

流入・避走行動の相互依存性を考慮した高速道路流入部のマクロ走行特性推計法*

A Flow Characteristics Estimation Model Considering Merging-Giveway Interactions*

喜多秀行**・幸坂謙之介***・福山 敬****

by Hideyuki KITA**, Kennosuke KOUSAKA*** and Kei FUKUYAMA****

1. はじめに

高速道路における死亡事故率は一般道路の約2.5倍にのぼる¹⁾、交通錯綜が避けられない流入部や織り込み区間では危険が事故に結びつかぬようドライバーは高い緊張と的確な運転操作を要求される。そのため、これらの区間における交通現象メカニズムを解明し、幾何構造の改良や交通制御などを適切に行うことにより安全性の向上を図ることが要請されている。

流入部の運転挙動に関する従来の研究の多くは、本線車が流入車の流入挙動に及ぼす影響のみに着目していた^{8)~17)}。しかし、流入車は、本線車の動きを見ながら加速車線上のどこで、いつ、流入するか、本線車はその流入車を見ながら本線上のどこで、いつ、避走するかという意味決定を行っていると考えられる。つまり、実際には、流入車・本線車両方の意思決定が相互に影響を及ぼし合っているため、それを的確に把握・分析するためには、これらの相互作用を考慮しなければならない。

このような観点から、著者らはドライバー間の相互依存的な運転行動をゲーム理論で記述し、概ね良好な現象説明力を有する行動モデルを開発してきた。しかし、このモデルは、流入車と本線車という2台の車両の挙動を記述するにとどまり、道路の設計・運用の際の情報となる流入位置分布や潜在事故危険度といった流入部の交通特性とは必ずしも関連づけられていない。

そこで、本研究では、流入部における車両の相互作用を考慮した交通特性を推計するモデルを構築する。具体的には、Kita and Fukuyama⁷⁾のモデルを用いて、個々の車両の挙動を分析・記述し、その挙動に影響を与える車両相互の位置関係の生起確率を交通特性諸量である車頭間隔分布から導出する。この生起確率を流入・避走ゲームによって形成される交通現象と対応付けて集計する事により、交通流の全体的な挙動をモデル化し、交通条件の変化による交通流の変化のメカニズムを明らかにする。そして、避走確率や流入位置分布といった交通特性を推定

する。このことにより、流入部の幾何構造設計に少なからず寄与するものとする。

2. 従来の研究

高速道路のオンランプ流入部における交通挙動解析に関しては、多くの研究がなされている。Jouzy and Michael⁸⁾は加速車線と減速車線の形状と走行挙動の関係を整理しており、Cima⁹⁾はランプ・メータリングと事故危険度の関連性を、Szwed and Smith¹⁰⁾やMichaels and Fazio¹¹⁾はドライバーのギャップ・アクセプタンス行動と流入挙動を検討している。また、Chin, Ouek and Cheu¹²⁾は合流部で生起する交通錯綜に関する分析を行っている。流入車の流入位置ごとの流入確率や流入時の車頭間隔分布を求めた喜多・畠中²⁾、流入車の速度調整行動を考慮した喜多・原田³⁾、TTCと流入挙動との関係を考慮に入れたKita¹³⁾、それをさらに詳細に分析したAhmed et.al¹⁴⁾などがある。他方、織り込み区間に関する分析も少なからずなされており、巻上・松尾¹⁵⁾、Cassidy¹⁶⁾、Nakamura, Kuwahara and Koshi¹⁷⁾をはじめするミクロな分析が積み重ねられている。

流入部や織り込み区間では車線変更を余儀なくされるため交錯の発生が不可避である。その際、ドライバーは互いに相手の行動を予測して車線変更やその受け入れを行っている。これがこの種の道路区間における交通挙動を規定する本質であると言ってよい。しかし、上記の諸研究はドライバー間に生じるこのような相互作用を明示的には取り扱っていない。そこで、喜多・久保蘭⁵⁾は交通現象の生成主体である流入車と本線車のドライバーの意思決定に着目し、ドライバー間の相互作用的意思決定を明示的に考慮できるゲーム理論を用いて高速道路流入部でのドライバーの挙動モデルを構築している。Kita⁶⁾は、同様のアプローチの下で解析的に求めた流入・避走行動に関する複数均衡解における実現解の判定など、均衡解の解釈に関するさらに詳細な考慮を行った。さらに、Kita and Fukuyama⁷⁾は、Kitaの流入・避走モデルを利得を走行環境(TTC)で特定化し流入部全域にわたって繰り返されるゲームに拡張することにより、各時点・各走行環境での流入・避走現象を説明するモデルを構築し、観測データを用いてモデルの妥当性を示している。

