

高速道路流入部における交通挙動のモデル化

鳥取大学工学部
喜多 秀行

1. はじめに

安全で無理のない交通を実現するためには、交通現象の生成主体である運転者の反応や判断の実態を明らかにし、多くの運転者がとるであろうと予測される行動に即した形で道路の設計を進めていくことが望ましい。このためには、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ておくことが不可欠である。

追従理論をはじめとするこれまでの交通流モデルにおいては、路上観測等でえられたいくつかの基本的な交通特性を出発点として理論構築がなされている。そこで用いられている基本交通特性は運転者がとった交通行動の“結果”を整理したものであり、交通行動と交通流挙動とを関係づける試みであったという意味で図1の後半部分に相当するものであることが理解される。

しかし、これらのモデルは“なぜ運転者がそのような行動をとったか”を必ずしも説明するものではなかった。これまでにさまざまな交通流モデルが精力的に開発され、数多くの知見が得られてきたのに比べ、図1の前半部分に相当する交通環境と交通行動の関係についてはまだ不明な点が少ない。したがって、交通環境と交通行動の関係の解明を進める必要がある。

そこで、本研究では、対象とする道路空間として高速道路の流入部を例にとり、その主たる設計変数のひとつである加速車線長が運転者の流入行

動に及ぼす影響をまず定量的に明らかにする。また、加速車線長は流入部における事故危険度と密接に関係している（岩崎征人ほか(1992)）ため、その変化が流入行動を介して潜在的な事故危険度に及ぼす影響を算定するモデルを提案する。

2. 流入部におけるギャップ選択行動モデル

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。

高速道路における合流現象を取り扱ったモデルは、Jouzy and Michael(1963)などから Brilon(1991)、巻上・松尾(1990)、Cassidy(1990)、Chin, Quek and Cheu(1991)などまで、数多く提案されてきた。しかし、道路設計の観点から見ると次のような点で十分なものといえない。

まず、これらの多くは個々の車の走行挙動から全体的な交通流挙動を説明するミクロモデルであるが、その基礎となる車の動きには道路形状の影響が明示的に考慮されていない。したがって、先にも述べたように、対象とする道路区間の形状を変更することにより交通流挙動がどう変わるのかを記述し得ず、直接道路設計に援用することが困難である。

また、本線車の車頭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いるにもかかわらず、運転行動については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されていなかった。運転行動には個々の運転者の運転性向の違いやその時々判断のゆれに起因するばらつきが本来的に存在するが、

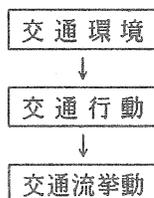


図1 交通流挙動の形成プロセス

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ため、モデル化に際しては無視しえない要因となる。

そこで、以下ではこれらの点に留意してモデル化を行う。

低速合流の場合、流入車の運転者は後方から近づいて来る本線走行車の様子をうかがいつつ加速し、安全に流入できるギャップがやってくるまで本線車をやり過ごしながら加速車線終端までの距離をも気かけ、ここぞという時にすばやく車線を変更する。これは、自分の横を次々に前方へ移動していくギャップに流入するか否かという一連の選択行動であると解釈される。そこで、運転者が直面しているあるギャップへの「流入」と「拒絶」を2つの選択肢とし、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2項ロジットモデルを構成した。

後に示す実証分析より、採択された説明変数は、本線車のギャップ g 、残存加速車線長 ℓ 、相対速度 v 、の3つである。ただし、残存加速車線長 ℓ は加速車線長 L_0 と加速車線上の走行距離 x の差、 $\ell=L_0-x$ 、として、相対速度 v は本線車速度 v_j 、流入車初期速度 v_0 、加速度 α から $v=v_j-(\alpha t+v_0)$ として算定される。これらより加速車線上の地点 x におけるギャップへの流入確率 $p(a|g, L_0, \alpha, v)$ と非流入確率 $p(r|g, L_0, \alpha, v)$ は、それぞれ、

$$\begin{aligned} p(a|g, L_0, \alpha, v) &= 1 / [1 + \exp\{-(U_a - U_r)\}] \\ p(r|g, L_0, \alpha, v) &= 1 - p(a|g, L_0, \alpha, v) \\ U_a - U_r &= \theta_0 + \theta_1 g + \theta_2 \ell + \theta_3 v \end{aligned} \quad (1)$$

として与えられる。

3. 交通流特性算定モデル

ここでは、流入部に特有な交通流特性として流入位置分布と流入直後のTTC分布を選び、加速車線長とこれらの特性とを関係づけるモデルを作成する。

流入位置分布とは、加速車線上のある地点まで本線に流入し終えた流入車の比率を示す累積分布である。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

として表され、そのままの状態が後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である。流入車が本線に流入した瞬間のTTCの値が大きいほど流入の際の事故危険度は低く、小さいほど高いとよい。以下では流入の際のTTC分布を算定する方法を誘導するが、その準備として、まず加速車線上における流入車の存在確率を算定する。

