

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：32408

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25350026

研究課題名(和文) ゲームエンジンを用いた都市空間シミュレーションシステムによる環境デザインの評価

研究課題名(英文) Evaluation of Environmental Design by Urban Space Simulation System using Game Engine

研究代表者

川合 康央 (Kawai, Yasuo)

文教大学・情報学部・准教授

研究者番号：80348200

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、ゲームエンジンを用いた都市空間シミュレーションシステムを開発し、これを評価するものである。建築物や都市施設などの3次元形状モデルを正確に配置し、ユーザーが自由に移動可能な一人称視点のウォークスルーを実装した。また、建築高、位置、外壁の色と素材、商業サインや電柱の割合等、景観条件が変更可能なものとした。さらに歩行者や車両などの動的な要素の再現や、オブジェクトに光源を持たせることによる夜間景観の再現を行った。開発したシステムはユーザーの注視行動によって評価され、その評価に基づいた改良を行った。結果、都市景観評価のためのツールとして、低廉で操作性の高いシステムを開発することが可能であった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop and evaluate an urban space simulation system that used game engine. The ability to examine an urban landscape from various viewpoints and with a realistic simulated landscape is important for accurate landscape evaluation. The three-dimensional building/facility models were positioned to reflect their locations in the real environment. The proposed system actualizes a walk-through of the environment using a freely moving first-person viewpoint. The height and starting point of the viewpoint are selectable; the system displays the view from the street as well as from the window of the building. To evaluate this system, a three-dimensional model was compared with photographic images. To conclude, intended as a tool for urban landscape evaluation, the proposed system was able to reproduce the urban landscape with some degree of success.

研究分野：デザイン学

キーワード：都市空間シミュレーション 景観シミュレーション ゲームエンジン コンピュータ支援設計 コンピュータグラフィックス 都市景観 景観計画 景観評価

1. 研究開始当初の背景

(1) 景観計画は、都市空間の調和と地域の特徴を表し、災害計画とともに都市計画において重要な要素である。景観法全面施行に伴い、各地方自治体の総合計画や都市計画マスタープランにおいて、様々な景観まちづくりが試みられており、地方公共団体は、良好な都市景観を形成することを目的として景観条例を定めている。都市空間において、景観となる環境は、建築物、都市施設などの人工物による空間構成要素群が複雑に混在して構成されている。都市景観は、これら種々の空間構成要素群をコントロールすることによって、良好な環境へと導くことが可能となる。景観とは、人間が主として視覚を中心として認知した環境情報に対して、感性的な評価を行ったものであるといえる。しかし、この景観に対して、感性的な評価をもとに美しい都市景観を計画していくことは難しい。景観についての関心が高まる一方で、市民や事業者にとって景観計画による都市空間の特徴や変化はイメージし難いものとなっている。本研究では、これまでコスト面や自由度の低さから導入が難しかった大規模3次元形状データによる都市空間シミュレーションシステムについての開発を行い、その評価を行うこととする。

(2) 近年の情報開発環境は、入出力インタフェース機器の高性能化と低廉化、システム開発環境におけるフリーオープンソースソフトウェア(FOSS)の普及等、ハードウェア、ソフトウェアともに様々な新しい展開を見せている。しかし、これらの新しい情報技術は、開発時には社会の幅広い分野に対しての利活用が期待されているにも関わらず、社会における実用的な展開は不十分なものとなっている。本研究では、ゲームエンジンを開発環境として用いることで、操作の自由度の高い実用的なシステムを開発するとともに、HMDなどのインタフェースについても検討する。

2. 研究の目的

本研究は、ゲームエンジンを用いた都市空間シミュレーションシステムを開発し、景観分析からこれを評価するものである。開発環境として、ゲームエンジンやコンピュータグラフィックスなどのFOSSを用いるとともに入出力インタフェースとして、HMDやモーションセンサ、立体音響システム等を複合的に組み合わせた都市空間シミュレーションシステムの開発を行う。さらに、本システムを用いた評価実験として、ユーザの空間構成要素への注視行動を分析することにより、都市景観の評価を行うものである。

