リアルタイム信号制御アルゴリズムのためのプローブ情報を利用した遅れ時間評価

花房　比佐友[*1]　飯島　護久[*1]　堀口　良太[*1]
株式会社アイ・トランスポート・ラボ[*1]

本研究では、リアルタイム信号制御アルゴリズムにプローブ情報を利用する手法について議論する。いままで信号制御評価で遅れ時間による評価を行う場合は、AVI やアップリンク情報等の活用が想定されていたが、近年注目を集めているプローブ情報を活用することで、路線側の条件に依存することなく遅れ時間の評価を行うことが可能になると考えられる。ここでは、信号制御アルゴリズム「CARREN」の遅れ時間評価手法への適用を想定し、プローブ情報を活用した場合についての遅れ時間評価手法を示し、交通流シミュレーションモデル AVENUE を適用してプローブデータ活用による遅れ時間評価の検証を行った。

Development of Delay Estimation Method using Real Time Probe Data for Adaptive Signal Control Algorithm

Hisatomo Hanabusa[*1] Morihisa Iijima[*1]　Ryota Horiguchi[*1]
i-Transport Lab. Co., Ltd.[*1]

This study describes a real time delay estimation method using probe data with adaptive signal control algorithm, “CARREN” (Control Algorithm Retuning paRameters with self performance EvaluatioN). So far, CARREN supposed the use of AVI data to estimate the total delay on each intersection approach. In this paper, the extension of CARREN using probe data in place of AVI data is explained subsequent. After the explanation, the estimation method is validated through the experiment using traffic simulation. The performance of the proposed method will be discussed with respect to the penetration rate of probe vehicles in the conclusion part, as well as the issues to be tackled in future.

Keyword: Adaptive Signal Control, Probe Data, Total delay estimation

---

1.はじめに

プローブ情報は、渋滞情報生成や車両挙動分析など、各方面でその活用方法が議論されており、新しい技術やサービスの展開が期待されている。近年、その傾向はますます高まっており、様々なプローブ情報が蓄積されてきたと同時に、データクレンジングやマップマッチングをはじめとしたデータ整備手法の技術も蓄積されてきた。たとえば、プローブ情

報はリンク単位や1秒おきの座標値など、様々な精度で取得することができるが、一般的な特徴として走行軌跡が得られることが挙げられる。比較的分解能の高いデータであれば、走行状態と停止状態を判別することも可能で、堀口ら [1]によってその手法が提案されている。一方で、今後、DSRC や光ビーコンの普及に伴ってより高度なプローブ情報を取得することも考えられており、今まで一般的であった時刻と緯度経度の他に瞬間的な速度や加速度などの詳細な車両挙動情報の活用も視野に入ってきたといえる。

近年では、主に区間旅行時間に加工され、既存の交通情報を補間するために利用されていることが多い。プローブ情報は、走行した区間や路線の状態を把握することができ、広い範囲にわたって取得可能である反面、個々の車両挙動の結果、すなわち走行状態にばらつきがあるため、ある特定の区間におけるサンプル数が少ない場合は、その区間を代表する旅行時間として適当かどうか、という判断基準について議論する必要がある。これは、旅行時間情報だけではなく、渋滞区間などその他の交通情報をプローブ情報から生成する際にも議論すべき点であると考えられる。

本研究では、プローブ情報をリアルタイムで信号制御に活用する手法について議論することを目的としている。ここで想定しているプローブ情報は、少なくともリンク単位での走行軌跡・流入時刻、週出時刻、旅行時間がわかるものとする。このとき、あくまでもサンプルであるプローブ情報からどのように全体の遅れ時間を推定する手法を検討する。また、プローブ情報の取得頻度がどの程度見込めると、リアルタイムの信号制御のために遅れ時間が推定できるかについて、実際の交通状況を模擬した交通シミュレーション上で検証する。

本研究で適用対象とする信号アルゴリズムには CARREN[2) 3) 4)]を改造して使用する。即ち、CARREN が信号制御を行う際の指標である流入方向毎の総遅れ時間をプローブ情報から生成することを試みる。まずは、CARREN の概要とプローブ情報を利用した遅れ時間評価手法について示し、その手法を交通シミュレーションモデルに実装し、単体交差点のテストケースで、プローブの取得頻度に応じた総遅れ時間が真値（すべての車両の遅れ時間を把握できた際の総遅れ時間）に対してどのくらいの乖離を生じているか、シミュレーション実験を行う。最後に、実際の交通状況をシミュレーション上で再現し、プローブ情報を活用した信号制御の効果を検証する。なお、本研究で適用する交通シミュレーションモデルは AVENUE とした。

