

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 —

栗本和宏・川瀬秀樹・伊藤貴範・安田晋一郎

岐阜市立陽南中学校理科部

川上 紳一

岐阜大学教育学部

Effective Utilization of Experimental Tools in the Study on Tone Pitch: Experimental Study using High-speed Cameras in the Subject "Familiar Wonderful Phenomena" in Junior High School

Kazuhiro Kurimoto, Hideki Kawase, Takanori Itoh, Shin-ichiro Yasuda
Yonan Junior High School, Gifu, 500-8353, Japan

Shin-ichi Kawakami
Faculty of Education, Gifu University, Gifu, 501-1193, Japan

要 旨

中学1年理科第1分野に「身近で起こる不思議な現象」という単元があり、音の音色や強弱と振動を結びつけて捉える学習が含まれている。これまでモノコードを用いた実験と同時に、オシロスコープやパソコンの画面で音色と振動のようすを捉える授業が行われていた。こうした授業における課題は、音色を振動数の違いとして捉えることができない生徒が少なからずいたことである。

最近になって安価な高速度カメラが市販されるようになり、ギターや弦の振動のようすを撮影したデジタルコンテンツなどが開発されている（真鍋ほか，2009）。本研究では、高速度カメラがさらに安価になり、生徒実験において班に一台ずつ高速度デジカメを与えた授業を実践した。高速度カメラによる撮影の活動を取り入れたことで、生徒たちは意欲的に実験に取り組み、身近な自然現象に対する興味・関心が高まったことが、授業後の学習状況調査から示唆された。

【キーワード】高速度カメラ，音，音色，振動，中学校

1. はじめに

新学習指導要領において、中学校1年の第1分野「身近な物理現象」では、「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」とされている（文部科学省，2008）。また、「身近な物理現象」のうち「音の性質」については、「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出すこと」とされている。また、「音の大きさと振幅の関係や音の高さと振動数の関係については，例えば，音さや弦の振動などを

用いて調べる。弦の振動では弦をはじく強さ，弦の長さや太さなどを変えて音を発生させ，音の大きさや高さを決める条件を見いださせる。このとき，条件を制御して行うことに留意させる。また，オシロスコープやコンピュータを用いて，音を波形で表示させ，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させる」とされている。

本研究では，こうした指導要領解説—理科編の記述内容を受けて，音の高低と振動数の関係を捉えさせようと考えた。また，今まで音の高低の学習を行うときに，オシロスコープを用いて振動数をとらえさせてきたが，物体の振動の様子と振動数の関係をなかなか理解できない生徒がいた。そこで，この関係を視覚的に捉え，

音の高低と振動数の関係を見いだすために、実験では、手作りモノコード、高速度カメラ、オシロスコープを用いた。音の高低を比較させるために、条件を変えることのできるモノコードを作成し、音が出ているときの弦の振動の様子を高速度カメラで撮影して振動数を視覚的に観察できるようにした。また、オシロスコープでも視覚的に捉えることができるようにした。

中学校1年の第1分野「身近な物理現象」における振動の可視化に関する先駆的な研究には、森井・沖花（2006）がある。真鍋ほか（2009）は、市販の高速度カメラを用いて、ギターの弦などを撮影し、デジタルコンテンツとして生徒に視聴させる授業を行っている。本研究では、さらに安価になった高速度カメラを各グループに一台ずつ与え、授業中に高速度カメラで振動のようすを観察させている。

2. 教材・教具の利用と開発

本研究では、高速度カメラを生徒実験として与え、班ごとに撮影を行うことで、興味・関心が高まることを期待している。ここで、カメラによる撮影が授業の中核ではないため、従来のように、弦の張り具合、長さや太さの異なるモノコードで実験を行うことにしている。また、高速度カメラでの撮影のあと、オシロスコープの振動を提示することで、音と振動を関連づけて考察できるのではないかと考えた。

