

実際の都市の 3D モデルを用いた犯罪不安の分析 —PLATEAU と Unity を活用して—

石政 龍矢

一般非会員 金沢大学 共創型企業・人材展開プログラム 客員研究員
(〒920-1192 石川県金沢市角間町)

本稿は、市民が都市を歩行する中で抱く犯罪不安について、実際の都市の 3D モデル (PLATEAU) を用いてシミュレーションを行い、分析を試みた研究である。犯罪不安に影響を与える要因として、建物の窓、人通り・車通り、見通し、道路の幅、開放感に着目し、ゲームエンジンの Unity 上で実装を行った。東京都港区高輪地区・白金台地区を対象地域にしてシミュレーションを行った結果、市民の抱く犯罪不安は、①同一の用途地域であっても差があること、②当該道路を歩く長さや経路によって差があること、③視野の角度・距離によって差があることが確認された。

Key Words: *Fear of Crime, PLATEAU, Unity*

1. はじめに

我が国における街頭犯罪の現状について、その発生件数は一貫して減少を辿っているが¹⁾、都市に居住する市民の犯罪不安は依然高い傾向にある²⁾。建物や街路等、歩行者を取り巻く都市環境をデザインすることで犯罪の防止や犯罪不安の軽減を図る考え方は CPTED (防犯環境設計) と呼ばれ、これまで、国内外を問わず、数多くの都市で実践されてきた。その一方で、その有効性や検証方法に関する批判も多く、課題が残されている。本稿では、近年、都市政策への応用が期待されている実際の都市の 3D モデルを用いて CPTED を評価する方法、およびそこから得られる知見について述べる。本稿の流れは次の通りである。まず、第 2 章で CPTED の概説と先行研究の整理を行い、既存の研究の問題点を明らかにした上で、実際の都市の 3D モデルを用いた方法について提案を行う。第 3 章で、第 2 章で提案した方法について、シミュレーションの実装方法を述べる。第 4 章では実際にシミュレーションを行い、考察を行う。第 5 章で本稿のまとめを行い、課題と展望を述べる。

2. 先行研究の問題点と解決策の提案

都市における犯罪は既に産業革命期から問題視されており、急速な人口の拡大や労働者層の増大を背景として、欧米諸国を中心に各国共通の課題として認識されていた³⁾。各国の政府は、警察官の増員や法整備の強化により犯罪の発生の防止にあたり

もに、市民の犯罪不安の払拭に努めてきた。そのような中、従来の犯罪対策にかわり、都市環境を改善することで犯罪の発生や犯罪不安の軽減を図る考えとして、CPTED が登場することとなる。それ以降、CPTED の考えを反映した都市づくりが進行することになるが、その有効性もまた疑問視されるようになり、現在その検証のために、様々な観点から研究がなされている。その中でも近年、その応用が期待されているのが、実際の都市の 3D モデルである。本稿では、従来の検証方法にかわり、実際の都市の 3D モデルを利用した分析手法を提案する。第 2 章の流れは以下のとおりである。まず、(1)で CPTED に関する概説と先行研究の整理を行う。続く(2)で、既存の先行研究の問題点を述べる。(3)で、その解決のために 実際の都市の 3D モデルを用いたシミュレーションによる方法を提案する。

(1) CPTED の概説と先行研究の整理

CPTED とは、犯罪不安の軽減や犯罪の発生防止を都市環境をデザインすることで達成する方法である。その端緒は、1960~1970 年代の欧米にあり、Jacobs (1961)⁴⁾、Newman (1972)⁵⁾、Jeffery (1971)⁶⁾等の提唱以降、今日まで数多くの研究がなされており、実際の政策にも反映されている。CPTED には、自然監視性の確保や領域性の確保等の 8 つの原則があり、現在、これらに、地域とのつながり等の社会的条件を加えた第 2 世代の CPTED が主流となっている⁷⁾。CPTED の原則に基づき、イギリスでは、DAC (Design Against Crime) プログラム⁸⁾やガイドライン Safer Places の発行等⁹⁾、その活用が進行した。

アメリカでは、アリゾナ州、フロリダ州、カルフォルニア州を筆頭に、CPTED に則った都市計画が進行した¹⁰⁾。国内においても、CPTED の原則を日本版に改良した提唱が、国立研究開発法人建築研究所からなされ、実践されている¹¹⁾。これまで、CPTED に関する研究は多く蓄積されており、特に、都市を歩行する市民が抱く犯罪不安に影響を与える要素に関する研究には様々なものが存在する。そのようなものをまとめた表が、表 1 である。

(2) 従来の犯罪不安の分析手法と問題点

CPTED という革新的な思想は、その誕生以降都市政策に浸透したが、しばしば、その有効性や妥当性が批判されてきた³¹⁾。CPTED の検証について、これまで、関連する先行研究を網羅的に収集・整理してシステムティックに分析する方法³²⁾や、アンケート調査により統計的な分析を行う方法³³⁾や、犯罪不安の喚起場所を地図上に示し、その地理的特性を探る方法³⁴⁾等、多様な方法が図られてきた。

要素	内容	先行研究
建物の窓	窓の存在は、道路の自然監視性を高め犯罪不安を軽減する	Nash & Christie (2003) ¹²⁾ Grönlund (2011) ¹³⁾ 等
人通り・車通り (交通量)	人の存在は、自然監視性の向上や援助可能性が期待でき犯罪不安を軽減する	Shotland & Goodstein (1984) ¹⁴⁾ Balkin & Houlden (1983) ¹⁵⁾ 等
見通しの良さ	見通しの良い道路は犯罪リスクを事前に察知でき犯罪不安を軽減する	Herzog & Miller (1998) ¹⁶⁾ 等
道路の幅	幅の広い道路は犯罪から逃れるスペース生み、心理的な圧迫感も少なくなる点で、犯罪不安を軽減する	Nasar et al. ¹⁷⁾ Stamps ¹⁸⁾ 等
開放感	低層な建物に囲まれているほど心理的な圧迫感は少なく、犯罪不安は軽減される	An & Yoshida ¹⁹⁾ 等
街灯	街灯等により十分な明るさが確保された空間は視認性を高め、犯罪不安を軽減する	Painter (1994) ²⁰⁾ 等
監視カメラ	監視カメラの存在は必ずしも犯罪不安の軽減につながらない	Williams & Ahmed (2009) ²¹⁾ 等
緑のある場所	生い茂った草木は犯罪企図者が隠れる場所となり、またそのような認識を生み犯罪不安が高まる	Sreetheran & Van Den Bosch (2014) ²²⁾ Maruthaveeran (2016) ²³⁾ 等
落書きやゴミの有無	非社会的な要素の存在は管理の行き届いていないことを知覚させ、犯罪不安が高まる (割れ窓理論)	Doran & Lee (2005) ²⁴⁾ Scarborough et al. (2010) ²⁵⁾ 等
通り抜け	通り抜けしやすい (パーミアビリティ) 道路は交通量を多くし、自然監視性を高める点で犯罪不安を軽減する	Cozens & Love (2009) ²⁶⁾ 等
土地利用の多様性	土地利用の多様性は近隣住民の歩行機会を高め、犯罪そのものの減少だけではなく犯罪不安も軽減する	Hong & Chen (2014) ²⁷⁾ 等
地域とのつながり	近隣住民との顔見知りの関係にあるなど地域とのつながりは犯罪不安を軽減する	De Donder et al. (2005) ²⁸⁾ 等
コミュニティ活動	地区清掃等の自治的な活動は、その空間に管理されていることを認識させ犯罪不安を軽減する	Mazerolle (1998) ²⁹⁾ Matsukawa & Tatsuki (2018) ³⁰⁾ 等

近年では、科学技術の発達に伴い、スマートフォンのアプリケーションの活用³⁵⁾や、深層学習の利用³⁶⁾等、新しい検証方法も登場している。しかしながら、依然として次の点が問題として残っている。

