

時間センサと空間センサの渋滞検知時間の比較

福山大学工学部 正 井上 矩之
福山大学工学部 学 ○藤林 秀樹

1. はじめに

時間オキュパンシーの集計時間を短くすれば渋滞検知時間は早くなるが、交通流の不規則性のため誤判定の恐れがある。不規則性を考えると集計時間は5分ぐらいが適切とされ、5分間時間オキュパンシーを5分ごとに収集するというように、データの集計時間と収集時間は同一とされてきた。本文では5分間時間オキュパンシーを1分ごとに収集するというように、データの集計時間と収集時間を切り離して考えることにより、検知時間を早くすることを考えてみた。

2. 集計時間・収集時間と検知時間の関係

(1) 前提条件および記号の説明

- ①（検知器配置）距離 d ごとに等間隔に配置されている。
- ②（情報の集計時間と収集時間） T_1 分間時間オキュパンシーを T_2 分ごとに収集する。
- ③（交通条件）渋滞発生前の交通密度を K_0 、平均速度を V_0 、交通量を q_0 とする。平均速度と交通密度の間に線形関係 $V = V_f(1 - K/K_j)$ を仮定する。 V_f は自由速度、 K_j は飽和交通密度である。
- ④（事故条件）事故地点上流に生じる渋滞の交通密度を K_1 、速度を V_1 とする。

(2) 連続的にデータが収集できるとした場合の検知時間

図-1 に示すように、事故地点 $X = X_a$ より衝撃波が上下流に伝播する。

このうち上流へ伝播する衝撃波がすぐ上流の検知器 ($X = 0$) を通過する時刻を t_s で表す。また渋滞検知時刻を t^* で表す。本項ではデータは連続的に取り出せるとしているので、 t_s を含む観測データは無限個あり、時間オキュパンシーの値が徐々に増加、初めて渋滞の基準値を超える時刻が t^* というわけである。

時刻 t_s は、衝撃波 I の伝播速度を C_1 とすると、次式で与えられる。

$$t_s = X_a / |C_1| \quad \cdots \cdots (1)$$

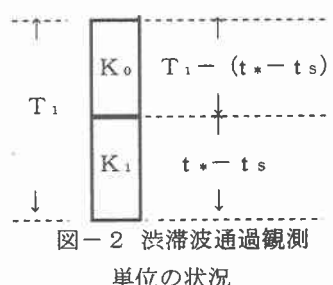
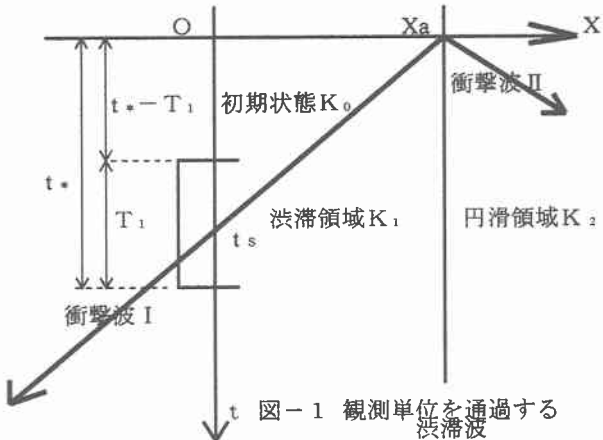
図-1 から T_1 の部分を取り出し、詳細状況を示したのが図-2 である。 T_1 分間中の前半は交通密度 K_0 、後半は交通密度 K_1 に対応する時間オキュパンシーになるので、この観測単位としてはその平均の交通密度

$$\{K_0 \{T_1 - (t^* - t_s)\} + K_1 (t^* - t_s)\} / T_1 \quad \cdots \cdots (2)$$

に対応する時間オキュパンシーになるだろう。 $O_t = \text{交通密度} \times \text{平均車長} \times 1$ という関係に上式を代入すると、この観測単位の時間オキュパンシーは

$$O_t = \{K_0 \{T_1 - (t^* - t_s)\} + K_1 (t^* - t_s)\} \times l / T_1 \quad \cdots \cdots (3)$$

