

飽和交通流率の基本値変動の実態解析*

Analysis for Fluctuation of The Base Saturation Flow Rate among Signalized Intersections

鹿田成則**・片倉正彦***・大口敬****・河合芳之*****

by Shigenori SHIKATA, Masahiko KATAKURA, Takashi OGUCHI, Yoshiyuki KAWAI

1. はじめに

信号交差点の交通容量を決定する飽和交通流率に関しては、種々の要因によって影響を受けた飽和交通流率が大きく変動することは周知の事実であるが、影響を最も受けない基本状態の飽和交通流率（基本値）の変動については従来からさほどに議論されてこなかった。これまでに十分とはいえないまでも相当数の飽和交通流率の実測結果が蓄積されてきているが、これらの実測結果は飽和交通流率の値が地点（車線）ごとにかなり変動するという事実を示している¹⁾。

これら実測値の多くは直進車線における乗用車類の飽和交通流率（飽和交通流率の基本値に相当）であり、飽和交通流率の基本値は、その地点（車線）でこれ以上の飽和交通流率が出現し得ない値とみなせるものである。交通容量増大を目的とした対策ではこの基本値を対策の目標値として位置付け、基本値と実際条件下の飽和交通流率との乖離をいかに縮めるかを対策の眼目にする必要がある。飽和交通流率を計算によって推定する場合にも、その交差点の実態を反映させられるだけの推定結果を得るためには基本値の設定が大きく影響を及ぼす。それゆえ、飽和交通流率の基本値相当とみなせる飽和交通流率が地点（車線）ごとに変動し、その変動範囲が大きいことが事実であれば、その特性を明らかにすることは非常に重要となる。しかしながら飽和交通流率の変動の実態は現在未解明のままの状況におかれているといつてよい。

従来の実測結果には、飽和交通流率の算定方法が統一されておらず同列に比較できない（諸外国においてもこの点は指摘されており、Teply²⁾は飽和交通流率の実測値の算定条件を考慮せずに安易に比較しないよう

警告している）、データの飽和状態の定義が曖昧で実測値の信頼性に問題があるなど、飽和交通流率の変動解析にそのまま使用できないという状況にある。本研究は、東京都内の28箇所の信号交差点における41の直進車線を対象に、待ち行列発進流の車頭時間データ（約10万データ）を用いて飽和交通流率の変動解析を行い、その変動の実態を明らかにすることを目的に実施したものである。研究の着目点は大きくは以下の3点である。

算定方法を統一し飽和交通流率の実測値を同列に比較できるようにする。

地点（車線）間の飽和交通流率の実測値に意味のある相違（統計的に有意な差）が存在するのか、すなわち地点（車線）ごとに飽和交通流率が変動するという事実が存在するか否かを検証する。

飽和交通流率の基本値が変動する場合、その実態と変動範囲を特定する。

2. データの収集方法

本研究では、交差点流入部の車線数として1車線～5車線を有する東京都内の信号交差点28箇所のボトルネック交差点を選定し、それらの交差点の41の直進車線を対象に観測を実施しデータを収集した。観測はビデオカメラによる撮影を行った（交差点近傍にビデオ撮影するためのビル等の高所がない場合に限りカセットレコーダを用いてデータを記録した）。

収集したデータは、基準線（流入部横断歩道の停止線寄りの側線）を車両後端が通過する時刻、車種（大型車、中型貨物車、小型貨物車、乗用車類、軽貨物車、二輪車）、信号表示（青、黄、赤）の切り替わり時刻、サイクルごとの待ち行列末尾車両である。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（停止待ち行列からの発進車両）で、次の条件を満たす直進車両を対象とした。

*キーワード：交通容量，交通制御，交通管理，交通流

** 正員 工修 東京都立大学大学院工学研究科土木工学専攻
(〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1，
TEL:0426-77-1111，FAX 0426-77-2772
shikata-shigenori@c.metro-u.ac.jp)