まず、従来の検証方法の多くが、犯罪不安を動的に捉えられていない点である。犯罪不安といった人間の心理的な状態は、その場一時点のものではなく、歩行を通して絶えず変化を伴う連続性をもったものである³⁷⁾。多くの先行研究では、建物や街路の写真を提示して、被験者に不安の程度を尋ね、その場所が持つ特徴が犯罪不安に対して与える影響を分析しているが、これらの研究では、ある歩行箇所の一部に注目した分析に留まり、都市全体の歩行を通じた総合的かつ動的な分析とはなっていない。このような問題を回避するために、実験の参加者に実際に都市を歩かせ、歩行後に犯罪不安の総評を尋ねる手法もあるが³⁸⁾、本調査では、参加者の体力上、都市の広域にわたる調査は困難であり、限定的な分析となる。

また、従来の検証方法の多くが、空間的な要素を考慮できていない。犯罪不安の分析にあたっては、空間的な特徴が与える影響は大きい³⁹⁾が、犯罪不安の分析を動的に、かつ空間的な側面も考慮して行った研究は少なく、従来の先行研究では未だ問題が残されている。

これらの問題を解決するために、本稿では、近年その活用が進んでいる、実際の都市の 3D モデルを利用した分析方法を提唱する。また、実際にシミュレーションを行い結果を考察し、実際の都市の 3D モデルを活用することによって得られる新しい知見についても整理する。

(3) 実際の都市の 3D モデル

実際の都市の 3D モデルの作成は、航空写真・航空レーザー・MMS (Mobile Mapping System) により対象区域の空間情報を取得し、ソフトウェアを用いてモデリング処理を行い、OBJ 形式、FBX 形式、

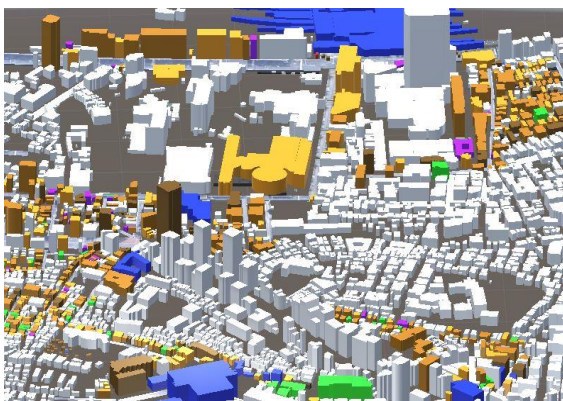


図 1 PLATEAU

CityGML 形式等、3D モデルのデータ形式に整備する手順で行われる⁴⁰⁾。これまで、その作成にあたっては、膨大なデータの取り扱いが必要となることや、多大な費用がかかることが障壁となっていたが、近年、測定技術の向上やデータのクラウド化による効率化が進み、3D モデルの活用の機運が高まっている⁴¹⁾。

実際の都市の 3D モデルを用いて、コンピュータ上に仮想の都市を生成し、シミュレーションを行う試みは「デジタルツイン」と呼ばれ、シンガポールでは「バーチャルシンガポールプロジェクト」、フィンランドでは「バーチャルヘルシンキプロジェクト」が立ち上げられ、災害シミュレーションや気候シミュレーション等の都市政策への応用が進んでいる⁴²⁾。国内においては、国土交通省が 2020 年より全国の都市を 3D モデル化する「Project PLATEAU」を立ち上げ、3D モデルのオープンデータ化、技術書の公開、ワークショップの開催等、その利活用の推進を図っている^{注1)}。2022 年 9 月現在、全国 56 都市、約 10,000 km²のモデル化、オープンデータ化が完了している(図 1)。PLATEAU を用いた研究も様々な分野に広がっており、災害や気候の分析だけではなく、川合他(2021)⁴³⁾による人流シミュレーションのシステムの構築や、宮本・川合(2021)⁴⁴⁾によるレースゲームの舞台への活用等がある。人工知能技術との融合も期待されている⁴⁵⁾。

3. シミュレーションの実装

第 3 章では、実際の都市の 3D モデルをコンピュータ上に導入し、市民が抱く犯罪不安を分析するシミュレーションの実装方法を述べる。図 2 は、実装全体の概要図である。

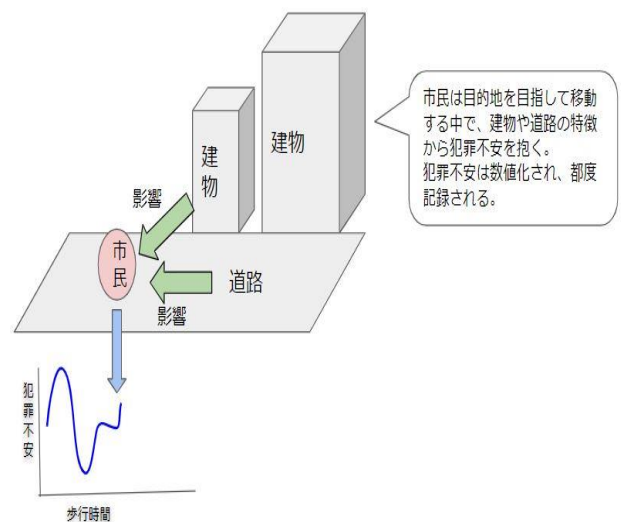


図 2 シミュレーション全体の概要図

実際の都市の 3D モデルとして使用するの
は PLATEAU (FBX 形式) である。シミュレーショ
ンのツールにはゲームエンジンの Unity を用いる。
分析は、PLATEAU を Unity に取り込む形で実行す
る。PLATEAU は、モデルの精緻化の度合いの異
なる、LOD1 と LOD2 の二種類が用意されているが、
本稿では LOD1 を使用する。LOD (Level of Detail)
3D モデルの精緻化の度合いを表した基準である^{注2)}。
そのうち、LOD1 は最も簡単なモデルであり、建物
に高さ情報を付与した箱形モデルである。LOD2 は
LOD1 に屋根形状を付与した、より精緻なモデルで
ある。また、PLATEAU の 3D モデルの形式には、
FBX 形式、OBJ 形式、CityGML 形式が用意されてい
るが、本稿では、Unity に直接導入が可能な FBX 形
式を用いる。第 3 章の流れは以下の通りである。
まず、(1) で、都市内を歩行する市民の視覚の再現
の実装方法について述べる。(2) で、3.1 で実装した
視覚によって、建物等周囲の環境を市民が認識し、
そこから犯罪不安を抱く実装の方法を述べる。実装
を行う要素は、表 1 の上から 5 つ、即ち、建物の窓、
人通り・車通り (交通量)、見通し、道路の幅、開
放感である。(3) では、犯罪不安の大きさを測るた
めの数量化の方法を述べる。

(1) 視覚の再現

市民は都市を歩行する中で、自らを取り巻く周
囲の環境を認識することで、犯罪不安を抱く。そ
のため、実装の初めに行うことは、市民の視覚の
再現となる。Unity では、視覚の再現に Raycast と呼
ばれる機能が使用される。Raycast は物体から光線
(Ray) を発し、その光線が周囲の物体に当たった
か否かによってその存在を認識する機能である。
本稿でも、市民の視覚の再現に Raycast を用いる。
市民を模したゲームオブジェクトから Ray を発する
ことで、建物等の周囲の物体を認識することができ
る。視覚の再現にあたって、水平・垂直方向に見
渡すことができる角度と、前方を見通すことができ
る距離 (視距離) の設定が必要となる。本稿では、
Gehl (2013)⁴⁶⁾ を参考に、一般成人が水平方向に見
渡すことができる角度は左右 60 度まで、垂直方向に
見渡すことができる角度は 50 度まで、視距離は
100m とする。これらをもとに水平方向に敷く Ray

は、0 度、左右 30 度、左右 60 度の計 5 本とする。
垂直方向に敷く Ray は、0 度から 10 度刻みで 50 度
まで、計 6 本とする。Ray はあくまで一本の線なの
で、一つの Ray によって視野全体の再現はできず、
したがって、周辺の物体を認識するためには、この
ように決められた間隔ごとに複数の Ray を設定する
必要がある。以上、市民の視野の実装方法につい
て述べたが、それを示したものが図 3 である。

(2) 建物の窓

建物が犯罪不安に及ぼす影響の中でも、道路に面
した窓の存在は、道路に自然と人の目を行き届かせ
ることができ (自然監視性)、犯罪不安が軽減する
要素となる⁴⁷⁾。

