

画像データを活用した都市高速合流部における合流ギャップ選択モデル*

A Model of Gap Choice Behavior at an Urban Expressway Merging Section, Based on Video Image Data*

柳原正実**・宇野伸宏***・塩見康博****・倉内文孝*****

By Masami YANAGIHARA**・Nobuhiro UNO***・Yasuhiro SHIOMI****・Fumitaka KURAUCHI*****

1. はじめに

(1) 研究の背景と目的

都市高速道路の合流部では、ドライバーは前方の車両のみならず隣接車線の車両の挙動に対しても的確な判断・反応が求められ、単路部と比べてより大きな運転負荷が生じる。そのため追突事故や渋滞等、交通安全性および効率性の点で多種多様な問題が生じやすい。交通の円滑性・安全性の向上に資する効果的な対策を講じるためには、精緻な車両挙動データに基づいて渋滞や事故の原因となる車両挙動を明確化し、交通現象を的確に再現する交通流モデルの構築が必要となる。

そこで本研究では都市高速道路合流部を対象に撮影された複数のビデオカメラによる画像から抽出した車両走行軌跡データに基づき、車両合流挙動を詳細に解析し、その特性を把握、モデル化することを目的とする。合流時には、車両は自らが合流すべき車間を選択（合流ギャップ選択挙動）し、その後選択した車間への流入を実現するための速度調整を行う（合流ギャップ流入挙動）という2段階の挙動を取るものとする。本稿では合流挙動モデル構築の前段として前者に焦点を当て、合流ギャップ選択モデルを構築する。さらに、構築したモデルを用いて、ギャップ選択時の車両相互作用の特性について車線ごと、状況ごとの違いも考慮して考察を行う。

(2) 既存研究のレビューと本研究の位置づけ

内山¹⁾はオンランプ合流部において「合流を開始する」と「合流を見送る」という2つの選択を2項選択ロジックモデルで表現しており、Shimizu^ら²⁾はオンランプ合流におけるドライバー間の関係を考慮したシミュレーションを開発している。Kita³⁾は合流挙動を、非ゼロ和・非協力の2人ゲームとして表現しており、ファジィ推論や離散選択モデル以外で合流挙動を表現するアプローチを提案している。

上述の研究はいずれもビデオカメラによって取得されたデータに基づいて分析されている。しかし、ビデオ画像から自動でデータを抽出する場合は条件等が制限され、精度の高いデータの取得には手動抽出が必要となる。本研究では複雑な合流挙動を解析するため、詳細な長距離の車両軌跡データを必要とする。このようなデータは画像間で車両IDを連結する必要がある取得が特に難しい。Wu^ら⁴⁾も画像間で車両IDを連結したデータでランプメータリングの走行挙動に及ぼす影響を分析しているが、長距離の軌跡データを所得する困難さが指摘されている。

また、Lee⁵⁾は3通りの状況に応じた合流時のモデルを構築しており、Hwang^ら⁶⁾によって合流時のギャップ選択モデルを車線変更時のギャップ選択に応用することが提案されている。

このように、これまで合流するか道を譲り見送るかという合流時点を変更する単純なオンランプの2項選択行動分析については多くの研究が存在するが、合流を見送ることが困難であり、車線変更とも異なる、強制的に合流させられる本線合流部における、合流時点数秒前の複数ギャップ選択行動に関する研究はほとんど存在しない。このような挙動では、合流時点までどのような過程でドライバーが認知や判断をしているかが交通渋滞や安全性に影響を与えていると考えられる。そこで、本稿では合流時点までの時間軸を考慮した本線合流部における合流ギャップ選択モデルを構築を試み、選択行動の変遷について考察する。

*キーワード：合流挙動、ギャップ選択、ITS、画像データ

**学生員、京都大学大学院工学研究科

(京都市西京区桂キャンパスCクラスター C1-438

TEL: 075-383-3237,

E-mail: yanagihara@trans.kuciv.kyoto-

u.ac.jp)

***正員、京都大学経営管理大学院

****正員、京都大学大学院工学研究科

*****正員、岐阜大学工学部

2. 合流車両走行軌跡データの概要

(1) 車両走行軌跡データの抽出

本研究では図 - 1 に示す阪神高速道路 1 号環状線と 12 号守口線が合流する区間（以後、守環合流部とする）を分析対象とする。（写真 - 1）守環合流部では、環状線からの 3 車線と守口線からの 2 車線が合流し、4 車線となる車線構成となっている。特に図中、第 2 車線と第 3 車線は $y=530[m]$ 地点以降、2 つの車線が合流し 1 車線となるため、当該車線を走行する車両は相互に速度等を調整しつつ合流することが強いられる。

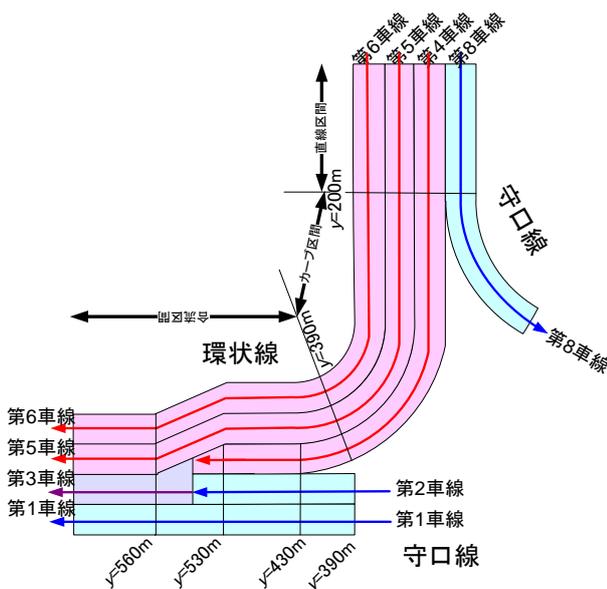


図 - 1 車線定義



写真 - 1 守環合流部

本研究では、2005 年 8 月 30 日 8:49:00~9:04:00 の 15 分間に連続する 11 台のビデオカメラで撮影された画像から抽出した車両走行軌跡データ⁷⁾を分析に用いた。当該時間帯は自由流状態と渋滞流状態が混在している時間帯であり、走行車両が相互に影響を与え合う、複雑な交通状況にあると考えられる。本研究では守口線第 2 車線と環状線第 3, 4 車線上の車両を対象に、その合流過程を分析する。

