

プローブ情報を活用した 信号制御方式に関する調査研究

報告書

令和7年6月

公益財団法人日本交通管理技術協会

序文

日本において都市道路網を集中制御する方式は、プログラム選択とプログラム形成に大別されよう。プログラム選択式制御では、交通状況に応じて複数のプログラムから最適な組み合わせが選択される。最も基本的な最適化基準は、信号制御による遅れ時間である。

プログラム選択および形成制御では、事前調査および車両感知器により計測、推定した飽和交通流率、交通需要、捌け残り台数に基づいて、信号制御パラメータを最適化している。これらの計測と推定の精度を確保、維持することが容易ではないことは広く認識されている。また、車両感知器が未設置の交差点またはリンクがあれば、それによる所要データの欠損は信号制御の最適性にも大いに影響を与えているはずである。

近年は、GNSS とデータ通信網により収集される車両の位置や速度等のプローブデータが、経路案内サービス等に広範囲に利用されている。さらに、旅行時間、信号制御による遅れのプローブデータ計測値、推定値の交通信号制御への二次利用の可能性が高まりつつある。従来の車両感知器データによる信号制御に対する優位性は、車両感知器が未設置の流入路においても車両が走行してプローブデータを取得できれば、交通状況に応じた制御が実現できる点にある。この二次利用は、車両個別のプローブデータを適用する言わば「非集計方式」と、一定の時間間隔における平均値あるいは累積値を適用する言わば「集計方式」に大別されよう。

非集計方式に関しては、中国において DiDi が配車管理の過程で収集されるプローブデータに基づいて、Google が世界十数都市でスマートフォン等を介したナビゲーションサービス提供過程で収集されるプローブデータに基づいて、それぞれ交通信号の定周期制御(曜日時間帯毎に一定のパラメータセットで制御する方式)用最適パラメータを、交通信号の制御主体にオフラインで提供するサービスを実施中である。非集計方式には以下の課題がある。

- 1) セキュリティ上の必要性から、プローブデータの収集主体がプローブデータを内部処理する必要がある。
- 2) 上記 1)のために、プローブデータに基づいて設定された定周期方式の信号制御パラメータを制御システムにオフラインで提供する運用にとどまっている。
- 3) 上記 2)への転換は、日本の都市道路網に広く適用されているオンラインリアルタイム集中制御方式と比較して、機能的に退歩する可能性もある。

集計方式に関しては、日本のプログラム形成方式である MODERATO 制御における負荷率を、プローブデータに基づいて算出する方法が試行された実績がある。この方式は、プローブデータの交通信号制御への適用を短期間を実現する選択肢として有用であろう。一方で、プローブデータの情報量の極一部のみをスプリットの設定、更新に利用しているに過ぎず、制御パラメータ全体の設定、更新に遅れ時間が制御基準として直接反映される方式ではない等の課題もある。

上記を背景として、「プローブ情報を活用した信号制御方式に関する調査研究」では、主に集計方式プローブデータの交通信号制御への適用を目指し、2021年度には東京都駒沢通りにおいてビデオ観測データと TomTom 社提供プローブデータを比較し、プローブサンプル率の時空間変動、旅行時間の推定精度、データ処理および伝送に伴う遅延時間等を検証した。翌年度には同様の検証を松山市の主要 2 交差点近傍において実施した。

2022 年度には、駒沢通りおよび松山市においてそれぞれ観測された交通状況と交通信号制御との関係を、一定精度で再現するミクロ交通シミュレータを構築した。これに、交通シミュレータの出力に基づきプローブ車からのサンプル出力を模擬生成するプローブエミュレータ、および信号制御エミュレータを連携させ、提案信号制御方式の性能評価システムを開発した。

愛媛大学グループは、プローブデータにより過飽和状態と非飽和状態を判定する方法を提案し、ビデオ観測データにより精度を確認した。さらにこの判定結果に基づき、スプリット調節制御または非飽和アプローチ青早切り制御を松山市内の 2 交差点に適用した場合の制御性能改善効果を上記性能評価システムにより確認し、現時点での適用可能性を明確に示した。

千葉工業大学グループは、カルマンフィルタにより平均遅れ算定モデルを同定する遅れ時間帰還制御アルゴリズムを、上記性能評価システム上に実装した。本方式の特徴は、1) 遅れ時間の直接計測値により閉ループ制御系を構成し最適化できること、2) 飽和交通流率の設定あるいは車両感知器による渋滞長の推定精度等の課題に対応できること、である。このモデルにより先詰まり状態を含む朝ピーク時間帯の交通状況の変動に対応できる可能性を示し、2023 年度以降も同モデルの最適制御への適用性を引き続き検証中である。

プローブデータに基づく交通信号制御は、今後趨勢となることが期待される。今回の調査研究が後続の多くの調査研究の端緒となり、日本のみならず、特に発展途上国への技術援助の一環としても活用されることを期待している。

結びに、本調査研究委員会の委員およびオブザーバー各位、各大学グループのメンバー諸氏、プローブデータを提供いただいた TomTom 社、公益財団法人日本交通管理技術協会・事務局の担当諸氏に対し、深謝の意を表する次第である。

2025 年 5 月 30 日

赤羽弘和

調査研究報告書 目次

	頁
1 調査研究の概要	
1.1 背景と目的	1
1.2 概要	1
1.3 体制等	2
2 信号制御の現状等	
2.1 現在の信号制御	4
2.2 遅れ時間等を用いた信号制御	6
3 プローブ情報	
3.1 プローブ情報とは	7
3.2 本調査研究で用いるプローブ情報	7
4 本プローブの特性分析	
4.1 現地調査	10
4.1.1 東京都駒沢通りにおける実地調査	10
4.1.2 松山市における実地調査	14
4.2 プローブサンプル率	16
4.3 遅れ時間(旅行時間)の精度	18
4.4 処理遅れ時間	21
4.5 分岐率	24
4.6 方向別旅行時間	24
4.7 待ち行列と実測による先詰まり	25
4.8 本プローブの異常値	26
4.9 交通管制データとの比較分析	27
5 プローブデータによる遅れ時間帰還信号制御	
5.1 プローブデータによる遅れ時間帰還信号制御アルゴリズム	28
5.1.1 信号制御アルゴリズムの基本構成	28
5.1.2 平均遅れ時間算定モデルの同定アルゴリズムの定式化	30
5.1.3 信号制御パラメータの最適化	32
5.2 シミュレーション評価システム	33
5.3 シミュレーション評価システムにおける入力データの設定	36
5.3.1 OD交通量の設定	36
5.3.2 飽和交通流率の設定	37
5.3.3 先詰まりの再現設定	38
5.3.4 シミュレーションネットワークの設定	39
5.4 シミュレーション評価システムの評価	39
5.4.1 交通シミュレータの評価	39
5.4.2 プローブエミュレータの評価	40
5.4.3 平均遅れ算定モデルの同定結果	41

5.5	仮想ネットワークによる遅れ時間帰還信号制御の評価	4 2
5.6	プローブデータによる遅れ時間帰還信号制御方式に関するまとめ	4 6
6	プローブによって判定されるアプローチ交通状態を用いた信号制御	4 6
6.1	アプローチ交通状態を用いた信号制御アルゴリズム	4 6
6.1.1	交通流状態の判定	4 7
6.1.2	アプローチ交通状態の判定結果を用いた信号制御	4 9
6.2	交通流状態の判定に関する精度検証	5 1
6.2.1	検証方法	5 1
6.2.2	過飽和状態の判定	5 1
6.2.3	近飽和状態/非飽和状態の判定	5 2
6.3	アプローチ交通状態を用いた信号制御の有効性検証	5 5
6.3.1	北吉田交差点における有効性検証	5 6
6.3.2	朝生田西差点における有効性検証	5 9
6.4	プローブによって判定されるアプローチ交通状態を用いた 信号制御のまとめ	6 6
7	まとめ	6 7
	参考資料	6 8

1 調査研究の概要

1.1 背景と目的

日本における現在の集中制御式信号制御は、車両感知器等（以下「感知器」という。）により把握した交通状況に基づくプログラム形成方式又はパターン選択を使用している。しかし、これらの制御には以下のような課題が挙げられる。

まず、感知器の整備数が不足する地点では、適宜・適切な信号制御が行われている保証はない。例えば、ある交差点の主道路側に感知器が設置されているが、交差する道路には感知器がないことを想定した場合、信号制御に影響を与えるのは主方向の交通のみで、交差方向から流入する車両の状況は反映されない。また、交通事故等の突発的な事象に対応するには、推定、現場合わせ等によるパラメータの設定が必要とされ、設定精度、作業負荷等に課題がある。さらに、交通の円滑化に注目した場合の信号機の制御基準は遅れ時間を最小化することである。しかし、感知器では遅れ時間そのものを計測することはできず、感知器で収集される情報に基づく交通量と渋滞長から負荷率を算定し、青時間比や信号サイクル長を設定している。そのため、特に渋滞長については複数の感知器による交通量及び占有率を基に推定していることから、信号制御性能の向上における課題となっている。

そこで、今回、通信ネットワーク等を通じて車両の位置（走行履歴）や速度、加速度、ワイパー作動状況等のデータ（以下「プローブデータ」という。）をリアルタイムで取得し、これらを集約することにより世界中でナビゲーションサービス等での利用が普及しつつあるプローブ情報（プローブデータを集めてリンク旅行時間、渋滞情報、降雨状況等に加工された情報をいう。以下同じ。）に着目し、プローブデータ（走行履歴）から高い精度の旅行時間（遅れ時間）を直接計測できることから、信号制御への活用について検討することとした。

本研究では、専門家の方々による委員会を設置して調査研究を開始したところ、プローブ情報を用いた信号制御として、千葉工業大学による「プローブデータによる遅れ時間帰還信号制御」、愛媛大学による「プローブによって判定されるアプローチ交通状態を用いた信号制御」が提案されて研究が進められた。

本報告書は、本委員会における資料、千葉工業大学及び愛媛大学関係者により発表された論文等を基にまとめている。

1.2 概要

本調査研究では、プローブデータにより算定可能となった遅れ時間を利用して、信号を制御する手法を検討し、交通シミュレーションにより効果を評価し、プローブ情報の信号制御への有効性を検証・評価することとした。

令和3年度は、取得した東京都内のプローブ情報の分析や現地の交通状況及び感知器で収集された信号制御用の交通管制データとの比較検証を行い、プローブ情報の特性の把握、信号制御への活用方法等について整理、検討した。

令和4年度は、プローブデータが少ないと想定される地方都市（愛媛県松山市）でのプローブ情報の特性分析を行うとともに、東京及び松山市において信号制御用シミュレータ等を構築し、プローブ情報によって信号制御を行った場合の交通状況をシミュレータで反映して評価を行うことを開始した。

令和5年度は、信号制御アルゴリズムの見直し、シミュレータの改修等を行い、プローブ情報を用いた信号制御の効果を測定し、その評価を実施した。ただし、千葉工業大学の研究については、令和5年度までに終わることができなかったことから、令和6年度以降も引き続き信号制御アルゴリズムの見直しを行い、その評価を実施したものである。

1.3 体制等

当協会の規定に基づき、学識経験者等による専門委員会として「プローブ情報を活用した信号制御方式に関する調査研究委員会」を設置した。

委員長には、交通工学の専門家であり、信号制御の分析や交通シミュレータ等豊富なご経験を有する千葉工業大学都市環境工学科・赤羽弘和教授にお願いした。

また、委員として学識経験者、警視庁、愛媛県警察、信号制御等交通工学に見識のある方に参画をお願いするとともに、警察庁、学識経験者にオブザーバーとして参加していただき、今後の実用化を見据えた幅広い検討を行えるようにした。

さらに、赤羽委員長（千葉工業大学）及び吉井委員（愛媛大学）の研究室の学生には現場調査やデータ収集、解析等を担当していただいた。

調査研究委員会の委員等を表1.1に示す。

また、各年度の調査研究のスケジュール概要を表1.2に示す。

表1.1 「プローブ情報を活用した信号制御方式に関する調査研究委員会」

氏 名 等		所 属 等
委員長	赤羽 弘和	千葉工業大学 創造工学部都市環境工学科 教授
委員	吉井 稔雄	愛媛大学大学院 理工学研究科 教授 (現 北海道大学大学院 教授)
委員	小根山 裕之	東京都立大学 都市環境学部都市基盤環境学科 教授
委員	堀口 良太	株式会社 アイ・トランスポート・ラボ 代表取締役
委員	川邊 俊一	UTMS協会 専務理事(元)
委員	小林 雅文	UTMS協会 交通流制御システム作業部会長
委員	岩岡 浩一郎	UTMS協会 情報提供システム作業部会長 (現 金沢学院大学 教授)
委員	弘津 雄三	UTMS協会 情報提供システム作業部会長(R5.4~)
委員	児玉 和彦	警視庁 交通部管理官 交通管制課課長代理(信号機管理担当)
委員	関 達也	警視庁 交通部 交通管制課副主査(信号機管理係)
委員	谷本 憲雅	愛媛県警察本部 交通部 交通規制課 交通管制官 (R4.4~R5.3)
委員	酒井 康弘	愛媛県警察本部 交通部 交通規制課 交通管制官 (R5.4~)
委員	伊藤 誠悟	愛媛県警察本部 交通部 交通規制課 交通管制企画補佐 (R4.4~R5.3)

委員	團上 量久	愛媛県警察本部 交通部 交通規制課 交通管制企画補佐 (R5. 4～)
オブザーバー	吉川 真人	警察庁 交通局交通規制課 課長補佐 (研究開発)
オブザーバー	塩見 康博	立命館大学 理工学部環境都市工学科 教授
オブザーバー	坪田 隆宏	愛媛大学大学院 理工学研究科 准教授
オブザーバー	柳原 正実	東京都立大学 都市環境学部都市基盤環境学科 助教
事務局	内藤 伸悟	(公益財団法人) 日本交通管理技術協会 専務理事 (R3. 4～R3. 6)
事務局	彦坂 正人	(公益財団法人) 日本交通管理技術協会 専務理事 (R3. 6～)
事務局	吉田 利博	(公益財団法人) 日本交通管理技術協会 研究部長
事務局	宮田 晋	(公益財団法人) 日本交通管理技術協会 研究部参事 (元)

表 1.2 調査研究スケジュール

令和3年度												
項 目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
事前準備												
千 葉 工 業 大 学												
ブロープ情報、現地交通情報、交通管制情報等の収集												
ブロープ情報の解析												
信号制御アルゴリズム構築												
シミュレータの構築												
愛 媛 大 学												
アプローチ交通状態判定手法の検討												
胸沢通りにおける判定検証												
令和4年度												
項 目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
千 葉 工 業 大 学												
信号制御アルゴリズム構築												
シミュレータの構築												
愛 媛 大 学												
アプローチ交通状態判定手法の検討												
ブロープ情報、現地交通情報、交通管制情報等の収集												
ブロープ情報の解析												
アプローチ交通状態判定による信号制御手法の検討												
信号制御手法の精度検証												
令和5年度												
項 目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
千 葉 工 業 大 学												
信号制御アルゴリズム構築												
シミュレータの構築												
愛 媛 大 学												
信号制御の精度検証												

2 信号制御の現状等

2.1 現在の信号制御

現在の日本で用いられている代表的な信号制御方式である MODERATO は、交通容量（ある道路の断面を一定の時間間隔内に通過することが期待できる最大の交通量。以下同じ。）より交通需要（ある地点を通過しようとする車両数。以下同じ。）が少ない非飽和（渋滞が発生していない状態をいう。以下同じ。）から近飽和（交通容量より交通需要がやや少なく、渋滞はしていないが混雑に近い状態をいう。以下同じ。）、過飽和（交通容量より交通需要が多く渋滞している状態をいう。以下同じ。）までの各交通状態に対応が可能となるよう、感知器情報に基づいて推定した交通状況に応じて自動的に制御パラメータを作成するものである。

近接する複数の信号交差点をまとめてサブエリアとし、サブエリア内にある重要交差点の交通状況からサイクル長（信号灯が青→黄→赤と一巡する時間をいう。以下同じ。）、スプリット（流入する道路の信号に割り当てられる青時間の比率をいう。以下同じ。）を算出している。さらに、サブエリア内の信号機は隣接する信号と系統制御(同期)させ、隣接するサブエリアとは交通状況に応じて結合、分割し、結合した場合は隣接するサブエリアともサイクル長を統一して系統制御することにより、複数のサブエリア間でも面の交通整理によるスムーズな通行を目指している。

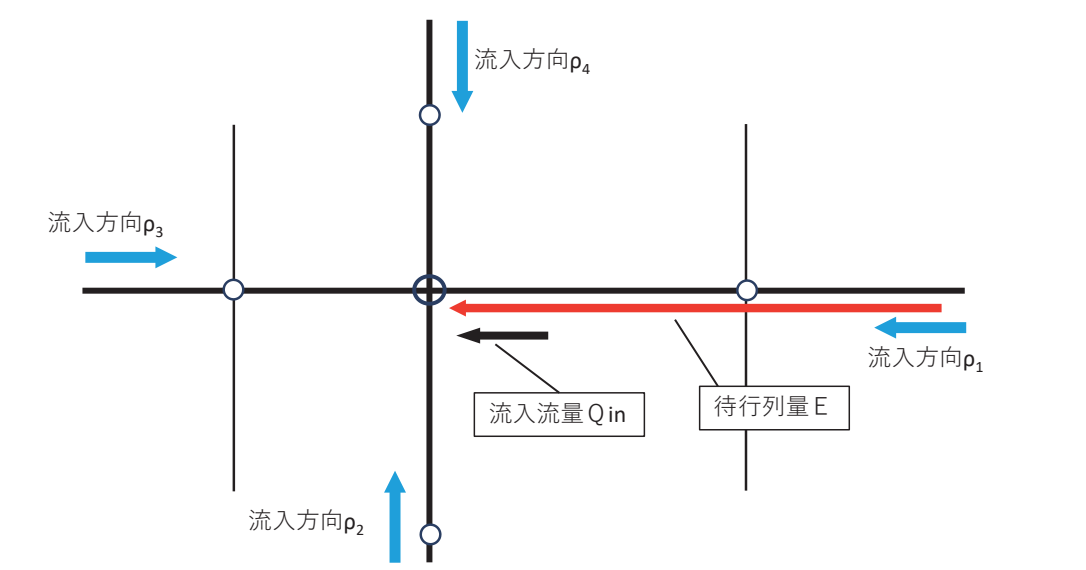


図 2.1 MODERATO 信号制御方式 (2 現示の例)

信号制御を行うための標準的な感知器の配置等を図 2.2 に示す。交通量・飽和交通流率を計測するための感知器を停止線から 150m の位置で全車線に設置する。右折交通量がサイクル毎に大きく変動する交差点では、右折車線の停止線から 30m の位置に感知器を設置して、右折交通量計測及び右折感應制御に利用する。渋滞長や旅行時間を計測する場合には、停止線から 300m、500m の位置、渋滞がこれより伸長する路線では、以降、上流の重要交差点までの間で、市街部では 250m 間隔、郊外部では 500m 間隔で経路の代表車線（一般的には 2 車線の場合はセンターライン側車線、3 車線の場合は中央車線をいう。以下同じ。）に感知器を設置する。

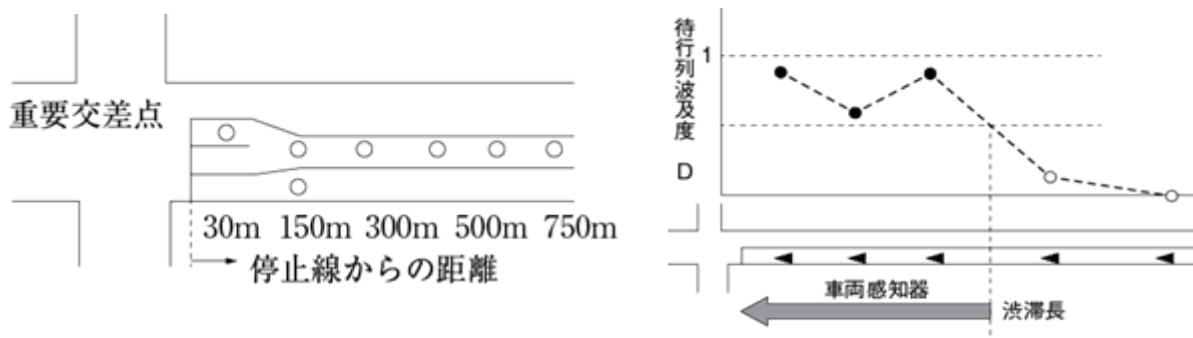


図 2.2 標準的な感知器の配置及び渋滞長の算出方法

これらの感知器情報を基に、スプリット及びサイクル長は以下のとおりに算出される。

【各流入路の負荷率（飽和交通流量（車線別に単位時間あたりに停止線を通過し得る最大の車両数をいう。以下同じ。）に対する負荷交通量の割合）】

$$\rho = (Q_{in} + r \cdot k \cdot E) / S \quad (1)$$

ρ : 負荷率 Q_{in} : 流入流量 [台/2.5 分] E : 待行列量 [台]

S : 飽和交通流量 [台/2.5 分] r : 先詰まり時の E の使用率 [$0 \leq r \leq 1$]

k : E の使用率 [$0 < k \leq 1$]

重要交差点のスプリットは観測された流入路の負荷率に応じて設定される。同一系統内の周辺交差点はあらかじめ設定されたパターンが選択されている。スプリットは以下のように算出され、以下の特徴を有する。

- ・ 流線負荷率には待行列台数が含まれているため、非飽和状態から近飽和状態へ一貫した制御が可能である。
- ・ 3 現示以上の多現示交差点への適用が可能である。
- ・ 過飽和状態において、政策を反映するための制御が可能である。
- ・ 先詰まりが検出されたとき、競合する現示のスプリットが増加し、交差点の総流出交通量を増加させることができる。

【現示毎の負荷率】

$$\rho_i = \max(\rho_1, \rho_3) \quad \rho_j = \max(\rho_2, \rho_4) \quad (2)$$

【スプリット値】

$$g_i = \rho_i / (\rho_i + \rho_j) \quad g_j = \rho_j / (\rho_i + \rho_j) \quad (3)$$

g : 各現示のスプリット値 ρ : 負荷率

サイクル長は重要交差点で計測された交差点負荷率等によって以下のように設定され、設定されたサイクル長が同一サブエリア内のすべての交差点にも適応される。

【サイクル長】

$$C = (a1 \cdot L + a2) / (1 - a3 \cdot \rho) \quad (4)$$

L : 損失時間 (黄+全赤時間)

ρ : 交差点負荷率 ($\rho = \max(\rho 1, \rho 3) + \max(\rho 2, \rho 4)$) $a1, a2, a3$: 係数

以上のことから、近飽和及び過飽和においては、流入流量が飽和交通量に近い値で固定化されることにより負荷率もある値周辺での変動に留まり、スプリット等のダイナミックな変動は起こりにくくなる。また、過飽和においては待ち行列長が加味されるが、待ち行列長は感知器の交通量及び占有率から算出される平均速度から待行列波及度を算出し、さらにこの待行列波及度を基に求められる推定値であることから、正確性に課題を持つ。加えて、感知器の配置間隔、配置数等に大きく影響され、適正な信号制御への課題を有している。

2.2 遅れ時間等を用いた信号制御

信号制御による交通の円滑化対策では遅れ時間をなるべく小さくすることを制御目標とすることが一般的である。

しかし、遅れ時間は、以下の式に示すリンク間の走行に要する旅行時間（所要時間）から自由流旅行時間（リンク間の走行時に信号、渋滞等による遅れの影響を受けていない場合の旅行時間）を引いた値で表すことができるが、感知器では旅行時間と自由流旅行時間を直接計測できないことから、本調査研究では、プローブ情報に基づく遅れ時間を用いることにする。

$$\text{遅れ時間} = \text{区間旅行時間} - \text{自由流旅行時間 (区間距離と} \\ \text{規制速度から求められる区間走行時間)} \quad (5)$$

本調査研究で利用するプローブ情報においても遅れ時間はあるが、基となる自由流旅行時間は夜間の閑散時に計測された旅行時間を採用しており、夜間時間帯の信号制御による遅れ時間が含まれていることから、今回の研究では、上記(5)式で求めた遅れ時間を採用する。これにより、遅れ時間とは、信号制御等の影響を受けない場合である旅行時間（自由流旅行時間）との差を用いることで、リンク長差の影響を除外した指標となる。

これまでも、既存の研究において、様々な方法で遅れ時間を最小にする手法が検討されている。例えば、「遅れ時間のリアルタイム計測による交通感应信号制御」¹⁾では、AVI（旅行時間計測装置）による遅れ時間を用いた信号制御の研究が行われ、名古屋で開催されたITS世界会議に合わせて実証評価実験が行われた。

日光では紅葉シーズンに起こる渋滞が深刻な問題となり、「リアルタイム旅行時間表示サービスを活用した日光の渋滞対策実証実験」²⁾ではプローブ情報を利用し、日光の駐車場までに予測されるリアルタイムな旅行時間を直行と迂回のルート別に表示板に表示させている。この2つの旅行時間の表示により、迂回又は直行を運転者に選択させることで渋滞を削減させる研究が行われた。

「分散型交通信号制御システム」³⁾では、生物の進化をモデルとする分散知能を利用した分散型信号システムとして、各交差点の信号機を分散知能化させ、各信号機が信号制御を行いながら情報交換により系全体を最適に制御させることで、遅れ時間を最小化させるといった研究が行われた。

警察庁では、遅れ時間の利用ではないが、令和2年度より「今後の交通管制の在り方に関する調査研究」を実施し、その調査研究の一部としてプローブ情報を用いた信号制御も検討され、令和5年度にはMODERATOをベースとし、感知器データを基にした渋滞情報をプローブ情報の旅行時間から求めた渋滞情報に置き換えることにより信号制御を行う実証実験が実施された。

他にも、ITSの進展により交通流のセンシング技術、情報の通信技術の高度化が進んでいる。その中で「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」⁴⁾では、特に進展が著しい画像処理技術を利用した車両識別技術の向上に着目し、個々の車両の遅れ時間を直接計測して制御に活かす研究等が行われていた。

3 プローブ情報

3.1 プローブ情報とは

プローブとは、探査、精査すること等の意味を持ち、道路交通においては車両において車両位置、速度、ブレーキ、ワイパーなどの動きを計測する各種センサー等が搭載された車両の状態、周辺状況等をリアルタイムで監視している。プローブデータとは、このようなデータを走行中の多数の車両から通信ネットワーク等を通じて得られる様々な情報のことである。こうした大量のプローブデータを収集・分析し、リンク旅行時間、分岐率、渋滞長、急ブレーキ多発地点、降雨地点等のプローブ情報に加工され、走行支援や交通安全対策等様々な場面において活用されつつある。例えば、交通情報では（一財）道路交通情報通信システムセンター（VICSCセンター）におけるVICSPローブ活用サービス、通信機能付きカーナビゲーションシステム、スマートフォンアプリ等で渋滞及び旅行時間情報が提供され、交通安全対策では急ブレーキ等情報を用いたヒヤリハット地点対策が実施され、地震等災害対策では車両通行実績情報が提供されて避難又は支援活動に役立てられているところである。

プローブデータについては、自動車のIT化等により、テレマティクスやコネクテッドカーが進展してきており、今後はさらにプローブデータの取得率が高まってくると思われ、加えて国民の多くが保有するスマートフォン等携帯電話においても位置情報等が大量に収集されていることから、これらを基に更なるプローブ情報のエリア拡大、精度向上が可能になると思われる。

3.2 本調査研究で用いるプローブ情報

本調査研究では、本調査研究の趣旨をご理解いただき、一部無料でプローブ情報を提供していただくことによりTomTom社（本社：オランダ）のプローブ情報（以下「本プローブ」という。）を利用した。TomTom社は、ナビ地図を世界150カ国以上、交通情報サービスを80カ国以上で展開している。

本プローブでは、車載ナビ、スマートフォン、Uber等世界で6億以上のGPSデバイスから5秒間隔の位置情報を収集し、日本では全走行車両の10～20%(令和4年度現在)のデータを常時取得し、旅行時間等を提供している。



図 3.1 本プローブの概要（令和 4 年 TomTom 社の資料より）

表 3.1 本プローブの仕様

項 目	時間間隔
リンク旅行時間	1 分
リンク下流部における直近 30 分間の 流出方向別プローブ台数	1 分
リンク下流部からの滞留長	1 分

表 3.2 に示すように、本プローブで送られてくる主な情報の内容は、交差点の流入路毎の平均旅行時間、平均遅れ時間、平均停止回数等の幅広い情報が提供されている。提供区間は、図 3.2 に例を示すが、一つのリンク区間がセグメントとして更に短く区切られており、セグメント毎の平均旅行時間、平均速度が取得できることから多様な活用が可能である。また、分岐率は提供されているが、本調査研究の時点では、直進、右左折の方路別の平均旅行情報等は提供されていなかった。

表 3.2 本プローブのデータ内容（抜粋）

フィールド			データ型	説明
id			String	交差点 I D
approaches Live Data			Array	流入路情報のリスト
	id		Int	流入路 I D
	Travel Time Sec		Int	平均旅行時間
	free Flow Travel Time Sec		Int	自由走行時の平均旅行時間
	delay Sec		Int	平均遅れ時間
	usual Delay Sec		Int	平均遅れ時間統計値
	stops		Double	平均停止回数
	queue Length Meters		Double	待ち行列長
	Volume Per Hour		Int	直近 1 時間の流出台数
	segmentId		Array	当該流入路のセグメント情報のリスト
		length Meters	Double	セグメント長
		travel Time Sec	Double	平均旅行時間
		speed Kilometers Per Hour	Double	平均速度
	turn Ratios		Array	当該流入路の分岐情報のリスト
		exit Index	Int	流出路番号
		ratio Percent	Int	分岐率
		probes Count	Int	直近 3 0 分間の流出台数

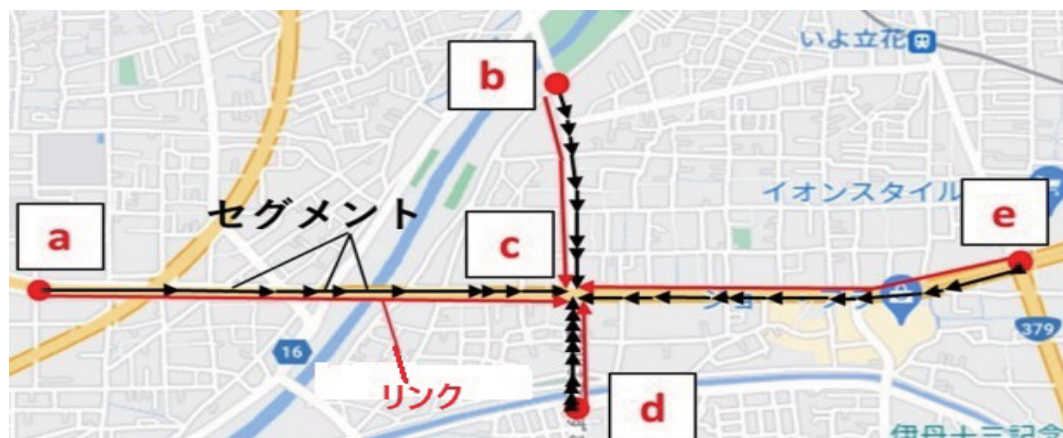


図 3.2 リンクとセグメントの関係（東京都駒沢通り及び松山市朝生田西交差点の例）

4 本プロローブの特性分析

本プロローブが信号制御を始めとした交通管理において活用可能かを調査するため、本プロローブと実走行する車両をビデオカメラで録画等により観測したデータ及び交通管制システムで得られたデータを用い、遅れ時間、交通量、待ち行列長等の比較、検証を行うことにより、本プロローブの特性を分析した。

4.1 実地調査

4.1.1 東京都駒沢通りにおける実地調査

4.1.1.1 調査地点

図 4.1 に示す東京都世田谷区駒沢通り、駒沢公園交差点(A)～柿の木坂交差点 (M) 及びその交差道路の上流交差点の全 14 箇所において通過する車両のビデオカメラによる観測（以下「ビデオ観測」という。）を行った。対象地点において、朝ピークを想定して駒沢通り上り方向（東行き）を主対象とし、交差方向の道路については駒沢通りへの流入方向のみを対象とした。



図 4.1 ビデオ観測対象交差点（東京都駒沢通り）

4.1.1.2 調査日時

表 4.1 に調査日、時間帯、対象交差点数を示す。調査時間帯は、駒沢通りにおける交通量の朝ピーク時間帯である午前 8 時を中心とし、午前 7 時～9 時半までを対象とした。ただし、2021 年 9 月 8 日(水)における調査は事前調査とし、キー交差点である国立病院東京医療センター前交差点の駒沢通り東行きの観測のみを対象とした。

表 4.1 調査日時

日付(2021 年)	調査時間帯	対象交差点数
9 月 8 日(水)	8:00~9:30	2 交差点(駒沢公園中央~国立病院 東京医療センター前)
10 月 20 日(水)	7:00~9:30	14 交差点

4.1.1.3 調査項目等

以下の各項目のデータ化を目的としてビデオ観測を実施した。

- ① 停止線における自動車登録番号(以下「ナンバープレート」又は「NP」という。)別の車両通過時刻(進行方向別)
- ② 信号灯器表示履歴
- ③ 交通状況(先詰まり等)

車両通過時刻から以下の要領で旅行時間及び遅れ時間を算出した。

1 台ごとの旅行時間は、交差点間を通過する車両のナンバープレートが一致(以下「NPマッチング」という。)する車両の上流交差点停止線通過時刻と隣接する下流交差点停止線通過時刻の差から算出する。

