

信号交差点における飽和交通流率の変動の基本特性

Fluctuation of Saturation Flow Rate at Signalized Intersections

鹿田成則*, 片倉正彦**, 大口 敬***

by Shigenori SHIKATA, Masahiko KATAKURA, Takashi OGUCHI

1. はじめに

都市内街路における交通渋滞の主要な原因が信号交差点の交通容量の不足にあることは周知の事実である。交差点改良や信号制御の高度化等の主要な交通渋滞対策の眼目が交差点の交通容量の増大にあることは現在も変わりはない。都市内においては新たな道路建設や道路拡幅等の対策が今後ますます困難になり、既存の道路網の中で交通容量の増大を図らざるを得ないという状況におかれているのが現状である。

信号交差点の交通容量は交差点流入部の飽和交通流率と信号制御方法に応じて決まるものであり、交差点の交通容量研究の主体は飽和交通流率の研究にあるといつてよい。従来より建設省や大学、研究機関等で飽和交通流率の観測が行われ、十分とはいえないまでもデータの蓄積が図られてきた。これらの飽和交通流率の実測結果は、飽和交通流率の値が交差点によらず一定ではなく、交差点ごとに大きく変動するという事実を明確に示している。交差点ごとの飽和交通流率に大きな変動が存在するということは、飽和交通流率の変動幅を小さくし、飽和交通流率をできるだけ高いレベルに維持するような交通容量の増大策を立案できる可能性を示唆しているといえる。

既存の道路の中で交通容量を増大させるという現実の制約を踏まえると、飽和交通流率の実際の変動に着目し、その変動特性を明らかにすることが重要であり、このような特性分析をとおして飽和交通流率の変動要因を明確にすることが可能となる。本研

究は、従来から指摘されてきた変動要因を対象に要因分析を行い、飽和交通流率の変動に対するこれらの要因の寄与度を確認し、飽和状態における車頭時間分布をとおして交差点ごとの飽和交通流率の変動特性を明らかにすることを目的に実施した。

2. 従来の飽和交通流率の実測結果

筆者らは、従来実施されてきたわが国の飽和交通流率の実測結果を収集整理し、その結果を文献1)にまとめた。図-1はその結果に基づいて作成した飽和交通流率の実測値の分布である。これらの飽和交通流率は、全国105箇所の直進車線で観測された飽和交通流率の値であり、小型車のみで構成された値である。この図から飽和交通流率の値は、約1,580~2,480pcu/青1時間という非常に広範囲の値が得られており、交差点ごとに大きな変動のあることを示しているのがわかる。

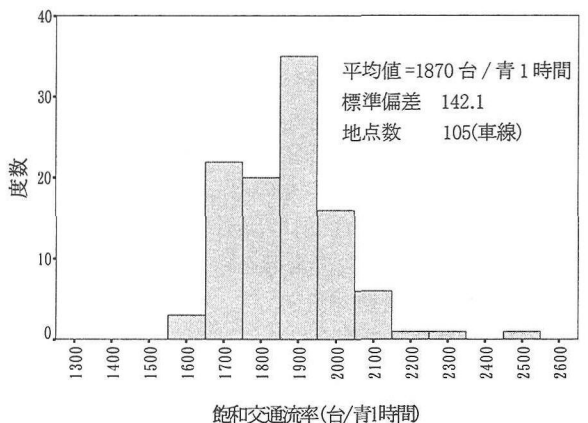


図-1 従来の飽和交通流率の観測結果

図-1の飽和交通流率は小型直進車のみから得られた値であり、飽和交通流率としては最も安定して得られるはずの値である。これらの実測結果について確認した結果、観測交差点の条件が明確でないもの、飽和交通流率の算出に必要な飽和状態の定義が

キーワード：信号交差点、交通容量、飽和交通流率、車頭時間分布

* 正会員 工修 東京都立大学工学部土木工学科

** 正会員 工博 同上

*** 正会員 工博 同上

〒192-03 東京都八王子市南大沢 1-1

TEL:0426(77)1111, FAX:0426(77)2772

明確でないもの、飽和交通流率の算出に用いたデータが不十分であるなどの問題を含んでいるものもあり、図-1にみられる結果が真に飽和交通流率の変動の実態を示しているとはいいがたい面もある。

