

車両感知器を用いた 信号交差点交通流率の変動分析

鈴木 啓太¹・柳原 正実²・小根山 裕之³

¹ 非会員 東京都立大学 都市環境学部 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)
E-mail:suzuki-keita3@ed.tmu.ac.jp

² 正会員 東京都立大学大学院助教授 都市環境科学研究科都市基盤環境学域
(〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

E-mail:yanagihara@tmu.ac.jp

³ 正会員 東京都立大学大学院教授 都市環境科学研究科都市基盤環境学域
(〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

E-mail:oneyama@tmu.ac.jp

本研究では信号交差点の交通処理能力を示す交通容量を決定する主な指標である飽和交通流率と実際の捌け交通量の関係を明らかにするため車両感知器を用いた統計的な分析を行う。飽和交通流率は停止線上流すぐの車両感知器から得られる車頭時間を基に算出し、変動の分析を行なった。また、捌け交通量の指標として待ち行列の存在するサイクルの交通量から求めた青時間交通流率を導入し、飽和交通流率と青時間交通流率の変動特性を重回帰分析等により明らかにした。その結果、一般的に知られている大型車混入率などの影響が確認された。加えて、交差点によっては車線毎に見ると青時間交通流率は飽和交通流率の 6, 7 割程度であること、飽和交通流率よりも青時間交通流率の変動が激しいことが示された。また、断面で見ると青時間交通流率の変動要因の 1 つとして車線利用の不均衡があることが分かった。

Key Words: *saturation flow rate, intersection, traffic detector data, regression analysis*

1. 研究背景と目的

都市部の一般道路における交通渋滞の主な要因として信号交差点の交通容量不足が挙げられる昨今、円滑で安全な交差点の設計や計画がより必要不可欠なものとなっている。そのため信号交差点の交通処理能力を示す交通容量を決定する主な指標であり、信号制御パラメータであるサイクル長や青時間スプリットの決定にも使用される飽和交通流率の特徴の理解が必要である。飽和交通流率 (SFR : Saturation Flow Rate) とは、交差点流入部において交通需要が十分に存在する状態での最大の青時間交通流率と定義される。

この飽和交通流率について、既往の研究^{1)~4)}より変動要因として以下が指摘されており、これらが複雑に影響して変動していることが知られている。

- ・幾何構造要因：車線幅員、縦断勾配、路面状態など
- ・交通要因：大型車混入率、左折率など
- ・信号制御要因：青時間長など
- ・周辺要因：地域特性、バス停など
- ・その他の要因：天候、昼夜、平日・休日、渋滞・非渋滞など

一方、青山ら⁵⁾⁶⁾によると、飽和交通流率が経年的に低下していることが指摘されている。1970~80年代の観測により設定された飽和交通流率のモデルに用いられる基本値 (上述した変動要因を考慮する必要のない理想的な条件下における飽和交通流率) は 2,000 台/青 1 時間 (直進車線の場合) であるが⁷⁾、青山ら⁵⁾によると 2019 年には平均で 1,678 台/青 1 時間であった。低下の要因としては、エコドライブの普及といった走り方の変化や、環境配慮型の車両の普及の増加といった車両タイプの変化、高齢ドライバー増加といった運転者属性の変化が影響していると考えられている。

このように、飽和交通流率は様々な要因によって変動しており、それらの特性を捉えるためには、更なる観測データの蓄積と分析が必要と考えられる。しかし、飽和交通流率の観測による算出には、人手やビデオ観測等が行われるが、いずれにしても長期間、大量のデータを取得するのは非常に困難である。これに対して、既設の車両感知器のパルスデータにより算出可能な車頭時間を用いることができれば、長期間、大量のデータに基づく飽和交通流率を容易に算出することができ、飽和交通流率の様々な変動要因を分析することが可能となる。このよ

うな試みも既に行われている⁷⁾

一方、交差点における処理能力としての交通容量は飽和交通流率を用いて算出される¹⁾。しかし、実際には、交通容量が十分に発揮されるべき状態（十分な需要があり、なおかつ先詰まり等がない）であっても、実際の捌け台数は飽和交通流率を用いて算出される交通容量にも満たない場合があることが指摘されている。これは、何らかの要因により飽和交通流率が実現されない場合や、車線間の利用不均衡が原因である場合もある。このような状況を踏まえ、実際の観測データに基づいて飽和交通流率と実際の捌け台数の関係や、それらの変動要因等を明らかにすることも非常に重要であると考えられる。

そこで本研究では、信号交差点に設置された車両感知器を用いて、飽和交通流率と実際の捌け交通量との関係を明らかにするために統計的な分析を行い、今後の交差点における交通容量解析などへのフィードバックにより円滑な信号交差点の設計・計画に資する知見を得ることを目的とする。

2. 研究手法

(1) 概要

本研究では信号交差点の交通処理能力を示す交通容量を決定する主な指標である飽和交通流率、実際の捌け交通量の値を算出するとともに、それらの関係を明らかにする。なお、実際の捌け交通量の指標として、単位青時間当たりの捌け交通量である青時間交通流率を定義した（より明確な定義は後述）。また、飽和交通流率と青時間交通流率のそれぞれを目的変数とした重回帰分析を行うことによって、それぞれの変動に与える要因も明らかにする。また青時間交通流率については車線毎だけでなく断面毎でも算出し、車線利用特性が青時間交通流率に与える変動特性の把握を行った。

