

物理 II

第 10 回 弦の固有振動

教科書 p137-140

今日の内容

1. 弦の固有振動

外部から力を加えていなくても自分自身だけで振動し続ける現象があり、これを**固有振動**という。物体には固有振動数というその物体が揺れやすい振動数がある。

例えば、ギターの弦をはじくと**固有振動**をすることで、一定の高さの音（振動数）が聞こえる。また、同じ高さの「ラ音」でも、ギターとバイオリンで弾くと音色の違いとして聞こえる。音色も弦の固有振動と関係している。ギターの固有振動はどのようにして決まるか？



2. 共振

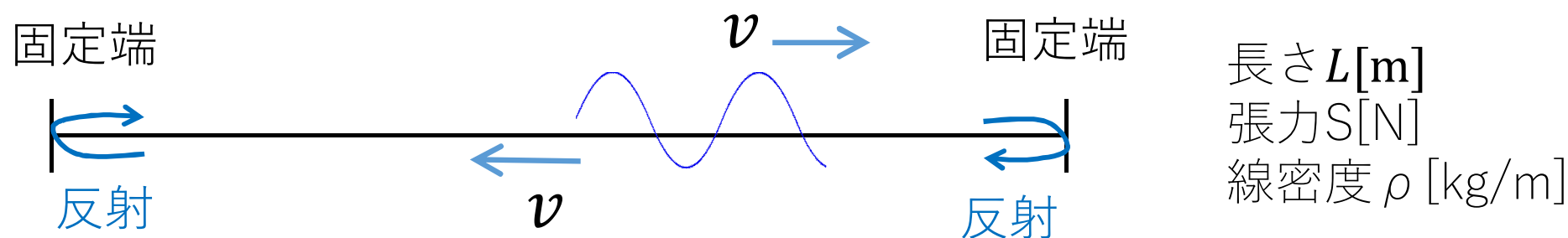
物体が持つ固有振動数と同じ振動を外部から受けると大きく振動する現象を「**共振**」（音の場合は「**共鳴**」）という。

