バスターミナルの計画運営の理論に関する研究

正員　毛　利　正　光*

STUDY ON THE THEORY OF PLANNING AND OPERATIONS OF BUS TERMINALS

Masamitsu Mōri, C.E. Member

Synopsis :

We all know that exordinal increases of motor traffic are recently occuring throughout the World and weight of bus transportation in the field of human transportation is increasing year by year especially in large cities, then such facilities as the railroad become to be needed for the sake of the safety and convenience of customers, namely this is so-called Bus Terminal or Bus Centre.

But definite methods of planning of these are not presented till now. Then, the author has been studying theoretical researches on the methods of planning and operations of these facilities, and presented fundamental theory on the computation of capacity of bus platform, plan of car operating and intensities of drive, etc., and show several numerical examples in this paper.

要　旨　最近の自動車交通の激増は世界共通の傾向であつて，とくに大都市における人員輸送の面におけるバスのもつ比重は年々激増し，このため利用者の安全と便宜を計るため，鉄道における駅のような施設を必要とするようになつてきた。すなわちバスターミナル，バスセンターといわれるものがこれであるが，これらの施設の計画についての明解な方式は，いまだ明らかにされていない。このためこれらの施設の計画，運営の方法について理論的解析を行い，バスプラットホームの容量の算定，配車計画，運転強度などに関する基礎理論を与え，2，3 の計算例を示したものである。

1. ま　え　が　き

最近の自動車交通の激増は世界共通の傾向であつて，道路網の整備拡充せられるに従つて，自動車の利用される度数はますます増加の度を加えつつあることは周知のことである。これは自動車のもつ迅速，利便，不断性によるもので，今日ではすでに交通機関としてすべての面で最も重要な地位を占めている。

大都市における人員輸送の面をみると，今日なお鉄道，軌道による輸送は大なる比重をもつているが，自動車によるものは年々加速度的に増加し，都市交通機関として欠くことのできないものとなつている[6]。このため交通機関としての自動車を管理し，利用者の便宜と安全を計るとともに都市交通の緩和を計るための対策をたてることが緊急の重要事となつてきた。すなわち自動車に対しても鉄道における駅舎，乗降場のような施設を必要とすることになるので，今日バスセンター，バスターミナルといわれる施設の建設が行われるようになつてきた。しかるにこれらの施設の計画についての明解な方式は，いまだ示されていない。このためこれらの施設を計画立案並びに運営するに当つての基本となる点について考察してみることとした。

先ずバスターミナルの持つべき機能としては，車の出入運行に支障のない構造配置であるとともに利用者の乗降に便利になつていることである。またこれらの施設を永久構造物特に地下構造などとして計画設計する場合には，かなり綿密な調査に基づいて将来の見通しを立てて慎重に立案計画する必要がある。

バスターミナルに必要な施設としては各種の付帯的な設備まで考慮すれば，いろいろなものが考えられるが基本的なものとしては

（1）　乗降用プラットホーム

（2）　乗車専用プッラトホーム

（3）　降車専用プラットホーム

（4）　取付道路その他配車に必要な空地及び施設

などである。もちろん小規模なものであれば，乗降用ホームのみのものも考えられるが，このようなものでは，

*　大阪市立大学講師，理工学部土木教室

中間駅，停留所などと全く同一の性格のものとして考究することができる。かなりまとまつた規模の施設としては，乗降客の便利と安全かつ混雑防止のため，それぞれ目的に応じた専用のホームを持つように配置せられることが多い。しかして乗車ホームの所要面積配置については利用者数に応じて，なるべく積み残しなく，乗車効率のよい配車計画をたてて，運転系統の配置及び発車回数を決めればよいことになる。このとき乗客へのサービスを向上さすためには配車台数または単位時間当りの運転回数を大とするようにすればよいことになる。

次にきめられた運転ダイヤにより各運転系統に応じて，それぞれホームが利用されるのであるが，この際車の方から考えた場合のホームの利用効率並びに容量算定，配車計画，運営について考察してみることとする。

2. バス乗降用プラットホームの利用効率

利用者の乗降を同一ホームで行う場合で，これは中間駅，停留所における車の到着出発に関して全く同様な考えが成立する。しかして一般にホームの利用方法とし次の2つの場合が考えられる。すなわち