(2) 分析対象

本研究で分析対象とする交差点は車両感知器のパルスデータが取得可能な神保町、日本橋、西巢鴨の3交差点（図2～4参照）である。さらに、その中で飽和交通流率などの分析を行う対象車線は、■（四角）と▲（三角）で示した合計11の車線である（■：左直混用車線，▲：直進車線）。この3交差点はいずれも東京都23区内の交差点で、主要交差点であるため、飽和交通流率の算出に必要な一定の交通需要が期待できる。期間は2020/4～2021/5の14ヶ月間である。

なお、飽和交通流率は、本来その定義から停止線における車頭時間の観測に基づき算出される。しかし、車両感知器が停止線上にあるケースは非常に少ない。交差点の選定にあたっては、停止線から比較的近い地点に車両

感知器が設置されている個所を選定したが、今回対象とした交差点は停止線から16~31m上流に車両感知器が設置されており、それらを飽和交通流率などの算出に用いる。

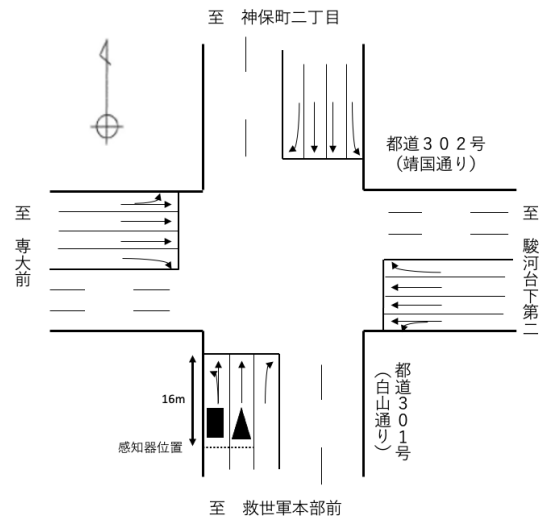


図2 神保町交差点

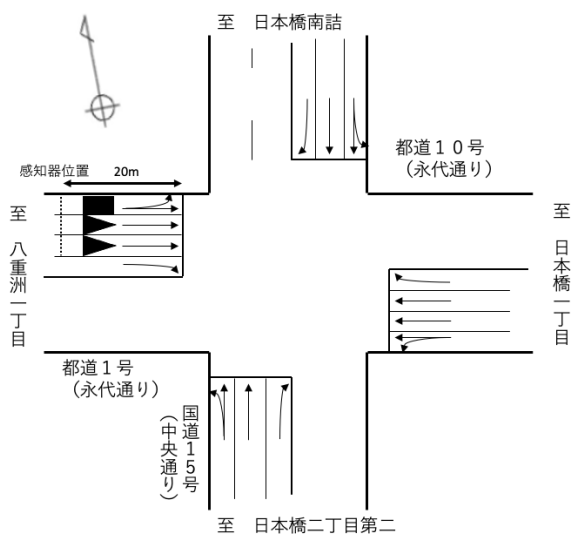


図3 日本橋交差点

また、今回の研究で主に使用するデータは次の4つである。

- ・車両感知器データ（パルスデータ）

本研究では車両感知器（超音波式、画像式）のパルスデータを抽出した。これは、車両感知器の下を車両が存

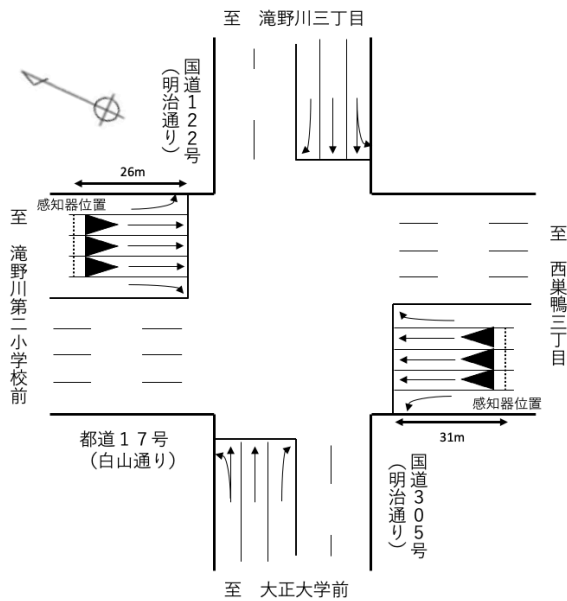


図4 西巣鴨交差点

在している時は1，存在していない時は0が，0.05秒単位で記録されており，これを用いて各車両の車頭時間や通過台数を算出する。

- ・信号制御データ

サイクル毎のサイクル長，現示（信号表示）の切り替わり時間が記録されたデータ。このデータにより車両感知器により感知された車両とサイクル，現示を対応付ける。

- ・渋滞データ

交通管制システムによって設定された道路区間毎に，50秒間隔で渋滞の有無と渋滞長を推定・記録したデータ。後述する交通流の飽和条件の判定に用いる。

- ・気象データ

悪天候が飽和交通流率に影響を与えることが考えるため，気象庁のホームページで公開されている気象データ（天候及び降水量）を分析に用いた。今回は，3交差点とも観測地点「東京」の対象期間（2020/4～2021/5）のデータを使用した。

