

社会実験データとミクロ交通シミュレーションを用いた信号現示パターンの最適化

大井 啓史¹・江戸 元希²・有村 幹治³

¹学生会員 室蘭工業大学 大学院工学研究科環境創生工学系専攻 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)
E-mail: 21041011@mmm.muroran-it.ac.jp

²学生会員 室蘭工業大学 工学部建築社会基盤系学科 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)
E-mail: 18021022@mmm.muroran-it.ac.jp

³正会員 室蘭工業大学 教授 大学院工学研究科 もの創造系領域 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)
E-mail: arimura@mmm.muroran-it.ac.jp

現在、交通渋滞が深刻化する中で効率的・効果的な交通渋滞対策の検討・実施が行われている。交通渋滞対策の検討では、事前に交通渋滞の緩和効果や周囲の交通流への影響を把握できるミクロ交通シミュレーションが活用されている。本研究では、交通渋滞が恒常的に発生している札幌新川 IC 周辺交差点を対象に、社会実験データを用いて現況再現性を高めたシミュレーションモデルを構築した。そのモデルを用いた最適な信号現示パターンの検討・抽出を行った。そして、抽出した信号現示パターンの現地施行結果から交通シミュレーションによる交通渋滞対策検討の事後評価を行った。結果より、社会実験データと交通シミュレーションを活用した交通渋滞対策の最適化検討の有用性を確認した。

Key Words : *traffic jams, traffic signals, micro-traffic simulation, traffic congestion measures*

1. はじめに

1.1 研究背景

現在、交通渋滞は所要時間の増加による時間損失や経済効率の低下、環境負荷、交通事故リスクの増大等、様々な社会問題を引き起こすため、効率的・効果的な渋滞対策による渋滞緩和に取り組まれている。交通渋滞は交通容量上のボトルネックに対する超過需要により発生するため、交差点改良等のハード的対策が有効である。一方で、ハード対策と比較して、短期間の実施かつコストの削減が可能であることから信号現示改良等により交通需要の抑制や効率化をするソフト的対策が多く実施されている。

渋滞対策実施においては、導入後の変更は困難であることから、検討段階で対策の効果検証や交通への影響を事前に把握することが望ましい。現在、渋滞対策施行の効果を事前に検証できるツールとしてミクロ交通シミュレーションが活用されている¹⁾。ミクロ交通シミュレーションは対象の道路構造や信号現示、交通量等の諸条件を入力することで、交通渋滞等の多様な交通事象の再現可能である。また、渋滞対策の定量的な効果検証ができ

ることから、現地施行では困難である同じ交通条件下における渋滞対策の比較検討が行える。しかし、交通シミュレーションの信頼性の向上には、実交通での渋滞発生要因となる交通事象の再現性を確保する必要がある。

そこで、本研究では社会実験データとミクロ交通シミュレーションの活用により、現況再現性の高いシミュレーションモデルを構築する。そのモデルを用いて、複数の渋滞対策案の効果を比較することで交通渋滞対策の立案検討を行う。さらに、抽出した信号現示パターンの現地施行結果を用いて、交通シミュレーションによる渋滞対策案検討の妥当性を評価する。

1.2 先行研究

ミクロ交通シミュレーションを用いた交通渋滞対策の効果検証に関する研究として、阿部ら²⁾はプローブデータとトラフィックカウンターデータによりシミュレーションモデルの現況再現精度を高める手法を提案し、信号現示改良案の施策提案、施行効果の事前予測と実装実験による事後評価を行っている。信号現示改良案はプローブデータの解析により経験値に基づいて作成されている。交通シミュレーションを用いて実地域を対象に信号現

示の最適化を行った研究として、Aleksander Stevanovic³⁾はフロリダの交通状況をVissim⁴⁾上で再現し、遺伝的アルゴリズムをもとに信号現示を最適化するVISGAOST⁵⁾を用いて安全性と効率性の両立を実現した渋滞対策の検討を行った。

交通シミュレーションを用いた交通渋滞のリアルタイムマネジメントに関する研究として、Yui-Chuan Wang⁶⁾らは台湾・台中市の高速道路と一般道の合流地点での渋滞に対して、交通流データからリアルタイムで交通管理・予測を行うPTV OPTIMAと道路ネットワークの交通の遅延等を最小化する制御システムであるBALANCEを活用した交通管理システム構築への方法論と適用例が示された。以上より、交通シミュレーションを用いた交通渋滞緩和に向けた研究は多くみられ、実地域での信号現示パターン最適化実施も検討されている。

