

旅客分布推計システムによる 駅構内の旅客流動データ可視化手法

対馬 銀河* 石突 光隆* 柴田 宗典*

A Method for Visualizing Passenger Flow Data from a Passenger Distribution Estimation System in Railway Stations

Ginga TSUSHIMA Mitsutaka ISHIZUKI Munenori SHIBATA

Monitoring passenger flow in real time within railway stations enables congestion points to be identified effectively, contributing to enhanced station safety management. We verified the estimation accuracy of a passenger distribution estimation system developed beforehand using real video footage recorded within railway stations. As a result, it was confirmed that the system can capture origin-destination (OD) traffic volume trends with a high degree of accuracy. Additionally, we visualized real-time passenger distributions to estimate the passenger flow and verified that the developed system can generally reproduce the actual dynamics of passenger flow in real time.

キーワード：旅客流動，画像解析，防犯カメラ，断面交通量

1. はじめに

鉄道事業者にとって、駅構内の旅客流動状況をリアルタイムに把握することは、混雑箇所を監視し、駅の安全管理を行うとともに、非常時における、安全な避難戦略・避難誘導を実行するための基礎情報として重要である。しかし、現状の旅客流動のリアルタイム把握手段としては、防犯カメラで撮影できている範囲内の映像のみで、駅構内全体の流動状況をリアルタイムに把握できるものはない。また、リアルタイムな旅客流動の把握は、鉄道を利用する旅客にとっても、混雑回避や非常時の状況把握などの手段として重要であるが、これについても防犯カメラ映像を匿名化した、カメラ画像配信サービス¹⁾にとどまっている。

リアルタイムに限らない、一般的な旅客流動の把握手法としては、OD交通量調査を行い、流動状況の分析や予測を行う手法がある。しかしながら、現状のOD交通量調査では、人手による人数の計測やアンケート調査を行う必要があることから多くのコストを要するうえ、長期間の計測や常時の計測には対応できず、周辺開発の影響を受けやすい駅計画や、動線が頻繁に変化する駅の工事計画へ活用する際の課題となっている。また、近年では、GPSやWi-Fiといった旅客が持つ通信機器の信号などを利用した人数把握手法²⁾も開発されているが、場所や時間についての相对比较による人数の大小関係把握にとどまっている。

そこで筆者らは、従来のような人手に頼るOD交通量の推計に代わる手法として、画像解析や数理モデルを活用して自動的にOD交通量を推計する手法を提案³⁾するとともに、得られたOD交通量をもとに、旅客流動シミュレーション⁴⁾を実施することで、リアルタイムに旅客の流動状況を把握する旅客分布推計システムを開発している。

本稿では、開発したシステムによるOD交通量の推計精度の検証結果を報告するとともに、得られたOD交通量やリアルタイムな旅客流動状況について、事業者及び旅客を対象とした可視化手法を提案して示す。構成として、2章では開発した旅客分布推計システムの概要を示す。3章ではシステムによるOD交通量の推計精度の検証結果を示す。4章では得られたOD交通量の可視化提案手法および、リアルタイムな旅客流動状況の可視化提案手法について示す。

* 構造物技術研究部 建築研究室

2. 旅客分布推計システム

図1に旅客分布推計システムの構成を示す。本システムはOD交通量の推計を行うとともに、防犯カメラの映像からリアルタイムで計測した断面交通量に対して、事前（例えば前日の同時時間帯）に分析したOD交通量の推計結果（各経路の利用比率）を適用してシミュレーションを実施することで、駅の旅客流動状況をリアルタイムに把握する。事前分析として図1に示す「①断面交通量の計測、②OD交通量の推計」を行い、リアルタイム分析で「③断面交通量のリアルタイム計測、④旅客流動シミュレーション」を行っている。各項目の詳細については既往研究^{3) 4)}を参照されたい。

①断面交通量の計測

AIを活用して断面交通量の計測を行う。オープンソースのYOLOX⁵⁾を用いた人物検知（頭部検出）を行い、同じくオープンソースのMOT（Multiple Object Tracking）手法の一つであるByteTrack⁶⁾によるフレーム間での同一人物の追跡を行い、各断面の通過人数を自動計測する（図2）。

