

# VR空間における幾何音響理論に基づく道路交通騒音の可聴化

中央大学大学院 学生員 ○ 田近 伸二  
 中央大学 正会員 檜山 和男  
 建設環境研究所 正会員 志村 正幸

## 1. はじめに

道路交通騒音は、心理的不快感や睡眠障害などの影響を人体に及ぼす可能性があるため、道路や遮音壁の設計を行う際にその大きさを考慮する必要がある。現在、道路交通騒音の大きさを予測するために、道路交通騒音予測ソフトウェアの開発、販売が行われている。しかしながら、それらのソフトウェアが有する予測結果の提示機能は、主にコンター図やグラフなどを用いた視覚的なものであり、著者の知る限り実際に音を出力することで結果を提示するものはない。したがって、予測される騒音の大きさを実際に体感することは困難である。

そこで本研究では、VR (Virtual Reality) <sup>1)</sup>空間において音と映像を用いて道路騒音の予測結果を提示することを試みる。具体的には、道路交通騒音予測結果の可聴化、及び自動車の走行アニメーションの提示をVR空間において同時に行う。なお本研究では、幾何音響理論として、ASJ RTN-Model 2003<sup>2)</sup>を用いて道路交通騒音の予測を行っている。また本研究では、VR空間において遮音壁の高さを対話的に変化させることができる機能の作成を試みている。本手法の有効性を検討するために、普通自動車一台が観察者の目を通るような例題に対して本手法を適用した。

## 2. VR空間における道路交通騒音の可聴化

VR空間において道路交通騒音の予測結果を提示する際の流れを図-1に示す。本研究では、VR空間において自動車の走行アニメーションの提示、及び道路交通騒音の可聴化を同時に行っている。以下にその詳細について示す。

### (1) 自動車の走行アニメーションの作成

本研究ではOpenGLプログラミングを用いて自動車の走行アニメーションを作成している。本研究ではまず、三次元CG作成ソフトを用いて自動車の形状データの作成を行う。次に、CG映像を描画する際の処理を軽くするために、作成した自動車のデータからポリゴン数の削減を行う。そして最後に、自動車のデータをOpenGLの書式に変換し、OpenGLプログラミングにより自動車の走行アニメーションを作成している。

### (2) 道路交通騒音の可聴化

本研究では、ASJ RTN-Model 2003に基づく道路交通騒音レベルの算出、及びドップラー効果を考慮した周波数の算出を行い、音響プログラミングソフトのMAX/MSPを用いて計算結果の可聴化を行っている。

#### a) ASJ RTN-Model 2003

ASJ RTN-Model 2003について示す。本モデルは幾何音響理論に基づいており、簡単かつ高速に計算を行うことが

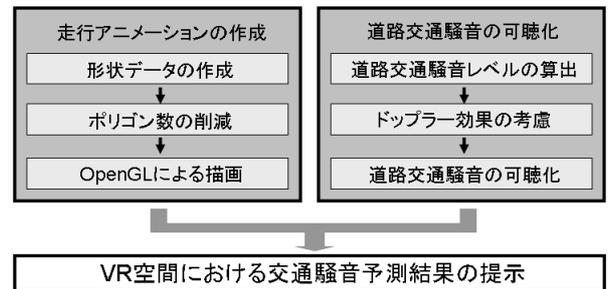


図-1 VR空間における道路交通騒音の提示の流れ

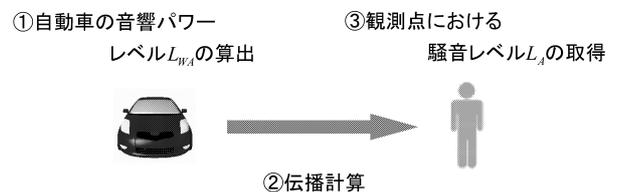


図-2 ASJ RTN-Model 2003の計算手順

できる。計算手順は、図-2に示すようにまず自動車の音響パワーレベルを算出し、次に音の伝播に関する計算を行うことで観測点における騒音レベルを算出している。以下に、その詳細について述べる。

