

音を聴く

1

音と耳



津崎 実
TSUZAKI Minoru

京都市立芸術大学/音楽学部
教授

音の聞き方には、能動的な「聴く」と受動的な「聞く」とがある。「聞く」ことは「聴く」ことよりもたやすい、価値の低い機能と考えがちである。ところが、むしろ「聞く」ことの方がより根源的で重要な側面を備えている。当たり前すぎて見落としがちな音と耳の役割について訊く。

音刺激の特殊性

耳(聴覚)はなぜ重要かを問うと、よく「聴覚は言葉や音楽といった人間にとって大切なものを扱う感覚であるから」という答えを用意している教科書に行き当たります。本当にそうでしょうか。私はこの答えは適切ではないと思っています。まず一番の反証は、言葉や音楽を使っているとは思えない動物たちでも聴覚は備わっていることでしょう。進化論的に考えれば、どう考えても音(空気中を伝わる振動)をうまく捉えることを身につけた種が地球の環境に適応して栄え、そのような聴覚があることを前提にヒトは言葉(音声言語)や音楽を編み出したとするのが論理的です。では聴覚とはどのような感覚でしょうか。それを理解するためには、ヒトに備わっている他の感覚との対比を試みるのがいいでしょう。

ヒトには、味覚、触覚、嗅覚、聴覚、視覚のいわゆる五感が備わっています。ここで列挙した順番は、有効射程距離の違いともいいましょうか、感覚の持ち主とその感覚の源との距離関係に対応していると思って下さい。この有効射程距離の違いは感覚器官としての優劣の判断基準にはなりません。それぞれはそれぞれの役割があり、むしろ有効射程距離を違えて適切な役割分担をしていると考えるのが適切です。では聴覚の役割は何でしょう。それは一言で言うと、全方位型早期警報システムです。原始時代に草原で行動していると想定しましょう。嗅覚や触覚でライオンの存在を知ってからでは手遅れです。もう死にもぐるいで戦うしかありません。対してライオンの唸り声や、吐息、足音を感じ取れば適切な危険

回避が可能です。もちろん、さらに遠方からライオンの群れの姿を見つけて近づかないようにしておくことも賢明な選択ではありますが、視覚は夜には役に立ちませんし、背後からの接近には弱点があります。

さてそんな音ですが、音がするためには何が必要かを考えてみましょう。音がするには音響エネルギーの新たな出現が必要となります。そのためにはモノとモノの衝突なり接触が必要です。これはある意味で当たり前のことかもしれませんが、視覚刺激と比べると音が担っている役割が際立ってきます。視覚の場合、モノがあるだけで見えますし、必ずしも光の強さが強いから視覚的な対象として際立つわけではありません。白地に黒い円盤がある場合、円盤の方が輝度は低いわけですが、視覚的な対象としての明確さは黒地に白い円盤と大して違いはありません。音はモノがあるだけでは生じません。そのモノに何らかの働きかけ、つまり事件の発生があって生じます。そしてそのほとんどの場合、音の強度の上昇が伴います。音、つまり聴覚刺激の発生は外界の変化を知らせてくれます。視覚刺激はそもそも発生するという観念にすら馴染みません。もともとそこにあることの方が多いわけです。

聴覚の仕組み

この音という空気を伝わる振動を、我々が感じ取るために脳が扱える信号へと変換するのが聴覚器の役割です。脳への信号とはニューロン(神経細胞)を興奮させる神経発火ですが、聴覚系は有毛細胞と呼ばれる感覚細胞を使って振動を神経発火へと変換

