

# ショッピングセンター前ジブニーストップ付近の道路交通流シミュレーションシステムの開発

## Development of traffic simulation system for areas surrounding jeepney stop in front of shopping center

上田 新平  
Shimpei UEDA

指導教官 屋井 鉄雄  
Tetsuo YAI

Most person trips in Metro Manila use public transit vehicles (PUV). People tend to gather at transit stops, and as a result PUVs also gather and dwell on the road. This behavior causes obstruction to traffic flow. It becomes even more important to evaluate this obstructing effect at areas near traffic generators or large-scale developments (e.g. shopping centers). This study aims to develop a system for evaluating the influence of PUV behavior at the vicinity of jeepney stops. The developed system is capable of simulating actual and original traffic phenomena in the vicinity of stops in Metro Manila. The task includes: 1) modeling non-lane observance behavior, and 2) modelling the dynamic interaction between the PUV and passengers waiting at curbside at the jeepney stop.

**Keywords :** メトロマニラ、ジブニーストップ、交通流シミュレーション  
Metro Manila, Jeepney stop area, Traffic simulation

### 1. 序章

#### (1) 本研究の背景

本研究は、フィリピンの首都地域であるメトロマニラを対象としている。近年、メトロマニラの道路は、都心部をはじめ郊外においても渋滞が多発し、人々の活動が滞っている。これは当然、メトロマニラの経済発展に伴う自動車数の増大が大きな要因であると思われるが、一方で、ジブニーなどのメトロマニラ特有の道路系公共交通機関が道路容量を低下させているとの指摘もなされている。

#### メトロマニラの道路系公共交通機関の影響

まず、人の移動における道路系公共交通機関のシェアの高さに着目する必要がある。1998年の報告<sup>1)</sup>によれば、そのシェアは70%にも達している。その公共交通機関の中でも特にシェアが高いのがジブニー・FX<sup>(補1)</sup>など、低容量の交通機関である(ジブニー:定員20人程度)。これらの車両は非常に高頻度で運行して利便性が高い反面、人の集まる場所には常に多数の車両が集積し駐停車を繰り返すため、その停車場付近における他の道路交通への影響が懸念されている。また、その停車場付近で生じている公共交通機関(特にジブニー・FX)に独特の挙動(表-2)も大きな影響を及ぼす要因となっている。さらに、この停車場そのものが、日本のバス停のようにある地点に定まっておらず、ある範囲を持ったエリアとして自然発生的に形成されている。つまり、ある程度の範囲において上記のような公共交通車両の挙動が見られるのである。これらは、道路ネット

ワークのボトルネックと成り得るものであり、その影響が道路ネットワークレベルにまで波及する可能性も大きい。

このような道路系公共交通機関から生じる負の影響に関する指摘は、従来なされてきているものの、その影響分析に関しては十分に行われていないのが現状である。

#### 道路交通への影響評価の重要性

一方で、近年、フィリピンでは交通影響評価(以下 TIA)のマニュアル作成が行われている。TIAは大規模施設建設の際に、周辺交通への影響を事前に評価するもので、その基準を定めるためのマニュアル作成が進みつつある。しかし、マニュアルの草案に対して、十分メトロマニラの現状に対応していないという指摘もなされている。それは、このマニュアルが自家用車によるトリップが多い米国などからその評価技術の大半を導入しており、上記のような公共交通機関の影響がほとんど考慮されていないからである。

大規模施設には多くの人々が集まり、同時に比較的自由な運行形態を持つメトロマニラの道路系公共交通の集積も懸念されているが、TIA マニュアルにおいてそのような影響を十分考慮できていないことは大きな問題である。

#### (2) 本研究の目的

これらの背景を受け、公共交通の停車場周辺、特にジブニーが集積するジブニーストップ周辺で生じている様々な挙動の影響を定量的に把握することを本研究の目的とする。この目的のために、ジブニーストップ周辺の道路状況を再現できる新たな交通流シミュレーションの開発を行う。

