**入試問題研究 第118回　2002年 奈良女子大学 ④ 波動(ドップラー効果)**

音は空気の振動が空間を伝わってゆく現象である。また、風は空気が移動する現象である。このため風が吹いているときと吹いていないときでは音の伝わり方に違いが生じる。風が吹いていないときの音の速度を $V_0$ とする。

A. 風が吹いていない場合について、以下の問いに答えよ。

問1 振動数 $f_0$ の音源が一定の速度 $v$ で進んでいるとき、音源の進行方向に伝わる音の波長と逆方向に伝わる音の波長をそれぞれ求めよ。

問2 列車の先端と後端に振動数 $f_0$ の音源が取り付けられているとする。この列車がまっすぐな線路の上を速度 $u$ で進んでおり、線路の横に観測者がいるとする。列車が観測者の横を通過したとき、観測者にはうなりが聞こえた。うなりは毎秒何回聞こえたか。

B. 風が吹いている場合について以下の問いに答えよ。ただし、風は地面と平行に一定の速度 $w$ で吹いていたものとする。

問3. 振動数 $f_0$ の音源が地面に置かれているとする。風が吹いてくる方向(風上の方向)に伝わる音の波長と、それと逆方向(風下の方向)に伝わる音の波長をそれぞれ求めよ。

問4. 問2と同じ状況で列車が進んでおり、列車の進行方向と同じ方向に風が吹いている場合を考える。列車が観測者の横を通過したとき、うなりが聞こえた。このうなりは、毎秒何回聞こえたか。また、風の速度 $w$ が列車の速度 $u$ と等しい場合に毎秒聞こえるうなりの回数は、問2の場合と比べて大きいか小さいか。

# 入試問題研究 第118回　2002年 奈良女子大学 ④ 波動(ドップラー効果) 解答・解説

※ドップラー効果の公式を暗記しているだけでは難しい。ドップラー効果の公式を導出することができることが大切です(教科書参照)。

A. 風が吹いていない場合について、以下の問いに答えよ。

問1 波長は波の山から山の距離である。最初に山を出し、1周期後に次の山を出すから、この距離を求めれば、それが音の波長だ。振動数 $f_0$ だから周期は $T=\dfrac{1}{f_0}$ である。音速が $V_0$ 、音源の速度が $v$ だから、音源の進行方向に伝わる音の山から山の距離(波長)は、 $V_0T-vT$ になる。よって、波長は $\dfrac{V_0-v}{f_0}$ である。同様にして、音源の進行方向と逆方向に伝わる音の山から山の距離(波長)は、 $V_0T+vT$ になる。よって、波長は $\dfrac{V_0+v}{f_0}$ である。

問2 列車が観測者の横を通過したときの先端からの音、後端からの音の振動数の差がうなりの振動数だから、2つの音源からの音の振動数を求めればよい。

問1より、列車の先端から出る音(音源の後方に伝わる音)の波長は $\lambda_H=\dfrac{V_0+u}{f_0}$ だから、$f=\dfrac{V}{\lambda}$ の公式より、その音の振動数は $f_H=\dfrac{V_0}{V_0+u}\cdot f_0$ である。

同様に、列車の後端から出る音(音源の前方に伝わる音)の波長は $\lambda_T=\dfrac{V_0-u}{f_0}$ だから、$f=\dfrac{V}{\lambda}$ の公式より、その音の振動数は $f_T=\dfrac{V_0}{V_0-u}\cdot f_0$ である。よって、観測者に聞こえるうなりの振動数は $|f_H-f_T|$ より、うなりは毎秒に $\dfrac{V_0}{V_0-u}\cdot f_0-\dfrac{V_0}{V_0+u}\cdot f_0=\dfrac{2V_0u}{V_0^2-u^2}\cdot f_0$ 回聞こえる。

B. 風は地面と平行に一定の速度 $w$ で吹いていたものとする。問1と同様にすればよい。

問3. 風が吹いてくる方向(風上の方向)に伝わる音の速度は $V_0-w$ になるので、山から山の距離(波長)は $\dfrac{V_0-w}{f_0}$ である。それと逆方向(風下の方向)に伝わる音の速度は $V_0+w$ になるので、山から山の距離(波長)は $\dfrac{V_0+w}{f_0}$ である。

問4. 観測者に伝わる音の速度を求める。列車が先端からの音の速度は $V_0-w$ になる。よって、波長は $\dfrac{V_0-w+u}{f_0}$ だから振動数は $f_H=\dfrac{V_0-w}{V_0-w+u}\cdot f_0$ である。列車の後端からの音の速度は $V_0+w$ になる。よって、波長は $\dfrac{V_0+w-u}{f_0}$ だから振動数は $f_T=\dfrac{V_0+w}{V_0+w-u}\cdot f_0$ である。

よって、毎秒 $\dfrac{V_0+w}{V_0+w-u}\cdot f_0-\dfrac{V_0-w}{V_0-w+u}\cdot f_0=\dfrac{2V_0u}{V_0^2-(w-u)^2}\cdot f_0$ 回のうなりが聞こえる。

また、風の速度 $w$ が列車の速度 $u$ と等しい場合、毎秒 $\dfrac{2u}{V_0}\cdot f_0$ 回のうなりになる。

また、問2の場合と比べると $\dfrac{2V_0u}{V_0^2-u^2}\cdot f_0>\dfrac{2u}{V_0}\cdot f_0$ だから、うなりの回数はより小さくなる。