

都市間高速道路の動的流出制御

信州大学工学部 正員 奥谷 巖
 信州大学工学部 学生員 ○井上 善朗

1. まえがき 高速道路上で事故などの緊急事態が発生した場合の制御法として「所要時間比較法」による強制流出制御が考案されている。これは高速道路直進の場合の所要時間と迂回路経由の場合の所要時間を比較することによって1つの強制流出開始基準を提案したものである。しかしこの方法によると強制流出させられた最初の車については「迂回路経由の方が次のインターチェンジまで早く着ける」ということが保証されるが、2台目以降の車については「本線上を直進した方が早く次のインターチェンジに着ける可能性があるにもかかわらず流出させられる」という不都合が生じてしまう。そこで本研究では、この点を考慮して、流出する車に対しては渋滞中の高速道路を直進するよりも必ず早く次のインターチェンジに到着できるということを目的とした流出開始基準を考察してみた。

2. 考え方 図-1のようなランプ間A, Bを考える。 T_k は迂回路を経由した旅行時間である。今、ランプAから距離 x_0 の地点で事故が発生したとする。必要なデータがそろえば「所要時間比較法」により、ただちに流出指示時刻 t_1 が計算されるが、ここではこの時刻になっても流出させず、ある時間 t_2 だけさらに流入させた後に流出制御を開始し、時刻 $t_2 = t_k + t_1 + t_2$ まで流出させる。ここに時刻 t_2 というのは、この時刻にランプAに流入した車が最も好都合な条件（すなわち、この車がランプAに流入したと同時に事故処理が完了すること）のもとで高速道路上を進行したときの旅行時間 $T(t_2)$ が T_k と等しくなるという時刻である。その後、疎通が再会されるまで同様の流入流出制御

をくり返す。この結果、流出した車については「最も好都合な条件のもとでも、迂回路を経由した方が早く次のランプBに到達できる」ことになる。次に流出時間 t_{2n} ($n=1, 2, 3, \dots$)を求める。

3. 流出時間 t_{2n} の定式化 まず t_2 を求める。 t_2 を定めるために時刻 $t = t_2$ に疎通が再会されると仮定して計算を行なう。以後、式を簡単にするために図-2のように θ - τ 座標で表示する。

時刻 $t_1 = t_k + t_1$ 以後、交通量を当初の q_0 から q_1 に制御したとする。

$$q_1 = \beta q_0, \quad 0 \leq \beta < (1-\alpha)/4P_0(1-P_0).$$

図-1

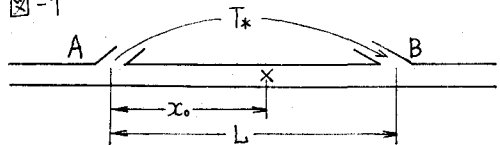
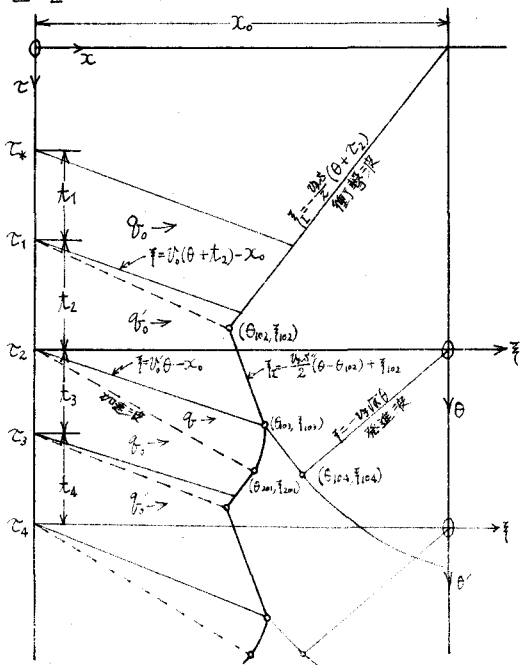


図-2



地奥 $(\theta_{102}, \tau_{102})$ 以後、衝撃波 τ_L の軌跡は

$$\tau_L = -\frac{v_2 s}{2}(\theta - \theta_{102}) + \tau_{102},$$

$$s = \sqrt{\alpha} - 1 + 2P_0', \quad P_0' = \{1 - \sqrt{1 - 4\beta P_0(1 - P_0)}\} / 2.$$

