口頭発表

2025年11月2日(日) 9:20 ~ 10:40 | C会場(共通教育棟 D21番教室)

[C5] 可視化１

司会：片岡 勲人

9:20 ~ 9:40

[C5-01] インナー型保育所における関節点3 次元座標を用いた幼児行動推定 姿勢・移動・モノに基づく推定手法

*川路 もね[1]、大佛 俊泰[1]、岸本 まき[1]、荻野 光司[1]、大谷 由紀子[2] (1. 東京科学大学、2. 摂南大学)

9:40 ~ 10:00

[C5-02] ビーコンデータを用いた大学病院勤務医の滞留・移動分析

*橋本 蒼真[1]、沖 拓弥[1]、赤星 径一[2] (1. 東京科学大学、2. 東京科学大学病院)

10:00 ~ 10:20

[C5-03] 地下埋設管の3次元データの構築およびその管理手法の検討

*梅宮 咲恵[1]、窪田 諭[2]、安室 喜弘[2] (1. 関西大学大学院理工学研究科、2. 関西大学環境都市工学部)

10:20 ~ 10:40

[C5-04] PLATEAUの3D都市モデルを使用した東京都市圏の建築環境の可視化

*相 尚寿[1] (1. 昭和女子大学)

©一般社団法人地理情報システム学会

インナー型保育所における関節点3次元座標を用いた幼児行動推定
姿勢・移動・モノに基づく推定手法

川路もね[*1]・大佛俊泰[*2]・岸本まき[*2]・荻野光司[*3]・大谷由紀子[*4]

Estimating Preschool Children's Behavior in a Indoor Preschool Using 3D Joint Coordinates : A Posture-, Movement-, and Object-Based Approach

Mone KAWAJI[*1], Toshihiro OSARAGI[*2], Maki KISHIMOTO[*2], Koji OGINO[*3], Yukiko OTANI[*4]

Abstract: In urban areas, many preschools are facing constraints such as limited indoor space and the absence of playgrounds, making it necessary to plan facilities that take into account the unique behaviors of preschool children. This study proposes an approach to automatically and continuously estimate preschool children's behavior, while quantitatively evaluating their relationships with surrounding people, objects, and architectural spaces. Considering behavior as consisting of three fundamental elements: posture, movement, and object interaction, we propose methods to estimate each element and integrate them into a comprehensive model of children's behavior. Furthermore, using the estimation results, we analyze the relationship between preschool children's behavior and physical proximity to preschool staff.

Keywords: 保育所 (preschool)，幼児行動 (preschool children behavior)，姿勢推定 (posture estimating)，移動推定 (movement estimating)，関節点 3 次元座標 (3D joint coordinates)

１．はじめに

保育施設の多様化が進む中で，都市部では室内面積の狭さや園庭がないといった制約を抱えるインナー型保育所が増加している．これらの施設では，限られた空間の中で幼児の健全な成長を促す環境を確保する必要があり，幼児特有の行動を考慮した施設計画が不可欠である．

幼児特有の行動把握に関する既往研究は，目視観察調査に基づくものが多く，網羅的な行動把握には限界がある（徐・小林，2020）．近年は機械学習を用いた映像解析による行動推定の試みも報告されている（飯田ほか，2020）．しかし，幼児行動に関するデータセット構築手法の提案に留まっており，それらを適用した保育施設内における行動検出は行われていない．

本研究では，建築空間と幼児行動の関連性を定量的に評価する手法開発を見据え，ビデオ映像から自動的かつ継続的に幼児行動を推定する手法を提案する（図1(a)）．具体的には，まず，ステレオカメラを用いて間接点 3 次元座標を取得し，これを用いて幼児の姿勢と移動を推定する．次に，幼児行動は姿勢と移動，玩具などのモノの組合せで同定できると考え，行動推定モデルを構築する．さらに，推定結果を用いて幼児行動と保育士の位置関係についての基礎分析を試みる．

２．幼児行動推定のための基礎技術

２．１　ビデオ映像に基づく関節点 3 次元座標の取得

保育所内における幼児行動に関するビデオ映像を分析データとするため，大阪府大阪市に立地するインナー型保育所内で観測調査を実施した（図 2）．2 歳児保育室において 2 台のステレオカメラ（図 2(b)）を設置し（図 2(c)），幼児行動に関する映像を取得した．

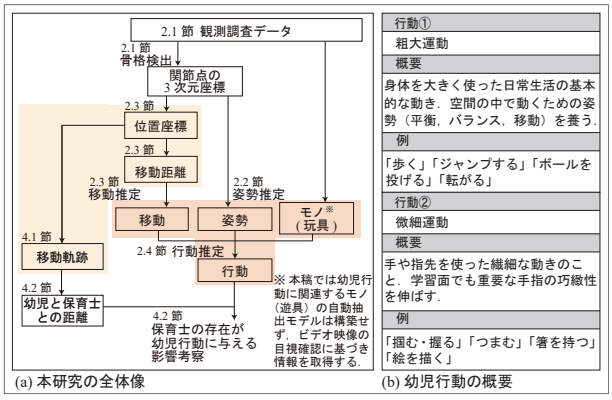


図 1 本研究の全体像と幼児行動の分類

*1　学生会員　東京科学大学　環境・社会理工学院（Institute of Science Tokyo）
〒 152-8550　東京都目黒区大岡山 2-12-1　E-mail:kawaji.m.31e7@m.isct.ac.jp
*2　正会員　東京科学大学　環境・社会理工学院（Institute of Science Tokyo）
*3　学生会員　東京科学大学　環境・社会理工学院（Institute of Science Tokyo）
*4　正会員　摂南大学　理工学部　建築学科（Setsunan University）

取得した映像から，幼児の関節点三次元座標を取得する（図 3(a)）．具体的には，既存の骨格検出ソフト（図 3(b)）を用いて撮影映像から全 30 か所の関節点 2 次元座標を取得する．次に，ステレオカメラから取得した奥行情報を各関節点に付与して 3 次元座標を取得する．上記の操作を 2 台のカメラで行い，得られた値の平均値を最終的な間接点 3 次元座標とする．

２．２　姿勢推定モデルの概要

ニューラルネットワークを用いた姿勢推定モデルの概要を図 4(a) に示している．本モデルでは，幼児の関節点 3 次元座標情報を基に，時点 t における姿勢を座位・膝立ち・四つん這い・立位・しゃがみの 5 種類に分類する．入力層は，姿勢推定の対象時点 t とその直前の 0.1 秒前 (t-0.1) および 0.2 秒前 (t-0.2) の関節点 3 次元座標とする（図 4(c)）．出力層では，5 つの姿勢の確率を算出し，最大確率を示す姿勢を対象時点 t の推定結果とする．

２．３　移動推定モデルの概要

幼児の移動状態を，位置座標に基づき「移動」と「移動なし」の 2 種類に分類する（図 4(d)）．移動は常に立位姿勢で行われる点に着目し，立位と推定されたデータは図 4(d) のフローチャートに従い推定し，立位以外のデータは全て「移動なし」とする．具体的には，移動推定の対象時点 t の床面に投影した腰座標を算出し（図 4(d) ※ 1），任意時間差 Δt における座標間距離 d を閾値 d_1 と比較することで「移動」・「移動なし」を分類する（図 4(d)）．時間差 Δt および閾値 d_1 は，学習データに対する分類精度が最大となる値を採用する．

２．４　行動推定モデルの概要

図 5 に行動推定モデルの概要を示している．本モデルでは，幼児行動を身体を大きく使う「粗大運動」と手や指先を使う「微細運動」（図 1(b)），「その他」に分類する決定木モデルであり，姿勢推定と移動推定の結果に加え，目視判別する玩具の有無を特徴量（図 5(c)）として用いる．9 つの特徴量に基づき，モデル

