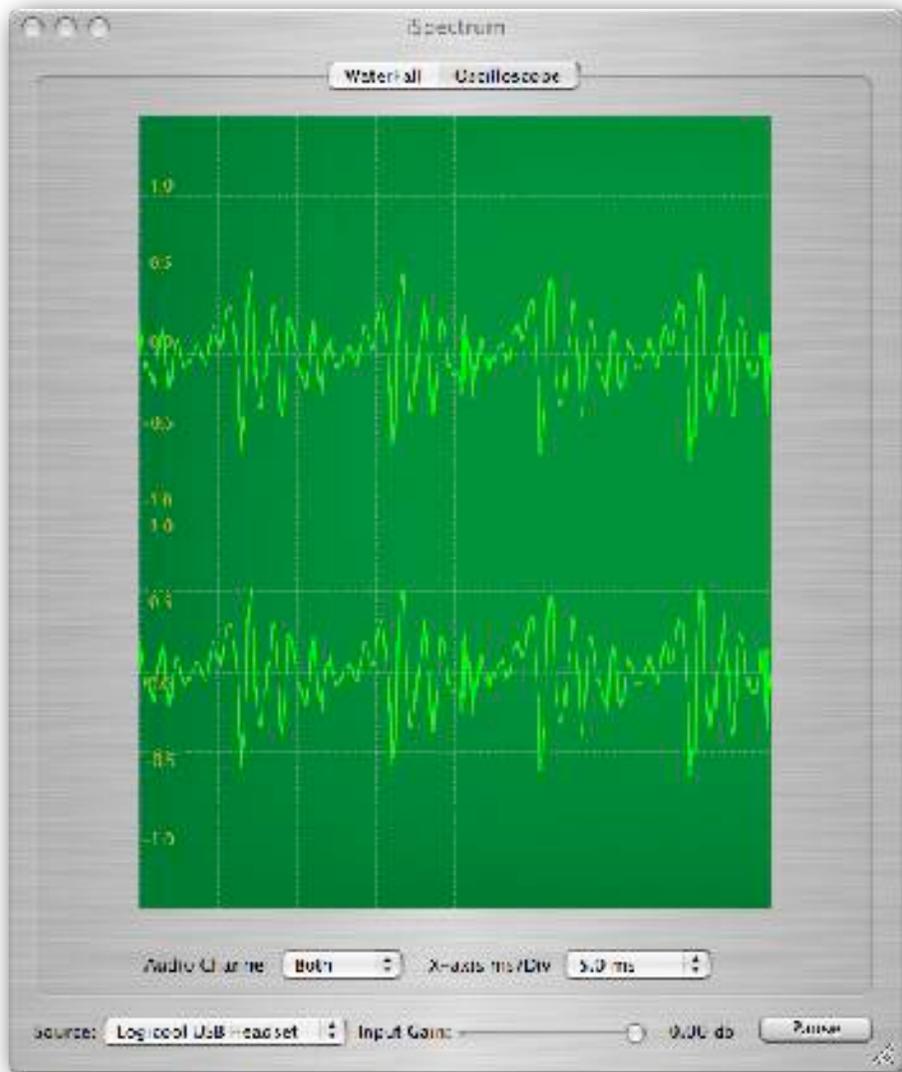
ある情報

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。

● マイク周辺の空気の粒が振動している様子（横軸＝時間）

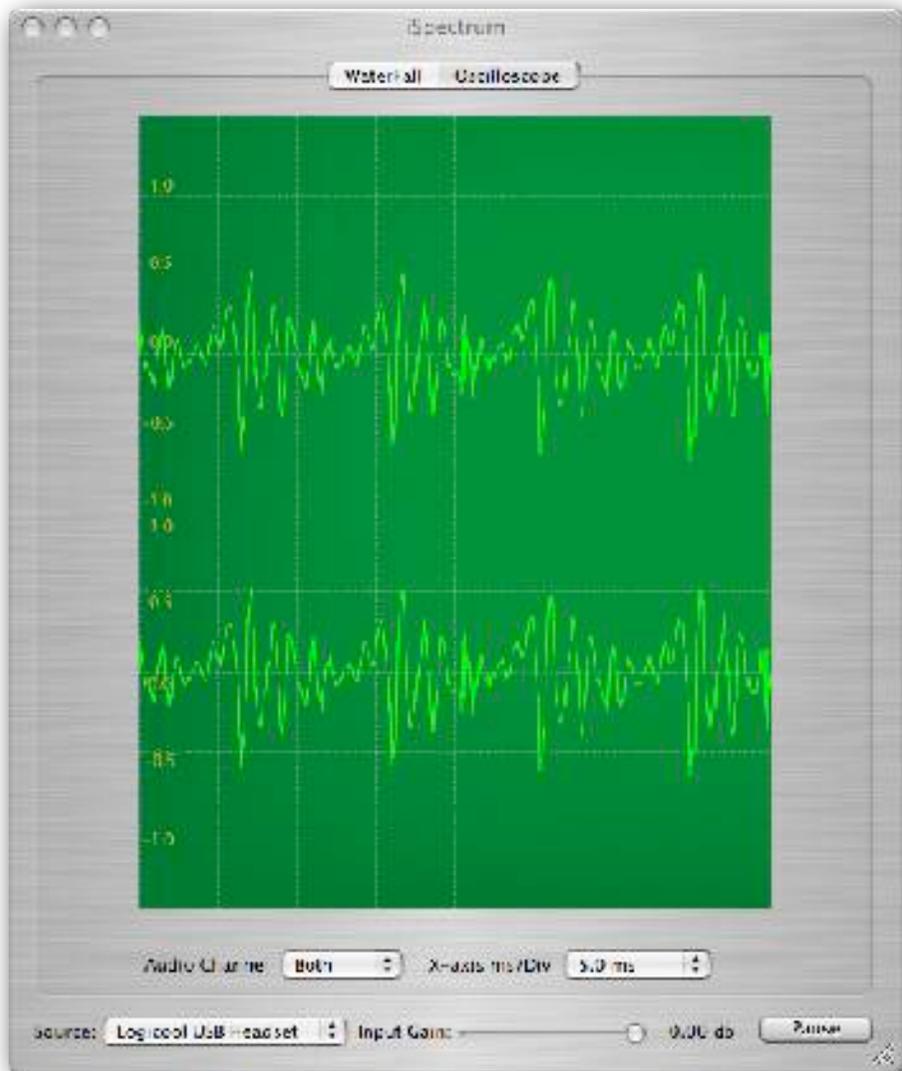


音は空気の粒の振動現象です



酸素や窒素や二酸化炭素の振動現象です。

● マイク周辺の空気の粒が振動している様子（横軸＝時間）



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？

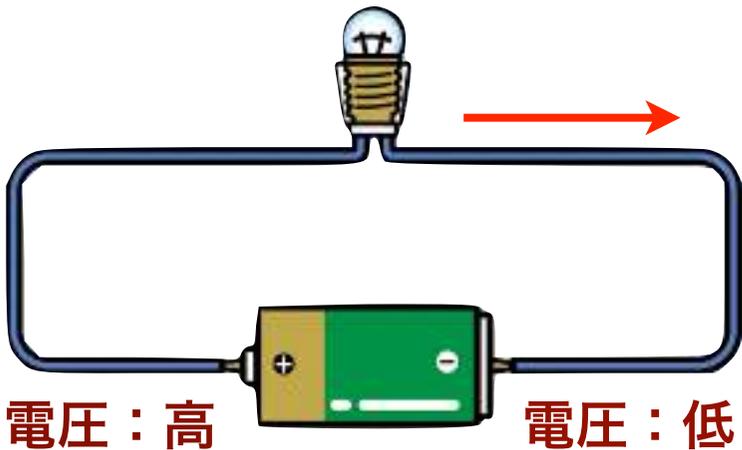


直流と交流って大丈夫ですか？

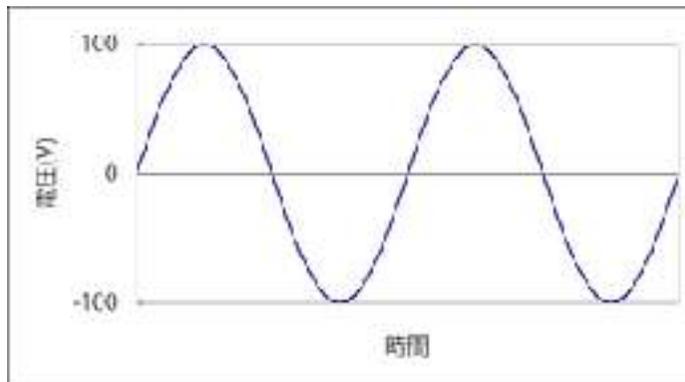
● 直流：DC = Direct Current

● 交流：AC = **Alternating** Current (交互の・互い違いの流れ)

直流＝乾電池， 交流＝商用電源



- 電流は高電圧 → 低電圧へ流れる
- 但し，電池の中では低 → 高
- すべり台で降りて，エレベータで上がるイメージ



- 電圧の高低が交互に変わる
- 電流の向きが交互に変わる
- 乾電池をクルクル回すイメージ

関東：50回/秒， 関西：60回/秒



ACアダプターってよく使いますよね

- 「交流」 アダプター = **交流** → **直流**変換器

商用100V

交流

直流
(乾電池)



そもそも、何で交流なんてものがあるんだよ!!

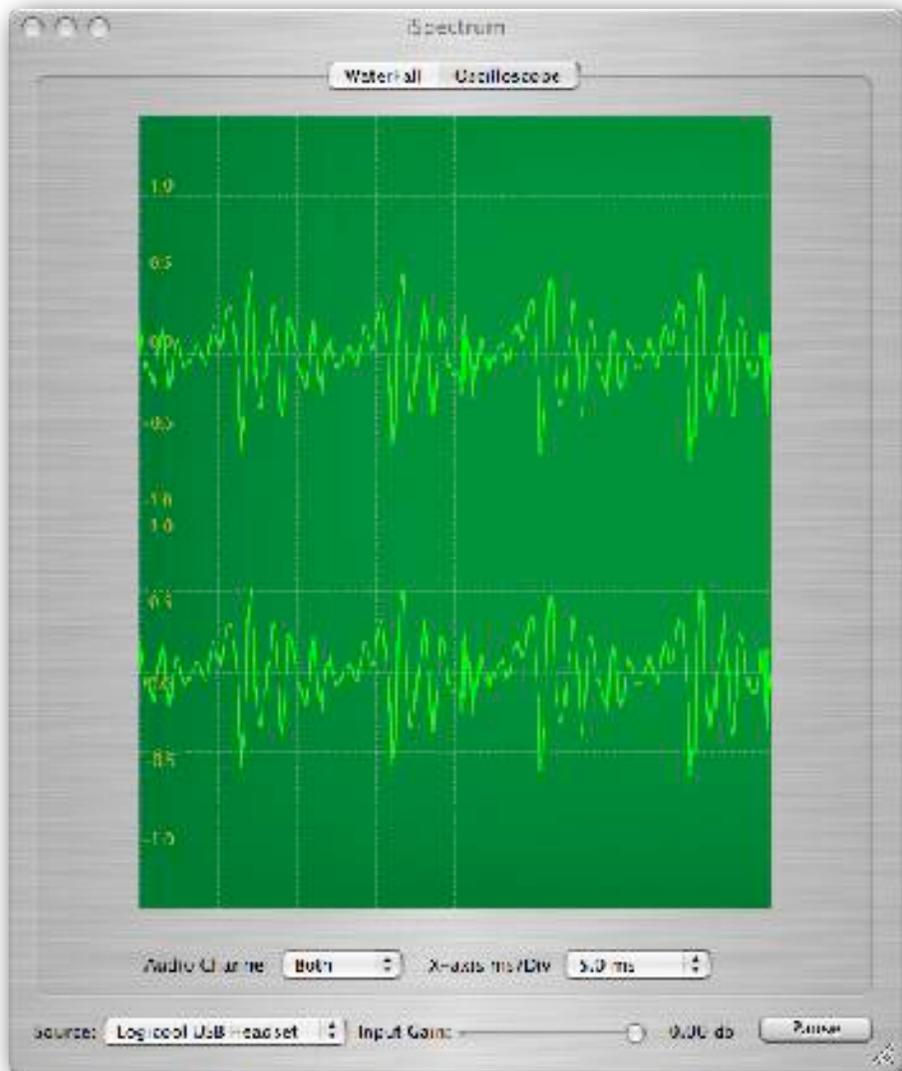
- 電力を送る（送電する）ために都合の良い性質があるのです。
- 詳細は web 参照。

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。

● マイク周辺の空気の粒が振動している様子（横軸＝時間）



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？



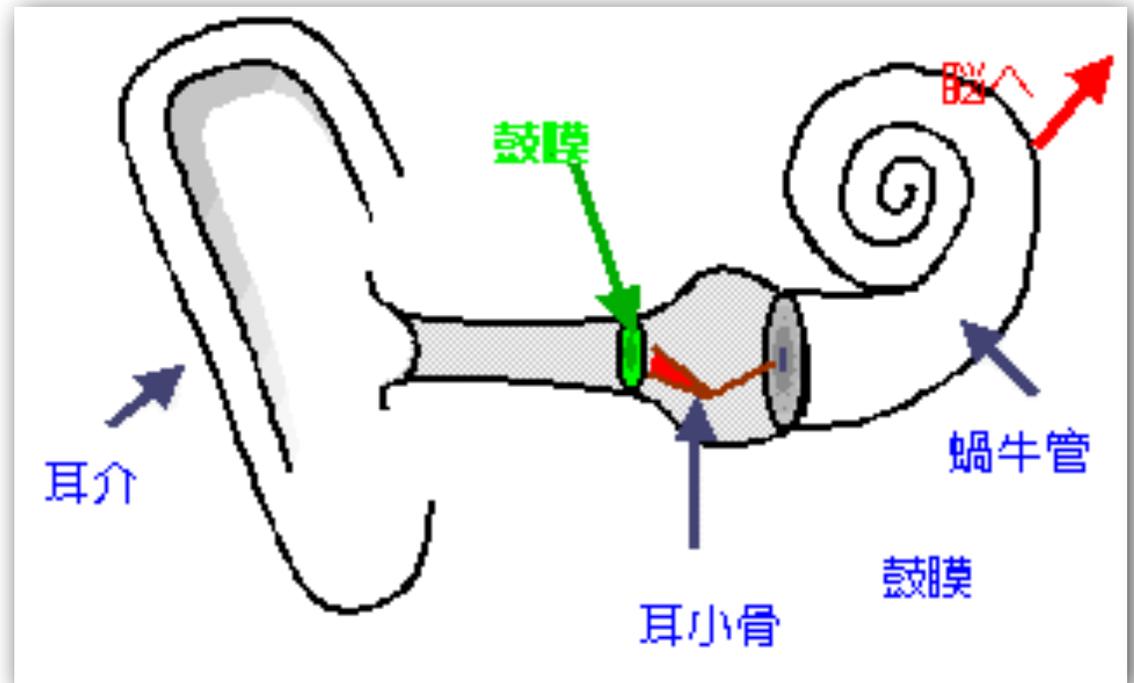
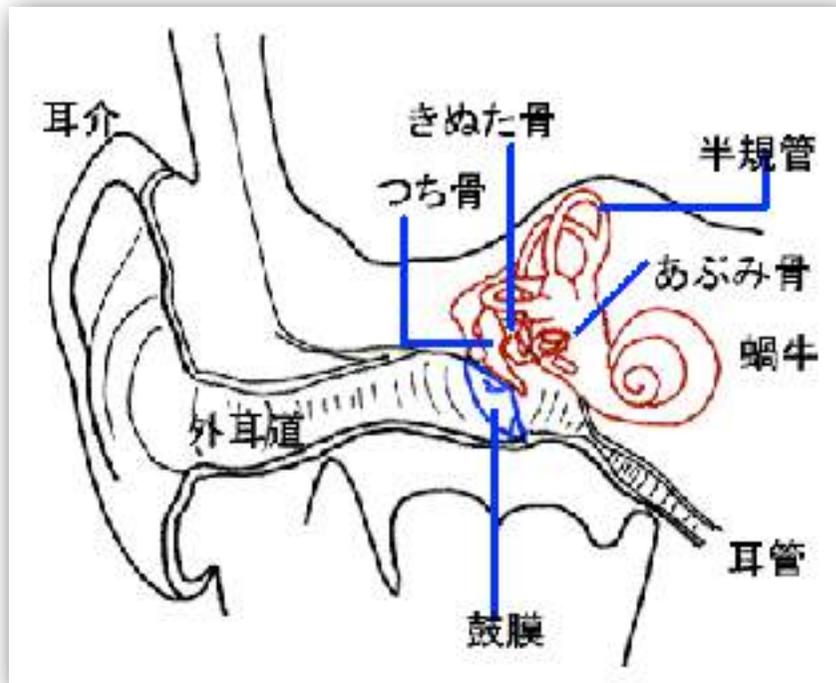


空気の粒が一斉に同一方向に移動する現象

- 「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。超軽いアルミホイールでできたコイル

● その振動の近くに磁石を置くと何が起きる？



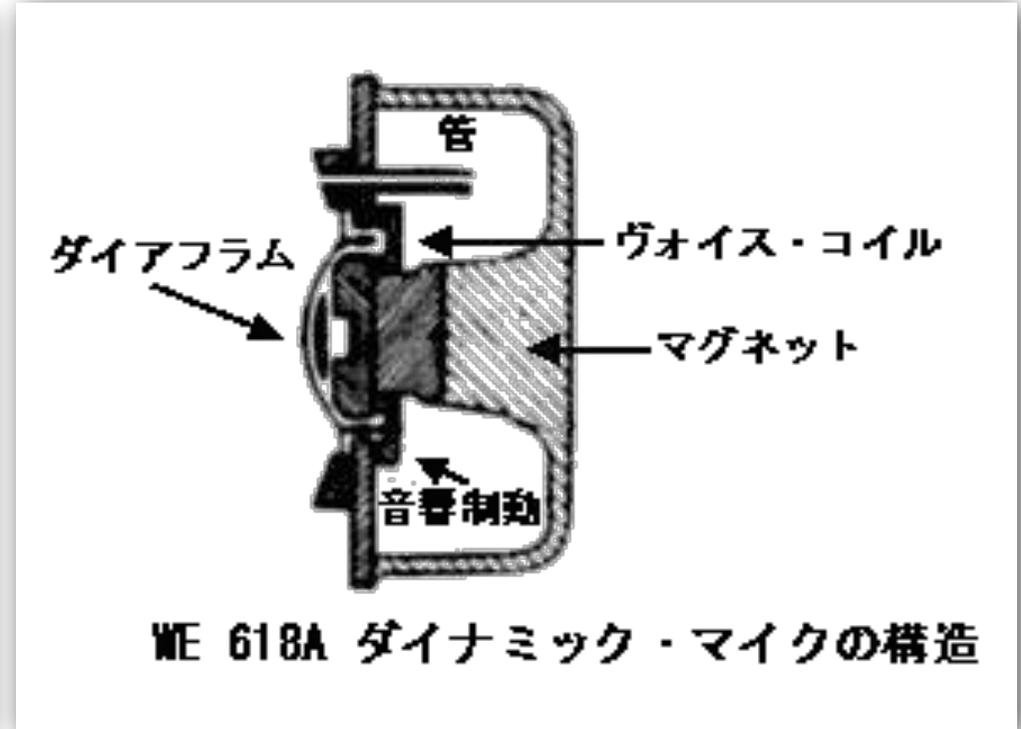
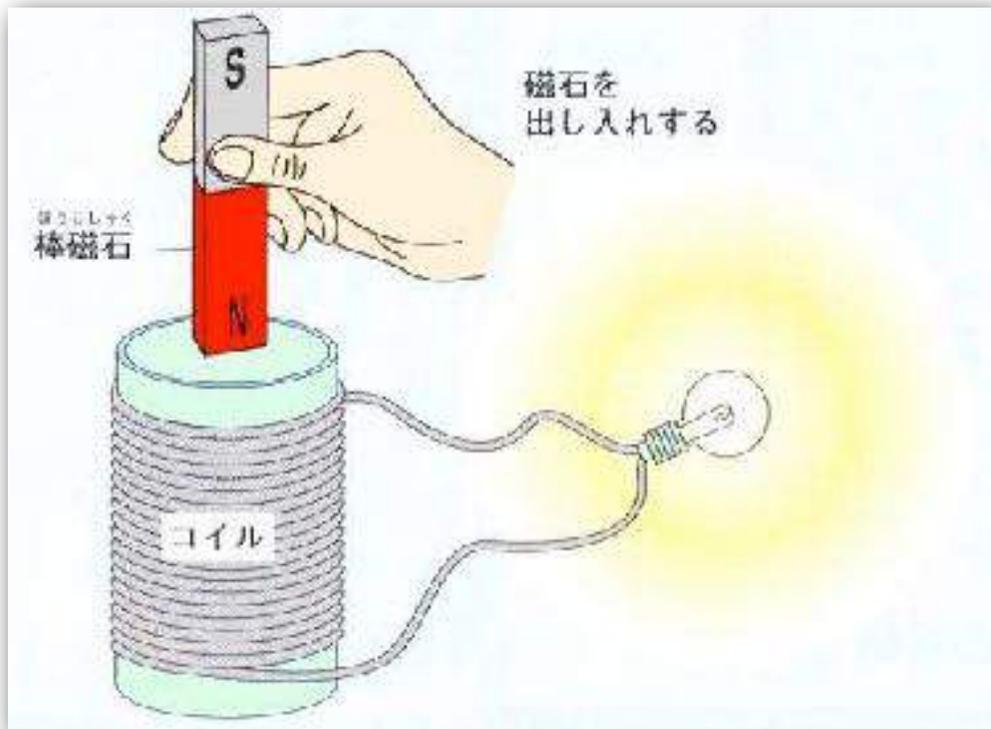
空気の振動？電気の振動？



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。超軽いアルミホイールでできたコイル

● その振動の近くに磁石を置くと何が起きる？



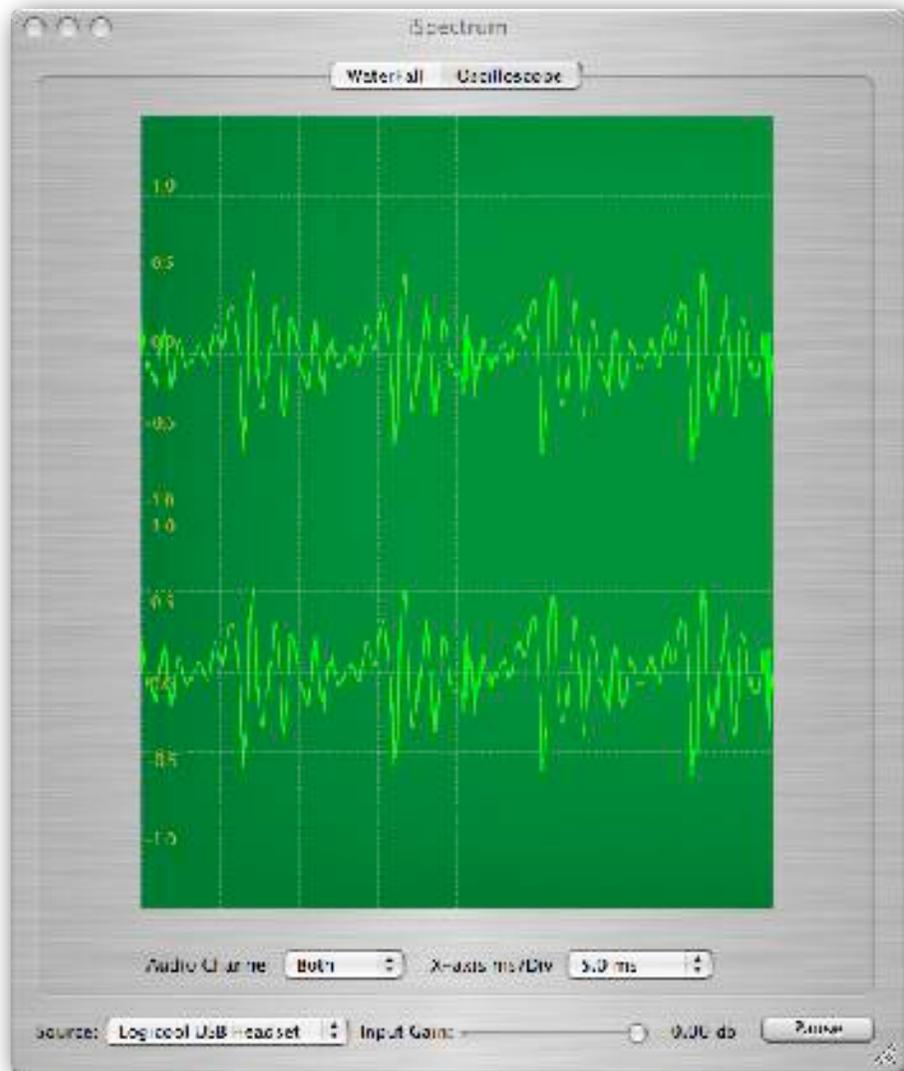
電気が流れる!!

