

# 意思決定を考慮したトラフィックシミュレータ構築に関する研究

日大生産工（院） ○ 山下 顕 日大生産工 景山 一郎

日大生産工 栗谷川 幸代

## 1. 序論

近年の道路交通の問題として、交通事故の増加、交通渋滞、排気ガス等の交通公害等の発生が挙げられる。これらの問題を解決するべく様々な取り組みが行われてきた。これらの取り組みの一例として、高度道路交通システム（ITS）の技術導入がなされている。しかし、このようなシステムを実交通流に導入するには、ITS機器の有効性を十分検討する必要がある。それ故、これらの問題を考える上で、交通公害や交通渋滞等の現象が起きている時の交通流の再現は重要な意味を持っている。これらの理由により、コンピュータ上でのシミュレーションを行うトラフィックシミュレータの研究が盛んに行われている。

そこで本研究では、交通事故解析、ITS等の新技術導入に対する評価ツールとして、個々の車両特性、ドライバ特性、環境特性等を含んだトラフィックシミュレータの構築を行い、モデルの構築手法の妥当性を確認する。

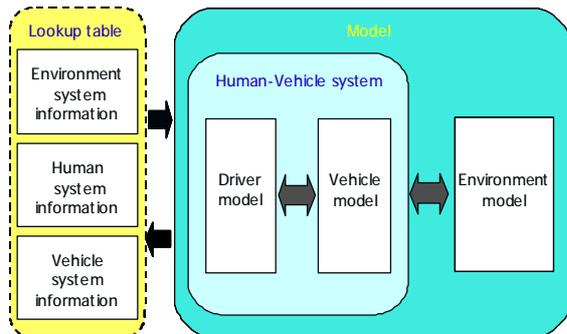


Fig. 1 Model Structure

## 2. トラフィックシミュレータの基本構成

本トラフィックシミュレータの基本構成を図1に示す。シミュレータの基本構成としてモデル部とルックアップテーブル群の二つに分けられる。ルックアップテーブル群には道路情報、ドライバ情報、車両情報の3つに分けられて、モデル部は同様に、環境モデル、ドライバモデル、車両モデルに分けられている。そして、これらの中で各情報の受け渡しを行いながら

計算する。本稿ではモデル部についての構築を行う。本トラフィックシミュレータのモデル部を構築するにあたり、まずドライバの運転行動について述べる。ドライバは、認知、判断、操作を繰り返しながら運転している。本トラフィックシミュレータでは、環境情報を受け取り、ドライバモデルにおいて判断し、操作量を決定する事により車両モデルの入力としている。しかし、このような運転時の意思決定は感覚的なものであり、定量的に扱うのは非常に困難であるとされる。そこで本研究では、ドライバの意思決定までを考慮したトラフィックシミュレータの構築を目的とした。その第一段階として、ドライバの意思決定を考慮した交差点における右折行動モデルについて考えた。本稿では、ドライバの複雑な意思決定を非線形で表現出来るものとして仮定し、モデル構築を行った。

## 3. 右折行動モデルの概要

図2に右折行動モデルの加減速制御モデルの概要を示す。図2に示すように、ドライバは車両の出力である走行状態と道路環境及び対向車の状態をもとにアクセル・ブレーキ操作をするフィードバック系にて構成しているものとする。そしてドライバは、右折車両の走行状態（位置  $x$ 、速度  $v$ ）および周囲の道路交通情報（対向車の位置  $y$ 、速度  $v$ ）を観測し、ファジィ制御によって操作量を決定する。この操作量により車両が加速あるいは減速される。このようにドライバは時々刻々の車両および対向車の走行状態や周囲の交通状況を確認し、交差点を右折するものとして考えられる。

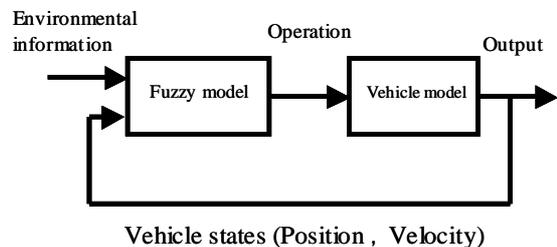


Fig. 2 Construction of Longitudinal Control Model

## Study on Construction of Traffic Simulator Including Decision-Making

Akira YAMASHITA, Ichiro KAGEYAMA, Yukiyo KURIYAGAWA

これより、右折行動モデルの構築に伴ったドライバモデルと車両モデルについての説明を行う。

### 3. 1. ドライバモデル

ドライバの右折行動過程に対し、対向車情報との影響、道路環境との影響などを表現するモデルの構築が必要となる。そこで、本トラフィックシミュレータでは、図3の様な環境モデルを作成し、速度制御モデル部、右折行動モデル部を表現し、各々分けて構築した。本ドライバモデルの構築手法としては、Fuzzy制御の考えを用いた。特に右折行動の意思決定はあまりに個人の感覚的なものであり、定量的に扱うのは非常に困難あるとされる。そこで、本モデルではドライバの判断や行動の度合いを定量的に扱っているFuzzyという概念を用いたモデルにおいて構築した。Fuzzy制御モデルはif-then形式からなる次のような言語制御規則によって構成される。

