

I-15 3次元サウンドを用いた道路交通騒音予測・聴感シミュレータ

THE HIGHWAY TRAFFIC NOISE SIMULATOR
UTILIZING 3D SOUND LIBRARY

蒔苗 耕司¹ 高橋 幸治²
Koji Makanae Koji Takahashi

【抄録】本研究では、交通流シミュレーション上の車両に音源をもたせ、それを3Dサウンド機能により聴覚情報として再現する道路交通騒音予測・聴感シミュレータを開発した。このシステムの適用により、道路建設事業の影響やその対策としての遮音施設の設置効果をよりわかりやすい情報として表現することが可能となり、住民との合意形成のために有効である。

【Abstract】 The highway traffic noise simulator working with the traffic flow simulator is developed. This system can output the predicted traffic noise as audio utilizing the 3D sound library. This system will be useful to negotiate with the residents around the highway planning area, because the noise of the highway construction and the effect of intercepting noise by the barrier can be shown more realistically.

【キーワード】 道路交通騒音, 聴感シミュレータ, バーチャルリアリティ, 交通流シミュレーション

【Keywords】 traffic noise, audio simulator, virtual reality, traffic flow simulation

1. はじめに

道路建設事業の実施においては、事業者と沿道住民との合意形成が不可欠であり、そのためには事業の及ぼす影響をよりわかりやすく住民に対して提示する必要がある。しかし、視覚的な影響についてはコンピュータグラフィックス(CG)やバーチャルリアリティ(VR)等の技術を適用した景観シミュレーションにより、より現実感の高い表現での情報提供が可能となってきた。一方、居住環境に大きな影響を及ぼす騒音や振動については、一般に予測結果は数値情報として表現され、あらかじめ定められた環境基準値との比較により、影響の度合いが判断される。これらの数値的な情報を人間の感覚として捉えることは極めて難しい。

そこで本研究では、道路交通騒音を対象とし、これまで数値情報として提示されてきた騒音予測情報を、実際に人間の耳で感じる事ができる聴覚情報として表現できる道路騒音予測・聴感シミュレータを構築する。

2. 既往の研究

道路交通騒音は、道路構造、交通条件、自動車、伝播過程等のさまざまな影響を受ける極めて複雑な

現象である。騒音予測モデルにはこれまでさまざまな手法が提案されているが、日本音響学会¹⁾がそれらの成果を取りまとめ、一列等間隔等パワーモデル(等間隔モデル)を基本とした予測式を作成し、この手法が広く用いられている。等間隔モデルでは、条件が多少複雑な場合でもその応用で予測を行うことができる利点があり²⁾、環境影響評価に用いられている「道路環境整備マニュアル」³⁾においてもこの手法が採用されている。しかし、この等間隔モデルにも交通条件の制約が厳しいなどの問題があることから、金安ら⁴⁾は、交通条件や沿道状況を考慮でき、さらに予測精度が高く簡便な騒音推定法について研究を行っている。

また模型実験による予測は、道路構造や周辺地形が複雑すぎる場合に、模型によりそれらを再現して実験を行い、音圧レベルの分布や伝播特性を把握するものである。条件の設定が容易であるから、道路構造などの形状を変化させた影響を把握する場合にも有効な手段として利用される²⁾。

一方、コンピュータを用い、自動車を点音源とみなし、任意の構造、線形を有する道路上を走行させる道路騒音予測システムでは、多くの条件をあらかじめ設定する必要がある、実用段階にはない。道路騒音予測システムに関する研究として、例えば庄司

1: 宮城大学事業構想学部デザイン情報学科 (〒981-3298 宮城県黒川郡大和町学苑1)