飽和交通流率の実測値を求めるためには、観測条件、飽和交通流率に使用するデータの抽出条件、算出方法等を明確にしておく必要がある。本研究では、飽和交通流率の観測条件、算出条件を明確にしたデータを用いて分析を行うために、新規にデータを収集することとした。

3. 観測方法および分析に使用したデータ

本研究では、東京都内の都心部と郊外部に位置する11箇所の交差点(14直進車線)において観測を行った。観測方法は、交差点周辺のビルの屋上からビデオカメラによって撮影し、ビデオカメラを設置できる建物がない場合はカセットレコーダを用いて読み取り基準点(対象流入部の横断歩道の側線)を車両の後端が通過した時点を音声によって録音するという方法で行った。

収集したデータは、読み取り基準点の通過時刻(車両後端)、車種(大型車と小型車)、信号表示(青、黄、赤)の切り替わり時刻、飽和/不飽和サイクルの別、待ち行列末尾車両(不飽和サイクルの場合)である。カセットレコーダを用いた観測では、基準点通過時の合図とともに観測時に上記のデータを音声によって録音した。

飽和交通流率の算出に用いるデータは飽和状態にある車両を対象にしなければならず、次の条件にあるデータを分析に使用した。

- ①信号サイクルごとに先頭から3台目までの車両を発進遅れの影響を受けるものとみなして除外した。
- ②飽和サイクルの場合、信号現示切り替わり時に生じるクリアランス損失の影響を除外するため青終了時までに通過した車両を対象とした。
- ③不飽和サイクルの場合は待ち行列末尾車両までとし、飽和交通流率の値の安定性を確保するため4台目以降の車両通過台数が10台以上あるサイクルのみを対象とした。
- ④交差点下流側に先詰まりが発生した場合や緊急車両の通過等があった場合は、そのサイクルのデータを分析から除外した。

4. 観測結果と変動要因の分析

飽和交通流率(直進車線)に影響を及ぼす要因と

して従来から指摘されている要因は、以下のとおりである。

- ①幾何構造要因：車線幅員、縦断勾配、路面状態
 - ②交通要因：車種(大型車)
 - ③信号制御要因：青時間長
 - ④周辺要因：地域特性(都市部・地方部等)
 - ⑤その他：天候、昼夜、平日・休日、渋滞・非渋滞
- 上記の要因のうち、縦断勾配と大型車の2要因は飽和交通流率に影響を及ぼす要因として明らかであり、その影響度を定量化する研究もなされてきている。路面状態や地域特性についてその影響を示した研究もあるが、これら以外の要因については定性的な指摘にとどまっている。

本研究では、観測したデータを用いて、飽和交通流率の変動の大きさに対する要因の寄与度を重回帰分析によって解析し、影響の有無およびその程度の確認を行った。今回観測したデータに関連する要因は、車線幅員、大型車、青時間長の3要因である。これら3要因以外の要因は、縦断勾配(全地点ほぼ平坦)、地域特性(都市部)、天候(晴れまたは曇り)、平日、渋滞時となっている。

重回帰分析は、信号サイクルごとに次式によって算出した飽和交通流率を被説明変数、大型車混入率(データ範囲0~90%)、車線幅員(同2.8~4.5m)、青時間長(同30~100秒)を説明変数にして行った。

$$S_i = (N_i - 1) / t_i$$

S_i : i サイクルの飽和交通流率(台/秒)

t_i : 先頭4台目の車両から飽和交通流率の対象とした末尾車両までの通過所要時間

N_i : t_i の間に通過した台数(台)

被説明変数の飽和交通流率の分布状況を箱ひげ図によって交差点(車線)ごとに比較したのが図-2である。この飽和交通流率の値は大型車を乗用車換算していない実台数の値である。図から交差点ごとに飽和交通流率の値がかなり大きく変動しているのがわかる(平均値は1,440~1,880台/青1時間)。

重回帰分析の結果は表-1に示すのとおりである(分析に用いたサンプル数は889サイクル)。寄与率は、大型車混入率のみを説明変数とした場合0.273、大型車混入率に青時間長と車線幅員を説明変数として加えた場合0.300であった。偏回帰係数の符号はすべて負であった。大型車混入率は妥当な結果であり、青時間長は、青時間長が長くなると飽和交通流率が低下するという従来の指摘が結果として表れている。車線幅員は、最も幅員の広い(4.5m)飽和交通

