口頭発表

2025年11月2日(日) 14:00 ~ 15:20 | C会場(共通教育棟 D21番教室)

[C7] 可視化２

司会：武内 樹治

14:00 ~ 14:20

[C7-01] 地理空間情報による福井空襲史デジタルアーカイブの構築

*青木 和人[1] (1. 福井県立大学 地域経済研究所)

14:20 ~ 14:40

[C7-02] 状態を持つ描画点による多様なファサードを有する３次元建物モデルの自動生成

*村瀬 孝宏[1]、杉原 健一[2]、沈 振江[2]、滕 瀟[2] (1. 中京学院大学 経営学部、2. 金沢大学 理工研究域・環境デザイン学系)

14:40 ~ 15:00

[C7-03] 鉄道駅を起点とした徒歩人流方向の自動分割

*西 颯人[1]、長谷川 大輔[1] (1. 東京大学)

15:00 ~ 15:20

[C7-04] 道路単位での歩行者量分布に基づく駅徒歩圏域の広がりと分布の計測

*長谷川 大輔[1]、西 颯人[1] (1. 東京大学不動産イノベーション研究センター)

©一般社団法人地理情報システム学会

地理空間情報による福井空襲史デジタルアーカイブの構築

青木和人

Construction of a Geospatial Digital Archive of the Fukui Air Raid History

Kazuto AOKI

Abstract: In this study, we visualized the damage caused by the Fukui air raid and conducted a spatial analysis of the damage by digitizing the list of victims of the Fukui air raid and converting it into geospatial information. This geospatial conversion made it possible to build a foundation for many people to understand the accumulation and spread of local damage that was difficult to grasp from the paper version of the history of the Fukui air raid alone. Another significant point of this study is that the digital archiving work was carried out mainly by the younger generation in the region.Furthermore, the mapping analysis of the damage caused by the Fukui air raid spatially demonstrated the distribution of the deceased and the areas of concentrated damage, revealing local characteristics. Distance-based analysis showed that the damage did not decrease monotonically but exhibited multi-peakedness with multiple peaks. These findings suggest a connection with the expansion of the city at that time, which was based on the castle town.

Keywords: 福井空襲(Fukui air raid),戦災史研究(war damage studies),地理空間情報(geospatial information) , デジタルアーカイブ(digital archive),距離帯別分析(distance-zone analysis)

１．はじめに

福井空襲は，太平洋戦争末期の 1945 年（昭和 20 年）7 月 19 日夜半から 20 日未明にかけて実施された戦略爆撃である．その結果，福井市市街地の約 84%が焼失し，死者 1,684 人，負傷者 6,419 人，全焼家屋 23,009 戸という戦災が生じた（福井空襲史刊行会 1978）．戦後 80 年を迎えた現在，福井空襲体験を直接記憶する世代は少なくなり，証言とともに空襲の記憶が失われつつあり，その継承が喫緊の課題となっている．戦災の地理空間情報によるデジタルアーカイブ構築事例については，被爆者の証言を地図上に可視化し，戦災の全体像を理解できる形で提示する，ナガサキ・アーカイブ(渡邉ほか 2010)，ヒロシマ・アーカイブ(渡邉ほか 2011)がある．また，証言を地図上で追体験し，体験継承と教育実践を結びつける沖縄平和学習アーカイブ(渡邉ほか 2012)の取り組みもある．

しかし，広島・長崎での原子爆弾，沖縄戦などの大規模戦災については，先行事例研究やマスメディアにより取り上げられるが，福井空襲など地方都市における戦災は注目されることが少ない．そのため，福井空襲については，未だデジタルアーカイブが存在しない．そこで本研究では，紙媒体のアナログ形式で保存されてきた福井空襲史を福井新聞社と福井県立大学生が協働して，地理空間情報としてデジタル化し，記憶の継承を行う取り組みを実践した．

２．使用した資料とデジタルアーカイブ手法

２.１　福井空襲史

福井空襲の記録として，『福井空襲史』（福井空襲史刊行会 1978）がある．全 1,478 頁に及ぶ同資料は福井空襲の経過と被害を詳細に記述している．内容は被災状況の事実報告にとどまらず，空襲による人的被害，建物被害，産業・金融・教育・宗教施設への影響，さらには復興過程における行政施策や住民活動にまで及ぶ．また，多数の住民証言，当時の市街図，被災箇所図，死没者名簿，公文書記録などを豊富に収録している．

２.２　デジタルアーカイブ作成

この福井空襲史デジタルアーカイブプロジェクトは，福井県立大学 1～4 年生まで 8 名による自発的な学部横断プロジェクトとして実施された．取り組みでは，福井空襲史を基にデジタルアーカイブ化作業を行った．作業は大きく，(1)史料調査と情報整理(2)死没者名簿データのデジタル化・地理空間情報化(3)Web 公開用コンテンツ制作の 4 段階で実施された．

(1)史料調査と情報整理

学生たちはまず，福井市立郷土歴史博物館を訪問し，学芸員による説明を受けた後，博物館が所蔵する空襲被害の写真，遺品，焼夷弾模型などの実物資料を見学し，戦災の実態を視覚的に理解した．また，資料として福井空襲史の説明を受けた．この資料巻末に 832 名分の死没者名簿が収録されており，住所，氏名，死没場所，死没年月

正会員　福井県立大学　地域経済研究所
（Research Institute for Regional Economics,Fukui Prefectural University）kazua@g.fpu.ac.jp

日の詳細な情報が記載されていることから，戦災の空間的分布を明らかにするため，死没者名簿のデジタル化に取り組むこととした．また，博物館からは，第一復員省資料課作成の戦災概況図福井（1945）も紹介された．この地図は福井空襲による焼失区域を示しており，GIS によるジオリファレンスにて現代の地図との重ね合わせによって戦災範囲を正確に特定できる．このため，GIS にて戦災範囲上に死没者の情報を地理空間情報化することで，戦災の集中度や地理的傾向の空間的把握を行った．

(2)死没者名簿（死没場所）のデジタル化

福井空襲史巻末の死没者名簿は，約 830 人分の詳細な情報を含む．記載項目は，氏名，住所，死没場所，死没年月日である．名簿は資料収集がされた昭和 50 年当時の被災地の各区長が当時，区内に在住していた住民の犠牲状況をまとめたものである．この資料を元に学生たちが一件ずつデータベース化した．このうち，死没場所が判明している 752 人分の死没場所を地理空間情報化した．作業時における課題は，住所や地名の古い表記への対応であった．福井市では，福井空襲後，区画整理による町名字名変更が行われ，消滅した町名が多かった．また，○○町○丁目のような詳細な番地が記載されている場合もあれば，○○町付近といった死没場所情報もあった．作業時にはジオリファレンスした昭和 8 年作成の福井市街地図を GIS 上で参照し，旧町丁目の現在地図上での対応地点を推定し，緯度経度情報を入力した．

入力後，死没場所ごとの死没者集計を行った．その結果，最も死没者が多かったのは，宝永上町で 50 人(6.65%)であった．次いで日ノ出下町 31 人(4.12%)，三の丸町 30 人(3.99%)，佐佳枝上町人 28 人(3.72%)となる．また，氏名から性別を推定し，入力・集計したところ，約 6 割が女性であった（性別が判別できない氏名は除外している）．この傾向から，男性は出征していたため，都市部には女性や子ども，高齢者が多く残っていたことが推察される．

(3)Re:Earth による WebGIS 公開

作成した地理空間情報から，位置情報が確定した死没場所 166 カ所（752 人分）を Web3D-GIS プラットフォーム「Re:Earth」を利用して，死者数に比例して，プロット円の大きさを変えて可視化した「福井・戦争デジタルアーカイブス」を公開した（福井新聞社 2025）．これにより，死没者が集中したエリアを把握できるようになった．結果として，福井県庁（福井城址）の北側や東側で死没者が特に多かったことが明らかになった．公開されたマップは URL を通じて誰でも閲覧でき，市民や研究者が自由に利用できる形となっている．

3．被害の空間的把握

3.1　町丁目別死没者数

図 2 は，戦災概況図福井に，当時の福井市街地中心地



図 1．福井・戦争デジタルアーカイブス

点から 1km，2km 同心円ポリゴンを作成し，町丁目単位で集計された死没者数を比例シンボルマップで示したものである．なお，戦災概況図に示されていた被災範囲は，ポリゴン化し赤色枠にて示している．中心地点は最初に焼夷弾が投下された福井城北の神明神社を選定した．当時の市街地は中心部より，北側は 0.5km と狭く，東西は 1.5km，南は 2km の南寄りに市街地が広がっていた．

図 2 での戦災状況を俯瞰すると，中心部からの距離の増加に伴う被害の減衰傾向が明確に見て取れる．顕著な被害は中心部から半径約 1km 範囲に集中している．この範囲は福井城を中心とした旧城下町が，ほぼ収まる範囲に相当する．建物の密集度が高かったため，多数の死傷者を生んだと推察できる．特に福井城北の最も大きな比例シンボル表示がされている宝永上町では最も多い 50 人もの死没者が発生している．また，福井城周辺では 30～40，20～30 人規模の大きな戦災が複数確認される．それ以外の市街地では，1～10 人規模の被害が均等に発生している．福井城より東・南部は大きな比例シンボル，西・北部は小さな比例シンボルであるのは，旧城下町が福井城より北西部に広がっていたため，細かな空間単位の町丁目となっていたためであろう．

また，1km 圏を越える周縁部でも，1～10 人規模の死没者が均等に発生しており，おおむね中心から 2km 範囲内の市街地のほとんどで戦災が生じたことを物語っている．この分布パターンは，焼夷弾を用いた市街地への火災攻撃により，延焼による戦災が市街地中心部に集中していたことを示すとともに，周辺農村部への戦災が少なかったことを示している．また，中心部より北西 1～1.5km の市街地外でも 1～10 人規模の町丁目や南東 2km 外でも死

