

## 高速道路の合流部の意思決定手法の検討に関する研究

日大生産工 (院)    ○山中    七皇海    日大生産工    栗谷川    幸代  
日大生産工    景山    一郎

### 1. まえがき

現在, 国内の自動車保有台数は約7900万台と飽和状態となっている. それに伴い, 交通事故や交通渋滞が増加し, 深刻な社会問題となっている. 交通事故の原因としては約9割がヒューマンエラーであることが明らかにされており<sup>1)</sup>, 交通渋滞に関しても合流時の速度調整やサグ部分での速度低下であることが明らかにされている<sup>2)</sup>. これらの問題の解決策として, 近年自動操縦に関する研究が盛んに行われている. その一環として現在新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の研究プロジェクトでは, CO<sub>2</sub>削減やドライバ負担軽減, 燃費向上の観点から大型トラックの自動操縦車両を用いた隊列走行の研究が行われている. この研究では高速道路での自動操縦を目的としており, 本線への合流時や進路変更時などの場面において, 実行するための意思決定が必要となる. 過去の合流部に関する研究では, ミクロシミュレーションを目的とした合流部のモデル化に関する研究<sup>3)</sup>や, 交通流の撮影から合流車の合流行動のモデル化を行った研究<sup>4)</sup>, 運転支援策の検討のために苦手ドライバと熟練ドライバの運転行動を比較検討した研究<sup>5)</sup>などがある. しかし, 自動操縦車両を目的とし, ドライバの特性を考慮したモデルに関する研究は行われていない.

そこで本研究ではドライバの特性を考慮するために, ドライバの判断要素を明らかにし, 高速道路における大型トラックによる自動操縦車両のためのアルゴリズム構築を目的とする. その第一段階として合流部での意思決定アルゴリズム構築を行い, シミュレーションを用いて検討を行う.

### 2. 合流部でのドライバ挙動解析

#### 2.1. 実車実験

実際に人間がどのように合流行動を行っているのかを調査するため, 実車による実験を行った. 実験に用いた車両を図1に示す. 実験は産業技術総合研究所テストコース, メインストレート内に図2に示すような合流部を模擬したコースを設置し行った. 計測項目は車両速度, 操舵角, アクセル開度, ブレーキポジション, 緯度, 経度, 前後加速度, 横加速度, ヨーレイトとし, 後続車に関しても車両速度, 緯度, 経度を計測した. 被験者はテストドライバの男性1名, 教示は「ゼブラ区間まで速度を維持してもらい, ゼブラ区間の初めのパイロンから後続車の確認を行ってください. 判断は自由です」とし, 進入速度は自車速度80km/h, 後続車を80km/h, 90km/hの2条件で行った. 尚, 被験者へは後続車の速度を教示していない.



Fig.1 Experimental vehicle

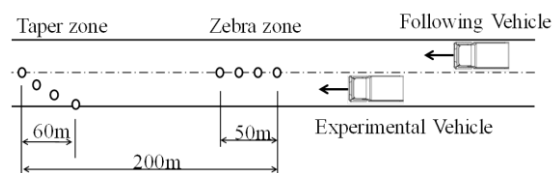


Fig.2 Experimental Course

Construction of algorithm for decision making at the junctions of highways

Naomi YAMANAKA , Yukiyo KURIYAGAWA , and  
Ichiro KAGEYAMA

## 2.2. 実験結果

実験結果の1例を図3に示す。横軸は、ゼブラ区間の終了地点を原点とした距離とし、ゼブラ区間進入から合流終了までの区間を示す。相対距離は実験車両の校端から後続車の前端までの距離をGPSによって計測した。そこで、今回は2つの車両が並んだときは12mと算出されることになる。この実験では30の有効データを計測することができた。