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。

● マイク周辺の空気の粒が振動している様子（横軸＝時間）

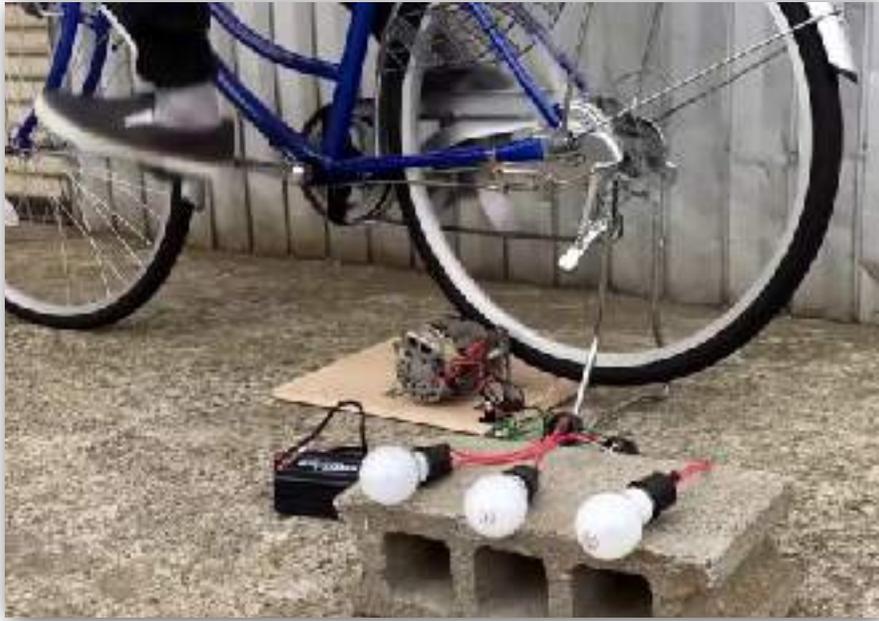


電気の振動 = 空気の振動

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？



自転車発電，タービンによる発電



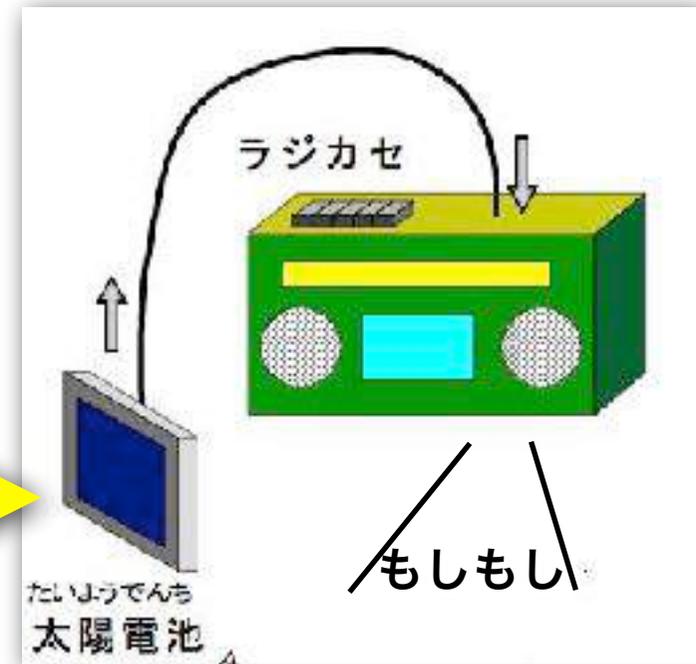
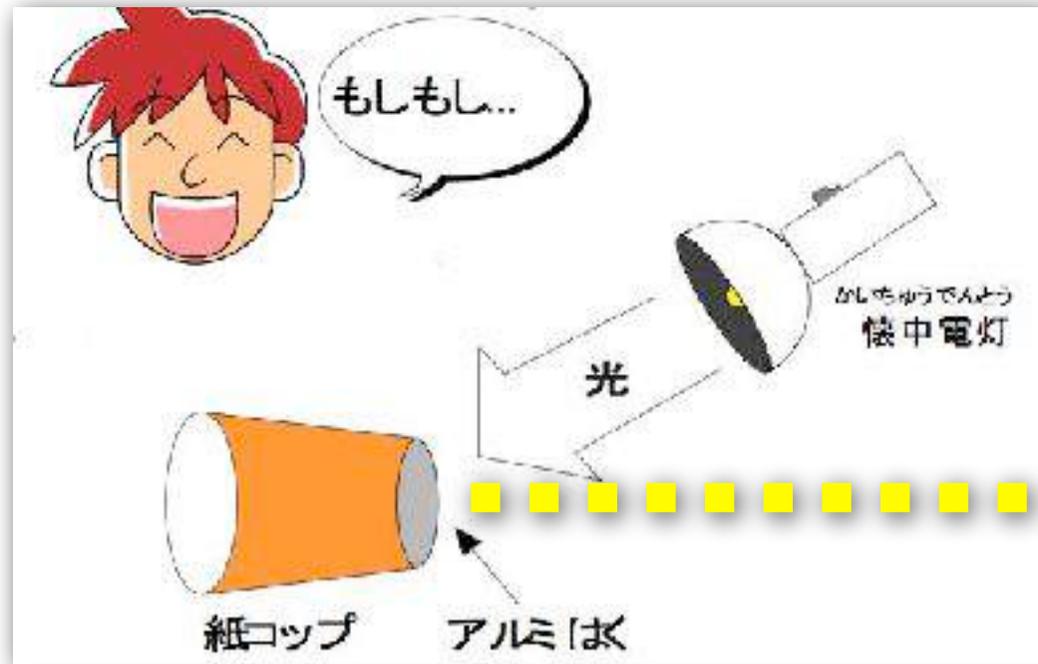
マイクロホン



電気以外の振動にすることだって

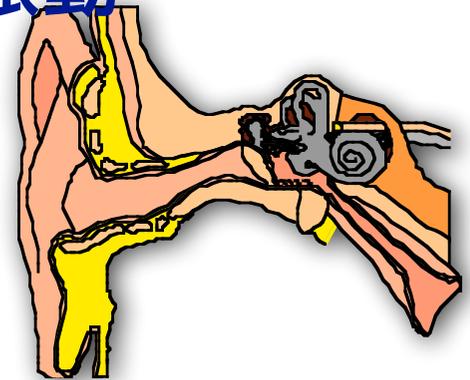


振動する対象は空気である必要は全然ない？



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（喇叭）の機械的振動 → 空気分子の音響的振動



● 揺れるものは何でもよい。振動していることが大切。

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

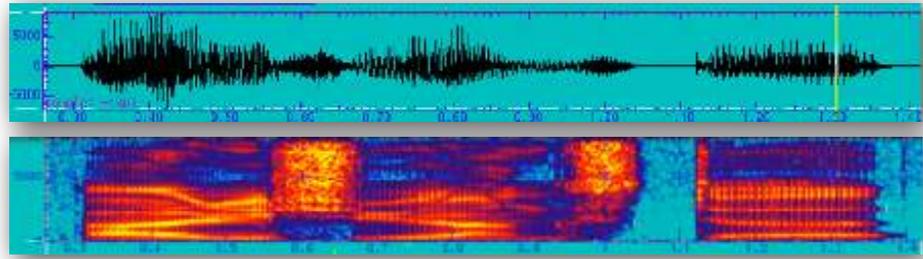
- 大きい音, 小さい音

音の長さ

- 長い音, 短い音

音の音色 (声色)

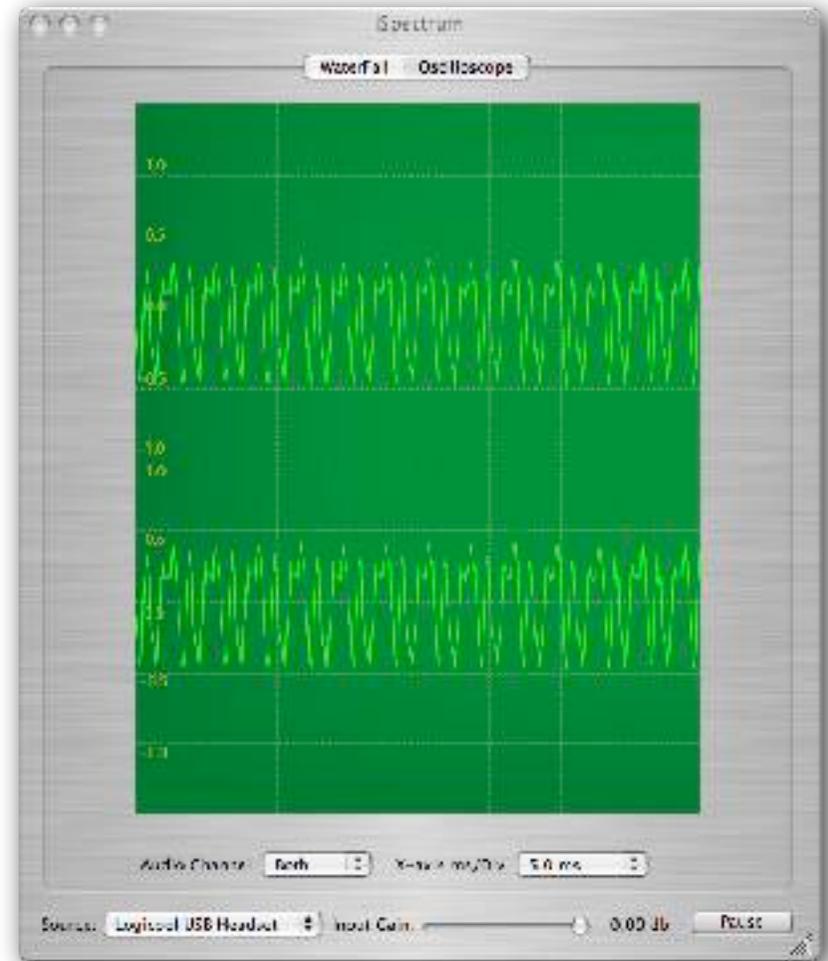
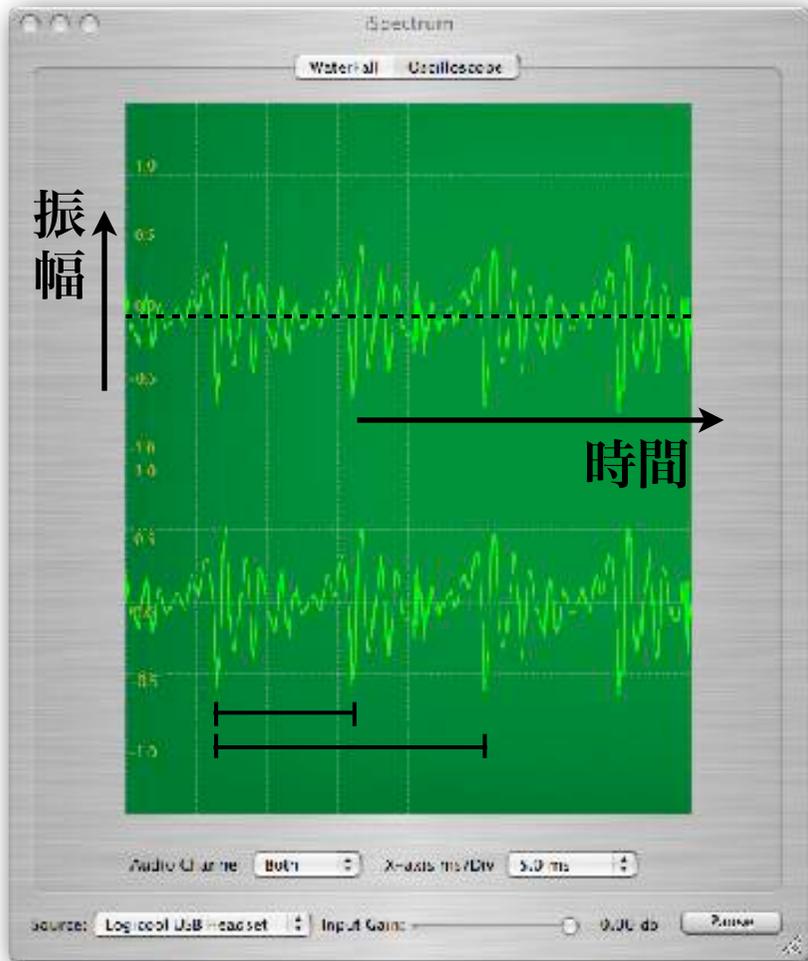
- 太い声, 細い声, 黄色い声, 甘い声, 渋い声, 色っぽい声 . . .
- 高さ・大きさ・長さが同じ2音を「違う音」と認識した場合, その2音は**音色**が異なる。
- 「あ」と「い」 「あ」と「あ」



- 1) 高さ, 2) 大きさ
3) 長さ, 4) 音色

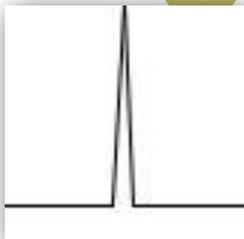
ある情報

波形表示ソフトで見る「低いあ」と「高いあ」

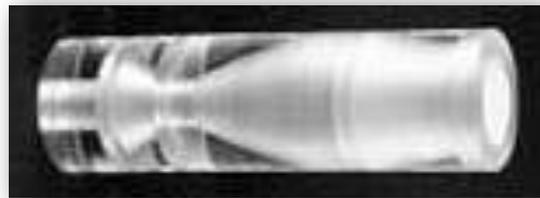
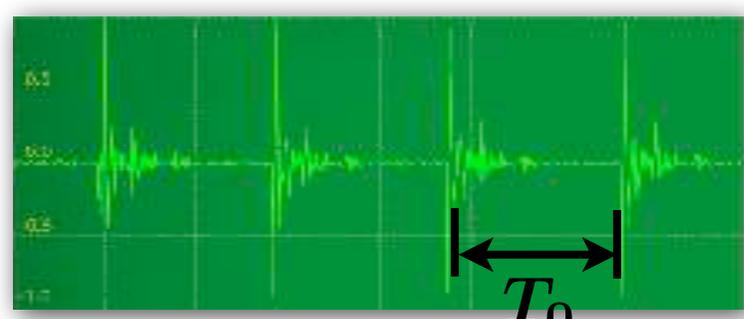


- 同じものが繰り返される時に使われる単位：周波数（振動数）
- = frequency = 回/秒 = サイクル/秒 = Hz（ヘルツ, Hertz）
- 1秒当り5回=5Hz, 4秒当り1回=0.25Hz, 1/16000秒当り1回=?

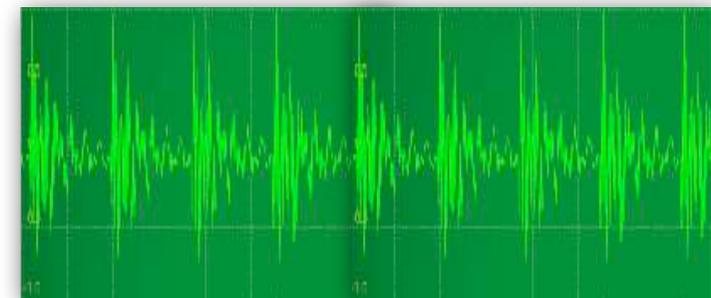
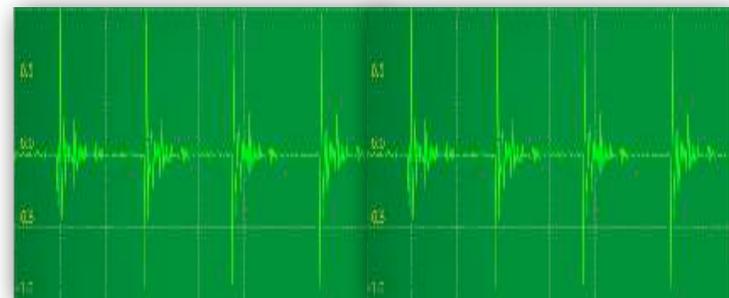
ブザー (パルス列的) → 管 → 「あ～」



- 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



● $T_0 = \text{基本周期}$, $F_0 = (1/T_0) = \text{基本周波数 [Hz]}$



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

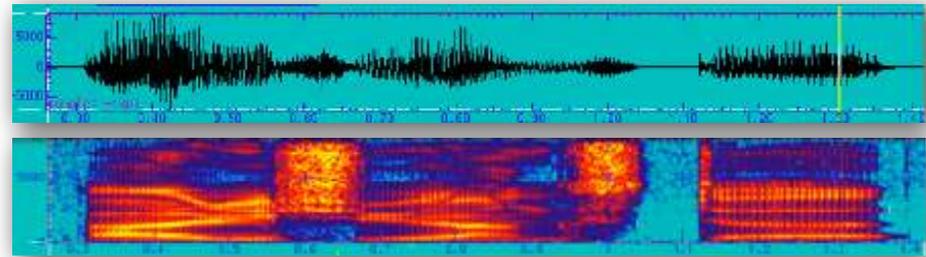
- 大きい音, 小さい音

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」



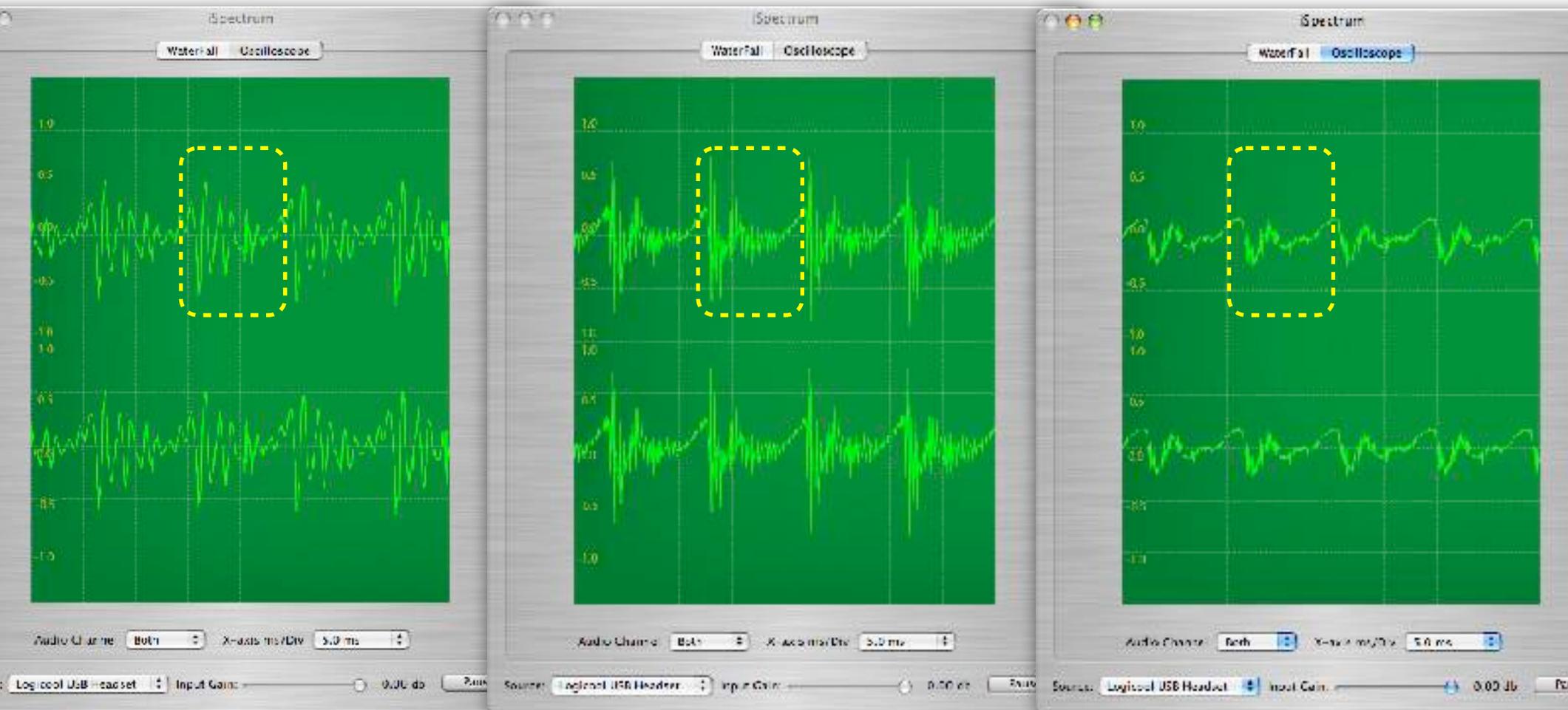
- 1) 高さ, 2) 大きさ
3) 長さ, 4) 音色

ある情報

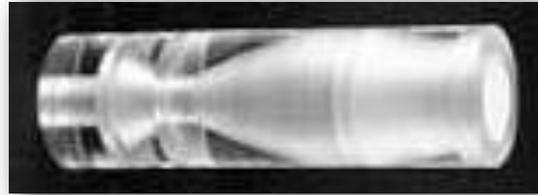
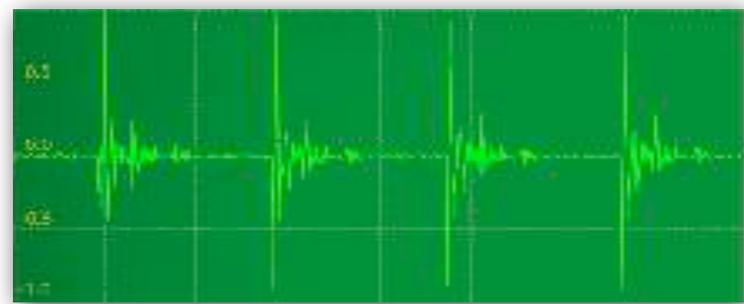


