

# プローブカーを用いたオンライン信号制御に関する研究

## ONLINE FEEDBACK CONTROL OF TRAFFIC SIGNALS BASED ON PROBE CAR DELAY DATA

紺野 真史

指導教授 越 正 毅

### 1 研究の背景と目的

近年、ITS技術の発達によりプロ-ブカーを用いて任意の2地点間における遅れ時間を測定することが可能となってきた。これによって、遅れ時間を用いた新しい信号制御方式が可能となっている。

そこで、本研究では、プローブカーの混入率と信号制御効率との関係を求めることを目的としている。

プローブカーといわれる測定装置を装備した車両が測定当該区間を走行することによって遅れ時間を測定する。シミュレーション上でプローブカーの混入率を変化させ、そのプローブカーから測定した遅れ時間をもとに、信号パラメータのフィードバック理論を提案し、シミュレーションの結果からその特性、および効果を測定した。

### 2 フィードバックコントロール理論

信号制御における車両の遅れ時間は、1サイクルを1バッチとするバッチシステムと考えられる。あるバッチで発生したプローブカーの遅れ時間情報から、遅れ時間の減少量が最大になるような信号パラメータの変化量を算出し、次のバッチでこれを実行する。一度に最適値を求めなくとも、常に損失の小さいほうに移動すればよい。本研究では、フィードバックコントロールをするための情報をプローブカーから得る。流入部毎にそのサイクルにおける車両の時間-累加流入流出量図(以後I-O図とする)を作成する。

#### (1) スプリットコントロール

各流入部において、図1のように赤時間開始時刻を  $t$  (本研究では2秒とした) だけ変移したときの遅れ時間減少分と、遅れ時間増加分を算出する。ここで増加分の面積から、減少分の面積を減じて遅れ時間の差分を計算する。この結果を  $t$  変移における遅れ時間増減とする。

赤、青各現示増加において以上のことを行い

青現示増加遅れ時間増減  $D_{gt} = D_{g+} - D_{g-}$

赤現示増加遅れ時間増減  $D_{rt} = D_{r+} - D_{r-}$

以上より算出した遅れ時間増減を比較し、より遅れ時間の少ないほうにスプリットを変移させる。

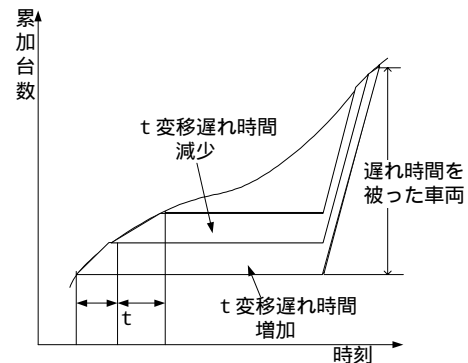


図1 split  $t$  変化による遅れ時間の増減

#### (2) オフセットコントロール

オフセットの設定は、図2に示すように、I-O図を  $t$  (本研究では2秒とした) 前にずらす(符号-)と遅れ時間の増加分と減少分が生じる。増加分の面積から減少分の面積を減じて、遅れ時間の差分を計算する。この遅れ時間の差分を  $\Delta_0$  とした。同様に、 $t$  後にずらした(符号+)時の遅れ時間の差分を計算する。この遅れ時間の差分を  $\Delta_0^+$  とした。 $\Delta_0^-$  と  $\Delta_0^+$  を比較しより遅れ時間が少なくなるように変移の方法を選択する。図3のような交差点構成場合、A交差点を基準にした遅れ時間増減をAと

