

Ⅱ-7 可視化・可聴化技術を用いた道路交通騒音評価システムの構築

Development of a Road Traffic Noise Evaluation System Using Visualization and Sonification Technology

柴田啓輔¹ 田近伸二²・檜山和男³・志村正幸⁴

Keisuke SHIBATA, Shinji TAJIKA, Kazuo KASHIYAMA, Masayuki SHIMURA

抄録：著者らは既往の研究においてVR技術に基づいた道路交通騒音評価システムの構築を行った。これは道路交通騒音の予測結果をVR空間において映像と音を用いて観察者に提示するシステムである。しかし既往のシステムでは適用できる道路環境および車種が限定的で適用性に関して十分でなかった。また音圧分布の可視化機能がないために観察者が道路交通騒音の空間的な広がりを把握することも不可能であった。そこで本論文ではより複雑な環境での道路交通騒音予測および、道路交通騒音の空間分布の提示を可能とするシステムを提案する。具体的には周辺構造物の考慮、混合交通への適用、および道路交通騒音音圧レベルの等値面可視化機能の追加を行った。

キーワード：道路交通騒音、幾何音響理論、バーチャルリアリティ

Keywords : road traffic noise, geometric acoustic theory, virtual reality

1. はじめに

近年、コンピュータの発達により道路交通騒音の影響について評価・検討するために、幾何音響理論や波動音響理論に基づいた数値シミュレーションが行われるようになってきている。しかし、得られたシミュレーション結果はCGを用いて可視化されるのが一般的であり、騒音の大きさを直観的に把握・理解することは困難であった。そこで著者らは既往の研究において、VR空間内で道路交通騒音のシミュレーションおよびその結果の可聴化を行い、道路周辺のCG映像とともに聴覚情報を用いて騒音のシミュレーション結果を提示するシステムの構築¹⁾を行った。

しかし既往のシステムでは、考慮できる構造物が遮音壁のみであり、また、車種も普通乗用車のみということで、適用できる道路環境が限定的であった。また、騒音の影響を視覚的に提示する機能を有していなかったため、騒音レベルの空間分布の把握が困難であるという問題点も生じていた。

そこで本研究では、上記の問題点を解決するために既往のシステムを発展させ、より複雑な道路環境に対して適用可能とすると共に、音圧分布を視覚情報として提示することができる機能の追加も行った。具体的には、周辺環境構造物として高架橋や建物を設置可能とし、さら

に適用可能な車種を増やすことで、さまざまな環境下での道路混合交通騒音のシミュレーションを実現可能にした。また、指定した騒音レベルの等値面を描画する機能を追加することで、騒音レベルの空間分布の把握を視覚的に可能とした。なおこれらの条件はインターフェイス機能を拡張したことにより、VR空間内にいながら変更可能である。システムの開発に利用しているVR装置の詳細については参考文献1)、2)を参照されたい。

2. VR技術を用いた道路交通騒音評価システム

図-1に本研究で構築したシステムの概要を示す。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視化および可聴化を行い、視覚情報と聴覚情報の二種類の情報を提示するものである。本システムは図-1の上段に示すように以下の3つの特徴を有している。1) 観察者はVR空間内の任意の場所に移動することが可能である(図-1(A))。2) 観察者はVR空間内で遮音壁の高さ、構造物の有無など周辺環境を変更することが可能である(図-1(B))。3) 観察者はVR空間内で自動車の種類、速度など走行条件を変更することが可能である(図-1(C))。また、図-1下段に示すように本システムはシミュレーション結果の提示方法として2つの機能を有

1： 学生会員 中央大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻

(〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27, Tel : 03-3817-1815, E-mail : shibata_k@civil.chuo-u.ac.jp)

