

流入確率に基づいた織込み区間長の 算定方式についての基礎的研究

A STUDY ON CALCULATION METHOD OF MERGING LANE LENGTH BASED ON THE MERGING PROBABILITY

飯塚 隆雄* 巻上 安爾**

by Takao Iizuka, Yasuji Makigami

The merging probability is often calculated to evaluate the capacity or the level of service of expressway on-ramp terminals. On the merging area of heavily loaded expressway systems, two or three vehicles often merge into a through traffic gap all at once. The computation process of the multiple merging probability had been developed through our previous study. Now in this study attention was given to an analytical method for weaving capacity making use of the multiple merging probability computation process. The multiple merging probability can be computed by evaluate the difference of the shoulder lane gap and the sum of the gaps between vehicles on the ramp. The merging probability on the weaving section was calculated for combination of various level of ramp traffic and through traffic volumes.

1. はじめに

本研究は、流入確率の算定手法と織込み交通に適用して、織込み区間長の評価を流入確率の視点から行うことを目的とするものである。このために、多重合流に加えランプからの流入車が付加車線を走行中に、本線から流出してくる車（本線織り込み車）、また本線第1車線の走行車がランプからの流入車のために避走してくれる車、本線第2車線上の織込み車が割り込んでくるケースも想定して確率計算を試みた。

本線上の速度は付加車線上の速度に比べてかなり速く、織込み区間のサービスレベルの低下は、まずランプ織込み車が付加車線上で流入可能なギャップを求めて、ほぼ停止状況になるのに比べて流出車（

本線織込み車）は低速のランプ織込み車の前にあるギャップを利用して比較的容易にオフランプへ向かうものと考えられる。一方、本線相互の大織込みの場合は、少なくとも都市高速道路の場合は両方向からの織込み車両相互のせめぎ合いが起こり、渋滞は両サイドの上流へ波及していく傾向があり、別途の考え方をしなくてはならないものと考えられる。

流入確率の算定にあたっては、本線とランプの両交通の車頭時間の分布にアーラン分布を適用した。アーラン分布のパラメータ k_i は、本線 $k_i = 4$ 、ランプ $k_i = 2$ とし、先の研究の経験上、また計算上偶数の方が便がよいので使用した。この流入確率の算定式は、本線上の同一ギャップへ1番目に入った流入車を1番合流車、2番目に入った流入車を2番合流車とし、任意の車両の流入順番と後続合流車両台数の成立条件から流入確率を求めるものである。

2. 前提条件

1) 対象とする織込みの形式はA型とする。

* 学生員 立命館大学大学院 理工学研究科

** 正会員 工博 立命館大学教授

理工学部土木工学科

(〒603 京都市北区等寺院北町56-1)

- 2) 想定するサービスのレベルは、渋滞の発生していない状況、いかなればC程度以上のものとする。
- 3) 本線車とランプ車のそれぞれの車頭時間の分布は、アーラン分布にしたがうものとする。
- 4) ランプ車がノーズに到着した時点から、付加車線を走行しながら本線へどの程度の確率で流入（織り込み）をするかという観点で確率計算を試みる。
- 5) 多重合流の最大は、3車合流までとする。

3. 多重合流の理論を用いた織り込み解析の基本式

アーラン分布に従う本線及びランプの車頭時間それぞれの確率密度関数を $f_i(x_i)$ 及び $g(y)$ とすると

$$f_i(x_i) = \frac{\lambda_i}{(K_i - 1)!} \cdot (\lambda_i x_i)^{K_i - 1} \cdot e^{-\lambda_i x_i} \quad (1)$$

$$g(y) = \frac{L}{(k - 1)!} \cdot (L y)^{k - 1} \cdot e^{-L y} \quad (2)$$

K_i, k, λ_i, L : アーラン分布のパラメーター

i : 本線車線番号

ここで、アーラン分布の性質からこれらのパラメーターの間には次式の関係が成り立つ。

$$\frac{K_i}{\lambda_i} = \frac{T}{q_i}, \quad \frac{k}{L} = \frac{T}{r} \quad (3)$$

