

## AHP を用いた高速道路合流時のドライバの意思決定過程構築に関する研究

日大生産工(院) ○大塚 康平 日大生産工 景山 一郎

## 1. 序論

現在, 一般道や高速道路といった交通網が我が国の国土の隅々まで普及しており, 自動車はこれらの交通網を利用して国内における人員輸送の 74%, 貨物輸送の 64% を占めており, 人々の生活に深く関わる移動手段である<sup>1)</sup>. 我が国では 1960 年代から自動車の普及が進んでいったが, その普及が進むについて自動車が引き起こす交通事故の発生といった社会的な問題が増加し始めた. 国内における交通事故の発生件数や死傷者数は自動車の安全性や安全意識の向上, 法整備の充実などの安全への対策によって減少傾向にある. しかし依然としてそれらの絶対数は高い水準を示しており, 近年ではその数値もほぼ横ばいに推移している状況であるため, 新たな安全への対策が必要であると考えられる<sup>2)</sup>.

また, 交通事故の多くはわき見運転や漫然運転といった自動車を運転するドライバが要因となって発生していることが分かっており<sup>3)</sup>, このような要因に対する対策として ITS や運転支援システムなどのドライバに対する取り組みが多くなされている. 特に運転支援システムの発展は目覚しく, レーンキープアシストやクルーズコントロール, 衝突被害軽減ブレーキなどの支援システムが実用化され, 普及し始めている. しかし, このような支援においては, 人の特性を考慮しない場合, 逆に負担を増加される恐れがある. そのため, 運転支援システムはドライバの特性を考慮しなければならない.

先行研究において, 高速道路の合流部に対して苦手意識を持つドライバが多くおり, その原因として一般道に比べてすばやい認知や判断が必要となることがあげられる<sup>3)</sup>. そこで本研究では, 人間の特性として人の判断部分に注目し, その特性を考慮に入れた高速道路の合流部における運転支援システムの構築を目的とする. 本報告は交通流調査と実車実験, アンケート調査の結果を基にしてシステムの合流判断を行う意思決定過程の構築を行う.

## 2. 交通流調査

## 2. 1 交通流調査の概要

高速道路合流部におけるドライバの意思決定過程を構築するに当たって, ドライバがどのような合流環境や相対関係で合流を行っているのか確認を行う必要がある. そこで高速道路の合流部を上から撮影し, その映像から実際にどのような合流が行われているのか調査を行った. 調査にはデジタルビデオカメラによって 2 時間撮影を行った際の映像を用いた. 撮影した合流部の加速区間の長さ(導流帯からテーパ部を除いた部分)は約 80m, かつ加速区間に入る前から本線の様子を確認可能な見通しのよい合流部である. 2 時間の映像で約 700 台の合流車両を確認した.

今回の調査では合流車両が加速区間に進入した際の間隔を Fig.1 のように定義した. Fig. 1 の本線車両の間に書かれている丸で囲まれた数字は, ギャップ(合流位置)を示している. また, 今回合流区間をゼブラ区間から 20m 毎に計 6 区間に区切り調査を行った.

## 2. 2 本線車両との相対位置関係

Fig.2 は合流車両が本線に進入した際に, 本線を走行する前方の車両および後方の車両それぞれにどの程度距離をとって合流を行っているのかを示している. Fig.2 を見ると前方車両に対しては 20m 以内で合流する割合が 63.5%, 後方車に対しては 10m から 30m 以内で合流する割合が 65.5% であることがわかる. このことから, 合流車両は前方車両よりも後方車両に対して距離をとる傾向があることが確認できる. このような傾向が現れた理由としては, ドライバは通常前方を注視しており, 後方の確認にはルームミラーやサイドミラーなどが主たる確認方法となり, 前方に比べて情報を得ることが困難であることが原因であると考えられる.