## 2. 交通流シミュレーションシステムの開発

### (1) 交通流シミュレーションシステム開発の必要性

既に、数多くの交通流シミュレーターが開発され、実務でも利用されつつある。日本においても、大規模開発に伴う TIA で用いられた例も幾つか報告されている。しかし、これらのシミュレーターは先進国において開発され、先進国の道路交通現象の表現を試みたものである。先進国とは異なる現象が多く見られる発展途上国の道路に、これらのシミュレーターを使用するには慎重を期さねばならない。

本研究で対象とするジブニーストップ周辺の局所的な交通流分析に関して、これらのシミュレーターで十分な分析が可能かどうかは非常に疑わしい。そもそも、シミュレーションとは、対象となる実現象の性質を十分考慮してこそその評価に意味を持つものと考えられ、そのような考えに基づいて、新たなシミュレーションシステムを開発する必要があると思われる。本研究では、ジブニーストップ周辺で見られる独特の挙動をシミュレーションシステム上で表現し、その影響を定量化するツールの開発を目指す。

## 3. ジブニーストップ周辺に見られる現象の把握

ここでは、既往研究のレビューや屋井研究室所蔵のビデオデータの分析に基づいて、ジブニーストップ周辺の道路交通の現状とその特徴に関して整理を行う。

### (1) ジブニーストップ周辺の交通流の現状

#### レーンに依存しない走行挙動

ジブニーストップ周辺を観察すると、非常に「雑然」とした交通現象が至るところで見受けられる（写真 - 1）。



写真 - 1 EDSA の映像

その主な理由として、日本で見られる交通流のようにすべての車両がレーンに沿って走行していないことが挙げられる。このことを検証すべく、ジブニーストップ周辺の交通流のビデオ観測データを用いて考察を行った。片側 4 車線道路のジブニーストップ上流側において、レーンを表示したラインをまたいで走行している車両（そのうち明らか

にレーンチェンジ途中の車両を除く）の台数をカウントした結果を表 - 1 に示す。

表 - 1 レーンを無視して走行している車両の割合

時間	総交通量(台)	レーン無視走行(台)	割合
12:40-12:45	141	31	0.220
12:45-12:50	147	18	0.122
12:50-12:55	159	13	0.082
12:55-13:00	136	21	0.154
13:00-13:05	146	22	0.151
13:05-13:10	118	17	0.144
13:10-13:15	119	15	0.126
計	966	137	0.143

これより、約 15% の車両がレーンをまたいで走行していることが分かる。車線はまたいでいないものの中央を走行していない車両も多数観測されている。また、別のジブニーストップの様子を観測すると、中央分離帯が存在しない片側 2 車線、計 4 車線道路において、自然に片側 3 車線他方 1 車線のように変化する状況もしばしば観測されている。

これらの観測結果から、少なくともジブニーストップ周辺に関して言えば、車両はレーンにほとんど縛られない挙動を行っていることが分かる。これより、ジブニーストップ周辺の道路の容量は道路のレーン数に関連しているというよりは、むしろ、道路の幅員自体に関連していると考えられる。これは、本研究でシミュレーションシステムを構築する際の重要なポイントである。

### 強引な側方移動現象

次に、ジブニーストップの側方移動に関して考察する。メトロマニラにおけるドライバーの運転挙動は、全体的に「強引」であると言われている。特に、ジブニーストップ周辺ではその傾向が顕著であり、強引な運転挙動のために他車両は急ブレーキを余儀なくされ、それが頻繁に生じることで道路の容量を低下させていると言われている<sup>2)</sup>。これを把握すべく、ジブニーストップ周辺で行われる側方移動に関して観測を行った。

ここで、側方移動の強引さを把握するための指標を中村らの研究<sup>3)</sup>から援用する。指標は以下の式で表される。

・車頭距離相対変化率

$$\phi_L(t) = \frac{V_L(t) - V_S(t)}{y_L(t) - y_S(t)} = \frac{1}{S_L} \cdot \frac{dS_L(t)}{dt} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\phi_R(t) = \frac{V_S(t) - V_R(t)}{y_S(t) - y_R(t)} = \frac{1}{S_R} \cdot \frac{dS_R(t)}{dt}$$

