

一般道路と高速道路の合流部における合流挙動解析

An analysis of the vehicles' behavior at the merging points of the public road and the expressway*

高山純一**・中山晶一朗***・西 啓介****・住友拓哉*****

By Jun-ichi Takayama**・Shoichiro Nakayama***・Keisuke Nishi****・Takuya Sumitomo*****

1. はじめに

我が国の交通事故の発生状況を見ると、車両相互事故が全事故件数の85%(平成12年度データ)を占めている。また、交通事故による死者の原因別内訳(平成9年度データ)を見ると、発見の遅れが50%、操作・判断ミスが27%となっている。したがって、事前における危険情報の提供や警告、また運転操作の制御や補助など先端的なITS技術を利用することによって、車両相互事故をはじめとして交通事故の多くを防止できる可能性が高いと考えられる。

走行支援道路システム(AHS)など先端技術の導入による安全性の改善効果を定量的に評価するためには、車両走行挙動を時々刻々記述できるミクロ交通シミュレーションが望まれる。この種のシミュレーションモデルを構築するためには、複数車両間の相互作用関係を明示的に考慮した形で、追従・合流・分流・車線変更の各局面における車両走行挙動を把握することが必要であろう。

本研究では合流部に着目する。合流部では、瞬時の判断により複雑な加減速や車線変更など運転負荷が高く、ドライバーが運転ストレスの感じやすいところである。また、円滑性の向上に向けて改善しなければならない箇所でもある。

合流部における運転挙動の研究は、合流部の設計基準を決定するためのもの¹⁾や、渋滞や交通事故など合流部で発生する様々な問題を解決するため²⁾に行われてきた。近年では、コンピュータによるシミュレーション技術の発達に伴い、比較的微小的な運転挙動に着目した研究

が行われるようになった^{3)~12)}。しかし、そのための分析データの取得は、適切な位置・場所にカメラを設置することが難しいなどの理由により一般に困難であり、データ不足のため、ドライバーの運転メカニズムが完全に把握されているとはいえないと思われる。

合流部には、合流車と本線車が存在し、これまで、合流車についてはギャップ選択行動を考慮した研究^{3)~6)}、速度調整行動を考慮した研究^{7)~8)}が、本線車については追従行動を考慮した研究⁹⁾、避走行動を考慮した研究^{10)~12)}が過去になされている。

本研究では、一般道路と高速道路の合流部に着目し、ビデオ撮影調査から車両走行データを収集し、合流時の車両走行ならびにドライバーの意思決定を分析する。具体的には、合流車のギャップ選択行動の判断要因について分析を行う。つまり、合流車はどのギャップに合流するのか、その判断のメカニズムを明らかにする。その際、本線車の走行速度が大きく異なる一般道路と高速道路の違いも明らかにする。それらの結果を利用し、ファジィ推論を用いてギャップ選択行動モデルの構築を行う。ファジィ推論を用いる理由は、車両行動を対象とする場合、知覚ならびに意思決定に存在するあいまいさや不確定性について考慮するためである。さらに、合流車が合流を開始する位置についても分析する。本線車との関係により、合流車はどのような状態・局面で、合流を開始するかを分析する。そして、その結果を利用し、ファジィ推論を用いて合流開始位置選択モデルの構築を行う。

2. 合流部における実測交通流調査

(1) 調査地点

(a) 一般道路

一般道路の調査地点は、京都府の「交通事故多発地点対策委員会」において「事故多発地点」と位置付けられた、図-1に示す国道1号線下り線の京都市奈良野町付近における国道161号線との織り込み区間である。幅員は、国道161号線は2.6m、国道1号線は第一、第二両車線ともに3.2mである。合流区間は42.3mと比較的に短い。

