

信号交差点における Bluetooth MAC アドレスを活用した

OD 交通量推定の精度に対する影響要因分析

Analysis of factors affecting for the accuracy of

OD traffic volume estimation

using Bluetooth MAC addresses at signalized intersection

高知工科大学大学院  
工学研究科基盤工学専攻  
社会システム工学コース  
都市・交通計画研究室 1225074  
中野慎梧

指導教員 西内裕晶  
副指導教員 高木方隆 赤塚慎

2020 年 3 月

## 研究要旨

近年、日本では交通渋滞が社会問題となっており、物流の遅れや運転時間の増加による経済損失や、排気ガスによる環境問題を引き起こしている。渋滞対策を行うには現状の交通状態を把握する必要があるが、現在行われている交通状態の把握方法である車両感知器や道路交通センサスには、コスト面やリアルタイム性の欠如等問題点が多く存在している。一方で、近年の ICT 技術の進展により、電子機器に固有に設定されている MAC アドレスを用いた交通流観測に注目が集まっている。

そこで、カーナビ等に用いられる近距離通信である Bluetooth の MAC アドレスを活用した一つの信号交差点における OD 交通量推定を実施する。カーナビの普及率は年々増加し続け、現在では 7 割を超えている。本研究では、Bluetooth を検知可能なアプリケーションを利用することで、カーナビとスマートフォンを連携して利用しているユーザー数を把握する。合わせて、ビデオカメラを用いて断面交通量を記録し、これを基に Bluetooth 検知数を拡張することで、信号交差点における OD 交通量を推定する。

しかし、Bluetooth を活用した交通量の推定には、Bluetooth 機器の装備率や検知率、交差点形状や OD パターン等が OD 交通量の推定精度に与える要因を把握できていないという問題点がある。

そこで本研究では、シミュレーションソフトの AVENUE を用いて Bluetooth を活用した OD 交通量推定を擬似的に再現し、交差点形状や OD 交通量といった入力値を変更することにより、OD 交通量推定の精度に影響を与える要因を把握した。また、出力されたデータを用いて、Bluetooth 機器の装備率と検知率が OD 交通量推定に与える影響を感度分析した。加えて、高知県主要渋滞箇所での実測調査により、実務において Bluetooth を用いた OD 交通量推定が可能か考察する。加えて、シミュレーションによって把握した要因を精査するとともに、シミュレーションで把握することのできなかつた要因を把握した。

結果として、シミュレーションを用いた OD 交通量推定により、装備率と検知率が OD 交通量推定に与える影響を整理したとともに、交差点形状や総交通量、道路ごとの交通量の差が OD 交通量推定に影響を与えることを把握した。また、実測調査によりシミュレーションで把握した要因が正しいことを確認するとともに、スキャナ設置箇所の交通状況や大型車混在率が精度に影響を与えることが新たに分かった。

また、実務における Bluetooth を活用した OD 交通量推定は、本研究での実測手法により十分な精度で可能であることを把握した。

## **ABSTRACT**

In recent years, congestion has become a social problem in Japan, causing economic loss and environmental problems. It is necessary to grasp the current traffic condition for traffic jam measures. However, current mainstream vehicle detectors and road traffic censuses have issues such as cost and lack of real-time capabilities. On the other hand, traffic flow observation using MAC address has been attracting attention.

Therefore, we estimate the OD traffic volume by using Bluetooth of short-range communication used for car navigation. The penetration rate of car navigation systems has been increasing year by year, and now exceeds 70%. In this research, we create an OD table of Bluetooth users using an application that can detect Bluetooth. At the same time, we obtain the cross section traffic and estimate the OD traffic.

However, estimating the amount of traffic using Bluetooth has the problem that the effects of factors such as the device ratio, detection rate, intersection shape, and OD pattern of Bluetooth devices on the accuracy of OD traffic estimation are unknown.

In this study, we used simulations to understand the factors affecting the accuracy of OD traffic estimation. We also identified new factors through actual surveys and carefully considered the results of the simulation.

As a result, it was found that factors such as the shape of the intersection and the total traffic volume influence the estimation of OD traffic volume. Furthermore, it was found from actual surveys that traffic congestion and heavy vehicles affected the estimation. Finally, we found that OD traffic estimation using Bluetooth in business was possible with sufficient accuracy.

# 目次

|   |    |
|---|----|
| 第1章 導入.....                               | 1  |
| 1.1 研究の背景.....                            | 1  |
| 1.2 研究の目的.....                            | 2  |
| 1.3 研究の構成.....                            | 2  |
| 第2章 既往研究と位置づけ.....                        | 3  |
| 2.1 既往研究の整理.....                          | 3  |
| 2.1.1 交通シミュレーションや交通モデルに関する研究.....         | 3  |
| 2.1.2 Bluetoothを用いた交通流観測や交通量推定に関する研究..... | 5  |
| 2.2 研究の位置づけ.....                          | 6  |
| 2.3 本章の結び.....                            | 6  |
| 第3章 研究手法.....                             | 7  |
| 3.1 OD交通量推定の手法.....                       | 7  |
| 3.2 推定誤差の算出.....                          | 8  |
| 3.3 Bluetooth MACアドレスの取得方法.....           | 8  |
| 3.4 本章の結び.....                            | 11 |
| 第4章 シミュレーションを用いた分析.....                   | 12 |
| 4.1 シミュレーションを用いる目的.....                   | 12 |
| 4.2 シミュレーションについて.....                     | 12 |
| 4.2.1 シミュレーションの入力値.....                   | 12 |
| 4.2.2 シミュレーションの出力値.....                   | 14 |
| 4.3 分析の方法.....                            | 15 |
| 4.3.1 OD交通量推定と装備率、検知率の関係性の分析.....         | 15 |
| 4.3.2 OD交通量推定と交差点特性の関係性の分析.....           | 16 |
| 4.4 分析の結果.....                            | 17 |

|         |                                      |    |
|---------|--------------------------------------|----|
| 4. 4. 1 | OD 交通量推定と装備率，検知率の関係性の分析 .....        | 17 |
| 4. 4. 2 | OD 交通量推定と交差点特性の関係性の分析 .....          | 25 |
| 4. 5    | 考察.....                              | 26 |
| 4. 5. 1 | OD 交通量推定に適した現在パターン法 .....            | 26 |
| 4. 5. 2 | OD 交通量推定と装備率，検知率の関係性.....            | 26 |
| 4. 5. 3 | OD 交通量推定と交差点特性の関係性.....              | 26 |
| 4. 6    | 本章の結び.....                           | 27 |
| 第5章     | 実測調査データを用いた分析 .....                  | 28 |
| 5. 1    | 実測調査の目的.....                         | 28 |
| 5. 2    | 実測調査の概要.....                         | 28 |
| 5. 2. 1 | 調査交差点の選定.....                        | 28 |
| 5. 2. 2 | 調査交差点の概要.....                        | 30 |
| 5. 2. 3 | 調査の方法 .....                          | 34 |
| 5. 3    | 調査の結果.....                           | 37 |
| 5. 4    | OD 表の作成.....                         | 38 |
| 5. 4. 1 | 真値の OD 表 .....                       | 38 |
| 5. 4. 2 | Bluetooth 機器の OD 表 .....             | 40 |
| 5. 5    | Bluetooth 機器を用いた OD 交通量の推定，誤差算出..... | 41 |
| 5. 6    | OD 交通量推定と交差点特性の関係性の考察 .....          | 43 |
| 5. 7    | その他の要因との関係性.....                     | 44 |
| 5. 7. 1 | 大型車混在率との関係.....                      | 45 |
| 5. 7. 2 | 自由流，渋滞流との関係 .....                    | 46 |
| 5. 7. 3 | その他の要因.....                          | 50 |
| 5. 8    | Bluetooth 機器装備率の推定.....              | 51 |
| 5. 9    | 実務における実現の可能性 .....                   | 51 |
| 5. 10   | 本章の結び.....                           | 51 |
| 第6章     | 結論.....                              | 52 |

|      |             |    |
|------|-------------|----|
| 6. 1 | 本研究の成果..... | 52 |
| 6. 2 | 今後の課題.....  | 53 |
|      | 謝辞.....     | 54 |
|      | 参考文献.....   | 54 |

## 目次

|   |    |
|---|----|
| 図 1 Bluetooth の交通量.....                 | 7  |
| 図 2 実際の交通量.....                         | 7  |
| 図 3 RMSE の算出方法 .....                    | 8  |
| 図 4 Bluetooth スキャナ.....                 | 9  |
| 図 5 Bluetooth スキャナ出力ファイル一例 .....        | 9  |
| 図 6 スキャナ設置状況（全体） .....                  | 10 |
| 図 7 スキャナ設置状況（個々） .....                  | 10 |
| 図 8 用語の定義 .....                         | 11 |
| 図 9 シミュレーション入力値（道路本数） .....             | 12 |
| 図 10 シミュレーション入力値（OD パターン） .....         | 13 |
| 図 11 感度分析結果イメージ .....                   | 15 |
| 図 12 平均 RMSE/総交通量（平均成長率法） .....         | 25 |
| 図 13 平均 RMSE/総交通量（フレーター法） .....         | 25 |
| 図 14 高知県主要渋滞箇所.....                     | 29 |
| 図 15 調査対象交差点の位置.....                    | 30 |
| 図 16 衛星画像：交差点 1 .....                   | 30 |
| 図 17 衛星画像：交差点 2 .....                   | 31 |
| 図 18 衛星画像：交差点 3 .....                   | 32 |
| 図 19 衛星画像：交差点 4 .....                   | 33 |
| 図 20 詳細設置図：交差点 1 .....                  | 34 |
| 図 21 詳細設置図：交差点 2 .....                  | 34 |
| 図 22 詳細設置図：交差点 3 .....                  | 35 |
| 図 23 詳細設置図：交差点 4 .....                  | 35 |
| 図 24 設置の状況 .....                        | 35 |
| 図 25 設置考慮イメージ（流出側） .....                | 36 |
| 図 26 設置考慮イメージ（流入側） .....                | 36 |
| 図 27 真値と推定値の比較.....                     | 42 |
| 図 28 大型車イメージ.....                       | 45 |
| 図 29 交差点 1 地点 1 流入側の通過交通量推移と渋滞の関係 ..... | 46 |
| 図 30 交差点 1 地点 3 流入側の通過交通量推移と渋滞の関係.....  | 46 |
| 図 31 交差点 2 地点 1 流入側の通過交通量推移と渋滞の関係 ..... | 47 |
| 図 32 交差点 2 地点 2 流入側の通過交通量推移と渋滞の関係 ..... | 47 |
| 図 33 交差点 2 地点 3 流入側の通過交通量推移と渋滞の関係 ..... | 47 |
| 図 34 交差点 2 地点 4 流入側の通過交通量推移と渋滞の関係 ..... | 48 |

|      |                                    |    |
|------|------------------------------------|----|
| 図 35 | 交差点 3 地点 2 流入側の通過交通量推移と渋滞の関係 ..... | 48 |
| 図 36 | 交差点 3 地点 5 流入側の通過交通量推移と渋滞の関係 ..... | 48 |
| 図 37 | 交差点 4 地点 1 流入側の通過交通量推移と渋滞の関係 ..... | 49 |
| 図 38 | 交差点 4 地点 2 流入側の通過交通量推移と渋滞の関係 ..... | 49 |
| 図 39 | 交差点 4 地点 3 流出側の通過交通量推移と渋滞の関係 ..... | 49 |



## 表目次

|      |   |    |
|------|---|----|
| 表 1  | 交通流の観測，推定に関する既往研究.....                  | 4  |
| 表 2  | Bluetooth を用いた交通流観測や交通量推定に関する既往研究 ..... | 5  |
| 表 3  | Bluetooth スキャナの機器情報リスト .....            | 8  |
| 表 4  | シミュレーション入力値（総交通量） .....                 | 13 |
| 表 5  | シミュレーション入力値（OD 交通量：道路本数 3） .....        | 13 |
| 表 6  | シミュレーション入力値（OD 交通量：道路本数 4） .....        | 13 |
| 表 7  | シミュレーション入力値（OD 交通量：道路本数 5） .....        | 13 |
| 表 8  | シミュレーション出力ファイル一例 .....                  | 14 |
| 表 9  | シミュレーション出力結果（変数詳細） .....                | 14 |
| 表 10 | 感度分析（道路本数 3，基本 OD，平均成長率法） .....         | 17 |
| 表 11 | 感度分析（道路本数 3，交通量多い場合，平均成長率法） .....       | 17 |
| 表 12 | 感度分析（道路本数 3，交通量少ない場合，平均成長率法） .....      | 18 |
| 表 13 | 感度分析（道路本数 3，1本の道路に集中，平均成長率法） .....      | 18 |
| 表 14 | 感度分析（道路本数 3，1本の道路のみ少ない，平均成長率法） .....    | 18 |
| 表 15 | 感度分析（道路本数 4，基本 OD，平均成長率法） .....         | 18 |
| 表 16 | 感度分析（道路本数 4，交通量多い場合，平均成長率法） .....       | 18 |
| 表 17 | 感度分析（道路本数 4，交通量少ない場合，平均成長率法） .....      | 19 |
| 表 18 | 感度分析（道路本数 4，1方向に集中，平均成長率法） .....        | 19 |
| 表 19 | 感度分析（道路本数 4，1本の道路に集中，平均成長率法） .....      | 19 |
| 表 20 | 感度分析（道路本数 4，1本の道路のみ少ない，平均成長率法） .....    | 19 |
| 表 21 | 感度分析（道路本数 5，基本 OD，平均成長率法） .....         | 19 |
| 表 22 | 感度分析（道路本数 5，交通量が多い場合，平均成長率法） .....      | 20 |
| 表 23 | 感度分析（道路本数 5，交通量が少ない場合，平均成長率法） .....     | 20 |
| 表 24 | 感度分析（道路本数 5，1方向に集中，平均成長率法） .....        | 20 |
| 表 25 | 感度分析（道路本数 5，1本の道路に集中，平均成長率法） .....      | 20 |
| 表 26 | 感度分析（道路本数 5，1本の道路のみ少ない，平均成長率法） .....    | 20 |
| 表 27 | 感度分析（道路本数 3，基本 OD，フレーター法） .....         | 21 |
| 表 28 | 感度分析（道路本数 3，交通量が多い場合，フレーター法） .....      | 21 |
| 表 29 | 感度分析（道路本数 3，交通量が少ない場合，フレーター法） .....     | 21 |
| 表 30 | 感度分析（道路本数 3，1本の道路に集中，フレーター法） .....      | 21 |
| 表 31 | 感度分析（道路本数 3，1本の道路のみ少ない，フレーター法） .....    | 21 |
| 表 32 | 感度分析（道路本数 4，基本 OD，フレーター法） .....         | 22 |
| 表 33 | 感度分析（道路本数 4，交通量が多い場合，フレーター法） .....      | 22 |
| 表 34 | 感度分析（道路本数 4，交通量が少ない場合，フレーター法） .....     | 22 |

|      |                               |    |
|------|-------------------------------|----|
| 表 35 | 感度分析（道路本数4，1方向に集中，フレーター法）     | 22 |
| 表 36 | 感度分析（道路本数4，1本の道路に集中，フレーター法）   | 22 |
| 表 37 | 感度分析（道路本数4，1本の道路のみ少ない，フレーター法） | 23 |
| 表 38 | 感度分析（道路本数5，基本OD，フレーター法）       | 23 |
| 表 39 | 感度分析（道路本数5，交通量が多い場合，フレーター法）   | 23 |
| 表 40 | 感度分析（道路本数5，交通量が少ない場合，フレーター法）  | 23 |
| 表 41 | 感度分析（道路本数5，1方向に集中，フレーター法）     | 23 |
| 表 42 | 感度分析（道路本数5，1本の道路に集中，フレーター法）   | 24 |
| 表 43 | 感度分析（道路本数5，1本の道路のみ少ない，フレーター法） | 24 |
| 表 44 | 調査結果（交差点ごと）                   | 37 |
| 表 45 | 調査結果（スキャナ設置箇所ごと）              | 37 |
| 表 46 | 真値OD表：交差点1                    | 39 |
| 表 47 | 真値OD表：交差点2                    | 39 |
| 表 48 | 真値OD表：交差点3                    | 39 |
| 表 49 | 真値OD表：交差点4                    | 39 |
| 表 50 | Bluetooth機器のOD表：交差点1          | 40 |
| 表 51 | Bluetooth機器のOD表：交差点2          | 40 |
| 表 52 | Bluetooth機器のOD表：交差点3          | 40 |
| 表 53 | Bluetooth機器のOD表：交差点4          | 40 |
| 表 54 | 真値と推定値：交差点1                   | 41 |
| 表 55 | 真値と推定値：交差点2                   | 41 |
| 表 56 | 真値と推定値：交差点3                   | 41 |
| 表 57 | 真値と推定値：交差点4                   | 41 |
| 表 58 | 推定誤差まとめ                       | 42 |
| 表 59 | 大型車混在率と推定誤差の比較                | 45 |

## 第1章 導入

### 1. 1 研究の背景

近年、日本では道路交通需要の増加や非効率な自動車の利用、運転年齢の高齢化といった様々な要因により交通渋滞が発生している。交通渋滞によって運転時間の増加や物流の遅れが生じ、金銭損失にして年間約15.4兆円、時間損失にして年間100時間の乗車時間のうち、一人当たり40時間という経済効率の低下を招いている。また、渋滞時の走行速度では、平常運転時と比較してCO<sub>2</sub>排出量が約60%増加するという報告もあり、環境問題の一要因ともなっている。

交通渋滞に対策をするために、対象となる箇所の方向別交通量（OD交通量）に代表される交通需要を把握する必要がある。現状として、車両感知器を用いた交通流観測によるものや、道路交通センサスといったアンケート調査や聞き込み調査が主流となっている。しかし、これらの方法にはコストがかかりすぎることや、対象とする場所が限定されてしまうこと、プライバシー面での問題、リアルタイム性の欠如等の様々な問題を抱えている。

一方で、近年の情報処理コストの低廉化やデータ処理技術の高度化、GPS 搭載機器の普及といった ICT 技術の発展により、機器ごとに固有に設定されている MAC アドレスを活用した交通流観測に注目が集まっている。中でも、カーナビとスマートフォンを連携させるハンズフリー機能を利用する人が近年増加しており、通信技術として Bluetooth が用いられている。カーナビの普及率は年々増加しており現在では7割を超えているため、ハンズフリーに用いられる Bluetooth の MAC アドレスを検知することで交通量全体を推定する試みがなされている。Bluetooth には、スキャナを設置するのみのため調査が容易であること、特定個人の識別が困難なためプライバシーの確保が可能であること、汎用性があり取得データの処理が容易であること等の利点がある。しかし、スキャナの捕捉率が未だ低いことや、利用者の数が正確にはわからない等の欠点がある。そのため、Bluetooth を活用した交通量推定の精度が実務で利用可能か検討することが急務である。

## 1. 2 研究の目的

本研究では、Bluetooth の MAC アドレスを活用した交通流観測に着目し、一箇所の信号交差点における OD 交通量を推定することにより、渋滞対策に必要な交通需要を明らかにすることを目的とする。具体的には、シミュレーションソフトを用いて Bluetooth の検知率、装備率が OD 交通量推定に与える影響を感度分析する。合わせて、入力値を変更することで交差点形状や交通量が推定精度に与える要因を把握する。また、Bluetooth を活用した交通量推定の精度は実務で利用可能かどうか検討するために、複数の信号交差点において Bluetooth の実測調査を行い、OD 交通量の推定をする。合わせて、交差点に流入する車のナンバープレートを撮影することにより、真値となる OD 交通量を作成し推定結果と比較する。その結果から、実務で利用可能かどうか検討する。また、利用可能な交差点の条件について考察する。

## 1. 3 研究の構成

本論文は全 6 章の構成となっている。

第 1 章「序論」では、本研究の背景と目的を明らかにした後、構成について述べる。

第 2 章「既往研究の整理と位置づけ」では、交通量推定に関する研究、Bluetooth を活用した交通量推定や旅行時間推定に関する研究を整理し、本研究の意義を明確なものとし研究の位置づけをする。

第 3 章「研究手法」では、本研究で用いる OD 交通量推定の手法と、Bluetooth MAC アドレスの取得方法について述べるとともに、各用語を定義する。

第 4 章「シミュレーションを用いた分析」では、シミュレーションを用いる目的に始まり、本研究で用いた「街路網交通流シミュレーションソフト AVENUE」の入力値や出力値、OD 交通量推定に影響を与える要因を把握するために行なった分析について述べる。具体的には、Bluetooth の装備率と検知率が与える影響を把握するために感度分析を行い、合わせて対象とする交差点の特性が与える影響について、シミュレーションの入力値を変更することにより分析を行った。

第 5 章「実測データを用いた分析」では、高知県内 4 箇所の信号交差点で実測調査を行い、取得データを基に OD 交通量を推定し、誤差を算出した。その結果を基に、第 4 章で考察した要因について精査するとともに、他の要因についても検討した。また、第 4 章で行なった装備率と検知率の感度分析の結果を用いて、今回の調査における装備率の推定を試みた。最後に実務における Bluetooth を用いた OD 交通量推定の実現の可能性について述べる。

第 6 章「結論」では、本研究の成果のまとめと今後の課題について述べる。

## 第2章 既往研究と位置づけ

### 2. 1 既往研究の整理

本節では、本研究に関連する既往研究について述べる。はじめに、交通量推定に関する研究について整理する。次いで、Bluetooth を活用した交通流観測や交通量推定に関する研究について整理する。

#### 2. 1. 1 交通シミュレーションや交通モデルに関する研究

本項では、交通量流の観測、推定に関する研究について整理する。

橋本ら<sup>1)</sup>は、道路区間間の渋滞と非渋滞の関係を利用し、渋滞の起点となる区間か、渋滞の影響を受ける区間かを判別する手法の提案をしている。

中山ら<sup>2)</sup>は、阪神高速道路の ETC 統計データを使用して推定される時間別ランプ間 OD 表の交通流シミュレーションへの適応に際して、従前の起終点調査に基づく起終点調査に基づく時間別ランプ間 OD 表を使用した場合との違いを分析している。

花房ら<sup>3)</sup>は、交通シミュレーションモデルの実用化のために実データ取得方法から検証用データセットの構築とインターネットを利用した公開までの一連の流れを示している。

瀬尾<sup>4)</sup>は、1次交通流モデルと高次交通流モデルとデータ駆動型モデルの3モデルを感知器データとプローブデータの様々な利用の可能性のもとで考えることで、それぞれの定性的な性質を整理し実データに基づく比較検討による定量的な違いを明らかにしている。

向井ら<sup>5)</sup>は、交差点の横断歩道の立体化や右折車線設置効果などについてマイクロ交通シミュレーションによって合理的な結果が再現できることの確認をしている。また、「走行速度と車間距離の関係による交差点の安全性評価」を適用することにより交通安全に関する事前評価が可能となったことが確認できたことにより、交差点における交通安全対策の事前評価手法を提案している。

金井ら<sup>6)</sup>は、ETC2.0 プローブ情報を用いた交差点流入部における交通状況の分析手法の考察をしている。そして、検証結果から地点速度と区間速度を組み合わせた分析手法の有用性を確認している。

佐田ら<sup>7)</sup>は、小規模なネットワークを対象として需要固定型静的均衡配分を行いネットワーク全体の総走行時間求めている。計算結果から相対オフセットとの関係を求めて、総走行時間を最小とするオフセットが存在することを確かめている。

李ら<sup>8)</sup>は、マイクロ交通シミュレーション SAKURA を用いて、LRT 仮路線を含めた金沢市のネットワークを作成して自動車交通に及ぼす影響を予測している。

奥嶋ら<sup>9)</sup>は、既存の交通シミュレーションにおける高速かつ高精度の推計性能を維持しつつ、任意の地点と時間について情報提供内容に応じた利用者の経路変更のプロセスを内包した交通シミュレーションを構築している。

堀口<sup>10)</sup>は、交通流シミュレーションにおいて従来の相関係数や RMS 誤差などの指標

を人間の直観と必ずしも一致しないため採用せず、パターン分析的な手法で時系列データの類似度を定量化、再現性評価の指標とすることを提案している。

秋山ら<sup>11)</sup>は、交差点の交通安全対策を議論するために交通シミュレーションを作成している。交通事故多発地点としてある交差点を取り上げ、交通流データの蓄積のためにビデオ撮影調査も実施している。

高安ら<sup>12)</sup>は、信号交差点を含む道路区間において、入力データの確率変動が交通状態に与える影響を解析的に明らかにするために、運転挙動による確率変動と対象区間の端末移動量の変動に分割して考え、各ノードの累積交通量の期待値と標準偏差の近似値を求める手法とその解を利用した交通流率の変動の解析法を提案している。また、提案手法と交通流シミュレーションの結果比較から信号制御システムなどの交通制御に応用できると述べている。

表 1 交通シミュレーションや交通モデルに関する既往研究

| タイトル   | 著者                                      | 年    | 出典                      | キーワード  |
|--|---|------|-------------------------|--|
| プローブデータを利用した<br>ボトルネック交差点とその影響範囲の特定方法            | 橋本浩良<br>水木智英, 高宮進                       | 2014 | 土木学会論文集(土木計画学)          | プローブカーデータ、ボトルネック交差点、<br>道路交通調査、渋滞箇所              |
| 交通流シミュレーションにおける<br>ETC統計データに基づくOD交通量の適用評価        | 中山栄作, 宇野伸宏<br>倉内文孝, 大藤武彦                | 2009 | 土木計画学研究・講演集             | 交通流シミュレーション<br>ETC統計データ, OD推定                    |
| 交通シミュレーション再現性検証用データセットの構築                        | 花房比佐友, 吉井稔雄<br>堀口良太, 赤羽弘和<br>片倉正彦, 桑原雅夫 | 2001 | 土木学会論文集                 | 交通シミュレーション<br>ベンチマークデータ, 検証                      |
| データ融合に基づく交通状態推定における<br>交通流モデルの比較分析               | 瀬尾亨                                     | 2018 | 土木計画学研究発表会・講演集          | 記載なし   |
| シミュレーションによる<br>交通信号制御の効果評価分析                     | 向井伸治<br>片倉正彦, 桜田陽一                      | 1986 | 土木計画学研究・講演集             | 交通流シミュレーション、系統信号制御                               |
| ETC2.0プローブ情報を用いた<br>交差点流入部における交通状況の把握手法          | 金井翔哉, 今井龍一<br>松島敏和, 中川圭正                | 2018 | 年次学術講演会講演概要集            | ETC2.0プローブ情報、道路交通分析、<br>渋滞分析                     |
| ネットワーク全体からみた<br>渋滞リンクのオフセット最適化                   | 佐田安明久井守, 南正昭                            | 1999 | 土木学会年次学術講演会講演会<br>講演概要集 | 均衡配分, 容量制約, 総旅行時間                                |
| ミクロ交通シミュレーションを用いた金沢市における<br>LRT導入の自動車交通流に及ぼす影響評価 | 李家帥, 高山純一, 中山昌一<br>郎, 牛場高志              | 2010 | 中部支部研究発表会講演概要集          | 記載なし   |
| 個別車両の経路変更を考慮した<br>交通シミュレーションの構築                  | 奥嶋政嗣                                    | 2004 | 土木計画学研究・講演集             | 交通シミュレーション<br>交通管理, 情報提供                         |
| 動的交通シミュレーションの<br>再現性指標に関する適正性の考察                 | 堀口良太                                    | 2003 | 土木計画学研究・論文集             | 交通流シミュレーション<br>再現性, 標準化                          |
| シミュレーション型手法による交通安全分析                             | 秋山孝正, 奥嶋政嗣                              | 2004 | 土木学会年次学術講演会講演会<br>講演概要集 | 交通事故, 交通シミュレーション<br>仮想交差点, ビデオ撮影<br>事故多発地点, 交通安全 |

