

第121回 CIS パートナー会議事録(一般様用)

開催日時 2022年5月29日(日) 13時~16時

講師 神田 忠起 様

テーマ 「セミの鳴き声は何ワット？」



会議風景

1) セミはなぜ大きい声で鳴くの？

鳴き声を騒音レベルにすると何に相当？

セミの鳴き声は何ワット？



会議風景 (ZOOM)

セミの鳴き声何ワット

セミはなぜ大きい声で鳴くの？ 鳴き声を騒音レベルにすると何に相当？



(neirof.com) 参考

## 2) セミはなぜ大きな声で鳴くの？

- 夏の風物詩のひとつに
- 「ミンミンミンミンミン」
- 「ジージージー」
- 「ジージリジリジリ」
- などなど、**セミの鳴き声**があります。
- セミの鳴き声を思い出すだけで、暑い夏の風景がよみがえる人も多いといいます。
- そもそもセミがなぜ鳴くのかというと、**メス**を呼び寄せるためです。
- つまり、**鳴き声を出しているのはオスのセミ**だけ。

註： 一般にセミの鳴き声と言うが、音の発生メカニズムは副便と呼ばれる発音器官による。

- ・セミの鳴き声は、腹全体を使って出します
- ・オスは、お腹に腹弁(ふくべん)と呼ばれるものが2つ、対になってあります。
- ・腹弁は、セミが鳴くための、発音器の一部です。
- ・一方、メスには、この腹弁などの発音器がなく、代わりに、卵を産むための器官があります。
- ・オスのセミは鳴き声で、メスのセミに自分のいる場所を知らせているのです。
- ・セミをじーっと観察していると、鳴くと飛び立ってしまうものもあります。
- ・かと思うと、じーっとひたすら同じ場所で鳴きまくっているセミもいます。
- ・どうやら、自ら動いてメスを探すタイプと、鳴くことでメスを呼ぶタイプの2種類のセミがいるようです。

註: 腹弁(ふくべん)を鳴き声周波数で震わせるメカニズム縫いついての記述は見当たらなかった。

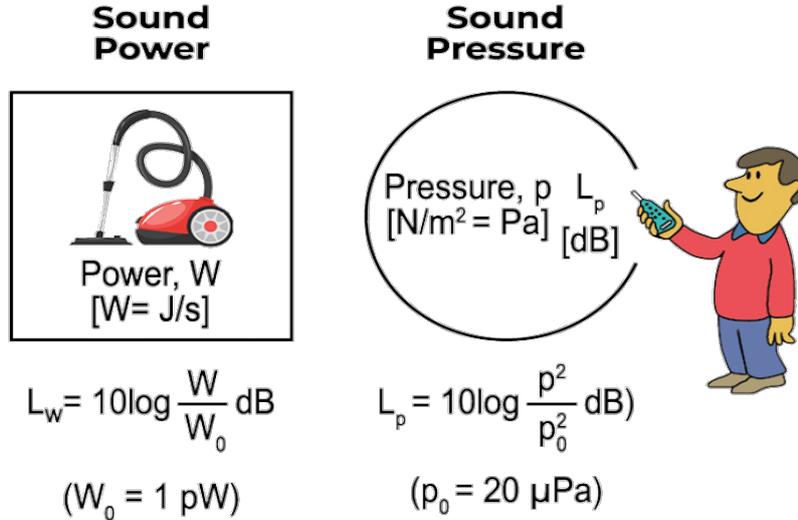
- ・ファーブルさんの研究成果で、
- ・ファーブル昆虫記で有名なファーブルが、
- ・「セミが大きな声で鳴くのはなぜか？」
- ・と疑問を持ち、セミの近くで大砲を鳴らしたという話はよく知られているエピソードです。
- ・ファーブルは鳴いているセミのすぐ近くで、役場から借り出したきたお祭り用の大砲を撃ったのですが、セミたちは大砲の爆音にもびくともせず、鳴き続けました。

- ・このことから、ファーブルは、
- 「セミは耳が遠い」
- と結論づけたのです。
- ・ですが、現在では、セミたちが大砲の音に反応しなかったのは、彼らの音の間こえる周波数の範囲から大砲の音が外れていたからで、セミの耳が遠いからというわけではないというのが定説になっています。