流入車が長さ 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、

$$P_{e1}(t|L_0, \alpha, v_0) = \int_{\xi}^{\infty} P(r|g_1, v, \ell) f_g(g_1) dg_1 \quad (2)$$

と書ける。ここに、 $\xi = \max\{0, \xi_1\}$ 、 $\xi_1 = t - \{(\alpha t^2/2) + v_0 t\}/v_j$ であり、 $f_g(g_1)$ は車頭時間分布である。同様に、 j 番目のギャップ g_j に遭遇してそれに流入せず t 秒後に加速車線上に存在する確率は、

$$\begin{aligned} P_{ej}(t|L_0, \alpha, v_0) &= \int_0^{\ell} \int_0^{\ell-g_1} \cdots \int_0^{\ell-(g_1+\cdots+g_{j-2})} \\ &\int_{\ell-(g_1+\cdots+g_{j-1})}^{\infty} \prod_{i=1}^j g(g_i) dg_j \cdots dg_1 \end{aligned} \quad (3)$$

となる。ただし、 $g(g_i) = P(r|g, L_0, \alpha, v) f_g(g_i)$ である。これより、流入車が流入の t 秒後に加速車線上に存在している確率 $P_e(t|L_0, \alpha, v_0)$ は、これらをすべて足し合わせたものとなる。

$$P_e(t|L_0, \alpha, v_0) = \sum_{i=1}^{\infty} P_{ei}(t|L_0, \alpha, v_0) \quad (4)$$

一方、TTCの大きさを t_c とすると、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 $f_g(g)$ を用いて次のように表される。

$$P(t_c|v_i) = f_g(g(t_c)) \frac{dg}{dt_c} \quad (5)$$

したがって、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。

$$P(t_c|a, L_0, x, v) = \frac{P(a|t_c, L_0, x, v) P(t_c)}{\int_0^{\infty} P(a|t_c, L_0, x, v) P(t_c) dt_c} \quad (6)$$

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、位置ごとの相対速度 v に関する $P(t_c|a, L_0, x, v)$ の期待値をとればよい。本研究では本線車の走行速度を一定としているため、流入車の位置ごとの速度分布 $f_v(v_i|x)$ を用いて次式のように記述できる。

$$P(t_c|a, L_0, x) = \int_0^{v_i} P(t_c|a, L_0, x, v) f_v(v_i|x) dv_i \quad (7)$$

したがって、流入位置全体で見た流入時のTTCが t_c である確率 $P(t_c|L_0)$ は、 $P(t_c|a, L_0, x)$ の全ての走行位置 x に関する期待値をとればよい。これは、位置 x で流入する確率 $P(a|x)$ を用いることにより、

$$P(t_c|L_0) = \int_0^{L_0} P(t_c|a, L_0, x) P(a|x) dx \quad (8)$$

で与えられる。

4. 実証分析

以上の結果にもとづき、加速車線長の変化がTTCの分布に及ぼす影響を具体的に把握するため事例分析を行った。分析対象とした流入部区間は京葉道市川IC上り線オンランプ流入部である。低速合流の状態を呈し、かつ本線交通量が比較的多い7:00から9:00までの交通流を解析対象とした。

データの抽出は、流入部全体が撮影されたビデオテープを再生し、ディスプレイ上で流入位置や走行速度等を計測した。流入車の右側前輪が本線との区画線を横切る瞬間を流入時点とし、ゼブラノーズ端からこの瞬間における流入車の走行地点までの距離をもって流入時の走行位置を表すこととした。

流入車が最初に会合ギャップについては、流入車がノーズ端を通過した時刻と本線外側車線上を走行する後続車が当該地点を通過する時刻との差を、2番目以降のギャップについては、本線走行車が流入車の横を通過する瞬間の時刻と後続車が当該地点を通過する時刻との差を、それぞれギャップ長とした。後方ラグ(sec)は、流入の時刻と流入車に後続する本線走行車(外側車線)が流入地点を通過するまでの時間間隔とした。この定義

では、見送ったギャップに対する後方ラグが定義されないが、流入したギャップに対する前方ラグ(ギャップ長と後方ラグの差異)がほぼ一定であるということが観測結果からわかっているため、先述のギャップから前方ラグの平均値を引くことにより見送ったギャップに対する後方ラグとみなした。走行速度は、流入車、本線走行車の走行位置と時刻をそれぞれ2か所づつ計測し、これから算出した。

これらのデータが全て揃ったサンプルは、流入車の台数ベースで271台分、ギャップ数で332であった。

なお、本線車の車頭間隔分布、すなわちギャップ長の分布 $f_t(t)$ は、交通量の逆数をパラメータとするフェーズ2のアーラン分布とよい一致を見せ、流入車の初期速度分布は正規分布 $N(14.00, 3.39^2)$ 、加速度分布も同じく正規分布 $N(0.011, 2.54^2)$ に従うとの結果が得られている。

