

一般道路合流部の交通錯綜における避走挙動解析*

An analysis of the giveway behavior of vehicles at the joint department of arterial roads

高山純一¹・中山晶一郎²・宇野伸宏³・飯田恭敬⁴・玉元将裕⁵・住友拓哉⁶

by Jun-ichi TAKAYAMA¹, Shoichiro NAKAYAMA², Nobuhiro UNO³, Yasunori IIDA⁴, Masahiro TAMAMOTO⁵

and Takuya SUMITOMO⁶

1. はじめに

現在、我が国における道路合流部の交通渋滞や交通事故の対策として、既存道路の形態を変えろといったハード面での大きな改善には、莫大な費用が必要であり、その実現性には限界がある。そこで、近年、目覚しい進歩を見せている ITS 等のソフト面での改良が有効であるといえる。しかし、ITS を活用するためには現状を十分に把握し、改善後の道路状況を予測しなければならない。そのためには渋滞・事故多発地点での車両挙動のモデル化が必要不可欠といえる。

これまでの道路合流部における車両挙動に関する研究は、合流部の設計基準を決定するためのもの^{1), 2)}や、合流部において発生する交通渋滞および交通事故などの問題を解決するために行われてきたもの³⁾が多い。これらの研究では本線走行車が合流車の合流挙動に及ぼす影響のみを考慮している。しかし、実際の合流部では各車両は相互に影響を及ぼして合っており、本線走行車（走行車線走行車および追越車線走行車）の挙動も十分に把握しなければならない。交通量の多い合流部での無理な車線変更は事故等の危険性が高く、本線走行車が比較的行進速度の大きい追越車線に車線変更を行う避走挙動は特に危険性が大きいとともに、交通流への影響も大きい。これまで本線走行車が合流部到達以前に追越車線に車線変更を行う先行避走を考慮した研究⁴⁾はあったが、合流部における本線走行車の避走挙動を分析した研究は少ないようである。また、合流部における本線走行車の避走挙動に関する研究は、合流挙動分析に付随して避走挙動を若干考慮した研究^{5), 6)}や、ゲーム理論を

用いて車両の相互作用を扱った研究⁷⁾⁻¹²⁾は過去になされてはいるが、避走挙動の研究はそれほど多くなく、その実態を詳細に分析した研究はあまり見られない。

そこで、本研究では、合流部付近における本線走行車の運転挙動の一つである避走挙動のデジタルビデオ撮影による実態調査を行い、避走挙動を決定（意思決定）する要因を数量化理論Ⅱ類により明らかにし、避走挙動について考察する。このような本稿は、交通が錯綜する道路合流部の円滑化・安全化を目的とした交通ミクロシミュレーション構築のための一連研究の一部であり、本線走行車挙動（サブ）モデル構築のための基礎的分析と位置付けられる。

2. 合流部における交通流ビデオ調査

(1) 調査地点

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」として位置付けられた、図-1に示す国道1号線下り線奈良野町付近（京都市山科区）における国道161号線との織り込み区間である。なお、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（図-1および図-2の写真参照）。また、合流区間（マーキング端のソフトノーズから合流部部の終わりまで）は90.7mであり、ソフトノーズから赤いボールがたっているハードノーズまでの距離は9.5mである。一般国道であるため、高速道路等に比べると合流区間が短く、合流の際のコンフリクトが大きいと思われる。

調査では、ビデオカメラを図-1に示した位置に大型クレ

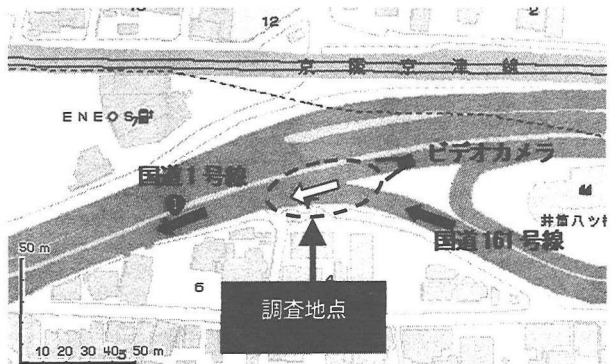


図-1 調査対象の略図(京都市山科区奈良野町)