*キーワード：交通流，流入・避走行動，交通特性，推定モデル

**正会員 工博 鳥取大学工学部社会開発システム工学科

(〒680-8552 鳥取市湖山町南101 TEL 0857-31-5309・

FAX 0857-31-0882)

***正会員 (株)アクア美保

****正会員 Ph.D 東北大学大学院情報科学研究科人間社会情報科学専攻

しかし、これらの研究は2台の車の挙動を説明するに留まっており、幾何構造設計や運用の際の基礎情報となりうるマクロな走行特性に関する情報をも与えてくれる研究成果は見当たらないのが現状である。

3. 基礎となる流入・避走行動モデル

(1) 流入・避走行動モデル

Kita and Fukuyama⁷⁾は、図-1に示すように流入部において4台の車両を考え、1台の流入車が本線車より低速で走行車線（本線の最外側車線）に流入する現象をモデル化している。流入車1と本線車2に着目し、両者がそれぞれの期待利得が最大となるように意思決定を行うと考え、流入部における流入・避走行動を、完全情報下における2人非協力ゲームとして記述している。

(2) 流入・避走挙動の分類とその成立条件

各ドライバーの利得を周辺車両等との位置関係(TTCの逆数に負号をつけたもの)の関数として特定化し、標準型ゲームとして記述したものが表-1である。表中の $F_{11} \sim G_{00}$ は以下のように与えられる。

$$F_{11} = -\frac{v_2^4 - v_1}{v_1 t - (v_2^4 t - y_4)} \quad (1)$$

$$F_{01} = -\frac{v_1}{X - v_1 t} \quad (2)$$

$$F_{10} = -\frac{v_2^2 - v_1}{v_1 t - (v_2^2 t - y_2)} \quad (3)$$

$$F_{00} = -\frac{v_1}{X - v_1 t} \quad (4)$$

$$G_{11} = -\frac{v_3 - v_2^2}{(v_2^2 - y_2) - (v_3 t - y_3)} \quad (5)$$

$$G_{01} = -\frac{v_3 - v_2^2}{(v_2^2 - y_2) - (v_3 t - y_3)} \quad (6)$$

$$G_{10} = -\frac{v_2^2 - v_1}{v_1 t - (v_2^2 t - y_2)} \quad (7)$$

$$G_{00} = 0 \quad (8)$$

ただし、 v_1, v_2^2, v_2^4, v_3 はそれぞれ車両1～4の速度、 t は車両1がノーズ端を通過した時点を基準とする時刻である。

流入部で行われる流入・避走行動が各ドライバーの最適反応戦略に基づくゲームのナッシュ均衡解として説明される。均衡解は(1)～(8)式に示した利得の大小関係により規定されるが、 $\pi_1 = X/v_1$, $\pi_2 = y_2/(v_2^2 - v_1)$, $\pi_3 = y_3/(v_3 - v_1)$, $\pi_4 = y_4/(v_2^4 - v_1)$ とおくと、結局 $y_4/(v_2^4 - v_1) > (<) X/v_1$, $y_2/(v_2^2 - v_1) > (<) X/v_1$, $y_2/(v_2^2 - v_1) > (<) y_3/(v_3 - v_1)$ という3つの条件式によって規定され、表-2のように8つのケースに整理できる⁷⁾。ここに、 $\bar{x}$, $\bar{y}$ はそれぞれ流入車、本線車の行動を表し、流入(避走)するとき1, 流入(避走)しないとき0で表す。また、 t_m , t_g はそれぞれ流入時刻、避走時刻を表す。本研究では、この結果を用いて交通特性推定モデルを構築する。

