

神戸大 正員 枝村 俊郎 山口県土木部 正員 〇 松原 賢一  
神戸大院 学生員 土井 和夫

### 1. はじめに

現在の地点感応制御は、単に交差点の進入路の刻こくの交通パラメータ（車頭間隔、密度、オキュパンシーなど）にもとづき、青時間の延長を行っている。しかし、地点感応制御は、単位延長青ごとに、さらに延長すべきか、打切るべきかを、統計的に変動するパラメータを観測しつつ判断する手法であることを考えると、統計的決定理論の導入があるいは効果的ではないかと考えられる。すなわち、一定の時間間隔に到着する自動車の台数を観測し、それを用いて“自然の状態”（いまの場合、真の平均到着率）に対応する先験確率を、つぎつぎに新しい事後確率に変換していく。事後確率が計算されたならば、それを重みとした期待損失の加重平均を求め、これを最小にする行動（単位青の延長、あるいは打ち切り）を決定する。ここでは、十字交差点を考え、アプローチ番号を図-1のようにとておく。

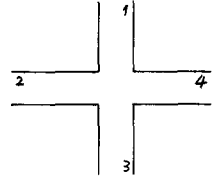


図-1 アプローチ番号

### 2. 事後確率の計算式

いま、アプローチ1, 3が進入権をもち、アプローチ1の赤時間 $t_1^r$ 中に $Z_1^r$ 台、赤に続く初期青 $t_1^g$ 中に $Z_1^g$ 台の車が到着したとする。このアプローチ1の真の平均到着率を $v_1$ とする。先験確率 $b_1(v_1 | Z_1^r, t_1^r)$ をガンマ分布で与え、平均到着率に対する到着台数をポアソン分布 $f(Z_1^g | v_1, t_1^g)$ で与える。そのとき、ベイズの定理より、事後確率 $W_1(v_1 | Z_1^r, t_1^r)$ は、

$$W_1(v_1 | Z_1^r, t_1^r) = \frac{b_1(v_1 | Z_1^r, t_1^r) f(Z_1^g | v_1, t_1^g)}{\int_0^\infty b_1(v_1 | Z_1^r, t_1^r) f(Z_1^g | v_1, t_1^g) dv_1} = \frac{(v_1 t_1^r)^{Z_1^r-1} e^{-v_1 t_1^r}}{(Z_1^r-1)!}$$

（ただし  $t_1' = t_1^r + t_1^g$ ,  $Z_1' = Z_1^r + Z_1^g$ ）となり、ガンマ分布となる。さらに青時間を $t_1$ 延長し、その間の観測台数が $Z_1$ 台であったとすると事後確率は、

$$W_1'(v_1 | Z_1', t_1') = \frac{W_1(v_1 | Z_1^r, t_1^r) f(Z_1 | v_1, t_1)}{\int_0^\infty W_1(v_1 | Z_1^r, t_1^r) f(Z_1 | v_1, t_1) dv_1} = \frac{(v_1 t_1')^{Z_1'-1} e^{-v_1 t_1'}}{(Z_1'-1)!}$$

（ただし  $t_1'' = t_1' + t_1$ ,  $Z_1'' = Z_1' + Z_1$ ）となる。以下同様、つねにガンマ分布となる。

### 3. 遅れの期待値の加重平均

いま、つぎのように記号をとる。行動 $A_1$ =青を打切る、行動 $A_2$ =青をつらに単位延長青を延長。 $W_j^k(v_j, A_k)$ =真の平均到着率が $v_j$ のとき、行動 $A_k$ をとったときのアプローチ $j$ の遅れ。ここに、 $i=1$ はアプローチ $j$ が進入権をもつとき、 $i=2$ はアプローチ $j$ が進入権をもたないとき。アプローチ番号 $j=1, \dots, 4$ 、行動番号 $k=1$ の2。

