

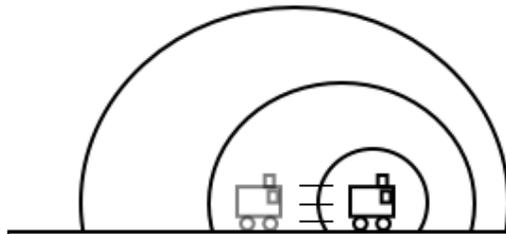
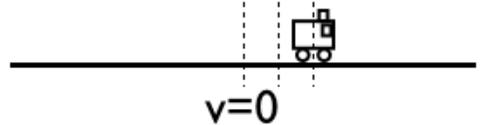
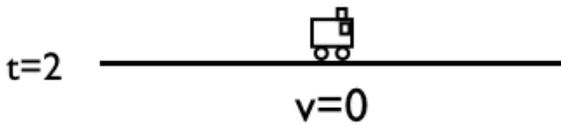
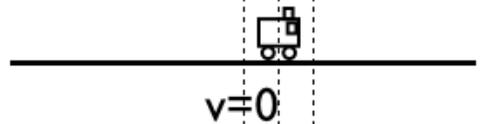
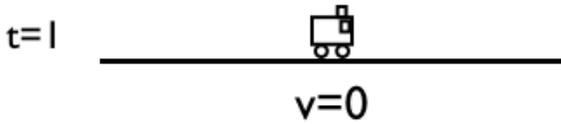
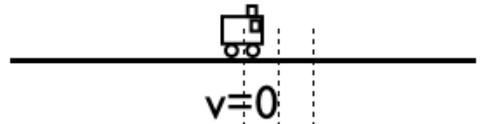
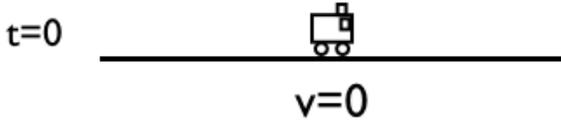
ドップラー効果

救急車が近づいてくるとき通常の音よりも（ ）音が、遠ざかるときは（ ）音が聞こえてくる。このように発音体が動きながら音を出す場合、音の高低が変化する。これを（ ）いう。なぜ起こるのでしょうか？イラストで考えてみましょう。



