ポスター発表

2025年11月2日(日) 13:00 ~ 13:50 | 会場(金森産業ホール)

[P2] ポスター発表 #2

[P2-01] 滞留点を用いた移動軌跡の圧縮手法の提案

*廣田 雅春[1] (1. 岡山理科大学)

[P2-02] 小売店舗立地モデルのための歩行者単位でのリンク別交通量算定手法

*渡邊 悠河[1]、北詰 恵一[1] (1. 関西大学)

[P2-03] Reconstructing 3d Segmentation of the Urban Environment using Street View Images

*Leng Monykandy[1]、Gu Zongchao[2]、Cao Jun[3] (1. Master Student, School of Architecture, Southeast University、2. Associate Professor, School of Architecture, Southeast University、3. Lecturer, School of Architecture, Southeast University)

[P2-04] 人流データを用いた孤立・孤独状況に伴う外出行動の解明

*岸本 慧大[1] (1. 兵庫県立大学環境人間学部)

[P2-05] モバイル空間統計を活用した水害時の避難者数推計に関する研究

*山下 慎二[1]、マス エリック[2]、越村 俊一[2]、永田 彰平[2]、森田 格[1] (1. 日本工営株式会社　中央研究所、2. 東北大学　災害科学国際研究所)

[P2-06] 日本全国を対象とした効果的な感染症対策の実施に向けた未成年者の行動パターン及び活動範囲の推定

*吉見 宇弘[1] (1. 東京都市大学)

[P2-07] Mobility Patterns of Trailers Transporting Containers and Hinterland Structures of Major Ports in Northeastern Japan

*Huixuan Zheng[1,2], Yoshiki Ogawa[3,4], Ryuichi Shibasaki[2], Naoya Fujiwara[1,5] (1. Graduate School of Information Sciences, Tohoku University, 2. Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, 3. Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo, 4. Graduate School of Social Data Science, Hitotsubashi University, 5. Japan Science and Technology Agency)

[P2-08] 東京都市圏における鉄道通勤経路選択の統計力学的モデルGPSデータによる実証分析

*鄭 軼せん[1]、高安 秀樹[1]、高安 美佐子[1] (1. 東京科学大学)

[P2-09] 駅からの距離を考慮した歩道構造と沿道施設が滞在数に及ぼす影響－大井町駅と吉祥寺駅周辺部を対象として－

*金森 貴洋[1]、中山 俊[2]、厳 網林[3] (1. 株式会社パスコ、2. 専修大学、3. 慶應義塾大学)

[P2-10] GPSデータを用いた滞在抽出による駅周辺回遊行動の定量化とその課題

*中山 俊[1,2]、金森 貴洋[3,2]、厳 網林[2] (1. 専修大学、2. 慶應義塾大学、3. 株式会社パスコ)

[P2-11] GPSログデータに基づく都市公園利用の社会経済的格差：仙台市における空間解析

*鈴木 善遥[1]、中谷 友樹[2]、磯田 弦[1] (1. 東北大学大学院理学研究科、2. 東北大学大学院環境科学研究科)

[P2-12] GTFSリアルタイムデータを用いたバス遅延の時空間変動の可視化：青森市営バスの事例

*大島 和裕[1] (1. 周南公立大学)

[P2-13] RFIDを用いた複数レイヤ同時取得のための触れるGIS基盤に関する研究

*中村 暢佑[1]、石黒 希海[1]、中山 俊[1] (1. 専修大学)

©一般社団法人地理情報システム学会

[P2-14] Three.jsとARマーカーを用いた物理模型操作の即時反映を可能にするWebベース触れるGISプラットフォームの開発

*石黒 希海[1]、中村 暢佑[1]、中山 俊[2] (1. 専修大学 ネットワーク情報学部 ネットワーク情報学科、2. 専修大学)

[P2-15] 地域学習に資する「地域版GISカード」の開発ー京都版製作ワークショップの成果と今後の展望ー

*塚本 章宏[1]、田中 丘人[2]、西村 拓真[3]、大津留 麻代[4]、神﨑 彰悟[4] (1. 佛教大学、2. 同志社女子中学校高等学校、3. 京都府立嵯峨野高等学校、4. ESRIジャパン株式会社)

[P2-16] 組成データのための空間統計量の提案

*吉田 崇紘[1]、山田 育穂[1] (1. 東京大学)

[P2-17] 局所回帰の段階的合成に基づく空間過程モデル：住宅地価分析への応用

*村上 大輔[1]、吉田 崇紘[2]、堤田 成政[3]、中谷 友樹[4] (1. 統計数理研究所、2. 東京大学、3. 埼玉大学、4. 東北大学)

[P2-18] データ分布に関する異質性を把握する空間的可変係数モデルの開発

*彭 湛[1]、井上 亮[1] (1. 東北大学　大学院情報科学研究科)

[P2-19] LLMベースと従来型ジオコーディングの精度比較：日本の大・中・小規模地域における評価

*Lu Shiqi[1,2,3]、龐 岩博[2,1]、関本 義秀[2,1,3] (1. 関本研究室、2. 空間情報科学研究センター、3. 東京大学)

[P2-20] オフィスビルの外観がもたらす印象の定量的評価

*藤田 晋太朗[1]、沖 拓弥[1]、松尾 和史[2]、今関 豊和[2] (1. 東京科学大学、2. オフィスビル総合研究所)

[P2-21] 場所表現の地理的曖昧性を解消するための質問内容生成

*清水 美緒奈[1]、林 純子[1]、久田 祥平[1]、若宮 翔子[1]、荒牧 英治[1]、大内 啓樹[1] (1. 奈良先端科学技術大学院大学)

[P2-22] 大規模点群におけるノイズ自動除去システムに関する研究ー深層学習による画像認識と3次元点群の幾何学的処理を組み合わせた高精度マッチングー

*小村 風我[1]、吉田 大介[1]、植田 凌生[1] (1. 大阪公立大学)

[P2-23] 歩行者から見て街路沿いの建物の高さと壁面位置が揃っている場所はどこか？

*薄井 宏行[1] (1. 千葉工業大学創造工学部都市環境工学科)

[P2-24] 首都圏における住宅戸建ての細分化の研究- 首都圏における空間的偏在性とその動態 -

*中山 祥汰[1] (1. 東京大学大学院新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻)

[P2-25] 大規模住民アンケートデータを用いた子どもの医療費助成の評価要因の分析

*堀内 仁[1]、秋山 祐樹[1] (1. 東京都市大学)

[P2-26] 地籍調査の進捗に関する地理空間分析ー市区町村の担当部署に着目してー

*佐藤 佳乃[1]、堤 盛人[2] (1. 筑波大学大学院システム情報工学研究群、2. 筑波大学システム情報系)

[P2-27] 埼玉県さいたま市における建物レベルのCO_2排出量推定

*村上 拓[1]、堤田 成政[1] (1. 埼玉大学大学院理工学研究科)

[P2-28] Sentinel-2の時系列解析によるナラ枯れ被害の検出‐淡路島北部における事例研究‐

*武田 智喜[1]、米澤 剛[1]、杉本 賢二[1] (1. 大阪公立大学)

©一般社団法人地理情報システム学会

[P2-29] 大都市近郊の竹林拡大に与える自然的要因の比較評価－2018年と2023年の神奈川県川崎市多摩区を対象として－

*古川 万莉菜[1]、中山 俊[1] (1. 専修大学ネットワーク情報学部)

[P2-30] 東京国際空港新飛行経路による不動産価値への影響分析のための
広域騒音推計

*早坂 遼[1]、堤 盛人[1] (1. 筑波大学)

[P2-31] 実人流データに基づく商店街のにぎわいの特徴分析：東京都大田区を対象としたケーススタディ

*沖 拓弥[1] (1. 東京科学大学)

[P2-32] 北九州市における建物由来のエネルギー消費量の詳細化推計と空間分析

*原 理純[1]、叢 日超[1]、藤山 淳史[2]、松本 亨[2] (1. 静岡文化芸術大学、2. 北九州市立大学)

[P2-33] 海外パーソントリップ調査の社会調査としての活用可能性
－2001年のカイロ大都市圏における市民生活と行動パターンを例に－

*後藤 寛[1] (1. 横浜市立大学)

[P2-34] Sentinel 衛星データを用いた鄱陽湖都市群における時系列洪水解析と都市拡張動態の重ね合わせ評価

*潘 毅[1]、森本 健弘[1] (1. 筑波大学)

[P2-35] 都市多様性指標（UDI）による世界280都市の多様性評価と日本の主要都市圏への適用

*秋山 祐樹[1]、秋山 千亜紀[2]、水谷 昂太郎[1]、清水 貴仁[1] (1. 東京都市大学、2. 麗澤大学)

[P2-36] 地方自治体のマイナンバーカード普及の空間分析

*伊柳 佑康[1]、堤 盛人[2] (1. 元筑波大学、2. 筑波大学)

[P2-37] 充電インフラ整備ビジョンを用いた関東地方における充電インフラ普及の時空間分析

*本多 広樹[1] (1. 山形大)

[P2-38] 福岡県における太陽光発電適地抽出と運営クラスター化

*張 越天[1] (1. 上智大学地球環境研究科)

[P2-39] オープンデータとAIを活用した全球展開を見据えた建物用途分類手法の開発

*清水 貴仁[1]、秋山 祐樹[1]、山野寺 瞭太 (1. 東京都市大学)

[P2-40] 金融機関店舗の跡地利用についての考察

*西原 梨沙子[1]、堤 盛人[2] (1. 筑波大学大学院　システム情報工学研究群、2. 筑波大学 システム情報系)

[P2-41] 遺跡立地を踏まえた埋蔵文化財調査の地理空間的偏在分析遺跡地図オープンデータと抄録データの地理空間情報を用いた検討

*武内 樹治[1] (1. 奈良文化財研究所)

[P2-42] 外邦図の画像識別による朝鮮半島の環境変遷の分析

*式見 悠一朗[1]、中谷 友樹[1]、関根 良平[1]、磯田 弦[1] (1. 東北大学)

[P2-43] 過去の水害記録から見る洪水リスクの特徴
-近世の福岡県朝倉郡を対象に-

*宮崎 豪太[1] (1. 福岡工業大学大学院)

©一般社団法人地理情報システム学会

[P2-44] 素因と誘因を考慮した高解像度かつ解釈可能な土砂災害リスク評価 －令和6年能登半島豪雨への適用－

*田中 優也[1]、後藤 真太郎[2] (1. 立正大学大学院地球環境科学研究科環境システム学専攻、2. 立正大学地球環境科学部環境システム学科)

[P2-45] 発災直後の災害現場でドローンにより取得されている地理情報の現状と課題

*泉 岳樹[1] (1. 東京都立大学)

（発表取り下げ）

[P2-47] マニラ首都圏における洪水リスクが不動産賃料に与える影響の分析 ― 賃料帯の異質性に着目して ―

*釜谷 紘生[1]、堤 盛人[1] (1. 筑波大学)

[P2-48] DSMデータと地形解析を用いたドローンひび割れ検知における誤検知低減手法の検討

*阿多 和希[1] (1. 大阪公立大学院)

©一般社団法人地理情報システム学会

ポスター発表

2025年11月2日(日) 13:00 ~ 13:50 | 会場(金森産業ホール)
[P2] ポスター発表 #2

[P2-01] 滞留点を用いた移動軌跡の圧縮手法の提案

*廣田 雅春[1] (1. 岡山理科大学)

キーワード：移動軌跡

Global Positioning System（GPS）を搭載した機器の普及に伴い，膨大な量の移動軌跡データが生成されている．しかし，これらのデータに含まれる測位点の多くは冗長であり，通信コストやストレージコストの増大といった問題を引き起こしている．この問題に対する解決策のひとつとして，軌跡圧縮が挙げられる．本研究では，滞留点を活用した移動軌跡の圧縮手法を提案する．滞留点とは，ユーザが特定の地域に一定以上の時間滞在している間に取得された測位点を指す．提案手法は，滞留点を確実に保持しつつ，移動軌跡全体を効果的に圧縮することを目的とする．

©一般社団法人地理情報システム学会

ストリートビュー画像を用いた都市環境の 3D 再構築とセグメンテーション分析法

レン　モニーカンディ*・顧　宗超**・曹 俊**

Reconstructing 3d Segmentation of the Urban Environment using Street View Images

Monykandy Leng*, Zongchao Gu**, Jun Cao**

Abstract: The recreation of the environment can be a complex process involving a lot of resources and time to produce. Even if the city has been produced digitally, the maintaining and updating process would require continuous investments. The study proposes a method to produce the 3-dimensional spatial relations using only available street view images as the source of the input. First, the images are pre-process before producing the 3d environments, The resulted point cloud is later combined with segmentation of the images producing a the segmented 3d environments. This results not only the recreation of the environments but its segmentation can also be used in other urban study purposes, such as seismic risk assessment, simulations, or data recreation for mid to small scale study of the urban area. The researches introduce a tool to easily obtain the spatial relations of the city using minimal resources and can be used for other urban study purposes.

Keywords: 3D セグメンテーション（3d segmentation），3D 再構築（3d reconstruction），パノラマ画像（panoramic images），ストリートビュー画像（street view images）

1. Introduction

Street View images has become one of the important tools used in urban analysis. However, the studies are grounded into image analysis from the camera mounted on the vehicle, implying that the analysis usually consider the 3-dimension space as if it was flattened into a surface, viewed in 360 degrees but from one point of view that is located at the street. With the advancement of the 3d recreation tools, the 360 images captured from a vehicle with around 10 meters interval can be used to recreate the 3d environment and its 3d segmentation (Figure 1) providing 2 outputs that can be used for different purpose of analysis.

The introduction of the tool to create virtual environment would enable the study of the urban area to be in an environment that is, supposedly more realistic than flattened images. The built 3d environment would allow for various analysis such as, creating simulations, generating images from other point of views or the estimation of the shaded area. Furthermore, the segmentation of the 3d environment would allow for assessment of the seismic risk of the space, the study of green volumes in relation to perceived spaces (attractiveness, safety etc.,) as the city is experienced, or the wind flow and air quality analysis in a mid to small scale.

While it is true that the data of the city can be built manually or has existed in some place already, the large scale 3d reconstruction often overlook these small details and changes which could affect the analysis if the case study is done in a smaller scale. In addition, the data of the built objects and its identification requires the understanding of, if not accurately reconstructed environment, the 3-dimensional spatial relation of the environment. In addition, some of these data are not static, for instance, the growth of the tree in the relation to its age, the age of the building and the building extension such as arcade, or air conditioning unit could be changed at any given moment. Therefore, the reconstruction of 3d environment in a traditional way would not only require a lot of time and resource investment to create, but maintaining its accuracy over time would be resource consuming as well.

The paper proposes a method to reconstruct 3d environment from a series of 360 images, using minimal resources to obtain the similar result to the reality, and creating the segmentation of the 3d environment, hence, creating a data that is easier and has more data (3 dimensionality) to interpret.

2. Methods

For each segment of the road, the 360 images are collected every 10 meters to prepare for the 3d reconstruction. After obtaining the 360 images similar to SVIs, the process are followed as shown in Figure 2. The images are enhanced, if

*　学生会員　東南大学建築学院（Southeast University）
〒210096　中國南京市四牌楼 2 号　Tel：13921439438，E-mail：monykandyleng@gmail.com
**　非会員　　東南大学建築学院（Southeast University）

needed, to ensure the image has good resolution. Next, the 360 images are split into 4 perspective images with the field of view of 120 and the camera intrinsic is calculated and written in ".yaml" format for reconstruction as it is required as an input for the reconstruction. The calculation can be done alongside the image transformation as its parameters are controlled when converting 360 images into perspective images. Then the reconstruction is run using Monocular Surface Priors for Robust Structure-from-Motion (MP-SfM) (Pataki et al., 2025) to get the 3d environment. Later, the data of the 3d point clouds is extracted from the output of the 3d reconstruction and combined with the segmentation data from the images to produce the 3d environment with segmentation.

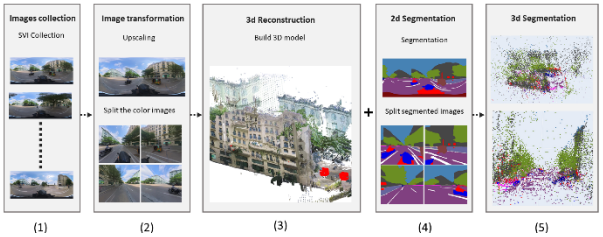


Figure 2. Research workflow: 1) images collection; 2) image transformation; 3) 3d reconstruction; 4) 2d segmentation; 5) 3d segmentation

2.1 Data collection

The 360 images are collected in an island called Koh Pich (Diamond Island) located in Phnom Penh, Cambodia, using Insta360 X3 with the resolution of 5760 x 2880 pixels with 96 dpi. The distance between each 360 images is approximately 10 meters apart. The studied length is a road segment of 70 meters in total in a compact area with buildings along the road (Figure 3.). The site is selected for its variation of shapes, curvature and distance of the buildings from the street.

However, the current Street View Images are not up to date and the quality of the image may not need the required resolution for a successful reconstruction. Therefore, the data collection process has to be done manually. To get the image intervals as close to the SVIs data as possible (10-15 meters from one to another, taken on the road with cameras on top of the car), the set-up is as follows:

1) The 360 camera is mounted on a motorbike at the height of approximately 2 meters from the ground.
2) The vehicle is driven at almost constant speed 30km/h
3) The video is set to capture at 30 frames per second
4) The time where the vehicle accelerates and decelerate is cropped out leaving only 2-3 spots where the speed of the vehicle is slowed down to the minimum of 26 km/h
5) After calculation, the image is extracted every 36 frames which should be 10 meters apart or less if the vehicle slows down.

The collected images are calibrated to ensure the north point stays on the centerline all across images.

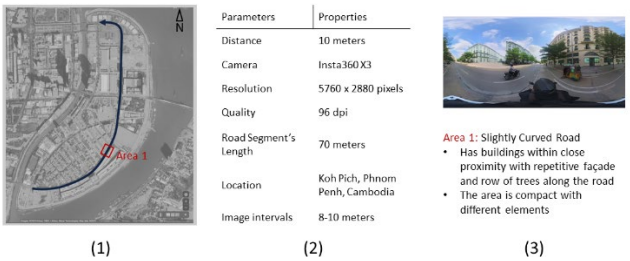


Figure 3. Data collection: 1) reconstruction site; 2) camera parameters and images information; 3) characteristic of the selected area

2.2 Image transformation

Before processing the images for 3d reconstruction, a few factors need to be considered in order to ensure there is no problems during the reconstruction.

Firstly, the quality of the images has to be ensured to be high, as the low-quality images could result in fragmented point clouds. In this case, the 360 images used is 5760 x 2880 pixels. If the requirements is not met, Clarity Refiners UI is used from Pinokio to upscale the images dimensions and enhance its quality.

Second, the 360 images are transformed into 4 perspective images with the dimension of 1000 x 1000 pixels with 96 dpi and the Field of View (FOV) 120 to ensure that there are enough overlapping percentage from one image to another. Alongside the transformation, the camera's intrinsic is calculated and saved in a .yaml format. This is because, the reconstruction requires this file to operate. Since the process of transforming 360 images to perspective image is essentially a reprojection of sphere being projected to flat surfaces, and the reprojection parameters are controlled using the tools from ZenSVI (Ito et al., 2024), the data for camera's intrinsic can be calculated and written for the 3d reconstruction.

At the same time, the 360 images are segmented using Mapillary and the tools from ZenSVI (Ito et al., 2024) as well. Then the segmented images are transformed into perspective using the same tools and parameters of the normal images for later use.

2.3 3d Reconstruction

The reconstruction of 3d environment from images has been introduced for quite some time with a variation of tools for different output including photogrammetry, Gussian Splat, NeRFs, however, these methods require huge overlaps, meaning the intervals between images has to be small which would require a big dataset and a lot of processing time to create the 3d environment (Fang et al.,2025; Murtiyoso et al.,2023) (Wu, et al., 2025).

A new method called Monocular Surface Priors for Robust Structure-from-Motion, (Pataki et al., 2025) has enhanced the 3d reconstruction pipeline to a point where the overlapping percentage between images required for the process is so low that we can use images 10 meters apart like the data from SVIs. Hence, the tool was used to re-create the environment and explore its potential to be used in urban analysis. The recreation was run on the default configuration sp-lg_m3dv2 with verbose 2 to get the fast computation time and the visualization output as well. The result is an .html file with point clouds of the 3d environment and the estimated camera's position as shown in Figure 5.

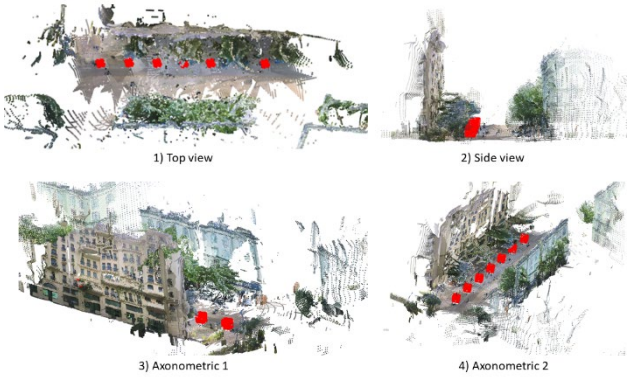


Figure 5. Reconstructed point clouds: 1) Top view; 2) Side view; 3) Axonometric 1; 4) Axonometric 2

2.4 3d Segmentation

Upon finishing the 3d reconstruction the information is extracted and combined with the segmented image. The color of the point cloud can be re-applied using segmentation color at that 3d point position. This will create the 3d point clouds using the segmentation color instead of normal color (Figure 6.).

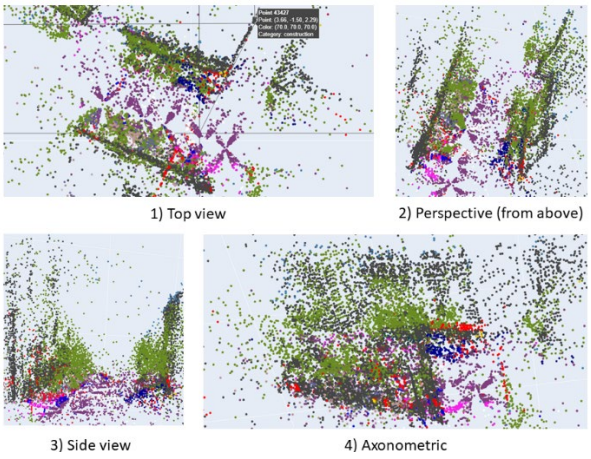


Figure 6. 3d Segmented point clouds: 1) Top view; 2) Perspective (from above); 3) Side view; 4) Axonometric

The segmented 3d points cloud essentially provides two different types of data in a single format, that is segmentation and spatial relation of the scene. Therefore, its usage can be applied in various field. For instance, in the seismic risk assessment (Section 3.1), the segmented point clouds can be used as building and depth information or a land cover map. It can also be used to generate new data including new image generation, spatial studies of the urban fabric, or mesh generation.

3. Discussion

3.1 Potential application in seismic risk assessment

The seismic activity is one of the natural occurrences that cannot be prevented, and the preparedness towards the resilience of the city is crucial to minimize its impact. The methods introduced allows for the reconstruction and identification of the urban scene providing the instruments to study the potential risk zones and estimate the safe circulation path for evacuation (Gu et al.,2024). The workflow can be used in the following proposed diagram (Figure 7.)

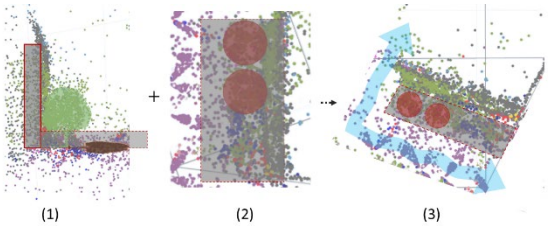


Figure 7. Safe zone identification: 1) risk region identification; 2) landcover map; 3) safe zone assessment

3.2 Potential application in solar exposure simulations

The solar exposure estimation in the urban scene, traditionally, relies on the image processing from one point of view which normally is the one taken from the vehicle side. With the introduction of point clouds 3d reconstruction, the solar exposure can be studied using panorama images (Zhu & Gu, 2022) in a pedestrian path or any other points that is not from the image input. The new generated image could be used at that new point of view to produce a sky view factor and estimate the solar exposure from the specified point directly (Figure 8.). With the analysis being completed, the suitable strategies and implementations can be explored by related urban actors to provide a comprehensive solution specific to that area.

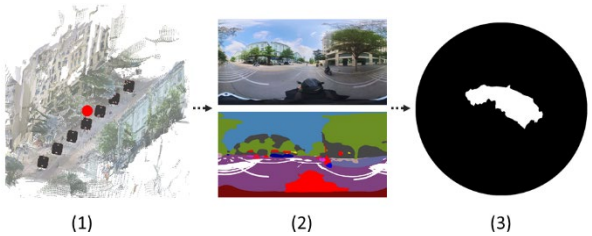


Figure 8. Solar exposure analysis: 1) a new camera position (red dot) can be picked; 2) new 360 image and segmentation can be produced; 3) sky view factor is generated

3.3 Potential application in thermal comfort analysis

The exploration of the usage potential of the segmented 3d environment can be expanded as well. The 3d point clouds can be used as an instrument to obtain the 3d mesh. The resulted mesh can be combined with on-site data to run the simulation to estimate thermal comfort (Chen et al., 2021) (Figure 9.).

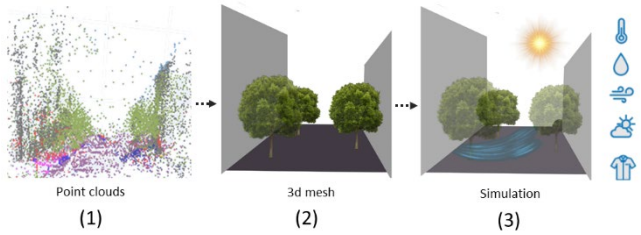


Figure 9. Thermal comfort analysis: 1) point clouds output data; 2) construct the 3d model; 3) combine with other on-site data for simulations to estimate the thermal comfort

The usage of the 3d environments and its segmentation can be explored and applied in other urban studies as well. The proposed method allows for 3d reconstruction using only a small number of a common data, street view images, and estimates the spatial relation to be used in different scenarios.

3.4. Limitations

The proposed method has a number of potential error as it was requiring only a small amount of data. However, the rooms for error can be identified.

1) The reconstruction that has buildings located considerably far from the road produce too few points cloud which, sometimes, cannot be interpreted.
2) The area that has sharp curves might result in the case in which algorithm cannot detect the movement of the camera and simply put multiple cameras in the same position producing the wrong points cloud.
3) The segmentation is not using all of the points cloud in the 3d reconstruction.
4) There are too many points cloud to be used in urban scale, therefore, the optimization is needed.
5) The points cloud demonstrates only the spatial relation of the space, so its scale with the real-world has to be confirmed

From these limitations, it is suggested to collect data with close proximity especially in area with sharp turns and not much distinctive features visible nearby, as it can be challenging to reconstruct the 3d environment. Its potential application, format conversion, and real scale can be further studied.

However, it is worth noting that the tested reconstruction uses only the default configuration for fast and light computation process rather than the heavy one. Therefore, the result may differ according to the configuration setting as well.

4. Conclusion

The study proposes a method to obtain the data of the spatial relation of the environment and segment the point clouds in the 3-dimension using only panoramic images 10 meters apart. The constructed point clouds and segmentation can be used to understand the urban scenes and experiences allowing for potential application in urban studies such as circulation space assessment, simulations, thermal comfort studies etc.

References

Chen, G., Rong, L., & Zhang, G. (2021). Unsteady-state CFD simulations on the impacts of urban geometry on outdoor thermal comfort within idealized building arrays. *Sustainable Cities and Society*, *74*, 103187. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103187

Fang, X., Zhang, Y., Tan, H., Liu, C., & Yang, X. (2025). Performance Evaluation and Optimization of 3D Gaussian Splatting in Indoor Scene Generation and Rendering. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *14*(1), 21.

Gu, Z., Sun, X., & Zhu, H. (2024, October). *A simple method of measuring the seismic risk of circulation space in urban residential streets based on street-view data*. Paper presented at the Annual Meeting of the Geographic Information Systems Conference.

Ito, K., Zhu, Y., Abdelrahman, M., Liang, X., Fan, Z., Hou, Y., Zhao, T., Ma, R., Fujiwara, K., Ouyang, J., Quintana, M., & Biljecki, F. (2024). ZenSVI: An Open-Source Software for the Integrated Acquisition, Processing and Analysis of Street View Imagery Towards Scalable Urban Science. *Comput. Environ. Urban Syst., 119*, 102283.

Murtiyoso, A., & Grussenmeyer, P. (2023). INITIAL ASSESSMENT ON THE USE OF STATE-OF-THE-ART NERF NEURAL NETWORK 3D RECONSTRUCTION FOR HERITAGE DOCUMENTATION. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *XLVIII*(M-2-2023), 1113–1118.

Pataki, Z., Sarlin, P. E., Schönberger, J. L., & Pollefeys, M. (2025). MP-SfM: Monocular Surface Priors for Robust Structure-from-Motion. In *Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition Conference* (pp. 21891-21901).

Wu, S., Feng, L., Zhang, X., Yin, C., Quan, L., & Tian, B. (2025). Optimizing overlap percentage for enhanced accuracy and efficiency in oblique photogrammetry building 3D modeling. *Construction and Building Materials*, *489*, 142382. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.142382

Zhu, H., & Gu, Z. (2022). A method of estimating the spatiotemporal distribution of reflected sunlight from glass curtain walls in high-rise business districts using street-view panoramas. *Sustainable Cities and Society*, *79*, 103671. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103671

ポスター発表

2025年11月2日(日) 13:00 ~ 13:50 | 会場(金森産業ホール)
[P2] ポスター発表 #2

[P2-04] 人流データを用いた孤立・孤独状況に伴う外出行動の解明

*岸本 慧大[1] (1. 兵庫県立大学環境人間学部)

キーワード：孤立・孤独、人流データ、外出行動、近隣社会環境

孤立・孤独を未然に防ぐ0次予防の一つとして，その悪化や改善に関連する近隣社会環境への介入が検討されている．そこで，孤立・孤独状況に伴う近隣社会環境への関わり方が探索されてきたが，従来では研究者・回答者の認知に依存するアンケート調査が主として用いられ，実際にどのような空間や施設を利用しているのかは体系的に解明されていない．本研究では，兵庫県姫路市を対象としてアンケート付き人流データを用いることで，孤立・孤独状況に伴って外出先での滞在空間・施設およびその時間にどのような違いがあるかを解明する．第一に，既存評価指標に即したアンケートを用いて，孤立と孤独それぞれの有無に応じて4つに類型化する．次に，孤立・孤独類型に紐づいた人流データを用いて，ジム・都市公園・文化施設等の施設への滞在を判定し，その滞在時間を類型間で比較する．以上より，空間・施設に対するまちづくり施策介入の可能性や手法を検討する．

©一般社団法人地理情報システム学会

モバイル空間統計を活用した水害時の避難者数推計に関する研究

山下　慎二*・Mas Erick・越村　俊一**・永田　彰平***・森田　格*****

Estimating the number of evacuees during floods using Mobile Spatial Statistics

Shinji Yamashita*, Mas Erick**, Shunichi Koshimura**, Shohei Nagata***, Itaru Morita*****

Abstract:
近年，異常気象により災害が激甚化する中で，地域防災計画の見直しや，避難シミュレーションを活用した施策立案が行われている．しかし避難計画では避難行動特性を十分考慮した計画まで検討していないことや，避難シミュレーションでは条件設定に多くの仮定が含まれるため条件設定が分析結果に大きく影響することが課題となっている．
本研究では，避難行動を定量的に予測することや避難シミュレーションの条件設定を精緻化することを目的として，①モバイル空間統計から水害時における避難者数を算定する手法を開発し，②複数の自治体や災害事例のデータを用いた避難者数の予測モデルを開発する．これにより，任意の地域で将来発生する水害での避難者数が予測でき，地域防災計画の見直しや避難シミュレーションの条件設定の精緻化に貢献できる．本稿では①について実施し，差分の差分法を用いて算定した避難者数と自治体が公表する避難者数の比較検証を行った．

Keywords: モバイル空間統計 (Mobile Spatial Statistics)，水害避難 (Flood Evacuation)，差分の差分法(Difference-in-Differences Method)，令和元年東日本台風 (2019 Eastern Japan Typhoon)，避難情報 (Evacuation information)

１．はじめに

１.１　背景

近年，異常気象により災害が激甚化する中で，台風・大雨に伴う洪水や土砂災害等に対する防災施策の検討・効果検証に，デジタルツイン技術として避難シミュレーション（マルチエージェントシミュレーション）を活用するケースが増えている（国土交通省, 2021; 京都府, 2024; 神戸市, 2025）．しかし，避難シミュレーションはエージェントの行動設定や初期条件の設定が結果に大きく影響することから，条件設定の妥当性について課題が残ることがある（富沢ら, 2022; 堀ら, 2008）．特に水害時おいては，警戒レベルごとに避難情報が発令されるため，行動設定は多様かつ複雑となっている．また，避難計画では避難行動特性を十分考慮した計画まで検討していないことも課題となっている（岡島ら, 2021）．

１.２　目的

本研究では，水害時を対象として，災害初期段階から発災後の避難まで長時間の人口移動を分析し，避難情報が人口移動に与える影響を把握する．そのうえで，避難情報を含め，災害情報や被災履歴，土地データ等の種々のデータから人口変動の要因を特定し，水害時の人口変動の再現モデルの構築を試みる．さらには，再現モデルより予測される人口変動に整合するような避難シミュレーションを構築することで，水害時の避難行動に対する対策効果検証や避難計画検証に活用可能な避難シミュレーションの構築を目指す．

２．既往研究と本研究の位置づけ

２.１　既往研究

奥村・仲野（2024）は，2023 年夏季の高気温が首都圏における人々の外出量に与える影響を，モバイル空間統計を用いて統計的に分析した．外出量の算出には，居住地市区町村内の移動を直接捉えることが困難であることから，「最小移動仮定」に基づき，深夜 2 時の人口分布から各時間帯への人口移動量を線形計画問題として推定している．

Nagata et al., (2021) は，COVID-19 の感染拡大に伴う外出自粛要請が，都市部における人々の移動量に与えた影

*　正会員　日本工営株式会社中央研究所（NIPPON KOEI CO.,LTD.）
〒300-1259　茨城県つくば市稲荷原 2304　E-mail：YAMASHITA-SH@n-koei.jp
**　非会員　東北大学災害科学国際研究所（Tohoku University）
〒980-8572　仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1　E-mail：mas@tohoku.ac.jp, koshimura@tohoku.ac.jp
***　正会員　東北大学災害科学国際研究所（Tohoku University）
〒980-8572　仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1　E-mail：shohei.nagata.c7@tohoku.ac.jp
****　非会員　日本工営株式会社中央研究所（NIPPON KOEI CO.,LTD.）
〒300-1259　茨城県つくば市稲荷原 2304　E-mail：MORITA-IT@n-koei.jp

響と感染拡大との関連を，三大都市圏を対象に分析した．分析にはモバイル空間統計を用い，各時間帯の人口を基準人口で割ることで指標化し，職場・夜間娯楽施設・住宅地における移動変化指標を算出している．

中口・杉山（2021）は，さいたま市荒川・鴨川流域を対象に，水害発生時の避難行動シミュレーション動画を用いた学習会を実施し，住民の防災意識や要配慮者支援意識の変容を分析した．シミュレーションで避難者が移動開始するタイミングは，警戒レベルや破堤の有無などを踏まえたシナリオに応じて分析者が設定している．

2.2　本研究の位置づけ

水害時に発生する避難について，どのタイミングでどのくらいの人が避難をするか予測可能な推計手法を開発する．手法はシンプルな手法から試すが，精度に応じてより複雑なモデルを使用することも想定される．

なお，本稿は全体的な研究計画の中間段階に位置づけられるものであり，現時点で得られた知見を整理したものである．具体的には，フレームワークの内，２までの内容について分析した結果を報告する（図 1）．

3．モバイル空間統計を用いた避難者数の算定

3.1　使用データ・収集データ

水害時には，警戒レベルに応じて避難情報が発令されるため，1 時間単位以下の頻度で人口変動を把握できることが理想的である．そこで本研究では，1 時間単位の時系列かつ実数ベースで人口変動の分析が可能なモバイル空間統計（株式会社ドコモ・インサイトマーケティング）を使用した．モバイル空間統計は過去の災害時のデータも取得可能であり，令和元年東日本台風により大きな被害が発生した 2019 年 10 月 12 日を含む前後 3 か月（2019 年 8 月 1 日～10 月 30 日）を対象期間とした．分析対象地は，後述する３．２避難情報発令事例の選定で選定された地区である．

また，避難情報および避難所に関するデータも収集し，避難所については自治体が公表する場所（住所）・開設記録・時間帯別避難者数等の情報を取得し，4 次メッシュコードと紐づけて整理した．避難情報については行政や自治体が公表している資料等から過去の災害での避難情報を収集した．なお，本研究で収集したデータは，避難所情報（自治体 HP 等より収集），避難情報（行政資料）の他，天候，居住人口，流域 GIS データ（国土数値情報），避難者数など多岐にわたる．

3.2　避難情報発令事例の選定

前述したデータの収集を行うのに際し，分析対象となる避難情報発令事例を選定した．まず，対象とする災害については，近年で最も被害が大きかった令和元年東日本台風を対象とした．次に，令和元年東日本台風にて特に住宅被害が大きい自治体を選定した．この際，全壊，

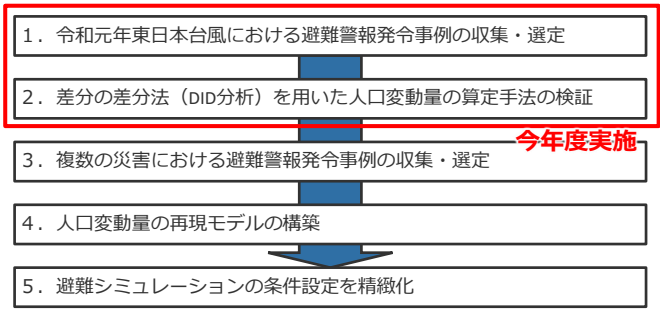


図 1　フレームワーク

表 1　住宅被害

都道府県名	市区町村名	全壊	半壊	床上	床下
栃木県	栃木市	11	2767	1097	3997
長野県	長野市	869	1496	32	1597
福島県	いわき市	121		4044	1504
福島県	郡山市	483		3168	1418
栃木県	宇都宮市		441	724	1340
岩手県	宮古市	71	105	1102	735
栃木県	佐野市	24	1671		1933
宮城県	角田市	18	933		1536
福島県	須賀川市	186	915	128	407
宮城県	丸森町	368	990		315
宮城県	大崎市	111	274	125	613
宮城県	柴田町		261	451	501
福島県	石川町	17	1057		390
福島県	伊達市	146	380	28	298
宮城県	大郷町	77	260	24	160
福島県	福島市			390	133
宮城県	石巻市	2	272	356	8907
長野県	佐久市	31	14	386	958

半壊，床上浸水，床下浸水の 4 項目について各被害件数が多い上位 10 個の市区町村をリストアップし（着色部分），2 項目以上でリストアップされた自治体を抽出したところ，宮古市，角田市，丸森町，いわき市，郡山市，須賀川市，栃木市，宇都宮市，佐野市，長野市が選定された（表 1）．なお，住宅被害件数で選定した理由は，避難者数が多い（避難が多く発生している）市区町村では，住宅被害も多くなる，と想定したためである．住宅被害以外にも人的被害や土砂災害も発生しているが，避難者数が多くても人的被害が発生しないケース（もしくはその逆）が想定されることや土砂災害は市区町村の地理的特徴に起因することが多く一概に被害件数に比例して避難者数が多くなるとは言えないため，住宅被害件数で選定している．選定された市区町村について避難情報発令事例を収集すると約 220 件の発令事例が収集できた．さらにこの中から警戒レベル 4 以上で複数回発令した事例を抽出し選定事例とした．複数回発令がある地区では避難者数が多くなり，モバイル空間統計でもその変動量が把握しやすくなること，及びモバイル空間統計は携帯基地局データが基になっていることから高齢者の移動が十分反映されていないと想定されることから，これらの条件を追加した．最終的には，40 地区 84 件の発令事例が選定された（表 2）．

表 2　発令事例

市区町村名	地区名	発令警報	発令時刻（初回）	発令時刻（最終）
栃木県栃木市	永野川沿いの地域	避難勧告→災害発生情報	2019/10/12 18:55	2019/10/12 19:50
栃木県栃木市	三杉川（藤岡町願成寺橋付近）	災害発生情報	2019/10/12 16:30	2019/10/12 23:55
栃木県栃木市	赤津川沿いの地域	避難勧告→避難指示→災害発生情報	2019/10/12 16:30	2019/10/12 20:00
栃木県栃木市	巴波川沿いの地域	避難勧告→災害発生情報	2019/10/12 16:30	2019/10/12 20:45
長野県長野市	篠ノ井横田	避難指示（緊急）→災害発生情報	2019/10/12 20:05	2019/10/12 20:42
長野県長野市	豊野町浅野	避難指示（緊急）→災害発生情報	2019/10/13 0:45	2019/10/13 1:19
長野県長野市	篠ノ井地区（千曲川沿川）	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 18:00	2019/10/12 23:40
長野県長野市	若穂地区（千曲川沿川）	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 18:00	2019/10/12 23:40
長野県長野市	松代地区（千曲川沿川）	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 18:00	2019/10/12 23:40
長野県長野市	大岡地区の土砂災害警戒区域	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 16:20	2019/10/12 19:30
長野県長野市	大豆島地区（千曲川沿川）	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 18:00	2019/10/12 23:40
長野県長野市	朝陽地区（千曲川沿川）	避難勧告→避難指示（緊急）→災害発生情報	2019/10/12 18:00	2019/10/13 2:12
長野県長野市	長沼地区（千曲川沿川）	避難勧告→避難指示（緊急）→災害発生情報	2019/10/12 18:00	2019/10/13 2:12
長野県長野市	豊野地区（千曲川沿川）	避難勧告→避難指示（緊急）→災害発生情報	2019/10/12 18:00	2019/10/13 2:12
長野県長野市	柳原地区（千曲川沿川）	避難勧告→避難指示（緊急）→災害発生情報	2019/10/12 18:00	2019/10/13 2:12
福島県いわき市	大久地区（大久川沿川）	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 16:20	2019/10/12 19:50
福島県いわき市	常磐地区（藤原川沿川）	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 19:40	2019/10/12 22:00
福島県いわき市	全域	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 15:10	2019/10/12 22:00
福島県いわき市	平地区（新川沿川）	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 15:20	2019/10/12 19:10
福島県いわき市	好間地区（好間川沿川）	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 15:20	2019/10/12 19:30
福島県いわき市	四倉地区（仁井田川沿川）	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 16:20	2019/10/12 21:50
福島県郡山市	安積町（阿武隈川流域）	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 15:00	2019/10/12 22:13
福島県郡山市	旧市内（阿武隈川流域）	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 15:00	2019/10/12 22:13
福島県郡山市	田村町（阿武隈川流域）	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 15:00	2019/10/12 22:13
福島県郡山市	西田町（阿武隈川流域）	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 15:00	2019/10/12 22:13
福島県郡山市	日和田町（阿武隈川流域）	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 15:00	2019/10/12 22:13
福島県郡山市	富久山町（阿武隈川流域）	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 15:00	2019/10/12 22:13
福島県郡山市	谷田川流域	避難指示（緊急）→災害発生情報	2019/10/12 21:41	2019/10/13 1:08
栃木県宇都宮市	姿川流域	避難勧告→避難指示	2019/10/12 19:15	2019/10/12 20:20
栃木県宇都宮市	田川流域	避難勧告→避難指示	2019/10/12 19:15	2019/10/12 20:20
岩手県宮古市	市内全域	避難勧告→災害発生情報	2019/10/12 17:00	2019/10/13 1:00
宮城県角田市	全域	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 19:30	2019/10/12 19:50
福島県須賀川市	阿武隈川流域	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 17:00	2019/10/12 19:15
福島県須賀川市	岩瀬地区	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 16:38	2019/10/12 19:15
福島県須賀川市	小塩江地区	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 18:36	2019/10/12 22:00
福島県須賀川市	釈迦堂川流域	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 17:00	2019/10/12 19:15
福島県須賀川市	大東地区	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 18:40	2019/10/12 22:00
福島県須賀川市	長沼地区	避難勧告→避難指示（緊急）	2019/10/12 16:30	2019/10/12 19:15
宮城県丸森町	全域	避難勧告→災害発生情報	2019/10/12 15:20	2019/10/12 19:50

3.3　分析手法

避難者数の算定については，モバイル空間統計から得られる 4 次メッシュ単位での人口分布を用いる．「差分の差分法（DID 法）」では，災害時の避難情報発令前後の人口変動を介入群，平常時の人口変動を対象群と設定し，それらの差分を求める．この「差分の差分値（DID 値）」が避難情報発令に伴って移動した避難者数と解釈する．DID 値が正であれば当該メッシュに避難者が避難しに来た（流入した）と解釈でき，負であれば当該メッシュから他のメッシュに移動した（流出した）と解釈できる．地区単位ではなくメッシュ単位で分析した理由については，避難者が同地区内の施設に避難することを想定した際に，メッシュ単位の流出入が発生しているものの地区単位では相殺され，DID 値を算出すると避難行動が観測できなくなることを懸念したためである．その他，この手法における仮定を整理する．

- １メッシュが 1 時間に変動するメッシュ人口は純増（流入）もしくは，純減（流出）のみを想定して，増加・減少が同時に発生しない．
- 同一メッシュ内の近隣住民がメッシュ内で避難する場合は，避難者数としてカウントできない．
- DID 法は 3 種類の対象群を用いて算出するため，その平均値を最終的な DID 値（避難者数）として分析する．

なお，具体的には，対象群①「発災前の休日の平均データ」，対象群②「発災前の休日かつ雨天だった日の平均データ」，対象群③「発災前の平日かつ雨天だった日の平均データ」の 3 種のデータを用意した．

3.4　検証方法

DID 値を避難者数として解釈することの妥当性を検証するため，各自治体が公表している開設避難所と避難者数の情報を用いて精度検証を行う．地区単位で報告された避難者数（一部は市町村単位で報告された数）を，提案手法で再現できているか集計する．この際，各地区で開設されていた避難所が含まれるメッシュにて，避難情報が発令された前後 1 時間における DID 値を集計する．開設の記録が無い場合は，避難者数が報告されている避難所を抽出し，当該避難所が含まれるメッシュの DID 値を集計する．ただし，避難所があるメッシュにおいては，避難情報発令直後にメッシュ人口が減少すること（つまり DID 値が負になること）は無いと仮定し，DID 値が負の場合は 0 で補完することとした（非負条件）．

4．検証結果

分析結果を表 3 に示す．佐野市は，市区町村が公表する避難情報の発令記録がないため分析対象から外した．宮古市は，避難情報の発令記録があったものの，避難所の開設記録や避難者数が報告されている避難所が無かったため，分析対象から外した．残りの避難情報発令事例で提案手法の検証を行った．

表 3　避難者数の推計結果

都道府県	市町村	地区名	4_避難勧告	4_避難指示	5_災害発生情報	合計（推計避難者数）	避難者数（公表値）
宮城県	丸森町	全域	208	0	240	448	474
	角田市	全域	170	170	0	339	1,030
栃木県	宇都宮市	姿川流域	7	42	0	50	392
		田川流域	245	232	0	478	874
	栃木市	巴波川流域	13	0	142	155	581
		永野川流域	0	0	35	35	1,027
		赤津川流域	45	186	78	308	202
福島県	いわき市	全域	5,075	4,133	0	9,207	6,968
		四倉地区	253	82	0	335	235
		大久地区	166	187	0	353	219
		好間地区	410	263	0	672	441
		常磐地区	417	444	0	861	411
	郡山市	谷田川流域	0	56	73	129	600
		阿武隈川流域	181	373	0	554	2,109
	須賀川市	阿武隈川流域	92	49	0	141	109
長野県	長野市	大岡地区	5	0	0	5	14
		大豆島地区	8	0	0	8	10
		朝陽地区	7	0	23	29	13
		松代地区	119	245	0	364	1,981
		篠ノ井地区	101	95	0	196	1,954
		若穂地区	35	93	0	128	284
		豊野地区	42	182	385	609	708
合計			7,598	6,832	975	15,405	20,636
平均			345	311	44	700	938

表 3 では，地区別に発令毎の推計避難者数と地区合計の推計避難者数を算出していた．地区合計と公表されている避難者数を比較すると，丸森町や須賀川市等では一定再現できている地区がある一方，栃木市や郡山市では大きく乖離している地区が見られた．両者を比較する指標については，RMSE が 842 人，相関係数が 0.91，平均絶対誤差率は 62%であった. 推計値の平均避難者数は 700 人，公表値の平均避難者数は 938 人であった．相関係数は良好な値が出ているものの，推計値として一定の信頼性を得るためには誤差率は 20%程度まで改善する必要があると考えられる．

特に○○流域と表記されている地区では誤差が大きい傾向にあるが，これは公表資料から避難情報が発令された流域に存在する避難所の特定が困難であったため，誤差が発生しているものと考えられる．さらに，モバイル空間統計では高齢者の移動が十分に考慮できないことも精度が低い原因の一つであると考えられる他，３．３で設定した仮定に起因する影響も考えられる．

５．まとめ

本稿では，令和元年東日本台風で避難情報が発令された地区を対象に，DID 法を用いて避難者数を推計し，実際の避難者数と強い相関がある結果を得ることができた. しかしながら, 誤差や RMSE は大きい結果となったため, 仮定条件の再確認や推計手法の見直し等，原因探求と手法改良が必要である．併せて，フレームワークの 3 以降の作業フローも並行し，人口変動量の再現モデルの開発を実施していく．

謝辞

本研究は東北大学の「災害レジリエンス共創研究プロジェクト」により助成を受けました．

参考文献

国土交通省（2021）屋内外をシームレスに繋ぐ避難訓練シミュレーション．<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc20-014/>.

京都府（2024）スマートけいはんなプロジェクト．<https://www.pref.kyoto.jp/bunkaga/smart_keihanna_project.html>.

神戸市役所（2025）『都市計画や防災計画に資する、「富岳」を活用した デジタルツインシミュレーション』の社会実装に向けた取り組み ～神戸駅周辺地域の垂直避難に関する検証～.
<https://www.city.kobe.lg.jp/a93584/516920176162.html>.

富澤敦・森山祥文・松本勝紀・江波戸孝明・小池和喜隆・山下慎二・ダスルベル・森田格・鈴木達也・大山雄己（2022）人流シミュレーション及び社会実験型避難訓練を活用した交通防災拠点のあり方検証．「第 68 回土木計画学研究発表会・講演集」

堀宗朗・宮嶋宙・犬飼洋平・小国健二（2008）地震時避難行動予測のためのエージェントシミュレーション．「土木学会論文集 A」, Vol.64, No.4, 1017-1036.

岡島寛・甲斐しずく・徳永慎也（2021）潜在避難者を考慮した大規模災害における避難所避難者数推移の動的モデル．「システム制御情報学会論文誌」, Vol. 34, No.2, pp.47-57.

奥村誠・仲野ゆい（2024）夏季の高気温が外出量に与える影響の統計分析．「第 38 回応用地域学会研究発表大会発表論文」

Nagata, S., Nakaya, T., Adachi, Y., Inamori, T., Nakamura, K., Arima, D., Nishiura, H. (2021) Mobility Change and COVID-19 in Japan: Mobile Data Analysis of Locations of Infection. *Journal of Epidemiology*, 31(6), 387-391.

中口毅博・杉山峻太（2021）水害発生時の避難行動シミュレーションが住民意識の変容に及ぼす効果の分析．「日本都市計画学会　都市計画報告集」， No.20, 2021 年 11 月

ポスター発表

2025年11月2日(日) 13:00 ~ 13:50 | 会場(金森産業ホール)
[P2] ポスター発表 #2

[P2-06] 日本全国を対象とした効果的な感染症対策の実施に向けた未成年者の行動パターン及び活動範囲の推定

*吉見 宇弘[1] (1. 東京都市大学)

キーワード：未成年者、人流データ、人口分布、感染症対策、統計

新型コロナウイルス感染症のパンデミックは，感染症対策への意識を高める契機となった．しかし，未成年者は衛生意識が未発達なため，手洗いやマスク着用といった基本的な感染予防策の徹底が難しく，また，学校などの閉鎖空間で集団生活を送ることから，感染が急速に拡大しやすいという課題がある．そのため，感染症対策の立案には，感染拡大の温床となり得る未成年者の人流を把握することが不可欠である．しかし，未成年者はスマートフォンなどの携帯端末の所持率が低いため，位置情報に基づく人流分析が困難である．本研究では，各種統計情報を活用することで，建物単位の居住地推定に加え，個々の未成年者の通学・通園先，日常スケジュール，および通学経路を推定する手法を開発した．この手法により，全国規模で未成年者の日常的な行動パターンと活動範囲を詳細に推定することが可能となり，より効果的な感染症対策の立案や実施に貢献することが期待される．

©一般社団法人地理情報システム学会

ポスター発表

2025年11月2日(日) 13:00 ~ 13:50 | 会場(金森産業ホール)
[P2] ポスター発表 #2

[P2-07] Mobility Patterns of Trailers Transporting Containers and Hinterland Structures of Major Ports in Northeastern Japan

*Huixuan Zheng[1,2], Yoshiki Ogawa[3,4], Ryuichi Shibasaki[2], Naoya Fujiwara[1,5] (1. Graduate School of Information Sciences, Tohoku University, 2. Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, 3. Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo, 4. Graduate School of Social Data Science, Hitotsubashi University, 5. Japan Science and Technology Agency)

キーワード：freight logistics、container transfer、mobility analysis、ETC2.0 data、port area、port hinterland

Ports are gateways linking maritime and inland transport and play a key role in regional economies as well as international trade. Container trailers connect ports with domestic logistics, and analyzing their mobility is essential to understand container flows even internationally. This study uses ETC2.0 data to analyze trailer movements in major ports in northeastern Japan. First, trip extraction methods from human mobility studies are applied to ETC2.0 data to construct trailer trip chains, revealing attributes of stopped locations made before and after the container terminals, night parking, and empty container flows. Second, trailer flows are used to delineate port hinterlands and to compare their size and overlap. The results reveal functional differences among ports, reflecting competition and complementarity. This study provides new evidence on detailed trailer mobility and port–hinterland relations in Tohoku, offering insights for logistics planning and port policy.

©一般社団法人地理情報システム学会

東京都市圏における鉄道通勤経路選択の統計力学的モデル
GPS データによる実証分析

鄭　軼璇（テイ　イーシャン）*・高安秀樹・高安美佐子*****

Statistical Mechanics of Urban Mobility
- A Canonical Ensemble Model of Route Choice in Tokyo

Yixuan Y. Zheng*, Hideki Takayasu**, Misako Takayasu***

Abstract: This study applies a multinomial logit (MNL) framework to analyze railway commuters' route choices using a large-scale dataset of smartphone GPS trajectories. We design a data processing pipeline that extracts structured commuting paths, including transport mode and transfer information, from raw location traces. The model highlights key behavioral patterns in commuter decision-making, such as the substantial disutility associated with transfers and the influence of station capacity on route attractiveness. Our findings demonstrate that passively collected GPS data can support robust revealed-preference modeling at metropolitan scale, offering new opportunities for understanding commuter route choice and informing transit planning.

Keywords: 都市交通（Urban mobility），経路選択モデル（Route choice modeling），GPS 軌跡（GPS trajectories），離散選択分析（Discrete choice analysis），統計力学（Statistical mechanics）

１．はじめに

高度に発展した鉄道網の上では、個人の出発地と目的地が仮に同じであっても、それらの間の通勤ルートは複数ありうる。そこで、出発地と目的地が与えられたとき、どのような要因がルート選択に影響を与えているかを定量化することは、通勤人流のモデル化や、都市計画や交通政策の立案において極めて重要である[1]。特に東京都市圏は世界最大級の鉄道ネットワークを有し、約 3,800 万人の居住者のうち、日々1,000 万人以上が鉄道通勤を行っている。本研究は東京都市圏（東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県）における通勤人流をスマートフォン GPS データから取得し、鉄道による通勤を対象に絞り、ルート選択のモデルを構築した。

従来の経路選択研究は、主に個人の効用最大化理論（Random Utility Maximization: RUM）に基づく離散選択モデルを用いてきた [2, 3]。個人にとって、通勤は他の移動と比べて特殊な移動である。東京の通勤システムは以下の特徴的な制約を持つ：

- 定期券制度：多くの企業が通勤定期代を支給し、経路が事実上固定される
- 固定的な勤務時間：朝夕の通勤ラッシュが極めて集中的
- 高密度な鉄道網：同一 OD 間に複数の実行可能な経路が存在

これらの制約により、通勤行動は個人の自由な選択というより、システム全体が制約下で平衡状態に達した集団現象として理解する方が適切である。

1.2 研究目的と貢献

本研究では、約 100 万人/日のスマートフォン GPS データを用いて、一年間十二ヶ月分通勤者の経路選択行動を統計物理学の正準集団（カノニカル・アンサンブル）モデルとして分析する新しいアプローチを提示する。主な貢献は以下の 3 点である：

一、 理論的貢献：離散選択モデルのスケールパラメータを物理学的な再解釈
二、 実証的貢献：乗り換えペナルティの定量化
三、 方法論的貢献：大規模 GPS データから通勤パターンを抽出する包括的な分析パイプライン

２．データと方法論

２.１　使用データの概要

本研究では、Agoop 社提供の匿名化された GPS 位置情報データを使用した。データの特徴は以下の通り：

対象期間：2023 年 1 月～12 月の平日（週末・祝日を除く）

対象地域：首都圏（東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県）

*　学生会員　東京科学大学工学部（Institute of Science Tokyo）
〒226-8501 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259　E-mail: yixuan.z.5b0a@m.isct.ac.jp
***　非会員　東京科学大学情報理工学部（Institute of Science Tokyo）
〒226-8501 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259　E-mail：hideki.takayasu@gmail.com
**　非会員　東京科学大学情報理工学部、工学部（Institute of Science Tokyo）
〒226-8501 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259　E-mail：takayasu@comp.isct.ac.jp

サンプル数：約 100 万人/日のスマートフォンユーザー
時間解像度：約 1 分間隔での位置記録
空間精度：約 10 メートル
データには以下の制約が存在する：

1. プライバシー保護のため、ユーザーID は日次でリセット
2. 13 歳未満と 65 歳以上の利用者が過少代表
3. 居住地の正確な位置は 100m グリッドの中心点に集約

2.2 GPS データ処理パイプライン

2.2.1 活動状態の分類

各 GPS 点を以下の 5 つの状態に分類した：

状態	定義	判定基準
home（自宅）	居住地での滞在	4 時間以上滞在、午前 5 時の最初の記録
work（職場）	勤務地での滞在	5 時間以上滞在、自宅以外の場所
move（移動）	高速移動状態	速度 8km/h 以上、停止時間 4 分未満
stroll（立ち寄り）	短時間の停止・低速移動	速度 8km/h 未満、滞在時間 4 分以上 30 分未満
stay（滞在）	長時間の滞在	1km グリッド内に 30 分以上継続滞在

2.3 カノニカルモデルの定式化

経路選択を統計力学の正準集団として扱い、通勤者 n が経路 j を選択する確率を以下のボルツマン分布で表現した：

$$P_{nj} = \frac{\exp(-\beta E_{nj})}{\sum_{k \in C_n} \exp(-\beta E_{nk})}$$

ここで：
E_{nj}：経路 j のエネルギーコスト（負効用）
β：逆温度パラメータ（スケールパラメータ）
C_n：通勤者 n の選択可能経路集合
エネルギー関数は経路属性の線形結合として定義：

$$\mathrm{E_{nj}} = \boldsymbol{\omega} \,.\, \mathbf{X_{nj}^{T}}$$

説明変数X_{nj}は六次元のベクトル、構成要素は：

変数	解釈
通勤時間	分単位、ドア・ツー・ドア
通勤距離	限界効果の逓減を考慮
乗換回数	通勤モチーフから抽出
ラッシュ通勤	ダミー変数 1 か 0
第 1 乗換駅容量	最大時間帯利用者数
第 2 乗換駅容量	同上

3 主要な結果

3.1 経路選択安定性

12 ヶ月間の月次推定により、パラメータの時系列安定性を検証した。
特に、スケールパラメータ β 値の月次変動：
年間平均：0.90
変動範囲：0.85-0.95
最小値：6 月（梅雨期、0.85）
最大値：9 月（秋の安定期、0.95）
この安定性は、研究地域の通勤システムが統計的温度とする平衡状態にあることを示唆している。

3.3 行動的洞察

$\frac{\omega_{NT}}{\omega_{CT}}$ によって、1 回の乗換は約 20 分の追加移動時間に相当する心理的負担を生じさせる。これは交通計画者にとって重要な閾値である。
乗換駅容量の非対称効果については
第 1 乗換駅（正の係数）：高容量駅での混雑を忌避
第 2 乗換駅（負の係数）：高容量駅の利便性を評価
この非対称性は、通勤者が旅程の最終段階の快適性を重視することを示している。第 2 乗換駅は多くの場合、新宿や渋谷などの主要ターミナル駅であり、高頻度運行や充実した設備が混雑のデメリットを上回る。

3.2 モデル性能

McFadden の疑似 R^2は 0.160、的中率は 51.8%を達成した。これは平均 6 つの選択肢からのランダム選択（17%）を大きく上回る予測能力を示している。

4. 考察と今後の課題

本研究は、通勤経路選択を物理学的枠組みで捉える新たな方法を提示し、集団的平衡現象として通勤パターンを理解できることを示した。一方で、(1) GPS 点分類の閾値が経験的であること、(2) 運賃変数を含めていないこと、といった限界がある。

今後は、混合ロジットによる異質性の考慮、経路間相互作用や非定常性の分析などが重要な拡張課題となる。

参考文献

[1] Zheng YY, Shida Y, Takayasu H, Takayasu M. Enhancing the gravity model for commuters: Time-and-spatial-structure-based

improvements in Japan's metropolitan areas. PLoS One. 2025 Aug 12;20(8):e0329603. doi: 10.1371/journal.pone.0329603.
[2] 近藤恵介 (2019).「構造推定による通勤不効用の評価」RIETI Discussion Paper Series 19-J-014. 経済産業研究所
[3] Kaneko, N., Oka, H., Chikaraishi, M., Becker, H., & Fukuda, D. (2018). Route choice analysis in the Tokyo Metropolitan Area using a link-based recursive logit model featuring link awareness. Transportation Research Procedia, 34, 251–258. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.11.042

駅からの距離を考慮した歩道構造と沿道施設が滞在数に及ぼす影響
－大井町駅と吉祥寺駅周辺部を対象として－

金森貴洋*・中山俊・厳網林*****

The Influence of Sidewalk Structure and Roadside Facilities on Pedestrian Stay, Considering Distance from the Station
- A Case Study of the Areas Surrounding Oimachi and Kichijoji Stations -

Takahiro Kanamori*, Shun Nakayama**, Wanglin Yan***

Abstract: To promote walkable urban environments, it is essential to create pedestrian spaces and environments that encourage stays—even in areas far from stations. This study examines how spatial characteristics such as sidewalk structure and roadside facilities influence pedestrian stays, considering distance from stations. Focusing on areas around Ōimachi and Kichijōji Stations, we applied a Generalized Linear Model (GLM) and score-based analysis using pedestrian flow data aggregated at the sidewalk-link level. Results revealed that, in addition to proximity, good walking environments—such as pedestrian-only sidewalks and highly rated POIs—significantly promote stays. In particular, Kichijōji showed stays even in distant areas where spatial conditions were good.