2： 正会員 京葉ガス株式会社

3： 正会員 工博 中央大学 教授 理工学部 都市環境学科

4： 正会員 工博 (株)建設環境研究所 技術本部

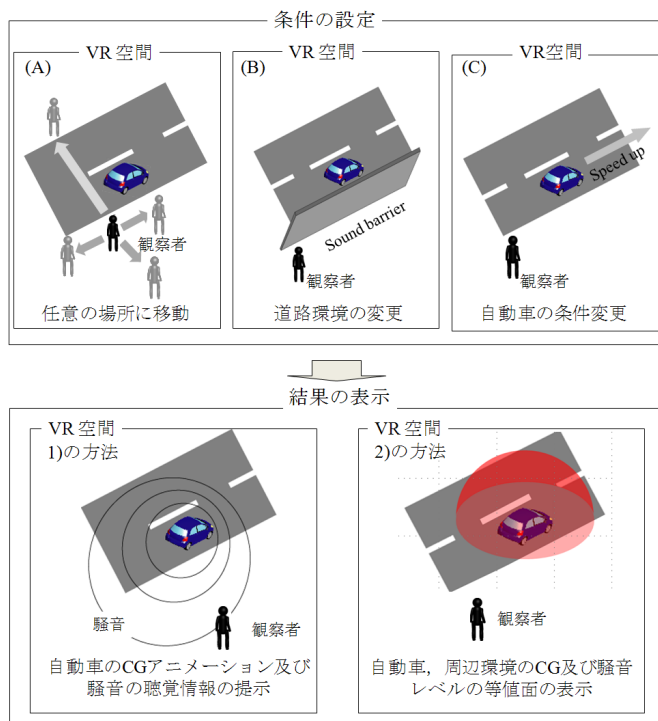


図-1 本システムの概要図

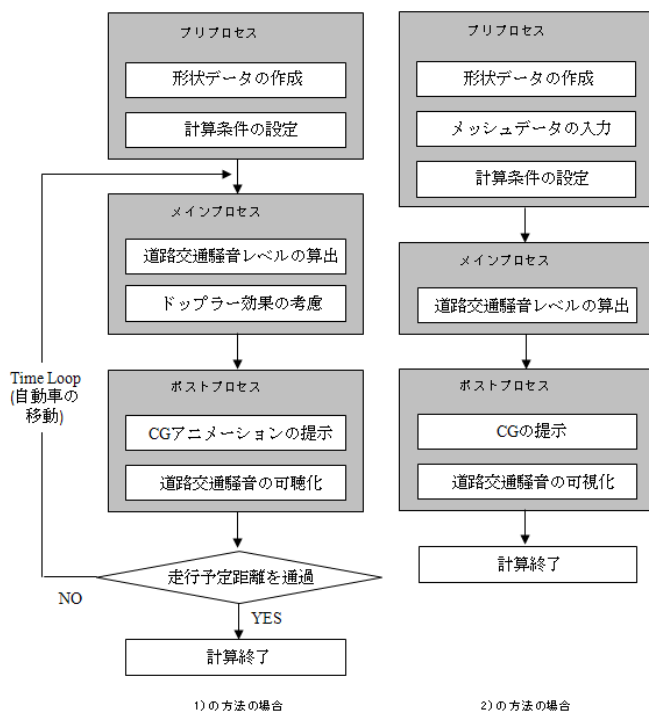


図-2 本システムのフローチャート

している。1)移動する自動車のCG映像と観察者の位置関係に対応した音圧レベルを音として可聴化する方法(以後1)の方法)。2)時間を固定して、その時点での音圧レベルの空間的広がり等を等値面として可視化する方法(以後2)の方法)。図-2に、それぞれの方法のフローチャートを示す。以下、図-2に示すフローチャートに沿って本システムの処理工程の詳細について記す。