2: 同上

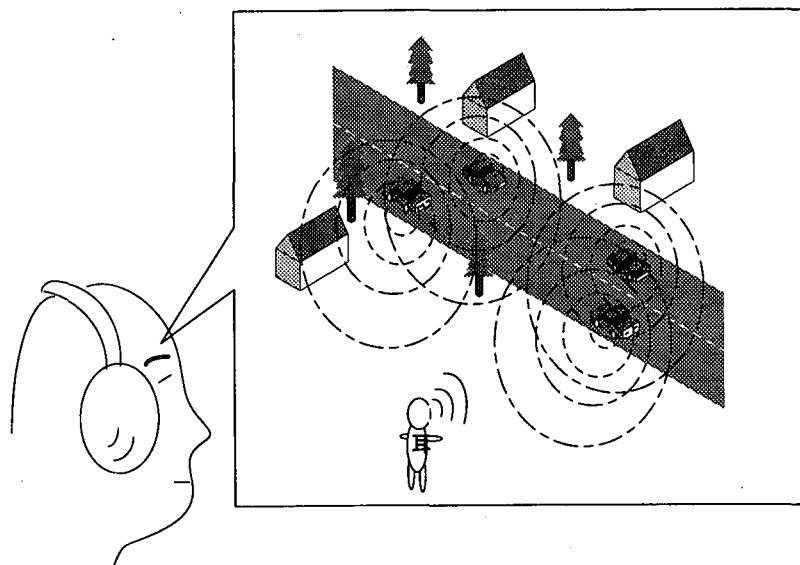


図-1 道路交通騒音予測・体感シミュレータのイメージ

ら³⁾に騒音予測システムがある。これは、高速道路を走行する交通流をモンテカルロ法によってシミュレートし、走行中の車両から発生する騒音の伝播状況を予測している。また本間ら⁶⁾は自動車交通公害低減を意図した総合型評価システムでは、交通流再現シミュレーションモデル、騒音予測シミュレーションモデル、大気汚染排出量/濃度予測シミュレーションモデル、エキスパートシステムから成る交通公害低減を目的とした統合型評価システムを開発している。

一方、道路及び自動車騒音を聴覚情報として提示しようとする試みとして、永野ら⁷⁾・岡本ら⁸⁾の研究がある。これらは録画、録音したビデオ・音声をもとに、再生レベルの操作により、騒音を体感できるシステムを作成し、その評価を行っている。一方、本研究で目的とするような交通流シミュレーションと連動して騒音を体感できるシミュレータに関する研究はなされていない。

3. 騒音予測・聴感シミュレータの概念

(1)概念モデル

道路交通騒音予測・聴感シミュレータは、これまでは騒音レベルとして数値的あるいは視覚的にしか表現されていなかった騒音を、実際に音として体感し得るVRシステムであり、その概念を図1に示す。

本システムは仮想的な3次元空間を定義し、その中のある地点の観測者が感じる音環境を、3Dサウンド機能を用いて聴覚情報として体感できることを目的としている。

(2)騒音予測のための条件

道路交通騒音が発生し、それが伝播して受音に至る過程では、道路および交通の要因のみならず、自動車、周辺状況、気象、建物、さらには人の状況等のさまざまな影響を受ける。道路交通騒音を予測する場合には、これらの要素全てを考慮に入れることは難しく、より大きい影響を与える要素以外は通常無視され予測が行われる。

本研究では、表-1に示す条件に限定し、騒音予測・聴感シミュレータのプロトタイプを構築することとする。なお、自動車の騒音については、タイヤ音も比較的大きなウェイトを占めるものであるが、音のサンプリングに課題があり、今回は要素から除外している。