Keywords: ウォーカブル（walkable）, 滞在（pedestrian stay）, 歩道構造（sidewalk structure）, 沿道施設（Point of Interest）

１．はじめに

国は，人口減少や中心市街地の衰退といった問題から，まちなかのにぎわいと滞在の創出を目的として，ウォーカブルなまちづくりを推進している（国土交通省, 2024）．特に，2020 年の都市再生特別措置法と道路法の改正によって，歩行空間の構造的改善や滞在を誘発する空間要素の導入を後押しする制度が整備され，通行だけでなく滞在したくなる空間の創出を目指している．

首都圏のように公共交通が高度に整備され，駅を核に滞在を促す施設が集積する地域では，自動車依存の脱却よりも，滞在行動などの質を高める空間介入が重要とされる（伊藤ほか，2021）．駅を中心とした都市構造は滞在の核を形成する一方で，駅近傍に過度に集中し，駅遠方では歩行者の滞在が限定的となりやすい．こうした空間的偏在は，都市内のにぎわいの広がりを阻害し，地域全体の活力を低減させる要因となる可能性がある．商店街における滞留を誘発させる条件に着目した研究（有馬ほか，2008 ; 澤田ほか，2025）や，大規模開発が滞在に与える影響を明らかにした研究（天谷ほか, 2024）などはみられるが，駅からの距離を考慮しつつ，駅から離れた場所においても滞在を促進できる歩行空間や滞在を誘発する空間要素の特性を明らかにした研究はみられない．

そこで本研究では，歩行空間として歩道構造，滞在を誘発する空間として歩道沿道の施設（POI）に着目し，歩行者の滞在をにぎわいの代理指標とみなし，駅からの距離を考慮しつつ，歩道の構造種別および沿道 POI の量と質が滞在数とどのように関連するかを明らかにする．対象は，乗降規模が類似し，POI の分布と質が異なる大井町駅と吉祥寺駅の周辺部とする．駅から離れた場所で滞在を生み出す物的条件を示すことで，都市部のウォーカブル整備に資する知見を得ることを目的とする．

２．研究手法

本研究では，各駅の重心から 500 m 圏を対象とし，歩道リンクを分析単位として，駅からの距離を考慮しつつ，歩道の構造種別，沿道 POI の数，口コミ数の多い POI の数，口コミ評価の高い POI の数が滞在数にどのように関連するかを検証する．手順としては，まず歩道ネットワークデータを整備し，ついで Google Maps から取得した POI 情報と，人流データから抽出した滞在情報を準備する．これらを歩道リンクに付与し，リンク中点における駅からの経路上の最短距離に基づいて分析を実施する．

２.１　歩道ネットワークデータの整備方法

歩道ネットワークデータは，国土交通省（2024）の仕様に準拠して作成する．対象とする歩道は，道路，公園，公共空間の通路，駅構内などの人が通行可能な経路とし，時間帯により通行が制限される建物内の通路などは対象外とする．歩道が明示されている場合は，歩道の中央に，

*　正会員　株式会社パスコ（PASCO Corporation）
〒153-0042　東京都目黒区青葉台 4-9-6 日本地図センタービル 5F　E-mail：tiarko7548@pasco.co.jp
**　正会員　専修大学ネットワーク情報学部（Senshu University）
***　正会員　慶應義塾大学環境情報学部（Keio University）

表１　対象とする POI の場所タイプ

amusement_park	clothing_store	meal_takeaway
aquarium	convenience_store	movie_theater
art_gallery	department_store	night_club
bakery	electronics_store	park
bar	florist	pet_store
bicycle_store	food	restaurant
book_store	furniture_store	shopping_mall
bowling_alley	grocery_or_supermarket	store
cafe	home_goods_store	supermarket
casino	jewelry_store	tourist_attraction
church	liquor_store	zoo

歩車一体の場合は車道中央にリンクを配置する．リンクの分割は，交差や分岐が生じる節点，または歩道の構造種別が変化する地点を境として行う．

歩道の構造は，歩行者専用道路（歩道橋やペデストリアンデッキを含む），物理的に歩道と車道が分離された歩道（以下，歩車分離），路面標示によって歩道と車道が分離された歩道（以下，路側帯），歩道と車道が一体化した歩道（以下，歩車一体），横断歩道，横断歩道はないが横断が可能な箇所（以下，横断箇所）に分類する．

２.２　POI データの取得方法

歩道リンクから 50 m のバッファ内に含まれる指定の場所タイプの POI を歩道沿道の施設として抽出する．抽出にあたっては Google Maps Platform が提供する Places Aggregate API を用い，Google 社の利用規定に従い API が返す集計値のみを分析に使用する．

対象とする POI の場所タイプは，飲食・娯楽系，商業・小売系，文化・観光施設系のにぎわいを生み出すと考えられる施設とし，表 1 に示すものとする．これらの POI のうち，各バッファ内に存在する POI（以下，総 POI）数，口コミ件数が 100 件以上の POI（以下，人気 POI）数，口コミ評価 4.0 以上の POI（以下，高評価 POI）数を抽出する．取得時点は 2025 年 6 月時点とする．

２.３　滞在数の取得方法

滞在は，ジオテクノロジーズ社提供の人流データ（Geo-People）を用いて抽出する．データは 1 分間隔で位置情報が得られ，移動がない場合は取得停止される特性をもつ．そこで，ユーザーID ごとに 50 m 以内で連続する最小 3 点以上かつ「ポイント数×2 分」以内の系列を滞在と判定する．さらに，近接した複数の滞在に対処するため，DBSCAN によるクラスタリングを適用し，同一クラスタ内の重心を 1 滞在として生成する（羽田野ほか，2012）．居住地などの秘匿処理されている情報は，秘匿フラグに従い除外する．生成した滞在点は近接する歩道リンクへ割り当て，リンク単位の総滞在数として集計する．対象期間は降雨がほとんど観測されなかった 2022 年 11 月 7 日（月）～2022 年 11 月 13 日（日）の 7 日間とする．

２.４　分析方法

本研究では，滞在数に影響を与える空間的要因を検証するため，一般化線形モデル（GLM）と，歩道構造・沿道施設の特性に基づくスコア分析の 2 つの手法を用いる．

主分析の GLM では，目的変数がカウントデータで過分散の特性を持つため，負の二項分布を仮定して構築する．歩道リンク単位の 7 日間の滞在数を目的変数とし，歩道長の影響をオフセット項（対数変換）で補正した上で，駅からの距離，総 POI 数，人気 POI 数，高評価 POI 数，歩道構造（歩行者専用道路，歩車分離，歩車一体，路側帯）を説明変数に投入し，駅からの距離との交互作用項を導入して駅近傍と遠方での効果差を検証する．

スコア分析では，滞在を促進しうる物的条件を把握するため，歩道構造と沿道施設の特性を簡易にスコア化し，駅からの距離帯（100 m 単位）ごとの歩道長さあたりの平均滞在数と比較する．スコアは，歩道構造が歩行者専用道路または歩車分離である場合に 1 点とし，さらに，沿道 POI 密度（歩道 1 m あたり総 POI 数），人気 POI 割合（歩道 1m あたり人気 POI 数を総 POI 数で除したもの），高評価 POI 割合（歩道 1 m あたり高評価 POI 数を総 POI 数で除したもの）の 3 項目について，同一距離帯内で相対的に良好な環境と判断できる上位 25%に該当する場合に，それぞれ 1 点を加算する．スコアは 0～4 点で構成され，空間的に条件の整った歩道リンクにおいて滞在が増加するかを視覚的に捉える補助分析として位置付ける．

３．対象地域の概況

３.１　大井町

大井町駅は品川区に位置し，東日本旅客鉄道（以下，JR）・東急電鉄・東京臨海高速鉄道の 3 路線が乗り入れる．2023 年度の平均乗降客数は 230,982 人／日（JR は降車を含まない）である．歩道の総延長は 31,743 m であり，そのうち歩車分離が 39%, 路側帯が 19%, 歩車一体が 16%, 歩行者専用道路が 14%を占める．幹線道路沿いでは歩車分離が，裏道では歩車一体や路側帯が目立つ（図 1）．

駅北西側には車両基地があり，駅内や駅前には大規模集客施設が分布する．対象地域の POI 数は 914 件で，口コミ数上位 3 位は全て大規模集客施設で，いずれも駅前に立地する．さらに，駅前には飲食店が集積し，駅から離れると住宅街が広がり，複数の商店街が駅と周辺地域を結ぶ構造となっている．高評価 POI も駅から離れた地域に多く分布する．滞在数は対象期間に 11,678 件抽出され，駅周辺に集中している．また，北西部や南部側でも滞在数がやや多い箇所がみられる．

３.２　吉祥寺

吉祥寺駅は武蔵野市に位置し，JR と京王電鉄が乗り入れる．2023 年度の平均乗降客数は 251,190 人／日（JR は降車を含まない）である．歩道の総延長は 30,978 m で，そのうち歩車分離が 30%, 歩車一体が 25%, 路側帯が 20%, 歩行者専用道路が 18%を占める．格子状の歩行空間が形成され，駅北側から南側の井の頭恩賜公園にかけて歩行

者専用道路が整備されている点が特徴的である（図１）．

対象地域の POI 数は 2,378 件あり，人気 POI は駅中や駅前に限らず，駅から離れた地域にも多い．高評価 POI も駅から離れた地域に多くみられる．駅から離れると住宅街が広がり，駅と周辺地域や口コミ数の多い施設の間を結ぶ複数の商店街が存在する．滞在数は対象期間に 25,982 件抽出され，駅周辺に特に集中している．また，駅と井の頭恩賜公園や大規模集客施設を結ぶ歩行空間周辺においても，滞在数が多くみられる．

４．結果

４.１　一般化線形モデルによる影響要因分析

表２に一般化線形モデルによる分析結果を示す．両駅に共通して，駅からの距離は滞在数に対して有意かつ強い負の影響を与えていた．一方で，駅からの距離との交互作用の分析から，駅遠方でも滞在が促される空間特性が存在することが示唆された．特に，高評価 POI 割合は主効果で有意に負の係数を示したが，交互作用項では両駅で有意に正となり，駅遠方においても高評価 POI が集積するエリアでは滞在数が増加する傾向が確認された．また，歩行者専用道路との交互作用も両駅で有意に正であり，駅遠方における歩行者空間の明確性が滞在を支える可能性がある．一方，吉祥寺では総 POI 密度が主効果として有意な負の係数を示しており，単なる POI の量ではなく，質的な要素や文脈が滞在に影響することが示唆された．これらの結果から，駅からの距離による減衰効果は一貫して存在するが，その影響は歩道構造や沿道 POI の質により緩和され得ることが明らかとなった．

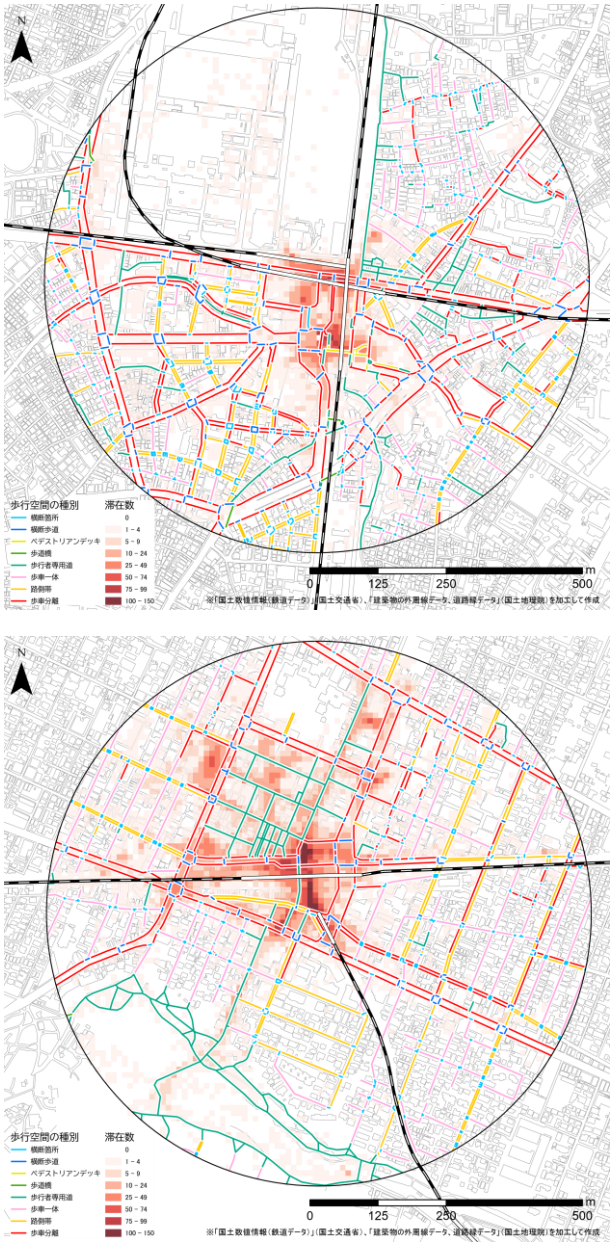


図１　歩道構造と滞在数（上図：大井町，下図：吉祥寺）

４.２　スコア分析による滞在傾向

図２にスコア分析の結果を示す．両駅ともに，駅からの距離が増すごとに滞在数が減少する傾向がみられたが，その減衰の度合いには違いが見られた．吉祥寺では大井町よりも緩やかな減少傾向を示し，より広範な範囲で人が滞在している様子がうかがえる．

スコア別では，両駅に共通してスコア 1 の歩道で最も高い滞在数が観測され，0～99 m においては大井町で 4.52 人，吉祥寺で 3.39 人と高水準を示した．吉祥寺ではスコア 0 の歩道でも同様に高い滞在数が確認されており，スコアにかかわらず一定の滞在が生じていることがわかる．100～199 m では，吉祥寺においてスコア 2 やスコア 3 の歩道も高水準で，大井町ではスコア 1 が最も高くなった．200～299 m では，両駅ともに滞在数が減少するが，吉祥寺ではスコア 3 や 4 の歩道にも滞在が見られた．

400 m 以遠の距離帯では全体的に滞在数が少ないものの，スコアごとの差異がみられる．吉祥寺ではスコア 1 の歩道で 0.14～0.23 人程度の滞在が確認されたほか，両駅ともにスコア 1 の歩道の方がスコア 0 の歩道よりわずか

表２　一般化線形モデルによる滞在数への影響分析結果

説明変数	大井町	吉祥寺
定数	5.38**(0.53)	6.37**(0.50)
駅からの距離（m）	-15.68**(1.29)	-15.36**(1.18)
総 POI 密度	0.05**(0.02)	-0.02**(0.01)
人気 POI 割合	-2.02 *(0.91)	-0.24 (0.81)
高評価 POI 割合	-10.93**(0.67)	-10.50**(0.69)
歩行者専用道路	0.18 (0.30)	0.34 (0.28)
歩車分離	0.59 *(0.25)	0.13 (0.21)
路側帯	0.05 (0.33)	-1.09**(0.30)
歩車一体	0.52 (0.47)	-0.32 (0.34)
駅からの距離×総 POI 密度	-0.34**(0.10)	0.08**(0.02)
駅からの距離×人気 POI 割合	1.25 (2.14)	-1.82 (1.82)
駅からの距離×高評価 POI 割合	22.48**(1.66)	19.00**(1.64)
駅からの距離×歩行者専用道路	1.58 *(0.79)	2.05**(0.70)
駅からの距離×歩車分離	-0.43 (0.64)	1.62**(0.57)
駅からの距離×路側帯	-1.52 (0.83)	2.89**(0.72)
駅からの距離×歩車一体	-1.80 (1.07)	0.95 (0.81)

※擬似決定係数は大井町が 0.743，吉祥寺が 0.643 と精度はやや良好で，表左側の数値は係数，**は 1%，*は 5%有意，括弧書きは標準誤差を示す

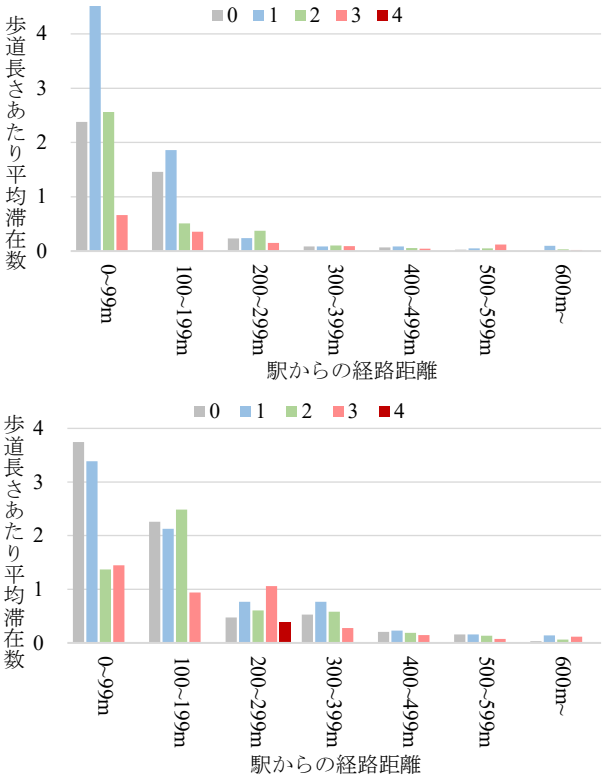


図２　各駅のスコア（上図：大井町，下図：吉祥寺）

に滞在傾向が強い様子がうかがえた．一定の整備や沿道環境が滞在に寄与している可能性が示唆される．

５．考察と結論

本研究は，大井町駅および吉祥寺駅周辺部を対象として，歩道の構造種別および沿道の施設特性が歩行者の滞在に与える影響を，駅からの距離を考慮しつつ検証することを目的として，歩道リンク単位で分析を行った．

分析の結果，駅からの距離は両地域に共通して滞在数を大きく減少させる主要因であることが，GLM およびスコア分析の双方で確認された．一方，高評価 POI 割合は主効果で負の係数を示したが，交互作用項では正に働き，駅遠方では高評価 POI の存在が滞在を支える要因となることが明らかとなった．これは，全体の平均では，高評価 POI 割合が滞在の多い駅前で低く表れるため主効果は負となるが，駅遠では少数の高評価 POI がむしろ滞在を支える要因になるためと考えられる．また，歩行者専用道路も有意に正の効果を示したほか，400 m 以遠においてもスコアの高い歩道はスコア 0 の歩道よりも滞在数が多く，歩道構造や沿道環境の重要性が示唆された．

これらの結果は，従来の駅中心の集約的な空間形成のみならず，駅から距離がある地域においても，歩道の構造的な明瞭さや，質の高い沿道施設が備わっている場合には，滞在が創出されうることを示している．特に吉祥寺においては，整備された歩行者空間やにぎわい施設が駅周辺から公園や商店街へと面的に展開している構造が，滞在の空間的広がりを支えていると考えられる．

以上より，都市部におけるウォーカブルな環境の実現には，駅前空間に加え，駅から離れた歩道においても，歩行者の安心・快適を担保する構造的整備と，質の高い施設誘導の両立が求められる．また，本研究では，歩道リンク単位で滞在数と空間要素を集計・分析することで，従来のメッシュや地点単位では捉えにくい実際の歩行経路に即した空間評価が可能となった．歩道の構造や沿道環境は連続的かつ経路上に展開されることから，リンク単位での集計はこれらの特性を忠実に反映できる枠組みであり，滞在を誘発する局所的な条件を把握し，整備対象をより具体的に特定するうえで有効である．

一方で，本研究には限界もある．対象地域が限られていること，駅の出入り口を考慮できていないこと，駅から 500 m 以遠の範囲を分析できていないこと，また駅遠方における明確な目的地の有無や性質が考慮されていない点は，今後の検討課題として残る．

謝辞

本研究は，東京都「地域を主体とするスマート東京先進事例創出事業」支援プロジェクト「デジタルエリアデザインの共創 in 大井町」の支援を受けて実施したものである．また，慶應義塾大学総合政策学部の春日裕信氏にデータ収集を協力いただいた．ここに感謝の意を表する．

参考文献

有馬隆文・大木健人・出口敦・坂井猛（2008）商業地街路における行動誘発要素と歩行者のアクティビティに関する基礎的研究―五感を刺激する商業地デザインと来訪者のアクティビティ (その 1)―,「日本建築学会計画系論文集」, **73**（623），177-182.

伊藤佑亮・高山宇宙・森本章倫（2021）Walkability の概念整理と日本での適用に向けた課題に関する研究―歩行行動の欲求段階モデルを用いた高田馬場駅周辺街路におけるケーススタディ―,「日本都市計画学会都市計画論文集」, **65**（3），811-818.

国土交通省：ウォーカブルポータルサイト，https://www.mlit.go.jp/toshi/walkable/ <2025.8.23 参照>.

国土交通省（2024）歩行空間ネットワークデータ整備仕様.

澤田春奈・松浦健治郎（2025）滞留空間としての歩道の使われ方と滞留を誘発する要素に関する研究―千葉市西千葉学園通りを対象として―,「日本建築学会計画系論文集」, **90**（828），259-265.

天谷太一・岡田潤・中村文彦・出口敦（2024）東京都区部の大規模開発集積における従業者・来街者の回遊行動の傾向の変化に関する研究,「日本都市計画学会都市計画論文集」, **59**（3），659-666.

羽田野真由美・上山智士・秋山祐樹・HORANONT Teerayu・柴崎亮介（2012）GPS データを用いた商業集積地来訪者の行動パターン抽出方法の検討,「地理情報システム学会講演論文集」, **21**.

GPS データを用いた滞在抽出による駅周辺回遊行動の定量化とその課題

中山俊*・金森貴洋・厳網林*****

Quantification of Pedestrian Wandering Behavior around Stations through Stay Point Extraction from GPS Data and Its Challenges

Shun Nakayama*, Takahiro Kanamori**, Wanglin Yan***

Abstract: This study developed a methodology for quantifying pedestrian wandering behavior around stations by automatically extracting stay points from GPS data. We constructed a stay detection method combining DBSCAN spatial clustering algorithms with temporal continuity constraints and conducted analysis targeting 18 stations along the Chuo Line. Using intra-area complete trips as indicators, we confirmed an exponential relationship with station passenger numbers (R^2=0.83) and a linear relationship with unique users (R^2=0.98). Hachioji Station showed effects of multiple transportation nodes, while Toyoda and Kichijoji stations exhibited wandering promotion effects from dispersed commercial facilities. However, methodology validation faces technical and practical constraints, requiring future development of comprehensive validation frameworks combining multiple approaches.

Keywords: 回遊行動（Wandering behavior），GPS データ（GPS data）、滞在判定（Stay point detection）、ウォーカビリティ（Walkability）

１．はじめに

我が国では人口減少社会への突入と共に、持続可能な都市構造への転換が急務となっている。東京都はコンパクトシティへの転換に向けて「集約型の地域構造への再編に向けた指針」を発表し、駅周辺の建築ボリュームを諸制度の活用によって緩和することで、機能的で賑わいのある拠点形成と歩いて暮らすことができる街の実現を目指している。この政策は、建築ボリュームとその配置が人々の歩行行動や地域の賑わいに異なる影響を与えるという前提に立っており、どのような都市空間が効果的な人流動を生み出すか、科学的な解明が求められている。

人々の歩行行動や地域の賑わいを捉える指標の一つに歩行者の回遊行動があり、これを用いて容積率の規制緩和が与える影響を評価する試みがある(天谷ほか, 2024)。回遊行動は市街地評価やウォーカブルなまちづくりにおいて重視されているが(武田・有馬, 2010)、その捉え方は研究によって異なる。既往研究では、面的な流動量から捉える方法(西村ほか, 2018; 佐藤・円山 2015)、個人の最短距離でない移動から捉える方法(天谷ほか, 2024)、個人の滞在の連続から捉える方法(羽藤ほか, 2002)に大別される。近年、スマートフォンの GPS データが容易に入手可能となり、流動量や迂回行動に基づく分析は増加している。しかし、純粋に回遊という概念から想起される「滞在の連続」として回遊を捉える手法は、解析技術の制約により十分に実装されていない。

そこで本研究では、GPS データから個人の滞在地点を自動抽出し、滞在地点間の移動をトリップとして定義することで回遊行動を定量化する手法を開発する。この手法を用いて、駅周辺の回遊行動分析を実施し、駅ごとの回遊性能を比較評価する。従来のアンケート調査では把握困難であった詳細な回遊パターンを客観的に分析することで、どのような駅周辺の空間特性が歩行者の回遊を促進するかを明らかにする。本研究の成果により、駅周辺の都市空間における実際の人々の行動パターンを客観的に把握する手法が確立され、効果的な都市計画実現のための科学的根拠が提供される。特に各駅の回遊性能比較から得られる知見は、今後のウォーカブルなまちづくりの指針策定に重要な貢献をもたらすことが期待される。

２．手法

２.１　回遊の捉え方

本研究では、回遊行動を「個人が特定の地域内において複数の地点に連続的に滞在し、それらの滞在地点間を移動する一連の行動」として定義する。「滞在」とは個人が一定の場所に一定時間留まった状態を指し、「トリップ」とは滞在地点間の移動を指す。すなわち、滞在 A→移動→滞在 B→移動→滞在 C という一連の行動パターンにおいて、滞在 A から滞在 B への移動を 1 トリップ、滞在 B

*　正会員　　専修大学ネットワーク情報学部（Senshu University）、慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科
〒214-8580　神奈川県川崎市多摩区東三田 2-1-1　Tel：044-712-7772 または E-mail：shunnkym@isc.senshu-u.ac.jp
**　正会員　　株式会社パスコ（PASCO Corporation）
***　正会員　　慶應義塾大学環境情報学部（Keio University）

から滞在 C への移動を 1 トリップとして計数する。この概念化により、従来のアンケート調査では把握困難であった短時間の立ち寄りや複雑な移動パターンを含む、詳細な回遊行動の定量化が可能となる。つまり滞在の捉え方が肝要であり、以下に滞在の判定手法を解説する。

滞在判定の前に、データを前処理する。研究対象地域として任意の鉄道駅を選定し、各駅を中心とした半径 800m のバッファを設定する。800m は一般的な徒歩圏内として認識される範囲であり、「集約型の地域構造への再編に向けた指針」においても利用されていることもあって、駅利用者の行動範囲を適切に捉えることができる範囲として決定した。続いて、このバッファ内に対象日に訪問した人を抽出する。今回使用する人流データはジオテクノロジーズ社より取得したデータで、標準地域メッシュ単位で管理されているため、設定したバッファと重複する全てのメッシュを特定した。駅周辺 800m 圏内で記録されたすべてのユニークなユーザーID から、バッファ内に滞在歴のある個人を抽出した。その後、これらの個人について 1 日全体の移動データを収集した。

続いて、滞在を判定する。本研究で使用するデータには、プライバシー保護の観点から個人識別情報の秘匿処理が施されているエリアが含まれている。この秘匿処理は、自宅が含まれる標準 6 次メッシュに関して、実測の位置ではなく、この標準 6 次メッシュの重心点に置き換えられるというものである。そのため秘匿処理フラグ（isanonymous）が True のエリアについては、個人が自宅に滞在していたとみなし、最低 1 ポイント以上で滞在として認定する処理を実装した。一方、秘匿処理が施されていない通常の GPS データ（isanonymous が False）については、より詳細な空間クラスタリング手法を適用した。秘匿処理されていない GPS データに対しては、Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise（DBSCAN）アルゴリズムを適用して滞在判定を行った。DBSCAN のパラメータは、空間的閾値を 50 メートル、最小ポイント数を 3 ポイントに設定した。これらの値は、GPS の測位誤差と一般的な滞在行動の特性を考慮して決定した。

滞在判定において空間的な近接性だけでなく、時間的な連続性も重要な要素である。そのため、DBSCAN による空間クラスタリングを実行する前に、時系列順に並べられた GPS ポイントが時間的に連続していることを確認する処理を実装した。具体的には、ある時点を開始点として、そこから時間的・空間的に連続する一連のポイント群を抽出し、それらに対してクラスタリングを適用する手法を採用した。そして、時間的制約として、連続する位置情報ポイント群について最大 2 分間隔での記録を前提とし、1 つのクラスタ内のポイント数に 120 秒を乗じた値を最大許容時間として設定した。最大 2 分間隔としたのは、使用したジオテクノロジーズ株式会社の GPS データ Geo-People が基本的に 1 分間隔で取得されていることを踏まえた物である。この制約により、長時間にわたって断続的に記録されたポイントが 1 つの滞在として誤認されることを防いだ。

なお、1 人の個人について複数の滞在が時間的に重複する場合が発生するため、これらを適切に統合する処理を実装した。同一個人における時間的に重複する滞在については、開始時刻と終了時刻を比較し、重複が検出された場合は 1 つの連続した滞在として統合した。統合処理では、滞在期間を重複部分を含めて延長し、ポイント数を合算し、中心座標を各滞在のポイント数による重み付け平均として再計算した。単純な 2 つの滞在間の重複だけでなく、複数の滞在が連鎖的に重複する場合も考慮した処理を実装した。この処理では、統合可能な滞在がなくなるまで反復的に統合処理を実行し、最終的に同一個人の滞在時間に重複が生じないようにした。

2.2　指標の活用方法

本研究で開発した手法により抽出されたトリップについては、様々な特性を定量化することが可能である。トリップの空間的特性としては、起点や終点の空間分布やトリップの距離が挙げられる。時間的特性については、トリップの所要時間や、滞在時間が重要な指標となる。数量的特性としては、駅 800m 圏内などで発生したトリップ総数、1 人の個人が実行したトリップの数、1 人の個人による連続する滞在の数などが考えられる。このうち空間的特性や時間的特性は、回遊行動の質的評価において主要な指標となりうる。例えば滞在時間の長さは、その場所に対する個人の関心度や満足度を反映する可能性があり、トリップの距離は回遊範囲の広がりを示す指標として機能する。これに対し、数量的特性は回遊行動そのものを捉えるのに役立つ、基本的指標と言える。

本稿で回遊行動の発生量に着目し、数量的特性を捉える。具体的には、エリア内完結トリップの集計により、各駅について以下の指標を算出する。第 1 に、エリア内完結トリップの総数である。この値は、駅周辺における回遊行動の絶対的な発生量を示し、地域の活動性や賑わいの程度を表現する。第 2 に、一人当たりのエリア内完結トリップ数である。この値は、駅周辺を訪れた個人の平均的な回遊活動量を示し、空間の魅力度や多様性を反映する指標として機能する。また、この具体的な算出においては、エリア内完結トリップのユニークなユーザー数を母数にする考え方と、駅の乗降客数ないし乗車人員を母数にする考え方がある。

3．ケーススタディ

3.1　対象地域

本研究では、JR 中央線の中野駅以西から高尾駅までの

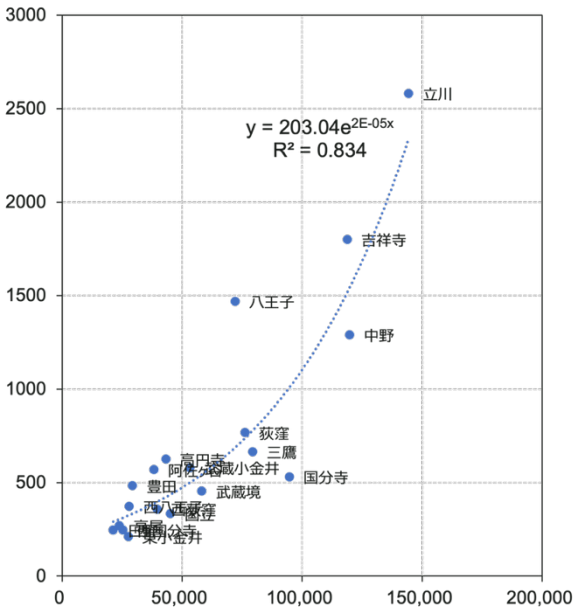


図 1　乗車人員数(横軸)とトリップ数(縦軸)

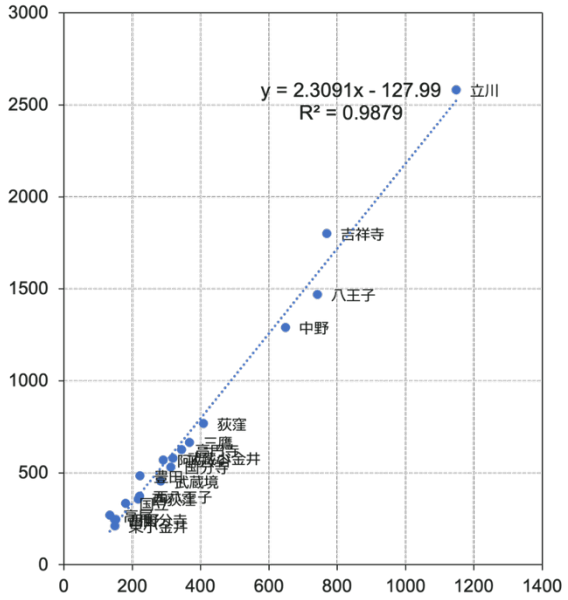


図 2　ユニークなユーザー数(横軸)とトリップ数(縦軸)

18 駅を対象地域として設定した。この対象地域の選定は、東京都の「集約型の地域構造への再編に向けた指針」で示されている地域構造の多様性を反映している。中野駅や吉祥寺駅のような都心近郊の商業地域から、立川駅や八王子駅のような郊外拠点、さらには豊田駅や高尾駅のような郊外住宅地域まで、異なる都市機能と空間特性を持つ駅が連続的に分布している。このような地域特性の違いは、駅周辺の回遊行動に与える影響を分析する上で理想的な条件である。また、中央線沿線は東京圏における代表的な放射状に伸びる鉄道路線の一つであり、本研究で得られる知見は東京の他路線や類似の都市構造を持つ地域への応用可能性を有している。

なお分析対象日として 2022 年 11 月 8 日（火曜日）を設定した。この日は国民の祝日等ではない一般的な平日であり、気象庁の記録によると東京地方は晴天で、11 月としては典型的な気候条件であった。

3.2　分析結果

中央線沿線 18 駅を対象とした分析の結果、エリア内完結トリップ数と駅の利用状況との間に明確な関係性が確認された。以下、2 つの異なる観点から結果を示す。

各駅の乗車人員とエリア内完結トリップ数の関係を分析した結果、両者の間には指数的な関係が認められた。図 1 に示した散布図における指数近似曲線の R^2値は 0.83 となり、強い相関関係を示している。この結果は、駅の利用者数が増加するにつれ、駅周辺での回遊行動が指数的に増加することを示唆している。この傾向は、駅周辺の商業集積や都市機能の密度が一定の水準に達すると、相互の相乗効果により回遊行動が促進されることを示している可能性がある。

一方、エリア内完結トリップを行ったユニークなユーザー数とエリア内完結トリップ総数の関係については、図 2 のように線形関係が確認された。線形近似の R^2値は 0.98 と極めて高い値を示し、両変数間の強い線形相関を表している。この線形関係から導かれる重要な知見は、ユニークユーザー数の少ないエリアほど 1 人当たりのトリップ数が少なく、ユニークユーザー数の多いエリアでは 1 人当たりのトリップ数が多くなる傾向である。この傾向は、駅周辺を訪れる人数が多い地域ほど、個人レベルでの回遊活動も活発になることを示している。つまり、人が多く集まる場所では、個人の行動選択肢や移動の動機が増加し、結果として 1 人当たりの回遊頻度も高まると考えられる。

4．議論

4.1　駅特性と回遊行動

前節で示した分析結果から、駅周辺における回遊行動の発生メカニズムと各駅の特性について重要な知見が得られた。図 1 と図 2 からは、駅利用者数がある水準を超えると、商業施設の集積や多様な都市機能の充実により、回遊行動を誘発する環境が急激に整備され、結果として回遊行動が加速度的に増加することが示唆された。

駅ごとの個別事象で特に注目すべきは、八王子駅におけるエリア内完結トリップ数の突出した多さである。この駅は乗車人員に対して近似曲線を大きく上回る回遊行動を示しており、この現象の要因として、駅周辺 800m 圏内に京王八王子駅が立地していることが挙げられる。2 つの異なる鉄道事業者の駅が近接して立地することで、より広範囲からの利用者の集積が生じ、また鉄道間の乗り換え需要により駅周辺での滞在時間が延長され、回遊行

動が促進されていると推測される。阿佐ヶ谷駅も同様の可能性がある。これらの結果は、交通結節点の近接配置が回遊行動に与える効果を実証的に示している。

また、図 1 及び 2 の両方で、豊田駅と吉祥寺駅が近似線を大きく上回る回遊行動を示している。これらの駅に共通する特徴は、駅からやや離れた徒歩圏内に大規模集客施設が立地していることである。豊田駅周辺にはイオンモール日の出などの大型商業施設があり、吉祥寺駅周辺には東急百貨店、ヨドバシカメラなどの多様な商業施設が点在している。また、吉祥寺駅周辺は商業施設だけでなく、井の頭公園という大規模な緑地空間も含まれており、商業・レクリエーション機能の複合的な配置が多様な回遊動機を創出していると推察される。

これらの結果から、効果的な回遊行動を創出する都市空間の条件として、単純な施設の密度だけでなく、施設の分散配置と機能的多様性が重要な要素であることが示唆された。特に、駅を中心とした 800m 圏内における複数の集客拠点の適切な配置が、歩行による回遊行動を効果的に誘発すると考えられる。

４.２　回遊の捉え方の検証方法

本研究では、GPS データから滞在地点を自動抽出し、滞在間の移動をトリップとして定義する手法により回遊行動を定量化した。しかし、この手法の妥当性を検証することは技術的・実践的な課題を多く含んでいる。ここでは、考えられる検証方法とその限界、そして今後の検証に向けた課題について論じる。

本手法の検証方法として、第 1 に、GPS データの可視化による目視判定との比較が考えられる。具体的には、個人の移動軌跡を GIS 上で可視化し、研究者が時空間的な位置情報の分布パターンから滞在地点を目視で判定し、本研究で開発したアルゴリズムによる自動判定結果と照合する手法である。この方法は、滞在判定の空間的精度や時間的妥当性を直接的に評価できる利点がある。第 2 の方法として、実際の歩行行動との照合による検証が考えられる。これは、研究協力者にトリマアプリを使用した状態で特定の地域を歩行してもらい、その際の実際の行動記録（立ち寄り先、滞在時間等）を詳細に記録し、後日 GPS データから抽出された滞在・トリップデータと照合する手法である。この方法により、実際の人間の行動認識と自動判定アルゴリズムの整合性を直接的に検証することが可能となる。

しかし、これらの検証方法にはいずれも本質的な限界が存在する。目視判定による検証では、研究者の主観的判断に依存する部分が大きく、判定基準の統一や再現性の確保が困難である。特に、短時間の立ち寄りや移動中の一時的な停止を滞在として認定するかどうかの判断は、研究者間で異なる可能性が高い。また、大量のデータに対して目視判定を行うことは現実的ではなく、検証可能なサンプル数が限定される。実際の歩行行動との照合による検証においても、サンプル数の制約が重大な問題となる。また、個人のプライバシーに関わる詳細な位置情報の取得と利用には倫理的な配慮も必要である。

これらの課題を踏まえると、複数のアプローチを組み合わせた包括的な検証枠組みの構築が必要である。スマートフォン以外の測位デバイスを用いた比較分析により、手法の妥当性を評価することができる。完全な検証は困難であることを認識しつつ、複数の部分的検証結果を統合的に評価することで、手法の信頼性と適用可能性を段階的に向上させていくアプローチが現実的だろう。

５．結論

本研究では、GPS データから個人の滞在地点を自動抽出し、滞在地点間の移動をトリップとして定義することで回遊行動を定量化する手法を開発し、中央線沿線 18 駅を対象としたケーススタディを通じてその有効性を実証した。開発した手法により、従来のアンケート調査では把握困難であった詳細な回遊パターンを客観的に分析することが可能となった。八王子駅における複数交通結節点の相乗効果、豊田駅や吉祥寺駅における分散配置された大規模集客施設の回遊促進効果など、具体的な都市空間特性と回遊行動の関係が示唆された。

一方で、本手法の検証については課題が残る。今後、複数の検証を組み合わせた包括的な検証枠組みの構築により、信頼性を段階的に向上させていくことが期待される。

謝辞

本研究は、東京都「地域を主体とするスマート東京先進事例創出事業」支援プロジェクト「デジタルエリアデザインの共創 in 大井町」の一環で実施された。

参考文献

羽藤英二・中西雅一・寺谷寛紀・柏谷増男（2002）都市内回遊行動評価のための空間データマイニング.「土木学会研究講演集」, 26.

佐藤貴大・円山琢也（2015）スマホ・アプリ型回遊調査データによる熊本都心部回遊行動圏の分析.「都市計画論文集」, 50（3）, 345-351.

西村圭太・杉本興運・菊地俊夫（2018）コミュニティサイクル利用観光者の回遊行動特性.「観光研究」, 29 (2), 29-42.

天谷太一・岡田潤・中村文彦・出口敦（2024）東京都区部の大規模開発集積地における従業者・来街者の回遊行動の傾向の変化に関する研究.「都市計画論文集」, 59（3）, 659-666.

武田裕之・有馬隆文（2010）中心市街地における回遊性能の可視化・定量化に関する研究.「都市計画論文集」, 45 (3), 73-78.

ポスター発表

2025年11月2日(日) 13:00 ~ 13:50 | 会場(金森産業ホール)
[P2] ポスター発表 #2

[P2-11] GPSログデータに基づく都市公園利用の社会経済的格差：仙台市における空間解析

*鈴木 善遥[1]、中谷 友樹[2]、磯田 弦[1] (1. 東北大学大学院理学研究科、2. 東北大学大学院環境科学研究科)
キーワード：都市公園、GPS、環境の不公正

都市公園は都市居住者に対して、運動や休息、社会的交流の機会をもたらすことが知られている。しかし、都市居住者はその機能を平等に享受できておらず、公園アクセスにみられる社会経済的な格差が環境の不公正の1種として報告されてきた。しかし、これまで公園アクセスの多くは、居住地と公園との距離に基づいて計測されることが多く、公園を実際に利用したかは考慮されることが少なかった。そこで、本研究ではGPSログの軌跡データを公園領域と交差判定することで公園訪問の実態を捉え、居住地と公園の位置関係と公園訪問の時空間的関係や、居住地に基づいた公園訪問の有無・頻度の地域差を検討した。仙台市を対象に大規模GPSログデータ（コロナ流行前の2019年10月約2.4万人、コロナ流行期間中の2021年10月の約1.9万人分のデータ）を利用して、都市公園利用の実態とその社会経済的格差について検討した結果を報告する。

©一般社団法人地理情報システム学会

GTFS リアルタイムデータを用いたバス遅延の時空間変動の可視化：青森市営バスの事例

大島　和裕*

Visualization of spatiotemporal variations in bus delays using GTFS real-time data: A case study of Aomori City Bus

Kazuhiro Oshima*

Abstract: In this study, we investigated spatiotemporal variations in bus delays using GTFS real-time data in Aomori City. We aggregated data in February 2025 into hourly grid square data based on vehicle location and delay time information. The results of bus delays for weekdays and weekends/holidays indicated the following characteristics. On weekdays, diurnal changes in bus delays exhibit two peaks at 8 AM and 6 PM, with delays ranging from 3 to 10 minutes across various areas of Aomori City. At noon, the delays are relatively small, under 5 minutes. In contrast, on weekends and holidays, the bus delays at 8 AM and 6 PM were minor (under 3 minutes), while the delays near noon were somewhat larger, around 5 minutes. These characteristics suggest an influence of traffic, such as commuters. In addition, significant delays exceeding 90 minutes occurred due to heavy snowfall in early February. Regional differences in snow accumulation and snow removal efforts likely contributed to the local changes in bus delays.

Keywords: バス遅延（Bus delays），GTFS（General Transit Feed Specification），メッシュデータ（Grid square data），青森市（Aomori City）

１．はじめに

近年，様々な分野でオープンデータ化が進んでおり，公共交通においても運行情報の公開が取り組まれている．各交通事業者による情報公開に加え，公共交通オープンデータセンターでは事業者と利用者を結ぶプラットフォームとして，鉄道，バス，航空など多くのデータセットが提供されている（2023 年 4 月時点で約 50 の交通事業者から約 150 件. 公共交通オープンデータ協議会, 2023）．

公共交通データの標準形式として GTFS（General Transit Feed Specification）が利用されている．GTFS は，経路検索や地図表示のためにオレゴン州ポートランドの交通事業者 TriMet と Google によって開発された標準的な公共交通のデータ形式であり，日本独自の仕様にアレンジされた GTFS-JP が国内の標準的なバス情報フォーマットとして使用されている（国土交通省，2021）．バスの GTFS データは, バス案内所や停留所におけるデジタルサイネージ，バスロケーションなどのアプリとして利用されている（高野，2023）．

公共交通は, 青森市のような地方都市において, 通学, 通勤や高齢者の主要な移動手段となっており，バスの運行状況を把握することは重要な生活情報のひとつである．青森市営バスでは，2022 年 12 月から GTFS データの公開が始まった（青森市交通部，2024）．それまでは運行状況が把握できず，特に冬期の大雪時には数時間の遅れがしばしば生じるため，大変不便な状況であった．GTFS データの公開でよってバスロケーションシステムなどを通じて即時の状況把握が可能となった．

以上を踏まえ，本研究では青森市営バスを事例として，GTFS リアルタイムデータを用いてバス遅延情報を集計したメッシュデータを作成し，バス遅延の時空間変動を調査した．バスの位置および遅延情報をメッシュ集計することで, 可視化と他データとの比較を容易にし, 時間, 曜日，地域ごとの青森市内におけるバス遅延状況の比較を行った．

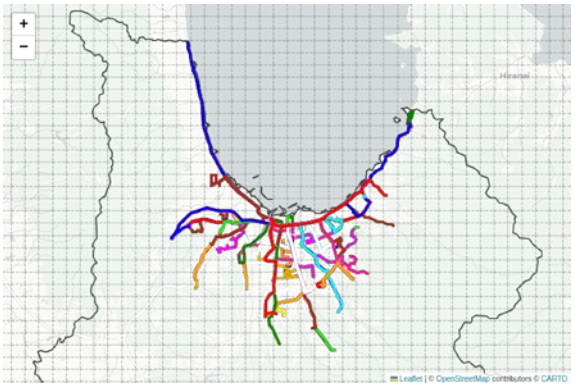


図 1　青森市営バスの路線図．色付きの線は各路線を示す（色付けには重複あり）．

*　正会員　　周南公立大学情報科学部（Shunan University）
〒745-8566 山口県周南市学園台 845-4-2　E-mail：oshima24@shunan-u.ac.jp

2．使用データとデータ処理方法

2.1　使用データ

青森市営バスでは 17 路線 871 便が運航されており（青森市都市整備部, 2025）, 前述のように 2022 年 12 月以降, 青森市の Web サイトで GTFS データが公開されている. このデータには路線や時刻表などを含む静的データ（GTFS-JP）と，運行情報を含む動的データ（GTFS-RT, リアルタイムデータ）があり, ここでは後者を利用する. GTFS-RT として，車両位置（VehiclePosition）と遅延情報（TripUpdate）が別々のファイルで提供されており，この両者を組み合わせることで運行中のバスの位置と遅延情報を把握できる. 今回は試作として，2025 年 2 月の一ヶ月間のデータを使用した.

2.2　データ処理方法

青森市営バスの GTFS リアルタイムデータを用いて, バスの位置（緯度，経度）と遅延時間の情報を 1 時間ごとに集計し，さらに地域的な分布を把握するために, 図 1 のような 3 次メッシュ（約 1 km）のデータを作成した. 手順は次の通りである.

① データ取得: 青森市 Web サイト（青森市交通部, 2024）から 5 分ごとに GTFS データを取得する. 1 時間で VehiclePosition と TripUpdate の各 12 ファイルとなる. （取得がうまく行かずに少ない場合もある）
② 時間別データ：1 時間ごとに市内で走行するすべてのバスの位置および遅延時間を抽出し，遅延時間の統計量（最大値, 四分位数, 平均値など）を算出する.
③ メッシュデータ作成：1 時間ごとに抽出したデータを用い，3 次メッシュ（約 1 km）ごとにその 1 時間におけるバスの台数と遅延時間の平均値を算出する.
④ データ保存：ファイル名に日付と時間情報を付けて CSV 形式で保存する.

以上のデータ処理と可視化には Python を利用した.

2025 年 2 月 1 日から 2 月 28 日までの時間別データを作成し，時間別，曜日別に集計した. なお，5 時と 22 時台にもバスの運行はあるが，本数が少ないため計算対象からは除外した. 集計した遅延時間として 6 時から 21 時までの結果を示す. また平日と土日祝日に分けて比較を行い，2025 年 2 月は平日が 18 日間，土日祝日が 10 日間である. これらの時間別データとメッシュデータを使用してバス遅延時間の推移と地域分布を調査した.

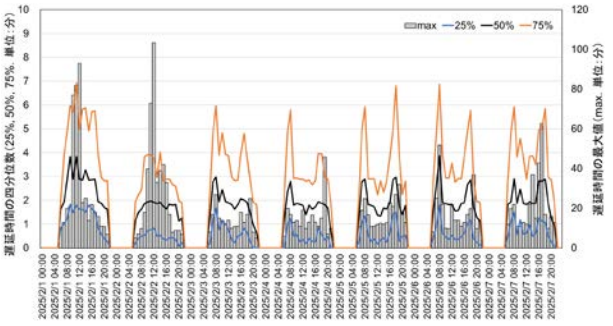


図 2　2025 年 2 月 1 日から 2 月 7 日までの青森市内におけるバス遅延時間の変化. 市内全域で時間ごとに走行するすべてのバス情報から集計した，遅延時間の四分位数（第 1 四分位数 25%，第 2 四分位数（中央値）50%，第 3 四分位数 75%）と最大値（目盛は右軸）を示す.

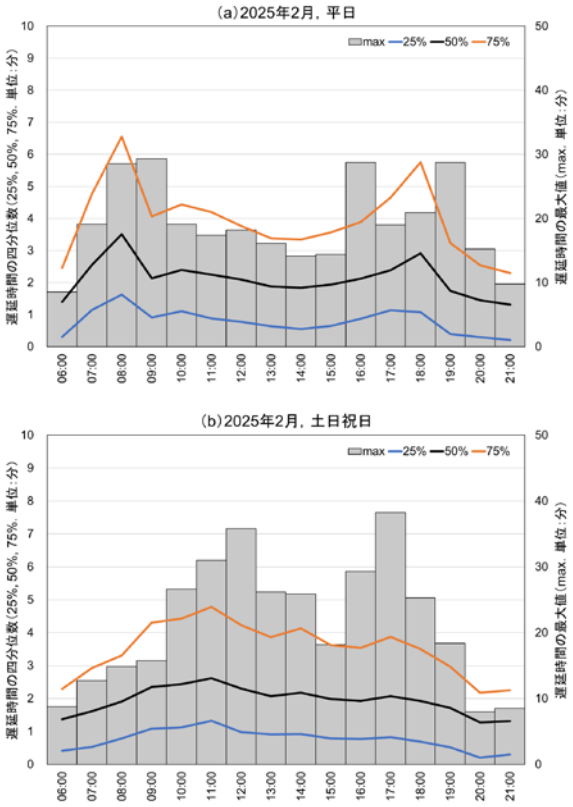


図 3　図 2 と同様，ただし，(a) 2025 年 2 月の平日と (b) 土日祝日の時間別変化を示す. 平日が 18 日間，土日祝日が 10 日間であり，各データを使用して算出した.

3．結果

3.1　バス遅延時間の推移

図 2 は青森市内全域における時間ごとのバス遅延時間の推移を示す. 一例として，2025 日 2 月 1 日から 2 月 7 日までの 1 週間の時系列である. 平日の 2 月 3 日から 2 月 7 日は，朝と夕方に遅延時間がピークとなる特徴がみられる. 一方で，土日祝日の 2 月 2 日と 3 日の遅延時間は，昼にピークを持ち，緩やかな山形の変化を示す. この 2 日間は特異な日でもあり，バス遅延時間の最大値が 2 日 12 時に約 93 分，3 日 12 時に約 103 分と非常に大きな遅延が生じていた. これは前の週からの強い冬型気圧配置によって 2 日まで大雪であったことが影響したと考えられる.

図 3 は，2025 年 2 月の平日と土日祝日でわけた平均的

なバス遅延時間の変化を示す．図 2 でもみられたように，平日の遅延時間（図 2a）は朝と夕方の 8 時と 18 時にピークを持ち，中央値では 2，3 分程度の遅れとなる．一日を通した遅延時間の最大値は 10〜30 分の範囲で，朝と夕方には 30 分弱と大きくなる．これは交通量の影響を示唆する．

土日祝日（図 2b）については，図 2 のように昼に近い 11 時をピークに緩やかな山形の変化をなっている．土日祝日の遅延時間は全体的に平日よりも小さく，中央値で 2 分前後である．一方，最大値では 12 時と 17 時にピークを示し，平日よりも若干大きく 35 分前後となる．

３.２　バス遅延時間の地域分布

図 4 と図 5 は，メッシュデータを用いて可視化した，平日と土日祝日のバス遅延時間の分布を示す．図 3 の結果を踏まえ，朝 8 時，昼 12 時，夕方 18 時の 3 つの時間で比較した．

平日（図 4）は，8 時と 18 時に 5〜20 分（緑，黄）の遅延が所々でみられ，3〜5 分（青）の遅延となる場所も多い．8 時と 18 時はそれぞれ一ヶ所のみであるが，20〜30 分の遅延もみられる．地域的に 8 時は青森駅から南東部に広がる地域と西側で遅延が大きい傾向がある．一方で 18 時には駅から離れた地域や沿岸部で相対的に遅延が大きくなっている．12 時には，5〜20 分（緑，黄）の遅延が点在するが，大部分は 5 分未満（青系統）の遅延で比較的小さい．

土日祝日（図 5）は，8 時と 18 時の遅延が全体的に小さく 5〜10 分（緑）の遅延が幾つかみられるが，大部分の地域では 5 分未満（青系統）である．12 時には 3〜5 分（青）の遅延が多く，5〜10 分の遅延も点在している．12 時は 8 時や 18 時よりも全体的に遅延時間が若干大きいことがわかる（8 時，18 時は水色が多いが，12 時は青の場所が多い）．

また，この土日祝日の 12 時（図 5 中央）は，青森駅から南西の場所では 5〜10 分（緑，黄）や 30〜60 分（赤）の遅延がみられる．この遅延は，図 2 で示した 2 月 1 日および 2 日の 12 時の大きな遅延に対応する．図 6 に 2 月 1 日 12 時と 2 日 12 時の遅延時間の分布を示す．土日祝日 12 時（図 5 中央）に遅延時間が大きかった青森駅の南

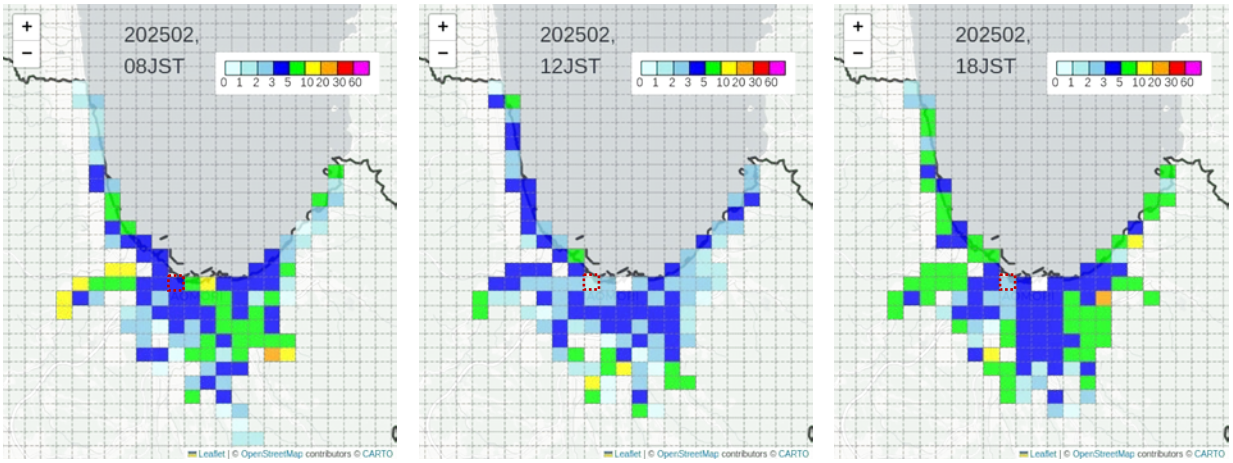


図 4　2025 年 2 月の平日における遅延時間の分布．左図は 8 時，中央図は 12 時，右図は 18 時の結果を示し，色はメッシュごとに平均した遅延時間である（平日 18 日間の平均）．中央付近の赤破線で囲った場所は青森駅が含まれるメッシュを示す．色は凡例の通り，単位は分．

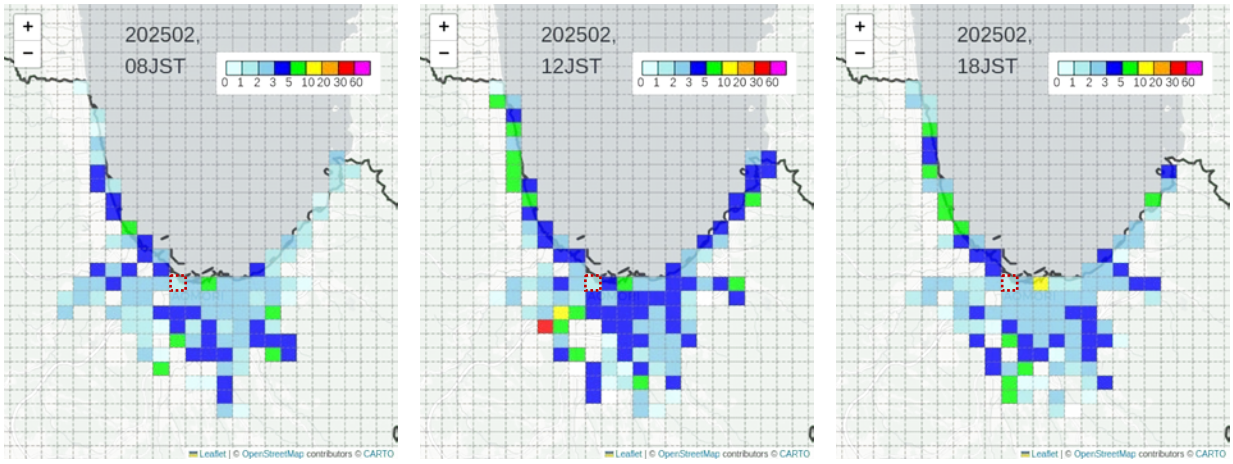


図 5　図 4 と同様，ただし 25 年 2 月の土日祝日（10 日間の平均）について．

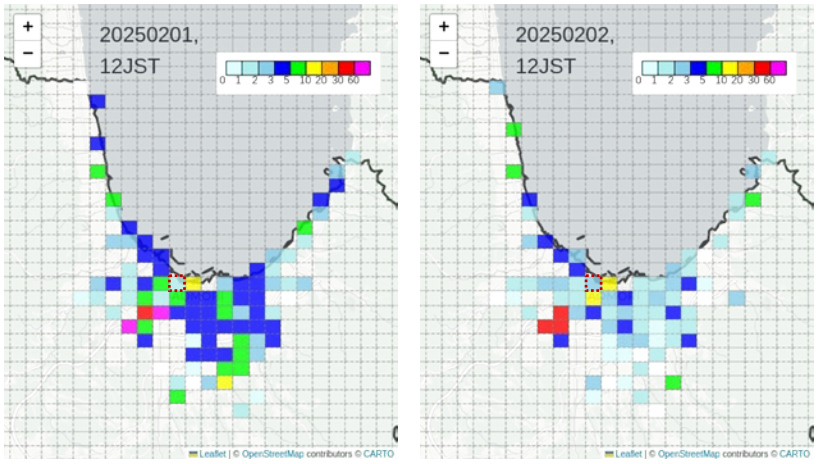


図 6　図 4 と同様，ただし 2 月 1 日 12 時（左図）と 2 月 2 日 12 時（右図）について．

西部の地域では，2 月 1 日 12 時に 60 分以上（赤紫）の遅延となっており（図 6 左），2 日 12 時にも 30〜60 分（赤）の遅延であった（図 6 右）．この大きな遅延には，市内の中でも特にこの地域での積雪量の多さや除雪状況が影響した可能性が考えられる．

４．まとめ

本研究では，GTFS リアルタイムデータを用いて 2025 年 2 月における青森市営バスの遅延時間の推移と地域分布を可視化し，平日と土日祝日の時間別および地域間の比較を行った．

平日の遅延時間は，交通量からも予想されるように，朝と夕方（8 時と 18 時）の 2 つのピークを示した（図 2, 3a）．地域分布でみても 12 時に比べて 8 時と 18 時は遅延時間が大きな地域が多く，18 時には青森駅から離れた場所で相対的に遅延が大きい特徴もみられた（図 4）．

土日祝日の遅延時間は昼頃（11 時）にピークを示し，地域分布でも全体的にこの時間の遅延が大きいことが確認できた（図 3b, 5）．朝夕は地域分布でも遅延時間が小さかった．

また大雪に起因すると考えられる，局地的な大きな遅延もみられた（図 2, 5）．2025 年 2 月は他にも降雪が多かった日があるため，地域分布についてはそれらの影響も考えられる．

今回は試作として 2025 年 2 月の結果を示したが，今後の課題として以下が挙げられる．

- データクレンジング：取得ファイル数や欠損値の確認はまだ不十分．
- 期間延長：他の月や季節，一般的な遅延状況の把握．
- メッシュの細分化：より詳細な遅延分布の把握．
- 他データとの比較：交通量や気象データとの比較によって交通状況や気象の影響を検討．

参考文献

青森市交通部管理課（2024）青森市営バス情報（オープンデータ）．<https://www.city.aomori.aomori.jp/shisei/jouhokoukai/opendata/1006153/1006167.html>.

