

## 公共交通乗客配分モデルを用いた情報提供効果分析

京都大学大学院工学研究科 学生員 嶋本 寛  
 京都大学大学院工学研究科 正会員 倉内文孝  
 京都大学大学院工学研究科 フェロー 飯田恭敬

### 1 はじめに

本研究においては、より一層の利便性向上が求められる公共交通の計画評価のための乗客配分モデルを用い、情報提供が行われたときの乗客行動の変化について考察する。

### 2 公共交通乗客配分モデル<sup>1)</sup>

#### 2.1 モデルの概要

本研究で構築する乗客配分モデルは頻度ベースで運行されている公共交通を想定し、道路交通における利用者均衡配分に準ずるものである。利用者は運行頻度や路線網について十分な知識を有すると仮定し、その元で最短所要時間経路を探索するものとした。提案した乗客配分モデルは以下の2点を特徴とする。

#### a) 容量制約条件を明示的に加味している

既存の乗客配分モデルにおいては、車両容量を明示的に考慮したものが少ないが、本研究では、乗客需要がその駅に到着した車両の利用可能容量を超える場合、積み残しが生じることを明示的に考慮した。

#### b) common lines problem<sup>2)</sup>を考慮している

common lines problem とは、頻度ベースの公共交通において、ある乗り場を共有し、目的地に到達可能な路線が複数ある場合、最短所要時間経路が確率的に配分される経路群（hyperpath）となる特徴をいう。本研究では、この common lines problem を考慮している。

#### 2.2 路線分岐確率および期待所要時間

ある乗車駅から降車駅までに複数の路線が運行されているとし、そのうちの路線集合 $K$ に含まれるものを利用すると仮定しよう。また、電車の到着をポアソン到着とする。路線の運行頻度 $f$ と所要時間 $t$ が所与の場合、路線 $i$ を利用する確率 $p_i(f, t)$ および目的地までの期待所要時間 $T(f, t)$ は次のように計算できる。

$$p_i(f, t) = \frac{f_i}{\sum_{k \in K} f_k} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$T(f, t) = \frac{1 + \sum_{k \in K} f_k t_k}{\sum_{k \in K} f_k} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式(1)は運行頻度に準じて乗客は路線に振り分けられることを意味している。

#### 2.3 乗客配分モデルの定式化

本研究では、すべての乗客は式(3)に示す移動に要する時間と乗り場における期待待ち時間の総和として定義される期待所要時間と、満車のために乗車することができない可能性に起因するリスクの総和を最小にするように経路集合を決定すると仮定した。

$$g_p = \sum_{a \in A_p} \alpha_{ap} c_a + \sum_{k \in S_p} \beta_{kp} \cdot WT_{kp} - \theta \ln \left( \prod_{k \in E_p} (1 - q_k)^{\beta_{kp}} \right) \quad \dots\dots\dots (3)$$

ただし、

$c_a$  : アーク $a$ の所要時間

$\alpha_{ap}$  : hyperpath  $p$ がアーク $a$ を通過する確率

$\beta_{ip}$  : hyperpath  $p$ がノード $i$ を通過する確率

$A_p$  : hyperpath  $p$ に含まれるアーク集合

$WT_{ip}$  : hyperpath  $p$ を選択したときにおける期待待ち時間であり、式(2)で $t_k=0$ としたもの

$q_k$  : ある路線、乗り場における乗り損ね確率

$\theta$  : 乗り損ねの危険性に対するパラメータ

である。なお、紙面の都合上詳細は省略するが、式(3)は線形分離可能であり、最適性の原理が満たされるため、ダイクストラ法に準じた解法を適用可能することで最小コスト hyperpath を求めることができる。

乗客配分モデルは、路線別乗り損ね確率  $q$  と路線別リンク交通量  $y$  を未知変数とした相補性問題として、次のように定式化できる。

Find  $(y^*, q^*)$  such that

$$y^* \cdot u(y^*, q^*) = 0, u(y^*, q^*) \geq 0, y \in \Omega \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$q^* \cdot v(y^*, q^*) = 0, v(y^*, q^*) \geq 0, \forall 0 \leq q \leq 1 \quad \dots\dots\dots (5)$$

