

京都大学 正 員 佐佐木 綱

京都大学 学生員 ○井 上 矩 之

京都大学 学生員 中 沢 昭 人

1. はじめに

都市間高速道路で事故渋滞が発生した場合、渋滞の案内、流出の推奨および事前インターまで伸びてきたときには強制流出などの制御方式が考えられてきた。しかしながらこの方式では、インター間隔が長くなった場合渋滞長がきりめて長くなるまで放置されることになり、障害物除去後も長時間渋滞が解消しないので高速道路の管理運営上問題が多い。本文では、このような長区間に対しても適切な制御開始時刻を与えると思われる、高速道路進行の場合の次のインターまでの所要時間とう回道経由の場合の所要時間と比較するという、1つの流出指示開始基準を提案する。

2. インター間の所要時間比較による流出指示開始基準

インター間の所要時間は、渋滞の程度や渋滞長に関係すること、う回道の状況を盛り込めることから基準に用いる尺度として適切であると考えた。すなわち、事前インターより高速道路を進行して次のインターまで行くに要する時間 T と、事前インターで流出して一般道を通り次のインターまで行くに要する時間 T_R を時々刻々求め、渋滞の拡大とともに T が増加し、 T_R と超過する時刻をもって流出指示開始時刻とするものである。

この T は、交通流の波動理論を応用して後述のように推定することができる。このとき、事故内容から事後処理に必要とされる時間を推定することは困難であると思われるので、本文では各時刻ごとにこの時刻に障害物が除去されたとしたときの所要時間を推定する。また T_R は、あらかじめ平日・休日とか時間帯別、異常事態の有無などによりいくつかのパターンを作っておき、適当なものを選ぶ方法が実用的と思われる。

3. 所要時間の推定法

交通流は流体として扱い、波動理論に従うものとする。交通量 q 、速度 v 、交通密度 k の関係は次式で仮定する。 $v = v_f(1 - \frac{k}{k_j}) = v_f(1 - p) \dots (1)$, $q = kv = v_f k(1 - \frac{k}{k_j}) = v_f k_j p(1 - p) \dots (2)$ 。ここに、 $p = \frac{k}{k_j}$, v_f は自由速度、 k_j は飽和密度である。このとき、ある密度 k の波の伝播速度は $q-k$ 曲線の勾配 $\frac{dq}{dk}$ により、また不連続面(衝撃波)の伝播速度は同曲線上で不連続面両側の交通状態を表す点を結ぶ線分の勾配により表わされることが知られている²⁾。

3.1 障害物除去前の交通現象

x 軸を車の進行方向にとり、 $x=x_0$ を事故発生地点とする。添字 0, 1, 2 で事故前、事故後上流側、同下流側の状態を表わし、発生より時間 t 後の状態を密

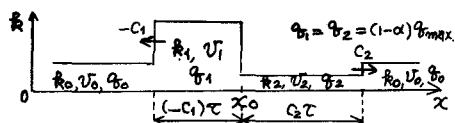


図-1 事故渋滞発生後の状態

度で示したものが図-1である。 C_1 は上流方向に伝わる衝撃波の速度であり、車線閉塞度を α とすれば、 $\frac{k_1}{k_j} = \frac{1+\alpha}{2} \dots (3)$ より、 $C_1 = \frac{q_0 - q_2}{k_1 - k_0} = -\frac{v_f}{2}(\sqrt{\alpha} - 1 + 2p_0)$, $p_0 = \frac{k_0}{k_j} \dots (4)$ となる。

3.2 障害物除去後の交通現象

除去時刻でより θ 分後の各地点 z における状態を予測しよう。密度 ρ なる状態の軌跡 $z^1(\theta)$ は、 $\frac{dz^1}{d\theta} = \frac{dz}{d\theta}$ および $\theta=0$ で $z^1=0$ なる条件から、 $z^1 = \sqrt{c_1}(1-2\frac{\rho}{\rho_0})\theta \dots (5)$ と表される。ここで表わせば、 $v = \frac{1}{2}(v_0 + \frac{z}{\theta}) \dots (6)$ となる。

つぎに、渋滞最後尾の衝撃波面の軌跡について考えよう。 $\theta=0$ で渋滞長はすでに $(-G)$ に達しているが、発達波に追いつかれる時刻 θ_1 までは速度も変えないので、時刻 θ における波面の位置は、 $z^2 = c_1(\theta + \tau) \dots (7)$ になる。 θ_1, z_1 は $\rho = \rho_0$ といた(5)式と(7)式から求められる。 $\theta_1 = \frac{\sqrt{v_0-1+2\rho_0}}{\sqrt{v_0+1-2\rho_0}}\tau$, $z_1 = -\sqrt{c_1}\theta_1 \dots (8)$ 。 θ_1 以後は波面下流側の処理能力が大きくなっていくため、刻々低減速度が小さくなっていき、やがて最大位置 (θ_2, z_2) に達し、逆方向に進みだし、ついには事故地点に戻り (θ_3, z_3) 、渋滞は解消する。この波面の軌跡 $z^3 = z^3(\theta)$ は、 $\frac{dz^3}{d\theta} = \frac{dz}{d\theta}$ と(5)式を連立させ、 $\theta = \theta_1$ で $z = z_1$ という条件のもとに解けば求められる。 $z^3 = \sqrt{c_1}(1-2\rho_0)\theta - \sqrt{c_1}(\sqrt{v_0+1-2\rho_0})\theta_1\sqrt{\theta} \dots (9)$ なお θ_3 は、上式で $z^3=0$ とみればよい。 $\theta_3 = \frac{(\sqrt{v_0+1-2\rho_0})^2}{(1-2\rho_0)^2} \cdot \theta_1 \dots (10)$ 。