弦に生じる定常波と固有振動

弦の固有振動はどのようにして決まるか？

図のように両端を固定してピンと張った一本の弦がある。

弦をはじくと横波が発生し、両端で固定端反射する。

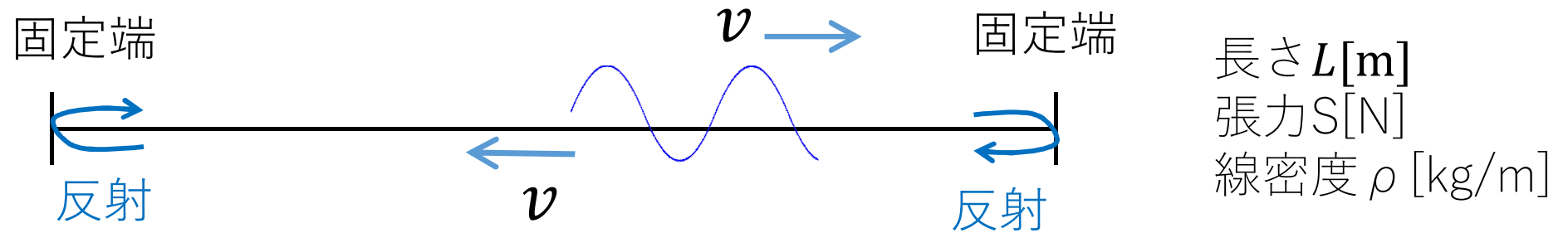


ちょうど反射波と強めあうような振動数（**固有振動数**）のとき、**定常波**ができて弦が大きく振動する（**固有振動**）。

弦が固有振動数で振動するとき、空気を振動させて**一定の高さの音**を出す。

「長く存在する波：**定常波**」 ■ 「音の発生」

1. 弦に伝わる波の速さ、振動数、波長



弦に伝わる波の速さ v は ρ 、 S で決まる。

$$v = \sqrt{\frac{S}{\rho}} \text{ [m/s]}$$

速さの単位であることを確かめよう。

弦を伝わる波の波長 λ [m]、弦の振動数 f [Hz] とすると、波の基本式より

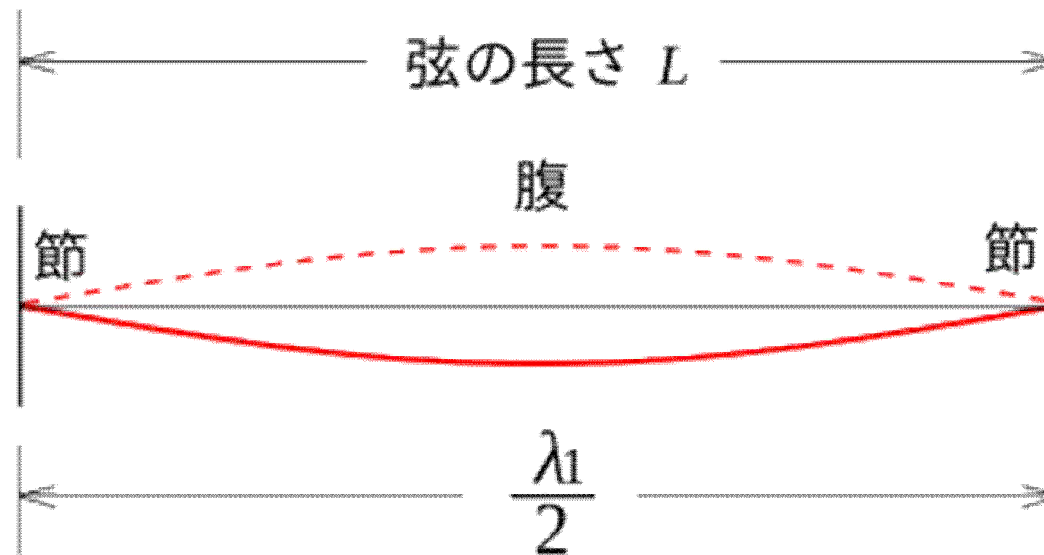
$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{S}{\rho}} \text{ [Hz]}$$

波長 λ は弦に生じる定常波の波長！

2. 弦の固有振動 弦に生じる定常波

基本振動

弦に生じる定常波で一番波長の長いもの



長さ L [m]
張力 S [N]
線密度 ρ [kg/m]