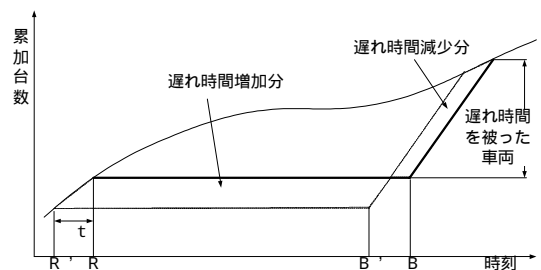


図2 offset  $t$  変化による遅れ時間の増減

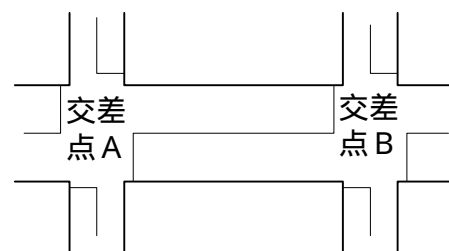


図3 交差点構成

し、B交差点を基準にした遅れ時間の増減をBとした。

(3) サイクル長コントロール

系統制御による影響

サイクル長短縮による遅れ時間の増減( $K_{-}$ とする)と、サイクル長延長による遅れ時間の増減( $K_{+}$ とする)は以下の計算で求める。

$$K_{-} = A_{0-} + B_{0-}$$

$$K_{+} = A_{0+} + B_{0+}$$

系統制御に影響されない停止線における影響

Webster式によりサイクル長延長による遅れ時間の増減( $F_{+}$ とした)と、サイクル長短縮による遅れ時間の増減( $F_{-}$ とした)を求めた。

からサイクル長変移における遅れ時間の増減は以下の計算で求める。

$$\text{サイクル長短縮遅れ増減} = (K_{-}) + (F_{-})$$

$$\text{サイクル長延長遅れ増減} = (K_{+}) + (F_{+})$$

求められた遅れ時間の増減から最も遅れ時間が少なくなるようにサイクル長を変移させる。

3 入力交通波形の推測

本研究では入力交通波形のうち、フィードバックコントロールに必要な赤現示開始時交通流率と遅れ時間を被る車両台数の2つを使う事にする。

(1) 赤現示開始時の交通流率の推定

各停止線について図4のようなI-O図を作成する。赤現示開始時刻を中心点とする推定域(10秒とする)を設けた。その範囲内に通過したプローブカーからアップリンクされた情報をもとにこの領域の交通流率を求める。しかし、到着交通量が少ないとき車頭時間が大きく開いてしまい低い交通流率を求められなくなってしまう。そのため、流率を算定するには、推定域内だけでなく、その推定域に最も近く通過したプローブカーの情報も補正して処理することにより、交通量の低いときにも比較的正確な流率を得ようとした。

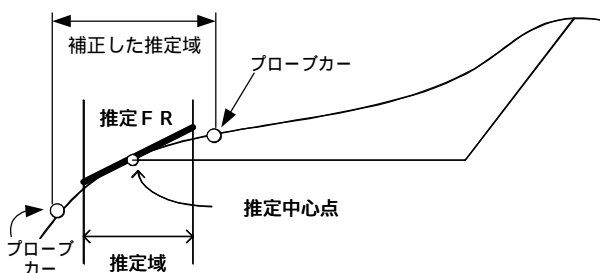


図4 赤現示開始時流率推定法

(2) 遅れ時間を被る車両台数の推定

各停止線について図5を作成する。図5のように遅れ時間がある範囲内(本研究では20~5秒とした)に収まっているプローブカーのデータを使い、遅れ時間が0になる時刻を推測する。青現示の開始から、遅れ時間が0になるまでの間に当該交差点の停止線を通じた車両の台数がこのサイクルにおける遅れ時間を被る車両台数になる。プローブカーの混入率が低く、データが得られなかった場合には、前サイクルのデータをそのまま今回のサイクルのデータとして用いることにした。

