

運転行動分析に基づく低速合流時の潜在事故危険度推定法*

An Estimation of Traffic Accident Risk in Low-Speed Merging Based on Driving Behavior Analysis

喜多秀行[†]，平井克尚[‡]

by Hideyuki Kita and Katsuhisa Hirai

This study looks at merging behavior in an on-ramp merging section of an expressway with a single merging lane in parallel to a through lane, in the case where the merging cars are running slower than those on the through lane. In the first part, a gap acceptance model will be developed which describes the merging behavior of a driver not as an all-or-nothing type deterministic behavior, but as a probabilistic behavior based on the merging probability. The gap acceptance model developed here has a structure in which the merging probability varies on the positions on a merging lane. In the second part, a method will be proposed which relates the distribution of TTC, an index on the safety level of traffic in a merging section, with road/traffic characteristics such as the traffic volume and the length of the merging lane surrounding the drivers' driving behavior. Through a case study by using video observation data, both the gap acceptance model and the estimation model of the TTC distribution show sufficient ability in estimation. This result suggests that the proposed model is useful to evaluate the safety level of a merging section in advance in the planning process.

1. はじめに

交通施設の改良や交通運用による安全対策は、交通環境に対する働きかけであり、交通環境の変化が運転者の行動にどのように影響し、その結果どのような交通流が生成されるかを把握し、はじめて実効ある安全対策がとれる。しかし、交通環境が運転行動への影響を通じて交通流の挙動にどのような変化をもたらすかについて、これまで必ずしも一貫した説明がなされていたわけではない。

本線に平行な加速車線を持つ高速道路オンランプ流入部において、加速車線の長さや発生する追突事故率との間に有意な相関関係がみられるとの報告¹⁾からも理解されるように、加速車線長はオンランプ流入部における交通安全対策上の重要な設計変数の

ひとつである。上述の観点から、著者らは流入直後のTTC²⁾(車間距離-相対速度比)を潜在事故危険度の代理指標と考え、流入時の運転行動を踏まえたTTCの推定方法を検討してきたが、今回概ね良好な推定結果を得るに至った。そこで、その考え方と算定の手順を「低速合流時の潜在事故危険度推定法」としてとりまとめ報告する。以下では、2.で従来の研究を概観し、3.で流入時の運転挙動をギャップアクセプタンス行動ととらえてモデル化する。この結果を用いて4.でTTCの推定法を提案し、5.で実証分析の結果を示す。

2. 従来の研究とその問題点

オンランプ流入部における流入行動の分析と交通流のモデル化に関しては、これまでも数多くの研究がなされてきた。初期の研究としてはJouzy and Michael³⁾が本線への流入地点分布に関する観測結果を考察しており、米谷・会田⁴⁾はランプにおける待ち合わせ問題を取り扱っている。その後さまざま

* キーワード： 運転行動分析 加速車線長 事故危険度

[†] 正会員 工博 鳥取大学助教授 工学部社会開発システム工学科 (〒680 鳥取市湖山町南4-101)

[‡] 学生会員 鳥取大学大学院工学研究科 社会開発システム工学専攻 (同上)

まな改良や拡張が図られ、最近では、巻上・松尾⁵⁾が多重合流現象を詳細に分析している。また、個々の車両の流入行動に関する解析結果に基づくシミュレーションモデルを用いて大織込みの容量分析手法を提案した Cassidy et. al⁶⁾、および Nakamura, Kuwahara and Koshi⁷⁾など、織り込み区間の交通現象に関する研究の一環としても流入行動の分析が進められている。これらは基本的に、個々の車両の挙動を分析・記述し、それを集計して交通流の全体的な挙動をモデル化しようとするアプローチをとっており、これは本研究でとるアプローチでもある。しかしこれらの研究は、その多くが交通容量の分析を主たる目的としていることもあって、安全性の観点から流入部の設計を論ずるためには必ずしも十分ではない。その主たるものは、以下の3点に集約できる。

