

鳥の鳴き声の謎

～倍音を消す構造～

大阪府立岸和田高等学校

富樫 陸輝

要旨

本校の生物科の先生から、鳥の鳴き声では特定の倍音が弱くなっていることが鳴き声の分析によって分かったという話を聞いた。そこで本研究では、鳥の鳴管を模した装置を作り、その装置で共鳴させた音を解析することで、倍音が弱くなる仕組みについて考察を行った。今回の実験では、「ヘルムホルツ共鳴器」の原理を用いた装置を作り、それを使用することによって、倍音を弱めることに成功した。このことから、鳥の鳴き声の倍音が弱まるのは、ヘルムホルツ共鳴による消音の影響であることが推測される。

序論

鳥の鳴き声には特定の倍音が弱くなっているものがある。(図1)。本研究では、どのような原理で鳴き声の倍音が弱まるのかを明らかにすることを目的とし、鳥の内部の構造に着目して実験装置を作り、音の倍音成分の測定を行った。

実験①の方法

鳴管や気管の形状によって倍音が弱まると考え、鳥の内部器官(図2)と似たような構造の装置(図3)を作り、これを用いて倍音が弱まるか実験したところ、3倍音のみ弱まった(図4)。

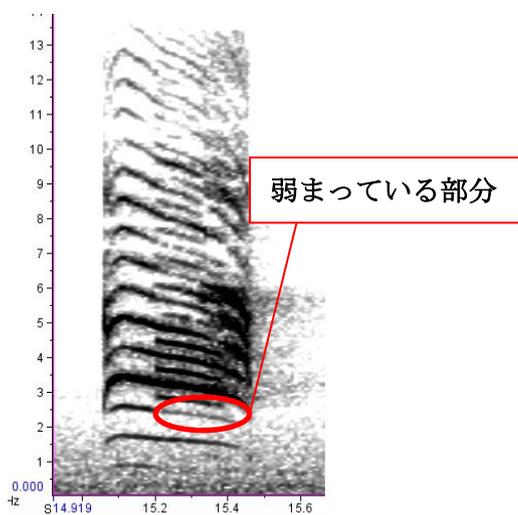


図1 アオカケスの鳴き声のスペクトル
(縦軸：周波数[Hz]、横軸：時間[s])

基音…振動体の発する音のうち、基本振動によって生じる音。

倍音…振動体の発する音のうち、基音の整数倍の振動数をもつ部分音。

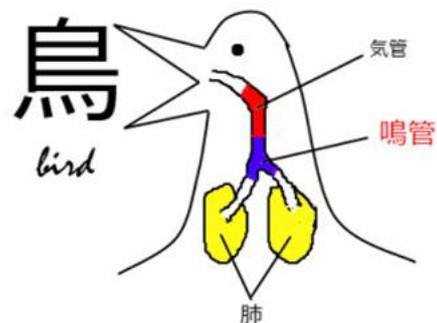


図2 鳥の内部器官

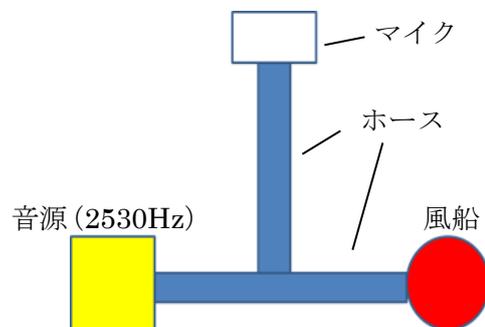
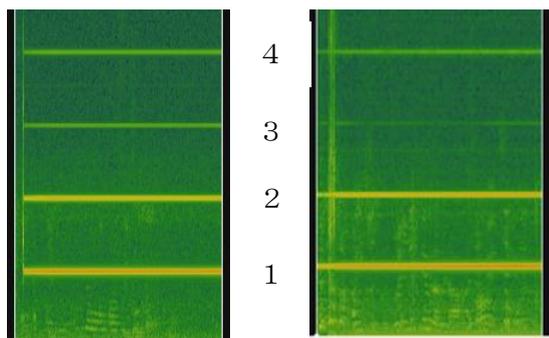


図3 実験装置



原音 (2530Hz) 装置使用後の音

図4 振動数のスペクトル解析

(縦軸：周波数[Hz] 横軸：時間[s] 線の色が濃いほど振動数の成分が大きいことを示す)