## 2. 1. 2 Bluetooth を用いた交通流観測や交通量推定に関する研究

本項では、Bluetooth を用いた交通流観測や交通量推定に関する研究について整理する。

Wasson.J.Sら<sup>13)</sup>は、Bluetoothを利用し旅行時間を推定する方法を提唱している。

Bhaskar.Aら<sup>14)</sup>は、Bluetoothデータの取得プロセス、およびデータを使用して実行される分析の精度や信頼性に関する体系が不足しているため、Traffic and Communication Simulation(TCS)と呼ばれる多層シミュレーションモデルの構築を行っている。TCSによりBMSデータの理論的特性をモデル化し移動時間推定の精度と信頼性を分析するために利用されている。

北澤ら<sup>15)</sup>は、BluetoothのMACアドレスを計測して旅行時間の計測を行うための調査システムについて検討するとともに計測ツールの開発を行っている。また、一般道路や都市高速道路を対象として、Bluetoothを用いた旅行時間計測に関する分析を行い、適応可能かどうか検証をしている。

吉井ら<sup>16)</sup>は、取得したBluetoothのMACアドレスを集計したOD交通量を現在パターン法を用いて拡大し、実際のOD交通量を推定する方法を提案している。

坪田ら<sup>17)</sup>は、二項ロジットモデルによりBluetooth端末の装備率、検知率の推定式を構築している。また、観測により得られたデータ数から交通量を±10%程度の誤差で推定可能な手法を最尤値により提案している。

青柳ら<sup>18)</sup>は、交通シミュレーションを用いてBluetooth搭載車の混入率がMACアドレスを用いた旅行時間分析に与える影響を分析している。

坪田ら<sup>19)</sup>や西内ら<sup>20)</sup>は、Bluetoothスキャナの設置状況がデータの検知精度に与える要因について端末を搭載した車両の走行実験の結果から、ロジスティック回帰分析や重回帰分析を用いて把握している。

J.Barceloら<sup>21)</sup>は、Bluetoothを用いたOD交通量推定にカルマンフィルタを適応することにより、時々刻々と変化する交通状況に対応したOD交通量の推定を試みている。

表 2 Bluetooth を用いた交通流観測や交通量推定に関する既往研究

| タイトル  | 著者   | 年    | 出典   | キーワード   |
|---|--|------|--|---|
| Realtime travel time estimates using media access control address matching.                 | Wasson.J.S<br>Sturdevant.J.R<br>Bullock.D.M            | 2008 | ITE Journal  | 交通量推定,リアルタイムデータ処理,旅行時間,無線通信システム                 |
| Fundamental understanding on the use of Bluetooth scanner as a complementary transport data | Bhaskar.A<br>Chung.E                                   | 2013 | Transportation Research PartC                          | Bluetooth,交通シミュレーション,旅行時間,通信シミュレーション,信号シミュレーション |
| Bluetooth通信を用いた旅行時間計測に関する基礎的分析  | 北澤俊彦 塩見康博 田名部淳<br>菅芳樹 萩原武司                             | 2013 | 土木計画学研究・講演集  | Bluetooth,MACアドレスマッチング,旅行時間モニタリング               |
| Bluetoothスキャナを用いたMACアドレス観測によるOD交通量推定方法  | 吉井稔雄 西内裕晶 塩見康博<br>尾高慎二 倉内慎也                            | 2015 | 土木計画学研究・講演集  | Bluetooth,OD推定,現在パターン法                          |
| Bluetooth検知技術を活用した交通量推定   | 坪田隆宏 吉井稔雄 藤井浩史   | 2018 | 土木計画学研究・講演集  | Bluetooth,MACアドレス,交通量推定                         |
| Bluetooth MACアドレスによる交通状態推定方法の検証—実測とマイクロ交通シミュレーションを用いて—                                      | 青柳達也 石坂哲弘 安藤正志   | 2017 | 土木学会年次学術講演会講演会講演概要集                                    | 交通シミュレーション,交通状態推定                               |
| Bluetoothスキャナの指向性と設置方向を考慮したMACアドレスの検知確率推定モデル  | 坪田隆宏 吉井稔雄<br>藤井浩史 河野侑奈                                 | 2017 | 交通工学論文集  | Bluetooth MACアドレス,検知確率,ロジスティック回帰分析              |
| 移動体データ取得のためのBluetooth MACアドレス検知の指向性に関する基礎分析   | 西内裕晶 塩見康博 倉内慎也<br>吉井稔雄 菅芳樹                             | 2015 | 土木学会論文集F3  | Bluetooth,MACアドレス,指向性                           |
| Dynamic OD Matrix Estimation Exploiting Bluetooth Data in Urban Networks                    | J.Barcelo L.Montero<br>M.Bullejos O.Serch<br>C.Carmora | 2012 | Recent Researches in Automatic Control and Electronics | 動的OD交通量,カルマンフィルタ,交通マネジメント                       |

## 2. 2 研究の位置づけ

前節を踏まえると、Bluetoothを活用した交通流観測に関する研究は既に行われており、シミュレーションを用いた分析やスキャナの設置方法に着目した分析、端路部における実測調査がなされている。

しかし、Bluetooth機器を搭載している車両数の真値は実測不可能であり、Bluetooth機器の検知率や装備率がOD交通量の推定に与える影響は把握できていない。また、実際にBluetoothのMACアドレスを観測する際に、交差点や交通流の状態がOD交通量の推定に与える影響については把握できてないことが考えられる。

そこで本研究は、シミュレーションソフトを用いてBluetoothを活用したOD交通量推定を擬似的に再現し、入力値を変更させることでBluetooth機器の検知率と装備率がOD交通量推定の精度に与える影響を把握する。合わせて、OD交通量推定の精度に影響を与える交差点や交通流の持つ要因を把握する。また、シミュレーションから考察した要因が正しいものか精査するため、Bluetoothスキャナを用いた実測調査を高知県の主要渋滞箇所指定されている箇所で行う。その結果より、OD交通量の推定精度に影響を与える要因の精査と、実務における交差点でのBluetoothを活用した調査の実現可能性について考察する。

## 2. 3 本章の結び

本章では、交通流シミュレーションやモデル構築に関する既往研究と、近距離通信技術であるBluetoothに着目した交通流観測に関する既往研究を整理し、課題や問題点を明らかにした上で本研究の位置づけを行った。

次章より、OD交通量推定の手法や誤差算出の手法、Bluetooth MACアドレスの取得方法といった本研究の手法について詳細に述べる。



### 第3章 研究手法

#### 3.1 OD交通量推定の手法

本研究では、吉井ら<sup>16)</sup>の研究を参考に現在パターン法を用いて実際のOD交通量を推定する。現在パターン法とは、現在の分布交通量と予測される将来の発生・集中交通量を用いて、ゾーン間の将来分布交通量を推定する分布モデルである。本研究では、現在の交通量にBluetoothの交通量、将来の交通量に実際の交通量を当てはめることにより、OD交通量を推定する。

現在パターン法には複数の計算式があり、平均成長率法やフレーター法といったものが用いられる。伸び率の合理性から、フレーター法を用いることが多いのだが、ひとつの交差点においてどちらが推定に用いるべきか判断するために、平均成長率法(a)とフレーター法(b)の2つの計算式を用いて推定する。

また、現在パターン法は繰り返し計算をすることにより真値を推定する。本研究では発生交通量と集中交通量の変化率がすべての起終点において0.999~1.001に収束したため、繰り返し回数を10回と設定した。

| ゾーン | 1   | 2   | 3   | 4   | 発生 |
|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| 1   | t11 | t12 | t13 | t14 | o1 |
| 2   | t21 | t22 | t23 | t24 | o2 |
| 3   | t31 | t32 | t33 | t34 | o3 |
| 4   | t41 | t42 | t43 | t44 | o4 |
| 集中  | d1  | d2  | d3  | d4  | Σt |

図1 Bluetoothの交通量

| ゾーン | 1   | 2   | 3   | 4   | 発生 |
|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| 1   | T11 | T12 | T13 | T14 | O1 |
| 2   | T21 | T21 | T21 | T21 | O2 |
| 3   | T31 | T31 | T31 | T31 | O3 |
| 4   | T41 | T41 | T41 | T41 | O4 |
| 集中  | D1  | D2  | D3  | D4  | ΣT |

図2 実際の交通量

$$T_{ij} = t_{ij} \cdot F_{O_i} \cdot F_{D_j} \cdot \frac{1}{2} \left( \frac{o_i}{\sum_j t_{ij} \cdot F_{D_j}} + \frac{d_j}{\sum_i t_{ij} \cdot F_{O_i}} \right) \quad (a)$$

$$T_{ij} = t_{ij} \cdot \frac{1}{2} (F_{D_j} + F_{O_i}) \quad (b)$$

$T_{ij}$  : 推定した分布交通量,  $t_{ij}$  : 検知された分布交通量

$F_{O_i}$  : 発生交通量の変化率(=O<sub>i</sub>/o<sub>i</sub>),  $F_{D_j}$  : 集中交通量の変化率(=D<sub>j</sub>/d<sub>j</sub>)

$o_i$  : 検知された発生交通量,  $d_j$  : 検知された集中交通量

### 3. 2 推定誤差の算出

推定誤差には主に1台当たりのRMSEを用いる。RMSEとは平均二乗誤差と呼ばれ、実際の値と推定値の誤差の二乗の総和の平均値の平方根であり、値が大きいほど誤差が大きい。定義式を以下に示す。本研究においては、OD表の起終点の各組み合わせ数をnとして、組み合わせごとのODペア数の誤差を用いて計算する。算出された値を総交通量で除することにより、交差点ごとの1台当たりのRMSEを算出する。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_i - T''_i)^2}$$

真値のOD表(実際の交通量)

| ゾーン | 1        | 2        | 3        | 4        | 発生       |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1   | T11      | T12      | T13      | T14      | O1(ΣT1n) |
| 2   | T21      | T22      | T23      | T24      | O2(ΣT2n) |
| 3   | T31      | T32      | T33      | T34      | O3(ΣT3n) |
| 4   | T41      | T42      | T43      | T44      | O4(ΣT4n) |
| 集中  | D1(ΣTn1) | D2(ΣTn2) | D3(ΣTn3) | D4(ΣTn4) | ΣT       |

拡張後OD表(推定値)

| ゾーン | 1     | 2     | 3     | 4     | 発生   |
|-----|-------|-------|-------|-------|------|
| 1   | T''11 | T''12 | T''13 | T''14 | O''1 |
| 2   | T''21 | T''22 | T''23 | T''24 | O''2 |
| 3   | T''31 | T''32 | T''33 | T''34 | O''3 |
| 4   | T''41 | T''42 | T''43 | T''44 | O''4 |
| 集中  | D''1  | D''2  | D''3  | D''4  | ΣT'' |

図3 RMSEの算出方法

### 3. 3 Bluetooth MAC アドレスの取得方法

Bluetooth MACアドレスの取得には、株式会社地域未来研究所が開発したアプリケーションであるBTSearchAPP Ver,3.0.1をインストールしたトーンモバイルのスマートフォンをスキャナとして用いた。このスキャナは、スマートフォンやカーナビ、PC、音楽機器等のBluetooth電波を発する機器のMACアドレスを検知することが可能である。また、取得データは機器情報が付与されており識別が可能である。機器情報リストを表3に示す。

表3 Bluetooth スキャナの機器情報リスト

| 機器情報 | 機器名称                                      | 機器情報 | 機器名称                   |
|------|---|------|------------------------|
| 256  | COMPUTER UNCATEGORIZED                    | 1792 | WEARABLE UNCATEGORIZED |
| 260  | COMPUTER DESKTOP                          | 1796 | WEARABLE WRIST WATCH   |
| 264  | COMPUTER SERVER                           | 1800 | WEARABLE PAGER         |
| 268  | COMPUTER LAPTOP                           | 1804 | WEARABLE JACKET        |
| 272  | COMPUTER HANDHELD PC PDA                  | 1808 | WEARABLE HELMET        |
| 276  | COMPUTER PALM SIZE PC PDA                 | 1812 | WEARABLE GLASSES       |
| 280  | COMPUTER WEARABLE                         | 2048 | TOY UNCATEGORIZED      |
| 512  | PHONE UNCATEGORIZED                       | 2052 | TOY ROBOT              |
| 516  | PHONE CELLULAR                            | 2056 | TOY VEHICLE            |
| 520  | PHONE CORDLESS                            | 2060 | TOY DOLL ACTION FIGURE |
| 524  | PHONE SMART                               | 2064 | TOY CONTROLLER         |
| 528  | PHONE MODEM OR GATEWAY                    | 2068 | TOY GAME               |
| 532  | PHONE ISDN                                | 2304 | HEALTH UNCATEGORIZED   |
| 1024 | AUDIO VIDEO UNCATEGORIZED                 | 2308 | HEALTH BLOOD PRESSURE  |
| 1028 | AUDIO VIDEO WEARABLE HEADSET              | 2312 | HEALTH THERMOMETER     |
| 1032 | AUDIO VIDEO HANDSFREE                     | 2316 | HEALTH WEIGHING        |
| 1040 | AUDIO VIDEO MICROPHONE                    | 2320 | HEALTH GLUCOSE         |
| 1044 | AUDIO VIDEO LOUDSPEAKER                   | 2324 | HEALTH PULSE OXIMETER  |
| 1048 | AUDIO VIDEO HEADPHONES                    | 2328 | HEALTH PULSE RATE      |
| 1052 | AUDIO VIDEO PORTABLE AUDIO                | 2332 | HEALTH DATA DISPLAY    |
| 1056 | AUDIO VIDEO CAR AUDIO                     |      |                        |
| 1060 | AUDIO VIDEO SET TOP BOX                   |      |                        |
| 1064 | AUDIO VIDEO HIFI AUDIO                    |      |                        |
| 1068 | AUDIO VIDEO VCR                           |      |                        |
| 1072 | AUDIO VIDEO VIDEO CAMERA                  |      |                        |
| 1076 | AUDIO VIDEO CAMCORDER                     |      |                        |
| 1080 | AUDIO VIDEO VIDEO MONITOR                 |      |                        |
| 1084 | AUDIO VIDEO VIDEO DISPLAY AND LOUDSPEAKER |      |                        |
| 1088 | AUDIO VIDEO VIDEO CONFERENCING            |      |                        |
| 1096 | AUDIO VIDEO VIDEO GAMING TOY              |      |                        |

出力されるファイルは図3に示すようなエクセル形式となっており、分析への利用が容易である。また、記録される時間はスキャナをインストールしているスマートフォンに依存しているため、オフライン環境でのみ利用している場合、記録後に時間の補正作業が必要である。補正は、調査開始時のスマートフォンの時間をスキャナごとに記録し、実際の時間との差分を算出することにより行う。

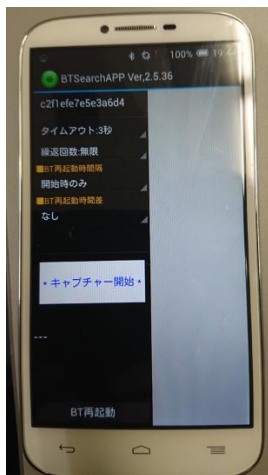


図4 Bluetooth スキャナ

| DATA_TYPE | DATETIME  | DATA1   | DATA2             |                  |                 |       |      |     |
|-----------|-----------|---------|-------------------|------------------|-----------------|-------|------|-----|
| 9         | 2019/11/6 | 6:34:09 | ExecStatus        | null             |                 |       |      |     |
| 9         | 2019/11/6 | 6:34:09 | baseFileName      | 191106_063409.db |                 |       |      |     |
| 9         | 2019/11/6 | 6:34:09 | Device_ID         | 8.64E+14         |                 |       |      |     |
| 9         | 2019/11/6 | 6:34:09 | BTimer_interval   | 3000             |                 |       |      |     |
| 9         | 2019/11/6 | 6:34:09 | BTLoop_maxCnt     | 9999             |                 |       |      |     |
| 9         | 2019/11/6 | 6:34:09 | BTReset_interval1 | -1               |                 |       |      |     |
| 9         | 2019/11/6 | 6:34:09 | BTReset_interval2 | -1               |                 |       |      |     |
| 2         | 2019/11/6 | 6:34:12 | 1.57299E+12       | 2999             | 1               | 0     | 0    |     |
| 2         | 2019/11/6 | 6:34:15 | 1.57299E+12       | 07               | 2               | 0     | 0    |     |
| 0         | 2019/11/6 | 6:34:17 | 1.57299E+12       | 58               | e7889           | fc513 | 1032 | 158 |
| 0         | 2019/11/6 | 6:34:18 | 1.57299E+12       | 59               | 893d6           | 52bb1 | 1084 | 163 |
| 2         | 2019/11/6 | 6:34:20 | 1.57299E+12       | 92               |                 | 3     | 2    | 0   |
| 2         | 2019/11/6 | 6:34:21 | 1.57299E+12       | 99               |                 | 4     | 0    | 0   |
| 0         | 2019/11/6 | 6:34:22 | 1.57299E+12       | 22               | 8a3e6           | 53bc1 | 84   | 60  |
| 2         | 2019/11/6 | 6:34:24 | 1.57299E+12       | 90               |                 | 5     | 1    | 0   |
| 0         | 2019/11/6 | 6:34:27 | 1.57299E+12       | 71               | 893d6           | 52bb1 | 1084 | 162 |
| 2         | 2019/11/6 | 6:34:27 | 1.57299E+12       | 91               |                 | 6     | 1    | 0   |
| 0         | 2019/11/6 | 6:34:28 | 1.57299E+12       | 15               | 863a6           | 4fb81 | 1084 | 163 |
| 2         | 2019/11/6 | 6:34:30 | 1.57299E+12       | 33               |                 | 7     | 1    | 0   |
| 0         | 2019/11/6 | 6:34:33 | 1.57299E+12       | 14               | 8a3e6cdcca53bc1 |       | 1084 | 164 |
| 2         | 2019/11/6 | 6:34:33 | 1.57299E+12       | 90               |                 | 8     | 1    | 0   |
| 0         | 2019/11/6 | 6:34:34 | 1.57299E+12       | 33               | 833765d5c34cb50 |       | 1084 | 162 |
| 2         | 2019/11/6 | 6:34:36 | 1.57299E+12       | 2990             |                 | 9     | 1    | 0   |

図5 Bluetooth スキャナ出力ファイル一例

アプリケーションでは、タイムアウト時間、繰り返し回数を設定可能である。本研究においては、坪田ら<sup>19)</sup>や西内ら<sup>20)</sup>の研究成果を基に設定した。具体的には、タイムアウト時間を3秒間、繰り返し回数を無限とした。

全体のスキヤナの配置については、交差点に接続する道路1つにつき流入側と流出側の歩道に1箇所ずつの計2箇所に設置した。なお、片側1車線の道路および歩道が片側のみの道路に関しては、1箇所のみ設置した。設置状況のイメージを図4に示す。

個々のスキヤナ設置の方法については、坪田ら<sup>19)</sup>や西内ら<sup>20)</sup>の研究成果を基に設定した。具体的には、スキヤナを地面から高さ約1mの地点に、かつ受信面を地面と垂直になるようにカメラ用の三脚を用いて固定した。なお、雨天時には防水用にビニールに入れた状態で固定した。実際の設置状況を図4、図5に示す。

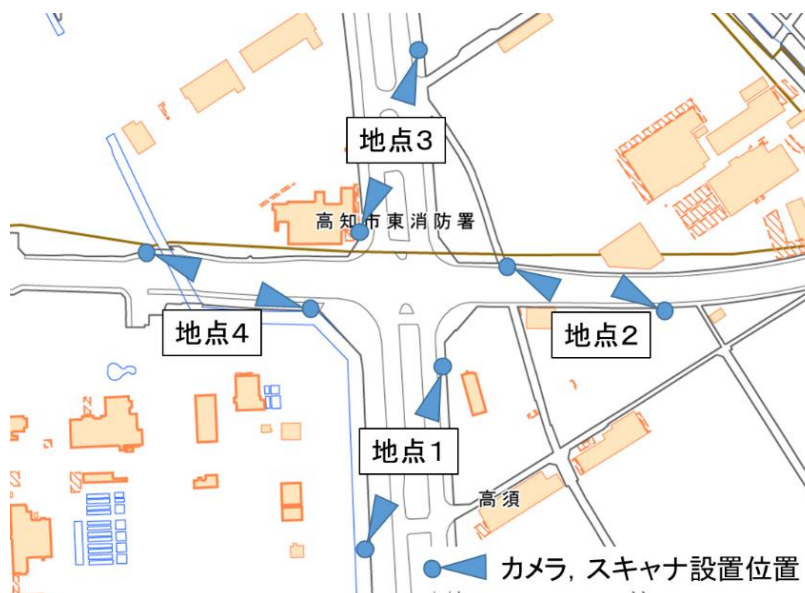
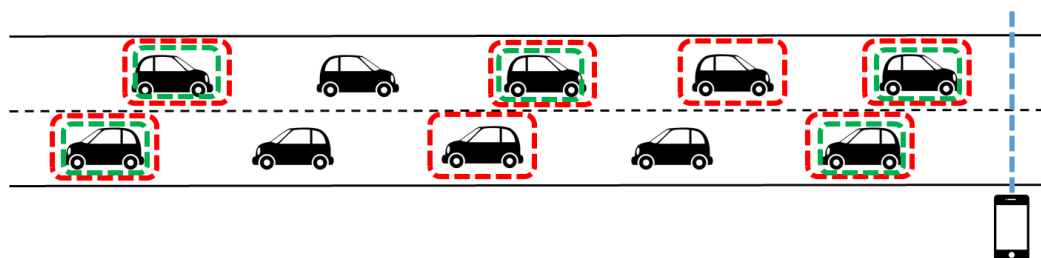


図6 スキヤナ設置状況 (全体)



図7 スキヤナ設置状況 (個々)

また、本項における Bluetooth の装備率、検知率および装備率を図 6 に示すとおりに定義する。



$$\text{装備率} = \text{Bluetooth搭載車両数} / \text{断面交通量} = 70\% (7 \text{台} / 10 \text{台})$$

$$\text{捕捉率} = \text{スキャナ検知数} / \text{断面交通量} = 50\% (5 \text{台} / 10 \text{台})$$

$$\text{検知率} = \text{スキャナ検知数} / \text{Bluetooth搭載車両数} = 71\% (5 \text{台} / 7 \text{台})$$

図 8 用語の定義

### 3. 4 本章の結び

本章では、本研究の主な手法として OD 交通量推定の手法、その推定の際に生じる誤差算出の手法、Bluetooth の MAC アドレスを取得する手法を述べるとともに、本研究における語句の定義を行った。

次章より、シミュレーションを用いた OD 交通量推定による分析の方法と結果、考察について述べる。

## 第4章 シミュレーションを用いた分析

### 4.1 シミュレーションを用いる目的

本研究では、シミュレーションを用いて架空のネットワーク上で擬似的に OD 交通量を推定し、交差点形状や OD 交通量といったシミュレーションの入力値を変更することにより、OD 交通量の推定誤差に影響を与える要因を把握する。シミュレーションを用いることにより、実測データを用いた OD 交通量推定の際の真値、推定誤差や Bluetooth 機器の検知率、装備率が不明であるという問題点を解決可能である。

### 4.2 シミュレーションについて

#### 4.2.1 シミュレーションの入力値

本研究においては感度分析に必要な数値を出力する手段としてシミュレーションを利用した。本項では、本研究において変化させた入力値について述べる。本研究では、シミュレーションを行う際に交差点形状と OD 交通量を変化させることにより、OD 交通量の推定誤差に影響を与える要因を把握する。

交差点形状は、図7に示すように交差点に接続する道路本数を3本～5本で変化させた。OD 交通量は、まず基本となる OD 交通量を平成27年度道路交通センサス、高知県、一般国道（直轄）、12時間平均交通量<sup>22)</sup>から設定し、図8に示すように基本 OD と比較して交通量が多い場合（約1.5倍）と少ない場合（約0.5倍）の OD 交通量を設定した。また道路ごとに交通量に差がある場合が考えられるため、一方向に集中している OD 交通量（例：南北方向は多いが東西方向は少ない）、1本の道路に集中している OD 交通量、1本の道路のみ少ない OD 交通量を設定した。表4～7に具体的な OD 交通量を示す。