- (1) 流入部の設計は運転のための空間形状の設計である。運転者の挙動は設計される空間形状の影響を強く受けるにも関わらず（もし影響を受けないならば設計に手間をかける必要はない）、空間形状と関連づけられずに分析・記述されていた。
- (2) 本線車の車両間隔など交通条件についてはばらつきが明示的に考慮され、確率事象として記述されてきた。しかるに、運転行動にも個々の運転者の運転性向の違いやその時々々の判断のゆれに起因するばらつきが本来的に存在し、しかもこのばらつきは交通流の挙動に大きく影響すると考えられるにも関わらず、例えば合流臨界ギャップ長というように確定的な記述しかなかった。
- (3) 設計変数としての幾何形状の値とその下で実現される交通流の安全性評価値との対応づけが必ずしも十分なされていなかった。本研究で扱う加速車線長の問題についてみても、加速車線長が交通の安全性に及ぼす影響が加速車線終端までに流入できないという事象に起因するもののみが扱われてきたが、加速車線上で流入する際の本線車との衝突可能性が加速車線長によって変わるという同程度に重要な事実は全く検討されていなかったといつてよい。

このような問題意識の下、喜多・畠中⁸⁾は、流入行動を決定論的な all-or-nothing 行動ではなく確率

論的な行動として記述するギャップアクセプタンスモデルを開発し、この中に加速車線長が及ぼす影響を明示的に組み入れた。また、Chin et al.⁹⁾は高速道路流入部における T T C 分布を観測し統計的な分析を加えている。次いで、喜多¹⁰⁾は事故リスクのコントロールという観点から加速車線長の設計法を論じ、喜多・久保蘭¹¹⁾、Kita¹²⁾は事故危険度の代理指標として T T C を推定することの意義とその方法の枠組みを提示している。しかしここでは、加速車線であるにもかかわらず流入車は全車同一速度で等速走行を続けるもの仮定されていたため、T T C を算定する際の時々刻々の相対速度を実態に即した形で取り扱えないなど、いくつかの不都合を含むものであった。そこで本研究では、流入車の速度に関する上記の仮定を緩め、流入直後の T T C 分布を直接推定する方法を提案する。

3. ギャップアクセプタンスモデル

3.1 対象とする流入現象

オンランプ流入部における交通現象は、本線走行車と流入車の速度の大小関係、本線交通量に対する流入交通量の比率、車線構成、視距、勾配などによってその様相が大きく異なる。本研究では、流入車線が1車線の見通しのよいオンランプ流入部を対象とし、本線走行車の速度が流入車の速度よりも大きい、いわゆる「低速合流」の場合を検討する。また簡単のため、多重合流現象については先頭車のみによる1車合流現象とみなして取り扱い、避走行動も考慮に入れないが、提案するモデルは部分的な拡張を行うことによりこれらを考慮しうる構造となっている。

3.2 流入行動の二項選択としての記述

上記のような流入部における流入車の行動は、以下のように略述できる。流入車の運転者は、本線の上流側が見通せる地点に達したあたりから後方に目をやり、近づいて来る本線走行車の様子を把握しながら速やかに加速を行う。そして、個々の運転者が持つ許容ギャップの長さとしてそれを加速車線終端までに見出せない可能性とを天秤にかけつつ、許容できる長さのギャップを見つけ出すとすばやく車線を変更してそのギャップの中に入り、後続車との間隔がある程度以上離れていることを確認して一息つく。

この記述から、流入行動の主たる内容がギャップアクセプタンス行動であるということが理解され

る。この理解は、これまでも少なからぬ研究¹³⁾で採用されている。しかし、その多くが“臨界ギャップ”をギャップアクセプタンスの基準として用いていることにも現れているように、運転者の行動にその時々での判断のゆれや個人差が存在するにもかかわらず、運転者の行動を平均的に扱っている。とりわけ、加速車線がこの行動に及ぼす影響は考慮に入れられておらず、したがって、上述したような時々刻々の判断過程を明示的に分析したものも見あたらない。

他方、70年代後半からの個人行動モデル（非集計モデル）の発展を受けて、Daganzo¹⁴⁾やMahmasani and Sheffi¹⁵⁾など、信号のない交差点におけるギャップアクセプタンス行動を離散選択モデルを用いてモデル化する研究が見られるようになった。これらは選択行動の構造を解明しようとするもので、影響要因が選択行動に及ぼす影響を比較的容易に取り扱えるという特徴を有している。