表-1 考慮した要素

要因	考慮する要素	備考
自動車	エンジン	
交通	交通量 車種構成 走行速度	
道路	構造・線形	(直線・平坦路)
建物施設	遮音構造	遮音壁

4. 騒音予測・聴感シミュレータの構築

(1)システムのモジュール構成

本システムは、車両挙動を計算する交通流シミュレーションモジュール、騒音予測を数値的に計算する騒音予測モジュール、計算結果を聴覚情報に変換

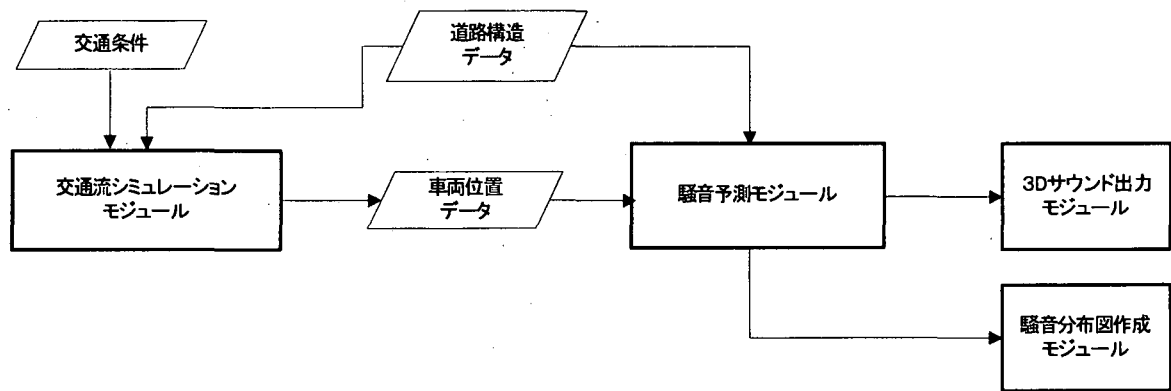


図-2 道路交通騒音予測・聴感シミュレータのモジュール構成

する 3D サウンド出力モジュール，視覚情報に変換するサウンドモジュールから成る（図-2）。

なお，システム開発には，以下の環境を用いた。

開発環境：Microsoft Windows 98/2000

使用言語：Microsoft Visual Basic6.0

グラフィックライブラリ：OpenGL

3D サウンド機能：Microsoft DirectX7.0

(2) 3D サウンドライブラリ DirectSound の概要

本研究では，3D サウンド機能を提供するライブラリとして，Microsoft 社の DirectX DirectSound を用いる。

DirectSound は，3D サウンドを含むさまざまなサウンドの再生や，サウンドのキャプチャなどの機能をアプリケーションに持たせるための，総合的なサウンド関連の API であり，複数のサウンドの合成，定位や距離の変化，サウンドのキャプチャなど多くの機能を提供する⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。

3D サウンドとは，擬似的に左右だけでなく，いろいろな方向からサウンドが聞こえてくるようにする機能のことである。DirectSound は，3D サウンドの位置を使ってリスナーに聞こえる音の大きさを計算する。DirectSound は環境ジオメトリを考慮しないため，実世界の音環境との間で乖離が生じるが，これらは音の減衰度を制御するロールオフ係数等により補うことができる。また，DirectSound は，3D サウンドの速度からドップラー効果を表現でき，ドップラー係数を指定することによりドップラー効果の調整も幅広く可能である。

(3) 交通流シミュレーション

交通流シミュレーションは，騒音予測をマイクロな視点から評価するために，一定観測範囲内の車両一台一台の走行挙動を表現する。

a) 車両表現レベル

交通流マイクロシミュレーションに基づき，対象とする観測範囲内の車両 1 台 1 台の走行挙動を表現する。シミュレーションを行う時間間隔(スキャンニングサイクル)は，0.1 秒とする。

b) 道路構造

2 車線と 1 車線の 2 種（車線幅員 3.5m）とし，平坦な直線道路とした。

c) 車両発生

車両の発生は，各車両を交通流入部から観測範囲内に流入させることにより行う。交通流入部での車両発生は，時間交通量により求められる平均車頭時間をもとにポアソン分布に基づき発生させる。

d) 車両種別・混入率

大型車（長さ 12.0m，幅 2.5m）と小型車（長さ 4.7m，幅 1.7m）の 2 種とし，大型車の占める比率を大型車混入率として，任意に設定できるようにした。

e) 走行速度・車両挙動

走行速度は 30km/h，40km/h，50km/h の 3 種とし，全車両が設定された速度で走行するものとする。また車両挙動は，設定速度での等速走行のみとし，停止，右左折などの行動は無いものとした。

(4) サウンドによる走行騒音の再現

a) 受音点位置の設定

延長 100m の道路中心線に対し，その両側 50m の範囲を観測対象区間として設定し，受音者はその範囲内を自由に移動可能とした。なお受音点の高さは地上 1.2m とした。

b) 音源位置の設定

交通流シミュレーションにより，発生した各車両にはそれぞれ位置情報，車種等の情報が与えられる。DirectSound は音源の位置に基づき，受音者に聞こえる音の大きさを計算する。従って，車両位置情報に

