駐車場計画における車両の出入量強度の算定法と運営に関する基礎的考察

正員　毛　利　正　光*

FUNDAMENTAL RESEARCH ON THE METHODS OF COMPUTING THE INTENSITIES OF MOTOR VEHICLE INFLOW AND OUTFLOW TO A PARKING PLACE BY PLANNING PARKING PLACES AND IT'S OPERATIONS

Masamitsu Mōri, C.E. Member

Synopsis :

This is a paper that described the reasonable methods of computing the intensities of motor vehicle inflow and outflow to parking places required for parking planning and proposd a new graphical solution to determine average length of parking in time.

And form this we can get satisfactory recognitions for the meaning of the important factors needed to determine the capacity and the site of a parking place.

Furthermore basic considerations on the method to operating a parking place efficiently are presented.

要　旨　本研究は駐車場計画に必要な車両の出入量強度の合理的な算定法について理論的な検討を加え入量の強度に関する駐車需要の算定法についてはその実測の方法として2つの方法について，また出量に関する強度としては，個々の車両の駐車時間がその強度に影響をもつことを明らかにし，その平均値の算定について，一つの図式解法を示して，駐車場容量算定上の重要因子決定について十分なる理論的説明を加え，最後に駐車場の能率的な運営についてその基本的方針を示したものである。

1. 緒　　言

駐車場の容量決定上の基本的な考え方は，できるだけ少い面積で能率よく駐車需要を満たすことのできる容量を算定することであつて，著者はかかる見地から先に駐車場計画に関する基礎理論[1]について述べたが，この理論において，駐車場の設けられるべき場所の特性を考慮し，路上駐車あるいは駐車場以外のスペースを考えて，これらを利用し得る台数と，その台数以上の車が駐車不能となる条件を与えることによつて，合理的な駐車場容量を算出する方法について述べた。

しかして，駐車場の容量決定上の根幹となるべき，出入車両の強度の算定方法について，ここに改めて合理的推定法について理論的検討をしてみた。すなわち入量の強度の実測方法及び出量に関する定数のもつ意義とその算定の方法について理論解析を試み，駐車場に出入する車両強度に関する定数の意義と算定方法を述べ，基礎理論と相まつて駐車場計画に必要な理論と実測の方法について十分なる指針を与えることができた。

ついで駐車場の能率的運営方法に関する基本的方策について理論的説明を加え，限られた容量をもつ駐車場を有効に利用し運営するための基本的方針を示したものである。

2. 入量の強度 m の算定法

さきに駐車場計画に関する基礎理論[2]において，駐車場に入る車両の分布がポアッソン分布になるとして理論式の誘導を行つたが，この事実はこれまで実施された多くの調査により明らかにされていることであつて[3]その分布の適合性については χ^2—検定（Cai-square test）の方法により検証することができる。

いま駐車場に入る車の強度を m とすると，これはポアッソン分布に従い，その確率密度はつぎのように書くことができる。

$$p(x, m)=e^{-m}\frac{m^x}{x!}\quad(x=0, 1, 2\cdots\cdots)\cdots\cdots(1)$$

* 大阪市立大学講師，理工学部土木教室

この分布はパラメーター m によつて特徴づけられ，実測によつて，この値を推定することが駐車場容量決定上の第一の問題となつてくる。m は定数であるが駐車場計画に当つてまず問題となる未知数で，その近似値やその値の存在する範囲を実測値を 標本として推定することが必要となる。したがつてその有効な推定方法について考えてみることにする。パラメーター m の有効推定量を求めると，m の不偏推定量を $\hat{m}$ とし，$\hat{m}$ の分散を $D^2(\hat{m})$ とおけば式 (1) で示されるような離散型分布の場合に推定量 $\hat{m}$ の分散に関して Cramér-Rae の定理により次の不等式が成立する。

$$D^2(\hat{m}) \geqq 1 \Big/ \left\{ n \sum_i \left(\frac{\partial \log p(x_i, m)}{\partial m} \right)^2 p(x_i, m) \right\} \qquad (2)$$