*キーワード: 交通流, 交通安全

¹ 正会員 工博 金沢大学工学部土木建設工学科 〒920-8667 石川県金沢市小立野 2-40-20 (TEL)076-234-4613(FAX)076-234-4632 E-mail takayama@t.kanazawa-u.ac.jp

² 正会員 博(工) 金沢大学工学部土木建設工学科 E-mail snakayama@t.kanazawa-u.ac.jp

³ 正会員 工博 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻 〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本 (TEL)075-753-5126 (FAX)075-753-5907 E-mail uno@urbanfac.kuciv.kyoto-u.ac.jp

⁴ 正会員 工博 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻 E-mail iida@urbanfac.kuciv.kyoto-u.ac.jp

⁵ 学生会員 金沢大学大学院自然科学研究科環境基盤工学専攻

⁶ 正会員 工修 (株) 国土開発センター 〒606-8501 石川県松任市八東穂 3-7 (TEL)076-274-8806 (FAX)076-274-8427

表-1 断面交通量

調査時間	流入断面						計	
	R161		R1(第1車線)		R1(第2車線)			
	(台)	大型車混入率%	(台)	大型車混入率%	(台)	大型車混入率%	(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

ーンを用いて上方からビデオ撮影を行った。調査日時は1999/5/25(晴れ)、7~9、14~15時の3時間である。この時間帯を調査対象とした理由として、日中は比較的混雑が見られなくコンフリクトが発生せず、また、夕方の混雑時はビデオ画像が暗く各車両の詳細なデータの判別が困難であるからである。なお、各車線の時間帯別断面交通量は表-1に示す。また、図-2が撮影された映像である。しかし、合流部の上流部分での撮影範囲は小さく、画面が道路に垂直にはきれていないが、少なくともソフトノーズから26.5mの範囲(それ以上の部分もある)を確認することができる。したがって、調査対象の車両の避走挙動は合流部直近のものであり、コンフリクトが高まった状態(危険性が高まった状態)の避走行動と言える。撮影画面の制約から、本研究は、コンフリクトが比較的小さい先行避走を取り扱っていない。

交通条件として付記しなければならないこととして、合流部分の下流240m先に、国道1号線と府道四ノ宮四ツ塚線に分流していることがある。しかし、図-1で示した位置のカメラからは分流部分まで捉えることはできず、本研究では、分流の影響を考慮せずに分析を行うこととする。

(2) 調査方法

国道161号線から国道1号線への合流車すべてについて、まず目視により次で示す調査項目を調べた。調査対象として取り上げたサンプルは、コンフリクトが発生していると思われる、本線第一車線(左車線)走行車(以後、本線車と呼ぶ)の前方もしくはほぼ横並びに合流車が存在した場合とした。ただし、明らかに互いの両車の走行にまったく影響を与えていないと判断される場合は除いた。

3. 調査項目とそれらの調査方法

(1) デジタルビデオ利用と使用ツール

本研究ではデジタルビデオを用いた調査・分析を行う。アナログビデオを一般のビデオデッキで再生した場合、静止時に「ボケ」や「ブレ」が存在するとともに、必要な画面を直ちに再生する際のビデオ操作が大きな手間となってしまう。また、車尾時間等の計測は、ストップウォッチを用いた手動計測であったため人為的な誤差が生じていることが推測され、その誤差から車両速度が大きく変化してしまう、速度を正確に算出することが難しい。

一方、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により(図-2参照)、以下で述べる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。