(2) 合流車両の定義

本研究ではまず、車両走行軌跡データより分析対象である合流車両を抽出する。当該合流区間は 2 車線とも交通量が多く、また、道路構造上からも一方を主道路、他方を従道路と位置づけることは難しい。よって便宜上、片方を主道路とみなし「走行本車線」と呼ぶ。また、走行本車線に対してもう一方の車線（「合流車線」と呼ぶ）を走行本車線に接合する車線とみなす。なお、この定義に基づき、2 つの車線が完全に統合される地点より下流側も「走行本車線」と呼ぶ。その上で本研究では、合流車線上の車両の内、「合流した」、すなわち、「ギャップを選択し、そのギャップに進入した」とみなす車両のみを「合流車両」と呼び、そのギャップ選択挙動をモデル化する。本節では更に具体的な「合流」に関する定義を述べる。

異なる車線から流入してきた 2 車両が、進行方向に 30[m]以下、進行方向と垂直な方向（横方向）に 2[m]以下となるまで接近する事象を「合流」と定義し、その 2 車両が前後 30[m]、左右 2[m]以内に初めて接近した時点（「合流完了」時点）と定義した。（図 - 2）ただし、観測区間内の車線変更と区別するため、異なる車線から流入してきた 2 車両の内いずれかの車両が、走行本車線と合流車線を分離する導流帯による境界の末端にあたる $y=530[m]$ 地点の前後 30[m]の「合流区間」内に存在するときの接近事象のみを「合流」と定義する。ここで、「合流車両」とは「合流」という事象に関わる 2 車両の内、合流車線から流入してきた車両と定義する。また、合流車線を走行してきた車両が走行本車線に流入する際、「合流区間」走行中、終始にわたり、上述の定義に当てはまる車両、すなわち、その合流車線を走行してきた車両の前後 30[m]、左右 2[m]以内に進入した走行本車線からの車両が存在しない場合は「合流」事象とはみなされず、該当する車両は本研究の対象外とした。（「合流車両」とはみなされない）定義に用いた 30[m]という数値は車両二台が追従関係にあるときの車頭時間を考慮した値であり、2[m]は車両二台が並走不可である距離として用いた。

この時、走行本車線からの車両が接近する方向によって合流時の状況が 3 通りに分類される。まず、図 - 2 のように、ある合流車両とその前後の走行本車線からの車両が合流という事象を発生させる状況（「ギャップ合流」と呼ぶ）が存在する。次に、前後いずれかの車両に対応した合流事象が発生しない状況、すなわち、走行本車線から流入してきた走行本車線前方車両または走行本車線後方車両が存在しない状況（前者を「前方合流」、後者を「後方合流」と呼ぶ）が考えられる。本稿ではこれらを異なる状況下での合流と位置付け、それぞれの相異についても考察を加える。

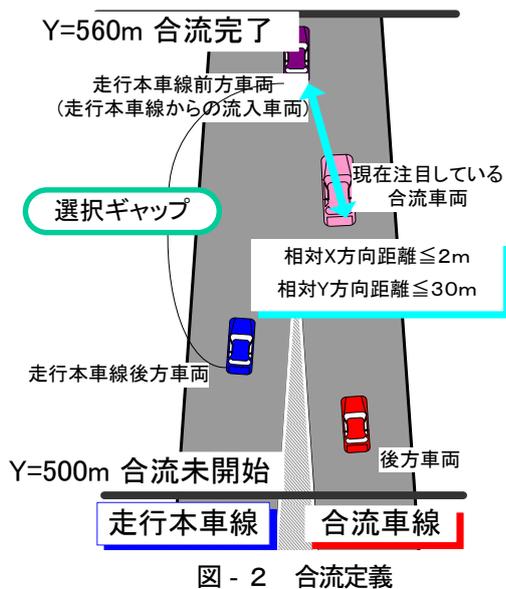


図 - 2 合流定義

(3) 合流車両の抽出

前項の定義に基づき分析を行い、合流車線別、状況別に合流車両データを取得した。表 - 1 に取得した合流車両の台数を示す。ここで、全状況とは後方合流、前方合流、ギャップ合流の3状況、全ての事象の集合を表す。環状線第4車線から流入してきた環状線合流車両は守口線第2車線から流入してきた守口線合流車両よりも少ないため、結果的に守口線から流入してきた車両に前後を挟まれる状況が多くなり、ギャップ合流として抽出される合流車両が守口線に比べて多くなっている。

表 - 1 抽出車両台数

状況別	環状線合流車両	守口線合流車両	両車線合流車両
後方合流	27	104	131
前方合流	32	59	91
ギャップ合流	102	39	141
全状況	161	202	363