(i) 各運転系統が独立の発着場所を占め，他の系統と独立して利用する場合

(ii) 何系統かが，ある発着場を共用して，どれか空いている場所を利用する方法

が考えられる。しかして (i) の場合は各系統について全く同じ考え方が成立するから1つの系統について考えれば十分である。すなわち (i) について各系統の運転ダイヤはそれを利用する乗客数に応じてきわめられるが，一般に1つの系統について1台の車の単位時間当りの運転回数（運転強度）を m，配車全数を L 台とすると $(t, t+h)$ 時間内に車がホームに入つてくる確率は $L\cdot m\cdot h+0(h)$ で，乗客へのサービスを向上さすためには $m\cdot L$ を大，すなわち単位時間当りの配車回数を大とすればよく，m は1台当りのホームへの入量の強度で一般には乗客数とバスの収容人員（定員）との関係からきめられる。

しかしてホームにて停車して発車するまでに要する時間は車の発車回数が大となると，停車時間を短くすることもあるが，乗客の多少，車の度数にかかわらず一定の平均値をもつと仮定する。すなわち $(t, t+h)$ 時間内に停車用務を終えて発車する確率は $l\cdot h+0(h)$ と考える。ここに l は正の定数で平均停車時間（平均客扱時間）の逆数で与えられる。しかるときは $L\cdot m/l$ はホームの平均利用状態を表わす[1)2)]。

しかしてある系統の配車総数が L 台で，その系統専用のホームには同時に1台しか着けないものとする。すなわち個々の車は同一のパラメーター m, l をもち，ホームの容量は1台分であることになる。いま運転のため1周して，このホームに入る希望の車と停車客扱中の車とが n 台である状態を E_n で表わすと，状態 $E_n (1\leqq n\leqq L)$ では1台の車がホームで停車中で，$n-1$ 台は待機の状態となる。状態 E_0 ではすべての車は運転中でホームには車はいないことになる。この状態の確率過程に対しては駐車場計画に関する基礎理論[1)]で述べたと同様な考えが成立するから次の基礎微分方程式が成立する

$$P_n'(t)=-(m_n+l_n)P_n(t)+m_{n-1}P_{n-1}(t)+l_{n+1}P_{n+1}(t) \quad (n\geqq 1) \cdots\cdots(1)$$

$$P_0'(t)=-m_0P_0(t)+l_1P_1(t) \quad (n=0) \cdots\cdots(2)$$

しかしてこの方程式は次の係数をもつたものとなる

$$\left.\begin{array}{ll} m_0=Lm & l_0=0 \\ m_n=(L-n)m & l_n=l \quad (0<n\leqq L) \end{array}\right\} \cdots\cdots(3)$$

したがつて方程式 (1)(2) から次のようになる

$$\left.\begin{array}{l} P_0'(t)=-LmP_0(t)+lP_1(t) \quad (n=0) \\ P_n'(t)=-\{(L-n)m+l\}P_n(t)+(L-\overline{n-1})mP_{n-1}(t)+lP_{n+1}(t) \quad (1\leqq n\leqq L-1) \\ P_L'(t)=-lP_L(t)+mP_{L-1}(t) \quad (n=L) \end{array}\right\} \cdots\cdots(4)$$

この連立微分方程式は有限個であるから普通に解くことができる。すなわち極限分布 $(\lim_{t\to\infty} P_n(t)=p_n)$ が存在して $P_n'(t)=0$ とおいた方程式を満足させる

$$\therefore \left.\begin{array}{l} Lmp_0=lp_1 \\ \{(L-n)m+l\}p_n=(L-n+1)mp_{n-1}+lp_{n+1} \quad (1\leqq n\leqq L-1) \\ lp_L=mp_{L-1} \end{array}\right\} \cdots\cdots(5)$$

これから次の回帰公式が成立する

$$(L-n)mp_n=lp_{n+1} \cdots\cdots(6)$$

$n=0$ のときは式 (6) は式 (5) の第1式となる，式 (6) の n を $n-1$ でおきかえたものが成り立つとすれば $(L-n+1)mp_{n-1}=lp_n$ これを式 (5) の第2式に代入すれば式 (6) をうる。また $n=L-1$ を代入すれば式 (5) の第3式となる。したがつて式 (6) から次式を得る

$$\left.\begin{array}{l} p_n=(L)_n\left(\dfrac{m}{l}\right)^n p_0 \\ \text{ここに}\quad (L)_n=L(L-1)(L-2)\cdots\cdots(L-n+1) \end{array}\right\} \quad \cdots\cdots(7)$$

しかして p_0 の値は $\Sigma p_n=1$ からきめることができる。また $1/p_0=\Sigma p_n/p_0$ であるから p_n/p_0 を計算してその和の逆数として p_0 を求めることもできる。

次に数値計算例を示すこととする。

計算例I　今1周に1時間を要する運転系統に 12 台の車を配車する（5分間に1台の割合となる）とすれば $m=1$, $L=12$ でこの場合ホームでの平均停車時間を3分とすれば，$1/l=0.05$ 時間 ∴ $m/l=0.05$ この場合の p_n の値を示すと表—1 のようになる。

表—1　$L=12$ 台，$m=1$，$1/l=3$ 分$=0.05$，ホーム容量1台分の場合の極限確率 p_n

Table-1　Gives a numerical illustration for limiting probabilities p_n in the case of $L=12$ vehicles, drive intensity $m=1$, mean service time $1/l=3$ minutes and capacity of platform = one space.