$\phi_L(t)$ : 車両 S の前方車 L に関する車頭距離相対変化率

$\phi_R(t)$ : 車両 S の後方車 R に関する車頭距離相対変化率

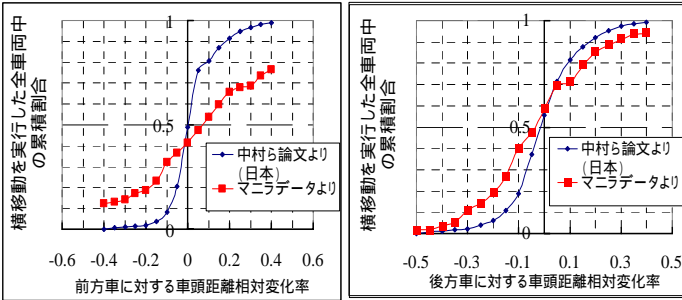
$y_S(t), y_L(t), y_R(t)$ : S, L, R それぞれのある時間  $t$  における位置

$V_S(t), V_L(t), V_R(t)$ : S, L, R それぞれのある時間  $t$  における速度

$S_L(t) = y_L(t) - y_S(t)$ : L 車両との相対距離

$S_R(t) = y_S(t) - y_R(t)$ : R車両との相対距離

この指標が負の方向に大きいほど、より強引な側方移動が行われていることを意味する。図-1、図-2はジブニーストップ周辺において観測された側方移動に関して、前方車L・後方車Rそれぞれの車頭距離相対変化率を求めてプロットしたもので、縦軸は、観測された全サンプル中の累積割合である。図中には、中村ら<sup>3)</sup>が日本において観測したデータも併記している。



(左) 図-1, (右) 図-2, 車頭距離変化率に関するプロット

中村らは高速道路路織込み区間のデータを用いており、比較的強引な側方移動が見られる場面であると考えられるが、両図共にメトロマニラの方が小さな値(絶対値の大きな負値)の生じる確率が大きく、強引な側方移動が生じている可能性が示唆される。シミュレーションシステムの構築にあたり、このような現象を明示的に考慮する必要がある。

## (2) ジブニーストップで生じている現象の整理

### ジブニーストップ周辺における公共交通挙動の整理

本研究では、ジブニーとバスをシミュレーションシステムに組み入れる。特にジブニーの挙動に注目した。まず、ジブニーストップ周辺のジブニーの挙動について整理する。

既往研究やビデオ観測から得たジブニーの挙動に関する性質を表-2にまとめる。これより、ジブニーの運行形態が先進国の道路系公共交通機関と全く異なる挙動であることが確認される。また、挙動特性のほとんどが、利益の追求とそのため生じるドライバー同士の競争関係によって説明されることもジブニー挙動の特徴と言える。

一方、バスに関しては、ジブニーほどフレキシブルな運行形態をとってはいないものの、ジブニーストップ周辺における挙動として表-2の(1)、(2)のような性質を有していることが観測より確認されている。

### 公共交通の停車時間

ジブニーストップにおける公共交通、特にジブニーの停車時間に関する性質を理解するため、停車挙動のビデオ観測データを用いて分析を行った。停車時間は降車所要時間・乗車所要時間・客待ち時間に分けられるが、そのうち降車所要時間と乗車所要時間のそれぞれについて考察を行う。

表-2 ジブニー挙動の整理

- (1) 降車希望の客がいる場合、客の意向に従うかもしくは停車しやすいところに停車する
- (2) 乗車を希望している客に近寄る(日本のタクシーの挙動に似ている)
- (3) 複数の乗車希望客を発見した時、比較的上流側の客を優先してその客に合わせる(後方から来るジブニーに客を奪われないため)
- (4) ジブニーストップエリアに近づくと客を探すため徐行する
- (5) 前方にバスが停車しているとき前方に回りこむ傾向が強い  
(路上客が見えない。また発進する時難しい)
- (6) 特に広幅員の道路では二重駐車も頻繁に行われる
- (7) 他のジブニーが路側車線の後方から近寄ってくると、その進行を妨げるような行動もしばしば見られる(ジブニー同士の競争関係)
- (8) 路上客の発生頻度が高い場所ではある程度の人数が乗車するまで停車して客を待つ

