

江戸時代末期の宿場町を対象とした 歴史的街路景観シミュレーションシステムの開発と評価

川合康央^{†1} 大淵遥平^{†1} 土屋友梨夏^{†1} 二瓶翔子^{†1}

概要：この研究は、ゲームエンジンによって地域の歴史文化の継承をサポートするための街路景観シミュレーションシステムを開発し、その評価を行うものである。これまでの研究において、現在の都市景観シミュレーションシステムを開発し、景観評価における有効性を評価してきた。そこで得られた知見をもとに、本稿では江戸時代末期の宿場町における街路景観を再現するシミュレーションシステムを開発する。このシステムは、ゲームエンジンを用いることによって、様々なインタラクションを持ったシステムであり、対象地区である藤澤宿の街並みをわかりやすい形で再現することとなった。本システムの開発にあたり、浮世絵と古文書、古地図等を参照して、建物や都市施設をモデル化することとした。また、評価の結果、浮世絵と同程度の複雑さを持つシステムを開発することが可能であった。提案したシステムは、現在、藤沢市ふじさわ宿交流館で常設展示されており、市民に一般公開されている。

Development and Evaluation of a Historical Streetscape Simulation System for the Post Station Town in the Late Edo Period

YASUO KAWAI^{†1} YOUHEI OBUCHI^{†1}
YURIKA TSUCHIYA^{†1} SHOKO NIHEI^{†1}

Abstract: The purpose of this research is to develop a streetscape simulation system to support regional and historical culture powered by the game engine. We have developed a landscape simulation system for modern urban space with game engine and evaluated these effectiveness. Based on the knowledge obtained there, we will develop a system that reproduces the cityscape landscape for the lodging town in the late Edo period. Our simulation system is an interactive system by a game engine that gives the user a first-person perspective of the streetscape of Fujisawa-kyuku, a post station town situated on the former Tokaido road during the late Edo period. We modeled buildings and urban facilities, referred Ukiyo-e (woodblock print during the Edo period) and old documents stored in Fujisawa City's archive. The proposed system is currently on permanent exhibition at the Fujisawa-kyuku Intersection Hall, and accessible to the public.

1. はじめに

本研究は、江戸時代末期頃の宿場町を対象とした街路景観を、ゲームエンジンによって再現しインタラクションを付したものである。これは、宿場町を構成している空間構成要素を、浮世絵や古文書をもとに3次元形状モデルで詳細に再現し、古地図をもとにしてこれらのモデルを仮想空間上に配置し、一人称ウォークスルーをはじめとした様々なインタラクションを可能としたものである。

過去の街並み景観は、近代以降のものについては主として写真や映像を利用することが可能であり、これらのアーカイブをもとに理解することができる[1]。しかし、写真技術が一般的に普及する以前の時代である近世より古い時代については、浮世絵などの絵画や版画をもとに情報を再構成してイメージすることとなる[2,3]。本システムの開発の過程において、浮世絵などで再現された町並みは実際の視覚に基づいた記録とは異なり、絵師によって形状や素材、

数量などがデフォルメされたものも多く、現実とは異なる画面構成が行われていることがわかった。本研究では、主として浮世絵を参照しつつ、古文書から当時の建築物や都市施設などの形状、素材、数量などの情報を参照することによって、過去の景観を再現することとした。

先行研究において、3次元コンピュータグラフィックスや仮想現実技術を用いて、リアルタイムレンダリングによって過去の景観を再現しようとする試みが、これまでも試行されてきた[4-6]。しかし、ハードウェア描画性能の制約などにより、主としてこれらのシステムは単体の建造物を対象としたものであり、都市レベルのダイナミクスを再現するものではなかった。一方で、いくつかのプロジェクトでは、都市規模での再現を行った研究も見られる[7,8]。これらは、対象となる範囲が広いため、開発規模が大きくなり高いコストが必要となるため、対象地区として有名な場所が選択されることが多い。本研究では、開発環境としてゲームエンジンを用い、浮世絵など地域資料を参考にすることによって、地域住民とともに低コストで、江戸期の一般的な景観を都市レベルで再現するものである。

^{†1} 文教大学
Bunkyo University.