調査では、ビデオカメラを図-1に示した位置に大型クレーンを用いて上方からビデオ撮影を行った。図-2はビ

*キーワード: 交通流, ファジィ推論

**正会員, 工博, 金沢大学工学部土木建設工学科

石川県金沢市小立野2-40-20, TEL076-234-4644

FAX076-234-4644, E-mail: takayama@tkanazawa-u.ac.jp

***正会員, 博(工) 金沢大学工学部土木建設工学科

石川県金沢市小立野2-40-20, TEL076-234-4644

FAX076-234-4644, E-mail: nakayama@tkanazawa-u.ac.jp

****学生員, 金沢大学大学院自然科学研究科環境基盤基礎工学専攻

石川県金沢市小立野2-40-20, TEL076-234-4644

E-mail: nishi@nihonkai.kanazawa-u.ac.jp

*****正会員, (株) 国土開発センター

石川県松任市八束穂3丁目7番地

TEL076-274-8806 FAX076-274-8427

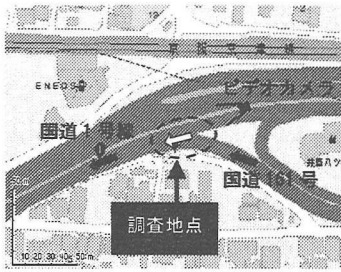


図-1 一般道路調査対象地域の略図

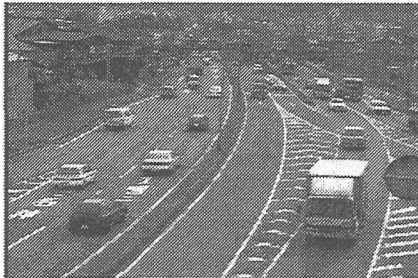


図-2 一般道路ビデオ映像



図-3 高速道路調査対象地域の略図



図-4 高速道路ビデオ映像

表-1 一般道路断面交通量

調査時間	流入部断面						計	
	R161		R1(第一車線)		R1(第二車線)			
	交通量 (台)	大型車 混入率 (%)	交通量 (台)	大型車 混入率 (%)	交通量 (台)	大型車 混入率 (%)	交通 量 (台)	大型車 混入率 (%)
7~8	1409	5.97	244	21.77	978	3.85	2631	10.53
8~9	1226	8.81	168	15.18	673	4.67	2067	9.55
14~15	910	15.99	206	25.64	822	14.44	1938	18.69
計	3545	9.19	618	21.01	2473	7.03	6636	12.41

表-2 高速道路断面交通量

調査時間	流入部断面						計	
	合流車線		本線(第一車線)		本線(第二車線)			
	交通量 (台)	大型車 混入率 (%)	交通量 (台)	大型車 混入率 (%)	交通量 (台)	大型車 混入率 (%)	交通量 (台)	大型車 混入率 (%)
12~13	301	32.23	659	42.19	680	20.29	1640	31.28
13~14	332	27.11	724	44.34	666	22.07	1722	32.41
14~15	273	34.07	703	49.08	668	23.65	1044	36.25
15~16	283	34.63	734	42.92	695	30.07	1712	36.33
計	1189	31.79	2820	44.65	2709	24.07	6718	34.07

デオカメラで撮影した合流部である。調査日時は1999年5月25日(火) 晴れ、7:00~9:00、14:00~15:00の計3時間である。各車線の時間帯別断面交通量を表-1に示す。

(b) 高速道路

高速道路の調査地点は、図-3に示す阪神高速道路の吹田SAの上り方向の合流部である。幅員は、吹田SAからの合流車線、高速道路本線第一、第二いずれの車線も3.7mである。合流区間は176.2mと一般道路と比べて長い。

調査では、高速道路上の歩道橋上のビデオカメラを設置し、撮影を行った。図-4がその撮影映像である。調査日時は2001年10月23日(火) 晴れ、12:00~16:00の計4時間である。各車線の時間帯別断面交通量を表-2に示す。合流車より本線車の方が多く、大型車混入率がいずれも高い事が分かる。

3. 調査方法と調査項目

(1) 車両挙動の抽出システム

本研究ではデジタルビデオを用いた調査を行う。デジタルビデオの場合はAVIファイルを利用した画像データから交通データを抽出可能なツールを使用することで、フレーム移動ボタンにより短時間で正確に画面を(時間的に)移動させることができる。また、僅かながら画面が不鮮明なことはあるが、完全に画像を静止させた場合、アナログビデオの場合よりも鮮明である。

このツールにより画像データの任意のフレームを静止画像としてパソコン画面上に表示し、マウスのクリック操作により現在のフレームから前後、1・2・5・8・15・30フレーム数毎にスライドを移動することで、コマ送り・巻き戻し操作ができる。また、画面上の任意の点について、画面座標をマウス操作により示すことも可能である。なお、1フレームは実時間では1/30秒である。

(2) データの調査項目

- ・合流ギャップ（第1・第2ギャップ合流）
- ・合流車の車種（大型車・小型車）
- ・本線関与車の車種（大型車・小型車）
- ・避走（有・無）
- ・合流車の速度
- ・合流車の加速度
- ・本線関与車の速度
- ・本線関与車の加速度
- ・合流車と本線関与車の相対速度
- ・合流車と本線関与車の車尾時間

合流ギャップとは、合流車が本線車のどのギャップに合流するかということである。ここでは、合流車が合流部ノーズ端に到達した時点で、その合流車の後方（もしくは真横）に存在する本線車の前方のギャップを第1ギャップとし、その本線車より後方のギャップを第2ギャップと定義する（図-5参照）。分析結果（重回帰分析結果）は紙面の都合上省略するが、合流車のギャップ選択行動に関して、合流車より前方にある本線車（前方本線車）に関する変数（前方本線車と合流車との相対速度・車尾時間、前方本線車の加速度）は有意にはならなかったため、前方本線車は考慮しないことにし、合流車の後方の本線車を本線関与車と呼ぶことにする。なお、合流車がノーズ端の時に図-2および図-4の各合流部の映像に写っている本線車のみ関与車とした。また、本研究が対象とする合流車は、合流区間に到達した時点で後方に本線車（本線関与車）が存在する合流車に限定する。