ホーム利用希望台数 n	利用台数	待機台数 $n-1$	p_n/p_0	p_n
0	0	0	1.0	0.45179
1	1	0	0.60	0.27109
2	1	1	0.33	0.14909
3	1	2	0.165	0.07455
4	1	3	0.07425	0.03355
5	1	4	0.02970	0.01342
6	1	5	0.010395	0.00470
7	1	6	0.0031185	0.00141
8	1	7	0.0007796	0.00035
9	1	8	0.0001559	0.00007
10	1	9	0.0000233	0.00000
			Σ2.213422	

しかして確率 p_0 はホームに車がいなくてあいている確率であると考えてよい。従つて例Iでは約 45% はあいていることになる。

つぎに待機状態にある車の平均台数は

$$w=\sum_{n=2}^{L}(n-1)p_n \quad \cdots\cdots(8)$$

であらわされる。この値を求めるために式 (6) を変形して

$$Lmp_0=lp_1$$
$$Lmp_n-m(n-1)p_n-mp_n=lp_{n+1} \quad (n=1,2,\cdots\cdots,L-1)$$
$$Lmp_L-m(L-1)p_L-mp_L=0$$

これを加え合せると $\sum_{n=0}^{L}p_n=1$ なることに注意して

$$Lm-m\sum_{n=1}^{L}(n-1)p_n-m\sum_{n=1}^{L}p_n=l\sum_{n=1}^{L}p_n$$

$$\therefore\quad Lm-mw-m(1-p_0)=l(1-p_0)$$

$$\therefore\quad w=L-\frac{m+l}{m}(1-p_0) \quad \cdots\cdots(9)$$

を得る。この場合単位時間にやつてくる車の平均台数 mL で割れば1台当りの待合せ状態にある割合は

$$\bar{w}=\frac{w}{mL}=\frac{1}{mL}\sum_{n=2}^{L}(n-1)p_n \quad \cdots\cdots(10)$$

にて与えられる。計算例Iでは $w=0.48759=12\times0.04063$ となる。従つて 0.04063 は1台当りの待機状態にある平均の割合となる。

つぎに (ii) の場合で，何系統かの車が同一ホームを共用するとして，どの系統でもどれかあいた場所を利用するものとし，(i) の例にならつて，総数 L 台の車に A 台分のホーム ($L>A$) があるとし，他の仮定は (i) の場合と同じであるとすると，$n\leqq A$ なるときは状態 E_n は n 台の車が停車利用中で待機中の車はなく，$(A-n)$ 台分のホームがあいていることになる。$n>A$ ならば状態 E_n は A 台の車が停車利用中で $(n-A)$ 台の車が待機中であることになる。この場合の基礎微分方程式の係数は次のようになる

$$\left.\begin{array}{ll} m_0=Lm, & l_0=0 \\ m_n=(L-n)m, & l_n=nl \quad (1\leqq n\leqq A) \\ m_n=(L-n)m, & l_n=Al \quad (A\leqq n\leqq L) \end{array}\right\} \cdots\cdots(11)$$

従つて基礎微分方程式は次のようになる

$$\left.\begin{array}{l} P_0'(t)=-L\cdot m\cdot P_0(t)+lP_1(t) \\ P_n'(t)=-\{(L-n)m+nl\}P_n(t)+(L-\overline{n-1})m\cdot P_{n-1}(t)+(n+1)lP_{n+1}(t) \quad (1\leqq n<A) \\ P_n'(t)=-\{(L-n)m+Al\}P_n(t)+(L-\overline{n-1})m\cdot P_{n-1}(t)+AlP_{n+1}(t) \quad (A\leqq n<L) \end{array}\right\} \cdots\cdots(12)$$