②OD交通量の推計

駅構内に設置されている各防犯カメラの場所から、移動経路としてつながっている部分をネットワークとして構成することで、各防犯カメラ間の移動人数であるOD交通量を数理最適化モデルにより推計する。

③断面交通量のリアルタイム計測

断面交通量の計測（①）と同様の処理をリアルタイムで行い、毎秒の通過人数データを計測する。

④旅客流動シミュレーション

計測した断面交通量を元にシミュレーション上で、エージェントを発生させ、混雑状況に合わせて歩行者速度を変化させながら、事前に推計したOD交通量に基づいて移動方向を決めてエージェントを動かすことで、旅客流動を把握する。

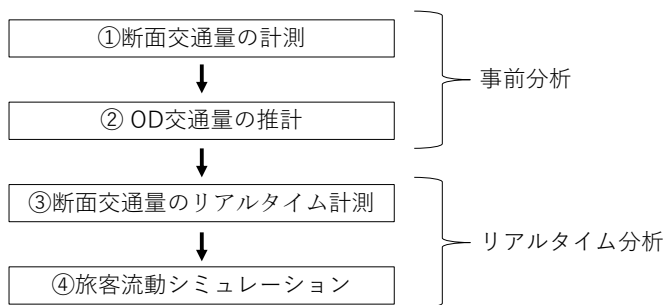


図1 旅客分布推計システムの構成



図2 AIを活用した断面交通量の計測

3. 実駅でのOD交通量の推計

3.1 データの取得方法

図3、図4に示すA、Bの2駅において、既設の防犯カメラの画角に近くなるように設置したビデオカメラの映像を用いてシステムの検証を行った。なお、一般的に防犯カメラのレコーダーを通した映像（モニターに映っている映像）は、画素数が640×480px、10fps程度であることが多いが、本システムではレコーダーより手前の映像（一般的にはHD画質1280×720px以上の画質が期待される）を直接分析することを

想定しており、高い解像度（本調査では画素数 1440×1080px, 30fps の映像）となるビデオカメラの映像を用いて検証している。

A 駅はホーム間の乗換がほとんど発生しない駅であり、計測の対象となるビデオカメラは a-g の 7 か所である。B 駅はホーム間の乗換が各ホーム間で発生する駅であり、a-i の 9 か所を対象とした。なお、A 駅では流動状況の確認のために合流地点である h の箇所にもビデオカメラを設置している。いずれの駅も平日の朝ラッシュ時間帯 7:00-9:00 を対象としてデータを取得した。

