

信号交差点における 飽和交通流率算出にあたっての課題 — 日米独比較をふまえた考察 —

青山 恵里¹・吉岡 慶祐²・下川 澄雄³・森田 綽之⁴

¹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

²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

³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

⁴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

信号交差点の飽和交通流率の算出に用いられる基本値と補正率は長らく変更されていない。一方、米国のHCMでは改訂の際に基本値および補正項目の見直しが行われている。本研究では、飽和交通流率の算出方法に関する考え方や改訂の経緯について日米独で比較し、日本における飽和交通流率算出にあたっての今後の課題を整理した。

今後の課題として、日本の基本値は米国と比較して高い一方、実測値は経年的に減少している傾向にあるため、基本値の見直しが必要であろうこと、また、影響要因の補正方法に対しては、特に右折交通に関する飽和交通流率の算出方法について、日本の実測結果を踏まえた補正值の検討が必要であろうことを挙げた。

Key Words : saturation flow rate, capacity, signalized intersection

1. はじめに

信号交差点の交通容量算定の基本となる飽和交通流率は、基本値に各種影響要因による補正率を乗じることによって計算される。これらの値は、日本の観測結果や海外の文献を参考に、1984年に初版が出版された「平面交差の計画と設計—基礎編—」において示されている。このうち基本値については、鹿田ら²⁾も指摘しているように、設定された当時と比べると車両の大きさや走行スタイルの変化などにより低下していることが考えられる。村上ら^{3,4)}、後藤ら⁵⁾の高速道路の交通容量が低下しているとの指摘も踏まえると、交差点の飽和交通流率も同様に経年的な変化が生じている可能性は高い。しかし、現在に至るまで基本値に関する見直しは行われていない。

これに対して、例えば米国のHighway Capacity Manual (以下、「HCM」という)は、1950年、1965年、1985年、2000年、2010年、2016年に出版され、改訂の際には飽和交通流率の基本値が見直されている。

また、各種影響要因に対する補正方法についてもHCMでは改訂の際に見直されており、補正項目の追加や補正值の変更がなされている。日本では補正項目、補

正值について、当時の海外を参考とした方法が提示されているが、これ以降見直しなどの検討はされていない状況にある。

本研究では、飽和交通流率の算定方法の見直しに向けた検討の一つとして、米国とドイツを対象に、飽和交通流率算出方法の考え方や補正值について日本と比較し、日本の飽和交通流率の算出にあたっての課題を示すことを目的とする。米国はTRBが発行しているHCMの最新版であるHCM 6th edition⁶⁾を、ドイツはFGSVが2015年に発刊したHandbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen⁷⁾ (以下、「HBS」という)を比較対象とする。特に、本研究では図-1に示すように、基本値および道路要因と交通要因に関わる影響要因を中心に整理するものとする。なお、米国およびドイツでは右側通行と日本とは異なる交通運用であり、混乱を避けるために本研究では米国およびドイツの左折を右折、右折を左折として日本の運用方法に合わせた表記をする。

2. 飽和交通流率の算出の考え方

(1) 日本における飽和交通流率の算出の考え方

飽和交通流率は「信号が青を表示している時間の間中、車両の待ち行列が連続して存在しているほど需要が十分ある場合に、交差点流入部を通過し得る最大流率」と定義されている。飽和交通流率は道路・交通条件等によって大きく変動するものであるため、実測結果に基づいて決定すべきものであるが、実測が不可能な場合には車線毎にその道路・交通条件の各要因の補正率を飽和交通流率の基本値に乗じることで求められる。基本値は直進車線と右左折車線別に示され、影響要因は図-1に示す道路要因、交通要因、周辺要因が考えられる。日本ではこの中でも道路要因、交通要因および周辺要因のうちバス停留所についての補正率が示され、式(1)によって算出される。

$$S_A = S_B \cdot \alpha_W \cdot \alpha_G \cdot \alpha_T \cdot \alpha_B \cdot \alpha_{RT} \cdot \alpha_{LT} \quad (1)$$

ここで、 S_A ：補正後の可能飽和交通流率、 S_B ：飽和交通流率の基本値、 α_W ：車線幅員の補正率、 α_G ：勾配の補正率、 α_T ：大型車混入の補正率、 α_B ：バス停留所の補正率、 α_{RT} ：右折車混入の補正率、 α_{LT} ：左折車混入の補正率である。

(2) 米国における飽和交通流率の算出の考え方

米国のHCMにおける飽和交通流率の算出方法は、日本と同様に式(2)のように基本値に影響要因を乗じることによって求められるが、補正項目は日本よりも多く、実際の状況をより詳細に反映させた飽和交通流率を算出しようとしている。

$$s = s_0 f_w f_{HVg} f_p f_{bb} f_a f_{Lu} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb} f_{wz} f_{ms} f_{sp} \quad (2)$$

ここで、 s ：補正後の飽和交通流率、 s_0 ：飽和交通流率の基本値、 f_w ：車線幅員の補正率、 f_{HVg} ：大型車と勾配の補正率、 f_p ：駐車車両の補正率、 f_{bb} ：バス停留による閉塞の補正率、 f_a ：エリアタイプの補正率、 f_{Lu} ：車線利用の補正率、 f_{LT} ：右折の補正率、 f_{RT} ：左折の補正率、 f_{Lpb} ：右折車に対する歩行者と自転車の補正率、 f_{Rpb} ：左折車に対する歩行者と自転車の補正率、 f_{wz} ：工事区間の補正率、 f_{ms} ：先詰まりによる車線閉塞の補正率、 f_{sp} ：スピルバックによる補正率である。

これらの影響要因はHCMの改訂の際に見直しがなされ、工事区間や先詰まり、スピルバック等の補正はHCM 6th editionから組み込まれている。

(3) ドイツにおける飽和交通流率の算出の考え方

2015年に発刊されたHBSでは、日本や米国と異なり式(3)のように車頭時間に補正率を乗じ、補正した車頭時間の逆数から飽和交通流率を算出している。

$$q_{s,j} = \frac{3,600}{t_{B,j}} \quad (3)$$

ここで、 $q_{s,j}$ ：走行車線jの飽和交通流率、 $t_{B,j}$ ：走行車線jの車頭時間である。

車頭時間 $t_{B,j}$ は式(4)～(6)より求められる。

$$t_B = f_{SV} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot 1.8 \quad (4)$$

$$f_1 = \max(f_b, f_R, f_s) \quad (5)$$

$$f_2 = \min(1, f_s) \quad (6)$$

ここで、 t_B ：補正後の車頭時間、 f_{SV} ：大型車の補正率、 $f_1 \cdot f_2$ ：式(5)および(6)により計算される補正率、 f_b ：車線幅員の補正率、 f_R ：転向半径の補正率、 f_s ：縦

