

高速道路合流部の意思決定アルゴリズム構築について

日大生産工(院) ○山中 七皇海

日大生産工 栗谷川 幸代 大阪山大・工 金子 哲也

日大生産工(研究員) 靱山 富士男 日大生産工 景山 一郎

1 はじめに

現在、交通物流の効率化、環境問題の改善、利便性向上を目的として、様々な国でITS (Intelligent Transport System) の研究・開発が盛んにおこなわれている。この一環として、我が国では新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) により、「エネルギーITS推進事業」による自動運転・隊列走行に関する研究プロジェクトが実施されている。本プロジェクトでは、人間の運転する自動車との混合交通が想定されていることから、人間の判断を模擬した制御をする必要がある。高速道路での行動には単独走行・追従走行・車線変更・合流・分流などがあり、単独走行、追従走行については白線追従、前車追従などによる研究が行われている⁽¹⁾⁽²⁾。本研究では、高速道路合流部、分流部・車線変更時の制御アルゴリズム構築を目的とし、合流部の意思決定アルゴリズムを実車実験の結果を元に、ドライバの行動を模擬したアルゴリズムの構築を行う。

2 実車実験

人間を模擬したアルゴリズムを構築する為に、合流部を模擬した実車実験を行い、ドライバがどのように判断を行っているのか確認を行った。

2. 1. 実験条件

実験は、産業総合技術開発機構のテストコースに図2に示すようなコースをパイロンで設置した。車両はプロジェクトで使用している大型トラック (図1) とした。被験者はインフォームドコンセントを得た車両の運転に慣れた男性テストドライバ1名とした。被験者には「最初のパイロンまで速度を維持してください。そこから後続車の確認し合流行動をしてください。合流位置、速度、操舵の判断は自由です。」と教示した。試験車両の合流部進入速度を60, 70, 80km/hの3条件とし、後続車2台の速度、相対距離条件を変更し、計測を行った。尚被験者へは後続車の距離、速度を教示していない。

本論では、実験車両を自車、前の後続車を後続車1、後ろの後続車を後続車2と定義する。計測は、すべての車両にRTK-GPSを取り付け、車両位置を計測し、相対距離を算出した。

本論では、相対距離は自車の後端から後続車の前端と定義することにする。

2. 2. 実験結果

実験結果の一例を図3に示す。横軸は、ゼブラ区間をx軸と平行にしたときのゼブラ区間の終端をx=0とした自車のx位置とする。

実験結果より、ドライバは合流部に達した際に、瞬時にどの車の前か後ろに入るかの合流位置を決定しているものと考えられる。その後、ドライバは合流部の終端までに、合流位置に合流できるように後続車との関係を見ながら速度調整を行い、安全に合流を行えると判断した後に合流を行っていることがわかった。このことから、合流部の意思決定を行う際には、他車の、相対距離、相対速度を判断して、適切な速度調整が必要であることがわかった。この実験では60個の有効データを獲得することができた。これらの実験結果からモデルの構築を行う。



図1 試験車両

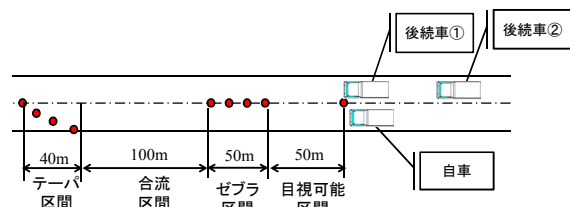


図2 実験コース

Study on Construction of Algorithm for Decision Making at Junctions of Highway

Naomi YAMANAKA, Yukiyo KURIYAGAWA, Tetsuya KANEKO,
Fujio MOMIYAMA and Ichiro KAGEYAMA

3. アルゴリズムの概要

3.1. システム概念

本研究で構築する自動操縦車両のシステム概念図 4 に示す。通常ドライバは環境情報を認知、判断、操作することでステアリングやアクセル、ブレーキを操作し運転していると考えられている。自動操縦車両では、その人間が行っている動作を制御するためのアルゴリズムが必要となる。そこで本研究では、人間の認知、判断、操作をセンサ部、意思決定モデル、コース生成モデルとアクチュエータなどの操作部で表現するシステムとし、本研究では意思決定モデルの構築を行った。