一方で、交通シミュレーションと社会実験を組み合わせた取り組みに関する研究として、久保田ら⁷⁾は交通計画プロセスに交通シミュレーションを検証ツールとして組み込む「交通シミュレーション・交通社会実験・本格実施」サイクルを提案し、大宮氷川参道での交通規制を対象に、交通社会実験の評価での精度の高いフィードバック、課題検証による今後の方針の明確化を実践した結果から、交通シミュレーションの事前検討ツールとしての有用性を示した。

本研究は、札幌新川ICを対象に、2年度にわたる社会実験データとミクロ交通シミュレーションの活用により、シミュレーションモデルの再現性向上と最適な信号現示改良案の立案検討を行う。その後、抽出した信号現示パターンの現地施行結果を用いて、渋滞緩和効果の検証と信号現示パターン最適化の事後評価を行う。以上より、社会実験データと交通シミュレーションを活用した最適な交通渋滞対策の検討方法とその有用性について確認する。

2. 対象交差点の交通状況と渋滞対策案

札幌都市圏の幹線道路である札幌新道では、交通量の増大に伴い高速道路上で渋滞が度々発生している。中でも札幌新川ICでは、IC出口部における一般国道との合流が円滑に行われなことから高速道路上路側帯における渋滞が発生し、ピーク時には約2.5km上流の札幌北ICまで渋滞するという事象が発生している(図-1)。走行車両との速度差を考慮すると極めて危険な状況であり、可能な限りその発生を抑制する必要がある。

