

音と騒音について知っておきたい基礎知識(1)

新潟大学名誉教授 岩瀬 昭雄

最近、各地で洋上風力発電施設の新設が検討されていますが、発電時に発生する騒音や振動の影響が懸念されています。海生研でも海生生物に対する騒音や振動の影響について、検討を進めているところです。

今回、新潟大学名誉教授の岩瀬昭雄先生に音の物理的特性や騒音抑制に関する基礎知識について、2回に分けて解説いただきました。

はじめに

音刺激に対するヒトの感覚は光とともに最も基本的なもの知られており、特に文化的で便利な生活にも役立ち欠かせないが、時には騒音トラブルのもとにもなる長短の二面性を持っている。

気体と液体そして固体中に生じる力学振動を広く音波と呼び、微弱な圧力変化が空気中に放射されて聴取されるのを狭い意味の音(おと)と呼ぶことが多い。ただし、本稿も含め明確に区別されるわけではない。

音が伝搬経路を伝わり、頭部の外耳に到達し、さらに奥の内耳で受け止められる音刺激は脳に伝達されて、生れて以来蓄積された膨大な音記憶に照らして言葉や音楽、外敵が発する危険な音、不快な騒音などと様々に認識される。音に親しみ持ち、騒音の問題を防ぐに役立つ音源や音の伝搬の物理的側面¹⁾とヒトの聴感についての基礎知識²⁾を二回に分けて紹介する。

2. 音と聴感

音を発する音源は身近に様々ある。竹筒に空気を吹き込むと共鳴音が生じ、拳で打撃された板や爪弾かれた糸は励振され、接する空気塊に1秒間に数百、数千回繰り返される押し引きの力、微弱な圧力変化が生じて空气中を伝搬していく。この圧力変化を音圧と言い、空気の吹き付け方や打撃の勢いで振動強度、すなわち音圧の振幅が定まる。また筒の長短や板の厚さ、糸の張り具合が共鳴や共振音の高さ、すなわち音の1秒当たりの振動数あるいは周波数に影響する。この音圧の強さと振動数が音源の物理的基本特性となる。

音源から発せられた音波が空間中を拡がって伝わった先では音として聞けるが、その距離が増す遠方では拡がり方に依りて音の強度が減るのが一般的である。これが距離減衰と呼ばれる音の伝搬に関わる最も基本的な特性である。音が直進してどこまでも伝搬する

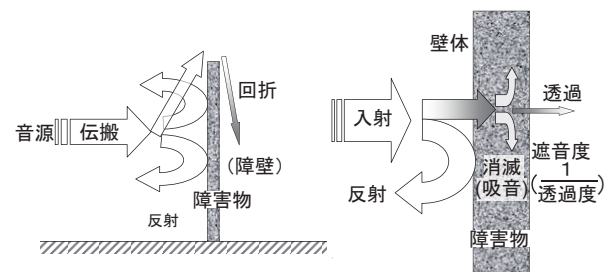


図1 伝搬経路の障害物による回折や壁体材料への音波の入射に伴って生じる種々の音響現象

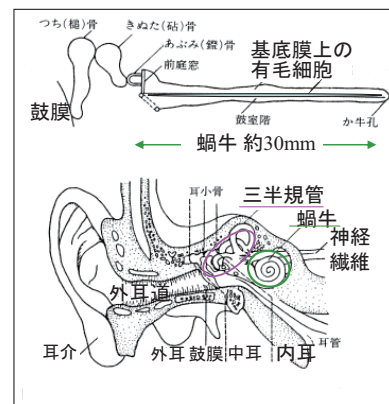


図2 耳の構造

理想空間を自由空間と呼ぶが、伝搬路に何らかの障害物があると、図1の概略の通り直進せず、反射や障害物内での消滅(吸音)と透過などの現象が起きる。音波も波動であり、それ特有の回折現象として裏側へ減衰しつつ回り込み、やや弱く音が聞こえる。板状の壁体に入射すると振動が励起されて裏側に音波が再放射されるが、遮音に関わる音の透過現象と扱われる。

音波がこの様な経路を通して強弱様々な状態で図2に示す外耳に達すると、鼓膜から中耳を経て、内耳内のリンパ液に満ちた渦巻き状の蝸牛中約3cmの基底膜の上の有毛細胞が刺激を受け、脳に神経パルス信号を送る。周波数成分が単一の純音では、周波数が低い音は奥、高い音は入り口近くとパルスの発信位置の

