高速道路の事故時管制に必要な情報の推定

信州大学工学部　正会員　奥谷　巌
信州大学工学部　○豊島　靖

1．はじめに

現在、わが国の高速道路における交通需要は著しく増加しているが、ひとたび高速道路上で事故が起これば、通行可能な車線を減少あるいは遮断してしまい、それに伴う速度低下などにより交通渋滞が発生することとなる。事故渋滞の解消には事故発生を迅速かつ正確に検知し、素早く事故車を取り除くことが要求される。また、利用者が、高速道路に進入する以前に事故発生や渋滞長、旅行時間等を認知できれば、一般道路を進行することにより旅行時間短縮を図ることが可能となる。以上のような観点から本研究では、高速道路における適当な間隔ごとの交通感知器の設置を前提として、その交通感知器より得られる交通状態量を用いた交通管制上必要な情報のダイナミックな推定方法について考える。

2．事故発生地点と発生時刻の推定

ここでは交通流解析モデルとして圧縮性流体モデルを採用するものとし、事故発生前の高速道路上の交通状態を一様と仮定する。ある地点で事故が発生すれば、事故の上下流側の境界面で不連続が生じ、これらの境界面がそれぞれある伝播速度をもった衝撃波となって上下流方向へ伝播し、新しい状態が事故発生地点を起点として時間の経過とともにそれぞれ上下流方向へ拡大してゆく（図１参照）。図では衝撃波が対象区間の上流側を時刻τ_1（事故発生時点からの時間）に抜け、次いで、下流側を時刻τ_2に抜ける場合を考えている。

τ_1, τ_2は事故発生時刻が不明なため確定出来ないが、その差$\tau_1-\tau_2$の値を推定できれば事故発生区間上流端から事故地点までの距離zを次式のように推定できる。

$$z=\frac{(\tau_1-\tau_2)(q_0-q)+(k_0-k_2)l}{k_1-k_2} \qquad (1)$$

ここに、q_0, k_0は事故発生前の交通流における交通量，密度、$k_1(k_2)$は図１に示す事故発生地点上（下）流側高（低）密度部の密度値、qはk_1, k_2に対応した交通量、lは事故発生区間長である。

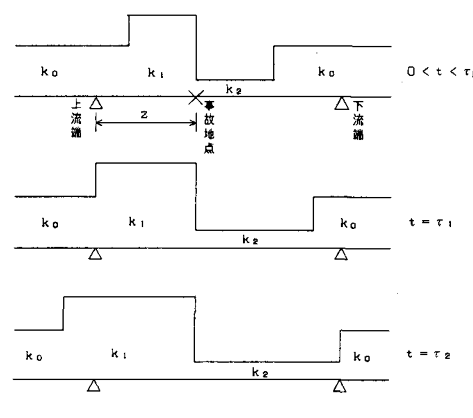

図１．交通密度の推移

また、上流側への衝撃波の伝播速度をC_1、ある時刻を原点とした時間ｔ軸上において区間上流端を衝撃波が抜け時刻をt_1とすると事故発生時刻t^*は、

$$t^*=t_1-\frac{z}{(-C_1)} \qquad (2)$$

と推定される。下流端を先に衝撃波が抜ける場合には、t_1はt_2（下流端を衝撃波が通過する時刻）、C_1は$-C_{\rm D}$（下流側への衝撃波の伝播速度）とすればよい。

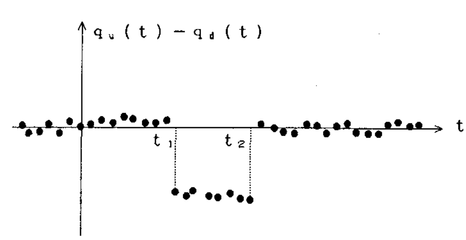

図２．上下流端での交通量の差

さて、上に述べた事故地点ｚと発生時刻t^*の推定では$\tau_1-\tau_2, t_1$およびt_2が与えられることを前提としている。まず最初に$\tau_1-\tau_2$であるが、これは明らかにt_1-t_2