波形表示ソフトで見る「あ」と「い」と「う」

- 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？



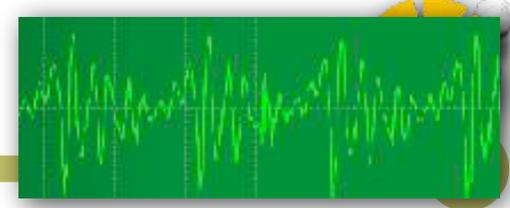
管の前後で音が大きく聞こえるのは何故？



- 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？



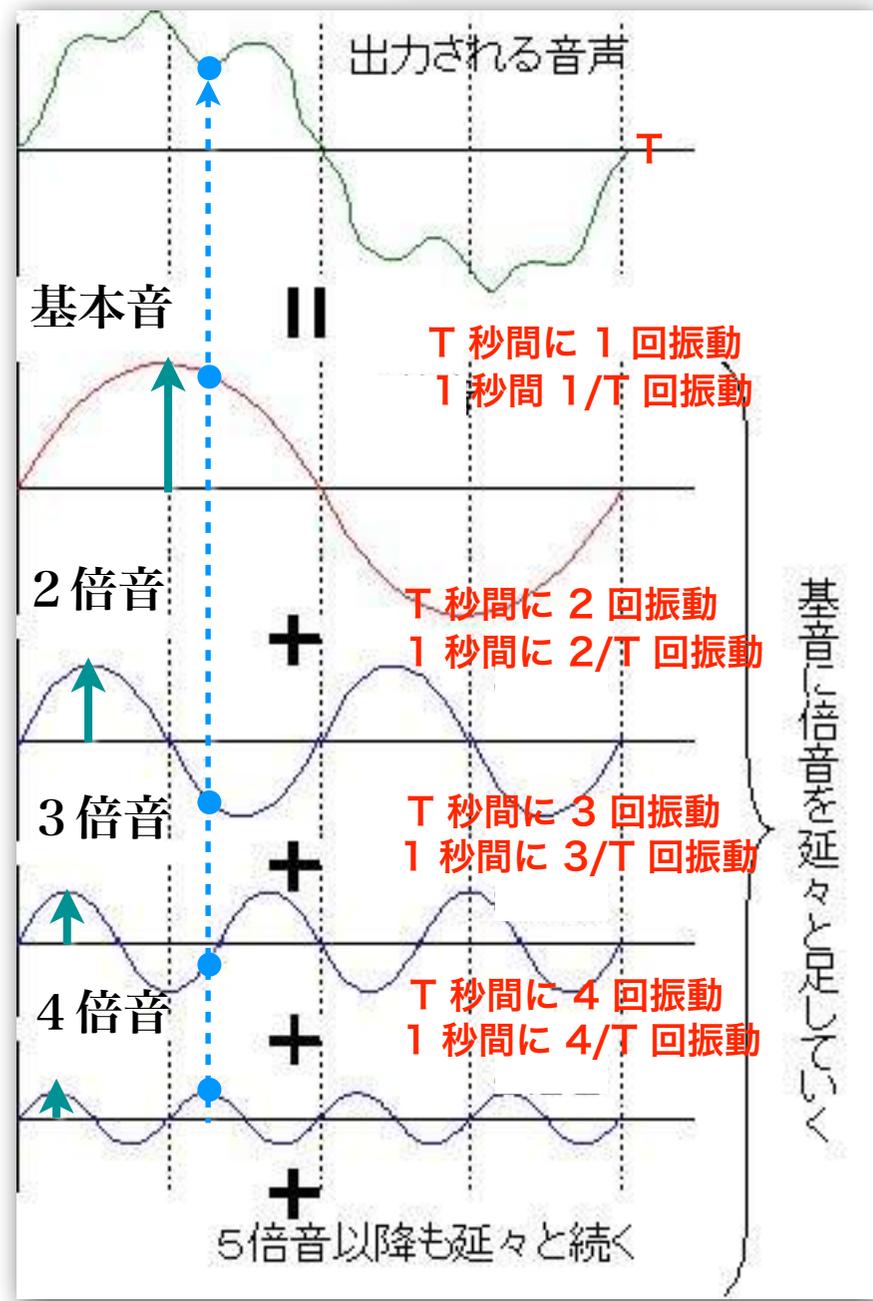
波形を分解する!!



基本音とその倍音の足合わせ

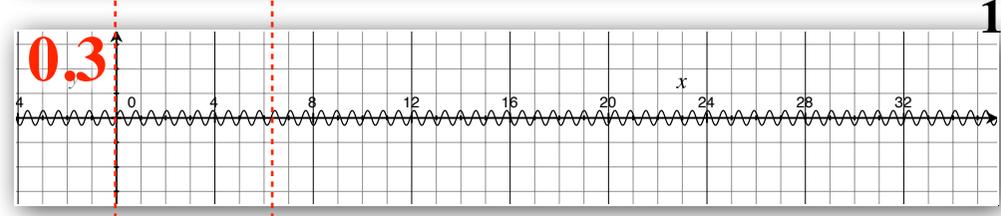
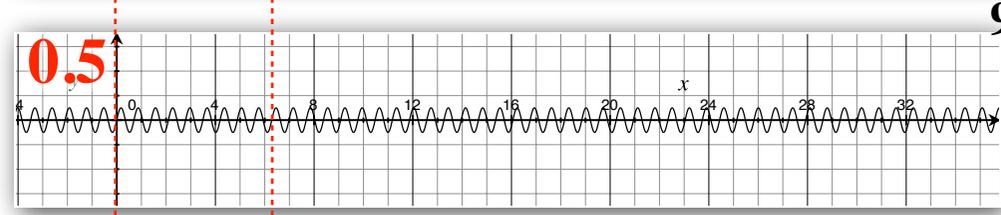
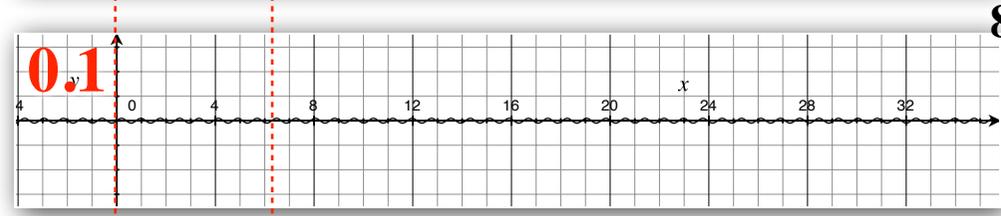
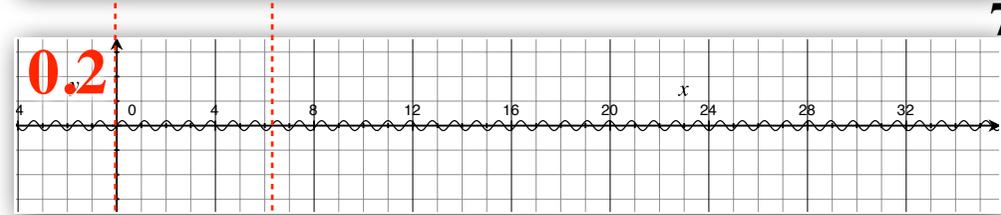
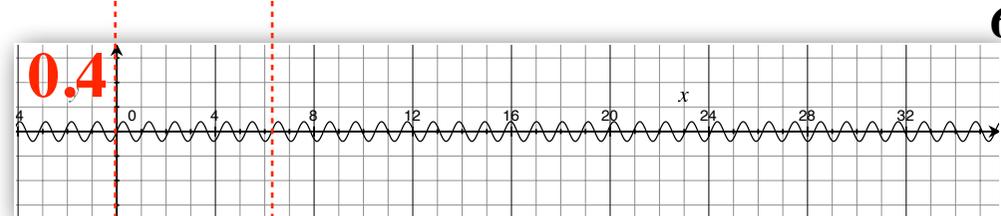
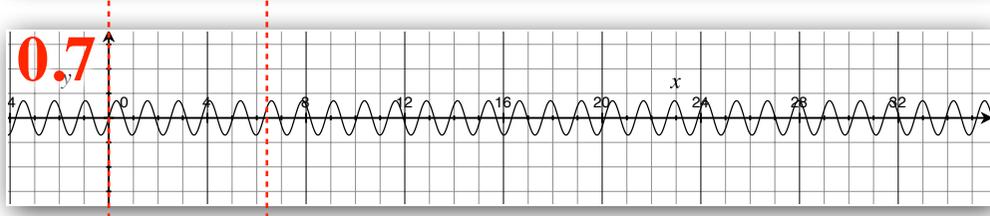
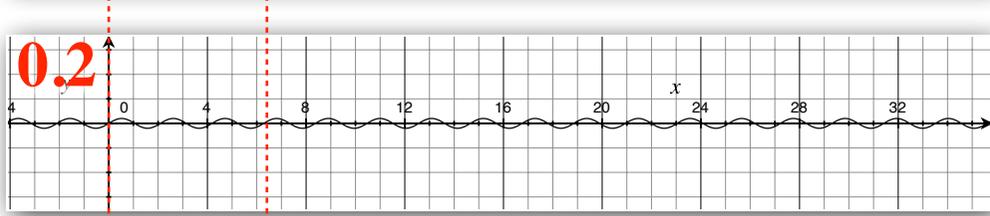
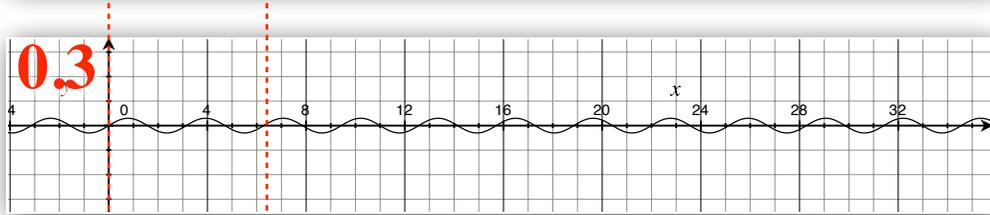
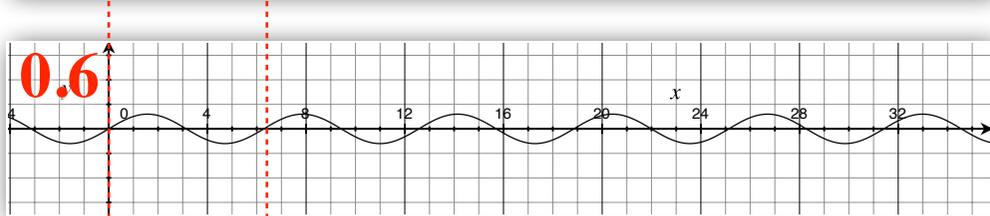
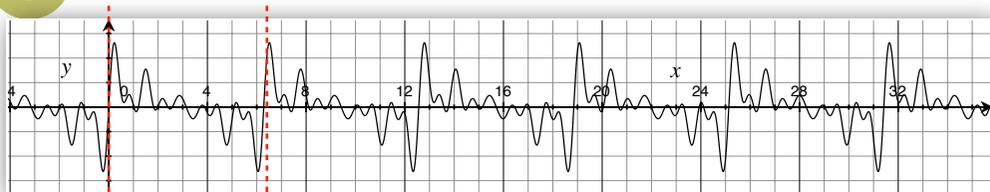
- 波 = 基本音 + 2倍音 + 3倍音 + ...
- n倍音：n倍の周波数のサイン波形
- 周波数：振動回数 / 秒 [Hz]
- 波 = これらを適切な強さにして足しあわせた結果
- どの周波数のサイン波は強く、どの周波数のサイン波は弱いのか？
- 横軸を周波数、縦軸を強度としてグラフを書く → **スペクトル**
- 通知表だってスペクトル!?

1/T [Hz]

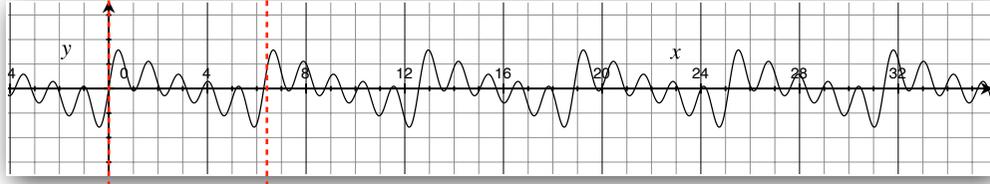
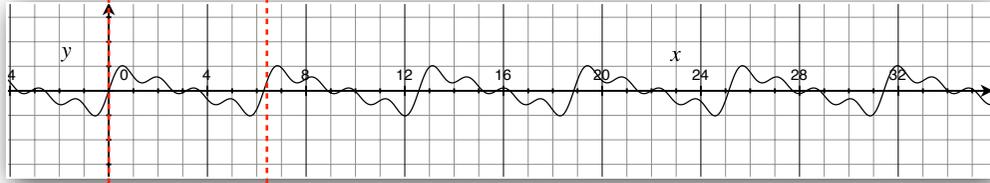
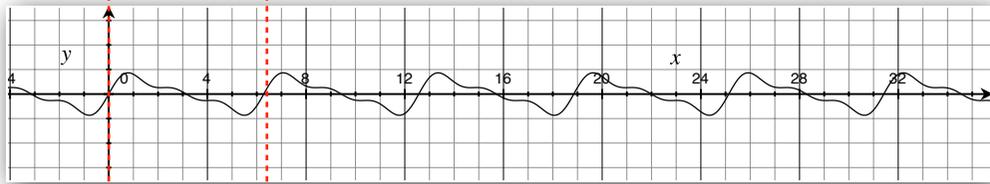
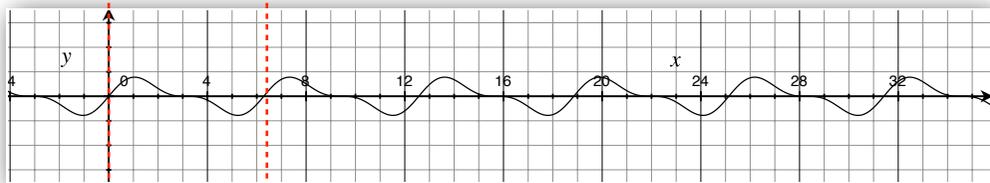
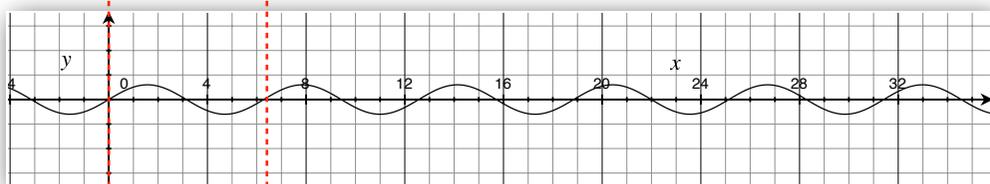
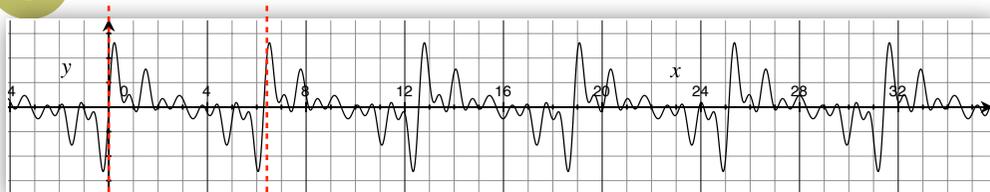


基本音・倍音を延々と重ねていく

波形の分解と合成



波形の分解と合成



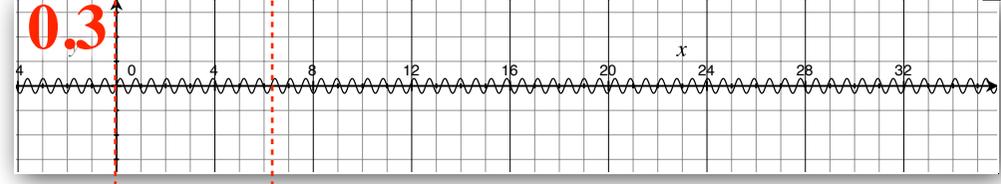
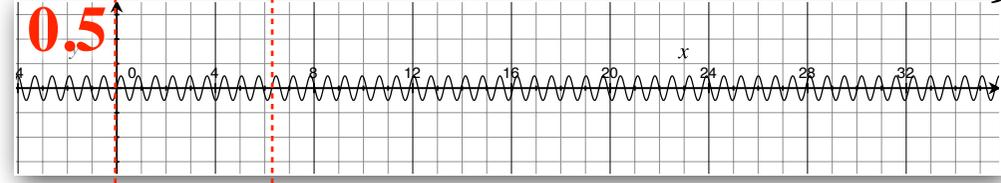
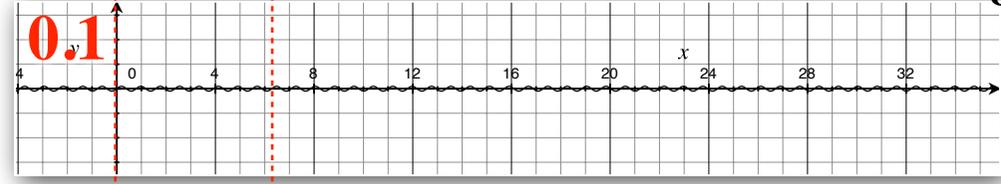
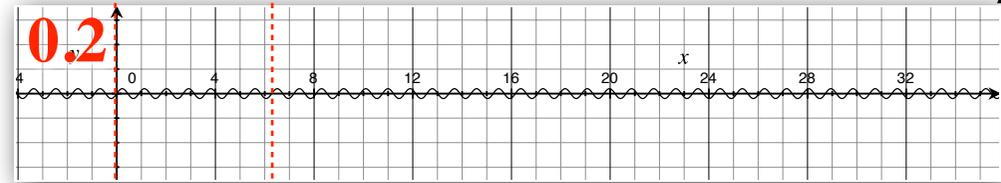
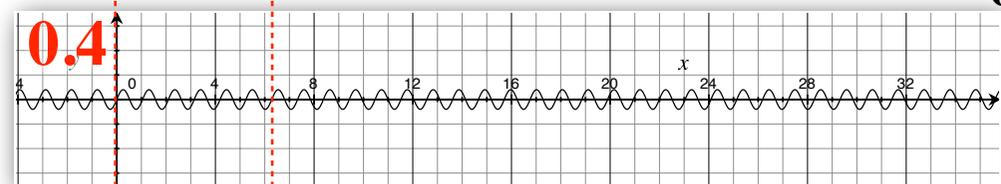
1

2

3

4

5



6

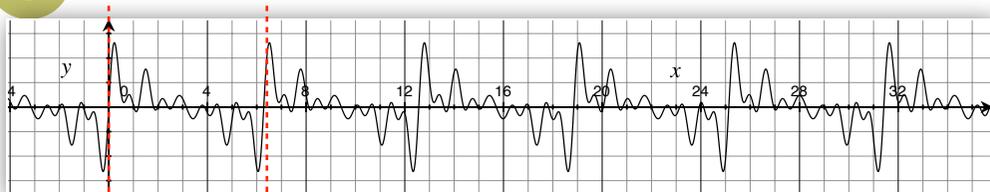
7

8

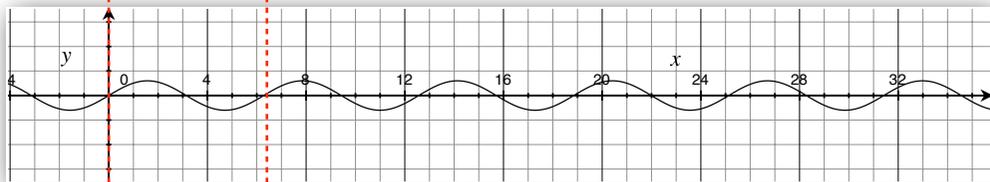
9

10

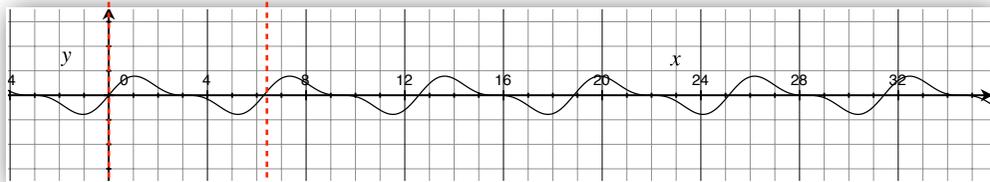
波形の分解と合成



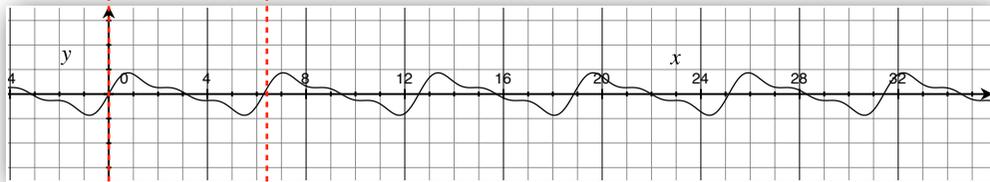
1



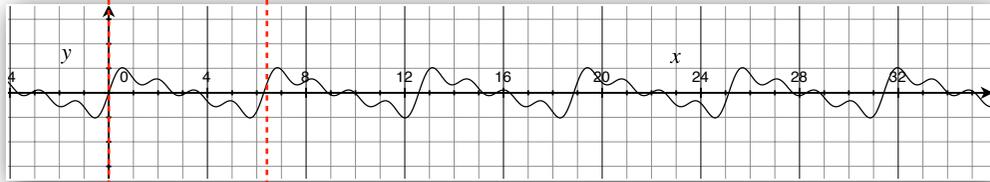
2



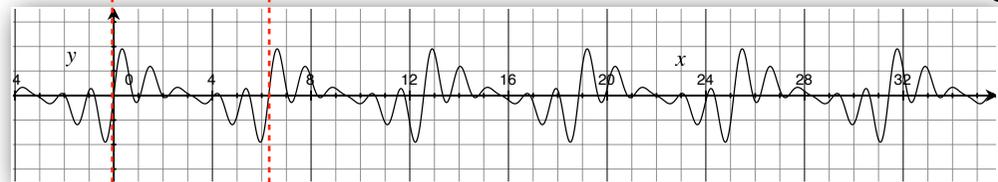
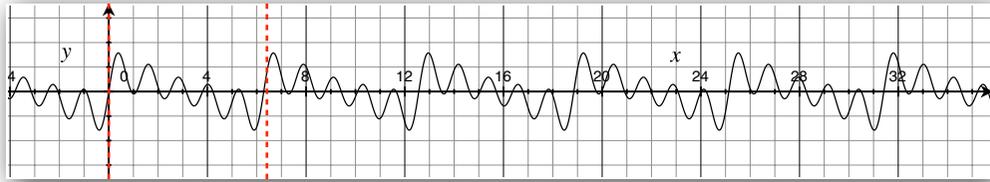
3



