



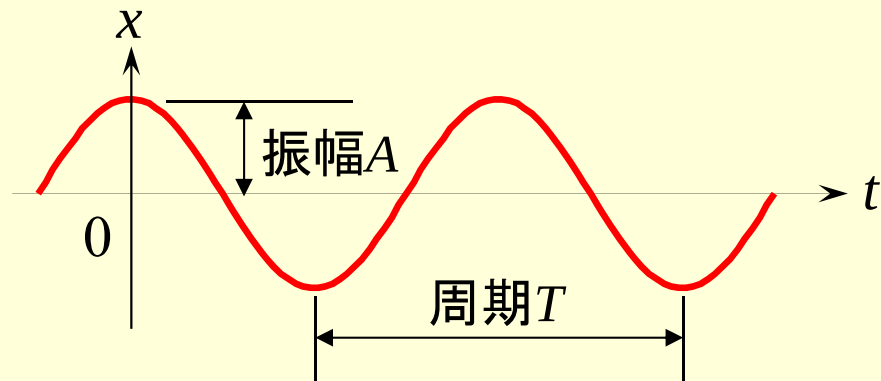
第8章

波の性質とその表し方

単振動

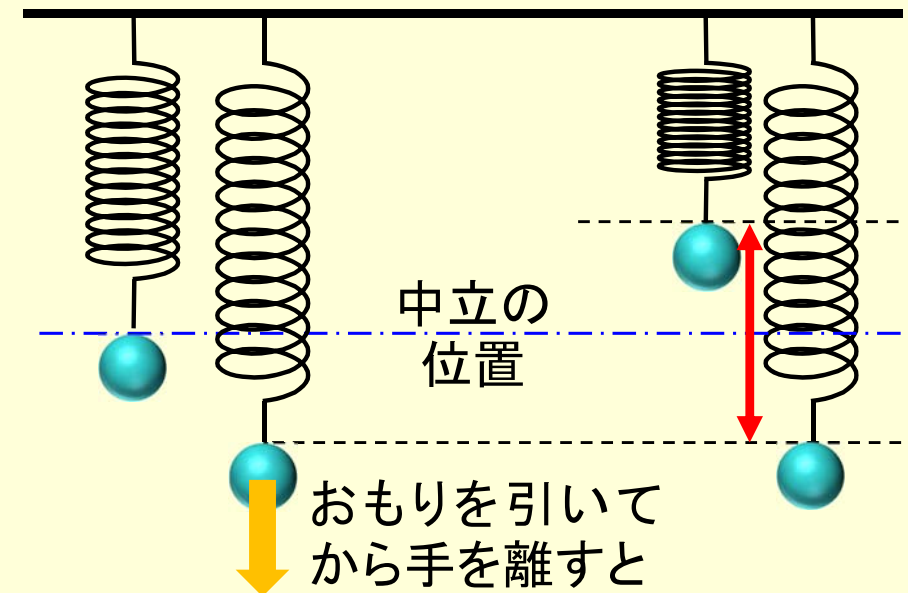
図のようなおもりをつけたバネを考える。このバネを引いて手を離すと、バネは一定の周期で振動する。

このときの時間 t [s]と振れ幅 x [m]の関係は、図のような正弦波になる。



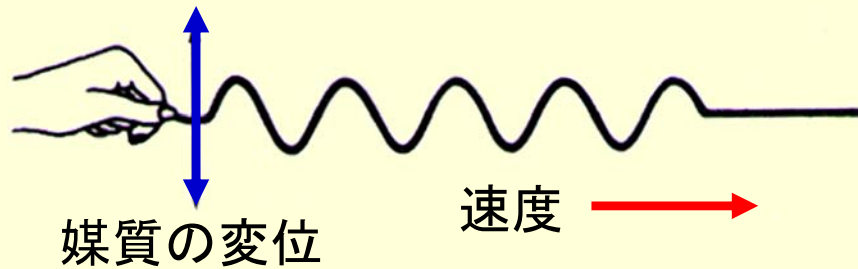
最大の振れ幅 A [m]を**振幅**、同じ振れ幅になるまでの時間 T [s]を**周期**という。周期が短いときは、1秒間に振動する回数で表す方がわかりやすい。これを**周波数** f [Hz]という。

$$\text{周波数 } f [\text{Hz}] = \frac{1}{\text{周期 } T [\text{s}]}$$



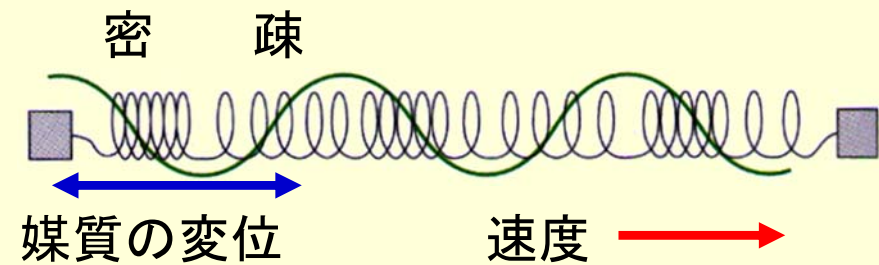
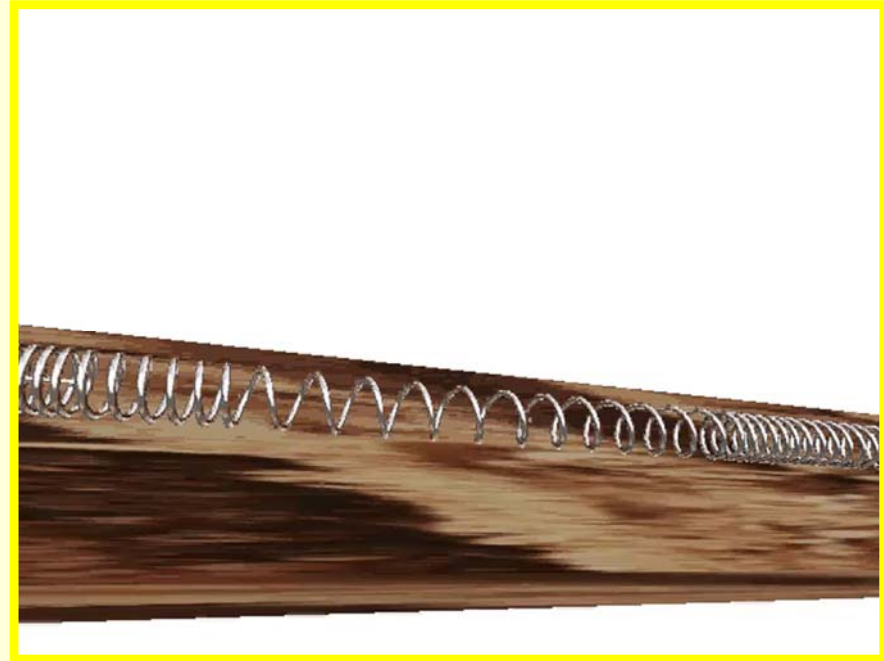
縦波と横波