3.2. 意思決定モデル

実験結果をもとに、意思決定モデルの構築を行う。前記した実験結果より、高速道路合流部のドライバの行動を「位置判断」、「速度調整」、「合流判断」の3つの行動に分類し、それぞれをモデル化することで人間の行動を模擬できると考え、モデルを構築することにする。

構築したアルゴリズムの概要を図5に示す。構築したアルゴリズムは、合流区間に到達すると、瞬時に合流位置を決定し、加減速を決定する。それと同時に合流判断を行い、合流可能と判断するまで加減速を行うモデルとなっている。

ドライバは合流位置を決定した後に、後続車が減速、または加速や車線変更などの退避行動を行うことで、合流位置を修正する。合流できなかった場合に対処するモデルが必要となる。これらの行動を位置確認モデルで表現することにする。合流判断した後は先行車を追従、または単独走行しながら合流するモデルとなっている。

4. モデル構築

前記したドライバの「位置判断」「速度調整」「合流判断」を計測した車両データと画像からそれぞれモデル化を行った。

4. 1. 位置判断モデル

ドライバ画像より、ドライバは判断可能区間に到着したと同時に後続車を確認し、瞬時にアクセル、ブレーキを操作していることを確認できた。このことから、ドライバは判断可能区間に到着したと同時に合流位置を決定していることがわかる。瞬時に判断していることから、ドライバの知っている情報として、相対距離、相対速度であると考えられる。

そこで、合流位置を決定した際の後続車1と2との相対距離・相対速度の関係を図6に示す。①は後続車1の前に合流、②は後続車1と後続車2の間、③は後続車2の後ろに合流したことを示している。図より、ドライバの位置判断には後続車との相対距離、相対速度の関係性が高いことがわかる。以上の結果より、相対速度、相対距離から指数関数の近似により閾値を求めた式を式(1),(2)に示す。

$$y = 15.7e^{-0.201t} - 20 \quad (1)$$

$$y = 25.7e^{-0.124t} \quad (2)$$

本研究ではこれらの式を閾値として用い、位置判断を行う。

4. 2. 速度調整モデル

ドライバが合流判断を行った際の後続車1との相対関係を図7に示す。図より、合流部の終端前に操舵を始めていることと、後続車が完全に過ぎる前から操舵を開始していることがわかる。このことから、ドライバは自車と後続車のある程度の未来を予測しながら加減速を判断していると考えられる。そこで構築するモデルは2次予測モデルを用いてモデルの入力とすることにした。