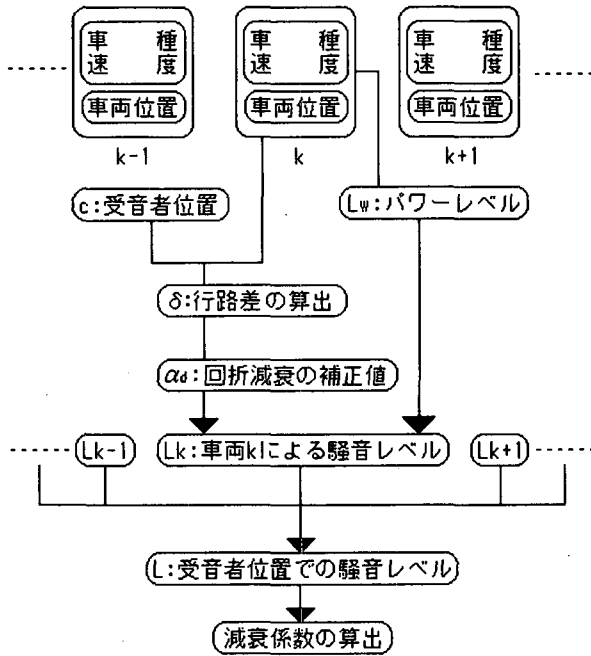


図-3 遮音壁による減衰係数算出フロー

に基づき、それぞれの音源の位置を設定する。なお音源の平面位置は車両の中心に置き、音源の高さは文献³⁾における平均的な値 0.3 m を用いた。

c) サンプルング

音源には自動車から発生させる音を持たせる必要があるが、自動車音を走行速度等に応じて正確に再現する関数が明らかではないことから、サンプルングによるエンジン音をその音源として用いることとした。サンプルングは、ジャッキアップした自動車から、それぞれの速度・車種について実際のエンジン音を wave ファイルとして記録することによった。また同時に騒音計を用いた騒音レベルの測定を行った。サンプルングパターンと測定された騒音レベルを表-2に示す。なお実走行時には、エンジンに対する負荷による騒音レベルの変動が生じるが、今回のサンプルング・計測ではそれについては考慮していない。

表-2 サンプルングパターンと騒音レベル

車種	速度	騒音レベル
小型車	30km/h	67dB
	40km/h	71dB
	50km/h	74dB
大型車	30km/h	85dB
	40km/h	93dB
	50km/h	96dB

c) ドップラー効果の設定

ドップラー効果の再現のためには、音源速度が必要であり、交通流シミュレーションで設定した速度をその設定値とした。

(5) 遮音壁による騒音低減効果の再現

a) 遮音壁の設置

遮音壁は高さ 1.5m 以上 5.0m 以下を限度とし、この範囲で任意の高さ・延長で設置可能とした。

b) 遮音壁による音の減衰

遮音壁による音の減衰の有無は、受音者と車両(音源)、遮音壁との位置関係に依存する。そこで、まず受音者と車両とを結ぶ直線と設置された遮音壁と交差判定を行い、遮音壁による減衰効果の有無を判定する(図-4)。

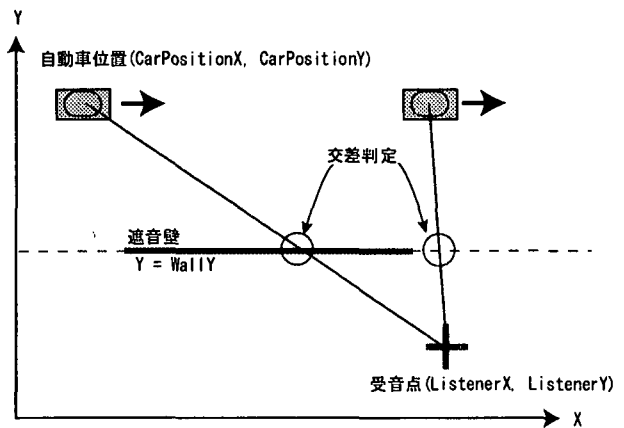


図-4 車両・受音点・遮音壁の交差判定

交差判定により音の減衰が必要と判定された場合には、「道路環境整備マニュアル」³⁾の騒音レベルの予測手法を適用し、遮音壁のある場合と無い場合の受音点における騒音レベルを求め、その比率を基に減衰係数を算出する。なお、減衰効果については、半自由空間において距離が2倍になるごとに 6dB ずつ減衰するものとして計算を行った。

(6) 騒音分布図の作成

システムにおける予測結果を聴覚情報のみではなく、視覚的に表現するために騒音分布図の表示を行う。ここでの騒音分布図はある時点における騒音分布の状況を示すものである。

騒音分布図の作成にあたっては、観測範囲(100m×100m)を 1m×1mの格子点に分け(図-5)、各格子点の騒音レベルを「道路環境整備マニュアル」の騒音予測モデルに基づきを求める。

