

# 左折車のギャップアクセプタンス挙動と 交通容量の算出方法に関する研究

青山 恵里<sup>1</sup>・川口 真穂<sup>2</sup>・吉岡 慶祐<sup>3</sup>・下川 澄雄<sup>4</sup>・森田 綽之<sup>5</sup>

<sup>1</sup>学生会員 日本大学大学院 理工学研究科交通システム工学専攻(〒274-8501千葉県船橋市習志野台7-24-1)

E-mail: cser17001@g.nihon-u.ac.jp

<sup>2</sup>非会員 日本大学理工学部交通システム工学科 (同上)

E-mail: csma18801@g.nihon-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 日本大学助手 理工学部交通システム工学科 (同上)

E-mail: yoshioka.keisuke@nihon-u.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 日本大学教授 理工学部交通システム工学科 (同上)

E-mail: shimokawa.sumio@nihon-u.ac.jp

<sup>5</sup>フェロー会員 日本大学客員教授 理工学部交通システム工学科 (同上)

E-mail: hi-morita@i-transportlab.jp

左折車の交通容量算出において用いる左折車の通過確率は、1975年のシミュレーション結果にもとづいて設定された値であり、現在もなお同じ値を使用している。また、現在の交通容量算出方法では車道を通行する自転車の影響を考慮できていないといった問題点もある。

本研究では、横断歩行者と車道を通行する自転車に対する左折車のギャップアクセプタンス挙動の実験から、歩行者および自転車それぞれに対する通過確率を算出し、交通容量の算出結果に与える影響を評価した。その結果、これまでの算出方法では左折車の交通容量を課題に推計していることが明らかとなった。

**Key Words** : *capacity, left-turn, pedestrian, bicycles, gap acceptance*

## 1. はじめに

左折車の交通容量の算出においては、青丸表示中に交錯する横断歩行者や自転車が存在する場合、左折車は横断歩行者や自転車の通過を待つ必要が生じるため、これらの影響を考慮して交通容量を算出する必要がある。わが国の「平面交差の計画と設計 基礎編<sup>1)</sup>」では、横断歩道を横断する歩行者が左折車の交通容量に与える影響を、横断歩行者の間隙を利用して左折できる確率 $f_L$ を乗じることにより考慮し、式(1)により交通容量を算出することとなっている。

$$c_L = s_L \times \frac{G_p}{C} \times f_L + s_L \times \frac{G - G_p}{C} \quad (1)$$

ここで、 $c_L$  : 左折専用車線の交通容量(台/時)、 $s_L$  : 左折車線の飽和交通流率(台/青1時間)、 $f_L$  : 歩行者の間隙を利用して左折できる確率 (以降、「左折車の通過確率」とする)、 $G_p$  : 歩行者用青時間(秒)、 $G$  : 有効青時間(秒)、 $C$  : サイクル長(秒)である。

左折車の通過確率 $f_L$ は、横断歩道長、サイクル長、歩行者交通量に応じた36通りの通過確率の値が提示されて

おり、この値は1978年の交通容量研究委員会の研究<sup>2)</sup>が根拠になっているものと思われる。しかしこれ以降、左折車の通過確率の見直し等は行われておらず、現在もなお当時の値が使用されている。青山ら<sup>3)</sup>が指摘するように、飽和交通流率の基本値に相当する値が過去と比較して低下していることを踏まえると、左折車の通過確率の値も今後見直す必要があるものと考えられる。

加えて、この算出方法では車道端を通行する自転車の影響は考慮していない。しかし、自転車交通の増加や矢羽根型路面表示の設置を含めた昨今の動向などを踏まえると、横断歩行者だけでなく、自転車による影響も考慮して算出することが必要であると考えられる。

そこで本研究では、模擬交差点における左折車と横断歩行者および車道を通行する自転車とのギャップアクセプタンス挙動に関する実験を通して、横断歩行者および車道を通行する自転車に対する左折車の通過確率を算出する。さらにこれらの通過確率から交通容量を算出し、交通容量の算出結果に与える影響を把握するとともに、これまでの算出方法の結果との比較評価を行うことを目的とする。