ドライバは加減速の操作をアクセルとブレーキを

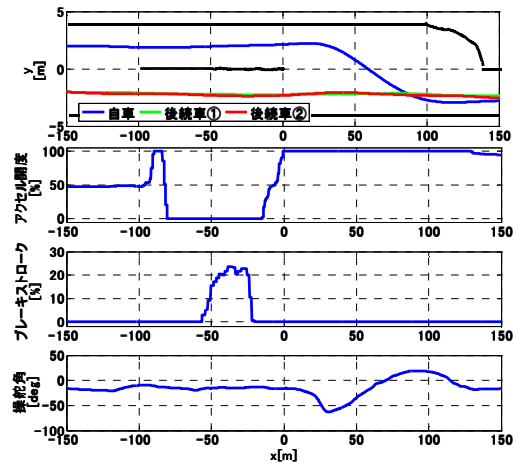


図3 実験結果

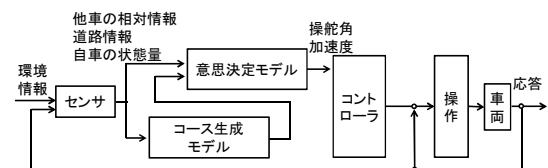


図4 システム概要

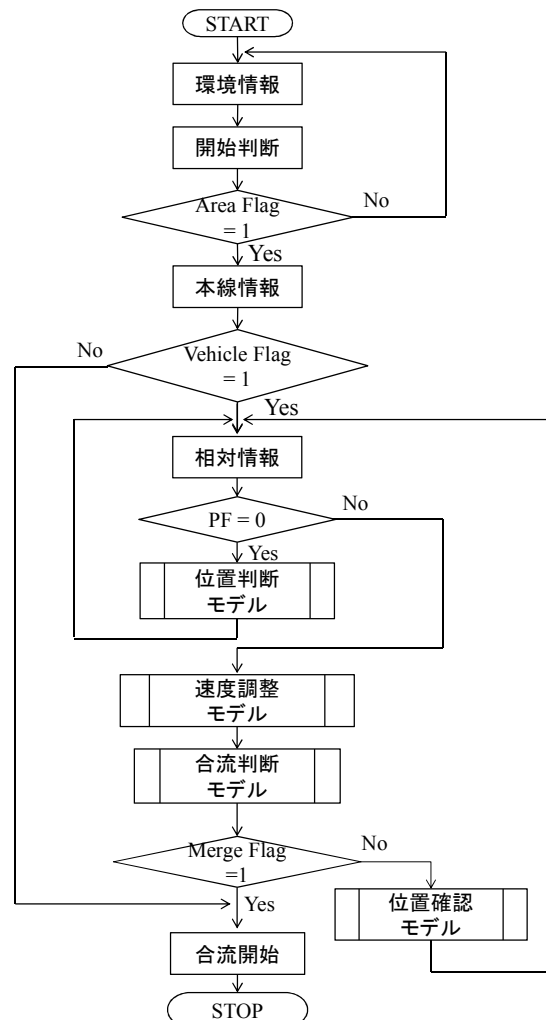


図5 アルゴリズムの概要

用いて行っていることからドライバは加速度を発生させ自動車の速度を制御していると考えられる。ドライバの発生させる加速度は後続車との相対距離、相対速度に影響されると考えられる。例えば、後続車との相対距離が近い場合と遠い場合とでは発生させる加速度は、近い方が大きく発生させている。ドライバは後続車との相対関係を「早い」「遅い」などの定性的に判断していると考えられる。これらを考慮したモデルを構築するために、本研究ではファジィモデルにより計算を行うことにする。ファジィ推論にはメンバシップ関数のチューニング問題があるが、実験で幅広い結果を得られたことから、本研究ではニューラルネットを用いて実験結果による学習を行うことで構築を行った。

4. 3. 合流判断モデル

ドライバは安全だと判断した後に合流行動を行っていると考えられる。ドライバの安全感は領域判断により行われていると考えられる。これらを表現するために、領域を時間領域とし、TTC（衝突予測時間）を用いることにした。今回定義したTTCを次式で表す。

$$TTC = \frac{L1 - L2}{V1 - V2} \quad (3)$$

$L1 \cdot V1$ は自車両、 $L2 \cdot V2$ が後続車の距離、速度を表している。前記した通り、合流判断時に自車と後続車の動きを予測しながら判断を行っている。そこで、予測相対距離と現在の速度より算出した、TTCの結果を図に示す。上の図が後続車1との関係、下の図が後続車2との相対関係を示す。上記した位置判断モデルと同様に、ドライバの判断は後続車との相対情報と関係性が高いと仮定し、ドライバの閾値としてこれらのグラフに1次近似を行った。その結果次式を得た。

$$y = 7.11x - 0.60 \quad (4)$$

$$y = 5.67x - 1.74 \quad (5)$$

後続車1との相対距離は-12m、後続車2との距離は0mを切り替え点とする。

本モデルではこの式をドライバの安全感の閾値として用いることにする。

実験結果の後続車1と後続車2の間に合流した場合と後続車2の後ろに合流した場合の後続車1と後続車2の相対距離を図に示す。図より、後続車1と後続車2の距離が20m以上ない場合には合流してないことがわかる。このことから、後続車1と後続車2の距離にも依存することがわかる。

