

静岡県 正員 ○秋村 成一郎
北海道大学 正員 五十嵐 日出夫
北海道大学 正員 佐藤 馨一

1. はじめに 交通量の配分計算で用いられる道路評価値は、線形条件、交通条件等によって大きく変化するものであり、従来多くの研究が行われてきた。しかし、従来の研究においては、信号交差点の右左折あるいはそれに伴う対向直進車、歩行者の影響等が理論的に十分解明されていないように見受けられる。

そこで本研究では、定周期信号交差点を取り上げ、遅れの発生を分析するとともに、遅れを与えるモデルの構築を試みたものである。さらに、信号交差点の飽和交通流量を算出し、既存の方法による値と比較して本研究のモデルの妥当性を検討した。

2 遅れの分析とモデルの構築 図-1は、定周期信号交差点における遅れの発生を示したものである。さて、本研究においては、信号交差点の遅れモデルを構築するために次のような仮定を設けた。

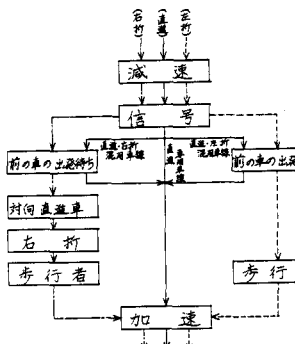


図-1. 定周期信号交差点における遅れの発生フロー

において、待ち行列がないときに到着した車は、遅れなしに交差点を通過する。

i) 信号による遅れ 信号による平均遅れ d_i ($i: S, L, R$) は、式(1)によって算出する。

$$d_i = \frac{1-\lambda}{2(1-\gamma)} \left\{ C(1-\lambda) + \frac{2}{\gamma} N_{\lambda} + \frac{1}{\gamma} + \frac{1}{\gamma(1-\gamma)} \right\} \quad (1)$$

ただし、 $N_{\lambda} = \frac{1}{2(1-\gamma)} \exp\{-1.33\sqrt{\gamma} \frac{C}{\gamma} (1-\gamma)\}$, (2)

C : 信号周期(秒), $\lambda = \gamma/C$ (スプリット),

$\gamma = \gamma/S$ (正規化交通量), $\gamma = C/\gamma S$ (飽和度)

式(1), (2)は、仮定(i)のかわりに入力か $\gamma(t)$ の周期的な

〔仮定〕

(I) 入力はある到着率 γ のポアソン過程。

(II) 待ち行列に並んでいる各車は、有効青時間 γ の始めから一定時間 γ 隔ちごとに1台ずつ発進し、交差点を通過する。

(III) 有効青時間内に

ポアソン過程とした場合の近似式において $\gamma(t) \rightarrow \gamma$ としたときに得られることが大野により示されている。

ii) 歩行者による遅れ 本研究では、横断待ちの理論を用いて歩行者による平均遅れ d_{pi} ($i: L, R$) を式(3)より算出した。ただし、歩行者交通量 γ_p は、文献3)より式(4)から求めた (T, γ' は後述)。

$$d_{pi} = \frac{1}{\gamma_p} (e^{\gamma_p T} - 1) - T, \quad \gamma_p: \text{限界間隔(秒)}, \quad (3)$$

$$\gamma_p = \frac{\gamma}{2} \left(1 - \frac{\gamma}{2} \right) D, \quad D = \frac{1}{V} \left(e^{-A_1(t-T)} - e^{-A_1 t} \right) + \frac{1}{V} \left(e^{-A_2(t-T_0-T)} - e^{-A_2(t-T_0)} \right), \quad (4)$$

V : 歩行者速度 ($=1.3$ 秒/歩とする)

iii) 対向直進車による遅れ 対向直進車は、有効青時間の始めからある時間 (期待値: T') までは仮定(II)、それ以降は仮定(III)に従い発進するものとする。一般に、仮定(II)の状態では、対向直進車の発進時間 γ 隔ちより小さいので、 T' までは右折しないと考えてよい。 T' は式(5)で与えた。また、仮定(III) ($t > T'$) の場合の右折車の対向直進車による平均遅れ d_{pi} は、ii)と同様式(6)で与えた。

$$T' = \gamma' / (S - \gamma), \quad \gamma': \text{有効赤時間(秒)} \quad (5)$$

$$d_{pi} = \frac{1}{\gamma_p} (e^{\gamma_p T'} - 1) - T', \quad \gamma_p: \text{対向直進車交通量(秒/秒)} \quad (6)$$