横波



波の進行方向と振動方向が垂直

縦波



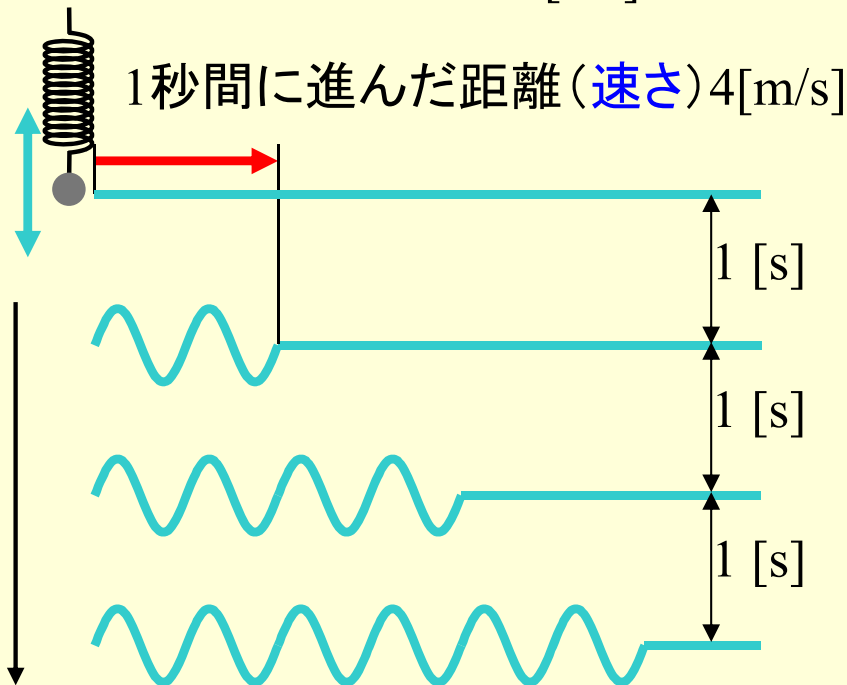
波の進行方向と振動方向が同じ

波の進む速さ

おもりをつけたバネを振動させ水面につけると、そこを中心とした波が広がっていく。おもりの単振動と広がっていく波の関係を考えてみよう。

1秒間に2回振動する(2[Hz])おもりを水面につけた波が、4[m/s]で広がった。

1秒間の波の数(周波数)2[Hz]

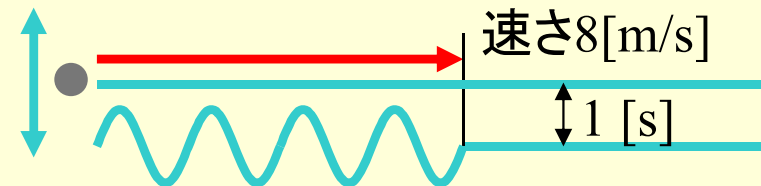


時間 $t[s]$

波1つ分の長さは、 [m]になる。

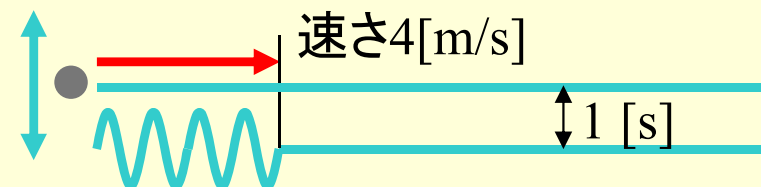
速さを2倍(8[m/s])にすると、
波1つの長さは [m]になる。

周波数2[Hz]



周波数を2倍(4[Hz])にすると、
波1つの長さは [m]になる。

周波数4[Hz]



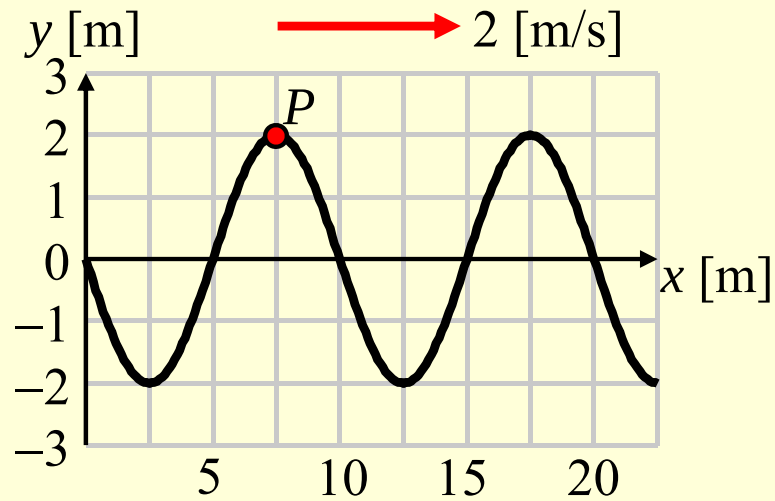
波1つの長さを**波長**という。これらの関係より、

$$\text{速さ } v[\text{m/s}] = \text{周波数 } f[\text{Hz}] \times \text{波長 } \lambda[\text{m}]$$

