

# VR 技術を用いた対話型道路交通騒音評価システムの構築

田近伸二<sup>1</sup> 樫山和男<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中央大学大学院理工学研究科土木工学専攻 <sup>2</sup>中央大学理工学部土木工学科

## 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悪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影響を考慮する必要がある。近年、道路交通騒音を予測するために波動音響理論や幾何音響理論に基づく数値シミュレーションが行われており、それらの結果はCGを用いて可視化されるのが一般的である。CGによる可視化は騒音の影響範囲の把握を容易にするという長所を有するが、聴覚情報の提示が行われなため、騒音の大きさを直観的に把握することは困難である。計画・設計段階においては、観察者がその場所で聞く音を、映像（視覚情報）とともに音（聴覚情報）を用いて再現することは、計画・設計者及び住民間の合意形成を得るためにも重要である。

そこで本研究では、VR (Virtual Reality) 空間において道路交通騒音の予測結果の可聴化及び可視化を行い、聴覚情報と視覚情報の二種類の感覚情報を観察者に提示する対話型システムの構築を試みた。具体的には、可聴化においては自動車のCGアニメーションとそれに同期した道路交通騒音の聴覚情報を観察者に提示すること、可視化においては指定した騒音レベルの等値面を描画することを行う。また、道路の周辺環境や自動車の走行条件を観察者が対話的に変更できるようにするために、VR空間内にインターフェイスを表示する機能を作成した。なお、VR空間内で提示される聴覚情報と騒音の予測結果を一致させるため、騒音計を用いた実測に基づくキャリブレーションを行った。

## 2. VR 技術を用いた対話型道路交通騒音評価システム

### 2.1. システムの概要

図.1 に本研究で構築したシステムのイメージ図を示す。本システムは、没入型投影技術に基づき構築したVR空間内で、道路交通騒音の予測結果の可聴化及び可視化を行い、視覚情報と聴覚情報の二種類の感覚情報を観察者に提示するものである。本システムの有する特徴は、以下の3つである。1) 観察者はVR空間内の任意の場所に移動することができる(図.1中(A))。2) 遮音壁の高さ、道路の舗装の種類、などの道路の周辺環境を、VR空間内で観察者が変更できる(B)。3) 自動車の種類、自動車の速度などの自動車の走行条件を、VR空間内で観察者が変更できる(C)。なお、本システムは道路交通騒音の予測及びその可視化、可聴化をリアルタイムで行っているため、予測結果を瞬時に確認することが可能となっている。

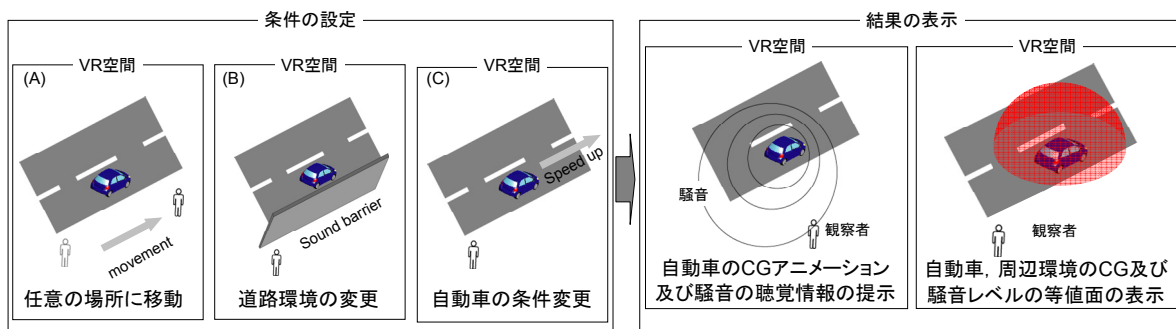


図.1 本システムのイメージ図

### 2.2. 没入型VR装置

本システムでは、没入型投影技術に基づきVR空間の構築を行っている。本システムで使用した没入型VR装置は、3面（前面、側面、底面）の大型平面スクリーンとそれぞれのスクリーンに対応した高性能プロジェクターにより構成されている。観察者はコントローラーを持ち液晶シャッターメガネと呼ばれる特殊なメガネをかけ、底面スクリー