ただし、

$$u_p(y^*, q^*) = g_p(y^*, q^*) - m_{rs}^* \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$v_{kl}(y^*, q^*) = f_l z_l - x_{w_{kl}} - (1 - q_{h_{kl}}) x_{b_{kl}}, \forall k \in U_l, l \in L \quad \dots\dots\dots (7)$$

$\Omega$  : 交通量保存則を満たす路線別リンク交通量

$z_l$  : 路線 $l$ の車両容量

$x_{w_{kl}}$  : 乗り場  $k$ , 路線  $l$  の車両に既に乗車している乗客数

キーワード 公共交通 乗客配分 容量制約 common lines problem 情報提供

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 Tel 075-753-5126

$x_{b,k}$  : 乗り場  $k$ , 路線  $l$  の車両に乗車しようとしている乗客数  
 $L$  : 路線集合  
 $U_l$  : 路線  $l$  が停車する乗り場の集合

である．式(6)における  $u_{p,r}$  は，ODペア  $rs$  ごととの最小コスト  $m_{rs}^*$  と hyperpath  $p$  のコスト差を示しているため，式(4)は利用者均衡条件となる．また，式(7)の  $v_l$  は路線  $l$ ，乗り場  $k$  を出発した時点での空き容量を表しているため，式(5)は容量制約条件となる．以下では，この相補性問題を逐次平均法を用いて解いた．

### 3 ケーススタディ

#### 3.1 計算条件

計算対象ネットワークとして，図 1 のように駅 AD 間を 2 本の路線が平行して通っており，公共交通サービスは右方向のみ提供されているものとした．駅間の所要時間などは図中に示した通りである．旅客需要は各 OD ペア間で 100(人/分)とした．また，それぞれの乗り場において乗車信頼性を  $1-q_k$  と定義する．

#### 3.2 計算結果

表 1 に配分結果を示す． $\theta$  が大きくなれば，乗り損ねに対する危険性を換算したコストが大きくなり，乗客が乗り損ねる可能性の高い Line を避けたため，駅 A における Line の乗車信頼性が向上している．このように本研究で提案したモデルは，時間通りに到着することの価値を加味した配分モデルとなっている．

#### 3.3 情報提供の効果

基本モデルにおいては次の車両がいつ到着するかわからないとしているが，ここではそれぞれの路線がいつ到着するかを乗り場において情報提供されるものとする．このとき，図 1 のような 2 路線の場合，路線分岐確率は以下ようになる．(ただし， $t_1 - t_2 \geq 0$  と仮定する．)

$$p_1 = \frac{f_1}{f_1 + f_2} \exp(-f_2(t_1 - t_2)), p_2 = 1 - p_1 \dots\dots\dots(8)$$

表 1 に示す結果を情報の有無で比較すると，駅 A では乗車時間の短い Line の乗車信頼性が低下し，Line の乗車信頼性は向上している．これは，情報提供によって，最初に到着した Line に乗車せずに Line に乗車したほうが先に目的地に到着することがわかり，Line の利用者が増加したためである．また，表 2 は出発駅別に式(3)で定義した経路コストの総和を計算したものである．出発駅が C の場合を除いて，情報提供により経路コストの総和が減少し，全体としても 3% の減少となっている．表