となる。

波を表す2つのグラフ

水面に広がる波の振動する方向を y 軸、進む方向を x 軸と表すと、下の図のような波が観測された。



(1)波の振幅、波長、周波数、周期をそれぞれ求めなさい。

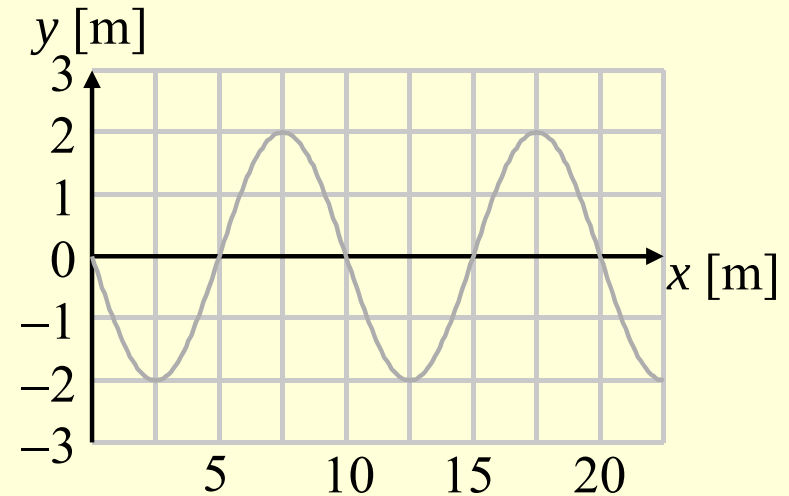
振幅

波長

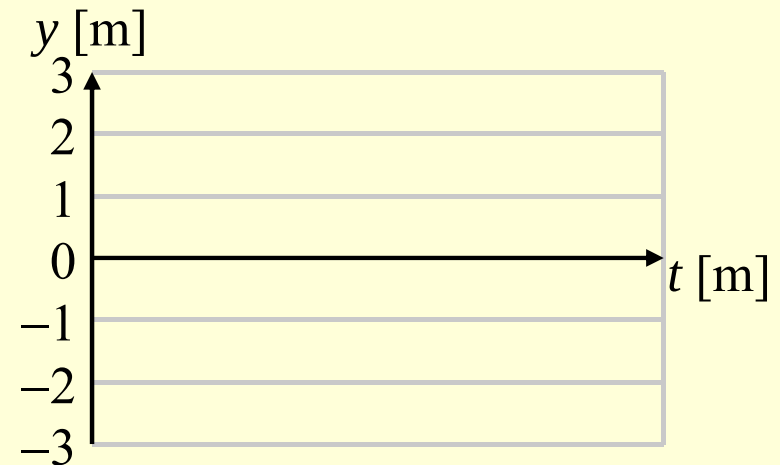
周波数

周期

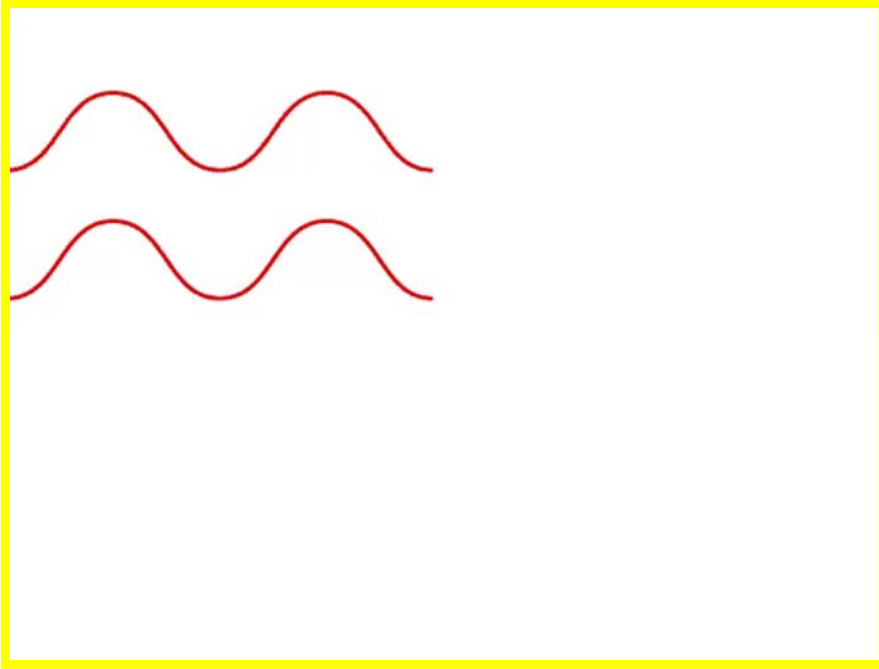
(2)この波の2.5[s]後のグラフを書け。



(3)P点の振動について、時間と振幅の関係を表すグラフ(y - t グラフ)を書け。

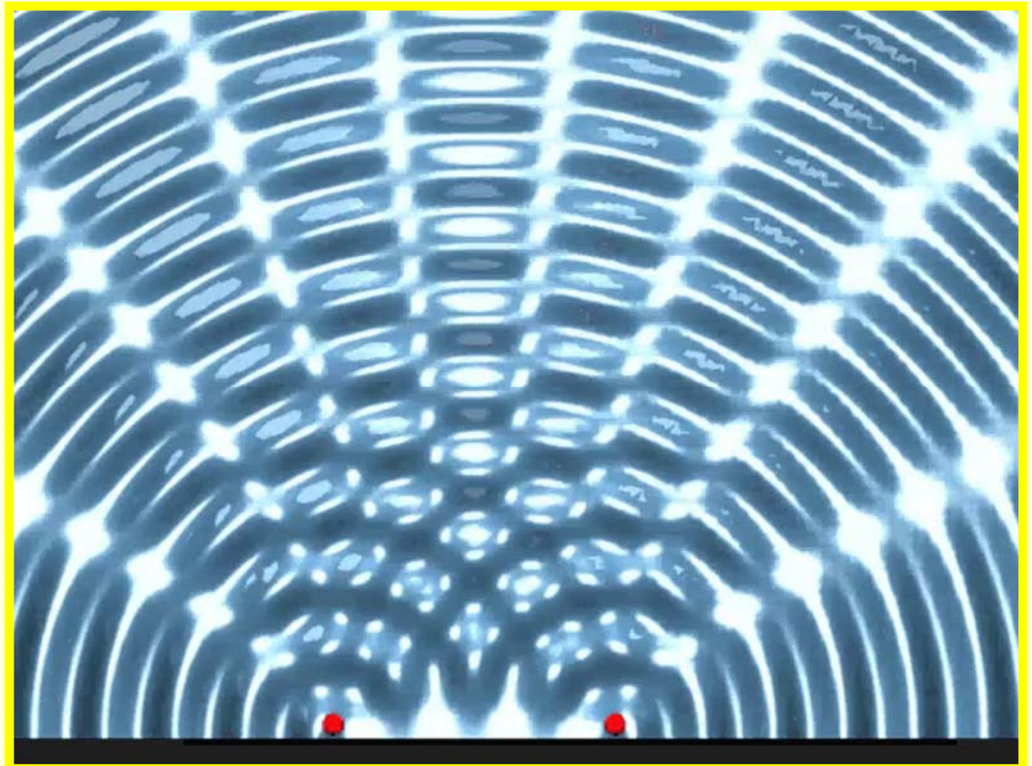


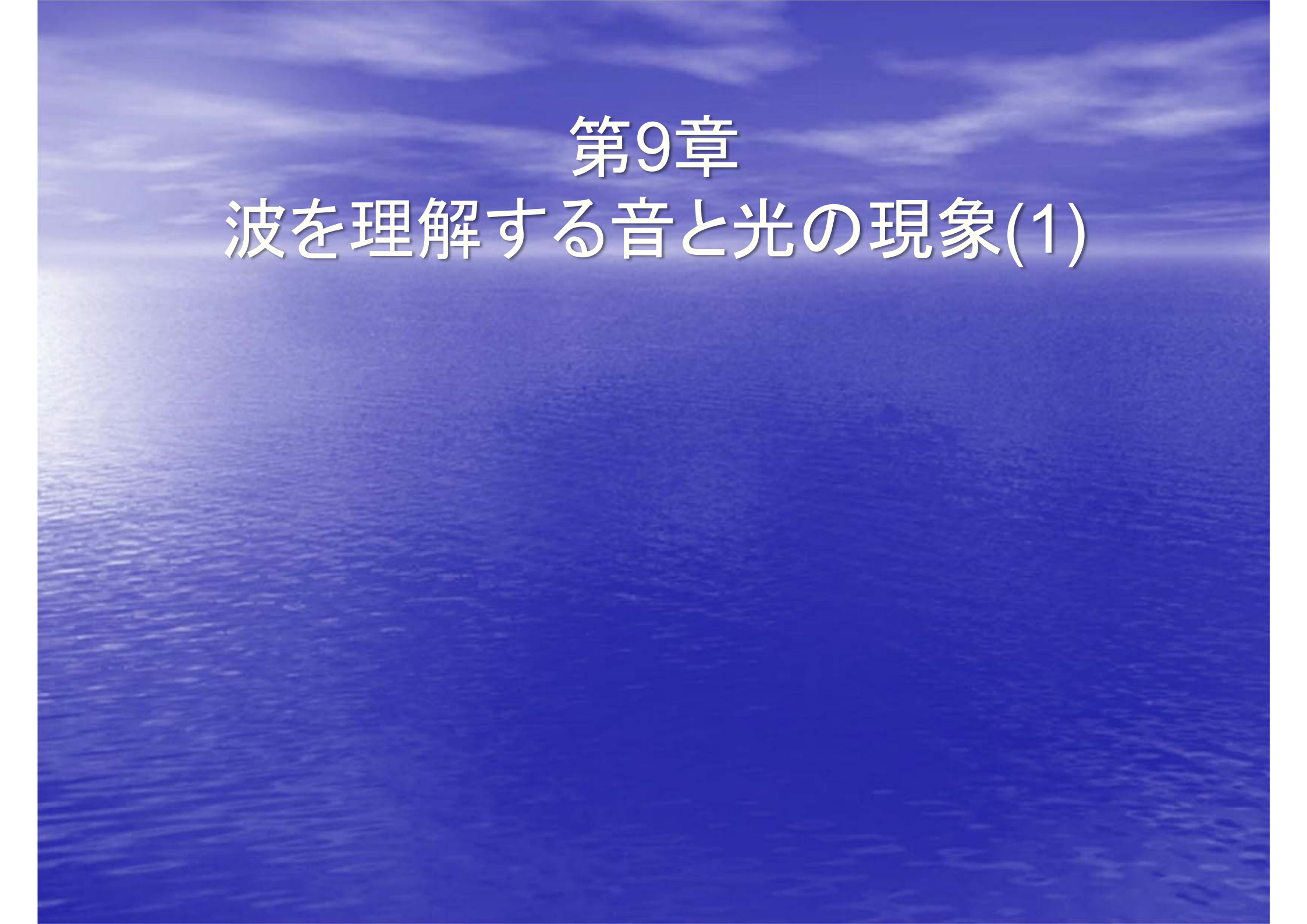
波の重ね合わせ



波の重ね合わせは、
高さの足し算になる

干渉

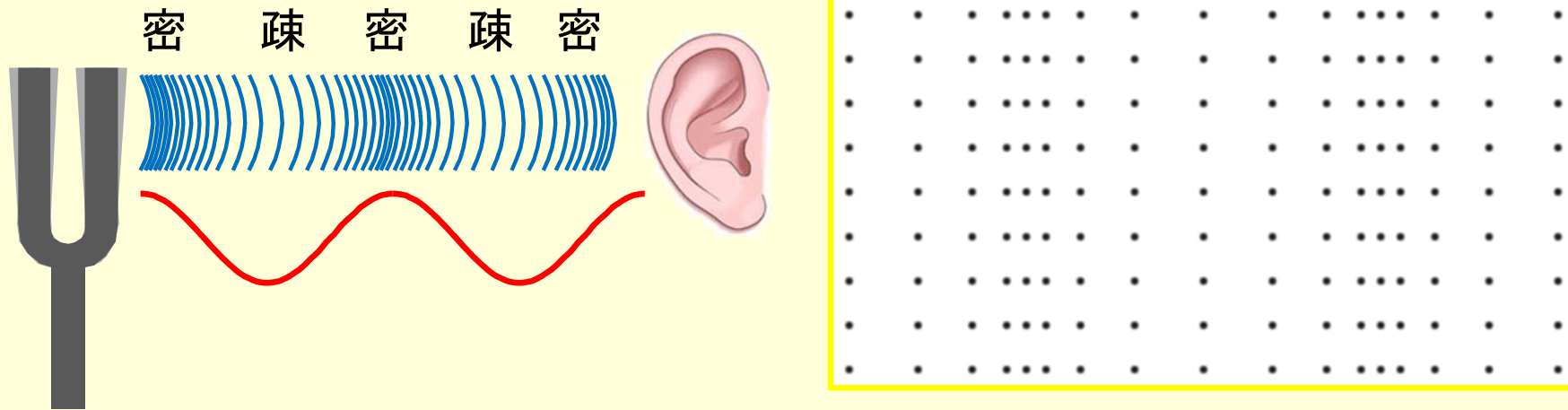




第9章

波を理解する音と光の現象(1)

音波



音とは、音源が振動することで空気の分子が左右に振動し、**縦波**（疎密波）となって耳に伝わることです。つまり、**空気のない真空の状態では音は伝わりません**。この音の波を**音波**といいます。

