

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

浅野 美帆^{*}, 堀口 良太^{**}, 桑原 雅夫^{***}

1. はじめに

交通シミュレーションを利用する意義の一つに、実現が困難な社会実験を仮想的に実施できることが挙げられる。本稿では、2003年11月より名古屋市・名古屋長久手線で実施されている次世代信号制御アルゴリズムの評価を目的とした社会実験¹⁾に先立ち、提案されている複数の信号制御方式のプログラムや制御装置をシミュレーションと連動させて、それらの性能を評価した仮想社会実験事例を紹介する。交通状況は日々変動しており、現実社会での実験では複数の制御アルゴリズムを全く同じ条件下で比較評価することは不可能である。また、社会的な制約が大きいため実施が難しい交通状況をシナリオとして設定することができるなど、シミュレーションを利用した仮想社会実験の意義は大きい。

評価にあたっては、現実の信号制御システムで採用されているセンサー機能をエミュレートするためにシミュレーションに機能追加を施し、その機能がどれくらい妥当であるかを検証している。以下に、シミュレーションモデルの概要、および大学グループで提案する信号制御アルゴリズムの評価を中心に、仮想社会実験の内容を紹介する。

2. 信号制御高度化社会実験の概要

(1) 名古屋長久手線での社会実験

現在、(社)新交通管理システム協会・信号制御高度化委員会(委員長・越東大名誉教授)において、日本における次世代の信号制御アルゴリズムが検討されている。ここでの研究活動の目玉は、実際の道路において新たに提案されたアルゴリズムを実装した信号制御システムを導入し、その効果を

実証的に評価する社会実験を行うことである。図-1に社会実験の対象となる名古屋長久手線・本山地区～古戦場南地区をしめす。対象路線は東西約15kmに渡り、朝夕のピーク時に慢性的な渋滞がみられる交通量の非常に多い区間である。

(2) 次世代信号制御アルゴリズム

国内における現行の信号制御方式は、飽和度感応によるパターン選択制御方式が主流となっている。これは感知器等で各流入路の交通量を計測し、求められた飽和度の比に応じて、あらかじめ設定してある現示階段のパターンの中から適当なものを選択する方式である。この方式には次のような技術的課題が指摘されている。

飽和度比でのスプリット配分が必ずしも渋滞損失を低減する最適戦略である保証がない。設定した現示階段パターン以外を呈示できないので、パターン設定後に交通状況が変化した場合の、いわゆる経年劣化に自動で対処できない。

サブエリア単位で共通サイクル長を決定したり、オフセット追従させたりする計算を管制センタ側のホストが集中管理する方式のため、システムが複雑化し、反応時間の遅れや通信コストが大きくなっている。

これら技術的課題を克服するため、民間企業5グループと大学1グループから6方式の制御アルゴリズムが提案された。それぞれに特徴が認められるが、共通事項として次の3点が挙げられる。

遅れ時間を直接計測あるいは間接推計して、渋滞損失の最小化を図る。

交差点に到着する交通量を予測、あるいは直前の交通状況を利用して、時間遅れのない動的な制御を達成する。

交差点単独あるいは小さなエリア単位で自律的にパラメータを更新する分散制御を目指す。

* 東京大学大学院工学系研究科

** (株)アイ・トランスポート・ラボ

*** 東京大学国際・産学共同研究センター

なお、本稿の主旨は各アルゴリズムの特性や優劣を議論するものではないため、以降では大学グループが提案するアルゴリズム²⁾を評価対象の一例として取り上げることとする。

(3) 仮想社会実験の意義と概要

今回の社会実験に先立ち、提案されている6つのアルゴリズムの動作および性能をシミュレーションによる仮想世界上で検証している。いうまでもなく、実際の道路において新たな制御方式や管制システムを導入する場合には、渋滞の悪化やシステム動作不良による混乱などのリスクが懸念される。社会実験において本当に実装されるアルゴリズムや導入システムを、仮想社会に見立てたシミュレーションと接続して、動作確認を行い、悪影響がないことを入念に確認するとともに、その性能を定量的に把握することには大きな意義が認められる。また、現実の社会実験はコストの面から長期間にわたって実施することは難しいため、限られた状況下での実験にとどまることが多いが、シミュレーションでは手軽に交通状況を様々に変化させたり、あるいは社会通念上許容されないような事故やシステムの故障などを恣意的に発生させたりすることも可能である。

