

オートバイを含む交通流の容量解析

吉井稔雄*

塩見康博**

北村隆一***

東南アジアの多くの都市では、交通流に占めるオートバイの割合が高くなっている。これらの都市では、オートバイの挙動を解析し、オートバイの混入が他の交通流に与える影響を把握した上で、交通流の特徴に対応した効率的な道路運用・交通制御を施すことが求められている。そこで本研究では、オートバイを含む交通流に焦点を絞り、信号制御やレーン構成のあり方といった交差点運用形態とオートバイ混入率を用いて交差点容量を算定する方法を提案し、その算定式を構築する。続いて、構築した算定式を用いて、オートバイ混入率のレベルに応じた最適な交差点運用方法ならびにオートバイ混入率と断面通過人員の関係について考察を加えた。その結果、オートバイの混入率が変化すればそれに適した交差点運用方法が異なること、ならびに四輪車が普及しオートバイ混入率が低下すると断面通過人員ベースで交差点容量が激減することを示した。

Capacity Analysis of Mixed Traffic Flow with Motorcycles

Toshio YOSHII*

Yasuhiro SHIOMI**

Ryuichi KITAMURA***

It is strongly expected in South-East Asian cities for the effective traffic controls, which can be adapted to the mixed traffic flow with motorcycles, because a lot of motorcycles are included in the traffic flow. This study, therefore, focuses on mixed traffic flow and tries to construct the estimation method of traffic capacity, which is explained by the ratio of motorcycles and traffic operations such as lane configuration and signal control. After formulating the equations of estimating the traffic flow capacity, the optimal traffic operations for various levels of the ratio of motorcycles and the relationship between the ratio and saturation flow rate are analyzed. As a result, it is confirmed that the most efficient type of operation is changed depending on the ratio of motorcycles and the possible capacity in number of person decreases if the ratio of passenger car is increased.

1. はじめに

東南アジアの多くの都市では、盛んにオートバイが利用されており、我が国と比較して交通流に占めるオートバイの割合が非常に高くなっている。例え

ば、「東アジアの奇跡」とも謳われた1980年代後半から1990年代にかけての高度経済成長を成し遂げたタイでは、急速なモータリゼーションの進展に伴って都市交通問題が深刻化する中、渋滞の影響を受けにくく、小回りが利き、さらには四輪車との比較に

* 京都大学大学院工学研究科都市社会学専攻助教授
Associate Professor, Dept. of Urban Management,
Graduate School of Eng., Kyoto University

** 京都大学大学院工学研究科都市社会学専攻
Dept. of Urban Management,
Graduate School of Eng., Kyoto University

*** 京都大学大学院工学研究科都市社会学専攻教授
Professor, Dept. of Urban Management,
Graduate School of Eng., Kyoto University
原稿受理 2004年5月17日

において購入費、維持費ともに安価なオートバイが都市交通手段として広く利用されている。このことに関して、1998年の統計^{1,2)}によれば、日本では、6,700万台の四輪車保有に対して1,500万台のオートバイが保有されている。その一方、タイでは、620万台の四輪車保有に対して1,200万台のオートバイが保有されており、交通流に占めるオートバイの割合が高い状態にあることがわかる。このように交通流に占めるオートバイの割合が高い都市において効率的な交差点運用を図るためには、オートバイの挙動特性を把握し、オートバイが交通流に与える影響を考慮することが必要となる。しかしながら、主として四輪車の交通流を対象にした道路運用・交通制御、あるいは現場の警察官の助に頼った交通制御が実施されているのが現状である。例えば、オートバイを多く含む交通流を効率的に制御する手段として、一部の交差点では、オートバイ専用の信号待ちエリアやオートバイ専用レーンを設置する、といった交差点運用形態が散見されるが、これらの交差点運用形態は、オートバイ混入率や需要交通量に応じて変えていく必要があるものと考えられ、各運用形態を採用する基準を明確にすることが求められる。

一方オートバイが交通流に与える影響に関して、Highway Capacity Manual 2000³⁾では飽和交通流^{*1}に影響を与える因子として、車線幅員・大型車混入・路上駐車・バス走行・地域特性・右折車混入・左折車混入・歩行者・自転車などが列挙されているが、オートバイに関しては取り上げられていない。また、日本では乗用車換算係数を示すのみに留まっている⁴⁾。このオートバイのPCE値 (Passenger Car Equivalent: 乗用車換算係数) は、各国の交通事情によってその値が異なり、例えば、シンガポール的高速道路におけるオートバイのPCE値を調べたFan⁵⁾によれば、英国で採用されている値(0.75)に対して、シンガポールにおけるオートバイのPCE値は0.4の方がより適切であるとの報告がなされている。またPowell⁶⁾は、青開始後6秒までに停止線を通過するオートバイのPCE値が0であり、それ以降は0.53から0.65の値を示すとの報告に基づき、車線幅員と車線数、ならびに交通量から青開始後の6秒間に停止線を通過するオートバイの台数を推定するモデル式を提案している。しかしながら、この方法は、交差点の運用形態が明示的に取り込まれていない。また中辻⁷⁾は、オートバイの状態を「信号待ち後に発進するオートバイ」と「飽和交通流下を走行するオートバイ」