本システムの開発環境としてゲームエンジン Unreal Engine を採用した。これは、主としてエンタテインメント分野でのコンテンツ開発に用いられるソフトウェア開発キットであり、物理演算やレンダリング処理など、利用頻度が高い典型的な処理をライブラリなどでまとめ、オーサリングツールとして汎用化されたものである。近年、ゲームエンジンは導入コストが大幅に下がり、これを 3DCG 制作のためのフリー・オープンソースソフトウェアと組み合わせることによって、開発環境を低コストで構築することが可能となった。我々はこれまでに、ゲームエンジンを活用して景観条例に基づくまちづくりを支援するための都市景観シミュレーションシステムを開発してきた[9,10]。これらは安価に開発が可能なることによって、大規模な開発事業者だけではなく、地方自治体や地域住民が主体的に利用できるものとして開発を行ったものである。本稿ではこれらの知見をもとに、ゲームエンジンを用いて歴史的文化的景観を再現するシミュレーションシステムを開発し、その評価を行うものである。

2. 研究方法

これまで本研究では、旧東海道の宿場町である藤沢宿(神奈川県藤沢市)を対象とした(図 1)、街路景観シミュレーションシステムを開発し、藤沢市ふじさわ宿交流館などで、広く市民に向けて一般公開してきた[11,12]。本稿では、本システムの公開に伴うユーザからのフィードバックをもとに、システムの改良を行うとともに、浮世絵と比較することでシステムの評価を行う。

システムの改良点として、まず宿場町の範囲の拡張を行った。これまでに、対象地区である藤沢宿の中心部である大鋸橋周辺と町北部に位置する清浄光寺(遊行寺)までの範囲の旧東海道沿いの街路景観の再現を行った。今回の改良によって、再現する範囲を宿場町全体とし、交通結節点でもあった藤沢宿において、旧東海道に接続する江の島道、鎌倉道、八王子道へ続く街路を再現した(図 2A)。また、建築物の内部空間についても再現した。特に、当時大名が宿泊していた蒔田本陣については、別途資料を参照し、内部空間を詳細に再現した(図 2B)。

街路景観において、人物や車両などの動きのある要素は、注視を促す空間構成要素である[9]。また、浮世絵には、建築物や自然物以外に、人物が描かれていることが多い。そこで、本システムでは、建築物や都市設置物などの静的な空間構成要素とともに、人物や馬などの家畜など、動的な空間構成要素の再現も行った(図 2C)。これまでのシステムでは、人物モデルに一定の動きをループするアニメーションを持たせた動的要素として再現していたが、今回のシステムにおいては、ユーザと簡単な会話が可能なものとした。会話内容としては、人物モデルから最も近いシンボルとなる空間構成要素についての説明を行うものである。本

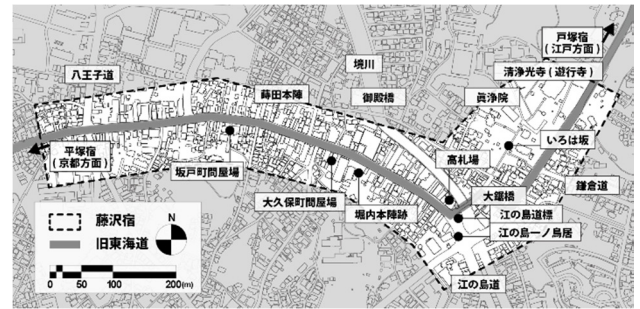
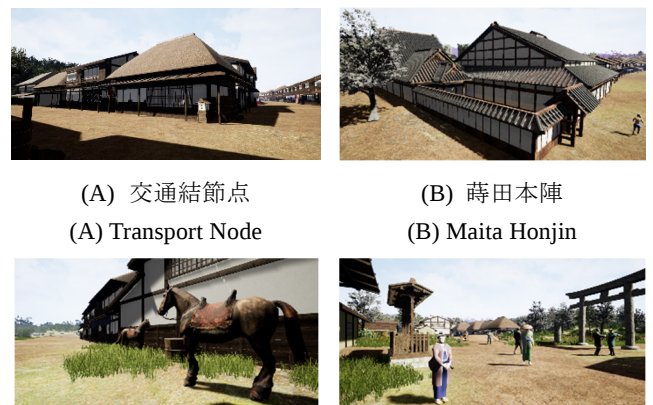


