

IV-248 ブース間に待ちスペースを持つ縦列収受方式の処理能力に関する研究

名古屋工業大学 学生員 ○長瀬 正紀

名古屋工業大学 正 員 藤田 素弘

名古屋工業大学 正 員 松井 寛

1. はじめに

都市高速道路のボトルネックの1つに料金所がある。縦列収受方式とは1レーンに2ブースを設置して行う料金収受形態で、拡張の難しい高架上の本線料金所などで取り入れられ、渋滞緩和に効果をもたらしている。縦列収受方式では2つのブース間の距離や車の誘導方法によって処理能力が変わり、これを明らかにするとともに最も効率的なものを見つけることが必要とされる。

2. ブース間に待ちスペースがある場合の処理能力

渋滞中に相当する行列が途切れのないような飽和状態を想定し、サービス時間はランダム(指数サービス)であるとして、待ち行列理論¹⁾を用いて考える。この状態では行列は無限に続いていると考えられ、窓口の状態はサービス終了のみにより変化する。1つのブースでのサービス率を μ とすると、十分小さい時間間隔 Δt の間に1台のサービスが終わる確率は $\mu \Delta t$ となる。 Δt の間に2台のサービスが終わる確率は無視できるものとする。

待ち行列理論によるブース間に待ちスペースがない場合の処理能力は、指数サービスを仮定したとき単一窓口の場合の1.33倍²⁾になる。本稿ではブース間の待ちスペースが1台分、2台分の場合について考察する。

2-1 ブース間待ちスペースが1台分の場合

ブース間に1台分の待ちスペースがある場合、2通りの運用が考えられる。いまここで、後ブースのサービスが終わり瞬間的に両ブースが空になった状態を考える。その後の1台目は前ブースでサービスを受けることになり、ブース間待ちスペースは空けたままで2台目に後ブースでサービスを受けさせるものを運用①、2台目を待ちスペースに誘導し3台目に後ブースでサービスを受けさせるものを運用②とする。サービス中またはサービス待ちの車を1、サービス済の車を2とし、後(手前)ブース、待ちス

ペース、前ブースの順に表すと、運用①では、100、101、121、221の4通り、運用②では、100、101、111、121、211、221、の6通りの状態が生じる。運用①での窓口状態の変化と確率を表-1に示す。

表-1 窓口状態の変化とその確率(運用①)

$t \rightarrow t + \Delta t$	100	101	121	221
100	$1 - \mu \Delta t$	$\mu \Delta t$	$\mu \Delta t$	
101	$\mu \Delta t$	$1 - 2\mu \Delta t$		$\mu \Delta t$
121		$\mu \Delta t$	$1 - 2\mu \Delta t$	
221			$\mu \Delta t$	$1 - \mu \Delta t$

表-1より、運用①での定常状態の式は次のように表される。

$$\begin{aligned}
 p_{100}(t + \Delta t) &= p_{100}(t)(1 - \mu \Delta t) \\
 &\quad + p_{101}(t)\mu \Delta t + p_{121}(t)\mu \Delta t \\
 p_{101}(t + \Delta t) &= p_{101}(t)(1 - 2\mu \Delta t) \\
 &\quad + p_{100}(t)\mu \Delta t + p_{221}(t)\mu \Delta t \\
 p_{121}(t + \Delta t) &= p_{121}(t)(1 - 2\mu \Delta t) \\
 &\quad + p_{101}(t)\mu \Delta t \\
 p_{221}(t + \Delta t) &= p_{221}(t)(1 - \mu \Delta t) \\
 &\quad + p_{121}(t)\mu \Delta t
 \end{aligned}$$

これらの式より、各状態の発生確率は、

$$p_{100} : p_{101} : p_{121} : p_{221} = 3 : 2 : 1 : 1$$

と求まる。状態101、121では2単位、他は1単位がサービス中であることを考慮すると、ある時間断面での平均サービス台数は、

$$\{3 + 1 + 2(2 + 1)\} / (3 + 2 + 1 + 1) = 10 / 7$$

となる。単一窓口ではサービス数は1台であるので、処理能力は1.43倍になるといえる。

運用②についても同様に考えると、処理能力は1.43倍となり、運用①の場合と同じ値となった。すなわち、待ちスペースが1台分の場合、誘導方法に関わらず結果は同じということである。