今回の仮想社会実験は、図-1中の点線で囲まれた打越・星ヶ丘地区の8交差点を対象に行った。この地区において実際に配備される予定の感知器や自動車番認識装置(AVI)などのセンサー類をシミュレーションでも同様に配備している。制御プログラムや制御装置は、センサーから得られるエミュレートされた信号をTCP/IPネットワーク経由で受け取り、その結果求められた制御パラメータを仮想世界のシミュレーションに戻すことにより、評価を実施することができる(図-2)。

3. シミュレーションモデルの概要

(1) 基本モデルの現況再現性確認

仮想社会実験のシミュレーションプラットフォームには、東大生研などで開発された「街路網交通流シミュレーション AVENUE³⁾」を採用している。AVENUEは「交通シミュレーションクリアリングハウス⁴⁾(CH)」において、その交通状況再現性を

「基本検証(verification)」した結果を公開している透明性の高いモデルである。今回はさらに、AVENUEが評価プラットフォームとして十分な再現能力を持つことを確認するため、同CHから入手可能な名古屋長久手線・本郷地区ベンチマークデータセットを用いてモデルの実用検証を実施している。検証の結果は「モデルの実用性検証(validation)」ページにて公開されている。仮想社会実験の対象エリアと異なるが、ほぼ同地域における交通状況を十分に再現する能力を示している。

(2) 感知器エミュレーション機能の追加

仮想社会実験のために、AVENUEに次の4種類のセンサーをエミュレートする機能を追加した。

超音波感知器...交通量をカウントするほか、1秒間に20回のパルス信号のON/OFFで占有率を求める。

画像型感知器...交通量をカウントするほか、感知領域内の車列長もしくは車両の存在有無を検出する。

車番認識装置(AVI)...通過した車両のナンバープレートを記録する。

光ビーコン...交通量をカウントする機能のほか、VICSアップリンク情報を収集する。

今回は上記の4種類のセンサー情報を、TCP/IP経由でネットワーク上のプロセスから利用できるAPIも追加し、国内で実際に利用されている伝送方式(M伝送/U伝送)でデータ取得が可能である。

(3) 感知器エミュレーション機能の検証

AVENUEはハイブリッドブロック密度法⁵⁾とよぶ手法で車両移動の計算を行っている。この手法は、上流と下流で隣接するブロックと呼ぶ10~20m程度の区間で交通量-密度(Q-K)関係を用いて流量計算を行い、それにあわせて離散的な車両を移動させていく。追従モデルのように車両の瞬間速度を直接求めるものではないため、例えば超音波感知器のエミュレートでは、以下のようなロジックで1秒間のパルス数を求めている。

1) 超音波感知器は上下流で隣接する2つのブロックの境界断面に設置し、各瞬間での上下流のブロック内車両密度と設定されたQ-K関係を用いて、断面での地点速度を擬似的に求め

る。

- 2) 乗用車の標準車長(5m, 変更可能)と, 1 秒間に通過した車両の所与の属性値である乗用車換算当量から, それぞれの車長を求める。
- 3) それぞれの車両が求められた地点速度で, 感知器の下を通過する時間からパルス数を求める。感知器の感知領域長は 1.2m としている。このように, いくつかの仮定をおいて求めた超音波感知器の検出パルス数や画像型感知器の検出車列長は, それが妥当に現実を再現することを検証により示す必要がある。今回は, 信号交差点の流入路下流端の停止線からそれぞれ 0m, 120m, 240m の位置にセンサーを設置し, 到着需要を変えながらエミュレートされた各種センサー信号の出力結果を確認する「基本検証(verification)」を実施している。図 - 3 はその一例で, 超音波感知器のエミュレート信号から, 1 秒ごとの通過台数を累積交通量として折れ線で, 1 秒間のパルス数を棒グラフで示したものである。各位置での累積交通量の傾きがゼロ, すなわち信号による滞留長がその位置まで延伸した状態ではパルス数が最大値である 20 になること, また累積交通量の傾きがゼロより大きくなるとパルス数は 20 未満で, かつ流率が大きいほど大きくなることが認められ, 妥当な動作をしていることが検証されている。ホームページ³⁾上ではこのほかのセンサーの検証結果も公開されている。

