

高速道路休憩施設における 駐車時間分布に関する研究

大蔵 泉* 江頭正州**

高速道路の休憩施設（サービスエリア等）の計画・運用を効率的に行うには、駐車特性を的確に把握する必要がある。駐車特性を表わす状態量のうちでも、駐車時間分布は基本的なものである。本研究では、実際の駐車時間分布が駐車目的によって異なる複数の分布から成ることを考慮して、合成分布による表現を提案した。これらの分布型を実測データにあてはめて検証した結果から、現実の分布によく適合することが判明した。

Parking Duration Distributions in Expressway Parking Facilities

Izumi OKURA* Masakuni EGASHIRA**

For effective operation of parking facilities on expressways, the quantitative characteristics of parking phenomena are required to be analysed properly. Among state-variables representing parking characteristics, a distribution of parking duration is most essential for planning parking facilities. In this paper, composite distributions are proposed for the actual parking duration distributions, considering that actual distributions are composed of various duration distributions. Many field observed data were applied to the proposed distributions and it was found out that the actual distributions fitted well to the proposed ones.

1. はじめに

近年、高速道路の利用交通需要の定常的な増加に伴い、本研究で研究対象とする休憩施設、すなわちサービスエリア・パーキングエリア（以下適宜SA、PAと略称する）の利用状況も変化している。つまり、休憩施設利用台数の増加や、目的地までの時間調整のための一時的な駐車増加等の構造的な変化が見られる。こうした休憩施設の量的・質的な変化を的確に把握し、その特性を定量的に分析すること

は、休憩施設の計画および円滑な運用のために重要なことである。休憩施設のサービス水準に支配的な影響を持つ駐車台数は、各種要因のもとに通常Fig. 1に例示するようなプロセスを経て設定される。本研究では高速道路の規模設定に係る基礎的情報を見直すことを目的として、Fig. 1で示す回転率に係る駐車時間に着目し、その駐車時間分布構造の設定について新しい試みを行った。

2. 駐車時間分布に関する在来の研究

駐車時間の分布に関しては、駐車場容量検討の一環として、わが国交通工学研究の黎明期から検討がなされており、都市内駐車場における駐車時間実測値の分布に対して、その分布を指数分布とみなして適合度検定を行った研究¹⁾がその緒をなすものである。その分布結果によると、指数分布が「かなりの

* 横浜国立大学工学部教授
Professor, Faculty of Engineering,
Yokohama National University

** 横浜国立大学大学院博士課程前期
Graduate Student in Civil Eng.,
Yokohama National University
原稿受理 1991年12月20日

適合保証が認められた”ことから、これ以降の幾つかの研究^{2~4)}においては駐車時間の分布を指数分布とした論旨展開がなされた。それ以降しばらくして行われた高速道路のサービスエリアにおける駐車時間分布に関する系統立った分析^{5,6)}においては、都市内路外駐車場と比べて、駐車目的とも関連して、その分布型にも相違のあることが知られ、実測の分布型は単なる指数分布でないことが報告されている。当該論文においては、その分布型に関してはワイブル分布、ガンマ分布そしてアーラン分布の三種を4つのサービスエリアについて各観測時間帯についてあてはめて、その結果を相互に比較した結果⁶⁾、相対的にはワイブル分布の適合度が優れるという理由から、駐車時間の分布型としてワイブル分布を推奨し、サービスエリアの容量検討においてもその分布型を適用した論旨展開がなされている。

3. 本研究で想定する駐車時間分布型

前節で記述した駐車時間分布に関して、少なくとも駐車目的の異なる車両の駐車時間長の差異および適用分布型についての検討が必要となろう。

まず、前者については、その駐車目的に応じて駐車時間の分布はそれぞれ異なる分布をなしていると考えの方が自然である。つまり、食事および休憩を主体とする立ち寄り車両の駐車時間は、用便・リフレッシュメントを主体とする駐車時間よりは長くなり、それらの駐車時間分布はそれぞれ別なものとなろう。この前提に立つなら、観測を通して得られる駐車時間分布は、相異なる駐車目的に対応する駐車時間分布の合成分布となるはずであり、単一の分布型を仮定することには限界がある。このことについては、5章において述べる。

一方、駐車時間の分布型としていかなる確率分布をとるかという後者の課題については、従来の研究においては2章で記したように、指数分布¹⁾など、指数分布をも含むワイブル分布⁶⁾などが、実際の駐車時間