図 1 研究対象地区(旧東海道藤沢宿)

Figure 1 Research Target Area
(Fujisawa post-station town on the old Tokaido)



(A) 交通結節点
(A) Transport Node

(B) 蒔田本陣
(B) Maeda Honjin

(C) 動的空間構成要素
(C) Dynamic Spatial Element

(D) 人物モデル
(D) Person Model

図 2 システム画像(旧東海道藤沢宿)

Figure 2 System Image
(Fujisawa post-station town on the old Tokaido)

システムの展示環境は、他の宿場町に関する様々な資料とともに展示されるものであるため、会話内容は簡易なものに止め、他の資料の情報と複合的に組み合わせることを考慮したものとした。また、来街者と住民のモデルについても、資料やユーザからのフィードバックを参考にして、モデルの衣装や髪形などの精緻化を行うとともに、歩行モーションについても、和服を着用した人物の動きを再度検証し、歩行アニメーションを再度作成した(図 2D)。

本システムの入力インターフェースとしては、ゲームパッドを採用した。ゲームパッドは Xbox 360 Controller for Windows を用いることとし、左側アナログパッドで視点移動、右側アナログパッドで視線回転、A ボタンでジャンプ、B ボタンで各種アクションを行うこととした。アクションは、乗馬、賽銭、会話などを集約したものであり、他のオブジェクトとの相対的な距離で切り分けるものとする。使用しない入力インターフェースはハードウェアから取り外したものを使用した。ゲームパッドによる操作方法は、一般的なユーザにも馴染みのあるものであるため、展示に際して特段の操作説明などを行う必要はなかった。また、出力



図3 システム画像（左）と浮世絵（歌川広重, 東海道五拾三次之内 藤沢（保永堂版））（右）

Figure 3 Comparison of System Image (Left) from the Same Viewpoint as Ukiyo-e (Utagawa Hiroshige: “Fujisawa,” from the series “Fifty-three Stations of the Tokaido” (Hoeido edition)) (Right).



図4 システム画像（左）と浮世絵（歌川広重, 東海道五拾三次 藤沢（狂歌入東海道））（右）

Figure 4 Comparison of System Image (Left) from the Same Viewpoint as Ukiyo-e (Utagawa Hiroshige: “Fujisawa,” from the series “Fifty-three Stations of the Tokaido” (Travel along the Tokaido with Kyouka Poems)) (Right).



図5 システム画像（左）と浮世絵（歌川広重, 東海道七十三次 藤沢（隸書東海道））（右）

Figure 5 Comparison of System Image (Left) from the Same Viewpoint as Ukiyo-e (Utagawa Hiroshige: “Fujisawa,” from the series “Fifty-three Stations of the Tokaido” (Reisho script version)) (Right).

インタフェースとして、大型ディスプレイとともに、頭部搭載型ディスプレイ（HMD）の利用が可能なものとした。本研究ではこれまで HMD として、Oculus を使用した開発を行ってきたが、本稿では、HMD として HTC Vive を採用した。赤外線の照射を一定パターンで行うベースステーションによって、ユーザはルームスケールでの移動、回頭行動が可能となった。一方、HMD 付属の Vive コントローラは、独特の形状をしているため、入力については前述の一般的なゲームパッドと組み合わせて利用することとした。