(3) 飽和交通流率の算出方法

飽和交通流率は，以下の条件および手順に基づいて算出した。

a)分析対象とするデータの抽出

飽和交通流率を適切に算出するためには，需要が十分にあり，先詰まりがなく，飽和流が継続している条件下を抽出する必要がある。そのため，次の①～③の条件を設けてデータを抽出した。

- ①交差点上流は渋滞，下流は非渋滞であること

上流を渋滞の状態とすることで十分な交通需要を確保し，下流を非渋滞とすることで先詰まりにより交通流が

止まってしまう現象を除外する。具体的には，渋滞データを用いる。対象とするサイクルの前30秒から後30秒の時間に着目し，上流について感知器から100m以上渋滞長があった場合を渋滞していたサイクルとする。また，下流について感知器から200mまで渋滞がなかったサイクルを非渋滞のサイクルとする。

- ②各サイクル5台目以降の車頭時間が4秒未満であること

飽和流が継続している条件として，車両が追従状態で走行するという状態を抽出する。既往研究（桑原ら，鹿田ら）も参考にして閾値を4秒として追従状態の判断を行なっている。なお，5台目以降としたのは，4台目までは発進遅れの影響を受けるためである。

- ③1サイクル10台以上であること

1サイクルの車両数が少ないと数少ないサンプルの影響を受ける可能性があるため，この条件を設定している。

b)飽和交通流率の算出

a)で抽出したデータについて，発進遅れの影響等を受けている恐れのある4台目までを除外した上で，各サイクルの平均車頭時間からそれぞれの飽和交通流率を算出する。

$$S_i = \frac{1}{h_i} \times 3600$$

ここで，

- S_i : サイクル*i*の飽和交通流率，
- h_i : サイクル*i*の平均車頭時間

なお，本研究では，直進車線のみを算出対象としており，左直混用車線の飽和交通流率の算出は行わなかった。これは，①～③の条件で左直混用車線のサイクルを抽出した場合，歩行者によるブロッキングなどの影響により多くデータが除外されるためである。

(4) 青時間交通流率の算出方法

本研究では実際の捌け交通量を分析するために，青時間交通流率という指標を導入する。これは，単位青時間当たりの捌け交通量として定義される。ただし，交通容量に相当する指標とするため，待ち行列の存在する（交通需要が十分に存在する）サイクルを対象として，その捌け交通量から算出したもののみを対象とする。すなわち，(3)①の条件により対象とするサイクルを抽出した後，次の式により算出する。尚，より厳密に待ち行列の存在するサイクルを抽出するため，着目する時間はサイクルの前30秒から後150秒とした。

$$F_i = \frac{n_i}{G_i} \times 3600$$

ここで、

- F_i : サイクル i の青時間交通流率,
- n_i : サイクル i 中に通過した車両台数,
- G_i : サイクル i の青時間長

青時間交通流率については、車線毎だけでなく交差点断面としての捌け能力を明らかにするため、断面毎でも青時間交通流率を算出する。

(5) 大型車混入率の算出方法

大型車混入率が飽和交通流率に影響を与えることが既往研究により知られている。しかし、この値は車両感知器データでは正確に分からないため、次の方法で推定により求め分析に用いた。大型車は占有時間が長くなることが考えられるため、占有時間が1.7秒を超える車両は大型車とし、1サイクル内の総通過台数に占める大型車と推定された台数の割合を大型車混入率とした。

3. 飽和交通流率及び青時間交通流率の分析結果

(1) 飽和交通流率の分布の車線間比較

算出した飽和交通流率(SFR)を表1と図5に示す。

結果として、飽和交通流率の算出に用いたサイクル数は11車線合計で9,321であった。

飽和交通流率の算出の結果、直進車線の基本値 2,000

表 1 車線毎の飽和交通流率

交差点	方路	車線 (左側から)	サイクル数	飽和交通流率 (台/青1時間)				
				平均	標準偏差	中央値	最小	最大
神保町	from 南	2	943	1,524	173	1,516	1,026	2,286
日本橋	from 西	2	295	1,423	145	1,412	1,079	1,902
		3	345	1,465	155	1,455	1,116	2,132
西巣鴨	from 北西	2	69	1,574	183	1,547	1,266	2,104
		3	427	1,542	145	1,537	1,127	2,195
		4	370	1,579	147	1,577	1,167	2,227
	from 南東	2	290	1,632	206	1,636	1,125	2,323
		3	3,163	1,512	135	1,500	1,110	2,341
		4	3,329	1,591	148	1,581	1,145	2,256
総計			9,231	1,545	156	1,537	1,026	2,341