ここに　　n；標本の大きさ

$p(x_i, m) = P(X = x_i, m)$　　とする。

しかしてこの不等式の等号を成立させるような $\hat{m}$ が存在するとき Cramér によるとこれが有効推定量 (efficient estimator) となる。この場合 $\hat{m}$ が最小の分散をもつ不偏推定量となる。すなわち (1) 式で示されるような場合には

$$n \sum_i \left(\frac{\partial \log p(x_i, m)}{\partial m} \right)^2 p(x_i, m) = n \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{i}{m} - 1 \right)^2 \frac{m^i e^{-m}}{i!} = \frac{n}{m}$$

ゆえに大きさ n の標本の不偏推定量はその分数が m/n より小さくはならない。しかして $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} X_i$ は平均値が m，分散 $D^2(\bar{X})$ が m/n となるからこの場合 $\bar{X}$ が有効推定量となる。従つて実測に当つては次に述べるような方法で推定すればよい。

(1) 時間 T をきめて実測する方法　駐車需要台数を時間 T をきめて，T 時間内における変化の数 $N = X(T)$ を観察すれば，この N は mT をパラメーターとするポアッソン分布に従うことになるから駐車需要の発生台数の確率は次式で示される

$$P(X = x) = e^{-mT} \frac{(mT)^x}{x!} \quad (x = 0, 1, 2, \cdots\cdots) \qquad (3)$$

N の平均値，分散をそれぞれ $E(X)$，$D^2(X)$ で表わし，式 (3) に従つて分布する確率変数 X のモーメント母函数を $g(\theta)$ とすると

$$g(\theta) = E(e^{\theta X}) = \sum_{x=0}^{\infty} e^{-mT} \frac{(mT)^x}{x!} e^{\theta x} = e^{-mT + mTe^{\theta}} = e^{mT(e^{\theta} - 1)} \qquad (4)$$

$$\therefore \quad E(X) = \mu = \left(\frac{dg}{d\theta} \right)_{\theta=0} = mT \qquad (5)$$

$$D^2(X) = E\{(X-\mu)^2\} = E(X^2) - \mu^2 = \left(\frac{d^2 g}{d\theta^2} \right)_{\theta=0} - \{E(X\}^2 = mT \qquad (6)$$

となり，従つて NT^{-1} については

$$E(NT^{-1}) = m, \quad D^2(NT^{-1}) = mT^{-1} \qquad (7)$$

となる。ゆえに m の不偏推定値として NT^{-1} をとることができる。しかして T が大きければ大きいほど推定値の分散は小さくなることになる。この場合 NT^{-1} は m の充足推定量[4] となつているから，m の推定量としては NT^{-1} だけを考えれば十分である。

また NT^{-1} はつぎのように考えてもよい，単位時間毎にそれまでの数の変化を観察して，$X(1) - X(0)$，$X(2) - X(1)$，$\cdots\cdots X(T) - X(T\text{-}1)$，を考えると，これらの T の増分は互に独立で m をパラメーターとするポアッソン母集団からの大きさ T の標本をとつたことになるから，パラメーター m の不偏推定値として，相加平均

$$\frac{1}{T} \sum_{k=1}^{T} \{X(k) - - X(k\text{-}1)\} = \frac{N}{T} \qquad (8)$$

をとることができる。すなわち観察の時間 T をあらかじめきめておいて，その間における変化の数 N を確率変数として観測して行けば，m の値をその計画の場所あるいは地域の特性を示す定数として推定できることになる。

(2) 変化の数 N をきめて実測する方法　いま一つの方法として，変化の数 N をきめておいて N 台の数の変化の起るまでの時間 T を確率変数にとる。時刻 t_0 から観察して変化の起つた時刻を $t_1, t_2, \cdots\cdots t_0 + T = t_N$ とする。$t_1, t_2, \cdots\cdots t_i$ がきまつたときの $t_{i+1} - t_i$ の条件附確率分布を考えてみると，$t_{i+1} - t_i$ が与えられた時間 t より大きい確率は長さ t なる時間 $(t_i, t_i + t)$ の間に変化が1つも起らない確率であるから式 (3) を参照して

