研　究　速　報

UDC 656.13.052.7

高速道路のサービスエリヤにおける駐車実態調査とその解析（その 3）

The Study on Actual State of Parking in Service Area of Expressway (Part III)

—駐車時間分布—

—Distribution of Parking Durations—

川　浦　　潔*

Kiyoshi KAWAURA

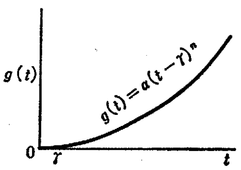
1. は じ め に

さきに[1]，高速道路のサービスエリヤにおける駐車時間分布が，その分布関数の性質からワイブル分布を示し，この分布型は形の複雑さにかかわらず，ワイブル確率紙を用いることにより，きわめて簡単な手順でパラメータを求め得ることが示された．また，ワイブル分布は，その密度関数が指数分布から単一分布にいたる幅広い分布を表現することができはなはだ便利である．

今回は，駐車時間分布が駐車時間の n 乗に比例するとして計算した結果が，係数を考慮することによりやはりワイブル分布に一致することを示し，実測値の各分布型への当てはまり度を検定し，その結果ワイブル分布への当てはまり度がもっとも優れていることを立証した．

2. 駐車時間分布型の決定

駐車時間は通常正のある値 γ より大なる数値である．次図のように，その時間分布 $g(t)$ をとり，$g(t)$ が $(t-\gamma)$ の n 乗に比例すると仮定する．α を比例定数，n を指数として，確率密度は次のように表わされる．



$$g(t)=\alpha(t-\gamma)^n$$

ここに $\begin{cases} g(t)\geqq 0 & (t\geqq\gamma) \\ g(t)=0 & (0<t<\gamma) \end{cases}$

駐車時間 T を確率変数とし，Δt 時間を微小時間とすれば，t 時間までの駐車が発生せず，$(t+\Delta t)$ 時間の駐車が発生する場合の確率密度素分は

$$f(t)\cdot dt=\alpha(t-\gamma)^n dt\times\left\{1-\int_0^t f(t)\,dt\right\} \quad (1)$$

で示される．すなわち

$$f(t)=\alpha(t-\gamma)^n\int_t^\infty f(t)\,dt \quad (2)$$

この両辺を $(t-\gamma)^n$ で除して

$$\frac{f(t)}{(t-\gamma)^n}=\alpha\int_t^\infty f(t)\,dt$$

両辺を微分して整理すれば

$$\frac{df(t)}{f(t)}=\left\{\frac{n}{(t-\gamma)}-\alpha(t-\gamma)^n\right\}dt$$

両辺を積分することにより

$$f(t)=C(t-\gamma)^n e^{-\frac{\alpha}{n+1}(t-\gamma)^{n+1}} \quad (3)$$

を得る．さらに，積分定数 C を決定するには，$f(t)\cdot dt$ が確率密度素分なるゆえ

$$\int_\gamma^\infty f(t)\,dt=C\int_\gamma^\infty (t-\gamma)^n e^{-\frac{\alpha}{n+1}(t-\gamma)^{n+1}}$$
$$=-C\left[\frac{1}{\alpha}e^{-\frac{\alpha}{n+1}(t-\gamma)^{n+1}}\right]_\gamma^\infty$$
$$=C/\alpha=1$$

から，$C=\alpha$ となり，次の結果が得られる．

$$f(t)=\alpha(t-\gamma)^n e^{-\frac{\alpha}{n+1}(t-\gamma)^{n+1}} \quad (4)$$

（4）式において，$m>0$，$t_0>0$ として

$$\begin{cases} n=m-1 \\ \alpha=m/t_0 \end{cases}$$

とおけば

$$f(t)=\frac{m(t-\gamma)^{m-1}}{t_0}\cdot e^{-\frac{(t-\gamma)^m}{t_0}} \quad (5)$$

となる．（5）式は，いわゆるワイブル分布式[2]と呼ばれているものであって，きわめて有用な性質を持っている[3]．ワイブル分布について，分布関数および 2，3 の性質を図示すれば，図1，2，3のとおりである．