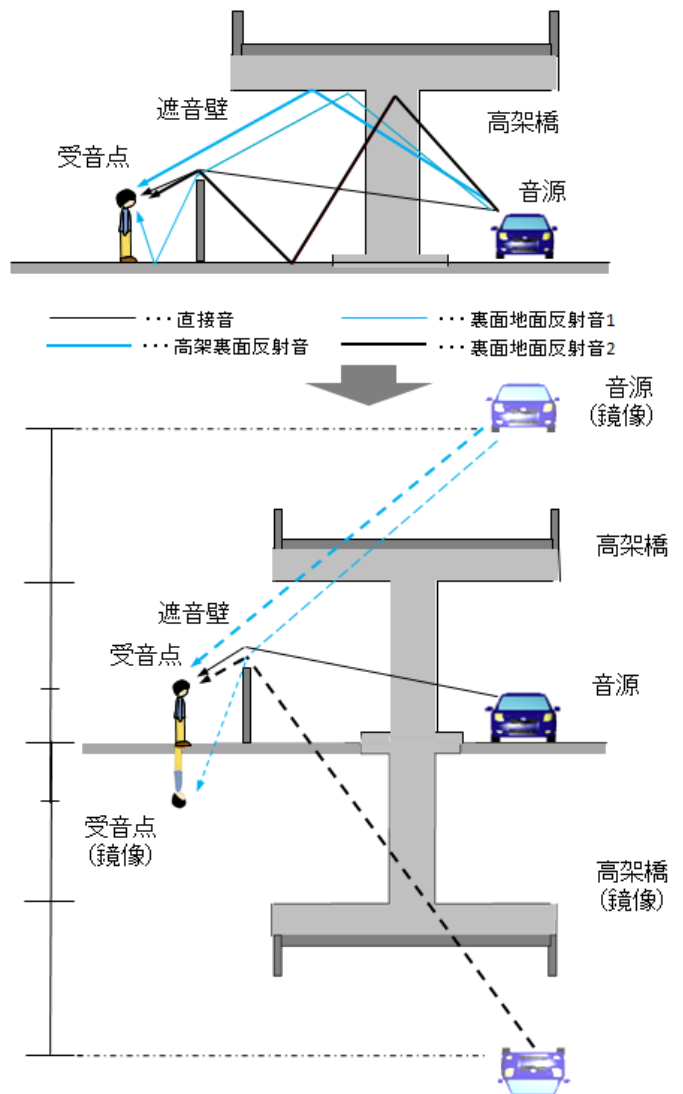


図-3 高架橋の計算手法図

(1) プリプロセス

a) 形状データの作成

道路周辺に建設する遮音壁、高架橋、建物および自動車の形状データを作成する。なお本システムでは、三次元CADソフト(AutoCAD:Autodesk および 3dsMax:Auto desk)を用いてこれらの形状データの作成を行った。

b) メッシュデータの入力

2)の方法では騒音レベルの等値面の三次元表示を行うため、必要となる道路周辺に生成したメッシュデータの入力を行う。なお、本機能では節点数 67, 626, 要素数 375, 000 の四面体のメッシュデータ(道路横断面の水平方向 2m, 鉛直方向 1m, 奥行き方向 2m)を入力した。

c) 計算条件の設定

道路交通騒音レベルの算出を行う際に必要な入力データは、自動車の位置情報、走行条件、道路の周辺環境である。受音点の位置情報はVR装置に備わっているトラッキング装置により逐次計算されている。なお2)の方法を選択した場合には描きたい音圧レベル値の入力を行う。