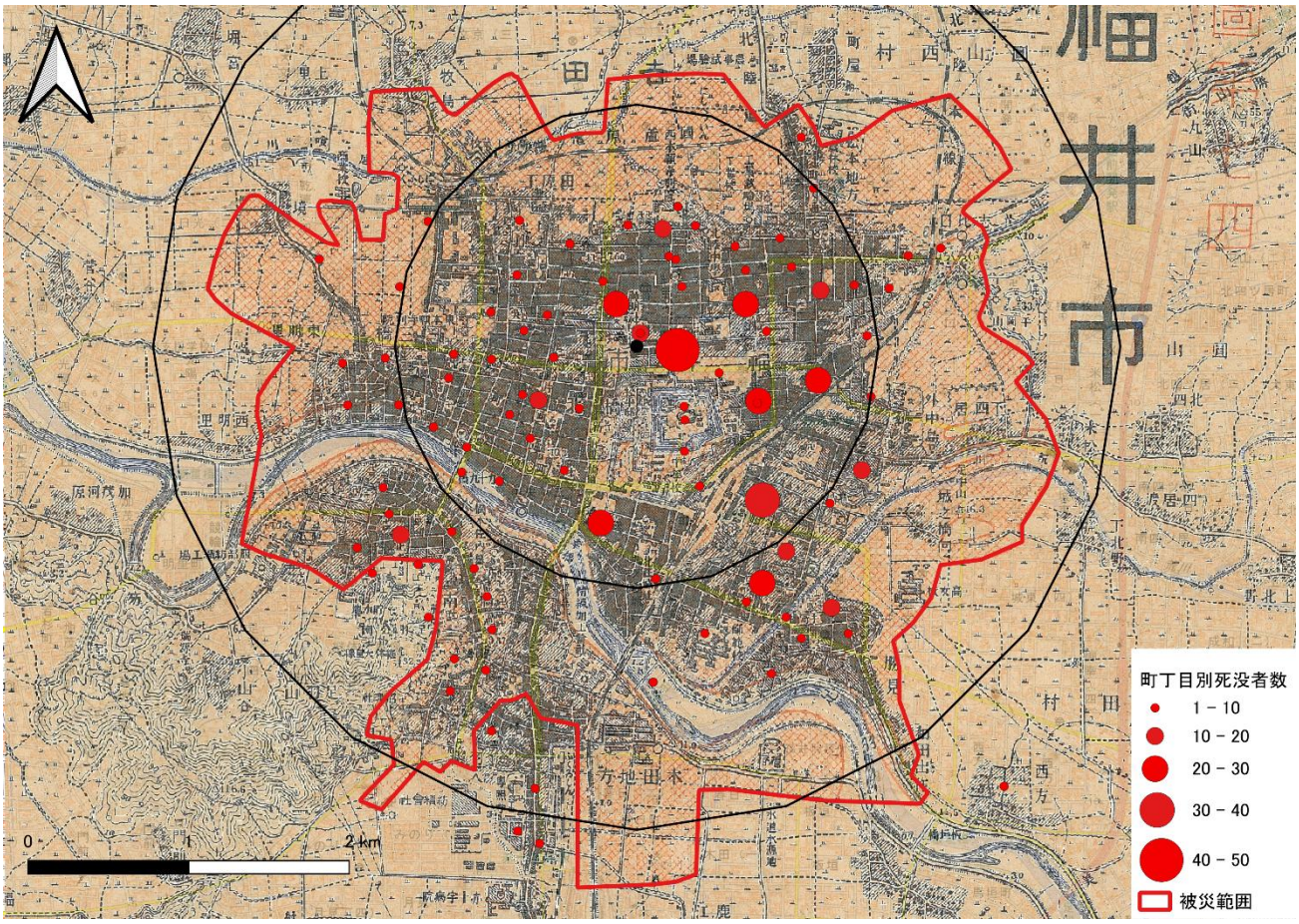


図 2. 死没者数の空間分府図

没者が生じている．これらは避難途上での死没であることが考えられる．

３.２　距離別死没者数

次に市街地中心からの距離を計測し，距離帯ごとに死没者数を集計した．図 3 は，2.5km までの 0.1km 距離帯ごとの死没者数を示したグラフである．752 人のうち，96.53%の 724 人が半径 2.5km 内で死没している．最も多い距離帯は 700～800m 帯の 107 人（14.46%）であり，次いで 500～600m 帯 79 人（10.68%），100～200m 帯 77 人（10.41%）が大きなピークを構成している．また，累積割合の観点からは，1300m 以内で全体の 87%以上，1500m 以内で 94.32%以上が含まれており，主な被害はこの範囲に集中していることがわかる．

最も近い 0～100m 帯では 21 人（2.84%）と比較的少数であるが，100～200m 帯では急増し 77 人（10.41%）に達する．この際，累積割合は 13.24%となり，基点周辺の直近ではなく，やや離れた帯域において人的集中が顕著であることを示している．200～300m 帯では 6 人（0.81%）だが，300～400m 帯で 40 人（5.41%），400～500m 帯で 66 人（8.92%），500～600m 帯では 79 人（10.68%）と顕著なピークを形成し，累積割合は 39.05%に達する．続く 600～700m 帯では 24 人（3.24%）と一時的に低いが，700～800m 帯において最大 107 人（14.46%）となっている．ここまでで累積割合は 56.76%である．さらに 800～900m 帯は 50 人（676%），900～1000m 帯は 23 人（311%）となり，1000m までの累積割合は 56.76% に達する．

1000～1100m 帯では 59 人（7.97%），1100～1200m 帯では 48 人（6.49%），1200～1300m 帯では 45 人（6.08%）と，1000m 以遠でも大きな被害が生じている．1300～1400m 帯 31 人（4.19%），1400～1500m 帯 22 人（2.97%）と距離の増加に伴って徐々に減少し，1500m までで累積割合は 94.32%に達する．このことから，被害のほとんどが 1500m 以内に含まれているとみなすことができる．

1500m 以遠では人数は急減し，2～5 人規模の死没者がみられる．1500～1600m 帯は 2 人（027%），1600～1700m 帯 5 人（068%），1700～1800m 帯 3 人（041%），1800～1900m 帯 1 人（014%），1900～2000m 帯では 0 人となる．2000～2100m 帯においては例外的に 9 人（122%）が確認されるが，それ以外はほぼ僅少である．2300～2400m 帯 5 人（068%），2400～2500m 帯 1 人（014%）を最後に，分布はほぼ消失する．

距離帯別の分布における特徴的な点は，多峰性を有していることである．最大のピークは 700～800m 帯であり，これに 500～600m 帯と 100～200m 帯が続く．これらは旧

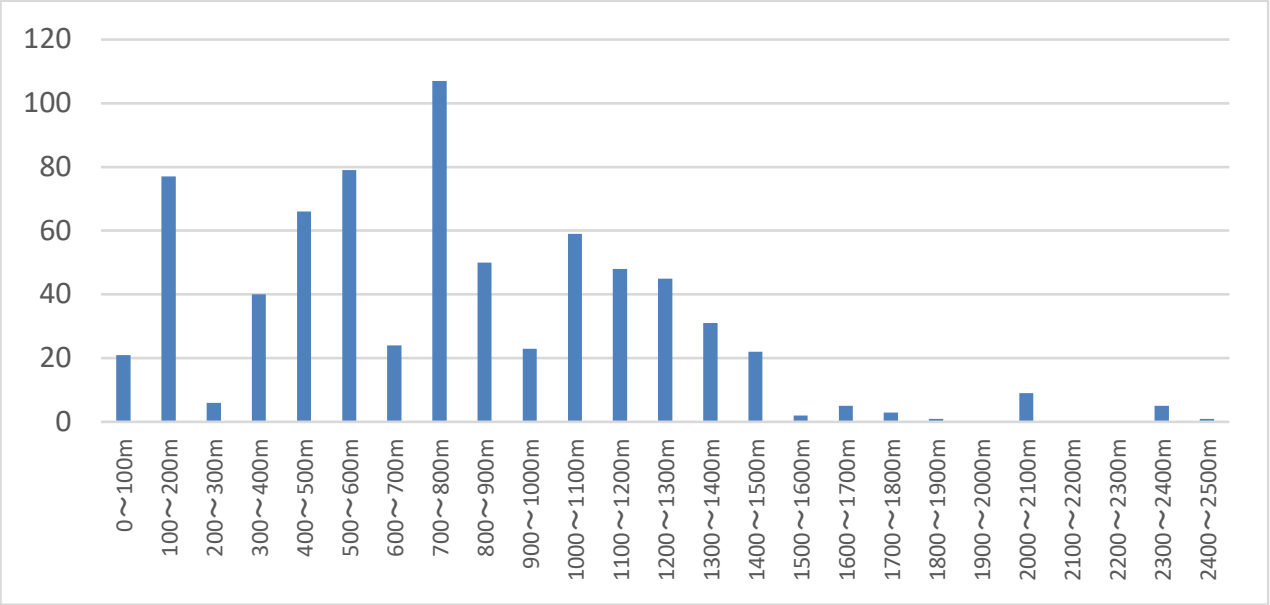


図 3. 距離別死没者数

城下町から発展した当時の市街地の同心円状発展，土地利用の配置に影響している可能性がある．また，死没者の集計単位が当時の町丁目であったため，町丁目の配置形状にも影響されているであろう．本結果は，戦後復興都市計画以前の福井市の都市構造や人口配置による戦災状況を示している．しかし，戦災規模や広がりは，都市の形態や密度と密接に関わっており，本結果は歴史的分析であると同時に，復興後の現在の福井市防災にも有効であると考えられる．

4．おわりに

本研究では，福井空襲史における死没者名簿のデジタルアーカイブ化と WebGIS での公開を通じて，福井空襲被害を可視化し，戦災被害の空間的分析を行った．これにより，紙媒体の福井空襲史だけでは把握しにくい局所的被害の集積や広がりが多くの人に把握できる地理空間情報デジタルアーカイブを構築した．そして、Web3D-GIS プラットフォーム「Re:Earth」を利用して，「福井・戦争デジタルアーカイブス」を公開した．また，この作業を地域の若い学生が担った点も大きな意義の一つである．福井空襲被害の地図化分析では，死没者の分布や被害の集中域を空間的に示し，局所的な特徴が示された．距離別分析からは，被害が単調に減衰するのではなく複数のピークを伴う多峰性を示していた．これらは，城下町を基にした当時の市街地の広がりとの関連が示唆される．

今後の課題として，地図化分析や距離帯別分析で示唆された多峰性の要因を解明するため，都市構造や避難経路，風向・地形条件との関連をより詳細に検討することが求められる．また，本研究では死没者名簿を基にした分析を行ったが，分析対象は死没場所のみに限定されており，住所や氏名からの家族構成の分析などには至っていない．今後は，焼夷弾の残骸や慰霊碑，遺品などを対象に，3D デジタル化を予定している．3D データは，Re:Earth の 3D データ表示機能を利用して，WebGIS 上で閲覧できる 3D アーカイブとして構築する予定である．

謝辞

本研究の遂行にあたり，共に調査実施を行った福井新聞社の島本祥之氏，福井県立大学の学生諸氏，並びに貴重な資料提供と助言を賜った福井市立郷土歴史博物館の藤川明宏氏に深く感謝申し上げます．

参考文献

第一復員省資料課(1945)「戦災概況図福井」,https://www.digital.archives.go.jp/gallery/0000000126（2025 年 8 月閲覧）.

