

断面通行量を用いたデータ同化による駅コンコースのリアルタイム OD 通行量推計方法
-鉄道駅における旅客 OD 推計技術に関する研究 その2-

正会員 ○*1 木下 芳郎 同 *2 笹澤 正義
同 *2 吉田 圭一 同 *3 石間 計夫

鉄道駅 旅客流動 断面通行量
OD 通行量 推計

1 目的

本報告では、断面通行量を用いて、駅コンコースの OD 通行量をリアルタイムに推計する方法について報告する。駅構内の断面通行量から OD 通行量を推計する試みとしてはウィルソンモデルによるもの¹⁾があるが、比較的長い時間の集計データが必要であり、駅構内の混雑状況については予測ができない。本報告で開発した方法は、OD 比率を随時更新し、秒単位のリアルタイムな OD 通行量を推計する。さらに、混雑状況の概況についてもリアルタイムに推計することが可能である。

2 OD 推計方法

2-1 推計方法の概要

推計方法の概要を図1に示す。OD 推計システムへ入力する計測データは各 OD 起終点の単位時間あたり流入人数と流出人数である。OD 推計システムは誤差補正部分とシミュレーション部分からなる。シミュレーション部分では計測した流入人数と推計した OD 比率の積による OD 通行量を入力データとして、旅客が起点から終点まで歩行する流動シミュレーションを行い、各終点での退出人数を出力する。誤差補正部分では、計測による流出人数とシミュレーション部分から出力される退出人数の誤差を用いて、OD 比率とシミュレーション内の歩行速度を補正する。

この補正を定期的に行うことで、OD 比率とシミュレーション内の歩行速度を更新し、リアルタイムな OD 通行量推計を実現する。

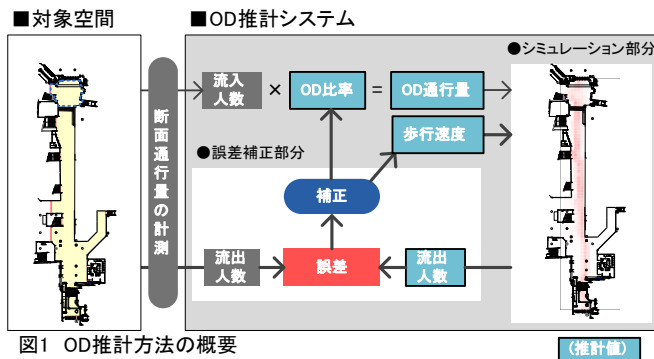


図1 OD推計方法の概要

2-2 OD 比率と歩行速度の補正方法

OD 比率と歩行速度の補正は、各終点の流出人数の計測値と推計値の誤差の値に応じて行う。補正は主に以下の条

件に従い行う。具体的な補正方法を図2に示す。

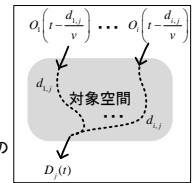
- 1) 誤差の正負に応じて補正值の正負を定める
- 2) 誤差の大小に応じて補正值の大小を定める
- 3) 流入人数の大小に応じて補正值の大小を定める

●記号

- $O_i(t)$: 流入地点 i へ $t \sim t + \Delta t$ に流入する人数
- $D_j(t)$: 流出地点 j から $t \sim t + \Delta t$ に流出する人数の計測値
- $\hat{D}_j(t)$: 流出地点 j から t に流出する人数の推定値
- $d_{i,j}$: i から j への距離
- $R_{i,j}(t)$: i から j の OD 比率推定値
- $e_j(t)$: j での誤差 $e_j(t) = D_j(t) - \hat{D}_j(t)$
- $\Delta R_{i,j}(t)$: OD 比率の補正值 $\hat{R}_{i,j}(t + \Delta t) = \hat{R}_{i,j}(t) + \Delta R_{i,j}(t)$

●OD 比率の補正方法

- 1) 誤差の正負に応じて補正值の正負を定める
 $e_j(t) > 0$ なら j への比率が少ないので $\Delta R_{i,j}(t) > 0$ とし、
 $e_j(t) < 0$ なら j への比率が多いので $\Delta R_{i,j}(t) < 0$ とする。
- 2) 誤差の大小に応じて補正值の大小を定める
 $e_j(t)$ の平均値 $\bar{e}(t)$ を求め、 $\frac{|e_j(t) - \bar{e}(t)|}{\sum |e_j(t)|}$ によって $\Delta R_{i,j}(t)$ の大小関係を設定する。
- 3) 流入人数の大小に応じて補正值の大小を定める