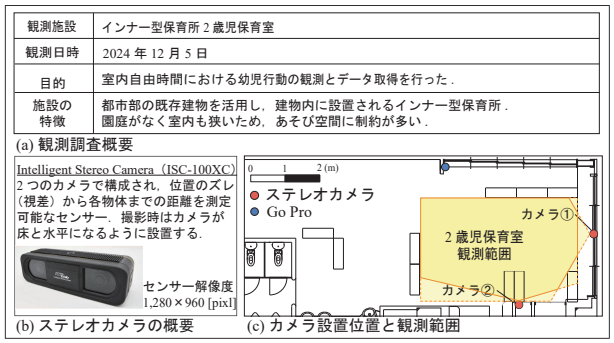


図 2 保育所観測調査の概要

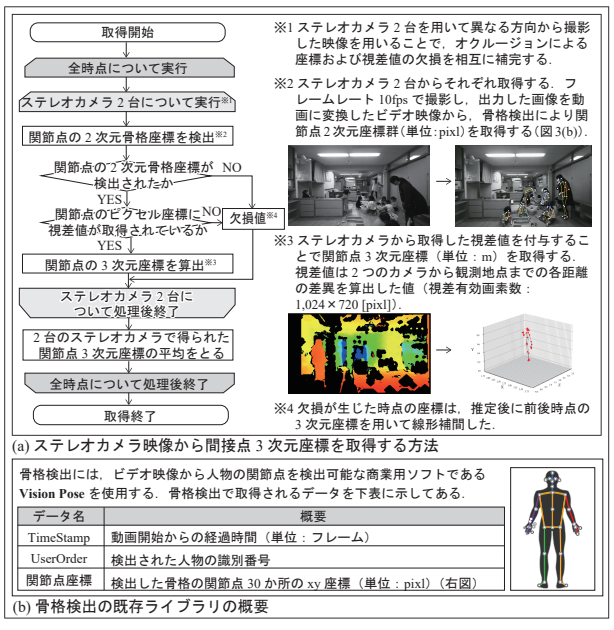


図 3 関節点 3 次元座標の取得方法

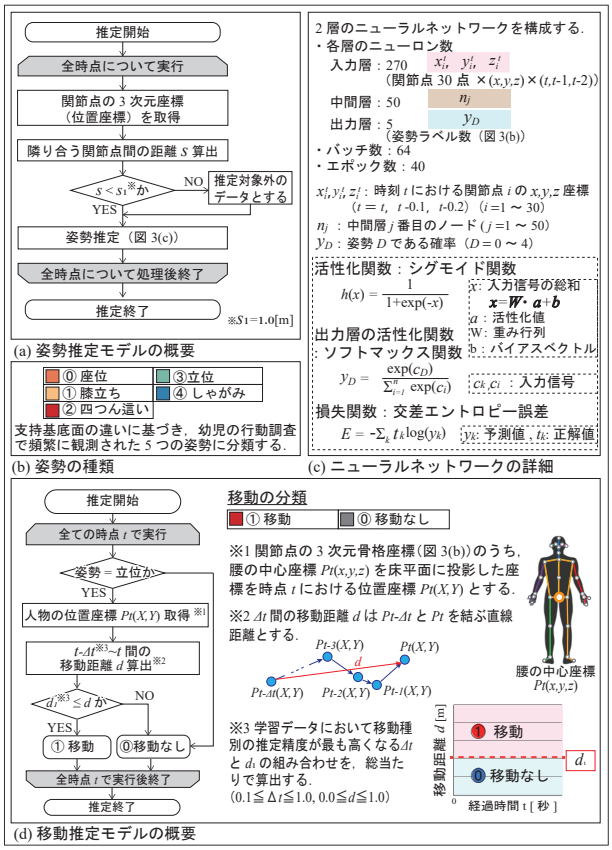


図 4 姿勢・移動推定の各モデル概要

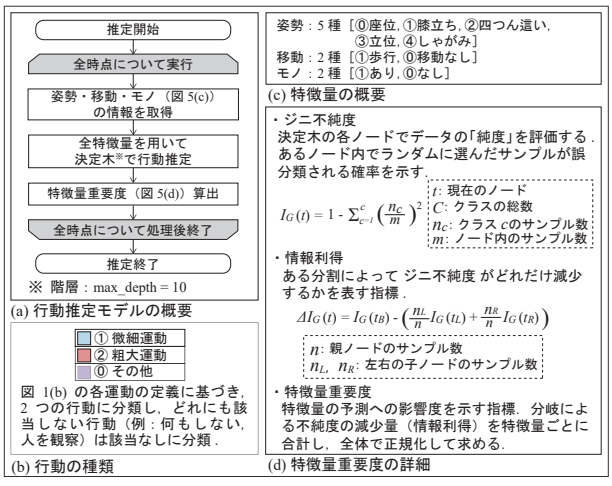


図 5 行動推定モデルの概要

の学習を行い，テストデータを用いてモデルの評価と特徴量重要度（図 5(d)）を算出する．

3．保育所における幼児行動の推定結果

3．1　分析データの概要

分析データの概要を図 6 に示してある．各場面（図 6(a)）について，幼児のあそびを観察し，姿勢，移動，モノ，および，行動に関する時系列的な正解データを作成した．各要素は，それぞれのカテゴリを整数ラベルで符号化したデータとして整理した（図 5(c)）．

3．2　姿勢の推定結果

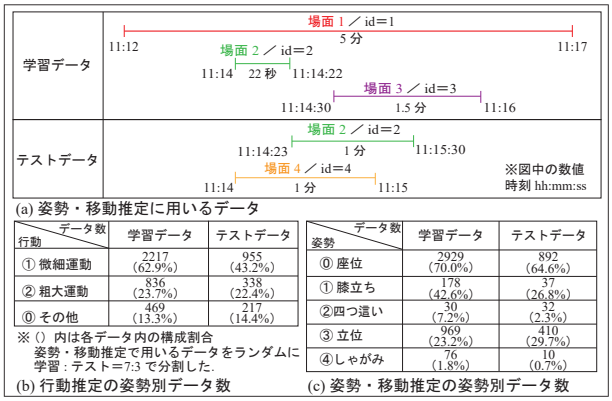
姿勢推定モデルの推定結果を図 7(a) に示してある．テストデータにおける正解率は 88.7% であり，全体として良好な値を示している．特に，⓪座位・①膝立ち・③立位において，再現率・適合率ともに 86% 以上の高い値を示している（図 7(a)(1)）．一方で，⓪座位と類似する姿勢（例えば，②四つん這い・④しゃがみ）では，③立位と誤推定される例が多く（図 7(a)(2)），これらの姿勢に関する学習データが他と比べて少ないことが原因と考えられる（図 6(c)）．推定精度の更なる向上には，姿勢ごとの学習データ数の偏りを解消することが必要と考えられる．

3．3　移動の推定結果

移動推定モデルの未知パラメータおよびテストデータに対する推定結果を図 7(b) に示してある．Δt=0.6, d_1=0.125 の時，学習データにおける正解率が最大（78.8%）となった（図 7(b)(1)）．このパラメータを用いてテストデータを評価した結果，正解率は 73.5% であり，全体としては比較的高い分類結果が得られた（図 7(b)(2)）．テストデータの移動 1 の序盤では「移動なし」とする誤推定が一部みられるものの，中盤においては「移動」を適切に識別できている（図 7(b)(3)）．以上より，本モデルは移動識別に対して十分な性能を有しているといえる．

3．4　行動の推定結果

行動の推定結果を図 8 に示してある．特徴量重要度が最も高い「座位姿勢」は，ルートノードにおける分類基準に採用されており，行動推定において重要な役割を果たしている（図 8(b)）．本モデルでは，はじめに「座位であるか否か」に基づき行動が分類され，座位の場合は①微細運動に分類される（図 8(a)）．座位でない場合は，モノを持ち，姿勢が立位である場合は②粗大運動に分類され，それ以外の場合は⓪その他に



(a) 姿勢・移動推定に用いるデータ

行動 ＼ データ数	学習データ	テストデータ
① 微細運動	2217 (62.9%)	955 (43.2%)
② 粗大運動	836 (23.7%)	338 (22.4%)
⓪ その他	469 (13.3%)	217 (14.4%)

※（）内は各データ内の構成割合
姿勢・移動推定で用いるデータをランダムに学習：テスト＝7:3 で分割した．

(b) 行動推定の姿勢別データ数

姿勢 ＼ データ数	学習データ	テストデータ
⓪ 座位	2929 (70.0%)	892 (64.6%)
① 膝立ち	178 (42.6%)	37 (26.8%)
②四つ這い	30 (7.2%)	32 (2.3%)
③ 立位	969 (23.2%)	410 (29.7%)
④しゃがみ	76 (1.8%)	10 (0.7%)

(c) 姿勢・移動推定の姿勢別データ数

図 6 分析データの概要

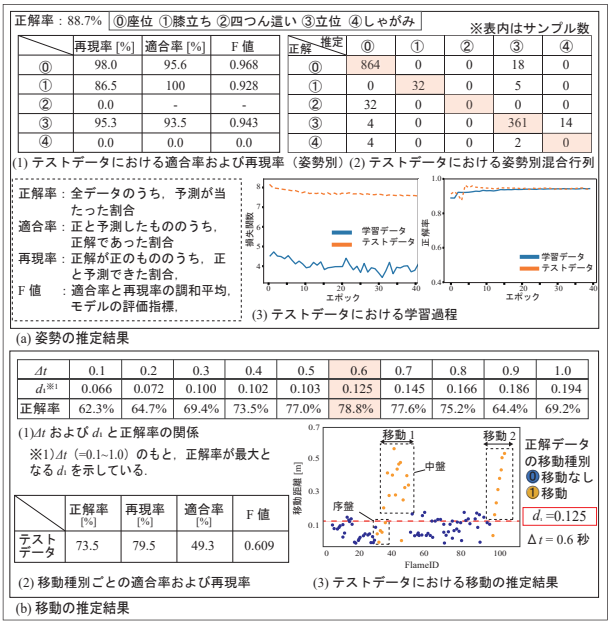


図 7 姿勢の推定結果

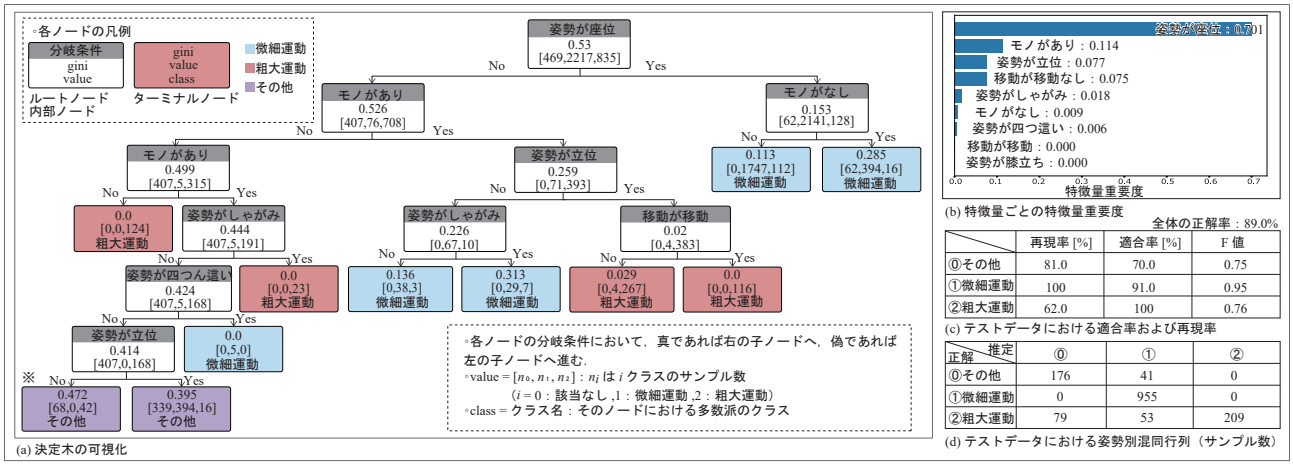


図 8 行動の推定結果

分類されることが多い．テストデータにおける正解率は 89.0% であり，特に①微細運動において再現率・適合率ともに 90% 以上の高い値を示している（図 8(c)）．一方で，②粗大運動の再現率は 62% と低い値を示している．これは，決定木のターミナルノード（図 8(a)※）において，②粗大運動と⓪その他を正しく区別できていないことが一因である．

4．幼児行動推移に関する考察

4．1　移動軌跡データの平滑化

本章では，幼児と保育士の位置関係に着目し，保育士との距離が幼児行動の切り替わりに与える影響を考察する．ビデオ映像から取得した位置座標（図 4(d)※1）には，骨格検出精度などに起因する揺らぎが含まれる．人物間距離を算出する場合，位置座標の計測誤差が影響し，距離の時系列変化の解釈が困難になる可能性がある．そこで，本章では平滑化した位置座標に基づいて算出した相対距離を分析に用いる．

移動軌跡データの取得方法を図 9(a) に示してある．各時点の幼児と保育士の関節点 3 次元座標に基づき，位置座標 $P_t(X,Y)$ を取得する．この時，計測誤差が大きい $P_t(X,Y)$ を外れ値として除外する．具体的には，$P_t(X,Y)$ の前後時点における速度 v_t-1・v_t+1 との差分がどちらも閾値 1.0m/s を超えた場合，$P_t(X,Y)$ を除外する．その上で，Savitzky-Golay 法を用いて軌跡を平滑化する．

幼児の移動軌跡データの例を図 9(b) に示してある．不連続性や過剰な揺らぎを含んでいた移動軌跡が（図 9(b)(1)），平滑化された曲線として再構成されたことがわかる（図 9(b)(2)）．

4．2　幼児行動と保育士の位置関係

各幼児行動における距離区分の構成比を図 10(a) に示してある．広い空間を要する活動が多い粗大運動では，幼児と保育士間の距離が大きくなると予測されたが，距離区分「1–2 m」が最も多い．一方，微細運動では，各距離区分に均等に分布していた．これは，粗大運動は微細運動に比べデータ数が少なく（図 6(b)），かつ限られた空間（図 2(c)）における行動のみが分析対象であるため，観測された粗大行動が「保育士を追いかける」などに偏っていることが要因であると考えられる．

場面 4・5 における幼児・保育士間距離を図 10(b) に示してある．粗大運動時に距離が徐々に縮小し，微細運動へ移行する様子がわかる．観測対象範囲をより広く設定できれば，保育士に寄り添い微細運動を行う幼児の様子や，粗大運動を行う幼児を保育士が一定の距離内で見守る様子などが確認できる可能性がある．

