

基礎物理学 II

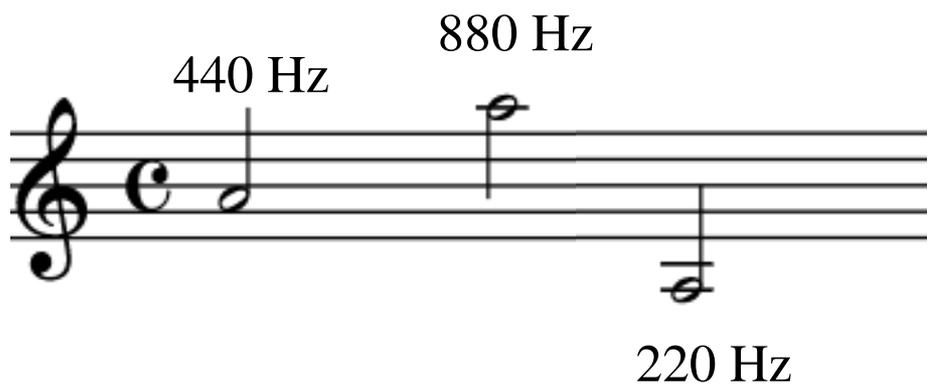
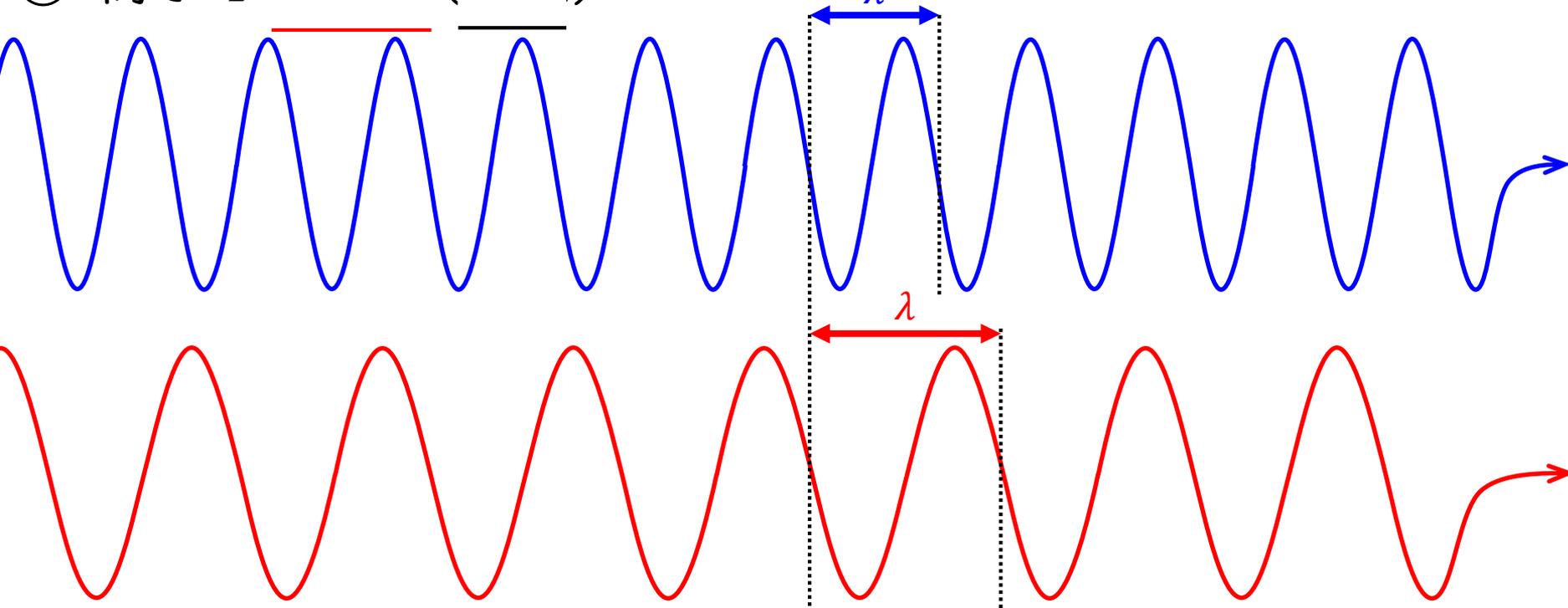
(第13回) 音波

【今日の内容】

- 音の3要素
- 共振と共鳴
- ドップラー効果

音の3要素

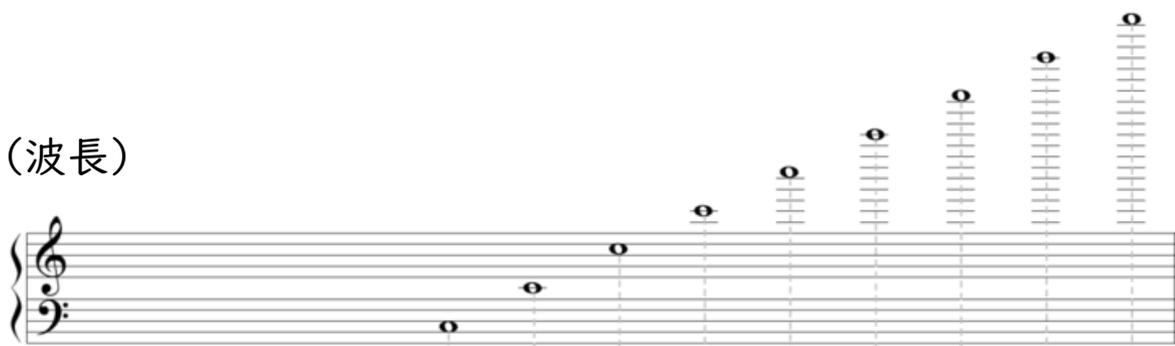
① 高さ → ()



可聴域

(音速) = (周波数) × (波長)

$$v = f\lambda$$



ヒトの可聴域

一般的なピアノ (88鍵)

ベーゼンドルファー社のピアノ (モデル290:インベリアル, 97鍵)

パイプ・オルガンの低音 (アトランティック・シティ・コンヴェンション・ホール; シドニー・タウン・ホール, 64'ストップ)

8Hz	16Hz	32Hz	64Hz	128Hz	256Hz	512Hz	1024Hz	2048Hz	4096Hz	8192Hz	16384Hz	32768Hz
C-1	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C ₁	C ₂	C ₁	C	c	c'	c''	c'''	c ⁴	c ⁵	c ⁶	c ⁷	c ⁸
C ^{'''}	C'	C	C	c	cc	ccc	cccc	ccccc	cccccc	ccccccc	cccccccc	ccccccccc
MIDI:0	MIDI:12	MIDI:24	MIDI:36	MIDI:48	MIDI:60	MIDI:72	MIDI:84	MIDI:96	MIDI:108	MIDI:120	MIDI:132	MIDI:144
-6	-5	-4	-3	-2	-1	+1	+2	+3	+4	+5	+6	