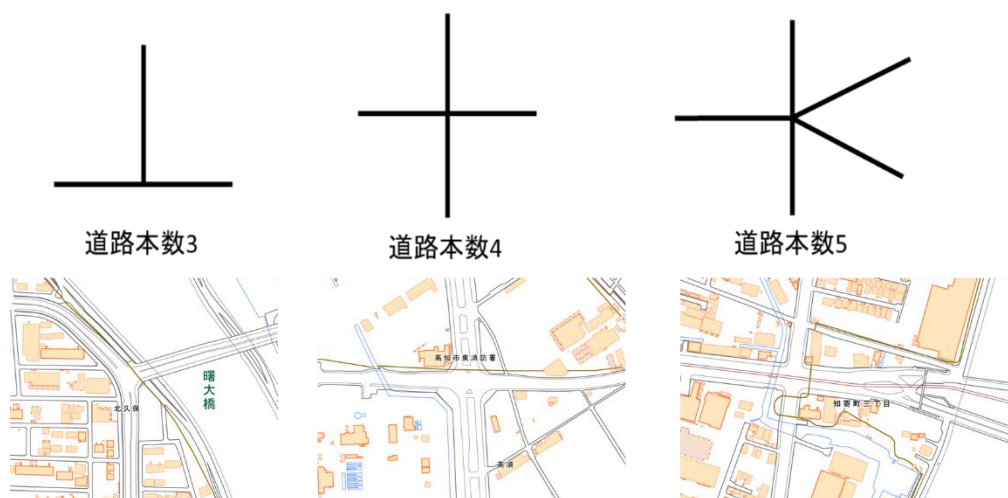


図9 シミュレーション入力値（道路本数）

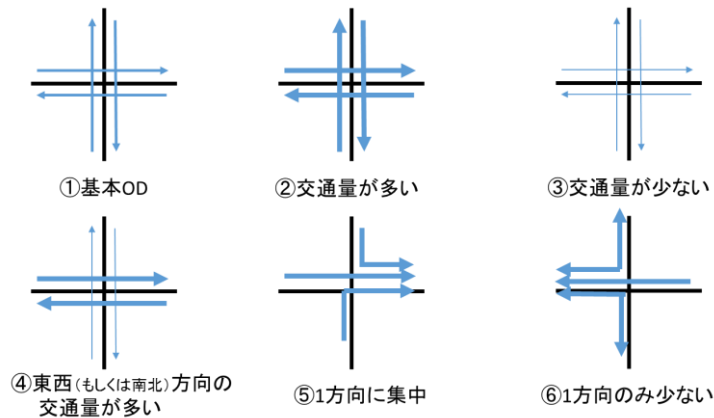


図 10 シミュレーション入力値 (OD パターン)

表 4 シミュレーション入力値 (総交通量)

| 総交通量(台) |   | ODパターン |       |       |        |          |            |
|---------|---|--------|-------|-------|--------|----------|------------|
|         |   | 基本OD   | 多い場合  | 少ない場合 | 1方向に集中 | 1本の道路に集中 | 1本の道路のみ少ない |
| 道路本数    | 3 | 4590   | 8370  | 2295  | ×      | 4500     | 4590       |
|         | 4 | 8280   | 13185 | 3420  | 9630   | 8100     | 9135       |
|         | 5 | 16740  | 25110 | 11160 | 20070  | 18900    | 20790      |

表 5 シミュレーション入力値 (OD 交通量 : 道路本数 3)

| 基本OD  | 1    | 2    | 3    | 発生交通量 | 多い場合  | 1    | 2    | 3    | 発生交通量 | 少ない場合 | 1   | 2   | 3   | 発生交通量 |
|-------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-----|-----|-----|-------|
| 1     | 0    | 1080 | 540  | 1620  | 1     | 0    | 1440 | 1530 | 2970  | 1     | 0   | 360 | 405 | 765   |
| 2     | 810  | 0    | 720  | 1530  | 2     | 1350 | 0    | 1350 | 2700  | 2     | 270 | 0   | 405 | 675   |
| 3     | 630  | 810  | 0    | 1440  | 3     | 1440 | 1260 | 0    | 2700  | 3     | 540 | 315 | 0   | 855   |
| 集中交通量 | 1440 | 1890 | 1260 | 4590  | 集中交通量 | 2790 | 2700 | 2880 | 8370  | 集中交通量 | 810 | 675 | 810 | 2295  |

| 1本の道路に集中 | 1    | 2   | 3    | 発生交通量 | 1本の道路のみ少ない | 1   | 2    | 3   | 発生交通量 |
|----------|------|-----|------|-------|------------|-----|------|-----|-------|
| 1        | 0    | 360 | 1530 | 1890  | 1          | 0   | 1530 | 540 | 2070  |
| 2        | 315  | 0   | 450  | 765   | 2          | 450 | 0    | 180 | 630   |
| 3        | 1440 | 405 | 0    | 1845  | 3          | 270 | 1620 | 0   | 1890  |
| 集中交通量    | 1755 | 765 | 1980 | 4500  | 集中交通量      | 720 | 3150 | 720 | 4590  |

表 6 シミュレーション入力値 (OD 交通量 : 道路本数 4)

| 基本OD  | 1    | 2    | 3    | 4    | 発生交通量 | 多い場合  | 1    | 2    | 3    | 4    | 発生交通量 | 少ない場合 | 1   | 2   | 3   | 4    | 発生交通量 |
|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-----|-----|-----|------|-------|
| 1     | 0    | 1080 | 540  | 630  | 2250  | 1     | 0    | 1440 | 720  | 855  | 3015  | 1     | 0   | 360 | 225 | 450  | 1035  |
| 2     | 810  | 0    | 720  | 990  | 2520  | 2     | 1080 | 0    | 1350 | 1620 | 4050  | 2     | 315 | 0   | 180 | 405  | 900   |
| 3     | 270  | 360  | 0    | 540  | 1170  | 3     | 765  | 1170 | 0    | 990  | 2925  | 3     | 135 | 270 | 0   | 360  | 765   |
| 4     | 720  | 1080 | 540  | 0    | 2340  | 4     | 900  | 1260 | 1035 | 0    | 3195  | 4     | 225 | 180 | 315 | 0    | 720   |
| 集中交通量 | 1800 | 2520 | 1800 | 2160 | 8280  | 集中交通量 | 2745 | 3870 | 3105 | 3465 | 13185 | 集中交通量 | 675 | 810 | 720 | 1215 | 3420  |

| 1方向に集中 | 1    | 2    | 3    | 4    | 発生交通量 | 1本の道路に集中 | 1    | 2    | 3    | 4    | 発生交通量 | 1本の道路のみ少ない | 1   | 2    | 3    | 4    | 発生交通量 |
|--------|------|------|------|------|-------|----------|------|------|------|------|-------|------------|-----|------|------|------|-------|
| 1      | 0    | 360  | 495  | 405  | 1260  | 1        | 0    | 1440 | 720  | 1260 | 3420  | 1          | 0   | 360  | 225  | 450  | 1035  |
| 2      | 900  | 0    | 1080 | 1800 | 3780  | 2        | 1080 | 0    | 180  | 405  | 1665  | 2          | 315 | 0    | 1350 | 1620 | 3285  |
| 3      | 270  | 540  | 0    | 450  | 1260  | 3        | 900  | 270  | 0    | 360  | 1530  | 3          | 135 | 1170 | 0    | 990  | 2295  |
| 4      | 900  | 1620 | 810  | 0    | 3330  | 4        | 990  | 180  | 315  | 0    | 1485  | 4          | 225 | 1260 | 1035 | 0    | 2520  |
| 集中交通量  | 2070 | 2520 | 2385 | 2655 | 9630  | 集中交通量    | 2970 | 1890 | 1215 | 2025 | 8100  | 集中交通量      | 675 | 2790 | 2610 | 3060 | 9135  |

表 7 シミュレーション入力値 (OD 交通量 : 道路本数 5)

| 基本OD  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 発生交通量 | 多い場合  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 発生交通量 | 少ない場合 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 発生交通量 |
|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| 1     | 0    | 1080 | 540  | 945  | 1080 | 2970  | 1     | 0    | 1620 | 810  | 945  | 1080 | 4455  | 1     | 0    | 720  | 360  | 420  | 480  | 1980  |
| 2     | 810  | 0    | 720  | 990  | 1080 | 3600  | 2     | 1215 | 0    | 1080 | 1485 | 1620 | 5400  | 2     | 540  | 0    | 480  | 660  | 720  | 2400  |
| 3     | 630  | 990  | 0    | 1080 | 810  | 3510  | 3     | 945  | 1485 | 0    | 1620 | 1215 | 5265  | 3     | 420  | 660  | 0    | 720  | 540  | 2340  |
| 4     | 720  | 1080 | 540  | 0    | 630  | 2970  | 4     | 1080 | 1620 | 810  | 0    | 945  | 4455  | 4     | 480  | 720  | 360  | 0    | 420  | 1980  |
| 5     | 990  | 1170 | 810  | 720  | 0    | 3690  | 5     | 1485 | 1755 | 1215 | 1080 | 0    | 5535  | 5     | 660  | 780  | 540  | 480  | 0    | 2460  |
| 集中交通量 | 3150 | 4320 | 2610 | 3420 | 3240 | 16740 | 集中交通量 | 4725 | 6480 | 3915 | 5130 | 4860 | 25110 | 集中交通量 | 2100 | 2880 | 1740 | 2280 | 2160 | 11160 |

| 1方向に集中 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 発生交通量 | 1本の道路に集中 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 発生交通量 | 1本の道路のみ少ない | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 発生交通量 |
|--------|------|------|------|------|------|-------|----------|------|------|------|------|------|-------|------------|------|------|------|------|------|-------|
| 1      | 0    | 1080 | 540  | 945  | 1080 | 3645  | 1        | 0    | 1620 | 540  | 630  | 720  | 3510  | 1          | 0    | 540  | 810  | 945  | 1080 | 3375  |
| 2      | 810  | 0    | 720  | 1485 | 1620 | 4635  | 2        | 810  | 0    | 720  | 990  | 1080 | 3600  | 2          | 1215 | 0    | 1080 | 1485 | 1620 | 5400  |
| 3      | 630  | 990  | 0    | 1620 | 1215 | 4455  | 3        | 630  | 1485 | 0    | 1080 | 810  | 4005  | 3          | 945  | 495  | 0    | 1620 | 1215 | 4275  |
| 4      | 720  | 1080 | 540  | 0    | 945  | 3285  | 4        | 720  | 1620 | 540  | 0    | 630  | 3510  | 4          | 1080 | 540  | 810  | 0    | 945  | 3375  |
| 5      | 990  | 1170 | 810  | 1080 | 0    | 4050  | 5        | 990  | 1755 | 810  | 720  | 0    | 4275  | 5          | 1485 | 585  | 1215 | 1080 | 0    | 4365  |
| 集中交通量  | 3150 | 4320 | 2610 | 5130 | 4860 | 20070 | 集中交通量    | 3150 | 6480 | 2610 | 3420 | 3240 | 18900 | 集中交通量      | 4725 | 2160 | 3915 | 5130 | 4860 | 20790 |

#### 4. 2. 2 シミュレーションの出力値

本項では、シミュレーション後の出力結果の中でも、本研究で主に扱ったエクセルファイルの内容について述べる。

シミュレーションの出力結果には、シミュレーション上で設置した検知器の前を通過した車の情報が蓄積される。出力結果の例を表に示す。本研究では、“TIME”、“Detector ID”、“Vehicle ID”、“Origin Zone ID”、“Destination Zone ID”の情報を基にOD表を作成した。

表 8 シミュレーション出力ファイル一例

| Time                  | DetectorID | VehicleID | VehicleType | PCE | OriginZoneID | DestinationZoneID | RouteGuidanceID | LinkID   | LaneID | Distance | Speed(km/h) |         |
|-----------------------|------------|-----------|-------------|-----|--------------|-------------------|-----------------|----------|--------|----------|-------------|---------|
| 2014:01:01 14_0611230 |            | 168       |             | 1   | 1 27_1210193 | 127_121019390560  | 01_1210191650   | 11_12101 |        | 0        | 26.38       | 94.968  |
| 2014:01:01 14_0611230 |            | 458       |             | 1   | 1 27_1210193 | 127_121019385610  | 01_1210191650   | 11_12101 |        | 0        | 0           | 102.343 |
| 2014:01:01 14_0611230 |            | 215       |             | 1   | 1 27_1210193 | 127_121019390560  | 01_1210191650   | 11_12101 |        | 0        | 26.38       | 94.968  |
| 2014:01:01 14_0611230 |            | 379       |             | 1   | 1 27_1210193 | 127_121019385926  | 01_1210191650   | 11_12101 |        | 0        | 26.7778     | 96.4    |
| 2014:01:01 14_0611230 |            | 110       |             | 1   | 1 27_1210193 | 127_121019390560  | 01_1210191650   | 11_12101 |        | 0        | 26.38       | 94.968  |
| 2014:01:01 14_0611230 |            | 488       |             | 1   | 1 27_1210193 | 127_121019385610  | 01_1210191650   | 11_12101 |        | 0        | 0           | 102.343 |
| 2014:01:01 14_0611230 |            | 187       |             | 1   | 1 27_1210193 | 127_121019390560  | 01_1210191650   | 11_12101 |        | 0        | 26.38       | 94.968  |
| 2014:01:01 14_0611230 |            | 422       |             | 1   | 1 27_1210193 | 127_121019385610  | 01_1210191650   | 11_12101 |        | 0        | 0           | 102.343 |

表 9 シミュレーション出力結果（変数詳細）

|                     |            |
|---------------------|------------|
| TIME                | 検知器が検知した時間 |
| Detector ID         | 検知器のID     |
| Vehicle ID          | 車のID       |
| Origin Zone ID      | 車の起点ID     |
| Destination Zone ID | 車の終点ID     |



### 4. 3 分析の方法

#### 4. 3. 1 OD 交通量推定と装備率、検知率の関係性の分析

本項では、シミュレーションの出力結果を用いて OD 交通量を推定し、感度分析を利用して Bluetooth 機器の検知率、装備率が OD 交通量推定に与える影響を把握する手法について述べる。

具体的には、シミュレーションの出力結果にランダム ID を付与し、検知率と装備率を設定してデータを抽出する。その後、抽出したデータを用いて OD 交通量を作成し、現在パターン法を用いてデータを拡張する。拡張した際の誤差として 1 台当たりの RMSE を算出し、検知率と装備率に関して感度分析をすることで OD 交通量推定に与える影響を把握する。本研究では、検知率と装備率を 10%~100% の間を 10% 刻みで変化させて感度分析をした。また、ランダム ID を用いてデータ抽出をするため、複数回分析をしても同じ分析結果となることがない。そのため同じ条件で 100 回繰り返し計算を行い、平均値を算出し結果を用いる。

交差点形状: ~ ~ ~ ODパターン: ~

※100回繰り返し計算し平均した結果を用いる

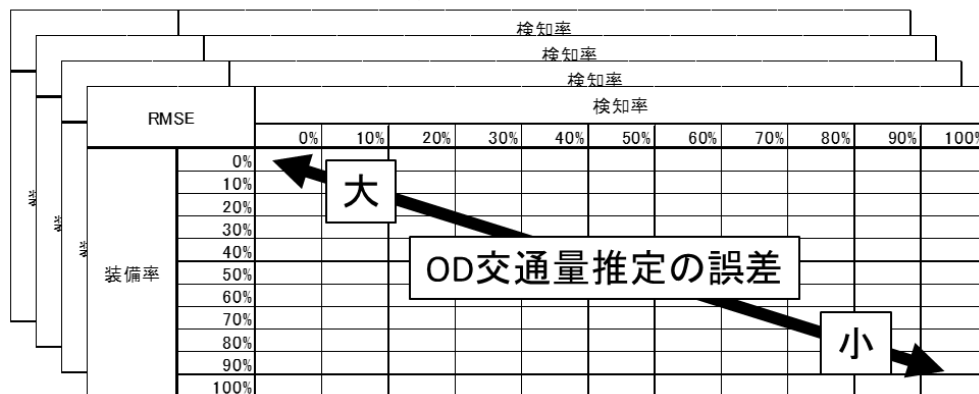


図 11 感度分析結果イメージ

#### 4. 3. 2 OD 交通量推定と交差点特性の関係性の分析

本項では、交差点形状と OD 交通量を変化させた出力結果を基に OD 交通量を推定し、推定誤差を比較することで OD 交通量推定に与える影響を把握する手法について述べる。

具体的には、まずパターンごとに感度分析で算出した RMSE を平均し、そのパターンの代表値となる RMSE を算出する。その後、結果を相対的に比較するために総交通量で除することで推定誤差率（一台当たりの推定誤差）を算出し、比較することにより OD 交通量推定と交差点特性の関係性を分析する。

#### 4. 4 分析の結果

##### 4. 4. 1 OD 交通量推定と装備率、検知率の関係性の分析

本項では、前節で述べた通りに 18 パターンのシミュレーション結果を用いて OD 交通量を推定し、推定の誤差を装備率と検知率について感度分析した。分析結果を表 10~43 に示す。なお、誤差の少ない上位 25%を青、下位 25%を赤で示している。

また現在パターン法には複数の計算式があり、平均成長率法やフレーター法といったものが用いられる。伸び率の合理性から、フレーター法を用いることが多いのだが、ひとつの交差点においてどちらが推定に用いるべきか判断するために、平均成長率法とフレーター法の 2 つの計算式を用いて推定した。

感度分析の結果、RMSE と装備率、検知率の三次元分布として表現することが出来た。実現象において道路ごとの交通量、Bluetooth を用いた OD 交通量推定の RMSE、取得した MAC アドレスのユニーク数のデータと、対応する道路ごとの交通量、交差点形状を入力値とするシミュレーションで作成した三次元分布を用いることによって、この分野において問題視されている Bluetooth を搭載している車の台数を理論上推定することが可能である。

表 10 感度分析（道路本数 3，基本 OD，平均成長率法）

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装備率          | 100% | 0.0  | 1.1  | 1.7  | 2.5  | 3.2  | 3.6  | 4.2  | 5.5  | 8.4  | 11.1 |
|              | 90%  | 1.3  | 1.9  | 2.3  | 2.7  | 3.7  | 4.0  | 4.8  | 5.6  | 8.5  | 13.2 |
|              | 80%  | 2.0  | 2.3  | 2.9  | 2.8  | 3.8  | 4.8  | 5.4  | 6.6  | 8.6  | 13.0 |
|              | 70%  | 2.2  | 3.2  | 3.0  | 3.5  | 4.0  | 5.1  | 6.0  | 7.5  | 9.9  | 14.5 |
|              | 60%  | 3.0  | 3.5  | 4.4  | 4.6  | 4.7  | 5.8  | 6.8  | 7.6  | 9.4  | 15.1 |
|              | 50%  | 3.6  | 3.6  | 3.6  | 4.7  | 5.2  | 6.2  | 7.7  | 9.4  | 11.0 | 17.1 |
|              | 40%  | 4.7  | 4.8  | 6.5  | 6.2  | 6.5  | 7.1  | 9.0  | 9.7  | 11.9 | 18.6 |
|              | 30%  | 5.9  | 5.7  | 7.2  | 7.6  | 8.8  | 9.3  | 10.0 | 9.6  | 15.8 | 23.7 |
|              | 20%  | 7.3  | 7.7  | 7.9  | 10.1 | 11.0 | 12.4 | 13.4 | 14.2 | 15.3 | 25.7 |
| 10%          | 12.5 | 12.8 | 11.3 | 14.9 | 13.0 | 15.7 | 19.5 | 23.2 | 23.2 | 38.7 |      |

表 11 感度分析（道路本数 3，交通量多い場合，平均成長率法）

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装備率          | 100% | 0.0  | 1.7  | 2.6  | 3.2  | 3.9  | 4.9  | 6.3  | 8.2  | 9.7  | 16.0 |
|              | 90%  | 1.4  | 2.2  | 3.4  | 4.2  | 4.6  | 5.7  | 6.5  | 8.2  | 10.2 | 16.7 |
|              | 80%  | 2.6  | 3.4  | 4.2  | 4.5  | 5.5  | 6.0  | 7.2  | 9.1  | 10.8 | 15.5 |
|              | 70%  | 3.4  | 4.0  | 5.1  | 4.9  | 6.0  | 7.2  | 8.0  | 9.3  | 13.8 | 19.3 |
|              | 60%  | 4.4  | 4.3  | 5.5  | 6.4  | 6.6  | 6.7  | 7.7  | 10.9 | 13.4 | 21.3 |
|              | 50%  | 5.4  | 5.2  | 6.0  | 6.4  | 7.5  | 8.5  | 10.6 | 11.5 | 14.5 | 24.7 |
|              | 40%  | 6.0  | 7.2  | 7.3  | 9.0  | 8.9  | 9.3  | 11.8 | 14.0 | 17.6 | 24.9 |
|              | 30%  | 7.6  | 8.5  | 9.2  | 10.5 | 10.3 | 12.8 | 15.2 | 18.0 | 20.4 | 30.9 |
|              | 20%  | 10.7 | 10.3 | 10.5 | 11.6 | 12.8 | 13.7 | 16.1 | 20.7 | 25.6 | 38.6 |
| 10%          | 15.5 | 16.7 | 16.6 | 17.0 | 18.5 | 22.1 | 26.5 | 26.0 | 35.5 | 55.7 |      |

表 12 感度分析（道路本数 3，交通量少ない場合，平均成長率法）

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |     |     |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90% | 80% | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 0.9 | 1.3 | 1.5  | 2.2  | 2.4  | 3.5  | 4.0  | 5.2  | 8.4  |
|              | 90%  | 0.8  | 1.2 | 1.7 | 2.3  | 2.2  | 2.8  | 4.1  | 3.8  | 5.9  | 8.6  |
|              | 80%  | 1.6  | 1.7 | 2.0 | 2.2  | 3.0  | 3.0  | 3.4  | 4.9  | 6.6  | 9.7  |
|              | 70%  | 1.9  | 2.1 | 2.7 | 2.6  | 3.0  | 3.9  | 4.6  | 4.5  | 6.9  | 10.6 |
|              | 60%  | 2.3  | 2.3 | 2.6 | 3.2  | 3.5  | 3.5  | 4.9  | 4.9  | 7.9  | 10.8 |
|              | 50%  | 2.5  | 3.1 | 3.4 | 3.3  | 4.4  | 4.7  | 5.2  | 6.6  | 8.7  | 11.1 |
|              | 40%  | 3.6  | 3.1 | 3.7 | 4.3  | 4.9  | 4.4  | 5.1  | 6.7  | 9.9  | 12.7 |
|              | 30%  | 3.8  | 4.0 | 4.8 | 4.7  | 5.0  | 6.4  | 6.6  | 8.1  | 9.4  | 15.7 |
|              | 20%  | 5.2  | 5.2 | 5.9 | 6.8  | 6.9  | 7.3  | 9.7  | 11.1 | 14.1 | 17.7 |
|              | 10%  | 9.0  | 8.9 | 8.9 | 10.7 | 10.9 | 12.4 | 14.3 | 15.9 | 22.6 | 35.0 |

表 13 感度分析（道路本数 3，1本の道路に集中，平均成長率法）

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90% | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.2 | 1.6  | 2.2  | 2.9  | 3.4  | 3.9  | 5.1  | 7.3  | 9.5  |
|              | 90%  | 1.1  | 1.8 | 1.9  | 2.5  | 3.2  | 4.1  | 4.0  | 5.2  | 7.1  | 9.5  |
|              | 80%  | 1.6  | 1.8 | 2.5  | 3.2  | 3.4  | 4.3  | 5.1  | 5.8  | 7.8  | 10.7 |
|              | 70%  | 2.2  | 2.5 | 2.9  | 3.7  | 4.1  | 4.9  | 5.4  | 6.5  | 7.7  | 12.6 |
|              | 60%  | 2.7  | 3.1 | 3.5  | 3.8  | 4.4  | 5.0  | 5.6  | 6.8  | 7.8  | 13.1 |
|              | 50%  | 3.1  | 3.7 | 4.2  | 4.5  | 5.1  | 6.1  | 6.6  | 7.6  | 10.1 | 13.6 |
|              | 40%  | 3.6  | 4.8 | 5.1  | 4.8  | 6.3  | 6.6  | 7.3  | 8.4  | 11.4 | 17.3 |
|              | 30%  | 5.1  | 5.6 | 6.1  | 6.4  | 7.6  | 8.2  | 7.8  | 11.4 | 13.3 | 18.7 |
|              | 20%  | 6.2  | 7.2 | 7.5  | 7.8  | 9.4  | 10.3 | 12.4 | 11.6 | 18.0 | 25.4 |
|              | 10%  | 10.5 | 9.4 | 11.2 | 11.8 | 13.7 | 12.8 | 16.8 | 20.8 | 25.6 | 38.3 |

表 14 感度分析（道路本数 3，1本の道路のみ少ない，平均成長率法）

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90% | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.0 | 1.4  | 1.7  | 2.2  | 3.0  | 3.2  | 4.5  | 5.8  | 9.2  |
|              | 90%  | 0.9  | 1.4 | 1.8  | 2.2  | 2.5  | 3.2  | 3.7  | 4.4  | 5.8  | 8.8  |
|              | 80%  | 1.4  | 1.7 | 2.2  | 2.6  | 3.0  | 3.4  | 4.0  | 5.8  | 5.7  | 10.5 |
|              | 70%  | 1.9  | 2.0 | 2.6  | 3.1  | 3.6  | 4.4  | 4.3  | 5.7  | 6.7  | 10.4 |
|              | 60%  | 2.5  | 2.5 | 2.9  | 3.4  | 3.6  | 4.4  | 5.7  | 6.5  | 8.0  | 12.6 |
|              | 50%  | 2.8  | 3.1 | 3.3  | 4.6  | 4.6  | 5.2  | 6.1  | 5.7  | 8.6  | 11.6 |
|              | 40%  | 3.7  | 3.9 | 4.0  | 4.9  | 5.7  | 6.1  | 6.4  | 7.0  | 9.9  | 13.5 |
|              | 30%  | 4.4  | 4.5 | 4.6  | 5.6  | 5.5  | 6.1  | 7.4  | 9.9  | 12.3 | 18.6 |
|              | 20%  | 4.8  | 6.1 | 6.6  | 7.5  | 8.0  | 9.3  | 8.4  | 12.6 | 15.8 | 23.5 |
|              | 10%  | 9.2  | 9.6 | 10.0 | 10.7 | 10.3 | 12.9 | 11.6 | 16.8 | 21.3 | 38.6 |