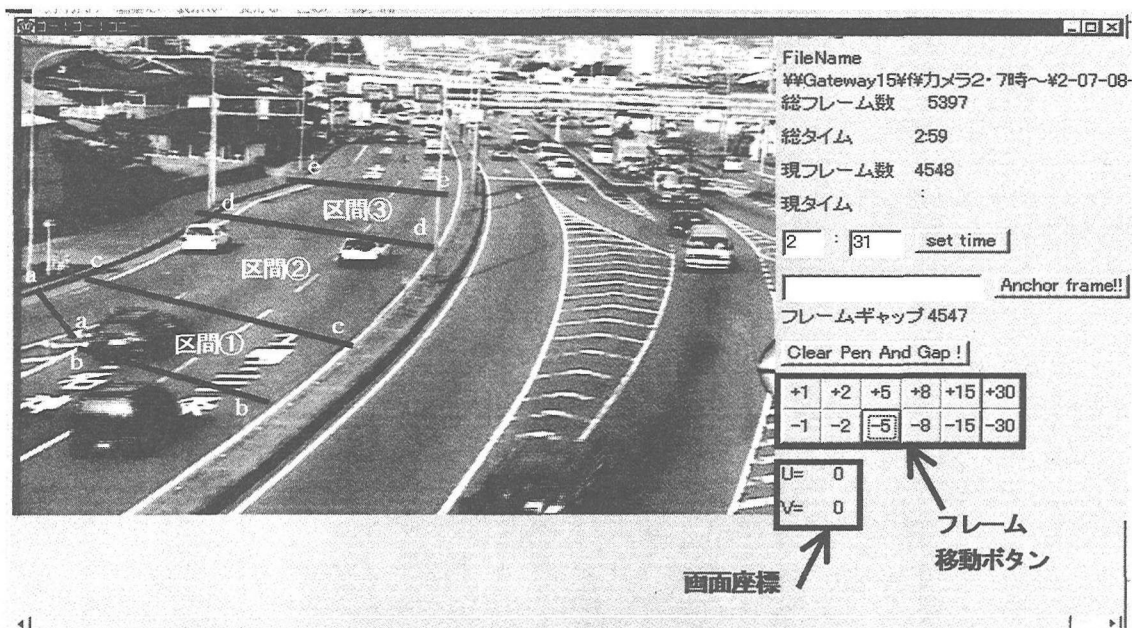


図-2 本研究で用いた実際の調査ツール

このツールにより画像データ(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により、コマ送り・巻き戻し操作を行うことができる。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) デジタルビデオによるデータの調査項目 調査項目としては、

- ・ 合流車からみた後方の本線車（避走車含む）の有無及び車種
- ・ 合流車・追越車線(本線右車線)走行車（以下、追越車線車）の有無及び車種
- ・ 本線車のブレーキの有無
- ・ 追越車線車のブレーキの有無
- ・ 避走の有無

さらに、画面上に複数の直線（以下、基準線と呼ぶ）を引き、各車両が基準線に到達した時のフレーム数（図-2の右上参照）を記録した。なお、基準線の位置は、簡単な目印であるポールや電信柱等を基準として、道路に垂直となるように設定した。各基準線間距離は表-2の通りである。また、表-2では区間①、②、③の定義も行っている。基準線間距離は、あらかじめ測定していた複数の現地地点の距離から写真測量の考え方を用いて画面座標を現地座標に変換することによって算出した。

車種に関しては画面上で視認できる車重2 t程度以上を大型車とし、それ以外(自動二輪・原付は除く)を小型車と定義した。

車尾時間に関しては、2つの車両の後部（後部車輪）が図-2に示された基準線aaもしくはbbを通過した際のそれぞれの車両のフレーム数（図-2の右上参照）を記録し、それらのフレーム数の差を時間に換算した。つまり、ある車両が基準線aaもしくはbbを通過し、もう一つの車両が同じ基準線aaもしくはbbを通過するまでの時間のことである。各車両の速度に関しては、2つの基準線間の通過時間（aaもしくはbb通過フレーム数とcc通過総フレームの差より算出）と、表-2に示した各基準線間の距離により求めた。また、加速度に関しては、区間①の速度と区間②の速度の差とした。