以下では、各車両のギャップ選択の傾向を把握する。ここで、ドライバーは合流完了時点以前にギャップ選択の判断を行うと仮定し、合流完了時点からt秒間遡った時点のギャップ選択について分析を行う。ただし、ドライバーの判断は直接観測することができないため、合流車両が流入したギャップ、すなわち選択していたと考えられるギャップ（選択ギャップ）を分析対象とする。

合流完了時点における選択ギャップは、合流完了の定義に基づき、合流事象を発生させた走行本車線からの車両を基準に、その前後いずれかのギャップ（図 - 2 の場合では後方のギャップ）と定義される。続いて、合流完了t秒前における選択ギャップは、合流完了からt秒間遡った時点での合流完了時点の選択ギャップに相当すると考えられるギャップであり、合流完了時点における定義と同様に合流事象を発生させた走行本車線からの車両

を基準にその前後いずれかのギャップと定義する。

一方、合流完了t秒前において合流車両と周囲のギャップの位置関係を図 - 3 のように定義する。直近ギャップとは走行本車線前方車両と走行本車線後方車両の間のギャップであり、前方ギャップは走行本車線前方車両の前方のギャップ、後方ギャップは走行本車線後方車両の後方のギャップである。このとき、選択ギャップがこれらのギャップの内、どのギャップに相当するかを分析することによってギャップ選択の傾向の把握を試みる。合流完了時点からt秒前の各時点において、合流車両の選択ギャップがどのギャップに相当しているかを図 - 4 で表す。ただし、2前方ギャップとは前方ギャップの前方のギャップ、3前方ギャップは更に前方のギャップを表し、後方も同様に定義している。図より各時点でほぼ全ての車両が、前方、直近、後方ギャップのいずれかを選択していることが確認できる。

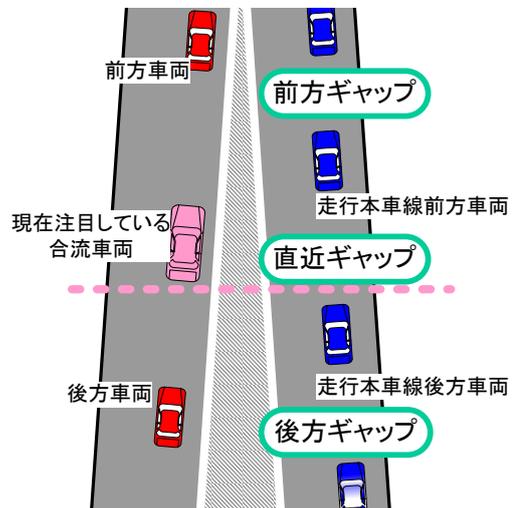


図 - 3 ギャップ定義

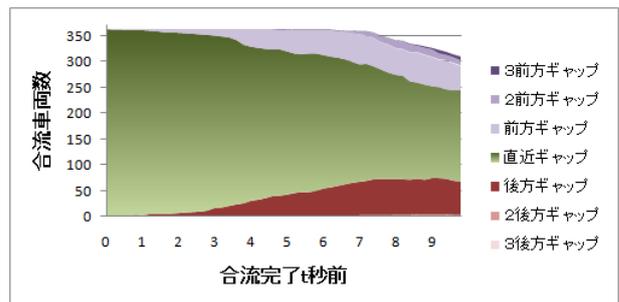


図 - 4 選択ギャップ別の合流車両台数

(4) ギャップ選択過程

ギャップを選択するに至るドライバーの判断過程を考えた場合、ドライバーは走行車線が視界に入った時点で瞬時に最終的に流入するギャップを決定するとは考えにくい。むしろ、走行車線と自車両の走行速度の相対関係や車間距離などの要因を考慮しつつ、最終的に合流完了

の数秒前に流入するギャップを決定しているとする方がドライバーの行動として妥当であると考えられる。また、2つ以上離れたギャップに入る際でも、まずは近くの前、後方ギャップに入ることを選択している、又はそのための加減速を行おうという判断をしていると考えることは妥当である。つまり、ドライバーは直近、及び直前、直後のギャップに入ることが可能か否かを逐次的に判断しながら走行し、合流完了前のある時点において最終的な判断を下していると推測される。特に本研究で対象としている区間は本線同士の合流部であり、交通密度の高い交通流同士が合流するデータを用いて分析を行っている。また、合流が可能になる地点から、車線が減少するまでの距離が約100[m]と短いため、多くのドライバーは周囲の安全を確認しつつ、近隣にある前方、直近、後方ギャップへの進入可能性を吟味していると考えられる。そこで以下では、ドライバーは前方、直近、後方ギャップのたかだか三項の選択を逐次的に行っていると仮定し、合流ギャップ選択モデルを構築する。

3. 合流ギャップ選択モデルの定式化

(1) 説明変数の選択

合流ギャップ選択モデルを構築するにあたって、まず交通状況を示す各変数と選択ギャップ番号（前方=1、直近=0、後方=-1）との相関関係を分析する。表-2に合流完了6秒前時点での分析結果を示す。まず、合流車線の車両数と選択ギャップ番号との相関が有意な負の値を示しており、ある時間断面において合流部における合流車線上の車両数が多いほど前方のギャップより後方のギャップの方が選択されやすい傾向があることがわかる。各車両の相対進行方向距離、相対進行方向速度は合流車両を中心とした位置関係・速度関係を示す指標であり最も重要な指標であると考えられ、それらと選択ギャップ番号との相関も高い。ただし、相対距離、相対速度は、対象とする車両の存在位置、及び走行速度から合流車両の各値を引いた値として定義する。