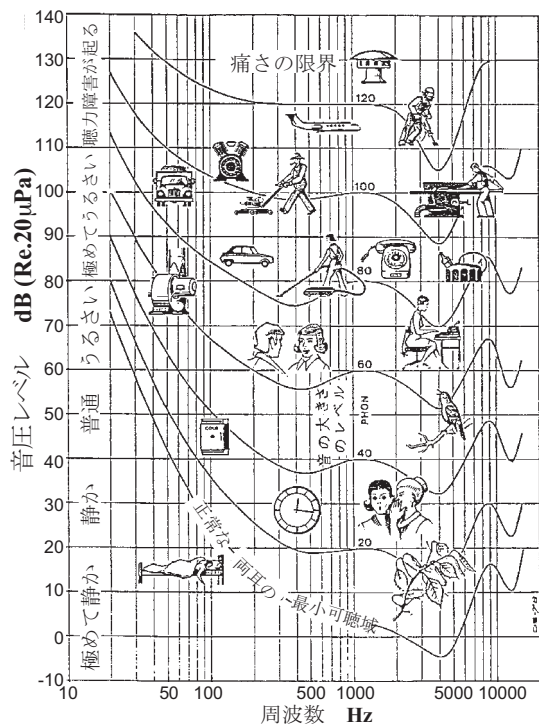


図3 純音に対する等感度曲線

違いと強さを脳が音の高さと大きさとして分析し知覚する。複数の音が組み合わさった場合には知覚の組み合わせ方も分析され音色として固有の認識が生じる。これが、同じ音程を奏でるフルートやバイオリンの重奏でも楽器の違いが分かる根拠である。

ちなみに、内耳のリンパ液で満たされた小管が三つ直交する三半規管で頭部(体)の傾きや振動が感知され、一部内蔵の共振現象も寄与すると言われる。

人は、音の強度で「大きさ」、振動数で「高さ」、加えて「音色」と、音の三属性と呼ばれる感覚を生じる。

図3の表示のように、人が音の高さを感じる周波数範囲は、20Hz～20000Hzで1000倍、大きさでは最小可聴から痛みを伴うまでの範囲は音の強さの比でおよそ1:10¹³(10兆倍)、音圧比で1:10^{6.5}(300万倍)と、極めて広い感覚領域を持っている。その物理的範囲の広さに比べて心理的感覚変化はとても狭い。音刺激の場合も、光と同様に物理量と心理量との関係で有名なウエーバー・フェヒナーの法則に従って感応するとして、音の強度は、ある値を基準とした相対比の常用対数で表示する。その単位は、電話の発明でエジソンと競い特許を得たグラハム・ベルにちなむ「B」(ベル)である。実際には、10倍の値のdB(デシベル)が音の強さや音圧のレベル表記に使われる。また多くの音についての情報を表示する際に、周波数も対数軸で示す

ことが慣用的に多い。

図3の曲線群は、人が聴く音の周波数(横軸)を変えながら、同じ「大きさ」に感じる様に音の強さ(縦軸)も変えて聴取した時の音圧レベル値を結んで得られる最も基本的な聴感特性を示す例で、純音の等感度曲線と呼ばれる。最下部の曲線は最小可聴域を示す。縦軸は音の強さで最小可聴程度の音圧20×10⁻⁶Paを基準とした音圧レベル値で示されている。この図の縦軸上下を逆に描けば人の聴覚感度を示し、左側の低い周波数領域の感度が鈍く、右側の高い領域での感度が高く3000～4000Hzで最も鋭い感度を持つと分かる。また、音圧レベルが低い程その傾向が強くなり、強い音では感度差が少ない傾向と読み取れる。これら曲線群の範囲が可聴領域を示し、左側の範囲外20Hz以下が最近問題とされる超低周波数領域であるが、可聴範囲内の低い音域を含めて低周波音と問題視されることも多い。右側20000Hz以上は超音波と呼ばれ、工業分野での広い利用範囲である。また、コウモリを始めとしてヒト以外の多くの生物が感度を持つとして重要性が認識されつつある周波数領域でもある。この図は成人の代表値の例であり、最小可聴以下の範囲は知覚出来ないと誤解されるが、最小可聴域より弱い音を半数の人は知覚でき、また強い音でも残り半数は無知覚である。絶対の境界線ではないとの認識が騒音評価に必要となる。

また、ヒトの聴覚は加齢により高い周波数から中音域へと感度低下が進み、高音成分の多い子音の聞き取りにくさから単語把握の手がかりを失い、会話が不自由と感じようになる。また、強い音の聴取は一時的難聴を生じる。さらに、高騒音の工場内作業下のように頻繁に続く回復不可能な永久性難聴に至る。携帯型音楽機器でのイヤホンによる知らぬ間の高音圧聴取が問題視されるゆえんである。

3. 音の計量と評価

振幅の時間波形がsin関数で示される純音は、周波数成分すなわちスペクトルが単一で、図3の曲線上の音も周波数○○Hzの音圧レベル△△dBと表記できる。

複数の純音が組み合わされた音は前述の通り複合音で、楽器以外にも様々な電子機器から発せられる警報音や通知音は合成複合音が多い。なお、これらの音は比較的耳につきやすい高い周波数成分を利用するのが通例であったが、中低音域成分を含ませて高齢者

