

一般道路合流部におけるミクロ交通

シミュレーション構築のための合流挙動解析*

An Analysis of Merging Behavior on ordinary road for constructing microscopic traffic simulation

山崎 浩気**・高山 純一***・中山 晶一郎****・宇野 伸宏*****

By Hiroki YAMAZAKI**・Junichi TAKAYAMA****

Syoichiro NAKAYAMA****・Nobuhiro UNO*****

1. はじめに

道路合流部は、車両が錯綜する区間であるため、ドライバーは認知・判断・運転操作という一連の動作を瞬時に行わなければならない、大きな負担がかかりストレスを感じやすいポイントである。よって、一般道路における合流部に着目し、車両挙動の観測・挙動のモデル化・交通流動のシミュレーションを行うことで、ドライバーの合流判断および動作決定要因を明らかにすることができれば、合流部で見られる渋滞や交通事故軽減の一助となると期待される。

現状のミクロ交通シミュレーションモデルにおいては、合流部における車両挙動、交差点における右左折直進挙動、単路部における追い越し挙動などドライバーの複雑な交通挙動の分析・モデル化がまだ研究途上にあり、交通挙動の複雑さをシミュレーションモデルに十分に組み込む段階にまで到達していない。

本研究ではとりわけ合流部の挙動に着目する。合流挙動の全容を把握するための主要因の一つとして、合流ギャップの選択を挙げることができるが、これはドライバーの合流判断および動作決定要因などの影響により変化している。しかし、既存の研究では、ドライバーの合流判断及び動作決定要因を明示的に考慮した合流ギャップ選択モデルは十分には提案されてきてはいない。そのために、ミクロ交通シミュレーションにおいても、合流ギャップ選択が現実に近い挙動として表現できず、結果的に合流部における交通錯綜や複雑な車両挙動の影響をシミュレーションできてはいないという問題がある。

そこで、本研究ではこれまで行われてきた交通流のビデオ観測調査データを活用し、詳細な車両挙動データを得て、個々のドライバーの特性を考慮した合流ギ

ャップ選択モデルを構築する。将来的には、これを利用することで合流部におけるより現実的な交通シミュレーションが可能となり、効率性と安全性を同時に満たすような合流部の設計が可能となる。

2. 既存研究の整理

合流部における研究は、これまで合流部の構造の設計基準を決定するために、その後は交通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の管理運用方策を決定するために行われてきた。現在では、車両自体の技術革新などに伴う合流部設計基準の再検討の必要性から、コンピュータによるシミュレーション技術を用いた比較的ミクロな運転挙動に着目した研究が行われている。

図-1に示したように研究の流れとしては、合流部の調査・分析に関する研究、合流挙動解析のモデル化を目的とした研究、ハードの改良を目的とした研究の3つに大別し整理することができる。

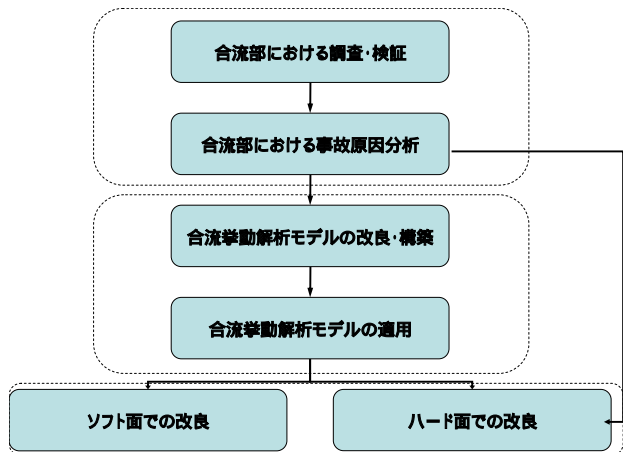


図-1.道路合流部における既存研究の分類

*キーワード：道路合流部，画像解析，AHS，ギャップ選択

**：学生員，京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻
(〒606-8501，京都市左京区吉田本町，TEL075-753-5125，
FAX075-753-5907)

***：フェロー，工博，金沢大学大学院自然科学研究科
(〒920-1164，金沢市角間町，TEL076-234-4613，FAX076-234-4644)

****：正会員，博(工)，金沢大学大学院自然科学研究科

*****：正会員，博(工)，京都大学大学院経営管理研究部

合流部における調査・分析に関する研究事例としては、高山ら¹がビデオ画像で避走に関する要因をピックアップし、数量化 類によって分析を行った研究を挙げる。分析の結果、「本線車と追い越し車線走行車の車頭時間」、「追い越し車線走行車の車種」および「本線車のブレーキの有無」が本線走行車が避走を行うかどうかの判断基準に影響を与える項目であるとした。