$$P\{t_{i+1} - t_i > t\} = e^{-mt} \qquad (9)$$

従つて変化のある確率は

$$P\{t_{i+1}-t_i \leqq t\}=1-e^{-mt} \quad \cdots\cdots(10)$$

となり，これ $t_1, t_2, \cdots\cdots t_i$ はには関係しない，ゆえに $t_{i+1}-t_i$ は $t_1-t_0, t_2-t_1, \cdots\cdots, t_i-t_{i-1}$ と独立である。(t_0 はある定まつた時間で固定）これは $i=1,2,\cdots\cdots,N-1$, について成立するから $t_1-t_0, t_2-t_1, \cdots\cdots, t_N-t_{N-1}$ は互に独立である。しかして t は式 (9) で示される確率をもつて分布するから $t_{i+1}-t_i$ の確率密度は式 (9) の負の微分で与えられ $m\,e^{-mt}(t>0)$ となる，$2m(t_{i+1}-t_i)$ について考えるとその確率密度は $1/2\,e^{-t/2}$ すなわち自由度2の χ^2－ 分布となる[5]，したがつて

$$2mT=\sum_{i=0}^{N-1} 2m(t_{i+1}-t_i)$$

は χ^2－ 分布の加法性の定理によつて自由度 $2N$ の χ^2－ 分布をもち

$$E(2mT)=2N,\ D^2(2mT)=4N \quad \cdots\cdots(11)$$

したがつて　$$E(TN^{-1})=m^{-1},\ D^2(TN^{-1})=1/(m^2N) \quad \cdots\cdots(12)$$

となる。ゆえに m^{-1} の不偏推定値として TN^{-1} をとることができる。すなわち入量に関する強度 m の値は以上述べたいずれかの方法によつて実測しその値を求めることができる。

3. 出量に関する強度 l の算定法

(1)　l のもつ意義とその算定上の根拠　個々の車両の駐車時間の長さは，かなり変化のある値であるが，いま簡単のため駐車時間の長さは単位の時間（たとえば分とか秒をとる）の整数倍の値だけをとるものとする，したがつて時刻もこの単位の時間の整数倍で表わされるものだけを考えることにし，駐車時間の長さを確率変数 $X(t)$ として取扱い，その確率分布 $p_n=P\{X=n\}$ は既知なるものとする。しかるときは個々の駐車場所が塞つている状態とあいている状態とが考えられ，それに対応する確率過程が得られる。しかして実際の駐車現象においては，ある時刻 t においてある場所が塞つているならば，単位時間後に状態の変化の起る確率は，それまでその駐車時間がどの位長く続いてきているかに関係することになる。これは現在の状態がわかつたという条件のもとでも過去の事実が未来に影響をもつことになるから，この確率過程は，マルコフ過程でなくなり，基礎理論[6]で述べた確率論による議論が適用できなくなる。これは複雑な問題となつて容易に解決できなくなる。したがつて次のように考える。

実測によれば駐車継続時間の分布は指数分布に従うことが明らかである[7]から，一台の車が駐車に費す時間が t 以上である確率は指数函数 e^{-lt} の形であると仮定すると，駐車時間が τ である車が t 時間以上駐車している確率は，t 時間以内に変化を起さない確率であるから次のように書ける。

$$P\{\tau>t\}=e^{-lt}\ (l:\text{正の定数}) \quad \cdots\cdots(13)$$

式 (13) はある時刻に駐車継続中であつたとき，その駐車がさらに t 時間以上続けられる条件附確率を表わすものであるが，駐車の全時間 τ の確率法則とみることもできる。したがつて駐車の時間 τ が確率法則式 (13) に従うとすれば，ある時刻に駐車中であつて，その駐車がすでに t_0 時間続けられていたとき，さらに t 時間以上続けられる条件附確率は

$$P\{\tau>t_0+t \mid \tau>t_0\}=\frac{P\{\tau>t_0+t\}}{P\{\tau>t_0\}}=\frac{e^{-l(t_0+t)}}{e^{-lt_0}}=e^{-lt} \quad \cdots\cdots(13)'$$

となり駐車の今までの長さ t_0 には無関係であることになる。しかして駐車時間の分布が式 (13) に従うときは，ある時刻 t において駐車場所が塞つているとき $(t,\ t+h)$ の間に状態の変化の起る確率は

$$1-e^{-lh}=1-\left\{1-\frac{lh}{1!}+\frac{(lh)^2}{2!}-\cdots\cdots+(-1)^n\frac{(lh)^n}{n!}+\cdots\cdots\right\}=lh+0(h) \quad \cdots\cdots(14)$$