分布によくあてはまるという実証的分析結果が知られている。これらの研究で選択された分布型は、理論的な背景に基づく帰結というわけではなく、実測分布への適合性の優劣に基づいて選択されたものである。本研究で採用する分布型に関しては、理論的背景に基づく分布型の新たな提案を持ち合わせているわけではないため、従来の研究のアプローチ方法と同様に、実測分布への適合性のよい分布を実証的に特定し、これを用いることにする。分布型としては、これらの経緯から指数分布・ワイブル分布に限定する必要はなく、次に記す2つの条件を充足するとともに操作性に優れた確率分布 $f(t)$ を選択する。

- ・その分布関数は単調に増加する性質を持つこと
 - ・駐車時間 t は正のある値以上の値をとること
- いま下限を α とすれば、上記条件は次のようになる。

$$\begin{aligned} f(t) &\geq 0 & (t \geq \alpha) \\ f(t) &= 0 & (0 < t < \alpha) \end{aligned}$$

上述の諸条件を充足し、かつパラメータの組み合わせによって指数分布から一様分布までも表現でき、かつ合成分布を仮定した場合のパラメータ推定が容易であること等を考慮して、本研究においては、その確率密度関数 (p 、 d 、 f) が次式で示されるアーラン分布を適用することにした。

$$e(t) = \frac{(K\lambda)^{kt} k^{-1}}{(K-1)!} e^{-\lambda kt}$$

$$\text{平均 } M = 1/\lambda, \text{ 分散 } V = M^2/K$$

この分布のパラメータは K (正整数) と λ であり、 $K=1$ のとき指数分布、 $K=\infty$ で一様分布となる。

4. 分析に用いたデータと分析手順

4-1 適用データ

本研究で用いたデータは、日本道路公団が行った昭和60年の休憩施設利用実態調査の東名高速道路(東京—三ヶ日間)のものであり、分析対象休憩施設数は、11PA、5SAの計16地点である。これらについて上り下り別、平日休日別、車種別さらには時間帯について考慮し、合計192ケースの駐車時間分布を実測値から得た⁷⁾。

4-2 分析方法

実測に基づいて得られた駐車時間分布に対し、適切な確率分布を仮定し、各データに対してカイ2乗適合度検定を適用し、適合性のもっともよいパラメ

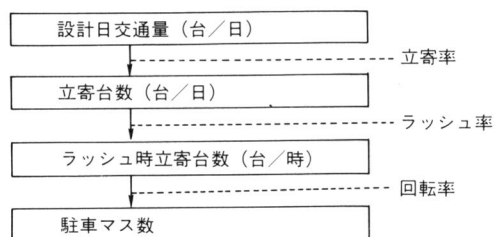


Fig. 1 駐車マス数算定手順

ータを確定し、法則性を見出すことを試みた。

分析時の要点は、どのように分布型を仮定するかであり、本研究ではまず従来行われた代表的な研究の結果であるワイブル分布の単一分布適用結果を整理し、その特性について考察する。次いでアーラン分布の合成分布による適用結果をとりまとめ、パラメータの法則性等に考察を加え、休憩施設計画・設計時に必要な基礎情報の整理を行った。

5. 単一分布による駐車時間分布の表現の限界

3章で述べたように、高速道路のサービスエリアを対象とした分析⁶⁾においてワイブル分布の適合性がガンマ分布等に比べて相対的には若干優れているとの分析結果が報告されている。ただしパーキングエリアについては分析はなされていない。この調査分析後20年余が経過して交通状況もかなりの変化を呈していることから、その検証も兼ねて、ワイブル分布の単一分布の代表として、パーキングエリアも対象に含めての検討を行うことにした。ワイブル分布の確率密度関数は次式で表現される。

$$f(t) = m(t - \gamma)^{m-1/t_0} \cdot \exp[-(t - \gamma)^{m/t_0}]$$

ここにm：形 (Shape) のパラメータ、

t₀：尺度 (Scale) のパラメータ

γ：定置 (Location) のパラメータ

これら3つのパラメータのうち、パラメータmを変化させることで分布の形を変えることができる。つまり、m=1で指数分布、m=3、4で正規分布に近づき、m=∞で単位分布になるという具合に広い範囲の分布を表すことができる。いま、パラメータの1つであるγについて、γ=0としても分布の一般性を失わないことからγ=0として当該分布の平均値(μ)と分散σ²を求めれば、次のようになる⁵⁾。

$$\mu = t_0 \cdot \Gamma(1 + \frac{1}{m})$$

$$\sigma^2 = t_0^2 \cdot [\Gamma(1 + \frac{2}{m}) - \Gamma^2(1 + \frac{1}{m})]$$

これらから、μおよびσ²はt₀^{1/m}とmによって決定されることが知られる。この性質に基づいて、本研究ではまずmの値を仮定して実測データの平均値からt₀の値を推定するという作業を通じて、最も適合性のよいパラメータの組み合わせを探し出した。

