

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*

A FLOW CHARACTERISTICS ESTIMATION BASED ON MERGING-GIVEWAY BEHAVIOR MODEL *

喜多秀行**・幸坂謙之介***・福山 敬****

by Hideyuki KITA**, Kennosuke KOUZAKA***, 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倍にのぼり¹⁾、交通錯綜が避けられない流入部や織り込み区間での危険性がとりわけ高い。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管制など安全性の向上を図ることが要請されている。流入部における運転挙動に関する従来の研究として、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といった挙動解析²⁾、流入車の速度調整行動を考慮した合流挙動分析³⁾、TTCと流入挙動との関係を考慮に入れた分析⁴⁾など、本車線が流入車の流入挙動に及ぼす影響のみを考えた研究が行われてきた。しかし、流入車は、本車線の動きを見ながら加速車線上のどこで、いつ、流入するか、本車線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思決定を行っていると考えられる。つまり、実際には、流入車・本車線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、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た行動モデルが精力的に開発されつつある。喜多・久保⁵⁾では、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。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・運用に必要な交通容量や流入位置分布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考えられる。

2. 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⁾では、図-1に表すように流入部において4台の車両を考え、本線に1台の流入車が低速で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すると、流入部における流入・避走行動は、完全情報下における2人非協力ゲームとして記述できる。

(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、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各時点・各走行状況での流入・避走現象を説明すると、流入部全域にわたって繰り返される流入・避走行動は、 $y_4/(v_4^2 - v_1) > (<)X/v_1$, $y_2/(v_2^2 - v_1) > (<)X/v_1$, $y_2/(v_2^2 - v_1) > (<)y_3/(v_3 - v_1)$ という3つの条件式によって規定され、 $X/v_1 = \pi_1$, $y_2/(v_2^2 - v_1) = \pi_2$, $y_3/(v_3 - v_1) = \pi_3$, $y_4/(v_4^2 - v_1) = \pi_4$ とおくと、表-1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

*キーワード: 交通流
 **正員 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)
 ***正員 (株)アクア美保
 ****正員 Ph.D 鳥取大学工学部社会開発システム工学科

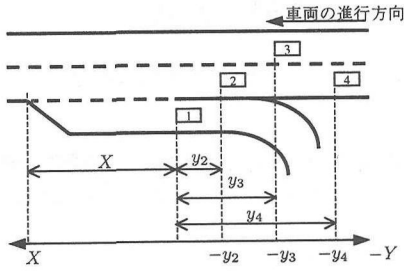


図-1: 各車両の位置と車両間距離

表-1: 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)	$(\pi_4, -)$

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.

3. 交通特性推定モデルの構築

(1) ノーズ端到着時の後方ラグ・車頭距離分布

簡単のため, v_1, v_2^2, v_3, v_4^4 はそれぞれ一定とし, $v_1 < v_2^2 (= v_3^2) < v_3$ とする. 流入・避走挙動モデルにおけるゲームの利得を規定する車頭間隔の生起確率を車頭間隔分布から導出する.

本線走行車線の車頭距離間隔 h_2 , 本線追い越し車線の車頭距離間隔 h_3 をそれぞれシフトした指数分布として以下のように与える. (ただし, $\lambda_2 \neq \lambda_3$)

$$f_{H_2}(h_2) = \lambda_2 \exp[-\lambda_2(h_2 - \alpha_2)] \quad (1)$$

$$f_{H_3}(h_3) = \lambda_3 \exp[-\lambda_3(h_3 - \alpha_3)] \quad (2)$$

ここに, λ_2, λ_3 : 本線走行車線, 本線追い越し車線の交通量, α_2, α_3 : 本線走行車線, 本線追い越し車線の最小車頭間隔である. (1)式, (2)式から図-1の y_2, y_3, y_4 を導くと, それぞれ次式のように与えられる.

$$f_{Y_2}(y_2) = \lambda_2 \exp[-\lambda_2 y_2] \quad (3)$$

$$f_{Y_3}(y_3) = \frac{\lambda_2 \lambda_3}{\lambda_3 - \lambda_2} (\exp[-\lambda_2 y_3] - \exp[-\lambda_3 y_3]) \quad (4)$$

$$f_{Y_4}(y_4) = \lambda_2^2 (y_4 - \alpha_2) \exp[-\lambda_2 (y_4 - \alpha_2)] \quad (5)$$