4. 仮想社会実験の実施

(1) 大学グループによる次世代信号制御アルゴリズム CARREN^{2),6)}

大学グループの提案する制御(以下, CARREN: Control Algorithm Retuning parameters with self performance Evaluation)は, 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, 総遅れ時間を減少させるように信号制御パラメータ(共通サイクル長, スプリット, オフセット)を一定量ずつ更新する。CARREN では制御に必要な情報のほとんどを感知器から取得し, アルゴリズムの内部状態を自動更新するので, 交通状況の経年変化によりプログラム動作の調整を

行う必要がないという特徴がある。制御の流れを以下に示す。

1) 感知器データの取得

制御に必要な情報は, 対象交差点からの全車両の出発時刻と, そのうちのサンプル車両が流入リンク通過に要する旅行時間の 2 つである。これらを測定するため, 図 4 のように AVI, 超音波感知器を各リンクの上流端に設置する。

車両の出発時刻を全車両について取得することが必要なため, 台数カウントの精度が AVI より高い超音波感知器を用いる。また, AVI から得られるプレートナンバーを交差点の上下流 2 地点間でマッチングし, 各車両の旅行時間を取得する。

2) 交通量累積図による交通状態の表現

まず超音波感知器の通過時刻情報によって図 - 4 の における出発交通量の累積曲線を描き, AVI から得られるサンプル車両の旅行時間を用いて の通過時刻を算出する。間の自由流旅行時間を差し引くことにより, 信号待ちによる遅れ時間を算出する。遅れ時間は, 到着曲線と出発曲線で囲まれる部分の面積で表される。

3) 制御パラメータを微小量変化させたときの遅れの変動量推定

信号制御パラメータが変化すると, 到着曲線や出発曲線の形状が変化し, それにつれて遅れも増減する。CARREN では信号制御パラメータがそれぞれ微小量変化したときの累積図の形状を推定し, 遅れ時間が最小となるようにパラメータの変更量の組合せを決定する。

図 - 5 では例として, オフセット, サイクル長を現状のままとし, スプリットを だけ増加した場合の遅れの変動を示している。現状の累積図は実線で表されている。スプリットを増加させると赤現示の開始時刻は現在よりも 秒遅れるため, 出発曲線はもとの曲線を上方向にシフトした破線となり, このときの遅れ時間の変動量が推定できる。同様に, オフセット, サイクル長についても, それぞれのパラメータが微小量変化したときの遅れ時間の変動量を累積図に基づき算出する。

4) 総遅れ時間が最小となる制御パラメータ選択
上記 3) で算出した遅れ時間の変動量をもとに,

対象エリア全体の遅れ時間が最小となるように、制御パラメータの組合せを決定する。

(2) 仮想社会実験⁹⁾のシナリオ

評価対象としたネットワークは、名古屋長久手線星ヶ丘・打越エリア(図-6)である。感知器配置は実配置を参考にして、幹線道路と星ヶ丘・打越の従方向流入路の各リンクにU伝送方式のAVIと超音波感知器を設置している。信号階梯秒数の初期値を表1に、その他のシミュレーションの設定を表2に示す。

このネットワークにおいて、表3に示す3通りの交通状況を設定し、最初10分のウォームアップを含む2時間10分のシミュレーションを行った。なお、図7では感知器による5分間交通量の実測データとシナリオ上の発生需要(太実線)とを比較している。シナリオ2の発生需要が実際のピーク時交通量、シナリオ1における発生需要のピークが日中の交通量にほぼ相当することがわかる。

