

# 一車線流入部を有する 十字路信号交差点における 交通容量算定式の構築に関する研究

吉種 教平<sup>1</sup>・田中 伸治<sup>2</sup>・中村 文彦<sup>3</sup>・有吉 亮<sup>4</sup>・三浦 詩乃<sup>5</sup>

<sup>1</sup>学生非会員 横浜国立大学大学院 都市イノベーション学府 (〒240-8501横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

E-mail:yoshitane-kyohei-nt@ynu.jp

<sup>2</sup>正会員 横浜国立大学大学院 都市イノベーション研究院 (〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

E-mail:stanaka@ynu.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 横浜国立大学 理事・副学長

<sup>4</sup>正会員 横浜国立大学大学院 都市イノベーション研究院

<sup>5</sup>正会員 横浜国立大学大学院 都市イノベーション研究院

都市部の一般道路の渋滞はほとんど信号交差点で発生している。とくに、一車線流入部を有する信号交差点では、右折車が後続車の進行を妨げる現象があり、これが交通渋滞の大きな要因となっている。しかし、そのような交差点容量の推計手法は確立されていない。そこで本研究では、このような現象が発生する一車線流入部を有する十字路交差点における交差点容量計算式を、一回の青時間内に交差点に進入する車両数の期待値を用いて構築し、その妥当性を検証することを目的とする。

進入台数の期待値は、青時間長、対象アプローチの右折率、対向アプローチの右折率の3つのパラメータを用いて求める。また、交差点容量計算式を構築後、実際の交差点における実データを用いて妥当性を検証する。

**Key Words :** traffic jam, signalized intersection, traffic capacity, capacity calculation formula

## 1. はじめに

### (1) 研究の背景と目的

交通渋滞は、日本が抱える大きな問題の1つである。交通渋滞の主な原因としては、工事、路上駐車、踏切、事故、信号交差点などがある。都市部の一般道路の渋滞はほとんどが信号交差点で発生している。

本研究では、信号交差点に着目した。信号交差点の性能を評価する手法は、「交通信号の手引き<sup>1)</sup>」「平面交差の計画と設計<sup>2)</sup>」等にまとめられており、信号交差点での交通渋滞対策としては、右折専用車線の設置などが挙げられる。しかし、地方部や古い市街地では、右折専用車線が確保できない一車線流入部の交差点が存在する。このような交差点では、右折専用車線がないので、右折車が後続車の進行を妨げるケースが多い。こうした一車線流入部の交差点容量の評価手法は、上記の設計指針では扱われておらず、評価手法が確立されていない。

そこで本研究では、このような現象が発生する一車線流入部の十字路交差点における交差点容量算定の理論式

を、一回の青時間内に交差点に進入する車両の期待値を用いて構築することを目的とする。交通シミュレーションによる評価手法も存在するが、発生確率に基づく理論式が厳密解であるのに対し、交通シミュレーションは近似解である。交通シミュレーションは、表現の自由度が高く様々な条件の交差点を評価することが可能であるが、使用に際しては実データに基づくパラメータのキャリブレーション及び再現性検証が必須である。マクロ交通シミュレーションでは、交差点容量自体をパラメータとして与える必要があるため、本研究の目的には使用できない。一方、ミクロ交通シミュレーションは、ギャップアクセプタンスによる右折を表現できるため本研究の目的に用いることは可能であるが、右折時の臨界ギャップをはじめ車両希望速度、加減速度、追従車頭時間など多種多様な車両挙動パラメータを設定する必要があり、個々のパラメータの妥当性を検証するのは極めて困難である。交通シミュレーションの結果は発生乱数に依存するため、複数回の試行が必要で結果はある程度の幅を持った分布となり、交差点設計などの実務には利用しにくい側面が

ある。これに対し、発生確率に基づく理論式は、使うパラメータが少なく、交差点設計に利用する際も操作性が高い。また、パラメータが結果に与える影響の因果関係が論理的で明確であるため、どの要素を改善すればどれだけの効果が見込めるかといった評価も容易である。このような理論式が設計指針に掲載されることで、一車線流入部の交差点設計をより厳密化・高度化することが可能になる。

