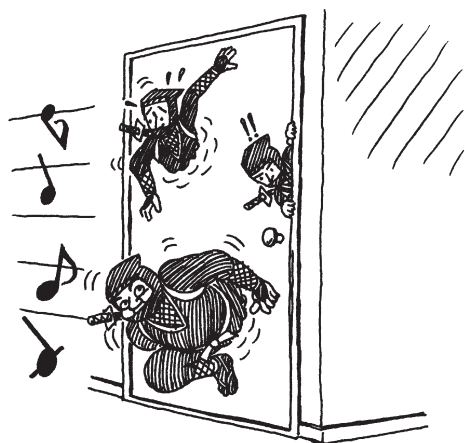


音は忍者である



忍者のような音

隙間を抜ける音

与太郎 大家さーん。あっ、いましたね。何だ、トイレに入ってたのか。

大家 こらこら。大きな声で、人聞きの悪い。

与太郎 すいません。おはようございます。

ところで今妙な音が聞こえてましたね。ゴロロン、ゴロロンっていうような低音の音がー。

大家 ああ、あれですか。じつはトイレを直しましたね。BGMっていうんですか、音楽が流れるようにしたんですよ。

与太郎 それって新型の自動トイレじゃないですか？
すごいですね。

それにしっちゃあ、何ていう曲か、節があんまりよく分かんなかったですね。

大家 あれはこんな旋律です。(口ずさむ)「ラーラーラー、ラーラーラー、ラーラーラー、ラーラー」。
与太郎さんもこれなら知ってるでしょう？ 有名なサンサーンスの「白鳥」という曲です。

与太郎 ああ、それなら聞いたことがありますよ。名前は知らないけど。

でも、言われたらそうかと思ったけど、さっきはそんなにはっきりした節には聞こえなかったですよ。



工学博士 **西尾 宣明**

元・東京ガス(株) 基礎技術研究所

大家 与太郎さんが言う通り、閉め切った部屋で音楽をならしている時に外に漏れて来る音を聞くと、元の音楽とはかなり違ったように聞こえることがあるようです。

直接聞くとすごく音程もしっかりしていて、さすが名歌手だと思っていたのに、たまたま部屋の外で聞いたら、何か音程が下がり気味なので「あれっ？」と思ったことがありますよ。

与太郎 へえー。やっぱりそういうことってあるんだ。

しかし、音って閉め切っても結構外に漏れるものなんですね。まるで忍者みたいだ。

大家 そうですね。とくに、うちのようにベニヤ板を張ったような扉で、立て付けだっあまり良くない場合は音が漏れやすいでしょうね。

与太郎 ふうーん。じゃあ、音って戸の隙間から漏れるんですね？

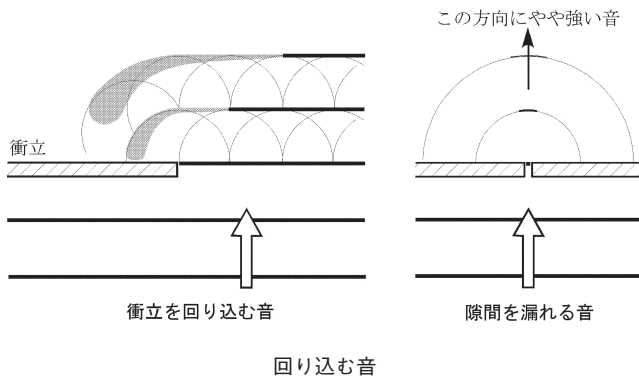
でも、隙間が小さいと高い音のほうが漏れやすいような感じがしますがね。そうすると、さっき低音ばかりよく聞こえたのとは反対だなあ。

大家 太っちょの忍者は狭いところを通り抜けるのが難しいっていう感じでしょう？ 音の場合はその逆かも知れませんよ。

与太郎 それってどうしてですか？

ホイヘンスの原理 — 音の高さは関係ない？

大 家 細い隙間だと説明が面倒だから、音の通路に衝立（ついたて）のようなものがあって邪魔している場合を考えますね。



この絵のように、衝立に直角にぶつかるように音の波がやってくるものとします。平行に描いた線は波の山を表しています。谷と考えてもどちらでもいいんですがね。そうするとこの線の間隔は波の波長を表すことになります。