（1）導入において

事象提示では、音を高く出す条件に目を向けさせるために、ストロー笛を提示する。代表生徒が吹いているストロー笛を少しずつ切っていく、音が徐々に高くなることを確かめる。そうすることで、音を高くするには、発音体が短くなればよいという見通しをもたせる。そして、音を高くするための他の条件を予想させるという展開を構想した。

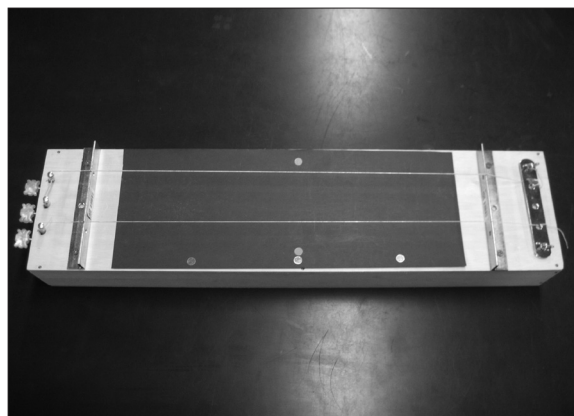


図1. 開発したモノコード。弦の太さ、張り方、太さの違いを調べることができる。

（2）生徒実験で用いた教材・教具

生徒実験のために、手作りモノコードと高速度カメラとオシロスコープを用いた。まず、音の高低を比較できるように、条件（弦の張り具合、弦の太さ、弦の長さ）を変えることのできるモノコードを作成した。弦の張り具合を調節する部分には、ギターのペグを利用した。弦は、高速度カメラで振動の様子が撮影できるように太さの違うアコースティックギターを使用した。そして、弦の長さを調節する道具としてコトジを使用した。図1に手作りモノコードを示す。

弦の振動の様子を撮影するために高速度カメラ（CASIO EXILIM EX-FC100）を利用することにし、10台確保した。ハイスピード動画は、撮影速度が210fps（210コマ/秒）、420fps、1000fpsがある。生徒実験では、1000fpsの撮影速度で、高い音が出ているときの弦の振動と低い音が出ているときの弦の振動を比較して撮影させる。

（3）終末の事象提示

終末の事象提示において、オシロスコープを用いて、音が出ている物体の振動の様子を波形で提示する。発音体として、リコーダー3種類（テナー、アルト、ソプラノ）と犬笛を提示する。リコーダーは、種類によって筒の部分の長さや太さが違っており、高い音が出るリコーダーほど細くて短くなり、振動数が大きくなる。犬笛は金属部分の長さを調整できるものを用いる。金属部分を短くすると、音は聞こえにくくなる

が、振動数は大きくなることを提示した。

3. 授業実践

授業は、単元「身近な物理現象」における「音の性質」の学習の最後に位置づけた。生徒はそれまでに音の伝わり方、音の大小について学習している。授業は、2009年10月に実施した。

(1) レディネステストと授業構想

単元導入前に、以下のようなレディネステストを行った。

問) これまでに、音について疑問に思ったり、興味をもったりしたことはありますか？あれば具体的に書きなさい。

1年生39名中*複数回答あり

- ①ある (34名)
- ・ どうして音が出るのか (6名)
 - ・ 花火や雷で音がずれてくること (6名)
 - ・ やまびこについて (6名)
 - ・ 楽器についての疑問 (5名)
 - ・ どうして糸電話で聞こえるのか (2名)
 - ・ モスキート音、聞こえない音について (2名)
 - ・ どうして水中の方が音が速く伝わるのか (1名)
 - ・ 音によってローソクの火がゆれる (1名)
 - ・ その他 (11名)
- ②ない (5名)

質問結果から、普段、音を聞いて生活している中で、身近な現象についての素朴な疑問をもっている生徒はいるが、その現象が起こる理由については理解していないことがうかがえる。

次に、本時に行く実験について、音を高く出すための振動させる物体の条件を把握するために、以下の問題を作成し、事前調査を行った。

問) ギターで高い音を出したり、大きな音を出したりするにはどのようにしたらよいですか。また、その時のそれぞれの弦の振動のようすはどのようにになっているのでしょうか。