の2種類に大別し、後者のオートバイについて、各走行位置を走行するオートバイが四輪車の交通流に与える影響を分析することで、オートバイの混入による飽和交通流率の補正値を求めている。しかしながら、信号制御やレーン構成といった交差点運用形態、さらにはオートバイ混入率によって、各走行状態を示すオートバイの台数が異なることが予想され、飽和交通流率の補正値は、それらによって変化することになる。

そこで、本研究では、オートバイ混入率の変化に対応した効率的な交差点運用形態のあり方を示すことを目的として、四輪車に対するオートバイの走行位置に着目して交差点運用形態を3種類に分類し、オートバイの走行状態を考慮した上で、各交差点運用形態における交差点容量算定式を構築する。なお本稿では交差点容量を、有効青1時間中に交差点を通過する1車線当たりの四輪車両の最大数と定義する。続いて、交通流に占めるオートバイの混入率が高いバンコク・チェンマイ・プノンペン市内の交差点で実施した交通調査結果を元に、交差点運用形態別に、オートバイ混入率と交差点容量との関係を定量的に把握する。さらに、最も効率的に交通流を制御するための交差点運用方法がオートバイ混入率によって異なることを示す。また、プノンペンなど交通流に占めるオートバイの混入率が高い都市では、今後の経済成長とそれに伴うモータリゼーションの進展により、都市交通手段の主流がオートバイから四輪車へと移行することも予想されている。そこで、このような都市において、オートバイ混入率が低下したときの、断面通過人員ベースでの容量の変化について考察を加える。

2. 交差点容量推計式の構築

2-1 交差点運用形態

本研究では、交差点運用形態をA～Cの3種類に分類した。Fig.1～3には、それぞれの交差点運用形態における青開始時の四輪車とオートバイの待機状況を示す。

交差点運用形態A (Fig.1)は最も標準的な交差点運用形態であり、すべてのオートバイが四輪車と混在して走行するものである。交差点運用形態Bでは、

* 1 信号交差点流入部において十分長い待ち行列の車列ができており、青信号表示中に停止線を通過し得る最大の交通流率。一般に有効青1時間当たりの台数で表示される。

停止線にオートバイ専用の信号待ちエリアが設けられており、赤信号中にそのエリアで信号待ちをした後に発進するオートバイ(Fig.2中a)と、四輪車に混在して走行するオートバイ(Fig.2中b)とに分類される。また交差点運用形態C(Fig.3)は、オートバイ走行用の専用レーンが存在し、オートバイはその専用レーン上を走行する。ここで、交差点運用形態Aにおけるオートバイならびに交差点運用形態Bのうち、四輪車と混在して走行するオートバイ(Fig.2中b)が四輪車の交通流に与える影響について考える。その影響は、オートバイの走行位置によって異なると考えられるので、本研究ではオートバイの走行位置を「車線内(Fig.4中 i)」と「車線間(Fig.4中 ii)」に分類した。このとき、車線内を走行するオートバイと車線間を走行するオートバイについて、交通流に与える影響という観点で比較すると、後者は四輪車の交通流をかいくぐるように走行している状況であるといえ、車線間を走行するオートバイが交通流に与える影響は無視できる程度であると考えられる。

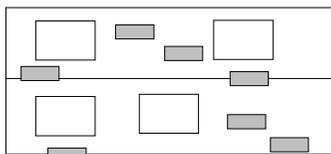


Fig. 1 交差点運用形態 A

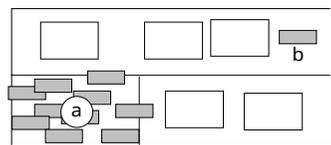


Fig. 2 交差点運用形態 B

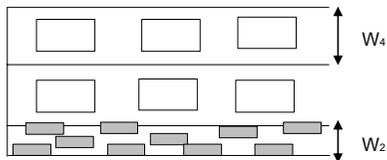
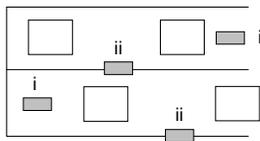


Fig. 3 交差点運用形態 C



i : 車線内を走行するオートバイ
ii : 車線間を走行するオートバイ

Fig. 4 オートバイの走行位置

Fig. 1 ~ 4 いずれも □ 四輪車 ■ オートバイ

また、車線内の四輪車間を走行するオートバイが単走である場合と並走している場合とでは、オートバイ1台当たりの交通流に与える影響が異なることも予想される。そこで本研究では、以下の仮説を措定する。なお、両仮説の検証結果は4章において後述する。

【仮説1】四輪車と混在して走行するオートバイのうち、車線間を走行するオートバイは飽和交通流に影響を与えない。

【仮説2】四輪車間かつ車線内を並走するオートバイは、単走するオートバイと比較して、1台当たりの交通流に与える影響が小さくなる。

2-2 交差点容量推計式

本項では、上で措定した仮説に基づき、各交差点運用形態における交差点容量推計式を構築する。ただし、ここでは、交差点容量を低下させる要因はオートバイの混入のみであると、交通流はすべて四輪車(大型車は含まない)とオートバイの直進車のみで構成されるものとする。

1) 交差点運用形態 A

交差点運用形態Aの交差点(Fig.1)では、すべてのオートバイが四輪車と混在して走行するものとする。この際、車線間を走行するオートバイは交通流に影響を与えないことを考慮すると、交差点容量 $Q_A [pcu/lane/h]^*2$ は、式(1)で表すことができる。

$$Q_A = \frac{3600 \cdot (1 - P_B)}{t_s \cdot (1 - P_B) + t_B \cdot P_B \cdot (1 - r_{side})} \dots\dots\dots(1)$$