イギリスでは、2001 年、トニーブレア首相によ
ってライブアビリティアジェンダが提唱され、道路
や公園等の公共空間に建物の窓が面し、人の目が行
き届く都市設計が進行した (Nash Christie 2003)。
Grönlund (2011) は、スペインのストックホルム、ハ
ンマーベイスタッドエリアを CPTED の実践都市の
モデルケースとして挙げ、その例示をしている。

本稿では、建物の窓の存在が犯罪不安に与える影
響の実装を、建物ごとに自然監視性の水準を決定す
る、建物のタグを変更する、タグに応じた水準の値
を市民に付与する、という 3 つの手順で進める。

a) 手順 1 建物ごとの自然監視性の水準を決定

まず、ある建物の自然監視性の水準を決定するた
めに、項目表を作成する。ある建物の自然監視性の
水準は、表中の加点項目と減点項目の数に応じて決
定し、1 点 (最低) から 5 点 (最高) までの値を割
り当てる。なお、各項目は、単に窓の存在だけでは
なく、建物に窓があることを前提に、その建物にお
いて人の存在を感じさせる程度も含めて設定する。
例えば、建物の 1 階にレストランや美容院、カフェ、
等の商用施設が据えられている建物では、窓を通し
て、室内の従業員や客等の人を眺めることができ、

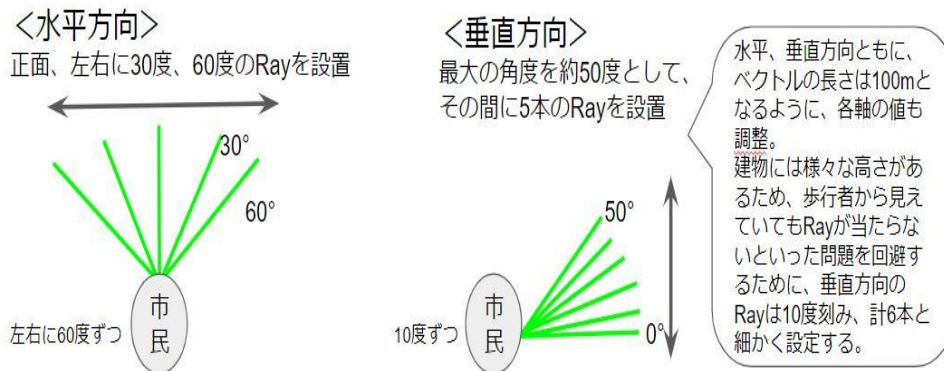


図 3 視覚の実装

人の存在をより感じさせ、犯罪不安を軽減する要因となる⁴⁸⁾。その一方で、外装や庭木の維持管理の施されていない建物は、人の手が行き届いていないことを知覚させ、犯罪不安を助長する要因となる⁴⁹⁾。以上のような検討を加え、作成した項目表が表 2 である^{注 3)}。なお、建物の窓の水準の決定にあたっては、Google 社の提供する地図閲覧サービス、Google Street View を使用する。Google Street View はストリートビューの機能を用いて、実際の街路の映像をコンピュータ上で閲覧することができる。Google Street View 上でシミュレーションの対象地域に存在する建物を眺め、一つ一つの建物について項目表に従って水準の値の割り振りを行う。

b) 手順 2 建物のタグを変更

建物一つ一つについて、手順 1 で自然監視性の水準を割り振った後は、水準の値に応じて、その建物のタグを変更する。ここでいうタグとは、Unity のゲームオブジェクト一つ一つに付与できるラベルを指す。

c) 手順 3 タグに応じた水準の値を市民に付与

最後に、3.1 で実装した、市民の視野を再現した Raycast が建物に当たった場合、その建物のタグを取得し、タグに応じた水準の値を市民に付与する。値の付与は、Unity と連携しているプログラミング言語である C# で実装する。なお、付与する水準の値は、3.1 で実装した市民の視野の当たり方に応じて調整を行う。人間の視覚は、視野の角度が中央(0 度)に寄っているほど得られる情報量は大きくなる⁵⁰⁾。水平方向の視野でいうと、30 度の視野で認識できる物体の方が、60 度の視野で認識できる物体よりも、より精彩に見えていることになる。垂直方向でも同様である。現在、市民の視覚の再現において、水平方向には 0 度の Ray をはじめとして、

30 度、60 度の 3 種類の Ray、垂直方向には 0 度から 50 度まで 10 度刻みの Ray で実装したため、建物に当たった Ray が 0 度から離れるほど、そこから得られる安心感が小さくなるように調整を行う。以上、手順 1~3 の実装を図示したものが図 4 である。

(3) 人通り・車通り (交通量)

道路上の他者の存在は、当該道路における自然監視性を高めるだけではなく、自身が犯罪に遭遇した際の援助可能性も期待できる点で犯罪不安を軽減する要素となる¹⁴⁾。

Balkin & Houlden (1983)¹⁵⁾は、人の存在の中でも、その属性に注目し、公務員、制服を着た人、ネクタイを締めている人等フォーマルな格好をした人が存在する場合、そうでない場合に比べて犯罪不安が低いことを明らかにしている。Vrij Winkel (1991)⁵¹⁾は、暗く人気のない静かな場所は犯罪不安を抱きやすく、明るく人気のある場所は犯罪不安が少ないことを明らかにしている。

本稿では、ある道路における人通り・車通り(交通量)の多さが犯罪不安に与える影響の実装を、その道路の交通上の位置づけを判断する、交通量に応じた水準の値を市民に付与する、という 2 つの手順で進める。

a) 手順 1 その道路の交通上の位置づけを判断

道路は、人や車の移動に不可欠な基盤であり、その移動を円滑にする役割を担う。都市計画において、そのような役割から道路を分類した場合、交通量の多い順に、主要幹線道路、都市幹線道路、補助幹線道路、区画道路に分類できる⁵²⁾。主要幹線道路は都市と都市を結ぶ中心となる道路であり、国道等が該当する。そこから、地域内の各場所へと交通を分散させ、交通の便の機能を高めるものが、都市幹線道路や補助幹線道路である。区画道路は、住居に直接

表 2 建物の自然監視性の水準を評価する項目表

影響	項目
プラス (犯罪不安減少。右の項目を1つ満たすごとに水準+1)	<ul style="list-style-type: none"> ・建物のバルコニーや窓から、道路が眺められる建物 ・設置階(1階)がテナント等に利用されている建物 ・玄関に草木が植えられている等、表出(あふれだし)のある建物 ・個人商店や、カフェや等、入り口や窓から人の存在が感じられる建物
マイナス (犯罪不安増大。右の項目を1つ満たすごとに水準-1)	<ul style="list-style-type: none"> ・壁により建物と道路が遮断された建物 ・敷地内の清掃がされていない等、管理の行き届いていない建物 ・工事中の建物 ・シャッターの閉じられた建物 <p>*空き家等の廃屋は、そこに人は住んでいないため、プラスの項目を満たすものがあっても水準は最低の1とする</p>

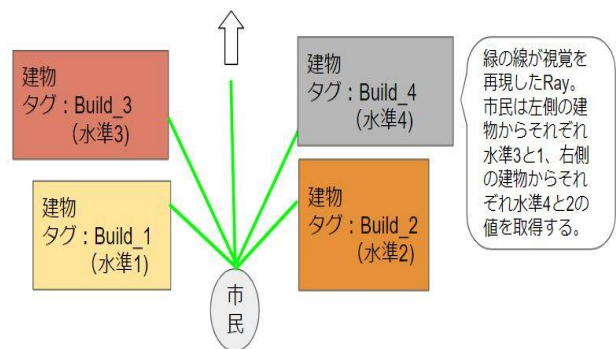


図 4 建物の窓から受ける犯罪不安の実装

接する地先道路であり、市民の生活の足がかりとなる道路となる。本稿では、ある道路における交通量の多さを、主要幹線道路から得られる水準の値を最高の 4 点とし、区画道路の 1 点まで順に値を割り振る。

b) 手順 2 交通量に応じた水準の値を付与

Unity には、ある物体が指定の領域に入っている間、特定の処理を続ける `OnTriggerStay` と呼ばれる機能がある。予め、手順 1 に基づいて、道路ごとの交通量の多さの水準の値をリスト化したスクリプトを用意し、市民がある道路に入ったとき、当該スクリプトにアクセスし、その道路の安心感の値を取得するという操作を、`OnTriggerStay` 内で行う。スクリプトはデータベースとしての役割を果たす。こうすることで、市民は指定の道路を歩行している間、その道路の交通量の多さに応じた水準の値を得ることができる。以上、手順 1、2 の実装方法を図示したものが図 5 である。

