

# 建築物理学講座

## 第17講「音響計画」

田中 辰明

柚本 玲

(お茶の水女子大学名誉教授・工博) (お茶の水女子大学田中研究室・博士(生活科学))



### はじめに

ある人にとっては心地よく聞こえるピアノの音も別の人にとっては単なる騒音となって聞こえる場合もある。音とは単に物理的に評価できるものではなく、心理的な評価も必要なものである。筆者もかつて渚近くでバイプロハンマーという当時よく使われた杭打ち機の騒音測定をしたことがある。この工事現場で近隣から杭打ちの音がうるさいと苦情を受け、測定依頼を受けたのである。騒音計でどう計っても、海岸に打ち寄せる波の音の方がうるさいのであるが、近隣住民はバイプロハンマーがうるさいと怒っておられる。こういう場合はいくら説明しても納得していただかず、結局お酒を持参して謝り、落ち着いたという思い出がある。

### 1. 音の性質

物理的な音の大きさを「音の強さ」と呼び、人間が感じる音の大きさを「音の大きさ」と呼んでいる。

音源から発せられた音は物体や空気を伝わって人間の耳に入る。空気中の音の速さは気温により影響され、次式で示される。

$$\text{式)1} \quad \text{空気中の音の伝達速度 (m/s)} = 331.5 + 0.6t$$

t: 気温(℃)

音源で発生する音のエネルギーを音響出力(W)と呼んでいる。音波の進む方向に垂直な単位面積(1 m<sup>2</sup>)当たりの音響出力(W/m<sup>2</sup>)を音の強さと呼ぶ。人間が聞くことのできる最小の音の強さは一般に10<sup>-12</sup>(W/m<sup>2</sup>)で、この強さを基準として音の強さのレベルはL(デシベル(dB))として示される。「感覚の強さは与えられる刺激の対数に

Table 1 音の強さとデシベルの関係

音の強さ(W/m <sup>2</sup> )	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>
デシベル(dB)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

比例する」というフェヒナーの法則を用いたものである。音の強さとデシベルの関係を示すとTable 1のようになる。音の強さのレベルは10<sup>-12</sup>(W/m<sup>2</sup>)の音を0 dBとし、この基準値10<sup>-12</sup>(W/m<sup>2</sup>)=I<sub>0</sub>に対する各種の音の強さIの比(I/I<sub>0</sub>)の対数の10倍(L=10log<sub>10</sub>(I/I<sub>0</sub>))で表される。例えば音の強さが10<sup>-3</sup>(W/m<sup>2</sup>)のレベルは次式から90 dBになる。

$$\text{式)2} \quad 10 \log_{10} \frac{10^{-3}}{10^{-12}} = 10 \log_{10} 10^9 = 10 \times 9 = 90 \text{dB}$$

このように音の強さは、デシベル単位であらわされるので音が2つ以上存在する場合はその強さの和は次式で求められる。

$$\text{式)3} \quad L = 10 \log_{10} \left( 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right)$$

L: すべての音を合成した音の強さのレベル(dB)、  
L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, …, L<sub>n</sub>: それぞれの音の強さのレベル(dB)

#### (1) 2つの音の合成

同じ強さの音が2つ同時に存在する時、音響エネルギー密度は加算される、2つの音のレベルの和は

$$\text{式)4} \quad L = 10 \log_{10} \left( 2 \times \frac{I}{I_0} \right) = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} + 10 \log_{10} 2 \approx 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} + 3$$