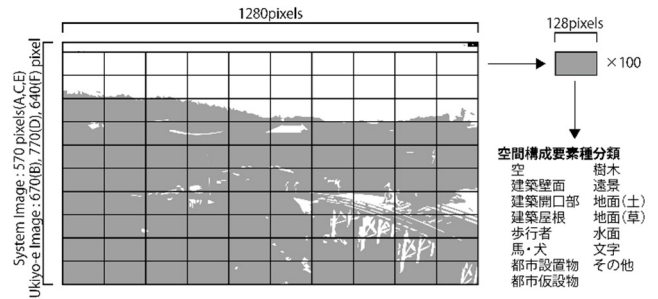


図6 評価に用いた Web 画像と空間構成要素の分類

Figure 6 Web Image for Evaluation Test and Classification of Spatial Elements

3. 評価方法

本システムで再現された街路景観について、ユーザがどのような空間構成要素に注視しているのかを特定するとともに、これらを浮世絵と比較することとした。比較対象とした浮世絵は、「東海道五拾三次之内、藤沢（保永堂版）」（図3）、「東海道五拾三次、藤沢（狂歌入東海道）」（図4）、「東海道七、五十三次、藤沢（隸書東海道）」（図5）とした。これらの浮世絵は、いずれも歌川広重によって描かれた藤沢宿の浮世絵である。システム上で、これらの浮世絵の視点に近い位置にカメラを用意し、システム画像を取得した。但し、システム画像は透視投影であるが、浮世絵画像は平行投影であるため、必ずしも画像内の構成要素の比率が一致するものではない。

システム画像と浮世絵を比較するための Web システムを作成した。これは、ブラウザ上に対象となる画像を 100 等分した画像データを 10×10 に配列して表示し、各画像をクリックした際に呼び出される表示されないリンク先のアクセス履歴をカウントすることにより、クリック数を集計するものである。100 分割された画像は、各画像内の空間構成要素を pixel 単位で比率を出すこととし、各分割画像への注視はこの比率に応じた空間構成要素に対するものとした。空間構成要素は、空、建築壁面、建築開口部、建築屋根、歩行者、馬・犬、都市設置物、都市仮設物、樹木、遠景、地面（土）、地面（草）、水面、文字、その他の 15 種類に分類した。実験に用いたシステム画像は、システムのアスペクト比を採用し、1020×570pixel のものを用いることとした。一方浮世絵は、作品により縦横比が異なるため、横幅を 1020pixel に固定し、これに応じた縦幅を持つ画像を用意した（図6）。

被験者には、ブラウザ上で 6 枚の画像をランダムに表示し、それぞれのページ内で気になる個所をいくつかでもクリックするよう指示した。本手法は、視線追跡装置などによる評価手法に比して、簡易ではあるが安価に多くのデータを取得することが可能である。本実験の被験者は 109 名で、10 代後半から 20 代前半の情報系大学学部生である。

4. 結果と考察

評価実験の結果、画像一枚当たり平均約 6.10 回の注視を得た。システム画像は平均約 6.14 回、浮世絵画像は平均約 6.07 回であり、両者に大きな注視数の違いは見られなかった (表 1)。

表 1 画像別平均注視数

保栄堂版 東海道 システム	保栄堂版 東海道 浮世絵	狂歌入 東海道 システム	狂歌入 東海道 浮世絵	隸書 東海道 システム	隸書 東海道 浮世絵
6.53211	5.99083	5.96330	6.01835	5.91743	6.19266

次に、空間構成要素種別の平均注視数 (図 5) と画面占有率 (図 6) から、システム画像と浮世絵が表すイメージの違いについて見ていく。

保栄堂版 (図 3) では、建築屋根がシステム画像に比して浮世絵画像の注視数が高いものとなっているが、画面占有率に大きな差は見られない。この浮世絵の建築物は屋根が高くデフォルメされており、実際の建物とは異なった形状になっていると考えられる。また、浮世絵には遠景の遊行寺についても描かれているが、この位置からは直接遊行寺は見ることができない。このように浮世絵は、絵としてのイメージを重視した画面構成となっており、実際の当時の景観とは異なるものであったと考えられる。また、地面の草や土のテクスチャについては、システム画像のほうが浮世絵画像より注視数が多いものとなっている。画面占有率においてもシステム画像では浮世絵に比して地面 (土) が少なく、地面 (草) が高い。これは、システム画像で写實的に再現した地面が、浮世絵ではテクスチャが省略されているためである。