ただし

P_B : オートバイ混入率 (= オートバイ台数 / オートバイ + 四輪車台数)

t_s : 飽和交通流における四輪車間の平均車頭時間 (秒)^{*3}

t_B : オートバイ1台が車線内の四輪車間に混入することによる車頭時間の増分 (秒 / 台)

r_{side} : オートバイの車線間走行率 (= 車線間を走行するオートバイ台数 / 全オートバイ台数)

なお、 t_s, t_B は車線幅員によって影響を受けるため各交差点に特有の定数とする。また r_{side} は車線幅員のみでなく、信号スプリットやオートバイ混入率によって影響を受けるが、ここでは各交差点に固有の定数とする。

2) 交差点運用形態 B

交差点運用形態Bの交差点(Fig.2)を走行するオ

オートバイは、オートバイ専用信号待ちエリアで信号待ち後に発進するオートバイ(Fig.2中a)と、四輪車と混在して走行するオートバイ(Fig.2中b)と四輪車オートバイに分類される。信号待ち後に発進するオートバイは、その発進に要する時間分だけ後続の四輪車の発進を遅らせることになる。この影響を考慮すると、 n 車線で構成され、その中の1車線にオートバイ専用信号待ちエリアが設置されている交差点における交差点容量 Q_B [pcu/lane/h]は、式(2)で表現される。

$$Q_B = \frac{3600(1 - P_B)}{t_s(1 - P_B) + t_B \cdot P_{BF}} \left(1 - \frac{l_B}{n \cdot C \cdot g} \right) \dots\dots\dots(2)$$

ただし

l_B : 信号待ちエリアのあるレーンで、青開始後、最初の四輪車がオートバイ専用信号待ちエリアの前の停止線を横切るまでの時間(秒)

C : サイクル長(秒)

g : 対象アプローチに通行権が与えられる現示のスピリット

P_{BF} : 車線内を走行するオートバイの全車両に対する割合

なお、交差点運用形態Aと同様に、 t_s, t_B, r_{side} は交差点に固有の定数であるものとする。

ここで、 l_B については、各サイクルにおいて信号待ちエリアから発進するオートバイの台数 N_{BW} の関数として表現できるものとする(式(3))。

$$l_B = f(N_{BW}) \dots\dots\dots(3)$$

ここで、赤信号時に信号待ち行列に加わるオートバイがオートバイ信号待ちエリアに滞留するオートバイと考えられるが、四輪車の車列などの影響もあって、これらのオートバイのすべてが信号待ちエリアまで到達するわけではない。そこで、赤信号時に信号待ち行列に加わるオートバイの一部が信号待ちエリアに到達して待機するものとし、その割合を k とすれば、各サイクルにおいて信号待ちエリアから発進するオートバイの台数 N_{BW} は、

$$N_{BW} = k \cdot (1 - g) \cdot \frac{P_B}{1 - P_B} \cdot \frac{C \cdot g}{3600} \cdot Q_B \dots\dots\dots(4)$$

と表現できる。

次に、車線内を走行するオートバイの全車両に対する割合 P_{BF} は、 r_{side}, k, g, P_B の関係で式(5)のよう

に表すことができる。

$$P_{BF} = (1 - r_{side} \{ 1 - k \cdot (1 - g) \}) \cdot P_B \dots\dots\dots(5)$$

これより、実際の調査から k と関数 $f(N_{BW})$ を求めることで、交差点容量をオートバイ混入率、信号サイクル長、及びスピリットの関数として表現できる。

3) 交差点運用形態C

交差点運用形態Cの交差点(Fig.3)は、オートバイ混入率によりオートバイ専用レーンの幅員(W_2)が決定されるものとし、それと同時に、四輪車の車線幅員(W_1)も決定されるものとする。オートバイ混入率が大きくなれば、オートバイ専用レーンに割り当てるべき幅員も大きくなるので、四輪車の幅員が狭くなり、通過可能な四輪車台数は減少する。このとき、オートバイと四輪車双方における信号待機車両両列の捌けるタイミングが異なると、先に待機車両両列が捌けた側では、飽和交通流率が保たれない時間帯が発生することになる。そのため、オートバイの流れと四輪車の待機車両両列が同時に捌けるように車線幅員を決定すること、言い換えれば、オートバイ専用レーンを通過可能なオートバイ台数と四輪車走行車線を通過可能な四輪車台数との比率がそれぞれの走行台数の比率に等しくなったときが最適な運用方法であると考えられる。そこで、道路の総幅員を W 、四輪車走行車線数を n 、幅員1m当たりの飽和交通流におけるオートバイの平均車頭時間を s_B (秒/台・m)、四輪車の平均車頭時間を t (秒/台)とすると、オートバイ専用レーンの幅員は式(6)の関係から導かれる。

$$\frac{s_B}{W_2} : \frac{t}{n} = \frac{1}{P_B} : \frac{1}{1 - P_B} \dots\dots\dots(6)$$