青森市都市整備部都市政策課（2025）青森市地域公共交通計画．令和 7 年 3 月．

公共交通オープンデータ協議会（2023）公共交通オープンデータセンターの新機能 ODPT 会員ポータル. TRONWARE, 201，11-17.

国土交通省（2021）経路検索の充実とバスロケデータの利活用〜標準的なバス情報フォーマットの拡充〜．<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/sosei_transport_tk_000067.html>.

高野孝一（2023）公共交通オープンデータセンターをフル活用 バス事業者が進める本気のデジタル改革. TRONWARE, 201，22-25.

RFID を活用した触れる GIS の操作に関する可能性と限界

中村 暢佑*・石黒 希海・中山 俊*****

Possibilities and Limitations of Touch-Based GIS Operation Using RFID

Yosuke NAKAMURA*, Nozomi ISHIGURO**, Shun NAKAYAMA***

Abstract: In recent years, tangible GIS (TGIS) has gained attention as an interface for spatial data manipulation. However, most systems sequentially process only a single layer, making it difficult to handle multi-layer data such as building-level or block-level information. To address this challenge, we explored RFID technology as a tangible interface for multi-layer operations. In a prototype using an M5Stack Core2 equipped with PaHUB, multiple RFID readers were used in parallel to capture tag IDs across channels in real time. While the system functioned, challenges remained, including recognition instability and the inability to read multiple tags simultaneously within a single reader. These results suggest that while RFID alone cannot fully support multi-layer TGIS, combining it with camera recognition or AR markers can provide a foundation. This research clarifies the potential and limitations of RFID, presenting a direction for hybrid approaches in future development.

Keywords: 触れる GIS（tangible GIS），RFID，並列接続（parallel connections）.

１．はじめに

近年，「触れる GIS（Tangible GIS）」と呼ばれるインタラクティブな意思決定支援ツールの開発が進展している(Francesco Tonini et al，2017)．触れる GIS とは，物理的なモデルをユーザーインタフェースにした地理情報システム(GIS)のことである．映像によるフィードバック等により，検討内容のより深い理解や納得感，共感を提供するものもあり，まちづくりの共創のシーンや意思決定プロセスにおいて大きな期待が寄せられている．

しかし，GIS のエッセンスとも言える「複数レイヤのオーバーレイ解析」だが，複数のレイヤを操作可能な触れる GIS は少ない．多くの実装では，建物や POI などいずれか一つのレイヤを対象とし，他の階層情報を同時に操作・表示することは難しい現状にある．この技術的制約は，ハードウェアの入力方式が一系統に限られることに起因している．

そこで本研究では，複数のレイヤを操作できるように，新しい技術の可用性を検証する．今回はこの課題に対する解決手段として RFID 技術の応用を検討する．RFID タグは小型かつ安価で，任意のオブジェクトや場所へ容易に取り付け可能な特徴を持つ．これを用いて効率的に地物を読み取る仕組みを構築できれば，既存の認識技術と組み合わせることで，複数レイヤを操作可能な触れる GIS の実現可能性が高まる．

２．RFID の検知手法の開発

筆者らが知りうる限り，触れる GIS において RFID が活用されている例はほとんどない．その理由として，単一のリーダーで一枚のタグしか読み取れないという制約が挙げられる．これを克服するには，複数のリーダーを並列的に接続し，それぞれのリーダーが異なるタグを独立に認識できる仕組みが不可欠である．一般に GIS で複数の地物を同時に扱うことは日常茶飯事で，並列処理と干渉回避の双方が必要となる．

本研究では，こうした要請に応えるために，複数のリーダーを I2C（Inter-Integrated Circuit）接続で統合し，その上でソフトウェア的にポーリング制御することで重複

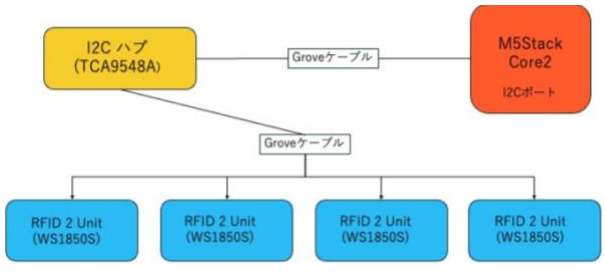


図 1　デバイス構造

*　学生会員　専修大学ネットワーク情報学部 (Senshu University)
〒214-8580　神奈川県川崎市多摩区東三田 2-1-1　Tel：044-712-7772 または E-mail：ne231112@senshu-u.jp
**　学生会員　専修大学ネットワーク情報学部 (Senshu University)
*** 正会員　専修大学ネットワーク情報学部 (Senshu University)

や競合を回避する．I2C 接続とは，フィリップス社が開発した 2 線式シリアル通信プロトコルで，単一のバス上で複数のデバイス（1 対 n)の通信を可能にする．これにより，リアルタイムに並列的に RFID の情報を取得する技術基盤の確立を目指した．

２．１　ハードウェア構成

本研究で用いたシステムは，M5Stack Core2 を中心に PaHUB を接続し，最大で 4 チャンネルの RFID リーダーを並列に接続可能な構成とした．PaHUB は I2C 信号を分岐し，複数デバイスをアドレス競合なしで接続するための拡張モジュールであり，各ポートを独立したバスのように扱うことができる．これにより，M5Stack Core2 が同一の I2C アドレスを持つ複数のリーダーを順次切り替えて利用できるようになった．

本研究で PaHUB を用いた理由は，RFID リーダーモジュールが固定的な I2C アドレスを持ち，複数台をそのまま直列接続するとアドレス競合が発生するためである．通常の I2C 通信では，デバイスごとに異なるアドレスを割り当てる必要があるが，複数接続すると制御不能に陥る．この制約を回避するために，I2C マルチプレクサである PaHUB を導入した．PaHUB は各ポートを独立した I2C バスとして切り替え可能にすることで，たとえ同一アドレスのデバイスであっても，複数台を順次切り替えて利用することができる．

図 1 に示すように，M5Stack Core2 を配置し，PaHUB を介して複数のリーダーを接続する．各リーダーは独立したチャネルに接続されており，物理的には同時に配置されたタグをそれぞれ担当することになる．

さらに，本研究では M5Stack Core2 のディスプレイを利用し，認識結果をその場で表示する仕組みを導入した．これにより，ユーザは現在認識されているタグの種類や系列を即座に確認できる．図 2 は，実際に 4 基のリーダーを PaHUB に接続した全容を示している．

２．２　ソフトウェア設計

ソフトウェア面においては，複数リーダーからの入力をポーリング制御し，競合や重複を回避する処理を導入した．具体的には，リーダーごとに「カードが置かれた」イベントと「カードが外された」イベントを検出し，状態の変化をトリガーとして記録する方式を採用した．この方式により，単純なループによる一時的な検出漏れを防ぐことができる．

認識されたデータは，M5Stack Core2 のディスプレイに表示されると同時に，シリアル通信を通じて PC に送信される．PC 側では Python スクリプトを用いてログを VV 形式で記録し，読み取りのタイムスタンプを保存する．

３．検証と結果

本研究における提案手法の有効性を検証するため，実際

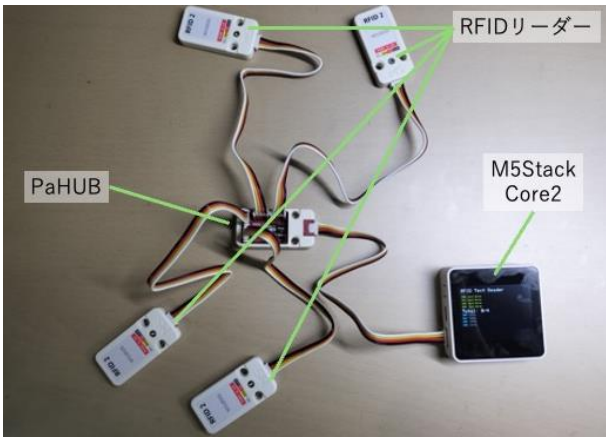


図 2　リーダーの全容

に複数の RFID タグを用いた検証を実施した．本検証は，複数タグを実際に配置した環境において行う．PC 側で保存した CSV ログを解析し，読み取りが時系列的に正しく記録されているかを確認する．特に，二種類以上のタグを近接配置した場合においても，それぞれが誤認識されることなく独立に認識されているかを検証する．

３．１　検証手順

実験の流れは以下のように設定した．

１．複数の RFID タグを用意し，それぞれを異なるリーダーに配置する．

２．M5Stack Core2 を起動し，各リーダーからのタグ検出を監視する．

３．Core2 のディスプレイに表示されるタグ ID を確認する．

４．並行して，シリアルモニタ出力を PC で受信・記録する．

５．PC 側に生成された CSV ファイルを開き，タグ ID とタイムスタンプが正しく記録されているかを検証する．

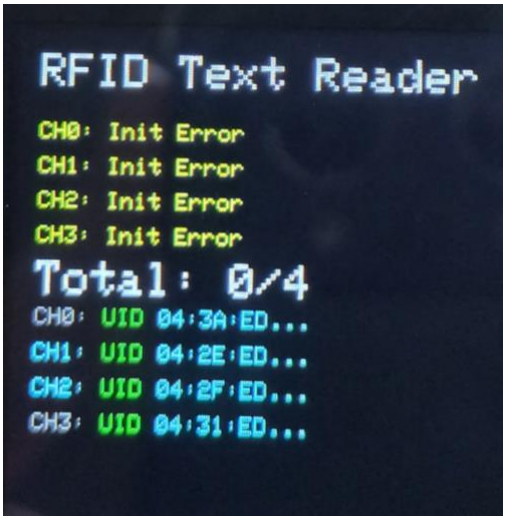


図 3　Core2 ディスプレイに表示されたタグ ID

３．２　検証結果

図 3 に示すように，のディスプレイ上には「UID XX:XX:XX…」といった形式でタグの固有 ID が表示される．これにより，個々のタグが確かに検出されていることが目視で確認できる．検証の結果，複数のリーダーに異なるタグを設置した場合でも，Core2 がそれぞれのタグ ID を正しく読み取り，順次ディスプレイに表示することが確認された．また，シリアルモニタを通じて出力された情報を確認すると，各タグが検出されたタイミングで ID が出力されていることも確認できた．

図 4 に示す通り，例えば「Card detected – UID: XX:XX:XX:XX:XX:XX」といった形式で逐次出力され，複数タグが同時に存在してもそれぞれの検出イベントが記録されていた．

さらに，PC 側に保存された CSV ファイルには，タグ ID とともに検出時刻がタイムスタンプとして記録されていた．図 5 に示すように，CSV には「datetime，timestamp，channel，action，card_uid」といった形式でデータが並び，後から実験履歴を分析できる状態が確保できた．

４．考察

４．１　RFID の認識技術における新規性

本技術は既に Web 記事でも紹介されている，一般的な方法をベースにしている．同記事では，MFRC522_I2C ライブラリと I2C ハブ（TCA9548A）を使用してシンプルに RFID リーダーを制御し，複数チャネルからの読み取りを可能にする構成が紹介されている(@misoca12，2024)．しかし，Web 記事に基づいて RFID 読み取りの試みを行ったところ，読み取れない・不安定という問題が生じたため，本研究で再構築を試みた．

同手法による読み取りが失敗した理由は二つ考えられる．一つ目は，GPIO ピンエラーだ．元のコードではリセットピンに GPIO12 が指定されていた．しかし M5Stack

```
========================================
🟢 CARD PLACED - Channel 0
   Card UID: 04:3A:ED:0A:C1:2A:81
   Timestamp: 427
========================================
EVENT:CH0:PLACED:04:3A:ED:0A:C1:2A:81:427
STATE:04:3A:ED:0A:C1:2A:81,-,-,-

========================================
🔴 CARD REMOVED - Channel 0
   Previous UID: 04:3A:ED:0A:C1:2A:81
   Timestamp: 432
========================================
EVENT:CH0:REMOVED:04:3A:ED:0A:C1:2A:81:432
STATE:-,-,-,-
```

図 4　シリアルモニタの出力

	A	B	C	D	E	F
1	datetime	timestamp	channel	action	card_uid	
2	0:03:43	868	0	PLACED	04:3A:ED:0A:C1:2A:81	
3	0:03:48	874	0	REMOVED	04:3A:ED:0A:C1:2A:81	
4	0:03:52	878	1	PLACED	04:2E:ED:0A:C1:2A:81	
5	0:04:01	887	0	PLACED	04:3A:ED:0A:C1:2A:81	

図 5　CSV ファイルの内容

Core2 では GPIO12 は利用できず，実行時にエラーが発生した．このため，読み取り動作自体が停止してしまった．そこで解決策として，リセットピンを無効化するコードに書き換えた．

二つ目は，カード検出の不安定さだ．元コードではカードの検出処理が 1 回しか行われないため，タイミングによってはタグを検出できないまま処理が終了してしまう．その結果，読み取り漏れが頻発した．そこで解決策として，検出を 2 回以上繰り返す処理を導入した．これにより，読み取りの冗長性を確保できた．

４．２　他の物体検知技術との連携

本研究において，RFID 技術を用いた複数地物の同時操作を試みた結果，一定の有効性が確認できた．では RFID 単独で複数レイヤを扱うことは可能だろうか．

RFID はタグごとにユニークな ID を持ち，それを用いて「建物」「街区」といった異なる階層を識別すること自体は可能である．しかし，現在の M5Stack Core2＋PaHUB 構成では少なくとも三つの制約が確認された．一つ目は，一つのリーダーで一度に読み取れるタグは一枚のみであり，複数のタグが同時に存在すると競合や検出漏れが発生することである．二つ目は，位置情報を得られない点である．すなわち，RFID は「どのタグが存在するか」は判定できるが，「どこにあるか」「どの向きか」といった GIS に重要な空間的属性を直接扱えないという点である．三つ目は，リーダーサイズの制約である．複数のレイヤを一度に操作できるほどのスケールにリーダーを小型化・多数配置することは現段階では容易でない．

したがって，RFID のみで複数レイヤを操作可能な触れる GIS を実現するのは困難であり，複数リーダーの配置

表 1　触れる GIS に用いられてきた技術と RFID との共存可能性

技術	主な用途・特徴	RFIDとの共存可否	コメント
カメラ画像認識	映像から物体位置・動きを識別.	高い共存性	RFIDが取りにくい範囲・動きの把握を補完.
ARマーカー	2Dマーカーを読み取り，高精度な位置認識が可能.	高い共存性	RFIDが識別，ARが空間位置を補完.
タッチセンサー	物理接触を通じて位置や入力を検出.	中程度	非接触不可.RFIDと機能が重複する部分あり.
投影型UI（プロジェクションマッピング）	投影による操作・フィードバック.	中程度	光条件に依存.装置構成が複雑.

＋他技術の補完が必須である．そのため，他の物体検知技術との連携を検討する必要がある．これまでの国内外の触れる GIS の研究や実装において，様々な物体検知技術が導入されている．画像認識，や AR マーカーなどはその代表例である．

これらは物体の上方からの検知という点で RFID とは異なる特性を持つ．その点，下方から物体を検知可能な RFID は，触れる GIS に導入されてきた物体検知と競合するのではない．今後このような要素技術との連携手法の確立が求められる．

５．おわりに

従来の触れる GIS では，ハードウェアの入力方式が一系統に限られるため，単一のレイヤしか操作できず，GIS の本質的機能を十分に活用できていなかった．そこで本研究では，複数レイヤを操作可能な触れる GIS の開発を目的に，RFID 技術を応用したアプローチを提案した．

M5Stack Core2 と PaHUB を用いて複数の RFID リーダーを I2C 接続で統合し，ソフトウェア的なポーリング制御により競合や重複を回避する方式を開発した．最大 4 チャンネルの並列 RFID 読み取りシステムを構築し，複数の RFID タグを異なるリーダーに配置した検証を実施した結果，各リーダーが独立してタグを認識し，時系列的に正しく記録されることが確認された．

複数 RFID リーダーの並列制御という基盤技術の確立に成功し，従来の単一系統入力の制約を部分的に克服できた．一方，複数レイヤ操作の実現という観点では，一つのリーダーで同時に読み取れるタグが一枚のみであること，タグの位置や向きといった空間的属性を取得できないこと，複数レイヤを効果的に操作できる規模までのリーダー小型化・多数配置が困難であることなどの制約が明らかになった．これらの制約により，RFID 単独での複数レイヤ操作は困難であることが判明した．

しかし，既存の触れる GIS で活用されてきた画像認識や AR マーカーなどは，上方からの物体検知技術である．これは上方からの検知に拘らない RFID との連動に親和性があると言える．このような要素技術との連携手法の確立により，触れる GIS がより多様な GIS 機能を有する可能性が見えた．

謝辞

慶應義塾大学総合政策学部の春日裕信氏には本研究の遂行にあたり，多大なるご指導とご協力を賜った．また，株式会社サトーの山内隆宏氏は RFID 活用法の提供の面でご尽力していただいた．そして，専修大学中山研究室の各位にも多くのご助力をいただいたことをここに記し，深く感謝の意を表す．

参考文献

@misoca12 (2024) M5Stack で複数の RFID タグを同時に読み取る. <https://qiita. com/misoca12/items/e7bfda1d454382e986ff>.

Francesco, T.，Anna, P.，Douglas, A，S.，& Brendan, H. (2017)Tangible geospatial modeling for collaborative solutions to invasive species management. *ResearchGate*，177.

Yun, W.，Ying, Z.，LingYu, Z. (2024) Developing a digital management system for museum collections using RFID and enhanced GIS technology. *PeerJ Computer Science*，18.

触れる GIS のための３次元地理情報プラットフォームの開発
－Three.js と AR マーカーを用いた Web ベース実装－

石黒 希海*・中村 暢佑・中山 俊*****

Development of a 3D Geospatial Information Platform for Tangible GIS
- A Web-based Implementation with Three.js and AR Markers -

Nozomi ISHIGURO*, Yosuke NAKAMURA**, Shun NAKAYAMA***

Abstract: Traditional GIS requires specialized knowledge and offers limited intuitiveness for public participation in urban planning. We developed a web-based tangible GIS enabling direct manipulation of physical models to control 3D representations. ArUco markers on building models are detected by Python/OpenCV and streamed via WebSocket to a Three.js browser interface. We evaluated the platform in an evacuation-planning case study: participants manipulated models and immediately observed changes in routes and shelter capacities. Results showed real-time synchronization with ~0.2-s latency between physical operations and visualization, enabling non-experts to understand spatial relationships and evacuation scenarios. Limitations include performance on large-scale models and marker-recognition instability under poor lighting. Findings indicate a simple, generalizable foundation for tangible GIS; future work will pursue LOD-based performance and hybrid sensing (computer vision and RFID) to scale collaborative urban-planning workflows.

Keywords: 触れる GIS（tangible GIS）, Three.js, WebGL, AR マーカー（AR markers）, 市民参加（public participation）

１．はじめに

近年，都市計画や防災分野において，住民参加型の意思決定支援を目的としたインタラクティブなツールの研究が進んでいる．その中でも「触れる GIS（Tangible GIS）」は，物理的な模型を操作対象とすることで，専門知識を持たない参加者にも直感的な理解や体験を提供できる仕組みとして注目されている．模型の操作に応じて映像や情報を重ね合わせることにより，GIS を画面上で操作するだけでは得にくい「納得感」や「共感」を伴った議論を可能にする点が大きな特徴である．

触れる GIS の開発の多くは，既存の WebGIS に使用される技術やサービスを転用したものである．そのほとんどは 2 次元にしか対応しておらず，せっかく物理的な模型が 3 次元で作成されていることの強みを活かせているとは言い難い．ウェブブラウザ上で動くウェブアプリケーションは，ネイティブアプリケーションに比べて，高速で高画質なグラフィックス処理を苦手とすることがその一因である．しかし近年では，ウェブブラウザ上でも高速に動作させるために，GPU を使ったグラフィック描画を可能にする WebGL の技術が開発されている．主流のウェブブラウザには軒並み WebGL が導入されている．

現代都市とその機能は立体的に構成されている．複雑な 3 次元空間における人々の活動を適切に分析・表現することは時代の要請とも言える．そのために，触れる GIS のシステム基盤も，3 次元も対応することが求められる．そこで本研究では，WebGL に基づくオープンソースのライブラリである Three.js に着目し，この要素技術を活用して触れる GIS のシステム基盤を開発する．

２．システム基盤の開発

２．１　インプット側の要件

本システムは，従来の GIS が 2 次元画面上での操作に留まっていた限界を超え，物理的な模型操作を通じて 3 次元都市空間を直感的に操作できる環境を提供する．これを実現するため，本研究では Three.js をコアエンジンとした Web ベースの触れる GIS プラットフォームを構築した．システム全体は，マーカー認識モジュール，Three.js 描画エンジン，空間解析モジュール，リアルタイム通信層の 4 つの主要コンポーネントから構成される．

第一のモジュールは物理模型に貼付された正方形パターンの二次元マーカー（ArUco）をカメラで撮影し，コンピュータが自動的に読み取るマーカー認識機能である．従来の GIS における「属性データの入力」に相当する．マーカー認識は認識 PC 上の Python と OpenCV（cv2.aruco）で実行し，検出した ID（必要に応じて姿勢）を WebSocket でブラウザへ送信する．ブラウザ側は追加のネイティブ

*　学生会員　専修大学ネットワーク情報学部 (Senshu University)
〒214-8580　神奈川県川崎市多摩区東三田 2-1-1　Tel：044-712-7772 または E-mail：ne231163@senshu-u.jp
**　学生会員　専修大学ネットワーク情報学部 (Senshu University)
*** 正会員　専修大学ネットワーク情報学部 (Senshu University)

アプリを必要とせず，受信した JSON（軽量なデータ交換形式）を Three.js のシーンに反映する．実測では，マーカー検出完了までの遅延は約 0.2 秒（端末構成・照明条件に依存）であった．

第二のモジュールは，マーカー認識で得られた情報を即座に 3 次元表示システムに伝達するリアルタイム通信層である．従来の GIS では「データ更新→再描画」に数秒を要することが多いが，本システムは WebSocket による常時接続の双方向通信を採用し，認識 PC からの検出イベントを JSON でプッシュ配信する．ポーリングを回避できるため，検出後の更新は次フレームで画面に反映される．その結果，参加者が模型を動かした瞬間に 3D 表示が追従し，物理操作とデジタル表示を一体化できる．

第三のモジュールは，Web ブラウザ上で 3 次元グラフィックスを高速描画するための Three.js 描画エンジンである． 従来の WebGIS は主に 2 次元の地図表示が中心であったが，Three.js は WebGL を活用してブラウザ上で高品質な 3 次元表現を可能にする．本研究では，地形は平面ジオメトリを基盤とし，建物は主に BoxGeometry を用いて属性値に応じた押し出し高さを付与して配置し，都市空間を構成する．また，GIS の「レイヤ管理」に相当する構造はシーングラフで実現し，地形・建物・道路・経路・注記などを機能別の Group／オブジェクトとして分離して保持することで，表示・非表示やスタイル（色，不透明度）をレイヤ単位で即時に切り替えられる．必要に応じて複雑形状（glTF〔GL Transmission Format，3D モデル交換形式〕等）にも拡張可能である．

第四のモジュールは，3 次元都市空間上での経路探索を実行する機能である．建物配置の変更に応じて，建物外縁とその間隙を通行可能領域として離散化し，交点からなる道路グラフを自動更新する．出発地と目的地は最寄りノードへスナップし， A*（ユークリッド距離ヒューリスティック）で最短経路を計算する． 復元した経路は 3D ポリラインとして即時に可視化され，参加者は経路の立体的関係を直感的に理解できる．

２．２　AR マーカーを利用したインプット

本システムのインプット手法は,2.1 で述べたように，物理模型の操作をデジタル空間に反映させるための AR マーカー認識技術を基盤とする．各建物模型には固有の ID を持つ AR マーカーを貼付し，カメラ画像から位置と向きを推定し，種別は ID と属性マスタを照合して取得する．マーカーは ArUco ライブラリの正方形パターンを採用し，辞書に応じて最大約 1000 の ID を利用できる．マーカーサイズは模型に合わせて調整可能で，本研究では一辺 3 センチメートルを標準とした．これは貼付作業が容易である一方，約 1 メートルの撮影距離でも安定して認識できる目安のサイズである．

カメラによるマーカー認識処理は，一般的な Web カメラから取得した映像を用い,認識 PC 上の Python と OpenCV の cv2.aruco で実行する．映像は連続フレームとして取り込み，各フレームごとにマーカーの検出と必要に応じて姿勢推定を行う．検出では，まず正方形候補を抽出し，内部パターンを照合してマーカーID を特定する．さらに，四隅の画素座標と事前に求めたカメラキャリブレーション結果を用いて，3 次元の位置と向きを推定し，レンズ歪みを補正した上で後段へ渡す JSON を生成する．

認識されたマーカー情報は， ブラウザ側の属性マスタと照合される．例えば ID 42 のマーカーが検出されると，当該 ID に紐づく「住宅建物，人口 150 人，3 階」などの属性が即時に引き当てられる．属性は設定 UI または JSON で編集可能で，同一の物理模型をシナリオ切替で再利用できる．照合結果は次フレームの描画と評価に反映され，建物の色や高さ，収容力の算出，経路の再計算が更新される．

２．３　３次元情報のアウトプット

触れる GIS はインターフェースの特殊性が取り上げられがちだが，情報のアウトプットまで含めて成立する．どう情報を伝達するかは触れる GIS の共通課題であり，方式は大きく(1)模型上への直接投影と(2)モニター表示に分けられる．前者は暗室環境や厳密な投影調整を前提とするため，公開討論やワークショップのような開かれた場への適用には制約がある(Yan et al.， 2021)．対して後者は， 市民参加を促進するプラットフォームとして成果を示している（Noyman et al.，2017）．一方で，物理模型と 2 次元画面の往復は表現の不一致を生み，理解の連続性が途切れやすいと指摘される（Noyman et al.，2018）．そこで本研究では，モニター上に物理模型を再現し，評価結果を可視化することで理解を支援する．Three.js のシーングラフ（Group）で地形・建物・道路・経路・注記をレイヤ分離し，状態切替に応じて可視／不可視やスタイル（色・不透明度）を即時更新する実装とした．図 2 に，ブラウザ側の可視化例を示す．建物は属性に応じて押し出し,歩行可能領域から生成したノード・エッジおよび最短経路を重ね合わせている．Three.js による出力例を図 1 に示す．

３．ケーススタディ

３．１　シナリオの設定

本研究ではケーススタディとして,「新しいマンションの建設に伴う避難経路および避難場所の収容力の検証」を題材とした．都市部では再開発や人口増加により建物の配置が変化し，災害時の避難経路や避難所のキャパシ

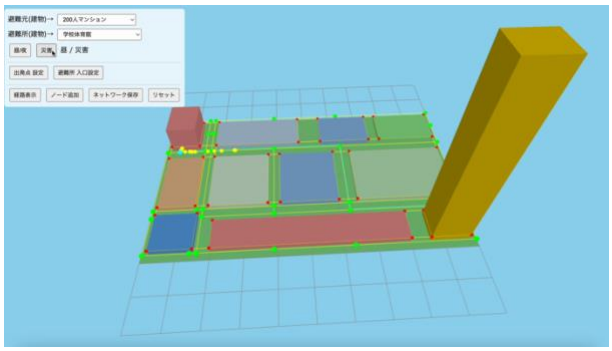


図 1　Three. js による出力例

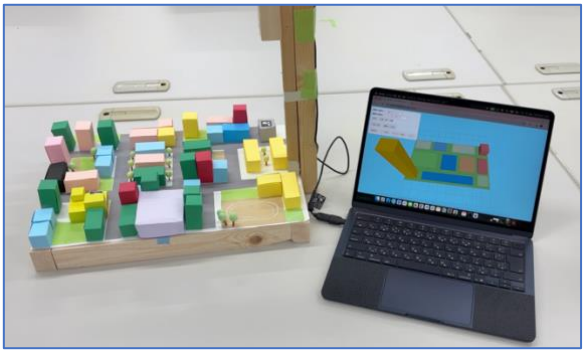


図 2　模型と画面の連動

ティに影響が生じることがある．従来の 2D 地図上での議論では直感的な理解が得にくく，参加者間での認識のずれも生じやすい．そこで，触れる GIS を用いて建物の追加や配置変更を物理模型上で行い，その影響を 3D で直感的に確認するシナリオを設定した．

３．２　実装手順

実装は次の流れで構成した.まず建物パーツに AR マーカーを貼付して物理模型上に配置する．ついでカメラでマーカーを認識し，ID と座標（必要に応じて姿勢）を取得する．得られた情報を Three.js に渡して地形モデル上に対応する建物を生成し，人口属性を高さに写像して押し出し（extrusion）により立体化する．さらに避難経路を再計算し，避難所キャパシティの変化とあわせて画面に即時表示する．

モニター側は建物表現では，AR マーカーにより認識された建物を立方体や角柱として可視化し，人口や収容能力などの属性データを建物の高さや色に反映させる．これにより，数値データを視覚的に把握しやすくしている．道路網の表現は，建物配置に基づいて自動生成される歩行可能領域を白線で表示する．建物が移動や追加された場合，道路網も即座に再計算されて表示が更新される．経路表現では，出発地から目的地への最短経路を赤線で表示し，複数の経路候補がある場合は色分けして同時表示する．経路上には距離や所要時間の情報も文字で表示される．群集の動きは，経路に沿って移動する小さな点やアイコンで表現される．避難シミュレーションの場合，避難者の流れが視覚的に理解できるよう，点の移動速度や密度を調整している．

３．３　実装結果

実装の結果，物理模型に新しい建物を配置すると，Three.js 上の都市モデルに即時に建物が追加されることを確認した．さらに，建物の高さが人口属性に基づき extrusion 処理で反映され，収容規模の大小が視覚的に表現された．その結果，避難経路の混雑や避難所の収容人数の変化を画面上で直感的に把握することが可能となり，非専門家を含む参加者にとっても避難シナリオを理解しやすい環境が実現できた． 図 2 に，物理模型と Web ブラウザ画面の連動構成を示す．

４．考察

４．１　Three. js の可能性と限界

本研究で用いた Three. js は，WebGL を基盤とする JavaScript ライブラリであり，Web ブラウザ上で高度な 3D 表現を実現できる．この特性により，触れる GIS に必要とされる「直感的かつ視覚的に理解しやすい空間表現」を比較的容易に実装できるという利点がある．具体的には，地形や建物を動的に生成・変形できる柔軟性があり，ユーザーが操作した結果を即座に視覚化できる．また，Web 技術であることから専用アプリケーションを導入する必要がなく，多様な端末で利用できるアクセシビリティの高さも大きな強みである．さらに，オープンソースとして拡張機能が豊富であり，外部データとの統合も容易であるため，将来的には交通シミュレーションや環境データの重畳表示などへの発展も期待できる．

加えて，GIS のコア機能であるレイヤの重ね合わせについては，Three. js のシーングラフ（Group）とマテリアル制御によりレイヤを分離できる．また，可視／不可視の切替や表示順序，色・不透明度などのスタイル変更をレイヤ単位で行うことで実現できる．本研究でも状態切替に応じてレイヤのスタイルを即時に割当てし直し，議論の焦点に応じた重ね合わせを運用した．なお，半透明レイヤの重畳では深度テスト／描画順に依存するため，レンダリング順やマテリアル設定の調整が必要となる．

一方で，Three. js には限界も存在する．都市全体のような大規模 3D モデルでは描画負荷が高く，リアルタイム性が損なわれやすい．このため LOD（Level of Detail，表示距離等に応じて詳細度を切替える手法）の導入やデータ軽量化が不可欠である（Luebke et al.， 2002；Losasso・Hoppe，2004）．また，Three. js は GIS 専用ライブラリではないため，空間解析機能や地理的正確性の面で制約がある．したがって，本格的な空間解析を行う際は既存の GIS 基盤との連携を前提とする．

本研究のケーススタディにおいても，人口属性を用いた建物の立体化は容易に実現できた一方で，建物数の増加に伴う描画負荷が課題となる可能性が示唆された．したがって，Three. js は「触れる GIS」を構築する上で直感的な可視化基盤として有効であるが，都市スケールへの適用を視野に入れる場合には，描画最適化や他システムとの統合を含めた設計が求められることが明らかとなった．

４．２　AR マーカーの課題

本研究では，物理模型の識別および位置姿勢の推定のために AR マーカー（Garrido-Jurado et al., 2014）を用いた. AR マーカーは印刷物を貼付するだけで導入可能であり, オブジェクトごとに固有の ID を割り当てられる点で利便性が高い．さらに，カメラを介して位置と姿勢を推定できるため，模型の移動や回転を即座に 3D 空間に反映でき，触れる GIS の基本要件である「直感的な操作と即時的な可視化」を実現できた．

一方で, AR マーカーにはいくつかの制約も確認された. 第一に，照明条件やカメラ角度によって認識精度が変動し，特に反射や影の影響で一時的にマーカーが検出されない場合があった．第二に，模型パーツが増えるとマーカー同士が互いに隠れ合う「オクルージョン」が発生し，認識が不安定になる傾向が見られた．第三に，マーカーのサイズを小さくすると模型への貼付は容易になるが，認識の安定性が低下することが確認された．これらの問題は既存研究でも指摘されており, AR マーカーは低コストかつ汎用性に優れる一方で，複雑な模型環境や長期的な運用には限界があることが示唆されている（Garrido-Jurado et al.， 2014）.

以上より，AR マーカーは触れる GIS の実装において導入のしやすさと即時性に優れるが，実環境に近い利用を考えると認識の安定性やスケーラビリティに課題を残すことが明らかとなった．今後は，カメラベースの物体認識や RFID など他技術とのハイブリッド化により，認識の堅牢性を高める方向性が有効であると考えられる．

５．おわりに

本研究では，Three.js と AR マーカーを組み合わせることで，物理模型の操作を Web ブラウザ上の 3D 都市モデルに即時的に反映する触れる GIS のプロトタイプを構築した．ケーススタディとして新規マンション建設に伴う避難シナリオを設定し，建物配置や人口属性を反映した立体化により，避難経路の混雑や避難所収容力の変化を直感的に把握できることを確認した．

その結果, Three.js は触れる GIS における直感的な可視化基盤として有効であること，また AR マーカーは導入の容易さと即時性に優れることが示された．一方で，大規模モデルの描画負荷や，照明条件・遮蔽による認識の不安定さといった課題も明らかとなった．

以上より, 本研究は触れる GIS における汎用的かつ簡易な基盤構築の可能性を提示したといえる．今後は，認識技術の多様化や描画最適化に加え, RFID や画像認識など他方式とのハイブリッド化を進めることで，より堅牢かつスケーラブルな都市計画支援システムへ発展させていくことが期待される．

謝辞

本研究を進めるにあたり，専修大学中山研究室の皆様には多大なるご協力を賜った．ここに記して深く感謝の意を表する．

参考文献

Garrido-Jurado，S.，Muñoz-Salinas，R.，Madrid-Cuevas，F. J.，＆ Medina-Carnicer, R.（2014）Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion．Pattern Recognition，47（6），2280-2292.

Losasso，F.，＆ Hoppe，H.（2004）Geometry clipmaps：Terrain rendering using nested regular grids． ACM Transactions on Graphics，23（3），769-776.

Luebke，D.，Reddy，M.，Cohen，J. D.，Varshney，A.，Watson，B.，＆ Huebner，R.（2002）Level of Detail for 3D Graphics．Morgan Kaufmann.

Noyman，A.，Holtz，T.，Kröger，J.，Noennig，J. R.，＆ Larson，K.（2017）Finding Places：HCI platform for public participation in refugees’ accommodation process. Procedia Computer Science，112，2463-2472.

Noyman，A.，Sakai，Y.，＆ Larson，K.（2018）CityScope：A data-driven interactive simulation for urban design．『Proceedings of the 9th International Conference on Complex Systems（ICCS 2018）』，253-261．Springer.

Yan，W.，Murakami，Y.，Yasuda，A.，Makihara，T.，Fujimoto，R.，＆ Nakayama，S.（2021）Developing the eXtended Tangible User Interface as an experimental platform for Geo-CPS.『Emerging Technologies for Disaster Resilience : Practical Cases and Theories』, 11-32. Springer, Singapore.

地域学習に資する「地域版 GIS カード」の開発
ー京都版製作ワークショップの成果と今後の展望ー

塚本章宏*・田中丘人・西村拓真***・大津留麻代****・神﨑彰悟****

Developing "Local GIS Cards" for Regional Learning
- Report on the Kyoto Edition Production Workshop and Future Developments-

Akihiro Tsukamoto*, Takehito Tanaka**, Takuma Nishimura***, Mayo Otsuru****, Shogo Kanzaki****

Abstract: This paper focuses on "GIS cards," an analog educational tool developed to address challenges in GIS education, specifically exploring the regional version. We report on the outcomes and future prospects of a development workshop for the "Kyoto Edition" GIS cards, which reflect Kyoto's regional issues and characteristics. Participants, despite finding the workshop somewhat challenging, highly praised its effectiveness in activating geographical thinking and fostering collaborative learning. Based on these results, we produced 12 prototype Kyoto Edition GIS cards categorized into four themes: culture, tourism, urban development, and environmental disaster prevention. These cards aim to cultivate practical problem-solving skills by combining multiple layers and analyzing regional issues from various perspectives. Moving forward, we plan to promote their widespread adoption in education, foster co-creation with local communities, apply them to specialized themes, and build a user community, ultimately contributing to regional learning and nationwide expansion.

Keywords: GIS カード（GIS cards）, 京都版（Kyoto Edition）, 地域学習（regional learning）, ワークショップ（workshop）, 地理教育（geography education）

１．はじめに

１．１　GIS カードのこれまでの展開

「GIS カード」は，高等学校の「地理総合」が 2022 年度に必修化された際に顕在化した情報機器の整備不足や教員の専門性の違いなどの GIS 教育の課題への対応策として開発が進められてきた．本教材は，GIS ソフトウェアを用いることなく，ゲーム感覚で GIS の仕組みや有用性を理解できるよう設計されたアナログ型教材で，学習者が楽しみながら取り組めることが特徴である．

他方，近年の DX 化に伴う ICT 人材不足や，GIS 業界におけるリスキリング・リカレント教育の重要性が高まりから，このカードゲーム型教材を社会人向けの研修プログラムへ応用する試みも進められており，GIS 学習の初期段階で専門用語や複雑なパソコン操作によるモチベーション低下を防ぎ，限られた時間内で GIS の有用性を実感できる点に注目が集まっている．また，学習過程でのチームビルディングも促進するよう設計されている．

2023 年には，高校生（徳島県立富岡西高等学校）と社会人（ESRI ジャパン主催第 21 回 GIS コミュニティフォーラム）を対象とした検証ワークショップが実施され，その教育的効果として，参加者は GIS の概念や具体的な活用法を大まかに理解し,「レイヤーを重ね合わせて様々なマップを作成・表現するもの」という具体的なイメージを持つことができていることが確認されている（西条ほか，2023；西條ほか，2024）．また，チーム内での活発なコミュニケーションや協同作業が評価され，異なる専門分野間の交流促進やチームビルディングへの寄与や，ゲーム形式であることから GIS 学習への抵抗感を軽減する効果も示された．

１．２　普及に向けた「地域版」の製作と展開

GIS カードの普及に向けた取り組みとして，通常授業での一層の活用を目指し，より洗練されたゲームルールの設定や授業プログラムの提案，オンラインマップの併用など学習効果の深化が進められている．特に，参加者自身が地域課題カードやレイヤーカードを作成し，身近な地域課題の解決に挑戦するといった発展的な活用法についても求められており，地域特有の課題解決型学習への展開として検討する必要がある．

このような背景のもと，地域課題や特性を踏まえたカードによって構成された地域版 GIS カードの開発が推進されている．本稿は，カード型地理教材「GIS カード」地域版のプロトタイプである「京都版」を開発するにあた

*　正会員　佛教大学歴史学部（Bukkyo University）
〒603-8301　京都府京都市北区紫野北花ノ坊町 96　E-mail：a-tsukamoto@bukkyo-u.ac.jp
**　非会員　同志社女子中学校高等学校（Doshisha Girls' Junior and Senior High School）
***　非会員　京都府立嵯峨野高等学校（Kyoto Prefectural Sagano High School）
****　非会員　ESRI ジャパン株式会社（Esri Japan Corporation）

り実施されたアイデアワークショップにおけるアンケート調査の結果と，その成果として製作された京都版 GIS カード（プロトタイプ）の内容について報告するものである．

２．地域版作製ワークショップ

２.１　ワークショップのプログラム

地域版製作ワークショップは，2025 年 5 月 25 日開催の地理教材研究会（於：龍谷大学大宮学舎）において，「ご当地『GIS カード』をつくろう！」と題し，地域の特徴を踏まえて様々なアイデアを出し合いながら，GIS カードの地域版を製作することを目的として実施した．参加者の多くは，小・中学校・高等学校・大学の地理教育に携わる教員である．ワークショップの流れは表 1 に示した通りで，参加者が GIS カードのコンセプトを理解し，地域の課題や特性を踏まえたカードのアイデアを創出できるように意図してプログラムを設定した．

表 1　地域版作製ワークショップのプログラム

所要時間（分）	活動	内容（〇は用意するもの）
5	イントロダクション	・説明：ワークショップの目的・導入
15	Step1： テーマ（キーワード）決め	・チームで取り組むミッションを相談し，観光，環境，歴史，SDGs，京都，大阪などの地域やキーワードを設定
15	Step2： キーワードの展開（プレインストーミング）	・決めたテーマについて連想される言葉（キーワード）や文章を，個人で3分間でできるだけ多く書き出す ・インターネット検索やカンニングも可 ・その後，チーム内で共有し，地域の問題点，魅力を現した面白い言葉を全員に発表 〇ワークシート01（キーワード）
30	Step3： 地域課題を考える	・チームで相談しながら，取り組みたいキーワードを書き出し，地域課題を具体的に説明する文章を作成 ・「文章化ツール」や「GISっぽいフレーズ集」を参考にする（ターゲット，地域，目的，定量的指標，地理的・空間的関係などの要素を組み合わせるヒント集） 〇ワークシート02（地域課題）
15	Step4： レイヤーカードの組み合わせ	・レイヤーカードをフィールドに出しながら，必要なレイヤーカードの組み合わせを考え，必要に応じて文章を修正 ・決まったら，白紙の地域課題カードとレイヤーカードを作成して追加する ・時間があれば，レイヤーカードを重ね合わせたイメージ図も描く 〇深堀シート 〇GISカード　フルセット
15	Step５： 地域課題カードとレイヤーカードを新規作成	・考案したミッションやレイヤーカードの組み合わせを共有 〇地域課題カード（白紙） 〇レイヤーカード（白紙）
15	Step6: 共有・評価 地域版GISカードお試しプレイ	・新しく作った地域課題カードとレイヤーカードを隣のチームに渡す ・渡されたチームは，新しい地域課題カードに挑戦 ・回答後，採用/不採用，感想・コメントを共有し，言い訳タイムを経て修正
10	アンケート	・ワークショップの難易度，面白さ，具体的なカードアイデア，今後の展開など 〇アンケートフォーム
	閉会・解散	

２.２　アンケート結果

ワークショップ後，参加者 16 名を対象にアンケートを実施し，①難易度，②面白さ，③ワークショップを面白くするアイデア・高校生向けアイデア，④今後の展開に関する意見，⑤自由記述・感想などを収集し，今後の教材開発の方向性を検討するための資料として整理した．

①ワークショップの「難易度」は，参加者の 16 名中 13 名が「少し難しかった」，3 名が「普通」と回答した．「少し難しかった」主な理由としては，「テーマ決めが難しい」といったテーマ設定の複雑さ，「具体化する，問題としての問い方」といった具体化の課題，「どのように作っていくのが良いか，わかりにくかった」といった進め方の不透明さ，「アイデアをまとめることに時間がかかった」といったアイデアの整理と時間不足が挙げられた．一方，「普通」と感じた理由には，「データ概要など，用語のヒントがあったから」や「地理に対する理解度が同程度のメンバーのグループだったから」といった意見があった．

②ワークショップの「面白さ」については， 参加者 16 名中 15 名が「とても面白かった」，1 名が「普通」と回答しており，難易度にかかわらず非常に高い満足度が得られた．「とても面白かった」の主な理由としては，「やはり地理的に考えていくことは面白い」といった思考の活性化と知的好奇心，「違う専門の人の斬新な意見」といった多様な視点と交流，「京都の課題を解決考え，共有する過程で，協働するのが面白かった」といった協働と問題解決，「問題を作る側と解く側の両方の立場に立てた」といった教材の体験が挙げられた．

③「ワークショップを面白くするアイデア・高校生向けアイデア」についての質問では，「テーマを限定することが必要かも」「地域の範囲をさらに絞る」といったテーマ設定の工夫が提案され，高校生には「高校生向けの〇〇店を出店するならどこがよいか？」など，身近なテーマが適しているといった意見もみられた．また，「得点を倍にする時間もしくはカードを設けるなどはゲーム性を高めてくれて良い」といったゲーム性の向上が示唆された．そして，「高校生からの意見も必要なのではないかと思いました」「高校生らに地域課題・レイヤーを考えさせれば，今回より自由な発想のものが出てくる」といった生徒参加型のプロセスの重要性について言及がみられた．

④GIS カードの「今後の展開」については，「オープンソース化は是非ともお願いしたいです」といったオープンソース化・普及への期待や，「修学旅行の事前学習にも使える形にできれば需要が高いかもしれません．その場合，中学生バージョンも想定すると良いかもしれません」といった具体的な活用シーン，「例えば授業で生徒や学生たちから出た案をカード化するのはどうでしょう」といった生徒参加型の展開やカードを共有・発展させていく仕組みへの期待が読み取れた．

最後に，⑤「自由記述・感想」では，「アナログなところがよいです．いま，カードゲーム的なものが世の中で増えているみたいだし.」といったアナログ教材としての魅力が再認識された.「地図は情報の重ね合わせであるということを身をもって体験でき，非常に楽しかった」といった学習効果と気づき，批判的思考力や多角的視点を育む効果が期待されており，これまでの GIS カードの取り組みにおいてもみられた感想があった．一方で，「地域版であれば，生徒の身近な地域の認識も高められる」といった地域学習との連携の可能性も示唆された．

3．京都版 GIS カード（プロトタイプ）

ワークショップを踏まえて製作された「京都版 GIS カード（プロトタイプ）」の地域課題，解説文，レイヤーカードの組み合わせを表 2 に示した．京都の地域特性とデータの関連性を深く理解し，実践的な思考力を養うことができるように，京都ならではの文化，観光，社会，自然環境に関わる 12 種類の地域課題カードが製作された．

これらの地域課題は，京都という特定の地域の特性を深く掘り下げ，地理情報を用いて課題を分析・解決する能力を養うことを目的としている．地域課題は，①文化・伝統の継承と地域資源の活用，②観光と都市生活の調和，③都市開発と景観保全のバランス，④環境問題と防災，の 4 つのグループに分類することができる．以下では，テーマごとに解説する．

① 文化・伝統の継承と地域資源の活用

「No.1 昔ながらの豆腐店を探したい」「No.9 先斗町の川床で食事したい」「No.11 京都の昔ながらの銭湯に入りたい」からなる，このグループのミッションは，京都が誇る独自の文化や伝統的な産業，それらを支える地域資源に焦点を当てている．文化の背景にある地理的要因を理解し，その持続可能性や活用方法について考察する課題

表 2　京都版 GIS カードの地域課題・解説文・レイヤーカードの組み合わせ

No.	地域課題(ミッション)	解説文	レイヤーカード
1	昔ながらの豆腐店を探したい	京都の豆腐文化を支える伝統的な豆腐店は，「地下水」と「井戸」で良質な水が得られる場所で，地域に根差した「商店街」に立地しています.	豆腐店，地下水，井戸，商店街
2	空き町家を外国人観光客向けゲストハウスとして活用したい	京都の美しい景観に溶け込む町家を，外国人観光客向けの特別な宿泊施設として活用する．活用可能な「町家」を特定し，「京都市地下鉄」と「京都市バス」で交通の利便性を評価し，「寺社・仏閣」で周辺の観光魅力を取り込んだ立地にあれば，その魅力は大きくなります.	町家，京都市地下鉄，京都市バス，寺社・仏閣
3	オーバーツーリズムによって渋滞が起こっている場所を特定しよう	観光客増加に伴う交通渋滞が深刻な京都で，「世界遺産」で主要な目的地を把握し，「人流データ」で人の流れと集中度を可視化し，「バス停」の利用状況から公共交通の負荷を測り，「京都市バス」の運行状況からバスの渋滞への影響を分析し，渋滞発生箇所を特定する.	世界遺産，人流データ，バス停，京都市バス
4	リーズナブルな京都ラーメンの店を出店するならどこ	京都ラーメンの出店場所を検討する．「ラーメン店」で既存の競争環境を把握し，潜在的なニーズのあるエリアを見つけ出し，「地価」で，初期投資と月々の運営コストを考慮した，現実的な賃料のエリアを絞り込みます.	ラーメン店，地価
5	祇園祭で山鉾巡行を快適に観覧したい	人混みを避け，祇園祭の山鉾巡行を最高の場所で観覧する．「巡行ルート」を把握し，「人流データ」で混雑を避ける．有料の「観覧席」や巡行ルート沿いの「ホテル」を活用することも考えられます.	巡行ルート，人流データ，観覧席，ホテル
6	五山の送り火が見える最適な場所を探そう	京都の夏の夜空を彩る五山の送り火を，最高のロケーションで堪能するために，「送り火」の各山の位置と方角を把握し，「DEM・標高」で地形の有利さを活かし，「プラトーデータ（建物）」で視界の遮りを避け，「道路」「公園」「鴨川」の快適な観覧スペースを見つける.	道路，送り火，DEM・標高，プラトーデータ（建物），公園，鴨川
7	高層の自社ビルを京都に建てたい	歴史的景観が厳しく守られる京都で，高層の自社ビル建設の可能性を探る．「高さ規制」で法的な制約をクリアし，「地価」で予算と価値のバランスを見極め，「道路」「鉄道」で優れた交通アクセスを確保し，「都市計画（商業）」でビジネスに最適なゾーニングを選ぶ.	高さ規制，地価，道路，鉄道，都市計画（商業）
8	修学旅行生がタクシーで京都の観光地を効率的に回るためのプランを立てる	限られた時間で，宿泊先の「旅館」を起点・終点とした移動を考慮し，訪問場所の多くは「世界遺産」であることが多く，その近辺にある「駐車場」情報を得てタクシーの利便性を確保し，「交通量・渋滞」で移動時間を最適化し，「人流」で混雑を避けた快適な見学を実現する.	世界遺産，駐車場，旅館，交通量・渋滞，人流
9	先斗町の川床で食事したい	川辺にせり出した「川床」で涼しく会席料理などを楽しむのが京都の夏の風物詩のひとつ．京都市の中心部を流れる鴨川右岸の「先斗町」周辺は特に多くの川床が立ち並ぶエリアとして知られる.	鴨川，飲食店
10	オーバーツーリズムの混雑で困っている住民を見つけたい	オーバーツーリズム問題により混雑で困っている住民がいる場所を特定する．世界遺産周辺の市街地に住む市民や，日常的にバス路線を利用する人には特に様々な影響が及ぶと考えられる.	世界遺産，人流データ，バス停，京都市バス，市街地
11	京都の昔ながらの銭湯に入りたい	銭湯の立地条件として，井戸を使って地下水を安定的にくみあげられることが重要である．また，京都は特に風呂がない狭小な住居が多く，人々が集住してきた町（居住区）に対応するように公衆浴場が立地した.	地下水，井戸，町
12	桂川の洪水ハザードマップを作ろう	桂川の洪水ハザードマップを作成し，洪水被害を避けるために洪水による浸水想定と避難場所の立地を示す.	洪水浸水想定，避難施設，桂川

となっている．

② 観光と都市生活の調和

オーバーツーリズムは，現在の京都が直面する大きな課題の一つである．このグループのミッションは，観光客と住民の双方にとって持続可能で快適な都市空間を創出するための地理的アプローチを考察する課題となっている．該当する課題は，「No.2 空き町家を外国人観光客向けゲストハウスとして活用したい」「No.3 オーバーツーリズムによって渋滞が起こっている場所を特定しよう」「No.5 祇園祭で山鉾巡行を快適に観覧したい」「No.8 修学旅行生がタクシーで京都の観光地を効率的に回るためのプランを立てる」「No.10 オーバーツーリズムの混雑で困っている住民を見つけたい」の 5 つである．

③ 都市開発と景観保全のバランス

京都の都市計画は，歴史的景観の保全と現代的な都市機能の発展という二律背反する課題に直面している．「No.4 リーズナブルな京都ラーメンの店を出店するならどこ」「No.7 高層の自社ビルを京都に建てたい」の 2 つの課題は，これらのバランスを地理的データを用いて考察する課題である．

④ 環境問題と防災

自然環境との共存，災害への備えは，地域が持続的に発展していく上で不可欠なテーマで，「No.6 五山の送り火が見える最適な場所を探そう」「No.12 桂川の洪水ハザードマップを作ろう」といった，環境データを用いた分析から防災計画の立案までを考える課題である．

以上，京都版 GIS カードは，これらの多様な地域課題を通じて，参加者が京都の歴史，文化，経済，社会，自然といった多角的な側面を地理的に考察できるよう設計したものである．各ミッションは，単一の解決策を求めるものではなく，複数のレイヤーカードを組み合わせ，様々な視点から分析し，最適な解を導き出すプロセスを重視しており，参加者には GIS を活用した実践的な課題解決能力と，地域への理解が醸成されることが期待できる．

4．おわりに

GIS カードは，高等学校だけでなく，多様な学習者層における GIS の理解促進，人材育成，コミュニケーション支援のためのツールとして，継続的な進化が期待されている．本稿において取り上げた「京都版」GIS カードは，特定の地域に焦点を当て，その歴史，文化，社会，自然環境に根ざした課題解決型の学習を促進する有効なプロタイプモデルである．この事例を基盤として，今後各地で地域版 GIS カードを作成し，教育，地域振興，防災など多岐にわたる分野での活用を進めることを構想している．以下に，その具体的な展望を挙げておく．

① 教育現場への普及とカリキュラム連携

高校の「地理総合」や「探究学習」において，地域版 GIS カードを教材として活用することで，生徒が地域課題を発見し，地理情報を駆使して解決策を考察する実践的な学びの提供を目指す．また，教員向けのワークショップ形式の研修プログラムを開発・実施し，活用できる教員の育成を進めたい．

② 「地域づくりワークショップ」として展開

生徒・教員だけでなく，地域の住民，行政職員，NPO，企業など，GIS カード製作を通じて地域の魅力再発見や課題共有，解決策検討の場を創出したい．その際，自治体や大学，研究機関からデータや専門的知見の協力を得て，詳細かつ高精度なカード開発を進める．

③ 地域特有のテーマや専門分野への応用

例えば，防災教育特化版ではハザードマップや避難経路を重視した実践的な防災教育での活用を，歴史・文化遺産保護版では歴史地図や文化財分布の作成補助ツールとして，環境教育特化版では生態系や環境データを用いた分析といった特定のテーマや地域での応用を進めたい．

④ ユーザーコミュニティとカード共有システム

各地で作成されたカードやアイデア，活用事例をオンライン上で共有し，教材の継続的な発展に取り組む．現在，こうした取り組みのハブサイトとして，GIS for Learning（https://gis-card-ej-education.hub.arcgis.com/）を立ち上げ，GIS カードに関する基本的なデータ（カードデータ，ワークショップスライドなど）を公開しており，ダウンロードして活用することができる状況にしている．

「地域版」GIS カードの開発は，地域固有の課題を解決する実践的な学びの場を提供し，地理的思考力を持つ次世代の人材を育成するとともに，地域社会の活性化にも貢献することが期待されるプロジェクトである．京都版の成果を足がかりに，この取り組みが全国へと波及し，地理教育や地域づくりの様々な場面で活用されるように教材の質向上と普及のための基盤整備を進めていきたい．

謝辞

本報告の基盤となる「京都版」GIS カードの開発とワークショップ実施にあたり，地理教材研究会の皆様には，機会の提供や実地での協力など，多岐にわたる便宜を図っていただきました．ここに記して深く感謝の意を表します．

参考文献

西條真結乃・塚本章宏・四宮博樹・土田雅代（2023）高等学校地理におけるカードゲーム型 GIS 教材の開発ー地理的な見方・考え方を育む PBL での活用ー，「地理情報システム学会講演論文集」，32，P2-12.