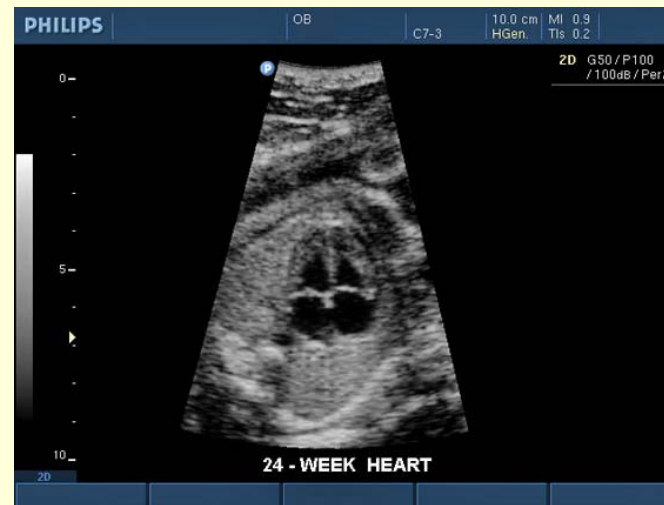
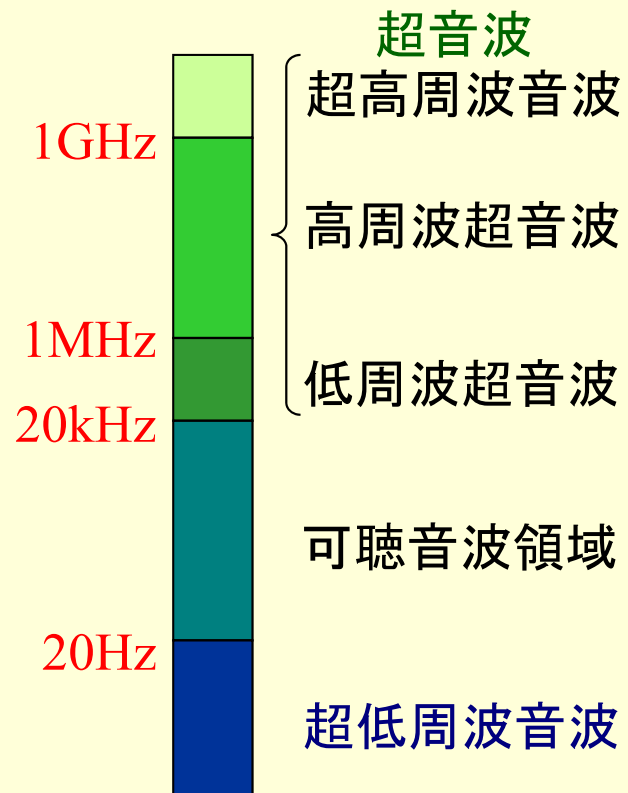
音を伝える空気の圧力を音圧といいます。ヒトが聞くことの出来る音圧は、 $20[\mu\text{Pa}]$ から $20[\text{Pa}]$ とされ、基準となる $20[\mu\text{Pa}]$ に対する音圧の比率を使って音の大きさを表します。

$$\text{dB} = 20 \times \log_{10} \frac{\text{調べたい音圧}}{20}$$

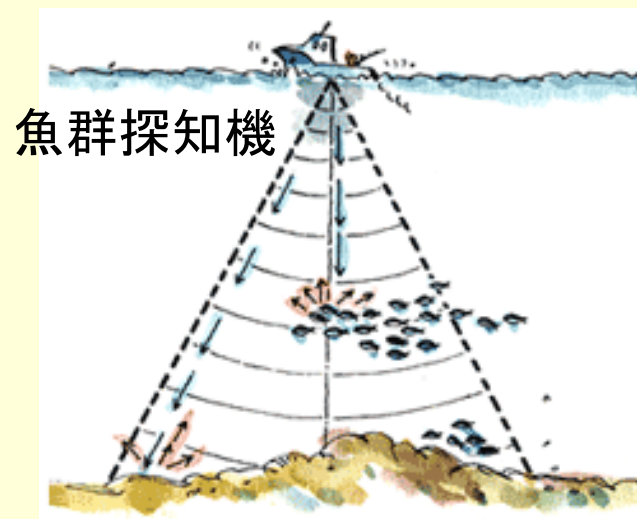
音波の進む速さは気温と関係があり、気温が上がるほど速くなりますが、一般的には気温 $15[^\circ\text{C}]$ のときの音速 $340[\text{m/s}]$ を使います。

超音波とその利用

音波は周波数が高いほど高音、低いほど低音を表します。ヒトの耳に聞こえる約20Hz～20kHzを可聴領域、これ以下(<20Hz)を超低周波領域、また越えると(>20kHz)超音波領域といいます。