与太郎 音にも海の波のような山と谷なんてあるんですか？

大 家 音の場合には空気の圧縮と膨張が伝わって行くので、海の波とは中味が違いますがね。圧力の高いところを山、低いところを谷と呼んで、海の波と似たように扱うことはできますね。

ところで、与太郎さん、ホイヘンスの原理というのを知ってますか？

与太郎 ええっ？そんなもの知ってるわけないですよ。

大 家 いや、別に知っていなくてもいいんですがね。ホイヘンスというのは17世紀の物理学者で、光の波動説を唱えてニュートンと張り合った人です。

与太郎 ふーん。で、ニュートンはどんな説だったんですか？

大 家 ニュートンは光を粒と考えたんですね。光の粒子説というわけです。光が粒だと考えると、光の直進性とか反射の法則などは直感的に説明できるんですね。

それに対して、ホイヘンスは、波面、つまり光の波の最前線の各部分から新しく光の波が半円形に放射されるものとして、その無数の円の包絡線が新しい、つまり前進した波面になると考えたんです。この作図法で光の直進性や反射の法則などがうまく説明できるんです。光の屈折などもこの方法で素直に説明できるん

ですね。粒子説だと説明が難しい。

与太郎 じゃあ、ホイヘンスがニュートンに勝ったってわけですか？

大 家 その時代に決着がついたわけではないけれども、その後の研究で、19世紀には光は波だということがはっきりしたんですね。

もっとも、20世紀になると光は波でもあり粒でもあるなんていうややこしいことになるんですがね。原子核や電子や陽子などという小さい世界を考えるのであれば、光を波と考えるほうが扱いやすいんですね。

与太郎 ふーん。何だか分かったような分かんないような気分だけど、その、音と衝立とはどんな関係があるんですか？

大 家 音と光は全然違うものですが、波ということでは同じなので、ホイヘンスさんのやり方を使わせてもらおうというわけです。

今、音の波面がちょうど衝立の位置までやってきたところだとします。その波面のあらゆる場所から新しく音のエネルギーが放射されるものとします。それを波長を半径にした半円で表します。

与太郎 ふーん。でも、そんなに広がっちゃうと半円のところのエネルギーはうんと薄まっちゃうんじゃないですか？

大 家 与太郎さん偉い！確かにそうです。そしてまた、それが大事なところなんです。

衝立から右の方に離れた場所では隣り合った半円が全部重なり合っていますね。その重なり合ったものを全部足し合わせると、結局は波面が一波長分だけ真っ直ぐ前に進んだのと同じことになるんです。これがホイヘンスの原理から出てくる波の直進性というものです。

与太郎 衝立の近くじゃあそうでないってことですか？

大 家 その通りです。衝立に接した音源からの波の半円はその左隣に音源が無いのでエネルギーが薄く広がってしまいます。すぐ右隣から出る波だって同じように薄くなっています。そんなわけで、元の音のエネルギーで波面が伝わるのは衝立から半波長以上右側の部分で、その左側は急激にエネルギーが薄くなります。波面の位置だっけいぶんぼやけてしまいます。そのぼやけた様子を影をつけた領域の幅で表して見ました。幅が広がるほど波のエネルギーは弱まって、波面の位置もぼやけていることを表しているつもりです。

与太郎 そうすると、そこからまた先に進む波もうん

と弱くて、波面っていうんですか？ — それもうんとぼやけるってことですか？

大家 その通りです。いやあ、よく分かってくれて嬉しいですね。

実際、そうなんです。その様子を衝立から二波長進んだ波面として描いておきました。

与太郎 本当だ。波面が広がった分だけまた薄くなるってことですね。

でも、薄いけど少しは衝立の後ろまで音は伝わるんですね。

大家 そうなんです。壁などの邪魔物があっても音は回り込むので結構よく聞こえるものなんです。

与太郎 それで、さっき大家さんが言った高い音と低い音の違いはどうなんですか？

大家 そう、それが問題なんでした。

この図より波長の短い、例えば波長が半分の波を考えてみましょうね。波長が半分ということは周波数が2倍、つまり、音程は1オクターヴ高いということです。波長が半分なら1波長進んだときに波面が回り込んでぼやける範囲もさっきの半分になると考えてもいいでしょうね。そこからもう1波長進んだときのぼやけの範囲は結局さっきと同じになるんじゃないでしょうか。