2-2 ブース間待ちスペースが2台分の場合

ブース間に2台分の待ちスペースがある場合、3通りの運用が考えられる。待ちスペース1台分の場合と同様に瞬間的に両ブースが空になったことを考え、その後の1台目は前ブースでサービスを受ける

としたとき、待ちスペースを空け2台目が後ブースでサービスを受けるものを運用①、2台目を待ちスペースに誘導し3台目に後ブースでサービスを受けさせるものを運用②、2・3台目を待ちスペースに誘導し4台目に後ブースでサービスを受けさせるものを運用③として、同様に処理能力を求めた。

処理能力は、運用①では単一窓口に比べて1.47倍、運用②では1.54倍、運用③では1.50倍という結果となった。

3. 実際の縦列収受方式の観測から

名古屋地区では名古屋高速道路の集約料金所の一部で縦列収受方式を導入しており、2つのブース間には乗用車約2台分のスペースがある。ブース間には誘導員が立ち、車を誘導している。95年10月30日と12月21日の2回の観測によると、10月30日は運用②に近く、12月21日は運用①に近い形で誘導がされていた。特に誘導方法は決まっておらず、臨機応変に対応しているようである。この観測による、渋滞時5分間の平均処理台数を表-2に示す。

表-2 渋滞時平均5分間処理台数

観測日	10/30		12/21	
ブース(番号)	一般(6)	縦列(5)	縦列(4)	縦列(5)
平均5分間台数	41.5	55.8	48.6	50.2
10月30日一般ブースとの比	1	1.3446	1.1711	1.2096

表-2によると、縦列収受方式導入による処理台数は1.2～1.3倍程度にとどまっており、待ち行列理論で求めた値と異なっている。これは、サービス時間に移動時間を含むため、実際には移動距離によってサービス時間が変わることによる。待ちスペースが2台分の縦列収受方式では、最大で4台分(後ブースの直後の車が前ブースでサービス)の移動が必要となり、全て1台分の移動で済む単一窓口の場合に比べ平均サービス時間が長くなると考えられる。

12月の観測時に縦列収受導入レーンのビデオ撮影を行った。車が途切れなく続くのは約51分間で、この間の処理台数は496台であった。サービスを受ける窓口に移動可能になってからサービスが終わるまでをサービス時間とし、この496台を移動距離により分類した内訳を表-3に示す。また、ビデオから計測した移動距離ごとの平均サービス時間を表-3に併記する。12月の観測ではほぼ運用①に近い形で車の誘導がされており、3台分移動(後ブースのサ

ービスが終わり次の2台が前に詰めたとき3台目が後ブースでサービス)の車はなかった。ただし、後ブースの直後の車が前ブースでサービスする場合で移動中に前車のサービスが終わった場合の移動距離は、それが移動直後なら4台分、それ以外は2台分とした。

表-3 移動距離の内訳

移動距離	台数	平均サービス時間(秒)	総所要時間(秒)
1台分	15	7.3	109.5
2台分	286	8.6	2459.6
4台分	195	10.6	2067.0
合計	496		4636.1

全体の平均サービス時間を求めると9.35秒であり、この値を単一窓口の場合に当てはめると51分間の処理台数は327台となる。この値を用いると、縦列収受方式の処理能力は1.52倍となり、待ち行列理論で求めたものと近い値になる。

4. まとめ

本研究より得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 移動時間の違いを無視した場合、単一窓口に比べ、ブース間に待ちスペースがない場合は33%、1台分の待ちスペースがある場合は43%、2台分の待ちスペースがある場合は47～54%の処理能力の向上が考えられる。
- (2) ブース間に2台分の待ちスペースがある場合、車の誘導方法により処理能力が変わり、2台を前に送り3台目が後でサービス(待ちスペースで1台待たせる)という方法が最も効率が良い。
- (3) 実際の処理能力について、移動距離を考慮すれば待ち行列理論による理論値とほぼ等しくなる。

今後の課題として、サービス時間分布や移動距離に関して深く分析し、研究に反映させることが挙げられる。

最後に、本研究にあたり名古屋高速道路公社の方々にお世話になりました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 宮脇・長岡・毛利：待ち合わせ理論とその応用，日刊工業新聞社，1963
- 2) 長瀬・松井・藤田：縦列収受方式の処理能力に関する研究，第50回年次学術講演会概要集 IV-17，1995