

VR 技術を用いた鉄道騒音評価システムに関する研究

中央大学 学生員 ○ 浦野 宏太
中央大学大学院 学生員 吉町 徹
中央大学 正会員 檜山 和男

1. はじめに

道路交通騒音や鉄道騒音，航空機騒音などの騒音問題は典型 7 公害の一つであり，生活環境や人の健康に様々な被害を生じる．わが国では一定規模以上の事業を行う際に，事業者が計画を作成する段階で環境影響について調査・予測・評価を行うことが義務づけられており，数値シミュレーションによる騒音予測及び評価が広く行われている．しかし，シミュレーション結果は一般に音圧分布を CG により可視化されるだけで可聴化までは行われていないのが現状である．CG による騒音の可視化は音源や分布は把握が容易であるが，実際に聞こえる音の大きさを直感的に理解するのは難しい．そこで，既往の研究では著者らにより VR(Virtual Reality) 技術を用いて，視覚情報と聴覚情報を同時に提示し被体験者に臨場感のある疑似体験ができる道路交通騒音評価のシステム¹⁾²⁾の構築が行なわれている．

そこで本研究では，VR 技術を用いた鉄道騒音評価システムの構築を行い，実際の鉄道騒音の観測値と本手法による計算結果及び VR 空間内での計測値の比較を行った．

2. 鉄道騒音評価システム

(1) VR 環境

本研究で用いる没入型 VR 装置 Holostage は，前面と側面及び底面の 3 面の大型スクリーンとそれぞれに対応した高性能プロジェクター，また VR 空間内の装置の利用者の動きを捉えるためのワイヤレストラッキング装置及びそれらを制御する並列計算機から構成されている．

(2) システム概要

本システムは，可聴化部と可視化部の 2 つの構成を有する．可聴化部は，プログラミングソフト MAX 上に独自に構築したプログラムにより音響計算と立体音響信号を提示する．一方可視化部は，CAVELib と OpenGL を用いて C++ の独自のプログラミングにより自動車と周辺環境の立体 CG を各スクリーンに描画する．本システムの処理工程を図-1 に示す．

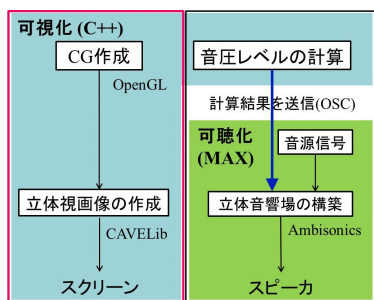


図-1 処理工程

(3) 鉄道騒音の発生源

鉄道騒音の走行音に関する予測評価方法としては，石井らによって提案された方法や，森藤ら³⁾によって提案された方法が一般的に使用されている．これらの予測方法は，走行音を線音源で近似した場合の騒音レベル最大値や等価騒音レベルを算出するための方法であり，リアルタイムシミュレーションで必要とする非定常の音圧レベルの算出には適さない．

そこで本研究では，騒音レベルの時間的変化を算定するために，幾何音響理論に基づく計算式を使用する．鉄道の音源は車輪がレール上を回転する際の転動音，高架橋の振動による構造物音，冷却ファンやモーター等の車両機器音などの騒音が複合したもの（以下走行音とする）とレール継ぎ目などの不連続面によって生じる音（以下打撃音とする）に分けられるが，⁴⁾ 本研究では，走行音と打撃音を実際に騒音計を用いて測定した音源データを用いて VR システムに実装する．

(4) 走行音データの採取と音源のモデル化

VR 装置に可聴化用の音源データを実装するため実際に走行している鉄道の音源データの採取を行った．測定場所は走行音の場合はレールの継ぎ目のない箇所，打撃音の場合は継ぎ目のある箇所にて測定した．そして，走行音の音源データについては，距離減衰の影響を取り除き走行音と等価な定常音の作成を行った．²⁾

本研究では走行音と打撃音を半自由空間における点音源として考慮し，観測点における音圧レベルを次式で表わす．

$$L_A = L_{WA} - 8 - 20 \log_{10} r + \Delta L_{cor} \quad (1)$$

ここで L_A は観測点での音圧レベル [dB]， L_{WA} は音源の音響パワーレベル [dB]， r は音源から観測点までの距離 [m]， L_{cor} は音源から受音点に至る音の伝播に影響を与える各種の減衰要素に関する補正量である．また，予測点における各音源からの伝搬音の音圧レベルの合算値は次式で表わされる．

$$L_A = 10 \log_{10} \Sigma (10^{L_{A,i}/10}) \quad (2)$$

図-2 に走行音と打撃音の音源の配置方法を示す．走行音は車両の車軸の位置に配置し，車両と共に移動する点音源と

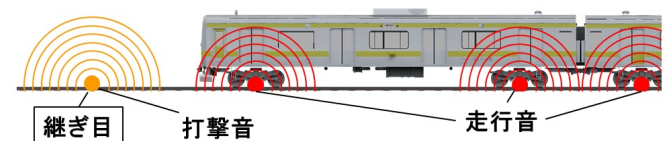


図-2 音源モデルの配置図

KeyWords： VR 技術，鉄道騒音，幾何音響理論

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

して扱う。また、打撃音は線路の継ぎ目上に配置し、車両の車軸が通過した瞬間に発生する点音源として扱う。これらの制御は、まず C++ のプログラムで音源の位置座標、音圧レベルを計算し、MAX でこれらの情報を受信し立体音響場を構築することにより行われる。走行音は、作成した定常音を繰り返し再生し、受信した値に基づき音量及び立体音響を制御している。打撃音では、C++ にて車軸が継ぎ目を通過した際に信号を MAX に送り、信号を受け取った瞬間に打撃音の音声データを再生するように構築している。