表-2 各変数と選択ギャップ番号の相関係数

データラベル	相関係数
走行本車線 車両数	0.085
合流車線 車両数	-0.171
合流車両 進行方向速度[m/s]	0.256
合流車両 進行方向加速度[m/s ²]	-0.132
合流車両 大型車ダミー	0.043
前方車両 大型車ダミー	0.042
前方車両 相対横方向距離[m]	-0.058
前方車両 相対進行方向距離[m]	0.145
前方車両 相対進行方向速度[m/s]	-0.322
後方車両 大型車ダミー	-0.008
後方車両 相対横方向距離[m]	0.158
後方車両 相対進行方向距離[m]	-0.177
後方車両 相対進行方向速度[m/s]	0.018
走行本車線後方車両 大型車ダミー	-0.018
走行本車線後方車両 相対横方向距離[m]	-0.077
走行本車線後方車両 相対進行方向距離[m]	-0.148
走行本車線後方車両 相対進行方向速度[m/s]	-0.328
走行本車線前方車両 大型車ダミー	-0.055
走行本車線前方車両 相対横方向距離[m]	-0.086
走行本車線前方車両 相対進行方向距離[m]	-0.316
走行本車線前方車両 相対進行方向速度[m/s]	-0.456
	5%有意

(2) モデルの定式化

以上に基づき、直近、前方、後方いずれかのギャップを選択する3項選択ロジットモデルとして、合流挙動を表現する。各ギャップを選択する効用は以下の式で表されるとする。なお、環状線合流車両が前方ギャップを選択する場合は守口線合流車両が後方ギャップを選択する場合に相当し、選択結果を表すモデルにおいては、双方の選択確率が同じになると考えたため、前方、後方ギャップについて、それぞれの効用関数の定数項に差はないモデルを推定した。

$$V_{Front\ Gap} = \beta_1 z_1 + \beta_2 z_2 + \beta_3 z_3 + \varepsilon_1 \quad (1)$$

$$V_{The\ Nearest\ Gap} = \beta_0 + \varepsilon_0 \quad (2)$$

$$V_{Rear\ Gap} = \beta_4 z_4 + \beta_5 z_5 + \beta_6 z_6 + \varepsilon_{-1} \quad (3)$$

ただし、

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$: 係数, z_1 : 前方車両相対進行方向距離, z_2 : 走行本車線前方車両相対進行方向距離, z_3 : 走行本車線前方車両相対進行方向速度, z_4 : 後方車両相対進行方向距離, z_5 : 走行本車線後方車両相対進行方向距離, z_6 : 走行本車線後方車両相対進行方向速度, ε : 誤差項。

y=430[m]の環状線と守口線が結合し導流帯となる地点に、合流車両が差し掛かった時点から合流完了時点までを0.2秒間隔で分割し、各時点でのパラメータを推定する。ここで、走行本車線前方車両が遠方に離れている場合や前方車両が接近しすぎている場合においては、前方ギャップへの進入は物理的に難しく、選択肢の1つとして考えつつ推定することが難しい。よって、推定する

にあたり、進行方向の相対距離に関して、走行本車線前方車両よりも前方車両のものが短い場合の前方ギャップという選択肢を選択肢集合から除外して推定することを試みた。同様に、後方車両までの相対距離が走行本車線後方車両のものよりも短く、後方ギャップへの進入が物理的に難しい場合についても選択肢を制限した。なお、選択肢を制限していない場合のモデルについても考察を加え、選択肢を制限する意義を以下で述べる。

4. 合流ギャップ選択モデルの推定結果

本稿では多様な視点からギャップ選択に影響する要因を考察するため、異なるデータセットを用いてモデルの推定と分析を行った。

(1) 各分析に用いたデータ

総合的な知見と選択肢制限に関する知見を得る分析には、全状況両車線のデータ(表 - 1 参照)を用いた。また、抽出した合流車両はサンプル数を確保するため、合流車線の相異を全状況合流車線別の合流車両のデータを用いて分析を行った。更に、状況による相異は両車線状況別のデータを用いて分析を行った。

(2) モデル推定結果の時間的変化

モデル適合度を示す指標である自由度調整済み ρ^2 値の時間的変化を守口線、環状線の結果を合わせて図 - 5 に示す。ただし、本モデルの推定の際、データ次第でパラメータが収束しない場合が存在した。そのため図中には、パラメータが収束した時点、状況のみにプロットを付している。

いずれのデータも ρ^2 値は合流完了 0~3 秒前時点ではほぼ 1.0 となっている。これは、図 - 3 で示した様にこの時点においては、ほぼ全ての車両が直近ギャップを選択しているためであると考えられる。次に、合流完了 3~7 秒前時点では、時間を遡る方向に進むに従ってモデル適合度が次第に減少していることがわかる。更に合流完了 7 秒以上前の時点では、それぞれのケースのモデル適合度は一致しておらず、時間を遡るとともに不規則な変化をしているように見てとれる。これは、合流完了 7 秒以上前の時点まで遡ると 2 車線が壁で区切られており、他方の車線の車両が認識できない状況を解析対象外としており、推定に用いるデータ数が以前より少なくなることが原因となっている。

両車線をあわせて推定した結果について、各パラメータの有意度を表す t 値の時間的変化を図 - 6 に示す。この図より合流完了 4~7 秒前の時点では、走行本車線前方、後方車両の相対位置、相対速度がそれぞれ有意にギャップ選択に影響を与えることがわかる。また、合流完

了 7 秒以上前の時点まで遡ると有意な説明変数がほとんど存在せず、このモデルでの選択行動の説明が難しいことがわかる。

ただし、LOGIT モデルではデータ次第でパラメータが収束しない場合が存在するので、その場合の結果を分析から除外している。よって以降の図では値がない時点が複数存在する。