- ・環境省の騒音規則法では閑静な住宅街の場合、許容限度は約 45~50db 以下と定められている。
- ・「音」としては、50dB 以上はうるさく感じるからです。
- ・60db で普通会話程度、
- ・90db で騒々しい工場や大声で独唱している状態、
- ・100db になると自動車のクラクションや鉄道のガード下、
- ・140db でジェットエンジンの近くにいるような騒音と例えられています。
- ・ちなみに、我が家の洗濯機は取説によると 50db。
- ・洗濯機に耳が集中してしまうとかなりうるさく感じます。
- ・で、セミのお話です。
- ・セミの鳴き声の騒音レベルは、種類によっても個体によっても異なります。
- ・一般的にはセミの鳴き声の騒音レベルは 70~80db といわれています。
- ・70db という騒音の数値は、例えるなら、騒々しい事務所や賑やかな街頭にいるようなうるささ。
- ・80db は、窓が開いている地下鉄の車内くらいの騒音といわれています。

### 3) 音響パワーと音圧

- 音響パワーとは、単位時間あたりに音源が放射した音響エネルギーの総量です。
- 音圧は、音源が放射した音のエネルギーが、その場の音響環境の影響を受けて測定された量。
- 音響パワーは原因、音圧は環境の影響を受けた結果です。



音圧と同じように、音響パワーもデシベルで表わされます。完全な自由音場、伝搬面積が 1m<sup>2</sup> の距離において、音圧レベルと音響パワーレベルが等しくなるように選定されています。

BRÜEL & KJÆR の資料より

### 4) 理想的な音場条件における 音響パワーレベルと音圧レベルとの関係

音 場	関 係 式
自由音場	$L_p = L_w - 20 \log_{10} r - 11$ .....(2)
半自由音場	$L_p = L_w - 20 \log_{10} r - 8$ .....(3)
拡散音場	$\bar{L}_p = L_w + 10 \log_{10} \frac{T}{T_0} - 10 \log_{10} \frac{V}{V_0} + 14$ .....(4)

- 注  $L_p$  : 音圧レベル [dB]  
 $L_w$  : 音響パワーレベル [dB]  
 $r$  : 音源からの距離 [m]  
 $\bar{L}_p$  : 室内平均音圧レベル [dB]  
 $T$  : 室の残響時間 [s]  
 $V$  : 室容積 [m<sup>3</sup>]  
 $T_0$  : 1s  
 $V_0$  : 1m<sup>3</sup>

参考資料 空気調和・衛生工学 第 6 1 巻

セミの音圧レベルを1mの距離で測定したら72dBあったとする。  
(場所は下が地面で、上は空、周りには音の反射するものが無い広い公園、半自由音場)

$$L_p = L_w - 20 \log r - 8 \quad (L_p = 72, r = 1)$$

$$72 = L_w - 8 \quad (r = 1 \text{ だから } 20 \log r \text{ は } 0)$$

$$L_w = 72 + 8 = 80$$

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0} \text{ dB} \quad L_w = 80, W_0 = 10^{-12}$$

$$80 = 10 \log \frac{W}{10^{-12}}$$

$$8 = \log \frac{W}{10^{-12}}$$

$$10^8 = \frac{W}{10^{-12}}$$

$$W = 10^8 \times 10^{-12} = 10^{-4}$$

72 dBのセミの鳴き声は10<sup>-4</sup>ワット(0.0001Wである)

結論: セミの鳴き声 0.1mW

### 5-1) 横道 1: 市販されているスピーカーの検証

TOA カタログより

TOA F1300B 13センチ コーンスピーカー  
90dB 半自由音源設置 とあるので、

$$L_w = 90 + 8 = 98$$

$$W = 10^{9.8} \times 10^{-12} = 6.3 \times 10^9 \times 10^{-12} = 6.3 \text{ mW}$$

従って、このスピーカーの効率は、  
電気入力 1W に対して、音エネルギー 6.3mW  
が得られていることから、  
変換効率は 0.63% という事になる。

ちなみに市販のスピーカーの変換効率は 1W アタ  
リ 80dB ~ 104dB (ホーン型スピーカー)

であるので、次のような効率になる。

86[dB/W/m]のスピーカーの効率 = 約 0.25 %

92[dB/W/m]のスピーカーの効率 = 約 1.0 %

### 5-2) 横道 2:

アンプ出力1Wで90dBスピーカーで100dB  
の音を出す場合、10Wのアンプが必要。

最近のブックシェルフ型スピーカーは80dB  
(1W, 1m)程度が多いことから、

このシステムを使って、100dBの音を出そうとすると、100倍の100Wのアンプが必要になる

## コンパクトスピーカー F-1300シリーズ



音質、デザインともに高いレベルが求められる店舗をはじめとして、  
商業施設や公共施設などさまざまな市場に幅広く対応する  
コンパクトスピーカー「F-1300シリーズ」!

