商用 GPS データを活用した 人流再現シミュレーション

吉田　竜聖[1]・佐々木　邦明[2]・小川　明人[3]・松岡　薫[3]

[1]学生非会員　早稲田大学大学院　創造理工学研究科建設工学専攻

（〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1）

E-mail:yoshi.r@ruri.waseda.jp

[2]正会員　早稲田大学教授　理工学術院（〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1）

E-mail:sasaki.k@waseda.jp

[3]正会員　株式会社建設技術研究所（〒103-8430 東京都中央区日本橋 3-21-1 日本橋浜町 F タワー）.

少子高齢化や人口流出といった課題を抱える地方社会にとって，居心地が良く歩きたくなる「ウォーカブルなまちづくり」は地域活力を取り戻す手段として大きく注目されている．合理的に「ウォーカブルなまちづくり」を行うためには，歩行者の移動データに基づいて，歩行者の行動を理解し，施策の評価を行うことが必要不可欠である．しかし，歩行者の移動軌跡調査は路上の観察データを用いた場合には多大なコストがかかり，活用方法は限定的であった．そこで，本研究では容易に入手可能な市販 GPS データを活用して歩行経路選択モデルの構築を行い，それを用いた現況再現シミュレーションの構築を目的とする．そこからどのような要因によって歩行経路が規定されるかを明らかにし，今後の施策検討に貢献することを目的としている．

Key Words: *pedestrian, GPS, people flow data, walkable city, route choice model*

1. はじめに

(1) 研究の背景

我が国では人口減少や少子高齢化の進展，さらには地方から大都市への人口流動という構造的課題を抱えている．これらは特に地方地域に大きな影響を与えるとされており，これらの構造的課題は地域課題を縮小させ，さらなる人口減少・人口流出や少子高齢化につながる悪循環を加速させるおそれがあるため，早急にこれらの課題解決を行う必要がある．

こうした人口減少や少子高齢化の発展による商店街のシャッター街化など，多くの都市が共通して直面する課題に対して，地域が活力を得るためには地域の価値を再発見していく活動が最も有効な取り組みとされている．

そのため国土交通省 [1]では，都市の魅力を向上させ，まちなかに賑わいを創出することを目標として，居心地が良く歩きたくなるまちなかに向けた「ウォーカブルなまちづくり」を推進している．これは，まちなかを自動車中心からひと中心の空間へと転換し，人々が集い，憩い，多様な活動が繰り広げられる場へ改変する取り組みであり，人中心の豊かな生活空間を実現させるだけでなく，地域消費や投資の拡大，観光客の増加ほか，様々な地域課題の解決や新たな価値の創造につながるとされている．また，国道交通省の「まちの活性化を測る歩行者量調査のガイドライン」[2]によると，歩行者交通量はまちの経済的な活性化指標となる小売店舗数や売上高，地価と一定の相関があることが示されており，歩行者量の増加はまちのにぎわいを表し，ウォーカブルなまちづくりを推進することは地域活性化という観点において意義があるといえる．

このような「居心地が良く歩きたくなる」空間を形成するためには，合理的に施設配置や空間形成交通施策を検討することが望ましい．そのためには，施設配置や交通施設の配置を把握するだけではなく，実際の人の行動をデータによって捉え，そのデータに基づき施設配置や人の回遊動線を検討し，施策の有効性を評価する必要がある．人流データには，携帯基地局データや Wi-Fi・Bluetooth アクセスポイントデータ等の定点観測型のデータや，GPS 等の位置情報によって個人をトラッキングするデータがあるが，後者のトラッキングデータは位置情報によって個人の移動軌跡を詳細に把握することができるため，地区内における人の回遊動線と周辺環境の関係

性を把握する際に有効なデータとして注目されている．

GPS データには，機材を使ったサンプル調査であるプローブパーソン調査（PP 調査）だけでなく，携帯キャリアやアプリ開発会社などが GPS による位置情報を蓄積するスマートフォン GPS データ（以下，商用 GPS データ）が存在する[3]．商用 GPS データは，全国的に継続的に収集されるデータであり，個別の自治体には，サンプル数が少ないなどの問題がある一方，長期的なデータの蓄積があることから，費用や時間，人材などの負担が小さく，変化を追うことができる．

(2) 研究の目的

本研究では，取得頻度 1 分程度の商用 GPS データを活用してモデル構築・シミュレーションを行い，現況の歩行者交通量と比較を行うことで低頻度の商用 GPS データの施設配置や空間交通施策の定量的評価への活用可能性を示す．