以上の車尾時間、速度、加速度の算出は、1/30秒単位で正確に観測でき、現地座標より求めた各基準線間の距離の観測誤差が画面上の1%程度であることを活用した結果である。

表-2 各基準線間の距離

区間①	aa'～cc'間	7.9m
	bb'～cc'間	9.5m
区間②	cc'～dd'間	26.1m
区間③	dd'～ee'間	28.3m

調査項目として、先に示したものに加え、以下の項目を追加する。

- ・ 各車両間(本線車と合流車、本線車と追越車線車)の車尾時間
- ・ 各車両の速度並びに速度変化
- ・ 合流車と本線車の相対速度
- ・ 本線車と追越車線車の相対速度

4. 合流部における本線車の避走行動に関するミクロ分析

本項では、既に述べた合流車の後方もしくは横並びの本線車、画面上で前方の合流車を避けるために追越車線（第二車線）へ車線変更を行った避走車が存在する場合を有効データとする。そのため、全合流車サンプル数3994台中537台を有効サンプル数とした。また、避走車が存在したサンプル数は127台（23.65%）となった。

なお、これらのサンプルは図-2での基準線ccまでに第一車線から第二車線（追越車線）のラインを超え始めた（避走を始めた）もののみであり、基準線ccより下流でラインを超え始めたものは除外した。基準線ccより下流では、合流部分に既に差し掛かっており、車両の挙動が大きく異なる可能性があるからである。また、基準線ccより下流で避走を始めたサンプルは画面上で確認できた避走全体のサンプルの3.2%でしかなかった。したがって、サンプル数が少なく、基準線前のものと比較することは難しかった。

(1) 数量化理論Ⅱ類による分析

上で述べた本線車サンプルのドライバーの避走判断に関連する要因（項目）を明らかにするために、数量化理論Ⅱ類を用いて分析を行った。目的変数としては「本線車が避走を行ったか、行わなかったか」の判断（2分類）とし、説明変数は各車両の車種、ブレーキの有無、各車両間の車尾時間、速度とした。さらに、各車両の区間速度より算出した加速度（区間②の速度－区間①の速度）、合流車と本線車の相対速度（本線車の速度－合流車の速度）、本線車と追越車線車の相対速度（追越車線車の速度－本線車の速度）を加えた。なお、追越車線車が大型車の場合のサンプル数が全体のサンプル数に対して非常に少なかったため、説明変数から除外した。表-3に分析結果を示す。数量化理論Ⅱ類を用いた分析結果から、合流車と本線車の相対速度、合流車の加速度、合流車と本線車の車尾時間、本線車の速度変化

表-2 区間①における数量化理論Ⅱ類の結果

アイテム	カテゴリ	サンプル数(台)	第1軸	相関比 的中率(%)	0.6338 97.3929
偏相関係数					
合流車の車種	小型車	480	-0.0174		
	大型車	57	0.1464		
本線車の車種	小型車	444	-0.0168		
	大型車	93	0.0804		
0.0463					
本線車のブレーキの有無	有り	276	-0.2870		
	無し	261	0.3035		
0.3432					
追越車のブレーキの有無	有り	98	0.3727		
	無し	225	0.0251		
0.1689	車両無し	214	-0.1971		
合流車と本線車の 車尾時間(秒)	-0	37	0.7024		
	0-1	179	0.2720		
	1-2	178	-0.0341		
	2-3	89	-0.3284		
	3-	54	-0.7293		
0.4097					
本線車と追越車線車の 車尾時間(秒)	-0	64	-0.3035		
	0-1	114	-0.3204		
	1-2	80	-0.3612		
	2-	71	-0.0581		
	車両無し	208	0.4277		
0.1752					
合流車の速度(km/h)	-30	30	0.0256		
	31-35	84	-0.0157		
	36-40	152	0.0599		
	41-45	159	-0.0136		
	46-	66	0.0222		
	-35	46	-0.1707		
0.0655					
本線車の速度(km/h)	36-45	94	-0.3033		
	46-55	231	-0.2037		
	56-60	129	0.3145		
	61-	83	0.4217		
0.2588					