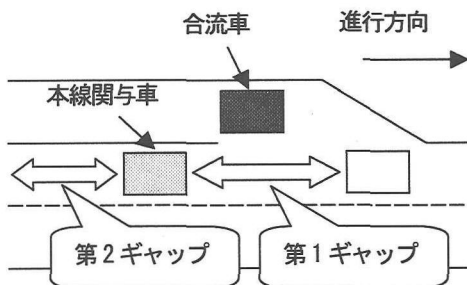


図-5 車両、合流ギャップの定義

合流車、本線関与車の車種（大型・小型）、避走（有・無）は目視により調査する。

合流車の速度、合流車の加速度、本線関与車の速度、本線関与車の加速度は、合流区間ノーズ端でのものとする。合流車と本線関与車の相対速度は、合流車の速度から本線関与車の速度を引いたものであり、合流車と本線関与車の車尾時間は、合流区間ノーズ端でのものである。

4. 合流ギャップ選択行動

(1) 合流ギャップ選択行動の判断要因分析

合流車がどのギャップ（第1ギャップ、第2ギャップ）に合流したかの判断要因を分析するために重回帰分析を行う。本来、ギャップ選択に対しては、判別分析が適切と思われるが、本研究では、変数の統計的有意性や統計学的なモデルの適合性指標を算出できるため、ギャップをダミー変数とした重回帰分析を用いることとした。目的変数（ダミー変数）を「合流ギャップ」とし、重回帰分析を行った。サンプル数は、一般道路は608台、高速道路は922台である。

分析の結果、一般道路合流部（表-3）、高速道路合流部（表-4）、いずれにおいても合流車と本線関与車との車尾時間の間隔の相関関係が特に高い結果となった。また、合流車と本線関与車との相対速度もある程度相関関係が高いと思われる。

表-3 一般道路の合流ギャップ選択の重回帰分析

変数名	標準偏回帰係数	t 値	判 定
合流車の車種	0.0405	1.24	
本線関与車の車種	0.1955	5.78	**
避走の有無	-0.0245	-0.77	
合流車の速度	0.1794	3.58	**
合流車の加速度	-0.0381	-1.16	
本線関与車の加速度	0.0754	2.35	*
合・本車の相対速度	-0.4600	-9.23	**
合・本車の車尾時間	-0.4277	-12.34	**
定数項		5.30	**

重相関係数 0.6324

** : 1%有意 * : 5%有意

表-4 高速道路の合流ギャップ選択の重回帰分析

変数名	標準偏回帰係数	t 値	判 定
合流車の車種	-0.0211	-0.89	
本線関与車の車種	0.0289	1.27	
避走の有無	0.0372	1.58	
合流車の速度	-0.0960	-2.92	**
合流車の加速度	-0.2347	-8.39	**
本線関与車の加速度	0.1962	7.49	**
合・本車の相対速度	-0.2577	-8.57	**
合・本車の車尾時間	-0.7020	-29.91	**
定数項		12.88	**

重相関係数 0.7398

** : 1%有意 * : 5%有意

(2) 車尾時間による合流ギャップ選択行動分析

図-6に、高速道路、一般道路における車尾時間から見た第2ギャップへの合流の割合（第2ギャップ割合）の比較を示す。

図-6から、高速道路においては車尾時間が小さい場合（1秒未満）は90%前後というかなり高い確率で第2ギャップ合流を行っている。一方、一般道路においては車尾時間が小さい場合でも、合流車が見送る確率は30%前後とあまり高い確率にはなっていない。

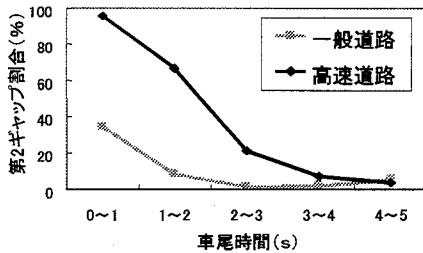


図-6 車尾時間から見た合流車の見送り割合

理由として、高速道路と一般道路における合流車線の規格・形状の違いに起因していると考えられる。国道 1 号線奈良野町付近における国道 161 号線の合流部（一般道路）は、合流区間が 42.3m と短いため、合流車は見送る余裕がなく、車尾時間が小さい場合でも、無理をしてでも合流していると考えられる。一方、名神高速道路吹田 SA（高速道路）における合流部の合流車線長は、176.2 m と一般道路の合流車線長のおよそ 4 倍程度あり、合流車には見送る余裕があるため、車尾時間が小さい場合は無理することなく見送り、第 2 ギャップに合流していると考えられる。また、高速道路においては、合流車の速度に比べ本線関与車の速度の方が圧倒的に大きいため、車尾時間が非常に小さい場合においては、ほとんどの合流車は無理に合流せず、本線関与車を見送った後、余裕を持って合流していると考えられる。なお、上で述べたように、一般道路の合流区間が 42.3m と短く、非常に過酷な状況下で判断を迫られる状況とも考えられ、特殊な例である可能性がある。

