

<物理>

音を波として捉え理解を深める指導の工夫 — 音を視覚化する実験装置の製作と活用 —

沖縄県立美来工科高等学校教諭 山城 富

I テーマ設定の理由

平成24年度から高等学校において、理科と数学で新学習指導要領が先行実施された。この学習指導要領解説理科編では、「日常生活や社会との関連を図りながら」、「物理学の基本的な概念や原理・法則を理解させ、科学的な見方や考え方を養う」という目標が掲げられた。この目標を達成するために、物理学の基本的な概念や原理・法則を定着させ、日常生活や社会の中で物理法則はどのように利用されているか考えさせることを目標においた指導に取り組むことが重要になる。

高等学校物理の単元「波」について指導するとき、波の基本的な法則・現象である反射・屈折・回折から学習内容を始め、波特有の現象である重ね合わせや干渉へと学習を進めていく。この単元では波の概念や原理・法則を理解させることを目標としている。続く単元「音」は、前単元で学習した内容をもとに、音の波としての現象を理解させ、それが日常生活の中でどのように利用されているか考えさせることができる単元となっている。しかし、学習後、生徒の反応や感想、また定期考査の結果等を見ると、「音を波としてイメージできていない」「実感できない」また「日常生活と物理法則が結びついていない」等の状況がある。

その原因として、次のことが考えられる。音は空気の振動で伝わるため、水面の波のように直接目で見ることはできず、回折や干渉などの現象を通して間接的にしか観察できない。また音の現象が、波のどの性質にあたるのかイメージすることできず、音を波の現象の一つとして理解しづらくしているのではないかと考えられる。

そこで、目で見るできない音を視覚化する教材・教具の製作や波と音に共通している波動現象を比較しながら観察・実験ができる授業展開が必要であると考えた。水面にできる波やウェーブマシンのような視覚で確かめられる波動現象が、音でも同様に成り立つことが分かれば、音を波として捉えることができ、理解が深まるのではないだろうか。また、生徒の身近な存在である楽器を例に挙げ、音階の仕組みが波という物理法則で成り立つことを実感させることができれば、音に関する興味・関心が高まると考え、本テーマを設定した。

<研究仮説>

物理の「音」の単元において、楽器のモデルを活用し、音を可視化する教材・教具を用いて音と波を比較する実験及び授業展開を行えば、音の波としての性質について興味関心が高まり理解が深まるだろう。

II 研究内容

1 実態調査

(1) 目的

- ① アンケート調査により生徒の実態を把握し、授業設計をするうえでの基礎資料とする。
- ② 研究仮説を検証する資料とする。

(2) 対象及び実施期日

対象：県立美来工科高等学校 2学年 コンピュータデザイン科 38名
実施期日：平成24年11月9日（金）

(3) 結果及び考察

アンケート「理科の学習は好きですか」の質問に、「好き」「やや好き」と、68%の生徒が回答した（図1）。「物理」に対しては、「好き」「やや好き」と45%の生徒が回答し、「理科が好き」と回答した生徒と比べるとやや下がった。「物理が好き」「やや好き」の理由として、「実験が楽しい」が55%、「身近な現象を物理的に考えることが楽しい」が27%と続いた。それに対して物理

が「嫌い」「やや嫌い」と回答した理由は、「計算が苦手」が55%と最も多く、続いて「内容が難しい」が40%という結果となった。これより論理的思考を伴うことを苦手としていることがわかる。

「演示実験は好きか」また、「生徒実験は好きか」という質問に対しては肯定的な回答がともに90%以上となった(図2)。物理が「好き」「嫌い」に関わらず実験が好きであることが分かる。また、好きな理由として、「面白い」「楽しい」と回答している生徒が多かった。しかし、現象への理解を深めるためには、演示実験を行う際、「面白い」「楽しい」で終わらせるのではなく、計算を取り入れ、公式へ導くなどの工夫が必要であると考えられる。

質問「楽器には興味はあるか」に対して、「ある」「ややある」が87%と非常に高かった(図3)。日常生活や身近な例として楽器を用いることが興味・関心を高める上で有効なことが読み取れる。

単元「音」では、学習前には興味・関心を示すが、学習が進むにつれ、計算や理論になると、興味・関心が低くなる傾向がある。また、音が波であることを理解させるのが困難な分野である。その理由として、音自体は直接目で観察できないため、イメージすることが難しいと考えられる。

これより、生徒たちが音の分野の理解を深めるために、興味の高い楽器を用いそのモデルを活用することで興味・関心を高め、直接目で観察できない音の現象については、音を視覚化できる教材・教具を製作し水面波の波と比較するなど、音を波として捉える単元構成や授業設計が必要であると考ええる。

2 仮説検証の手立て

(1) 手立て

楽器の仕組みが観察できる演示装置、音を視覚化できる演示装置の製作と活用、また波と音の波動現象を比較できる授業実践を通して検証する。

(2) 方法

事前・事後アンケートの実施と分析及びワークシート・検証テストの実施で行う。

3 素材研究

音を視覚化する教材・教具、また私たちの日常生活や社会でどのように利用されているか、身近な例となるモデルの製作をした。また、波と音の共通する性質や現象を比較しながら授業展開を行う。