1 台ごとの遅れ時間については、この旅行時間から信号制御等の影響を受けない場合である自由流旅行時間(規制速度による走行時間(リンク長/規制速度))との差から算出する。



なお、駒沢通りでは、上流交差点の流出方向が直進、下流交差点の流出方向が全流出方向の組み合わせのみをNPマッチングの対象とした場合を主な計測対象とし、上流交差点に全方向から流入する車両と下流交差点の流出方向が全流出方向の組み合わせを対象とした場合の計測結果と区別して考察を行った。

また、NPマッチング後の各車両の旅行時間において、路上停車車両やタクシー等の影響により旅行時間が他の値から大きく外れる「外れ値」が存在することから、以下の要領で外れ値を算出して除外した。ただし、全時間帯を対象として外れ値を算出するとピーク時間帯の車両を外れ値として除外してしまう場合があるため、観測開始時刻~午前7時59分まで、午前8時~観測終了時刻までの2つの時間帯に分けて算出を行った。

- ① 各交差点を通過する車両における旅行時間の平均値、標準偏差 σ を算出する。
- ② 平均値+3 σ 以上の値を外れ値とする。

4.1.1.4 ビデオ観測の処理精度

ビデオ観測によるNPマッチングでは、ナンバープレートが前を走行する車両に隠れる、ビデオカメラの焦点が合わず読取りができないなどにより、一時的に照合率が低下することがある。図4.2に、観測区間のキー交差点である国立病院東京医療センター前交差点の東行き及び柿の木坂交差点の北行きのビデオ観測のナンバープレート照合率を示す。両区間とも平均8割程度の照合率があり、調査に必要な十分なデータが得られている。

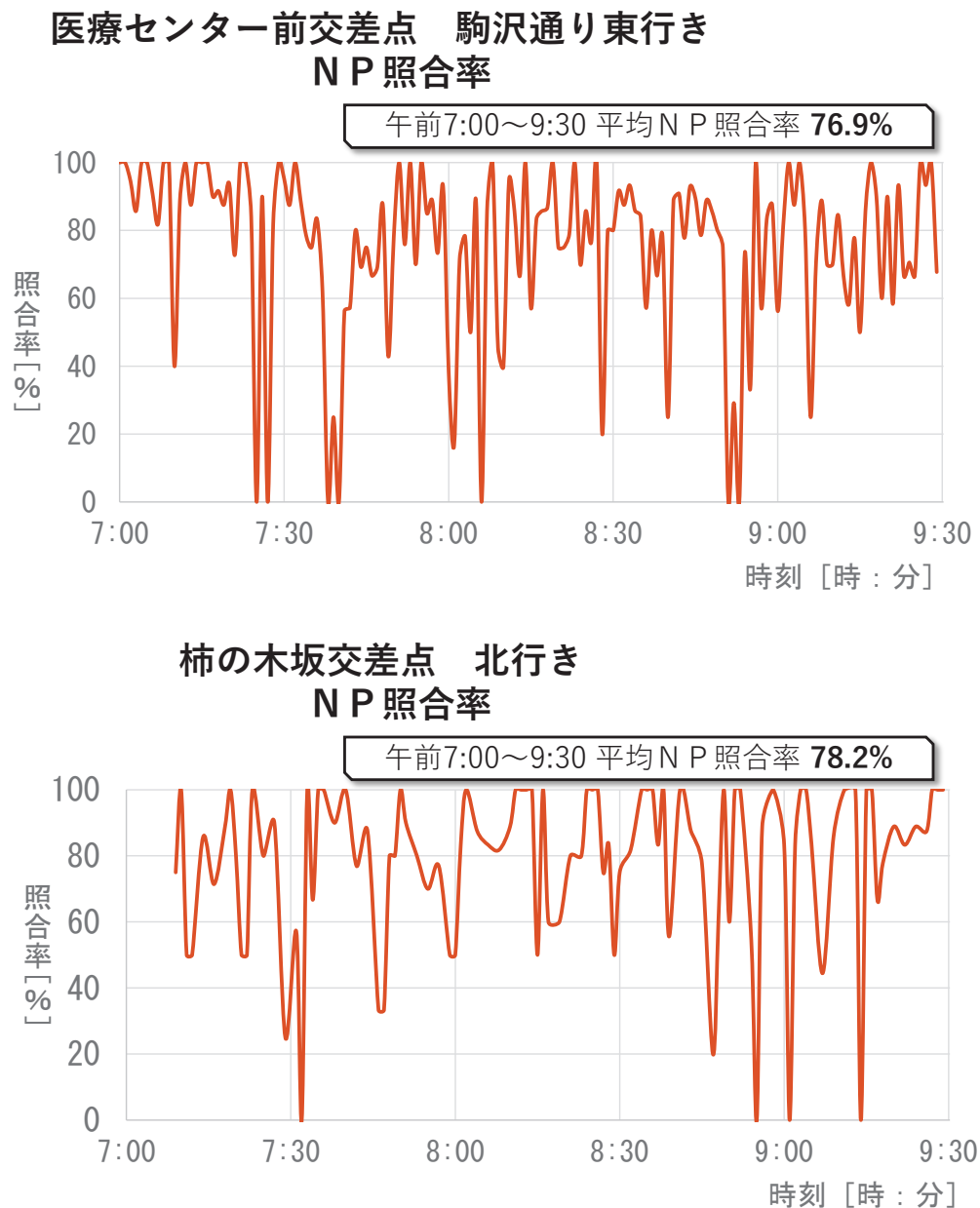


図4.2 ナンバープレート照合率 (2021年10月20日(水))

4.1.1.5 観測時間帯における本プローブによる交通状況

図 4.3 に 2021 年 9 月中の各水曜日の遅れ時間、図 4.4 に 30 分間の流出台数の時間変動を示す。6 時台は流出台数が増加傾向に入り始めているが遅れ時間はまだ少なく渋滞は発生していない。8 時台で流出台数がピークを示しており、遅れ時間は 7 時～9 時台がもっとも大きく渋滞が発生している。流出台数は 9 時台に減少し始めて 10 時台以降は概ね一定値となっており、遅れ時間も 9 時台から減少を始めて 10 時以降は概ね 50 秒以下で安定してスムーズな交通に移行している。

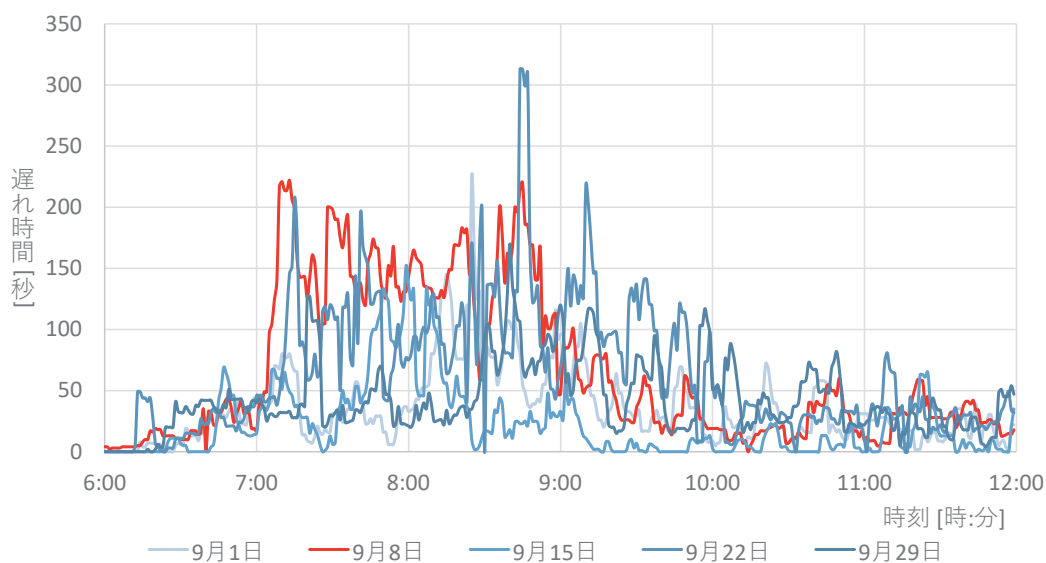


図 4.3 プローブ遅れ時間の推移
(国立病院東京医療センター前交差点駒沢通り東行き)



図 4.4 プローブ流出台数の推移
(国立病院東京医療センター前交差点駒沢通り東行き)

4.1.2 松山市における実地調査

愛媛県松山市の2カ所において東京都駒沢通りと同様にビデオ観測による実地調査を実施した。

4.1.2.1 調査地点

4.1.2.1.1 朝生田西交差点

図4.5に示す愛媛県松山市の朝生田西交差点（c）は、松山市郊外にあり、a～c～eの道路は松山市郊外の環状道路で、b～c～dの道路は松山市中心部から郊外に繋がる道路で、両道路とも交通量は多く、朝夕においては渋滞することもある。

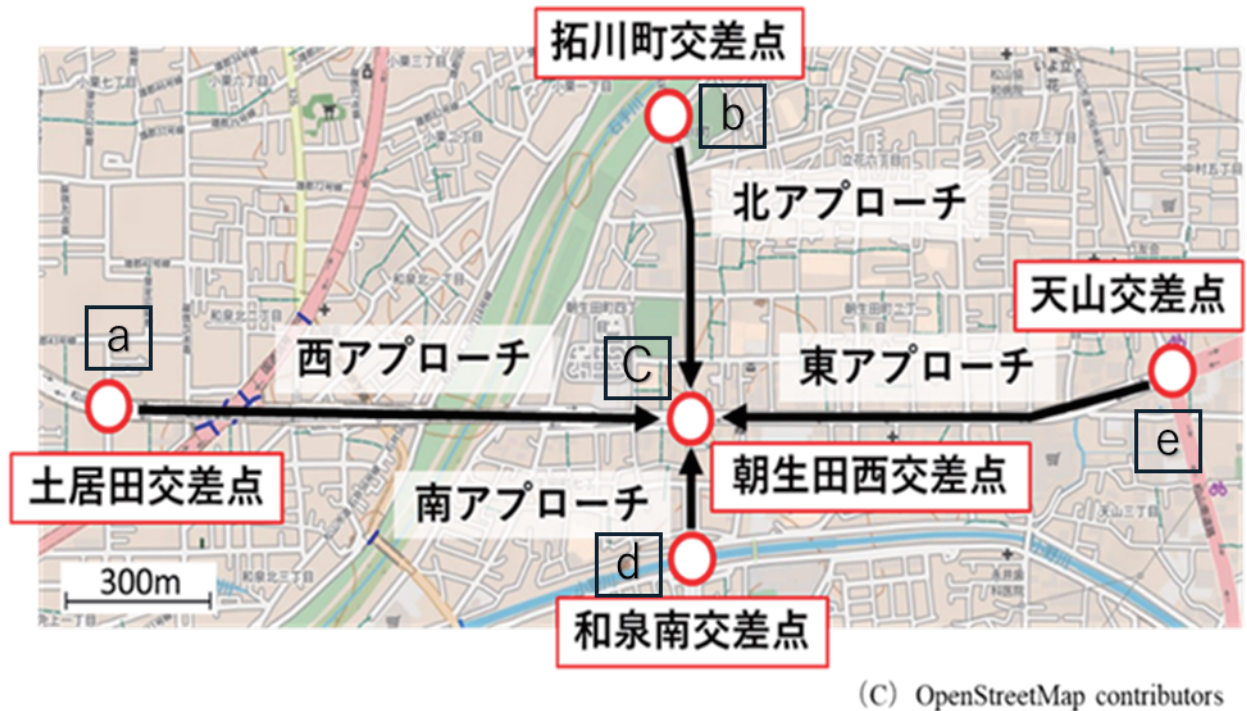


図4.5 ビデオ観測対象交差点（松山市朝生田西交差点）

4.1.2.1.1.1 調査日時及び観測項目

朝生田西交差点（c）と、これを中心に隣接する交差点4カ所（a、b、d、e）の計5カ所において、交通量が特に増加する朝・夕に調査することとし、交通量が増え始める時刻から交通量が増加して低下する時間帯まで観測した。

調査日時：2022年6月28日(火) 6:00～9:00 16:00～19:00



観測項目は、以下の各項目のデータ化を目的としてビデオ観測及び交通量計測を実施した。

- ・停止線におけるナンバープレート別の車両通過時刻（進行方向別）
- ・各サイクルにおける方向別の捌け残り・先詰まりの有無
- ・朝生田西交差点（c）におけるサイクル単位の方向別交通量

4.1.2.1.2 北吉田交差点

図 4.6 に示す愛媛県松山市の北吉田交差点は、松山空港の近くにあり、①～②～③の道路は松山空港への片側 2 車線のアクセス道路で航空機の発着に合わせ交通量が増加するが渋滞は発生していない。また、④～②～⑤の道路は片側 1 車線の県道で交通量が多く渋滞が発生することがある。

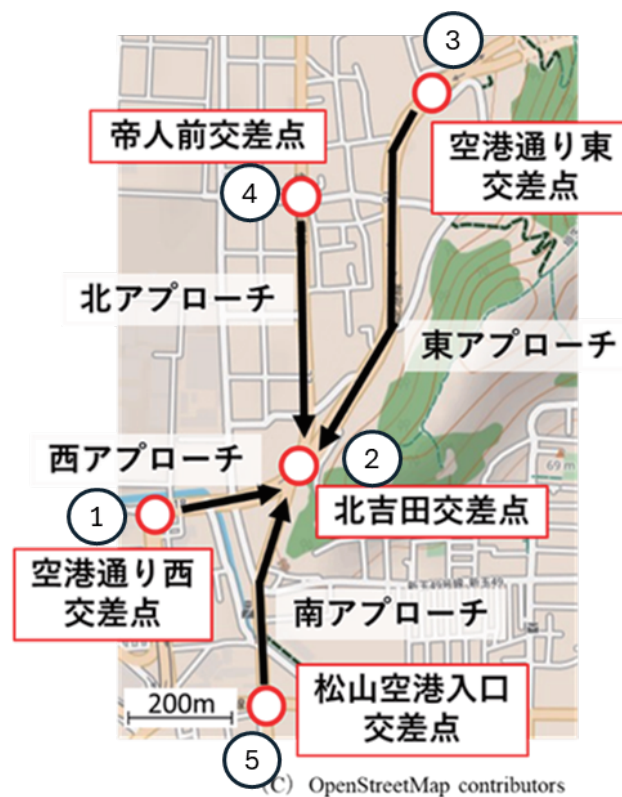


図 4.6 対象交差点（北吉田交差点）

4.1.2.1.2.1 調査日時及び観測項目

北吉田交差点（②）と、これを中心に隣接する交差点 4 カ所（①、③～⑤）の計 5 カ所で通過する車両のビデオ観測及び交通量計測を行った。

調査日時：2022 年 10 月 5 日（水）14:30～15:00

11 月 14 日（金）10:00～15:00

11 月 21 日（金）10:00～15:00

観測項目は、朝生田西交差点と同じ。

4.2 プローブサンプル率

本プローブから提供されるプローブ車両の流出台数（サンプル数）は、直近 30 分間の累計で提供される。例えば、8 時に提供されるプローブ車両の流出台数は、7 時 30 分から 8 時までの 30 分間で収集されたプローブ車両の合計流出台数となる。

このことから、実測した交通量に対するプローブ車両の流出台数の比率を「プローブサンプル率」と定義し、以下のように算出する。

プローブサンプル率[%] =

プローブ車両の流出台数[台/30 分] / ビデオ観測による停止線通過台数[台/30 分] × 100

図 4.7 に 2021 年 10 月 20 日（水）の東京都駒沢通り国立病院東京医療センター前交差点の東行き及び柿の木坂交差点の北行きの時刻毎のプローブサンプル率を示す。ただし、柿の木坂交差点北行きのプローブサンプル率はビデオ観測時の不具合により 7 時 45 分以降の結果を示す。

プローブサンプル率は時刻により変動しているが、7～17%の間を推移している。

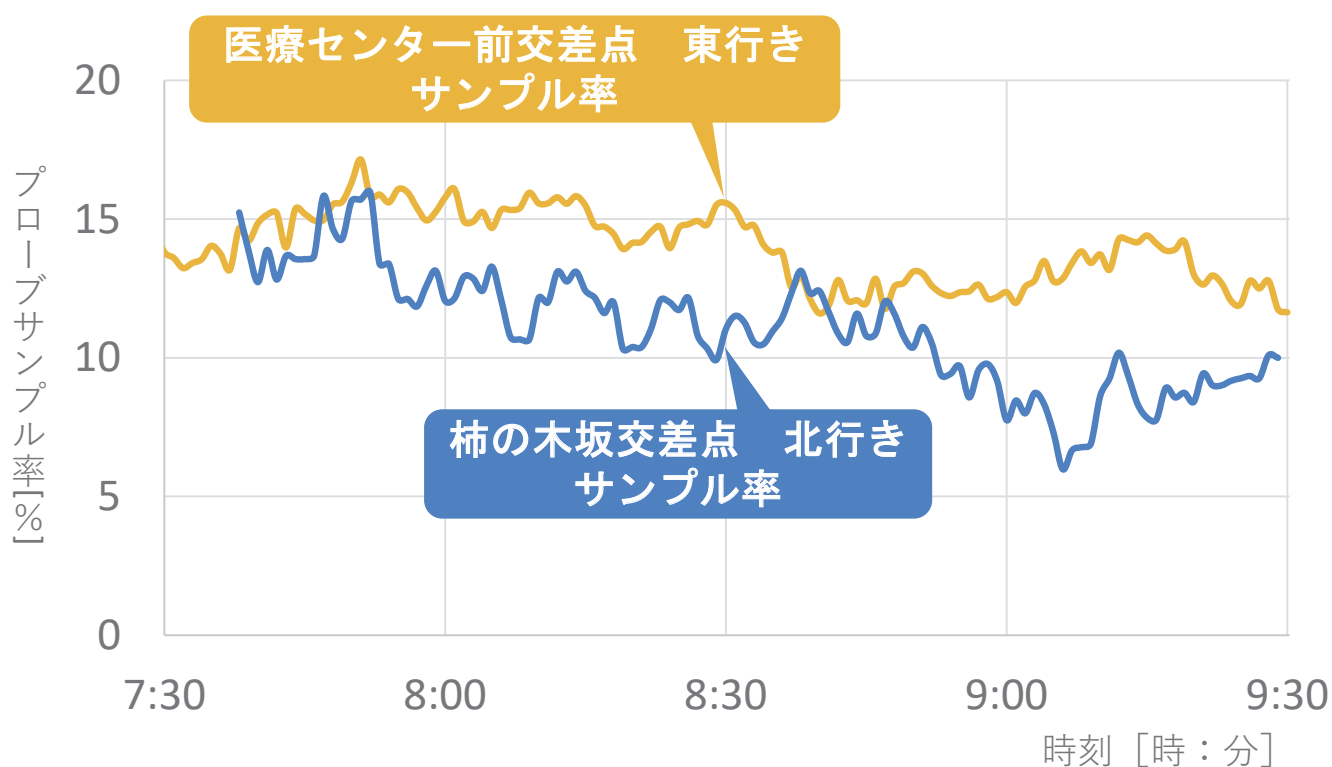


図 4.7 プローブサンプル率（2021 年 10 月 20 日（水））

また、表 4.2 に駒沢通りの各リンク及び松山市朝生田西交差点における朝夕での各流入路のプローブサンプル率の平均値を示す。

プローブサンプル率は、大都市である東京では各リンクを平均すると約13%、地方都市である松山市では約7%となり、本プローブにおいては大都市と地方都市ではプローブサンプル率が異なっていることが確認できた。

また、東京都駒沢通りの柿の木坂西交差点の北からの流入路ではプローブサンプル率が0%になっている。これは、このリンクが通過交通量の少ない細街路であったことにより、調査日時において個々のプローブデータの収集がほとんどできなかったことによるものと考えられる。さらに、図4.8に示すとおり、当該時間におけるこのリンクのプローブ情報平均遅れ時間は一定値のみが提供されており、本プローブではプローブ車両が少ない場合の平均遅れ時間（旅行時間）は、統計値データ、直前のデータ等による推定値が提供されていたと考えられる。

表 4.2 平均プローブサンプル率

東京都駒沢通り			愛媛県松山市（朝生田西交差点）		
交差点名	流入方向	平均サンプル率	流入路	平均サンプル率	
				朝	夕
駒沢公園	南	11.9%	東流入路	6.2%	5.8%
駒沢公園中央	南	16.1%	西流入路	6.2%	7.0%
	西	13.8%	北流入路	7.4%	9.0%
国立病院東京 医療センター 前	南	9.8%	南流入路	9.9%	8.3%
	西	1.4%			
	北	12.8%			
国立病院東京 医療センター 正面前	西	13.1%			
東根小前	南	7.1%			
	西	13.1%			
柿の木坂西	西	12.8%			
	北	0.0%			
柿の木坂	南	11.1%			
	西	13.9%			

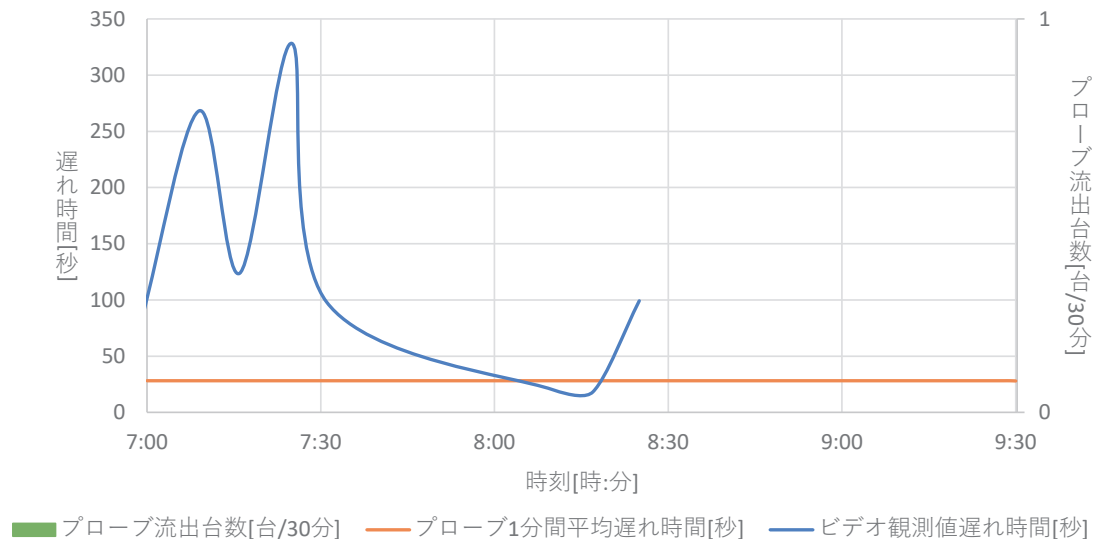


図 4.8 柿の木坂西交差点北流入路における遅れ時間

4.3 遅れ時間（旅行時間）の精度

4.3.1 東京都駒沢通り

図 4.9 に、駒沢公園中央～国立病院東京医療センター前東行きの本プローブによる遅れ時間とビデオ観測による実測遅れ時間（1 分間平均）の比較結果を示す。8 時 15 分付近で一部実測値と乖離している部分はあるものの、ほぼ位相が一致している。なお、緑の波形は本プローブで提供された 30 分間のプローブ流出台数を示す。

なお、本プローブによる旅行時間は 1 分単位であるが、観測した時間帯の信号機のサイクル長は約 2 分であるため、1 分平均の遅れ時間では青で通過する車群と赤で停止する車群が交互に現れるため、遅れ時間の時刻変動が 1 分毎に上下に波動することになる。このため、サイクルに同期させた比較を行うため遅れ時間を 2 分間の平均で表した結果を図 4.10 に示す。同図より、位相がより一致していることが分かる。

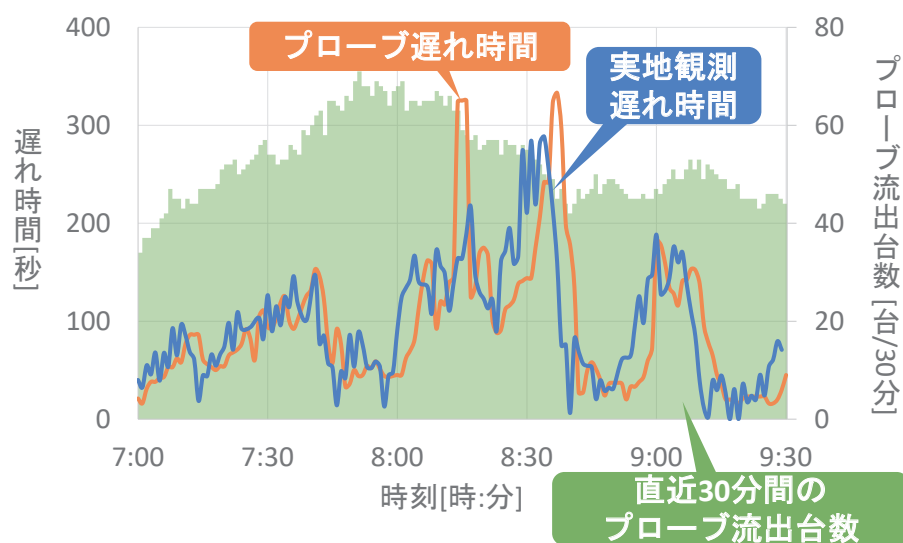


図 4.9 駒沢公園中央～国立病院東京医療センター前東行き遅れ時間（2021 年 10 月 20 日（水））

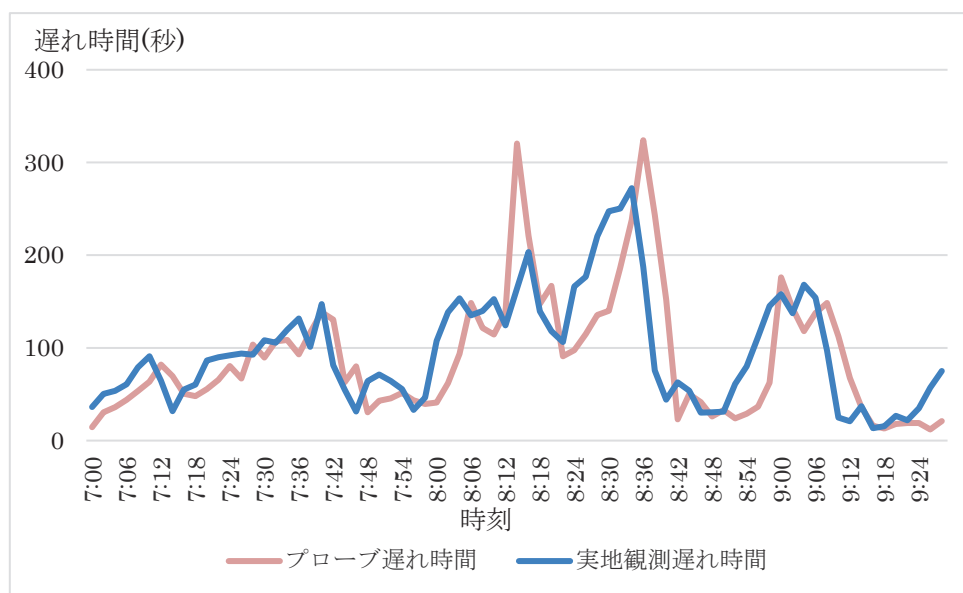


図 4.10 駒沢公園中央～国立病院東京医療センター前東行き遅れ時間（2 分平均）

図 4.11 に柿の木坂交差点北行きの遅れ時間の比較を示す。プローブ流出台数が国立病院東京医療センター前東行きの約 1/3 と比較的交通量が少なくても概ね近似した波形を示している。

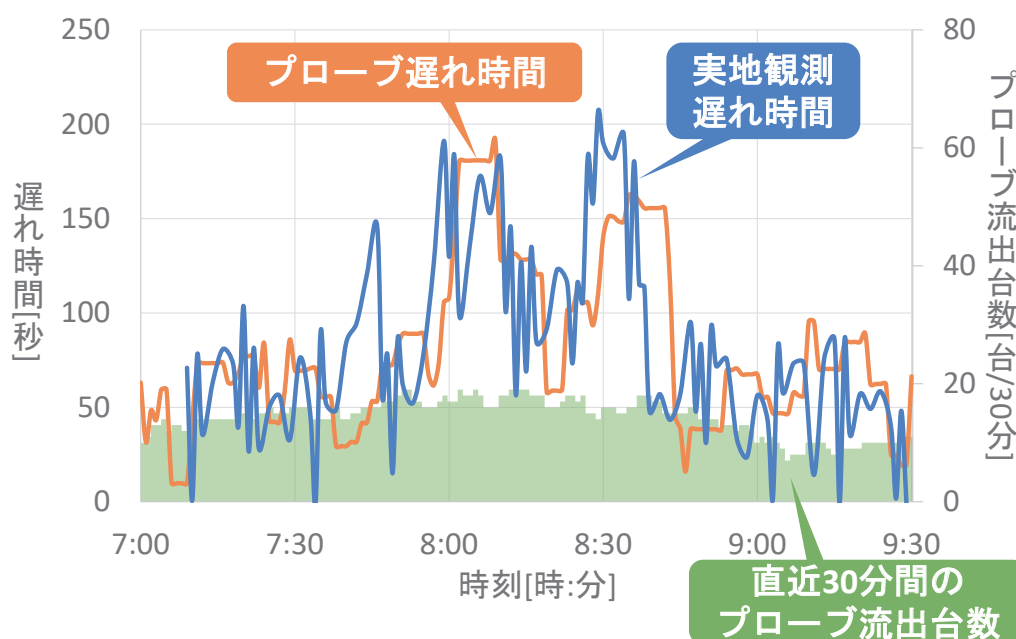


図 4.11 柿の木坂交差点北行き遅れ時間比較（2021 年 10 月 20 日（水））

図 4.12 に予備調査時（2021 年 9 月 8 日）における駒沢公園中央～国立病院東京医療センター前交差点東行きの遅れ時間の比較を示す。8 時 30 分付近において本プローブによる遅れ時間が実測遅れ時間と大きく乖離していることが分かる。また、直近 30 分間のプローブ流出台数が午前 8 時 45 分に向かい下降傾向にあり、8 時 15 分から 50 分間でプローブ車両の通過台数が顕著に減少（10 月 20 日（約 50 台）の半分（約 25 台））しており、これが遅れ時間に影響した可能性がある。確認のため、図 4.13 において 9 月の各週月曜日のプローブ流出台数を比較した。9

月 8 日のみ特異な変移を示している。

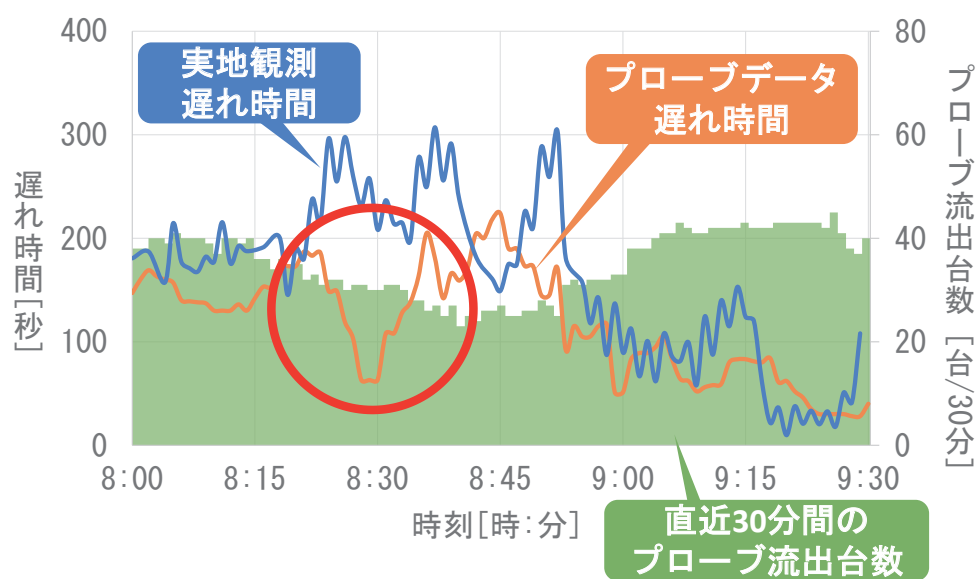


図 4.12 駒沢公園中央～国立病院東京医療センター前東行き遅れ時間比較
(2021 年 9 月 8 日 (水))



図 4.13 2021 年 9 月各水曜日の国立病院東京医療センター前東行きプローブ流出台数

4.3.2 愛媛県松山市

図 4.14 に、天山交差点～朝生田西交差点間東アプローチの本プローブによる旅行時間とビデオ観測による実測旅行時間（2 分間平均）の比較結果を示す。通勤車両等の台数が時間を追って増加している時間帯であるため、遅れ時間は右肩上がりに上昇しているが、各時刻においてほぼ位相が一致している。