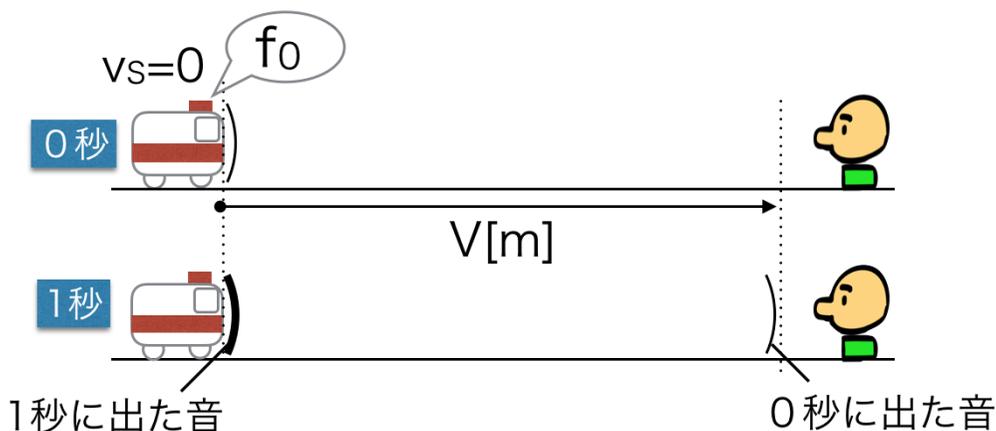
静止

移動



○ 音源(sound source)が動くとき ⇒ 音源から出る波の が変化する！

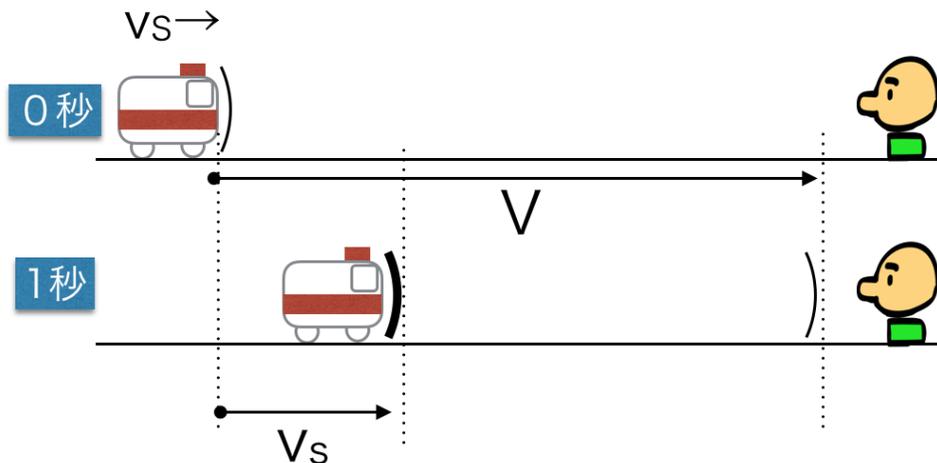
波源から出る音の振動数を f_0 [Hz]、音の速度を V [m/s]、音の波長を λ_0 [m] とする。音源が静止しているとき、この波の先頭は 1 秒間に V [m] 進み、この間には f_0 個の波が音源から出される。



このときの音の波長は、 $v=f\lambda$ より $\lambda_0 = (\quad)$ となる。

パターン1 音源が観測者に近づくとき

音源(sound source)が速度 v_s [m/s] で動くと、音源を出た波の先頭は 1 秒間に V [m] 進むことになり変わらないが、音源自体も 1 秒後には v_s [m] だけ進んでいる。



すると、波の先頭と音源の間の距離 () [m] に f_0 個の波が入ることになり、観測者に届く波の波長 λ' は、

$$\lambda' = (\quad) \text{ ①}$$

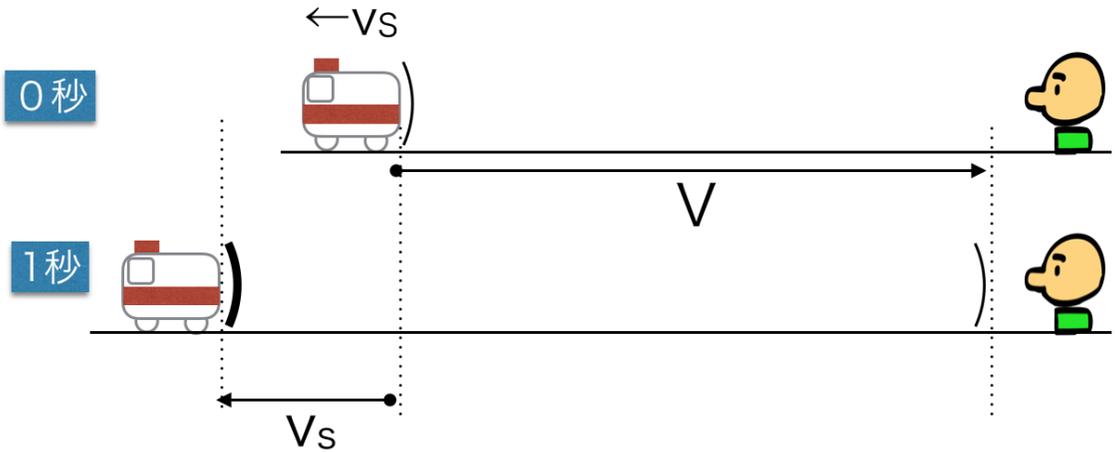
観測者が聞く音の速さは変わらないので V [m/s] である。よって、観測者が聞く音の振動数 f' は、

$$f' = (\quad) = (\quad)$$

よって音が高くなって聞こえる。

パターン2 音源が観測者から遠ざかるとき

観測者から遠ざかるときは、上式の音源(sound source)の速度 v_s [m/s]の前の符号が逆になると考えても良いが、同じようにイラストをつかって考えてみると…、