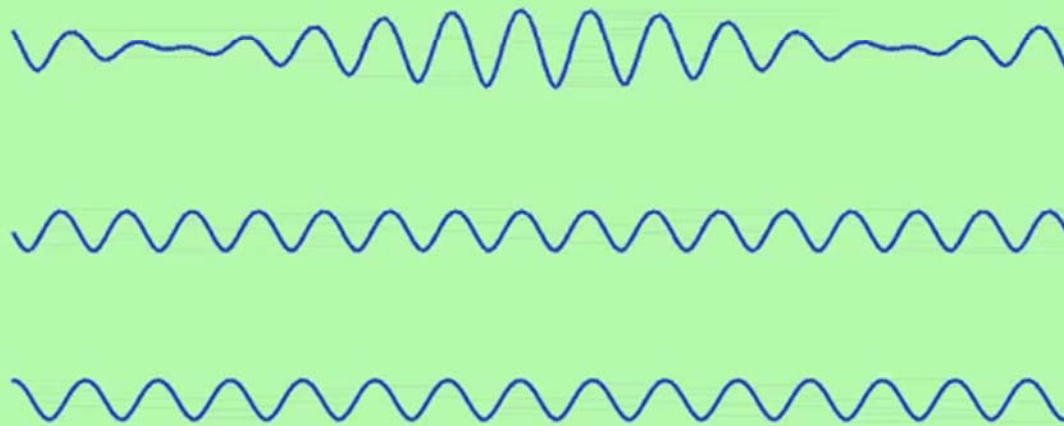


超音波診断装置(エコー)



超音波洗浄機

うなり



2つの近い波長の音を同時に出したとき、音が大きくなったり小さくなったりして聞こえる。これをうなりと言う。

うなりの振動数 f は、

$$f = f_1 - f_2$$

のように、それぞれの振動数の差に等しい。

 440Hz

 441Hz

 442Hz

 440.5Hz

音色

音の周波数が2倍になることを、1オクターブ上がるといいます。27.5HzのA0を基準に、さらにその倍の周波数55Hz、110Hz、220Hz、440Hzをそれぞれ、A1、A2、A3、A4の音階と表します。

1オクターブの間隔の音は、さらに12の音階に分割することができます。一般に、1オクターブの間をとり合う音階の周波数が $2^{1/12}$ となるように決められており、これを平均律音階という。

音階	A4に対する比	周波数	音名
A4	1	440	ラ
A#4	$2^{1/12}$	466	ラ#
B4	$2^{2/12}$	494	シ
C4	$2^{3/12}$	523	ド
C#4	$2^{4/12}$	554	ド#
D4	$2^{5/12}$	587	レ
D#4	$2^{6/12}$	622	レ#
E4	$2^{7/12}$	659	ミ
F4	$2^{8/12}$	698	ファ
F#4	$2^{9/12}$	740	ファ#
G4	$2^{10/12}$	784	ソ
G#4	$2^{11/12}$	831	ソ#
A5	2	880	ラ

救急車のサイレン




700Hz


960Hz




831Hz
(ソ#)

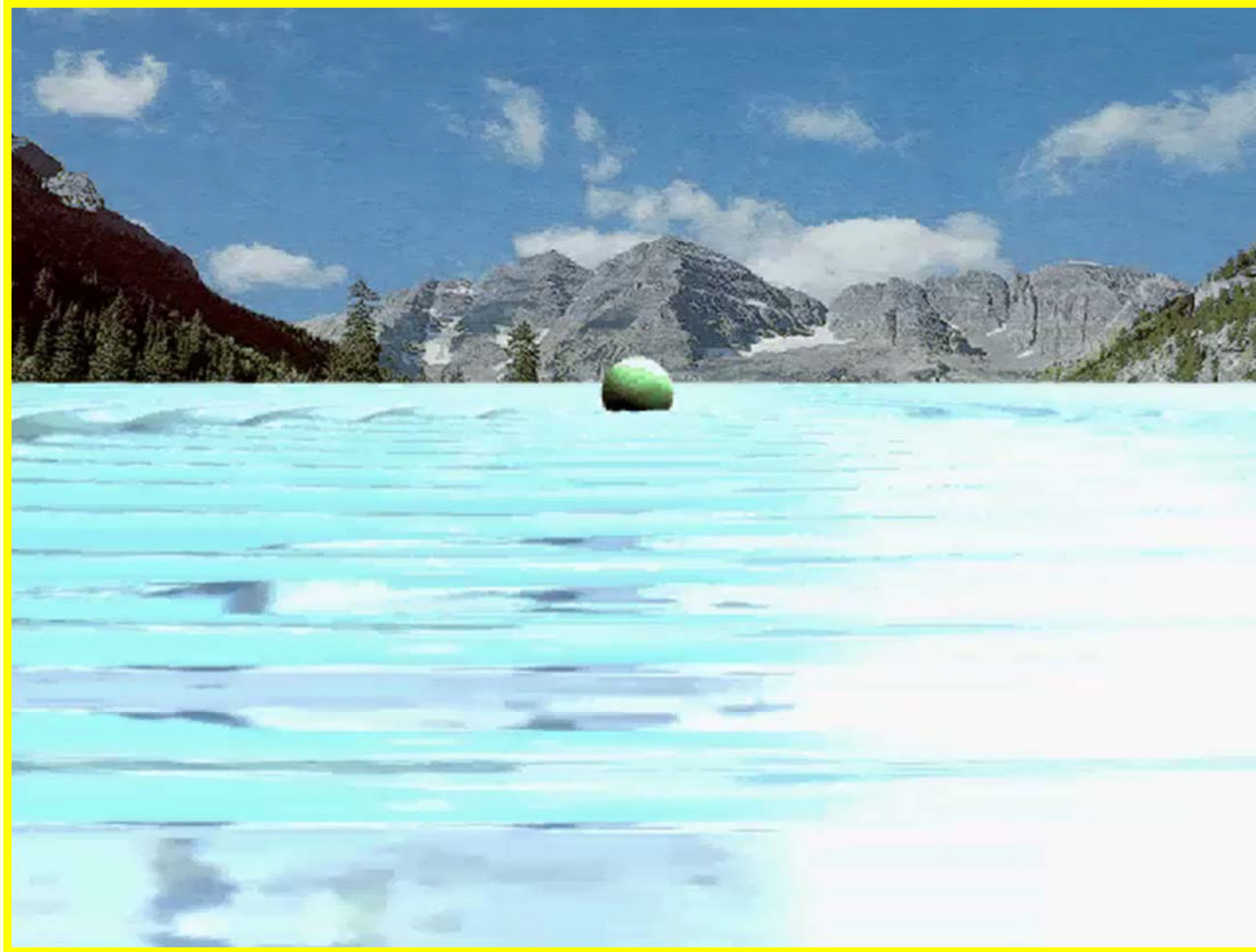

1046Hz
(ド)



救急車が60[km/h]で走っているとする、秒速は17[m/s]となる。近づいてくるときは、同じ方向の波を追うことになるので、音速340[m/s]に対して、 $17[m/s] / 340[m/s] = 5\%$ が圧縮され、遠ざかるときは逆に5%伸張される。このように音源や観測者が移動することで、音の周波数が変化する現象をドップラー効果という。

救急車のサイレンの音は、700[Hz]と960[Hz]、音階で言うと'ソ' (783[Hz])と'シ' (987[Hz])に近い音なので、止まっている時に音を聞くと'ソーシーソーシー'と聞こえ、5%はほぼ半音に相当するので、60[km/h]で近づく救急車の音は'ソ#ードーソ#ードー'に聞こえる。

