

交通流マイクロシミュレーションモデルのパラメータ設定のためのデータ取得に関する一考察

A Study on Data Collection and Setting Parameters for Microscopic Traffic Simulation Model

塚本直幸* 勝呂純一** 笹沼慶与*** 松浦譲**** 大島秀樹*****

Naoyuki Tsukamoto, Junichi Katsuro, Yasutomo Sasanuma, Yuzuru Matsuura, Hideki Ohshima

1. はじめに

我々は、現在、追従モデルをベースにしたマイクロシミュレーションを開発中である。マイクロシミュレーションの開発は、車両（ドライバー）挙動のモデル化、道路構造・道路網のモデル化等の基本的な仕組みの実現とともに、車両挙動の理論的再現性の検証、実交通の再現性の検証が重要である。車両挙動データの収集には、外部からの観測による方法と、車載機器による方法がある。従来から行われている観測例では、ビデオ等による外部からの観測の場合は、速度、車間距離に関するデータは得られても、観測範囲の制約から各車両の連続的な挙動データは得られない。自動車内部から連続走行して観測する場合には、時系列データは収集できても、他車との位置関係が得られない等の問題があった。また、近年実験車によるデータ収集も行われているが、特殊場面での観測であったり、データの公開性等の面で課題があり、利用することが困難であった。近年、GPS 装置が安価となり、比較的容易に位置計測が可能となっている。特に、DGPS を用いれば従来の GPS によるものよりも測定精度を高めることが期待できる¹⁾。従来 GPS 装置を搭載して位置計測を行ったものはあるが²⁾、DGPS を車載して精度検証を行ったものは見当たらない。そこで、独自に走行実験を行い、追従走行する車両データを連続的に収集し、モデルの検証を行ったので報告する。

2. 走行実験

(1) 走行実験の概要

走行実験は、2000 年 9 月 13 日（水）と 14 日（木）の 2 日間にわたり、3 台の車両を追従させて走行した。被験者は、男性 5 人女性 3 人の 8 人で、年齢は 23～65 歳、

運転歴は 3 ヶ月～40 年の多岐にわたっている。走行経路は、一般道（2 車線、4 車線）と阪神高速を含む周回ルートである（表－1）。

車頭距離、前車挙動に対する追従車両の反応等、車両相互間のインタラクションを計測するために、各車両運転者（被験者）に対しては、可能な限り 3 台のプラトゥーン走行を保ちつつも、通常運転しているのと同様の車間距離、アクセル、ブレーキで走行するよう指示した。

A ルートは 4 車線道路であり、B ルートの 2 車線道路よりも相対的に高速走行である。なお、実験時の全体的な交通流動状況は、特に混雑したり空いたりしているものではなかった。走行中、通行障害は特になく、急激なアクセル・ブレーキ操作を必要とするような事象も発生しない、比較的穏やかな走行状況であった。

観測方法は、DGPS により時刻と位置を観測し、車両の車速パルスより速度を求めている。また、同時に運転席からの前方風景（1 台）とドライバーの運転操作（2 台）をビデオ撮影している。なお、加速度（縦、横）、角速度についても観測しているが、今回の解析では用いていない。表－2 に計測項目の一覧を示す。

なお、本実験に用いた計測装置は、1 セット約 30 万円と比較的安価なものである。

表－1 走行実験の概要

実験方法	3 台の車両によるプラトゥーン走行
走行日時	2000 年 9 月 13 日（水） 13:30-17:00 2000 年 9 月 14 日（木） 14:00-18:00
実験車両	コロン、エスティマ、グランビア
被験者	8 人（男性 5 人、女性 3 人： 23～65 歳 運転歴 3 ヶ月～40 年）
走行ルート	A ルート 国道 170 号（大東市地先）4 車線 B ルート 旧国道 170 号（大東市地先）2 車線 C ルート 阪神高速 水走～環状線

表－2 計測項目

観測項目	方法	備考（精度等）
時刻	GPS 時刻	誤差 10 ⁻⁷ 秒
緯度、経度	DGPS	誤差 2m 以下*
速度	車速パルス	±3km/h*
前後左右加速度	センサー	最大 ±2G
角加速度	センサー	最大 ±80deg/sec
方位	センサー	0～359度
前方風景	ビデオ	DV（1台）
運転操作	ビデオ	DV（2台）