### ①自動車の音響パワーレベルの算出

自動車の音響パワーレベル [dB] は次式で表すことができる。

$$L_{WA} = a + b \log_{10} V + C \quad (1)$$

ここで、 $a$  は車種別に与えられる定数、 $b$  は速度依存性を表す係数、 $V$  は自動車の走行速度 [km/h]、 $C$  は補正項を示す。なお、 $C$  は次式のように示すことができる。

$$C = \Delta L_{surf} + \Delta L_{grad} + \Delta L_{dir} + \Delta L_{etc} \quad (2)$$

ここで、 $\Delta L_{surf}$  は排水性舗装路面に関する補正量 [dB]、 $\Delta L_{grad}$  は道路の縦断勾配に関する補正量 [dB]、 $\Delta L_{dir}$  は指向性に関する補正量 [dB]、 $\Delta L_{etc}$  はその他の要因に関する補正量 [dB] を示す。なお本報告では、自動車専用道路を想定しており、 $\Delta L_{surf}$  は以下のように表すことができる。

$$\Delta L_{surf} = 5.7 - 6 \log_{10} V + 0.5y \quad (3)$$

ここで、 $V$  は自動車の走行速度 [km/h]、 $y$  は道路施工後の経過時間 [年] を示している。

### ②伝播計算

伝播計算の基本式を以下に示す。

$$L_A = L_{WA} - 8 - 20 \log_{10} r + \Delta L_{cor} \quad (4)$$

**KeyWords :** VR, 道路騒音, 音響, 可聴化

**連絡先 :** 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 E-mail: shin-t@civil.chuo-u.ac.jp

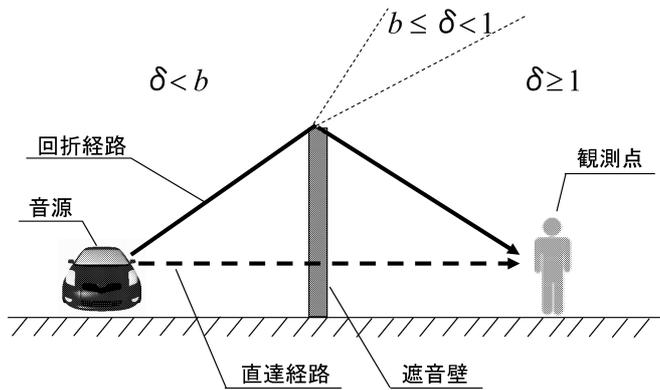


図-3 遮音壁による音の回折

ここで、 $L_A$  は観察者の位置における騒音レベル [dB]、 $L_{WA}$  は自動車の音響パワーレベル [dB]、 $r$  は自動車から観察者の位置までの直達距離 [m] を示している。なお、 $\Delta L_{cor}$  は自動車から観察者の位置まで音が伝播する際の各種の減衰要素に関する補正量 [dB] を示しており、次式のように表すことができる。

$$\Delta L_{cor} = \Delta L_{dif} + \Delta L_{grnd} + \Delta L_{air} \quad (5)$$

ここで、 $\Delta L_{dif}$  は回折に伴う減衰に関する補正量 [dB]、 $\Delta L_{grnd}$  は地表面効果による減衰に関する補正量 [dB]、 $\Delta L_{air}$  は空気の音響吸収による減衰に関する補正量 [dB] を示している。なお本報告では、遮音壁を横幅が無限で厚みのないものと仮定しており、その際の  $\Delta L_{dif}$  は次式のように示すことができる。

$$\Delta L_{dif} = \begin{cases} -a - 10 \log_{10} \delta & \delta \geq 1 \\ -5 \pm \frac{-a+5}{\ln(1+\sqrt{2})} \times \sinh^{-1} |\delta|^{0.414} & b \leq \delta < 1 \\ 0 & \delta < b \end{cases} \quad (6)$$

