

複数ギャップの同時選択を考慮した流入挙動モデル*

A Multiple Gap Choice Model Considering Speed Control in Merging

喜多 秀行[†], 原田 裕司[‡]

By Hideyuki KITA and Yuji HARADA

1. はじめに

高速道路流入部における交通現象を解明するため、これまで流入挙動を明らかにしようとする様々な試みがなされてきた。これらの多くは、流入車と周辺走行車との相対的な位置関係やその時間的変化を表す種々の指標と流入行動との関係を、統計的に整理しようとするものであった¹⁾²⁾。

これに対し、著者らは流入挙動をドライバーのギャップ選択行動とみなして分析をすすめてきた。まず、離散選択モデルで「流入する」、「ギャップを見送る」という2つの行動の選択を記述し³⁾、次いで加速車線上における流入車の存在確率と *TTC* (*Time to Collision*)⁵⁾ 分布の算定式を提案することにより、加速車線長決定問題への応用の可能性を論じた⁴⁾。その後、流入車の加速挙動を新たにモデルに組み入れる⁶⁾など、改良を加えることにより、高速道路流入部における合流挙動が概ね良好に記述されるようになった。

しかし、従来のモデルでは流入車のドライバーが「流入しない」という判断を行った場合も一定の加速度で加速すると仮定していたため、その時直面しているギャップを見送り次のギャップを待とうと思っても、次のギャップに遭遇できないまま加速車線の終端に行き着いてしまうような、非現実的な状況が生じる場合がみられた。これは、流入車が速度の調整を行いながら流入のタイミングを図るという行動を考慮していなかったためである。

実際には、流入車は本線上の車列に安全に流入するため、加速車線上で速度調整を行っている。たとえば、直面しているギャップに流入できそうになく、

かつ流入車と本線車の速度差が比較的小さい場合、加速を控えてそのギャップを見送ることが多い。

本来、加速車線は流入車が加速しながら流入のタイミングを伺うための区間であり、この区間における流入タイミング調整行動の記述は合流挙動を表すモデルに不可欠である。

そこで、本研究ではこれまでの流入車の合流挙動モデルを速度調整行動の考慮できる形へ拡張し、モデルの改良を行うことを目的としている。この改良モデルは複数のギャップに着目して流入行動を選択するモデルとなるため、同時に着目するギャップの数についても検討を行い、実証分析をもとにその現象説明力を確かめる。

2. 流入行動のモデル化

(1) 効用関数

従来のモデル⁶⁾において、流入行動とは直面したギャップに「流入する」か、あるいはそれを「見送る」という2つの行動の選択行動であった。またその判断はギャップ長、残存加速車線長、相対速度の3つの変数で構成された線形効用関数によって規定されていた。すなわち、ドライバーは取り得る2つの行動を効用で比較し、その高い方をとるべき流入行動として選択していた。

しかし、流入判断においてギャップ長と相対速度とは密接に関係しているため、本研究ではこれまでの効用関数を改良した次式の効用関数を用いることにした。

$$u_k = \eta_0 + \eta_1 t_\alpha + \eta_2 t_\beta + \varepsilon \quad (1)$$

u_k はギャップ k に流入しようとするときの効用を表している。また、 t_α 、 t_β は効用関数の説明変数であり、 t_α はギャップを構成する本線走行車との *TTC* [s]、 t_β は流入車の速度で正規化した残存加速車線

*キーワード：交通流、交通制御、交通管理

[†]正会員 工博 鳥取大学工学部社会開発システム工学科
〒680 鳥取市湖山町南4-101 TEL:0857-31-5313

FAX:0857-31-0882

[‡]学生員 鳥取大学大学院工学研究科社会開発システム工学専攻

長 [s], である.

$$t_\alpha = \frac{d}{V} \quad (2)$$

$$t_\beta = \frac{L - x_i}{v_i} \quad (3)$$

ここで, d, V, L, x_i, v_i はそれぞれ車間距離, 相対速度, 加速車線長, 流入車位置, 流入車速度である. また, η_0, η_1, η_2 はパラメータ, ε はランダム項である.

ただし, 相対速度 V が十分に小さい合流形態で t_α の値が無意味に大きくなる場合があり, このような場合, 実際には TTC ではなく本線車との間に確保できる車間距離そのものを見て判断がなされることが多いため, 相対速度 V にしきい値 V^* を設け, それより小さい場合, 説明変数 t_α として車間距離 d が採用されたとした.

$$\begin{cases} t_\alpha = t_\alpha & \text{for } V^* < V \\ t_\alpha = d & \text{for } V < V^* \end{cases} \quad (4)$$

これまでの検討結果から, しきい値 V^* は概ね 1.0 [m/s] 程度の値をとることが分かっている.