このような分析プロセスを設定した上で、検証対象の施設をランダムに抽出して(SA5ヶ所、PA11ヶ所)ワイブル分布の適合度検定を実施したところ、

いずれの地点においても有意水準0.1%未満で有意とはいえない結果となった。Fig. 2は、分析結果のうちでも相対的に良好な適合性のみられた地点についてワイブル分布の適合状況を例示したものである。一見して良い適合性を示していると考えられるが、有意水準にして1%に満たない結果となっている。その背景としては、実測値の分布型がピークを1つとしたような単純な形にはなっていないことや、長時間の駐車がかなりの比率で認められることが考えられる。このことは単一の分布型で駐車時間分布を代表させることが適切でないことを意味するものであり、複数の分布型による合成分布の有効性を示唆している。このことから、単一分布の適用による駐車時間の分析はこれだけに留め、以降は合成分布の適用による分析を行うことにした。

ところでこうした考察の過程において知られるように、分布型としてワイブル分布を採用することの是非についてここで述べた分析結果から直接的に評価することはできない。

6. 合成分布のあてはめ

休憩施設利用車両の駐車時間が目的毎に異なるという前提のもとに合成分布による駐車時間の分析を

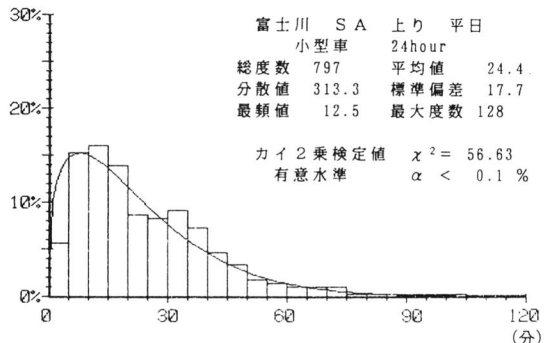
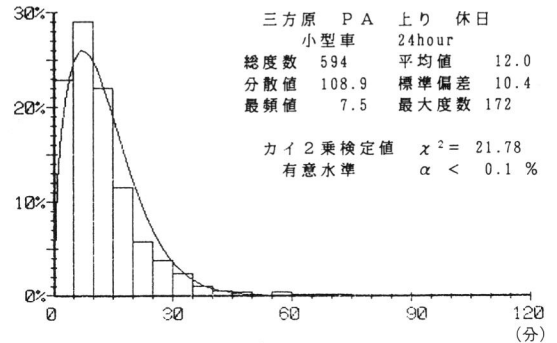


Fig. 2 ワイブル分布による駐車時間分布の適合状況例

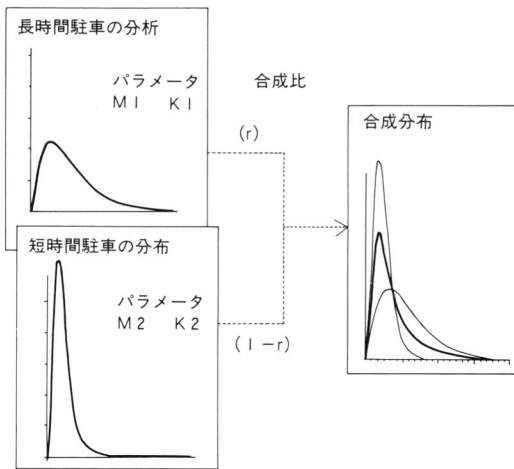


Fig. 3 合成分布のイメージ

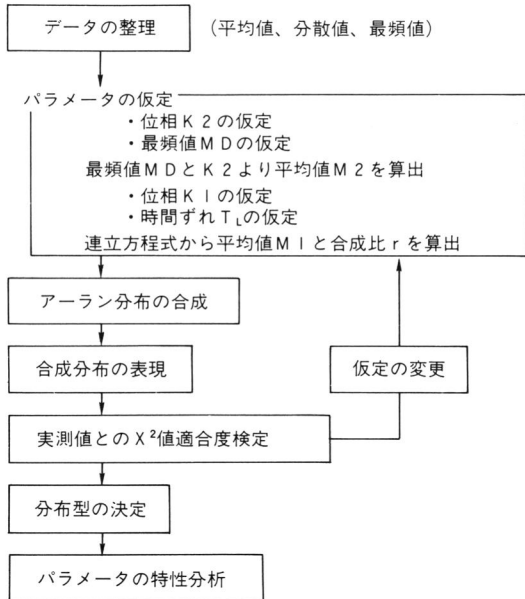


Fig. 4 合成分布の適合性検手手順

行った。現実の分布が、駐車時間が短時間ですむ利用と長時間となる利用の2つから構成され、それらが合成比によって重ね合わさっているという構造のイメージを表すと、Fig. 3 のようになる。