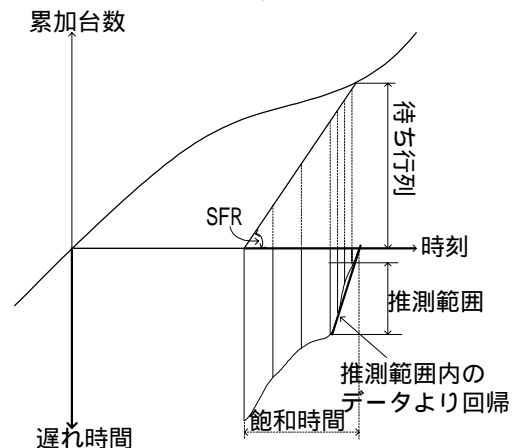


図5 遅れ時間を被る車両台数の推定法

(1)(2)それぞれにおいてプローブカーの混入率に応じて複数サイクルを平均し、推測した値とした。混入率と平均したサイクル数を表1に示す。

表1 混入率 - サンプルサイクル数

プローブカーの混入率(%)	サンプルサイクル数(回)
100	1
50	3
30	5
20	7

5 シミュレーションモデルと条件設定

(1) 道路交差点の形状

図6のように4枝交差点が750mあけて2つあり、

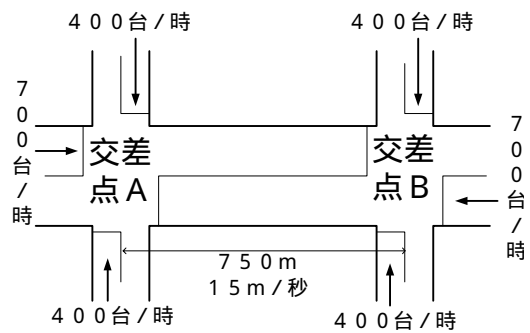


図6 シミュレーションで用いる条件

主道路、従道路ともに2車線とした。

(2) 車両

加減速を考慮せず、15m/秒の定速走行とした。待ち行列からの発進は1800台/時に従う。

(3) シミュレーションの条件設定

発生交通量は図6に従う。

以下のそれぞれのケースにおいてプローブカーの混入率を、100%、50%、30%、20%と変化させる

1) スプリットの最適化

サイクル長100秒、オフセット0%

初期値主方向スプリット30%

2) オフセットの最適化

サイクル長100秒、スプリット65%

初期値オフセット0%

3) サイクル長の最適化

オフセット50秒、スプリット65%

初期値サイクル長150秒

6 結果

1) スプリット最適化

理論上最適スプリットは、64%である。

図7、8、9、10はA交差点における結果である。結果を見るといずれも最適解である64%に近づいている。プローブカーの混入率が高いほうが早く最適解に近づいている。混入率が低くなるにしたがって、最適解に近づいた後に、ハンチング(振動)を起こ