これらのモデルは通常の交差点を対象としたものであるため、本研究で扱う流入行動の分析にそのまま適用できるわけではない。しかし、両者はいずれもギャップアクセプタンス挙動であるという点では共通しており、ギャップアクセプタンス挙動が「流入する」、「見送る」という二つの選択肢のうち必ず一方を選択する二者択一行動であることから、流入部の交通現象は、上述の流入判断プロセスに影響する要因を説明変数とする二項選択モデルにより説明することができると考えられる。以下では、モデル分析上の簡便性などの観点から、二項ロジットモデル、

$$P(a|X) = \frac{1}{1 + \exp\{-(U_a - U_r)\}} \quad (1)$$

$$P(r|X) = 1 - P(a|X) \quad (2)$$

を用いたモデル化を行う。ここに、

$P(i|X)$: ある運転者が条件 X のもとで
選択肢 i を選択する確率

U_i : その運転者が選択肢 i から
受ける効用の確定項

i : 選択肢 ($i = a$:流入, $i = r$:見送り)
であり、

$$U_a - U_r = \theta_0 + \sum_{j=1}^J \theta_j X_j \quad (3)$$

である。 X_j は説明変数、 θ_j はそのパラメータである。

後述するように、本研究では、流入判断プロセスに影響する要因として、ギャップ g 、残存加速車線長 $l (= L_0 - x)$ 、 L_0 : 加速車線長 x : 走行位置)、
相対速度 $v (= v_i - v_j)$ 、 v_i : 流入車速度 v_j : 本線車速度) を採択し、これを説明変数とする。ただし、流入車がゼブラノーズ端で出会う最初のギャップのみ直近後方車までのギャップの長さ g とする。

4. TTC 分布の推定法

4.1 加速度を考慮した流入車存在確率の定式化

流入車がある地点まで流入せずに、ずっと加速車線上に存在している確率を、以後流入車存在確率という。TTC を算定する際には流入時の速度を知っておく必要があり、本研究では個々の流入車ごとの加速挙動の違いがTTCの分布形状にもたらす影響を把握するため、初期速度 v_0 (ゼブラノーズ先端加速車線始端における速度) と加速度 α により、加速挙動を表現する。

加速挙動を考慮にいれた場合、加速車線上の走行位置 x における流入車存在確率を直接定式化することは、各々の式が煩雑になり困難である。そこで、走行時間 t を媒介変数として時間ごとの存在確率を定式化し、これを順次走行位置ごとの存在確率へと変換していく。

ギャップアクセプタンス挙動において、ギャップに「流入する」か「見送る」かを決定する時点は、1番目のギャップについては流入車がゼブラ区間先端に達した時点、 n 番目のギャップ ($n \geq 2$) については $n-1$ 台目の車と並んだ時点とする。(ギャップと後方ラグについては図-1 参照)

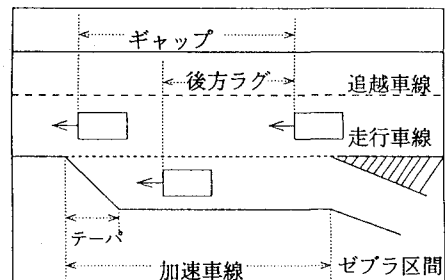


図-1 ギャップと後方ラグ

さて、流入車は、ゼブラ区間先端で出会ったギャップを見送った場合、加速車線をそのまま走行しながら

ら次に直面するギャップに流入できるかどうかを探る。このギャップにも流入できないようであれば、またその次に直面するギャップに流入できないかどうかを探る。このように加速車線上を走行したままギャップを探り、最終的に流入可能なギャップを見つけて流入していくことになる。いま、流入車が加速度 α 、初期速度 v_0 で走行している時、長さが g_1 である最初のギャップに遭遇して流入せず、かつ2番目以降のギャップにまだ遭遇せずに t 秒後に加速車線上に存在する確率 $P_{e1}(t)$ は、

$$P_{e1}(t|L_0, \alpha, v_0) = \int_{\xi}^{\infty} P(r|g_1, v, l) f_g(g_1) dg_1 \quad (4)$$

で表される。ここで、時刻 t における相対速度 v 、残存加速車線長 l は、走行距離、走行速度と加速度の関係よりそれぞれ次式で表される。

$$v = v_j - (\alpha t + v_0) \quad , \quad l = L_0 - (\frac{1}{2}\alpha t^2 + v_0 t)$$

また、積分範囲の下限 ξ は、 $\xi = \max 0, \xi_1$ で、 $\xi_1 = t - (\frac{1}{2}\alpha t^2 + v_0 t) / v_j$ である。なお、 ξ_1 は t 秒後にちょうど流入車と本線車が並ぶような後方ラグ g_1 を表しており、 $v_i < v_j$ のとき ξ_1 は図2より、

$$v_j \times (t - g_1 + \epsilon) = \frac{1}{2}\alpha t^2 + v_0 t$$

であるから、

$$g_1 = t - \frac{0.5\alpha t^2 + v_0 t}{v_j} + \epsilon = \xi_1 + \epsilon \quad \therefore \xi_1 < g_1 < \infty$$