3 進行方向別の車の平均遅れの定式化

i) 直進車の平均遅れ 図-1の信号による平均遅れは式(1)で、加減速による平均遅れ (仮定(II)の場合発生) は一定として与えた。ただし、式(1)中の S は、待ち行列に並んでいる車の平均発進時間 γ 隔ちを用いた。また、混用車線の場合は、文献4)を参考に右左折車による進行の妨害の補正をして S を求めるものとした。

ii) 左折車の平均遅れ 図-1のとおり、左折車の遅れは、信号 (減速に伴う) と、歩行者 (加速に伴う) およびそれに伴う前の車の出発待ちによる遅れにより

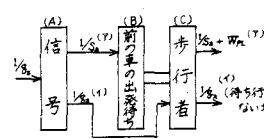


図-2 遅れ発生セクターの入出力時間 γ 隔ち (左折の場合)

発生するものと考えられる。本研究では、遅れを発生させるセクターごとに入出力の時間間隔を図-2のように考

え、(A)、(B)・(C)の2つの直列型待ち行列システムとして捉えた。ただし、図中(ア)は仮定Ⅲの場合、(イ)は仮定Ⅳの場合である。また、(ア)で(A)、(B)間の入出力を g_2 とするのは、待ち行列に並んでいる車が発進する場合、車頭時間々隔 g_2 が発生するためであり、待ち行列に並んでいる車はすべて潜在的に持っているものと考えることができるからである。ゆえに、(A)の信号による平均遅れ d_A は、式(1)において $S \rightarrow S_2$ とすれば求められる。また、(B)・(C)における平均遅れ d_B は、待ち行列に並ぶ車の平均台数 M_B を求めることにより式(7)で与えられる。

$$d_A = \frac{1}{N_A} \frac{M_A(M_A-1)}{2} \frac{g_2 \cdot r}{1 - g_2(1/S_2 + W_{PL})} + W_{PL} \quad (7)$$

ただし、 $M_A = \frac{g_2 \cdot r}{1 - g_2(1/S_2 + W_{PL})}$ 、 g_2 :左折交通量(台/秒)、(B)

$$N_A = g_2 \cdot C \text{ (1サイクル当りの平均左折交通量)} \quad (8)$$

式(7)の右辺第1項が(B)の前の車の出発待ちによる平均遅れ、第2項が(C)の歩行者による平均遅れである。式(8)の分母が負の場合は、左折車は過飽和状態となる。図-1の加減速による平均遅れは、i)と同様一定とする。

iii) 右折車の平均遅れ 右折車の入出力時間々隔は、図-3のように設定した。図のように、右折車の場合には(A)、(B)・(C)、(D)の3つの直列型待ち行列システムとして捉えることができる。図中(ア)、(イ)は仮定Ⅲ、(ウ)は仮定Ⅳの場合であるが、右折

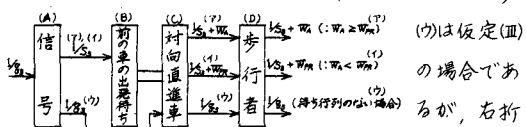


図-3 直進発生セクターの入出力時間々隔(右折の場合) 車の場合、横断歩道の手前では待ち行列をつくるスペースが限られているため、(イ)($W_A < W_R$)の場合には右折車線において前の車が前進するまで待つものとし、(ア)($W_A \geq W_R$)の場合と区別する。ところで、2.iii)より、右折車は有効青時間の始めから T' までは右折できないことから、この T' を有効赤時間 r の延長と考え、見かけの有効青時間 g' および見かけの有効赤時間 r' を式(9)で定義する。

$$g' = g - T', \quad r' = r + T' \quad (9)$$

したがって、(A)の信号による平均遅れ d_A は、式(1)において $S \rightarrow S_2$ 、 $g \rightarrow g'$ とすればよい。また、(B)・(C)における平均遅れ d_B は、待ち行列の平均台数を M_R (台/秒)とすれば、式(11)、(13)のようになる。

(i) $W_A \geq W_R$ の場合

$$d_A = \frac{1}{N_A} \frac{M_A(M_A-1)}{2} \frac{W_A + W_R}{1 - g_2(1/S_2 + W_{PL})} + W_{PL} \quad (11)$$

