

# リアルタイムモデル規範信号制御のための遅れ時間算出方法<sup>1</sup>

## Procedure of Delay Estimation for Real Time Model-Based Signal Control<sup>1</sup>

浅野美帆<sup>2</sup>・中島章<sup>3</sup>・堀口良太<sup>4</sup>・小根山裕之<sup>5</sup>・桑原雅夫<sup>6</sup>

By Miho ASANO<sup>2</sup>・Akira NAKAJIMA<sup>3</sup>・Ryota HORIGUCHI<sup>4</sup>・Hiroyuki ONEYAMA<sup>5</sup>・Masao KUWAHARA<sup>6</sup>

### 1. はじめに

本研究は、交通制御を記述するモデルを規範とする信号制御<sup>1)</sup>を行う際に評価基準となる遅れ時間を算出するための、各車両の到着/出発累積交通量を、AVIから得られる旅行時間を用いてよりの確に算出すること、そしてリアルタイムシステムの中で算出する手法を開発することを目的とする。最終的には複数交差点の系統制御を想定している。

交通信号制御では、感知器等により取得した交差点に起因する車両の遅れをもとに信号パラメータを設定する。しかしそのほとんどはプログラム選択方式で、選択するパラメータ(サイクル, スプリット, オフセット)は基本的には人手によって事前設定する必要がある。このため、良好の制御を維持するためには十分な人手をかけなければならないが、現実にはそのための資金、体制が不十分であって必ずしも常に良好な制御状態とはなっていない。

またその設定方法自体も飽和度でスプリットを配分しており、何を最適化しているかという状態値、特に直接の評価指標であるべき旅行時間との関連が明確でないことなど問題点が挙げられる。

これらの理由から、直近の交通量を用い、総旅行時間を最小にするようなパラメータを算出するアルゴリズムが必要である。自由流旅行時間は近年開発

されてきたセンサーにより取得可能である。本研究では現段階で利用可能なAVI (Automatic Vehicle Identification)を用いた遅れ時間評価を想定するが、将来的には高度な画像処理による車両軌跡追跡技術を基にした安価なセンサーの利用が期待できる。

最終目標となる複数交差点間の制御を行う場合、小交差点については設置コストの関係からAVIが設置されない可能性が高い。このときの遅れ時間の取り扱いについても考察する。

### 2. 遅れ時間算出のための交通量累積図の導出

#### (1) 前提とする観測量とセンサーの配置

到着/出発累積交通量を観測するため、図-1のように対象交差点の上流・下流の2地点にAVIを設置する。交差点での待ち行列の影響を省くため、これらのAVIは各リンクの上流端に近い位置に設置する必要がある。

累積図の算出には下流側断面での全ての通過交通量を把握しなければならない。AVIが全車線に設置されていない場合は光ビーコンを用いて補完する。上流側は配置の制約上AVIが設置されない車線も存在しうる。

AVI, ビーコンから得られるデータは各車両の通過時刻とプレートナンバーである。プレートナンバーを2地点でマッチングさせると、各車両の旅行時間が測定できる。データはある情報取得間隔ごとに、

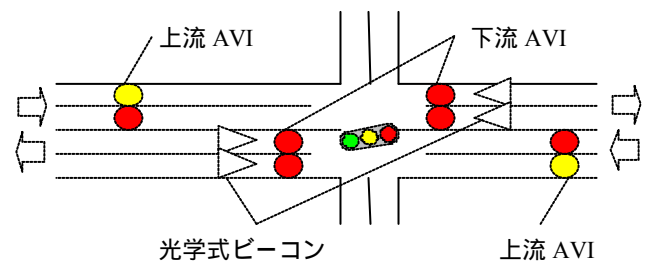


図-1 センサーの配置図

<sup>1</sup>キーワード: ITS, 信号制御, AVI, 遅れ時間

<sup>2</sup>学生員, 東京大学大学院工学系研究科

<sup>3</sup>非会員, 東京大学大学院工学系研究科

<sup>4</sup>正員, 工博, (株)アイ・トランスポート・ラボ

<sup>5</sup>正員, 工修, 東京大学生産技術研究所

<sup>6</sup>正員, PhD, 東京大学生産技術研究所

(東京都目黒区駒場4 - 6 - 1,  
TEL03-5452-6419, FAX03-5452-6420)

