

## サイエンスショー「電気 ふるえる きこえる」実施報告

上羽 貴大 \*

### 概要

2020年8月6日から8月30日まで、コイルによる電気と音の信号の変換をテーマとしたサイエンスショー「電気 ふるえる きこえる」を実施した。スピーカー、マイク、ギターピックアップといった電気音響部品が、いずれもコイルと磁石を組み合わせた単純な構造で再現できることを紹介し、その原理を大型強力磁石や大型コイルを用いて示した。スピーカーなど電気音響部品は楽器よりも身近な存在であるが、動作原理は学校ではあつかわれず、大人にもあまり知られていない。電磁気学的な性質よりもその音響的応用をテーマに置き、子供から大人まで親しみやすく、意外性を感じられるショーを目指した。

### 1. はじめに

音に関する過去のサイエンスショーは「音は振動である」が主題であった。一方、電気音響をテーマにしたショーは全国的にもほとんど行われていないようである。スピーカーなど電気音響部品は楽器よりも身近な存在であるが、その原理は学校ではあつかわれず、大人にもあまり知られていない。そこで、スピーカー、マイク、ギターピックアップなどの電気と音を変換するしくみが、わずかコイルと磁石のみで作られていることを、実験を通して知ってもらうことを目指し、ショーを制作した。子供から大人まで意外性を感じられるショーになると想定した。

新型コロナウイルス感染拡大対策のため、大阪市立科学館では8月5日までサイエンスショーの実演を休止していた。そのため、当初は6月5日より上演を開始する予定であったが、上演期間は8月6日から30日に限られた。

### 2. メインビジュアル

広報のために作成した当該サイエンスショーのメインビジュアルを図1に示す。ショーで登場する電気音響機器(スピーカー、マイク、エレキギター)をすべて抱えている。自分の顔がアイキャッチになるだろうという考えにより、筆者を登場させた。夏季期間のショーということ

でアロハシャツである。英題「Turning Electricity into Sound(直訳:電気を音に変える)」は、非日本語使用者にもショーの内容を端的に伝えるために加えた。

なお、上演前のプレビュー会において、このビジュアルについて「ポスターを見て楽器がたくさん出てくるショーだと思ったが、実際には出てこなくて残念だ」というコメントをいただいた。



図1. 「電気ふるえるきこえる」メインビジュアル

### 3. ショーの流れ

まずショーの流れを示し、次に個々の実験の要点を順にまとめていく。

1. 手作りヘッドホン
2. 実際のスピーカーの構造
3. 原理の解説

\*大阪市立科学館  
ueba@sci-museum.jp

4. いろいろなスピーカー
5. 手作りマイク
6. 手作りギター(ピックアップ)

### 3-1. 手作りヘッドホン

「私は音楽が大好きで音楽をよく聴きます。みなさんは音楽をどうやって聴きますか？最近ではタブレットなどでも気軽に音楽を聴くことができます。(音楽を再生する)でも、電車の中ではこんな風に音楽を流すと、周りの人に迷惑ですね。そんなときは、ヘッドホンとかイヤホンをつけますね。実は手作りできるんです。私の自慢の手作りヘッドホンを見てください」と言って、写真1のようなコイルと端子のついたプラスチックコップ取り出す。まるでガラタのような見た目に笑いが起きる。ところが、コップについた端子をタブレットに接続して、磁石の上にコップの底を近づけると、確かにコップから音楽が聞こえてくるのである。



写真1. 手作りヘッドホン

写真1では iPhone の lightning 端子をミニオーディオ端子に変換しているが、実演ではオーディオ端子のついている iPad mini を使用した。

これは透明の使い捨てプラスチックコップにコイルがコイルは 0.29 mm 径のポリウレタン銅線を、いわゆる「フィルムケース」に 30 回巻いてつくったコイルをセロテープでコップに取り付け、オーディオ端子にはんだ付けして作成した。ショーでは電線をぐるぐる巻いたものをコイルということとあわせて、簡単に作り方を紹介した。

### 3-2. 実際のスピーカーの構造

「つないだ線を切っても、音楽は流れてきません。電線の中には電気が流れているのです。流れた電気を、このヘッドホンが音にしているのです。このように、電気を音にする仕組みをスピーカーと言います。そして、実

際のスピーカーも、このヘッドホンと同じように、コイルと磁石でできています」と言って、スピーカーを解体して見せた。スピーカーコーンを取り外すと、その根元にコイルが、そしてスピーカーのフレーム中央には磁石がついていることが、クリップがくっつくことからわかる(写真2)。