2. 既存研究の整理と本研究の位置づけ

(1) 既存研究の整理

a) 高頻度 GPS データを活用した研究

松本[4]は，取得頻度が 5 秒の携帯 GPS データとヒアリングデータを用いて交通モードや移動経路，立寄り場所などの推定手法の提案及び，精度の検証を行った．モード推定結果に関して，自動車モードでは 71%，徒歩モードでは 94%という高い精度で推定できることを示した．

また，山本ら[5]は，取得時間間隔 10 秒の携帯 GPS データを用いて選択肢集合の抽出がモデルの推定精度に及ぼす影響の分析を行った．携帯 GPS データからランダムウォーク法により経路選択肢を標本抽出し，標本抽出された選択肢集合を用いてパスサイズロジットモデルにより経路選択モデルによる推定を行い，トリップ距離のばらつきがモデルの推定精度を低下させることを明らかにしている．

さらに，Liu ら[6]は，イベント期間中において取得頻度 5 秒の GPS 追跡データと個人属性情報の収集を行い，これらのデータに多項ロジットモデルとパスサイズロジットモデルを適用することで経路選択行動の分析を行った．結果として，被験者は，特に女性の被験者は短い経路を好むという全体的な傾向がみられた．しかし，様々な建築環境要因によると，経路長は被験者にとって最も重要な要因ではなく，展示や小売店のような建築環境をより重要視していることを示した．

Hahn ら[7]は，取得頻度 1 秒の GPS 調査データを用いて，商業地区における歩行者のパターンと潜在的な消費行動に影響を与える建築環境の構成要素を明らかにすることを目的として，構造方程式モデルを用いて歩行者の経路選択行動と建築環境との因果関係を評価した．この研究によって，調査対象としたアクセシビリティ，多様性，デザイン，密度の 4 つのカテゴリーすべてが歩行者の経路選択行動に影響を与えており，小売店の属性にも影響を与えていることを明らかにした．

菊池ら[8]は，菊池らは，パーソントリップ調査とプローブパーソン調査を組み合わせ，回遊行動シミュレーションモデルのフレームを構築することでリンク交通量の現況再現性と商業機能誘導の施策評価を行った．このプローブパーソン調査では，1 秒間隔の測位により移動経路が捕捉できるようになっている．研究成果として，岡山でのケーススタディによってリンク交通量の現況再現性を確認した．また，岡山市における中心市街地の商業機能誘導の施策効果を確認し，回遊性向上施策の評価が可能であることを示した．

b) 低頻度 GPS データを活用した研究

岩田らは[9]，測位点が 5 分ごとに得られる疎な GPS データを用いた滞在地推定手法を提案した．GPS 測位点の測位精度に基づきクラスタの有効半径を設定することでクラスタリングを行うことで，滞在地の推定を行っている．提案手法は，滞在地の総距離誤差が西田らの従来手法よりも小さくなり，クラスタの分裂を防ぎ実滞在時間に近い滞在地を生成することを可能にした．

また，東浦らは[10]，測位間隔が 3 秒に 1 回のオリジナルの移動軌跡から測位点を 5 分間隔でリサンプリングしたデータを用いて，滞在判定や交通モードの変化点検出などの処理を行った後，ランダムフォレストによる移動手段推定を行った．その結果，ユーザの移動手段を滞在・徒歩・電車・自動車に分類するタスクを行った結果，79.97%の精度で分類が行えることを示した．

さらに，吉田らは[11]，取得間隔 1 分程度商用 GPS データを用いて経路選択モデルを構築し，経路選択の要因を明らかにすることを目的として，歩行者の経路選択分析を行った．徒歩トリップから得られた経路データに対して，Cross Nested Logit モデルを適用した結果，歩行者は「経路長が短い，店舗が密集している，右左折回数が少ない」という特徴を持つ経路を選択しやすいことが明らかになった．この結果は，取得頻度が 1 秒の GPS データを用いている既存研究と同様の経路選択特性であることから，取得間隔 1 分の GPS データにおいても歩行特性をとらえることが可能であり，比較的疎な商用 GPS データを活用した歩行者動線分析の可能性を示した．