3. 研究の方法

(1) 研究対象地区として、神奈川県藤沢市に位置する「湘南台景観形成地区」(図1)及び神奈川県茅ヶ崎市に所在する「茅ヶ崎駅北口周辺特別景観まちづくり地区」(図2)を研究対象地区とする。

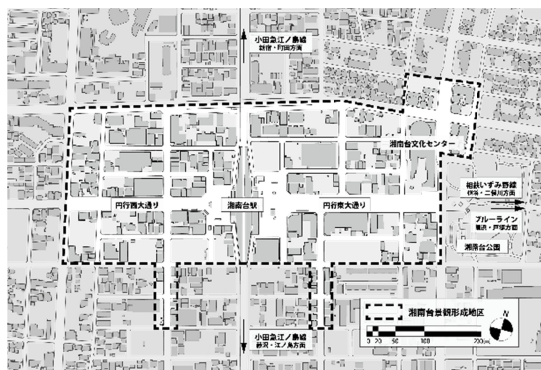


図1 湘南台景観形成地区

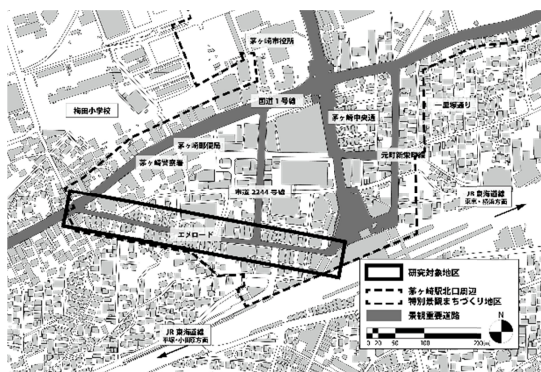


図2 茅ヶ崎駅北口周辺特別景観まちづくり地区

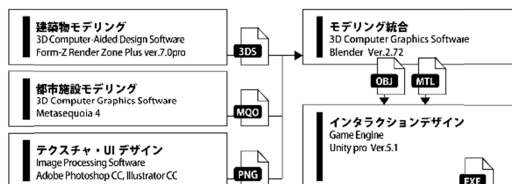


図3 システムの開発フロー

(2) システムの開発フローについて解説する(図3)。まず、湘南台景観形成地区において、研究対象地区の全ての建築物及び付随する都市施設等の空間構成要素について、写真撮影、簡易測量を行い、3次元モデリングのベースとなる平面図及び連続立面図を作図した。これを基に、CADD及びCG開発環境を用いて、3次元形状モデルの作成を行うこととする。建築物は、主として3DCADDを用い、自由曲面等を有する都市施設のモデルはポリゴン数をコントロールするため3DCG開発環境を使用するなど、対象となる空間構成要素の特性に応じて、ディテールを活かしたうえで可能な限りポリゴン数を抑えるよう配慮してモデリングを行った。これら3次元形状データを、統合3DCG開発環境上に取り込み、撮影した写真から画像処理を行って作成したテクスチャマップ、マテリアルマップと結合する。3DCG開発環境では、すべてのポリゴン数を等しく扱うため、都市規模のモデルの編集は不可能である。そこで、ここでは建物敷地単位ごとにモデルを用意することとした。その後、敷地ごとに用意した3次元形状モデルをゲームエンジンへと読み込んだ。ゲームエンジン上では、3次元形状モデルはプレファブ化され、取り扱いが容易な