写真2. 実際のスピーカーを観察

(上) 廃品のスピーカーのユニットを取り出す。(下左) ユニットのコーンを外すと電線の両端が見え、コーンの根元にコイルが見える。(下右) フレームには磁石があることを、クリップをつけて示す。

### 3-3. 原理の解説

「ではなぜ、コイルと磁石で電気が音になるのでしょうか。コイルに電気が流れることで何が起きているのでしょうか。」と疑問を投げかけ、直径 20cm ほどのコイルを使った実験に移る。クリップのたくさん入ったボウルにコイルをつけても、何も反応はない。しかしコイルに約 1 A ほどの直流電流を流してボウルから引き上げると、クリップまみれになっている。「コイルは電気を流すと磁石になる」を端的に示す実験である(写真3左)。ここで、「電磁石」という語や、電磁石には磁力をオンオフできる利点があることなどを合わせて紹介した。

次に、「電気で磁石になるコイルを、磁石のそばに置いてみましょう」と言って、超強力磁石を示し、その上にコイルを載せる。観客の予想通り、コイルの電流をオンにすると、磁石に反応するようになり、そしてコイルの表裏に異なる極性が表れていることが、超強力磁石にくっついたり離れたりする様子から推測できる。

磁石にくっついた状態でコイルを置き「いま電気はコイルの中をぐるぐると流れています。電源のスイッチを押すと、流れる向きを逆向きにすることができます。

するとどうなるでしょう」と予想させて、実際にやってみると、電流の向きを切り替えた瞬間、コイルが勢いよく飛び跳ねる。うまくいくと、空中で半回転してふたたび磁石にくっつく(写真3右)。

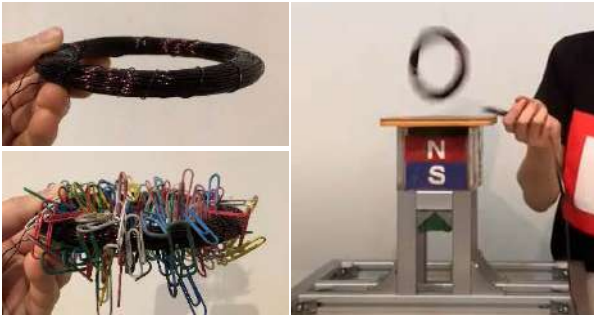


写真3. コイルによる実験

(左) 直流電流でクリップがつく様子(右) 流れる電流の向きをスイッチすることで磁石の上で飛び跳ねるコイル。

「では、同じことをとてつもなく素早く何度もやってみましょう」といって、直流電源のトグルを数回切り替え、せわしなく磁石の上をはねる様子を見せたあと、「これをもっと細かく何度も電気を行ったり来たりさせましょう。これより早く手でやるのは大変なのですが、行ったり来たりする電気を流す機能があります。そのような電気には交流電気という名前がついています」と言い、電源を交流電流に切り替えると、コイルが振動してびりびりという音が聞こえてくることに注意してもらおう。ただし、60Hzの低音ではなく、硬いコイルが磁石のカバーにあたる高音のノイズが目立つ。しかしながら、ここでは音が出ている事実のみ注意してもらえばよい。「音が聞こえてきましたね。これがスピーカーのしくみです。行ったり来たりする電気に合わせて、コイルが磁石の上でふるえて、音を出しているのです」という。

スピーカーが実際にふるえて音を出している様子を見てもらうため、次のような実験をおこなった。スピーカーユニットに正弦波音源を入力し、1Hzから徐々に周波数を上げていく様子を観察する。すると、最初はコーンがゆっくり上下するだけのところから、次第に目で追えないほど早く振動していき、それにとまって音高の上昇する音が聞こえてくるのがわかる。

この実験は、タブレットからアンプを経由してスピーカーユニットに接続し、タブレットには正弦波を出力する無料のアプリをダウンロードしておこなった。

### 3-4. いろいろなスピーカー

「このようにコイルと磁石があれば、どんなものもスピーカーにできてしまいます」と言い、3つの作例を紹介した。ひとつはブラダンの1枚板、そして段ボールの空

き箱、もうひとつはやかんにそれぞれコイルを貼り付けたものである(写真4)。使用したコイルは写真1のものと同一である。見た目とは裏腹にしっかりと音楽が聞こえることに意外そうな声を上げる観客が多かった。



写真4. やかんスピーカー

### 3-5. 手作りマイク

「電気を音にするのがスピーカーです。ではその逆で、音を電気にするものを知っていますか？」と尋ね、ダイナミックマイクを見せてスピーカー(SONY TCM-1390を使用)につないで拡声して見せる。