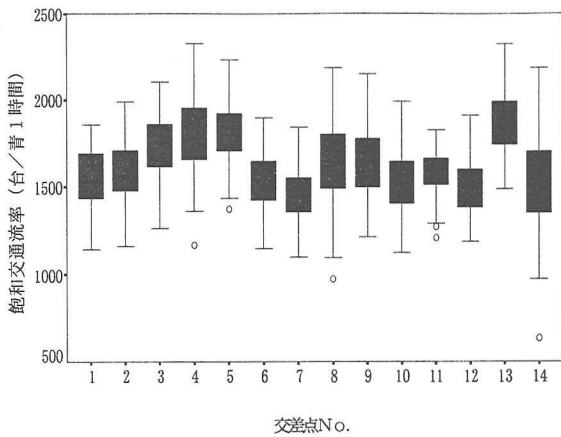


図-2 飽和交通流率の実測結果

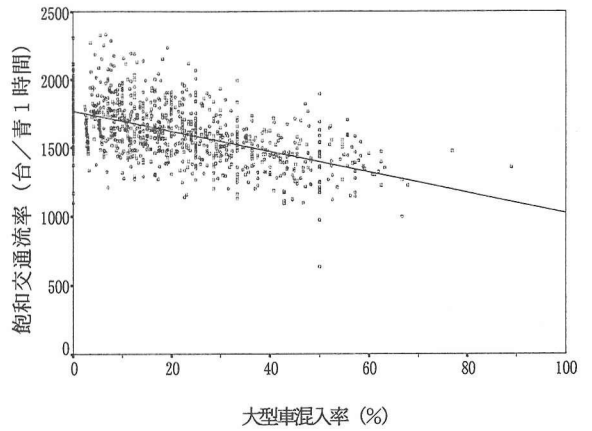


図-3 飽和交通流率と大型車混入率の相関

表-1 重回帰分析の結果

ケース	説明変数			重相関係数	寄与率
	大型車混入率	車線幅員	青時間長		
1	-6.98 (-18.25)**			0.522	0.273
2	-7.72 (-18.07)**	-49.49 (-3.91)**	-0.98 (-3.73)**	0.548	0.300

注) 説明変数の欄の数値

上段: 偏回帰係数, 下段: t 値, **: 有意水準 1% で有意

流率のデータが全体的に低い値を示していたことによるものと考えられる。この結果から、大型車混入率、車線幅員、青時間長の3つの説明変数の中では、大型車混入率が支配的要因となっており、大型車を除く2要因を説明変数に加えてもは寄与率はほとんど増加せず、これらの2要因は飽和交通流率の変動を説明するのにほとんど寄与していない。図-3は飽和交通流率と大型車混入率の相関関係を示したも

ので、大型車混入率が増加するほど飽和交通流率が低下する傾向を明確に示している。

重回帰分析の結果から、大型車の影響は明らかに存在しているものの、これらの要因だけでは飽和交通流率の変動を十分に説明しきれていないことがわかる。この結果は、飽和交通流率の変動を説明するのに単に変動要因に着目した分析だけでは限界があることを示している。

5. 飽和車頭時間の分布

4. で示したように、飽和交通流率の個々の変動要因に着目した要因分析からは、飽和交通流率の変動の大きさを十分に説明できない。そこで、流入部を飽和状態で通過するときの車両の車頭時間に着目し、交差点ごとの車頭時間分布についての検討を試みた。この車頭時間は、具体には4. で示した飽和