まず、降車所要時間に関しては、降車人数との相関が非常に高く(相関係数 0.909)、降車人数と所要時間がある程度の相関関係にあることが確認された。次に、乗車所要時間に関して見ると、乗車人数との相関係数が0.797であり、降車所要時間と比べて低い値となっている。ジブニーストップの様子を観察しつつ、この要因について考察すると、路側の客が歩道上に整列せず、散らばっていることの影響が大きいと考えられ、それぞれの旅客がジブニーまで移動してくる時間を考慮する必要があると推察される。このことを検証するために、降車客がいないジブニーに関して、ジブニーが停車してから一人目の乗車客が乗車口まで到着する時間の分布を求めた(図-3)。

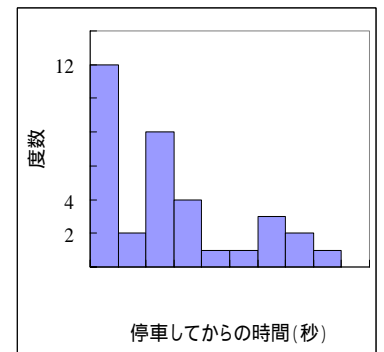


図-3 ジブニーが停車してから乗車するまでの時間分布

図-3より、停車してから最初の客が乗車を開始するまでの時間にはある程度のばらつきが存在していることが分かる。また、総乗車所要時間から最初の客が乗車するまでの所要時間を引いたものと乗車人数との相関係数は0.920となり、これらのことからジブニーの乗車所要時間は客の待ち位置の分布によって影響されることが示唆される。

### ジブニーの停車挙動に見られる相互関係

これまでの基礎的な分析に基づくと、ジブニーは以下に挙あげる複数の主体と相互に影響を及ぼし合いながら停車行動を行っていることが確認された。

- 1) 路側で公共交通を待つ客
- 2) 周辺で走行している他の公共交通車両

これらの相互関係を考慮に入れたシミュレーションシステムの構築を次章で行う。



#### 4. シミュレーションシステムの構築

##### (1) システムの特徴

本システムで考慮する車種は、一般自動車、大型貨物車、ジブニー、バスである。FX は近年増加傾向にあるが、挙動がジブニーと似ていることから、本研究ではジブニーとして扱う。また、路上客も一つのエージェントとして特定の行動ルールを与え、シミュレーション空間上で行動させている。シミュレーション上で考慮すべき挙動を単純化し、図 - 4 にまとめる。

本研究のシミュレーションシステムは、既存のシミュレーターでは見られない以下の2つの特徴を有している。

- ・レーンによる強制力が弱いメトロマニラのドライバー特性を考慮し、レーンをベースとしない車両挙動の表現；
- ・公共交通車両（特にジブニー）が路上で待つ客の動きに左右されて停車行動を行っていることに着目し、客を一つのエージェントとして移動させると同時に、その移動に依存してジブニーの停車行動を表現。

##### (2) レーンを用いない交通流の表現

前章で示したとおり、ジブニーストップ周辺ではレーンに関係なく交通が流れており、車線数よりも、むしろ、有効幅員によってその道路容量への影響度が決定していると思われる。ここでは、レーンを用いない交通流の表現を行う。レーンを用いない交通流の表現とレーンを用いたものとの比較を表 - 3 に示すが、この表からもわかるとおり、

