

ファジィ論理を用いた ルールベースドライバモデルに関する研究

成 波^{*} 藤岡健彦^{**}

本論文はファジィ論理を用いたルールベースにおけるドライバの階層モデルを提案し、その構築の手法を論じた。ドライバの判断が複雑になると考えられる首都高速道路合流部における合流場面を取り上げ、実際にドライバの合流モデルを、ファジィ論理を用い構築した。構築したモデルにより実際に観測したドライバの合流挙動がよく説明できることを示した。このモデルを用い、ドライバが判断ミス、認知ミスをした場合の合流挙動をシミュレーションし、このモデルが事故解析へ応用できる可能性を示した。

Driver Model of Rule-based Behavior by Fuzzy Logic

Bo CHENG^{*} Takehiko FUJIOKA^{**}

This paper presents a hierarchical driver model including the rule-based behavior and skill-based behavior of drivers. The method of the modeling is constructed systematically. As an example of the modeling, merging behaviors of on-ramp vehicles are investigated, where judgements of drivers are complicated. The model explains precisely the actual behaviors of on-ramp vehicles. By used of the model, merging behaviors with miss-judgement and miss-recognition of drivers are simulated. The results imply the application of the model to accident reconstruction.

1. 緒言

日本における年間交通事故死者数は毎年およそ1万人であることは周知であり、交通安全問題は環境問題と並んで非常に重要な課題になる。交通事故の原因の大半は広い意味でのドライバの認知、判断、操作の誤りであるので、予防安全問題は車だけの特性でなく、それを運転するドライバの特性にも深く関わってくる問題である。

Rasmussen¹⁾は人間行動を三つの階層に分けて扱うことを提案している。即ち、人間の行動を技能ベース行動、ルールベース行動と知識ベース行動の三つの階層に大別している。これらの三つの階層のうち、下位の技能ベース行動とは、ある状況に直面した人間が予め決められたパターンに応じてとる行動である。中間のルールベース行動とは、状況に応じて予め決められたルールがあり、そのルールに従ってとる行動である。上位の知識ベース行動は、状況の判断や原因の推定さらにはとるべき行動の選択、評価、決定まで人間が持っている知識を基に自分で考えなければならない行動である。

従来からドライバモデルの研究は数多く行われてきているが、その大部分は上記の分類に従えば、ドライバの技能ベース行動のドライバモデルであつ

* 東京大学大学院院生
Ph.D Candidate, Dept. of Mechanical Engineering,
The University of Tokyo

** 東京大学工学部助教授
Associate Professor, Dept. of Mechanical Engineering,
The University of Tokyo
原稿受理 1998年7月6日

た²⁻⁵⁾。一方、ルールベース行動のドライバモデルについては、例えば交差点等の個別場面におけるドライバの判断モデル⁶⁾が提案されているが、体系的な研究は少ないように思われる。

このような背景のもとに、本論文はファジィ論理を用いたルールベース・ドライバモデルを提案している(第2章)。ドライバが複雑な判断をしており交通安全上も重要と考えられる高速道路合流部における合流場面の解析を、本論文では例題として取り上げている。実際の合流行動の調査分析とドライビング・シミュレータを使った合流実験によって、ドライバの合流判断および運転について考察する(第3章)。この考察結果に基づいて合流時のドライバモデルを構築する(第4章)。このドライバモデルにより実際に観測した合流時の運転がよく説明できることがシミュレーションにより示される(第5章)。また合流車のドライバの判断ミス、認知ミスが発生する場合のシミュレーションを行い、このモデルが交通事故解析に応用できる可能性を示している(第6章)。

2. ドライバモデル

2-1 ドライバの階層モデル

緒言で触れたRasmussenの人間行動の階層モデルをドライバが行う運転という行動に対して展開すると、以下のようになると考えられる。なお、本論文で提案しているドライバの階層モデルをFig.1に示す。

ドライバは、地図や過去の経験により得られた知識と、現在地、目的地から最適と思われる走行経路(Route)を選択する(Routing)。道路状況は常に変化しているので、ドライバが運転中に得られる情報により走行経路は適宜修正される。走行経路の選択は典型的な知識ベース行動である。