西條真結乃・塚本章宏・土田雅代・夏目宗幸（2024）カードゲーム型教材を活用した社会人向け GIS 研修プログラムの開発，「地理情報システム学会講演論文集」，33，C6-01.

ポスター発表

2025年11月2日(日) 13:00 ~ 13:50 | 会場(金森産業ホール)
[P2] ポスター発表 #2

[P2-16] 組成データのための空間統計量の提案

*吉田 崇紘[1]、山田 育穂[1] (1. 東京大学)

キーワード：組成データ、空間統計量、土地利用

本研究の目的は、一変量データに対するMoran’s I 統計量を多変量データの一つである組成データにも適用できるように拡張することである。組成データ全体の空間的自己相関の程度だけでなく、各変量における空間的自己及び相互相関の程度も合わせて把握できるよう、distance correlation 指標を援用する。これまで、多変量データに対する空間統計量が提案されているものの、地質学分野で検討されてきた組成データ解析の対数比変換法は参照されておらず、組成データに適用した場合の統計的検出力については検証されていない。本研究では、対数比変換法を援用して新たな空間統計量を提案し、東京都特別区における町丁目別建物用途組成データに応用し、既往研究と提案手法の統計的検出力の比較を行う。

©一般社団法人地理情報システム学会

ポスター発表

2025年11月2日(日) 13:00 ~ 13:50 | 会場(金森産業ホール)
[P2] ポスター発表 #2

[P2-17] 局所回帰の段階的合成に基づく空間過程モデル：住宅地価分析への応用

*村上 大輔[1]、吉田 崇紘[2]、堤田 成政[3]、中谷 友樹[4] (1. 統計数理研究所、2. 東京大学、3. 埼玉大学、4. 東北大学)

キーワード：局所回帰、空間過程、住宅地価分析

本研究では、空間予測に広く用いられるKriging（Gaussian process）の計算負荷や柔軟性の課題を克服するために、局所回帰に基づく新たな空間過程モデルを提案する。提案手法は、多数の局所回帰を合成することで得られる空間過程を、マルチスケールに合成することで空間過程を表現する。その学習は、広域的パターンから局所的パターンへと段階的に進め、損失関数の改善が止まった時点で終了する逐次的手法を採用している。提案モデルは、計算効率が良く、他の機械学習手法（random forest（RF）やneural network）との統合が統合可能という、従来の空間統計モデルには見られない特性を有する。提案手法を首都圏における住宅地価格分析に応用したっ結果、提案手法の空間予測精度や不確実性評価精度が既存手法を上回る点や、住宅地価の空間パターンが大きく3つの階層からなることなどを実証的に明らかとした。

©一般社団法人地理情報システム学会

ポスター発表

2025年11月2日(日) 13:00 ~ 13:50 | 会場(金森産業ホール)
[P2] ポスター発表 #2

[P2-18] データ分布に関する異質性を把握する空間的可変係数モデルの開発

*彭 湛[1]、井上 亮[1] (1. 東北大学　大学院情報科学研究科)

キーワード：空間的可変係数、空間的異質性、分位点回帰、組成データ分析

空間的可変係数（SVC）モデルは，場所ごとに異なる回帰係数を推定することで，地理空間データに有する空間的異質性を把握する手法として広く利用されている．しかし，従来のSVCモデルはデータ分布の平均値のみに基づいて推定を行うため，データ分布の全体像を十分に捉えることができない．例えば，高価格帯と低価格帯の住宅購入者は同じ住宅特性を異なる価値として評価する場合，価格分布水準によって価格決定要因の影響が異なる．したがって，データ分布に関する異質性を無視すると，実務上の包括的な分析が制限される．本研究は，Moran eigenvector-based SVC モデルに注目し，連続データと階級データそれぞれに対処するConditional quantile regression とCompositional data analysis を組み合わせることで，データ分布に関する異質性も考慮できるSVCモデルを提案する．賃料データと所得階級データへの適用により，提案手法の有効性を確認した．本研究は，地理空間データ分析に新たな視点を提供し，多様な分野への応用が期待される．

©一般社団法人地理情報システム学会

LLM ベースと従来型ジオコーディングの精度比較：日本の大・中・小規模地域における評価

卢　诗琪*・龐　岩博・関本　義秀**

Comparing the Accuracy of LLM-based and Geocoding with Traditional Methods: Evaluation across Large, Medium, Small Regions in Japan

Shiqi Lu*, Yanbo Pang**, Yoshihide SEKIMOTO

Abstract: In recent years, large language models (LLMs) have shown promise for geocoding, i.e., deriving geographic coordinates from textual place descriptions. While traditional methods, such as the Google Maps Geocoding API, achieve high accuracy for structured addresses, LLMs can better interpret unstructured data, though their geocoding accuracy remains uncertain. In this study, we systematically compare LLM-based geocoding with traditional methods using Zenrin Telepoint data as reference coordinates. Across representative large, medium, and small regions in Japan, LLMs show competitive performance, achieving mean errors of 0.94 km, 2.03 km, and 4.85 km, respectively, with an overall average processing time of 1.65 seconds. These results demonstrate that LLMs can offer comparable or improved geocoding accuracy relative to baseline methods, while maintaining efficiency.

Keywords: 大規模言語モデル（Large Language Models, LLMs），ジオコーディング（Geocoding），位置情報解析（Geographic information analysis），精度比較（Accuracy comparison），日本の地域（Japanese regions）

１．はじめに

近年，LLM（大規模言語モデル）の進展により，地理空間情報の自動生成・理解を前提とする応用（デジタルツイン，都市 OS，政策立案支援など）が急速に広がっている．しかし，その信頼性評価，とりわけ「位置が正しいか」を問う基礎能力の検証は十分とは言えない．高精度な空間参照が担保されなければ，意思決定への適用はリスクとなる．本研究は，LLM が地理空間情報をどこまで理解し，実座標を正しく復元できるのかを検証する最初の一歩として，ジオコーディングに焦点を当て，従来型手法と比較しながら精度・頑健性・処理時間を体系的に評価する．

１.１　研究の目的

本研究の目的は, LLM を用いたジオコーディング手法と従来型手法を，日本の大・中・小規模地域における多様な住所表現に適用し，その位置推定精度，頑健性，および処理時間を体系的に評価・比較することである．本研究により，各手法の精度特性と限界を明らかにするとともに, LLM の地理空間情報理解能力を実座標復元の観点から検証し，従来型手法との補完的関係や実務応用上の可能性を示すことを目的とする．

１.２　先行研究

地名解決（トポニム解決）とジオコーディングに関する先行研究では，主に従来型手法と大規模言語モデル（LLM）を活用した手法の発展が確認される．

従来の地名解決手法では，ルールベースや統計的手法が広く用いられてきた．例えば，ルールベースのアプローチでは住所体系の階層構造を利用して文字列マッチングを行う方法があり (Zandbergen, 2009)，統計的手法では隠れマルコフモデル（HMM）や条件付き確率場（CRF）が地名のシーケンスタギングに応用されている．近年では, 双方向 LSTM-CRF モデルが高い性能を発揮し, 住所要素の抽出精度を向上させたことが報告されている）(Zhengcong Yin, 2023).

一方, Transformer ベースのモデル (BERT, roBERTa など）や LLM（GPT-3 など）の応用が注目されている．GENRE や BLINK といったエンティティリンキングモデルは, Wikipedia などの大規模知識ベースを活用して地名の曖昧性解消を試みているが，非構造化テキストや誤入力に対する頑健性に課題が残る．また，GPT-3 を含む LLM は自然言語理解能力に優れるものの, 内部に地理データベースを持たないため，高精度な座標出力が難しいことが明らかにされている (Xuke Hu, 2024).

近年の研究では, LLM と従来型手法の融合が提案されている．Hu（2024）は，軽量なオープンソース LLM（Mistral，Llama2 など）を微調整し，地名の明確な参照先（市区町村，国など）を推定した後，GeoNames や ArcGIS などのジオコーダーで座標を取得するハイブリッド手法を開発．これにより，従来の投票システムや GENRE よりも高精度（Accuracy@161km で 0.91）かつ計算効率に優れる結果を示した．

*　学生会員　東京大学大学院新領域創成科学研究科（The University of Tokyo）
〒153-0041　東京都目黒区駒場 4-5-29　E-mail：6056775605@edu.k.u-tokyo.ac.jp
**　正会員　東京大学空間情報科学研究センター（The University of Tokyo）

２．検証対象と研究方法

本研究では，まず川崎市をテスト地域として選定し，100 件の実住所サンプルを抽出して，現行の GPT モデルのジオコーディング能力を検証した．ジオコーディング過程における課題を解決し精度を向上させるため，適切なプロンプトを設計し，処理時間も記録した．その後，最も性能の良いプロンプトを用いて，日本国内の大規模・中規模・小規模の各 5 地域（合計 15 地域）における GPT モデルのジオコーディング能力を評価した．

２.１　使用データとベースライン設定

本研究では，日本国内の大・中・小の規模別に分類された各 5 地域，合計 15 地域を対象とする（表 1 参照）．各地域からランダムに 100 件の実住所サンプルを抽出し，区・町丁目・番地レベルまでの詳細情報を含むデータを収集した．

表 1　対象地域表

地域規模	都道府県・市町村名
大規模	東京都，大阪府，横浜市，札幌市（北海道），福岡市（福岡県）
中規模	金沢市（石川県），松山市（愛媛県），熊本市（熊本県），高松市（香川県），盛岡市（岩手県）
小規模	白川村（岐阜県），与那国町（沖縄県），大間町（青森県），小豆島町（香川県），鶴居村（北海道）

本研究における正解座標は，ゼンリンテレポイントデータを用いた．これは全国の住所を号・番地レベルまで高精度に位置付け可能な座標データである．

さらに，従来型ジオコーディング手法との比較のため，Google Maps API による住所変換結果をベースラインとして設定し，LLM 出力との比較を行った．

２.２　使用モデル

本研究では，Azure OpenAI の GPT-4，GPT-4o，および GPT-O1 / GPT-O1 Mini を対象に，地理座標推定能力を検証した．初期検証の結果，GPT-4o は精度面で最も優れていたが，異なる住所に対して同一座標を出力する重複問題が確認された．一方，GPT-O1 および GPT-O1 Mini では，この重複問題は観察されなかった．

そこで，GPT-4o に対してプロンプト設計の改善を行い，重複問題の解消と精度維持を確認した．最終的に，本研究の正式テスト段階では，改善済みプロンプトを適用した GPT-4o を使用した．

２.３　プロンプト設計

本研究では，LLM に対するジオコーディングの指示文（プロンプト）を設計し，精度向上および出力の安定化を図った．初期のプロンプトでは GPT-4o において 59％の重複座標が出力されたが，最終的なプロンプトでは 0 対に低減され，重複問題の解決が確認された．最終的に改善したプロンプトの特徴は以下の通りである．

1)　住所の階層的解析指示

都道府県，市区町村，町丁目，番地・号といった住所の階層を逐次解析するよう明示し，各階層を対応させることで住所の理解を促進した．

2)　精度の明示的制約

出力される緯度・経度の精度を少なくとも小数点以下 6 桁以上と指定し，高精度な座標生成を保証した．

3)　出力形式の厳格化

座標および付随情報の出力形式を厳密に指定し，解析・可視化処理への適用を容易にした．

4)　反復性制約の導入

過去に出力された座標を再利用しないよう制約を設けることで，不確実性や重複座標の問題を低減した．

5)　Few-shot 学習の活用

簡単，中程度，複雑な住所のサンプルを提示する few-shot 形式により，モデルが多様な住所表記に対応できるよう誘導した．

これらの改良により，最終プロンプトを用いた GPT-4o において，精度向上と重複座標の低減が確認された．

基本プロンプト：

```
I have a place in Japan: "{place_name}".
Please provide the approximate latitude and longitude in decimal degrees.
Format your answer as: "Latitude: xx.xxxx, Longitude: yy.yyyy".
If you don't know, make your best guess.
```

改善済みプロンプト：

```
You are tasked with geocoding a Japanese address to latitude and longitude coordinates.
Instructions:
Read and analyze the entire Japanese address carefully, including all hierarchical levels.
In Japan, addresses generally follow this order:
「都道府県 → 市（市区町村）→ 区 → 町 → 丁目 → 番地 → 号 → 建物名・部屋番号」.
Note:
- For 政令指定都市 (designated major cities such as Yokohama, Kawasaki, Osaka), "区 (ku)" refers to administrative wards under the city.
- For 東京都特別区部 (Tokyo 23 Special Wards, e.g., 新宿区, 港区), each "区" functions as a municipality itself, equivalent in status to a city.
Use all details provided (from prefecture down to the smallest available unit, such as block, building number, or apartment room).
Provide coordinates that best match the complete address provided.
```

Do not truncate or ignore any part of the given address; use all provided details to achieve maximum accuracy.

Here, maximum accuracy means:

Latitude and longitude must be reported with at least 6 decimal places (≈ within 0.1 meter precision).

All hierarchical components of the Japanese address must be analyzed.

The output coordinates should correspond to the smallest available unit of the address, not a higher-level centroid (e.g., not just the ward or city center).

Avoid duplicating coordinates from previous queries; treat each address as unique.

If uncertain, provide your best possible guess, clearly based on the complete address.

Output Format:

Exactly format your response as follows:

Latitude: xx.xxxxxx, Longitude: yy.yyyyyy

Do NOT use any Markdown formatting such as ** or *; output plain text only.

Examples:

Example 1:

Address: 東京都　目黒区　青葉台　１丁目　１６－９

Latitude: 35.647322, Longitude: 139.696684

Example 2:

Address: 静岡県　静岡市葵区　相生町　１４－２８－１Ｆ

Latitude: 34.977019, Longitude: 138.392405

Example 3:

Address: 岐阜県　大野郡白川村　大字荻町　２４９９

Latitude: 36.255081, Longitude: 136.9023

Example 4:

Address: 京都府　京都市中京区　木屋町四条上

Latitude: 35.003803, Longitude: 135.770556

Now, please geocode the following address with careful attention to the full details provided:

Address: "{place_name}"

Provide the coordinates below:

2.4　評価指標

本研究では，従来型手法（Google Maps API）をベースラインとし，LLM 出力との相対比較によって性能を評価する．評価指標は以下の 3 点である．

1)　座標精度（距離誤差）

モデルが出力した緯度・経度およびベースライン（Google Map API による座標出力）を，参照座標（ゼンリンテレポイントデータ）と比較し，各モデルおよび地域ごとの誤差分布，中央値，標準偏差を算出・評価した．

2)　処理時間

各モデルが住所入力から座標出力までに要する平均処理時間（秒）を計測し，モデルの計算効率を評価した．

3)　座標の一意性（重複座標の有無）

出力された座標が異なる住所に対して同一座標となる事象の発生を確認し，モデルの出力の一意性・頑健性を評価した．

3. 実験結果

3.1　予備実験

本研究では，最終的に GPT-4o を採用する前に，複数のモデルを対象として精度，処理時間，およびデータ重複率の 3 つの指標で性能比較を行った．各モデルの結果は以下の通りである（表 2～表 4, 単位は km および秒）．

表 2　各モデルの数値指標

モデル	平均誤差	標準偏差	最小誤差
GPT-4	1.76	0.742	0.002
GPT-4o	1.041 ～ 1.289	0.683 ～ 0.830	0.000 ～ 0.001
GPT-O1	1.091	0.721	0.003
GPT-O1 Mini	4.417	3.595	0.002

表 3　各モデルの平均処理時間

モデル	平均時間（秒）
GPT-4	2.48
GPT-4o	1.83
GPT-O1	15.51
GPT-O1 Mini	4.73

表 4　各モデルの座標の一意性

モデル	繰返数
GPT-4	78%
GPT-4o	59%→0
GPT-O1	0
GPT-O1 Mini	10%

表 2～表 4 より，GPT-4o は平均誤差が最小で精度に優れると同時に，処理時間も短く，プロンプト改善によりデータ重複率を 0 に抑えることが可能であった．一方，GPT-O1 は精度は比較的高いものの，処理時間が非常に長く, GPT-O1 Mini は誤差が大きく不安定であった. GPT-4 は精度は中程度であるものの，重複率が高い点が課題であった．

以上より，本研究の本実験では，改善済みプロンプトを適用した GPT-4o を採用した．

3.2　本実験

3.2.1　平均精度の比較

図 1 に，日本大・中・小代表地域における Google map API と GPT によるジオコーディング精度の平均比較を示す．横軸は各地域，縦軸は平均誤差距離（km）である．

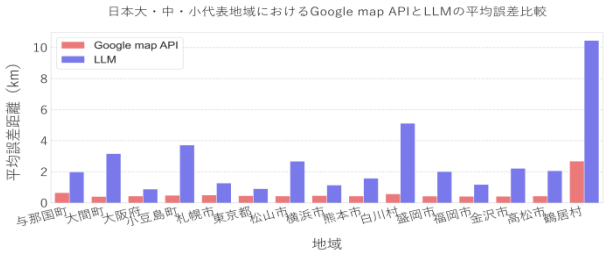


図 1　代表地域における平均誤差

図 1 より，Google map API は全地域で平均誤差が 1km 程度かそれ以下で，精度が安定して高い．GPT は東京都，大阪府など大都市では比較的小さい誤差を示すが，白川村や鶴居村など郊外・農村地域では平均誤差が 5km を超え，鶴居村では 10km を超えるなど，地域の規模や都市化の程度に応じて精度に顕著な差異が見られる．

3.2.2　誤差分布の詳細分析

図 2 は，同地域における Google map API と GPT の誤差分布比較を示す．横軸は各地域，縦軸は誤差距離（km）である．

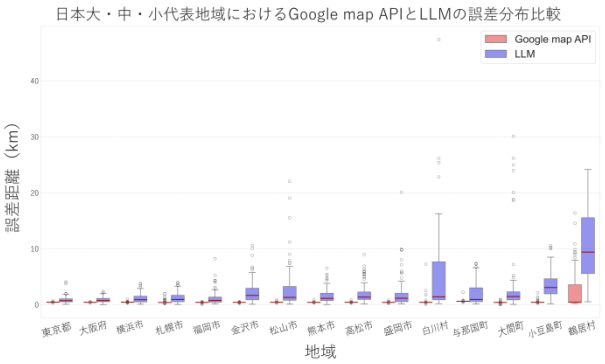


図 2　代表地域における誤差分布比較（箱線図）

図 2 より，Google map API は全地域で誤差が小さく，分布も比較的狭い．GPT については，東京都，大阪府，横浜市など大都市では誤差が小さく，分布も狭いが，白川村や鶴居村などの一部郊外・農村地域では誤差の分布が非常に広がり，大きな誤差も見られる．これにより，GPT の誤差分布は地域の規模や都市化の程度に応じて顕著な差異が存在することが示された．

3.2.3　処理時間および座標の一意性の比較

各地域における GPT-4o のジオコーディング処理時間およびデータ重複率を測定した．全地域の平均処理時間は 1.65 秒 で，概ね 2 秒以内に収まった．出力の一意性は多くの地域で確保されているが，与那国町では重複が顕著（18 件）であった．

4．考察

本研究では，GPT-4o をはじめとする LLM が日本国内の多様な地域において住所から座標を推定できることを示した．大都市圏では平均誤差が 1 km 前後と比較的高精度であった一方，白川村や鶴居村など一部の小規模自治体では誤差が大きく，また与那国町においては繰返し出力が多く観察されるなど，LLM の地理的常識・地名解釈能力には限界も確認された．これらの結果は，LLM の適用可能性が地域特性や訓練データの偏りに左右されることを示唆している．他方，適切なプロンプト設計を行うことで重複出力を回避でき，出力の安定性を改善できることが確認された点は重要である．また，従来のジオコーディング API が入力形式に依存しやすいのに対し，LLM は文脈理解に基づく柔軟な推定が可能であるため，両者を補完的に活用することで精度と頑健性の向上が期待できる．さらに，本研究で測定した処理時間はいずれの地域でも 2 秒以内に収まり，実用性の観点からも有望であることが示された．

5．結論と今後の課題

本研究は，LLM によるジオコーディングの可能性と限界を実証的に明らかにし，特に GPT-4o が従来手法を補完する形で活用し得ることを示した．加えて，プロンプト設計の工夫により精度と一意性が改善されることを確認し，LLM の柔軟性が地理情報処理において有効であることを示した点に意義がある．

今後の課題としては，第一に LLM のジオコーディング精度をさらに高める手法の探究，第二に GPT-4o 以外の最新 LLM を含むモデル間比較による最適モデルの検証，第三に LLM と既存ジオコーディング API を統合したハイブリッド手法の開発が挙げられる．また，少数ショット学習や追加情報（郵便番号・都道府県名など）の付与による精度向上の可能性についても検討が必要である．これらの課題に取り組むことで，LLM に基づく地理情報処理は実用的かつ信頼性の高い次世代技術へと発展することが期待される．

謝辞

研究室の皆様にご支援をいただき，感謝申し上げます．

参考文献

Zandbergen, P. A. (2009). Geocoding quality and implications for spatial analysis. *Geography Compass*, **3**(2), 647-680. DOI: 10.1111/j.1749-8198.2008.00205.x.

Yin, Z. C., Li, D., Goldberg, D. W. (2023). Is ChatGPT a game changer for geocoding - a benchmark for geocoding address parsing techniques. *In Proceedings of the 2nd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Searching and Mining Large Collections of Geospatial Data*, 1-8. DOI: 2310.14360.

Hu, X., Kersten, J., Klan, F., Farzana, S. M. (2024). Toponym resolution leveraging lightweight and open-source large language models and geo-knowledge. *International Journal of Geographical Information Science*, https://doi.org/10.1080/13658816.2024.2405182.

ポスター発表

2025年11月2日(日) 13:00 ~ 13:50 | 会場(金森産業ホール)
[P2] ポスター発表 #2

[P2-20] オフィスビルの外観がもたらす印象の定量的評価

*藤田 晋太朗[1]、沖 拓弥[1]、松尾 和史[2]、今関 豊和[2] (1. 東京科学大学、2. オフィスビル総合研究所)

キーワード：オフィスビル、ビッグデータ、建物外観、印象評価、機械学習、ヘドニック分析、アンケート、地域分析

建物の外観は、その建物のみならず、街路の景観や街の印象にも影響を及ぼす重要な要素であり、筆者らは賃貸住宅を例にその重要性を検証してきた。外観の重要性については、オフィスビルも例にもれないと考えられるが、どのような外観がどのような人々に好まれ、賃料などにどのように影響を及ぼし得るかを定量的に検証した研究は見られない。
そこで本研究では、オフィスビルのビッグデータを活用し、オフィスビルの外観がもたらす印象とその影響を定量的に評価することを目的とする。具体的には、外観画像と属性情報を有するデータベースから、東京23区内のオフィスを計666棟サンプリングする。そして、大都市圏に勤務するオフィスワーカーを対象に印象評価アンケートを行い、その結果を学習させた印象評価推定モデルから出力される印象評価スコアに基づき、回答者属性や建物の年代・規模による印象評価傾向や、賃料などとの関係を分析・考察する。

©一般社団法人地理情報システム学会

ポスター発表

2025年11月2日(日) 13:00 ~ 13:50 | 会場(金森産業ホール)
[P2] ポスター発表 #2

[P2-21] 場所表現の地理的曖昧性を解消するための質問内容生成

*清水 美緒奈[1]、林 純子[1]、久田 祥平[1]、若宮 翔子[1]、荒牧 英治[1]、大内 啓樹[1] (1. 奈良先端科学技術大学院大学)

キーワード：ジオコーディング、Vision-Language Models

場所表現の地理的曖昧性は，ジオコーディングにおいて重要な課題である．従来の研究では，場所表現が登場する文脈情報の有用性が示されている一方で，文脈情報を考慮しても位置が特定できない場合も少なくない．そこで本研究では，複数の候補POIの中から意図された場所を特定するため，周辺環境に基づくユーザへの確認質問を自動生成するフレームワークを提案する．提案手法では，Vision-Language Models（以下，VLM）を用いて各POI周辺の360°ストリートビュー画像を解析し，候補間を識別する手がかりとなる視覚的特徴をテキストとして抽出する．本手法を評価するため，日本国内の多様な地域・カテゴリから曖昧なPOIペアのデータセットを構築し，VLMによる手がかり生成と人手による手がかりの有用性の評価を実施した．その結果，都市部のような周辺景観が似たPOI間では手がかり生成が難しいことが分かった．

©一般社団法人地理情報システム学会

大規模点群におけるノイズ自動除去システムに関する研究
－深層学習による画像認識と 3 次元点群の幾何学的処理を組み合わせた高精度マッチング－

小村風我*・吉田大介・植田凌生*****

A Study on an Automatic Denoising System for Large-Scale Point Clouds
- High-Accuracy Matching through the Integration of Deep Learning-based Image Recognition and Geometric Processing of 3D Point Clouds -

Fuga Komura*, Daisuke Yoshida**, Ryosei Ueda***

Abstract: In recent years, acquiring 3D point cloud data has become easier, but manually removing noise such as people captured during measurement remains labor-intensive and poses a significant challenge for large-scale scans. To address this issue, this research developed a system that detects people outdoors using point clouds and images acquired by a terrestrial laser scanner, then removes them as noise.The proposed method first extracts people from images using an object detection model (YOLOv8) and associates them with the corresponding 3D point cloud. Next, applying Principal Component Analysis (PCA) to the point cloud clearly distinguishes people from flat structures like walls, significantly reducing false detections that are difficult to avoid with image recognition alone. By selectively and precisely removing only the noise, this system contributes to expanding the application range of 3D point cloud data.

Keywords: 3 次元点群（3D point cloud），ノイズ除去（noise removal），画像認識（image recognition），深層学習（deep learning），主成分分析（principal component analysis）

１．はじめに

近年，レーザースキャナの低価格モデルが普及してきたことによって，3 次元点群データの取得がこれまで以上に容易になっている．スマートフォンやタブレットへの LiDAR 搭載に加え，地上設置型レーザースキャナ（TLS）や車両搭載型の計測システム（MMS）の普及により，さまざまな場所で文化財保全やデジタルツインといった用途で 3 次元点群データが活用されるようになった（Remondino, 2011）．しかし，点群データの活用には，計測時に取得してしまう不必要な点群（例えば，人間や車など）の除去作業は大きな課題である．現在，これらのノイズ除去は主として人手に依存しており，大規模な 3 次元計測では作業効率が深刻な課題となっている．特に街や建物を対象とした数十億点規模の点群では，膨大な時間と労力を要する．点群のノイズ除去に関しては，センサ融合に基づくアプローチ（板倉ほか，2024）や統計・幾何的特徴に基づく自動除去（峰岸ほか，2022）が報告されている．一方で，画像認識の分野では Mask R-CNN（He et al., 2017）や YOLO （Jocher et al., 2023）といった高精度な検出モデルが発展しており，これらを点群処理に応用する試みも行われてきた．たとえば Frustum PointNets（Qi et al., 2018）は，2 次元の画像上の物体検出結果から 3 次元的な候補領域を切り出し，その内部の点群に対して 3 次元の検出ネットワークを適用する効率的な手法を提案した．また，PointPainting（Vora et al., 2020）は画像セグメンテーションの結果を点群に付与することで融合的に物体検出を実現している．これらは，2 次元の検出結果を点群に反映させるという点で本研究と方向性が通じているが，いずれも検出後の点群に対して幾何学的特徴を活用した誤検知抑制までは十分に踏み込んでいない．そこで本研究では，画像認識と幾何学的特徴分析に基づく厳密なフィルタリングを組み合わせることで，高精度なノイズ自動除去システムを開発し，点群データの取得から活用までの流れを省人化・効率化することを目的とする．

２．提案手法

本研究では，3 次元点群データにおけるノイズ除去の効率と精度を向上させるため，深層学習を用いた画像認識と，点群の幾何学的特徴解析を組み合わせた手法を提

*　学生会員　大阪公立大学大学院情報学研究科（Osaka Metropolitan University）
〒558-8585　大阪府大阪市住吉区杉本 3-3-138　E-mail：sd24608k@st.omu.ac.jp
**　正会員　大阪公立大学大学院情報学研究科（Osaka Metropolitan University）
*** 非会員　大阪公立大学現代システム科学域（Osaka Metropolitan University）

案する．多くの 3 次元レーザースキャナが点群と同時に画像を取得する特性に着目し，まず画像認識によってノイズ候補を大まかに特定し，画像と点群のマッチングを行う．次に，特定された候補点群に対し，主成分分析やクラスタリングといった幾何学的処理を適用することで，人間と背景構造物との識別精度を高め，誤検知を効果的に抑制する．本手法の処理フローの全体像を図 1 に示す．

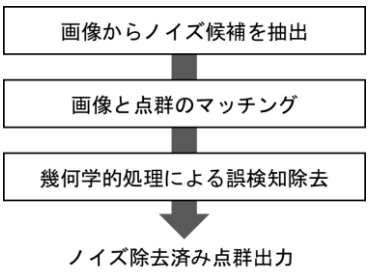


図 1　ノイズ自動除去システムの処理フロー

２．１　画像からノイズ候補の抽出

本手法の第一段階では，点群と同時に取得した 2 次元画像を活用し，ノイズとなりうる人間の領域をピクセル単位で精密に抽出する（図 2）．この処理には，インスタンスの輪郭まで識別可能なセマンティックセグメンテーションモデルである YOLOv8 を採用した．このモデルを画像全体に適用することで，人間の形状に沿ったセグメンテーションマスク（図 2 の赤色の領域）を生成し，対象となるピクセル座標群を正確に把握する．これにより，後続の点群マッチング処理において，矩形のバウンディングボックスを用いる手法よりも背景の誤検出を初期段階で大幅に抑制し，処理対象をより厳密に絞り込むことが可能である．



図 2　YOLOv8 によるセグメンテーション結果
（左：入力，　右：出力）

２．２　画像と点群のマッチング

点群のマッチング処理では物体検出モデルにより，画像上で特定された 2 次元の候補領域を，3 次元点群データと対応付ける（図 3）．この処理は，レーザースキャナの既知の内部・外部パラメータを用いた座標変換によって行う．具体的には，3 次元点群の各点（世界座標）を，式(2.2.1)を用いてカメラの撮像面におけるピクセル座標へと投影する．

$$s\begin{bmatrix}u\\v\\1\end{bmatrix} = K \cdot R \cdot \left(\begin{bmatrix}X\\Y\\Z\end{bmatrix} - T\right) \qquad (2.2.1)$$

ここで，K はカメラ行列，R は回転行列，T は並進ベクトルを示す．また，**u, v** は画像上のピクセル座標を，**s** はスケーリング係数を表す．この計算により，YOLOv8 が検出したピクセル座標に含まれる 3 次元点群を正確に特定し，後続の幾何学的処理の対象として絞り込める．



図 3　画像と点群のマッチング結果
（左：入力画像，　右：マッチングした点群）

２．３　幾何学的処理による誤検知除去

最後に候補として絞り込まれた 3 次元点群に対し，幾何学的な特徴に基づいた精密な検証を行い，誤検出を抑制する（Weinmann et al., 2017）．この処理は，主成分分析（PCA）とクラスタリングを組み合わせた多段階のフィルタリングで構成される．まず，候補点群に対して PCA を適用し，その形状が壁のような平面構造に近いか，あるいは人間のような立体的な構造に近いかを平面性スコアによって定量的に評価する．平面性が高い点群は誤検出と判断して除去する（図 4）．さらに，残った候補点群にクラスタリング手法（DBSCAN）を適用し，検出したい本体である人間から離れた位置にある、誤検知した無関係な点群をノイズとして除去する（Ester et al., 1996）．除去結果を図 5 に示す．

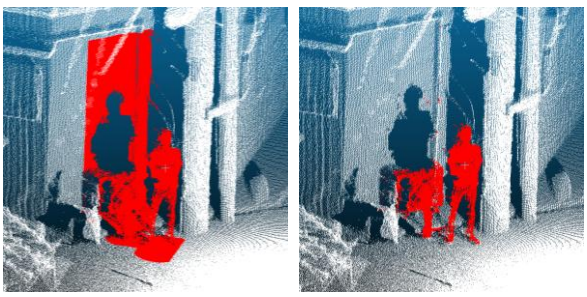


図 4　PCA により壁・地面を除去した結果
（左：PCA 処理なし，　右：PCA 処理あり）

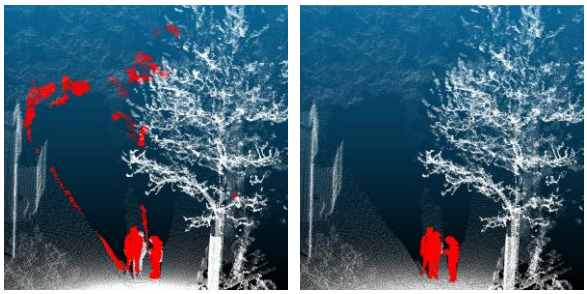


図 5　幾何学的処理により誤検知を除去した結果
（左：誤検知除去なし，　右：誤検知除去あり）

３．手法の検証

３．１　実験環境とデータセット

本検証で用いる 3 次元点群および画像データは，Matterport Pro3 を用いて取得した. 評価用データセットとして，特性の異なる 2 つの環境を選定した．一つは，大阪公立大学杉本キャンパス（60 地点, 80 シーン）である．杉本キャンパスは日常的に多くの歩行者が往来するため，ノイズ源となる人間の検出性能を評価するのに最適であると判断した．もう一つは，重要伝統的建造物群保存地区である大阪府富田林市寺内町（55 地点，68 シーン）である．この場所は壁面などの平面構造物が多く，文化財保全といった実用的な活用場面を想定した誤検出の抑制性能を検証するために適切であると考え選定した．

３．２　評価指標

本研究では，ノイズ除去性能を定量的に評価するため，適合率（Precision），再現率（Recall），そして IoU（Intersection over Union）の 3 つの指標を用いる．各指標は，システムが検出したノイズ点群（Positive）と，手動で付与した正解ラベル（Ground Truth）との比較に基づき，それぞれ式(3.2.1)，式(3.2.2)，式(3.2.3)を用いて算出される．具体的には，システムがノイズとして正しく検出した人間点群を真陽性（TP: True Positive），ノイズとして誤って検出した壁などの背景点群を偽陽性（FP: False Positive），そしてシステムが検出しきれなかった人間点群を偽陰性（FN: False Negative）と定義する．

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \tag{3.2.1}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \tag{3.2.2}$$

$$IoU = \frac{TP}{TP + FP + FN} \tag{3.2.3}$$

３．３　主成分分析におけるパラメータ設定の検証

人間と壁面を識別する高精度なフィルタを設計するため，まず両者の局所的な幾何学的特徴の差異を定量的に評価した．事前にラベリングした人間 10 体と壁面 10 箇所の点群に対し，各点を中心とする近傍点群に主成分分析（PCA）を適用し，共分散行列の固有値($\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3$)から平面性スコア $P = (\lambda_2 - \lambda_3)/\lambda_1$ を算出した．このスコアは，点群が平面に近いほど 1 に，立体的なほど 0 に近づく．

各サンプルの平均平面性スコアに関する記述統計量を図 6 に示す．人間と壁面のスコア分布には明確な分離帯が存在し，重なりが見られなかった．人間の最大スコアが 0. 506, 壁面の最小スコアが 0.681 であったことから，両者を分離する閾値を 0.6 と設定することが統計的に適切であると結論付けた．

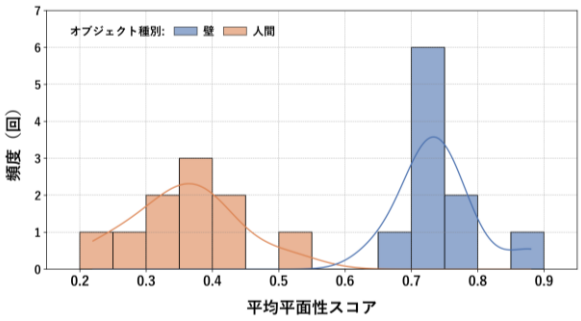


図 6　人間と壁面の平均平面性スコア分布

３．４　ノイズ除去性能の総合評価

前述の 2 つのデータセットを用いてシステム全体のノイズ除去性能を評価し，「画像認識のみの手法」と「提案手法」の性能を比較した．評価結果をそれぞれ図 7（大阪公立大学杉本キャンパス）および図 8（大阪府富田林市寺内町）に示す．

両データセットにおいて，提案手法は「画像認識のみ」の場合と比較して，適合率（Precision）と IoU が大幅に向上した．特に壁面が多い寺内町では，幾何学的特徴に基づいたフィルタが壁の誤検出を効果的に抑制し，適合率が顕著に改善された．これは，PCA による事前検証に基づいたフィルタ設計が，多様な環境下で機能することを示している．

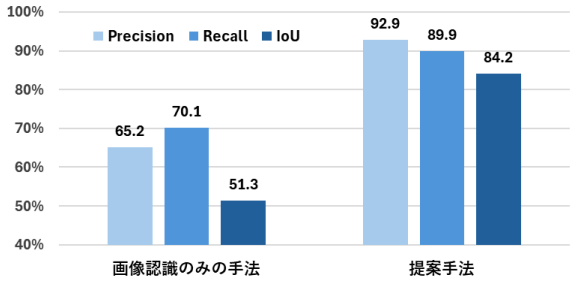


図 7　大阪公立大学杉本キャンパスにおける評価結果

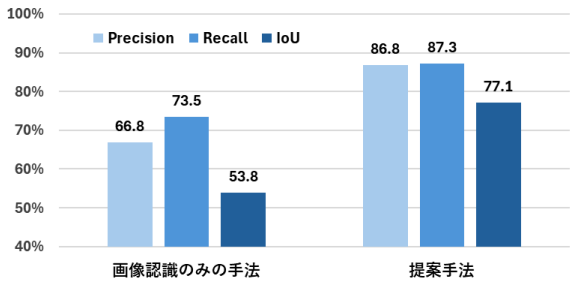


図 8　大阪府富田林市寺内町における評価結果

４．考察

実験結果は，画像認識と，幾何学的検証に裏付けられた点群フィルタリングを組み合わせる提案手法の有効性を示している．画像認識で検知した人間を点群とマッチングさせるのみでは，ずれによる背後の誤検知が多く，これが適合率低下の主な原因であった．提案手法では，PCA やクラスタリングによる形状フィルタが，これらの誤検出（False Positive）を効果的に除去することに成功した．その結果，除去すべきでない構造物を保護しつつ，ノイズのみを選択的に除去することが可能となり，IoU の大幅な向上に繋がったと考えられる．

５．まとめと今後の課題

本研究では，3 次元点群におけるノイズを高精度に自動除去する新たな手法を提案した．本手法は、YOLOv8 による画像認識と，PCA やクラスタリングを用いた幾何学的分析による多段階の点群フィルタリングを組み合わせたものである．評価実験の結果，提案手法による高精度な人間検出が可能であることを確認した．今後の課題としては，静止体のみを対象とした本研究を移動体へ拡張することや，人間以外の多様なノイズ除去への対応が挙げられる．

謝辞

本研究の遂行にあたり，実験場所の提供をしていただいた，大阪府富田林市，岸和田市，和歌山県田辺市に深く感謝します．また本研究は，JST 共創の場形成支援プログラム JPMJPF2115 の支援を受けたものです．

参考文献

板倉健太・林 拓哉・上脇 優人・全邦釘（2024）LiDAR とカメラのセンサーフュージョンによる点群からのノイズ除去．「AI・データサイエンス論文集」，**53**，757-768．

峰岸樹・江守央・佐田達典（2022）点群データに含まれるノイズの統計的・幾何的手法を用いた自動的除去に関する研究．「土木学会論文集 F3（土木情報学）」，**78**（2），149-155．

Ester, M., Kriegel, H. P., Sander, J., & Xu, X. (1996) A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-96)*, 226-231.

He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. (2017) Mask R-CNN. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2961-2969.

Jocher, G., Chaurasia, A., & Qiu, J. (2023) YOLO by Ultralytics. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.7347926.

Qi, C. R., Liu, W., Wu, C., Su, H., & Guibas, L. J. (2018) Frustum PointNets for 3D Object Detection from RGB-D Data. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 918-927.

Remondino, F. (2011). Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning. *Remote Sensing*, 3(6), 1104-1138.

Vora, S., Lang, A. H., Helou, B., & Beijbom, O. (2020) PointPainting: Sequential Fusion for 3D Object Detection. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 4604-4612.

Weinmann, M., Jutzi, B., & Mallet, C. (2017) Geometric features and their relevance for 3D point cloud classification. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, **IV-1/W1**, 157-164.

ポスター発表

2025年11月2日(日) 13:00 ~ 13:50 | 会場(金森産業ホール)
[P2] ポスター発表 #2

[P2-23] 歩行者から見て街路沿いの建物の高さと壁面位置が揃っている場所はどこか？

*薄井 宏行[1] (1. 千葉工業大学創造工学部都市環境工学科)

キーワード：街路景観、建物、高さ、壁面位置、可視領域分析

街路沿いの建物の高さと壁面位置は，街路景観を形成する主要な要素である．本稿では，街路景観の水平方向と鉛直方向の寸法である建物の壁面後退距離と高さを「街路景観のスケルトンの寸法」と定義し，街路上の歩行者から見た街路景観のスケルトンが調和している／いない場所を特定し，地図上で可視化をするための一連の方法を開発した．まず，可視領域分析に基づいて建物の隣棟関係を幾何学的に定義し，隣棟関係にある建物の各寸法（建物の壁面後退距離と高さ）の「差」を計測した．つぎに，両者が小さい／小さくない建物群が空間的に集積している場所を，歩行者から見た街路景観のスケルトンが調和している／いない場所として，空間統計的に把握する方法を開発した．一連の方法を東京23区における複数の街路に適用した結果，歩行者から見て街路沿いの建物の高さと壁面位置が揃っている場所を把握することに成功した．

©一般社団法人地理情報システム学会

首都圏における住宅戸建ての細分化の研究
- 首都圏における空間的偏在性とその動態 -

中山 祥汰

Studies on the Subdivision of Housing in the Greater Tokyo Area
Spatial Distribution and Its Changes in the Greater Tokyo Area

Shota Nakayama

Abstract: 本研究の目的は，首都圏における住宅戸建ての細分化という現象の空間的偏在性とその動態を定量的に明らかにすることである．分析には，3 時点（2005, 2016, 2022 年）のゼンリン建物データを用い, 建物の重心を用いた手法で細分化を特定した．細分化率の空間的集積を把握するためホットスポット分析を行った結果，細分化は首都圏で均一に発生するのではなく，東京 23 区を中心とする都心部に集中するという極めて強い空間的偏在性を持つことを確認した．さらに時点間比較により, 細分化は一過性のものではなく都心部で継続し，その周辺郊外へと波及・拡大している動態を明らかにした．本研究は，細分化が起きる地域を特定するための分析的基盤を構築したものであり，今後は地価や都市計画等のデータと組み合わせることで，細分化の発生メカニズムの解明や，より柔軟な住宅政策の議論へと貢献できる．

Keywords: 細分化 (subdivision), 空間的偏在性 (spatial heterogeneity), ホットスポット分析 (hotspot analysis

１．はじめに

今まで建てられていた戸建てを分割し，複数の戸建てに建て替えることがある．本研究では，このような一つの戸建てが取り壊され，その敷地に複数の小さな戸建てが建設される現象のことを，住宅戸建ての細分化と呼ぶことにする．

１.２　背景

細分化という概念自体は，高度経済成長期における都市圏内の住宅事業の受け皿としてのミニ開発を伴う敷地細分化や宅地化農地の開発としてのミニ開発として認識されてきていた．このような開発は，居住環境の低下を引きおこしたり，密集市街地の生産を招いたりすると考えられてきた．近年では，東京都荒川区や世田谷区のように，都市計画に基づいた最低敷地規模規制を対象とする地域に導入することで，細分化を抑制しようとする動きもある．しかし，敷地規模基準に満たない新規の分割を規制する一方で，閾値を下回る敷地には現状維持が認められるため，細分化という現象の不可逆性につながりうるものである．しかし，住宅戸建ての細分化は，都市内における利用可能な住宅を増やすことで，住宅の入手性を高める可能性もある．次の節でみるように，細分化を伴う住宅に入居する属性によっては，細分化の恩恵を受ける人もいると考えられる．このように，住宅戸建ての細分化は，都市における住宅供給の増加や，入居者の属性の変化など，都市における住宅をめぐる影響を及ぼす可能性がある．

１.３　先行研究

住宅戸建ての細分化に関する研究は，数多く蓄積されているが，二つの研究群に大別した．発生要因に関する研究は，あらかじめエリアを絞ったうえで，細分化がエリアの中の「どのような場所で」起きるかに着目した研究群である．代表的なものとして，敷地面積を要因とする研究が挙げられる．大佛・井上(2006)は，世田谷区を対象に，元の敷地面積が大きいほど分割されやすいことを定量的に示した ．また, 田川(2010)も, 堺市大美野住宅地の調査から，敷地面積が大きいほど分割された住宅の割合が高いと結論付けている ．これらの研究は，細分化のトリガーとして敷地面積が重要な変数であることを明らかにした．また，入居者の属性に関する研究は，細分化された住宅に「どのような人が」住んでいるかに着目した研究群である．堺ら(2006)は，文京区の調査から，分割後の住宅には子供を持つファミリー層が多く入居することを明らかにした ．鈴木(2009)も横浜市金沢区の調査で，小規模住宅の入居者は子育て世帯が多いことを示しており ，細分化が特定のライフステージにある世帯の受け皿となっている可能性を示唆している．

１.４　本研究の位置づけ

本研究は，従来の研究と比較し，異時点間の比較と細

*　学生会員　東京大学新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻（The University of Tokyo）
〒277-8563　千葉県柏市柏の葉 5-1-5　E-mail：shota-n-043@csis.u-tokyo.ac.jp

分化の起きる地域の特定を行うものであるという点で新規性がある．細分化の状況を 2 時点間で比較することで，細分化がより進む地域や，細分化が進む要因を特定することを可能にする．また，細分化が起きている地域に絞って分析を行うのではなく，首都圏全域を対象にすることで，細分化が起きている地域と起きていない地域の違いを明らかにすることを可能にする．これら二点により，住宅戸建ての細分化がもたらす影響への議論の土台を提供することができる．

１.５　本研究の構成

本稿は，以下の構成から成る．2 章で分析に用いたデータと細分化を判定する方法について述べる．3 章では，得られた細分化の状況を町丁目単位で分析し，ホットスポットを特定する．4 章では，得られた結果に対する考察を行い，5 章で本研究の結論を述べる．

２．研究方法

この章では，住宅戸建ての細分化を定量化する上で用いるデータの説明と，細分化の判定方法について説明する．

２.１　用いるデータの説明

本研究では，東京大学空間情報科学研究センターを通して提供されたゼンリンの Zmap TOWN II データを用いる．建物の分類が次の表 1 のようになされている．

基本項目種別	内容
1363	ビル・アパート
1364	個人の家屋
1365	事業所

表 1 データにおける建物分類

本研究は個人の家屋を指す 1364 を対象に分析を行う．地域は，埼玉県・千葉県・東京都・神奈川県の 1 都 3 県とする．時点は，利用可能である 2005 年，2016 年，2022 年の 3 時点とする．

２.２　細分化の判定方法

本研究では，住宅戸建ての細分化をデータから定量化する方法として，次の三つの方法を用いた．これら三つの方法を比較し，最も妥当な方法を用いて，住宅戸建ての細分化を定量化する．細分化の判定を建物ポリゴンごとに行い，結果を 2020 年国勢調査における町丁字単位で集計した結果を比較する．これ以降，古い時点を基準時点，新しい時点を比較時点と呼ぶ．

２.２.１　方法 1: 重なり判定

この方法は，基準時点の建物ポリゴンと比較時点の建物ポリゴンが重なっているかどうかを利用し，細分化を判定する． QGIS を利用し，基準時点と比較時点の建物ポリゴンの交差をとることで，重なりを判定する．事前に振っておいた比較時点の建物ポリゴン ID を基準時点の建物ポリゴンに引き継ぐことで，基準時点の建物ポリゴンが比較時点のどの建物ポリゴンと重なっているかを特定する．基準時点の建物ポリゴンが比較時点で複数の建物ポリゴンと重なっている場合，その基準時点の建物ポリゴンは細分化したと判定する．この方法では，基準時点の建物ポリゴンが比較時点とわずかでも交差している場合でも細分化と判定する．

２.２.２　方法 2: 重なり判定＋面積基準

方法 2 は，方法 1 に加えて，重なりの面積基準を設けることで，重なりがわずかな場合を除外することを目的とする方法である．方法 1 と同様に，基準時点の建物ポリゴンと比較時点の建物ポリゴンの重なりを特定する．重なった面積を計算し，基準時点の建物ポリゴンの面積に対する重なりの割合を計算する．基準時点の建物ポリゴンが比較時点で複数の建物ポリゴンと重なっており，かつ，重なりの割合が一定以上である場合，その基準時点の建物ポリゴンは細分化したと判定する．ここでは，重なりの基準を 80%とした．

２.２.３　方法 3: 重心比較

方法 3 は，比較時点の建物ポリゴンの重心をとり，その重心が基準時点の建物ポリゴンの内部にいくつ存在するかをカウントすることで細分化を判定するものである．内部に含む重心の数が 2 つ以上である場合，その基準時点の建物ポリゴンは細分化したと判定する．この方法は，比較時点の建物形状が L 字型やコの字型である場合に，細分化と判定できない可能性があることに注意が必要である．

２.３　比較結果

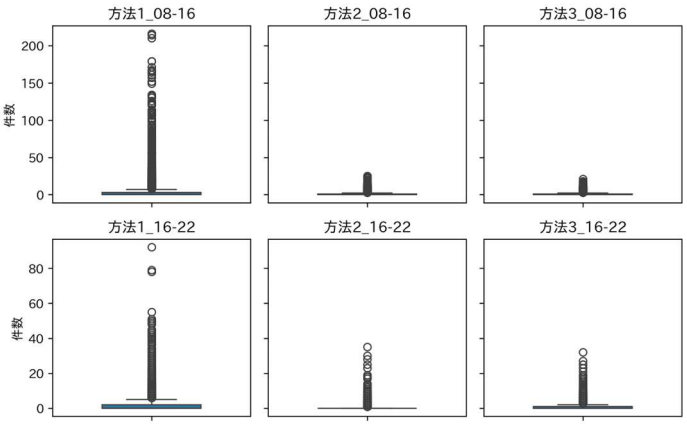


図 1　方法別の集計結果

三つの方法で判定した細分化件数を町丁目単位でまとめたもの結果を図 1 にまとめた．方法 1 を除けば，上段の 2008 年から 2016 年も下段の 2016 年から 2022 年も似通った結果が得られた．方法２， 3 から細分化が起きなかった町丁目が多く，0 付近に集中し，件数が 10 件を超

える町丁目がまばらに存在することがわかる．方法 1 は，重なりがわずかな場合でも細分化と判定するため，他の二つの方法と比較して細分化件数が多くなる傾向があると考えられる．方法 2，3 ともに同じ傾向を表す結果が得られたため，どちらを用いても分析の妥当性は揺るがないと考えられる．本稿では，そのうち重心比較（方法 3）の結果を用いた分析を行う．

３． 細分化の空間分布

細分化が起きている地域の空間分布を把握するために，細分化率(=基準時点における町丁目内の細分化した建物の数/町丁目内の建物の数)に対して，モラン統計量を計算し，ホットスポットを特定した．モラン統計量は，空間的に近い地域が似た値を持つかどうかを示す指標である．モラン統計量が正の値を持つ場合，近い地域が似た値を持つことを示し，負の値を持つ場合，近い地域が異なる値を持つことを示す．モラン統計量が有意に正の値を持つ場合，その地域はホットスポットであると判断する．今回は p 値が 0．05 以下の場合に有意と判断した．モラン統計量の計算には，空間重み行列として，隣接行列を用いた．

３．１ 2005-2016 年の比較

この期間における細分化率のホットスポットを図 2 に

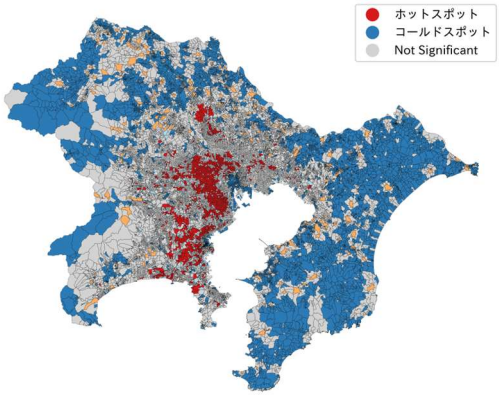


図 2 2008 年から 2016 年の細分化比率のホットスポット分析

示す．大まかな傾向として，東京都の都心部から城西地域，神奈川県にかけてのホットスポットの連なりと，さいたま市周辺におけるホットスポットが確認できる．また，埼玉県の北西部，千葉県の大半は，住宅の細分化があまり行われていない地域が集まっているエリアであるコールドスポットであることが確認できる．

３．２ 2016-2022 年の比較

次に 2016 年から 2022 年にかけての細分化率のホットスポットを図 3 に示す．この期間においても，東京都心部を中心に，埼玉県南部，千葉県北西部，神奈川県北東部にホットスポットが分布していることがわかる．特に，東京都心部では，細分化率が高い地域が多く存在していることがわかる．一方で，千葉県太平洋側や，埼玉県北部，神奈川県西部にはホットスポットがほとんど存在していないことがわかる．まとめると都心部では集中的に発生し，郊外では有意にならないまだら模様，さらに離れた周辺部では依然として低調なコールドスポットという傾向が読み取れる．

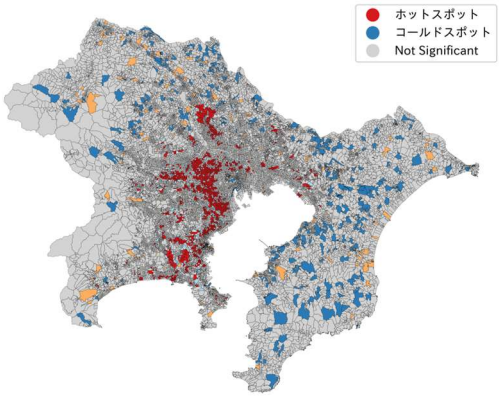


図 3 2016 年から 2022 年の細分化比率のホットスポット分析

３．３ 2005-2016 年と 2016-2022 年の比較

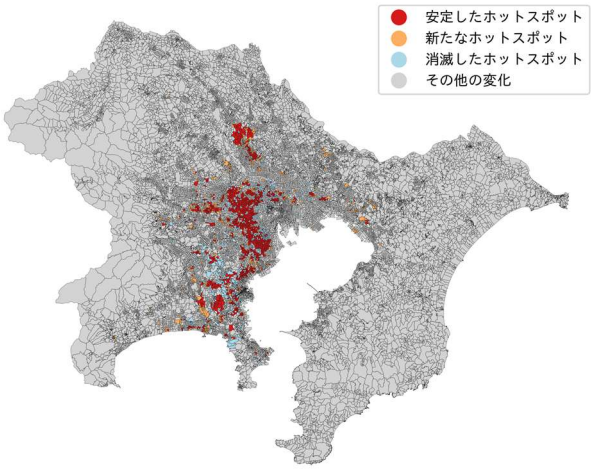


図 4 時点間比較のホットスポット

上で見た二つのホットスポットを 2 時点で比較することで，新たに発生したホットスポットや継続しているホットスポットの特定を行った．はじめに安定したホットスポットは，東京都 23 区の中央部から南西部，そして横浜市・川崎市の地域に集中していることが読み取れる．また，さいたま市のホットスポットも継続的であることがわかる．新たに発生したホットスポットは，安定したホットスポットの周辺部に点在している様子がうかがえる．最後に消滅したホットスポットは，数としては多くないものの，都心部や横浜市周辺に確認できる．

４． 考察

従来の研究でも指摘があったように住宅の細分化という現象が極めて強い「空間的偏在性」を持つことがわか

る．つまり細分化は首都圏で均一に発生するのではなく，特定のエリアに集中している．東京 23 区の都心部や横浜・川崎の一部に著しく集中している細分化は一時的な現象ではなく，2 つの期間で一貫してホットスポットであり続けることで定着したものになっている．これは，高い地価と住宅需要を背景にした土地の効率利用の手段としての細分化という可能性を示唆している．先行研究の入居者の属性に着目すれば，安定したホットスポットでは，地価が高くても都心へのアクセスを重視する子育て世帯の継続的な需要があるのではないかという仮説が立てられる．また「新たなホットスポット」が既存のホットスポットの周辺に現れていることから，細分化の動きが郊外エリアへと地理的にシフトしているトレンドは予想できる．これは，都心部の地価高騰などの影響を受け，細分化の発生が少しずつ外側へシフトしている可能性を示している．

５． 結論

本研究は，首都圏における住宅戸建ての細分化という現象を，3 時点の建物データを用いて定量的に分析した．分析手法の比較検討により，重心比較と面積基準を設けた重なり判定が，細分化を捉える上で妥当な結果をもたらすことを確認した．

本研究の最大の成果は，細分化が首都圏で無秩序に発生するのではなく，極めて強い空間的偏在性を持つことを実証した点にある．細分化は特定のエリアに集中して発生しており，さらに 2 時点比較から，その発生は一過性のものではなく，特定のエリアで継続していることも明らかになった．これにより，細分化が起きる地域を具体的に特定できたため，今後の詳細なケーススタディに向けた重要な基盤を構築できた．

一方で，本研究は多くの発展可能性を残している．今後は，本研究で構築した分析基盤を土台として，交通利便性，人口構成，地価，都市計画といったデータを組み合わせることで，「なぜそこで細分化が起きるのか」というメカニズムの解明に迫ることができる．例えば，「なぜ千葉方面では細分化が少ないのか」「東京から神奈川へと連なるエリアと，さいたま市周辺のホットスポットでは，発生のメカニズムが違うのか」といった，より踏み込んだ問いへの挑戦が期待される．将来的には，こうした詳細な分析を通じて，画一的な土地利用規制（＝場所における規制）のあり方を問い直し，入居者の属性などを考慮した，より柔軟な住宅政策（＝人における規制）の重要性を議論するための実証的根拠を提供できると考える．

謝辞

本研究は、東京大学 CSIS 共同研究（No. 1297）による成果である（利用データ: Zmap TOWN II データ（ZENRIN CO.提供））

参考文献

大佛俊泰，井上猛（2006）．“画地の分割ポテンシャルと分割パターンのモデル分析．” 『日本建築学会計画系論文集』，71(605)，pp. 151-157.
https://doi.org/10.3130/aija.71.151_4
堺総一郎，中西正彦，中井検裕（2006）．“東京都心地域における敷地分割を伴う戸建住宅の発生と居住者の移住傾向に関する研究．” 『都市計画論文集』，41(3)，pp. 971-976.
https://doi.org/10.11361/journalcpij.41.3.971
鈴木佐代，石渡瑞枝，沖田富美子（2009）．“敷地分割制限のない戸建住宅地における宅地の細分化と新規転入世帯の動向．” 『福岡教育大学紀要．第五分冊，芸術・保健体育・家政科編』，58，pp. 143-150.
https://fukuoka-edu.repo.nii.ac.jp/records/1544
田川圭佑，加我宏之，下村泰彦，増田昇（2010）．“昭和初期に開発された堺市大美野住宅地における住宅更新と接道部の緑の変化実態に関する研究．” 『都市計画論文集』，45(3)，pp. 775-780.
https://doi.org/10.11361/journalcpij.45.3.775

ポスター発表

2025年11月2日(日) 13:00 ~ 13:50 | 会場(金森産業ホール)
[P2] ポスター発表 #2

[P2-25] 大規模住民アンケートデータを用いた子どもの医療費助成の評価要因の分析

*堀内 仁[1]、秋山 祐樹[1] (1. 東京都市大学)

キーワード：住民調査データ、医療費助成、統計分析、子育て支援、重回帰分析

政府が掲げる少子化対策の一環として、令和5年6月に「こども未来戦略方針」が閣議決定された。この方針に基づき、従来、自治体による医療費助成拡充の障壁とされてきた国の減額調整措置が廃止された。これを受けて全国の自治体で高校生世代までの助成を拡充する動きが加速しているが、制度設計は各自治体に委ねられているため、対象年齢や所得制限の有無といった助成内容に大きな地域差が生じている。さらに、子育て世帯の誘致を目的とした自治体間の助成競争が財政を圧迫するという構造的な課題も顕在化している。そこで本研究では、大規模な住民アンケートデータを用いて、住民がこどもの医療費助成制度のどのような点を評価し、重要視しているのかを定量的に分析する。その分析結果に基づき、受益者の満足度と制度の持続可能性を両立させるための具体的な政策提言を行い、今後の適切な医療費助成のあり方を示すことを目的とする。

©一般社団法人地理情報システム学会

地籍調査の進捗に関する地理空間分析
－市区町村の担当部署に着目して－

佐藤佳乃*・堤盛人**

Geospatial Analysis of Cadastral Survey Progress in Japan
- Focusing on Municipal Departments in Charge –

Kano SATO*, Morito TSUTSUMI**

Abstract: In Japan, frequent natural disasters highlight the need for accurate land information to support recovery. Yet, even after more than 70 years of cadastral surveys under the 1951 Land Survey Act, only about 53% of the country has been covered. This study uses cadastral survey data from the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism and analyzes it at the municipal level. The results show that: (1) the government departments in charge differ by region, reflecting historical urban growth; (2) survey progress varies across departments, with civil engineering offices often slower; and (3) land use affects progress, as agricultural areas tend to advance faster.

