

# 音波の図法の工夫

## 「音波の指導で気になっていること」で気になること

石川昌司 立命館慶祥中学・高等学校 069-0832 北海道江別市西野幌 640-1

高校物理では、音波などの縦波を、縦波 $\leftrightarrow$ 横波変換に基づく変位波で扱うことが多いが、そのことにより音の干渉などの問題では深刻な不都合を生じることがある。この問題の解決策として「縦ベクトル（仮称）」なる図法を工夫してみた。

### 1. はじめに

2018年1月に大阪大学が、2月に京都大学が、前年度入試の物理の音波の出題問題にミスがあったと発表した。筆者は、かつて、このような音波の干渉問題は、十分注意が必要である旨の報告をしたことがある<sup>1)2)</sup>。残念ながら、大阪大学のミスも京都大学のミスも、その落とし穴に完全にはまっていた。

上記の報告にも書いたが、このような誤りを避けるための最良の方法は、音波を変位波ではなく密度波——圧力波でも同じだが本稿では密度波で統一する——で扱うことなのだが、現行の高校物理の教科書では、密度波は極めて限定的にしか扱われない。それゆえ、教師や生徒が、音波を密度波で一般的に扱えるようになるまでには、もう少し時間がかかると思われる。そこで、密度波に至る過渡的な扱いとして、音波の反射や干渉の正しい理解の助けとなるような図法を工夫してみた。

### 2. 縦ベクトル（仮称）

「縦ベクトル（仮称）」を、縦波が伝わる経路に沿って、変位ベクトルの向きが等しい連続した点の集合の線分に変位と同じ向きをもたせたものと定義する。(図1)

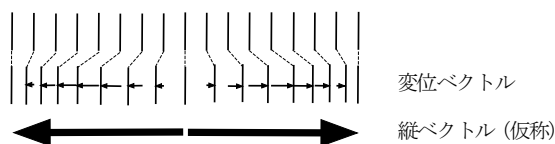


図1 縦波の縦ベクトル表示

この「縦ベクトル（仮称）」は、基本的には長さが半波長の真っ直ぐな有向線分であるが、媒質の境界では曲がったり、切断されたりするものとする。(図2、図3)

図2、図3で、固定端では「疎」は「疎」のまま——同様に「密」は「密」のまま——反射し、自由端では、

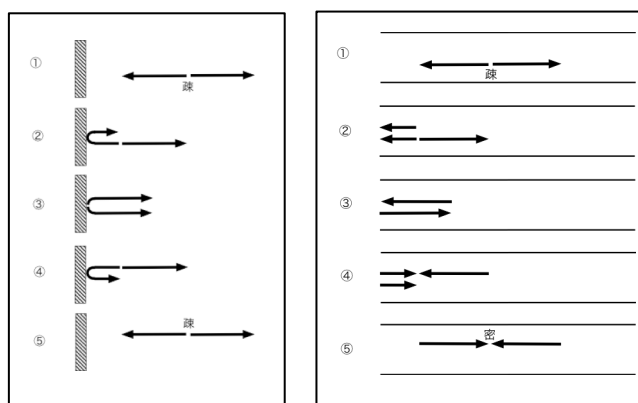


図2 固定端でのパルス波の反射 図3 自由端でのパルス波の反射

「疎」は「密」に——同様に「密」は「疎」に——反転して反射していることがわかる。

### 3. 大阪大学の2017年度入試問題について

大阪大学が出題した問題の設定に従って縦ベクトルの図を描いてみると、次のようになる。(図4)

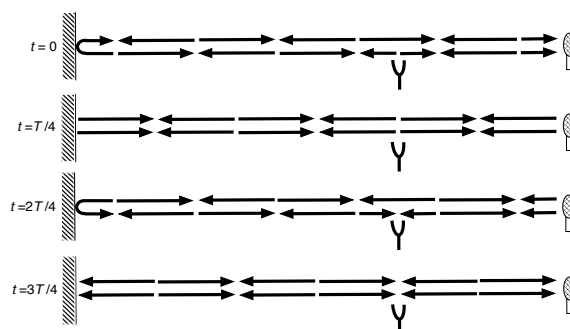


図4 音さからの音を、直接音と壁からの反射音の両方で観測する大阪大学の入試問題を縦ベクトルで表示した図 ( $2d = 4\lambda$ の場合)

音さの振動モードは、大阪大学が発表した「解説」<sup>3)</sup>でいう逆位相モード、また、音さと壁との距離は波長のちょうど2倍として描いた。この条件では、マイクロフ

オンに届く音は、常に、直接音と反射音の変位の向きが揃うので、強い音が観測されることがわかる。したがって、正答は $2d = n\lambda$ または $2d = (n + 1)\lambda$ 。密度波で考えても同じ結論が導かれるのは言うまでもない。

#### 4. 京都大学の 2017 年度入試問題について

縦ベクトルの図は次のようになる。(図5)