動物によって聞こえる周波数



年齢と低・高周波の聞き分け限界

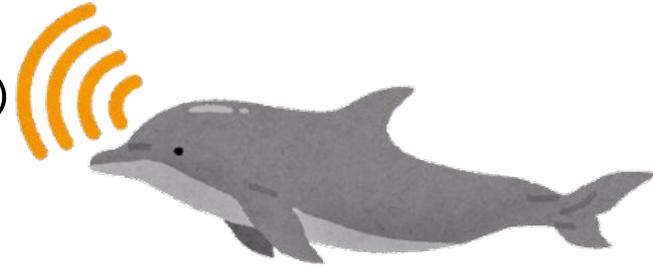


超音波

コウモリ
(20~100 kHz)



イルカ
(150~150 kHz)



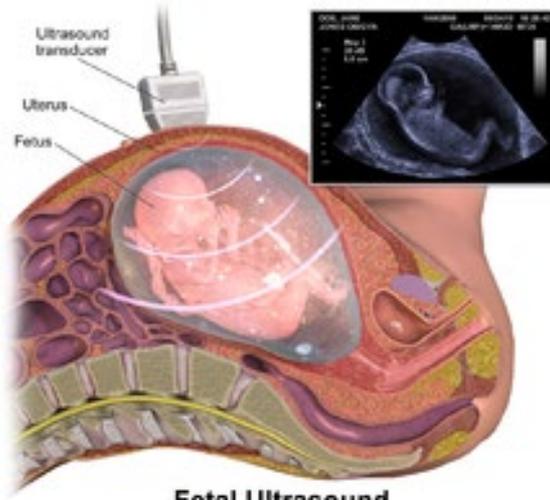
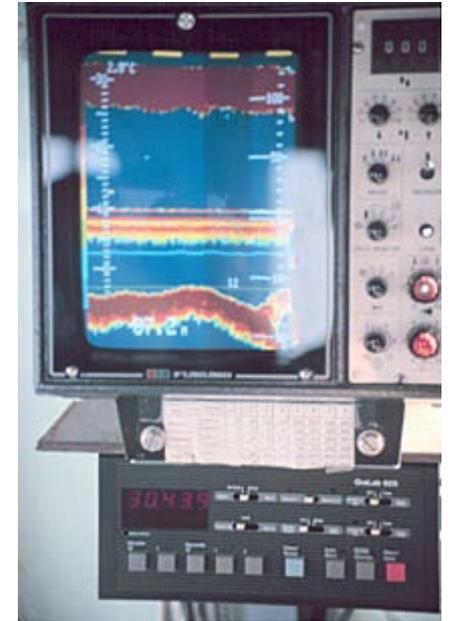
超音波診断 (エコー)



超音波検査



魚群探知機 (ソナー)



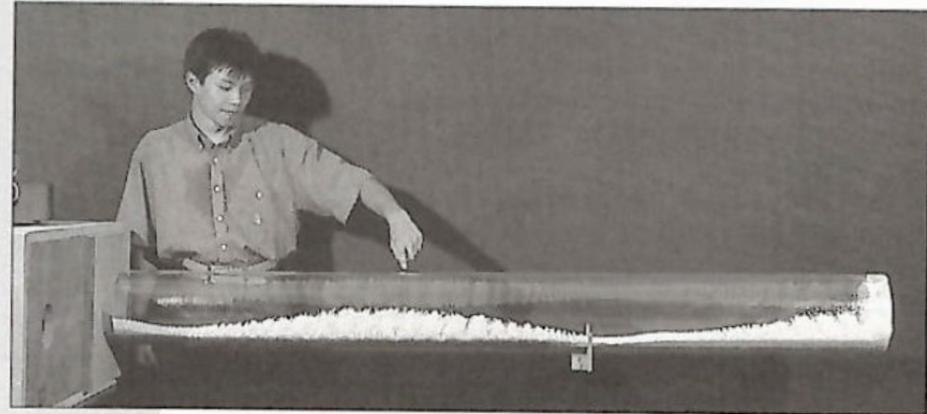
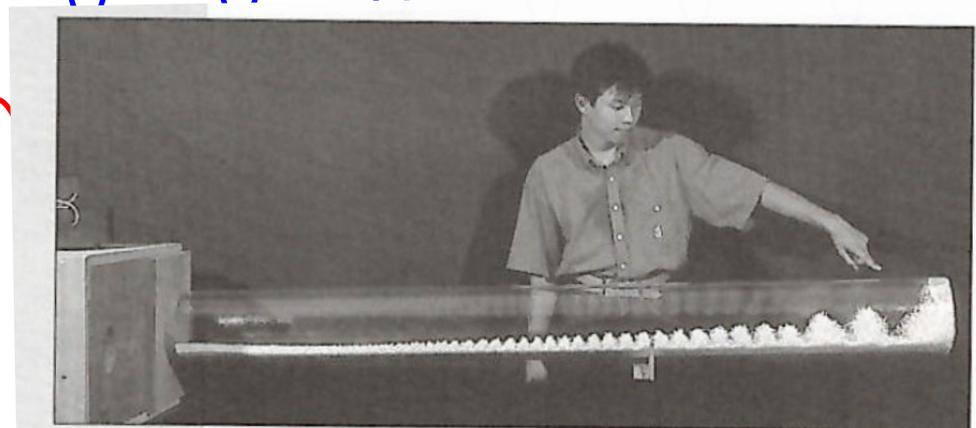
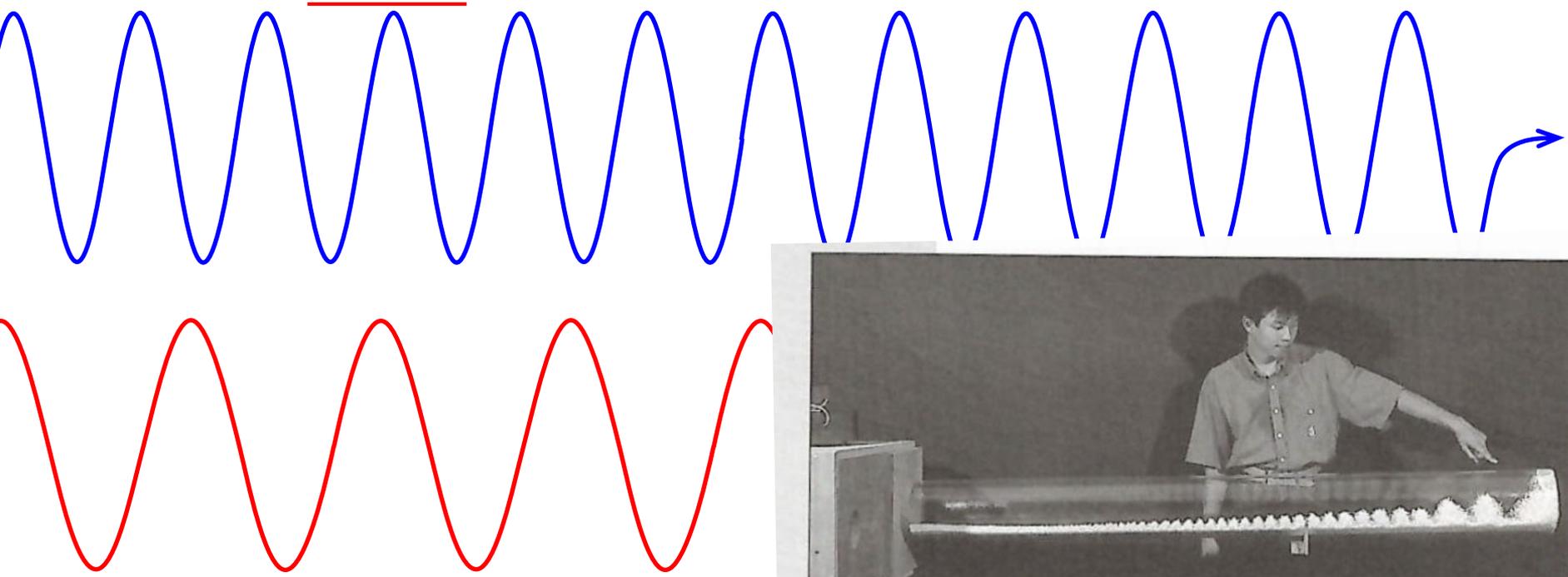
超音波洗浄機