ギャップアクセプタンスモデルに関するパラメータの推定値を表1に示す。定数項 θ_0 を除けばいずれのパラメータの t 値も比較的高く、尤度比は0.74、的中率は93%と極めて良好な現象説明力を有するモデルが得られたものと考えられる。

表1 パラメータの推定値

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

以上のモデルを用い、(2)~(8)式で誘導したモデルに沿って観測地点における流入位置分布とTTC分布を算定した。

流入位置分布に関する計算値と実測値とを比較したものを図2に、TTC分布に関するものを図3に示す。両者とも計算値と実測値は良好な一致を見せ、モデルはかなり高い現象再現性を有するものと認められる。また、本モデルを用いて加速車線長がTTC分布に及ぼす影響分析を行った結

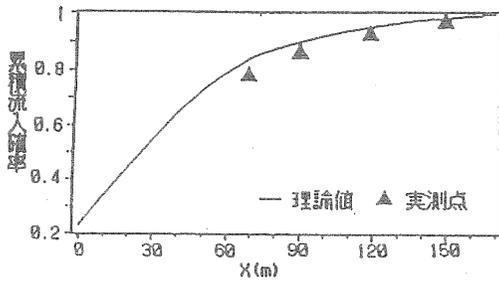


図2 累積流入確率

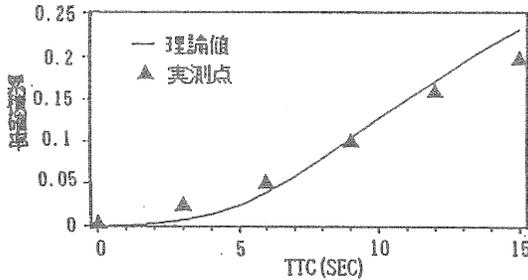


図3 累積TTC分布

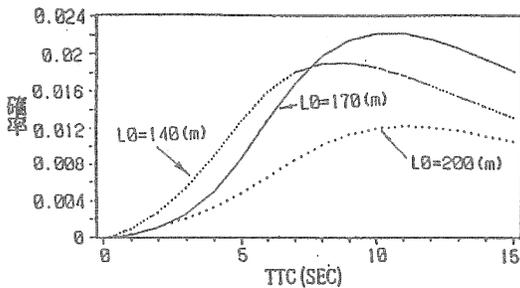


図4 加速車線長とTTC分布

果を図4に示す。加速車線長がTTCの分布に大きな影響を与えることが見て取れる。これは、加速車線長が流入部の交通流挙動をコントロールする上で支配的な要因であり、かつ事故危険度を減少させる上で重要な役割を有していることを示唆するものである。

5. おわりに

本研究では、交通流モデルの基礎条件となるドライバーの交通行動に着目し、これまであまり明示的に取り扱われてこなかった、交通環境が交通行動に及ぼす影響、および、運転行動に内在するばらつき、の2点を考慮した交通流モデルを提示

した。ここでは、高速道路流入部における加速車線から本線への流入行動を分析の対象とし、まずギャップへの流入選択行動モデルとして定式化した後、全体的な交通流特性がどのように形成されるかをモデル化した。そして事例分析で、加速車線長がギャップの選択行動に影響を及ぼし、最終的に流入位置分布や流入直後のTTC分布を変化させる様子を見た。これは、“交通環境を適切に整備することによってよりよい交通状況を現出することができる”という経験的期待に定量的基礎を与えるものといえる。

運転者の行動選択を介して交通環境と交通流特性とを上記のように関連づけることができれば、今後、運転者の行動に即した交通対策、すなわち、現在のような規制型ではない誘導型の交通対策を講じることが可能となろう。

参考文献

- Brilon, W.(ed.)(1991): Intersections without Traffic Signals II, Springer-Verlag, Berlin.
- Cassidy, M.(1990): A Proposed Analytical Technique for the Design and Analysis of Major Freeway Weaving Sections, Ph-D Dissertation, Univ. of California at Berkeley.
- Chin, Quek and Cheu(1991): Traffic Conflicts in Expressway Merging, J. of Transp. Eng., ASCE, pp.633-643.
- Hayward, J.C.(1970): Near-miss Determination through Use of a Scale of Danger, Report-TTSC-7115, The Pennsylvania State Univ.
- 岩崎征人ほか(1992): 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, No. 15(1), pp.311-316.
- Jouzy, C. H. and H. Michael(1963): Use and Design of Acceleration and Deceleration Lanes in Indiana, HRR, No.9, pp.25-51.
- Kita, H.(1993): Effects of Merging Lane Length on the Merging Behavior at Expressway On-Ramps, in Transportation and Traffic Theory (ed. C.F.Daganzo), Elsevier, pp. 37-51.
- 巻上・松尾(1990): 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.