このとき、ホースの長さは 20cm、25cm、30cm であった。また、3倍音の波長は、5.0cm であった。このことから、音源と風船の間のホースの長さを、弱めたい倍音の波長の長さ(またはその半分の長さ)に設定すればよいのではないかと考えた。今回は、4倍音だけを弱めるパターンと2倍音と4倍音を弱めるパターンのホースを用意した。また、装置の構造と音源の周波数は図3のままにした。なお、本実験では5倍音以降は微小であるため考慮しないものとする。それぞれの長さは以下の通りである。

I, 4倍音を弱める

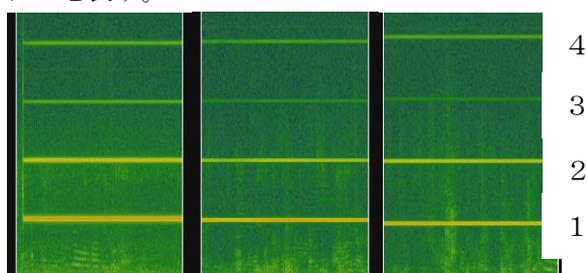
→ 1.85 (4倍音の波長の半分) $\times 15$ (cm)

II, 2倍音と4倍音を弱める

→ 3.7 (2倍音の波長の半分) $\times 6$ (cm)

実験①の結果

それぞれの音の測定結果を図5に示す。なお、図5の「4倍音」は上記のI、「2倍音、4倍音」はIIを表す。



2530Hz 4倍音 2倍音、4倍音

図5 振動数のスペクトル解析

図5より、IとIIのどちらの場合においても3倍音だけが少し弱くなっている。

実験①の考察

音源と風船の間のホースの長さを、弱めたい倍音の波長の半分の長さに設定したにもかかわらず、3倍音だけが弱まったことから、図3の構造の装置によって3倍音が弱まったのはホースの長さによるものではなく、別の要素が関係している現象であると考えられる。

実験①から、ホースの長さは本研究の目的にあまり関係がないと考えた。そこで、倍音を弱めるということに重点を置き、鳥の鳴き声における特定の倍音の弱化は、消音作用があるヘルムホルツ共鳴による現象ではないかと考え、その原理を用いた装置を作り、音の変化を測定した。以降、その結果を報告する。

実験②の方法

フラスコを用意し、ヘルムホルツ共鳴器(※)の原理を応用した装置(図6)を作った。スピーカーから音(91.0Hz)を出力し、マイクで音を録って解析し、フラスコの有無による音の変化を調べた。

なお、今回の実験装置について、左側にあるオレンジ色のものがスピーカー、右側にある黒色のものがマイク、中央の筒の側面にフラスコの口と同じ大きさの穴を開けている。



図6 実験②の装置

※ヘルムホルツ共鳴器について[1]

ヘルムホルツ共鳴器（図7）とは、開口部を持った容器の首部の空気が外から押し下げられ、球体部の空気が圧縮された後、その復元力によって首部の空気が単振動することによって共鳴し、音を発生する装置である。この装置が共鳴すると、共鳴している周波数を中心に音の運動エネルギーを奪う働きをして、その周波数の音が弱まる。

この装置の利用例として、音楽室の壁などで使われている有孔ボードや、騒音防止を目的として掃除機の内部に搭載されている空洞などが挙げられる。

ヘルムホルツ共鳴器の固有振動数の求め方

ヘルムホルツ共鳴器の固有振動数を求めるには、まず固有角振動数を求める必要がある。

ヘルムホルツ共鳴器の固有角振動数 ω は次の数式で求められる。

$$\omega = c \sqrt{\frac{s}{v l}}$$



図7 ヘルムホルツ共鳴器

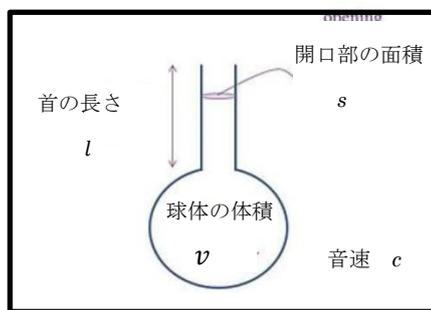


図8 ヘルムホルツ共鳴器の図示

固有振動数 f_0 は次の数式で求められる。

$$f_0 = \frac{\omega}{2\pi}$$

また、本実験では、 $c=343.5\text{m/s}$ 、 $s=4.91\text{cm}^2$ 、

$v=400\text{cm}^3$ 、 $l=11\text{cm}$ であった（首の長さは開口端補正を考慮した数値）。上記より、今回の実験で使用するフラスコの固有振動数は $f_0=182.0\text{Hz}$ と求められた。倍音を弱めるために、今回の実験でスピーカーが出力する音の周波数を $\frac{1}{2}f_0=91.0\text{Hz}$ に設定した。このとき、ヘルムホルツ消音のはたらけば、偶数倍音だけが弱まると考えられる。