合流挙動解析モデルの構築に関する研究事例とし

では、三浦ら²が追従時の車両の挙動を考慮して、前方車両の相対速度と車間距離の関係性から追従挙動に対してスパイラル関数を用いた車両の挙動決定モデルを提案した研究がある。

ハードの改良に関する研究事例としては、中辻ら³が死亡事故につながる可能性の高い夜間事故に対して新型標識などの交通安全対策を図ることを目的として、供用中路線における試験施工を行い、その改善度をアンケート調査により評価した研究がある。

本研究は、先行研究である合流挙動の調査・分析に関する研究結果を活かして、現実に近い車両挙動モデル構築を行うことを目的としていて、最終的には合流部全体におけるミクロ交通シミュレーションモデルに組み込むことを考えている。

3. 一般道の合流部における車両挙動分析

3-1. 解析項目

本研究では、「事故多発地点」に位置付けられた京都市山科区四ノ宮奈良野町の合流部において実施されたビデオ観測データを利用し、合流車ならびに本線走行車について以下の項目で調査・分析を行った。

ここでは、合流車の車尾がノーズ端に達した時に、本線走行車が水平な計測線をまだ通過していなければ本線後走行車と定義する。

- ・合流車、本線後走行車の車種
- ・選択ギャップ(第1ギャップ、第2ギャップ)
- ・合流車、本線後走行車のブレーキの有無
- ・合流方法(第1車線に合流、第2車線に直行)
- ・各走行車両の速度、加速度
- ・合流車と本線後走行車との相対速度、車間距離

調査地点の概要、ビデオ画像例を図-2、図-3に示す。

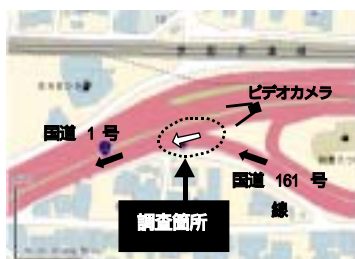


図-2. 調査地点概要



図-3. ビデオ画像例

3-2. 先行研究における挙動分析の結果

従来、我々はギャップ選択に関わる要因として、ビデオデータより入手可能な項目を取り上げ、それぞれの影響を分析した⁴。重回帰分析や非集計分析を用いて、合流車のギャップ選択に影響を与える要因を分析したところ、「本線後走行車の加速度」、「車間距離」、「相対速度」の3要因の影響度が高い可能性が示唆されてきている。本研究でも、この知見を踏まえて、合流ギャップ選択モデルの構築を試みる。

4. 合流ギャップ選択モデルの提案

4-1. モデルの概要

先行研究での成果を踏まえつつ、合流部における車両挙動の中で、合流ギャップ選択行動に与える影響が大きい上記の3つの要因を説明変数として、モデルの構築を行う。

合流ギャップの決定は、あくまでもドライバーの主観的な安全性の判断により決定されていると考えられるが、ギャップ選択モデルを構築することにより、客観的な説明変数を用いて、現実に近いシミュレーションモデルを構築することが可能となる。

4-2. 合流ギャップ選択分析

ビデオによる実測交通流調査により得られたデータ(本線後走行車が存在するパターン(サンプル数: 210台))を用いて、合流車のドライバーが合流部で行う運転挙動の判断のメカニズムを分析する。

具体的には、合流車の合流ギャップ選択分析、つまり合流車のギャップ選択行動に関係した判断要因を把握するため、重回帰分析と非集計分析を行う。

目的変数は「選択された合流ギャップ」、説明変数は3-2節で述べたとおり「本線後走行車の加速度」、「合流車と本線後走行車との相対速度」、「合流車と本線後走行車との車間距離」の3点とする。解析対象は、データ数が一番多いノーズ端から1秒後の合流車とする。

表-1. ノーズ端から1秒後での重回帰分析による結果

変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	t 値	判定
本線後走行車加速度	0.095	0.309	6.20	**
相対速度	0.074	0.779	14.53	**
車間距離	0.058	0.227	4.73	**
定数項	0.182		2.41	*
重相関係数	0.823			**:.1%有意 *.5%有意
修正済重相関係数	0.820			

表-2. ノーズ端から1秒後での非集計分析による結果

変数名	推定パラメータ	t 値
本線後走行車の加速度	0.668	4.97
相対速度	0.478	5.60
車間距離	0.340	3.35
定数項	0.896	1.48
² 値	181.67	
初期尤度	-121.72	
最終尤度	-30.89	
尤度比	0.75	
的中率	94.51	

両分析結果とも重相関係数、尤度比から判断すれば、比較的良好な結果が得られたが、ギャップ選択の再現性からの中率を考慮すると、重回帰分析によるギャップ選択モデルよりも、ロジットモデルの方が優れていると考えられる。そこで、最終的な合流ギャップ選択モデルとしては、ロジットモデルによるモデルを構築することとする。

