

3次元グラフィックスによる街路景観－交通 結合シミュレータの構築に関する研究

井上 博司

社会システム環境学大講座

金谷 誠二

環境人間学研究科博士前期課程 (平成18年4月～20年3月)

A Development of Urban Street Landscape Simulator Combined with Traffic Simulator through 3-Dimension Computer Graphics

Hiroshi INOUE

The chair of social systems environment

School of Human Science and Environment,

University of Hyogo,

1-1-12 Shinzaike-honcho, Himeji, 670-0092, Japan

Seiji KANAYA

Student of Graduate School of Human Science and Environment

University of Hyogo, (4.2006-3.2008)

Abstract

The techniques of computer simulation with graphics, such as urban street landscape simulation and/or urban traffic simulation is greatly expected in recent city planning projects. Because, they can give citizens realistic images to estimate the effect of city planning project on their livings and environments. In this paper, a combined computer simulation method, urban street landscape simulation and urban traffic simulation, is developed through 3-dimension computer graphics. A usual computer graphics software is used with VRML(Virtual Reality Modeling Language) to make dynamic pictures of urban street landscape with traffic flow. This technique makes possible for users to move about freely in the urban landscape and to have mutual dialogue with the computer.

Key words: landscape simulation, traffic simulation, 3-dimension computer graphics, Virtual Reality Modeling Language, city planning

1. はじめに

人間の生活・社会活動は、都市を中心として発展してきた。都市への人口集中は、都市の拡大・発展、周辺への膨張をもたらし、それが生産活動や文化活動における都市の優位性を向上させ、新たな都市の人口増加・発展に繋がるという連鎖を形成している。すなわち、生活、経済、文化等の諸活動は都市を中心に展開される時代になってきており、都市は留まるところなく、拡大・発展・ダイナミックな変化を遂げている。それとともに、建物・建造物の老朽化、地区の機能低下・活力低下にともない、

建物の建て替えや地区再開発が頻繁に行われている。

インターネットやコンピュータの高度化により仮想現実 (VR : Virtual Reality) での仮想都市の形成が容易になってきた。仮想都市とは、コンピュータ・グラフィックス (CG : Computer Graphics) 技術を用いて電子的に再現した3次元都市を意味する。仮想都市は都市計画における実験を可能とする。たとえば、仮想都市で交通量を時間軸上に変化させて交通シミュレーションを実施し、それにとまなう交通混雑や大気汚染の変化を再現できれば、交通流を効率的に処理できる交通運用・管理

や、風の通り道を考慮した都市の再開発が可能となる。また、高度交通システム (ITS : Intelligent Transport Systems) の技術が進歩すれば、インターネット上に公開されている交通情報の3次元化により、細かい走行ルートや渋滞の様子などがわかりやすくなる。

このように、仮想都市において、CGによる既存の建物の再現だけでなく、人や車の動き、大気の流動などの都市活動・都市環境の再現ができれば、現実に近い都市動態の再現ができ、都市計画全般に応用できる。

日々変化し続ける都市は時代の象徴であり、都市景観のアーカイブ (Archive) として写真や、映像・模型などで保存されてきた。しかし、写真・映像は、都市空間内を自由に移動することができない。また、模型は自由に移動できるが、多くの建築物から形成される都市景観では模型が大きくなり、時代ごとに保存することは難しく実用的ではない。これらの問題を解決するための手段として、3次元CG (3DCG: 3 Dimension Computer Graphics) による保存が有用である。3次元CGによる都市景観では、時間軸上に变化する都市活動・都市環境にも対応でき、都市の移り変わりによる修正も簡単にできる。そこで本研究では、都市空間の一部である街路に着目し、3次元CG作成ソフトShade8.5 (以下Shade) [1]、VRML (Virtual Reality Modeling Language) [2] を用い、兵庫県姫路市大手前通りを対象に、3次元CGによる街路景観画像を作成するとともに、大手前通りの街路景観画像に自動車交通流を組み入れることで、街路景観のリアリティを高めることを目的とする。

2. 街路のCG景観作成

2.1 3次元CGの援用

3次元CGは、コンピュータ内の仮想3次元空間に各種オブジェクト (物体、光源、視点など) を記述・配置し、ある視点から3次元仮想世界がどのように見えるかを、2次元スクリーン (モニターやプロジェクタ) に描画する技術である。オブジェクトとして物体や光源の他に仮想センサや音源も配置される。さらに、視点の位置や向きもユーザーが自由に制御でき、ウォークスルーやアニメーションがリアルタイムで行われる。

3次元CGの応用分野は今後ますます拡大すると予想できる。現時点での主な応用分野の一つは工業部門での設計支援であり、建築・機械・土木におけるCAD (Computer Aided design) をはじめ、景観シミュレーションや日照シミュレーションなど、各種の3次元CADが工業ツールとして定着しており、産業界での発展が期待されている。この他、エンターテインメントや教育・訓練、情報可視化、文化・芸術などの分野で広く普及してお