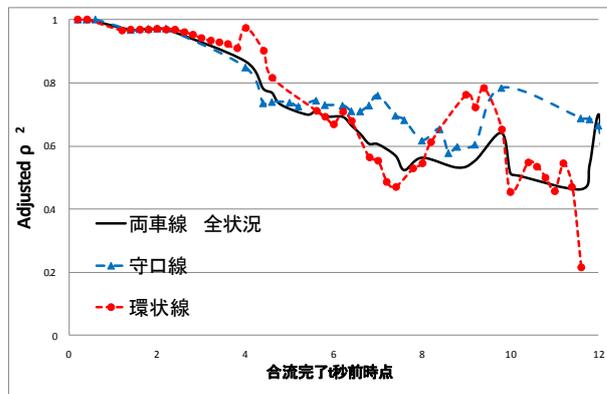


図 - 5 モデル適合度の時間的変化

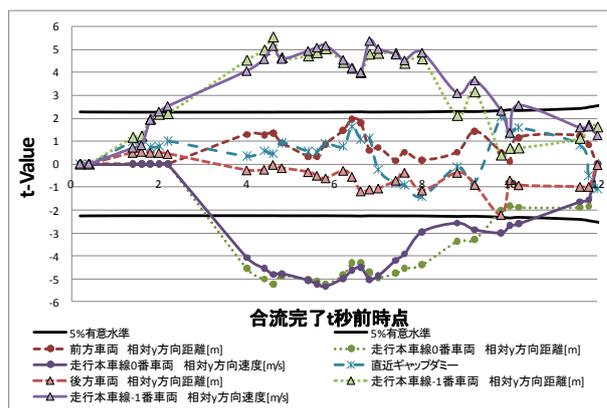


図 - 6 有意な変数の時間的変化

(3) 選択肢制限のない場合

図 - 7, 8 に選択肢制限の無いモデルのモデル適合度と t 値の時間的変化を示す。選択肢の制限が無いモデルでは、そのモデル適合度の値と変化が各車線で一致しておらず、さらに、合流完了時点近傍で直近ギャップダミーのみが有意に影響していることがわかる。これは、直近ギャップ以外選択が不可能であり、周囲の走行環境が選択に影響しないことを意味する。合流完了時点約 2 秒前以降でプロットが得られていない理由は、ほぼすべての観測において直近ギャップが選択されており、パラメータが収束しなかったからである。対して、選択肢を制限したモデルにおいて直近ギャップダミーが有意にならないのは直近ギャップ以外を選択することが物理的に不可能である場合、その選択肢を排除して考慮していないためであると考えられる。すなわち、選択肢の制限は実

際に合流が可能なギャップから選択する場合のみでの分析を可能とするので、本稿では、この選択肢を制限したモデルに基づき分析を進める。

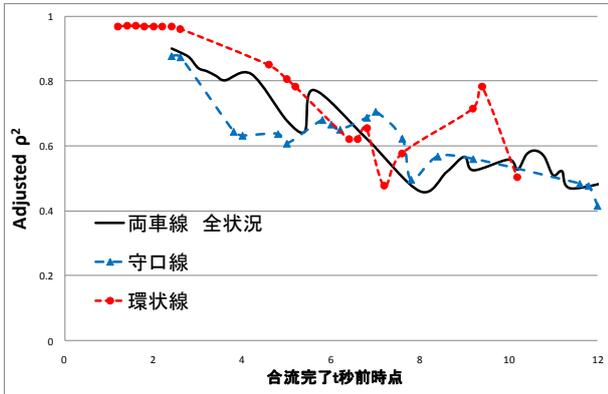


図 - 7 モデル適合度の時間的変化 (制限なし)

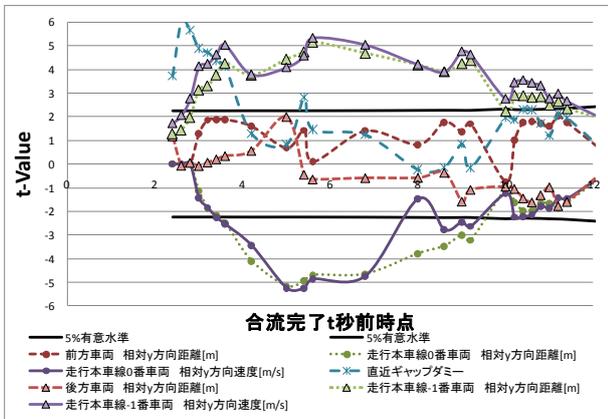


図 - 8 有意な変数の時間的変化 (制限なし)

(4) 最終選択ギャップ決定時点

本章第2節で述べたように合流完了 0~3 秒前時点では直近ギャップ以外に選択の余地が無く、合流完了7秒以上前の時点では、最終的な選択ギャップをこのモデル式では十分に説明できない可能性が考えられる。一方、合流完了 3~7 秒前時点ではモデルの有意な説明変数が多く、特に各車線の推定結果において、合流完了 4~5 秒前時点で走行本車線車両に関する説明変数が十分有意に選択に影響し、モデル適合度もその中で最も高い値を示すことから、この合流完了 4~5 秒前時点において最終的な合流ギャップが決定されると仮定する。

ここではこの合流完了約5秒前時点の推定パラメータ値を表-3に示す。走行本車線前方車両の相対距離、相対速度のパラメータ値が負に有意な値を示していることから、前方ギャップまでの距離が小さく、接近している状況のとき、その前方ギャップが選択されやすいことが示された。同様に、走行本車線後方車両の相対距離、相対速度のパラメータ値が負に有意な値を示していることから、後方ギャップまでの距離が小さく、接近している