となり，これは駐車場計画に関する基礎理論において仮定した，短い時間 h 内に1台の車の出て行く確率に等しくなることがわかる。そうすれば駐車時間が t であつて，次の dt 時間内に車が駐車場所を離れる確率はその車が何時間前に駐車場にやつてきたかには無関係に $l\cdot dt$ となる。しかして時刻 t に1台の車が駐車場を離れる確率は，t 時間変化のない確率に次の dt 時間に1台の車が出て行く確率をかければよく $e^{-lt}\cdot l\cdot dt$ で与えられる。しかしてその駐車時間は t であるから，駐車時間の平均は次式で計算される。

$$\int_0^\infty t\cdot e^{-lt}\cdot l\cdot dt=l\left[-t\,e^{-lt}+\frac{e^{-lt}}{l^2}\right]_0^\infty=\frac{1}{l} \quad \cdots\cdots(15)$$

すなわち定数 l は平均駐車時間の逆数で与えられる値であることがわかる。したがつて実際の計画に当つては l の値の推定としては平均駐車時間を算定することが必要となる。

(2)　平均駐車時間の図式による求め方　駐車時間の平均値を求める方法としては，通常駐車時間をある時間毎の区間に分け実測値から各区間に入る観測度数を求め，これから平均値を求めるかなり厄介な計算を行つてそ

表―1 京都市都心地域における駐車時間の分布

Table 1 Frequency distributions of Parking times for Central Business Districts in Kyoto.

No.	駐車時間* 時 分	観測度数 f	累積度数 f_c	累積相対度数 q (%)	超過の確率 $P=1-q$ (%)	No.	駐車時間* 時 分	観測度数 f	累積度数 f_c	累積相対度数 q (%)	超過の確率 $P=1-q$ (%)
1	0.30～0.35	257	257	22.17	77.83	23	2.20～2.25	10	1 135	97.93	2.07
2	0.35～04.0	147	404	34.86	65.14	24	2.25～2.30	7	1 142	98.53	1.47
3	0.40～0.45	148	552	47.63	52.37	25	2.30～2.35	0	1 142	98.53	1.47
4	0.45～0.50	106	658	56.77	43.23	26	2.35～2.40	0	1 142	98.53	1.47
5	0.50～0.55	74	732	63.16	36.84	27	2.40～2.45	0	1 142	98.53	1.47
6	0.55～1.00	67	799	68.94	31.06	28	2.45～2.50	0	1 142	98.53	1.47
7	1.00～1.05	81	880	75.93	24.07	29	2.50～2.55	0	1 142	98.53	1.47
8	1.05～1.10	50	930	80.24	19.76	30	2.55～3.00	3	1 145	98.79	1.21
9	1.10～1.15	39	969	83.61	16.39	31	3.00～3.05	1	1 146	98.88	1.12
10	1.15～1.20	23	992	85.59	14.41	32	3.05～3.10	1	1 147	98.96	1.04
11	1.20～1.25	18	1 010	87.14	12.86	33	3.10～3.15	0	1 147	98.96	1.04
12	1.25～1.30	11	1 021	88.09	11.91	34	3.15～3.20	7	1 154	99.57	0.43
13	1.30～1.35	21	1 042	89.91	10.09	35	3.20～3.25	0	1 154	99.57	0.43
14	1.35～1.40	23	1 065	91.89	8.11	36	3.25～3.30	0	1 154	99.57	0.43
15	1.40～1.45	20	1 085	93.62	6.38	37	3.30～3.35	2	1 156	99.74	0.26
16	1.45～1.50	14	1 099	94.82	5.18	38	3.35～3.40	0	1 156	99.74	0.26
17	1.50～1.55	2	1 101	95.00	5.00	39	3.40～3.45	0	1 156	99.74	0.26
18	1.55～2.00	1	1 102	95.08	4.92	40	5.45～3.50	0	1 156	99.74	0.26
19	2.00～2.05	0	1 102	95.08	4.92	41	3.50～3.55	0	1 156	99.74	0.26
20	2.05～2.10	3	1 105	95.34	4.66	42	3.55～4.00	0	1 156	99.74	0.26
21	2.10～2.15	13	1 118	96.46	3.54	43	4.00～4.05	3	1 159	100.00	0
22	2.15～2.20	7	1 125	97.07	2.93						