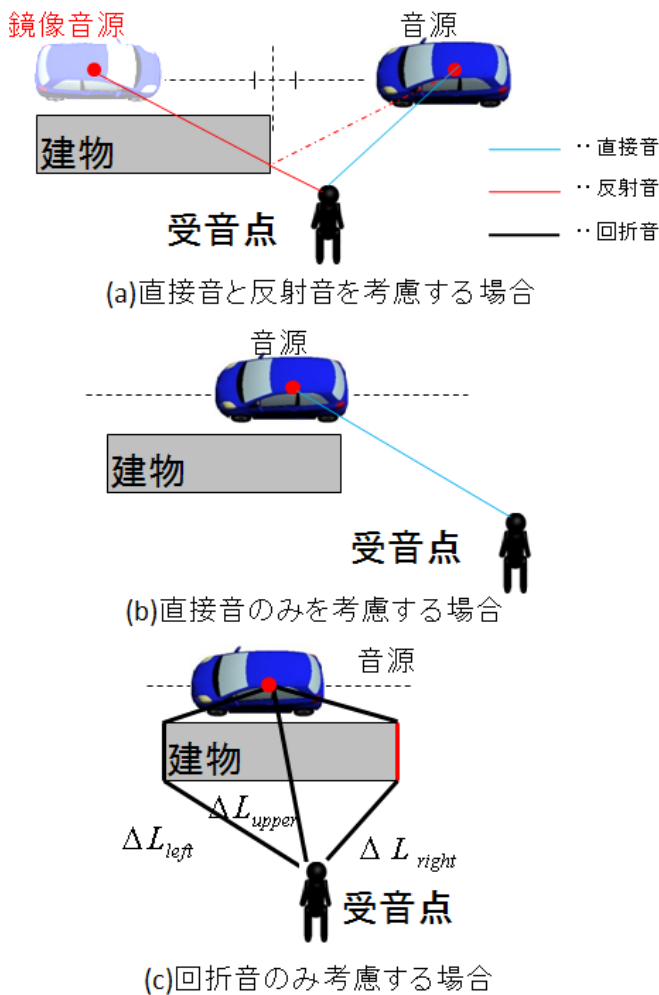


図-4 建物が存在する場合の計算手法図

(2) メインプロセス

本システムでは日本音響学会が作成した道路交通騒音予測モデルのASJ RTN-Model2008³⁾を用いて道路交通騒音レベルを算出している。以下本研究での計算手法について詳細を記す。なお、音源のA特性音響パワーレベル L_{WA} 、障害物がない場合の距離減衰を考慮した伝搬計算後の音圧レベル L_A 、遮音壁設置時の伝播計算手法およびドップラー効果については参考文献1)を参照されたい。本項では新たに計算可能とした高架橋と建物の設置時における伝播計算手法について記す。

a) 高架・平面道路併設部

図-3に高架・平面道路併設部における騒音レベルの算出方法図を示す。騒音レベルは次式により与えられる。

$$L_A = 10 \log_{10} (10^{L_{A,0}/10} + 10^{L_{A,1}/10} + 10^{L_{A,2}/10} + 10^{L_{A,3}/10}) \quad (1)$$

ここで $L_{A,0}$ は直接音、 $L_{A,1}$ は高架裏面反射音、 $L_{A,2}$ 、 $L_{A,3}$ は二種類の裏面地面反射音のA特性音圧レベルである。 $L_{A,1}$ 、 $L_{A,2}$ 、 $L_{A,3}$ は以下の式で与えられる。

$$L_{A,i} = 10 \log_{10} (L_{WA} - 8 - 20 \log_{10} r_i + \Delta L_{dif, sb, i} + \Delta L_{refl, slit, i} + \Delta L_{abs}) \quad i = 1 \sim 3 \quad (2)$$

ここで、 L_{WA} は自動車のA特性音響パワーレベル、 r_i は*i*番目の鏡像音源から受音点までの直達距離、 $\Delta L_{dif, sb, i}$ は*i*番目の鏡像音源からの遮音壁の回折に伴う補正量、 $\Delta L_{refl, slit, i}$ は反射面が有限長であることに関する補正量、 ΔL_{abs} は高架裏面の吸音に関する補正量を示す。