表 2 左直混用車線の車線毎の青時間交通流率

交差点	方路	車線 (左側から)	サイクル数	青時間交通流率 (台/青1時間)				
				平均	標準偏差	中央値	最小	最大
神保町	from 南	1	2,714	669	266	655	0	1,493
日本橋	from 西	1	1,208	269	289	235	0	4,186

台/青1時間よりも低いことがわかる。しかし、高ら*の今回と同じ神保町交差点の直進車線の平均値(2018~2019) 1,545台/青1時間であるため、直近3,4年ではあまり経年的な変化をしていないといえる。

(2) 青時間交通流率の分布の比較

続いて青時間交通流率の算出結果を次の表2,3と図5,6に示す。青時間交通流率は、左直混用車線についても算出した。直進専用車線では、飽和交通流率よりも分布の違いが顕著に表れている。左直混用車線においては、直進専用車線よりも値が低いことが分かる。これは歩行者のブロッキングにより左折者の通行が阻害されサイクル内で通過できる車両台数が少なくなってしまうためだ

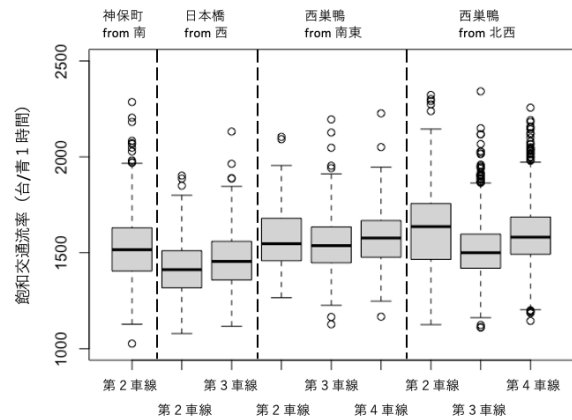


図 5 車線毎の飽和交通流率の分布

表 3 直進専用車線の車線毎の青時間交通流率

交差点	方路	車線 (左側から)	サイクル数	青時間交通流率 (台/青1時間)				
				平均	標準偏差	中央値	最小	最大
神保町	from 南	2	2,714	1,015	261	1,029	0	1,991
日本橋	from 西	2	1,208	1,053	373	1,064	0	3,795
		3	1,208	1,093	448	1,087	67	5,400
西巢鴨	from 北西	2	394	1,147	661	1,015	0	3,785
		3	394	1,724	749	1,569	0	5,815
		4	394	1,639	741	1,477	0	5,538
	from 南東	2	3,204	903	394	857	0	3,600
		3	3,204	1,539	422	1,457	0	4,457
		4	3,204	1,502	338	1,457	0	4,615
総計			15,924	1,241	493	1,286	0	5,815

と考えられる。

また、断面毎の青時間交通流率（車線あたりに換算）について算出した結果を表4と図8に示す。断面毎に比較すると断面に左直混用車線を含む神保町と日本橋の断面よりも、直進専用車線のみで西巢鴨の断面の方が青時間交通流率の値が高くなっていることがわかる。