に等しい。よってt_1, t_2を同定すればよいこととなる。t_1 およびt_2 の値を求める基本的概念は、事故区間の上下流端で観測される交通変量の急激な変化を見いだすことにある。図2は変量として、上（下）流端の交通量$q_u(t)$（$q_d(t)$）の差を取ったときの概念図である。t_1, t_2の検出に際しては、観測値のランダムな変動を考慮しなければならないため、ここでは以下に述べるようなカルマンフィルタと結合させた一般化尤度比検定法の適用を考える。この理論は、カルマンフィルター理論より得られる残差（観測値とカルマンフィルター出力値との差）の動的な動きを用いて、異常発生時の残差を検出し、尤度比検定をすることで交通変量急変の有無を判定するものである。具体的には、状態方程式と観測方程式を次のように考える。

$$x(t+1)=x(t)+v(t) \tag{3}$$

$$y(t)=x(t)+e(t)+s(t-\theta)\nu \tag{4}$$

$x(t)$：交通変量，　$y(t)$：観測値，　$v(t), e(t)$　：雑音，　ν　：急変の大きさ，

$s(t-\theta)$ は$t-\theta \geqq 0$ の時1，$t-\theta<0$ の時0

これらより$x(t)$ の推定値は次のようになる。

$$\hat{x}(t+1)=\hat{x}(t)+K(t)[y(t)-\hat{x}(t)-s(t-\theta)\nu] \tag{5}$$

ここに、$K(t)$ はカルマンゲインと呼ばれるもので、その求め方は、$p(t)$ を推定誤差の分散としたとき次のようになる。$p(t_0)=R_0$　（$x(t_0)$ の分散）と仮定すれば、$K(t)=p(t)[R_2+p(t)]^{-1}$　，

$p(t+1)=[1-K(t)]p(t)+R_1$　（R_1，R_2　：残差$v(t), e(t)$ の分散）の二式より、逐次求まる。

式(5)の[ ] の中の値として生成される残差を尤度比検定することで交通変量急変の有無を判定するのであるが、まず残差$\gamma(t)$ より対数尤度比$\lambda(t:\theta)$ が求まり，次式となる。

$$\lambda(t:\theta)=\frac{1}{2}\frac{\left[\sum_{j=\theta}^{t}(1-K)^{j-\theta}\gamma(j)\right]^2}{\sum_{j=\theta}^{t}(1-K)^{2(j-\theta)}}\frac{1}{V} \tag{6}$$

K：カルマンゲイン$K(t)$ の収束値、V：$\gamma(t)$ の分散、θ　：交通変量急変時点

θ は$\lambda(t:\theta)$ の最大値に対応する値として決定されるが、求められた対数尤度比$\lambda(t:\theta)$ が、ある閾値ε に対して初めて$\lambda(t:\theta)>\varepsilon$ となればθ 時点に事故による衝撃波が対象区間の上流端を抜けたと判定し、$t_1=\theta$ とする。この後も引き続きθ の再計算を行いながら監視を続行し、$\lambda(t:\theta)<\varepsilon$ となれば、θ 時点に事故による衝撃波が対象区間の下流端を抜けたと判定し、$t_2=\theta$ とする。

3．渋滞長と旅行時間の推定

上で求められた事故発生位置z と事故発生時刻t^* を用いることにより、渋滞長と旅行時間の推定が可能となる。渋滞長と旅行時間は、事故発生時刻から現時点までの時間長さをτ としたとき

$$(\text{渋滞長})=-C_1*\tau \tag{7}$$

$$(\text{旅行時間})=\frac{2}{1+\sqrt{\alpha}}\frac{L-z}{v_f}+\frac{4P_0}{1-\alpha}\frac{z}{v_f}+\frac{RS}{1-\alpha}\tau \tag{8}$$

として求める。[1)2)] ここに、α は車線閉塞度，　L は事故発生区間長，　v_f は自由速度である。また$P_0=k_0/k_j$　（k_j　：飽和交通密度）、$R=\sqrt{\alpha}+1-2P_0$　、$S=\sqrt{\alpha}-1+2P_0$ である。なお、k_0 についてはオキュパンシより計算する。α は、事故区間上流端交通量と道路容量の比を取ればよいものと思われる。

《参考文献》

1)Iwao OKUTANI：Proc. of JSCE, No. 211,Estimation of Traveling Time between Ramps and Discharge Control on Expressway,1973.

2)井上　矩之：都市間高速道路の交通制御に関する基礎的研究,京都大学博士論文,1973.

3)Iwao OKUTANI：The Kalmann Filtering Approaches in Some Transportation and Traffic Problems, Transportation and Traffic Theory,pp397-416,1987.