

扇風機による音の変化

愛媛県立松山南高等学校 理数科 3年 上田朝陽 大原千尋
廣川直哉 和氣史佳
指導教員 安藤 華

1 課題設定の理由

扇風機に向かって声を発すると声が震えたように変化する。また、扇風機の風量を変えると、発している声の高さを変えていなくても声の高さが変わったように聞こえる。誰もがよく知っている現象であるが、実験でその仕組みを明らかにしている先行研究がないことに驚いた。

そこで、私たちは、扇風機が音にどのような影響を与え、声に変化して聞こえるのかについて研究することにした。具体的には、扇風機の羽根の回転速度や枚数、角度などが声の変化に影響するのではないかと考え、扇風機の羽根のさまざまな要素を変えて研究を行った。

2 実験方法及び結果・考察

まず、扇風機に向かって声を発したときに声が震えて聞こえる原因を予測するため、声の波形と扇風機に向かって声を発したときの波形を測定し、比較した。ここで、人の声は常に一定の音を出し続けることが困難であり、波形も複雑であるため、実験に適していない。そのため、人の声の代わりに、波形が単純で一定の音を長時間保つことができる振動数 2000Hz のドップラーおんさを音源として使用した。

(1) 【実験 1】

①実験方法

扇風機、音源（2000Hz のドップラーおんさ）、マイクを図 1、図 2 のように設置して、フリーソフトのハンディ・オシロスコープで波形を測定する。

図 1 のように、マイクを扇風機の前に設置する場合と、図 2 のように、後ろに設置する場合に分けて行った。



図 1 扇風機の前にマイクを設置した場合



図 2 扇風機の後ろにマイクを設置した場合

②実験結果

マイクを扇風機の前、後どちらに設置しても、ドップラーおんさのみのとき（図3）とは、大きく異なる波形が得られた。マイクを扇風機の後ろに設置した場合よりも扇風機の前に設置した場合の方が、波形全体が揺らいでいるが、どちらも振幅が周期的に大きくなったり小さくなったりしているように見える（図4、図5）。

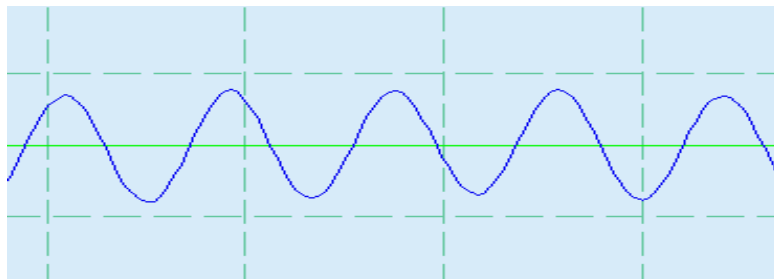


図3 ドップラーおんさ(2000Hz)のみの波形

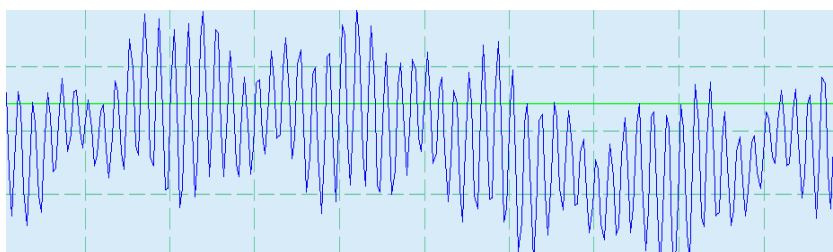


図4 扇風機の前にマイクを設置した場合の波形

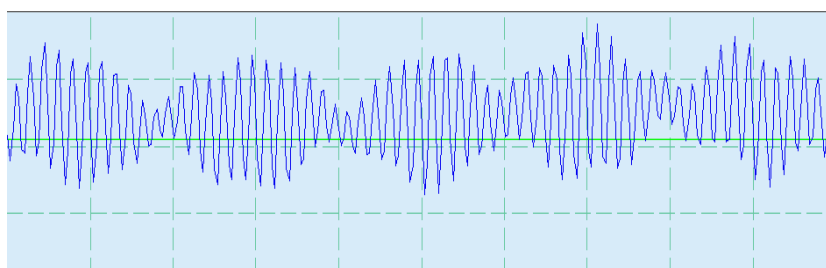


図5 扇風機の後ろにマイクを設置した場合の波形

③考察

実験1の結果から、扇風機によって声が変わって聞こえる原因について、次の2つの理由を考えた。

1つ目は、扇風機の羽根の回転によって、音が羽根に当たる時間と当たらない時間が交互に訪れることで音量の変化が生じ、振幅が大きくなったり小さくなったりしているのではないかと考える。マイクを扇風機の前に設置した場合は、音が羽根に当たるとマイクの元へ音が返ってくるため波形の振幅が大きくなり、羽根に当たらなかったときに振幅が小さくなる。後ろに設置した場合は、その逆である。