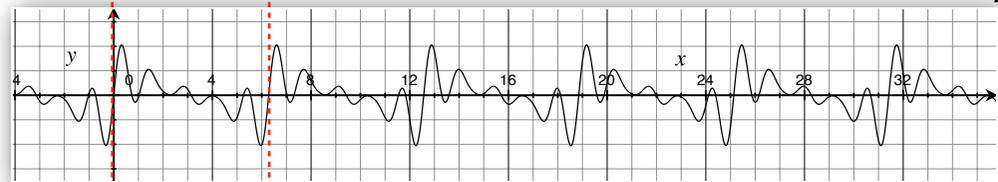
4



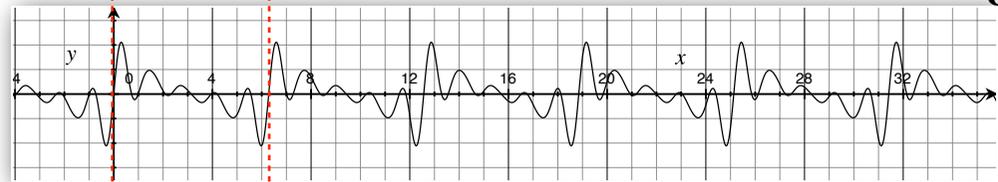
5



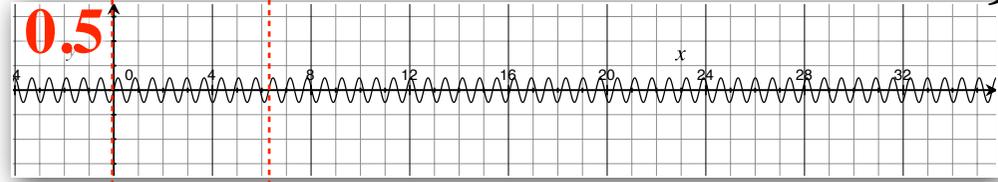
6



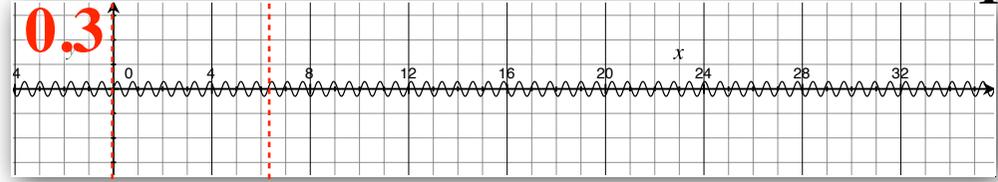
7



8



9

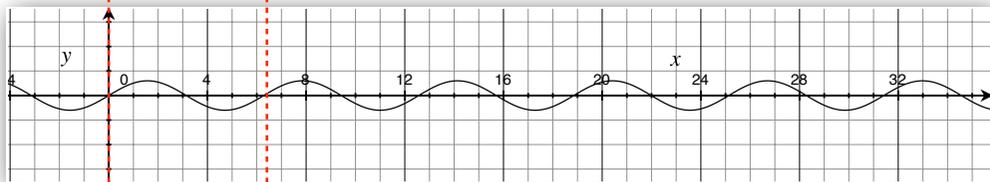


10

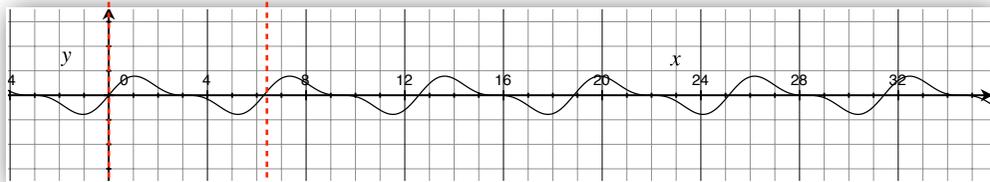
波形の分解と合成



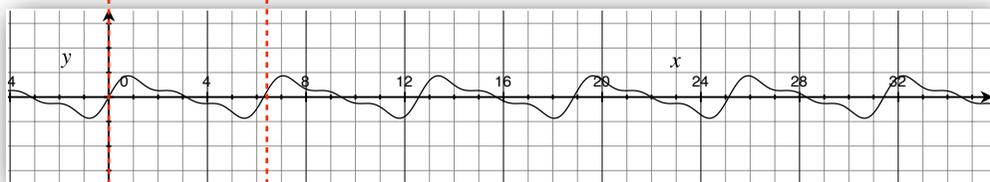
1



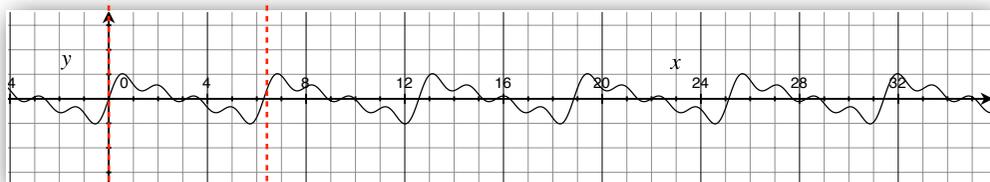
2



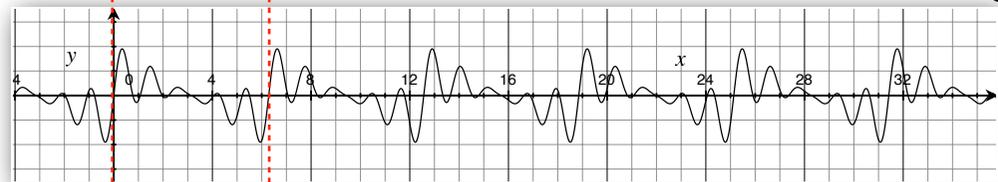
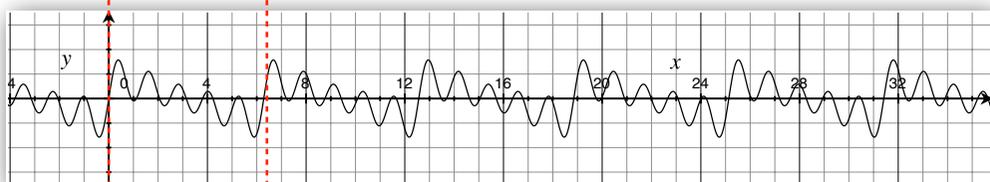
3



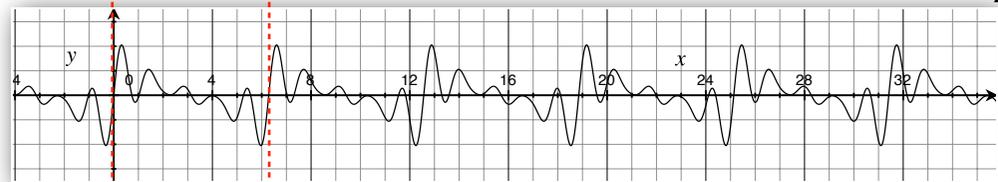
4



5



6



7



8

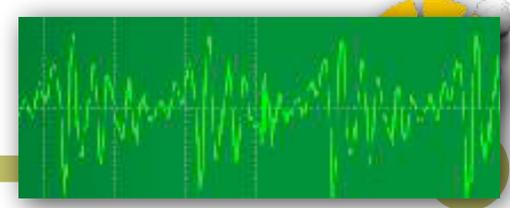


9



10

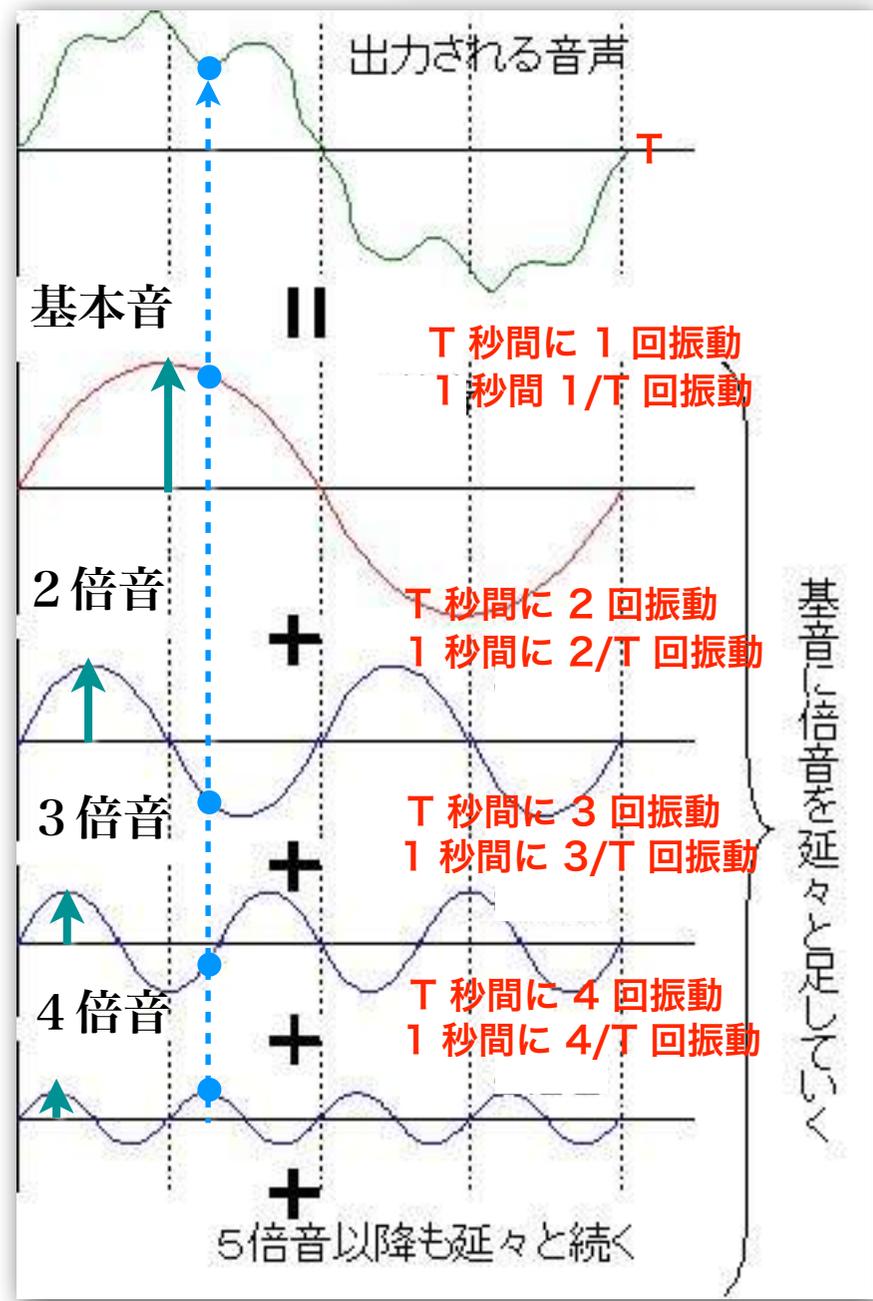
波形を分解する!!



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]

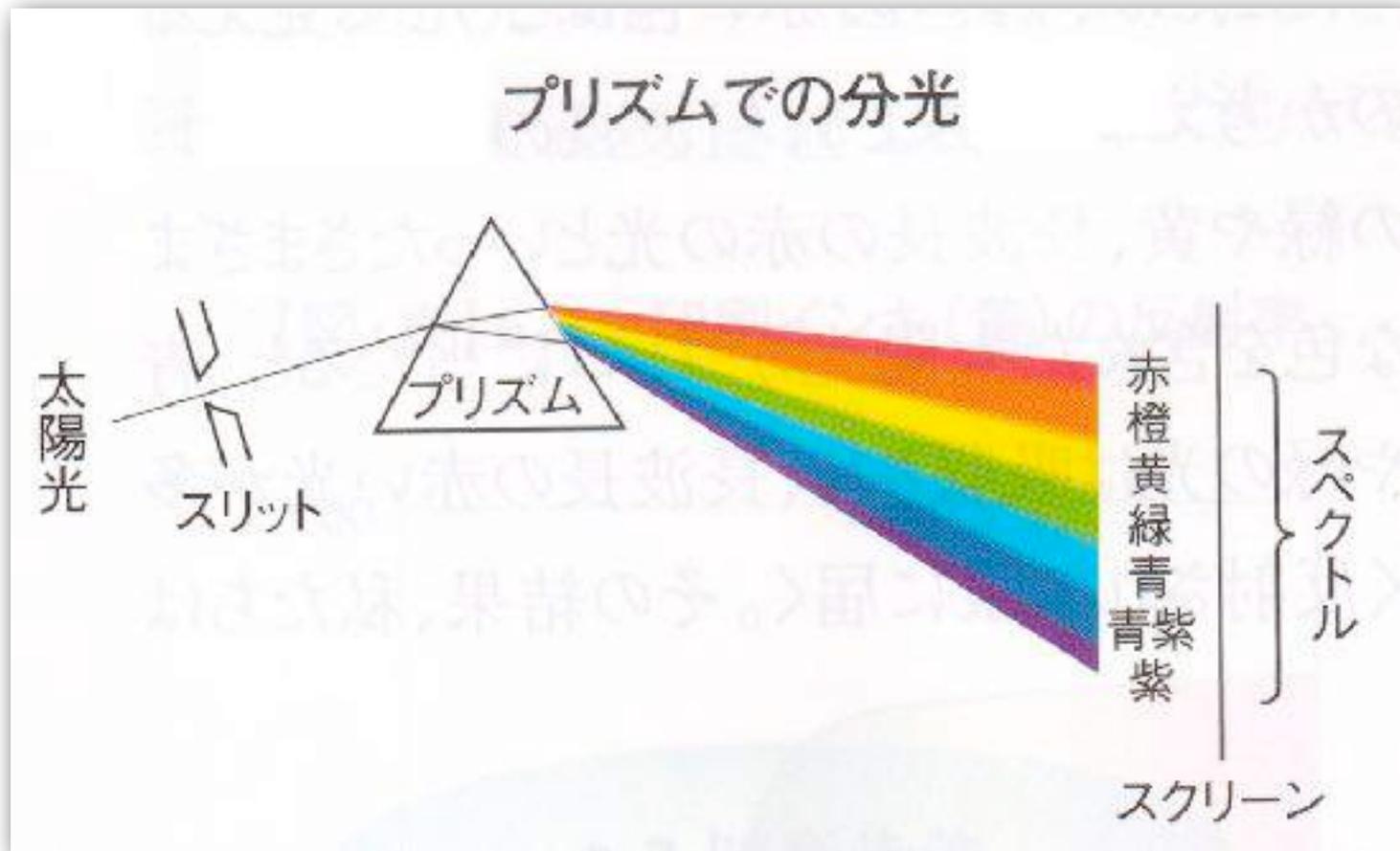


基本音・倍音を延々と繰り返す



光の成分分解（分光）

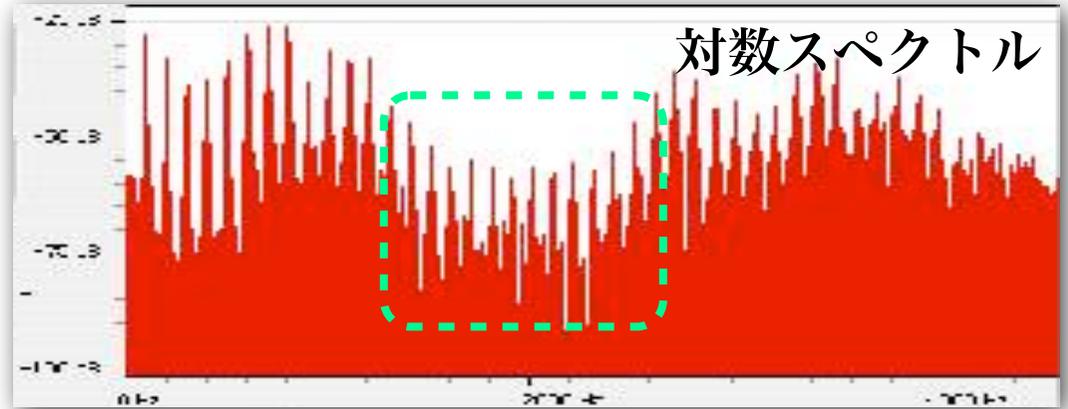
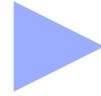
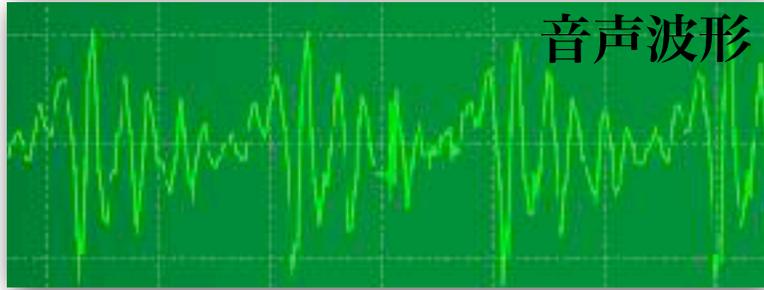
- 白色光（太陽光）：光の各成分が等しい強度で混ざったもの



スペクトル → 対数スペクトル

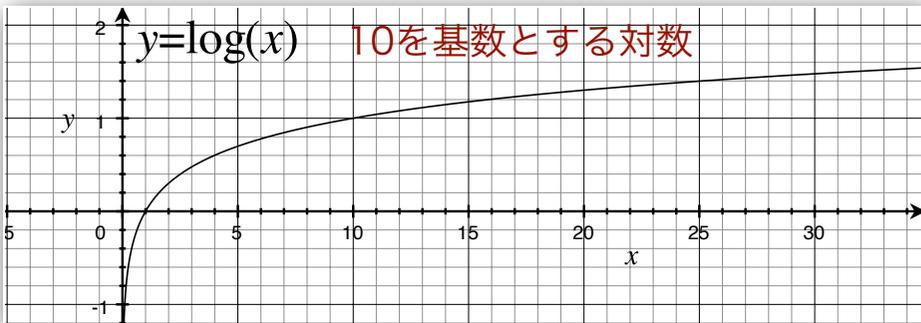


縦軸を単なる振幅 → 対数振幅へ変更



- 縦軸=0付近の解像度を高めて表示できる。ズームする!!
- 聴覚の特性は対数でよく近似される。

(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	0.01	0.1	1	10	100	1000
log(x)	-2	-1	0	1	2	3

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

$\times 1.059$

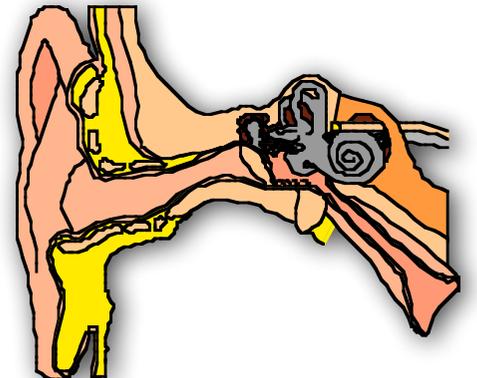
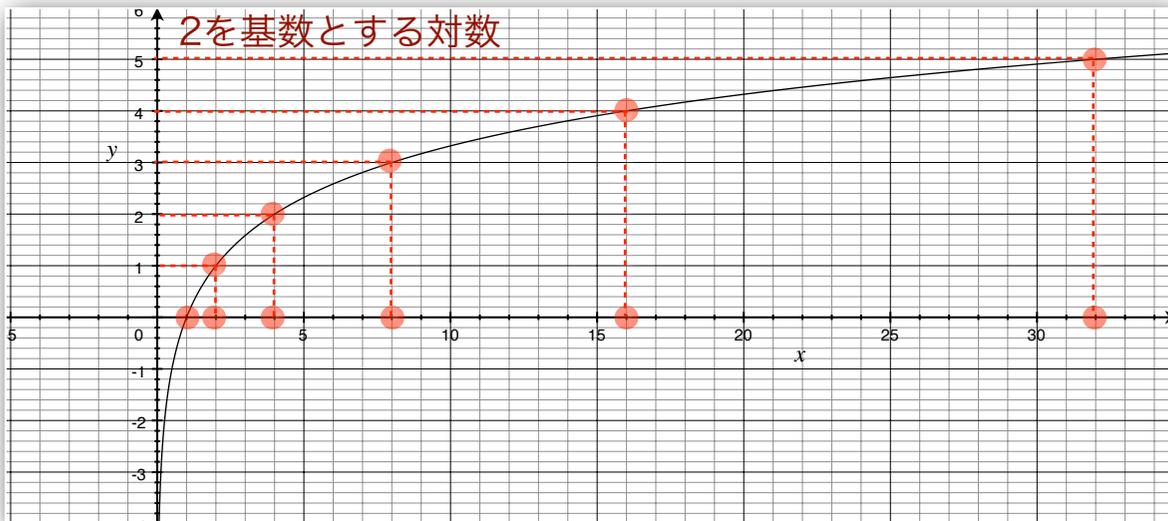
$\times 1.059$