仕様	F-1300BM(ブラック)
エンクロージャ形式	バスレフ型
定格入力	30W
定格インピーダンス	330Ω(30W)、1kΩ(10W)、3.3kΩ(3W)、10kΩ(1W)
出力音圧レベル	90dB(1W, 1m) 半自由音場設置時
周波数特性	80~20,000Hz -10dB 半自由音場設置時
クロスオーバー周波数	2kHz
指向角	水平:110° / 垂直:100°
使用スピーカー	低域用:13cmコーン型 / 高域用:25mmドームツイーター

これを仮に、トランペットスピーカーを使えば、T0A TP-M15E 104 dB(1 W, 1 m)なので出力 1W の小型  
 アンプで十分な音量が得られる。 効率を瘧が得てみると(次頁)

T0A TP-M15E 104 dB(1 W, 1 m)

効率を計算すると 58% と極めて大きい。

大音量を省電力のアンプで駆動できることから

防災用途に適している。



## 安全増防爆型ホーンスピーカー 15W

### 6) おんきょういんぴーだんす

acoustic impedance

音波が伝播(でんぱ)するときの音圧  $p$  と媒質の運動速度  $v$  との関係は電気回路における電圧と電流の関係によく似ており、等価回路による取扱いがしばしば行われる。そのとき音響インピーダンスは  $p/sv$  と定義される。ここで  $s$  は音波の波面の面積であり、 $sv$  は体積速度という意味をもつ。とくに  $s=1$  の場合、すなわち  $Z=p/v$  で定義される  $Z$  は固有音響インピーダンスとよばれ、媒質特有の量である。一方、 $p$  と  $v$  の関係は運動方程式で結ばれており、これから正弦音波の場合  $Z=\rho c$  ( $\rho$  は媒質の密度、 $c$  は音速) という関係が導かれる。音響インピーダンスの利用例として、二つの媒質 A と B が平面で接しており、A 媒質中を伝播する平面波が境界面に垂直に入射する場合を考える。それぞれの媒質の固有音響インピーダンスを  $Z_A$ 、 $Z_B$  とすると境界面での音波の振幅反射率は

$$(Z_A - Z_B) / (Z_A + Z_B)$$

と計算される。すなわち、両媒質の音響インピーダンス  $Z_A$ 、 $Z_B$  を等しくしてやれば反射がおこらない。これは音波を種々の媒質中で有効に伝播させようとするときに重要となる。また逆に  $Z_A$  に比べ  $Z_B$  を小さくしてやれば、界面で音波をほぼ遮断することができる。

[比企能夫]

出典 小学館 日本大百科全書(ニッポニカ)日本大百科全書(ニッポニカ)について [情報](#) | [凡例](#)

まとめると、

音場において、波面に平行な面における平均音圧と体積速度の複素比. 量記号としては、 $Z_a$  などがよく用いられる。即ち、

$$Z_a = \frac{p}{vS}$$

ここに、 $p$  : 音圧、 $v$  : 粒子速度、 $S$  : 面積である。単位は、 $\text{Pa}\cdot\text{s}/\text{m}^3$  になる。

音波の反射率は、音響インピーダンスと入射角・屈折角から計算できる。二つの媒質の音響インピーダンスの比が大きいほど反射率が大きくなる。音響インピーダンスを用いると電気の交流理論の知識を音響系に適用する場合に便利である。また、音場内の1点における音圧と粒子速度との複素比を単位面積インピーダンスまたは音響インピーダンス密度といい、単位は  $\text{Pa}\cdot\text{s}/\text{m}$  となる。

