

音場の制御特集

特別寄稿

コンピューターでの音場を制御

新たな市場を生み出す

早稲田大学理工学研究特別研究員 山崎芳男博士

半導体，コンピューター技術の進歩で，ウィーンのオペラハウスやパリのノートルダム寺院で聞くのと同じ雰囲気でも家庭でもオペラやミサ曲を鑑賞することが可能になった。コンサートホール設計では，模型によってそのホールの音場を再現できる手法が発展し，騒音を遮断する壁や床材の開発にも音場のシミュレーション技術が使われ始めた。音の中でも音場の制御はまだ大きな可能性を秘めている面白い分野だ。長年，音場の制御に関する研究開発に取り組み，音場のシミュレーションなどに貢献されている早稲田大学理工学研究所の山崎芳男博士に，我々を取り囲む音の空間である音場について寄稿してもらった。

百聞は一見にしかずと言われるが耳から入る情報量は目から入るそれに比べてそんなに低いものであろうか。別項の「音」に関する1000世帯アンケート分析の数字をみても少なくとも100村1ではなく，耳からの情報に意外と重きが置かれていると感じさせる。確たる根拠はないが摂取している情報量にはあまり違いはないのではないか。いずれにしても音が重要な伝達手段であることには変わりはない。

気圧の時間変動のうち，耳で検知しうるものが「音」と呼ばれている。音に関する話題というと音声認識や音声合成が筆頭に挙げられるが別の機会に譲ることにして，ここではより音そのものに近いがちょっと耳なれない言葉である「音場」について考えてみよう。

音場と残響時間

音楽に限らず我々が音を聞く場合，新雪の降り積もった野原や音響測定のためにつくった無響室のような特殊な環境を除いては，音源そのものから発せられる音のほかに，多かれ少なかれその場所特有の“響き”を聴いている，この響きは室内では床・壁・天井からの反射音でつくられる。

ところで音場の評価に，音が鳴り終えてから聞こえなくなるまでの時間 - 残響時間 - が広く使われている。大阪のザ・シンフォニーホールについて書かれた「残響2秒ザ・シンフォニーホールの誕生」(三上泰生著，大阪書房)が出版されて以来，2秒が理想の残響時間のように言われているが，最適な残響時間というのはそれぞれの音場の広さや使用目的によって異なるものである。もっとも世界中の著名なコンサートホールの満席状態での残響時間は2秒前後のものが多いのは事実である。しかし，残響時間がほぼ等しい音場で音の違いを感ずることがしばしばある。これは建物の形状や材料の違いによる反射音の時間構造や到来方向や強さの違い，特に直接音に続く初期反射音の到来方向や密度や強さ，すなわち空間情報の違いに起因しているものと考えられる。

人間はたった2つの耳で巧みにこの空間情報を捉えている。しかし，マイクロホンではそうはいかず，2つのマイクロホンを使っても前後や上下の方向判定はできない。人間はこ

れを、頭を少し動かしたりして判別する。頭を動かさなくとも、また、たとえ片方の耳をふさいでも慣れると方向判別が可能となる。嘘のような話であるが、実験してみれば明らかである。これは人間の聴覚のすばらしいところで、頭が存在により到来方向の違いによって微妙に変わる音質の違いを記憶しているからである。したがって初めて聞く音に対しては当然方向判定の力はない。コンピューターが驚異的に発展した現代といえども、機械にこのような判断は到底不可能である。そこで4点に置いたマイクロホンを使う「近接4点法」という手法で我々は音場の空間情報を捉えている。

インパルス応答とたたみ込み

西瓜を叩いて中身を判断することがある。また人工地震を起こして地球の内部の構造を知る方法がある。これらの手法は、短い刺激に対する応答を調べることにより、内部の様子をくまなく捉えようとするものである。この手法は室内音響の分析にも適用できる。例えば、楽器を演奏する位置で短いパルス性の音を発して、聴く人の位置でその応答 - インパルス応答 - を記録する。その応答から任意の音源に対してどのような音がするかを計算により求めることができる。この方法は現場ではたった1度インパルス応答を測定すればよいので時間の節約にもなる。そのうえインパルス応答を保存しておけば残響時間など必要な評価パラメータをあとからいつでも計算により求めることができる。また実物を測定しなくとも模型のインパルス応答から出来上がりの音を推定することも可能である。