ドップラー効果 (観測者が音源に向かっていくとき)

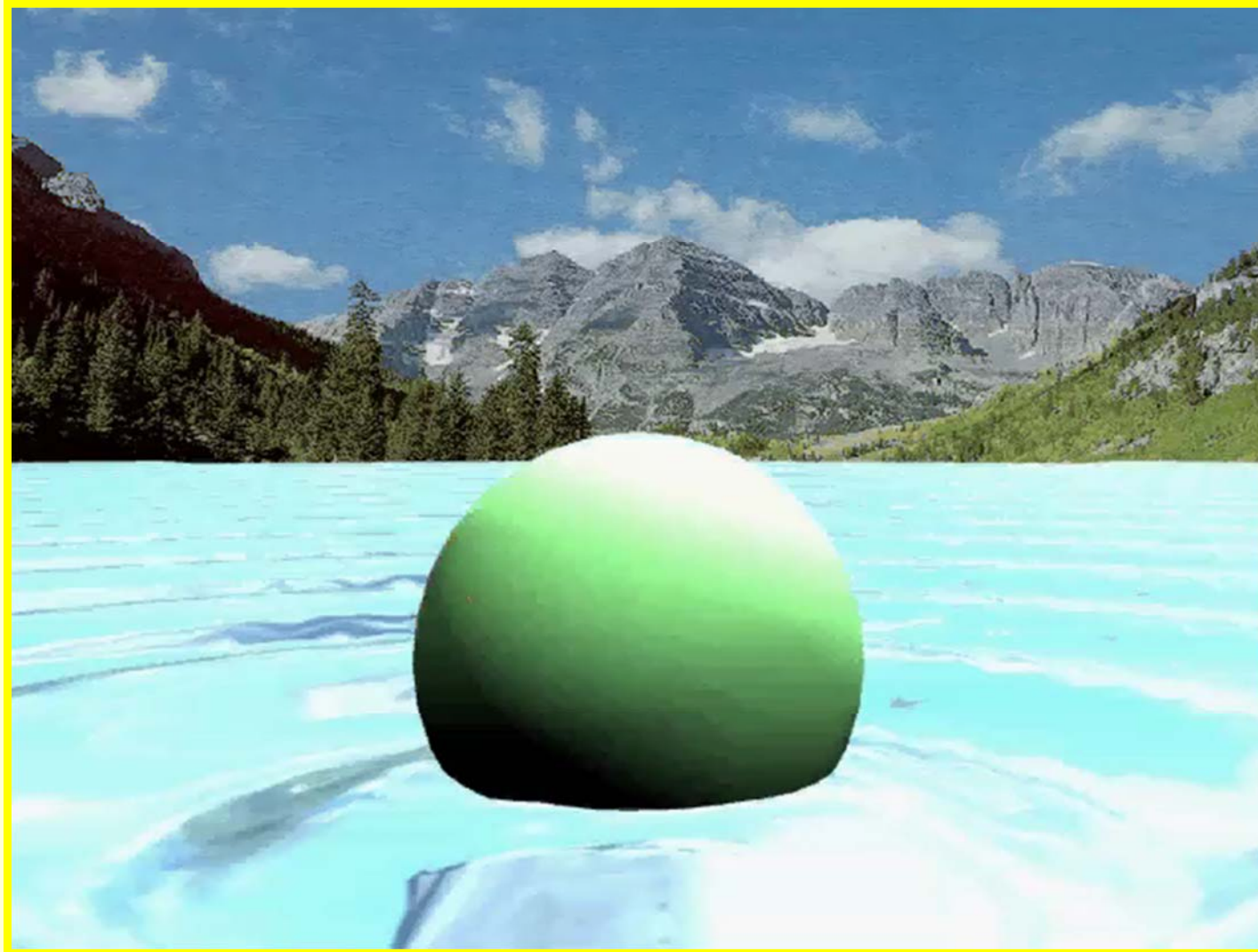


ここに
注目



音源に近づくと振動数が大きくなる

ドップラー効果 (観測者が音源から離れていくとき)

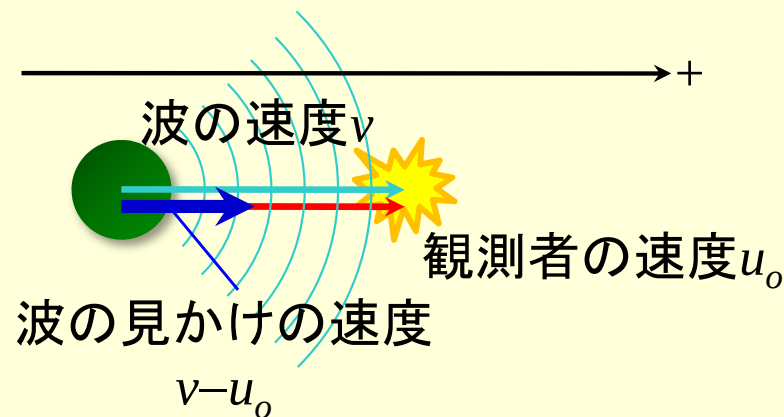
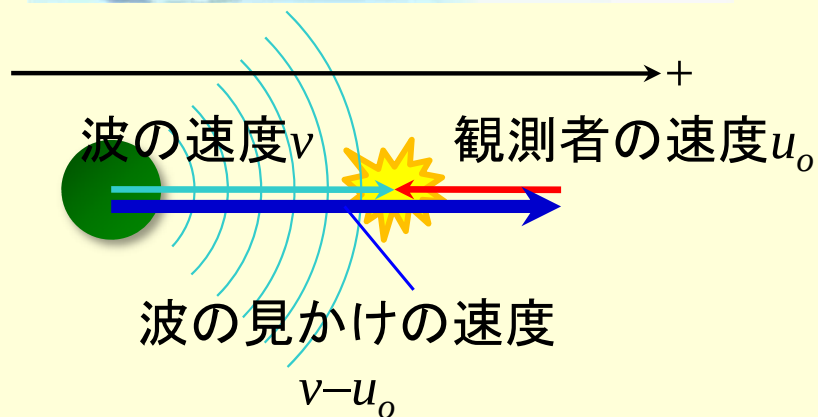
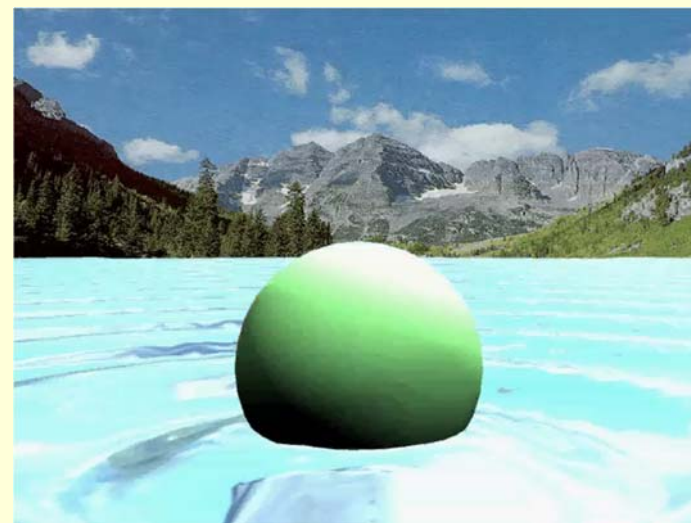
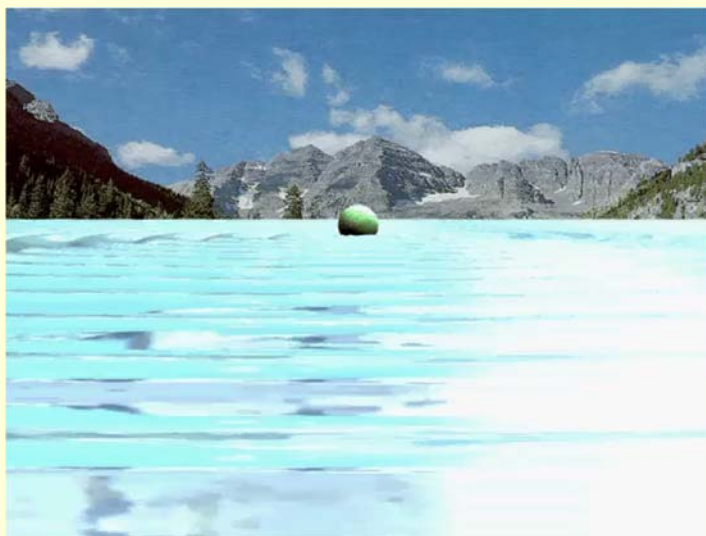