また、図-3に計算の際に使用する音源、受音点、高架橋の鏡像の位置を示す。

b) 建物周辺部における騒音レベルの算出

建物周辺部における騒音レベルは、以下の式で算出することができる。

$$L_A = 10 \log_{10} (10^{L_{A,0}/10} + 10^{L_{A,1}/10}) \quad (3)$$

ここで、 $L_{A,0}$ は直接音（または回折音）、 $L_{A,1}$ は壁面反射音のA特性音圧レベルを示す。反射の取扱については図-4に、直接音の伝搬計算手法については図-5に示す。直接音に関しても同様にそれぞれの伝搬音を合成して算出する。なお $L_{A,1}$ は以下の式で求められる。

$$L_{A,1} = L_{WA} - 8 - 20 \log_{10} r_1 + \Delta L_{b-refl} \quad (4)$$

ここで L_{WA} は自動車のA特性音響パワーレベル、 r_1 は鏡像音源からの直達距離、 ΔL_{b-refl} は反射面である壁面の大きさが有限長であることに関する補正量を示す。なお直接音の $L_{A,0}$ の算出手法は参考文献1)および2)を参照されたい。

(3) ポストプロセス

a) CGの提示

自動車および道路周辺のCG映像をVR空間に提示する。なお提示するCG映像は、入力した計算条件に応じて対話的に変化する。また、1)の方法を選択した場合には、自動車位置は音による聴覚情報と共にアニメーションとして提示される。

b) 道路交通騒音レベルの可聴化

本システムでは1)の方法を選択した場合、音響プログラミングソフトMAX/MSP⁴⁾を用いて予測結果の可聴化を行っている。詳細は参考文献1)、2)を参照されたい。また複数の車を走行させる場合には、独立した車音源それぞれのA特性音響パワーレベルの算出および受音点までの伝搬計算を行い、同時にそれぞれの音を可聴化して提示している。

c) 道路交通騒音レベルの可視化

2)の方法では、(1)プリプロセスc)計算条件の設定で指定した等値音圧レベルの等値面を描画することにより、道路交通騒音の可視化を行う。

等値面の作成工程では、一つ一つの要素に着目して処理を行う。まず表示する等値音圧レベルを含む要素を検索し、各要素辺上でのその等値音圧レベルの位置を要素の節点値から一次補間により求め、各要素毎で等値面を作成する。等値音圧レベルを含む全ての要素で同様の処理を行うことで道路交通騒音の等値面の形状データを算出することができる。なお本システムではOpenGLを用いて等値面を描画する。この際、形状データのみでは立体感のある等値面を描画することができないため、各要素における全ての等値面の法線ベクトルを算出する処理を行う。この処理により等値面に方向の情報が付加さ

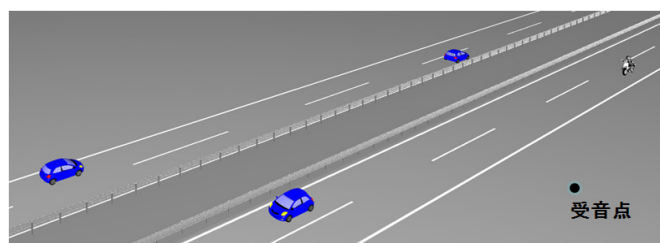


図-5 受音点との位置関係

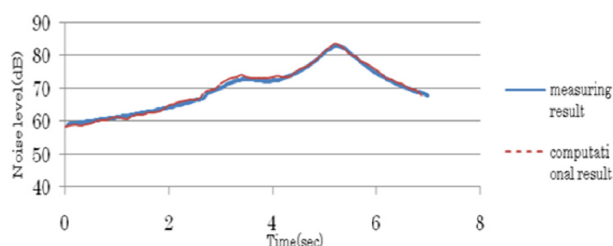


図-6 ユニットパターン

れ、立体感のある等値面の表示が可能になる。

3. 適用例

道路交通騒音の計算結果と VR 空間において出力される音の大きさを一致させるためにキャリブレーションを行い、その後騒音計 (LA-2560: 小野測器) を用いて出力された音の計測を行った。なお、キャリブレーションは MAX/MSP に入力する騒音レベルに対して行っており、出力される音と予測結果が一致するように設定した。計算条件として、受音点と走行車の位置関係は図-5 に示すように 3 台の普通乗用車と 1 台の二輪車を選択している。また、走行車は時速 100 km/h で走行すると定めており、車間距離はそれぞれ 50 m に定めている。図-6 に 1) の方法を選択した際の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示す。図-6 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、本システムは道路騒音レベルの予測結果と同じ騒音レベルを実際に提示できることが分かる。

