

I-12 パーソナルコンピュータを用いた信号交差点間隔決定のための支援システムに関する研究

Research concerning support system for decision at signal intersection intervals which used personal-computer

栗本 譲* 松本 幸正** 小倉 俊臣***
 Yuzuru Kurimoto Yukimasa Matsumoto Toshiomi Ogura

[抄録] 本研究は、街路交通において信号交差点の間隔が原因となり発生する交通渋滞などを極力減らし、安全でかつ円滑な交通流の確保を目的とし、種々の交通流を再現可能なトラフィックシミュレーションを構築し、交差点間隔が交通流におよぼしている影響について述べる。本シミュレーションモデルでは、個々の自動車の挙動を再現可能なマイクロシミュレーションモデルを採用し、実際の交差点内挙動を考慮して任意の道路網を構築可能なモデルにした。このモデルを用いて検証した結果、信号交差点間隔が交通流におよぼしている影響が明らかになった。

[Abstract] The traffic simulation model, which can reproduce various traffic flow, is constructed to cause the interval of the signal intersection in the street traffic, to decrease the traffic congestion etc. which occur as much as possible, and to secure a safe, smooth traffic flow. And this research describes the influence which the intersection interval exerts on traffic flow.

Micro simulation model, by which the behavior of an individual car was able to be reproduced, was adopted. And in this simulation model, it made it to the model by which an arbitrary highway net was able to be constructed in consideration of behavior in an actual intersection. The influence, which the signal intersection interval exerted on traffic flow since it verified it by using this model, was clarified.

[キーワード] ミクロシミュレーション, 追従モデル, 交通流, 交通管理, 信号制御, 交通渋滞, 交差点間隔

[Keywords] micro simulation, car following model, traffic flow, traffic control, signal control, traffic congestion, crossing interval

1. はじめに

道路交通計画が近代都市計画の骨格として極めて重要であり、都市の将来を見越して生活環境が劣悪とならないように十分な計画性をもって企画されなければならない。しかし近年の大都市周辺における自動車交通の混雑はきわめて深刻となり大きな社会問題の一つとなつている。この交通混雑を解消するための方策として、道路建設といつたハード的な方

法が実施されているが、地価高騰や私用地の用地買収難などにより、その施策はなかなか容易ではなく短期的には極めて困難な状態にある。一方、現存する道路網を有効利用するためのソフト的交通運用方策は局所的かつ短期的な交通状態を対象としたものであり、それを評価するためには交通現象を時間的、空間的にその挙動と制御効果を詳細に再現する必要がある。一般にシステムの評価には3種類の方法が考えられている。第1はシステムを数学的モデルで

*: 名城大学理工学部土木工学科 教授 工博 (〒468 名古屋市天白区塩釜口1-501 Tel 052-832-1151)

** : 名城大学理工学部土木工学科 講師 工修 (〒468 名古屋市天白区塩釜口1-501 Tel 052-832-1151)

***: 玉野総合コンサルタント(株) 工修 (〒453 名古屋市中村区竹橋町4-5 Tel 052-452-7213)

表現し、これを解くことによってシステムの特徴を得る方法である。第2は実験により実現象を再現させて確認する方法であり、第3はシミュレーションにより現象を表現する方法である。

道路網上を流れる交通現象の構成要素は極めて複雑で、非線形な要素が多くしかも確率的要因と同時に決定的要因をも含んでいるので、解析的な方法で解くことはきわめて困難である。また道路網等を実験的に建設しデータをとることも莫大なコストと社会的影響を考えると適当でない。したがって広域の交通計画や街路計画で生ずる交通現象を的確で安価に評価する方法としてはシミュレーションによる方法が最適と考えられる。

シミュレーション手法が交通流に適應する考えが1949年の初期に提案¹⁾されて以来、数多くのモデルが作成されているが、そのうちマイクロシミュレーションモデルの代表的なものとしてTRANS²⁾、TRANSYT³⁾、NETSIM⁴⁾、SATURN⁵⁾、CONTRAM⁶⁾我が国では科学警察研究所で開発されたDYTAN⁷⁾日本道路公団の交通流シミュレーション⁸⁾、名古屋高速道路公社の交通流再現シミュレーション⁹⁾等が挙げられる。これらのモデルは個々の車両の挙動に関して詳細な過程を設けて現象を記述し、優れた表現能力を持っているが、プログラム作成の背景、前提、仮定に対する理解不足によりモデルを使い切ることにはなかなか困難である。