り、Webアプリケーションの対象として大きな期待が寄せられている。3次元データの流通・伝送のために標準化やデータ圧縮技術の開発、3次元ビューアの無償配布、パソコン用グラフィックチップの高性能化、Web上の他メディアとの連携・統合化などが進んでいる。

3次元CGは、2次元CGに比べ表現の幅が広がる一方、現実の世界に近づけるために、モデリングやレンダリングといった技術が必要であり、コンピュータの負荷が非常に大きくなるので、目的に合った3次元CGソフトを使うのが好ましい。3次元CGソフトとしてよく知られたLightWave 3Dは、レンダリングの品質、表現の幅は抜群であり、また国産の3次元CGソフトであるShadeは、曲面の表現とレンダリングの美しさに定評があり、工業製品などの正確なモデリングや、建築・インテリア関連のデザインに適していると言われている。本研究においては、スプラインベースのモデリング機能があり、レンダリング品質も高く建築パースなどライティングが重視されるイメージ制作に適したShadeを用いることとした。このソフトでは、多彩なライセンスフリーの素材集が用意されているので、3DCG制作で最も時間と手間がかかるモデリングの手助けができることも利点である。

2.2 CG景観作成の目的

兵庫県姫路市のシンボルロードである大手前通りは、世界遺産姫路城の大手門より山陽本線姫路駅に至る全長約1km、幅員約50mの道路であり、昭和61年に当時の建設省により「日本の道100選」の一つに選定された。景観を損なわないよう電柱の地下埋設などの配慮がなされており、昭和63年には都市景観形成地区に指定されている。交通面では、国道2号線が交差することや、姫路駅北口を発着するほとんどのバス路線が通過することから交通量も多く、中心市街地の幹線道路としての役割が大きい。本研究では歴史的・文化的価値の高い大手前通



写真1 大手前通り(姫路市) [3]

りの街路景観を3次元CG化することで、デジタルアーカイブとしての保存も可能な街路景観画像を作成する。

2.3 CG景観作成の手順

CG景観作成手順として、本研究ではShadeとVRMLを用いてそれぞれの特性を利用したCG景観作成を行う。

Shadeでの作成では、「地図から下図作成」で住宅地図から大手前通りの地図のCG化を行い、これから作成する景観の土台を作成する。「道路網・建物の作成」では、「地図から下図作成」で作成した土台に航空写真を用いて道路網の追加を行う。また、大手前通りに面した建物を、建物の正面から撮影した写真を用いてCG化を行い、追加していく。

「自動車交通流の作成」はVRMLを用いて行うもので、これまでにShadeで作成した景観をVRMLにファイル変換後、VRML言語を用いて、大手前通りの道路に普通車と大型車の自動車交通流の追加を行う。「CG景観画像の動画化」では、VRMLの特性であるリアルタイムレンダリングを使いやすくするために、4つの視点を作成すると同時に、これら4つの視点からのCGアニメーションムービーの作成も行う。

2.4 CG景観作成方法

3次元CGで景観を作成する方法として、実写の風景写真にCGで作成した画像をはめ込んで合成した「モンタージュ技法」(montage technique)がよく使われている。モンタージュを行う時には、はめ込まれた画像の境界が不自然にならないように合成する必要がある。しかし、モンタージュ技法で作成された景観は静止画が多く、動画を作成する場合にはあまり向いていない。また、モンタージュ技法以外にも数多くの写真との合成技術があるが、本研究ではVRMLとの連携を考えているので、ファイル変換時に合成の誤差が出ないように、写真との合成技術は使わずにフルCGで作成することにした。

2.4.1 下図・道路網の作成

Shadeで大手前通りの下図を作成するにあたり、下図作成に使う地図には、大手前通りに面した個々の建物の配置が記載されている地図を使用することで、建物の追加を行う際に建物の位置と面積を決定することができる。上記の条件に合う地図を探したところ、インターネット上に公開されている縮尺1:150のゼンリン社の地図[4]があり、ここから必要な部分を切り取り、Adobe Photoshopを用いて、つなぎ合わせて大手前通りの地図を作成した。

作成した地図をShade内にテンプレートとして読み込み、交差点の形、道路の幅員などの形状をなぞるトレー

ス(Trace)を行うことで下図を作成した。

道路網の作成にあたり、大手前通りには車線数が最大で両側6車線あるが、道路上に地下駐車場の出入り口や右折車線があり、車線数の増減があるので複雑な車線構造となっている。そこで、Googleマップ[5]の航空写真から大手前通りの道路網作成に使う部分を切り取り、Photoshopで繋ぎ合わせて大手前通りの地図を作成した。この航空写真をShade内にテンプレートとして読み込み、地図から作成した下図に合わせて道路網の追加を行った。航空写真ではわかりづらい部分はデジタルカメラで車線の増減や交差点を撮影したものを参考にした。