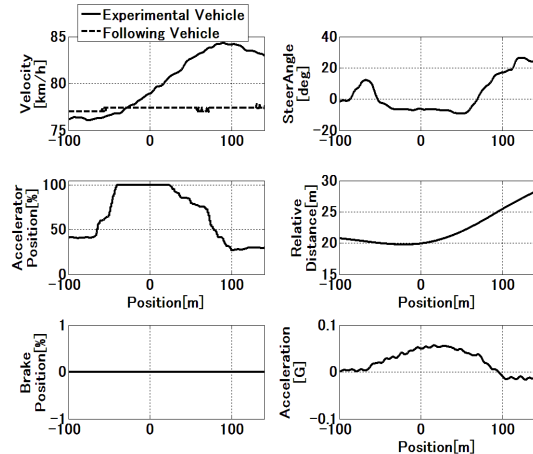


Fig.3 Result of Experimental

## 3. アルゴリズムの構築

### 3.1. システム概要

人間が車を運転する際、他車両や道路情報などの様々な環境情報を認知し、判断、操作を行い、自動車を運転している。提案する自動操縦車両のシステム概要を図4に示す。環境情報から意思決定モデルにて行動を決定し、コースを決定する。その情報を操作量に変え車両に入力しフィードバックしながら制御を行う。この意思決定モデルを環境情報に合わせて切り替えることにより拡張が可能である。今回構築した意思決定モデルを図5に示す。このシステムでは、合流区間と判断した場合に合流行動を始め、合流後は追従行動に切り替えるモデルとなっている。

実験結果を見ると、ドライバはゼブラ区間進入時に後続車を確認後、加減速を行っている。その後、合流可能と判断し操舵を行っていることがわかる。また、後続車の前に合流する場合と後ろに合流する場合とで、ドライバは操作を変えているものと考えられる。このことから、本研究ではドライバの行動を「合流位置選択モデル」「速度調整モデル」「合流判断モデル」の3段階に分類しモデル化する。以下それぞれのモデルについて説明する。

### 3.2. 合流位置選択モデル

ドライバはゼブラ区間に到達したのちにただちに合流位置判断し、加速減速を行っていることがわかる。ドライバの見る情報は相対距離と相対速度だと思われる。そこで、実験結果のゼブラ区間進入時（アクセル・ブレーキ判断時）の相対距離と相対速度の関係と、