実験②の結果

フラスコがあるときとないときのそれぞれの倍音成分の大きさを図9に示す。（縦軸：振幅、横軸：倍音）

なお、振幅はそれぞれの成分の音の大きさの指標である。

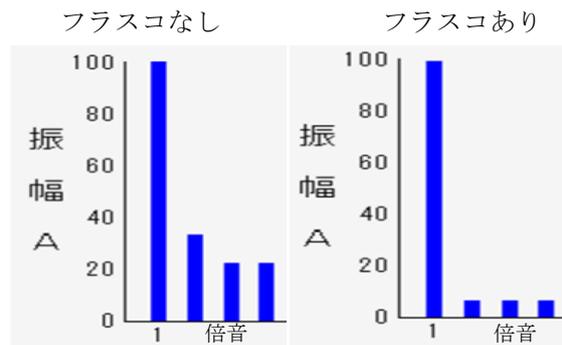


図9 解析した音のグラフ（基音：91.0Hz）

図9より、フラスコがないときには観測された2倍音、3倍音、4倍音が、フラスコがあるときだと全て一様に弱まっていることが見られる。

実験②の考察

2倍音、4倍音が弱まったのは、実験①では2倍音、4倍音が弱まらなかったことから、フラスコによるヘルムホルツ消音のためである可能性が高い。また、同時に3倍音が弱まったのは、実験①でも3倍音が弱まっており、実験②と装置の構造自体が似ていることから、その構造そのものが3倍音を弱める効力を持っていると考えられる。しかし、鳥の鳴き声においては、図1のように、特定の倍音しか弱まっていないため、上記の

構造とは少し違っているが、ヘルムホルツ消音が起きている現象であると考えられる。

今後の展望としては、なぜ実験②において3倍音までもが弱まったのかを明らかにしたい。そのためにはまず、実験②の装置と同じような構造の装置を使用して音源から出力する音の周波数をいろいろ変えて3倍音が弱まるのかを調べる必要があると考える。また、2倍音、4倍音がフラスコによるヘルムホルツ消音のおかげで弱まったことを確実にするために、大きさの違うフラスコを用意し、実験②と同じように実験し、2倍音、4倍音が弱まるかを確かめなければならないと考える。そして最終的には、ヘルムホルツ共鳴器によるヘルムホルツ消音が起こることによって偶数倍音が弱まりながら、かつそのほかの倍音が弱まらないような構造の装置を作り、鳥の内部構造の謎を完全に明らかにすることが本研究の目標であると考えられる。具体的には、本研究の実験装置と鳥の内部器官の構造の違いは、それぞれの部位のつなぎ目が直角であること（図10）が挙げられるため、その部分の角度をより鳥の内部器官のものに近づけた装置が必要である可能性が高い。

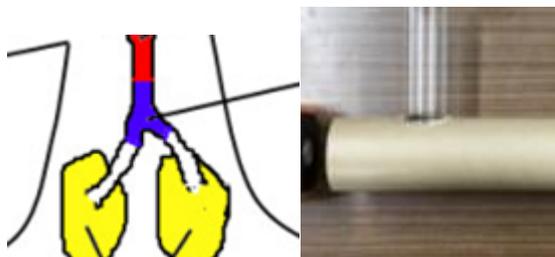


図10 それぞれの角度の比較

結論

本研究により、鳥の鳴き声で特定の倍音が弱まっているのは、片方の肺がヘルムホルツ共鳴器としての役割を果たして、ヘルムホルツ消音が起こるためである可能性が高いことが明らかになった。

参考文献

[1]ヘルムホルツ共鳴

<http://splab.net/APD/A700/index-j.html>

謝辞

本研究を行うにあたり、岸和田高校物理科の西浦先生、橘先生、五味先生、生物科の鈴木先生の指導を受けました。