(2) 本研究の位置づけ

数秒単位で取得を行うプローブパーソン調査を活用した研究ではシミュレーションモデルを構築し，施策評価まで行ったものは多く存在する．その一方，低頻度の

GPS データを活用した研究の多くは手法の提案・精度検証にとどまっており，データクリーニングから施策評価シミュレーションまで一貫して行った研究は存在しない．

そこで本研究では，取得頻度が 1 分程度という比較的取得頻度の低い商用 GPS データを用いてデータクリーニングからシミュレーションまで一貫して行うことで，商用 GPS データによる施設配置や空間交通施策等の定量的評価の可能性を示す．

3. 研究概要

(1) 対象地の概要

三重県四日市市は，新名神高速道路や東海環状自動車道，北勢バイパスなどの広域幹線道路網の整備が進むとともに，2020 年代後半にはリニア中央新幹線の東京から名古屋間を開通する見通しであり，四日市市は中部圏域の一翼を担う都市として，さらなる飛躍が期待されている．それに伴い，四日市市の基本構想である「近鉄四日市駅周辺等整備基本構想」[12]では，「①賑わい・もてなし空間の創出と回遊性の向上」，「②まちづくりと連動した交通機能の配置」，「③中央通りを活用した空間の魅力向上」という 3 つの方向性を示している．これらの方向性に基づき，国・市の連携のもと，中央通り・国道 1 号線と一体となった新たなバスターミナルの整備をおこなうことで交通結節機能を行うと同時に，居心地が良く歩きたくなる「ウォーカブルなまちづくり」に向けて，歩行環境の整備を計画している．本研究では，整備対象となる中央通り周辺を研究の対象とする．

(2) データの概要

a) 商用 GPS データ

本研究では，株式会社 Agoop のスマートフォンアプリから取得している携帯 GPS データ（ポイント型流動人口データ）を使用する．データ取得期間は 2021 年 10 月 1 日から 10 月 31 日の 31 日間である．ただし，ID は同じ端末によって得られたログデータであったとしても日付が変わってしまった場合，別の ID として記録される．なお，情報収集と第三者提供を許諾したユーザのデータのみ収集し，秘匿化処理を施し製品化されたものである．

本研究で用いた携帯 GPS データは分単位で記録されており，取得間隔を秒単位で確認することはできない．また，モデルの拡張性やデータ密度の観点から個人属性情報のあるデータを用いる．このときの取得間隔の平均値は 11.0 分，取得間隔の中央値は 1.0 分であり，取得間隔の分布を**図-1** に示す．

また，測位誤差は 1.2～14065m という広い幅を持っており，測位誤差が以上に大きいデータを用いることで分析に悪影響をもたらすため，測位誤差 200m 以下のデータについて分析を行う．

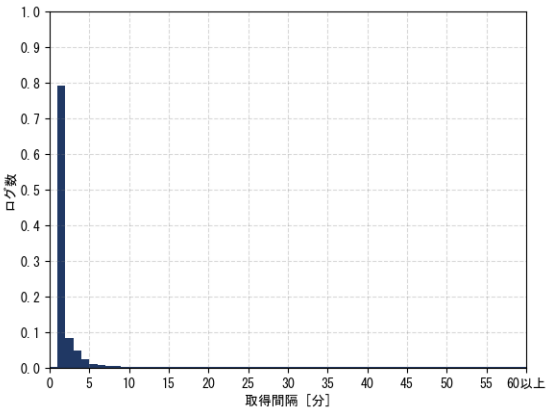


図-1 商用 GPS データの取得間隔の分布

b) モデル構築用 GPS データ

iOS のスマートフォンを用いて，63 個の ID から取得頻度 1 分の GPS データと回答データを収集した．回答データでは，滞在地点・滞在時刻・交通手段を得た．

c) 歩行者流量調査データ

四日市駅商店街を中心とした中心市街地と近鉄富田駅周辺及び近鉄塩浜駅周辺について，商業振興事業の推進を図るために行われている歩行者交通量調査の集計データである．近鉄四日市駅周辺，国道 1 号以東の中心市街地 18 か所の調査地点を**図-2**，**図-3** に示す．調査は，平日として 2021 年 11 月 12 日(金)，休日として 2021 年 11 月 14 日の 9 時から 19 時に行われた．