Keywords: 地籍調査（cadastral survey），国土調査（land survey），市区町村（local government），行政部門（administrative department）

１．はじめに
１.１　研究背景・目的

日本の土地課題は多岐にわたる．その中で，災害の頻繁な発生状況から，迅速な復興のために土地情報の整備が求められている．

日本では昭和 26 年（1951 年）に制定された国土調査法に基づき，70 年以上にわたって地籍調査が進められているが，現時点でも，その進捗率は全国で 53% ほどに過ぎない (国土交通省，2025)．地籍調査の主体は市区町村であるが，多くの場合行政運営において地籍調査の優先順位はさほど高くないのが実情である．なお，本稿では，市町村に加え，特別区である東京 23 区を含め「市区町村」と称する．地籍調査の重要性は，少なくとも市区町村においては広く認識されていると思われるものの，事業の実施負担は大きく，実施の直接的な動機は少ないことが進捗を妨げていると考えられる．

本研究の目的は，市区町村の担当部署に着目し，調査進捗との関係性について考察することにある．進捗率は全国一律ではなく市区町村間の差異が大きい．その差異を担当部署の側面から考えることで，今後の地籍調査の進捗に重要な示唆や，政策検討材料を提供する．

１.２　研究の位置づけ

日本の地籍調査に関しては，大場(2007)や栄藤ら(2003)などを除き，学術的な研究の蓄積が少ない．そのような中で，那須 (2019) はリモートセンシングを用いた山村部の地籍調査技術について考察している ．地籍調査においても，技術革新による事業促進可能性への期待が大きい．

一方，金森ら(2022)は，都道府県の進捗率に関するクラスター分析を行うことで，都道府県ごとに農用地や林地など土地利用に着目し．土地利用別にいつ進捗率が伸びたか，歴史的経緯を基に分類している．さらに，金森ら(2023) では，残事業費について，全国の土地利用ごとに試算している．さらに，金森ら(2023)では，地籍調査の遅延の要因として予算不足をあげている．しかしながら，全国の傾向を把握することにとどまり，市区町村の特徴を踏まえた政策提言に課題が残るといえる．

本研究の新規性は 2 点ある．第一に，地籍調査の進捗について考察する上で，進捗率向上の要となる市区町村の担当部署に着目しているという点である．第二に，進捗率を市区町村単位で地理空間的に分析する点である．その際，土地利用情報と組み合わせることで，その特徴を把握することを試みる．

２．市区町村別進捗率

国土交通省は，地籍調査 web サイトを管理運営し，情報発信をしており（https://www.chiseki.go.jp/situation/status/index.html ），毎年，市区町村別進捗率一覧を公表している．なお進捗率を「地籍調査対象面積に対する，地籍調査実施済み地域面積」と定義している．最新の令和 6 年度のデータに基づく進捗率を図 1 に示す．地方別では，北陸，近畿地方の市区町村で進捗率が低く．地域によっ

*　学生会員　筑波大学大学院システム情報工学研究群社会工学学プログラム（University of Tsukuba）
〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1　Email : **s2420437@u.tsukuba.ac.jp**
**　正会員　　筑波大学 システム情報系　社会工学域（University of Tsukuba）

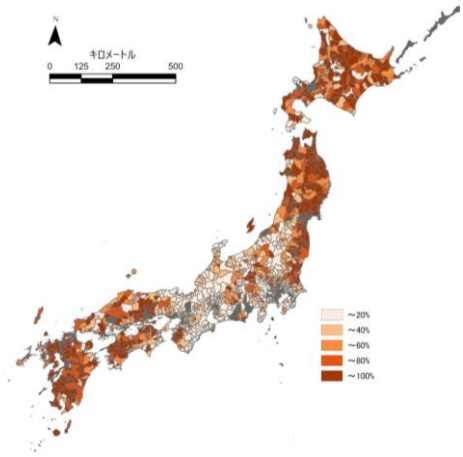


図 1 市区町村別進捗率

て偏りがあると読み取れる．さらに，同じ都道府県も市町村によってばらつきがあることも読み取れる，例えば北海道は，道全体の進捗率は 62%であり全国平均を上回るが，内陸部や南部には，20%に満たない市区町村も存在する．一筆あたりの面積が大きいことや，開拓の歴史を持ち，一筆あたりの面積が大きい北海道であるが，進捗率には市町村ごとで相当な差がある．土地利用だけでなく，それぞれの市区町村で，何等かの要因があることが考えられる．そこで，次節以降では，まず，それぞれの市区町村の担当部署ごとに特徴を分析する．

３．地籍調査担当部署

３.１　担当部署データ

本節では市区町村別地籍調査担当部署分類データを使用する（2023 年集計結果データ）．このデータは，全国 1741 市区町村を対象に調査したものであり，国土交通省からご提供いただいた．これによると，例えば茨城県では，つくば市では建設部道路計画課，石岡市では経済部地籍調査課が担っているなど，担当部署の名称だけでなく部門も多岐にわたっていることが分かる．

そこで，市区町村の地籍調査担当部署を表 1 に示すような規則に基づいて 5 つの部門への分類を行う．なお，複数の文字列を含む場合は，優先順位を農林，土木，環境，企画の順に付与することとする．その他部門には例えば総務課，税務課などが分類されている．

表 1　5 部門の分類規則

部門名	含まれる文字列
企画	″企画″、″総合″、″政策″、″地域″、″振興″のいずれか
環境	″生活″、″環境″のいずれか
土木	″土木″、″建築″、″都市″のいずれか
農林	″農″、″林″のいずれか
その他	上記ルールにあてはまらない部課名

３.２　担当部署と進捗率データとの関係

地籍調査の位置づけは市区町村に委ねられ，担当部署も異なる（表 2 の 1 列目）．1741 市区町村のうち，827 市区町村(47.5%)が土木で最多，次いで 511 市区町村(29.3%)がその他，207 市区町村(11.9%)が農林，123 市区町村(7.1%)が企画，27 市区町村(1.6%)が環境である． 43 市区町村は，担当部署が不明であり，以降は除外した．

表 2 の 2,3 列目に担当部署別に進捗率の平均値と中央値を，図 2 に部門別進捗率を示した．表 2 と図 2 から 3 点が読み取れる．第一に，その他部門の進捗率が高い．特に中央値は 95%であり，ほとんどの市区町村で完了している．図 2 から，主に九州地方や東北・北海道に位置している．地籍調査が概ね完了したため，総務課・税務課などの部署が担当する可能性もあり，過去の経緯をさらに調べる必要がある．第二に，土木部門では，中央値が平均値より 12 ポイント低い．特に関西地方は土木部門が多く，その進捗率は低い．土木や都市計画関連部署が地籍調査を担当している場合も多い．このように担当部署ごとに進捗率の平均値や中央値が大きく異なり，特徴が見いだせる．ただし，2023 年時点での担当部署の名称に基づく結果であり，過去の部署変遷や進捗率推移は考慮しておらず，部署による傾向なのか，あるいは進捗率の結果としての部署の傾向なのかは分からない．

４．担当部署と土地利用との関係

４.１　土地利用データ

第 7 次個億度調査事業十箇年計画では，新たに優先実施地域が定められるなど，土地利用情報や区画整理の計画を基に優先順位付けを進めている（国土交通省, 2020）．そこで，本章では土地利用と担当部署との関係にも着目し，基礎的な分析を提供する．

国土数値情報から入手した土地利用細分メッシュデータ（最新 2021 年度データ）を用いて，市町村ごとの土地利用の割合を計算する．本データでは，100m メッシュに対して，田，森林，建物用地など，12 分類の土地利用区分情報を有する．そこで，市町村ごとに交差するメッシュを抽出し，12 分類それぞれのメッシュ数と割合を計算した．なお，割合は，河川地および湖沼，海浜，海水域を除いて算出した．

本章では，茨城県の 44 市町村に絞り分析を進める．同県を対象とする理由は 2 点ある．第一に，市区町村ごとの面積計算には時間を要し，全国市区町村を対象とする前段階として小規模で行う．第二に，茨城県は農業算出額全国第 3 位と農業が盛んである（農林水産省，2023）一方で，県南を中心として東京通勤圏でもあり，さらに県東は鹿島臨海工業地帯，県北部は過疎化が深刻であるなど多様な側面を持つ．首都圏と農村の 2 つの側面を持ち，全国の傾向をつかむ上での参考となる可能性が高い．

表 2　部門ごとの地籍調査進捗率の平均値・中央値

	市区町村数(%)	進捗率平均値	進捗率中央値
企画	123(7.1)	49.4	40.5
環境	27(1.6)	66.6	93.0
土木	827(47.5)	41.0	29.0
農林	207(11.9)	46.8	43.0
その他	511(29.3)	73.8	95.0

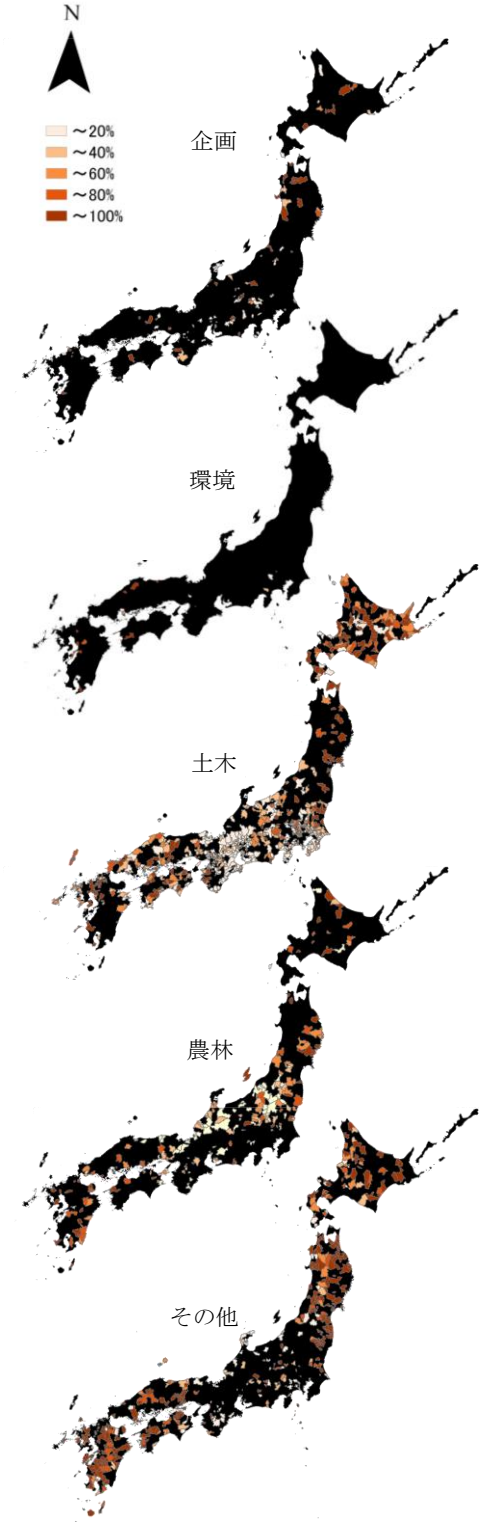


図 2 担当部署別地籍調査進捗率

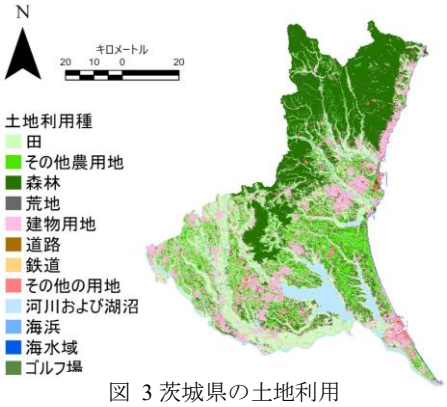


図 3 茨城県の土地利用

表 3　土地利用主の定義と茨城県内メッシュ数

土地利用種	定義	メッシュ数	割合[%]
田	湿田・乾田・沼田・蓮田及び田	111610	18.9
その他の農用地	麦・陸稲・野菜・草地・芝地・りんご・梨・桃・ブドウ・茶・桐・はぜ・こうぞ・しゅろ等を栽培する土地	96395	16.3
森林	多年生植物の密生している地域	197917	33.4
荒地	しの地・荒地・がけ・岩・万年雪・湿地・採鉱地等で旧土地利用データが荒地であるところ	6266	1.1
建物用地	住宅地・市街地等で建物が密集しているところ	103246	17.4
道路	道路など	3751	0.6
鉄道	鉄道・操車場など	1065	0.2
その他の用地	運動競技場、空港、競馬場・野球場・学校・港湾地区・人工造成地の空地等	22465	3.8
河川地及び湖沼	人工湖・自然湖・池・養魚場等で平水時に常に水を湛えているところ及び河川・河川区域の河川敷	40376	6.8
海浜	海岸に接する砂、れき、岩の区域	776	0.1
海水域	隠顕岩、干潟、シーパース	1729	0.3
ゴルフ場	ゴルフ場のゴルフコースの集まっている部分のフェアウエイ及びラフの外側と森林の境目を境界	6189	1.0

4.2　担当部署と土地利用との関係

茨城県の土地利用図を図 3，メッシュ数を表 3 の 3 列目，割合を 4 列目に示す．森林が 33.4%を占め最大で，次いで田が 18.9%，建物用地が 17.4%である．次に，3 章で扱った担当部署との関係を見ていく．農林部門と土木計画部門の 2 部門に着目し，土地利用における農林山野の割合と，土木計画に関連する都市部の割合に着目する．田，その他の農用地，森林，荒地の 4 種の合計面積を「農林関係」，建物用地，道路，鉄道，その他の用地を「土木関係」として，それぞれ進捗率との関係を図 4 に示す．土木関係土地利用割合と進捗率には負の相関がある．一

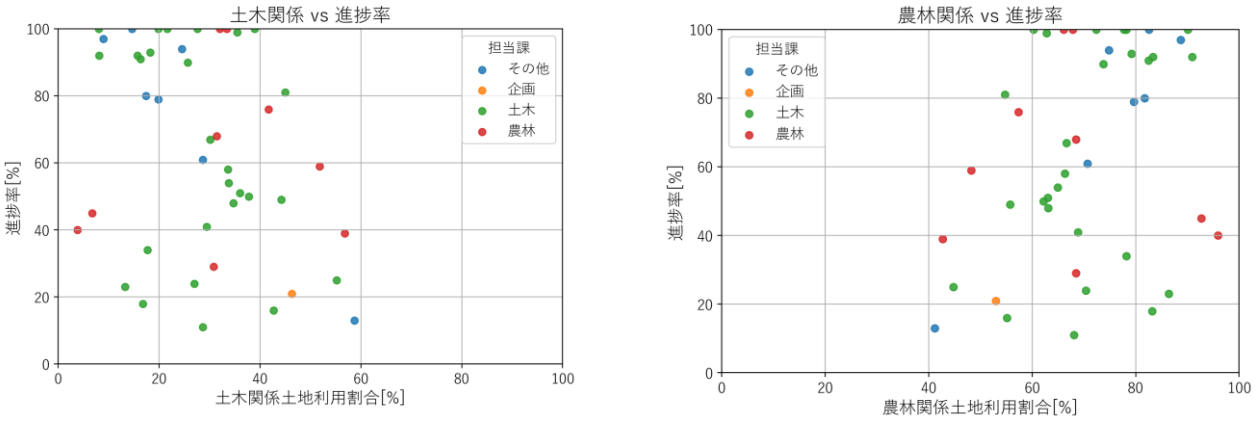


図 4 茨城県 44 市町村における土地利用と地籍調査進捗率

般に都市部において，進捗率が低いことを示しているといえる．一方で，農林関係土地利用割合と進捗率には正の相関がある．これは，多くの場合権利関係が複雑ではないことや，一筆の面積が大きいことから，面積あたりの地籍調査の進捗率が高いと推察する．

土木関係の土地利用割合が最も高いのは神栖市で 58.7%であり，同市の部門はその他であるが，進捗率は 13%と低水準であり，前章で示した全国の傾向と異なる．また，農林関係の土地利用割合が 95.9%と最も高いのは大子町であり，部門は農林，進捗率は 40%であった．宅地の土地利用割合が非常に低く，地籍調査の必要性をあまり感じていない可能性がある．

5．おわりに

本稿では，地籍調査に関して，担当部署を起点に土地利用や進捗率との関係を分析し，下記 3 点の結果を得た．第一に，地籍調査担当部署は地域によって偏りが存在する．東北・九州地方ではその他が多く，関西・近畿では土木が多い．都市形成の歴史と関係すると推察されるが，過去の経緯を調べる必要がある．第二に，担当部署ごとに進捗率にはばらつきがある．特に，土木部門では進捗率が低く，その他部門では進捗率が高い．この点は，先述の通り，部署による傾向なのか，進捗率の結果としての部署の傾向なのかは現時点では不明である．第三に，農地や都市部の割合と進捗率には相関がある．茨城県 44 市町村では，全体としては農林関係土地利用割合が高いと進捗率も高く，土木関係土地利用割合が高いと進捗率は低くなる傾向を示す．ただし，全く逆の結果を示す市や町もあり，市町村ごとに様々な要因を探る必要がある．

表 4　分析の整理

	使用データ			対象地域
	担当部署	進捗率	土地利用	
2 章		○		全国
3 章	○	○		全国
4 章	○	○	○	茨城県

本研究では，地籍調査の担当部署に関しては，表 4 に整理したような基礎的な分析にとどまっている．歴史的背景や経緯との関係，深刻化する所有者不明土地問題との関連分析など，多面的により詳しい調査が必要である．

謝辞

本研究は，株式会社ルリアンと筑波大学との共同研究の一環で実施した．また，本研究の遂行に際し、国土交通省地理空間情報課地籍整備室よりデータの提供を賜った。ここに記して謝意を表する．

参考文献

国土交通省（2025）全国の地籍調査の実施状況，＜https://www.chiseki.go.jp/situation/status/index.html＞, 2025 年 8 月 30 日最終閲覧

大場亨（2007）地籍調査の立合の前に実施されている測量の実施頻度と必要性．「都市計画論文集」，42,1,pp.130-135

栄藤公彦・田中祥一（2003）地籍調査の歩みと地理情報システム（GIS）構築の取り組み，「農業土木学会誌」，71,4,pp.329-334,a3

金森紘代，藤井聡（2022）地籍整備の変遷から見る都道府県のクラスター分類と考察．「土木学会論文集 D3（土木計画学）」，78,6, pp. II_355-II_363

那須充（2019）リモートセンシング技術を用いた山村部の地籍調査技術について．「写真測量とリモートセンシング」，58,2,pp.62-67

金森紘代, 藤井聡 (2023) 地籍調査の遅延問題に関する考察．「土木学会論文集」，79,3, 22-00039

金森紘代，藤井聡（2023）地籍調査完了のための残事業費試算と推進策の検討．「土木学会論文集」，79,11, 22-00205

国土交通省（2025）市区町村別進捗率一覧（令和 6 年度末時点），地籍調査ウェブサイト＜https://www.chiseki.go.jp/situation/status/index.html＞，2025 年 8 月 31 日最終閲覧

国土交通省（2020）第 7 次国土調査十箇年計画の概要，<https://www.chiseki.go.jp/plan/ten-year-plan/files/7th_plan_summary.pdf>，2025 年 8 月 31 日最終閲覧

農林水産省(2023)農林水産統計，＜https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/nougyou_sansyutu/attach/pdf/shotoku_kenbetu_22.pdf＞

埼玉県さいたま市における建物レベルの CO_2 排出量推定

村上拓*・堤田成政**

Estimation of Building-Level CO_2 Emissions in Saitama City, Saitama Prefecture

Taku Murakami*, Narumasa Tsutsumida**

Abstract: The increase in carbon dioxide (CO_2) emissions and the resulting global warming have become common challenges. The Paris Agreement of 2015 declared a global commitment to reduce greenhouse gas emissions, and each country has set its own targets to work toward reducing CO_2 emissions. To formulate effective emission reduction strategies, it is essential to understand in detail where and how much CO_2 is currently being emitted. Here, we developed a building-level bottom-up CO_2 emission estimation method to understand the spatial distribution of emissions, in order to support the formulation of effective reduction strategies. The proposed bottom-up approach utilizes 3D building data and building-specific emission factors to estimate and visualize emissions for each individual building. This enables high-resolution carbon mapping and contributes to spatially targeted emission reduction planning. Additionally, the method allows integration with urban planning data, supporting decision-making in cities. The proposed framework is expected to support more accurate and practical CO_2 reduction strategies at an urban scale.

Keywords: CO_2 排出(CO_2 emission)，ボトムアップアプローチ(Bottom-up approach)，3D 都市モデル(3D city model)，高解像度炭素マッピング(High-resolution spatial carbon mapping)

１．はじめに

人間活動の拡大に伴う CO_2 などの温室効果ガスの排出量の増加は，地球温暖化の進行の一因であるとされており（IPCC, 2023)，異常気象の頻発化や激甚化などを通して我々の生活に悪影響を及ぼす可能性がある．また，世界のエネルギー消費の約 3 分の 2 及び CO_2 排出量全体の 70％以上は都市域に由来するとされており（UNDCCC, 2020)，気候変動対策において都市は主要な CO_2 排出源であると考えられている．そのため都市域での温室効果ガスの排出を抑制し，持続可能な社会の実現を目指すことが急務である．

こうした背景を受けて，2015 年の国連気候変動枠組み条約締約国会議で採択されたパリ協定では，産業革命以前の水準と比べて，気温上昇を 2℃未満，可能であれば 1.5℃未満に抑えることを全世界的に目指すことが決められた（UNFCCC, 2016)．この目標の達成に向け，各国が適切な排出削減目標を設定し CO_2 排出量削減の動きが活発化してきている．日本政府においても 2030 年度の温室効果ガス 46%削減(2013 年度比)，2050 年のカーボンニュートラル実現という国際公約を掲げた(環境省，2021)．各省庁や自治体は脱炭素社会の実現に向け，排出削減目標の設定や，温室効果ガスの排出量の算定，排出削減に取り組んでいる．こうした削減目標を達成するためには，都市構造をコントロールする都市計画情報などの都市計画と連動した低炭素化施策が重要となる．そのため，効果的な削減案の立案とその進捗を定期的に評価するためには，CO_2 排出量や，その空間的分布を高い空間解像度で把握することが求められる．

CO_2 排出量推定やその空間分布分析の分野では，これまで多くの研究が進められており，手法は大きく「ボトムアップ型」と「トップダウン型」の 2 つに大別できる．トップダウン型の手法は衛星観測データを用いて大気中の CO_2 濃度を測定する手法である．衛星観測データが公開されており容易に利用が可能であるため，多くの研究で用いられてきた．しかし Li et al. (2024)は，衛星観測データの粗い空間解像度が CO_2 濃度検出に大きな影響を与えることを示し、特に 1 km を超える粗い空間解像度では小規模排出源の検出が困難になることを指摘した．

* 学生会員 村上拓 埼玉大学大学院理工学研究科 （Saitama University）
〒 338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 E-Mail：t.murakami.386@ms.saitama-u.ac.jp
** 正会員 堤田成政 埼玉大学大学院理工学研究科 （Saitama University）

また Fuentes Andrade et al. (2024)は，大気中の乱流や風速変動が CO_2 濃度検出の不確実性に大きな影響を及ぼす点を指摘した．これらの制約から，トップダウン型手法では市区町村レベルといった高い空間分解能での CO_2 排出量の詳細な分析には限界があるとされている．

一方，ボトムアップ型の手法は，建物の現場調査から得られたエネルギー消費データや，道路ごとの交通量データなどの詳細なデータを使用することで CO_2 排出量を推定する手法である．Yamagata et al. (2018) は，建物ポイントデータを用いて都市域における季節変動を考慮した CO_2 排出量の可視化を行っており，都市スケールでのボトムアップ型手法を用いた CO_2 排出量推定の有効性を示している．Khamchiangta et al. (2024) は延べ床面積を含んだ建物データと Local Climate Zone データを用いてバンコクの地域気候帯に関連した炭排出強度の可視化を行なった．ボトムアップ型の手法は家庭部門や産業部門など部門ごとの排出量を算定でき，さらにトップダウン型の手法と比較し，より高い空間解像度での CO_2 排出分析が可能である．しかし，手法で必要とされるデータが整備されていない地域が多いため，ボトムアップ型の手法で CO_2 排出量推定に取り組んだ研究は依然として数少なく，特に都市構造をコントロールする都市計画と組み合わせて排出源を評価した分析は実現されていない．都市型自治体においては，都市計画を適切にコントロールすることで排出源削減を実現できる可能性があり，そのためには建物単位での排出量推定を行えるボトムアップ型の手法が不可欠であると言える．こうした課題に対して，近年国土交通省が公開した都市 3D モデルは新たなデータ基盤として有用である可能性がある．

そこで本研究では低炭素社会実現に向けた効果的な都市計画の立案に向け，建物 3D データに基づくボトムアップ型の CO_2 排出量推定法を提案する．本手法は，より建物レベルでの CO_2 排出特性を明らかにでき，排出削減のための具体的かつ効果的な都市計画の戦略を立案するための定量的な情報を提供できる．本研究では、埼玉県さいたま市を事例とするが、本手法は 3D 都市モデルが整備されている都市で適用可能であるため，汎用性が高い点に特徴がある．

２．対象地域

本研究では，一例として埼玉県さいたま市を対象地域とする．さいたま市は人口約 133 万人を有し，住宅地や商業地，工業地など多様な土地利用が混在している．環境省が公表する「自治体排出量カルテ」では，さいたま市の CO_2 排出量は，国全体や都道府県の排出量をさいたま市の人口，従業者数，製造品出荷額などの統計指標に基づいて按分する「標準的手法」を基に産業部門や業務部門等の部門ごとに推計している．2022 年度における，さいたま市の全部門からの CO_2 排出は計 $5,330\times10^3$t と推定されている(環境省)．また，さいたま市は事務事業活動に伴う温室効果ガス排出量の算定を独自に行っている．市役所庁舎や学校などの公共施設における電気・ガス・燃料油の使用量，さらに公用車の燃料使用量などを基礎データとして収集し，それぞれに対応する排出係数を乗じて CO_2 排出量を算定しており．2022 年度は計 110×10^3t と推定されている（埼玉県さいたま市，2025)．

２．データ

２.１　3D 都市モデル

国土交通省 PLATEAU プロジェクトによって公開されている 3D 都市モデルデータは，航空測量等に基づき取得され，1 つ 1 つの建物について，位置や 16 区分の使用用途，延べ床面積等の属性情報が含まれている．このデータは 2025 年 6 月時点で，約 250 都市で整備されており，2025 年度末までに約 300 都市，2027 年度末までに約 500 都市への整備拡大が予定されている．本研究ではさいたま市内の約 49 万件の建物データを使用した．例として大宮駅周辺の 3D 都市モデルデータを図 1 に示す．

２.２　CO_2 排出源単位データ

建物用途別の排出源単位データには日本ビルエネルギー総合管理技術協会のデータを用いた．このデータは 2022 年度に実施した 514 棟への現地調査によって作成され，16 区分に分けられた建物の使用用途ごとの $1m^2$ あたりの電気・ガス・油などのエネルギー消費量やそれに基づく CO_2 排出源単位($1m^2$ あたりに排出される CO_2 量)の情報を含む．

２.３　都市計画決定情報

国土交通省の都市計画決定情報は，2022 年度に地方公共団体等の情報収集・データ整備による「都市計画決定 GIS データ」を基に作成されており，都市計画法に基づいて定められた都市計画区分等の情報を含んでいる．図 2 にさいたま市における都市計画決定情報を示す．

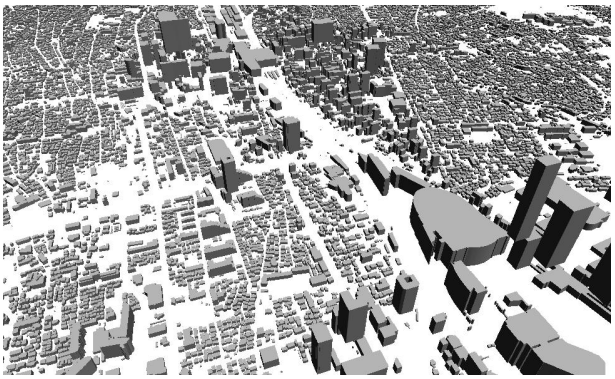


図 1：大宮駅周辺における 3D 都市モデル

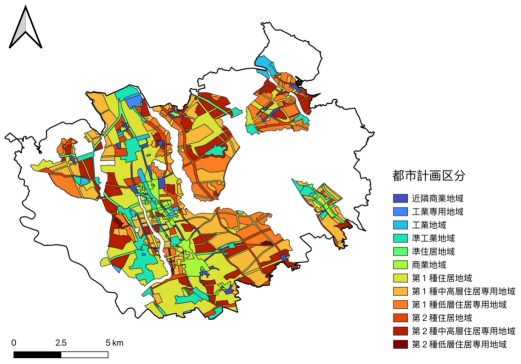


図 2：さいたま市の都市計画区分.

3. 研究手法

3.1 排出量推定

建物のエネルギー消費量は，建物の使用用途や延床面積と強い相関を示す(日本ビルエネルギー総合管理技術協会，2024)． 具体的には，事務所，デパート，飲食店，ホテル，マンションのエネルギー消費量と延べ床面積の相関係数は，それぞれ 0.91，0.93，0.95，0.94，0.97 である(日本ビルエネルギー総合管理技術協会，2024)．そこで本研究では延べ床面積に応じて建物からの CO_2 排出量推定を行う．建物の使用用途ごとの CO_2 排出源単位データ($1m^2$ あたりの CO_2 排出量)と，3D 都市モデルから取得した建物ごとの延べ床面積を掛け合わせることで，1 つ 1 つの建物から排出される CO_2 量を推定する（式 1)．

$$CO_2Emission = \sum_b \sum_c (EF_c * A_{b,c}) \quad (1)$$

EF_cは建物の使用用途cにおける排出源単位，$A_{b,c}$は使用用途cにおける建物bの延べ床面積を表す．また$CO_2Emission$は，さいたま市内の建物から排出される CO_2 排出総量を表す．本研究では，3D 都市モデルの建物の使用用途と排出源単位データの建物の使用用途を合わせるため，最終的に建物を民間事務所，官庁用事務所，デパート，ホテル，マンション，文化施設，分類外施設の 7 つの使用用途に分類し排出量推定を行った．

3.2 排出量と都市計画区域

各建物の重心を基準点として図 2 の都市計画区域に空間照合し，建物ごとに都市計画区分を判定した．その上で，都市計画区分ごとに CO_2 排出量を集計し，当該区分の面積で除した面積当たりの排出量（排出密度）を算出した．

4. 結果

本研究ではボトムアップ型の手法で 1 つ 1 つの建物からの CO_2 排出量を算出することにより，市域全体からの排出量推定とその空間分布の可視化を行った．図 3 に CO_2 排出の空間的分布を示す． 大宮駅やさいたま新都心駅，武蔵浦和駅周辺が CO_2 排出量の多いホットスポットであることが明らかになった．また本手法では，さいたま市内の公共施設からの CO_2 排出は 113×10^3t-CO_2/年と推定され，2023 年度における，さいたま市が公表する 65×10^3t-CO_2/年（埼玉県さいたま市，2025）の約 1.7 倍多くの推定量となった．全ての建物からの CO_2 排出に関しては，$16,391\times10^3$t-CO_2/年という推定結果となり環境省が公開する自治体カルテ （2022 年度)の $4,086\times10^3$t-CO_2/年(環境省)と大きく異なる推定結果となった．この違いの要因として，(1)本研究では，建物が使用されているか否かを区別できていないため，使用されていない建物からも CO_2 が排出されていると計算され，排出量を過大評価している可能性がある；(2)本研究では，建物 3D モデルデータの 16 つの建物使用用途を 7 つの使用用途にまとめて再分類しており，これにより過大評価している可能性がある；(3)環境省の推定手法に用いられている「人口や従業員の数，製造額と CO_2 排出量が比例する」という仮定により， 環境省報告書では，さいたま市からの CO_2 排出量が過小評価されている可能性がある；以上の 3 つの可能性が考えられる．

また図 4 に都市計画区分ごとの CO_2 排出量を，図 5 に都市計画区分ごとの CO_2 排出密度を示す．排出量では都市計画区域外からの排出が最も多く，次いで商業地域，準工業地域の順で多い CO_2 排出量を示した．排出密度では商業地域が最も高い値を示し，次いで工業地域，工業専門地域，準工業地域が高い CO_2 排出密度を示した．反対に住居地域では排出総量，排出密度ともに低い値となった．このことから特に商業地域や準工業地域での優先的な省エネルギー化が排出量削減に有効であると考えられる．

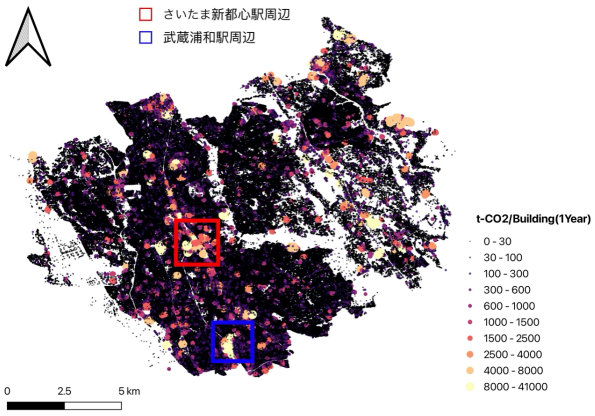


図 3：さいたま市における建物由来の CO_2 排出分布

５．おわりに

本研究では，さいたま市を対象にボトムアップ型の手法を用いた CO_2 排出量の推定とその空間的分布の可視化を行なった．従来のトップダウン型手法では不可能であった高い空間解像度での排出量推定と都市計画と組み合わせた排出特性分析が可能になり，ボトムアップ型の手法により都市レベルでの排出削減施策検討に有益な知見が得ることができた．本研究による排出量推定は年間 $16,391\times10^3$t-CO_2 となり，環境省の排出量推定に比べて過大評価となった．建物ごとの CO_2 排出量の実測が難しいため、結果の妥当性検証が課題となっている．しかしながら，対象地域内の相対評価は可能であるため、低炭素社会実現に向けた都市計画立案に寄与するものである．本手法は，建物３D データが取得可能な他都市においても展開可能であり、環境負荷の低減と持続可能な社会の構築に役立てていきたい．

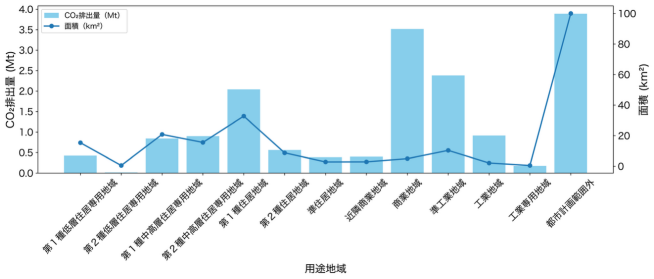


図 4：都市計画区分ごとの CO_2 排出量と面積

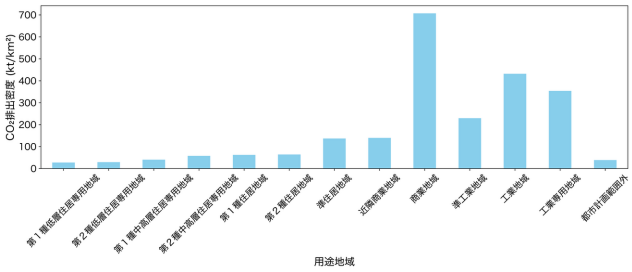


図 5：都市計画区分ごとの CO_2 排出密度

謝辞

本研究は，国土交通省，環境省，埼玉県さいたま市が公開するデータを使用した．さらに日本ビルエネルギー総合管理技術協会による建物用途別エネルギー消費量および CO2 排出源単位データを利用することで実現した ．ここに記して謝意を表したい．

参考文献

環境省 (2021) 地球温暖化対策計画．<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/keikaku/211022.html>
環境省 自治体排出量カルテ．<https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/tools/karte.html >
国土交通省 (2024) PLATEAU(3D 都市モデル) ．<https://www.mlit.go.jp/plateau/>
埼玉県さいたま市 (2025) さいたま市の事務事業における温室効果ガス排出量推計．<https://www.city.saitama.lg.jp/001/009/015/013/002/p097087.html >
日本ビルエネルギー総合管理技術協会(2024) 建築物エネルギー消費量調査報告書［第 46 報］.
Fuentes Andrade, D.; Reuter, M.; Bovensmann, H.; Burrows, J.P. (2024) A method for estimating localized CO_2 emissions from co-located satellite XCO_2 and NO_2 images. *Atmospheric Measurement Techniques*, **17**, 1145-1163.
Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2023) *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: IPCC.
Khamchiangta, D. and Yamagata, Y. (2024) Mapping urban carbon emissions in relation to local climate zones: Case of the building sector in Bangkok Metropolitan Administration, Thailand. *Energy and Built Environment*, **5**(3), 337-347.
Li, Z.; Fan, M.; Tao, J.; Xu, B. (2024) Impacts of spatial resolution and XCO_2 precision on satellite capability for CO_2 plumes detection. *Sensors, 24(6)*, 1881.
Yamagata, Y., Yoshida, T., Murakami, D., Matsui, T. Akiyama, Y.(2018). Seasonal urban carbon emission estimation using spatial micro big data. *Sustainability*, **10**(12), 4472.
United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2015). The Paris Agreement, 2015.
United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2020) Urban Climate Action Is Crucial to Bend the Emissions Curve. <https://unfccc.int/news/urban-climate-action-is-crucial-to-bend-the-emissions-curve>

大都市近郊の竹林拡大に与える自然的要因の比較評価
－2018 年と 2023 年の神奈川県川崎市多摩区を対象として－

古川 万莉菜*・中山 俊**

Comparative evaluation of natural factors affecting expansion of bamboo forests in the suburbs of large cities
- Targeted at Tama-ku, Kawasaki, Kanagawa in 2018 and 2023 -

Marina FURUKAWA*, Shun NAKAYAMA**

Abstract: This study aimed to clarify the influence of natural factors on the expansion of bamboo forests in suburbs of large cities, using aerial photographs from 2018 and 2023 and focusing on Tama-ku, Kawasaki, Kanagawa. Sixteen bamboo forest locations were extracted, and expansion was quantified by calculating the invasion rate based on changes in polygon area. Six natural factors were calculated using GIS and compared with the invasion rate. The results showed higher invasion rates at sites with moderate slopes (15–25°), south to southeast orientations, elevations of 50–70 m, and proximity to broadleaf forests. Conversely, bamboo stands near roads exhibited lower invasion rates, suggesting that management practices and physical barriers suppress expansion. These findings align with trends reported in existing studies conducted outside suburbs of large cities.

Keywords: 竹林拡大（bamboo forest expansion），放置竹林（abandoned bamboo forest），竹林管理（bamboo forest management），GIS（GIS）

１．はじめに

竹は，その強靭な繊維と柔軟性から，国内外で古くから資源として利用され，竹を活用した産業や竹林の文化的景観が形成されてきた．しかし近年，管理者の高齢化や後継者不足といった要因から，全国的に竹林の放置・荒廃が進んでいる（徳永・荒木，2007；中島，2001）．日本国内で主に生息する地下茎で繁殖する竹は非常に成長が早い為，竹林内に日光が入りにくくなり，地下茎は日光を求めて竹林の外側に繁殖していく．竹林の放置・荒廃はこのような竹の生態的特性から，竹林拡大につながり，一般的に「竹害」と呼ばれるような複合的な課題を引き起こしている．

竹害の例として，地下茎による土砂災害誘発の危険性が挙げられる．竹林の地下では地下茎がネットワーク上に張り巡らされており，地表から 30cm 程度の深さに集中して存在している．そのため，日浦ほか（2004）によると，地盤が安定しにくいことが指摘されており，降雨時に竹林に雨水が浸透することで斜面の不安定化に寄与すると指摘しており，斜面地における竹林は大雨や地震発生時に土砂災害が発生する危険性が高いとされる．平松ほか（1999）によると，実際に高知豪雨災害において土砂災害の被災地域の約 1/3 が竹林地であった．他にも，周辺の農地や山林への侵食，竹林内での生物多様性の低下などが挙げられる．

先行研究では，竹林拡大の自然的要因について多くの研究が進んでいる．斜面傾斜角に関しては，千葉県大喜多町および京都市において 30 度以上の急傾斜地で竹林の拡大が顕著であると報告されている（鈴木，2008；小林，2010）．広島県竹原市小吹地区では，傾斜角 15～29 度の範囲が拡大しやすい要因として挙げられている（鈴木，2010）．愛媛県西条市千町地区においては，拡大方向が斜面下方であることが拡大速度の増大に寄与していた（小笠原ほか，2024）．しかし，竹林の拡大に斜面傾斜角は関係しないとする研究も存在しており（鳥居，2002；甲斐・辻井，2004），一貫した傾向は見られない．斜面方位については，京都市では南～東向きの斜面で，宮崎県高岡町内山地区において北～東～南向きで拡大の傾向があったが，宮崎県高岡町楠見地区では斜面方位の関連は認められなかった(小林，2010；大野ほか，2002)．標高に関しては，大阪府岸和田市において標高 50～100m の範囲で拡大が顕著であった(大野ほか，2002)．竹林周辺の植生に関連しては，大阪府岸和田市では，広葉樹林，針葉樹林，荒地の順で竹林が拡大しやすいとされている（大野ほか，2002）．千葉県大喜多町では，1966～1974 年にかけては常緑針葉樹林や常緑落葉樹林，低木林の順で，1984～2001 年においては落葉広葉樹林，草地，常緑針葉樹林の順で

* 学生会員 専修大学ネットワーク情報学部（Senshsu University）
〒214-8580 神奈川県川崎市多摩区東三田 2-1-1 Tel：044-712-7772 または
E-mail：ne221171@senshu-u.jp
** 正会員 専修大学ネットワーク情報学部 (Senshu University)

竹林への転換が生じていた（鈴木 2008）．また鬼束ほか（2011）によると，千葉県において，モウソウ竹林の拡大に関する要因の寄与度に関する研究では，拡大箇所の植生，拡大箇所の傾斜方位，群落形状，拡大箇所の傾斜角，道路からの距離の順で寄与度が高く，この 5 要因からの拡大判別モデルの判別的中率は 68.6%である．

以上のように，自然的要因における竹林拡大の傾向は地域によって異なり，概ね斜面方位は南向き，標高は 50~100m で拡大傾向が見られるが，各研究において用いられたデータや手法の違い，地域性などの影響から，すべての地域で一様にそれらの拡大しやすい条件が認められるわけではない．また，これまで竹林拡大に関する研究の多くは，都市から離れた農村地域やタケノコ生産地，山麓部を対象としており，大都市近郊における竹林拡大の傾向の評価はされていない．大都市近郊の緑地量は少なく，その相対的価値は高い．しかしそこでの竹林の荒廃・拡大は，生活圏と隣接する場所にあるため土砂災害リスクが高く壊滅的な影響を及ぼす危険性がある．本研究では，竹林拡大に影響を与えるとされる，また拡大寄与度の高い要因の，竹林周辺の植生，拡大箇所の傾斜角，竹林の形状，道路からの距離，斜面方位，標高について，大都市近郊の竹林の拡大，面積変化と併せて比較評価を行う．本研究で，大都市近郊における竹林拡大の自然的要因の傾向を明らかにし，防災や緑地管理に繋げることを目的とする．

２．研究手法

本研究では，調査地の竹林として，環境省自然環境局生物多様性センターで提供されている自然環境調査 Web-GIS（http://gis.biodic.go.jp/webgis/index.html）から，植生調査（1/25,000 縮尺）にて確認された現存する竹林を対象とする．竹林分布の同定には，GoogleEarth(Google 社)で提供されている 2018 年 4 月 2 日と 2023 年 4 月 9 日の２時期の航空写真を用いる．

竹林の面積変化の指標として，鳥居・井鷺（1997）の研究を参考に，2018 年の竹林面積 A_{before},2023 年の竹林面積 A_{after}，解析年数 y から，年間拡大率 AER を算出した．

$$AER = \left(\frac{A_{after}}{A_{before}}\right)^{1/y}$$

QGIS を用いて，2018 年と 2023 年の二時期の竹林ポリゴンの差分演算を行い，非竹林から竹林に変化した拡大箇所を出力した．鬼束（2011）を参考に，拡大面積を S_1，拡大フロントを l，解析年数 y から，拡大箇所から侵略度（m/year）を算出した．

$$侵略度 = \frac{S_1}{l \cdot y}$$

拡大フロント部分は，拡大面積 S_1 の外縁のうち，2018 年の竹林ポリゴンの外側の線のことを指し，2018 年の竹林から進出した先端部分のことである．侵略度の値が大きいほど竹林が急速に拡大していることを指す．

竹林ごとの拡大場所に対し，以下のように自然的要因を抽出する．拡大箇所が複数ある竹林に関しては，拡大面積が最大の箇所について抽出し，その竹林の代表値とする．竹林の形状については，鬼束ほか（2011）を参考に，竹林の面積 St，竹林の周長 Lt，自然対数 ln から，フラクタル計算式を用いた．フラクタルの値が大きいほど竹林の形状が複雑であることを指す．

$$フラクタル = \frac{\ln(St)}{\ln(Lt)+\ln(0.25)}$$

拡大箇所の植生は，2018 年の GoogleEarth 航空写真，植生調査（1/25,000 縮尺）と差分ポリゴンを重ね合わせ，侵入前の優占植生を目視も併せて判定する．複数種の植生が混在する際は最大面積の植生を採用する．道路からの距離は，国土地理院が提供するベクトルタイルから道路線のデータを用いて，拡大フロントから最近接道路までの直線距離を算出する．拡大箇所の傾斜角および傾斜方位は，国土地理院の数値標高モデル（DEM, 5m メッシュ）を基に，拡大ポリゴンを重ね合わせ，各拡大箇所に傾斜角ラスタの平均値，傾斜方位ラスタは方位を 90 度ずつ 4 方位に再分類し，最頻値を代表値として算出した．標高は，数値標高モデル（DEM，5m メッシュ）から標高ラスタを作成し，拡大箇所ポリゴン対し，標高ラスタを重ね合わせ，各拡大箇所に含まれる画素の平均値（mean）を標高の代表値として取得した．これら 6 つの自然的要因について，侵略度との関係を調べるために，相関係数と p 値を求めた． 相関係数を求める際，質的変数の傾斜方位については 4 方位に，植生については広葉樹林，その他の植生，緑の多い住宅地，市街地に分類しダミー変数を作成した．

３．ケーススタディ

３.１　対象地域と概要

本研究では対象地域を神奈川県川崎市多摩区とした．本地域は東京近郊の居住地として都市開発，市街地化が進められ，人口密度が高い都市である一方で，多摩川や多摩丘陵を中心に都市公園・緑地が点在しており，都市と自然が隣接し共存する環境を有している．特に多摩丘陵は，首都圏近郊において連続した樹林地が残された数少ない地域であり，竹林が確認されている．また多摩川崖線軸に沿って緑地が形成されており，ここに属する竹林は斜面に存在している．最高標高は 120m 程度と低標高地域である．本地域 16 箇所の竹林について，航空写真から，鳥居・上村（2018）を参考に，Google Earth にて竹林ポリゴンを作成した．作成した竹林ポリゴンから QGIS を用いて面積を算出し,二時期の面積の変化を確認した．

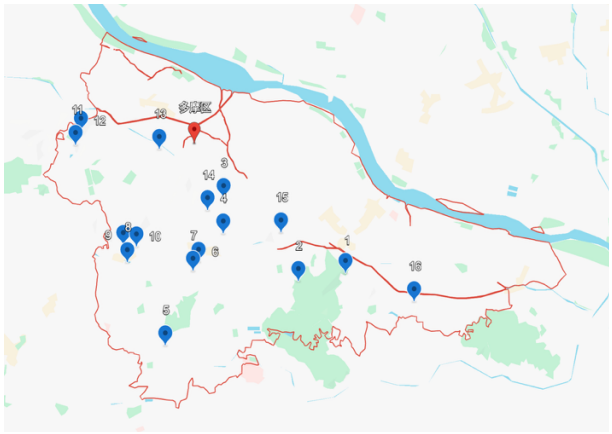


図 1　対象地域（神奈川県川崎市多摩区）と
調査地 16 箇所

3.3　竹林面積変化について

竹林面積の変化について，表 1 より，最小 AER は 0.99（10．読売ランド前駅周辺北東）で縮小が確認されたが，それ以外は AER1 以上で停滞・拡大が確認された．最大 AER は 1.26（1．飯室山周辺）であり，区内合計の AER は 1.06 となった．これは区内で竹林面積が年 6%増加していることを指す．この拡大率が一定だと仮定すると，2018 年から 12 年後の 2030 年の竹林面積は，初期面積×$(1.06)^{12}$= 初期面積×2.01 で，約 2 倍になると予測される．

3.4　自然的要因について

本研究で抽出した 16 箇所の竹林拡大箇所について，侵略度と自然的要因の傾向を明らかにした．侵略度の値は 0.23～5.89m/年の範囲に分布し，平均は 1.43m/年であった．特に 14．生田排水池周辺（5.89m/年），4．生田東高校周辺南西（3.21m/年）において侵略度が突出して高く，竹林の急速な拡大が確認された．相関分析において，全ての説明変数で有意な差は示されなかった(p=0.05)．しかし，道路からの距離，傾斜角，周辺植生，斜面方位，標高について以下の傾向が明らかになった．道路からの距離について，道路に近接（10m 未満）した竹林では侵略度が 0.2～0.3m/年程度と低く、道路から離れた箇所（50～100 m 以上）では侵略度が高まる傾向が認められた．傾斜角との関係では，15～25°程度の中程度の傾斜地で侵略度が高くなる傾向が確認された．周辺植生について，広葉樹林に隣接する竹林で侵略度が高かった．斜面方位について，侵略度が高いのは南～南東の斜面であり，北東・北向き斜面では侵略度が低い傾向が見られた．標高について，50～70 m 程度の地点で侵略度が高い傾向が見られた．

4．考察

本研究の分析から，自然的要因による竹林の侵略度の傾向を確認した．侵略度が高かった 4．生田排水池周辺，14．生田東高校周辺南西は，いずれも道路からの距離が大きく，15～25°程度の中程度傾斜に立地し，さらに広葉樹林

表 1　2018 年－2023 年の面積変化（AER 昇順）

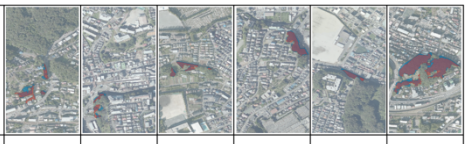
写真						
エリア番号	10	6	5	7	3	15
エリア名	読売ランド前駅周辺北東	三田第二公園	百合ヶ丘高校周辺北東	三田第二公園周辺南西	太田ハイツ周辺	日向山周辺
面積(2018)(m²)	2881.8	1323.2	2096.5	3450.1	1128.1	14306.9
面積(2023)(m²)	2707.4	1306.2	2155.6	3758.5	1230.6	15645.5
AER	0.99	1.00	1.01	1.02	1.02	1.02

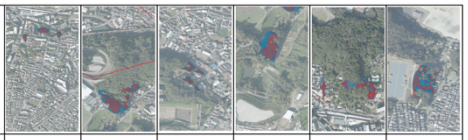
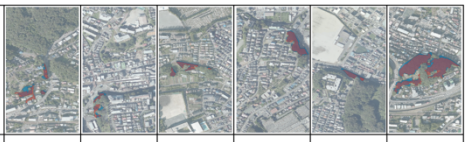
写真						
エリア番号	8	12	13	11	9	14
エリア名	読売ランド前駅周辺南	読売ランド周辺北東	法泉寺周辺	読売ランド周辺南東	読売ランド前駅周辺北	生田排水池周辺
面積(2018)(m²)	2096.8	5025.3	1726.9	4471.1	2259.0	4067.8
面積(2023)(m²)	2630.1	6316.3	2234.7	6288.5	3193.6	6212.2
AER	1.05	1.05	1.05	1.07	1.07	1.09

写真						
エリア番号	10	6	5	7	3	15
エリア名	読売ランド前駅周辺北東	三田第二公園	百合ヶ丘高校周辺北東	三田第二公園周辺南西	太田ハイツ周辺	日向山周辺
面積(2018)(m²)	2881.8	1323.2	2096.5	3450.1	1128.1	14306.9
面積(2023)(m²)	2707.4	1306.2	2155.6	3758.5	1230.6	15645.5
AER	0.99	1.00	1.01	1.02	1.02	1.02

＊背景写真は国土地理院の
全国最新写真（シームレス）を同縮尺で使用
＊凡例　：2018　：2023

表 2　侵略度の自然的要因の相関係数とその p 値

	相関係数	p値
道路からの距離	0.28	0.29
傾斜角	0.21	0.44
標高	0.14	0.61
形状	-0.34	0.20
傾斜方位_北	-0.28	0.29
傾斜方位_東	0.41	0.12
傾斜方位_南	-0.13	0.64
植生_広葉樹林	0.47	0.06
植生_その他植林	-0.1	0.71
植生_緑の多い住宅地	-0.18	0.50
植生_市街地	-0.32	0.23

表３　各竹林の最大拡大箇所の自然的要因

各竹林代表値						
エリア番号	1	2	3	4	5	6
エリア名	飯室山広場周辺	専修大学生田校舎周辺	太田ハイツ周辺	生田東高校周辺南西	百合ヶ丘高校周辺北東	三田第二公園
拡大面積(m^2)	923.7	1457.6	211.0	1689.2	174.7	192.0
拡大フロント(m)	144.5	311.5	185.7	105.3	148.1	87.1
侵略度	1.28	0.94	0.23	3.21	0.24	0.44
周辺植生	広葉樹林	広葉樹林	緑の多い住宅地	広葉樹林	市街地	広葉樹林
傾斜角(°)	23.91	22.28	6.05	23.59	9.52	19.95
形状	1.52	1.53	1.74	1.53	1.62	1.59
道路からの距離(m)	97.71	28.14	3.07	53.52	8.10	73.32
斜面方位	南東	東	北東	北東	南	西
標高(m)	55.07	55.00	25.80	60.48	79.39	53.48
エリア番号	7	8	9	10	11	12
エリア名	三田第二公園周辺南西	読売ランド前駅周辺南	読売ランド前駅周辺北	読売ランド前駅周辺北東	読売ランド周辺南東	読売ランド周辺北東
拡大面積(m^2)	314.2	330.6	742.5	465.4	1966.0	752.5
拡大フロント(m)	190.3	106.8	157.9	67.6	268.9	132.5
侵略度	0.33	0.62	0.94	1.38	1.46	1.14
周辺植生	市街地	緑の多い住宅地	広葉樹林	緑の多い住宅地	その他植林	アズマネザサ・ススキ群集
傾斜角(°)	12.92	14.30	21.07	22.55	24.28	24.32
形状	1.79	1.70	1.54	1.56	1.83	1.63
道路からの距離(m)	29.25	27.49	41.87	50.45	101.08	16.15
斜面方位	北東	北	南	南東	東	南東
標高(m)	43.65	52.04	76.25	74.18	74.56	54.37
エリア番号	13	14	15	16		
エリア名	法泉寺周辺	生田排水池周辺	日向山周辺	妙楽寺周辺		
拡大面積(m^2)	127.7	794.9	520.8	1778.1		
拡大フロント(m)	74.4	27.0	193.2	238.0		
侵略度	0.34	5.89	0.54	1.49		
周辺植生	残存・植栽樹群地	広葉樹林	市街地	広葉樹林		
傾斜角(°)	27.86	17.90	15.65	34.70		
形状	1.54	1.49	1.62	1.68		
道路からの距離(m)	20.18	59.90	90.81	61.33		
斜面方位	北東	南東	北東	北東		
標高(m)	42.27	54.11	45.22	47.83		

に隣接する南～南東斜面に位置していた．これらの条件は，鬼束ほか（2011），鈴木（2010），大野ほか（2002）で部分的に指摘されており，既存研究と重なる結果となった．道路との関係について，鬼束ほか（2011）が，道路が物理的障壁や人為的管理の影響により拡大を抑制すると述べているように，本研究でも道路近接地で侵略度が低下することが示された．これは，管理が拡大を制限する働きをするという人為的要因の影響に繋がると考えられる．標高についても，50～70 m で侵略度が高く，大野ほか（2002）より，標高 50～100 m で拡大が顕著である結果と対応しており，対象地である多摩丘陵の地形特性に依存していると考えられる．また周辺植生の広葉樹林について，要因の中で最も相関係数が高く p 値も低く，拡大傾向が認められた．広葉樹は成長に時間を要するため，先に述べた竹の生態的特性により竹が優位に成長，繁殖していると考えられる．以上より，本研究の結果は都市から離れた地域やタケノコ生産地，山麓部といった地域での既存研究で示された傾向と重なる部分があるとともに，大都市近郊という特性から，自然的要因と人為的要因の双方を考慮する必要性を示している．

５．おわりに

本研究では，大都市近郊における竹林拡大を対象とし，侵略度と自然的要因との関係を明らかにした．その結果，道路からの距離，中程度傾斜，南～南東斜面，標高 50～70 m といった条件で侵略度が高まる傾向が確認され，既存研究で報告された大都市以外の地域での傾向と一致する部分が示され．大都市近郊においては管理などの人為的要因が拡大を抑制する要因として作用していることが考えられた．今後は，自然的要因と人為的要因を統合的に捉え，都市近郊に適した管理方策の検討が求められる．

謝辞

本研究を遂行するにあたり，竹林整備団体「かわさきあかり」の皆様には多大なるご協力を賜った．現地調査では竹林の現状と課題についてご教示を頂戴した．ここに記して謝意を表する．

参考文献

徳永陽子・荒木光（2007）竹林と環境.「京都教育大学環境教育研究年報」，**15**，99-123.

中島章文（2001）都市近郊における竹林の管理・経営の実態：京都市近郊のタケノコ生産地を事例にして.「森林応用研究」，**10**（1），1-7.

日浦啓全・有川崇・バハドゥールドゥラドゥルガ（2004）都市周辺山麓部の放置竹林の拡大にともなう土砂災害危険性.「日本地すべり学会誌」，**41**（4），323-334.

平松晋也・石川芳治・三好岩生・千葉淳（1999）1998 年 9 月高知県集中豪雨による土砂災害の実態 （速報）.「砂防学会誌」，**51**（5），43-47.

鈴木重雄（2008）タケノコ生産地域における竹林の分布拡大過程：千葉県大多喜町の事例.「植生学会誌」，**25**（1），13-23.

小林勇介（2010）GIS を用いた竹林の分布変化の研究.「地理学論集」，**85**（1），42-50.

鈴木重雄（2010）竹林の分布拡大過程における土地利用履歴の影響.「地理学評論 Series A」，**83**（5），524-534.

小笠原良・時任美乃理・淺野悟史・西前出・檀浦正子（2024）竹林の拡大評価における UAV および SfM-MVS による画像解析の活用.「環境情報科学論文集」，**38**（38），215-220.

鳥居厚志（2002）周辺二次林に侵入拡大する存在としての竹林.「日本緑化工学会誌」，**28**（3），412-416.