また各車線幅員は式(7)を満たす必要がある。

$$W_2 + n \cdot W_1 = W \dots\dots\dots(7)$$

さらに四輪車の車頭時間 t は、その車線幅員によって決定され、車線幅員との関係を文献4)などに示されるように、式(8)によって表現する。

$$t = f(W_1) = \frac{t_s'}{0.24W_1 + 0.22} \dots\dots\dots(8)$$

ただし

* 2 pcuは乗用車換算台数(Passenger Car Unit)のこと。
* 3 連続する2台の車両の前端が道路上のある1点を通過する際の時間間隔。

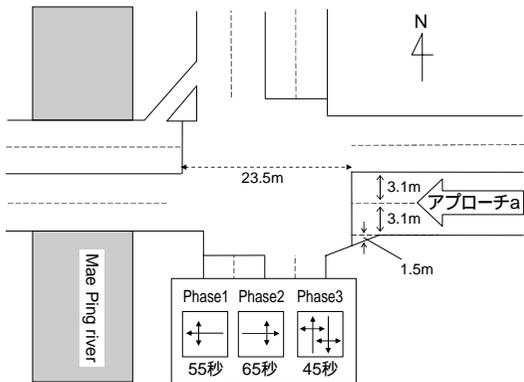


Fig. 5 チェンマイ市内中心部交差点詳細図

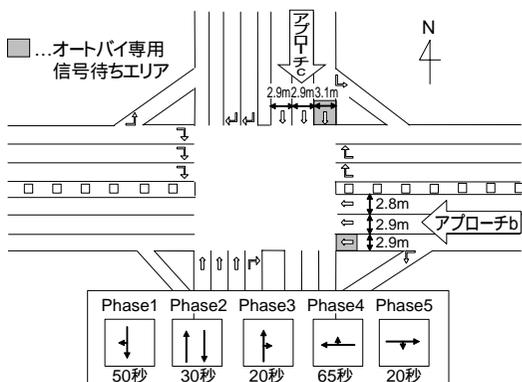


Fig. 7 バンコク市内中心部交差点詳細図



Fig. 6 チェンマイ市内中心部交差点アプローチ a



Fig. 8 バンコク市内中心部交差点アプローチ b



Fig. 9 バンコク市内中心部交差点アプローチ c

t_s' : 飽和交通流下での四輪車の車頭時間の基本値

これよりオートバイ混入率が決定されれば、それぞれの幅員が決定され、四輪車の車頭時間が求まる。このとき、交差点容量 $Q_c[pcu/lane/h]$ は式(9)として示される。

$$Q_c = \frac{3600}{t_s} = \frac{3600}{f W_4} \dots\dots\dots(9)$$

3. 交差点調査

前章で指定した仮説の妥当性を確認するために、また構築した算定式のパラメータの概略値を得ることを目的に交差点運用形態の異なる複数の交差点においてビデオ撮影による交通調査を行った。観測対象とした交差点アプローチの選定に際しては、飽和交通流に近い交通状況が観測できること、下流からの先詰まり現象がないこと、を条件とした。

まず、交差点運用形態Aを持つ交差点としてタイのチェンマイ市内中心部交差点 (Charoen Muang Rd & Charoen Rat Rd, Fig.5)の東アプローチ(アプローチ a, Fig.6)を対象に平成15年9月20日(土)の11時15分~12時に調査を行った。

次に、交差点運用形態Bをもつアプローチとして、タイのバンコク市内中心部交差点 (Rama I Rd &

Phaya Thai Rd, Fig.7)内でオートバイ専用信号待ちエリアの幅員が異なる東アプローチ (アプローチ b, Fig.8)と北アプローチ(アプローチ c, Fig.9)を対象に平成15年9月16日(火)の7~9時、11~13時、15~18時の計7時間、観測を行った。

さらに、交差点運用形態Cを持つアプローチとして、オートバイの混入率が中程度(0.5程度)の交差点としてタイのチェンマイ市外周道路上交差点 (Charoen Muang Rd & Super Highway, Fig.10)の西アプローチ(アプローチ d, Fig.11)を対象に平成15年9月20日(土)の17~18時、またオートバイ混入率が大きな交差点としてカンボジアのプノンペン市内中心部交差点 (Bld Mao Tse Toung & Bld Preach Nordom, Fig.12)の北アプローチ (アプローチ e, Fig.13)を対象に平成15年9月18日(木)8~9時に

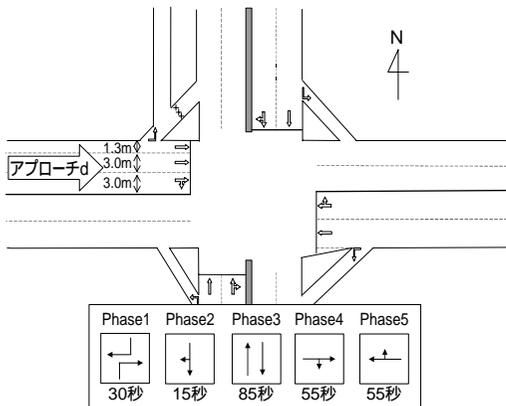


Fig. 10 チェンマイ市外周道路上交差点詳細図



Fig. 11 チェンマイ市外周道路上交差点アプローチd

観測を行った。ただし、Fig.12中の車線幅員に関しては、車線区分自体が不明瞭であったため、おおよその値を示している。

また、各アプローチにおける車種別交通量、及びオートバイ混入率についてTable 1にまとめる。

4. 仮説の検証

4-1 車線間を走行するオートバイと車線内を走行するオートバイの影響

「車線間」を走行するオートバイと「車線内」を走行するオートバイが交通流に与える影響の差異を調べるため、アプローチa、アプローチb及びアプローチcを対象に、飽和交通流における四輪車の車頭時間を計測した。この際、その車間をオートバイが走行した場合には、オートバイの走行位置ごとに、走行するオートバイ台数を集計した。その結果を用いて、以下の重回帰モデルを用いた分析を行った。