以上のことから、プローブサンプル率が 7%程度であっても安定的にプローブデータが受信できていれば、本プローブの旅行時間はおおむね正確な値であることが分かる。

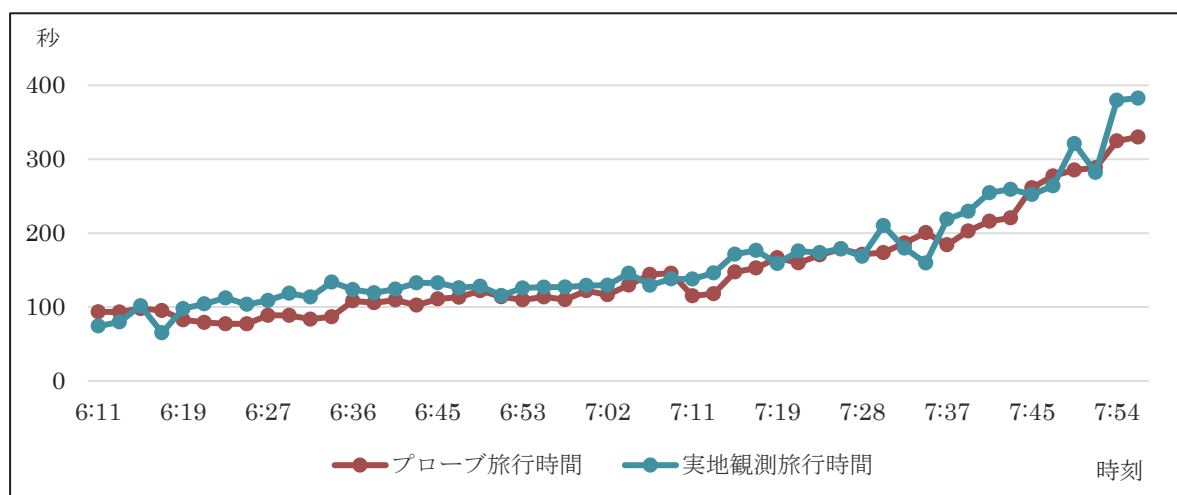


図 4.14 朝生田西交差点東アプローチ旅行時間

4.4 処理遅れ時間

ユーザが旅行時間等のプローブ情報を受信するまでには、プローブシステムにおいて各車両の走行データ等プローブデータをモバイル回線等で収集し、集約、加工、配信等するための処理時間が必要であり、これにより提供されるプローブ情報は実際の車両の動きより処理遅れ時間が発生する。

本プローブにおける処理遅れ時間について、本プローブの遅れ時間を 1 分ずつ繰り上げ、ビデオ観測による実測の遅れ時間との相関係数を算定し、相関係数が最大になる繰り上げ時間を本プローブの処理遅れ時間と想定した。

表 4.3 に 2021 年 10 月 20 日国立病院東京医療センター前東行きにおける 1 分毎に繰り上げた本プローブの遅れ時間と実測の遅れ時間の相関係数を示す。同表より本プローブの遅れ時間を 3 分間繰り上げた場合に相関係数が最大となることから、本プローブの処理遅れ時間を約 3 分と推定した。

図 4.15 に本プローブの遅れ時間を 3 分間繰り上げた場合の実測の遅れ時間と比較したグラフを示す。繰り上げていない図 4.10 のグラフと比較すると明らかに図 4.15 の 3 分繰り上げたグラフの位相が近似している。

表 4.3 本プローブと実測の遅れ時間における相関係数（医療センター前東行き）

本プローブ時間 繰上げ時間[分]	遅れ時間 相関係数
0	0.639
1	0.731
2	0.802
3	0.838
4	0.834
5	0.802
6	0.704
7	0.620
8	0.520
9	0.448
10	0.376

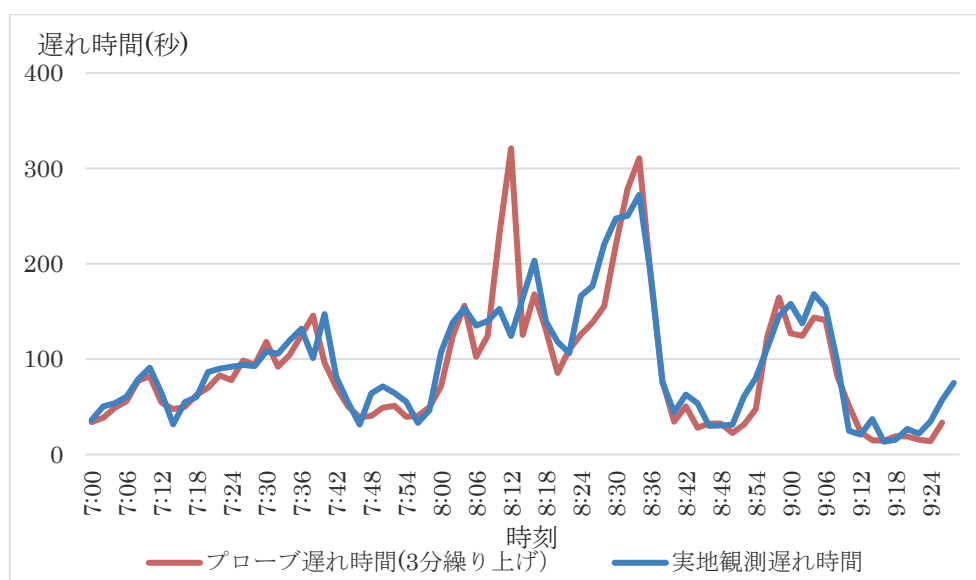


図 4.15 本プローブを 3 分繰上げた場合の遅れ時間
（国立病院東京医療センター前交差点東行き）

次に、駒沢通りの主な流出方向において同様に本プローブの遅れ時間を繰り上げて処理遅れ時間を推定した結果を表 4.4 に示す。各流出方向において相関係数が最大となるのが 3～5 分繰り上げた場合であった。

さらに、表 4.5 に、愛媛県松山市朝生田西交差点東アプローチにおいて同様に相関係数により処理遅れ時間を算出した結果を示す。図 4.14 で見られるように遅れ時間が一様に右肩上がりに変動しているためか、繰り上げ時間が 0 分から 6 分の間の相関係数がほぼ同じ値となったが、相関係数が最大となったのは繰り上げ時間が 4 分であった。

以上のことから、本プローブの処理遅れ時間は 3～5 分程度と推定される。

表 4.4 駒沢通りの主な流出方向における本プローブと実測値の遅れ時間における相関係数

	医療センター前 東行き	医療センター正門前 東行き	東根小前 東行き	柿の木坂西 東行き	柿の木坂 東行き	柿の木坂 北行き
3分	0.837	0.531	0.753	0.759	0.652	0.684
4分	0.833	0.592	0.833	0.797	0.766	0.722
5分	0.801	0.697	0.838	0.785	0.812	0.710

伝送・処理遅れは3～5分と推定される

表 4.5 本プローブと実測値の遅れ時間における相関係数（朝生田西交差点東アプローチ）

本プローブ時間繰上げ時間 [分]	遅れ時間 相関係数
0	0.9582
1	0.9250
2	0.9589
3	0.9589
4	0.9605
5	0.9574
6	0.9534

4.5 分岐率

本プローブでは分岐率も提供されているため、松山市朝生田西交差点において、本プローブとビデオ観測による実測の分岐率について比較する。図 4.16 に示すとおり 16 時台の直進、右折において多少ズレが見受けられるが、概ね正確な分岐率が提供されている。

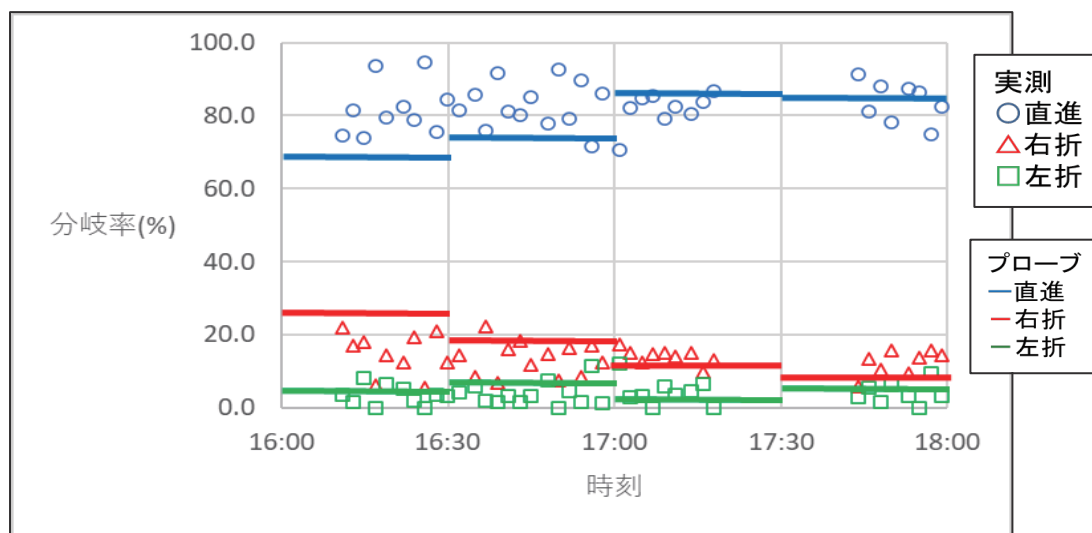


図 4.16 分岐率（松山市朝生田西交差点 西アプローチ）

4.6 方向別旅行時間

図 4.17 に本プローブとビデオ観測による実測方路別（直進、左折、右折）旅行時間（1 分間平均）の比較結果を示す。本プローブと実測による直進及び左折の旅行時間はおおむね同じ値を示しているが、実測による右折旅行時間とは値が大きく異なっている。これは、直進車両に比べ右折車両の交通量が少ないため、本プローブの旅行時間が直進車両の旅行時間に依存した値になったものと推察される。

信号制御については、右折等旅行時間も重要であるため、今後において方路別旅行時間の提供が望まれる。

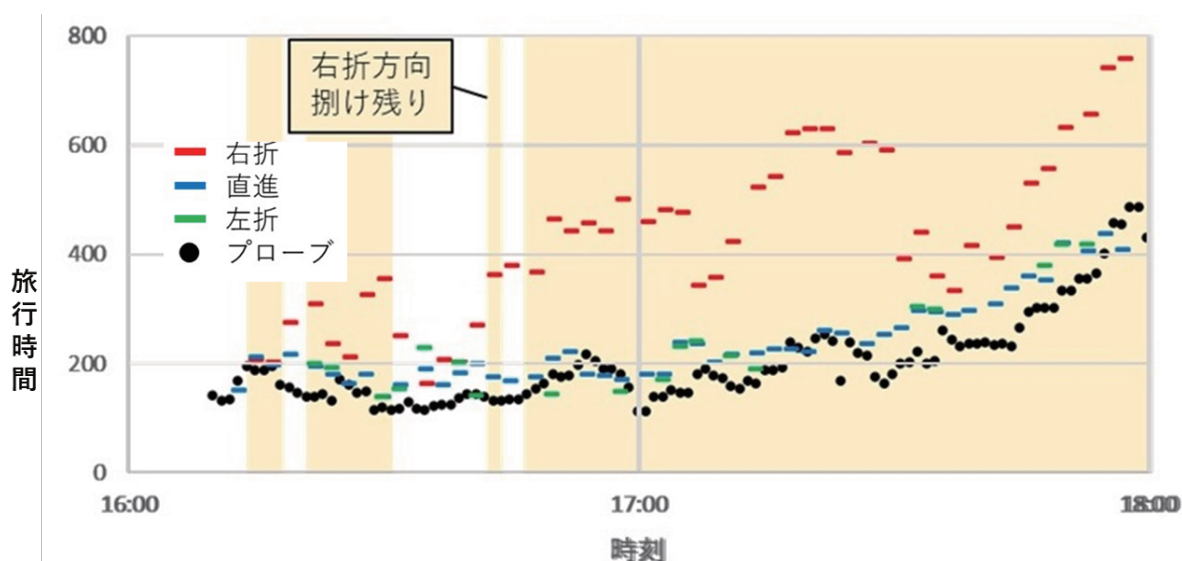


図 4.17 方路別旅行時間との比較（松山市朝生田西交差点 西アプローチ）

4.7 待ち行列長と実測による先詰まり

本プローブでは待ち行列長が提供されているが、図 4.18 に、国立病院東京医療センター正門前交差点東行き及び柿の木坂交差点東行きの本プローブから取得した待ち行列長と実測により確認した先詰まりの有無の関係を示す。なお、待ち行列長の開始位置はキー交差点である国立病院東京医療センター前交差点を基準(0m)としている。同図中の点線は、各交差点の位置を、赤い点は、ビデオ撮影により国立病院東京医療センター前交差点において先詰まりの渋滞があった時刻を示す。

同図での柿の木坂交差点における待ち行列長が 8 時～9 時の間で医療センター前に達している。また、同時時間帯において国立病院東京医療センター前交差点においても同様の待ち行列長が認められることから、柿の木坂交差点から国立病院東京医療センター前交差点を超えた渋滞が発生していると考えられる。

実測においても、同様な時間帯において国立病院東京医療センター前交差点にて先詰まりが観測されていることから、本プローブによる待ち行列長の発生状況は概ね正確であり、かつ待ち行列長により先詰まりの判定もある程度可能と思われる。

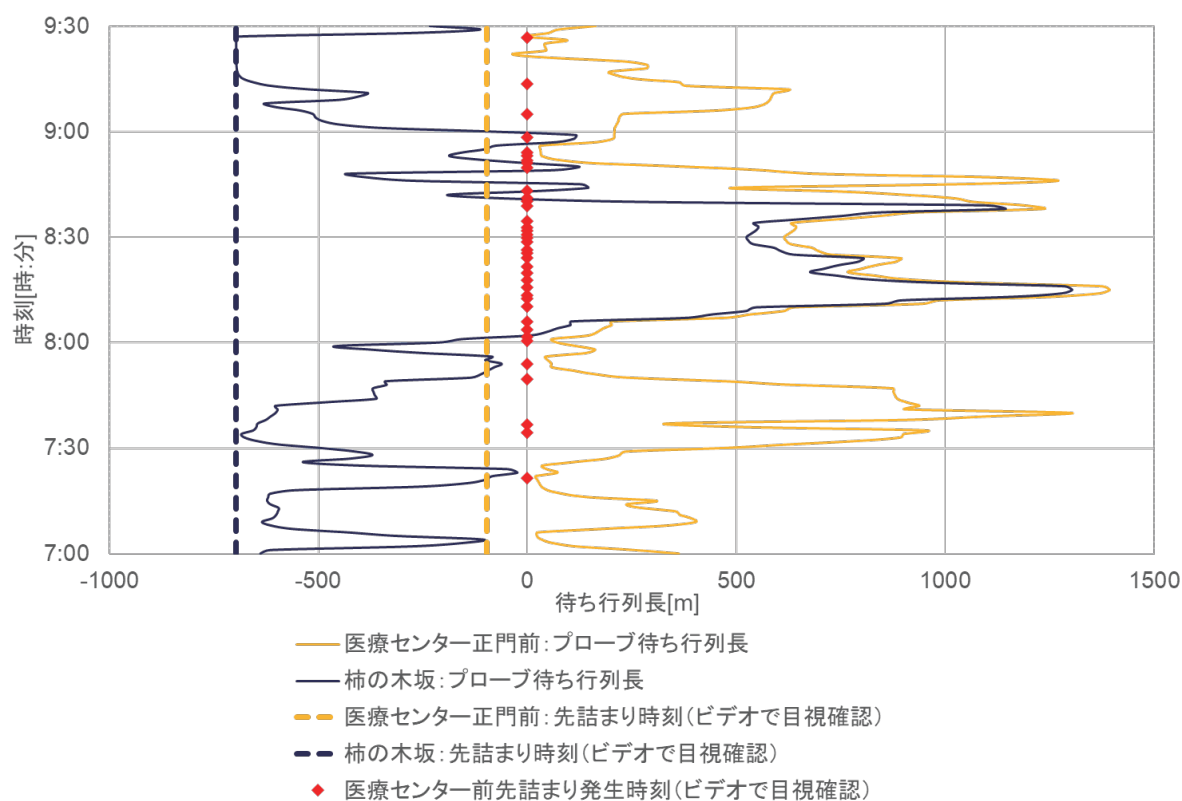


図 4.18 待ち行列長と実測による先詰まりの関係
(国立病院東京医療センター前交差点東行き)

4.8 本プローブの異常値

図 4.19 に、2021 年 10 月中の各月曜日の遅れ時間、図 3-20 に流出台数の時間変動を示す。図 4.19 では、月曜日の 8～9 時にかけて遅れ時間が最大値を示す傾向にある。

しかし、10 月 11 日の遅れ時間は一時的に 7 時前後に大きくなり、8 時～8 時 15 分付近にかけて下限値である 0 秒を示している。一方、図 4.20 では、10 月 11 日におけるプローブ流出台数がほぼ存在しておらず、何らかの影響で個々のプローブデータが収集できなかったと推定される。

以上のことから、何らかの原因で極端にサンプル率が低下する場合には、本プローブにおいて遅れ時間等の提供はされるが精度は著しく低下する場合があると推定される。

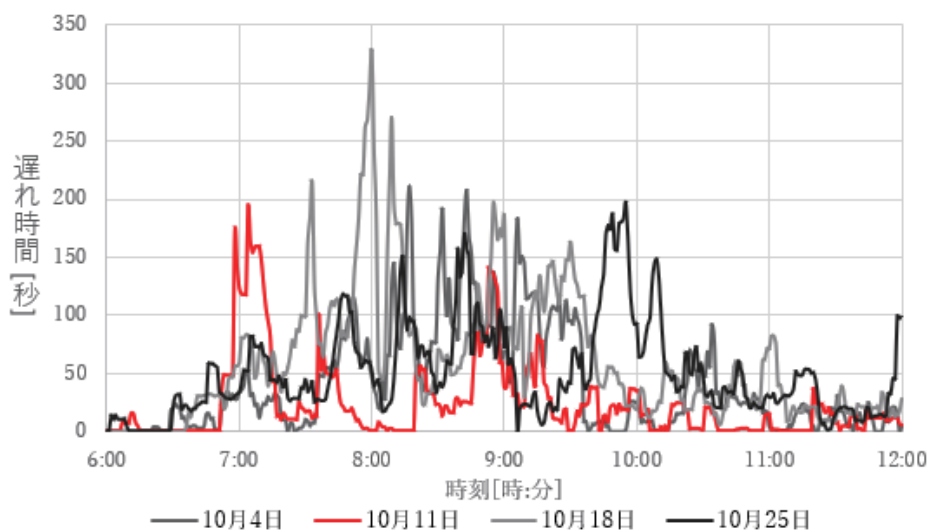


図 4.19 プローブ遅れ時間の日別比較
(国立病院東京医療センター前交差点駒沢通り東行き)

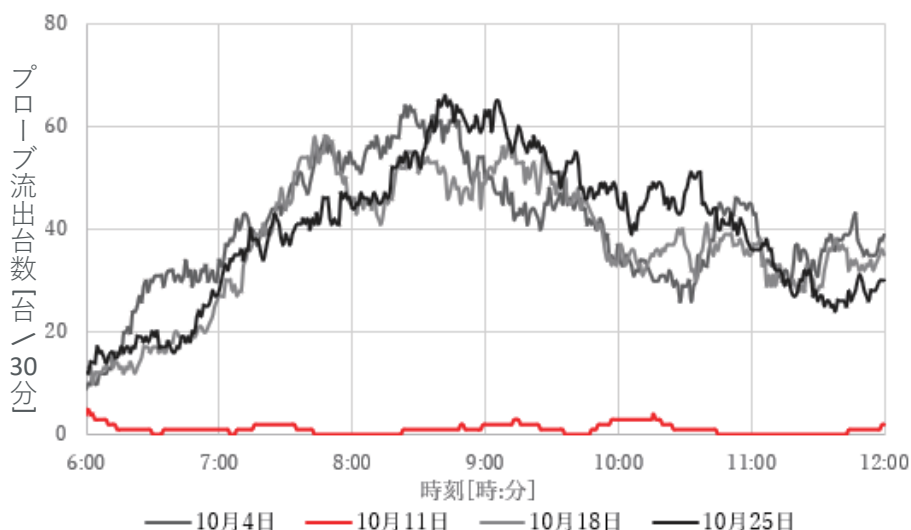


図 4.20 プローブ流出台数の日別比較
(国立病院東京医療センター前交差点駒沢通り東行き)

4.9 交通管制データとの比較分析

2021年9月8日、10月20日の本プローブについて、警視庁から提供された交通管制用感知器データを基に、感知器データの変動分析、ビデオ観測値との比較、分析を行う。

警視庁交通管制システムにおける飽和度とは2.1項で記載したMODERATOにおける負荷率と、また実行飽和度比とはスプリット比と同等な意味を持つものである。飽和度の特徴としては、近飽和又は過飽和の始めの頃は、交通量は処理できる交通量に近い値となることから、ほぼ一定の値を示すことになり、信号の青秒数の変動は少なくなる。ただし、渋滞長が長くなることにより飽和度に渋滞長が加味されて飽和度の値が大きくなり、信号の青秒数が増加することになる。

図4.21は、警視庁交通管制システムで計算された国立病院東京医療センター前交差点駒沢通り方向の実行飽和度比（スプリット比）と現示1の需要率（駒沢通り東・西行きにおける飽和度の最大値）を示す。同図では現示1の需要率20～40%においては正の相関があり、現示1の需要率が増加することに伴い現示1の実行飽和度比が増加している。需要率が40%を超えているのは過飽和が発生して需要率に渋滞長が加算されているためと思われるが、需要率が増加する中で現示1の実行飽和度比が増加しない場合もあり、これは交差する現示においても渋滞等で当該現示の需要率が高くなり実行飽和度比が変化できない場合や歩行者の横断秒数の確保等のための実行飽和度比の上限となっていることが考えられる。

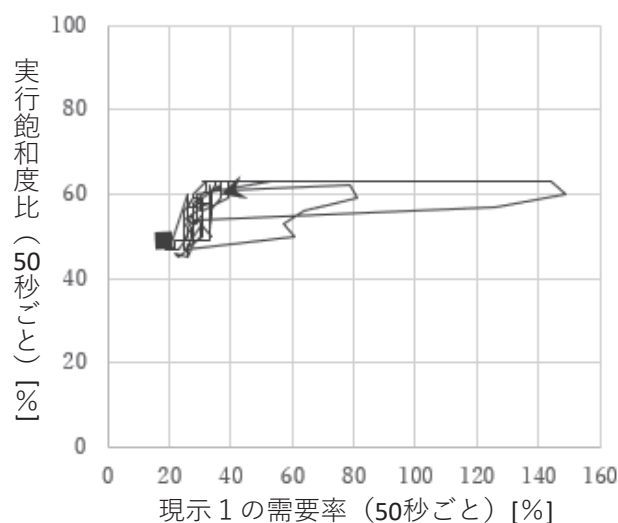


図 4.21 実行飽和度比と需要率の相関関係
(国立病院東京医療センター前交差点駒沢通り方向)

次に、図4.22に警視庁の交通管制データによる流入路3（医療センター前交差点における東行きの流入路を対象としている。）の流線飽和度、本プローブの遅れ時間とビデオ観測による実測遅れ時間、サイクル毎の青時間比較を示す。

信号機の青時間については、交通管制システムの流線飽和度の変動に応じて50～80秒の間を変動している。流線飽和度は、本プローブ及びビデオ観測による実測の遅れ時間とは異なる指標

であることから、変動の表示領域の差を考慮しても、相関関係は弱いものとなっている。特に、実測の遅れ時間が上昇している8時～8時15分に対応すると思われる8時20分過ぎにおける流線飽和度の急激な上昇は見られるが、8時30分頃、9時頃における遅れ時間の上昇に対しては流線飽和度の変化はあまり見られない。このことから、本プローブの遅れ時間は交通管制システムの流線飽和度よりも交通状況の変動に対して感度が高いと考えられる。

また、実測の遅れ時間のピーク時刻と流線飽和度のピーク時刻を比較すると、同図の矢印に示すように処理遅れ時間が大きく、本プローブの処理遅れ時間の方が短いと思われる。

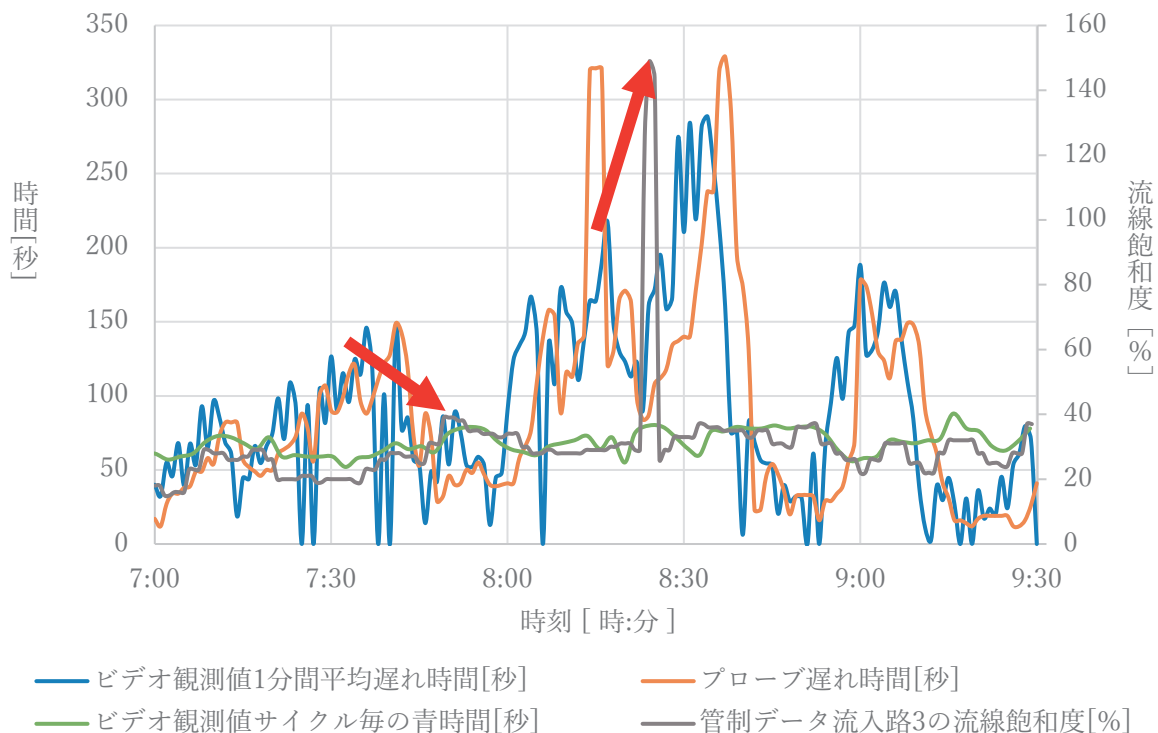


図 4.22 交通管制データとの比較（国立病院東京医療センター前交差点東行き）

5 プローブデータによる遅れ時間帰還信号制御

プローブデータによる遅れ時間帰還信号制御は、信号制御の円滑化における評価基準である遅れ時間をプローブ情報の旅行時間から推定し、この遅れ時間を最小化する信号制御パラメータを設定する信号制御方式である。千葉工業大学の赤羽教授の指導の下で、学生により信号制御アルゴリズムの検討、シミュレータの構築、シミュレーション等が行われ、本信号制御の有効性の検証等の研究が進められた。

5.1 プローブデータによる遅れ時間帰還信号制御アルゴリズム

5.1.1 信号制御アルゴリズムの基本構成

本信号制御は、信号制御による遅れ時間をプローブ情報から直接取得してこれを帰還（フィードバック）することにより、対象道路網（サブエリア）における全体の遅れ時間を最小とするものであり、図 5.1 にそのアルゴリズムの基本構成を示す。

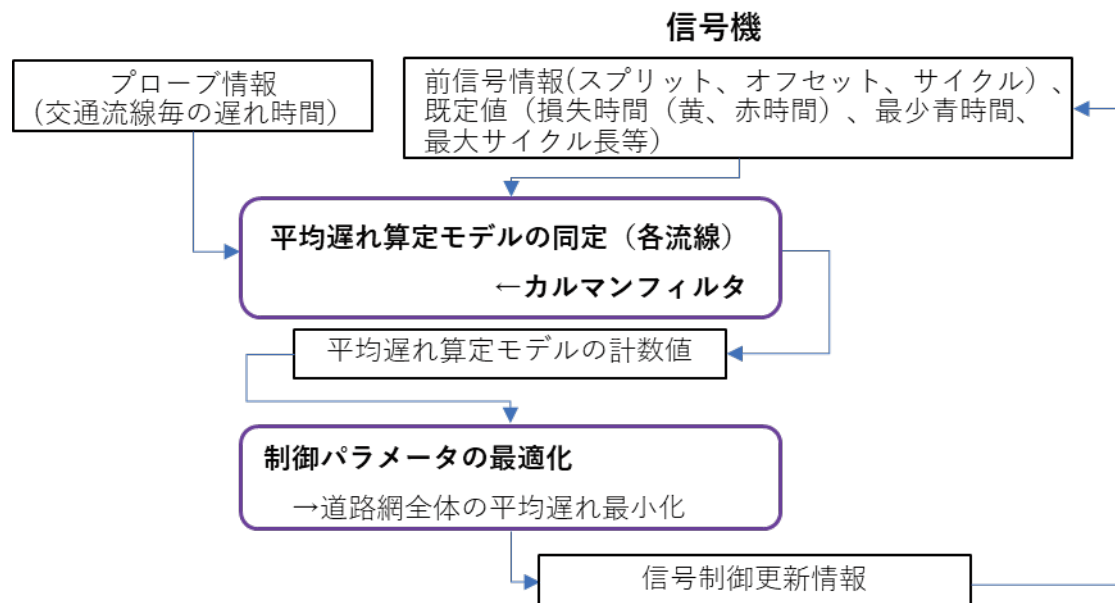


図 5.1 遅れ時間帰還信号制御アルゴリズムの基本構成

同アルゴリズムは、大別して以下の機能から成る。

- ① 各交差点の交通流線単位に、信号制御による平均遅れを求め、信号制御パラメータから算定するモデルの係数値をカルマンフィルタで逐次最小二乗推定する。

各流線の平均遅れ＝

$$f \left(\underbrace{1 - \frac{\text{スプリット}}{\text{サイクル長}}}_{\text{Webster式の第1項}}, \underbrace{\frac{\text{前サイクルの上流交差点基準のオフセット}}{\text{サイクル長}}}_{\text{相対オフセット}} \right)$$

- ② 対象道路網の全交差点の全交通流線の平均遅れの二乗和を最小化する信号制御パラメータを、①で同定した平均遅れ時間算定モデルにより設定する。

また、この制御アルゴリズムの特徴は、以下に要約される。

- ① サイクル長は、独立した制御パラメータではなく、主従道路等における各現示のスプリット（青秒数）と損失時間（黄と全赤秒数の計）の合計値からなる。
- ② 交差点間で共通するサイクル長を前提としないことにより、従来のオフセット追従中であっても制御の最適性の維持を目指す。
- ③ カルマンフィルタは、プローブデータの提供周期（1分）に同期して推定処理する。
- ④ 信号制御パラメータはひとつの信号サイクルの切り替わり時に最新最適値に更新され、次サイクルが開始される。
- ⑤ スプリットは、歩行者の横断に必要とされる秒数等である最小スプリット以上の秒数とする。

なお、日本での代表的な信号制御である MODRERATO との制御方式の違いは表 5.1 のとおり。

表 5.1 MODERATO と遅れ時間帰還制御の比較

比較項目	MODERATO	遅れ時間帰還制御
青時間スプリット	負荷率比例→平均遅れ均等化	遅れ時間→最小 (唯一の制御パラメータ)
信号サイクル長	Webster式適用で最適化	= 損失時間+スプリット合計 (逐次最適化)
オフセット	パターン選択(オフセット追従時の最適性に課題?)	= 下流交差点のサイクル開始 - 上流交差点のサイクル開始 (逐次最適化)
飽和交通流率	オフライン設定	(制御パラメータと平均遅れの関係モデルに影響が含まれる)
制約条件の設定	—	最小青時間、最大サイクル長

5.1.2 平均遅れ時間算定モデルの同定アルゴリズムの定式化

カルマンフィルタによる平均遅れ算定モデルの同定アルゴリズムを定式化する。まず、4 枝交差を前提として各交差点の流線毎の状態方程式を以下のように定義する。図 5.2 に、定式化に適用する交差点付番と流線の設定を示す。

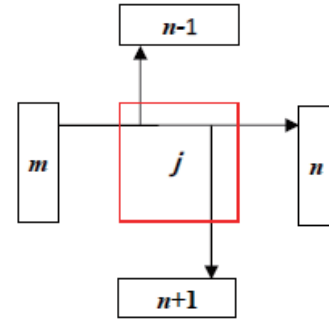


図 5.2 交差点番号と流線設定

$$\vec{x}(k+1)_{m,j,n} = \vec{x}(k)_{m,j,n} + \vec{w}(k)_{m,j,n} \quad (1)$$

$$\vec{x}(k)_{m,j,n} = \begin{pmatrix} \alpha_2(k)_{m,j,n} \\ \beta_2(k)_{m,j,n} \\ \alpha_1(k)_{m,j,n} \\ \beta_1(k)_{m,j,n} \\ \alpha_0(k)_{m,j,n} \end{pmatrix}$$

$$\vec{w}(k)_{m,j,n} = \begin{pmatrix} v_2(k)_{m,j,n} \\ u_2(k)_{m,j,n} \\ v_1(k)_{m,j,n} \\ u_1(k)_{m,j,n} \\ v_0(k)_{m,j,n} \end{pmatrix}$$

k : プローブデータの取得時刻順序番号

$\alpha_L(k)$: 当該スプリットの平均遅れモデルの L 次項係数

$\beta_L(k)$: 当該オフセットの平均遅れモデルの L 次項係数

$v_L(k), u_L(k)$: 平均遅れモデル係数の変動成分(白色雑音)

m, j, n : 相互に隣接する交差点番号(上流、当該、下流)