狂歌入東海道 (図 4) では、空に対する注視が、浮世絵で高くなっている。この浮世絵シリーズは、狂歌が一首ずつ織り込まれているため、この狂歌が文字として注視されており、さらに遠景として丹沢山地の大山が描かれており、空に対する注視が高いものとなっていると考えられる。一方、システム画像では、保栄堂版と同じく地面への注視が高くなっているとともに、視点がいたため水面とその映り込みについても注視を得ている。

隸書東海道 (図 5) は、夜間時の藤沢宿の中心であった大鋸橋の様子を表す浮世絵である。システム画像は歩行者、都市仮設物の注視が多い。歩行者については、浮世絵を参考にしてシステム画像内に同じ人数を配置し、また、画面占有率にも大きな差は見られない。浮世絵は平行投影法で描かれており、画面からの距離による歩行者の描かれている大きさの差が小さいのに対して、システム画像では、透視投影法であるため、画面手前の歩行者が大きく描画されており、特に手前に位置する歩行者に注視が集中したものと思われる。また、都市仮設物についてはシステム画像の物理量も高く、これは店舗前の仮設サインである日除け暖

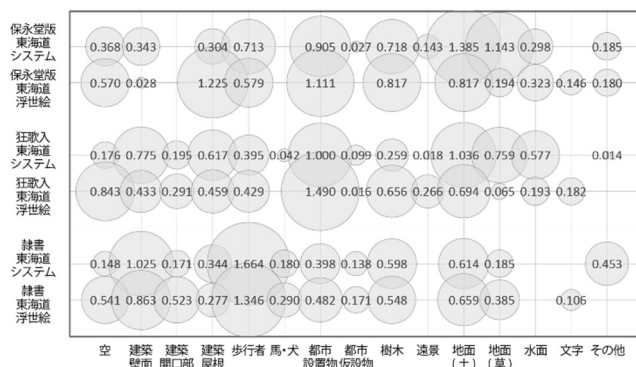


図 5 空間構成要素種別平均注視数

Figure 5 Average Gaze Count by Spatial Element Type

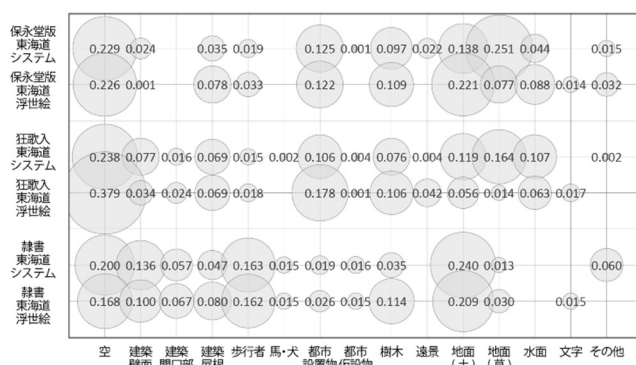


図 6 空間構成要素種別画面占有比率

Figure 6 Screen Occupancy Ratio by spatial Element Type

簾が注視を促している。逆にシステム画像で注視が低くなった要素としては、空、建築開口部が挙げられる。空は、システム画像においては単純なグラデーションとなっているのに対して、浮世絵では文字が入っている個所や紙のテクスチャが透けて見えるなどの要素が、注視を促したのではないかと考えられる。また、建築開口部については、システム画像では、内部空間が暗くなっていることに比して、浮世絵画像では、明るい色で描かれていることが要因であると推察される。

5. まとめ

本研究では、地域の身近な歴史的文化的継承に資するため、過去の一般的な街並みをゲームエンジンによって再現することを目的とし、浮世絵や古文書、古地図を用いて、旧東海道の宿場町である藤沢宿を対象とした街路景観シミュレーションシステムの開発を行った。また、再現した街路景観を評価するため、浮世絵画像と比較実験を行うこととした。評価のための Web システムを構築し、100 分割した画像から注視行動を測定し、注視を促す空間構成要素についての検討を行った。結果、浮世絵と同程度の複雑度を持つ景観の再現を構成することが可能であった。一方で本評価は、静止画像での比較のため、ゲームエンジンを用いることで再現可能となった動的な空間構成要素に対する評価が

行われなかった。

Computing, 2017, p. 456-459.