(2) 各ケースの生起確率

本節では, 前節で求めた(3)式で表される y_2 の分布, (4)式で表される y_3 の分布, (5)式で表される y_4 の分布を用いて, 表-1の各ケースの生起確率および流入確率, 避走

本線車4の位置

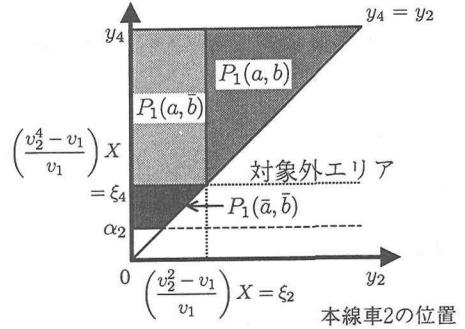


図-2: 積分範囲1

本線車4の位置

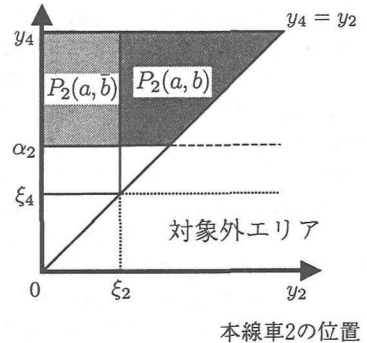


図-3: 積分範囲2

確率を導出する.

ここで, 各ケースを規定する3つの条件式を, 変数について変形し, $\xi_4 = (v_2^4 - v_1)X/v_1$, $\xi_2 = (v_2^2 - v_1)X/v_1$, $\xi_3 = (v_3 - v_1)X/v_1$ とおき, さらに, $\xi_1 = \xi_3/\xi_2 = (v_3 - v_1)/(v_2^2 - v_1)$ とおく. また, $F_{11} - F_{01} > (<)0$ が生起するという事象を $a(\bar{a})$, $F_{10} - F_{00} > (<)0$ が生起するという事象を $b(\bar{b})$, $G_{11} - G_{10} > (<)0$ が生起するという事象を $c(\bar{c})$ と表すと, 各ケース(I~VIII)が生起する確率は以下のように与えられる.

$$P_I = P\{a, b, c\} = P\{y_4 > \xi_4, y_2 > \xi_2, y_3 > \xi_1 y_2\}$$

$$P_{II} = P\{a, \bar{b}, \bar{c}\} = P\{y_4 > \xi_4, y_2 > \xi_2, y_3 < \xi_1 y_2\}$$

$$P_{III} = P\{a, \bar{b}, c\} = P\{y_4 > \xi_4, y_2 < \xi_2, y_3 > \xi_1 y_2\}$$

$$P_{IV} = P\{a, \bar{b}, \bar{c}\} = P\{y_4 > \xi_4, y_2 < \xi_2, y_3 < \xi_1 y_2\}$$

$$P_V = P\{\bar{a}, b, c\} = P\{y_4 < \xi_4, y_2 > \xi_2, y_3 > \xi_1 y_2\}$$

$$P_{VI} = P\{\bar{a}, b, \bar{c}\} = P\{y_4 < \xi_4, y_2 > \xi_2, y_3 < \xi_1 y_2\}$$

$$P_{VII} = P\{\bar{a}, \bar{b}, c\} = P\{y_4 < \xi_4, y_2 < \xi_2, y_3 > \xi_1 y_2\}$$

$$P_{VIII} = P\{\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}\} = P\{y_4 < \xi_4, y_2 < \xi_2, y_3 < \xi_1 y_2\}$$

ここで, 図-2, 図-3の積分範囲より, y_4 と y_2 に関して $P_i\{a, b\} \sim P_i\{\bar{a}, \bar{b}\}$ を求めると, それぞれ以下のようになる.