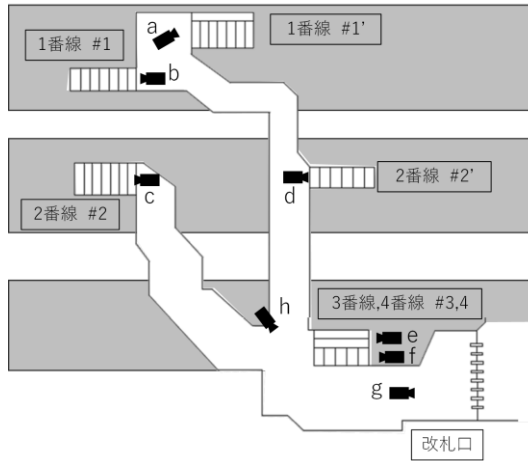


図3 A 駅平面図とビデオカメラの位置図

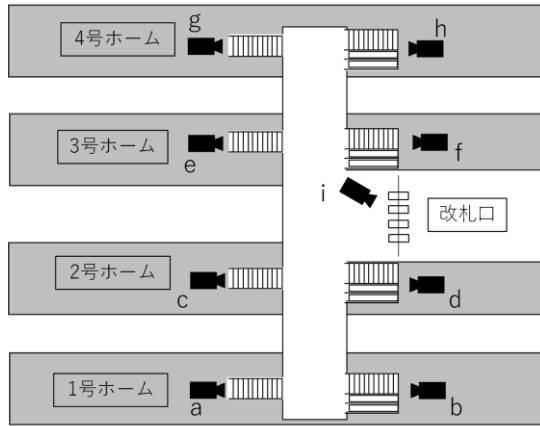


図4 B 駅平面図とビデオカメラの位置図

3.2 断面交通量の計測及び精度検証

それぞれの駅で取得した各映像について、ピーク時 1 時間を対象として AI を活用した断面交通量の自動計測を行い、計測精度の検証を行った。図 5、図 6 に断面交通量の自動計測結果と、撮影した映像から目視で計測した結果の比較をそれぞれ 5 分集計でプロットした。これらの図から、誤差は概ね 10% 以内であることがわかる。なお、断面交通量が多い場合、目視計測による計測でも誤差が発生する可能性があるが、本稿では、目視計測の結果を正解とした場合の自動計測値との差を誤差としている。B 駅の一部において、AI を活用した自動計測の値が小さくなり、誤差 10% の範囲外となっている部分が見られるが（図 6 の赤枠箇

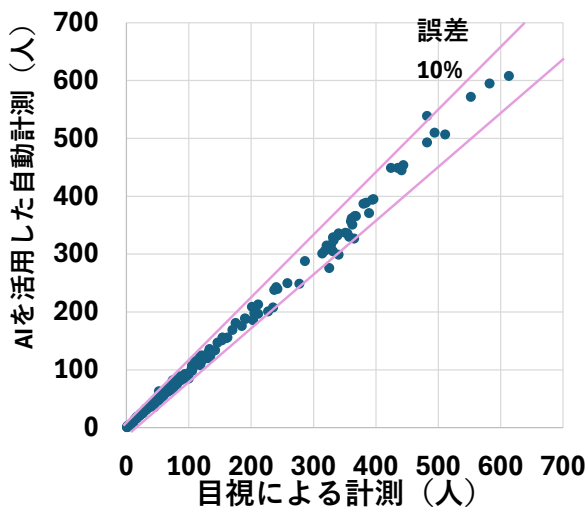


図5 自動計測と目視計測の比較 (A 駅)
(8:00~9:00 5分集計)

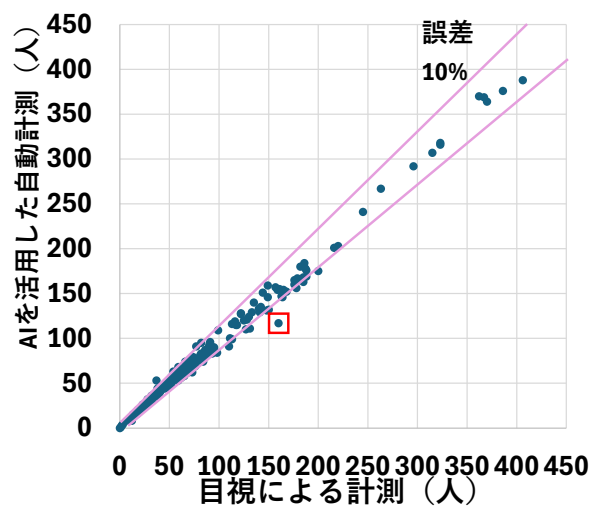


図6 自動計測と目視計測の比較 (B 駅)
(7:30~8:30 5分集計)

所), これは, 人工地盤の下のエスカレータを映している箇所のビデオカメラであり, 映像が暗く, エスカレータの段の黒色と人影が同化し, AI による計測が難しかったためと考えられる. このように, 計 16 か所のビデオカメラの AI 解析により, 著しく条件が悪くない限り, ビデオカメラのアンブルが天井面との俯角で 30° ~50° 程度であれば, 概ね 10% 程度の誤差で AI による断面交通量の計測が可能であることが確認できた.

3.3 OD 交通量の推計及び精度検証

既往研究³⁾の手法に則り, 計測した各地点の断面交通量から数理最適化により OD 交通量を推計し, その精度検証を行った. 数理最適化で用いるビデオカメラのネットワーク図を図 7, 図 8 に示す. ネットワークの構成は, ビデオカメラが設置されている箇所に発生・集中ノードを配置し, 移動経路でつながっているビデオカメラ間をリンクとしてつなぎ, 移動経路が合流・分岐する箇所に分岐ノードを設定している.

