

音を視覚的に捉えるクントの実験装置の開発と 中学校理科第1学年「身近な物理現象」における活用

勝野 孝

大垣市立江並中学校

川上 紳一

岐阜大学教育学部

Development of experimental apparatus for visualization of sound according to Kundt's experiment and its utilization in the subject "familiar physical phenomena" in junior high school

Takashi Katsuno

Enami Junior High School, Ogaki-shi, 503-0934, Gifu, Japan

Shin-ichi Kawakami

Faculty of Education, Gifu University, Gifu, 501-1193, Japan

要 旨

音について生徒が興味・関心を高め、少しでも理解しやすくするため、音を視覚的に捉えることができる教材・教具としてクントの実験装置の製作を行い、それをを用いた授業を行った。音は空気の振動によって伝わることや、波で表現されることを生徒が理解することは困難な傾向がある。そこで、生徒の多くが「音を目で見てみたい」と思っているという現状を踏まえて、音を目で見てイメージすることができるような実験器具を試作した。授業実践を通じて、授業中における生徒の学習する姿やノートの記録、アンケートによる理解度の調査を行って、効果と課題を明らかにした。さらに、本研究で製作した教材を、より安価に、より分かりやすくできる手段についても検討を行った。

【キーワード】：中学校，理科，音，振動，周波数，クントの実験，可視化

1. はじめに

中学校学習指導要領解説理科編によると、本単元（身近な物理現象）、特に本研究のテーマである音の世界における目標は、「身近な事物・現象についての観察，実験を通して，光や音の規則性，力の性質について理解させるとともに，これらの事物・現象を日常生活や社会と関連付けて科学的にみる見方や考え方を養う。音についての実験を行い，音はものが振動することによって生じ空気中などを伝わること，及び音の高さや大きさは発音体の振動の仕方に関係することを見いだすこと」となっている（文部科学省，2008）。

本研究では，音の伝わり方や音による振動を

目で見て実感できる実験を通して，音は空気の振動によって伝わることや，音のようすは波で表わすことができ，音の大小と振幅，音の高低と振動数が関連することを見いだすことができるような力を付けていくことに焦点を当てた。身のまわりには，たくさんの音が存在している。学校生活の中で流れる校内放送，好きなアーティストの音楽，電車が通る時になる遮断機の音などである。音は私たちの生活に欠かすことのできないものであるが，人がそれを目で見ることは困難で，生徒にとってもイメージしにくいものである。そこで，音をよりイメージしやすい学習環境をつくり，目で見て実感できるようにすることで，生徒の確かな理解につながるの

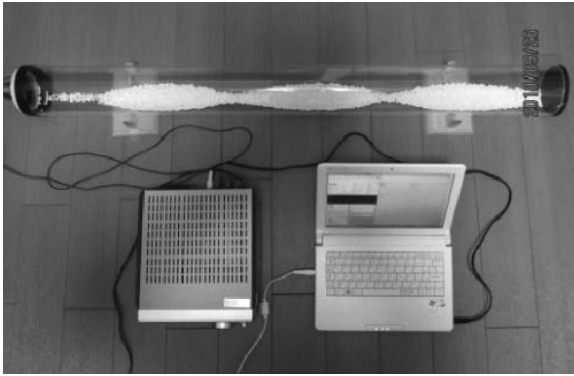


図1. 実験装置. パソコンで発生させた低周波信号をアンプで増幅し、スピーカーで発生させた音で、気柱に定常波を発生させる。

人が五感を使って外部から得る情報のうち、目から得る視覚的な光の情報は、その多くを占めている。そこで、本単元に入る前に「音の様子を、もし目で見る事ができたなら、見てみたいと思いますか」といった事前アンケートを取ったところ、33人中30人が「見たい」と答えた。