図4 システムで再現されたウォークスルー



図5 システムによる建築物高さやセットバックの検討

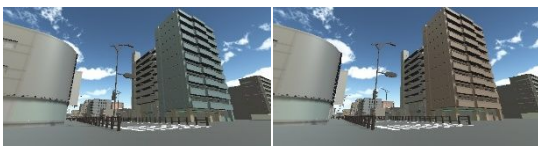


図6 システムによる建築物の外壁素材、色彩の検討



図7 システムによる昼夜間景観の表示

ものとなる。建物敷地ごとに3次元形状モデルを取り込み、これにGISデータをマッピングした平面モデルの上に配置していく。さらに、ゲームエンジン上でインタラクションを施すこととした。まず、再現した都市モデル内をユーザが自由に移動可能となるような、一人称視点で衝突判定のあるウォークスルーの作成を行うこととする(図4)。視点高さについてもインタラクションを設け、変更可能なものとする。これにより、路上からの景観だけでなく、建物中高層階室内からの眺望の再現も可能なものとした。従来の景観シミュレーションでみられるような、パブリックな路上景観からの検討だけではなく、各住戸からの眺望に及ぼす影響を考慮可能なものとなり、計画建築物を自由な視点から検討することが可能なものとなった。さらに、各種空間条件の変更可能なパラメータとして、建築物の高さやセットバック、外壁の素材および色彩の変更が可能なインタラクションを施した(図5, 6)。これらはリアルタイムで変更可能なものであり、計画建築物に対する景観計画の検討を行う際を想定して設計を行った。また、この操作は、タッチパネル型ディスプレイを用いた操作についても実装を行った。

(3) (2)で開発したシステムの評価を踏まえて、システムの改良を行った。対象地区として、茅ヶ崎駅北口周辺特別景観まちづくり地区

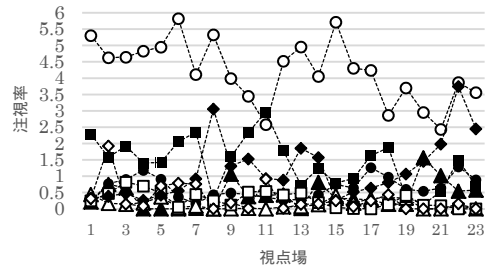
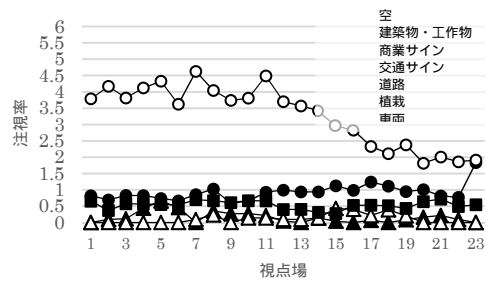


図8 空間構成要素への注視率

(上: システムレンダリング画像, 下: 写真画像)

を選定し、既存建築物及びこれに付随する工作物等の空間構成要素について、詳細な3次元形状モデルの作成を行うとともに、商業サインや店舗などの自律的に発光する空間構成要素に対して点光源を埋め込んだ。これらの点光源は平行光源とともに発光の切り替えができるものとする。これにより、昼間景観と夜間景観の再現を行うことが可能なものとした(図7)。また、実空間との比較を行った結果、景観に対して建築物だけでなく歩行者や車両などの動的な要素に対して、多くの注視を行っていることが分かった。そこで、ゲームエンジンを用いて自律的に行動するNPCの歩行者及び車両モデルを用意した。ゲームエンジン上では、視点となるカメラから見たとき、他のオブジェクトにより視線が遮られているオブジェクトについて予めレンダリングを行わないような処理を行った。

4. 研究成果

(1) システムレンダリング画像を写真画像と比較することによって、本システムの評価を行うこととした。対象地区として湘南台景観形成地区における円行西大通りを選定し、この通りを東に向かうシークエンス景観を評価の対象とした。本実験で用いる画像の解像度は、幅 1280pixel×高さ 720pixelであり、これらの画像群を100分割したものを準備した。分割された画像ごとにHTMLファイルを対応させ、計4600枚のWebページを作成し、これを用いたWeb評価システムを用意した。クリックによってどの画像が押下されたのかを、ページごとのアクセス解析によってログを取得することとする。被験者には、モニタに表示される画像上で気になる個所を何か所でもクリックするよう指示を与えた。

(2) 結果、視点場ごとの平均注視頻度は、写真画像がレンダリング画像を上回った(図8)。景観評価のために、実験で用いた表示画像を、「空」「建築物・工作物」「商業サイン」「交