2つ目は、得られた波形がうなりの波形と似ていることから、扇風機の羽根によってうなりが生じているのではないかと考える。うなりは、異なる2つの振動数の音が干渉することで生じる。そこで、私たちは扇風機の羽根での反射によってドップラー効果がおき、元の音源と異なる振動数の音が生じているのではない

かと考えた。

扇風機によって声が変わって聞こえる原因について考えた2つの理由を確かめるために、実験2、実験3を行うことにした。

(2) 【実験2】

①実験の目的

予備実験で得られた波形の周期的な振幅変化が、扇風機の羽根が周期的に音を遮ることによって生じているとすると、羽根の条件を変えることにより、規則的な波形の変化が見られるのではないかと考えた。

そこで、羽根の枚数や角度、回転速度を変え、波形が変化するかを確認する。

②仮説

回転数を大きくすると、扇風機の羽根が音を遮る周期が小さくなるため、振幅変化の周期も小さくなる。また、羽根の枚数が多い場合も音を遮る周期が小さくなるため、振幅変化の周期も小さくなる。羽根の角度を変化させた場合は、角度が大きい方が、反射したときにマイクの位置に音が集まりやすいと考えた。よって、角度が大きくなると振幅の大小変化が大きくなるのではないかと考えた。

③実験方法

まず、厚さ1.5mmのアクリル板を用いて、扇風機の羽根を製作した。羽根の枚数は3、4、5枚、羽根の角度は 30° 、 45° 、 60° とし、合計9つの羽根を用意した(図6)。

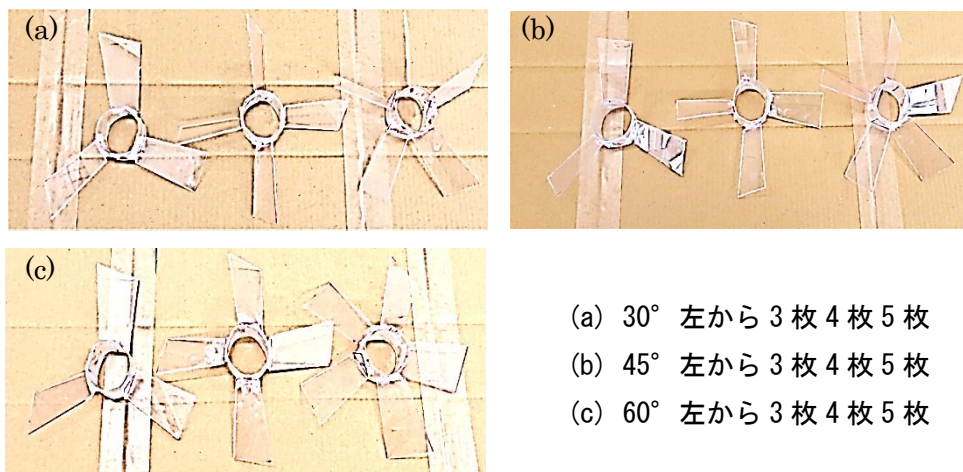


図6 制作した羽根

次に、図7のように、音源、マイク、扇風機を設置し、オシロスコープソフトWavespectraを用いて、それぞれ羽根の場合の波形を測定する。また、実験1では、音源として2000Hzのドップラーおんさを用いたが、おんさの場合、たたき方によって音が変わってしまうという問題点が生じたため、今回は同じ周波数の電子