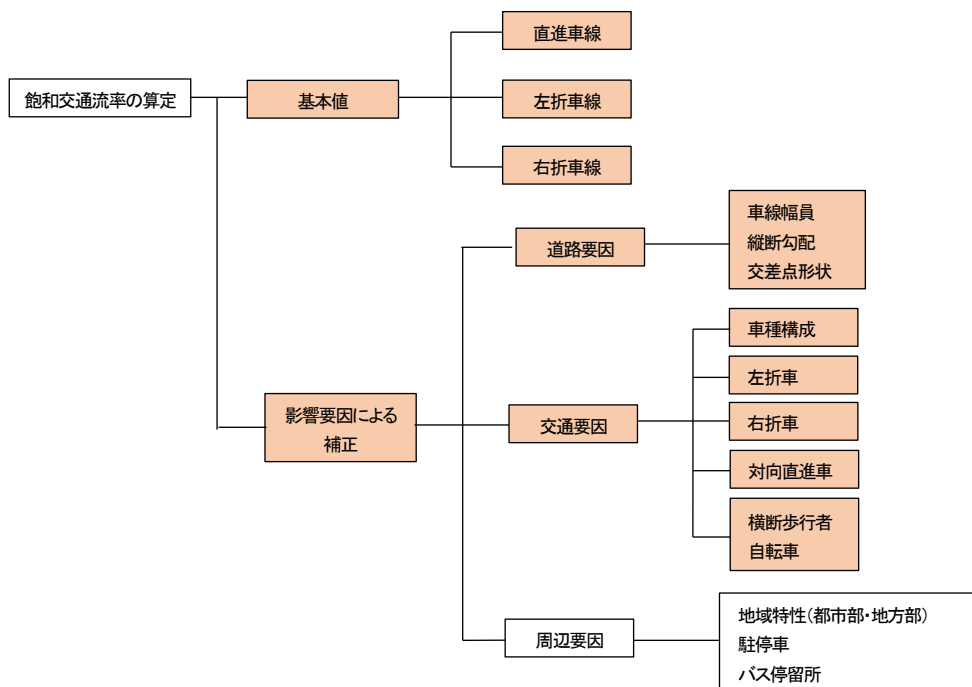


図-1 飽和交通流率の考え方と本研究の枠組み

断勾配の補正率である。

HBSでは補正項目は3つまでとし、大型車を考慮するための補正率は必ず用いることとしている。その他の影響要因としては車線幅員、轉向半径、縦断勾配が挙げられており、他国と比較すると考慮される影響要因は少ない。

(3) 飽和交通流率の算出の考え方に関するまとめ

日米独ともに基本値に影響要因を乗じることによって飽和交通流率を算出するという基本的な考え方は同じである。一方、日本と米国では補正率として与えられる影響要因はすべて補正の対象となるが、ドイツでは全ての補正項目を用いているわけではない。

3. 飽和交通流率の基本値

(1) 直進車線の基本値

a) 日本

1970年発刊の「道路構造令の解説と運用⁹⁾」では基本値は1,800台/青1時間となっていたが、その後の実観測の結果から現在の基本値である直進車線2,000 pcu/青1時間が設定された。「平面交差の計画と設計—基礎編—」ではその根拠となる実測結果が紹介されており、東京都と福岡県における実観測により直進車線では1,800~2,200 pcu/青1時間という結果が得られている。

筆者ら⁹⁾は基本値の設定以降の研究・文献から、基本値相当の飽和交通流率の観測結果を整理している。ここでは「平面交差の計画と設計—基礎編—¹⁾」と「道路交通容量調査マニュアル検討資料Vol.2¹⁰⁾」で示されている観測結果と、既存研究²¹¹⁻¹⁵⁾の観測結果を対象として観測年(発表年)毎に整理した結果を図-2に示す。1985年までの値は現行の基本値である2,000 pcu/青1時間を中心に観測されているが、その後はそれよりも小さい値が多く、これらの観測値の多くは異なる交差点での値であり、調査方法も異なるものであるが、日本における飽和交通流率は全体的に減少傾向にあることがうかがえる。また、既存文献での調査地点と同じ交差点において実交通流の観測を行ったところ、同様に飽和交通流率が低下していることも確認している⁹⁾。

b) 米国

HCMにおいて示されている基本値は1,900 pcu/青1時間であり、日本の値よりも小さい。なお、HCMにおいては改訂に合わせて基本値の見直しがなされており、HCM1965で1,500 pcu/青1時間、HCM1985で1,800 pcu/青1時間、その後の1994年の改訂版以降は現在も使用されている1,900 pcu/青1時間となっている。HCMの参考文献に含

まれている2008年にまとめられたNCHRPの報告書¹⁶⁾では、米国の124地点において飽和交通流率の基本値を観測した結果、図-3に示すように、平均値は青1時間あたり1,850 pcu/青1時間となっており、基本値とほぼ同等の値となったことが述べられている。

c) ドイツ

HBSでの基本値は日米と同様に標準条件(勾配なし、直進交通、十分な車線幅員)かつ乗用車交通について定めたものであるが、その値は3,600秒を車頭時間1.8秒で除した値として表現されている。これを飽和交通流率に換算すると2,000 pcu/青1時間となり、日本と同じ値が用いられていることがわかる。

(2) 右左折専用車線の基本値

日本では右折および左折専用車線に対しても直進車線と同様に基本値が定められている。1970年発刊の「道路構造令の解説と運用⁹⁾」においてはそれぞれ1,200 pcu/青1時間とされていたが、現在は左折および右折専用車線の基本値はそれぞれ1,800 pcu/青1時間となっている。この根拠となっている実測結果が「平面交差の計画と設計—基礎編—」において紹介されており、左折車線で1,660~1,840 pcu/青1時間、右折車線で1,870~2,120 pcu/青1時間という値が示されている。ただし、この値をみると右折車線の方が飽和交通流率の実測値が大きな値をとる傾向にある。