$m \neq j \neq n$

$1 \leq j \leq J$

$M(j) \leq m \leq M(j) + 3$

$M(j)$: 交差点 j の直近上流交差点番号

$N(m, j) - 1 \leq n \leq N(m, j) + 1$

$N(m, j)$: 交差点 m ~ 交差点 j 経由の直進流出交差点番号

なお、上記交差点番号 m 、 n は交差点毎のローカルな付番であり、道路網全体の交差点番号との照合テーブルを別途用意することとする。

次に、観測方程式を以下のように定義する。

$$y(k)_{m,j,n} = H(k)_{m,j,n} \vec{x}(k)_{m,j,n} + \varepsilon(k)_{m,j,n} \quad (2)$$

$y(k)_{m,j,n}$: 流線 m, j, n の時刻 k の平均遅れプローブ計測値

$$H(k)_{m,j,n} = \begin{bmatrix} S(l_j)_{m,j,n}^2 & O(l_j)_{m,j}^2 & S(l_j)_{m,j,n} & O(l_j)_{m,j} & 1 \end{bmatrix}$$

$$S(l_j)_{m,j,n} = \left(1 - \frac{G(l_j)_{m,j,n}}{C(l_j)_j} \right) \quad (3)$$

$$O(l_j)_{m,j} = \frac{O_{m,j}(l_j - 1) + S_{m,j}^G(l_j)}{G(l_j)_j} \quad (4)$$

$\varepsilon(k)_{m,j,n}$: 平均遅れプローブ計測値の観測誤差

l_j : 交差点 j の信号サイクルの開始時刻 ($k \leq l_j < k + 1$)

$C(l_j)_j$: 交差点 j の信号サイクル長(秒)

$G(l_j)_{m,j,n}$: 流線 m, j, n の青時間スプリット(秒)

$O_{m,j}(l_j)$: 交差点 $m \rightarrow j$ 方向の相対オフセット(秒)

$S_{m,j}^G(l_j)$: 交差点 $m \rightarrow j$ 方向の直前現示までの青時間スプリット $G(l_j)$ の累計値(秒)

式(3)は、車両1台当たりの平均遅れに関する Webster の実験式の第1項、すなわち一様到着時の平均遅れの評価式を参考として設定した。式(4)により相対オフセットの影響を評価するとともに、主方向のみならず従方向におけるオフセット効果を見積もるために、当該現示開始までの青時間スプリット累積値を相対オフセットに加算している。

観測方程式(2)が、平均遅れ算定モデルである。状態方程式(1)は、平均遅れ算定モデルの各係数値が、ある程度時間変動することをモデル化している。各交差点の流線毎に両式に対してカルマンフィルタリングアルゴリズムを適用し、各時点の信号制御パラメータから平均遅れを算定するモデルの係数値を最小二乗推定、更新する。

この係数値には、信号制御効果に関わる交通需要、飽和交通流率又は先詰まりの影響等が織り込まれると想定している。先詰まりの影響は、遅れ時間の発生機構に不連続な影響を及ぼす可能性があるため、先詰まりの有無で平均遅れ時間算定モデルの係数値を区分して異なる組で設定、更新することも考えられる。また、プローブ車通過台数を交通需要の代替変数として、同モデルに追加することも想定される。

5.1.3 信号制御パラメータの最適化

カルマンフィルタで同定、更新した各交差点の流線毎の平均遅れ算定モデルを適用し、式(1)により全交差点の全流線の平均遅れを最小化するように、次サイクル及び次々サイクルの各流線のスプリットを設定する。信号サイクル長とオフセットとは、スプリットによって従属的に設定される位置付けである。なお、オフセット、サイクル長を介して制御効果が及ぶため、次々サイクルの各流線のスプリットまでを最適化対象に含めている。

$$Z(G(l_j + 1)_{m,j,n}, G(l_j + 2)_{m,j,n}) = \sum_{j=1}^J \sum_{l_j+1}^{l_j+2} \sum_{m=M(j)}^{M(j)+3} \sum_{n=N(m,j)-1}^{N(m,j)+1} \{D(l_j:k)_{m,j,n}\}^2 \quad (1)$$

$$D(l_j:k)_{m,j,n} = H(k)_{m,j,n} \hat{x}_{m,j,n}(k)$$

$\hat{x}_{m,j,n}(k)$: カルマンフィルタによる最小二乗係数値

上記最適化における制約条件は、下式のとおりである。

$$G(l_j)_{m,j,n} - G(l_j)_{\bar{m},\bar{j},\bar{n}} = 0 : \text{流線 } m, l, n \text{ と } \bar{m}, \bar{l}, \bar{n} \text{ の信号現示が同一の場合} \quad (2)$$

$$C(l_j)_j - \{L_j + S_G(l_j)\} = 0 \quad (3)$$

$$o_{m,j}(l_j) + o_{j,m}(l_j) = 0 \quad (4)$$

$$o_{m,j}(l_j) = C(l_j - 1)_j^e - C(l_m - 1)_m^e \quad (5)$$

$$C(l_j)_j \leq C \max \quad (6)$$

$$G(l_j)_{m,j,n} \geq Gmin_{m,l,n} \quad (7)$$

L_j : 交差点 j の損失時間(秒)

$S_G(l_j)$: サイクル l_j の青時間スプリット $G(l_j)$ の合計値(秒)

$C(l_j)_j^e$: サイクル l_j の終了時刻

$$C(l_m)_m^e < C(l_j)_j^e < C(l_m + 1)_m^e$$

$C \max$: 最大サイクル長

$Gmin_{m,l,n}$: 最小青時間

式(3)により信号サイクル長を青時間スプリット $G(l_j)$ の関数としている。加えて、式(4)及び(5)により、信号オフセットも $G(l_j)$ の関数として定義している。したがって、独立な信号制御パラメータは $G(l_j)$ のみとなっている。また、信号オフセットの効果を取り込みつつ、共通となる信号サイクル長の制約は存在しない仕組みとなっている。

主道路と従道路とで平均遅れの最小化に差を付ける必要がある場合は、式(1)の各流線の遅れ時間項に調整係数を乗じる方法もある。また、制御パラメータの急変による弊害を回避するため、青時間スプリットの現状値±一定割合以内になる制約条件を追加することも可能である。

5.2 シミュレーション評価システム

本信号制御方式を評価するため、シミュレーション評価システムを構築した。構成は図 5.3 のとおりである。

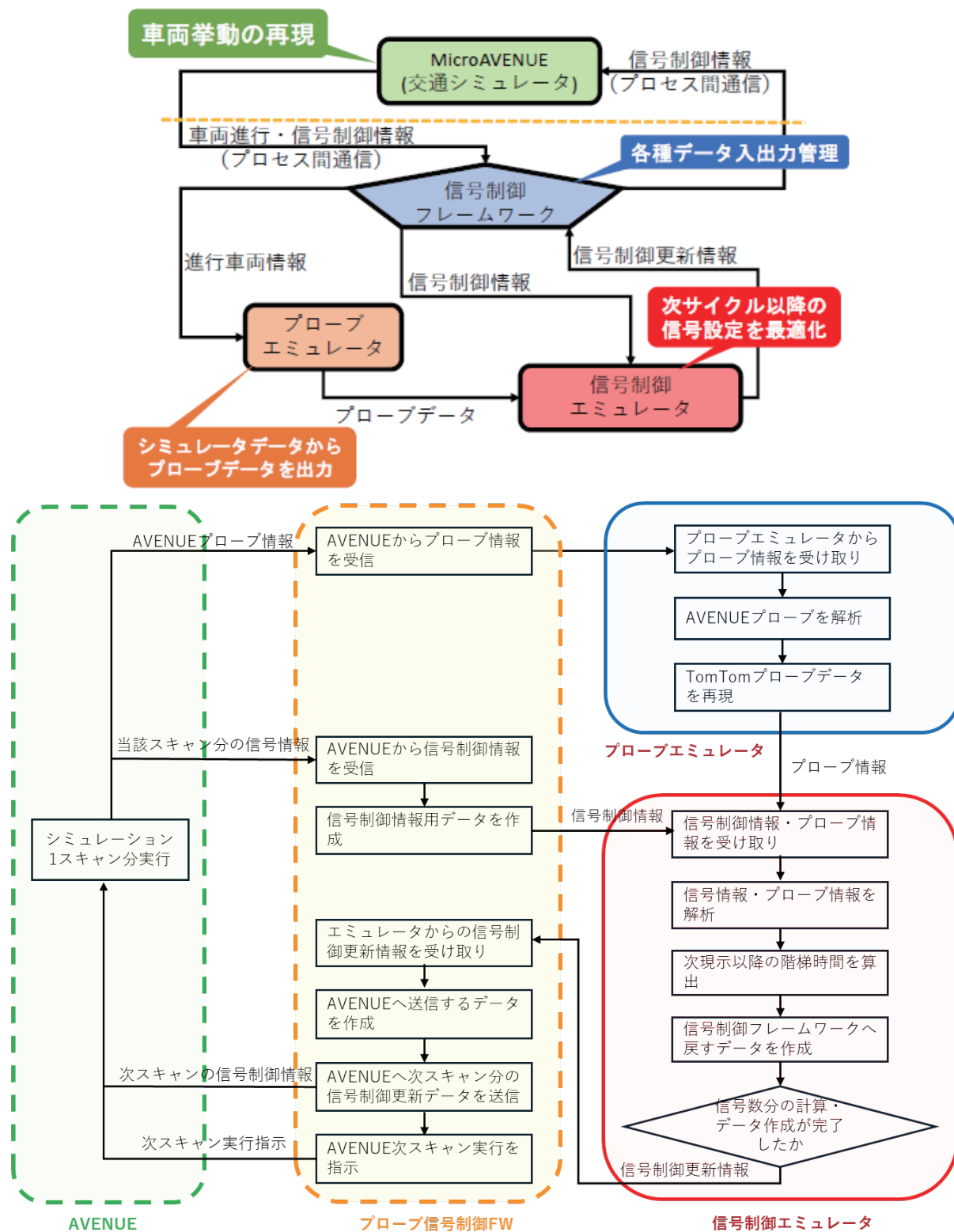


図 5.3 シミュレーション評価システム

また、プログラム全体の流れは、以下のとおりである。

- ・ソケット通信により交通シミュレータ (AVENUE) と信号制御フレームワーク (AVENUE_SIGNAL

_COM.py)を接続する。

- ・交通シミュレータを1スキャン(=1秒)するごとに各パラメータの計算を行う。
- ・信号制御フレームワークは、並行処理を用いて信号制御エミュレータ、プローブエミュレータを動かし、交通シミュレータのシミュレーション用のデータ作成を行う。
- ・信号制御に関する関数は、信号制御エミュレータ (signal_emu.py) に格納される。
- ・Signal_emu.py 内にある signal_emu() 関数に信号制御アルゴリズムを組み込むことで交通シミュレータ上の信号機を制御する。

次に、各システムの概要を示す。

- (1) 交通シミュレータ (MicroAVENUE : 委員会の堀口委員等が開発したもので、非線形モデルの一種である IDM(Intelligent Driver Model)を採用したもの) を適用している。
- (2) 信号制御フレームワーク 信号制御下の車両の移動状況を模擬する交通シミュレータと信号制御フレームワークとでプロセス間の通信を行い、プローブエミュレータ及び信号制御エミュレータと交通シミュレータとの間で所要の情報を交換する。この仕組みには、交通シミュレータ本体と分離して他のブロックを単独で開発できる利点がある。
- (3) プローブエミュレータ プローブサンプル率に基づき、交通シミュレータ出力から対応する車両データを無作為に抽出して算定した平均遅れ時間を、信号制御エミュレータに出力する。プローブデータの伝送・処理遅れも模擬可能である。

表 5.2 にプローブエミュレータが出力するデータ仕様を示す。これは、TomTom 社のデータ仕様に準拠し、交差点間リンクの単位で、1 分毎に旅行時間の平均値と分散及び下流端からの流出プローブ台数(30 分合計値)を右左折直進の方向別に生成するものである。

また、プローブエミュレータには伝送・処理遅れをパラメータとして指定する機能があり、TomTom 社プローブデータでの伝送・処理遅れの信号制御への影響を評価できる。

表 5.2 プローブエミュレータの出力

項目	時間間隔
リンク平均旅行時間(流出方向別)・同分散	1 分
リンク下流端における流出方向別プローブ台数(直近30分間値)	1 分

注) 伝送・処理遅れも設定可能

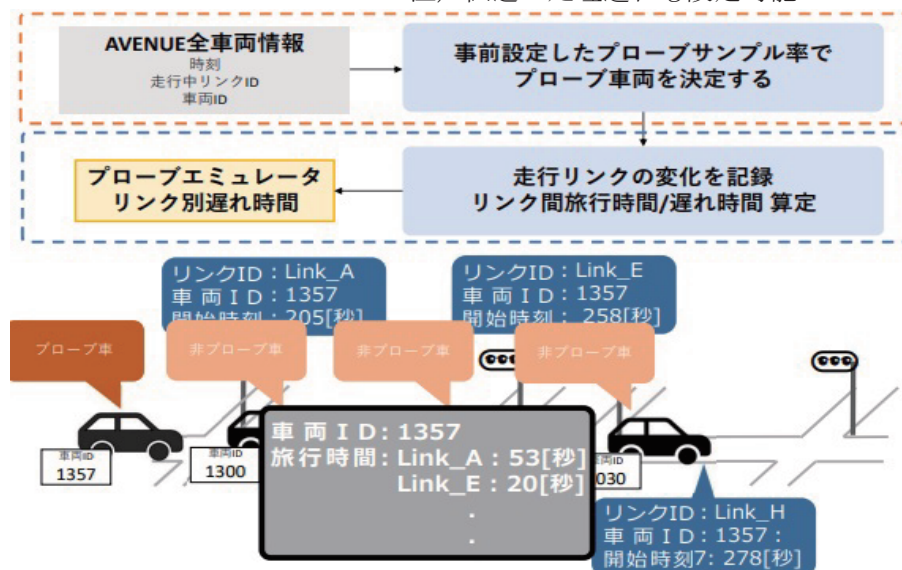


図 5.4 プローブエミュレータの概要

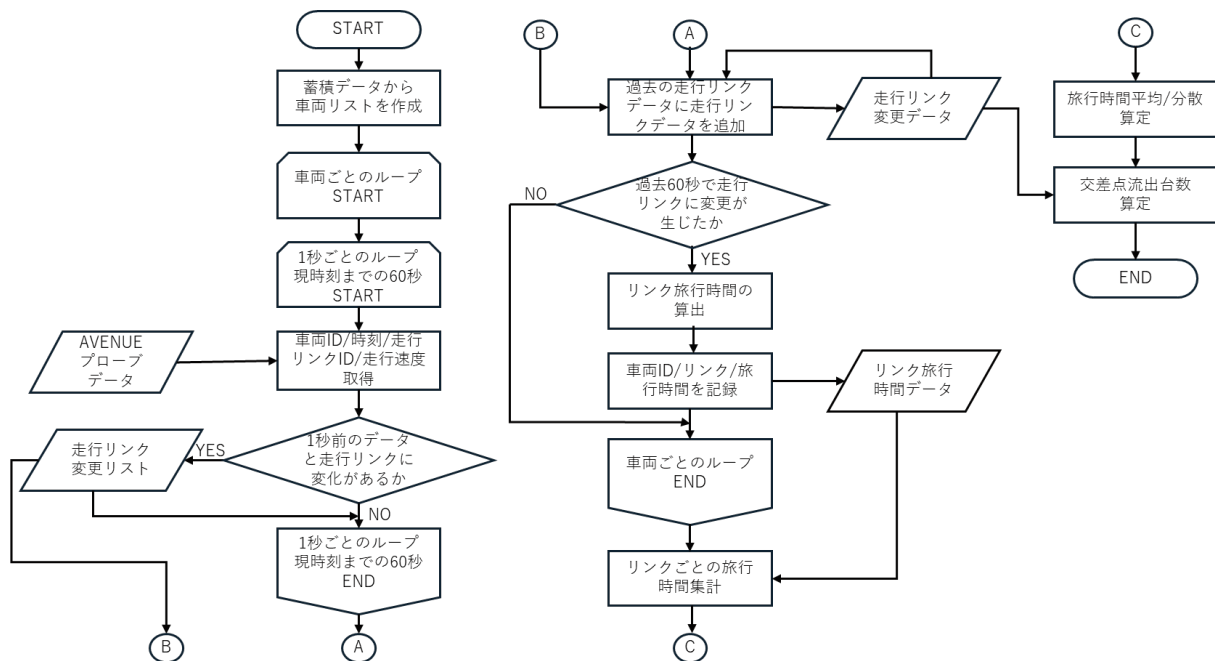


図 5.5 プローブエミュレータのフローチャート

(4) 信号制御エミュレータ 信号制御フレームワークを介して交通シミュレータ（以下「AVENUE」という。）内でシミュレート中の現時点での信号制御情報及びプローブエミュレータからの平均遅れ時間を取得する。次に、これらの情報を用いて遅れ時間帰還信号制御アルゴリズムにより最適信号制御パラメータ値を算定し、これを次のサイクルで使用する信号制御情報として信号制御フレームワーク（以下「FW」という。）を介して交通シミュレータに受け渡す。

信号制御エミュレータの具体的な基本機能は以下のとおり。

ア シミュレータ 1 スキャンごとに計算

- ・ AVENUE から信号情報及びプローブデータを受取り（プローブデータは 60 秒ごと）
- ・ 計算された信号制御情報を AVENUE に返し、シミュレーションに適用

イ 信号情報及びプローブデータを引数として受取り

- ・ 受け取った信号情報は signal_data、プローブ情報は probe_data 変数に格納

ウ 階梯変更は 1 スキャンにつき各交差点 1 階梯のみ

- ・ 階梯変更は次の階梯以降に適応される。現在表示中の階梯は変更不可能
- ・ 信号制御情報：信号制御エミュレータで決定した階梯変更情報は FW を介して AVENUE へ送信
- ・ 信号情報：AVENUE から送られてくる現時刻の信号情報

エ AVENUE では全車両のプローブデータ（以下「AVN プローブ」という。）を出力（1 秒ごとに出力）

- ・ FW 側で任意のプローブ率を設定し、選定された車両の AVN プローブを蓄積

オ 車両 ID ごとに毎秒の走行リンク ID を集計して交差点通過を判断

- ・ 交差点通過データを蓄積し、先頭データの交差点通過判断を実現

カ 交差点通過データの通過時刻から前リンクの旅行時間を算定

- ・ 旅行時間データを蓄積し、指定時間分の平均値や分散の算定を実現

5.3 シミュレーション評価システムにおける入力データの設定

ミュレーション評価システムで必要とされるOD交通量、飽和交通流率等の各種パラメータを作成し、交通シミュレータ等の評価、シミュレーションに用いる。

5.3.1 OD交通量の設定

ビデオ観測により各交差点の停止線を通過した車両のナンバープレートを照合し、同一車両について時系列順に通過交差点を記録することで、対象道路と交差点ID当該車両の流入交差点(Origin)、通過交差点及び流出交差点 (Destination) を判定し、調査区間におけるOD交通量を算定した。ただし、上流端の流入から20分を超えて次の交差点に流入した場合は別のトリップとして記録し、途中で2カ所連続して欠損した場合でも予想経路に適合する場合は欠損を認めて記録することとした。

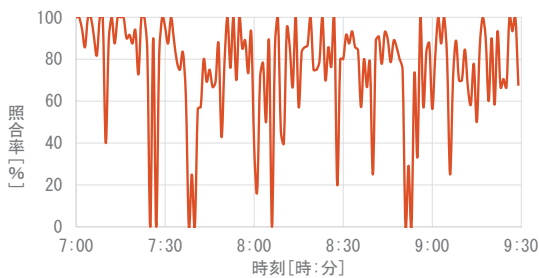


図 5.7 ナンバープレート照合率

(国立病院東京医療センター前交差点)

なお、ビデオ観測では、前を走行する車両でナンバープレートが隠れることがあるなど、実際の交通量（ビデオ観測交通量）よりOD交通量の合計である交差点通過台数が少なくなった。

これを補正するため、式（1）を用いて両者の5分毎の交差点通過台数の残差平方和（RSS）が

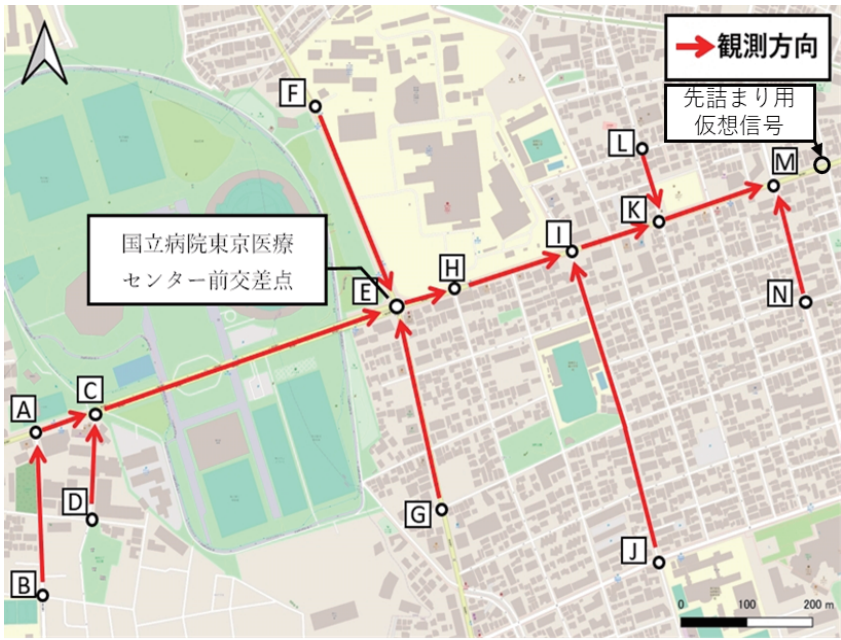


図 5.6 観測（東京都駒沢通り）

表 5.3 各方向のナンバープレートの平均照合率

下流端 交差点名	下流端 交差点ID	上流端 交差点ID	上流端交差点流入方向	ナンバープレート 照合率(%)
駒沢公園	A	B	南	70.7
駒沢中央公園	C	D	南	57.9
		A	西	79.0
			南、西（全流入方向）	93.9
医療セン ター前	E	F	北	77.5
		G	南	78.6
		C	西	77.1
			南、西（全流入方向）	79.8
医療セン ター正面前	H	E	西	68.8
			北、南、西（全流入方向）	84.6
東根小前	I	H	南	24.4
			西	91.1
柿の木坂西	K	L	北	53.3
		I	西	88.1
			南、西（全流入方向）	89.1
柿の木坂西	M	N	南	76.0
		K	西	83.3
			北、西（全流入方向）	82.0

最小となる割増係数をOD毎に設定し、補正することにより交通シミュレータへの入力データとした。

図 5.8 に駒沢通り各交差点のビデオ観測交通量、ナンバープレート照合による交通量（割増前）、割増後交通量を示しているが、補正を実施したことにより、割増後の交通量が実際の交通量（ビデオ観測交通量）とほぼ一致している。

$$RSS = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \left(\sum_{k=1}^K (\delta_{j,m(k)} \delta_{i,n(k)} \alpha(od(k)) - y_{ij}) \right)^2 \rightarrow Min \quad (1)$$

i : 5 分毎の時間帯 j : 各交差点流入方向 k : 車両番号

$m(k)$: 車両の交差点流入方向 $n(k)$: 車両通過時間帯

$$\delta_{j,m(k)} = \begin{cases} 1: (j=m(k)) \\ 0: (j \neq m(k)) \end{cases}$$

$$\delta_{i,n(k)} = \begin{cases} 1: (i \leq n(k) < i+1) \\ 0: (n(k) < i, j+1 \leq n(k)) \end{cases}$$

$od(k)$: k 番目の車両が属する OD 番号

$\alpha(od(k))$: k 番目の車両が属する OD の割合係数

y_{ij} : i 時間帯、 j 流入方向のビデオ観測通過台数

$s.t. \alpha(od(k)) \geq 0$

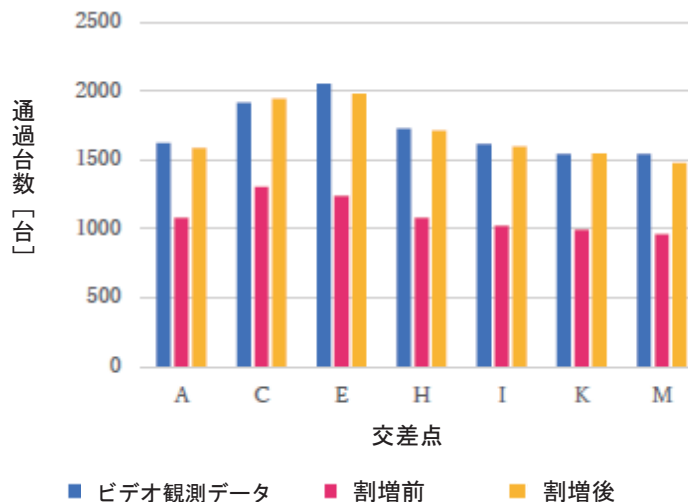


図 5.8 駒沢通り東行きの各交差点における交通量比較

5.3.2 飽和交通流率の設定

図 5.9 に国立病院東京医療センター前交差点（E）東行き直進における信号機のサイクル毎の飽和交通流率と、目視で判定した当該サイクルの交通状況（飽和、先詰まり等）を示す。飽和状態及び一部飽和状態のサイクルにおいて、青の開始から先頭 3 台目の車両が通過してから待ち行列が途切れない状態で最後尾の車両が通過するまでの時間（捌け時間）と車頭間隔数を計測して飽和交通流率を求めた。先詰まり（下流（先の道路）から渋滞があり、当該信号交差点で信号が青に変わっても車両が進むことができない状況。以下同じ。）が 3 サイクル連続して確認されたサイクルを境に先詰まり以前の 1～19 サイクル(6:50～7:30)と以後の 20 サイクル以降(7:30 以降)

について、図 5.9 から判別できるように飽和交通流率が異なることから、2 つに区分した。式 (2) により各々の飽和交通流率を算定したところ 1~19 サイクルでは 1,416 台/青 1 時間、20 サイクル以降では 1,336 台/青 1 時間となり、前者に対して後者が約 6.0%低下していた。

$$S = \frac{\sum_i m_i}{\sum_i \frac{t_i}{3600}} \quad (2) \quad S: \text{飽和交通流率 [台/青 1 時間]}$$

t_i : サイクル i の捌け時間 [秒] m_i : サイクル i の車頭間隔数 [個]

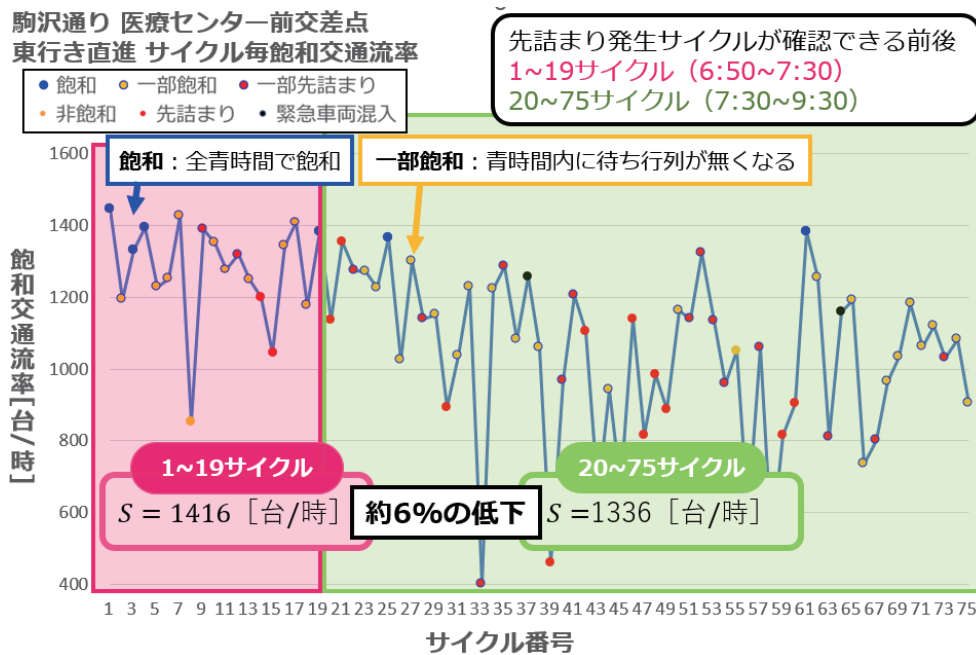


図 5.9 各サイクルの飽和交通流率

5.3.3 先詰まりの再現設定

柿の木坂交差点 (M) の更に下流より先詰まりが発生していたことから、シミュレーション評価システムにおいてその先詰まりを再現するため、柿の木坂交差点の直近下流に仮想信号を設置した。シミュレーション上の信号パラメータを、柿の木坂交差点の信号と同一のサイクル長とし、相対オフセットは 0 秒とし、先詰まりが確認できる時間帯において駒沢通りのスプリット (青時間) を減少させることによりシミュレーション上で先詰まりを再現した。

具体的には、車両走行軌跡図並びに

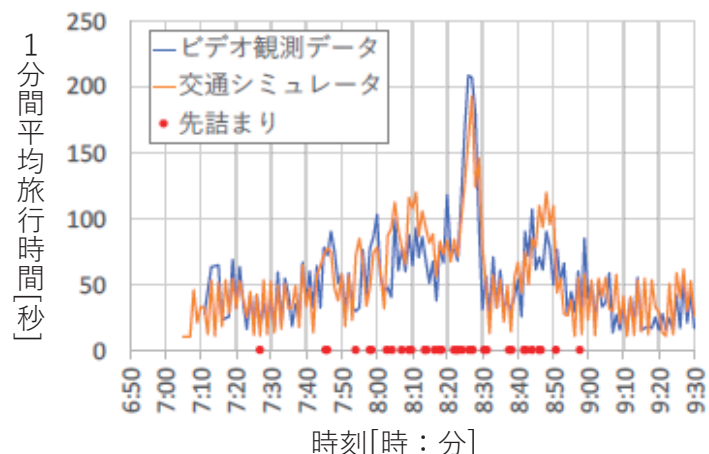


図 5.10 平均旅行時間の比較

図 5.10 に示す柿の木坂交差点東行きにおけるビデオ観測及びシミュレーションによる全流出方向の 1 分間平均旅行時間の時間変動を参照し、仮想信号の赤表示時間と延長方向を調整した。なお、同図には、柿の木坂交差点東行き直進における先詰まりを目視により確認できた発生時刻を赤点にて表示している。

5.3.4 シミュレーションネットワークの設定

シミュレーション評価システムを動作させるために必要とされる各種ネットワークの設定を実施した。

(1) 交差点 I D ネットワーク上に存在する交差点をデータ化する。(図 5.11)

(2) ノード I D 各交差点、駒沢通りの上下流端等をデータ化する。(図 5.12)

- ・ノード I D は” Node_” + 交差点 I D の形式で付番する。
- ・駒沢通りの直進流入入を再現するため、流入部ノードとして” Node_West”、流出部ノードとして” Node_East_East”を付番する。

(3) リンク I D 信号制御を行うためのプローブ情報区間をデータ化する。(図 5.13)

- ・リンク I D は、” Link_” + 上流端ノード I D_下流端ノード I D の形式で付番する。

(4) 信号(制御機) I D 信号機が設置されている地点をデータ化する。(図 5.14)

- ・信号 I D は、” Signal_” + ノード I D の形式で付番する。
- ・駒沢通り上りの下流端での先詰まりを再現するため、M交差点直下に仮想の信号として” Signal_East”を付番する。

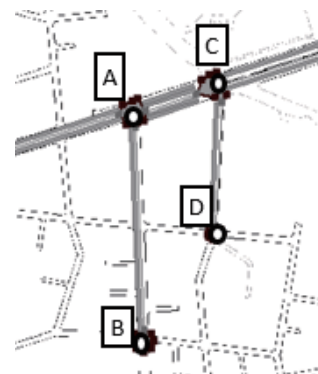


図 5.11 交差点 I D

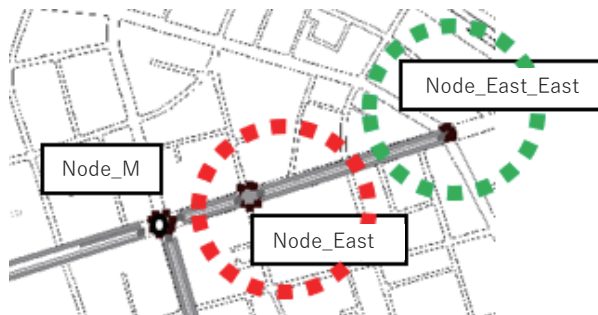


図 5.12 ノード I D

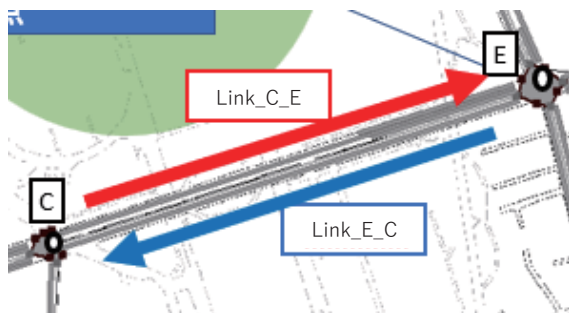


図 5.13 リンク I D

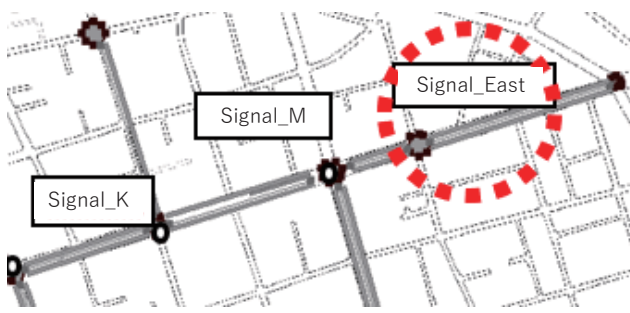


図 5.14 信号(制御機) I D

5.4 シミュレーション評価システムの評価

信号表示時間並びに上記のOD交通量、飽和交通流率及び先詰まり再現を各ブロックに設定又は推定し、各ブロックの評価を実施した。

5.4.1 交通シミュレータの評価

交通シミュレータ (MicroAVENUE) において、国立病院東京医療センター前交差点 (E) 東行き直進にてビデオ観測データに基づくシミュレーションを実施し、実測 (ビデオ観測) 平均旅行時間との比較を実施した。