3. 実測値のあてはめ

本研究における駐車時間の理論分布への実測値のあてはまり度を検定するために，次の資料が用いられた．

① 昭和42年8月5日（p.m. 6：00）から6日(p.m,

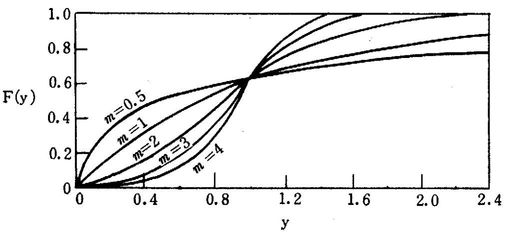


図1　ワイブル分布の分布関数

* 東京大学生産技術研究所　第5部，武蔵工業大学教授

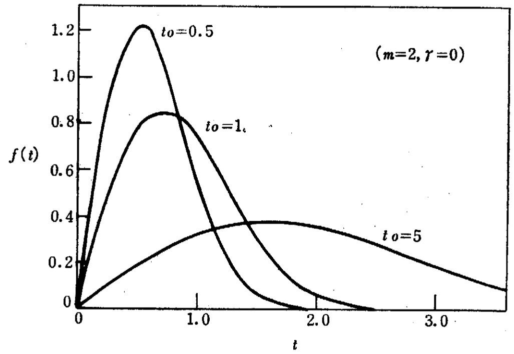


図2　ワイブル分布の t_0 が変化した場合

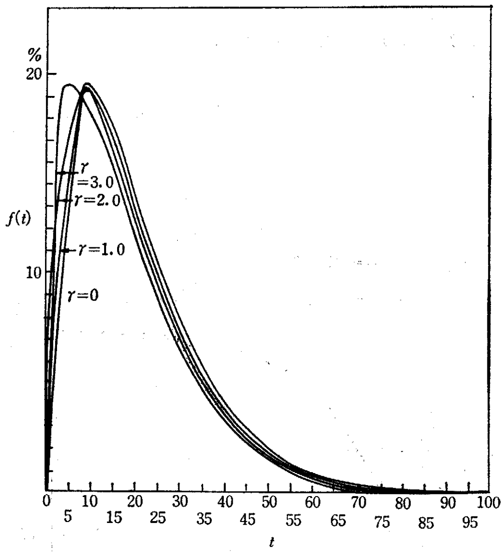


図3　ワイブル分布の γ が変化した場合
$(m=1.3,\ t_0^{1/m}=15.0)$

6：00)までの24時間，大津サービスエリヤ上り線駐車場で実測された資料

② 昭和41年11月に，吹田，大津，多賀，養老の4サービスエリヤにおいて，9時間実測された資料[4)]

資料の整理は，①については，1時間毎の全車種，24時間の全車種，乗用車および小型車，②については，大津では全車種と乗用車，その他では全車種に分類して行なった．すべての資料について，実測値と理論値の両方から求められたパラメータ，m，$t_0^{1/m}$ および平均値に対する誤差の算定をしたが，m の誤差は，m の値が 1.0〜1.5位に対して最大 ±0.2，大部分は ±0.1 であり，また $t_0^{1/m}$ および平均値に対する誤差は，百分率で計算した場合，かなり大きな値を示しているものも中に見受けられるが，資料の数にも問題があり，実測値のばらつきのきわめて大きな交通現象として考えると，その誤差範囲は10〜15%位にとってもさしつかえないと考えられ，大部分がこの範囲以内に入っている．

また，①についての全車種の1時間毎の駐車時間分布の理論分布への当てはまり度を検定するために，カイ自乗検定を行なった結果を表1に示す．この結果によれば，棄却域を5%とすれば，その適合度は良好であると考えられる．

表1　駐車時間分布のワイブル分布への適合度の検定

番　号	時　間	観測台数	χ^2-計算値	自由度	有意水準
1	18時	279台	7.488	10	65%
2	19	347	8.029	9	40
3	20	353	4.564	11	95
4	21	353	14.299	10	20
5	22	278	11.463	8	20
6	23	248	13.804	9	15
7	24	209	16.370	9	5
8	1	203	13.628	10	20
9	2	141	3.938	7	80
10	3	99	5.756	7	55
11	4	89	10.932	7	15
12	5	112	5.814	6	50
13	6	174	9.683	6	15
14	7	296	13.273	7	5
15	8	388	6.060	9	70
16	9	459	11.787	8	20
17	10	485	8.816	8	40
18	11	452	5.478	11	90
19	12	344	18.344	12	10
20	13	305	13.175	11	30
21	14	272	9.460	10	50
22	15	243	5.776	8	70
23	16	247	10.606	9	30
24	17	181	10.010	8	25

さらに，実測結果を理論曲線に当てはめた場合の一例を，図4に示すが，図によると実測値と理論値がきわめてよく適合している．

駐車場における駐車時間の理論分布を求めるのに便利なように，ワイブル確率紙上でパラメータ m，$t_0^{1/m}$，γ を求めることにより直ちに駐車時間の分布が求められる表を電子計算機により計算した．パラメータの範囲は，次のとおりである．

$m=1.0\sim1.5$ (0.1 刻み)

$t_0^{1/m}=10\sim30$ (0.5 刻み)

$\gamma=0\sim-8$ (0.5 刻み)