その交通渋滞対策として、合流部上流に位置する新琴似交通交差点での信号現示パターンの変更が検討されている。信号制御パラメーターのうち、隣接する交差点間で

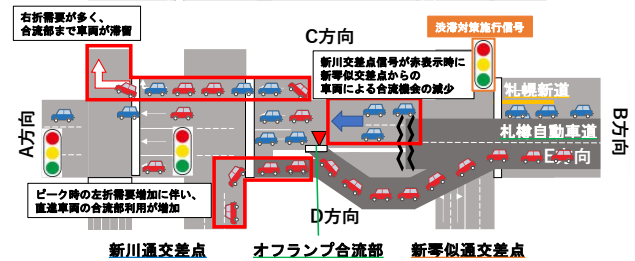


図-1 対象交差点と交通課題

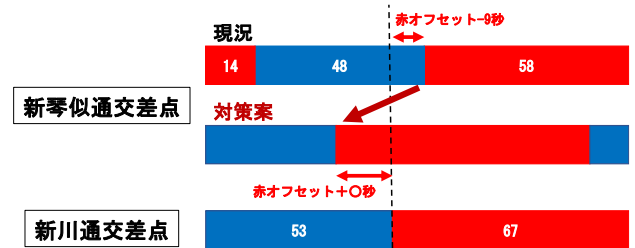


図-2 札幌新道 B→A 方向信号現示の赤オフセットの調整による改良

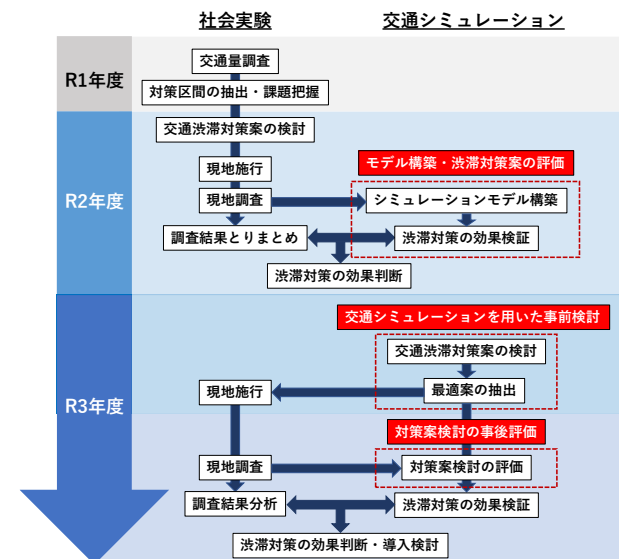


図-3 交通渋滞対策の検討フロー

の赤信号表示開始時間のずれである赤オフセットの調整により、合流部上流からの車両流入タイミングを変えることで、合流機会が増大が期待される(図-2)。

本研究では、令和2年度と令和3年度(以降、それぞれR2年度、R3年度)を通じて社会実験データと交通シミュ

シミュレーションの活用による渋滞対策案の検討を行った(図-3)。研究対象は国道5号×新川通交差点(以降、新川通交差点)、国道5号×新琴似通交差点(以降、新琴似通交差点)、および札幌新川IC周辺の高速道路とする。本研究の構成は、3章ではR2年度社会実験データを用いてシミュレーションモデルを構築し、再現性の評価とモデルを用いた渋滞対策の効果検証を行う。4章ではマイクロ交通シミュレーションを用いた信号現示パターンの最適化を行い、その施行効果の事前検証を行う。5章では最適信号現示パターンを現地施行したR3年度社会実験データを用いて、渋滞緩和効果の検証と最適化検討の事後評価を行い、6章でまとめとする。

3. R2年度社会実験渋滞対策案の効果検証

3.1 R2年度社会実験概要

R2年度社会実験では過年度までの交通量調査結果等を参考とし、渋滞対策案3パターンの立案と現地施行が実施された。社会実験概要と結果を表-1に示す。対策案の現地施行により渋滞長の短縮等、交通流に一定の影響を与えることが確認された。特に対策案2では、現況信号現示と比較して、最大滞留長が約1km短縮する効果を示した。

3.2 シミュレーションモデルの構築

(1) シミュレーションモデルの構築方法

本研究では、シミュレーションモデルの構築にPTV Vissim[®]を使用した。シミュレーションモデルの構築にはR2年度社会実験で得られた4パターンの交通量調査データを用いて、それぞれの流入交通量、分岐率、大型車混入率を入力し、交通状況の再現を行った。時間帯は特に危険な交通状況となる夕方ピークの16時~19時とした。

(2) シミュレーションモデルの再現性

シミュレーションモデルの再現性を確保するために、10分毎方向別交通量におけるGEH値、各流入部における車種別3h累積交通量の相関、オフランプ部での10分

毎滞留長の指標を用いた再現性の確認を行った。以上の指標により、それぞれ分岐率、大型車混入率、滞留長の再現性の検証を確認した。再現性の確認と較正を繰り返すことで、モデルの現況再現性の向上を行った。シミュレーションモデルの現況再現性の検証結果を以下に示す。

10分毎方向別交通量におけるGEH値が5以上となった箇所を表-2に示す。新川通交差点A流入部からの右折交通量が社会実験結果よりも小さくなった。これは対向車線の車両の増加が影響したと考えられる。しかし、A流入部での滞留車両の増大等、高速道路での交通渋滞に影響を及ぼす事象は発生していない。よって、交通渋滞対策の効果検証には大きく影響しないと判断した。

車種別3h累積交通量の相関での結果を図-4に示す。いずれのモデルでも相関係数 $R^2=0.9$ 以上となり、高い相関関係を示した。

10分毎オフランプ部滞留長での結果を図-5に示す。シミュレーション中の最大値は、観測データ最大値の7~15%程度の変動であった。また、10分毎の滞留長の時間変化もおよそ一致している。

以上より、各シミュレーションモデルは概ね現況再現できたことを確認した。

表-1 R2年度社会実験概要

社会実験実施日	現況 R1. 9. 18	R2対策案1 R2. 9. 30	R2対策案2 R2. 10. 14	R2対策案3 R2. 10. 22
赤オフセット(s)	-9	4	16	21
オフランプ部 最大渋滞長(m)	2500	1970	1530	1900

表-2 GEH値5以上の各流入部方向別交通量断面

	時刻	交差点	流入	流出	GEH値
現況	17:20	新川通	A	右折	5.57
	18:20	新川通	A	右折	5.05
	18:30	新川通	A	右折	5.28
対策案1					
対策案2	16:20	新川通	A	直進(IC入口)	5.54
	18:10	新川通	A	右折	5.35
対策案3	18:10	新川通	A	右折	5.77

