

大規模地理情報と空間再現ディスプレイを用いた シューティングゲーム開発

川合康央^{†1}

概要：本研究は、大規模 3D 都市モデルと空間再現ディスプレイを統合したシューティングゲームシステムを開発したものである。Unity と Cesium for Unity を用い、実在する都市空間をクラウドストリーミングでゲームステージとして活用した。空間再現ディスプレイにより、敵との距離や建築物や地形の位置関係を直感的に把握できる没入感の高いゲーム体験を実現した。軽量化及び最適化処理により、60FPS 前後の安定動作を達成し、実都市の複雑な空間構造がゲームの戦術的要素として機能することを確認した。本システムは、教育、防災、観光など、エンタテインメントを起点とした空間理解を促進する技術基盤としての応用可能性を示した。

1. はじめに

近年、3D 都市モデルやオープンな地理空間情報の整備が世界的に進展し、実都市を対象とした高精度な 3 次元空間の利活用が急速に拡大している。我が国においても、国土交通省による PLATEAU などの大規模 3D 都市モデルの公開により、都市構造、建築物、地形、インフラ情報を統合的に扱うことが可能となった。これにより、都市計画、防災、交通、観光、教育といった多様な分野において、従来の 2 次元地図では困難であった空間理解や高度なシミュレーションが実現されつつある。

また、ゲームエンジンは元来エンタテインメントを目的として開発されてきたが、近年ではリアルタイム 3D レンダリング、物理シミュレーション、高度なユーザインタフェースを備えた汎用的な可視化基盤として、都市の防災、可視化、デジタルツインなどの分野にも広く応用されている。特に Unity と Cesium for Unity の統合により、クラウド上の大規模 3D 地理データをリアルタイムにストリーミングしながら、軽量かつ高精細な都市モデルの可視化が可能となっている。さらに近年、裸眼立体視により奥行き知覚を自然に提示できる空間再現ディスプレイが実用段階に入り、従来の平面ディスプレイとは異なる高い存在感と空間認知特性を備えた表示環境が実現されている。これらの技術は、従来の可視化・シミュレーションだけでなく、インタラクティブなゲーム体験とも高い親和性を有している。

しかしながら、大規模実都市スケールの地理情報と空間再現ディスプレイを統合し、エンタテインメント性の高いコンテンツとして成立させた事例は少ない。特に、ゲームとしての操作性、没入感、描画負荷、リアルタイム性といった要件と、都市スケールの地理情報が持つ膨大なデータ量と空間スケールとの両立は、技術的・設計的にいくつかの課題を含んでいる。

従来のシューティングゲームは、仮想的に設計されたス

テージや限定的なマップを舞台とするものが主流であり、実在する都市空間をそのままゲームフィールドとして利用する試みは限定的であった。一方、大規模地理情報をゲーム空間に導入することで、現実の街並み、地形、建築スケールに基づいた高い空間リアリティを持つ新しいゲーム体験が可能となる。また、実都市を舞台としたゲームは、単なる娯楽にとどまらず、地理学習、歴史学習、防災対策、都市計画、観光開発など、社会的意義を持つ様々な応用へと展開できる可能性を持っている。特にシューティングゲームは、視線誘導、距離把握、即時判断といった空間認知能力を強く要求するジャンルであり、3 次元都市空間との親和性が高い。さらに、空間再現ディスプレイを用いることで、平面ディスプレイでは得られなかった奥行き知覚に基づく直感的な空間把握が可能となり、自然な距離感と立体感を伴った操作体験を実現できる点に意義がある。

本研究の目的は、大規模地理情報と空間再現ディスプレイを統合したシューティングゲームシステムを構築し、その技術的妥当性とゲームとしての成立性を検証することである。そのために以下の課題に取り組むこととした。第一に、クラウドストリーミング型 3D 都市モデルをゲームエンジン上でリアルタイムに扱い、実都市スケールのシューティングゲームを実現すること。第二に、空間再現ディスプレイに適したカメラ制御およびプレイヤー操作系を設計し、奥行き知覚を活かした立体的ゲーム体験を構築すること。そして第三に描画負荷、フレームレート、ロード時間などの性能評価を通して、本システムのリアルタイム性と実用性を検証することとした。