通サイン」「道路」「植栽」「車両」「人物」の空間構成要素 8 種に分類した。それぞれの空間構成要素に対する注視率を測定し、比較した。ここでは、各画像に対してクリックされた注視数の総計を被験者数で除し、画像あたりのクリック率を注視率としたものを用いることとする。「空」「建築物・工作物」については、類似した傾向が見られた。一方で、「商業サイン」は、写真画像に比してシステム画像では低い注視率を示した。また、「交通サイン」については、シークエンス後半において類似する注視傾向を持っているが、前半部分についてはシステム画像において注視が見られない。これは、周辺環境を含んだ空間構成要素に対してモデルの再現が十分でないことが分かった。「道路」については写真画像の注視が高く、より情報量の高い表現が必要である。「植栽」「車両」「人物」についても、写真画像では多くの注視が見られた。「植栽」は複雑なエッジを持つ視覚情報量の多い要素であり、建物とともに都市景観のイメージにとって重要なものである。また、「車両」「人物」は、テンポラリーな動的な要素である。本来であれば、景観評価に際してノイズとなる要素であり、本システムではこれらの要素を除去可能であった。一方、今回の実験で用いた写真画像は静止画像であるため、その動きは再現されていないが、これらの動きそうな要素は、現実の環境では身体への影響が少なくない要素もあるため、注視が優先的に行われる空間構成要素であると考えられる。これらの要素についても、動きを含めて再現する必要があると考えられる。

(3) 次に茅ヶ崎駅北口周辺特別景観まちづくり地区を対象地区とした、改良したシステムにおいて、注視実験を行うこととする。ゲームエンジン上に配置した各モデルに対し、空間構成要素ごとに識別子を割り当てた。建築物を、建物外壁である「壁面」、窓などの「開口部」、店先の商品や自動販売機などの「仮設物」に分解し、これらを「建築物グループ」として識別子を設けた。また、交通標識などの「交通サイン」、常設された看板などの「商業サイン」、のぼり型やスタンド型などの「仮設サイン」を「サイングループ」として、さらに道路に沿った「街路樹」や植木やプランターなどの「植物」を「植栽グループ」として、「街灯」「電柱・電線」「車止め」「マンホール」を「都市施設グループ」として識別子を施し、モデルの作成を行った。本システムは、「景観モード」と「注視モード」の二つの機能を持たせた。「景観モード」では、既存都市の建築物に対し、マウスクリックによって、建築物モデルの入れ替えによる建て替えや、外壁テクスチャの変更による大規模修繕のシミュレーションを行うことができるものである。さらに、電線・電柱の地中化、看板の抑制など、都市空間における景観に関するプロパティの変更が可能とも

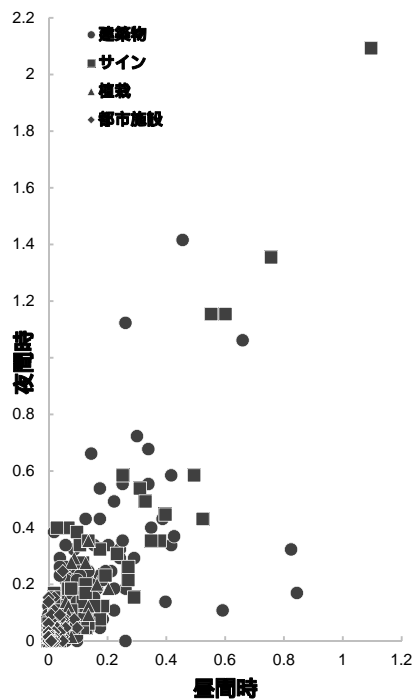


図9 西進するシークエンス上で昼夜間時に注視された空間構成要素の注視率

のとした。システムの実行は、HMD を用いても表示可能なものとする。高い没入感を持たせることが可能となった。一方「注視モード」では、マウスクリックによって、画面中央に表示されたマーカー上のオブジェクトを記録するものとした。これは、マウスクリックされた際、マーカーの直線上にあるポリゴンが所属するオブジェクトの識別子を獲得し、これをログとして保存するものである。この「注視モード」を用いて、昼間景観と夜間景観における注視傾向から、本システムで再現された都市空間における空間構成要素の性質を明らかにする。