(4) 見通し

曲がった道路や入り組んだ道路等、歩行者の視界を遮る道路は、犯罪の兆候を事前に察知できず、将来発生するリスクの予測可能性を狭めることとなり、犯罪不安が増大する要因となる¹⁶⁾。

Herzog & Miller (1998)¹⁶⁾は、道の曲がった道路を含む複数の道路の写真を被験者に見せ、犯罪不安との相関を測定し、曲がる角度が大きくなるほど犯罪不安が増大することを示している。

本稿では、見通しの良さが犯罪不安に与える影響を、見通しの良さを定義・水準を決定する、見通しに応じた水準の値を市民に付与する、という 2 つの手順で進める。



図 5 交通量の実装

a) 手順 1 見通しの良さを定義・水準を決定

見通しの良さを定義は様々であるが、本稿では、歩行者の視界の前方を遮る物体が何もない状態を、見通しが良いと判断する。曲がった道路や入り組んだ道路の存在は無秩序な都市開発によるところも大きく、しばしば、スプロール化と呼ばれ、現在も多くの都市に散見される。見通しの良さの水準については、Ray により市民の視覚を再現したが、その中でも、前方方向の視界を再現した Ray に注目し、その Ray が建物に当たるか否かの判断と、当たった場合の建物との距離をもって決定する。具体的には、前方方向の Ray が建物に当たらない場合（見通しの良い）は 3 点、建物に当たった場合、その距離が 50m 以上 100m 未満なら 2 点、50m 以下（見通しの悪い）なら 1 点とする。

b) 手順 2 見通しに応じた水準の値を付与する

手順 1 による数値化の完了後、その値に応じた水準の値を市民に付与する。市民は目的地を目指して移動することとなるが、見通しの良さは絶えず変化することとなる。同一の道路であっても、直進する場合と曲がる場合で、物体の見え方が変わることになるため経路によっても見通しの良さは変化する。そのため、見通しの良さの計上を 10 秒で 1 単位とし、ある点数の見通しの良さが 10 秒蓄積した場合、その水準を計上し、市民に付与する。以上、手順 1、2 の実装方法を図示したものが図 6 である。

(5) 道路の幅

幅の狭い道路は、犯罪に遭遇しそうになった際、犯罪から逃れる空間的な余裕 (refuge) を制限することとなり、犯罪不安を喚起する要因となる¹⁷⁾。また、道路の幅の狭さが及ぼす空間的な閉塞性は歩行者に

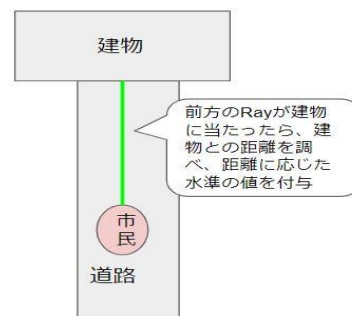


図 6 見通しの実装

心理的な圧迫感を与え、犯罪不安を増大させる¹⁷⁾。

Stamps (2005)¹⁸⁾ は、道幅と建物の相対的な大きさに着目し、道幅が狭いほど建物の存在を大きく見せ、閉塞感と犯罪不安を助長することを明らかにしている。道幅の狭い道路は犯罪不安を増大させることとなるが、Park (2011)⁵³⁾ はその性差に着目し、女性の方が男性よりも、道幅の狭い道路に対するリスク認知が高いことを明らかにしている。

本稿では、道路の幅が犯罪不安に与える影響の実装を、道路の幅を評価する、道路の幅に応じた水準の値を市民に付与する、の2つの手順で進める。

a) 手順1 道路の幅を評価

道路構造令は、人や車が道路を安全に通行するために最低限必要となる道路幅を規定している。道路構造令では、一般的な歩行者は 0.75m、車いすの利用者は 1m の占有幅が必要とされており、車（普通自動車）については、2.5m の占有幅が必要とされている。国土交通省国土技術政策総合研究所では、自動車のすれ違いに必要な幅を 6m としている^{注4)}。幅が 6m 未満の道路は、車がすれ違うことが可能であった場合であっても、歩行者が車を避ける必要が生じ、歩行者にとって十分な幅が確保されているとはいえない。

本稿では、道路の幅と犯罪不安について、6m 未満、6m 以上 8m 未満、8m 以上の3つに分け、道の幅から得られる水準の値を、順に1点、2点、3点と評価する。

なお、ある道路の道の幅の測定は行政が公開している道路台帳をもととする。道路台帳は行政が所管する道路について、その占有幅や長さ等の基本的な情報が記載された資料である。道路台帳をもとに、シミュレーションの対象地域内の道路の幅を調査し、幅に応じた水準の値を割り振る。また、道路は100mで1つの道路とし、100mの中で最も狭い幅を、その道路の幅と見なす。

b) 手順2 道路の幅に応じた水準の値を付与

実装の流れは、交通量の多さの実装と同様である。

各道路に OnTriggerStay を設置し、市民がその道路に入ったら、ある道路の道の幅を評価したデータベースにアクセスし、水準の値を取得する処理を行う。

(6) 開放感

高層の建物は歩行者に空間的な圧迫感を知覚させ、犯罪不安を助長する要因となる⁵⁴⁾。

An & Yoshida¹⁹⁾ は、歩行者の中でも高齢者が抱く犯罪不安について、建物の高さが低く、天空比が大きいほど犯罪不安が減少することを明らかにしている。本稿では、開放感が犯罪不安に与える影響の大きさの実装を、開放感の度合いを定義・水準の値を決定する、開放感に応じた水準の値を市民に付与する、という2つの手順で進める。

a) 手順1 開放感の度合いを定義・水準を決定

ある地点における空間の開放感の度合いを判断する上で、視野全体に占める空の面積比は天空比と呼ばれ、天空比が大きいほど開放感は大きい⁵⁵⁾。道路の両脇に立つ建物は、歩行者の空への視界を遮る物体となり、高層の建物であるほど、その影響は大きくなる。これは、市民の視覚の実装との関係でいうと、垂直方向の最大角である 50 度の Ray が建物にあたっていることを意味する。

本稿では、開放感の水準を、水平方向 30 度、垂直方向 50 度に敷いた Ray が、左右両方とも何も物体に当たらないなら 3 点、片方が当たるなら 2 点、両方とも当たるなら 1 点とする。

b) 手順2 開放感に応じた水準の値を付与する

前項による開放感の評価に基づき、その水準の値を市民に付与する。なお、開放感の値の更新は、見通しの実装と同じく、10 秒ごとに行うものとする。以上、手順1、2の実装方法を示したものが、図7である。

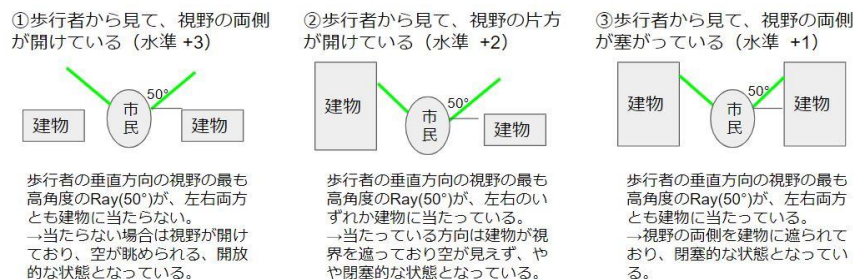


図7 開放感の実装

(3) 犯罪不安の数量化

3.2 により各要素から得られる水準の値に基づき、歩行者が抱く犯罪不安を、心理的な解釈に基づいた数理モデルによって数量化する必要がある。数量化にあたり、都市政策の分野では、しばしば効用の概念が用いられる。効用は、個人の心理的な満足度を表す尺度であり、数学上の完備性、反射性、推移性を満たし、また、ある財の追加的な消費から得られる効用の増加分は次第に減少するという限界効用逓減の法則が成り立つ⁵⁶⁾。

