

諸変量の分散を考慮した街路区間内交通損失

信州大学工学部 学生員 ○中川 功

信州大学工学部 正員 奥谷 巖

1. まえがき

近年、連続する複数の交通信号に交通制御システムを適用する方法が注目されてきたが、このような場合、複数交差点間に発生する車群における交通の遅れを知ることは重要である。Allsop(英)は周期的な各車群内において一様な到着率と、信号交差点に待ち行列が存在する間の一様な発進率を仮定して、「車群の先頭車到着時刻」、「車群の時間長さ」、「到着率」の3変量によって車群の遅れ式を表わし、「車群到着率」及び、「車群時間長さ」における分散が、それぞれ1周期当りの平均遅れに及ぼす影響を調べた。しかしながら、彼の方法は3変量のうち2変量を固定しているので現実的ではない。そこで本研究では、これらの3変量の分散を同時に考慮した平均遅れを求めてみる。

2. 諸変量の分散を考慮した遅れ式

街路区間の下流側交差点の交通信号の赤時間の開始時を原点とし、有効赤時間(0, r)と有効青時間(r, r+g)からなる1信号周期(0, c)について考える。停止線を横切る飽和流れをS、車群先頭車到着時刻をX(0 ≤ X < c)とし、(x, x+p)の期間を通じて到着が続くとする。ただしP ≤ cとする。また、信号交差点は不飽和であり、到着率 $g(t)$ はSを超えないと仮定する。待ち行列長が(0, c)でその関数で表わされるとすると、その関数は車群の時間長さ(P)と先頭車の到着時刻(X)によって多くの異なる形をとる。そのうちで、図-1に示されるような最も一般的であると思われるケースについて以下述べることにする。

時刻tにおける車群総台数をQ(t)とし、発進率 $g_s(t)$ を[0, r)において零、[r, c]においてSとする。1周期の総遅れをDとすると、X+P < cのときの遅れDは、 $Q(t) = \int_0^t g_s(t) dt$ を用いて

$$D = \int_0^{X+P} \{Q(c-t) - (t-r)g_s(t)\} dt \quad \text{ただし、} Q(c-X) - (c-r)g_s(X) = 0 \quad \dots (1)$$

となる。X+P > cのときは、(0, X)間の到着は(c, c+X)間の到着と同一視し、 $Q(t) = Q(c+t-X) - Q(c-X)$ を用いて、 $D = \int_0^{X+P} \{Q(c+t-X) - Q(c-X) - (t-r)g_s(t)\} dt$ ただし、 $Q(c+X-X) - Q(c-X) - (X-r)g_s(X) = 0 \quad \dots (2)$ となる。以下、車群パターン2種類について遅れ式を求めてみる。

図-1(a)のような車群パターンの場合、到着率を $g(t) = g_0(X \leq t < X+P)$ 、 $g(t) = 0$ (X+P ≤ t < c)、 $g(t) = g(t-c)$ (c ≤ t) とおき、式(2)を計算して、 $D(X, g_0, P) = g_0^2(P+X-C)^2/2S - g_0(P+X-C)^2/2 + r g_0(P+X-C) \quad \dots (3)$

となる。一方、図-1(b)のような g_1, g_2 という2つの到着率をもつ車群パターンの場合、式(2)を用いて $D(X, g_1, g_2, P) = (g_1 - g_2)(X - P)^2/2(S - g_2) + (g_1 - g_2)(X - P)S/(S - g_2) - (g_1 - g_2)XP/2 + g_2S^2/2(S - g_2) \quad \dots (4)$

となる。次に、式(3)及び式(4)の期待値を計算し、平均遅れ式を導く。紙面の都合上式(3)のE[D]を示す。

$$\begin{aligned} E[D] = & D(E[X], E[g_0], E[P]) + \left\{ C \text{VAR}[g_0] + \text{VAR}[X] + \text{VAR}[P] + \{ \text{COV}[g_0, P] + 2E[g_0]E[P] + 2E[g_0]E[X] - 2CE[g_0] \} \right. \\ & - S\{E[P] - 2SE[X] + 2S(C+r)\} \text{COV}[g_0, P] + \{ \text{COV}[g_0, X] + 2E[g_0]E[X] - 2CE[g_0] - SE[X] + 2S(C+r)\} \text{COV}[g_0, X] \\ & \left. + 2\{E[X] - C\} \text{COV}[g_0, P, g_0] - 2C \text{COV}[g_0, X, X] - 2C \text{COV}[g_0, X, g_0] - S \text{COV}[g_0, P, X] + 2 \text{COV}[g_0^2, X] \right\} \quad \dots (5) \end{aligned}$$