断面交通量の集計では, ある 1 人の旅客が出発地で観測されてから目的地で観測されるまでに, 移動時間によるタイムラグが発生するため, 集計のタイミングによっては発生交通量の総和と集中交通量の総和の間に大きな差が生じることがある. OD 交通量の推計に当たっては, この誤差を最小とする必要があることから, 発生交通量の集計時間を基準として集中交通量の集計時間をずらすことで, これを実現した. 図 9 に集中交通量の集計時間を 5 秒ずつ遅らせた場合の発生交通量との相関係数を示す. これより, 35 秒遅らせた場合に最も相関係数が高くなっており, この時, 発生交通量の総和と集中交通量の総和の推移が概ね一致していることがわかる (図 10). 以上より, A 駅では集中交通量の集計時間を 35 秒遅れとし, 同様に B 駅は 40 秒遅れとして OD 交通量を推計した.

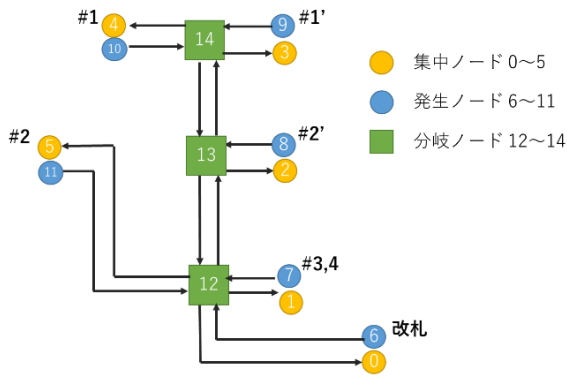


図 7 A 駅の防犯カメラネットワーク図

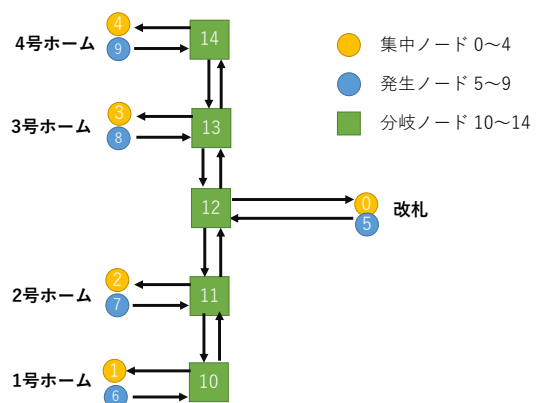


図 8 B 駅の防犯カメラネットワーク図

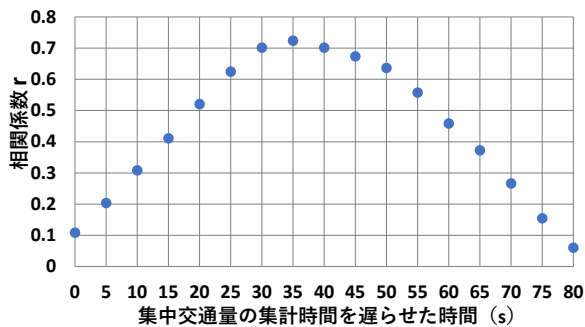


図 9 発生交通量と集中交通量の相関係数 (5 秒集計)

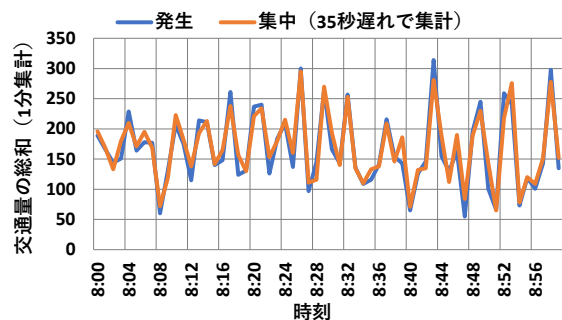


図 10 発生交通量と集中交通量の時間変化 (1 分集計)

OD 交通量の推計精度を検証するための OD 交通量の正解データを作成するために、本研究では、乗換旅客の少ない A 駅では、一般的な OD 交通量調査と同程度の 10% のサンプリング率で旅客の OD の抽出調査を行い、これを 1 時間の観測数に拡大したものを正解値としている。B 駅については、乗換旅客が多いことから、サンプリング率が高くなるように調査時間を 7:51~7:56 の最ピーク時間帯に限定し、サンプリング率 72.5% で旅客の OD の抽出調査を行い、同じ 5 分間の観測数に拡大したものを正解値とした。

