

音波は「縦波」じゃなくて「疎密波」と呼んだ方がいいのでは？

村田憲治@各務原西高校(非常勤講師)

2018年に大阪大学が入試で出題ミスをやらかして以来、「音波の干渉」の指導の際には気をつけていたつもりでしたが、今年度の授業でうっかり間違ったことを言いかけたので、自戒を込めてこのレポートを書きます。結論を先に書くと、『音波を〈縦波〉と呼ぶのはもうやめましょう。〈疎密波〉とか〈圧力波〉と呼びましょう』ということになります。

■いつも生徒に見せてる2つのスピーカーを使った音波の干渉実験

数研の教科書

④音の干渉 同じ振動数の音を2つのスピーカーから出すと、音がよく聞こえる場所と聞こえない場所ができる。これは、音の干渉により空気が強く振動する所と、しない所ができるからである。

スピーカーとマイクを用いて、音の干渉を確認してみよう。

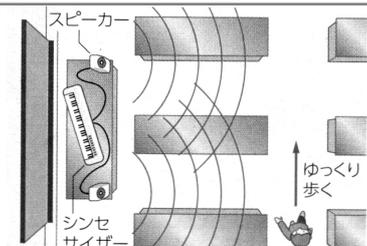
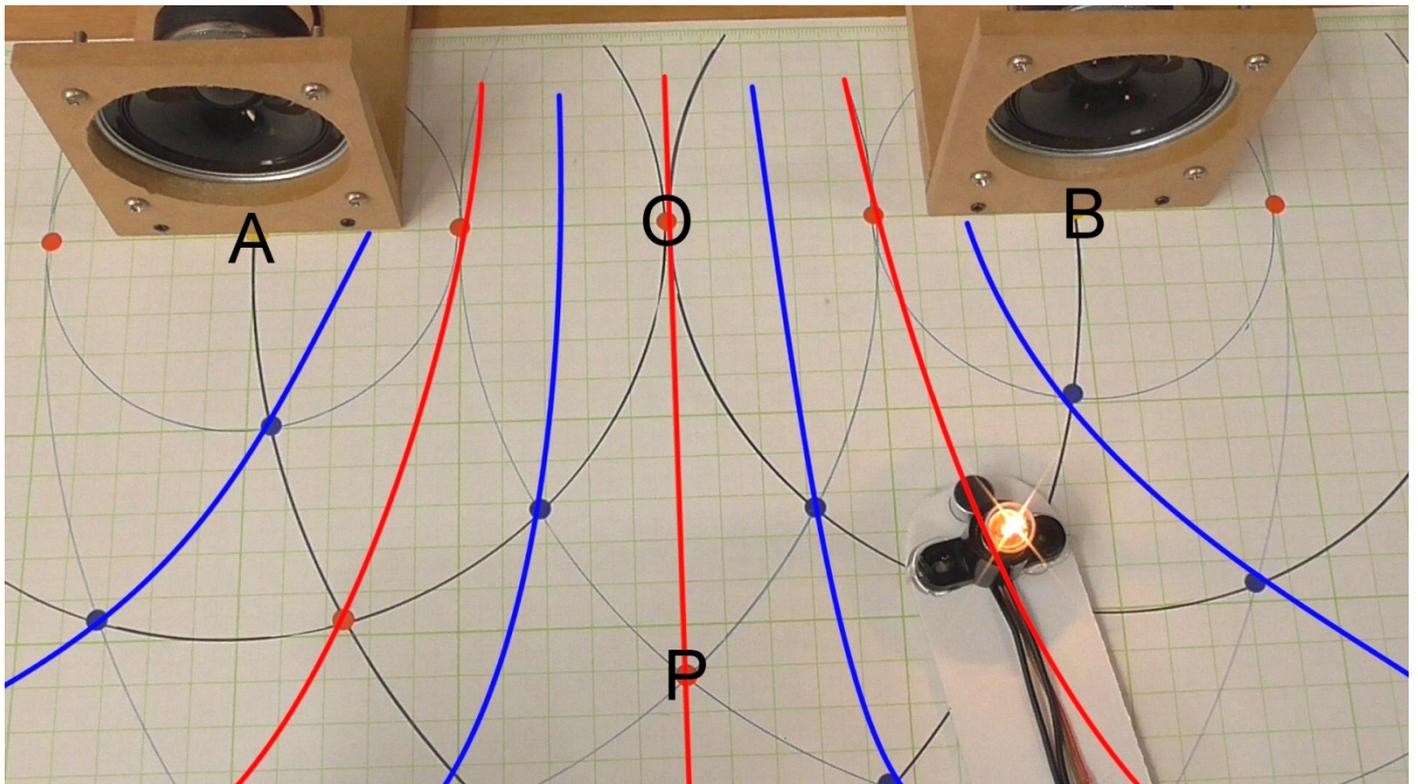