(1) 教材・教具の製作

① LED ストロボを使った水面波観察装置

音と波の波動現象を比較する授業展開を行うにあたり、水面波による反射、屈折、回折、干渉などの様子を詳しく観察する装置を製作した。水槽を置く台に、廃棄となったOHPを使い、光源をLEDのストロボに替える。そうすることで水面波をスクリーンに投影することができる。振動器にスピーカーを用いることで、正確な周期の水面波を発生させることができる。波源にはカットしたアクリル板を使い、先端を変えることで波源が変更できるようにした。

水面波の種類には平面波や球面、球面波を多く並べた素元波を製作した。振動器の振動とLEDの点滅する間隔をボリュームで調整することで、水面波が静止やコマ送りの状態を観察することで、理解を深めることができる(図4・5)。

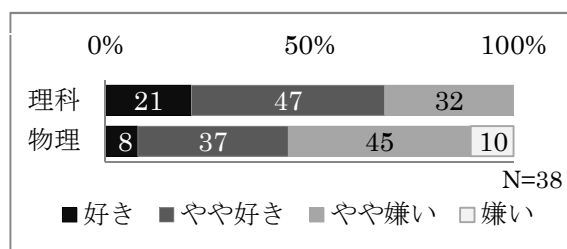


図1 理科・物理の学習は好きですか

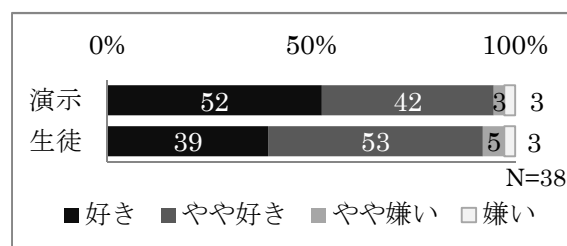


図2 演示実験・生徒実験は好きですか

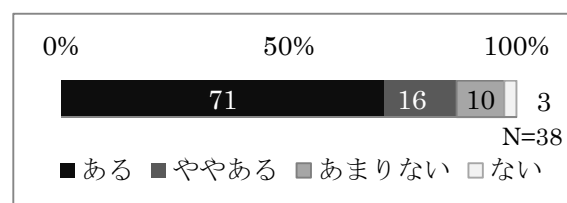


図3 楽器に興味はありますか

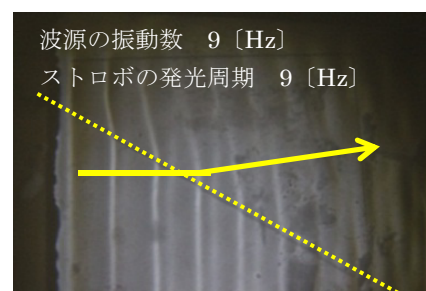


図4 屈折の様子(静止した状態)

材料・道具

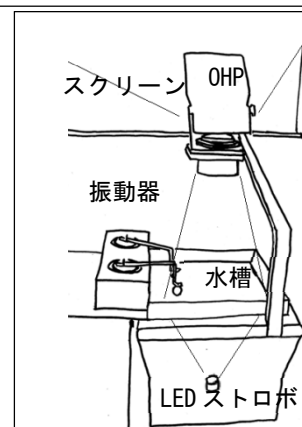
- ◎振動器・・・スピーカー（8cm 10W）・発泡スチロール板（3mm）
 ・PET 樹脂板（1mm）・アクリル板（200×20×3mm）
 波源（素元波）・・・アクリル板（200×20×3mm）・爪楊枝 6 本
 ・発泡スチロール球 6 個（5φ）
 波源（平面波）・・・アクリル板（200×20×3mm）・ネジ 2 本（M2×30mm）
 ・ターミナル（5mm）
 波源（球面波）・・・アクリル板 2 枚（200×20×3mm）
 ・ネジ 2 本（M3×30mm）・プラスチック球（20φ）
 ・浅い水槽・低周波発振器

実験

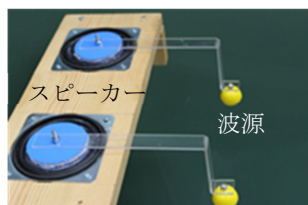
（目的）水面波が反射・屈折・回折・干渉する様子を観察する。

（製作）

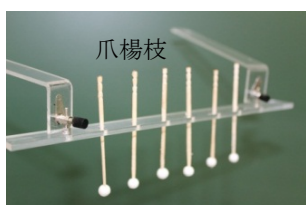
- ①振動器・・・スピーカーのエッジの内側に円状にカットした PET 樹脂板、その上に同じ形の発泡スチロール板を置き、振動面を作る。中心からネジを出しその先に波源をセットする。
- ②波源（素元波）・・・アクリル板に 20mm 間隔で穴を開け、爪楊枝を差し込む。爪楊枝の先端に発泡スチロール球を刺す。
- ③波源（球面波）・・・アクリル板にプラスチックの球をネジで固定する。
- ④波源（平面波）・・・ターミナルとネジで固定し、高さを微調整できるようにしてある。