ここに
注目



音源から離れると振動数が小さくなる

ドップラー効果 (観測者が動くとき)



$$v - u_o = f' \lambda$$

$$v = f \lambda$$

$$v - u_o = f' \lambda$$

$$f' = \frac{v - u_o}{\lambda}$$

u_o が負なので、
 f' は f より大きくなる

$$f' = \frac{v - u_o}{\lambda}$$

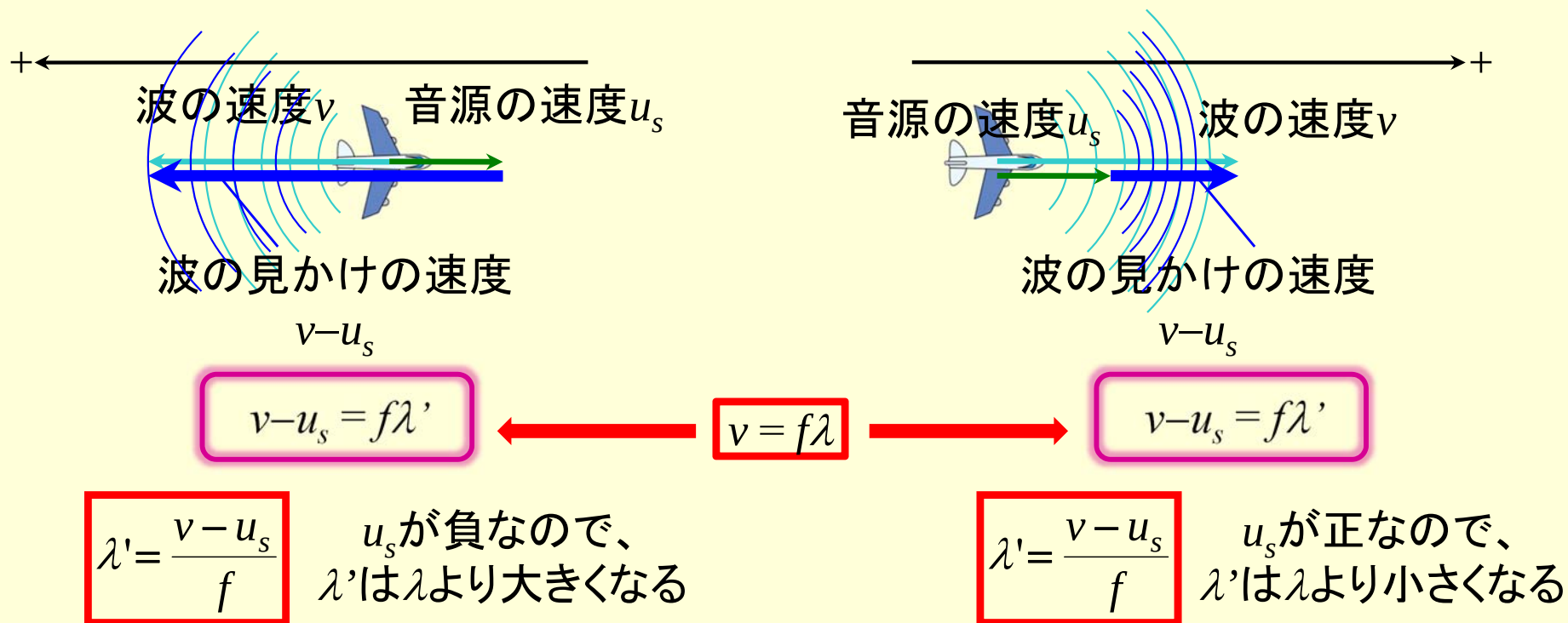
u_o が正なので、
 f' は f より小さくなる

ドップラー効果 (音源が移動するとき)



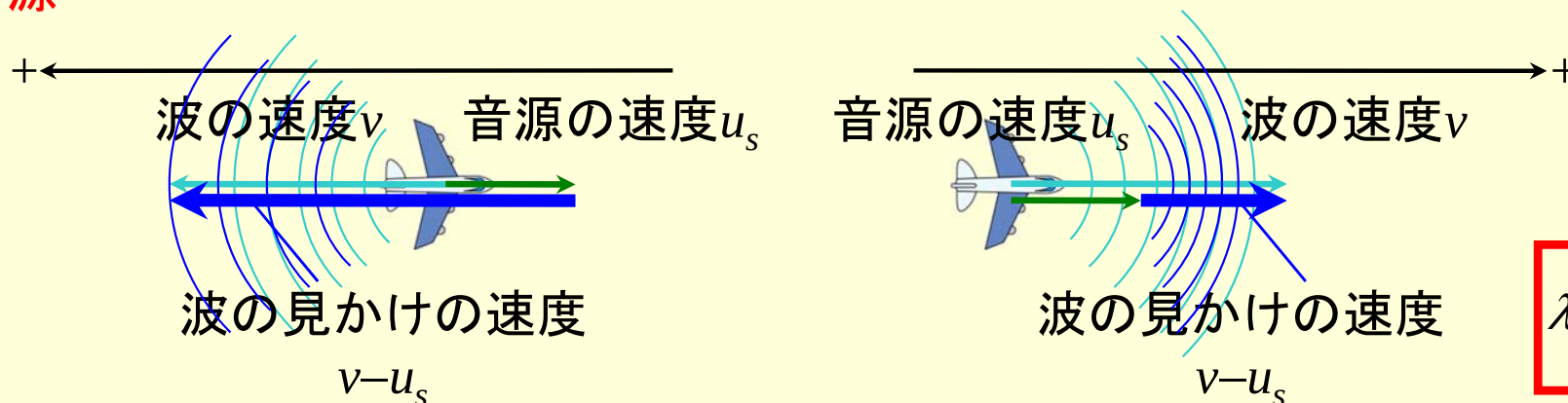
前の波は波長が短く(振動数が高く)、後の波は波長が長く(振動数が低く)なる。

ドップラー効果 (音源が移動するとき)