表 1、表 2 に各駅での OD 交通量の推計結果として、推計人数および発生地点ごとの行先の比率を示す。A 駅ではホームから他のホームへ移動する乗換旅客が非常に少ないのに対し、B 駅ではホームで発生した旅客の半数程度が乗換旅客となっていることがわかる。これは現地での観察結果とも合っている。

次に、図 11、図 12 にサンプリング調査により作成した OD 交通量の正解値と推計モデルによる推計結果の比較を示す。いずれの駅も正解値との相関係数は 0.97 以上となっており、本推計モデルを用いることで、高い水準で OD 交通量の傾向を捉えられることが確認できた。

表 1 OD 交通量の推計結果(A 駅 8:00~9:00)

発生\集中	#1	#1'	#2	#2'	#3,4	改札
#1			6 (1%)	1 (0%)	6 (1%)	623 (98%)
#1'			6 (1%)	1 (0%)	6 (1%)	623 (97%)
#2	2 (0%)	7 (0%)			5 (0%)	1939 (99%)
#2'	2 (0%)	7 (1%)			5 (1%)	802 (98%)
#3,4	2 (0%)	6 (0%)	5 (0%)	1 (0%)		1990 (99%)
改札	470 (11%)	1345 (33%)	1057 (26%)	213 (5%)	1033 (25%)	

表 2 OD 交通量の推計結果 (B 駅 7:51~7:56)

発生\集中	1号ホーム	2号ホーム	3号ホーム	4号ホーム	改札
1号ホーム		11 (11%)	8 (8%)	22 (22%)	61 (60%)
2号ホーム	23 (28%)		5 (6%)	14 (17%)	39 (48%)
3号ホーム	76 (28%)	23 (8%)		47 (17%)	130 (47%)
4号ホーム	117 (31%)	36 (9%)	27 (7%)		199 (53%)
改札	72 (46%)	22 (14%)	17 (11%)	45 (29%)	

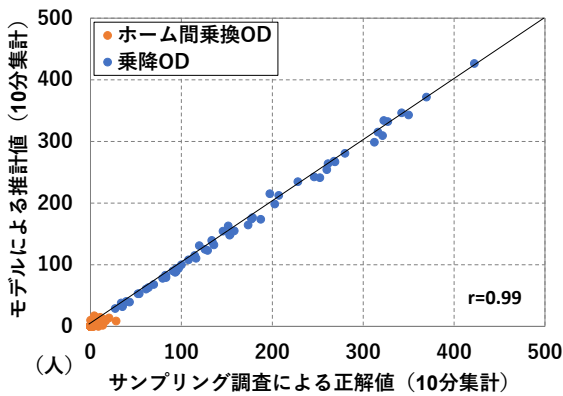


図 11 正解値と推計値の比較 (A 駅 8:00~9:00)

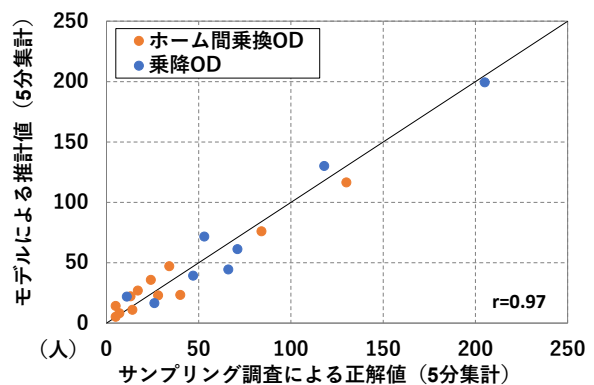


図 12 正解値と推計値の比較 (B 駅 7:51~7:56)

4. 旅客流動の可視化

4.1 OD 交通量の可視化

OD 交通量の集計結果の表し方は、表 1、表 2 に示した表形式のものが一般的であるが、円形ダイヤコードグラムで可視化することができる (図 13)。これは、発着地点を結ぶ帯の幅 (円周で各色が占有している幅) で OD 交通量を表現しているものになるが、駅施設の場合は、列車の発着に合わせて大量の人が移動するため、OD 交通量と併せて、この発着による波動が適切な形で捉えられなければならない。そのため、