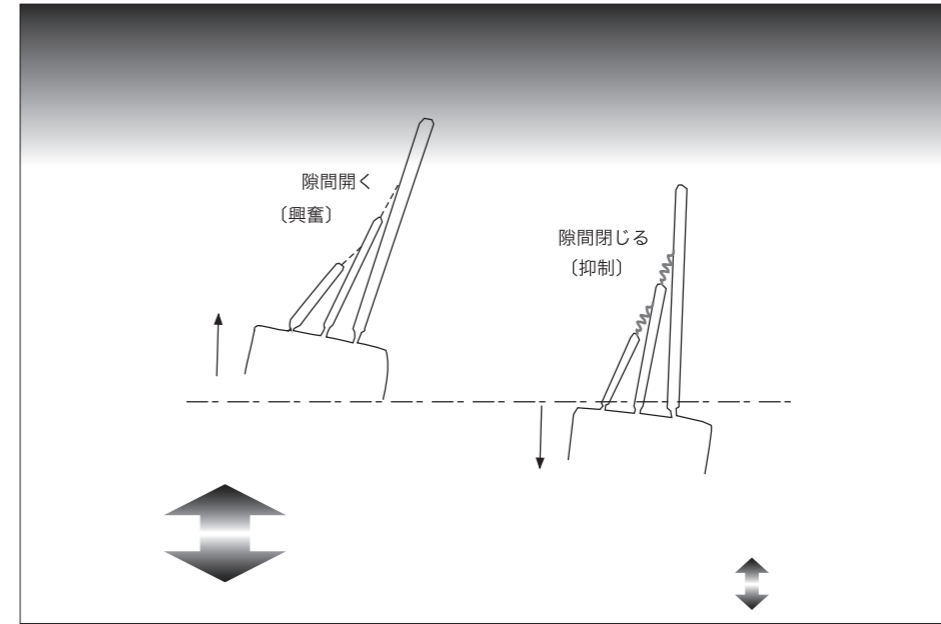


図1 基底膜の変位と有毛細胞の興奮と抑制

します。この感覚細胞は基底膜という膜の上ののっかっています。その先端に毛の束のようなものが付いており、周りは内リンパ液で満たされています。

細胞の外側と内側とは化学的イオンのバランスが違って、刺激を受けない状態では電位差が存在しています。図1に示すように基底膜が振動をして動くと内リンパ液の粘性抵抗で毛は力を受け、束ねてある毛の先端に僅かな隙間が開きます。この隙間はイオンを通す大きさなので、この瞬間に電位差を解消するようにイオンの流入が起こります。これが神経発火の引き金になります。反対方向への変位が起きたときは、神経発火確率は低くなります。一つの有毛細胞には複数の神経繊維がつながっているため、それらトータルの発火の時間パターンは有毛細胞がのっかっている基底膜の振動のちょうど上半分のようなものとなります。つまり、この発火の時間パターンには振動の周期(周波数の逆数)の情報が反映されます。このようにして音の周波数の違いが脳へ伝わります。周波数の違いが分かることによって、人間(動物)は単に音がしたかどうかだけではなく、

た場合を想定したのが右側の図です。音波の波形では明確だった差があまり明確ではなくなる様子が見て取れます。これではちょっと困りますね。もう少し違いが分かるように工夫したいところです。自然はこのような工夫を施した聴覚系を産み出しました。その工夫の一つの方法は、有毛細胞がのっかっている基底膜の特性をいろいろと変えてみるというものです。