## (2) 研究の手順

まず、一車線流入部の十字路交差点における交差点容量計算式を構築する。構築の際、右折車が右折待ちをしている場合、後続車は交差点内に進入できないなどといった仮定条件をいくつか設定する。容量計算式を構築後、実際の一車線流入部の十字路交差点の実データと比較し、容量計算式の妥当性を検証する。最後に、一車線流入部の十字路信号交差点の新たな制御手法を提案する。

## 2. 既往研究と本研究の位置づけ

交通が集中するところは片側2車線以上のところが多く、交差点の研究においても、交通が集中する交差点が選ばれやすいため、既存の研究でも、一車線流入部の交差点での研究はあまり行われていない。

### (1) 既往研究

吉井ら<sup>3)</sup>は、一車線流入部のT字路交差点では、右折車が交差点内で右折待ちをしている間、後続車は交差点内へ進入できないことを仮定して、一車線流入部のT字路交差点における交通容量を求める推計式を構築した。対向アプローチが飽和しているとき、対向アプローチが非飽和の時の2パターンについて、それぞれ容量推計式を構築し、それらの式が実現現象を適切に表現しているかどうかについて、観測調査を通じた確認を行っている。その結果、推計式が実現現象を適切に表現していることを確認した。

また、吉井らは同じく、十字路交差点の交差点容量推計も行っているが、こちらについては、推計式を構築していない。代わりに、待ち行列型の単純なシミュレーションモデルを用いた数値計算によって推計を行っている。シミュレーションでは、車両の発生時に乱数を用いて直進や右左折、大型車といった発生車両の属性を決定し、交差点へ進入する右折車が発生した場合には、右折パターン（例えば、右折待ちをしているときに対向右折車が現れた場合など）を分類し、乱数を用いて右折の可否判断を行った。すり抜けパターンについても分類を行った。そして、実際に交差点で観測を行って実際の交通状況を把握した。結果、右折、すり抜けはパターンによって決

定的ではなく、確率的にその挙動が行われていることを確認した。

### (2) 本研究の位置づけ

本研究では、一車線流入部の十字路交差点の交通容量算定の理論式を作ることを目的としている。既往研究を含め、従来の推計法であるシミュレーションを用いた評価では、多くの車両挙動のパラメータを設定する必要があるが、本研究における容量計算式では、少ないパラメータで交差点容量を求めることが可能となる。複雑な事象が絡み合う十字路交差点での交差点容量の推計式を構築できれば、今後の一車線流入部の十字路交差点交通容量把握の大きな指針となり得ると考えられる。

## 3. 容量計算式の構築における仮定条件

一車線流入部の十字路交差点での容量計算式の構築において、以下の3つの条件を仮定した。

条件1：対象アプローチ・対向アプローチともに飽和している

条件2：右折車の右折機会は、右折車同士の右折とクリアランス右折のみであり、対向アプローチの車両が直進または左折の場合は右折できない

条件3：右折車が右折待ちをしている場合、後続車は交差点内に進入できない

ここで、対象アプローチは交差点容量を求める流入部、対向アプローチは対象アプローチの向かいの流入部、右折車同士の右折は以下の図1のように対象アプローチ・対向アプローチ両方向の先頭に右折車が現れた時に右折できること、クリアランス右折は青信号終了直前に対向アプローチの車両が直進または左折であっても右折できること、と定義する。