福井空襲史刊行会（1978）『福井空襲史』，福井空襲史刊行会.

福井新聞社（2025)「福井・戦争デジタルアーカイブス」https://www.fukuishimbun.co.jp/common/usr/map/war_archives/（2025 年 8 月閲覧）.

渡邉英徳・高橋昂輝・山内康英（2010）ナガサキ・アーカイブ：被爆証言と証言地図の統合.「デジタル・ヒューマニティーズ研究」，1，45-56.

渡邉英徳・高橋昂輝・山内康英（2011）ヒロシマ・アーカイブ：被爆証言と地理空間情報の統合的表現.「ヒューマンインタフェース学会論文誌」，13（4），567-574.

渡邉英徳・外村大・池田謙一（2012）沖縄平和学習アーカイブ：証言と学習環境の統合に基づく実践.「教育メディア研究」，19（2），23-34.

状態を持つ描画点による多様なファサードを有する３次元建物モデルの自動生成

村瀬　孝宏*・杉原　健一**・沈　振江***・滕　瀟****

Automatic Generation of 3D Building Models with Diverse Facades Using State-Based Drawing Point

Takahiro Murase *, Kenichi Sugihara **, Zhenjiang Shen ***, Xiaoruy Tang ****

Abstract: In this paper we show automatic generation of the buildings whose façade are versatile and uneven, being added detailed undulations to the façade. To draw these detailed undulations, this study is introducing the concept of "drawing points" with "statuses". When the status of a point changes, an action of "drawing a line segment" is triggered. This concept, based on a "state transition diagram," is programmed to automatically draw the detailed undulations of the façade. In our previous work, a 3D building model was automatically generated based on the building polygon (building footprint) on digital maps, being extruded according to its associated number of floors. Although this method can create substantial building volumes, it cannot generate buildings with diverse vertical shapes. Such buildings can be provided with fully greened balconies.

Keywords: 自動生成（automatic generation），３次元建物モデル（3D building model），凸凹ファサード（uneven facade），ステータスを有する描画点（drawing point with status），緑化バルコニー（greened balcony）

１．はじめに

「建物の３Ｄモデル」（図１右参照）は，まちづくりの案を検討する際，関係者で計画案の出来上がりのイメージを共有でき，合意形成に役立つ．例えば，建物の３Ｄモデルはソーラーパネルを備え，どれぐらいパネルが太陽光を受け止められるのか．さらに，３Ｄモデルの部屋に入り，建物形状と季節に応じて，太陽光がどのように導かれるのかをシミュレーションできれば，よりよい持続可能な建物の設計につながる．そのため，建物の３Ｄモデルを効率よく作ることが求められている．しかし，現状では，３Ｄモデルを構築するには，専門家が描く「建物境界線や平面図」に基づき，３次元ＣＧやＣＡＤソフトを用いて，膨大な手作業にて，建物の３Ｄモデルを製作する．

これまでの著者らの研究で，電子地図上の建物境界線(建物ポリゴン)が，その頂角がほぼ直角である場合(直角建物ポリゴン)，それを四角形の集まりまで分割し，四角形の集まりを「互いに直交する長方形の集まり」まで「整形」し，各長方形の上に Box 形状の建物本体と屋根を配置して３次元建物モデルを自動生成した(杉原・沈, 2013; 杉原・村瀬, 2016, Sugihara,K.・Kikata,J, 2013) ．

この分割処理では，ポリゴンの Reflex 頂点(内角が 180 度以上の頂点)から分割線の候補を引き，分割線の優先度の高い順に分割処理を実行した．分割された四角形の集まりを互いに直交する長方形の集まりとして再構築するために，分割四角形は「どの四角形のどの辺にどのように接していたか」という「隣接情報」を分割四角形に保存する．「どのように接していたか」は，分割線がどの様に引かれるかで判明し，「どの四角形のどの辺」かは，分割四角形の隣接辺がどの四角形の，次にその四角形のどの辺に含まれるかを順次探索して調べる．

ここで，分割四角形の形状，即ち，本体ポリゴンの「内角が９０度の頂点」をどれだけ(３頂点以上かそれ未満か)含んだ分割四角形であるかに応じて，分割四角形から枝屋根を延長させるかどうかを決める．これは，長方形がその３頂点（P1,P2,P3）の位置が決まると，第４点(P4)の位置が（P1+P3-P2）で決まり，独立した四角形として，独立した屋根が載ることになるからである．

また．これまでの高層ビルを自動生成する研究においても，電子地図上の建物境界線である建物ポリゴンに関連付けている階数に応じて，建物ポリゴン全体を，その階数分，「押し出し(extrude)」処理し，建物を自動生成してきた．さらに．建物の垂直方向に多様性のある形状の建物を自動生成するために．建物境界線の中に別の建物境

*　正会員　中京学院大学　経営学部 (Chukyo Gakuin University)
〒509-9195 岐阜県中津川市千旦林：E-mail: murase@chukyogakuin-u.ac.jp
**　正会員　金沢大学　理工研究域　環境デザイン学系 (Kanazawa University)　mjsbp812@yahoo.co.jp
***　非会員　金沢大学　理工研究域　環境デザイン学系 (Kanazawa University)　shenzhe@t.kanazawa-u.ac.jp
****　非会員　金沢大学　理工研究域　環境デザイン学系 (Kanazawa University)　tang.xiaoruy@gmail.com

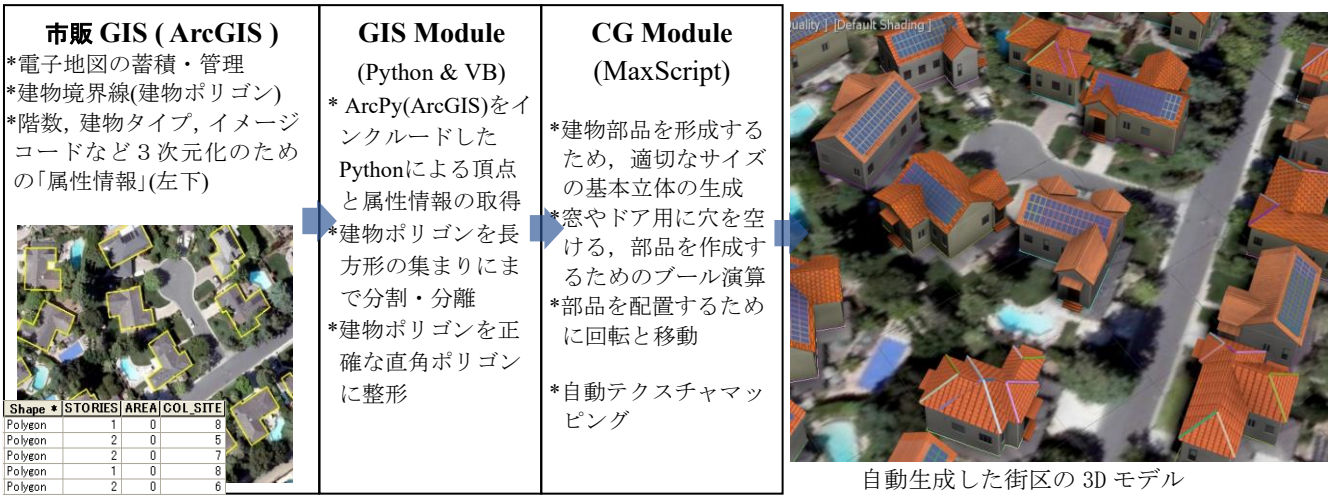


図 1　自動生成システムの構成と 3D モデルの自動生成のプロセス

界線を含む「多重建物ポリゴン」からの，「階段状建物」の自動生成，「建物ファサードの凸凹」を実現した３次元建物モデルの自動生成も行ってきた．

本研究では，これまでの研究を発展させ．「建物ファサードに凸凹」をもたせ，緑バルコニーを多く持つ多様なファサードを有する３次元建物モデルの自動生成を目指した．本手法で生成される建物には，屋上やベランダの緑化，ソーラーパネルなどの設置が可能で持続可能な建物の有力な候補となりうる．

２．既往の研究

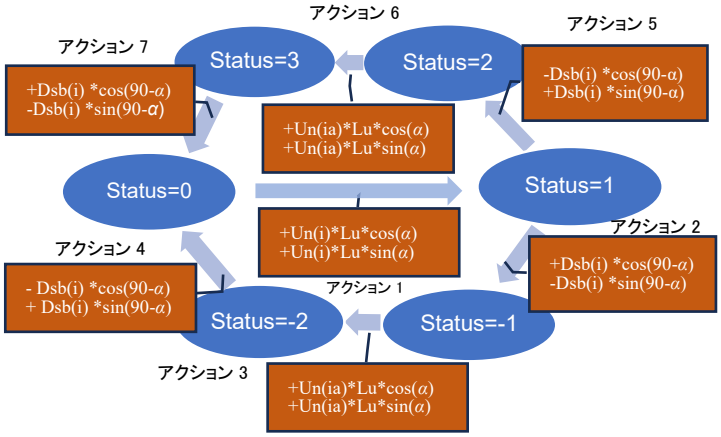
都市の３次元モデルは，都市計画や景観評価，防災まちづくりのシミュレーション等，広範囲に利活用が期待される情報基盤であるため，自動的に都市の３次元モデルを構築する研究が盛んである．現存する３次元都市モデルは，ステレオ画像の航空写真や衛星写真からＣＶ(コンピュータビジョン)や写真測量，リモートセンシングの技術を用いて，観測する地物の３次元形状を復元する．これらの測量法では，得られた点群を面付けし，撮影した画像を割り当て，都市の「表面モデル(Surface Model)」を作成する．これらは正確なサイズの建物概形の３次元表面モデルであるが，窓や玄関，柱，壁といった建築部材を持たず，力学や建物内の太陽光，温熱環境，気流などのエンジニアリング･シミュレーションが困難な，現状把握や景観を重視する３Ｄモデルである．但し，これらリモートセンシングの技術を用いて作られる３次元都市モデルは，Google Earth や PLATEAU に見られるように非常に広範囲に正確な表面モデルを提供するので，現状の都市を仮想空間内に再現するというような場合に必要で，普遍的な価値を持つといえる．