* 本調査は，駐車時間 30 分以上の車を路外駐車場に収容し，それ以下の車は路上駐車によるものとしたため 30 分以下のものは含まれていない。

の値を算出するのであるが，ここでは図式による新しい平均値の求め方について述べることにしたい。

先に述べたように駐車時間が t を越える確率は式 (13) によつて与えられるから，両辺の対数をとると

$$\log_e P = -lt \quad \cdots\cdots (16)$$

すなわちこの式は P と t との関係は片対数方眼紙上で直線をなすことを示している。しかして指数 $-l$ はその直線の傾きが負であることを意味している。一例として京都市の都心地域で発生する駐車実態調査[8]により駐車時間の度数分布を示すと表―1 の f の値のようである。これから各駐車時間区分以下の値のものの累積度数およびその相対度数を求めると表中の f_c および q の値となる。q は駐車時間が示された時間 t 以下であるものの割合を与えてくれる値であるから，駐車時間が t を越える確率は $1-q=P$ となる，P の値と t の関係を片対数方眼上にプロットしてみると図―1 のように，かなりよく直線に乗ることがわかる。

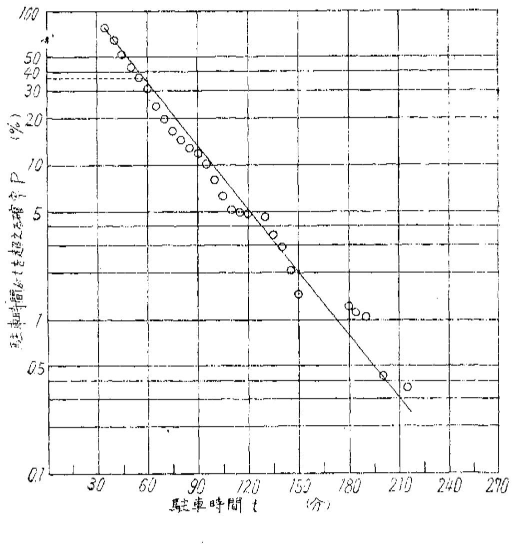
つぎに駐車時間 t が平均駐車時間 $1/l$ に等しい場合を考えてみると，式 (13) から

$$P = e^{-lt} = e^{-1} = 0.368 \quad \cdots\cdots (17)$$

となり，平均駐車時間は，その確率 P が 36.8% の点となる。したがつて図―1 において $P=36.8\%$ の線と実測値を通る直線との交点から平均駐車時間を求めることができる。図―1 の例では，約 58.5 分であることがわかる。これを普通の平均値を求める計算によつて求めると 59 分となる。しかして実用上この方法によつて平均値を求めるときは，駐車時間の区分を設けることなく，各駐車時間の観測値から，これを大きさの順に並べて，その相対度数を算出してもよく，これを片対数方眼紙上にプロットして平均値を求めることができるわけである。

図―1 駐車時間の相対度数分布図

Fig. 1 Relative frequency distribution diagram of parking times. Graph showing percentage above and below various parking times and average length-of-time parked



以上述べた方法によつて，駐車場への車両の出入量に関する l および m の値を求めることができるから，その値を使つて，基礎理論[9]において述べた計算を行うことによつて必要な駐車場の容量を決定することができることになる。

4. 駐車場運営上の基本的方針

駐車場計画に関する基礎理論[10]において述べたように駐車台数の確率過程を示す基礎微分方程式は駐車需要数 n と駐車場容量 A との大小関係によつて，つぎのごとく与えられている。

$$\left.\begin{array}{ll} P_0'(t)=-mP_0(t)+l_1P_1(t) & (n=0) \\ Pn'(t)=-(m+nl)P_n(t)+mP_{n-1}(t)+(n+1)lP_{n+1}(t) & (A>n\geqq 1) \\ P_n'(t)=-(m+Al)(P_n(t)+mP_{n-1}(t)+AlP_{n+1}(t) & (A\leqq n) \end{array}\right\}\cdots\cdots(18)$$