観測者に届く波の波長は、

$$\lambda' = (\quad)$$

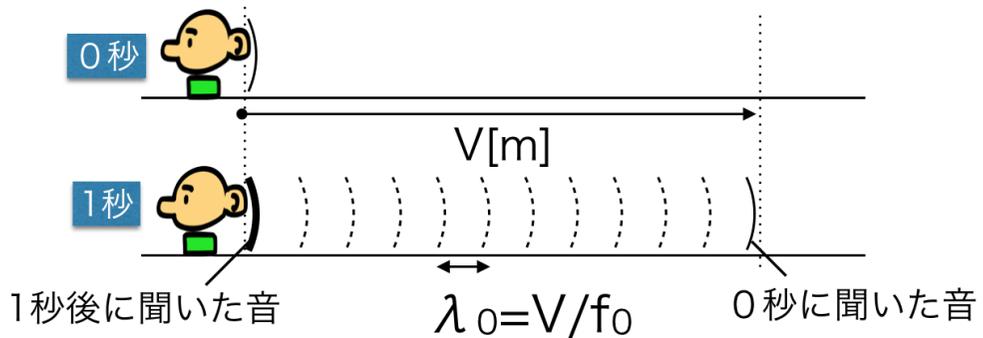
観測者が聞く音の振動数 f' は、

$$f' = (\quad) = (\quad)$$

よって、低い音が聞こえる。

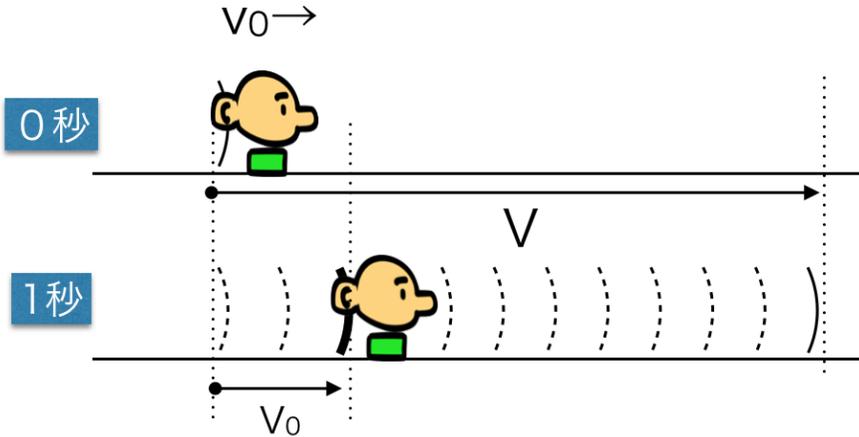
○観測者 (observer) が動くとき⇒人が聞く が変化する！

波源から出る音の振動数を f_0 [Hz]、速度を V [m/s]、波長を λ_0 [m]とする。観測者を通りすぎる波に注目しよう。静止しているときは、観測者を通り過ぎる波全体の長さは1秒間に V [m]である。



パターン3 観測者が音源から遠ざかるとき

観測者(observer)が速度 v_0 [m/s]で動くと、観測者自身が1秒後には v_0 [m]だけ進んでいるので、観測者を通り過ぎる波全体の長さ() [m]となる(この範囲の音波しか観測者は聞くことができなくなる)。