## 2. 3 合流位置

Fig.3 は合流車両が車線のどの位置から合流動作を行うのか, 高速道路本線に車両がない場合といる場合の 2 つに分けて表したグラフである. Fig.3 の結果から, 合流車両は本線を走行する車両の有無にかかわらず, 加速区間の中央(21m-60m)で半数以上が合流を行っている. このことから, 合流車両は加速区間に入ってから約 20m の範囲で本線の状況を確認し, どのように行

Study on construction of driver's decision model  
on the highway junction using AHP

Kohei OTSUKA, and Ichiro KAGEYAMA

動を行うのか判断していると考えられる。

また、本線に車両が存在する場合には、合流車線の奥側で合流を行う車両が増える。これは本線車両との相対位置や速度を判断する分、車両が存在しない場合よりも、判断と調整が必要なためだと考えられる。

### 2. 4 合流車両の合流位置

合流車両が本線を走行する車列のどの位置に合流したのか確認すると、約90%の車両が Fig.1 のギャップ①(Gap of first)に合流を行っており、本線車両の車間距離が狭い、合流車両の速度が本線車両よりも明らかに速いなどの場合のみギャップ①以外に合流を行っている。このことから、合流車両は本線者列から見て大きく自車両の位置を変更する必要のない、最も近い空間に合流を行うことが確認できる。

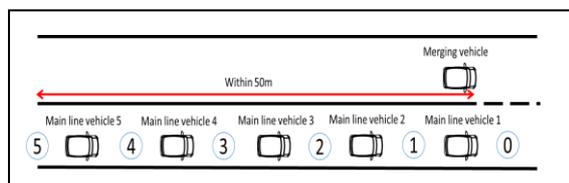


Fig.1 Exposition of merging position

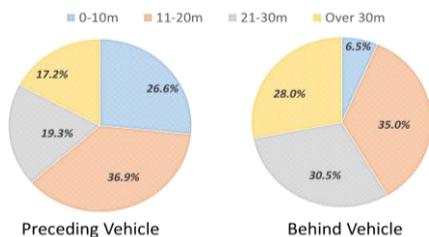


Fig.2 Distance with Forward Vehicle

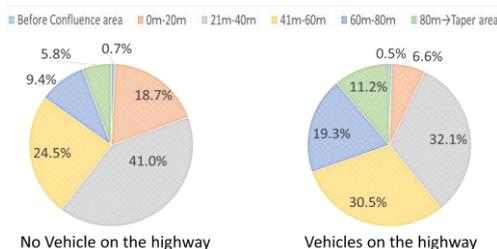


Fig.3 Merging Position

## 3. 実車実験

### 3. 1 実車実験の概要

交通流調査によって確認した合流車両と本線車両の相対距離の詳細の他に、交通流調査からは見ることができない合流車両のドライバの運転行動を確認するために実際の高速道路合流部を用いて、車両に非接触型 2 軸速度計および光ファイバージャイロ、レーザーレンジファインダー、RTK-GPS、車載カメラ(前方および後方、ドライバの映像を撮影)を搭載して実験を行った。また、今回の実験車両の運転には、

事前にインフォームドコンセントを得た高速道路の走行に慣れたドライバに協力をお願いした。

実験は合流部の加速区間へ標識通りの速度で進入し、加速区間に入ると同時に本線を走行する車両の確認を行い、普段行っている合流と同じように自由に合流を行うといった内容で実施した。実験は平日の13時-16時の3時間行った。32回の合流時のデータの中から、後方に位置している車両が50m以内の時のデータを有効として19回分を取り出して検討を行った。今回、後方の相対距離や速度を計測した理由は2章の交通流調査において、前後50m以内に本線車両がない場合は、本線にまったく車両が存在しない場合と同じ挙動をとっていたためである。

