

建築音響技術の変遷

建築音響学の歴史はボストンシンフォニーを設計した Sabine に始まるといわれています。1900 年のことです。したがって建築音響学の歴史は 20 世紀以降ということになります。Sabine はボストンシンフォニーの設計を依頼されたとき、確固とした設計理論を持っていたわけではなかったようです。しかし残響理論を見出して、設計を行うことが出来ました。Sabine は設計をするにあたり、評判の良いシューボックスタイプ、400 席の旧ゲバントハウスを参考にしたようですが、2625 席のボストンシンフォニーよりかなり小さいものです。残響理論は室容積と吸音力で求められることを示したもので、画期的なものですが、それだけではホールの設計は完璧ではありません。そのことは後に 1962 年に開館したニューヨークフィルハーモニーの不評の事実が如実に物語っています。したがって天井空間を十分取った、ボストンシンフォニーの音のすばらしさは今から見れば偶然の産物とも言えます。現代から見てすばらしい 3 大ホールといわれているものは、ウイーンムジークフェラインザール、アムステルダムコンセルトヘボールと、このボストンシンフォニーといわれています。いずれも 1900 年以前に建設されたホールです。したがって建築音響学の歴史以前の出来事となりますので、音響学を 1900 年以前にさかのぼっていきます。1877 年のレーリー卿の波動論、1862 年共鳴器で有名なヘルムホルツの音響論、1800 年ごろのフーリエの調和解析、1730 年頃のオイラーの定理、いずれも波動解析の手法です。また 1700 年頃のニュートン力学、今でも良く使われている 3 大法則、1600 年ころ天文学のガリレオは音響学の定量化を試みたといわれています。この 1600 年から 1900 年の間、すばらしいホールやオペラハウスなどが完成していて、それらの建設のために多くの音響学者がそれぞれの理論をかざして、設計を試みたことだと思います。しかしパリオペラ座を設計したガルニエは確実に導いてくれる音響学はどこにも見つからず、すばらしいこの劇場が出来たのは単なる偶然であったと述べています。

またこの 1600 年から 1900 年の間には、バッハやモーツァルトやベートーベンも活躍していました。バッハは平均律クラビーア曲集を 1722 年に作曲しましたが、もともとの原題はよく音律が調整されたピアノ曲といった意味で、現在のいう平均律とは異なります。正確に言えばピタゴラス音律と純正律の合体をしたもののようです。平均律は $f_1 = 2^{1/12} \times f_0$ で計算できる音律で、1 オクターブを黒鍵も含めて、12 音階に平均的に分解しています。この平均律がピアノの調律法として完成したのはバッハから 100 年後のことです。それまでは純正律が主の音律でした。さらにその前はピタゴラス音律が主の音律でした。音階は全音と半音の組み合わせで構成されますが、これは、ピタゴラスから始まったようです。グレゴリオ聖歌もこのピタゴラス音律でした。ギリシャ時代に関係されたピタゴラス音律は中世ヨーロッパを支配していましたが、12 世紀ごろの十字軍によってアラブ音楽の音律に出会い、ルネッサンスを経て、16 世紀に純正律がピタゴラス音律にとってかわったようです。よく調和する倍のオクターブ周波数と、まったく異なる生じない純正五度ドとソの関係、周波数で言えば 2 分の 3 倍、1.5 倍の関係をどう調整するかの戦いのようで、国家の基準といった面もあるようです。しかしこの音律はいかににこらないうで、美しく聞こえるかどうかの技術上の観点から発展しており、平均律で慣れてしまった現代人の耳にも新鮮なようです。ちなみに純正 5 度の発見は BC 2000 年ごろからあるようで、4000 年の歴史があります。

今度は Sabine の時代から現代に向かって、音響学の歴史をみます。この間は 100 年ちょっとであって、音律を含めた音響学 4000 年の歴史から見るとわずかな時間です。1900 年から 1930 年ごろまでに、現在使われている多くの音響学が発展しました。吸音率と残響時間のより厳密な解析方法が Eyring や Knudsen によって体系化されました。また最適残響時間の推奨値も Bagenal と Wood また Knudsen と Harris によってもたらされ、現代のホール音響設計に最も使われている指標だと思えます。

戦後になってエコーの研究から、Cremer 等の第一波面の法則、最初に到達した波面が音の到来方向を決定することや Haas のハース効果、20ms 程度の遅れてくる音は大きな音圧でも、聴取妨害にならない、など残響減衰波形の中から初期反射音に関する非常に重要な発見がありました。

次に重要な発見は Cremer, Damaske, Marshall, Barron などの側方反射音の研究です。1965 年に Meyer, Burgtorf, Damaske によって ゲッチンゲン大学の無響室で、被験者の周囲に 65 個のスピーカを配置して、反射音構造と主観評価の実験を行っています。初期反射音の研究と側方反射音の研究は Cremer の音響設計、シャロンの建築設計により、ベルリンフィルハーモニーホールに結実しています。その後、音の広がり感は両耳間相互相関関数に関係があるとの研究が Barron や安藤の研究により見出され、1983 年には安藤は総合プレファレンス尺度を提案した。これによれば最適なホールが出来るとしたが、Beranek はそれではひとつの形のホールしか出来ないことになると評価しつつも、1996 年に安藤の研究にさらに評価尺度を加えた方法を提案しています。以上が建築音響学の大きな流れですが、デジタル化によって大きな貢献をした技術は、1965 年の Cooley と Tukey の高速フーリエ変換の技術とシュレーダーのインパルス積分法、1968 年の Krostad の音線法によるコンピュータシミュレーション技術の開発です。また特に戦後のドイツは音響技術が発展したこともあります。ホールがいかにも音響を考慮したといった形態が多く、たとえば現在のゲバントハウスやガスタイクなどに多くの拡散板が見られます。これはまた意匠設計家の嫌うところとなり、最近まで音響設計と建築家の対立があったと感じています。聞くと観るの関係というシンポジウムが建築学会で、数年前にあり、コンサートホールであっても、見ることも重要だといった話です。しかし今の音響技術は、もう少し建築家のイメージする方向に合わせることが出来るようになったと考えています。今まではいかに多くのクラシック音楽のファンを大きな空間で、しかも良い音で満足していただけるかというための技術でした。しかしクラシック音楽は、いかにハーモニーがきれいに聞こえるかという点で追求された音楽です。しかし別の音楽、たとえば邦楽ではどうかというと、いかに楽器間に間をおき、またにごった音が好ましい音楽です。そのような場合にはどう設計すべきかといった建築音響学の研究はまだ始まったばかりです。たとえば日本の伝統的な芸能文化を育てた芝居小屋はどんな音響特性があったのか、またそこで三味線やヴァイオリンを演奏したらどんな音になるか、それは明日のフォーラムの芝居小屋の魅力のところで発表いたします。ぜひいらして聞いてみてください。