まだ，存在しない，これから作る計画案の街並みの建物の３次元形状をドローン等で取得することはできないが，詳細を有し現状ありうる形状の３次元建物モデルを，製作ルールで自動生成する「手続き型モデリング(Procedural Modeling)」が，Müller ら(2006)によって研究されている．これは，「形状文法 (shape grammars)」を用いることで，任意の方向を向いた建物本体となる複数の「多角体(mass model)」を接合して建物を形成していくとき，その接合面には，当然，窓やドアを設置できないが，多角体を接合して窓やドアが接合部で欠けてしまうこと(論文では unwanted intersections)を正し，詳細な装飾物まで持つようなファサードを有する３次元建物モデルの自動生成に成功した．これは ArcGIS CityEngine として，商品化もされた．この手続き型モデリング手法を使い，Fan Bao ら(2013)は，イメージや概形図をファサードの入力とし，イメージを解析し，そのイメージだけを再構築する「形状文法」を書き出し，そのイメージだけのファサードを自動生成する．但し，そのファサードに少しの形状変更を施すとき，形状文法のインタラクティブな大幅な変更を必要とし，モデリング時間が長時間になってしまうとされる．当該手法で生成されるモデルは「外皮(shell)」で成り立つ表面モデルであり，柱や壁板，屋根板，屋根下構造物など建物部材を持たない．

本研究で自動生成する建物の３Ｄモデルは，リモートセンシングや手続き型モデリングで得られる表面モデルと異なり，３Ｄモデルの各部材は中身の詰まった CSG のモデルであり３Ｄモデルの内部に入って，太陽光がどのように差し込むか，あるいは，屋根下構造物を持っているので，力学シミュレーションを行うことができる．

３．ファサードに凸凹付加し変化を持たせる手法

これまで自動生成した建物はファサードに詳細な変化を持たせることができなかった．本研究では，図 4 に示すようにファサードに詳細な凸凹を持たせることを可能にした．この詳細な凸凹を描くために，本研究では，図 2 に示すように，「描画点」に「状態(status)」を持たせ，点の



ここで，α は整形後の辺の傾き，Un(i)はi番目の Unit 数，Lu は Unit 長，Dsb(i) はi番目の setBack 長．状態が遷移するとき，四角内の式の増分値(x座標，y 座標)だけ，点の位置を移動．これらが状態が遷移するときのアクション．

図 2 ファサードの詳細な凹凸の線分を描く，ステータスを持つ描画点の状態遷移図

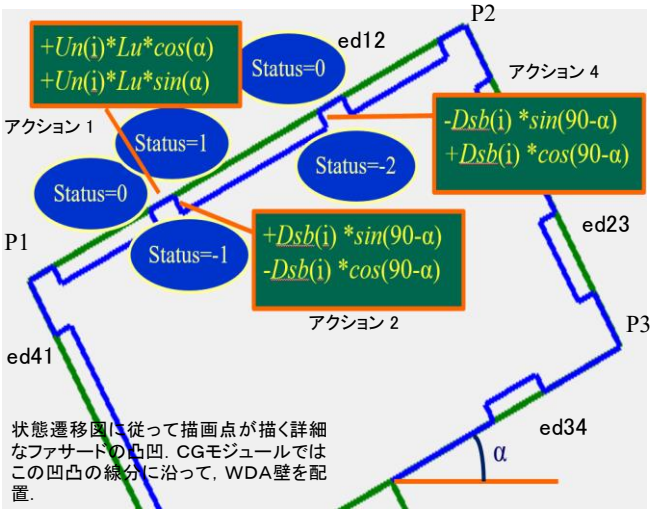


図 3 ステータスを持つ描画点が描く具体的な詳細なファサードの凸凹

状態が遷移するとき，「線分を描く」という「動作(Action)」を発生させる「状態遷移図」を考え，それをプログラム化して，ファサードに詳細な凸凹の線分を描くこととした．本プログラムでは，「状態を持つ描画点」がその状態を変えるときに，前の状態で決められた「点位置の変化量」に従って，「描画点が線を描く」という「動作」を発生させ，次の状態に遷移する．次に，次の状態で決められた，前の状態とは異なる「点位置の変化量」に従って，描画点が線を描いて行く．これを描画点が最終点に達するまで繰り返す．

具体的に，建物ポリゴンに対して，本手法を適用した事例を図 3 に示す．本システムでは，四角の「辺」を一つのオブジェクトとしてとらえ，この場合，辺 ed12 を構造体として定義し，前述した枝部の「切り口の痕跡」などを記憶する．この辺 ed12 において，原点(始点)は点 P1，終点は点 P2 となる．WDA 壁(窓やドアが設置可能な壁)に対して，本手法を適用し，「凸凹の詳細」を描く．即ち，図 4 では，枝部のない辺全体である辺 ed12 や WDA 壁に対して状態遷移プログラムを働かせる．

そこでは，「凸凹軌跡」の始点と終点を WDA 壁両端の点に合わせるために，WDA 壁を「単位(Unit)」に分け，その単位を「いくつ繋げて」セットバックの壁にするか，そして，「いくつ繋げて」非セットバックの壁にするかを決め，凸凹軌跡を形成していく．まず，WDA 長(len_WDA)を「Unit の基準の長さ(fac_st_u_wid)」で割り，WDA 壁両端の点に合わせるため，「単位の個数(num_unit)」，「実際の単位(Unit)の長さ(act_u_L)」を以下の式で求める．

$$um_unit = \mathrm{Int}\frac{len_wda}{fac_st_u_wid}$$

$$act_u_L = \frac{len_wda}{num_unit}\mathrm{t}$$

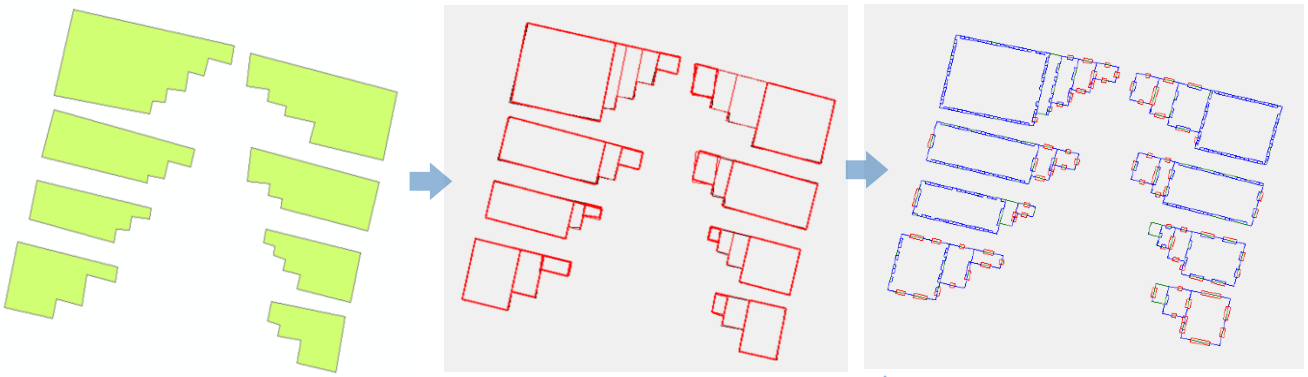
ここで，Int()は括弧内の値を超えない最大の整数．

fac_st_u_wid=2.2，len_WDA＝16.3　の場合，
num_unit=Int(len_WDA / fac_st_u_wid)=Int(16.3/2.2)=7
実際の単位長は　act_u_L＝16.3 / 7=2.3　となる．

プログラム中の配列 fac_ary()には，この単位長の「単位(Unit)」を「いくつ繋げて」セットバックの壁，「いくつ繋げて」非セットバックの壁とするかの「繋げる個数」を格納する．「凸凹軌跡」の始点と終点を WDA 壁両端の点に合わせるために，配列 fac_ary()は，その要素の値の合計が Unit 総数(num_unit)，その要素数は奇数となるような「制約条件」を課している．例えば，num_unit=18 の場合，fac_ary＝{1, 1, 3, 1, 2, 2, 1, 3, 1, 2, 1}，要素値の合計は 18，要素数は 11 で奇数．

図 2 と図 3 のアクションで，Un(i)は配列 fac_ary()の i 番目の Unit 数，Lu は Unit 長(act_u_L)であり，Un(i)* Lu は凸凹ファサードで，セットバックの壁か非セットバックの壁の長さとなる．‘status=0’から‘status=1’への状態遷移において，そのアクションは，非セットバックの壁の長さ(Un(i)*Lu)に cos(α)や sin(α)を掛ければ，描画点の x 軸方向と y 軸方向の増分が計算できる．

図 1 のＣＧモジュールでは，ＧＩＳモジュールからこの「凸凹軌跡」を受け取って，軌跡の線分上に WDA 壁を載せて．WDA 壁に窓を開け，詳細な凸凹のあるファサードを構築する．ここで，辺 ed12 に平行なセットバック壁だけでなく，辺に垂直な非セットバック壁とセットバック壁の間の壁も形成しなければならないので，凸凹の軌跡の線分数は状態遷移の１サイクルで２枚追加となる．また，玄関やエントランスでは，単位長やセットバック値も異なると考えられるので，異なる配列 fac_ary()を用意している．「Unit 数を並べた配列 fac_ary()」は奇数番目の要素が「非セットバック壁長」，偶数番目の要素が「セットバック壁長」を表し，「ファサードの設計値」ともいえる．建物階数によって，この「ファサードの設計値」を変える



(a) 元の建物ポリゴン　(b) 四角の集まりに分割・整形　(c) ファサードに詳細な凸凹付加



(d) 状態遷移手法によるファサードに詳細な凹凸付加　(e) ファサードに凹凸の詳細を持つ３次元建物モデル

図４　ポリゴン分割，四角形整形と直交化，自動生成したファサードに凹凸の詳細を持つ３次元建物モデル

ことで色々なパターンのファサードの設計が可能である．今回のモデルでは前記「制約条件」を満たす複数の配列を用意し，この複数の配列からランダムに「設計値」を選択し，ランダムな変化のファサードを実現した．

４．まとめ

本研究では，建物ポリゴン全体を一律に押し出し，作成するような建物ではなく，建物ポリゴンを四角形の集まりに分割し，各四角形には，異なる階数を与え，階段状建物モデルの生成，さらに，建物ポリゴンの中に別のポリゴンを含む多重建物ポリゴンから垂直方向に多様性がある３Ｄ建物モデルの自動生成，そして自動生成した建物はファサードに詳細な凸凹を持たせることを可能にした．この詳細な凸凹を描くために，本研究では，「描画点」に「状態(status)」を持たせ，点の状態が遷移するとき，「線分を描く」というアクションを発生させる「状態遷移図」を考え，それをプログラム化して，ファサードの詳細な凸凹を自動描画した．凸凹のセットバック壁の長さ，セットバックの距離などは，プログラム中のデータテーブルから取り出し，詳細な凸凹を形成していく．本手法で生成される建物には，屋上やベランダの緑化，ソーラーパネルなどの設置が可能で持続可能な建物の有力な候補となりうる．

謝辞

本研究は，JSPS 科研費の研究課題番号：23K04156 と 24K06249 の助成を受けて遂行された．ここに謝意を表する．

参考文献

杉原健一・沈 振江 (2013) ３次元建物モデルの自動生成システムで用いる Straight Skeleton 手法，「地理情報システム学会 講演論文集」，22.