2. 関連研究

近年、3D Tiles や CityGML などの大規模 3D 地理情報をゲームエンジンや VR 環境に統合し、可視化やシミュレーションに利用する研究が活発化している。Mitter らは、VR 空間内で都市スケールの 3 次元地理情報を探索するシステ

^{†1} 文教大学

ムを構築し、Web ベースの 3D 地理データを VR ヘッドマウントディスプレイから直感的に操作できる枠組みを示している[1]。Yang らは、Cesium ベースの 3D Web GIS プラットフォーム上で洪水などの緊急時の情報を可視化するシステムを構築し、Web ブラウザで動作するインタラクティブな 3D 可視化が災害対応に有効であることを報告している[2]。著者らによる研究では、Unity と Cesium を用いて PLATEAU や Google Photorealistic 3D Tiles, OpenStreetMap などのオープンデータを統合し、広域の洪水被害を可視化する 3D 都市モデル・災害可視化システムが提案されている[3]。また、同じく Unity を用いて 3D 都市モデルに犯罪統計データを重ね合わせる防犯地図システムが開発されており、大規模 3D 都市モデルをゲームエンジン内で扱うための実装知見が蓄積されつつある[4]。これらの研究は、大規模 3D 地理情報とゲームエンジンとの統合技術を確立しつつあるが、主な用途は災害可視化や都市情報の把握であり、都市スケールの 3D 地理情報を用いたシューティングゲームとしてのインタラクティブ体験の設計やゲームメカニクスの検討は限定的である。本研究は、この技術基盤を応用し、大規模 3D 地理情報をそのままステージとするシューティングゲームのプロトタイプを構築する。

3D 都市モデルを用いた洪水・津波などの災害可視化に関する研究も多い。Zhi らは、3D 建物モデルと洪水シミュレーションを組み合わせて、PP-PSO アルゴリズムによる多次元評価と 3D 可視化を統合した都市洪水リスク評価手法を提案し、建物高さや浸水深を考慮したリスク分布を直感的に把握できることを示している [5]。さらに、都市洪水リスク評価に関する総説研究では、3D 可視化やデジタルツイン技術を用いたリスクコミュニケーションの有効性が指摘されている[6]。

浸水に関しては、Fukui らがサブグリッドスケールである個別抗力モデル (iDFM) を適用し、建物が浸水流に与える影響をシミュレートしている[7]。また、洪水シミュレーションと 3D 可視化の統合により、流域全体の水位変化や浸水範囲を直感的に把握するための 3D ビジュアライゼーションプラットフォームも提案されている[8]。著者らは、PLATEAU や Google Photorealistic 3D Tiles を用いた 3D 都市モデル上に、洪水氾濫データや避難所情報を重ね合わせる災害可視化システムを開発し、3D 地形・建物情報を用いた避難経路の検討が 2D ハザードマップよりも直感的であることを示した[9]。また、3D 都市モデル上に大規模避難エージェントを配置し、被災場所の予測と、避難所の配置や避難経路の整備などを検討してきた[10]。

しかし、これらの研究は都市リスク情報の可視化が主目的であり、ユーザがゲーム的なインタラクションを通じて能動的に空間を探索し、行動戦略や視線誘導を学習するという観点は十分に検討されていない。本研究は、3D 都市モデル上での都市情報可視化に加え、シューティングゲーム