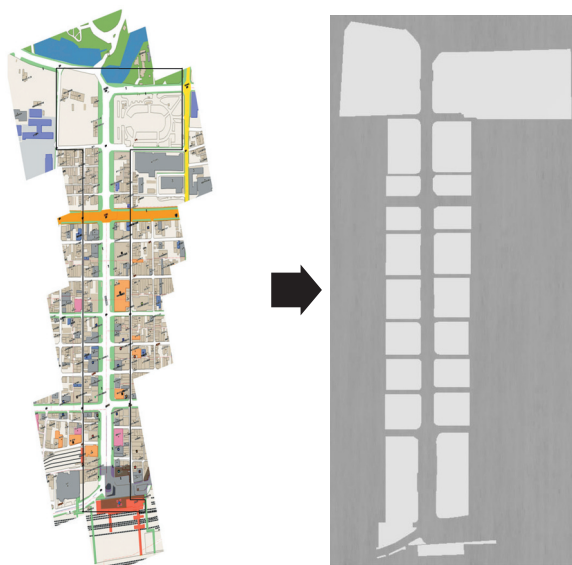


図. 1 地図より下図作成

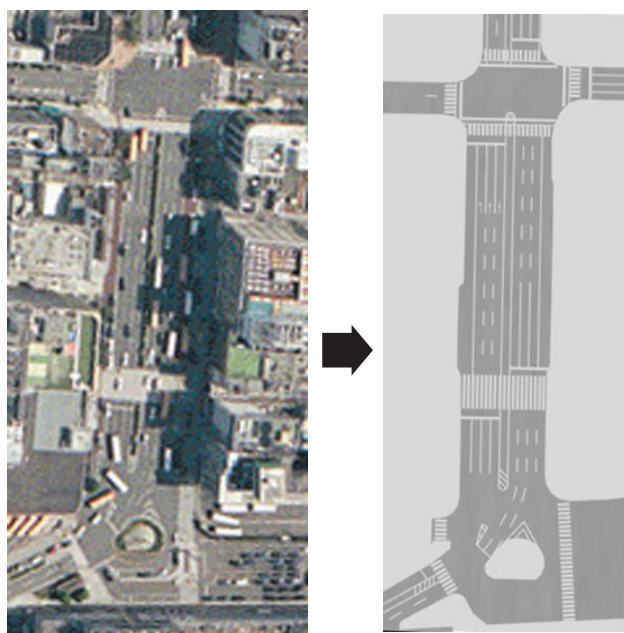


図. 2 航空写真より道路網の作成

2.4.2 建物のCG作成

建物の作成においては、大手前通りに面した約70棟の建物をそれぞれ正面からデジタルカメラで撮影し、撮影した写真をもとにCG化を行った。撮影した画像はあおりがあるため、Photoshopを使い画像のあおり補正を行った。補正した画像をCGで作成した建物の形状に貼り付ける「テクスチャ・マッピング」(Texture Mapping)を使用するのが通常の手法であるが、大手前通りには大きな街路樹が通りに沿って植えられている。この街路樹の影響で建物の大部分もしくは全体が木に覆われている建物があり、テクスチャマッピングを使用してもその効果を十分に発揮できない。このため、テクスチャマッピングを使用せず、形状をトレースして建物を作成することにした。

補正した画像をShade内にテンプレートとして読み込んで建物の作成を行った。建物の外観や窓などの影響でできる凹凸は、「ブーリアン演算」(Boolean

Operation)[6]を用いることを検討したが、レンダリングに時間がかかり、コンピュータの負荷が大きくなることから、ブーリアン演算を使用せず、形状をトレースする程度に留めた。このため、建物は外観と窓の形状の再現で作成することとした。

完成した建物は、Shadeで作成した地図に追加していく。建物を地図に追加するにあたり、地図を再びShade内にテンプレートとして読み込み、Shadeで作成した地図との位置を合わせ、ゼンリン地図に記載されている個々の建物の位置や面積に合わせて建物の追加を行った。

この作業で建物の位置と床面積は決定することができるが、隣り合う建物同士の高さの比率が合わない場合がある。この場合、建物群の写真と正面から撮影した建物の写真に隣の建物が映りこんでいるので、それらを参考に高さの修正を行った。建物の再現は大手前通り全体を予定していたが、作業量の多さから姫路駅前から白銀交差点の間で作成することとした。