5．おわりに

本研究では幼児行動は姿勢・移動・モノの 3 要素から構成されると考え，ステレオカメラを用いた姿勢および移動の推定モデルと幼児行動推定モデルを構築した．今後は，推定した幼児行動に基づき，交流量の定量分析や家具・モノ・設えが幼児行動に及ぼす影響分析を行う予定である．

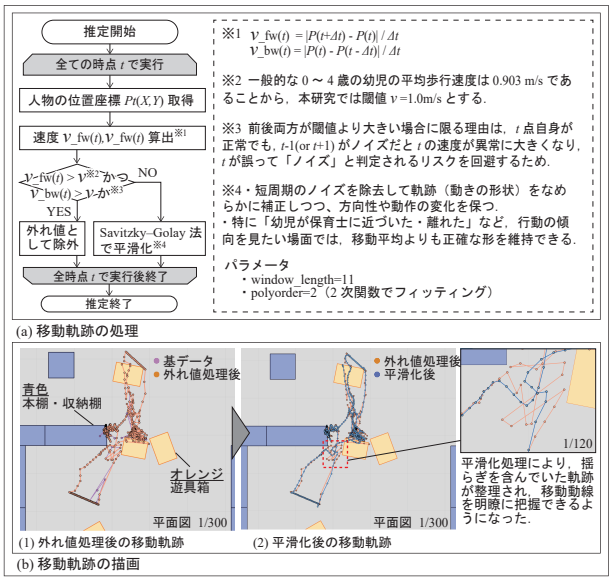


図 9 移動軌跡描画の概要

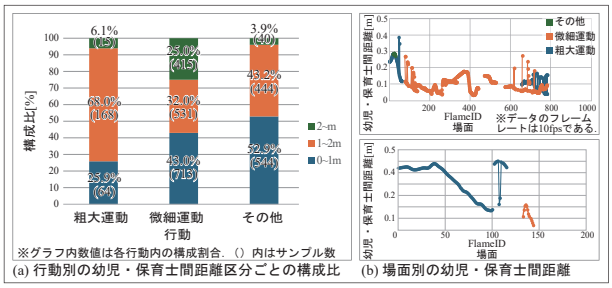


図 10　幼児行動と保育士の位置関係

本研究は，東京科学大学研究倫理審査会の承認を受けて実施している（承認番号：第 2023086 号）．

謝辞

本研究は，JSPS 科研費 JP23K20994 の助成を受けたものである．また，三原正一特定教授（東京科学大学・当時）高木真人准教授（京都工芸繊維大学），榊愛准教授（摂南大学）から多くの示唆を頂いた．ここに記して謝意を表す．

参考文献

飯田啓太・汪雪テイ・山崎俊彦・鳥海哲史・林幹久・野澤祥子・高橋翠・廣戸健悟・遠藤利彦・秋田喜代美（2020）保育施設における行動検出・理解のための映像データセット構築．「人工知能学会全国大会論文集」，34．

徐 華・小林 美紀（2020）２つの保育園の観察調査による空間構成に関する研究（その１）：２歳児クラスの交流行動と空間分布．「日本建築学会大会学術講演梗概集」，85（769），517-524．

ビーコンデータを用いた大学病院勤務医の滞留・移動分析

橋本蒼真*・沖拓弥・赤星径一*****

Analysis of Staying and Movement of University Hospital Physicians Using Beacon Data

Soma HASHIMOTO*, Takuya OKI**, Keiichi AKAHOSHI***

Abstract: The improvement of healthcare workers' labor conditions is an urgent priority. Understanding how and when healthcare workers remain in the specific rooms or move throughout the hospital during a day or week is crucial as foundational data for advancing work style reform. Previously, we developed a methodology to analyze physicians' actual working conditions and patterns of staying and movement throughout a university hospital, based on detection logs from beacons introduced for attendance management of hospital-employed physicians. In this paper, we significantly increase the number of subjects analyzed from 5 to 27 and the observation period from one week to three months. It enables the statistical analysis of staying and movement patterns. In addition, we classify physicians based on them and examine challenges and potential improvements in daily work practices.

Keywords: 滞留（staying），移動（movement），大学病院（university hospital），多次元尺度構成法（multi-dimensional scaling），ビーコン（beacon），動線ネットワーク（traffic network）

１．はじめに

2024 年 4 月から「医師の働き方改革の新制度」が始まり，医療従事者の労働状況改善は喫緊の課題である．1 日の中で，あるいは 1 週間の中で，病院全体で医療従事者がどのように滞留・移動しているかを把握することは，働き方改革を進める上での基礎資料として重要である．

筆者らは，医療従事者のうち大学病院勤務医（以下，医師）の勤怠管理用に導入されているビーコン（Dr. JOY：図 1 左下）の検知ログをもとに，大学病院全体における医師の勤務実態および滞留・移動の状況を分析する手法を構築した（橋本ほか，2025）．本稿では，行動分析の対象者数を 5 名から 27 名に，対象期間を 1 週間から 3 か間に大きく増加させることで，統計的側面から滞留・移動分析を行うとともに，滞留・移動パターンをもとに医師を分類し，滞留・移動の観点から日々の働き方における課題と改善可能性について考察する．

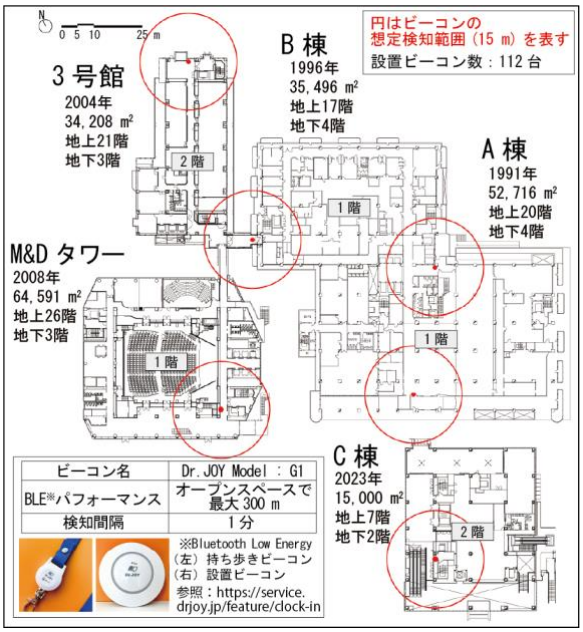


図 1　対象施設の基本情報とビーコンの仕様

２．滞留・移動分析の手法

２.１　分析対象の施設・医師・期間

前稿（橋本ほか，2025）と同じく，東京科学大学（旧・東京医科歯科大学）病院の A 棟・B 棟・C 棟・3 号館・M&D タワーを分析対象施設とした（図 1）．A 棟と B 棟は実質的に一体となっており，他の建物間は，階によっては渡り廊下で接続され行き来できる．医師が診療に従事する棟は A 棟・B 棟・C 棟であるが，医局や研究室，講義室等の機能を有する 3 号館や M&D タワーとの間を往来する機会は少なくない．

分析対象の医師は，東京科学大学病院に勤務する医師 27 名で，2025 年 2 月から同年 4 月にかけての計 12～14 週間分を分析対象とした．

*　学生会員　東京科学大学　環境・社会理工学院　建築学系（Institute of Science Tokyo）
〒152-8550　東京都目黒区大岡山 2-12-1-M4-2　E-mail：hashimoto.s.4b7e@m.isct.ac.jp
**　正会員　東京科学大学　環境・社会理工学院　建築学系（Institute of Science Tokyo）
***　非会員　東京科学大学病院　肝胆膵外科分野（Institute of Science Tokyo Hospital）

表 1　ビーコンでの検知ログの例

検知日時	持ち歩きビーコン MAC アドレス	持ち歩きビーコン名	設置ビーコン MAC アドレス	設置ビーコン名	エリア名
2024/10/07 8:31:54	AC233FF25BD7	23617	ac233fc06e40	医科 A 棟（I 期）－南側入口 -B1F	病院
2024/10/07 8:33:04	AC233FF25BD7	23617	ac233fc070fa	M&D タワー－防災センター前	M&D タワー
2024/10/07 8:34:22	AC233FF25BD7	23617	ac233fc0d5e8	3479_消化管外科②	M&D タワー
2024/10/07 8:35:28	AC233FF25BD7	23617	ac233fc0d5e6	3477_肝胆膵外科	M&D タワー
2024/10/07 8:36:28	AC233FF25BD7	23617	ac233fc0d5e6	3477_肝胆膵外科	M&D タワー
2024/10/07 8:37:29	AC233FF25BD7	23617	ac233fc0d5e6	3477_肝胆膵外科	M&D タワー
2024/10/07 8:42:57	AC233FF25BD7	23617	ac233fc07109	3 号館－医科棟渡り廊下側 -1IF	3 号館
2024/10/07 8:44:00	AC233FF25BD7	23617	ac233fc0d60c	3515_B12	病院

2.2　ビーコンデータの仕様

ビーコンはオフィスワーカーの行動分析に用いられている事例が多く，ワーカー同士の交流度や座席レイアウトの評価などに活用されている．検知範囲を狭めに設定したビーコンを高密度に配置するほど，オフィス内滞在者の時空間分布をより詳細に把握できる．

本稿で使用しているビーコンの場合，医師が「持ち歩きビーコン」を携行して「設置ビーコン」の検知範囲内に進入することで，最短で約 1 分ごとに検知ログが記録される（表 1）．ただし，対象施設全体の規模が大きく，かつ，本来の利用目的が勤怠管理であるため，図 1 に示すように設置ビーコンの密度が低く，想定検知範囲が広い点に特徴がある．この検知ログデータを（氏名などの個人を特定可能な情報は秘匿し，対象者の了承を得た上で）分析に用いる．

2.3　動線ネットワーク（NW）データの作成

移動をより詳細に分析するためには，ビーコン検知ログから移動経路・距離を推定する必要がある．そこで，前述の 5 棟全体をカバーする動線 NW データを図 2 に示す手順で作成した．具体的には，沖（2021）が開発した ArcPy のプログラムを用いて，各棟平面図の CAD データから階ごとの NW データを作成した上で，縦動線（階段・エスカレータ・エレベータ）やビーコン位置との接続情報を手作業で追加した．

2.4　検知ログの可視化

検知ログをもとに，ある医師による 5 日間の行動パターンを可視化した例を図 3 に示す．縦軸には，5 棟にまたがる 112 台のビーコン ID をソートして用いているが，2 次元平面では，同一棟内と異なる棟間の階の上下関係を両立できない．そこで，3 次元空間における行動を時系列データとして可視化するために，多次元尺度構成法（MDS）を応用することで，動線 NW に基づき Dijkstra 法（Dijkstra, 1959）で求まる計 112 台の設置ビーコン間の移動距離情報を保存したまま次元削減を行い，3 次元の位置情報を 2 次元平面上に射影した（図 4 左）．これをもとに，MDS 平面上の XY 座標と検知時刻 t の関係を，3 次元空間上に曜日別に可視化した例を図 4 右に示す．図 2 と異なり，ビーコン間の距離も考慮し，実際の移動距離がよりわかりやすい図となっていることがわかる．図 4 からは，診療科による行動の違いのみならず，同一人物でも曜日によって行動が大きく異なる様子が見てとれる．