アイテム	カテゴリ	サンプル数(台)	第1軸	相関比 的中率(%)	0.6338 97.3929
偏相関係数					
追越車の速度(km/h)	-45	78	-0.5785		
	46-50	78	-0.6508		
	51-55	70	-0.4548		
	56-	118	-0.3101		
0.1603	車両無し	195	0.8360		
合流車の加速度(km/h)	-10	69	1.0030		
	-10-0	156	0.2859		
	0-10	139	-0.2996		
	10-	173	-0.4172		
0.4145					
本線車の加速度(km/h)	-0	234	-0.3725		
	0-5	124	0.2781		
	5-10	102	0.2467		
	10-	77	0.3574		
0.3489					
追越車の加速度(km/h)	-0	126	-0.3665		
	0-5	73	-0.2360		
	5-10	99	-0.4557		
	10-	41	-0.5075		
0.1299	車両無し	198	0.6532		
相対速度 (本線車-合流車)(km/h)	-10	77	-0.7632		
	-10-0	178	-0.2937		
	0-10	152	0.0515		
	10-20	83	0.4707		
	20-	47	1.3649		
0.4288					
相対速度 (追越車線車-本線車) (km/h)	-0	108	0.8919		
	0-10	101	1.0264		
	10-20	78	0.9300		
	20-	55	0.9197		
0.2512	車両無し	195	-1.6570		

が避走に特に強い相関がみられた。それぞれの要因のカテゴリウェイトから、本線車の速度が合流車よりも速いほど避走しやすい、合流車が加速するほど避走せずにすむ、本線車と合流車の車尾時間が短いほど避走を行う、本線車が加速しているほど避走を行いやすいことなどが分かる。それらの結果は妥当なものと言える。

(2) 避走頻度分布図

数量化理論Ⅱ類を用いて分析した結果から避走を行うか否かに最も影響を及ぼしていると思われる項目は合流車と本線車の相対速度である。ここで、本線車と合流車の相対速度の大きいサンプル(本線車の方が速いサンプル)と小さいサンプル(合流車の方が速いサンプル)に場合分けし、それぞれのグループで、次に避走挙動に関連性が高い要因である合流車の加速度による避走割合について調べる。その結果が図3である。サンプル数は表-3(次ページ)である。なお、避走割合とは合流車が前方もしくは横並びにある全ての本線車(第一車線走行車)のうち、そのまま同じ車線を走り続けず、第二車線(追越車線)に避走したものの割合である。

図-3から、合流車の方が速いグループで合流車が加速を行った場合は本線車のドライバーは、ほとんどが避走を選択せず、また、合流車が大きく減速しても4割程度しか避走を選択していないことから、本線車のドライバーには合流部付近に到達した時点で前方の合流車が速度が大きいと認識した場合は追従走行を選択する傾向が強いと考えられる。対照的に本線車の方が速いグループでは、前方の合流車との追突を避けるために避走行動か先行走行を選択する

傾向が強いようである。これらの2グループでは、全体としての避走の割合は異なるものの、グループ間では合流車の加速に対して避走割合がどのように増減するのかの傾向は一致しており、合流車が速いグループの折れ線を上へ平行移動すればほぼ本線車が速いグループの折れ線と一致する。これは相対速度と合流車の加速度が避走に対して加法的に影響している、つまり、その2つの要因が独立に避走に影響していることを意味していると考えられる。