今回の実験では実世界での稼動を想定して、AVENUEをリアルタイムで実行している。CARRENの実行プロセスはAVENUEと非同期に通信する。これにより、CARRENの実時間内での実行可能性も評価できた。

(3) 制御アルゴリズムの性能評価

評価の一例として、図8~10に、各シナリオにおける総遅れ時間の推移を示す。比較に用いた固定制御は、シミュレーションの開始から終了まで信号制御パラメータを初期値で運用した場合の結果である。

CARRENの制御では、すべてのシナリオにおいて固定制御に比べ遅れ時間が減少している。特に、シナリオ3では、CARREN導入時にはシナリオ1とほぼ変わらない遅れ時間を示している。CARRENでは到着交通流のパターンだけでなく、出発曲線の形状、つまり飽和交通流率そのものを測定しているため、飽和交通流率の変動に応じた制御ができることが示された。シナリオ3のような状況は、実際には事故等の突発事象によるものが考えられる。本実験では通常交通状況を示す

シナリオ1, 2のみならず、このような突発事象もシミュレーションにより再現し、制御の有効性を評価できたといえる。

このほか、評価に当たっては、信号制御パラメータの推移や停止回数、平均旅行時間等を指標として用いている。同様にして民間企業グループのアルゴリズムについても仮想実験による評価が行われている。

5. おわりに

本稿では、実社会実験に先立って、シミュレーションにおける仮想実験の例として、信号制御アルゴリズムの評価事例を紹介した。

今回の仮想実験においては、実際の交通量を想定したシナリオのほか、何らかの原因で飽和交通流率が減少するケースなど、実際に生じうる条件を設定し、評価に当たることができた。また、評価対象とするアルゴリズムとシミュレーションとをオンラインでやり取りすることにより、シミュレーション上のフィールドをあたかも実フィールドであるかのようにして取り扱うことができる。

今回検証されたアルゴリズムについては、実フィールド上での評価が始まっている。2004年のITS世界会議においては、実証実験を踏まえた信号制御アルゴリズムの検証報告と、実フィールドでの制御状況の紹介を行う予定である。

謝辞

本稿での仮想社会実験の実施に当たり、貴重なご意見をいただいた(社)新交通管理システム協会様、および信号制御アルゴリズム評価のためにシミュレーションを適用していただいた参加企業のみなさまに深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 尾上和志：名古屋信号制御実証実験の概要，交通工学，Vol.38，No.4，pp.36-40，2003。
- 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，土木計画学研究・講演集，Vol.25，CD-ROM，2002。
- 3) AVENUEホームページ：

- 4) <http://www.i-transportlab.jp/products/avenue>
交通シミュレーションクリアリングハウス：
<http://www.jste.or.jp/sim/>
- 5) 桑原雅夫, 吉井稔雄, 堀口良太：ブロック密度法を用いた交通流の表現方法について，交通工学，第32巻4号，pp.39-43，1997．
- 6) 浅野美帆, 中島章, 堀口良太, 小根山裕之, 桑

原雅夫, 越正毅, 赤羽弘和：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．



図 - 1 信号制御社会実験対象路線

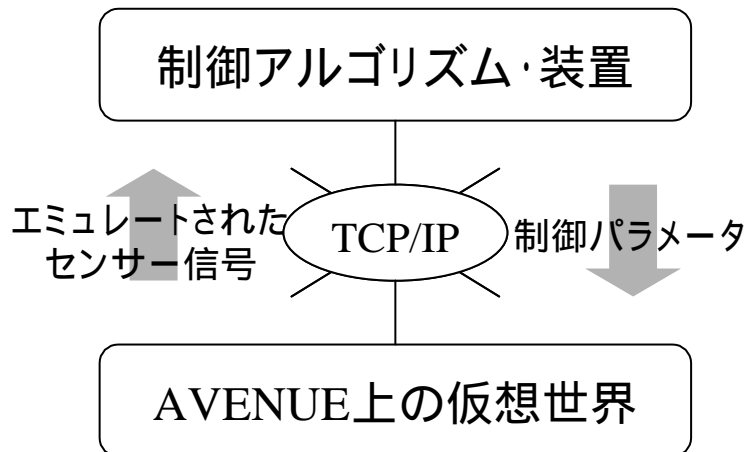


図 - 2 シミュレーションによる仮想社会実験のフレームワーク

超音波感知器のエミュレート(大型車混入率16.7%)