レーンを用いない交通流表現は非常に複雑なシステムが必要となる。

本研究では、非レーンの交通状況を、側方車両との間隔と前方速度の関係をを用いることによって表現する。前方車両との車間は、あらゆる交通流シミュレーターで用いられる基本的なファクターであるが、本研究では、側方車両との間隔についても考慮する。これは、前方車両の接近だけでなく、側方車両との接近に際してもドライバーは危険を感じて減速するという行動原理に基づいている。なお、側方車両との間隔と前方速度の関係は既往研究<sup>4)</sup>における実験結果を援用している（表 - 4）。日本における実験データであるためメトロマニラの強引な挙動を表現しきれないという懸念もあるが、データの内容から判断する限りその差は

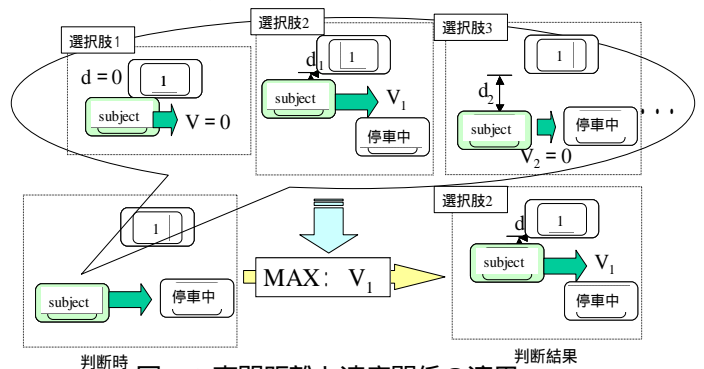


図 - 5 車間距離と速度関係の適用

小さく、このデータをそのまま用いることとした。

この原理の概念について簡単に説明する。いま、ある車両 Subject について考える（図 - 5）。Subject が次に行う挙動に関する選択肢は様々なものが考えられるが、その選択

の基準に側方車間と前方速度の関係を利用する。すなわち、様々な選択肢が存在する中で、最も速いスピードで走れるように次の行動を考えるわけである。例えば、図 - 5 の場合、前方車が停車しているため、直進すると速度は0となる。したがって、速度0以上で走行可能な場所へ進むわけである（図 - 5 の場合、

表 - 4 側方車間と前方速度の関係

小原ら<sup>4)</sup>の研究より引用

側方車間距離	通過速度
12.5cm	8.5km/h
20.0cm	13.0km/h
27.5cm	20.5km/h
35.0cm	26.5km/h
42.5cm	31.0km/h
50.0cm	33.5km/h
57.5cm	40.0km/h
65.0cm	40.0km/h