また 2) の方法を選択した際の道路交通騒音の空間分布を確認した結果について記す。本稿では、ケース A: 道路周辺に構造物がない場合、ケース B: 遮音壁設置時、ケース C: 高架橋設置時、ケース D: 建物設置時の 4 ケースに適用した (図-7 参照)。なお描いた等値面の道路交通騒音レベルは 50, 55, 60 dB の 3 つである。図-8 に得られた結果を示す。図より、ケース A では、騒音の伝播を遮蔽する構造物がないため、半球状に等方に伝播している様子がわかる。また、その他のケースでは、構造物を回折することにより、騒音の伝播する範囲が変化している様子が確認できる。このように、既往のシステムに等値面の可視化機能を追加したことにより、騒音の空間分布を容易に把握することが可能となった。

4. おわりに

ケースA: 障害物無し ケースB: 道路両側に遮音壁設置



ケースC: 高架橋を設置 ケースD: 建物を設置

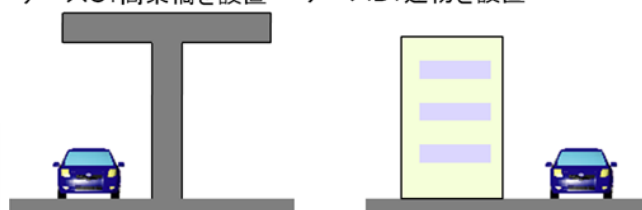


図-7 適用例

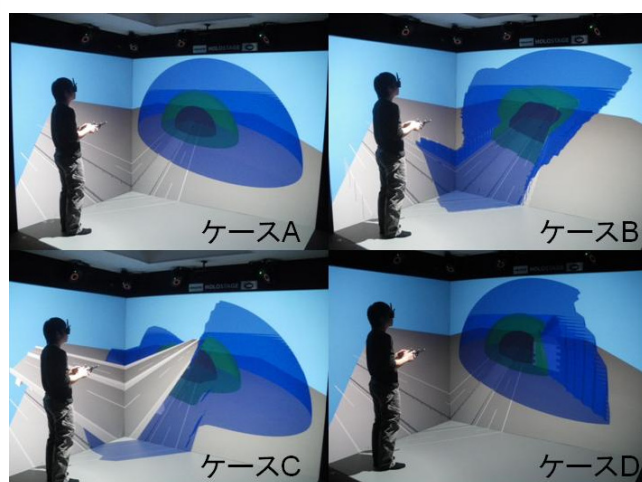


図-8 可視化の様子

本論文では、既往のシステムを発展させ、より複雑な境下に適用可能とすると共に、音圧分布を視覚情報として提示することができる機能の追加も行った。その結果、以下の結論を得た。

1. より複雑な道路環境下において複数の車の走行音を数値計算通りに聴覚情報として提示することが可能である。
2. 等値面を可視化表示することで、道路交通騒音レベルの空間分布を容易に把握可能である。

今後は、本システムをより大規模で複雑な道路構造や道路周辺環境に適用可能とする予定である。

参考文献

- 1) 田近伸二, 樫山和男, 志村正幸: VR 技術を用いた道路交通騒音評価システムの構築, 土木情報利用技術講演集, Vol.34, pp.49-52, 2009 年10 月
- 2) 田近伸二, 樫山和男, 志村幸行: 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, 応用力学論文集, Vol.13, 2010年8月(印刷中)
- 3) 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 2008”, 日本音響学会誌, Vol.65, pp.179-232, 2009年
- 4) ノイマンピアノ(赤松正行, 左近田展康): 2061: Maxオデッセイ, リットーミュージック, 2006年