極限 $t\to\infty$ ならしめたときの $P_n(t)\to p_n$ は次の方程式を成立させる

$$\left.\begin{array}{l} L\cdot mp_0=lp_1 \\ \{(L-n)m+nl\}p_n=(L-n+1)m\cdot p_{n-1}+(n+1)lp_{n+1} \quad (1\leqq n<A) \\ \{(L-n)m+Al\}p_n=(L-n+1)mp_{n-1}+Alp_{n+1} \quad (A\leqq n<L) \end{array}\right\} \cdots\cdots(13)$$

式 (13) の第1式から $p_1/p_0=mL/l$ を得る。第2式から帰納法によつて

$$(n+1)lp_{n+1}=(L-n)mp_n \quad (n<A)$$

第3式から

$$Al\cdot p_{n+1}=(L-n)mp_n \quad (A\leqq n<L) \cdots\cdots(14)$$

が得られる。これらの方程式から p_n/p_0 を順次求めて

$$\left.\begin{array}{l} p_n=\dfrac{(L)_n}{n!}\left(\dfrac{m}{l}\right)^n p_0 \quad (n\leqq A) \\ p_n=\dfrac{(L)_n}{A!A^{n-A}}\left(\dfrac{m}{l}\right)^n p_0 \quad (A<n\leqq L) \end{array}\right\} \cdots\cdots(15)$$

が導かれる。しかして $\Sigma p_n=1$ なるように p_0 を定めると p_n の値が求められる。次に計算例を示すと

計算例II　個々の車は計算例Iの場合と同一の特性 $m/l=0.05$ を有し，同時に利用し得るホームのスペースは3台分 ($A=3$) で，3系統で共用し，総数 $L=40$ 台であるとする。この計算結果は表-2 に示す通りである。

表-2　$L=40$ 台，$m/l=0.05$，$A=3$ 台分の場合の確率 p_n

Table-2　Probabilities p_n for the case $L=40$, $m/l=0.05$, $A=3$.

ホーム利用希望台数 n	利用台数	待機台数 $n-A$	あいている場所	p_n/p_0	p_n
0	0	0	3	1.0	0.12523
1	1	0	2	2.0	0.25046
2	2	0	1	1.95	0.24420
3	3	0	0	1.235	0.15466
4	3	1	0	0.761583	0.09537
5	3	2	0	0.456371	0.05715
6	3	3	0	0.266554	0.03338
7	3	4	0	0.151472	0.01897
8	3	5	0	0.083076	0.01040
9	3	6	0	0.044307	0.00555
10	3	7	0	0.015271	0.00191
11	3	8	0	0.011446	0.00143
12	3	9	0	0.005532	0.00069
13	3	10	0	0.002582	0.00032
14	3	11	0	0.001162	0.00015
15	3	12	0	0.000503	0.00006
16	3	13	0	0.000210	0.00003
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
40	3	37	0	⋮	
				Σ7.985069	

計算例I，IIを比較してみると次のようなことがわかる。例IIでは車の総数 $L=40$ で，ホームの容量 $A=3$ であり，従つて例Iの場合に比べればホーム1台分当り処理すべき車の数は 12 台から 13 1/3 台に増加している。それにもかかわらず車は有効にホームを利用しうることがわかる。次にいまわれわれは車の損失率を

$$\frac{w}{L}=\frac{\text{待機中の車の平均台数}}{\text{車の総数}} \cdots\cdots(16)$$

で，ホームの損失率を

$$\frac{\rho}{A}=\frac{\text{あいているホームの平均数}}{\text{ホームの容量}} \qquad \cdots\cdots(17)$$

で定義することにすると，実用上確率 $P_n(t)$ とその極限 p_n とを同一に考えてもよく，そのときは計算例IIの場合には，式 (8) に準じて

$$w=\sum_{n=A+1}^{L}(n-A)p_n=\sum_{n=4}^{40}(n-3)p_n=p_4+2p_5+3p_6+\cdots\cdots+37p_{40} \qquad \cdots\cdots(18)$$

また

$$\rho=\sum_{n=0}^{A}(A-n)p_n=\sum_{n=0}^{3}(3-n)p_n=3p_0+2p_1+p_2 \qquad \cdots\cdots(19)$$

にて計算することができる。例I，IIについて計算結果を比較したものが**表—3** であつて，例IIの方が限られた場所を有効に利用できることがわかる。

表—3 計算例による利用効率の比較

Table-3 Comparison of efficiencies of two systems discussed in Examples.