* (2) 計測精度で検証を実施。

キーワード 交通行動分析、ネットワーク交通流、マイクロシミュレーション

*正会員 工博 大阪産業大学工学部土木工学科

〒574-8530 大阪府大東市中垣内 3-1-1 Tel 072-875-3001(3721)

Fax 072-875-5044

**正会員 株式会社 長大 ITS事業部

〒110-0015 東京都台東区東上野 5-1-5 Tel 03-5828-9681

Fax 03-5826-7801

***工修 株式会社 長大 ITS事業部

****工博 大阪産業大学工学部交通機械工学科

*****正会員 大阪産業大学工学部土木工学科

(2) 計測精度

(a) 時刻

今回の観測では、DGPS により車両の位置を計測している。GPS では、位置計測のために正確な時刻（時刻同期精度は 10^{-7} 秒）を用いており、追従走行する各車両の計測装置は時刻について十分な精度で同期している。

(b) 位置

位置計測の精度については、静止状態で 2 台の計測装置を同じ位置に置いて検証した。図-1、図-2 は、装置 2 台の約 9 分間の位置計測結果である。今回用いた装置は、緯度・経度ともに最小 $1/100$ 秒の出力で、これは東西方向約 20cm、南北方向約 30cm の分解能である。時間経過とともに位置のぶれは見られるものの、東西方向 2m、南北方向 1.5m の範囲に入っている。また、標準偏差は東西方向 38cm、南北方向 22cm である（表-3、図-3）。

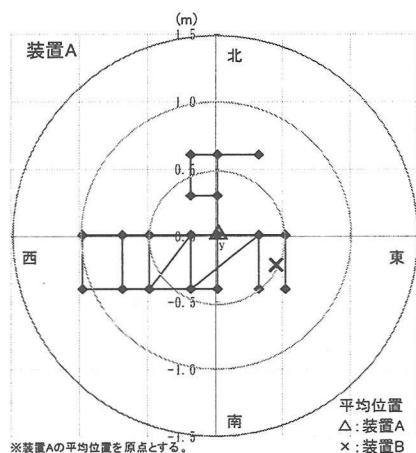


図-1 装置 A の位置の計測値

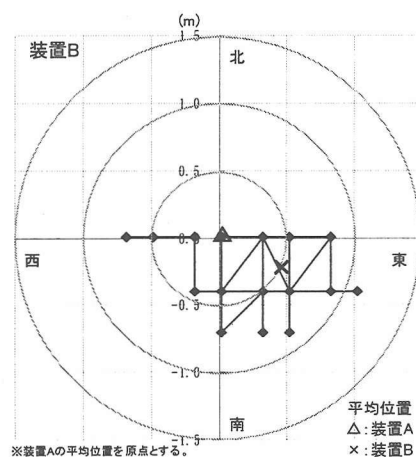


図-2 装置 B の位置の計測値

表-3 計測精度

	装置 A		装置 B		計測値の差
	東西	南北	東西	南北	
平均位置※ (m)	0	0	0.46	-0.24	0.61
標準偏差 (m)	0.38	0.22	0.37	0.21	0.26

※装置 A の平均位置を原点とした。

2 台の計測装置は同規格の製品であるが、図-4 に示すように、計測値は必ずしも一致せず、最大で 1.3m の差がある。両装置の計測値の差を頻度で見ると（図-5）、98% の時間で 1m 以内、平均では 63cm である。このことから、2 台の DGPS 位置計測装置による車間の計測では、誤差 2m 以下の計測が可能である。

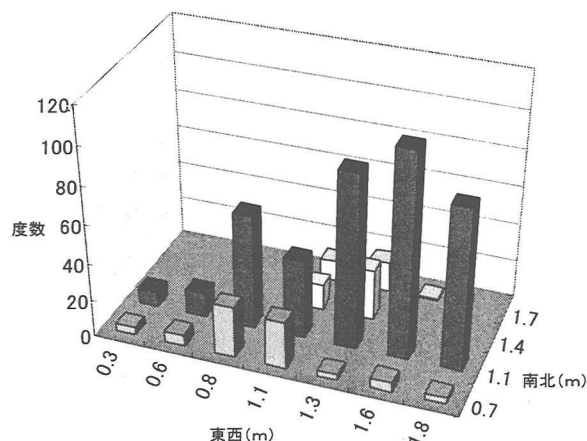


図-3 装置 A の計測値(頻度)