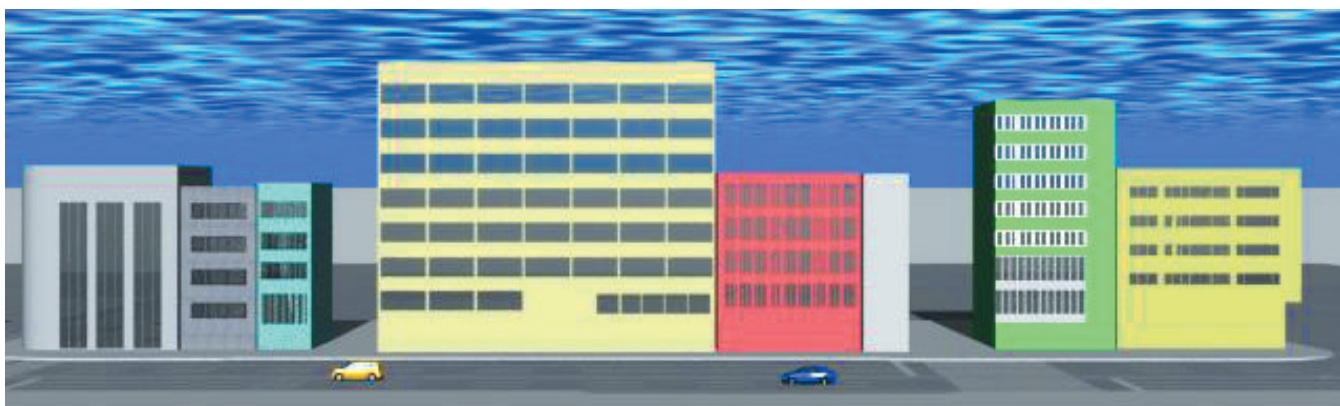


図. 3 建物を追加した街路景観画像 (1)

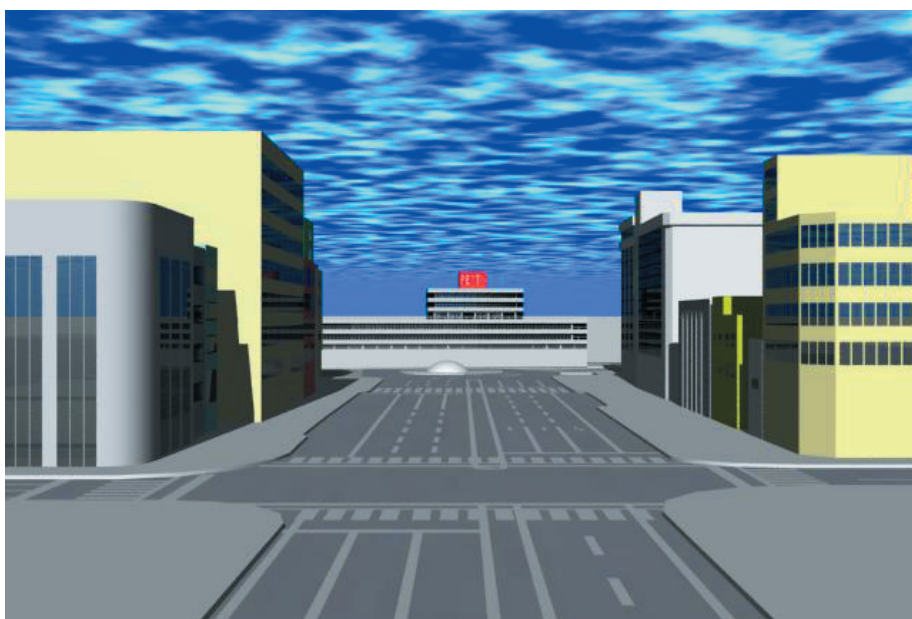


図. 4 建物を追加した街路景観画像 (2)

3. 自動車交通流のCG作成

自動車交通流のCG作成では、Shadeで作成した景観を他のプログラミング言語で読み込めるようにするためにVRML変換を行った。このVRMLファイルを利用してJava 3D[7]にVRMLを読み込み自動車交通流の作成を行う方法と、VRMLにて作成を行う2通りの方法を考えた。Java 3Dでのプログラミングには、オープンプラットフォームの統合開発環境であるEclipse[8]を用いる。

3.1 Java 3Dの援用

Java 3Dを用いる方法では、Java 3Dには他のモデラーで作成したモデルを読み込む機能がついており、Shadeで作成したモデルをVRML出力することで対応することができる。VRMLファイルをJava 3Dに読み込むために、Xj3Dが開発を進めているフリーソフトのVRML97Loaderを用いる。

Shadeで作成した大手前通りの道路と建物ファイルのVRML変換を行いJava 3Dに読み込む。その後、efrontier社が販売している、「Shade 実用データ集 森シリーズ09「車の森」」の中から形状データの少ない普通車を1台選び、白・青・緑の3色に色分けしたものと大型車1台の計4台を選んでVRML出力を行い、Java3Dで道路上に車両を追加する。

追加した車両をJava 3Dのプログラムで動くようにし、自動車交通流のプログラムを作成する。VRML97LoaderをEclipseに組み込んで使用したが、コンパイル時に障害が発生してプログラムが実行されないため、Java3Dでの作成を断念し、VRMLでの作成に移行した。

3.2 VRMLの援用

VRMLは、3次元CG作成のためのモデリング言語であり、インターネット技術と密接に関係しているため、3次元のバーチャルワールド（仮想現実世界）をホームページに掲載することが可能となり、Webブラウザ上で仮想現実世界を楽しむことができる。