これについて1978年の鹿田ら¹¹⁾の研究によると、左折専用車線が1,700 pcu/青1時間と1,870 pcu/青1時間、右折専用車線で1,720~1,980 pcu/青1時間という結果が得られている。また、1979年の鹿田ら¹²⁾の研究によると、左折専

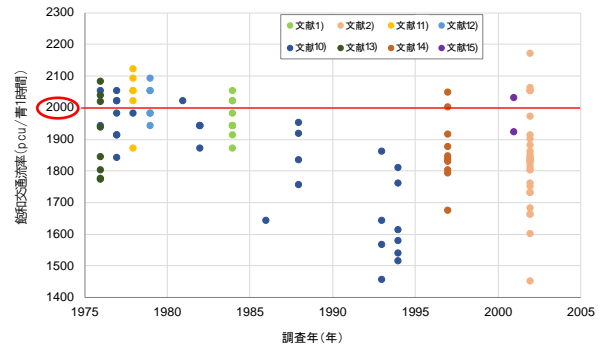


図-2 既存文献における飽和交通流率の観測値

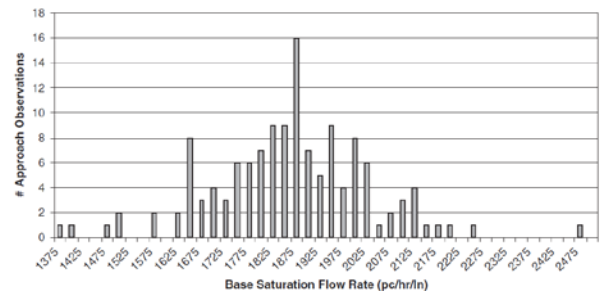


図-3 米国における飽和交通流率の観測値¹⁶⁾

用車線で1,580~1,940 pcu/青1時間, 右折専用車線で1,800~2,020 pcu/青1時間という値が観測されている。以上の結果からも右折車線の方が大きな値が観測されている。

一方, 米国およびドイツでは, 右折車線および左折車線の基本値としての値は示されていない。米国では右左折に対してそれぞれの直進車換算係数があり, その値で基本値を除すことにより右折車線および左折車線の基本値に相当する値が算出される。右折車の直進車換算係数は1.05, 左折車の直進車換算係数は1.18と別の値が示されており, 米国では右折車の方が飽和交通流率は高くなるものとして扱っていることがわかる。また, ドイツでは補正項目の一つに轉向半径があり, これにより右左折の轉向による補正が行われている。

(3) 飽和交通流率の基本値に関するまとめ

直進車線の基本値は日本とドイツは同一の値であり, 米国のみ低い値であった。日本においては, 基本値の低下が予想できるものの, その見直しは行われていないため, 実観測をもとに現状における基本値の検証をする必要がある。

また, 右左折専用車線における基本値を設定しているのは日本のみで, 米国とドイツは直進車線の基本値に対する補正率によって右左折車線の飽和交通流率を算出している。既往研究にも示されるように, 左折車線と右折車線では轉向半径が異なることなどから, 飽和交通流率の値に差があることは明らかであるため, 右左折車線別の飽和交通流率の基本値を検討することも必要である。

4. 飽和交通流率の影響要因の補正

飽和交通流率の算出にあたって影響要因を補正する各国の項目を表-1に示す。米国は, 日本とドイツに比べると影響要因として考慮している補正項目が多い。この中には日本でも影響要因としては挙げているものの, 定量的な補正率を定めていない駐車や, 先詰まりといった項目についても補正率を定めている。このように, 補正項目そのものにも日米独で違いがみられる。

以降では, 日米独で共通している代表的な補正項目である車線幅員, 縦断勾配, 大型車混入に関する補正方法

について日米独で比較する。さらに, 右左折交通に対する補正方法については専用車線の有無, 専用現示の有無別に比較する。

(1) 車線幅員, 縦断勾配, 大型車混入に関する補正

a) 車線幅員の補正

図-4は, 車線幅員に対する補正率について日米独で比較したものである。

日本では幅員3.00m未満に対して補正率が定められており, 3.00m以上は補正なしとしている。これはオーストラリアの文献⁷⁾が参考になっている。なお, 幅員と飽和交通流率との関係について, 鹿田ら¹⁵⁾の研究によると車線幅員が3.00mより狭くなるにつれ, 飽和交通流率が低下する傾向にあることを示している。

米国では, 8.0~10.0ft (約2.37~2.97m) が補正率0.96, 10.0~12.9ft (約2.97~3.83m) が補正なし, 12.9ft (約3.83m) 以上が補正率1.04としている。

また, ドイツでは日本と同様に3.00m未満において補正率が設けられているものの, 2.50mまで幅員が狭くなるほど一次関数的に補正が大きくなり, 幅員2.5mでは0.84と非常に大きな値となる。

b) 縦断勾配の補正

日本は国内での実観測データ¹⁸⁾を参考に縦断勾配に対する補正率が示されている。-1%~1%の間は補正は行われないが, これを超える下り勾配と上り勾配のどちらも飽和交通流率が低減される。なお, 実観測データ¹⁸⁾では縦断勾配による影響は乗用車も大型車も同じ割合で変化することが示されたため¹⁾, 補正率としては縦断勾配だけのものとし, 大型車の影響については大型車混入率に

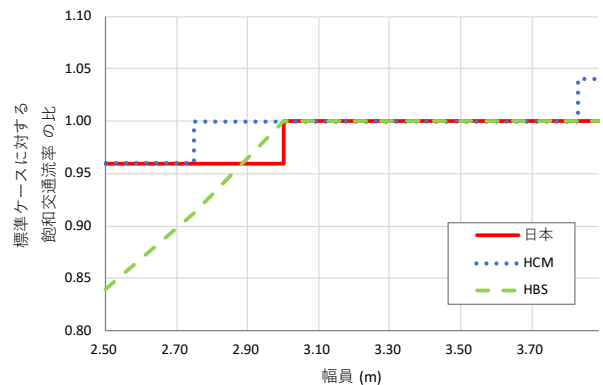


図-4 車線幅員による補正の感度分析

表-1 各国の飽和交通流率の基本値と影響要因

国名 (資料名)	基本値	各種影響要因												
		道路要因		交通要因					周辺要因					
		車線幅員	縦断勾配	大型車	右折車	左折車	歩行者 自転車	先詰まり	スピルバック	バス停	駐車	地域タイプ	車線利用率	工事区間
日本 (平面交差の計画と設計)	2,000 pcu/青1時間	α_W	α_G	α_T	α_{RT}	α_{LT}				α_B				
米国 (HCM 6th)	1,900 pc/h/ln	f_w	f_{HVg}		f_{RT}	f_{LT}	f_{Lpb} f_{Rpb}	f_{ms}	f_{sp}	f_{bb}	f_p	f_a	f_{Lu}	f_{wz}
ドイツ (HBS)	2,000 Kfz/h	f_b	f_s	f_{SV}	f_R (別途算出)									