q_i : 本線 i 車線の交通量

r : ランプ交通量

T : 交通量の計測時間帯幅

次にランプ織り込み車が本線上に見いだす後方ラグ及び本線織り込み車が付加車線上に見いだす後方ラグは、それぞれ $f_i(x_i)$, $g(y)$ の初期分布、すなわち $f_{s_i}(x_i)$ および $g_s(y)$ は次式で示される。

$$f_{s_i}(x_i) = \frac{1}{\gamma_i} \sum_{n=0}^{K_i-1} \frac{(\lambda_i x_i)^n}{n!} e^{-\lambda_i x_i} \quad (4)$$

$$g_s(y) = \frac{1}{\delta} \sum_{n=0}^{k-1} \frac{(L y)^n}{n!} e^{-L y} \quad (5)$$

γ_i, δ : 本線 i 車線及びランプ車の平均車頭時間
多重合流車群において、先頭合流車から $(j + 1)$ 番合流車までの、付加車線上の車頭時間 (y_j) の確率密度関数 $g_j(y_j)$ はパラメーターが k, L のアーラン分布に従う j 個の確率変数の和であるから、たたみ込みの法則を逐次適用して次式で示される。

$$g_j(y) = \frac{L}{(j k - 1)!} \cdot (L y)^{j k - 1} \cdot e^{-L y} \quad (6)$$

これらの基本式を用いて1車合流から3車合流までの流入確率算定式を求める。

4. 1車合流の流入確率

(A) 初期ギャップへの流入

任意のランプ合流車がノーズ到着時に当該付加車線に隣接する本線車線へ流入するための成立条件は、そのランプ車が先頭合流車であり、かつその後続車が次のギャップ以降に合流することである。

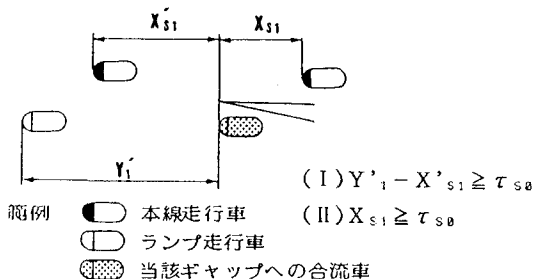


図-1 先頭合流車の成立条件

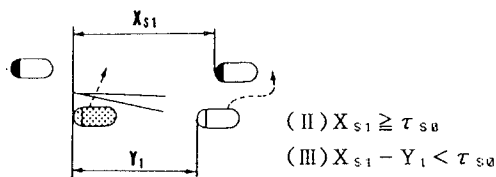


図-2 後続車が次のギャップへ流入する場合

ただし図-1、図-2において本線第1車線上の前車が流出車（織り込み車）か通過車（非織り込み車）によってその取り扱い方が異なってくる。流出車の場合は本線前車が当該車両の前に付加車線に移行するかどうかで本線上の前車ラグの分布関数が異なってくる。また、通過車の場合は本線上の右側の隣接車線へ避走するかどうかによって同様に分布関数が異なってくる。

(a) 成立条件式(I)について

この第1条件式は、当該車両が先頭合流車である

条件である。

①本線前車が織込み車の場合

本線第1車線の織り込み車の比率を W_1 とする。この場合、本線前車はラグが高速合流における流入限界ラグタイムよりも小さければ(1)式の分布関数は変わらないが、大きければ付加車線へ移行するために分布関数は変化する。

・前車ラグが限界ラグよりも大きい場合

$$X'_{s1} \geq \tau_{s0} ; \quad \int_{\tau_{s0}}^{\infty} f_{s1}(x_1) dx = P'_{s10} \quad (7)$$

の確率で第1車線上のギャップは、当初より1台中抜けになったときのギャップを想定すればよく、式(1)をたたみ込みの法則を用いて

$$f_{-1}(x_1) = \frac{2\lambda_1}{(2K_1-1)!} (2\lambda_1 x_1)^{2K_1-1} e^{-2} \quad (8)$$