$\times 1.059$

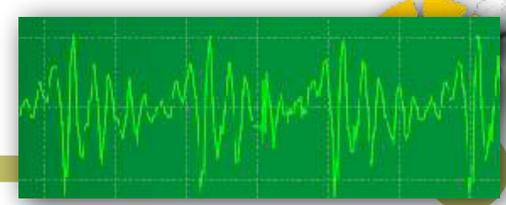
$\times 1.059$

$\times 2.0$

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



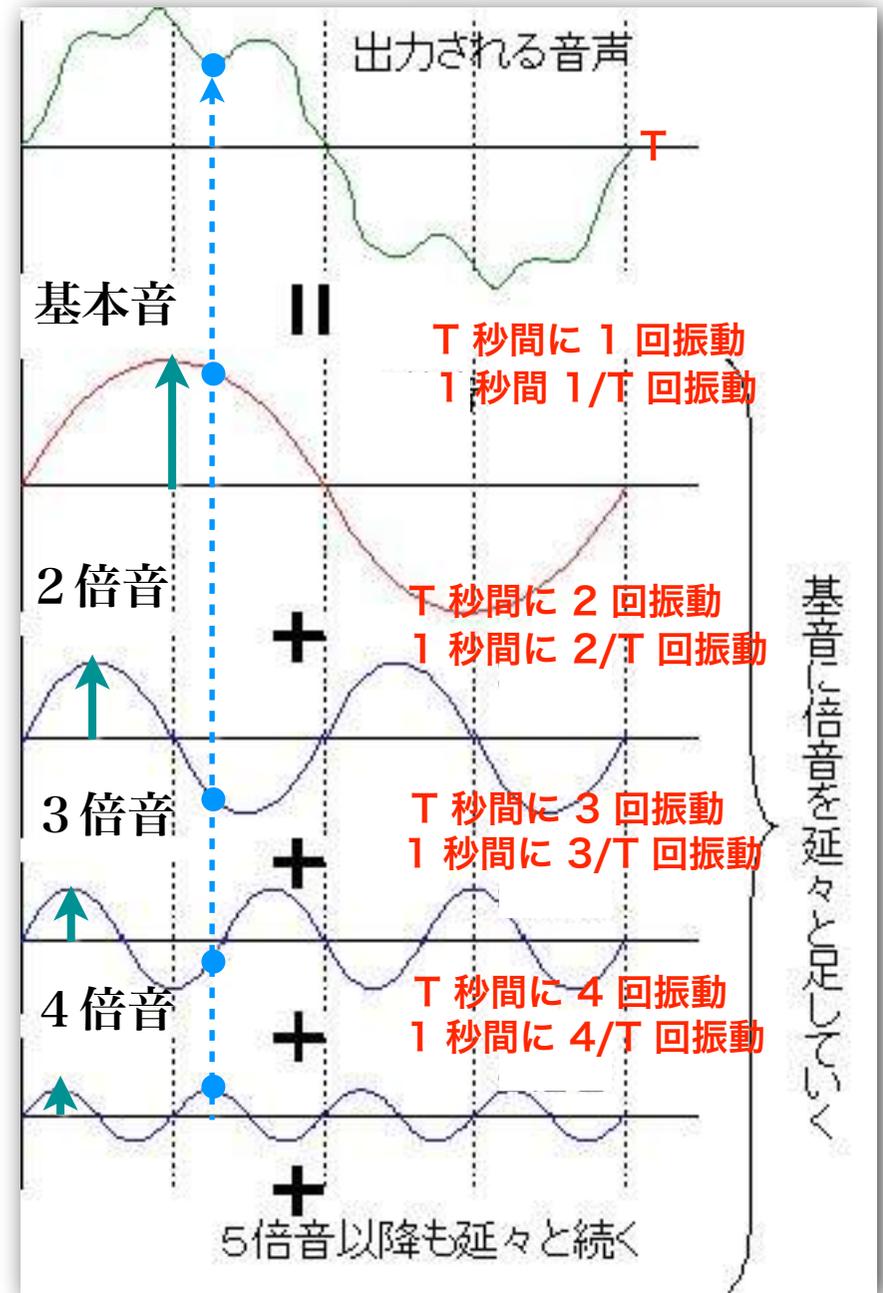
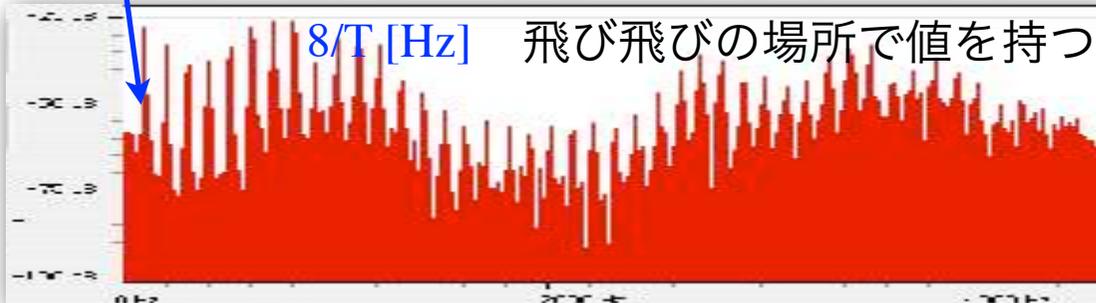
波形を分解する!!



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!?

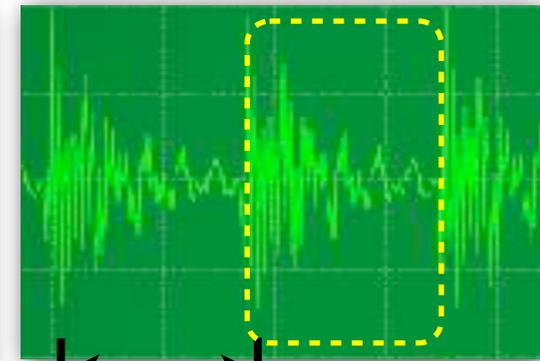
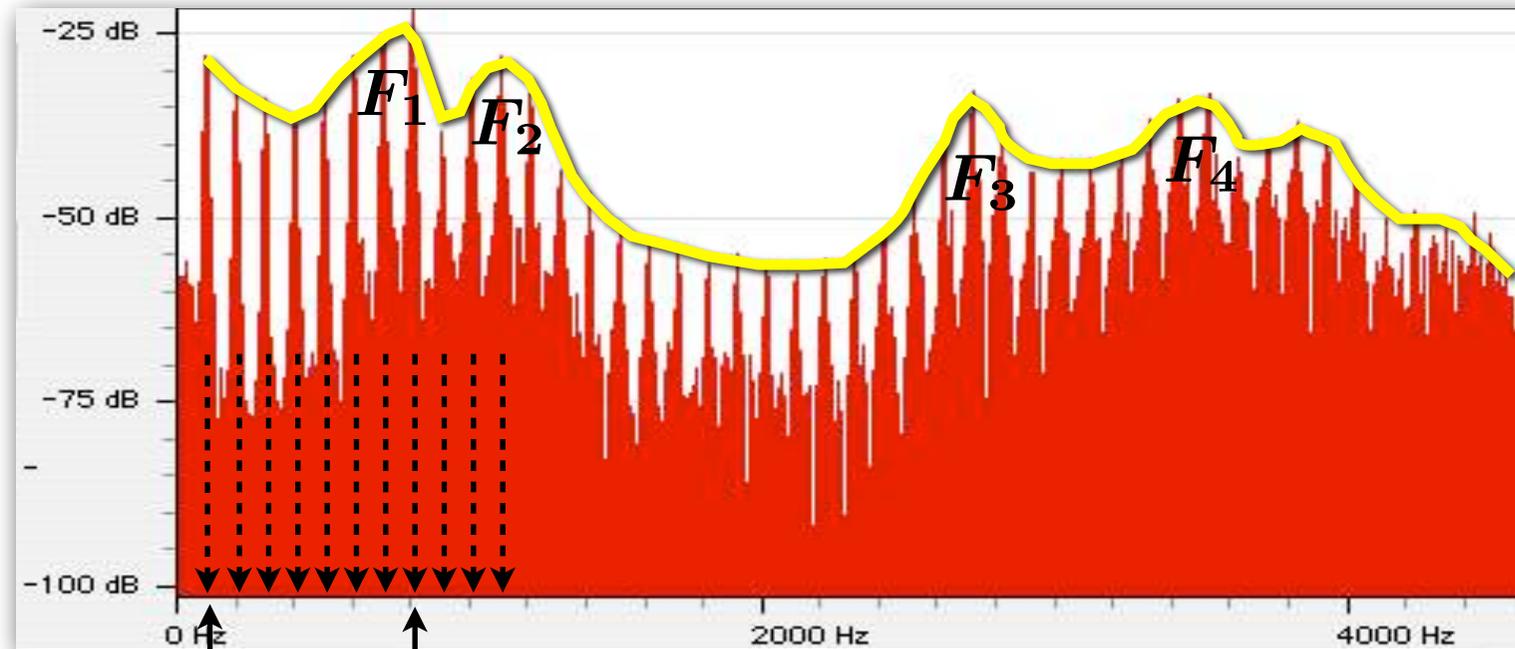
1/T [Hz]





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。 $F_1, F_2...$

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

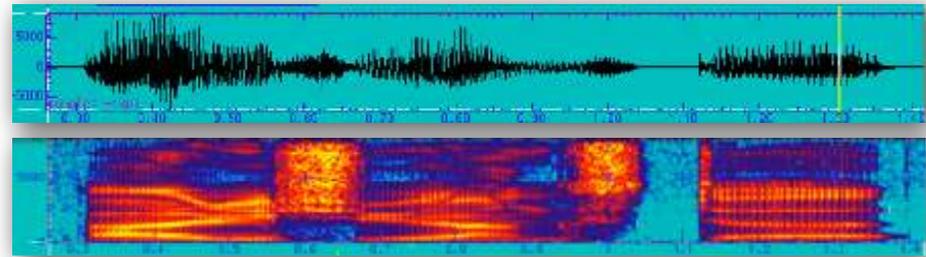
- 大きい音, 小さい音

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」



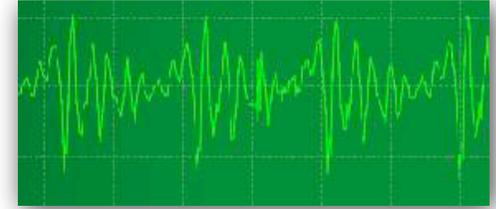
- 1) 高さ, 2) 大きさ
3) 長さ, 4) 音色

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」

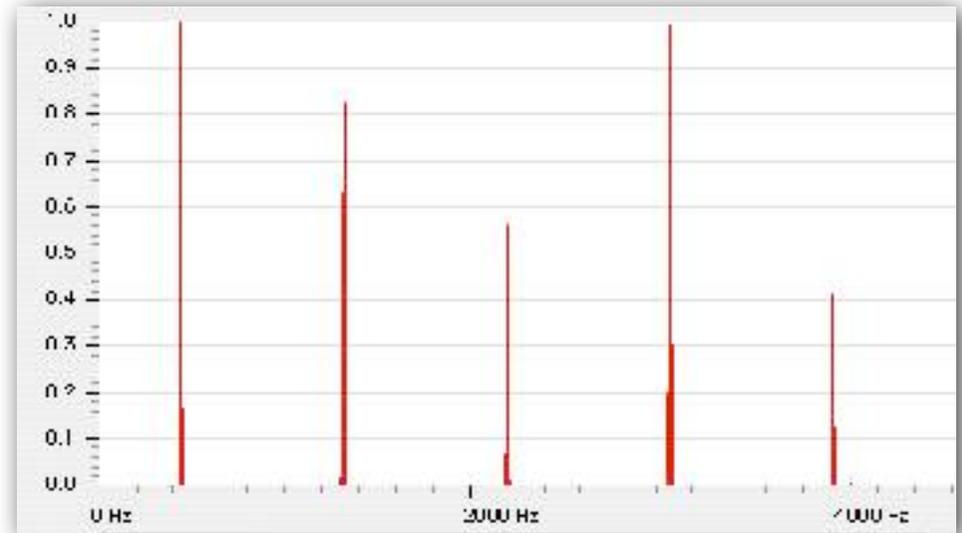
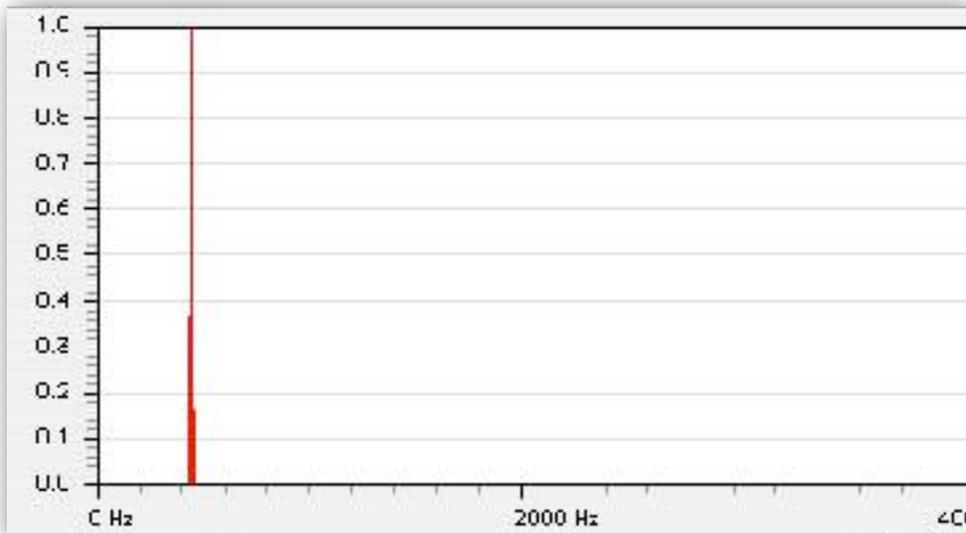
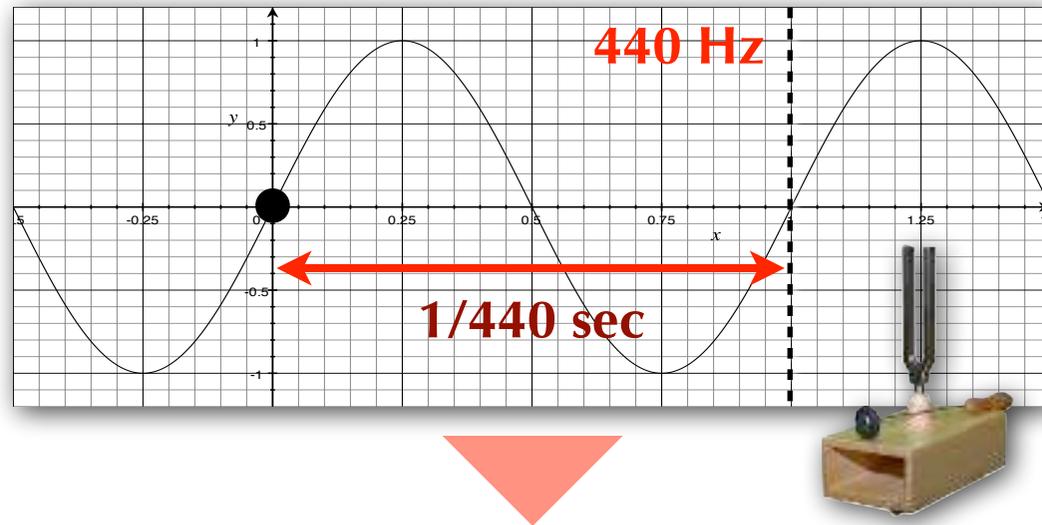
- 空気の粒の振動現象としての音が持つ四つの要素
- 音声波形の中に見る音声の「高さ」と「音色」
- スペクトルの中に見る音声の「高さ」と「音色」
- 様々な音声（波形 / スペクトル）に見る「高さ」と「音色」
- 調音音声学・音響音声学・聴覚音声学の接点

面白い耳テスト

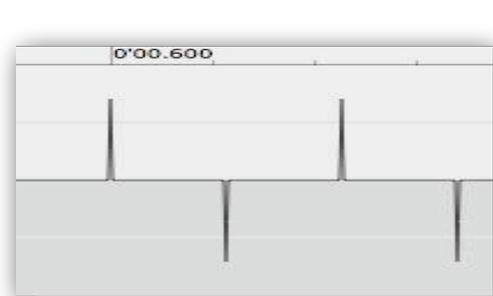
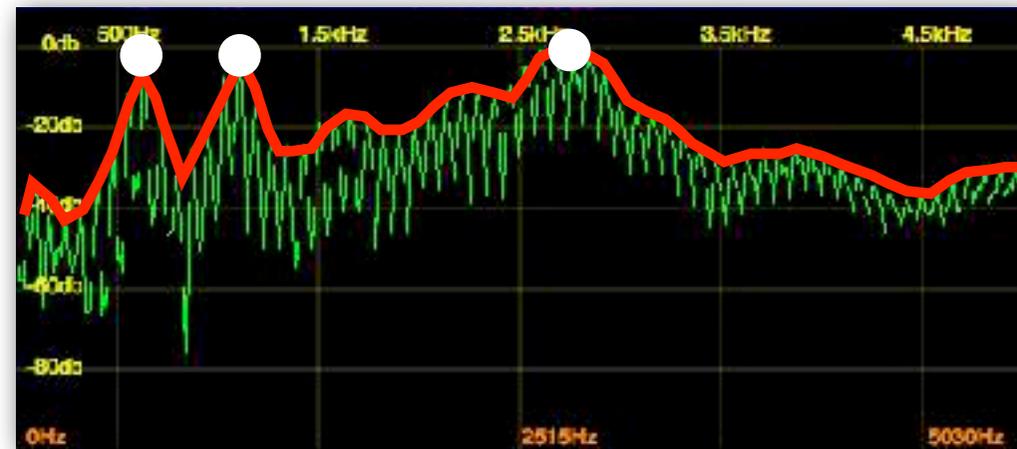
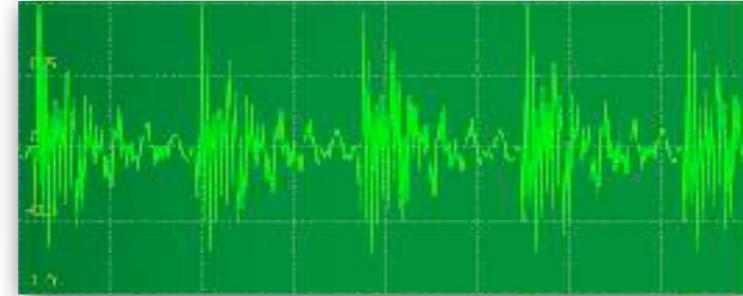
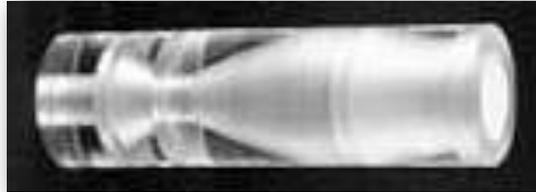
- 管が短くなるとどんな音になる？
- この音は、どんな管形状変形によって作られた？

同じ高さに聞こえる二つの音

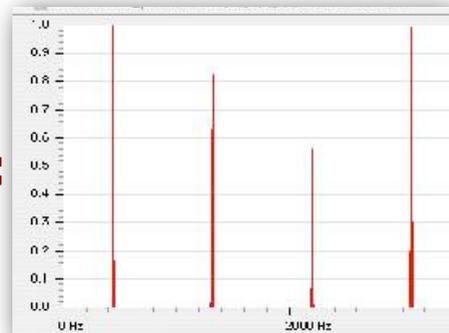
● 周期が等しければ、同じ高さとして聞こえるはず・・・



ブザー (パルス列) → 管 → 「あ〜」

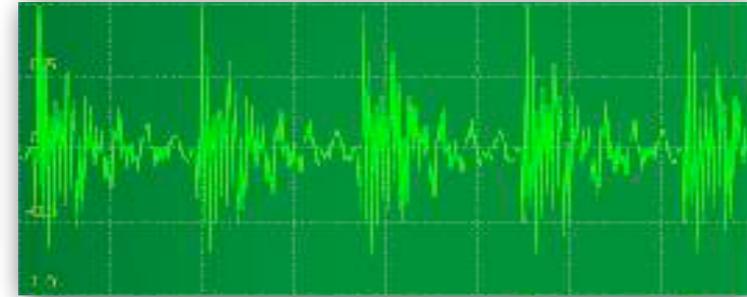
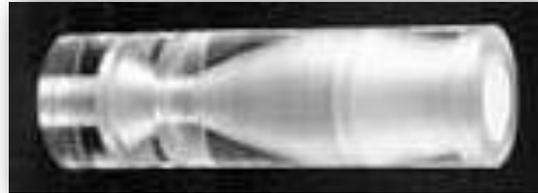


=



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？



母音は波，でも，ちょっと特殊な波

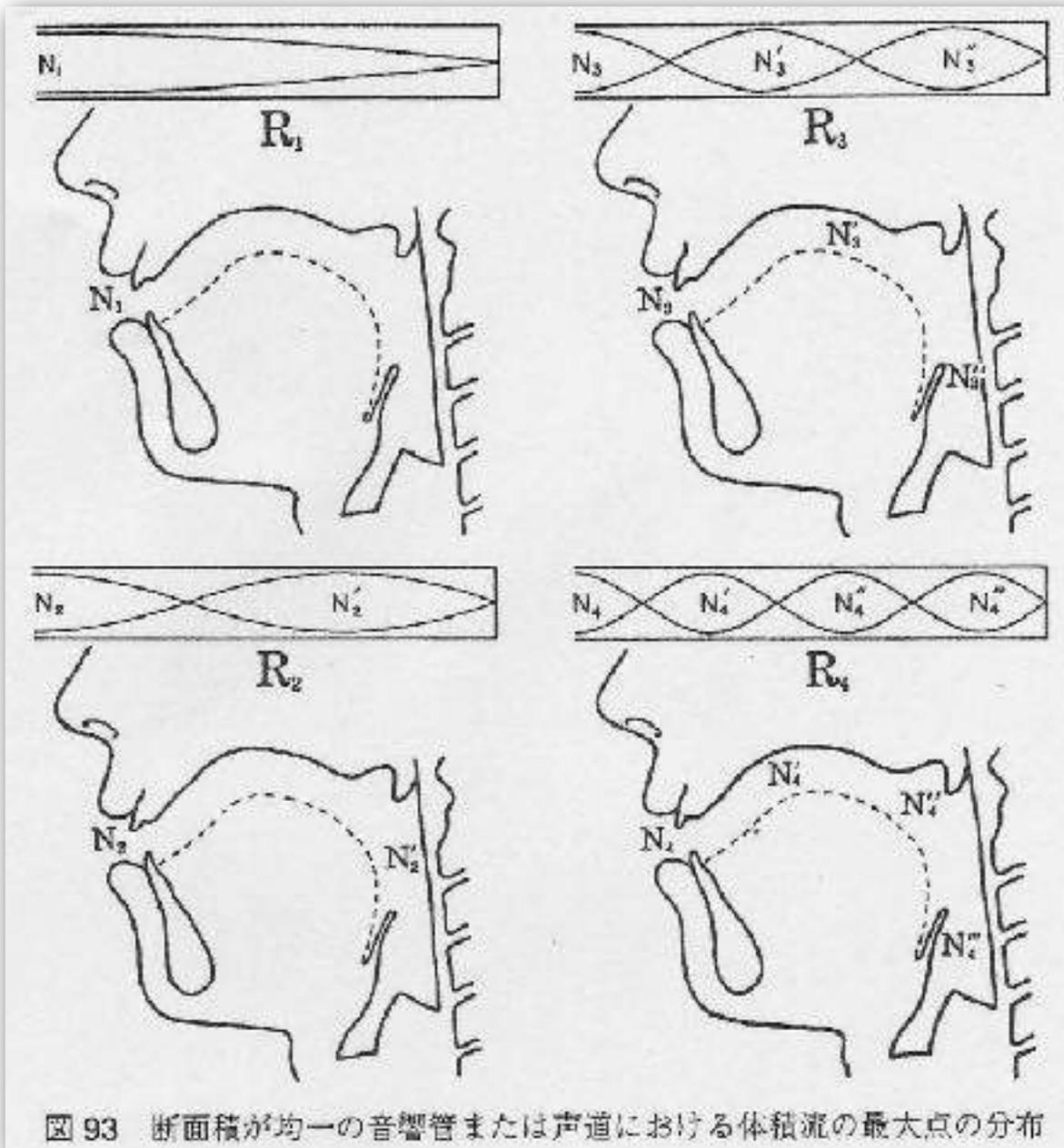
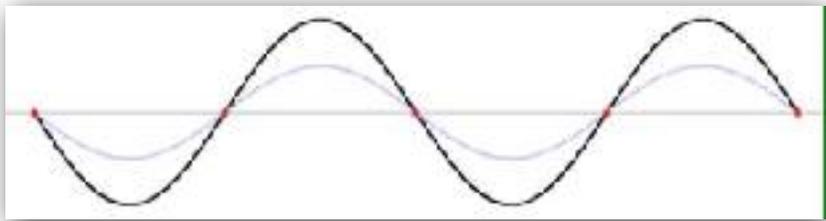