というインタラクティブなフレームを導入することで、プレイヤーの行動や視点移動を通じた新たな学習体験の可能性を検討するものである。

近年、裸眼立体ディスプレイやライトフィールドディスプレイなど、眼鏡無しで奥行きを提示できるディスプレイ技術が進展している。Kara と Simon は、ライトフィールドディスプレイにおける 3D インタラクション研究を体系的にレビューし、インタラクションの種類や時間感度、同時ユーザ数、同時入力、入力精度などの特性が、VR/AR とは異なるインタラクション設計上の制約と可能性をもたらすことを指摘している[11]。この研究は、ライトフィールドディスプレイの光学構造や 3D インタラクションに関する設計課題を整理しているが、大規模 3D 都市モデルのような都市スケールデータを対象とした事例は少なく、また、立体ディスプレイ上でのゲームプレイにおける奥行き知覚や空間把握への影響についての知見も少ない。本研究では、空間再現ディスプレイ上で大規模 3D 都市モデルを表示し、シューティングゲームとして操作できるプロトタイプを構築することで、多視点表示環境における都市スケールのゲーム設計の指針を得ることを目指す。

アクションゲームやシューティングゲームが視覚的注意や空間認知に与える影響については、多数の実証研究が存在する。Green と Bavelier は、アクションビデオゲームプレイヤーは非プレイヤーと比較して視覚的注意資源の分配やマルチターゲット追跡の成績が高いことを示し、アクションゲーム訓練が視覚選択注意の可塑性を引き出す可能性を報告した[12]。また、Bediou らの研究では、アクションゲームのプレイがトップダウン注意と空間認知の領域を強力に強化することも報告されている[13]。こうした知見は、シューティングゲームを単なる娯楽としてではなく、注意配分や空間認知を高めるためのインタラクティブメディアとして位置づけることの理論的基盤となる。

一方で、多くの研究が抽象化された 2D あるいは簡略な 3D 環境を用いており、現実の都市空間に近い複雑な 3D 都市モデル上でのシューティングゲームが、空間理解やリスク認知にどのような影響を与えるかについては十分に検討されていない。本研究で対象とする大規模地理情報と空間再現ディスプレイを用いたシューティングゲームは、現実都市に極めて近い空間構造を持つ 3D 環境上でのプレイを通じて、プレイヤーの都市空間把握を分析するための足掛かりとなる。

ゲーム開発における生成 AI 活用も近年急速に拡大している。AI 駆動型ゲームデザインとユーザエクスペリエンスに関する体系的なレビューでは、2020 年以降の研究動向として、コンテンツ自動生成、動的難易度調整、感情推定に基づく適応的なゲームプレイなど、多様な形で AI がゲーム設計に統合されつつあることを指摘している[14]。また著者は、技術的制約を踏まえつつ、Stable Diffusion などの

生成 AI をゲーム開発パイプラインに組み込む手法を検討し、キャラクターモデルなどのアセット生成と、スクリプト生成を組み合わせるワークフローを報告した[15]。この研究では、生成 AI による効率化と同時に、人間のゲームデザイナーが最終的な調整や品質管理を行う協調的製作の枠組みを提案している。

これらの既往研究を統合し、本研究では、都市スケールの 3D 地理情報を空間再現ディスプレイ上に提示し、シューティングゲームとしてインタラクティブに操作するという枠組みを検討する。

3. システム開発

3.1 システムの概要

本研究のシステムは、ゲームエンジン Unity を開発基盤として構築した。また、大規模地理情報の表示には、Cesium for Unity を用いた。Cesium によって、3D Tiles 形式の都市モデルをクラウドからリアルタイムにストリーミングし、広域かつ高精細な都市空間を軽量に扱うことが可能となる。また、都市モデルとして、Google Photorealistic 3D Tiles や PLATEAU, OpenStreetMap などの 3DTiles が読み込み可能なものとし、実在する 3次元地理データに基づく建築物・地形データをゲームフィールドとして利用した。また、災害情報などの付加的な空間属性データの読み込みには、GeoJSON 形式を用いた。これにより、洪水・津波浸水域や避難所、危険箇所などの情報を 3D 都市モデル上に重畳表示することが可能となる。表示装置には、裸眼立体視によって奥行き知覚を提示できる空間再現ディスプレイ Sony ELF-SR2 を用いた。本ディスプレイは、視線認識センサーがユーザの目の位置を常に追跡し、その角度に合わせた映像をリアルタイムで提示することで、視点の移動に応じた自然な立体知覚を可能とする。操作インターフェースには、キーボードおよびゲームパッドを併用し、視点移動、移動操作、射撃操作を直感的に行える構成とした。