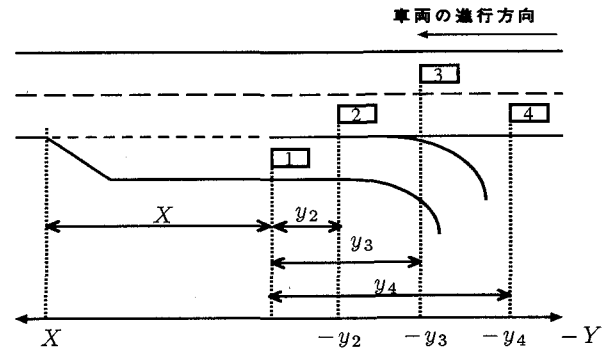


図-1: 各車両の位置と車両間距離

表-1: 流入・避走ゲーム

	避走する(y)	避走しない($1-y$)
流入する(x)	F_{11}, G_{11}	F_{10}, G_{10}
流入しない($1-x$)	F_{01}, G_{01}	F_{00}, G_{00}

4. 交通特性推定モデルの構築

(1) 流入部区間におけるマクロ交通特性

オンランプ流入部の幾何構造設計を行うためには、2台の車両の挙動がどうなるかというミクロな挙動ではなく、ミクロな挙動の累積としての交通流が全体としてどのようなふるまいを見せるかというマクロな挙動を把握することが必要である。本研究では、避走確率や流入位置分布といった交通特性の導出を試みるが、流入確率、避走確率は車線分布に影響を与えることから交通容量を求める際に用いられ、流入位置分布は加速車線長を決定する際に用いられる。

以下では、前節で述べたモデルを用いて個々の車両の挙動を分析・記述し、その挙動に影響を与える車両相互の位置関係の生起確率を車頭間隔分布から導出する。この生起確率を流入・避走ゲームによって形成される交通現象と対応づけて集計することにより、交通流の全体的な挙動をモデル化し、交通条件の変化による交通流の変化のメカニズムを明らかにする。すなわち、ミクロな挙動を確率を用いて集計し、マクロな指標を導出することにより、交通条件の変化による走行挙動特性の変化を説明

表-2: 均衡解の成立条件と交通現象の対応

均衡解	$F_{11}-F_{01}$	$F_{10}-F_{00}$	$G_{11}-G_{10}$	$(\bar{x}, \bar{y})$	(t_m, t_g)
I	$\pi_4 > \pi_1$	$\pi_2 > \pi_1$	$\pi_2 < \pi_3$	(1, 1)	(0, 0)
II	$\pi_4 > \pi_1$	$\pi_2 > \pi_1$	$\pi_2 > \pi_3$	(1, 0)	(0, -)
III	$\pi_4 > \pi_1$	$\pi_2 < \pi_1$	$\pi_2 < \pi_3$	(1, 0)	$(\pi_2, -)$
IV	$\pi_4 > \pi_1$	$\pi_2 < \pi_1$	$\pi_2 > \pi_3$	(1, 0)	$(\pi_2, -)$
V	$\pi_4 < \pi_1$	$\pi_2 > \pi_1$	$\pi_2 < \pi_3$	—	—
VI	$\pi_4 < \pi_1$	$\pi_2 > \pi_1$	$\pi_2 > \pi_3$	—	—
VII	$\pi_4 < \pi_1$	$\pi_2 < \pi_1$	$\pi_2 < \pi_3$	(1, 0)	$(\pi_4, -)$
VIII	$\pi_4 < \pi_1$	$\pi_2 < \pi_1$	$\pi_2 > \pi_3$	(1, 0)	$(\pi_4, -)$

(ii) $\alpha_2 > \xi_4$ のとき,

$$\begin{aligned} P_2\{a, b\} &= P\{y_4 > \alpha_2, y_2 > \xi_2 | y_4 > y_2\} \\ &= \int_{\alpha_2}^{\infty} \left\{ \int_{\xi_2}^{y_4} f_{Y_2}(y_2) \cdot f_{Y_4}(y_4) dy_2 \right\} dy_4 \\ &= \exp[-\lambda_2 \xi_2] - \frac{1}{4} \exp[-\lambda_2 \alpha_2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2\{a, \bar{b}\} &= P\{y_4 > \alpha_2, y_2 < \xi_2 | y_4 > y_2\} \\ &= \int_0^{\xi_2} f_{Y_2}(y_2) dy_2 \cdot \int_{\alpha_2}^{\infty} f_{Y_4}(y_4) dy_4 \\ &= 1 - \exp[-\lambda_2 \xi_2] \end{aligned}$$