2.信号制御手法 CARREN の概要

信号制御手法 CARREN は、越ら [2)]によって提案された信号制御アルゴリズムであり、個々の車両の旅行時間実測データから、信号待ちによる遅れ時間を算出し、対象区間全体の遅れ時間を減少させるように制御パラメータ(サイクル長，スプリット，オフセット)を一定量ずつ更新するアルゴリズムとなっている。

遅れ時間の評価には、図1に示す交通量累加図を用いており、信号パラメータの微小変化による累加図の形状変化を推定することで遅れの変化量を算出している。

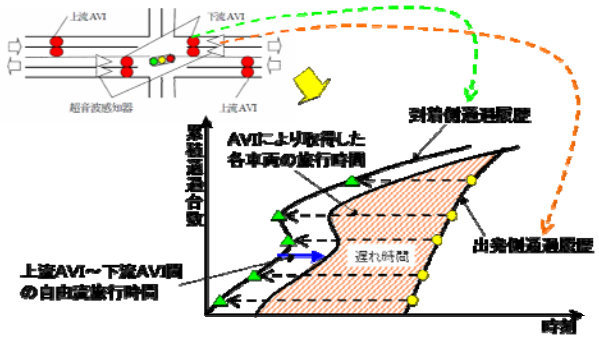

図1　遅れ時間評価イメージ

このとき、図2に示すようなスプリットやオフセットを一定量増減したときの累積図を求め、何も調整しない元の累積交通量図と比較した遅れの増減量を表1に示す遅れ時間変動量マトリックスとしてまとめる。ここで f は、もとの累積交通量図からの遅れの増減量を示している。これを各方面からの流入についても同様に算出し、総遅れ時間が最も小さくなるような組み合わせを探し出し、その結果のスプリット、オフセットを調整値として信号制御を行う。

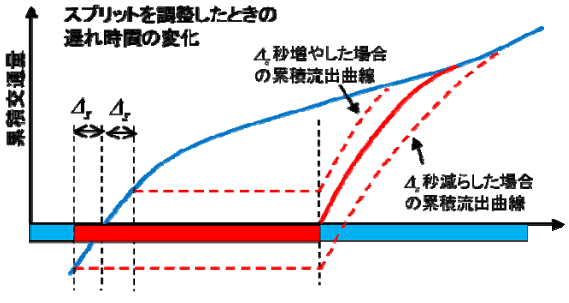

図2 スプリット調整時の遅れ時間評価例

表 1 遅れ時間変動量マトリックス

		Offset		
		−Δ	0	＋Δ
Split	−Δ	f_{--}	f_{-0}	f_{-+}
	0	f_{0-}	$f_{00}=0$	f_{0+}
	＋Δ	f_{+-}	f_{+0}	f_{++}

このアルゴリズムは、のちに浅野ら[3)4)]によって、実際の信号制御に適用するための手法が示され、リアルタイムでの制御、すなわち毎サイクルデータ取得とパラメータ決定を行うことができる。このとき、遅れ時間を計測する環境として、図 1 に示す AVI と車両感知器の配置が前提となっている。ここで現実的な課題としてあげられるのは、各信号交差点の各流入・流出方向に AVI、もしくは対象方向すべての車両の区間旅行時間を取得できる機器を設置する必要があることである。そこで、プローブ情報によって区間旅行時間の計測を代用し、すべての車両の旅行時間を計測する必要がなく遅れ時間評価のための累積交通量図の生成ができる手法について検討した。

3.プローブ情報による遅れ時間評価

3-1プローブ情報活用に向けた課題

CARREN では、1 サイクルあたりの総遅れ量を、AVI を用いて各車両の旅行時間を算出して累積交通量図を描画している。プローブ情報を代用するにあたって想定される課題、およびリアルタイムで信号制御をおこなうための課題を以下に示す。