となる。 $v_i > v_j$ のときは、 $\epsilon > g_1$ になることもあり、これは流入車が加速車線に入った瞬間に、それよりも前を走行している本線車の前方にも流入のチャンスがあることを意味している。しかし、本研究では低速合流のみを取り扱うこと、また実態観測においても、前方車の前に入るような流入車はみられないことから、 $\epsilon \leq g_1$ とした。したがって、 ξ_1 の下限は0であり $\xi = \max 0, \xi_1$ となる。

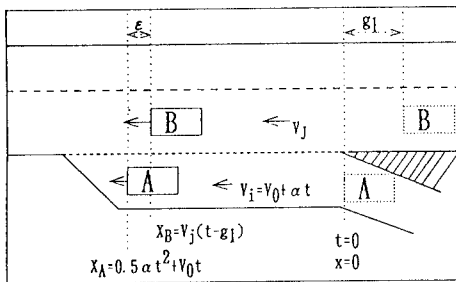


図2 ギャップの積分範囲

ここで、簡単のため

$$g(g_i) = P(r|g_i, L_0, \alpha, v_0) f_g(g_i) \quad (5)$$

とおく。ただし、 f_g は $i = 1$ のとき車頭時間間隔分布の初期分布、 $i \geq 2$ のとき車頭時間間隔分布である。すると、最初に遭遇したギャップに流入せずに、二番目のギャップ g_2 に遭遇しているが、まだ流入せずに時刻 t に加速車線上を走行している確率 $P_{e2}(t|L_0, \alpha, v_0)$ は、次式で表される。

$$P_{e2}(t|L_0, \alpha, v_0) = \int_0^{\xi} \int_{\xi-g_1}^{\infty} g(g_1)g(g_2)dg_2dg_1 \quad (6)$$

以下同様に、 j 番目のギャップに遭遇してそれに流入せずに t 秒後に加速車線上に存在する確率は、

$$P_{ej}(t|L_0, \alpha, v_0) = \int_0^{\xi} \int_0^{\xi-g_1} \dots \int_0^{\xi-(g_1+\dots+g_{j-2})} \prod_{i=1}^j g(g_i)dg_j \dots dg_1 \quad (7)$$

となる。よって、流入車が加速車線上に t 秒後に存在している確率 $P_e(t|L_0, \alpha, v_0)$ は、これらを全て足し合わせればよく、

$$P_e(t|L_0, \alpha, v_0) = \sum_{i=1}^{\infty} P_{ei}(t|L_0, \alpha, v_0) \quad (8)$$

となる。

次に上式を、走行位置 x で記述された存在確率に変換する。(8)式では、ある加速度や初期速度の下で、 t 秒後には加速車線長 L_0 を越えてしまうこともあり得るが、走行位置に変換することで x の上限は L_0 となり、加速車線を越えた位置について考慮されることはない。

t は x の関数として次式で表される。

$$t(x|\alpha, v_0) = \frac{\sqrt{v_0^2 + 2\alpha x} - v_0}{\alpha} \quad (9)$$

これより、ある流入車がゼブラノーズ端から距離 x の地点を流入せずに走行し続けている確率、 $P_e(x|L_0)$ は次式であらわされる。

$$P_e(x|L_0, \alpha, v_0) = P_e(t(x|\alpha, v_0)|L_0) \frac{dt(x|\alpha, v_0)}{dx} \quad (10)$$

ただし、

$$\frac{dt(x|\alpha, v_0)}{dx} = \frac{1}{\sqrt{v_0^2 + 2\alpha x}}$$

所与の加速度 α 、初期速度 v_0 の下での、位置 x における流入車存在確率は(10)式として定式化できた。 α, v_0 は実際には、流入車により異なる値を取る

ため、任意の流入車に関するある加速車線長 L_0 の下での位置 x の流入車存在確率は以下のように書き直される。

$$P_e(x|L_0) = \int_0^\infty \int_0^\infty f_\alpha(\alpha) f_v(v_0) P_e(x|L_0, \alpha, v_0) d\alpha dv_0 \quad (11)$$

$f_\alpha(\alpha)$: 加速度分布, $f_v(v_0)$: 初期速度分布

本研究では、目下のところ低速合流のみを取り扱うので、加速度の定義域を $\alpha \geq 0$ とする。またここでは、加速度は初期速度や相対速度に依存しないものとしているが、影響を受けている場合は、加速度分布を条件付き加速度分布 $f_\alpha(\alpha|v_0)$, $f_\alpha(\alpha|v)$ とすればよい。