図31 音の干渉

左図は数研の教科書からの引用ですが、授業のときによくやる演示実験です。

説明文に「音の干渉により空気が強く振動する所と、しない所ができる」と書いてありますが(アンダーラインは僕が引きました)、これは水波の干渉みたいに空気の振動(変位)がベクトルの的に強め合ったり打ち消しあっているという意味なのでしょうか？「大きく振動」と書かないで「強く振動」と書いてあるところに教科書執筆者の「これは

水波の干渉とはちょっと違うんだぞ」という思いが隠れているようにも思えます。

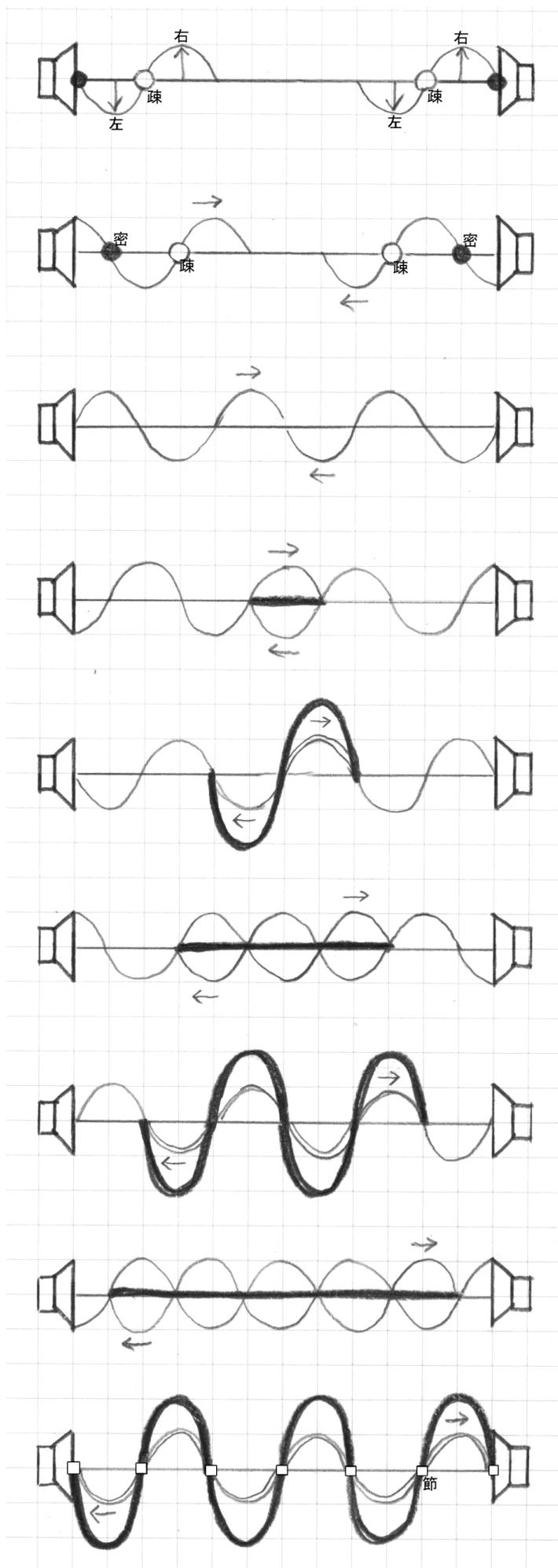


実際に、2つのスピーカーを並べて同位相の音を出し、どこで音が強くなるか調べてみました。コンデンサマイクで拾った音を低周波アンプで増幅して、スピーカー端子に豆電球をつなぐと、音が大きな場所で豆電球が明るく輝きますから、まさに一目瞭然です(僕のYouTubeチャンネル [youtube.com/@murata1028](https://www.youtube.com/@murata1028)の動画を観てみてください)。

結果は上の写真のように、2つのスピーカーA、Bを結ぶ線分ABの垂直二等分線上では音が強めあい、その両側に音が打ち消しあって聞こえないラインがあり、またその両側に音が強くなるラインがあります。この曲線は双曲線です(2点からの距離の差が一定)。

この結果は水波の干渉と同じなので、つい口が滑って「直線OPは腹線、その両外側に節線、そのまた両側に腹線があるね」と言ってしまうようになります。ってか、僕は以前そう言っていました。ごめんなさい。