(3) 相対速度による合流ギャップ選択行動分析

図-7 に、高速道路、一般道路における相対速度から見た合流車の第 2 ギャップ割合の比較を示す。

図-7 からは、高速道路と一般道路における相対速度から見た合流車の第 2 ギャップ割合にはっきりとした違いが現れていない。これは、相対速度から見た合流車の第 2 ギャップ割合には、車尾時間が大きく関与していると考えられる。車尾時間がある程度大きい場合には、相対速度の影響が関係しなくなるのではないだろうか。そこで、図-8 に車尾時間 1 秒未満に限定した、高速道路、一般道路における相対速度から見た第 2 ギャップ割合を示す。

図-8 から、高速道路においては車尾時間が 1 秒未満の場合は、合流車は相対速度に関わらず 100% に近い値で第 2 ギャップ選択を行っていることが分かる。高速道路においては合流車線長が長いために、車尾時間が短い場合は、相対速度に関わらず車尾時間の判断を優先させ第 2 ギャップ選択を行っていると考えられる。一般道路においては、車尾時間が 1 秒未満でも、合流車が本線関与車よりも速い場合（相対速度が正の場合）は、第 2 ギャップ選

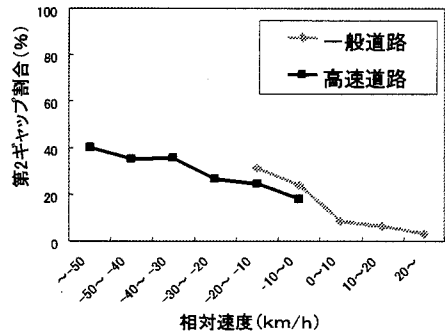


図-7 相対速度から見た合流車の見送り割合

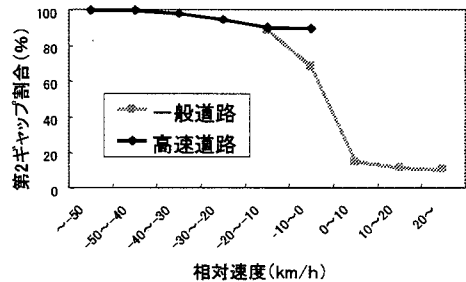


図-8 車尾時間1秒未満に限定した相対速度から見た合流車の見送り割合

択を行う割合が低くなっている。これは一般道路の合流車線長が短く、見送る余裕がないため、合流車は車尾時間が短い場合でも合流車の速度の方が本線関与車よりも速度が速い場合は無理して合流していると考えられる。

車尾時間 1 秒以上に限定した相対速度から見た第 2 ギャップ割合は図-7 と同様に、一般道路と高速道路で違いがあまり見られなかったため、紙面の都合上、省略する。

このように、一般道路と高速道路では車尾時間が 1 秒未満において相対速度に関する第 2 ギャップ選択割合が大きく異なることが分かった。

以上のように、一般道路と高速道路では、合流車の合流を決定する車尾時間や相対速度の定量的な値は異なると思われる。したがって、それぞれの合流部の特性に合わせてモデルを構築し、安全対策など検討する場合も個々に考える必要があることが伺える。

(4) ファジィ推論を用いた合流ギャップ選択行動モデルの構築

(a) 概要

運転はもともと人間が行うことであり、不確定かつ曖昧な性質が多いと考えられる。このため曖昧な挙動を的確に表現できるファジィ推論を用いて運転挙動を記述する方が、より実際のモデル作成が可能であると思われる。