本論文ではルールベース行動を二つの階層にわけて考える。上位の階層は走行タスク(Task)を選択するタスク選択(Task selection)である。走行タスクとは、先行車追従、追い越し、合流、交差点右左折、障害物回避等を指す。下位の階層は走行行動(Maneuver)を選択する計画(Planning)である。走行行動とは、例えば合流部における合流車で考えると、入路車線における本線交通流に合わせる速度調節行動と、本線後車が迫ってきて合流できない場合の減速待ち行動と、本線後車が速くて合流できる場合の加速合流行動であると考えられる。タスク選択と計画の基本的な違いは、タスク選択で

は文字どおりタスクを選択するが、計画では走行行動を選択するとともに走行行動を起こすタイミングも決定するという点である。

走行行動とそのタイミングが決定されると、状況に応じて具体的な走行目標(目標車線、目標速度、目標車間距離等)が決まり、これを実現する運轉動作(Action-ハンドル動作、アクセル動作、ブレーキ動作)が決まる。走行行動は技能ベース行動と考える。技能ベース行動においては、一連の運轉動作が走行行動を実行する時に、前もって決まっている。この点がタスク選択や計画により走行タスクや走行行動が選択されるルールベース行動と異なっている。

2-2 ルールベースドライバモデルとファジィ論理

ドライバのルールベース行動の階層をモデル化することが本論文の主題である。本論文では、経路は既に決められているものとし、知識ベース行動(経路選択)はモデル化の対象としていない。

2-1節に記したような判断を含むドライバの行動を、伝達関数のような数式を使ってドライバモデルを表す従来の手法によりモデル化することはほとんど不可能であるように思われる。本論文では、階層モデルによりドライバをモデル化する。ドライバの判断の多くは、言語的多目標的な論理判断によって行われている。このような判断はIf-then型のファジィ論理を用いてモデル化するのが適当であろう。本論文では、タスク選択と計画の二つの階層に分けたルールベース行動をファジィ論理を用いてモデル化する。

技能ベース行動である運轉動作は従来のドライバモデルと同様、本論文でも単純なフィードバックコ

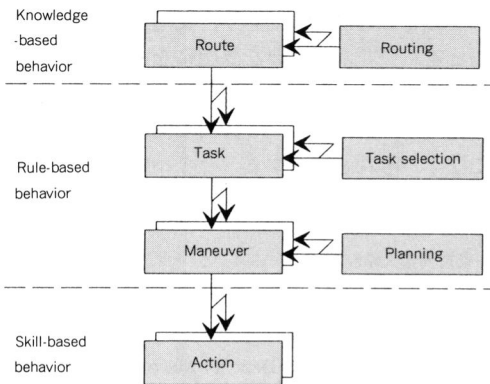


Fig.1 ドライバの階層モデル

ントローラを用いてモデル化している。

本論文で提案したドライバモデルには、以下の特徴がある。即ち、階層化することによって、ドライバの複雑な状況判断を含む運転を、単純な判断の集合により表現することが可能となる。また、ファジィ論理を用いることにより、第一に、ドライバのあいまいな定性的論理判断をファジィ理論を用いて定量的にモデル化できる。第二に、判断ルールを切り替えることにより、道路状況の変化に対しこのモデルは柔軟に対応できる。第三に、従来のモデルでは比較的扱いにくい多目標制御も容易に扱うことができる。

3. 合流行動の分析

合流時の合流車ドライバは短い時間の間に複雑な状況判断が要求される。即ち、加速区間に到達するまでに合流準備を完了させて、加速区間という限られた空間・時間的制約のもとで合流しなければならない。また、合流は合流車の一方的な行動でなく、合流車と本線車がお互いに影響を与え協調的に行う行動である。従って合流モデルを構築するには、合流車の合流する時の運転と、それにより影響を受ける本線車の運転のモデル化が必要となる。

加速区間での合流車と本線車の運転を把握するために、ビデオ画像解析により加速区間における車両挙動の調査分析を行う(3-1節)。さらに、考察した合流部をドライビング・シミュレータで再現し合流実験を行い、合流車のドライバの合流判断特性を調べる(3-2節)。

3-1 実態調査

合流行動を把握するため、Fig.2に示す首都高速道路池袋5号線東池袋入口において合流交通実態調査を行った。観測は加速区間の付近のビルからビデオ撮影を行った。この合流部は、交通量が多く、加速区間直前(Fig.2のC点)まで入路車線と本線とがお互いに視認できず、加速区間長が非常に短いと