(2) 走行挙動の記述

流入車の速度調整行動を厳密に考慮するためには時々刻々の加速度変化を刻明に記述する必要がある. しかし, 実際にはさほどきめ細かな速度調整を行っているわけではなく, またある程度将来を見込んだなめらかな運転をしているものと推察される. そこで, 本モデルでは速度調整行動をできるだけシンプルに説明するため, 車の性能などに依存した固有の加速度で加速し, ある時点で加速をやめてその時の速度で走行し続けながらある時点で流入を行うと考える.

以後, 流入車が流入部入口に到着してから加速を続けた時間を加速継続時間 w と呼び, $t = w$ は加速を取りやめた時刻をさす. 前述の t_α, t_β は流入車の速度や走行位置, 本線車の走行位置により規定されるため加速継続時間 w の関数となる. この加速継続時間を新たにモデルに導入することにより, 速度調整行動を加速継続時間 w の選択行動としてモデル化できる.

流入車が $t = w$ まで一定の加速度で加速し, その後加速をやめて等速度で走行する場合, 時刻 t にお

ける流入車の走行位置は次のように表せる.

$$\begin{cases} x_i = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 & \text{for } t \leq w \\ x_i = v_0 w + \frac{1}{2} a w^2 + (v_0 + a w)(t - w) & \text{for } t > w \end{cases} \quad (5)$$

ここで, v_0 は流入車の初期速度 [m/s], a は流入車の加速度 [m/s²], L は加速車線長 [m] である.

一方, 本線車の方は一定の速度で走行するとして, 走行位置を次のように表すことができる.

$$x_j^{(k)} = v_j t + s_j^{(k)} \quad (6)$$

ここで, v_j は本線車 k の走行速度 (一定) [m/s], s_j は本線車 k の初期位置 [m] である.

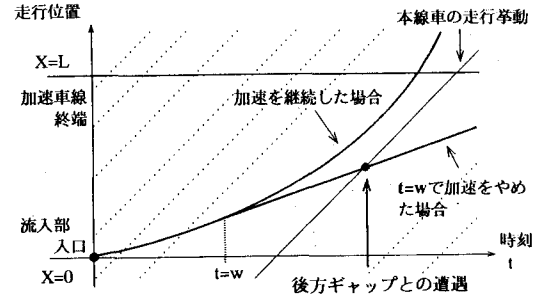


図-1 流入車の速度調整挙動

したがって, ギャップ k を構成する車両のうち先行車を本線車 k とすると, 流入車とギャップ k が遭遇する時刻 $t_e^{(k)}$ は流入車と本線車 k が並んだ時刻であり, 次のように表すことができる.

$$\begin{cases} t_e^{(k)} = \frac{(v_j - v_0) - \sqrt{(v_j - v_0)^2 + 2as_j^{(k)}}}{a} & \text{for } t_e^{(k)} \leq w \\ t_e^{(k)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{aw^2 + 2s_j^{(k)}}{v_0 - v_j + aw} & \text{for } t_e^{(k)} > w \end{cases} \quad (7)$$

(3) ギャップ選択モデル

流入車が加速継続時間 w をある範囲で選択できるとするとこれは、流入時点の選択が可能であることを意味するだけでなく、より後方の複数のギャップを待って流入するという選択も可能となることを意味していることになる。したがって、速度調整が行われる場合の流入車の行動は複数のギャップを選択肢とする多項選択行動として記述しなければならない。

流入車が複数のギャップの中から流入すべきギャップを選択するためには、それらを同時に比較できるという前提条件が必要である。従来までのモデルでは「流入車は直面したギャップに関する情報のみしか得ていない。」という近視眼的な仮定をおいていたが、本研究ではこの仮定を緩め、「流入車は自車後方からやってくる複数のギャップの位置と速度に関する情報を得ており、それらのギャップとの遭遇時間を予見することで、複数のギャップの比較が可能である。」とする。

流入車がギャップ k ($k = 1, 2, \dots$) に着目した場合、そのギャップに流入する際に決定される加速継続時間 w とは、次に示されるギャップ k に流入することで得られる効用 u_k を極大にするような加速継続時間 w^* である。したがって、

$$\frac{\partial u_k(w)}{\partial w} = 0 \quad (8)$$

の解となる。このようにして定まる遭遇地点は加速車線上に存在していなければならないため、加速継続時間 w の選択範囲は次のように限定される。

$$0 \leq w \leq \min[t_z^{(k)}, t_0] \quad (9)$$

ここで、 $t_z^{(k)}$ は加速し続けた場合のギャップ k との遭遇時間、 t_0 は同じく加速車線の終端に到着する時間であり、それぞれ次式で示される。

$$t_z^{(k)} = \frac{(v_j - v_0) - \sqrt{(v_j - v_0)^2 + 2as_j^{(k)}}}{a} \quad (10)$$