4.　本研究の分布型と他の分布型との比較

従来，駐車時間分布として考えられていた分布に，指数，アーラン，ガンマの各分布がある．ある実測値を理論分布に適合させる場合，一般に自由度が大きいほど，またパラメータの数が多いほど，そのパラメータがとり得る値の範囲が広いほど，ぴったりした分布となるはずである．ただし，パラメータの数が多いほど，一般にはその値を決定するのに手数を要するし，また確率密度関

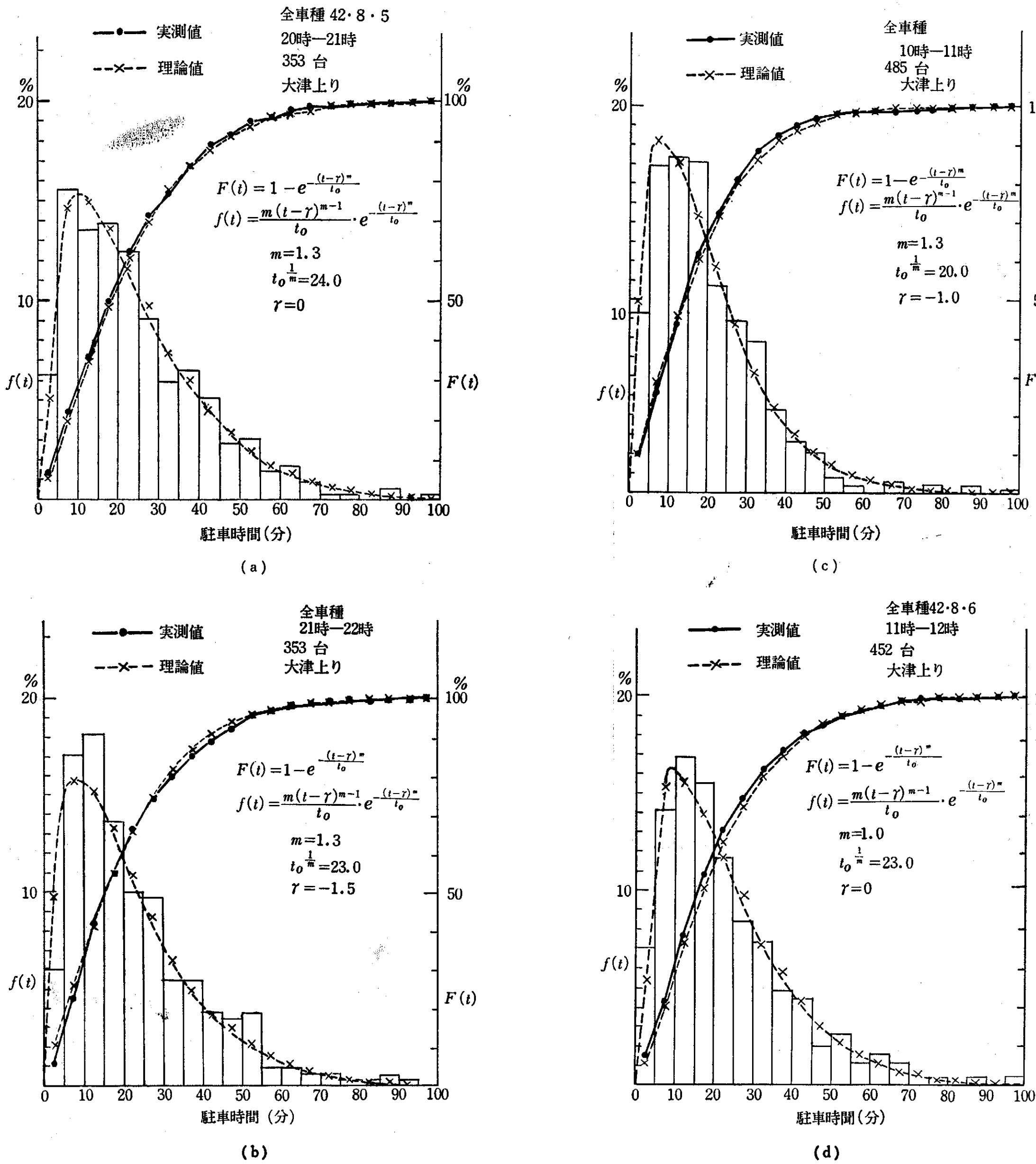


図4　駐車時間分布のヒストグラムおよび累加分布

数も複雑になり個々の分布の計算がめんどうになる．

指数分布は最も簡単な分布型であるが，パラメータが1個でしかも $t=0$ で $f(t)$ が最大となる分布であるので，駐車時間分布としては明らかに当てはまりが悪いが，この分布を仮定することにより，待ち合わせ理論を簡単にするのに役立つので近似的に使用されている分布である．アーラン分布は，$t=0$ で $f(t)=0$ となり，パラメータを2つ持つので当てはまりは指数分布より良くなると考えられる．しかも，この分布には独立な指数分布に従う有限個の確率変数の和の分布であるという性質があるので待ち合せ理論では有効な分布型であるが，パラメータ k が必ず正の整数でなければならないので実測値との当てはまりの精度に問題があり，待ち合せ理論での取扱いもきわめて複雑である．ガンマ分布は，アーラン分布における k が正の整数値しかとれない欠点を取り除いた点で，アーラン分布より優れた分布型と考えられるが，取り扱いが煩雑であるきらいがある．しかるに，本研究における分布型は，パラメータが3個あるので上述の3つの分布型より実測値への当てはまりは良いと考えられ，反面式の複雑さにかかわらず確率紙の使用により簡

表2　諸分布型の比較

分布型	確率密度関数 $f(t)$	平均値 μ	分散 σ^2	パラメータの数	パラメータの求め方	他分布型との関係
指数分布	$\lambda e^{-\lambda t}$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda^2}$	1	計算	
アーラン分布	$\frac{(\lambda k)^k}{(k-1)!}\cdot t^{k-1}\cdot e^{-\lambda kt}$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{k\lambda^2}$	2	計算	$k=1$ で指数分布 $k\to\infty$ で単位分布
ガンマ分布	$\frac{\lambda^K}{\Gamma(t)}\cdot t^{K-1}\cdot e^{-\lambda t}$	$\frac{K}{\lambda}$	$\frac{K}{\lambda^2}$	2	計算	$K=1$ で指数分布 $K\to\infty$ で単位分布