6-1 分布型の選択と分析方法

1) 適用した分布型

合成分布の基礎となる分布型の条件は、3章に記述したとおりであり、その条件を充足する分布型としては、ワイブル分布、アーラン分布、ガンマ分布等をあげることができる。これらのうち、どの分布

型を分析対象として採るかを判断するに当たっては、合成分布としてのパラメータ推定の容易性と合成構造の簡明性とを考慮する必要がある。上記分布型のうち、アーラン分布の合成については、合成構造も相対的に明解であり、推定処理の操作性もよいことから、本研究ではアーラン分布をベースとして合成分布による分析を行うことにした。なお、適用対象が異なるものの適用事例⁸⁾があり、推定上の要件はこれを参照することができる。

2) 分析方法

ここで適用するアーラン分布の確率密度関数 (p·d·f) は、3章において記した通りである。そのパラメータはλと位相K (整数) の2つであり、それらによって分布の平均値 (M = 1/λ) および分散 (V = M²/K) が規定されている。いま、現実の駐車時間分布が、Fig. 3 に例示したような2つの異なるアーラン分布 (そのp·d·fをそれぞれe₁(t)、e₂(t)とする) から成ると仮定すると、合成分布の確率密度関数g(t)は、次のように表される。

$$g(t) = e_2(t) \cdot \gamma + e_1(t - t_L) \cdot (1 - \gamma)$$

ここに

e₁: 長時間駐車群の分布 (パラメータλ₁, K₁)

e₂: 短時間駐車群の分布 (パラメータλ₂)

γ: 合成比 (分布e₂の構成比)

t_L: e₁分布の最小値

この合成分布の平均 (M)、分散 (V) については次のように表される。

$$\begin{aligned} M_2 \cdot \gamma + M_1 \cdot (1 - \gamma) &= M \\ (M_2^2 + V_2) \cdot \gamma + (M_1^2 + V_1) \cdot (1 - \gamma) &= M^2 + V \end{aligned}$$

ここに、添字1、2は分布e₁、e₂の添字に対応する。上式において実測分布から得られるのはM、Vであり、この他に最頻値についても簡単に知られる。合成に当たっては左辺における5つのパラメータとt_Lを設定する必要があるが、これらのパラメータに対し平均値と分散値からの2つの関係式があるので、パラメータの仮定が必要となる。そこでまず、分布型の選択の幅が大きくない短時間利用の分布の位相K₂を仮定し、これと実測値として求められる最頻値 (MD) との関係 (次式) から平均値M₂を設定することにした。

$$MD = \frac{K_2 - 1}{K_2} M_2$$

Table 1 休憩施設別駐車時間に関する統計的特性値

	サービスエリア (SA)						パーキングエリア (PA)						
	平日			休日			平日			休日			
	小型	大型	全車	小型	大型	全車	小型	大型	全車	小型	大型	全車	
対象地点数	10	10	10	10	10	10	22	22	22	22	22	22	
台数	1453	1254	2710	2062	748	2595	741	991	1757	822	461	1074	
標準偏差	580	393	1016	423	160	18	499	411	922	475	255	324	
駐車時間(分)	平均値	21.8	26.8	24.4	20.3	24.5	20.6	13.7	17.7	16.1	12.4	17.5	14.0
	標準偏差	2.0	1.8	0.8	1.9	1.4	0.7	1.8	2.7	2.3	2.3	3.0	2.3
	分散値	325.9	600.6	451.0	275.0	448.5	328.9	223.3	422.8	350.7	153.8	414.6	252.5
	標準偏差	67.9	71.5	60.6	60.1	49.0	25.8	48.8	88.2	70.8	43.0	88.0	46.3
	最頻値	8.8	10.0	10.0	10.5	13.3	10.0	7.1	5.0	5.2	7.0	6.8	7.2
	標準偏差	2.2	5.6	2.5	2.5	1.9	2.5	1.4	4.2	3.0	2.2	3.6	2.7