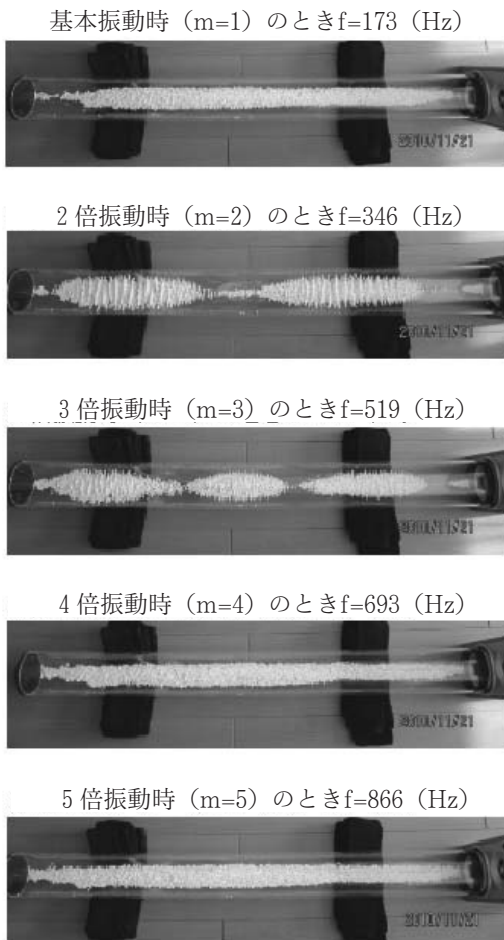


図2. 各周波数の時に生じる波形。

そこで、本研究では、音を目で見ることのできる教材・教具としてクントの実験（上野，2007）に注目し、教具の開発とそれを用いた授業の工夫を試みた。

クントの実験に関する理科教材研究や、教材開発には多くの先行研究がある。千葉ほか（1999）は、高音用スピーカーを音源として、可聴音域から超音波音域での定常波を可視化する実験装置を開発し、可視化には管の太さや固定端の材質が影響することを明らかにしている。吉成ほか（2009）は、クントが用いた石松子と発泡スチロール球の2つの媒質について、粒子がたまる位置を調べ、石松子では節に、発泡スチロール球では腹に粒子が集まることを明らかにしている。笹川（2009）は、こうした現象のメカニズムを数値計算を行って考察している。一方、音を可視化する実験装置の開発と授業による評価については、高等学校の物理における研究がある（北村，1992；松田，2005）。本研究は、中学校の理科授業における生徒の興味・関心を高める手立てとして、クントの実験装置の導入を試みた。

2. 実験装置の開発

「新 観察・実験大事典,物理編」(東京書籍)に掲載されている「気柱内の定常波の様子を調べる実験」を参考に、実験装置を作成した(図1)。気柱管として直径10cm,長さ1mの透明アクリルパイプを用い、粒子の運動の様子を観察できるようにした。パイプの端はゴム管で栓をして閉管とし、手芸用に販売されている直径約3mmの発泡スチロール球を200ml程度入れた。発泡スチロール球については、常温乾燥型の静電気防止剤「コルコートN-103X」を用いると、静電気の影響を抑えることができる。パソコンからの信号をアンプで増幅し、スピーカーで音を発生させ、発泡スチロール球の入ったアクリルパイプ(気柱)にスピーカーを近づける。音源ソフトを用いて一定の周波数を出力し、徐々に音の大きさを大きくしていくと、気柱の中の発泡スチロール球が振動しながら、定常波を描くようになる。