本研究の分布	$\frac{m(t-\gamma)^{m-1}}{t_0}\cdot e^{-\frac{(t-\gamma)^m}{t_0}}$	$t_0^{\frac{1}{m}}\Gamma\left(1+\frac{1}{m}\right)+\gamma$	$t_0^{\frac{1}{m}}\left\{\Gamma\left(1+\frac{2}{m}\right)-\Gamma^2\left(1+\frac{1}{m}\right)\right\}$	3	計算 確率紙	$m=1$ で指数分布 $m\to\infty$ で単位分布

表3　駐車時間分布の各分布型への適合度の検定

番号	駐車台数	本研究の分布 χ^2	f	α	ガンマ分布 χ^2	f	α	アーラン分布 χ^2	f	α	指数分布 χ^2	f	α
1	353	4.564	11	95%	5.787	10	80%	5.746	11	80%	161.14	11	—
2	452	5.478	11	90	7.690	11	75	5.327	10	70	78.16	12	—
3	388	6.060	9	70	9.551	9	40	11.477	9	25	516.70	12	—
4	272	8.303	9	50	9.780	9	40	12.693	9	20	58.68	12	—
5	89	10.932	7	15	12.554	7	10	16.075	7	2.5	49.72	7	—

(注) χ^2: χ^2 計算値　f: 自由度　α: 有意水準

単にパラメータを決定し得る便宜がある最も優れた分布型である．各分布型の諸性質を比較したものを表2に示す．

各分布型に対し，実測値を用いて適合度を検定した結果を表3に示す．

表3の結果から，何れの場合でも，本研究の理論分布が他の分布型よりも実測値への適合度が優れていることを示した．特に，指数分布の適合度がきわめて悪い結果を示しているのは，$t=0$ で $f(t)$ が最大となる欠点が大きく影響している．

5. おわりに

駐車時間分布の密度関数が，駐車時間の n 乗に比例すると仮定して求めた確率密度関数式が，係数を考慮することにより，ワイブル分布にまったく一致することが示された．

本研究の理論分布を指数分布，アーラン分布，ガンマ分布と比較した場合，各分布型の諸性質上からも，また実測値の適合度の検定の結果からも，ともに本研究の理論分布が駐車時間分布として最も優れていることが立証された．さらに，駐車時間の理論分布を求めるのに便利なように，ワイブル確率紙上でパラメータを決めることにより直ちに理論値が求められる膨大な表を，電子計算機により計算した旨を示した．

(1969年4月1日受理)

参考文献

1) 川浦潔：高速道路のサービスエリヤにおける駐車実態調査とその解析(その2)，生産研究 Vol. 20, No. 7.
2) W. Weibull: A Statistical Distribution Function of Wide Applicability, Journal of Applied Mechanics, Vol. 18 (1951).
3) 1) に同じ.
4) 高速道路調査会：高速道路における休憩施設の計画設計要領作成に関する調査報告，1967年3月.