注) 表中、「平均」は地点(即ち施設)間平均を意味する。

Table 2 休憩施設別合成分布による適合度検定結果総括表

	サービスエリア (SA)						パーキングエリア (PA)							
	平日			休日			平日			休日				
	小型	大型	全車	小型	大型	全車	小型	大型	全車	小型	大型	全車		
パラメータ	γ	平均	0.45	0.48	0.32	0.50	0.51	0.24	0.25	0.29	0.22	0.20	0.23	0.14
		標準偏差	0.15	0.16	0.32	0.11	0.02	0.01	0.10	0.17	0.15	0.18	0.14	0.04
	M_1	平均	29.32	37.16	42.90	24.71	26.67	37.38	26.23	29.04	35.29	25.01	40.98	35.60
		標準偏差	6.42	15.81	17.52	6.98	6.99	0.50	5.26	4.56	12.65	8.44	14.34	7.80
	M_2	平均	13.95	20.79	28.00	17.33	25.67	15.25	9.40	8.30	9.64	10.53	11.20	10.72
		標準偏差	5.29	12.46	8.49	7.54	8.34	1.25	1.16	1.83	2.05	3.11	2.87	1.83
	K_1	平均	2.3	2.3	2.3	2.3	2.5	2.0	1.1	1.1	1.6	1.2	1.6	1.5
		標準偏差	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.3	0.3	0.9	0.4	0.9	0.8
	K_2	平均	3.0	2.1	2.0	2.3	3.0	2.5	3.3	2.2	2.4	3.0	2.8	2.7
		標準偏差	0.8	0.3	0.0	0.4	1.0	0.5	0.7	0.4	0.7	0.6	1.5	0.6
	該当地点数	7	7	3	3	2	2	17	10	14	15	17	13	
	駐車時間(分)	台数	平均	1500.0	1215.7	1898.3	2019.3	629.5	2594.5	688.6	870.6	1626.0	737.0	478.9
標準偏差			605.5	412.6	331.6	505.5	3.5	17.5	335.6	194.4	495.6	352.9	268.0	329.6
平均値		平均	21.6	26.9	25.0	20.0	26.1	20.6	13.6	16.2	15.5	12.5	17.6	14.8
		標準偏差	2.0	1.9	0.5	2.1	0.6	0.7	1.5	2.4	1.9	2.2	2.9	1.9
分散値		平均	332.4	601.9	407.7	284.0	388.0	328.9	226.6	383.1	336.3	154.8	425.8	270.2
		標準偏差	70.2	58.8	9.1	75.2	2.8	25.8	48.5	65.3	55.1	48.5	76.6	31.4
最頻値	平均	8.9	9.6	12.5	10.8	15.0	10.0	7.2	3.0	5.0	7.2	6.9	7.9	
	標準偏差	2.3	5.9	0.0	2.4	2.5	2.5	1.2	1.5	2.5	2.2	3.4	2.4	

注) 有意水準: 危険率1%以上。

位相は K_2 は2~8までの整数値をとり、MDは第2の分布の最頻値相当の値となる。

しかる後に、もう一方の位相 K_1 と長時間駐車分布の最小値 t_L を仮定した上で、連立方程式を用いて残りの2つのパラメータ(M_1 、 γ)を決定する。こうしてできたパラメータの組み合わせによる分布の適合性をカイ2乗値によって判断し、組み合わせを少しずつ変えながら最も適合しているものを探した。この手順を図示するとFig. 4のようになる。

6-2 分析結果

分析対象の施設サンプル数は、同じ名称の施設でも分析上、上下別に独立に扱ったことから、SAは10、PAは22である。これらの施設における駐車時間分布について、小型車・大型車別、平日・休日別の分類を設定して、各類型の代表的統計を表すとTable 1のようになる。