1) 方向別に十分なプローブ情報のサンプルが得られない状況で、累積交通量図をどのように描くか。限られたデータから累積曲線を実際の交通流に近づけることができるか。
2) 感知器の位置等を考慮した累積交通量図をどのように描くか。感知器が理想的な配置になっているとは限らないため、感知器の位置等に依存せず、遅れ時間が正しく算出されるような工夫をしなければならない。
3) 情報伝達のタイムラグを考慮しなければならない。たとえば、プローブ情報が各車両からセンターサーバー経由で制御システムへ届くまで、情報の遅れがある。その点を考慮した累積交通量図の作成手法や制御手法も検討の必要がある。

1)、2)においては、現実的な状況を踏まえた課題であり、一方、3)についてはシステム上の課題も含んだものである。今回は、プローブ情報による遅れ時間評価の可能性に着目して議論するため、1)の課題に取り組む。図 3 にプローブ情報による遅れ時間評価手法のイメージを示す。このとき注目すべき点は、到着曲線の推定と累積流出交通量の把握である。本研究では、累積図描画のための交通状態計測の構成として、プローブ車両のほかに、交差点下流に感知器の設置を想定している。

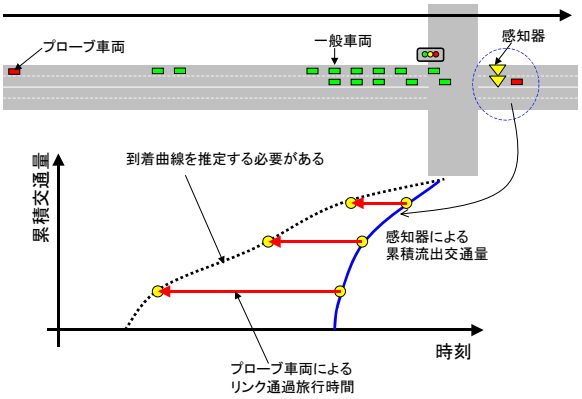

図 3 プローブ情報による累積図描画

現実的には、通過車両のすべてがプローブ車両であることは考えにくいので、そのうち数台がプローブ車両であることを仮定すると、これらの交差点を通過した時刻、および区間旅行時間から推定される交差点上流での到着時刻は、図 3 のように到着曲線、流出交通量曲線の一部を表現していることになる。このとき、把握できているプローブ車両だけで遅れ時間を評価すると、総遅れ時間は本当の（全車両の）総遅れ時間に比べて過小になってしまうため、まずは交差点をどのくらい通過したか、感知器パルスデータ等による各車両の交差点通過時刻を把握しておくことで、1 サイクルあたりの流出曲線が正確に描画できる。次に、到着曲線については、プローブ車両が、どの時点で交差点を通過したか、また交差点を通過するまでの区間旅行時間を把握することで、ある到着順での曲線の一部を把握することができると考えられる。

3-2想定しているプローブ情報

遅れ時間評価をするにあたり、プローブ情報に求められることは、交差点間の（信号通過までの）区間旅行時間を流出方向別に計測できることである。

したがって、1 秒単位等の高い分解能のプローブ情報である必要はなく、リンク単位での流入、流出時刻が把握できるデータであれば、本手法への適用が可能である。

3-3累積交通量図の作成

遅れ時間評価のための累積交通量図は、プローブ情報から得られた区間旅行時間（基本的には、上流交差点から制御対象交差点を通過するまでの旅行時間）、制御交差点を通過した時刻を基に、到着曲線の累積交通量を直線近似する方法で描画する。図 5 に近似直線の描画方法を示す。