	計算例I	計算例II
配車総数 (L)	12 台	40 台
ホームの容量 (A)	1	3
ホーム1台分当りの処理台数	12 台	13 1/3台
車の損失率*	0.0406	0.0127
ホームの損失率	0.4518	0.3736

* この計算において例IIでは $n>16$ なる場合 p_n はきわめて小ではとんど0に近くなるので $n>16$ なる値は0とした近似値である。

しかして実際上幾つもの運転系統で同一ホームを混用することは乗客に取つて混雑を引き起し，運転の円滑を期し難くなるから比較的運転度数の小なるときとか，ごく小数の系統が組合せられるだけであつて，小規模のもの，中間駅的なものについて，上記計算が適用されることが多いと考えられる。大規模のものとなるとすでに述べたように，乗車，降車専用のホームに作られるようになるが，全体の構造としては，ホームの利用上将来の系統の変更組合わせにかなり柔軟性をもたせ得るような機構配置に計画することが望ましいと考えられる。つぎに主として降車専用ホームについて考慮してみることとしたい。

3. 降車用プラットホームの容量と運営計画

かなり大規模なバスターミナルになると，それぞれ運転系統別に専用の乗車ホームを占有するような配置が行われるが，降車専用ホームについては，多くの系統がこれを共用する形式を取る。一般に停車時間が短かくてすむため比較的小さい容量のもので十分な場合が多い。この場合に必要な容量について考察してみることとする。

(a) ホーム容量と配車総数，運転強度及び平均客扱時間との関係

いま k 個の系統の車がホーム容量A台分の降車専用ホームを共用するとして，k 個の個々の系統に配車される台数を $L_1, L_2, \cdots\cdots L_k$ とし総数を L 台とする。すなわち

$$L=\sum_{i=1}^{k}L_i=L_1+L_2+\cdots\cdots+L_k \qquad \cdots\cdots(20)$$

個々の系統における車の運転強度（単位時間当りの運転回数）を $m_1, m_2, \cdots\cdots m_k$ とすると，単位時間当りこのホームに入つてくる車両の強度 M は次式で与えられる

$$M=\sum_{i=1}^{k}L_i m_i=L_1m_1+L_2m_2+\cdots\cdots+L_k\cdot m_k \qquad \cdots\cdots(21)$$

M を L で割つた値を等価運転強度 $\bar{m}$ ということにすると

$$\bar{m}=M/L=\Sigma L_i m_i/\Sigma L_i \qquad \cdots\cdots(22)$$

すなわち全体として L 台の車が $\bar{m}$ なる運転強度で操作されていると考えられることになる。従つてこのホームには平均値を $M=L\cdot\bar{m}$ とするポアッソン分布に従つて車が到着すると考える[3]と，この場合2の (ii) におけると全く同様な考え方が成立するから，このホームにおける平均客扱時間を $1/l$ とすると式 (11) に従つて

$$\left.\begin{aligned} &m_0=\bar{m}L=M=\Sigma L_i m_i, && l_0=0 \\ &m_n=(L-n)\bar{m}, && l_n=nl \quad (1\leqq n\leqq A) \\ &m_n=(L-n)\bar{m}, && l_n=Al \quad (A\leqq n\leqq L) \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots(23)$$

と考えればよいから，(ii) の場合と同じように解くことができて

$$\left.\begin{aligned} p_n&=\frac{(L)_n}{n!}\left(\frac{\bar{m}}{l}\right)^n p_0 && (n\leqq A) \\ p_n&=\frac{(L)_n}{A!\,A^{n-A}}\left(\frac{\bar{m}}{l}\right)^n p_0 && (A\leqq n\leqq L) \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots(24)$$

を得る。しかるときはホームに直ちに取りつけない事態の起る確率 Φ' は次式で与えられる

$$\Phi'=\sum_{n=A}^{L}p_n=\frac{A^A}{A!}p_0\sum_{n=A}^{L}(L)_n\left(\frac{\bar{m}}{Al}\right)^n$$

上式を計算するのに

$$\frac{p_{n+1}}{p_n}=\frac{L-n}{A}\left(\frac{\bar{m}}{l}\right)$$

を考えると，実際上今考えている $n>A$ なる状態の生ずる場合に n が A の2～3倍をこえる確率はきわめて小さい一このことは計算例IIからもわかる一かかる場合を考えれば十分であるから実用上

$$\frac{L-n}{A}\left(\frac{\bar{m}}{l}\right)\doteqdot L\left(\frac{\bar{m}}{Al}\right)=\frac{M}{Al}$$

と考えてよい。したがつて Φ' は $L(\bar{m}/Al)$ を公比とする等比級数と考えて

$$\Phi'=\frac{A^A}{A!}p_0\frac{(L)_A\left(\frac{\bar{m}}{Al}\right)^A\left\{1-\left(L\frac{\bar{m}}{Al}\right)^{L-A+1}\right\}}{1-L\frac{\bar{m}}{Al}} \qquad \cdots\cdots(25)$$