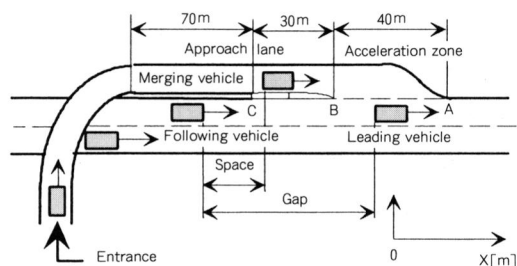


Fig.2 合流部の構造図

いう特徴がある。この時の合流交通量は280台/時、本線交通量は走行車線980台/時、追越車線2,156台/時であった。

撮影したビデオから、Fig.2に示す加速区間において合流車が以下のように運転を行っていることがわかった。即ち、合流車は、加速区間でスムーズに合流するためにまず入路車線で本線交通流状況によって加速区間への目標進入速度を決定し、その目標速度に合わせて自車の速度を調整する。加速区間(Fig.2のA B間)に到達した瞬間、ドライバは自車と本線車との車間距離、相対速度、自車の加速度から主観的な安全感によって合流可能かどうかを判断していると考えられる。合流可能と判断したら、直ちに加速して合流する。合流不可能と判断したら、待機行動を取り、次のギャップ(本線前車-Fig.2のLeading vehicle-と本線後車-Fig.2のFollowing vehicle-との車間距離)に合流するよう速度調整を行う。周囲の車両との相対位置、相対速度の関係は時々刻々変化しており、これに伴って合流安全判断および速度の調整が時間の経過に伴い繰り返行われている。

合流車ドライバの合流安全判断を決定づけている要因を探るため、合流しようとしている時の合流車と本線車との間の相対関係を検討することにする。合流安全判断を行う時の合流車と本線後車との相対速度を横軸、スペース(合流車と本線後車との車間距離)を縦軸としてプロットするとFig.3になる。あるギャップにおける合流したものを○、行き過ぎて次のギャップに合流したものを×で表す。回帰線は各相対速度における合流可能のスペースの最小値を示しており、合流安全判断の基準を示している。Fig.3から、次のことが読み取れる。

①ドライバの合流安全判断は合流車と本線後車との相対速度およびスペースの二つの要因の影響を受

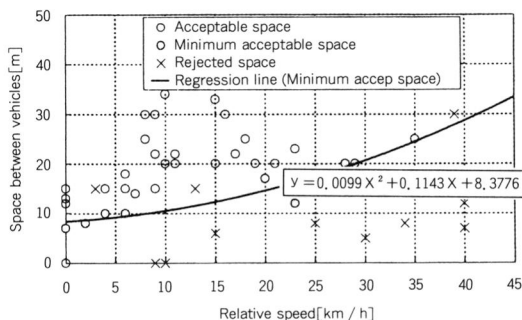


Fig.3 ドライバの合流安全判断(実態調査)

ける。

②相対速度が大きくなるにつれて合流可能の最小スペースが増加する。合流安全判断は、合流車と本線後車との相対速度およびスペースだけでなく、相対加速度にも依存していると考えて、この傾向を二次関数で近似した。

合流車と同様にビデオから、本線車は以下のような運転を行っていることを確認した。即ち、本線車は、加速区間に近づいたら、まず合流車があるかどうかを確認する。合流車がなければ、そのまま走行する。合流車があれば、合流車とのスペース、相対速度および本線の他車両との車間距離、相対速度により、合流車を追い抜くか、減速あるいは車線変更によって進路を譲るかを計画する。走行行動を計画した後、合流車のようすを見ながら計画された走行行動を実行する。加速区間を通過するまでに、ドライバは状況判断や修正操作を繰り返し行っている。

観測したデータでは、本線車の車線変更は減速と追い抜きより割合が低かった。この理由としては追越車線の交通が混んでいるため、車線変更がしにくいことが考えられる。本論文では、本線車の走行行動としては減速と追い抜きのみを考慮する。