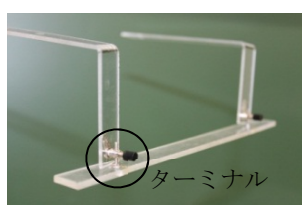
〈実験装置 外観〉



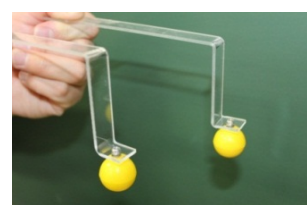
振動器



波源（素元波）



波源（平面波）



波源（球面波）

図 5 水面波観測装置の実験装置

② 音の大きさを視覚化する実験装置

音の強弱を豆電球の光の強さで表し、視覚的に観察できるようにする。また、水面波の干渉と比較しながら授業を展開していくことで、音の波動性を確認でき、理解を助けることができる（図 6）。

2つのスピーカーを黒板に貼り付け、一定の振動数の音を出す。音の強弱で豆電球が点灯するように、音の視覚器を製作する（図 7）。スピーカーから出ている振動数から音の波長を計算し、黒板へ波面を描く。干渉している部分の様子を豆電球の明るさで観察することにより、音の強めあう点、弱めあう点を視覚的に捉えることができる。

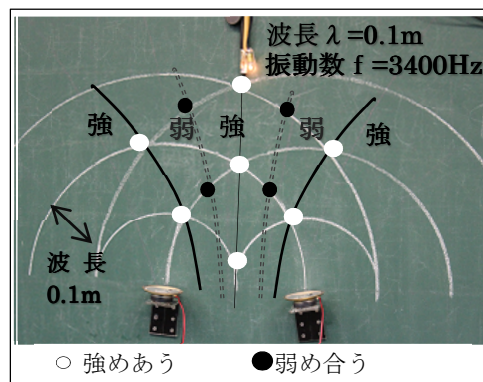


図 6 音の干渉を視覚化する実験

○材料・道具

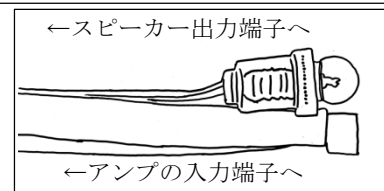
- ◎音源・・・スピーカー（5cm 10W） ・アクリル板（200×20×3mm）
 ・ネオジウム磁石
 音の視覚器・・・コンデンサマイク 豆電球（3.8V）
 ・アンプ（10W） ・低周波発振器

○実験

（目的）2つの音源による干渉の様子を豆電球の光の強さで観察する。

（製作）

- ①音源・・・スピーカーを黒板に貼り付けるためアクリルを垂直に折り曲げの固定板を作る。一方にはスピーカーを接着剤で固定し、もう一方には黒板に張り付くようにネオジウム磁石を埋め込む。
- ②音の視覚器・・・コンデンサマイクをアンプの入力端子へつなぎ、出力端子をスピーカーの代わりに豆電球につなぎ、アンプのボリュームを調整する。



〈実験装置 外観〉

図 7 音を音で消す実験装置

③ 音を音で消す実験装置

2つのスピーカーを5cm程度離し、向かい合わせにして音を出す。音の山と山または谷と谷が重なる同位相の時は、音は強めあい、山と谷が重なる逆位相の時は、打ち消しあう(図8)。波の重ね合わせを、音で実験し、興味関心を高める。また、このような物理現象が日常生活や社会では、高速道路の電子遮音壁やヘッドホンのノイズキャンセルなどに実用化されていることを学ぶ。ここでは、音の大きさの違いがすぐにわかるように、スピーカーの位相を瞬間的に切り替えられるスイッチを製作した。また、指向性の強い平面波スピーカーを使うことで干渉を起こりやすくしている。

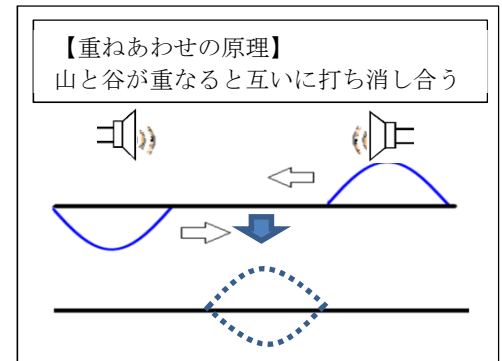


図8 音を音で消す原理

○材料・道具

- ◎音源…平面波スピーカー2個(5cm 10W)
- 切り替えスイッチ…6P トルグスイッチ
- ・バナナジャック2個 ・SP端子

○実験

(目的) 2つのスピーカー向かい合わせにして音を出し干渉させる。同位相の場合は強めあい、逆位相の場合は、弱めあう現象を観察する。

(製作) 2つのスピーカーは直列に接続する。トルグスイッチで同位相、逆位相になるように配線をする。



〈実験装置 外観〉

図9 音を音で消す実験装置

④ 共振実験装置

長さの異なる6本の竹ひごをスピーカーに固定する。低周波発振器から振動数を変更しながら音を出し、固有振動数にあった一本の竹ひごの振動を確認することで、固有振動の理解を高めることができる。