*** フェロー 工博 同上

**** 正員 博(工) 同上

***** 正員 東京都立大学大学院工学研究科博士課程

表 - 1 観測交差点の概要と飽和交通流率の実測結果

流入部 車線数	交差点名	交差点 コード	流入部の 車線運用	観測対 象車線	車線幅員 (m)	データ数 (飽 和車頭時	車頭時間(秒)				飽和交通流率 (pcu / 青1時間)
							平均値	標準偏差	変動係数	サイクル数	
1	打越	A1			3.0	2,533	1.96	0.182	0.093	145	1,840
2	若林踏切	A1	T, T	第1車線	3.2	4,112	2.17	0.134	0.062	110	1,660
		A2		第2車線	2.8	3,855	2.07	0.292	0.141	109	1,740
	大原二丁目	B2	TL, T	第2車線	3.4	1,604	2.01	0.199	0.099	46	1,800
	大横町	C2	TL, T	第2車線	3.2	1,173	2.00	0.202	0.101	58	1,800
	仙川駅入口	D1	TL, T	第1車線	3.0	903	2.14	0.191	0.089	45	1,680
		D2		第2車線	2.8	2,331	2.03	0.225	0.111	109	1,770
	谷保	E1	T, R	第1車線	4.2	1,611	1.76	0.152	0.086	65	2,050
	国立イッター入口	F2	TL, T	第2車線	3.0	3,108	2.06	0.181	0.088	163	1,750
3	川南五差路	G2	TL, T	第2車線	2.7	4,226	2.05	0.221	0.108	93	1,760
	大和田小学校前	A2	TL, T, R	第2車線	3.0	1,753	2.05	0.294	0.143	62	1,760
	矢野口	B2	TL, T, R	第2車線	3.1	994	1.97	0.243	0.123	42	1,830
	橋本五差路	C2	TL, T, TR	第2車線	3.2	1,465	1.97	0.218	0.111	54	1,830
	日野橋	D2	L, T, TR	第2車線	2.8	1,049	1.82	0.136	0.075	49	1,980
	江田	E2	TL, T, R	第2車線	3.0	867	1.96	0.232	0.118	32	1,840
	寿町三丁目	F2	TL, T, R	第2車線	2.4	6,091	2.15	0.274	0.127	287	1,670
	下布田	G2	TL, T, R	第2車線	2.8	2,302	1.95	0.231	0.118	80	1,850
	太平四丁目	H2	TL, T, R	第2車線	3.4	2,924	2.08	0.244	0.117	128	1,730
	野口橋	I2	TL, T, R	第2車線	2.8	3,966	2.00	0.273	0.137	158	1,800
	保木間四丁目	J2	TL, T, R	第2車線	3.0	3,151	2.17	0.270	0.124	110	1,660
	永代橋西詰	K2	L, T, T	第2車線	3.3	2,853	1.95	0.231	0.118	191	1,850
		K3		第3車線	3.3	2,648	1.98	0.243	0.123	177	1,820
	西巣鴨	L2	TL, T, R	第2車線	3.0	1,067	1.97	0.208	0.106	58	1,830
	4	西参道口	A3	L, TL, T, T	第3車線	3.4	900	1.89	0.271	0.143	46
A4			第4車線		3.2	870	1.83	0.244	0.133	46	1,970
東名入口		B2	L, T, T, R	第2車線	2.9	2,060	1.95	0.198	0.102	88	1,850
		B3		第3車線	2.9	1,725	1.86	0.257	0.138	56	1,940
松原二丁目		C2	T, T ; T, T	第2車線	3.2	2,488	1.76	0.192	0.109	119	2,050
		C3		第3車線	3.6	4,032	1.75	0.147	0.084	161	2,060
		C4		第4車線	3.6	3,726	1.66	0.149	0.090	157	2,170
葛西工業高校前		D2	TL, T, T, R	第2車線	3.3	2,495	1.94	0.191	0.098	128	1,860
		D3		第3車線	3.2	2,062	1.97	0.280	0.142	76	1,830
瀬田		E2	L, T, T, R	第2車線	2.7	3,309	1.95	0.163	0.084	131	1,850
		E3		第3車線	2.8	2,949	1.85	0.191	0.103	117	1,950
志村坂下		F2	L, T, T, R	第2車線	3.2	2,920	1.99	0.208	0.105	166	1,810
		F3		第3車線	3.1	2,940	1.88	0.213	0.113	130	1,910
左入橋	G2	L, T, T, R	第2車線	3.1	1,358	2.26	0.571	0.253	45	1,600	
	G3		第3車線	3.0	1,393	2.48	0.574	0.231	57	1,450	
5	祝田橋	A3	L, L, T, T, T	第3車線	3.0	4,025	1.76	0.148	0.084	166	2,050
		A4		第4車線	3.1	2,955	1.91	0.241	0.126	138	1,880
		A5		第5車線	3.1	1,095	2.08	0.310	0.149	42	1,730
					合計	99,888			合計	4,240	