表 15 感度分析（道路本数 4，基本 OD，平均成長率法）

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.4  | 2.1  | 2.8  | 3.5  | 4.3  | 5.1  | 6.2  | 9.0  | 12.4 |
|              | 90%  | 1.4  | 2.1  | 2.6  | 3.2  | 3.8  | 4.6  | 5.5  | 6.7  | 8.8  | 12.9 |
|              | 80%  | 2.2  | 2.6  | 3.3  | 3.8  | 4.4  | 5.0  | 6.4  | 7.7  | 9.9  | 14.4 |
|              | 70%  | 2.9  | 3.3  | 3.9  | 4.2  | 4.9  | 5.7  | 6.7  | 8.3  | 11.1 | 15.8 |
|              | 60%  | 3.4  | 4.0  | 4.4  | 5.0  | 5.7  | 6.5  | 7.7  | 8.5  | 11.1 | 17.6 |
|              | 50%  | 4.1  | 4.5  | 5.0  | 6.0  | 6.4  | 7.4  | 7.9  | 10.0 | 12.8 | 18.1 |
|              | 40%  | 5.1  | 5.7  | 6.3  | 6.9  | 7.8  | 8.8  | 9.4  | 11.9 | 14.4 | 20.9 |
|              | 30%  | 7.4  | 8.1  | 7.1  | 8.1  | 9.2  | 10.2 | 11.6 | 14.4 | 17.7 | 24.6 |
|              | 20%  | 10.7 | 11.0 | 10.0 | 10.5 | 11.6 | 13.0 | 14.1 | 16.4 | 21.5 | 29.8 |
|              | 10%  | 13.5 | 15.5 | 14.0 | 14.9 | 16.8 | 18.5 | 21.9 | 24.9 | 30.5 | 45.8 |

表 16 感度分析（道路本数 4，交通量多い場合，平均成長率法）

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 2.0  | 2.9  | 3.8  | 4.6  | 5.9  | 7.0  | 8.6  | 10.8 | 17.4 |
|              | 90%  | 1.9  | 2.8  | 3.8  | 4.4  | 5.1  | 6.3  | 7.5  | 9.1  | 12.7 | 18.7 |
|              | 80%  | 2.9  | 3.8  | 4.5  | 5.3  | 6.2  | 7.0  | 8.5  | 10.8 | 13.1 | 19.7 |
|              | 70%  | 3.6  | 4.3  | 5.2  | 5.6  | 7.0  | 7.5  | 9.1  | 11.2 | 14.3 | 21.3 |
|              | 60%  | 4.8  | 5.4  | 6.0  | 6.6  | 7.2  | 8.7  | 10.8 | 13.2 | 15.7 | 22.7 |
|              | 50%  | 5.7  | 6.3  | 7.1  | 7.8  | 8.7  | 10.0 | 11.6 | 13.4 | 17.4 | 25.0 |
|              | 40%  | 7.1  | 8.2  | 8.0  | 9.3  | 10.2 | 11.9 | 12.9 | 15.4 | 19.9 | 28.3 |
|              | 30%  | 8.7  | 9.5  | 9.8  | 11.4 | 12.6 | 13.5 | 16.3 | 19.0 | 23.7 | 32.9 |
|              | 20%  | 10.9 | 12.4 | 13.4 | 13.6 | 15.5 | 17.3 | 20.0 | 22.8 | 28.7 | 39.8 |
|              | 10%  | 16.8 | 17.7 | 19.8 | 19.7 | 22.6 | 25.0 | 28.7 | 33.2 | 41.2 | 60.1 |

表 17 感度分析 (道路本数 4, 交通量少ない場合, 平均成長率法)

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.5  | 2.3  | 3.1  | 3.8  | 4.3  | 5.5  | 6.9  | 9.3  | 14.1 |
|              | 90%  | 1.5  | 2.2  | 2.9  | 3.6  | 4.2  | 4.8  | 6.1  | 7.7  | 9.5  | 13.5 |
|              | 80%  | 2.3  | 3.0  | 3.3  | 4.1  | 4.4  | 5.5  | 6.7  | 8.1  | 10.2 | 15.7 |
|              | 70%  | 3.0  | 3.3  | 4.0  | 4.8  | 5.2  | 6.1  | 7.4  | 8.2  | 11.3 | 16.1 |
|              | 60%  | 3.5  | 4.2  | 4.9  | 5.5  | 5.9  | 6.9  | 7.7  | 9.9  | 12.3 | 18.0 |
|              | 50%  | 4.3  | 5.0  | 5.7  | 6.2  | 6.6  | 7.8  | 8.5  | 10.2 | 13.5 | 19.7 |
|              | 40%  | 5.7  | 5.9  | 7.0  | 7.4  | 7.7  | 8.6  | 10.3 | 12.0 | 15.4 | 22.5 |
|              | 30%  | 6.7  | 7.9  | 8.5  | 8.8  | 10.0 | 10.6 | 12.1 | 14.9 | 18.1 | 25.5 |
|              | 20%  | 8.5  | 9.2  | 9.9  | 11.3 | 12.4 | 14.0 | 16.3 | 18.3 | 22.7 | 30.0 |
|              | 10%  | 14.3 | 14.5 | 14.7 | 16.8 | 16.8 | 19.9 | 23.9 | 26.5 | 32.9 | 49.6 |

表 18 感度分析 (道路本数 4, 1 方向に集中, 平均成長率法)

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90% | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 0.9 | 1.4  | 1.9  | 2.2  | 2.9  | 3.7  | 4.4  | 5.8  | 9.0  |
|              | 90%  | 0.9  | 1.3 | 1.9  | 2.3  | 2.6  | 3.2  | 3.9  | 4.9  | 6.3  | 9.4  |
|              | 80%  | 1.4  | 1.7 | 2.2  | 2.6  | 3.0  | 3.4  | 4.3  | 5.2  | 6.6  | 9.8  |
|              | 70%  | 2.0  | 2.2 | 2.5  | 3.1  | 3.2  | 4.1  | 4.5  | 5.5  | 7.1  | 10.6 |
|              | 60%  | 2.3  | 2.8 | 3.0  | 3.5  | 3.7  | 4.3  | 5.1  | 6.2  | 7.3  | 11.5 |
|              | 50%  | 2.9  | 3.2 | 3.6  | 4.0  | 4.5  | 5.3  | 5.5  | 6.9  | 8.8  | 13.2 |
|              | 40%  | 3.3  | 3.9 | 4.0  | 4.6  | 5.1  | 5.7  | 6.7  | 7.7  | 10.0 | 14.8 |
|              | 30%  | 4.5  | 4.7 | 5.0  | 5.8  | 6.3  | 6.9  | 7.9  | 8.9  | 11.5 | 17.5 |
|              | 20%  | 5.8  | 6.3 | 6.9  | 7.6  | 8.2  | 9.2  | 10.7 | 11.2 | 15.1 | 21.8 |
|              | 10%  | 8.7  | 9.5 | 10.1 | 10.5 | 12.2 | 12.3 | 14.3 | 16.5 | 21.2 | 35.2 |

表 19 感度分析 (道路本数 4, 1 本の道路に集中, 平均成長率法)

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.3  | 1.8  | 2.4  | 3.1  | 3.9  | 4.9  | 5.9  | 7.6  | 11.0 |
|              | 90%  | 1.3  | 1.9  | 2.3  | 2.9  | 3.6  | 4.3  | 5.1  | 6.6  | 8.0  | 11.7 |
|              | 80%  | 1.9  | 2.3  | 2.8  | 3.4  | 3.8  | 4.8  | 5.4  | 6.6  | 8.5  | 13.4 |
|              | 70%  | 2.6  | 3.0  | 3.6  | 3.9  | 4.6  | 5.4  | 6.2  | 7.9  | 9.2  | 14.1 |
|              | 60%  | 3.3  | 3.6  | 4.2  | 4.6  | 5.1  | 6.0  | 7.0  | 7.8  | 11.2 | 14.9 |
|              | 50%  | 3.9  | 4.4  | 4.6  | 5.3  | 5.9  | 6.5  | 7.8  | 8.8  | 12.2 | 16.7 |
|              | 40%  | 4.8  | 5.0  | 5.7  | 6.2  | 6.7  | 7.5  | 9.4  | 9.8  | 13.2 | 18.2 |
|              | 30%  | 5.4  | 6.6  | 7.0  | 7.6  | 8.2  | 8.9  | 10.8 | 12.0 | 14.6 | 21.8 |
|              | 20%  | 7.7  | 8.4  | 9.0  | 9.6  | 10.3 | 12.0 | 12.2 | 15.8 | 18.1 | 28.9 |
|              | 10%  | 11.7 | 11.8 | 13.1 | 15.1 | 15.7 | 16.8 | 20.4 | 21.6 | 28.1 | 39.7 |

表 20 感度分析 (道路本数 4, 1 本の道路のみ少ない, 平均成長率法)

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.4  | 2.2  | 2.7  | 3.4  | 4.3  | 4.9  | 6.5  | 8.4  | 12.0 |
|              | 90%  | 1.3  | 2.0  | 2.4  | 3.2  | 3.9  | 4.6  | 5.5  | 6.8  | 9.2  | 13.5 |
|              | 80%  | 2.0  | 2.6  | 3.2  | 3.6  | 4.5  | 4.9  | 6.2  | 7.3  | 9.2  | 13.7 |
|              | 70%  | 2.7  | 3.0  | 3.8  | 4.0  | 4.7  | 5.8  | 7.0  | 7.8  | 10.8 | 16.6 |
|              | 60%  | 3.4  | 3.9  | 4.2  | 4.7  | 5.4  | 6.4  | 7.0  | 8.9  | 10.6 | 15.9 |
|              | 50%  | 4.2  | 4.8  | 5.1  | 5.5  | 6.3  | 6.8  | 8.1  | 10.6 | 12.8 | 19.3 |
|              | 40%  | 5.1  | 5.2  | 5.8  | 6.6  | 7.6  | 7.7  | 10.0 | 11.4 | 14.2 | 20.3 |
|              | 30%  | 6.4  | 6.6  | 7.4  | 7.9  | 9.3  | 10.4 | 12.2 | 13.5 | 16.0 | 23.2 |
|              | 20%  | 7.5  | 8.7  | 8.9  | 10.2 | 11.2 | 12.8 | 13.8 | 16.8 | 21.5 | 30.2 |
|              | 10%  | 12.5 | 12.7 | 14.5 | 15.4 | 16.5 | 17.6 | 21.1 | 23.6 | 28.6 | 42.4 |

表 21 感度分析 (道路本数 5, 基本 OD, 平均成長率法)

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.5  | 2.3  | 3.0  | 3.8  | 4.6  | 5.7  | 6.8  | 9.0  | 13.9 |
|              | 90%  | 1.6  | 2.2  | 2.9  | 3.5  | 4.2  | 5.2  | 6.3  | 7.6  | 10.0 | 15.0 |
|              | 80%  | 2.3  | 2.9  | 3.5  | 4.3  | 4.7  | 5.7  | 6.7  | 8.1  | 11.0 | 16.2 |
|              | 70%  | 3.0  | 3.5  | 4.1  | 4.8  | 5.6  | 6.5  | 7.5  | 9.2  | 11.3 | 17.1 |
|              | 60%  | 3.7  | 4.2  | 4.8  | 5.3  | 6.0  | 7.1  | 8.1  | 10.3 | 12.6 | 18.5 |
|              | 50%  | 4.6  | 5.1  | 5.5  | 6.4  | 7.0  | 7.9  | 9.5  | 10.8 | 14.0 | 20.1 |
|              | 40%  | 5.6  | 6.3  | 6.9  | 7.5  | 8.6  | 9.2  | 10.4 | 12.9 | 15.7 | 22.9 |
|              | 30%  | 7.2  | 7.7  | 8.0  | 9.2  | 10.3 | 11.3 | 12.8 | 14.4 | 19.1 | 27.1 |
|              | 20%  | 9.3  | 9.9  | 10.5 | 11.6 | 12.8 | 14.1 | 15.8 | 18.8 | 22.3 | 33.1 |
|              | 10%  | 14.1 | 14.8 | 15.8 | 17.7 | 18.5 | 20.6 | 23.0 | 26.8 | 32.7 | 47.7 |

表 22 感度分析（道路本数 5，交通量が多い場合，平均成長率法）

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 2.0  | 3.0  | 3.9  | 5.1  | 5.7  | 6.9  | 9.1  | 11.2 | 17.3 |
|              | 90%  | 2.0  | 2.8  | 3.6  | 4.3  | 5.4  | 6.8  | 7.7  | 9.3  | 12.7 | 17.8 |
|              | 80%  | 2.9  | 3.7  | 4.4  | 5.2  | 6.1  | 7.2  | 8.5  | 10.5 | 13.2 | 18.7 |
|              | 70%  | 3.9  | 4.6  | 5.2  | 6.0  | 6.9  | 7.8  | 9.4  | 10.8 | 14.1 | 21.3 |
|              | 60%  | 4.8  | 5.3  | 6.0  | 6.6  | 7.6  | 8.8  | 10.1 | 12.9 | 15.9 | 21.8 |
|              | 50%  | 5.9  | 6.3  | 7.4  | 7.9  | 8.8  | 10.2 | 12.0 | 14.0 | 17.4 | 25.0 |
|              | 40%  | 7.0  | 7.6  | 8.2  | 9.0  | 9.8  | 12.0 | 13.0 | 15.3 | 19.8 | 28.1 |
|              | 30%  | 8.7  | 9.3  | 10.5 | 11.0 | 12.3 | 13.3 | 15.6 | 18.4 | 22.6 | 32.8 |
|              | 20%  | 11.5 | 12.8 | 12.3 | 14.2 | 15.6 | 16.9 | 19.4 | 22.5 | 28.1 | 40.9 |
|              | 10%  | 17.3 | 17.9 | 19.7 | 20.4 | 22.8 | 25.7 | 28.1 | 33.4 | 40.1 | 57.8 |

表 23 感度分析（道路本数 5，交通量が少ない場合，平均成長率法）

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.5  | 2.2  | 2.8  | 3.8  | 4.7  | 5.9  | 7.1  | 9.1  | 14.3 |
|              | 90%  | 1.5  | 2.3  | 2.8  | 3.4  | 4.2  | 5.0  | 6.0  | 7.7  | 9.8  | 14.5 |
|              | 80%  | 2.3  | 2.9  | 3.7  | 4.1  | 4.5  | 5.6  | 6.7  | 8.3  | 10.6 | 15.5 |
|              | 70%  | 3.1  | 3.4  | 4.1  | 4.6  | 5.5  | 6.3  | 7.3  | 9.0  | 11.0 | 16.7 |
|              | 60%  | 3.6  | 4.3  | 4.7  | 5.4  | 6.3  | 7.1  | 7.9  | 9.8  | 12.2 | 17.4 |
|              | 50%  | 4.5  | 5.3  | 5.6  | 6.0  | 7.0  | 8.0  | 8.8  | 11.1 | 13.5 | 20.6 |
|              | 40%  | 5.5  | 6.0  | 6.8  | 7.4  | 8.1  | 9.1  | 10.7 | 12.7 | 15.1 | 21.7 |
|              | 30%  | 7.1  | 7.5  | 8.1  | 9.2  | 9.6  | 10.9 | 12.7 | 14.5 | 19.0 | 26.8 |
|              | 20%  | 9.4  | 9.5  | 10.6 | 11.5 | 11.8 | 13.8 | 15.7 | 18.1 | 22.5 | 32.4 |
|              | 10%  | 13.7 | 14.8 | 15.9 | 16.7 | 18.5 | 20.2 | 22.9 | 26.2 | 32.1 | 44.9 |

表 24 感度分析（道路本数 5，1 方向に集中，平均成長率法）

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.5  | 2.3  | 3.0  | 3.7  | 4.5  | 5.4  | 6.9  | 9.2  | 14.0 |
|              | 90%  | 1.5  | 2.3  | 2.9  | 3.4  | 4.3  | 5.2  | 6.0  | 7.9  | 9.7  | 14.7 |
|              | 80%  | 2.3  | 2.8  | 3.5  | 4.2  | 4.8  | 5.6  | 6.5  | 8.0  | 10.0 | 15.4 |
|              | 70%  | 3.1  | 3.4  | 3.9  | 4.5  | 5.4  | 6.2  | 7.2  | 8.9  | 11.5 | 16.8 |
|              | 60%  | 3.8  | 4.3  | 4.8  | 5.3  | 5.9  | 7.1  | 8.0  | 9.7  | 12.1 | 18.1 |
|              | 50%  | 4.6  | 5.2  | 5.6  | 6.3  | 7.0  | 8.2  | 9.1  | 10.7 | 13.8 | 19.8 |
|              | 40%  | 5.4  | 6.2  | 6.6  | 7.3  | 7.8  | 9.2  | 10.2 | 12.1 | 15.3 | 22.7 |
|              | 30%  | 6.7  | 7.2  | 8.0  | 9.0  | 9.6  | 10.6 | 11.9 | 14.5 | 17.3 | 26.5 |
|              | 20%  | 9.3  | 9.7  | 10.5 | 11.5 | 12.5 | 13.4 | 15.6 | 18.5 | 22.9 | 31.8 |
|              | 10%  | 13.3 | 14.8 | 15.8 | 16.1 | 17.4 | 20.7 | 23.1 | 26.3 | 31.0 | 45.5 |

表 25 感度分析（道路本数 5，1 本の道路に集中，平均成長率法）

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.5  | 2.3  | 2.9  | 3.7  | 4.5  | 5.4  | 6.7  | 9.1  | 13.3 |
|              | 90%  | 1.5  | 2.0  | 2.8  | 3.4  | 4.1  | 5.1  | 5.8  | 7.5  | 9.6  | 13.5 |
|              | 80%  | 2.3  | 2.7  | 3.4  | 3.8  | 4.8  | 5.3  | 6.5  | 7.8  | 10.3 | 14.4 |
|              | 70%  | 2.7  | 3.3  | 4.0  | 4.3  | 5.0  | 5.8  | 6.8  | 8.6  | 10.5 | 15.7 |
|              | 60%  | 3.7  | 4.0  | 4.6  | 4.9  | 5.8  | 6.7  | 7.9  | 9.3  | 12.0 | 17.4 |
|              | 50%  | 4.5  | 5.1  | 5.6  | 5.9  | 6.5  | 7.2  | 8.6  | 10.5 | 13.7 | 19.5 |
|              | 40%  | 5.7  | 6.0  | 6.4  | 6.9  | 7.9  | 8.8  | 10.4 | 11.9 | 14.8 | 22.0 |
|              | 30%  | 7.0  | 7.6  | 8.0  | 8.7  | 9.6  | 10.6 | 11.5 | 14.2 | 16.9 | 24.9 |
|              | 20%  | 9.9  | 10.2 | 10.9 | 11.2 | 12.1 | 13.4 | 15.4 | 17.8 | 21.2 | 30.6 |
|              | 10%  | 16.0 | 16.7 | 16.5 | 17.0 | 18.1 | 19.5 | 22.2 | 24.8 | 32.2 | 45.4 |

表 26 感度分析（道路本数 5，1 本の道路のみ少ない，平均成長率法）

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.8  | 2.5  | 3.3  | 4.1  | 5.2  | 6.4  | 7.4  | 10.1 | 15.2 |
|              | 90%  | 1.7  | 2.4  | 3.3  | 3.8  | 4.7  | 5.7  | 6.8  | 8.8  | 10.7 | 15.8 |
|              | 80%  | 2.6  | 3.2  | 3.7  | 4.4  | 5.4  | 6.2  | 7.4  | 9.1  | 12.0 | 17.6 |
|              | 70%  | 3.3  | 3.9  | 4.6  | 5.2  | 6.3  | 7.0  | 8.1  | 9.6  | 13.1 | 18.1 |
|              | 60%  | 4.1  | 4.9  | 5.4  | 5.9  | 7.1  | 8.2  | 9.2  | 11.2 | 13.9 | 20.3 |
|              | 50%  | 5.0  | 5.7  | 6.2  | 7.0  | 7.5  | 8.9  | 10.5 | 12.8 | 15.7 | 21.7 |
|              | 40%  | 6.3  | 7.0  | 7.3  | 8.2  | 9.2  | 10.2 | 12.0 | 14.2 | 17.7 | 25.2 |
|              | 30%  | 7.8  | 8.6  | 9.4  | 10.0 | 11.5 | 12.0 | 14.2 | 16.2 | 19.9 | 29.0 |
|              | 20%  | 10.5 | 11.0 | 12.0 | 13.2 | 14.0 | 15.1 | 17.7 | 20.4 | 25.3 | 37.1 |
|              | 10%  | 15.4 | 16.6 | 16.7 | 18.1 | 20.5 | 22.3 | 24.9 | 29.9 | 36.4 | 51.2 |

表 27 感度分析 (道路本数 3, 基本 OD, フレーター法)

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.1  | 1.7  | 2.5  | 3.2  | 3.7  | 4.2  | 5.5  | 8.5  | 11.1 |
|              | 90%  | 1.3  | 1.9  | 2.3  | 2.7  | 3.7  | 4.0  | 4.9  | 5.6  | 8.5  | 13.2 |
|              | 80%  | 2.0  | 2.3  | 3.0  | 2.9  | 3.8  | 4.8  | 5.4  | 6.6  | 8.6  | 13.0 |
|              | 70%  | 2.2  | 3.2  | 3.1  | 3.5  | 4.0  | 5.1  | 6.1  | 7.5  | 9.9  | 14.5 |
|              | 60%  | 3.0  | 3.6  | 4.4  | 4.6  | 4.7  | 5.9  | 6.8  | 7.6  | 9.7  | 15.2 |
|              | 50%  | 3.6  | 3.7  | 3.6  | 4.8  | 5.2  | 6.3  | 7.7  | 9.5  | 11.0 | 17.2 |
|              | 40%  | 4.7  | 4.9  | 6.5  | 6.3  | 6.5  | 7.2  | 9.0  | 9.7  | 12.1 | 18.6 |
|              | 30%  | 5.9  | 5.7  | 7.3  | 7.6  | 8.8  | 9.4  | 10.1 | 9.7  | 15.8 | 23.7 |
|              | 20%  | 7.3  | 7.7  | 7.9  | 10.1 | 11.1 | 12.4 | 13.4 | 14.3 | 15.6 | 25.8 |
|              | 10%  | 12.5 | 13.0 | 11.4 | 15.0 | 13.3 | 15.7 | 19.6 | 23.2 | 23.2 | 39.2 |

表 28 感度分析 (道路本数 3, 交通量が多い場合, フレーター法)

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.7  | 2.6  | 3.2  | 3.9  | 4.9  | 6.3  | 8.2  | 9.8  | 16.0 |
|              | 90%  | 1.4  | 2.2  | 3.4  | 4.2  | 4.6  | 5.7  | 6.5  | 8.2  | 10.2 | 16.7 |
|              | 80%  | 2.6  | 3.4  | 4.2  | 4.5  | 5.5  | 5.9  | 7.2  | 9.1  | 10.8 | 15.5 |
|              | 70%  | 3.4  | 4.0  | 5.1  | 5.0  | 6.0  | 7.2  | 8.0  | 9.4  | 13.8 | 19.3 |
|              | 60%  | 4.4  | 4.4  | 5.5  | 6.4  | 6.6  | 6.8  | 7.7  | 10.9 | 13.6 | 21.3 |
|              | 50%  | 5.4  | 5.2  | 6.0  | 6.4  | 7.5  | 8.5  | 10.6 | 11.5 | 14.5 | 24.7 |
|              | 40%  | 6.0  | 7.3  | 7.3  | 9.0  | 8.9  | 9.4  | 11.8 | 14.1 | 17.7 | 24.9 |
|              | 30%  | 7.6  | 8.5  | 9.2  | 10.5 | 10.3 | 12.8 | 15.2 | 17.9 | 20.4 | 30.8 |
|              | 20%  | 10.7 | 10.2 | 10.5 | 11.6 | 12.9 | 13.8 | 16.1 | 20.7 | 25.8 | 38.6 |
|              | 10%  | 15.5 | 16.8 | 16.7 | 17.0 | 18.7 | 22.0 | 26.5 | 26.0 | 35.4 | 56.0 |

表 29 感度分析 (道路本数 3, 交通量が少ない場合, フレーター法)

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |     |     |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90% | 80% | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 0.9 | 1.3 | 1.6  | 2.2  | 2.4  | 3.5  | 4.0  | 5.3  | 8.5  |
|              | 90%  | 0.8  | 1.2 | 1.7 | 2.3  | 2.3  | 2.9  | 4.2  | 3.9  | 6.0  | 8.7  |
|              | 80%  | 1.6  | 1.7 | 2.0 | 2.2  | 3.0  | 3.0  | 3.4  | 5.0  | 6.6  | 9.7  |
|              | 70%  | 1.9  | 2.1 | 2.7 | 2.6  | 3.0  | 3.9  | 4.6  | 4.6  | 7.0  | 10.7 |
|              | 60%  | 2.3  | 2.4 | 2.7 | 3.2  | 3.5  | 3.6  | 4.9  | 5.0  | 8.2  | 11.0 |
|              | 50%  | 2.5  | 3.1 | 3.4 | 3.4  | 4.5  | 4.8  | 5.3  | 6.7  | 8.8  | 11.3 |
|              | 40%  | 3.6  | 3.2 | 3.7 | 4.3  | 4.9  | 4.6  | 5.1  | 6.8  | 10.1 | 12.7 |
|              | 30%  | 3.8  | 4.0 | 4.9 | 4.7  | 5.0  | 6.5  | 6.7  | 8.2  | 9.4  | 15.7 |
|              | 20%  | 5.3  | 5.2 | 5.9 | 6.9  | 7.1  | 7.4  | 9.8  | 11.2 | 14.4 | 17.9 |
|              | 10%  | 9.0  | 9.1 | 9.0 | 10.8 | 11.3 | 12.4 | 14.4 | 16.0 | 22.6 | 35.5 |

表 30 感度分析 (道路本数 3, 1本の道路に集中, フレーター法)

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90% | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.2 | 1.6  | 2.2  | 2.9  | 3.4  | 3.9  | 5.1  | 7.4  | 9.6  |
|              | 90%  | 1.1  | 1.8 | 1.9  | 2.5  | 3.3  | 4.1  | 4.1  | 5.2  | 7.1  | 9.6  |
|              | 80%  | 1.6  | 1.8 | 2.5  | 3.3  | 3.5  | 4.3  | 5.1  | 5.9  | 7.8  | 10.7 |
|              | 70%  | 2.2  | 2.5 | 2.9  | 3.8  | 4.2  | 4.9  | 5.5  | 6.5  | 7.8  | 12.7 |
|              | 60%  | 2.7  | 3.2 | 3.6  | 3.8  | 4.4  | 5.1  | 5.6  | 6.9  | 8.1  | 13.3 |
|              | 50%  | 3.1  | 3.7 | 4.2  | 4.5  | 5.2  | 6.2  | 6.6  | 7.6  | 10.1 | 13.7 |
|              | 40%  | 3.6  | 4.9 | 5.2  | 4.8  | 6.3  | 6.7  | 7.3  | 8.5  | 11.5 | 17.3 |
|              | 30%  | 5.2  | 5.6 | 6.1  | 6.4  | 7.6  | 8.2  | 7.9  | 11.4 | 13.3 | 18.7 |
|              | 20%  | 6.3  | 7.2 | 7.6  | 7.8  | 9.5  | 10.4 | 12.5 | 11.7 | 18.2 | 25.5 |
|              | 10%  | 10.5 | 9.6 | 11.3 | 11.9 | 14.0 | 12.9 | 17.0 | 20.9 | 25.6 | 38.8 |