流出時と流入時の時間差を考慮し、 $O_i(t - \frac{d_{i,j}}{v})$ の大小関係を $\frac{O_i(t - \frac{d_{i,j}}{v})}{\sum_i O_i(t - \frac{d_{i,j}}{v})}$

で表現し、流入量の大きさに応じて $\Delta R_{i,j}(t)$ を修正する。

4) 補正值の基本値算出

1) ~ 3) から補正值の基本値を $\Delta R'_{i,j} = \frac{e_j(t) - \bar{e}(t)}{\sum |e_j(t)|} \frac{O_i(t - \frac{d_{i,j}}{v})}{\sum_i O_i(t - \frac{d_{i,j}}{v})}$

とする。誤差の大きさに対応させるため、 $k_j = \frac{e_j(t)}{\sum_i \Delta R'_{i,j} O_i(t - \frac{d_{i,j}}{v})}$ を求めておく。

5) 補正比の条件の反映

$\sum_j \Delta R_{i,j}(t) = 0$ の条件を満たすため、 $k_j \Delta R'_{i,j}$ の正と負の値の合計を s_+ 、 s_- とする。

各絶対値の大きい方と小さい方を s_{big} 、 s_{small} とするとき、大きい方の符号の $\Delta R_{i,j}(t)$ につ

いては $\Delta R_{i,j}(t) = \frac{s_{small}}{s_{big}} k_j \Delta R'_{i,j}$ とする。

●速度の補正方法

流出人数の計測値と推定値の総和 $D_{all}(t)$ 、 $\hat{D}_{all}(t)$ を求め、一定の範囲内で速度を

$1 + \frac{D_{all}(t) - \hat{D}_{all}(t)}{\hat{D}_{all}(t)}$ によって補正する。

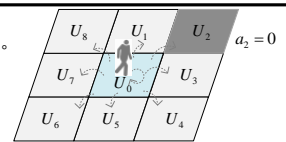
図2 OD 比率と歩行速度の補正方法

●移動先の選択

移動可能なメッシュは現在地と8つの近傍とする。近傍 k への移動確率を

$P_k = \frac{a_k \exp[bU_k]}{\sum_{k=0}^8 a_k \exp[bU_k]}$

とする。この値に応じた比率で対象メッシュから各メッシュへ移動する。



- U_k : 移動先として選択する影響度
- a_k : 移動可能指標 (壁などの場合0とする)
- b : 影響度の効果調整値

$U_k = w_1$ (-目的地までの距離) + w_2 (-混雑度) + w_3 (-対向流の多さ)

+ w_4 (移動先の自由度) + w_5 (左側の歩行傾向)

w_n : 各指標の重み

図3 メッシュ型旅客流動シミュレーション

各終点の流出人数の総和が計測値と推計値で異なる場合、その正負と大小に応じてシミュレーション内の歩行速度を補正する。具体的な補正方法を図2に示す。

2-3 メッシュ型旅客流動シミュレーション

シミュレーション部分では、コンコースといった広域を対象に、多数の旅客の平均的な流動を表現することを重視し、確率的に流動を表現するメッシュ型の旅客流動シミュレーションとした。流動シミュレーションは各メッシュから他のメッシュへの移動と、対象空間外からの流入・流出によって表現される。対象空間外からの流入は計測データから得られ、流出人数は終点メッシュ内の人数から得られる。他のメッシュへの移動の基本的な部分は既往文献による方法^{2),3)}を参考にしつつ、目的地までの距離、混雑度、対向流の多さなどによって確率的に定め、連続量として移動人数を定めた。他のメッシュへの移動量の計算方法の概要を図3に示す。

3 ケーススタディ

開発した OD 推計システムの機能を確認するため、実際の駅コンコースを対象として OD 推計を行った。退出人数の精度検証と、出力される OD 推計と混雑状況の結果を以下に示す。

3-1 対象空間と入力データ

対象空間の概要を図4に示す。OD 推計を行うための入力データの概要を表1に、設定値を表2に示す。

3-2 断面通行量の精度検証

混雑した時間帯の 8:00~8:10、比較的混雑の少ない 10:00~10:10 を対象時間として OD 推計結果を集計し、退出人数の精度検証を行った。精度は表3に示す相関係数と誤差比の2種類によって確認することとした。断面通行量の計測値と推計値の相関グラフを図5に、精度を表す指標の値を表4に示す。退出人数の精度は誤差比で約0.9、相関係数で0.99であり、概ね良好な結果が得られた。