今後の課題として、ゲームエンジンを用いることで可能となる特有の表現として、昼夜などの時間帯、春夏秋冬などの季節の再現、晴天、曇天、雨天などの天候についても変更可能なものとするのが可能であると考えられる。また、エッジ検出などを用いた浮世絵風のレンダリングについても検討する。本システムは、藤沢市ふじさわ宿交流館や地域のイベント等において、市民に向けて一般公開されている。そこで得られたフィードバックをもとに、引き続き建築や都市設置物等のモデル形状等について検討を加え、より正確なものへと更新していくとともに、今回実装した会話による案内等、今後もユーザが要望する機能を追加していく。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP16K00718 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 佐野昌己, 川合康央. 茅葺き古民家デジタルアーカイブ構築に関する取り組み(その 3). 学術講演梗概集, 2015, p. 169-170.
- [2] 坂井猛, 萩島哲, 出口敦, 鶴心治, 日高圭一郎. 浮世絵風景画に描かれた宿場の景観構成に関する考察. 日本建築学会計画系論文集, 1998, vol.63, no.509, p. 149-156.
- [3] 原行宏, 久野紀光, 齋藤潮. 江戸後期から明治初期での「夜景らしさ」の変化に関する研究-浮世絵風景画での夜景表現の分析からの考察. 日本都市計画学会都市計画論文集, 2004, vol.39, no.3, p. 109-114.
- [4] Fukuda, T., Ban, H., Yagi, K. and Nishiie, J.. Development of High-Definition Virtual Reality for Historical Architectural and Urban Digital Reconstruction: A Case Study of Azuchi Castle and Old Castle Town in 1581. International Conference on Computer-Aided Architectural Design Futures. 2015, p. 75-89.
- [5] 和根崎剛. 上田城 CG 復元と城郭体験アプリへの活用: VR 上田城の成果と課題. デザイン学研究特集号: 日本デザイン学会誌, 2017, vol.24, no.3, p. 4-10.
- [6] Sheng, W., Nakata, S., Tanaka, S., Tanaka, H. H. and Tsukamoto, A.. Modeling High-Quality and Game-Like Virtual Space of a Court Noble House by Using 3D Game Engine. International Conference on Culture and Computing. 2013, p. 212-213.
- [7] Dylla, K., Frischer, B., Müller, P., Ulmer, A. and Haegler, S.. Rome reborn 2.0: A case study of virtual city reconstruction using procedural modeling techniques. Computer Graphics World, 2008, vol.16, no.6, p. 62-66.
- [8] Jacobson, J. and Holden, L.. The virtual egyptian temple. World Conference on Educational Media and Technology, 2005, p. 4531-4536.
- [9] 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ナル 2016 論文集, 2016, p. 448-453.
- [10] Kawai, Y.. Development and evaluation of urban landscape simulation system using game engine. Proceedings of 11th International Symposium on Architectural Interchanges in Asia, 2016, vol.11, p. 1468-1473.
- [11] 川合康央, 土手光貴, 富樫尚繁, 鈴木隆太, 寺島雄大, 沼田和真, 藤井謙, 西野良祐. 江戸時代末期の旧東海道藤澤宿を対象とした街路景観シミュレーションシステムの開発. 情報処理学会インタラクショナル 2017 論文集, 2017, p. 726-731.
- [12] Kawai, Y.. Creating a Regional and Historical Streetscape Simulation System. International Conference on Entertainment