本研究で構築したシステムは、大きく分けて、データレイヤ、ゲームレイヤ、インターフェースレイヤの三層から構成される。データレイヤでは、3D 都市モデル、地形データ、および付加的な地理情報を管理する。3D 都市モデルには、クラウド上に配置された 3D Tiles 形式のデータを用い、必要な範囲のみをストリーミングによって取得する構成とし、軽量で高品質なモデルの表示を可能とした。また、災害リスク情報として、洪水・津波浸水域モデルを、GeoJSON 形式のファイルとして管理し、Unity 起動時に読み込むこととした。ゲームレイヤでは、プレイヤーキャラクター、敵キャラクター、弾、衝突判定、ダメージ処理、エフェクト制御など、シューティングゲームとしての中核機能を実装した。敵キャラクターは都市構造に基づいたスポーン位置から出現し、プレイヤーとの距離や方向に応じた行動制御を行う。また、敵は一定回数の攻撃を受けることで破壊さ

れる仕様とし、ヒット時には視覚的フィードバックとして白色フラッシュのエフェクトを付与した。インターフェースレイヤでは、3D 都市モデルの描画、立体視レンダリング制御、カメラ制御、HUD、および入力処理を担当する。

本システムでは、3D 都市モデルをローカルに保持せず、Cesium for Unity を用いてクラウド上の 3D Tiles サーバにアクセスする構成とした。これにより、Unity アプリケーション起動後は、カメラ位置および表示範囲に応じて必要なタイルのみが順次ストリーミングされる。ストリーミングされた都市モデルは Unity のレンダリングパイプラインへと渡され、シェーダ処理を経て立体視用の多視点画像として描画処理される。ゲームロジック側では、毎フレームの更新処理において、プレイヤー入力、キャラクター移動、弾丸生成、衝突判定、ダメージ処理が実行され、結果が再び描画処理へとフィードバックされる。この一連の処理を 60 FPS 前後で安定して維持できるよう、描画負荷制御および最適化手法を適用した。

本システムの構成とデータフローを図 1 に示す。



図 1 システムの構成とデータフロー

3.2 ゲームメカニクス

本システムは、実都市を 1/1000 スケールで再現した 3D 都市モデルをステージとして用い、プレイヤーが立体視環境下で敵キャラクターと交戦するものである。単なる可視化ではなく、ゲームとして成立する操作性、没入感、視認性を確保することを重視するとともに、プレイヤーが地理情報を立体的に理解できるよう設計を行った。従来の多くのシューティングゲームは、架空のフィールドや簡略化された地形を用いるのに対し、本研究では、実都市の建築、地形起伏をそのままステージとして用いる点が特徴である。これにより、現実の都市空間とゲーム空間の対応関係が直

感的に理解できると同時に、実都市のスケール感や構造を体感的に認識できる設計となっている。

本システムにおけるカメラは、三人称視点を基本とし、プレイヤーの移動方向および視線方向に同期して追従する方式を採用した。また、空間再現ディスプレイを用いることから、急激な回転やカメラのブレは立体視の不安定化や視覚的不快感を引き起こす。このため、本システムでは、カメラの回転や移動範囲に対して制限を施し、視点移動を平滑化している。