状況のとき、その後方ギャップが選択されやすいことがわかる。しかし、有意になるパラメータは走行本車線車両の変数のものであり、合流車両と同じ車線上に存在する前方車両、後方車両相対位置の係数は合流ギャップ選択に有意な影響を与えていない。これは、前方、後方車両が合流車両に接近している状況が除外されているためであると考えられる。選択肢制限のない場合でも有意な結果は得られていないが、これは前後車両が一定の相対位置に接近した場合のみ選択に影響を及ぼすためであると考えられる。

表 - 3 最終選択ギャップ決定時点パラメータ

推定パラメータ, 説明変数	パラメータ	t値
β_1 , 前方車両 相対進行方向距離[m]	0.004	0.330
β_2 , 走行本車線前方車両 相対進行方向距離[m]	-0.421	-5.028
β_3 , 走行本車線前方車両 相対進行方向速度[m/s]	-1.107	-5.071
β_0 , 直近ギャップの選択肢固有ダミー	0.234	0.560
β_4 , 後方車両 相対進行方向距離[m]	-0.001	-0.346
β_5 , 走行本車線後方車両 相対進行方向距離[m]	0.364	4.722
β_6 , 走行本車線後方車両 相対進行方向速度[m/s]	1.064	4.942
サンプル数	236	
$L(0)$	-259.273	
$L(\beta^*)$	-76.578	
ρ^2	0.705	
Adjusted ρ^2	0.699	
	5%有意	

(5) 合流車線別の合流モデル推定結果の比較

次に、車線別にギャップ選択行動の差異を比較する。

図-9, 10にt値の時間的変化を示す。図より、有意な影響のある変数の組み合わせが変化する様相が類似した傾向にあることがわかる。また、図-5より、適合度の変化も同様に両車線で類似していることがわかる。

表-4, 5にそれぞれの車線の最終合流ギャップ選択時点と仮定した合流完了約5秒前の合流ギャップ選択モデル推定結果の詳細を示す。どちらの推定結果も走行本車線に関するパラメータが有意な影響を示している。ただし、パラメータの大小関係を比較すると守口線は相対距離、環状線は相対速度に関するパラメータがそれぞれ相対距離、相対速度に関するパラメータより比較的大きな影響を持ち、影響度の大小関係が逆転していることが見てとれる。これは環状線の方が相対的に車両数が少なく速度調整が容易であるため、環状線の速度に敏感に反応する構造になったと考えられる。

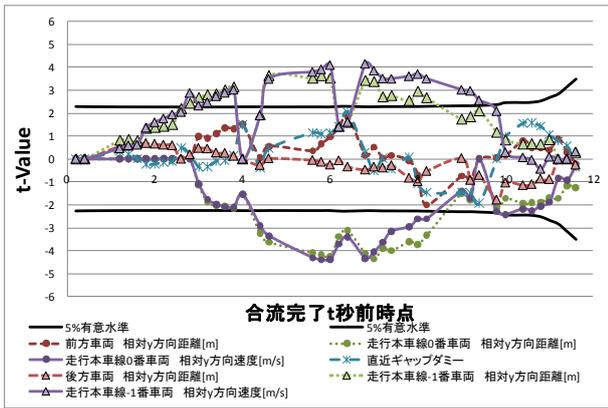


図 - 9 有意な変数の時間的変化（環状線合流車両）

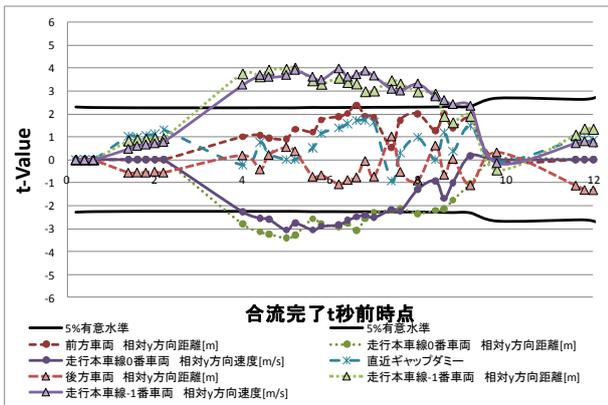


図 - 10 有意な変数の時間的変化（守口線合流車両）

表 - 4 最終選択ギャップ決定時点パラメータ
（環状線合流車両）

推定パラメータ 説明変数	パラメータ	t値
β_1 , 前方車両 相対進行方向距離[m]	0.005	0.353
β_2 , 走行本車線前方車両 相対進行方向距離[m]	-0.477	-4.087
β_3 , 走行本車線前方車両 相対進行方向速度[m/s]	-1.379	-4.314
β_0 , 直近ギャップの選択肢固有タミー	0.687	1.155
β_4 , 後方車両 相対進行方向距離[m]	0.000	-0.044
β_5 , 走行本車線後方車両 相対進行方向距離[m]	0.340	3.517
β_6 , 走行本車線後方車両 相対進行方向速度[m/s]	1.462	3.816
サンプル数	134	
L(0)	-147.214	
L(β^*)	-41.210	
ρ^2	0.720	
Adjusted ρ^2	0.712	