と変形して求めればよい。したがって、

$$\begin{aligned} f_{-s1}(x_1) &= \frac{1 - F_{-1}(x)}{\gamma_1} \\ &= \frac{1}{\gamma_1} \sum_{n=0}^{2K_1-1} \frac{(2\lambda_1 x_1)^n}{n!} e^{-2\lambda_1 x_1} \quad (9) \end{aligned}$$

となる確率密度関数を条件(I)に適用すればよい。したがって、 $Y'_{-1} - X'_{s1} = Z$ なる確率変数の密度関数は、たたみ込みの法則を同様に適用して、

$$h'_{-s1,1}(z) = \int_0^{\infty} f_{-s1}(x) \cdot g_1(z+x) dx \quad (10)$$

・前車ラグが限界ラグよりも小さく、現時点での当該本線車両の付加車線への移行は起こらない場合

この場合の、 $Y'_{-1} - X'_{s1} = Z$ なる確率変数の密度関数は、たたみ込みの法則と同様に適用して、

$$h'_{s1,1}(z) = \int_0^{\infty} f_{s1}(x) \cdot g_1(z+x) dx \quad (11)$$

したがって、本線前車が織り込み車の場合は

$$Plw(Y'_{-1} - X'_{s1} \geq \tau_{s0})$$

$$\begin{aligned} &= P'_{s10} (1 - W_2) \int_{\tau_{s0}}^{\infty} h'_{-s1,1}(z) dz \\ &\quad + \{1 - P'_{s10}(1 - W_2)\} \int_{\tau_{s0}}^{\infty} h'_{s1,1}(z) dz \quad (12) \end{aligned}$$

②本線前車が非織り込み車の場合

この場合は、避走合流に対する流入確率の理論を適用する。すなわち、この理論によると避走を考慮した流入確率は、

「避走してもらわなくても合流できる確率」と

「避走してもらえば合流できる確率」

に分けられる。

前者の場合の発生確率は、避走してもらわなくても本線前車は合流できる。すなわち、本線車の他車線への移行を想定しなくてもよいケースであるから、本線第1車線上の初期ギャップの確率密度関数は、 $f_{s1}(x_1)$ を用いればよく、したがって、確率変数 $Z = Y'_{-1} - X'_{s1}$ の密度関数は、当然(11)式で示される $h'_{s1,1}(z)$ を用いればよい。ただし、本線第2車線上の織り込み車が割り込んでくるケースも想定しておく必要がある。この場合は、アーラン分布の構成から考えて、仮想定に配置された車両を K_1 台毎に注目するのではなく、 $K_1/2$ だけの間隔で注目していくことになり、この場合の本線第1車線上のギャップの分布は、パラメーターが $K_1/2$ 、 $\lambda_1/2$ のアーラン分布に従う。この場合の密度関数を $f_{+1}(x)$ とする。すなわち、

$$f_{+1}(x_1) = \frac{\lambda_1/2}{(k_1/2-1)!} (\lambda_1/2 \cdot x_1)^{k_1/2-1} \cdot e^{-\lambda_1/2} \quad (13)$$

したがって、初期ギャップに対する密度関数は

$$\begin{aligned} f_{+s1}(x_1) &= \frac{1 - F_{+1}(x)}{\gamma_1} \\ &= \frac{1}{\gamma_1} \sum_{n=0}^{k_1/2-1} \frac{(\lambda_1/2 \cdot x_1)^n}{n!} e^{-\lambda_1/2 \cdot x_1} \quad (14) \end{aligned}$$

で与えられる。したがって $Y'_{-1} - X'_{s1} = Z$ なる確率変数の密度関数は(14)式と(8)式のたたみ込みから、

$$h_{+s1,1}(z) = \int_0^{\infty} f_{+s1}(x) g_1(z+x) dx \quad (15)$$

を用いればよい。ただし上記の密度関数の発生確率は上述したように、 W_2 に前車ラグ X'_i が高速限界値よりも大となる確率(P'_{s10})の積であたえられるものとする。