(4) 注視モードを用いた評価実験として、被験者に気になる要素をいくつかでもクリックするよう指示を行い、その注視要素のログを分析する。本評価実験では、茅ヶ崎駅北口周辺特別景観まちづくり地区のうち、茅ヶ崎の駅北東に位置する商店街である、「エメロード」を対象とした。人は景観を連続継起的なシークエンス景観として認識するため、駅から出発して商店街を抜ける「西進するシークエンス」と、商店街を抜けて駅へ向かう「東進するシークエンス」の2ルートを用意する。このそれぞれのルートに対して、今回作成した昼間時景観と夜間時景観での注視される空間構成要素の比較実験を行った。西進するシークエンスにおける注視率を、昼間時を横軸に、夜間時を縦軸にして空間構成要素をプロットした散布図を作成した(図9)。注視率は、空間構成要素が注視された回数を被験者数で除したものであり、注視率が1の時、平均して被験者全員が注視したものである。各点と原点を結ぶ直線の傾きが1以下のものは昼間時の注視傾向が高いものであり、逆に傾きが1以上のものは夜間時の注視傾向が高い

ものとなる。全ての空間構成要素の平均注視率をみると、夜間時のほうが昼間時より高い注視傾向が見られた。また、空間構成要素の種類別にみると、特にサイン、植栽が夜間時に高い注視を持つものとなった。さらに、昼間時と夜間時の差分で見てみる。差分は昼間時注視率から夜間時注視率を減じたものであり、差分値が正の時、昼間時の注視率が夜間時より高く、昼間時に注視優位な傾向を持つ空間構成要素である。全体として、負の差分値を持つ空間構成要素が多いものとなっている。負の差分値を持つものは、自律的に発光する商業サインや、室内の明かりがもれる開口部、街灯に照らされた建築物など、点光源の影響を受けた空間構成要素が主であった。一方で、正の差分値を持つ空間構成要素は、特徴的な建築物の外壁や店先などであった。これらは夜間時には発光しない空間構成要素であるため、昼間時に図であったものが、夜間時には地となり、他の要素の背景となる。次に東進するシークエンスにおける注視率を見てみる。全ての空間構成要素の平均注視率をみると、西進するシークエンスと同様に、昼間時に比して夜間時に高い注視傾向が見られたが、その傾きはやや緩やかなものとなっている。また、夜間時に高い注視率を持つ空間構成要素も、西進するシークエンスに対して、その値はやや控えめなものであった。西進するシークエンスと東進するシークエンスでは、昼夜間時の注視率の変化などが異なる傾向を持つ空間構成要素が確認された。これら差分の大きい空間構成要素が、シークエンス空間における街並みのイメージに大きな影響をもたらすものであることが明らかとなった。

(5) 本研究は、ゲームエンジンを用いて都市景観シミュレーションシステムを開発し、システムの評価を行ったものである。本システムは、操作性も簡易であり、景観計画時に用いるツールとしてある程度有効であると思われる。開発環境にゲームエンジンを用いることで、個別の専用システムを開発することなく、安価で高品質なシミュレーションシステムを開発することが可能であることが明らかとなった。都市モデルと計画建築物の3次元形状モデルを用意すれば、今回作成したインタラクションは他の地域でも同様に使用可能なものとして開発を行った。また、これまでの景観計画において評価の中心であった公的空間である街路からの都市景観だけではなく、近隣建築物の住戸からの眺望等、私的空間からの環境条件の変化についても考察が可能である。今回開発したゲームエンジンを用いた都市空間シミュレーションシステムは、比較的安価で簡易に開発可能であり、地方行政団体をはじめ、様々な事業主体で手軽に使用できる。今後、景観計画とともに防災計画や公共事業計画等、様々な都市情報を組み合わせることで、汎用性の高い都市空間シミュレーションシステムが