ただしアプローチb,cに関しては、四輪車の車頭間隔について十分な観測結果を得ることができたので、「オートバイが車間に走行しない場合の車頭時間」として観測値(アプローチb; $t_s = 2.02$, アプローチc; $t_s = 1.93$)を用いて、式(10)(11)にて分析を行った。

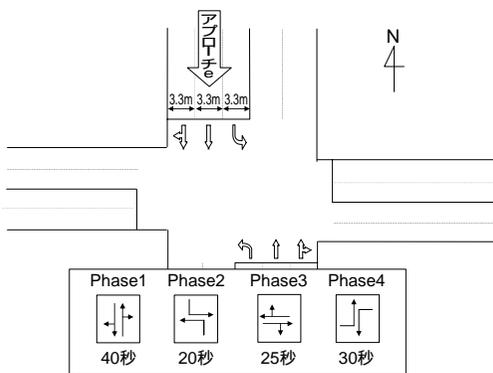


Fig. 12 プノンペン市内中心部交差点詳細図



Fig. 13 プノンペン市内中心部交差点アプローチe

Table 1 車種別交通量とオートバイ混入率

アプローチ	乗用車 (台数 / 1時間)	大型車 (台数 / 1時間)	オートバイ (台数 / 1時間)	オートバイ 混入率
アプローチa	741	3	516	0.41
アプローチb	919	34	434	0.31
アプローチc	1,579	85	730	0.30
アプローチd	929	6	944	0.50
アプローチe	692	0	1,712	0.71

$$h_w = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 \dots\dots\dots(10)$$

$$h_w - t_s = a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 \dots\dots\dots(11)$$

ここで

h_w : 計測された車頭時間(秒)

x_1 : 対象とする車頭間で車線間を走行するオートバイ台数

x_2 : 対象とする車頭間で車線内を走行するオートバイ台数

$a(i = 1, 2)$: 回帰係数

回帰分析の結果をTable 2に示す。この結果より、アプローチa,bでは危険率5%水準において、「車線間を走行するオートバイが四輪車の車頭間隔に影響を与える」という仮説が支持されないことがわかる。また、アプローチcでも、車線間を走行するオートバイが四輪車の車頭間隔に与える影響が負の値を示していることを考慮すると、四輪車の交通流に

影響を与えるのは車線内を走行するオートバイのみであることが確認でき、指定した【仮説1】が支持される結果となった。

4 - 2 並走するオートバイと単走のオートバイ

前節の結果を踏まえ、車線間を走行するオートバイは交通流に影響を与えないものとして、車線内を走行するオートバイを対象に、「単走」「並走」という四輪車間のオートバイの台数別に四輪車の車頭時間を集計した。Table 3は、オートバイが四輪車間を走行しない場合の四輪車の平均車頭時間ならびにオートバイが車間を単走・並走するパターンそれぞれについて、平均車頭時間を求めた結果を示す。さらにTable 4には単走・並走の場合に、観測された各車頭時間から四輪車の車頭時間を差し引いた車頭時間の増分を集計した結果を示す。この結果より、アプローチb,cではオートバイが並走することによってオートバイ1台分が四輪車の交通流に与える影響は小さくなっているが、アプローチaではそのような傾向は見られなかった。また、単走時と並走時におけるオートバイ1台分の影響の差について、危険率5%水準で検定を行ったところ、いずれのアプローチにおいても、その差は有意ではないという結果が得られた。そのため、先に指定した【仮説2】は支持されなかったため、以下では「単走」「並走」にかかわらず、オートバイが交通流に与える影響は同じであるものとする。

5 . 交差点運用形態別の交差点容量比較

本章では、先に分類した三つの交差点運用方法について、各走行位置を走行するオートバイが交通流に与える影響について分析する。また、各運用方法を施した場合の交差点容量とオートバイ混入率との関係を定量的に把握することで、それらを施すに適したオートバイ混入率のレベルについて考察する。

Table 2 重回帰分析結果

アプローチ a	係数	標準誤差	有意確率	R ²
定数 (a ₀)	2.05	0.07	0	0.77
車線間 (a ₁)	0.10	0.07	0.13	
車線内 (a ₂)	0.64	0.04	0	
アプローチ b	係数	標準誤差	有意確率	R ²
車線間 (a ₁)	0.04	0.08	0.64	0.35
車線内 (a ₂)	0.57	0.07	0	
アプローチ c	係数	標準誤差	有意確率	R ³
車線間 (a ₁)	-0.16	0.06	0.02	0.33
車線内 (a ₂)	0.39	0.04	0	

5 - 1 四輪車に混在して走行するオートバイ

四輪車に混在して走行するオートバイのうち、車線内を走行するオートバイが飽和交通流に与える影響について、四輪車の車頭時間の増分は車線内を走行するオートバイの台数と比例関係にあることが想定される。