プレイヤーの操作には、キーボードおよびゲームパッドに対応した入力方式を採用した。移動操作は前後左右の平面移動に加え、高度方向の移動も可能な6自由度移動とした。射撃操作は、ボタン入力により弾丸が発射される方式とした。仮想立体環境下において、プレイヤーと敵キャラクターの横軸と縦軸を厳密に合わせる操作は難しいため、弾は一定角度以内で方向補正を行うこととした。これにより、初心者でも直感的に距離感を伴った操作が可能となる。

敵キャラクターは、都市構造に基づく空間条件を考慮して配置される。これにより、単調な正面衝突型の戦闘ではなく、遮蔽物の裏からの出現や、上下方向の高低差を利用した戦闘が発生する構成となっている。敵キャラクターの基本挙動は、プレイヤーとの距離および方向に基づいて制御される。一定距離範囲内では追尾行動を行い、距離が離れたら待機または巡回行動に遷移する単純な状態遷移型AIを採用した。この構成により、都市空間内でのプレイヤーの位置取りや誘導が自然に発生する設計となっている。

敵キャラクターは、プレイヤーの弾丸との衝突判定によりダメージを受ける。本システムでは、敵は一定回数の被弾によって破壊される設定とした。敵キャラクター被弾時には、プレイヤーに対して命中を明確に認識させるため、敵キャラクターのマテリアル色を一瞬白色に変化させるフラッシュエフェクトを付与している。この視覚的フィードバックにより、立体視環境下でもヒットが直感的に把握できる。三回目の被弾時には、消滅エフェクトとともに敵が破壊されるエフェクト演出を行い、ゲームとしての達成感を強調している。

本システムでは、プレイヤーが立体視環境下で無理なく都市空間を把握しながらプレイできるよう、ゲームテンポを比較的緩やかに設定している。敵の移動速度や発生頻度は、視認性と回避性を重視して調整し、過度な反射神経依存にならないよう配慮した。また、難易度は、敵のスポーン数、被弾耐久回数、移動速度などのパラメータによって動的に調整可能な構成とし、難易度適応型システムの導入も可能である。

3.3 空間再現ディスプレイ

空間再現ディスプレイは、複数の視点画像を観察者の視点に応じて高速かつ動的に切り替えて提示することで、観察者に対して奥行き情報を裸眼で知覚させる表示装置であ

る。2Dディスプレイとは異なり、左右の眼に異なる視差画像を同時に提示することで、両眼視差に基づく自然な立体視を実現する。本研究で用いた空間再現ディスプレイ Sony ELF-SR2 は、27インチの4Kディスプレイであり、専用的高速ビジョンセンサーおよびマイクロ光学レンズを介して、ユーザの両眼位置をリアルタイムに検知し、それぞれに最適化された映像を出力することで裸眼立体視を実現する。ユーザが頭部を左右に移動させた際にも、視差に応じた立体像が連続的に変化するため、単一視点に固定された疑似的な立体視ではなく、しゃがむと奥のシーンまで見えるなど、実空間に近い奥行き知覚と空間定位が可能となる。

ELF-SR2 を用いた本システムでは、プレイヤーはディスプレイ内部に実際に都市モデルが存在するかのような奥行き感を伴ってゲームを体験する。このような裸眼立体視環境では、敵キャラクターの接近や弾丸の飛翔方向、遮蔽物までの距離などが、視差情報および視点追従変化として直接知覚されるため、2D表示に比べて高い没入感が得られる。特に、ELF-SR2 においては、観察者の頭部移動に対して奥行き情報が連続的に変化するため、静止画的な疑似立体ではなく、実空間に近い立体的存在感が提示される。これにより、都市スケールの空間構造、ビル群の重なり、地形の高低などが直感的に把握可能となる。一方で、立体視特有の知覚負荷も存在するため、画面内の情報量が過剰にならないよう、敵数やエフェクト量、UIの表示要素は慎重に制御した。これにより、空間的没入感を維持しつつ、過度な視覚的負担の発生を抑制する設計とした(図2)。



