

技術報告

サイエンスショーでの共鳴実験実演のための工夫

進 悦子*

A Report on Method of Experiment Themed on Resonance in the Science Show

SHIN Etsuko

Abstract : The Ehime Prefectural Science Museum has held the Science show “The strange sound magic show” from April 13th through July 1st in 2018. This science show's theme is on “sound” and on “resonance”. The aim of this science show is to make visitors experience and understand various physically unseen phenomena caused by sound. However, the two experiments in this show “Bottle magic” and “Put out the fire by sound” often failed during the experiment preliminary or performing on stage. There was still room for improvement in these experiments.

This report describes the method and the knack of two experiments for increasing the probability of succeeding when we perform in front of an audience.

キーワード : サイエンスショー, 実験, 音, 共鳴 (共振), 気柱共鳴, 周波数 (振動数)

Key words : Science-show, Experiment, Sound, Resonance, Column Resonance, Frequency

はじめに

平成 30 年 4 月 13 日 (金) ~ 7 月 1 日 (日) の期間, サイエンスショー「ふしぎな音のマジックショー」を実施した. このサイエンスショーは, 音波によってものを共鳴 (共振) させて, 揺れたり大きく聞こえたりする物理現象によって, 観覧者に不思議さを感じさせながら「音」の本質を理解してもらうことが目的である. その中で行う実験のうち「空き瓶マジック (瓶の固有振動による共鳴実験)」および「サウンドマジック! 音で火を消す (気柱共鳴の実験)」は, 予備実験やサイエンスショーにおいても度々失敗することがあり改善する必要があった. この 2 点について, 成功度を高めるため行った実験方法と道具の工夫について報告する.

実験内容

空き瓶マジック (瓶の固有振動による共鳴実験)

1 実験内容

異なった形状の 3 本の空き瓶の上にアルミ箔をそれぞれ乗せ, 狙った瓶の上のアルミ箔だけを音波で落とす. 2 ~ 3m 離れたところから選んだものと同じ種類の瓶の

口に息を入れて音を出す. 瓶の口に勢いよく息を吹き込むと, 吹き込んだ空気の一部が瓶のふちに当たり渦が発生しそれが空気を振動させて瓶に固有の振動数を持つ音が発生する. その音波が空気を媒体にして少し離れたもう一つの瓶へ伝わり振動させる. 二つの瓶の固有振動数が同じである時, 共振することで開口部付近の空気の振動が大きくなり, 振動が伝わったアルミ箔は動いて落ちる.

2 問題点とその原因の仮説

音を鳴らしてもアルミ箔が全く動かない, もしくは狙った瓶と違うアルミ箔も同時に落ちてしまうことが予備実験の際に頻繁に起きた. アルミ箔が動かない原因として, 瓶の音量不足, 正しい音程が出せていないこと, 音波が狙った瓶に十分に到達していないと考えた. この問題を解決するために, 正しい音程で必要な音量となる音の出し方を意識すること, そして, 音がもう一方の瓶に届くようにアクリルカバーと反射板で挟み込み, 音の回折現象を利用することとした.

同時に落ちる原因としては, 各瓶の固有振動数が近似していることによって両方が共鳴してしまうのではないかと仮説を立て, 瓶の固有振動数を測定して選定を改めることとした. これらを改良して, 現象を確実に実現出

* 愛媛県総合科学博物館 学芸課 科学・産業研究グループ
Curatorial Division, Ehime Prefectural Science Museum

来ることを目指す。

3 実験に使用したもの

空き瓶 (こどもののみもの、リポビタミン D、キレートレモンの空き瓶)、アルミ箔 (6cm × 6cm) を山型に折ったもの、反射板 (スチロール板 900 × 400mm)、透明アクリル板 (700 × 300mm)

4 実験方法と工夫、改善

反射板の手前に 20cm 間隔で 3 本の異なった形状の空き瓶を並べ、鳴らす瓶との間に透明アクリル板を置く (写真 1)。並べた空き瓶の口の部分に山型に折ったアルミ箔を乗せる。2m ほど離れたところから空き瓶に息を吹き込んで音を鳴らす (写真 2)。

(1) 空き瓶の改善

固有振動数に差が大きい組み合わせ、見た目で瓶の違いがわかることを考慮し、大きいサイズの「こどもののみもの (335ml)」, 緑色の「キレートレモン (155ml)」, 茶色の「リポビタミン D (100ml)」の 3 種類の空き瓶を選定した。サウンドモニターソフト「FFT WAVE」を用いて、空き瓶の固有振動数を測定し「こどもののみもの」204.6Hz, 「キレートレモン」334.Hz, 「リポビタミン D」419.9Hz という値を得た。その他に試した瓶の固有振動数は表 1 のとおりである。