Fetal Ultrasound

音の3要素

② 大きさ →



音は 進行方向に圧力が生じる なので、



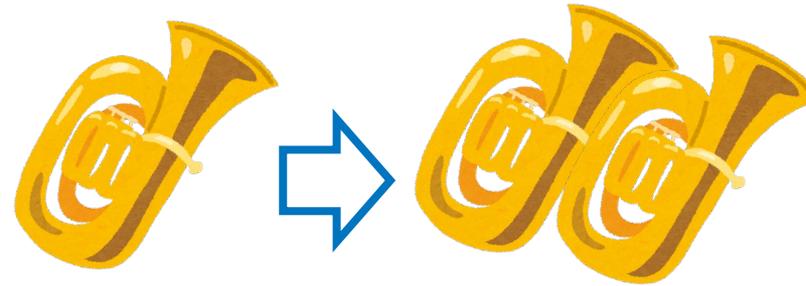
音の大きさ

例題 I

ヒトの耳が感じる音の大きさ

$$L = 10 \cdot \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \quad [\text{dB}]$$

P_0 : 正常な聴覚をもった人の聞き取れる
最小の音の圧力 $P_0 = 20 \mu\text{Pa}$ (大気中)



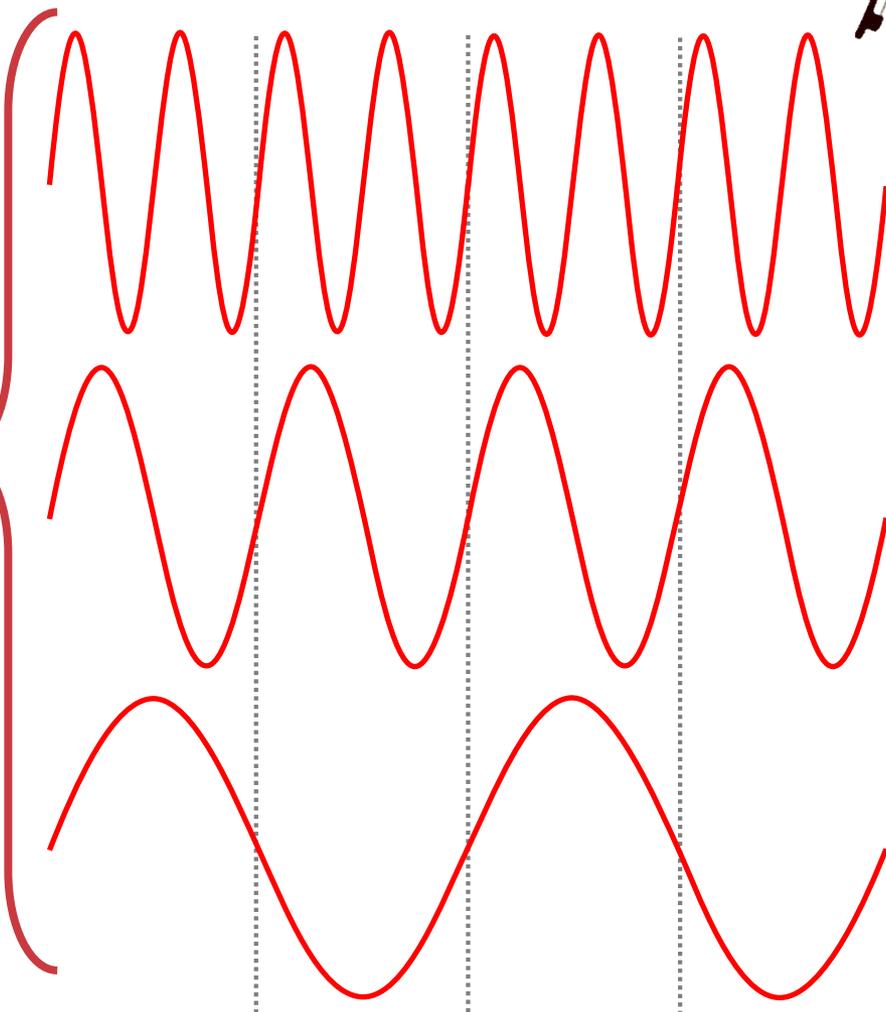
同じ10dBの音を出す楽器を2本に増やすと、音の大きさは何倍に感じるか

音源	音の強さ	
	P (Pa)	L (dB)
痛覚の限界	100	134
苦痛の限界	20	120
ジェット機のそば	6 - 200	110 - 140
幹線道路	0.2 - 0.6	80 - 90
テレビ	0.02	60
普通の会話	0.002 - 0.02	40 - 60
ささやき	0.0002	20
聴覚の限界	0.00002 (= 20 μ)	0