甲斐重貴・辻井美香（2004）GIS を用いた九州南部地域の里山における竹林拡大の時系列的変化と要因の検討：宮崎県高岡町の事例.「宮崎大学農学部研究報告」.**50**，73-83.

大野朋子・加我宏之・下村泰彦・増田昇（2002）大阪府岸和田市における竹林の拡大特性に関する研究.「ランドスケープ研究」，**65**（5），603-608.

鬼束大平・加藤顕・小林達明（2011）千葉県におけるモウソウチク林群落拡大モデルに関する基礎的研究.「日本緑化工学会誌」,**37**（1），90-95.

鳥居厚志・井鷺裕司（1997）京都府南部地域における竹林の分布拡大.「日本生態学会誌」，**47**（1），31-41.

鳥居厚志・上村巧編（2018）広がる竹林をどうしよう?という時に：放置竹林の把握と効率的な駆除技術.『森林研究・整備機構森林総合研究所関西支所』

東京国際空港新飛行経路による不動産価値への影響分析のための広域騒音推計

早坂遼*・堤盛人**

Wide-area Noise Estimation for Analyzing the Impact of New Flight Paths at Tokyo International Airport on Property Values

Ryo Hayasaka*, Morito Tsutsumi**

Abstract: This study aims to estimate aircraft noise over a wide area from flight paths to analyze its impact on real estate value, focusing on those at Tokyo International Airport that have been in use since 2020. The impact of aircraft noise on real estate value has been considered significant, and some studies have even demonstrated an actual effect. However, previous studies had accuracy issues in estimating noise levels at specific locations because it often failed to account for spatial distance. This study demonstrates a way to estimate aircraft noise using a sound attenuation formula based on spatial distance, incorporating data on flight path locations, ground elevation, and building heights from official sources. We also validate our estimations by conducting on-site noise measurements in Tokyo. The estimated values are consistent with our measurements and publicly released monitoring data, confirming the validity of our approach.

Keywords: 航空機騒音（aircraft noise），騒音推定（noise estimation），東京国際空港（Tokyo International Airport），飛行経路（flight paths）.

１．はじめに

１.１　背景

航空機の運航に伴って発生する騒音は，周辺住民の生活環境に影響を及ぼしており，解決すべき社会課題として認識されてきた．継続的な騒音は，単なる不快感にとどまらず，住民の睡眠妨害や聴覚障害といった健康被害や不動産の資産価値低下による経済的損失など，様々な悪影響をもたらしている．そのため，航空機騒音問題の抜本的な解決は，公共の福祉を守る上で多角的な視点から取り組むべき重要な課題であると言える．

航空機騒音の悪影響は多岐にわたるが，特に無視できないのが，周辺地域の不動産に与える影響である．騒音レベルの高い地域では，住宅の資産価値が低下しやすいという問題が発生している．不動産は個人にとって最大の資産の一つであることが多いため，その価値の毀損は，経済的な損失にとどまらず，精神的な負担ももたらす．このように，航空機騒音は，個人の生活基盤を揺るがす深刻な問題として，経済的側面からもその対策が強く求められている．

１.２　先行研究

航空機騒音による不動産価格への影響は，McMillen(2004)や Sugasawa(2024)によるものがあるほか，Nelson(2005)によるメタ分析がある．McMillen(2004)は，シカゴ・オヘア国際空港を対象に，騒音が連邦住宅局による基準 65dB 以上である地域を騒音影響領域とし，この範囲内にある住宅は範囲外にある住宅と比べて 9%資産価値が下落するとした．また Sugasawa(2024)は，東京国際空港を対象に，国土交通省が公表したモニタリング公表値を元に推定した騒音値が 1dB 大きくなると，不動産の取引価格が 0.09%下落するとした．さらに Nelson(2005)は，20 のヘドニックアプローチを用いた研究をメタ分析し，1dB あたり 0.58%の住宅価値下落が見られるとした．

しかしこれらの研究では，地点ごとの騒音を精緻に考慮できていないという課題がある．騒音の大きさを考慮せず一律に範囲を定めているか，不動産が位置する高さを考慮せず回帰分析により求めていることにより，特に騒音による影響が大きい飛行経路直下の地域において，精密な影響を計測できないと考えられる．

１.３　目的

本研究では，航空機騒音の不動産価値への影響を分析するため，高度を考慮した騒音推定を広範囲で行うための手法を提示することを目的とする．

対象は，2020 年より運用が開始された東京国際空港（羽田空港）の新飛行経路のうち，A 滑走路および C 滑走路への到着経路とする．この理由は，航空機の騒音の影響を受ける不動産が多いということと，新飛行経路運用開始時点前後の 5 年以上のデータが利用可能であることによる．

*　学生会員　筑波大学大学院システム情報工学研究群
（University of Tsukuba, Degree Programs in Systems and Information Engineering）
〒305-8577　茨城県つくば市天王台 1-1-1　E-mail：s2420547@u.tsukuba.ac.jp
**　正会員　筑波大学システム情報系（University of Tsukuba, Institute of Systems and Information Engineering）

2．方法

2.1　騒音推定式

飛行経路からの騒音は，通過する航空機を点音源として計算する．これは，航空機は間隔を空けて飛行するため，同一の飛行経路から同時に騒音は観測されないためである．前川ほかの『建築・環境音響学』に記載の点音源に関する式(1)によれば，任意の地点での航空機騒音Lは，

$$L = L_w - 11 - 20\log_{10} d \qquad (1)$$

である．ただし，L_wは航空機が発する騒音，dは飛行経路から不動産価値調査地点までの空間的な距離である．

航空機が発する騒音は，機体の大きさに応じて 136～140dB とした．これは，成田市（2023）の成田国際空港における調査結果と一致することと，国土交通省（2025）および東京都（2025）が公表する騒音モニタリング調査値と，飛行経路から騒音調査地点までの距離に，上式を適用し求めた値に合致することを根拠とした．

飛行経路から地点までの空間的な距離は，飛行経路の座標と高度，および不動産価値調査地点の座標と高度を用いて計算した．飛行経路については，航空局が公表している資料から取得した．不動産価値調査地点については，2.3 節に記載の計算により求めた．

2.2　使用データ

本研究では，騒音推定のため以下のデータを使用した．

- 飛行経路データ：航空局が公開する，南風・好天時の A 滑走路および C 滑走路への到着経路の情報を用いた．経由地点の座標と高度を ArcGIS Pro に入力し，経由地点間を 3D ラインで結び飛行経路を作成した．高度は海抜のフィートで表されているので，メートルに変換して使用した．
- 不動産データ：アットホーム株式会社が提供する不動産データライブラリーから，建物タイプがアパートであるものを用いた．東京都区部では，該当するデータは 378,093 地点，1,792,686 件あった．計算に使用した項目は，緯度経度，地上階層，所在階の 3 項目である．
- 標高データ：国土地理院が公開する，緯度経度を指定して標高を返すサービスを用いた．指定する緯度経度は，不動産データに含まれる物件の位置情報を使用した．
- 建物高さデータ：国土交通省の PLATEAU プロジェクトで公開されている，東京都の建物 3D データを用いた．全 1,728,620 件の建物データの中から，物件の座標が含まれる建物の計測高さを取得した．

2.3　不動産データの高度の計算

2.2 節に記載したデータを用いて，不動産価値調査地点の高度hは式(2)で計算した．

$$h = g + b \times \frac{n-1}{m} \qquad (2)$$

ただし，gは標高，bは建物高さ，mは物件が入る建物の地上階層，nは物件の所在階である．

2.4　騒音推定値の妥当性検証

騒音推定値の妥当性を検証するため，騒音計による実測調査を行った．調査は全 2 回で，1 回目は 2025 年 2 月 14 日に有栖川宮記念公園と氷川みかん公園，2 回目は 5 月 13 日にしながわ区民公園と八潮北公園で実施した．測定場所の位置関係を図 1 に，測定条件を表 1 に示した．機材は testo 社の騒音計 testo 816-1 を使用し，測定した値を付属ソフトウェアにより PC へ csv 形式で保存した．

表 1　騒音実測時の条件

条件	1 回目	2 回目
日時	2 月 14 日 15 時 15 分-18 時 10 分	5 月 13 日 15 時 10 分-18 時 10 分
場所 1	有栖川宮記念公園	しながわ区民公園
場所 2	氷川みかん公園	八潮北公園
計測時間	各 20 分	各 40 分
測定間隔	0.5 秒	0.5 秒
天候・気温	晴れ・12℃	晴れ・23℃



図 1　騒音実測地点の位置関係

3．結果

3.1　実地調査

計測中に通過した航空機の数は，1 回目調査時の A 滑走路が 7 機，C 滑走路が 18 機で，2 回目調査時の A 滑走路が 14 機，C 滑走路が 21 機であった．

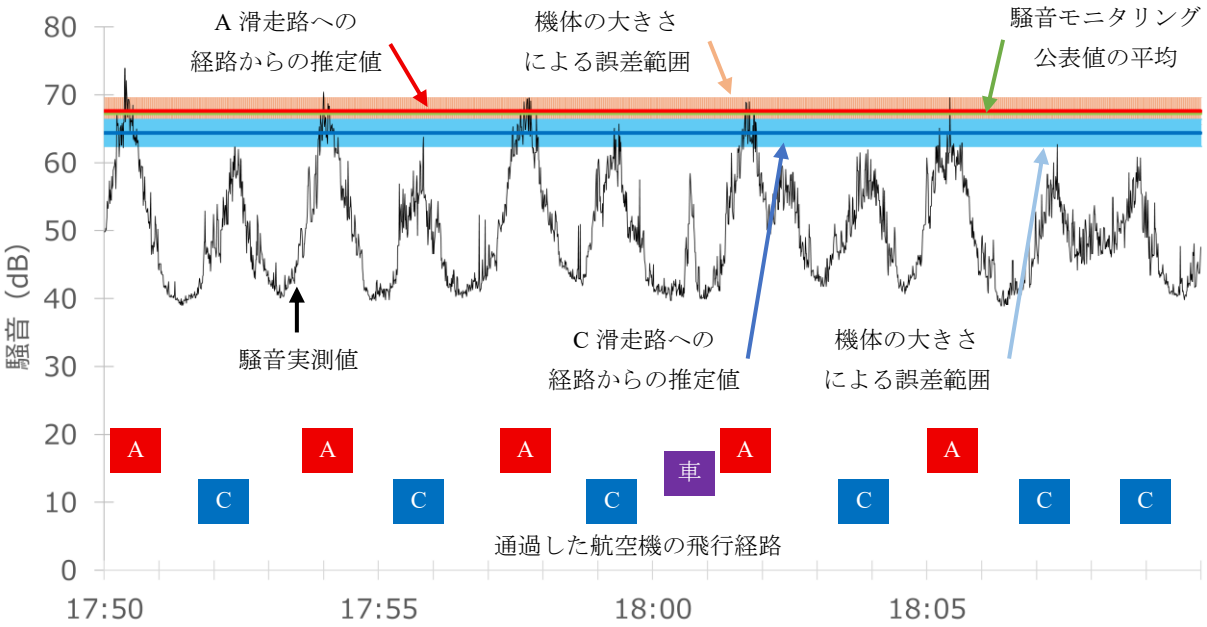


図 2　2 月 14 日 17 時 50 分～　氷川みかん公園での実測記録

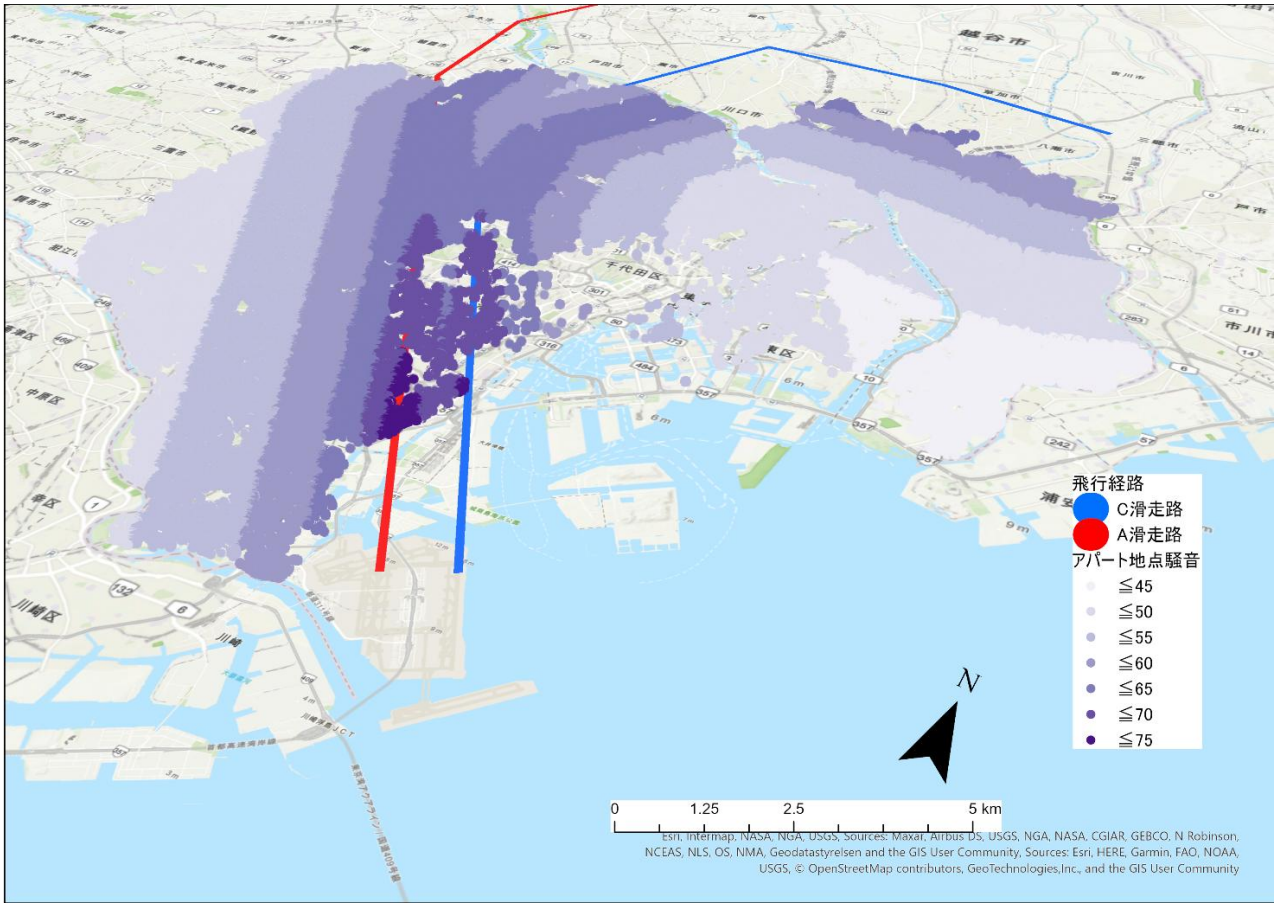


図 3　東京都区部における広域騒音推定の結果

結果の例として，氷川みかん公園での最寄りのモニタリング公表値および騒音推定値と，実測値を比較した図を図 2 に示した．また同時刻に通過した航空機の飛行経路も併記した．A 滑走路および C 滑走路両方へ向かう航空機があったため，それぞれ飛行経路までの距離を計算し，個別に推定した結果を示した．モニタリング調査の値は，2025 年 2 月のデータが利用できないため，1 年前の同時期である 2024 年 2 月のデータを示した．

３.２　空間距離を考慮した騒音推定値の分布

推定した騒音値の東京都区部での分布を示すと図 3 のようになった．騒音値を示している地点は，不動産ライブラリーのアパートが所在する地点とした．

4．考察

4.1　騒音推定値の妥当性に関する考察

実測値，モニタリング公表値と，騒音推定値は，互いに整合する結果を得られた．実測値と推定値では，航空機が通過するにしたがって，該当する飛行経路からの騒音推定値に実測値も近づいていることが確認された．また，モニタリング公表値と推定値では，モニタリング公表値の平均が 67.3dB に対し，A 滑走路への飛行経路からの推定値は 67.6dB となり，0.3dB の差となった．他方で，経路からの距離が長くなる C 滑走路からの推定値とは 1.9dB の差が生じた．

4.2　高さによる騒音推定値への影響

高さを考慮することにより，最も変動が大きくなる領域は飛行経路直下である．C 滑走路への飛行経路の直下に近い品川駅南側にある高層住宅で，高さを考慮したときの騒音推定値の変化を示したところ，図 4 のようになった．この 43 階建ての住宅のうち，利用可能なデータの中で最下層は 2 階，最上層は 40 階だった．飛行経路から当該住宅までの距離は，高さを考慮しない水平距離では 315m だったのに対し，高さを考慮した空間距離では 492m～595m と，21%の変動となった．この空間距離の差により，推定される騒音値も，71.5dB～73.1dB と，1.6dB の差が生じることが分かった．

5．おわりに

5.1　結論

本研究では，航空機騒音の不動産価値への影響を分析するため，高度を考慮した騒音推定を広範囲で行うことを目的として，公開されているデータから任意の地点で航空機騒音を推定する手法を提示した．

この結果，推定した値は，モニタリング公表値および実測値と整合し，かつ 2 本の飛行経路それぞれから計算できた．さらにこの手法により，同じ建物の物件でも，所在階が異なることで騒音に 1.6dB の差が生じている事例があることが分かった．

5.2　今後の課題

本研究にはいくつかの課題が残されている．まず，現段階では飛行経路からの騒音が不動産価値に与える影響は明らかになっていない．不動産データから必要な情報を精査し，パネルデータの構造と DID 分析により，飛行経路の新規開設が不動産価値に変動を引き起こしたかを考察するには，追加の研究が必要である．

また，高度が異なる観測地点での推定式の有効性を確認できていない．空間距離に顕著な差が出る場所で，高さを変えた実測調査を行うことで，推定式の確度を高められると考えられる．

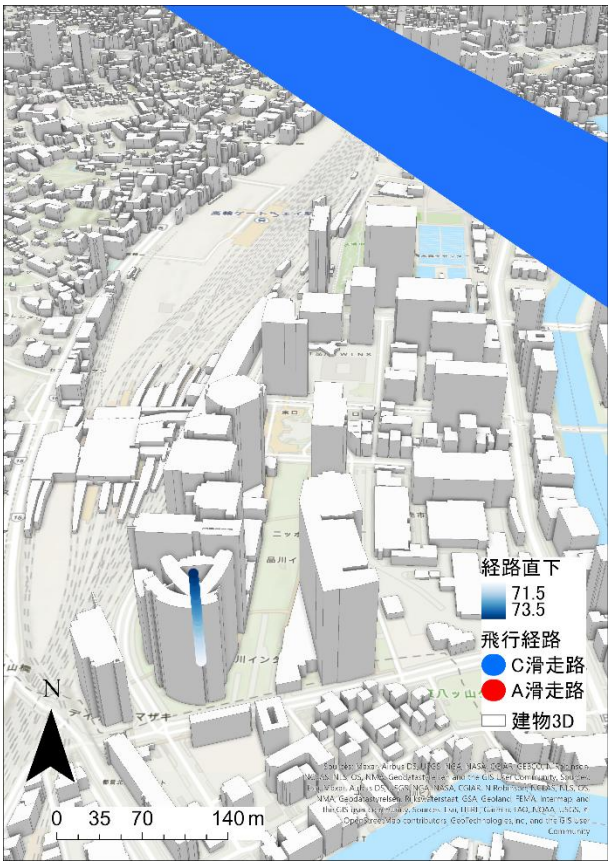


図 4　飛行経路直下での騒音推定値分布

謝辞

本研究は，東京大学 CSIS 共同研究（No. 1409）による成果である（利用データ：不動産データライブラリー（アットホーム株式会社提供））．ここに謝意を表する．

参考文献

国土交通省（2025）羽田空港のこれから 新飛行経路 定期運用報告/騒音測定結果・航跡．<https://www.mlit.go.jp/koku/haneda/new_flight_path/#01>.

東京都（2025）東京国際空港（羽田空港）の新飛行経路の飛行に伴う騒音モニタリングの結果．<https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/noise/noise_vibration/souon_monitoring>.

成田市（2023）2023（令和 5）年度機種別音響パワーレベル推定結果．<https://www.city.narita.chiba.jp/content/000187762.pdf>.

前川純一・森本政之・阪上公博（2000）『建築・環境音響学 第 2 版』，共立出版．

McMillen, D.P. (2004) Airport expansions and property values: The case of Chicago O'Hare Airport. *Journal of Urban Economics*, **55**(3), 627-640.

Nelson, J.P. (2005) Meta-analysis of airport noise and hedonic property values: problems and prospects. *Journal of Transport Economics and Policy*, **38**(1), 1-27.

Sugasawa, T., Kuroda, Y., Nomura, K., Yasuda, S., Yoshida, J. (2024) The impact of flight noise on urban housing markets: Evidence from the new landing flight paths of Haneda Airport in Japan. *Data Science and Service Research (Discussion Paper)*, 144.

ポスター発表

2025年11月2日(日) 13:00 ~ 13:50 | 会場(金森産業ホール)
[P2] ポスター発表 #2

[P2-31] 実人流データに基づく商店街のにぎわいの特徴分析：東京都大田区を対象としたケーススタディ

*沖 拓弥[1] (1. 東京科学大学)

キーワード：商店街、にぎわい、実人流データ、ビッグデータ、地域分析

2000年の大規模小売店舗法（大店法）の廃止や少子高齢化の進行などによって，商店街の多くは苦境に立たされている．これは東京都区部においても例外ではない．それでも一部の商店街は，現在もなお多くの地域住民や通勤・通学者，観光客などが集まり，にぎわいを見せている．どのような条件の，どのような商店街が，どのようなにぎわいを見せているかを定量的に把握することは，今後の商店街の存続方策を検討する上での有用な資料となり得る．そこで本研究では，130を超える商店街が存在し，多様な用途地域を有する東京都大田区をケーススタディとして，2023年5月の1か月間を対象にGPSベースの実人流データを活用し，商店街のにぎわいに関する分析を試みる．特に，にぎわいの量的・質的特徴をもとに区内の商店街を分類し，商店街活性化に求められる条件について基礎的考察を行う．

©一般社団法人地理情報システム学会

ポスター発表

2025年11月2日(日) 13:00 ~ 13:50 | 会場(金森産業ホール)
[P2] ポスター発表 #2

[P2-32] 北九州市における建物由来のエネルギー消費量の詳細化推計と空間分析

*原 理純[1]、叢 日超[1]、藤山 淳史[2]、松本 亨[2] (1. 静岡文化芸術大学、2. 北九州市立大学)

キーワード：スマートモニタリング、脱炭素効果、空間分析、国勢調査、エネルギー消費量

近年、日本各地で脱炭素関連の事業が取り組まれている。一方で、脱炭素事業の効果を精緻に測定・評価する手法の開発が課題となっている。そこで、本研究では脱炭素先行地域の一つである北九州市を取り上げ、住宅によるエネルギー消費量の推計と分析を行った。具体的な推計は2020年度の国勢調査の小地域(町丁・字等)データと環境省による家庭部門のCO2排出実態統計調査(九州地域)を用いて行った。その結果、2020年度の北九州市の電力消費量は11PJということが明らかとなった。また、そのうち戸建ての世帯による消費量は75%を占めていた。ガスを含めたエネルギー消費量は19PJであった。さらに、空間分析も行った。今後は、将来にむけて建物の建て替えや再生可能エネルギーの導入を考慮した評価モデルを構築していく予定である。

©一般社団法人地理情報システム学会

ポスター発表

2025年11月2日(日) 13:00 ~ 13:50 | 会場(金森産業ホール)
[P2] ポスター発表 #2

[P2-33] 海外パーソントリップ調査の社会調査としての活用可能性 －2001年のカイロ大都市圏における市民生活と行動パターンを例に－

*後藤 寛[1] (1. 横浜市立大学)

キーワード：カイロ大都市圏、エジプト、パーソントリップ調査、社会地区分析、デイリーリズム

本報告は統計データの入手が困難で精度に疑問がある場合が多い海外調査を補完する手法として、JICAによって行われたパーソントリップ調査に焦点を当て、東大CSISによる「人の流れデータ」を通してその活用可能性を検証する。パーソントリップ調査で得られた個人属性（職業、年齢、性別など）、トリップ目的、時間情報は、社会地区分析の基礎情報として活用できる。本調査は延べ11万7千人、57万回のトリップを記録し手織り、サンプルバイアスや国民性に起因する回答の不正確さを留意しつつ用いることで、時間地理学の観点をもって解釈することで、都市の時空間構造をさまざな視点から把握し、海外都市の生活実態を解明する上で有用な情報となり得る。とくにデータの性格上交通手段や目的に注目することで都市のデイリーリズムを明らかにすることが可能となる。ただしその具体的な分析においては当該国・時期の事情を理解した活用が必要である。たとえば職業構成や交通機関選択、学校制度など現地事情を踏まえた理解は欠かせない。
本調査は2001年の大カイロ圏、新都心の開発が進み都市が中世以前の境界をはるかに超えて拡大しつつあり、庶民の伝統的な生活様式を色濃く残しつつもホワイトカラーの「近代的」な生活様式が二極化・重層化し、爆発的な経済成長の前夜といえる時期の経済・社会状況を記録する貴重な現代史料である。

©一般社団法人地理情報システム学会

Sentinel 衛星データを用いた鄱陽湖都市群における時系列洪水解析と都市拡張動態の重ね合わせ評価

潘　毅*・森本　健弘**

Overlay Assessment of Time-Series Flood Analysis and Urban Expansion Dynamics in the Poyang Lake Urban Agglomeration Using Sentinel Satellite Data

Yi PAN*, Takehiro MORIMOTO**

Abstract: 鄱陽湖は中国最大の淡水湖であり，モンスーン気候や流域からの流入水の影響を受けて洪水災害が頻発し，周辺での都市発展や環境保全深刻な影響を及ぼしている．近年，鄱陽湖周辺の都市群は急速に発展しており，とりわけ南昌市と九江市においては，都市拡張と洪水リスクの関係が注目されている．洪水の変化特性とその影響要因を把握することは，防災・減災を進めるための重要な前提である．本研究では，Sentinel 衛星データを用いて，鄱陽湖西側に位置する南昌市全域および九江市の沿岸地域を対象に，2016 年から 2025 年までの 10 年間にわたる洪水頻度と都市域の時系列解析を実施し，さらに GIS 技術によって毎年の結果を重ね合わせることで，都市拡張と浸水頻度の空間パターンを体系的に評価した．その結果，(1) 南昌市は都市域の広がりが大きくかつ拡張傾向が顕著で四方に広がる傾向を示したのに対し，九江市の都市域は相対的に小さく分散し，地形の影響を強く受け，河川や湖沼沿いの平地に集中していること，(2) 鄱陽湖の水域面積は顕著に変動し，北部は山地に制約され浸水範囲が比較的小さい一方，主湖区は平坦かつ開放的な地形により水域変動が著しく，全体として湖心部を中心に外側へ拡散する特徴を示したこと，および (3) 南昌市の北東部および東部では，伝統的耕作地域が都市の拡張区域と湖区域の交差部に位置し，開発と環境保全の両面から大きな課題に直面していることが確認された．本研究は，Sentinel データに基づく時系列解析が都市拡張と洪水リスクの時空間的特徴を効果的に明らかにし，洪水リスク管理，耕地保全および持続可能な都市計画に対して科学的根拠を提供し得ることを示す．

Keywords: 時系列，洪水，都市拡張，鄱陽湖都市群

１．はじめに

洪水は都市が直面する主要な災害の一つであり，住民の健康を深刻に脅かすとともに都市の発展を制約しており，近年ますます注目を集めている．洪水災害研究において，従来の現地観測手法は空間的なカバー範囲が限られており，大規模な動態監視の需要を満たすことが難しい．一方，光学リモートセンシング（例えば MODIS, Landsat シリーズ）は，高分解能の地表情報を提供し，NDWI などの指標を算出することで洪水を識別できる（Feng, L., et al., 2012）．しかし，洪水期に多発する雲や降雨の影響を受けやすく，大量のデータ欠損を招く．

１.１　研究背景

鄱陽湖流域は中国最大の淡水湖を有し，「渇水期は一筋の線，豊水期は一面に広がる」と形象的に表現され，長江と直接つながっており，中国において洪水災害が最も頻発する地域の一つである．頻繁に発生する大規模な洪水は環境や経済に甚大な損失をもたらし，約 1,000 万人の生命の安全を脅かしている（Li, X., et al., 2015）．同時に，鄱陽湖周辺地域は急速な都市化の進展期にあり，省都南昌市を中心とする鄱陽湖都市群が形成され，江西省のみならず長江中流都市群においても重要な地位を占めつつある．

洪水の時系列的変化を解明し，地域における都市拡張の空間的パターンとの関係を明らかにすることは，鄱陽湖都市群の持続可能な発展を実現する上で極めて重要である．

１.２　研究目的及び意義

本研究は，Sentinel 衛星の長期時系列リモートセンシングデータを活用し，鄱陽湖都市群における洪水時系列解析を行い，都市区の変化モニタリングと結び付けることで，洪水災害を背景とした都市拡張の空間的安全性を体系的に評価することを目的とする．本研究の成果は，鄱陽湖流域における持続可能な発展を推進し，さらに長江経済帯戦略を実現する上で，重要な意義をもつ．

２．研究方法

２.１　対象地域

広義の鄱陽湖都市群には鄱陽湖沿岸のすべての都市が含まれるが，鄱陽湖周辺の大都市は西側に集中しており，かつ，湖の西側は伝統的な洪水多発地域でもある．本研

*　学生会員　筑波大学地球科学プログラム（Univ. Tsukuba）
〒305-8573　茨城県つくば市天王台 1-1-1　E-mail：panyigeo@gmail.com
**　正会員　筑波大学生命環境系（Univ. Tsukuba）

究では鄱陽湖西側の南昌市（なんしょうし）全域および九江市（きゅうこうし）の鄱陽湖沿岸地域を研究対象とした（図 1）.

両市は鄱陽湖の大部分を包含しており，代表性を有している．そのうち，九江市の鄱陽湖沿岸地域の面積は約 11,194.8 平方キロメートル，南昌市の面積は約 7,266.1 平方キロメートルである.

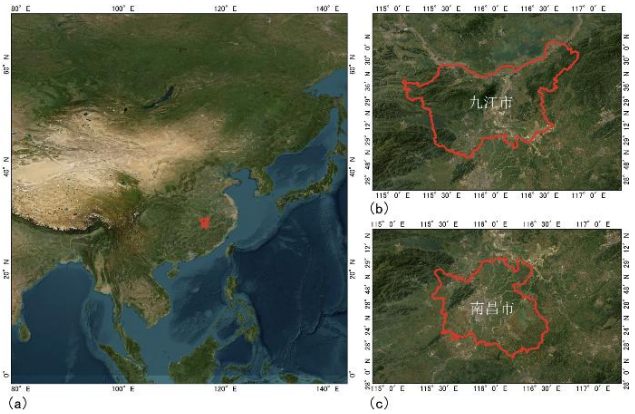


図 1　対象地域（a），九江市（b），南昌市（c）の位置

2.2　データ及び分析方法

Sentinel-1（SAR）衛星は全天候・高頻度観測が可能であり，洪水氾濫域を効果的に識別し，長期的な時系列解析を行うことができる．同時に，Sentinel-2 が提供する Dynamic World Cover 土地利用分類プロダクト（Brown, C. F., et al., 2022）は，建成区域の拡張動態を把握するのに有用である．2016 年以降利用可能となった Sentinel シリーズの高空間解像度（10 m），長期系列，そして優れたデータ品質は，洪水時系列解析と都市拡張を結合させた研究枠組みの構築に強固なデータ基盤を提供する.

この研究では，Sentinel-1 を用いて，2016－2025 年の 10 年間の毎年 6 月（豊水期）と 1 月（渇水期）の水域を判別し，浸水域は 1，非浸水域は 0 の値を与え，これらを重ね合わせた結果を年数の 10 で割ることで，総合的な浸水頻度を評価した．また Sentinel-2 の Dynamic World Cover 土地利用分類プロダクトにより都市地域を抽出し，上記と同様の方法でその動態を評価した．さらに GIS 技術によって毎年の結果を重ね合わせることで，都市拡張と浸水頻度の空間パターンを評価した.

毎年の結果に値 1 を付与して重ね合わせ解析で，最終的な結果は 0 から 1 の範囲となり，値が大きいほど頻度が高いことを示す.

浸水頻度においては，値が 1 に近づくほど 10 年間における浸水回数が多い．都市拡張解析において，値が 1 の場合は当該地域が従来都市区であることを示し，値が 0 に近づくほど新規都市拡張区である.

3. 結果

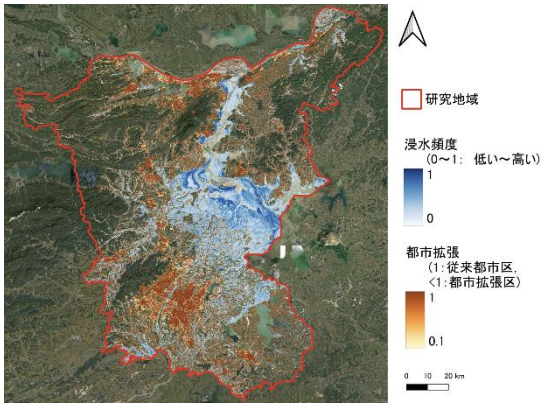


図 2　対象地域における浸水頻度及び都市拡張図

分析結果（図 2）によれば，南昌市は従来からの都市域が大きく，かつ集中しているのに対し，九江市は従来からの都市域の面積が小さく分散している．この差異は主に地形の影響によるものであり，南昌市は西部に一部山地が存在するものの，全体として平坦な地形を有している．一方，九江市域は山地が多く，都市は河川や湖沼沿いの平地に集中している．都市拡張について，両市ともに拡張期にあるが，南昌市の拡張はより顕著であり，四方に向かって拡大する傾向が認められる.

浸水頻度から見ると，鄱陽湖の水域面積は顕著な変動を示している．北部の長江との接点においては，周囲を山地に囲まれているため，鄱陽湖の浸水区域は制限されているが，中部の主湖区においては，地形が平坦かつ開放的であり，水域変動が顕著に表れている.

重ね合わせ解析の結果，都市拡張区域の一部は高い浸水頻度を示す地域と重なっており，洪水リスクを抱えながら拡張が進んでいることが明らかとなった．特筆すべき点として，南昌市の北東部および東部には伝統的な耕作地域が存在し，この地域は都市拡張区域と鄱陽湖域の交差部にも位置している．都市の拡張に伴い，この地域が「都市開発」か「環境保全」か「耕地保全」かという選択に直面することは，今後の都市計画には大きな課題となるであろう.

参考文献

Brown, C. F., Brumby, S. P., Guzder-Williams, B., Birch, T., Hyde, S. B., Mazzariello, J., ... & Tait, A. M. (2022). Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping. *Scientific data*, *9*(1), 251.

Feng, L., Hu, C., Chen, X., Cai, X., Tian, L., & Gan, W. (2012). Assessment of inundation changes of Poyang Lake using MODIS observations between 2000 and 2010. *Remote Sensing of Environment*, *121*, 80-92.

Li, X., Zhang, Q., Xu, C. Y., & Ye, X. (2015). The changing patterns of floods in Poyang Lake, China: characteristics and explanations. *Natural Hazards*, *76*(1), 651-666.

都市多様性指標（UDI）による世界 280 都市の多様性評価と日本の主要都市圏への適用

秋山祐樹*・秋山千亜紀**・水谷昂太郎***・清水貴仁****

Urban Diversity Assessment across 280 Cities Worldwide Using the UDI and Its Application to Japanese Metropolitan Areas

Yuki Akiyama*, Chiaki M. Akiyama**, Kotaro Mizutani***, Takahito Shimizu****

Abstract: We operationalize the Urban Diversity Index (UDI) from global food-related POIs to compare 280 cities and assess Japanese metros. Using 100-m buffers out to 50 km (sea areas removed), we evaluate diversity level and spatial persistence via the peak-distance zone (sustaining ≥95% of peak UDI) and the UDI reach distance. Globally, top cities combine balanced categories and broad coverage; UDI is weakly tied to population size. In Japan, Tokyo couples very high coverage with a long peak-distance zone (~8 km); Keihanshin (Kyoto–Osaka–Kobe) is high-density with shorter persistence; smaller prefectural capitals (e.g., Naha) can also rank well, while some ordinance-designated cities show near-zero zones due to sharp peaks and fragmented, car-oriented patterns. Considering both UDI level and spatial extent helps prioritize walkable linkages and land-use diversification.

Keywords: 都市多様性（urban diversity），都市多様性指標（urban diversity index, UDI），ピーク距離帯（peak-distance zone），POI データ（POI data），飲食関連 POI（food-related POIs），国際比較（International comparison）

１．はじめに

近年，都市の多様性（diversity）は，持続可能な都市発展に資する基盤的要素として注目されている．多様性は，居住者の文化的背景や生活様式の多様さのみならず，都市空間における機能配置や土地利用の複合性を含む概念であり，都市の魅力や競争力，さらには社会的包摂の実現に直結する指標であると位置づけられる．実際，複数の研究において，多様な都市機能が共存することが交流機会や創発的なイノベーションを生み出し，生活の質（Quality of Life）の向上や都市の生産性向上につながることが指摘されている（Jacobs, 1961; Florida, 2002）．

しかし，これまで都市多様性の評価は主として人口規模や GDP などのマクロ的な統計指標に依拠してきた．これらの指標は都市の量的規模を把握する上では有効である一方，文化的・社会的な複雑性や都市空間の質的側面を捉えるには限界があることが指摘されてきた（Pumain, 2015）．また，国際比較研究においては，統計単位や都市の定義の不一致，データ整備の地域格差といった制度的・技術的要因が大きな制約となってきた（Csomós, 2020）．その結果，国際的に標準化されたフレームワークに基づく質的都市比較は十分に進展していないのが現状である．

近年，こうした課題に対する新たな解決策として注目されているのが，グローバルに整備された POI（Point of Interest）データの活用である．POI は都市空間における施設の位置や属性を高頻度かつ広域に把握できるため，都市機能の質的構造を把握する上で有効なデータ基盤となる．特に飲食関連施設は世界的に分類体系が整備され，都市の文化的・社会的異質性を反映する代表的な指標群として機能するとして，近年注目されている（Fan et al., 2023）．

そこで，Akiyama et al. (2025)は，グローバルスケールで整備された POI データを用いて，都市の多様性を定量化する新たな指標である「都市多様性指標（Urban Diversity Index，以下「UDI」）」を提案し，世界 249 都市を対象とした包括的な国際比較を行った．この研究では，飲食関連施設の POI の均衡度，網羅率，密度の三側面を統合した UDI が開発され，都市多様性の新しい定量的評価のための枠組みが提示された．

本稿は，Akiyama et al. (2025)を骨子としつつ，日本国内の主要都市圏に同分析を展開し，UDI の評価と比較を行うことを目的とする．具体的には，既往研究で構築され

*　正会員　東京都市大学建築都市デザイン学部（Tokyo City University）
〒158-0087　東京都世田谷区玉堤 1-28-1　E-mail：akiyamay@tcu.ac.jp
**　正会員　麗澤大学工学部（Reitaku University）
〒277-0065 千葉県柏市光ケ丘２丁目１－１　E-mail：chakiyam@reitaku-u.ac.jp
*** 正会員　東京都市大学建築都市デザイン学部（Tokyo City University）
〒158-0087　東京都世田谷区玉堤 1-28-1　E-mail：kmizu@tcu.ac.jp
**** 学生会員 東京都市大学大学院総合理工学研究科（Tokyo City University）
〒158-0087　東京都世田谷区玉堤 1-28-1　E-mail：g2581624@tcu.ac.jp

た UDI を国内の主要都市圏に適用し，その多様性の特徴を国際的文脈において位置づける．これにより，グローバルに標準化された指標を国内都市に適用した場合の有効性や課題を明らかにし，今後の都市政策や地域計画に資する知見を提示することを目指す．

２．方法

２.１　使用データ

本研究では，以下で詳述するグローバルに整備された POI データと海岸線データを組み合わせて分析を行った．

(1) POI データ：2024 年 11 月に公開された Foursquare Places OS とよばれる，オープンな POI データを採用した．同データには世界約 1 億件の POI が収録されており，国際比較研究に適した規模と網羅性を有する．また，それぞれの POI は世界共通の業種・業態に関する情報（以下「カテゴリ」）を属性として保有する．そこで本研究では，このカテゴリに基づき，飲食関連のカテゴリを有する POI を抽出して分析に用いた．

(2) 海岸線データ：OpenStreetMap (OSM) が提供する海岸線・水域データを利用した．これは，後述する空間分析において海面部分を除去するためである．これにより，沿岸都市で海上領域が含まれることを防ぎ，陸域における POI 分布を正確に反映させることが可能となった．

２.２　研究対象地域

研究対象とする都市は，国連が公表する都市圏人口データ（United Nations, 2025）に基づき，2018 年時点で人口 30 万人以上の都市圏を候補とした．その中から，国・地域ごとに人口規模が大きい上位 2 都市を選定し，最終的に 154 カ国の 249 都市を分析対象とした．また，日本国内については，以上の 249 都市に含まれる東京及び京阪神の各都市圏に加えて人口 30 万人以上を有する 31 の都市圏を分析対象とした．すなわち，本稿の研究対象となる都市は世界 249 都市に日本国内の 31 都市を合わせた合計 280 都市となる．なお，各都市圏の中心地は，上述の都市圏人口データに収録されていた座標を使用した．

２.３　UDI の定義

UDI の定量化にあたり，本研究では均衡度（J'），網羅率（C'），密度（ρ'）の 3 指標を導入した．それぞれの算定方法は以下の通りである．

(1) 均衡度（J'）：均衡度とは，都市内に存在する飲食関連 POI のカテゴリ分布がどれだけ均等であるかを示す指標である．同指標は式（1）に示す Pielou の均衡度指数を用いて定義される．

$$J' = -\frac{\sum_{i=1}^{n} p_i \ln(p_i)}{\ln(n)} \tag{1}$$

ここで p_i はカテゴリ i の出現割合，n はカテゴリ総数である．この値が 1 に近いほど，特定のカテゴリに偏りのない均衡した状態を示す．

(2) 網羅率（C'）：網羅率とは，世界共通で定義された飲食関連 173 カテゴリのうち，実際に都市内で観測されたカテゴリがどの程度存在するかを示す指標である．同指標は式（2）により定義される．

$$C' = \frac{n}{173} \tag{2}$$

(3) 密度（ρ'）：密度とは，飲食関連 POI がどの程度土地面積当たりに集積しているかを示す指標である．まず，都市中心から半径 50 km までを対象に 100 m 間隔で同心円バッファを設定し，距離帯ごとに式（3）で算出した．

$$\rho_{\alpha,\beta} = \frac{N_{\alpha,\beta}}{A_{\alpha,\beta}} \tag{3}$$

ここで$N_{\alpha,\beta}$は都市αの距離帯βに含まれる POI 数，$A_{\alpha,\beta}$は当該バッファの陸域面積である．なお海域は海岸線データを用いて除去した．

次に，各都市で UDI が最大となる距離帯であるβ^*を求め，その距離帯における密度$\hat{\rho}_{\alpha,\beta^*}$を都市の代表値とした．最後に，極端な値の影響を抑えるため，全ての分析対象都市の分布から 98 パーセンタイル値ρ_{98}を上限として正規化を行い，最終的な密度指標 ρ'を式(4)で定義した．

$$\rho'_{\alpha} = \frac{min(\hat{\rho}_{\alpha},\ \rho_{98})}{\rho_{98}} \tag{4}$$

(4) 都市多様性指標（UDI）：ある都市 α の UDI であるUDI_{α}は都市 α の均衡度（J'_{α}），網羅率（C'_{α}），密度（ρ'_{α}）を用いて式（5）で定義される．

$$UDI_{\alpha} = J'_{\alpha} \times C'_{\alpha} \times \rho'_{\alpha} \tag{5}$$

すなわち，UDI は均衡度・網羅率・密度の積として定義される．この構成により，単に高密度である都市が過度に高く評価されることを避けつつ，相対的な都市間比較を可能とする．また，密度が高くても均衡度や網羅率が低ければ，総合的な多様性は限定的にとどまる．

さらに，各都市について以下の補助指標を導入した．

(5) ピーク距離帯：UDI の最大値の 95%以上を維持する距離帯の幅，すなわちその都市らしい多様性を発揮できる領域の広さを評価する指標．

最終的に UDI と (5) を組み合わせて評価することで，各都市の多様性の水準だけでなく，その空間的な広がりや持続性までを含めた総合的な比較分析が可能となった．

３．結果

まず，世界 249 都市を対象とした分析結果を図 1 に示す．また，図 1 内の Q1，すなわちピーク距離帯と UDI が共に高い都市を結果の詳細を図 2 に示す．これらの結果からロンドン，ニューヨーク，パリ，イスタンブール，バンコクなどの都市が UDI もピーク距離帯も共に特に高い「Q1_A」に分布した．これらの都市は，複数の飲食関連施設のカテゴリ分布がバランスよく均衡しており（高い J'），多くのカテゴリを網羅し（高い C'），かつ一定の密度（ρ'）を有する点が共通している．すなわち，特定の要素に偏らず三つの指標がバランスよく高い水準を示すことで，総合的に高い UDI が得られている．しかも，そのような都市空間が一定の規模で広がっていることを意味する．

一方，ソウルや東京，マニラなどのアジアの大都市では「Q1_B」に属していた．これらの都市は中心部の UDI は Q1_A の都市ほど高くは無い一方，ピーク距離帯が非常に大きいことが特徴的である．これは，アジアのメガシティでは高い多様性を有する都市的地域が広範に分布し，中心部から周辺地域まで多様性が持続する空間構造を反映しているものと考えられる．

さらに，対象都市全体を通じて，都市規模（人口規模）と UDI との間に有意な相関は認められなかったことも興味深い点である（図 3）．すなわち，人口の大きさだけで都市の多様性は十分に説明できるものではなく，都市機能の構成や空間的分布に依存することが示唆された．この結果は，UDI が従来の人口規模依存的な指標とは異なり，都市の質的特性を測る新たな軸を提供できることを意味する結果と言えよう．

４．日本国内の主要都市圏への適用

次に，UDI を日本国内の主要都市圏に適用した結果について述べる．対象とした都市は国連の都市圏人口データに掲載された人口 30 万人以上の都市圏とした．

図 4 に三大都市圏，政令指定都市および，これら以外の県庁所在地のうち，UDI 上位 10 位の都市を対象とした UDI とピーク距離帯の関係を示す．まず，三大都市圏では，東京が高い UDI を持つと同時に，他の都市圏よりも圧倒的に長大なピーク距離帯を持つことが確認できる．すなわち，多様性の水準とその空間的持続の双方で突出しており，世界都市的な性格を国内においても示しているといえる．京阪神と中京は UDI が高い一方で，ピーク距離帯は東京ほど長くはなかった．

興味深い結果は，那覇・宮崎・長崎など，人口規模が小さい都市であっても UDI とピーク距離帯が相対的に大きい事例が見られることである．これらの都市では，観光・ビジネス来訪など外生的需要により網羅率（C'）が人口規模以上に押し上げられること，単核の中心商業地から軸状の商業地域が周辺に連続的に形成されることで，UDI が比較的高い市街地が連続的に維持されること，県都として周辺圏の需要を一手に吸収しカテゴリの幅が確保されることなどが原因であると考えられる．結果として，均衡度（J'）と網羅率（C'）がともに底上げされ，UDI

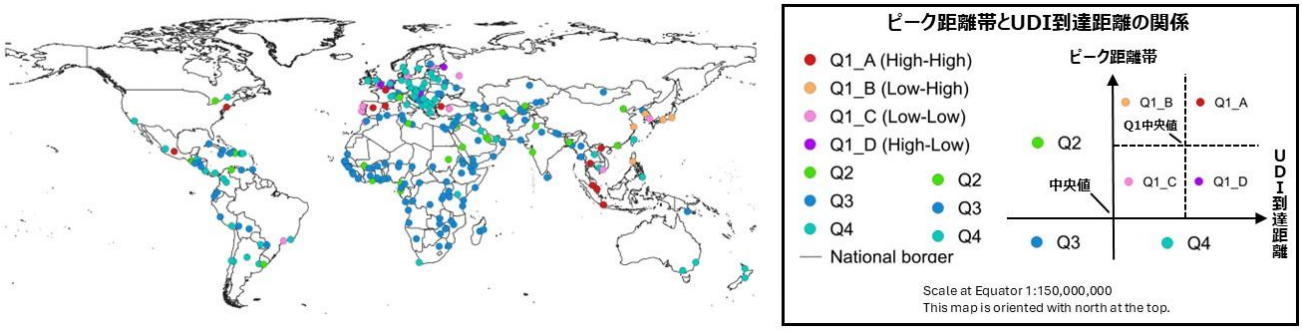


図 1　154 か国 249 都市の分布とその都市の UDI およびピーク距離帯による分類

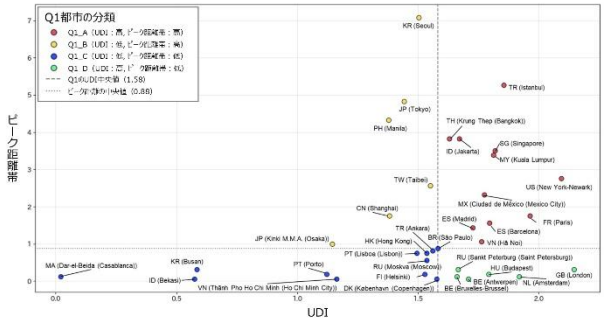


図 2　UDI・ピーク距離帯の散布図における第 1 象限（Q1）の拡大図（35 都市）

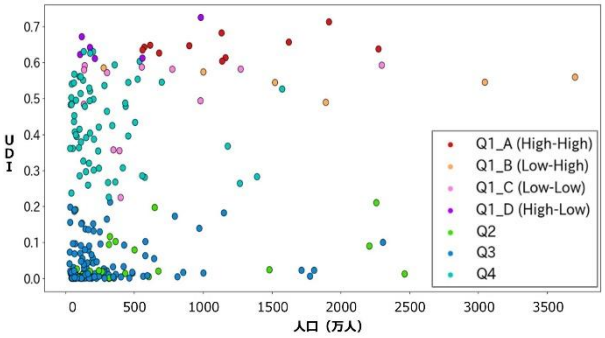


図 3　都市の人口（2025 年）と UDI との散布図

が大きくなり，ピーク距離帯も相対的に長くなる．

一方，仙台・新潟・熊本のように政令指定都市であってもピーク距離帯が 0 となるケースが見られた．これは，UDI が最も高くなる地点の近傍のみが突出して UDI が高く，半径方向に UDI が急減する「鋭いピーク」形状であること，駅前と旧市街・副都心など複数核が空間的に分散し，単一中心からの同心円では連続的な高 UDI 帯が形成されにくい構造であること，郊外のロードサイドや大型モールのように，同じタイプの店が一か所にまとまって並ぶ配置が卓越することで，中心部から周辺へ向かう商業・飲食の連なりが途中で切れやすい，などの要因が考えられる．その結果，UDI は一定の高さを有するものの，ピーク距離帯が出にくい都市構造に対応しているといえる．

以上より，日本の主要都市圏における多様性は， UDI と広がり（ピーク距離帯）の二軸で異なるパターンを示した. 政策的には, 中心核間を結ぶ歩行回遊軸の連結や, 網羅率（*C'*）を高める用途・業種の誘導，過度の単機能化を避け均衡度（*J'*）を維持する施策が，ピーク距離帯の拡張と UDI の双方に資するものと期待される．

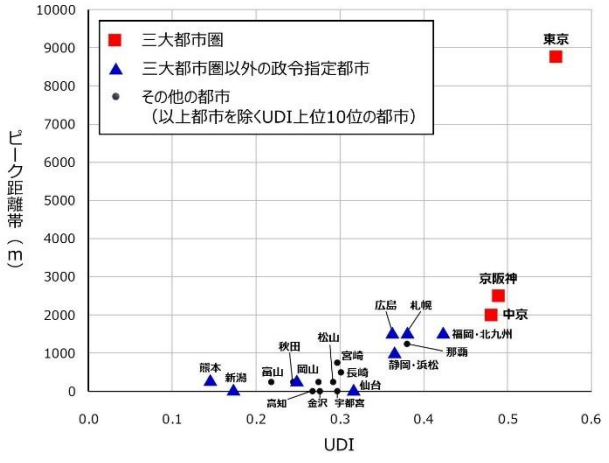


図 4　日本の主要都市における UDI とピーク距離帯の散布図

５．おわりに

本稿では，飲食関連の POI に基づいて都市の多様性指標（UDI）の枠組みを用いて，世界 280 都市の比較結果を整理するとともに，日本国内の主要都市圏へ適用して追加的な知見を示すことができた. 国際比較では，上位都市は均衡度・網羅率・密度がバランスよく高位で，かつピーク距離帯が広いこと，またアジアの大都市では多様性が広域にわたって持続する傾向が強いこと，さらに人口規模と UDI が必ずしも相関しないことが明らかとなった．

国内への適用では，東京が高い網羅率と長大なピーク距離帯を併せ持ち突出する一方，京阪神や中京の各都市圏は高密度型で UDI の持続幅は相対的に短いことが明らかとなった．また，那覇や長崎などは，都市の人口規模に比して業種の幅が確保され回遊的な中心空間が連続することで，UDI とピーク距離帯が相対的に大きくなり得ることが分かった．一方，仙台・新潟・熊本の各政令指定都市では，UDI の鋭いピークや多核分散，郊外化などの影響により，ピーク距離帯が 0 となるケースが見られた．

これらの手法により，全世界の任意の都市の多様性をその水準（UDI）と広がり（ピーク距離帯）の二軸で評価することが可能になった. 本研究の政策的含意としては，中心核間を結ぶ歩行回遊軸の整備，業種の多様化を促す立地誘導（*C'*の向上），過度な同質的集積の抑制（*J'*の維持）が，高い UDI とピーク距離帯の維持・向上に資すると言える．

一方，本研究の課題は，本稿時点では飲食関係の POI に限定している点，単一中心からの同心円に基づく計測を行っている点，閾値設定（98 パーセンタイル正規化など）に依存する点などが挙げられる．今後は複数種類の POI カテゴリの導入や，複数中心を前提とした指標設計，あるいは同心円ではなく可変的な都市圏設定へと拡張し，グローバルスケールの都市政策の効果検証につなげていきたいと考えている．

謝辞

本研究は、JSPS 科研費（24K00243，25K15557）の助成を受けて実施した．ここに記して謝意を表す．

参考文献

Akiyama, Y., Akiyama, C.M., Mizutani, K. and Shimizu, T. (2025) Developing the Urban Diversity Index (UDI): A Global Comparison of Urban Qualitative Aspect and Its Implications for Sustainable Urban Planning Using POI Data. *"Sustainability,"* 17(16), 7286.

Csomós, G. (2020) On the Challenges Ahead of Spatial Scientometrics Focusing on the City Level. *"Aslib Journal of Information Management,"* 2020, 72, 67–87.

Fan, Z., Li, S., Guo, Y., Li, Y. and Zhao, P. (2023) Diversity beyond density: Experienced social mixing through food businesses. *"PLOS ONE,"* 18(3), e0282319.

Florida, R.L. (2002) The Rise of the Creative Class: And How It's Transforming Work, Leisure, Community and Everyday Life, *"BasicBooks,"* New York, NY, USA.

Jacobs, J. (1961) The Death and Life of Great American Cities. *"Random House,"* New York, NY, USA.

Pumain, D., Swerts, E., Cottineau, C., Vacchiani-Marcuzzo, C., Ignazzi, C.A., Bretagnolle, A., Delisle, F., Cura, R., Lizzi, L. and Baffi, S. (2015) Multilevel Comparison of Large Urban Systems. *"Cybergeo European Journal of Geography,"* 706, 1-24.

United Nations. (2025) United Nations Population of Urban Agglomerations with 300,000 Inhabitants or More in 2018, by Country, 1950–2035. < https://population.un.org/wup/downloads?tab=Urban%20Agglomerations>

地方自治体のマイナンバーカード普及の空間分析

伊柳佑康*・堤盛人**

Spatial Analysis of Individual Number Card Adoption Across Japanese Municipalities

Hiroyasu IYANAGI*, Morito TSUTSUMI**

Abstract: Japan has promoted the adoption of the Individual Number Card to accelerate national digital transformation. However, despite the government's nationwide encouragement of local outreach, issuance rates vary considerably across municipalities. This study provides a quantitative analysis of the spatial dynamics of card issuance, employing municipal issuance rates to compute both global and local measures of spatial autocorrelation. The results reveal significant positive spatial dependence nationwide, as well as distinct high–high clusters at the local scale, indicating geographic concentrations of high issuance and evidence of neighborhood spillover effects.