よる補正率を別に設定している。

一方、米国の補正率に関する研究¹⁹⁾では、シミュレーションを用いて大型車混入率が飽和交通流率に与える影響を検討しており、大型車の乗用車換算係数（以下、「PCE」という）の値は大型車の車種構成や混入率、流入部の縦断勾配によって変動することを示している。これを踏まえ、米国ではHCM2010までは縦断勾配による影響を単独で扱い、補正率を示していたが、HCM 6th editionから縦断勾配と大型車混入を併せて複合要因としてとらえ、縦断勾配に応じた大型車の補正が行われている。下り勾配における補正率は式(7)、上り勾配および平坦な道路の補正率は式(8)に示しているが、下り勾配については飽和交通流率が大きくなるような補正率が算出される。

$$f_{HVg} = \frac{100 - 0.79P_{HV} - 2.07P_g}{100} \quad (7)$$

$$f_{HVg} = \frac{100 - 0.78P_{HV} - 0.31P_g^2}{100} \quad (8)$$

ここで、 f_{HVg} ：縦断勾配の補正率、 P_{HV} ：大型車混入率(%）、 P_g ：縦断勾配(%）とする。

ドイツでは、停止線の前後各 30mの間の平均勾配を対象とし、-2~2%の勾配による影響はないものとして補正率を定めている。

図-5は、これら日米独の縦断勾配に対する補正率（大型車混入率 0%）について比較したものである。米国とドイツでは下り勾配に対して飽和交通流率が大きくなるような補正率が設定されている。これに対し、日本では下り勾配でも飽和交通流率は小さく、下り勾配に対する影響が米国とドイツと比較して逆転している。日本の補正率が妥当であるかどうか、実態調査を踏まえた検証が必要であると考えられる。

c) 大型車混入の補正

日本では大型車による影響は、乗用車を基準として大型車が乗用車の何台分に相当するかを表すPCEで表現し、式(9)により大型車混入による補正率が算出される。

$$\alpha_T = \frac{100}{(100-T)+E_T \cdot T} \quad (9)$$

ここで、 α_T ：大型車混入による補正率、 E_T ：PCE、 T ：大型車混入率(%）とする。

PCEは、「道路の交通容量²⁰⁾」が発行された当時の実測結果¹²⁾をもとに1.7とされているが、昨今の研究ではPCEの見直しの必要性が指摘されている。例えば、桑原ら²¹⁾や鹿田ら²²⁾は都内及びその近郊における直進車線のPCEは1.4~1.6程度であるとしている。また、中林ら²³⁾は道路の交通機能の違いに着目し、PCEの比較分析を行った結果、交通機能の違いによりPCEの値に違いがあることを確認している。

米国では先述したように、大型車による影響は縦断勾

配と併せて設定されている。日本のように一つのPCEの値を設定するのではなく、大型車と縦断勾配を複合要因として補正率を示している。

一方ドイツでは、日本や米国のように乗用車と大型車のみで考えるのではなく、大型車を「トラック、バス」と「トレーラー、セミトレーラー連結車」に分類し、大型車の車種構成を考慮した式(10)から大型車による低減率を算出している。なお、大型車の内訳が不明の場合は式(11)で計算される。

$$f_{SV} = \frac{q_{LV} + 1.75 \cdot q_{Lkw+Bus} + 2.5 \cdot q_{LkwK}}{q_{Kfz}} \quad (10)$$

$$f_{SV} = \frac{q_{LV} + 1.9 \cdot q_{SV}}{q_{Kfz}} \quad (11)$$

ここで、 f_{SV} ：大型車の補正率、 q_{LV} ：小型車の交通量、 $q_{Lkw+Bus}$ ：トラックとバスの交通量、 q_{LkwK} ：トレーラー・セミトレーラー連結車の交通量、 q_{Kfz} ：総交通量、 q_{SV} ：大型車の交通量とする。

式(10)より、トラックとバスのPCEは1.75、トレーラー・セミトレーラー連結車のPCEは2.5という値を用いていることがわかる。また、式(11)より、大型車の内訳が不明の際のPCEは1.9であり、日本よりも大きな値がとられている。

図-6は、大型車混入率に応じた飽和交通流率の低減率を比較したものである。PCEの値の違いが低減率に影響し、米国では大型車による影響を大きくとらえていることがわかる。

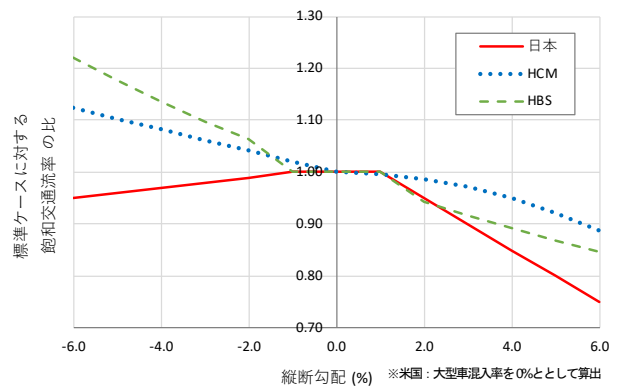


図-5 縦断勾配による補正の感度分析

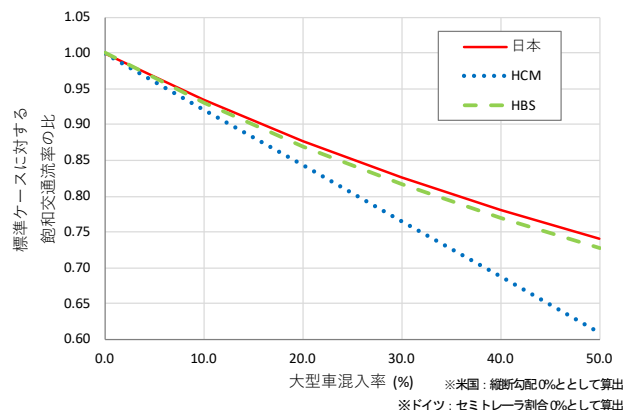


図-6 大型車による補正の感度分析

d) 車線幅員、縦断勾配、大型車混入の補正に関するまとめ

車線幅員、縦断勾配、大型車混入の補正率は各国で異なるが、基本値そのものが異なるため単純に比較できない。そこで、車線幅員 (3.0m, 2.75m) , 縦断勾配 (-2%, 0%, 2%) , 大型車混入率 (0%, 10%, 20%) を組み合わせたaからrの計18ケースに対し、各国の基本値および補正率を用いて飽和交通流率を算出したものを図-7に示す。なお、ここではセミトレーラーの混入率は0%としている。図-7より、日本は基本値が高いため、全体的に下り勾配を除けば飽和交通流率は高い値が算出される傾向にあることがわかる。特に米国との差は顕著であり、過大に飽和交通流率を推定している可能性が示唆される。