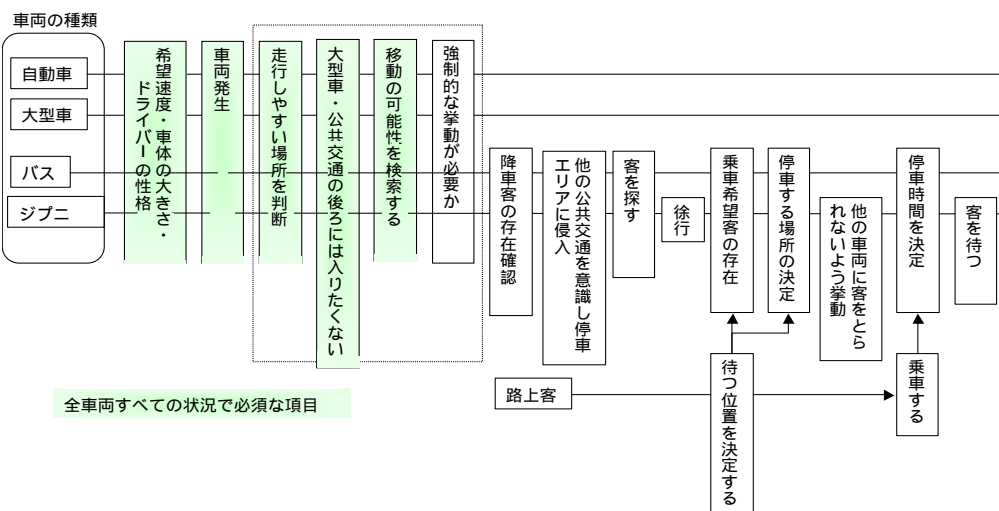


図 - 4 エージェント属性の分類とそれぞれが直面する状況の整理

表 - 3 レーンを用いない交通流の表現とレーンを用いたものとの比較

	レーンを用いない表現	レーンを用いた表現	
前方への移動	追従先	追従先が多数存在	追従先は同レーン前方車
	側方車両との接近	減速が生じる	レーンに従うので基本的に接近はしな
	すり抜け挙動	考慮する必要がある	考慮しない
側方への移動	側方移動先	無限に移動する選択肢が存在	隣のレーンに移るか現在のレーンにとどまるかの判断のみ
	側方移動の可否の判断	移動に際し関連するすべての車両を考慮	隣のレーンの前方車と後方車のみを考慮
		道路端も考慮	

選択肢 2) 実際のプログラム上ではさらに複雑なアルゴリズムとなっているが、レーンを用いない交通流表現は、この考え方を基本としている。

### (3) 公共交通の停車挙動の表現

公共交通の停車挙動が様々な主体との相互作用の中で決定されることは既に述べた。これをシミュレーション空間上で表現する方法について述べる。このような相互作用状態を表現すべく、本研究ではエージェントベースシミュレーションで用いられる「報酬」の考え方を利用する。その概要を簡単に示す。

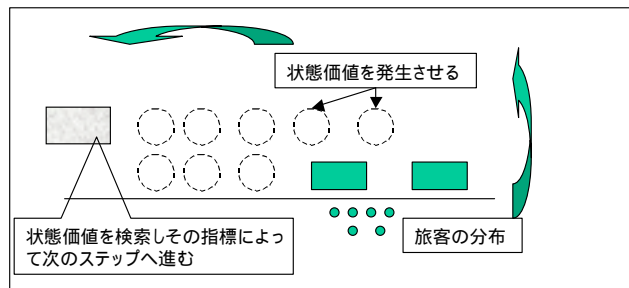


図 - 6 停車挙動を表現するベースメカニズム

まず、公共交通車両の停車挙動の目的は、容量の範囲内で客を多く乗車させることである。つまり、客を乗せることで報酬を得るというルールを設定する。そして報酬をもたらす乗客の位置まで車両誘導するのが、道路上に設定される指標「状態価値」である(図-6)。車両は、道路上の状態価値が最大の場所を停車場として選択する。この状態価値は、以下のような関数で表現される。

$$State\ Value_p = SV_{wp} * SV_{sc} * \alpha SV_{rc} \dots\dots\dots (2)$$

$State\ Value_p$  : 状態価値

$SV_{wp}$  : 路側の客に関連して生じる状態価値

$SV_{sc}$  : 停車中の公共交通からの影響

$SV_{rc}$  : 歩道から離れるほど生じる割引率

$\alpha$  : パラメーター

また、 $SV_{wp}$  は次式のように定義される。

$$SV_{WP} = \sum_i \{(P_i * R_i) / d_i\} \dots\dots\dots (3)$$

$i$  : 路上客

$R_i$  : 客  $i$  を乗せたときに得る報酬

$P_i$  : 客  $i$  が自車の客かどうか不確かな場合の割引率

$d_i$  : 設定ポイントから客  $i$  までの距離

$SV_{sc}$  の値として、他の公共交通が既に停車している場所およびその周辺に関して 0 が設定され、その他の領域には 1 が設定されている。 $SV_{rc}$  は、後方からの車両の影響とその車両の予想停車時間により決定すると思われる値であり、この変

数により走行車線で停車することに対して抵抗意識を生じさせるものである。この変数のパラメーター推定は困難であり、キャリブレーションにより定めざるを得ないが、現在のところ歩道側の路端から一定距離以上離れた道路上に設定される状態価値に関して 1 以下の数値を与えている。