すなわち上式を $L,A,\bar{m},l$ のすべての値について計算しておけば配車計画に応じた A の値，あるいは A, L のわかつたときの配車運転計画を決めることができる。この考え方は乗降用，降車用ホームのいずれの場合にも容量算定に使用することができる。しかして実用上 $L\gg A$ で，$L\bar{m}/Al<1$ なるように計画されるから Φ' は近似的に次式で計算されることになる

$$\Phi'\doteqdot\frac{(L)_A\left(\frac{\bar{m}}{l}\right)^A}{(A-1)!\,(A-L\bar{m}/l)}p_0 \qquad \cdots\cdots(25')$$

この場合 p_0 は次式で計算される

$$\frac{1}{p_0}\doteqdot\sum_{n=0}^{A-1}\frac{(L)_n}{n!}\left(\frac{\bar{m}}{l}\right)^n+\frac{(L)_A(\bar{m}/l)^A}{(A-M/l)(A-1)!} \qquad \cdots\cdots(26)$$

次に各系統の配車台数，運転強度の異なる場合について簡単な計算の一例を示すと

計算例III　各系統の配車台数はそれぞれ $L_1=12$ 台，$L_2=10$ 台，$L_3=15$ 台，一周に要する時間は1時間（$m_1=1$），30分（$m_2=2$），1時間30分（$m_3=1/1.5$）で，降車ホームの容量 $A=2$ 台分，平均客扱時間 $1/l=1$ 分30秒$=1/40$ 時間とすると，$L=37$ 台，$M=\Sigma L_i m_i=42$, $\bar{m}=42/37$ 従つて式（24）によつて計算すると表-4に示すようになる。

表-4 $L_1=12$ 台 $m_1=1$；$L_2=10$ 台 $m_2=2$；$L_3=15$ 台 $m_3=1/1.5$; $A=2$ $1/l=1$ 分 30 秒の場合の確率 p_n

Table-4 Probabilities p_n for the case $L_1=12$ $m_1=1$; $L_2=10$ $m_2=2$; $L_3=15$ $m_3=1/1.5$, $A=2$ $1/l=1.5$ min.

ホーム利用希望台数 n	利用台数	待機台数 $n-A$	あいているホーム	p_n/p_0	p_n
0	0	0	2	1.0	0.31455
1	1	0	1	1.05	0.33028
2	2	0	0	0.536351	0.16871
3	2	1	0	0.266363	0.08378
4	2	2	0	0.133741	0.04207
5	2	3	0	0.062509	0.01966
6	2	4	0	0.022382	0.00704
7	2	5	0	0.012483	0.00393
8	2	6	0	0.005314	0.00167
9	2	7	0	0.003422	0.00108
10	2	8	0	0.000869	0.00027
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
37	2	35	0		
					Σ3.17916*

* 式（26）を使つて求めた値である。

（b） 降車ホームの容量算定のための駐車場計画理論の応用

すでに（a）で述べたように実際上 L は A にくらべてきわめて大である場合が計画上問題となるのであるから $L\gg A$ と考えれば，次々と降車ホームにやつてくる車の台数がホーム容量を超過すれば，どれかのホームがあくまで待たねばならぬこととなり，これがいくらでも堆積して増大するようになる。このような場合は近似的に駐車場の容量算定の問題と同じように考えることができる。すなわち n 台の車がやつてきたとき，$n>A$ ならば $n-A$ 台は待機の状態となり，$n\leqq A$ ならば待ち合せすることなくホームに到着できる。この間の事情を規制する方程式は[1]

$n \leqq A$ ならば

$$\left.\begin{array}{l} Mp_0 = lp_1 \\ (M+nl)p_n = Mp_{n-1} + (n+1)lp_{n+1} \end{array}\right\} \cdots\cdots (27)$$

$n \geqq A$ ならば　$(M+Al)p_n = Mp_{n-1} + Alp_{n+1}$ $\cdots\cdots$ (28)

これを解いて

$$\left.\begin{array}{ll} p_n = \dfrac{(M/l)^n}{n!} p_0 & (n \leqq A) \\ p_n = \dfrac{(M/l)^n}{A!A^{n-A}} p_0 & (n \geqq A) \end{array}\right\} \cdots\cdots (29)$$