のように建物と受音点を結ぶ直線が建物を通過する場合には、建物の上方、左方、右方を回折する三種類の伝搬音の計算を行い、図.3の右図のように音源及び受音点が建物の壁面に対して同じ側に位置する場合には、直接音と壁面の反射音の二種類の伝搬音の計算を行う。また、高架・平面道路併設部においては、遮音壁を回折する直接音、高架橋の裏面に反射する高架裏面反射音、高架橋の裏面と地面に反射する二種類の裏面地面反射音の計四種類の伝搬音の計算を行う（図.4参照）。また、遮音壁、高架橋、建物が道路周辺に設置されている道路環境においては、上記の計算方法を組み合わせ、遮音壁や建物による音の回折、高架橋裏面や地面や建物の壁面による音の反射を考慮した伝播音の計算を行っている。なお、具体的な伝搬計算の方法については参考文献1)を参照されたい。

### ③伝搬音の合成

受音点におけるA特性音圧レベル $L_A$ は、次式を用いて各伝搬音を合成することで求めることができる。

$$L_A = 10 \log_{10} \left( \sum_{i=0}^{i_{\max}} 10^{\frac{L_{A,i}}{10}} \right) \quad (2)$$

ここで $i_{\max}$ は算出した伝搬音の数を示し、 $L_{A,i}$ は算出した伝搬音のA特性音圧レベルを示す。

### 2.3.2 ドップラー効果の考慮

ドップラー効果による周波数の変化は以下のように示すことができる。

$$f' = f \times \frac{U}{U - u_s \cos \theta} \quad (3)$$

ここで、 $f$ は音源の有する周波数、 $U$ は音速、 $u_s$ は音源の移動速度、 $\theta$ 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。

## 2.4. 入力データとインターフェイス機能

上述の計算モデルを用いて騒音レベルの算出を行う際に必要な入力データは、自動車及び受音点の位置情報、自動車の走行条件、道路の周辺環境である。そこで本システムでは、様々な条件下における騒音予測を可能にするために、道路の周辺環境及び自動車の走行条件を対話的に変更可能なインターフェイス機能を作成した。本機能を用いて変更できる道路の周辺環境と自動車の走行条件は、遮音壁の高さ（0～5m）、舗装の種類（密粒性アスファルトコンクリート舗装、排水性舗装）、舗装後の経過年数（0～15年）、自動車の種類（乗用車、小型貨物車、中型車、大型車、二輪車）、自動車の速度（50～100km/h）である。また可視化する際には、描画する騒音レベルの数値（40～55dB）及び等値面の数（一面、三面）を変更することも可能となっている。また本機能では、道路の周辺環境や自動車の走行条件、観察者の位置における騒音のA特性音圧レベル、A特性音圧レベルのユニットパターンの最大値、車線から観察者の位置までの距離を確認できるようにするために、それらの情報を提示するインターフェイスの作成も行った。実際にVR空間内において表示されるインターフェイスを図.5に示す。なお、コントローラーを操作することで高架橋や建物の有無を変更することも可能となっている。

## 2.5. 道路交通騒音の可聴化

本システムでは、音響プログラミングソフトのMAX/MSPを用いて道路交通騒音の予測結果の可聴化を行っている。MAX/MSPに入力するデータは、観察者の位置における道路交通騒音のA特性音圧レベル、周波数、そして自動車騒音のwaveデータである。データの inputs は常に繰り返し行っているため、騒音レベルや周波数の変化に対応した音を常に出力することが可能となっている。なお本システムでは、OpenGLを用いて自動車や道路周辺のCGを作成しており、可聴化結果と同期した自動車の走行アニメーションをVR空間内の観察者に提示している。また可聴化する際には、出力される聴覚情報と計算によって求めた騒音レベルの数値を一致させるためにキャリブレーションを行った。