3-2 シミュレータ実験

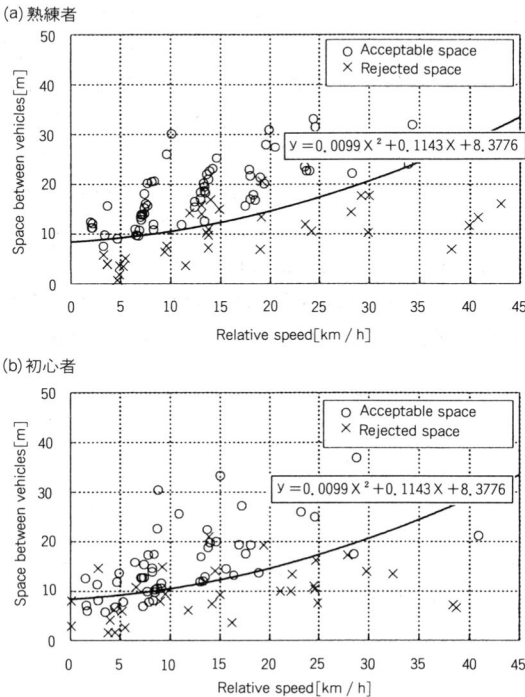


Fig.4 ドライバの合流安全判断 (シミュレータ実験)

3-1節で実態調査から得られた合流車ドライバの合流安全判断特性(Fig.3)は複数のドライバの判断結果を集約したものといえる。

このような判断特性は、一人ひとりのドライバの合流判断特性を表現できるかどうかが問題となる。この問題に対して、一人ひとりのドライバの判断特性を調べる必要がある。ただし、実態調査から個別のドライバの判断特性を調べることは事実上不可能である。このことに対して、ドライビング・シミュレータでは、実際と全く同じ状況は再現できないが、道路場面を簡単に用意できるため、個別のドライバの判断特性を調べることが可能である。

本論文ではドライビング・シミュレータ⁷⁾を用い、3-1節で考察した合流部を再現し合流実験を行った。合流実験では、合流車はドライバに運転され、本線車はドライバモデルにより運転される。被験者となったドライバは2名の男性ドライバである。1名は運転歴5年で日常運転をしている「熟練者」であり、もう1名は運転歴1年であまり運転していない「初心者」である。実験中、ドライバに何も規定せず、ドライバは主観的な判断により車を運転する。Fig.4はドライビング・シミュレータを使った合流実験結果を示すものである。図中の線はFig.3の回帰線である。

Fig.4から以下のことが読み取れる。

(1)熟練者に比べ初心者ドライバの合流安全判断にはばらつきが大きい。これは初心者ドライバが運転に慣れてなく、本線車両の状態を瞬間的に把握し速やかに判断することができないためと考えられる。

(2)熟練者と初心者との合流安全判断の基準が似ている。これはドライバが各自の特性を持っているにもかかわらず、加速区間長が非常に短いため、ドライバの判断が制約され、同様な基準で判断を行わざるを得ないと考えられる。

(3)シミュレータ実験結果の合流安全判断の基準は実際の観測データのものとの二例ではほぼ一致している。このことは、多くのドライバの平均から求めた合流安全判断(Fig.3)も、特定のドライバに何回も判断させて求めた合流判断(Fig.4)もともに二次関数で近似できることを示唆している。

4. 合流時のドライバモデル

4-1 合流車のドライバモデル

以上の分析結果に基づき、合流車ドライバのルールベース行動である合流計画と技能ベース行動であ

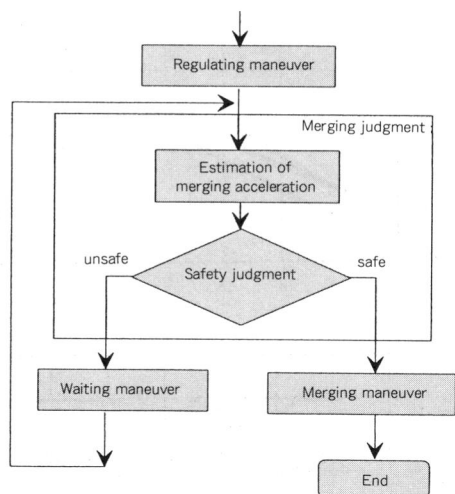


Fig.5 合流車のドライバモデル

る運転動作モデルを構築する。

加速区間における合流車の運転動作は縦方向の加減速と横方向の操舵に分けられる。加減速に比べ操舵はこの場合簡単であり、車線変更と車線追従しかない。ここでは、それぞれを正弦波状のプログラム操舵モデルと予見制御モデルを用いて表現する。以下に合流車の運転動作モデルとしては縦方向の運転動作のみを考慮する。