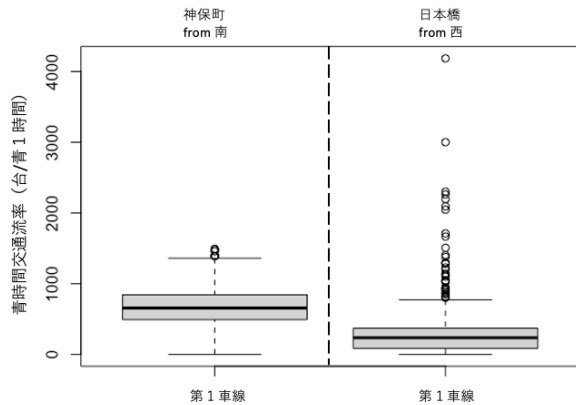


図 6 左直混用車線の車線毎の青時間交通流率の分布

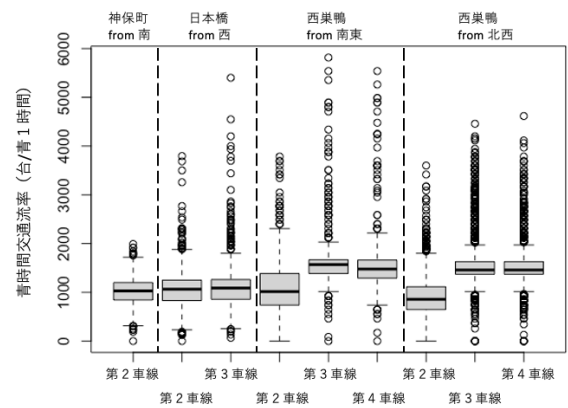


図 7 直進専用車線の車線毎の青時間交通流率の分布

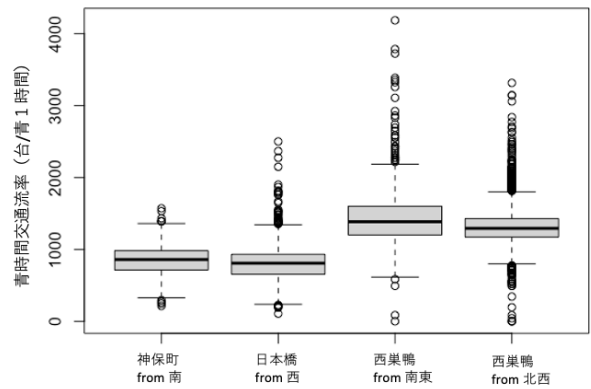


図 8 断面毎の青時間交通流率の分布

表 4 断面毎の青時間交通流率

交差点	方路	サイクル数	青時間交通流率 (台/青1時間)				
			平均	標準偏差	中央値	最小	最大
神保町	from 南	2,714	842	190	859	214	1,570
日本橋	from 西	1,208	805	262	808	107	2,500
西巢鴨	from 北西	394	1,503	503	1,385	0	4,185
	from 南東	3,204	1,315	263	1,292	0	3,314
総計		7,520	1,072	363	1,046	0	4,185

(3) 飽和交通流率と青時間交通流率の比較

続いて各直進専用車線の飽和交通流率と青時間交通流率を表 5 にて比較した。平均値を比較すると、青時間交通流率が飽和交通流率の 6～7 割である車線がいくつかあることが分かる。飽和交通流率は理想的な状態での最

大の捌け交通量であるため、これらの車線では何らかの理由で捌けが悪くなっていることが考えられる。

表 5 直進専用車線の飽和交通流率と青時間交通流率の比較

交差点	方路	車線 (左側から)	平均 飽和交通流率	平均 青時間交通流率	平均青時間交通流率 /平均飽和交通流率	標準偏差 飽和交通流率	標準偏差 青時間交通流率
神保町	from 南	2	1,524	1,015	0.67	173	261
日本橋	from 西	2	1,423	1,053	0.74	145	373
		3	1,465	1,093	0.75	155	448
西巣鴨	from 北西	2	1,574	1,147	0.73	183	661
		3	1,542	1,724	1.12	145	749
		4	1,579	1,639	1.04	147	741
	from 南東	2	1,632	903	0.55	206	394
		3	1,512	1,539	1.02	135	422
		4	1,591	1,502	0.94	148	338
総計			1,545	1,241	0.80	156	493

表 6 平均車頭時間を目的変数とした車線毎の重回帰分析の結果

*** : 0.1%有意, ** : 1%有意, * : 5%有意, . : 10%有意

交差点 方路	神保町			日本橋			西巣鴨		
	from 南	from 西	from 北西	from 南東	from 北西	from 南東	from 北西	from 南東	
車線 (左から)	2	2	3	2	3	4	2	3	4
偏回帰係数									
定数項	2.235***	2.689***	2.250***	-0.737	3.416***	2.441*	1.130	2.242***	2.157***
青時間長	0.004.	-0.001	0.005*	0.087	-0.025	-0.001	0.009	0.003	0.004
連続通過台数	-0.009**	-0.010	-0.005	0.001	-0.005	-0.004	0.004	-0.002	-0.004**
大型車混入率	0.412*	0.828***	0.701***	0.227	0.135	0.169	-0.089	0.324***	0.368***
雨	-0.003	0.113*	0.058	0.053	0.029	0.027	0.108.	0.032**	0.084***
1月	-0.055	0.106	-0.150	0.047	-0.017	0.037	0.027	-0.038.	0.001
2月	-0.033	-0.067	0.067	0.114	-0.017	-0.030	-0.007	-0.046*	-0.001
3月	0.003	-0.113*	-0.112*	0.097	0.078.	-0.054	-0.090	-0.050**	0.002
4月	0.017	-0.007	-0.008	-0.619*	0.040	0.069	-0.070	-0.022	-0.036*
5月	-0.001	-0.129	-0.005	0.001	0.013	-0.034	-0.081	-0.029	-0.061***
6月	0.039	-0.004	-0.004	0.074	-0.005	-0.039	-0.072	-0.044*	-0.028
7月	0.041	-0.054	0.055	0.440**	0.032	-0.003	-0.128	-0.038.	-0.021
8月	-0.027	-0.124.	-0.103.	NA	0.005	-0.063	-0.158	-0.037.	-0.032
9月	0.039	-0.048	-0.017	-0.280	0.000	0.067	NA	NA	NA
10月	0.027	-0.016	0.079	-0.267	-0.012	0.032	-0.145	-0.035.	-0.020
11月	0.033	-0.046	-0.049	0.206*	0.021	-0.042	-0.046	0.001	0.009
12月	基準								
日曜	-0.152	0.003	-0.517**	NA	NA	NA	NA	0.010	-0.077
月曜	基準								
火曜	0.029	-0.041	0.018	-0.199*	0.012	-0.038	-0.057	0.020	0.009
水曜	0.000	-0.024	-0.003	-0.324*	0.034	-0.049	0.003	0.035**	-0.021.
木曜	-0.003	0.026	-0.066	-0.146	-0.024	-0.035	-0.065	0.018	0.007
金曜	0.008	0.014	-0.017	-0.074	0.031	-0.031	-0.017	-0.008	-0.011
土曜	-0.306*	-0.092	0.037	-0.324	-0.006	0.133	-0.271.	0.081***	0.009
8時	0.103	-0.005	-0.330**	NA	NA	NA	0.773**	0.066.	0.025
9時	0.037	0.411*	-0.006	NA	NA	NA	0.790**	0.062.	0.004
10時	-0.034	-0.088	-0.003	NA	NA	NA	1.091*	0.045	0.018
11時	-0.055	-0.056	-0.035	NA	NA	NA	NA	-0.009	-0.020
12時	基準								
13時	0.028	-0.103	-0.098	NA	-0.063	0.033	NA	-0.002	-0.037
14時	0.033	-0.055	-0.009	NA	-0.043	-0.149	NA	-0.063	-0.101.
15時	0.021	-0.067	0.040	-0.001	0.094	0.290*	NA	-0.078	-0.006
16時	-0.011	0.078	0.030	NA	0.023	-0.030	NA	0.008	-0.031
17時	-0.031	0.010	0.128.	-0.420	-0.073	-0.024	NA	0.138	-0.084
18時	0.010	0.123	0.007	-0.338	-0.065	-0.034	NA	0.132	-0.064
その他の時間帯	-0.018	-0.059	-0.247.	NA	NA	NA	0.801**	-0.003	-0.029
adj R ²	0.021	0.077	0.117	0.204	-0.011	-0.003	-0.004	0.044	0.051
サイクル数	943	295	345	69	427	370	290	3163	3329