また、VRMLはJavaScriptやJavaと結合することができる。VRMLはプログラミング言語ではなくモデリング言語なので、JavaScriptやJavaを組み込むことにより複雑な動きを作ることができる。

VRMLは1993年頃から開発が進められ、1997年に成立したVRML97[9]は、ISO(International Organization for Standardization)の国際標準規格として承認を受けている。その後、CG技術の急速な進展より、新しい規格「VRML2002」(X3D: eXtensible 3D, VRML-Next Generation)の草案が2002年に発表され、2004年に正式に認定された。このX3D[10]は、VRMLの短所が見

直され、全体的なコンパクト化によって軽快に動作するように設計されている。X3Dは、XML(Extensible Markup Language)を利用した記述をしており、映像データ圧縮方式であるMPEG-4(Moving Picture Experts Group phase 4)の3次元表示機能としても採用されるなど、進化を続けている[11][12]。

VRMLは3次元CGのためのWeb指向言語である。この言語はモデリング言語の形態をしているので、インタラクティブな3次元仮想世界を構築することができ、景観を自動的に動かす機能やユーザーと対話する機能を持っている。また、VRMLは仮想空間内を自由に動き回れる「リアルタイムCGアニメーション」機能を提供する。ユーザーはVRMLビューアーに付いている操作卓を操作することにより、物体を回転させたり、景観を上空から眺めたり、景観内を歩き回るなどさまざまなインタラクティブな行動を起こすことができる。VRMLはシーン(景観)を記述するためのものなので、アニメーション機能には限界がある。それを補うためにプログラミング言語であるJavaScriptやJavaと結合する機能がある。

VRMLのビューアーは多数の企業がフリーソフトで公開している。本研究では、Parallel Graphics社が提供しているWebブラウザのプラグイン用ソフトCortona VRML Client5.1[13]を使用することにした。このソフトは安定した動作が評判で、描画性能、操作性に優れている。反射マッピング、キー入力、曲面形状、物体同士の衝突判定、Drag&Drop、3Dグラフィックス対応など独自の機能が拡張されている。

3.3 VRMLによる自動車交通流の作成

VRMLでの自動車交通流作成では、Shadeで作成した道路、建物ファイルをVRMLファイルに変換して使用した。自動車交通流を作成するにあたり、車両はShadeの素材集より選定したものを使用した。

ShadeからVRMLにファイル変換を行うと、物体の大きさおよび3次元座標は作成時のデータに合わせて変換を行うので、素材集の車両の大きさとShadeで作成した景観の大きさは異なる。そこで、車両は、Shadeで作成した道路、建物の景観ファイルに読み込んで、車幅、大きさなどを調整した。

さらに、大手前通りの車線は両側6車線あるので、走行中の車両の進行方向は2通りある。このため、車両をShadeからVRMLに変換する際、普通車3台、大型車1台の計4台を進行方向の向きに合わせて8通り作成し、それぞれを個別に保存した。