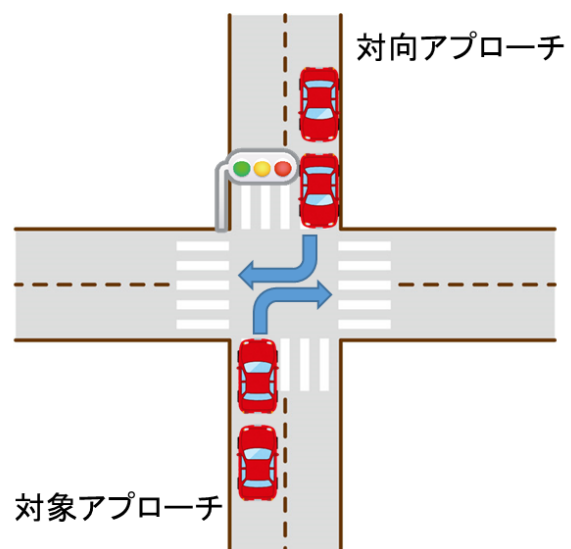


図-1 一車線流入部を有する十字路信号交差点の模式図

条件1は、既往研究に倣って、まずは両アプローチが飽和していることを仮定した。条件2については、両アプローチが飽和している実際の十字路信号交差点で多く観測される右折のタイミングとして設定した。条件3は、同じく実際の十字路信号交差点では右折車が右折待ちをしていると、後続直進車は交差点に進入できない現象が多く観測されるので、このように設定した。

#### 4. 容量計算式の構築手順

青時間内に交差点に進入できる最大の車両台数を  $n$  として、一回の青時間内に交差点に進入する車両の期待値  $N$  が求まると仮定する。 $n$  は青時間の長さで決まるのに対し、 $N$  は上記の仮定条件3のために  $n$  より小さくなる。このとき交差点の容量は以下の式で表される。

$$Q = N \times \frac{3600}{C} \quad (1a)$$

Q : 交差点容量 (台/h)  
C : サイクル長 (秒)

この  $N$  を求めることができれば、交差点容量の理論式が構築できる。

以下、 $n=10$  の場合を例に説明を行う。

車両の期待値の求め方の流れとしては、第3章で示した仮定条件をもとに、対象アプローチから交差点に進入した台数が  $i=1, i=2, i=3, \dots$  の時の考えられる対象アプローチの事象を、流れる順番も考慮して、全て書き出す。次にそれぞれの事象に対して考えられる対向アプローチの事象を流れる順番も考慮して、全て書き出す。そして、それぞれの発生する確率を、対象アプローチの右折率  $r_1$ 、対向アプローチの右折率  $r_2$  を用いて求める。それらの確率をもとに、 $N$  を計算式として求める。以下にその手順を説明する。

以下の表2は、対象アプローチから交差点に進入した台数が  $i$  台のときの、対象アプローチの考えられる事象とその数である。ここで、以下にあらわれる  $R, T$  はそれぞれ  $R$  が右折車、 $T$  が直進車または左折車、と定義する。例えば、 $i=1$  台のときの考えられる対象アプローチの事象は  $R$  のみとなっているが、 $i=1$  台のときは、最初に1台でも  $T$  を流すと後続車が流れることになるので、1台も  $T$  を流さずに、現示が変わる直前に  $R$  同士で右折させるか、クリアランス時間帯で  $R$  1台を流す事象しかないということである。

以下では、右折車同士の右折とクリアランス右折を分けて考え、まず右折車同士の右折について説明する。以下の表3は、 $i$  台の時の対象アプローチの事象に対する、対向アプローチの考えられる事象とその確率を求めたものである。考えられる事象の中に右折車が何台含まれて

いるかで色分けをした。紫色は右折車が1台、ピンク色は右折車が2台、黄緑色は右折車が3台、 $\dots$ とした。 $i$  が大きな値となると、考えられる対向アプローチの事象が莫大な数となるので、 $i=3$  までの事象とその確率を示した。