前の取得時から現在までの情報が送られてくる。

## (2) 実装時において考慮すべき点

### (a) センサー設置位置の停止線上への位置補正

遅れ時間の評価は対象交差点の停止線位置で行う必要があるが、実際にはセンサーを停止線上に置くことができない。このため、センサー通過時と交差点出発時刻のずれを補正しなければならない。

### (b) FIFO原則が不成立

従来の累積図算出方法ではFirst In First Out (FIFO)を原則としているが、実際の交通流では追い越し等により必ずしもFIFO原則は成立しない。図-2は国道246号線の青山一丁目交差点上り方向の交通流をビデオカメラにより撮影し、AVIデータと同様に到着 - 出発間の車両マッチングを行ったうえで累積図を描いたものである。FIFO原則が満たされていないため、到着側のプロットは交差点の停止線到着順とは一致せず、「乱れ」が生じていることがわかる。このプロットを到着順にソートし直したものが従来と同様の到着曲線となる。

総遅れ時間はソート前後で等しいため、評価時にはどちらを用いてもかまわない。ここでは後述のサンプル率減少の問題を考慮し、ソート後の到着曲線を用いて遅れ評価を行う。

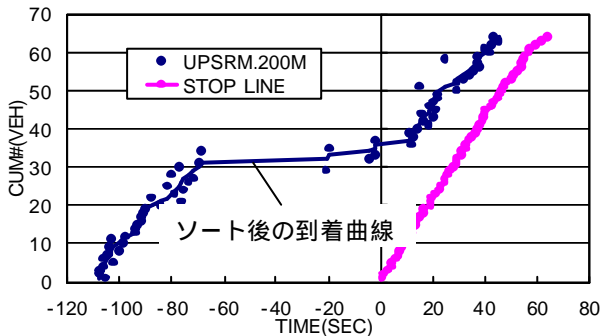


図-2 擬似AVIデータによる累積図(青山一丁目)

### (c) リアルタイム情報取得による制約

データ取得間隔と信号のサイクル長は一致しないため、常にサイクルの終了時刻を検出し、1サイクルごとの累積図を作成することが必要となる。

### (d) 捕捉漏れ、交差点流入車両によるマッチング

#### 不可車両の存在

上流側AVIを全車線に設置できない、AVI自体の検出率が完全でないという理由から車両の捕捉漏れが発生する。また、交差点での流入車両の存在により、AVI通過車両は上下流で一致しない。

捕捉漏れはソートした到着プロットを直線でつないで補完する。直近の流入車はデータの取得時刻と交差点の信号現示を同期させ、赤現示の時にAVIを通過する車両を除去することで排除する。

複数交差点での系統制御に拡張することを考えると、AVI設置数の制約から、2箇所のAVI間に対象交差点以外の小交差点を含む可能性がある。小交差点に起因する遅れ時間は4章で検証する。

## (3) 累積図の算出手順

交通量累積図の算出フローを図-4に示す。

### (a) 流出側リンク上流端での累積交通量の作成

取得間隔ごとに得られる感知器データと信号のサイクル長のデータを同期させることで、感知器データをサイクルごとに取得する。ここで、下流AVI、ビーコンを車両が通過する時刻は停止線通過時刻より若干遅れている。この遅れをそれぞれTLa、TLb秒とすると、感知器データは現示の変わり目からそれぞれTLa、TLb秒遅らせたものと同期を取る必要がある。

### (b) 直進交通量成分の抽出

交差点での流入車両を排除するため、取得が完了した最新の1サイクルについて、直進側の信号現示が赤のときに下流AVI・ビーコンを通過した車両を除去する。そのうえでこれら2つの通過履歴を同期させ、出発側の車両通過履歴として取得する。