(2) 右折に関する補正 (米独の左折)

a) 専用車線・専用現示のみ

専用車線・専用現示のみで、右折交通が対向直進車や横断歩行者によって妨げられることが無い場合、日本では右折車線の基本値である1,800台/青1時間を用い、これに(1)の補正項を乗じることで飽和交通流率を算出している。

米国では、直進車に対する右折車の飽和交通流率の低減を、右折車の直進車換算係数で表しており、直進車線の飽和交通流率1,900 pcu/青1時間を右折車の直進車換算係数($E_{LT}=1.05$)で除した1,809 pcu/青1時間が右折車線の基本値に相当する値となる。米国でもこれに他の補正率を乗じて飽和交通流率が算出される。

ドイツでは、直進車に対する右折車の飽和交通流率の低減は、右折の轉向半径に依存するという考えから、式(5)によって補正率が求められ、轉向半径に応じた補正率が式(3)、および式(4)に反映される。

b) 専用車線・専用現示なし (青丸表示のみ)

専用現示がない場合、右折車は対向直進車に対して非優先となるため、対向直進車のギャップが生じた際に右折が可能となる。

日本では、この右折可能台数を、式(12)に示すように対向直進車のギャップを利用して右折できる確率 f と右折専用車線の飽和交通流率 S_{Ro} 、並びに対向直進車のギ

ャップを利用して右折できる時間の積に、青丸表示中に停止線を越えて交差点内に待機できる台数を足し合わせることで交通容量として算出している。

$$c_R = S_{Ro} \cdot f \cdot \frac{SG - qC}{S - q} \cdot \frac{1}{C} + K \cdot \frac{3600}{C} \quad (12)$$

ここで、 c_R : 右折専用車線の交通容量, S_{Ro} : 右折専用車線の補正済み飽和交通流率, f : 対向直進交通量 q のときの右折車が通過できる確率, S : 対向流入部の飽和交通流率, q : 対向直進交通量, G : 有効青時間(秒), C : サイクル長(秒), K : 青丸信号表示中に交差点内に滞留する右折車台数とする。

右折車が通過できる確率 f は、オーストラリアのMillerら²⁹の研究において、ギャップアクセプタンスに基づく交通容量算出式により計算されたものである。この際、臨界ギャップ5.0秒、追従ギャップは3.0秒としている。また、交差点内に待機できる台数は、交差点に応じて2~3台としている。

米国においても、対向直進車のギャップから交通容量を算出するという点で、基本的には日本と同様の考え方に基づいている。ただし、式(12)の f に相当する対向直進車のギャップを利用して右折できる確率を直接与えるのではなく、式(13)に示すように、ギャップアクセプタンスに基づく交通容量の推定式を用いて算出するようにしている。

$$c_{l,e} = \frac{g_u s_l + 3600 n_s}{C} \quad (13)$$

ここで、 $c_{l,e}$: 右折専用車線における交通容量, g_u : 飽和していない時間(秒), s_l : 右折専用車線における青丸表示中の飽和交通流率, n_s : 青丸表示中に交差点内に滞留する右折車台数, C : サイクル長(秒)とする。

また、右折専用車線における青丸表示中の飽和交通流率 s_l は日本の式(12)の $S_{Ro} \cdot f$ に相当するものであり、式(14)で求められる対向直進車の間隙を利用して右折する際の飽和交通流率 s_p に車線幅員等の補正率を乗じることで求められる。

$$s_p = \frac{v_0 e^{-v_0 t_{cg}/3600}}{1 - e^{-v_0 t_{fh}/3600}} \quad (14)$$

ここで、 s_p : 対向直進車の間隙を利用して右折する際の飽和交通流率, v_0 : 到着需要(veh/h), t_{cg} : 臨界ギャップ=4.5秒, t_{fh} : 追従ギャップ=2.5秒とする。

なお、対向直進車のギャップを利用して右折できる時間 g_u については、対象の右折専用車線と対向直進車線の青現示の開始・終了タイミングに依存するため、ここでの説明は省略するが、待ち行列累積図(Queue Accumulation Polygon)から信号現示パターンに応じて算出される。また、交差点内に待機できる右折台数は、2台としている。

ドイツでは対向直進車のギャップを利用して右折する

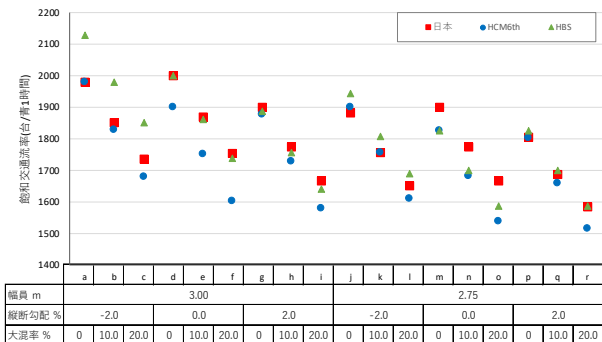


図-7 基本値を考慮した複数要因比較

時間の交通容量について、対向直進車線の交通量と右折可能な時間の割合に応じて、これをグラフから読み取ることとしている。

図-8は対向直進車のギャップを利用して右折できる確率 f に相当する値について、日本と米国で算出される結果を比較したものである。比較のため日本の低減率 f に相当する値として算出した。なお、交通容量の計算に必要なその他のパラメータは、サイクル長90秒、横断歩道長20mで共通である。Millerら²⁹の研究で用いている臨界ギャップ(5.0秒)と追従ギャップ(3.0秒)の値は、米国で用いられる値と比較していずれも0.5秒の差であるが、低減率にすると最大で0.05程度の差が生じることがわかる。