求められた騒音レベルを色情報に置き換え、表示することにより、騒音分布の数値情報が得られる。この数値情報を色数値情報に変換し、色情報として

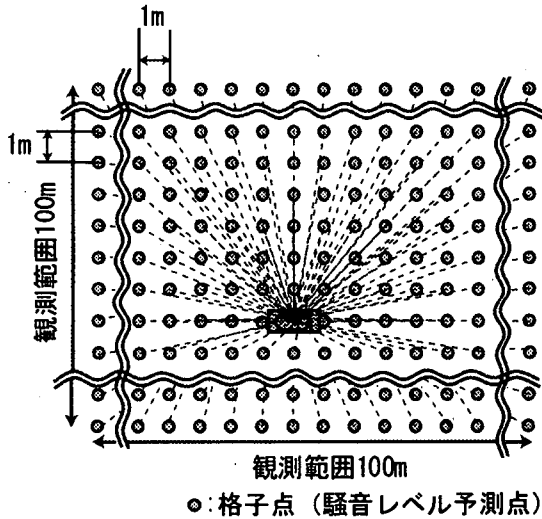


図-5 格子点の設定

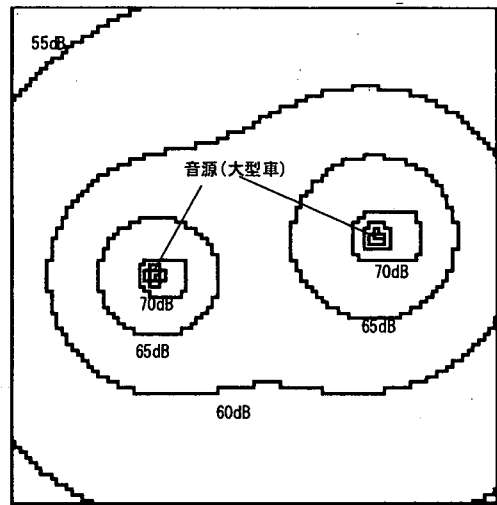


図-6 騒音分布図

表示する。図-6 は色情報としてシステム上に表示された騒音分布図に対し、空間フィルタによる輪郭線抽出を適用し、等値線図として描画したものである。

(7) シミュレータのインターフェース

本シミュレータは体験者がヘッドフォンをつけることで擬似的に交通騒音を体感するシステムであるが、コンピュータ画面上では図-7に示すように交通

流シミュレータによる車両挙動がリアルタイムで表現されるようになっている。体験者は、受音点の位置をマウス操作により自由に移動することができ、それに応じて与えられる音情報もリアルタイムで変化する。また必要に応じてシミュレーション条件の設定・変更、騒音分布の表示も行うことが可能である。