共振によって崩落したタコマ橋(1940年米国)の事故や、閉管における気柱共鳴など楽器の音階ができる仕組みへと発展させることができる。

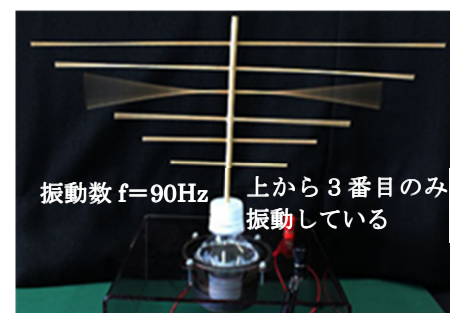
○材料・道具

- ◎振動源…スピーカー(5cm 10W) ・ペットボトル(500ml)
- ・ペットボトルキャップ
- 振動部…丸棒(5φ×20cm) ・アンプ(10W) ・低周波発振器
- ・竹ひご5本(2φ、35、30、25、20、15、10cm)

○実験

(目的) 長さの異なる竹ひごを振動させ、固有振動にあった竹ひごだけが振動するのを観察し、固有振動についての理解を深める。

(製作) スピーカーのエッジの内側に、ペットボトル上部をカットしたものを接着剤で固定する。長さの異なる竹ひごを丸棒に接着する。これをペットボトルのキャップに固定する。



〈実験装置外観〉

図10 共振実験装置

⑤ リコーダーモデルでの気柱共鳴

リコーダーの音階ができる仕組みが気柱共鳴で説明できることを学ぶ。

アクリルパイプに穴を開けることでリコーダーのモデルを製作した。小学校で演奏したことがあるリコーダーをモデル化することでアクリルパイプの中でどのような物理現象がおこっているか興味・関心を高めることができる。

基本振動 音階ミの振動数 280Hz で共鳴

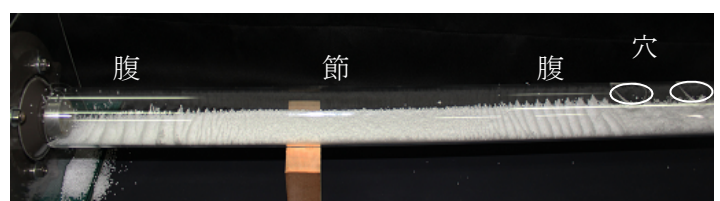


図11 リコーダーモデルでの共鳴の様子

アクリルパイプの穴はドレミの振動数(音階)ができる位置に空ける。リコーダーの頭部管の代わりとして、色々な振動数を含んだホワイトノイズをアクリルパイプの中で鳴らす。穴を塞ぐ位置を変えることで、気柱の長さが変わり、音階が変化することを観察できる。次に、アクリルパイプの中にパウダービーズを入れ、気柱内の様子を観察する。低周波発振器で振動数を変えながら音をパイプ内に入れると、ある振動数で定常波が発生する(図11)。空けた穴の位置で音が反射して開口端となり音が共鳴していることが分かる(図12)。また共鳴状態から、穴を塞ぐと、共鳴がなくなることが観察でき、音階の仕組みや、気柱共鳴の理解を深めることができる。

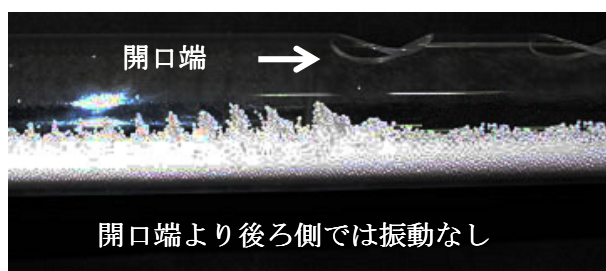


図 12 開口端での反射の様子

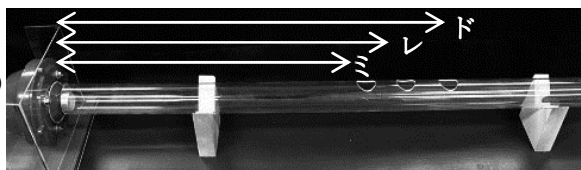
○材料・道具

- ◎リコーダーのモデル…・アクリルパイプ (45φ×900mm)
 ・アンプ (10W) ・低周波発振器
 ・パウダービーズ(クッション補充材)
 ・トランペットスピーカー (10W ドライバーユニット)