表 - 5 最終選択ギャップ決定時点パラメータ
（守口線合流車両）

推定パラメータ 説明変数	パラメータ	t値
β_1 , 前方車両 相対進行方向距離[m]	0.023	0.911
β_2 , 走行本車線前方車両 相対進行方向距離[m]	-0.482	-3.403
β_3 , 走行本車線前方車両 相対進行方向速度[m/s]	-0.903	-3.054
β_0 , 直近ギャップの選択肢固有タミー	0.010	0.014
β_4 , 後方車両 相対進行方向距離[m]	0.018	0.568
β_5 , 走行本車線後方車両 相対進行方向距離[m]	0.400	3.962
β_6 , 走行本車線後方車両 相対進行方向速度[m/s]	1.113	3.693
サンプル数	158	
L(0)	-173.581	
L(β^*)	-43.929	
ρ^2	0.747	
Adjusted ρ^2	0.738	

(6) 合流状況別のモデル推定結果の比較

図 - 11に状況別のモデル適合度の時間的変化を示す。後方合流、前方合流ではギャップ合流と比較すると合流完了前の早い時点からモデル適合度が1.0に近い値をとっていることがわかる。また、図 - 12で示すように有意な影響のある変数はほぼ存在しない。これは後方合流、前方合流となる状況では図 - 13, 14のように選択結果が後方と直近ギャップ又は前方と直近ギャップの二つに偏っており、状況毎のドライバーの選択行動に偏りがあることが原因であると推測される。すなわち状況別の分類は合流完了時点のものであり、実際にギャップを選択した時点では、前方合流となるか、後方合流となるか、ギャップ合流となるかの状況的判別は付かない。しかし、データ毎の選択行動の偏りが原因となって、データごとに選択ギャップがある程度推定されてしまうと考えられる。このように、後方合流、前方合流の推定結果では有意な変数が存在せず、図 - 11で示されたようにモデル適合度がギャップ合流より1.0に近い値を示していることから、推定されたモデルは選択行動を表すモデルではないと考えられる。また、モデル適合度が低くなるのは更に前の時点であるので、後方合流、前方合流の最終合流ギャップ選択時点は合流完了5秒前よりも前の時点にあると推測される。図 - 15にはギャップ合流でのt値の時間的変化を示す。ギャップ合流に関しては全状況で推定した場合と同様に有意な変数が多い。

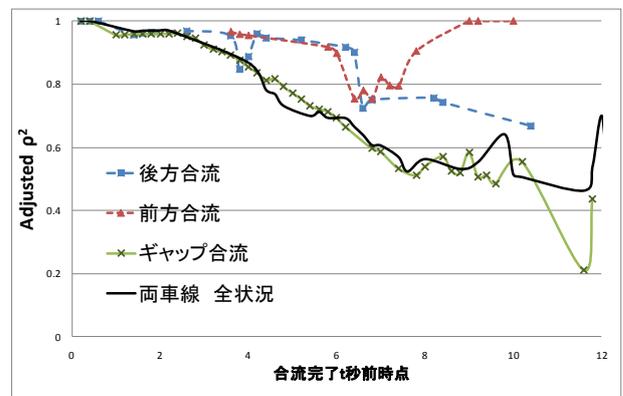


図 - 11 モデル適合度の時間的変化

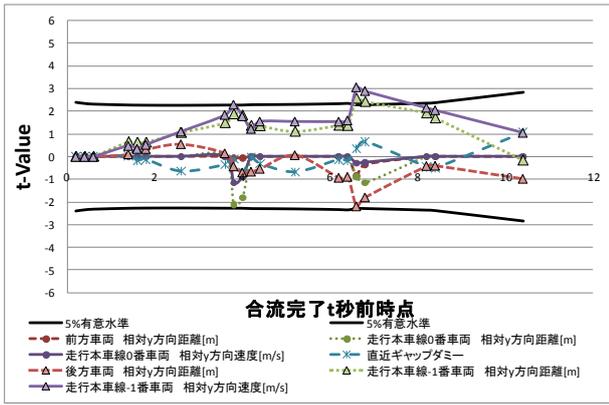


図 - 1 2 有意な変数の時間的変化（後方合流）

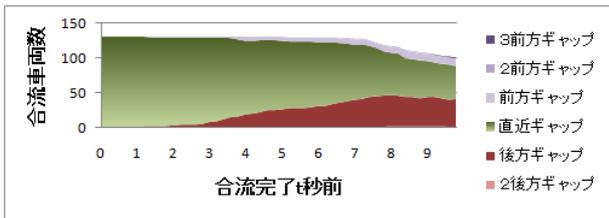


図 - 1 3 選択ギャップ別の合流車両台数（前方合流）

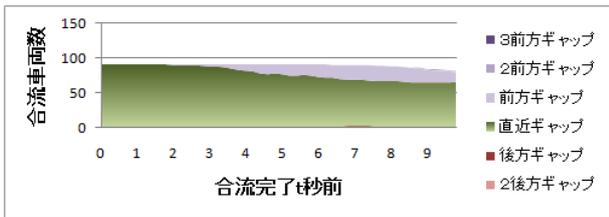


図 - 1 4 選択ギャップ別の合流車両台数（後方合流）

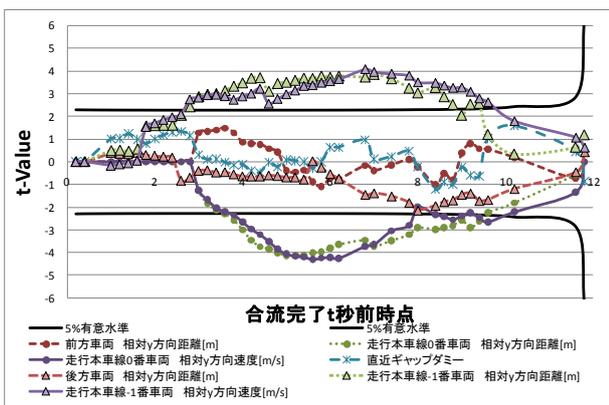


図 - 1 5 有意な変数の時間的変化（ギャップ合流）

以上より、構築したモデルでは推定結果が車線より、その状況によって左右されることがわかる。また、車線によるわずかなパラメータの違いも混合する状況の割合によって説明ができると考えられる。すなわち、ギャッ