与太郎 へええ、音が高くて低くても関係ないってことですか？

大家 そういうことですね。ところが、音響の専門家によれば、何か邪魔物がある時に、その大きさに比べて波長が長い音、つまり低い音は後ろに回り込むので、邪魔されにくいということです。

与太郎 高い音のほうが邪魔物に弱いていうことですか？

大家 実際そうらしいですね。ホイヘンスの原理ではそこまでうまく説明できないんですね。もしかしたら、波の運動エネルギーが周波数の二乗に比例することと関係があるかも知れません。つまり、周波数が大きいほど前方に進もうとする運動のエネルギーが大きい。ということは慣性力あるいは運動量 — これは周波数に比例すると考えられますが — それが周波数が大きいほど大きい。それで回り込みにくいということも考えられます。

与太郎 そんな話を聞くと頭が痛くなっちゃうけど、とにかく高い音のほうが回り込みにくいってことなんですか？

大家 そういうことですね。ところで与太郎さん。今描いた図の右側にもう一つの衝立があって、左側の衝立とうんと近いところにあるとしたらどうなりますか？ つまり、狭い隙間があるような場合ですね。

与太郎 うーん。まず1波長分の円を描いて見るか — うんと狭いと円が一つしか描けませんよ。

大家 そうですね。隙間を通る音のエネルギーはすぐに円周の範囲に広がって、うんと薄まってしまいますね。もう1波長進んだら円周が2倍になって、エネルギーの濃さは半分、こうして、進む距離に反比例して音は弱くなります。

与太郎 そうなのか。隙間から漏れる音はちょっと離れただけでうんと弱くなるってことなんですか？

どこから聞こえる？ ヴァイオリンの音

大家 そういうことですね。

与太郎 でも、この絵だけだと波長が長くても短くても音の弱り方はおなじじゃないんですか？

大家 いやあ。与太郎さん、今日はやけに鋭いんですね。

実際、隙間から漏れる音の量は高い音でも低い音でもあまり変わらないかもしれないですね。いずれにしてもうんと弱いものだけということとは言えるでしょうね。

与太郎 それじゃあ、さっきのトイレからの音は。どこから漏れて来たのかなあ。

大家 トイレ、トイレというのは止みましょうよ。何となく尾籠な感じでいけない。何もトイレでなくても問題は同じですから。

ところで、与太郎さんは学校で音叉の音を聞いたことがあるでしょう？

与太郎 ああ、ありますよ。共鳴箱っていうんですか？ あれに音叉を立てておいて叩くと「プーン」と大きな音がするんですね。

ただ手に持っているだけだとあんまり音が聞こえないのに、音叉の根元のところを机の上なんかで当てても結構大きな音になるんですね。コンクリートの壁でも結構よく聞こえますよね。

とにかく、物に当たると音が聞こえるようになるでしょう？ あれはどうしてなんですか？

大家 それはヴァイオリンやギターの音がなぜ大きく聞こえるかというのと同じことなんですね。形は違うけれどもピアノも同じ理屈です。

与太郎さん。ヴァイオリンやギターの音がどこから

聞こえるか分かりますか？

与太郎 ええっ？あれは弦っていうんですか？その弦が振動するから聞こえるんじゃないですか？

大家 もちろん弦が振動するからです。でも、弦からはほとんど音は出ないんですよ。

与太郎 へえー。じゃあ、どこから出るんですか？

大家 音叉と同じ理屈と言ったでしょう？

(書斎の机から、長さが10センチちょっとの、ポケットに入るような音叉を持ってくる)

これを手に持って叩いても、耳をすぐそばに持って行かないとほとんど音が聞こえませんが、しかし、音叉のお尻をこうしてテーブルに触れると、ほら、はっきり聞こえるようになるでしょう？ これは音が伝わる面積と関係があるんですね。