写真5. ダイナミックマイクと実験用スピーカー

「実はこのマイクも手作りすることができるんです」と言って、最初に紹介した手作りヘッドホンを再び取り出す。「どこかで見たことがありますか？そうです、最初に紹介したヘッドホンです」と言って、スピーカーの入力側に手作りヘッドホンを接続する。そしてコップの底に磁石を近づけ、コップに向かって声を出すと、明らかにスピーカーから拡声された音声が出力されていることがわかる。

この原理の解説のため、超強力磁石の上で、LEDライトを取り付けたコイルを動かすと、その動きにあわせてLEDライトが点滅する実験を用意した。ただし、この実験はスピーカーの原理説明の実験よりも見た目に地味であり、時間に余裕がないため、適宜省略した。原

理自体を説明しなくても、スピーカーと同じ仕組みでマイクにもなる、ということが伝わればこのショーとしては十分と考えている。

### 3-6. 手作りギター(ピックアップ)

「音を電気にするものは、こんなものもあります」といって、エレキギターを取り出し、接続したスピーカーから音を出して見せる。スピーカーに繋がないと音はほとんど聞こえないが、弦のふるえを電気にして、ケーブルを伝っており、それがスピーカーで再び音になっていることを説明する。「エレキギターにもコイルと磁石が使われています。」と言って、クリップを近づけると、ピックアップにくっつくことがわかる。「ギターでふるえを電気に変える仕組みはピックアップといいます」と言って、ピックアップのパーツを見せ、6つ並んだ磁石と、そのまわりにコイルがあることを説明し、電線の両端2本が確かに飛び出ていることを見せる(写真6)。



写真6. ギターのピックアップ

やはりここでも「エレキギターも手作りできます」と宣言し、文献[1]の手作りギターを取り出す。弦の両端をプラスマイナスとしてスピーカー入力に接続し、弦の裏から磁石をあてて弦を弾くと、たしかにスピーカーから弦の音が聞こえる。最後にこの手作りギターで簡単なフレーズを演奏し拍手が起こったところで、「コイルと磁石で、スピーカー、マイク、ピックアップが作れてしまいます」と振り返り、ショーを終える。

## 4. 企画を振り返る

3-5でも述べたように、このショーではマイク、ピックアップの動作原理の詳細を解説することは避けることが多かった。これは時間的制約のほか、詳しく解説しようとして「マイクができた」「ギターになった」という現象の意外性への驚きがさめてしまうのを避けたかったことによる。「複雑そうで多様な電気音響機器が、いずれもたったコイルと磁石だけで再現できてしまう」ということをショーの中心に置いて構成した。

スピーカーの原理説明のところも、なるべく退屈しないよう、派手に見えるような実験を取り入れようと注力した。強力磁石と大型コイルで説明するところは盛り下がることを心配していたが、幼い観客にはむしろそれらの実験の方を楽しそうに観ているようだった。特にコイルに電流を流すとクリップを引き付け、電流を切るとクリップが落下する、という現象に非常に喜んでいて。

このショーの上演は夏休み期間ということもあり、小学校低学年程度の観客のうち、10人に3,4人は、終演後に詳しい作り方を聞きに来ていた。大人から詳しい作り方を問われることも5,6回あった。工作の面白さが伝わっていることが感じられ、大変うれしいことではある。しかしながら、自宅でのこの工作を再現する環境を整えるのが難しいことが悩ましい。マイクやギターを実験するには、適当なスピーカーが必要であるが、いわゆる「ラジカセ」は、もはや一般的ではないのである。工作のためにわざわざ型の古いラジカセを用意しなければならない。ただし、ショーで取り上げた手作り装置のうち、スピーカーは家庭でも比較的再現しやすい。タブレットやPCのイヤホンジャックに、適当な巻き数の手作りコイルをつなぎ、磁石と組み合わせれば、スピーカーの動作は確認できる。

実演者にとってのショーの難点は、ケーブルの多さ、断線トラブルの頻出である。機器にあわせた複数種類の端子とケーブルが混在していたため、実演者にはケーブル管理や接続方法をおぼえることへの負担が大きかった。実演の間で断線について、特に細いポリウレタン銅線で作ったコイルなどは消耗品と割り切り、予備を複数用意する必要があった。再演のためには、ケーブル種類の簡略化が求められる。

## 参考文献

[1] 長谷川『サイエンスショー「忍法！電気ぐるぐるの術」実施報告』大阪市立科学館研究報告 16, 123-127 (2006).