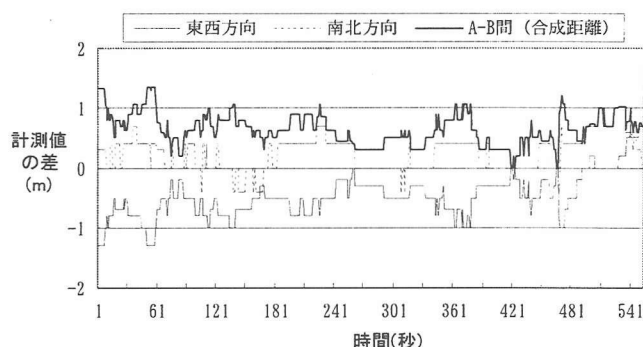


図-4 2装置の計測値の差

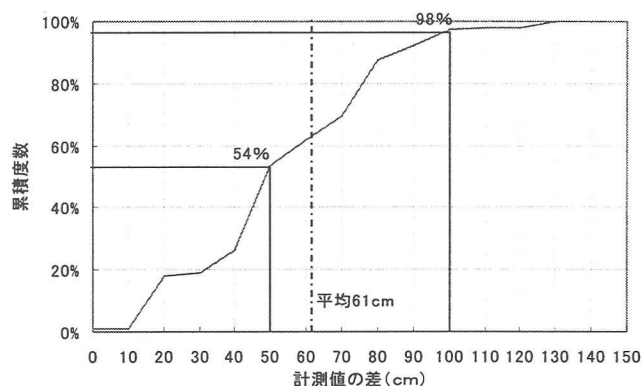


図-5 A-B 間の計測値の差(頻度の累積)

(c) 速度

今回用いた計測装置は、車速パルスをもとに速度を算出している。この装置の速度の精度を調べるために、同時にオノビットによる速度計測を行った。両者は相関係数 0.986、RMS 誤差 2.7km/h であった。

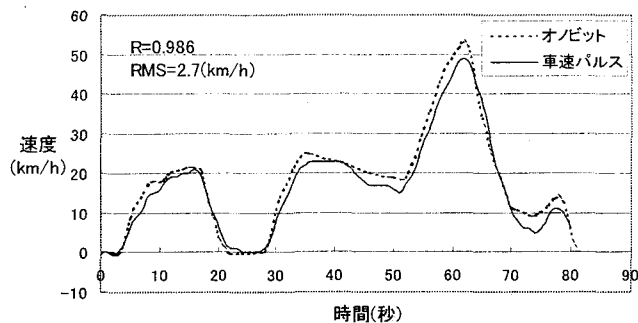


図-6 車両速度の検証結果

(d) 車間距離

今回の計測では、位置、速度を計測している。2 台の位置計測から車間距離を求め、また速度の累積で車間距離を求め、これら2つの方法による車間距離を比較することで精度検証を行った。図-7 にサンプルを示す。

図-7 では、2つの方法による車間距離の相似度は高く、相関係数では0.985 が得られた。また、他の観測ケースについてもほぼ同様の結果が得られている。

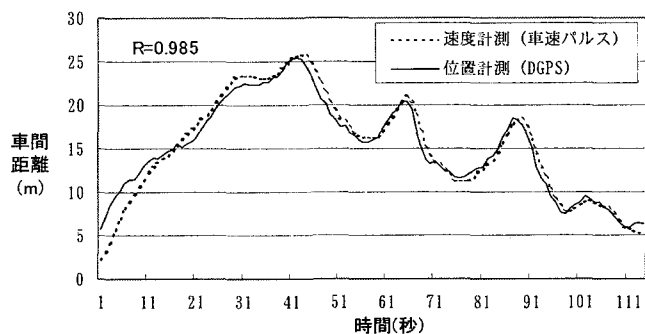


図-7 車間距離の検証結果(例)

3. ミクロ分析

(1) 追従走行挙動

2. で述べた実走行実験データをもとに、一般道において追従走行する車両の、発進から停止までの挙動について分析した。

図-8 は、一般道を10分間走行したときの車両前後2台の速度を比較したものである。この図には車頭距離を表示しており、この間二度車間が大きく開いたが、それ以外は10~30mの車間を維持して走行している。