$$P_2\{\bar{a}, b\} = P\{y_4 < \xi_4, y_2 > \xi_2 | y_4 > y_2\} = 0$$

$$P_2\{\bar{a}, \bar{b}\} = P\{y_4 < \xi_4, y_2 < \xi_2 | y_4 > y_2\} = 0$$

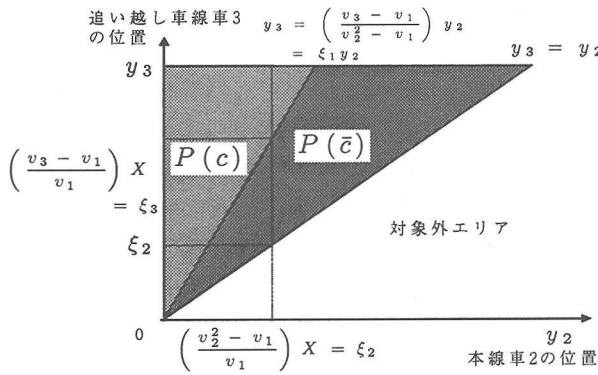


図-4: 積分範囲3

また、図-4の積分範囲より、 y_3 と y_2 に関して $P(c)$ 、 $P(\bar{c})$ を求めると、それぞれ以下になる。

$$\begin{aligned} P(c) &= P\{y_3 > \xi_1 y_2 | y_3 > y_2\} \\ &= \int_0^{\infty} \left\{ \int_{\xi_1 y_2}^{\infty} f_{Y_3}(y_3) \cdot f_{Y_2}(y_2) dy_3 \right\} dy_2 \\ &= \frac{1}{\lambda_3 - \lambda_2} \left\{ \frac{\lambda_3}{\xi_1 + 1} - \frac{\lambda_2^2}{\lambda_2 + \xi_1 \lambda_3} \right\} \\ P(\bar{c}) &= P\{y_3 < \xi_1 y_2 | y_3 > y_2\} \\ &= \int_0^{\infty} \left\{ \int_{y_2}^{\xi_1 y_2} f_{Y_3}(y_3) \cdot f_{Y_2}(y_2) dy_3 \right\} dy_2 \\ &= \frac{2\lambda_2 + \lambda_3}{2(\lambda_2 + \lambda_3)} - \frac{1}{\lambda_3 - \lambda_2} \left\{ \frac{\lambda_3}{\xi_1 + 1} - \frac{\lambda_2^2}{\lambda_2 + \xi_1 \lambda_3} \right\} \end{aligned}$$

VIII
 $\sum_{i=1} P_i = 1$ であるから、

$$\begin{aligned} P'\{a, b\} &= \frac{1}{1 - 1/4 \exp[-\lambda_2 \alpha_2]} \cdot P_i\{a, b\} \\ P'\{a, \bar{b}\} &= \frac{1}{1 - 1/4 \exp[-\lambda_2 \alpha_2]} \cdot P_i\{a, \bar{b}\} \\ P'\{\bar{a}, \bar{b}\} &= \frac{1}{1 - 1/4 \exp[-\lambda_2 \alpha_2]} \cdot P_i\{\bar{a}, \bar{b}\} \\ P'(c) &= \frac{1}{(2\lambda_2 + \lambda_3)/2(\lambda_2 + \lambda_3)} \cdot P(c) \\ P'(\bar{c}) &= \frac{1}{(2\lambda_2 + \lambda_3)/2(\lambda_2 + \lambda_3)} \cdot P(\bar{c}) \end{aligned}$$

とおくと、各ケースの生起確率はそれぞれ以下のように与えられる。

$$\begin{aligned} P_I &= P'\{a, b\} \cdot P'(c), & P_{II} &= P'\{a, b\} \cdot P'(\bar{c}) \\ P_{III} &= P'\{a, \bar{b}\} \cdot P'(c), & P_{IV} &= P'\{a, \bar{b}\} \cdot P'(\bar{c}) \\ P_V &= P'\{\bar{a}, b\} \cdot P'(c) = 0, & P_{VI} &= P'\{\bar{a}, b\} \cdot P'(\bar{c}) = 0 \\ P_{VII} &= P'\{\bar{a}, \bar{b}\} \cdot P'(c), & P_{VIII} &= P'\{\bar{a}, \bar{b}\} \cdot P'(\bar{c}) \end{aligned}$$