次に避走挙動と関連性が高い、合流車と本線車の車尾時間の要因にも同様に相対速度によりグループ化した避走頻度図を作成する(図-4参照)。

図-4から合流車が速いグループでは、車尾時間(車間距離)に関係なく避走せず、追従走行をとる傾向が強いようである。一方、本線車が速いグループでは、十分な車間距

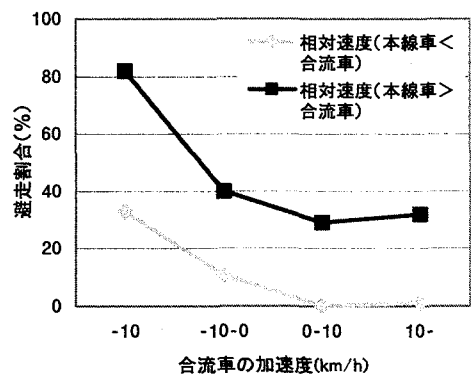


図-3 相対速度別の合流車の加速度を用いた避走頻度分布図

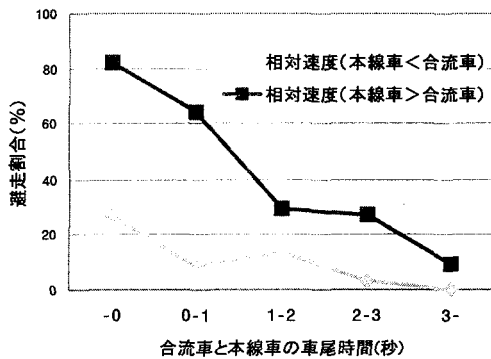


図-4 相対速度別の合流車と本線車の車尾時間を用いた避走頻度分布図

離（車尾時間）が存在する場合は避走行動は選択せず、アクセル操作やブレーキ操作を行い前方の合流者に道を譲る傾向があるが、車間距離が小さい場合は避走する割合が非常に大きくなっている。図-3では、2つのグループでの傾向は同じであったが、図-4では、グループ間で、車尾時間による避走の影響が大きく異なる。これは、図-3の場合と異なり、合流車と本線車の相対速度とそれらの車尾時間は加法的に避走に影響している（独立に影響している）のではなく、2要因を同時に考慮しなければ分からない、要因間の複合的な作用を考慮しなければならないことが分かる。このように複数要因が複合的に作用する場合、数量化理論や離散選択モデルでは、適切に避走挙動をモデルできない可能性があると言える。

上で見た他に2要因が複合的に作用しているのは、本線車の加速度の大小で分け（本線車が加速するグループと減速するグループ）、合流車の加速度による避走の割合を見た場合である（図-5参照）。なお、図-4および図-5以外では、避走への影響が強かった4要因の中で同様な例は特には見られなかった。

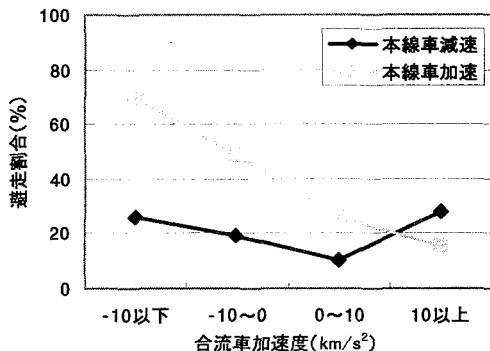


図-5 本線車の加速・減速別の合流車の加速度を用いた避走頻度分布図

表-3 図-3のサンプル数

	合流車 速度大	本線車 速度大
合流車と 本線車の 車尾時間 (秒)		
0以下	26	11
0~1	118	61
1~2	66	112
2~3	34	55
3以上	11	43
計	255	282

表-4 図-4のサンプル数

	合流車 速度大	本線車 速度大
合流車 加速度 (km/s²)		
-10以下	58	11
-10~0	66	90
0~10	46	93
10以上	85	88
計	255	282

表-5 図-5のサンプル数

	本線車減速	本線車加速
合流車 加速度 (km/s²)		
-10以下	46	23
-10~0	111	45
0~10	59	80
10以上	18	155
計	234	303