4. 回帰分析による変動要因分析

飽和交通流率と青時間交通流率の変動とその変動要因を分析するために、既往研究で指摘されている様々な影響要因とそれ以外の影響要因を説明変数に、飽和交通流率の場合は飽和交通流率の逆数である平均車頭時間を、青時間交通流率の場合は、この値を目的変数とした重回帰分析を行なった。この重回帰分析を行うにあたり、各影響要因が飽和交通流率に与える影響は一定でかつそれらの要因と平均車頭時間は線形関係にあると仮定した。重回帰分析のモデルを次に示す。

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n$$

ここでy: 目的変数, x: 各説明変数, β : 偏回帰係数

(1) 車線毎の飽和交通流率

重回帰分析の説明変数を以下に示す。

(a)量的変数

- ・青時間長(s): 各サイクルの青時間開始から黄色点減までの時間
- ・連続通過台数(台): 各サイクルの 4 台目以降に車頭時間 4 秒未満で連続通過した台数 (飽和交通流率のみ)
- ・大型車混入率: 各サイクルの総通過台数に占める大型車と推定された台数の割合

(b)質的変数 (ダミー変数)

- ・雨: 2(1)により雨と判定された時間帯のサイクルを 1 とした。
- ・月: 12月を基準としてダミー変数を設定した。
- ・曜日: 月曜日を基準としてダミー変数を設定した。
- ・時間帯: 8時~18時の 12時を除く 1時間ずつとその他の時間帯をダミー変数として設定し、12時を基準とした

