

# 音で火を消す

岩手県立一関第一高等学校理数科 3 年  
村川一葉 千葉愛夏 阿部日向子 岩渕千佳 小幡捺 加藤千尋

## 要約

私たちは、音で火を消すことができることに興味を持ち、どのような音が火を消しやすいのか共鳴する環境や周波数との関係に着目して調べた。結果、音で火が消えるためには共鳴する環境が必要であるとともに、60 Hz 付近で最も空気の振動が激しくなり、最小の音圧で火を消すことができることが分かった。

<キーワード> 音 共鳴 消火

## ABSTRACT

What kind of sound is appropriate to extinguish a fire is investigated from the aspect of resonance and frequency. As a result, it was clarified that resonance is necessary and around 70Hz-sound can extinguish a fire with the lowest volume because it makes the air vibrate the hardest.

## 1 はじめに

私たちは、音で火を消すことができることを知り、水や消火剤のように多くの資源を必要としない音は火を消す道具として有効だと考え、火が消えやすい音の条件について調べることにした。音は、大きさ、高さ、音色の三つの要素で構成されている。音が出るとき、周りの空気は圧縮と膨張を繰り返し、圧力が高い密部と圧力が低い疎部ができる。これらが繰り返されることで空気が振動し、縦波となる。管の中で定常波ができるとき、「共鳴」という現象が起こる。つまり共鳴する条件下では開管の端は腹となるため、空気は激しく振動する。これらを踏まえて私たちは、①空気が激しく振動する部分は腹であることから、共鳴する環境を作れば火は消えやすい。②高周波のほうが振動数が多いため消えやすい。③音が大きいほうが消えやすい。という3つの仮説を立てた。

## 2 共鳴する環境・周波数・音圧と消火の関係

火が消える条件に「共鳴」が関係しているか調べるため、Fig. 1 のようにスピーカ

ー、塩化ビニル管、ろうそくを一直線上に設置し、スピーカの音を徐々に大きくしてろうそくの火が消えるかを調べた。またその時の音圧を誤差±1.5 dB、測量範囲 30～130 dB の音圧計で計測した。

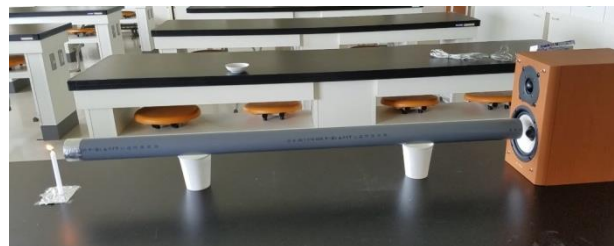


Fig. 1 Equipment of the experiment

塩化ビニル管は 0.5 m、1.0 m、1.5 m の長さのものを用意し、まず、共鳴する環境を作り実験を行った。周波数の大きさ  $f$  [Hz] は、このとき基本振動となるように音速  $v$  [m/s] を 340 m/s として以下の 2 式より

$$v = f\lambda \quad \dots(1)$$

$$\lambda = 2\ell \quad \dots(2)$$

それぞれ 340 Hz, 170 Hz, 113 Hz とした。しかし、実際には音速  $v$  は気温によって変化し、次の式によって表される。

$$V = 331.5 + 0.6t \quad \dots(3)$$

この気温による誤差を修正するために、実験時の気温を測定し音速を求め、これを(1)式に代入して実際の気温に即した基本振動を行う管の長さを求めた。この理論上の管の長さを実際に用意した管の長さの差だけ管口から離れた位置にろうそくを配置した。

さらに、周波数は変えず、管の長さのみを変えて共鳴しない環境を作り火が消えるかを調べた。結果は次の通りである。

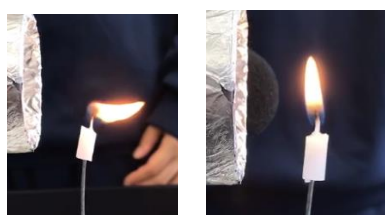


Fig.2 the state of candle in the case of resonance(left) and not (right)

Table 1 result of the experiment

《共鳴する点の場合》

管の長さ $l$ [m]	周波数 $f$ [Hz]	消えるか	音圧 P [dB]
0.5	340	×	-
1.0	170	◎	110 dB
1.5	113	◎	89.5 dB