3. VR 空間への 3D モデル投影

本研究では、都市や高架橋、鉄道などの 3D モデルを、一般的な 3DCG モデリングソフトを使って自作し、投影する。今回使用した新幹線の車両モデル及び小山駅周辺の都市モデルを図-3 に示す。

はじめに、この都市モデルと車両モデルを Metasequoia に読み込み MQO ファイルに書き出しを行う。MQO ファイルは OpenGL を用いて読み込み、VR 空間への画像の投影はプログラムインターフェースである CAVELib(CAVE ライブラリ)を使用する。CAVELib により OpenGL で定義された仮想世界を VR 空間に投影する。

4. 適用例

本システムの妥当性の検証を行うため、実際の鉄道騒音の観測値と本手法による計算結果を比較した。観測は栃木県小山市の小山駅ホームにて、新幹線 E2 系電車の走行音を走行ライン(軌道の中心)から 10m の地点に騒音計を設置して行った。今回のシミュレーションに用いた実際の新幹線の通過速度は約時速 234km であったため、シミュレーションにおいても走行速度は時速 234km とし、走行ラインから 10m の地点に観測点を設け、図-4 に示すように VR 空間内に騒音計を設置した。式(1)の L_{WA} は 115dB と仮定し、補正項 L_{cor} は考慮しないものとする。

図-5 に小山駅での観測値と、本手法による計算結果及び VR 空間内での計測値の比較を示す。図より、計算結果と計測値は良い一致を示していることが確認できる。また、実際の観測値と比べ本手法の計算結果は、定性的な傾向はとらえているものの音の立ち上がりなどで差異がみられた。これは計算式の補正項を考慮していないことや音源の配置方法などに原因があると考えられ今後の課題である。

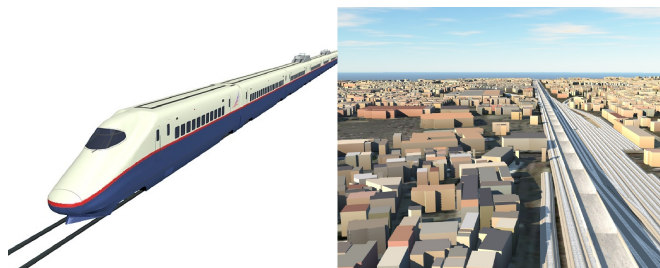


図-3 新幹線及び作成した都市の 3D モデル

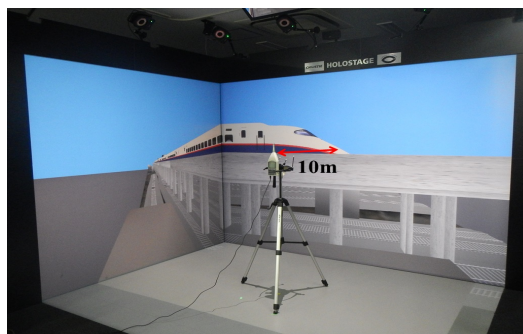


図-4 VR 空間で測定している様子

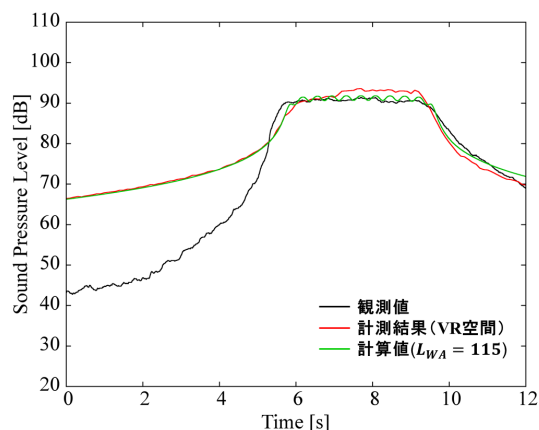


図-5 実際の観測値と本手法の比較

5. おわりに

本論文では、鉄道騒音評価システムの構築を行い、本手法と実際の鉄道騒音の観測値の比較を通して以下の結論を得た。

- VR 空間において、実寸大の鉄道車両及び都市モデルの可視化映像と共に走行音と打撃音の聴覚情報を提示することで、臨場感の高い鉄道騒音の体験が可能となった。
- 新幹線を対象とした観測値と本手法の計算結果の比較においては、定性的な傾向は一致したものの、接近音において大きな差異がみられた。

今後の課題として、計算式の補正項及び音源のモデル化の検討とシステムの適用性の向上として複雑な幾何形状を有する音場への適用についての検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 田近伸二, 櫻山和男, 志村正孝: 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, 土木学会, Vol.13, pp.231-240, 2010.
- 2) 江嶋孝, 櫻山和男, 守屋陽平, 志村正孝, 谷川将規: 実車走行音を用いた道路交通騒音評価システムの構築, 土木学会論文集 A2(応用力学) Vol.69, No.2, pp.155-162, 2013.
- 3) 森藤 良夫, 長倉 清, 立川 裕隆, 緒方 正剛: 在来鉄道騒音の予測評価手法について, 日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集, 騒音制御 Vol.20(3), 146-151, 1996-06-01
- 4) 松本嘉司, 小沢康人, 渡辺義則: 都市鉄道の騒音発生に関する研究, 土木学会論文報告集, Vol.262, pp.101-112, 1977.