なお、それぞれの波形をつくる周波数は、以

下の計算によって求めた。

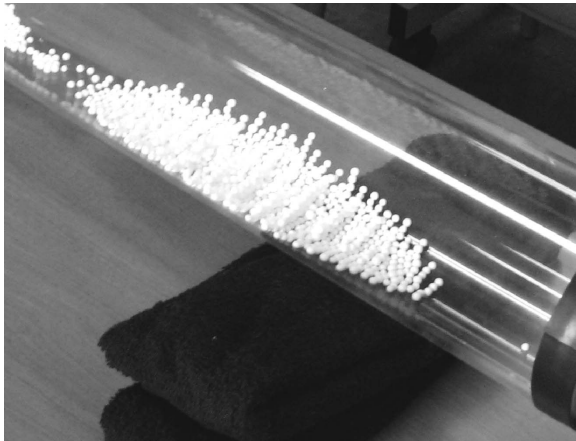


図3. 発泡スチロール球が垂直に配列する様子。

空気中の音速

$$v = 331.5 + 0.6t \text{ (m/s)} \cdots(1)$$

より、室温を25℃と仮定すると

(1)より $v=346.5 \text{ (m/s)}$ となる。

また、パイプの長さ L (今回は $L=1\text{m}$)における共振周波数

$$f = m \times v / 2L \text{ (Hz)} \text{ (} m=1, 2, 3 \cdots) \cdots(2)$$

より、(2)に $m=1, 2, 3, 4, 5$ を代入して周波数を求め、そのときにできる波形を調べた(図2)。

実験によると、2倍振動時と3倍振動時で行った場合のみ、空気の振動のようすを波形をもとに観察することができた。この2つの条件のもとでは、発泡スチロール球が垂直に立つようすを観察できた(図3)。

そこで、授業では最も波形が見やす520Hzの低周波を採用して実験を行った。なお、本実験では、フリーソフト、多機能高精度テスト信号発生ソフト「WaveGene」を用いた。

3. 授業実践

中学校第1学年「身近な物理現象」の単元全25時の第15時の授業(音の世界全5時の第5時)で、クントの実験を演示した。

本時は、クントの実験装置を用いて、音が空気の振動によって伝わること、音の様子は波のように表現できることを観察したり、オシロスコープで表わされた音波の様子を観察したりする活動を通して、音の様子は波のように表現でき、音の大小と振幅、音の高低と振動数との関

係が見事に波形に表れていることを見いだすことができることをねらいとしており、音の単元の終末授業として行った。表1に授業の流れを示す。

表1. 授業の展開

導入	<p>1. 導入実験から課題を設定する</p> <ul style="list-style-type: none"> クントの実験装置(図1)を用いて、発泡スチロール球を入れたアクリルパイプの中の気柱に低周波の音を入れ、発泡スチロール球が振動しながら波形模様をつくっていくようすを見る。 <p>T「スピーカーは、音を出している時はどうなっている?」S「振動している。」</p> <p>T「スピーカーから出た音は、耳までどうやって伝わるの?」S「空気が振動しながら伝わる。」</p> <p>T「この機械を使うと、そのようすを目で見ることができよ。」→実験を行う。</p> <p>T「どうなった?」S「振動していた。」T「他に気づくことはないかな?」S「魚のような形をしている。」</p> <p>T「この音が伝わるようすを目で見ることができ機械があるよ。」←オシロスコープを見せる。</p> <p>T「今日は、オシロスコープを使っていろいろな音のようすの特徴を調べてみよう。」</p>									
展開	<p>課題 オシロスコープを使って音のようすを観察し、いろいろな音のようすの特徴を見つけよう。</p>									
まとめ	<p>2. 実験する</p> <p>方法: モノコードで大小高低いろいろな音を出し、その音のようすをオシロスコープを使って観察する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 大きな音, 小さな音, 高い音, 低い音はそれぞれどのようにしたら出せるのか考える。 <p>3. 結果を交流する</p> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th></th> <th>高い</th> <th>低い</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>大きい</td> <td>山の高さは高く, 山の数は多い.</td> <td>山の高さは高く, 山の数は少ない.</td> </tr> <tr> <td>小さい</td> <td>山の高さは低く, 山の数は多い.</td> <td>山の高さは低く, 山の数は少ない.</td> </tr> </tbody> </table> <p>4. 他の音の場合でも、同様のことが言えるかどうか確かめる。</p> <ul style="list-style-type: none"> クラス全員で同様の波形を観察し、3の実験結果と同様の傾向があることから、音のようすには、それぞれ決まった特徴があることが分かる。 <p>5. まとめ</p> <p>まとめ オシロスコープを使うと、音のようすを波で表現することができ、大小高低それぞれの音について、決まった特徴の波形をもつ。</p> <p>6. ふり返りカードに、ふり返りを記入する。</p>		高い	低い	大きい	山の高さは高く, 山の数は多い.	山の高さは高く, 山の数は少ない.	小さい	山の高さは低く, 山の数は多い.	山の高さは低く, 山の数は少ない.
	高い	低い								
大きい	山の高さは高く, 山の数は多い.	山の高さは高く, 山の数は少ない.								
小さい	山の高さは低く, 山の数は多い.	山の高さは低く, 山の数は少ない.								