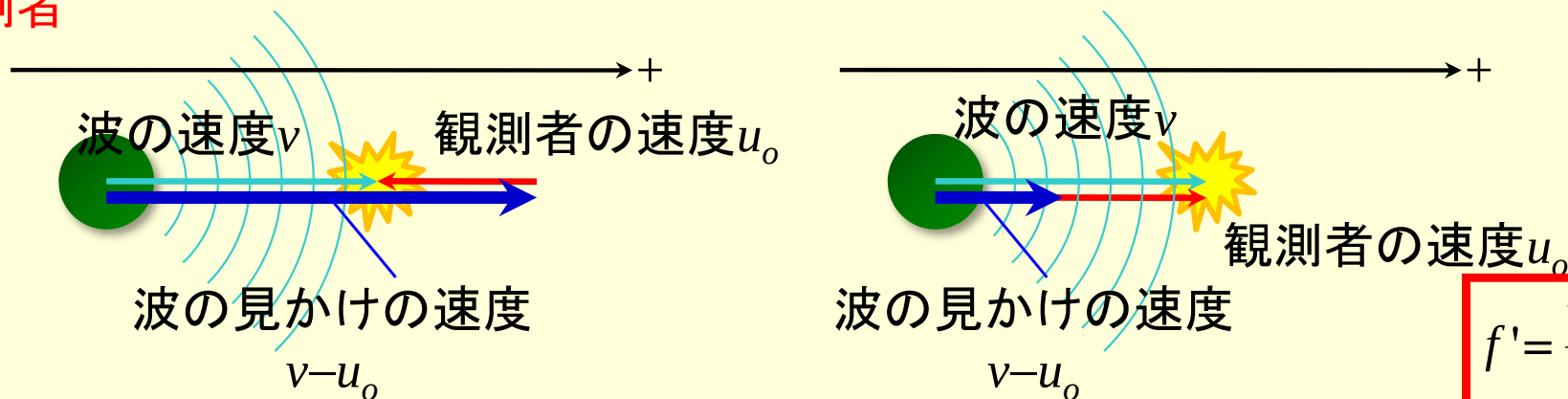
ドップラー効果

音源



$$\lambda' = \frac{v - u_s}{f}$$

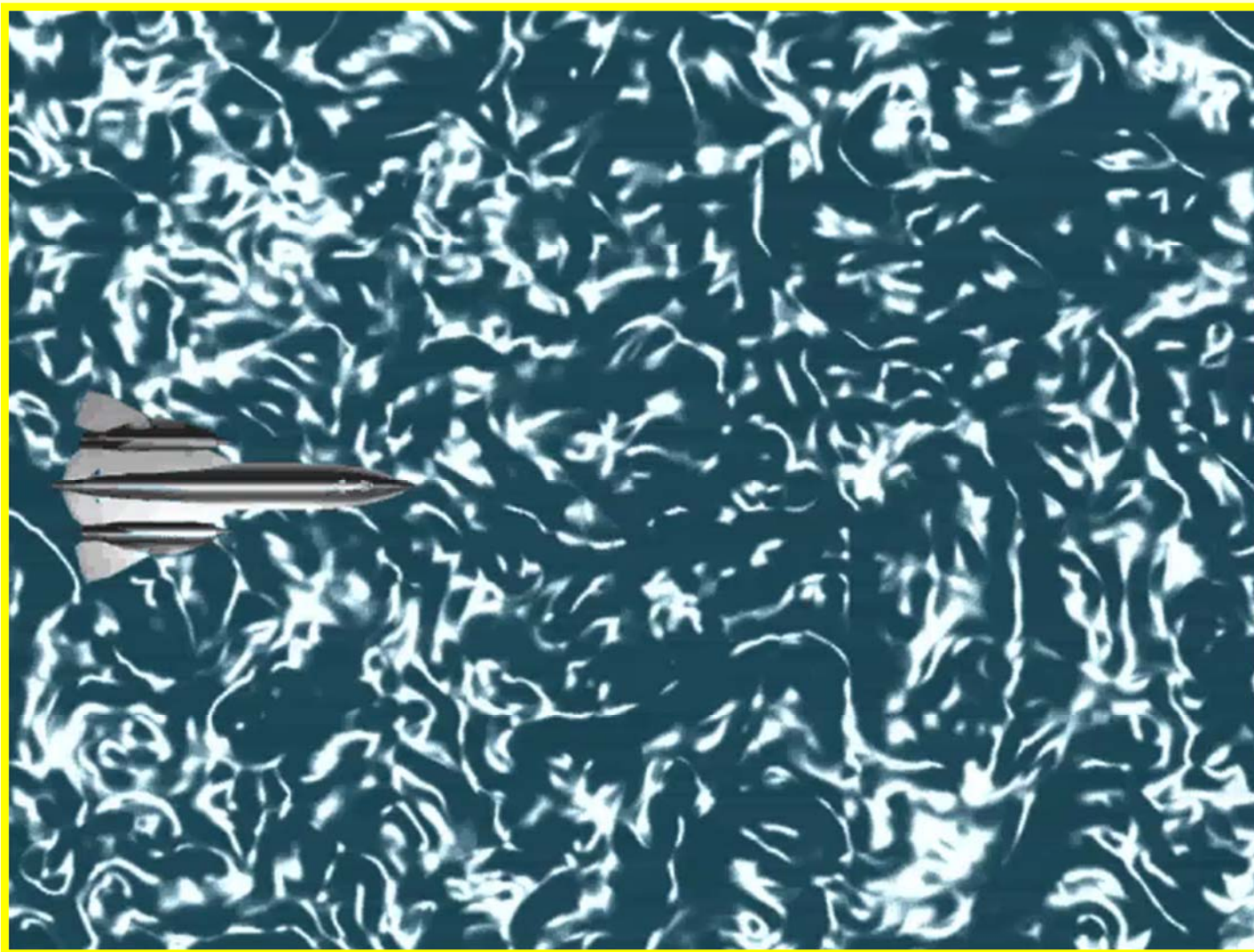
観測者



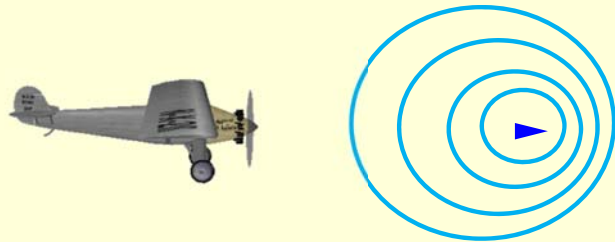
$$f' = \frac{v - u_o}{\lambda}$$

$\lambda' = \frac{v - u_s}{f}$ を $f' = \frac{v - u_o}{\lambda}$ に代入すると $f' = \frac{v - u_o}{\lambda'} = \frac{v - u_o}{v - u_s} \times f$

音速を超えると



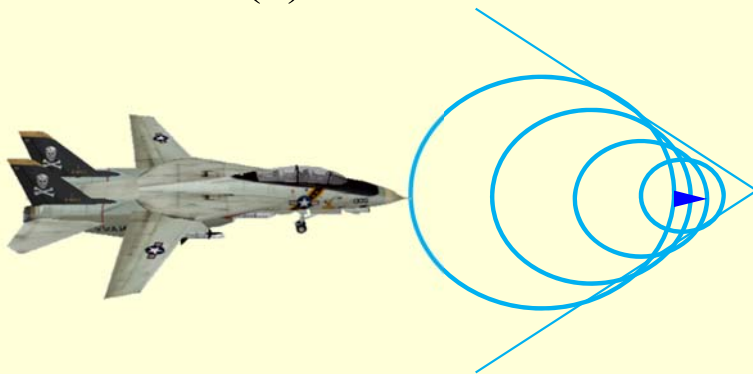
音速と超音速



(a) 亜音速



(b) 音速



(c) 超音速

亜音速や音速で飛ぶ飛行機の先端からは、頭部波が生じる。

飛行機が音速と等しくなったとき、頭部波が全て重なり、高圧の円板(ディスク)が生じる。音速を超えた瞬間、ディスクを維持する条件が突然消え、一気に膨張するため、ドーンという爆発音と共に、急激に冷却された水蒸気が凍結して雲が発生する。

超音速の場合は、高圧の衝撃波が生じ、観測者の上を通過するときに衝撃音として聞こえる。



戦闘機が音速を超えた瞬間