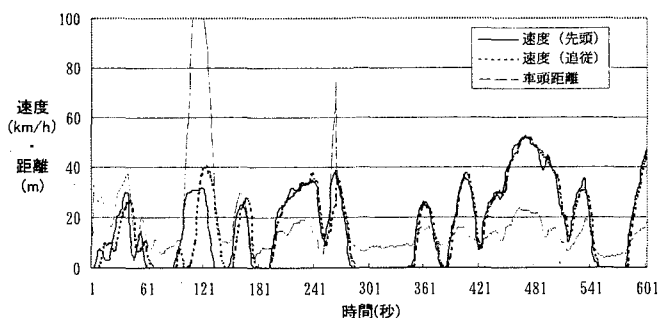


図-8 追従走行10分間の前後車両の車間距離と速度

(a) ヘッドウェイ

図-9 は、上記のデータの発進時部分を拡大したものである。前後の車両は8mの車頭距離で停止している(車間距離は約3m)。先行車が発進すると追従車は2秒程度の遅れで加速を開始する。車頭距離は18m 程になるが、後続車が加速して車頭距離はそれ以上には拡大しない。ヘッドウェイについてみると、発進から約5秒経過すると4~5秒となり、その後比較的長い時間(10秒ほど)をかけて2~3秒にまで小さくなる。

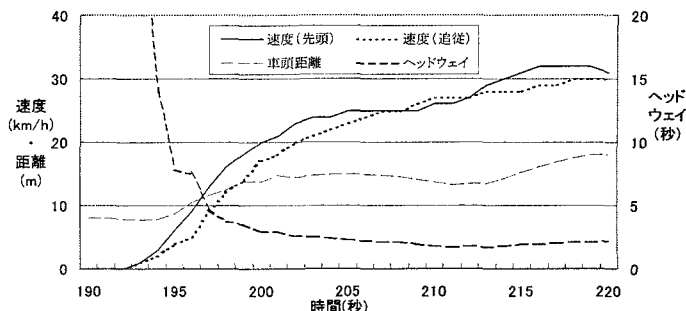


図-9 追従走行発進時の前後車両の車頭距離と速度

(b) 速度変化の遅れ

図-10 は、追従して走行する測定車3台の発進から停止までの速度を示したものである。この先頭車の前には車両はなく、自由走行をしている。先頭車は48km/h まで加速し、そこで加速度合いを緩め52km/h まで加速する。しかし、後続の2台目、3台目の車両はほぼ一定の加速度で約52km/h まで加速を続け、先行車よりも速くなり、その後減速する。先行車の速度変化は緩やかであるが、後続の車両は、先行車の速度の上下を振動するように加減速を繰り返している。

減速に入るときも、後続車の速度が先行車よりも速い状態が繰り返し見られ、後続車は先行車よりも強い減速を断続的に行っている。

また、加速時は凸の速度変化をし、減速時は凹の速度変化をしているが、これは通常の運転操作と一致している。

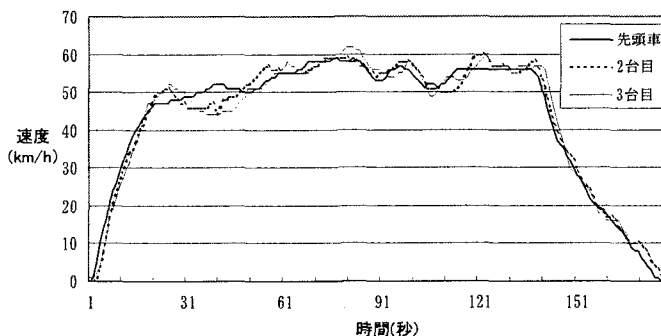


図-10 3台の追従走行時の速度(1)

これらの状況は他のドライバーについても同様に見られ、発進時の加速では後続車は先行車に追従しているが、高速度で走行中の速度変化、停止に向かっての減速時に反応の遅れが見られる(図-11)。

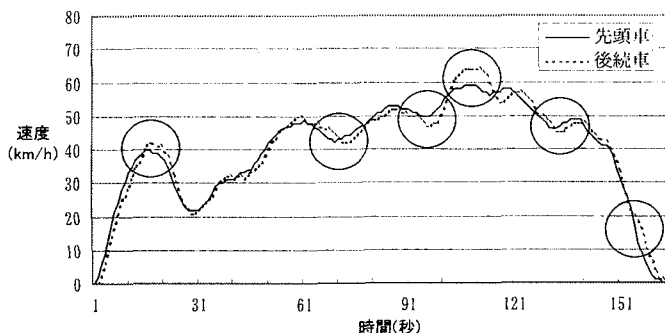


図-11 3台の追従走行時の速度(2)