与太郎 面積って、テーブルの面積ですか？

大家 その通りです。音叉の振動がテーブルに伝わって、テーブルの広い面積が振動することで空気中に音が伝わりやすくなるんです。

与太郎 音叉から空気に直接音が伝わるってことはないんですか？

大家 全然伝わらないというわけではないですよ。さっきも話したように、音というのは空気の圧縮と膨張の繰り返しで伝わって行くものです。この音叉の丸い棒が左右に振動しますね。目には見えないけれども、ハ調のラの音だったら1秒間に440回も振動しています。この棒が右に動いた瞬間にその右となりの空気は圧縮されます。次の瞬間、棒が左に動くとき左側の空気が圧縮されて、右側の空気は逆に膨張します。この圧縮と膨張の繰り返しで音になって伝わって行くわけです。圧縮と膨張があれば、当然それには空気の変位、つまり右に行ったり左に行ったりという振動が付随します。その振動が伝わって行くと言っても同じことですがね。

与太郎 そんな目に見えないような振動でも音になって聞こえるんですか？

大家 人間の耳は原子何個分というような小さい空気の動きも音として感じる事ができるらしいですよ。ただ、音叉の棒は細いでしょう？ だから周りの空気を圧縮したり膨張させたりする効果は小さいんですよ。その上、これにホイヘンスの原理を当てはめてごらんください。どんな風になるか想像がつくでしょう？

与太郎 ホイヘンスの原理かー。音は音叉の棒の脇

から出発するんでしょう？ ほとんど点みたいなものですよ。そこから円を描いて、その円の上からまた円を描くんだってですね。

ああ。そうだ！これって、さっきの隙間から漏れる音とおなじじゃないですか？

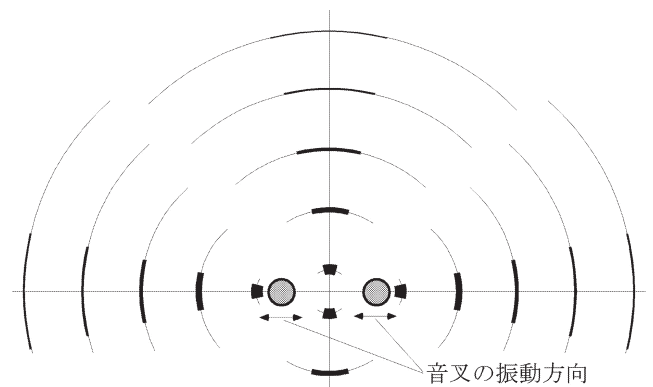
大家 そうです。よく気がつきましたね。

実際、音叉から出た音は同心円状にどんどん広がって行きます。広がった分だけ波面の単位面積あたりの音のエネルギーはどんどん薄まって行きます。音叉から10センチも離れたらほとんど何も聞こえなくなりますね。

与太郎 そうなのか。じゃあ、音叉を机に当てるとどうなるんですか？

大家 その前に、耳をうんと近づけて音叉の音を聞きながら、音叉をぐるぐる回してごらんください。音が大きくなったり小さくなったりするでしょう？

与太郎 ほんとだ。面白いなあ。でも、どうしてだろう。



音叉から伝わる音

大家 音叉は2本の棒が近づいたり離れたりするように振動するでしょう。そうすると、棒の間の空気も圧縮したり膨張したりします。その波は2本の棒を結んだ線と直角の方向に伝わって行きます。そのほかに、もちろん2本を結んだ線の方向に、両側に伝わる波があります。つまり、90度ずつずれた4つの方向に音が出ているからです。しかし、扉の隙間から漏れる音のように、それもどんどん薄まって、ちょっと離れると聞こえなくなってしまうんです。