■「同位相」とはいったい何が同位相なのか



2つのスピーカーA, Bを向かい合わせて「同位相で」音を出したときの絵を描いてみました。

スピーカーを同位相で鳴らすというのは、スピーカーのコーン紙が同じタイミングで出たり引っ込んだりするということから、左のスピーカーAがコーン紙の前にある空気を右に押した瞬間、右にあるスピーカーBは空気を左に押します。これは、空気の変位の仕方としては「逆位相である」と言うべきではないでしょうか。

「向かい合わせたスピーカーを同位相で鳴らすと、逆位相の波を作ることになる」のです。

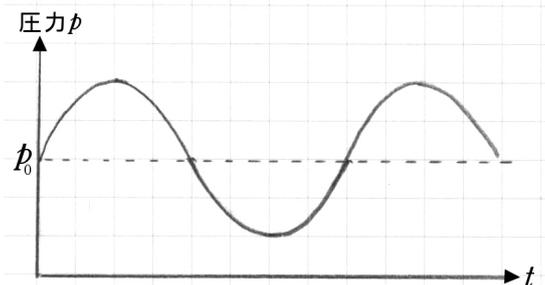
横波表示してみたのが左の図です。左から山、右から谷が進んできて真ん中で出会うことになりまますから、真ん中で波が打ち消しあいます。A, Bの中心Oでは2つの波が常に逆位相で出会いますから、変位は常に打ち消しあい、定常波の「節」になります。

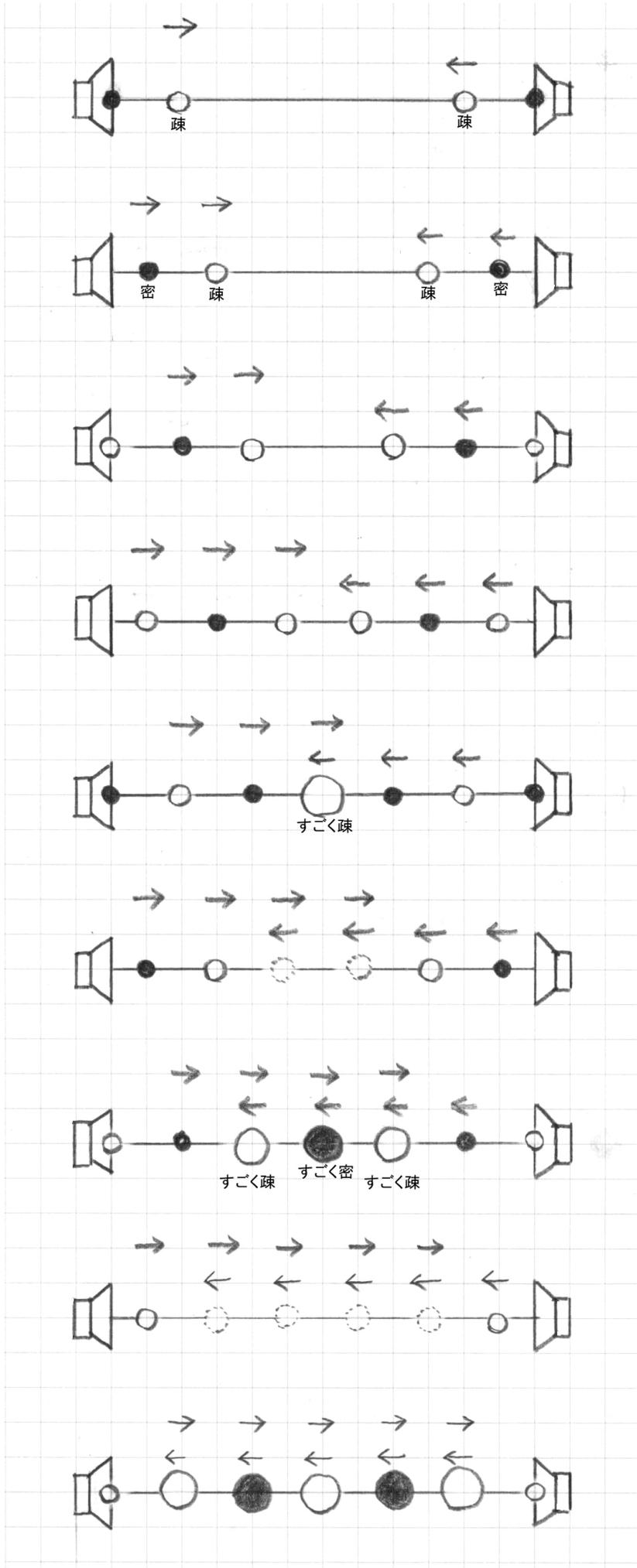
気柱共鳴の説明をするときには「定常波の節で音が最も大きく聞こえます。なぜなら節は密度変化(圧力変化)が最大だからです」などと言うくせに、2つのスピーカーから出た音の干渉を説明するときには、そのことを忘れてしまうようです。おそらく、水波の干渉の説明に引っ張られてしまうのでしょうか。