これらの標本施設を対象として、Fig. 4で示した分析手順に基づいて分析した結果について、統計的有意水準(つまり危険率)にして1%以上を一つの

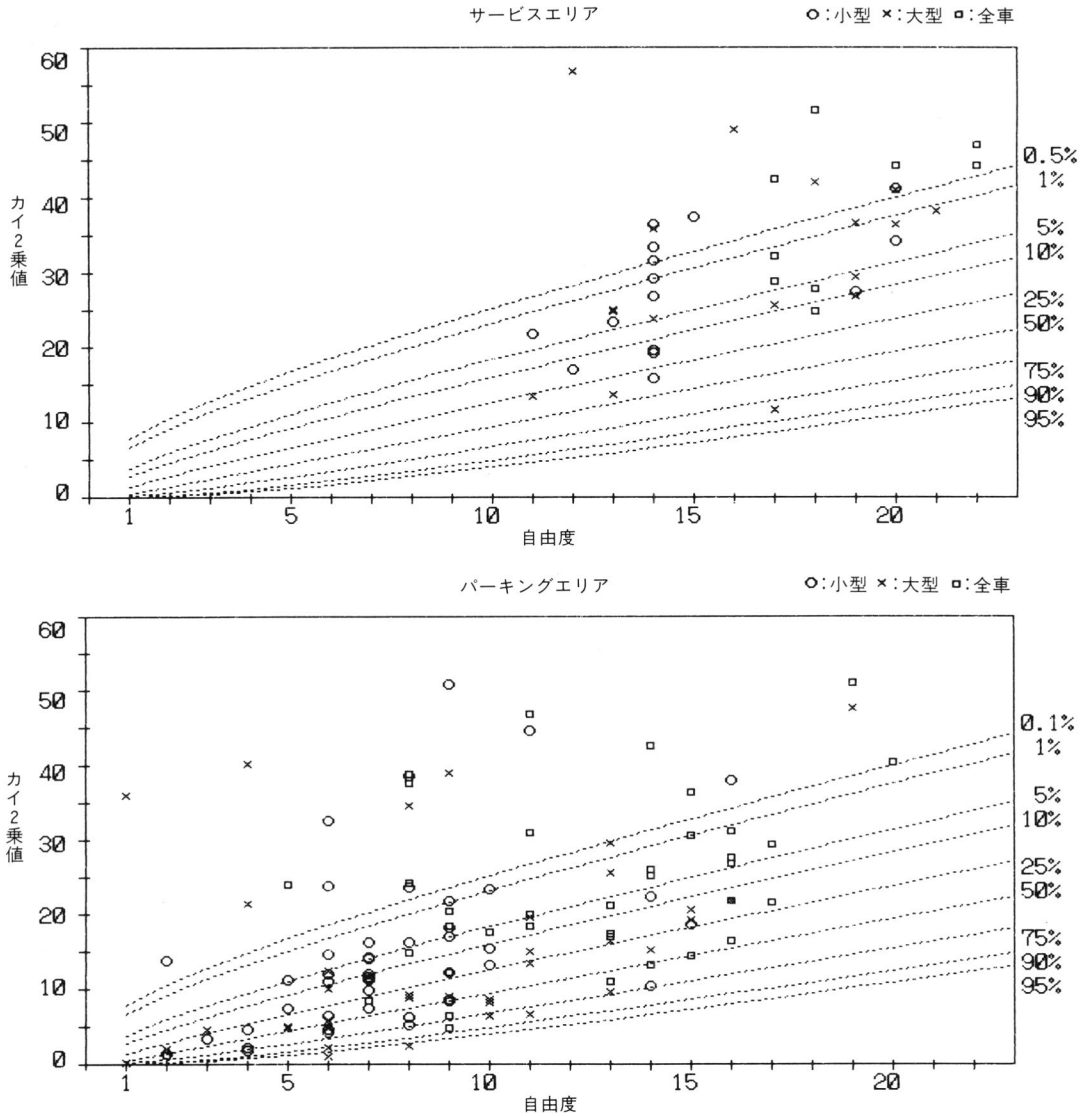


Fig. 5 合成分布表現による統計代表値分布

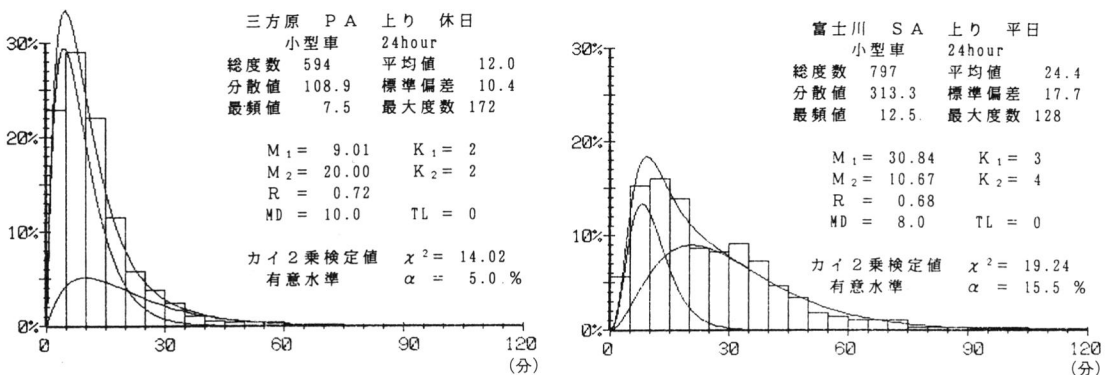


Fig. 6 合成分布による分布の適合状況例

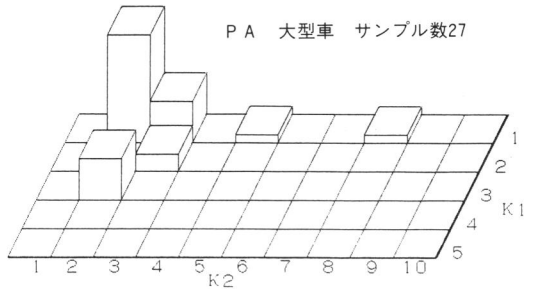
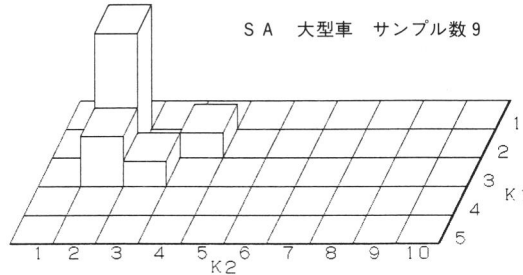
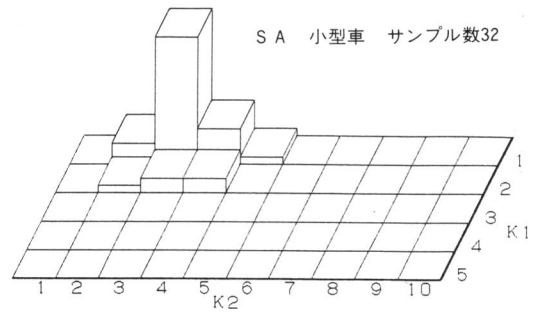
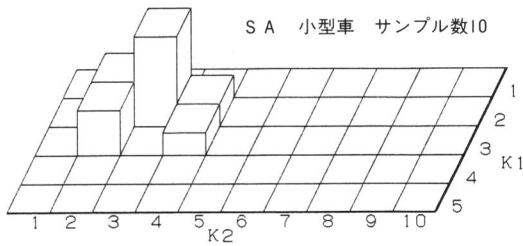


Fig. 7 (A) サービスエリアに関する駐車時間分布の
パラメータ推定値の分布

Fig. 7 (B) パーキングエリアについての駐車時間分布
パラメータ推定値の分布

境界として弁別した結果、該当する地点の統計量をまとめてみるとTable 2のようになる。

また、各分析地点のカイ2乗値を自由度との関係で図示すると、Fig. 5のようになる。

これらの分析を通じて、次のことが知られる。

(1)合成分布を適用することによって、単一分布の場合（前述5章）より、カイ2乗値が増加し、実現分布への適合度が向上する。