結果は図 5.15 のとおりで、両者の二乗平均平方根誤差RMS Eは6:50～7:30 で43.1 秒、7:30～8:45 で60.4 秒、8:45～9:30 で43.9 秒、全時間で53.3 秒であり、先詰まりの発生時間帯も含めて朝ピークの交通状況を概ね再現するに至った。

また、柿の木坂交差点のシミュレーションの結果については図 5.16 のとおり。

これにより、交通シミュレータが信号制御方式の性能評価基盤として、一定の精度が期待できると考えられる。

5.4.2 プローブエミュレータの評価

図 5.17 に、プローブサンプル率を30%、伝送・処理時間を0分に設定した条件でのプローブエミュレータの出力と実測（ビデオ観測）等の旅行時間比較を示しているが、概ね実測値の1分間平均旅行時間を再現できている。

TomTom 社提供のリンク旅行時間は、単純な1分間平均値ではなく、過去の変動パターン等を適用した推定値である。

これに対してプローブエミュレータの仕様では、当該リンクを通過するプローブ車両が無い場合には、旅行時間0及び平均遅れ時間0を出力する。この対策として、前1分間平均値を保持する仕様とする、信号制御アルゴリズムのカルマンフィルタにおいて遅れ時間の観測誤差分散を極めて大きく設定してパラメータ推定に影響しないようにするなどの対応が考えられる。

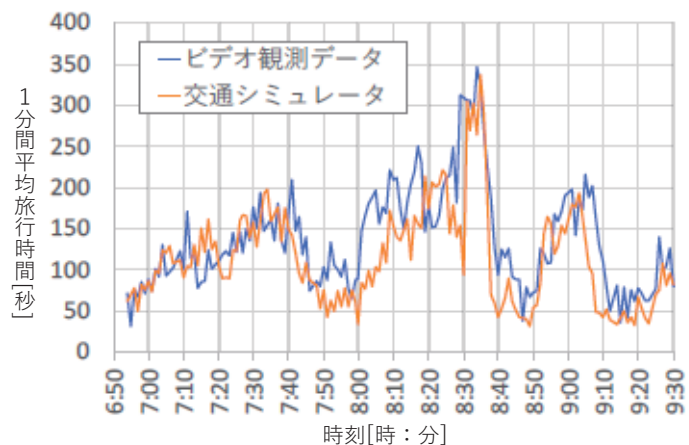


図 5.15 交通シミュレータの評価
(東京医療センター前)

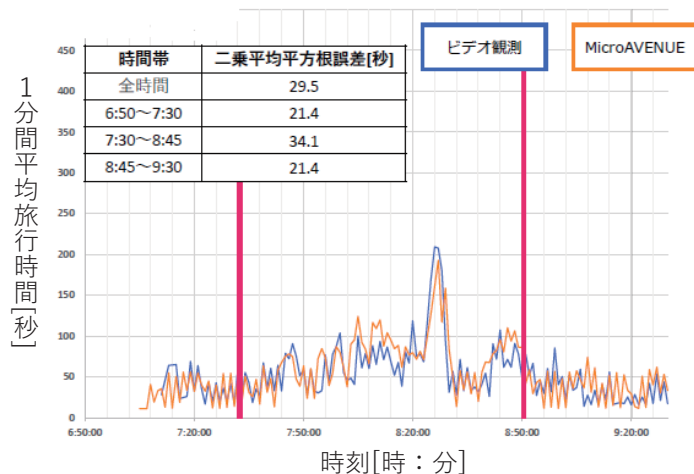
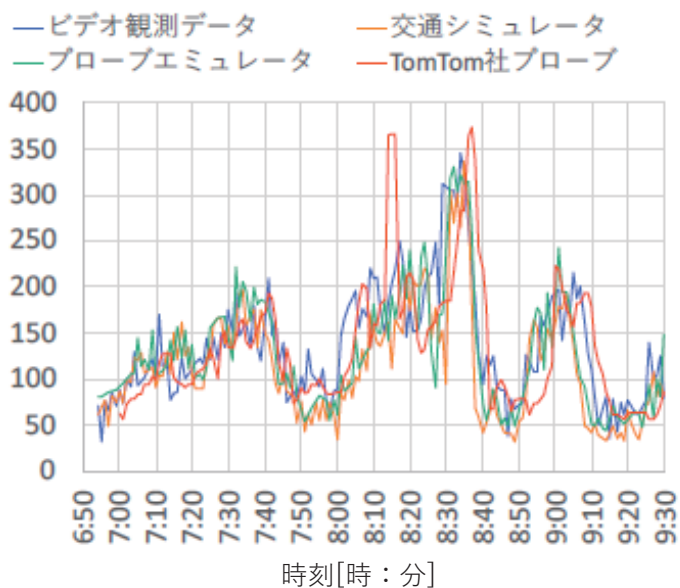


図 5.16 交通シミュレータの評価（柿の木坂）



注) プローブエミュレータ出力に関してはプローブ車率30%、伝送・処理遅れは0分と設定している。

図 5.17 平均旅行時間の比較

5.4.3 平均遅れ算定モデルの同定結果

駒沢通りにおける信号制御網を対象に、シミュレーション評価システムにおいて信号制御エミュレータ内のカルマンフィルタにより平均遅れ算定モデルの係数値の最小二乗推定、更新過程を模擬した。ただし、5.1.2の平均遅れ時間算定モデルの同定アルゴリズムの平均遅れモデル係数の変動成分（白色雑音） $v_L(k)$ 、 $u_L(k)$ の分散値を0.064と設定して多少の時間変動を許容し、平均遅れプローブ計測値の観測誤差 $\varepsilon(k)_{m,j,n}$ の分散値を1.0と設定した。さらに、平均遅れ算定モデルの係数の初期値は、いずれも0.0に設定した。

プローブエミュレータは、当該リンクを通過するプローブ車両が無い場合には、旅行時間0及び平均遅れ時間0を出力する。このため、プローブエミュレータ出力が0となった場合は、平均遅れプローブ計測値の観測誤差 $\varepsilon(k)_{m,j,n}$ の分散値を一時的に 1.0×10^5 に設定変更し、係数値の推定に反映されないように処理している。

図5.18は、プローブエミュレータ出力としてのカルマンフィルタに入力された平均遅れを横軸に、カルマンフィルタによる平均遅れ時間算定モデルの係数値と信号制御パラメータとから算定された平均遅れ（平均遅れ算定モデル出力）を縦軸に示す。なお、同図においてカルマンフィルタの処理対象外のデータは表示していない。

同図では、1分間平均遅れが200秒を超える先詰まりの影響がピークの数分間において、横軸のプローブエミュレータ出力に対して縦軸の平均遅れ推定モデル出力の対応遅延が増大したため、折れ線が大きなループ状になっている。これ以外の領域では、プローブエミュレータ出力の増減に対して平均遅れ算定モデル出力は、より小さな遅れで追従している。なお、上述のプローブエミュレータ出力が0となった場合に係数値の推定に反映されないような処理により、平均遅れ算定モデル出力のエミュレータ出力に対する誤差の偏りが解消されたことを確認している。

図5.19は、平均遅れモデルの推定係数値と、参照用に交通シミュレータ出力より算定した平均遅れ時間及びビデオデータから読み取った先詰まり状況を示す。

交差点C～Eのリンクでは、8:00～8:40頃の間には発生した先詰まりの影響が1分間平均遅れの急激な増大に現れている。各係数値は、初期値0.0から単調増加又は単調減少した後の7:10頃には相対的に小さな変動が一定時間継続するようになったため、交通状況に対応した推定値に

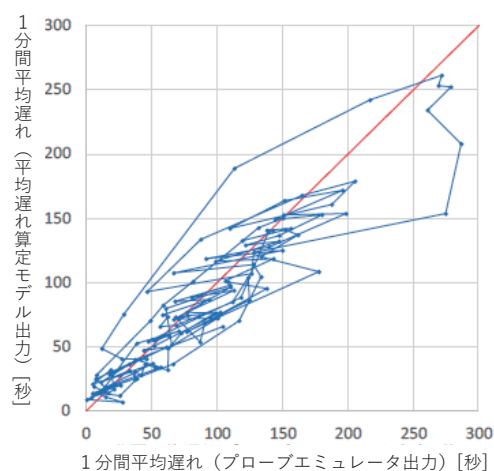
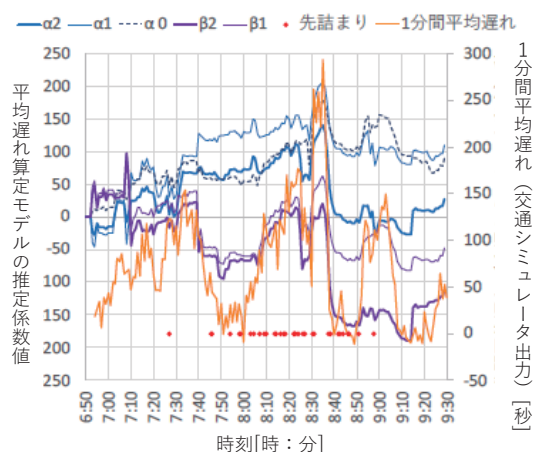


図 5.18 平均遅れの比較（交差点C→E
（国立病院東京医療センター交差点））



αL : スプリットの平均遅れモデルのL次項係数
 βL : オフセットの平均遅れモデルのL次項係数

図 5.19 平均遅れモデルの推定係数（交差点C→E）

概ね到達していると思われる。7:40～8:10 の間の 1 分間平均遅れが一旦極小となった頃に各係数値が相対的に安定して推移している。その後の 8:10～8:30 の間では、先詰まりによる遅れ時間の急増に対応した変化が見られる。特に、オフセットに対する係数である β_2 と β_1 の変動が顕著である。この時間帯では、先詰まり状態でもあり平均遅れを算定できる係数値を推定できていない可能性がある。8:35～8:40 の間は、先詰まりの影響の収束段階に対応して係数値の遷移がある。その後は、相対的には再度安定して推移している。

5.5 仮想ネットワークによる遅れ時間帰還信号制御の評価

シミュレーション評価システムにおいて各種設定が完了したところで、図 5.20 にある仮想ネットワークを設定し、シミュレーションを行うことにより、遅れ時間帰還信号制御の評価を実施した。

本ネットワークでは、各リンク長が一定であるなど、最適な制御が行われれば、遅れ時間が 0 秒とすることが可能となっている。

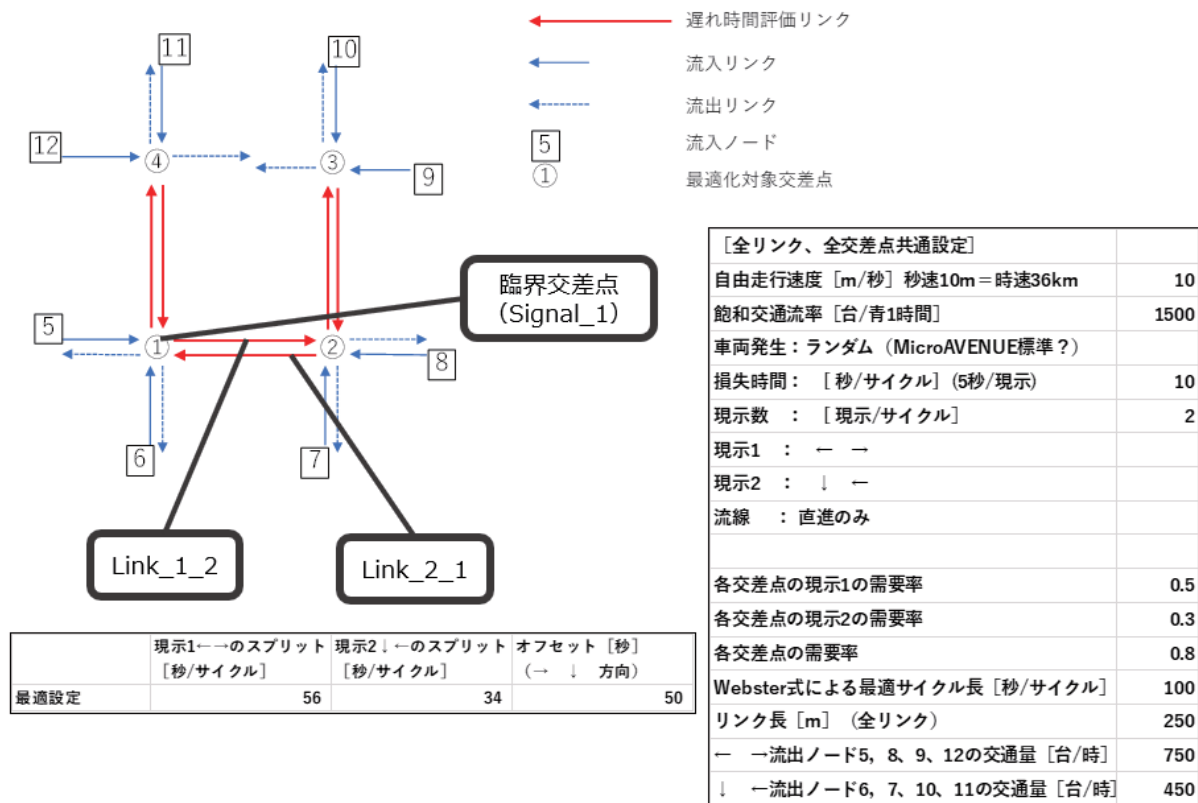


図 5.20 遅れ時間帰還信号制御を評価するための仮想ネットワーク

図 5.21 は、制御パラメータにおいて一定範囲でランダムに生成した変動パターンを 10 回繰り返し適用することにより、各回の係数値及び平均遅れ時間の算定誤差の変動を比較したものである。1 回当たり 20 時間のシミュレーションを複数回行い、終了時のスプリット等信号制御パラメータの変動を確認した。

パターンの違いにより、主方向側の青時間については 18～62 秒、交差側の青時間については 18～38 秒の間で変動した。

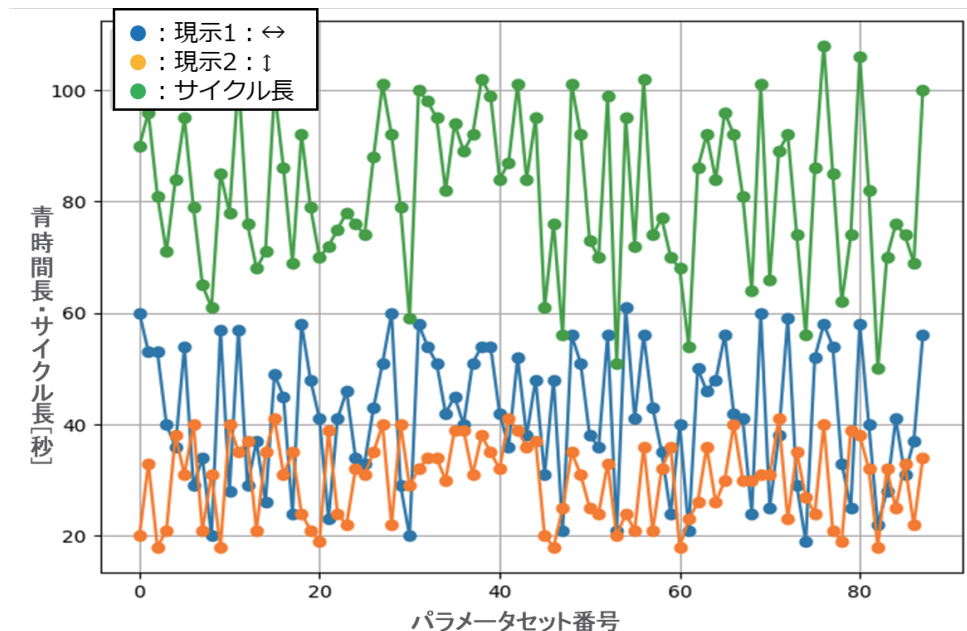


図 5.21 スプリット、サイクル長の変動状況

図 5.22 は、リンク_2_1 を対象とし、図 5.21 のスプリット、サイクル長の変動に対応した平均遅れ時間の係数値の変化状況である。係数値が収束してモデルを作るためには多くの時間が必要とされている。

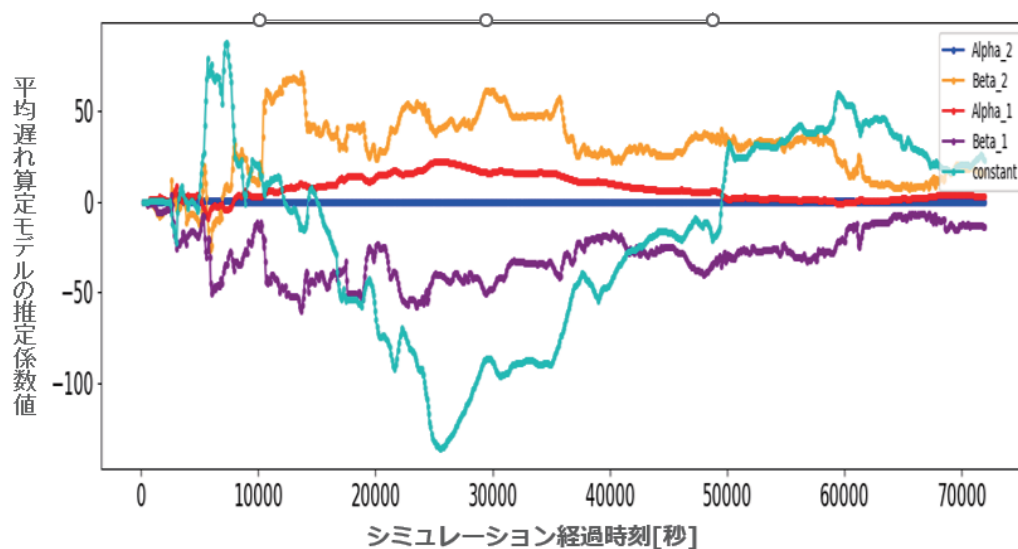


図 5.22 平均遅れ算定モデルの係数値の推定過程（対象リンク：Link_2_1）

図 5.23 は、上記の結果を受けて、交通シミュレータによる遅れ時間と平均遅れ時間算定モデルによる遅れ時間を算定した結果である。平均遅れ時間算定モデルによる遅れ時間が交通シミュレータの平均遅れ時間の変動のほぼ中央に位置し、交通シミュレータの平均遅れ時間の短時間変動には追従していないが、平均値にはほぼ追従できている。

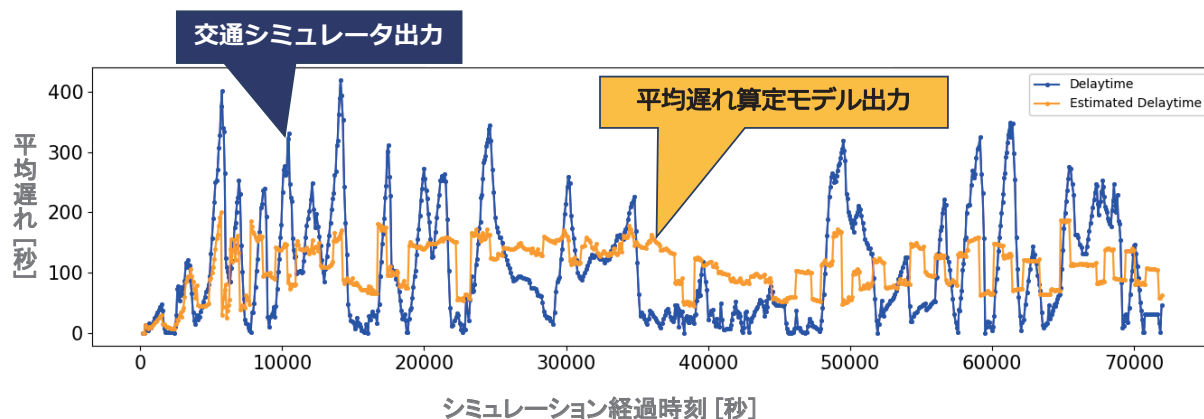


図 5.23 平均遅れ算定モデルの推定過程 (対象リンク : Link_2_1)

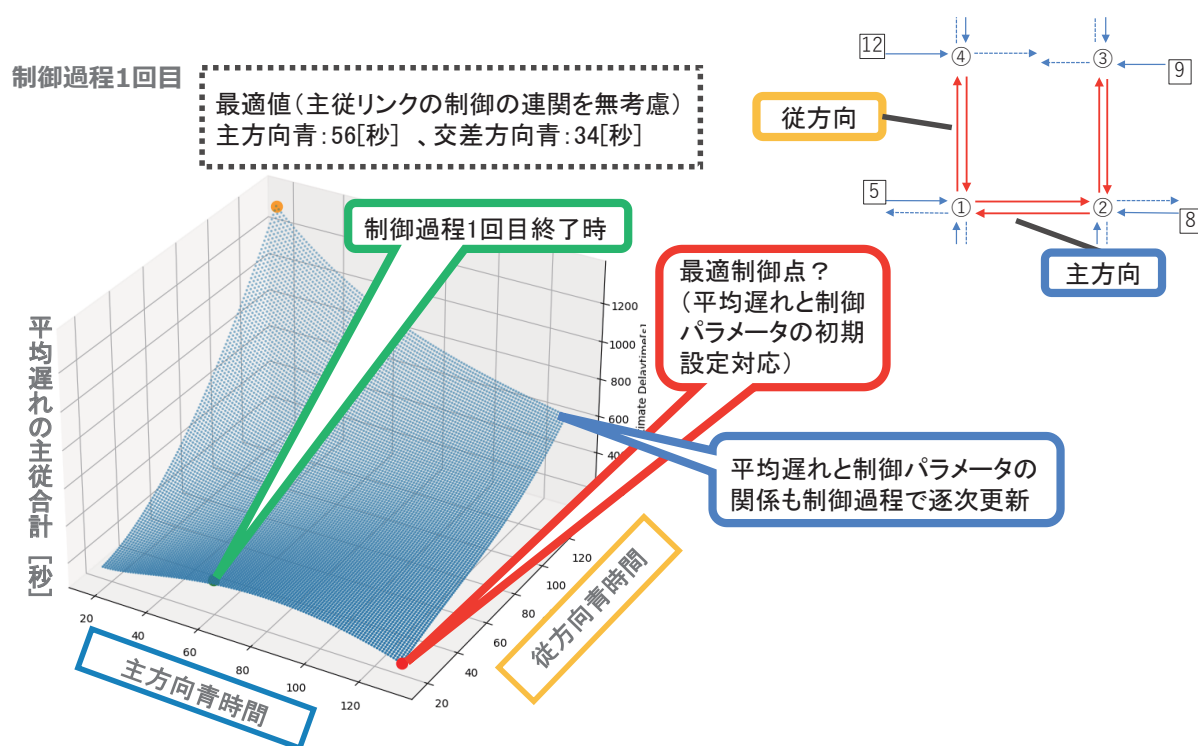


図 5.24 平均遅れ推定モデルによる最適制御過程

図 5.24 は、交差点①において主方向をリンク_2_1、従方向をリンク_4_1 とし、主方向の青時間と従方向の青時間を変化させることにより、平均遅れ算定モデルによって算出される各方向の平均遅れ時間の合計が青色のメッシュ上となる。

本来は、赤点の位置が最適制御点で、合計の平均遅れ時間が最小になる箇所である。しかし、平均遅れ算定モデルの 1 回目の最適化では、緑色の点の位置となった。原因としては、従方向側

のオフセットは、主方向側の青の終了で決まり、独立で決めることができず、主方向を中心に考えると従方向が、従方向を考慮すると主方向の平均時間が遅れ、このような位置に納まったものと考えられる。

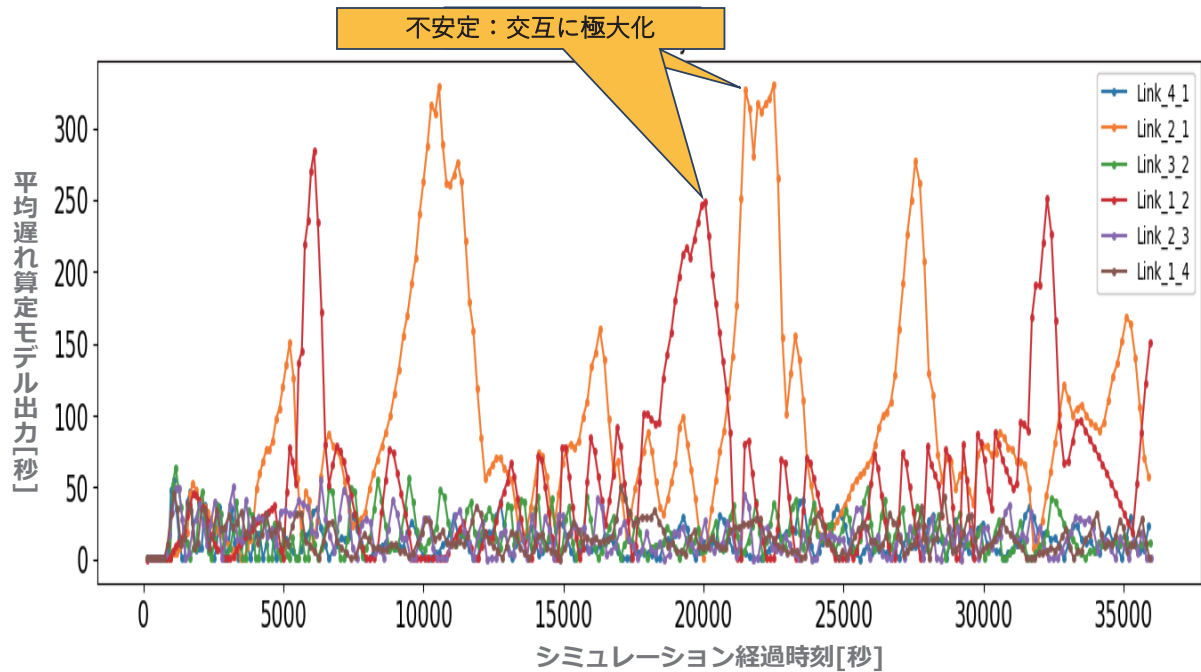


図 5.25 遅れ時間最適化過程

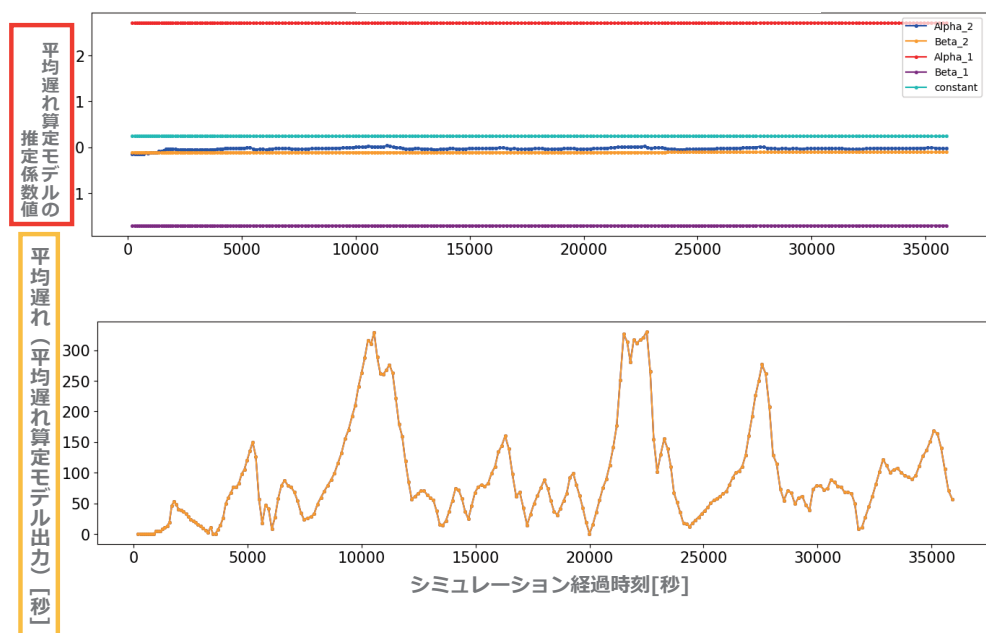


図 5.26 平均遅れ時間の推移 (対象リンク : Link_2_1)

図 5.25 は、シミュレーション経過時間（サイクル）に伴う各リンクの平均遅れ時間算定モデルによる平均遅れ時間を表している。リンク_1_2、リンク_2_1 において、時々平均遅れ時間が

大きく跳ね上がっている。これは、やはりオフセット不良による捌け残りが原因で、青の終わりに到着した車が次のサイクルに残り、これが次のサイクルで累積されて遅れ時間の増加が収まらない状況が発生していると考えられる。

ただし、図 5.26 を見ると、平均遅れ時間は大きく跳ね上がっているが、平均遅れ時間算定モデルの推定係数値はほとんど変化していないことが分かる。

5.6 プローブデータによる遅れ時間帰還信号制御方式に関するまとめ

本信号制御は、これまで実用化されている信号制御方式とは異なり、交通状況の重要な指標である遅れ時間のみを用いてサブエリア全体の遅れ時間を最小にするための最適な信号パラメータを求める帰還制御方式である。本調査研究において、信号アルゴリズムを定式化し、これを実現化すべく、シミュレーション評価システムを開発し、評価システムに必要とされる入力データ等の生成し、評価したところである。

本報告書の段階では、平均遅れ時間算定モデルにおいてオフセット不良による捌け残りが含まれていたためと思われる異常が発生していた。以後、千葉工業大学においてこの信号制御アルゴリズムを見直した評価が行われている。ただし、千葉工業大における本アルゴリズムの特許申請等により、最新のアルゴリズム等は現時点で本報告書に記載することができない。今後、公開が可能になった時点で学会等を通じて発表される見込みである。

6 プロブによって判定されるアプローチ交通状態を用いた信号制御

プローブ情報の旅行時間を用いて判定されるアプローチ交通状態を用いた信号制御に関する調査研究は、愛媛大学の吉井教授（現北海道大学大学院教授）及び坪田准教授の指導の下で学生により研究が進められた。

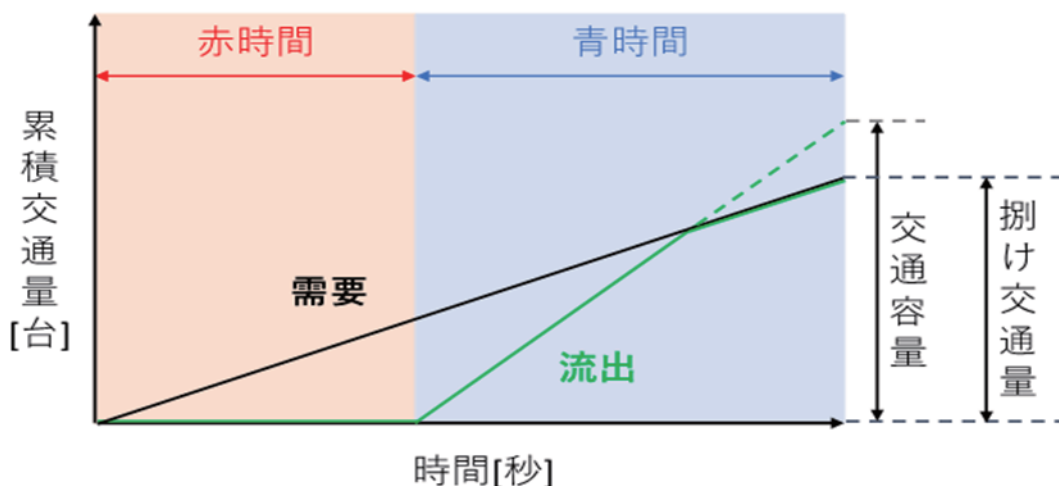
6.1 アプローチ交通状態を用いた信号制御アルゴリズム

本信号制御は、感知器情報からの負荷率等への変換等の処理を介すことなく、すなわち同車両感知器情報を利用せずプローブ情報によって得られる旅行時間のみを直接的に活用するものである。信号制御アルゴリズムの考え方はシンプルで、各現示、各アプローチにおける交通流状態を過飽和/近飽和/非飽和の3つに分類し、同交通流状態を状態変数として取り扱い、信号制御パラメータの値を変動又は追加させるものである。

具体的には、交通流状態に基づく2つの信号制御手法について研究が行われた。1つ目は、過飽和又は近飽和状態の現示と非飽和状態の現示が混在する場合に、非飽和現示のスプリット（青秒数）を一部削減し、過飽和又は近飽和現示にその青秒数を増加させる制御である。2つ目は、同一現示において右折の交通需要が大きく過飽和状態のアプローチとこれと対向するアプローチが非飽和状態である場合に、非飽和状態である対向アプローチのスプリットを削減し、その削減した青秒数を利用して渋滞する右折アプローチのみに青信号を出す現示を追加する制御である。