街路において交通渋滞の発生する要因として、道路工事、交通事故や信号待ちなどが考えられる。なかでも信号交差点における交通渋滞は大都市で特にひどく慢性的なものとなっている。現在、交差点に信号機を設置する基準として、自動車交通量、横断歩行者数、過去の交通事故発生状況、付近の環境状況、信号機の設置間隔などから交通管理者の総合的な技術判断によっておこなわれていることが多い。しかしながら、明確な基準というものはなく、道路交通管理者の経験に頼るところが大きいと言われている。

本研究では、交通流の現象解析をおこなうため、パーソナルコンピュータを用いて道路交通流内の車両挙動を解析できるソフトウェアを開発し、任意の交通流を再現することにより複雑な交通信号交差点間隔決定のための解析支援システムを構築した。こ

のシミュレーションモデルを用いて、街路における信号交差点の間隔が交通流におよぼしている影響を評価したものである。

2. シミュレーションモデル

シミュレーションモデルには車の数台をひとまとめにして表現したり、交通流を流体として表現するマクロシミュレーションモデルと、車一台一台を追跡して表現するマイクロシミュレーションモデルがある。

本シミュレーションモデルでは、街路における自動車交通流の走行挙動を詳細に表現するためマイクロシミュレーションモデルを採用した。

2-1 基本車線

本シミュレーションモデルのシステムモジュールは基本車線である。基本車線¹⁰⁾は車道幅員 W_m (一車線幅)、長さ L_m の単路でその先端に信号機を設置したものである。

基本車線はモデル化対象地域の道路・交通条件に適合するように適時組み合わせることにより道路網を構成することができる。また、基本車線を並列に並べたものを基本ブロックとし、多車線道路を表現する。この基本ブロックを直列に接続することにより道路条件の異なった道路延長を表現する。ここで、基本車線の先端にある信号機は実際に信号機の設置されている場所については信号制御サブルーチンで演算処理した信号現示をするが、信号機が実際に設置されていない所では常に背現示とすることで信号機が設置されていないのと同じ状態にした。

2-2 車両情報

基本車線内を走行する車両の情報を収集するため、各車両毎に現在の車両の位置、走行速度、希望速度、基本車線への流入時刻、発地、着地、車種、走行状態判定記号、待ち時間、車線変更記号および研究対象地域への流入時刻の11情報を持たせて走行させた。

このうち初期値として希望速度、発地、着地、車種、および研究対象地域への流入時刻を与え、基本車線流入時刻は基本車線完走時ごとに変化し、残りの5情報はスキャンニングタイム(0.2秒:任意)ごと

に計算判定される可変情報である。

また、別に各基本車線内で先頭となった車両に基本車線番号、流入予定基本ブロック番号、流入予定基本車線番号、基本車線の信号現示、ジレンマ時間および発進遅れ時間を計算して与えている。

2-3 車両の走行挙動

車頭間隔、走行速度、希望速度、信号現示、および基本車線の先端までの距離により7種類の走行挙動をとらせた。

- ① 自由走行車:希望速度での走行可能な車両
- ② 追従走行車:希望速度にまだ達していなく前両の速度で走行している車両
- ③ 加速走行車:希望速度にまだ達していなく車頭間隔が充分にあり加速可能な車両
- ④ 減速走行車:車頭間隔が短くなり現在速度での走行ができず減速中の車両
- ⑤ 停止車 :車頭間隔が短くなり停止状態になった車両、待ち時間が発生
- ⑥ 強制停止車:信号機の赤表示によって停止する車両、待ち時間が発生する
- ⑦ 強制減速車:車線変更などのために車頭間隔が短くなり減速している車両

これらの走行挙動の内、強制停止と強制減速状態は通常の停止や減速状態に比べて急激な挙動とし、また、強制停止状態を少しでも緩和するために信号機の黄表示でも一部の車両の通過を許すジレンマ時間を設定したり、ある速度以上で停止線に到着した車両の通過を許した。