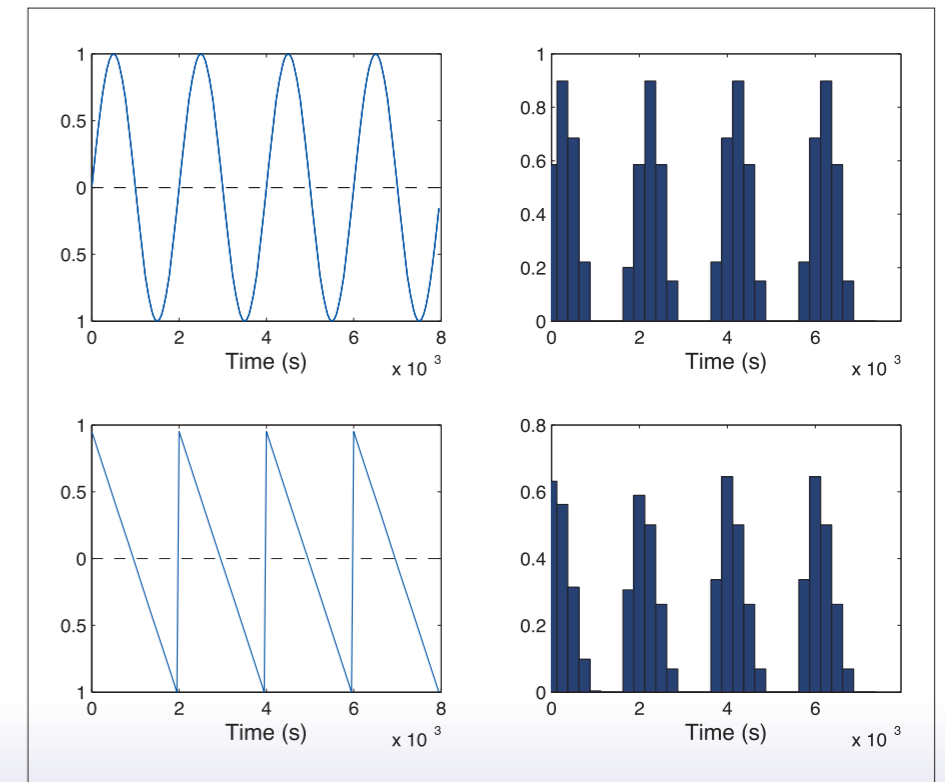


図2 音信号の時間波形と神経発火率の時間パターン

音源の違いまでもある程度分かるようになります。

ところが音はその基本周波数が同じであっても、音源によって高調波の含まれ方が異なることがあります。図2を見て下さい。左側の図は音信号として伝わってきた音波の波形です。上下とも基本周波数は一緒ですが、下の方が高調波を多く含む音です。普通、我々はこの二つの音を聞くと音色の違いを感じるはずですが、これをそのまま先に述べたような、有毛細胞による神経発火活動に変換し

例えば基底膜の差し渡しの幅を変えると、それは両端を支えられた弦のような特性を持ってきますから、その幅が狭いほど高い周波数の振動に共鳴しやすくなります。反対に幅が広いと低い周波数の振動に共鳴しやすくなります。基底膜を幅が徐々に変化するリボンのようなものにしていくと、図3に模式的に示すようにリボンの左端では高い振動を拾い、右に行くにつれて低い振動を拾うような仕組みができあがります。この仕組みの片方に音の振動を入れると(実際の哺乳類の耳では空気の振動が鼓膜を揺らし、その鼓膜につながった耳小骨という小さな骨の連鎖を振動させ、その骨の終端が内耳の中を満たしているリンパ液に振動を伝えます。周囲を取り囲んでいる液体に振動が伝わることによって基底膜も振動します)、その振動に含まれる周波数成分と基底膜のそれぞれの場所の共鳴周波数との一致の仕方に応じて基底膜の各所がいろいろな振幅で振動します。図2に戻れば、上側の音波は単独の高調波しか持たないのでごく限られた領域だけを振動させるのに対して、下側の振動はそれに加えてより高次の高調波成分に対応した各所をそれぞれ振動させます。

このようにしてヒトを含む哺乳類の聴覚系では神経発火の時間パターンだけでなく、どの神経が反応したかによって、音に含まれる周波数成分の違いを脳が活用できるように処理しています。このように到来した音に対して基底膜のどの場所が良く振動するかは、音の聞き取りやすさの印象に影響します。信号(聞き取りたい音)に対して、それを妨害するような騒音がある場合を考えてみましょう。二つの音を構成する周波数成分が共通であれば、二つの音とも基底膜の同じ場所を振動させようとします。結果的に同じ神経が活動してしましますが、脳にしてみればその神経達がもとも一つの音に反応しているか、それとも二つの音に反応している

かを知る手掛かりがないので、信号を騒音から分離することが困難となり、信号が聞こえにくいという状況が生まれます。これに対して、信号と騒音の間で含まれる周波数が異なっていると基底膜の異なる位置がそれぞれ振動します。従って、信号が単独で呈示された場合と雑音とともに呈示された場合との間に、信号に対する反応を受け持つ場