## 2. 既往文献の整理と本研究の位置づけ

2018年発刊の「平面交差の計画と設計 基礎編<sup>1)</sup>」では、左折車線の交通容量を算出する際の左折車の通過確率を横断歩道長、サイクル長、歩行者交通量に応じる形で示している。「平面交差の計画と設計 基礎編<sup>1)</sup>」の旧版である2007年発刊の「改訂 平面交差の計画と設計 基礎編 第3版<sup>2)</sup>」においては、左折車の通過確率に相当する値は左折専用車線の横断歩行者による低減率として示されており、これは1978年の交通容量研究委員会の研究<sup>3)</sup>が参考にされている。ここでは臨界ギャップ5秒、追従ギャップ2秒という値が用いられている。しかし左折車の通過確率の見直しはされておらず、当時の左折車の通過確率が現在も使用されている。

左折車の交通容量に関する主な研究として、河合ら<sup>4)</sup>の青表示前に滞留した歩行者群が拡散して横断歩道を閉塞する時間を考慮した交通容量の算出方法を提案したものなどがある。また自転車の影響について「平面交差の計画と設計 基礎編<sup>1)</sup>」では、車道を通行する自転車には言及しておらず、現状では車道を通行する自転車は交通容量の算出結果に影響しないことになる。これに対し稲垣ら<sup>5)</sup>は、交差点内の車道を通行する自転車によって自動車の軌跡に変化がみられたことを示しており、車道を通行する自転車が左折車の交通容量に影響を与えることを指摘している。先述の河合ら<sup>4)</sup>の研究においても、横断歩道上を通行する自転車は考慮しているが、車道を通行する自転車は考慮していない。

海外の評価方法をみると、米国ではHighway Capacity Manual 6th edition<sup>7)</sup>において、オキュパンシという概念を用い、これをもとに歩行者と自転車の影響を考慮した左折車の通過確率を示している。オキュパンシとは、歩行者もしくは自転車と自動車のコンフリクトゾーンに歩行者もしくは自転車が存在する時間占有率である。歩行者数とオキュパンシの関係はMilazzo II et al.<sup>8)</sup>の実観測により経験モデルとして表現されている。一方、自転車交通量とオキュパンシの関係についてはAllen et al.<sup>9)</sup>により明らかにされている。歩行者と自転車のいずれかがコンフリクトゾーンに存在するオキュパンシは、自転車および歩行者のオキュパンシの和事象の確率とし、歩行者と自転車双方の影響を複合的に評価している。

一方ドイツのHandbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen<sup>10)</sup>では、左折車が自転車および歩行者による左折車の通過確率を歩行者数、自転車交通量に加え、左折先の待機可能台数に応じて設定することとしている。

このように、米国やドイツでは、車道端を通行する自転車も考慮した左折車の交通容量の算出方法を提示している。しかしわが国では自転車が交通容量に与える影響や具体的な交通容量の算定方法はこれまで検討されてこ

なかつた。米国のようにオキュパンシの概念を用いて経験モデルにより評価する方法も考えられるが、これには十分なデータの蓄積が必要である。本研究ではこれまでのギャップアクセプタンス理論に基づいて通過確率を与える考え方をベースにギャップパラメータの値を改めて観測し、左折車の通過確率と交通容量の算出方法の見直しに向けた検討の一つとするものである。

## 3. 実験概要

左折車のギャップアクセプタンス挙動を観測するために、日本大学理工学部船橋キャンパス内に模擬交差点を設置し、歩行者と自転車それぞれに対する実験を行った。

歩行者に対する実験のフィールドを図-1に示す。実験日時は2019年7月28日の13:00～17:00である。歩行者は男女16名、自動車のドライバーは男女5名であり、歩行者と自動車の運転は交代で行った。年齢構成は20代男女19名、30代男性1名、60代男性1名である。

横断歩道付近から歩行者を間隔をあけて待機させ、青信号開始の合図と共に歩行者は横断を開始する。自動車は通過可能な歩行者のギャップを選択して左折する。なお、図-2のように、実際の横断パターンにはNear-sideから歩行者が流入する場合、Far-sideから歩行者が流入する場合、そして両方向から歩行者が流入する場合の3パターンがあるため、これら全てのパターンで実験を行った。想定する交差点の幾何構造は図-3のように車線幅員3m、