2-4 ブロック接続表

基本ブロックを接続し所望の道路網を構成するとき、各基本ブロックの接続順序関係を示すのがブロック接続表である。ブロック接続表は各基本ブロックを完走した車両が、それぞれの目的地に到着するためには次にどのブロックに流入すればよいかを示す表である。ブロック接続表はマトリクス表示で最左列に対象地区内に存在する基本ブロックのうち、流出基本ブロックを除いた基本ブロック番号を、最上行に着地番号を記入し、要素に次に流入する基本ブロック番号を記入したものである。したがってブ

ロック接続表で相対位置を決定するため、基本ブロックに一連番号を付与しなければならない。

3 右左折車の走行挙動調査

青信号で交差点に流入した右左折車及び歩行者の挙動を調べるために、平成8年9月2日(月)～10月9日(水)の間に片側2車線でこれに交差する1車線の名古屋市天白区植田一本松、植田西、下原、平針、瑞穂区弥富通一丁目の5交差点でビデオカメラで挙動を撮影しこれを解析した。各交差点とも交通量は両車線で約1400台/時間、観測時間は07:30～09:30の約2時間である。

3-1 右折車の処理

青信号で交差点に流入した右折車は、交差点中央まで進み、対向車線の車両ギャップを見つけてまず交差し、つづいて横断歩行者のギャップがあれば流出することができる。そこで交差点中央まで進んだ右折車が流入予定の対向車の前車との車頭時間をSA、後車との車頭時間をSBとして計測した。横軸にSAを縦軸にSBを取り、計測値をプロットし、その一例として流入可能な場合を○印で、流入不可能車を●印で表したものを図-1でしめす。

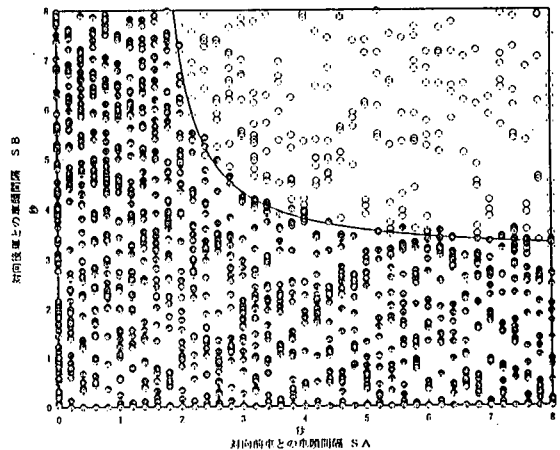


図-1 対向車両の車頭時間の測定値

そこで○印と●印との境界を連ねる回帰曲線を探ると(1)式が得られた。

$$SB = 2.0 / (SA + 1.5) + 3.0 \quad (1)$$

ただし SA: 右折車と対向前車との車頭時間(SEC)
SB: 右折車と対向後車との車頭時間(SEC)

シミュレーションでは対向車両ギャップ間隔がSA, SB以上のとき流入させるものとした。

3-2 横断歩行者の挙動

右左折車は横断歩行者の有無によって右左折が不可能となる。図-2に歩行者用信号が青になってからの時間に対する横断歩道上にいる人の数を実測した値を示す。ここで、赤になってもまだ横断歩道上に存在する人もいるが、本研究では青点減完了時までの歩行者を対象とし、横断歩道上にいる数、平均8.17人、標準偏差4.68を得た。

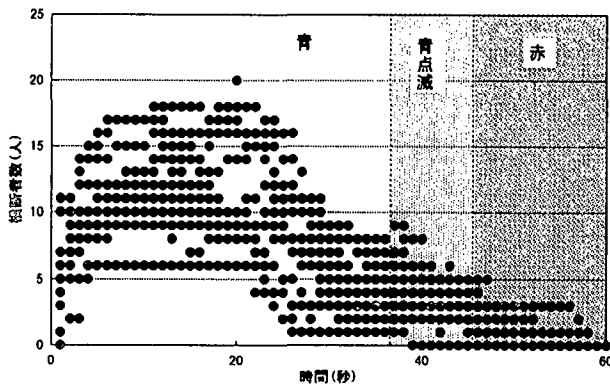


図-2 横断歩行者数の実測値

横断歩行者による停止確率に関する要因は、横断歩道上のある部分(コンフリクトゾーン)の歩行者密度なので、これより回帰式を求めると(2)となるので停止確率Pを求めて、流入処理中に求めた一様乱数(RN)とPとを比較して一様乱数が大きい時に車両を通過させた。