クントの実験装置でつくった波形を観察することで、生徒は「発泡スチロール球が動いた」、「発泡スチロール球が立った」、「3つに分かれた」などと事象を捉えることができた。

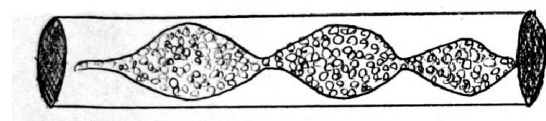


図4. 生徒が描いたスケッチの例。

図4は、生徒がノートに描いたスケッチである。生徒とのやりとりの中で、「音は何らかの形で表現できそうだと見通しをもたせた上で、「音のようすを表す道具があって、それをオシロスコープといいます」とオシロスコープを紹介した。このようにしてオシロスコープを紹介することで、生徒にとって、音の様子を抵抗なく理解できるようにした。

本時の実験では、以上のように紹介されたオシロスコープを用いて、音の様子の特徴を見つける活動を行った。モノコードを用いて大きな音、小さな音、高い音、低い音を発生させ、それらの音の様子をオシロスコープで観察、記録した。

実験終了後、全員で同じ波形を観察する活動を行い、自分たちで見つけた特徴が、パソコンで出した決まった周波数の音でも当てはまることを確認した(図5)。



図5. 音の性質に関する実験結果を確認する授業の場面。

4. 議論

(1) 音を可視化することの効果

クントの実験装置を用いて、音を可視化したことで、生徒は次のような感想をもつことができた。

- ・音は空気が振動して耳に伝わるということが、この球が動いたことでよく分かった。
- ・音を出すと、発泡スチロール球が立って、音の様子が波になって表れていた。
- ・最初、動くということは分かっていたけど、3つに分かれるとは予想していなかったの、

びっくりした。

以上の感想を読んでも分かるように、本実験によって、音は空気の振動によって伝わっていることや、音の様子が波のように表されることに、多くの生徒が気付くことができた。また、音が鳴っている時に、閉管をつくるゴム管に手を触れさせることで、音を伝えている時の空気が振動していることを体感させることができた。

授業後に「音は空気の振動によって伝わり、波で表されることを理解できましたか。」という質問に対して、33人中32人が「理解できた。」と答えたことから、音を可視化することで、生徒の確かな理解につながったと考える。

音の可視化については、ギターや弦の振動を高速度カメラで撮影したVTRを視聴することで、音と振動が関係していることを捉えさせることができる(真鍋ほか, 2009; 栗本ほか, 2010)。こうした授業展開と比べて、クントの実験を取り入れたことのメリットは、発音体の振動ではなく、音を伝える媒体である空気の振動を見たり感じたりできることや、音の波形に思考をもっていくことができることにあると考える。

(2) 実験装置の改良の試み

本実践で、突然オシロスコープを使って音の様子を観察するのではなく、クントの実験の間にはさみこみ、クントの実験装置で観察した波形→オシロスコープで描いた波形→全員で同じ波形の観察の順に学習活動を展開していくことで、音の様子を波で表わせることをつかませ、オシロスコープの波形について実感を伴った理解につながった。本実践で作成したクントの実験装置は、作成にやや費用がかかり、作成にも時間がかかってしまう。そこで、本実践で開発したように、確実に波形が得られるクントの実験装置を作成した上で、より正確な波形はできないか、より安価で製作しやすいものはできないか、などを視点に改良してみた。以下に、その結果と考察を示す。