与太郎 そうなのか。

大家 ところで、話を戻して、音叉を机に当てた時のことですね。音叉の振動はまず机に伝わって行きます。そして机が音叉と同じ振動数で振動します。

与太郎 ふーん。でも、音叉の場所から机の端っこ

まで振動が伝わるのにも時間がかかるんでしょう？

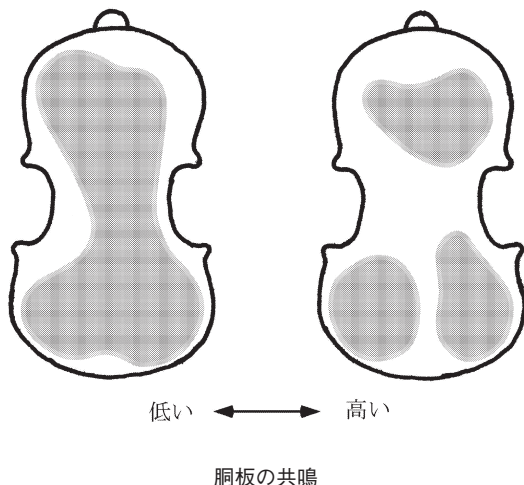
大 家 なかなかいい質問ですね。机の板の厚さにもよりますが、板に沿って振動が伝わる速さはもの凄く速いです。薄いベニヤ板でできた机でも1秒間に何十メートル何百メートルというような速さだと思いますよ。だから、机の端から端まで、音叉と一緒に振動すると考えていいと思います。つまり、机の面はスピーカーの膜と同じような働きをするんですね。

与太郎さん、この面から空気中に伝わる音をホイヘンスの原理を使って表したらどんな風になりますか？

与太郎 別にそんな考えなくたって、最近良く見かける平面スピーカーとおんなじことなんでしょう？机の面と平行な — なんだっけ、そうそう、波面でしたね。波面が伝わって行くんでしょう？

大 家 まったくその通りです。音叉の振動のエネルギーがとても効率よく空気に伝わるんですね。音叉から直接空気に伝わるより何千倍も何万倍も効率がいいんじゃないですかね。それで、かなり大きな音を聞くことができるわけです。

与太郎 なるほど、そういうことか。バイオリンなんかも弦の振動が胴に伝わって、胴の板が振動するから空気に音が伝わるんですね。音叉とおんなじなんだ。



大 家 いやあ。そこまで分かってくると嬉しいですね。

ヴァイオリンの胴はあの形のために弦の振動数つまり音の高さによって胴板が共鳴する場所が変わりま

す。低い音だとこの図のように胴板の広い範囲が共鳴して、高い音ではあちこちの狭い範囲が共鳴します。一般に板の面積が広がるほどうんと低い音にも共鳴するようになります。大きな太鼓は音が低いと同じことです。ヴァイオリンはヴァイオリンより一回り大きな胴を持っていますね。それでヴァイオリンより低い音を出すのに適しているわけです。

与太郎 あっ、そうか。図体がでっかいほど低い音が出るんですね。チェロっていうんですか？ あれなんかはもっと低い音ですよ。コントラバスなんかあの図体だからもの凄い低音が出るんですね？

壁を抜ける音の忍者

大 家 そこまで分かってくると、トイレの部屋からなぜ低い音のほうに漏れやすかったかも分かるでしょう？別にトイレに限らなくていいんですが。

与太郎 ええっ？トイレと楽器と関係あるんですか？音叉みたいなものはどこにも無いですよ。

大 家 別に音叉がなくてもいいんです。

うちぐらいの造りだと部屋の扉はベニヤ板ばりです。壁もベニヤか石膏ボードですね。面積はかなりの広さです。それで、コントラバスの胴のように低い音のほうに共鳴しやすくなっていると思います。だから、室内で音楽が鳴っていれば、その中の低音のほうにより強く共鳴しやすいと考えていいでしょうね。扉や壁がそうして振動すれば、部屋の外の空気に伝わる音も低音のほうが強くなるのが自然だと思います。

与太郎 じゃあ、扉がむくの厚い板でできたり壁がコンクリだったりするとどうなんですか？

大 家 扉や壁の構造や堅さによっては壁の固有振動数が高くなって、高音のほうに強く共鳴することもあり得ますからね。

しかし、そのような堅い構造物だと共鳴するよりも音をはね返してしまう性質のほうが強くなるから、外には伝わりにくいんですね。

与太郎 そうか。やっぱり低音のほうに漏れやすいんだ。太っちょの忍者のほうに壁をすり抜けやすいんだ。面白いなあ。