となる。また時刻 $\theta = 0$ 、 $(\tau = \tau_k + t_1 + t_2)$ に流入する車は地奥 $(\theta_{103}, \tau_{103})$ でこの衝撃波 τ_L に到達する。その後、この車は渋滞領域を速度 $v_3 = v_2(1 - \sqrt{\alpha})/2$ で定速走行し、地奥 $(\theta_{104}, \tau_{104})$ で発進波に出会い以後徐々に速度を増して下流ランプ B に到着する。地奥 $(\theta_{104}, \tau_{104})$ 以後のこの車の軌跡は

$$\tau = v_3 \theta - C_0 \sqrt{\theta},$$

$$C_0 = (v_3 \theta_{104} - \tau_{104}) / \sqrt{\theta_{104}}.$$

である。この車がランプ B に到着する時刻 θ_B は上式の τ を L とおくことにより

$$\theta_B = \frac{L - x_0}{v_3} + \frac{1}{v_3^2} \{C_0^2 + \sqrt{C_0^4 + 4v_3 C_0^2 (L - x_0)}\}.$$

となる。ランプ A に流入した時刻を $\theta = 0$ としたのでこの値がそのままランプ A, B 間の旅行時間となる。そこで $\theta_B = T_k$ とおくことにより C_0 が定まる。すると θ_{104} が C_0 で表示でき順次逆算していくことにより t_2 を定めることができる。ここではその結果のみを記す。

$$t_2 = \frac{R \{2x_0 - s v_2 (\tau_k + t_1)\} - (\sqrt{\alpha} + 1) A_2}{v_2 s^2 R'}$$

$$A_2 = 2x_0 - v_2 (\sqrt{\alpha} + 1) A_1.$$

$$A_1 = C_0^2 / (\sqrt{\alpha} + 1)^2 v_2^2.$$

$$C_0 = \frac{2v_2 \{T_k v_2 - (L - x_0)\}}{\sqrt{4v_2 (L - x_0) + 4v_2 \{T_k v_2 - (L - x_0)\}}}$$

$$R = \sqrt{\alpha} + 1 - 2P_0, \quad s = \sqrt{\alpha} - 1 + 2P_0.$$

$$R' = \sqrt{\alpha} + 1 - 2P_0'.$$

同様の方法で t_4 も求めることができるが t_4 以後の流出時間は同じ式で表示できるのでこれを t_4 で代表させると t_4 は次のようになる。

$$t_4 = \frac{R(R v_2 \theta_{201} - s v_2 t_3) - (\sqrt{\alpha} + 1) A_2}{v_2 s^2 R'}$$

$$\theta_{201} = C_1^2 / v_2^2 R^2.$$

$$C_1 = v_2 (P_0' - 1 - \sqrt{\alpha}) \sqrt{A_2}.$$

ここに θ_{201} というのは時刻 $\tau = \tau_2$ に流入が再会される際に発生する $P = P_0$ なる加速波が衝撃波 τ_L に

到達する時刻である。

表-1 に上記の理論式に具体的な数値を入れて計算した結果を記す。これを見てわかるように t_2 と t_4 の値は厳密には異なるが、実際的には等しいとみてよい。流入時間の設定であるが、これを5分以下に小さくした場合は精度の点で問題があり、ドライバーにも不審を抱かせる恐れがある。一般的には10分から15分程度が適当と思われるが、交通量が多い場合にはこの程度の時間でも渋滞が上流側ランプにまで拡大することがあるため流入時間の設定には注意を要する。

表-1

$$\textcircled{1} L=24\text{km}, \quad T_k=40\text{分}, \quad x_0=12\text{km}, \quad \alpha=0.75,$$

$$T_k=80.0\text{分}, \quad v_2=90\text{km/h}, \quad P_0=0.15, \quad \beta=0, \quad (P_0'=0)$$

流入時間: t_1, t_3	5.0 分	10.0 分	15.0 分
流出時間: t_2	5.2 分	10.4 分	15.6 分
流出時間: t_4	5.2 分	10.4 分	15.6 分

$$\textcircled{2} L=24\text{km}, \quad T_k=40\text{分}, \quad x_0=12\text{km}, \quad \alpha=0.75$$

$$T_k=80.0\text{分}, \quad v_2=90\text{km/h}, \quad P_0=0.15, \quad \beta=0.1, \quad (P_0'=0.013)$$

流入時間: t_1, t_3	5.0 分	10.0 分	15.0 分
流出時間: t_2	6.6 分	13.1 分	19.6 分
流出時間: t_4	6.5 分	13.0 分	19.6 分

4. おわりに 流入流出制御の解除は事故処理の完了と共に制御を終了すればよいことになる。また $\alpha=1$ つまり完全閉塞事故の場合は上記の両式とも分母 = 0 となり流出時間 t_2, t_4 は無限大となるが、この場合は流出制御のみとなり時刻 $\tau = \tau_k$ とともに流出指示を開始すればよい。尚、本研究では渋滞が上流側ランプにまで及ぶ場合を考慮しなかった。渋滞がランプにまで拡大してきた場合には流出指示時刻前でも流出制御を行なうべきと思われるが、そうすると本文の最初の目的を満たさないことになり、この問題は今後の課題としたい。

※参考文献: ①「都市間高速道路の交通制御に関する基礎的研究」井上矩之、②「高速道路における緊急時制御に関する研究」中浜昭人。