図 93 断面積が均一の音響管または声道における体積流の最大点の分布

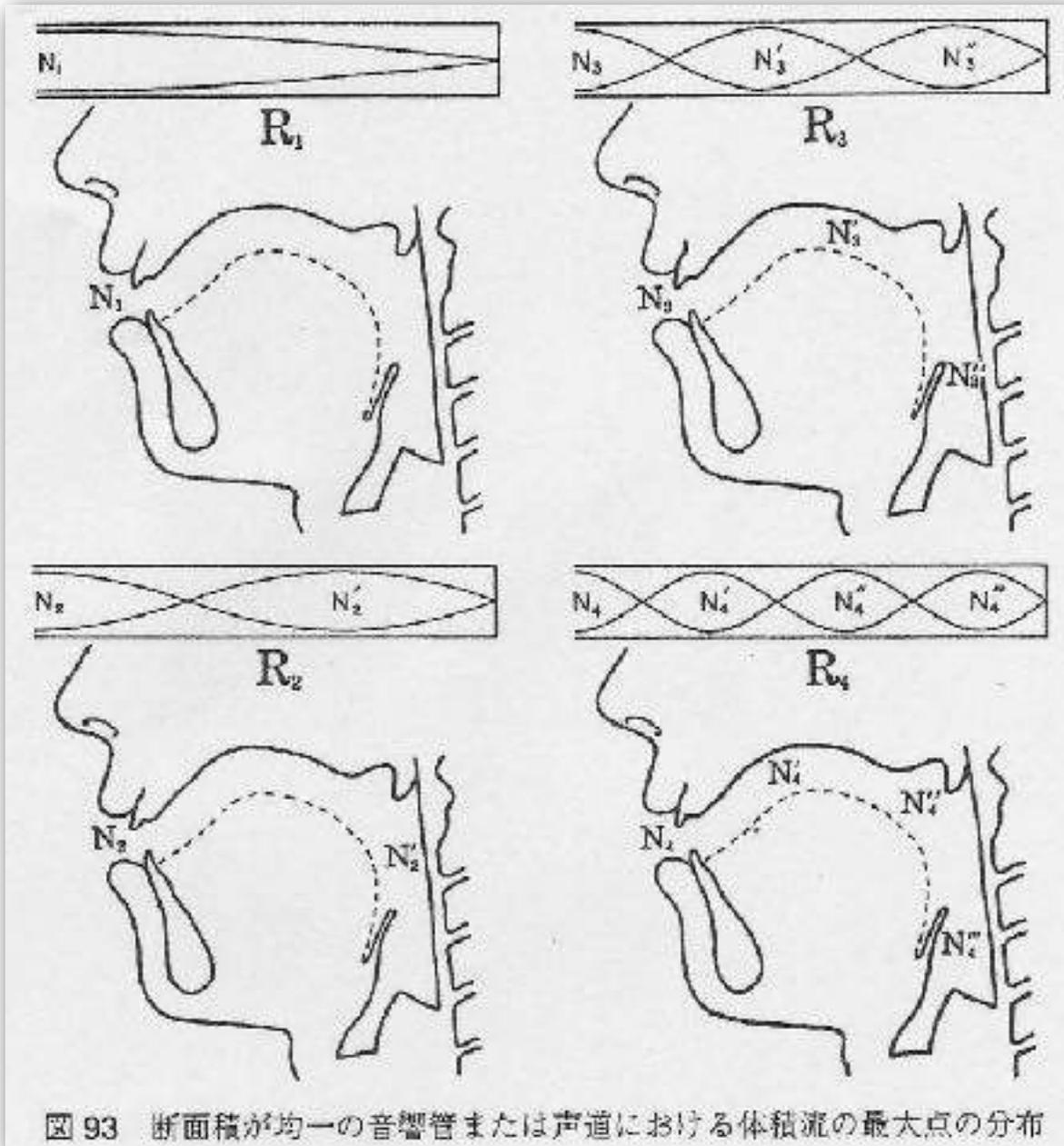
定常波

共振周波数

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



母音は波，でも，ちょっと特殊な波



定常波

フォルマント

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

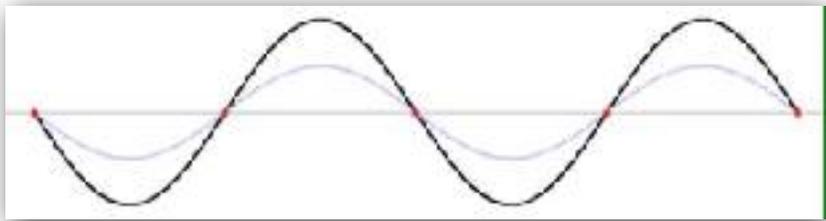


図 93 断面積が均一の音響管または声道における体積流の最大点の分布

母音は波，でも，ちょっと特殊な波

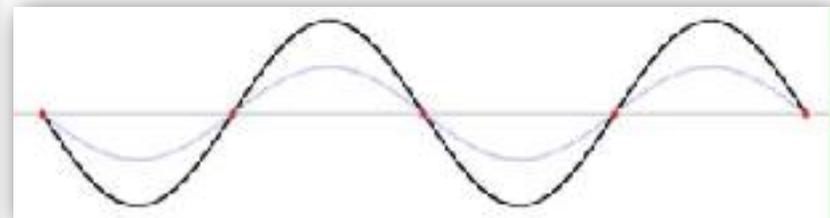
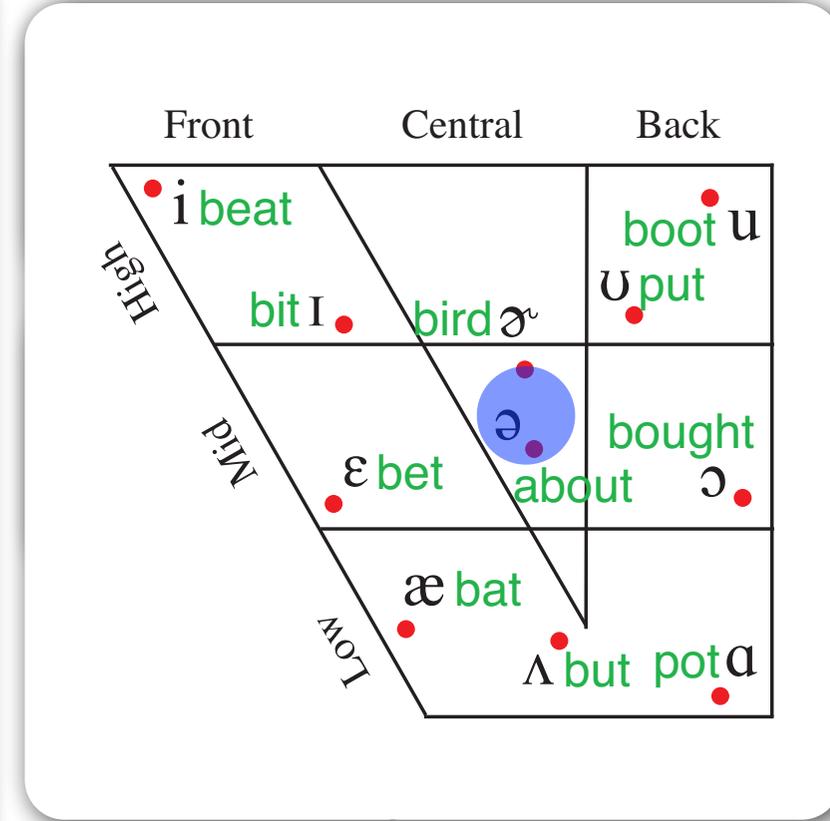
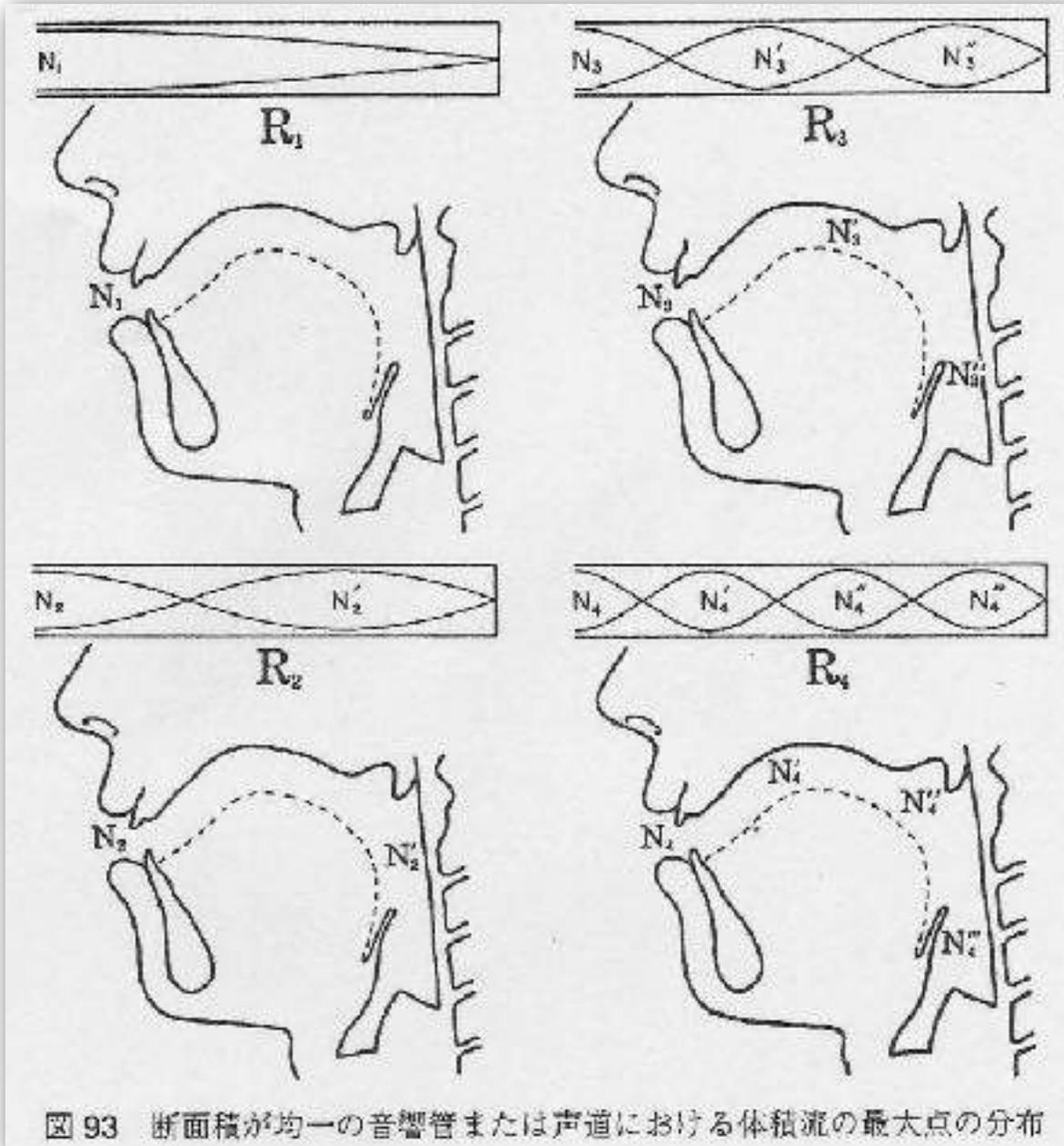


図 93 断面積が均一の音響管または声道における体積流の最大点の分布



母音は波，でも，ちょっと特殊な波

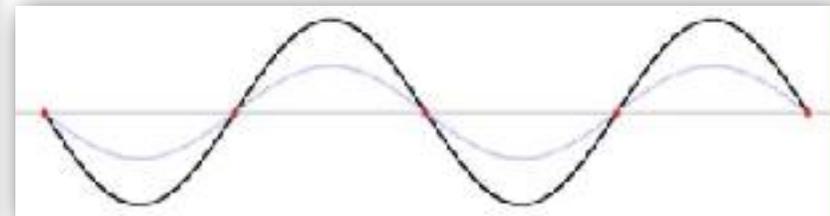
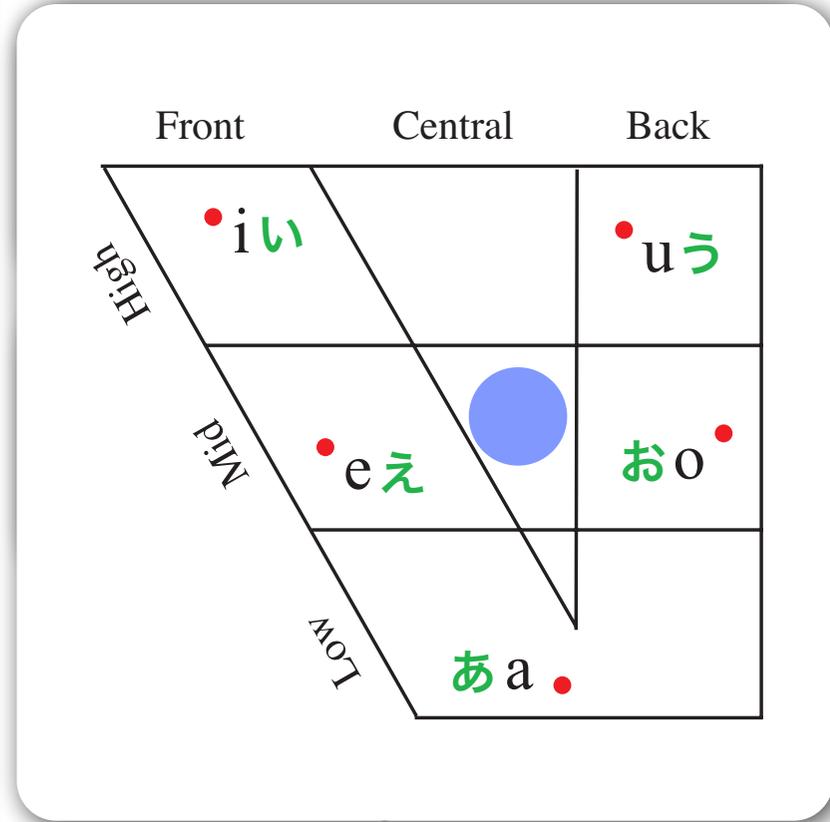
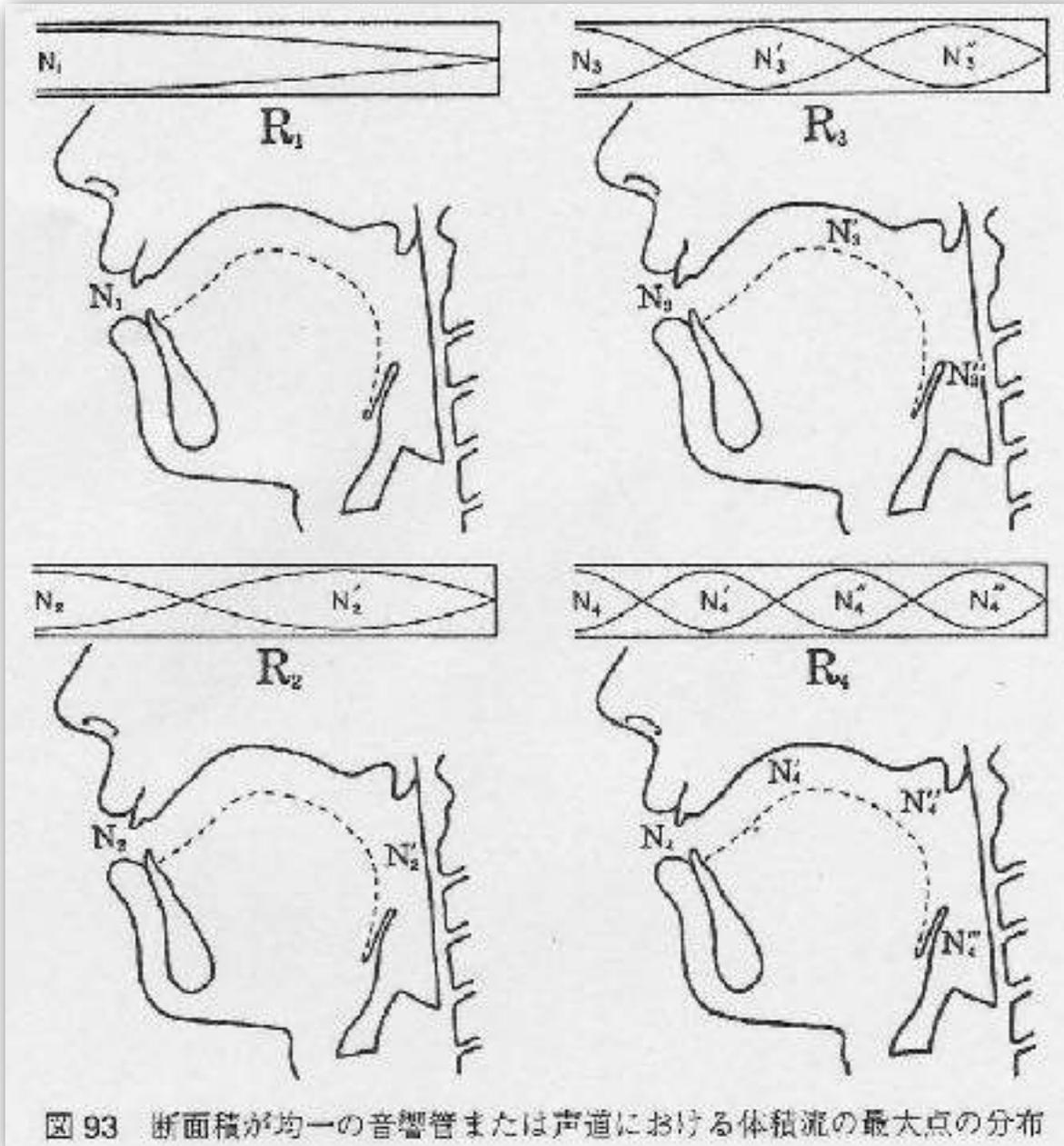
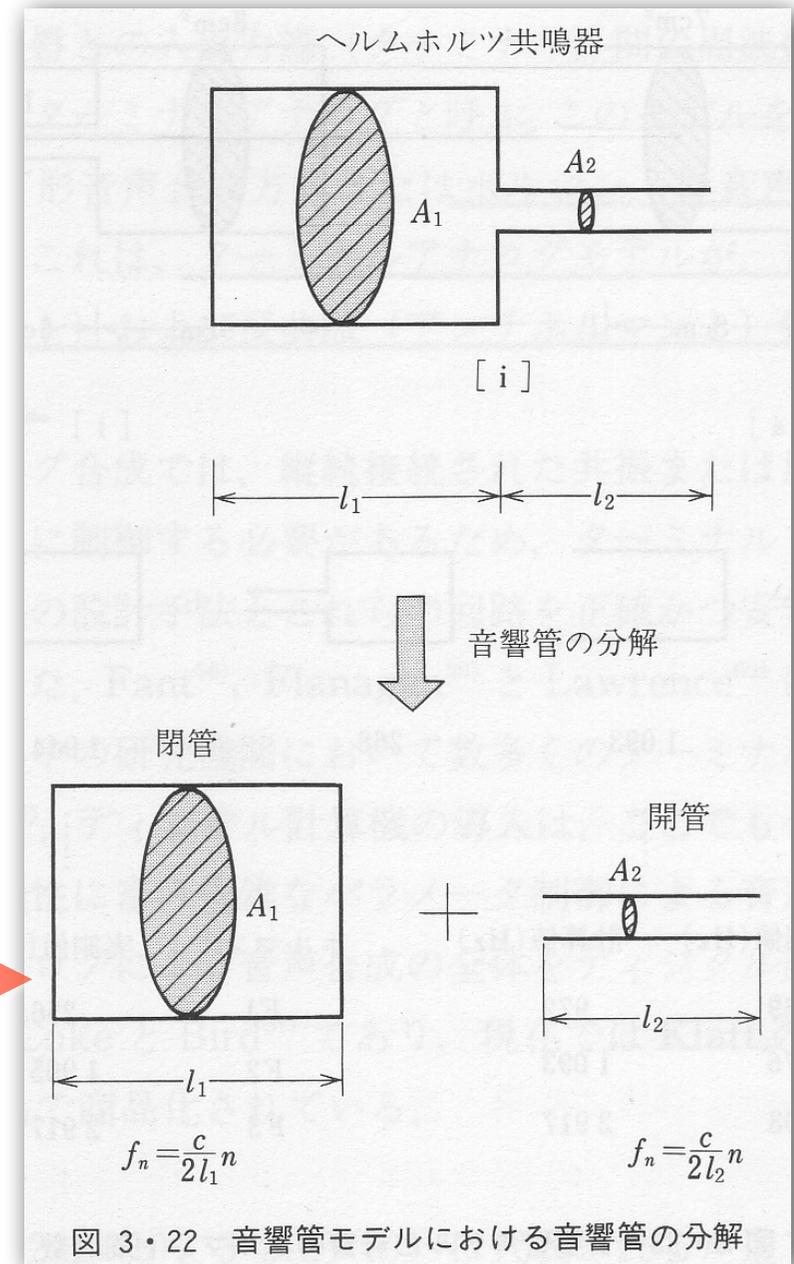
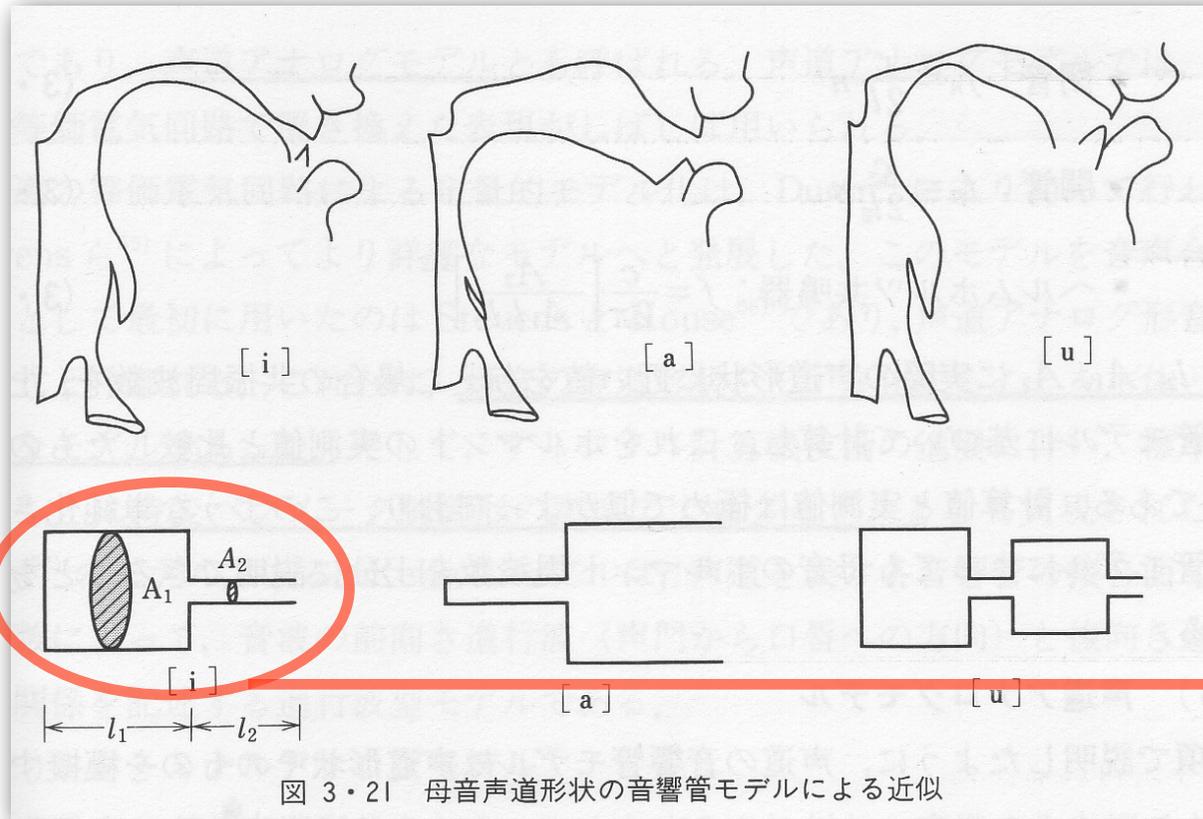