合流車のドライバモデルはFig.5に示すように四つの部分に構成される。即ち、加速区間に入る前の調整行動(Regulation maneuver)、加速区間に入った時点の合流判断(Merging judgement)と、合流判断モデルにより選択される待機行動(Waiting maneuver)と合流行動(Merging maneuver)である。合流判断は、合流加速度的見積もり(Estimation of merging acceleration)と安全判断(Safety judgment)とに分けて考える。

1) 合流加速度見積もり

合流車と本線前車との車間距離および相対速度が合流加速度に影響を与える。例えば、合流車の速度が本線前車とほぼ同様であり、本線前車があまり離れていない場合、合流車はほとんど加速しない。合流車のドライバが発生させる合流加速度はファジィモデルにより計算する。入力データは本線前車との車間距離と相対速度であり、出力データは発生させる加速度である。本線前車との車間距離は七つのファジィ変数、相対速度は六つのファジィ変数に分割する。それらのメンバーシップ関数のパラメータが観測データをもとに試行錯誤法により決定される。

2) 安全判断

安全判断は、「合流可」と「合流不可」の二つの判断がドライバの安全感によって相補的に行われると考えられる。入力データは、本線後車との車間距離(スペース)、相対速度および見積もり合流加速度を用いている。出力データは「合流可」と「合流不可」の二つの判断を統合した判断レベルとしている。この判断レベルに対して、人間はある閾値を設定し判断を行っていると考えられる。この閾値はドライバの個性や環境状況等に関係している。

3) 調整行動

調整行動は速度調整動作と車間距離調整動作より構成される。速度調整動作は本線後車が見えない場合、本線交通流の速度に基づき決められた加速区間への目標進入速度に応じて加速度を決定するものである。車間距離調整動作は本線後車が見える場合、加速区間に進入する時点でその車両の後に合流するように加速度を決定するものである。加速区間への目標進入速度は、今回実施した実態調査により、本線交通流の速度より10~15km/h低い値を設定している。

4) 待機行動

「合流不可」と判断した後、ドライバは次のギャップに合流するよう自車の速度を調整する。この調整は二つの目標に従って行われる。第一は、合流車が加速区間の端部(Fig.2のA点)に着く前に、本線後車の後端を通過させる。第二は、合流車の速度が大幅に落ちないようにする。この二つの目標はいつも一致するわけではなく、矛盾した場合は第一の目標が優先する。モデルの入力データは本線後車の後端が通過した時間と合流車が加速区間の終端に到達する時間である。出力データは合流車の加速度である。

5) 合流行動

「合流可」と判断した後、ドライバは本線前後車に注意しながら合流を行う。合流行動は二つの運転動作によって構成される。即ち、本線前車が存在する場合に一定の車間距離を置いて本線前車を追従して合流するという先行車追従動作と、本線前車が存在しない場合に道路の制限速度を目標に速度を調整しながら合流するという目標速度追従動作である。車間追従動作の入力データは合流車と本線前車との車間距離および相対速度である。速度追従動作の入力は合流車と本線前車との相対速度である。両者の出力データは合流車の加速度である。

4-2 本線車のドライバモデル

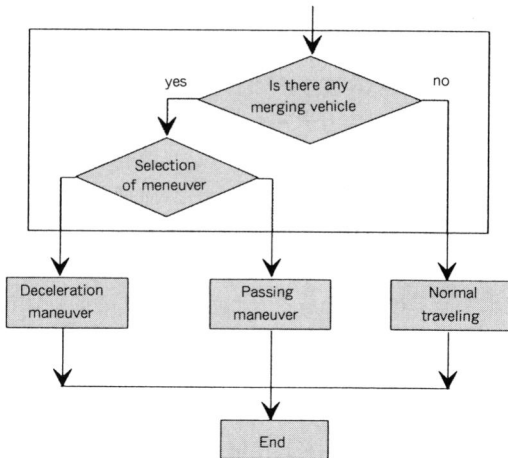


Fig.6 本線車のドライバモデル

3-1節でも考察したが、合流部における本線車ドライバの計画および運転動作をFig.6のようにモデル化する。即ち、本線車は加速区間に近づくと、まず合流車を確認する。合流車がなければ普通に走行する。合流車があれば、合流車および本線前後車との車間距離、相対速度により、追い抜きか減速かを決定する。減速の走行行動を選択すれば、合流車に進路を譲るように減速する。追い抜きの走行行動を選択すれば、合流車の合流を妨害しないように速やかに加速区間を通過する。以下に、本線車のドライバの計画モデルを合流車がある場合に限りて説明する。