(a) 周波数を固定して、アクリルパイプの長さを変えて実験した結果

本実験では、アクリルパイプの長さを調節で

きるようにするため、丈夫な桜の木をパイプの内径94cmの円に切り抜いたものに押し棒を取り付けた道具を製作し、スピーカーからの距離を自由に変えられるようにして実験した。尚、各振動時の長さは前述の式により計算した。

① 200Hz（2倍振動時以上は $L=100\text{cm}$ 超のため実験不可）

200Hzの音では、基本振動時のみ実験できたが、見やすい波形を得ることはできなかった。また、振動のようすもほとんど観察できなかった。

② 400Hz（3倍振動時以上は $L=100\text{cm}$ 超のため実験不可）

400Hzの音では、基本振動時、2倍振動時共に見やすい波形を得ることはできなかった。また、振動のようすもほとんど観察することができず、400Hzの音ではうまく表すことができないことが分かった。

③ 600Hz（4倍振動時以上は $L=100\text{cm}$ 超のため実験不可）

600Hzの音では、基本振動時、2倍振動時、3倍振動時の3パターンで実験を行うことができた。基本振動時と3倍振動時は見やすい波形を得ることはできず、振動のようすも観察することができなかった。しかし、2倍振動時のみ若干ではあるが節を観察することができ、振動のようすもとらえる事ができた(図6)。

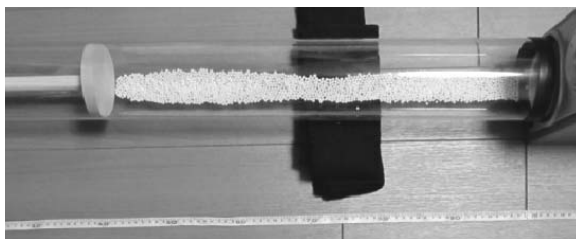


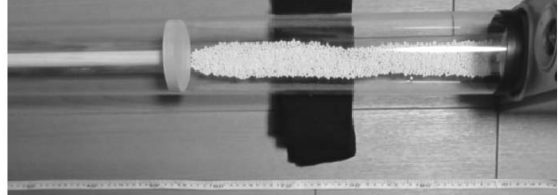
図6. 600Hzの場合. 2倍振動時の波形. $L=58\text{cm}$.

④ 800Hz（5倍振動時は $L=100\text{cm}$ 超のため実験不可）

800Hzの音では、基本振動時、2倍振動時、3倍振動時、4倍振動時の4パターンの実験を行い、600Hzと同様に基本振動時と3倍振動時は見やすい波形を得ることはできず、振動のよ

うすも観察することができなかった。一方2倍振動時は、600Hzと比較するとさらに若干ではあるが、節を観察することができ、振動の様子もとらえる事ができた。また4倍振動時では、振動と共に、閉管部分でのみ1つの明確な波形を得られることができたが、スピーカーよりの3つの波形は得られなかった(図7)。

2倍振動 (44cm)



4倍振動 (88cm)

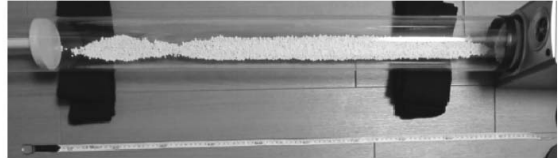


図7. 800Hzの場合の波形. 上:2倍振動 ($L=44\text{cm}$), 下:4倍振動 ($L=88\text{cm}$).

