予約を考慮したデマンドバス運行モデルに関する研究

経営システム研究室 武本健助

1. はじめに

本研究では，利用者からの予約を受けて，中心地と集落間を運行するデマンドバスを考える．要求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って期待乗車人数の算出方法を提案する．また，従来の研究である利用者からの要求を受けて運行するデマンドバスの運行モデルと比較し，期待乗車人数の変化を見て予約システムの効果を調べる．

2. 運行モデルの設定

離散時間でバスが動く状況を考え，バス路線と運行については以下の設定とする．

中心地点 (0 地点) と単路線上に存在する要求発生地点 (居住地をあらわす) を数直線で表わす．要求発生地点を数直線上の $(1, 2, \ldots, n)$ に設定する．この路線を 1 台のバスが運行する場合を考える．離散時間システムを考え $t = 0$ から運行を始め, $t = 0, 1, 2, \ldots, \bar{t}$ では運行の要求を受け付け ($\bar{t}$ は最終時刻), その後, 乗車中の利用者がいなくなるまで, サービスを行う．バスは 1 単位時間で 1 区間を進み，バスの発車, 移動は単位時間ごとに行われ, バスの停車時間や, 利用者の乗車時間は考えないものとする．

要求は居住地から中心地に向かう行きの要求のみを考え, 居住地間の移動は無視するものとする．またバスは要求処理のための移動時間以外は中心地で待機する．要求の発生については以下を仮定する．

1. 時間間隔 $[t, t+1)$ の間に発生する地点 $j(j > 0)$ から中心地への行きの要求は, 基準となる予約なしのシステムでは $\lambda_j(t)$ のポアソン過程により発生し, 本研究の予約ありのシステムでは, m 期間前（最大値 $\overline{m}$）の予約はパラメータ $p_j^m(t)\lambda_j(t)$ のポアソン過程により発生する．予約により，予約のない場合より，要求が増える場合には $\sum_{m=0}^{\overline{m}} p_j^m(t) > 1$ となる．
2. 各時間間隔 $[t, t+1)$ の間に利用者からの要求を受け付け, もっとも早い時刻にきた m 期間前の予約に対して中心地で m 期間待機後の時刻 $t+m+1$ に移動を開始する．また，すでに入っている予約に差支えがなければ，待機時間の間に他の要求を受け付けることができるものとする．
3. 時間間隔 $[t, t+1)$ の間に m 期間前の予約を受け付けられた地点 j の利用者は, バスが中心地を $t+m+1$ に発車し, $t+j+m+1$ 時間後にバスに乗り，$t+2j+m+1$ に中心地に到着することを想定して行動するものとする．そのため, 他の利用者を乗せるために回り道や待ち時間を許さないものとする．
4. 地点 j の利用者は, バスが中心地から出発する以外に, 他の利用者を乗せた運行中のバスを利用する場合がある．j 地点で m 期間前の予約をいれたとき，運行中のバスが $t+j+m+1$ 時間後に地点 j を通過するとき，利用者はそのバスを利用する，ただし，$t+j+m$ 時間後に通過する場合は確率 α で利用するものとする．遅れて到着する場合や，2 期間以上早く到着する場合には利用しないものとする．

3. 運行モデルの定式化

本研究では 1 期間前までの予約を受け入れる場合を考える．バスの運行をマルコフ過程を用いて表現するために，時刻 t でのバスの状態を (i_1, j_1, j_2) で表わす. i_1 はバスの現在地点, j_1 は現在の運行目的地点, j_2 は 1 期間待機後に出発する予約に対する目的地点を表わす.

$V_t(i_1, j_1, j_2)$ を時刻 t から $\bar{t}$ までにサービスを受ける期待客数とすると．マルコフ過程により，漸化式でサービス開始の時刻 0 からサービス終了までの期待利用者数を計算できる．

4. 結果および考察

地点数が 6 でサービス時間が 30 時間の例を乱数を利用して作成し，従来の予約のない場合（直前の確率 1）と，1 期間前の予約が 0.5 （直前 0.5）の確率で発生する場合と 1 期間前の予約が 1 の確率（直前 0）で発生する場合を比較した．

	従来	予約 0.5	予約 1
予約 1 の比率	$p_j^1 = 0$	$p_j^1 = 0.5$	$p_j^1 = 1$
予約 0 の比率	$p_j^0 = 1$	$p_j^0 = 0.5$	$p_j^0 = 0$
期待乗車人数	25.033	24.195	24.22

1 期前の予約の比率が増えると期待乗車人数は減ることがわかった．これは予約により，バスの運行が制限されることが多くなるためと考えられる．