30分や1時間といった集計単位で用いられる表1や図13などの従来の表現方法では、波動や局所的な混雑箇所の把握が難しいといった課題がある。

そこで、列車の運行ダイヤでの表現を参考に、横軸を時間、縦軸を距離として1人1人の旅客の移動を表現することで、OD交通量の可視化を行う手法（以下、ダイヤグラム）を開発した。本手法では、出発地点から目的地点までの移動時間の算出に旅客流動シミュレーションを活用しており、旅客の発生時間と目的地到達時間を計算した上で、これを線分で結んでいる。なお、本検討では、移動経路が単純なため発生と集中を線分で結び、平均的な歩行速度での表現としているが、より長い経路の分析を行う場合や、混雑度が高い駅の分析を行う場合には、区間ごとに線分を分割し、歩行速度の変化に応じて交差点などで線分の傾き（歩行速度を）を変化させて表現を行うことも考えられる。図14にダイヤグラムでの可視化イメージを示す。本手法では、引かれた線の本数により任意の時間帯・通路の混雑状況が把握でき、線と線の交差数から、旅客の交錯度合を把握することができる。

図15にA駅における8:00-8:30の30分間のダイヤグラムの例を示す。線の本数より混雑状況の把握が可能になっており、例えば8:10-8:15では比較的乗車客が少ない（背景の白い部分が多い）のに対し、8:15-8:20では乗車客（橙色の線）が多く、特に改札付近で混雑していることがわかる。次に、旅客の絶対数の多寡ではなく、各区間に対する混雑度（密度）を把握できるようにするために、旅客を表す線の太さを通路幅員に反比例させて記したものを図16に示す。これは、各区間の幅員がA区間でL、B区間で2Lであった場合、その混雑率は、1人が通過する占有率で表せるため、線の太さをA区間で1/L、B区間は1/2Lといったように調整し、幅員に応じた混雑状況を表現している。図15と比較して、図16の方が線の粗密が一樣になっていることから、旅客の絶対数としては改札付近が多いものの、幅員に対する旅客の密度としては駅全体であまり差がないことが図から見て取ることができる。

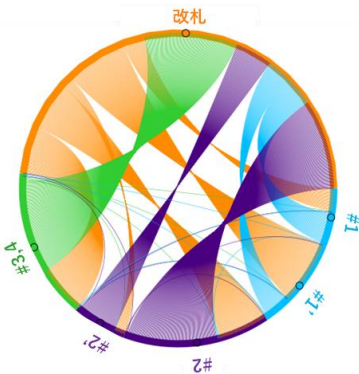


図13 円形コードダイヤグラム (A 駅の例)

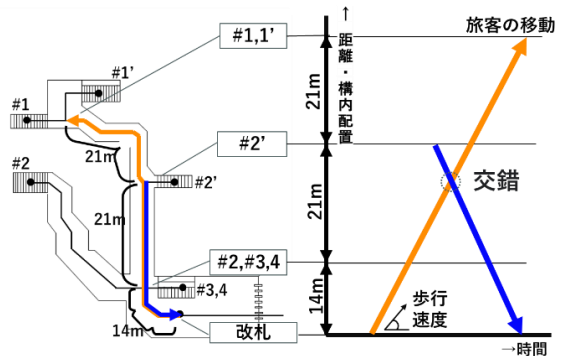


図14 OD交通量の可視化方法 (A 駅の例)

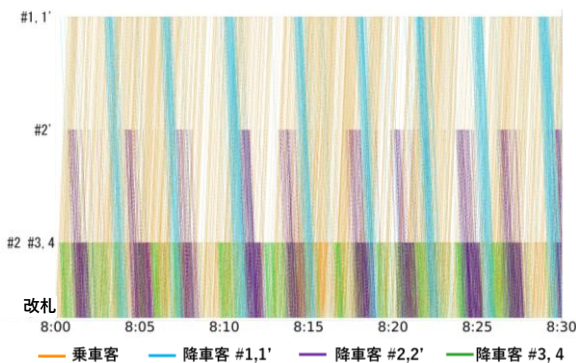


図15 OD交通量の可視化 (A 駅：経路幅員未考慮)

