

室形状の周波数別自動生成を組み込んだ音線法による音響シミュレーション

SOUND RAY TRACING METHOD EMBEDDED IN AUTOMATIC ROOM SHAPE GENERATOR OF EACH FREQUENCY

星 和磨*¹, 羽入敏樹*², 関口克明*³

Kazuma HOSHI, Toshiki KANYU and Katsuaki SEKIGUCHI

We propose a new method of sound ray tracing simulation to solve the problem variability of results due to the influence of the inputted level of detail of modeled rooms. This method offers a way to generate automatically room shapes suited to the analysis frequency. This method was verified by comparing with finite difference time domain method based on wave theory. As the result of a verification, it was clarified that the sound reflection angle can be mostly controlled by this method.

Keywords: *Geometrical acoustic simulation, Sound ray tracing method, Elliptic Fourier descriptors, Finite difference time domain method*

幾何音響シミュレーション, 音線法, 楕円フーリエ記述子, 時間領域有限差分法

1 はじめに

音線法や虚像法などの幾何音響シミュレーション手法は、そのアルゴリズムの明快さと結果の視覚的把握が容易であることから、計算機の発展とともに広く用いられてきた。しかし、本来波動現象である音の伝搬や反射を幾何的に扱うため、手法自体に限界や問題があることが広く知られている。例えば、壁面の拡散体の影響（効果）はその寸法と音の波長の関係によって異なるはずであるが、その影響を考慮できない^{1),2)}。そのため、シミュレーションに用いる室形状を入力する際、低音域を解析するときには境界面を粗く、逆に高音域を解析するときには細かい部分まで境界を設定するというように、解析する周波数に合わせて室形状を変化させる等の工夫をする場合がある。しかし、どこまで詳細に入力するかというのは入力者の経験と勘に頼っているのが現状である。そのため、同じ音場を計算しようとしても、入力形状が異なることでシミュレーション結果に大きな違いをもたらす可能性がある。

これを解決する一つのアプローチとして、壁面の拡散体などを除き大まかな形状だけを入力しておき、壁面での反射を周波数別の散乱係数 (scattering coefficient) などによって制御する手法がある³⁾⁻⁶⁾。これら手法は、壁面の形状ごとの散乱係数をデータベースとして予め用

意しておく必要がある。また、壁面を設計変更する度に散乱係数を測定又は計算し直す必要があり、現時点での実用化は難しい。現在のソフトウェアのほとんどは、散乱係数を与えて計算することに留まっている。その際、散乱係数の設定方法に根拠があるわけではなく、入力者の判断に依存しているため、得られるシミュレーション結果の妥当性には疑問が残る⁷⁾。

散乱係数を用いる手法は音線の壁面反射を制御することで周波数別の反射性状を模擬する手法である。一方筆者らは、あくまで音線は単純に幾何反射するが、室形状を解析周波数に応じて変化させることで壁面の反射性状を模擬することは出来ないかと考えた。

壁面に入射する音波が散乱されるか否かは、入射する音波の波長と壁面の凹凸の周期幅・高さとの関係による。本報ではこの事実に基づき、まずは入力した室形状のもつ凹凸の周期性を解析し、解析対象の周波数に応じた凹凸を持つ形状を生成する方法を検討した。この方法では、なるべく詳細な室形状を一度入力しておけば、周波数別室形状が自動生成されるため、入力者の判断による曖昧さが含まれない。そして、音線法によって音場シミュレーションを実施する際、生成した周波数別の室形状を用いることによって、周波数別の壁面反射性状が模擬できるか否かを検討した。このような方法が

*¹ 日本大学大学院理工学研究科 博士後期課程・修士(工学)

*² 日本大学短期大学部建設学科 准教授・博士(工学)

*³ 日本大学理工学部建築学科 教授・工博

Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Nihon Univ., M. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Construction, Junior College, Nihon Univ., Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, College of Science and Technology, Nihon Univ., Dr. Eng.

解析対象周波数 125 Hz, 500 Hz, 1k Hz の結果を Fig. 14 に示す。これらを見るとすべての周波数において従来手法よりも提案手法の方が相関値が高い。このことから提案手法の優位性が定量的にも示された。また提案手法に着目すると、125 Hz は 100 msec まで、500 Hz, 1k Hz は 150 msec まで相関値が約 0.6 程度あることが分かる。このことから提案手法は、コンサートホール規模における初期反射音のが到来する時刻まで、高い精度で模擬が出来ることが示された。

6 まとめ

シミュレーションする周波数に応じた室形状を論理的に作り出し、その形状を音線法による幾何音響シミュレーションに用いる手法を提案した。また、数種の拡散体形状による単板の反射指向特性を調べることで提案手法の妥当性を検証した。その結果、散乱が期待される周波数に精度の低下がいくぶん見られるものの、大筋、周波数に応じた反射指向特性を作り出せることがわかった。さらに、拡散体が付された矩形室内における音波伝搬性状を模擬し、提案手法の可能性を示した。

本手法は 1 筆書きの 2 次元形状による検討であるが、3 次元空間に対しても周期関数で表す手法を用いることで本提案と同様な考え方が適用出来ることが考えられる。また、解析対象形状を複数の面に分割し、それぞれの面の凹凸を解析対象周波数に応じて自動生成することも一考であろう。今後、さらなる事例による検証や 3 次元空間への適応を行い、幾何音響シミュレーションの一手法として育

ていきたい。

参考文献

- 1) 日本建築学会編：室内音場予測手法-理論と応用-, 丸善, 2001.
- 2) 尾本章：幾何音響学の考え方（特集：されど幾何音響シミュレーション）, 音響技術, No.129, vol.34, no.1, pp.2-7, 2005.
- 3) 藤原恭司, 吉村道彦, 増田潔：周期構造壁面をもつ室内の音場シミュレーション, 日本音響学会誌, Vol.47, No.1, pp.2-12, 1991
- 4) K. Nakagawa, T. Miyajima and Y.Tahara : An improved geometrical sound field analysis in rooms using scattered sound and a audible room acoustic simulator, Applied Acoustics, 38, pp.115-129, 1993.
- 5) G. Naylor : Odeon -Another hybrid room acoustical model, Applied Acoustics, 38, pp.131-143, 1993.
- 6) J. H. Rindel : The use of computer modeling in room acoustics, Journal of Vibro-engineering, 3(4), pp.219-224, 2000.
- 7) 坂本慎一：幾何音響の新しい流れ（特集：されど幾何音響シミュレーション）, 音響技術, No.129, vol.34, no.1, pp.35-39, 2005.
- 8) F.P. Kuhl and C.R. Giardina: Elliptic Fourier features of a closed contour, Computer Graphics and Image Processing, vol.18, pp.259-278, 1982.
- 9) 星和磨, 羽入敏樹, 関口克明：楕円フーリエ記述子による平面室形状の定量化, 日本建築学会環境系論文集, No.610, pp.1-9, 2006.12.
- 10) 横田考俊, 清宮拓磨, 坂本慎一, 橋秀樹：拡散体の音波散乱特性と室内音場の拡散性への寄与, 日本音響学会建築音響研究委員会資料, AA2000-19, 2000.5.
- 11) Shimichi Sakamoto, Takuma Seimiya and Hideki Tachibana: Visualization of sound reflection and diffraction using finite difference time domain method, Acoustical Science and Technology, Vol.23, No.1, 34-39, 2002.

(2007年7月10日原稿受理, 2007年12月5日採用決定)