(2)合成分布への適合度はパーキングエリアにおいて相対的に大きいことが知られた。実現値に対する分布の適合状況を例示すると、Fig. 6のようになる。

(3)休日・平日別にみると、駐車時間平均値に差はあるものの、分布のパラメータを整数値の範囲で比較すると大きな差異が認められないことから、休日・平日の別なく、SA、PA別に分布のパラメータ K_1 、 K_2 について整理してみると、Fig. 7のようになる。 K_1 、 K_2 の組み合わせ（ K_1 、 K_2 ）を最頻値でみると、SA、PAともに、次のような車種別に異なる傾向が知られる。

- ・SAの場合：小型車（2、3）、大型車（2、3）

- ・PAの場合：小型車（1、3）、大型車（1、2）

(4) t_L つまり長駐車時間分布の最小値については、Fig. 8に示すような結果が知られた。時間ずれ6～10分程度の頻度（特にPA・大型車）が多く知られるが、時間ずれゼロの頻度が圧倒的に多いことから、

実際には $t_L = 0$ としてもよいと判断される。

7. まとめと今後の課題

休憩施設の基本的状態である駐車時間分布について、施設利用目的を想定して、駐車時間の長短二種の分布を前提に、位相の異なるアーラン分布による合成分布の表現を提案し、その適合性についての検討結果を示した。その結果、実用上、充分な精度での駐車時間分の再現性を実証的に確認できた。