(4) 避走確率

本線車2は、ケースIのときのみ避走するので、 $\pi_4 > \pi_1, \pi_2 > \pi_1$ の同時生起確率を $P'(a, b)$ 、 $\pi_2 < \pi_3$ の生起確率を $P'(c)$ と表すと、避走確率 P_g は以下のように与えられる。ただし、次式は、本線車2が流入部を通過するまでに流入車が1台しか存在しなかった場合の避走確率を表している。

$$P_a = P_I = P'(a, b) \cdot P'(c) \quad (14)$$

(5) 流入位置分布

流入車1が流入する位置を x_m (ノーズ端から下流方向に測定)とし、加速車線始端で流入する確率を $P'\{a, b\}$ とし、本線車2に追い抜かれて流入する地点の分布を $f_{X_2}(x_m)$ 、またその確率を $P'\{a, \bar{b}\}$ とする。さらに、本線車2に追い抜かれ、本線車4に追い抜かれて流入する地点の分布を $f_{X_{34}}(x_m)$ 、またその確率を $P'\{\bar{a}, \bar{b}\}$ とすると、流入位置分布 $f_{X_m}(x_m)$ は次式で与えられる。

$$f_{X_m}(x_m) = \begin{cases} P'\{a, b\} & (x_m = 0) \\ P'\{a, \bar{b}\} \cdot \frac{f_{X_2}(x_m)}{m_2} & (0 < x_m < \alpha_m) \\ P'\{a, \bar{b}\} \cdot \frac{f_{X_2}(x_m)}{m_2} + P'\{\bar{a}, \bar{b}\} \cdot \frac{f_{X_{34}}(x_m)}{m_{24}} & (\alpha_m < x_m < X) \end{cases} \quad (15)$$

ここに、 $\alpha_m = \alpha_2 \cdot v_1 / (v_2^4 - v_1)$ である。

(15)式を0から x_m まで積分することにより、累積流入確率分布を求めることができる。

(6) 流入直後のTTC分布

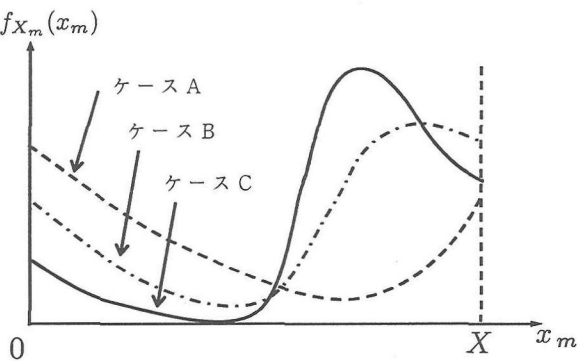
流入した瞬間の後方車とのTTCを t とし、加速車線長を X とする。流入車1と加速車線終端とのTTCは X/v_1 であり、 $\alpha_t = \alpha_2 / (v_2^4 - v_1)$ とおくと、i) $0 < t < \alpha_t$ のとき、流入車1は加速車線始端に到着した時点で流入し $t_2 = y_2 / (v_2^2 - v_1)$ である。ii) $\alpha_t < t < X/v_1$ のとき、流入車1は加速車線始端に着した時点で流入し $t_2 = y_2 / (v_2^2 - v_1)$ であるか、あるいは本線車2に追い抜かれた時点で流入し $t_4 = x_4 / (v_2^2 - v_1)$ である。iii) $X/v_1 < t < \infty$ のとき、流入車1は、加速車線始端に到着した時点で流入し、 $t_2 = y_2 / (v_2^2 - v_1)$ であると考えられる。

以上より、流入時のTTC分布 $f_T(t)$ は以下のように表すことができる。

$$f_T(t) = \begin{cases} P'\{a, b\} \cdot \frac{f_{T_2}(t)}{n_2} & (0 < t < \alpha_t) \\ P'\{a, b\} \cdot \frac{f_{T_2}(t)}{n_2} + P'\{a, \bar{b}\} \cdot \frac{f_{T_4}(t)}{n_4} & (\alpha_t < t < X/v_1) \\ P'\{\bar{a}, \bar{b}\} & (X/v_1 < t < \infty) \end{cases} \quad (16)$$