4-3. 時間経過によるギャップ選択要因の差異

合流車をはじめとして関連車両は常に移動を続けており、車両間の相互関係や交通状態も変化を続けるため、合流車のドライバーが常に同じ判断要因のみで合流ギャップに関する意思決定を行っているとは考えにくい。そこで、ノーズ端(0秒時)にいる車両と合流終了直前の車両との間にある差異を端的に表す説明変数を採用することで、合流車が合流車線を先に進むにつれて変化する、ギャップ選択の判断要因についても分析を試みる。

本研究では、上記の議論を踏まえて「残り合流車線長」を説明変数として導入し、合流が遅れるにつれて本線走行車の運転に見られる譲歩と合流車に見られる焦りの影響の表現を試みる。

「残り合流車線長」の基準点は、合流車線が終了する先端として、合流車線先端の点と合流車の前輪位置とのy座標差で表現する。

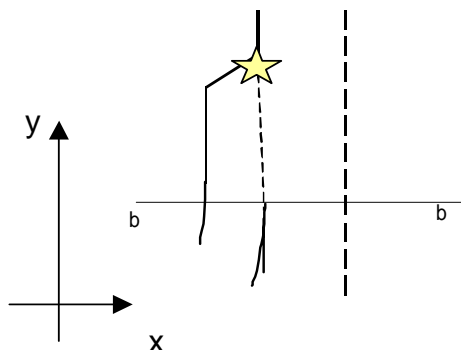


図-4. 残り合流車線長の計測基準点

「本線後走行車の加速度」、「相対速度」、「車間距離」、「残り合流車線長」の4変数で合流ギャップ選択の判断要因分析を行う。各説明変数の説明力を検証するため、ノーズ端から1秒後にある合流車(サンプル数:182台)と3秒後の合流車(サンプル数:109台)について重回帰分析を適用した。なお、重回帰分析では新たに導入した「残り合流車線長」の影響力を検証するため、上記の4変数を全て用いて回帰分析を行うケースと、「残り合流車線長」を除去して他の3変数で回帰分析を行うケースの2通りを実施した。

表-3. 1秒後での重回帰分析による結果【3変数】

変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	t 値	判定
本線後走行車加速度	0.095	0.309	6.20	**
相対速度	0.074	0.779	14.53	**
車間距離	0.058	0.227	4.73	**
定数項	0.182		2.41	*
重相関係数	0.823			**:.1%有意 *.5%有意
修正済重相関係数	0.820			

表-4. 1秒後での重回帰分析による結果【4変数】

変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	t 値	判定
本線後走行車加速度	0.096	0.312	6.15	**
相対速度	0.075	0.787	13.06	**
車間距離	0.058	0.227	4.72	**
残り合流車線長	0.006	0.014	0.28	
定数項	-0.090		0.09	
重相関係数	0.823			**:.1%有意 *.5%有意
修正済重相関係数	0.819			

表-5. 3秒後での重回帰分析による結果【3変数】

変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	t 値	判定
本線後走行車加速度	0.0003	0.003	0.05	
相対速度	0.040	0.522	7.37	**
車間距離	0.070	0.403	5.68	**
定数項	0.025		0.29	
重相関係数	0.853			**:.1%有意 *.5%有意
修正済重相関係数	0.849			

表-6. 3秒後での重回帰分析による結果【4変数】

変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	t 値	判定
本線後走行車加速度	0.001	0.008	0.15	
相対速度	0.039	0.508	7.07	**
車間距離	0.066	0.382	5.22	**
残り合流車線長	-0.011	-0.066	1.13	
定数項	0.343		1.16	
重相関係数	0.855			**:.1%有意 *.5%有意
修正済重相関係数	0.849			

重回帰分析の結果より、ノーズ端から1秒後の合流車(表-3,4)では、「残り合流車線長」のt値が低くギャップ選択との関連性が低いとの結果が得られた。このことから、ノーズ端からの経過距離が短い段階においては、「残り合流車線長」が選択ギャップを決定する上で有意な影響を及ぼす可能性は少ないことが分かる。また、他の「本線後走行車の加速度」、「相対速度」、「車間距離」の3変数については統計的に有意であり、重回帰モデル全体としての重相関係数も高い値を示している。よって、合流車がノーズ端からの距離が近い位置を走行しているとき、「本線後走行車の加速度」、「相対速度」、「車間距離」が合流ギャップ選択の判断要因となっていることが再度確認できる。