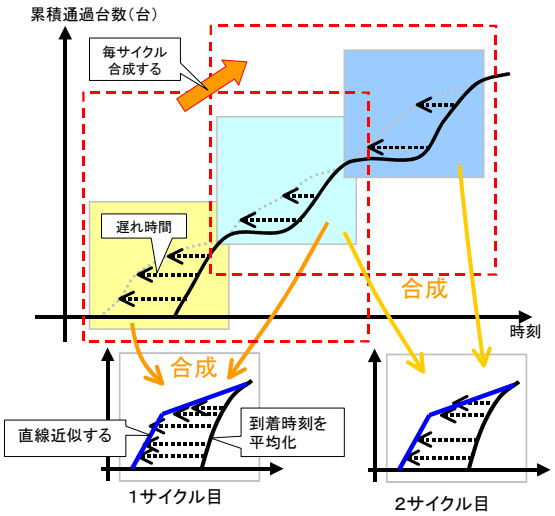

図 4 プローブ情報による遅れ時間評価イメージ

この手法は大きく分けて「プローブ情報合成」と「遅れ時間図推定」の２つで構成されている。以下にその手順を示す。

1) サイクル毎に、プローブ情報の遅れ時間交差点流出時刻、および各車両の交差点流出時刻を基に、累積交通量図上に到着曲線、流出曲線をプロットする。
2) 1)の手順を何サイクルか繰り返し、過去数サイクル分の累積交通量図を合成する。合成の際、到着順が一致するプローブ情報については、遅れ時間を平均して到着時刻を推定する。（プローブ情報合成）
3) 合成されたプローブ情報の到着時刻から、累積曲線を直線近似する。（遅れ時間図推定）
4) 近似した直線を利用して総遅れ時間を推定する（1)～4)を毎サイクル繰り返し、総遅れ時間を毎サイクル推定する）。

到着曲線の直線近似については、図 5 に示すように、青現示表示後の飽和流と、その後の自由到着による到着を想定して 2 直線で近似を行う。この 2 直線の決定にあたっては、近似したそれぞれの直線と合成後の各プローブ情報の到着時刻との二乗誤差が最小となる直線の組み合わせを探索する。同時に、1 直線近似も試み、二乗誤差が小さいいずれかの近似直線を採用する。

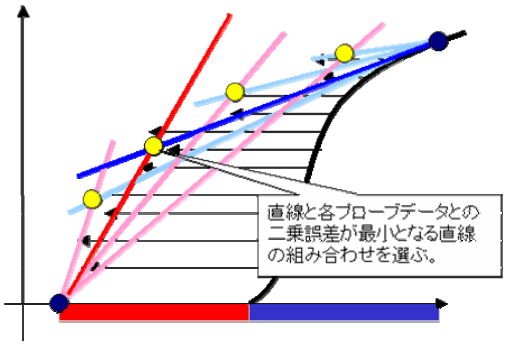

図 5 近似直線の描画方法

4.シミュレーションによる検証

4-1CARREN への実装

3-2 で示した手法は CARREN に実装し、交通シミュレーション上で効果を検証する。図 6 に CARREN の制御ステップを示す。基本的な構成は、浅野らが示した制御手法に従い、遅れ時間評価のステップにプローブ情報活用による手法を実装した。

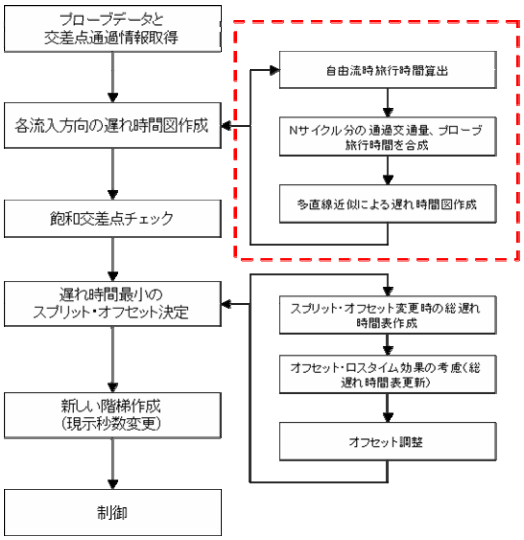

図 6 プローブ情報を活用した CARREN の制御ステップ

4-2テストケース

本研究でのテストケースとして、東京都靖国通りの東西約 1.8km、九段下交差点～須田町交差点の区間を AVENUE[5]内でモデル化を行った。表 2 にシミュレーションの概要を示す。また、図 7 にシミュレーション画面を示す。

表 2 シミュレーション概要

対象範囲の規模	東西 1.8km×南北 0.5km
対象範囲内のリンク数	61 リンク
ノード数	32 ノード
シミュレーション時間	12 時間（7:00~19:00）
総発生台数	127029 台(大型･小型合計)
車両発生スケジュール	10 分ごと
車種区分	2 車種（小型車・大型車）