や聴覚弱者にも知覚し易く配慮するのが最近の音のユニバーサルデザインポリシーである。

一方、自然界の音や人工的な複雑な騒音には規則性がない周波数成分が多く混在して含まれ、さらに時々刻々変化する。このような音は雑音と呼ばれる。

また音圧振幅の時間特性で音を区分すると、ほぼ一定値を保つ定常音、沿道での自動車通過音のように時間的不規則変化を伴う変動(騒)音、鉄道通過騒音のように繰り返し発生する間けつ(騒)音、さらに金属板への瞬間的打撃のような衝撃音がある。これらに対して純音と同じような計測と表示は出来ない。

純音も含め多様な種類の音の音圧レベルを計測する基本的な機器として長く騒音計と呼ばれてきたサウンドレベルメータがあり、図4に示す応答の、等感覚曲線を近似させて低い周波数で感度を相対的に減じるA特性フィルタ回路を内蔵する。必要に応じてこれを通過させ計量する値をA特性音圧レベル、騒音レベルと呼び、聴感を考慮する時の基本計量値として扱われる。併せて、可聴域の音圧レベル計測用のC特性と低周波数領域まで感度を保持する平坦なZ特性(Flat)も持つ。

また、音の強さが不規則に大きく変化する騒音が対象の場合、多数のサンプルレベル値を累積して、その中央値や上端から5%や10%の値、下端から5%や10%に当たる値を意味するL50、L5、L10、L95、L90を求めて評価する長い歴史があった。

この評価法に基づいた古い環境基準値も、騒音の環境影響に関する考え方や計測機器の進展を背景に計量方法とともに変更された。すなわち、主に道路交通騒音を対象とした我が国の環境基準は、L50から騒音のパワーの時間平均値によって評価することになった。

図4中央に示す通り、変動する騒音の音圧振幅の2乗値を時間積分し観測時間で平均して得る実効値をdBに変換して L_{Aeq} と表記する。特にA特性フィルタを通じた場合を L_{Aeq} 等価騒音レベルと呼び、広く適用されている。新幹線騒音では通過ピーク値の複数平均値、航空機騒音では夜間の離発着に重み付けを加えた L_{Aeq} 値の L_{dn} 、工場騒音の騒音規制では L_{A5} と、騒音の種類により異なる計量と評価法が適用されるが、最近のデジタル表示型サウンドレベルメータでは、これら統計計量値の演算機能を備えている機種が多い。

環境省のホームページには騒音の種類ごとの計量と当てはめるべき環境基準値や騒音規制に関わる評価の方法や考え方が掲示されている³⁾。

参考図書・資料

- 1) 日本騒音制御工学会編(2001). 騒音制御工学ハンドブック, 技報堂出版.
- 2) 日本音響学会編(2003). 新版音響用語辞典, コロナ社.
- 3) 環境省ホームページ
環境省ホームページ> 環境基準・法令等> 環境基準. <http://www.env.go.jp/kijun/index.html>

略歴：岩瀬 昭雄 (いわせ てるお)
新潟大学名誉教授。経済産業省環境審査顧問。
東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。工学博士。長年、建設音響や騒音抑制に関する研究に従事され、数々の学会賞を受賞。

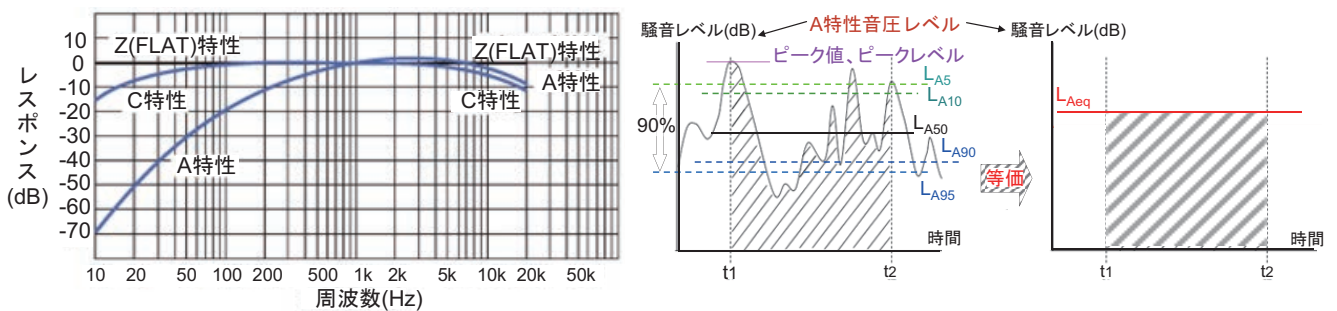


図4 サウンドレベルメータに備わる周波数重みづけ回路の応答と騒音の統計処理による計量値の意味