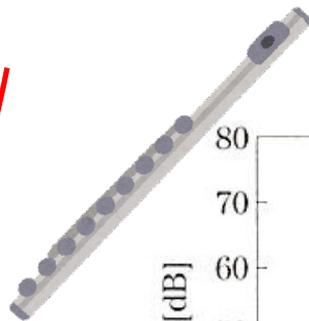
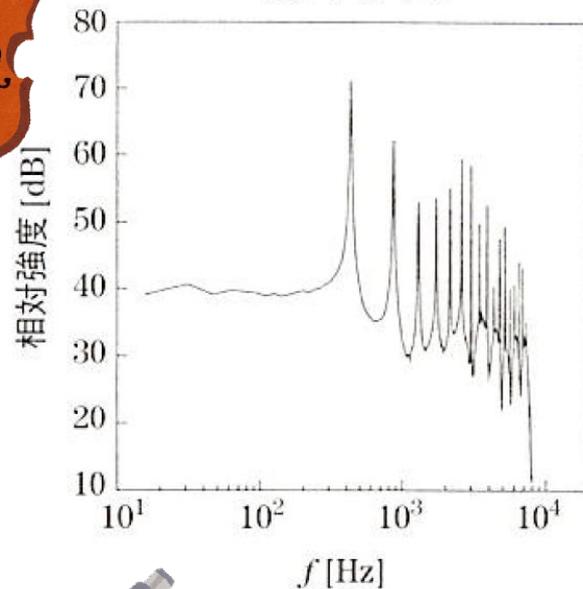
音の3要素

② 音色

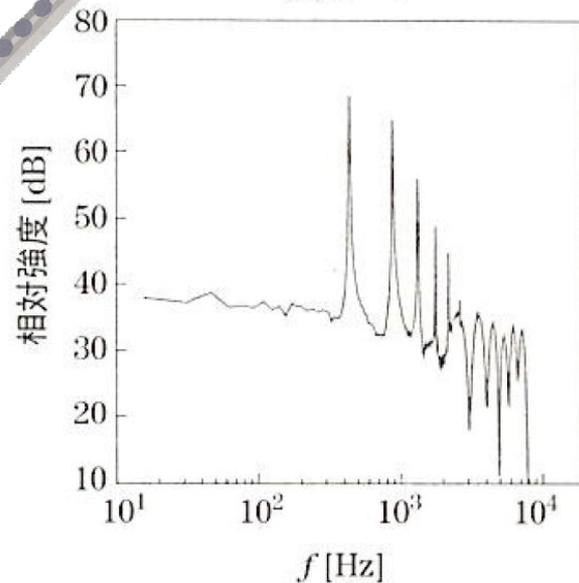
(単音)