$$P = 100(1 - e^{-BD}) \quad (2)$$

ここで P:停止確率 (%)
 D:コンフリクトゾーン内の歩行者密度 (人)
 B:0.18+0.0051V₀ V₀:1サイクル当たりの歩行者

4. シミュレーションモデルの検証

計算に用いたパーソナルコンピュータは、比較的誰にでも使用できるPC-9821 V200/S7を使用した。

4-1 シミュレーションモデルの概要

このシミュレーションモデルはFortran PowerSta

tion(Windows95)を使用し、最大4次元の配列2つを含めて51個の配列を用いた。配列のうち10個は交通・道路条件のデータを入力するために、12個は演算中の車両情報を他の配列は計算結果を入力するために使用した。

シミュレーションモデルの流れ図を図-3で示す。プログラムはメインプログラムと15個のサブプログラムで構成されており、メインプログラムは約1600ステートメントでサブプログラムは10~30ステートメントの合計255ステートメントである。演算のサイクルタイムは任意に設定できるが走行車両の速度から判断して特に指定がないときは、0.2secとした。

信号機の現示は、各交差点ごとに設定された初期値に従い1.0sec単位で青、黄、青矢、赤の表示を行う。

”流入車両の発生”ルーチンは研究対象区域に流入する車両を発生させ、基本車線の先端から流入させる。”横断歩行者の発生”ルーチンは各交差点で初期値で定められた歩行者数を発生させ横断歩行者による停止確率を求める。

基本車線内での車両挙動は”走行状態の判定”ルーチンにより走行挙動を判定する、また、交差点内部では右左折車両ごと、青と青矢によりそれぞれの挙動を”交差点での判定”ルーチンにより判定する。

各車両の走行挙動が確定すると、”走行距離の計算”ルーチンにより各車両の移動距離が計算され、各車の位置が決定される。ついで、各車両が基本車線を完走したかどうかを”基本ブロック完走車”ルーチンにより判定し、基本車線を完走している車両

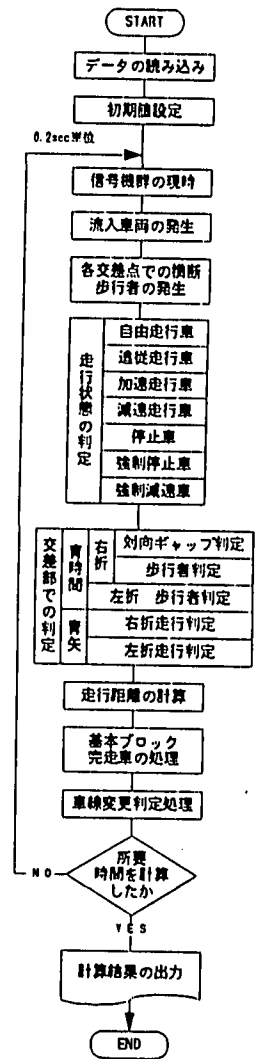


図-3 流れ図

は、ブロック接続表から次の基本ブロックを選び、そのブロックの先端に前車線の情報を持ったまま流入させた。

“車線変更判断処理”ルーチンは基本車線相互間での車線変更を実施するルーチンで、車線変更が許されると流入車線と流出車線間での車両の並び替えを実施する。

計算結果の出力は、走行車両に関する任意の情報を出力することができるが、通常は次の二つの形式で出力できる。一つは、サイクルタイム毎に各基本車線、基本車線毎に走行全車両の情報の出力である。他の情報は、3種類あり、一般情報、速度分布及び車線変更位置の分布に関する情報でいずれの情報も各基本ブロック、基本車線ごとに5分集計と一時間集計の指定が可能とした。一般情報は流出入交通量、区間平均速度、旅行時間、停止時間、停止台数、車線変更回数、大型車台数であり、速度分布は各基本車線の区間速度を5km/h単位で集計した分布表で、車線変更位置の分布は基本車線を10m単位に区切りその間での車線変更回数を示した分布表である。