日本における臨界ギャップについて、森ら²⁹の研究では右折車のギャップ利用特性に関して実観測データからこれよりも大きな臨界ギャップ(5.89秒)を報告している。この場合の確率 f を図-8の赤点線で示す。米国と比較すると低減率は0.1程度の差となり、現在用いられている確率 f よりもさらに確率は低くなる。さらに右折待ち時間が長くなるほど臨界ギャップも長くなることや、右折車が捌けるにつれて追従ギャップは3.0秒から2.5秒程度に変化するといった報告²⁹もあり、必ずしも同一のギャップ値で説明することが適切ではないことも考えられる。また、日本の f 値は対向直進交通量が1,000台より多い場合は0としているが、そのような交通量が多い状況でも右折車のギャップ利用が観測されていることを示している²⁹。そのため、日本での観測結果に基づいた補正率の再設定が必要と考えられる。

c) 専用車線・専用現示あり (青丸青矢)

青丸表示の後に専用現示を表示する場合、a)で求められる専用現示の時間分の交通容量と、b)で求められる青丸時間中の交通容量を足し合わせることで算出する。これは、米国およびドイツでも同様の考え方をとっており、従ってa)、b)の推定方法の違いが、そのまま交通容量の違いとなる。

また、右折先の横断歩行者および自転車との交錯について、日本では影響要因として補正は行っていないが、米国では、対向直進車による補正とは別に歩行者と自転

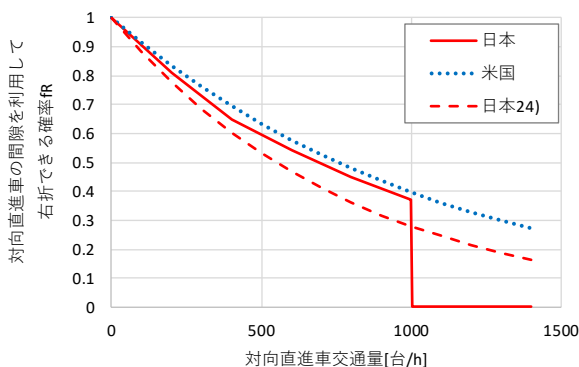


図-8 対向直進交通量と右折できる確率

※ドイツは算出式が示されておらず比較対象外とした

車の補正率 f_{Lpb} を乗じることとしている。歩行者・自転車への影響については、後述する(3)の左折における考え方と同様である。

d) 右折・直進混用車線

右折・直進混用車線では、右折車は対向直進車に対して通過待ちが生じ、これによって後続車がブロックされることで交通容量が低下する。右折車による交通容量への影響は、b)と同様に対向直進車の交通量に依存する。日本では、b)で算出される右折専用車線の場合の交通容量に対する直進車の飽和交通流率の比率を、右折車の直進車換算係数 E_{RT} として表し、それをもとに右折車による補正率 α_{RT} を式(15)により算出する。

$$\alpha_{RT} = \frac{100}{(100-R)+E_{RT}R} \quad (15)$$

ここで、 α_{RT} ：右折車混入率Rのときの補正率、R：右折率(%), E_{RT} ：右折車の直進車換算係数とする。

米国では、右折・直進混用車線における状況を3つの時間に分類し、各時間における右折車の直進車換算係数により飽和交通流率の低下を表す。具体的には、右折車が到達し、後続車をブロックするまでの時間、その後対向直進車の待ち行列が捌き切れるまでの時間、対向直進車の待ち行列が捌き切ってから青現示が終了するまでの時間に分けられる。これら3つの状況が生じる時間別に右折車の直進車換算係数を求めている点が日本と異なる。

ドイツでは各方向の交通量の比率をそれぞれの方向の交通容量で割り、すべての方向を足し合わせることで算出している。なお、これは右折に特化した方法ではなく、左折の場合も適用される。

e) 右折に関する補正のまとめ

米国では全般的に信号現示状況に応じて細やかな算出方法をとっており、日本においてもこれらを参考に算出方法の再検討の必要性が考えられる。右折確率については日米ともに同様な考えに基づいているが、臨界ギャップおよび追従ギャップの値は異なっており、さらに、日本における実観測データを当てはめたところ、右折確率は現在使用されている値よりも低下することがわかった。また、ギャップアクセプタンスに基づく右折交通容量の算出式は、車両の到着需要をポアソン分布と仮定しており、信号交差点が連続するような場合など上流の信号交差点が到着需要に与える影響を考慮できていない。そのため、モデルそのものが実態を適切に表現したのかどうかの検証も必要である。

さらに、右折・直進混用車線においては米国では状況別に右折車の直進車換算係数を求めている。より精緻な交通容量の算出にあたっては日本においても状況別の実態把握と、それを反映させた飽和交通流率の算出方法の検討が求められる。

(3) 左折に関する補正 (米独の右折)

a) 専用車線・専用現示あり

専用車線・専用現示のみで、左折交通が横断歩行者等によって妨げられない場合、日本では左折車の飽和交通流率の基本値である1,800 pcu/青1時間を用い、これに(1)の補正項を乗じることで飽和交通流率を算出している。一方、河合ら²⁷⁾は、左折の轉向半径と轉向角度によって飽和交通流率1,800 pcu/青1時間が低下することを示している。ただし、平面交差の計画と設計においても、轉向半径や轉向角度の影響について言及しており、轉向半径が小さい場合などは1,800 pcu/青1時間より小さい値を用いることも推奨している。

米国では、直進車に対する左折車の飽和交通流率の低減を、右折と同様に直進車線の飽和交通流率1,900 pcu/青1時間を左折車の直進車換算係数($E_{RT}=1.18$)で除した1,610 pcu/青1時間が左折車線の基本値に相当する。直進車換算係数は右折よりも左折の方が大きいため、右折と比較すると左折の飽和交通流率の方が小さいことになる。なお、米国では、轉向半径および轉向角度については言及していない。