## 7) 番外 セミの鳴き声談義

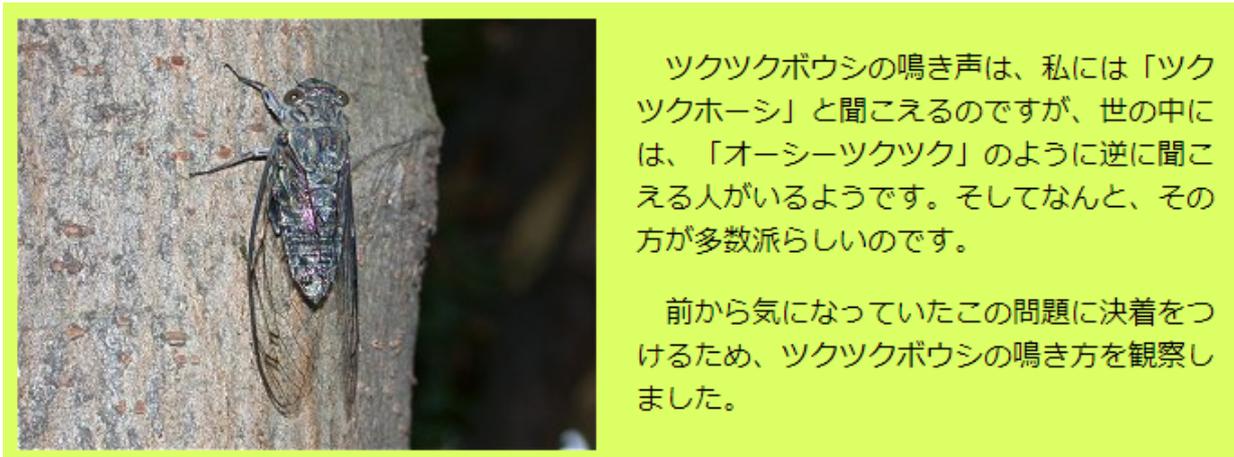
- Q) セミの鳴き声の聴こえ方は、地方で違うようだ。例えば、つくつく法師の鳴き声では  
関東は ほおし-つくつく... と聞こえるという。  
関西は つくつくほうし... となくという。  
この地域的な境界はどのあたりか興味がある(竹内さん)

- A) つくつくほうしは、一つのフレーズを何回か繰り返したんだん早く鳴き、  
終わりの方では おーし-つくつく を繰り返し 鳴き終わるといふ観測結果がある(久米さん)

----- 本件 一同 声無し ... (降参)-----

### 7-1) 番外 ネットで探してみると 「ツクツクボウシはどう鳴くか」

2003 年 8 月 井の頭ほか [ツクツクボウシ \(cocan.jp\)](http://cocan.jp)



ツクツクボウシの鳴き声は、私には「ツクツクホーシ」と聞こえるのですが、世の中には、「オーシ-ツクツク」のように逆に聞こえる人がいるようです。そしてなんと、その方が多数派らしいのです。

前から気になっていたこの問題に決着をつけるため、ツクツクボウシの鳴き方を観察しました。

鳴き声の URL <http://www.mediawars.ne.jp/~miyakopp/htmsemi/tukutuku.htm>

筆者の主張:「ツクツク」は「ホーシ」のきっかけ

鳴いているときの腹部の動きを観察すると、「ホーシ」と鳴くのはエネルギーが要りそうに見えます。長い休みの後の序奏が「ジューツクツクツクツク...」と長いのは、「ホーシ」と大きく鳴くためのウォーミングアップが必要なためでしょう。

### 7-2) 番外 蝉の種類

産経新聞 2014/8/4 07:00 より抜粋

[【関西の議論】東京「ジリジリ」大阪「シャツシャツ」東西でセミの鳴き声異なる理由は...カギは大阪の乾いて固い土 \(1/4 ページ\) - 産経ニュース \(sankei.com\)](#)

#### まとめ:

大阪府内のセミの種類別の生息状況は、府が平成16~23年、自然観察学習の一環で、府内1020小学校区のうち296校区で実施した「セミの抜け殻調査」

大阪府全体でクマゼミが74%、アブラゼミが24%、その他2%。

大阪市内に限ると、クマゼミが98%、アブラゼミが2%、その他ゼロ。

とクマゼミが圧倒的に多い。

別の調査で最近の4年間の結果では、

▽ アブラゼミ72.1~77.6%

▽ クマゼミ11.5~16.8%

▽ ニイニイゼミ5.3~15.4%

▽ ツクツクボウシ0.2~1.0%。

ということで、ツクツクボウシは希少種のようなのだ。

2022-6-12 文責 山本洋一