《共鳴しない点の場合》

管の長さ $l$ [m]	周波数 $f$ [Hz]	消えるか	音圧 P [dB]
1.0	113	×	-
1.5	170	×	-

管の長さが 1.0 m (170 Hz) と 1.5 m (113 Hz) の場合には、共鳴する条件下では火が消え、共鳴しない条件下では火は消えなかった。これより、音で火を消すためには共鳴する環境が必要であると分かり、仮説①は実証された。一方、0.5 m (340 Hz) の場合には共鳴が生じているにも関わらず火は消えなかった。また、管の長さが 1.0 m (170Hz) の時より 1.5 m (113Hz) の時の方が小さい音圧で火が消えた。これらより、周波数が低い方が火を消しやすいと考えら

れ、仮説②は棄却される。また、スピーカーの音量を上げていくと火が消えたことから、音圧が大きいほうが火を消しやすいことが分かり、仮説③は実証された。

### 3 管口部における空気の流れの可視化

ここで、音によって火が消えたことを確認するために、共鳴点での空気の流れの様子について調べた。測量範囲 0.4~30.0m/s の風速計を用いて測定を試みたが、生じる気流が微弱なため計測することはできなかった。そこでドライアイスの煙を使って空気の流れを可視化した。管の長さ 1.0 m、周波数 170 Hz の共鳴する環境で、管の先にドライアイスを入れたバットを置いたところ、ドライアイスの煙が音の出力により管口で出入りしている様子が見られた (Fig. 3)。共鳴しない条件下で行ったときは管口でのドライアイスの煙の動きは見られなかった。以上のことから、共鳴点で発生した風によってろうそく(パラフィン)のガスが失われ、燃料供給が途絶えたため火が消えたと考えられる。



Figure 3 motion of smoke made by dry ice

### 4 音圧の鉛直断面分布と消火との関係

初めにたてた 3 つの仮説について検証できたことから、新たに④音を大きくすれば離れた場所でも火は消える、⑤火を消すことができる周波数帯が存在する、という二つの仮説を立て、さらにそれらの検証実験を行った。

音圧を大きくすれば離れた場所でも消火する可能性があると考え、音圧と火が消え

ることとの関係性について調べた。管の長さが、0.5 m、1.0 m、1.5 m の三種類の塩化ビニル管を用意し、火の消える最小音圧を参考にして、それぞれ共鳴する音をスピーカーから出して、火が消えた点での音圧を測定した。その際管口部の中心を原点とする計測地点を定めた(Fig.4 の黒点)。そして3 cm刻みの高さで、高さが0 cmのときのみ水平方向に1 cm、他の高さでは水平方向に5 cm刻みの地点で音圧を測定するとともに、ろうそくが消火する範囲を調べた(Fig.4)。結果をマップ化した。図中の黒い点が計測を行った点だ。縦軸は管口からの高さ、横軸は管口からの距離を示してい

る。赤が最も音圧が大きいこと、青が最も音圧が小さいことを表している。Fig.4 より、どの管においても管口部で音圧が大きく、管口から同円心状に減少していることが分かった。ろうそくの火は管の長さが1.0 m のときは106 dBで高さ0 cmで3 cmまで消え、1.5 m のときは100 dBで高さ0 cmで2 cmまで消えた。また、管口上部や管口から離れた部分では、火が消えた最小音圧より大きい音圧が観測されていたにも関わらず火は消えなかったことから、2 節でも述べた通り、共鳴点で発生する風が火を消していると考えられる。以上より④の仮説は正しくないと考えられる。