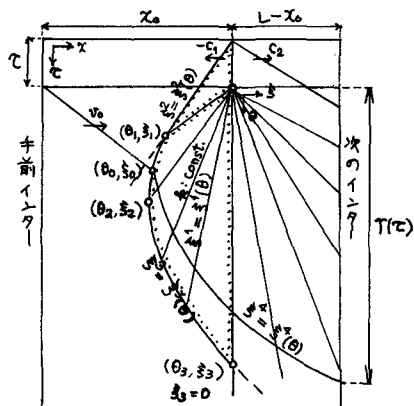


図-2 密度線と車の走行軌跡

3.3 車の走行軌跡とインター間所要時間
時刻 τ に手前インターに到着した車について、その走行軌跡 $z^4 = z^4(\theta)$ を求めよう。 τ_1, τ_2 を渋滞最後尾と出会う時刻が θ_2, θ_1 であるような到着時刻、 τ_2 を渋滞最後尾のインター到着時刻とする。 τ と τ_1, τ_2 の関係により4つの場合に分かれるが、制御にあたり必要なのは $\tau_1 \leq \tau \leq \tau_2$, $\tau_2 < \tau \leq \tau_3$ の2ケースである。前者の場合、渋滞最後尾に追いつくまでは $z^4 = v_0\theta - x_0 \dots (11)$ で表わされる。(9),(11)式で $z^3 = z^4$ とみれば得られる $\theta_0 = \frac{1}{\rho_0} \frac{x_0}{v_0} + \frac{(\sqrt{v_0+1-2\rho_0})(\sqrt{v_0-1+2\rho_0})}{2\rho_0^2} \cdot \tau - \frac{\sqrt{v_0+1-2\rho_0}}{\rho_0} \times \frac{\sqrt{(v_0-1+2\rho_0)^2}}{4\rho_0^2} \cdot \tau + \frac{1}{\rho_0} \frac{\sqrt{v_0-1+2\rho_0}}{\sqrt{v_0+1-2\rho_0}} \cdot \frac{x_0}{v_0} \cdot \tau$, $z_0 = \sqrt{c_1}(1-\rho_0)\theta_0 - x_0 \dots (12)$ に渋滞最後尾に出会う。それ以後は $\frac{dz^4}{d\theta} = \frac{dz}{d\theta}$ も(6)式の v に代入し、 $\theta = \theta_0$ で $z = z_0$ という条件のもとに解いて得られる $z^4 = v_0\theta - C\sqrt{\theta} \dots (13)$ が軌跡となる。ここに、 $C = \frac{v_0\theta_0 - z_0}{\sqrt{\theta_0}} \dots (14)$ 。次のインター到着時刻は上式で $z = L - x_0$ (L:インター間隔)とみれば求められる。 $T(\tau) = \frac{1}{2v_0} \{ 2\sqrt{c_1}(L-x_0) + C^2 + \sqrt{4\sqrt{c_1}(L-x_0)C^2 + C^4} \} \dots (15)$ 。後者の場合は、まず z^2 に出合い一定速度 v_1 でしばらく走行するのでいく分違うが、発達波に出会う $\theta_0 = \frac{4\rho_0}{(1+\sqrt{v_0})} \cdot \frac{x_0}{v_0} + \frac{(\sqrt{v_0+1-2\rho_0})(\sqrt{v_0-1+2\rho_0})}{(1+\sqrt{v_0})^2} \cdot \tau$, $z_0 = -\sqrt{c_1}\theta_0 \dots (16)$ 以後は同様の $(L-x_0)$ に従い、 $T(\tau)$ はやはり(15)式で表わされる。なお、 τ_1, τ_2, τ_3 は次のように表わされる。 $\tau_1 = \frac{1}{\rho_0} \frac{(1-2\rho_0)^2}{(\sqrt{v_0+1-2\rho_0})(\sqrt{v_0-1+2\rho_0})} \times \frac{x_0}{v_0}$, $\tau_2 = \frac{1}{\sqrt{v_0+1-2\rho_0}} \cdot \frac{\sqrt{v_0-1+2\rho_0}}{\sqrt{v_0+1-2\rho_0}} \cdot \frac{x_0}{v_0}$, $\tau_3 = \frac{2}{\sqrt{v_0-1+2\rho_0}} \cdot \frac{x_0}{v_0} \dots (17)$ 。

4. おわりに

本方式は、 $\alpha \cdot x_0 \cdot \rho_0 = \frac{\rho_0}{\rho_0}$ などを観測により知ってインター間所要時間 $T(\tau)$ を計算し、基準値 τ_0 を超過する時刻になっても障害物が除去されぬとき、流出指示を開始するというものである。この場合、流出ランプ付近の容量が不足していると新たな渋滞が発生するが、あらかじめ予測ができると思われるので、さらに手前インターでの流入抑制などの手段をとり得よう。〈参考文献〉1) 高連道路調査会“高連道路の交通流監視制御装置に関する研究 報告書”44年3月, 第3章

2) 前掲1) p.56-63

3) 佐佐木“交通流理論” p.29-34, 技術書院

4) Richards “Shock Waves on the Highway” J. Opns. Res. Soc. Am. 4, 1959 p.42-51

5) 井上博司“卒業論文”44年3月 京大, S2.5