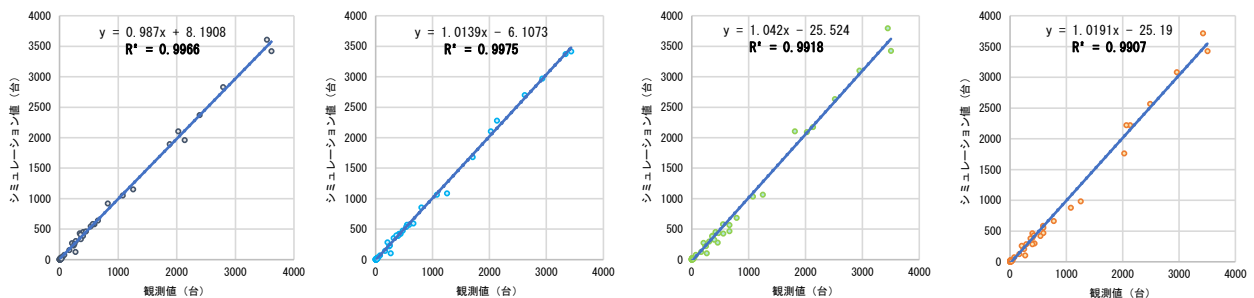


図-4 車種別3h累積交通量の相関による再現性検証

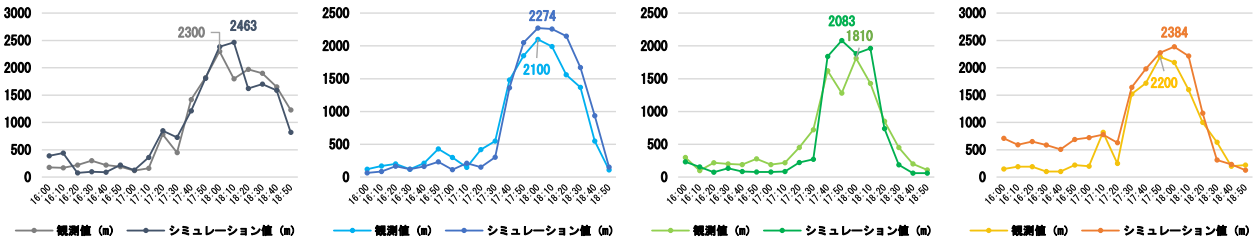


図-5 10分毎高速道路オフランプ部滞留長による再現性検証

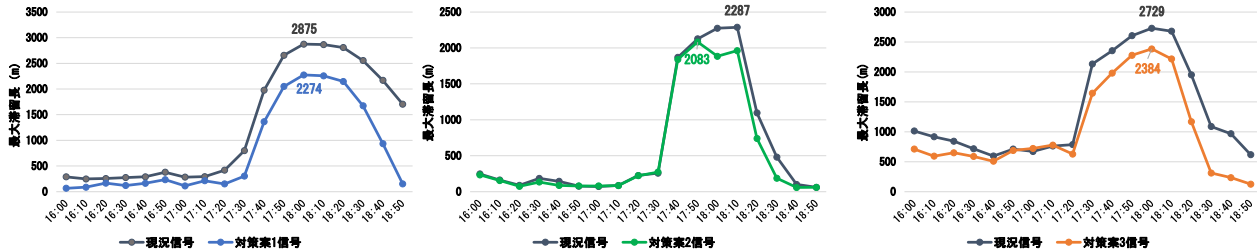


図-6 構築したシミュレーションモデルを用いた R2 年度対策案の効果検証

3.3 R2年度対策案の効果検証と課題

(1) シミュレーションによる R2 年度対策案の効果検証

対策案1～3モデルを用いて、10分毎オフランプ滞留長による交通渋滞対策の効果検証を行った。検証方法は、対策案1, 2, 3モデルを用いて、各対策案信号から現況信号に変更したときの最大滞留長を比較し、その増大を交通渋滞緩和効果とする。結果を図-6に示す。対策案1モデルでは約600m、対策案2モデルでは約200m、対策案3モデルでは約350mの最大滞留長の増大が確認された。

(2) R2 年度渋滞対策の効果と検討課題の抽出

R2 年度社会実験結果とシミュレーション結果から赤オフセットの調整による交通渋滞対策の有効性を確認した。R2 年度現地施行された3パターンの対策案は、過年度までの交通量調査結果等を参考とし、改善が見込めると想定し抽出されたものであり、より渋滞緩和効果を発揮する渋滞対策案がこのほかに存在する可能性がある。この課題に対して、交通シミュレーションを用いた渋滞対策案の事前検討を行い、新川 IC の渋滞緩和を図る最適信号現示パターンの抽出を行う。

4. R3年度渋滞対策案の事前検討

4.1 信号現示最適化検討方法の整理

(1) シミュレーションケースの設定

最適な信号現示パターンを得るための調整するパラメータとして、R2 年度に行った赤オフセット秒数の調整に加えて、新琴似通交差点の青時間の短縮を行う。新琴似通交差点の青時間は、国道5号方向で新琴似通交差点か