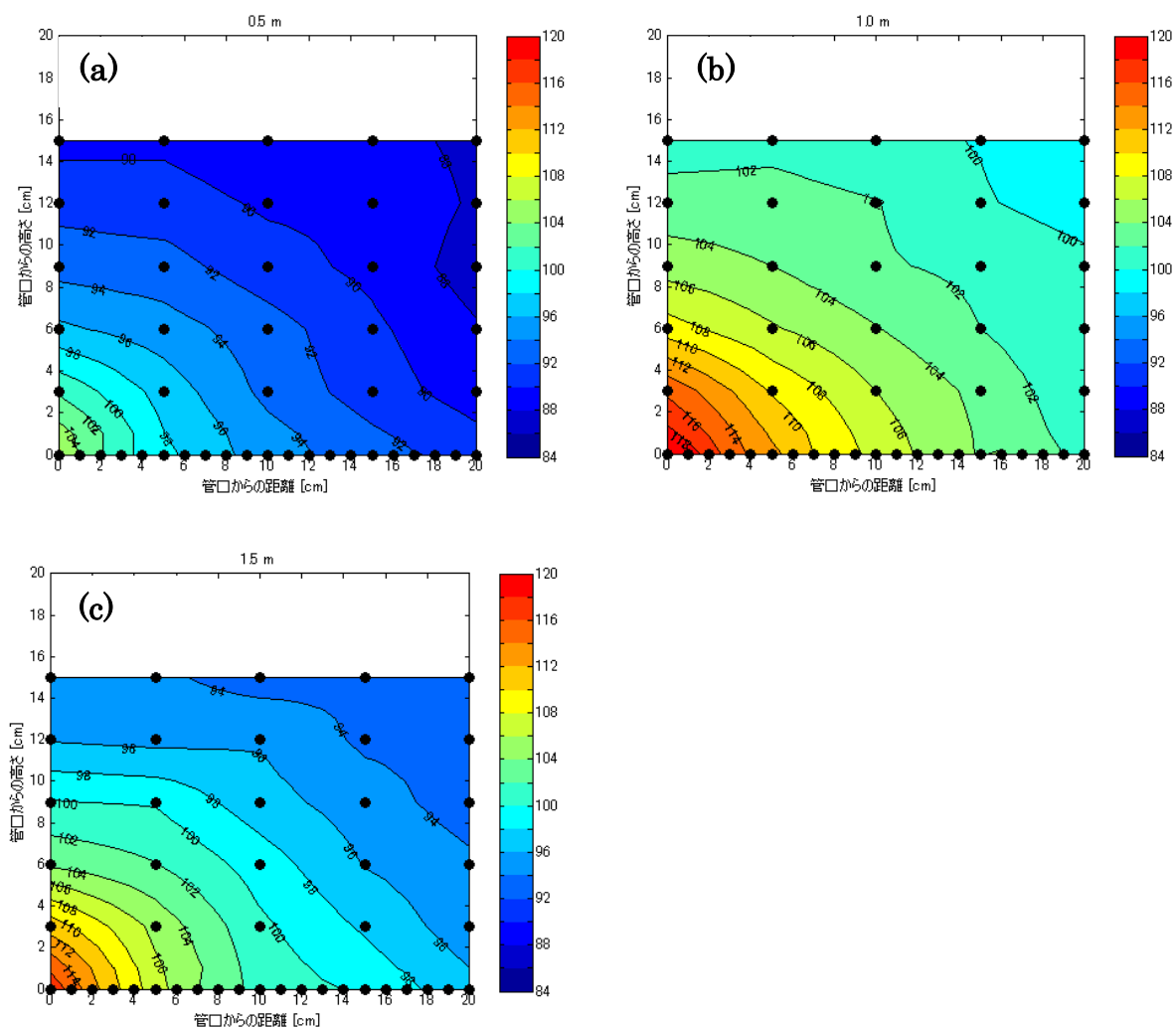


Fig.4 Vertical section of acoustic pressure. The length of open pipe is (a) 0.5 m, (b) 1.0 m, and (c) 1.5 m.