杉原健一・村瀬孝宏 (2016) 3 次元建物モデルの自動生成のための建物境界線のポリゴン整形，「土木学会論文集 F3（土木情報学）」，72(2), I_167-I_174.

Fan Bao, Michael Schwarz (2013) Peter Wonka: Procedural Facade Variations from a Single Layout, *ACM Transactions on Graphics*.

Müller, P., Wonka, P., Haegler, S., Ulmer, A., and VanGool, L. (2006) Procedural modeling of buildings, *ACM Transactions on Graphics*, 614-623.

Sugihara,K. and Kikata,J. (2013) Automatic Generation of 3D Building Models from Complicated Building Polygons, *Journal of Computing in Civil Engineering ASCE (American Society of Civil Engineers)*, 27, 476-488. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000192.

鉄道駅を起点とした徒歩人流方向の自動分割

西颯人*・長谷川大輔*

Automatic Segmentation Method for Walking Flow Directions from Stations

Hayato Nishi*, Daisuke Hasegawa*

Abstract: This study focuses on walking directions from railway stations. Since they correlate the lengths of walking paths, directional aggregation of the lengths is used to summarize people flow data that captures walking behavior from stations. Previous studies employed a fixed number of directional segmentations, which controls the resolution of aggregation, independently of both the sample size and data characteristics. Therefore, we propose an adaptive method to select an appropriate number of segmentation directions based on AIC. Additionally, we construct station catchment areas based on the proposed method and people flow data from railway stations in Saitama prefecture.

Keywords: 駅圏域 (Station Catchment Area), 人流データ (People Flow Data), モデル選択 (Model Selection)

１．はじめに

鉄道駅は多くの人が利用する公共交通の結節点であり，歩行行動や地域の賑わいに大きな影響を及ぼす．駅を起点・終点とした地理的な領域は駅勢圏（奥平, 1976）・駅圏域（西・長谷川, 2024）等と呼ばれ構築方法が古くから検討されており，徒歩による移動を特に想定して駅徒歩圏（長谷川・嚴, 2024）とも呼ばれている．

駅圏域の基本的な構築方法はボロノイ領域（奥平, 1976）やバッファ（Guerra et al. 2012）によるものだが，その後アンケート（武藤・奥田, 2013）や基地局・Wi-Fi・GPS（日野ほか, 2019）などのデータを用いた人の移動の捕捉が試みられた．特に近年では，携帯電話の GPS を利用した大規模人流データが利用可能となったため，これを用いて駅を出発した徒歩移動の軌跡を直接抽出し，駅圏域の広がりを観測できるようになってきている（西・長谷川, 2024，長谷川・嚴, 2024）．

このような試みの中で，長谷川・嚴（2024）は駅を起点とした方向によって人流の広がり方に差異があることをデータから再発見した．長谷川・嚴（2024）は埼玉県にある鉄道駅を対象として，駅プラットフォームの方向を基準として４つに徒歩移動方向を分割して人流の最遠点を集計した．この集計結果をクラスタリングしたところ，到達距離の分布によって５つのクラスタが検出され，同一の駅でも方向によって異なるクラスタに所属する場合があることが確認された．

この結果は駅からの徒歩移動を方向に分けて分析する必要性を示唆するが，長谷川・嚴（2024）のアプローチはどのような駅であっても４方向に分割しているという点に，解析の粒度という意味での限界がある．具体的には，サンプルサイズが少ない場合や方向による偏りが小さい場合には分割数は少なくて済むかもしれないし，サンプルサイズが多い場合や方向による偏りが大きい場合には分割数を増やした方がより細かい駅圏域の把握が可能になるかもしれない．したがって，駅からの方向に着目した分析を行ううえでは，データの性質からある程度適応的に分割数を増減させる方法があれば，駅からの移動行動の把握に役立つ可能性がある．

そこで本研究では，駅を中心とした人流の移動方向に着目して，方向の分割数を自動的に選択する方法を提案する．さらに提案手法を既往研究でも分析された埼玉県の鐵道駅を起点とする徒歩人流データに適用して，データから抽出された駅圏域と土地利用の整合性を確認する．

２．人流データの処理

２.１　データ

本研究では株式会社ブログウォッチャーの Profile Passport SDK データ（以下，人流ポイント）を使用する．当データは国内 140 を超える提携アプリケーションでの同意を得て収集されるスマートフォンの位置情報が記録されたポイント型のデータであり，記録されたアプリ別に付与されたユーザーID，記録日時，位置情報，精度の属性が含まれる．2022 年 4 月 1 日～30 日において，埼玉県内にて 1 点でも記録されたユーザーID が対象となる．同一ユーザーID の取得間隔は約 5 分で，分析の対象となったユーザーID は約 38 万件である．また，徒歩圏の計測対象の駅は埼玉県内の 228 駅で行い，国土数値情報の 2022 年鉄道時系列データより駅およびプラットフォームのライン，路線のライン情報を取得した．

* 正会員　東京大学不動産イノベーション研究センター (the University of Tokyo)
〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1 E-mail: hayatonishi@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

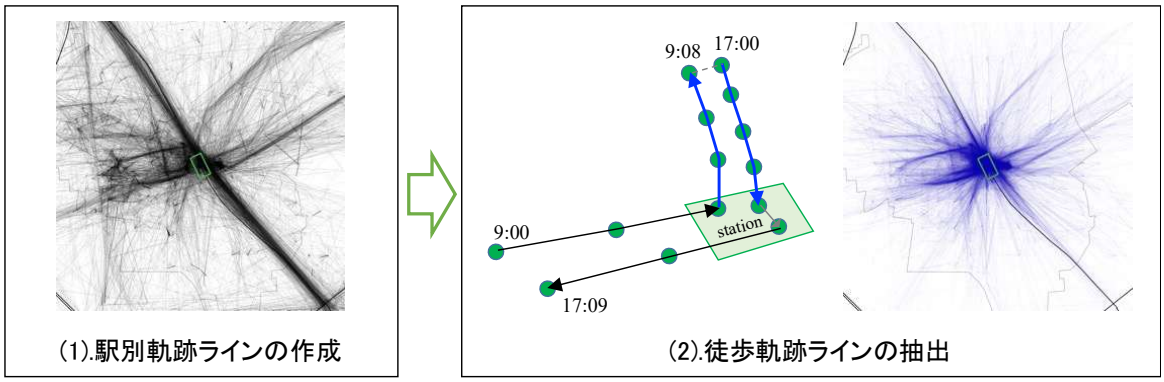


図１　徒歩軌跡ラインの作成

２.２　徒歩移動軌跡データの抽出

駅に起因する徒歩移動軌跡データは長谷川・嚴（2024）で実施した方法を用いる．その作成手順を図１に記載する．最初に，集計対象駅のプラットフォームを示すラインデータの凸包を作成し，そこから 50m 広げたバッファポリゴンを作成する(図１(1)，(2)内の緑枠)．そして深夜帯を除いた 6:00~24:00 において，駅領域に含まれたユーザーID の人流ポイントを抽出し，ID ごとにポイント間を時系列順に接続した駅別軌跡ラインを作成する(図１(1))．作成された軌跡ラインは駅を経由するすべての移動が含まれており，ここから駅を起終点とする徒歩移動を抽出する．まず軌跡ラインを駅領域への侵入・退出したタイミング，Zhang(2015)に準じ，20 分の移動距離が 50m 以内であり，その地点への滞在が始まったと見なせた地点，2 点間の時間差が 20 分以上ある点間において軌跡ラインを分割する．分割したラインのうち，駅への侵入・退出ライン，点間の最高速度が時速 5km 以下，かつ駅からの最遠点への直線距離が 2km 以内であるものを徒歩軌跡ラインと見なし，軌跡ラインから抽出する(図１(2))．なお，最高時速 5km は，不動産物件の駅からの徒歩分数を計測する速度である分速 80m に準じている．最大距離 2km は，徒歩圏のポリゴンを作成するにあたって異常値となるデータとして，全体の 1%未満となる 2km を越える徒歩軌跡ラインを除いたためである．抽出された徒歩軌跡ラインは約 16 万ユーザー分の 54.9 万件である．

３．方向の自動分割法と駅圏域の構築

３.１　分割の妥当性の規準

ある駅の圏域を方向別に作成するために，駅から出発・駅に到着する徒歩人流を対象として，その駅を中心に方向をK個に分割し，分割された方向ごとに移動距離を集計することを考える．ここで，対象とする駅を起点とする徒歩軌跡$i = 1, \dots, n$について，駅からの最遠点の座標を，駅を原点とする極座標(r_i, θ_i)で表す．ここでr, θはそれぞれ距離と（弧度法による）角度である．

共通部分を持たない連続的な角度θの集合をS_kとし，K個への角度分割をその集合$\{S_1, \dots, S_k, \dots, S_K\}$で表す．各集合$S_k$は角度の区間$S_k = [\theta_k^L, \theta_k^U)$で表される．ここで，任意の$\theta_i$は$\theta_i \in \cup_{k=1}^{K} S_k$を満たすとする．