ヴァイオリン

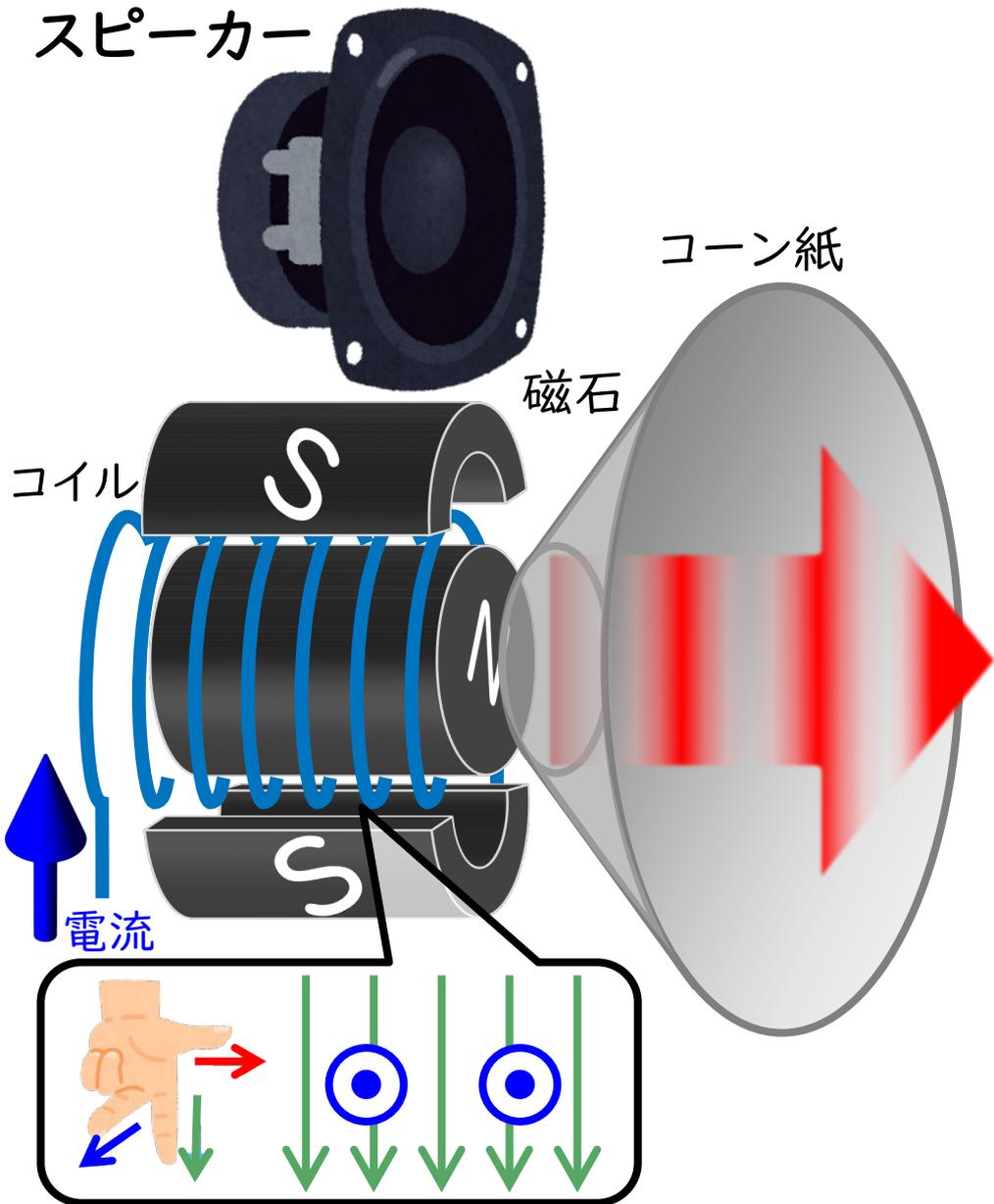


フルート

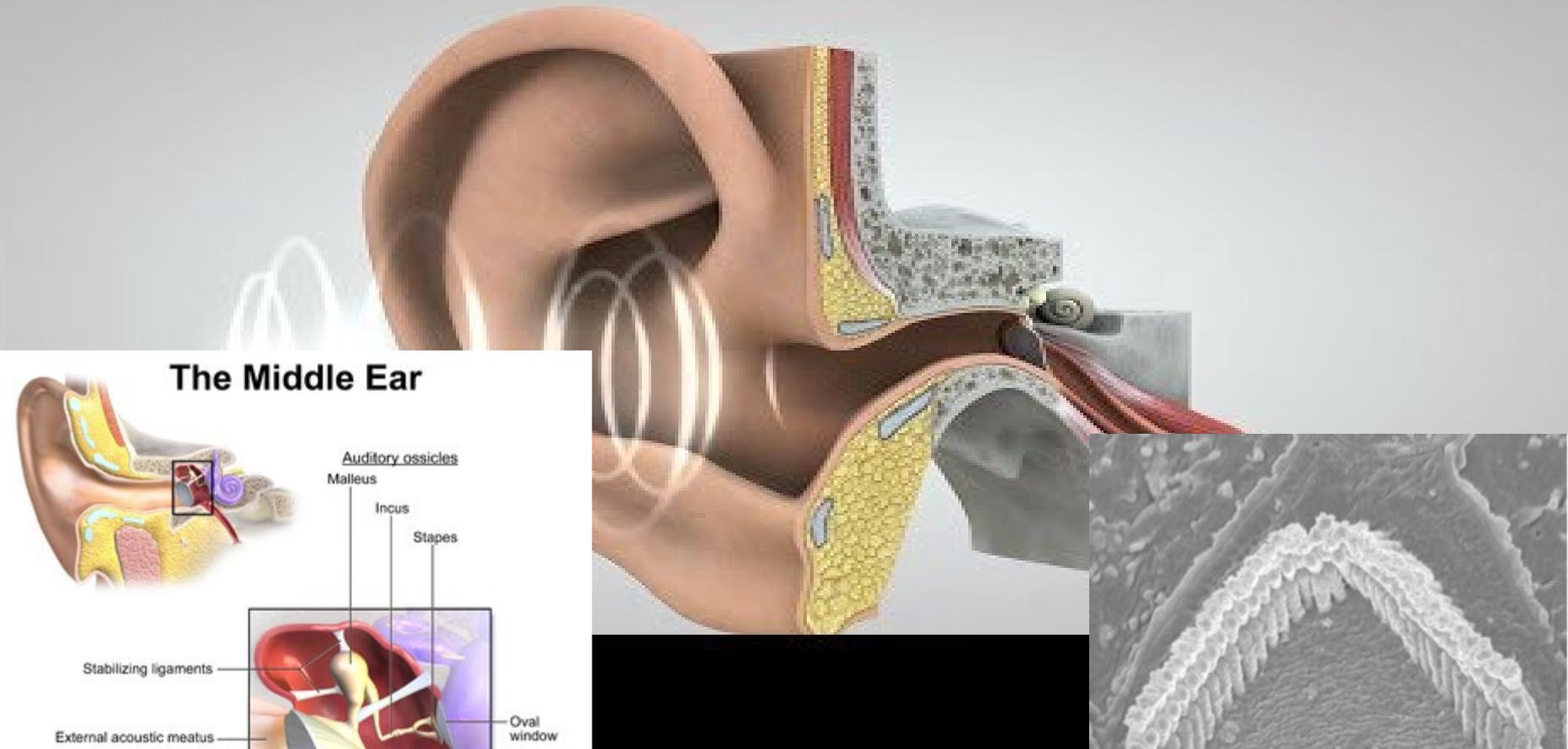


音の変換（電気）

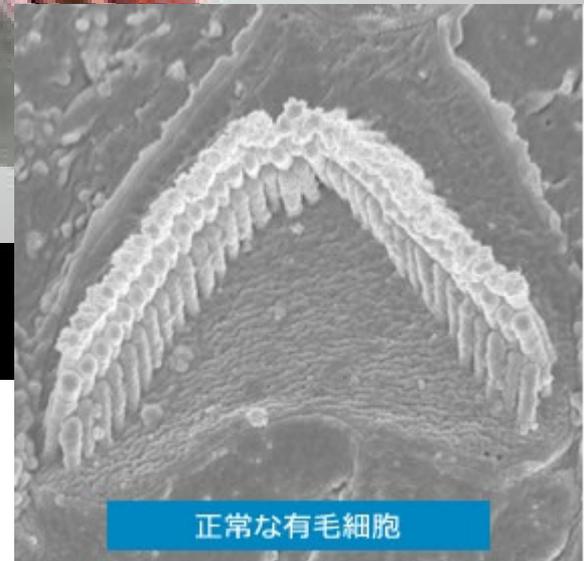
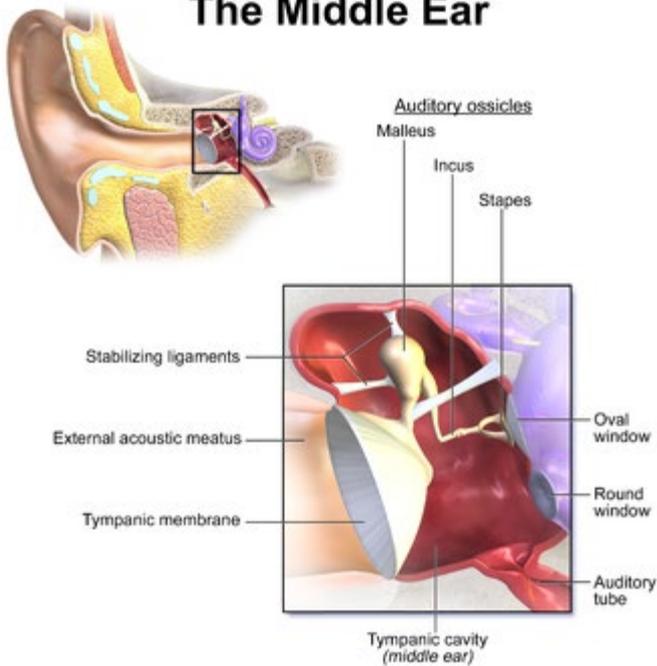
スピーカー



音の変換(人体)