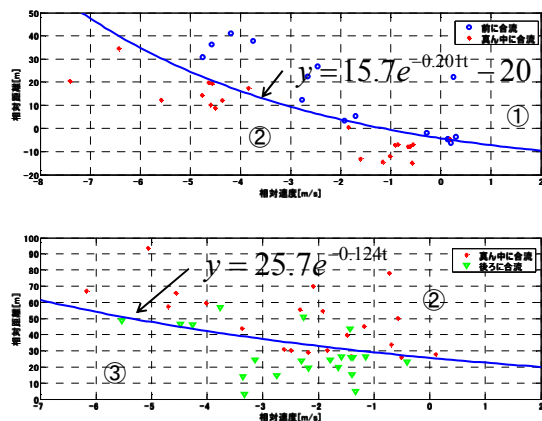


図6 位置判断の結果

5. シミュレーション

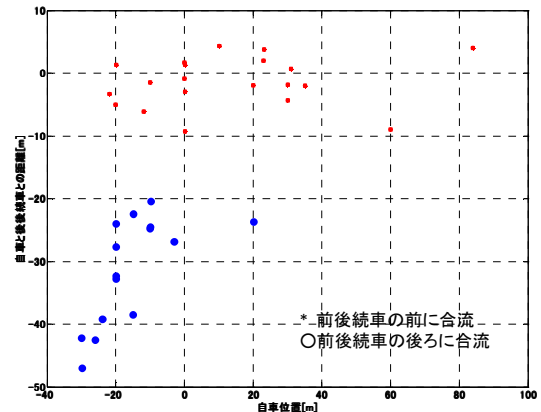


図7 合流開始時の相対関係

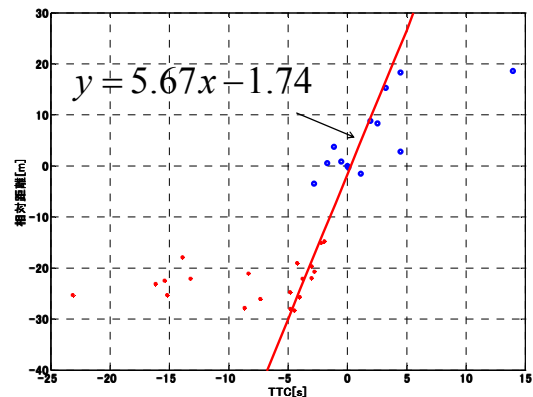


図8 合流開始時の自車と後続車1の関係

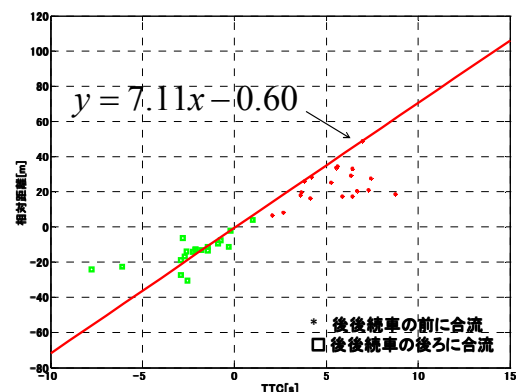


図9 合流開始時の自車と後続車2の関係

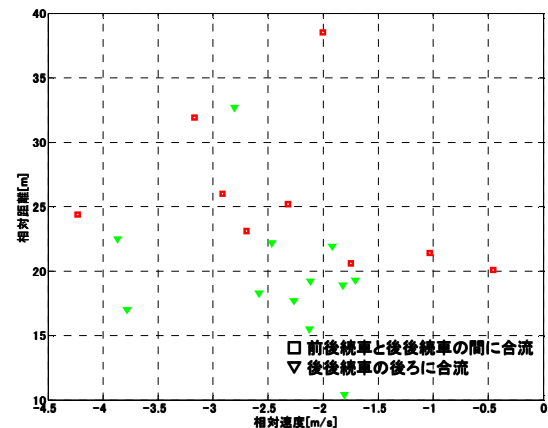


図10 合流開始時の後続車1と後続車2の関係

構築したモデルのシステム図を図11に示す。モデルは、後続車との相対距離、相対速度、自車速度、自車位置を入力としている。はじめに位置判断モデルを用いて合流位置を決定する。その後、2次予測モデルにて自車及び後続車の将来位置を予測し、予測位置を速度調整モデル、合流判断モデルに入力する。速度調整モデルから加速度、合流判断モデルから合流タイミングを出力し、車両に入力するものとなっている。