次に、非織り込み車である本線前車との間隔が狭すぎて、付加車線上の前車が本線前車の前へ流入できなかった場合であるが、このケースで当該本線車が第2車線へ避走し、その結果、付加車線上の前車が本線第1車線へ移行するケースも考えられる。しかしそのようなケースでは、図-1で示されるように、当該ランプ合流車()が付加車線の前車と本線上の同一ギャップに流入してしまうことになり、先頭合流車の成立条件のもとで算定しようとしている流入確率では想定しなくてもよいケースとな

なる。したがって本線前車が非織り込み車の場合は

$$P_{1nw} (Y'_1 - X'_{s1} \geq \tau_{s0}) \\ = (1 - P'_{s10}) \int_{\tau_{s0}}^{\infty} h_{s1.1}(z) dz \\ + P'_{s10} W_2 \int_{\tau_{s0}}^{\infty} h_{+s1.1}(z) dz \quad (16)$$

したがって本線第1車線の交通に占める織り込み車の割合を W_1 とすれば、条件①に対応する発生確率は次式で与えられる。

$$P(Y'_1 - X'_{s1} \geq \tau_{s0}) \\ = W_1 P_{1w} + (1 - W_1) P_{1nw} \\ = P_{m1} \quad (17)$$

(b) 成立条件式(II)について

第(II)条件式は初期ギャップが流入可能である条件である。この第2条件式に対応する確率も第1条件式を同様に、本線後車が織り込み車である場合と非織り込み車の場合に分けて算定していくことができる。

①本線後車が織り込み車である場合

この場合は本線後車が付加車線へ移行する手前であり、条件式(I)のような付加車線への移行はありえない。また流出車であるから本線第2車線への移行も想定する必要はない。確率密度関数は、(4)式の $f_{s1}(x_1)$ を用いればよい。

②本線後車が非織り込み車の場合

本線第2車線への避走も想定しなければならない。避走合流に対する流入確率の理論によれば、避走を伴う合流の成立条件は、

1)合流車が、初期ギャップに流入できない確率

$$(1 - P_{s10}) = \int_0^{\tau_{s0}} f_{s1}(x_1) dx_1 = 1 - \int_{\tau_{s0}}^{\infty} f_{s1}(x_1) dx_1$$

2)第1車線上の併進走行車が避走してくれる車である確率(P_e)

3)避走しようとした第1車線上の走行車が第2車線へ避走できる確率

$$P_{s20} = \int_{\tau_{s0}}^{\infty} f_{s2}(x_2) dx_2$$

4)避走してもらった結果、付加車線上のランプ流入車が本線第1車線の初期ギャップへ流入可能な確率(P_{-s10})

$$P_{-s10} = \int_{\tau_{s0}}^{\infty} f_{-s1}(x_1) dx_1$$

したがって、本線第1車線上の車が非織り込み車である場合の初期ギャップへの流入確率は、本線第1車線上の織り込み車両の混入率が W_1 であるから

$$P(X_{s1} \geq \tau_{s0}) \\ = W_1 \{ (1 - P_{s10} W_2) P_{s10} + P_{s10} W_2 P_{+s10} \} \\ + (1 - W_1) (1 - P_{s10}) P_e P_{s20} P_{-s10} \\ = P_{s0} \quad (18)$$

(c) 成立条件式(III)について

第(III)条件式は図-2で示されるように、後続車が次のギャップへ合流してしまう条件を示すものである。本線後車に注目し、これまでと同様に当該本線車両が織り込み車か、非織り込み車かに分けて確率算定式を求める。