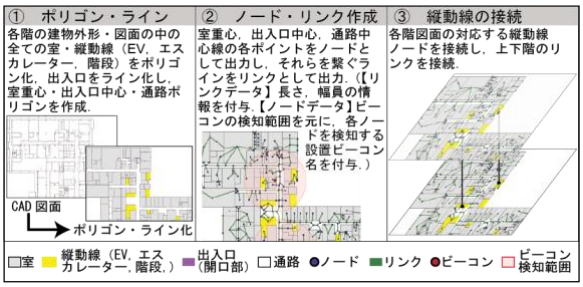


図 2　動線ネットワークデータの作成方法

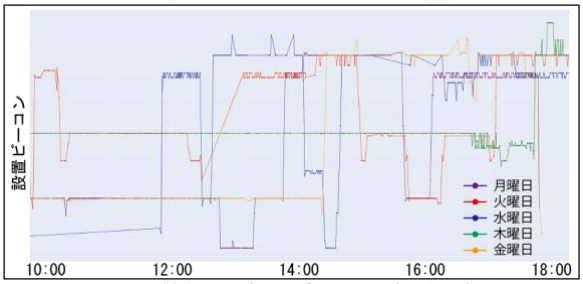


図 3　検知ログの可視化例（2 次元）

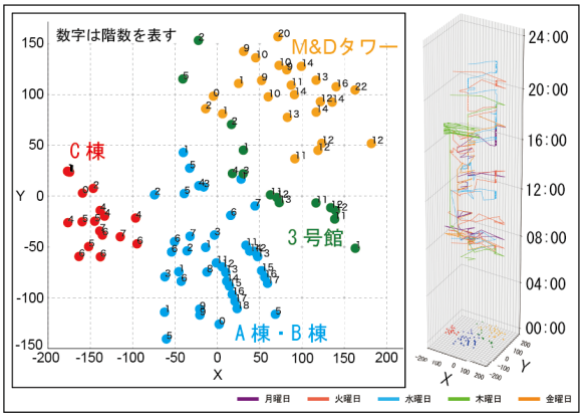


図 4　MDS によるビーコン設置地点の 2 次元プロットと検知ログの可視化例（3 次元）

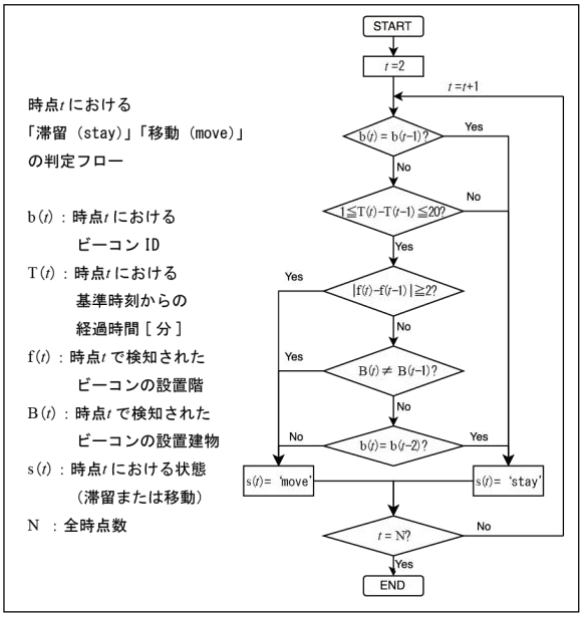


図 5　検知ログにおける滞留・移動の判定処理

2.5　滞留・移動の判定とノイズ処理

基本的に，図 3・図 4 において軌跡が時間軸に平行である時間帯は「滞留」，それ以外の時間帯は「移動」と見なせる．しかし，可視化の結果，短時間で複数のビーコン間を異常に多く往復するノイズが散見された．これは主に，複数の設置ビーコンに近接した位置で滞留している場合に，タイミングによって検知される設置ビーコンが変動することに起因するものと推察される．そこで，図 5 に示す手順でノイズ処理を行い，実際に移動中である可能性の高い時間帯を抽出した．

3．滞留・移動分析の結果

3.1　滞留時間と移動時間

2.5 節で判定した時点別の滞留・移動情報を個人ごとに集計することで，3 か月間の滞留・移動時間の分布を箱ひげ図により可視化した（図 6・図 7）．診療科による行動の違いのみならず，同一人物でも日によって行動が大きく異なる，医師特有の勤務実態が表れている．ここで，移動時間の平均値が非常に小さい 5 名は，「持ち歩きビーコン」を日常的に携帯していない可能性が高いことから，以降の分析からは除外することとした．

図 8 では，22 名の滞留時間と移動時間を比較している．エラーバーは標準偏差（±1 σ）を表す．なお，医師の働き方改革における診療科ごとの時間外労働時間の上限規制区分（A 水準・B 水準）で色分けして表示している．

- A 水準：原則として時間外労働・休日労働の合計が年 960 時間以下．
- B 水準：時間外労働の上限が年 1,860 時間以下．救急医療など地域医療の確保が特に必要な医療機関が対象．

1 日の勤務時間（本稿では，滞留時間と移動時間の合計）に占める移動時間の割合は，多い場合で約 7 割に上るケースも見られた．特に，集中治療部の医師が顕著で，移動時間の割合が 2 割を下回る日が存在しなかった．ただし，この結果には，ビーコンの設置密度の高低が影響しうることに留意する必要がある．すなわち，設置密度が疎なエリアでは，同一フロア内での多少の移動は検出されない可能性が高い．

図 8 に示す 22 名のうち 6 名を抽出し，3 か月間の曜日別の移動時間を箱ひげ図で比較した（図 9）．曜日による移動時間の差異も大きいことが確認できる．

3.2　棟間移動と階間移動

たとえ移動時間が同じであっても，同一フロアでの移動が多い場合と，異なる棟間や異なる階間の移動が多い場合では，身体的・精神的負担が異なることが予想される．そこで，移動の発着地点情報（移動前後の検知ビーコン情報）をもとに，棟間移動と階間移動の頻度を集計することを試みた．

図 10 に，図 9 と同じ 6 名を例に，棟間移動の頻度をマ

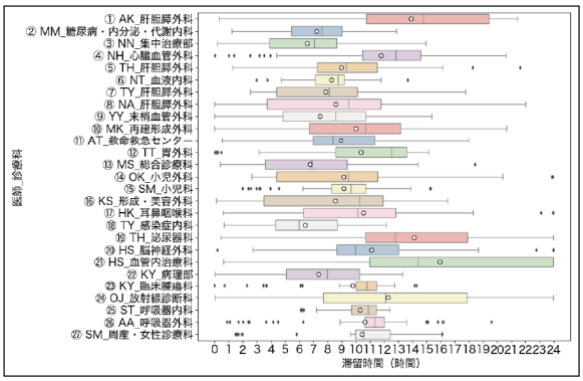


図 6　滞留時間の分布（N=27，3 か月間）

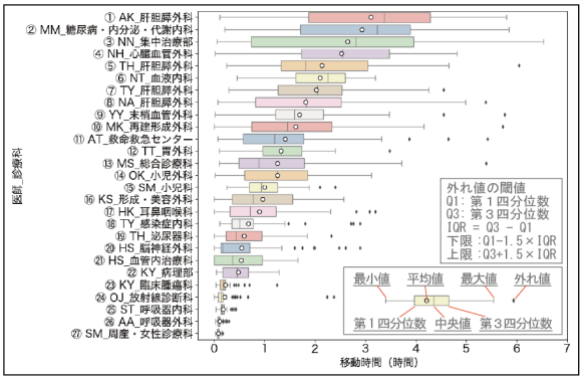


図 7　移動時間の分布（N=27，3 か月間）

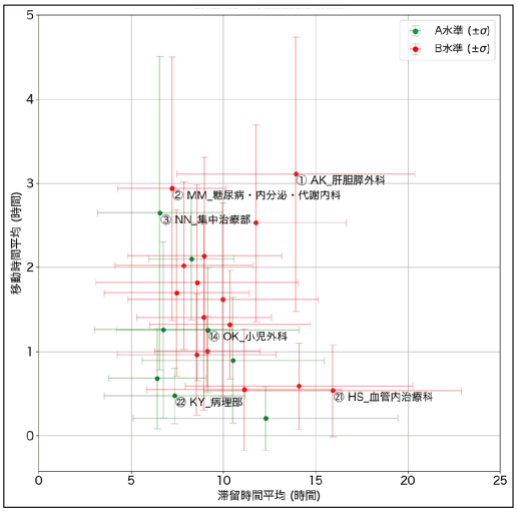


図 8　滞留時間と移動時間の比較（N=22，3 か月間）

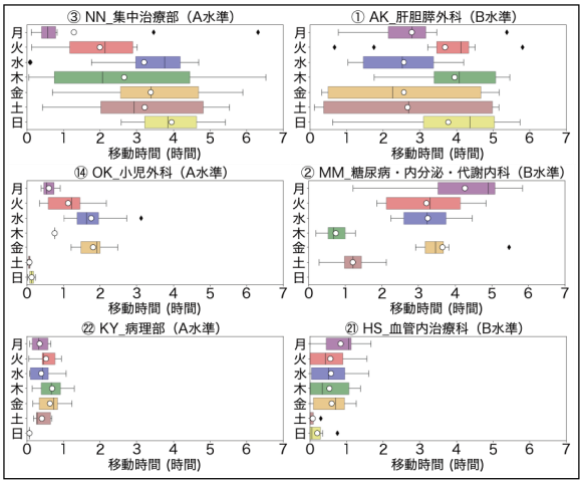


図 9　移動時間の分布（図 8 に示す 6 名，曜日別）

トリクスで示す（対角成分は棟内移動を表す）．特定の棟内での移動が多い医師や，様々な棟間の往来が多い医師など，多様なバリエーションが見られた．この頻度分布の特徴を表す指標として，(a)棟内移動率（全移動に占める棟内移動の割合）と(b)棟間移動エントロピーを定義した（図 11）．基本的に，棟内移動率と棟間移動エントロピーは相補関係にあるが，集中治療部医師は複数の棟内での棟内移動が多く，特殊な傾向を示している．

図 12 に，階間移動の頻度分布を示す．同一階か数階程度の上下移動が目立つが，8 階程度の上下移動が突出している医師も見られる．本稿では上下移動手段の種別（階段，エスカレータ，エレベータ）は考慮していないものの，階段利用が多い場合には身体的・精神的負荷の増大が，エレベータ利用が多い場合には待ち時間の増大がそれぞれ懸念される．こうした観点から移動をより詳細に分析することが今後の課題である．

４．まとめ

本稿では，医師が携行するビーコンの検知ログデータと動線 NW データを活用して，病院内における医師の滞留・移動実態を定量的に分析できる可能性を示した．

依然として微細なノイズが残存していることから，手法の改良や移動の判定精度の吟味が必要である．あわせて，動線 NW を用いた経路推定による，滞留・移動目的および移動中の時間ロスと関連させた，ログデータのより詳細な検証も今後の課題である．

謝辞

本研究は 2023 年度東京工業大学・東京医科歯科大学研究マッチングファンド（第 2 期）の支援の下で行なった．研究を進めるにあたり多大なるご協力やご助言をいただいた，東京科学大学医歯学総合研究科（当時）の椎名希帆氏，同労務課の佐藤奈生氏，佐々木駿氏，同リベラルアーツ研究教育院の永岑光恵教授，および，ビーコンデータの提供に快くご協力いただいた東京科学大学病院の医師の方々に，この場を借りて謝意を表する．

参考文献

沖拓弥（2021）ネットワーク分析を用いた病院内動線計画の評価―建物内動線ネットワークデータ自動作成システムの開発とその応用―，日本建築学会大会学術講演梗概集（建築計画），709-710.