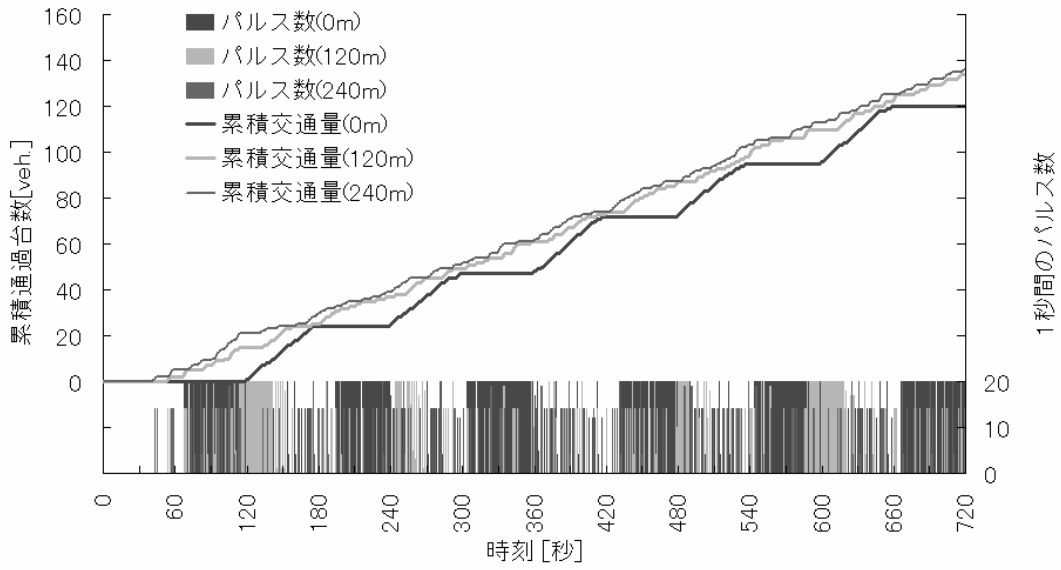


図 - 3 超音波感知器エミュレート機能の基本検証結果(verification)一例

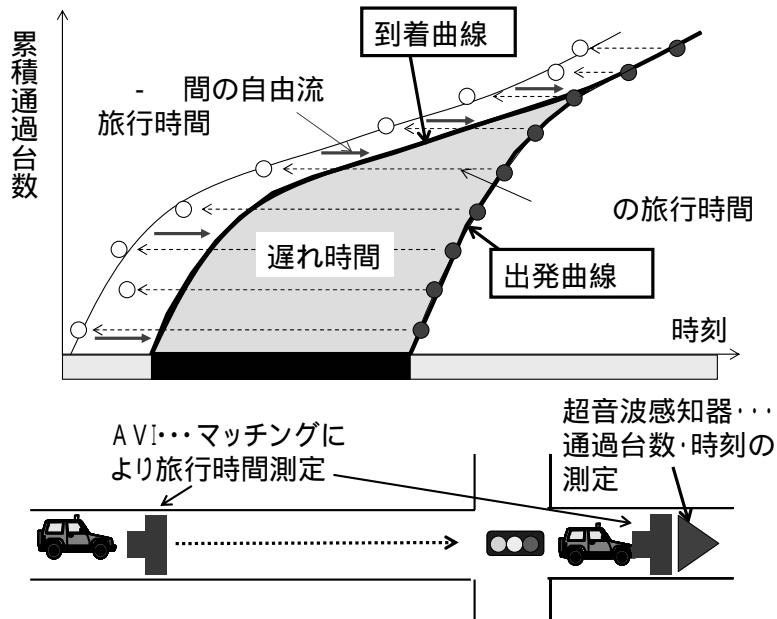


図 4 到着・出発交通量累積図

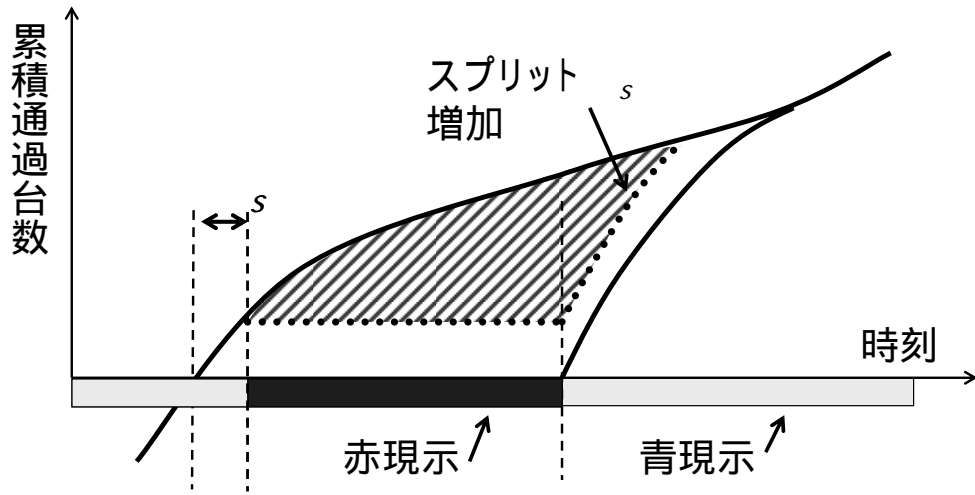


図 5 遅れ時間の変動 (スプリット変更時)