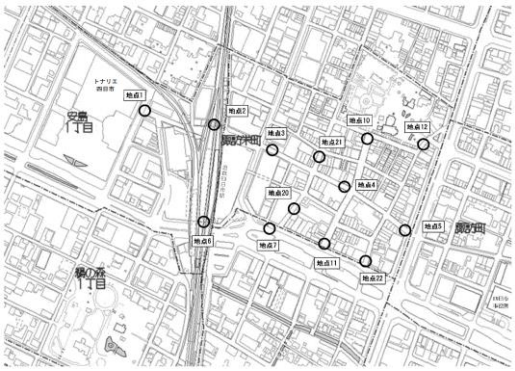


図-2 近鉄四日市駅周辺の調査地点

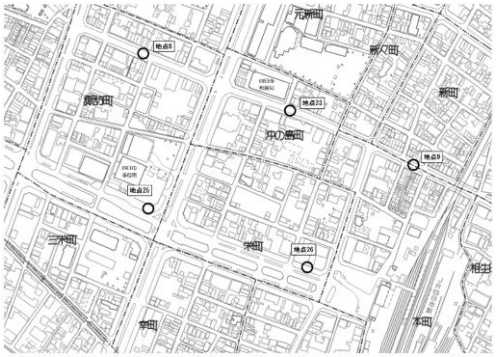


図-3 国道 1 号以東の調査地点

4. 徒歩トリップの推定

(1) 滞在・交通手段の推定

a) 推定モデル構築のためのデータ

モデル構築用に取得した GPS データを用いて東浦らの研究に基づき，滞在・交通手段の推定のために Random Forest の構築を行った．

b) 滞在推定

回答データの滞在時刻より，測位ログに対して滞在・非滞在のフラグを与え，Random Forest の構築を行った．このとき，サンプルログ数は 2215 で，このうちの 33%をテスト用のデータとし，それ以外を学習用のデータとした．Random Forest を 1 回実行したときの精度が 0.87 であった．滞在中に移動と誤判別されてしまい，滞在が分裂するということを防ぐために，1 回目の実行結果を変数として加えることで 2 回目の Random Forest の実行を行った．このときの推定精度が 0.90 であり，特徴量の影響を示したのが**図-4** である．

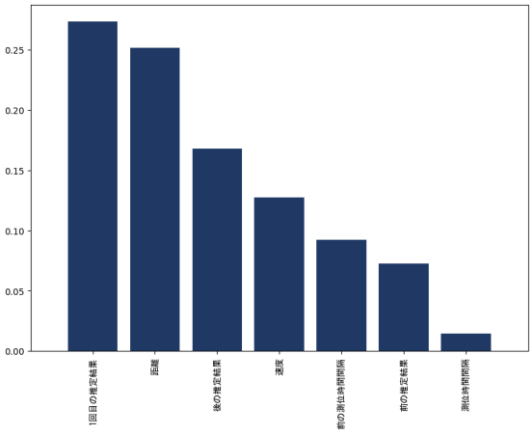


図-4 滞在推定 Random Forest の特徴量の影響度

その結果，推定精度は 0.90 であり，滞在と移動の変化時に誤判定されてしまうログはあるものの滞在区間を推定することができた．

c) 交通手段推定

滞在地間の移動セグメント（トリップ）に対し，回答データから交通手段のフラグを与え，Random Forest の構築を行った．このときのサンプルセグメント数は 234 であり，そのうちの 33%をテスト用のデータとした．徒歩，自動車，電車の三分類の場合，推定精度が 0.94 で，徒歩とその他乗り物の二分類の場合，推定精度が 0.99 であった．本研究では，徒歩トリップを抽出することを目標としているため，後者の Random Forest を商用 GPS データに適用する．このときの特徴量の影響度を**図-5** に示す．

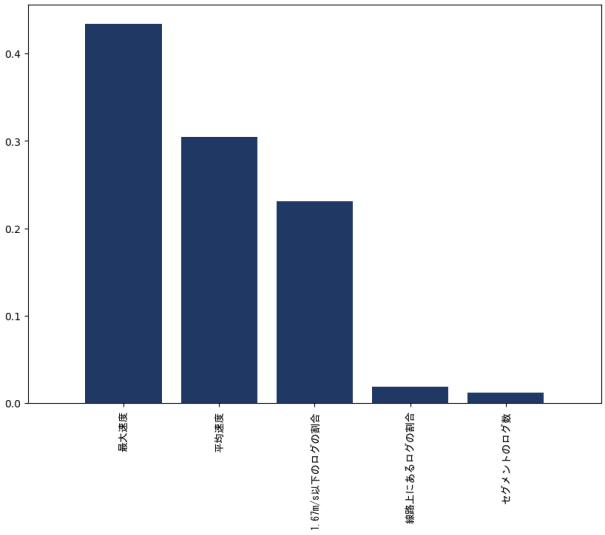


図-5 交通手段推定 Random Forest の特徴量の影響度

モデル構築用 GPS データによって得た滞在推定モデル・二分類の交通手段モデルを商用 GPS データに適用し，以降の分析は商用 GPS データを用いた結果を示す．