The Middle Ear

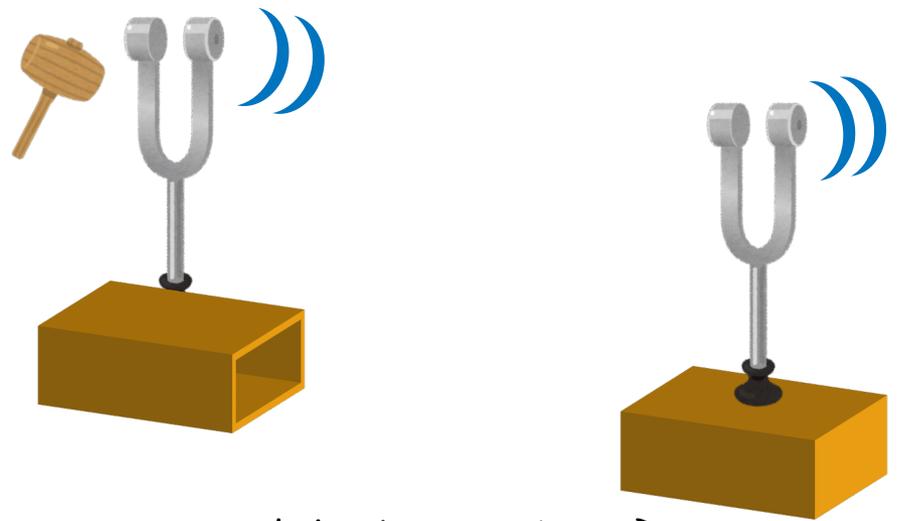
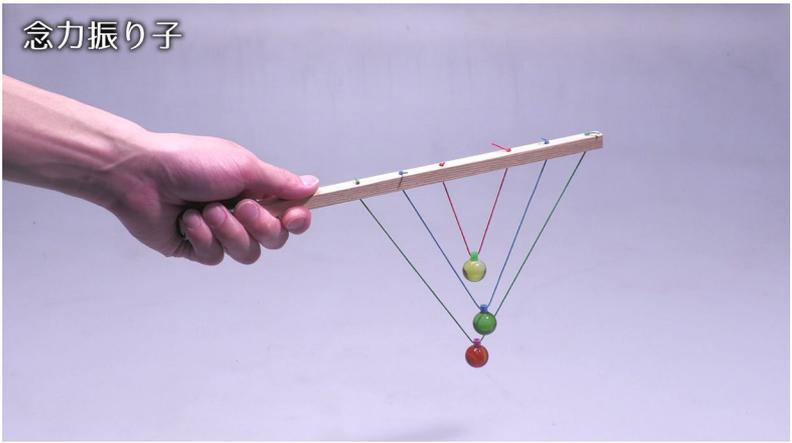
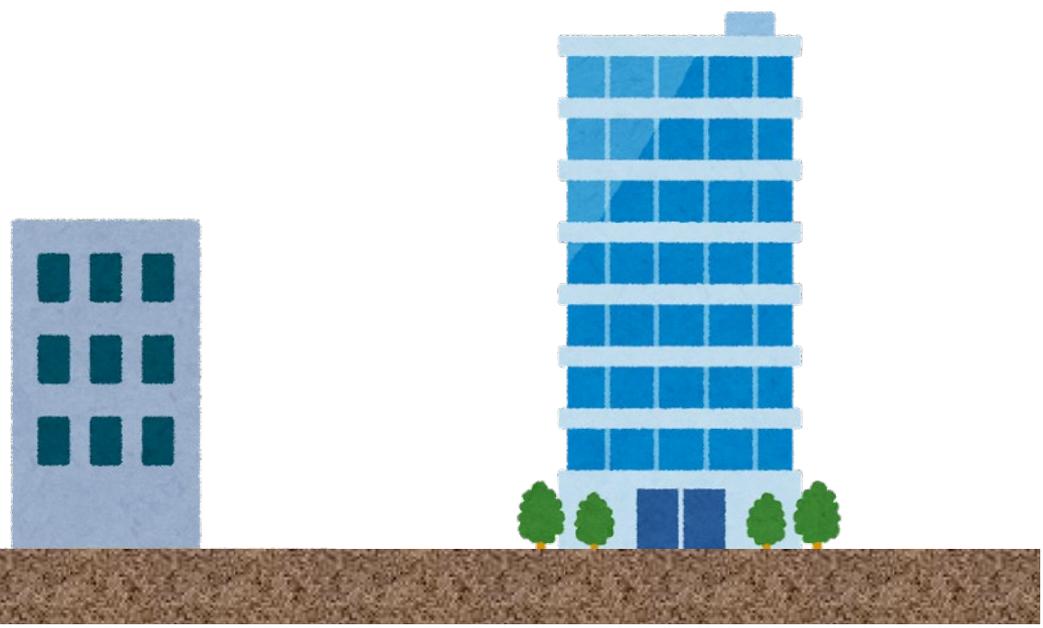
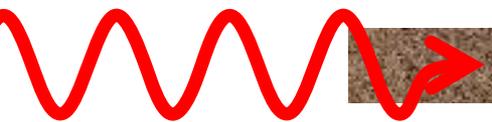