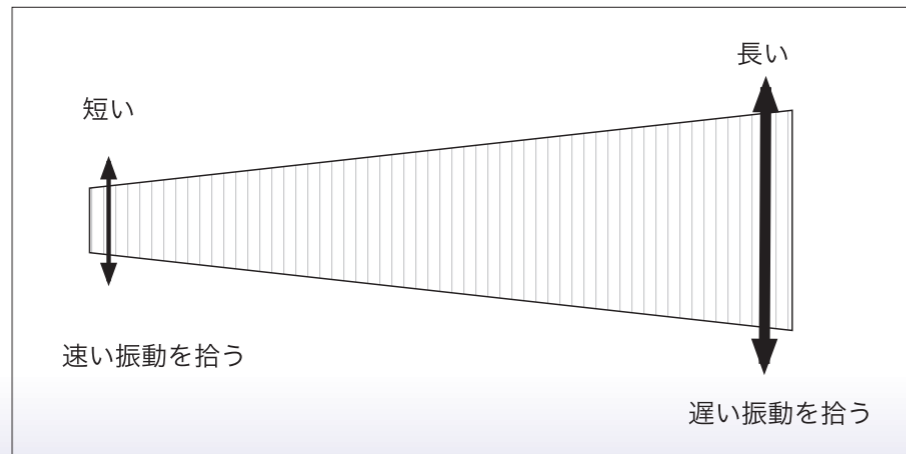


図3 基底膜の物理特性による周波数分解

所は大きな違いを出さないで、信号の聞き取りに対する妨害効果は少なくなります。これはマスキングと呼ばれる現象として聴覚研究の分野では長年にわたり研究されてきました。

聴覚による情景分析

さてここまでの説明を見ると、音の違いとは含まれる周波数成分の違いで表せそうな錯覚に陥ります。しかし実際には、二つの違う音の周波数成分の占める領域は大分重なり合っていることの方が多いのです。図4は今、私が仕事をしている部屋の暗騒音とそこに音楽を流した場合の長時間スペクトルを示したものです。音楽が流れていれば当然スペクトルは変化しますが、周波数成分が存在する帯域はこの二つではほとんど重なっていることが示されています。

このような重なりがあるにも関わらず、我々は音楽を背景雑音から巧みに分離して聴いているようです。言ってみれば、図4の赤線が示すものから青線の部分を引くことができるわけです。しかし、実際には雑音について予め知っているわけではないので、赤線が与えられた状態で青線とそれ以外へと分割するという芸当をやっただけではなりません。そのためにはどんな手掛かりが使えるのでしょうか。

まず、第一には強度です。大きな音は他を圧倒しますから、雑音よりもはるかに大きな音がしている場合はすべて受け取った音は信号だとしてしまうので構いません。もう一つには周期性の手掛かりが使えます。多くの場合、信号に成り得る音というのは周期性を備えています。人の声で言えば母音がこの特徴を持っていますし、楽器であればバイオリンやトランペットなど、いわゆる旋律を奏でられる楽器の音は周期的です。そしてその場合、調波構造を備えた音になっています。つまり基本周波数とその自然倍音