### (c) AVIサンプルのマッチング

(b)で得られた通過履歴と上流AVIデータとを車両のナンバープレートにより照合させ、到着側の車両通過履歴を得る。照合させる上流側データは、もれのないよう直前サイクルでの最大旅行時間よりも十分に大きな値だけ遡って照合する。

### (d) 旅行時間からの自由流旅行時間の導出

2点間のマッチングにより得られた旅行時間は図-3のようになる。旅行時間は赤現示で待たされた車両と、青現示で待つことなく通過できた車両の2つに大きく分けられる。このうち小さいほうの最頻値

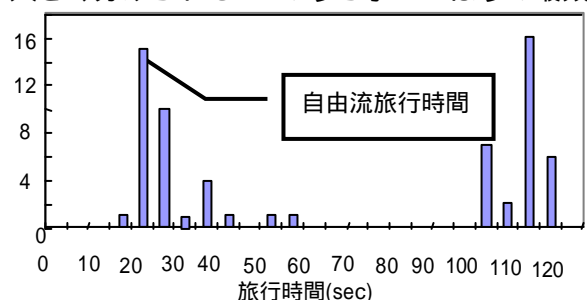


図-3 旅行時間分布の例

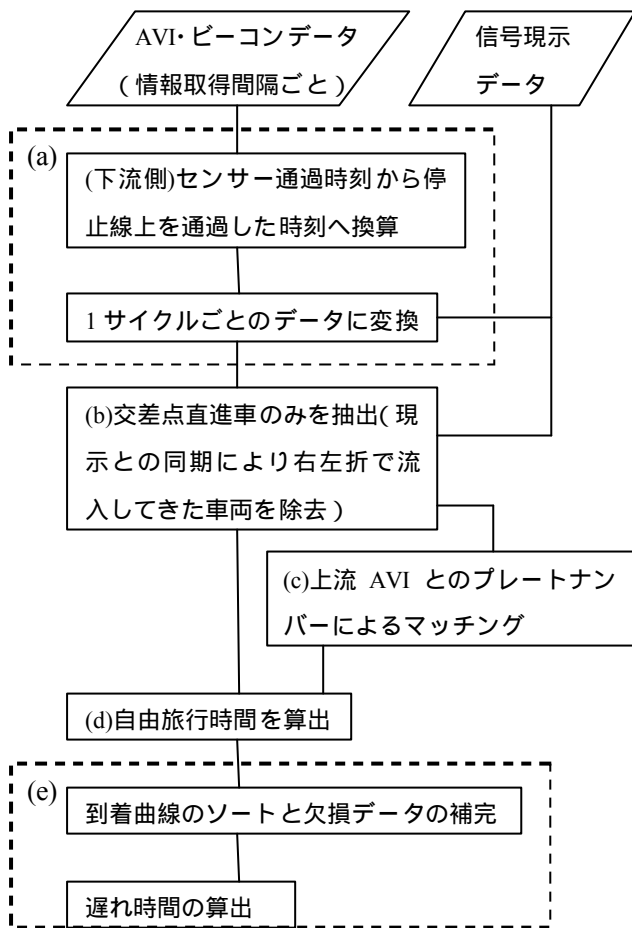


図-4 交通量累積図作成フロー

を自由流旅行時間とおく。旅行時間から自由流旅行時間を引くことで遅れ時間が求まる。

(e) 累積図の確定

得られた到着側のプロットを上流AVI到着順にソートする。その後、欠損データを直線的に補完することで到着曲線が得られる。図-5にそのイメージを示す。この累積図から遅れ時間を算出し、最適信号パラメータを推定、次のサイクルに反映させる。