プ選択モデルは各車線から合流部に流入する車両の台数によってそのパラメータが左右されることが示唆された。

5. おわりに

(1) 結論

本稿ではこれまで分析が困難であった高速道路本線合流部における合流挙動の1プロセスについて分析を行った。本研究では合流挙動をギャップ選択とギャップ進入挙動の2つを仮定しており、今回は前者のギャップ選択について詳細な分析とモデル化を行った。分析結果に基づいて構築したモデルからは、ギャップ選択にギャップを構成する車両の相対位置や相対速度が有意な影響を及ぼすことがわかった。また、そのパラメータは各車線から流入する車両数によって決定され、合流車線の車両数が比較的少ないほど、速度項が大きな影響を与えることが示唆された。

今回推定されたパラメータは渋滞流と自由流が混在し、2車線の交通量が多少偏った場合の結果であるが、得られたモデルの適合度は非常に高く、今後シミュレーション等で合流部を解析する際には、同等の交通量であればパラメータ次第で広く適用可能であろう。ただし、モデルの結果から推察されるように、モデルパラメータの値は各車線から流入する車両数の割合等に強く影響を受けると考えられる。

本モデルを利用すれば、シミュレーション中では選択結果によって追従する車両を決定することで、「合流」しなかった車両と同じ枠組みで解析できるであろう。

(2) 今後の課題

本研究では合流部におけるドライバーの挙動をギャップ選択と速度調節の二段階の挙動を仮定したが、本来これらの行動は同時に行われるものであるため、二つの挙動を統合したモデルの考察が必要である。その前段階として、ギャップ選択に基づいた速度調節モデルを構築し、速度調節に関する知見を整理する必要があると考えられる。また、適合度の高い合流部の車両挙動のモデル化によって、合流部における効率性、安全性に関する評価も可能となるであろう。

(3) 謝辞

本研究の実施にあたり、データの収集に際しては、阪神高速道路株、(株)住友電気工業ならびに(社)システム科学研究所より多くのご協力・ご支援をいただいた。記して謝意を表します。また、データ分析にあたり、貴重な意見と、多大なご協力をいただいた洪多禧氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 内山久雄：高速道路における工事時の合流意思決定プロセスのモデル化，土木学会論文集，No.625，IV-44，29-37，1999.
- 2) Shimizu, T. and Yamada, T. : An analysis of driver's behavior at merging section on Tokyo Metropolitan Expressway with the viewpoint of mixture AHS system, Proceedings of 7th World Congress on Intelligent Transport Systems, CD-ROM. 2000.
- 3) Kita, H. : A merging-giveway interaction model of cars in a merging section: a game theoretic analysis, Transportation Research, Part A, 33, 305-312, 1999.
- 4) Wu, J., McDonald, M. and Chatterjee, K. : A detailed evaluation of ramp metering impacts on driver behavior, Transportation Research, Part F, Volume 10, Issue 1, pp. 61-75. 2007.
- 5) Lee, G. : Modeling gap acceptance at freeway

merges, Massachusetts Institute of Technology libraries, June 7, 2006.

6) Hwang, S, Y. and Park, C, H. : Modeling of the gap acceptance behavior at a merging section of urban freeway, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, pp. 1641-1656. 2005.

7) Kurauchi, F. : Queiroz, I. N. F., Iida, Y. and Higatani, A. : Traffic flow analysis using image processing technique, Proceedings of the 5th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service, Vol. 2, pp. 329-338, 2006.

画像データを活用した都市高速合流部における合流ギャップ選択モデル*

柳原正実**・宇野伸宏***・塩見康博****・倉内文孝*****

高速道路合流部ではドライバーは複数の周辺車両の挙動に対して的確な判断が求められるため、交通効率性・安全性の面で解決すべき課題が多い。そこで本研究では、都市高速道路合流部で撮影されたビデオ画像より抽出した車両走行軌跡データに基づき、合流挙動特性を把握する。具体的には、ドライバーは本線上直近の車間、その直下流側の車間、及び上流側の車間から合流ギャップを選択すると仮定し、ギャップ選択ロジットモデルを構築した。さらに、ドライバーは合流完了5秒前時点で合流ギャップを選択するとの仮定の下、提案モデルを実観測データに適用した。その結果、高い適合度でギャップ選択挙動が再現可能であることが示唆された。

A Model of Gap Choice Behavior at an Urban Expressway Merging Section, Based on Video Image Data*

By Masami YANAGIHARA**・Nobuhiro UNO***・Yasuhiro SHIOMI****・Fumitaka KURAUCHI*****

The development of effective measures for improving traffic safety and efficiency in merging sections requires understanding the characteristics of vehicular behavior and developing a traffic flow model that can precisely reproduce the traffic situation. This study microscopically investigated gap choice behavior as the first step of merging behavior, using vehicle trajectory data obtained at a merging section of the Hanshin Expressway. A multinomial logit model was applied to model the gap choice behavior, assuming that a vehicle has three gap choices: the neighboring gap, the gap in front, and the gap behind. It was determined that a vehicle possibly makes a final decision on which gap to enter 4 to 5 s before merge completion, and that the relative speed and position of vehicles in the target section have significant influence on the choice of gap.