表－ 3: 車線別交通量と避走確率/危険流入比率との関係

ケース	避走確率	$P(TTC < 3sec)$
ケース A	0.31	0.09
ケース B	0.28	0.12
ケース C	0.33	0.16



図－ 5: 車線別交通量と流入位置分布との関係

ただし、 n_2, n_4 は、以下の式で与えられる。

$$n_2 = 1 - \exp \left[-\lambda_t \frac{X}{v_1} \right] \tag{17}$$

$$n_4 = 1 - \exp \left[-\lambda_t \left(\frac{X}{v_1} - \alpha_t \right) \right] \tag{18}$$

5. 交通条件が流入・避走特性に及ぼす影響分析

構築したモデルを用いて、交通条件が流入・避走挙動に及ぼす影響を検討した。図-5と表-3にその一部を示す。設定条件、 $\alpha_2 = 40(m)$, $\alpha_3 = 50(m)$, $v_1 = 60(km/h)$, $v_2 = v_2^4 = 80(km/h)$, $v_3 = 100(km/h)$ の下で、(i) ケース A: 本線走行車線の交通量 $\lambda_2 = 0.03$, 本線追い越し車線の交通量 $\lambda_3 = 0.06$, (ii) ケース B: 走行車線・追い越し車線とも交通量を $\lambda_2 = 0.06$ のみ $\lambda_3 = 0.12$ へと増加した場合、(iii) ケース C: 本線走行車線の交通量 λ_2 のみ $\lambda_2 = 0.15$ へと増加した場合に、交通特性（流入位置分布、避走確率、TTCが3秒を下回る確率）に及ぼす影響を示している。

(1) 流入位置分布、累積流入確率分布について

ケース A と比べて、ケース B ではノーズ端付近で流入できる確率が低下し、流入位置分布は加速車線終端側にシフトする。ケース C では λ_2 の増加によってノーズ端で流入できない確率がさらに増加し、本線車4に追い抜かれて流入する確率 $P'(a, b)$ も増すため、流入位置分布は大きく加速車線終端側にシフトする。つまり、「危険な流入」の割合が増加する。 λ_3 のみが増加するケースでは、流入位置分布、累積流入確率分布の変化は限定的である。図-6は、東名名古屋ICにおける観測結果の一部である。走行車線の交通量が12.6(台/分)の時はノーズ端から下流側

60 m地点までの間で流入する車が少なからず見られるが、14.1(台/分)の場合にはほとんど見られないなど、よく似た傾向が見受けられる。

(2) 避走確率について

ケース B では、流入車と交錯する確率が増加し、 $P'(a, b)$ が大きくなり避走する可能性は高いが、本線追い越し車線の交通量も増加しており避走できる確率は逆に低下するため、避走確率は若干減少するという結果になり、実際の避走行動をうまく説明していると考えられる。ケース C では交錯する車両がさらに増加するが、本線追い越し車線の交通量は増加していないため、避走確率はケース B より大きくなる。

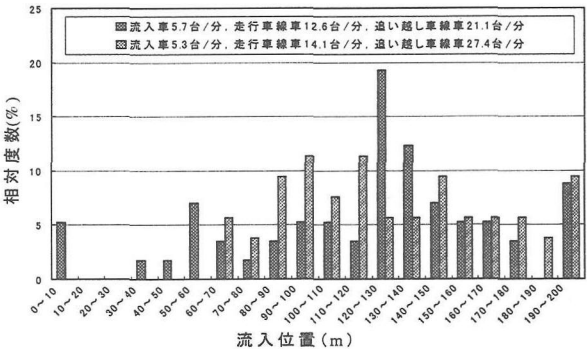
(3) TTCの分布について

本線への流入に伴う危険度は、流入車と本線車との間のTTCが一定の大きさ T_0 を下回る確率 $P(TTC < T_0)$ で評価することができる。ここでは $T_0 = 3(sec)$ とした。ケース B, ケース C と走行車線の交通量が増加するに連れて T_0 を下回る確率も大きくなり、危険な流入が増えることが見て取れる。これは上記の流入位置分布のシフトからも理解される。