重回帰分析の結果を表6に示す。結果として、偏回帰係数が正の数の変数は平均車頭時間を増加させ飽和交通

表7 青時間交通流率を目的変数とした車線毎の重回帰分析の結果

***: 0.1%有意, **: 1%有意, *: 5%有意, . : 10%有意

交差点 方路	神保町			日本橋			西巣鴨			
	from 南	from 西		from 北西	2	3	4	from 南東	3	4
車線 (左から)	2	2	3	2	3	4	2	3	4	4
偏回帰係数										
定数項	-7,631***	-5,081***	50	8,605.	13,723*	-7,766	2,329***	-22,969***	-12,582***	
SFR (推定値)	5***	5***	1*	-3*	9**	10**	-1***	15***	8***	
青時間長	9***	-20***	-16***	-121	-497***	-92	-4	21***	12**	
大型車混入率	-448***	383***	-195.	-279	1,164**	797*	-233***	1,919***	1,709***	
雨	1,221***	1,724***	352.	-379.	623*	1,124**	85***	2,812***	1,841***	
1月	-193***	36	-397***	-27	-124	524*	16	-329***	-23	
2月	-81***	-171**	-46	-52	201	246	195***	-379***	8	
3月	3	-300***	-101.	-419**	415*	-435*	195***	-410***	51.	
4月	77***	-86*	-68	1,411.	168	236	23	-225***	-205***	
5月	12	-430***	-99	261	-80	-532*	9	-308***	-306***	
6月	114***	-113.	-52	-405*	-101	-47	127***	-428***	-155***	
7月	129***	-132**	13	-760*	359*	3	138***	-381***	-107***	
8月	-104***	-454***	-36	-421**	109	-324	142***	-340***	-206***	
9月	95***	-107**	-23	378	-96	642**	NA	NA	NA	
10月	3	-92*	92.	442	-345	137	184***	-384***	-115***	
11月	107***	-165***	-22	-492*	160	-132	28	11	-28	
12月	基準									
日曜	NA	-248***	-755***	-473	116	-105	-219	-321	-980***	
月曜	基準									
火曜	98***	-150***	60	429*	83	-57	-10	190***	33.	
水曜	-4	-32	41	584.	270.	-339*	-107***	303***	-136***	
木曜	-16	98**	62	619***	153	-49	-18	206***	31.	
金曜	24.	85**	49	368**	404**	-23	-9	-77***	-67***	
土曜	-1,431***	-432***	-258**	1,450	-6,104***	-1,374	-4	697***	52	
8時	344***	-11	-294*	NA	NA	NA	-81***	616***	265***	
9時	199***	1,111***	44	NA	NA	NA	-138***	576***	145***	
10時	-36	-64	161*	363	-6,442***	-2,962	-538***	306***	135***	
11時	-100**	7	49	491	-6,494***	-2,923.	252	-172*	-63	
12時	基準									
13時	139***	-128*	61	812	-6,933***	-2,403	321	-164	-96	
14時	220***	-30	97.	434	-7,098***	-4,046*	-66	-1,038***	-905***	
15時	171***	-64	96	944	-5,350**	-945	50	-1,194***	-220.	
16時	68*	290***	88	1,162	-5,629**	-2,254	-59	-120	-505***	
17時	-113***	168***	182*	2,014	-6,405***	-2,431	458*	828***	-642***	
18時	-51.	430***	53	1,974	-6,386***	-2,429	313	765***	-309*	
その他の時間帯	-226**	-335***	-461***	1,021	-5,310***	-2,204	-207***	-52*	-93***	
adj R ²	0.323	0.330	0.207	0.171	0.098	0.094	0.127	0.151	0.188	
サイクル数	2,714	1,208	1,208	394	394	394	3,204	3,204	3,204	

流率を低下させる要因、偏回帰係数が負の数の変数は平均車頭時間を低下させ飽和交通流率を増加させる要因である。一般に知られている大型車の混入などが飽和交通流率の変動に影響を与えていることが分かる。また、車線毎に偏回帰係数の値が違い、交差点毎に変動に違いがあることを示唆している。

(2) 車線毎の青時間交通流率

重回帰分析の説明変数を以下に示す。

(a) 量的変数

- ・SFR (推定値) : (1)の重回帰分析により推定された偏回帰係数を用い算出した飽和交通流率の推定値
- ・青時間長(s) : 各サイクルの青時間開始から黄色点滅までの時間
- ・大型車混入率 : 各サイクルの総通過台数に占める大型車と推定された台数の割合

(b) 質的変数 (ダミー変数)

- ・雨 : 2(1)により雨と判定された時間帯のサイクルを 1 とした。
- ・月 : 12月を基準としてダミー変数を設定した。
- ・曜日 : 月曜日を基準としてダミー変数を設定した。
- ・時間帯 : 8時~18時の 12時を除く 1時間ずつとその他の時間帯をダミー変数として設定し、12時を基準とした

重回帰分析の結果を次の表7に示す。結果として、偏回帰係数が正の数の変数は青時間交通流率を増加させる要因、偏回帰係数が負の数の変数は青時間交通流率を低下させる要因である。飽和交通流率の結果と比較すると有意差のある変数が増え、自由度調整済み決定係数の値も大きくなった。SFRの変数に着目すると偏回帰係数が正の値を示す車線が多く、飽和交通流率が高いほど青時間交通流率が高くなるという正の相関があることが分かるが、いくつか負の相関を示す車線もあった。負の相関を示す車線はどちらも最も歩道側の直進専用車線であり左折車の影響を受けているものと考えられる。

(3) 断面毎の飽和交通流率

重回帰分析の説明変数を以下に示す。

(a) 量的変数

- ・青時間長(s) : 各サイクルの青時間開始から黄色点滅までの時間
- ・大型車混入率 : 各サイクルの総通過台数に占める大型車と推定された台数の割合
- ・利用率差 : 断面内の最大の車線利用率と最小の車線利用率との差をとった変数。車線利用の不均衡さと捌け交通量との関係を明らかにするために設定した

(b) 質的変数 (ダミー変数)

- ・雨 : 2(1)により雨と判定された時間帯のサイクルを 1 とした。
- ・月 : 12月を基準としてダミー変数を設定した。
- ・曜日 : 月曜日を基準としてダミー変数を設定した。
- ・時間帯 : 8時~18時の 1時間ずつをダミー変数として設定し、その他の時間帯を基準とした

重回帰分析の結果を表8に示す。結果として、偏回帰係数が正の数の変数は青時間交通流率を増加させる要因、偏回帰係数が負の数の変数は青時間交通流率を低下させる要因である。利用率差に着目すると、ほとんどが偏回帰係数の符号が負になっており、車線利用が不均衡になればなるほど捌け交通量が低下していることが分かる