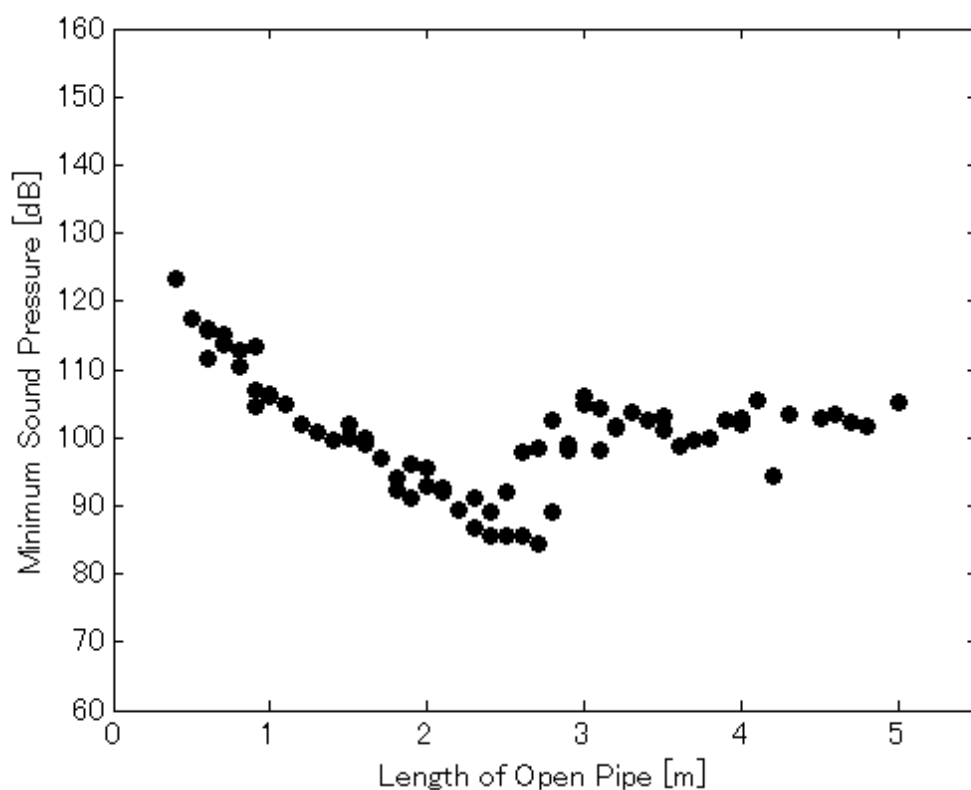


Fig.5 Variation of the minimum acoustic pressure with the length of open pipe.

## 5 火が消える音の周波数帯

2 節においての実験では塩化ビニル管の長さ 0.5 m、周波数 340 Hz で共鳴しているにもかかわらず、火は消えなかった。そこで火を消すことができる音の周波数の範囲を調べるために、塩化ビニル管の長さを 0.3 m から 5.0 m まで 10 cm ずつ伸ばし、それぞれ共鳴する周波数の音を流して火が消える最小音圧について調べた。実験は複数日に渡って行った。Fig. 5 は実験結果を示す。横軸は管の長さ、縦軸は火が消えた最小音圧である。管の長さを短くすると、周波数を細かく刻んで実験することが難しいため、正確に火を消すことができる最大周波数を求めることはできなかった。今回は管の長さ 5.0m、周波数 34Hz まで実験し、火は消えたが、用具の都合上、それ以上の長さを実験することが難しく、最低周波数を求めることはできなかった。グラフを見てみると、管の長さ 2.5m 付近において谷のようになっていることがわかる。つまり、60 Hz から 70 Hz にかけて最も小さい

音圧で火が消えることが考えられる。

よってこの実験では、高周波のときは安定して火が消えなかったこと、また 5.0 m (34 Hz) まで火が消えた為、消火可能範囲を求めることはできなかったが、60 Hz から 70 Hz にかけて最も小さい音圧で火が消えると考えられる。

## 6 議論

今回の実験では、各管の長さにおいて一回または二回ごとしか行っていないため、試行回数が少なかった。また、数日にわたって実験を行ったため実験時の気温が一定でなかった。そのため、管の長さ 2.5 m 付近において最も小さい音圧で火が消えたという結果が有意とは言えない。

そこで、火が消える最小音圧の値が 60 Hz から 70 Hz の範囲で最小になるか統計的に解析するため、管の長さ 0.5m から 0.5m ずつ伸ばしていき、5.0m まで 5 節と同様の実験を 10 回行った。結果を Fig. 6 に示す。