Keywords: マイナンバーカード（Individual Number Card），交付率（issuance rate），ホットスポット分析（Hotspot analysis），LISA（Local Indicator of Spatial Association）

1．はじめに

2015 年 10 月 5 日に施行された行政手続きにおける特定の個人を識別するための番号の利用等に関する法律により，日本国内に住民票を持つすべての住民に対し，12 桁の個人番号（マイナンバー）が通知された．2016 年 1 月から，マイナンバーの利用が行政手続きにおいて開始され，同時にマイナンバーカードの交付も始まった．政府や自治体の政策や広報活動の影響により，マイナンバーカードの交付が進展している．総務省はマイナンバーカード交付率（以下，交付率）を約 1 ヶ月毎に公開しており，2016 年 1 月の交付開始から 2023 年 12 月末時点までに，全国の交付率（交付枚数/人口）は 79%に達している．推移には大きな乖離がある．マイナンバーカード取得促進に向けて，政府は周知・広報及び申請補助等を幅広く展開するキャンペーンの実施及びマイナンバーカードの利活用の推進について積極的な取組みを各都道府県や市町村に依頼している（総務省，2017）．各都道府県や市区町村がマイナンバーカード普及のために様々な取り組みをしているが，普及には差が生じている．小川ほか（2021）は，マイナンバーカードの普及の要因について実証分析をしており，交付促進政策が普及に効果があることを示している．また，Rogers(2003)は，政策の拡散は，都市から都市へ，または州から州へのように，隣接する地理的領域が互いに影響を与えるという水平方向に従う可能性があることを示唆している．これらを踏まえ，自治体の取り組みは周辺自治体との連携，もしくは取り組みを参考にするなど、相互に影響を与え合うことが考えられる．実際に，マイナンバーカード普及施策においては，宮崎県都城市で導入されたタブレット端末による出張申請支援「都城方式」は、愛媛県内の市町村でも参考にされ導入されている（愛媛県，2023）．このように地方自治体の取り組みを周辺の自治体が参考にするなどによって，地理的に近接した地方自治体間で交付率やその推移が類似する可能性がある．

そこで本研究では，マイナンバーカードの交付率やその推移にどの程度空間的な類似性があるのかを，大域的及び，局所的に分析する．以降の各章では，本研究で用いるデータと分析手法（第 2 章），分析結果と考察（第 3 章）について述べる．

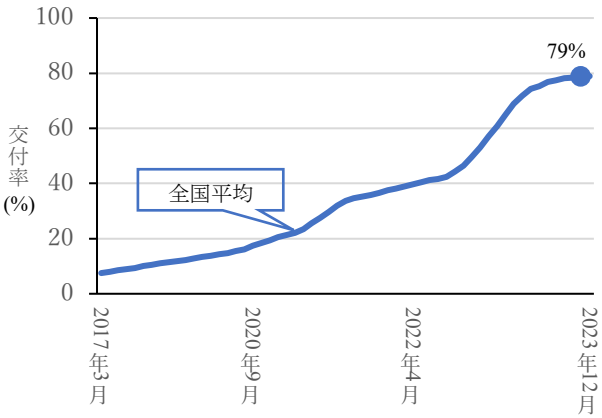


図 1　総務省「マイナンバーカードの交付状況・保有状況について」より筆者作成

*　正会員　　元筑波大学システム情報工学研究群社会工学学位プログラム（University of Tsukuba）
〒305-8573　茨城県つくば市天王台 1-1-1　E-mail：s2320412@u.tsukuba.ac.jp
**　正会員　　筑波大学システム情報系・教授　（University of Tsukuba）

2．分析に用いるデータと手法

2.1　マイナンバーカード交付率の概要

総務省が公開しているマイナンバーカード交付率を用いる．2020 年以降から現在（2025 年 8 月）は毎月公表されているが，それ以前は，約 3 か月ごとにしか公表されていなかった．総務省資料「マイナンバーカード交付状況（令和 5 年 12 月末現在)」をもとに，マイナンバーカード交付率を地図で表したのが，図 1 である．交付率とは，各市町村の累計交付枚数を各市町村の総人口で除したものである．23 年 12 月末時点では，多くの市町村は概ね 75%から 80%であり，約半分の市町村が占めている．図 2 では、交付率を標準化して地図で可視化しており，宮崎県南部は高く，沖縄県や四国西部が低くなっている．ここで注意したいのは，交付率が 100%を超える市町村があることである．これは，累計交付枚数の中には死亡や自主返納などにより廃止された分が計上されているためである．総務省は 2023 年 7 月 14 日，マイナンバーカードの交付枚数の公表方法を見直し，廃止分を除いた保有枚数率を新たに明らかにした．しかし，それ以前の交付枚数の公表方法の見直しは行われておらず，交付率のままである．本研究ではマイナンバーカードの普及を表した指標として交付率を利用する．

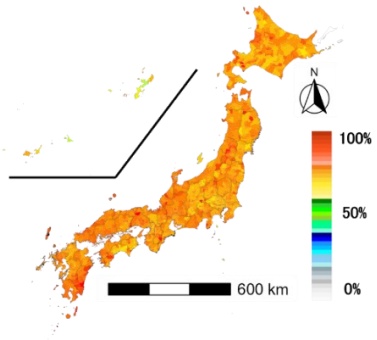


図 2 総務省「マイナンバーカードの交付状況・保有状況について（令和 5 年 12 月末時点)」より筆者作成

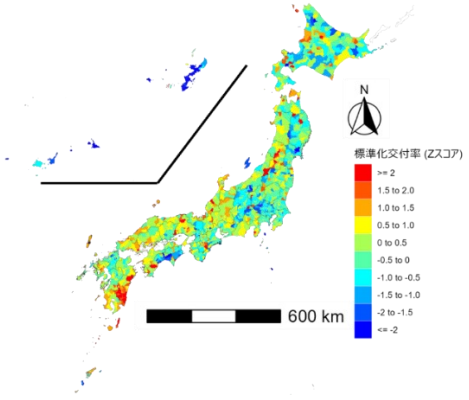


図 3 総務省「マイナンバーカードの交付状況・保有状況について（令和 5 年 12 月末時点)」より筆者作成

2.2　大域的な空間的自己相関

交付率が公開される時点ごと（四半期程度～月次）の交付率の自治体間の類似性を確認するため，Moran's I を時点ごとに算出し，その地理的分布の変化を見る．Moran's I は，GISA（Global Indicator of Spatial Association）のひとつとして，対象となる標本全体の空間相関の強さを評価する指標である．本稿では後述のローカル・モランとの区別をするため，Moran's I 統計量をグローバル・モランと呼称する．この統計量を使用し，大域的な空間的自己相関を明らかにするため Moran(1950)や Cliff and Ord(1981)による Moran's I 統計量を用いる．Moran's I は式(1)のように表される指標である．

$$I = \frac{N}{\Sigma_i \Sigma_j W_{i,j}} \frac{\Sigma_i \Sigma_j W_{i,j} \left(y_j - \bar{y}\right)\left(y_i - \bar{y}\right)}{\Sigma_i \left(y_i - \bar{y}\right)^2} \qquad (1)$$

ここでNは全国市町村数，yはある市町村のマイナンバーカード交付率，$\bar{y}$は全国市町村のマイナンバーカード交付率の平均値，w_{ij}は，市町村iとjとの空間的近接性を示す重み行列である．空間重み行列の定義には最近隣 k 地点型を基準とした近接行列を用い，市町村と 4 番目まで近い市町村に 1，そうではない市町村に 0 を与える．なお，近接性の定義として他には Queen 型，Rook 型が挙げられるが，日本は島国であり近接する地域が存在しない孤立する地域が多く現れてしまうため，ここでは採用しなかった．k=4 が標準的に用いられる設定であり，k が増えると都道府県をまたぎ離れた地域も近接と見なされるため k=4 を採用した．近接行列は行和を 1 に揃える行標準化をする．分析には，統計解析言語 R（Version: 4.2.2）を用いる．

2.3 局所的な空間的自己相関

次に LISA（Local Indicator of Spatial Association）のひとつとして，局所的な空間相関の強さを評価する指標である local Moran's I を用いて，局所的な空間的自己相関を測定する．ローカル・モランIiは自身の値の平均値からの偏差と，周辺地点における観測値の平均からの偏差との類似度として次式で定義される．(例えば瀬谷・堤(2014))

$$I_i = \frac{n(x_i - \bar{x}) \sum_j w_{ij}\left(x_j - \bar{x}\right)}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \qquad (2)$$

local Moran's I の値が正であれば，ある地点の観測値が周辺地点のそれと類似していること，負であれば，類似していないことを示す．この統計量を使用し，近隣自治体との関係性を視覚化するため Anselin（1995）が提案したモラン散布図(Moran scatterplot）を用いる．本稿の場合，横軸は当該自治体のマイナンバーカード交付率，縦軸は隣接する自治体のマイナンバーカード交付率をそれぞれ意味することになる．横軸，縦軸ともに標準化（平均 0,

分散 1）しているため横軸と縦軸の平均値を基準として 4 つの象限に分割し，分類が可能となる．例えば，図 3.2 における凡例の第 1 象限の HH 地域（High-High : HH）は当該自治体だけでなく，近隣自治体もマイナンバーカード交付率が高いことを表し，一方で第 3 象限の LL 地域（Low-Low : LL）は当該自治体だけでなく近隣自治体もマイナンバーカード交付率が低いことを意味する．

3. 分析結果

3.1 交付率の大域的な空間的関連性の推移

全国の 1741 市区町村（東京都特別区を含む，なお，政令指定都市行政区はなし）における大域的な空間的自己相関を算出した．結果は図 3.1 に示す通り，グローバル・モランは，安定的に 0.3 から 0.5 の間に推移している．全期間で平均 0.38, 標準偏差 0.03, P 値が 0.05 未満である．このことから，マイナンバーカード交付率は地理的に近い地域で似たような値をとることがわかる．すなわち，近隣地域で交付率に大きな差はなく，同じように推移している．

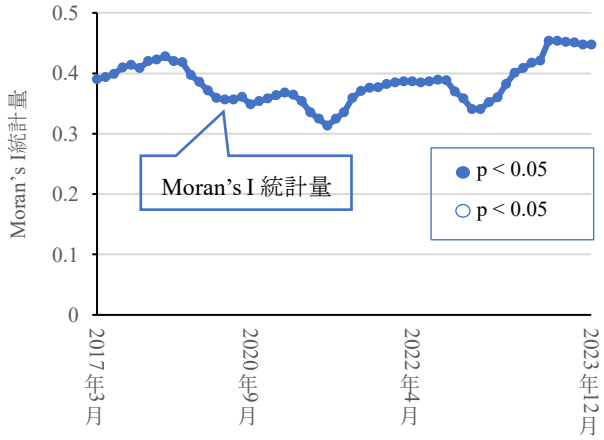


図4 全国マイナンバーカード交付率のMoran's *I*統計量

3.2 交付率の局所的な空間的関連性の推移

指定した年末時点をプールし，前年の LISA 区分（HH/HL/LH/LL）と当年区分の独立性を検定した.χ^2検定の結果は有意（$p<0.01$）であり，前年と当年の状態は関連していることが示された.表の調整済み残差 (Z) をみると，対角セル（HH 地域→HH 地域，HL 地域→HL 地域，LH 地域→LH 地域，LL 地域→LL 地域）はいずれも大きな正で，観測度数が期待度数を大きく上回る.行内比率も高く HH→HH 地域が 80.1%, LL 地域→LL 地域が 60.3%, LH 地域→LH 地域が 62.9%，HL 地域→HL 地域が 79.4%であった.反対に非対角セルは一様に負であり，状態の入れ替わりは期待より生じにくいことが確認された（例：LL 地域→HH 地域=5.1%, Z<0 ; HH 地域→LH 地域=7.7%, Z<0 など）．以上より，LISA 区分の年次推移には強い慣性（持続性）が存在し，空間パターンが偶然に入れ替わっているわけではないことが統計的に裏づけられた．図 6 に各年末時点の Moran scatter plot を示す．全ての年で HH 地域だった地域は，宮崎県の都城市を含む地域，山陽地域の西部である．南九州地域は，HH 地域が広がっており，空間的波及がみられる．東京都市圏は，2017 年から 2021 年にかけては HH 地域が広がっていたが，それ以降は LL 地域に変化している.北海道南部は，2017 年から 2021 年まで LL 地域が広がっており，それ以降は LH 地域や HL 地域に変化している．

表　LISA パターンの前年から当年への遷移割合

（上：市区町村数，下：調整済み残差）

		当年			
		HH	HL	LH	LL
前年	HH	2599 (70.20)	232 (-13.02)	249 (-14.98)	163 (-47.10)
	HL	271 (-11.75)	868 (55.45)	28 (-15.38)	272 (-16.40)
	LH	290 (-13.48)	21 (-15.79)	1020 (57.12)	290 (-18.50)
	LL	212 (-48.14)	308 (-15.06)	333 (-17.28)	3290 (69.80)

4. おわりに

本研究では，マイナンバーカード交付率の空間的特性を明らかにした．日本全体として，交付率は近くの地方自治体に類似して推移していることがわかった．また，局所的な空間的関連性の分析により，当該地域のみならず周辺地域の交付率も高い市区町村は，次の年も同様の傾向があることが確認された．特に，南九州の地域にそのような傾向が顕著であった．

交付率が大域的・局所的に空間的関連性が見られるということは，交付率の上昇に効果のある自治体の取り組みも地理的に近い自治体で共有もしくは連携して行われている可能性があると考えられる．交付率を上昇させる要因（自治体の取り組み）に空間的関連性があるのか明らかにすることが，課題の一つとして挙げられる．

参考文献

Anselin, L.,(1995). Local indicators of spatial association—LISA. Geographical analysis, 27(2), 93-115.

Rogers,E. M. : Diffusion of innovations. New York: Free Press.5th ed, 2003.

小川顕正・赤井伸郎（2021），マイナンバーカード普及率の要因分析，日本地方財政学会研究叢書，2021 年 28 巻，pp.15-37.

瀬谷創・堤盛人 (2014)『空間統計学―自然科学から人文・社会

科学まで』，朝倉書店.
先進事例研究会 - 愛媛県庁公式ホームページ
https://www.pref.ehime.jp/uploaded/attachment/76987.pdf.（参照日：2025 年 8 月 28 日）
総務省｜マイナンバー制度とマイナンバーカード
https://www.soumu.go.jp/kojinbango_card/01.html（参照日：2025 年 8 月 20 日）.
村上大輔 (2022)『R で始める地理空間データの統計解析入門』，講談社.

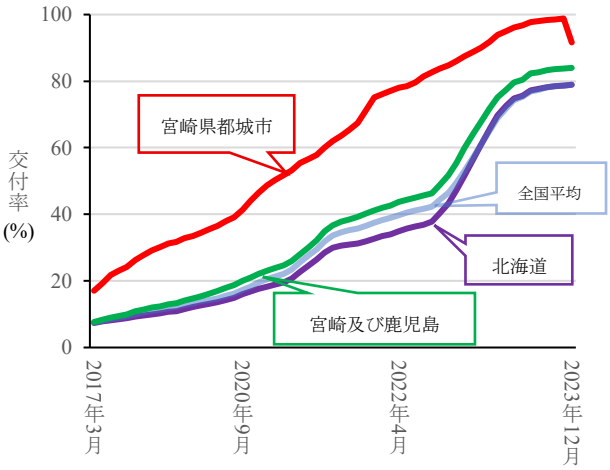
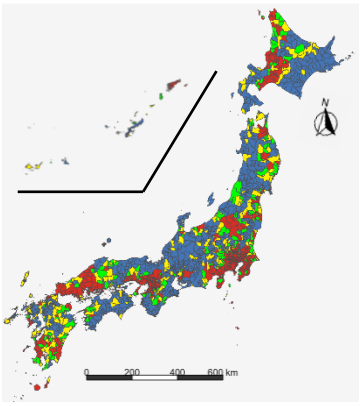
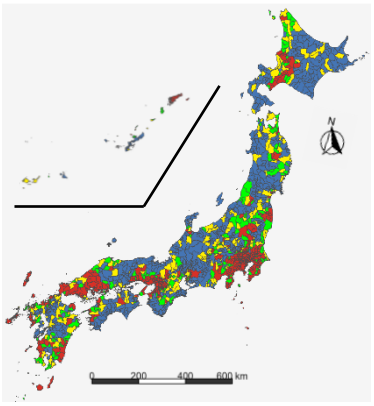
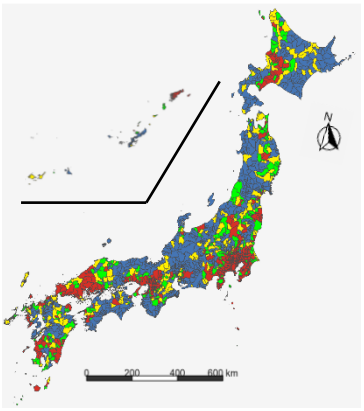
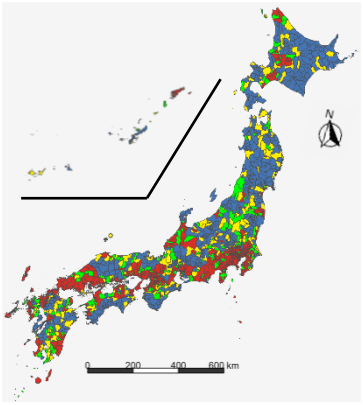


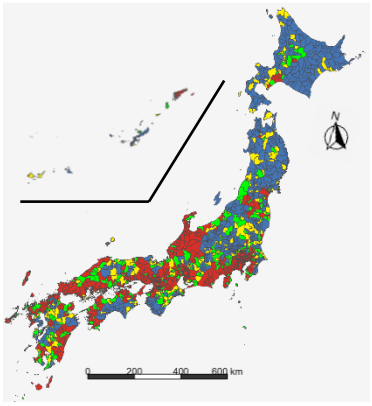
図5　宮崎県及び鹿児島県と北海道の交付率の推移

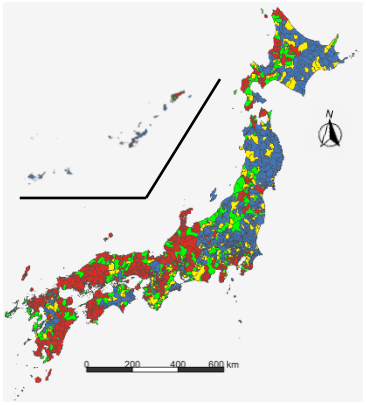

2017 年 12 月 1 日

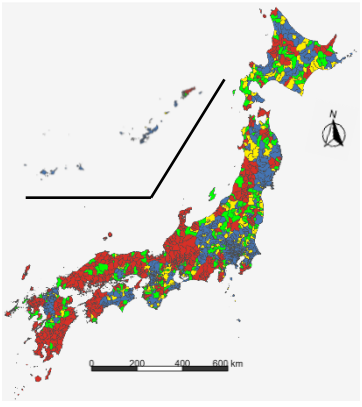

2018 年 12 月 1 日


2019 年 11 月 1 日


2020 年 12 月 1 日


2021 年 12 月 1 日


2022 年 12 月末


2023 年 12 月末

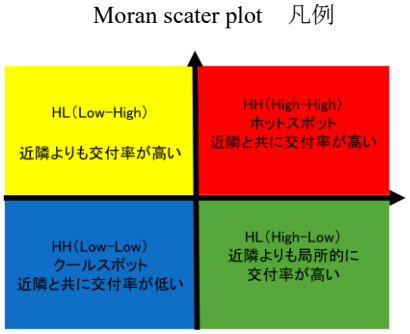


図6 Moran scater plot

ポスター発表

2025年11月2日(日) 13:00 ~ 13:50 | 会場(金森産業ホール)
[P2] ポスター発表 #2

[P2-37] 充電インフラ整備ビジョンを用いた関東地方における充電インフラ普及の時空間分析

*本多 広樹[1] (1. 山形大)

キーワード：充電インフラ、電気自動車（Electric Vehicle，EV）、充電インフラ整備ビジョン

電気自動車用充電インフラ（以下，充電インフラ）は，2010年代に大きく普及した先端技術である．その普及拡大時において，各都道府県が「充電インフラ整備ビジョン」（以下，ビジョン）を策定したことが，普及研究の対象としての充電インフラの特徴である．このビジョンには，充電インフラ整備計画の詳細とそれに沿って登録された充電インフラの一覧が記載されている．本研究では，充電インフラ普及の広域分析および地域間比較を可能にするデータとしてこのビジョンに着目し，充電インフラの時空間分布とその特徴を解明することを目的とする．対象地域としては，EV・PHVタウンに選定された地域，されていない地域の両方を含む関東地方を選定した．そして1都6県のビジョンから充電インフラのデータを作成し，整備計画と普及との関係について分析，考察した．

©一般社団法人地理情報システム学会

ポスター発表

2025年11月2日(日) 13:00 ~ 13:50 | 会場(金森産業ホール)
[P2] ポスター発表 #2

[P2-38] 福岡県における太陽光発電適地抽出と運営クラスター化

*張 越天[1] (1. 上智大学地球環境研究科)

キーワード：リモートセンシング、空間データ、カーボンニュートラル、定量的分析、DBSCAN、K-means、分散型と中小規模、コスト

本研究では、福岡県を対象として太陽光発電の適地を抽出し、さらに運営形態の特徴に基づいてクラスター化を行うことを目的とする。具体的には、地形・土地利用・日射量などの空間データを用いて適地評価を実施し、GISを活用して最適な候補地を抽出する。その後、運営主体（自治体、企業、個人）や発電規模、立地条件といった要素を考慮し、クラスタリング手法により運営形態のパターンを整理・分類する。これにより、地域特性に応じた再生可能エネルギー導入の指針を示し、持続可能なエネルギーシステムの構築に資することを目指す。

©一般社団法人地理情報システム学会

ポスター発表

2025年11月2日(日) 13:00 ~ 13:50 | 会場(金森産業ホール)
[P2] ポスター発表 #2

[P2-39] オープンデータとAIを活用した全球展開を見据えた建物用途分類手法の開発

*清水 貴仁[1]、秋山 祐樹[1]、山野寺 瞭太 (1. 東京都市大学)

キーワード：建物用途、広域展開、オープンデータ、Point of Interest、機械学習

都市が抱える課題を解決し持続可能な都市の運営を行うためには，建物用途の情報が不可欠である．しかし，建物用途に関するオープンデータは存在せず，広域的に適用可能な汎用性の高い建物用途の推定手法も確立されていないのが現状である．そこで本研究では，途上国を含む全世界規模で適用可能な建物用途推定手法の開発を目的とし，その先駆けとして東京都を対象に手法の開発と検証を行った．具体的には，FoursquareやOpenStreetMapなどのオープンデータから得られる建物形状や立地環境の特徴から，建物の用途を「戸建て住宅」「戸建て事業所」「共同住宅」「その他」の4種類に分類する機械学習モデルを開発した．その結果，全体での正解率は0.614に達し，オープンデータのみを用いた手法として高い有効性を示すことができた．本手法は世界各地における都市計画，交通計画，防災など多様な分野での活用が期待される．

©一般社団法人地理情報システム学会

金融機関店舗の跡地利用についての考察

西原 梨沙子*・堤 盛人・**

A study on the use of former financial institution sites

Risako Nishihara*, Morito Tsutsumi**

Abstract: In recent years, following the bubble economy's collapse, the restructuring of financial institutions and digitalization have accelerated branch closures across Japan, leaving many vacant sites. Often in highly accessible areas such as stations or main roads, these reflect broader changes in urban functions and regional economies. This study compares the distribution and reuse of former financial institution sites in Tokyo Metropolis, Ibaraki Prefecture, and Toyama Prefecture. In Tokyo Metropolis, sites cluster in the urban core and are often reused for lifestyle- and education-related services. In Ibaraki Prefecture, sites appear across the prefecture, with educational uses also observed, suggesting demand like Tokyo. In Toyama Prefecture, sites cluster in major cities, with small-scale, diverse uses tied to local industries and community life. These patterns highlight regional characteristics: service agglomeration in large cities, mixed-use development in medium-sized regions, and diverse individualized uses in regional cities.

Keywords: 金融機関支店(financial institution branch), 支店跡地(site of former branch), 地理空間分布(geo-spatial distribution), 跡地利用(use of branch)

１．はじめに

１．１　研究の背景

銀行店舗数の減少は，過去 30 年間で約 6500 の有人店舗が廃止されたように，バブル崩壊と金融危機以降，金融機関の業務効率化によって進められてきた(杉山, 2024). 近年，金融機関の経営効率化やデジタル化の進展に伴い，実店舗の統廃合が加速している．これにより，中心市街地や駅前に位置する好立地の店舗が閉鎖され，多くの空き地や空きテナントが発生している．これらの跡地は，通常の商業施設にはない設備が備えられていることが多い．強固な金庫室や ATM 設置のための専用スペース，外部から侵入しにくい複雑な導線などは建物の解体や改修に多大な費用と時間を要する要因となり，新たなテナントの入居を阻害する障壁となる．跡地が長期間にわたって未利用のままであることは，地域の景観を損なうだけでなく，地域経済の停滞を招く原因となり(Nguyen, 2019), 喫緊の課題である．

１．２　研究の目的

本研究は，こうした金融機関店舗の跡地問題に着目し，その利用状況と時間的な変遷を明らかにすることを目的とする．特に，跡地がどのような用途で活用されているか，あるいは未利用のまま放置されているかについて，東京都，茨城県，富山県，の事例を比較分析することで，地域特性や立地条件が跡地利用に与える影響を多角的に考察し，金融機関店舗跡地の円滑な活用を促し，地域活性化に貢献するための基礎資料を提供することを目指す．

２．先行研究の整理と本研究の位置づけ

２．１　先行研究の整理

先行研究として曽根・安藤（2009）は，金融危機後の大規模合併に伴う銀行建物に着目し，1996 年と 2006 年の銀行店舗を比較することで，跡地利用が建物の価値よりも収益性に基づいて決定され，また立地条件よりも建物所有者によって傾向が異なることを明らかにした．しかし，銀行以外の跡地利用について全数を対象に調査した研究は見られず，事例研究の蓄積にとどまっている．

この点に関連して，筆者ら（2025）は，金融機関店舗が近年のデジタル化やネットバンク普及により閉鎖が加速していることに着目し，茨城県を事例に金融機関店舗跡地の分布変化と利用状況を分析している．その結果，閉鎖が必ずしも利用者の利便性低下には直結していない一方，中心市街地においても空きテナントや更地，ATM にとどまるなど，十分に活用されていない跡地が多いことを明らかにした．

第 1 著者* 学生会員・筑波大学大学院 システム情報工学研究群（Tsukuba University）
〒305-8537 茨城県つくば市天王台 1-1-1 E-mail: s2520477@u.tsukuba.ac.jp
第 2 著者**正会員・筑波大学 システム情報系 教授（Tsukuba University）
〒305-8537 茨城県つくば市天王台 1-1-1 E-mail: tsutsumi@sk. tsukuba. ac. jp

２．２　本研究の位置づけ

筆者らが調べた限り，日本国内において金融機関店舗跡地の利用を扱った研究は少なく，先行研究では約 20 年前までのデータに基づいている．そのため，近年のデジタル化の進展やネットバンクの普及を背景に急速に進む店舗閉鎖と，それに伴う跡地の発生については十分に検討されていない．今後も金融機関店舗の閉鎖は継続すると予想される中，中心市街地における跡地が未活用のまま放置されれば，地域経済の縮小に結びつく可能性が高い．このような問題意識のもと，本研究は最新のデータを用いるとともに，大都市・地方都市・多様な地域構造を内包する県域を比較し，金融機関跡地利用の地域差を明らかにする．対象地域としては，東京都，茨城県，富山県とする．東京都は日本を代表する大都市圏であり，経済活動や金融機関の集積度が全国で最も高く，跡地利用の動向は都市部における一般的傾向を把握する参照点となる．また茨城県は農業産出額が全国第 2 位を占める農業県である一方，県南部は東京都市圏に組み込まれ人口増加や都市化が進んでいる．県東部では鹿島臨海工業地帯や水産業などの産業集積がみられるのに対し，県北部ではかつての産業基盤が衰退した結果，人口減少や過疎化が進行している．このように県内に多様な地域特性を内包している点から，跡地利用の多様性を検討する対象として適している．加えて富山県は北陸地方を代表する人口約 100 万人規模の地方都市圏であり，北陸新幹線の開業によって富山市を中心に都市機能の強化が進む一方，高岡市などでは人口が減少するなど衰退傾向も指摘されている．このように，大都市・複合的地域構造・地方都市という対照的な地域を取り上げることで，金融機関跡地利用の特性を多角的に明らかにする点に新規性を有する．

３．研究手法と使用するデータ

３．１　研究手法

本研究では東京都，茨城県，富山県の金融機関店舗の跡地利用を調査することで，金融機関の跡地利用の実態を把握する．各地域の跡地利用を明らかにすると友にさらに，地域間の比較を行うことで，都市圏と地方圏における跡地利用の特徴や傾向を明らかにすることを目指す．

３．２ 使用するデータ

本研究では，金融機関の住所データとして『日本金融名鑑』の 2001 版と 2024 年版を用いる．金融機関は預金を扱う機関と扱わない機関の大きく二つに分類できるが，本研究ではより多くの利用者が訪れると考えられる預金を扱う機関（都市銀行，地方銀行，第二地方銀行，信託銀行，信用金庫，信用組合，労働金庫，商工組合中央金庫）のみを対象とし，それらの店舗住所抽出を行った．2001 年版は 2000 年 3 月時点，2024 年版は 2023 年 3 月時点のデータである．金融機関店舗の住所として，2001 年版から 27,776 件のデータが得られた．また，2024 年については複数の支店を一つの店舗で共同運営する店舗内店舗の形式をとる 2,645 の支店と，対面で窓口業務を行わないバーチャル店舗 416 支店のデータを除いた 19,443 件のデータが得られた．

また，跡地利用状況のデータとして，株式会社ゼンリンが提供している『2024 年 8 月版企業サーチデータ』を用いる．東京都について，405,830 件，茨城県について，113,502 件，富山県について 73,447 件の電話番号に紐付いた住所，経緯度，業種の情報を取得し分析に用いる．

３．３　金融機関跡地の抽出方法

跡地の抽出にあたっては，『日本金融名鑑』の 2001 年版と 2024 年版の住所データを用い，CSIS が提供する号レベルアドレスマッチングサービスにより各店舗の住所に緯度経度を付与した．その後，2001 年版に存在し 2024 年版には記載がない店舗，および両版で住所が異なる店舗を抽出し，跡地とみなした．また，複数の支店を 1 つの建物で共同運営する店舗内店舗については，重複を避けるために建物単位で店舗数をカウントした．

３．４　跡地利用の調査方法

本研究では，抽出した跡地の現在の利用状況を特定するため，タウンページ（株式会社ゼンリンが提供している『2024 年 8 月版企業サーチデータ』）を用いた．タウンページは電話番号に基づく事業者データベースであり，所在地と業種分類から跡地に入居する事業所の属性を特定できる．本研究ではこのデータを用い，跡地の「事業利用」に焦点を当てて分析した．ただし，本方法では個人住宅や更地，駐車場といった非商業的利用は把握できない．また，タウンページに登録されない小規模事業や ATM のみの設置も対象外となる．したがって，本研究で明らかにできるのは，跡地の事業利用の傾向に限られる点に留意する必要がある．

４．金融機関の跡地利用分析

４．１　跡地の地理空間的分布

東京都において金融機関店舗の跡地の空間分布は次ページの図 1 の白い点が示すとおりで，23 区内に多くの跡地が存在することがわかった．特に，山手線の内側を中心に非常に多くの跡地が見られる．また，多摩地域にも跡地は点在しているが，都心部のような高密度な分布は見られないことがわかった．

茨城県において，金融機関店舗の跡地の空間分布は次ページの図 2 の白い点が示すとおりで，鉄道の駅周辺に多くの跡地が存在することがわかった．また，2001 年に存在していた店舗の立地と比べて跡地の立地は，特定の地域に偏っていることは無く，茨城県内全体で一様に跡地が発生していることがわかった．

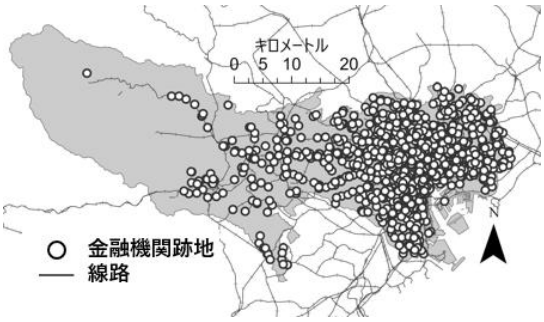


図 1 東京都の金融機関店舗跡地

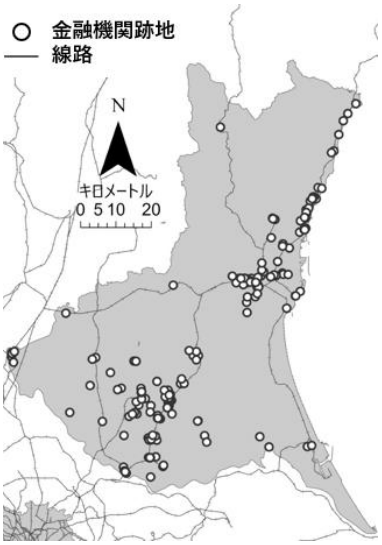


図 2　茨城県の金融機関店舗跡地

富山県において，金融機関店舗の跡地の空間分布は以下の白い点が示すとおりで，富山市と高岡市に多くの跡地が存在することがわかった．特に，富山市中心部と，富山市から高岡市にかけての交通結節点付近に多くの跡地が見られる．跡地の立地は，県内の経済活動の中心地域に偏って発生していることがわかった．

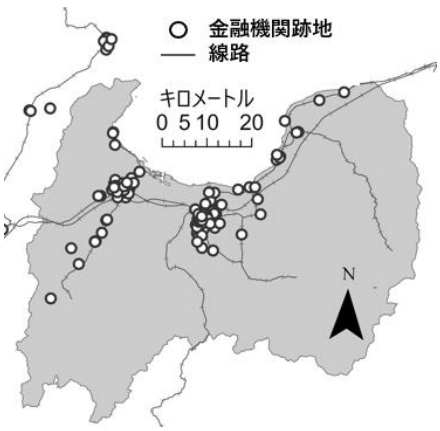


図 3　富山県の金融機関店舗跡地

４．２　閉鎖した店舗，跡地数

2000 年から 2023 年にかけて，東京都，茨城県，富山県のいずれの地域でも店舗数は減少していることがわかる（表 1）．東京都では 3,319 から 2,415 へ，茨城県では 605 から 414 へ，富山県では 375 から 318 へと，それぞれ店舗の統廃合や閉鎖が進んでいることが示される．跡地数を見ると，東京都では 1,478 ヶ所，茨城県では 322 ヶ所，富山県では 124 ヶ所であり，いずれの地域でも店舗減少数を上回っている．これは，閉鎖された店舗に加え，移転した店舗の跡地も含まれているためである．これらの結果から，3 地域ともに店舗の減少に伴い多くの跡地が発生していることが明らかとなった．

表 1 地域別店舗数と跡地数

	東京都	茨城県	富山県
2000 年店舗数	3, 319	605	375
2023 年店舗数	2, 415	414	318
跡地数	1, 478	322	124

４．３　跡地の利用状況と地域別の特徴

東京の金融機関店舗跡地利用は，表 2 のようになり，金融機関に引き続き生活に密着したサービスへの転換が顕著であった．最も多いのがコンビニエンス店（48 件）と塾・進学教室（43 件）で，地域住民の日常生活や教育ニーズに深く根ざしていることがわかる．これに続くのが飲食店（28 件）であり，次にスポーツクラブ，貸ビル，英語スクール，カフェ，不動産取引，インターネット関連業，介護サービス（在宅），歯科，カラオケボックス・ルームといった多様な業種が名を連ねている．これらの業種は，かつて銀行があった場所の利便性の高さを最大限に活用していると考えられる．

一方，茨城県における『企業サーチデータ』を用いた分析では，塾・進学教室（7 件）が最多で，保険・共済（5 件），ビジネスホテル（3 件），不動産取引（2 件）など多様な業種が確認され，東京と同様に教育需要の高さが共通点として浮かび上がった．ただし，個人宅や空地，ATM といった用途は反映されていないため，跡地利用の全体像を把握するには補完的な調査が必要である．

表 2 東京都における跡地利用上位 10 分類

タウンページ分類(基本分類名)	件数
コンビニエンス店	48
塾・進学教室	43
飲食店	28
スポーツクラブ	20
貸ビル	18
英語スクール	16
カフェ	16
不動産取引	16
インターネット関連業	14
介護サービス（在宅）	14

富山県の金融機関店舗跡地はアパート・マンション（2 件）を除けば，他の業種はすべて 1 件のみの利用にとどまっており，プロバイダー，歯科，ビジネスホテル，飲食

店，カフェといった多様な業種が，それぞれのニーズに合わせて跡地を利用していた．東京のような大都市圏とは異なり，特定の業種に需要が集中するのではなく，跡地がより個別的，多様な用途に利用されていると考えられる．管工事や造花・装飾・花環，刃物店といった，地域特有の産業や生活に根ざした業種が見られた．総じて，富山県における金融機関跡地は，地域ごとの個別のニーズに応じて，限定的かつ多様な形で再利用されていることがうかがえる．

この 3 地域の比較から，金融機関店舗の撤退は単なる建物の閉鎖ではなく，その地域の経済活動，人々の生活様式，そして社会構造の変化を映し出す鏡であることがわかった．東京では，高密度かつ多様なサービスへと，富山では個別的なニーズに応じた利用へと，そして茨城ではオフィスや住居といった複合的な用途へと，それぞれの地域が持つ特性に応じて，跡地が再利用されていた．共通点として，東京・茨城の両地域で塾・進学教室が一定数みられることは注目され，教育ニーズが金融機関跡地の有効活用の一端を担っていることが示唆された．

５．おわりに

５．１　結論

本研究では，東京都，茨城県，富山県を対象として金融機関店舗跡地の空間分布と利用状況を比較した．その結果，東京都では山手線内側を中心に高密度で跡地が分布し，生活密着型サービス（コンビニや塾，飲食店など）への転換が顕著であった．茨城県では鉄道駅周辺を中心に跡地が点在しつつ県内全体に広がっており，オフィスや住宅など複合的な用途への利用が見られた．富山県では富山市と高岡市の中心部や交通結節点付近に跡地が集中し，地域固有の多様なニーズに応じた限定的かつ多様な用途に利用されていた．

以上の結果から，跡地の立地と利用形態は地域の都市構造や需要特性に強く依存しており，都市部・地方部で跡地利用の傾向が大きく異なることが明らかとなった．

５．２　本研究の課題と今後の展望

本研究は，銀行・信用金庫・信用組合など多様な金融機関を対象とし，かつ最近のデータに基づいて都市部と地方都市を比較した点に新規性がある．従来研究では十分に捉えられなかった現代的な跡地利用の傾向を明らかにした点に意義があるといえる．

一方で，東京都と富山県の調査はタウンページに基づいており，事業所ベースの把握という意味で一定の網羅性を有するが，個人宅や空地，非商業的用途は反映されない．茨城県で行った全数調査はこうした用途も確認できる点で補完的だが，手作業での確認やインターネット情報の限界から，不確実性や再現性の問題が残る．

今後は住宅地図や公的統計を組み合わせるなど，より精度の高い調査方法が望まれる．また，跡地利用の変遷を時系列で追跡することで，デジタル化や金融機関再編の進展に伴う利用形態の変化を明らかにする必要がある．さらに，跡地活用が地域経済や住民生活に与える影響を定量的に把握することで，地域特性に即した跡地利用計画や政策提言に資する成果も望まれる．

謝辞

本研究は，東京大学 CSIS 共同研究（No. 1464）による成果である（利用データ： 号レベルアドレスマッチングサービス（CSIS 提供），企業サーチデータ 座標あり・住所 5 桁版（2024 年 8 月版）（ゼンリン提供）．

参考文献

1)杉山 敏啓（2024）銀行 150 年にわたる国内有人店舗数の変遷：1873～2022 年,「江戸川大学紀要」, **34** ,389-412

2)Nguyen, Hoai-Luu Q. （2019）Are Credit Markets Still Local? Evidence from Bank Branch Closings.「American Economic Journal: Applied Economics」,**11**(1)01-32

3)曾根 陽子・安藤 真由子（2009）銀行建物の用途変更に関する研究.「日本建築学会技術報告書集」, **15** (31)855-858

4)西原梨沙子・松尾和史・堤盛人（2025）茨城県における金融機関跡地の地理空間分布とその利用状況についての考察.「土木計画学研究・講演集」, **71**, 01-15

遺跡立地を踏まえた埋蔵文化財調査の地理空間的偏在分析
遺跡地図オープンデータと抄録データの地理空間情報を用いた検討

武内樹治*

Geospatial Disparities in Archaeological Excavations Considering Site Locations
- A Study Using Open Archaeological Site Maps and Semi-structured datasheets -

Mikiharu Takeuchi*

Abstract: This study examines geospatial disparities in archaeological excavations by incorporating site location data. Using open GIS-based archaeological site maps and semi-structured datasheets that are attached to fieldwork reports, we analyzed Chiba Prefecture, with a high frequency of excavations, and Toyama Prefecture, with fewer cases. Results show that excavations tend to concentrate in areas favorable for human habitation, such as lowlands and loam plateaus, and often overlap with densely inhabited districts (DID). However, regional variation was observed: in Toyama, excavation hotspots also appeared outside DID areas, reflecting local geomorphological and historical conditions. These findings demonstrate the value of open geospatial data for understanding excavation biases and provide insights for future heritage management under conditions of demographic change.

Keywords: 埋蔵文化財包蔵地 (Buried Cultural Properties), 発掘調査 (Archaeological Excavation), 地理空間情報 (Geospatial Information) , 遺跡地図 GIS（Archaeological Site Map GIS）

１．はじめに

埋蔵文化財調査の 95%以上が開発事業に伴う事前調査である [1]. そのため, 埋蔵文化財調査の分布は開発事業に影響を受けており，埋蔵文化財調査による出土情報などの考古学データも同様である.

佐原(1985)は考古資料の分布には「本来の不在」と，本来は実在しながら「いま不在」のものがあり，考古学の分布論では「空白のこわさ」を考慮すべき点を指摘している．この「不在」を考える際には，対象となる埋蔵文化財包蔵地（遺跡）と，埋蔵文化財（発掘）調査に分けて考える必要がある.

この偏在については，考古学研究の際にも検討課題であり，近年では未発見の遺跡や調査されていない遺跡に対して存在予測などが行われている（石井 2024, 山口 2025）.

小杉(2005)は, 現代的な開発の指標としてのコンビニエンスストアの分布と北海道地域の遺跡分布から「遺跡はコンビニのそばにある」といった状態であることを明らかにし，遺跡分布の評価において，現代の開発状況を十分に考慮する必要性を示した. さらに小杉(2013)は各時代の遺跡分布のカーネル密度推定結果の比較から，縄文文化の当初以降，現代に至るまで，人類が日常的かつ活発に活動してきた地域は基本的に一致しており，その地域を「後氷期型立地地域」としている.

埋蔵文化財調査がどのような地点でどのくらい実施されているかという偏在や実態は埋蔵文化財保護行政として把握する必要がある．特に，今後の人口減少によって埋蔵文化財調査の量の減少や，それによる埋蔵文化財専門職員の雇用削減などによる保護体制の弱体化などが危惧されている（松田 2020）. 埋蔵文化財調査の将来予測を行い，保護体制が弱体化しないように適切な対応をする必要がある．埋蔵文化財調査の偏在の分析の例として抄録を用いたものがある．抄録とは，発掘調査の基本的な情報や，遺跡で得られた成果などを所定の様式の一覧にして発掘調査報告書の巻末などに付するものである [2]. 武内（2024）は，全国の 14 万件の抄録データを用いて基礎的な探索的データ分析をしたのちに，時空間分析によって埋蔵文化財調査が空間的に広がっていく流れを可視化し，開発動向との関係を確認した．また，関西地域の抄録データを人口集中地区のデータと組み合わせて分析し，再開発の動向とのリンクを地理的に示した．より詳細な分析のためには，埋蔵文化財調査の対象となる遺跡の立地にも着目して埋蔵文化財調査の動向について知見を得る必要がある.

埋蔵文化財包蔵地については文化財保護法に基づく保護行政のために，都道府県や各市町村が所在・範囲を遺跡地図として整備している．近年，遺跡地図のデジタル化，WebGIS 公開が増えて，遺跡の分布をインターネット上で閲覧できるようになった．それだけでなく，二次利用可能な形式での GIS オープンデータを公開する都道府

* 正会員 奈良文化財研究所企画調整部（Nara National Research Institute for Cultural Properties）
〒630-8577 奈良県奈良市二条町 2-9-1 E-mail：takeuchi-m2m@nich.go.jp

県も 10 以上あり（武内 2025），遺跡の分布データを容易に利活用できる環境が整いつつある．本研究は，これらの遺跡地図 GIS データを利用して埋蔵文化財調査の対象となる遺跡の立地にも着目しながら，2 つの地域で埋蔵文化財調査の動向を明らかにすることを目的とする．

２．研究の方法

２.１　対象地域と研究データ

本稿では，遺跡地図の GIS データが二次利用可能な形で公開されている千葉県と富山県を対象に行う．千葉県は全国的に見ても発掘調査の届出等の件数が比較的多い県であり，富山県は少ない県である [3]．遺跡の分布については，各県の GIS データを利用する [4]．また，埋蔵文化財調査については，奈良文化財研究所が運用する全国文化財総覧 [5]の抄録データを利用する．抄録データの件数は，調査された時代単位で数える場合と，調査単位で数える場合で異なる．つまり，1 つの発掘調査の中で，縄文時代，弥生時代，古墳時代の出土があった場合，調査単位での抄録では 1 つであるが，調査された時代単位の抄録では 3 つあることになる．本稿では，調査単位の件数を主に扱う．

２.２　分析の流れ

まず，各県において遺跡がどのような立地状況であるかを確認する．ここでの立地状況は過去の復原された地形ではなく，現代の地形での立地を指す．国土数値情報ダウンロードサイトで公開されている「20 万分の 1 土地分類基本調査（GIS データ）」を用いる [6]．また，1990 年代までは都市の拡大やニュータウン・大規模インフラ建設に伴って開発と文化財保護の対立が叫ばれていたが，近年の再開発，さらにはコンパクトシティや都市再編もあり，調査地点に変化があると思われるため，どこで埋蔵文化財調査が実施されているのかについて分析する．その際に，先行研究同様に，人口集中地区の情報を用いる．人口集中地区とは，国勢調査の基本単位区などを基礎単位として市区町村の境域内で人口密度の高い地域として設定された地区（DID）のことである． 人口集中地区の人口と面積は 1960(昭和 35)年から 1980(昭和 55)年まで大幅に増え，その後の増加率はやや落ち着くものの長年増え続けている（総務省統計局編 2017）．人口集中地区のデータは，国土数値情報ダウンロードサイト [7]で公開されている平成 27 年のものを利用する．

３．分析

３.１　千葉県

オープンデータとして公開されている遺跡地図 GIS データによると，千葉県内の遺跡は 14,203 件であった．また，平成 27 年時点の人口集中地区に立地する遺跡は 2,048 件（14.4%）であった．

千葉県内の地形分類をみると，下総台地を含む県北部の多くをローム台地が占める．比較的低地・丘陵地・ローム台地が占める割合が多く，山地は少ない．千葉県内の人口集中地区の多くは東京湾に面した地域や，東京都に近い地域である．

地形分類ごとの遺跡の件数を表 1 に示した．半数以上がローム台地上に立地しており，低地，丘陵地と続く．山地が千葉県内で面積が限られていることもあり，山地に立地する遺跡は 1%未満であった．

表 1　千葉県内の遺跡の立地

地形分類	遺跡件数	割合（%）
ローム台地	7,270	51.2
丘陵地	2,799	19.7
山地	101	0.7
低地	4,022	28.3

次に，調査件数を確認する．調査単位での抄録の件数は 16,994 件であった．地形分類ごとにその調査（抄録）件数を表 2 に示した．調査の件数が多いのが，ローム台地，低地，丘陵地，山地と続くのは遺跡件数と同様であった．ただし，丘陵地，山地，低地は遺跡の立地する割合よりも調査件数の割合は少なく，ローム台地がより大きな割合を占めている．さらに，調査地点分布にカーネル密度推定を求め，調査が集中している地域をみてみると（図 1），多くの地域でホットスポットと人口集中地区が重なる傾向がみてとれた．

表 2　千葉県の調査（抄録）地点の地形分類

地形分類	調査件数	割合（%）
ローム台地	5,518	64.2
丘陵地	937	10.9
山地	16	0.2
低地	2,123	24.7

また，調査件数が時系列でみたときにどのような変化があるかを，調査が人口集中地区内で行われているかに着目して，調査した（表 3）．ここでの人口集中地区は平成 27 年度のものを各年代に適用している．調査件数が増える 1970~1990 年代は人口集中地区の割合は 30%台であるが，2000 年代以降は 40%を超え，現在の人口集中地区内での発掘調査が増えているといえる．既に市街地（人口集中地区）となっている地域で再開発が進み，そのために発掘調査も同じ傾向を辿っていると思われる．

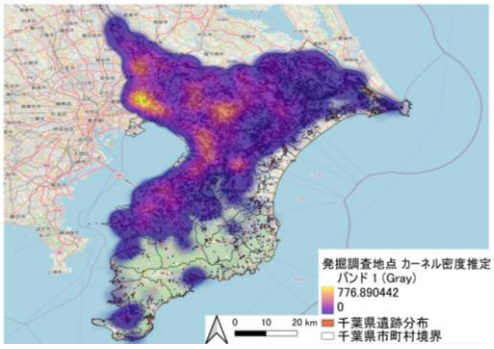


図 1　千葉県の発掘調査地点分布の集中性

表 3　年代別の千葉県内の調査（抄録）件数と人口集中地区内の件数比較

年代	人口集中地区内調査件数	千葉県内調査件数	割合(%)
~1950 年	1	0	0.0
1950 年代	3	1	33.3
1960 年代	28	12	42.9
1970 年代	293	97	33.1
1980 年代	1,638	524	32.0
1990 年代	2,106	758	36.0
2000 年代	2,264	984	43.5
2010 年代	1,948	860	44.1
2020 年代	266	112	42.1

※ここでの人口集中地区は 2015 年度時点のものを指す.

3.2　富山県

オープンデータとして公開されている遺跡地図 GIS データによると，富山県内の遺跡は 4,623 件であった．また，平成 27 年時点の人口集中地区に立地する遺跡は 441 件（9.5%）であった.

富山県内の地形分類をみると，日本海側・富山湾側には富山平野，射水平野，砺波平野と平野・低地が多くを占める．平成 27 年時点の人口集中地区は基本的にこの平野部に立地している．南側の長野県との間には険しい山脈がある.

遺跡の立地を地形分類でみる（表 4）と，低地が 45.4%と最も多くの割合を占める．割合としては，低地の次に，丘陵地，台地段丘，山地，火山地と続き，人類が比較的住みやすいと思われる地域の方が遺跡の件数も多い.

次に，調査件数を確認する．調査単位での抄録の件数は 3,236 件であった．地形分類ごとにその調査（抄録）件数を表 5 に示した．特筆すべきは遺跡と比べると調査地点の低地の割合が多く，丘陵地，山地などの割合が低くなっている点である．特に低地での開発が多く，それに伴って発掘調査件数も多くなっていると予想できる．さらに，調査地点分布にカーネル密度推定を求め，調査が

表 4 富山県の遺跡の地形分類

地形分類	遺跡件数	割合（%）
火山地	6	0.1
丘陵地	1,251	27.1
山地	619	13.4
台地段丘	644	14.0
低地	2,094	45.4

表 5 富山県の調査（抄録）地点の地形分類

地形分類	調査件数	割合（%）
火山地	5	0.3
丘陵地	372	19.7
山地	77	4.1
台地段丘	186	9.9
低地	1,247	66.1

集中している地域をみてみると(図 2), 千葉県と同様に，多くの地域でホットスポットと人口集中地区が重なる傾向がみてとれた．しかし，人口集中地区でない，砺波平野の南砺市や小矢部市，さらには氷見市にもホットスポットが確認できた．また，富山市内の富山駅付近は富山県内では比較的面積の大きい人口集中地区といえるが，ここには大きなホットスポットは存在していない．これは近世以前は当地が氾濫原で居住しにくい地域で遺跡の分布自体が限定的であることに起因する.

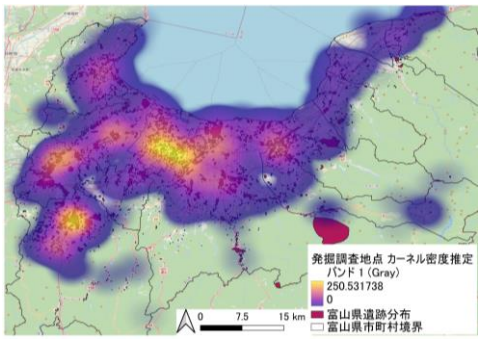


図 2　富山県の発掘調査地点分布の集中性

調査件数が年代ごとにどのような変化があるかを，調査が人口集中地区内で行われているかに着目して，調査した（表 6）．1980~2010 年代で人口集中地区内の割合が 10%程度から 30%近くまで増えており，現在の人口集中地区内での発掘調査が増えている．既に市街地（人口集中地区）となっている地域で再開発が進み，そのために埋蔵文化財調査も同じ傾向を辿っていると思われる.

表 6 年代別の富山県内の調査（抄録）件数と人口集中地区内の件数比較

年代	人口集中地区内調査件数	富山県内調査件数	割合(%)
1960 年代	2	4	50.0
1970 年代	2	185	1.1
1980 年代	17	180	9.4
1990 年代	38	378	10.1
2000 年代	131	667	19.6
2010 年代	93	333	27.9
2020 年代	32	71	45.1

※ここでの人口集中地区は 2015 年度時点のものを指す.

４．考察

本稿では，千葉県・富山県を対象に，遺跡と発掘調査に関する地理空間情報を用いて地理的な偏在について分析を行ってきた. 同じく抄録データを扱った先行研究から，遺跡の立地を考慮することによって，低地や台地など人が住みやすい地域や，人口集中地区に調査地点が集中しているという調査地点の分布傾向を再確認できた．さらに，富山県では，遺跡の分布の特性上，必ずしも人口集中地区に発掘調査が集中しているわけではないという先行研究とは異なる事例も得ることができた.

課題として，用いた抄録データが全国文化財総覧上で必ずしもすべての発掘調査に対して網羅的に整備されているわけではない点が挙げられる．遺跡の立地についてはその遺跡の該当時代や種別によっても分布の傾向が変わるため，例えば遺跡の時代ごとの分析もあればより深い議論が期待できる．また，各県での詳細な都市開発の流れや今後の都市開発政策などと結び付けられていないため課題が残る.

さいごに，本研究は遺跡地図のオープンデータ化によって実現したものであり，当研究の延長線上には埋蔵文化財調査の将来予測にもつながり，埋蔵文化財保護行政へ提言できる可能性があり，地理空間情報をもったオープンデータの利活用として重要と考える．今後も遺跡地図 GIS データの公開件数の増加を期待したい.

謝辞

本研究は，JSPS 科研費 24K00142 の助成を受けて実施した.

注

1) 文化庁文化財第二課 埋蔵文化財関係統計資料―令和６年度―
https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkazai/shokai/pdf/94220501_01.pdf　2025 年 8 月 29 日閲覧
2) 埋蔵文化財発掘調査体制等の整備充実に関する調査研究委員会（2004）『行政目的で行う埋蔵文化財の調査についての標準(報告)』 https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkazai/shokai/pdf/hokoku_06.pdf 2025 年 8 月 29 日閲覧
3) 前掲 1)
4) 千葉県総務部デジタル改革推進局デジタル推進課 ちば情報マップ 包蔵地
https://map.pref.chiba.lg.jp/pref-chiba/OpenDataDetail?lid=4&mids=30　2025 年 8 月 29 日閲覧
富山県庁　富山県オープンデータポータルサイト 埋蔵文化財
https://opendata.pref.toyama.jp/dataset/gis-maibun 2025 年 8 月 29 日閲覧
5) 奈良文化財研究所　全国文化財総覧
https://sitereports.nabunken.go.jp/ja　2025 年 8 月 29 日閲覧
6) 国土交通省 国土数値情報ダウンロードサイト 地形分類図
https://nlftp.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/land/chikei_bunrui.html　2025 年 8 月 29 日閲覧
7) 国土交通省 国土数値情報ダウンロードサイト 人口集中地区データ
https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A16-v2_3.html　2025 年 8 月 29 日閲覧

参考文献

石井淳平（2024）オープンデータを活用した遺跡立地予測モデルの作成.「日本考古学」，59，65-75.
小杉康（2005）北海道における縄文文化の遺跡立地.「北海道考古学会 2005 年度研究大会資料集 遺跡立地を考える」，18-24.
小杉康（2013）「現代の日本列島における後期旧石器文化の遺跡分布について―GIS を用いた密度推定による検証―」，旧石器研究，9，99-118.
佐原真（1985）分布論.『研究の方法 岩波講座日本考古学 1』（近藤義郎ら編），岩波書店，115-160.
総務省統計局編（2017）『平成 27 年 国勢調査 地図シリーズ 我が国の人口集中地区 人口集中地区別人口・境界図』，日本統計協会.
武内樹治（2024）埋蔵文化財調査ビッグデータの分析.「日本考古学」，58，89-99.
武内樹治（2025）遺跡地図 GIS と文化財総覧データの連携.『古代寺院 3DGIS 科研研究集会予稿集 遺跡地図 GIS の現在地』（https://sitereports.nabunken.go.jp/ja/online-library/report/115）.
松田陽（2020）考古学と文化財.「季刊考古学」，150，34-37.
山口雄治（2025）遺跡存在予測の実際①（岡山の事例）.「月刊文化財」，743，20-23.

外邦図の画像識別による朝鮮半島の環境変遷の分析
―歴史地図の土地利用・土地被覆のセマンティック・セグメンテーション―

式見悠一朗*・中谷友樹・関根良平***・磯田弦*****

Analysis of Environmental Transformation in the Korean Peninsula through Image Recognition of Gaihozu (the Former Japanese Army Maps)
- Semantic segmentation of land use and land cover in historical maps -

Yuichiro Shikimi*, Tomoki Nakaya**, Ryohei Sekine***, Yuzuru Isoda*****

Abstract: Gaihozu are “maps of external territories” compiled by the former Japanese Army from the Meiji era through the end of the Pacific War, primarily for military and colonial administrative purposes. Because they contain detailed geographic information for parts of the Asia–Pacific where historical sources are scarce, they constitute valuable materials for historical and geographical research. In this study, we target Gaihozu of the Korean Peninsula and apply U-Net to perform semantic segmentation into nine classes—paddy fields, buildings (three subclasses), water bodies, sandy–gravel areas, wetlands, muddy ground, and background. Before training, we conducted georectification to achieve spatial alignment with contemporary geospatial datasets. Training was carried out for 98 epochs; the Dice loss decreased to 0.2, and the mean IoU exceeded 0.6 and remained stable at that level. Going forward, by comparing the historical maps with present-day maps, we aim to quantify how conversions from low-lying and paddy areas to urban land have influenced current urban disaster vulnerability.