生じる定常波の波長と振動数

$$\lambda_1 = 2L$$

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{S}{\rho}}$$

基本振動数

音の高さ（振動数）の变え方

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{S}{\rho}}$$



ギターの弦

弦の長さ L : 小

張力 S : 大

線密度 ρ : 小

弦に発生する波

波長 : 小

波の速さ : 大

波の速さ : 大

振動数 : 大

振動数 : 大

振動数 : 大

音波

音が高くなる

音が高くなる

音が高くなる

82.4 Hz

110 Hz

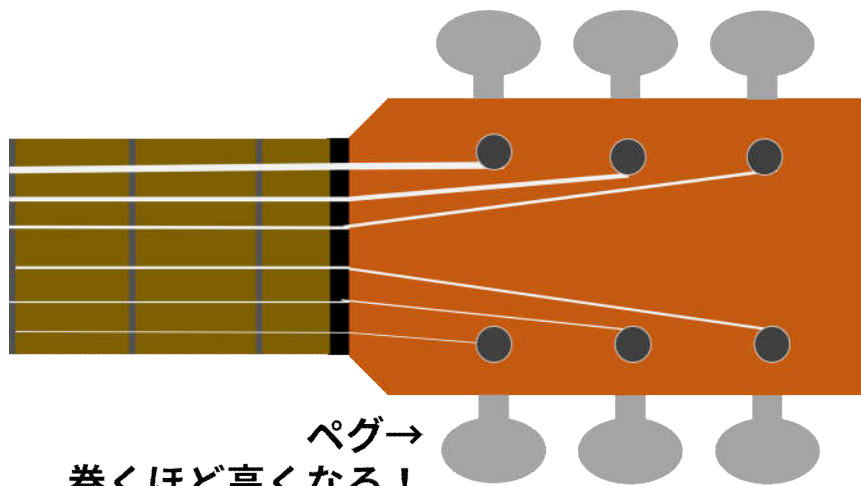
146.8 Hz

196.0 Hz

246.9 Hz

329.6 Hz

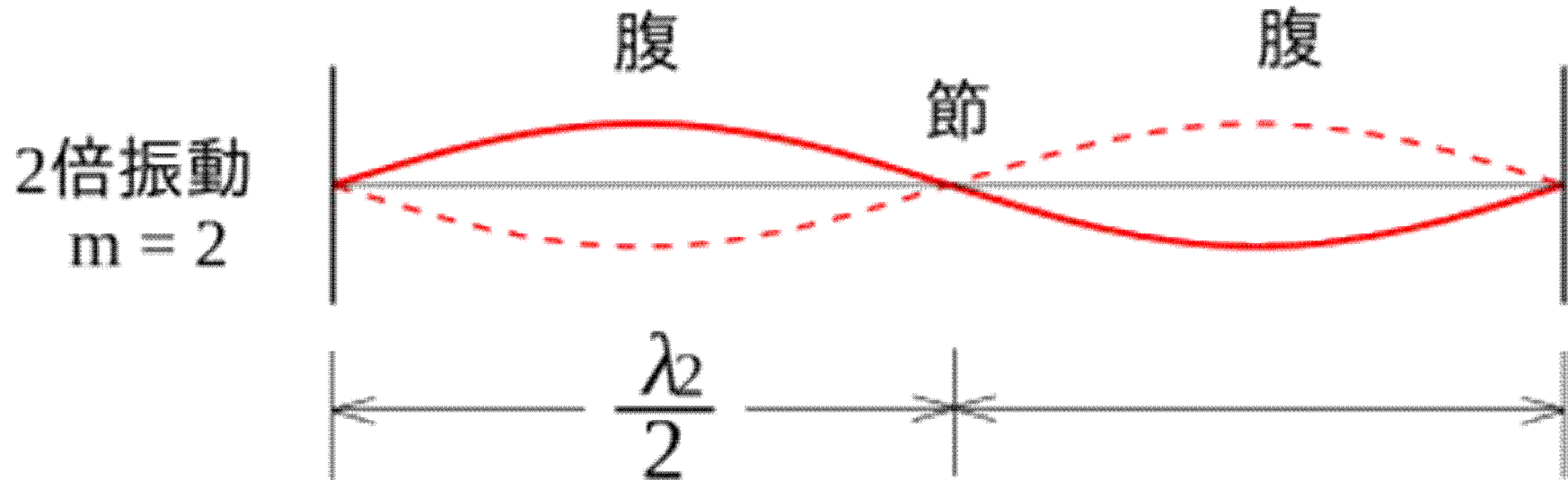
ミ
ラ
レ
ソ
シ
ミ



ペグ→
巻くほど高くなる！

2倍振動

弦に生じる定常波で、基本振動の次に波長の長いもの



生じる定常波の波長と振動数

$$\lambda_2 = L = \frac{\lambda_1}{2}$$

$$f_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{S}{\rho}} = \mathbf{2f_1}$$

2倍振動

弦の長さ、波長、振動数の関係

固有振動	波長 (正弦波)	腹の数 (n)	波長 λ_n	振動数 f_n
基本振動		1	$\lambda_1 = 2L$	$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{2L}$
2倍振動		2	$\lambda_2 = L$	$f_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{v}{L} = 2f_1$
3倍振動		3	$\lambda_3 = \frac{2L}{3}$	$f_3 = \frac{v}{\lambda_3} = \frac{v}{2L/3} = 3f_1$
n倍振動		n	$\lambda_n = \frac{2L}{n}$	$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{nv}{2L} = nf_1$