(i) $\alpha_2 < \xi_4$ のとき,

$$\begin{aligned}
 P_1 \{a, b\} &= P \{y_4 > \xi_4, y_2 > \xi_2 | y_4 > y_2\} \\
 &= \int_{\xi_2}^{\infty} \left\{ \int_{y_2}^{\infty} f_{Y_4}(y_4) \cdot f_{Y_2}(y_2) dy_4 \right\} dy_2 \\
 &= \frac{1}{4} \{2\lambda_2(\xi_2 - \alpha_2) + 3\} \exp[-\lambda_2(2\xi_2 - \alpha_2)] \\
 P_1 \{a, \bar{b}\} &= P \{y_4 > \xi_4, y_2 < \xi_2 | y_4 > y_2\} \\
 &= \int_{\xi_4}^{\infty} f_{Y_4}(y_4) dy_4 \cdot \int_0^{\xi_2} f_{Y_2}(y_2) dy_2 \\
 &= \{\lambda_2(\xi_2 - \alpha_2) + 1\} \{\exp[-\lambda_2(\xi_2 - \alpha_2)] - \exp[-\lambda_2(2\xi_2 - \alpha_2)]\} \\
 P_1 \{\bar{a}, b\} &= P \{y_4 < \xi_4, y_2 > \xi_2 | y_4 > y_2\} \\
 &= \int_{\xi_2}^{\xi_4} f_{Y_4}(y_4) dy_4 \cdot \int_{\xi_2}^{\xi_4} f_{Y_2}(y_2) dy_2 = 0 \\
 P_1 \{\bar{a}, \bar{b}\} &= P \{y_4 < \xi_4, y_2 < \xi_2 | y_4 > y_2\} \\
 &= \int_{\alpha_2}^{\xi_4} f_{Y_4}(y_4) dy_4 \cdot \int_0^{\alpha_2} f_{Y_2}(y_2) dy_2 \\
 &\quad + \int_{\alpha_2}^{\xi_2} \left\{ \int_{y_2}^{\xi_4} f_{Y_4}(y_4) \cdot f_{Y_2}(y_2) dy_4 \right\} dy_2 \\
 &= 1 - \{\lambda_2(\xi_2 - \alpha_2) + 1\} \exp[-\lambda_2(\xi_2 - \alpha_2)] \\
 &\quad + \frac{1}{4} \{2\lambda_2(\xi_2 - \alpha_2) + 1\} \exp[-\lambda_2(2\xi_2 - \alpha_2)] \\
 &\quad - \frac{1}{4} \exp[-\lambda_2\alpha_2]
 \end{aligned}$$

(ii) $\alpha_2 > \xi_4$ のとき,

$$\begin{aligned}
 P_2 \{a, b\} &= P \{y_4 > \alpha_2, y_2 > \xi_2 | y_4 > y_2\} \\
 &= \int_{\alpha_2}^{\infty} \left\{ \int_{\xi_2}^{y_4} f_{Y_2}(y_2) \cdot f_{Y_4}(y_4) dy_2 \right\} dy_4 \\
 &= \exp[-\lambda_2\xi_2] - \frac{1}{4} \exp[-\lambda_2\alpha_2] \\
 P_2 \{a, \bar{b}\} &= P \{y_4 > \alpha_2, y_2 < \xi_2 | y_4 > y_2\} \\
 &= \int_0^{\xi_2} f_{Y_2}(y_2) dy_2 \cdot \int_{\alpha_2}^{\infty} f_{Y_4}(y_4) dy_4 \\
 &= 1 - \exp[-\lambda_2\xi_2] \\
 P_2 \{\bar{a}, b\} &= P \{y_4 < \xi_4, y_2 > \xi_2 | y_4 > y_2\} = 0 \\
 P_2 \{\bar{a}, \bar{b}\} &= P \{y_4 < \xi_4, y_2 < \xi_2 | y_4 > y_2\} = 0
 \end{aligned}$$