Keywords: 歴史地図（historical map），セマンティック・セグメンテーション（semantic segmentation），朝鮮半島（Korean peninsula），地形図（topographic maps），土地利用・土地被覆(land use/land cover)

１．はじめに

外邦図とは，旧日本陸軍が明治時代から太平洋戦争終結時にかけて整備した一連の国外の地図群を指す．資料に乏しい戦前のアジア太平洋地域に関する詳細な土地の記録として学術的に大きな価値を有する．衛星画像が登場する前の時代の貴重な情報源であり，現代のデータと組み合わせることで，変化の激しいアジア太平洋地域における環境や景観の変動，さらには地球環境問題の研究に活用できる可能性を外邦図は秘めている(小林, 2006)．

古地図画像には，手書きを含む描画方法や長年の保存による経年劣化に由来する，多くのノイズが含まれている．このため，古地図の正確なデータ化や分析には多くの課題があり，一般に機械を用いた解析が難しいとされている．しかし，この困難を克服するために，U-Net などの手法を用いてかつての湿地など土地被覆の変遷を分析する研究や，道路網・都市域の時系列変化を分析する研究などがみられるようになってきた (O’hara et al., 2024)．その一方で，このような機械的な手法を用いた古地図の研究は日本において数が限られている（田林，2025）．

外邦図に関する学術的価値は認識されており，目録などの整備が進められた 2000 年代以降に様々な研究が展開された．しかし，既往研究は外邦図の作成経緯に関するものや，人力で判読して個別地域を分析したものがほとんどである．本研究の目的は，外邦図の潜在的価値を機械学習により再解釈し，広域かつ再現可能な手法で歴史的土地利用・土地被覆情報を抽出し，環境変遷の分析や都市の災害脆弱性評価などの利用へと橋渡しすることである．

具体的には次の 2 点の達成を目指す．第 1 に，方法論の構築とその検証である．機械学習を活用した外邦図の解析手法を提案し，他地域・他時期へ展開可能な再現性と頑健性を検証する．そして第 2 に，提案した手法により，朝鮮半島の土地利用・土地被覆の変化を定量化することである．これにより，従来の手作業・個別事例中心の研究を超え，網羅性と統計的妥当性を備えた歴史的環境変化の実証を行う．

*　学生会員　東北大学大学院環境科学研究科 (Tohoku University)
〒980-8572 仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1 Email: shikimi.yuichiro.s2@dc.tohoku.ac.jp
**　正会員　東北大学大学院環境科学研究科・理学研究科 (Tohoku University)
*** 非会員　東北大学大学院環境科学研究科・理学研究科 (Tohoku University)
****正会員　東北大学大学院理学研究科 (Tohoku University)

2．資料

本研究では，朝鮮半島の外邦図を対象とする．外邦図は 2000 年代以降，国内の大学・研究機関によって目録化やデジタル化が進み，画像データによって閲覧可能な環境が整備された（中谷ほか，2024）．主要 4 拠点（東北大学・お茶の水女子大学・京都大学・大阪大学）が所蔵する外邦図のデータベース上では合計 20,916 枚が把握されている．一方で，外邦図の残存状況に地域的偏りがあることや，データベース上は存在しても画像データが欠損しているといった課題も残る．

こうした制約を踏まえ，以下の理由により研究対象を朝鮮半島と定めた．第 1 に，朝鮮半島のほぼ全域について地図が現存していることである．当該地域は図幅の残存率が高く空間的な欠落が少ないため，連続した図郭が確保できる．第 2 に，土地利用・土地被覆の詳細な情報が得られる地形図がほとんどであることである．朝鮮半島については 1:50,000 および 1:25,000 の地形図が多数を占め，等高線・河川・湿地・水田・建物記号など土地利用・土地被覆の判別に有効な記号体系が一貫して用いられている．第 3 に，外邦図同士での時系列評価が可能であることである．同一図幅について初版・修正版等の複数版が残る例が多く，外邦図間の差分解析（例：水田・低湿地の改変，市街地縁辺の拡大）を外邦図が作成された 1900～1940 年代にかけて行うことができる．

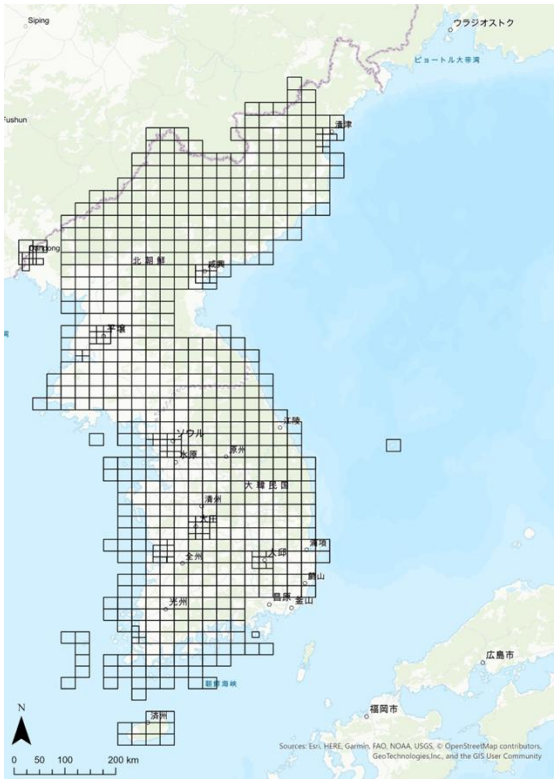


図 1　朝鮮半島を対象とした外邦図の分布

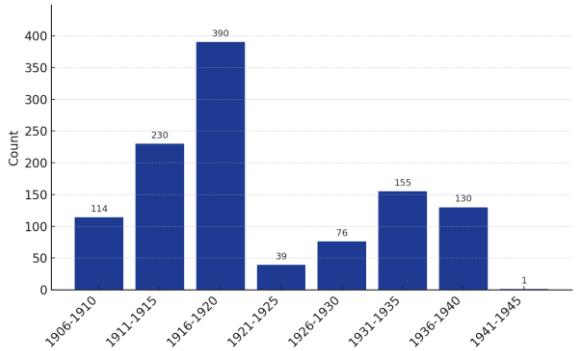


図 2　朝鮮半島の外邦図の年代別分布

3．方法

3.1　幾何補正

外邦図の「地図面（余白を除く描画領域）」を GIS 上に投影するため，以下の手順で幾何補正を行った．まず各図幅について，地図面の四隅のピクセル座標を手動で取得する．また，四隅近傍に印刷された経緯度表記を読み取り，それを日本の旧測地系(Tokyo Datum)に基づく緯度・経度情報として採用した．これらの取得した情報をもとに 旧測地系 から Web メルカトルへ変換した．その後，地図面を台形と仮定し，余白を一括トリミングした．

以上の画像処理を朝鮮半島かつ経緯度注記を有する 1,239 図幅に適用し，すべて GeoTIFF 形式で保存した．これにより，後続のタイル化・セグメンテーション処理を座標一貫で実施できる基盤を整えた．

3.2　検出する土地利用・土地被覆の選定

外邦図の記号体系と後年の実態との比較・災害脆弱性評価という将来の研究課題を踏まえ，9 クラス（水田・建物 3 種・水域・泥地・砂礫地・湿地・背景）に対するセマンティック・セグメンテーションを行った．これらの地図記号は判別性が高いという特徴をもつ．記号のみでは領域を確定することが難しいものもある中で，上に示した 9 クラスは判読から領域の確定までを比較的容易に行うことができる．

また，これらの土地利用・土地被覆は時系列での変化が大きく，水田から宅地への転換，水域改変や干拓・埋め立て，河川改修などが顕著であるため，外邦図と現代

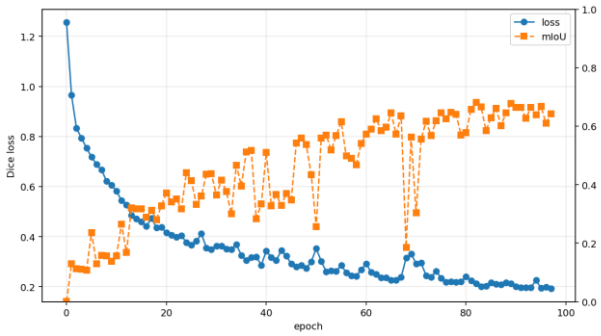


図 3　Dice 損失と IoU の平均値の推移

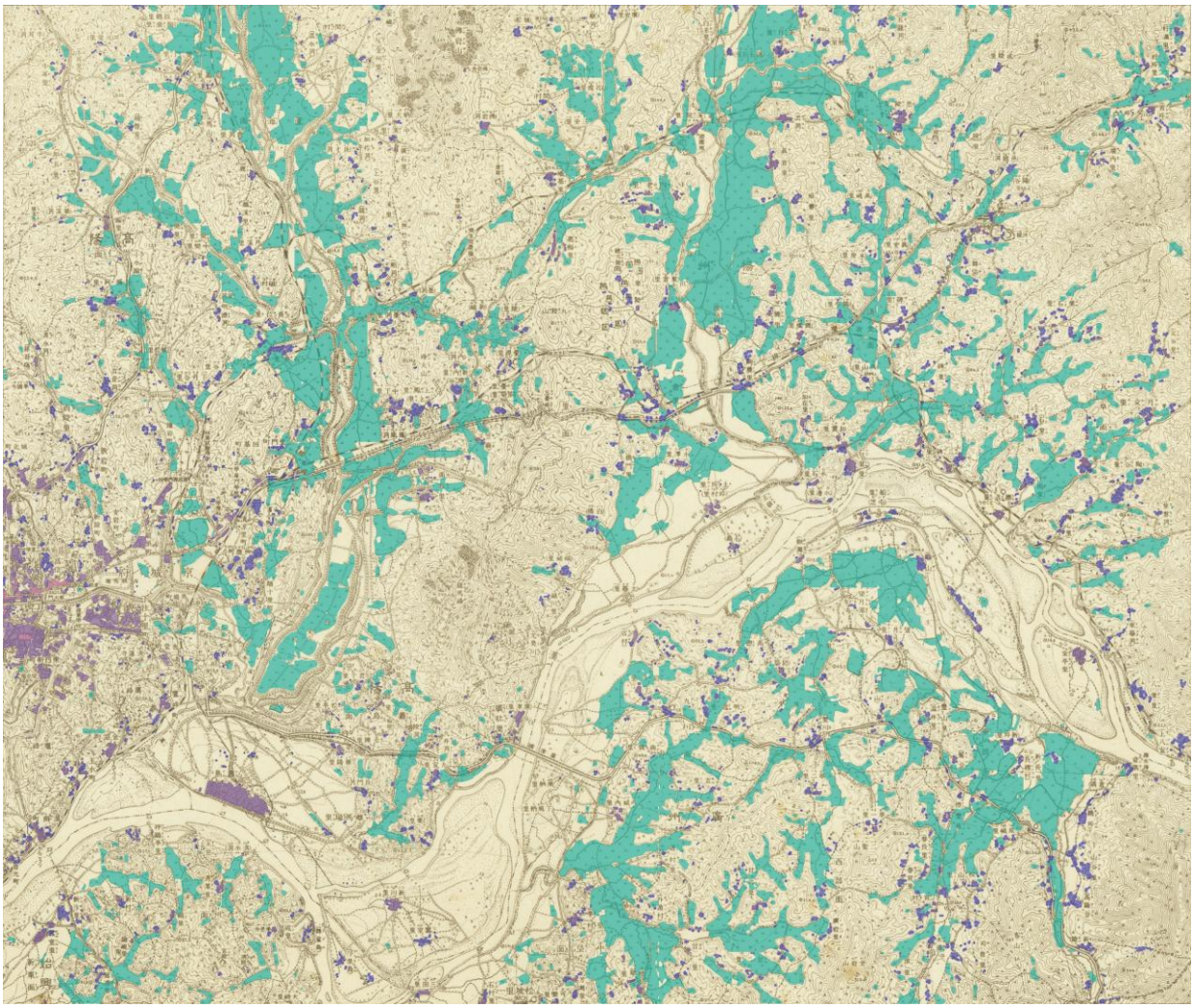


図 4　京城東部のセグメンテーションの結果（緑：水田，ピンク：建物が密集しているエリア，紫：大きい建物，青：建物）



図 5　京城の中心部付近の拡大図

地図を比較することで長期的な変化を定量化できる点にも学術的意義が見出せる．さらに，これらは都市の災害脆弱性と直接的に関連しており，特に水田・湿地・泥地・砂礫地は軟弱地盤や氾濫原として浸水・液状化に直結する．

こうした理由から，これら市街地および低湿地に関する 9 クラスは，外邦図を用いた歴史的土地利用変化の分析や都市の災害リスク評価においてセマンティック・セグメンテーションによる情報抽出の対象として優先順位の高い対象として本研究でとりあげることとした．

3.3　深層学習モデル

医療画像解析などに用いられる深層学習モデル「U-Net」を用いる(Ronneberger et al., 2015)．このモデルは画像のセグメンテーションを高精度で実行するために設計されている．U-Net の特徴は，エンコーダとデコーダの各層をスキップ接続で結ぶことにより，細かな情報を保持しながら詳細なセグメンテーションを可能にする点にある．現在，古地図のセグメンテーションにも広く使用されており，その性能の高さも実証されている(Mäyrä, 2023).

3.4　土地利用・土地被覆のセマンティック・セグメンテーションの実施

解析を始めるにあたって、CVAT（Computer Vision Annotation Tool）を利用して手動でアノテーションを行い、教師データとして利用するマスクデータを作成した。この作業にあたっては、1 枚の地図に 7 日ほどの時間を要した。

解析の手順としては，まず外邦図の画像を 384×384 ピクセル単位にパッチ化し，画像データとマスクデータを train，validation，test に 7:2:1 の割合で分割した．続いて，U-Net を用いたセマンティック・セグメンテーションの学習を train データで行い， Dice 損失によって精度を評価した．また，過学習を防ぐために validation データの IoU の平均値を用いた Early Stopping を導入し，学習の最適な終了時点を決定した．モデルの性能は validation および test データに対して IoU を算出することで評価し，最良の結果を示したモデルを保存した．この最適モデルを用いて全図の推論を行い，その出力結果をポリゴン化して解析に利用した．

４．結果

学習は 98 エポックにわたって行われた．ここでエポックとは，学習に使うデータセット全体を一回学習に使うサイクルを何回行ったかを指す数値である．

Dice 損失は訓練の進行に伴って一貫して減少し，終盤にはおおむね 0.2 前後に収束した．一方，各クラスの IoU の平均値は学習が進むにつれて顕著に改善し，最終的には 0.6 を超える水準に達した．その後のエポックでは 0.6 台で変動しつつも安定的に推移していたが，これは過学習の兆候を示さずに性能が飽和しつつあることを示すと考えられる．

これらの結果から，本モデルは外邦図の土地被覆判別において一定の判別性能を獲得したと考えられる．しかしクラス別に見ると，水田が約 0.7 の IoU を示したのに対し，他クラスでは 0.5 を下回ることが多い結果となった．

５．考察

本研究は，朝鮮半島の外邦図に対して U-Net を用い，水田・湿地・水域・砂礫地・泥地・建物（3 区分）・背景の 9 クラスを自動抽出できることを示した点に意義がある．とりわけ，歴史地図から得た土地被覆を幾何補正により現況データと空間整合させる一連のパイプラインを実装し，水田・低湿地から市街地への転用などの長期変化を定量化可能とした。

過去の湿潤地の残存・消失と現代市街地の重なりを定量比較することで，浸水リスクのような災害脆弱性の高い領域の抽出や優先的な災害対策のための候補地の提示といった実務的意思決定支援が可能となる．これを踏まえると，本研究の結果は，蓄積された外邦図画像のデータから防災計画を含む都市政策に資する地理情報を機械的に得る可能性が示された．また，戦前の朝鮮半島における市街地分布について，統一的かつ高精細な GIS データセットは現時点で確認できない．これに対し，外邦図の分析を通してそのようなデータセットを作成できる可能性も考えられる．100 年前の市街地の復元を通して，歴史地理学の発展に資することができると考えられる．

一方で，土地利用・土地被覆のクラス別 IoU の差は小さくない。主な要因は地図上での記号出現頻度の偏りが学習分布の偏りに直結した点にある．実用的応用に耐える堅牢性をさらに高めるには，以下の課題に計画的に取り組む必要がある．

（1）データ拡充とバランシング：出現頻度の低い記号（湿地・泥地・砂礫地など）を意識した追加アノテーションの実施，難例の重点サンプリング，クラス重み付け損失による不均衡学習の是正．

（2）劣化・印刷差への頑健化：退色・網掛け濃度・線幅差・スキャン解像度差を想定した色調補正や記号の線画強調（エッジ強調・形態学的処理）の導入．

（3）異なる種類の地図への対応：様式が少し異なる地図を適切に学習データに組み込む．

今後は，データ不均衡と図式多様性に起因するクラス間性能差を縮小することで，歴史的経緯を踏まえた防災計画・都市政策への応用可能性を一層高めていく予定である．また、中国やインドネシアなど外邦図の保存状況が良い他地域についても同様の手法が活かせるかの検証についても検討する予定である。

謝辞

本研究の推進には，JSPS 科研費 JP22H00245（代表：奥貫圭一）の助成を利用した．

参考文献

小林茂（2006）近代日本の地図作製と東アジア―外邦図研究の展望―．「E-journal GEO」，1（1）， 52-66.

田林雄（2025）地形図のデジタル化における AI の適用．「日本地理学会発表要旨集」，297.

中谷友樹，星田侑久，関根良平，磯田弦（2024）外邦図デジタルアーカイブ―アジア太平洋地域を中心とした旧日本軍製のデータベース―．「地理情報システム学会講演論文集」，未刊.

O'Hara, R., Marwaha, R., Zimmermann, J., Saunders, M., Green, S. (2024). Unleashing the power of old maps: Extracting symbology from nineteenth century maps using convolutional neural networks to quantify modern land use on historic wetlands. *Ecological Indicators*, **158**, 111363.

Ronneberger, O., Fischer, P., and Brox, T. (2015) U-net: convolutional networks for biomedical image segmentation. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015, Lecture Notes in Computer Science*, **9351**, 234–241.

Mäyrä, J., Kivinen, S., Keski-Saari, S., Poikolainen, L., and Kumpula, T. (2023). Utilizing historical maps in identification of long-term land use and land cover changes. *Ambio*, **52**, 1777-1792.

ポスター発表

2025年11月2日(日) 13:00 ~ 13:50 | 会場(金森産業ホール)
[P2] ポスター発表 #2

[P2-43] 過去の水害記録から見る洪水リスクの特徴 -近世の福岡県朝倉郡を対象に-

*宮崎 豪太[1] (1. 福岡工業大学大学院)

キーワード：地域防災、歴史災害

本研究は、近世の福岡県朝倉郡を対象に、水害記録と現代の洪水リスクとの関係を分析した。「福岡県近世災異誌」に記された1614〜1866年の水害記録を整理し、発生場所や被害状況、死者の有無を抽出してうえで、水害記録を洪水浸水想定区域、河川データ、平成29年7月九州北部豪雨の浸水範囲、古地図をGISで重ね合わせた。その結果、単純な被災回数集計では記録の残存状況に左右され、地域間で偏りが生じるため、実際の洪水リスクを正確に把握しにくいことが明らかになった。特に死者記録と現代の洪水被害発生地域は必ずしも一致せず、記録の残りやすさが評価を歪める要因となった。また、古地図との比較から、災害記録は人口密度や経済活動が高い地域で残りやすく、情報の充実度に差があることも判明した。

©一般社団法人地理情報システム学会

素因と誘因を考慮した説明可能な高解像度土砂災害リスク評価
－令和 6 年能登半島豪雨への適用－

田中優也*・後藤真太郎**

Explainable High-Resolution Landslide Risk Assessment Considering Predisposing and Triggering Factors
- Application to the 2024 Noto Peninsula Heavy Rainfall Event -

Yuya Tanaka*, Shintaro Goto**

Abstract: This study presents a high-resolution, 50-m landslide-occurrence probability model that integrates 18 static predisposing factors with 2 dynamic triggering factors—high-resolution rainfall (XRAIN) and soil water index (XSWI)—within a machine-learning framework. We apply the model to the 2024 Noto Peninsula heavy-rainfall event to evaluate performance. CatBoost was the best-performing algorithm, achieving a PR-AUC of 0.213 (≈2.7× the random baseline of 0.077). The resulting hazard maps showed good agreement with mapped damage extents. Ten-minute predictions captured the expansion of high-risk areas as rainfall intensified and a post-peak lag consistent with XSWI accumulation. Model interpretability and physical plausibility were supported by SHAP (SHapley Additive exPlanations). The proposed method refines spatial resolution from 1 km to 50 m—yielding roughly a 400-fold increase in grid-cell density—and provides probabilistic risk estimates with associated explanations to support practical decision-making in disaster preparedness.

Keywords: 土砂災害（landslide），素因と誘因（predisposing and triggering factors），リスク評価（risk assessment）

１．はじめに

土砂災害は，地形・地質・土壌・植生など斜面固有の特性（素因）と降雨・地震動・水位変動などの外的要因（誘因）との相互作用によって生じる（Varnes, 1978）．30 mm h^{-1} 以上の激しい降雨事例の増加により，発生件数は過去 10 年間で約 1.6 倍に増加し，経済的損失と人命への深刻な脅威となっている．

現行の土砂災害対策には複数の技術的課題が存在する．警戒情報は 1 km メッシュという粗い空間解像度で設計され，降雨などの誘因のみに基づいており，地形特性や地質構造などの素因が考慮されていない．素因に基づく警戒区域指定は事前の静的評価に留まり，降雨状況に応じた動的更新は行われない．これらの制約により局所的な地形勾配や時々刻々と変化する誘因に対応したリスク評価が困難であり，実運用では適中率 4%に留まる事例が報告されている（太田ほか，2023）．

この課題に対し，機械学習アルゴリズムによるデータ駆動型のリスク評価（桑折ほか，2022; 田中ほか，2024）は，広域かつ同時多発的な土砂災害に対して有効な選択肢となっており，空間的な危険度把握を可能にする．しかしながら，既往研究の多くは誘因に年平均降水量や月間降水量など単一期間の低時空間分解能データを用いており，降雨強度の時間変化，土壌中の水分量変動，浸透による間隙水圧の上昇といった発生メカニズムの動的変化が十分に考慮されていない．気候変動に伴う極端降雨現象の頻発化が予測される状況下では，高頻度・高解像度の降雨データと先進的なモデリング手法を統合し，素因と誘因の動的な相互作用を考慮した手法開発が必要で

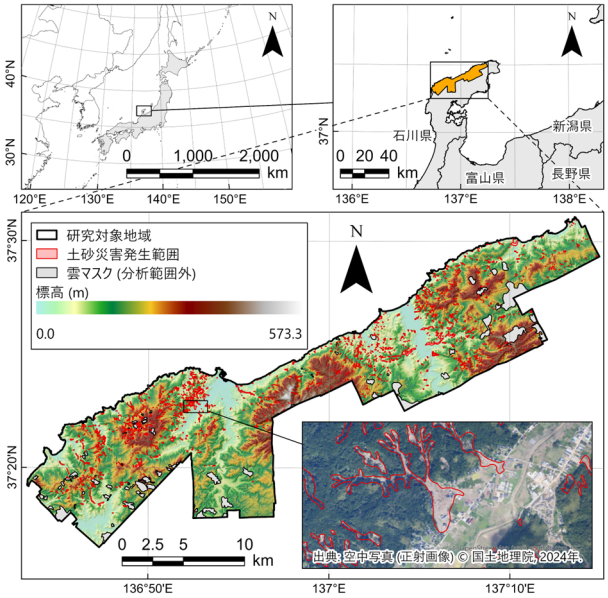


図 1　研究対象地域（石川県能登半島北部）

*　学生会員　立正大学大学院地球環境科学研究科（Rissho University）
〒360-0194　埼玉県熊谷市万吉 1700 番地　E-mail：253h10001@rissho-univ.jp
**　正会員　立正大学地球環境科学部（Rissho University）

ある．

以上を踏まえ，本研究では土砂災害の素因と誘因を統合した機械学習モデルによる高解像度（50 m メッシュ）なリスク評価手法を構築し，令和 6 年（2024 年）能登半島豪雨への適用を通じて実用性を検証する．

2．研究対象地域と解析対象期間

本研究では，令和 6 年 9 月 20 日からの大雨（国土地理院，2024）で土砂災害が多発した石川県能登半島北部を対象とする（図 1）．解析対象期間は 2024-09-20 06:00 UTC から 2024-09-22 11:00 UTC に設定した．輪島市では 24 時間雨量が観測史上最大の 412 mm（2024 年の年間降水量の約 10%）に達する記録的豪雨であった．

本事例は令和 6 年能登半島地震後に発生した豪雨災害であり，先行する地震災害が後発の豪雨災害を拡大させる典型的な複合災害事例である．地震により地盤が緩み，斜面に多数の亀裂や重力性変形が生じていた状況下で，豪雨が浸透し表層崩壊を誘発した（大丸，2025）．

3．研究手法

本研究のフローを図 2 に示す．50 m メッシュ単位で素因と誘因を整備し，9 種類の機械学習モデルで学習および評価を実施した．

3.1　使用データ

目的変数として被災箇所の判読データ（国土地理院，2024）を採用した．素因は地形・地質・土地被覆・水文・人為に分類される計 18 指標を採用した．誘因は高解像度降雨量データの XRAIN（10 分間隔・250 m 格子をバイキュービック補間で 50 m へリサンプリング）と XRAIN Soil Water Index（XSWI）を採用した．XSWI は，XRAIN を入力とする三段直列タンクモデルにより各層の貯留高を積算した指標で，土壌中の水分量を表す．学習データの基準時刻は，石川県災害対策本部会議資料（石川県，2024）に基づき，発災初期時刻の 2024-09-21 01:00 UTC に設定した．

3.2　モデル構築と発生確率の時系列推定

土砂災害の発生・非発生を二値分類問題として定式化し，線形モデル（LR），木系モデル（RF），勾配ブースティング系（CatBoost，HGBoost，LightGBM，XGBoost），不均衡対応アンサンブル手法（BRF，EEC，RUSBoost）を比較検証した．カテゴリ変数の処理には one-hot encoding を適用した．空間的自己相関の影響を排除するため，解析領域を緯度経度で等間隔に分割し，Stratified Group K-Fold 法（5 分割交差検証）を実施した．評価後はモデルごとに危険度分布図を作成し，最適モデルについては 10 分間隔の誘因を用いて時系列発生確率を推定した．最終出力は [0, 1] 区間の確率として算出した．

3.3　説明可能な AI の適用

非線形モデルは高い予測精度を示す反面，ブラックボックス化しやすい．本研究では説明可能な AI の一手法である SHapley Additive exPlanations（SHAP）（Lundberg et al., 2017）を導入し，モデルの予測根拠の可視化を行った．

4．結果と考察

4.1　モデル精度と危険度分布図

単変量相関では，誘因である XSWI が最大（|r|=0.14）を示した．機械学習モデルの精度評価を表 1 に示す．本データは陽性率が 7.77%（発生：10,526 件，非発生：124,997

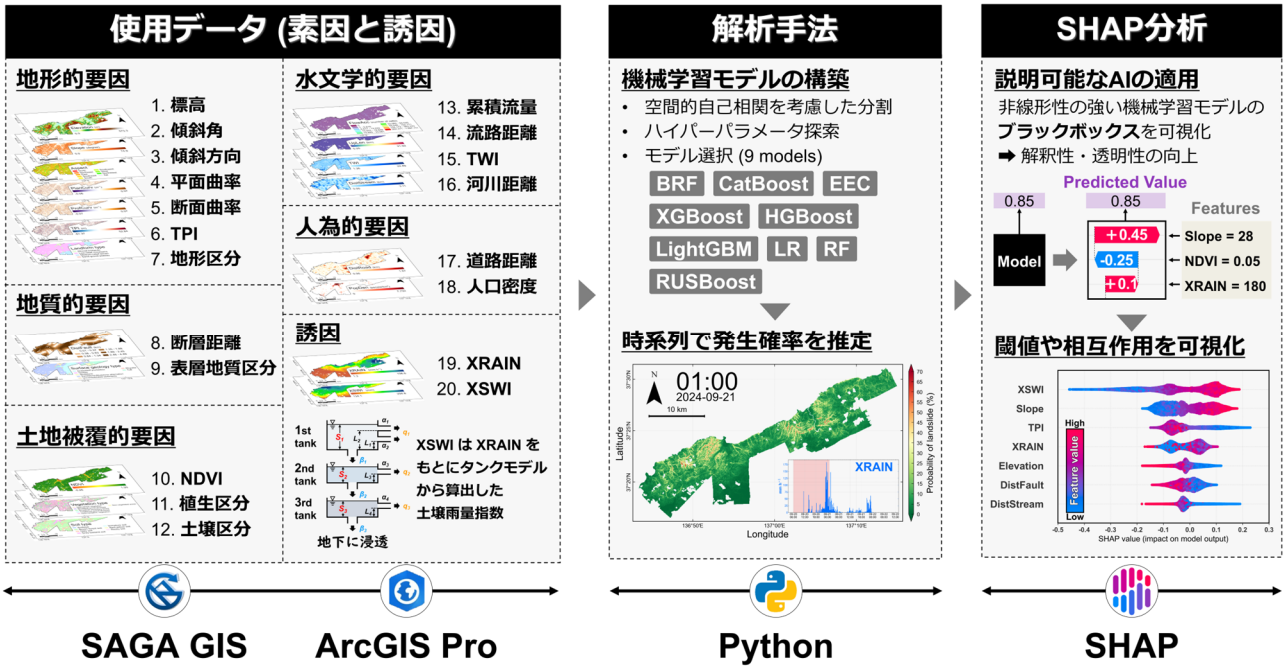


図 2　研究フローチャート

表 2　機械学習モデルの精度評価

Model	PR-AUC	Brier Score	F1	ROC-AUC
(a) CatBoost	0.213	0.065	0.269	0.755
(b) RF	0.210	0.065	0.267	0.756
(c) HGBoost	0.204	0.066	0.256	0.754
(d) LightGBM	0.203	0.065	0.256	0.749
(e) XGBoost	0.198	0.066	0.253	0.751
(f) RUSBoost	0.180	0.066	0.242	0.732
(g) BRF	0.179	0.067	0.238	0.708
(h) LR	0.172	0.067	0.232	0.723
(i) EEC	0.159	0.067	0.237	0.711

件）のクラス不均衡を有している．ランダム分類の基準となる PR-AUC 値 0.077 に対し，CatBoost は 0.213 を達成し，約 2.7 倍の性能を示した．RF, HGBoost, LightGBM, XGBoost も同等の高水準を示した．これらの結果は，素因と誘因の非線形な相互作用を木系モデルおよび勾配ブースティング系が効果的に学習したことを示す．総合評価に基づき，CatBoost を最適モデルとして以降の解析に採用した．

各モデルのリスク分布図を図 3 に示す．Jenks の自然分類で 5 段階（Very high / High / Moderate / Low / Very low）に区分した．高リスク域は河道周辺に集中し，境界線は尾根線や緩勾配域で区切られ，判読された土砂災害発生範囲と高い整合性を示した．CatBoost（図 3a）では，高リスク域の面積比率が 1.79%となり，重点警戒対象の選定に適した分布特性を示した．

4.2　時系列発生確率の空間推移

解析対象期間のうち降雨量が多かった 6 時間に絞り，CatBoost を用いて 1 時間ごとの発生確率を 50 m メッシュで算出した．発生確率分布図と災害時の XRAIN を図 4 に示す．素因は全時刻で固定値とし，誘因である XRAIN と XSWI は各時刻の観測値を入力データとして使用した．降雨強度の増加に伴い高リスク域が段階的に拡大し，発生確率も継続的に上昇する傾向が見られた．降雨ピーク後も高発生確率が一定時間継続し，XSWI の累積を反映した遅延応答が観察された．この挙動は降雨に対する土壌水分量の時間遅れを反映しており，実際の土砂災害発生メカニズムと一致する．時間変動する動的な誘因と斜面特性を示す静的な素因との相互作用というモデル設計の妥当性を示唆する．実務対策では，危険斜面の特定，発生時刻の予測，危険継続時間の推定を可能とし，警戒情報発令や避難スイッチ等の意思決定を支援できる可能性がある．

4.3　SHAP による特徴量の寄与度分析

使用した特徴量の寄与度分析の結果を図 5 に示す．XSWI が最も高い寄与を示し，特徴量値の増加が発生確率を上昇させていた．続いて傾斜角，地形位置指数（TPI），XRAIN，標高，断層距離，河川距離の順で寄与が高く，誘因および地形的要因が土砂災害発生を支配することが示唆された．この結果は，誘因と地形的素因が支配的に作用するという既往知見と一致し，XSWI の寄与は土壌

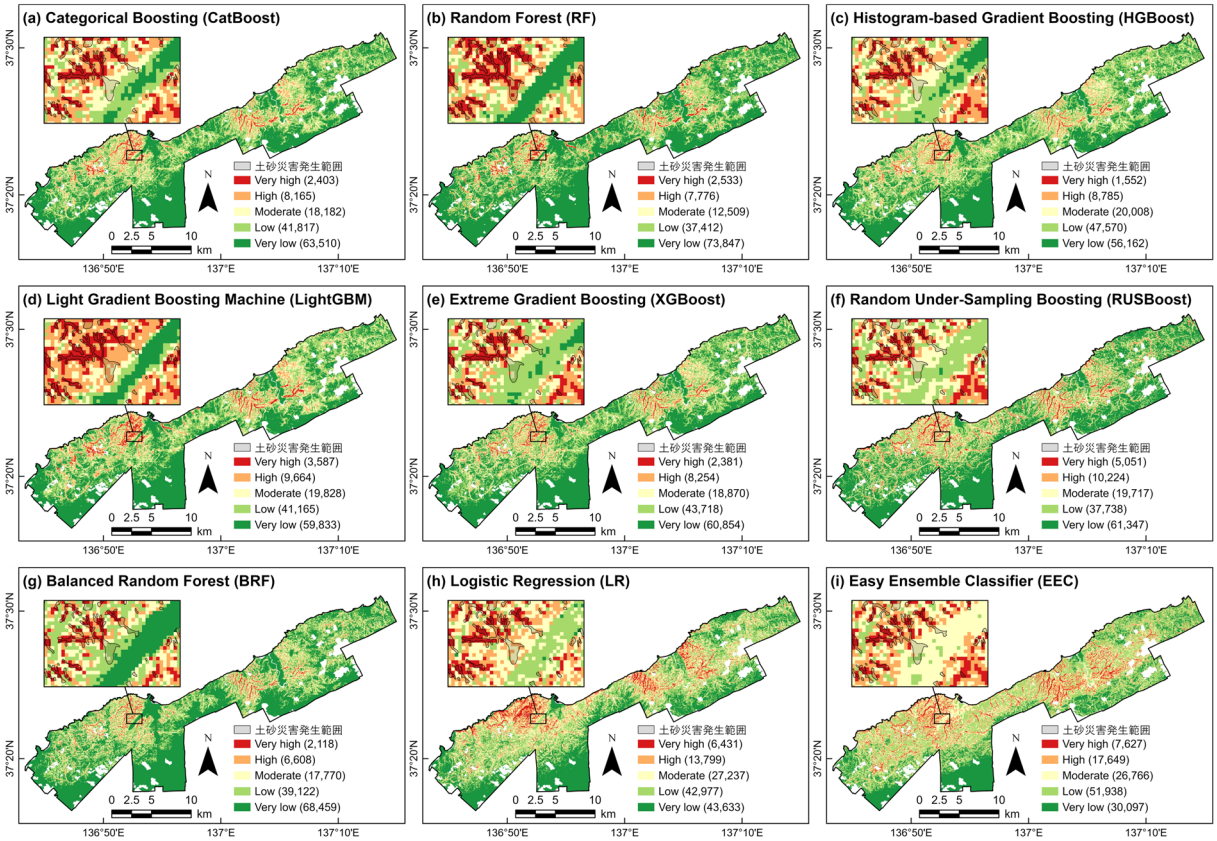


図 3　各モデルの危険度分布図（色分けは Jenks の自然分類による）

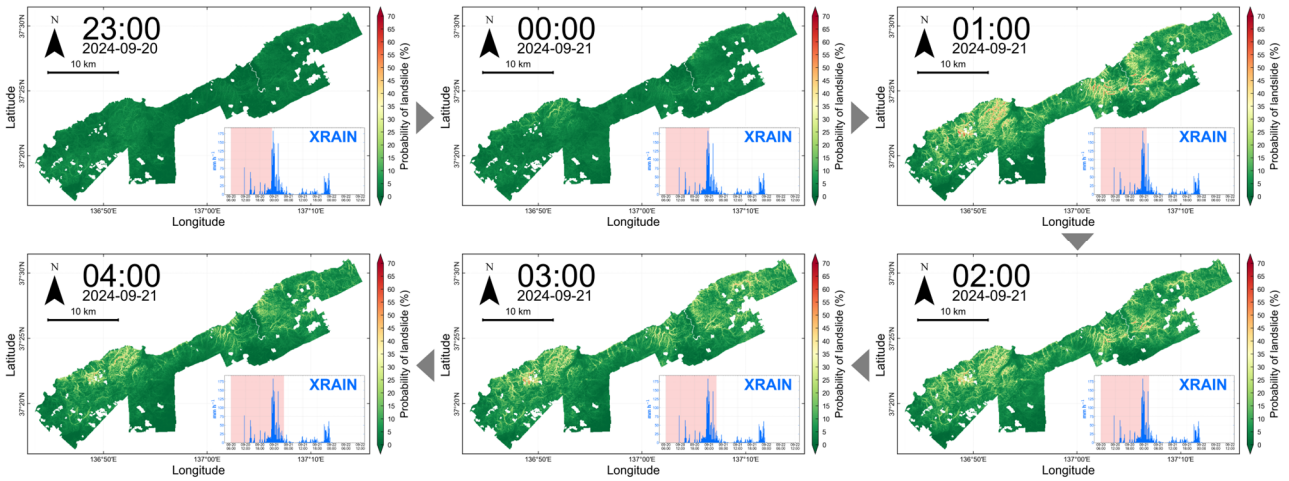


図 4　発生確率の時間変動と空間推移（動画：https://youtu.be/y02su1knl8M ）

中の水分量変動による斜面不安定化を捉えている．断層近傍での地盤脆弱性，河川浸食による斜面基底部の不安定化といった地形学的機構も定量的に確認された．素因と誘因を考慮したモデルの有効性が確認されたことで，類似災害への適用展開も期待される．

5．まとめ

本研究では，素因と誘因を統合した機械学習モデルにより，50 m メッシュで土砂災害発生確率を推定する枠組みを構築し，令和 6 年能登半島豪雨に適用して実用性を検証した．評価指標では，CatBoost が PR-AUC 0.213 を達成し，最適モデルであることを明らかにした．危険度分布図では，判読被災範囲との整合が高く，発生確率の空間分布を高精度で再現できていた．時系列推定では，降雨強度の増加に伴う高リスク域の段階的拡大と，XSWI の累積を反映する遅延応答が観察された．SHAP による特徴量の寄与度分析では，XSWI が最大の寄与を示し，傾斜角・TPI・XRAIN・標高・断層距離・河川距離が続いた．本手法は，現行システムを 400 倍に高解像度しつつ，説明可能な AI で非線形な相互作用を定量化することで，効果的な早期警戒システムの基盤となり得る．

限界として，単一の豪雨イベント適用に留まる点，誘因の与え方に残る不確実性が挙げられる．今後は，(1) 閾値超過の継続時間をセルごとに集計し，持続ホットスポットとして提示することで，長時間に渡り要監視となる斜面の抽出精度を高める．(2) 複数事例の横断検証で外的妥当性を検証する．(3) 連続時間依存を表現できる時系列モデル（LSTM，時系列畳み込み，Transformer Encoder）の検討を進める．

謝辞

利用した XRAIN データは，国土交通省より提供されたものである．

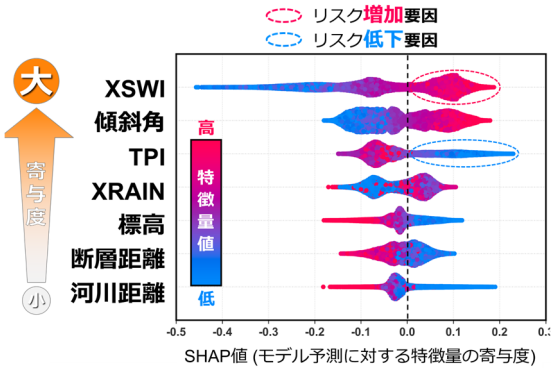


図 5　SHAP による特徴量の寄与度分析結果

参考文献

石川県（2024）令和 6 年（2024 年）奥能登豪雨に関する情報. <https://www.pref.ishikawa.lg.jp/saigai/20240921ooame.html>.

太田琢磨・橋口祥治・堀田純司・傍嶋明・矢野敦久・長岡岳・舘野聡・村上喜章・岡本知也・千々松聡・坪井嘉宏・竹順哉（2023）雨による災害危険度を表す指数と警報の危険度分布．「測候時報」，**90**，1–96.

大丸裕武（2025）能登半島地震で発生した土砂災害の特徴．「日本農学アカデミー会報」，**43**，13–19.

桑折奎吾・劉ウェン・丸山喜久（2022）機械学習に基づく豪雨による土砂崩壊発生地点の予測と説明可能 AI による予測結果の分析．「AI・データサイエンス論文集」，**3**（J2），326–338.

国土地理院（2024）令和 6 年（2024 年）9 月 20 日からの大雨に関する情報. <https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R6_noto_heavyrain.html>.

田中優也・後藤真太郎（2024）素因と誘因を考慮した土砂災害発生確率モデルと深層学習を併用した被災箇所早期検知モデルに関する研究．「写真測量とリモートセンシング」，**63**（3），54–68.

Lundberg, S. and Lee, S-I. (2017) A unified approach to interpreting model predictions. *Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems*, 4768–4777.

Varnes, D.J. (1978) Slope movement types and processes. *Landslides: Analysis and Control*. **176**, 11–33.

ポスター発表

2025年11月2日(日) 13:00 ~ 13:50 | 会場(金森産業ホール)
[P2] ポスター発表 #2

[P2-45] 発災直後の災害現場でドローンにより取得されている地理情報の現状と課題

*泉 岳樹[1] (1. 東京都立大学)

キーワード：ドローン、災害地、要救助者、2次災害防止

発災直後の災害現場でドローンは被災地の地理情報を迅速に把握するための有効な手段の1つである。近年では、警察、消防、自衛隊に加え、国や地方自治体、民間企業など多様な主体が発災直後にドローンを飛行させている。しかし、その活用方法には課題が存在する。現状の課題として、各機関が個別にドローンを運用しているため、情報が共有されず、重複した調査や非効率な活動につながる点が挙げられる。また、救助活動に不可欠な「要救助者の発見」や「二次災害防止」のための情報収集より、広報目的の空撮に偏っているケースも散見される。発表者は、2014年の南木曾や広島の土砂災害、御嶽の噴火災害などで発災直後にドローンを運用し、必要な地理情報を取得し、災害対策本部などに提供してきた。その経験を元に、2014年に内閣府防災担当に対し情報提供したが、能登半島地震においても実現されていない現状がある。本発表では、その現状と課題について報告する。

©一般社団法人地理情報システム学会

マニラ首都圏における洪水リスクが不動産賃料に与える影響の分析 ― 賃料帯の異質性に着目して ―

釜谷紘生*・堤盛人**

Analysis of the Impact of Flood Risk on Real Estate Rent in Metropolitan Manila ― Focusing on Rent Bands Heterogeneity ―

Hiroki KAMATANI*, Morito TSUTSUMI**

Abstract: This study analyzed the impact of flood risk on condominium rent in the Philippines, a country highly vulnerable to natural disasters and flooding. Using quantile regression, we examined the hypothesis that "income levels correspond to property rent bands, and the impact of flood risk differs by rent bands." The results suggest that flood risk is recognized as a significant factor in rent determination for mid-rent properties. Conversely, its impact is estimated to be relatively weaker for high-rent properties. Furthermore, flood risk had no significant effect on rent for low-rent properties, many of which are in floodplains. This suggests that local residents may have become resigned to flood risks.

Keywords: 洪水リスク（Flood Risk），分位点回帰（Quantile Regression），ヘドニック・アプローチ（Hedonic Approach），空間データ（Spatial Data）

１．はじめに

１.１　フィリピンが有する災害リスク

フィリピンは，環太平洋造山帯と赤道付近に立地するその地理的要因から，大規模な自然災害が頻発している．特に，サイクロンやそれに伴う洪水はインフラや農業，脆弱なコミュニティに壊滅的な被害を与えている．例えば，2013 年の台風ヨランダは約 6300 人の死者と 2862 億フィリピンペソの経済損失をもたらした．また，2021 年の台風オデットは 200 万戸の住宅を倒壊させ，災害がもたらす建物倒壊や経済損失の甚大さが浮き彫りとなっている．

この国の災害に対する脆弱性の高さは，Bündnis Entwicklung Hilft が刊行する「World Risk Report」に掲載されている「World Risk Index（WRI）」によっても示されている．2024 年度の報告書によると，フィリピンは世界で最も高い WRI を記録する災害に脆弱な国と評価されており，中でも洪水は極めて高いリスク要因となっている．WRI を構成する指標の「Exposure（災害にさらされる度合い）」を見ると，サイクロン（台風）と沿岸洪水がそれぞれ 89.72 と 51.51 という高い値を示し，台風や洪水への脆弱性が際立っていることがわかる．

１.２　ASEAN 生活者の意識・行動変化

ASEAN（東南アジア諸国連合）は目覚ましい経済成長を遂げており，2025 年に名目 GDP が 4 兆 3830 億ドルに達し，インドに匹敵する経済規模となる．特にフィリピンはインドネシアに次ぐ経済力を持ち，予測される GDP 成長率でも ASEAN 最大の 6.1%を記録するなど，その成長をけん引している（International Monetary Fund, 2024）．

こうした経済成長は，ASEAN の生活者の意識や行動にも変化をもたらしている．博報堂の調査によれば，富裕層と中間層の間に位置する新興富裕層は，「モノの機能性の重視」「資産形成への関心」「高い情報収集能力」といった特徴を有することが示された（博報堂生活総合研究所アセアン，2023）．

これらの特徴を鑑みると，ASEAN 住民の中でも，所得階層が上がるにつれて，単なる消費行動だけでなく，災害をはじめとする様々なリスクに対する関心も高まっているのではないかと考えられる．これは，経済的な安定を得た層が，資産保全や将来への備えといったより高次の欲求を持つようになったことの表れであり，リスク管理に対する意識が社会全体に広がりつつある可能性を示唆している．

そこで本研究では，博報堂の調査で示唆された「所得階層によってリスクに対する関心が異なる」という知見と，「所得階層と不動産の賃料帯が対応し，賃料帯によって洪水リスクの影響が異なる」という仮説に基づき，フィリピンのマニラ首都圏を対象として，洪水リスクが不

*　学生会員　筑波大学大学院システム情報工学研究群
（University of Tsukuba, Degree Programs in Systems and Information Engineering）
〒305-8573　茨城県つくば市天王台一丁目 1-1　E-mail：s2420422@u.tsukuba.ac.jp
**　正会員　筑波大学システム情報系（University of Tsukuba, Institute of Systems and Information Engineering）

動産賃料に与える影響を定量的に分析する．これにより，洪水リスクに対する地域住民のリスク認識を評価し，防災対策の推進といった政策提言の判断材料となることを目指す．

２．災害リスクと不動産価格に関する既往研究

災害リスクが不動産価格に与える影響に関する定量的な分析は，古くから行われている．Brookshire et al.(1985)は，カリフォルニア州のロサンゼルス郡とサンフランシスコ・ベイエリアを対象に，地震リスクが住宅価格に与える影響をヘドニック価格モデルを用いて分析した．その結果，活断層帯内の住宅は，それ以外の同等な住宅に比べて価格が低いことがわかった．この価格差は，地震発生確率と想定される被害額に基づいて計算された，合理的な期待効用理論と整合していることを示唆した．Bin and Polasky (2004)は，ノースカロライナ州ピット郡を対象に，ハリケーン・フロイドによる洪水災害が不動産価値に与える影響をヘドニック価格関数を用いて分析した．ハリケーン前後の住宅価格を比較した結果，洪水地域内の住宅は，ハリケーン後に価格割引が 2 倍以上に拡大した．これは，人々が洪水リスクを過小評価していたが，大規模な災害を経験したことで，その認識が強化された可能性を示している．

また，日本国内を対象とした研究も広く行われている．Naoi et al.(2009)は，日本全国を対象に，大規模地震が住宅賃料および自己評価住宅価値に与える影響を，全国世帯パネルデータとヘドニック価格モデルを用いて分析した．大規模地震発生後に，近隣地域で地震リスクが高い地域の住宅価格が有意に下落することを発見した．この結果は，家主や賃借人が地震リスクを過小評価しているが，大規模地震を経験することでその認識が劇的に変化したことを示唆している．井上ら(2016)は，東京都の神田川流域を対象に，水害危険性が取引地価に与える影響を，取引価格データと変化時点推定手法を用いて分析した．その結果，2011 年 3 月の東日本大震災を境に，これまで水害リスクが強く意識されていなかった内水氾濫履歴地域において，地価の大幅な下落が確認された．これは，大震災をきっかけに人々の防災意識が高まり，水害リスク認識が変化した可能性が考えられる．

しかしながら，これらの既往研究は先進国を対象とした事例が多く，実際に災害に対して脆弱な新興国や後進国では，研究が十分に行われていない（清水・馬場, 2021）．洪水被害に対して特に脆弱なのは，東アジア・太平洋地域，南アジア，サハラ以南のアフリカであり（Rentschler and Salhab，2020），こうした地域における研究蓄積が望ましい．

３．研究手法

本研究では，フィリピンに立地するコンドミニアムを対象に，洪水リスク指標の不動産賃料への影響を分析する．対象地域は，マニラ首都圏とする．使用する不動産データは，フィリピンの大手不動産プラットフォーム「Dot Property」から情報を取得する，洪水データは，フィリピンの環境天然資源省傘下政府機関である「MINES AND GEOSCIENCES BEREAU（MGB）」が公表している「MGB’s Geohazard Maps」のリスク値を用いる．データの内容や整理手順は，第 4 章で詳述する．

研究手法としては，不動産の賃料帯ごとにおける洪水リスクの影響を分析することから，回帰係数を被説明変数の分布の位置によって推定できる分位点回帰（Koenker and Bassett，1978）を用いる．分位点回帰の基本形は，次式で与えられる．

$$Y_i = \beta_{0,\tau} + \sum_{k=1}^{n} \beta_{k,\tau} X_{ik} + \varepsilon_{i,\tau} \tag{1}$$

$$\hat{\beta}_{k,\tau} = \underset{\beta}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^{n} \rho_\tau\left(y_i - x_{ik}\beta_{k,\tau}\right) \tag{2}$$

$$\rho_\tau(u_i) = \begin{cases} (\tau - 1)u_i & u_i \le 0 \\ \tau u_i & u_i > 0 \end{cases} \tag{3}$$

ここで，Y_iはi番目の観測値における被説明変数の値，X_{ik}はi番目の観測値のk番目の説明変数の値，$\beta_{0,\tau}$は分位点τにおける切片，$\beta_{k,\tau}$は分位点τにおけるk番目の説明変数の回帰係数，$\varepsilon_{i,\tau}$はi番目の観測値の誤差項，u_iは残差である．式(3)で表されるチェック関数は，正の残差と負の残差に異なる重みを与え，外れ値の影響を軽減する役割を果たす．

４．分位点回帰を用いたヘドニック分析

４.１　ヘドニック分析の方針

研究に用いる不動産データとして，「Dot Property」に掲載されているコンドミニアムの賃料（(PP/m^2)，PP は Philipine Peso，自然対数値） [Rent] を用いる．外れ値の処理として，単位面積当たりの賃料の桁数が．他の物件データと不連続になっている場合は，データセットから除外した．「Dot Property」に掲載されている物件は，部屋の情報が記載されている「Key features」，建物の設備が記載されている「Facilities」の情報が付随しており，スクレイピングを用いて各部屋の情報を取得する．

災害リスクを表す説明変数には，4.2.で詳述する洪水リスクを用いる．災害リスク以外の説明変数として，部屋ごとの変数として床面積(m^2) [Area] ，居室数 [Bedroom] ，浴室数 [Bathroom] を使用する．また，建物全体の変数として電気設備の有無 [Electricity] ，インターネット接続の有無 [Internet] ，セキュリティの有無（Facilities で Security，24-hour security のどちらかを有するか） [SecurityInt] を示すダミー変数を用いる．取得し

たデータのうち，これらの変数が一つでも欠けている場合は，データセットから除外した．また，物件が立地する地域の特性を考慮するため，CBD であるマカティ市の重心からの距離(km) [MakatiDistance] ，最寄りの学校（小学校，中学校，高校）までの距離(km) [SchoolDistance] ，および人口密度((人/㎢), 自然対数値） [PopulationDensity] を用いる．人口密度はメッシュでデータが格納されており，各物件の座標を GIS 上で表示し，その座標が含まれるメッシュの値を紐づける．

4.2　用いる災害リスクデータ

洪水リスクの指標には，「MINES AND GEOSCIENCES BEREAU（MGB）」が公表している「MGB's Geohazard Maps」のリスク値を用いる．「MGB's Geohazard Maps」では洪水および土砂崩れのリスクを確認することができる．図 1 に，洪水リスク値の分布を示す．

「MGB's Geohazard Maps」の洪水リスクは，想定される浸水深と洪水発生期間に基づき，「想定浸水深が 0.5 未満，かつ（もしくは）洪水発生期間が 1 日間未満（1)」「想定浸水深が 0.5~1.0m，かつ（もしくは）洪水発生期間が 1~3 日間（2)」「想定浸水深が 1.0~2.0m，かつ（もしくは）洪水発生期間が 3 日を超える（3)」「想定浸水深が 2.0m を超える，かつ（もしくは）洪水発生期間が 3 日を超える(4)」という 4 つのカテゴリに分類される．不動産データとの対応付けは，人口密度と同様，物件の座標が含まれる洪水リスクメッシュの値を紐づける．Model1 では，各カテゴリを [FloodRisk1] ， [FloodRisk2] ， [FloodRisk3] ， [FloodRisk4] としてダミー変数に処理する．なお，洪水リスクのメッシュが存在しないエリアの物件データは，データセットから除外した．4.1.で詳述した変数も含め，処理を行ったデータの要約統計量を表 1 に示す．

表 1　データの要約統計量

	Mean	Stdev	Min	Max
Rent	2.90	0.16	1.85	3.96
Area	82.23	70.21	12.00	700.00
Bedroom	1.78	0.76	1.00	6.00
Bathroom	1.63	0.83	1.00	7.00
Electricity	0.17	0.37	0.00	1.00
Internet	0.25	0.43	0.00	1.00
SecurityInt	0.82	0.39	0.00	1.00
MakatiDistance	6.03	3.77	0.47	22.52
SchoolDistance	0.45	0.35	0.01	2.29
PopulationDensity	4.03	0.43	3.03	5.03
FloodRisk1	0.82	0.38	0.00	1.00
FloodRisk2	0.12	0.33	0.00	1.00
FloodRisk3	0.03	0.16	0.00	1.00
FloodRisk4	0.03	0.16	0.00	1.00
FloodRiskInt	0.18	0.38	0.00	1.00

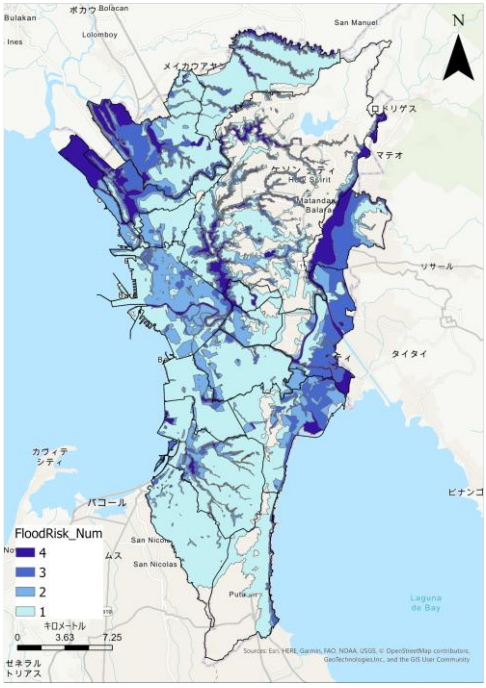


図 1　洪水リスクのハザードマップ

4.3　分析結果

Model1 の推定結果を表 2 に示す．まず， [FloodRisk2] はτ=0.10 を除き，有意な負の係数となった．特に，τ=0.10 で最も変動幅が大きい−0.063 となり，中間層のコンドミニアム購入者層において，洪水リスクが賃料決定の重要な要因として認識されていることを示唆している．しかし， [FloodRisk3] や [FloodRisk4] では，多くの分位点で有意な数値は得られず，一部では有意な正の係数を示すなど，不安定な結果となった．この原因として水辺へのアクセス性といった交絡因子の存在が考えられる．また，カテゴリの（3）や（4）に属する物件は全体の 5%ほどであり，データの偏りから係数の推定が不安定になっている可能性が考えられる．これを踏まえて，洪水リスクのカテゴリ（1）を除く 3 つを [FloodRiskInt] とし，Model2 として分析を行った．表 3 に示す Model2 の結果を見ると，こちらもτ=0.50 で最も変動幅が大きくなり，高賃料帯（τ=0.75，0.90）で係数の絶対値は低下するが，物件の価値を潜在的に押し下げていることを示唆している．また，Model1 の [FloodRisk4] を除いて，洪水リスクの回帰係数は， τ=0.10 で有意とならなかった．低賃料帯の物件（τ=0.10）は，パシッグ川やマリキナ川沿いの氾濫原に集中しており，これらの地域は，度重なる洪水により住居が頻繁に損壊する被害に見舞われている．このことから，住民の間には洪水被害への諦観が存在し，それが不動産の賃料決定要因として考慮されていない可能性が考えられる．

Model1 において，他の説明変数を見ると，インターネットの有無 [Internet] がどの分位点においても，有意に正の係数が推定された．これは，インターネットが単なる娯楽ではなく不可欠なインフラとして認識されていることが考えられる．

また，セキュリティ [SecurityInt] は物件賃料に複雑な影響を与えており，特に低賃料帯の物件では係数が有意にプラスである一方，高賃料帯ではその影響が弱まる．治安の悪いエリアに位置する低賃料帯の物件において，住民が安全性を強く重視する一方で，高賃料帯の物件はもともとセキュリティが確保されている環境にあるため，追加的な価値として認識されにくいことが考えられる．

人口密度 [PopulationDensity] は，全ての分位点で負の相関を示し，変数選定の参考とした既往研究（Dan et al., 2020）とは真逆の結果となった．都市化の進行が必ずしもプラスに作用するわけではなく，交通渋滞や生活環境の質の低下といった都市の負の側面が，より広々とした快適な居住空間を求める住民の志向と相まって，不動産の価値を押し下げている可能性を示唆している．

５．まとめ

本研究では，所得階層によって洪水リスクへの認識が異なる可能性を考慮し，賃料帯の異質性に着目して，マニラ首都圏における洪水リスク指標のコンドミニアムの賃料への影響を分析した．分析結果から，中賃料帯の物件では，洪水リスクが賃料決定の重要な要因として認識されていることが示唆された一方，高賃料帯の物件ではその影響が比較的弱まると推定された．氾濫原に多く立地する低賃料帯の物件では，洪水リスクが賃料に有意な影響を持たず，洪水に対する諦観が存在する可能性が考えられる．また，今回の分析では，交絡因子の存在やデータの偏りにより，解析が不安定になった可能性がある．今後はこれらの要因を考慮に入れつつ，説明変数の再考を行っていく予定である．

謝辞

本稿の執筆にあたり，洪水リスクのデータを提供していただいた MGB に深く謝意を表する．

参考文献

博報堂（2023）博報堂生活総合研究所アセアン「アセアン生活者研究 2023」を発表．＜https://www.hakuhodo.co.jp/news/newsrelease/104525/>.

井上亮・永吉真也・小森大輔（2016）水害危険性が地価に与える影響の変化時点推定―地域の水害危険性認識変容の把握に向けて―，土木学会論文集 B1（水工学），**72**（4），I_1309-I_1314

清水勇蔵・馬場弘樹（2021）気候変動と不動産取引―不動産価格に対する洪水のインパクト，日本不動産学会誌，**35**（1），112-117.

International Monetary Fund（2024）World Economic Outlook Database．<https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2024/April>.

WeltRisikoBericht(2024)『World Risk Report 2024』

Brookshire, D. S., M. A. Thayer, J. Tschihart, and W. D. Schulze. (1985). A test of the expected utility model: Evidence from earthquake risks. Journal of Political Economy, **93**, 369-389.

Bin, O., & Polasky, S. (2004). Effects of Flood Hazards on Property Values: Evidence before and after Hurricane Floyd. Land Economics, **80**（4）, 490-500.

Michio, Naoi., Miki, Seko., & K.Sumita., (2009). Earthquake risk and housing prices in Japan: Evidence before and after massive earthquakes, Regional Science and Urban Economics, **39**, 658-669.

Rentschler, Jun., & Salhab, Melda.,(2020).People in Harm's Way: Flood Exposure and Poverty in 189 Countries, World Bank Group Policy Research Working Paper 9447.

Christopher Dann., Jakub Grohmann., Amy Ho., Sherman Khoo., Anna Kim., and Swapnil Lal., (2020), The Hedonic House Price Model in a Development Context – Evidence from the National Capital Region of the Philippines, 2000 – 2010, Rationale, Working Paper Series, **1**, 23-58.

表 2　Model1 の分析結果

	$\tau = 0.10$		$\tau = 0.25$		$\tau = 0.50$		$\tau = 0.75$		$\tau = 0.90$	
	Coef	t-value	Coef	t-value	Coef	t-value	Coef	t-value	Coef	t-value
(Intercept)	3.231***	91.59	3.290***	124.66	3.215***	111.79	3.202***	300.13	3.331***	104.06
Area	−0.000**	−3.21	−0.000	−0.61	−0.000	−1.87	0.000***	5.10	0.000***	4.07
Bedroom	−0.044***	−8.06	−0.053***	−9.50	−0.041***	−7.14	−0.063***	−33.77	−0.057***	−8.18
Bathroom	0.001	0.27	0.013	1.72	0.041***	5.56	0.067***	37.27	0.049***	7.85
Electricity	−0.059***	−10.00	−0.060***	−8.08	−0.047***	−6.84	−0.052***	−7.67	−0.014	−1.18
Internet	0.067***	6.98	0.072***	12.10	0.078***	12.24	0.073***	26.43	0.029***	4.35
SecurityInt	0.034**	3.18	0.005	0.60	−0.027***	−3.62	0.001	0.13	−0.009	−0.75
MakatiDistance	−0.009***	−13.08	−0.007***	−6.99	−0.005***	−6.04	−0.002***	−8.97	−0.000	−0.15
SchoolDistance	−0.022	−1.95	−0.035***	−5.02	−0.054***	−6.06	−0.043***	−14.01	−0.046***	−3.55
PopulationDensity	−0.095***	−12.20	−0.088***	−14.48	−0.052***	−8.01	−0.047***	−24.50	−0.061***	−8.57
FloodRisk1	base		base		base		base		base	
FloodRisk2	−0.016	−1.10	−0.039***	−5.34	−0.063***	−6.13	−0.041***	−4.59	−0.031***	−4.01
FloodRisk3	0.002	0.10	0.020**	3.07	−0.017	−1.01	−0.014	−1.64	−0.023	−1.21
FloodRisk4	0.062*	2.27	0.014	1.45	0.002	0.09	0.017***	3.60	0.001	0.02
Num. Obs.					4381					

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

表 3　Model2 の分析結果（洪水リスク以外の説明変数は省略）

	$\tau = 0.10$		$\tau = 0.25$		$\tau = 0.50$		$\tau = 0.75$		$\tau = 0.90$	
	Coeff	t-value	Coeff	t-value	Coeff	t-value	Coeff	t-value	Coeff	t-value
FloodRisk1	base		base		base		base		base	
FloodRiskInt	−0.005	−0.69	−0.028***	−4.37	−0.046***	−5.03	−0.022***	−3.12	−0.026***	−4.23
Num. Obs.					4381					

ポスター発表

2025年11月2日(日) 13:00 ~ 13:50 | 会場(金森産業ホール)
[P2] ポスター発表 #2

[P2-48] DSMデータと地形解析を用いたドローンひび割れ検知における誤検知低減手法の検討

*阿多 和希[1] (1. 大阪公立大学院)

キーワード：QGIS

社会インフラの老朽化に伴い、省人化を目的としたドローンによる点検手法が求められている。特にひび割れ検知は重要であるが、従来手法では草木やゴミに起因する誤検知が課題である。本研究では、GIS環境下での画像処理・ベクタ化技術の応用として、DSMデータを用いたノイズ除去手法を検討した。具体的には、地形起伏指数処理から得られるベクタレイヤを利用し、一定の高さを持つノイズを抽出することで誤検知を低減できることを確認した。一方で、地表面に密着した植生や厚みのない異物は標高差が小さく、除去が困難であることも明らかとなった。今後は、他の画像処理や機械学習的手法との併用により、高精度かつ実用性の高い誤検知低減手法を構築することを目指す。

©一般社団法人地理情報システム学会