n倍振動の振動数は基本振動の振動数の **n**倍

固有振動と音の高さ（音程）・音色

弦楽器の弦をはじくと、弦は固有振動を始める。

全ての固有振動が同時に発生、
多くの倍振動の重ね合わせ

基本振動数



音色の違い



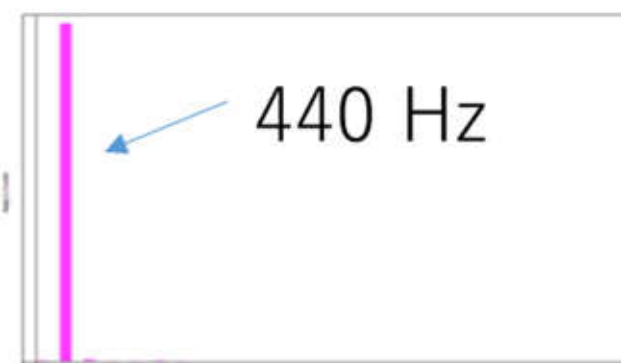
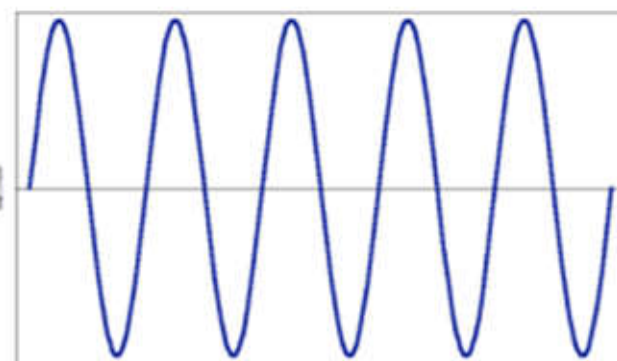
音程を決める

例) ラ音

音叉

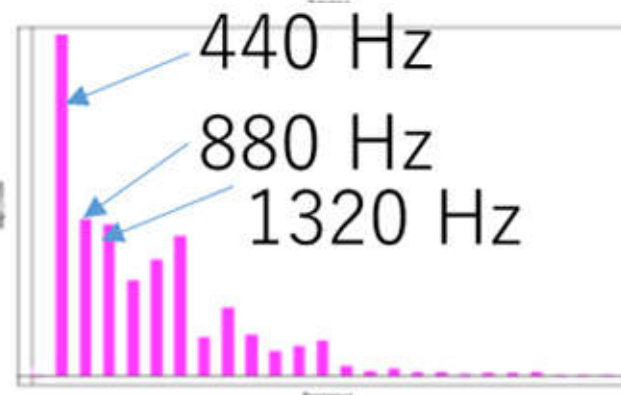
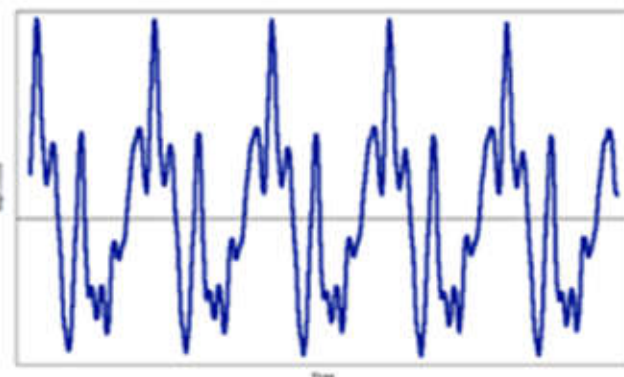
正弦波
純音

(a)



バイオリン

(c)