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、それぞれ以下のようになる。

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

VIII $\sum_{i=1} P_i = 1$ であるから、

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

追い越し
車線車3
の位置

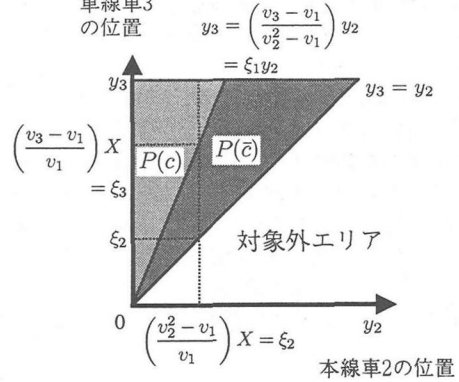


図-4: 積分範囲3

と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。

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

(3) 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。

$$P_g = P_I = P'(a, b) \cdot P'(c) \quad (6)$$

(4) 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。

$$f_{X_m}(x_m) = \begin{cases} P' \{a, b\} & (x_m = 0) \\ P' \{a, \bar{b}\} \cdot \frac{f_{X_2}(x_m)}{m_2} & (0 < x_m < \alpha_m) \\ P' \{a, \bar{b}\} \cdot \frac{f_{X_2}(x_m)}{m_2} + P' \{\bar{a}, \bar{b}\} \cdot \frac{f_{X_{24}}(x_m)}{m_{24}} & (\alpha_m < x_m < X) \end{cases} \quad (7)$$

また(7)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。

(5) 流入時の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、 $\alpha_t = \alpha_2/(v_2^2 - v_1)$ 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。

$$f_T(t) = \begin{cases} P' \{a, b\} \cdot \frac{f_{T_2}(t)}{n_2} & (0 < t < \alpha_t) \\ P' \{a, b\} \cdot \frac{f_{T_2}(t)}{n_2} + P' \{a, \bar{b}\} \cdot \frac{f_{T_4}(t)}{n_4} & (\alpha_t < t < X/v_1) \\ P' \{\bar{a}, \bar{b}\} & (X/v_1 < t < \infty) \end{cases} \quad (8)$$

ただし、 n_2, n_4 は、以下の式で与えられる。

$$n_2 = 1 - \exp \left[-\lambda_t \frac{X}{v_1} \right] \quad (10)$$

$$n_4 = 1 - \exp \left[-\lambda_t \left(\frac{X}{v_1} - \alpha_t \right) \right] \quad (11)$$

4. 交通条件が流入・避走特性に及ぼす影響分析

構築したモデルにおいて、(i) 本線走行車線の交通量 λ_2 本線追い越し車線の交通量 λ_3 の比率は同じで全体の交通量が増加した場合、(ii) 本線走行車線の交通量 λ_2 のみ増加した場合、(iii) 本線追い越し車線の交通量 λ_3 のみ増加した場合という3つのケースを考え、交通量の変化が交通特性にどのような影響を及ぼすのか分析を行った。

(1) 流入位置分布、累積流入確率分布について

(i) のケースでは λ_2 の増加によって、本線走行車の最小車等間隔 α_2 が小さくなるため、流入位置分布は、加速車線始端側にシフトするが、本線車4に追い抜かれて流入する確率 $P'(\bar{a}, \bar{b})$ が増加し、全体として加速車線終端側で大きな値をとる。つまり、「危険な流入」の割合が増加する。(ii) のケースにおいても同様の変化が見られる。一方、(iii) のケースでは、流入位置分布、累積流入確率分布に変化は見られない。

(2) 避走確率について

(i) のケースでは加速車線始端で流入する確率 $P'(a, b)$ が小さくなり、本線追い越し車線の交通量が増加するため、避走確率は小さくなる。(ii) のケースにおいても同様に $P'(a, b)$ は小さくなるが、本線追い越し車線の交通量が減少するため、避走確率は(i)のケースよりは大きくなる。一方、(iii) のケースでは $P'(a, b)$ が大きくなり避走する可

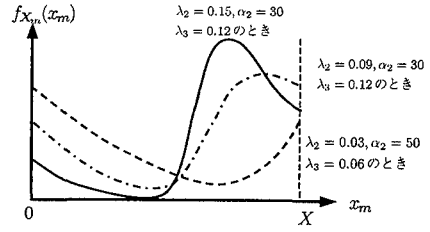


図-5: 交通量の変化にともなう流入位置分布の変化

能性は高いが、本線追い越し車線の交通量が増加するため、避走確率は小さくな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。以上のことから、本線走行車線及び追い越し車線の交通量の関係は避走確率に影響を与え、流入位置分布は本線走行車線の交通量にのみ依存する事が明らかになった。また、流入位置分布から加速車線終端近くで流入するという「危険な流入」と交通量の関係などを明らかにすることができた。

5. 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から導出し、ミクロからマクロへ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が可能になるとともに、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おらず、速度を全車一定と仮定しているなど、簡単化のための仮定も少なからず残されているため、今後これらを緩める事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) 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.