①本線後車が織り込み車の場合

条件式(II)の項でも示したように、付加車線への移行はありえないし、第2車線への避走もありえない。ギャップ X_{s1} の確率密度関数は、 $f_{s1}(x_1)$ を考えればよいから、確率変数 $Z = X_{s1} - Y_1$ の密度関数 $h_{s1.1}(z)$ は次式で示される。

$$h_{s1.1}(z) = \int_0^{\infty} f_{s1}(z + y_1) \cdot g_1(y_1) dy_1 \quad (19)$$

ここでも本線第2車線から織り込み車の移行を式(16)と同様に考慮するものとする。

②本線後車が非織り込み車である場合

前項で示した避走を考慮した場合の確率密度関数 $f_{-s1}(x_1)$ を用いて式(10)と同様にたたみ込みの法則から次式で求められる。

$$h_{-s1.1}(z) = \int_0^{\infty} f_{-s1}(z + y_1) \cdot g_1(y_1) dy_1 \quad (20)$$

避走が想定できる条件は、上述の条件式(II)で示したのと同じように考える。

したがって、第(III)条件式の発生確率は、

$$P(X_{s1} - Y_1 \leq \tau_{s0}) \\ = W_1 \{ (1 - P_{s10} W_2) \int_0^{\tau_{s0}} h_{s1.1}(z) dz \\ + P_{s10} W_2 \int_0^{\tau_{s0}} h_{+s1.1}(z) dz \} \\ + (1 - W_1) (1 - P_{s10}) P_e P_{s20} \int_0^{\tau_{s0}} h_{-s1.1}(z) dz \\ = W_1 \{ (1 - P_{s10} W_2) (1 - P_{s1.1}) \\ + P_{s10} W_2 (1 - P_{+s1.1}) \} \\ + (1 - W_1) (1 - P_{s10}) P_e P_{s20} (1 - P_{-s1.1})$$

$$= (1 - P'_{s1}) \quad (21)$$

したがって初期ギャップへの1車合流確率 $P_s(1)$ は、その成立条件の同時発生確率を求めて得られるので、式(17)、(18)および(21)の積を求めればよい。

$$P_s(1) = P_{m1} \cdot P_{s0} \cdot (1 - P'_{s1})$$

(B) 初期ギャップは見送り、次のギャップへ流入

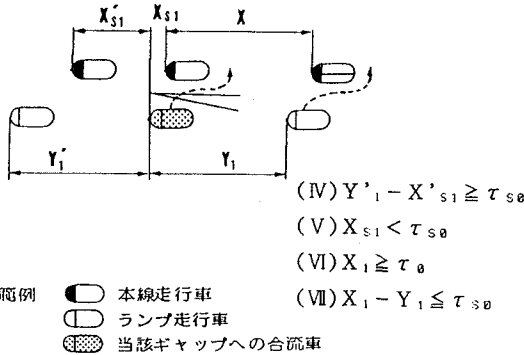


図-3 初期ギャップは見送り、後続ギャップへ1車が合流する場合

図-3を参照して以下の4つの条件式に対応する発生確率の積として求めることができる。

(a) 成立条件式(IV)について

当該ランプ織り込み車が先頭合流車である確率。

図-1に示す第(I)条件式と同じであり、式(17)で与えられる。: (P_{m1})

(b) 成立条件式(V)について

初期ギャップへは流入が不可能な確率。

図-1に示す第(II)条件式の逆の確率であり、式(16)から: $(1 - P_{s0})$

(c) 成立条件式(VI)について

次のギャップは流入可能である確率。

上記の第2条件式では、ランプ織り込み車がノーズに到着したタイミングで本線後車が織り込み車、非織り込み車にいかんを問わず初期ギャップは流入可能となったことを示しており、その条件のもとで本線後車(図中の●)が織り込み車か、非織り込み車かによって適用すべきギャップの確率密度関数を以下のように定める。

①本線後車が織り込み車である場合

この場合は、1車合流の後へ本線織り込み車が付加

車線へ移行する場合とそうでない場合に分けられる。

移行するか、否かは Y_1 が高速合流の限界ギャップ(τ_{h0})より大きい、小さいかによって定められる。すなわち、

$$P(Y_1 \geq \tau_{h0}) = \int_{\tau_{h0}}^{\infty} g(y) dy = P_{hr0} \quad (22)$$