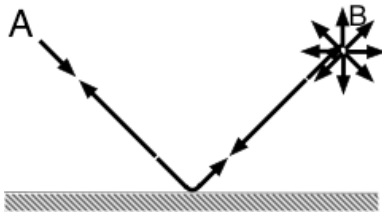


図5 Aを発し壁で反射してBに届く音と、Bのそばに置いた音源からの直接音の干渉

音源や観測者は動いているが、どちらも同じ速度で動きかつ同じ角度で音の送受をするので正味のドップラー効果は生じない。したがって簡単のため、反射音が発せられた点Aも観測する点Bも動かないものとして描いた。

この問題は、Bの位置で音が弱め合う条件を考えさせるのだが<sup>4)</sup>、音源からの直接音は放射状に広がり、反射音と直接音の変位の向きのなす角度が様々でより詳細な条件がないと答が一意的に定まらないことがよくわかる。

#### 5. 音波を変位波で扱うときの注意点と密度波の利点

音波が固い壁で反射する場合、音波を変位の縦波として見る立場では、変位はベクトル量なので、反射波の変位の向きは入射波の変位の向きとは異なる向きに変化する。壁に対して垂直に入射し垂直に反射する場合は、位相が $\pi$ 変化する。しかしながら、音波を密度波として見るならば、密度は向きを持たず、壁での反射による位相の変化は生じない。<sup>1)</sup>

また、同位相で振動する2音源から球面波状に発せられる音波の平面内での干渉問題では、変位波として見た場合、合成波の変位は個々の波の変位ベクトルの和になるので、2音源の中心は定常波の節になるが、この点を含む2音源の垂直二等分線は節線にはならず、かといって腹線でもなく、なんとも中途半端な線となる。一方で、密度波として見るならば、合成波の密度は個々の波の密度の和であり、上記の垂直二等分線は密度波の腹線と単純化され、また、聞こえる音の大きさは密度波の振幅の大小で決まるので、この垂直二等分線は常に音が大きく

聞こえる“稜線”であるという、極めて重要な事実が自然に導かれる。<sup>2)</sup>

#### 6. 北海道支部での音波の研究

本学会北海道支部では、音波を変位波で扱うときの問題点について、2002年頃から高校関係者を中心に研究が始まり、筆者がそれをまとめる形で2003年と2004年に論文を書いた。引用文献1がその第1論文(掲載は翌2004年)であり、引用文献2が第2論文である。第2論文は、たまたま2004年のセンター試験で音波の干渉の出題があったことをきっかけに、より広い範囲の音波の指導法の研究が進展し、それまでの研究の集大成として書いた。

本稿の5の内容は、筆者がこの2本の論文で論じた内容の一部を再構成したものである。

音波の指導にこのような注意が必要であることが、あまり広く認識されていなかったのは事実のようである。物理教育第66巻第2号の特別企画における川内正氏による論文<sup>6)</sup>では、同位相の2音源による平面内での干渉が扱われているが、この内容は筆者の第2論文で論じた内容・結論とほぼ重なる。また、同企画における浜島清利氏による論文<sup>7)</sup>には引用文献が挙げられておらず、その2章、4章の内容は、筆者の2本の論文における主張と同様の趣旨である。なお、本稿の概要は既発表の文献<sup>7)</sup>を再構成したものである。本稿及び先行する論文に示した手法とその背景となる考え方が、広く、中等教育現場における生徒たちの音波の理解に寄与できることを願い、多くの論考に適切に参考とされることを期待する。

#### 引用文献

- 1) 石川昌司「音波の反射の指導で気になっていること」物理教育 VOL. 52 NO. 1 (2004) 日本物理教育学会
- 2) 石川昌司「音波の指導で気になっていること」物理教育研究 VOL.32 (2004) 日本物理教育学会北海道支部, <http://pesjh.jp/sbs/archive/2004-07%20物理教育研究No.32.pdf>
- 3) 大阪大学「平成29年度大阪大学一般入試(前期日程)等における理科問題(物理)[3]Aの解説」(2018.1.12)
- 4) 京都大学「平成29年度京都大学一般入試における物理問題 III (4)の解説」(2018.2.1)
- 5) 浜島清利「音波の出題ミスはどうして起こったのか…そして今後に向けて」物理教育 VOL. 66 NO. 2 (2018) 日本物理教育学会
- 6) 川内正「音波の指導法の再考」物理教育 VOL. 66 NO. 2 (2018) 日本物理教育学会
- 7) 石川昌司「縦波の伝わる経路に沿って『縦ベクトル』を書く図法の工夫～2017年度阪大・京大入試ミス問題を考える」北海道の理科 No.61 (2018) 北海道高等学校理科研究会, [http://www8.plala.or.jp/stoneriver/ronbun/TATE\\_vector/TATE\\_vector.pdf](http://www8.plala.or.jp/stoneriver/ronbun/TATE_vector/TATE_vector.pdf)