を得る。$n \geqq A$ ならば $M/l < A$ のときに限り Σp_n は収束する。このとき $\sum_{n=0}^{\infty} p_n = 1$ なるように p_0 を決めてやればよい，すなわち，次式で定まつてくる

$$\left.\begin{array}{l} 1/p_0 = \sum_{n=0}^{A-1} \dfrac{(M/l)^n}{n!} + \dfrac{(M/l)^A}{A!} \dfrac{A}{(A-M/l)} \\ \text{or} = e^{M/l} - \sum_{n=A}^{\infty} \dfrac{(M/l)^n}{n!} + \dfrac{(M/l)^A}{A!} \cdot \dfrac{A}{(A-M/l)} \end{array}\right\} \cdots\cdots (30)$$

また1台の車がやつてきた場合，ただちに降車ホームに到着することができず，とにかく待ち合せなければならない確率 Φ は

$$\Phi = \sum_{n=A}^{\infty} p_n = \frac{A^A}{A!} \sum_{n=A}^{\infty} \left(\frac{M}{Al}\right)^n = \frac{(M/l)^A}{(A-1)!} \cdot \frac{1}{A-M/l} p_0 \cdots\cdots (31)$$

で与えられ，一般に b 台までは待機の状態であることが許されるとして，b 台以上が待合せとなる場合は

$$\Phi_b = \sum_{n=A+b-1}^{\infty} p_n = \frac{(M/l)^{A+b-1}}{(A-1)!} \cdot \frac{1}{A^{b-1}(A-M/l)} p_0 \cdots\cdots (32)$$

となり，上の両式はいずれも駐車場計画に関する基礎理論[1]で与えた式で，b の適当な値を考慮して，Φ_b の値を与えれば，それを満足する A の最小値を求めることができる。

つぎに A 台分のホームが全部ふさがつている場合，h 時間中に，1台分のホームがあく確率は停車客扱中の車の台数に比例すると考えて Alh[1]，従つて一般に t 時間中にホームのあく確率は，通常もつとも実際に適合する仮定として Alt を平均値とするポアッソン分布をなすとすると[3)4)]，時間 t 中に k 個の場所があく確率は

$$e^{-Alt}(Alt)^k/k! \cdots\cdots (33)$$

となる。次々と到着順にホームに取りつけるものとすると，状態 $E_n(n>A)$ のとき，到着した車が t 時間以上待たねばならない確率 $P_n'(>t)$ は

$$P_n'(>t) = \sum_{k=0}^{n-A} e^{-Alt} \frac{(Alt)^k}{k!} \cdots\cdots (34)$$

となる。これは n がわかつているときの確率であるが，輻湊が n である確率は p_n で，毎単位時間に M 台の新来の車があるから，t 時間以上待たねばならない確率は

$$P(>t) = \sum_{n=A}^{\infty} M \cdot p_n \cdot P_n'(>t)$$

上式を計算して

$$P(>t) = \frac{(M/l)^A}{(A-M/l)(A-1)!} p_0 \cdot e^{-(A-M/l)tl} \cdots\cdots (35)$$

いやしくも待たねばならない確率は $t=0$ とおいて

$$P(>0) = \frac{(M/l)^A}{(A-1)!(A-M/l)} p_0 \cdots\cdots (31')$$

となり，これは先に与えた Φ の式 (31) と全く同一式となる。次に平均のホーム利用台数は

$$a = \sum_{n=0}^{A-1} n \cdot p_n + \sum_{n=A}^{\infty} A \cdot p_n = M/l \cdots\cdots (36)$$

であるから，式 (31) あるいは (31′) で与えられる $\Phi = P(>0)$ がわかると，待合せねばならない時間 τ は

$$\tau = \Phi \cdot \frac{1}{A-M/l} \cdots\cdots (37)$$

であらわされ，また単位時間当りの平均到着台数 M で割れば，平均1台の待合せ時間 $\bar{\tau}$ は

$$\bar{\tau} = \frac{\Phi}{M} \cdot \frac{1}{A-M/l} = \frac{(M/l)^A}{M(A-1)!(A-M/l)^2} p_0 \cdots\cdots (38)$$

で与えられる。したがつて降車ホームを共用する各系統について配車台数 L_i と車の運転強度 m_i とから式 (21)

によつて M を算出し，平均客扱時間 $1/l$ を観測すれば M/l が求められるから式（31）の Φ を適当に仮定した値を満足する最小の A を求めるか，または式（35）の $P(>t)$ を与える t を何秒かに決めて，t 以上待つ確率を計算しておけば[7]，その値から最小の A をきめることができる。次に式（31）により計算した Φ の値の少数の例を示したのが **表―5** である。同表においてはいま述べた M は m と同じであると見ればよく，この表から，A，m/l，Φ の関係を知ることができる。すなわち平均利用台数 m/l の小なるところでは，いやしくも待合せの生ずる確率を数%程度以下にするためには，ホーム容量 A を m/l の2～3倍程度にする必要があるが，m/l が大となると，それに対する A の値は比較的小さくてもよく，2倍程度以下で十分となることがわかる。このことは大規模の施設として一箇所に集中した方が有利となることを示している。

表―5　待合せの生ずる確率 Φ

Table-5　Waiting probabilities of vehicles.