この場合、ランプ流入車が本線第1車線に見出すギャップは、 $f_{-1}(x)$ に従う。一方、 Y_1 が本線織り込み車の高速合流ができるほど大きくない場合、その発生確率は、

$$P(Y_1 < \tau_{h0}) = \int_0^{\tau_{h0}} g(y) dy = 1 - P_{hr0} \quad (23)$$

となり、この場合は本線第1車線上のギャップは $f_1(x)$ に従う。ただし、この場合、第2車線上、 W_2 の割合で走行する本線織り込み車が第1車線へ移行できる確率(P_{h10})は、

$$P_{h10} = \int_{\tau_{h0}}^{\infty} f_1(x) dx \quad (24)$$

である。式(22)で示される本線織り込み車の付加車線への移行と同様に、本線第2車線からその穴を埋めるように本線織り込み車が移行してきた場合は、初期ギャップの時と同様に、本線第1車線上のギャップは $f_{-1}(x)$ ではなく、 $f_1(x)$ なる密度関数に従うものと考えても無理がない。したがって本線後車が織り込み車である場合の条件(III)の発生確率(P_{0u})は、

$$\begin{aligned} P_{0u} &= (P_{hr0} - P_{h10}W_2) \int_{\tau_0}^{\infty} f_{-1}(x) dx \\ &\quad + (1 - P_{hr0} + P_{h10}W_2) \int_{\tau_0}^{\infty} f_1(x) dx \\ &= (P_{hr0} - P_{h10}W_2)P_{-10} \\ &\quad + (1 - P_{hr0} + P_{h10}W_2)P_{10} \end{aligned} \quad (25)$$

②本線後車が非織り込み車の場合

非織り込み車の場合は避走があるか、ないかによって本線第1車線のギャップの分布が異なってくる。避走が起こる条件とその発生確率は、

1)初期ギャップを見送った当該合流車が、本線第1車線上のギャップに流入できない確率

$$; (1 - P_{10})$$

2)第1車線上の後車が避走してくれる車である確率

$$; (P_0)$$

3)避走しようとした第1車線上の後車が第2車線へ

避走できる確率 ; (P_{20})

$$P_{20} = \int_{\tau_{h0}}^{\infty} f_2(x_2) dx_2 \quad (26)$$

4) 避走してもらった結果、当該合流車が本線第1車線の次のギャップに流入できる確率 ; (P_{-10})

$$P_{-10} = \int_{\tau_0}^{\infty} f_{-1}(x_1) dx_1 \quad (27)$$

したがって、本線後車が非織込み車である場合、条件(VI)の発生確率(P_{0n})は

$$P_{0n} = P_{10} + (1 - P_{10}) P_0 P_{20} P_{-10}$$

上式の第1項は、本線第1車線上での避走がなくても合流できる確率であり、第2項は、避走してもらったら合流できるという確率である。ただし、この場合も初期ギャップへの合流と同時に、第2車線からの移行を加えると移行の発生確率は $P_{h10} W_2$ であるから、上記確率 P_{0n} は以下になる。

$$P_{0n} = (1 - P_{h10} W_2) P_{10} + P_{h10} W_2 P_{+10} + (1 - P_{10}) P_0 P_{20} P_{-10} \quad (28)$$

以上より、条件(VI)の発生確率 P_0 は以下のとうりとなる。

$$P_0 = P(X_1 \geq \tau_0) = W_1 P_{0w} + (1 - W_1) P_{0n} \quad (29)$$

(d) 後続合流車は同一ギャップへは流入できない確率

本線第1車線上の後車と付加車線上の後車の間の相対的なギャップ差を示す確率変数 ($Z = X_1 - Y_1$) は、車線変更が全くない場合には、下記の確率密度関数 $\{h_{11}(z)\}$ を持つ。すなわち、