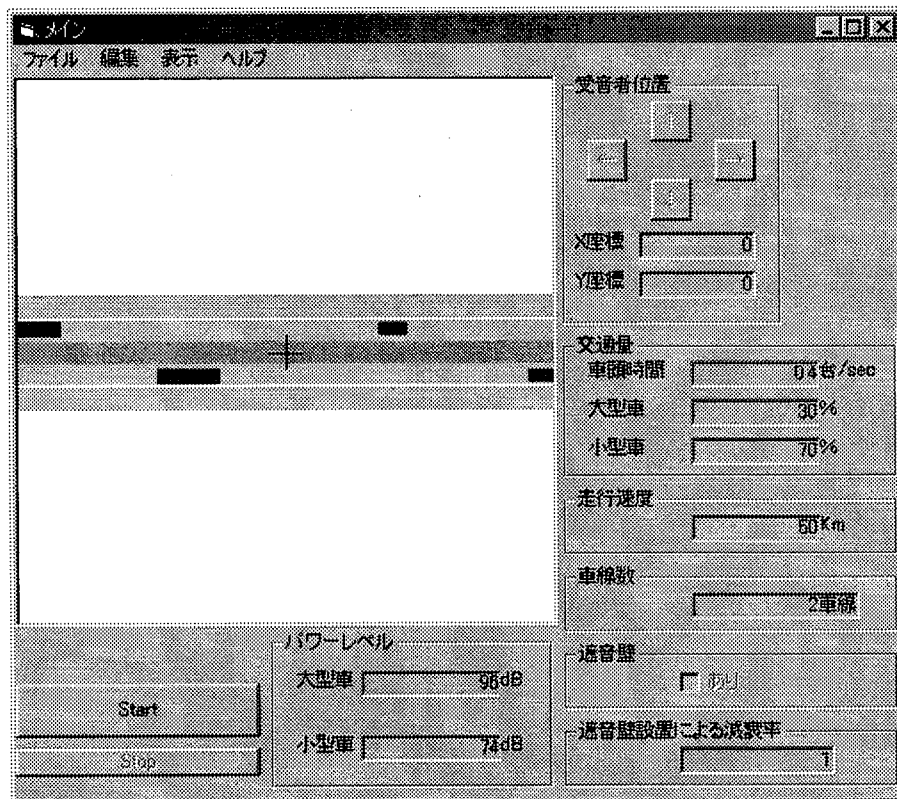


図-7 シミュレータのメイン画面

5. 本システムの意義と課題

(1) 本システムの意義

道路騒音予測情報は、これまで数値情報あるいはそれを基にした分布図として提供されており、感覚的に認識するには難しい情報であった。本システムの適用により、騒音予測の結果は直接的に聴覚情報として得ることができ、専門知識を有しない一般の住民にとってもその理解が容易となる。実際の道路建設事業での本システムの適用においては、道路建設自体が住環境に及ぼす影響予測はもちろんであるが、その影響に対する対策（例えば遮音壁の設置効果等）の説明に特に有効であると考えられる。

(2) 本システムの課題

本システムはプロトタイプとして開発されたものであり、その実用化に向けていくつかの課題がある。

a) 騒音の再現性の向上

今回は騒音の音源として騒音の寄与率の高いエンジン音に限定したが、実際の交通騒音ではタイヤ音も大きな比重を占めている。従って、タイヤ音についてもそれを再現することができるよう、サンプリング音源を付加する騒音の再現性向上の検討が必要である。またそれが路面状況（例えば雨天時の湿潤路面等）を反映できるような仕組みを考える必要がある。

また今回はサンプリングした音源をそのまま用いており、走行速度の制約を大きく受けている。従って、自動車騒音の関数表現についても検討する必要がある。

b) 複雑な道路構造・交通条件への対応

今回のシミュレーションでは、平坦な直接路のみを対象としたが、交差点や道路線形等の平面構造、高架や盛土・切土等の横断構造、さらには沿道条件等を考慮した音の再現を行う必要がある。また今回は簡易な交通流シミュレーションをベースとしているが、より複雑な交通流にも対応したシステムとする必要がある。

c) マルチメディア環境シミュレータへの発展

本システムでは音環境のみの再現を目的としたが、VR 技術を適用した視環境を加えた統合的なマルチメディア景観シミュレータへと発展させていくことにより、住民との合意形成のためのより有効なツールとして機能することが期待される。

6. まとめ

本研究では、3D サウンド機能を用いて道路交通騒音と遮音壁の設置効果を予測し、聴覚情報として体感することができるシミュレータの構築を行った。

これにより、道路建設事業における住民との合意形成において、道路騒音のもたらす影響・遮音壁の設置効果等の効果を、より分かりやすい情報として提供することが可能となった。

今後は、より複雑な道路条件、交通条件に対応するとともに、騒音の再現性を向上させるとともに、マルチメディアシミュレータへ発展させていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 社)日本音響学会：道路交通騒音の予測計算方法に関する研究報告書，1975-1978.
- 2) 清水博：道路環境，工学社，1987.
- 3) (社)日本道路協会：道路環境整備マニュアル，1988.
- 4) 金安公造：道路交通騒音の予測モデルの適合性」，土木学会論文集，No.278，pp.75-84，1978.
- 5) 庄司光 山本剛夫 中村隆一 橋本和平 片山徹，モンテカルロ法による交通騒音の推定，土木学会論文集，No.154，pp.34-39，1968.
- 6) 本間正勝・森健二・矢野伸裕・斎藤威：交通管理対策による自動車交通公害軽減を意図した総合型評価システムの開発，土木情報システム論文集，vol.7，pp.113-120，1998.
- 7) 岡本省吾・野崎祐一・降旗建治・柳沢武三郎：自動車騒音源シミュレータの有効性と音源対策指標の提案，応用音響研究会，EA99-55，1999.
- 8) 永野剛・安田徳興・降旗建治・柳沢武三郎：騒音体験用バーチャルリアリティシステムの検討，応用音響研究会，EA99-56，1999.
- 9) John De Goes：DirectX 3D ゲームプログラミング入門，株式会社インプレス，2000.
- 10) 登大遊：DirectX8.0 3D アクションゲーム・プログラミング，株式会社工学社，2001.
- 11) 藤田伸二：DirectX7 for Visual Basic はじめるゲームプログラミング，株式会社翔泳社，2001.