このような状態価値を基にして、ジブニーの徐行挙動やジブニー同士の競争状況に関連した挙動の表現も行う。

### (4) 構築したシステムの概要

構築したシステムの全体像を図-7に示す。

図-7からも分かるとおり、本システムは大きく6つのサブシステムに分割することができ、それぞれが複雑に関連しあうことで全体のシステムを構築している。

本システムで評価可能な対象は直線道路のみであり、デフォルトで 400m のシミュレーション区間を設定している。また、路上客の発生場所は複数設定することができる。

## 5. システムの検証

### (1) シミュレーションの対象

本システムの妥当性を検証するにあたり、まず、メトロマニラの郊外に立地する大型ショッピングセンター(SC)前の道路状況(400m 区間)を再現した(図-8)。この場所を選定したのは、郊外の大規模ショッピングセンターの建設が近年多く見られ、特に、その建設による交通への影響評価が社会的に求められていると考えたためである。

### (2) シミュレーションシステムの検証

交通シミュレーションにおける検証は、Verification と Validation に分類される。前者は仮想データを用い、そのシステムが意図した現象を表現できるかといったシステムの検証である。一方、後者は実データを用い、現状再現性を

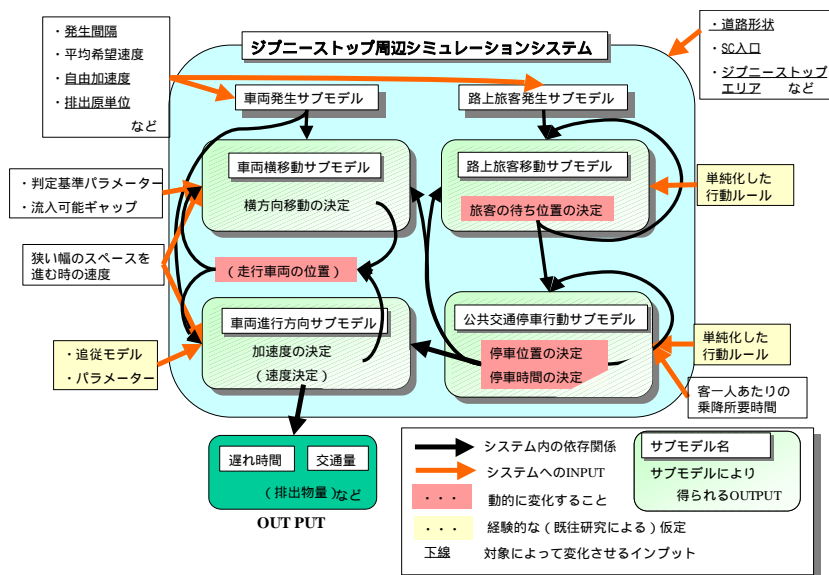


図 - 7 シミュレーションシステムの概要



図 - 8 シミュレーション画面 (黒点は路上の客を表す)

チェックするものである。本研究では、まず目視でシミュレーションの画面と現状を比較してその妥当性を検証し、その後、Verification Validation の順で検証を行う。また、交通流の表現に関する検証と停車挙動に関する検証の2つのパートに分けて検証を進める。

### 交通流に関する検証

まず、公共交通が停車挙動を行わない設定において様々な交通需要を与え交通密度  $K$  [台/km] と交通量  $Q$  [台/時] との関係プロットし、それについて考察を行った(図 - 9)。渋滞領域のプロットに関しては、本システムで人為的に渋滞流を作り出すことが難しく、シミュレーション区間のリンク下流部にジブニーを障害物として路側に停車させ、再現しようと試みたが、うまく渋滞流を表現できなかった。そのため、図 - 9 のように理論値とは大きく乖離した結果になったと推察される。一方、自由流領域に関しては良好なプロットを得ることができ、交通量  $Q$  が約4000台/時に収束する結果となった。この値を交通容量と見なすことができるが、