建物、道路の景観ファイルと車両ファイルを別々のファイルで作成し、建物、道路の景観ファイルに車両ファイ

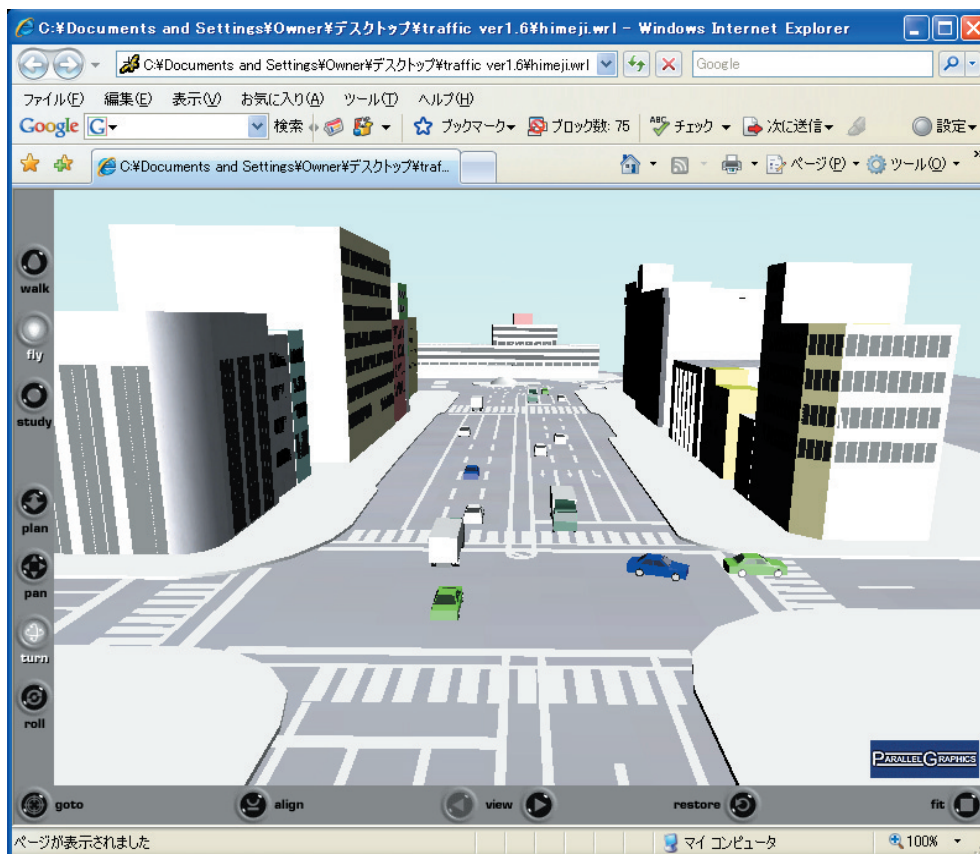


図. 5 自動車交通流を組み込んだ街路景観画像

ルを個別に読み込むようにすることで、同じ車両ファイルが必要な時に何度でも読み込むことができるようにした。各車線に2～3台の車をアニメーションで9～20秒間隔でJR姫路駅前から白銀交差点までループさせている。左折車線で走行している車に関しては、交差点で左折させている。また、走行中の車の中で両側合わせて3台の車は車線変更している。VRMLは、プログラミング言語ではなくモデリング言語なので、車の台数を増やしてループさせることは可能であるが、それ以上の開発は不可能である。

4. CG景観画像の動画化

4.1 CGアニメーション映像

景観シミュレーションとしてよく見かけるのがこのCGアニメーション映像である。CGアニメーション映像は、テレビや映画で見るアニメーションのように決められたアングル、カメラワークでしか見ることができない。これは、3次元情報を1コマ1コマレンダリングして2次元画像にしたものを連続的に見せることで映像にしている。

この手法は、2次元画像の集まりなので3次元情報が失われることがある。また、景観の修正をするたびにレンダリングする必要があるのでコンピュータの性能によ

てはムービー作成に時間がかかる。さらに、ユーザは制作者が設定したカメラアングルから受動的に景観の映像を見ることしかできず、景観シミュレーションとしては不向きである。

これに対し、リアルタイムCGアニメーションとは、3次元ゲームのようにアニメーションの実行時に1コマ1コマをリアルタイムにレンダリングし高速描画するものである。リアルタイムCGアニメーションでは、仮想空間内を自由に動き回れ、いろいろな視点から景観を見ることができる。ユーザーは、制作者が作成した景観内を自由に動き回れ、それに合わせてアニメーションが変化するので能動的であるが、ビューアの操作に慣れていないと景観内を動き回るのは困難である。また、最近のコンピュータでは問題ないが、低性能、古いコンピュータではスムーズにアニメーションを表示できないことがある。このため、制作者は景観をモデリングする際、データの圧縮やモデリングを工夫して作る必要がある。本街路景観でも、データの圧縮を行っている。

VRMLは、このリアルタイムCGアニメーションでレンダリングを行っているので、景観内を自由に動き回れ、ユーザーと対話できるので、景観シミュレーションに適している。

4.2 VRMLでの景観シミュレーション

VRMLは、リアルタイムCGアニメーションなので、リアルタイムにレンダリングされている。つまり、ビューアについている操作卓を使うことで、ユーザーは街路景観のアニメーションを任意の位置から観察でき、自由に移動できる。

また、制作者は複数のカメラを設定できるので、ユーザーは視点を選択することで様々な位置に瞬時に移動できる。そこで、本研究では3つの地上の視点に、上空からの視点を加えた4つの視点を設定し、これらの視点よりの景観画像を作成した。

視点①：白銀交差点(姫路城からJR姫路駅前方向)

視点②：播州信用金庫前(姫路城からJR姫路駅前方向)

視点③：山陽百貨店前(山陽電鉄姫路駅前から姫路城方向)

視点④：JR姫路駅前上空

4.3 ムービーの作成

VRMLは、専用のビューアが必要なので、インストールされていないパソコンで見ることができない。また、ビューアの操作に慣れていないと操作は困難であり、VRMLの欠点でもある。