そこで、メンバーシップ関数を作成し、ファジィ推論を

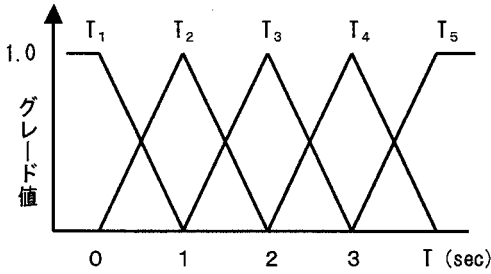


図-9 車尾時間のメンバーシップ関数

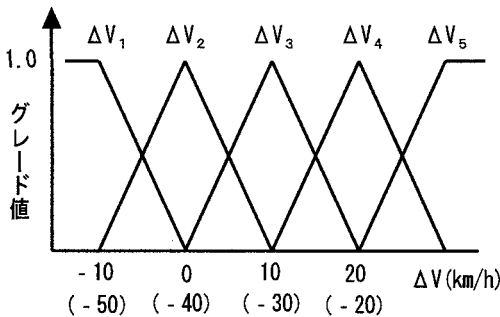


図-10 相対速度のメンバーシップ関数

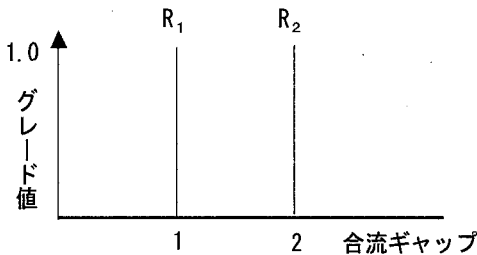


図-11 合流ギャップのメンバーシップ関数

用いた合流ギャップ選択行動モデルの構築を行う。

(b) メンバーシップ関数の作成

ファジィ推論における前件部を決定する。前節の重回帰分析(表-3, 表-4)で、合流ギャップ選択に特に大きな影響を及ぼしている要因である「合流車と本線関与車との車尾時間」, 「合流車と本線関与車との相対速度」の二つを取り上げる。これらの要因を前件部に用い、ファジィ推論ルールにより合流ギャップを決定する。

まず、ファジィ推論の考え方を利用して合流車がどのギャップに合流するかを判定するために、IF-THEN 式を作成する。合流車と本線関与車との車尾時間 T , および相対速度 ΔV を用いて、合流車の合流ギャップ R を決定する。以下に実際に合流ギャップの決定に用いるファジィ推論ルールを示す。

$$\text{IF } T=T_i \text{ and } \Delta V=\Delta V_j \text{ then } R=R_k \quad (i,j=1\sim 5, k=1,2) \quad (1)$$

次に、決定した IF-THEN 式の前件部および後件部に対応するメンバーシップ関数の作成を行う。より多くの合流車が含まれるように、車尾時間、相対速度を 5 段階に分類する。決定する合流ギャップは 2 段階とした。それぞれのメンバーシップ関数を図-9～図-11 のように作成する。ただし相対速度において、一般道路と高速道路では数値が異なるので、高速道路での数値を括弧で表す。

また、合流ギャップ選択のファジィ推論ルールを表-5, 表-6 に示す。ただし、 T_i , ΔV_j はそれぞれ図-9, 図-10 で示された値を表し、 R_1 は第 1 ギャップ合流、 R_2 は第 2 ギャップ合流を表している。表-5, 表-6 の $T_1\sim T_5$, $\Delta V_1\sim \Delta V_5$ の各セルが R_1 か R_2 かの決定は、実際のそのセルに対応する合流車がより多く選択したギャップとしている。つまり、表-5 では、(T_2 , ΔV_1) のセルは R_2 となっているが、それは車尾時間が 0.5 秒から 1.5 秒で、相対速度が $-5(\text{km/h})$ 以下に該当する合流車は第 2 ギャップを選択したもののほうが多かったため、 R_2 となっている。

表-5 一般道路におけるファジィ推論ルール

	ΔV_1	ΔV_2	ΔV_3	ΔV_4	ΔV_5
T_1	R_2	R_2	R_2	R_1	R_1
T_2	R_2	R_2	R_2	R_1	R_1
T_3	R_1	R_1	R_1	R_1	R_1
T_4	R_1	R_1	R_1	R_1	R_1
T_5	R_1	R_1	R_1	R_1	R_1

表-6 高速道路におけるファジィ推論ルール

	ΔV_1	ΔV_2	ΔV_3	ΔV_4	ΔV_5
T_1	R_2	R_2	R_2	R_2	R_2
T_2	R_2	R_2	R_2	R_2	R_2
T_3	R_2	R_2	R_2	R_1	R_1
T_4	R_2	R_1	R_1	R_1	R_1
T_5	R_1	R_1	R_1	R_1	R_1

(c) ファジィ推論方法

通常ファジィ推論で用いられる mini-max 法は、離散選択の取り扱いを想定しておらず、mini-max 法をそのままギャップ選択に適用することはできない。そこで、本研究では、以下のような方法でギャップ選択を行うことにした。

- ① 車尾時間 T に対するファジィ変数 T_i におけるグレード G_t を求める。グレード値は図-9～11 の縦軸の値である。
- ② 同様に、相対速度 ΔV に対するファジィ変数 ΔV_j におけるグレード G_v を求める。
- ③ 通常、ファジィ変数 T_i とファジィ変数 ΔV_j の組み合わせは 4 つ出来る。
- ④ 第 2 ギャップ合流を重み 1 とし第 1 ギャップ合流を重み 0 とする。
- ⑤ ファジィ制御ルールに則して掛け合わせる。

$$RR1=1(\text{または } 0) \times Gt \times Gv$$

$$RR2=1(\text{または } 0) \times Gt \times Gv$$

$$RR3=1(\text{または } 0) \times Gt \times Gv$$

$$RR4=1(\text{または } 0) \times Gt \times Gv$$

⑥ RR1～RR4 まで足し合わせる。これをFとする。

Fが0.74（何度もシミュレーションを行うことで、0.74が最適であると判断された）より小さい場合は第1ギャップ合流、2以上の場合は第2ギャップ合流と判定する。

(d) 実データを用いたギャップ選択行動モデルの精度の検証

構築したファジィモデルの有効性を調べるため、実データの合流ギャップ（観測値）と、ギャップ選択行動モデルによって選択された合流ギャップ（推定値）の残差率的中率を算出する。