しかして極限 $\lim_{t\to\infty} P_n(t)=p_n$ が存在して，これらは $P_n'(t)=0$ とおいて得る方程式を満足することから極限分布 $p_n(n=0,1,2,\cdots\cdots)$ を求めることができた。つぎにいま分布 $\{P_n(t)\}$ について考察することとし，その平均値を

$$E(t)=\sum_{n=1}^{\infty} nP_n(t) \cdots\cdots(19)$$

とおき，方程式 (18) の第2および第3式に n を乗じて $n=1,2,\cdots\cdots$ について加えると

$$\text{左辺}=\sum_{n=1}^{\infty} nP_n'(t)=\sum_{n=1}^{\infty}\lim_{h\to 0}\frac{nP_n(t+h)-nP_n(t)}{h}=\lim_{h\to 0}\frac{E(t+h)-E(t)}{h}=E'(t)$$

$$\begin{aligned}\text{右辺}=&-(\mathrm{m}+nl)\sum_{n=1}^{A-1} nP_n(t)+m\sum_{n=1}^{A-1} nP_{n-1}(t)+l\sum_{n=0}^{A-1}\{(\mathrm{n}+1)^2P_{n+1}-(n+1)P_{n+1}\}\\ &-(m+Al)\sum_{n=A}^{\infty} nP_n(t)+m\sum_{n=A}^{\infty} nP_{n-1}(t)+Al\sum_{n=A}^{\infty} nP_{n+1}(t)\\ =&-m\sum_{n=1}^{\infty} nP_n(t)-l\sum_{n=1}^{A-1} n^2P_n(t)-lA\sum_{n=A}^{\infty} nP_n(t)+m\sum_{n=1}^{\infty} nP_{n-1}(t)\\ &+l\sum_{n=0}^{A-1}(n+1)^2P_{n+1}(t)-l\sum_{n=0}^{A-1}(n+1)P_{n+1}(t)+lA\sum_{n=A}^{\infty}\{(n+1)P_{n+1}(t)-P_{n+1}(t)\}\end{aligned}$$

$\Sigma P_n(t)=1$ なることに注意して計算すると

$$=m-lE(t)+l\sum_{n=A+1}^{\infty} nP_n(t)-lA\sum_{n=A}^{\infty} P_{n+1}(t)=m-lE(t)+l\sum_{n=1}^{\infty} nP_{A+n}(t)$$

となり $$E'(t)=m-lE(t)+l\sum_{n=1}^{\infty} nP_{A+n}(t) \cdots\cdots(20)$$

を得る。しかして上式右辺の第3項中の $\Sigma nP_{A+n}(t)$ は，駐車場以外の場所である路側駐車場その他の駐車スペースにあふれでた車の平均台数となるからこれを

$$\sum_{n=1}^{\infty} nP_{A+n}(t)=\alpha \cdots\cdots(21)$$

とおくと $$E'(t)=m+l\alpha-lE(t) \cdots\cdots(22)$$

となる。いま初期条件として $t=0$ における駐車台数を i とすれば $E(0)=i$ となる，従つて方程式 (22) を解いて

$$E(t)=\left(\frac{m}{l}+\alpha\right)(1-\mathrm{e}^{-lt})+i\,\mathrm{e}^{-lt} \cdots\cdots(23)$$

を得る。この式は駐車場占用台数および駐車不能車として附近の他の場所を占用する台数全部を含めて考えた場合の最も一般的な場合の平均駐車台数を与えてくれる式である。しかして $t\to\infty$ ならしめると平均値 $E(t)$ の値は $(m/l+\alpha)$ になる。

$E(t)$ の変化の状態を考えるため式 (23) の導函数をとつてみると次のようになる。

$$E'(t)=(m/l+\alpha-i)l\mathrm{e}^{-lt} \cdots\cdots(24)$$

実際上の問題としてある時刻 t における駐車台数が i であるときから考えて，ある有限な時間の範囲で $E'(t)$ の符号を考えてみると，$1\geqq \mathrm{e}^{-lt}>0$ で $l>0$ なるゆえに $E'(t)$ は $(m/l+\alpha-i)$ の正負と同一符号を有することになる。従つて

$m/l+\alpha>i$ ならば $E'(t)>0$ ∴ $E(t)$ は時間と共に増加
$m/l+\alpha=i$ 〃 $E'(t)=0$ ∴ $E(t)$ は一定
$m/l+\alpha<i$ 〃 $E'(t)<0$ ∴ $E(t)$ は時間と共に減少

となる。しかして $(m/l+\alpha)$ は平均駐車需要台数であるから，駐車場に滞積する車の数の増減の状態は初期条件 i と平均駐車需要台数との大小関係によつて，上述のように説明せられる。このことは一般的にいえば，ある時刻 t において駐車台数が i であるとき，その後の平均駐車需要台数が i に等しければ，継続的に平均駐車場占用台数を一定に保つことができるわけで，$(m/l+\alpha)>i$ であると，時間の経過と共に占用台数は単調に増加することになり，遂には駐車不能の車が生ずることになる。これは常識的に考えた場合と全く一致する結果を与えてくれる。しかして m, l および α は駐車場の地理的位置，すなわちその有る場所に特有な車の流れに固有な値であるから駐車場の容量 A とは無関係になる。