Fig.14には、アプローチaにおいて車間に混入したオートバイの台数とそのときの車頭時間との関係を調べた結果を示す。この結果より、車間を走行するオートバイ台数と車頭時間の増分がおおむね比例関係にあることを確認した。

5 - 2 オートバイ専用信号待ちエリア

交差点運用形態Bの交差点においては、青開始直後にオートバイ専用信号待ちエリアに待機しているオートバイが発進し、続いて後続の四輪車が交差点に進入することになる。このとき、先頭に位置する四輪車が停止線に到達するまでの時間 (l_b) を発進損失時間*4とオートバイの通過に要する時間とに分離し、オートバイの通過に要する時間がオートバイ台数に比例すると考え、l_b をパラメータとして、l_b を式(12)にて表現する。

$$l_b = \dots \cdot N_{BW} + \dots \dots \dots (12)$$

このとき、先頭に位置する四輪車が停止線に到達するまでの時間 (l_b) とオートバイ専用信号待ちエリアに待機するオートバイ台数 (N_{BW}) の間には線形の

Table 3 オートバイが単走・並走する車間の平均車頭時間

アプローチ a	四輪車のみ	単走	並走
平均車頭時間(秒)	2.05	2.62	3.33
サンプル数	54	8	11
アプローチ b	四輪車のみ	単走	並走
平均車頭時間(秒)	2.02	2.65	2.98
サンプル数	1,566	52	10
アプローチ c	四輪車のみ	単走	並走
平均車頭時間(秒)	1.93	2.36	2.59
サンプル数	434	90	16

Table 4 オートバイの単走・並走による車頭時間の増分(秒)

オートバイ混入状態	アプローチ a		アプローチ b		アプローチ c	
	Mean	Dev.	Mean	Dev.	Mean	Dev.
単走	0.57	0.071	0.63	0.47	0.43	0.35
並走	1.28	0.35	0.96	0.70	0.66	0.35
並走 (オートバイ1台分)	0.64	0.089	0.48	0.17	0.33	0.09
T値	-0.51		0.64		0.68	
5%水準	t _{0.05(17)} = 1.74		t _{0.05(60)} = 1.67		t _{0.05(104)} = 1.66	

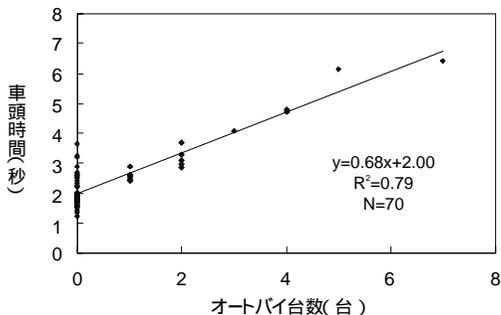


Fig. 14 車線内の四輪車間を走行するオートバイの影響 / アプローチ a

相関があることを確認するために、車線幅員に違いがある二つのアプローチについて、オートバイ専用信号待ちエリアから発進するオートバイ台数とオートバイの通過時間（後続の四輪車が停止線に到達するまでの時間）との関係を調べた。Fig.15、及び Fig.16にその結果を示す。図より、かなりのバラツキがあるものの、平均的には、オートバイ台数と通過時間の増分が比例関係にあることを確認できる。また、図中の近似直線の傾きはオートバイ1台当たりの通過時間の増分を示し、車線幅員の小さいアプローチ b での値(0.27秒)が、車線幅員の大きなアプローチ c における値(0.18秒)と比較して大きな値となっている。このことは、車線幅員がこのパラメータ () に影響を与えていることを示している。一方の発進損失時間に相当するパラメータ k は、図中の切片に相当し両アプローチで異なる値を示している。

このように、パラメータ k は、いずれもアプローチによって異なる値を示しており、車線幅員、信号待ちエリアの広さといった幾何学的構造に影響されるものと考えられる。今後、これらのパラメータ値と道路の幾何学的構造との関係についてはさらなる調査が必要である。

次に、赤信号時に信号待ち行列に加わるオートバイのうち、信号待ちエリアで待機するオートバイの割合 k について、調査より得た結果をFig.17に示す。両アプローチともに時間帯によってかなりの相違が認められる。これは、時間帯によって交通状況が異なり、その交通状況の違いによって値に変化が生じたものと考えられる。しかし、アプローチ b の7～9時を例外として0.6前後の値を示しているので、モデルを簡略化するために、本稿では、信号待ちエリアで待機するオートバイの割合 k を交差点固有の定数として扱う。