となり約3デシベルだけ強くなる。60 dBの音が2つ存在すると63 dBになる。

Table 2 室内騒音の許容値(社団法人日本建築学会: 建築設計資料集成2: 丸善 (1978))<sup>2)</sup>

dB	20	25	30	35	40	45	50	55	60
NC-NR	10~15	15~20	20~25	25~30	30~35	35~40	40~45	45~50	50~55
うるささ	無音感		非常に静か		特に気にならない		騒音を感じる		騒音を無視できない
会話・電話への影響	5m離れてささやき声が聞こえる				10m離れて会議可能 電話は支障なし		普通会話(3m以内) 電話は可能		大声会話(3m) 電話やや困難
スタジオ	無響室	アナウンス スタジオ	ラジオスタジオ	テレビスタジオ	主調整室	一般事務室			
集会・ホール		音楽堂	劇場(中)	舞台劇場	映画館・プラネタリウム		ホールロビー		
病院		聴力試験室	特別病棟	手術室・病棟	診察室	検査室	待合室		
ホテル・住宅				書斎	寝室・客室	宴会場	ロビー		
一般事務室				重役室	応接室	小宴会場	一般事務室		タイプ・計算機 室
公共建物				大会議室					
				公会堂	美術館・ 博物館	図書館	公会堂兼 体育館	屋内スポーツ 施設 (拡)	
学校・教会				音楽教室	講堂・礼拝堂	研究室	普通教室	廊下	
商業建物					音楽喫茶店	書籍店	一般商店		
					宝石店・美術品店		銀行・ レストラン	食堂	

## 2. 騒音の許容値

騒音とはノイズとも言い、好ましくない音を言う。きわめて大きく強いために生理障害を起こすような音、電話、講義、テレビの聴取に妨げになるような音、仕事や安眠の妨げとなるような音などである。公害苦情件数の半数以上が騒音によるものである。交通機関の騒音、建設に伴う工事騒音、生産施設からの騒音などが主なものであるが、騒音規制法では各種の騒音に対する環境基準が定められている。騒音は種類も多く、人によって不快感も一定ではない。従って許容値の尺度もいくつかのものが定められている。

### (1) 騒音レベルによる許容値

日本工業規格(JIS)で定める普通騒音計のA特性で測定した値による許容値である。測定が簡単で精度も良い。一般的な騒音の許容値として広く用いられている。単位はdB(A)である。(A)はA特性で測定したものであることを示している。A特性とは人間の聴覚にほぼ合わせた受音レベルにしたものである。かつてはこれを「ホン」と表示したが、これを用いたのが日本だけであったため、最近ではあまり用いられない。騒音レベルによる許容値はTable 2のようになる。

### (2) NC(Noise Criterion)値による許容値

普通騒音計で測定した値が同じであっても高い音は低い音に比べて不快に感じる。これは騒音が高音になるほど人間の耳の感覚が敏感になることを示している。騒音には雑多な周波数の音が含まれているが、これをオクターブごとに分けて各オクターブ帯域ごとのうるささを示したNC曲線をもとにしてその許容値を表したものである。NC曲線はFig.1からわかるように1200~2400Hzの周波数を含む騒音が30 dBの場合(NC-30)、これと同じうるささで感じる騒音は75~150 Hzの場合、50 dBに相当することを示している。NC曲線による許容値はTable 3のようになる。例えば図書室ではNC=30と示されているので、各オクターブ帯域ごとでこの値を超えないようにする必要がある。この方法は人に与える不快感の程度を特に配慮しているので、室内の許容値として用いられる。一般にdB(A)の値から10を引いた値がNC値になる。

### (3) ラウドネスレベル(単位:phon, フォン)

音の大きさは音圧の大小と周波数特性が関係する。同じ音圧の音でも周波数が異なれば聞こえ方が異なるのは前述の通りである。ある音の大きさはこれと同じ大きさに聞こえる1000 Hzの純音の音圧レベル(dB)の値で示し、これをラウドネスレベルと呼んでいる。1000 Hz、