ここで、 $a$ 、 $b$  は舗装の種類に応じた係数、 $\delta$  は図-3 に示す回折経路と直達経路の行路差 [m] を示している。

#### b) ドップラー効果の考慮

本研究では、VR 空間においてより高い臨場感を得るために、ドップラー効果による周波数の変化についても考慮している。ドップラー効果による周波数の変化は次式で示すことができる。

$$f' = f \left( \frac{U}{U - u_s \cos \theta} \right) \quad (7)$$

ここで  $U$  は音速、 $u_s$  は音源の移動速度、 $f$  は音源の有する周波数を示している。また  $\theta$  は音源と観察者を結ぶ直線と、音源の移動方向の間の角度を示している。

#### (3) 没入型 VR 装置

本研究では、VR 空間を構築するためのハードウェアとして没入型 VR 装置を用いた。本装置は 7.1ch の音響装置を有しており、映像とともに音を用いた VR 空間の構築が可能になっている。本装置の詳細については、参考文献 3) を参考されたい。

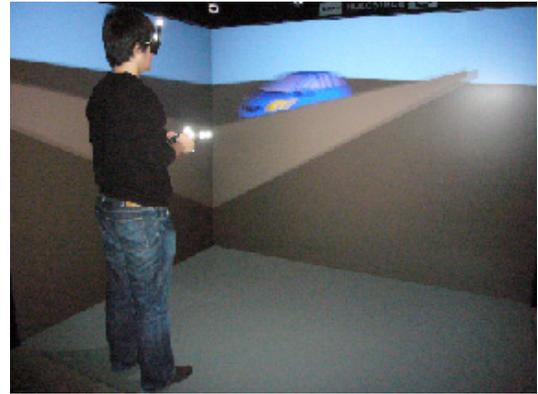


図-4 VR 空間において提示された交通騒音予測結果を体感している様子

#### (4) 遮音壁の高さの変更機能の作成

前述の没入型 VR 装置が有するコントローラーを操作することで、対話的に VR 空間内の遮音壁の高さを変更させることができる機能を作成した。本機能では、コントローラーを操作することで、遮音壁を段階的に高くすることができ、また遮音壁の高さの変更を道路交通騒音の算出にも反映させることが可能になっている。

#### (5) VR 空間の構築

VR 空間の構築を行った結果について示す。図-4 は構築された VR 空間内において、目前を通過する自動車を観察している様子である。観察者は、自動車が観察者に近づくにつれて音が大きくなっていく様子を確認することができる。また、ドップラー効果による周波数の増減を求め、出力する音に反映させたことにより、観察者は高い臨場感を得ることが可能となっている。また、コントローラーの操作により遮音壁の高さを変更することも可能になっており、遮音壁が高くなるにつれて出力される騒音が小さくなっていく様子を体感することができる。

### 3. おわりに

本報告では、VR 空間において音と映像を用いて道路交通騒音の予測結果を提示することを行った。適用例を通じて、以下の結論を得た。

- VR 空間において道路交通騒音の予測結果を可聴化したことで、騒音の大きさを体感することができた。
- 遮音壁の高さを変更することができる機能を付加したことで、遮音壁の高さごとの騒音音量の変化を確認することができた。

今後は、予測結果の定量的な確認及び、実用的な道路騒音評価システムの構築を目指す。

#### 参考文献

- 1) 廣瀬通孝：バーチャル・リアリティ，産業図書 (1993)
- 2) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会：「道路交通騒音の予測モデル」 ASJ RTN-Model 2003”，音響学会誌 60 巻 4 号，pp.192-241, (2004)
- 3) 高田知学，樫山和男：都市域の大気環境シミュレーションにおけるプリ・ポストプロセッシングへの VR 技術の応用，第 13 回計算工学講演会論文集，Vol.13, No.2, pp.949-952, (2008)