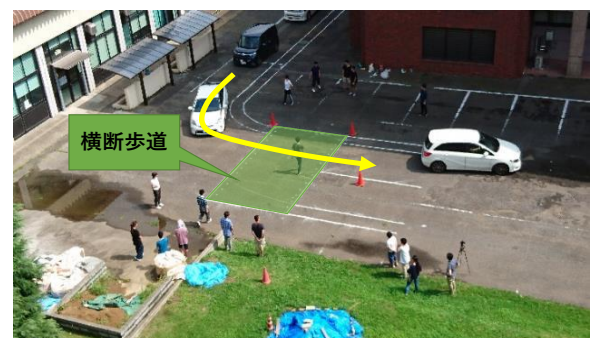


図-1 実験フィールド (歩行者)

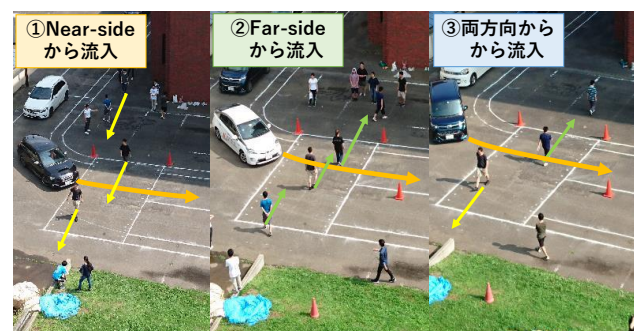


図-2 実験方法 (歩行者)

路肩幅員0.5m, 横断歩道幅員4m, 横断歩道長7.5mの正十字交差点とした。

自転車に対する実験は2019年6月2日(日)の13:00~16:00に行った。自転車に対する実験のフィールドを図-4に示す。参加者は全員で13名おり、年齢構成は20代男女11名, 30代男性1名, 60代男性1名である。自転車運転者は9名, 自動車のドライバーは3名であり, 自転車と自動車の運転は交代で行った。

まず, 自転車12台と自動車3台を停止線前に待機させ青信号開始の合図が出たら自転車は車道において直進走行を開始し, 自動車は通過可能な自転車のギャップを選択して左折する。想定する交差点の幾何構造は図-3のように車線幅員3m, 自転車専用通行帯の幅員を1.5mとした。

#### 4. 左折車のギャップアクセプタンス挙動の分析

##### (1) 臨界ギャップの算出

歩行者または自転車に対する左折車の臨界ギャップは, 左折車が通過可能な最小の歩行者または自転車の通過時間間隔である。算出方法として, 歩行者ギャップの実験の場合は図-5に示すように A-A'断面において歩行者が通過した時間を観測し, B-B'断面で左折車が通過した時間を観測する。自転車ギャップの実験の場合は図-6に示すように C-C'断面において自転車が通過した時間を観測

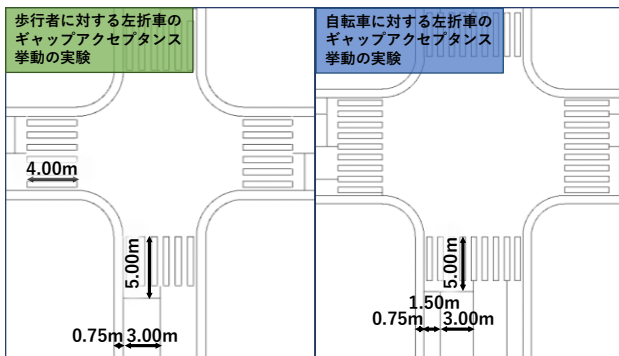


図-3 想定交差点

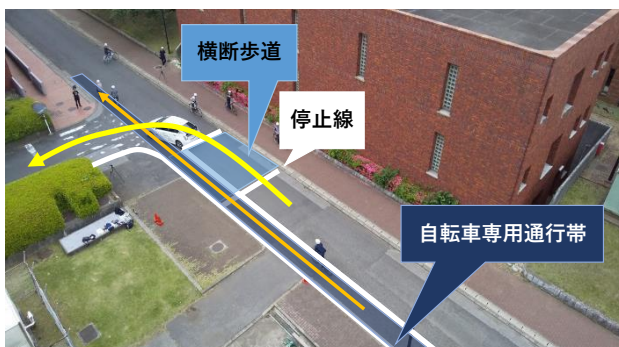


図-4 実験フィールド (自転車)

し, D-D'断面で左折車が通過した時間を観測した。なお, 本研究ではギャップの最大値を 15 秒とし, それ以上のギャップは分析対象外とした。

観測された利用ギャップおよび棄却ギャップの累加曲線を図-7に示す。それぞれの累加曲線の交点を臨界ギャップとしたとき, 歩行者に対する臨界ギャップは約 5.1 秒, 自転車に対する臨界ギャップは約 4.9 秒となり, その差は 0.2 秒となった。自転車の速度より歩行者の歩行速度の方が遅いこと, 歩行者横断は一列でないことなどから歩行者の臨界ギャップがわずかに大きくなったものと考えられる。