(c) 反応遅れ時間

追従して走行する2台の車両の時系列速度データをもとに、速度変化の変曲点を求め、その時間差を反応遅れ時間とし、合計約300サンプルのデータを収集した。また、時刻と車外を撮影したビデオをもとに、ドライバー（ドライバー属性）、時刻（昼間、夜間）、車線数（4車線、2車線）、混雑状況（渋滞、非渋滞）、道路種別（一般道、高速道）等の条件データを同時に収集している。

反応遅れ時間を比較すると、個人差よりも交通状況、道路種別による差異が顕著であった。渋滞時・非渋滞時の比較では、非渋滞時2.1秒に対し、渋滞時は2.7秒に拡大している。また、一般道は2.1秒に対し、高速道路では3.4秒と一般道よりも約60%も長くなっている。一方、走行道路の車線数、走行時刻による反応遅れ時間の差は小さい。これらは、ドライバーが速度の変化することを想定した運転をしているかどうかによる差異と考えられる。

今回の実験は、サンプル数は8人と少ないが、運転経歴、年齢、性別の面では多様な属性を集めている中で、個人差は小さく、むしろ交通状況による差異が大きいのという結果になっている。

表-4 平均反応遅れ時間

		平均	標準偏差
一般道のみ	渋滞時	2.7秒	0.7秒
	非渋滞時	2.1秒	0.4秒
	4車線	2.1秒	0.5秒
	2車線	2.2秒	0.7秒
	昼間	2.2秒	0.7秒
	夜間	2.2秒	0.5秒
	一般道	2.1秒	0.6秒
	高速道	3.4秒	1.2秒

(2) シミュレーションを用いたパラメータ推定

実走行実験で収集した追従走行する2台の車両の位置、速度、車間距離データを用いて、追従走行モデルのパラメータを推定する。具体的には、マイクロシミュレーションで先行車を実測値とおりに走行させたとき、後続車の挙動を追従モデルで推計する。その結果の追従車の挙動を、追従車の実測値と比較し、最も再現性の良いモデルパラメータを求める（図-12）。

追従挙動において主要な要因は車間距離と相対速度であり、本研究ではこれらを含む最も基本的なモデル式としてガジス式（式-1）を用いて実験を行った。モデルパラメータは反応遅れ時間（ T ）と刺激反応強度（ α ）の2つである。なお、他のモデルについては、今後検討する予定である。

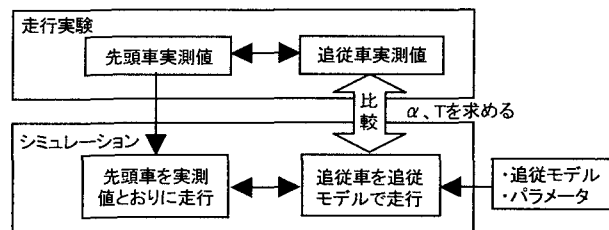


図-12 パラメータ算出方法

$$\ddot{x}_{n+1}(t+T) = \frac{\alpha}{x_n(t) - x_{n+1}(t)} [\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)] \quad (\text{式-1})$$

t : 時刻

$x_0(t)$: 先頭車位置(m)

$\dot{x}_0(t) = v_0(t)$: 先頭車速度(m/s)

$\ddot{x}_0(t) = \dot{v}_0(t) = a_0(t)$: 先頭車加速度(m/s²)

$x_n(t)$: n 台目追従車位置(m)

$\dot{x}_n(t) = v_n(t)$: n 台目追従車速度(m/s)

$\ddot{x}_n(t) = \dot{v}_n(t) = a_n(t)$: n 台目追従車加速度(m/s²)