限りない可能性をもつ実時間たたみ込み装置

前述のように音場に音源と受音点を定めると、その音場が線形かつ時不変であればそのインパルス応答にこの2点間の伝達特性の全ての情報が含まれている。任意の入力 $x(n)$ に対する出力 $y(n)$ がインパルス応答 $h(n)$ と $x(n)$ のたたみ込み演算

$$y(n) = \sum_{k=0}^{88200} h(k) x(n-k) \quad : 2 \text{ 秒の場合}$$

によって求めることが可能である。

例えば2秒のインパルス応答とたたみ込みを行う場合、コンパクトディスクで使われている標準化周波数 44.1kHz とすると 1 標本間隔 $23\mu\text{s}$ の間に過去 88200 標本とインパルス応答の積を取り加算する。すなわち、1 秒間に実に 4000MIPS にもなるとする 38 億 8962 万回の積和演算を要する。このようにたたみ込み演算には膨大な計算量を必要とするので実時間動作は夢の夢であった。最近ヤマハの協力により 1000 個以上の DSP チップを使った 2 秒以上のインパルス応答との実時間たたみ込みが可能装置が実現し、任意の長さの音源に対する応答が実時間で確認可能となった。またスピーカーを使って複数の人間に異なる音を聞かせることも試みられている。

喫茶店の鏡

視覚的な空間を広くする目的で壁一面に鏡を貼りつめた喫茶店を街中で見かける。実時間たたみ込み装置を導入すれば、少なくとも耳の位置で任意の音響空間を作り出すことができる。女性ピアニストの練習室の音響設計の手伝いをした際近々リサイクルを行うホー

ルの響きを実感しながら練習できないかと問われ、当時試作段階にあったたたみ込み装置をしばらく使ってもらったことがある。彼女によると、練習の時ばかりでなくパーティなどの場合、この装置のスイッチを入れておいた方が快適であり、逆に食事の時や静かな夜は必ずスイッチを切ることにしているとのことであった。

音調のスイッチ - 静かすぎては眠れない -

考えてみれば目的に応じて照明や空調を調整するように音響環境をコントロールするスイッチが少なくとも居間や寝室にあってもいいのではないか。30年も前のことであるが、アメリカ東部からハワイ大学に転勤になった昆虫の先生(音の専門家ではない)が来日した際、ハワイは静かすぎて眠れない、当時の東京ですらどこからともなく聞こえてくる街の騒音が快適で眠りやすいと話していたのを思い出す。「騒音」も時には役立つものである。

音響模型

コンサートホールやオペラハウスを造るときに10分の1程度の音響模型による実験が行われることがある。従来の模型実験は縮尺に応じたテープレコーダー、データレコーダーの速度変換により行われていたが、この方法では質のよい音を得ることは難しい。最近模型でインパルス応答を測定し、たたみ込みにより完成時の音を推定する手法が試みられている。実時間たたみ込みを導入すると座席や音源位置による音響の違いをその場で確かめることができる。今のところ装置は大がかりであるが、将来は1チップによる実時間たたみ込み装置も夢ではない。キセルや舟の模型を作るように、オペラハウスの小さな模型を作り、自分の作ったホールで好きな位置に演奏家を配し、好きな位置で開くといった趣味も生まれるのではないか。

音楽愛好家だけのものではない

サントリーホールやカザルスホールを音響設計された永田穂氏が自らの著書で、音場で大切なのは「静けさよい音よい響き」であると述べておられる。すでに音場の制御を目的としたオーディオ機器も市販されているが、これらの機器はなにも音楽を開くためだけに使われるべきものではない。例えば、自室や事の中で音楽を楽しむため実時間たたみ込み装置を使うもよし、時には思いきり静寂を得るために使うというように。部屋全体を厚くて重い材料で遮音するよりは自分の周りだけ静かになるよう制御する方がはるかに合理的な場合もあるはずだ。

多様化する音場に対応したソフトを

一昔前まではレコードは著名な音楽家に接する貴重な横合であった。しかるに昨今は容易に実物に接することができる。一方、「ウォータマン」(商品名)に代表されるようにヘッドホンステレオも全世界に普及している。だが、レコードは媒体こそCDに変わったが、相変わらず2チャンネルステレオ一本やりである。ヘッドホン受聴を対象としたレコードやたたみ込みを対象とした響きの無いドライソース、自ら参加するマルチチャンネル録音

やマイナス1録音といったソフトウェアが作られてもいいのではないかと。少なくともヘッドホンステレオは現在でも市場は十分あるはずである。

豊かな時代の音場

経済的な繁栄を背景にこのところ日本では一昔前の多目的ホールに代わって専用の目的をもった建物が次々と建てられたり計画されている。評論好きのお国柄、よく海外の特にヨーロッパの建物と比較して良い悪いをいう声を耳にするが、幾つもの中から淘汰され残ってきたホールや劇場、場合によってはそれが建っているために作られた満目さえある建物と、いまだ長い歴史の批判をくぐっていない日本のそれを比較すること自体無理があるのではないかと。多目的あるいは他目的ホールはおおいに結構ではないか。現段階では、いろいろな形や考え方の「入れ物」ができて、空間の状況の違いと音響の違いを感ずることに意味があるので、この種の論議は時期尚早のような気もする。