表8 青時間交通流率を目的変数とした断面毎の重回帰分析の結果

*** : 0.1%有意, ** : 1%有意, * : 5%有意, . : 10%有意

交差点 方路	神保町	日本橋	西巢鴨	
	from 南	from 西	from 北西	from 南東
偏回帰係数				
定数項	1,031***	1,236***	6,016*	1,821***
青時間長	-5***	-14***	-123*	-15***
大型車混入率	-600***	-10	1,206***	1,216***
雨	58***	-37.	-9	-12
利用率差	-273***	-52	697***	-299***
1月	-20	-178***	109	12
2月	1	-77.	208*	79***
3月	-5	7	-110	79***
4月	-17	-22	-188	4
5月	-22	-48	-149	9
6月	-49**	-80.	-48	42*
7月	-45***	5	96	20
8月	-65***	-68*	-147	23
9月	-53***	4	12	NA
10月	-94***	-5	-28	21
11月	-25*	-15	-40	-28
12月	基準			
日曜	NA	-227***	-316	-260.
月曜	基準			
火曜	-8	29	106	-15
水曜	-15	46.	14	-38**
木曜	-6	74**	292***	-3
金曜	14	72***	191**	-3
土曜	-169***	-148***	-2,574**	-82**
7時	11	18	NA	131***
8時	145***	138**	NA	58***
9時	211***	210***	NA	6
10時	202***	288***	-878.	-129***
11時	225***	239***	-949**	-127**
12時	134***	264***	2,398*	-115
13時	189***	258***	-745	-147
14時	232***	259***	-916.	-473***
15時	245***	255***	-415	-384***
16時	244***	244***	-74	-393***
17時	160***	256***	-102	-360***
18時	100***	217***	-47	-278*
その他の時間帯	基準			
adj R ²	0.308	0.348	0.228	0.000
サイクル数	2,714	1,208	394	3,204

5. 結論・今後の課題

複数交差点の飽和交通流率及び捌け交通量を車両感知器から得たデータから分析した結果、飽和交通流率と捌け交通流を示す青時間交通流率の分布は車線によって異なり、特に青時間交通流率はその傾向が顕著であることが分かった。更に、車線によっては青時間交通流率が飽和交通流率の6~7割程度であり、なんらかの要因で捌け交通量が最大に達していないことが分かる。1つの要因としては、今回対象とした信号交差点流入部のすぐ上流に別の交差点が連続していて、オフセットが適切に設定できていないことが考えられる。また、飽和交通流率よりも青時間交通流率の変動が激しいことも分かった。加えて飽和交通流率と青時間交通流率の変動特性を重回帰分析により分析した結果、一般的に知られている大型車混入率などの影響が確認されると共に、飽和交通流率と青時間交通流率に正の相関があることが分かった。また断面毎に青時間交通流率を分析すると、変動要因の1つとして車線利用の不均衡があることも確認された。

課題については、今回実際の捌け交通量が設計上の交通量に達しない場合があることが示されたが、どのような状況でこのようなことが起きるのかが分析できていない。加えて、今回データの取得に用いた車両感知器は交差点の停止線上の数十m上流に設置し、そこから観測した飽和交通流率や青時間交通流率を分析しているため、停止線を基準として設定されるべき本来の飽和交通流率や青時間交通流率とは異なる値になってしまっている可能性がある。以上2つに関しては、ビデオ観測などを行い検証する必要があると考えられる。他にも今回の分析では、左直混用車線の飽和交通流率の算出はサイクル数が少なくなってしまうため算出しなかった。サイクルの抽出条件を直進専用車線と同じものにしてしまうと、歩行者によるブロッキングなどの影響から条件を満たすものが非常に少なくなってしまうためである。よって左直

混用車線の飽和交通流率の算出は見直しが必要であるといえる。また、重回帰分析では曜日や時間帯などのダミー変数を設定する際、サイクル数が0または非常に少ない数となってしまい、多重共線性が発生してしまうものもあった。多重共線性が発生してしまうと適切な分析結果が得られないことから、こうしたダミー変数はサイクル数が分析に十分な数となるようにいくつかの変数をまとめるなどの見直しが必要になると考えられる。

謝辞

本論文は、警視庁、住友電気システムズ株式会社、東京大学生産技術研究所との共同研究プロジェクトの結果の一部であり、警視庁からのデータ提供及びプロジェクトメンバーからの貴重なコメントに謝意を表す。

参考文献

- 1)一般社団法人交通工学研究会：平面交差の計画と設計，丸善出版株式会社，2018，320p．
- 2)鹿田成則，片倉正彦，大口敬，河合芳之：飽和交通流率の基本値変動の実態解析．
- 3)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，1997．
- 4)鹿田成則，片倉正彦，大口敬，河合芳之：信号交差点の飽和交通流率と車線幅員の関係について，土木計画学研究・論文集 Vol.18 no.5 2001年9月．
- 5)青山恵里：信号交差点における飽和交通流率の変化とその要因に関する研究，日本大学博士論文，2020．
- 6)青山恵里，下川澄雄，吉岡慶祐，森田緯之：飽和交通流率の変化とその要因に関する研究，交通工学論文集，2021．
- 7)Gao Yimin, Oneyama Hiroyuki, Yanagihara Masami : Fluctuation Analysis of Saturation Flow Rate with Traffic Detector Data , 交通工学研究発表会論文集, Vol.41, 2021.