d) 滞在地に関する分析

滞在推定から得た結果より，各メッシュの滞在数について 10 月 1 日(金)と 10 月 2 日(土)の差をとり，k-means 法によってクラスター分析を行った結果が**図-6**，**図-7** である．

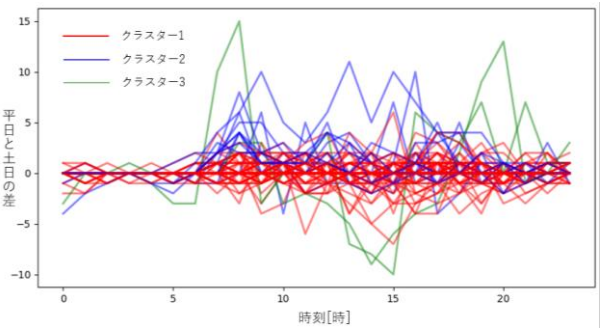


図-6 平日・休日の差パターンのクラスター分析結果

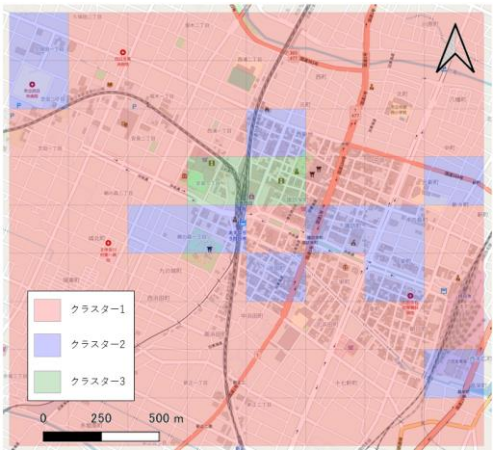


図-7 平日・休日の差から得たクラスターの分布

近鉄四日市駅では，平日において通勤・通学時間帯において滞在者が多い．また，事務所や公共施設のあるメッシュにおいては平日の日中の滞在者が多い傾向が見られる．

e) 徒歩トリップに関する分析

図-8 は 11 月 12 日(金)と 11 月 14 日(日)の歩行者交通量調査の全調査地点における歩行者合計数である．また，**図-9** は商用 GPS データから得られた対象範囲内における徒歩トリップ数である．このとき，平日の値は 10 月の金曜日の平均値，休日の値は 10 月の日曜日の平均値である．平日について，この２つを見るとどちらも 9 時から 12 時まで上昇し，13 時ごろに減少したのち，18 時頃にピークを迎えるという変動がみられる．休日についても，12 時頃にピークを迎えるという傾向が両者にみられる．

