

過飽和時の信号オフセットに関する基礎的研究*

A Study on Signal Offset for Oversaturated Conditions*

本間正勝**

By Masakatsu HONMA**

1. 研究の背景と目的

信号制御の主要パラメータの1つである信号オフセットは系統化した信号間で欠くことのできないものであり、系統制御の広まりとともに設定リンク数は増加し、その設定方法が重要なものとなっている。

オフセットの設定は、非飽和時には隣接する交差点間で双方向に効果的なスループンドを作成することが基本である。一方、過飽和時にはクリティカル交差点を先頭とする渋滞方向ではオフセット値による遅れ時間の改善効果が望めないため、反対の非飽和方向のみを対象に効果的なスループンドを作成することが基本である。この様に、概して非飽和時の方が過飽和時よりオフセット設定による効果は大きく、過飽和を対象としたオフセットの研究¹⁾はさほど多く行われていない。

過飽和になりやすい都市部では密に信号機が設置されている傾向にあり、オフセットの設定値によっては、いわゆる信号表示の反転事象により捌け台数が減少してしまう可能性がある。

実際の信号運用に際して、過飽和時にこうした事象を避けるには、どの様なオフセット値をベースとして考えればよいのか、また、他のリンクなどの交通条件から対象路線の捌け台数が制限されるようなオフセットを設定しなくてはならない場合もあり、その場合どの程度捌け台数が減少するのか、等の基本的なことが必要となる。しかし、信号マニュアル²⁾には過飽和時のオフセットの許容範囲が簡単に図示されているものの、信号交差点間距離や信号状況等との関係は整理されていない。

そこで、本研究では過飽和時を対象に信号オフセットと信号制御状況、交差点間距離、捌け台数との関係を明らかにすることを目的とする。

2. 研究の方法

(1) 走行軌跡図を用いた方法

本研究では、時間的・空間的に車両の滞留状態や走行状態が容易に判読できる走行軌跡図を用いて、視覚的に

交通流の状況を把握しつつ、信号オフセットと信号制御状況、交差点間距離、捌け台数との基本的な関係について検討・整理する。

(2) 変数の定義

本論文で用いる信号制御関連、交差点間距離、交通流関連の各記号を以下のように定義する。

- G_c クリティカル交差点の青信号時間
- R_c クリティカル交差点の赤信号時間
- G クリティカル交差点の隣接交差点の青信号時間
- R クリティカル交差点の隣接交差点の赤信号時間
- t_{gc} クリティカル交差点の青信号開始時刻
- t_{rc} クリティカル交差点の赤信号開始時刻
- t_g クリティカル交差点の隣接交差点の青信号開始時刻
- t_r クリティカル交差点の隣接交差点の赤信号開始時刻
- O 信号交差点間のオフセット
- C サイクル長
- D 信号交差点間の距離
- h_s 飽和交通流時の車頭時間
- v_s 飽和交通流時の速度
- v_x 発進波の伝播速度
- v_y 停止波の伝播速度
- N 1サイクル当たりの捌け台数

なお、本論で対象とする過飽和時にはショックウェーブの理論より、発進波の伝播速度と停止波の伝播速度は次の関係式となる。

$$v_x = v_y$$

3. 信号オフセットに関する検討

本研究では過飽和を対象とし、青信号時間と赤信号時間の関係は次式を満たす。

$$G_c < G, R < R_c$$

また、信号交差点間のオフセットは、次式で定義する。 $O = t_{gc} - t_g$

(1) ケースA

ここでは、次の条件式を満たす場合(ケースA)について検討する。

$$\frac{D}{v_x} + \frac{D}{v_s} < G_c, \quad G - R_c < \frac{D}{v_x} + \frac{D}{v_s}$$

*キーワード：交通流，交通容量，交通制御

**正員，工博，科警研交通科学部交通科学第一研究室
(千葉県柏市柏の葉 6-3-1，
TEL:04-7135-8001, FAX:04-7133-9187)

まず、下流側交差点がクリティカルな場合(この場合をケースとする)について検討する。

図1は横軸が時間、縦軸が距離で信号1サイクル分を表示した走行軌跡図である。この図は捌け台数の減少がなく良好なオフセット設定となっている。この場合のオフセットの範囲と、捌け台数は次式で表される。

$$-\frac{D}{v_x} \leq O \leq G - G_c + \frac{D}{v_s}, \quad N = \frac{G_c}{h_s}$$