橋本蒼真・沖拓弥・赤星径一（2025）医療従事者の勤務実態に基づく大学病院内の滞留・移動分析，日本建築学会大会学術講演梗概集（建築計画），829-830.

Dijkstra. E. W. (1959) A note on two problems in connexion with graphs, In Numerische Mathiematik, 1, 269-271.

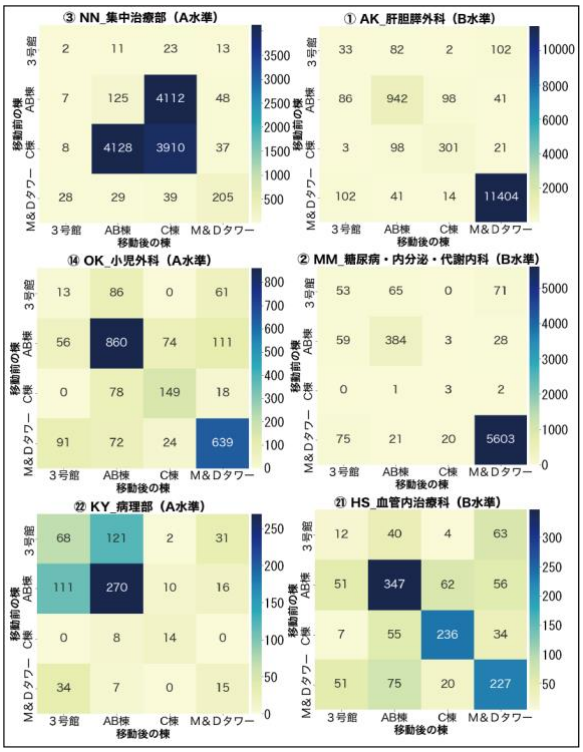


図 10　棟間移動の頻度（図 8 に示す 6 名）

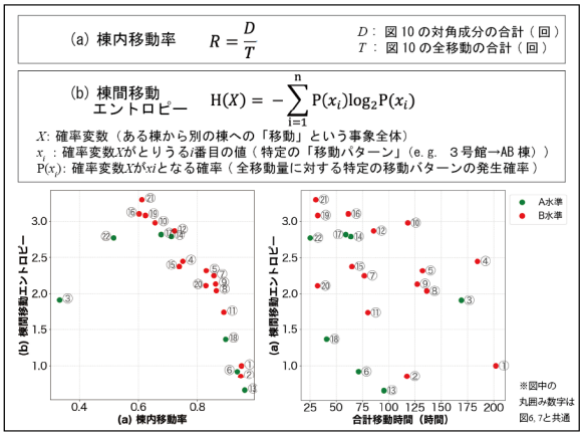


図 11　移動時間と棟内移動率および棟間移動エントロピーの関係（N=22）

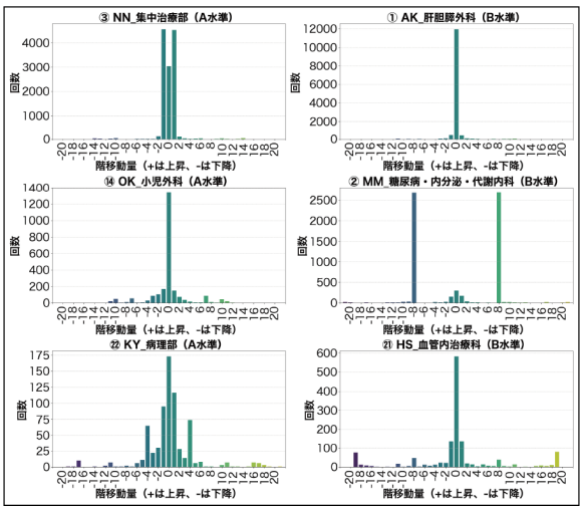


図 12　階間移動量の頻度分布（図 8 に示す 6 名）

地下埋設管の 3 次元データの構築およびその管理手法の検討

梅宮 咲恵　窪田 諭　安室 喜弘

Construction and management of 3D data for underground buried pipes.

Sae Umemiya*, Satoshi Kubota**, Yoshihiro Yasumuro***

Abstract: In Japan, there is a growing demand for the 3D modeling of structures. However, research on the 3D modeling of underground structures such as water and sewage pipelines, gas pipes, and the utility tunnels is limited, and their practical application remains underdeveloped. This study aims to enhance the sophistication of maintenance and management by proposing a method for constructing 3D data as a foundation for managing buried pipelines, and by examining a management system for underground infrastructure. The 3D data will be created using point cloud data obtained during installation work and 3D models generated from design drawings. These will be overlaid onto maps to enable visualization.

Keywords: 維持管理（maintenance），地下埋設管（underground buried pipes），点群データ（point cloud data），情報システム（information system），空間 ID（spatial ID）

１．はじめに

道路の地下に埋設される管路には，上下水道，ガス管や通信線などがある．本研究では地下埋設管とこれらを収容する共同溝を合わせて地下埋設物として定義する．上下水道の埋設管の維持管理については，国土交通省が管轄し地方公共団体が管理業務を担う．また，ガス・電気・通信については，民間のユーティリティ企業がそれぞれ維持管理する．これらの埋設管は道路の直下に敷設されることが多く，管路の種類や位置情報は管理主体である地方公共団体によって 2 次元の道路台帳付図で管理される．新たに埋設管を敷設する際には，ユーティリティ企業の事業者が道路占用許可申請を行い，道路管理者がその情報を道路台帳に登録する．上下水道は 2 次元図面として GIS に登録される．しかし，実際の敷設工事の際には，道路の状況や付属物，地形によって図面の位置から敷設箇所がずれる場合がある [1]．また，埋設管は，管路を設置した後に埋め戻すため，施工後は新たに開削工事を行わない限り，管路本体を確認することは困難となる．事故が起こった際や埋設管の管理計画などを策定する際に，敷設工事時の埋設管の状態を記録しておき管理者が参照することが有効であるが，そのような仕組みは存在しない．複数の管理団体が管理する埋設管路の位置関係を詳細に管理するためには埋設物を 2 次元ではなく，3 次元で表現することが有効であると考えられる．しかし，地下埋設物の 3 次元化に関する研究は少なく，実務での利用は少ない．下水道の 3 次元化に関しては中村ら [2]は，下水管の地上部分の点群データと作成した 3 次元モデルを重畳して可視化した．しかし，その対象は下水管にとどまっている．本研究では，地下埋設管の維持管理の高度化を目的に，埋設管の維持管理を行う際に基盤となる 3 次元データの構築手法を提案し，地下埋設物の管理システムを検討する．

２．点群データの計測

２.１　計測目的

ライフライン設備の埋設時の状況を保存し，施工後もそれを確認するために，計測が比較的容易かつ現状を反映することに優れる点群データを利用する．地下埋設管を対象に点群データを計測する事例は少ない．そこで，地下埋設管の 3 次元データ取得方法を検討するために，

*　学生会員　関西大学大学院　理工学研究科環境都市工学専攻（Kansai University Graduate School of Science and Engineering）
〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35　Email: k117452@kansai-u.ac.jp
**　正会員　関西大学　環境都市工学部都市システム工学科（Kansai University, Faculty of Environmental and Urban Engineering）
***　非会員　関西大学　環境都市工学部都市システム工学科（Kansai University, Faculty of Environmental and Urban Engineering）



a) 実現場（昼間）



b) 実現場（夜間）



c) 仮設現場

図 1　計測対象

実際の施工現場における昼間と夜間，および仮設現場の 3 箇所で点群データを計測する．昼間・夜間の実現場では施工中の短時間で計測できること，そのための機器と方法を明らかにすること，および狭所かつ暗所であり，計測時の作業範囲を十分に確保できない施工環境で計測する方法を示すことを目的とする．仮設現場では，管路の点群データの取得状況，計測機器による点群データの特徴，計測方法による点群データの取得状況の違い，計測時間を定量的に評価する．これらを評価するために，点群データを着色してその面的な取得状況を目視で確認すること，点群データの断面を作成し点群データの生成状況を機器や計測方法によって比較すること，土被りの計測による定量評価すること，機器ごとの計測と処理時間を比較する．

２.２　計測概要

2.2.1 実現場（昼間）

昼間の計測では，計測機器としてカメラを用い SfM（Structure from Motion）/MVS（Multi View Stereo）処理により点群データを生成する．対象の環境は，土被り約 2m で，4m の下水管を一本設置した区間である（図 1a)）．手持ちのカメラ（スマートフォン）を地上から掘削部に向けて地面と平行に構えた状態で，掘削部の周囲を一周して動画を撮影した．

2.2.2 実現場（夜間）

夜間の計測では，カメラによる写真測量に加えて，LiDAR 搭載の iPad を用いる．対象の環境は土被り約 2m で，マンホール部分と 4m の下水管を一本設置した区間である（図 1b)）．夜間の計測ではバルーン型の照明があるが一部に影ができる状況であった．また，スケール調整のため掘削部の横に標尺を設置した．

2.2.3 仮設現場

仮設現場では，計測機器としてカメラ，LiDAR 搭載の iPad，TLS(地上型レーザスキャナ)を用いる．TLS には FARO 社製の Focus3D X 330 を使用し，仮設現場のデータの最確値とする．対象の環境は延長約 20m, 深さ約 1.5m の掘削部で，通信管，電力管 5 本設置した．（図 1c)）．スケール調整のため掘削部横に標尺を設置した． TLS は掘削部周囲および内部に合計 11 箇所設置し計測した．カメラについては，昼間・夜間と同様に一周して撮影することに加え，計測方法の検証のために半周撮影および斜めに構えての撮影も行った．iPad も同様に掘削部を一周および半周歩いて計測した．また，マーカの有無による特徴点の有効さを比較した（図 2）．

２.３点群データの構築

昼間の実現場の点群データを図 3a)に，夜間の実現場の iPad の LiDAR 計測による点群のデータを図 3b）に，仮想現場で TLS で取得した 11 箇所のデータを結合した点群データを図 3c)に示す．

３．計測結果と比較・評価

３.１　点群データの着色

点群データを一色に着色し，各データの状態を比較した（図 4）．図 4a)は着色前の点群データであり，図 4b)は，カメラによる計測でマーカなし・計測ルート 1 周・機器

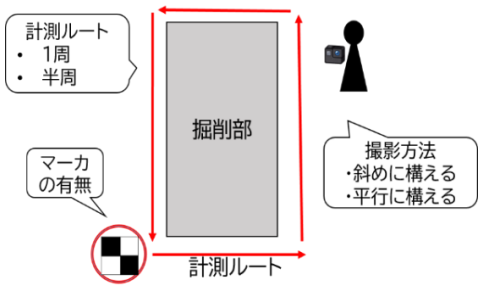
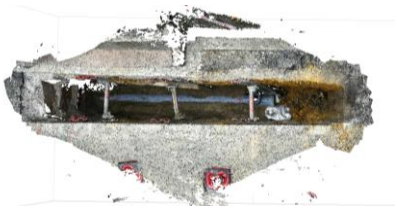