T : 反応遅れ時間

α : 刺激反応強度

図-13は、反応遅れ時間を0.2～2.0秒、刺激反応強度を2～40としたときの、追従車走行の再現性を相関係数でみたものである。刺激反応強度は6を中心とした狭い範囲に、反応遅れ時間については0.2～2秒の広い範囲に、適合度の良いパラメータ領域がある。反応遅れ時間が小さいときは刺激反応強度の感度は鈍いが、反応遅れ時間を大きくすると刺激反応強度の少しの変化で再現性は極端に悪くなる（例えば $T=1.2$ のとき、 $\alpha=16$ なら相関係数は0.84だが、 $\alpha=18$ だと相関係数は0.26）。なお、このケースの場合には、再現性の良いパラメータは $\alpha=6$ 、 $T=0.2\sim0.9$ であり、そのときの相関係数は0.97、%RMSは12%である。

なお、パラメータの分布範囲の状況は、他のドライバーについても同様の傾向が見られる。

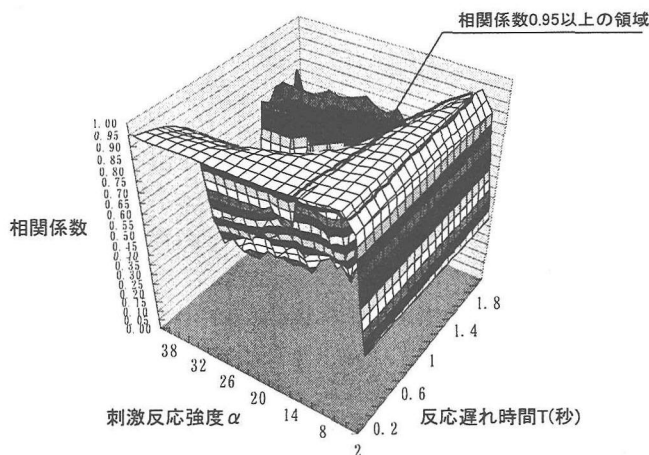


図-13 再現性の比較(実測値とシミュレーション値の相関係数)

次に、刺激反応強度を6に固定し、反応遅れ時間を変えたときの追従挙動の再現性の詳細を調べた(図-14、図-15)。反応遅れ時間が0.5~1.0秒の時は、発進時、定常走行時、一時的減速時、停止に向けての減速時、のいずれについても比較的良く再現できている。反応遅れ時間を1.5秒とすると、追従走行の全体的傾向は再現しているが、細かな速度変化が見られ、反応遅れ時間を2.0秒とした時は、過剰反応の速度変化をしている。比較のために刺激反応強度を10とした場合も行ったが、反応遅れ時間を1.5秒以上とすると追従車の速度は振動する。

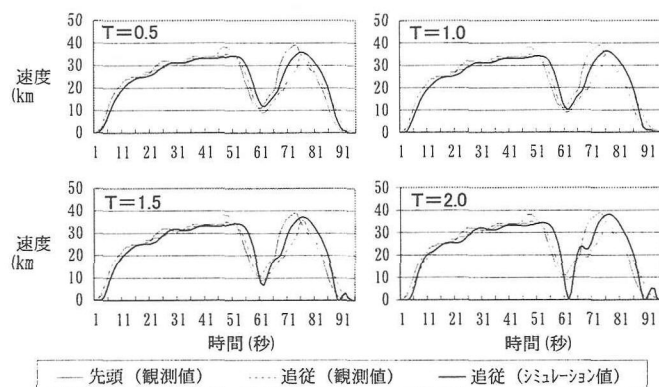


図-14 シミュレーション結果($\alpha=6$)

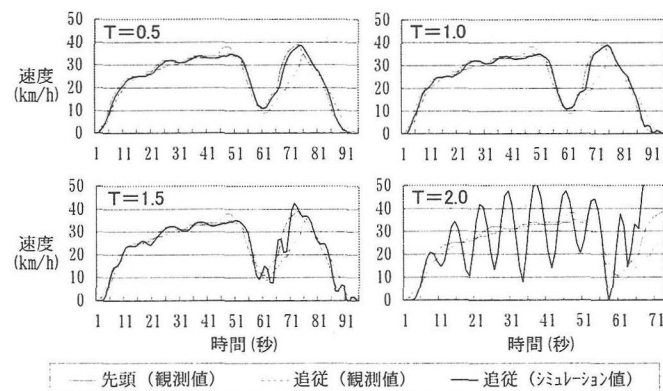


図-15 シミュレーション結果($\alpha=10$)