図2はオフセットの増加に伴い、捌け台数が減少していく状況を示している。この場合のオフセットの範囲と、捌け台数は次式で表される。

$$G - G_c + \frac{D}{v_s} \leq O \leq G - \frac{D}{v_x}, \quad N = \frac{G + \frac{D}{v_s} - O}{h_s}$$

図3はオフセット設定が悪く、交差点間に滞留した車両しか捌けない状況を示している。この場合のオフセットの範囲と、捌け台数は次式で表される。

$$G - \frac{D}{v_x} \leq O \leq R_c + \frac{D}{v_s}, \quad N = \frac{\frac{D}{v_x} + \frac{D}{v_s}}{h_s}$$

図4はオフセットの増加に伴い、捌け台数が増加していく状況を示している。この場合のオフセットの範囲と、捌け台数は次式で表される。

$$R_c + \frac{D}{v_s} \leq O \leq C - \frac{D}{v_x}, \quad N = \frac{O - R_c + \frac{D}{v_x}}{h_s}$$

次いで、上流側交差点がクリティカルな場合(この場合をケースとする)について検討する。

図5と図6は共に捌け台数の減少がない状況を示している。図5は交差点間に車両を滞留させない、より良好なオフセット設定となっている。この図5の場合のオフセットの範囲は次式で表すことができる。

$$-\frac{D}{v_s} \leq O \leq G - G_c - \frac{D}{v_s}$$

図6の場合のオフセットの範囲は次式で示される。

$$G - G_c - \frac{D}{v_s} \leq O \leq G - G_c + \frac{D}{v_y}$$

これらの場合の捌け台数は次の値となる。

$$N = \frac{G_c}{h_s}$$

図7はオフセットの増加に伴い、捌け台数が減少していく状況を示している。この場合のオフセットの範囲と、捌け台数は次式で表される。

$$G - G_c + \frac{D}{v_y} \leq O \leq G - \frac{D}{v_s}, \quad N = \frac{G + \frac{D}{v_s} - O}{h_s}$$

図8はオフセット設定が悪く、交差点間に滞留した車両しか捌けない状況を示している。この場合のオフセッ

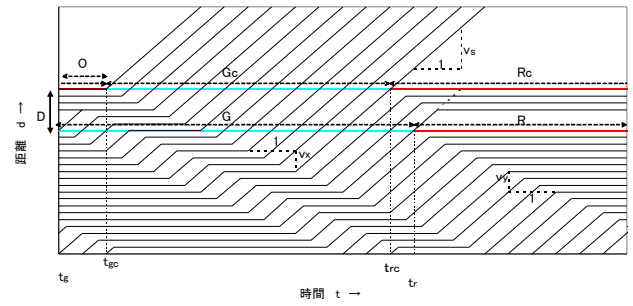


図1 走行軌跡図(ケースA-I-1)

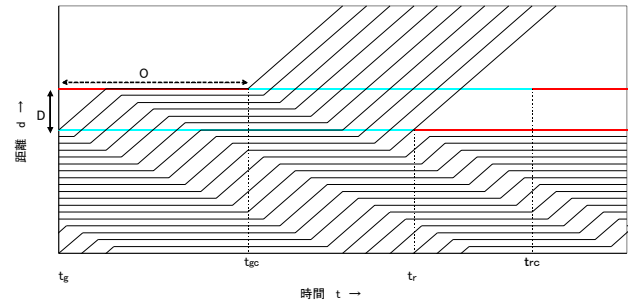


図2 走行軌跡図(ケースA-I-2)

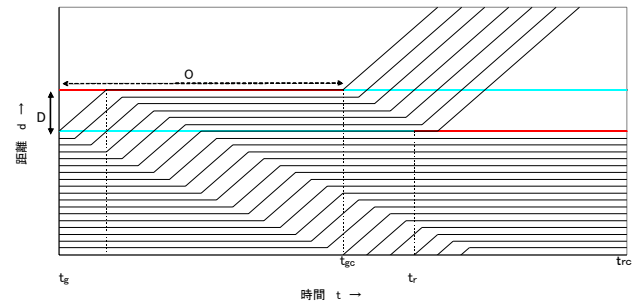


図3 走行軌跡図(ケースA-I-3)