表 31 感度分析 (道路本数 3, 1本の道路のみ少ない, フレーター法)

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90% | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.0 | 1.4  | 1.7  | 2.2  | 3.0  | 3.2  | 4.5  | 5.9  | 9.3  |
|              | 90%  | 0.9  | 1.4 | 1.8  | 2.2  | 2.6  | 3.3  | 3.8  | 4.4  | 5.8  | 8.9  |
|              | 80%  | 1.4  | 1.7 | 2.2  | 2.6  | 3.0  | 3.4  | 4.0  | 5.9  | 5.7  | 10.5 |
|              | 70%  | 1.9  | 2.1 | 2.6  | 3.2  | 3.6  | 4.4  | 4.4  | 5.8  | 6.7  | 10.6 |
|              | 60%  | 2.5  | 2.5 | 3.0  | 3.4  | 3.6  | 4.5  | 5.7  | 6.6  | 8.3  | 12.8 |
|              | 50%  | 2.8  | 3.1 | 3.3  | 4.6  | 4.6  | 5.2  | 6.2  | 5.8  | 8.6  | 11.8 |
|              | 40%  | 3.7  | 3.9 | 4.0  | 4.9  | 5.7  | 6.2  | 6.5  | 7.1  | 10.1 | 13.6 |
|              | 30%  | 4.5  | 4.5 | 4.6  | 5.7  | 5.6  | 6.2  | 7.5  | 10.0 | 12.3 | 18.7 |
|              | 20%  | 4.9  | 6.1 | 6.6  | 7.5  | 8.2  | 9.4  | 8.4  | 12.7 | 16.1 | 23.6 |
|              | 10%  | 9.2  | 9.7 | 10.2 | 10.7 | 10.7 | 12.9 | 11.8 | 16.9 | 21.4 | 39.1 |

表 32 感度分析 (道路本数 4, 基本 OD, フレーター法)

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.4  | 2.1  | 2.8  | 3.5  | 4.3  | 5.1  | 6.3  | 9.0  | 12.5 |
|              | 90%  | 1.4  | 2.1  | 2.6  | 3.2  | 3.8  | 4.6  | 5.5  | 6.7  | 8.9  | 13.0 |
|              | 80%  | 2.2  | 2.6  | 3.3  | 3.8  | 4.4  | 5.1  | 6.4  | 7.7  | 9.9  | 14.5 |
|              | 70%  | 2.9  | 3.3  | 3.9  | 4.2  | 4.9  | 5.7  | 6.7  | 8.3  | 11.1 | 15.9 |
|              | 60%  | 3.4  | 4.0  | 4.4  | 5.0  | 5.7  | 6.5  | 7.7  | 8.5  | 11.1 | 17.7 |
|              | 50%  | 4.2  | 4.5  | 5.0  | 6.0  | 6.4  | 7.4  | 8.0  | 10.0 | 12.8 | 18.2 |
|              | 40%  | 5.1  | 5.7  | 6.3  | 6.9  | 7.8  | 8.8  | 9.4  | 11.9 | 14.5 | 21.0 |
|              | 30%  | 6.4  | 7.2  | 7.2  | 8.1  | 9.2  | 10.3 | 11.6 | 14.4 | 17.8 | 24.8 |
|              | 20%  | 8.9  | 9.3  | 10.1 | 10.5 | 11.6 | 13.0 | 14.2 | 16.4 | 21.6 | 29.9 |
|              | 10%  | 12.3 | 14.3 | 14.1 | 15.0 | 16.9 | 18.6 | 22.0 | 25.0 | 30.6 | 46.1 |

表 33 感度分析 (道路本数 4, 交通量が多い場合, フレーター法)

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 2.0  | 3.0  | 3.9  | 4.6  | 5.9  | 7.1  | 8.7  | 11.0 | 17.6 |
|              | 90%  | 1.9  | 2.8  | 3.8  | 4.4  | 5.2  | 6.4  | 7.6  | 9.2  | 12.8 | 18.8 |
|              | 80%  | 2.9  | 3.8  | 4.5  | 5.3  | 6.3  | 7.1  | 8.6  | 11.0 | 13.2 | 19.9 |
|              | 70%  | 3.6  | 4.4  | 5.2  | 5.7  | 7.1  | 7.6  | 9.2  | 11.3 | 14.5 | 21.5 |
|              | 60%  | 4.8  | 5.5  | 6.1  | 6.7  | 7.3  | 8.8  | 10.9 | 13.4 | 15.8 | 23.0 |
|              | 50%  | 5.7  | 6.4  | 7.2  | 7.9  | 8.8  | 10.1 | 11.7 | 13.5 | 17.6 | 25.2 |
|              | 40%  | 7.2  | 8.3  | 8.0  | 9.4  | 10.3 | 12.1 | 13.1 | 15.6 | 20.2 | 28.6 |
|              | 30%  | 8.8  | 9.6  | 9.9  | 11.5 | 12.8 | 13.7 | 16.4 | 19.2 | 24.0 | 33.3 |
|              | 20%  | 11.1 | 12.6 | 13.6 | 13.8 | 15.6 | 17.4 | 20.2 | 23.1 | 29.0 | 40.3 |
|              | 10%  | 17.0 | 17.9 | 20.0 | 19.9 | 22.8 | 25.3 | 29.0 | 33.6 | 41.7 | 60.8 |

表 34 感度分析 (道路本数 4, 交通量が少ない場合, フレーター法)

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90% | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 0.9 | 1.4  | 1.9  | 2.2  | 2.9  | 3.7  | 4.4  | 5.8  | 9.0  |
|              | 90%  | 0.9  | 1.3 | 1.9  | 2.3  | 2.6  | 3.2  | 3.9  | 4.9  | 6.3  | 9.4  |
|              | 80%  | 1.4  | 1.7 | 2.2  | 2.6  | 3.0  | 3.4  | 4.3  | 5.2  | 6.6  | 9.8  |
|              | 70%  | 2.0  | 2.2 | 2.5  | 3.1  | 3.2  | 4.1  | 4.5  | 5.5  | 7.1  | 10.6 |
|              | 60%  | 2.3  | 2.8 | 3.0  | 3.5  | 3.7  | 4.3  | 5.1  | 6.2  | 7.3  | 11.5 |
|              | 50%  | 2.9  | 3.2 | 3.6  | 4.0  | 4.5  | 5.3  | 5.5  | 6.9  | 8.8  | 13.2 |
|              | 40%  | 3.3  | 3.9 | 4.0  | 4.6  | 5.1  | 5.7  | 6.7  | 7.7  | 10.0 | 14.8 |
|              | 30%  | 4.5  | 4.7 | 5.0  | 5.8  | 6.3  | 6.9  | 7.9  | 8.9  | 11.5 | 17.5 |
|              | 20%  | 5.8  | 6.3 | 6.9  | 7.6  | 8.2  | 9.2  | 10.7 | 11.2 | 15.1 | 21.8 |
|              | 10%  | 8.7  | 9.5 | 10.1 | 10.5 | 12.2 | 12.3 | 14.3 | 16.5 | 21.2 | 35.2 |

表 35 感度分析 (道路本数 4, 1方向に集中, フレーター法)

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.5  | 2.4  | 3.1  | 3.8  | 4.3  | 5.5  | 7.0  | 9.5  | 14.3 |
|              | 90%  | 1.5  | 2.2  | 2.9  | 3.6  | 4.2  | 4.8  | 6.2  | 7.8  | 9.7  | 13.6 |
|              | 80%  | 2.3  | 3.0  | 3.3  | 4.2  | 4.5  | 5.5  | 6.7  | 8.3  | 10.4 | 15.9 |
|              | 70%  | 3.0  | 3.3  | 4.1  | 4.8  | 5.3  | 6.2  | 7.5  | 8.4  | 11.5 | 16.3 |
|              | 60%  | 3.5  | 4.2  | 5.0  | 5.6  | 6.0  | 7.0  | 7.8  | 10.1 | 12.5 | 18.2 |
|              | 50%  | 4.4  | 5.1  | 5.8  | 6.3  | 6.7  | 7.9  | 8.6  | 10.3 | 13.7 | 20.0 |
|              | 40%  | 5.8  | 6.0  | 7.1  | 7.5  | 7.8  | 8.8  | 10.5 | 12.2 | 15.6 | 22.8 |
|              | 30%  | 6.8  | 8.0  | 8.6  | 8.9  | 10.1 | 10.7 | 12.3 | 15.1 | 18.3 | 25.9 |
|              | 20%  | 8.6  | 9.3  | 10.1 | 11.5 | 12.6 | 14.1 | 16.5 | 18.6 | 23.0 | 30.4 |
|              | 10%  | 14.5 | 14.7 | 14.9 | 17.0 | 17.0 | 20.1 | 24.2 | 26.9 | 33.4 | 50.3 |

表 36 感度分析 (道路本数 4, 1本の道路に集中, フレーター法)

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.3  | 1.8  | 2.4  | 3.1  | 3.9  | 4.9  | 6.0  | 7.6  | 11.1 |
|              | 90%  | 1.3  | 1.9  | 2.3  | 2.9  | 3.6  | 4.3  | 5.2  | 6.7  | 8.1  | 11.8 |
|              | 80%  | 1.9  | 2.3  | 2.9  | 3.5  | 3.8  | 4.9  | 5.5  | 6.6  | 8.5  | 13.5 |
|              | 70%  | 2.6  | 3.0  | 3.6  | 3.9  | 4.6  | 5.4  | 6.2  | 7.9  | 9.3  | 14.2 |
|              | 60%  | 3.4  | 3.6  | 4.2  | 4.7  | 5.2  | 6.0  | 7.1  | 7.8  | 11.2 | 15.0 |
|              | 50%  | 4.0  | 4.4  | 4.6  | 5.4  | 6.0  | 6.6  | 7.8  | 8.9  | 12.3 | 16.8 |
|              | 40%  | 4.8  | 5.1  | 5.7  | 6.2  | 6.7  | 7.5  | 9.5  | 9.9  | 13.3 | 18.4 |
|              | 30%  | 5.5  | 6.6  | 7.0  | 7.6  | 8.3  | 8.9  | 10.9 | 12.1 | 14.7 | 22.0 |
|              | 20%  | 7.8  | 8.4  | 9.1  | 9.7  | 10.4 | 12.1 | 12.4 | 15.9 | 18.2 | 29.1 |
|              | 10%  | 11.8 | 11.9 | 13.2 | 15.2 | 15.8 | 17.0 | 20.5 | 21.8 | 28.3 | 40.1 |



表 37 感度分析 (道路本数 4, 1 本の道路のみ少ない, フレーター法)

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.4  | 2.2  | 2.7  | 3.5  | 4.3  | 4.9  | 6.5  | 8.5  | 12.1 |
|              | 90%  | 1.3  | 2.0  | 2.4  | 3.3  | 3.9  | 4.7  | 5.6  | 6.8  | 9.3  | 13.6 |
|              | 80%  | 2.0  | 2.6  | 3.3  | 3.6  | 4.5  | 5.0  | 6.2  | 7.3  | 9.3  | 13.8 |
|              | 70%  | 2.7  | 3.0  | 3.9  | 4.0  | 4.7  | 5.8  | 7.1  | 7.8  | 10.8 | 16.7 |
|              | 60%  | 3.4  | 3.9  | 4.2  | 4.7  | 5.4  | 6.4  | 7.0  | 8.9  | 10.7 | 16.0 |
|              | 50%  | 4.3  | 4.8  | 5.1  | 5.5  | 6.4  | 6.9  | 8.1  | 10.6 | 12.9 | 19.4 |
|              | 40%  | 5.1  | 5.2  | 5.8  | 6.7  | 7.7  | 7.7  | 10.1 | 11.5 | 14.3 | 20.5 |
|              | 30%  | 6.4  | 6.7  | 7.5  | 7.9  | 9.3  | 10.5 | 12.2 | 13.6 | 16.1 | 23.4 |
|              | 20%  | 7.6  | 8.7  | 9.0  | 10.3 | 11.3 | 12.9 | 13.9 | 16.9 | 21.6 | 30.4 |
|              | 10%  | 12.6 | 12.8 | 14.6 | 15.5 | 16.6 | 17.7 | 21.2 | 23.8 | 28.8 | 42.7 |

表 38 感度分析 (道路本数 5, 基本 OD, フレーター法)

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.6  | 2.5  | 3.2  | 3.9  | 4.7  | 6.0  | 7.2  | 9.4  | 14.4 |
|              | 90%  | 1.7  | 2.3  | 3.0  | 3.6  | 4.3  | 5.4  | 6.5  | 7.8  | 10.4 | 15.5 |
|              | 80%  | 2.4  | 3.0  | 3.6  | 4.5  | 4.8  | 5.9  | 6.9  | 8.3  | 11.4 | 16.4 |
|              | 70%  | 3.0  | 3.6  | 4.2  | 4.9  | 5.8  | 6.6  | 7.7  | 9.6  | 11.7 | 17.7 |
|              | 60%  | 3.9  | 4.4  | 4.9  | 5.5  | 6.2  | 7.2  | 8.5  | 10.6 | 12.9 | 19.2 |
|              | 50%  | 4.6  | 5.2  | 5.7  | 6.5  | 7.2  | 8.1  | 9.9  | 11.1 | 14.1 | 20.7 |
|              | 40%  | 5.8  | 6.5  | 7.1  | 7.8  | 8.7  | 9.2  | 10.8 | 13.3 | 16.0 | 23.4 |
|              | 30%  | 7.5  | 8.1  | 8.2  | 9.5  | 10.6 | 11.7 | 13.1 | 15.0 | 19.7 | 28.0 |
|              | 20%  | 9.6  | 10.1 | 10.9 | 12.0 | 13.3 | 14.5 | 16.3 | 19.4 | 23.2 | 34.4 |
|              | 10%  | 14.5 | 15.2 | 16.1 | 18.3 | 19.0 | 21.2 | 23.7 | 27.9 | 34.3 | 49.3 |

表 39 感度分析 (道路本数 5, 交通量が多い場合, フレーター法)

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 2.0  | 3.1  | 4.0  | 5.2  | 5.8  | 7.1  | 9.4  | 11.7 | 17.4 |
|              | 90%  | 2.0  | 2.9  | 3.7  | 4.4  | 5.6  | 6.9  | 7.9  | 9.6  | 12.9 | 18.5 |
|              | 80%  | 3.0  | 3.7  | 4.5  | 5.3  | 6.3  | 7.3  | 8.6  | 10.8 | 13.5 | 19.1 |
|              | 70%  | 4.0  | 4.6  | 5.3  | 6.1  | 7.0  | 8.1  | 9.4  | 11.0 | 14.6 | 21.8 |
|              | 60%  | 4.9  | 5.4  | 6.2  | 6.8  | 7.8  | 9.0  | 10.3 | 13.1 | 16.3 | 22.1 |
|              | 50%  | 6.0  | 6.5  | 7.6  | 8.2  | 9.0  | 10.3 | 12.3 | 14.4 | 17.8 | 25.5 |
|              | 40%  | 7.2  | 7.8  | 8.4  | 9.3  | 10.1 | 12.4 | 13.3 | 15.5 | 20.1 | 28.3 |
|              | 30%  | 8.9  | 9.6  | 10.9 | 11.5 | 12.6 | 13.6 | 16.0 | 19.1 | 23.2 | 33.2 |
|              | 20%  | 11.7 | 13.2 | 12.6 | 14.6 | 15.9 | 17.1 | 20.1 | 22.7 | 28.3 | 41.3 |
|              | 10%  | 17.6 | 18.1 | 20.1 | 21.0 | 23.5 | 25.8 | 28.9 | 33.9 | 40.6 | 59.2 |

表 40 感度分析 (道路本数 5, 交通量が少ない場合, フレーター法)

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.6  | 2.2  | 3.0  | 3.8  | 4.8  | 6.2  | 7.3  | 9.4  | 14.8 |
|              | 90%  | 1.6  | 2.4  | 2.9  | 3.6  | 4.4  | 5.2  | 6.2  | 7.9  | 10.2 | 15.1 |
|              | 80%  | 2.4  | 3.0  | 3.8  | 4.2  | 4.7  | 5.9  | 6.9  | 8.6  | 11.0 | 15.8 |
|              | 70%  | 3.1  | 3.5  | 4.2  | 4.8  | 5.6  | 6.5  | 7.6  | 9.2  | 11.3 | 17.0 |
|              | 60%  | 3.7  | 4.4  | 4.9  | 5.6  | 6.5  | 7.2  | 8.2  | 10.1 | 12.6 | 18.0 |
|              | 50%  | 4.7  | 5.3  | 5.7  | 6.2  | 7.2  | 8.2  | 9.1  | 11.5 | 14.1 | 21.5 |
|              | 40%  | 5.7  | 6.2  | 6.9  | 7.6  | 8.4  | 9.2  | 11.1 | 13.0 | 15.6 | 22.4 |
|              | 30%  | 7.2  | 7.8  | 8.4  | 9.5  | 10.0 | 11.3 | 13.1 | 14.9 | 19.6 | 27.8 |
|              | 20%  | 9.7  | 9.9  | 11.1 | 11.8 | 12.2 | 14.1 | 16.4 | 18.9 | 23.5 | 33.6 |
|              | 10%  | 14.0 | 15.4 | 16.4 | 17.2 | 19.2 | 21.0 | 23.7 | 27.0 | 33.4 | 46.5 |

表 41 感度分析 (道路本数 5, 1 方向に集中, フレーター法)

| RMSE(平均値)(台) |      | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |      | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.6  | 2.4  | 3.2  | 4.0  | 4.8  | 5.7  | 7.4  | 9.6  | 14.8 |
|              | 90%  | 1.6  | 2.4  | 3.1  | 3.7  | 4.7  | 5.5  | 6.4  | 8.2  | 10.2 | 15.3 |
|              | 80%  | 2.4  | 3.0  | 3.7  | 4.4  | 5.0  | 5.9  | 6.9  | 8.7  | 10.7 | 16.7 |
|              | 70%  | 3.3  | 3.6  | 4.2  | 4.7  | 5.8  | 6.8  | 7.4  | 9.5  | 12.2 | 17.4 |
|              | 60%  | 4.1  | 4.6  | 5.0  | 5.7  | 6.3  | 7.5  | 8.4  | 10.3 | 13.0 | 19.8 |
|              | 50%  | 4.9  | 5.4  | 5.8  | 6.7  | 7.4  | 8.5  | 9.7  | 11.4 | 15.0 | 20.9 |
|              | 40%  | 5.9  | 6.7  | 7.0  | 7.6  | 8.3  | 9.9  | 10.6 | 13.0 | 16.4 | 24.5 |
|              | 30%  | 7.3  | 7.9  | 8.6  | 9.6  | 10.1 | 11.3 | 12.7 | 15.4 | 18.6 | 29.3 |
|              | 20%  | 9.9  | 10.1 | 11.2 | 12.3 | 13.4 | 14.3 | 16.9 | 19.4 | 23.9 | 33.9 |
|              | 10%  | 14.1 | 15.6 | 17.2 | 17.5 | 18.2 | 22.2 | 24.5 | 27.5 | 33.0 | 47.8 |

表 42 感度分析 (道路本数 5, 1 本の道路に集中, フレーター法)

| RMSE(平均値)(台) | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |      |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.5  | 2.4  | 3.0  | 3.8  | 4.7  | 5.6  | 6.8  | 9.5  | 13.7 |
|              | 90%  | 1.5  | 2.1  | 2.9  | 3.5  | 4.3  | 5.3  | 6.0  | 7.8  | 9.9  | 14.0 |
|              | 80%  | 2.3  | 2.8  | 3.4  | 3.9  | 4.9  | 5.5  | 6.8  | 8.1  | 10.7 | 14.8 |
|              | 70%  | 2.8  | 3.4  | 4.1  | 4.5  | 5.1  | 6.0  | 7.0  | 8.9  | 10.7 | 16.2 |
|              | 60%  | 3.9  | 4.2  | 4.7  | 5.1  | 6.0  | 6.9  | 8.1  | 9.5  | 12.4 | 17.7 |
|              | 50%  | 4.7  | 5.3  | 5.8  | 6.1  | 6.6  | 7.4  | 8.8  | 10.9 | 14.0 | 20.3 |
|              | 40%  | 5.9  | 6.3  | 6.7  | 7.1  | 8.1  | 9.1  | 10.7 | 12.4 | 15.2 | 22.3 |
|              | 30%  | 7.9  | 8.2  | 8.3  | 9.2  | 9.8  | 11.0 | 11.9 | 14.5 | 17.3 | 25.7 |
|              | 20%  | 10.9 | 11.0 | 11.6 | 11.7 | 12.7 | 13.8 | 16.0 | 18.6 | 21.9 | 31.5 |
|              | 10%  | 18.4 | 18.7 | 18.0 | 18.3 | 19.2 | 20.4 | 22.9 | 25.5 | 32.9 | 46.9 |

表 43 感度分析 (道路本数 5, 1 本の道路のみ少ない, フレーター法)

| RMSE(平均値)(台) | 検知率  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              | 100% | 90%  | 80%  | 70%  | 60%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20%  | 10%  |      |
| 装<br>備<br>率  | 100% | 0.0  | 1.9  | 2.6  | 3.5  | 4.3  | 5.5  | 6.7  | 7.8  | 10.6 | 15.7 |
|              | 90%  | 1.8  | 2.5  | 3.5  | 4.0  | 4.9  | 6.0  | 7.1  | 9.1  | 11.3 | 16.5 |
|              | 80%  | 2.7  | 3.3  | 3.9  | 4.7  | 5.8  | 6.4  | 7.8  | 9.5  | 12.5 | 18.4 |
|              | 70%  | 3.5  | 4.1  | 4.8  | 5.5  | 6.6  | 7.3  | 8.5  | 10.2 | 13.8 | 18.8 |
|              | 60%  | 4.3  | 5.1  | 5.8  | 6.2  | 7.4  | 8.6  | 9.8  | 11.8 | 14.4 | 21.2 |
|              | 50%  | 5.3  | 5.9  | 6.4  | 7.3  | 7.9  | 9.3  | 10.9 | 13.3 | 16.6 | 22.5 |
|              | 40%  | 6.5  | 7.3  | 7.7  | 8.6  | 9.5  | 10.5 | 12.9 | 14.8 | 18.5 | 26.5 |
|              | 30%  | 8.2  | 9.0  | 9.8  | 10.5 | 11.9 | 12.8 | 14.7 | 16.9 | 20.5 | 30.5 |
|              | 20%  | 10.9 | 11.5 | 12.4 | 13.8 | 14.7 | 15.7 | 18.5 | 21.2 | 26.5 | 39.2 |
|              | 10%  | 16.1 | 17.4 | 17.4 | 19.0 | 21.1 | 23.2 | 25.8 | 31.2 | 37.8 | 53.3 |

#### 4. 4. 2 OD 交通量推定と交差点特性の関係性の分析

本項では、前項で算出した RMSE を総交通量で除した平均誤差率を算出し、交差点形状と OD パターンについて比較する。

また前項と同様、平均成長率法とフレーター法の 2 つの計算式を用いて推定した。

結果として、交通量に関しては“総交通量少ない”“基本 OD”“総交通量多い”を比較すると、交通量が多いほど推定の誤差が小さいという結果となった。加えて“基本 OD”と“1 方向に集中”“1 点に集中”“1 点のみ少ない”を比較すると、道路ごとに交通量に偏りがある後の方が推定の誤差が小さいという結果となった。しかし、“1 方向に集中”“1 点に集中”“1 点のみ少ない”を比較すると推定精度の差はあまり大きくなかった。また、構成する道路本数に着目すると、道路本数が多いほど推定の誤差が小さいという結果となった。

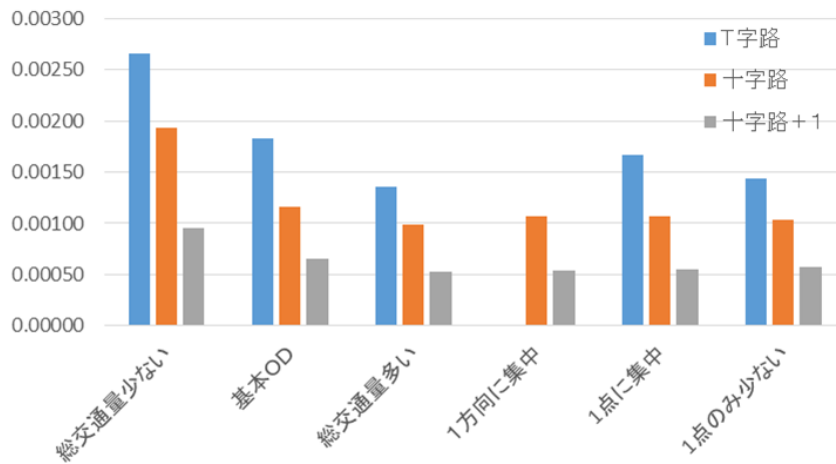


図 12 平均 RMSE/総交通量 (平均成長率法)

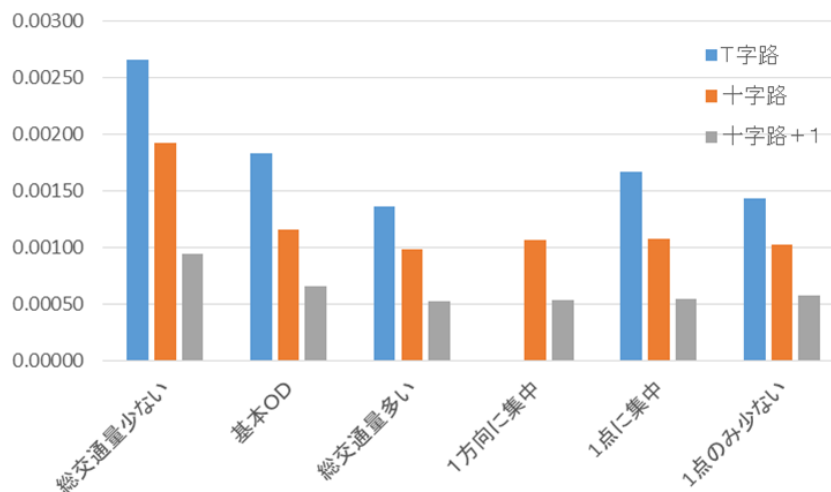


図 13 平均 RMSE/総交通量 (フレーター法)