ただし、 $M_A = \frac{g_2 \cdot r'}{1 - g_2(1/S_2 + W_{PL})}$ 、 g_2 :右折交通量(台/秒) (12)

(ii) $W_A < W_R$ の場合

$$d_A = \frac{1}{N_A} \frac{M_A-1}{2} \frac{W_{PR} + W_{PL}}{1 - g_2(1/S_2 + W_{PL})} + W_{PL} \quad (13)$$

ただし、 $M_A = \frac{g_2 \cdot r'}{1 - g_2(1/S_2 + W_{PL})}$ (14)

$$N_A = g_2 \cdot C \text{ (1サイクル当りの平均右折交通量)} \quad (15)$$

式(11)、(13)の右辺第1項が(B)、第2項が(C)に関する平均遅れである。また、左折車の場合と同様、 M_R を与える式(12)、(14)の分母が負の場合、右折車は過飽和状態となる。さらに、(D)の歩行者による平均遅れは W_R 、加減速による平均遅れはi)と同様一定値を与えるものとする。

4. 飽和交通流量の検討

i) 直進の場合 3.i)で求めた S で与えられる。

ii) 左折の場合 $M_L = N_L$ より、飽和交通流量 S_L は、

$$S_L = \frac{1}{1/S_2 + W_{PL}} \times g \times \frac{3600}{C} \text{ (台/時)} \quad (16)$$

iii) 右折の場合 $M_R = N_R$ および信号現示が変わるとき K 台右折車がさばけるとすれば、飽和交通流量 S_R は、

$$S_R = \begin{cases} \frac{1}{1/S_2 + W_A} \cdot g' \times \frac{3600}{C} + K \times \frac{3600}{C} \text{ (台/時)} & W_A \geq W_R \\ \frac{1}{1/S_2 + W_{PL}} \cdot g' \times \frac{3600}{C} + K \times \frac{3600}{C} \text{ (台/時)} & W_A < W_R \end{cases} \quad (17)$$

$$S_R = \begin{cases} \frac{1}{1/S_2 + W_A} \cdot g' \times \frac{3600}{C} + K \times \frac{3600}{C} \text{ (台/時)} & W_A \geq W_R \\ \frac{1}{1/S_2 + W_{PL}} \cdot g' \times \frac{3600}{C} + K \times \frac{3600}{C} \text{ (台/時)} & W_A < W_R \end{cases} \quad (18)$$

計算例として右折車を取り上げ、既存の方法と比較したのが表-1である。この結果を見ると、本研究による方法と文献4)の方法はほとんど一致し、文献5)の方法については、 g_A が小さい場合にはやや大きい値を示すがよく一致していることがわかる。ゆえに、本研究の方法は妥当であるといえる。しかし、 g_P の増加に伴い S_R は漸次減少していくものと考えられる。

表-1 右折飽和交通流量の比較 (単位:台/時)

g_A (台/時)	0	200	400	600	800	1,000	備考
文献4)の方法	990	738	529	368	225	90	$g_P = 0.4912$
文献5)の方法	990	790	590	390	190	0	0
本研究の方法	990	735	535	369	225	0	0
	777	699	5	5	5	5	5
	398	364	399	5	5	5	20

注: $g = r = 40$ (秒), $K = 2$ (台), $g_A = 4$ (秒), $g_{PR} = 3$ (秒), $g_P = 0.5$ (台/秒), 対向直進車は1車線, $T = 6.4775$ (秒), $W_0 = W_{00}$ 。

5. おわりに 本研究の意義は、定周期信号交差点において対向直進車、歩行者等を考慮した進行方向別の平均遅れを定式化したことにあるが、今後は、道路交通網への拡張、季節変動等を検討する方針である。

<参考文献> 1) 大野勝久: 交差点における車の遅れに関する待ち行列論的研究, 土木学会論文報告集, 1979年10月, 2) 国沢清典・本間鶴千代監修: 応用待ち行列事典, 廣川書店, 1971年, 3) 池之上慶一郎・斉藤成: シミュレーションのための信号交差点における転向車両の横断歩行者による停止確率の算出法, 科学警察研究報告, 13巻1号, 1972年3月, 4) 交通工学研究会: 最新平面交差の計画と設計, ソーセイ社, 1977年, 5) 日本道路協会: 道路構造令の解説と運用, 丸善株式会社, 1970年