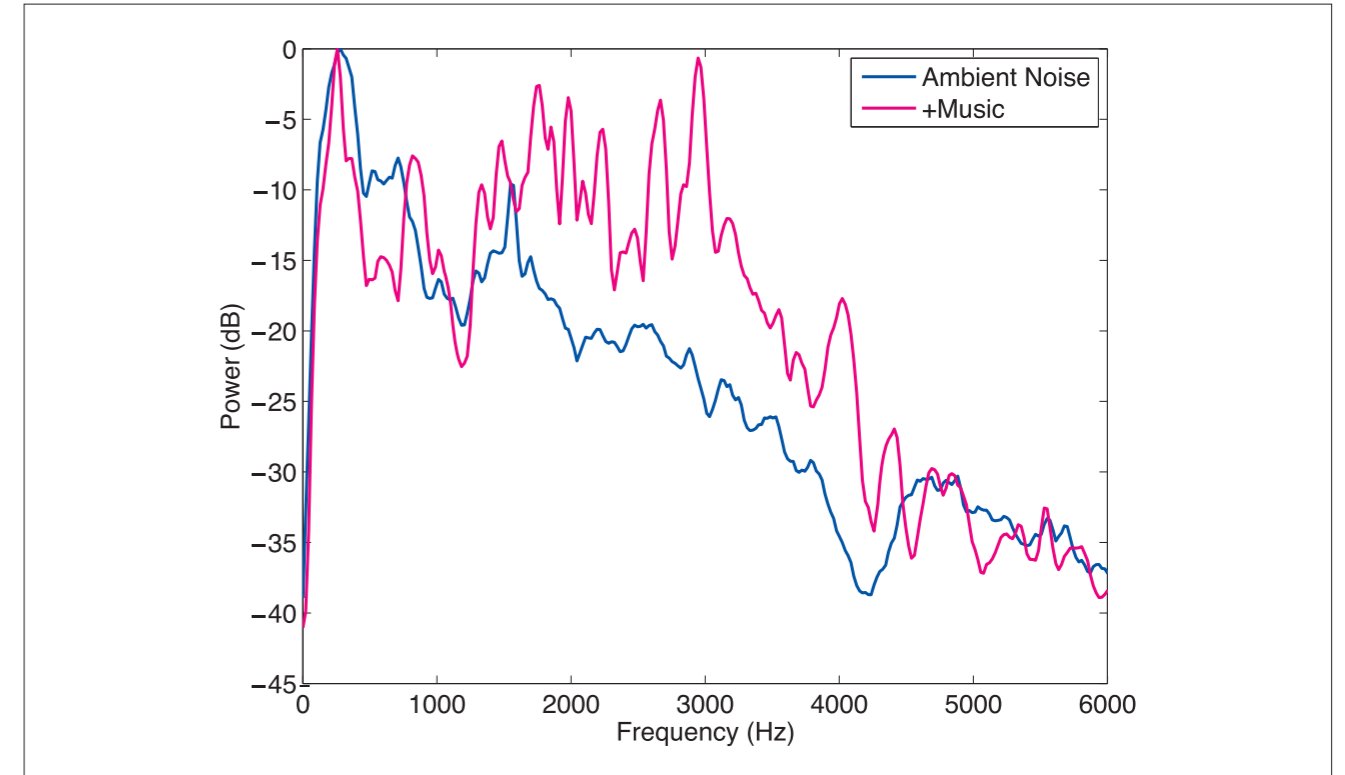


図4 室内の騒音と音楽との成分周波数の重なり具合

の系列から構成されていて、聴覚系はこのような周波数成分が同時に存在しているとそれらを一群としてまとめることができます。

次の手掛かりは同期性です。同時に始まって同時に終わる周波数成分(場合によっては前者だけでも)はひとかたまりとして知覚されやすくなります。ピアノなどの楽器で和音をガーンと叩くと、素人にはそれらがドミソという三つの音として聞こえにくく、和音という別の響きとして聞こえます。これは同期性があるからです。

さらに音源の位置の違いも、音をより分けるときの有効な手掛かりになります。例えば音源の水平位置の違いは、左右二つの耳に到達する音の強度の違いや左右にそれぞれ到着した時間の差を生み出します。この両耳差を聴覚系は巧みに利用して音源の位置を特定し、ある一つの方向から到来した音の信号をそれ以外のものから分離することが可能です。実は、ステレオ録音技術はこの音源の知覚的な位置の違いの手掛かりを導入したことにより大きな成功を取った例です。聴取者はそれぞれの楽器を別々の位置に聴くことによって、それぞれの楽器の音色が明瞭に知覚できるようになり再生の品質が高まったと感ぜられるのです。iPodなどに付属するイヤフォンは比較的安価ですが、その100倍の費用をかけたモノフォニックのアンプとスピーカよりは人を満足させて

しまいます。

静かさの理想

以上見てきたとおりに、聴覚は音を通して周囲に起こった事件を察知し、その背後に存在している原因を突き止めるように進化を遂げています。この機能が確保できないときに、我々は不安に感じ始めるようです。

以前私が勤務していた研究所には無響室と呼ばれる実験室がありました。外からの音の遮断性能に優れているだけでなく、壁、床、天井からの反射を極限までに抑えているので、中に入るとかなり違和感を覚える部屋です。何回か見学者を案内したこともありますが、誰一人として「静かで良い部屋ですね」という感想を言った方はいません。中に入った人の耳に届く音響信号レベルだけを取ればごく小さいはずなのですが、この部屋に入った瞬間から人は「耳が効かない」ということを直観的に察知しているからだだと思います。そう考えると静かさの理想が見えてきます。一言で言えば安心感のある状態が静かな状態なのでしょう。何か事件が起こったらすぐにそれに気づけるけれど、事件はそれほど起きそうにない雰囲気があるとき、我々は安心していられるのだと思います。