図 93 断面積が均一の音響管または声道における体積流の最大点の分布

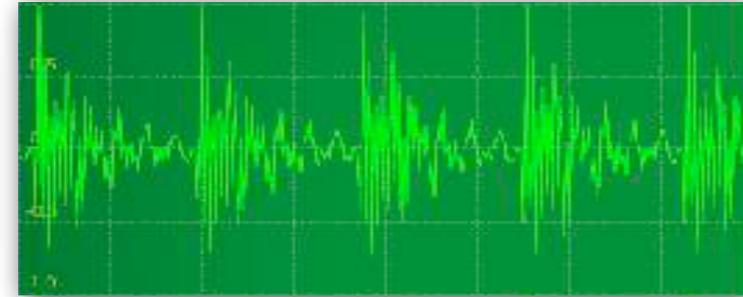
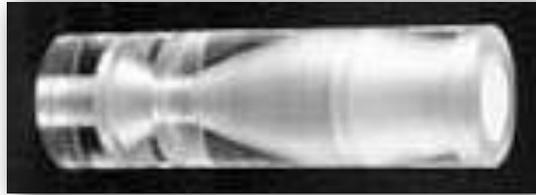
管の形状が共鳴の様子を決める

- 音声の共振（共鳴）周波数を求めて
- = フォルマント周波数

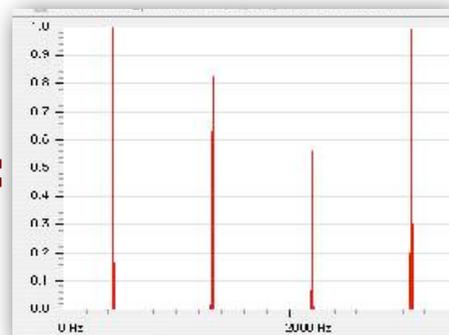


$$f_n = \frac{c}{2l_1}n \quad f_n = \frac{c}{2l_2}n \quad f = \frac{c}{2\pi} \left[\frac{A_2}{A_1 l_1 l_2} \right]^{1/2}$$

ブザー (パルス列) → 管 → 「あ〜」



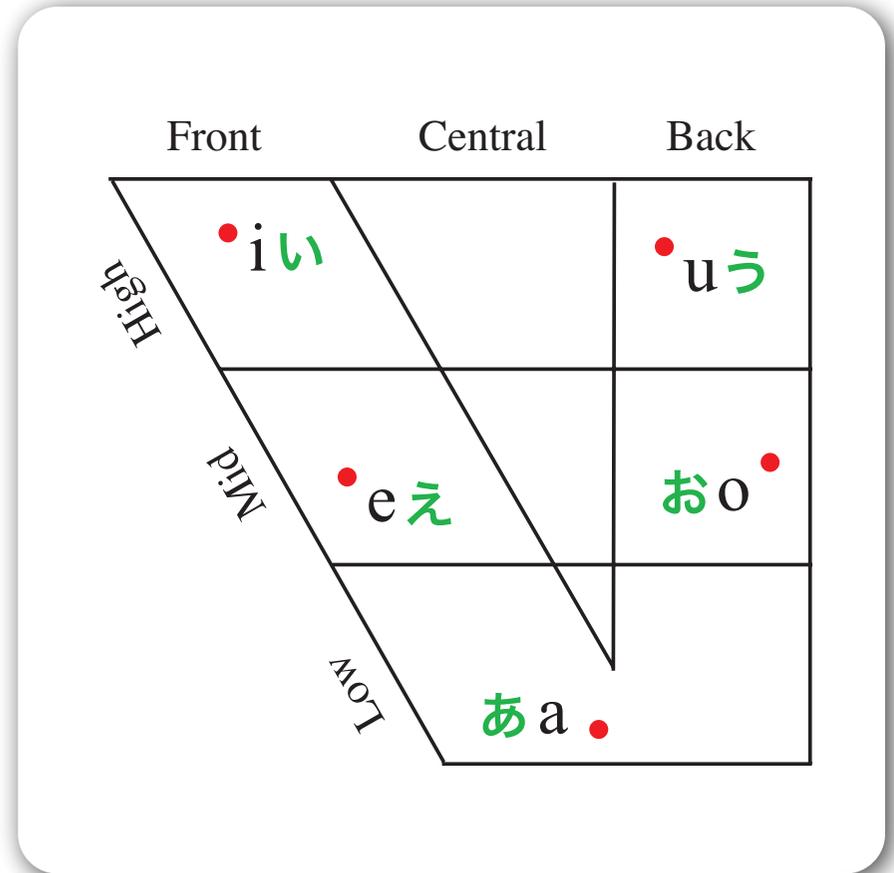
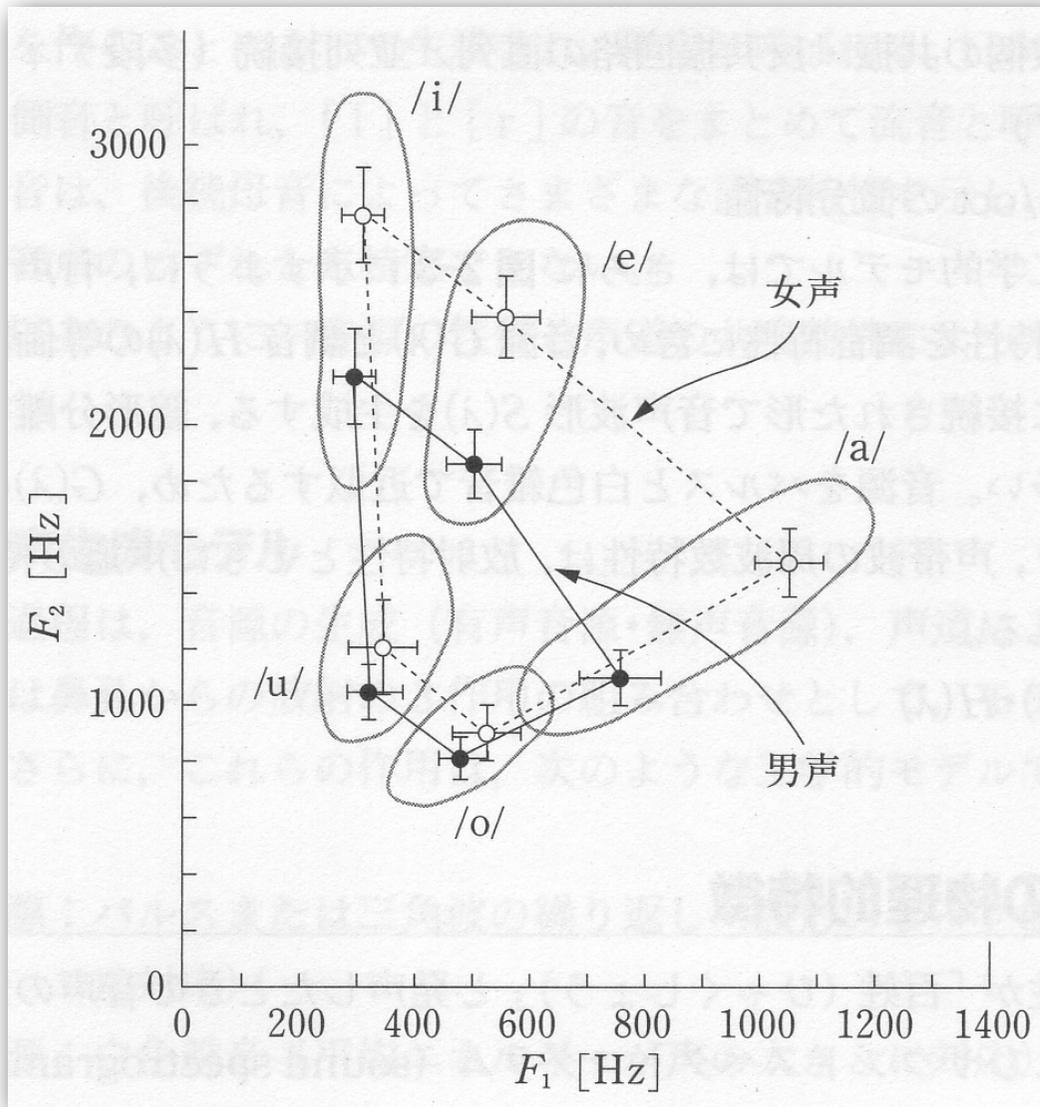
=



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

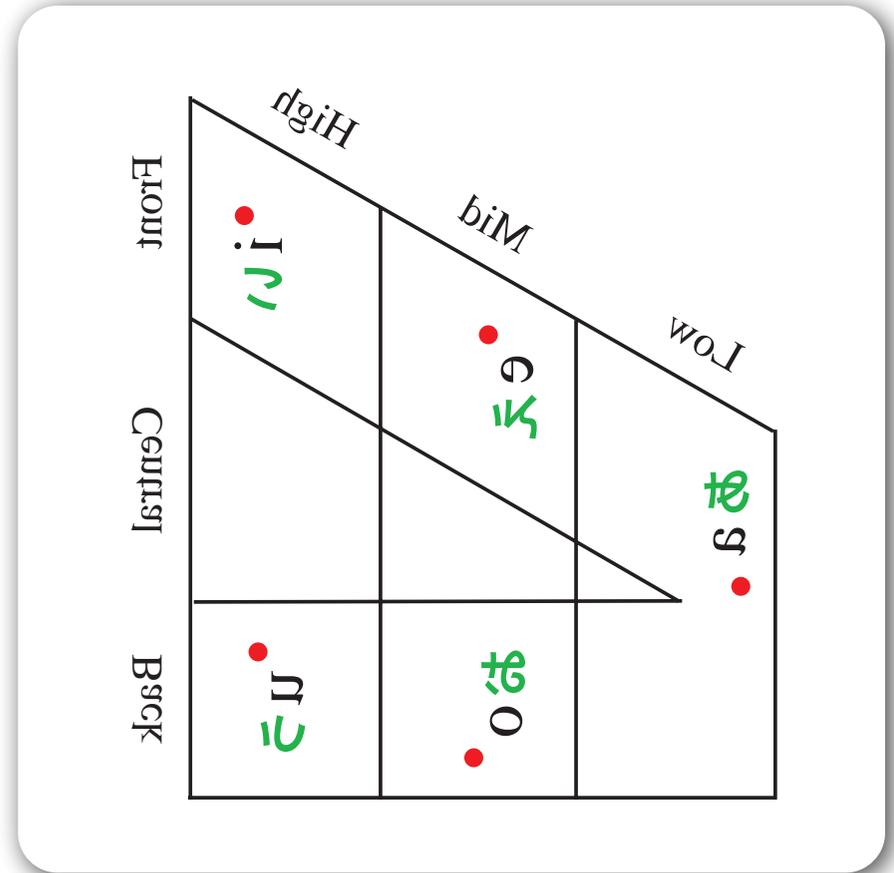
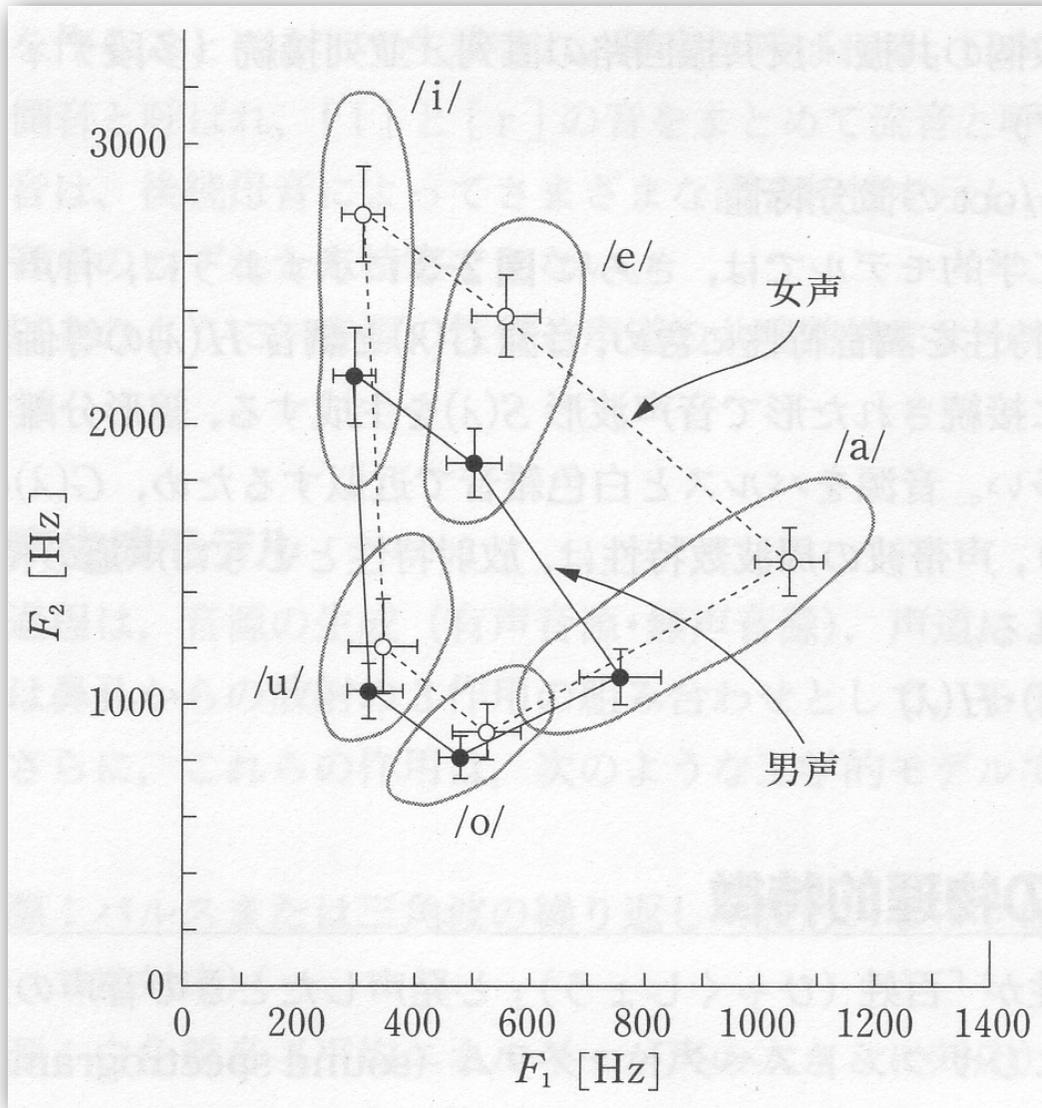


母音の違いと話者の違い



「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/

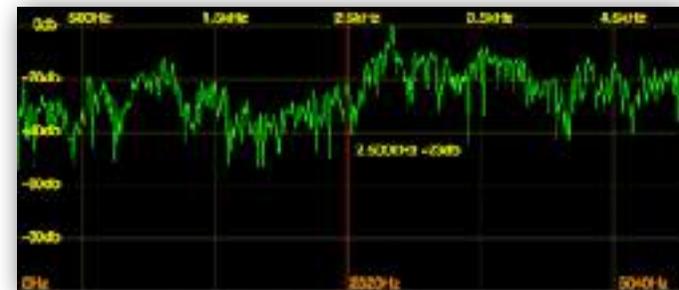
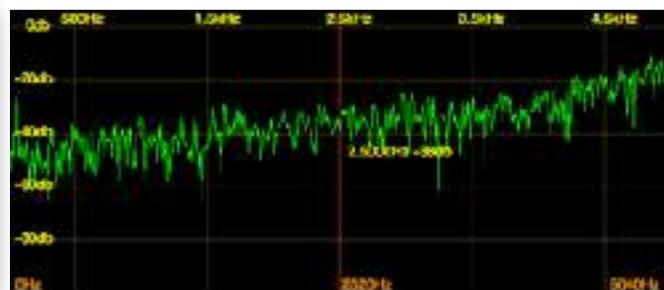
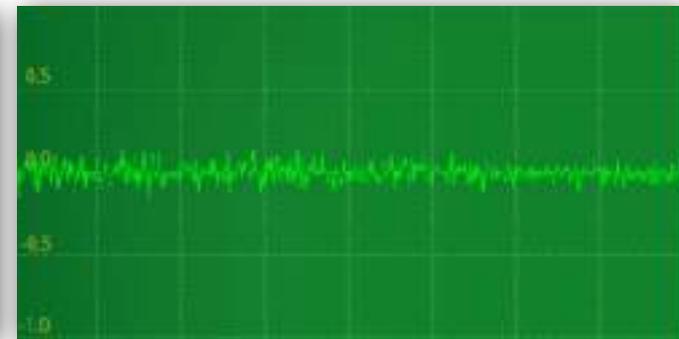
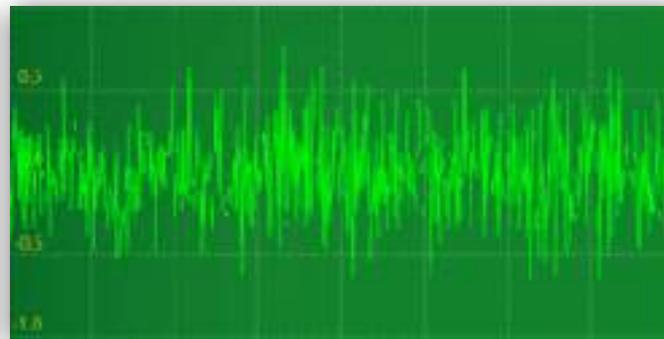
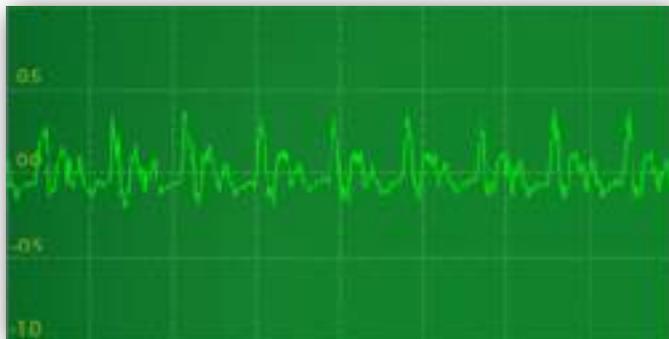
● /l/ 側面接近音 (有声音)