これらの知見のもとに駐車容量の解析を行うとともに施設運用のサービス水準の評価を行うことによって、望ましい施設計画・設計の方向を考察することができよう。

本研究の延長上で、今後継続的に研究を行うことが必要であると考えられる項目をまとめてみると次のようになろう。

①休憩施設設計・計画のための情報としては、本研究に述べた駐車時間分布の他に、当該施設への立ち寄り率についての分析が必要となろう。

②本研究は、単時点データによる分布を示したが、休憩施設利用の構造変化を十分に考察するには、多時点データに基づく時系列分析が必要になろう。

③本研究においては駐車時間分布の構造がかなりの程度明らかになったと考えられるが、現象の法則

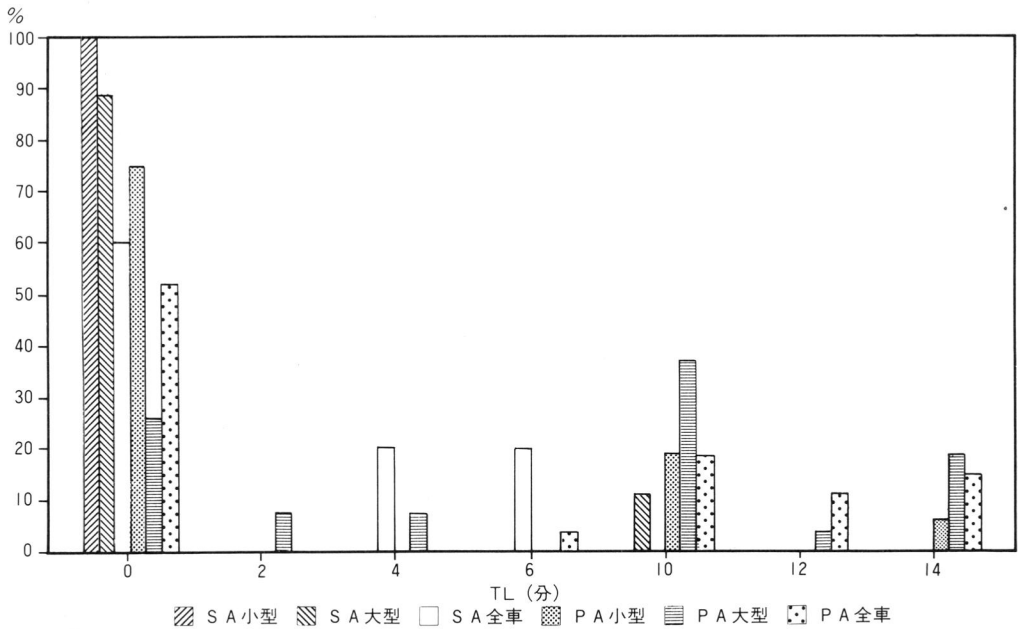


Fig. 8 長時間駐車分布における時間ずれ (t_i) の状況

性の発見・整理のためには、他の路線におけるデータに基づく分析・統合化が必要であると思われる。

これらの過程を通じて、各パラメータと地域特性・施設立地条件との関連性・法則性がより明らかになり、本モデルの計画・設計時での適用が容易になるものと考えられる。

なお、本稿をとりまとめるに当たっては、分析のためのデータ使用許可をいただいた日本道路公団本社(計画部・技術部)、東京第一管理局等多くの方々から暖かいサポートをいただきました。ここに厚く謝意を表する次第であります。

参考文献

- 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』pp.547~550、1954年
- 米谷栄二・加藤晃「路外駐車場の容量に関する理論的解法」『土木学会論文集第36号』pp.50~57、1956年8月
- 毛利正光「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」『土木学会論文集第46号』pp.46~51、1957年6月
- 毛利正光「駐車現象の統計解析」『土木学会論文集第66号』pp.59~64、1960年1月
- 川浦潔「高速道路のサービスエリアにおける駐車実態調査とその解析(その2)」『生産研究20-7』pp.50~52、1968年7月
- K. Kawaura: On capacity of parking space in expressway service area, Proc. of JSCE. No.219, pp.121~132, 1973
- 日本道路公団『東名高速道路休憩施設利用実態調査報告書(資料編)』1986年2月
- M. Katakura: Time headway distribution of traffic flow, Proc. of JSCE. No.189, May, 1971, pp.107~115
- 江頭正州「休憩施設における駐車時間分布に関する研究」横浜国立大学卒業論文、1990年3月