#### 4. 5 考察

本節では、前節で分析した結果から、OD 交通量推定に適した現在パターン法の計算式、OD 交通量推定と装備率、検知率の関係性、OD 交通量推定と交差点特性の関係性について考察する。

##### 4. 5. 1 OD 交通量推定に適した現在パターン法

平均成長率法とフレーター法で OD 交通量を推定した結果、どちらの計算方法でもほぼ同じ結果が得られ、計算方法によって推定誤差に影響が出ないという結果となった。要因として、本研究においては交差点 1 つのみのマイクロな道路ネットワーク対象としているためだと考える。より広域な複数の交差点を含むマクロなネットワークを対象とする場合には、より多くの変数を計算に用いており一般的に用いられるフレーター法の誤差が平均成長率法よりも小さくなるのではと考える。本研究の実測調査の OD 交通量推定においては、フレーター法を用いることとする。

##### 4. 5. 2 OD 交通量推定と装備率、検知率の関係性

装備率と検知率に関する感度分析の結果、OD 交通量推定に対する影響を整理することが出来た。また、Bluetooth 搭載車数の推定が理論上可能となった。しかし、今回のシミュレーションには考慮できていない点が多く存在するため、完全に実現象を再現しているとは言いがたい。実測調査を行い、交差点形状と OD パターン以外に OD 交通量推定に影響を与える要因を把握し、シミュレーションに適応することが今後必要であると考えられる。

##### 4. 5. 3 OD 交通量推定と交差点特性の関係性

交差点を構成する道路本数に着目すると、道路本数が多いほど OD 交通量推定の誤差が小さくなる結果となった。交差点を構成する道路本数が多いほど誤差が小さくなった理由として、本研究ではシミュレーションで真値を設定する際に、ひとつの道路を走る交通量を統一したため、道路本数が多くなればなるほど交通量が多くなる。その結果、精度がよくなったと考えられる。

次に交通量に着目した場合、交通量が多いほど OD 交通量推定の誤差が小さくなる結果となった。また、基本 OD と比較して、道路ごとに交通量に偏りがある場合に OD 交通量推定の誤差が小さくなる結果となった。交通量が多いほど誤差が小さくなった理由として、交通量が多ければ多いほど検知可能な車が多く、OD 交通量を推定する際の精度の向上に繋がったと考えられる。道路ごとに交通量に差があった場合に精度がよくなった理由として、得られたデータを拡張する際に値が真値に収束しやすくなるためだと考えられる。

#### 4. 6 本章の結び

本章では、シミュレーションを用いて擬似的に OD 交通量を推定し、結果を用いて交差点形状や OD パターンが異なる場合の推定誤差を算出した。また、Bluetooth スキャナの検知率と装備率に関する感度分析をすることにより、推定誤差と検知率、装備率の三次元分布として表現することが可能となった。これらの結果から、OD 交通量推定に対して Bluetooth スキャナの検知率、装備率や交差点特性が与える影響を考察した。また、合わせて 1 つの信号交差点における OD 交通量推定に適した現在パターンの計算式がフレーター法であると考察した。

次章では、本章において明らかにした交差点形状と OD パターンが与える影響について精査するとともに、Bluetooth を活用した OD 交通量推定が実務で利用可能か検討する。具体的には Bluetooth MAC アドレスと真値 OD 交通量の取得調査を行い、実際に OD 交通量推定し真値と比較する。これによりシミュレーションで明らかにした要因を精査するとともに、Bluetooth を活用した OD 交通量推定に影響を与える他の要因について取得データから整理、考察する。また、推定誤差率と相関係数の視点から実務で利用可能か検討する。

## 第5章 実測調査データを用いた分析

### 5.1 実測調査の目的

本章では、前章において考察した交差点特性が OD 交通量推定に与える影響について、実現象においても同様の結果が得られるか確認することにより精査する。

具体的には、高知県主要渋滞箇所<sup>23)</sup>に指定されている交差点から、道路本数や交通量が異なる4箇所の交差点を選定し、BluetoothのMACアドレスデータと真値となるナンバープレート映像を取得する調査を実施した。その後、得られたBluetoothのMACアドレスデータを用いてOD交通量を推定し、誤差や相関係数を算出する。交差点ごとに算出された誤差や相関係数を比較することにより、シミュレーションと実現象で同じ結果が得られたかを確認し精査する。またビデオ映像から、シミュレーションで反映することのできない要因についても考察する。最終的には、どのような交差点ならば精度よくOD交通量の推定が可能かの把握と、実務における交差点でのBluetoothを活用したOD交通量推定の実現可能性について考察する。

### 5.2 実測調査の概要

#### 5.2.1 調査交差点の選定

本研究では、渋滞対策のため交通需要を明らかにすることを目的としている。その為、実際に渋滞している箇所において実測調査を行い、Bluetoothを用いたOD交通量推定が実務で利用可能か検討する必要がある。

そこで調査交差点は、図12に示す国土交通省四国地方整備局土佐国道事務所が指定する高知県主要渋滞箇所<sup>23)</sup>から交差点形状とODパターンの異なる4箇所の交差点を選定した。条件の異なる4箇所の交差点を選定することで、推定の誤差を比較しOD交通量推定に影響を与える要因について把握する。

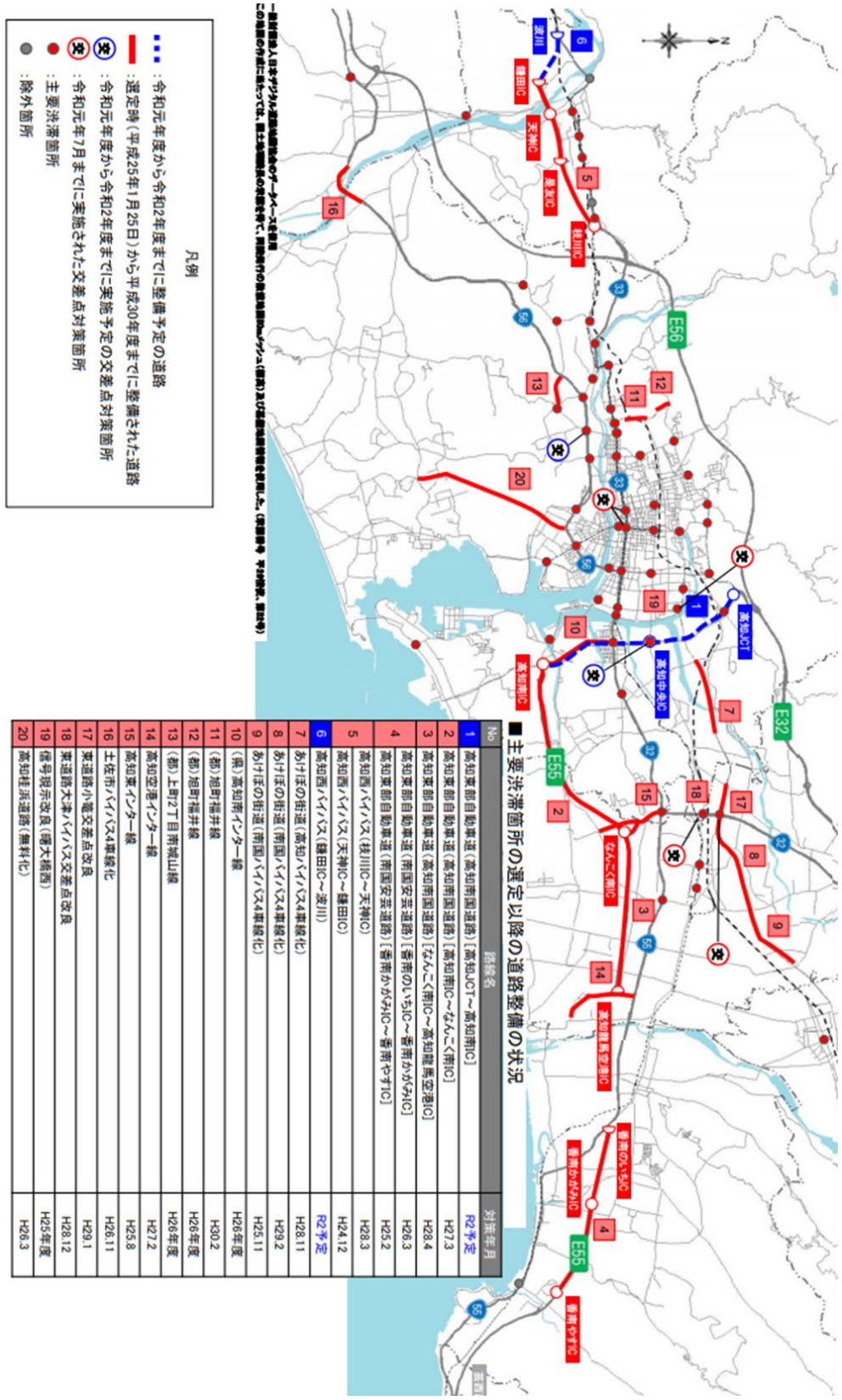


図 14 高知県主要渋滞箇所

## 5. 2. 2 調査交差点の概要

選定された4箇所の交差点は、どの交差点も基本的には片側2車線の道路で構成されている信号交差点である。



図 15 調査対象交差点の位置

### 交差点1：高知県高知市北久保16番地交差点

この信号交差点はT字路となっており、南北方向に走る県道の東側に市道が接続している。どの道路でも交通量に大きな差はなく、交差点付近にわき道が見られない。また、南側道路からの右折車が頻繁に渋滞している傾向が見られる。



図 16 俯瞰図（地理院地図）：交差点1



## 交差点 2 : 高知県高知市高須 308 番地交差点

この信号交差点は十字路となっており、南北方向に走る高知北環状線である国道 44 号線と東西方向に走る大津バイパスである県道 374 号線で構成されている。どの道路でも交通量にも大きな差はないが、コンビニエンスストアが交差点に隣接している。また東西方向が頻繁に渋滞しているほか、南側の道路でも渋滞が見られる。また、実測調査当時に高知南国自動車道の事業工事が行われており、大型トラックや工事用車両が他地点と比較して多く走行している。

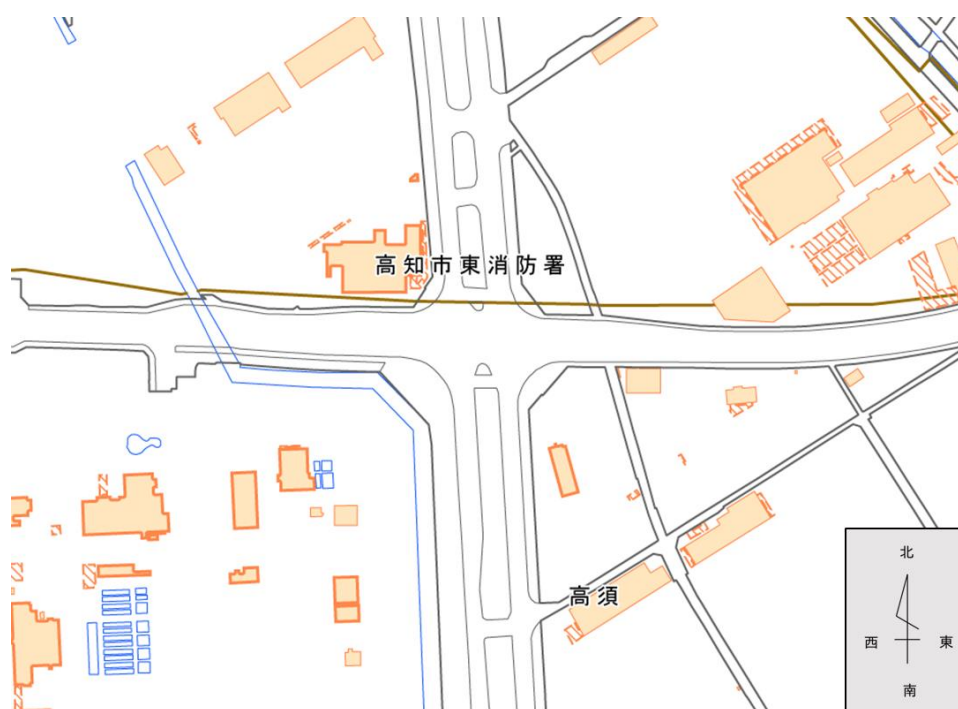


図 17 俯瞰図 (地理院地図) : 交差点 2

### 交差点3：高知県高知市小倉町1番地交差点

この信号交差点は、南北方向に走る市道と東西方向に走る国道32号線、県道195号線で構成されている5本の道路で構成されている。国道32号線が渋滞しており、特に交差点東側の道路が渋滞している。また、調査地点の中で路面電車が平行しており踏み切りも存在している唯一の地点である。また、他の調査地点と比べて市街地に位置しており、わき道が非常に多い。



図 18 俯瞰図（地理院地図）：交差点3

#### 交差点4：高知県高知市若松町1435番地交差点

この交差点は十字路となっており，南北方向に通る市道と東西方向に通る県道35号線で構成されている。県道35号線が渋滞しており，特にこの交差点の東側の信号交差点が原因の渋滞がこの交差点まで延伸しており，慢性的な渋滞が発生している。また，南側の道路は住宅街に入る道路になっており，他の道路と比較して低い規格の道路である。



図19 俯瞰図（地理院地図）：交差点4

### 5. 2. 3 調査の方法

調査は交差点に流出入する車を対象とし、歩道に Bluetooth スキャナ（スマートフォン）とビデオカメラを設置することにより、MAC アドレスの取得と真値となる OD 交通量を作成するためのナンバープレートマッチング用の撮影をする。各機器は道路の流入側に 1 台ずつ、流出側に 1 台ずつ設置した。ただし、交差点 3 と交差点 4 での調査の際は片側 1 車線の道路にも設置しており、その箇所では片側の道路のみに設置した。



図 20 詳細設置図：交差点 1

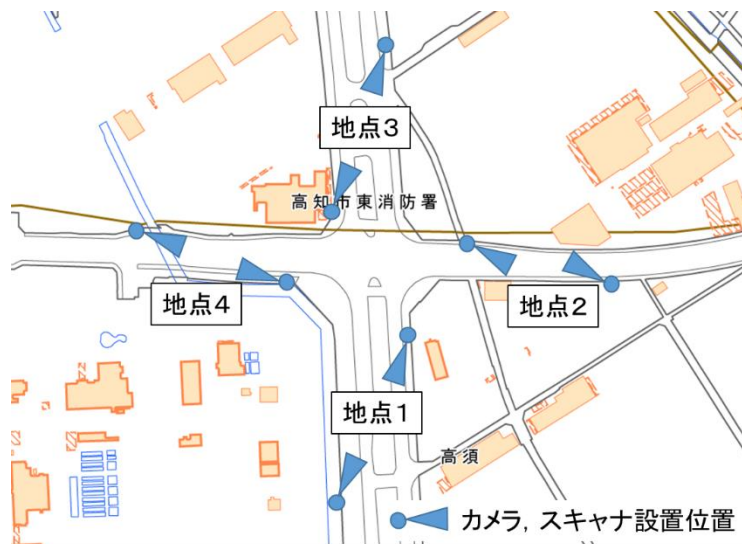


図 21 詳細設置図：交差点 2

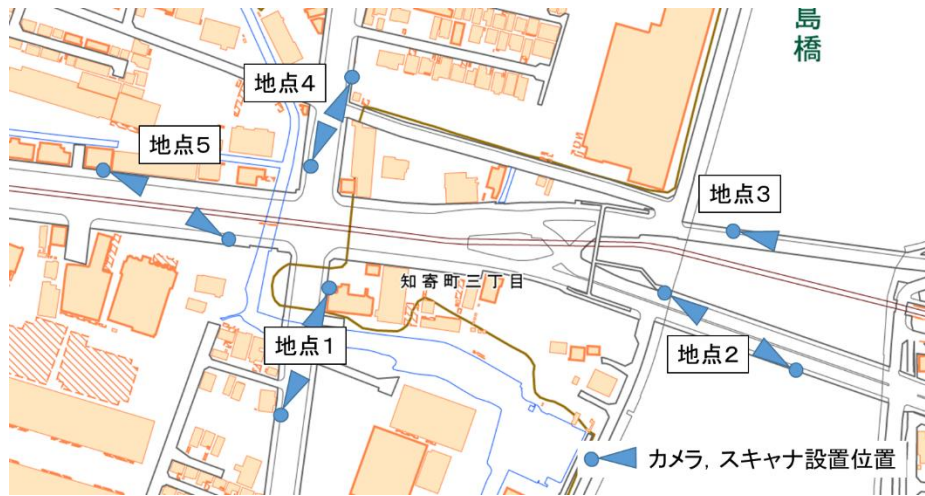


図 22 詳細設置図：交差点 3

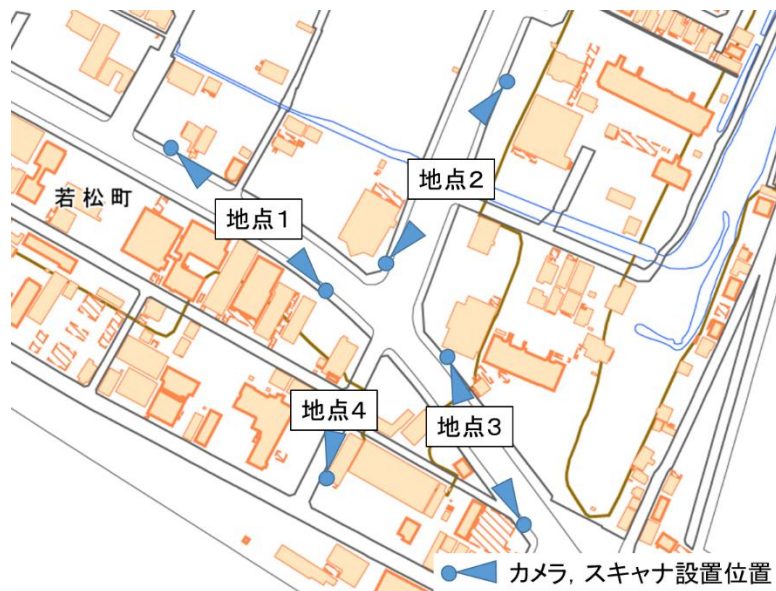


図 23 詳細設置図：交差点 4



図 24 設置の状況

Bluetooth スキャナは三脚を用いて固定し、設置高さを地面から 1m、タイムアウト時間を 3 秒に設定し設置した。調査時間は渋滞時と非渋滞時の比較をするために、平日の通勤時間前後の午前 6 時 30 分~午前 8 時 30 分とした。

各機器の設置の際に考慮した点として、まず歩道利用者の移動を妨げないことを第一に、ビデオカメラはプライバシー保護の観点から車の後部のナンバープレートを撮影した。また、流出する車を観測する際には、交差点内の車を観測する恐れがあったため、図 23 に示すように道路に対して直角から少し交差点側に傾けて設置した。Bluetooth スキャナで交差点に流入する車を観測する際には、図 24 に示すように走行する車のフロント部分に向けて設置した。

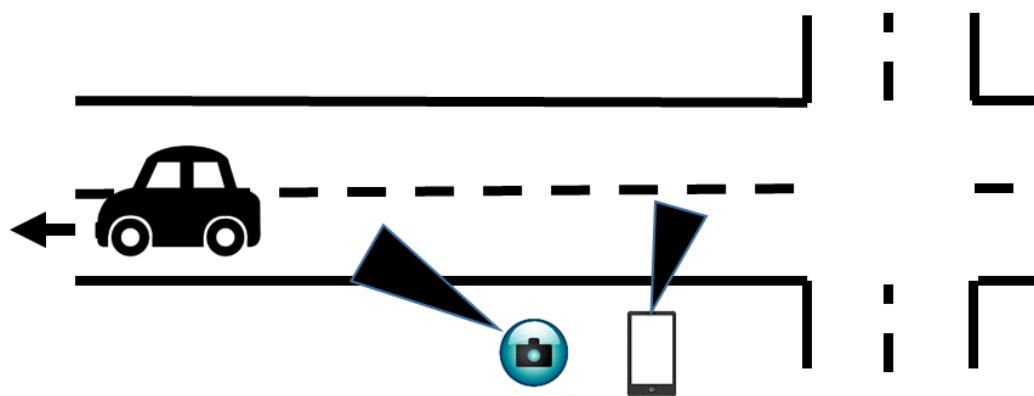


図 25 設置考慮イメージ (流出側)

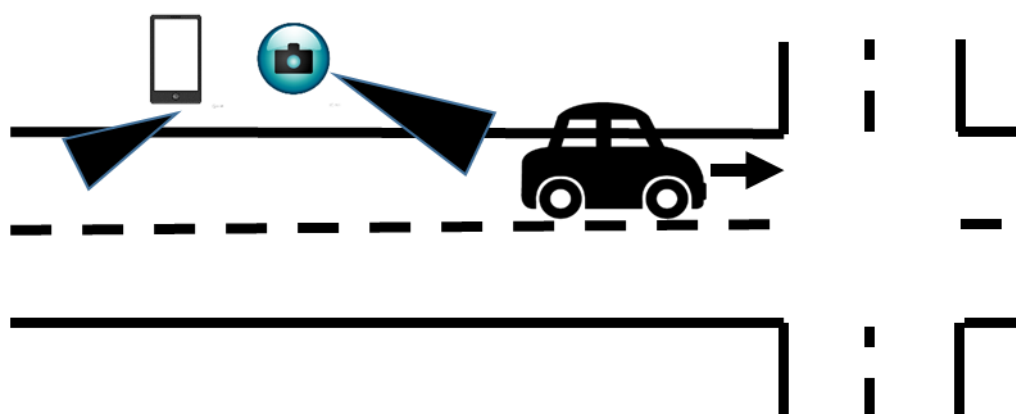


図 26 設置考慮イメージ (流入側)

### 5. 3 調査の結果

本節では、各交差点における調査日、天気、調査時間、総交通量、地点ごとの交通量、総取得 MAC アドレス数、各スキャナの取得 MAC アドレス数、各スキャナの取得ユニーク MAC アドレス数、各スキャナの捕捉率について整理する。表 44 に調査全体の結果と交差点に設置したスキャナごとの結果を示す。なお、交差点 3 の地点 3 と交差点 4 の地点 4 においては道路の片側にのみスキャナを設置したため、BT ユニーク数と捕捉率（ユニーク数）に該当する値が存在しない。

表 44 調査結果（交差点ごと）

| 調査交差点 | 調査日           | 天気    | 調査開始時間 | 調査終了時間 | 総交通量 | 総取得 MAC アドレス数 | 全体捕捉率 |
|-------|---------------|-------|--------|--------|------|---------------|-------|
| 交差点1  | 2019/9/26(木)  | 晴天    | 午前6:30 | 午前8:30 | 3920 | 164           | 4%    |
| 交差点2  | 2019/9/27(金)  | 曇り時々雨 | 午前6:00 | 午前8:30 | 7664 | 289           | 4%    |
| 交差点3  | 2019/10/30(水) | 晴天    | 午前6:30 | 午前8:30 | 6033 | 408           | 7%    |
| 交差点4  | 2019/11/6(水)  | 晴天    | 午前6:30 | 午前8:30 | 4489 | 464           | 10%   |

表 45 調査結果（スキャナ設置箇所ごと）

| 調査交差点 | 地点番号 | 流出入 | 断面交通量 | BTユニーク数 | 捕捉率<br>(ユニーク数) | マッチング数 | 捕捉率<br>(マッチング数) |
|-------|------|-----|-------|---------|----------------|--------|-----------------|
| 交差点1  | 1    | 流入  | 655   | 238     | 36%            | 42     | 6%              |
|       |      | 流出  | 1276  | 204     | 16%            | 41     | 3%              |
|       | 2    | 流入  | 1653  | 304     | 18%            | 59     | 4%              |
|       |      | 流出  | 1654  | 360     | 22%            | 94     | 6%              |
|       | 3    | 流入  | 1612  | 299     | 19%            | 63     | 4%              |
|       |      | 流出  | 990   | 295     | 30%            | 29     | 3%              |
| 交差点2  | 1    | 流入  | 1638  | 200     | 12%            | 45     | 3%              |
|       |      | 流出  | 1623  | 346     | 21%            | 45     | 3%              |
|       | 2    | 流入  | 2004  | 575     | 29%            | 87     | 4%              |
|       |      | 流出  | 2211  | 530     | 24%            | 108    | 5%              |
|       | 3    | 流入  | 1581  | 296     | 19%            | 48     | 3%              |
|       |      | 流出  | 1561  | 204     | 13%            | 36     | 2%              |
|       | 4    | 流入  | 2441  | 586     | 24%            | 109    | 4%              |
|       |      | 流出  | 2269  | 658     | 29%            | 100    | 4%              |
| 交差点3  | 1    | 流入  | 626   | 104     | 17%            | 17     | 3%              |
|       |      | 流出  | 567   | 80      | 14%            | 35     | 6%              |
|       | 2    | 流入  | 1938  | 691     | 36%            | 187    | 10%             |
|       |      | 流出  | 2154  | 225     | 10%            | 106    | 5%              |
|       | 3    | 流入  | 598   |         |                | 24     | 4%              |
|       |      | 流出  | 839   |         |                | 22     | 3%              |
|       | 4    | 流入  | 543   | 341     | 63%            | 36     | 7%              |
|       |      | 流出  | 653   | 311     | 48%            | 51     | 8%              |
|       | 5    | 流入  | 2325  | 882     | 38%            | 145    | 6%              |
|       |      | 流出  | 1817  | 791     | 44%            | 195    | 11%             |
| 交差点4  | 1    | 流入  | 1973  | 524     | 27%            | 235    | 12%             |
|       |      | 流出  | 1558  | 392     | 25%            | 58     | 4%              |
|       | 2    | 流入  | 579   | 190     | 33%            | 161    | 28%             |
|       |      | 流出  | 600   | 495     | 83%            | 45     | 8%              |
|       | 3    | 流入  | 1744  | 690     | 40%            | 56     | 3%              |
|       |      | 流出  | 2268  | 382     | 17%            | 277    | 12%             |
|       | 4    | 流入  | 192   |         |                | 13     | 7%              |
|       |      | 流出  | 64    |         |                | 85     | 133%            |