### 3. 2 実車実験の結果

実験結果を横軸に相対距離、縦軸に相対速度をとったものを Fig.4 に示す。Fig.4 から実験車両の速度が速い場合に合流を行うことが多く、20m以降では速度差に関係なく入る傾向が得られた。このことから、合流の判断には、本線車両との相対距離のほか、相対速度も利用していると考えられる。また、車載カメラのドライバ映像を確認したところ相対距離が近いもしくは相対速度が大きい場合、ドライバは頻りに後方に視線を向けていることを確認した。このことから、ドライバは相対距離と相対速度の2つの情報を利用していると考えられる。

最後に相手が速度を落とすなどの動作をした場合、その場所に入ることが確認されたため、相手車両の相対加速度も判断に利用されていると考えられる。

以上のことから、ドライバが合流を判断する際に利用する情報は相対距離、相対速度、本線車両の挙動(加速度)であると仮定した。また、交通流調査や実車実験においては、合流車線内で合流動作を終える車両がほとんどであったため、合流部の終端までの距離を加えた計4つの情報を基にして合流の判断、速度の判断を下しているものと考えられる。

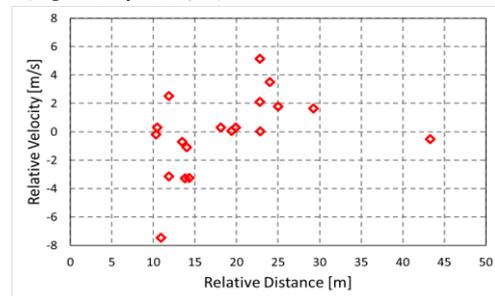


Fig.4 Result of experimental

## 4. 意思決定モデル

### 4. 1 意思決定モデルの概要

交通流調査および実車実験から得られた結果や仮定から、ドライバの意思決定過程を模擬した意思決

定モデルの構築を行った。まず初めに、意思決定モデルの構造化を行った。ここで、合流車両の多くは加速区間中央付近で合流を行うことや本線に車両が存在すると、加速区間の後半で合流する車両が増えることから、ドライバは加速区間に入る直前、もしくは直後に本線の状態を確認し、得られた情報を基に加速区間の中央付近での予測を立てる。その予測を基に、本線を走行する車列のどの位置に合流を行うべきなのか判断を行い、その判断に合わせて加速・減速の判断を行う。加速区間の中央付近に差し掛かると、現在の状況で合流を行えるのか改めて判断を行うといった意思決定過程を行うと考え、この仮定を模擬した意思決定モデルの構造化を行った。

Fig.5に今回構築したドライバモデルのフローチャートを示す。構築したモデルはドライバが以下の流れで合流動作を行っているものと仮定した。

1. 自車両の速度および位置、本線を走行する車両の前後それぞれ一番近い車両の情報を認知する。
2.  $t$ 秒後の予測を行う。
3. その予測された情報を基に、車列のギャップで合流が可能な地点の算出を行う。
4. その結果を基にして速度の調整を行い、現在の情報から合流できるのか判断を行う。

本研究では特に、合流可能なギャップの判断、速度の判断、合流判断の3つに注目して、これらの判断に人間の意思決定過程を入れることで、人間の特性を模擬したシステムの構築を目指した。

#### 4. 2 AHP モデル

本研究では人の意思決定過程の模擬を行うために、階層分析法(Analytic Hierarchy Process : AHP)を用いる。AHPは1971年にThomas L. Saatyによって提唱された意思決定手法の一つである<sup>4)</sup>。この手法は人の意思決定過程を「総合目標(Goal)」と「評価基準(Criteria)」、「代替案(Alternatives)」の3つの関係で捉えるものである。ここで「総合目標」とは意思決定の目標を、「代替案」とは目標を達成するために行う行動の選択肢を、「評価基準」とはどの選択肢を選ぶのかを決めるための評価基準を意味する。また、一番上に「総合目標」、真ん中に「評価基準」、一番下に「代替案」といった階層を作り、これらの階層間の要素間の重要度を一対比較法によって主観的に評価していく。