表-3 赤オフセット秒数、新琴似通交差点青時間組合せ

交通量 4パターン	新琴似通交差点青時間				
	48	45	42	39	
赤 オ フ セ ツ ト	17	17-48	17-45	17-42	17-39
	19	19-48	19-45	19-42	19-39
	21	21-48	21-45	21-42	21-39
	23	23-48	23-45	23-42	23-39

ら新川通交差点へ通行できる秒数である。青時間の短縮は、赤オフセットの調整と同様に、新琴似通交差点からの流入交通を調整し、オフランプ部からの合流スペースが確保できるため、合流交通量の増大が見込める。

本研究では、赤オフセット秒数と青時間の最適な組み合わせを得るために、グリッドサーチを行う。設定した組み合わせを表-3に示す。R2 年度社会実験結果から、対策案2の信号現示を基に赤オフセット秒数、青時間を4パターンずつ、計16の信号現示パターンを構成した。各パラメータの1秒間隔の調整では、交通流への影響が微小であるため、赤オフセット秒数を2秒、青時間を3秒間隔で設定した。各信号現示パターン名を「(赤オフセット秒数) - (新琴似通交差点青時間)」とする。

(2) 評価指標とシミュレーション条件

対象交差点での渋滞対策検討において、新川 IC オフランプ部での渋滞緩和と新琴似通交差点の円滑な交通を確保できるように信号現示を調整すべきである。しかし、渋滞対策を施行する上で、両者はトレードオフの関係にあるため、最適な信号現示パターンが一意に定まらない。よって、本研究では新川 IC オフランプ部の交通渋滞緩和と新琴似通交差点の交通への影響の最小化を実現した

最適な信号現示パターンを得ることを目標とする。

交通への影響の指標として、10分毎最大滞留長と10分毎旅行時間を用いる。新川 IC オフランプ合流部の滞留長を L1，新琴似通交差点東側の滞留長を L2 とする。また、高速道路流入部から新川通交差点までの約 3000m の旅行時間を T1，新琴似通交差点流入部から新川通交差点までの約 660m を通過する旅行時間を T2 とする。この L1, L2 と T1, T2 の組合せにおいて両方が最小化することを基準に評価した (図-7)。

シミュレーション条件を表4に示す。サンプル数は信号現示1パターンあたり40サンプルである。評価には、各施行での最大値の平均を用いることで、ピーク時の危険な交通状況に耐える信号現示パターンを得る。

4.2 最適対策案の抽出と効果検証

(1) 最適信号現示の抽出

信号制御パラメータのグリッドサーチを行い最大滞留長と旅行時間において多目的最適化を行った結果、それぞれのパレート解を得た。滞留長の結果を図-8、旅行時間の結果を図-9に示す。

図-8 より、オフランプ部滞留長 L1，新琴似通交差点滞留長 L2 の双方を最小に満たす信号現示は 19-42, 19-45, 23-48, 21-48, 19-48, 17-48 の 6 パターンであった。パレート解のうち、L1 の緩和を優先する場合は信号 19-45, L2 の緩和を優先する場合は信号 23-48 が最適であるといえる。一方で、図-9 では旅行時間 T1, T2 の組み合わせが最小となる信号現示 19-45, 17-48, 23-48 の 3 パターンであった。パレート解のうち、T1 の緩和を優先する場合は、信号 19-45 が最適であり、T2 の緩和を優先する場合は信号 17-48 が最適であるといえる。

以上から、旅行時間損失や事故リスクの増大の要因となっている高速道路上の渋滞緩和を優先的に図ると予測される、信号 19-45 を最適信号現示パターンとして抽出した。

(2) Time-space diagram を用いた効果検証

Time-space diagram は 2 次元空間上の曲線で車両の運動を表現し、個々の車両速度や交通流の渋滞状態へ転移が把握できる⁸⁾。現況信号と抽出した R3 年度対策案の Time-space diagram の比較から効果検証を行う。17時30分~18時30分の1時間で高速道路流入部から新川通交差点通過までと新琴似通交差点東流入部から新川通交差点通過までの路線上の車両軌跡を 0.15 秒間隔で測定した。また、現況信号現示施行日を再現した現況モデルを用いてシミュレーションを行った。