$$\text{If (y is A and x is B and v is C ...)} \\ \text{then } \Delta U \text{ is D} \quad (1)$$

ここで、 $y$ 、 $x$ 、 $v$ 、 $\Delta U$ はそれぞれ対向車の位置、自車の位置、自車および対向車の速度、操作量の増減を表すファジィ変数である。またA、B、C、Dは上記のファジィ変数の状態を規定するラベルである。例えば、位置の場合“遠い”、“近い”、速度では“速い”、“遅い”といった内容を表すものである。これらの制御規則やメンバシップ関数は主に実験結果より求められる。観測された走行状況や周囲の状況を入力とし、出力である運転操作量を出す方法として直接法を用いる。また合成法としてMax-Minを用いる。そして、判断出力をアナログ値に変換する方法として重心法を用いている。これより、それぞれのモデルについての説明を行う。

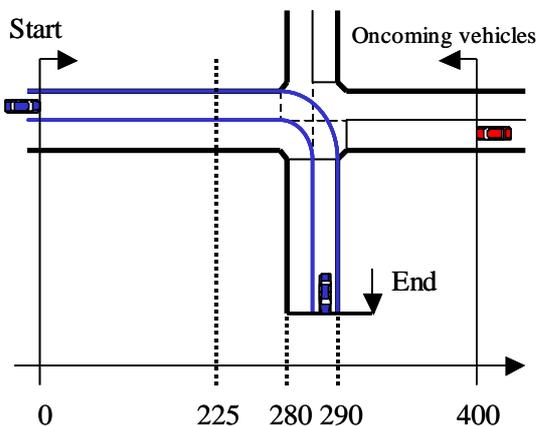


Fig. 3 Environmental Model

### 3. 1. 1. 速度制御モデル

速度制御モデルとは、ドライバが走行中に車両や道路環境など外部からの制限がなかった場合に速度制御を行うモデルである。目標の速度 $V$ と現在の速度 $V_t$ との偏差からドライバの操作量 $\Delta U$ が出力されるものとする。

### 3. 1. 2. 右折行動モデル

右折行動モデルとは、ドライバが対向車の走行状況から右折可能であるか判断し右折操作を行うモデルである。本モデルの入力として、右折車両の走行状況(走行速度 $V$ 、車両位置 $X$ )と対向車の走行状況(走行速度 $V_o$ 、車両位置 $X$ )を用い、ドライバの操作量 $\Delta U$ が出力される。対向車が複数いる場合、1番目の対向車がConflict Point(右折車線と対向直進車線の交差する地点であり、以下 $C_p$ と略記する)を通過した場合、次の対向車の位置を判断される。

### 3. 2. 車両モデル

本トラフィックシミュレータの車両モデルは、図3のように右折車両がこのように一定の軌跡に沿って走行するものとし、モデルから操舵操作を省けるものとして考える。従って、前後方向の運動のみを取り扱うものとする。

右折車両の駆動力 $F$ は、車両の速度に対する走行抵抗 $R$ とドライバからの入力希望駆動力 $T_f$ から以下のように出力される。

$$F = T_f - R \quad (2)$$

この時、

$$T_f = ku(t) \quad (3)$$

$$R = cx(t) \quad (4)$$

$m$ : 車両質量 (kg),  $c$ : 走行抵抗係数 (Ns/m),  
 $k$ : 入力ゲイン,  $u$ : ドライバの操作量とする。

ここで決定した駆動力 $F$ と車重の関係から右折車両の前後方向加速度、前後方向速度、車両位置が決定される。

## 4. トラフィックシミュレータの検討

対向車に衝突せずに右折する場合、ほとんどが意識下での運転行動である。このため、実験データのみから右折行動のモデルを構築するには、ドライバの個性が大きく反映されるため、あまり得策ではない。そこで、本研究ではドライバへのアンケート調査およびドライビングシミュレータを用いた右折行動の模擬実験の結果を、シミュレーション結果と比較・検討を行い検証する手法を用いる。