都市政策の分野において、効用を用いた研究には、景観の価値の数量化⁵⁷⁾⁵⁸⁾や、個人の交通手段の選択問題⁵⁹⁾⁶⁰⁾等、多岐にわたる。

本稿では、ある一人の市民 i が抱く犯罪不安について、以下のように表現する。

$$U_i = \beta_{\text{建物の窓}} \ln X_{i\text{建物の窓}} + \dots + \beta_{\text{開放感}} \ln X_{i\text{開放感}} \\ = \sum_{j=1}^5 \beta_j \ln X_{ij}$$

ここで、 X_{ij} は、市民 i がある要素 j について、歩行を通して得られた水準の平均を、その要素の最大値で割り、百分率で表現した値となる。単に水準の値そのものを X とせず、このような処理を行うことで、各要素の X の値の範囲を $0 \sim 100$ に揃えることができ、要素間の比較が可能となる。また、数式が対数線形和で表されている理由は、効用の限界効用逓減の法則を再現するためである。また、対数の外に掛けられている係数は、各個人がその要素をどれだけ重視するか重みづけをした値であり、その和は 1 となる。

ここでの注意点は、(1)で計算された値が大きいほど、犯罪不安が小さくなる点である。これは、シミュレーションの実装時に、各要素の犯罪不安の評価において、水準が大きいほど好ましい（犯罪不安が小さくなる要因となる）ように設定したため、上記の数式によって数量化すると、値が大きいほど安心感が得られることとなる。以下、混同を避けるために、ある市民が抱く犯罪不安の小ささを安心感と定義し、第 4 章では安心感の変化に着目してシミュレーションを行う。

4. シミュレーションの実行

第 3 章では、PLATEAU を Unity に導入し、その中を仮想の市民に歩行させ、周囲の都市環境から得られる犯罪不安の大きさをシミュレーションする実装方法について述べた。第 4 章では、第 3 章で構築した実装をもとに、実際にシミュレーションを行う。図 8、図 9 はシミュレーションの実行中の画面である。

シミュレーションの対象地域には、東京都港区高輪地区、白金台地区の一部を主とする。当該地区は都心に立地しながらも広範な住宅街を形成しており、特に、港区高輪 4 丁目は第一種中高層住居専用地域に指定され、区域の大部分が居住用・中小規模の企業向けに整備されている。一方で、当該区域は品川駅や高輪台駅等の公共交通施設、明治学院大学や頌栄女子学院等の学校、高輪病院や高輪児童公園等の公共施設があり、市民の生活の基盤となる施設が豊富に存在する。この点は、住宅街を出発し駅や学校に向かうことを想定したシミュレーションを可能とし、市民の生活実態に即した犯罪不安の分析ができるメリットとなる。

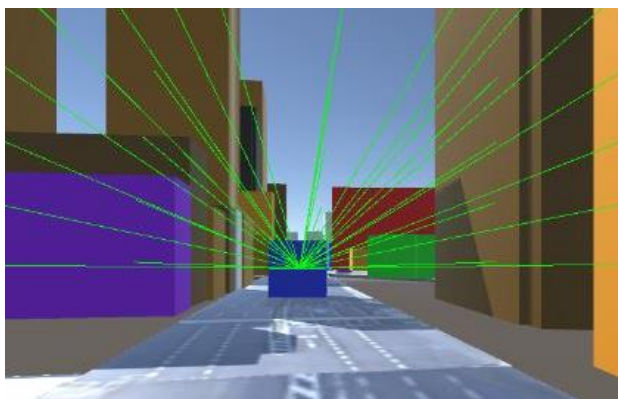


図 8 シミュレーションの実行画面 1

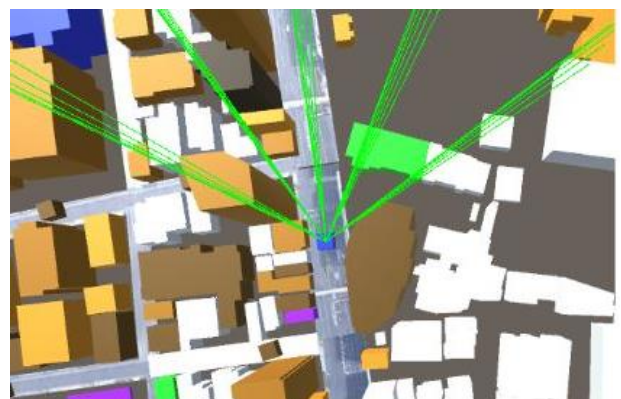


図 9 シミュレーションの実行画面 2

第 4 章では、4.1 節、4.2 節と条件を変えた 2 つのシミュレーションを行い、4.3 節で考察を行う。

(1) シミュレーション 1

4.1 節のシミュレーションの条件は以下の通りである。まず、出発地と目的地は、港区高輪 4 丁目の住宅街を出発地、港区白金台 1 丁目の明治学院大学を目的地とする (図 10) 歩行経路は、港区高輪 4 丁目の住宅街を出発後、都市幹線道路となる柘榴坂 (特別区道 1051 号線) に出る接続道路を移動し、柘榴坂を経由し、当地区を代表する大型施設となる「グランドプリンスホテル新高輪」沿いの二本榎通り (特別区道 1051 号線) を直進、途中左折して高輪 3 丁目住宅街に入り、明治学院大学に到着する経路とする。

市民は一般成人を想定し、市民を模した物体の大きさについても、目線の高さがおよそ 1.5m ほどとなるように調整を行う。また、市民が建物の窓や交通量等、各要素を重視する度合は、要素間で等しく、0.2 する。

以上の条件のもとでシミュレーションを行ったところ、安心感の推移は図 11 のようになり、要素別の推移は図 12 のようになった。

シミュレーションの開始時をはじめ、途中、安心感の低下が見られる箇所もあるが、全体的には、出発時よりも安心感の値が大きい状態で目的地まで到達することとなった。それぞれの場所別に検討すると、出発地点となる高輪 4 丁目の住宅街においては、安心感は低下しながら進行する。途中、その値は持ち直すものの、再び低下し 4 丁目の住宅街を抜ける



図 10 経路

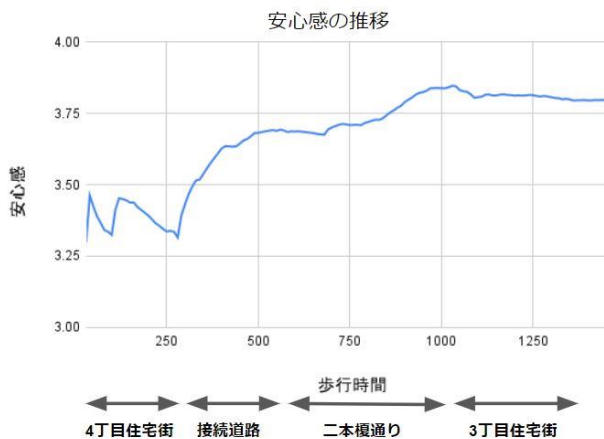


図 11 安心感の推移

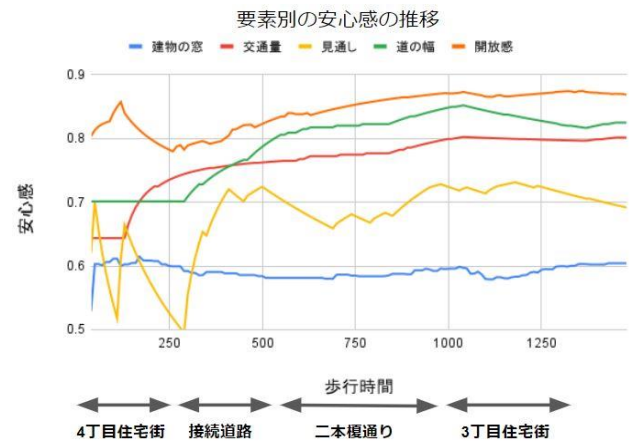


図 12 要素別の安心感の推移

まで安心感は上昇しない。続く接続道路に差し掛かると、安心感は大きく上昇する。後述の要素別の安心感の推移で検討するように、接続道路では、4 丁目の住宅街と比べて交通量も多くなり、道幅も広くなる。加えて、道路が直線であることから見通しも良くなり、全体の安心感は急上昇することとなる。「グランドプレイスホテル新高輪」沿いの二本榎通りでは、安心感の値は安定的に増加する。その後、高輪 3 丁目の住宅街へ入ると安心感はやや減少し、明治学院大学に到達する。総合して、出発時よりも安心感の値は大きい状態で到達する。