観測値は離散的でかつ充足性を有し、真の平均到着率に属して無限個の分布をもち、また決定は有限個であるので、遅れの期待値の加重平均 $B_j(W_j, A_k)$ は、

$$B_i(w_i, a_i) = \frac{1}{f(z)} \int_0^\infty b_i(v_i | z_i, t_i) f(z_i | v_i, t_i) W_i^i(v_i, a_i) dv_i$$

$$= \int_0^\infty w_i(v_i | z_i, t_i) W_i^i(v_i, a_i) dv_i$$

と書ける。

遅れの計算には、1周期分のみを考えることにする。この場合の周期は、進入権をもつアプローチについては、現在表示している青時間と次に表示する赤時間の和にとる。青の次に表示する赤時間の与え方は、①現在表示している青の前に表示した赤時間と、全損失時間の和とする場合と、②交通量に応じて比例配分する場合の2通りを考えてみた。

#### 4. 行動決定

- i)  $\sum_{j=1}^m B_j(w_j, a_1) \leq \sum_{j=1}^m B_j(w_j, a_2)$  ならば行動  $a_1$ 。  
 ii)  $\sum_{j=1}^m B_j(w_j, a_1) > \sum_{j=1}^m B_j(w_j, a_2)$  ならば行動  $a_2$  とする。

行動  $a_2$  をとった場合は、青をも延長し、さらにその間の各アプローチに到着する車の台数を観測し、 $B_j(w_j, a_2) = \int_0^\infty w_j(v_j | z_j, t_j) W_j^j(v_j, a_2) dv_j$  と計算する。 $\sum_{j=1}^m B_j(w_j^m, a_1) \leq \sum_{j=1}^m B_j(w_j^m, a_2)$  となるまで青を延長するイテレーションを繰り返す。 $\sum_{j=1}^m B_j(w_j^m, a_1) \leq \sum_{j=1}^m B_j(w_j^m, a_2)$  となれば青を打ち切り、信号を切換える。

#### 5. 地点感应式信号機の制御手法の比較

神戸市甲六甲口交差点の到着交通の観測データを入力として、計算機内シミュレーションにより、制御手法の比較を行った。制御手法には、観測するパラメータや付加する制御論理の組み合わせによって各種のものが考えられるが、次の(A)～(E)5種類について比較を行った。付加する制御論理として、イ) 瞬時判断、ロ) ANDの論理、ハ) リコールスイッチON、ニ) リコールスイッチOFF、ホ) 逆リコールスイッチOFF、を用い

- (A) 交通密度をパラメータとして、イ) ロ) ハ) の制御論理の組み合わせ  
 (B) 交通密度をパラメータとして、イ) ロ) ニ) ホ) の制御論理の組み合わせ  
 (C) タイムオキュパンシーをパラメータとして、イ) ロ) ハ) の制御論理の組み合わせ  
 (D) 決定理論によるもので、赤時間の与え方を①とした場合  
 (E) 決定理論によるもので、赤時間の与え方を

表1 各制御論理のシミュレーション結果

| 制御論理 | 平均周期  | 平均遅れ   |      |       |      |       |
|------|-------|--------|------|-------|------|-------|
|      |       | 全アプローチ | 東行   | 南行    | 西行   | 北行    |
| (A)  | 36.14 | 8.73   | 9.22 | 8.55  | 8.06 | 9.44  |
| (B)  | 55.08 | 8.24   | 7.16 | 10.41 | 7.64 | 11.91 |
| (C)  | 38.75 | 8.98   | 8.26 | 8.08  | 8.77 | 12.91 |
| (D)  | 42.25 | 8.26   | 7.50 | 9.07  | 7.69 | 11.99 |
| (E)  | 42.25 | 8.15   | 7.67 | 9.73  | 7.25 | 11.33 |

②とした場合

結果は表1に示す。

表1では、(E)が交差点全体の遅れが最小となっている。しかし(A)(B)(C)で、ループ長、基準値、上限の値が最適ではないことも考えられ、これだけでは、(E)が最適制御論理であるとは必ずしも断定はできない。

#### 6. おわりに

統計的決定理論を地点感应制御に応用することを試みた。しかし、現段階ではなお、十分ではなく、さらに改良、検討すべき点が多々あると考えられる。