でも、ちょっと待ってください。向かい合わせた2つのスピーカーから出る音波の疎密はちゃんと同位相で出てきますよ。

そうすると、中心Oで疎と疎が会って「すごく疎」、次に密と密が会って「すごく密」になりますから、「中心Oでは2つの音波の疎密が同位相で出会うから疎密の変化が大きく、つまり大きな音になる」と、素直な説明になりますよね。

音波は媒質が波の進行方向に変位してできる波(縦波=ベクトル波)ではなく、空気の圧力(密度)が1気圧 P_0 を中心に正弦関数的に増減するスカラー波であると考えの方が適切なのではないのでしょうか。





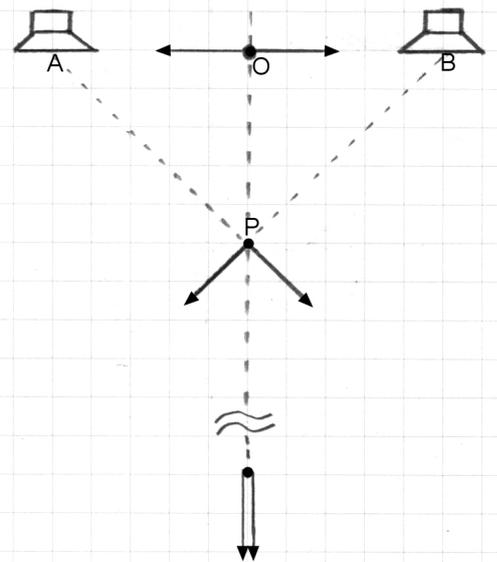
疎密表示で2つの波が会うようすをどう描いたらいいのか迷いますが、左図のような描き方はどうでしょうか。

前頁で言葉で書いたものを絵にしてみました。とてもじゃないですが「わかりやすい絵」にはなってませんが、スカラーの和であることにはこだわりしたいと思います。

変位波として合成しようとするとうるんことがもうひとつあります。

1ページめの実験、平面での音波の干渉で、スピーカーA、Bの垂直二等分線上の点Pでは、変位波の和はゼロにならないので、節ではありませんが音は大きく聞こえます。線分ABの垂直二等分線上で点Pよりもっとずーっと離れた点だと、2つの変位波の向きはほぼ一致するので、強め合っ腹みたいになりますが、音は大きく聞こえます。つまり、音波が変位波だとすると、この垂直二等分線や、他の音波が強め合う双曲線は節線とも腹線とも言えないとてもめんどくさいことになります。でも、「音波は疎密波・圧力波（スカラー波）である」とすれば、この垂直二等分線や音波が強め合う他の双曲線上ではどこでも空気の疎密が同位相で会いますから、「疎密波（圧力波）が強め合う腹線である」と言い切ることができます。