## 5. 4 OD 表の作成

本節では、調査によって取得したナンバープレートマッチングによる真値の OD 表作成方法と、Bluetooth 機器の OD 表作成方法とその結果について述べる。

### 5. 4. 1 真値の OD 表

真値とする OD 表については、まずビデオカメラで撮影された映像からビデオカメラの前を通過した車のナンバープレート 4 桁、通過時間を記録した。その際に、手前を走行する車体に隠れてナンバープレートが視認出来ない場合や、画質が悪く正確に数字が判別できない場合でも、通過台数を知るために記録する。合わせて、大型車もしくは軽自動車の場合にはフラグをつける。その後、エクセル VBA を用いて流入側で観測されてから 5 分以内に別地点の流出側で観測された場合に、1 サンプルとして OD 表に加算していくマクロを作成し OD 表を作成した。

しかし、前述の通りナンバープレートが視認出来ない場合や判別できない場合があり、マッチングできなかった車が含まれるため完全な真値とは言いがたい。そこで作成した OD 表を、各道路を通過した台数を用いた現在パターン法により拡張することにより、本研究における真値の OD 表として扱った。



表 46 真值 OD 表：交差点 1

|     | 地点1  | 地点2  | 地点3 | 計    |
|-----|------|------|-----|------|
| 地点1 | 0    | 500  | 155 | 655  |
| 地点2 | 817  | 0    | 835 | 1653 |
| 地点3 | 458  | 1154 | 0   | 1612 |
| 計   | 1276 | 1654 | 990 | 3920 |

表 47 真值 OD 表：交差点 2

|     | 地点1  | 地点2  | 地点3  | 地点4  | 計    |
|-----|------|------|------|------|------|
| 地点1 | 0    | 225  | 927  | 486  | 1638 |
| 地点2 | 132  | 0    | 315  | 1557 | 2004 |
| 地点3 | 1127 | 228  | 0    | 226  | 1581 |
| 地点4 | 364  | 1758 | 319  | 0    | 2441 |
| 計   | 1623 | 2211 | 1561 | 2269 | 7664 |

表 48 真值 OD 表：交差点 3

|     | 地点1 | 地点2  | 地点3 | 地点4 | 地点5  | 計    |
|-----|-----|------|-----|-----|------|------|
| 地点1 | 0   | 131  | 124 | 327 | 44   | 626  |
| 地点2 | 166 | 0    | 39  | 129 | 1605 | 1938 |
| 地点3 | 136 | 361  | 0   | 47  | 53   | 598  |
| 地点4 | 229 | 173  | 25  | 0   | 115  | 543  |
| 地点5 | 36  | 1488 | 651 | 149 | 0    | 2325 |
| 計   | 567 | 2154 | 839 | 653 | 1817 | 6030 |

表 49 真值 OD 表：交差点 4

|     | 地点1  | 地点2 | 地点3  | 地点4 | 計    |
|-----|------|-----|------|-----|------|
| 地点1 | 0    | 170 | 1799 | 4   | 1973 |
| 地点2 | 139  | 0   | 397  | 43  | 579  |
| 地点3 | 1414 | 313 | 0    | 16  | 1744 |
| 地点4 | 4    | 116 | 72   | 0   | 192  |
| 計   | 1558 | 600 | 2268 | 64  | 4489 |

#### 5. 4. 2 Bluetooth 機器の OD 表

Bluetooth 機器の OD 表については、まず Bluetooth スキャナで取得したデータの時間を正しい時間に補正した後、カーナビのデータのみを抽出する。同じ MAC アドレスが複数回検出されている場合には、初めて検出された MAC アドレスのみを抽出する。その後、エクセル VBA を用いて別地点で同じ MAC アドレスが検出されている場合に検出された時間を比較し、時間が早い地点を起点、遅い地点を終点として集計し OD 表を作成した。

しかし、交差点 3 と交差点 4 における調査の際に時間の補正に用いるスマートフォン内時間の記録ミスがあり、交差点 3 における調査からは 15 日間後、交差点 4 における調査からは 8 日間後のスマートフォン内時間と正確な時間の差分を用いて補正している。そのため正確な OD 表とは言いがたいが、再調査が困難であったため本研究ではこれらの OD 表を用いる。

表 50 Bluetooth 機器の OD 表：交差点 1

|      | 地点 1 | 地点 2 | 地点 3 | 計   |
|------|------|------|------|-----|
| 地点 1 | 0    | 35   | 7    | 42  |
| 地点 2 | 37   | 0    | 22   | 59  |
| 地点 3 | 4    | 59   | 0    | 63  |
| 計    | 41   | 94   | 29   | 164 |

表 51 Bluetooth 機器の OD 表：交差点 2

|      | 地点 1 | 地点 2 | 地点 3 | 地点 4 | 計   |
|------|------|------|------|------|-----|
| 地点 1 | 0    | 5    | 22   | 18   | 45  |
| 地点 2 | 8    | 0    | 7    | 72   | 87  |
| 地点 3 | 23   | 15   | 0    | 10   | 48  |
| 地点 4 | 14   | 88   | 7    | 0    | 109 |
| 計    | 45   | 108  | 36   | 100  | 289 |

表 52 Bluetooth 機器の OD 表：交差点 3

|      | 地点 1 | 地点 2 | 地点 3 | 地点 4 | 地点 5 | 計   |
|------|------|------|------|------|------|-----|
| 地点 1 | 0    | 4    | 1    | 8    | 4    | 17  |
| 地点 2 | 3    | 0    | 1    | 6    | 177  | 187 |
| 地点 3 | 1    | 3    | 0    | 8    | 12   | 24  |
| 地点 4 | 23   | 9    | 2    | 0    | 2    | 36  |
| 地点 5 | 8    | 90   | 18   | 29   | 0    | 145 |
| 計    | 35   | 106  | 22   | 51   | 195  | 409 |

表 53 Bluetooth 機器の OD 表：交差点 4

|      | 地点 1 | 地点 2 | 地点 3 | 地点 4 | 計   |
|------|------|------|------|------|-----|
| 地点 1 | 0    | 38   | 178  | 19   | 235 |
| 地点 2 | 34   | 0    | 88   | 39   | 161 |
| 地点 3 | 23   | 6    | 0    | 27   | 56  |
| 地点 4 | 1    | 1    | 11   | 0    | 13  |
| 計    | 58   | 45   | 277  | 85   | 465 |

## 5. 5 Bluetooth 機器を用いた OD 交通量の推定, 誤差算出

前節より, 各交差点における真値の OD 表と Bluetooth 機器の OD 表を作成した. これらの OD 表を用いることにより各交差点における OD 交通量の推定と推定誤差の算出を行う. OD 交通量の推定には, シミュレーションと同様に第 3 章 1 節で紹介した現在パターン法のフレーター法を用いる.

誤差の算出には, 第 3 章 2 節で紹介した推定誤差率 (1 台当たりの RMSE) を用いる. また, 真値と推定値の相関係数についても比較する.

結果として図 25 に示すように, 交差点 1 においては推定誤差率 4.29% 相関係数 0.712, 交差点 2 においては推定誤差率 1.31% 相関係数 0.902, 交差点 3 においては推定誤差率 1.45% 相関係数 0.932, 交差点 4 においては推定誤差率 1.96% 相関係数 0.907 となった.

本研究において真値と推定値を比較すると, 傾きが 1, 切片が 0 とならない結果となった. Bluetooth を利用した OD 交通量推定の系統誤差が影響していると考えられる. そのため, 交通量の多さや構成する道路本数の数といった条件を新たなパラメータとして, OD 交通量推定の推定式に加えることにより, より正確な交通量推定が可能になると考えられる.

表 54 真値と推定値 : 交差点 1

|     | 地点1  | 地点2  | 地点3 | 計    |     | 地点1  | 地点2  | 地点3 | 計    |
|-----|------|------|-----|------|-----|------|------|-----|------|
| 地点1 | 0    | 500  | 155 | 655  | 地点1 | 0    | 401  | 241 | 642  |
| 地点2 | 817  | 0    | 835 | 1653 | 地点2 | 1021 | 0    | 714 | 1735 |
| 地点3 | 458  | 1154 | 0   | 1612 | 地点3 | 207  | 1336 | 0   | 1543 |
| 計   | 1276 | 1654 | 990 | 3920 | 計   | 1228 | 1737 | 955 | 3920 |

表 55 真値と推定値 : 交差点 2

|     | 地点1  | 地点2  | 地点3  | 地点4  | 計    |     | 地点1  | 地点2  | 地点3  | 地点4  | 計    |
|-----|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| 地点1 | 0    | 225  | 927  | 486  | 1638 | 地点1 | 0    | 128  | 1020 | 497  | 1645 |
| 地点2 | 132  | 0    | 315  | 1557 | 2004 | 地点2 | 252  | 0    | 264  | 1492 | 2008 |
| 地点3 | 1127 | 228  | 0    | 226  | 1581 | 地点3 | 920  | 382  | 0    | 276  | 1578 |
| 地点4 | 364  | 1758 | 319  | 0    | 2441 | 地点4 | 453  | 1709 | 271  | 0    | 2433 |
| 計   | 1623 | 2211 | 1561 | 2269 | 7664 | 計   | 1625 | 2219 | 1555 | 2264 | 7664 |

表 56 真値と推定値 : 交差点 3

|     | 地点1 | 地点2  | 地点3 | 地点4 | 地点5  | 計    |     | 地点1 | 地点2  | 地点3 | 地点4 | 地点5  | 計    |
|-----|-----|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|-----|-----|------|------|
| 地点1 | 0   | 131  | 124 | 327 | 44   | 626  | 地点1 | 0   | 224  | 94  | 197 | 109  | 624  |
| 地点2 | 166 | 0    | 39  | 129 | 1605 | 1938 | 地点2 | 61  | 0    | 51  | 55  | 1677 | 1844 |
| 地点3 | 136 | 361  | 0   | 47  | 53   | 598  | 地点3 | 56  | 196  | 0   | 229 | 114  | 594  |
| 地点4 | 229 | 173  | 25  | 0   | 115  | 543  | 地点4 | 324 | 154  | 68  | 0   | 19   | 564  |
| 地点5 | 36  | 1488 | 651 | 149 | 0    | 2325 | 地点5 | 111 | 1516 | 600 | 179 | 0    | 2407 |
| 計   | 567 | 2154 | 839 | 653 | 1817 | 6030 | 計   | 551 | 2090 | 813 | 660 | 1919 | 6033 |

表 57 真値と推定値 : 交差点 4

|     | 地点1  | 地点2 | 地点3  | 地点4 | 計    |     | 地点1  | 地点2 | 地点3  | 地点4 | 計    |
|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|
| 地点1 | 0    | 170 | 1799 | 4   | 1973 | 地点1 | 0    | 342 | 1703 | 4   | 2050 |
| 地点2 | 139  | 0   | 397  | 43  | 579  | 地点2 | 264  | 0   | 316  | 1   | 581  |
| 地点3 | 1414 | 313 | 0    | 16  | 1744 | 地点3 | 1350 | 244 | 0    | 65  | 1659 |
| 地点4 | 4    | 116 | 72   | 0   | 192  | 地点4 | 22   | 13  | 164  | 0   | 199  |
| 計   | 1558 | 600 | 2268 | 64  | 4489 | 計   | 1635 | 600 | 2183 | 70  | 4489 |

表 58 推定誤差まとめ

| 調査交差点 | R2値    | 相関係数  | RMSE   | 総交通量 | 推定誤差率 |
|-------|--------|-------|--------|------|-------|
| 交差点1  | 0.8605 | 0.712 | 168.15 | 3920 | 4.3%  |
| 交差点2  | 0.9678 | 0.902 | 100.6  | 7664 | 1.3%  |
| 交差点3  | 0.9569 | 0.929 | 81.63  | 6033 | 1.6%  |
| 交差点4  | 0.9786 | 0.907 | 88.01  | 4489 | 2.0%  |

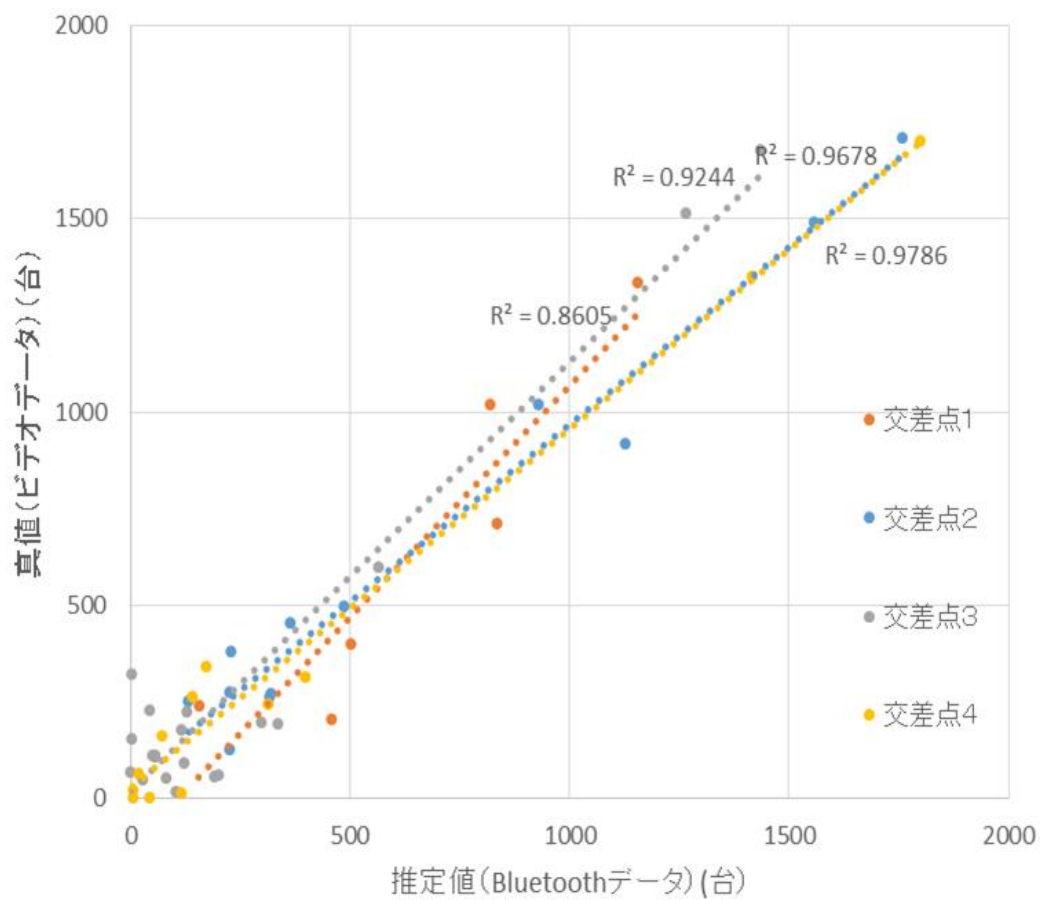


図 27 真値と推定値の比較

## 5. 6 OD 交通量推定と交差点特性の関係性の考察

前節において得られた、Bluetooth を用いた OD 交通量推定と誤差算出の結果から、道路本数や OD パターンといった交差点特性との関係性について考察する。また第 4 章 4 節において、シミュレーションによる OD 交通量推定と交差点形状の関係性を考察した。シミュレーションによる考察と実測調査による考察を比較することにより、シミュレーションの結果について精査する。

まず交差点を構成する道路本数に着目すると、道路本数が最も多い交差点 3 で相関係数が最も高く、最も少ない交差点 1 で相関係数が最も低い結果となった。また、道路本数が同じ交差点 2 と交差点 3 では相関係数がほぼ同じ結果となった。その要因として、道路本数が増えることにより推定に用いる変数が多くなるために、推定の誤差が小さくなると考える。また総交通量に対するスキヤナの設置数が多くなるため、検知可能な MAC アドレス数が多くなり推定の誤差が小さくなると考える。

次に総交通量や道路ごとの交通量の差に着目する。道路本数が同じ交差点 2 と交差点 4 で比較すると、総交通量の多かった交差点 2 の推定誤差率が小さくなった。また、交差点 2 は“1 方向に集中”，交差点 3 は“1 点のみ少ない”に該当する OD パターンとなり、相関係数はほぼ同じとなった。

これらのことから、シミュレーションで得られた結果と同様の結果が得られたため、交差点特性と OD 交通量推定の関係性は正しいものとする。しかし、道路ごとの交通量に差がない場合とある場合の OD 交通量推定誤差の比較について本研究においては議論することが不可能なため、今後の課題とする。

## 5. 7 その他の要因との関係性

本節ではシミュレーションにおいて考慮することの出来なかった要因について、調査時に得られたデータより考察する。

具体的には、スキャナごとの捕捉率を向上させることで推定誤差を小さくすることが出来るのではと考えたため、スキャナごとの捕捉率に影響を与える要因について撮影した映像から情報を整理し、考察する。まず大型トラックや工事用車両等が車群に混在すると Bluetooth の電波が反射、拡散し捕捉率が下がるのではと考えたため、撮影した映像から大型車混在率の算出する。また、スキャナ前の交通流が自由流か渋滞流かによって、捕捉率に影響を与えているのではと考え、信号待ち行列がスキャナ前まで延伸している時間を整理した。

### 5. 7. 1 大型車混在率との関係

本研究における大型車とは一般的に用いられる大型車の定義とは異なり、図 26 のイメージのような Bluetooth の電波を遮蔽すると考えられる車高を持つトラックや工事用車両を指す。

まず各交差点の総交通量に対する総大型車数の大型車混在率と推定誤差の関係について考察する。大型車混在率と OD 交通量推定の相関係数を比較すると、大型車混在率が高いほど相関が良いという予想と逆の結果が得られた。要因として、車群内の大型車台数が増加すると道路の交通容量が下がり、渋滞しやすくなる。このことから、スキャナ前の交通流が停滞している状況が増加し、Bluetooth の MAC アドレスを補足しやすい状況となっていると考えた。

次にスキャナごとの Bluetooth の捕捉率と大型車混在率について考察するために、捕捉率の時系列変化と大型車が通過するタイミングを比較した。結果としてスキャナの検知範囲が不確定なため検知時間の信頼性が 1 秒単位では担保できないこと、スキャナの受信面が向く方向と映像の位置が一致しないことから、相関が見られなかった。しかし、捕捉率と大型車混在率の時系列変化の関係性を把握することにより、Bluetooth の MAC アドレス取得調査の際に考慮すべき点が新たに判明するため、今後の課題として取り組むべきであると考えた。



図 28 大型車イメージ

表 59 大型車混在率と推定誤差の比較

| 調査交差点 | 交通量  | 大型車数 | 混入率  | 推計誤差率 | 相関係数  |
|-------|------|------|------|-------|-------|
| 交差点1  | 3920 | 220  | 5.6% | 4.29% | 0.712 |
| 交差点2  | 7664 | 669  | 8.7% | 1.31% | 0.902 |
| 交差点3  | 6030 | 444  | 7.4% | 1.45% | 0.932 |
| 交差点4  | 4488 | 389  | 8.7% | 1.96% | 0.907 |

### 5. 7. 2 自由流, 渋滞流との関係

各スキヤナの検知した MAC アドレス数推移と断面交通量の推移を比較すると, 本来であれば同じ線形となるが, 増加の推移に違いが見られた. この現象はスキヤナが Bluetooth を検知しやすい状況と検知しづらい状況があることを示していると考えられる. さらに頻繁に渋滞する地点においてこの現象が顕著にみられたため, 渋滞していた地点の映像からスキヤナ設置箇所まで信号待ち行列が延伸している時間を抽出し, 通過交通量推移のグラフと重ね合わせることで検知に交通流の状況が関係するか検証する. 本項では, 渋滞流が観測されている地点のみ紹介する. その他の地点に関しては付録として末尾に記載する.

結果として図 27~37 に示すように, 信号待ち行列がスキヤナ前まで延伸する現象が発生する時間と, 検知した MAC アドレス数推移の傾きが大きくなる時間が, どの交差点においても一致した. このことからスキヤナの捕捉率と交通流の状況に関係があると考えられる. 要因として, 信号待ち行列がスキヤナ前まで延伸すると車 1 台がスキヤナ前に存在する時間が増加し, 結果として補足しやすくなると考える.