本線車の走行行動の計画のための状況判断においては、ドライバが個別的な目標によって判断するわけではなく、多数の目標を考慮に入れて総合的に判断し最適な走行行動を決定すると考えられる。このような判断を、ファジィ多基準意思決定方法(Multi-criteria decision making)⁸⁾を用いて表現する。

ここで用いた選択(計画)対象は追い抜きと減速であり、評価目標は各選択対象の実行可能性、安全性、乗り心地である。本線車ドライバの意思決定とは、ある加速度で追い抜き、ある減速度で減速する時の各評価目標への達成度を比較し、その中から目標達成度が最も高いものを最適行動として選択することである。評価目標はファジィメンバーシップ関数を用いて定義し、メンバーシップ関数のグレードが目標達成度を表す。

評価目標は、走行行動が完了した時の状態により決める。実行可能性の評価指標は、追い抜きあるいは減速が完了した時の合流車が加速区間にある位置

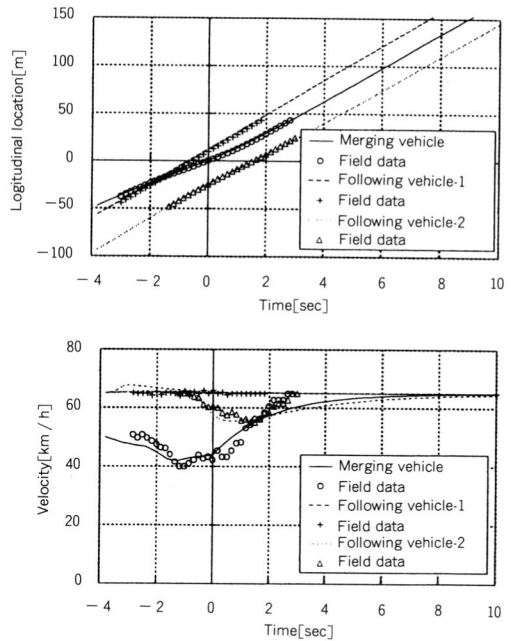


Fig.7 合流場面-1

である。この位置が加速区間の終端に近づかないほど追い抜きあるいは減速の可能性が高い。安全性の評価指標は、その二つの行動が完了した時の本線前後車に対する車間時間である。これが長いほど安全性が高い。乗り心地の評価指標は、走行行動を実行するために必要な加速度である。これが小さいほど乗り心地が良い。

5. ドライバモデルの適用例

本手法によりドライバモデルを構築し、このモデルが観測データをよく説明できる代表例を本章では示す。観測データは今回実施した実態調査のビデオ画像を解析したデータである。以下にシミュレーション結果の代表的な例を示す。

Fig.7は、合流車が入路車線で本線車との相対位置を調整しながら加速区間に入し、合流可能と判断した上で合流した場合を表している。上図は車両の位置、下図は車両の速度を示す。実線は合流車、破線と点線は本線車、「○」「+」「△」はそれぞれの観測データを示す。縦方向位置の原点はノーズ(Fig.2のB点)に、時刻の原点は合流車重心がノーズに到着した時刻に設定してある。

合流車が入路車線で速度調整中、65km/hの速度で迫ってくる本線車1(Following vehicle 1)を見つける($t=-2.2$ sec)。その本線車の後ろに合流する