そこで、VRMLの街路景観で作成した4つの視点か

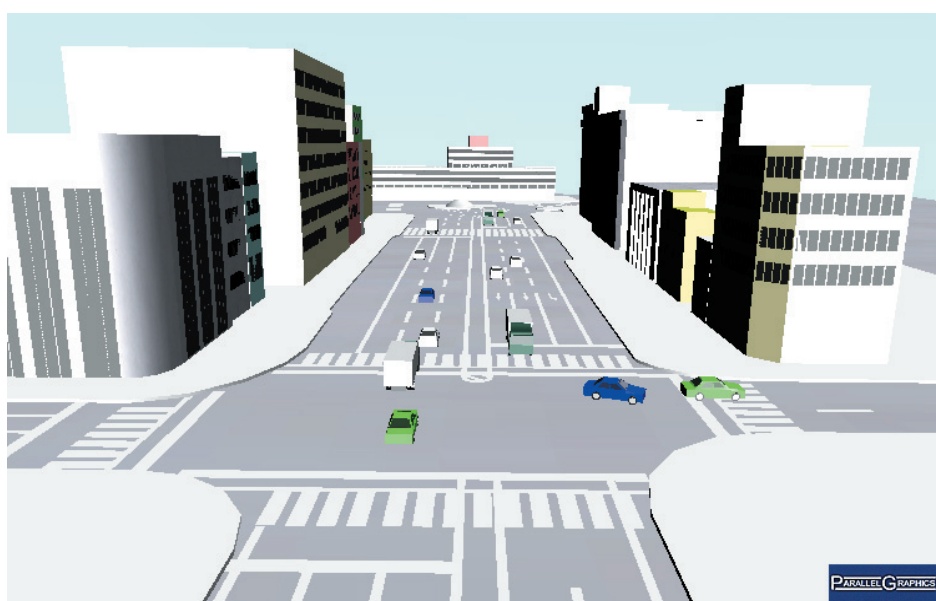


図. 6 視点①よりの街路景観

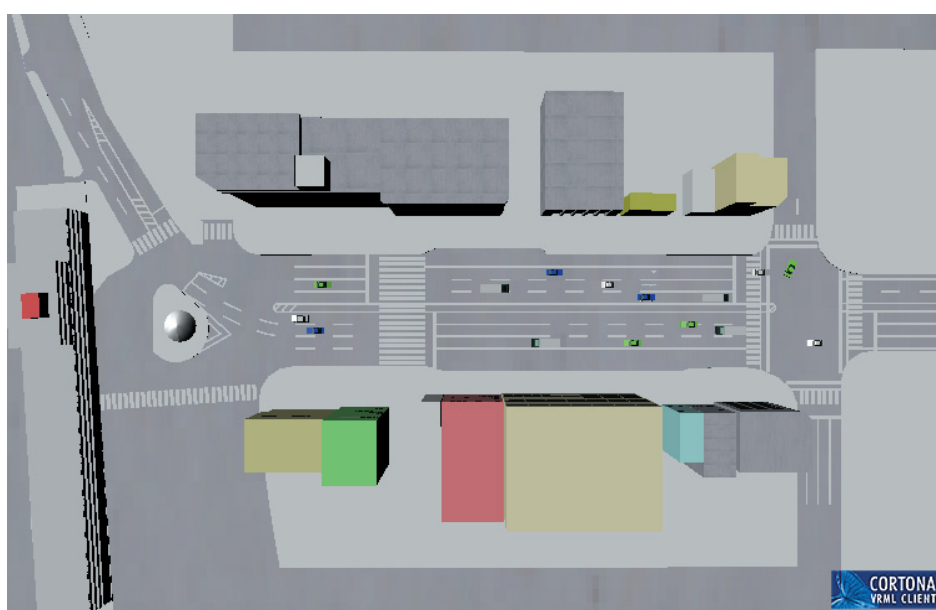


図. 7 視点④よりの街路景観



図. 8 街路景観ムービー (1)



図. 9 街路景観ムービー (2)

ら、それぞれ約10秒ずつのアニメーションムービーを作成することで、VRMLの欠点を補うことに努めた。また、ムービーを作成することによりプレゼンテーションへの応用や景観の動画カタログとしての役割も果たす。

5. おわりに

本研究では、ShadeとVRMLを用いて3次元CGによる大手前通りの街路景観を作成した。

Shadeを使った作成では、大手前通りの住宅地図をもとに、CGによる地図、道路網のモデリングを行い、デジタルカメラで撮影した建物の写真をもとに建物のモデリングを行った。建物の写真を利用したテクスチャ

マッピングを使用することを断念し、建物はフルCGによる再現をすることになった。景観作成当初は大手前通りに建てられている約70棟の建物の再現を予定していたが、フルCGによる建物のモデリングにはかなりの時間を要するので、景観作成を大手前通り全体からJR姫路駅前から白銀交差点までに変更した。これにより、Shadeでの景観作成にかかる時間を短縮できた。Shadeには他の3次元CG作成ソフトと連携する機能がついており、3次元CG作成ソフトへのファイル変換が可能である。この機能を利用し、Shadeで作成した景観ファイルをVRMLファイルに変換し、Shadeでの作業を終了した。

VRMLを使った作成では、Shadeで作成した街路景観に自動車交通流の追加を行った。VRMLでの作成で使用する車両については、予め用意しておいた素材集の中から普通車と大型車を選んで使用した。大手前通りの道路は最大で両側6車線ある。各車線に2～3台の車を9～20秒間隔でループさせることで交通流の作成を行った。これにより、大手前通りの街路景観に自動車の走行を加えた街路景観の作成に成功した。