以上より、流入位置分布は本線走行車線の交通量にかなり依存するが避走確率の影響を受けること、避走確率は本線走行車線及び追い越し車線の交通量のバランスに依存し、走行車線と追い越し車線の車線別交通量比率が流入部の走行特性にかなり支配的である、ということなどが改めて確認された。避走行動を考慮しない場合、流入挙動に及ぼす追い越し車線の交通特性の影響を検討し得ないため、流入部の設計や運用に際しては避走挙動が及ぼす影響を適切に考慮しておくことが必要であろう。また、流入位置分布から加速車線終端近くで流入する「危険な流入」と交通特性の関係等をも明らかにすることができた。

6. おわりに

本研究では、交通条件が生起する確率を車頭間隔分布



図－ 6: 車線別交通量と流入位置分布との関係

から導出し、ゲーム理論を援用して特定の位置関係にある車両のミクロな流入・避走挙動をマクロな交通特性へと関連付けることにより、流入部での相互作用を考慮した交通特性を推定するモデルを構築し、交通条件の変化が交通流に及ぼす影響を数値的に求める事を可能にするとともに、交通条件の変化による交通流の変化のメカニズムを明らかにした。このことは、ドライバー間の相互作用を踏まえたより適切な流入部設計に寄与するものと考えられる。しかし、本モデルでは、混雑状態を考慮していないほか、速度を全車一定と仮定しているなど、単純化のための仮定も少なからず残されている。また、流入車を視認する前に行われるいわゆる先行避走についても考慮していない。今後これらの諸仮定を緩め、実証分析を重ねることにより、さらに現実的なモデルへと改良したいと考えている。

参考文献

- 1) 総務庁編：交通安全白書，平成11年度版，pp.31，1999.
- 2) 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.
- 3) 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12，pp.673-678，1994.
- 4) 久保園寛：加速車線長が高速道路流入部に及ぼす影響，鳥取大学工学部社会開発システム工学科・卒業論文，1992.
- 5) 喜多秀行，久保園寛：高速道路流入部における流入・避走挙動のモデル化分析，第14回交通工学研究発表会論文集，pp.45-48，1994.
- 6) Kita, H.: A merging-giveway interaction model of cars in a merging section: a game theoretic analysis, —em Transportation Research A, 33, pp. 305-312, 1999.
- 7) Kita, H., and K. Fukuyama: A merging-giveway behavior model considering interactions at expressway on-ramps, In: Ceder, A. (ed.), *Transportation and Traffic Theory*, Pergamon, pp. 173-187, 1999.
- 8) Jouzy, N.C. and H. Michael: Use of Design of Acceleration and Deceleration Lanes in Indiana, HRR, No.9, pp.25-51, 1963.
- 9) Cima, B.T.: Evaluation of Freeway - Merging Safety as Influenced by Ramp Metering, TRR, No.630, pp.41-51, 1977.
- 10) Szwed, N. and N.M. Smith: Gap Acceptance and Merging, Proc. of the 7th Conf. of the Australian Road Research Board, Part 4, pp.126-151, 1974.
- 11) Michaels, R.M. and J. Fazio: Driver Behavior Model of Merging, TRR, No.1231, pp.4-10, 1898.
- 12) Chin, H.C., S.T. Quek and R.L. Cheu: Traffic Conflicts in Expressway Merging, J. of Transp. Eng. ACSE, pp.633-643, 1991.
- 13) Kita, H.: Effects of Merging Lane Length on the Merging Behavior at Expressway on-Ramps, in Daganzo, C.F.(ed.): *Transportation and Traffic Theory*, Elsevier, pp.37-51, 1993.
- 14) Ahmed, K. I., M. Ben-Akiva, H. N. Koutsopoulos and R. G. Mishalani: Models of Freeway lane Changing and Gap Acceptance Behavior, in Lesort, J.-P.: *Transportation and Traffic Theory*, Pergamon, pp.501-515, 1996.
- 15) 卷上安爾・松尾武：多重合流を考慮した流入確率の算定方式について，土木学会論文集，No.413，pp.87-96，1990.
- 16) Cassidy, M.J.: A Proposed Analytical Technique for the Design and Analysis of Major Freeway Weaving Sections, Institute of Transportation Studies, University of California at Berkeley, UCB-ITS-RR-90-16, 1990.
- 17) Nakamura, H., M. Kuwahara and M. Koshi: A Simulation Model for the Evaluation of Weaving Capacity, in Brannolte, U. (ed.) *Highway Capacity and Level of Service*, pp.259-270, Balkema, Rotterdam, 1991.