共振と共鳴

物体にはそれぞれ

がある。

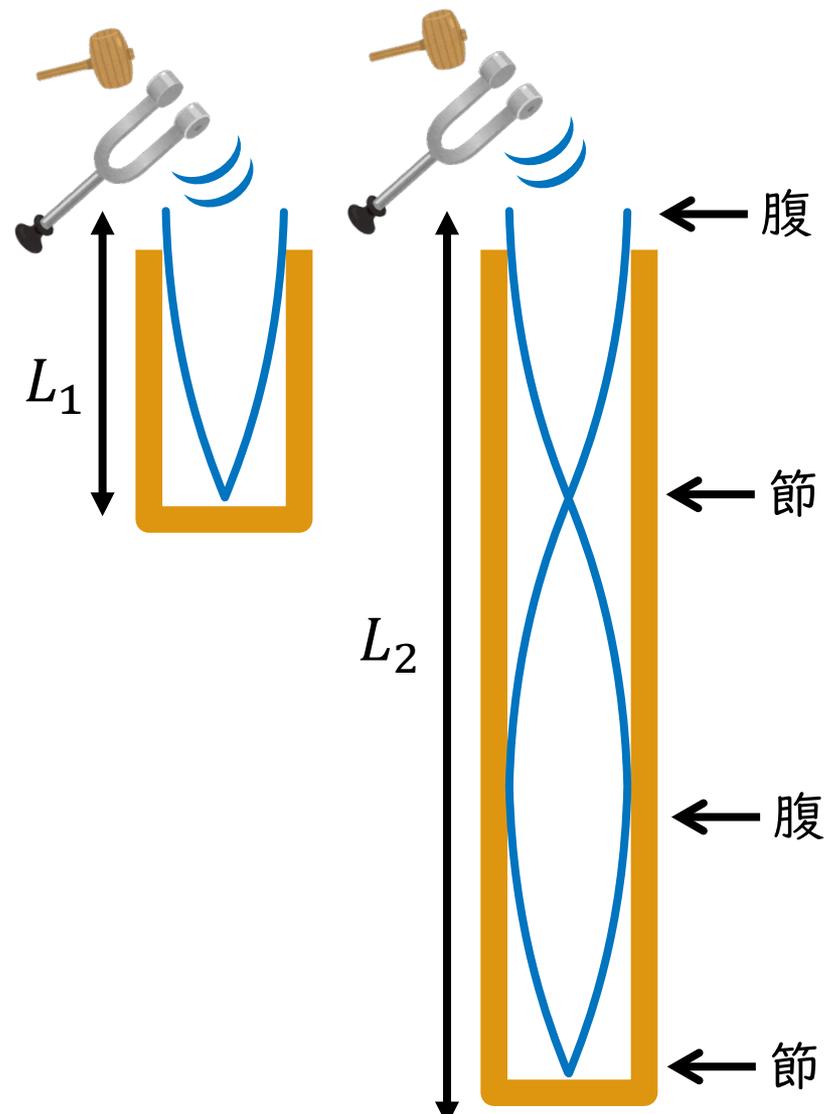
地震波



_____ または _____ という

共鳴

一端が閉じている（振動しない）管の口のそばで音叉を鳴らすと、ある管の長さのときに _____ が生じて強い音が生じる



最初に共鳴が起こる長さ L_1 は、 $L_1 = \frac{\lambda}{4}$

次に共鳴が起こる長さ L_2 は、 $L_2 = \frac{3\lambda}{4}$

実際に開口端付近で腹になる部分は管より少し外になる（開口端補正）が、

音の波長を求めるには、この2つの管の長さから

$$\lambda = 2(L_2 - L_1) \text{ または } \lambda = \frac{4}{3}(L_2 - L_1)$$

また、音速を V とすると、音叉の周波数は

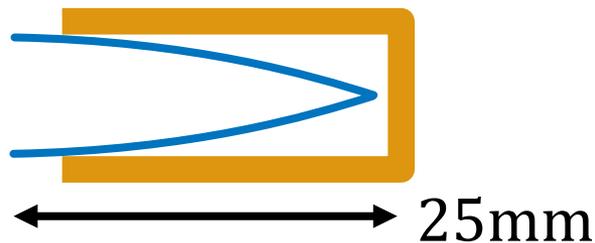
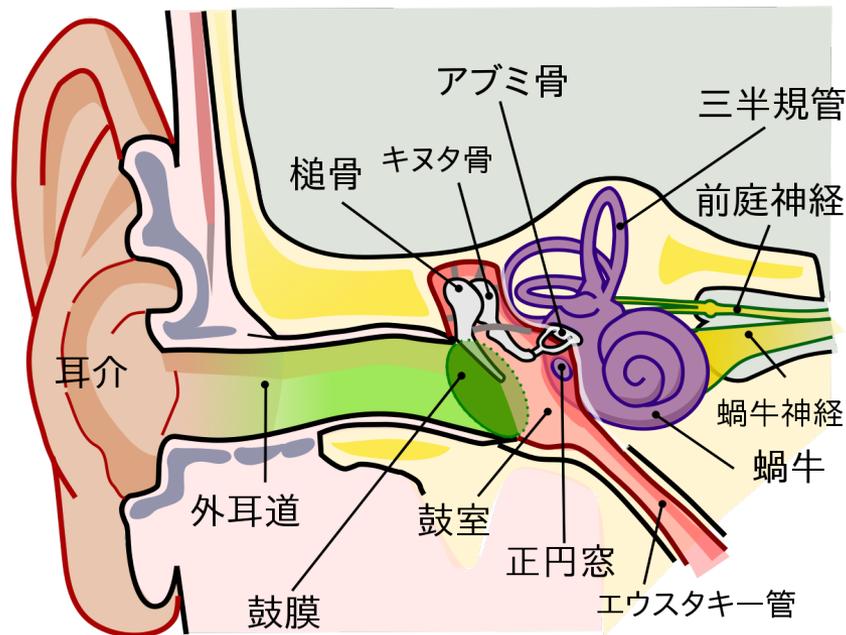
$$f = \frac{V}{\lambda} = \frac{V}{2(L_2 - L_1)}$$

となる。

演習1 耳の構造と共振

外耳道管を前頁のような片方が閉じられた管だと考えると、外耳道管の長さの4倍の波長の音は共鳴してよく聞き取れることになる。

成人の外耳道管の長さは25mm程度である。ヒトが最も聞き取りやすい波長は何mか。その周波数は何Hzか。音速を340 m/sとする。開口端補正(耳たぶの役割)は無視してよい。