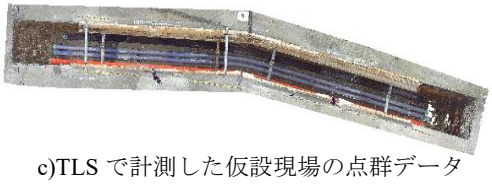
図 2　計測方法の俯瞰図



a)カメラで計測した 実現場（昼間）の点群データ

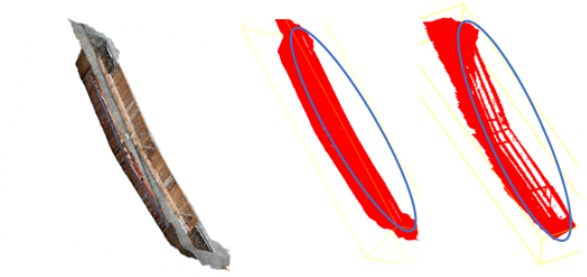


b)iPad で計測した実現場（夜間）の点群データ



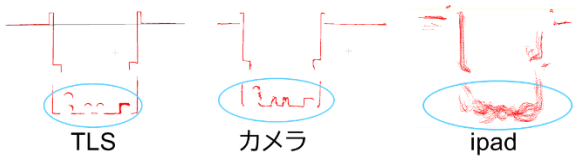
c)TLS で計測した仮設現場の点群データ

図 3　計測した点群データ

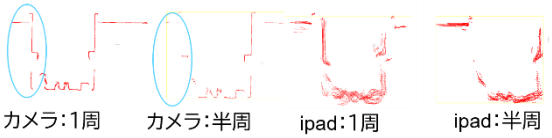


a)着色前の点群データ　b)1 周　c)半周

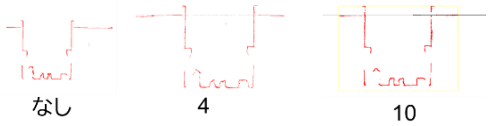
図 4　着色した点群データ



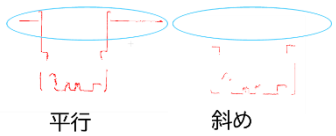
a)　機器ごとに比較した点群データの断面



b)　計測ルートを比較した点群データの断面



c)　マーカの数を比較した点群データの断面



d)　計測機器の角度を比較した点群データの断面

図 5　作成した点群データの断面

角度を平行に設定した際のデータである. 図 4c)は計測ルートを半周にした場合のデータであり, 図 4b)と比べて青丸部分に欠損が見られる. 同様の傾向は iPad での計測でも確認された. また, 計測機器の角度を平行と斜めで比較すると, 斜めに構えた場合に欠損が生じた. 一方, マーカの有無による差は認められなかった.

3.2　断面による比較

点群データの断面を作成し, 生成状況を比較するとともに土被りを計測した. 図 5a)は計測機器ごとの断面図である. TLS では管路 5 本を判別でき, カメラでもおおよその形状の把握が可能であったが, iPad では各管路を識別することは困難であった. 図 5b)は計測ルートの違いを比較したものであり, カメラ・iPad ともに半周計測では片側の点群データが取得できていないことが分かる. 図 5c)はマーカ数の比較であるが, 結果に差は見られなかった. 図 5d)は計測角度の比較であり, 斜めに構えた場合は地表部分が生成されなかった. なお, 管路の土被りは TLS を基準とすると, 誤差は 0.050 m 以下であった.

3.3　計測時間とデータ量

計測時間は TLS で 11 か所の計測に合計約 165 分を要し, カメラおよび iPad では 1 回あたり 2 分以内であった. ただし, カメラで計測したデータでは, SfM/MVS 処理を施す時間を 1 データあたり 20 分程度要する.

3.4　考察

機器ごとの違いとして, カメラは TLS に比べて点群の輪郭がやや不明瞭であり, iPad ではさらに不明瞭となることが確認された. TLS は高精度であるが, 計測時間が長く, 実現場で施工中に短時間で計測することが要求されるため不向きである. カメラは管路判別が可能な精度を有する一方, iPad では誤差が大きく断面から管路を判別できなかった. 断面を確認すると, いずれの機器においても管路部分の点群データは全体ではなく上半分のみ取得され, 活用には工夫が必要であることが分かった. ただし, 掘削部の概形は把握可能であり, 色情報を併用すれば管路位置の推定は可能と考えられる.

マーカの有無は計測精度に影響しないが, SfM/MVS 処理時の特徴点として有効である. 撮影角度については, 掘削部に対し斜めに構えると上部が欠損する. これは, カメラの画角に掘削部内部のみが収まるためと考えられる. そのため, 撮影角度は平行にすることが望ましい.

半周計測では片側の点群データが欠損しやすく, これは真下の計測が困難であるため掘削部側壁が撮影できないためと推測される. したがって, 計測ルートは地下埋設管の周囲を一周することが適切と考える.

4.　埋設管の管理方法の検討

4.1 管理手法の検討

3 章で構築したデータにより, 埋設時の管路の位置と形状を保存して, 活用することを考える. 点群データは色情報や管路の概形が一目でわかるため視認性が高い. ただし, 閲覧には専用のビューアが必要であることや管路のデータは類似のものが多く, 管路同士を判別しにくいことから, 地図上で位置情報や管路の種類などの属性情報と紐づけて管理するシステムを構築することが有効であると考える.

4.2　管理システムの設計方針

管理システムの構築のため, 以下の設計方針を定めた.

- システム利用者が地図と 3 次元データを同時に確認して地下埋設管の位置関係を俯瞰的に把握できる
- 埋設管路の点群データを 3 次元空間上に配置して道路管理者が閲覧できる
- 点群データと紐付けられた属性情報を各管理団体が管理して閲覧できる

システムのイメージを図 6 に示す. システムの利用者には道路管理者と設備管理者を想定する. 点群データは

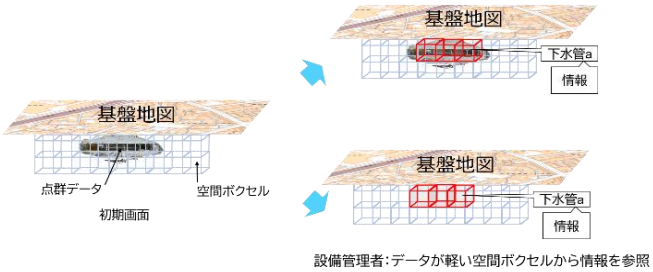


図６　システムイメージ

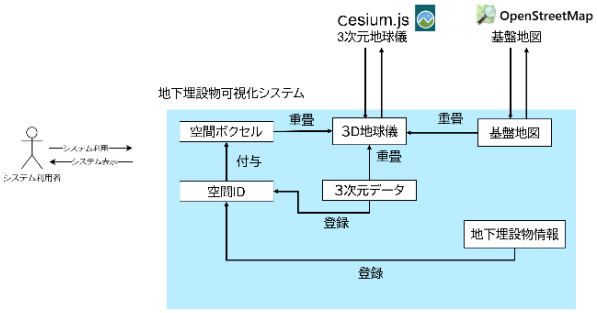


図７　システム構成図

点の集合であるため，情報を紐づける点の範囲を特定しにくいという課題があり，点群データと埋設管の属性情報とを紐づけることが難しい．そこで本システムでは，空間ボクセル，空間 ID と点群データを用いた 3 次元データの管理手法を提案する．空間ボクセルは，3 次元空間を一定間隔で格子状に分割し，各セル単位で情報を管理する手法であり，経済産業省らが 4 次元時空間情報利活用のための空間 ID ガイドラインを発行しており，命名規則や大きさの基準を定めている [3]．各ボクセルには一意の空間 ID を付与して，点群データを空間的に区分しつつ，他の属性情報と容易に連携することが可能となる．また，点群データはデータ量が大きくシステムの描画負荷が高いという欠点があるが，空間ボクセルと属性情報を紐づけておけば，設備管理者が管路の情報のみを参照する際には点群データではなくボクセルから管路の情報を参照でき，点群データとボクセル，属性情報を参照してシステムを利用するシーンとボクセルと属性情報のみを利用できるシーンの使い分けが可能となる．

４.３　管理システムの構成

システム構成図を図 7 に示す．空間ボクセル，管路の点群データである 3 次元データと基盤地図を同時に表示するために，3 次元地球儀に 3 次元データ基盤，空間ボクセル，基盤地図を重畳する．投影する 3 次元地球儀としてオープンソースの java script のライブラリである Cesium.js を用い，基盤地図としてオープンソースの地図である Open Street Map を用いる．また ID をボクセルと紐づけ，管路の情報と基盤地図，点群データ，ボクセルを同時に確認することが可能になる．

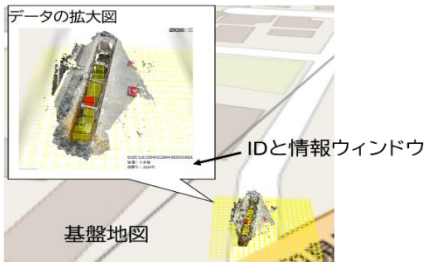


図８　システムの可視化例

４.４　埋設管の可視化

本節では，４.１節で述べた空間ボクセルと空間 ID による管理システムの構築のプロトタイプとして，空間ボクセルと埋設管を 3 次元に可視化する．可視化には Cesium.js を用い，実現場の航空写真を背景に，取得した点群データと空間ボクセルを重ねて表示した．図 8 にその可視化例を示す．点群データに位置情報を付与し，Cesium に用意されている地球儀上に表示して，用意した一定の大きさの空間ボクセルとともに表示した．ボクセルは埋設管の点群データに重なるように縦 20，横 20 の計 400 個を配置した．埋設物と重なっている箇所には視認性が良くなるように薄い黄色で着色して見えやすくするようにした．また，選択した部分のボクセルは赤く着色され，ボクセルの ID と管路の情報が表示される．ボクセルのサイズは 1 辺 0.5m とした．ボクセルにはガイドラインの命名規則に則って緯度，経度，標高，ボクセルの大きさから ID を割り振った．

５．　おわりに

本研究では，埋設物の点群データの計測方法を提案し，計測したデータを管理するためのシステムを検討した．システムに登録する埋設物の情報は空間ボクセルに対応した空間 ID に直接情報を連携し，可視化するのみにとどまっている．今後は連携する情報のデータを定義し，データベースと連携して情報を共有するシステムを目指す．

参考文献

1) 岩渕誠・津田貴生（2010）埋設物による諸問題（損傷事故、手戻り）防止の取組み，東北地方整備局管内業務発表原稿<https://www.thr.mlit.go.jp/Bumon/B00097/k00360/happyoukai/H22/ronbun/1-1.pdf>(2025.7.21 閲覧)
2) 中村栄治・山本義幸（2018）点群による下水管路の可視化システム～維持管理の効率化のために～，「土木学会論文集 F3（土木情報学)」，74，(2)，71-78.
3) 経済産業省・国土交通省・国土地理院・国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 独立行政法人情報処理推進機構(2025)「4 次元時空間情報利活用のための空間 ID ガイドライン 1.0 版)」<https://www.ipa.go.jp/digital/architecture/Individual-link/nl10bi000000377d-att/4dspatio-temporal-id-guideline.pdf>(2025.8.21 閲覧)

PLATEAU の 3D 都市モデルを使用した東京都市圏の建築環境の可視化

相 尚寿*

Visualization of buildings distribution in Tokyo metropolitan area using 3D city model data

Hisatoshi, Ai*

Abstract: Since Japan is facing rapid aging and decline of population, compact city policy is an important issue. For the development of the compact city plan, visualization and consideration of disaster risks are important factors. The target area of this study is Tokyo 23 wards and 61 other municipalities around the ward area. The spatial unit of this study is fourth-level statistics grid, whose size is approximately 500m by 500m. The target area is divided into 14,835 grids. We utilized building data included in the 3D city model provided by project PLATEAU and visualized building coverage ratio, rough estimates of floor area ratio, average building size, and average building height. The result shows that building coverage ratio is relatively high in the area outside Yamanote Line, loop railway line, within the 23 wards, and that floor area ratio is high near major railway stations.