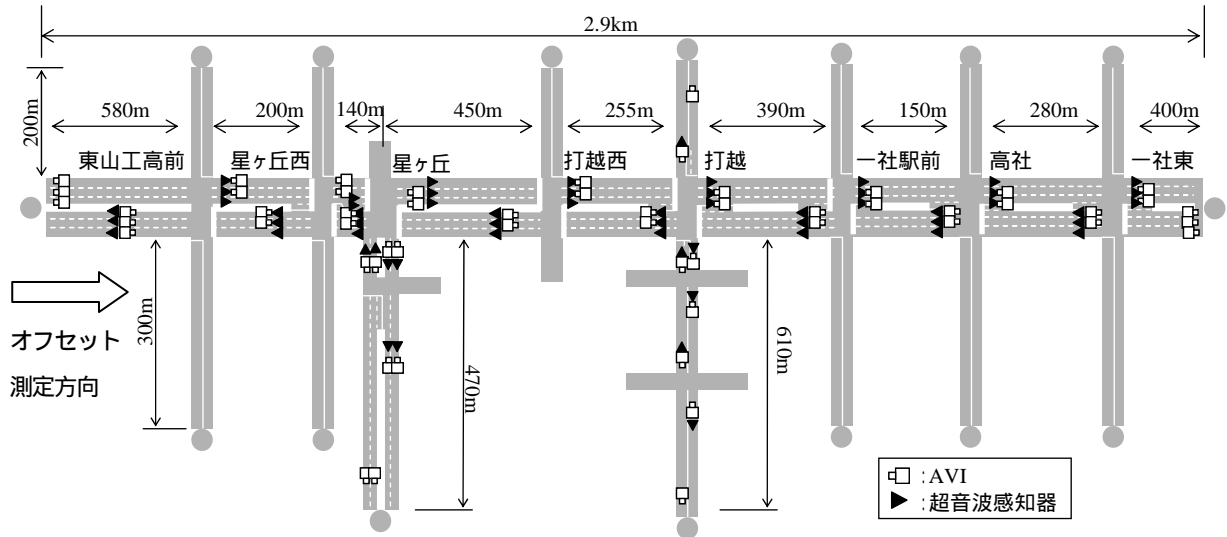


図 6 実験対象ネットワーク (星ヶ丘・打越エリア)⁶⁾

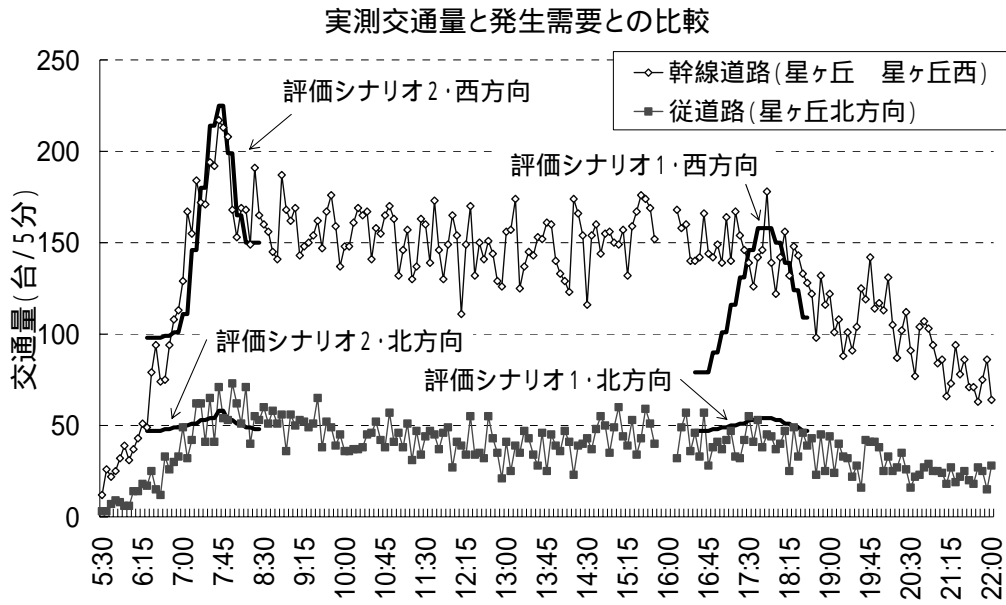