なお、これらの分布表等をグラフィック処理するようにした。

4-2 シミュレーションモデルの検証

作成したシミュレーションモデルを使い信号交差点間隔が交通流に与える影響を解析するには、本シミュレーションの再現性についての精度をチェックする必要がある。

著者等¹¹⁾が実施した調査のデータと演算結果の比較を行った。調査は、平成3年7月名古屋市名東区高針の県道595線高針牧交差点北向き交通流を対象とした。調査区間は図-4に示すよう一車線道路と交差する一方2車線道路との交差点の約70m上流部分である。時間交通量は約1,000台/時、平均速度35.0~40.0km/hで前方の信号交差点からの影響をかなり受けているようである。実測値を求めるため、8m/mビデオカメラで車両の挙動を撮影し解析した。なお、速度は調査地点の手前約30m区間の平均値である。

車線分布は上下流共ほぼ等しい分布型を示し、車線変更も適時行われて、右左折車の変更も行われて

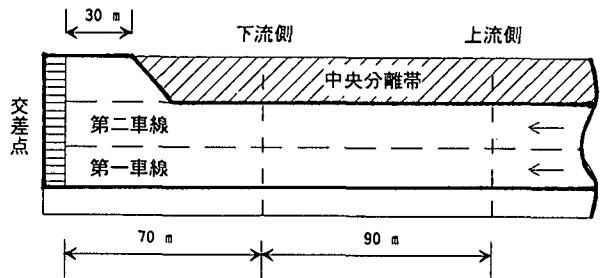


図-4 検証のための調査区間

表-1 実測値と計算値

		下流側		上流側	
		第1車線	第2車線	第1車線	第2車線
交通量 (台/時)	演算値	461	511	488	532
	実測値	450	497	485	536
	比率	1.02	1.03	1.01	0.99
速度 (km/時)	演算値	38.4	42.9	36.1	37.2
	実測値	39.3	41.5	35.6	37.0
	比率	0.98	1.03	1.01	1.01

いる。また、平均速度は両車線とも上流部で約36km/h、下流部で40km/hと下流部の方が約4km/hほど高速で、かつ標準偏差も高く20km/hにも達しており、低速車と高速車がかなり広範囲にわたり分布していることがわかる。

車両の流入は、上流部の50m前方から流入させ、車両の発生から交差点への流出までの調査区間における、実1時間の交通量および平均速度の実測値と演算値との比較を表-1に示した。

交通量は実測値に比べ演算値が下流側でやや多くなっている、これは実際の街路より交差点での処理が比較的良好に行われたものと思われるが、比率(演算値/実測値)をみる限り量的なものとして特に問題にはならないであろう。

平均速度も下流側が高速で実現象とよく似ており、速度分布の標準偏差がかなり高く高低差のあることが伺える。なお、下流側の平均速度が高いことは本調査区間内での車線変更や交差点での影響が及んでいることがわかる。

以上のことから、交通量も平均速度も比率をみるかぎり特に問題となるような値もなく、最大値で3.0%、最小値で2.0%と比較的少なく交通実現象を再現しているものと思われ、本シミュレーションモデル

を用いて同様の道路交通流を評価することが出来るものと考えられる。

5. 交差点間隔の影響

本研究では、最も一般的に存在している道路として、一方向2車線道路と一方向1車線道路が平面交差点で交差し、2車線道路側には右折専用車線を付設し、これに対応するように信号機を青、黄、青矢、赤を表示する4現示信号機とした区間を、基本ブロックとした。

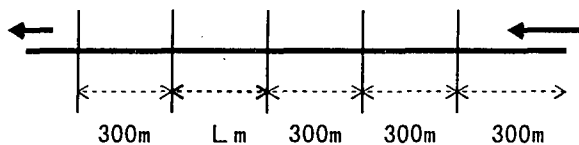


図-5 信号交差点間隔

基本ブロック内は2個の基本車線からなり、その先端に長さ30mの右折占用基本車線を設けた。この基本ブロックを5つ接続させた対象路線を設定し、この内1つの信号交差点の間隔(Lm)を変化させることにした。これを図-5に示す。