4.2 流入時の TTC 分布の定式化

TTC とは、相前後して走行する 2 台の車両の車頭間隔 (距離) を相対速度で除したもので表され、そのままの状態があと何秒続けば衝突に至るかという、潜在事故危険度を示す指標ある²⁾。これを t_c とおくと次式で表される。

$$t_c = \frac{gv_j}{v_j - v_i} \quad (12)$$

これをギャップ g について変形すると、

$$g(t_c) = \frac{t_c(v_j - v_i)}{v_j} \quad (13)$$

であるから、ある v_i の下で t_c が生起する確率 $P(t_c|v_i)$ は、車頭間隔分布を用いて次のように表される。

$$P(t_c|v_i) = f_g(g(t_c)) \frac{dg}{dt_c} \quad (14)$$

ただし、 $dg/dt_c = (v_j - v_i)/v_j$

また v_i は流入車の速度であるが、流入車は加速しているため v_i は刻々と変化している。初期速度 v_0 の車が地点 x で速度 v_i であるためには、 $\alpha = \alpha' = \frac{1}{2x}(v_i^2 - v_0^2)$ で加速すればよいから、この加速度を v_0 の関数 $\alpha'(v_0)$ として記述すると、位置ごとの速度分布 $f_v(v_i|x)$ は次のように表される。

$$f_v(v_i|x) = \int_0^{v_i} f_\alpha(\alpha'(v_0)) \frac{d\alpha'}{dv_0} f_v(v_0) dv_0 \quad (15)$$

$$\alpha'(v_0) = \frac{1}{2x}(v^2 - v_0^2), \quad \alpha'/dv_0 = v_0/x$$

これらを用いて、流入時の危険度を調べるため、流入直後の TTC の分布を定式化する。

走行位置 x 、相対速度 v で流入する時の TTC が t_c であるような確率 $P(t_c|a, L_0, x, v)$ は、 $P(t_c|v_j)$ と $g(t_c)$ に流入する確率 $P(a|g(t_c), L_0, x, v)$ より次式で表される。

$$P(t_c|a, L_0, x, v) = \frac{P(a|t_c, L_0, x, v)P(t_c)}{\int_0^\infty P(a|t_c, L_0, x, v)P(t_c)dt_c} \quad (16)$$

これより、走行位置 x で流入する TTC が t_c であるような確率 $P(t_c|a, L_0, x)$ は $P(t_c|a, L_0, x, v)$ の位置ごとの相対速度 v について期待値をとればよい。ただし、本研究では本線走行速度は一定としているから、流入車の位置ごとの速度分布を用いて次式のようなになる。

$$P(t_c|a, L_0, x) = \int_0^{v_j} P(t_c|a, L_0, x, v) f_v(v_i|x) dv_i \quad (17)$$

これより、流入位置全体で見た流入時の TTC が t_c である確率は、全ての位置 x に関する $P(t_c|a, L_0, x)$ の期待値をとればよい。よって x で流入する確率 $P(a|x)$ を用いて、

$$P(t_c|L_0) = \int_0^{L_0} P(t_c|a, L_0, x) P(a|x) dx \quad (18)$$

与えられる。

$P(a|x)$ は、累積流入確率を位置 x について微分することにより求められるが、これは必ずしも容易でないため、存在確率と同様の方法で次のように求めることもできる。すなわち初期速度 v_0 、加速度 α の車が、ある位置 x まで流入せずに加速車線上を走行し続け、 x において新しいギャップに遭遇してそのギャップに流入する確率を全ての v_0, α について求めればよい。最初のギャップを見送った後、 x において次のギャップに遭遇しそれに流入する確率は、

$$P_1(a|x, \alpha, v_0) = P(r|g_1 = \xi) f_g(\xi) \times \int_0^\infty P(a|g_2) f_g(g_2) dg_2 \quad (19)$$

となる。ここに、 ξ は (4) 式と同様の ξ である。地点 x に達するまでに 2 個のギャップを見送り、 x において 3 番目のギャップに遭遇しそれに流入する確率は、

$$P_2(a|x, \alpha, v_0) = \int_0^\xi P(r|g_1) f_g(g_1) P(r|g_2 = \xi - g_1) f_g(\xi - g_1) dg_1 \int_0^\infty P(a|g_3) f_g(g_3) dg_3 \quad (20)$$