### 4. 1. ドライバの右折行動分析

まずは右折時の運転行動の詳細を把握するために、アンケートを用いてドライバの右折行動の分析を行った。アンケート内容は、環境の

変化によってどのように右折時の意思決定が変化するか把握する目的で行った。

アンケートは一般市街地の交差点を右折するという状況を想定して行った。対向車がない場合と対向車がいる場合（最大2台）ではどのように右折するか記述してもらった。対向車の速度は一定であるものとする。対向車の位置は交差点の対向車停止地点よりゼロ、近い、中くらい、遠いの4段階に設定した。最後に対向車の位置を自己評価で数値化してもらった。

これより、アンケートの結果における解説を行う。複数の被験者より集計した結果、ドライバは対向車の位置がゼロや遠いと確認した場合、はっきりと判断して右折する傾向が見られ、逆に対向車が近いや中くらいにいると確認した場合、あいまいに右折するかの判断を行う。この場合、対向車の走行速度の状況によって意思決定が変化する。このように、右折の意思決定の変化に対しては、対向車の位置と速度変化に依存している事が分かる。

#### 4. 2. 走行実験

環境条件の違いでのドライバの右折行動の違いを観察するために、Driving Simulator 上（以下 DS）にて右折行動の模擬実験を行った。本実験で用いた DS は電動 6 軸動揺装置や模擬視界発生装置により、高速道路上や一般市街地上をよりリアルな走行感覚を実現する装置である。なお、被験者はアンケートに協力してもらった年齢 25 歳、運転歴 7 年 7 ヶ月、週に 6～7 日の運転頻度が高い男性被験者 1 名とした。

本実験は信号がなく片道一車線の交差点において行った。このコース上に対向車 2 台を設け、対向車には一定速度で一定な車間距離を設けた。被験者にはある一定速度で交差点に進行し、交差点内で対向車を意識した上で右折するように指示した。なお、対向車の走行パターンは被験者の慣れを回避するため、表 1 の車両速度、対向車速度、対向車との車間距離を組み合わせる事により、24 パターンの走行条件をランダムに行い、3 セット分のデータを記録した。本実験によって得られた情報は、自車情報として右折の状態、自車前後方向速度、自車前後方向加速度、X 軸方向の位置、Y 軸方向の位置、アクセル開度、ブレーキ踏力、ウィンカー出力の計 8 項目とした。

計測したデータの一例を図 4 に示す。図 4 は対向車速度が 30[km/h]、対向車の車間距離が 10[m]の条件における 3 回の実験を行った走行結果である。この時の右折状況は、図 4 において点線は実験一回目で対向車が二台通過してから右折している事を示す。次に、実線で表している二本の線は対向車が一台目通過後に右折する模様を表している。このように同条件でも、右折の意思決定が異なる事が見て分かった。これは実験の回数を重ねる事により被験者の慣れの影響により右折に対する意思決定が変化していく事が証明された。

### 5. トラフィックシミュレータの構築

#### 5. 1. 車両特性およびドライバ特性の決定

ここでは本トラフィックシミュレータに用いる車両特性とドライバ特性を決定する。本報告書で用いた車両は普通乗用車を扱い、車両諸元を表 2 で示す。次にドライバ特性の決定についての説明を行う。本トラフィックシミュレータでは Fuzzy 制御によって構築されており、メンバシップ関数と if-then 制御規則について考慮する必要がある。ここでドライバ特性の決定に関しては、アンケート内容および走行実験の計測結果よりメンバシップ関数および if-then 制御規則を設定した。

#### 5. 2. シミュレーションとの比較・検討

走行実験と同様な環境においてシミュレーションを行い、本トラフィックシミュレータの妥当性を確認する。シミュレーション条件としては、対向車速度が 30[km/h]、対向車の車間距離が 10[m]の条件を用いた。

シミュレーション結果を図 5 に示し、走行実験の計測結果の図 4 と比較しながら検討を行う。約 30 秒付近において一時的に速度が急激に低下しており、約 35 秒付近において再び速度が上昇している傾向が見られる。これは約 30 秒付近において対向車を認識し減速する行為、そして約 35 秒では対向車の走行状況により右折するかの判断を行い、右折するための加速を行う行為を表している。以上より、ドライバが対向車を意識した上での意思決定を行っている事を明確に表現している。

Vehicle velocity	[km/h]	30, 40
Velocity of an oncoming vehicle	[km/h]	30, 40
An oncoming vehicle distance between two vehicles	[m]	4, 6, 8, 10, 12, 14

