

高速道路における 事故時の所要時間の推定

信州大学工学部 正会員 奥谷 巖
信州大学大学院 学生員 原田 正隆
信州大学工学部 ○菅沼 信彦

1. はじめに

社会資本の一つである高速道路は、供用延長がのびるにつれて、ますます重要度が高まっているが、渋滞が発生すると機能を著しく阻害されてしまうという性質がある。近年の交通需要の増大は、頻繁に渋滞を発生させ、大きな問題となっている。また、予測が不可能な事故などの突発的原因による渋滞の場合、その影響は甚大なものになるおそれが高い。そこで本研究では、まず、突発的原因によって車線が閉塞され渋滞が発生したときにおける交通状態を分析し、渋滞による影響を小さくするための制御実施上重要な情報であるランプ間の所要時間の推定を行う。

推定には、交通流における波動理論を間接的に用いるが、従来の方法のように車の軌跡を追うという複雑な方法とはならない。なお、数値計算のためのデータ収集には、観測量として現実のものをを用いることが困難なため、コンピューターシミュレーションモデルを使用する。

2. 所要時間の推定式

交通流における波動理論とは、車の流れを流体とみなし、交通現象をそこに発生する波動によって説明する理論である。基本的変量の関係は以下の通りである。

$$q = kv = v_f k (1 - \frac{k}{k_j})$$

q : 交通量 k : 交通密度

v_f : 自由速度 k_j : 飽和交通密度

波動理論に従って車の走行軌跡を求め、それによって所要時間を計算する方法は、既に提案されており¹⁾²⁾、具体的には以下のように与えられている。

流入時刻が τ_B 以前、または、 τ_D 以降の場合

$$T'_A = \frac{L}{v_0} \dots \dots \dots (1)$$

流入時刻が τ_B から τ_C の場合

$$T'_B = \frac{2}{1 + \sqrt{\alpha}} \frac{L - x_0}{v_f} + \frac{4p_0}{1 - \alpha} \frac{x_0}{v_f} \dots \dots \dots (2)$$

流入時刻が τ_C から τ_D の場合

$$T'_C = \frac{M}{v_f} + \frac{c^2 + \sqrt{c^4 + 4v_f c^2 M}}{2v_f^2} - \tau + d \dots \dots (3)$$

$$\text{ただし } c^2 = v_f^2 [RSd + 4p_0 \{ (1 - p_0)(\tau - d) + \frac{x_0}{v_f} \}]$$

$\alpha = (1 - q_1)/q_c$: 車線閉塞度 q_c : 交通容量

$p = k/k_j$: 飽和度 d : 車線閉塞時間

$R = \sqrt{\alpha} + 1 - 2p_0$ $S = \sqrt{\alpha} - 1 + 2p_0$

L : ランプ間の距離

x_0 : 上流側ランプから事故発生地点までの距離

$M = L - x_0$: 事故発生地点から下流側ランプまでの距離

τ : 上流側ランプの通過時刻

X_0 : 渋滞の影響がない範囲の値

X_1 : 渋滞閉塞中の上流側の値

X_2 : 渋滞閉塞中の下流側の値

しかし、この中には運転者によって大きく左右されてしまう値である v_f が含まれているばかりでなく、計算過程が極めて複雑になっている。そこで、本研究では、別の観点から次のような新たな方法を考えた。

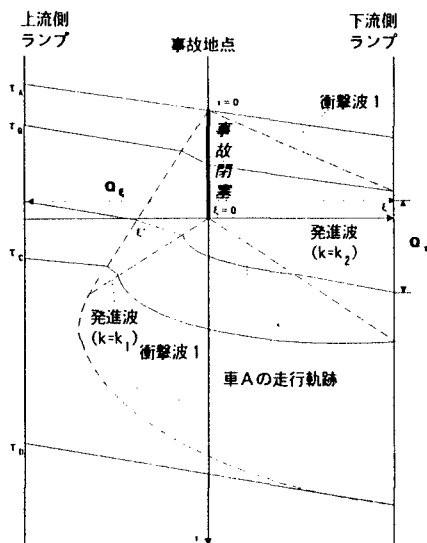


図1 衝撃波の軌跡と走行特性

今、図1の状況を考える。

ここで上流側ランプから流入するある1台の車に注目する。その車の前には Q_ξ 台の車両が存在している。この車は T だけの時間をかけて下流側ランプに到着する。その間に Q_r 台の車両が下流側ランプを通過している。高速道路では外部との流入出は、ランプに限られるので、常に $Q_\xi = Q_r$ の関係が成り立っている。この等式を、流出時刻（以下 τ' とする。）について解き、そこから流入時刻 τ を引けば、所