$$h_{11}(z) = \int_0^{\infty} f_1(z+y_1) \cdot g_1(y_1) dy_1 \quad (30)$$

① 本線後車が織込み車である場合

前項と同様に本線後車が、高速合流可能であれば、その確率は式(21)より P_{hr0} であり、その時の Z の密度関数は

$$h_{-11}(z) = \int_0^{\infty} f_{-1}(z+y_1) \cdot g_1(y_1) dy_1 \quad (31)$$

ただし、この広がったギャップへ本線第2車線から流出車に移ってきた場合は、 $h_{11}(z)$ へもどるものとする(これまでと同様の考え方)。したがって、条件(IV)の発生確率 ($1 - P_{1w}$) は

$$(1 - P_{1w}) = (P_{hr0} - P_{h10} W_2) \left\{ 1 - \int_{\tau_{s0}}^{\infty} h_{-11}(z) dz \right\}$$

$$+ (1 - P_{hr0} + P_{h10} W_2) \left\{ 1 - \int_{\tau_{s0}}^{\infty} h_{11}(z) dz \right\} \\ = (P_{hr0} - P_{h10} W_2) (1 - P_{-11})$$

$$+ (1 - P_{hr0} + P_{h10} W_2) (1 - P_{11}) \quad (32)$$

② 本線後車が非織込み車である場合

式(28)を参照して、本線後車が非織込み車である場合は、条件(IV)に対応する確率は、

$$(1 - P_{1n}) \\ = (1 - P_{h10} W_2) (1 - P_{11}) \\ + P_{h10} W_2 (1 - P_{+11}) \\ + (1 - P_{10}) P_0 P_{20} (1 - P_{-12}) \quad (33)$$

したがって、条件(VII)の発生確率 ($1 - P_{11}$) は、

$$(1 - P_{11}) = P(X_1 - Y_1 \leq \tau_{s0}) \\ = W_1 (1 - P_{1w}) + (1 - W_1) (1 - P_{1n}) \quad (34)$$

以上の4つの条件の同時発生確率でもって、初期ギャップは見送り次のギャップへ流入する確率 $P_1(1)$ が与えられる。すなわち、

$$P_1(1) = P_{n1} (1 - P_{s0}) P_0 (1 - P_{11}) \quad (35)$$

したがって、初期ギャップと次のギャップへの1車合流の確率 [$P_1(1)$] は次式で求められる。

$$P_1(1) = P_s(1) + P_1(1) \\ = P_{n1} P_{s0} (1 - P_{s1}) \\ + P_{w1} (1 - P_{s0}) P_0 (1 - P_{11}) \quad (36)$$

(C) 初期ギャップの次のギャップも短すぎて、その次のギャップへの流入

この場合は図-4において、 X が τ_{se} よりも小さく、当該流入車は本線の次のギャップへの流入を試みることになる。したがって、本線上の車両を1ギャップずつ左側へ移行させた場合を想定すれば、初期ギャップの次のギャップへの流入と全く同一の条件となり、 $P_n(1)$ に $P(X < \tau_0)$ を乗じればよい。 $P(X \geq \tau_0)$ の逆事象の確率であるから、初期ギャップから2番目のギャップ迄の1車合流の確率 $P_2(1)$ は、次式で示される。

$$P_2(1) = P_{n1} P_{s0} (1 - P_{s1}) \\ + P_{n1} (1 - P_{s0}) P_0 (1 - P_{11}) \\ + P_{n1} (1 - P_{s0}) (1 - P_0) P_0 (1 - P_{11})$$

一般に初期ギャップから n_s 番目のギャップ迄に1車合流する流入確率 $P_{ns}(1)$ は次式で示される。(ただし $n_s \geq 1$)