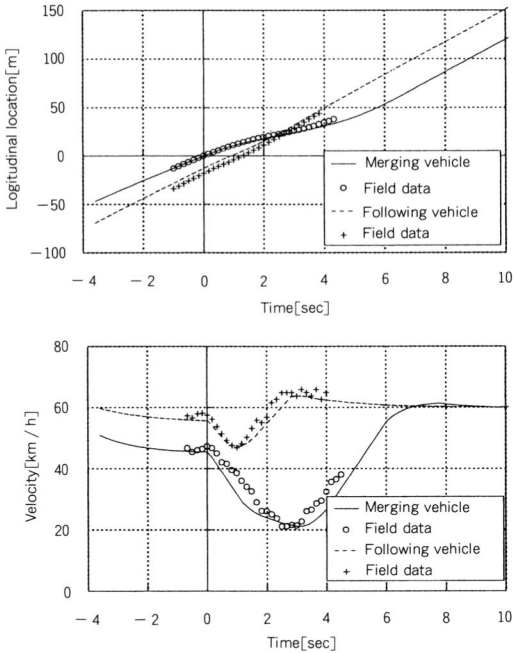


Fig.8 合流場面-2

と判断し、車間調整動作に切り替えている。本線車1は速度を保ったまま、加速区間の手前約10m ($t = -1.0\text{sec}$)のところで合流車を追い抜いている。その時、本線車2 (Following vehicle 2) は合流車を追い抜くことができず合流車の合流を妨害すると判断し、減速を選択して合流車に進路を譲っている。一方合流車は44km/hの速度でノーズに着き、本線車2との車間距離(スペース)が20m、相対速度が-14 km/hである。合流車は合流可能と判断したため、強めに加速して合流している。Fig.7に示すように、シミュレーション結果は観測データとよく一致している。

Fig.8は、合流車と本線車が加速区間で協調して合流する場面を表している。合流車は45km/hの速度で加速区間に到着している。その時、本線車は55km/hの速度で、合流車の後ろ12mのところにある。合流車は「合流不可」と判断し、待機行動を選択して本線車の追い抜きを待っている。一方本線車も「減速」と判断し、減速して進路を譲ろうとしている。合流車が減速し続けているため、本線車は「合流車が先に合流する意欲がなさそう」と判断して($t=1.2\text{sec}$)、強く加速して合流車を追い抜いている($t=2.8\text{sec}$)。本線車が通過した後、合流車は合流判断を行った上、本線車に追従して合流している。このような合流もシミュレーション結果は観測データとよく一致している。

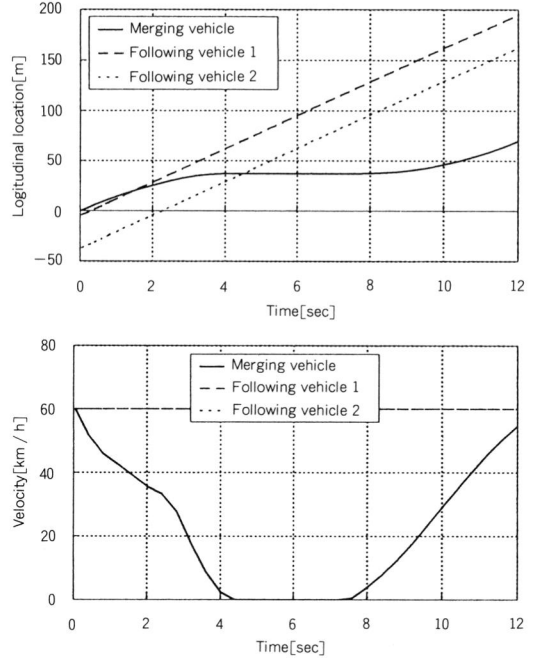


Fig.9 判断ミス発生時のシミュレーション

6. 判断ミスと認知ミスのシミュレーション

上記モデルを用い、合流車ドライバの判断ミスと認知ミスを生じた場合の合流のようすをシミュレーションで検討する。

今回考察した加速区間が非常に短いので、合流車は加速区間で速度等の調整する時間が少ない (60km/hの場合2.4sec)。高い速度で加速区間に入る場合、本線に合流できなければ、急減速あるいは無理に本線に割り込んで行くしかない。いずれも危険な状態を招くことになる。一方、低い速度で加速区間に入る場合、本線交通流の速度までの加速時間が長くなるため、本線に入りにくくなる。従って合流車は本線交通流の速度に合わせて自車の速度を確実に入路車線で調整する必要がある。

合流車ドライバの判断ミスとして、加速区間への目標進入速度を高く設定して、より高い速度で加速区間に入ってしまった時の運転をシミュレーションする。Fig.9では、合流車は60km/hの速度 (本線交通流の速度)で加速区間に入っている。その時2台の本線車が後ろにある。本線車1 (Following vehicle 1)はすぐ後ろに、本線車2 (Following vehicle 2)は後方ほぼ40mにある。この状況に対し合流車のドライバは「合流不可」と判断して($t=0\text{sec}$)強く減速している。本線車1が追い抜いた時点($t=2.5\text{sec}$)で、