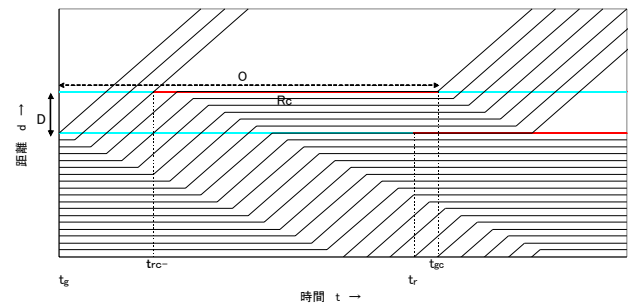


図4 走行軌跡図(ケースA-I-4)

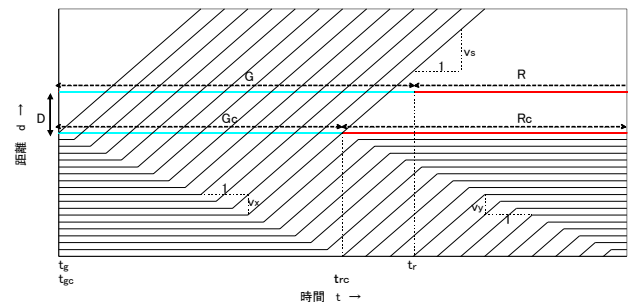


図5 走行軌跡図(ケースA-II-1①)

トの範囲と、捌け台数は次式で表される。

$$G - \frac{D}{v_s} \leq R_c + \frac{D}{v_x}, \quad N = \frac{\frac{D}{v_x} + \frac{D}{v_s}}{h_s}$$

図9はオフセットの増加に伴い、捌け台数が増加していく状況を示している。この場合のオフセットの範囲と、捌け台数は次式で表される。

$$R_c + \frac{D}{v_x} \leq O \leq C - \frac{D}{v_s}, \quad N = \frac{O - R_c + \frac{D}{v_s}}{h_s}$$

(2) ケースB

ここでは、次の条件式を満たす場合(ケースB)について検討する。

$$\frac{D}{v_x} + \frac{D}{v_s} \leq G - R_c$$

このケースBは、概ねケースAの場合と同様であるが、オフセット設定が悪く、捌け台数が最小となる場合に違いがみられる。

図10は、下流側がクリティカル交差点の場合(ケース)で、上流側交差点が青信号の時に通過する車両の一部を下流側交差点の赤信号が妨げている状況を示している。この場合のオフセットの範囲と、捌け台数は次式で表される。

$$R_c + \frac{D}{v_x} \leq O \leq G - \frac{D}{v_s}, \quad N = \frac{G - R_c}{h_s}$$

図11は、下流側がクリティカル交差点の場合(ケース)で、この場合のオフセットの範囲と、捌け台数は次式で表される。

$$R_c + \frac{D}{v_x} \leq O \leq G - \frac{D}{v_s}, \quad N = \frac{G - R_c}{h_s}$$

交差点間距離が近く、オフセット設定が悪いと、一般的には交差点間の滞留可能台数しか捌けなくなる可能性があると考えられているが、このケースBでは、最悪のオフセット設定でも交差点間の滞留台数を超える車両が捌けることを示している。

その他のオフセット範囲については、ケースAと同様であるので、紙面の都合上、図や関係式は省略する。

(3) ケースC

ここでは、次の条件式を満たす場合(ケースC)について検討する。

$$G_c \leq \frac{D}{v_x} + \frac{D}{v_s}$$

図12は、下流側がクリティカル交差点の場合(ケース)で、この場合オフセット値によらず、捌け台数の減少はない。

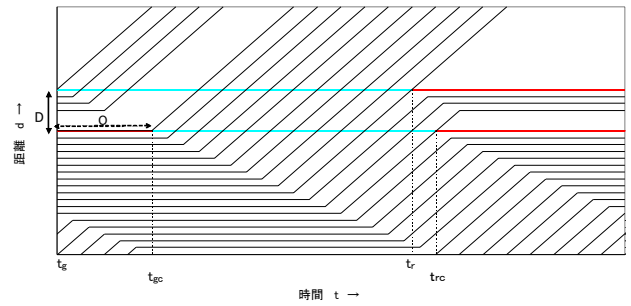


図6 走行軌跡図(ケースA-Ⅱ-1②)

