地点ごとのデマンドバス利用人数に関する研究

経営システム研究室 山本 陽介

1. はじめに

本研究では，中心地と単路線上に存在する居住地を結ぶバス路線を扱い，利用者からの要求を受けて，中心地と居住地を往復して運行するデマンドバスを考える．需要の発生数はポアソン分布を考え，離散時間マルコフ連鎖によるモデルにより期待乗車人数の算出方法を提案する．従来のモデルでは総期待乗車人数をモデル化していたが, 利用者の乗車地点に偏りがないかを調べるために, 本研究では地点ごとにどれだけの利用人数がいるのかを算出し, デマンドバスの詳細な運行状況の把握を目的とする．

2. 運行モデルの設定

バスの運行モデルは，離散時間でバスが動く状況を考え，路線と運行については次の設定で考える．

1. 離散時間システムを考え，中心地点（0 地点）と単路線上（直線とする）に存在する需要発生地点（居住地をあらわす）$(1, 2, \ldots, n)$ が等間隔に設定されている路線を 1 台のバスが単位時間ごとに移動，発車し，バスは1 単位時間で区間を 1 つ進むものとする．またバスの停車時間，乗客の乗降時間は考えないものとする．
2. 時間区間 $[t, t+1)$ の間に発生する地点 j $(j > 0)$ への帰りの需要はパラメータ $\mu_j(t)$ のポアソン過程により発生し，時間区間 $[t, t+1)$ の間に発生する地点 j $(j > 0)$ から中心地への行きの需要はパラメータ $\lambda_j(t)$ のポアソン過程により発生するものとする．(以下では t を省略して λ_j, μ_j と表記する．また $\Lambda = \sum_j(\mu_j + \lambda_j)$ とする.)
3. 各時間間隔 $[t, t+1)$ の間に利用者からの要求を受付け，もっとも早い時刻にきた需要に対して時刻 $t+1$ にバスは運行を開始する．需要を満たした後，新たな需要がなければ，バスは中心地に戻る．
4. 地点 j から中心地に向かう客はバスの現在地によって，中心地から地点 j へ帰ろうとする客は，地点 0 にバスがいるときにのみ，バスを利用する．

3. モデルの定式化

時刻 t でのバスの状態を (i, j_1, j_2, k) とする．i は現在地点，j_1 は第一目的地点，j_2 は j_1 にいったあとの第二目的地点，k は，乗車時間を調整するための待機時間を表す．

4. 状態推移確率

状態推移確率として，$(0, 0, 0, 0)$ からの推移確率を説明する．時間区間 $[t, t+1)$ において，

1. どの要求も発生しない確率は $e^{-\Lambda}$,
2. j 地点への帰りの需要がもっとも早く生じる確率は $(\mu_j/\Lambda)(1 - e^{-\Lambda})$,
3. j_1 地点から中心地への行きの需要がもっとも早く生じる確率は $(\lambda_j/\Lambda)(1 - e^{-\Lambda})$.

各地点における期待乗車人数として，ある状態 (i, j_1, j_2, k) から，予約受付時刻終了までの r 地点における期待乗車人数を $V_t^r(i, j_1, j_2, k)$ で表すと，状態推移確率から次のような式をたてることができる．

$$
\begin{aligned}
V_t^r(0,0,0,0) &= e^{-\Lambda} V_{t+1}^r(0,0,0,0) \\
&+ \sum_{j_1 \neq r} \frac{\mu_{j_1}}{\Lambda}(1 - e^{-\Lambda}) V_{t+1}^r(0, j_1, j_1, 0) \\
&+ \frac{\mu_r}{\Lambda}(1 - e^{-\Lambda})[V_{t+1}^r(0, r, r, 0) + M(r)] \\
&+ \sum_{j_1 \neq r} \frac{\lambda_{j_1}}{\Lambda}(1 - e^{-\Lambda}) V_{t+1}^r(0, j_1, 0, 0) \\
&+ \frac{\lambda_r}{\Lambda}(1 - e^{-\Lambda})[V_{t+1}^r(0, r, 0, 0) + L(r)] \qquad (1)
\end{aligned}
$$

となる．$M(j)$ は中心地から j 地点に帰る期待乗車人数, $L(j)$ は地点 j から中心地に向かう期待乗車人数をあらわす.

5. 結果・考察

地点数を 9, 運行期間を 38, 予約受付期間を 20 として, 地点ごとの期待乗車人数を下記に示す. サービス率は需要に対してどれだけの人数を乗車させたかを表している.

表 1. 全地点の行きと帰りの要求率が一定の場合

地点	期待乗車人数	需要	サービス率 (%)
1	1.37	31.5	4.3
2	1.26	31.5	4.0
3	1.16	31.5	3.7
4	1.05	31.5	3.3
5	0.94	31.5	3.0
6	0.81	31.5	2.6
7	0.68	31.5	2.2
8	0.53	31.5	1.7
9	0.39	31.5	1.2
合計	8.23	283.5	2.9

表 1 より地点 9 は地点 1 に比べてサービス率が約 1/3 に低下しており, このことから一般的に遠くなるほど期待乗車人数とサービス率は減少する傾向にあるといえる.