となる。 l は平均車長である。渋滞は時間オキュパンシーの $O_t = K_{cl}$ 超過により検知され、上式の $O_t \geq K_{cl}$ を満足する最小の t すなわち次式の t^* で渋滞は検知されることになる。 K_c は限界密度である。



$$t_* = \{ (K_c - K_0) T_1 + (K_1 - K_0) t_s \} / (K_1 - K_0) \quad \dots\dots (4)$$

上式の t_s に衝撃波通過時刻の式 (1) を代入、さらに衝撃波の伝播速度 $C_i = Vf(1 - K_0/K_j - K_1/K_j)$ を代入すると渋滞検知時間として次式を得る。

$$t_* = \frac{(K_c - K_0)}{(K_1 - K_0)} T_1 - \frac{K_j}{K_j - K_0 - K_1} \cdot \frac{X_a}{Vf} \quad \dots\dots (5)$$

(3) 離散的にデータを収集する場合の検知時間

データの収集時刻の時間間隔を T_2 分とする。最も早い場合では t_* 分で検知することができるが、最悪の場合は $t_* + T_2$ かかって検知できる。この最悪の渋滞検知時間を t_{**} で表す。

$$t_{**} = t_* + T_2 \quad \dots\dots (6)$$

3. 検知器の配置間隔

ある与えられた時間以内に渋滞を検知できる配置間隔を求める。式(3.8)の最大の t_{**} の式を X_a について解き、事故地点と検知器との距離 X_a を配置間隔 d と改めて書くことにすると、時間 t_{**} 以内に渋滞が検知出来るためには、検知器の配置間隔は次式以下でなければならない。

$$d = Vf (K_0 / K_j) \{ t_{**} - (K_c - K_0) / (K_1 - K_0) \times T_1 - T_2 \} \quad \dots\dots (7)$$

4. モデル計算

実際の都市高速道路を念頭に置いて、前節の理論の数値計算を行う。

(1) 前提条件

- ①交通条件 自由速度 $Vf = 80$ km/h、限界密度 $K_c = 60$ 台/km/車線、飽和交通密度 $K_j = 120$ 台/km/車線
- ②事故条件 全車線閉塞 $K_1 = K_j$
- ③交通情報の集計時間 $T_1 = 5$ 分(5分間時間オキュパンシー)

(2) 数値計算 $t_{**} = 5$ 分、3分、1分以内に検知できるための最大配置間隔を次表に示す。

表-1 与えられた渋滞検知時間に対する配置間隔 (単位m)

t ₂		5分以内検知						3分以内検知				1分以内	
T ₂ (分)		0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	0	1
K ₀	0	0	0	0				0					
	10	303	192	81				81					
	20	667	444	222	0			222	0				
	30	1111	778	444	111			444	111				
	40	1667	1222	778	333			778	333				
	45	2000	1500	1000	500	0		1000	500	0		0	
	50	2381	1825	1270	714	159		1270	714	159		159	
	60	3333	2667	2000	1333	667	0	2000	1333	667	0	667	0

K_0 : 初期密度
(台/km/車線)
 T_2 : データ収集時刻の間隔
(分)

(3) まとめ $T_1 = 5$ 分間時間オキュパンシーで監視する場合の渋滞検知について次のことがいえる。

- ① $T_2 = 5$ 分ごとにデータを収集するという現在の方法では、渋滞発生後5分以内に検知することは不可能
- ② $T_2 = 5$ 分より小さくしていけばいくほど、5分以内検知の可能性が高まる。例えば、 $T_2 = 3$ 分とすれば、交通密度45台/km/車線以上の初期密度であれば可能。 T_2 を1分とさらに短くすれば、交通密度22台/km/車線以上の初期密度まで可能。

5. むすび

検知時間と対象交通状態が与えられれば時間センサーの配置間隔を決定できる。また都市高速道路で普通にみられる500m間隔配置の検知器で5分間時間オキュパンシーを収集するという現行監視方式でも、データの収集間隔を5分より短くすれば可能性があることがわかった。なお最近画像処理を用いた空間センサの実用化への検討が始められている。時間センサーと空間センサの比較については講演時に述べたい。