この構築したモデルの検証を行うために、シミュレーションを実施した。シミュレーションコースは図2に示す実験コースと同様のものを用いている。この意思決定モデルは0.1s間隔で随時判断を行った。

5. 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、後続車1と後続車2の速度を85km/h初期相対距離を0m及び25mとした。今回は、後続車の加減速はないものとする。

5. 2. シミュレーション結果

シミュレーション結果の1例を図12,13に示す。図12より自車は目視可能区間に到達後、位置判断し、その位置判断に合わせて加減速の判断を行い、最終的に安全だと判断し合流判断していることがわかる、図13より、それぞれの車両の移動距離から判断した際の相対距離を確認した。これらの結果より、合流区間内で安全に合流判断を行っていることが表現された。

6. 結論

本研究では、高速道路合流部の意思決定アルゴリズム構築を目的とし、構築を行った。実車実験の結果をもとに、ドライバの行動を位置判断、速度調整、合流判断の3つの判断に分類し、それぞれをモデル化することでドライバを模擬した意思決定アルゴリズムの構築を行った。その結果、本線が2台以上の場合の合流についての意思決定について、構築した意思決定アルゴリズムを用いることで安全に合流できる判断をしていることを示すことができた。

今後の課題として、実際の実車に実装し確認する必要がある。また、今回構築したアルゴリズムを、車線変更、分流モデルに拡張できるような検討を行う必要がある。

「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。

「参考文献」

- 1) 杉町敏之ほか：隊列走行における車間距離制御アルゴリズムの研究(第2報)，自動車技術会学術講演会前刷集，No.7-10，p.13-18 (2010)
- 2) 吉田 順，杉町 敏之，深尾 隆則：トラックのPath Following制御に基く自動運転，日本機械学会論文集C編 Vol 77. No. 783, pp. 4125-4135
- 3) 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）

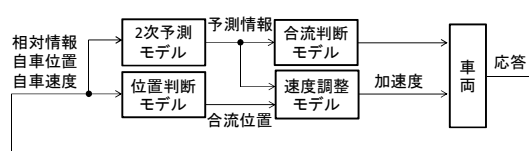


図11 シミュレーションモデル

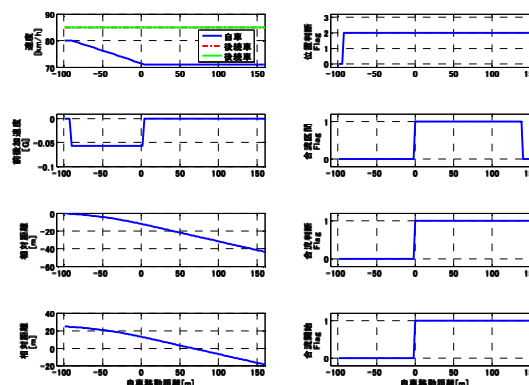


図12 合流開始時の後続車1と後続車2の関係

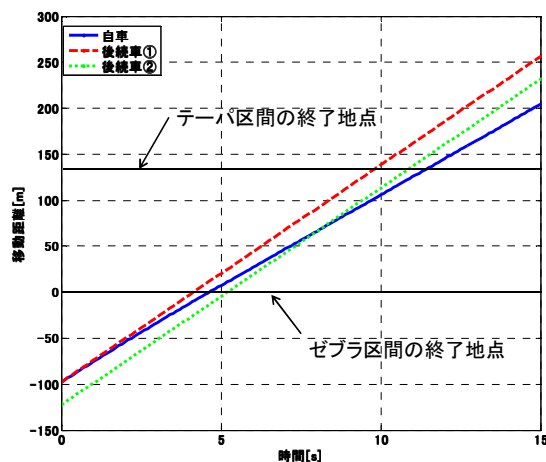


図13 車両位置