#### 4. 3 アンケート調査

人の特性を模擬するためにAHPを用いた意思決定モデルを構築するために、アンケート調査を行った。AHPでは重要度を一対比較法によって算出する。本研究では、個人ごとに算出される重み付け係数を用いるために、一対比較と共に、各評価基準に対する視覚的評価スケール(Visual Analog Scale : VAS)を取る

こととした。

アンケートの内容はアンケート協力者に、高速道路の合流車線を走行している車両からみた前方の映像とサイドミラー上から見た後ろの映像を同時に3秒間視聴し、4つの項目(「相対距離」「相対速度」「相対加速度」「合流部終端までの距離)」について一対比較を行った後、VASを用いた各評価基準の意識度合いの記述を行った。今回、アンケートには、運転免許所有暦が20年以上の熟練したドライバ2名と、運転免許所有暦2年以上の高速道路の運転に慣れたドライバ4名の計6名の方々に協力をお願いした。

#### 4. 4 意思決定モデルの構築

本研究では速度の判断と合流の判断それぞれにモデルを構築した。速度の判断および合流判断のモデルの最終目的をそれぞれ「速度調整」と「合流」として、評価基準は速度判断と合流判断のモデル両方共にアンケートの4つの項目とした。また、本研究では前方および後方それぞれに対してそれぞれモデルを構築した。これはアンケートの結果が前方および後方で重みを置く項目が異なっていたためである。

AHPでモデルを作るには、各評価基準の重みを算出する必要がある。まず初めに個々のアンケート調査における一対比較において選択された個数とVASによる点数を掛け合わせた値を算出する。この値は各アンケート協力者の値であるので、一度アンケート協力者全体の平均値を算出する。算出した平均値をマトリクス表示して、そのマトリクスの固有値解析を行うことで固有ベクトルを算出する。算出した固有ベクトルがAHPの各評価基準の重みとなる。

また、本研究では評価基準に関する各代替案の評価を絶対評価法によって行っている。今回用いた絶対評価は「安全」から「危険」までを5項目に分けて設定している。絶対評価の重みは評価基準の重みの算出と同様の算出方法を用いて算出している。算出した絶対評価基準では周辺環境や前方・後方車両との関係(本線車両との相対関係)から安全から危険までを5分割した値のいずれかの値を利用する。最終的には、AHPの評価基準の重みと絶対安全評価基準の重みを掛け合わせることで、最終的なモデルの出力としている。また、これらの値を選択する周辺環境や本線との相対関係を交通調査や実車実験から求めている。

#### 5. 交通シミュレーション

##### 5. 1 交通シミュレーションの概要

構築した意思決定モデルの妥当性検証のため、高速道路合流部を模擬した交通シミュレーションを実施した。コース形状は本線1車線、合流線1車線の計2車線の簡易的なコースであり、合流部の形状はゼブラ区間を

100m, 加速区間を100m, テーパー部を50mとしている。

### 5. 2 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として、本線を走行する車両の内、前走車および後続車の初期速度を80km/h, 90km/h, 100km/hの3条件として行った。また、実際の高速道路では速度の変化が起こっていたので、減速や加速、などの速度変化も110km/hおよび80km/hの範囲内で行った。本線を走行する車両それぞれの初期位置は自車を基準として前方車0m, 後方車30mとした。これは、交通流調査において合流車両と本線車両が並走し、その後ろに後続車が存在するといった状況が最も多い状況であったためである。

意思決定モデルへの入力情報として、「合流車線終端までの距離」「本線前走車両の相対距離, 相対速度」「本線後続車の相対位置, 相対速度」として、モデルの出力を合流判断, 速度判断とした。合流判断がなされると、合流車両は自身の前に車両がある場合はその車両に追従し、前方に車両がなければ速度を110km/hまで上げる動作をするモデルとした。また、自車両のダイナミクスとして、先行研究で構築された危険感を基にしたコース形状設定と多点注視モデルと車両モデルを用いた<sup>3)</sup>。