(3) 追従走行再現シミュレーションのまとめ

本研究は、一般道の実交通の中で観測した追従走行データをもとに、マイクロシミュレーションでの再現性を検討したものである。この結果、再現性の良い追従式のモデルパラメータの存在域を示し、また、再現性に対する刺激反応強度の感度は敏感であることを示した。今回は、交差点間の発進から停止までを一単位に検討したが、この間の挙動の再現状況からパラメータ値を特定することは出来ていない。しかし、別の表現をすると、パラメータ値は多少異なっても追従走行の再現性にさほどの違いは生じないとも言える。

4. まとめと今後の課題

本研究は、マイクロシミュレーションのパラメータ設定のために、実交通の中で3台の車両の追従走行データを収集し、追従走行の再現性を検討したものである。

観測には比較的安価な計測機器を用いているが、位置、車間距離については2m以下の精度で観測が可能である。速度についても時速約3km/hの精度であり、交通挙動の観測方法として有効な手段であることが分かった。

マイクロシミュレーションによる追従走行の再現については、追従式のモデルパラメータの存在域を示し、また、再現性に対する刺激反応強度の感度は敏感であることを示した。

実交通観測結果による後続車の反応遅れ時間は2~3秒である。一方、マイクロシミュレーションにおける適合度の良い反応遅れ時間は2秒以下である。今回の再現性検討では、この点に関しては説明できていない。追従モデルは、いわば滑らかに走行する時の前後車両の速度(加速度)の関係を表すものであり、実験で観測した反応遅れ時間とは異なるものと考えられる。このような瞬間的挙動の反応遅れと滑らかに追従走行する時の反応遅れを区別してモデル化していくことが必要であり、今後の課題と言える。

また、再現性の評価方法、評価項目、要求精度は、シミュレーション対象の交通現象のレベルにも関係する問題でもある。例えば、広域ネットワークを対象とするマイクロシミュレーションの場合には、瞬間瞬間の再現よりも交差点間の交通状況が再現できれば十分な場合もある。これらの点を考慮しつつ、実交通データの量的・質的拡大と、マイクロシミュレーションの再現精度の確認を継続して行う予定である。

参考文献

- 1) 土屋 淳、辻 宏道；GPS測量の基礎、(社)日本測量協会、1999、pp.26-28
- 2) 今村 彰隆、佐藤 正志；2衛星GPSにおける高度と時計誤差について、平成6年度電気関係学会関西支部連合大会講演論文集、1994、G8-9

- 3) 中村 良太、赤羽 弘和；複数のビデオカメラによる
車両軌跡の連続観測システムの開発、土木計画学研究・
講演集 22 (1)、pp. 575-578, 1999
- 4) 清水 哲夫；走行支援システムの影響評価のための合
流部運転挙動のモデル化、土木計画学ワンディセミナー

シリーズ 23 ITS-効率的な道路利用に向けて (2)、pp57-71、
2001

交通流マイクロシミュレーションモデルのパラメータ設定のためのデータ取得に関する一考察

塚本直幸 勝呂純一 笹沼慶与 松浦譲 大島秀樹

追従理論をベースとした交通流マイクロシミュレーションモデルを構築するためには、複数車両間のインタラクティブな挙動を時間連続的に観測する必要がある。そこで本論においては、GPSにより各車の位置と速度を計測する装置を複数の車両に搭載し、連続走行させて相互の関連を把握する走行実験を行い、各車の速度、車間距離、反応遅れを計測した。その結果、比較的安価なシステムでこれらのミクロなデータを収集することができ、また、交通状況、道路状況等による車両挙動の違いを観測することができた。また、これらのデータを用いて、モデルのパラメータ設定を行うことが可能なことが明らかとなった。

A Study on Data Collection and Setting Parameters for Microscopic Traffic Simulation Model

Naoyuki Tsukamoto, Junichi Katsuro, Yasutomo Sasanuma, Yuzuru Matsuura, Hideki Ohshima

The data on interactive actions between running vehicles should be obtained when making microscopic traffic simulation models based on Car Following Theory. In this paper, the data collection method using GPS is proposed. The GPS device installed to each car observes the velocity and location every second and based on those data, the headway and the reaction time-lag data can be calculated. Using this method, the data on various kind of traffic conditions and road conditions can be obtained. The usefulness of the method is apparent by applying the data to our microscopic traffic simulation model.