ここで，角度による分割を表現するために，距離r_iと角度θ_iは対応する角度θ_iが含まれる集合S_kに応じたパラメータを持つ分布に従うとしてモデリングを行う．ここで，rは指数分布で近似可能な非負の値をとる(Hasegawa et al. 2023)ことから，rの確率密度関数は指数分布

$$\lambda_k \exp(-\lambda_k r_i) \quad \text{if } \theta_i \in S_k$$

で表し，角度に基づき離散化していることから，θの確率密度関数はヒストグラム密度(Taylor, 1987)

$$\rho_k \quad \text{if } \theta_i \in S_k$$

で表すこととする．このようなモデルを仮定したとき，モデルの尤度は

$$L(\{\lambda_k\}, \{\rho_k\}) = \prod_{k=1}^{K} \prod_{\{i \mid \theta_i \in S_k\}} \lambda_k \exp(-\lambda_k r_i)\, \rho_k$$

と表すことができる．

このモデルの最尤推定量は，以下のように求められる．指数分布のパラメータλ_kについては，集合S_kにθ_iが含まれるiのみを用いて指数分布を最尤推定値$\hat{\lambda}_k$を計算すればよい．一方で角度の密度パラメータρ_kについては，次のように求められる．

$$\hat{\rho}_k = \frac{n_k}{n} \frac{1}{I[\theta_k^U - \theta_k^L]}$$

ただしnはiの総数で，n_kは集合S_kに含まれるθ_iの個数であり，関数$I[\theta]$は角度を$[0, 2\pi)$に収めるためのもので角度θと等しい正の角度のうち最小のものを指す．このとき，$\sum_{k=1}^{K} \hat{\rho}_k\, I\left[\theta_k^U - \theta_k^L\right] = 1$となり確率の公理を満たすことが確認できる．

推定したモデルの対数尤度をℓとすると，このモデルのパラメータ数は$2K$個であることから，AIC は以下のようになる（Taylor, 1987）．

$$\mathrm{AIC}[\{S_k\}] = -2\,\ell + 4K$$

この AIC は分割を表す集合$S_1, \dots, S_k, \dots, S_K$の妥当性を評価する規準の１つとなる．

3.2　選択候補となる角度分割

可能な角度分割の方法は無数にあるため，ここでは長谷川・嚴(2024)による駅のプラットフォーム方向を考慮した分割を一般化して，次のような分割方法を提案する．

まず，プラットフォーム方向もしくはプラットフォーム方向と垂直な方向を基準として，１周を２つに分割する．２つの半周をそれぞれK_1, K_2個に等分割することで，一周を$K = K_1 + K_2$個に分割することができる．なお，長谷川・嚴(2024)の分割方法は，プラットフォーム方向を基準として$K_1 = K_2 = 2$に分割した場合に相当する．

K_1, K_2をそれぞれ 1 からK_{max}まで動かして分割を行うと，等価な分割を重複してカウントした場合，分割の候補は$2K_{max}^2 + 1$通りとなる（一切の分割を行わない場合を候補に加えた）．ただし，AIC はkについて加法的であるため，半周分の AIC を計算してK_1（およびK_2）を個別に選択することもできる．この場合，最適な分割を求めるためには$4K_{max} + 1$通りのパターンについて計算すればよい．

本研究では$K_{max} = 5$と設定したため，21 通りの計算を行うことで AIC が最小となる分割を選択することができる（図 2）．

3.3　駅圏域の可視化方法

前項で示した方法により自動的な角度分割を行うことができるが，これによって生成される領域はK個の扇形となり，各領域に対応する指数分布のパラメータ $\hat{\lambda}_k$は平均距離の逆数に対応する．したがって，半径$1/\hat{\lambda}_k$の扇形をK個表示することが駅圏域の 1 つの可視化方法となる．

図 3 はK個の扇型による駅圏域の可視化例を示す．図中で扇型の色の濃さは，角度の密度 $\hat{\rho}_k$に対応している．この方法は，距離と角度の平均を簡単にとらえることができる一方で，距離帯ごとの人流の多寡を把握するには不向きである．そこで，選択した分割と長谷川・嚴（2024）で用いられた多重バッファリングを組み合わせて，距離帯別の点密度を表示することとする．

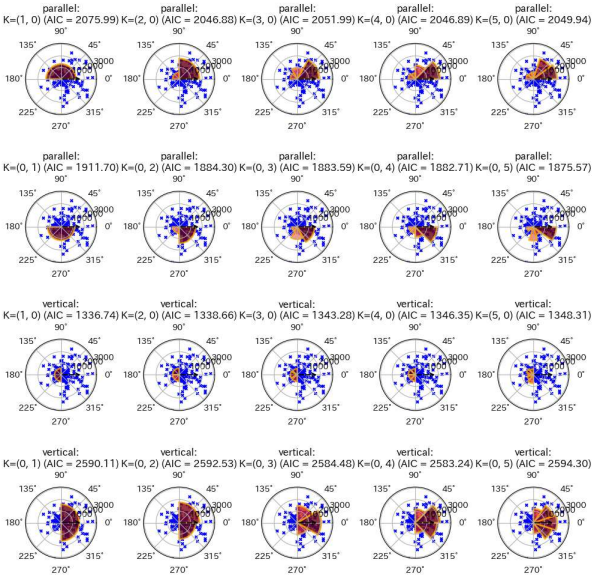


図 2　半周ごとの分割数探索例

具体的には，次のような方法で扇形を着色する．まず各扇形を半径 100m 刻みで分割する．これにより，100m 刻みの環状扇形が生成される．これらに含まれる点の個数を環状扇形の面積で割ると点の密度が得られるので，この密度で環状扇形を着色する．なお，多数の駅を表示する場合には，駅に紐づいた人流の総数nで密度を割ることによって，密度を規格化する．

さらに，到達する人が少ない領域を取り除いたq%駅圏域を構成できると，駅圏域を単純化できるので便利である（西・長谷川, 2024）．q%駅圏域は「その駅を利用する人のうちq%が分布している領域」と定義される．本研究では，内部の密度が高い順に環状扇形をとり，点の累積個数が総数の 90%を超えたところでそれ以降の環状扇形を削除したものを 90%駅圏域と定義する．

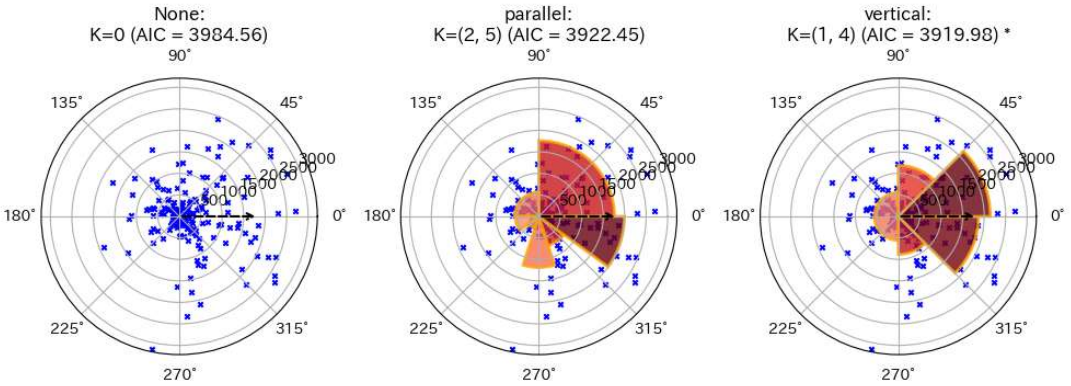


図 3　　最適な分割数の選択例．*は最適な分割を示す．

４．駅圏域構築結果

図４は２章で示したデータを用いて構築した埼玉県内の 90%駅圏域の例である．駅名の直下にあるポリゴンは対象駅であり，青線は対象駅の中心から(r_i, θ_i)を結んだ線分である．グレー（濃淡は３．３章の方法による着色であり，濃いほど面積当たりの人数が多いことを示す）に塗られた環状扇形領域の集合が提案手法による 90%駅圏域である．

上段は加須駅であり，駅から見て南側に田畑が広がっている影響で，北側の方が遠くまで人流の広がりがあることが確認できる．中段は川角駅であり，駅の南西に人流の塊が見られるが，これは複数の大学が立地している影響である．下段は大宮駅周辺の駅圏域であり，周辺の駅から大宮駅までの徒歩移動があったことを示す環状扇形が確認できる．



図４　構築された駅圏域の例
（上:加須駅，中:川角駅，下：大宮駅周辺）
（ベースマップに Open Street Map を利用）

５．おわりに

本研究では，駅から出発した人流データを角度別に集計する場合の自動的な分割選択法を提案し，これに基づいて多重バッファリングを活用した駅圏域を構築した．距離帯別に異なる分割数を採用することで，遠方の環状扇形が必要以上に大きくなる問題を回避できる可能性があるため，今後の課題としたい．

謝辞

本研究は JSPS 科研費 24K17467, 24K17413 の助成を受けたものです．

参考文献

奥平耕造（1976）施設と圏域.『都市工学読本：都市を解析する』，彰国社，113-135.

日野陽介・今井龍一・上原渉豊・遠藤和重（2019） 駅勢圏の短距離の交通流動分析に関する一考察. 「日本知能情報ファジィ学会 ファジィ システム シンポジウム 講演論文集」 **35**, 487–488.

武藤雅威・奥田大樹（2013）鉄道競合地域における定量的な駅勢圏設定方法「鉄道総研報告」**27**(2), 5-10.

長谷川大輔・嚴先鏞（2024）大規模人流データを活用した駅徒歩圏の広がりと分布の計測「都市計画論文集」**59**(3): 1217-23.

西颯人・長谷川大輔（2024）人流データと方向統計モデルによる駅圏域の構築.「第 33 回 地理情報システム学会学術研究発表大会 講演論文集」

Guerra, E., Cervero, R., Tischler, D. (2012). Half-Mile Circle: Does It Best Represent Transit Station Catchments? *Transportation Research Record* 2276, 101–109.

Zheng, Y. (2015), Trajectory data mining: an overview, *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 6(3), 29, 1–41.

Hasegawa, D., Eom, S., Suzuki, T. (2023). Determining the Transit Catchment Area and Distance Distribution. *Proceedings of the 18th International Conference on Computational Urban Planning and Urban Management (CUPUM2023)*.

Taylor, C. (1987). Akaike's Information Criterion and the Histogram. *Biometrika* 74(3):636–39

道路単位での歩行者量分布に基づく駅徒歩圏域の広がりと分布の計測

長谷川大輔*・西颯人*

Measuring the Expansion of Station Catchment Areas Based on Pedestrian Volume Distribution by Road Segment

Daisuke Hasegawa*, Hayato Nishi*

Abstract: The realization of walkable districts requires a vibrant and lively human presence. Therefore, it is important to measure the effective station catchment area based on actual pedestrian flows. In this study, we measure pedestrian flows using GPS-based human mobility data and combine them with a road-segment-based approach that employs a road network analysis to estimate station catchment areas from pedestrian traffic volumes. The results show that commercial districts and major attractor facilities increase pedestrian traffic flows and contribute to the expansion of the effective station catchment area.