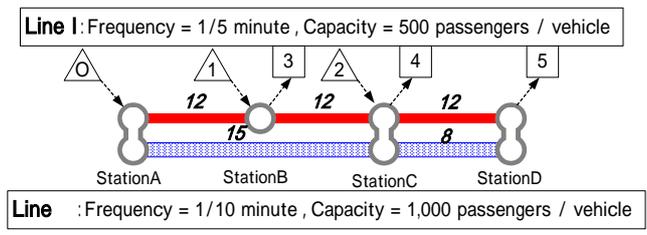


図 1 計算対象ネットワーク

表 1 情報提供の有無による配分結果の比較

Station Line	without information						with information					
	A		B		C		A		B		C	
$\theta=0$	占有人数	0.0	0.0	40.0	30.1	75.0	0.0	0.0	31.2	46.9	52.9	
	乗車人数	100.0	100.0	60.2	66.5	25.1	100.0	100.0	68.9	44.6	46.8	
	降車人数	0.0	0.0	60.0	70.1	25.0	0.0	0.0	68.9	53.1	47.1	
	乗車信頼性	0.600	0.750	0.300	1.000	0.750	0.688	0.646	0.344	1.000	0.851	
$\theta=10$	占有人数	0.0	0.0	36.6	31.7	70.1	0.0	0.0	31.2	46.9	52.9	
	乗車人数	100.2	99.9	63.4	66.6	29.8	100.0	100.0	68.9	44.6	47.1	
	降車人数	0.0	0.0	63.6	68.2	29.8	0.0	0.0	68.9	53.1	47.1	
	乗車信頼性	0.635	0.702	0.317	1.000	0.896	0.688	0.646	0.344	1.000	0.852	
$\theta=20$	占有人数	0.0	0.0	35.0	32.5	68.3	0.0	0.0	31.2	46.9	52.9	
	乗車人数	100.0	100.1	64.8	66.6	31.6	100.0	100.0	68.9	44.7	47.1	
	降車人数	0.0	0.0	65.0	67.3	31.6	0.0	0.0	68.9	53.1	47.1	
	乗車信頼性	0.650	0.684	0.325	1.000	0.949	0.689	0.646	0.344	1.000	0.852	
$\theta=100$	占有人数	0.0	0.0	33.8	33.1	66.8	0.0	0.0	31.2	46.8	53.0	
	乗車人数	100.1	100.1	65.8	66.5	33.2	100.0	100.0	68.4	50.0	47.0	
	降車人数	0.0	0.0	66.3	66.4	33.3	0.0	0.0	68.8	52.9	47.2	
	乗車信頼性	0.663	0.670	0.331	1.000	0.992	0.688	0.646	0.344	1.000	0.940	

表 2 出発駅別総経路コストの比較(  $\theta=10$  )

	出発駅			合計
	A	B	C	
情報なし	8663	6896	1437	16996
情報あり	8265	6734	1442	16441
減少率(%)	4.59	2.36	-0.37	3.27

表 3 OD 別到着確率の比較(  $\theta=10$  )

	OD					
	(A,B)	(A,C)	(A,D)	(B,C)	(B,D)	(C,D)
情報なし	0.64	0.66	0.70	0.32	0.32	0.96
情報あり	0.69	0.66	0.65	0.34	0.34	0.92

3 は OD 別目的地到達確率( 1 度も乗り損ねることなく目的地に到達する確率)であるが，OD(A,C)，(B,C)，(B,D) の到達確率は向上しており，これらの乗客にとって，情報提供は利便性の向上に寄与しているといえる．ところが，OD(A,D)，(C,D) の場合は，情報提供によって到着確率が減少しており利便性が低下したといえる．これは，情報提供によって乗車時間の短い Line に乗客が集中して，Line の混雑が激しくなったためである．このように，情報提供によって，総コスト減少に寄与する可能性もあると同時に，特定の路線に乗客は集中し，結果として乗り損ねる乗客が増加する可能性もあるといえる．

### 4 おわりに

本研究では，容量制約条件と common lines problem を考慮に入れた乗客配分モデルを構築し，モデルの挙動確認を行った．今後の課題としては，時間帯別配分の検討，実際のネットワークへの適用があげられる．

#### 【参考文献】

- 1) Kurauchi, F., Bell, M. G. H. and Schöcker, J.-D. "Capacity Constrained Transit Assignment with Common Lines", *Journal of Mathematical Modeling and Algorithms*, **2-4**, 309-327, 2003.
- 2) Chiriqui, C. and Robillard, P. "Common Bus Lines", *Transportation Science*, **9**, 115-121, 1975.