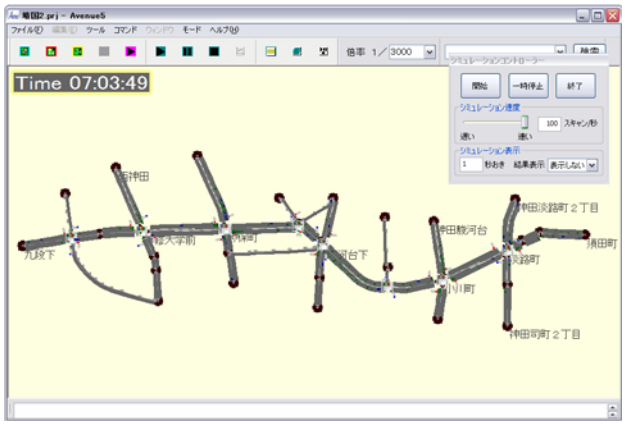

図 7AVENUE のシミュレーション画面

テストケース作成にあたり，評価対象エリア内の主要交差点において交通量調査を実施し、OD 交通量を作成した。信号制御については、今回プローブ情報を利用した総遅れ時間の推定手法を検討することが主眼となっており、CARREN で求めたパラメータをシミュレーションに反映する処理は実装していないため、午前 7 時～8 時までのパターンと午前 8 時以降のパターンの 2 種類を設定した。

現況再現性検証、パラメータ調整については、各交差点の流入部における断面通過交通量、交差点間速度を評価指標として行っている。

4-3プローブ車両混入率による遅れ時間評価の影響

神保町交差点の靖国通り下り方向（九段下交差点→須田町交差点）に着目し、サイクル毎の総遅れ時間の変化を検証する。図 8 に評価対象区間を示す。

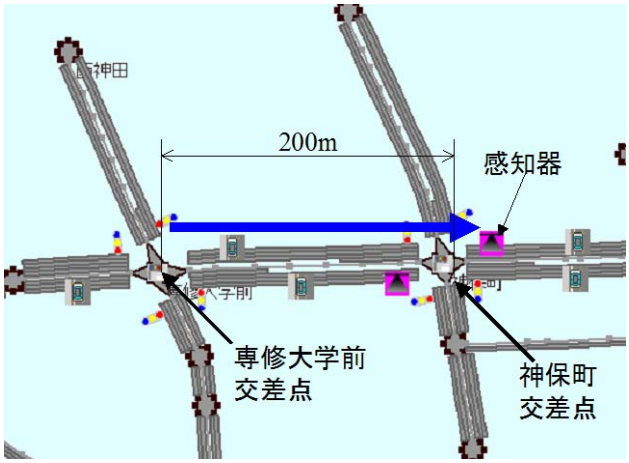

図 8 評価対象区間

図 9、図 10、図 11 は、7:00~19:00 の 12 時間における毎サイクルの総遅れ時間をシミュレーション結果から求めたもの（以下、真値）と、プローブ情報で推定した遅れ時間を比較したものである。それぞれの図では、累積交通量図を作成するために合成した直近のサイクル数、及びプローブ車両の混入率によって、遅れ時間の推定値がどの程度真値に近づいたかを示している。

各結果を比較すると、プローブ混入率が高い(70%、50%）場合は相関に感度があり、相応の精度で推定されていることがわかる。この相関は、合成するサイクル数が多くなるにつれて高くなる。

一方、プローブ混入率が低い（10%、5%）場合は、合成するサイクル数にかかわらず相関の感度が小さく、過小評価になっていることが分かる。混入率が低いと、到着の累積曲線を 2 本の直線で近似するよりも、1 本で近似することが多くなり、とくに累積交通量図上の遅れ時間を表す三角形領域の下辺近くに位置する車両の実際の遅れ時間が全て考慮されないためと考えられる。

また、各条件での推定値にばらつきが大きいことも確認されたが、これは累積交通量図を合成する際に、すべてのサンプルを使って到着の累積曲線を近似していることが一因としてあげられる。今後は、到着累積曲線の良好な近似を行うにあたって、不適切なサンプルをクレンジングするなど、手法の改良に取り組む必要がある。