6.1.1 交通流状態の判定

プローブ情報では直接的に交通需要が計測できないことから、交通需要に代えて捌け交通量が交通容量に占める割合を“青時間使用率”として定義（図 6.1、式(1)）し、これを活用する。なお、現示の青時間使用率は、同一の現示で通行権が与えられているアプローチが複数ある場合（例えば、上り車線と下り車線に同一の現示で青信号を出すような場合）、各アプローチの青時間使用率のうち最大のものを現示の青時間使用率と定義する（式(2)）。



$$\text{青時間使用率} = \frac{\text{捌け交通量 [台]}}{\text{交通容量 [台]}}$$

図 6.1 青時間使用率（R）で用いる交通容量と捌け交通量の関係（一様到着過程下）

$$r_{ij} = \frac{q_{ij}}{s_{ij} \times g_i / 3,600} \quad (1)$$

$$r_i = \max(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}) \quad (2)$$

r_i : 現示*i*の青時間使用率(-)

r_{ij} : 現示*i*、アプローチ*j*の青時間使用率(-)

q_{ij} : 現示*i*、アプローチ*j*の捌け交通量(台/サイクル)

s_{ij} : 現示*i*、アプローチ*j*の飽和交通流率(台/青 1 時間)

g_i : 現示*i*の有効青時間(s/サイクル)

n : 現示*i*で通行権が与えられているアプローチ数(個)

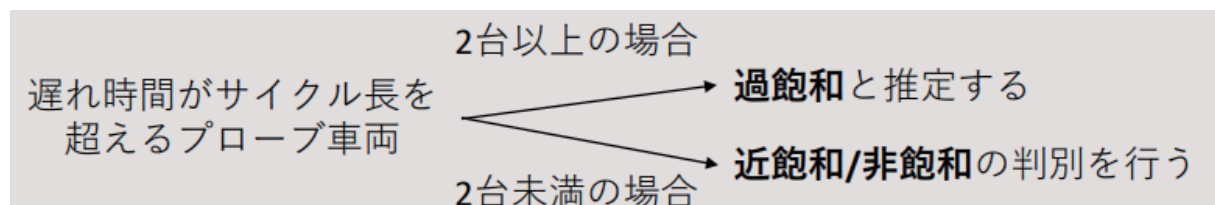
交通流の状態は、各現示又はアプローチに割り当てられているスプリットにより決定される交通容量に対する交通需要（捌け交通量）の割合である青時間使用率を用いることにより判別可能であり、同割合が 1.0 以上の場合が過飽和状態、1.0 未満の場合が非飽和状態となる。ただし、非飽和状態であっても、同割合が一定の値以上で 1.0 に近い場合が近飽和状態、一定の値未満が非飽和状態と定義することができる。

6.1.1.1 過飽和（捌け残りあり）状態と非飽和状態との判定方法

過飽和状態と非飽和状態間には必ず境界線（以下「渋滞判定閾値」という。）が存在する。理論上、この状態はサイクル単位において到着交通量が有効青時間帯にちょうど捌き切れる状態になる。

6.1.1.1.1 1台1台のプローブ車両の旅行時間が取得できる場合の過飽和状態の判定方法

1台1台のプローブ車両の旅行時間が取得できる場合、過飽和状態とは信号交差点を通過するのに2回以上の青信号を要する車両が存在する状況である。このため、渋滞判定閾値はプローブ情報の遅れ時間がサイクル長となった場合となり、これを超えるプローブ車両が存在した場合を過飽和状態と判定する。ただし、停車等が原因で大きな遅れ時間を示すプローブ車両が発生することに配慮し、少なくとも2台以上のプローブ車両において遅れ時間がサイクル長より大きくなった状況をもって過飽和状態と判定する。



6.1.1.1.2 プローブ車両の平均旅行時間が取得できる場合の過飽和状態の判定方法

プローブ車両の平均旅行時間が取得できる場合、過飽和状態とは信号交差点を通過するのに2回以上の青信号を要する車両が存在する状況である。このため、渋滞判定閾値では一様到着（車両が一定の間隔で交差点に到着すること。以下同じ。）と仮定した場合において遅れ時間が0秒から1サイクルまでの車両が発生することから、プローブ情報の平均遅れ時間がサイクル長の半分より大きくなった場合を過飽和状態とする。

過飽和と推定 プローブ情報の平均遅れ時間 $> T_M$ (サイクル長/2)

T_M : アプローチの渋滞判定閾値 (s)

6.1.1.2 近飽和状態と非飽和状態との判定方法

本近飽和状態と非飽和状態との判定は、プローブ情報の旅行時間を用いるため、最尤（さいゆう）推定法により各現示の青時間使用率を推定して行う。

最尤推定法・・・統計モデルのパラメータを推定するための手法で、観測されたデータが与えられた際に、そのデータが最も尤（もっと）もらしい（又は起こりやすい）パラメータを見つけることを目指すもの。

過飽和状態でないと判定された場合に、次式に示す尤度を用いて近飽和状態と非飽和状態の判定を行う。尤度は、現行のサイクル長、スプリットの下で一様到着を想定し、青時間使用率 R の状況下において、観測されたプローブ車両の遅れ時間が生起する確率である。本手法では、近飽和状態と非飽和状態の判定を行うことを目的としていることから、近飽和状態と非飽和状態の境界となる青時間使用率を設定し、尤度が最大となる青時間使用率よりも大きい場合を近飽和状態、小さい場合を非飽和状態と判定する。

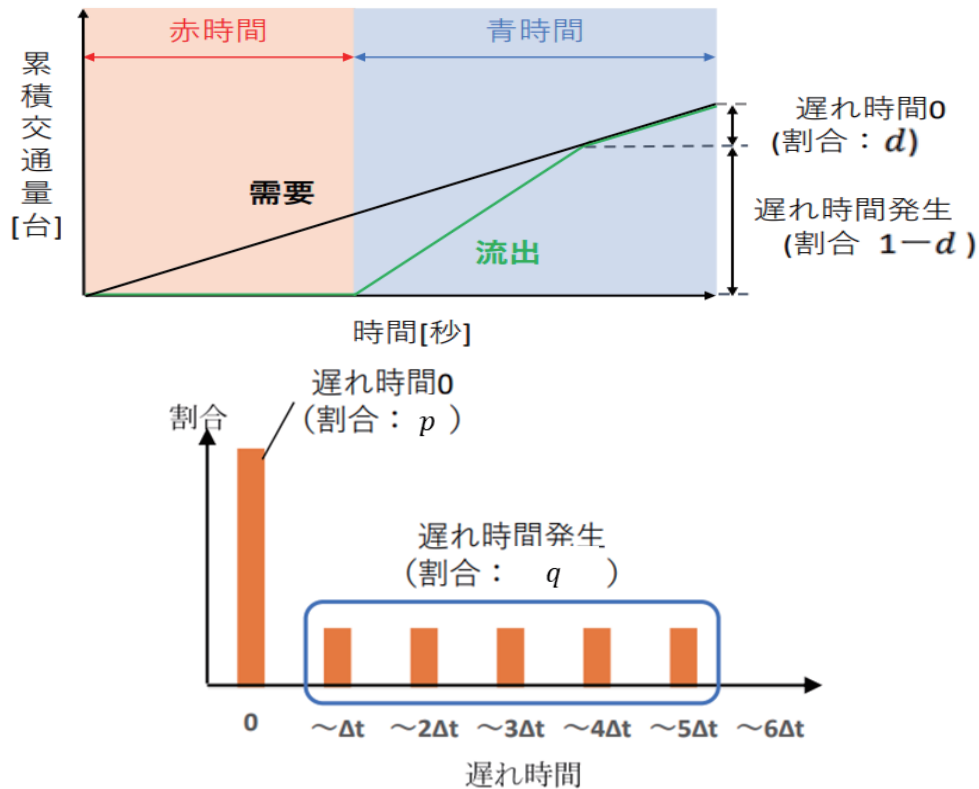


図 6.2 観測された遅れ時間の分布

$$L(r = R) = d^p \times (1 - d)^q$$

L : 尤度 (-)

R : 青時間使用率 (-)

d : 一様到着を想定した場合に遅れ時間が 0 となる車両の割合 (-)

p : 遅れ時間 0 のプローブ台数 (台)

q : 遅れ時間が発生するプローブ台数 (台)

6.1.2 アプローチ交通状態の判定結果を用いた信号制御

アプローチ交通状態の判定結果に基づいた信号制御として「スプリット調節制御」と「非飽和アプローチ青早切り制御」の 2 つの研究が行われた。スプリット調節制御は、過飽和又は近飽和状態の現示と非飽和状態の現示が混在する場合に、非飽和現示のスプリット（青秒数）を一部削減し、過飽和又は近飽和現示のスプリットにその青秒数を増加させる制御である。非飽和アプローチ青早切り制御は、同一現示において交通需要が大きく過飽和状態の右折アプローチとこれと対向するアプローチが非飽和状態である場合、非飽和である対向アプローチの青秒数を削減し、その削減した青秒数を利用して渋滞する右折アプローチのみに青信号を出す現示を追加する制御である。

6.1.2.1 スプリット調節制御 (図 6.3)

信号交差点内において、過飽和（又は近飽和）状態である現示と非飽和状態である現示が混在する場合、非飽和状態である現示のスプリット（青秒数）の一部を過飽和（又は近飽和）状態である現示のスプリットに割り振る。ただし、スプリットを削減した現示が非飽和状態から過飽和（又は近飽和）状態に変わり、過飽和（又は近飽和状態）であった現示が引き続き過飽和（又は近飽和）状態であった場合には、スプリットを基本設定値に戻すこととする。

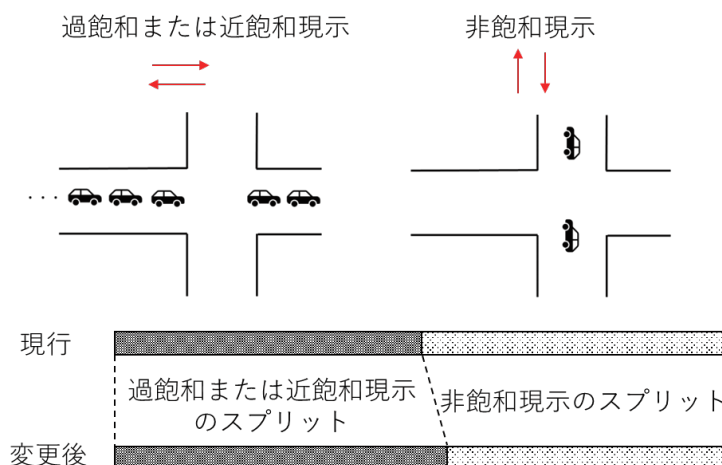


図 6.3 スプリット調節制御

6.1.2.2 非飽和アプローチ青早切り制御 (図 6.4)

右折の需要が大きく過飽和状態のアプローチ（アプローチ①）において、右折レーンに滞留した車列が直進レーンにはみ出し、直進車両の進行を妨げる場合がある。

このため、同一現示の対向するアプローチ（アプローチ②）が非飽和状態の場合、この現示の青信号を早切りし、右折の需要が大きいアプローチのみに青を出す新たな現示を追加する。本制御により、右折の需要が大きいアプローチでは右折可能時間が増加し、右折車両の捌け交通量が増加するとともに、右折車両の滞留が直進レーンにはみ出すことがなくなることで、直進レーン及び右折レーンの遅れ時間を減少させ、過飽和状態を解消させることが期待される。

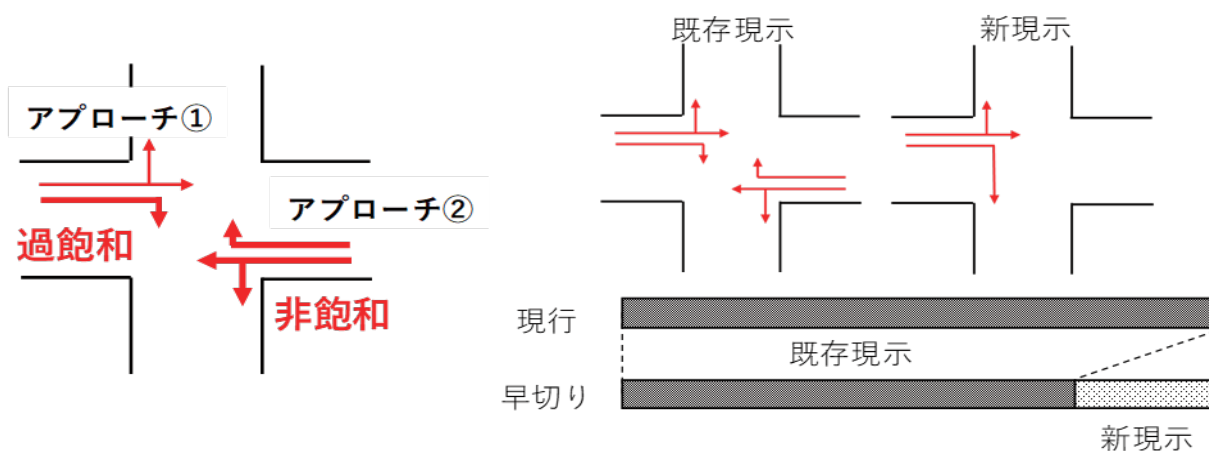


図 6.4 非飽和アプローチ青早切り制御

6.2 交通流状態の判定に関する精度検証

6.2.1 検証方法

交通流状態の判定に関する精度検証では、図 6.5、表 6.1 に示す北吉田交差点の南アプローチ及び朝生田西交差点の東アプローチを用いた。

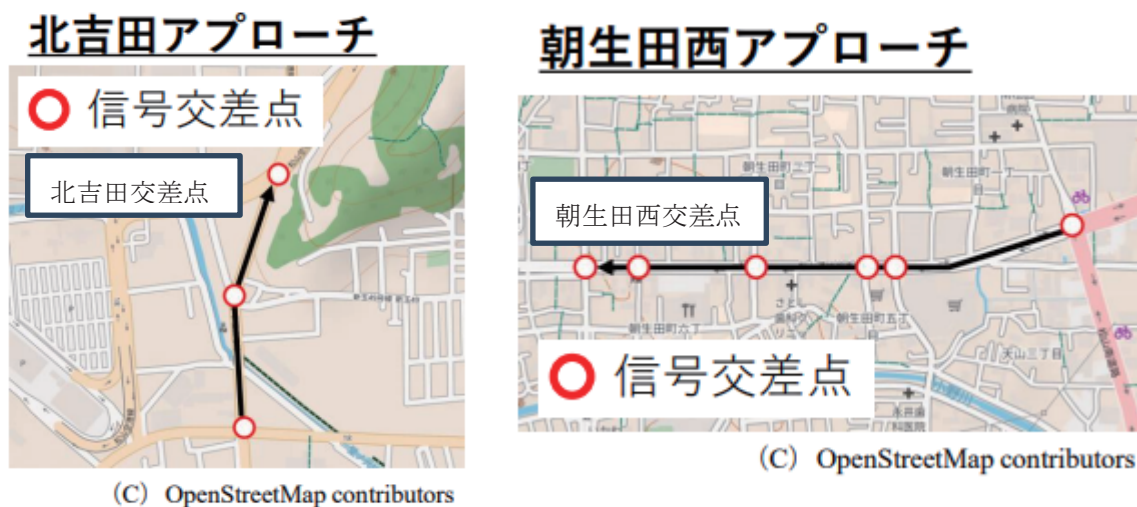


図 6.5 交通流状態の判定に関する精度検証に用いるアプローチ

表 6.1 対象アプローチの状況

アプローチ	アプローチ長 (m)	車線数	サイクル長 (秒)	スプリット (秒)	平均交通量 (台/サイクル)
北吉田	370	1	140	80	22.5
朝生田西	950	3	130	60	63.5

両アプローチにおいて、ビデオ解析により旅行時間が観測された車両の中から一定数の車両をランダムサンプリングによって抽出し、抽出された車両をプローブ車両と見なすことで、交通流状態を推定する。なお、交差点を直進する車両の中で、旅行時間が最小であったものを各アプローチの自由流旅行時間とする。また、ビデオ解析による停止線の車両通過時刻から各アプローチの飽和交通流率を求め、スプリットと捌け交通量により 6.1.1.2 項の算出式を用いてサイクルごとの青時間使用率を算出する。

交通流状態の判定に際しては、旅行時間を抽出する車両の台数及び後述する遅れ時間 0 と見なす旅行時間の上限を定める必要がある。このため、北吉田アプローチを対象とした交通流状態判定の際に適切な上限値を求め、これを各アプローチの交通流状態判定時に用いることで、推定精度を検証する。

6.2.2 過飽和状態の判定

過飽和状態の判別は、6.1.1.1 項に示した方法に従い、抽出された車両の旅行時間から遅れ時間を算出し、遅れ時間がサイクル長を超えるプローブが 2 台以上出現した場合に過飽和状態と判定する。1 台以下の場合は以下の近飽和状態/非飽和状態の判定に移る。

6.2.3 近飽和状態/非飽和状態の判定

非飽和状態又は近飽和状態においては、現行のサイクル長、スプリットの下、一様到着を仮定した場合の各車両の遅れ時間分布を求めると、図 6.6 に示すように一定割合の車両が遅れ時間 0 となり、遅れ時間を有する車両の遅れ時間は、区間(0, 赤時間)に一様に分布する。このため、遅れ時間を有する車両の遅れ時間 d が獲得される確率密度は区間(0, 赤時間)内で一定値となる。

本検証による尤度算定においては、遅れ時間を 0 と区間(0, 赤時間)に二分し、それぞれの遅れ時間が獲得される確率を p_0 、 $(1-p_0)$ として尤度算定を行う。

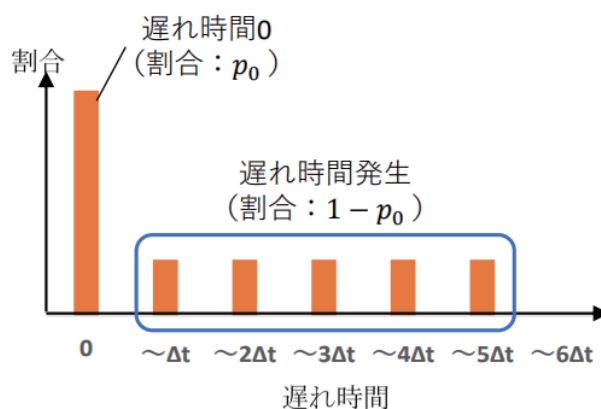


図 6.6 遅れ時間の分布

交通流状態の判別は、近飽和状態と非飽和状態を代表する青時間使用率を、それぞれ 0.9、0.7 として 6.1.1.2 項に示した方法を適用する。

また、調査により獲得された青時間使用率が 0.8 以上の場合を近飽和状態、0.8 未満の場合を非飽和状態として各サイクル別に交通流状態推定の精度検証を行う。

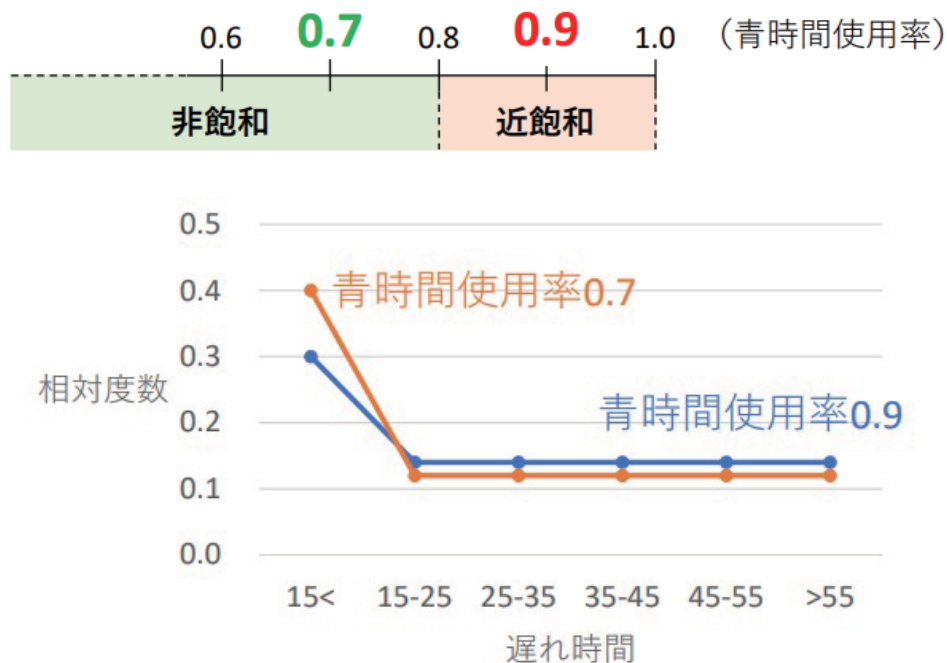


図 6.7 旅行時間の分布 (イメージ図)

6.2.3.1 北吉田交差点南アプローチにおける検証結果

遅れ時間の分布は、実際のサイクル長・スプリットの下において一様到着を仮定した交通状況の場合、遅れ時間 0 の車両が一定の割合で発生する。北吉田交差点南アプローチにおける非飽和状態（青時間使用率=0.7）と近飽和状態（青時間使用率=0.9）で一様到着を仮定した場合の遅れ時間 0 となる車両の割合と遅れ時間が発生する車両の割合を表 6.2 に示す。

表 6.2 一様到着仮定下の遅れ時間別車両割合（北吉田）

	遅れ時間 0	遅れ時間発生
非飽和	0.285	0.715
近飽和	0.117	0.883

しかし、本検証においては、観測旅行時間の最小値を自由流旅行時間とし、観測旅行時間と自由流旅行時間の差を遅れ時間としているため、遅れ時間 0 となる車両はほとんど存在しない。このため、一定の遅れ時間以下の車両を遅れ時間 0 とみなして推定を行うこととし、現実のデータと仮想状況下での遅れ時間 0 の車両割合との乖離が小さくなるように設定することとした。

図 6.8 に、青時間使用率 0.8 未満（非飽和状態）と 0.8 以上（近飽和状態）の両交通流状態において、設定値別に遅れ時間 0 と見なされる車両の割合を示す。同図より、遅れ時間 0 と見なすための秒数を、非飽和状態では 25 秒、近飽和状態では 34 秒に設定したときに、仮想交通状況下における遅れ時間 0 の車両割合（非飽和：0.285、近飽和：0.117）に近い値となる。このことから、両秒数のほぼ中間に位置する 30 秒を閾値とし、遅れ時間が 30 秒以下の車両を遅れ時間 0 と見なして以下の判定を行う。

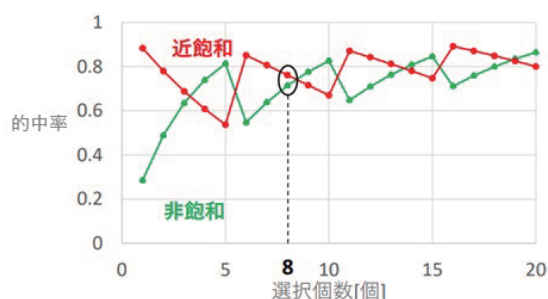
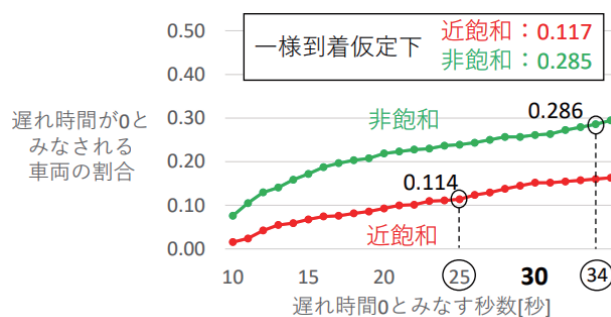


図 6.8 遅れ時間が 0 とみなされる車両の割合（北吉田） 図 6.9 選択個数と的中率の関係（北吉田）

一様到着時の各サイクルにおいて旅行時間を抽出するための車両を 1 台から 20 台まで変化させて交通流状態の判定を行った場合に、非飽和状態において非飽和状態と正しく判定された割合及び近飽和状態において近飽和状態と正しく判定された割合（的中率）を図 6.9 に示す。

北吉田交差点におけるサイクル当たりの平均捌け交通量が 22.5 台であることから、将来的にプローブ車両が交通に占める割合が 3 割程度まで普及すると想定するとともに、本結果の非飽和状態と近飽和状態での的中率の差が比較的小さくなる台数として、8 台の旅行時間を抽出することとして以下の分析を行う。

各サイクルにおいてプローブ車両と見なす 8 台の車両の組み合わせをランダムに 5 万通り抽出

し、すべての組み合わせについて交通流状態の判定を行った結果を表 6.3 に示す。なお、過飽和状態の判定に関して、観測では全車両の中で 2 台以上、推定では抽出された 8 台の中で 2 台以上の車両の遅れ時間がサイクル長を超えた場合に過飽和状態と判定した。

北吉田交差点南アプローチの結果として、正しく交通流状態を判定した割合を示す的中率は 61.9%（非飽和 56.3%、近飽和 65.0%、過飽和 74.5%）となった。

表 6.3 交通流状態判定結果(北吉田交差点南アプローチ)

		判定結果			計
		非飽和	近飽和	過飽和	
観測	非飽和	929,566 (56.3%)	720,434 (43.7%)	0 (0%)	1,650,000 サイクル数：33 (100%)
	近飽和	683,408 (35.0%)	1,266,592 (65.0%)	0 (0%)	1,950,000 サイクル数：39 (100%)
	過飽和	0 (0%)	63,861 (25.5%)	186,139 (74.5%)	250,000 サイクル数：5 (100%)
計		1,612,974	2,050,887	186,139	3,850,000

6.2.3.2 朝生田西交差点東アプローチにおける検証結果

朝生田西交差点東アプローチにおいて、北吉田交差点南アプローチで用いた遅れ時間 0 と見なす秒数の 30 秒とプローブと見なして抽出する車両の台数の 8 台を活用し、同様の手法に基づき交通流状態の判定を行った。

表 6.4 に実観測によって遅れ時間 0 と見なした車両割合と仮想状況下における遅れ時間 0 の車両割合を示す。遅れ時間 0 と見なす秒数に北吉田交差点南アプローチで設定した 30 秒を用いたことから、実観測と仮想状況下の遅れ時間 0 の車両割合に大きな乖離が見られた。

表 6.4 実観測及び仮想状況下における時間 0 の車両割合比較（朝生田西）

交通流状態	遅れ時間 0 の車両の割合	
	実観測	仮想状況下
非飽和	0.504	0.341
近飽和	0.306	0.249

表 6.5 に、交通流状態の判定結果を示す。的中率は 83.4%（非飽和 96.5%、近飽和 28.0%、過飽和 85.8%）であった。プローブ車両と見なす車両台数及び遅れ時間を 0 とみなす秒数について、北吉田交差点南アプローチで設定した値を用いたにもかかわらず、朝生田西交差点東アプローチが高い的中率となった。朝生田西交差点東アプローチでは非飽和状態が多かったことから、的中

率が高くなる比較的低い青時間使用率の非飽和状態が多く出現したことが理由の一つとして推定される。

表 6.5 交通流状態判定結果(朝生田西交差点)

		判定結果			計
		非飽和	近飽和	過飽和	
観測	非飽和	1,543,973 (96.5%)	56,027 (3.5%)	0 (0%)	1,600,000 サイクル数：32 (100%)
	近飽和	287,976 (72.0%)	112,024 (28.0%)	0 (0%)	400,000 サイクル数：8 (100%)
	過飽和	64,476 (12.9%)	6,750 (1.4%)	428,774 (85.8%)	500,000 サイクル数：10 (100%)
計		1,896,425	174,801	428,774	2,500,000

交通流状態推定結果を用いた信号制御の実施を想定すると、過飽和状態、あるいは近飽和状態にもかかわらず非飽和状態と間違っ判定された場合、必要とされる青時間を増やすことができず、過飽和状態では渋滞が悪化、近飽和状態では渋滞が発生する可能性があり、表 6.5 のように近飽和状態の 72.0% が非飽和状態と判定された場合は、交通において大きな負の影響が懸念される。

今回、十分な精度を獲得できなかった理由としては、サイクル単位での推定を行ったため、8 台という小サンプルのプロープ旅行時間を用いたことが影響したと考えられる。そこで、今後は、誤判定が発生した際の交通状況を精査するとともに、プロープ旅行時間のサンプル数を増やすため、サイクル単位の推定に代えて複数サイクルにおけるプロープ旅行時間を用いることで推定精度の向上を図ることも必要である。また、誤判定をゼロとすることは難しいが、交通状況の悪化に結びつく誤判定の発生可能性を小さくするように推定時に設定するパラメータの調整を行うことも必要である。

6.3 アプローチ交通状態を用いた信号制御の有効性検証

信号制御手法の有効性検証は、千葉工業大学と同様に交通シミュレータ（MicroAVENUE）を用い、交差点の実際の交通状況を再現し、交通調査実施時の実際の信号制御を行った場合と交通流状態の判定結果を用いる信号制御を行った場合におけるネットワーク内を走行した車両の平均遅れ時間を比較することにより実施した。

朝生田西交差点における検証においては、図 6.10 のように実観測の旅行時間と実際の信号制御情報による結果（シミュレーション）がほぼ一致するようにシミュレータの作成、調整が行われた。

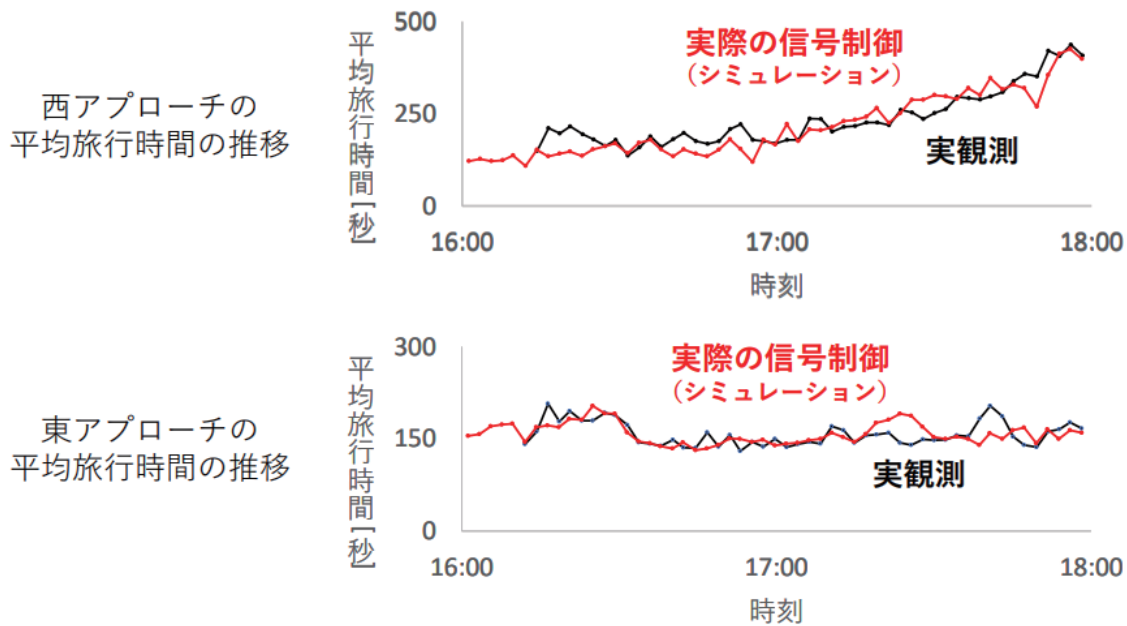


図 6.10 朝生田西交差点でのシミュレータの調整結果

6.3.1 北吉田交差点における有効性検証

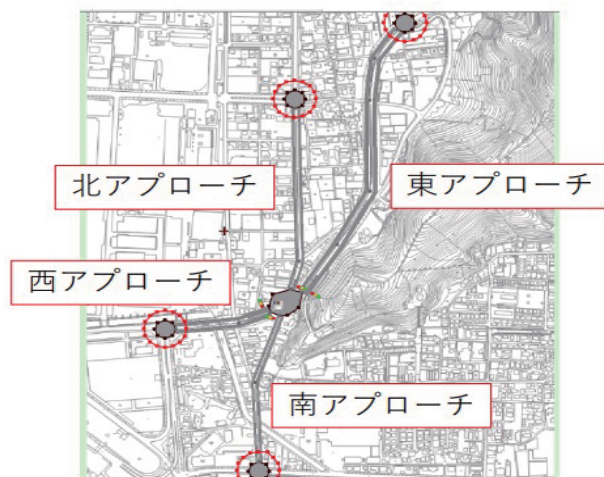
北吉田交差点において、全通過車両に対するプローブ車両の割合を 20%と仮定し、図 6.11 に示すとおり、各アプローチの交通需要は実測した捌け交通量を基準値とし、交通需要が増加する条件として各アプローチ交通需要を基準値の 1.3 倍に増加させる。この条件下において信号機の青時間を既存の時間に固定した場合(定周期)とスプリット調節制御の場合についてシミュレーションを実施した(実験 1)。

スプリット調節制御については、第 1 (1Φ)、第 2 (2Φ)、第 4 現示 (4Φ) のうちの 1 つの現示が過飽和状態と推定された場合は、過飽和状態の現示にスプリット(青秒数)を 4 秒追加し、他の 2 つの現示のスプリットをそれぞれ 2 秒削減する。また、3 現示のうち 2 つの現示が過飽和状態と推定された場合は、過飽和状態の現示にスプリットをそれぞれ 2 秒追加し、他の 1 つの現示のスプリットを 4 秒削減する。