一般道路においては、合流車 608 台中 537 台について結果が的中しており、的中率は 88.3%であった。高速道路においては、合流車 922 台中 865 台について結果が的中しており、的中率は 93.8%であった。

同じデータを用いて判別分析を行ったところ、一般道路においては 76.0%、高速道路においては 86.8%、重回帰分析では一般道路については 84.7%、高速道路においては 92.6%の的中率であった。このことから、ファジィ推論を用いたギャップ選択行動モデルはかなり高い精度が期待できると判断できる。ただし、以上の議論は的中率の高さのみに限定されたものである。モデルの良否はその他さまざまな要素を勘案する必要があることに注意が必要である。

5. 合流開始位置選択行動

(1) 概要

交通ミクロシミュレーションモデルを構築するためには、ドライバーはどのような判断でどの位置で合流を開始しているかを分析する必要がある。また、走行支援システム（AHS）などの導入の際、どの時点で合流を開始すべきかを決定する必要がある。そのためには、まず実際の合流開始位置を分析することが重要と考えられる。

一般道路においては合流区間が 42.3mと短いため、合流開始位置は合流車によってあまり違いは見られない。そのため高速道路における合流車を対象とする。また、第1ギャップ合流と第2ギャップ合流とでは合流開始位置での対象とする車両が異なるため、別に分析する必要がある。ここではまず第1ギャップ合流車のみを対象とする。

(2) 軌跡の算出

合流開始位置を求めるにはまず合流車の軌跡を算出する必要がある。合流車が合流区間に到達した時点から合流完了するまでを 0.5 秒ごとに画面座標を抽出した。合流車両 1 台を例に取り、その車両と本線関与車との位置関係を考慮した軌跡を図-12 に示す。図-12 において、合流車、本線関与車の△地点は同時刻での地点を表している。カメラ映像の関係から、合流車が合流区間に到達した時点からしばらくは本線関与車の位置は確定できず、映像に映ってからでしか確認できないため、全て同時刻で確認することはできずこのように表現した。

また、合流車の軌跡において、図の○地点（A 地点）から角度をつけて曲がっていることが分かる。よってこの A 地点で合流しようと判断していることが想像できる。ただし、これは主観的な判断であるので客観的な判断が必要である。合流車は合流開始前は、水平方向の移動はほとんど行わない。そして、合流開始しようとした時点でハンドル操作により水平方向に移動する。このように考えると、水平方向に大きく変化した時点が合流開始位置だと推測される。そこで、0.5 秒で x 軸（横軸）に 0.2 m以上移動した時点合流開始位置と判断することにした。0.2m以上移動したと判断したのは、主観的判断と客観的判断で顕著な差がそれほど見られなかった（相関係数 0.86）からである。

(3) 合流開始位置選択行動の判断要因分析

合流開始位置を目的変数として、重回帰分析を行った。結果を表-7 に示す。サンプル数はデータの取得の都合により 81 台となった。

分析の結果、合流開始位置での合流車の加速度、合流開始位置およびノーズ端での合流車と本線関与車との車尾時間の相関関係が特に高い結果となった。そこで、相

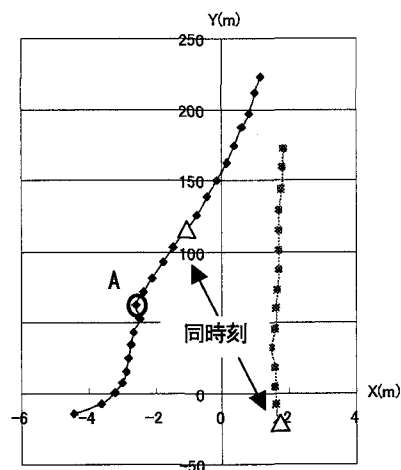


図-12 合流車と本線関与車の軌跡

表-7 合流開始位置を目的変数とした重回帰分析

変数名	標準偏帰係数	t 値	判 定
合流車の車種	0.0267	0.50	
本線関与車の車種	0.0419	0.76	
避走の有無	-0.0631	-1.22	
合流車の速度(合流開始位置)	0.6392	3.90	**
合流車の速度(ノーズ端)	-0.4055	-4.17	**
合流車の加速度(合流開始位置)	-0.4504	-8.59	**
合流車の加速度(ノーズ端)	-0.1674	-2.90	**
相対速度(合流開始位置)	0.1992	1.75	
相対速度(ノーズ端)	-0.2528	-2.59	*
車尾時間(合流開始位置)	-0.8676	-5.19	**
車尾時間(ノーズ端)	0.8639	5.10	**
定数項		1.23	
重相関係数 0.9246 **:1%有意 *:5%有意			