5-1 信号交差点間隔の影響による平均速度

各交差点間隔は300mで一定とし、4つ目のブロックの交差点間隔Lmを300m、200m、100m、50m、30mと変化させた。また、基本ブロック内に入ることができる車両の台数もこれに伴って変化させた。

次に、交通量が比較的少ないときとして、1000台/h(第1車線:500台/h, 第2車線:500台/h)の流入交通量を与えた場合、交通量が比較的多いときとして、2500台/h(第1車線:1250台/h, 第2車線:1250台/h)の流入交通量を与えた場合について検討した。また、

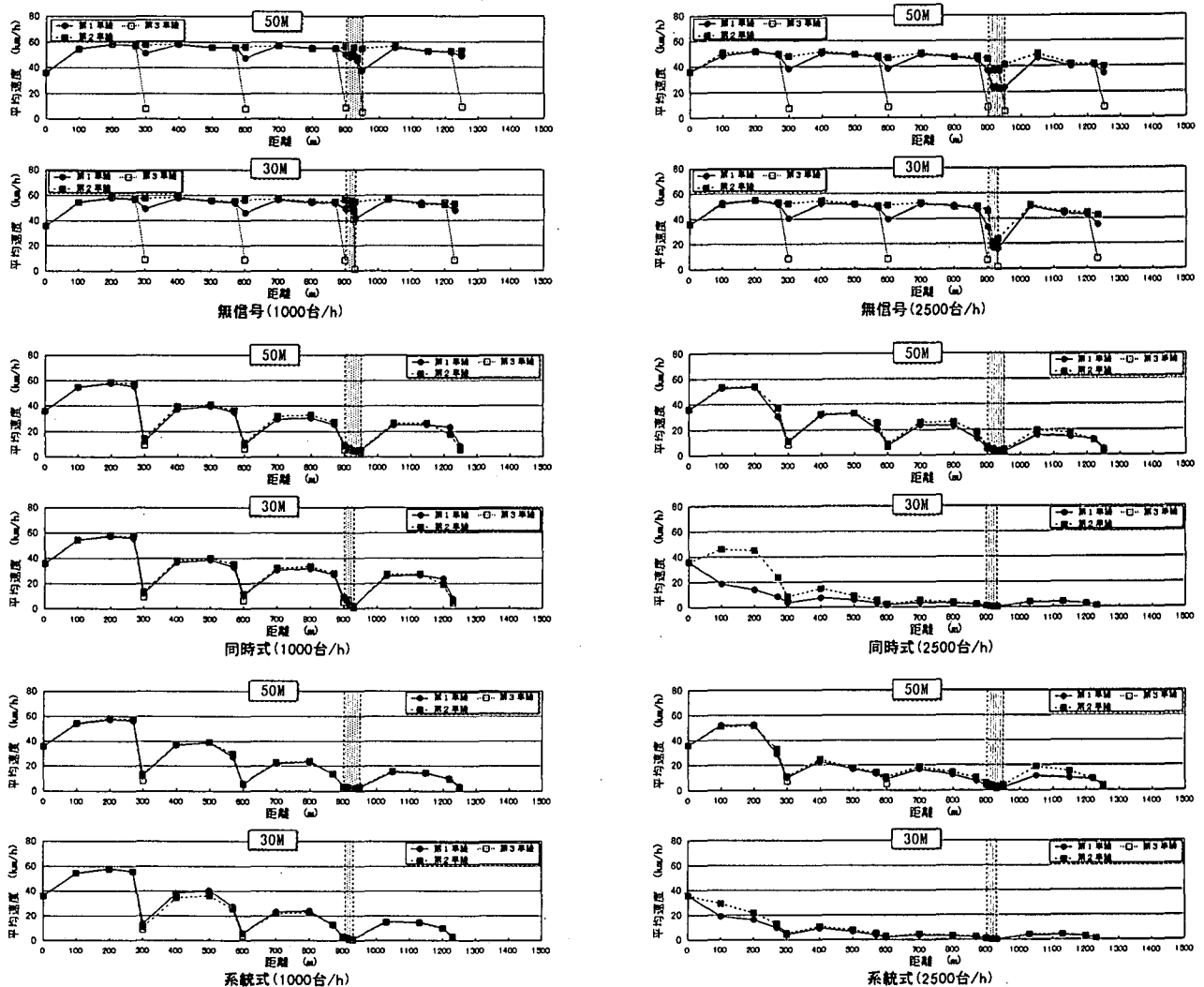


図-6 交差点間隔による平均速度

対向車の交通量は常に1000台/h(第1車線:500台/h、第2車線:500台/h)を与え、交差道路は各道路ともに200台/hを与えた。

これらの交通量条件のとき、“無信号の場合”(常に青表示なので車両は通過していくが、右左折車は減速して流出する。)、ただし信号機は無いが右左折車のみ流出し流入交通量はない場合を考慮している。“同時式の信号制御をした場合”(各交差点で同じ現示にする。サイクルは80秒、青表示60秒、黄表示3秒、赤17秒(右折車線:右折矢印5秒、赤表示12秒)である。)、”系統式信号制御をした場合”(最も有効に車両が通過できると思われる最適Offsetの考え方を採用し、対向車との交通量の比率からThrough Bandを最大にする優先方式によって決定した。)の3種類の場合について、それぞれについて演算し評価した。なお、演算結果を実1時間あたりに通過した車両の平均速度と距離との関係を図-6で示す(本例の交通量で実1時間を演算では約5分を要した)。

“無信号交差点の場合”、車両は初期速度10.0m/s(36.0km/h)で発生し徐々に加速し、交通量が少なければ希望速度16.0m/s(57.6km/h)で通過している。また、第1車線は左折車の影響、第3車線は右折専用車線であるので右折車の影響のために平均速度が減少している。しかし、交通量が多くなったとき希望速度より2~10km/hほど平均速度が遅くなる。また、交差点間隔が30mではこの区間で極端に平均速度が遅くなっている。