図2 空間再現ディスプレイによるシステムの表示

3.4 システムの実装

3D都市モデルの描画には、Cesium for Unityを用いた3D Tilesストリーミング方式を採用した。本方式により、3D都市モデル全体をローカルに保持することなく、カメラ位置および視野角に応じたタイルのみをクラウドから逐次取得し、Unityのシーン上へ動的に配置することが可能となる。本手法はネットワーク環境が必要となるが、ローカルに3Dモデルを保持しないため、非常に軽量の動作が可能となる。都市モデルとして、Google Photorealistic 3D Tilesの建築物・地形データを利用し、実都市の構造をそのままゲームワールドとして使用した。これにより、数km四方に及ぶ広

域都市空間においても、軽量かつ高精細な描画を維持できる構成となっている。

敵キャラクターは、事前に定義された複数のスポーン地点から、ゲーム進行に応じて動的に生成される。スポーン地点は、等間隔に配置することで一定リズムを持たせるものとした。弾丸オブジェクトは、プレイヤーの方向ベクトルに基づいて生成され、初速および進行方向が設定される。弾丸の移動は、Unity の物理エンジンを用いた剛体運動として実装されており、フレーム更新ごとに位置が更新される。発射後は、自身に最も近い敵キャラクターの方向へと緩やかに回転することとし、照準と誘導のバランスをはかった。弾丸の寿命は一定時間で自動消去する設定とし、無制限にオブジェクトが増加することによるメモリ消費の増大を防止している。

敵キャラクターと弾丸の衝突判定には、Unity 標準のコライダおよびトリガ判定を用いた。弾丸が敵キャラクターのコライダに接触した瞬間にヒット判定が発生し、弾丸の消去と敵の耐久値が 1 減少する処理を行う。本システムでは、敵キャラクターは三回の被弾によって撃破される設定とし、耐久値が 0 になった時点で破壊処理が実行される。被弾時には、敵キャラクターのマテリアルを一時的に白色へと切り替えるフラッシュエフェクトを発生させ、フレーム単位で元の色へと復帰させることで、立体視環境下においてもわかりやすいヒット判定を視認できるようにしている。撃破時には、爆発エフェクトとサウンドエフェクトと同時に敵オブジェクトがシーンから削除される。

本システムでは、空間再現ディスプレイにおける 60 FPS 前後の安定動作を維持するため、複数の描画最適化手法を併用した。まず、立体視表示用カメラとは別に平行投影による仮想カメラをプレイヤーキャラクターに埋め込むことで、進行方向の都市モデルを一定の範囲で事前に読み込む処理を行っている。このことにより、進行方向の都市モデルを表示前に事前に読み込んでおくことで、ステージのスクロールによるモデル読み込みの遅延を回避することが可能であった。また、Google Photorealistic 3D Tiles における LOD (Level of Detail) 制御を用い、モデル精度と表示のバランスを持った設定とした。さらに、Unity の Occlusion Culling や簡易影の採用により、GPU 負荷を低減した。これらの最適化により、大規模 3D 都市モデルと複数体の敵キャラクターが同時に存在する状況においても、シューティングゲームとして実用的なフレームレートを維持できることを確認した。

本開発では、開発効率向上を目的として、生成 AI を補助的に活用した。デザイン面では、各種キャラクターモデルの作成において、テキストから画像生成、画像から 3D モデル、3D モデルからテクスチャ生成というフローで生成 AI を用いた。工程ごとに生成 AI による複数候補を短時間で作成した上で、人間のデザイナーが最適解を選択し、繰