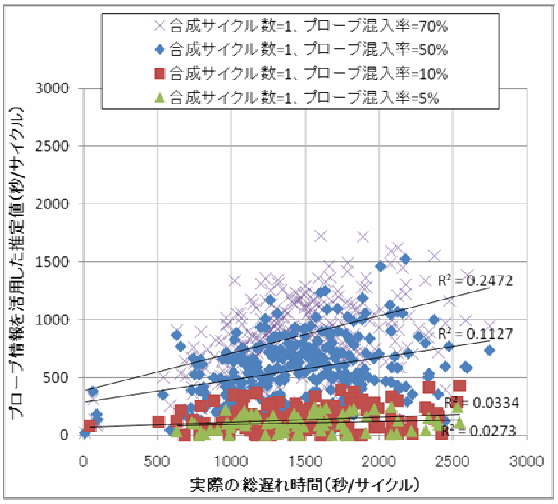

図 9 1 サイクル分合成時の総遅れ時間比較

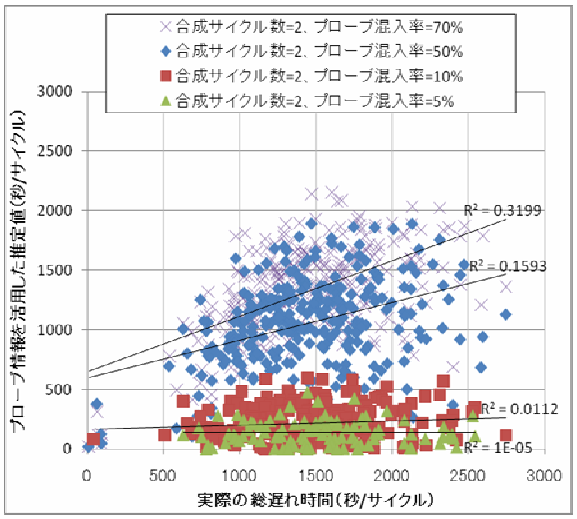

図 10 2 サイクル分合成時の総遅れ時間比較

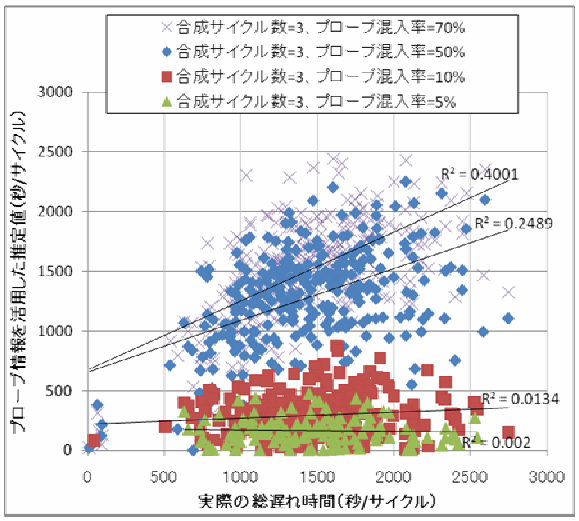

図 11 3 サイクル分合成時の総遅れ時間比較

5.おわりに

本稿では、プローブ情報を利用した遅れ時間評価手法を示すとともに、プローブ車両の混入率による遅れ時間評価への影響について、テストケース内の神保町交差点のある 1 方向の交通状況と信号設定に着目し、検証を行った。

今後は、プローブ情報活用に向けての課題を踏まえながら、遅れ時間評価手法の精度向上を行っていく予定である。また、ここで取り上げた CARREN を題材として、作成したテストケースにおけるプローブ車両の混入率に応じた信号制御パラメータの変化を現実の感応制御における変化と比較しながら、信号制御へのプローブ情報活用可能性を検証していく予定である。

謝辞

本研究は、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構「エネルギーITS 推進事業」の一環として取り組んだものである。有益なコメントをいただいた関係各位に謝意を表します。

参考文献：

1) 堀口良太，和田光示：プローブの走行パターンを利用した統合型車載機での異常渋滞判定アルゴリズムの開発，第 4 回 ITS シンポジウム 2005 論文集，2005 年 12 月.

2) 越正毅ほか: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）講演集, 2002.

3) 浅野美帆，堀口良太，桑原雅夫：交通シミュレーションを利用した信号制御アルゴリズム評価のための仮想社会実験， 交通工学 Vol.39,No.2,pp.39-45, 2004.

4) 浅野美帆ほか:遅れ時間自己評価によるリアルタイム交通信号制御, 土木計画学研究・論文集 Vol.20,No.4,pp.879-886, 2003.

5) http://www.i-transportlab.jp/products/avenue