関係の高かった三つの説明変数に対してそれぞれ合流開始位置にどのように関係しているかを考察してみる。

(a) 合流開始位置での合流車の加速度

合流する際の加速度が大きいほど、合流開始位置は小さい。これは合流開始位置が大きい(ノーズ端よりも遠い)時は、十分加速している(十分な速度を有している)と考えられるので加速度は小さいといえる。逆に合流開始位置が小さい(ノーズ端に近い)時は、十分に加速できていない(十分な速度を有していない)ため、本線で円滑な走行を行うため、加速度が大きくなる必要がある。

(b) 合流開始位置での車尾時間

合流開始位置での車尾時間が大きいほど、合流開始位置は小さい。合流開始位置が大きい、つまり残存車線長が小さくなるにつれ、小さい車尾時間でも合流開始しなければならないことを示している。

(c) ノーズ端での車尾時間

ノーズ端付近では、合流車の速度は本線車に比べて非常に小さい。そのため、車尾時間が小さい場合、第1ギャップで合流しようとする、できるだけノーズ端近くで、合流する必要がある。車尾時間が小さい場合、ノーズ端より遠くで合流しようとすることは、合流車の速度は本線車に比べて遅いため、合流車は本線車に追い越されてしまうため、事実上、不可能であり、第2ギャップに合流せざるを得なくなる。したがって、ノーズ端での車尾時間の偏相関係数は正になっていると考えられる。このように合流車がノーズ端での速度が小さい場合に、第1ギャップに合流しようとする、非常に危険な行動をとらざるを得なくなる。

(4) ファジィ推論を用いた合流開始位置選択行動モデルの構築

(a) ファジィ推論ルールの設定

前節で挙げた合流開始位置に特に相関係数の高かった三つの説明変数を用いて、合流開始位置を目的変数とするファジィ推論を用いたモデルを構築する。そこで表-8のようにファジィ推論ルールを決定する。数値はそれぞれの範囲におけるサンプル数を意味している。サンプル

表-8 ファジィ推論ルール

合流車 加速度 (m/s)	合流開始位置 車尾時間 (s)	ノーズ車 尾時間 (s)	合流位置(m)			
			0	20	40	60
～0	～6	～6	3	5	4	5
			4.5～7.5	1	4	1
			6～	0	2	2
			4.5～7.5	2	1	0
		4.5～7.5	3	4	2	1
			6～	1	3	1
			6～	1	0	0
			4.5～7.5	2	2	0
		6～	1	3	0	1
			4.5～7.5	3	6	2
			6～	0	2	1
			4.5～7.5	4	4	0
-1.5～1.5	～6	～6	4	3	2	0
			4.5～7.5	8	3	0
			6～	4	3	1
			4.5～7.5	7	1	0
		4.5～7.5	6	2	2	1
			6～	5	5	0
			4.5～7.5	5	1	2
			6～	5	5	0
0～	～6	～6	5	3	2	2
			4.5～7.5	13	6	2
			6～	3	1	3
			4.5～7.5	6	0	0
		4.5～7.5	6	0	0	0
			6～	1	1	0
			4.5～7.5	13	2	4
			6～	2	4	4

数が最も多い所をその範囲における合流開始位置と設定する。

(b) 実データを用いた合流開始位置選択行動モデルの精度の検証

構築したファジィモデルの有効性を調べるため、実データの合流開始位置(観測値)と、合流開始位置選択行動モデルによって選択された合流開始位置(推定値)の相関係数を算出する。

観測値と推定値の相関係数を調べると、0.7340であった。これは同じデータを用いて行った重回帰分析での結果(相関係数0.6907)よりも精度が高い結果となった。

5. おわりに

本研究では、ビデオ調査データをもとに、実際の合流部(一般道および高速道路)における合流車の合流挙動を解析し、合流車のギャップ選択行動の判断要因を分析するために重回帰分析を行った。その結果、合流車のギャップ選択決定の大きな要因には、車尾時間や相対速度が挙げられることが分かった。これは既存研究^{3)・6)}の結果と合致していた。また、一般道路と高速道路とでは、車尾時間や相対速度で、合流ギャップ選択行動が異なっており、一般道路と高速道路では、合流挙動が異なると思われる。そして、これらの分析を踏まえて、合流車のド