“同時式の信号制御をした場合”、希望速度で車両は通行できず、およそ20~30km/hの速度で通行している。また、交差点の手前で信号の影響によって、どの車線でも平均速度が減少している。交通量が少ないときは交差点間隔が狭くなった所だけ平均速度が遅くなっているが、交通量が多くなると交差点間隔30mになると交差点間隔を狭めた地点よりも上流側でも平均速度が極端に低下し、渋滞の発生が確認された。

“系統式の信号制御をした場合”では、同時式の信号制御をした場合と同じような傾向を示した。しかし、交通量が多くなったときに交通量が少なきよりも10km/hほど平均速度が低下し、交差点間隔

50mになると交差点間隔を狭めた区間よりも上流側で平均速度が極端に低下し、渋滞の発生が確認された。

この結果、交通量の大小に関わらず交差点間隔が300~100mであればほとんど交通流に影響がないことがわかった。しかし、交差点間隔が50mより短い場合には交通流に大きな影響があらわれ、渋滞の発生がみられた。

また、本論文では区間内の平均速度から渋滞発生を評価したが、区間内での車両停止台数、車両の停止時間などからも同様に渋滞発生の傾向があらわれ、交通量によって信号制御の優位性についてもわかった。

5-2 信号交差点間隔の評価

このシミュレーションモデルによって検討した交差点間隔の交通流(本例のような交通量、右左折率の場合)に与えている影響が表-2の通りである。

交差点間隔が交通量が少ない時には交通流にほとんど影響を与えていないが、交通量が多い時は交差点間隔が50m以下で渋滞が発生していることが明らかとなった。

表-2 交差点間隔の評価

信号 制御法	交通量 (台/h)	交 差 点 間 隔 (m)				
		300	200	100	50	30
無信号	1000	◎	◎	◎	◎	◎
	2500	◎	◎	◎	○	△
同時式	1000	○	○	○	△	△
	2500	○	○	△	△	×
系統式	1000	○	○	△	△	△
	2500	○	○	△	×	×