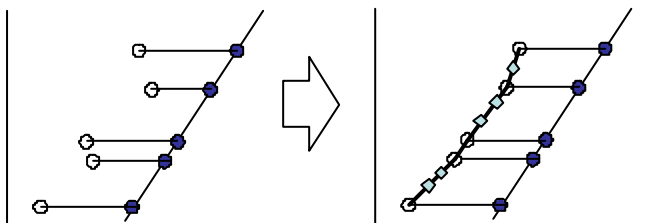


図-5 到着曲線のソートと欠損データの補完

3. シミュレーション上でのリアルタイム累積図算出実験

交通流シミュレーションモデルAVENUEを用いて、2章で示した累積図算出方法の検証を行った。AVENUE

では車両を1台ごとに移動させるハイブリッドブロック密度法を使用しており、車両1台ごとに車線変更選択をさせてFIFO原則が成立しない状況を作成することができる。さらに適当な断面にAVI他の感知器を設置し、アルゴリズムの有効性検証ができる。

(1) シミュレーションの設定

対象は図-1のような4枝の非飽和単独交差点、主道路片側2レーンとし、Uターンを除く120Dを設定した。信号現示は表-1の通りでサイクル長100秒、情報の通信周期を60秒とした。

表-1 シミュレーション設定現示(単位:秒)

	黄		全赤		黄	全赤
45	2	5	3	40	2	3

(2) シミュレーション結果

主道路1方向における、AVI補足漏れがない時の累積図を図-6に示す。これはシミュレーション開始からの時刻700~800秒の1サイクルのうち青現示700~745秒の累積図で、開始後840秒の時点で得たデータまでを用いて作成している。

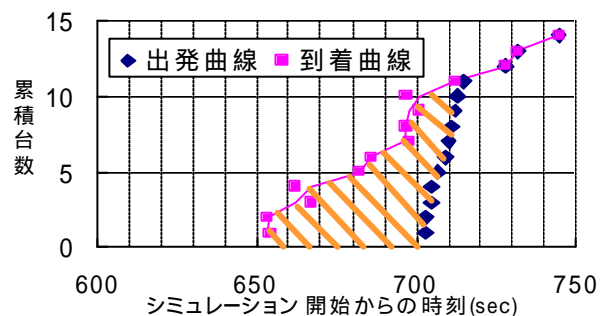


図-6 リアルタイムで算出した累積図

サイクル長に合わせた累積図を逐一プロットするため、各サイクルでの遅れ時間は図-6の色付部分の面積として常に算出することができる。遅れ時間を最小化する信号制御アルゴリズムの基本となる遅れ時間の算出が即時的に行われることで、リアルタイム制御のツールの1つが構築されたといえる。

4. リンク中に小交差点を含むケース、AVI捕捉漏れ存在ケースの検証

(1) シミュレーションの設定

現実の交通状況に即した累積図作成プログラム

の実装を行う前段階として、AVENUEを用いて小交差点を間に挟むケース、AVIに捕捉漏れがあるケースの検証を行った。

設定したリンクは図-7の通りで、名古屋市星ヶ丘交差点・星ヶ丘西交差点を想定したリンク長と車線構成にしている。対象交差点の評価のためにはAVI1,2が全車線に設置されていることが望ましいが、今回はAVI1に全車線、AVI3に2車線のみ設置されているとした。ただしデータとしては点線で示したAVIの通過時刻も取得している。サイクル長、スプリットは等しく、同時オフセットとした。