り返しブラッシュアップするとともに、3D モデルのローポリゴン化、テクスチャの修正など、各工程において最終的な調整を行う方式を採用した。また、システム面では、一部のスクリプト設計において、自然言語による仕様記述から基本的な C# コードの雛形を生成し、それを基に最終調整を行うワークフローを用いた。これにより、プレイヤーや敵の挙動制御、ヒット判定処理、ゲーム管理処理などの実装が効率化された。ただし、立体視表示環境への処理は、参照可能な前例が少ないため、生成 AI でのコード生成は不可能であった。生成 AI によるコード出力は、過去の事例を参照するため、既存事例に類似処理の雛型のある処理の作成は効率化が図れるが、未知のデバイスや類似例の少ない処理には生成に課題があった。また、複数のコードの組み合わせやコードの機能追加の際にもハルシネーションが発生しやすいため、出力したコードは、そのまま実運用に用いず、必ず人間による動作検証および最適化を経てから組み込むこととした。この協調的開発プロセスにより、品質と開発速度の両立を図っている。

4. 結果と考察

本研究では、実都市の 3D 都市モデルをシューティングゲームのステージとして直接利用した。その結果、仮想的に設計されたステージとは異なり、現実の建築配置、地形の高低差といった要素がそのまま戦術的条件として機能することが確認された。特に遮蔽物としての建築物の配置や視界の抜け方は、敵の出現位置や移動経路の設計に強く影響し、複雑な状況を自然に生み出す要因となった。これは、ゲームデザインの観点から見た場合、従来の人工的に最適化されたステージとは異なり、現実の複雑さや空間の偶発性を内包した新しいゲームフィールド設計の可能性を示している。一方で、現実の都市空間は必ずしもゲームプレイに最適化されていないため、視界が極端に遮られる箇所や移動が困難な地形も存在する。この点は、今後の自動レベル調整や動的ステージ制御の導入によって改善できる余地があると考えられる。

空間再現ディスプレイによって、敵との距離感、遮蔽物までの奥行き、高低差の把握といった空間認知が向上することとなった。これは、2D ディスプレイ上での透視投影による疑似的な遠近感とは異なり、視差情報に基づく直接的な奥行き知覚がプレイヤーに提供されたためである。特にシューティングゲームにおいて重要となる 3 次元位置情報や敵及びステージとの位置関係の把握において、立体視が有効に機能した。本シューティングゲームは、純粋な反射神経や操作技術を要求するのではなく、都市構造を理解し、空間戦術を必要とする設計となっており、ゲーム性と都市空間理解の両立を一定程度達成していると考えられる。

本研究で構築したシステムは、様々な地域を同一スケールで表示するため、そのままの構成で、地理教育、防災、

観光といった分野への応用が可能である。例えば、地理教育では、リアス海岸などの特徴的な地形や、工業、住居、商業などの都市の用途、歴史的な都市空間の理解など、ゲームステージ上で立体的に視聴体験することで、そのイメージを具体的に理解可能である。また、敵キャラクターを災害発生源や危険区域に置き換えることで、避難誘導シミュレーションやリスク回避行動訓練へと容易に転用できる。さらに、観光分野においては、実都市空間を探索しながら、観光地の位置把握や地域の新しい魅力の発見などへと発展させることで、街歩き支援や地域理解促進ツールとしての展開も期待できる。本研究の枠組みは、エンターテインメントを起点としながらも、社会実装を意識した応用展開が可能な技術基盤であると考えられる (図3)。



地理：東京都都市部 (左) 志摩半島リアス式海岸 (右)



防災：多摩川洪水浸水域 (左) 横浜市津波浸水域 (右)



観光：パリ旧市街地 (左) シンガポール中心市街地 (右)

図3 地理・防災・観光分野におけるステージの実装

5. まとめ

本研究では、大規模 3D 地理情報と空間再現ディスプレイを統合したシューティングゲームシステムを構築し、その技術的妥当性および応用可能性について検証した。Unity および Cesium for Unity を用いて、クラウドストリーミングによる実都市スケールの 3D 都市モデルをゲームフィールドとして統合し、裸眼立体視による奥行き知覚を活かしたシューティングゲームを実現した。実装の結果、実都市の 3D 都市モデルと複数体の敵キャラクターを同時に描画する条件においても、60 FPS 前後の実用的なフレームレートを維持可能であることが確認された。また、立体視によって敵との前後関係や遮蔽物までの距離が直感的に把握でき、照準精度や没入感の向上に寄与することが示された。さらに、シューティングゲームというインタラクティブな形式を通じて、都市空間の構造理解などの学習が促進される可能性が示唆され、本システムが防災・観光・都市教育などの分野に展開可能な基盤であることが示された。