図 7 実測交通量とシミュレーション発生需要の比較

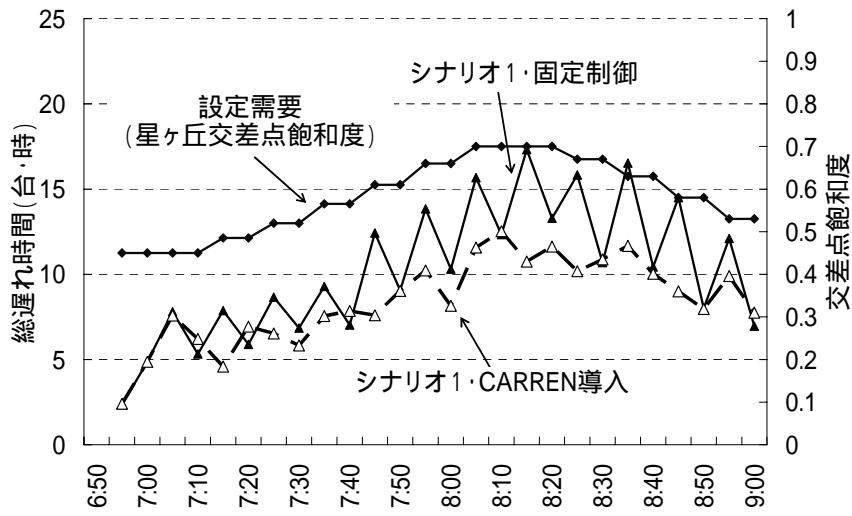


図 8 総遅れ時間(シナリオ1)