$$P_{ns}(1) = P_{n1} P_{s0} (1 - P_{s1})$$

$$+ \sum_{n=1}^{ns} P_{n1}(1 - P_{s0})(1 - P_0)^{n-1} P_0(1 - P_1)$$

車線交通量、織り込み交通量が与えられると n_s に対応して、1車合流の場合の流入確率が求められる。

同様に、2車合流、3車合流も考えていくが紙面の制限上以下は省略する。

5. 演算結果

以上に示したような考え方にしたがって、織込み区間における流入確率の算定を試みた。演算に当たって必要となる交通流の諸条件は、京葉道路、東関東道路等の観測結果に基づいて別途行われた織込み区間のシミュレーションとにおいて用いられた実施条件を参考に定めたもので、本線交通量は、2000、2100、2200、2300、2400、2500台/時の6ケース、走行車線と追越車線のそれぞれの交通量は、2：3の割合とした。その実行例を表-1に示す。そのほかに演算の際用いた数値として、合流可能限界ギャップを2.5秒、合流可能限界ラグタイムを1.3秒、並進走行車避走率（ P_e ）を62%、見送りギャップ数を3として用いている。その結果を、グラフ化した流入確率図を図-4に示す。

本線交通量(台/時)		2000(走行800, 追越1200)			
走行車線	織込み車数(台/時)	360	480	600	720
	織込み流入率(W1)	45%	60%	75%	90%
追越車線	織込み流入率(W2)	7%			

本線交通量(台/時)		2100(走行840, 追越1260)			
走行車線	織込み車数(台/時)	360	480	600	720
	織込み流入率(W1)	43%	57%	71%	86%
追越車線	織込み流入率(W2)	6%			

本線交通量(台/時)		2200(走行880, 追越1320)			
走行車線	織込み車数(台/時)	360	480	600	720
	織込み流入率(W1)	41%	55%	68%	82%
追越車線	織込み流入率(W2)	5%			

本線交通量(台/時)		2300(走行920, 追越1380)			
走行車線	織込み車数(台/時)	360	480	600	720
	織込み流入率(W1)	39%	52%	65%	78%
追越車線	織込み流入率(W2)	4%			

本線交通量(台/時)		2400(走行960, 追越1440)			
走行車線	織込み車数(台/時)	360	480	600	720
	織込み流入率(W1)	38%	50%	63%	75%
追越車線	織込み流入率(W2)	3%			

本線交通量(台/時)		2500(走行1000, 追越1500)			
走行車線	織込み車数(台/時)	360	480	600	720
	織込み流入率(W1)	36%	48%	60%	72%
追越車線	織込み流入率(W2)	1%			

表-1

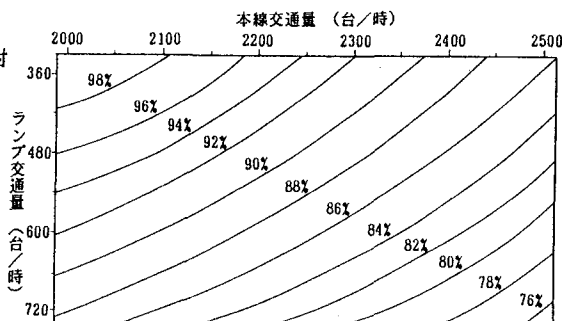


図-4 流入確率図

6. 結論と今後の課題

前節で示した流入確率の演算と結果は、これまで行ってきた阪神高速道路や名神高速道路における流入確率の算定結果と比べて妥当なものと判断され、織込み現象の確率的な評価が可能であることを示したのと考えられる。ただし図-1に示した結果のみでは、実際の織込み区間の設計に当たって必要な織込み区間長と流入確率の関連性が明確に示されていない。区間長の算定方式については本線走行車及びランプ織込み車の走行速度と見送りギャップ数から目標とする流入確率に対応した方法も提案されているがシミュレーション結果と相互補間的な掛け合わせが可能で微妙な数値を算定するのは、まだかなり無理があり、今後の重要な課題として残されている。

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法について」、土木計画学研究・講演集、No11、1988年11月
- 2) 巻上安爾、松尾武：「流入確率に基づく都市高速道路入路接続方式の評価について」、土木学会論文集、第389号/IV-8、1988年1月
- 3) 巻上安爾、安達靖夫、末田元二：「高速道路改築に伴う合流部の合流車線長について」、土木学会論文集、第371号/IV-5、1986年7月