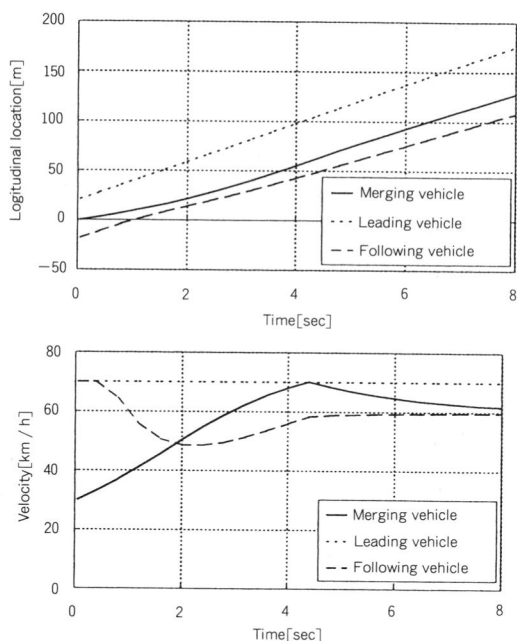


Fig.10 認知ミス発生時のシミュレーション

合流車の速度はほぼ30km/hまで落ちていて、本線車2との車間距離(スペース)がほぼ18mになっている。合流車は本線車2の先に合流することができないと判断し、もっと強く減速し、加速区間の端部に止ってしまった。本線車2が通過した後($t=7.5\text{sec}$)、合流車は加速しながら本線に入って行っている。

合流車ドライバーの認知ミスについては、本線後車との車間距離(スペース)の過大評価と相対速度の過小評価の二種類を考える。前者は合流安全判断の入力部の車間距離におけるメンバーシップ関数を左へ移すことにより表現する。後者は相対速度におけるメンバーシップ関数を右へ移すことにより表現する。Fig.10は、本線車との車間距離の5m過大評価と相対速度の10km/h過小評価が同時に発生した場合のシミュレーション結果を示すものである。合流車は30km/hの速度で加速区間に進入した時点で、本線後車(Following vehicle)との車間距離(スペース)は15m、相対速度は40km/hであっても、「合流可能」と判断し、強めに加速しながら本線に入っている。一方、本線車は割り込んできている合流車に対し、0.5secの遅れ時間後最大0.7Gの減速度で急ブレーキをかけている。追突事故になっていないが、車間距離(スペース)は最短2.5m(車間時間0.18sec)に迫ってしまったことを示している。

7. 結言

本論文はドライバーのルールベース行動を説明するドライバーの階層モデルを提案した。このモデルでは、ルールベース行動はファジィ論理を用いてモデル化し、技能ベース行動は単純なフィードバックコントローラを用いてモデル化している。本論文では首都高速道路池袋5号線東池袋入口合流部を例題として取りあげ、実際の合流運転の調査を行った上に合流時のドライバーモデルを構築した。このモデルを用いたシミュレーションは、実際の合流運転とよく一致しており、ドライバーのルールベース行動をファジィ論理でモデル化することの妥当性を示した。ドライバーの判断ミス、認知ミスを生じる時の合流挙動をシミュレーションにより検討し、提案したモデルが交通事故解析に応用できる可能性を示した。

参考文献

- 1) Rasmussen, J.: Skill, Rule, and Knowledge; Singles, Signs, and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models, IEEE Trans. On Systems, Man, and Cybernetics, SMC-13, pp.257~266, 1983
- 2) 吉本堅一「予測を含む操舵モデルによる人間自動車系のシミュレーション」『日本機械学会誌』Vol.71, No.596, pp.13~18, 1968年
- 3) 藤岡健彦、田久保宣晃「神経回路網(ニューラルネットワーク)を利用した運転者モデルの研究」自動車技術会論文集, Vol.22, pp.69~73, 1991年
- 4) 景山一郎「前方視野の危険感を用いたドライバーモデルについて」自動車技術会論文集Vol.24, No.2, pp.81~87, 1993年
- 5) 成波、藤岡健彦「Fuzzy予見制御を用いたドライバーモデルに関する研究」自動車技術会学術講演会前刷集, No.965, pp.181~184, 1996年
- 6) 上野裕史ほか「右折行動に関する運転行動分析」『自動車技術』Vol.46, No.9, pp.41~45, 1992年
- 7) 藤岡健彦他「簡易型ドライビングシミュレータの製作」自動車技術会学術講演会前刷集, No.881, pp.101~104, 1988年
- 8) Zimmermann, H.J.: Fuzzy Set Theory and Its Applications, Kluwer-Nijhoff Publishing, 1985