高速道路オフランプ部の結果を図-10、新琴似通交差点の結果を図-11に示す。図の上段が流入部における 50

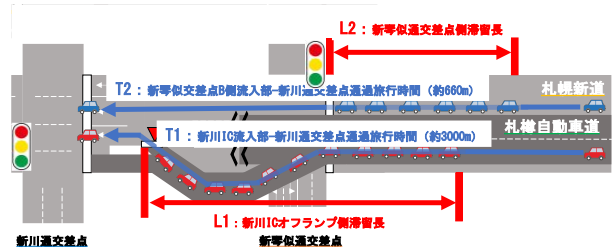


図-7 信号現示パターン最適化の評価指標

表-4 シミュレーション条件

シミュレーション回数	10回 (評価には10回の平均値使用)
Random Seed	42+8n
シミュレーション時間	4h (15:00~19:00)
評価時間	3h (16:00~19:00)
車種	小型二輪、普通車、小型貨物、普通貨物、バス
測定項目	10分毎最大滞留長L1, L2 10分毎平均旅行時間T1, T2
入力交通量	4パターン (社会実験実施日の再現モデル使用)

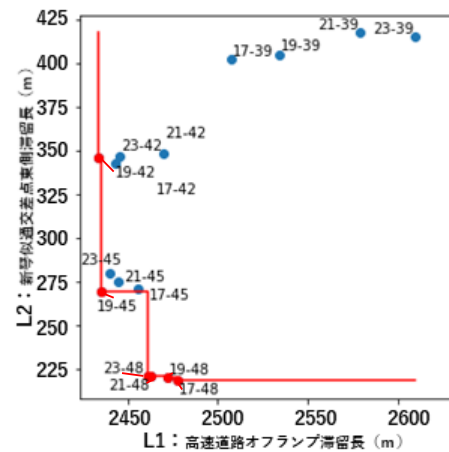


図-8 最大滞留長 L1, L2 のパレート解

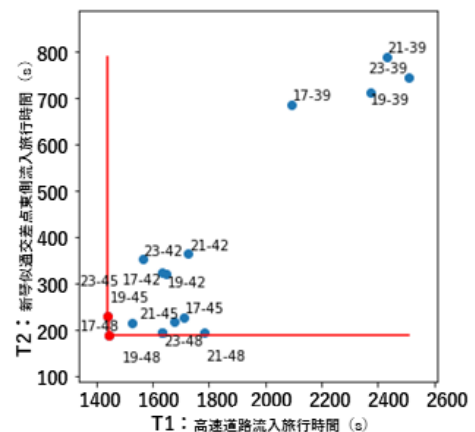


図-9 旅行時間 T1, T2 のパレート解

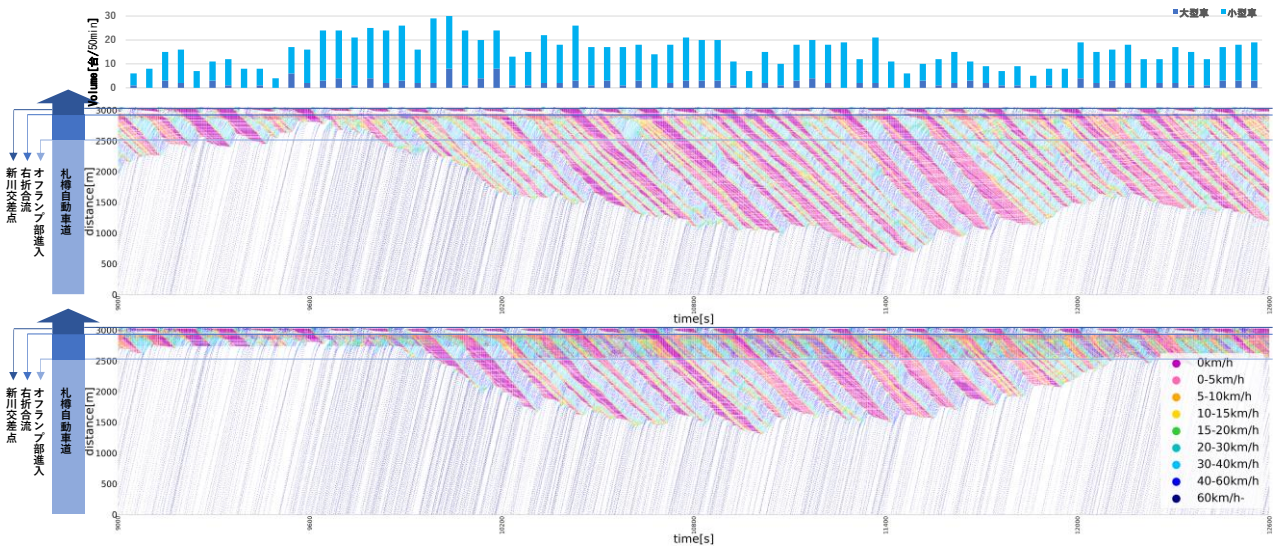


図-10 Time-Space Diagramによる高速道路オフランプ部における渋滞対策の効果検証
(上段：流入交通量 中段：現況信号現示 下段：信号現示 19-45 (最適信号現示パターン))