以上の条件の下でシミュレーションを実施した(実験 1)結果、スプリットの変動状況は図 6.12、同スプリット変動に基づく平均旅行時間の変動は図 6.13 のとおりとなった。

スプリット変動については、西アプローチの交通需要を 1.3 倍としたことから南北アプローチのスプリットが 78 秒と 2 秒短縮され、その後南北アプローチの交通需要を 1.3 倍とした 5,460 秒から 35 分遅れて 7,560 秒になって初めてスプリットが 4 秒増加している。これは、交通需要が増加してから過飽和状態になるまでのタイムラグによるものと推定される。これにより、平均旅行時間も交通需要の増加にリアルタイムに反応できず、定周期制御に比べてスプリット調節制御の値が大きくなっており、全車両の遅れ時間の総和である総遅れ時間においてもスプリット調節制御が 36.0 時間となり定周期制御(35.2 時間)より 2.3%悪化している。

この結果から、スプリット調節制御においては、渋滞が既に発生している過飽和状態ではなく、混雑が発生し始める近飽和状態からスプリットを増加させることが望ましいと推定される。



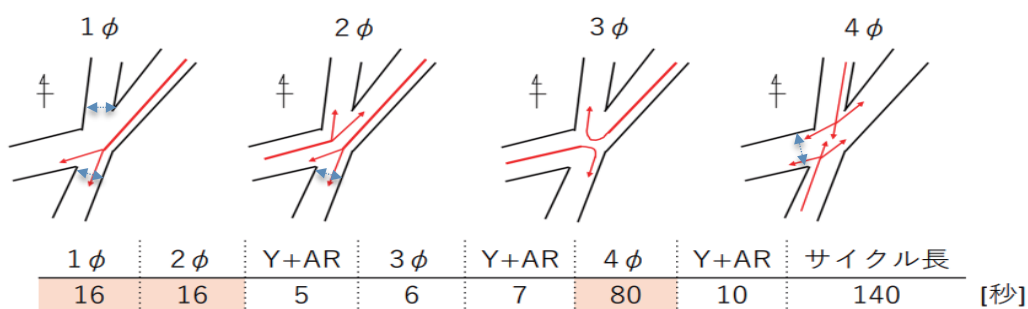
シミュレーション時間

2時間

交通需要

各アプローチの捌け交通量を基準に
15分単位で設定
(プローブ率：20%)

時間	交通需要
0-30分	全アプローチ基準値
30-60分	東アプローチのみ1.3倍
60-90分	西アプローチのみ1.3倍
90-120分	南北アプローチのみ1.3倍



推定された交通流状態により調節

- i) 1φ, 2φ, 4φのうち、過飽和と推定された現示が1つの場合
 非飽和or近飽和と推定された現示のスプリット：-2秒
 過飽和と推定された現示のスプリット：+4秒
- ii) 1φ, 2φ, 4φのうち、過飽和と推定された現示が2つの場合
 非飽和or近飽和と推定された現示のスプリット：-4秒
 過飽和と推定された現示のスプリット：+2秒

図 6.11 北吉田交差点におけるシミュレーションの条件

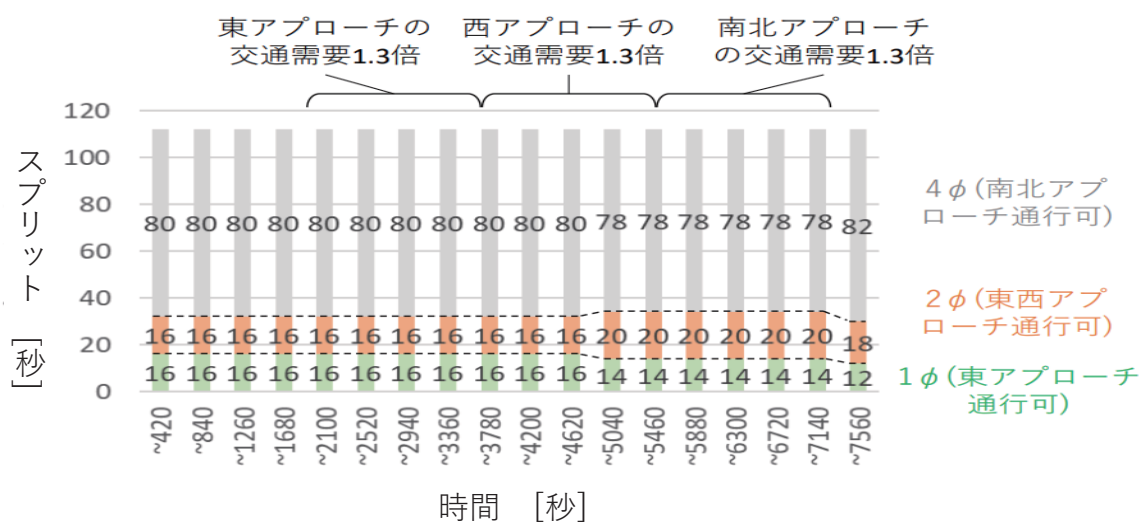


図 6.12 スプリット調節制御によるスプリットの変動状況 (実験 1)

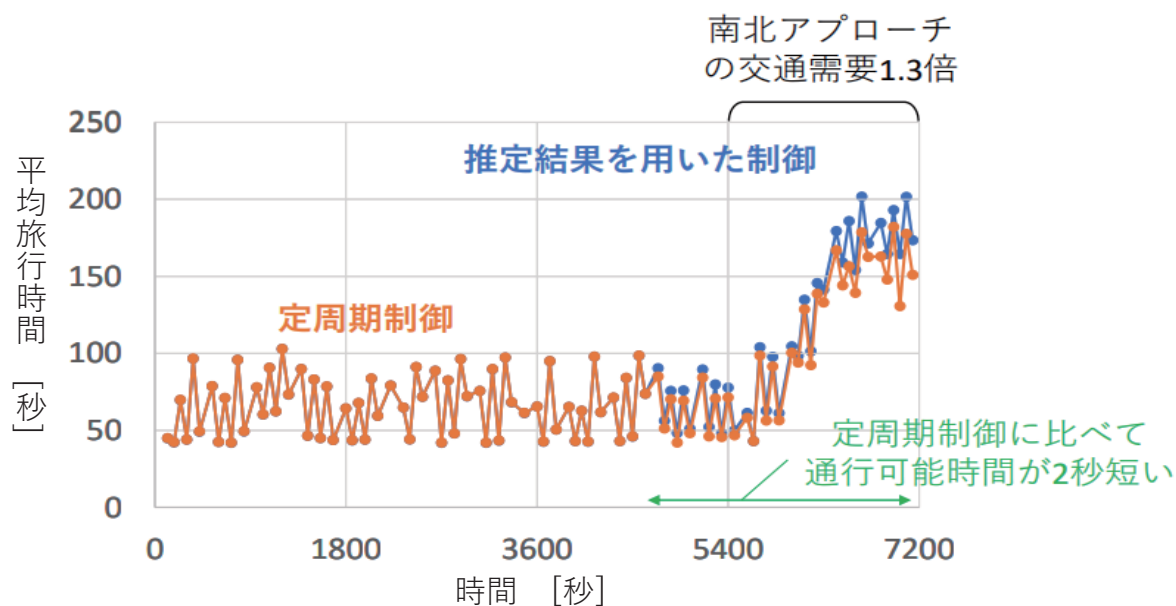


図 6.13 スプリット調節制御による北アプローチ(直進のみ)の平均旅行時間の変動 (実験 1)

次に、各アプローチの交通需要において南北アプローチの交通需要のみを 1.3 倍に増加させ、定周期とスプリット調節制御の場合についてシミュレーションを実施した(実験 2)。

結果は図 6.14、15 のとおりであり、スプリット調節制御における第 3 現示のスプリット変動が実験 1 の 78～82 秒の変動ではなく 80 秒～84 秒の間で変動した結果、南北アプローチの交通においてスプリットに余裕があり、平均旅行時間は最長で 200 秒に届かず、全体を通して定周期制御より短く、総遅れ時間も 69.1 時間と定周期制御 (81.0 時間) より 14.7%短縮され、スプリット調節制御の効果が現れている。

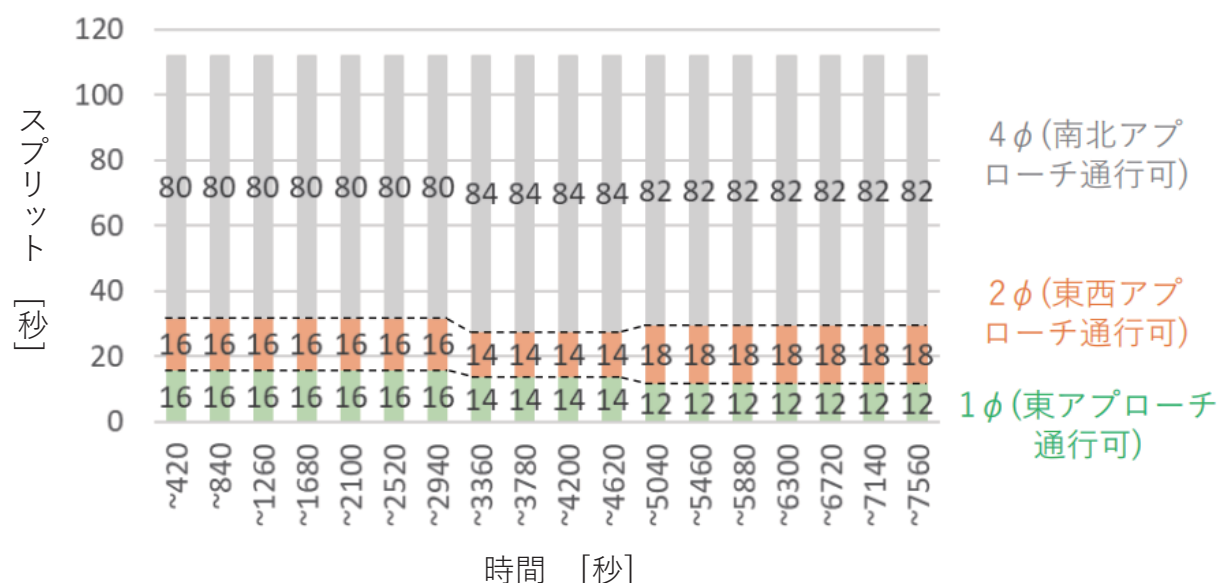


図 6.14 スプリット調節制御によるスプリットの変動状況 (実験 2)

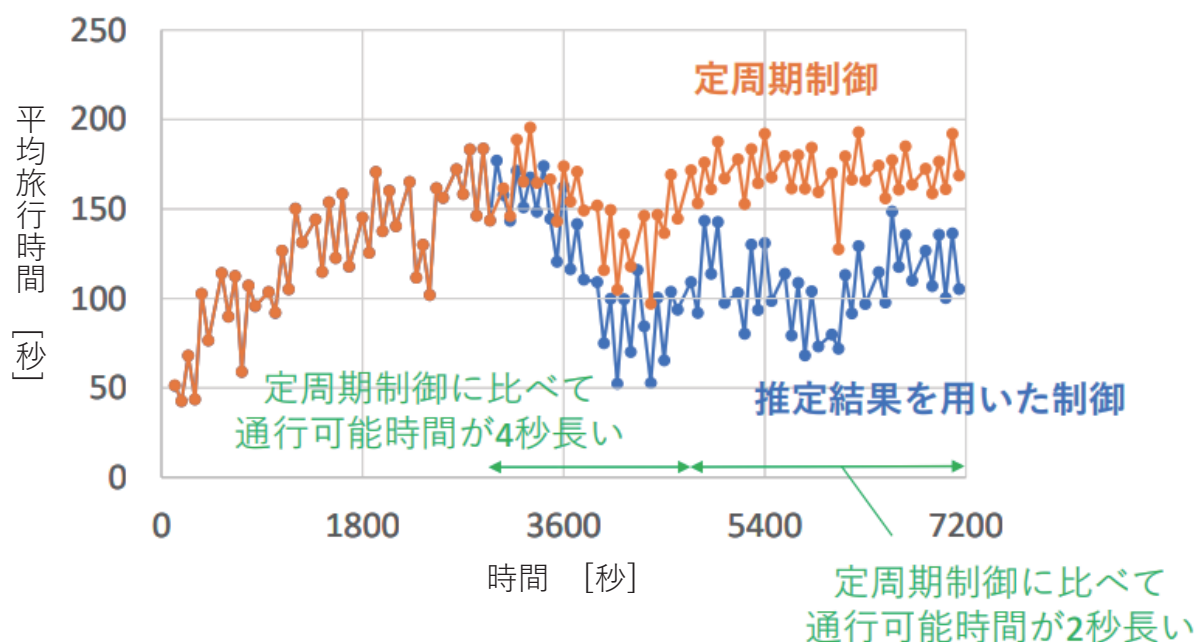


図 6.15 スプリット調節制御による北アプローチ(直進のみ)の平均旅行時間の変動 (実験 2)

6.3.2 朝生田西差点における有効性検証

朝生田西交差点の現状の信号制御は、表 6.6 の交通調査時のスプリット状況で分かるように、MODERATO が導入されており、第 1 及び第 3 現示は交通量等負荷率により大きく変動している。また、第 2 現示では右折感應制御が行われている。

このような状況において、北吉田交差点のシミュレーションの結果も踏まえ、図 6.16 に示すスプリット調節制御と図 6.17 に示す非飽和アプローチ青早切り制御についてシミュレーションを実施し、有効性の検証を行った。

スプリット調節制御は、第 1 現示と第 3 現示において交通流状態の判定を行い、その結果に基づき、一方が非飽和状態で他方が近飽和状態の時には非飽和状態の現示から近飽和状態の現示にスプリット（青秒数）を 1 秒割り振る。一方が過飽和状態の場合は 2 秒を割り振る。ただし、両現示とも過飽和状態の場合は元のスプリットに戻すこととする。これにより、渋滞を発生させない又は渋滞を解消させる効果が期待される。

非飽和アプローチ青早切り制御は、東西アプローチに青時間を与える第 1 現示において、東アプローチが非飽和状態で西アプローチの右折が飽和状態の場合に東アプローチのスプリットを 10 秒削減し、西アプローチのみに 10 秒の青秒数を割り振る新しい現示（1.5 現示）を第 1 現示と第 2 現示の間に設ける。これにより、右折現示において渋滞を解消させ、さらに右折車両が直進車線にはみ出して直進車両の通行を阻害することを排除できる効果が期待できる。ただし、実際の信号制御においては、第 1 現示から第 1.5 現示に移る際に東アプローチの右折車が西アプローチの直進車により取り残されるおそれがあるため、別途の配慮が必要となる。

表 6.6 朝生田西交差点交通調査時のスプリット状況[単位：秒]

1φ	Y	2φ	Y+AR	3φ	Y	4φ	Y+AR	サイクル長
47~70	3	5~18	5	33~42	3	6	5	117~143

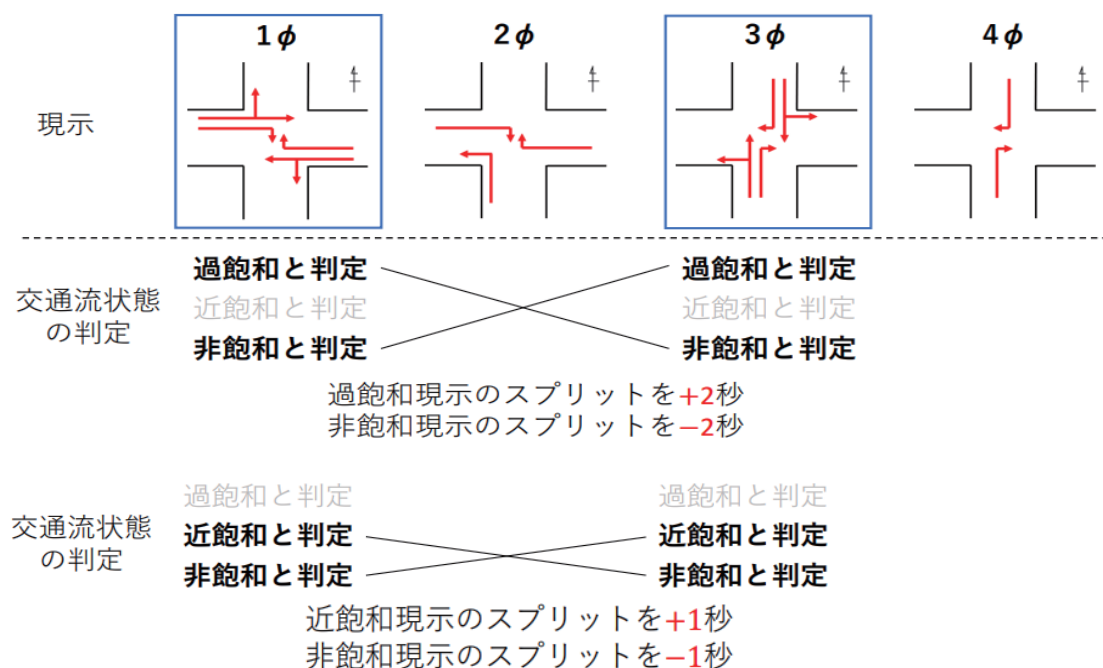


図 6.16 朝生田西交差点におけるスプリット調節制御の条件

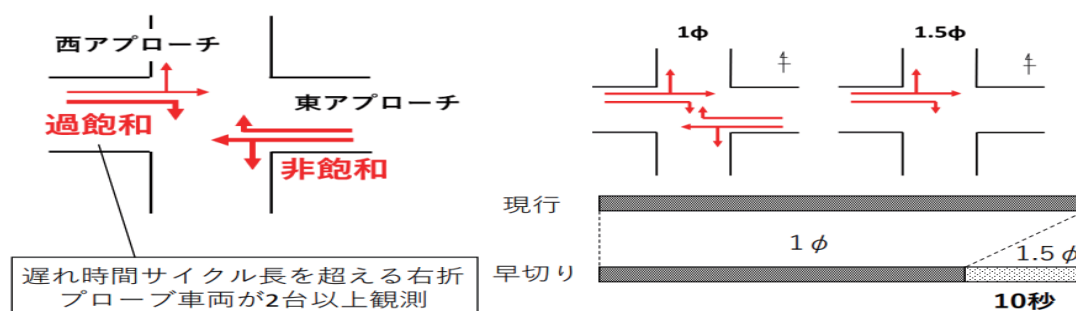


図 6.17 朝生田西交差点における非飽和アプローチ青早切り制御の条件

以上の条件の下、スプリット調節制御のみ、非飽和アプローチ青早切り制御のみ、両制御を同時に行う組み合わせ制御の3パターンでシミュレーションを実施する。ただし、シミュレーションで使用するスプリットは、17時以降に頻繁に見られた表6.7のスプリットを基本設定値とする。また、プローブサンプル率20%のシミュレーションでは、交通流状態の判定に十分なプローブ情報を確保するため、直近3サイクルで観測されたプローブ情報を使用する。

表 6.7 朝生田西交差点のスプリットの基本設定値〔単位：秒〕

1φ	Y	2φ	Y+AR	3φ	Y	4φ	Y+AR	サイクル長
60	3	15	5	33	3	6	5	130

6.3.2.1 1台1台のプローブ車両の旅行時間が取得できる場合

青時間使用率 0.85 を非飽和と近飽和状態の境界とし、プローブ情報はすべての車両からプローブ情報が収集できるとしたプローブサンプル率 100%（理想的な状況）と、20%の車両からプローブ情報が収集できるとしたプローブサンプル率 20%（近い将来を想定した状況）について実施した。

まず、各信号制御を行った場合の交通流状態判定の的中率を表 6.8 に示す。プローブサンプル率 100%のスプリット調節制御では平均 77.4%の的中率であった。特に、信号制御で重要な近飽和で 87.9%、過飽和状態で 100%と高い的中率となった。ただし、プローブサンプル率 100%においても、的中率が 100%により近づかないのは、実際の交通が一様到着ではない中で、今回の検証においてプローブ車両を一様到着と仮定して実施していること等が一因であると推定される。

表 6.8 交通流状態の判定結果（1台1台の旅行時間が取得できる場合）

プローブ率100%で1台1台の旅行時間を使用した場合
（例：スプリット調節制御）

		判定結果			計
		非飽和	近飽和	過飽和	
実際	非飽和	71	43	0	114
	近飽和	4	29	0	33
	過飽和	0	0	61	61
計		75	72	61	208

$$\text{交通流状態の的中率} : \frac{71 + 29 + 61}{208} = 77.4\%$$

プローブ率	信号制御	的中率
20%	スプリット調節のみ	62.3%
	青早切りのみ	62.6%
	組み合わせ	61.2%
100%	スプリット調節のみ	77.4%
	青早切りのみ	76.9%
	組み合わせ	80.8%

プローブサンプル率 20%と 100%の比較では、プローブサンプル率 20%では 3 制御ともの中率は 60%程度であったのに対し、プローブサンプル率 100%の場合では想定どおり 3 制御ともより高い 75%を超えた的中率となった。

次に、交通流状態の判定結果に基づくシミュレーションの結果は以下のとおり。

スプリット調節制御のみを実施した場合、非飽和アプローチ青早切り制御のみを実施した場合及び両制御を実施した場合（以下「組み合わせ」という。）についてシミュレーションを実施した結果を図 6.18 に示す。

実際の平均遅れ時間が 109.2 秒であったが、3 制御ともに平均遅れ時間が 67.3～78.9 秒と-40 秒前後、率として-40%前後と大幅に減少し、プローブ情報を用いた信号制御の効果が現れてい

る。また、当然のことではあるが、プローブサンプル率 100%がプローブサンプル率 20%より高い効果を示している。ただし、非飽和アプローチ青早切り制御については、プローブサンプル率 20%、100%もほぼ同じ値であり、これは、西アプローチ右折車線においてプローブサンプル率に関わらず飽和状態として同様に判定された結果と推定される。

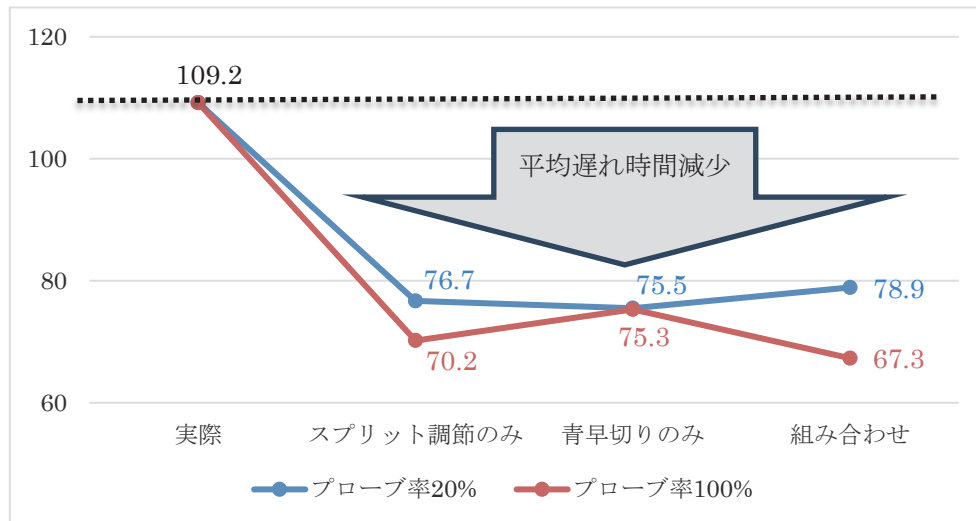


図 6.18 各制御を用いた平均遅れ時間の変化

図 6.19 は、プローブサンプル率 100%における各アプローチの実施前後の平均遅れ時間を比較したものである。

飽和状態である西アプローチでは3つのすべての制御において遅れ時間が約 1/3 と大きく減少し、期待した効果が明確に現れている。非飽和状態であった東及び南アプローチでは青秒数が減少しているにも関わらず平均遅れ時間においてはほぼ変化は無い。

一方で、近飽和状態と思われる北アプローチでは、非飽和アプローチ青早切り制御において平均遅れ時間が現行よりも悪化している。これは、非飽和アプローチ青早切り制御が南北アプローチの交通状態を考慮せずに制御されていることから、西アプローチからの右折車両が交通量の多い北アプローチの南側にこれまで以上に流出可能となり、先詰まり等により北アプローチの直進車両の進行を阻害した可能性がある。

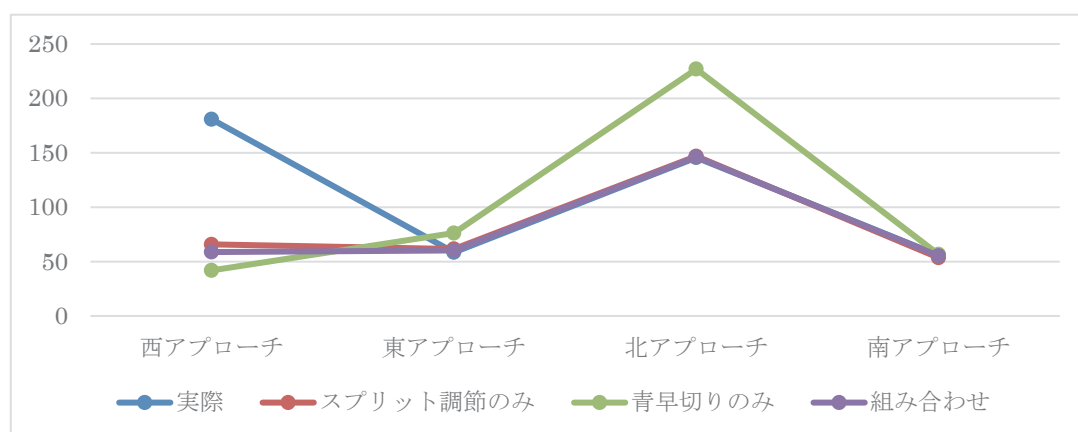


図 6.19 各アプローチの平均遅れ時間の変化

6.3.2.2 プローブ車両の平均旅行時間が取得できる場合

プローブ情報により平均旅行時間が取得できる場合のプローブサンプル率 100%とプローブサンプル率 20%についてシミュレーション等を実施する。

交通流状態の判定結果を表 6.9 に示す。

プローブサンプル率 100%が 20%よりの中率は若干高くなっているが、いずれも 60%台に留まっている。表 6.8 の 1 台 1 台のプローブ車両の旅行時間が取得できる場合と比較すると、プローブサンプル率 20%ではあまり差は見られないが、プローブサンプル率 100%では平均旅行時間が取得できる場合の的中率が 10%近く低下している。

表 6.9 交通流状態の判定結果（平均旅行時間が取得できる場合）

プローブサンプル率	信号制御	的中率
20%	スプリット調節のみ	63.00%
	青早切りのみ	65.70%
	組み合わせ	64.70%
100%	スプリット調節のみ	69.20%
	青早切りのみ	66.30%
	組み合わせ	65.90%

図 6.20 は、スプリット調節制御のみを実施した場合、非飽和アプローチ青早切り制御のみを実施した場合、組み合わせを実施した場合についてシミュレーションを実施した結果であり、プローブサンプル率が 20%、100%において何れの制御も効果を発揮しており、特に、プローブサンプル率 100%における組み合わせ制御において平均遅れ時間が最も短くなっている。

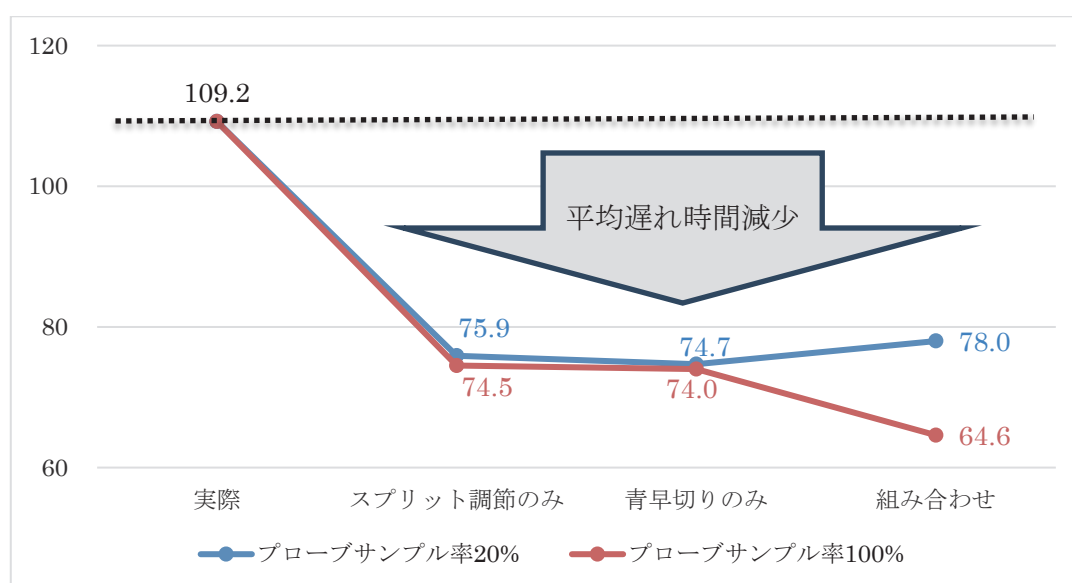


図 6.20 各制御を用いた平均遅れ時間の変化

図 6.21 は、プローブサンプル率 100%における 1 台 1 台のプローブ情報の旅行時間が収集できる場合と平均旅行時間が収集できる場合での平均遅れ時間を比較したものであり、ほぼ同様な効果を発揮している。

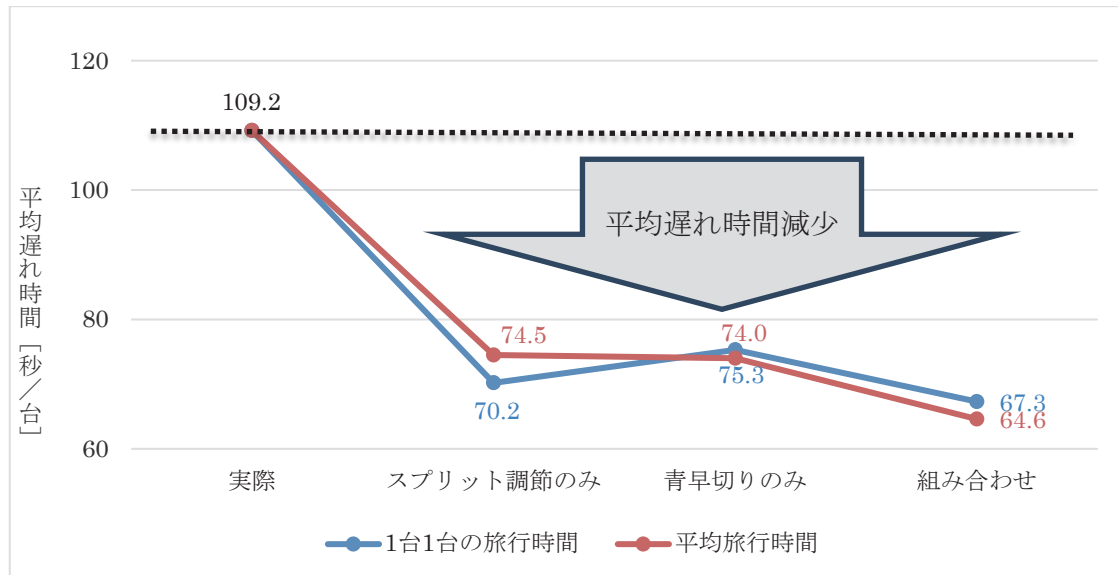


図 6.21 1 台 1 台の旅行時間が取得できる場合と平均旅行時間が取得できる場合の違い

図 6.22 は、プローブサンプル率 100%による各アプローチの実施前後の平均遅れ時間を比較したものである。

1 台 1 台のプローブ情報の遅れ時間が収集できる場合とほぼ同様な傾向を示し、飽和状態である西アプローチでは 3 つのすべての制御において平均遅れ時間が大きく減少し、近飽和状態と思われる北アプローチでは非飽和アプローチ青早切り制御において平均遅れ時間が悪化している。

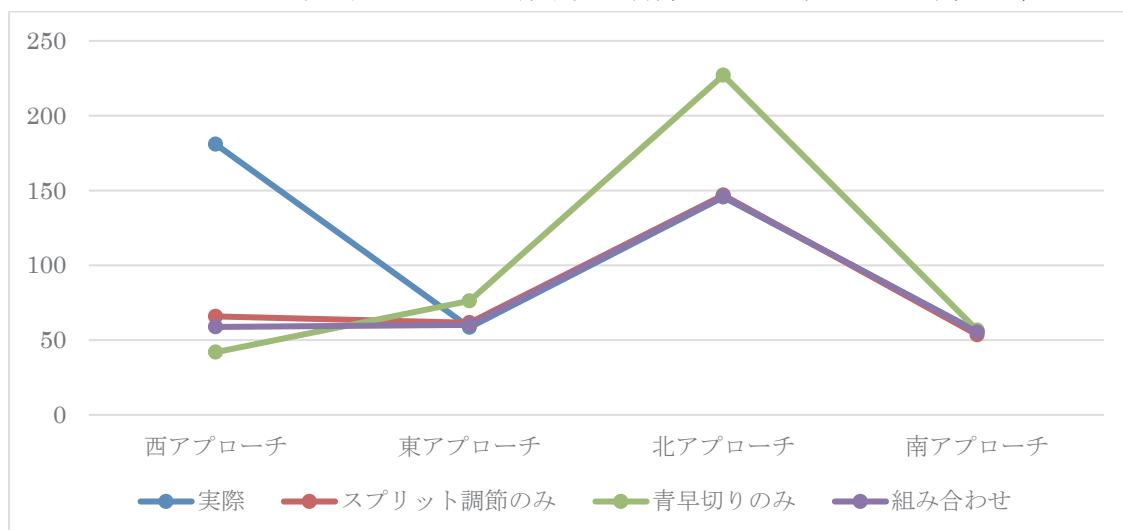


図 6.22 スプリット調節制御による各アプローチの平均遅れ時間の変化

図 6.23 は、プローブサンプル率 100%における信号秒数の変化である。

西アプローチの右折が過飽和状態で、東アプローチが実際は非飽和状態であったが、判定結果では近飽和状態となったために青早切り制御を実施していない時間帯があり、制御効果が発揮できていなかったと推定される。