### 5. 3 シミュレーション結果

Fig.6, 7 にシミュレーション結果の一例を示す。Fig.6は本線の車列の最前列に、Fig.7は車列の真ん中に合流判断を行った場合のグラフであり、上から順に、自車両の走行軌跡, 操舵角, 車線変更の判断, 加速の判断, 減速の判断を示している。加速および減速の判断によって車両は速度を変化させ、合流判断によって車両は合流を開始する。Fig.6, 7より本線に車両が2台存在する場合において、合流および速度調整の判断が入力情報から行っていることがわかり、本線の車両の位置関係からどの位置に合流できるのか判断できていることがわかる。

以上の事から、本研究で構築したドライバの位置決定モデルが本線への合流時における判断を行うことができることを示した。

### 6. 結論

本研究では高速道路合流部におけるドライバの意思決定モデル構築のために交通流調査と実車実験を行い、それらの結果を基にドライバの特性を模擬した意思決定モデルの構築を行った。意思決定モデルはドライバの判断が3つのステップに分かれていると考え、アンケート調査の結果を用いてAHPによるモデル化を行い、人の特性を模擬したモデルを目指した。構築した意思決定モデルの妥当性を検討するために、交通シミュレーションを行った。その結果、

高速道路の合流時に最も多い状況である、本線を2台車が走行している状況において、構築した意思決定モデルが合流の判断を行えることを確認した。

今後の課題としては、合流判断に対して本線を走行する車両のより詳細な予測判断が必要になると考えられるため、本線を走行する車両のダイナミクスや意思決定(車線変更など)を入れる必要がある。また、意思決定モデルを構築するに当たり、アンケート対象者を増やすと共に、アンケート調査と実際の状況における判断基準の違いなどを調査する必要がある。

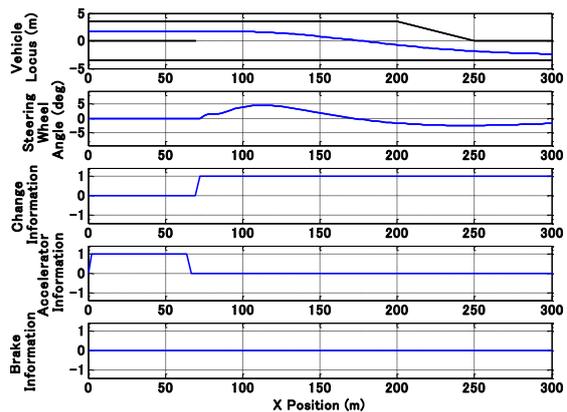


Fig.6 Simulation Results1

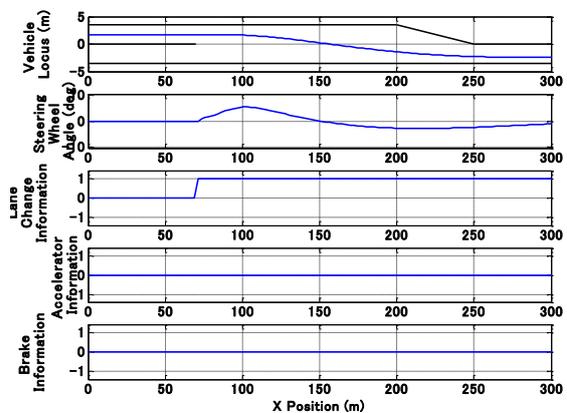


Fig.7 Simulation Results2

#### 「参考文献」

- 1) 国土交通省, 国土交通資料, 交通関係統計資料集
- 2) 共生社会政策統括官, 平成25年交通安全白書第1章第2節(2012)
- 3) 小林賢知, 高速道路合流部における運転支援に関する研究(第2報), 自動車技術会秋季学術講演会前刷集 No.97-11(2011)p.1-6.
- 4) 木下栄蔵, AHPの理論と実際, 日科技連 (2000) p.12-19.