

一般道路と高速道路の合流部におけるギャップ選択判断要因分析とモデルの構築

An analysis of the factors of gap choice at the merging points of the public road and the expressway and a fuzzy gap choice model*

高山純一**・中山晶一郎***・西 啓介****・住友拓哉*****

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

1. はじめに

近年、交通の円滑化、安全化を目的とした ITS の研究開発が進んでいる。ITS 技術を用いることによりドライバーのミスや低減し、事故防止を図ることは十分に可能である。ITS 技術を利用した交通安全システムの効率的かつ効果的な運用を図るためには、そのシステムの効果分析をすることが必須となってくる。これらの効果分析に際しては、交通錯綜部における車両挙動を観測し、この観測結果に基づき車両の挙動をモデル化し、当該部における交通流動をシミュレートすることが効果的である。

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、合流車のギャップ選択行動の判断要因分析（重回帰分析による要因分析）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。また、その結果に基づき、ファジィ推論を用いて交通の円滑化・安全化を目的とした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のは、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している不確実性、矛盾について考慮する必要があるためである。

*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-mailtakayama@t.kanazawa-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-mailsnakayama@t.kanazawa-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-mailnishi@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

2. 合流部における実測交通流調査

(1) 合流部のビデオ調査概要

本研究の調査地点は、国道 1 号線下り線奈良野町付近（京都府）における国道 161 号線との合流部（図 2-1 参照）と、阪神高速道路における吹田 SA における上り方向の合流部（図 2-2 参照）である。調査方法はデジタルビデオカメラを設置し、奈良野地区では大型クレーンを吹田 SA では高速道路上の歩道橋を用いて上方から撮影し、それぞれの合流車すべてを分析対象とした。ただし、合流車の前後に本線走行車が存在しない場合は有効データから除去した。

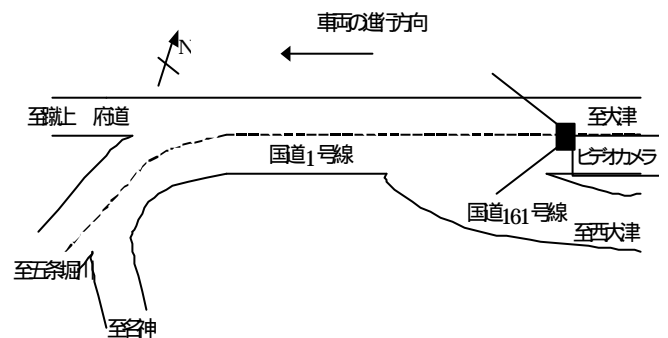


図 2-1 調査対象地域の略図（奈良野町）

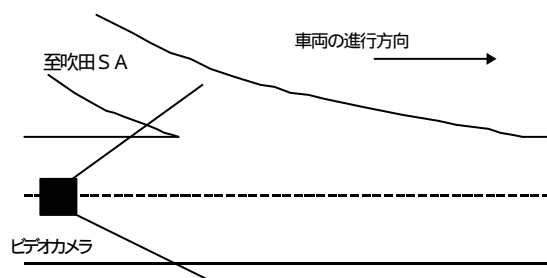


図 2-2 調査対象地域の略図（吹田 SA 付近）

(a) 一般道路合流部の調査概要

調査地点：国道1号線下り奈良野町付近
調査時間：7:00～9:00・14:00～16:00の計4時間
合流車数：3973台
有効サンプル数：608台

(b) 高速道路合流部の調査概要

調査地点：名神高速道路吹田SA合流部
調査時間：12:00～16:00の4時間
合流車数：1189台
有効サンプル数：922台

(2) 車両挙動の抽出システム

調査にあたり、画像データ(AVIファイル)から交通データを抽出できる以下のようなツールを用いた。このツールでは、まずAVIファイル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することができ、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フレームの画像を表示させることができる(1フレーム1/30秒)。

(3) 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

ここで本線関与車とは、ギャップ選択行動に影響を及ぼす本線後走行車を示し、この車両が存在するパターンを調査対象とする。

3. 合流ギャップ選択行動の判断要因の分析

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。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。

分析の結果、一般道路合流部(表3-1)、高速道路

合流部(表3-2)、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3-1 一般道路合流部における分析結果

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	**
重回帰式			
重相関係数 0.6324 **:1%有意 *:5%有意			

表3-2 高速道路合流部における分析結果

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	**
重回帰式			
重相関係数 0.7398 **:1%有意 *:5%有意			

4. ファジィ推論を用いたギャップ選択行動モデルの構築

(1) 概要

運転はもともと人間のすることであり、不確定かつ曖昧な性質が多い。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、より実際的なモデル作成が可能である。

そこで、ファジィ推論を用いるために、メンバーシップ関数を作成し、ギャップ選択行動モデルの構築を目指す。

(2) メンバーシップ関数の作成

ファジィ理論における前件部を決定する。前節の重回帰分析(表3-1, 3-2)で、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 V 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．