観測者が聞く波の波長は λ_0 [m]に変わらない(観測者の動きと波長は関係ない!)ので、1秒間に観測者を通り過ぎる波の個数(=振動数)は、

$$f' = (\quad)$$

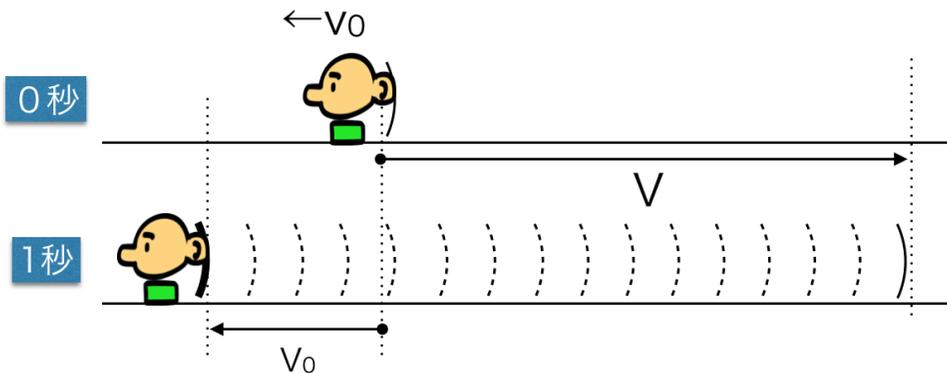
ここに $\lambda_0 = \frac{v}{f_0}$ を代入すると、

$$f' = (\quad)$$

となり、音は低く聞こえる。

パターン4 観測者が音源に近づくとき

観測者が音源に近づくとき観測者が音源に近づくときには、上式の観測者の速度 v_0 [m/s]が負の値になるだけであると考えても良いが、同じようにイラストで考えてみよう。



1秒間に観測者を通り過ぎる波の個数（=振動数）は、

$$f' = (\quad) \text{ ②}$$

ここに $\lambda_0 = \frac{v}{f_0}$ を代入すると、

$$f' = (\quad)$$

となり、音は高く聞こえる。

○音源も観測者も動くとき

音源から出る音の振動数を f_0 [Hz]、速度を V [m/s]、波長を λ_0 [m] とする。観測者(observer)が速さ v_o [m/s] で音源から遠ざかり、音源(sound source)が速さ v_s [m/s] で観測者に近づく場合を考える。



まず、音源の前にある波の波長は音源が動いたことで変化し、プリント「音源が観測者に近づくとき」①より、

$$\lambda' = (\quad) \quad A$$

観測者が聞く音の波長は λ' 、聞く音の長さは $V - v_o$ m なので、聞く波の個数（振動数 f ）は、前のプリント「観測者が音源から遠ざかる場合」②より

$$f' = (\quad) \quad B$$

A、Bより、

$$f' =$$

となる。分母には、音源の速度の効果が入り、分子には観測者の速度の効果が入ることが確認できる。

○ テクニックで解く「ドップラー効果」

- ・ドップラー効果によって聞こえる音の振動数は、基本的にはイラスト等を描きながら考えていくとよい。
- ・ドップラー効果によって聞こえる音の振動数は、次のような手順で一気に導くこともできる(あくまで受験テクニックなので、参考までに載せておきます)

- ① 音源(クチ) ⇒ 観測者(ミミ) に向かって音速 V の矢印をかく。同じ矢印を観測者にもかく。
- ② 音源と観測者が動く速さ v_s 、 v_o の矢印をそれぞれかき、矢印の間の距離をだす。
- ③ 「クチ ブンノ ミミ」の式を作る。

練習(1つ前の問題を使って)