○実験

(目的) リコーダーのモデルを通して、音階の変わる仕組みや、気柱の共鳴についての理解を深める。

(製作) 45φのアクリルパイプに直径 3cm 程度の穴を開ける。パイプの中にパウダービーズを、入れ気柱内の振動を観察する。 穴の位置 ド・・66.5cm レ・・59.2cm ミ・・51.5cm



(実験装置外観)

図 13 リコーダーのモデルの実験装置

(2) 波と音の共通する性質の実験

今回は、波と音の共通する波動現象を比較しながら実験及び授業展開を行った。(表1)。

表 1 波と音による波動現象の比較

項 目	波と音の比較	自作教材	時間	実験のねらい
干渉	・ストロボを使った水面波発生装置	①	1	水面波における干渉現象をストロボを用いて観察することで、動的に観察できる。強めあう点、弱めあう点の条件が2つの波源からの距離の差であることを観察する。また、音の干渉ではスピーカーから発する波長を黒板に描く。音自体は目で見えないが、干渉現象を通じて音の波長や干渉現象を観察する。
	・光の強弱による音の干渉実験	②		
重ね合わせ	・ウェーブマシン	※1	1	ウェーブマシンで比較することで、音量の大小ではなく、波の打ち消し合うイメージをもたせる。 (※1 既製のウェーブマシンを利用)
	・音を音で消す実験	③		
固有振動 1	・ウェーブマシン	※1	2	物体には固有振動があることを学び、固有振動が音階に結びつくことを学習する。ウェーブマシンで自由端反射・固定端反射の観察を行い、弦や気柱での反射の様子、また定常波はどうなっているのか観察する。
	・弦の振動	④		
固有振動 2	・ウェーブマシン	※1	3	
	・気柱の共鳴	⑤		
固有振動 3 (閉管のみ)	・共振実験装置	④	4	共振実験装置の竹ひごは一本の縦棒に長さの異なる 5 本の横棒がつながっている。縦棒につながっている所は固定端反射、つながっていない所は、自由端反射となり、開管の気柱と同じ仕組みになっている。実験では、基本振動、3 倍振動、5 倍振動を観察する。 (※2 アクリルパイプにゴム栓をし、閉管を製作。)
	・閉管のモデル	※2		
共振・共鳴	・振り子による共振	※3	5	固有振動が同じ物体は相手のエネルギーを受け取ることができる。波では共振、音では共鳴が同じ波動現象にあたることを学ぶ。 (※3 自作 ※4 既製の音叉を利用)
	・音叉による共鳴	※4		

(3) 日常生活や身の回りにおける音の利用

日常生活や身の回りにおける音の利用について、同様の波動現象が観察できるモデルを製作し実験を行った（表2）。

表2 日常生活や身の回りにおける音による波動現象

項 目	実 験	自作教具	時間	身近な例
重ね合わせ	音を音で消す実験	③	1	イヤホンのノイズキャンセラ 高速道路の騒音対策 等
固有振動	共振実験装置	④	2	建物の固有振動と地震の関係 タコマ橋の事故（共振現象により橋が崩落した事故）
気柱共鳴（開管）	リコーダーモデル	⑤	3	リコーダー・フルート 等
気柱共鳴（閉管）	ストロー笛の製作 （生徒実験）	※5	4	オカリナ・クラリネット等 ※5 各生徒1個製作

Ⅲ 指導の実際

1 単元名 「音」

2 単元設定の理由

(1) 教材観

私たちの日常生活や社会は、いろいろな波動現象で満ちあふれている。身近な例として、水面の波や津波、地震、音、光、電磁波などがあげられるが、ここでは、音を取り上げる。音は空気の振動で縦波として伝わっていくが、空気の振動は目で見ることができないため、イメージが難しい。本単元では、波の基本的な概念や法則・現象の学習をふまえ、音が波であることを理解させる。

また、身近にある楽器の仕組みが物理法則から成り立っていることや、騒音対策など日常生活の中では波としての性質がどのように利用されているか実感させることができる単元となっている。

(2) 生徒観

中学校では、第1分野の「身近な物理現象」において、「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や、音の高さや大きさは発音体の振動の仕方に関係する」ことを学習している。

アンケートから、理科に関して興味・関心はあるが、物理に対しては「計算が難しい」など苦手意識を持っている生徒も多いという結果がでた。また、演示実験や生徒実験など意欲的に取り組む反面、論理立てて考えることや説明することは苦手な傾向が読み取れる。今回の単元について、最初は興味・関心が高いが、論理的に考えたり、計算が入ったりすると興味・関心は低くなることが考えられる。そこで、音に対する興味・関心を高めながら、演示実験でも積極的に計算に取り組ませ、音階と振動数の関係など理解させるための授業展開の工夫が必要である。

(3) 指導観

本単元では、導入部分で、波の原理・法則や概念を定着させるため、視覚的に理解しやすい水面波やウェーブマシンを利用する。その波の基本的な概念や法則が、音でも共通することを観察し、波と音の実験を比較しながら授業を展開する。比較することで、両者が同じ波動現象であることを理解させるように工夫する。