注) L=左折車線, T=直進車線, R=右折車線, TL=直進左折混用車線, TR=直進右折混用車線

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, 4 台目以降から待ち行列末尾までの車両

最左車線(第 1 車線と呼ぶ)が直進左折混用車線の場合, 左折車の影響を除くため先頭から最初の左折車が到着するまでに通過した直進車両

交差点下流部に先詰まりがあった場合や緊急車両の通過などがあった場合には, そのサイクルのデータを分析から除外.

表 - 1 に観測交差点の一覧を示す. 飽和交通流率の実測値の信頼性はデータ数に依存することは明らかで, そのために 1 日 6~8 時間の観測を実施し(地点によっては複数日), 十分なデータ数が確保できるようにした.

その結果, 飽和状態にあるデータ数として合計約 10 万データ(約 4,200 サイクル)を得ることができた.

3. 飽和交通流率の算定方法と実測結果

(1) 算定方法

飽和交通流率は, サイクルごとの停止待ち行列の先頭 4 台目から待ち行列末尾までの車両の通過時刻から得られる車頭時間(飽和車頭時間)を対象にし, 大型車等の車種の影響を除去するために大型車と中型貨物車の前後の車頭時間を除き, 残った乗用車類の車頭時間を用いて飽和交通流率(pcu / 青 1 時間)を求めた. 飽和交通流率は飽和車頭時間の平均値の逆数として

算定される．本研究では，サイクルごとに乗用車類の車頭時間の平均値を算出し，各サイクルの平均車頭時間を平均することによって飽和交通流率を算定した．この方法は次の考え方によるものである．

待ち行列の発進はサイクルごとに独立して繰り返され，サイクルごとに得られる飽和車頭時間の平均値も独立である．飽和交通流率を算定するのにサイクル単位を基本とするのが妥当である．

サイクルごとの平均車頭時間の分布は平均値の分布であり，この分布は正規分布に近似するとみてよく，このことは本解析で用いる統計的検定手法に対して望ましい前提条件である．

(2) 実測結果

表 - 1 に飽和交通流率の実測結果を示す．平均車頭時間は 1.66～2.48 秒の間で分布しており，飽和交通流率に換算すると，1,450～2,170pcu / 青 1 時間 / 車線であり，非常に大きな範囲をとることがわかる．この結果は，直進乗用車類のみで構成される飽和交通流率がこれだけ大きなばらつきをもつという事実を示している．

4．飽和交通流率の地点間の変動解析

表 - 1 の実測結果が示すように，地点(車線)ごとに得られた飽和車頭時間の平均値は大きな範囲をもっていた．しかしながら飽和交通流率の地点(車線)間の変動実態を明らかにするためには，飽和交通流率が地点間で意味のある相違(統計的に有意な差)をもって変動しているか否かを検証する必要がある．この検証を行うのに，統計的に等質な飽和車頭時間の平均値(統計的に有意差が認められない平均値)をもつ車線を抽出しグループ化することを試みた．この解析にはクラスター分析と統計的多重比較法を用いた．多重比較法は 2 標本 t 検定を 3 標本以上に拡張した検定手法である．

具体的には，以下の手順でグルーピングを行った．

- 1) 最初に，平均車頭時間と変動係数の 2 変数を変数とするクラスター分析を行い，41 の直進車線を 2 変数が類似した値をもつグループに分類した．分類されたグループを解析の初期値として設定する．
- 2) 次に，各グループ内の直進車線の平均車頭時間に対して多重比較法を適用し，統計的に有意な差(有意確率 $p < 5\%$)のある車線と差が認められない車線とに区分する．差が認められないもの同士を統計的に等質なグループとし，有意な差があるものは別なグループと