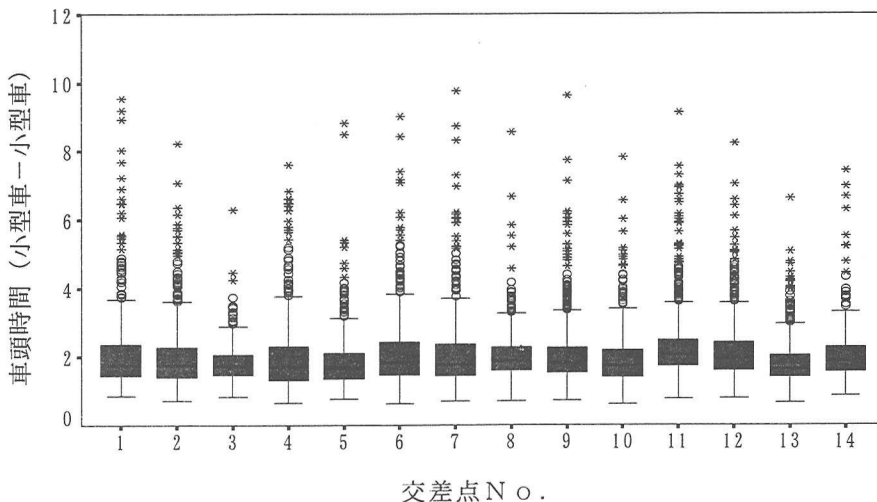


図-4 交差点別の飽和車頭時間の分布

交通流率算出式中の N_i に含まれる車両の車頭時間である(ここでこの車頭時間を飽和車頭時間と呼ぶこととする)。飽和交通流率は、飽和車頭時間の平均値の逆数として表すことができ、飽和交通流率の変動の状態は飽和車頭時間の値に直接あらわれる。

飽和車頭時間の分布を検討するに際しては、大型車の影響が明らかに存在することから大型車の影響を除いた小型直進車同士の飽和車頭時間だけを対象にすることとした(すべての飽和車頭時間から小型車-大型車、大型車-小型車、大型車-大型車の組み合わせの車頭時間を除いた)。

図-4は、飽和車頭時間の分布の状況を箱ひげ図を用いて交差点ごとに示したものである。図-4で特徴的なのは、いずれの交差点とも分布の中心傾向を示す中央値、四分位偏差に大きな差がみられないことである。大きくばらついているのは、分布の外れ値(四分位偏差の1.5~3.0倍、図中の○)および極外値(四分位偏差の3.0倍以上の値、図中の*)であることがわかる。

以上の結果は、飽和車頭時間の分布は、右に歪んだ形状の分布をし、分布の中心傾向は交差点ごとに差がほとんどみられず、交差点ごとの分布の相違は外れ値および極外値にあるということを示している。

上記の結果を確認するために、飽和車頭時間分布の統計量について飽和車頭時間の全データ(表中のA)と極外値を除いた飽和車頭時間(表中のB)との比較を行った。表-2にその結果を示す。分布統

計量の中で平均値、標準偏差および分布の形状を表す歪度、尖度は、極外値データの出現割合が0.5~3.6%とわずかであってもその影響をかなり受けているのがわかる。極外値データの割合が3.6%の交差点では、車頭時間の平均値が2.13秒から1.95秒に減少し、飽和交通流率に換算すると1,690pcu/青1時間と1,850pcu/青1時間の相違になる。

極外値の存在の影響を明らかにするために、飽和車頭時間の全データ(A)と極外値を除いた飽和車頭時間(B)とについてt検定を行った(検定結果は表-2のp値)。有意水準5%で有意差のあった交差点は4交差点あったが、p値そのものをみれば0.1を下回る交差点が8交差点あり、極外値の影響をかなり受けているといえる。各交差点のデータをあわせて全体でみると、A、B両者の間に高度に有意な差があらわれている(p値=0.000)。

今回得られたデータの範囲だけでいえば、飽和交通流率の交差点ごとの変動は、飽和車頭時間の分布の極外値の存在がその要因となっていることが示された。

6. 多重比較検定による車頭時間分布の比較

飽和車頭時間分布の極外値の出現割合が交差点間で一定であれば、飽和交通流率の変動に対して極外値の存在を考慮する必要はないが、極外値の出現割合が一定でないという結果は、地点固有の何らかの変動要因が存在する可能性を示している。この影響を除いた飽和車頭時間分布は、変動要因の影響の混