ライバーによるギャップ選択行動の判断にファジィ推論を利用した、ギャップ選択行動モデルの構築を行い、実際のデータをそのモデルに照合してその妥当性を検討した。ファジィ推論によるギャップ選択モデルは、重回帰分析や判別分析によるギャップ選択の分析結果よりも、的中率が高いという結果が得られた。また、合流車の合流位置選択行動の判断要因を分析するために、高速道路合流部を対象にして重回帰分析を行った。この分析により、合流開始位置での合流車の加速度、合流開始位置での車尾時間、ノーズ端での車尾時間が大きな要因であった。これを用いて、ファジィ推論を利用して合流開始位置選択モデルの構築を行った。ここでもファジィモデルは、重回帰分析による結果よりも相関係数は高いという結果が得られ、ファジィモデルの有用性が確認された。

謝辞

なお、画像データの処理システムは京都大学（飯田研究室）で開発されたものを利用させて頂いた。また、ビデオ調査のデータは、国土交通省京都国道工事事務所・交通事故多発地点対策委員会および社団法人システム科学研究所、住友電気工業株式会社が行ったものであり、利用させて頂いた。ここに記して感謝したい。

参考文献

- 1) 巻上安爾・安達清夫・末田元二：高速道路改築に伴う合流部の合流車線長について，土木学会論文集，第371号/IV-5，pp.132-142，1986.
- 2) 大口敬・越正毅・桑原雅夫・赤羽弘和：ファジィ推論を用いた車両の追従挙動モデル，土木計画学研究・講演集，No.13，pp.221-228，1990.
- 3) 清水哲夫・三室徹・飯島雄一：走行支援システムの評価のための高速道路流入部におけるマイクロ交通解析，第37回土木計画学シンポジウム論文集，pp.33-40，2001.
- 4) 松本健二郎・高橋秀喜・井上淳一・辻光弘：織り込み区間長評価のための交通シミュレーションモデルの開発，土木学会論文集，No.440，pp.61-69，1992.
- 5) 古屋秀樹・石田東生・鈴木勉・中村毅一郎：個人・属性を考慮したギャップアクセプタンス行動に関する基礎研究，第19回交通工学研究発表会論文報告集，pp.41-44，1999.
- 6) 喜多秀行・皇中康行：高速道路流入部におけるギャップアクセプタンス挙動の解析，第11回交通工学研究発表会論文集，pp.9-12，1991.
- 7) 喜多秀行・原田裕司：流入タイミング調整行動を考慮した流入挙動モデル，土木計画学研究・論文集，No.12，pp.673-679，1995.
- 8) 井上博司・尾上一馬・飯田祐三：シミュレーションによる多重追突の生起メカニズムの分析とその対策に関する研究，第37回土木計画学シンポジウム論文集，pp.49-56，2001.
- 9) 中村英樹・桑原雅夫・越正毅：織り込み区間の交通容量算出シミュレーションモデル，土木学会論文集，No.440，pp.51-59，1992.
- 10) 喜多秀行・幸坂謙之介・福山敬：避走行動モデルに基づく高速道路流入部の走行特性推計法，土木計画学研究・講演集，pp.787-790，2000.
- 11) 塩谷直文・喜多秀行・伊勢田充：高速道路流入部における避走誘導方策の有効性に関する研究，土木学会年次学術講演会講演概要集第4部，pp.70-71，2000.
- 12) 喜多秀行・小笠原寛人・福山敬：高速道路流入部における走行車線分布の導出，先行避走行動に着目して：土木学会第55回年次学術講演会，pp.1-2，2000.

一般道路と高速道路の合流部における合流挙動解析

高山純一**・中山晶一朗***・西 啓介****・住友拓哉*****

本研究では、一般道路と高速道路における合流部に着目し、画像データから車両走行データを収集し、合流時の車両走行ならびにドライバーの意思決定を分析する。具体的には、合流車のギャップ選択行動の判断要因分析を行い、その判断のメカニズムを明らかにする。また、本線車の走行速度が大きく異なる一般道路と高速道路の違いも明らかにする。その結果を利用し、ファジィ推論を用いてギャップ選択行動モデルの構築を行う。また、合流車が合流を開始し始める位置についても分析する。本線車との関係により、合流車はどのような場合、合流を開始し始めるかを分析する。その結果を利用し、ファジィ推論を用いて合流開始位置選択モデルの構築を行う。

An analysis of the vehicle's behavior at the merging points of the public road and the expressway*

By Jun-ichi Takayama**・Shoichiro Nakayama***・Keisuke Nishi****・Takuya Sumitomo*****

We make an analysis of vehicles' behavior and their decision-makings at the merging points on the public road and the expressway. In this paper, we examine the factors and the mechanism of gap choice behavior of merging vehicles and the difference between the public road and the expressway, in which the traveling velocities and the lengths of merging points are largely different. Then, we construct a fuzzy model of gap choice behavior based on the analysis results. Also, we investigate the spots where the vehicles turn the wheel and start merging or changing the lane, and make its fuzzy model.