Keywords: 駅徒歩圏域（station catchment area），ウォーカビリティ（walkability），歩行者流動（pedestrian flows），人流データ（human mobility data）

１．はじめに

近年，人口減少やソーシャルキャピタルの低下による問題が顕在化し，都市再生・中心市街地活性化のあり方についての再考が求められている．特に「歩きたくなるまちなか」への関心が高まっており，立地適正化計画等で推進してきた中心市街地への機能集積だけでなく，ウォーカブルな空間創造によって都市再生を進める必要があるとされ，2019 年より「ウォーカブル推進都市」として，2025 年 7 月時点には 132 市区町村でウォーカブルな取り組みを実施する区域の設定がなされている（国土交通省，2025）．特に，鉄道の交通分担率が高い大都市の市街地においては鉄道駅周辺での区域設定が進められていることが多く，駅徒歩圏域内の歩行者流動の実態を観測することは経済・環境・防犯など多様な観点で重要と言える．

歩行者の人流測定は従来，自治体や商店会単位で行われる歩行者流動調査が代表的であり，観測者を配置した目視調査が主流であった．近年ではカメラ映像解析による調査の自動化が進められており，天気やイベントによる変化を分析した研究（Eom and Nishihori，2021）などに活用されている．しかし居住地や年齢層の違いといった個人属性が判別できず，歩行者の行動の履歴，軌跡が把握できないことが分析上の制限となりうる．個人属性や行動履歴が把握されている調査としては，各地の都市圏で行われるパーソントリップ調査が従前から利用されてきたが，大都市圏では 10 年に一度のサーベイ調査であるなど，都市を高頻度にモニタリングすることは難しく，歩行者の挙動を道路・街路単位で把握することはできない．そのため，近年はデータの蓄積が進み，詳細かつ任意の時間での位置情報が取得可能である，スマートフォン等から取得された汎用的な人流データの活用が進められている．長谷川・嚴(2024)では，GPS 等の GNSS によって位置・時間情報が取得された汎用的なポイント型人流データを活用し，中心を駅・軸を線路とした 4 分割の扇形によって駅徒歩圏域を可視化した．結果，同じ駅でも東口・西口といった出口によって，実質的な広がりが大きく異なることを示している．しかし歩行距離の計測には最遠点を用いており，具体的な経路は把握しておらず，道路・街路スケールでのウォーカブル性の評価を実施するにあたっては十分な解像度とは言い難い．

そこで本研究では，鉄道駅に起因した徒歩移動の軌跡を作成し，道路単位での通行量の集計を行う．これによって歩行者人流が駅を基点としてどの方向に，どの程度広がっているのかの計測を行い，人々が歩いて到達する実質的な駅徒歩圏域の計測を行う，その際，用途地域による分類を行うことで，賑わいが重要となる商業地域に焦点を当てた分析を実施する．

２．人流データによる歩行者軌跡の作成

２.１　データ

本研究では株式会社ジオテクノロジーズの Geo-People データ（以下，人流ポイント）を利用した．当データは同社が運営するポイ活アプリ「トリマ」から取得されたポイント型の人流データであり，ユーザーごとに付与されたユーザーID，記録日時，位置情報，精度，夜間・昼間に最も滞在していたエリアである推定居住地・勤務地の属

* 正会員　東京大学不動産イノベーション研究センター (the University of Tokyo)
〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1 E-mail: hasega60@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

性が含まれる．図１は同一ユーザーID における取得時間間隔のヒストグラムである．60 秒，1 分間隔で取得されているものが多いことがわかる．計測範囲は JR 中央線の新宿～高尾間の 22 駅を対象とする．2024 年 5 月 1 日～30 日において，対象駅の 2km 圏内に 1 点でも存在するユーザーID を対象とする．分析の対象となったユーザーID は約 21.5 万件であり，処理されたポイント数は約 5758 万点である．

駅の地理情報として，国土数値情報の 2024 年度鉄道時系列データより駅のプラットフォームのライン，駅すぱあと API より各駅の出入口ポイント，用途地域の地理情報として東京都都市整備局・都市計画決定情報 GIS データの 2024 年用途地域（シェープファイル）を取得した．また，道路データとして，2025 年 8 月時点の OpenStreetMap の歩道も含む道路データを OSMnx 2.0.0 ライブラリをインターフェースとして，OpenStreetMap Overpass API より取得した．

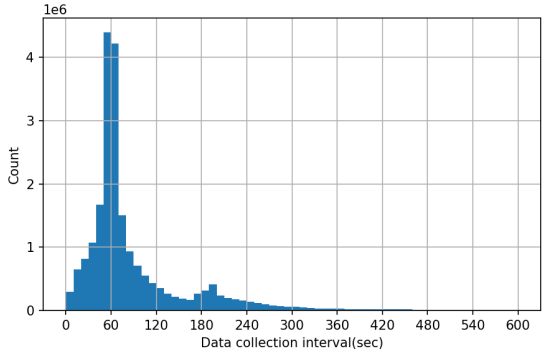


図１　取得時間間隔（2024/5/1）

２.２　徒歩移動軌跡データの抽出

駅に起因する徒歩移動軌跡データを作成する手順を図２に記載する．最初に集計範囲を定める駅ポリゴンを作成する．集計対象駅のプラットフォームライン，出入口ポイントの 50m バッファをディゾルブしたポリゴンを作成し，最大面積となるものを駅ポリゴンとする．次に，駅ポリゴンの 2km 圏内に存在するポイントのユーザーID ごとに時系列順に接続した駅別軌跡ラインを作成する．作成された軌跡ラインは駅周辺を経由するすべての移動が含まれており，ここから駅を起終点とする徒歩移動を抽出する．軌跡ラインを駅ポリゴンへの侵入・退出したタイミング，Zhang(2015)に準じ，20 分の移動距離が 50m 以内であり，その地点への滞在が始まったと見なせた地点，2 点間の時間差が 20 分以上ある点間において軌跡ラインを分割する．分割したラインのうち，駅への侵入・退出ライン，点間の最高速度が時速 8km 以下あるもの，各点間の直線距離が 100m 以内であるものを徒歩軌跡ラインと見なし，全軌跡ラインから抽出する．抽出された徒歩軌跡ラインは約 21.2 万ユーザー分の 345.6 万トリップである．

図３に対象地域の駅ポリゴン，出入口ポイント，徒歩軌跡ラインを示す．なお起点駅を明示的に示すため，交互にラインの色を変更している．これを見ると駅を中心に，道路に沿った歩行軌跡の描画が確認できる．また，駅前からの歩行者軌跡は特定の街路に歩行者が集中していることがわかる．こうした道路の「賑わい」を計測す

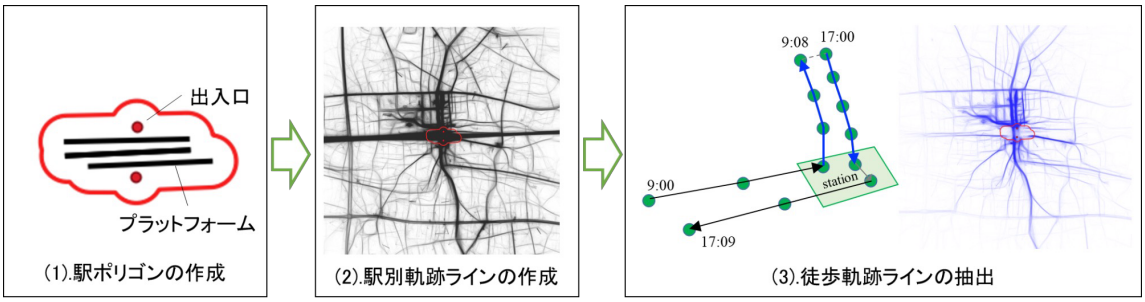


図２　徒歩軌跡ラインの作成手順

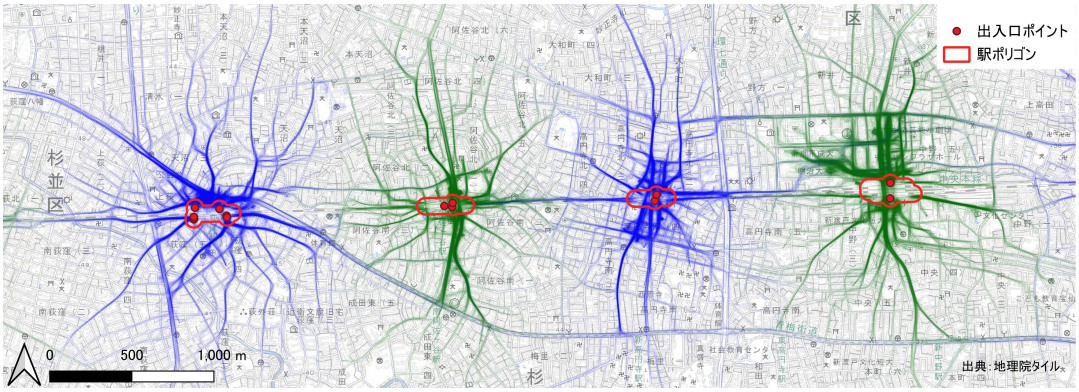


図３　徒歩軌跡ライン（左から荻窪・阿佐ヶ谷・高円寺・中野駅）

るために，次章より駅周辺の道路における通行量の集計を行い，駅徒歩圏域の広がりを可視化，分析する．

３．駅徒歩圏域の広がりの計測

３.１　徒歩軌跡ラインの集計

道路ラインにGPSポイントデータを紐づける方法としてマップマッチングの手法が知られているが，歩行者の場合，例えば公園や広場の中を面的に広がって移動することや，建物内部を経由する移動など，道路と紐づけることができない移動が存在する．　そのため本研究では，道路周辺の線をカウントすることで歩行者通行量を計測する．　具体的には，徒歩軌跡ラインを道路ライン上に一定間隔に設置したポイントによって集計する．最初に，駅バッファ周辺 2km のバッファを作成し，その boundary box 内の道路を取得する．次にネットワーク分析を行うため，取得した道路ラインを，道路ラインをエッジ，端点をノードとした無向グラフで構成される道路ネットワークに変換する．そして，駅からの移動距離属性を付与するため，出入口ポイントから最も近いノード群を取得し，そこから道路ネットワーク内全てのノードへの最短経路を Dijkstra 法によって求める．そして，定間隔で通行量を集計するために，道路上に一定間隔で配置したポイント（以下，道路ポイント）を作成する．各エッジの端点のうち駅に近いノードから，ライン形状に沿って 10m ごとに道路ポイントを配置する．この道路ポイントの半径 10m 以内に存在する軌跡ラインを数え上げ，その地点での通行量を計測する．ここから各移動の移動開始時間を基準とした平日・休日別の平均通行量を集計する．