例えば、 $i=2$  の  $RR$  のときの考えられる対向アプローチの事象は、9台目までに  $R$  を1台流し、10台目に  $R$  を流す事象が考えられる(10台目に  $T$  を流す事象も考えられるが、この計算は後に別途行う)。このときの確率は対象アプローチの右折率  $r_1$ 、対向アプローチの右折率  $r_2$  を用いて、以下のように表される。

$$r_1^2 \times 9C_1(1-r_2)^8 \cdot r_2^2 \quad (2a)$$

表2 対象アプローチから交差点に進入した台数が  $i$  台のときの、対象アプローチの考えられる事象とその数

対象アプローチから交差点に進入した台数 <i>i</i>	考えられる対象アプローチの事象	考えられる対象アプローチの事象の数
$i=1$	R	1
$i=2$	TR RT RR	3
$i=3$	TTR TRT RTT TRR RRT RTR RRR	7
.....	.....	.....
$i=k$	.....	$2^k - 1$

表3  $i=1,2,3$  のときの対向アプローチの考えられる事象とその確率

対象アプローチから交差点に進入した台数	考えられる対象アプローチの事象	考えられる対向アプローチの事象	確率(対象アプローチの事象確率 × 対向アプローチの事象確率)
$i=1$	R	TTTTTTTTTR	$r_1 \times (1-r_2)^9 \cdot r_2$
$i=2$	TR	TTTTTTTTTR	$r_1 \cdot (1-r_1) \times (1-r_2)^9 \cdot r_2$
	RT	TTTTTTTTTR	$r_1 \cdot (1-r_1) \times (1-r_2)^8 \cdot r_2$
	RR	(9台中、Rが1台)・R	$r_1^2 \times 9C_1(1-r_2)^8 \cdot r_2^2$
$i=3$	TTR	TTTTTTTTTR	$r_1 \cdot (1-r_1)^2 \times (1-r_2)^9 \cdot r_2$
	TRT	TTTTTTTTTR	$r_1 \cdot (1-r_1)^2 \times (1-r_2)^8 \cdot r_2$
	RTT	TTTTTTTTTR	$r_1 \cdot (1-r_1)^2 \times (1-r_2)^7 \cdot r_2$
	TRR	T・(8台中、Rが1台)・R RTTTTTTTR	$r_1^2 \cdot (1-r_1) \times \left\{ 8C_1(1-r_2)^8 \cdot r_2^2 \right. \\ \left. + (1-r_2)^7 \cdot r_2^2 \right\}$
	RRT	(8台中、Rが1台)・R	$r_1^2 \cdot (1-r_1) \times 8C_1(1-r_2)^7 \cdot r_2^2$
	RTR	(8台中、Rが1台)・TR TTTTTTTTTR	$r_1^2 \cdot (1-r_1) \times \left\{ 8C_1(1-r_2)^8 \cdot r_2^2 \right. \\ \left. + (1-r_2)^7 \cdot r_2^2 \right\}$
	RRR	(9台中、Rが2台)・R	$r_1^3 \times 9C_2(1-r_2)^7 \cdot r_2^3$

表-4 対象アプローチに右折車が1台含まれるときの確率

対象アプローチから交差点に進入した台数	考えられる対象アプローチの事象	考えられる対向アプローチの事象	確率(対象アプローチの事象確率 × 対向アプローチの事象確率)
i=1	R	TTTTTTTTTR	$r_1 \times (1-r_2)^9 \cdot r_2$
i=2	TR	TTTTTTTTTR	$r_1 \cdot (1-r_1) \times (1-r_2)^9 \cdot r_2$
	RT	TTTTTTTTTR	$r_1 \cdot (1-r_1) \times (1-r_2)^9 \cdot r_2$
i=3	TTR	TTTTTTTTTR	$r_1 \cdot (1-r_1)^2 \times (1-r_2)^9 \cdot r_2$
	TRT	TTTTTTTTTR	$r_1 \cdot (1-r_1)^2 \times (1-r_2)^8 \cdot r_2$
	RTT	TTTTTTTTTR	$r_1 \cdot (1-r_1)^2 \times (1-r_2)^7 \cdot r_2$
i=4	TTTR	TTTTTTTTTR	$r_1 \cdot (1-r_1)^3 \times (1-r_2)^9 \cdot r_2$
	TTRT	TTTTTTTTTR	$r_1 \cdot (1-r_1)^3 \times (1-r_2)^8 \cdot r_2$
	TRTT	TTTTTTTTTR	$r_1 \cdot (1-r_1)^3 \times (1-r_2)^7 \cdot r_2$
	RTTT	TTTTTTTTTR	$r_1 \cdot (1-r_1)^3 \times (1-r_2)^6 \cdot r_2$