一方ドイツでは、轉向半径による影響を示しており、轉向半径が8~20m未満の場合、補正率が適用される。

b) 専用車線・専用現示なし

専用現示が無く、左折先の横断歩道に横断者が存在する場合、左折車は横断者の通過を待つ必要が生じるため、交通容量の減少が発生する。

日本では、横断歩行者の間隙を利用して左折できる割合 f_p を掛けることで交通容量を算出することとなっており、式(16)が与えられている。

$$c_L = 1800 \cdot \frac{(1-f_p)G_p + (G - G_p)}{C} \quad (16)$$

ここで、 c_L ：左折専用車線の交通容量、 f_p ：横断歩行者によって左折車の通行が低減する割合、 G_p ：歩行者用青時間、 G ：有効青時間、 C ：サイクル長とする。

f_p は、横断歩道長、サイクル長、歩行者交通量に応じた36通りの低減率が提示されており、これは越ら²⁸⁾のシミュレーションによる結果が根拠となっている。

横断歩道上を通行する自転車については特記されておらず、計算上は歩行者のみが考慮されてる状態である。この理由として「自転車通行を考慮した交差点設計の手引き²⁹⁾」において、自転車の方が歩行者よりも通過速度が速いことを挙げている。

米国では、歩行者オキュパンシという概念を用い、これをもとに左折できる割合 f_{Rpb} を算出している。歩行者オキュパンシは、歩行者の流率、サイクル長さ、歩行者の横断時間から算出される。自転車が存在する場合、歩行者とは別に自転車のオキュパンシを算出し、最終的には両者を足し合わせたオキュパンシを用いる。従って、

歩行者と自転車の影響の程度を分けて評価している。また、左折後の流出車線が複数の場合、歩行者や自転車の影響は小さくなることの影響も加味した式も提示されている。

図-9は、横断歩行者交通量に応じた低減率(左折可能割合)を比較したものである。横断歩道長20m、サイクル長90秒の場合に示される低減率に対して、同様の交通条件におけるオキュパンシからHCMで推定される低減率を比較している。なお、このとき、歩行速度は1秒/mと仮定し、自転車交通量は0台としている。これによると、歩行者交通量に対する低減率は、日本と米国で約0.1程度の差があることがわかる。

ドイツでは、左折車が自転車および歩行者の影響を受けない青時間を算出するのではなく、簡単のため歩行者・自転車交通量に応じてグラフから設定することとしている。さらに、日本や米国では考慮していない左折先の待機可能台数を考慮して、式(17)より左折専用車線の交通容量が求められる。

$$C_{RA,i} = \min \left\{ \frac{t_{0,RF,i} \cdot q_{s,j} + n_{RA} \cdot n_u}{t_u}, C_{o,RA,i} \right\} \quad (17)$$

ここで、 $C_{RA,i}$ ：左折専用車線の交通容量、 t_u ：サイクル長、 $q_{s,j}$ ：左折交通流に関する車線jの飽和交通流率、 $t_{0,RF,i}$ ：自転車と歩行者のいない場合の左折交通のための青時間、 n_{RA} ：停止線と横断歩道もしくは自転車横断帯の間の待機場所数、 n_u ：1時間当たりのサイクル数、 $C_{o,RA,i}$ ：左折専用車線の交通容量とする。

c) 左折・直進混用車線

日本では右折・直進混用車線の考え方と同様に、左折車の交通容量と直進車の交通容量についても、b)で算出される左折専用車線の交通容量に対する直進車の飽和交通流率の比率を、左折車の直進車換算係数として式(18)を用いて表し、式(19)により補正率を算出する。

$$E_{LT} = \frac{1.1G}{(1-f_p)G_p + (G - G_p)} \quad (18)$$

$$\alpha_{LT} = \frac{100}{(100-L) + E_{LT} \cdot L} \quad (19)$$

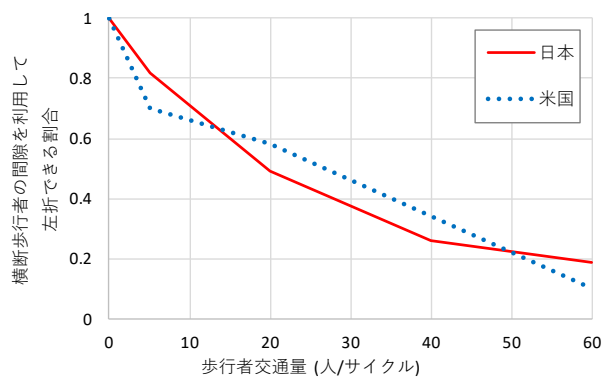


図-9 歩行者交通量と左折できる割合

ここで、 E_{LT} ：左折車の直進車換算係数、 α_{LT} ：左折車による補正率、 L ：左折車混入率(%)とする。

なお、歩行者の影響がない場合と、横断歩行者が多い場合 ($f_p=0.5, (G - G_p)=5$ 秒) の補正率 α_{LT} が示されており、歩行者の多い少ないに応じてこの値を用いてもよいとされている。

米国では、左折できる割合 f_{Rpb} 、左折車の混入率 P_R 、左折車の直進車換算係数 E_R に基づき、左折・直進混用車線の交通容量が算出される。

f_{Rpb} については、b)の考え方をそのまま適用して算出される。左折車の直進車換算係数については、右折・直進混用車線と同様の考え方により、左折車の直進車換算係数を、b)の左折専用車線の場合の交通容量に対する直進車の飽和交通流率の比率で表している。なお、専用現示により歩行者の影響がない場合は、 $f_{Rpb} = 1$ としたものとなる。

青丸表示の後に専用現示がある場合については、歩行者の影響が生じる時間と歩行者の影響が生じない時間に分割し、それぞれの状況において左折車の直進車換算係数が求められる。最終的には各時間帯で算出される交通容量を足し合わせたものが、左折・直進混用車線の交通容量として算出される。

d) 左折に関する補正のまとめ

日本と米国では、横断歩行者による低減率の算出の考え方が異なり、低減率の値にも差が生じることが明らかとなった。ただし、米国では歩行者と自転車の影響を区別して補正している一方、日本では自転車の取り扱いについては定まっていない。近年では、自転車の車道通行が徹底され、車道を通行する自転車が増加している。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車道利用の状況などを踏まえると、横断歩行者だけでなく、自転車による影響も適切に補正していく必要があると考えられる。

5. まとめ

本研究では、飽和交通流率の算出に関わる基本値の経年的な変化や補正の考え方について、日米独の比較を中心に整理した。その結果、基本値の見直しの状況や補正項目、補正方法に相違点が見られた。これらを踏まえると、日本の飽和交通流率の算出にあたっては以下の検討課題が挙げられる。