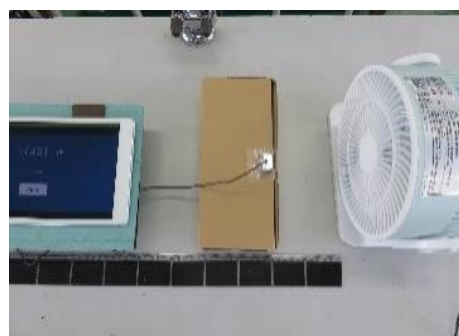


図7 実験装置の配置

音を音源として用いた。

④実験結果

9種類の羽根すべてにおいて、実験1で得られたような振幅の周期的変化は見られず、小さな波が大きく波打っているような波形になった。

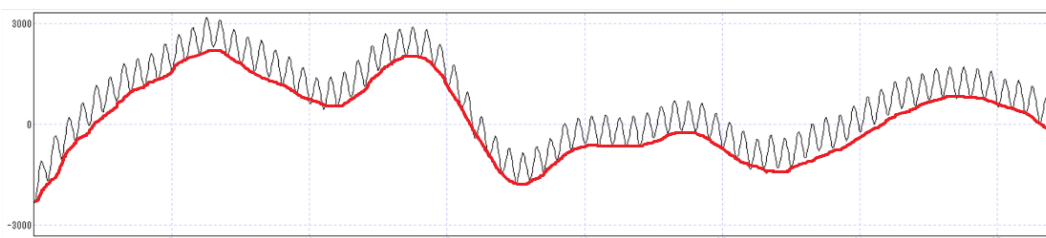


図8 実験で得られた波形

図8の黒線で描かれた波を「小さな波」、赤線でなぞられたものを「大きな波」と定義し、各振動数を解析すると、小さな波の振動数はほぼ一定であり、音源の振動数と近い振動数であった。大きな波の振動数と振幅はばらつきがあり、周期性はない。また、羽根の種類による変化は見られなかった(表1)。

表1 実験で得られた振動数

| | | 大きな波の振動数 [Hz] | 小さな波の振動数 [Hz] |
|-----|----|---------------|---------------|
| 30° | 3枚 | 83 | 1905 |
| | 4枚 | 78 | 1905 |
| | 5枚 | 87 | 1869 |
| 40° | 3枚 | 95 | 2000 |
| | 4枚 | 82 | 1869 |
| | 5枚 | 71 | 2114 |
| 50° | 3枚 | 91 | 1980 |
| | 4枚 | 95 | 1980 |
| | 5枚 | 91 | 1842 |

⑤考察

今回の実験では予備実験と同様の波形が得られず、羽根が音を遮ることと波形の変化との関係について調べるに至らなかった。同様の波形が生じなかった原因として、自分たちで作成した羽根を使用したため雑音が大きすぎたこと、音源をおんさから電子音に変えたこと、予備実験で使用した市販の扇風機の羽根は湾曲していたが、作成した羽根は湾曲していなかったことの三つが考えられる。

(3) 【実験3】

①実験の目的

予備実験で得られた波形の周期的な振幅変化が、うなりの発生によるものであるとすると、音源と異なる振動数が生じていなければならない。扇風機の羽根は角度が付いているため、回転する様子を正面から見ると、羽根が音源に向かってくるよ

うに見える。先に述べたように、私たちは、この向かってくる羽根に音が反射することによってドップラー効果が起こり、うなりが発生していると考えた。

そこで、ドップラー効果によって生じる振動数の理論値を求め、その値の振動数が実際に生じているかを確認することを、実験3の目的とした。

②仮説

扇風機の羽根での反射によってドップラー効果が起きている。つまり、ドップラー効果の理論値に近い値の振動数が生じている。

③実験方法

今回は、「扇風機の羽根によりドップラー効果が起こるのか」をより単純に調べるために、羽根が1枚の扇風機を、市販の扇風機のモーターに自作の90°、1枚羽根を取り付けて製作した。図9のように羽根、マイク、音源の順で配置し、オシロスコープソフト Wevespectra を用いて測定を行う。

ここで、これまで測定してきたデータは縦軸が振幅、横軸が時間のグラフで表されていたが、このグラフからは、新たに生

じている振動数を読みとるのが難しいため、フーリエ変換を行い、そのグラフを読みとることとした。フーリエ変換とは、時間 t の関数 $f(t)$ を角周波数 ω の関数 $F(\omega)$ に変換することであり、グラフから振動数ごとの音量を知ることができるようになる。