して追い出し，グループの再分類を行う．

3) 以後は，再分類されたグループそれぞれを標本として多重比較検定を行う．有意差が認められないグループ同士は等質なグループとしてまとめ，有意差のあるグループはそのままとする．

4) すべてのグループ間で有意差が生じるまで 3) を繰り返す．

最終的に得られたグループは，グループ内に属する直進車線の平均車頭時間は統計的に等質であり，グループ間の平均車頭時間は統計的に有意差があるものと

表 - 2 統計的に有意差のあるグループの分類結果

グループ No.	平均車頭時間 (秒)	標準偏差	変動係数	サイクル数	飽和交通流率 (pcu/青1時間)	地点数 (車線数)
1	1.66	0.150	0.09	157	2170	1
2	1.75	0.159	0.09	511	2060	4
3	1.87	0.223	0.12	582	1930	7
4	1.97	0.219	0.11	1630	1830	16
5	2.06	0.224	0.11	706	1750	7
6	2.17	0.281	0.13	597	1660	5
7	2.48	0.566	0.23	57	1450	1

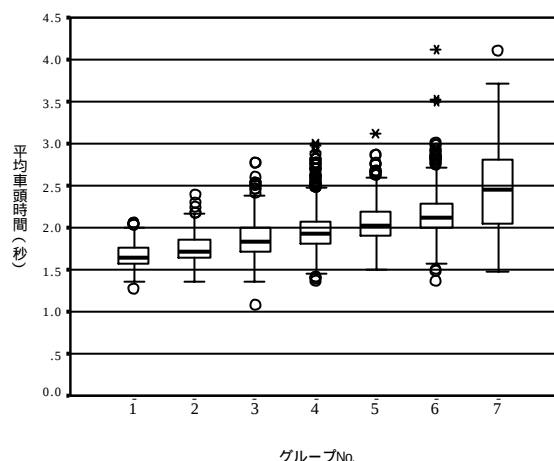


図 - 1 各グループの平均車頭時間の分布の比較

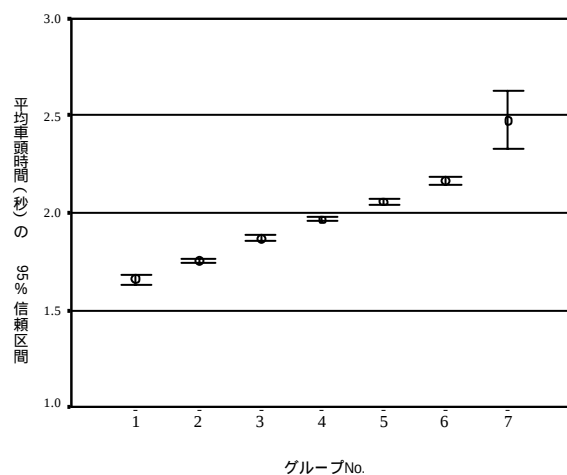


図 - 2 各グループの平均車頭時間の 95%信頼区間

して分類される。

表 - 2 は、最終的に得られたグルーピングの結果であり、41 の直進車線が 7 グループに分類された。グループ間の有意差は、グループ 1 と 2 が有意確率 $p = 0.012$ 、それ以外のグループ間の有意確率はすべて $p = 0.000$ で、これら 7 グループの間には高度に有意差があった。図 - 1 は分類された 7 グループそれぞれの飽和車頭時間の分布を箱ひげ図で比較したものである。図 - 2 は、同様に 7 グループそれぞれの平均値の 95% 信頼区間を示したものである。すべての信頼区間はお互いに重なり合わず、グループ No.7 を除いて信頼区間幅は狭く、上記のグループ間の有意差の結果を明快に示している。本研究で収集した地点(車線)の飽和車頭時間は、統計的に意味のある分類として 7 グループに分けることができた。各グループに属する地点の特徴は概略以下のとおりである。