非飽和状態と近飽和状態の閾値としての青時間使用率の変更等による信号制御の改善余地がまだあり、改善により今回のシミュレーションの結果以上の効果を上げることも可能と推定される。

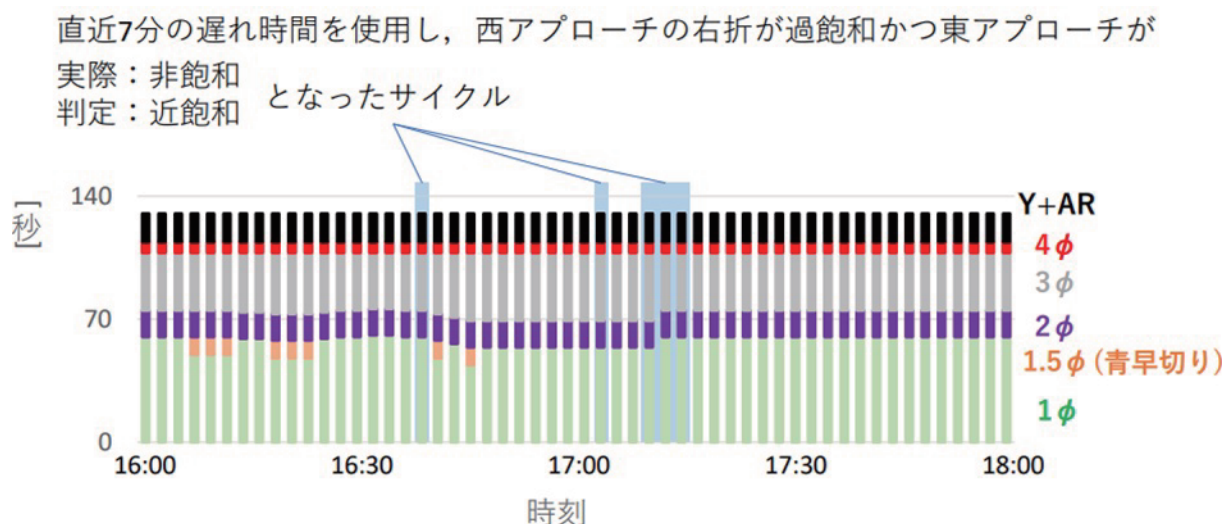


図 6.23 信号秒数の変化

図 6.24、25 は、スプリット調節制御及び青早切り制御実施時における交通流状態の的中率と平均遅れ時間の関係を示している。

スプリット調節制御では、交通流状態の的中率が上昇するに従い平均遅れ時間が減少し、強い負の相関が認められる。青早切り制御では、交通流状態の的中率が変化しても平均遅れ時間はほぼ一定で、相関は認められなかった。

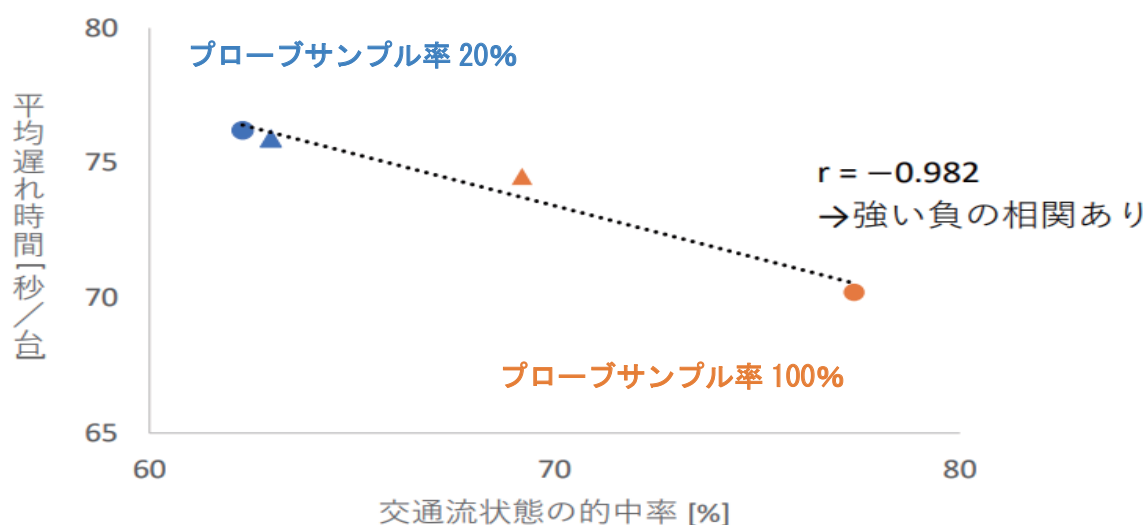


図 6.24 スプリット調節制御における交通流状態の的中率と平均遅れ時間の関係

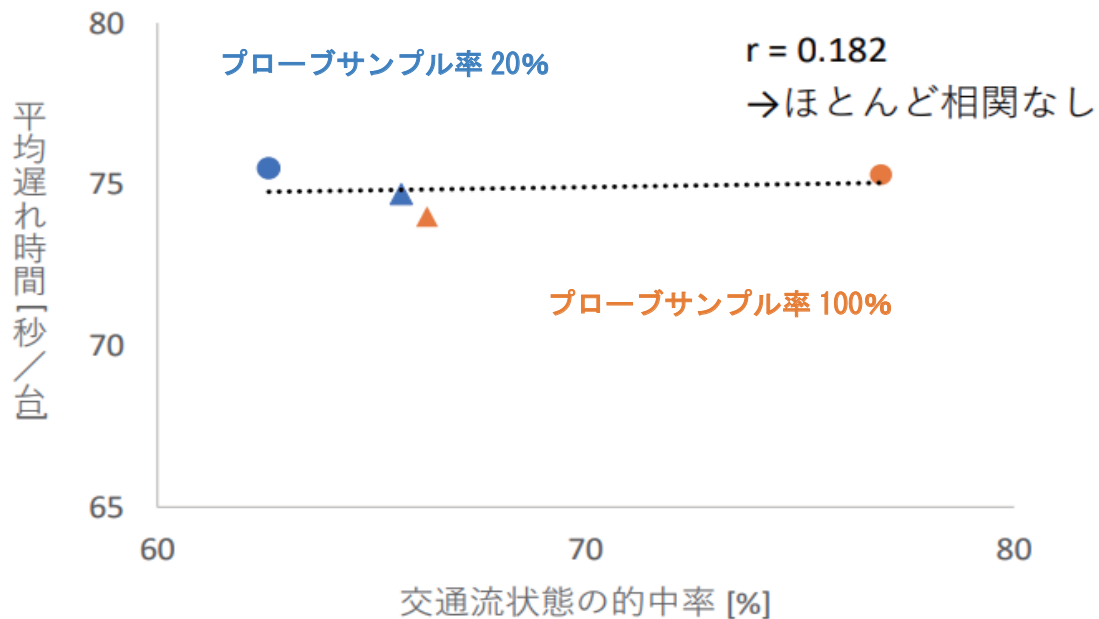


図 6.25 青早切り制御における交通流状態の的中率と平均遅れ時間の関係

6.4 プローブによって判定されるアプローチ交通状態を用いた信号制御のまとめ

プローブ情報の旅行時間によって判定されるアプローチ交通状態を用いた信号制御では、遅れ時間を用いて各アプローチ又は現示における交通流状態を判定し、判定結果からリアルタイムに信号制御パラメータを決定する信号制御の構築を行った。アプローチにおける交通流状態の判定では、青時間使用率を定義し、非飽和、近飽和、過飽和状態のいずれに該当するかの判定を行った。この判定結果を基にしたスプリット調節制御及び非飽和アプローチ青早切り制御が考案された。

アプローチ交通状態の判定では、的中率を 100%に近づけることは難しかったが、これは判定において実際の交通とは違う一様到着を想定したため等によるものであるが、推定時に設定するパラメータの改善を行うことも今後必要である。

スプリット調節制御及び非飽和アプローチ青早切り制御については、対象ネットワークの交通状況を再現した交通シミュレーション実験を用い、実際の信号制御での平均遅れ時間と比較することにより有効性の検証を行った。将来のプローブ普及率として想定したプローブサンプル率 20%と理想的な状況であるプローブサンプル率 100%において、1 台 1 台のプローブ情報の旅行時間が収集できる場合と平均旅行時間が収集で場合において検証を行い、平均遅れ時間において十分な減少効果が得られ、提案された信号制御の有効性が認められた。ただし、一部アプローチで遅れ時間が増加することもあり、改良を要するところもあった。

1 台 1 台のプローブ情報の旅行時間が収集できる場合と平均遅れ時間のみが取得できる場合のどちらにおいても同様な有効性が認められた。さらに、現実的なプローブサンプル率 20%でも十分な効果が現れており、現状のプローブ環境においても活用が可能であると考えられる。

7 まとめ

今回の調査研究は、近年活用が急速に広がりつつあるプローブ情報を用いた信号制御について行ったものである。

本プローブ情報の特性を調査したところ、交通実態をかなり正確に反映したデータであり、信号制御を始めとした交通管理においても多様な活用が可能であることが判明した。

しかしながら、プローブ情報を活用した信号制御については、現時点でもあまり研究が進んでいない状況にある。警察庁で行われた研究では、既存の信号制御アルゴリズムであるMODERATOにおいて車両感知器で計測していた渋滞長をプローブ情報の渋滞長に置き換えて制御するというもので、実現性の高い現実的な手法の一つと思われる。

一方、今回の調査研究では、2つの信号制御方式について研究を進めたが、道路交通の重要な指標である遅れ時間により直接信号制御を行うもので、世界的に見ても既存の信号制御とは大きく異なる視点からのアプローチであった。結果として、千葉工業大学の調査研究については最終的な結論に至るまでの研究とはならなかったが、千葉工業大学及び愛媛大学の両研究においてシミュレーション等により有効性を示すことができたところである。ただし、これらを実現するためには更なる研究と実用化実験等が必要と思われる。

最後に、コネクテッドカー等が急速に普及することが見込まれる中で、プローブ情報の信頼性、即時性等はますます高まるものと推測され、その活用範囲は大きく拡大されていくと思われる。そのような中でプローブ情報を用いた信号制御そのものが緒に就いたばかりの現状において、今回の調査研究が今後続くであろう多くの調査研究の端緒となり、将来においてプローブ情報を用いた信号制御の研究が進み、実用化されることで、更なる安全、円滑、快適な道路交通が実現されることを期待したい。

参考文献

- 1) 浅野美帆, 堀口良太, 桑原雅夫: 遅れ時間のリアルタイム計測による交通感应信号制御, 生産研究, 56 巻 2 号 (2004), 研究速報
- 2) 菅沼英喜, 横山秀紀, 船越允維: リアルタイム旅行時間表示サービスを活用した日光の渋滞対策実証実験, 第 19 回 ITS シンポジウム 2021
- 3) 竹内久治, 佐竹徳己, 井手幹生, 穂坂重孝: 分散型交通信号制御システム, 特集論文, 三菱重工技法 Vol. 40 No2 (2003-5) p 174-177
- 4) 越正毅, 桑原雅夫, 赤羽弘和, 尾崎春男, 安井一彦: 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 回土木計画学兼研究 講演集 (2002)
- 5) 赤羽弘和, 加藤漱人, 奥村勇斗, 堀口良太: プローブデータによる遅れ時間信号制御用シミュレーション評価システムの開発と適用, 交通工学論文集 2024 年 10 巻 1 号 p. A_291-A_299
- 6) 加藤漱人, 本多祥子, 伊寶田真晴, 赤羽弘和, 堀口良太: 遅れ時間帰還信号制御のためのプローブ・データ分析, 交通工学論文集 2023 年 9 巻 1 号 p. A_129-A_137
- 7) 高田啓介, 吉井稔雄, 坪田隆宏: プローブ旅行時間を用いた信号交差点アプローチの交通流状態判別手法, 第 43 回交通工学研究会
- 8) 吉井稔雄, 張ウチン, 坪田隆宏: プローブ旅行時間を用いた信号交差点交通状態の判別手法, 交通工学論文集 2023 年 9 巻 2 号 p. A_246-A_252

参考資料

1 TomTom 社のプローブ情報

表 データ様式

フィールド			データ型	説明
id			String	交差点ID
approachesLiveData			Array	流入路情報のリスト
	id		Int	流入路ID
	travelTimeSec		Int	平均旅行時間
	freeFlowTravelTimeSec		Int	自由走行時の平均旅行時間
	delaySec		Int	平均遅れ時間
	usualDelaySec		Int	平均遅れ時間統計値
	stops		Double	平均停止回数
	queueLengthMeters		Double	待ち行列長
	volumePerHour		Int	直近1時間の流出台数（試験的）
	segments		Array	当該流入路のセグメント情報のリスト
		lengthMeters	Double	セグメント長
		travelTimeSec	Double	平均旅行時間
		speedKilometersPerHour	Double	平均速度
	turnRatios		Array	当該流入路の分岐情報のリスト
		exitIndex	Int	流出路番号
		ratioPercent	Int	分岐率（probesCpuntに基づいて算出）
		probesCount	Int	直近30分間の流出台数
junctionModel			Object	交差点地理情報
	name		String	交差点名
	countryCode		String	国名コード（ISO 3166-1 alpha-3 standard）
	driveOnLeft		Boolean	左側通行であればTrue
	trafficLights		Boolean	信号機がなければTrue
	approaches		Array	流入路情報のリスト
		id	Int	流入路ID
		name	String	流入路名（路線名＋方向）
		roadName	String	路線名
		direction	String	方向
		frc	Int	道路レベル（0～7）
		length	Double	流入路長
		oneWayRoad	Boolean	一方通行であればTrue
		excluded	Boolean	除外対象であればTrue
		drivable	Boolean	通行可能であればTrue
		segmentedGeometry	GeoJson MultiLineString	地理情報（当該流入路の各セグメントの端点座標）
	exits		Array	流出路情報のリスト
		name	String	流出路名（路線名＋方向）
		roadName	String	路線名
		direction	String	方向
		frc	Int	道路レベル（0～7）
		oneWayRoad	Boolean	一方通行であればTrue
		drivable	Boolean	通行可能であればTrue
		segmentedGeometry	GeoJson MultiLineString	地理情報（当該流出路の各セグメントの端点座標）

2 国立病院東京医療センター前交差点の信号機運用状況



図 東京都駒沢通り対象交差点

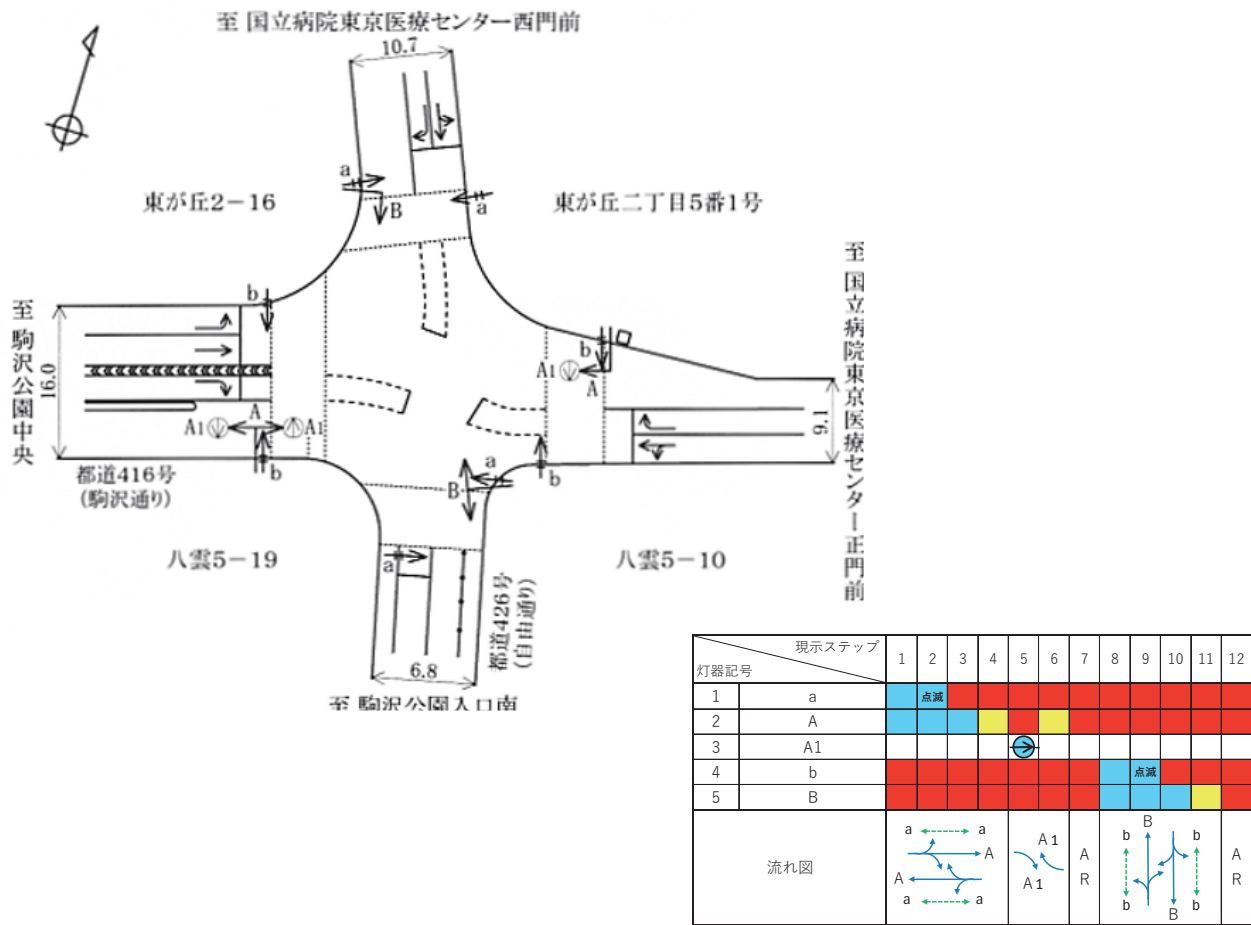


図 国立病院東京医療センター前交差点平面図及び現示階梯図

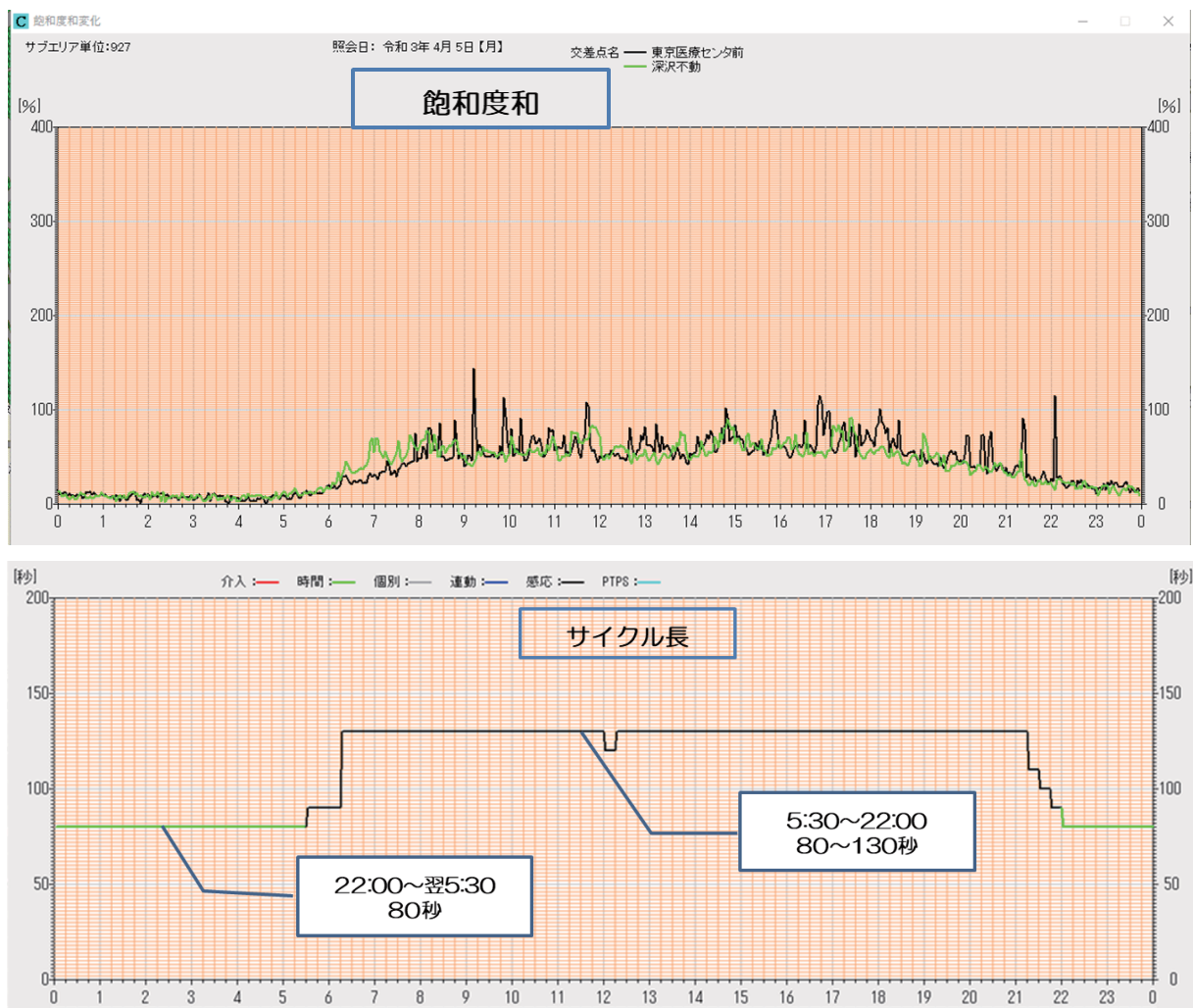


図 国立病院東京医療センター前交差点の飽和度和及びサイクル長の変化状況
(令和3年4月5日、警視庁交通管制データより)

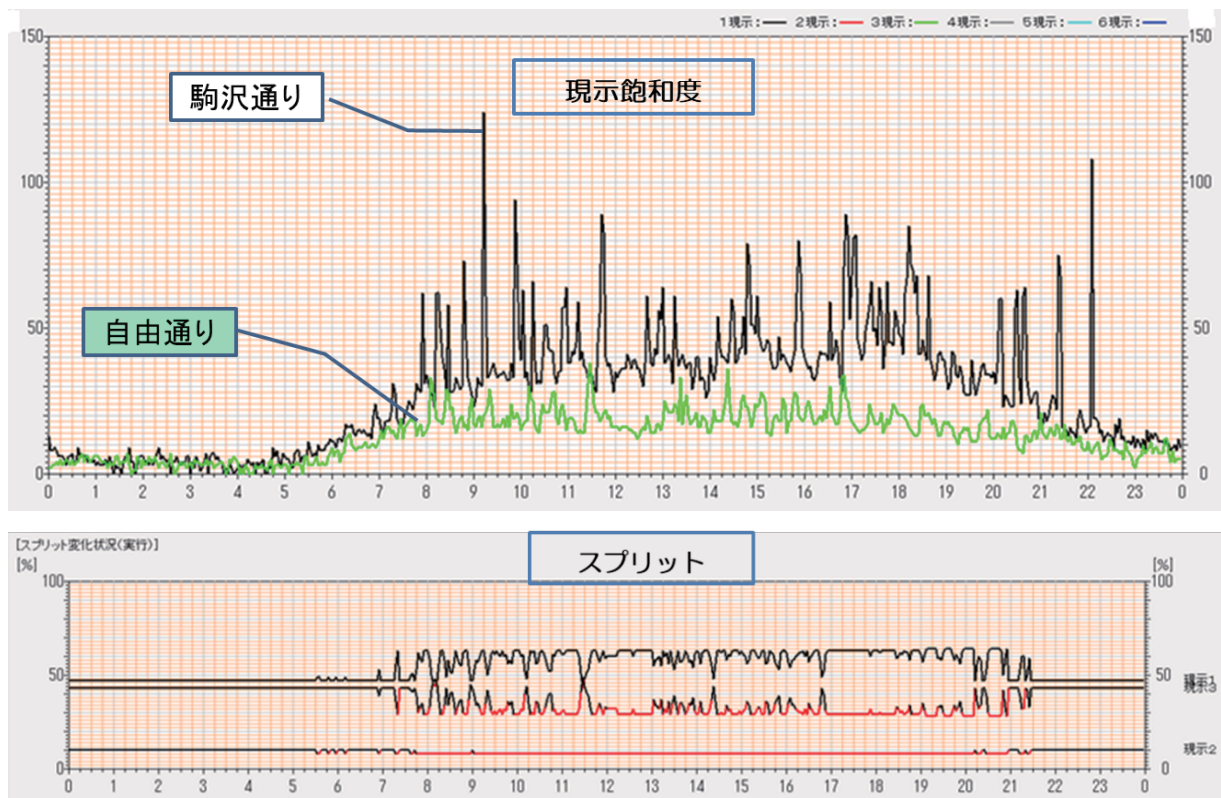


図 国立病院東京医療センター前交差点の飽和度及びスプリットの変化状況
(令和3年4月5日、警視庁交通管制データより)

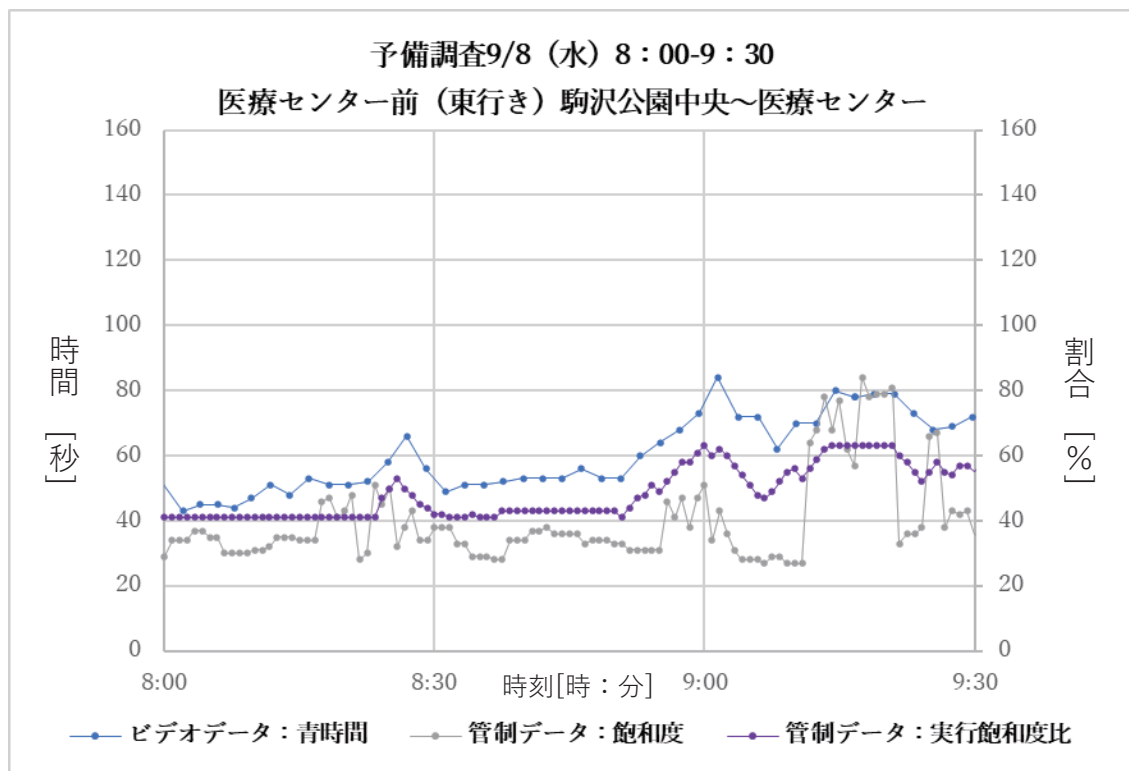


図 国立病院東京医療センター前交差点（東行き）の飽和度、飽和度比及び青時間の変化状況
(令和3年9月8日、警視庁交通管制データ等より)

3 愛媛県松山市朝生田西交差点

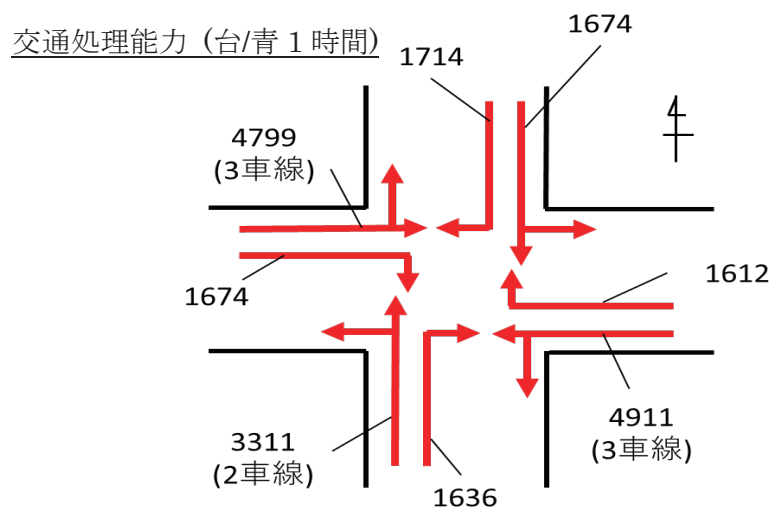


図 朝生田西交差点の飽和交通流率

終わりに

日本における交通信号機は、交通事故の防止、交通の円滑化に資するインフラである一方で、設置数やその運用の不適確さにより交通渋滞を惹起しているのではとの声もあるのが現実である。

単独で運用されている信号機や交通管制センターから制御されている信号機のサイクル、スプリット等の定数に改善する余地が大いにあるといわれるのは、信号機周辺の交通量が適宜、適確に把握できていないことが要因として挙げることができる。せっかく設置されている多くの車両感知器も、予算の制約などで今後適切に維持管理することが困難になってくる可能性があり、今まで以上に適切な運用ができなくなる虞もある。

これらを解決する交通状況の網羅的な把握の一つに、プローブ情報の活用が期待されるようになって来ている。以前のプローブデータとしては、光ビーコンやETCスポット下を通過するところでアップされるデータや、タクシー等の一部業務用車両の運行管理システムから得られるデータなどで、リアル性や汎用性などに期待できなかったものであった。

しかしながら、最近の携帯電話網の活用により、常時自動車の状態がアップされていたり、スマホのアプリ等から得られる位置情報から交通情報が生成されるなど、状況が様変わりしてきている。現場で人手を介しての交通調査をするまでもなく、また従来の車両感知器では得られなかった区間でも交通状況が比較的リアルに把握できてきており、これらを交通信号機の適確な運用に生かす可能性がでてきたのである。

警察庁においては、自動車メーカなどが運用しているシステムで得られたプローブデータを活用し信号機の運用に生かせないか、令和2年度から5年度に渡って調査研究がなされた。一方、日本交通管理技術協会においては、令和3年度に協会内に委員会を設置し、主にスマホの位置データから生成される交通情報を活用し信号機の制御に生かせないか検証してきた。

委員会の体制として、委員長に千葉工業大学の赤羽先生を、委員として愛媛大学吉井先生（現北海道大学）などの学識経験者、(株)アイ・トランスポート・ラボの堀口代表取締役、警視

庁、愛媛県警の管理官、交通管制官等、UTMS 協会からは専務理事や関係作業部会長など多くの方々に参画していただいた。また、実際に活用するプローブデータについては、オランダに本社がある TomTom 社から初年度は無償、2 カ年目は協力的な価格で提供をしていただき、調査研究を進めることができた。

本報告書は、最も中心になって研究を進めてきた千葉工業大学において赤羽先生の指導の下、未だ継続して検証が進められているものであるが、ここまでの成果をまとめたものである。本調査研究では、基礎調査、応用調査/研究の段階で、社会実装までにはまだまだ至ってはいないが、大変貴重な知見が得られたと感じている。今後、プローブ情報も急激に精度や即時性が向上するとともに、AI 技術などの活用も相まって、交通信号施設への応用が容易になることが期待でき、その端緒として貢献できる調査研究であったといえる

終わりに、本調査研究にご協力頂いた赤羽委員長を始め、各委員の方々、委員の指導の下で汗をかいて頂いた院生、学生、データを快く提供頂いた TomTom 社に厚く謝意を表しますとともに、ご指導、ご協力を賜りました警察庁交通局交通規制課にも感謝申し上げます。

令和 7 年 6 月

公益財団法人 日本交通管理技術協会

専務理事 彦 坂 正 人

注意事項

本報告書の著作権は、公益財団法人日本交通管理技術協会にあります。
無断転載を禁止いたします。