図9 実験装置

また、羽根の速度を測るため、ハイスピードカメラを用いて、羽根の回転数を調べる。

④実験結果

扇風機に向かって音を出すと、音源の振動数付近で異なる振動数が生じていた(図10、図11)。

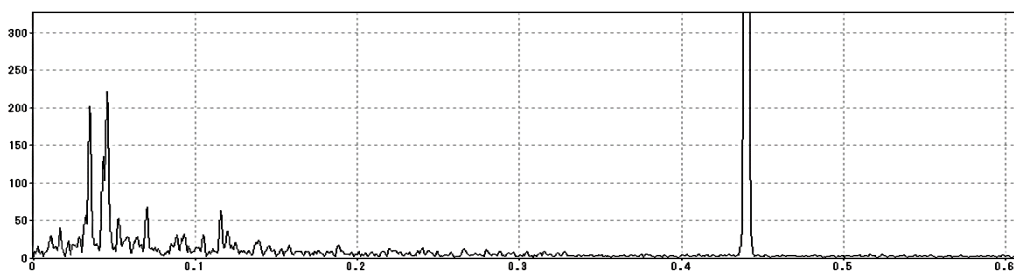


図10 扇風機なしの場合のフーリエ変換値(縦軸: 振幅 [V] 横軸: 振動数 [Hz])

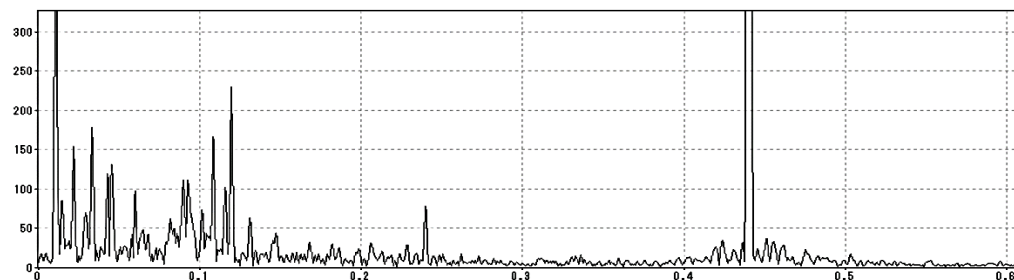


図11 扇風機ありの場合のフーリエ変換値(縦軸: 振幅 [V] 横軸: 振動数 [Hz])

⑤考察

まず、ドップラー効果による振動数の理論値を算出する。ドップラー効果とは音源や観測者またはその両方が動くことで振動数が変化する現象であり、音源と観測者がそれぞれ v_s [m/s], v_o [m/s] で互いに近づく場合、変化後の振動数 f' [Hz] は次のように表される。

$$f' = \frac{V+v_o}{V-v_s} f \quad (V \text{ [m/s] : 音速 } f \text{ [Hz] : 元の音源の振動数})$$

ドップラー効果は、音源と観測者がともに静止していても、動いている物体で音が反射することによっても起こる。その場合の変化後の振動数 f' [Hz] は次のように表される。

$$f' = \frac{V+v}{V-v} f \quad \dots \text{式①} \quad (v \text{ [m/s] : 反射板が近づく速度})$$

私たちは、扇風機の羽根が反射板の役割をし、ドップラー効果が起こっているのではないかと考えたので、式①に測定値を代入し、理論値を求めた。

扇風機の羽根は、モーターによって等速円運動をしているので、羽根の速さ v [m/s] は、 $vT = 2\pi r$ の関係式から求められる (r [m] : 回転半径 T [s] : 回転周期)。測定により、羽根の長さ(最大回転半径)は 0.090m, 周期は 0.027s であったので、羽根の速さ $v=20.93\text{m/s}$ である。

また、音速 V [m/s] は $V=331.5+0.6t$ で求められ、実験時の気温 $t=12.0^\circ\text{C}$ より、 $V=338.7\text{m/s}$ である。音源には、 $f=440\text{Hz}$ のおんさを用いた。以上の値を式①に代入すると、羽根が音源に近づくときは $f'=497.96\text{Hz}$ 、遠ざかるときは $f'=388.78\text{Hz}$ の音が発生すると予想できる。

ここで、求めた羽根の速さ 20.93m/s は $r=0.090\text{m}$ のときの値であり、羽根のどの部分に当たるかによって羽根の速さは変化すると考えられる。つまり、20.93m/s は速さの最大値にすぎない。したがって、算出した $f'=497.96\text{Hz}$, 388.78Hz は、それぞれ、変化後の振動数の最大値、最小値であり、ドップラー効果による影響はこの2つの値の間に現れると考えた。