となる。以下同様に、 n 個ギャップを見送り、 $n+1$ 番目のギャップに遭遇してそれに流入する確率は、

$$P_n(a|x, \alpha, v_0) = \int_0^\xi q(g_1) \int_0^{\xi-g_1} q(g_2) \cdots \int_0^{\xi-\sum_{i=1}^{n-2} g_i} q(g_{n-1}) q(\xi - \sum_{i=1}^{n-1} g_i) dg_{n-1} \cdots dg_1 \times \int_0^\infty p(a|g_{n+1}) f_g(g_{n+1}) dg_{n+1} \quad (21)$$

ただし、 $q(g_n) = P(r|g_n) f_g(g_n)$ である。よって、 x において流入する確率は、これらの総和に加速度と初期速度の分布を考慮して、次式で表される。

$$P(a|x) = \int_0^\infty \int_0^\infty \sum_{n=1}^\infty P_n(a|x, \alpha, v_0) \times f_\alpha(\alpha) f_v(V_0) dV_0 d\alpha \quad (22)$$

(22) 式を (18) 式に代入することにより、加速車線長 L_0 の流入部全体で流入時の TTC が t_c である確率、 $P(t_c|L_0)$ が求められる。

5. 実証分析

5.1 データ

ここでは、これまでに説明したモデルの現象説明力を検証するために、実証分析を行う。今回調査する流入部の概要と調査法について説明した後、調査結果をもとに、流入確率、初期速度分布、加速度分布、車頭時間間隔分布を同定し、この結果をもとに流入車存在確率、TTC 分布等を算定する。

本研究で用いた観測データは、京葉道市川 I 上り線オンランプ流入部にてビデオ録画したものであり、観測の日時は、昭和 63 年 10 月 29 日 7:00-9:00 である。観測地点の概形を図-3 に示す。

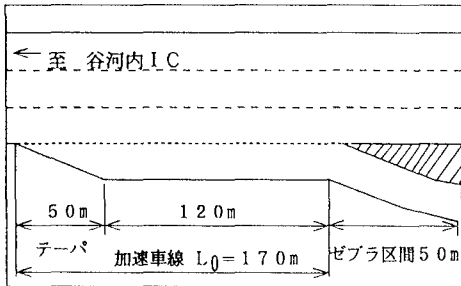


図-3 市川 IC の概形

データシートに流入車が加速車線先端にきた時刻を記入し、0.2 秒刻みで流入車、本線後方車の右側タイヤの位置を再生画面に張り付けたシートにプロットした。流入した地点は、右側タイヤが加速車線の白線を横切る地点とし、その時刻を流入時刻とした。

この流入時刻と直近後方車がその位置を通過する時刻を記録し、両者の差を後方ラグ (秒) とした。また、見送った後方ラグについては、流入車が加速車線先端にきた時刻と、後方車が先端にきた時刻の差とし、見送ったギャップは、流入車が見送るギャップの先頭車にならんだ時刻と、ギャップの後方車がその位置を通過する時刻の差とした。ただし、後方ラグが 15 秒を越えるものについては、モデルへの影響が小さいことからデータから外した。

得られたデータは計測誤差を含んでいるため、 $x = 0.5at^2 + v_0t$ として近似・平滑化し、加速度 α と初期速度 v_0 ならびに相対速度 v を求めた。これらのデータより、流入・見送り確率および、加速度分布などの各分布やパラメータを同定した。

5.2 データ分析結果

(a) 流入・見送り確率

パラメータ推定の推定値および t 値を表-1 に示す。

表-1 パラメータの推定値と t 値

Parameter	推定値	t 値
θ_0	1.8925	1.0615
θ_1	2.6619	4.4874
θ_2	-0.0409	-2.5297
θ_3	0.1679	1.9646

結果は、定数項 θ_0 を除けばどのパラメータも $|t_k| > 1.96$ を満たしており、説明変数として設定したギャップ、残存加速車線長、有意水準 5% で選択確率に影響を与える要因であるとみなされる。

現象再現性を検討するため、パラメータ推定に使用した観測データを用いて、的中率、尤度比を求めたところ、的中率 93%、尤度比 0.74 であり、極めて良好な適合性を示している。