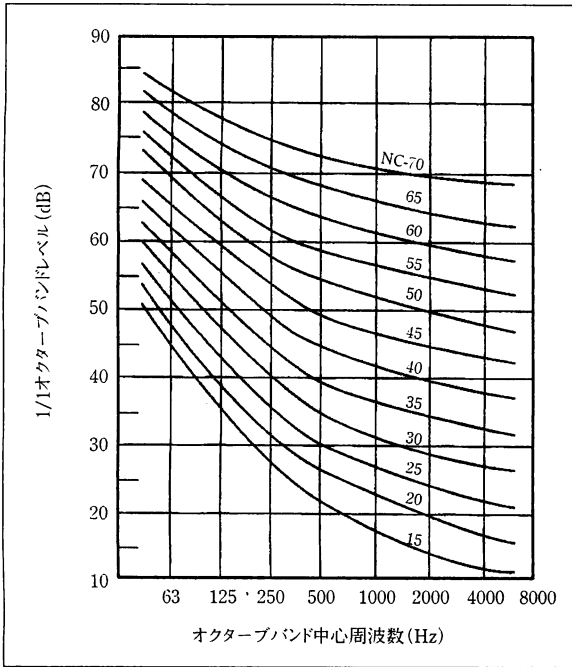


Fig. 1 NC曲線(社団法人日本建築学会: 建築設計資料集成2: 丸善(1978))<sup>2)</sup>

L dBの純音と同じ大きさに聞こえるLフォンと呼んでいる。各種の純音の周波数と音圧レベルについて、等しい大きさのレベルについて結んだ線からなる図が等ラウドネス曲線と呼ばれる。等ラウドネス曲線をFig.2に示す。人の耳に聞こえる音の小さい方の限界値を最小可聴値と呼び、等ラウドネス曲線の最下段の曲線が最小可聴値である、図で見るとこれは周波数により異なる。音の大きい方の限界は最大可聴値と呼ばれる。これは周波数にあまり関係なく110 dB程度では人は不快を感じる。そして140 dBで痛みを感じるようになるので、これを最大可聴値と称している。周波数では20 Hzから20,000 Hzの間が可聴範囲となる。

### 3. 騒音の防止

建築の内部を静かな環境に保つには外部騒音やそれに伴う振動を内部に入れないことである。また自らの室内で出る騒音を外に出さないことが重要になる場合もある。騒音防止には発生する騒音の音源の騒音レベルを下げることもある。また、騒音が伝わる過程でこれを遮断することも必要である。騒音が伝わる過程でこれを弱めるには次の方法がある。

Table 3 NC(Noise Criterion)値による許容値(社団法人日本建築学会: 建築設計資料集成2: 丸善(1978))<sup>2)</sup>

建築物	NC(Noise Criterion)
スタジオ	15~20
音楽堂	
劇場	20~25
教室	25
ホテル	25~30
住宅	25~35
映画館・病院	30
図書室	
体育館	50

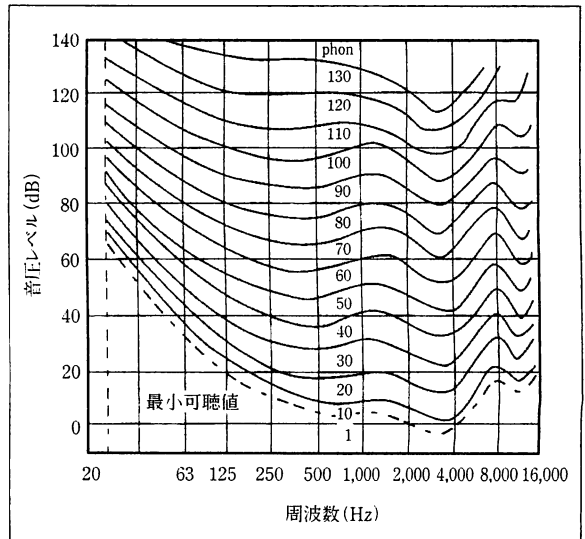


Fig. 2 等ラウドネス曲線(財団法人建築技術者指導センター: 一級建築士(受験)学科総合対策平成6年版: 霞ヶ関出版社(1994))<sup>3)</sup>

#### (1) 距離による騒音防止

音の強さは、音源からの距離によって変化する。ある点から球面状に広がる音源の場合は音源からの距離の2乗に反比例して減衰する。この場合音源からの距離が2倍になると騒音レベルは約6 dB低下する。

常時騒音を発する道路や喧騒な場所から建築物を離して建てるのが基本になる。

#### (2) 遮音による騒音防止

音波が空気中を伝わり外壁等の固体に当たると一部は吸収され、一部は反射され一部は透過して室内に入る。この透過して室内に入った音は人の耳に入り、場合によっては不快感を感じさせる。この場合壁や窓により

遮音される量を透過損失(dB)と呼んでいる。入射音が1/10に低下したとすると、音の強さのレベルでは10dB減少する。これを透過損失と呼んでいる。質量の大きい材料は透過損失が大きい。これを質量則と呼んでいる。外壁に開口部があれば遮音の効果はなくなる。隙間も騒音を通すので気密性の高い建築をつくることが騒音防止の点からも大切である。