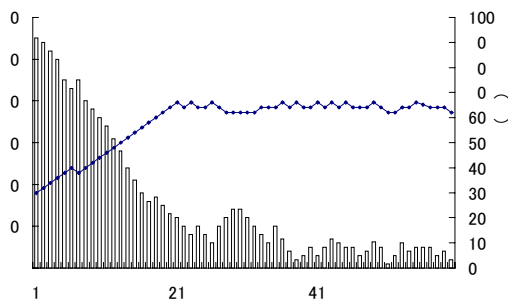


図7 混入率100% スプリット最適化

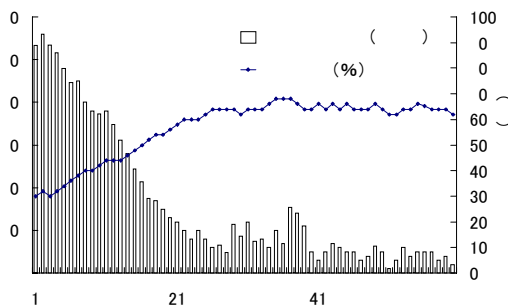


図8 混入率50% スプリット最適化

している。これは、複数サイクルを平均してI-O図をとっているため、最適解に近づいても数サイクル前のI-O図が影響を及ぼすためであろう。

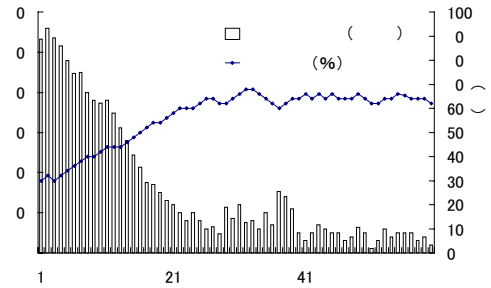


図9 混入率30% スプリット最適化

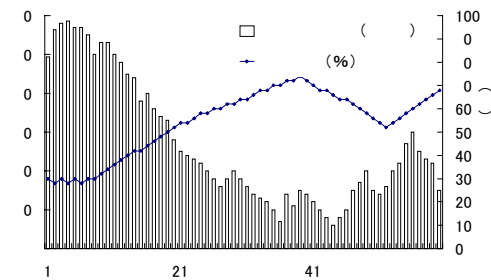


図10 混入率20% スプリット最適化

2) オフセットの最適化

ここで、理論上の最適オフセットは50%である。

混入率が100%のときには理論上最適値に近づき遅れ時間も大幅に減少しているが、混入率が低いとある程度最適値に近づいてはいるが、遅れ時間の減少があまり見られない。ここでも最適解に近づいた後に、ハンチングを起こしている。