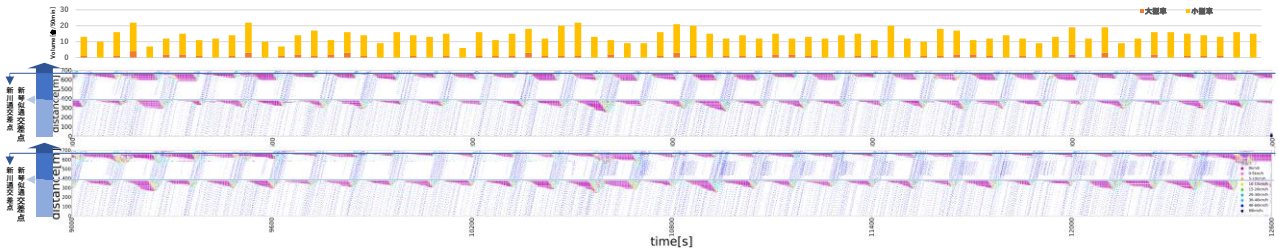


図-11 Time-Space Diagramによる新琴似通交差点における渋滞対策の効果検証
(上段：流入交通量 中段：現況信号現示 下段：信号現示 19-45 (最適信号現示パターン))

秒毎の流入交通量，中段と下段がそれぞれ現況信号現示，最適信号現示である対策案信号 19-45 を適用した Time-Space Diagram である。高速道路オフランプ部に着目すると，現況より対策案信号現示の適用時に車両滞留長の短縮や信号待ち回数の減少が確認できる。また，最適信号パターンの適用で渋滞状態が現況より早期に解消していることも確認した。一方，新琴似通交差点では，滞留長や信号待ち回数に大きな差がなかったことから，信号現示変更による影響が小さいことが確認した。

表-5 R3年度社会実験概要

	現況 R1. 9. 18	R2対策案 1 R2. 9. 30	R2対策案 2 R2. 10. 14	R2対策案 3 R2. 10. 22	R3対策案 R3. 11. 17
赤オフセット (s)	-9	4	16	21	19
青時間 (s)	48				45
オフランプ部 最大渋滞長 (m)	2500	1970	1530	1900	1700

5. R3年度対策案の事後評価

5.1 R3年度社会実験概要

R3年度の社会実験概要と結果を表-5，図-12 に示す。高速道路オフランプ部での最大渋滞長は，R2 年度対策案 2 より長いものの，現況より約 800m 短縮した。新琴似交差点の最大渋滞長は現況より約 110m 短縮した。以上より，R3 年度対策案の施行による渋滞緩和効果を確認した。

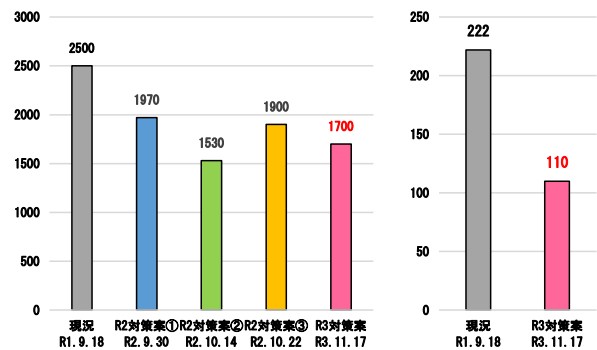


図-12 社会実験観測値における最大渋滞長の比較

5.2 信号現示パターン最適化の妥当性検証

信号現示パターンの最適化検討においてシミュレーションで予測された渋滞対策案の効果と社会実験での観測値における最大滞留長の比較により、事前検討での予測が適切であったかを評価する。シミュレーションの最大滞留長の値は 10 回施行の平均値、エラーバー範囲は標準偏差とする。結果を図-13 に示す。シミュレーションにより予測された L1 は $2436 \pm 394\text{m}$ 、L2 は $270 \pm 136\text{m}$ であった。R3 年度社会実験で観測された L1 は 2100m 、L2 は 230m であった。L1、L2 のいずれもシミュレーションの予測範囲内に観測値が収まったことから、シミュレーションによる施策効果の予測ができたことを確認した。