要素別に検討すると、出発地点となる高輪 4 丁目の住宅街では、見通しの悪さが安心感の上昇に歯止めをかけていることが読み取れる。図 13 は高輪 4 丁目のストリートビューを写した画像であるが、歩行

者の前方に建物が建ち、出発時は本道路を直進しながら歩行することがその要因となる。接続道路では、図 14 のとおり、道の幅が広くなり空間に余裕が生まれ、安心感が増える。交通量についても、当該道路は補助幹線道路に該当し、高輪 4 丁目の住宅街と比べて多くなる。さらに、道路も直線となるため、見通しも良くなる。「グランドプレイスホテル新高輪」沿いの二本榎通り（図 15）では主に交通量と道の幅から得る安心感が増える。見通しについては、途中右折するためやや悪くなるが、全体的に見て、全ての要素が高い値を維持している。高輪 3 丁目の住宅街（図 16）に差し掛かると、全ての要素に伸び悩みが見られるが、これまでに得た安心感を大きく損なうほどとはならず、安心感が高い状態で、最終的に明治学院大学まで到達する。



図 13 高輪 4 丁目住宅街



図 14 接続道路



図 15 二本榎通り



図 16 高輪 3 丁目住宅街

(2) シミュレーション 2

4.1 では、都市を歩行する市民は一般成人を想定したが、4.3 では市民の属性に注目し、高齢者に焦点をあてた犯罪不安の分析を行う。都市を歩行する上で、高齢者の抱える犯罪不安は若年者よりも大きいとされる⁶¹⁾。また、犯罪不安の軽減は、屋外を歩行する頻度を高め、健康の増進につながる事が指摘されている⁶²⁾。高齢化の進む我が国において、高齢者の犯罪不安を軽減することは必須である。

高齢者を想定した分析を行うにあたって、第 3 章で行った実装に変更を加える必要がある。具体的には、視野を高齢者用に切り替えることと、見通し等、各要素から得られる犯罪不安の水準の値を調整することが必要となる。まず、高齢者の視野の再現について、目の機能の衰えを考慮する必要がある。目の機能は年をとるにつれて衰え、視野については、一般成人より 20~30 度狭まる事が知られている⁶³⁾。第 3 章では、市民の視野の実装について、水平方向の視野は 0~60 度、垂直方向の視野は 0~50 度で実装したが、高齢者の視野については、水平方向の視野を 30 度狭め、垂直方向の視野を 20 度狭め、水平方向・垂直方向ともに、その視野が 0~30 度になるように設定する。視距離については、大江(1966)⁶⁴⁾を参考に、高齢者の視力の平均を 0.5 とみなし、50m 先までを見ることができるとする。したがって、Ray の長さについても、100m から 50m へ短くする。

以上のもとで 4.1 と同様のコースでシミュレーションを行ったところ、安心感の推移は図 17、要素別の推移は図 18 のようになった。歩行時間に伴う安心感の推移は、4.1 で分析を行った一般成人の場合と比較して、出発時における大きな乱高下はなく、

その後は同様に推移している。しかしながら、その大きさや上昇幅については、一般成人より小さく、一貫して安心感は低い(犯罪不安が大きい状態)。要素別に見ると、見通し以外については、一般成人と同様の傾向が見てとれるが、道の幅から得られる安心感が最も大きくなり、要素とその大きさの関係は、一般成人とは異なる。これは、開放感や見通し等高齢者の視覚に関わる要素について、そこから得られる安心感が制限されるためである。

(3) 考察

4.1 節、4.2 節のシミュレーションを通して得られた考察は①~③の通りである。

① 同一の用途地域であっても差があること

高輪 4 丁目住宅街をはじめとして、区域内が同一の用途地域に指定されている場合であっても、歩行する箇所によって犯罪不安の値は変化し、一様とはならない。同一の用途地域であるため、見た目上同じような光景が広がる場所であっても、犯罪不安という観点では、犯罪不安が大きい箇所や少ない箇所など、様々であることが窺える。本知見は、用途地域別に犯罪不安を分析した雨宮・島田(2009)⁶⁵⁾の研究を補足するものとなり得り、また、犯罪不安を考慮した住宅街の不動産価格の分析の応用にもつながる内容である。

② 当該道路を歩く長さや経路によって差があること

高輪 4 丁目の住宅街を出発して明治学院大学まで移動する経路は一つではない。今回、様々な種類の道路を歩かせるために、途中、安定して大きな安心

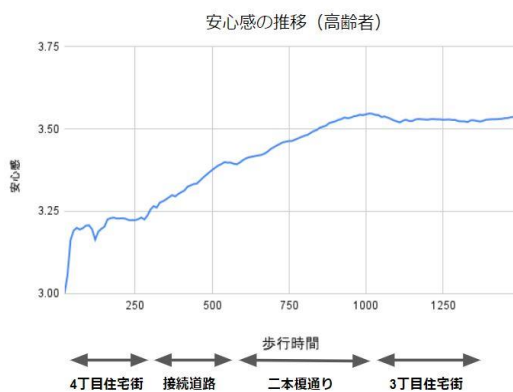


図 17 安心感の推移 (高齢者)

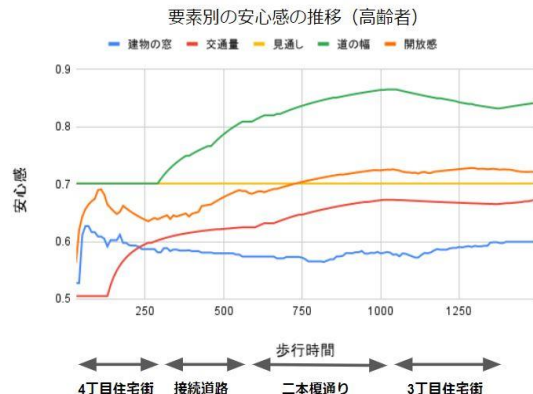


図 18 要素別の安心感の推移 (高齢者)

感を得ることができた二本榎通りを外れ、あえて高輪 3 丁目の住宅街に入って移動しているが、3 丁目の住宅街に入らず二本榎通りを直進するコースも考えられ、その場合、得られる安心感はより大きくなることが想定できる。また、二本榎通りから高輪 3 丁目に入るコースは 4 本あり、コースによって、二本榎通りや高輪 3 丁目住宅街を歩く長さも変わることになり、得られる安心感には差が出ることも想定できる。特に、見通しについては、経路の選択によって改善を図ることが可能な要素となり、経路選択によって安心感も変化する可能性がある。

③ 視野の角度・距離によって差があること

4.2 節では高齢者の歩行者を想定し、その視野と視距離を狭めてシミュレーションを行った。その結果、安心感の推移こそ一般成人と同様となったものの、視覚の制限が影響し、全体の安心感の大きさは一般成人より小さくなり、要素別に見ても、大小の内訳は異なることとなった。本シミュレーションの結果からも、高齢者や視覚障害等の歩行者の視覚を補助する整備が必要であることが窺える。

以上、実際の都市の 3D モデルを用いて、①～③の知見を得ることができた。その一方で、建物の窓については、今回のシミュレーションからはその特徴を得ることができず、他のコースでシミュレーションを行う等、追加の検証が必要となる。

5. まとめ

本稿は、市民が都市を歩行する中で抱く犯罪不安について、国土交通省が公開している実際の都市の 3D モデルである PLATEAU を、ゲームエンジンの Unity に導入して分析する方法を紹介し、シミュレーションを実行した。シミュレーションの結果、市民の抱く犯罪不安は、①同一の用途地域であっても差があること、②当該道路を歩く長さや経路によって差があること、③視野の角度・距離によって差があることが確認された。一方で、以下の点が課題として残った。