Keywords: コンパクトシティ（Compact City），災害リスク（Disaster Risk），3D 都市モデル（3D City Model），建築物データ（Building data）

１．はじめに

日本社会は急速な高齢化と人口減少に直面しており，都市計画においては従来の無秩序な都市開発と市街地の広がりを抑止するという成長管理型の制度設計が実態と乖離するようになった．現在は既存の市街地の広がりを小さくして行政サービスなどの効率化を図るコンパクトシティの考え方が注目されている．

2014 年度に立地適正化計画が制度化され，自治体が市街化区域内に都市機能誘導区域や居住誘導区域を指定することで既存の市街地をコンパクト化する計画を具体化できるようになった．国土交通省は，コンパクト化後も市街地を維持する居住誘導区域の設定にあたり，拠点へのアクセス性，人口密度の維持や低下の抑制，災害リスクを考慮すべきとしているものの，その具体的な基準は示しておらず，寺島ほか（2018）は複数の都市で居住誘導区域の実際の指定状況と上記 3 つの観点を考慮して提案した区域指定案を踏まえ，3 つの指標の運用に関するガイドラインや具体的な数値の提示が必要だと指摘した．

このうち災害リスクを考慮する点については，自治体によるハザードマップの作成と公開が進んでおり，災害リスクのある地域を居住誘導区域から外したり，防災対策を講じたりすることが推奨されている．洪水や土砂災害を対象としたハザードマップの元データとなる地形データは，例えば国土数値情報で標高や傾斜角のデータが網羅的にかつ一般に公開されているものの，火災時の延焼想定や地震時の倒壊および道路閉塞の可能性については，詳細な建物データが必要であることから広域的に統一して算出しづらい点が課題であると考えられる．

例えば，東京都では建物倒壊と火災の双方を勘案した総合危険度を可視化して一般公開している（東京都都市整備局，2024）一方，川口市（川口市，2025）や志木市（志木市，2022）では建物倒壊の危険性を可視化している．横浜市では，インターネット上にわいわい防災マップ (1) を公開し，3 つの地震想定シナリオに基づいて各々の場合の建物焼失の危険性や道路閉塞の可能性がある幅員 4m 未満道路の情報を提供している．

地震や火災の場合は，震源と地震の規模，出火点や風向風速によって被害想定結果が大きく異なることから，そのうち 1 つないし少数のケースのみを示さざるを得ないため，想定の丁寧な説明が求められる．そこで，地区ごとのリスクを概観するため，建物の密度や大きさなどの建築環境を広域的に可視化することも重要であろう．

本研究では，後述する 3D 都市モデルの建築物データを用い，東京都市圏における建築環境を詳細な地区スケールの単位で広域的に可視化することを試みる．このことで，自治体や住民が各地域の建築環境が都市圏内でどのように位置づけられるかを把握できると期待される．

２．3D 都市モデルの概要と活用事例

近年，さまざまな空間データの整備とオープン化が進

* 正会員 昭和女子大学人間社会学部（Showa Women's University）
〒154-8533 東京都世田谷区太子堂 1-7-57 E-mail：hisaai@swu.ac.jp

んでおり，都市空間の建築環境のデータとしては国土交通省が中心となって推進するプロジェクト PLATEAU で整備している 3D 都市モデルが注目されている．

3D 都市モデルには，地形や交通（道路）のデータなどとともに建築物データが含まれている．この建築物データを活用した研究事例として，京都市での屋上設置型太陽光パネルの普及による景観への影響を分析した宮脇・服部（2025），3D 都市モデルと居住者データを組み合わせて建築物の建て替えや転居行動を個別に考慮できる都市シミュレータを開発した磯野ほか（2023），電動垂直離着陸機（空飛ぶクルマ）の離着陸場選定にあたり周辺建物との干渉を可視化した髙橋（2023），都市市街地における地区スケールでの温熱環境シミュレーションを試みた山崎ほか（2022）などがある．個々の建物の形状や高さのデータが無償で得られることから，さまざまな分野において詳細な空間スケールでの分析が試みられている．

なお，屋根形状が必要な宮脇・服部（2025）では LOD2 のデータが提供されている京都市中心部に対象地域が限定されていたり，山崎ほか（2022）では提供データに含まれない建物の材質やガラス面の広さなどを都市計画基礎調査の情報や現地調査で補ったりするなど，分析項目によっては必ずしも 3D 都市モデルのみから十分な情報が入手できるとは限らないのが現状である．

先述した LOD とは Level of Detail のことであり，実際の建築物が持つ複雑な形状をどの程度に単純化してモデル化しているかを表す尺度である．LOD0 は建物の平面形状を表すポリゴンに相当し，高さ情報を含まない．LOD1 には高さ情報が含まれるため，箱型に単純化された形状ではあるものの，概算として建物の容積や高さを考慮した分析が可能となる．さらに屋根形状や開口部の情報を含めるとより高い LOD のモデルとなる．

３．本研究の対象地域と使用するデータ

３.１　分析の空間単位と対象地域

詳細スケールの空間分析の単位としては町丁目とメッシュが主たるものとして想定される．国土数値情報において，将来人口推計や洪水浸水想定区域がメッシュ単位で公開されていること，土砂災害警戒区域や津波浸水想定は町丁目でもメッシュでもない形状のポリゴンで公開されていることに鑑み，本研究では分析の空間単位として 1 辺の長さが約 500m である 4 次メッシュを用いる．

対象地域としては東京都市圏を想定するものの，全ての自治体で 3D 都市モデルが入手できるとは限らないため，本研究の対象地域は東京都区部を中心に据えながら，お互いに境界を接しつつ 2025 年 8 月現在で 3D 都市モデルが入手できる市区町村とした．この結果，表 1 に示すように，埼玉県，東京都，神奈川県に跨る一帯の領域を形成する 84 の市区町村が対象として選定された．千葉県でも一部の市町村で 3D 都市モデルが公開されているものの，いずれも隣接市町村で 3D 都市モデルが未公開であるため，本研究の対象地域には含めていない．

分析対象メッシュ数は，上記 84 市区町村の領域内に完全に含まれるものだけを選定し，14,835 個となった．

表 1．本研究で対象とする市区町村

埼玉県	伊奈町[4]、春日部市、加須市、川口市[4]、久喜市 熊谷市[4]、鴻巣市[4]、越谷市、さいたま市[4]、幸手市[4] 志木市[4]、白岡市、杉戸町、所沢市[4]、戸田市[2]、 新座市[4]、蓮田市[2]、富士見市[4]、松伏町、宮代町 三郷市[4]、三芳町[4]、八潮市、吉川市、蕨市[4]
東京都	23 区[2]、昭島市、あきる野市、稲城市、青梅市 奥多摩町、清瀬市、国立市、小金井市、国分寺市 小平市、狛江市、立川市、多摩市、調布市、西東京市 八王子市、羽村市、東久留米市、東村山市、東大和市 日野市、日の出町、檜原村、府中市、福生市、町田市 瑞穂町、三鷹市、武蔵野市、武蔵村山市
神奈川県	厚木市、鎌倉市[4]、川崎市[0]、相模原市[4]、横須賀市[0] 横浜市[4]

※年次は無印が 2023 年、[0]は 2020 年、[2]は 2022 年、[4]は 2024 年

３.２　分析に用いるデータ

本研究では，データが公開されている自治体であれば基本的に入手可能な建築物の LOD1 のデータを用い，広域的に市街地の建築環境を把握し，可視化することを試みたい．空間データの分析には QGIS 3.34.10 を使用した．

３.３　メッシュ単位で集計する項目

先述のとおり，本研究では 4 次メッシュを単位として，3D 都市モデルの LOD1 建築物モデルを用いて，建蔽率，近似的な容積率，建物ポリゴン面積の平均，計測高さの平均を算出し，建築環境の可視化を試みたい．以下にその算出方法を整理する．

メッシュ内の建物ポリゴン全てについて面積（建築面積に相当）を計算して集計すれば，その合計値をメッシュ面積で除算することでメッシュごとの建蔽率を求めることができる．建物のない敷地や道路，河川なども分母の面積に含んでいるため，グロス建蔽率に相当する．この建蔽率は建築環境として市街化の程度や延焼危険度を表すと考えられる．なお，複数のメッシュに跨る建物については，intersect 演算によって分割して，それぞれの断片が該当するメッシュ内に集計されるようにした．

ポリゴンに属性として含まれる計測高さを用い，これにポリゴン面積を乗じれば，建物を箱型で近似したモデルの容積を計算できる．この容積をメッシュごとに集計すれば，そのメッシュでの高度利用の進捗度を把握することができる．都市計画における容積率では分子に延床面積を使用するものの，先述のとおり LOD1 では各建物の詳細な延床面積を算出することはできない．本研究で導出される指標はメッシュ面積に対する箱型建物モデルの容積の比率という近似的な容積率となるため図表では「容積/メッシュ面積」と記す．一般的に階高は 3m 程度であるため，容積/メッシュ面積を 3 で除したものが概ね容積率に相当する．建蔽率の場合と同様に，複数メッシュ

に跨る建物は intersect 演算により，それぞれのメッシュに分割して集計することとした．なお，計測高さは建物代表点の高さの中央値が採用されるため，特に低層部と高層部で大きく高さが異なる形状の建物は，LOD1 モデルで正確に近似できない可能性がある [2]．この点はデータの入手可能性を考えるとやむを得ないものの，本手法の限界点として留意する必要がある．

建物ポリゴン面積の平均は，先述した建蔽率計算のために算出した建物ポリゴン面積の合計と，メッシュ内の建物棟数から算出したものである．メッシュ内の建物規模を概算することができる．

計測高さの平均は，先述した建蔽率計算のために算出した建物ポリゴン面積の合計と，建物容積の合計から算出したものであり，全ての建物の計測高さをポリゴン面積で加重平均したものに相当する．