以上のようにして、諸変量内の分散を用いて平均遅れ式が求まる。

3. 実際の観測データと解析

実際のデータを得る為に、観測を長野市内の3街路区間(区間1, 2, 3)を対象に、平日で交通量の一定となる午後2時~4時までの2時間実施した。区間1, 3は、信号周期がそれぞれ、80秒、90秒であり、2車線道路で区間長約260mの2信号交差点間で、途中に横断歩道及び車群を乱す障害物がなく、右左折車線は指定されておらず、右折率はそれぞれ22%、32%、左折率は11%、18%、大型車混入率は5.1%、5.4%であった。区間2は、信号周期が130秒の1車線道路で区間長約420mの2信号交差点間で、見通しは良くなく、下流側信号交差点の流入部は3車線のチャネルリゼーションが施されており、右折指定車線があり、左折率は36%、大型車混入率は8.7%で、歩行者との錯綜がある。観測は、図-1(b)の車群パターン通りに、「車群先頭車到着時刻(X)」、「車群I波後尾車到着時刻(X+p₁)」、「車群I, II波それぞれの総台数(g₁, g₂)」、「実際の遅れ時間(D)」を、観測者3名で各周期毎に測定、記録の形で行なわれた。なお、遅れ時間の測定は、待ち行列が発生してから、行列が消散するまでの5秒間隔の待ち台数によってなされた。以上の観測によるデータについて解析する。

車群パターン(a)においては、期間(X+p₁, X+C)の到着率を零とするのでその期間の到着台数をg₁に加えることによって、 $p_1 + (g_2/g_1) = p$ 、 $g_1 = g$ とし、X, g, pの平均値、分散を計算して、式(4)を用いて1周期当りの平均遅れを求める。結果は、表-1に示す。パターン(b)については、X, g₁, g₂, p₁, p₂の平均値、分散を用いて同様に求めた結果を表-2

に示す。表-1, 2から、実測による平均遅れより理論式による遅れの方が大きくなっていることがわかる。これは、車群パターンが実際にはパターン(b)の矩形を台形にした分布に近いからと思われる。従って観測の結果より、車群時間長さp₁を数%減少させることが可能である。ただし最大減少量を30%とする。以上を考慮してp₁をa%減少させるとしたとき、 $P_1' = (1 - a/100)p_1$ 、 $P_2' = p_2 + ap_1/100$ 、 $g_2' = (ap_1/100)(g_1 - g_2)/p_2'$ によるp₁'、p₂'、g₂'を用いて計算した結果を表-3に示す。その結果、p₁を23%減少させた車群パターンが実際の遅れに近くなることわかる。

4. あとがき

本研究の観測データは、観測も人間の眼に頼る為、測定誤差を生じ易かった。測定誤差の少ない実際の遅れを求める必要があろう。一般的ケースばかりでなく、車群パターンを乱されるようなケースも調査、解析し、車群パターンも台形分布、あるいは三角形分布等を適用し、最も現実的である諸変量の分散を考慮した平均遅れ式を導く必要があろう。

【参考文献】 R.E. Allsop : 交通信号における車群に対する遅れの分析

表-1

区間	諸変量及びその値	周期	実測にお遅れ (g・sec)	分散にお遅れ (g・sec)
1	E[X]=64.08 VAR[X]=24.41 E[g]=0.32 VAR[g]=0.021 E[p]=42.57 VAR[p]=252.6	85	76.82	132.37
2	E[X]=93.40 VAR[X]=25.98 E[g]=0.34 VAR[g]=0.011 E[p]=100.1 VAR[p]=388.6	38	263.82	422.08
3	E[X]=42.47 VAR[X]=8.99 E[g]=0.33 VAR[g]=0.0096 E[p]=56.78 VAR[p]=169.4	76	152.30	228.152

表-2

区間	諸変量及びその値	周期	実測にお遅れ (g・sec)	分散にお遅れ (g・sec)
1	E[g ₁]=0.072 VAR[g ₁]=0.0018 E[p ₁]=28.73 VAR[p ₁]=90.76 E[p ₂]=51.65 VAR[p ₂]=104.2	85	76.82	98.69
2	E[g ₁]=0.16 VAR[g ₁]=0.0043 E[p ₁]=74.74 VAR[p ₁]=211.4 E[p ₂]=55.45 VAR[p ₂]=195.4	38	263.82	328.65
3	E[g ₁]=0.087 VAR[g ₁]=0.0023 E[p ₁]=44.49 VAR[p ₁]=79.70 E[p ₂]=45.38 VAR[p ₂]=85.87	76	152.30	187.91

表-3

区間	減少量%	分散による遅れ (g・sec)	実測にお遅れ (g・sec)
1	24	69.13	76.82
	23	70.36	
	22	74.04	
2	24	274.78	263.82
	23	277.32	
	22	284.81	
3	24	136.25	152.30
	23	138.33	
	22	144.56	