グループ No.1 と 2 は、右左折車の影響をほとんど受けない幾何構造(たとえば直進車線が他の車線と物理的に区切られている流入部)をもった地点のグループ。条件さえ整えば出現可能な飽和交通流率(2,170, 2,060pcu / 青 1 時間)と考えられる。

グループ No.6 は、直進車線の幅員が非常に狭い地点(2.4m)および路側の側に側方余裕のない車線(第 1 車線)。飽和交通流率の値は 1,660pcu / 青 1 時間。

グループ No.7 は、片側 2 車線の単路区間に左折車線と右折車線が付加された流入部で、右左折率が高い地点。片側 2 車線から流入部に流入した車両の多くが左折車線および右折車線に進入し、直進車線で長い車頭時間が出現しやすく、飽和交通流率は 1,450pcu / 青 1 時間で非常に低い。

グループ No.3 ~ 5 は、明確な特徴を特定できなかった地点のグループで、41 車線中 30 車線(73%)がこれらのグループに属する。飽和交通流率は 1,930, 1,830, 1,750pcu / 青 1 時間。

表 - 2 は、直進車線の乗用車類だけからなる飽和交通流率が 1,450 ~ 2,170pcu / 青 1 時間という非常に広い範囲で変動するという事実を検証した結果である。2,000pcu / 青 1 時間を越える、または 1,700pcu / 青 1 時間を下回る飽和交通流率は、上の ~ で記したような流入部の幾何構造条件で説明し得るものである。特に、2,000pcu / 青 1 時間を越える飽和交通流率は、直進待ち行列車両の走行を阻害する要因が存在しない幾何構造条件のもとで出現し得る値であり、条件さえ整えば出現可能な値として位置付けられる。上記以外の直進乗用車類の飽和交通流率 1,700 ~ 2,000pcu / 青 1 時

間は、流入部の幾何構造条件だけでは説明できず、現在のところ標準的な車線幅員をもち直進交通が主流の交差点流入部では上記の値の範囲をとるという事実だけが判明している。

5. おわりに

東京都内の 1 ~ 5 の流入部車線数をもつ交差点の 41 直進車線を対象に実施した本研究の結果をまとめると以下のとおりである。

直進乗用車類の飽和交通流率(飽和交通流率の基本値に相当)はほぼ 1,400 ~ 2,200pcu / 青 1 時間の間で変動するという事実が明らかになった。

統計的に高度な有意差をもつ飽和交通流率が 7 グループ存在することを示した。

2,000pcu / 青 1 時間を越える、または 1,700pcu / 青 1 時間を下回る飽和交通流率は、特定の幾何構造条件のもとで出現し得る値といえる。

約 70% の地点は、標準的な車線幅員で直進交通が主流の交差点流入部の直進車線であり、これらの飽和交通流率は、ほぼ 1,700, 1,800, 1,900pcu / 青 1 時間のいずれかのグループに属するが、この変動は流入部の幾何構造条件だけで説明することはできない。

本研究によって直進乗用車類の飽和交通流率が地点(車線)ごとに大きく変動するという事実が確認され、地点の飽和交通流率が 7 種類の異なる値をとり得ることを具体的に示すことができた。このような変動に対して十分な説明がつかない現段階では、直進乗用車類の飽和交通流率を実測によって求め、飽和交通流率の基本値を設定することの重要性を強く認識する必要がある。設計の目的で計算によって飽和交通流率を推定する場合でも、現在の飽和交通流率の基本値 2,000pcu / 青 1 時間の値は再検討の要があるといえる。今後より具体的に変動特性を明らかにするために、停止待ち行列の発進特性、たとえば発進時の運転者反応時間、加速度、発進波の伝播速度、通過速度等の解析に進むことが必要であると考えている。

<参考文献>

- 1) 鹿田成則、片倉正彦、大口 敬：信号交差点における飽和交通流率の変動の基本特性、土木計画学研究・論文集 No.14, pp.877 ~ 882, 1997.9
- 2) S. Tepley and A. M. Jones : Saturation Flow : Do We Speak the Same Language?, Transportation Research Record 1320, pp. 144 ~ 153, 1991