##### (2) 追従ギャップの算出

追従ギャップは, 一つのギャップに対して続けて 2 台以上通過するときの車頭時間である。

図-8に観測された追従ギャップの分布を示す。歩行者

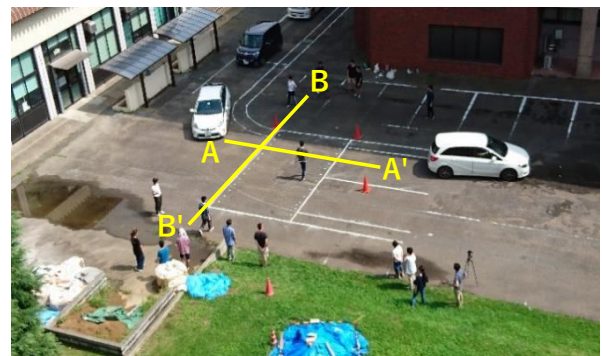


図-5 ギャップの観測断面 (歩行者実験)

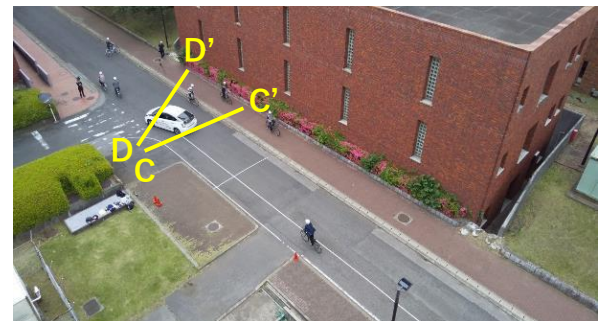


図-6 ギャップの観測断面 (自転車実験)

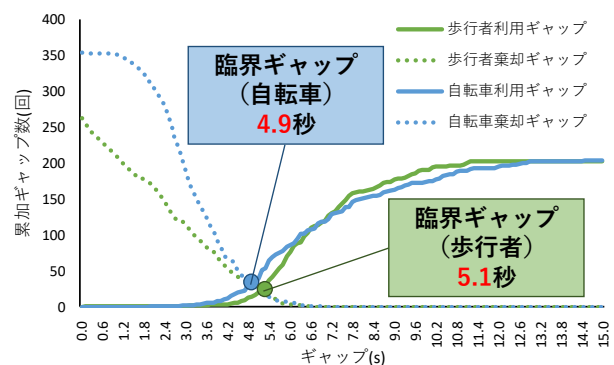


図-7 臨界ギャップ

に対する実験での平均値は約3.8秒、自転車に対する実験での平均値は約3.7秒となり、歩行者と自転車で約0.1秒の差が生じた。これは歩行者の移動にバラツキがあり自動車運転者が判断しにくい（判断が遅れがちになる）ことが要因として考えられるが、この差は必ずしも大きいとは言えない。ちなみに、交通容量研究委員会の研究<sup>2)</sup>で報告されている臨界ギャップ5秒、追従ギャップ2秒と比較すると、臨界ギャップは同程度であるが、追従ギャップは1.7秒大きな値となった。

### (3) 歩行者および自転車に対する左折車の通過確率

左折車の通過確率 $f_L$ は、横断歩行者と自転車の間隔を利用して左折できる確率である。ギャップアクセプタンス理論に基づき、単位時間あたりの通過可能台数は、優先側交通流の到着率とギャップパラメータの関数として式(2)で求められる。

$$S_p = \frac{v_0 e^{-v_0 t_{cg}/3600}}{1 - e^{-v_0 t_{fh}/3600}} \quad (2)$$

ここで、 $s_p$ ：非優先側交通流の通過可能台数(台/h)、 $v_0$ ：優先側交通流の到着需要(bic/h)あるいは(ped/h)、 $t_{cg}$ ：臨界ギャップ(s)、 $t_{fh}$ ：追従ギャップ(s)とする。