6. まとめ

本研究ではマイクロ交通シミュレーションと社会実験データの活用により、現況再現性を高めたシミュレーションモデルを構築した。そのモデルを用いて、複数の信号現示パターンの効果検証を行い、最適な信号現示パターンの抽出を行った。抽出した最適信号現示パターンの現地施行結果から、交通シミュレーションを用いた最適信号現示パターン検討の事後評価を行った。その結果、1) 社会実験データを用いた再現性の確認と校正を繰り返すことで交通シミュレーションモデルの構築した。また、そのモデルを用いることで信頼性の高い交通渋滞対策の効果検証を行うことが可能であった。2) 交通シミュレーションの活用した交通渋滞対策の検討により、高速道路での交通渋滞緩和と周辺交通への影響を考慮した最適な信号現示パターンを得られた。3) 最適信号現示パターンの現地試行結果から、交通渋滞検討の妥当性を示した。以上より、社会実験データと交通シミュレーションの活用で、効果的な交通渋滞対策の検討が可能であるといえる。

本研究の課題としては、汎用性の高いシミュレーションモデルの構築が挙げられる。交通量の変動に応じた最適な信号現示パターンの探索により多様な交通状況に応じた交通渋滞マネジメントが可能になると考えられる。また、シミュレーション範囲の拡大が挙げられる。信号現示変更を行った交差点の周辺においても影響を把握する必要がある。ほかには、対象交差点での冬季交通での速度低下や車両挙動を考慮したシミュレーションモデルの構築と渋滞対策の検討等が挙げられる。

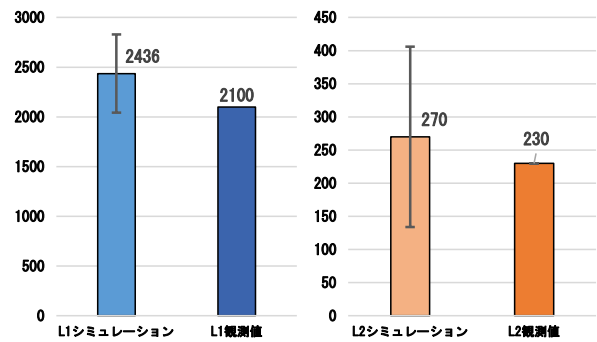


図-13 オフランプ部における最大滞留長信号検討の予測値と社会実験の観測値比較

謝辞：本研究は札幌開発建設部管内交通円滑化懇談会における取組の一環として行われた。懇談会関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 森俊勝：マルチエージェントシミュレーション：8、日本におけるマルチエージェントシミュレーション活用の動向、情報処理、Vol55, No.6, pp.580-590, 2014.
- 2) 阿部和規，藤井秀樹，吉村忍，田淵健太，妹尾俊彦：プローブデータとマイクロ交通シミュレーションを連携した信号現示改良施策の効果予測と事後検証、交通工学論文集，第7巻，第2号（特集号），B_14-B_24, 2021
- 3) Aleksander Stevanovic, Jelka Stevanovic, Cameron Kergave：OPTIMIZING SIGNAL TIMINGS TO IMPROVE SAFETY OF SIGNALIZED ARTERIALS, 3rd International Conference on Road Safety and Simulation, USA, Vol.14, 2011
- 4) PTV Vissim: [PTV Vissim: Software for multimodal traffic simulation \(ptvgroup.com\)](https://www.ptvgroup.com) (2022/3/6)
- 5) PTV Group : <https://company.ptvgroup.com/ja> , (2022/3/6)
- 6) Yi-Chuan Wang, Hui-Sheng Feng : Implementing Coordinated Real-time Regional Traffic Control System to Solve Traffic Congestion in Taichung City, The 16th Intelligent Transport Systems Asia-Pacific
- 7) 久保田尚：交通シミュレーションと社会実験を内包した交通まちづくりプロセスの構築，平成16年度～平成18年度科学研究費補助金（基盤研究（B）（2））研究成果報告書，2007
- 8) 大口敬：道路の自動車交通流特性と技術的課題，特集：情報化技術と混相流（4），23巻，4号，2009

OPTIMIZATION FOR TRAFFIC SIGNAL PATTERN BY UTILIZING THE TRAFFIC DATA FROM SOCIAL EXPERIMENTS AND MICRO TRAFFIC SIMULATION

Hirofumi OI, Motoki EDO and Mikiharu ARIMURA