演示実験の際、音の大きさを視覚化する実験装置での音の視覚器やパウダービーズをリコーダーモデルの気柱内に入れて気柱内の振動の様子を観察できる装置を使って音の視覚化を図る。振動数や波長を計算し、音自体は直接目では観察できないが、干渉や重ね合わせなどの現象を通して音の存在を観察し、波としての理解を深める。

また、身近な楽器を利用することで生徒の興味・関心を高め、楽器の音階ができる原理を観察・実験しながら物理法則を理解させる。

3 単元の指導目標

日常生活や社会との関連を図りながら、直線上に伝わる波の性質及び音の振動について観察、実験などを通して探求し、基本的な概念や原理・法則を理解させ、科学的な見方や考え方を養う。

4 単元の評価規準

関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
ア 音を波として捉えているか媒質や速さ、音の3要素に関心を持ち、意欲的に探求しようとする。 イ 気柱の共鳴の特徴について関心を持ち、意欲的に考えようとする。	ア 音の3要素など実験の結果に基づいて、論理的に考察を進め、自分の考えを導いている。 イ 弦にできる定常波の性質や弦を伝わる波の速さなど実験結果に基づいて考察を進め、科学的に判断し、表現している。	ア 弦の固有振動や、弦を伝わる波の速さの関係など、実験から得られた結果を的確に記録している。 イ 共振現象に実験結果に基づいて、得られた結果を的確に記録している。	ア 気柱にできる定常波について実験、考察し概念が身についている。 イ うなりの波としての性質を理解し、知識が身に付けている。

5 単元の指導計画と評価計画（全5時間）

【関】関心・意欲・態度 【思】思考・判断・表現 【技】技能 【知】知識・理解

時間	学習内容	指導目標	学習活動	評価観点				評価方法
				関	思	技	知	
1	音の伝わり方と3要素	・音の伝わり方を考察し考えを表現する。 ・音の3要素について観察、実験を行う。	・音速などを中心に音の伝わり方を学び音の3要素についてコンピュータ等を使い観察、実験をする。	ア				・行動観察 ・ワークシートの記述・分析
2	弦の振動	・弦にできる定常波の実験を行い固有振動の観察をする。 ・弦に伝わる波の速さについて考察する。 ・弦楽器の原理を考察する。	・弦の振動による定常波の特徴を考察し基本音と倍音の関係を見いだす。 ・弦を伝わる波の速さの規則性を見いだす ・弦楽器を用いて、身近なものに関連づける。			ア イ		・行動観察 ・実験レポートの記述・分析
3 本時	気柱の共鳴 開管	・開管にできる定常波の特徴に関心をもつ。 ・管楽器（開管）の原理を考察する。	・開管内の気柱の振動による定常波の特徴を見いだす。 ・管楽器の例に挙げ、身近なものに関連づける。	イ			ア	・行動観察 ・ワークシートの記述・分析
4	気柱の共鳴 閉管	・閉管にできる定常波の特徴を考察する。 ・管楽器（閉管）の概念を身につけている。	・閉管内の気柱の振動による定常波の特徴を見いだす。 ・管楽器の例を出し、身近なものに関連づける。				ア	・行動観察 ・ワークシートの記述・分析
5	共振・うなり	・共振現象の実験を行う ・うなり現象の実験を行う。	・共振現象に関連する実験や観察を行いこれらの規則性を見いだすとともに、身近な現象を関連付けて考える。 ・うなり現象についてコンピュータを用い実験する。			イ イ		・行動観察 ・ワークシートの記述・分析

6 本時の指導展開（第3時／全5時間）

(1) 本時の主題 「気柱の振動」

(2) 本時の指導目標

開管内の気柱の振動による定常波の特徴を見いだすとともに、気柱の共鳴について実験を通して理解する。

(3) 本時の評価基準

【評価の観点】 評価規準	判定の基準			評価方法
	A 十分満足できる	B おおむね満足できる	C 支援の具体的方法	
【関心・意欲・態度】 イ 気柱の共鳴の特徴について関心を持ち、意欲的に考えようとする。	実験を通して、管楽器の仕組みと気柱共鳴の特徴を捉え、いろいろな管楽器と関連づけて考えようとしている。	気柱の中の腹や節など気柱の共鳴について観察し記録しようとしている。	身近な楽器を例に挙げ、音階のできる仕組みについて思考を促す。	・ワークシート ・行動観察
【知識・理解】 ア 気柱にできる定常波について実験、考察し概念が身についている。	共鳴状態での定常波の様子を描画でき、共鳴の一般化した式を導くことができる。	共鳴状態での定常波の様子を描画でき、基本振動の振動数を求め波長と管の長さの規則性に気づいている。	波の重ねあわせや弦の振動など前時の学習を想起させ思考を促す。	・ワークシート ・行動観察