Table. 1 Experimental Condition

### 5. 3. 慣れにおけるドライバ特性の違い

走行実験によって、ドライバの意思決定は慣れの影響によって大きく変化する事が分かった。そこで、本研究で構築したドライバモデルを基にして、意思決定がなされた場合どのようにメンバシップ関数や if-then 制御規則が変化しているか解明する為に、右折行動が異なったモデルを構築し比較・検討を行った。この時の慣れにおけるドライバの特性の違いを簡潔に説明すると、ドライバの意思決定の違いは主に if-then 制御規則が関連しておりメンバシップ関数の形状の変動では特に見られなかった。おそらく、ドライバの右折行動に対する制御規則が以前の条件よりも慣れと言う立場を通じて変化しているという事が分かる。

本トラフィックシミュレータでは、右折時におけるドライバの意思決定の変化と走行実験との定性的な一致が見られたため構築手法の妥当性が確認できたと思われる。

### 6. まとめ

本論文では、意思決定を考慮したトラフィックシミュレータの構築に伴い、交差点内における右折行動に焦点を絞ってモデル化を試みた。そして、走行実験との比較を行うことによりモデルの妥当性を確認した。以下に本研究で得られた結論をまとめる。

- ・本研究において、意思決定を考慮したトラフィックシミュレータの構築に伴い、ドライバモデルとして Fuzzy モデル、車両モデルとして前後方向加減速モデルを用いて右折行動モデルの構築を行った。
- ・構築したトラフィックシミュレータの妥当性を確認するために、DS 上における右折行動の走行実験を行った。
- ・本トラフィックシミュレータでは、右折時におけるドライバの意思決定の変化と走行実験との定性的な一致が見られたため構築手法の妥当性が確認できた。
- ・右折時における意思決定の違いは主に if-then 制御規則が関連しておりメンバシップ関数の変動では特に見られなかった。

今後の予定として、本論文では意思決定のモデル化を行った被験者が一人であったため、意思決定を評価するにあたっては、被験者数を増やし意思決定過程を評価・検討する必要がある。そこで各被験者のモデルの構築を行い、意思決定の個人差による特性比較等の解析が必要になると思われる。

Mass	[kg]	1660
Length	[m]	4.75

Table. 2 Vehicle Specifications

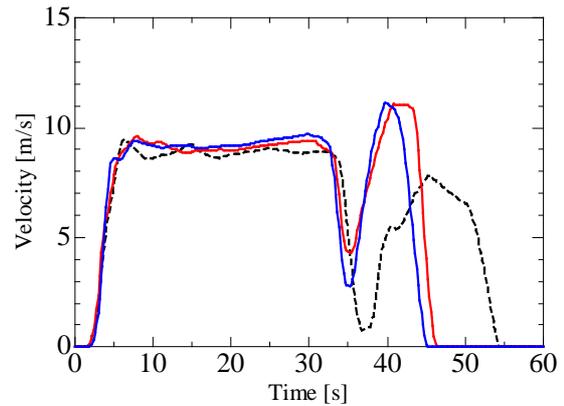


Fig. 4 Experimental Result

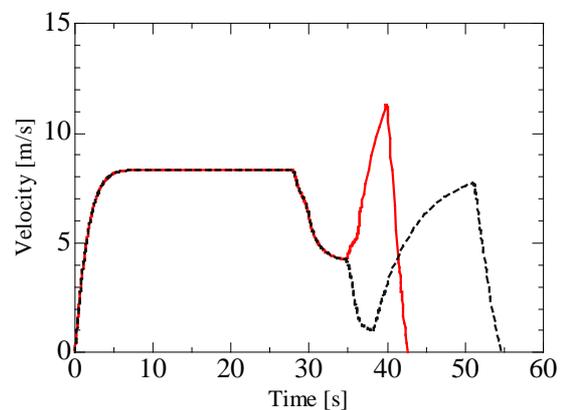


Fig. 5 Simulation Result

### 参考文献

- (1) 永井正夫, 小島幸夫, 佐藤博文, 交差点通過後時の人間-自動車系の研究, 自動車技術会学術講演会前刷集 872, p.449-p.454
- (2) 猪狩國夫, 本田中二, 板倉直明, 道路交通シミュレータのためのファジィ推論における自動車の運転モデル, 日本ファジィ学会誌, Vol.12, No.3, 2000, p.425-p.435
- (3) 喜多雅也, 栗谷川幸代, 景山一郎, ドライバ特性を考慮したトラフィックシミュレータ構築に関する研究, アドバンティ 2004 シンポジウム講演論文集, 2004, p.15-p.18
- (4) 蜷川欽也, 交通流解析におけるトラフィックシミュレータ構築に関する研究, 日本大学大学院生産工学研究科機械工学専攻修士論文