表-2 飽和車頭時間分布の統計量

No.	交差点名	平均値		標準偏差		t 検定 p 値	歪度		尖度		データ数		極外値データの割合(%)
		A	B	A	B		A	B	A	B	A	B	
1	江田	2.13	1.95	1.191	0.741	0.007**	3.01	1.56	11.67	2.90	478	461	3.6
2	橋本五差路	1.99	1.92	0.893	0.712	0.060	2.19	1.19	7.45	1.42	844	828	1.9
3	日野橋	1.82	1.80	0.511	0.458	0.579	2.07	0.95	11.10	1.32	633	630	0.5
4	西参道口(3)	1.96	1.88	1.027	0.830	0.094	2.02	1.22	5.62	1.58	667	654	1.9
5	西参道口(4)	1.86	1.80	0.819	0.632	0.183	3.17	1.30	18.51	1.87	552	544	1.4
6	大原2丁目	2.08	2.01	0.971	0.787	0.105	2.41	1.33	9.37	2.18	899	886	1.4
7	大和田小学校前	2.08	1.97	1.039	0.760	0.041*	2.76	0.43	11.50	2.16	673	657	2.4
8	大横町	2.03	2.00	0.676	0.556	0.300	2.86	1.05	17.51	1.08	716	710	0.8
9	東名入口(2)	2.00	1.95	0.778	0.609	0.050*	2.84	1.17	15.35	1.50	1181	1164	1.4
10	東名入口(3)	1.93	1.86	0.837	0.657	0.100	2.37	1.31	8.82	1.99	545	534	2.0
11	若林踏切(1)	2.19	2.15	0.699	0.602	0.038*	2.19	1.05	10.20	1.43	3413	3383	0.9
12	若林踏切(2)	2.08	2.04	0.727	0.641	0.162	1.92	1.04	7.54	1.33	1914	1898	0.8
13	谷保	1.79	1.76	0.618	0.531	0.152	1.88	1.04	6.61	1.22	1093	1079	1.3
14	矢野口	2.06	1.96	0.842	0.597	0.074	2.70	1.06	11.10	1.19	410	400	2.4
	全体	2.04	1.98	0.809	0.656	0.000**	2.50	1.16	11.82	1.84	14018	13828	1.36

注) 表中のAは全データ、Bは全データから極外値を除いたデータ。

表-3 飽和車頭時間分布の交差点間の多重比較検定結果

交差点 No.	平均車頭 時間(秒)	交差点 No.														
		13	3	5	10	4	2	9	1	14	7	8	6	12	11	
13	1.76															
3	1.80															
5	1.80															
10	1.86															
4	1.88	*														
2	1.92	*														
9	1.95	*	*	*												
1	1.95	*	*	*												
14	1.96	*	*	*												
7	1.97	*	*	*	*											
8	2.00	*	*	*	*	*										
6	2.01	*	*	*	*	*										
12	2.04	*	*	*	*	*	*									
11	2.15	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	

注) 表中の*は、有意水準5%で有意差ありを示す。

表-4 飽和車頭時間分布の多重比較検定の最終結果

交差点 グループ	平均車頭 時間(秒)	交差点グループ			
		A	B	C	D
A	1.79				
B	1.93	*			
C	2.02	*	*		
D	2.15	*	*	*	

注) 交差点グループと交差点No.

グループ A=13, 3, 5, 10 B=4, 2, 9, 1, 14

C= 7, 8, 6, 12 D=11

表-5 多重比較検定の最終結果から得られた飽和車頭時間分布の統計量

グループ	平均値	飽和交通流率	標準偏差	変動係数	中央値	四分位偏差	歪度	尖度	データ数
A	1.79	2,010	0.564	31.5	1.67	0.67	1.23	2.06	2787
B	1.93	1,870	0.696	36.1	1.77	0.80	1.24	1.92	3507
C	2.02	1,780	0.682	33.8	1.87	0.80	1.23	2.02	4151
D	2.15	1,670	0.602	28.0	2.04	0.73	1.05	1.43	3383

注) 飽和交通流率: pcu/青1時間

入の少ない分布を示しているものと考えられよう。このような極外値を除いた飽和車頭時間分布が交差点間でどのような差があるかを分析するために、多重比較検定(2標本の平均値の差の検定を3以上の標本に拡張した検定方法)を行った。その結果を表-3に示す。この結果から、交差点間に有意な差が認められない複数の交差点が存在し、それらを1つ

の交差点グループにまとめると、有意差のあるグループとして分類される。具体的には、(No. 13, 3, 5, 10)、(No. 4, 2)、(No. 9, 1, 14)、(No. 7)、(No. 8, 6)、(No. 12)、(No. 11)の7グループである。