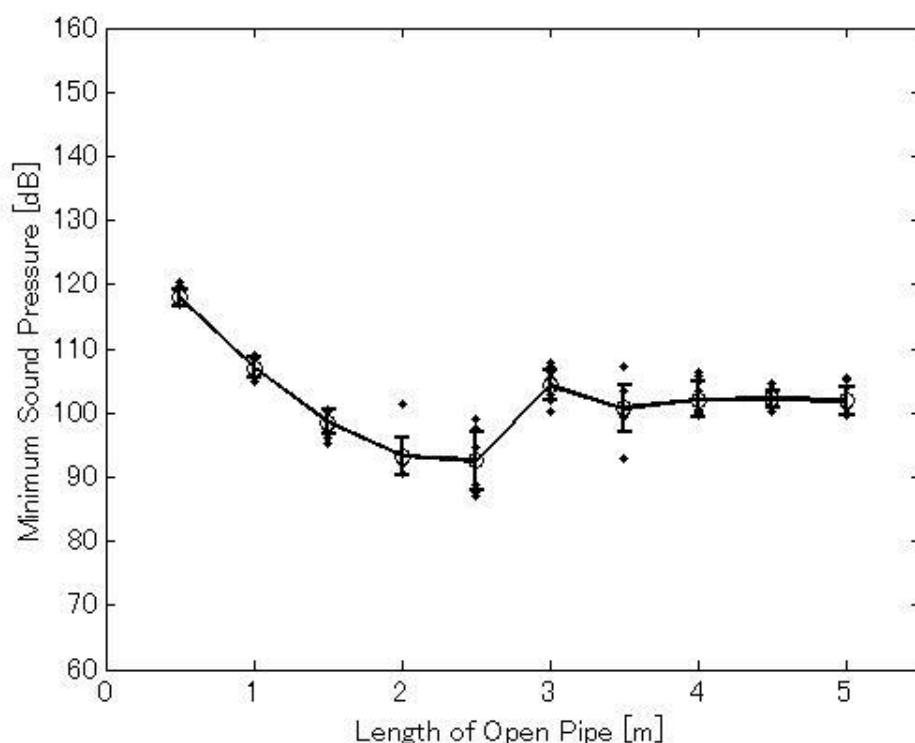


Fig.6 Variation of the minimum acoustic pressure with the length of open pipe. Error bar shows standard deviation.

Fig. 5 で示した通り高周波数帯においては周波数が小さくなるほど火が消える最小音圧は小さくなった。これより管の長さが 2.5 m(68Hz) のときを除くと、2.0 m(85Hz) のときの最小音圧が他より有意に小さいことが分かった。また 3.0 m(57Hz) より管を長くしても有意な差は見られなかった。

つまり、2.0 m から 2.5 m 付近、つまり、60 Hz から 80 Hz において最も小さい音圧で火が消えるといえる。

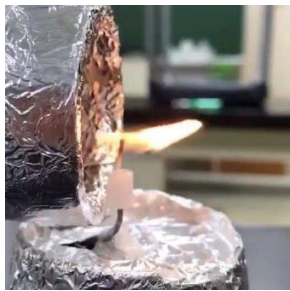
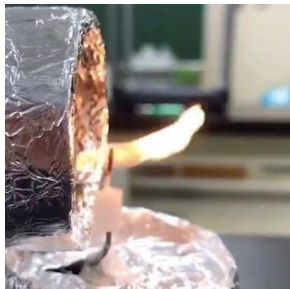
## 7 火の消え方の考察

6 の実験をしていく上で低い周波数帯と高い周波数帯では火の消え方に違いがあることが分かった。低い周波数帯にある 42.5 Hz の時の火の消え方を見てみると、音が徐々に大きくなるにつれ火が前後方向に揺れ始め、十分に揺れが大きくなったところで火が消えた

(Fig. 7)。一方、高い周波数帯にある 340 Hz の時の火の消え方を見てみると、音が大きくなっても火はあまり揺れず、徐々に倒れていき小さくなって火が消えた(Fig. 8)。

違いが現れた理由として次のことが考えられる。低い周波数帯では振動数が小さいため、空気の移動範囲は広い。さらに音圧が大きくなるにつれて共鳴点で発生する風が強くなり、周囲にあるロウの気体が吹き飛ばされた。また、風によりろうそくの芯の温度が下がったためロウの気化が止まり、火が消えたと考えられる。

一方、高い周波数帯は振動数が大きいため、空気の移動範囲は狭い。そのため音圧を大きくしてもロウの気体を吹き飛ばすほどにはならないが、空気は狭い範囲で前後に素早く移動する。その結果、燃焼によってろうそく周辺の空気に含まれる酸素が減り、火が消えたと考えられる。



**Fig. 7** the state of candle low frequency  
(4.0 m, 42.5 Hz)



**Fig.8** the state of candle high frequency  
(0.5 m, 340 Hz)

## 8 まとめ

音によって火が消える条件を、共鳴する環境や音圧との関係に着目して調べた。音で火が消えるためには共鳴する環境が必要であるとともに、60 Hz から 80Hz で最も空気の振動が激しくなり、最小の音圧で火を消すことができることが分かった。また高周波と低周波では火の消え方が違うことが分かった。

## 9 謝辞

本研究を進めるに当たり、ご指導いただいた柿木康児先生には厚く御礼を申し上げます。本当にありがとうございました。