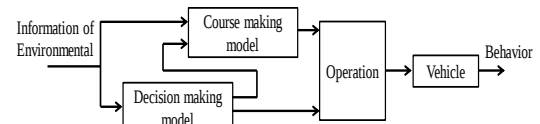


Fig.4 Outline of the algorithm

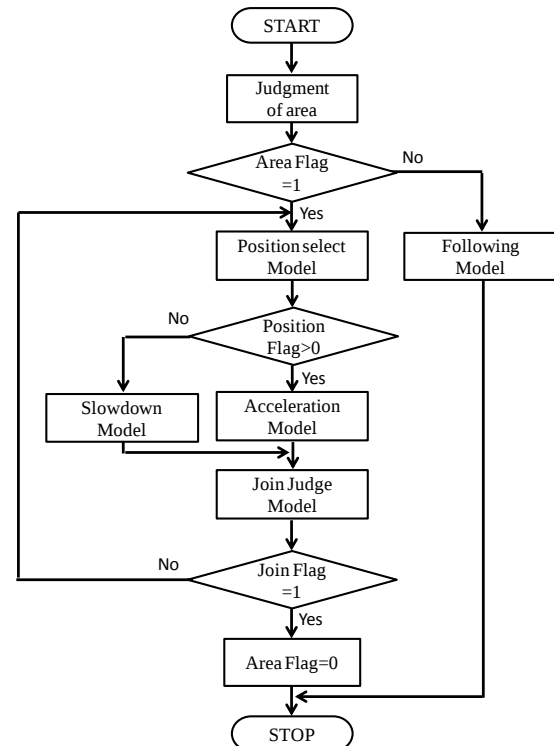


Fig.5 Decision making model configuration

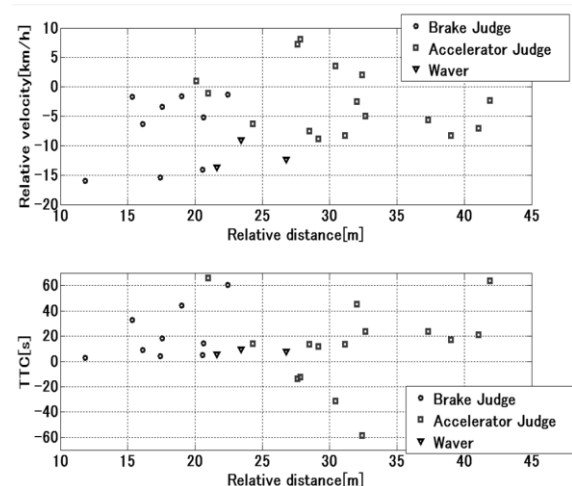


Fig.6 Join position Judge

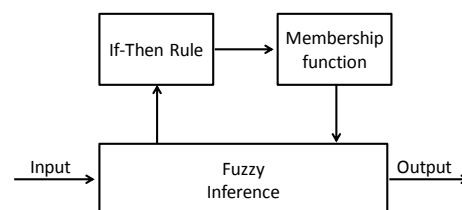


Fig.7 Fuzzy system

これらの相対関係によって導かれ一般的な指標として使われている衝突余裕時間TTC

(Time To Collision) と相対距離との関係を図6に示す。この結果より、少なくとも今回の速度帯では、相対距離が30m以上離れていれば相対距離に関わらず前に合流と判断していることがわかる。なお、TTCとは衝突余裕時間のことで、先行車との相対距離Lと相対速度Vによって(1)式であらわされる。

$$TTC = -\frac{L}{V} \quad (1)$$

また、20m未満では必ず後ろに合流と判断しており、20m付近ではTTCが10s以上の場合に前に合流と判断していることがわかる。これらのしきい値をもとに、合流位置選択モデルの構築を行う。

### 3.3. 速度調整モデル

ドライバは加速区間で加減速を行う際、様々な環境情報からどのくらい加減速を行えばいいのかを決定しているものと考えられる。また、前記したように合流位置によってドライバの操作が変わると考えられることから、モデルを2つにわけて考えることにした。

まず前に合流する場合のモデルについて説明する。モデルの入力としては相対距離、相対速度、自車速度とし出力は自車加速度であると仮定した。ドライバはこのような判断情報を曖昧に判断し操作を行っていると考えられることから本論文ではファジィ推論を用いて表現する。ファジィ推論の概要図を図7に示す。入力情報をメンバシップ関数と呼ばれる非線形なものに変換し、ルール付けにより出力を決定するものである。このファジィ推論を用いる場合に問題となるのがチューニング問題である。本論文では実験結果をもとに出力値との誤差の2乗を最小にする最少数乗法と、誤差が小さくなるようにメンバシップ関数の横軸を変化させる最急降下法を用いて学習させる。

モデルの学習結果として、学習に用いなかったデータでの検証結果を図8に示す。図8より実車実験の結果とほぼ一致していることがわかる。そこで、ドライバの加減速行動をよく表現できているものとして考える。

### 3.4. 合流判断モデル

合流区間での判断は、速度調整を行い、相対距離、相対速度によってドライバが安全であると判断し操舵を行っていると思われる。実験結果の合流可能と判断した点(操舵開始点)のTTCと相対距離の関係を図9に示す。この結果を見ると、前に合流する場合は、相対距離が20m付近ではTTCが10s以上あれば合

流判断を行っているがわかる。これに比べ後ろに入る場合はほとんど並んでいる状態からTTCが-1sより小さくなった場合に合流判断を行っていることがわかる。本論文では、ルール付けを行うことで合流判断を行うモデルとなっている。