次にノーズ端から3秒後の合流車(表-5,6)では、1秒後の合流車と相対的に比較してみると「残り合流車線長」に対する相関が高くなっている。これは、合流車が3秒間合流車線を走行している間に「残り合流車線長」の点で合流車の間に差異が生じてきていることが関係していると推測される。そのため、合流ギャップ選択の判断要因として、一定の効果を示していると考えられる。ゆえに、合流車が前に進むにつれて「残り合流車線長」の説明力が高くなるとも考えられる。

しかし、t 値から判断して統計的に有意となる相関関係とはなっておらず、合流ギャップ選択モデルに組み込む変数としては、適切との判断には至らなかった。そのため、本研究における合流ギャップ選択モデルの説明変数として適用することは行わない。しかし、今後、第1ギャップ・第2ギャップどちらの選択嗜好が強いのかも含めて、その適用法を見直すなどの改善を加えれば、時間経過による合流ギャップ選択行動を表現することが可能と考える。また、今回用いた一般道路合流部では合流車線が短いなどの理由が考えられるため、他の合流部でのケーススタディも行わねばならない。

4-4. 全サンプルによる合流ギャップ選択モデル

今回の対象時間帯における合流ギャップ選択の全サンプルを対象とした場合、以下の表-7の結果が得られた。的中率が94.67%、尤度比が0.71と比較的精度のよい推定結果となった。

表-7. 合流ギャップ選択ロジットモデルの結果(n=582)

変数名	推定パラメータ	t 値
本線後走行車の加速度	0.158	2.18
相対速度	0.240	10.49
車間距離	0.435	9.42
² 値	575.09	
初期尤度	-402.83	
最終尤度	-115.29	
尤度比	0.71	
的中率	94.67	

551 / 582

パラメータ推定結果を代入して求めた合流ギャップ選択モデルは、以下の式で表すことができる。

$$P_{in} = \frac{\text{Exp}[V_i]}{\text{Exp}[V_1] + \text{Exp}[V_2]} \quad (i=1,2)$$

$$\begin{cases} V_1 = 0.158 \cdot Z_{1i} + 0.240 \cdot Z_{2i} + 0.435 \cdot Z_{3i} \\ V_2 = 0 \end{cases}$$

Z_{1i} ; 「本線後走行車の加速度」、 Z_{2i} ; 「相対速度」、 Z_{3i} ; 「車間距離」

ロジットモデルで求められるのは選択確率である。あくまでもどちらかのギャップ選択を行いやすいという結果であるが、選択確率が高いギャップを選択したと考える場合、 $V_2=0$ より、 $V_1>0$ であれば第1ギャップ選択、 $V_1<0$ であれば第2ギャップ選択と決定することができる。

5. まとめ

以上のように、ロジットモデルにより合流ギャップ選択モデルの構築を行った。今回のモデルは、京都市山科区四ノ宮奈良野町合流部におけるケーススタディにより得られた結果であるので、他の道路合流部に同じ変数・パラメータを適用することが正しいという結論まで至ることができなかった。今後の研究の方向性として、合流区間の長さや大型車混入率、速度制限など様々な違いが予想される他の道路合流部においても上記の合流ギャップ選択モデルが適用できるかを検証していかなければならないであろう。

本研究によって得られる成果として、合流時のドライバーの操作・判断・認知要因となる選択ギャップを特定することができる。これにより、合流部におけるミクロ交通シミュレーション構築時には、合流車にとっての後ろからの圧迫感へと繋がる「本線後走行車の加速度」、「車間距離」、「相対速度」の3要因を用いて、今までよりも人間の感覚に近い合流挙動の表現・分析が可能となる。

今後、本線後走行車の避走行動、合流車の速度調整行動についても同様にモデルの作成を行い、避走選択モデル、ギャップ選択モデル、速度調整モデルの3つを総合的に組み込んで、合流部全体における交通ミクロシミュレーションモデルの構築を目指す。

参考文献

- 1) 高山純一, 玉元将裕, 宇野伸宏: 避走を考慮した交通ミクロシミュレーションモデル構築のための車両挙動解析
土木学会第56回年次学術講演会, -398, 2001.
- 2) 三浦伸明, 中山晴幸, 市川孝太郎, 藤本慎也: 高速道路における車線変更挙動について
第15回交通工学研究発表会論文報告集, 1995.
- 3) 中辻陽一, 渡辺芳郎, 佐藤光治, 三浦龍太郎, 仲野貴俊: 新技術を用いた交通安全対策に関する試験施工報告
土木学会第51回年次学術講演会, 1996.
- 4) 浦野幹夫, 高山純一, 中山晶一郎: 画像解析を用いた一般道路合流部における合流挙動モデルの構築に関する研究
H16年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.471-472.
- 5) 清水哲夫, 森地茂, 浜谷健太: ギャップ選択時の判断要因に関する分析, 土木計画学研究・講演集, No.28, 2003.