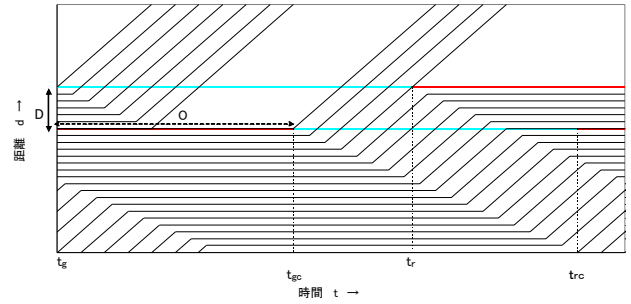


図7 走行軌跡図(ケースA-Ⅱ-2)

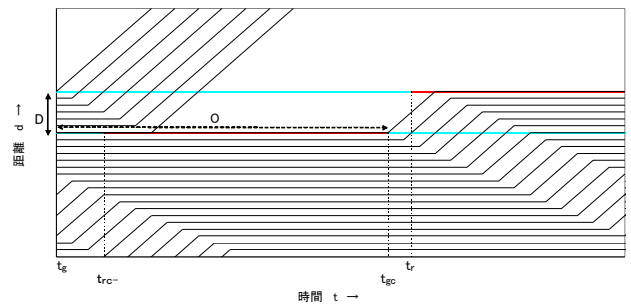


図8 走行軌跡図(ケースA-Ⅱ-3)

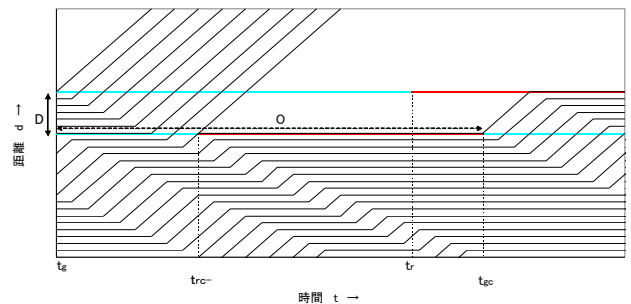


図9 走行軌跡図(ケースA-Ⅱ-4)

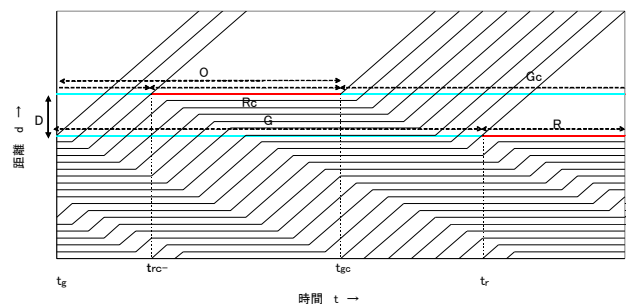


図10 走行軌跡図(ケースB-I-3)

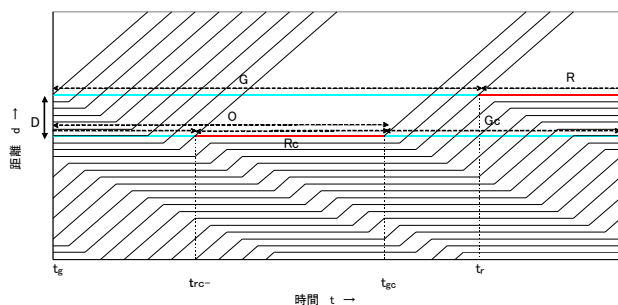


図11 走行軌跡図(ケースB-II-3)

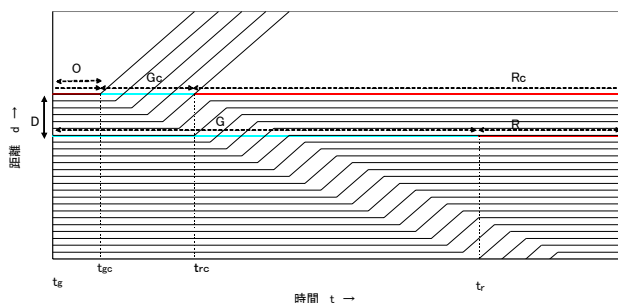


図12 走行軌跡図(ケースC-I)

このケースCでは、捌け台数が減少する可能性がない分、オフセット設定の自由度はケースAやBより高い。クリティカル交差点の青時間が長くなるとケースCの条件式を外れ捌け台数が減少する可能性が生じ、隣接交差点の系統化の必要性が出てくる。従ってケースCの条件式を満たすか否かは、系統化やサブエリアの結合化の判断に応用可能である。また、信号交差点間距離が近いと、ケースCの条件を満たさなくなる可能性が高まる。これは信号を密に設置しすぎないことが信号制御の自由度を低下させない1つの要件であることを意味している。