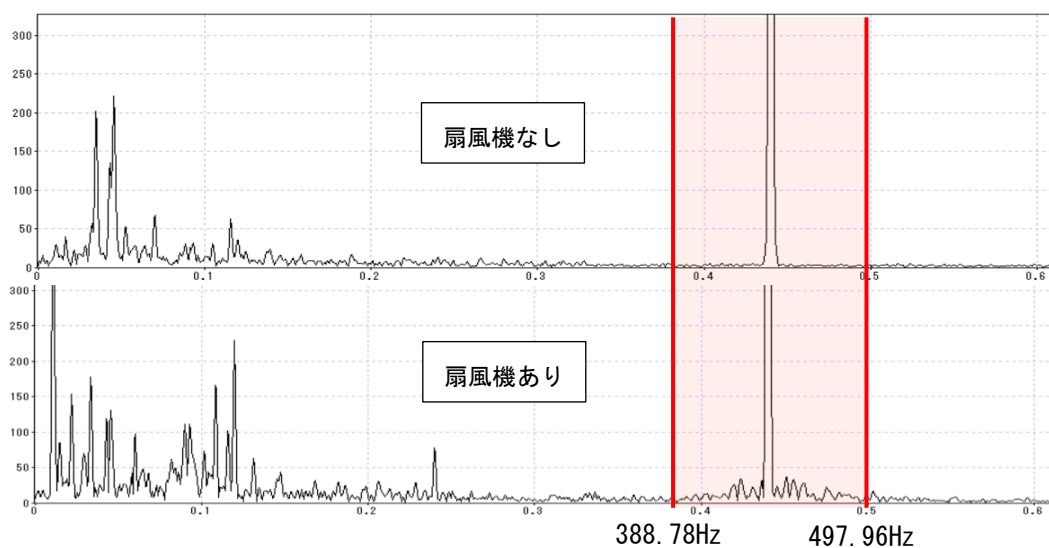


図 12 理論値の範囲

測定結果と照らし合わせると 388.78~497.96Hz に近い範囲内で振動数変化が表れている (図 12)。

しかし、この振動数は扇風機の音によるものである可能性も考えられる。そこで、音源は鳴らさず、扇風機のモーター音のみの場合も測定した。その結果、扇風機のみでは、範囲内の振動数は生じていないことが分かった (図 13)。

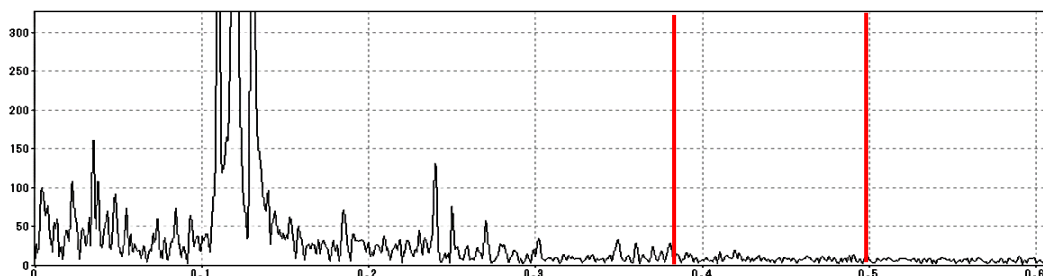


図 13 扇風機のみの場合のフーリエ変換値 (縦軸：振幅 [V] 横軸：振動数 [Hz])

これらのことから、この振動数変化はドップラー効果によるものであると考えられる。

3 まとめと今後の課題

実験 1～実験 3 の実験・考察により、本研究で次の 2 つのことを明らかにすることができた。

- ① 扇風機に向かって音を発すると、振幅が周期的に大きくなったり小さくなったりした波形が得られる。
- ② ①の原因は、単に扇風機の羽根が音を遮断しているからではなく、羽根の反射によってドップラー効果がおこり、うなりが生じているからであると考えられる。

今後の課題としては、ドップラー効果と予想される音は観測できたが、理論値の範囲外でも音源の振動数と異なる振動数が観測されていた。これらの振動数がなぜ生じたのかについても解明したい。

また、音が変わる原因が本当にドップラー効果によるものであるのかを更に追求するためには、羽根の速さを変えると理論値の範囲が変化することから確かめられると考えているが、そこまで至ることができなかつたので、今後さらに実験を進めていきたい。

4 参考文献

- 数研出版 物理
- 中村健太郎 (2010) 『図解雑学 音の仕組み』 ナツメ社