(4) 準備する教材・教具

・低周波発振器 ・アンプ ・スピーカー ・接続コード ・ワークシート ・ウェーブマシン
・長さの異なるパイプ ・アクリルパイプ（穴あき） ・FMラジオ ・プロジェクター
・パウダービーズ

(5) 本時の展開

過程	生徒の活動	教師の活動・支援	形態	教材・教具等	評価
導入 (10)	○はじめのあいさつ	○出席の確認 ○リコーダーの演奏 分解してその形状を観察する。	一斉	低周波発振器 アンプ スピーカー	
本時の目標：「管楽器の仕組み」を使用して「気柱の共鳴」について学習する					
	○ワークシートで前時までの復習をする。	○本時の目標の確認 ○ワークシートの配布 ○前時までの授業内容の確認をする 定常波、固有振動をウェーブマシンや共振実験装置を用いて説明し弦楽器の音階ができる仕組みについて復習をする。		ウェーブマシン	
展開 (30)	実験１：演示実験 気柱の共鳴実験①（長さの異なるパイプ）		一斉	FMラジオ オシロスコープ	【関・意・態】 イ 気柱の共鳴の特徴について関心を持ち、意欲的に考えようとする。 <

まとめ (10)	まとめ： ①パイプの長さに対して、半波長の整数倍の音がパイプ内に入ると定常波が発生し、共鳴する。 ②開管における定常波は両端が腹になる。			
	○片付け ○終わりのあいさつ			

IV 仮説の検証

検証は、研究授業を行った物理選択クラスの38名を対象とし、授業でのワークシート、事後アンケート及び検証テストを分析することにより行った。

1 音の分野に対する興味・関心は高まったか。

「演示実験をすることで、音の波としての理解が深まったか」という質問に対し、「そう思う」「ややそう思う」と全員が肯定的な回答をした。また、「特に印象に残ったもの、実験をすることで初めて理解につながった実験があったか」という質問に対し、授業で行った全ての実験に理解につながったと回答があった。波の基本的な現象と比較しながら実験することで、振り子の共振と音叉の共鳴実験では見た目には違う2つの現象が同じ波動現象であることを説明したところ、驚きがあり、強く印象づけられる結果となった(図14)。

次に、「楽器のモデルを使うことで興味関心が高まったか」というアンケート項目においても、全員が肯定的な回答であった。質問「印象に残った・理解につながった実験」では、リコーダーのモデル実験を選択する生徒が一番多かった(図14)。生徒の感想の中に、「音も楽器も波でできていることや、色々な物に应用されているのが分かった」、などの記述があった。また、「ギターをやっているので授業を通して弦に関心が高まった」や、「他の楽器の仕組み」について質問が出るなど授業後も反響があった。リコーダーのように小学校時に演奏経験があるものや、身近なもの、生徒の興味が高いもので例えることが有効であったと考えられる。単元を通じた感想でも「目に見えない音が見えて、音が本当に波であることが分かった」などの記述や「ややこしい分、徐々に分かってきたとき楽しかった」「難しかったけど実験をみて少しわかりやすかった」など意見が見られた(図15)。生徒の感想から難しいと感じつつも興味・関心を高め学ぶことができたことが読み取れる。以上の結果より、音に対する興味・関心が高まったといえる。

2 音の分野の理解は深まったか。

既習事項である波の現象と比較しながら進めていく授業展開について質問をした。水面波と音を比

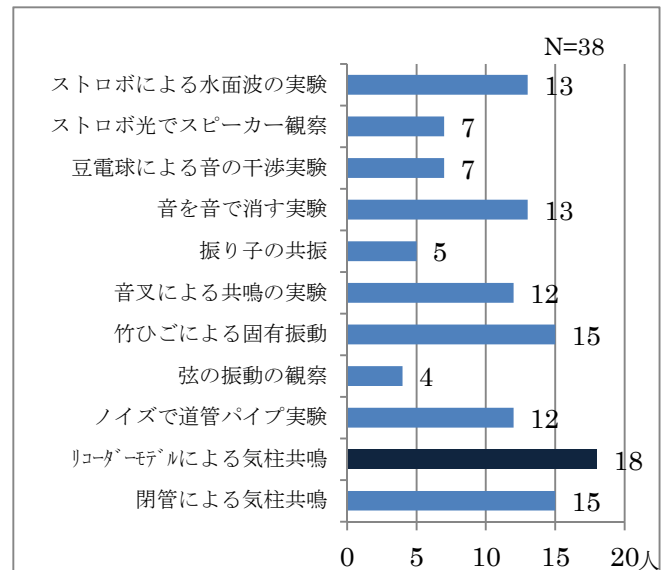


図14 印象に残った・理解につながった実験

身近なもの・楽器で例えることで興味・関心が高まった・・・13

- ・音の干渉と水面波と山や谷の実験が同時に見れたので分かりやすかったです。
- ・身の回りのものだから、どんな風に起こっているのか詳しく知ることができて良かった。
- ・物理を勉強することで楽器の仕組みがわかって少し物理が好きになった。