5. おわりに

(1) まとめ

本研究では、合流部付近での本線車のドライバーの運転メカニズムを明らかにするために、調査項目として、各車両の車種、ブレーキの有無、各車両間の車尾時間、速度並びに速度変化、合流車と本線車の相対速度、本線車と追越車線車の相対速度についてまとめ、それぞれの項目が本線車の避走行動にどのように影響を与えているのかを調べるために、数量化理論Ⅱ類を用いて分析した。

その結果により、本線車の避走挙動には合流車と本線車の相対速度、合流車の速度変化、合流車と本線車の車尾時間の関係が大きく影響を与えていることが分かった。そして、相対速度を正負で場合分けし、それぞれのグループで、合流車の加速度がどのように避走に影響しているのかをみるため、その避走頻度図を作成したところ、相対速度によって、合流車加速度が避走に与える影響が異なることなどが分かった。これは、各要因が独立に避走に影響しているのではなく、複数の要因が複合的に避走に影響していることを意味しており、通常の数量化理論や離散選択モデルでは避走挙動を適切に捉えきれないことがあることを示唆していると考えられる。

今後の課題としては、本研究では取り上げられなかった先行避走の分析を行うとともに、本研究で分析した、合流部直近の避走挙動と比較分析を行うことが挙げられる。また、避走するか否かについて分析するのみではなく、いつ避走するのか、そのような軌跡で避走するのかなどより詳細に避走挙動を分析することが必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 巻上安爾・安達靖夫・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.133-142，1986 年
- 2) 巻上安爾・安達靖夫・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.133，1986 年
- 3) 大口敏・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 年
- 4) 喜多秀行・前田信幸・塩谷直文：高速道路流入部における先行避走挙動の観測，土木計画学研究・講演集，pp.23-2，2000 年
- 5) 巻上安爾・松尾武：多重合流を考慮した流入確立の算定方式

- について，土木学会論文集，第 413 号/IV-12，pp.87，1990 年
- 6) 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.33，2001 年
- 7) 喜多秀行・幸坂謙之介・福山敬：流入・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 年
- 8) 福山敬・喜多秀行：高速道路流入部における流入・避走行動のゲーム論的分析，土木計画学研究・講演集 20-2，pp. 895-898，1997 年
- 9) 保田寛・喜多秀行・平井克尚：高速道路流入部における避走挙動分析：土木学会年次学術講演会講演概要集第 4 部，pp. 678-679，1994 年
- 10) 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 年
- 11) 喜多秀行・畠中康行：高速道路流入部におけるギャップアクセプト挙動の解析，第 11 回交通工学研究会発表会論文集，pp.9-12，1991 年
- 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 年

一般道路合流部の交通錯綜における避走挙動解析

高山純一・中山晶一郎・宇野伸宏・飯田恭敬・玉元将裕・住友拓哉

これまでの道路合流部における車両挙動に関する研究では本線走行車が合流車の合流挙動に及ぼす影響のみを考慮しているものが多い。しかし、実際の合流部では各車両は相互に影響を及ぼして合っており、特に本線走行車の避走挙動も把握しなくてはならない。そこで、本研究では、合流部付近における本線走行車の運転挙動の一つである避走挙動を詳細に分析し、避走挙動を決定（意思決定）する要因を、数量化理論Ⅱ類により明らかにする。これは、ドライバーの運転メカニズムをモデル化し、交通の円滑化・安全化を目的とした合流部での交通ミクロシミュレーションモデルの構築を目指す基礎的分析となるものである。

An analysis of the giveaway behavior of vehicles around the joint department of arterial roads

Jun-ichi TAKAYAMA, Shoichiro NAKAYAMA, Nobuhiro UNO, Yasunori IIDA, Masahiro TAMAMOTO, Takuya SUMITOMO

There are many studies of considering the behavior of the merging vehicle around the joint department of highways. However, the merging vehicle and the vehicle on the main lane of the highway interact, and the behavior of the vehicle on the main lane, especially its giveaway behavior, should be analyzed. Therefore, we investigate the data of giveaway behavior by the digital video camera, identify the factors that affect the giveaway using the theory of quantification II, and examine the properties of the giveaway behavior.