これらの等質な交差点グループをあわせて一つの分布とし、再度多重比較検定を行い、複数の等質なグループがなくなるまで、すなわちすべて有意差の

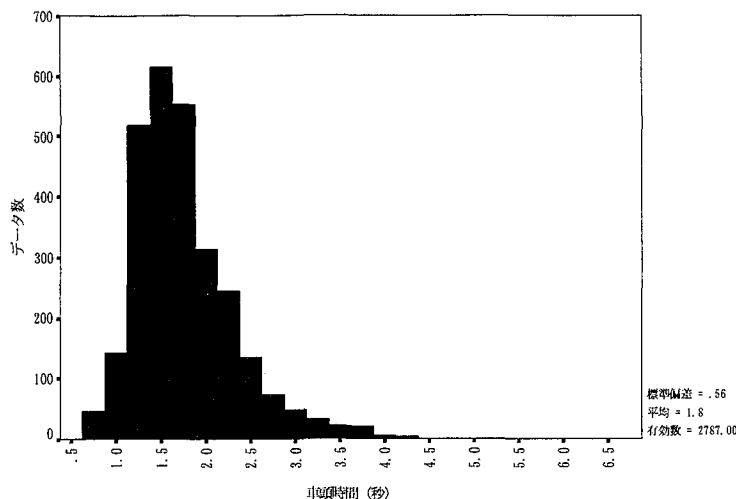


図-5 交差点グループAの飽和車頭時間分布

ある結果が得られるまで同様の処理を行った結果、表-4に示すような4つのグループに分類された。グループの特徴としてグループDは路側よりの第1車線の車頭時間分布であり、多重比較検定を繰り返す過程において常に単独に分類されていた。第1車線の飽和車頭時間は他の直進車線の飽和車頭時間とは異なる分布を有するといえる。他の3グループの特徴を車線幅員、青時間長、流入部車線数で比較した結果、グループ間の差を示すような明確な特徴は見出せなかった。

表-5に各グループの分布の統計量を示す。各グループの分布の平均値は、1.79, 1.93, 2.02秒であり、飽和交通流率に換算すると、それぞれ2,010, 1,870, 1,780pcu/青1時間となる。最も高い値の飽和交通流率は、わが国の直進車線の飽和交通流率の基本値に相当する値となっている。これらのグループの飽和車頭時間分布は分布の形状はいずれもよく似ており、理論分布としては対数正規分布に近似している。一例としてグループAの分布を図-5に示す。

7. おわりに

本研究で得られた結果をまとめると以下の通りである。

①大型車、車線幅員、青時間長を説明変数とした重回帰分析を行った結果、大型車のみが明確な変動要因であり、他の2要因は飽和交通流率の変動に対しほとんど寄与しておらず、変動要因とはいえない。

②交差点ごとの飽和交通流率の変動は、飽和車頭時間分布の極外値の存在がその要因となっていることを示すことができた。

③飽和車頭時間分布として3つの分布が存在するということを示すことができた（路側よりの第1車線の飽和車頭時間分布は他の直進車線の分布とは異なることも示した）。

④交差点ごとの飽和交通流率の変動をとらえるのに本研究で示した方法を用いることによって統計的に分類することが可能となった。

今後の課題として、車頭時間分布における極外値の出現割合と交差点固有の条件（変動要因）との関係、グループ化された飽和車頭時間分布の妥当性の検証の2つの観点からさらに分析を進めていく必要がある。

<参考文献>

- 1) 道路交通容量調査マニュアル検討資料VOL. 2, (社)交通工学研究会, pp. 61-70, 1995
- 2) 道路交通容量検討資料集, (社)交通工学研究会, pp. 265-296, 1986. 3
- 3) 外井、河野、柴田：信号交差点の交通容量に関する研究—飽和交通流率の影響要因分析—, 交通工学, Vol. 24, No. 2, pp. 7~18, 1989
- 4) Highway Capacity Manual, Special Report 209, Third Edition, Transportation Research Board, 1994
- 5) (社)交通工学研究会訳：1985道路の交通容量, 1987
- 6) 最新 平面交差の計画と設計, (社)交通工学研究会, 1977