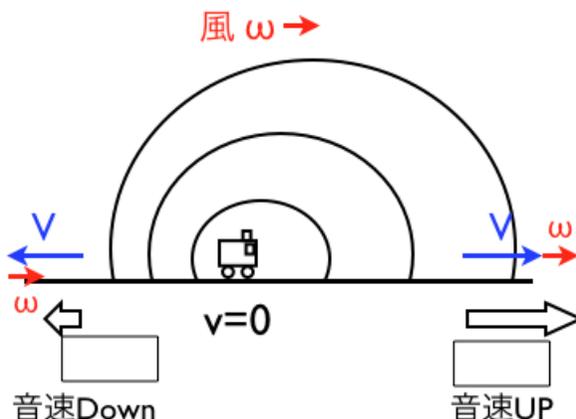
音源から出る音の振動数を f_0 [Hz]、速度を V [m/s]、波長を λ_0 [m] とする。観測者(observer)が速さ v_o [m/s] で音源から遠ざかり、音源(sound source)が速さ v_s [m/s] で観測者に近づく場合を考える。



◎ドップラー効果と特殊な4つの条件

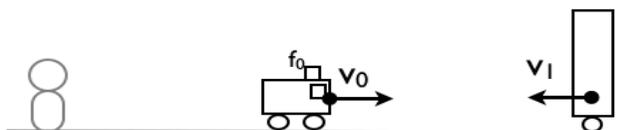
条件1 風が吹いている場合

風とは空気粒子全体の移動のことである。音波の媒質は空気粒子であるから、風が吹いている場合には（ ）を変化させて考える。



条件2 壁からの反射音を聞く場合

下の図のように音源の前に壁がある場合、観測者は音源から直接聞く音と、音源から壁に届いた音波が、壁から反射して観測者に届く音を同時に聞くことになる。このとき観測者は「うなり」を聞く。



復習 うなり・・・振動数が違う2つの音 f_1, f_2 を同時に聞くと、大きい音と小さい音が連続的に起こりうなる現象のこと。

1秒間に聞くうなりの回数は次の公式で求めることができる。

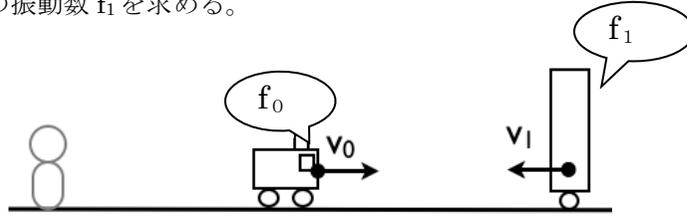
$$1 \text{ 秒あたりのうなりの回数} = (\quad)$$

直接音はこれまでのドップラー効果の公式で求めることができる。また、反射音は **2段階に分けて** 求める。1秒間に聞くうなりの回数を求めてみよう。

○ 反射音の振動数 f_1 の求め方

反射音は二段階で求めている。まず①音源から出た音が、壁でどのように聞こえたのかを求める。そして、②壁が聞いた音が反射され、観測者に届いたように考えていく。

① 壁が聞いた音波の振動数 f_1 を求める。



$$f_1 = (\quad)$$

② 壁から返ってきた音波 f_1 を観測者が聞く

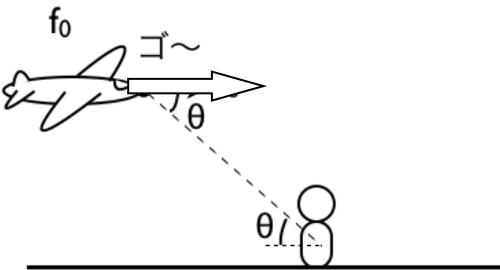


$$f_2 = (\quad)$$

$$= (\quad)$$

条件3 斜めからやってくる場合

ドップラー効果は、音源が観測者に対して向かってくるのか？遠ざかるのか？が大切なので、斜め方向の速度は観測者に向かう速度成分（視線速度）のみを取り出して考える。



観測者に向かう速度成分（視線速度）
 $v_s \Rightarrow$

観測者が聞く音の振動数を求めると

$$f' = (\quad)$$

条件4 音源が円運動する場合

ドップラー効果と円運動を組み合わせた問題も出題されるが、視線速度を考えて、振動数最大から次の振動数最小の位置、などそれぞれの音源の場所ではどのような振動数の音となるかを考えられるようにしよう。