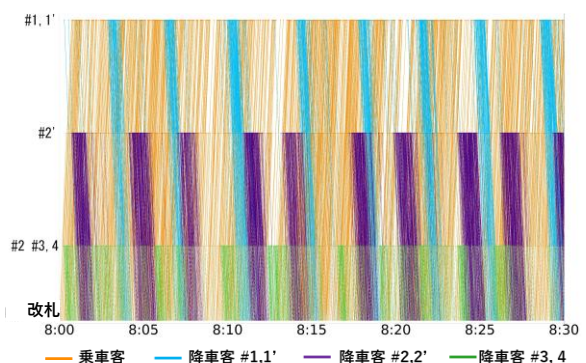


図16 OD交通量の可視化 (A 駅：経路幅員考慮)

4.2 リアルタイム旅客流動の可視化

A 駅のビデオカメラ a-g を対象として、旅客分布推計システムによるリアルタイム分析（図1の③④）を行いリアルタイムの旅客流動状況を把握するとともに、その可視化手法を示す。ここでは録画した映像を再生しながら分析することで、リアルタイムでの分析を疑似的に再現している。

リアルタイム分析では、各カメラで計測されたリアルタイムの通過人数を、事前の OD 交通量の推計結果を基に各経路に割り振り、その後の旅客の移動状況を旅客流動シミュレーションにより予測することで、駅構内全体の混雑状況を把握する。事前分析と同様に YOLOX および ByteTrack を適用して断面交通量を計測し、毎秒の断面交通量（流入方向）に応じて、シミュレーション上でエージェントを発生・移動させることで、駅構内の旅客流動を把握する。

可視化手法としては、駅平面を格子状のメッシュで分割し、各メッシュ内の旅客密度に応じて粒子を発生させ、OD 別に発生する粒子の色を変えることで、旅客の多寡と移動方向を表現している。事前に推計した OD 推定の結果を用いることで、タイムラグがなく、リアルタイムに可視化を行うことができる。図17に可視化状況を示す。8:10:15 頃は駅構内の大半を乗車客が占めているのに対し、8:17:30 頃は2番線および3,4番線からの降車客が多く、乗車客と降車客が錯綜して駅構内が混雑していることがわかる。これらの状況は同時刻のビデオカメラ h（図3）の映像とも一致している。

次に、ビデオカメラ h の映像に対して YOLOX で分析を行い映像のエリア内で検知された旅客数と、シミュレーションより算出した同箇所の人数の時間変化を比較した（図18）。旅客が少ない時には結果が概ね一致している一方で、旅客が多くなると乖離が大きくなっていることが分かる。この理由として、旅客が集中することでオクルージョンが大きくなりビデオカメラ h の AI 計測では、奥の人数が捉えられず人の検出数が低下しているものと考えられる。