表-5 対象アプローチに右折車が1台含まれるときの対向アプローチの事象発生確率の数をまとめたもの

	対象アプローチから交差点に進入した台数(右折車は1台含まれる)							
	i=1台	i=2台	i=3台	i=4台	...	i=9台	i=10台	
	$r_1$	$r_1 \cdot (1-r_1)$	$r_1 \cdot (1-r_1)^2$	$r_1 \cdot (1-r_1)^3$	...	$r_1 \cdot (1-r_1)^9$	$r_1 \cdot (1-r_1)^9$	
対向アプローチから流れる事象の確率	$r_2 \cdot (1-r_2)^9$	1	1	1	...	1	1	
	$r_2 \cdot (1-r_2)^8$		1	1	...	1	2	
	$r_2 \cdot (1-r_2)^7$			1	1	...	1	3
	$r_2 \cdot (1-r_2)^6$				1	...	1	4
	...					...	...	...
	$r_2 \cdot (1-r_2)$						1	9
	$r_2$							10

表 4 は、対象アプローチに右折車が 1 台含まれる時の確率をまとめたものである。このように、対象アプローチの事象に含まれる右折車の台数ごとにグループ分けし、車両の期待値を求める。表 5 は、それぞれの事象が発生する確率項の数をまとめたものである。表 4 から、表 5 のように対向アプローチの事象発生確率項の数をまとめた。表 5 はΣを用いて i=10 までの事象確率を計算でき、最終的に車両の期待値 N を算出できる。

また、クリアランス右折による期待値については、以下のように別途求めた。

クリアランス右折が発生するときは、青信号終了直前の車両の組み合わせは対象アプローチが R (右折車) で対向アプローチが T (直進車または左折車) のときなので、この確率を式で表すと以下のように表される。

$$r_1 \times (1 - r_2) \tag{3a}$$

クリアランス右折が発生する確率は、考えられる対象アプローチの事象が複雑になっても、最後の 1 台によって決まるので、確率は常に同じである。この確率を用いて、車両の期待値を算出できる。

### 5. おわりに

現在、4章で示したプロセスによって、一回の青時間内に交差点に進入する車両の期待値Nを求めている。車両の期待値Nが求まった後、実際の一車線流入部の十字路交差点における観測データを用いて、比較を行い、構築した容量計算式の妥当性を検証する予定である。

### 参考文献

- 1) 社団法人 交通工学研究会：改訂 交通信号の手引き，2006 962.
- 2) 社団法人 交通工学研究会：改訂 平面交差の計画と設計
- 3) 吉井稔雄，片岡源宗：右折率を考慮した交差点容量の推計，土木学会 第 25 回土木計画学研究講演集，CD-ROM，2002.7.

(2018.??受付)

## A study about construction of intersection capacity calculation formula in four-leg signalized intersections with single-lane approaches

Kyohei YOSHITANE, Shinji TANAKA, Fumihiko NAKAMURA, Ryo ARIYOSHI and Shino MIURA

Traffic jam on public road in urban areas occurs at signalized intersections mainly. Especially, at signalized intersections with single-lane approaches, right-turning cars often block following cars and this phenomenon is the main factor of traffic jam. But there are no ways to estimate intersection capacity accurately in the intersections with single-lane approaches. In this study, the objective is to construct intersection capacity calculation formula with expectation of vehicles entering intersection during once green in four-leg signalized intersections and to verify the adequacy.

Expectation of vehicles is obtained by using three parameters, maximum number of vehicles that can enter intersection during once green, ratio of right-turn at target approach and ratio of right-turn at opposing approach. And I verify the adequacy compared to real intersections data.