39名中 *複数回答あり

I：高い音を出すには？

- ①弦を変える

- ・ 短くする (9名)
 - ・ 強く張る (4名)
 - ・ 細くする (3名)
- ②弦の弾き方を変える
- ・ 弱く弾く (4名)
 - ・ 速く弾く (5名)
 - ・ 細かく振動させる (1名)
- ③その他 (3名)
- ④無回答 (11名)
- II：振動のようす
- ・ 細かくゆれる (6名)
 - ・ 速くゆれる (4名)
 - ・ 小さくゆれる (3名)
 - ・ 大きくゆれる (1名)
 - ・ ゆれる (8名)
 - ・ 無回答 (17名)
- III：大きな音を出すには？
- ①弦を変える
- ・ 短くする (2名)
- ②弦の弾き方を変える
- ・ 強く弾く (16名)
 - ・ ゆっくり弾く (3名)
 - ・ 大きく振動させる (2名)
 - ・ たたく (1名)
- ③無回答 (16名)
- IV：振動のようす
- ・ 大きくゆれる (15名)
 - ・ 細かくゆれる (5名)
 - ・ ゆれる (2名)
 - ・ ゆっくりゆれる (2名)
 - ・ 無回答 (17名)

上記の結果からは、音を高く出したり、大きく出したりするためにどのような条件にすればよいのかを知っている生徒は多くないことがわかる。また、高い音が出ているときの弦のようすを知っている生徒も少ないため、音の高低と振動のようすを関連付けることはできていない。

そこで本時は、複数の弦をつけたモノコードで条件を統一したり、変えたりしながら高い音を出す実験を通して、「細く」「短く」「強く張る」という条件にして弦を弾けば高い音が出ることに確認させるとともに、高い音を発している物体の振動のようすは振動する回数が多いという事実気付かせる。その事実をもとに音の高低は振動数によって決まるという規則性を見いださせ、身近な楽器がいろいろな高さの音を出せることと関わらせて考えさせることで、科学的な見方や考え方の広まりや深まりを実感させたいと考えた。

(2) 授業の導入での事象提示

授業の導入では、代表生徒が吹いているストロー笛を少しずつ切っていく、音が徐々に高くなることを確かめた。そうすることで、音を高くするには、発音体が短くなればよいという見通しをもつことができた。そして、課題を「どうしたら高い音が出るのだろうか」と設定して、音を高くするための他の条件を予想させた。その他の条件としては、「弦を細くする」「弦の張り方を強くする」という予想が挙げられた。この事象提示により、本時の課題を絞り込むことができたとともに、目的意識をもたせることができた。

(3) 音の高低と振動数の関係を探る実験

予想で出てきた条件は、「弦を短くする」「弦を細くする」「弦の張り方を強くする」というものであった。予想した高い音を出すための条件を確かめるために、手作りモノコードを用いて実験させた(図2)。また、音が出ているときの弦の振動の様子にも着目させて実験を行わせた。条件を変えることができる手作りモノコードを利用することで、「弦を短くする」「弦を細くする」「弦の張り方を強くする」ことで、高い音が出ることを確認することができた。生徒は、弦の振動の様子を観察するために、用意しておいた高速度カメラを進んで利用した(なお、音の大小の学習において、振幅の確認のために高速度カメラは利用している)。高速度カメラの撮影速度を1000fpsとし、高い音が出ているときと低い音が出ているときを比較して撮影することで、高い音が出ているときの弦の振動の方が振動する速度が速いこと、振動する回数が多いことに気付くことができた。ただ、撮影速度が1000fpsの場合には、映像が暗くなるため、鮮明な映像を記録するには、光源を工夫する必要があった。

また、オシロスコープを利用できる環境設定にしておいたことで、高い音が出ているときの方が波の数が多いことにも気付く班があった。これらの実験結果の交流をもとに、生徒は音が出ているときの物体の振動の様子と音の高低を関連付けて考察し、音の高低と振動数の関係を見いだすことができた。そして、高い音が発生しているときには、弦の振動する回数が多くな