(b) 車頭時間間隔分布

理論分布はアーラン分布⁵⁾としてあてはめを行った。フェイズ $k=2$ のとき最も高い適合度を示し、有意水準 10% で合格であった。また、 $\lambda = \bar{q} \cdot k = 0.61$ であった。ここに \bar{q} は単位時間当たりの交通量である。また流入車がゼブラノーズ端に達したときに直面する、後方ラグの分布は上式の初期分布を用いればよく、次式のようになる。

$$f_g(g_1) = \frac{1}{\bar{r}} e^{-\lambda g_1} \sum_{n=0}^{k-1} \frac{(\lambda g_1)^n}{n!} \quad (23)$$

$$\bar{r} = 1/\bar{q}$$

流入時の後方ラグの観測データを用いて同様に検定を行ったが、有意水準 10 % で合格であり、良好な適合度を示した。

(c) 初期速度分布

初期速度は、有意水準 10 % で正規分布 $N(14.00, 3.39^2)$ に従うとの結果が得られた。

(d) 加速度分布

加速度も、実測値の累積分布の概形から、正規分布とみなし有意水準 10 % で合格であった。加速度と初期速度、相対速度との相関はあまり見られなかったため、加速度はこれらには依存しない確率分布とした。本研究では低速合流のみを取り扱っているので、 $\alpha \geq 0$ とし、次式を加速度分布として用いた。

$$f_{\alpha}(\alpha) = \frac{\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp[-\frac{1}{2}(\frac{\alpha-\mu}{\sigma})^2]}{\int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp[-\frac{1}{2}(\frac{\alpha-\mu}{\sigma})^2] d\alpha} \quad (24)$$

$\mu = 0.011 \quad \sigma = 2.54 \quad \alpha \geq 0$

5.3 モデルの現象説明力

ギャップアクセプタンスモデルの空間移転性を検討するため、市川 IC のデータにより同定したモデルを喜多・畠中⁸⁾による東名高速川崎 IC のデータに適用したところ、的中率 95 %、尤度比 77 % という高い説明力を持つことが明らかになった。的中率、尤度比ともに高い値を示したこと、また川崎 IC のデータから推定したパラメータ値ともほぼ同一の値を取ることから、比較的安定したモデルであるといえる。

これらの結果を用いて、市川 IC における累積流入確率 ($1 - P_e$) および TTC 分布 (図-4) を算定した。累積流入確率 (図-5)、累積 TTC 分布 (図-6) に対して実測値をプロットしたところ、いずれも理論値とほぼ一致した。これよりモデルの現象説明力はかなり高いものと言える。

5.4 TTC と加速車線長の関係

以上のモデルを用いて加速車線長を変化させたときの TTC の分布に及ぼす加速車線長の感度を分析した。結果を図-7 に示す。車線長が短くなるほど短い TTC で流入する割合が増えており、加速車線長が TTC の分布に大きな影響を与えることが明らかとなった。これは、加速車線長の選定が事故防止対策上重要なファクターであることを示唆するものといえる。

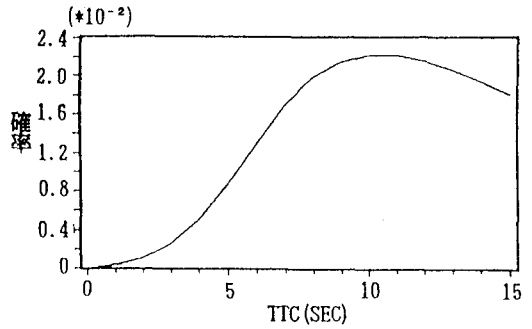


図-4 TTC 分布 (市川 IC)

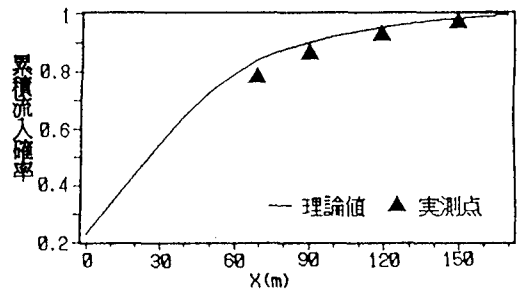


図-5 累積流入確率 (市川 IC)

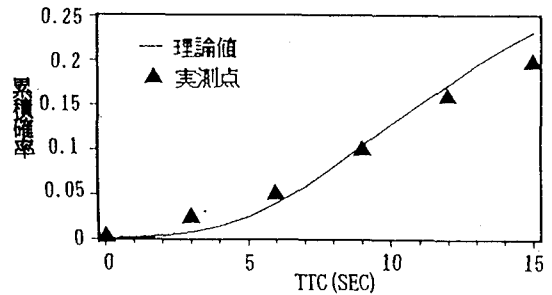


図-6 累積 TTC 分布 (市川 IC)