３.２　通行量の測定結果

図４は休日 10 時～16 時の 6 時間における，中野駅を起点とした徒歩軌跡ラインの平均通行量である．中野駅は出入口周辺から南北方向にそれぞれ商店街と大通り（中野通り）があるのが特徴的で，南北方向に移動する歩行者はそれぞれ経路選択が可能な位置関係にある．中野駅北側は中野通りよりも，商店街で多くの店舗が集積する中野サンモールの方が通行量は多く，歩行経路として選ばれていることがわかる．一方，南側は対照的に，飲食店の集中する商店街であるファミリーロードよりも中野通りの方が通行量は多くなっている．これはアーケードの有無，飲食店以外の店舗の存在が影響していると考察される．また，図３では徒歩軌跡ラインは中野駅の東側に一定数存在するものの，図４から休日の昼の時間帯ではその量が少ないことがわかる．中野駅東側は住宅地となっており，目的地となる施設が存在しないためと考えられる．ここで，全対象駅の道路ポイントにおける，商業・工業系用途（近隣商業地域，商業地域，準工業地域，工業地域，工業専用地域）と住宅系用途（第一種・第二種低層住居専用地域，第一種・第二種中高層専用地域，第一種・第二種住居地域，準住居地域）の用途地域別出入口からの距離と通行量の関係を図５に示す．なお，出入口距離が 100m 以内はその多くが駅ポリゴンに含まれているために集計からは除外した．住宅用途，商業・工業系用途どちらも通行量は駅に近い地域ほど多く，離れるほど少なくなっている．ただし，通行量は商業・工業系用途の方が 10 倍ほど多くなっている．そもそも住宅地は騒音・防犯などの理由から，不特定多数の人流は避けられるべきであり，歩行者通行量は一定量以下に抑えられている方が望ましい．そのため駅徒歩圏域の広がりについて考える際には，賑わいがメリットとなる商業地域や再開発された工業地域などに限定した考察が必要と言える．　そこで次章からは商業・工業系用途に着目した歩行者通行量の広がりについて分析する．

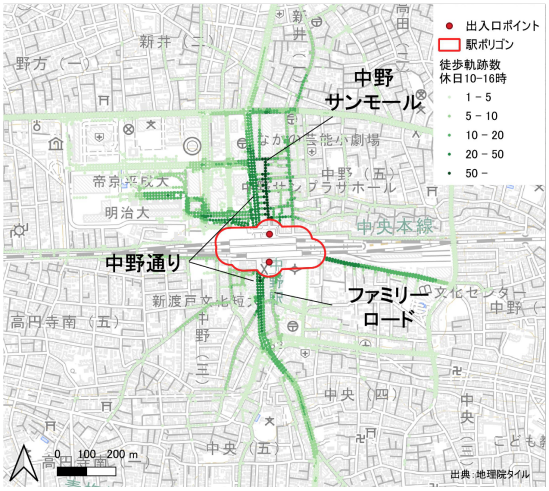


図４　道路ポイント別平均通行量
（中野駅　休日 10-16 時）

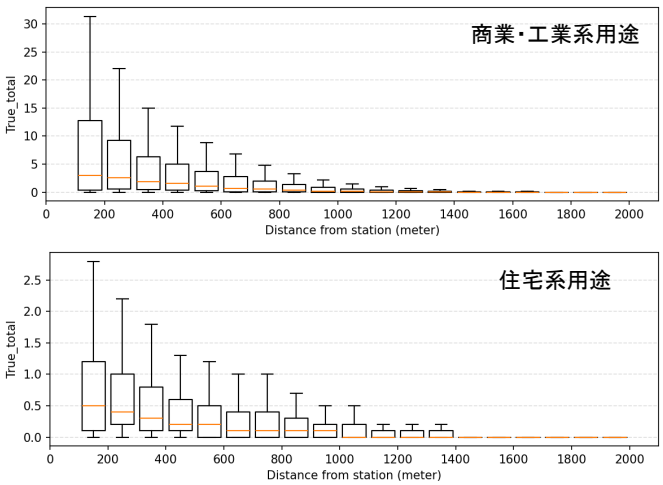


図５　用途地域別・出入口からの距離と通行量
（全 22 駅　休日 10-16 時）

４．方向別通行量分布の計測

４.１　最短経路木を用いた角度分割

長谷川・嚴(2024)や西・長谷川(2024)の議論で，駅徒歩圏域の性質は同じ駅でも方向によって異なることが示されている．ただし，分割する角度は任意に決定することができるため，地域特性に合わせた分割方法が必要である．そこで本研究では最短経路木を用い，道路形状に合わせた分割を実施する．図６は中野駅における Dijkstra 法によって求められた最短経路木である．図の上部に示す出入口の最寄りノードを根とし，複数の木からなる森構造になっている．根から深くなるほど分岐するため，深さに応じて分割することができる．

４.２　駅・方向別徒歩圏域のモデリング

次に，分割グループごとに徒歩圏域の広がりをモデリングする．各グループの商業・工業系用途の地域上の道路ポイントで捕捉された，休日 10 時-16 時の歩行者通行量について，長谷川・嚴(2024)で用いた手法を参考に以下の指数型関数　$L(x) = a\exp(-bx)$　によって表現する．

ただし，$L(x)$は駅からの距離 x (km)における歩行者通行量，a は標準化パラメータで駅前の通行量を表し，b は形状パラメータで距離による減衰を示す．

図７は深さ 2 での中野駅における角度分割の結果と商業・工業系用途地域における歩行者通行量分布である．駅を中心に概ね６方向に分割されており，それぞれの通行量分布を見ると，モデルへのあてはまりが良いのは②，④，⑤であるが，これらのエリアには大規模な商業施設や公園，大学，イベントホールなどの集客施設が無いのが特徴である．一方で商店街・商業施設がある①方向，イベントホール・公園のある③方向，公園・大学のある⑥方向については，他の道路とは異なる特徴を持つ，通行量の多い道路の存在が確認できる．

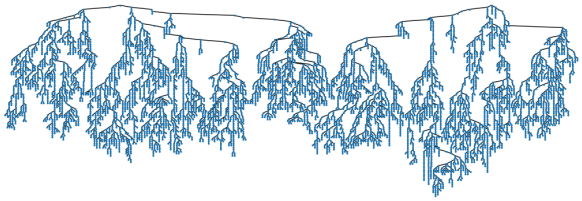


図６　最短経路木（中野駅）

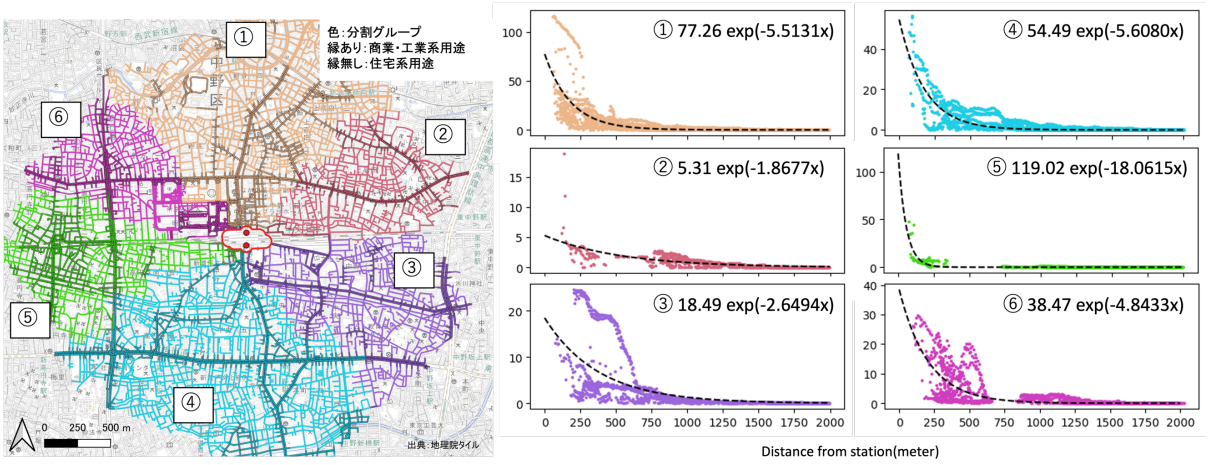


図７　最短経路木による角度分割とグループ別商業・工業系用途の通行量分布（中野駅　休日 10-16 時）

５．おわりに

本研究は鉄道駅に起因した徒歩移動の軌跡を作成し，道路単位での通行量の集計と広がりの可視化，モデリングを実施した．その結果，住宅系用途と商業・工業系用途における通行量の差があること，集客施設のない方向におけるモデルのフィッティングを確認した．集客施設からの影響という課題はあるものの，通行量モデルのフィッティングを確認した．今後は角度分割の妥当性の検討や集客施設の影響を除いたモデル分析が課題となる．

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP 24K17413，JP 24K17467 による助成を受けた．また，東京大学・竹中工務店との社会連携講座「サステナブルなまちの創生」における成果の一部である．

参考文献

国土交通省 (2025), ウォーカブル推進都市について, https://www.mlit.go.jp/toshi/walkable/walkablecity/ (最終閲覧日: 2025.8.25).

Eom, S. Nishihori, Y. (2021), How weather and special events affect pedestrian activities: volume, space, and time, *International Journal of Sustainable Transportation*, 16 (5), pp. 462-475.

長谷川大輔・嚴先鏞（2024）大規模人流データを活用した駅徒歩圏の広がりと分布の計測「都市計画論文集」**59**(3): pp .1217–23.

西颯人・長谷川大輔（2024）人流データと方向統計モデルによる駅圏域の構築.「第 33 回 地理情報システム学会 学術研究発表大会 講演論文集」

Zheng, Y. (2015), Trajectory data mining: an overview, *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, **6**(3), 29, pp 1–41.