$$t_0 = \frac{-v_0 + \sqrt{v_0^2 + 2aL}}{a} \quad (11)$$

この範囲で選択された最適な加速継続時間 w^* の下で、ギャップ k に流入するという行動 A_k の効用 $U(A_k)$ は

$$U(A_k) = u_k(w^*) \quad (12)$$

となり、流入車が遭遇するいくつかのギャップは、この効用の大きさをもって相互に比較される。

流入車は、まず初期時点 ($t = 0$) で同時選択可能な K 個のギャップ k' ($k' = 1, \dots, K$) について、その位置と速度を確認できたとする。流入車はこれから K 個のギャップのそれぞれに流入するときの最適な流入時点を見出す。そして、最適な流入時点で流入する場合の各ギャップ k' の効用 $U(A_{k'})$ を比較し、 k' 目のギャップに「流入する」 $A_{k'}$ か、あるいは、いずれにも「とりあえず、流入しない」 A_{K+1} か、という $K+1$ 個の選択肢の中から行動の選択を行う。このとき、以下の確率 $P_s(A_k)$ で流入行動が選択される。

$$P_s(A_k) = \frac{\exp[U(A_k) - U(A_{K+1})]}{\sum_{k'=1}^K \exp[U(A_{k'}) - U(A_{K+1})]} \quad (13)$$

ギャップへ「流入する」という行動が選択された場合には流入行動は完了するが、「流入しない」場合には本線車を1台やり過ぐすたびにこのような選択を繰り返すものと考ええる。

ここで K は選択肢として同時に着目するギャップの数である。この K の選び方によってモデルの形式が異なってくるが、現在のところドライバーが実際にどこまで後方のギャップを念頭において判断を行っているかということ特定することは難しい。そこで、実証分析において選択肢数の異なる複数のモデルの現象説明力を比較し、最も高い説明力を有するモデルを選定する。

3. 実証分析

京葉道・市川インターチェンジ上り線オンランプ流入部において撮影したビデオテープ⁷⁾から、流入車の走行挙動データを抽出しモデルを同定した。本

流入部の車線数は、本線が2車線、加速車線が1車線であり、加速車線長は170mである。加速車線に隣接する第1車線の交通量は約900台/時、流入交通量は1,600台/時であった。流入車の走行速度は平均して本線車のそれより低いが、本線車、流入車とも走行速度にばらつきがあるため、観測データには流入車の速度が本線車とほぼ同じないしはやや高いケースが混在している。本モデルは低速合流の場合を想定して構築したものであるため、データの収集に際しては低速合流とみなせるもののみに着目し、連続する3つのギャップを構成する4台の本線車がいずれも流入車より高速で走行しているケースを抽出した。以上のデータから算定したパラメータの値は、 $\eta_0 = 0.60597$ 、 $\eta_1 = 0.33127$ 、 $\eta_2 = -0.29425$ である。得られたモデルの現象説明力は、尤度比により比較を行った。なお、同時選択ギャップ数 K については、ドライバーが通常どの範囲のギャップを考慮して流入判断を行っているのかの情報がなく、先験的に与えることができないため $K = 1 \sim 3$ とした場合についての現象説明力を比較した。

表－1 尤度比分析の結果

同時選択ギャップ数	$K = 1$	$K = 2$	$K = 3$
サンプル数	55	32	8
初期対数尤度	-38.123	-35.156	-11.090
最終対数尤度	-6.954	-13.977	-6.744
尤度比	0.82	0.60	0.39

得られた結果を表－1に示す。検討した3つのモデルの尤度比はいずれも比較的高い値を示しており、良好な現象説明力を有していると認められる。このうち、 $K = 1$ としたモデルは説明力が最も高く、かつ、どのサンプルにも適用できる基本的なモデルとなっている。したがって、検討した条件の下では $K = 1$ としたモデルを採用すべきであると結論づけられる。

4. おわりに

本研究では、加速車線上を走行する流入車が本線へ流入するタイミングを調節するための速度調整行動に着目し、流入すべきギャップとそこへの流入のタイミングを同時に決定する2段階選択モデルとし

て定式化した。このモデルを用いて事例分析を行ったところ、実際の状況を比較的良好に説明する結果が得られた。また、このモデルは複数のギャップからひとつの流入ギャップを選ぶ多項選択モデルとなっているため、流入車のドライバーが個々の局面で選択対象として認識するギャップ数についても分析を加えた。検討した条件下ではドライバーは直近のギャップのみしか考慮していないという結果が得られたが、本線の交通量が大きい場合にはより多くのギャップを見通すことが多いと考えられ、ドライバーにより異なることもありうる。この同時選択ギャップ数は視距とも密接に関係しており、線形的设计にも影響を及ぼすため、今後、道路条件や交通条件の異なる区間を対象にさらに検討を加える必要がある。

〔参考文献〕

- 1) 巻上安爾・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.
- 2) H.Nakamura, 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.
- 3) 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.
- 4) 喜多秀行・久保蘭寛：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.
- 5) Hayward.C : Near-miss determination through use of a scale of danger, Report TTSC 7115, The Pennsylvania State University.
- 6) 喜多秀行・平井克尚：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, 土木計画学研究・論文集, No.11, pp.327～334, 1993.
- 7) (社)交通工学研究会：合流部の設計に関する調査研究(その3)報告書, 1988.