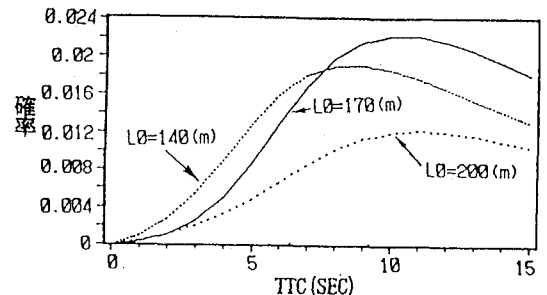


図-7 加速車線長を変化させたときの TTC 分布

6. おわりに

本研究では、流入時の運轉行動をギャップアクセプタンス行動と捉えてモデル化し、これをもとに流入車存在確率と、流入直後の TTC 分布を算定する方法を提案した。モデルの現象説明力を検証するための実証分析を行ったところ、提案した TTC 分布は観測した分布と極めて良好な一致をみせ、高い現象説明力を有することを確認した。また、ギャップアクセプタンスモデルに関しても高い空間移転性を有することが確認でき、区間の特性によらず流入部における交通現象をほぼ記述し得るものであることが明かとなった。

さらに、提案したモデルを用いて加速車線長を変化させたときの TTC の分布の変化を見たところ、加速車線長が流入時の危険度に大きく影響を与えることが読み取れた。これは、設計の際に TTC をも考慮に入れることの必要性を示唆するものである。本研究で示したモデルは、交通量、ランプ及び本線設計速度、加速車線長を変数として与えることができる構造であるので様々な特性を有する流入部区間に対して潜在事故危険度を評価することが可能であると考えている。

また、このモデルを用いることにより現行の設計基準を潜在事故危険度の観点から再評価することも可能であるが、その結果については、別の機会に発表したい。

参考文献

- 1) 岩崎征人・関根功夫・田嶋仁志・内田滋：首都高速道路の分合流部における事故分析，土木計画学研究講演集，pp.311～316,1992.
- 2) Hayward J.C.: Near-miss determination through use of a scale of danger, Report TTSC 7115, The Pennsylvania State University, 1972.
- 3) Jouzy, N.C. and H. Michael: Use and Design of Acceleration and Deceleration Lanes in Indiana, Highway Research Record, No.9, pp.25～51, 1963.
- 4) 米谷栄二・会田正：ランプにおける待ち合わせ問題，第7回道路会議論文集，pp.980～982,1964.
- 5) 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，第413号，pp.87～96,1990.
- 6) Cassidy, H.: A Proposed Analytical Technique for the Design and analysis of Major Freeway Weaving Sections, Ph-D Dissertation, Univ. of California at Berkeley, 1990.
- 7) Nakamura, H., M. Kuwahara and M. Koshi: A Simulation Model for the Evaluation of Weaving Capacity, Highway Capacity and Level of Service (Brannolte, U. (ed)), pp.259～270, Balkema, Rotterdam, 1991.
- 8) 喜多秀行・島中康行：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.
- 9) Chin, H.C., S.T. Quek and R.L. Cheu: Traffic Conflicts in Expressway Merging, Journal of Transp. Eng., ASCE, pp.633～643, 1991.
- 10) 喜多秀行：高速道路流入部におけるドライバーの選択行動と事故リスク，土木計画学研究・講演集 15(2), pp.103～108, 1992.
- 11) 喜多秀行・久保齒寛：低速合流時の合流挙動と潜在事故危険度に関する一考察，第12回交通工学研究発表会論文集，pp.81～84, 1992.
- 12) Kita, H.: Effects of Merging Lane Length on the Merging Behavior at Expressway On-Ramps, Proc. of the 12th Int. Symp. on Transportation and Traffic Theory (C. Daganzo ed.), Elsevier Science Pub. Co., pp.1～15, 1993.
- 13) 例えば 交通工学研究会：合流部の設計に関する調査研究報告書(その2)，pp.19～48, 1987.
- 14) Daganzo, C.F.: Estimation of Gap Acceptance Parameters within and across the Population from Direct Roadside Observation, Transp. Res., Vol.15B, No.1, pp.1～15, 1981.
- 15) Mahmassani, H. and Y. Sheffi: Using Gap Sequences to Estimate Gap Acceptance Functions, Transp. Res., Vol.15B, No.3, pp.143～148, 1981.