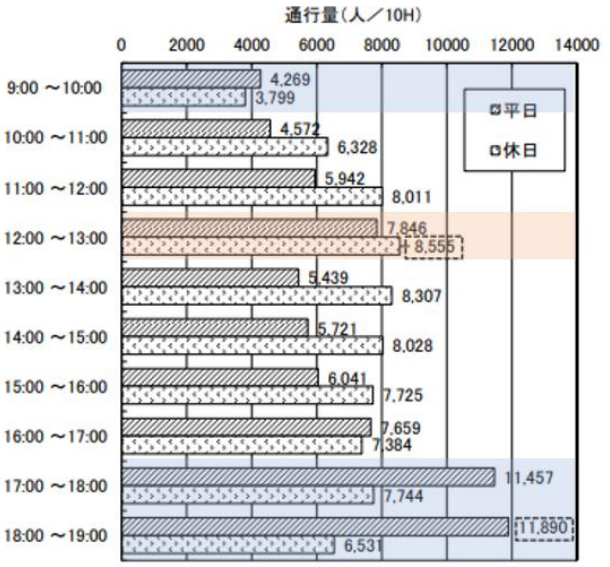


図-8　歩行者交通量調査の結果

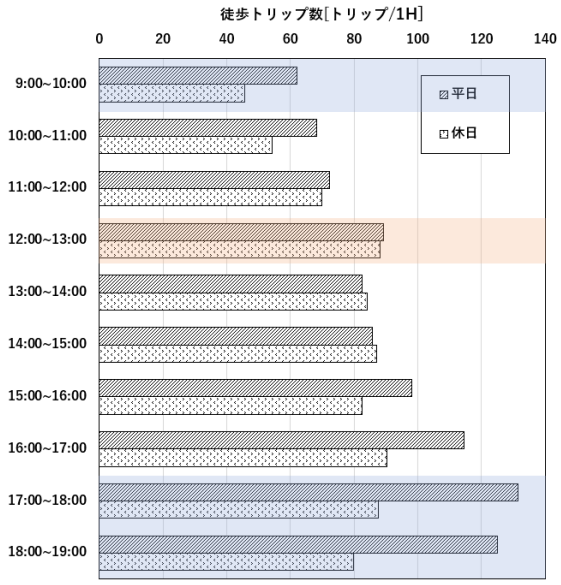


図-9　商用 GPS データ（徒歩トリップ）の平均量

また平日について，徒歩トリップのメッシュ間の OD 移動量を直線の太さと色で示したものが**図-10**，休日について示したものが**図-11** である．平日・休日の双方において，駅を起点とした移動になっている．また，休日において，アピタ四日市店や四日市一番街商店街，鵜の森公園など近鉄四日市駅周辺に，徒歩によるアクセスが集中している．一方で平日は，学校や公共施設，事務所など徒歩によるアクセスがばらける傾向にある．

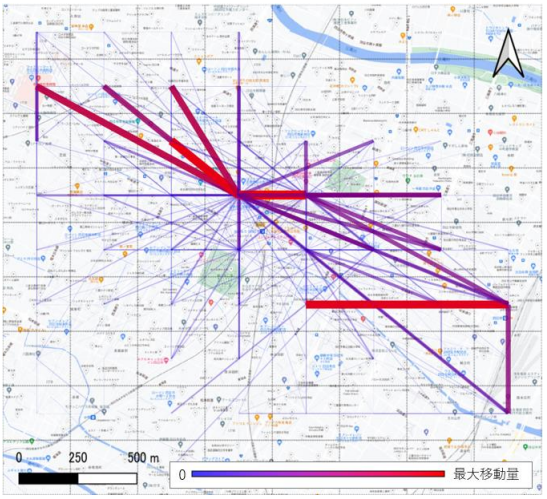


図-10　平日の OD 移動量

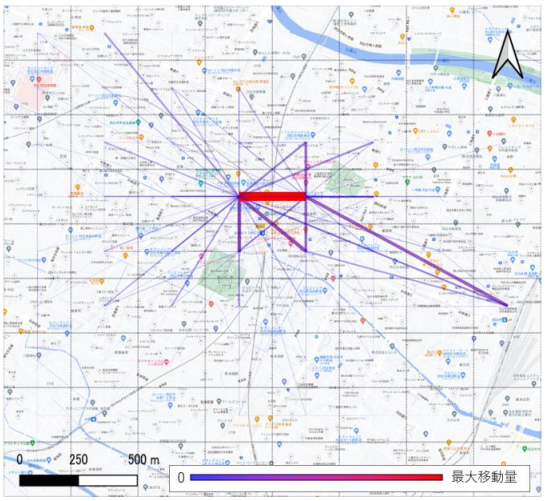


図-11　休日の OD 移動量

e) 歩行経路に関する分析

徒歩トリップの GPS データに対し，マップマッチングを行うことで歩行経路の推定を行った．推定された歩行経路の 1 日合計断面交通量をある金曜日（2021 年 10 月 15 日）について**図-12** に，ある日曜日（2021 年 10 月 17 日）について**図-13** に示す．



図-12　金曜日の１日の合計断面交通量



図-13　日曜日の１日の合計断面交通量

このとき，建物への移動を計測に含む地点 1・地点 2 を除く 16 地点について，歩行者交通量調査と GPS データより得られた経路より，1 日の合計断面交通量の相関を求めた．その結果，金曜日について相関係数 0.92，日曜日についても相関係数 0.92 であった．このことから，GPS で観測された歩行経路と実際の断面交通量数には強い相関があることがわかる．

5.　歩行者の経路選択分析

歩行者の経路選択分析として，Cross Nested Logit モデルの構築を行い，それによって算出されたパラメータをもとにシミュレーションを行う．説明変数として，道路周辺店舗面積や緑地面積，道路の直進性などを加え，歩行環境の影響を明らかにする予定である．詳細については，発表で示す．