① 飽和交通流率の基本値の見直し

過去の既存文献の調査や、近年の実態観測の結果からも飽和交通流率は低下していることがうかがえ、継続的な調査と要因分析が必要である。

また、日本の右左折車線の基本値は同一の値であるが、轉向半径等による影響について検討する必要がある。

② 縦断勾配と大型車混入による補正方法の見直し

縦断勾配に関しては日本のみ下り勾配にも低減の補正がかかっており、精査が必要である。

大型車混入率については、特に交通流への影響が大きいセミトレーラー連結車については、ドイツのように大型車と区別して乗用車換算係数を検討することも考えられる。

③ 右折の低減率の見直し

過去のオーストラリアの文献に基づいた低減率であるため、日本でのギャップパラメータの観測とそれに基づいた低減率の設定が必要である。

さらに信号交差点密度等の到着需要に影響を与える要因を含め、右折交通容量の算出方法の検討が必要である。

④ 歩行者と自転車による補正方法の見直し

自転車の車道通行が徹底され、車道を通行する自転車が増加していることを踏まえ、横断歩行者だけでなく、自転車による影響も考慮していく必要がある。その際には左折車だけでなく、右折車に与える影響についても歩行者を含めて検討していく必要がある。

⑤ 補正項目の検討

米国では駐停車や先詰まり等の影響についても補正の枠組みが設けられている。これらは交通容量に影響することは確実であり、日本でも補正項目として検討が必要であると考えられる。

今後は以上の検討課題について調査・分析を進め、飽和交通流率の見直しに向けた知見を蓄積していくことが必要である。

参考文献

- 1) 社団法人 交通工学研究会：平面交差の計画と設計，1984.
- 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，土木計画学研究・講演集，Vol.25, No.Pt.1, 講演番号 18, 2002.
- 3) 村上友基，井料隆雅，中田諒，萩原武司：車両検知器データによる交通容量の長期変動モニタリング，土木学会論文集 D3, Vol.72, No.5, pp.1_1275-1_1281, 2016.
- 4) 村上友基，川野祥弘，遠藤学史，泉典宏，田中淳，山口大輔，土屋克貴：首都高速道路における交通性能の変動要因分析，土木計画学研究発表会・講演集，Vol.57, p.09-02, 2018.
- 5) 後藤誠，石田貴志，野中康弘：都市間高速道路における交通性能の経年変化と変化要因の考察，土木計画学研究発表会・講演集，Vol.57, p.0901, 2018.
- 6) Transportation Research Board Publications: Highway Capacity Manual 6th Edition, 2017.
- 7) Forschungsgesellschaft für Straßenund Verkehrswesen：Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, 2015.
- 8) 社団法人 日本道路協会：道路構造令の解説と運用（昭

- 和 45 年), 1970.
- 9) 青山恵里, 下川澄雄, 吉岡慶祐, 森田綽之, 中林悠: 信号交差点における飽和交通流率の基本値の経年変化に関する研究, 第 73 回年学術講演会, 2018. (投稿済み, 未発表)
 - 10) 社団法人 交通工学研究会: 道路交通容量調査マニュアル検討資料 Vol.2, 1995.
 - 11) 鹿田成則, 井上廣胤, 大蔵泉, 森田綽之, 岩崎征人: 信号交差点における飽和交通流量の観測結果について, 交通工学, Vol.13, No.4, pp.11-22, 1978.
 - 12) 鹿田成則, 岩崎征人: 信号交差点および織り込み区間の交通容量の研究, 交通工学, vol.14No.4, pp.23-31, 1979.
 - 13) 鹿田成則, 柴田正雄, 片倉正彦: 信号交差点の交通容量について—自主研究「平面交差点の研究」報告その 1—, 交通工学, Vol.11, No.5, pp.3-11, 1976.
 - 14) 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.
 - 15) 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, pp.943-947, 2001.
 - 16) Transportation Research Board: Default Values for Highway Capacity and Level of Service Analyses, NCHRP REPORT 599, 2008.
 - 17) Australian Road Research Board: The Capacity of Signalized Intersections in Australia, Bulletin No.3, 1968.
 - 18) 吉岡昭雄, 岩城勝正: 平面交差の飽和交通流量, 土木技術資料, Vol.12, No.3, pp.34-41, 1979.
 - 19) Alexander Skabardonis, Richard Dowling, Vasin Kiattikomol, Chirag Safi: Developing Improved Truck Passenger Car Equivalent Values at Signalized Intersections, Transportation Research Record, No.2461, pp.121-128, 2014.
 - 20) 社団法人 日本道路協会: 道路の交通容量, 1984.
 - 21) 桑原雅夫, CHEN: 大型車の乗用車換算係数に関する研究, 生産研究, Vol.43, No.12, pp.606-609, 1991.
 - 22) 鹿田成則, 片倉正彦, 大口敬: 信号交差点における車頭時間を用いた大型車の乗用車換算係数の推定方法, 土木計画学研究・論文集, No.17, pp.927-932, 2000.
 - 23) 中林悠, 青山恵里, 下川澄雄, 吉岡慶祐, 道路の交通機能を考慮した大型車の乗用車換算係数に関する研究, 第 38 回交通工学研究発表会論文集, 2018. (投稿済み, 未発表)
 - 24) Gordon, I D and Miller, A J: Right turn movements at signalized intersections, Australian Road Research Board, Vol.3, Part.1, pp.446-459, 1966.
 - 25) 森健二, 斎藤威: 信号交差点における右折車のギャップ利用特性に関する考察, 科学警察研究所報告 交通編, Vol.33, No.2, pp.90-99, 1992.
 - 26) 森健二, 斎藤威: 信号交差点における右折交通容量算出方法に関する一考察, 土木計画学研究・講演集, No.16, Pt 1-2, pp.987-992, 1993.
 - 27) 河合芳之, 鹿田成則, 片倉正彦, 大口敬: 信号交差点における轉向半径と轉向角度が左折飽和交通流率に与える影響について, 土木計画学研究・論文集, Vol.19, No.4, pp.739-744, 2002.
 - 28) 越正毅: 系統交通信号におけるサイクル制御の研究, 土木学会論文報告集 No.241, 1975.
 - 29) 社団法人 交通工学研究会: 自転車通行を考慮した交差点設計の手引き, p.45, 2015.

(2018.?? 受付)

ISSUES IN ESTIMATING THE SATURATION FLOW RATE AT SIGNALIZED INTERSECTIONS

Eri AOYAMA, Keisuke YOSHIOKA, Sumio SHIMOKAWA and Hirohisa MORITA