可視化することで理解できた・・・8

- ・ストロボによる実験装置では、教科書の写真と同じ現象が見れて分かりやすかった。
- ・発泡スチロールで、腹や節が出来ることが分かり理解しやすかった。
- ・干渉の実験で山や谷の重なる実験が分かりやすかった。

図15 検証授業後の生徒の感想

アンケート「単元を通しての感想」記述より抜粋
(38人中 回答35 無記入3)

較しながら行う干渉実験では、94%の生徒が肯定的な回答で、「水面波も音も両方同じようなことが起こるので分かりやすかった」などの記述があった。また、ウェーブマシンでの定常波と弦や気柱の固有振動を比較しながら進めていく授業展開では、「音階ができる仕組みについて、固有振動（定常波）ができることが理解できたか」の問いに対して、94%の生徒が理解できたと肯定的な回答があった。このように比較しながら進める授業展開では、音と波としての現象が観察でき理解が深まったと思われる（図 16）。

今回の検証授業では、演示実験の中にも計算を取り入れ、実験結果の予測を立てながら展開をしていった。このような授業展開について授業後のアンケートでは、肯定的な回答が84%と、多くの生徒が理解につながったと回答した。

音の波としての性質について理解が深まったかの検証については、単元「音」全範囲についてテストを行った。テストは、評価規準をもとに問題を作成し、検証授業終了後対象クラス38名をについて実施した。また、目標が達成できたとする基準を得点率80%と設定した。採点の結果、得点率の平均が79%となり、おおむね基準に達した。問題を習得問題と活用問題に分けて詳しく分析を進めた。基本的・基礎的な知識の定着をねらいとする習得問題では、観察・実験を中心に波の性質を理解しているかどうか問う問題を作成した。採点結果、得点率は86%と高く、得点率50%以下の生徒はなく、ほとんどの生徒が得点率70%以上の高い得点率に分布しているのが分かる（図 17）。知識をもとに計算など論理的な思考を伴う活用問題は、気柱共鳴、弦の振動についてm倍振動の波長を導くことができるか問う問題を作成した。採点の結果、活用問題の得点率は53%と低く、得点率50%以下の生徒も半数近くいることから、活用には至っておらず、今後の課題となった（図 18）。以上のことから、音を可視化する教材・教具を用いて、音と波を比較する実験及び授業展開を行うことで、音の波としての性質について理解が深めることができた。課題として、習得した知識を活用できるような単元・授業計画を再構成する必要があると考える。

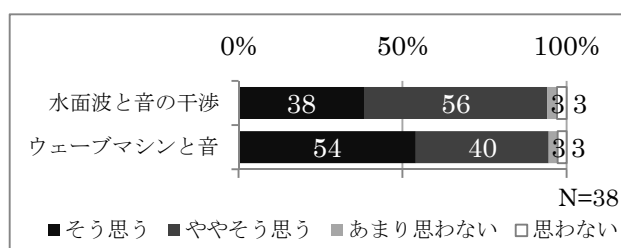


図 16 波と音の実験を比較することで理解につながった

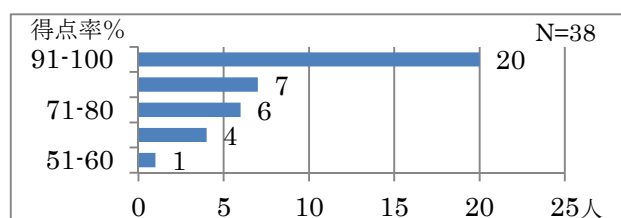


図 17 習得問題 得点率での人数分布

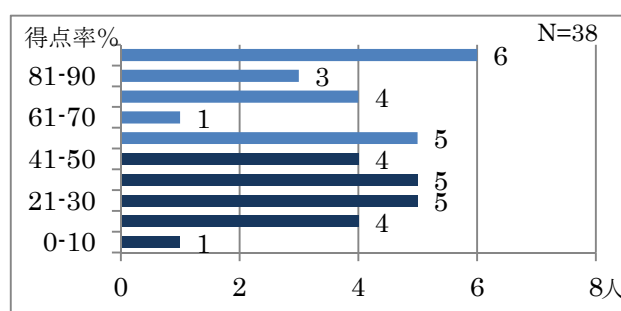


図 18 活用問題 得点率での人数分布

V 成果と課題

1 成果

- (1) 楽器のモデルを活用することは、音の分野に興味関心を高めるのに有効で、学習内容の理解を深めることができた。
- (2) 既習事項である波の現象と音の現象を比較しながら授業展開していくことで、音を波として捉え理解を深めることができた。

2 課題

- (1) 習得した知識を活用できるような手立ての研究を行う。
- (2) 音の分野以外の光や電波などの波の性質を持つ単元での教材開発を行う。

〈主な参考文献〉

中村 修 水波投影機の作り方 <http://www.i-berry.ne.jp/~nakamura/>
 文部科学省 2009 『高等学校学習指導要領解説 理科編』 実教出版