### 3.5. 追従モデル

本線へ合流後には前の車両がいる場合には追従、いない場合には目標速度での単独走行となる。本論文では先行車1台のみを考慮し、相対速度、相対距離のみによって速度制御を行う簡単なモデルを用いることで表現する。

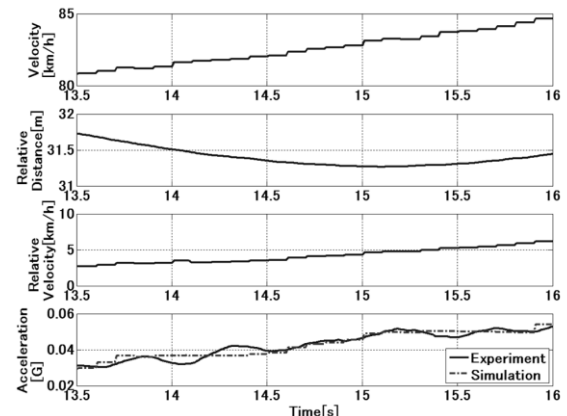


Fig.8 Model Check

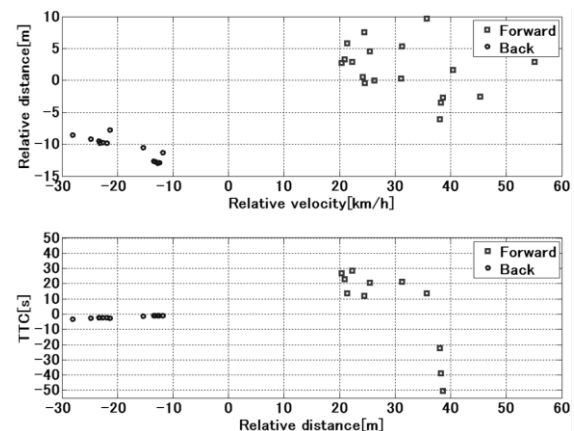


Fig.9 Join Judge

## 4. シミュレーション

シミュレーションは、自車のゼブラ区間進入速度を80km/hとし、後続車の速度を80km/hと90km/hの2条件と、後続車の初期位置を速度に合わせて20m,25m,35m後方の2条件ずつ行うことで検証を行った。今回のシミュレーションでは、他車両は後続車1台のみとし、車両のダイナミクスは考慮しておらず、モデルの入力情報には、「合流区間の長さ」「自車速度」「後続車速度」「後続車との距離」とし、モデルの出力は「加速度」「合流の可否」となっている。

#### 4.1. シミュレーション条件

シミュレーションは、自車のゼブラ区間進入速度を80km/hとし、後続車の速度を80km/hと90km/hの2条件と、後続車の初期位置を速度に合わせて20m,25m,35m後方の2条件ずつ行うことで検証を行った。今回のシミュレーションでは、他車両は後続車1台のみとし、車両のダイナミクスは考慮しておらず、モデルの入力情報には、「合流区間の長さ」「自車速度」「後続車速度」「後続車との距離」とし、モデルの出力は「加速度」「合流の可否」となっている。

#### 4.2. シミュレーション結果

後続車速度80km/hで20m,25m後方の条件と後続車速度90km/hで20m,35m後方でのシミュレーションの結果を図10~11に示す。

80km/hの25m後方の結果より、後続車を確認後、前方へ合流と判断し加速していることが確認できる。また、合流可能区間到達後に合流可能となり合流開始を判断していることがわかる。また、80km/hの20m後方の結果より後方へ合流すると判断し減速を行い、合流可能となり合流開始を判断していることが確認できる。同じように90km/hの35m後方の場合は前方へ合流すると判断し加速を行い合流可能区間内に合流開始を判断していることがわかる。また、25m後方の場合は後方へ合流すると判断し減速を行い、合流区間内に合流開始を判断していることが確認できる。以上のことから、本アルゴリズムを用いることで合流位置判断、速度調整、合流開始判断を行うことができることが確認できた。