(4) 双方向のまとめ

双方向をまとめ、捌け台数とオフセットの関係をケースA～C別に整理し図示したものを図13～図15に示す。これらの図より各ケース毎の信号オフセットと信号制御状況、交差点間距離、捌け台数の関係が概観できる。

ケースAとBでは、双方向に反転事象による捌け台数の減少が起きないオフセットの範囲は、次式で示される。

$$-\frac{D}{v_s} \leq O \leq G - G_c + \frac{D}{v_s}$$

また、非飽和方向の遅れ時間に最大限配慮したオフセットの範囲は、次式で示される。

$$-\frac{D}{v_s} \leq O \leq G - G_c - \frac{D}{v_s}$$

ケースCでは、オフセット値による捌け台数の減少はないが、非飽和方向の遅れ時間に最大限配慮するのであれば、同様に上式が要件となる。

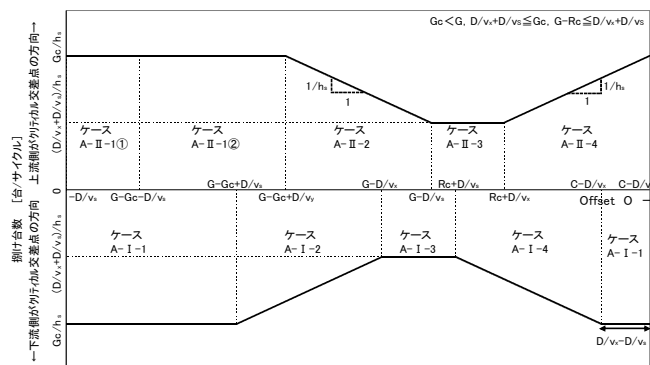


図13 ケースAの双方向の捌け台数とオフセットの関係

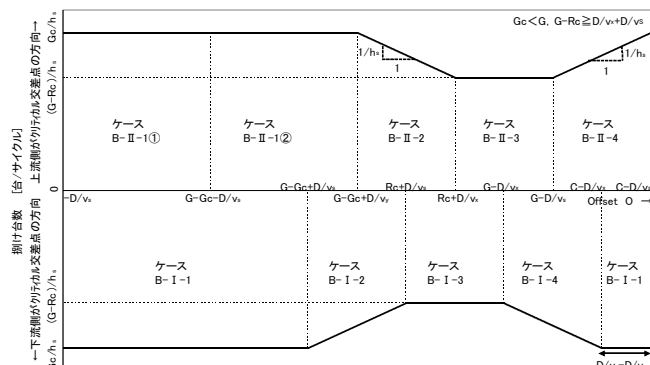


図14 ケースBの双方向の捌け台数とオフセットの関係

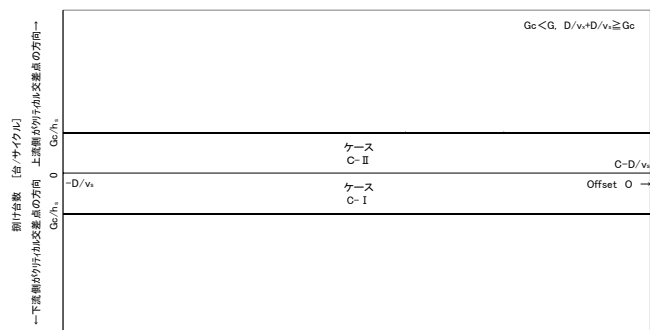


図15 ケースCの双方向の捌け台数とオフセットの関係

4. 結論と今後の課題

本研究は、過飽和時を対象に信号オフセットと信号制御状況、交差点間距離、捌け台数との関係を明らかにすることを目的に行ったものである。条件毎にケース分類し、走行軌跡図を用いて解析的に検討・整理した結果、これらの関係を具体的な関係式として明示した。今後の課題としては、クリティカル交差点から待ち行列長が伝播し、上流側の交差点が先詰まりとなる現象について、信号の制御状況などの関連を明らかにすることがあげられる。

参考文献

- 1).例えば、岩永和大，久井守：道路網の観点からみた混雑時の系統 信号のオフセット制御，土木計画学研究・論文集，Vol.24，CD-ROM，2001
- 2).交通信号の手引き，(社)交通工学研究会