固有振動数と共振

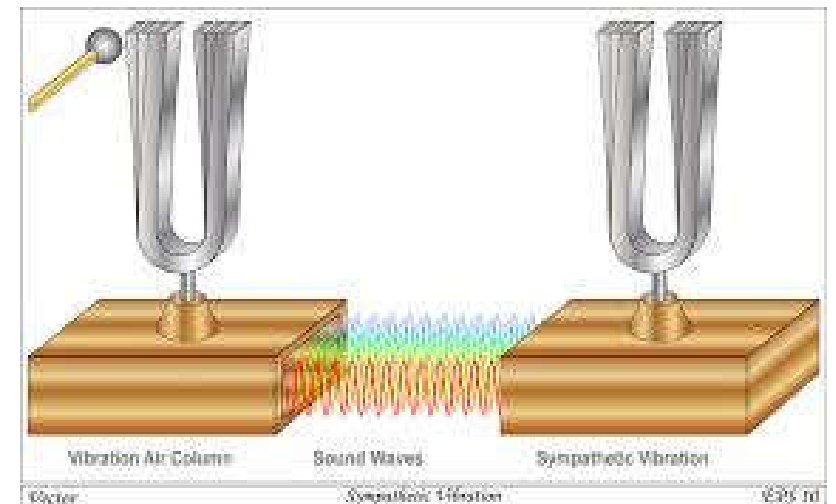
振動する物体には,それぞれ最も振動しやすい固有振動数がある。

ある物体に固有振動数と同じ振動数を外部から加えると,それがわずかな力であっても物体は振動する。

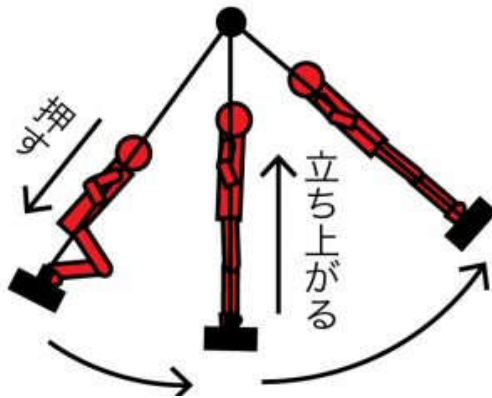
外からその物体の固有振動数と同じ振動を与えるとその物体は大きく振動する。この現象を共振という。

例)

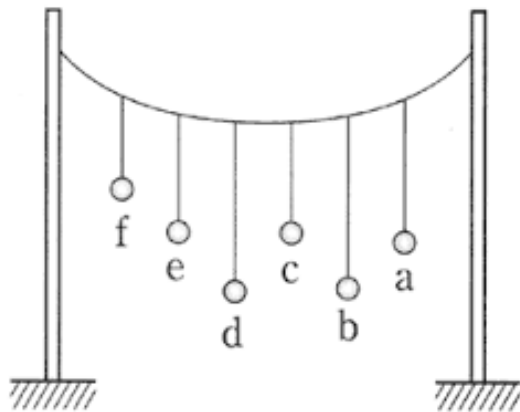
同じ音叉を2つ用意して、1つの音叉をたたいて音を鳴らし、もう1つの音叉を近づけると振動をはじめる。



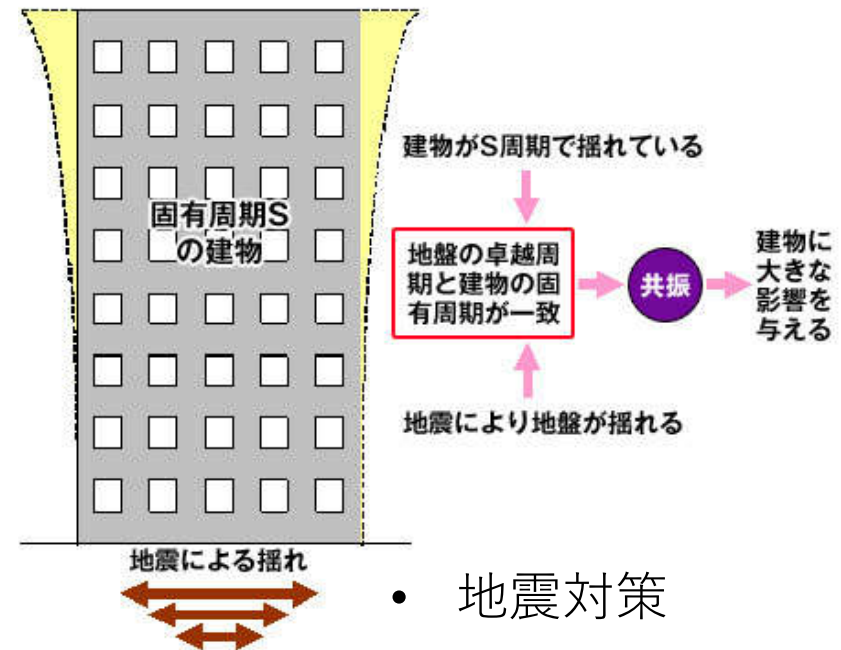
- 地震対策
地震の振動数が建物の「固有振動数」と一致しないように設計し「共振がおきないように」注意されている。
- ブランコのこぐときのタイミング



ブランコの揺れの周期に合わせてこぐことで大きく揺らすことができる。



振り子の共振



- 地震対策