#### 5. 結論

本論文では、高速道路合流部において、ドライバ特性を考慮するため、合流部を模擬した実車実験の結果からファジィ推論を用いた意思決定モデルの構築を行い、構築したモデルの検証をシミュレーションにより行った。その結果、合流区間内にギャップ選択、加減速の判断、合流判断を行うことができ、構築した意思決定アルゴリズムの可能性を示すことができた。

今後の課題としては判断を行った後に安全に合流ができていないかの確認が必要となる。また、被験者1名であるので、汎用性の高いものにするには、多人数の学習データが必要になる。さらに、後続車が複数台いる環境での検証も行う必要がある。

#### 謝辞

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の研究プロジェクトの一部として実施した。ここに、関係各位に感謝の意を表する。

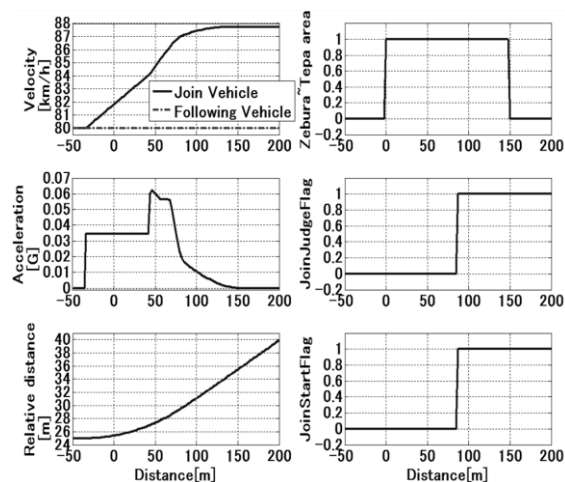


Fig.10 Simulation (80km/h, 25m)

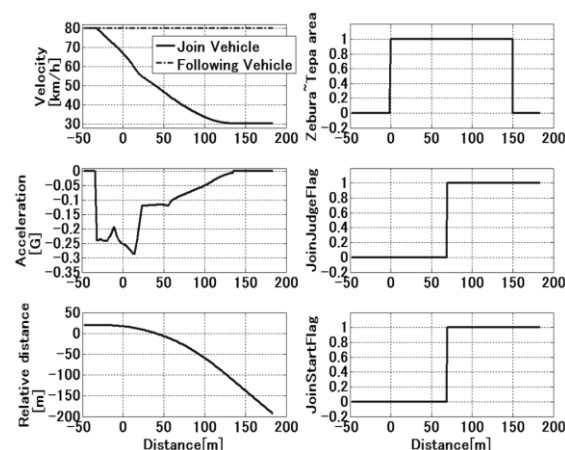


Fig.11 Simulation (80km/h, 20m)

#### 参考文献

- (1) 橋本裕樹ほか:運転者のヒューマンエラーに着目した交通事故発生要因の分析, 土木計画学研究・講演集, Vol37 CD-ROM, 2008.6
- (2) NEXCO中日本ホームページ 道路交通情報 渋滞予測
- (3) 脇田佑希子ほか:セルオートマトン法による道路合流部の交通流シミュレーション, 計算数理工学論文集Vol.9, 論文 No.15-091211
- (4) 成波, 藤岡健彦:ファジィ制御を用いた合流時のドライバモデルに関する研究, 日本機械学会論文集 (C編) 64巻628号 (1998-12)
- (5) 森岡俊之ほか:合流支援のための運転行動解析, 自動車技術会論文集 Vol.37, No.6, November 2006
- (6) 北島創ほか:先行車に対する追突リスク認知の評価指標の比較・検討 (特集 衝突安全), 自動車研究30(9), 495-498, 2008-09