5 - 3 オートバイ専用走行レーン

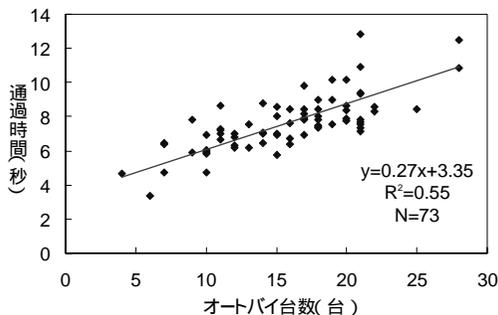


Fig. 15 信号待ちオートバイ台数と通過時間の相関図 / アプローチ b

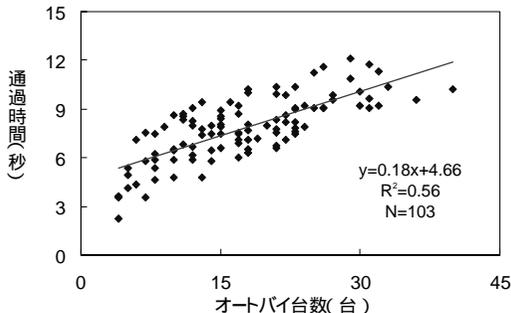


Fig. 16 信号待ちオートバイ台数と通過時間の相関図 / アプローチ c

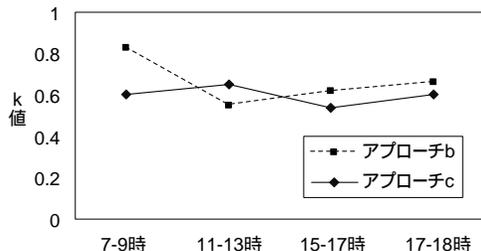


Fig. 17 信号待ちオートバイ台数のモデル化

交差点運用形態Cでは、オートバイ専用レーンを走行するオートバイが隣接する車線を走行する四輪車の交通流に影響を与えないものとして、交差点容量を算定する(式(9))。このとき、オートバイ専用レーンを飽和状態で走行するオートバイの流率は、交差点運用形態Bにおける信号待ちエリアから発進するオートバイの流率に等しいものと考えられる。

5 - 4 交差点容量比較

本節では、交差点運用形態の違いによる交差点容量の差異を検討する。具体的には、幅員が10.5mの道路を想定し、各交差点運用形態を実施したときのオートバイ混入率と交差点容量の関係を調べ、その関係について考察を加える。なお、交差点運用形態A及びBは3車線運用で、1車線の幅員が3.5m、

* 4 青信号開始時にすぐには飽和交通流率で流れ始めないことに起因して発生する交通容量を考える上での時間ロス。

Table 5 交差点運用形態Aの入力値

t_1 (秒)	t_2 (秒)	r_{side}
2.00	0.68	0.45

Table 6 交差点運用形態Bの入力値

t_1 (秒)	t_2 (秒)	r_{side}	C (秒)
2.00	0.56	0.53	200
k			
0.60	0.27	3.4	

Table 7 交差点運用形態Cの入力値

t_1 (秒)	s_1 (秒)
2.00	0.81

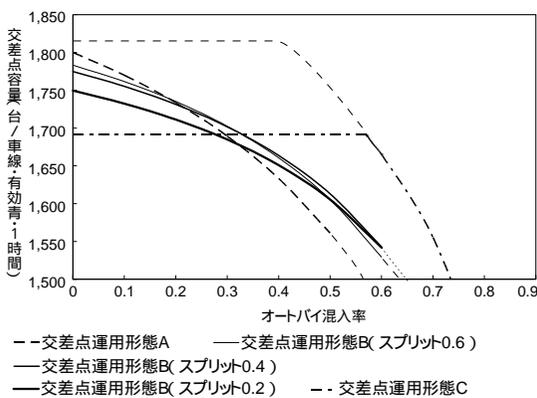


Fig. 18 オートバイ混入率と交差点容量

交差点運用形態Cでは3車線により構成されるが、オートバイ専用走行車線として最低1.5mの幅員を確保するものとする。また、基本交差点容量として、飽和交通流下の四輪車の車頭時間を2.0秒とし、これを基準にして、調査結果を参考に、各交差点運用形態において必要となるパラメータ値を制定した。Table 5~7には交差点容量比較検討時に用いた各パラメータの値を示す。

このとき、各交差点運用形態を実施した場合のオートバイ混入率と四輪車の交差点容量の関係を図18に示す。なお、交差点運用形態A、Bに関しては、オートバイ混入率のレベルが高くなると、オートバイの車線間走行率(r_{side})など、観測から得られたパラメータ値が大きく変動する可能性があるため、オートバイ混入率の高い領域が算定式の適用範囲外と考え、途中から破線表示としている。また、交差点運用形態Cではオートバイ専用レーンの幅員を最低1.5mとしたが、この制約を取り払った場合に計算上獲得される交差点容量値を破線で示す。さらに、交差点運用形態Bでは、スプリットの影響を

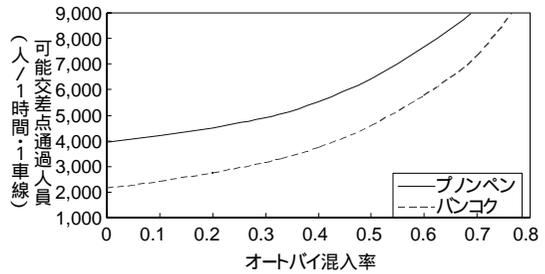


Fig. 19 オートバイ混入率と可能交差点通過人員

受けるため、スプリット0.2、0.4、0.6の場合について交差点容量を示す。

図より、交差点運用形態Bを採用した場合には、標準的な交差点運用形態Aを採用した場合と比較して、四輪車用停止線の後退による発進損失時間が増加する負の影響と信号待ちエリアにオートバイを集めることで車線内を走行するオートバイ台数が減るという正の効果があり、オートバイ混入率の低い状況では、前者が卓越するためにスプリットの大きい方が効率的な運用がなされるが、混入率が高くなるに従って、やがて後者の影響が大きくなるためにスプリットの小さい方が効率的になるという傾向を確認することができる。