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

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以下の図 4-1～図 4-3 のように作成する．

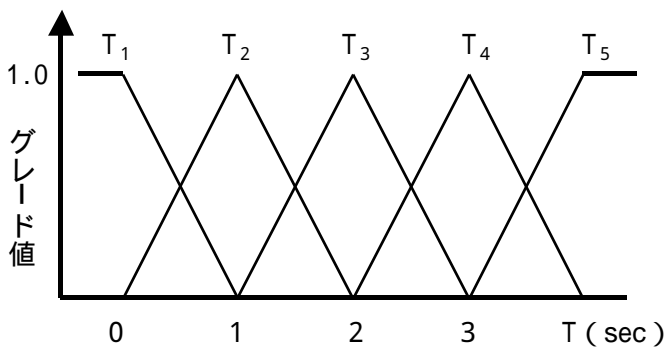


図 4-1 車尾時間のメンバーシップ関数

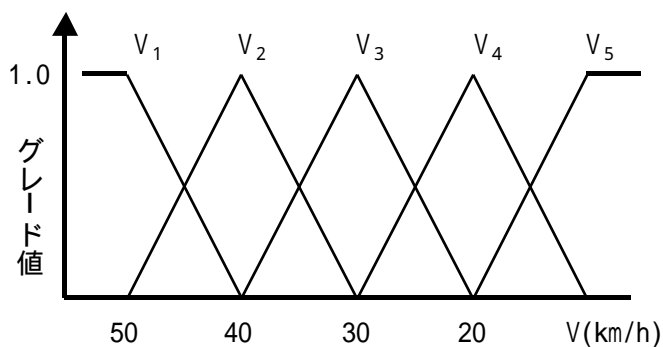


図 4-2 相対速度のメンバーシップ関数

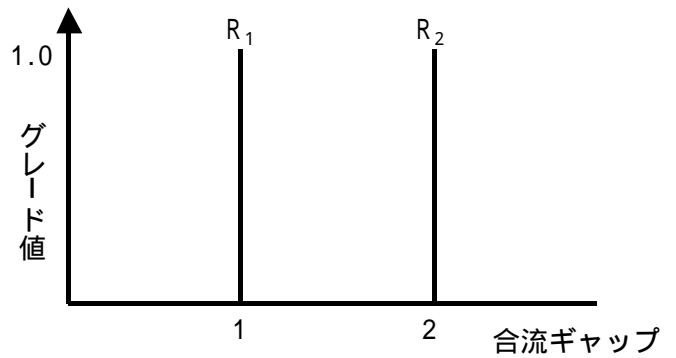


図 4-3 合流ギャップのメンバーシップ関数

また，合流ギャップ選択のファジィ推論ルールを表 4-1 に示す．ただし， T_i ， V_j はそれぞれ図 4-1，4-2 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 4-1 ファジィ推論ルール

	V_1	V_2	V_3	V_4	V_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

これらのファジィ推論ルールは，実際の交通流における割合から決定した．例えば， $T_1 \cdot V_1$ では全 35 台中，第 2 ギャップ合流が 35 台であったため R_2 とし， $T_4 \cdot V_3$ では全 67 台中，第 2 ギャップ合流は 7 台であったため R_1 とした．

(3) ギャップ選択行動モデルの構築方法

通常の min-max 法を利用して合流ギャップを選択した場合，重心を算出することにより合流ギャップを選択することになる．しかし，この方法で合流ギャップを選択させた場合，合流ギャップ 1.7 のように小数点以下の値が生じてしまう．実際の合流ギャップは離散値をとるため，通常の min-max 法では合流ギャップを表すのは不適切と考えられる．そこで，本研究では，以下に示すような手順で合流ギャップを選択するものとする．

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。

同様に、相対速度 V に対するファジィ変数 V_j におけるグレード G_v を求める。

通常、ファジィ変数 T_i とファジィ変数 V_j の組み合わせは 4 つ出来る。

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。

ファジィ制御ルールに則して掛け合わせる。

$$RR1=1(\text{または } 0) \times G_t \times G_v$$

$$RR2=1(\text{または } 0) \times G_t \times G_v$$

$$RR3=1(\text{または } 0) \times G_t \times G_v$$

$$RR4=1(\text{または } 0) \times G_t \times G_v$$

RR1 ~ RR4 まで足し合わせる。

足し合わせた合計が、一般道路では 0.82、高速道路では 0.74 (何度もシミュレーションを行うことで、これら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。

(4) 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、第 2 節で述べた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) の残差や的中率を算出する。

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、この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。

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、つまり合流車がどの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。

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ない、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。それにより、ある程度の精度を持った結果が得られ、このモデルが高い現象再現性を有していることが確認された。

実際の合流部における合流挙動は、合流車、本線走行車双方の動きが時々刻々と変化していることから、合流車、本線走行車の加速度をファジィ理論によって算出し、時間経過による変化を組み込んだ交通マイクロシミュレーションモデルの構築を行う必要がある。また、本線走行車の避走行動についても同様に、モデルを構築する必要があると思われる。

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。ここに記して感謝したい。

参考文献

- 1) 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 No12, pp673-678, 1995.
- 2) 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」, pp49-56, 2001.
- 3) 清水哲夫: 「ITS 技術を考慮したランプ合流における運転挙動シミュレーションモデルの基礎的研究」, 第 3 回 ITS 若手研究会配布資料, pp1-7, 1994.
- 4) 古田均, 河村廣: 建築・土木技術者のためのファジィ理論入門, 講談社, 1993.