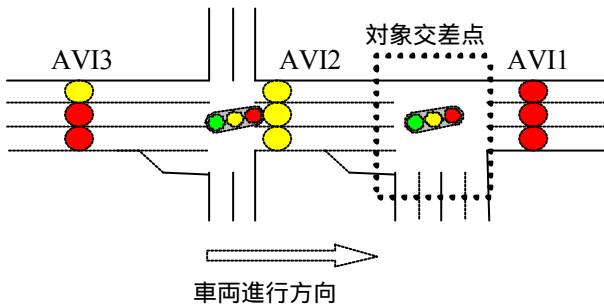


図-7 シミュレーションの設定

(2) シミュレーション結果

AVI1,2,3の通過データをもれなく取得したケースを図-8に、(1)で仮定した位置のみにAVIをおき、AVIで正常に検出可能なデータの割合（以下サンプル率

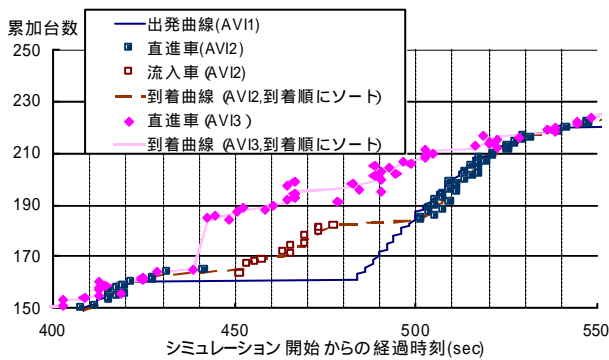


図-8 全サンプル取得ケース

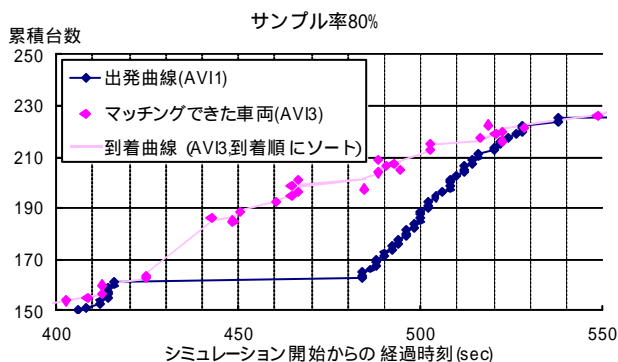


図-9 サンプル率80%のケース

とよぶ)を80%と仮定した累積図を図-9に示す。

図-8ではAVI2の通過車両を直進車と流入車に分けて示しているが、AVI1-2間で遅れを被る車両のほとんどが流入車で、直進車は直前の小交差点により遅れを被っている。ただしリアルタイム制御下においては、小交差点の信号パラメータは対象交差点と連動させるのが望ましいと考えられるため、遅れ時間は2交差点の総和を評価すればよいと考えられる。

表-2はサンプル率が減少した場合の遅れ時間の15サイクルでの平均を表す。最大・最小値とは図-10のようにサンプルが欠損したことによる遅れ時間の最大増加・減少可能性を示す。サンプル率が減少した場合の総遅れ時間に関しては、サンプル率80%で最大14.6%の誤差が存在した。なお小交差点をまたぐ状況下では、到着-出発間の交通量が一致しないため、従来の方で累積図を描いても本線交通と小交差点から流入した交通流を区分して評価するのは難しい。

表-2 15サイクルでの平均遅れ時間

サンプル率	直線補完	最大値	直線補完とのずれ(%)	最小値	直線補完とのずれ(%)
100%	35.5	-	-	-	-
80%	35.3	40.4	14.6%	32.8	7.0%
60%	36.2	45.0	24.3%	22.9	36.6%

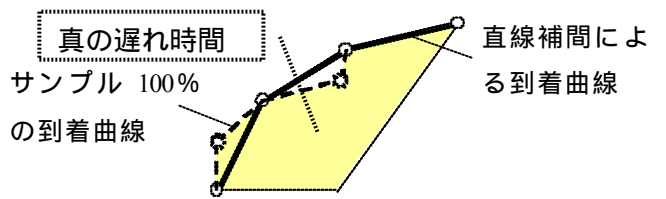


図-10 遅れ時間の変動可能性

5. おわりに

本研究では、感知器情報を取得、リアルタイムに実交通状況に反映させるための信号制御アルゴリズムの第1段階として、直前サイクルの累積図を逐次作成するシステムを開発した。本稿3章で示したものは最も単純な交通状況下でのシミュレーションであるが、2章、4章で言及した実交通流により近い条件下でのシミュレーション結果は講演で示す。

本研究の累積図算出方法はリアルタイム信号制御に組み込み、2004年ITS世界会議でのデモ実験に向けて実用化の検討を進める予定である。

参考文献

1) 越正毅他：ITSセンシング技術を活用した交通信号制御アルゴリズム，第25回土木計画学研究発表会(春大会)，2002