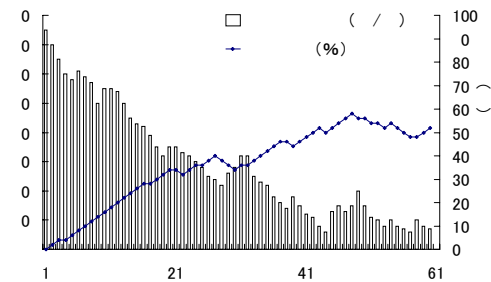


図11 混入率100% オフセット最適化

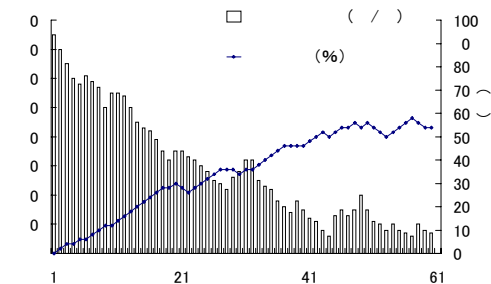


図12 混入率50% オフセット最適化

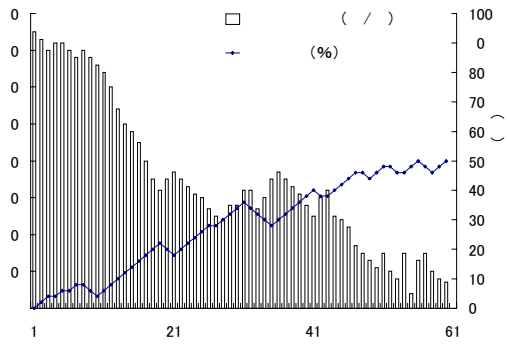


図 13 混入率 30% オフセット最適化

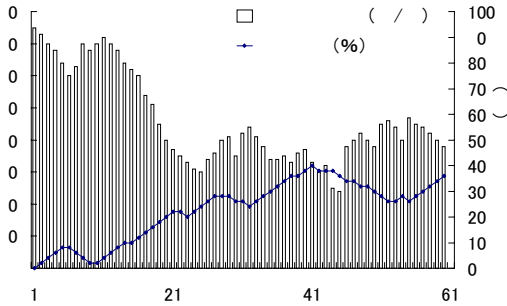


図 14 混入率 20% オフセット最適化

### 3) サイクル長の最適化

系統制御における最適サイクル長は100秒であり、系統制御によらない停止線における最適サイクル長は51秒である。

混入率が100%のときには理論上最適値に近づき遅れ時間も大幅に減少しているが、混入率が低いとある程度最適値に近づいてはいるが、遅れ時間の減少があまり見られない。

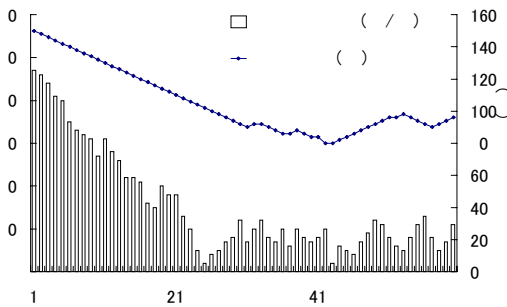


図 15 混入率 100% サイクル最適化

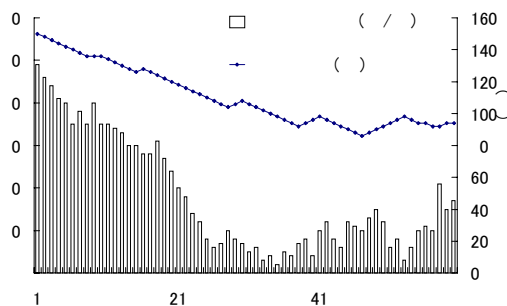


図 16 混入率 50% サイクル最適化

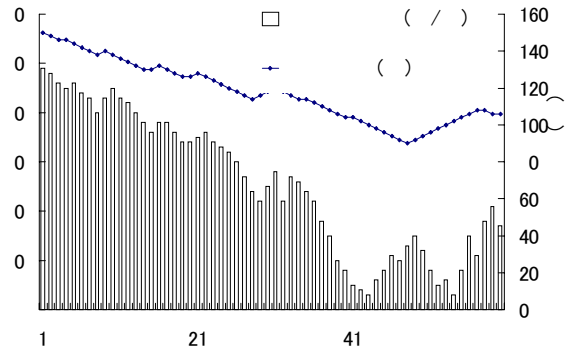


図 17 混入率 30% サイクル最適化

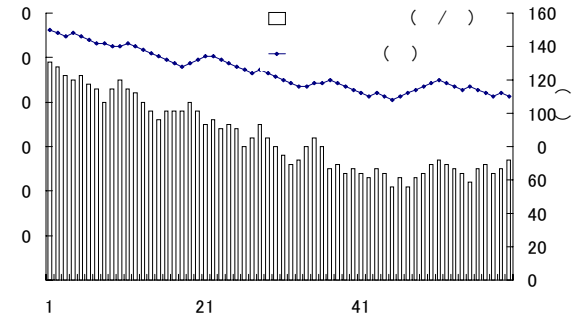


図 18 混入率 20% サイクル最適化

## 6 結論と今後の課題

スプリット、オフセット、サイクル長、ともにプロ - ブカーの混入率が高ければ、すばやく最適解を導いている。ところが、オフセット、サイクル長に関しては混入率の低下が結果に大きく影響し最適解に近づかないばかりか、遅れ時間の減少も見られない。しかし、混入率が高ければ、遅れ時間の減少に大きく効果があることがわかる。

また、どの最適化においても混入率が低くなるにしたがって、最適解に近づいた後に、ハンチングを起こしている。これは、複数サイクルを平均してI - O図をとっているため、最適解に近づいても数サイクル前のI - O図が影響を及ぼすためであろう。

結果を通しては、混入率が30%までは遅れ時間の減少に効果が有ることが分かった。

本研究では、系統制御されない停止線のサイクル長変移における遅れ時間の増減はWebster式を用いている。この式は、飽和交通流率を別途求めなくてはならず汎用性に乏しい。よって今後の課題としては他の方法でサイクル長変移における遅れ時間増減を求める必要がある。

また、オンライン制御は交通変動に対応できる特性を持つ。よって、ダイナミックな交通変動にどの様に対応するかについても検討する必要がある。