### (3) 吸音による騒音防止

騒音は広がってしまうと防止が困難である。できるだけ音源で騒音を止めてしまうのが良い。工事騒音防止のために杭打機械にシートの袋をかぶせて騒音の広がりを防止したり空気調和設備の送風機の騒音がダクトを通して伝わらないようにダクトにグラスウールなど吸音材料を内張りして防止することがある。

## 4. 残響時間

室内を良好な音響状態にするにはその部屋の使用目的に応じた音の響きが必要になる。

極端に静かな部屋が必ずしも音響的に良い部屋とは言えない。音響実験に用いる無響室はグラスウールなどで室内が全面的に内張りされ、室内で発生した音は周壁で吸収されてしまうのであるが、このような部屋で仕事をしても能率があがるわけではない。音源から発生した音が室内全体に広がると共にその余韻が適当な長さで室内に残ることを音の響きと呼んでいる。音源から発生した音は天井や壁の反射を繰り返して減衰していく。これが天井や壁の材料が固いと減衰するのに時間がかかり、柔らかい材料では減衰が速い。前述の無響室は減衰が極めて速い例である。このように音が止んでも室内に残る音を残響と呼んでいる。また音の強さのレベルが60 dB低下するまでの時間を残響時間と呼んでいる。残響時間(T)の計算にはKnudsenの式が用いられる。

$$\text{式)5} \quad T = \frac{0.161 \cdot V}{-S \cdot \log_e(1-a) + 4mV}$$

V: 室容積, S: 全表面積, a: 平均吸音率, m: 空気吸収による減衰係数

各部屋には最適な残響時間がある。これをFig.3に示す。室内に人間が入ることにより、人間自体も吸音材料になる。人間が吸音材料になることを期待して設計した

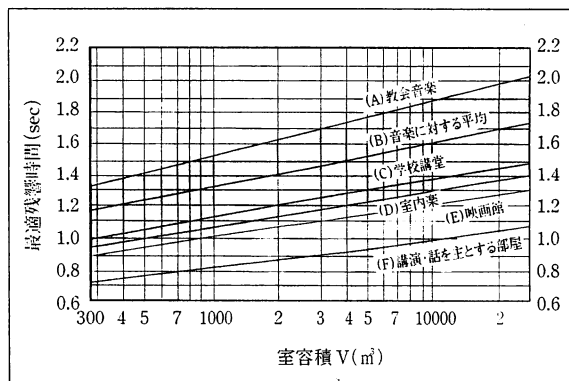


Fig. 3 最適残響時間(社団法人日本建築学会: 建築設計資料集成2: 丸善(1978))<sup>2)</sup>

音楽堂が入場者数が少なく残響時間が長くなり良い音響効果が得られなかったということもある。

昭和2年竣工の早稲田大学大隈講堂の音響設計は佐藤武夫によって行われた。この講堂は演壇でマイクrophonなしで話をし、講堂内全体に音声が行き渡り、反響も無いことで有名であった。佐藤武夫は建築音響設計研究の先駆者である。逆に反響をうまく使用した例に日光東照宮の鳴き龍がある。天井に龍の絵が描かれ、床に硬い材木を使用したため、床の上に立ち拍手を打つと龍が「ウーン」という反響音が耳に入るように共鳴を起こすよう工夫されている。龍の絵が描かれた天井と堅い床が平行であるために床に立ち拍手を打つと「ウーン」といったのである。

付: 筆者らは長野県の〇病院で外断熱工事の調査研究を行ったことがあった。主に病室の温熱環境や外断熱病棟と内断熱病棟のカビの調査であったが、



Photo 1 向かって左が「聴診器が聞きやすくなった」と言われた外断熱改修済みの病院建物

勤務する医師、看護師に対しアンケート調査も行った。その結果医師から外断熱改修を行ったことにより以前と比べて「聴診器の音が聞こえやすくなった」との回答が多数寄せられた。

### <引用文献>

- 1) 社団法人日本建築学会: 建築設計資料集成1: 丸善(1978)
- 2) 社団法人日本建築学会: 建築設計資料集成2: 丸善(1978)
- 3) 財団法人建築技術者指導センター: 一級建築士(受験)学科総合対策平成6年版: 霞ヶ関出版社(1994)