(2) 音の出し方の工夫

瓶は、底を手のひらに乗せて瓶の下部を指で押さえるようにして持つ (写真 3)。瓶全体をつかむと振動が抑えられ十分な音量が出ない。音の出し方は、一定の振動数が 2～3 秒間続くようにゆっくりと吹く。速く吹き込むと倍音が生じるため共振が起こりにくくなると考えられる。サウンドモニターで振動数を確認しながら一定の音程が出せるように鳴らす練習をした。

(3) 音波の回折

観客が瓶の様子を見ることが出来るように、瓶の前方に透明アクリル板を、後方に反射板を挟み込むように設置して実験する。透明アクリル板の後ろ側に音波が回り込む回折現象が起こり瓶に伝わる。波長が長いほど回折する効果は大きいので、低音の出る大きめの瓶が大きく振動すると考えられる。

5 結果・考察

サイエンスショー期間中 60 回この実験を行い、そのうち 42 回成功した。成功率 70% となり、予備実験時 2 回に 1 回の成功率より高くなった。そのうち上手く出来なかった回は、空き瓶で音を出すのが苦手な実演者が行った時が多かった。音を大きく長く安定した音程で出せるように実演者の事前練習の必要がある。

成功率が上がったもう一つの要因は、実際にステージで行う際に使うマイクが音を拾い振動が増したことが考えられる (写真 4)。そのほか、実験前にアルミ箔が落ちてしまうことがあり、会場周辺の実験装置が発する音

の影響と思われる。実演する環境によっても成功率が左右されると言える。

他館のサイエンスショーでは、高音で振動回数の多い小型の瓶一種類を使用して行っている実験を見たことがある。今回は、音の回折現象を利用して大きめの瓶を使用することが出来、様々な大きさの複数の瓶を使うことで、瓶それぞれが固有の振動数を持つということを観客に、より実感させることが出来たと思われる。狙った瓶のアルミ箔だけがパサッと音を立てて下に落ちると、観客から驚きの声と拍手が起こった。目に見えない「音」が離れたところのものを動かすことが、マジックのような不思議さを観客に感じさせ、このサイエンスショーの目的の一つを達成することが出来た。

サウンドマジック！音で火を消す (気柱共鳴の実験)

1 実験内容

四つのメスシリンダーに水を入れてソラシドの固有振動数となるように気柱の高さを調節する。スピーカーの前にこのメスシリンダーを設置し、メスシリンダー開口部にろうそくを設置して点火する (写真 5)。電子キーボードでドレミファソラシドの順番で音を出し、その音の振動数が気柱の固有振動数と一致する場合、管の中に定常波が生じる気柱共鳴現象が起こりろうそくの火が消える。気柱共鳴により、管の中に空気が激しく動く部分 (腹) と動かない部分 (節) が生じる。管の開口部は腹にあたるため、そこに設置されたろうそくの火は空気が激しく動くことでかき消されてしまう。

2 問題点とその原因の仮説

シ (B4) の音を出すと、オクターブ上のド (C5) の火も同時に消えることが発生した。シとドの音の間隔は半音であり、B4 (493.9Hz) と C5 (523.3Hz) の振動数の差が小さいためにどちらも共鳴したのではないかと考えた。水の蒸発によるわずかな水位の変化にも影響されることも考えられる。共鳴の起こる範囲内でシとドのメスシリンダーの水位に差をつけてこの問題を解決するように試みた。

3 材料・道具

メスシリンダー (容量 500ml 高さ 450mm 直径 50mm) 4 本、ろうそく (5min) 4 本、燃焼さじ (持ち手の根元部分を U 字に曲げておく) 4 本、スピーカー (山水電気 S-700XD インピーダンス 6 Ω 最大瞬間入力 150W)、アンプ (Technics SU-Z360)、電子キーボード (CASIO CTK-240)、透明アクリル板

4 実験方法

- (1) キーボードをアンプに繋いだスピーカーに接続する。キーボードの音量は最大にする。
- (2) メスシリンダーに水を入れて、固有振動数がソ (G4) 392.0Hz, ラ (A4) 440.0Hz, シ (B4) 493.9Hz, ド (C5)

- 523.3Hz となるように水量を調節しておく。
- (3) スピーカー目前にメスシリンダーの開口部がくるように設置し、メスシリンダーの淵にろうそくを刺した燃焼さじを引っ掛けてろうそくに点火する。
- (4) アンプ出力を大（このアンプではレベル1にセット）にし、オクターブ下のド（C4）から順番に音を出す。メスシリンダーとスピーカーの前に透明アクリル板を立て、観客の耳に届く音量を軽減させる。