以上述べた平均駐車台数の分布に関する基礎的考察に基づいて，一般にある有限な駐車場容量 A をもつ駐車場の運営管理上，容量 A 以内の占用台数の分布について考えることにすると，式 (21) で示されるような駐車不能車の生じないような場合について考えることになるから $\alpha=0$ となり式 (23) は

$$E(t)=m/l(1-e^{-lt})+i\,e^{-lt} \quad\cdots\cdots(25)$$

となる。この場合 $t\to\infty$ を考えると $E(t)=m/l$ となり，これは平均駐車場利用台数であつて，$E(t)$ の増減の状態は m/l と i との関係から定まることになる。しかして初期条件としては任意の時刻をとることができその時の i の値とそれ以後の m/l の大きさによつて利用台数の分布が，きまつてくることになるから，時間的な m, l の値の変化，すなわち m/l を調査しておけば，運営上の基礎的方針を与えることができる。しかして平均利用台数 a は基礎理論および l の意義において述べたことから

$$a=\sum_{n=0}^{A-1} nP_n+\sum_{n=A}^{\infty} A\cdot P_n=\frac{m}{e}=[\text{入量の強度の平均}]\times[\text{平均駐車時間}] \quad\cdots\cdots(26)$$

であるから，平均利用台数は入量の強度 m がある一定の平均値をもつ場合でも平均駐車時間 $1/l$ が長くなると大となるから，容量大なる駐車場所を必要とすることになる。通常既設の容量をもつた駐車場を運営する場合入量の強度が倍となつた場合には平均駐車時間を 1/2 にすればまかなえることになる。従つて駐車時間に制限を加えるよう管理規制することにより平均利用率を高めるごとき政策をとることが有利な方法となる。とくに有料駐車場において駐車回数によつてその収益を見込む場合には，普通次のように定義されている平均回転率

平均回転率＝延入車台数/許容台数

を大ならしめるようにすればよいから，入量の強度 m を大きく，平均駐車時間 $1/l$ を小ならしめればよく，実用上は，駐車時間を規制する方法をとれば経営上有利となることが式 (26) からも了解される。

5. 結　　言

以上駐車場計画に必要な車両の出入量の強度の合理的な算定法とその意義について詳細なる理論的解析と説明を行つて，駐車場計画に対する理論的根拠を明確にすることができた。この基礎的考察においては，最も自然発生的な駐車現象に対する理論解を明らかにしたので，この考察と先に述べた駐車場計画に関する基礎理論とに基づいて，駐車需能を能率よく満たすための容量算定と運営上の方針を定めることができる。

しかしてこの理論は極めて基礎的な考察を行つたのであつて，われわれの直面する相当広範囲の問題に応用することができると思う，これらの問題については，機会をみて発表することとしたい。

なお本研究は京都大学助教授米谷栄二工学博士を主任研究者とする昭和 31 年度建設省建設技術研究補助金による研究の一部であることを附言して，厚く深謝の意を述べるとともに，研究上に非常なる御援助と御便宜をお計り戴いた大阪市大橘善雄教授に対して厚く謝意を表する次第である。

参考文献及び資料

1)，2)　毛利正光：駐車場計画に関する基礎理論の研究。
6)，9)，10)　土木学会論文集第 38 号（昭 31 年 10 月）に登載予定。
3)，7)　例えば小林輝一郎：駐車場に関する一考察，第 2 回日本道路会議論文集（1954）p.p. 547～550.
米谷・加藤・稲見：大都市中心部における駐車場問題について，第 3 回日本道路会議論文集（1956）p.p. 764～768.
4)　松下嘉米男：統計数理の基礎理論，昭 30 年 1 月，朝倉書店，p. 171.
5)　佐藤良一郎：数理統計学，昭 26 年 6 月，培風館 p.p. 301～310.
8)　米谷栄二：京都市街中心部の駐車問題に関する調査報告書，昭 31 年 4 月，京大土木教室都市計画研究室。

(昭.31.10.30)