VRMLのレンダリングは、リアルタイムCGアニメーションを採用しているので、専用ビューアを利用することで、景観内の回遊が自由にでき双方向の対話ができる。この特性を利用しやすくするために、街路景観内に4つの視点を設け、選択するだけでそれぞれの視点に自由に移動できるようにした。また、4つの視点からのCGアニメーション映像を作成することで、専用ビューアのないパソコンを使用している人、操作卓の操作に慣れていない人でも街路景観を楽しめるようにした。

従来の景観シミュレーションでは、制作者が作成したアニメーション映像を見るだけで、一方向的にしか情報が与えられないものが多かった。本研究では、VRMLによる街路景観を作成することで、景観内を自由に回遊でき、双方向の対話ができるようになった。また、自動車交通流の追加を行うことで、景観にリアリティーを付与することができた。

本研究成果の適用として、都市景観のデジタルアーカイブとして、時代の移り変わりと共に変化する都市景観、街路景観を保存することや、住民参加型まちづくり・地域学習等において、道路計画や交通運用管理計画の効果を視覚的に理解し、問題の発見や新しいアイデア・効率の良いまちづくりを提案すること等が考えられる。

今後の課題としては、時間軸上に動的に変化する交通シミュレーションの作成である。しかし、現街路景観モデルでは、数百台、数千台の車を交通状況に応じて自律的に走行させることは難しいと考える。この問題を解決

する方法として、VRML+JavaScriptおよびJavaを用いて作成する方法とVRMLの継続であるX3Dによる作成の2つが考えられる。

現街路景観モデルでは、建物のフルCG化により窓などの3次元形状データが膨大になり、プログラムが膨大な量になってしまった。現状で交通シミュレーションを行うとレンダリングを行う際、建物と交通流の計算量の多さでコンピュータに大きな負荷をかける可能性がある。そこで、VRMLはJavaScriptとJavaによる結合ができるので、これらを利用することで複雑な交通挙動の動きを作成することができる。この場合、JavaScriptやJavaを主体とした交通挙動のプログラム作成が必要であり、VRMLで作成した車両のプログラムは、必要に応じてJavaScriptやJavaから呼び出されることになる。つまり、VRMLとは別に外部からのプログラム制御による自動車挙動のアニメーションの実行を行うのである。X3Dは、VRMLの後継として、設計された3Dグラフィックスのファイル形式規格である。X3DはVRMLとプログラムの記述形式が異なり、XMLをベースとした記述を行うので、VRMLのような冗長な記述が解消されている。また、プログラミング言語をサポートすることで、複雑な動きも作成できることから、交通挙動のプログラミングを作成でき、交通シミュレーションの作成が可能となる。さらに、VRMLでは表現できなかった人物のアニメーション(Humanoid Animation)にも対応しているので、自動車挙動に人の歩行を加えることができ、現実の都市活動に近いシミュレーションを作成することができる。しかし、X3Dに完全に対応したプラグインが少なく、完全対応のプラグインが普及するには時間が掛かる。

このように、現街路景観モデルの課題は複数あり、これらの課題が改善されれば交通シミュレーションとして発展させることが可能である。景観内に自動車交通という都市活動を加えた都市動態の再現ができ、都市計画事業の評価や住民参加型まちづくりのツールとなりうるものと考えられる。

参考文献

- [1] Shade8.5ホームページ、e-frontier、2008年1月
(<http://shade.e-frontier.co.jp/85/index.html>)
- [2] World Wide Web Consortium (W3C) : VRML Virtual Reality Modeling Language
(<http://www.w3.org/MarkUp/VRML/>)
- [3] フリー百科事典Wikipedia 大手前通り (姫路市)、2008年1月. (<http://ja.wikipedia.org/>)

- [4] 地図・いつもガイド - ゼンリンの詳しい地図サイト、
2008年1月. (<http://www.its-mo.com/>)
- [5] Google マップ、2008年1月.
- [6] Tech-On! -- 技術者を応援する情報サイト、2008年
1月. (<http://techon.nikkeibp.co.jp/>)
- [7] Java.net ホームページ、The Source for Java
Technology、2008年1月.
(<https://java3d.dev.java.net/binary-builds.html>)
- [8] Eclipseホームページ、2008年1月
(<http://www.eclipse.org/>)
- [9] VRML97ホームページ
(<http://j3d-vrml97.dev.java.net/>)
- [10] X3Dホームページ、2008年1月
(<http://www.3ds.com/3dxml>)
- [11] 文教大学情報学部 広内研究室：電脳ワールドへよ
うこそ、2008年1月.
(<http://www.bunkyo.ac.jp/~hiro/>)
- [12] マイコミジャーナル、2008年1月.
(<http://journal.mycom.co.jp/>)
- [13] Cortona VRML Client ホームページ2008年1月.
(<http://www.parallelgraphics.com/products/cortona/>)
(平成20年9月11日受付)