◎非常によく流れる ○よく流れる
△ゾーン内のみ流れにくい ×渋滞

信号制御の方法によっても多少ではあるが交通流に与えている影響に差が見られた。一般的には交通量が多い時には同時式信号制御が適し、交通量が少ない時には系統式信号制御が適していると考えられている。これは交通量が少なければ系統速度で走行できなく、同時式信号制御で車群として通過させる方がよいためである。実際の街路では交通量が多い

ときには、ほとんど同時式に近い系統式の信号制御がおこなわれていることが多い。これは、本研究の結果からも交通量が多い場合での同時式の有効性が示された。

6. おわりに

街路交通の交通信号機間隔が原因となり発生する交通渋滞を減らすために作成した、シミュレーションモデルは街路交通流の車両走行挙動を評価するために、比較的簡単なルールのもとで構築したモデルであり、現実の自動車走行挙動をかなり忠実に再現できている。また、汎用性も高く、これ以外の交通現象解析のための交通流評価にも利用可能であり、実用性の高いモデルである。

本研究において得られた成果の主なものを要約すると次のようである。

(1)システムモジュールに基本ブロックを採用したため、柔軟性があり、拡張性に富んでいる。道路・交通条件の変化はもちろん、信号機に関する情報も比較的簡単にモデル化し得ると共に複雑な道路網も基本ブロックを簡単に継ぎ合わせるだけで作成する利点がある。

(2)パーソナルコンピュータを用いているため比較的容易に演算が可能であり、且つグラフィック表示が可能であるため、交通流に経験の無い人達にも図表表示が可能である。

(3)WORK-STATION等に比べると、演算時間がやや長い(本計算例では5分/実1時間交通量)、計算機が自由に利用できることで利用価値があると考えられる。

(4)交差点内の右左折車両の挙動も比較の実現象に近く対向車や横断歩行者に対し充分配慮されている。

(5)最適オフセットを加味した、系統信号制御手法を組み入れているため系統信号についての処理評価が可能である。

なお、本研究では作成したシミュレーションモデルで信号交差点の間隔の影響を評価したが、このモデルによって、この他にも信号機群の評価や交差点内の自動車走行挙動の評価などにも利用が可能と考

えられる。

なお、本研究に関して文部省科学研究費(基盤研究(C)(2))の援助を受けたことに感謝したい。

参考文献

- 1) Gerlough, D. L. and M. J. Huber: Traffic Flow Theory, T. R. B. special report 165, pp. 175~176, 1975
- 2) Ross, P. R. and D. Gibson: Review of Road Traffic Network Simulation Models, Transp. Res. REC. 644, PP. 36~41, 1977
- 3) Robertson, D. T. and P. Gower: User Guide to TRANSYT version 6, TRRL Supplementary Report 255, 1977
- 4) FHWA(1992). TRAF User Reference Guide. Publication No. FHWA-RD-92-060. U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Mclean, VA.
- 5) D. Van Vliet and M. D. Hall: SATURN 8.3-A User's Manual-Universal Version, Institute for Transport Studies, University of Leeds, Nov. 1991
- 6) D. R. Leonard, P. Gower, and N. B. Taylor: CONTRAM: Structure of the Model, TRRL Research Report RR 178, 1989
- 7) 木戸伴雄、池之上慶一郎、斉藤威: 街路網における経路探索・交通配分モデル(DYTAN-1)、科学警察研究所報告交通編、Vol. 19, No. 1, 1978
- 8) 丸山勝: 交通流シミュレーションによる渋滞に関する検討、交通工学、Vol. 27, No. 1、pp. 53~58、1992
- 9) 深田清明、川村隆治、吉田禎雄: 交通流再現シミュレーションモデルの開発、第11回交通工学研究発表会論文集、pp. 1~4、1991
- 10) 栗本譲: 道路交通流解析のデジタル・シミュレーションモデル、土木学会論文報告集、第320号、pp. 137~148、1982. 4
- 11) 交通管理対策研究会(栗本譲他8名): 道路工事等に伴う車線占用が一般交通へ及ぼす影響等に関する調査研究、佐川交通社会財団、交通安全対策振興助成研究報告書(地域研究)、Vol. 3、pp. 7~30、1992