ほら、やっぱり「縦波」じゃなくて、「疎密波・圧力波」と呼んだ方が具合が良いでしょう？

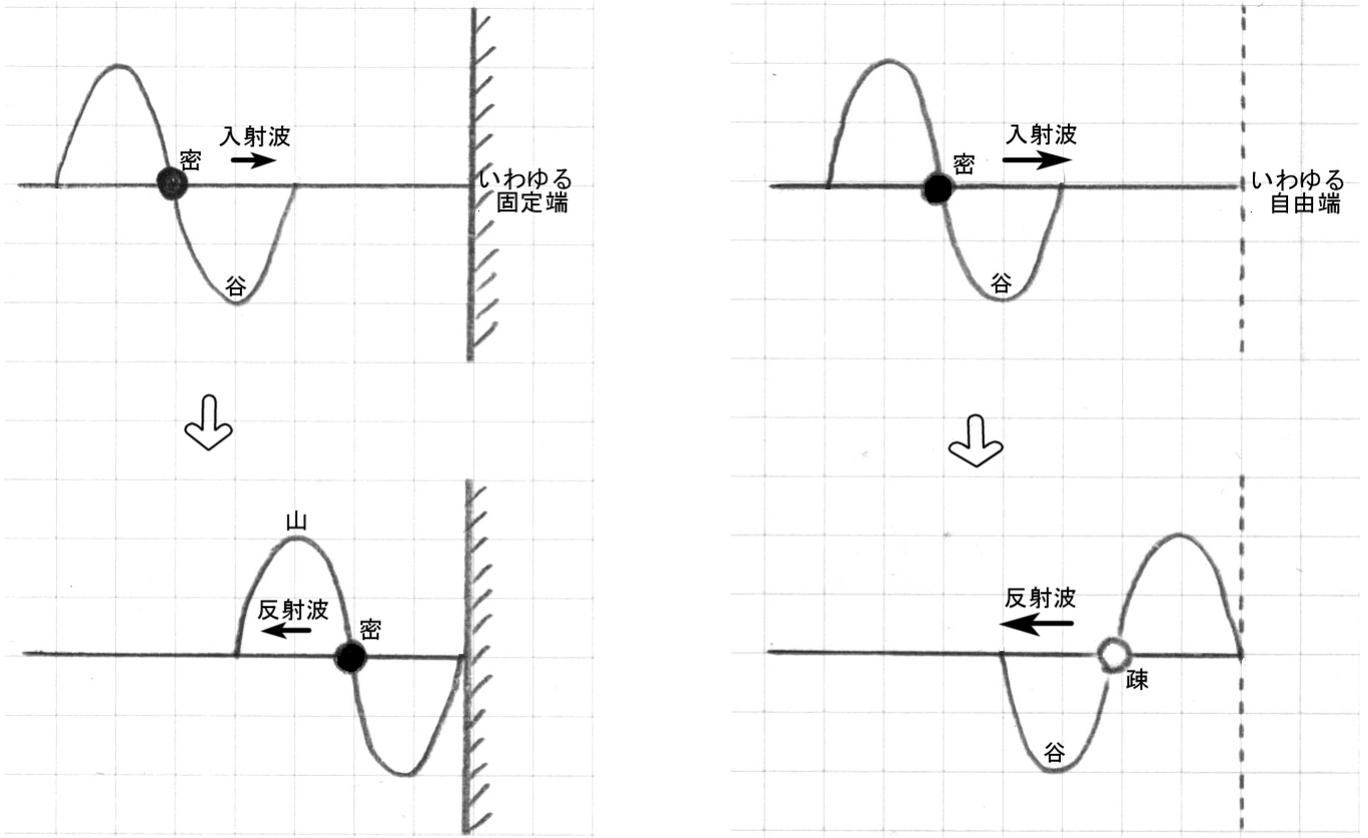


■ 【オマケ】音波の反射と位相の変化をどう説明していますか？

気柱共鳴の話をする際、閉口端や開口端で音波が反射するときに位相がどう変化するかを説明する必要がありますが、皆さんはどう説明していますか？

教科書には「空気が動けない閉口端は固定端に、自由に振動できる開口端は自由端になる」とさらりと書いてありますが、そもそも開口端でどうして波が反射するのか、というところから説明に苦労します。

音波を疎密波(圧力波)として扱うと、反射の説明もラクになりますよ。



左図がいわゆる固定端（閉口端）での反射ですが、横波表示で説明すると反射の時に位相が反転して谷が山になって反射します。しかし、疎密で考えると密はそのまま密で反射しています。密度の大きい空気の塊が壁にぶつかって跳ね返るだけですから、反射するときに疎になったりするわけがありません。直観的にもよく分かる話です。「閉口端（いわゆる固定端）では疎密の位相は変化せず、自由端反射する」ということになります。

右図はいわゆる自由端（開口端）での反射で、横波の谷は反射の時に位相は変化せずそのまま谷で反射しています。しかし、疎密で考えると密が疎で反射しています。これはどういうことでしょうか。

気圧の大きい（密度の大きい）空気の塊が自由端に達すると、自由端は大気圧 p_0 で一定ですからこの境界条件を満たすために気圧の小さい（密度の小さい）空気の塊が反射波として生まれて左に進むのだ、と説明できます。

結局「開口端（いわゆる自由端）では疎密の位相は反転し、固定端反射する」ことになります。なんだかややこしいことになってますが、位相が変化する・しないはスッキリ説明できていると思います。 (2025/01/13)

動画もどうぞ↓



【参考文献】

- 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 第52巻 第1号 (2004)
- 2) 川内 正 「音波の指導方法の再考」物理教育 第66巻 第2号 (2018)
- 3) 飯田洋治 「高校音波教材の検討」物理教育通信 第177巻 (2019)