● /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。

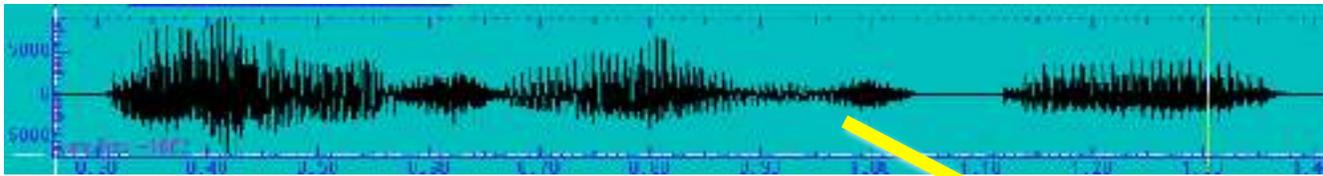
● 無声音：声帯の振動が伴わずに生成される言語音声



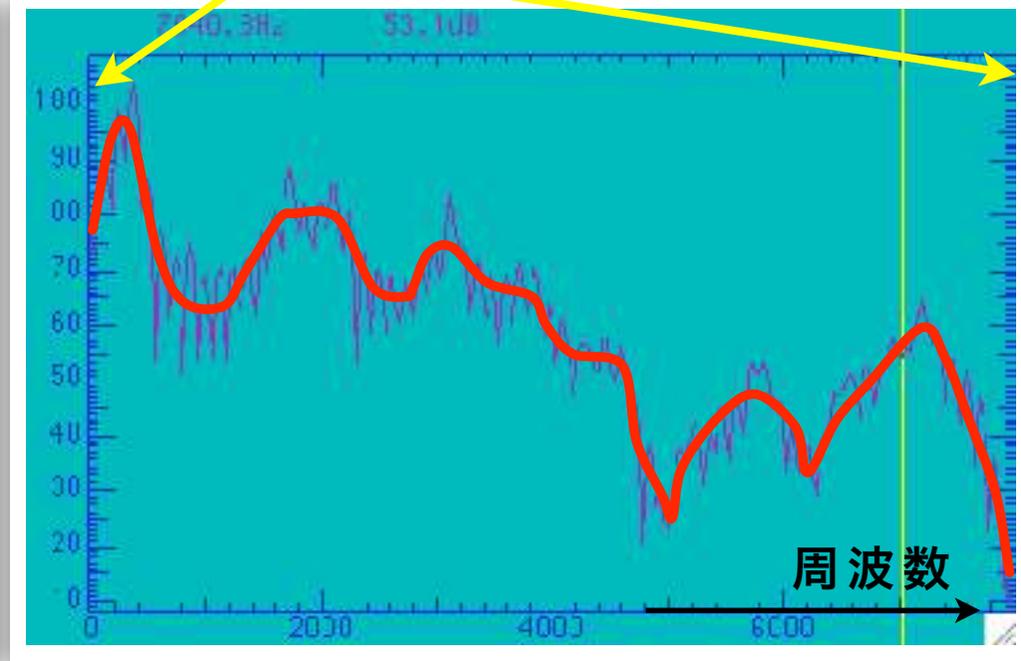
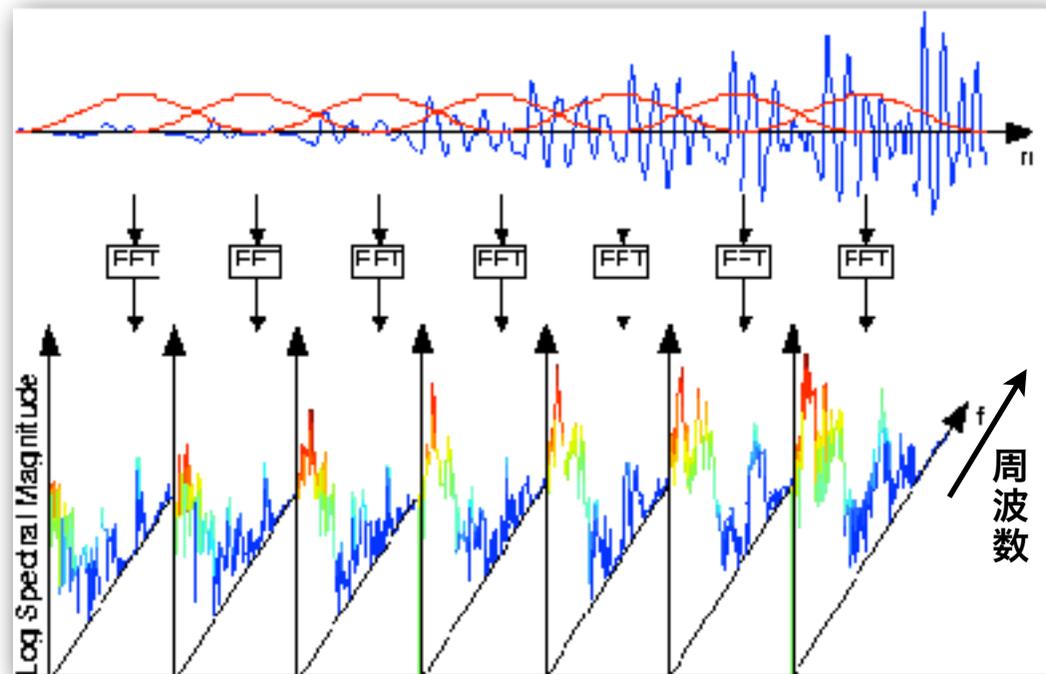
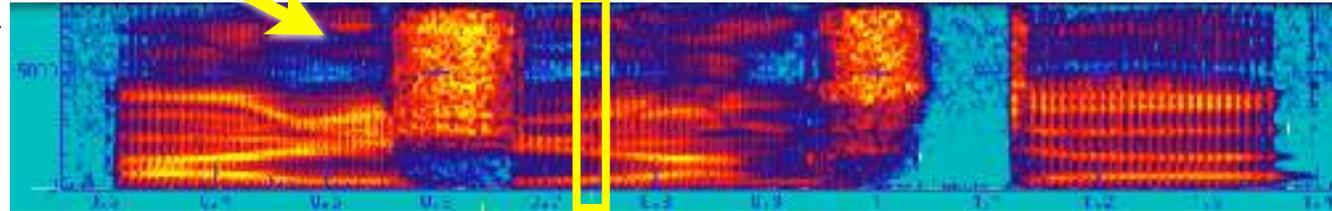


連続的に発声された音声の分析

● 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



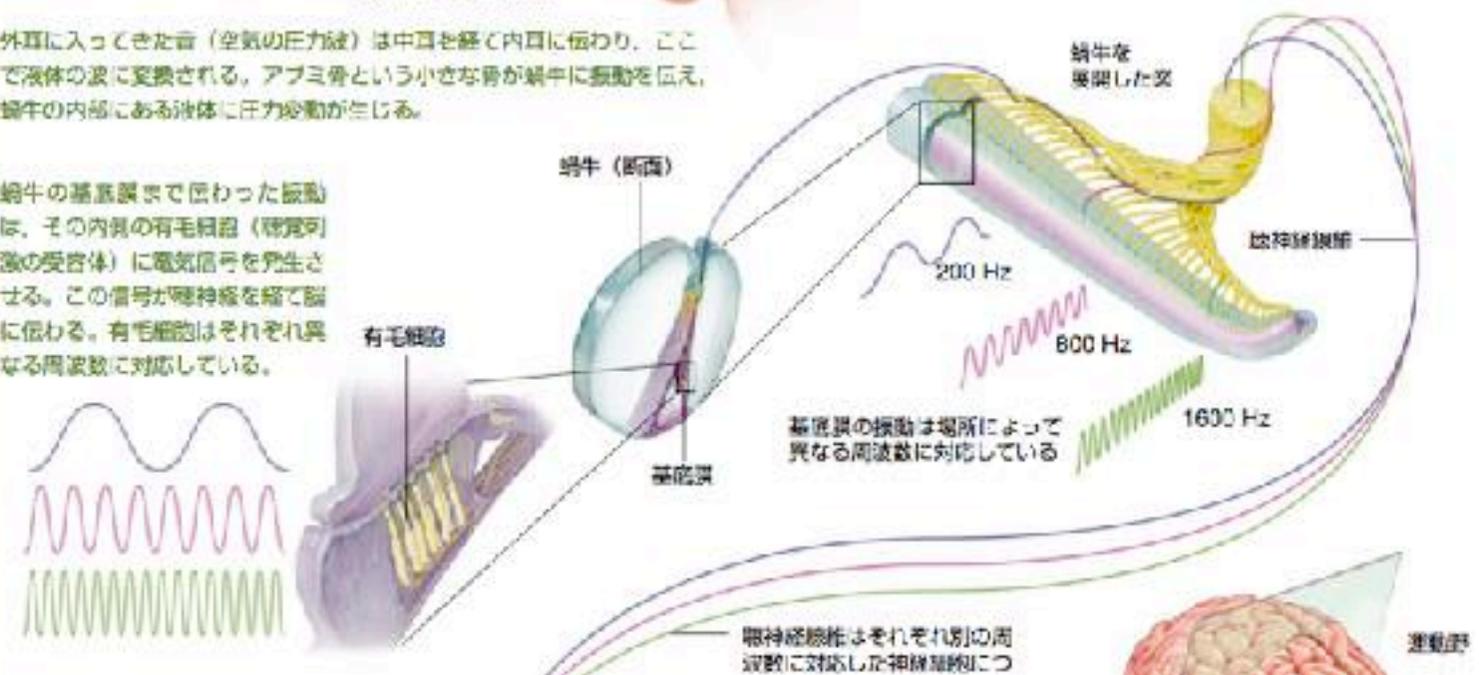
耳から脳へ 音楽の通り道

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。

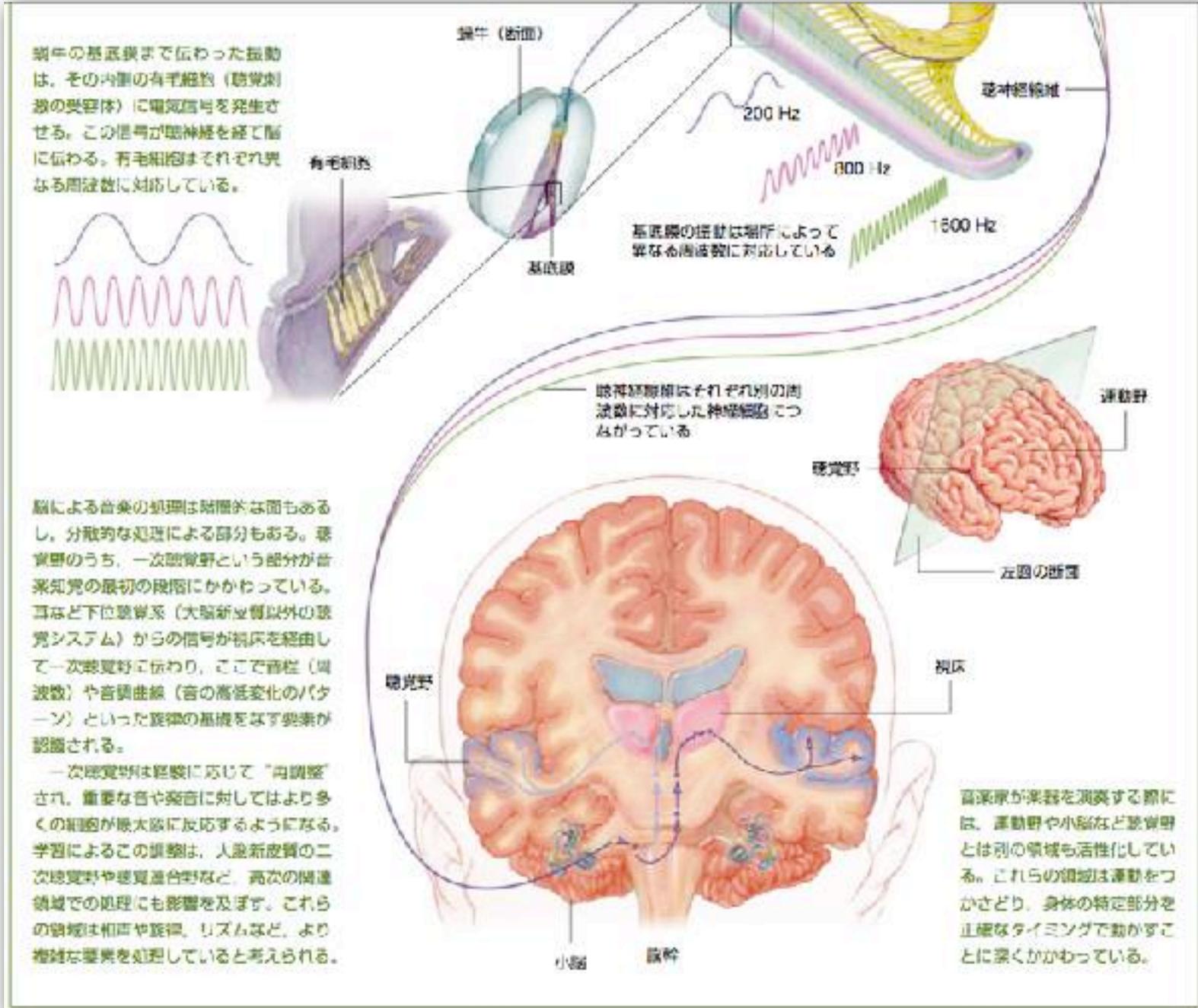


外耳に入ってきた音（空気の圧力波）は中耳を経て内耳に伝わり、ここで液体の波に変換される。アブミ骨という小さな骨が蝸牛に振動を伝え、蝸牛の内部にある液体に圧力変動が生じる。

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



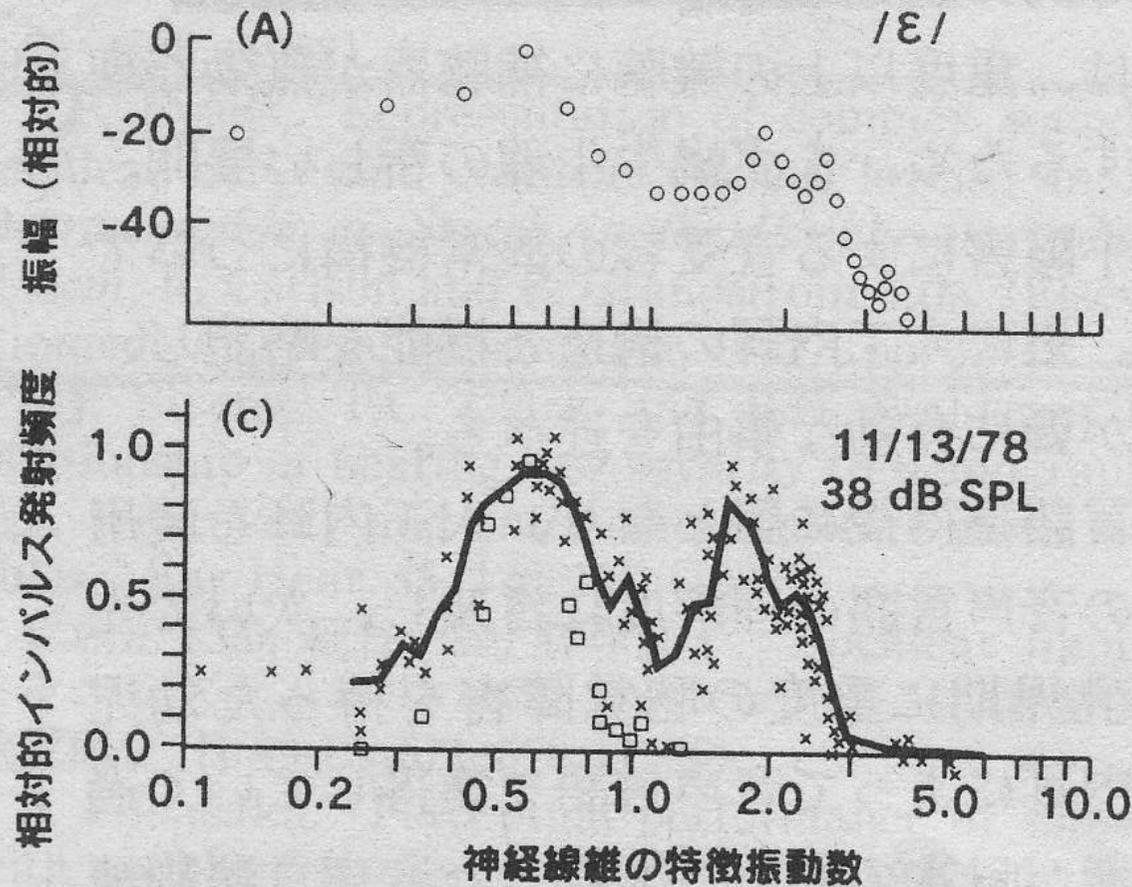


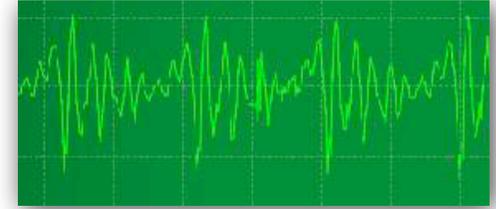
図-3 合成母音/ε/に対する聴神経の反応

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

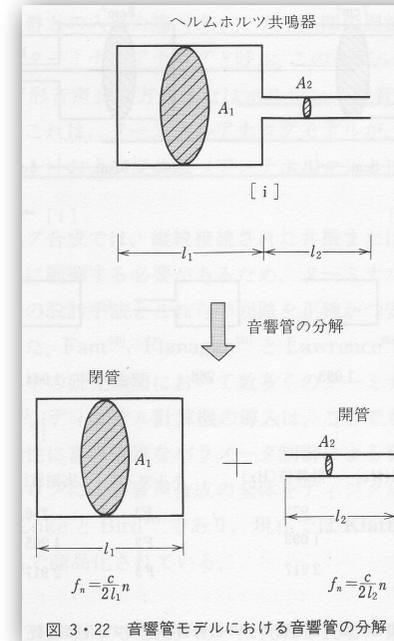
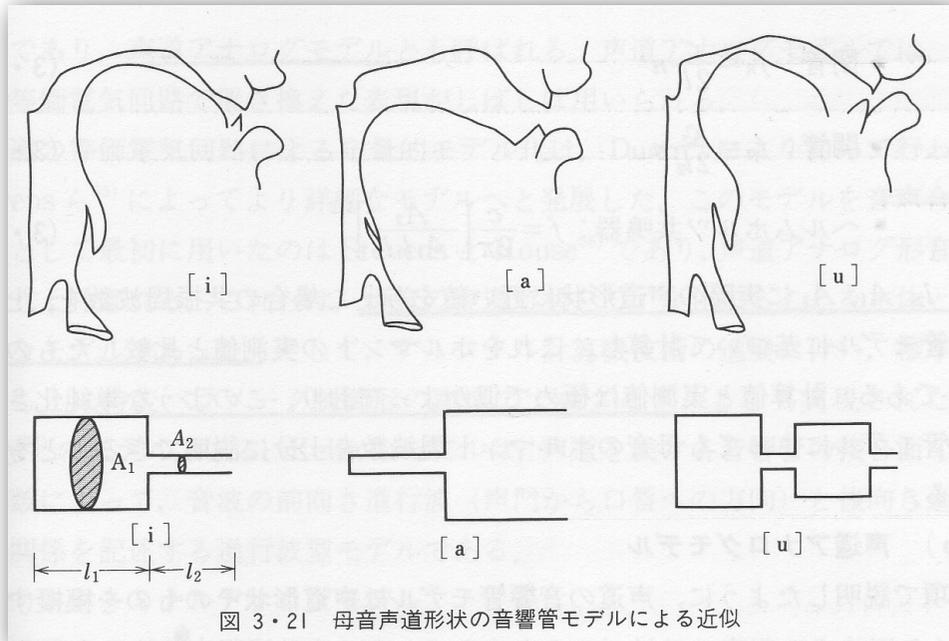
面白い耳テスト

- 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？

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

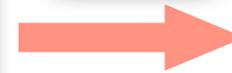
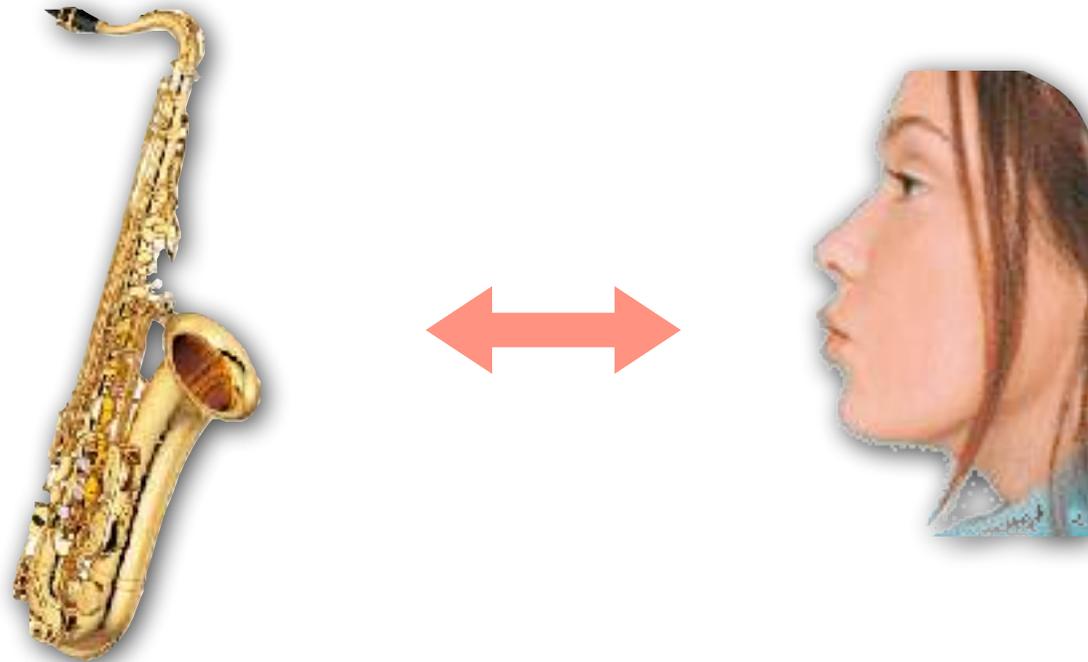
B



A

Q : 管を「あ」から何の形に変えたのか当てなさい。

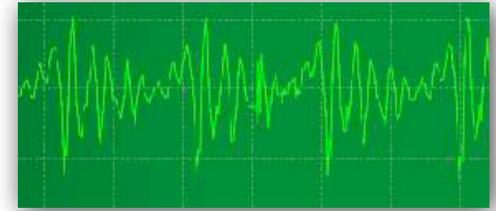
● この人の「あ」の管の形から変えていきます。





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？

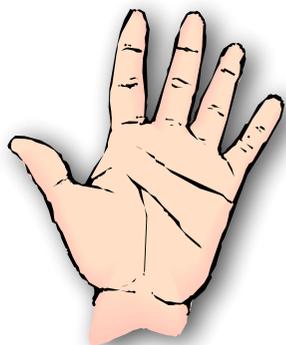


宿題

- 音声学会入門講座「音声の音響分析の”いろは”」の前半の講演をゆっくり再現した。本入門講座は素人向けに用意された講座であり、つっこみ所は結構、沢山ある。
- 次回から後半の演習を行なう予定。
- 説明を省いているのではないか、許される嘘をついているのではないかと思われる箇所など、突っ込んでもらいたい。
- 突っ込まれた箇所の一部は、来週からの演習で解決されるかも。
- メール提出：mine@gavo.t.u-tokyo.ac.jp まで
- 所属専攻・学科・氏名などの情報も忘れずに。
- **×切：本日 23:59**
- 入門講座演習の後に、より詳細な「音響分析のいろは」の解説を行い、本日までの解説の何が不十分なのかについて解説する予定。その時に、提出してもらった「つっこみ」の幾つかに触れる予定です。



質問ある人, 手~挙げて!



お渡ししたマイクセットの使い方を予習しておくこと

- マイクセットの中身
 - イヤーフック型マイク
 - USB オーディオアダプタ
 - モノラル → ステレオアダプタ
 - イヤホンは各自で用意して下さい。
- 授業ページでマイク収録を練習しておくこと
 - シャドーイング音声の収録を課題として
 - **収録の注意事項**をしっかりと読むべし
 - シャドーイング収録サイト with Chrome 
 - **電源ノイズ**のページもしっかり読むべし



何故，直流だの交流だのに言及したのかが分かります。

2点, 注意しておきます



マイクやスピーカを PC に接続しただけでは使えません

- 通常 laptop PC には内蔵マイク, 内蔵スピーカがあります。
- 外部マイク, 外部スピーカを接続した場合, そのマイク, スピーカを**明示的に「選択する」**必要があります。
- 外部マイクで録音しているつもりが内蔵マイクで録音されていると思われる学会発表も散見されます。

マイクやスピーカのレベル調整について

- スピーカ：ボリュームの調整, マイク：録音レベルの調整
- これらの調整は**複数個所を**チェックする必要あり
 - アプリケーションソフトでの調整
 - OS (Windows/Mac OS) のコントロールパネル/システム環境設定
 - PC に接続した機器のボリューム・レベル調節端子
 - これらは**「掛け算」**で効いてきます。