課題 1 未実装の要素が犯罪不安に与える影響

本稿では、市民が抱く犯罪不安の分析のために、建物の窓、人通り・車通り（交通量）、見通し、道路の幅、開放感の 5 つの要素を取り上げたが、これら 5 つ以外の、実装しなかった他の要素が犯罪不安に与える影響を考慮できておらず、全体的な分析までには至っていない。例えば、市民の犯罪不安に大きな影響を与える要素として、多くの先行研究で街灯の明るさが指摘されているが^{66) 67)}、本研究では街灯の明るさまで実装できていない。考え得る全ての要素を再現すれば、結果の解釈の複雑性が増すこととなるため、必ずしも良いシミュレーションとは言えないが、何を要素として取り上げ、何を外すかの選択は、シミュレーションの目的をふまえて精査する必要がある。

課題 2 シミュレーションの正当性・妥当性

本稿では、市民の犯罪不安を数値モデル化する上で、対数線形和を仮定し、第 4 節で述べた結果を得たが、モデル式に別のものを仮定した場合にも同じ結果が得られるか検証できていない等、条件を変えた場合でも同様の結果が得られるか、結果の頑健性までを示せていない。

また、建物の等や交通量等、市民が各要素を重視する度合は、全ての要素間で等しい（0.2 ずつ）としたが、その度合は、性別や年齢等、個人の属性によっても異なることが想定される。シミュレーションが正しい仮定のもとに実行されたか、そして、得られた結果が妥当であり解釈可能なものであるのかという点は、社会シミュレーションを正しく行う上で V&V（Verification & Validation, 正当性・妥当性）として広く知られるが⁶⁸⁾、本稿では、V&V に関する議論が不十分なままシミュレーションを行っている。

課題 3 PLATEAU のみでは再現できない物体の存在

本稿では、実際の都市の再現にあたって、PLATEAU を使用したが、現実には、PLATEAU のモデルだけでは再現できていない物が数多く存在する。例えば、実際の都市には、電柱や街路樹等の物体が存在しているが、PLATEAU ではこれらの物体のモデル化までは行っておらず、当該物体が歩行者の犯罪不安に影響を及ぼす影響を考慮できていない。実際に、街路樹の存在は歩行者の見通しを狭め、犯罪不安を増大させる可能性がある⁶⁹⁾。

以上の課題の解決に向けた今後の展望として、現在、アンケート調査を実施しているところである。アンケート調査の結果を、実装や数値モデルに反映することで、シミュレーションの正当性・妥当性を高めることができる。また、PLATEAU のみでは再現できない物体は、Unity 用の 3D モデルの販売サイトや自作を通して、犯罪不安に与える影響が大きい物体から順次追加し、より現実の都市を再現した状況下でシミュレーションを行うことを計画している。課題点を改善したシミュレーションは、本稿の続報として発表予定である。

注

注 1) PLATEAU に関する最新情報は専用 HP、

<https://www.mlit.go.jp/plateau>

で閲覧可能。（最終アクセス日: 2022 年 9 月 28 日）

注 2) PLATEAU オープンライブラリー参照。

<https://www.mlit.go.jp/plateau/libraries>

（最終アクセス日: 2022 年 9 月 28 日）

注 3) 項目表の作成にあたっては、参考文献 11 や、表 1 の文献を参考とした。

注 4) 国土交通省国土技術総合政策研究所「密集市街地整～まちづくり誘導手法を用いた建替え促進のために～」参照。

<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn0368.htm>

（最終アクセス日: 2022 年 9 月 25 日）

参考文献

- 1) 警視庁：令和 3 年の犯罪情勢
- 2) 日工組社会安全研究財団：犯罪に対する不安感等に関する調査研究— 第 6 回調査報告書 —, 2019
- 3) Silver, A. : *On Demand for Order in Civil Society: A Review of Some Themes in the History of Urban Crime, Police and Riot in England*, University of Michigan, 1965
- 4) Jacobs, J. : *The Death and Life of Great American Cities*, Random House, 1961.
- 5) Newman, O. : *Defensible space*, New York Macmillan, 1972
- 6) Jeffery, C. R. : *Crime Prevention through Environmental Design*, Beverly Hills: Sage, 1971
- 7) Cozens, P. M., Saville, G. and Hillier, D.: Crime prevention through environmental design (CPTED): a review and modern bibliography, *Property management*, Vol.23, No.5, pp.328-356, 2015
- 8) Davey, C., Wooton, A. Cooper, R. and Press, M. : Design against crime: Extending the reach of crime prevention through environmental design, *Security Journal*, Vol.18 No.2, 39-51, 2005
- 9) Johnson, D., Gibson, V. and McCabe, M. : Designing in crime prevention, designing out ambiguity: Practice issues with the CPTED knowledge framework available to professionals in the field and its potentially ambiguous nature. *Crime Prevention and Community Safety*, Vol.16, No.3, pp.147-168, 2014
- 10) Atlas, R. and Saville, G. : *Implementing CPTED, 21st Century Security and CPTED Designing for Critical Infrastructure Protection and Crime Prevention*, CRC Press, pp.523-529, 2013
- 11) 国立研究開発法人建築研究所：防犯まちづくりデザインガイド～計画・設計からマネジメントまで，建築研究資料, No.134, 2011
- 12) Nash, V. and Christie, I. : *Making sense of community*, Institute for Public Policy Research, 2003.
- 13) Grönlund, B. : Is hammarby sjöstad a model case? Crime prevention through environmental design in Stockholm, Sweden, *The urban fabric of crime and fear*, pp.283-310, 2011
- 14) Shotland, R. L. and Goodstein, L. I. : The role of bystanders in crime control, *Journal of Social Issues* Vol.40, No.1, pp.9-26, 1984 ,
- 15) Balkin, S. and Houlden, P. : Reducing fear of crime through occupational presence, *Criminal Justice and Behavior*, Vol.10, No.1, pp.13-33, 1983
- 16) Herzog, T. R. and Miller, E. J. : The role of mystery in perceived danger and environmental preference, *Environment and behavior*, Vol.30, No.4, pp.429-449, 1998
- 17) Nasar, J. L., Fisher, B. and Grannis, M. : Proximate physical cues to fear of crime, *Landscape and urban planning* Vol.26, No.1-4, pp.161-178, 1993
- 18) Stamps, A. E. : Visual permeability, locomotive permeability, safety, and enclosure, *Environment and Behavior*, Vol.37, No.5, pp.587-619, 2005
- 19) An, J and Yoshida, T. : Use of Omnidirectional Images to Analyze Elderly People's Feelings of Insecurity about Snatch Occurrences on Roads, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, Vol.12, No.2, pp.301-308, 2013
- 20) Painter, K.: The impact of street lighting on crime, fear, and pedestrian street use, *Security Journal* Vol.5, No.3, pp.116-124, 1994
- 21) Williams, D. and Ahmed, J. : The relationship between antisocial stereotypes and public CCTV systems: Exploring fear of crime in the modern surveillance society, *Psychology, Crime & Law*, Vol.15, No.8, pp.743-758, 2009
- 22) Sreetheran, M. and Van Den Bosch, C. C. K. : A socio-ecological exploration of fear of crime in urban green spaces—A systematic review *Urban Forestry & Urban Greening* 13 (1), 1-18, 2014
- 23) Maruthaveeran, S. : The perception of social safety in a green environment: a preliminary study at the Kepong Metropolitan Park, *Asian Journal of Environment-Behaviour Studies*, Vol.1, No.1, pp.99-111, 2016
- 24) Doran, B., J. and Lee, B.G. : Investigating the spatiotemporal links between disorder, crime, and the fear of crime—The Professional Geographer 57 (1), 1-12, 2005
- 25) Scarborough, B. K., Like-Haislip, T. Z., Novak, K. J., Lucas, W. L. and Alarid, L.F. : Assessing the relationship between individual characteristics, neighborhood context, and fear of crime, *Journal of Criminal Justice*, Vol.38, No.4, pp.819-826, 2010
- 26) Cozens, P. and Love, T. : Manipulating permeability as a process for controlling crime: Balancing security and sustainability in local contexts, *Built Environment*, Vol. 35, No.3, pp.346-365, 2009
- 27) Hong, J and Chen, C. : The role of the built environment on perceived safety from crime and walking: examining direct and indirect impacts, *Transportation*, Vol.41, pp.1171-1185, 2014
- 28) De Donder, L., Verté, D. and Messelis, E. Fear of crime and elderly people: Key factors that determine fear of crime among elderly people in West Flanders : *Ageing International*, Vol.30, pp.363-376, 2005
- 29) Mazerolle, L. G. and Kadleck, C. and Roeh, J. : Controlling drug and disorder problems: The role of place managers. *Criminology*, Vol.36, No.2, pp.371-404, 1998
- 30) Matsukawa, A. and Tatsuki, S. : Crime prevention through community empowerment: An empirical study of social capital in Kyoto, Japan, *International Journal of Law, Crime and Justice*, Vol.54, pp.89-101, 2018
- 31) Phillips, E. G. : Crime Prevention Through Environmental Design in the Bancroft Neighborhood, *Minneapolis Neighbourhood Planning for Community Revitalisation*, 1996
- 32) Lorenc, T., Petticrew, M., Whitehead, M., Neary, D. Clayton, S., Wright, K., Thomson, H., Cummins, S., Sowden, A. and Renton, A. : Environmental interventions to reduce fear of crime: systematic review of effectiveness. *Systematic Reviews*, Vol.2, No.30, 2013
- 33) Glay, E., Jackson, J. and Farrali, S. : Reassessing the fear of crime, *European Journal of Criminology* Vol.5, No.3, pp.363-380, 2008
- 34) Doran, B. J. and Burgess, M. B. : *Putting fear of crime on the map: Investigating perceptions of crime using geographic information systems*, Springer Science & Business Media, 2011