(b) アクリルパイプの代わりに傘袋 ($L=62\text{cm}$) を用いて実験した結果

アクリルパイプは、8千円程度するため、比較的安価(400円程度)で手に入る傘袋を用いて基本振動時、2倍振動時、3倍振動時について実験を行った。尚(a)と同様に、各振動時の長さは前述の式により計算した。実験の結果、どの場合もうまく波形は表れず、スピーカー付近でかろうじて発泡スチロール球の振動が目に見える程度であった。袋全体はカサカサ音を立てながら振動しているものの、袋の材質上、中の発泡スチロール球もはっきりとは見えなかった。

その一方で、なんとかこの安価な傘袋でうまく波形を描きたいという思いで、理論値とは関係なく、様々な周波数の音で実験を試みたところ、138Hzでのみ2倍振動時で観察される波形に近い波形を描くことができた。理論上は559Hzの音で2倍振動時の波形は観察されるはずである。この要因として、アクリルパイプに比べると、傘袋(管)の形が歪で強度が弱かったことで、中の空気の圧力が一定でなかったことなどが考えられるが、傘袋を用いて実験する場合

は、今回は138Hzの音を用いることで、振動の様子や、波形のようなものが表現できることが分かった。



図8. 傘袋を用いた実験. 138Hzでの波形.

5. おわりに

クントの実験は、中学1年生にとって、音に関する興味・関心を高める手立てとして、効果があることがわかった。その最大の理由は、音によって、発泡スチロールが運動を始め、定常波のパターンが現われるという変化にある。気柱の共鳴は高等学校レベルの内容であり、こうした運動を科学的に納得して理解することは難しいが、音と振動の関係性を明確にするための視覚化としては、とても魅力的な実験であるといえる。

今回、授業で用いた「クントの実験装置」をもとに、さらに、(a) アクリルパイプの長さを変える改良、(b) アクリルパイプの代わりに安価な傘袋を用いる改良の2点について実験を試みた。結論から言うと、生徒にとって一番分かりやすいものは、実際に授業で使ったものであった。閉管部分は木材よりもゴムが向いているということ、パイプには、若干高価ではあるが、透明度が高く丈夫なアクリルが向いているということ、パイプの長さは、 $L=1\text{ m}$ が最も適している。

謝辞. 本研究は、平成22年度岐阜県総合教育センターの理科教育講座における研修のなかで、

取り組んだものである。理科教育講座に参加された岐阜県中学校理科研究部会の研究員の方々には、貴重なアドバイスをいただいた。ここに記して感謝いたします。

引用文献

- 北村俊樹 (1992) 生徒用多目的波動実験装置の開発. 物理教育, **40**, 253–256.
- 栗本和宏・川瀬秀樹・伊藤貴範・安田晋一郎・川上紳一 (2010) 音の高低の学習における効果的な教具の活用—中学1年理科「身近で起こる不思議な現象」における高速度カメラを用いた実験—. 岐阜大学教育学部研究報告 (自然科学), **34**, 61–66.
- 真鍋陽子・山田茂樹・川上紳一・東條文治 (2009) 高速度カメラを用いた理科教材開発中学校理科授業での活用研究. 岐阜大学教育学部研究報告 (自然科学), **33**, 55–58.
- 松田素寛 (2005) クントの生徒実験を実施してみても—気柱の共鳴の視覚化—. 物理教育, **53**, 45–46.
- 文部科学省 (2008) 中学校学習指導要領解説理科編, 149p, 大日本図書.
- 笹川民雄 (2009) クントの実験における粒子の運動. 物理教育, **57**, 201–208.
- 千葉芳明・佐藤喜男・本田亮 (1999) 可聴音および超音波定常波の視覚化：クントの実験の現代化. 日本物理学会講演概要集, **54**, 328.
- 上野佳奈子 (2007) クントの実験による定在波の可視化. 日本音響学会誌, **63**, 116.
- 吉成知哲・黒田有南・瀬尾雄司・中村亮太・吉川元気・日向美郷・谷藤涼・細川葵 (2009) クントの実験における媒質のたまり方：媒質の種類によるたまる位置の逆転. 日本物理学会誌, **64** (3月増刊), 133.
- 「新 観察・実験大事典」編集委員会(編集) (2002) 新観察・実験大事典物理編2. 熱光音/波動/電磁気, 127p, 東京書籍.