A	$m/l=0.6$		$m/l=0.8$		$m/l=1.0$		$m/l=2.0$		$m/l=3.0$		$m/l=4.0$		$m/l=5.0$	
	p_0	Φ%	p_0	Φ%	p_0	Φ%	p_0	Φ%	p_0	Φ%	p_0	Φ%	p_0	Φ%
1	0.4000	60.00	0.2000	80.00										
2	0.5384	13.85	0.4285	22.85	0.3333	33.33								
3	0.5479	2.47	0.4471	5.20	0.3636	9.09	0.1111	44.42						
4	0.5487	0.35	0.4490	0.96	0.3673	2.04	0.1304	17.38	0.0377	50.90				
5					0.3678	0.39	0.1342	5.97	0.0466	23.62	0.0130	56.39		
6							0.1351	1.80	0.0490	9.91	0.0167	28.47	0.0045	58.75
7							0.1352	0.48	0.0496	3.77	0.0168	13.51	0.0060	32.41
8									0.0497	1.30	0.0181	5.90	0.0065	16.73
9									0.0498	0.46	0.0183	2.38	0.0066	8.05
10											0.0183	0.88	0.0067	3.61
11													0.0067	1.51
12													0.0067	0.59
13														
14														
15														

4．む　す　び

以上最近大都市において必要とされるようになつてきたバスターミナルの計画，運営に必要な理論と，2，3の計算例を示したのであるが，この理論に基づき，配車総数，運転強度，平均客扱時間などが与えられれば，これに必要なホーム容量の算定，あるいはホーム容量，配車総数などが与えられた場合の配車及び運転計画など運営上の基本的事項を決定することができる。すなわち従来鉄道軌道などの場合に比し現象がかなり複雑で，基礎となるべき理論が確立されておらず，全く経験とか勘にたよつていたことに対し，また今後ますます重要となると思われるバスターミナルの計画運営における車の運行現象に対して，基本的指針を与えることができたものと思う。しかしてその施設の規模としては大なるものほど有利にホームの利用効率よく運営できることを示した。また降車ホームの容量については駐車場の計画と同一考えに基づき大体のホーム容量の算定上の目安を与える計算表を示した。

自動車交通の激増と道路網の発達整備せられる気運と合わせ考えるならば，バスターミナル・駐車場などと称せられる施設は将来ますますその必要性を増して行くものと考えられるが，限られた土地をできる限り能率よくかつ便利安全に利用するよう慎重なる考慮のもとに計画されなければならない。かかる場合本理論は有効に利用できるものと思われる。最後に本研究は京大教授米谷栄二工学博士を主任研究者とするバスターミナル・観光バス駐車場計画に関する研究の一部であることを付言し，合せて本研究に絶大なる便宜と御援助をお計り願つた大阪市大岡部三郎教授，同橘　善雄教授に対して深謝の意を表する次第である。

参考文献およびその他

1) 毛利正光：駐車場計画に関する基礎理論の研究　土木学会論文集第38号（昭.31.10）p.p. 49～53
2) 毛利正光：駐車場計画におけ車輌の出入量強度の算定法と運営に関する基礎的考察，土木学会論文集第46号（昭.32.6）p.p. 46～51
3) 毛利正光：交通流の分布に関する統計学的考察，都市計画学会誌第5巻第4号，通巻第18号，1956 No. 4 p.p. 13～21
4) W. Leutzbach; Zeitlückenverteilungen, Strasse und Autbahn, Heft 1 Jan. 1957, s. 17～20
5) William Feller; An Introduction to Probability Theory and its Applications, Vol. 1, John Wiley & Sons, Inc. 1950, p.p. 363～396
6) 建設白書，建設省（昭29年），道路統計年報（昭31年），日本都市年鑑（昭31年版）
7) この計算は京大教授米谷栄二工博を主任研究者とする昭和31年度建設技術研究補助金により名工大渡辺新三助教授，岐阜大加藤晃助手等によつて実用範囲の数値計算が行われている。

(32.4.30)