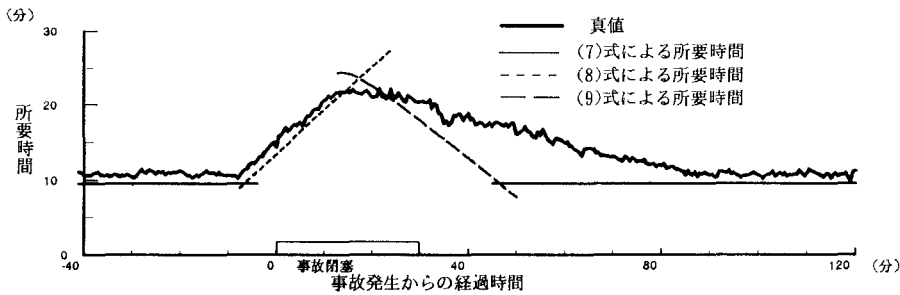


図2 観測値から推定される所要時間と真値

要時間 T を求めることができる。

ここで一例をあげる。図1において τ_B から τ_C の間に流入している車Aを考える。その車の前に存在する台数は式(4)で表される。

$$Q_\xi = k_0(\xi' + x_0) + k_1(0 - \xi') + k_2(M - 0) \\ = x_0 k_0 + M k_2 + (q_0 - q_1)\tau \quad (4)$$

ここで $\xi' = -\frac{v_0}{2} S\tau$

また、この車がランプAを通過してから、ランプBを通過するまでに流出する台数 Q_τ は式(5)のようになる。

$$Q_\tau = q_2(\tau - \tau') \quad (5)$$

ここで $Q_\xi = Q_\tau$ の等式を τ' について解き、所要時間の式を求めると式(6)のようになる。

$$T_b = \tau' - \tau \\ = \frac{k_0 x_0 + (q_0 - q_1)\tau}{q_1} + \frac{k_2 M}{q_2} \quad (6)$$

ここで、(6)の意味を考えてみる。第1項の分子は、時刻 τ において x_0 の区間に存在している車両の台数であり、第2項の分子も同様に x_0 以降の区間に存在する車両台数である。また分母の q_1, q_2 は下流ランプの通過交通量である。よってこの推定式は、ある時点において区間に存在している車が、区間からすべて流出するのに要する時間を表しており、言い換えれば、その値はある時点に流入した車の所要時間を表している。

同様の方法で所要時間推定式を求めると、すべて以下の3種類にまとめることができる。また、波動理論にそって変形すれば上掲のものと一致する。

流入時刻が τ_B 以前、または、 τ_D 以降の場合

$$T_A = \frac{L}{v_0} \quad (7)$$

流入時刻が τ_B から τ_C の場合

$$T_B = \frac{k_0 x_0 + q_0 \tau - q_1 \tau}{q_1} + \frac{k_2 M}{q_2} \quad (8)$$

流入時刻が τ_C から τ_D の場合

$$T_C = \frac{q_0 \tau - q_1 d + x_0 k_0}{2q_c} + \frac{k_2 M}{4q_c} \\ + \frac{\sqrt{(q_0 \tau - q_1 d + x_0 k_0)(k_2 M + q_0 \tau - q_1 d + x_0 k_0)}}{2q_c} \\ - \tau + d \quad (9)$$

ここで、 T_A は定数であり、 T_B も τ と線形の関係がある。 T_C は、図2にみられるとおり、その適用範囲ではほぼ直線になっている。実際に直線に近似した場合の傾きと、 $dT_C/d\tau$ の値との誤差は小さい。

この推定法では、 T_B 式の中に事故閉塞の影響が含まれる値が、 T_C 推定式の中にも事故閉塞時間 d が含まれているので、 T_B 式の適用は事故の影響がある値(例えば q_1, k_2 等)が観測されるまで、また T_C 式の適用も事故処理の終了がわかるまでこの式を適用できない。これが大きな問題点であり、今後の課題である。なお図2は上記の未知量の問題を排除して描いている。

3. 所要時間の推定

高速道路上に設置されている感知機から得ることができる観測量は、交通量、速度、オキュパンシの3種である。しかし、上述の推定式の中には、未知量である交通密度 k が含まれている。そこで、交通密度の推定が必要になってくる。

ここで一例として、交通密度を速度から、 $q = kv$ の関係があるとして推定したものをあげる。ここから所要時間を推定し、シミュレーションモデルから得られた真値とを比較したものが図2である。

また、他の交通密度の推定方法として観測値であるオキュパンシから交通密度を推定する方法を試みる。この結果は講演当日に発表する予定である。

参考文献

- 1) 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
- 2) I.Okutani and N.Inoue, Estimation of Traveling Time between Ramps and Discharge Control on Expressway, Proc. of JSCE, No.211, March 1973, pp.99~107