5 実験の改善

シとドの音が干渉しないように、メスシリンダーの水位調整し周波数の差を広げた。まず、メスシリンダーの水位で気柱の長さを変えて、それぞれの固有振動数を作るための気柱の長さを算出した。このサイエンスショーでは、ド・レ・ミ・ファの音では消えず、ソ・ラ・シ・ド（オクターブ上）の音で共鳴させる。理科年表の「楽音の基本周波数」より、各音の基本周波数はソ（G4）392.0Hz、ラ（A4）440.0Hz、シ（B4）493.9Hz、ド（C5）523.3Hzである。音速 340m/s、開口端補正 1.5cm（メスシリンダー半径 2.5cm の約 0.6 倍で算出）、波長×周波数=音速であるので、

ソ（G4）：波長 = $340/392.0 \approx 0.87\text{m}$

1/4波長 $\approx 0.218\text{m} = 21.8\text{cm}$

管の長さ $21.8 - 1.5 = 20.3\text{cm}$

ラ（A4）：波長 = $340/440.0 \approx 0.77\text{m}$

1/4波長 $\approx 0.193\text{m} = 19.3\text{cm}$

管の長さ $19.3 - 1.5 = 17.8\text{cm}$

シ（B4）：波長 = $340/493.9 \approx 0.69\text{m}$

1/4波長 $\approx 0.172\text{m} = 17.2\text{cm}$

管の長さ $17.2 - 1.5 = 15.7\text{cm}$

ド（C5）：波長 = $340/523.3 \approx 0.65\text{m}$

1/4波長 $\approx 0.162\text{m} = 16.2\text{cm}$

管の長さ $16.2 - 1.5 = 14.7\text{cm}$

気柱をメスシリンダー開口部から上記の長さになるように水を入れて音階を作ることが出来る。このメスシリンダーを使った時の音の周波数と波長、管の長さの数値については表2のとおりである。共鳴の起こる範囲内で、シの管の長さ 15.7cm（493.9Hz）から 16cm（484.5Hz）へと 3mm 長く調整し、ド 14.7cm（523.3Hz）を 14.3cm（527.5Hz）へと 4mm 短く調整し、管の長さの差異 7mm で 2 音の周波数の差を作った。

6 結果・考察

調整後は二つが同時に共鳴することは少なく、改善の効果はあったものと思われる。周波数の差に開きが少ないミ（E4）329.6Hz とファ（F4）349.2Hz にも同じことが起こると考えられるので、この 2 音にも同様の調整が必要と言える。また、実験する間隔が空き、時間が経ってしまうと、どちらの音を出しても火が消えないことも起った。メスシリンダー内の水が蒸発することで音程が

微妙に変わったことが原因であると考え、実験前には必ず水位を確認し、蒸発を防ぐためメスシリンダーにガラスカバーをするようにした。

サイエンスショーでは、キーボードの「ソ」「ラ」「シ」「ド」の鍵盤をそれぞれ 4 人の観客に押ししてもらい（写真 6）、順番に火が消えると会場から驚きの声をと拍手が起こった。幼児が鍵盤二つを同時に押ししてしまったことがあり、この時は消えなかった。二つの音の差音が生じ共鳴を起こさなかったと考えられる。そのことから、観客にキーの確認と音を出す事前練習をしてもらってから本番を行うようにした。実際に実演を行う中で、観客の反応や会場の環境に注視して改善・工夫することにより、サイエンスショーの内容をブラッシュアップさせることが出来た。

参考文献

国立天文台編 “楽音の基本周波数”. 理科年表 2017 机上版. 丸善出版, 2017, p.440

上智大学理工学部情報工学科音声コミュニケーション研究室 荒井隆行. “一様音響管における共鳴”. 2017. <http://splab.net/APD/A610/index-j.html>, (2018. 1. 22 参照)

表1 瓶の種類と固有振動数

名 称	容量 (ml)	色	固有振動数 (Hz)
こどものみもの*	335	茶	204.6
バヤリース	250	無色透明	226.1
コカコーラ	250	薄緑	247.6
デカビタ C	210	茶	279.9
オロナミン C	120	茶	333.8
キレートレモン：*	155	緑	344.5
ビタミンレモン	140	無色透明	355.3
ファイブミニ	100	無色透明	387.6
リポビタミン D *	100	茶	419.9

*は実験で使用した瓶

表2 メスシリンダー（容量 500ml 高さ 450mm 直径 50mm）で作る音階と周波数と管の長さ

音階	記号	周波数 (Hz)	波長 (mm)	1/4 波長 (mm)	管の長さ (mm)
ド	C4	261.6	1300.0	323.0	335.0
レ	D4	293.7	1158.0	289.5	274.5
ミ	E4	329.6	1032.0	258.0	243.0
ファ	F4	349.2	974.0	243.5	242.5
ソ	G4	392.0	870.0	217.5	202.5
ラ	A4	440.0	770.0	192.5	177.5
シ	B4	493.9	690.0	172.5	157.5
ド	C5	523.3	650.0	162.5	147.5

開口端補正：15mm

周波数：理科年表（物 77）楽音の基本周波数表より



写真 1



写真 2



写真 3



写真 4



写真 5



写真 6