- 35) Freitas, P., M., Nunes, L., Gouveia, F and Guereiro, M. and Sani, A.: Smart Cities and Security-A Preventive Approach, Intelligent Environments 2019 Workshop Proceedings of the 15th International Conference on Intelligent Environments, pp.216-221, 2019
- 36) Kang, H. W. and Kang, H. B. : Prediction of crime occurrence from multi-modal data using deep learning, *PloS one*, Vol.12 No.4, 2017
- 37) Solymosi, R., Fujiyama, T and Bowers, K. : Mapping Fear of Crime as a Dynamic Event in the Whole Journey Environment, 2014
- 38) Fisher, B.S. and Naser, J. L. : Fear of crime in relation to three exterior site features: Prospect, refuge, and escape, *Environment and Behavior*, Vol.24, No.1, pp.35-65, 1992
- 39) Lisowska, A. : Crime in tourism destinations : Research review, *Turyzm/Tourism*, Vol.27, No.1, pp.31-39, 2017
- 40) 曾キン: MMS 点群データを用いた建物 3D モデルの生成に向けた高速な壁面点群抽出手法, 九州工業大学博士学位論文, 2019
- 41) 古谷知之, 南正樹: デジタルテクノロジー前提社会を支える空間情報の要素技術, GIS-理論と応用, Vol.27, No.2, pp.55-60, 2019
- 42) Cureton, P. and Dunn, N. : Digital twins of cities and evasive futures, *Shaping Smart for Better Cities*, pp.267-282, Academic Press, 2021
- 43) 川合康央, 松井祐希, 池田岳史, 益岡了: 定点カメラを用いた人流ビジュアライゼーションシステム, 日本デザイン学会研究発表大会概要集, 日本デザイン学会 第 69 回研究発表大会, 286, 2022
- 44) 宮本華帆, 川合康央大規模オープンデータを用いたレースゲームの開発エンタテインメントコンピューティングシンポジウム論文集 2021, pp.77-80, 2021
- 45) 三宅陽一郎, 清田陽司, 柴崎亮介特集: 「スマートシティと AI の新展開」特集「スマートシティと AI の新展開」にあたって, 人工知能, Vol.37, No.4 pp. 401-403, 2022
- 46) Gehl, J. : *Cities for People*, Island press, 2013
- 47) Cozens, P. and Davies, T. : Investigating “Eyes on the Street,” Perceptions of Crime and the use of Security Shutters—Insights from a Residential Suburb in Perth (WA), *Crime Prevention and Community Safety*, Vol.15, No.3, pp.175-191, 2013
- 48) Clarke, R. V. : *Situational crime prevention: Successful case studies. 92nd ed*, New York Harrow and Heston, pp.91-150, 1997
- 49) Cozens, P. and Tarca, M. : Exploring housing maintenance and vacancy in Western Australia: Perceptions of crime and crime prevention through environmental design (CPTED), *Property Management*, Vol. 34, No.3, 2016
- 50) Rosenholtz, R., Huang, J. and Ehinger, K. A. : Rethinking the role of top-down attention in vision: Effects attributable to a lossy representation in peripheral vision, *Frontiers in psychology*, Vol.3, No.13, 2012
- 51) Vrij, A. and Winkel, F. W. : Characteristics of the built environment and fear of crime: A research note on interventions in unsafe locations, *Deviant Behavior*, Vol. No.12 (2), pp.203-215, 1991
- 52) 日本都市計画学会: 実務者のための新 都市計画マニュアル実務者のための新 都市計画マニュアル<2>, 丸善出版, 2003
- 53) Park, A. J., Hwang, E., Spicer, V., Cheng, C. and Brantingham, P. L. : Testing elderly people's fear of crime using a virtual environment, *European Intelligence and Security Informatics Conference*, pp. 63-69, 2011
- 54) Asgarzadeh, M., and Koga, T., Yoshizawa, N. and Munakata, J. : Investigating green urbanism; building oppressiveness, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, Vol.9, No.2, pp.555-562, 2010
- 55) 蓮香文絵, 大澤義明, 切田元, 小林隆史: 天空率と天空比との関係に関する考察, 日本建築学会計画系論文集, Vol.71, No.600, pp.121-127, 2006
- 56) Kreps, D. M. *A course in microeconomic theory*, Princeton university press, 2020
- 57) Hanley, N., Wright, R. E. and Adamowicz, V. : Using Choice Experiments to Value the Environment *Environmental and resource economics*, Vol.11, No.3, pp. 413-428, 1998
- 58) Santos, J. M. L.: *The economic valuation of landscape change: theory and policies for land use and conservation*, Edward Elgar Publishing, 1998
- 59) Hoogendoorn, S. P. and Bovy, P. H. : Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models. *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol.38, No.2, pp.169-190, 2004
- 60) Borgers A Timmermans, H. : model of pedestrian route choice and demand for retail facilities within inner-city shopping areas. *Geographical analysis*, Vol.18, No.2, pp. 115-128, 1986
- 61) Cossmann, J., S. and Rader, N., E. : Fear of crime and personal vulnerability: Examining self-reported health, *Sociological Spectrum*, Vol.31, No.2, pp.141-162, 2011
- 62) Jackson, J. and Stafford, M. : Public health and fear of crime: A prospective cohort study, *The British Journal of Criminology*, Vol.49, No.6, pp.832-847, 2009
- 63) Johnson, J. and Finn, K. : *Designing user interfaces for an aging population: Towards universal design*, Morgan Kaufmann, 2017
- 64) 大江謙一: 高齢者の視力, 照明学会雑誌, Vol.50, No.3, pp.121-122 1966
- 65) 雨宮護, 島田貴彦: 都市の空間構成と犯罪不安の関連地域特性を考慮した防犯まちづくりにむけた基礎的研究, 都市計画論文集, No.44.3, pp.295-300, 2009
- 66) Fotios, S. Unwin, J. and Farrall, S. Road lighting and pedestrian reassurance after dark: A review *Lighting Research & Technology* Vol.47 No.4, pp.449-469, 2015
- 67) 樋野公宏, 石井儀一, 藤井さやか: 周辺環境が夜間歩行時の犯罪不安に与える影響とその構造 筑波研究学園都市の歩行者専用道路を対象として, 日本建築学会計画系論文集, Vol.79, No.696, pp.445-450, 2014
- 68) 高橋真吾, 後藤裕介, 大堀耕太郎: 社会システムモデリング, 共立出版, 2022
- 69) Cecatto, V. Canabarro, A. and Vazquez, L. : Do green areas affect crime and safety?, *Crime and Fear in Public Places*, pp.75-107. Routledge, 2020