さらに、交差点運用形態別に交差点容量の比較を行うと、交差点運用形態Bでは信号待ちエリアの設置により停止線が後方にシフトすること、交差点運用形態Cでは四輪車の走行する車線幅員が小さくなることを理由として、オートバイ混入率が低い場合には、それぞれ交差点運用形態A(通常運用)との比較で交差点容量が小さくなるのがわかる。対して、オートバイ混入率が高くなるに従って交差点運用形態Bの効率が最もよくなり、さらに混入率が高くなると、オートバイ専用レーンを確保する交差点運用形態Cが最も効率的になるという傾向を確認できる。また、交差点飽和度の関係で小さいスプリットを採用する場合には交差点運用形態Bが最適な形態となることはなく、オートバイ混入率の増大に伴って、交差点運用形態Aから交差点運用形態Cへと効率的な運用形態が変化することが分かる。

6. 断面通過人員に関する考察

現在オートバイ混入率が高い各都市においては、近い将来、モータリゼーションの進展に伴って、交通流に占めるオートバイの割合が減少することが想定されている。この場合に、人の輸送という点に着目し、交差点における断面通過人員ベースでの容量

の変化について考察を行う。

バンコク及びプノンペンの交差点で四輪車とオートバイの乗車人員を調査した吉井らの報告⁸⁾によれば、バンコクにおいては、オートバイの平均乗車人員が1.2人、四輪車で1.5人程度であるのに対して、プノンペンでは、オートバイ2.2人、四輪車1.6人程度である。この平均乗車人員を用いて、オートバイ混入率が変化しても、オートバイ、四輪車ともに現状の平均乗車人員に大きな変化がないものとして、オートバイ混入率が変化した場合に、最適な交差点運用を施した場合の断面通過可能人員の変化をFig.19に示す。なお、断面通過可能人員を算定するにあたっては、Fig.18から得られる結果に従って、オートバイ混入率の変化に応じて交差点運用形態を変化させた。

図より、オートバイ混入率が減少すれば交差点断面を通過できる人数が減少し、オートバイ混入率が高い場合は、その減少幅が大きくなる。現在の水準ではプノンペンのオートバイ混入率が約0.7、バンコクでは約0.3となっており、特にオートバイ混入率の高いプノンペンにおいてモータリゼーションが進展して四輪車が普及していった場合、断面通過人員ベースでの容量が激減することになるため、深刻な交通渋滞を発生させる可能性が高いと考えられる。

7. おわりに

本稿では、オートバイ混入率の高い交通流に焦点をあて、交差点運用形態を三つに分類した後、各交差点運用形態別に交差点容量算定式を構築した。続いて、実観測に基づいて決定したパラメータ値を算定式に代入し、三つの交差点運用形態別に交差点容量の比較を行った。その結果、オートバイ混入率に対応して、最も効率的な交差点運用形態が変化することを明示することができた。また、現段階でモータリゼーションの進展が遅れており、都市交通手段として二輪車が主流となっている地域では、今後、四輪車が普及した場合に、断面通過人員ベースでの交差点容量が激減することを示すことができた。

しかし、本研究では、交通流をオートバイと四輪車の直進車のみで構成されるものと仮定したが、実際の交通流を想定する上では大型車の混入や右左折車の混入が交通流に与える影響を考慮しなければならない。また、大型車や右左折車がオートバイ挙動に与える影響を考慮することも必要である。さらに、交差点運用形態の違いを評価する際に用意した各パラメータ値に関して、調査地点が限られているため、

交差点形状による違いが十分には表現できていないこと、さらには、オートバイ混入率の違い等によって変化すると考えられる車線間走行率などのパラメータを、交差点特有の定数として扱っていることなどが問題点として残されている。今後はこれらの点を改善することで、より正確な交差点容量推計式を構築していく。

[謝辞]

本研究は(財)国際交通安全学会の研究プロジェクトの一部として実施しました。プロジェクトリーダーの福田敦氏、中村文彦氏をはじめ、研究グループの皆様には貴重なご意見を頂くとともに大変お世話になりました。ここに記して謝意を表します。なお本文中の写真はビデオデータしかなく、見にくくなったことをおわびします。

参考文献

- 1) (財)道路経済研究所『道路交通経済要覧』平成10年度版、pp 564-565
- 2) 本田技研工業(株)『世界二輪車概況』P.97、2003年
- 3) National Research Council: Highway Capacity Manual 2000, Transportation Research Board Special Report 209, TRB, Washington, D.C., pp.16-9, 16-13, 2000
- 4) (社)交通工学研究会『交通工学ハンドブック』CD-ROM、2001年
- 5) Henry, S.L.F.: Passenger car equivalents for vehicles on Singapore expressways, Transportation research part A Vol.24, pp.391-396, 1990
- 6) Powell, M: A model to represent motorcycle behavior at signalized intersections incorporating an amended first order macroscopic approach, Transportation research part A Vol.34, pp.497-514, 2000
- 7) Takashi NAKATSUJI 他「effect of motorcycle on capacity of signalized intersections」『土木計画学研究論文集』Vol.18, No.5, pp.935-942, 2001年
- 8) 吉井稔雄「オートバイ混入率と信号交差点における交通容量の関係把握調査」『開発途上国におけるオートバイの都市交通手段としての役割と限界に関する研究資料集』国際交通安全学会、I 6、pp.20-23、II 8、2003年