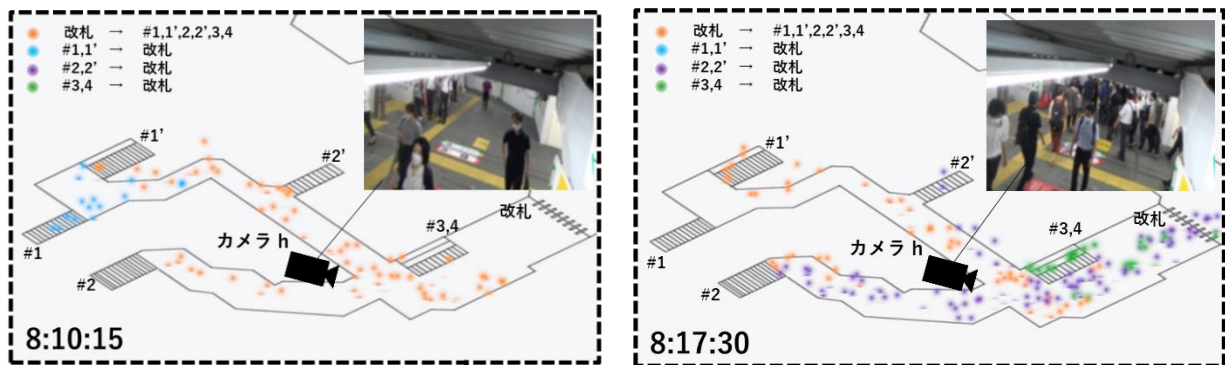


図17 旅客流動のリアルタイム可視化状況（A 駅）

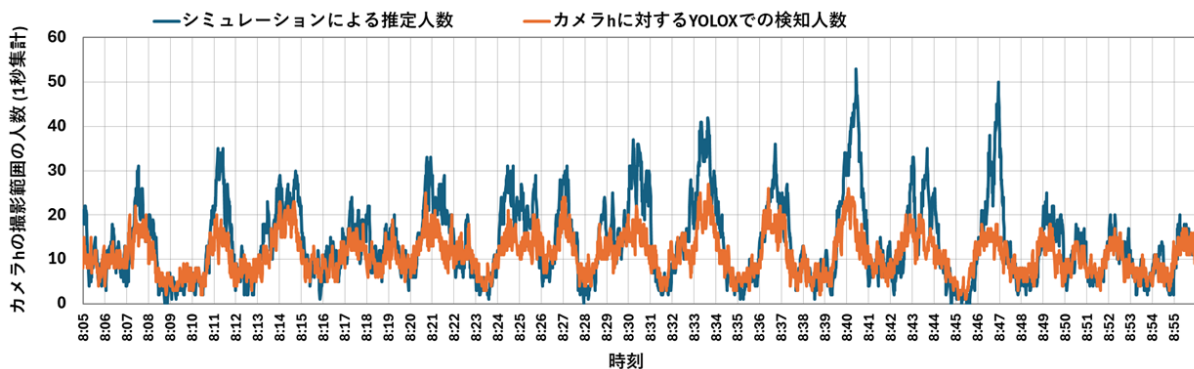


図18 シミュレーションによる推定人数とYOLOXでの検知人数

5. まとめ

開発した旅客分布推計システムに、実際に駅構内で撮影された映像を適用し、OD 交通量の推計精度の検証を行ったところ、従来手法との相関係数は 0.97 以上となっており、高い水準で OD 交通量の傾向を捉えられることが確認できた。また、得られた OD 交通量に対して、ダイヤグラムによる新たな可視化手法を提案し、時系列的な OD 交通量や各箇所の断面交通量の変化を表現できることを示した。さらにリアルタイムの旅客分布を推計し可視化するとともに、実際のリアルタイムの流動状況を概ね再現できていることを確認した。

今後は、防犯カメラが設置されていない箇所の把握（予測）手法を検討するとともに、旅客流動状況に合わせて動的な変化が必要な他のシステムと連携することで、より安全で快適な駅環境の構築を目指す。

謝 辞

駅構内へのビデオカメラの設置等、本研究の旅客流動調査の実施にあたり、東日本旅客鉄道株式会社、西日本旅客鉄道株式会社の関係者の皆様には多大なるご協力をいただいた。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 東急電鉄ニュースリリース（2016-9-15）「東急電鉄が駅構内カメラ画像配信サービス“駅視－vision（エキシビジョン）”を正式に開始（東京急行電鉄・日立製作所）」：<https://www.tokyu.co.jp/company/news/list/Pid%3D2470.html>（参照日：2024-05-09）
- 2) 西田純二，足立智之，牧村和彦，森本哲郎，上善恒雄：Wi-Fi パケットセンサーによる交通流動解析，第 49 回土木計画学研究発表会・講演集，216_1-9，2014
- 3) 柴田宗典，石突光隆，対馬銀河：動画解析と数理最適化モデルを用いた鉄道駅構内における分布交通量の推計手法，日本建築学会計画系論文集，88 (803)，56-67，2023
- 4) 大戸廣道，青木俊幸：旅客流動シミュレーションを用いた駅計画，鉄道技術連合シンポジウム講演論文集，JRail'95 J-RAIL，469-472，1995
- 5) Zheng Ge, Songtao Liu, Feng Wang, Zeming Li, Jian Sun: "YOLOX: Exceeding YOLO Series in 2021", arXiv:2107.08430, 2021.
- 6) Yifu Zhang, Peize Sun, Yi Jiang, Dongdong Yu, Fucheng Weng, Zehuan Yuan, Ping Luo, Wenyu Liu, Xinggang Wang: "ByteTrack: Multi-Object Tracking by Associating Every Detection Box", arXiv 2110.06864, 2021.