このとき、優先側交通流である歩行者または自転車交通量が $v_0$ のときの左折車の通過確率を、歩行者または自転車交通量が0のときの通過可能台数 $s(0)$ と、 $v_0$ のときの通過可能台数 $s(v_0)$ の比率と考えると、通過確率は式(3)のように表せる。

$$f_L = \frac{s(v_0)}{s(0)} = \frac{t_{fh} v_0 e^{-v_0 t_{cg}/3600}}{3600(1 - e^{-v_0 t_{fh}/3600})} \quad (3)$$

ここで、 $f_L$ ：左折車の通過確率、 $v_0$ ：歩行者または自転車の到着需要(bic/h)あるいは(ped/h)、 $t_{cg}$ ：臨界ギャップ(s)、 $t_{fh}$ ：追従ギャップ(s)とする。

表-1は本実験で得られた臨界ギャップと追従ギャップの値から自転車(①)と歩行者(②)に対する左折車の通過確率 $f_L$ を算出し、これに加えて交通容量研究委員会<sup>2)</sup>が示した臨界ギャップと追従ギャップの値を用いて計

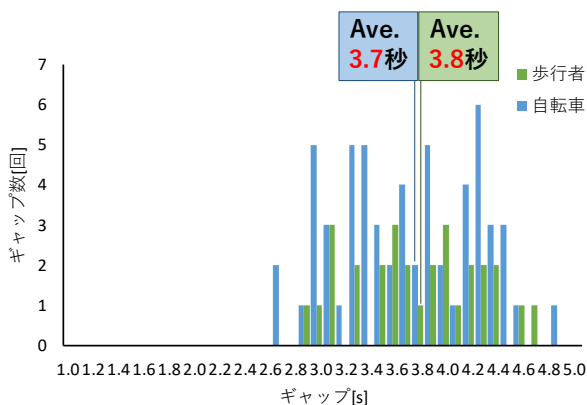


図-8 追従ギャップ

算した左折車の通過確率 $f_L$ を示したものである。

追従ギャップのみから求められる歩行者または自転車交通量が0のときの通過可能台数 $s(0)$ が異なるため、通過確率のみの値を単純に比較することはできないが、自転車と歩行者に対する左折車の通過確率は同程度であり、交通容量研究委員会<sup>2)</sup>が報告した値から算出した左折車の通過確率と比べて最大で0.08程度大きい値となった。これは、自転車または歩行者が0のときの通過可能台数 $s(0)$ の差が、臨界ギャップの差による影響に対して大きいためである。

## 5. 交通容量に与える影響の感度分析

図-9は、ギャップパラメータの観測値の違いと自転車に対する左折車の通過確率が交通容量の算出結果に与える影響を確認するため、交通容量研究委員会<sup>2)</sup>が報告した臨界ギャップおよび追従ギャップの値から式(1)により算出した交通容量と、本実験で観測した歩行者および自転車に対する臨界ギャップと追従ギャップの値から式(4)により算出した交通容量を比較したものである。

$$C_L = S_L \times \frac{G_p}{C} \times f_{Lp} \times f_{Lb} + S_L \times \frac{G - G_p}{C} \times f_{Lb} \quad (4)$$

ここで、 $G_p$ ：歩行者青信号表示時間+青点滅表示時間(=51(s))、 $C$ ：サイクル長(=120(s))、 $G$ ：有効青時間(=54(s))、 $f_{Lp}$ ：歩行者に対する左折車の通過確率、 $f_{Lb}$ ：自転車に対する左折車の通過確率であり、 $S_L$ ：左折車線の飽和交通流率は、表-1の自転車実験値(①)の970(台/時)と歩行者実験値(②)の950(台/時)の平均である960(台/時)を用いた。

その結果、歩行者交通量、自転車交通量それぞれが増

表-1 左折車の通過確率 $f_L$ の比較

自転車・歩行者の交通流率 (人or/サイクル)	0	5	20	40	60
①自転車実験値(970台/時)	1.00	0.88	0.59	0.34	0.19
②歩行者実験値(950台/時)	1.00	0.88	0.59	0.33	0.18
③交通容量研究委員会の値 <sup>2)</sup> (1,800台/時)	1.00	0.85	0.51	0.26	0.13