ることを説明することができた。



図2. 弦の振動を高速度カメラで撮影して調べる活動のようす。

(4) 終末の事象提示

本時のまとめを行った後、終末の事象提示として、リコーダー3種類(テナー→アルト→ソプラノの順)の振動の様子をオシロスコープを用いて波形で提示した。高い音が出るリコーダーほど細くて短くなり、振動数が大きくなることに、生徒は感嘆の声を上げた。また犬笛で金属部分の長さを短くしていき、振動の様子を波形で提示した。生徒は金属部分が短くなるほど、高い音が聞こえるはずなのに実際には、高い音は聞こえないが、振動数が大きくなる事実に意外性をつかれ驚いた。その事実を見た生徒の一人が「犬笛の音は人間には聞こえないということを知ったことがある」と発言したことで、生徒たちは「振動数がかなり大きいということは、犬笛は人間が聞こえないくらい高い音が出ているのだ」ということに気付くことができ、さらに音の高低と振動数の関係を理解することができた。

4. 議論

本研究で高速度カメラを利用したのは、今まで音の高低の学習を行うときに、オシロスコープを用いて振動数をとらえさせてきたが、物体の振動の様子と振動数の関係をなかなか理解できない生徒がいたため、この関係を視覚的に捉え、音の高低と振動数の関係を理解させやすくするためである。高速度カメラを利用して、音の高いときの振動の様子と低いときの振動の様

子を比較したことで、振動する速度が速いことや振動する回数が多いことに容易に気付くことができた。また、生徒は高速度カメラで撮影した映像で、振動の様子を捉えることができていたため、その後、振動の様子をオシロスコープで波形として表したときに、音の高低と振動数との関係の理解しやすさにつながった。

授業実践からは、音の高低と振動数の関係が視覚的に捉えるができたため、オシロスコープで表される波形の振動数の理解しやすさにつながったことがうかがえた。その結果、生徒は目に見えない物理現象を規則性として捉えることができ、また、身近な楽器と関わらせて考えることなどを通して、自己の科学的な見方や考え方の広まりや深まりを実感させることができた。以下に、授業の振り返りにおける生徒の記述例を示す。

- ・高い音が出ているときの弦の振動の様子を目で確かめることは難しかったけど、ハイスピードカメラでの映像で高い音のときと低い音のときを比較すると、高い音のときの方が振動する回数が多いことがわかった。オシロスコープで確かめても、高い音ほど振動数が多いことも確かめられた。
- ・高い音を出すには、弦を細くしたり、短くしたり、強く張ったりすればよいことがわかった。そうすることで、物体の振動数が多くなり、高い音が出るのだ。
- ・身のまわりの楽器の高低は振動数の変化が関係していることがわかった。音は目には見ることができないけれど、振幅や振動数をもとに考えると、今までより音についての理解が深まった。

同様の記述は、他の生徒の記述にも見られた。すなわち、本研究で利用した高速度カメラは、音の高低と振動数の関係を調べる教材として、有効であり、身近な物理現象における音の性質への理解を深めることが示された。

5. おわりに

本研究は、今までの音の高低の学習での生徒のつまづきを解消し、理解しやすくするべく、授業実践を行った。生徒らに音の高低と振動数の関係を捉えさせるために、視覚的によくわかり、しかも比較や再生ができるように高速度カメラを利用した。高速度カメラの利用としては、音の学習以外にも、3年生における「運動とエネルギー」でも有効利用が期待できるため、今後実践を行いたいと考えている。

また、高速度カメラについては、機能の向上と価格の低下が進んでおり、今後、班に1台ずつデジカメを与えて理科授業を行う中学校が増えていくものと期待される。

文 献

- 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と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.
- 森井武史・沖花彰（2006）中学校理科「音」分野の教材作成～音をみる，日本理科教育学会全国大会要項，56，145.
- 文部科学省（2008）中学校学習指導要領解説 - 理科編，大日本図書.