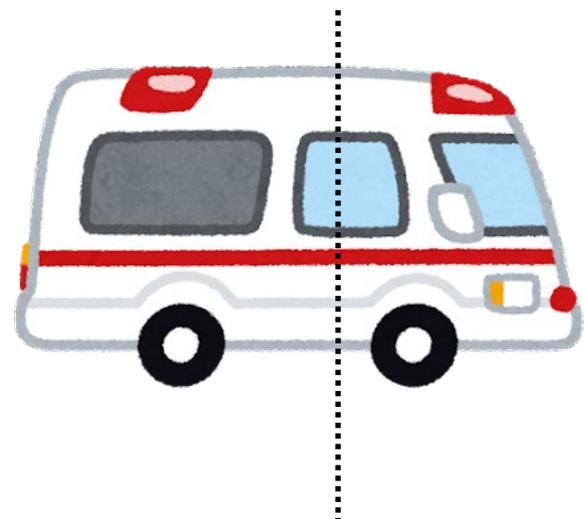
ドップラー効果

救急車がサイレンを流しながら走りすぎる

近づくとき → 音が高くなる

遠ざかるとき → 音が低くなる

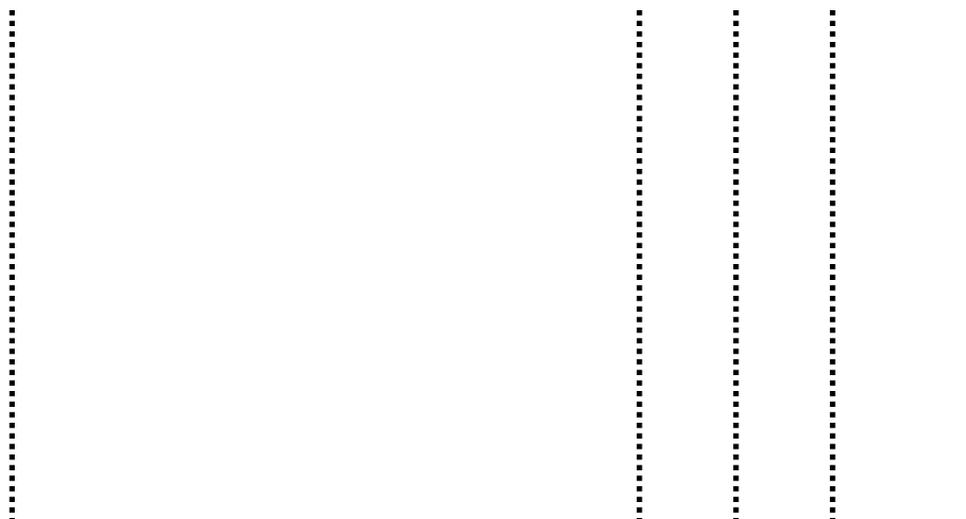
これを ドップラー効果 という。



車の後方では波長の間隔が _____ なる

→ 周波数が _____

→ _____ 聞こえる



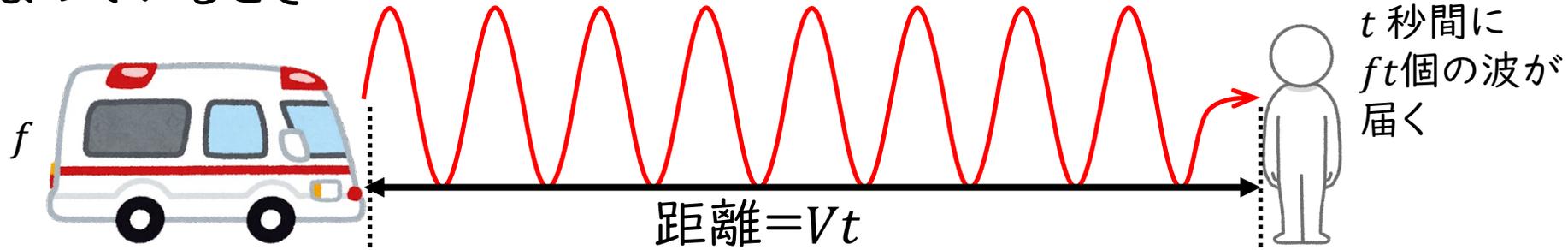
車の前方では波長の間隔が _____ なる

→ 周波数が _____

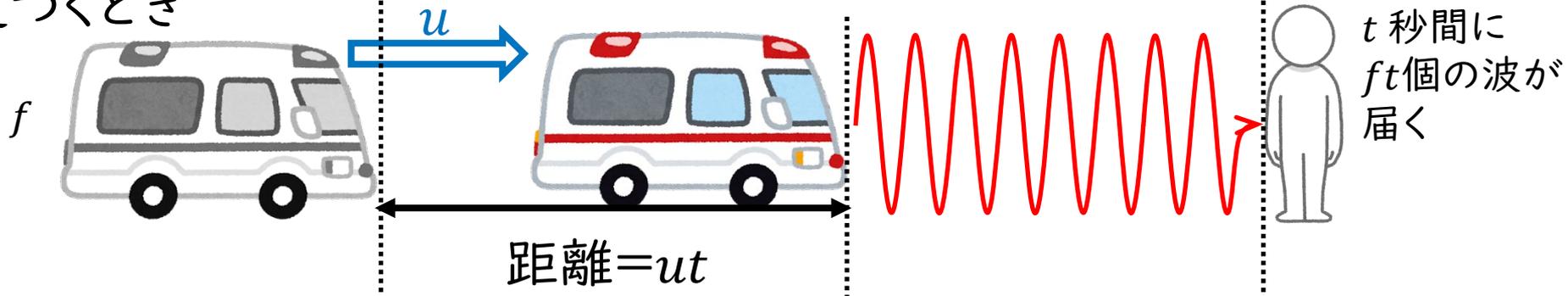
→ _____ 聞こえる

ドップラー効果

止まっているとき



近づくとき



止まっているときは、
距離 Vt の間に
 ft 個の波が届くので

$$\lambda = \frac{Vt}{ft} = \frac{V}{f}$$

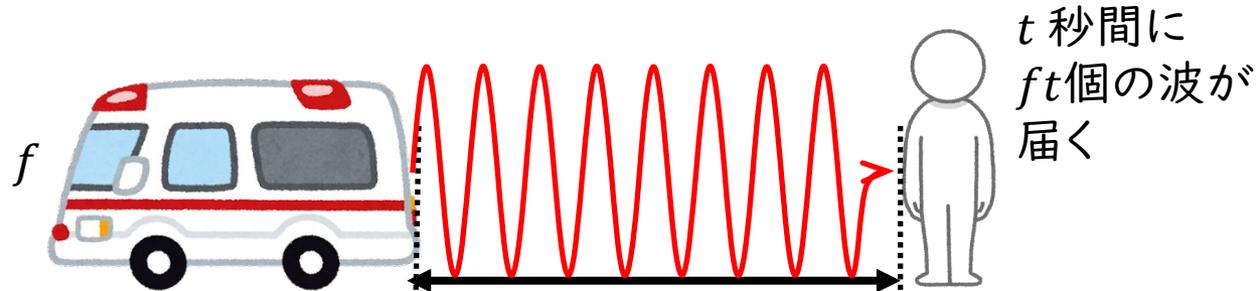
近づくときは、
距離 _____ の間に _____ の波が届くので

$$\lambda' = \frac{ut}{ft} = \frac{u}{f} \quad f' = \frac{V}{\lambda'} = \frac{V}{\frac{u}{f}} = \frac{Vf}{u}$$

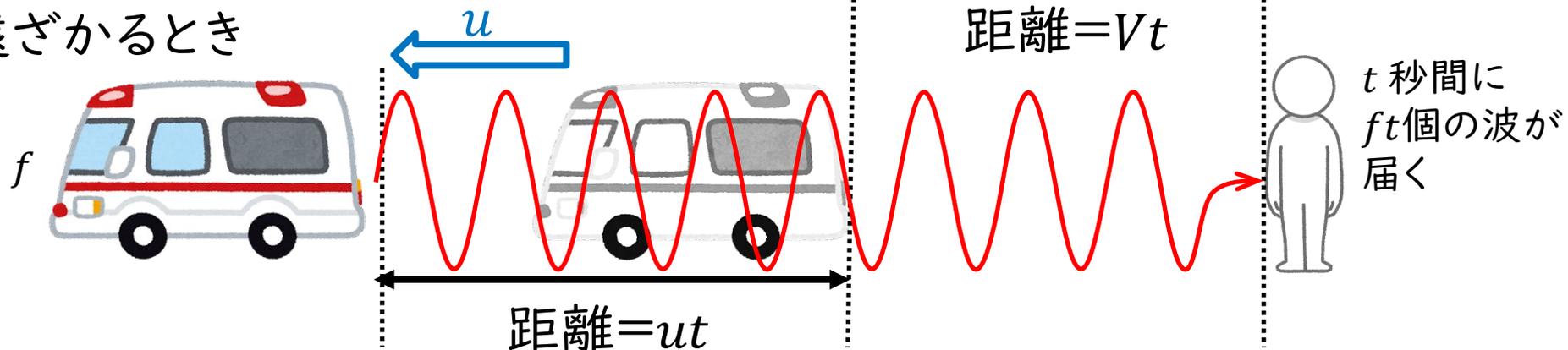
よって、波長は短くなる (音は高くなる)

ドップラー効果

止まっているとき



遠ざかるとき



止まっているときは、
距離 Vt の間に
 ft 個の波が届くので

$$\lambda = \frac{Vt}{ft} = \frac{V}{f}$$

遠ざかるときは、
距離 _____ の間に _____ の波が届くので

$$\lambda' = \frac{Vt}{ft} = \frac{V}{f} = \frac{V}{f'} = \frac{V}{f'}$$

よって、波長は長くなる（音は低くなる）

演習 2

エコー検査では超音波を腹部などに当てて断層像を得るが、ドップラー効果を利用して内部の血流の速度を計測することもできる。生体内での速度 1500 m/s 、周波数 1 MHz の超音波を用いて計測したとき、周波数が、最大で 7 Hz 変化した。このとき血流量はいくらか。(センサーに対してまっすぐに流れている血流に対して最大となる)