## 2.6. 道路交通騒音の可視化

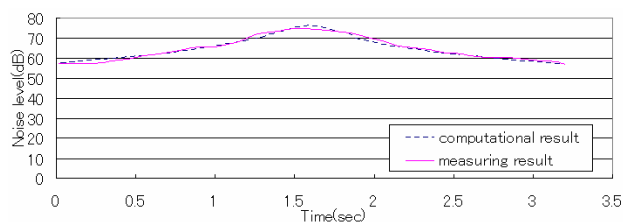


図.6 ユニットパターン

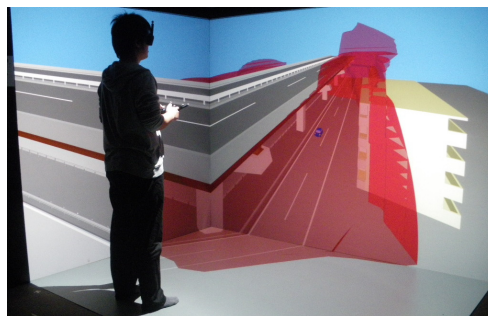


図.7 騒音レベルの分布を確認している様子

本システムでは、騒音の影響範囲をより容易に把握できるようにするために、騒音レベルの等値面を描画している。等値面を描画する際にはまず、道路周辺に生成した四面体要素に基づくメッシュデータを読み込み、次にメッシュの各節点における騒音レベルを算出する。そして最後に、算出した計算結果に基づき OpenGL を用いて等値面の描画を行っている。

### 3. 適用事例

まず、平面道路部に対して本システムを適用し、VR空間から出力される聴覚情報の計測結果と計算によって求めた騒音レベルの比較を行った。なお、比較を行った際の道路の周辺環境及び自動車の走行条件は、遮音壁の高さ：0m、自動車の種類：乗用車、自動車の速度：100km/h、舗装の種類：排水性舗装、舗装後の経過年数：0年、車線～自動車までの距離：5mであり、計算結果と騒音計による計測結果のユニットパターンを図.6に示す。図より計算結果と計測結果がほぼ一致していることがわかる。この結果より道路交通騒音レベルの予測結果どおりの聴覚情報を再現できることが確認できた。

また、聴覚情報のみでは騒音の影響範囲を正確に把握することは困難であるため、本システムでは先述の可視化により騒音レベルの空間分布の把握を行う。遮音壁、高架橋、建物が建設されている道路環境において騒音レベルの可視化を行った際の様子を図.7に示す。図より、構造物による回折及び反射により騒音レベルが複雑に変化していることがわかる。

このように本システムは、様々な条件下における騒音の影響を聴覚、視覚の二つの感覚器官を用いて体感、把握することが可能であり、騒音の比較・検討ツールとして有効であるといえる。

### 6. おわりに

本研究では、道路交通騒音の大きさを聴覚、視覚の二種類の感覚情報を用いて把握することができる道路交通騒音評価システムの構築を行った。本システムを用いてVR空間の構築を行った結果、以下の結論を得た。

- ・ 道路交通騒音レベルの予測結果を騒音計を用いてキャリブレーションを行ったことにより、観測点（受音点）において予測結果どおりの道路交通騒音を体感することが可能となった。
- ・ 道路交通騒音レベルの予測結果を等値面を用いて可視化したことにより、道路周辺の騒音の影響範囲の把握が容易に行えるようになった。
- ・ インターフェイス機能を作成したことで、VR空間内で道路環境や自動車の走行条件を対話的に変更することが可能となり、様々な条件下における道路交通騒音の評価・検討を行うことが可能となった。

今後の課題としては、本システムを実在する道路環境へと適用し、実地域での騒音の計測結果と本システムの予測結果の比較を行うことが挙げられる。

### 参考文献

- 1) 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<sup>®</sup>，日本音響学会誌，Vol60，pp.192-241，2004年