3-3 出力データと計算時間

OD 通行量は任意の時間で集計した結果が出力可能である。表5にレーザーセンサによる計測範囲について集計した OD 通行量を示す。混雑状況についても、1秒単位で出力可能である。混雑状況を色の濃淡で表現した例を図6に示す。

対象とした空間での OD 推計に必要な計算時間は、一般的なパソコンで実時間の約1/4で計算が可能であり、リアルタイムな推計が十分可能であることが確認できた。

4 まとめ

断面通行量から駅コンコースの OD 通行量をリアルタイムに推計する方法を開発した。ケーススタディによって機能を確認し、データ同化に用いた流出人数の推計精度は概

ね良好であることを確認した。計算速度についても、比較的大規模なコンコースでリアルタイムな推計が十分可能であることが確認できた。

- 1) 木下 芳郎・加瀬 史朗・坂本 圭司・田村 篤史・石間 計夫：ホーム上における旅客流動の OD 通行量推計：鉄道駅における旅客 OD データ取得に関する研究 その2、日本建築学会学術講演梗概集、E-1、pp. 653-654、2011
- 2) 中祐一郎：交差流動の構造 鉄道駅における旅客の交錯流動に関する研究 (1)、日本建築学会論文報告集、258、93-102、1977.8
- 3) 中祐一郎：交錯流動のシミュレーションモデル 鉄道駅における旅客の交錯流動に関する研究 (2)、日本建築学会論文報告集、267、103-112、1978.5

表1 入力データ

空間データ	移動可能なメッシュを定義したファイル
OD起終点データ	起終点位置と種類を定義したファイル
OD比率の設定データ	OD比率のうち、既知の値を設定したファイル
断面通行量データ	各起終点の単位時間あたり流入、流出人数を記載したファイル

表2 設定値

単位メッシュ辺の長さ[m]	2
シミュレーションステップの時間[s]	1
OD比率と速度の補正間隔[s]	60
対象空間のスケール	142[m]×36[m]
OD起終点数	29
推計開始時刻	AM4:00
歩行速度の上限[m/s]	1.4
滞留可能な最大密度[人/m ²]	4
<i>b</i>	2
距離	1
密度	4
<i>w_n</i>	8
移動自由度	4
対向流	4
左側	1

表3 評価指標

・相関係数：
$$\frac{\sum_j (D_j - D_{ave})(\hat{D}_j - \hat{D}_{ave})}{\sqrt{\sum_j (D_j - D_{ave})^2} \sqrt{\sum_j (\hat{D}_j - \hat{D}_{ave})^2}}$$

・誤差比：
$$1 - \frac{\sum_j |D_j - \hat{D}_j|}{\sum_j D_j}$$

D_j: 地点*j*の退出人数計測値 *D_{ave}*: 平均値
D_h: 地点*j*の退出人数推計値 *D_{h,ave}*: 平均値

図4 対象空間

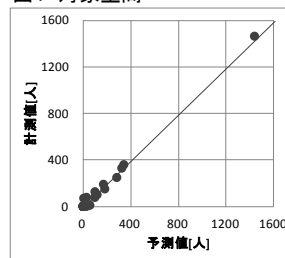


図5 断面通行量の相関

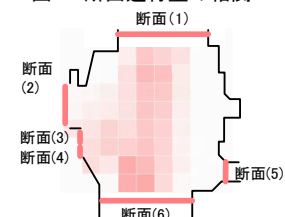


図6 混雑状況 (レーザー計測範囲)



表4 断面通行量の精度

	相関係数	誤差比
8:00~8:10	0.99	0.92
10:00~10:10	0.99	0.89

表5 断面通行量推計値

(8:00~8:10)

-	終点D						計
	断面(1)	断面(2)	断面(3)	断面(4)	断面(5)	断面(6)	
断面(1)	0	3	0	32	0	171	206
断面(2)	341	0	0	56	0	99	497
断面(3)	182	5	0	0	0	282	469
断面(4)	0	0	0	0	0	0	0
断面(5)	29	30	0	0	0	98	156
断面(6)	1439	117	0	324	14	0	1895
計	1991	155	0	413	15	650	3223

既知の値として設定した要素
退出人数の推計値

*1 ベクトル総研
 *2 東日本旅客鉄道
 *3 ジェイアール東日本コンサルタンツ

*1 Vector Research Institute, Inc.
 *2 East Japan Railway Company
 *3 JR East Consultants Company