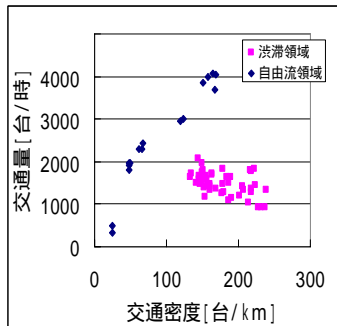


図 - 9  $Q$   $K$  プロット

Highway Capacity Manual<sup>5)</sup>を参照した結果、この値は2車線高速道路の交通容量とほぼ同等であり、妥当な値が得られたことが分かる。

さらに、「レーンに依存しない走行挙動」の表現について検証を行った。シミュレーションの結果、ジブニーストップ周辺においてレーンを表示したラインをまたいで走行している車両(側方移動中の車両を除く)は、約17.0%であった。この値は表 - 1において得られた観測値(約14.3%)と比較しても良好な結果となっており、ジブニーストップ周辺の交通流の特徴を表現できているシステムであることが確認できた。

### 停車挙動に関する検証

ここでは、シミュレーション結果から図 - 3 と同様のプロットを作成し(図 - 11)、図 - 3(図 - 10に再記)と比較を行った。

図 - 11のプロットがある程度分散していることから、本システムで表現を試みた「路上客の分布に依存した停車時間」を表現できていると思われる。また、図 - 10の実データはサンプル数が少ないため厳密な検証は不可能であるが、図 - 10・図 - 11の分布傾向は類似していることから、本システムはある程度現状を再現できていると示唆される。

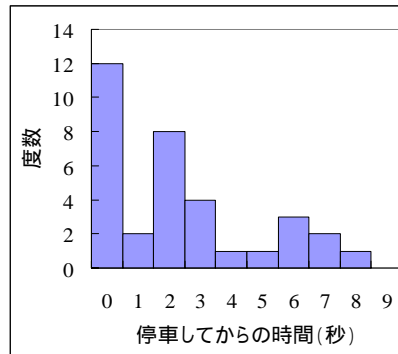


図 - 10 ジブニーが停車してから乗車するまでの時間分布(同図-3)

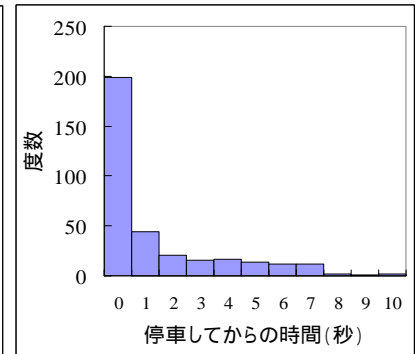


図 - 11 シミュレーションによるアウトプット

## 6. まとめ

本研究では、ジブニーストップ周辺で生じている現象を整理し、その知見を基に、レーンに依存しない交通流の表現や路上客との相互作用を考慮した停車挙動の表現を組み込んだ、これまでに見られない概念の交通流シミュレーションシステムを構築した。

そのシステムの検証、及び、構築したシステムを用いての各種影響分析に関してはまだ不十分であり、今後の課題である。

### 補注

(補1)ジブニーは、決まった終点起点間をおおよそ決まった経路で往復運行する交通機関であり途中の乗り降りは自由である。FXはジブニーとほぼ同様の運行形態であるが定員が少なく(10人程度)、エアコンがついている。

### 参考・引用文献

- 1) MMUTIS Study Team (1998) MUTIS Final Report.
- 2) Regidor, R. J., Okura, I. and Nakamura, F. (1999) A study on lane changing behavior in the vehicle of jeepney stops in Metro Manila, 土木計画研究・論文集, No.16, pp.1001-1008.
- 3) 中村英樹, 桑原雅夫, 越正毅 (1992) 折り込み区間の交通容量算出シミュレーションモデル, 土木学会論文集, No.440/IV-16, pp.51-59.
- 4) 小原誠, 高橋伸夫, 坂本邦宏, 久保田尚 (1996) 路上駐車追い越し挙動の類型化とシミュレーションシステムの開発, 第16回交通工学研究発表会論文報告集, pp.109-112.
- 5) 交通工学研究会[訳](1987) Highway Capacity Manual (道路の交通容量), コロナ社