今後の課題として、ユーザ評価を行うことが必要である。年齢層やゲーム経験の異なる被験者を対象とした長期的な評価実験を行い、立体視環境が学習効果や行動変容に与える影響を定量的に分析する必要がある。また、マルチプレイヤーやネットワークへの対応を行うことにより、複数のプレイヤーが同一仮想空間を共有し、協調あるいは対戦する形式へと発展させることで、協調学習や避難訓練などへの応用が考えられる。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP 23K11728 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Mitter, M., et al.. 3D Geospatial Data Visualization in VR. *European Journal of Business Science and Technology*. 2025, vol.11, no.1, p.129-140.
- [2] Yang, Z., et al.. A comprehensive and up-to-date web-based interactive 3D emergency response and visualization system using Cesium Digital Earth: taking landslide disaster as an example. *Big Earth Data*. 2023, vol.7, no.4, p.1058-1080.
- [3] Kawai, Y.. Development of a 3d urban modeling and disaster visualization system using open data. *IEEE 13th Global Conference on Consumer Electronics*. 2024, p.268-272.
- [4] Kawai, Y.. Development of a Crime Prevention Map System Using a 3D Urban Model. *International Conference on Cyberworlds*. 2024, p.352-353.
- [5] Zhi, G, et al.. Urban flood risk assessment and analysis with a 3D visualization method coupling the PP-PSO algorithm and building data. *Journal of Environmental Management*. 2020, vol.268, 110521.
- [6] Zhang, W, et al.. Urban flood risk assessment through the integration of natural and human resilience based on machine learning models. *Remote Sensing*. 2023, vol.15, no.14, 3678.
- [7] Fukui, N, et al.. Application of a subgrid-scale urban inundation model for a storm surge simulation: Case study of typhoon Haiyan. *Coastal Engineering*. 2024, vol.188, 104442.
- [8] Guo, K., Guan, M. and Yu, D.. Urban surface water flood modelling—a comprehensive review of current models and future challenges. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 2021, vol.25, p.2843-2860.
- [9] Kawai, Y.. Construction and Application of Multi-Layered Urban Digital Twin Platform Integrating Open Data and 3D Visualization. *IEEE 14th Global Conference on Consumer Electronics*. 2025, p.1102-1106.
- [10] Kawai, Y.. Agent-Based Tsunami Crowd Evacuation Simulation for Analysis of Evacuation Start Time and Disaster Rate in Zushi City. *International Conference on Information Technology in Disaster Risk Reduction*. 2022, p.63-75.
- [11] Kara, P. A., and Simon, A.. The good news, the bad news, and the ugly truth: A review on the 3D interaction of light field displays. *Multimodal Technologies and Interaction*, 2023, vol.7, no.5, 45.
- [12] Green, C. S. and Bavelier, D.. Action video game modifies visual selective attention. 2003, *Nature*, vol.423, p.534-537.
- [13] Bediou, B, et al.. Meta-analysis of action video game impact on perceptual, attentional, and cognitive skills. *Psychological Bulletin*, 2018, vol.144, no.1, p.77-110.
- [14] Lao, Q.. A Systematic Review of AI-Driven Game Design and User Experience Research. *Humanities and Social Science Research*, 2025, vol.8, no.4, p.229-240.
- [15] Kawai, Y.. Using Generative AI for Game Development Subject to Technical Constraints. *International Conference on Cyberworlds*. 2024, p.376-377.