４．建築環境の可視化結果

４.１　建蔽率

メッシュごとに建物ポリゴンの面積を集計して，メッシュ面積で除した建蔽率を可視化したものが図 1 である．建蔽率が 50%を超えるメッシュは 36 個とごく少数であり，40%以上を示すメッシュが東京 23 区内のうち山手線の西側や山手線内側の中央線北側に分布していることが確認できる．郊外では，浦和，大宮，所沢，立川，大船，本厚木など，主要鉄道駅周辺でも建蔽率 40%以上のメッシュが複数連なっている．20～40%のメッシュは対象地域内に広く分布しており，横須賀市や厚木市では幹線道路沿いに建蔽率の高いメッシュが見られるほかは，概ね鉄道沿線に分布している．

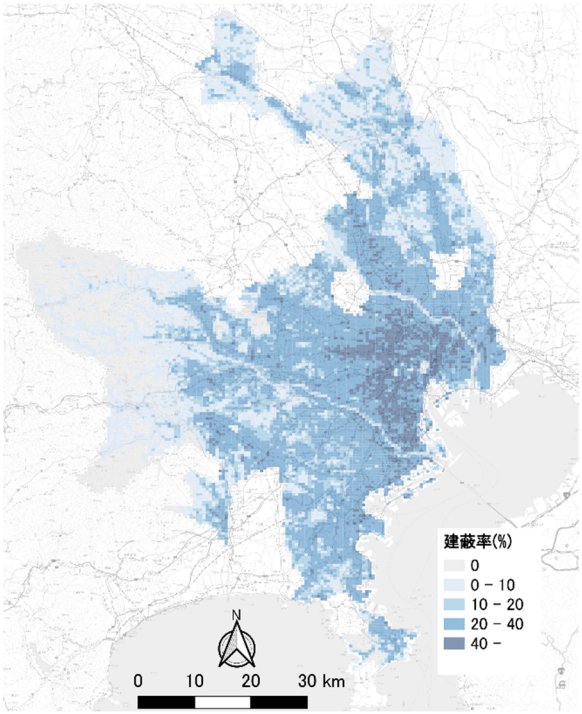


図 1．建蔽率の分布（背景：地理院タイル）

４.２　容積/メッシュ面積

建物の容積の合計をメッシュ面積で除して算出した値を可視化したものが図 2 である．建蔽率の結果とは異なり，東京都心部である山手線沿線とその内側に，メッシュ面積に対して容積が大きいメッシュが集積している．横浜市西区および中区の都心部も同様である．都心と郊外とを結ぶ鉄道の駅周辺に緑色が濃いメッシュが見られることから，駅周辺での市街化と土地の高度利用が進んでいることを確認できる．

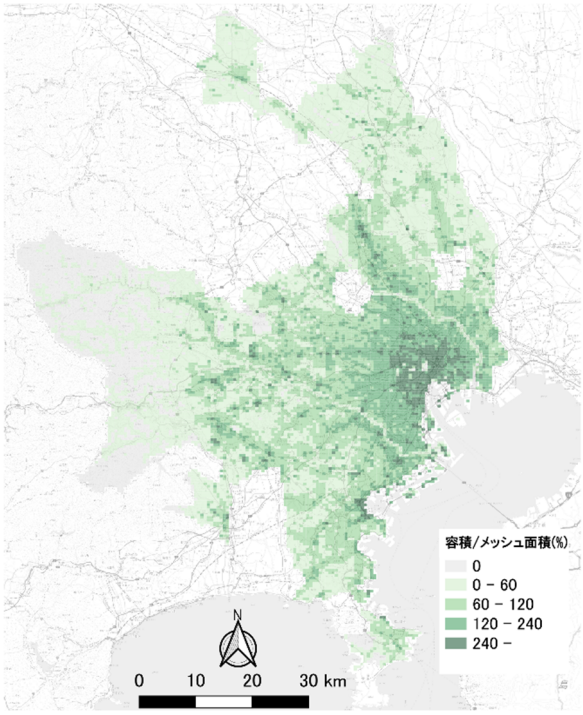


図 2．容積/メッシュ面積の分布（背景：地理院タイル）

４.３　建物面積の平均

メッシュごとに建物ポリゴンの面積の平均値を可視化したものが図 3 である．1 軒あたり 50～100 ㎡というメッシュが多く，大規模工場が立地する東京湾岸では 500 ㎡以上という結果が確認できる．建蔽率を示した図 1 と合わせて見てみると，東京 23 区では東京湾岸部を除いて山手線のやや外側に小規模な建物が密集していることが読み取れる．江戸川区，葛飾区，足立区でも小規模な建物が多いものの，小岩駅周辺などを除いて大半のメッシュで建蔽率が高くないため，これら 3 区では建物がさほど密集しているわけではないと考えられる．

４.４　計測高さの平均

計測高さの平均の分布を可視化したものが図 4 である．計測高さの高いメッシュは，山手線の内側のうち南半分から 23 区東部にかけてと横浜市中心部に集積している．その他では対象地域内に疎らに分布するものの，郊外部では主要な鉄道駅周辺を中心に分布している．東京湾岸部の一部は大規模工場によって計測高さが高く算出されていると考えられるものの，他の地域については商業地や住宅地での土地利用高度化を表していると考えられる．

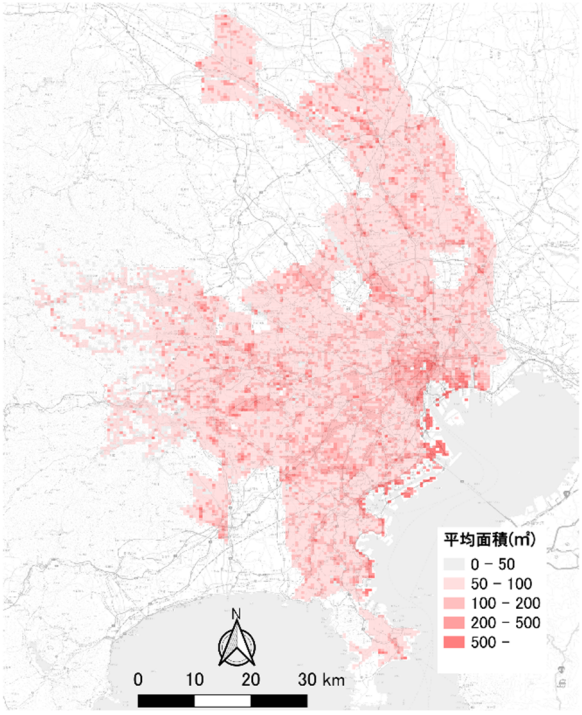


図 3. 建物ポリゴン面積の平均の分布（背景：地理院タイル）

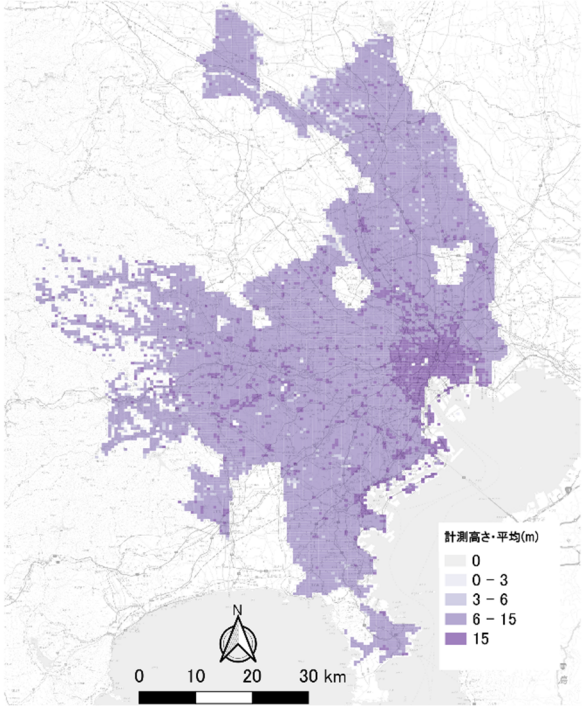


図 4. 計測高さの平均の分布（背景：地理院タイル）

5．おわりに

本研究では，近年オープンデータとして建築物データの整備と公開が進んでいる PLATEAU の 3D 都市モデルを活用し，東京都市圏における広域的な建築環境の可視化を試みた．1 辺が約 500m である 4 次メッシュを単位として，建物を箱型形状で近似する LOD1 の建築物データの面積や容積の近似値を集計した．この値をもとに建蔽率，容積とメッシュ面積との比率，建物ポリゴンの面積や計測高さの平均を算出して地図上で可視化して，都市圏レベルで市街化や土地利用高度化の状況を把握することができた．しかし，コンパクトシティの実現に向けた計画立案に資する情報として現状の建築環境とその防災性を議論するためには，建物の用途や構造，被災者となりうる昼間および夜間の人口，道路幅員などの情報が求められる．特に建物の用途と構造は 3D 都市モデルでは網羅的に現状入手できないため，建物棟数と人口密度から用途を推定するなど，入手可能なデータを組み合わせた深度化について引き続き検討していきたい．

謝辞

本研究は JSPS 科研費・基盤研究 B:JP24K01107 の助成を受けたものです．また，東大 CSIS 共同研究 No.1156 の成果の一部です．

注釈

(1) わいわい防災マップは横浜市行政情報提供システムの中のコンテンツとして 3 つの地震想定ごとに公開されている．元禄型関東地震の場合の URL は<https://wwwm.city.yokohama.lg.jp/yokohama/PositionSelect?mid=6>である．

(2) 国土交通省「コラム LOD1 モデルの建物の高さ」<https://www.mlit.go.jp/plateau/learning/tpc03-4/>に記載．

参考文献

磯野昂士・石井良治・高橋慧・高宇涵・小出和政・千田亮輔・冨岡秀虎・森本章倫（2023）3D 都市モデルを活用した個別建築物の建替えと個人の転居行動を考慮した都市構造シミュレータ．「都市計画論文集」，58（3），539-546.

川口市（2025）防災本（川口市防災ハンドブック）．<https://www.city.kawaguchi.lg.jp/soshiki/01040/010/7/1/15293.html>．(2025/08/27 閲覧)

志木市（2022）志木市ハザードマップ．<https://www.city.shiki.lg.jp/soshiki/11/3184.html>．(2025/08/27 閲覧)

髙橋洋二（2023）６．電動垂直離着陸機の離着陸場用地選定における３D 都市モデルの利用事例．「写真測量とリモートセンシング」，62（6），274-276.

寺島駿・松川寿也・丸岡陽・中出文平・樋口秀（2018）線引き地方都市における 3 指標を基にした居住誘導区域の指定に関する即地的研究．「都市計画論文集」，53 (1)，76-84.

東京都都市整備局（2024）地震に関する地域危険度測定調査(第 9 回)．<https://www.funenka.metro.tokyo.lg.jp/area-hazard-level/regional-risk-level/>．(2025/08/27 閲覧)

宮脇勝・服部令汰（2025）京都市の 3D 都市モデル PLATEAU を用いた屋上設置型太陽光パネルの景観シミュレーションと視覚的影響評価．「日本建築学会計画系論文集」，90（832），1248-1256.

山崎潤也・増渕正博・飯塚悟・吉田崇紘・似内遼一・真鍋陸太郎・村山顕人（2022）Project PLATEAU の 3D 都市モデルを利用した都心市街地の温熱環境シミュレーション．「環境情報科学 学術研究論文集」，36，238-243.