6.　おわりに

本研究では，現況再現シミュレーションモデルを構築するにあたり，滞在ログの推定・徒歩トリップの抽出を行った．モデル推定するにあたり，被験者のスマートフォンから GPS データと回答データを収集し，Random Forest の構築を行った．その結果，取得間隔 1 分程度の携帯 GPS データを用いても高い推定精度で推定できることが明らかになった．また，推定モデルを商用 GPS データに対して適用したデータより，平日・休日での特性や交通量調査との近似性を確かめた．

歩行者の経路選択分析・シミュレーションについては，発表にて詳細を述べる．

REFERENCES

1) 国土交通省：「居心地が良く歩きたくなるまちなか」からはじまる都市の再生，https://www.mlit.go.jp/common/001301647.pdf，2019，（最終閲覧日，令和５年７月４日）
2) 国土交通省：まちの活性化を測る歩行者量調査のガイドライン，https://www.mlit.go.jp/common/001282666.pdf，2019，（最終閲覧日，令和５年７月４日）
3) 国土交通省：スマート・プランニング実践の手引き 【第二版】，https://www.mlit.go.jp/common/001255640.pdf，2018，（最終閲覧日，令和５年７月４日）
4) 松本修一：GPS 携帯を活用した行動調査に関する基礎的研究，KEIO SFC JOURNAL，Vol.9，No.1，2009
5) 山本俊行，高村真一，森川高行：都心での歩行者選択分析におけるトリップ距離の異質性の影響，土木計画学研究・講演集，2011
6) Liu, Yanan & Yang, Dujuan & Vries, Bauke & Timmermans, Harry.：Analysis of Built Environment Influence on Pedestrian route choice behavior in Dutch Design Week using GPS Data，Proceedings of Pedestrian and Evacuation Dynamics 2018，Vol. 5，2020
7) Hahm, Yeankyoung & Yoon, Heeyeun & Jung, Donggyu & Kwon, Hyunsook.：Do built environments affect pedestrians’ choices of walking routes in retail districts? A study with GPS experiments in Hongdae retail district in Soul，South Korea，Habitat International，Volume 70，Pages 50-60，2017
8) 菊池雅彦，岩舘慶多，羽藤英二，是友修二 他：プローブパーソン調査データを用いた回遊性向上施策の実務的評価手法，土木学会論文集 D3（土木計画学），vol. 74，No5，I_735-I_745，2018
9) 岩田紗瑛，新田知之，高山敏典，柳澤政生他：疎な GPS 測位情報を対象にした測位精度と短時間滞在除去に基づく滞在地推定手法，マルチメディア，分散，協調とモバイルシンポジウム，2017
10) 東浦圭亮，田村直樹，平野流，鷲田健斗，板倉波輝，山口公平，浦野健太，米澤拓郎，河口信夫：時間粒度が粗密な大規模測位データを用いた移動手段推定に関する研究，マルチメディア，分散，協調とモバイルシンポジウム 2022 論文集，p163-170，2022
11) 吉田竜聖，佐々木邦明，小川明人，北條彰人：商用 GPS を用いた駅周辺における歩行者の経路選択分析，交通工学論文集，vol. 9，A_104-I_109，2023
12) 国土交通省・三重県・四日市市：近鉄四日市駅周辺における交通結節点整備計画，https://www.cbr.mlit.go.jp/mie/road/works/pdf/yokkaichi_bus_termina/keikaku_02.pdf，2021（最終閲覧日，令和５年７月５日）

(Received July 21, 2023)
(Accepted August 30, 2023)

A study on pedestrian simulation using commercial-based GPS

Ryusei YOSHIDA, Kuniaki SASAKI, Akihito OGAWA and Kaoru MATSUOKA

For local communities facing issues such as declining birthrates, aging populations, and population outflows, “walkable city” that makes people feel comfortable and want to walk around is attracting a lot of attention as a means of restoring local vitality. To create a “walkable city”, it is essential to understand walking routes and evaluate measures using GPS data. However, many local governments are suffering from serious financial shortages, and financial resources for urban planning are limited. Therefore, in this study, we construct a simulation that reproduces the current situation with the aim of demonstrating the possibility of constructing a simulation for policy evaluation using commercial GPS data, which has low data collection costs.