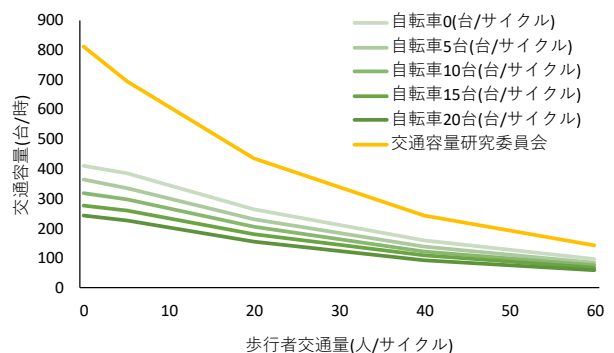


図-9 交通容量の感度分析

えるほど交通容量は低下することが確認された。また、自転車交通量が0(台/サイクル)のものと比較しても、本研究で観測したギャップから算出される交通容量は、交通容量研究委員会<sup>9)</sup>のものと比較して50%程度低下することが確認された。以上を踏まえると、これまでの算出方法では左折車の交通容量を過大に推計しているものと考えられる。

なお、式(4)では歩行者による交通容量への影響と自転車による交通容量への影響は互いに独立であると仮定し、簡単のためそれぞれの左折車の通過確率を単純に掛け合わせている。しかし実際には、歩行者と自転車が同時に存在するような状況では、それぞれ単独で存在する場合と比較してギャップアクセプタンスの判断にも差異が生じることも考えられる。また、自転車の通行位置と横断歩道との間に滞留可能な台数も交通容量に影響を与えることが考えられる。そのため、式(4)の妥当性には課題が残ることについて補足する。

## 6. まとめ

本研究では、横断歩行者と交差点を車道走行する自転車それぞれに対する左折車のギャップアクセプタンス挙動実験から、歩行者および自転車に対する左折車の通過確率 $f_L$ を算出し、交通容量の算出結果への影響を試算した。その結果、従来の算出方法での計算結果と比較して交通容量が50%程度小さく、従来の方法では過大に推計している可能性があることが示された。なお、歩行者と自転車に対する通過確率にほぼ差はみられなかった。

しかし、本研究は模擬交差点での走行実験で得られたギャップパラメータの結果にもとづくものであり、今後は実フィールドでのデータ取得も含めてさらなるデータ

の蓄積が必要である。また、歩行者と車道端を通行する自転車の両方が同時に存在する場合についての交通容量算出の考え方そのものも検証が必要である。

## 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 基礎編—計画・設計・交通信号制御の手引—, 2018.
- 2) 交通容量研究委員会：交差点及び織り込み区間の交通容量の研究, 昭和 52 年度トヨタ財団法人研究助成研究報告書, 1978.
- 3) 青山恵里, 下川澄雄, 吉岡慶祐, 森田諒之, 三串知広, 五十嵐一馬：信号交差点における飽和交通流率の低下要因の考察—占有時間・車間時間の観点から—, 第 59 回土木計画学研究発表会・講演集, 論文番号 99, 2019.
- 4) 一般社団法人 交通工学研究会：改訂 平面交差の計画と設計 基礎編 第3版, 2007.
- 5) 河合芳之, 片倉正彦, 鹿田成則, 大口敬：信号交差点における左折交通に及ぼす横断歩行者及び自転車の特性と定量化について, 土木計画学研究・論文集, Vol.20, No.4, pp.957-966, 2003.
- 6) 稲垣具志, 小早川悟, 青山恵里, 熊谷祐希：信号交差点における自動車の交通容量へ及ぼす自転車の影響に関する基礎的分析, 国際交通安全学会誌, Vol.41, No.2, pp.136-144, 2016.
- 7) Transportation Research Board Publications: Highway Capacity Manual 6th Edition, 2017.
- 8) Milazzo, J. S. II, Roupail, N. M., Hummer, J. E., Allen, D. P.: Effect of Pedestrians on Capacity of Signalized Intersections. Transportation Research Record, 1646, pp.37-46, 1998.
- 9) Allen, D. P., Hummer, J. E., Roupail, N. M., Milazzo, J. S. II.: Effect of Bicycles on Capacity of Signalized Intersections. Transportation Research Record, 1646, pp.87-95, 1998.
- 10) Forschungsgesellschaft für Straßenund Verkehrswesen : Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, 2015.

(???? ?? ?? 受付)

## A STUDY ON GAP ACCEPTANCE BEHAVIOR AND CALCULATION CONCEPT OF CAPACITY OF LEFT-TURN VEHICLES

Eri AOYAMA, Maho KAWAGUCHI, Keisuke YOSHIOKA, Sumio SHIMOKAWA  
and Hirohisa MORITA