開発可能であると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計5件)

川合康央、都市空間シミュレーションシステムの開発と評価、情報研究、査読無、vol.57、2017、pp.13-26

川合康央、ゲームエンジンによる都市景観シミュレーションシステム開発と景観分析 湘南台景観形成地区を対象として、2016年度日本建築学会関東支部優秀研究報告集、査読有、2017、pp.211-214
Yasuo Kawai、Development and evaluation of urban landscape simulation system using game engine、Proceedings of 11th International Symposium on Architectural Interchanges in Asia、査読有、2016、pp.1468-1473.

川合康央、高橋徹、都市空間シミュレーションシステムを用いた空間構成要素への注視行動による景観評価、情報処理学会インタラクション 2016 論文集、査読有、2016、pp448-453.

川合康央、池辺正典、景観イメージの共有を支援するための都市空間シミュレーションモデルの開発、情報処理学会インタラクション 2015 論文集、査読有、2015、pp.264-267.

[学会発表](計10件)

川合康央：ゲームエンジンによる都市景観シミュレーションシステム開発と景観分析 湘南台景観形成地区を対象として、日本建築学会関東支部、2017年2月28日、日本大学(東京都千代田区)

高橋徹、川合康央、池辺正典、門屋博、向坂文宏、池田岳史、益岡了、ゲームエンジンによる都市空間シミュレーションシステムの開発と評価(3) - 景観計画のための昼間時・夜間時景観の再現と建築の状態変更を可能にするインタラクション、日本デザイン学会、2016年7月3日、長野大学(長野県上田市)

川合康央、池辺正典、高橋徹、門屋博、益岡了、都市空間シミュレーションシステムによる空間構成要素の評価、ヒューマンインタフェース学会、2015年9月2日、公立はこだて未来大学(北海道函館市)

川合康央、池辺正典、池田岳史、益岡了、ゲームエンジンによる都市空間シミュレーションシステムの開発と評価(2) 茅ヶ崎駅北口周辺特別景観まちづくり地区を対象とする改良したシステム、日本デザイン学会、2015年6月13日、千葉大学(千葉県千葉市)

川合康央、池辺正典、ゲームエンジンを用いた景観シミュレータの試作 2、情報システム学会、2014年11月29日、静岡産業大学（静岡県藤枝市）

川合康央、池田岳史、益岡了、景観計画のためのゲームエンジンを活用した景観シミュレーションシステム(2) 茅ヶ崎駅北口周辺特別景観まちづくり地区について、日本建築学会、2014年9月12日、神戸大学（神戸市灘区）

川合康央、池辺正典、益岡了、ゲームエンジンを用いた景観シミュレーションシステムの開発(2)、ヒューマンインタフェース学会、2014年9月11日、京都工芸繊維大学（京都市左京区）

川合康央、池辺正典、ゲームエンジンを用いた景観シミュレーションシステムの開発、ヒューマンインタフェース学会、2013年9月13日、早稲田大学（東京都新宿区）

川合康央、佐野昌己、池田岳史、益岡了、景観計画のためのゲームエンジンを活用した景観シミュレーションシステム、日本建築学会、2013年9月1日、北海道大学（札幌市北区）

川合康央、池辺正典、池田岳史、益岡了、ゲームエンジンによる都市空間シミュレーションシステムの開発と評価 湘南台景観形成地区におけるコンピュータグラフィックスと写真の比較、日本デザイン学会、2013年6月22日、筑波大学（茨城県つくば市）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川合 康央 (KAWAI, Yasuo)
文教大学・情報学部・准教授
研究者番号：80348200

(2) 研究分担者

池辺 正典 (IKEBE, Masanori)
文教大学・情報学部・准教授
研究者番号：10453440

(4) 研究協力者

池田 岳史 (IKEDA, Takeshi)
益岡 了 (MASUOKA, Ryo)
高橋 徹 (TAKAHASHI, Tohru)