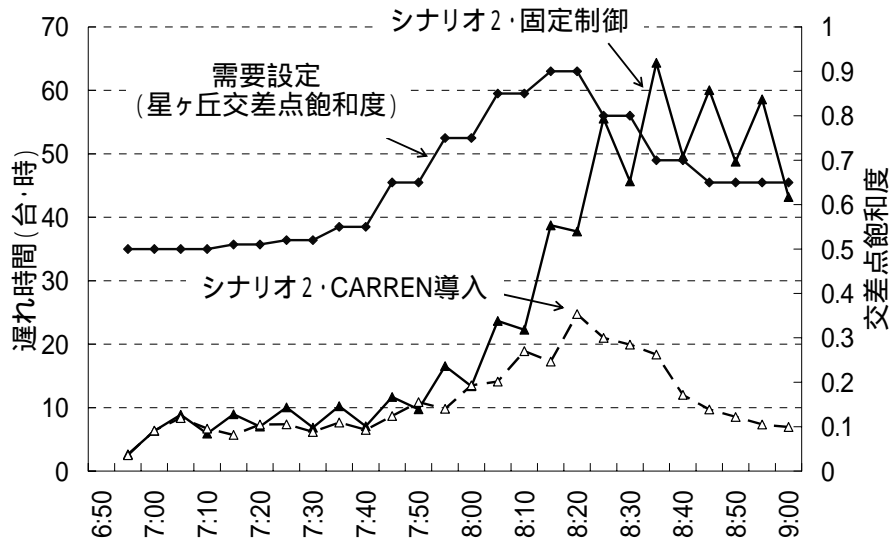


図 9 総遅れ時間 (シナリオ 2)

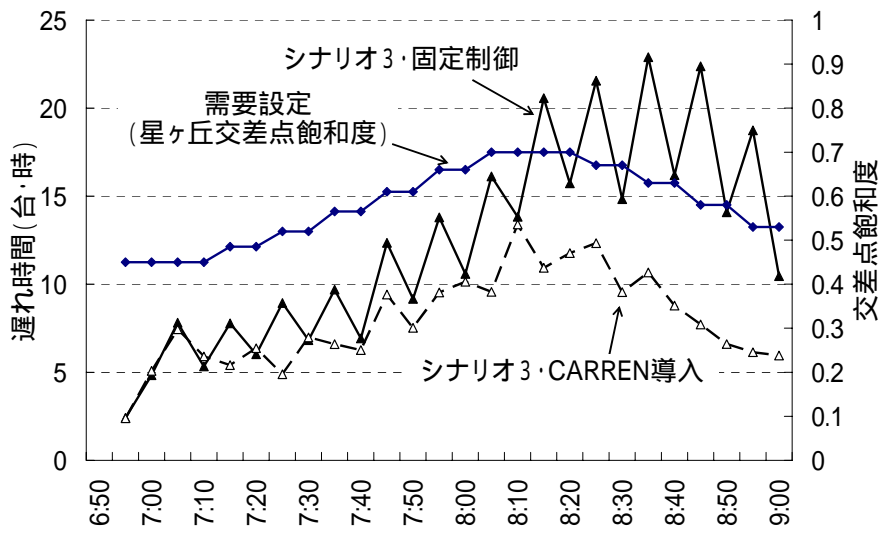


図 10 総遅れ時間 (シナリオ 3)

表 1 初期信号現示階梯⁶⁾

(単位:秒)

交差点名	サイクル長	現示									
			黄	右折青矢	黄	全赤		黄	右折青矢	黄	全赤
打越	120秒		2	5	2	3		2	3	2	3
		58				40					
星ヶ丘西, 星ヶ丘, 一社駅前, 高社, 一社東	120秒		2	5	2	3		3	3		
		62				40					
東山工高前, 打越西	120秒		3	3							
		68			40	3	3				

表 2 シミュレーションの設定

設定項目	設定値
直進飽和交通流率	1800 [pcu/G1hr/lane]
左折飽和交通流率	1200 [pcu/G1hr/lane]
右折飽和交通流率	1600 [pcu/G1hr/lane]
自由流速度	36 [km/時]
全赤の右折捌台数	2 [台/サイクル/方向]
最大・最小サイクル長	最大 160 秒・最小 80 秒
最小青時間	主従両方向とも 30 秒
オフセット初期値	全て同時オフセット
センサーのエラー	0%

表 3 設定需要

シナリオ	星ヶ丘交差点の設定需要
1. 閑散時	飽和度0.45~0.7
2. ピーク時	飽和度0.5~0.9
3. 飽和流率変動時	飽和度0.45~0.7, シミュレーション開始1時間10分後に飽和交通流率を2割減少