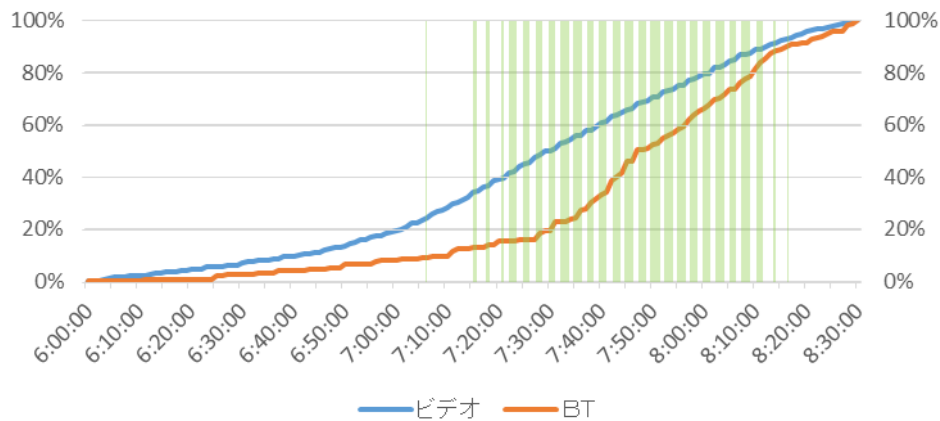


図 29 交差点 1 地点 1 流入側の通過交通量推移と渋滞の関係

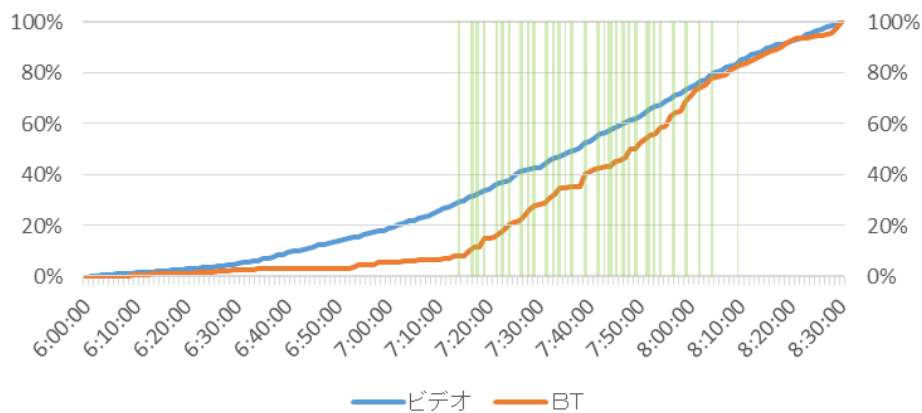


図 30 交差点 1 地点 3 流入側の通過交通量推移と渋滞の関係



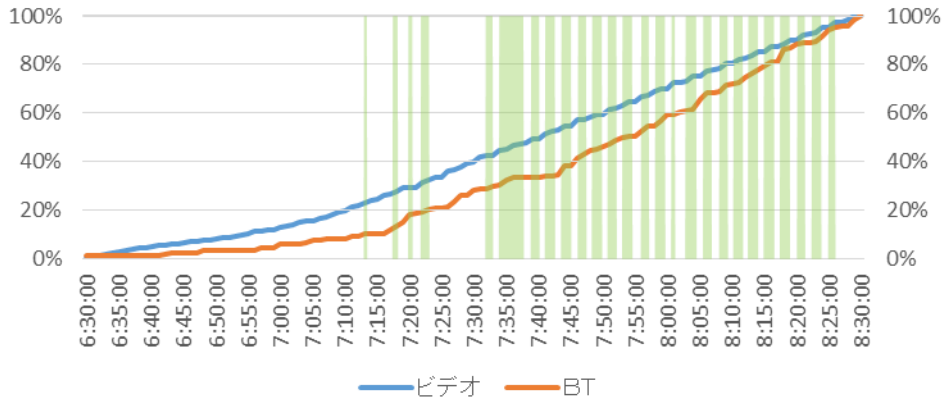


図 31 交差点 2 地点 1 流入側の通過交通量推移と渋滞の関係

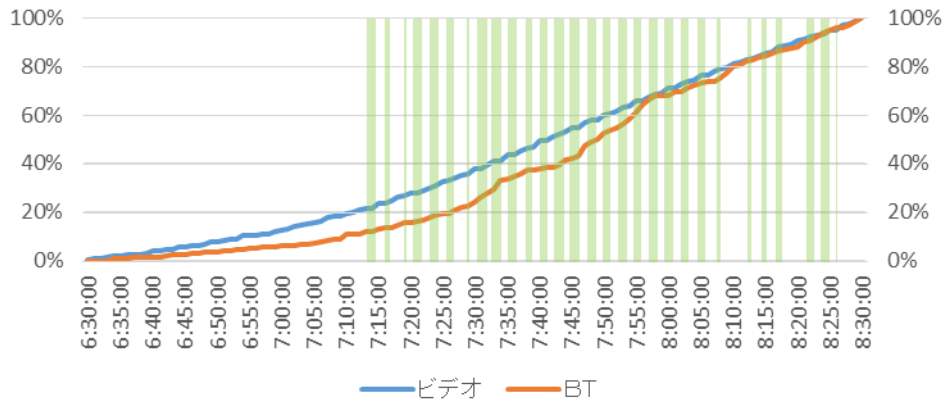


図 32 交差点 2 地点 2 流入側の通過交通量推移と渋滞の関係

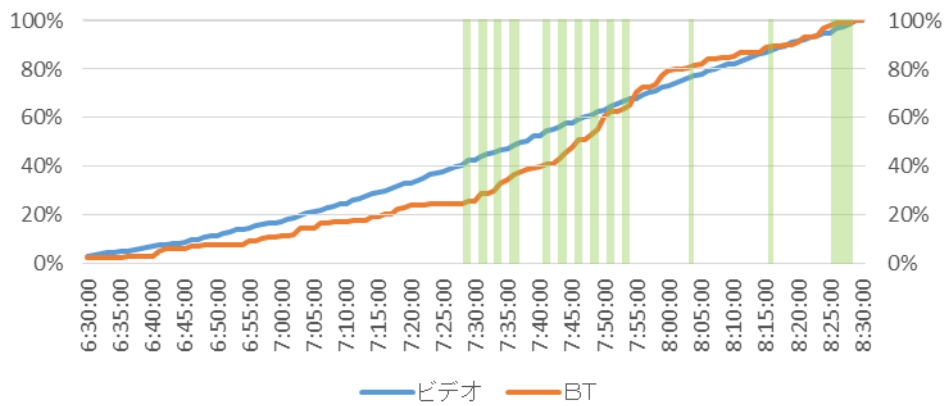


図 33 交差点 2 地点 3 流入側の通過交通量推移と渋滞の関係

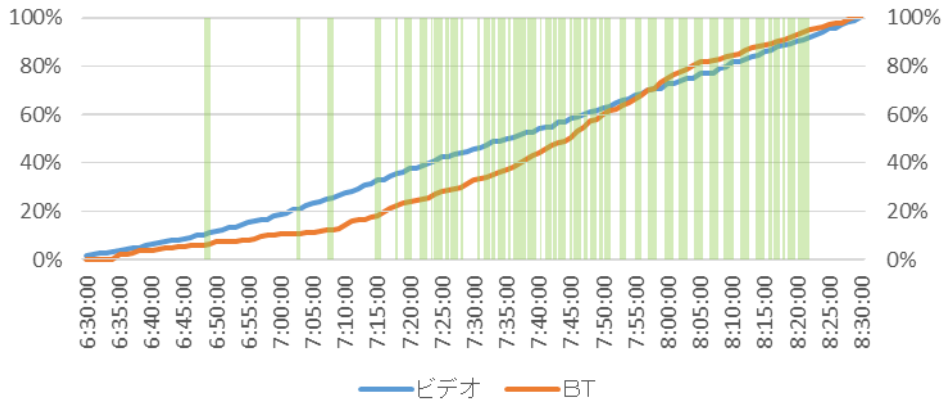


図 34 交差点 2 地点 4 流入側の通過交通量推移と渋滞の関係

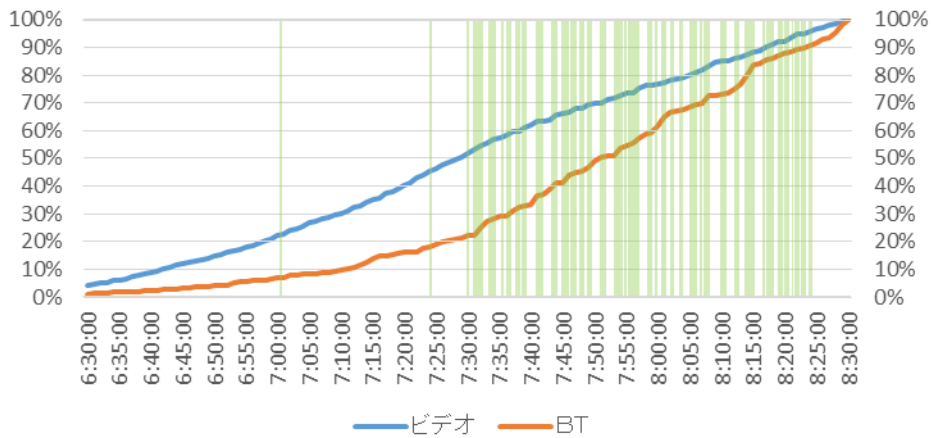


図 35 交差点 3 地点 2 流入側の通過交通量推移と渋滞の関係

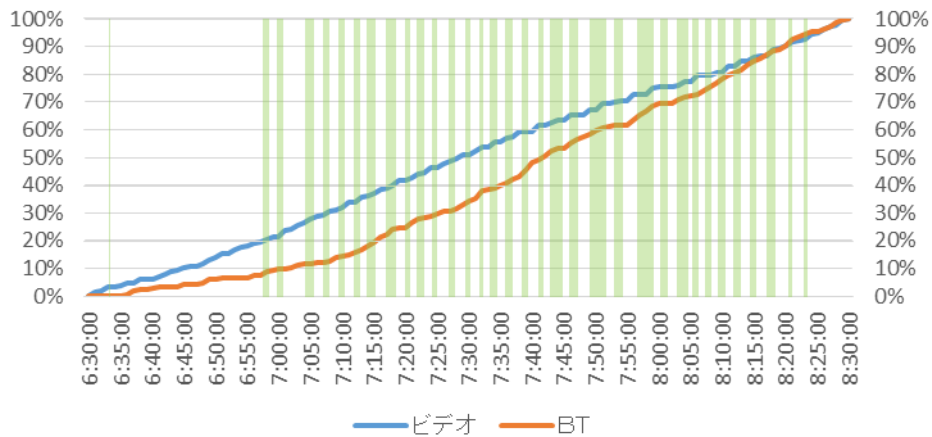


図 36 交差点 3 地点 5 流入側の通過交通量推移と渋滞の関係

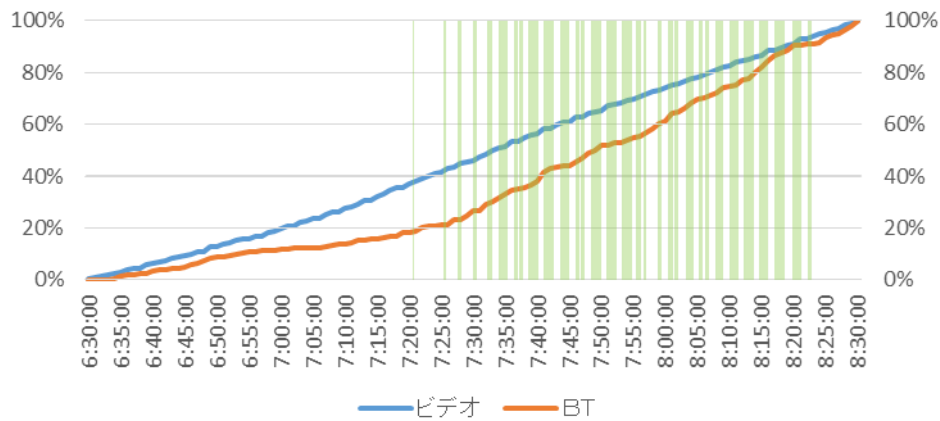


図 37 交差点 4 地点 1 流入側の通過交通量推移と渋滞の関係

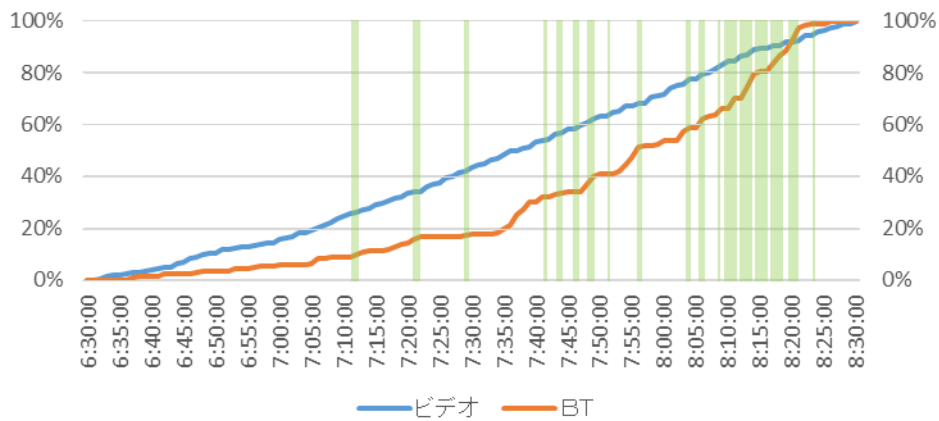


図 38 交差点 4 地点 2 流入側の通過交通量推移と渋滞の関係

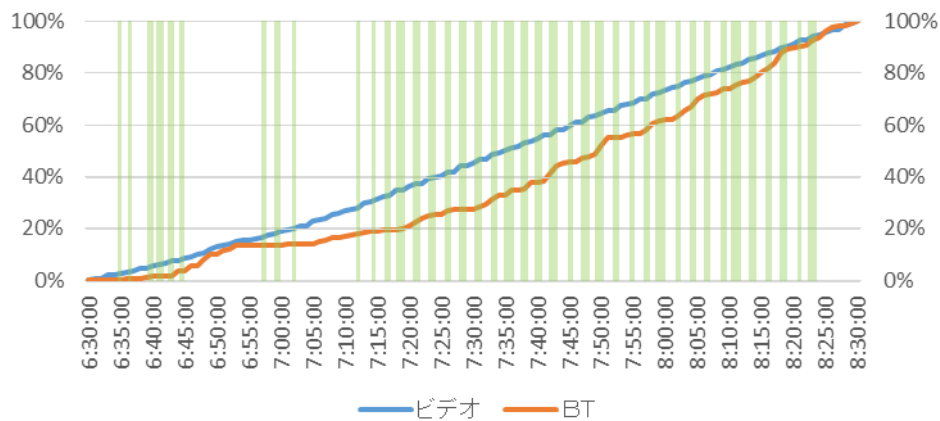


図 39 交差点 4 地点 3 流出側の通過交通量推移と渋滞の関係

### 5. 7. 3 その他の要因

本研究における調査によって、未だ推考する余地はあるものの大型車混在率と信号待ち行列がスキャナの検知と関係すると考察することが出来た。その他に調査中に考えた要因として、道路ごとの交通密度の時系列変化や信号の捌け量、捌け率、周囲の建造物の状況といった要因が影響するのではと考えた。

## 5. 8 Bluetooth 機器装備率の推定

実測調査で得られた OD 交通量, MAC アドレスのユニーク数, 推定誤差率の値を用いることで, シミュレーションを用いた検知率と装備率に関する感度分析から Bluetooth 機器の装備率を推定することが理論上可能である. 具体的には, 実測調査の交差点を構成する道路本数, 作成した OD 交通量を入力値としてシミュレーションを行い, 出力された結果から検知率と装備率に関する感度分析をする. 捕捉率は検知率と装備率を掛け合わせることで算出することが可能であるため, 実測調査の捕捉率を解とする検知率と装備率の組み合わせの推定誤差率を感度分析結果から抽出し, 近似式を構築することで実測調査における装備率を推定可能である.

しかし, 本研究における実測調査では, 推定誤差率がシミュレーションの結果を大幅に上回り, 装備率の推定をすることが出来なかった. 実測調査の際に発生する大型車の影響や時間ごとの交通量の差といった, 捕捉率に影響を与える要因をシミュレーションに反映できていないためだと考える. 今後の継続研究により, シミュレーションに入力するパラメータを推定することで装備率の推定が可能になると考える.

## 5. 9 実務における実現の可能性

既往研究より, OD 交通量の推定は相関係数 0.8 以上, 推定誤差率 10%以内という基準が一般的に用いられており, 本研究においてもこの値を適応する. その結果本研究における調査の方法は, 推定誤差率に関してはすべての交差点で基準値を満たしており, 相関係数に関しては, 交差点 1 を除く 3 箇所基準を満たした. このことから, 交差点を構成する道路本数が 4 本以上の交差点においては Bluetooth 端末を利用した 1 つの交差点における OD 交通量推定は可能である. 加えて, より精度良く OD 交通量推定が可能の特徴を整理することが出来たため, 今後の継続研究次第ではどの交差点においても適応可能となり, 実務でも利用可能になると考える.

## 5. 10 本章の結び

本章では, 複数地点の信号交差点において Bluetooth MAC アドレスと真値 OD の取得調査を行い, 実際に OD 交通量を推定し誤差を算出することにより, シミュレーションから得られた OD 交通量推定に影響を与える要因の精査と新たな要因の発見に加え, 実務における Bluetooth を活用した OD 交通量推定の実現可能性について検討した. その結果, シミュレーションと同じ傾向が見られたため, 交差点形状と OD パターンが OD 交通量推定に与える影響については正しいと結論付けることが出来た. また, 大型車混在率やスキャナ前の渋滞状況が OD 交通量推定に与える影響を新たに把握することが出来た. 加えて信号交差点における Bluetooth を活用した OD 交通量推定が, 実務でも利用可能であると結論付けることが出来た.

次章にて, 本研究で得られた成果と今後の課題について整理する.

## 第6章 結論

### 6.1 本研究の成果

本研究は交通渋滞を解消するために、Bluetooth を活用した OD 交通量推定による交通状態の観測に焦点を当て、OD 交通量推定に影響を与える要因を把握することを目的とした。

まずシミュレーションにより Bluetooth を活用した OD 交通量推定に Bluetooth 端末の装備率、検知率や交差点特性が与える影響を感度分析により把握した。具体的には、交差点を構成する道路本数に着目すると、道路本数が多いほど OD 交通量推定の精度がよい結果となった。交通量に着目した場合、交通量が多いほど OD 交通量推定の精度がよい結果となった。また、基本 OD と比較して、道路ごとに交通量に差がある場合に OD 交通量推定の精度がよい結果となった。また装備率と検知率に関する感度分析の結果、OD 交通量推定に対する装備率と検知率の影響を三次元分布で整理することができ、Bluetooth 搭載車数の推定が理論上可能となった。加えて信号交差点に適した現在パターン法の計算式はフローター法であると結論付けた。

次に実測調査を行い、得られた Bluetooth MAC アドレスデータと真値 OD 交通量を用いた OD 交通量推定により、シミュレーションで得られた OD 交通量推定に影響を与える要因について精査するとともに新たな要因を把握した。具体的には、まず交差点を構成する道路本数に着目すると、道路本数が最も多い交差点 3 で相関係数が最も高く、最も少ない交差点 1 で相関係数が最も低い結果となった。また、道路本数が同じ交差点 2 と交差点 3 では相関係数がほぼ同じ結果となった。次に総交通量や道路ごとの交通量の差に着目する。道路本数が同じ交差点 2 と交差点 4 で比較すると、総交通量の多かった交差点 2 の推定誤差率が小さくなった。また、交差点 2 は“1 方向に集中”，交差点 3 は“1 点のみ少ない”に該当する OD パターンとなり、相関係数はほぼ同じとなった。これらのことから、シミュレーションで得られた結果と同様の結果が得られたため、交差点特性と OD 交通量推定の関係性は正しいものと考えられる。加えて、大型車混在率と渋滞流はスキャナの捕捉率に影響を与えると把握できたため、OD 交通量推定の精度にも影響を与えられる。

また、OD 交通量の推定は相関係数 0.8 以上、推定誤差率 10%以内という基準が一般的に用いられており、本研究においてもこの値を適応すると推定誤差率に関してはすべての交差点で基準値以内となり、相関係数に関しては、交差点 1 を除く 3 箇所基準値以上となった。このことから、交差点を構成する道路本数が 4 本以上の交差点においては Bluetooth 端末を利用した 1 つの交差点における OD 交通量推定は可能であると結論付けた。

以上が本研究の成果であり、これらの成果は交通状況を把握し渋滞対策をするための新たなアプローチとして、Bluetooth を用いた方法を実務に利用可能か検討するのに有益な情報である。

## 6. 2 今後の課題

今後の課題として、利用するスキヤナの捕捉可能範囲を把握することにより時間の精度を高くすることや、設置する場所の周囲環境と捕捉率の関係性を明らかにするといった、スキヤナに焦点を当てた調査が必要であると考ええる。

また、実測調査により交通密度や信号捌き量の時系列変化といった交通状況と OD 交通量推定の関係性を把握することにより、より実用に適した交差点を選定するための情報を整理することが必要であると考ええる。

本研究における実測調査では、推定誤差率がシミュレーションの結果を大幅に上回り、装備率の推定をすることが出来なかった。実測調査の際に発生する大型車の影響や時間ごとの交通量の差といった、捕捉率に影響を与える要因をシミュレーションに反映できていないためだと考える。今後の継続研究により、シミュレーションに入力するパラメータを推定することで装備率の推定が可能になると考える。

本研究で対象としたネットワーク範囲は 1 つの交差点のみである。しかし、実務においてはより広域なネットワークを対象とすることが予測されるため、対象とする交差点の数を変動させた場合の OD 交通量の推定誤差への影響を把握することが必要であると考ええる。

## 謝辞

本論文は、筆者が高知工科大学大学院工学研究科基盤工学専攻修士課程に在籍中の研究成果をまとめたものである。高知工科大学システム工学群建築・都市デザイン専攻准教授西内裕晶先生には主指導教員として本研究の遂行に当たって終始御指導を戴いた。ここに深謝の意を表す。同専攻教授高木方隆先生、並びに、同専攻准教授赤塚慎先生には副指導教員としてご助言を戴くとともに細部にわたり御指導を戴いた。ここに深謝の意を表す。本研究の実測実験に際しては、株式会社地域未来研究所の菅芳樹様よりアプリケーションを使用させて戴くとともに有益な御指導を戴いた。ここに感謝の意を表す。また、本専攻都市・交通計画研究室の各位には研究遂行にあたり、調査・データ整理への協力や有益なご助言を戴いた。ここに感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 橋本浩良, 水木智英, 高宮進: プローブデータを利用したボトルネック交差点とその影響範囲の特定方法, 土木計画学研究・論文集, vol.70, pp.1159-1166, 2014
- 2) 中山栄作, 宇野伸, 倉内文孝, 大藤武彦: 交通流シミュレーションにおける ETC 統計データに基づく OD 交通量の適用評価, 交通工学研究発表論文集, vol.29, CD-ROM, 2009
- 3) 花房比佐友, 吉井稔雄, 堀口良太, 赤羽弘和, 片倉正彦, 桑原雅夫: 交通シミュレーション再現性検証用データセットの構築, 土木学会論文集, vol.688, pp.115-123, 2001
- 4) 瀬尾亨: データ融合に基づく交通状態推定における交通流モデルの比較分析, 土木計画学研究・講演集, vol.57, CD-ROM, 2018
- 5) 向井伸治, 片倉正彦, 桜田陽一: シミュレーションによる交通信号制御の効果評価分析, 土木計画学研究・講演集, vol.9, 1986
- 6) 金井翔哉, 今井龍一, 松島敏和, 中川圭正: ETC2.0 プローブ情報を用いた交差点流入部における交通状況の把握手法, 土木学会年次学術講演会講演概要集, vol.73, CD-ROM, 2018
- 7) 佐田安明, 久井守, 南正昭: ネットワーク全体からみた渋滞リンクのオフセット最適化, 土木学会年次学術講演会講演概要集, vol.54, pp.346-347, 1999
- 8) 李家帥, 高山純一, 中山昌一郎, 牛場高志: ミクロ交通シミュレーションを用いた金沢市における LRT 導入の自動車交通流に及ぼす影響評価, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.331-332, 2010
- 9) 奥嶋政嗣: 個別車両の経路変更を考慮した交通シミュレーションの構築, 土木計画学研究・講演集, vol.29, 2004
- 10) 堀口良太: 動的交通シミュレーションの再現性指標に関する適正性の考察, 土木計画学研究・論文集, vol.20, pp.983-988, 2003



- 11) 秋山孝正, 奥嶋政嗣: シミュレーション型手法による交通安全分析, **土木学会年次学術講演会講演会講演概要集**, vol.59, pp.356-357, 2004
- 12) 高安杏奈, 原祐輔, 桑原雅夫: 入力データの確率変動を考慮した交通状態推定-Variational Theory に基づいた解析と検証-, **土木計画学研究・講演集**, vol.53, pp.1232-1239, 2016
- 13) Wasson.J.S,Sturdevant.J.R and Bullock.D.M: Realtime taravel time estimates using media access control address matching,, **ITE Journal** ,Vol.78,pp.20-23,2008.
- 14) Bhaskar.A and Chung.E : Fundamental understanding on the use of Bluetooth scanner as a complementary transport data , **Transportation Research PartC**,Vol.37,pp.42-72,2013.
- 15) 北澤俊彦, 塩見康博, 田名部淳, 菅芳樹, 萩原武司: Bluetooth 通信を用いた旅行時間計測に関する基礎的分析,土木計画学研究・論文集,Vol.31,pp.501-508,2014.
- 16) 吉井稔雄, 西内裕晶, 塩見康博, 尾高慎二, 倉内慎也: Bluetooth スキャナを用いた MAC アドレス観測による OD 交通量推定方法,土木計画学研究・講演集,Vol.52,CD-ROM,2015.
- 17) 坪田隆宏, 吉井稔雄, 藤井浩史: Bluetooth 検知技術を活用した交通量推定,土木計画学研究・論文集,Vol.74,pp.1283-1289,2018
- 18) 青柳達也, 石坂哲弘, 安藤正志: Bluetooth MAC アドレスによる交通状態推定方法の検証-実測とマイクロ交通シミュレーションを用いて-,土木学会年次学術講演会講演概要集,Vol.72,pp.195-196,2017.
- 19) 坪田隆宏, 吉井稔雄, 藤井浩史, 河野侑奈: Bluetooth スキャナの指向性と設置方向を考慮した MAC アドレスの検知確率推定モデル,交通工学論文集,Vol.3,pp.37-43,2017.
- 20) 西内裕晶, 塩見康博, 倉内慎也, 吉井稔雄, 菅芳樹: 移動体データ取得のための Bluetooth MAC アドレス検知の指向性に関する基礎分析,土木学会論文集 F3,Vol.71,pp.40-46,2015.
- 21) J.Barcerro, L.Montero, M.Bullejos, O.Serch, C.Carmora : Dynamic OD Matrix Estimation Exploiting Bluetooth Data in Urban Networks, **Recent Researches in Automatic Control and Electronics**
- 22) 平成 27 年度全国道路・街路交通情勢調査 一般交通量調査集計表 交通量整理表,<<http://www.mlit.go.jp/road/census/h27/data/pdf/syuukei04.pdf>>(入手 2018.11.30)
- 23) 国土交通省・四国地方整備局,第 22 回 高知県渋滞対策協議会説明資料,<[http://www.skr.mlit.go.jp/tosakoku/information/public\\_comment/kaigisiryoyou\\_22.pdf](http://www.skr.mlit.go.jp/tosakoku/information/public_comment/kaigisiryoyou_22.pdf)>(入手 2019.05.15)

# 付録

付録 1：ビデオデータと Bluetooth データの通過交通量推移

本稿第 5 章 7 節 2 項にて記載できなかった地点の比較結果を記載する。

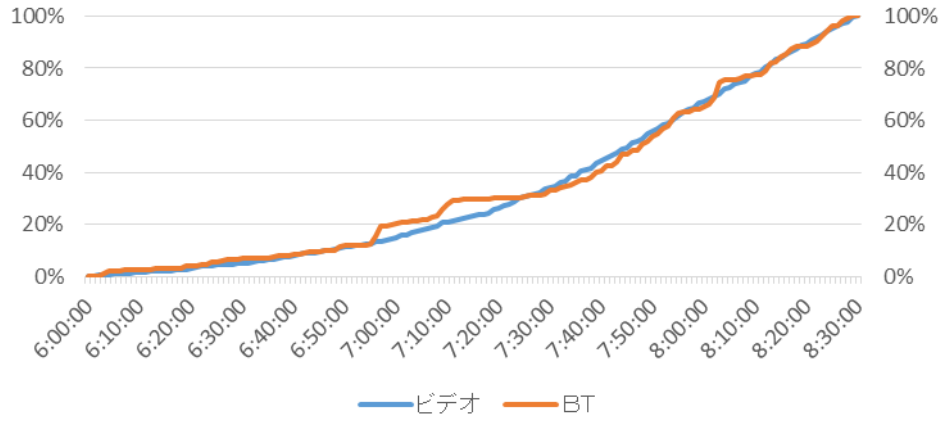


図 40 交差点 1 地点 1 流出側の通過交通量推移

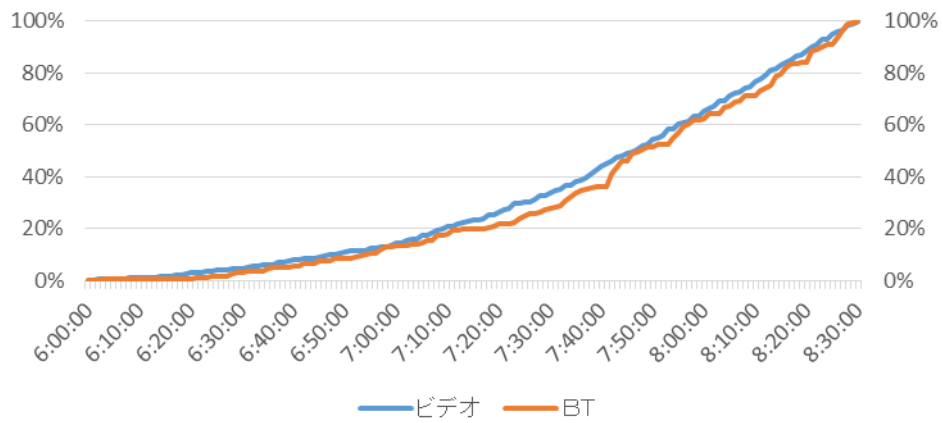


図 41 交差点 1 地点 2 流入側の通過交通量推移

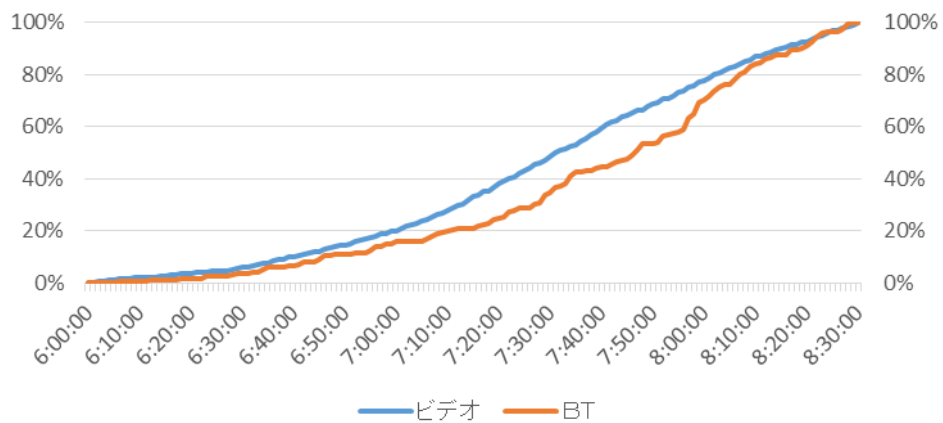


図 42 交差点 1 地点 2 流出側の通過交通量推移

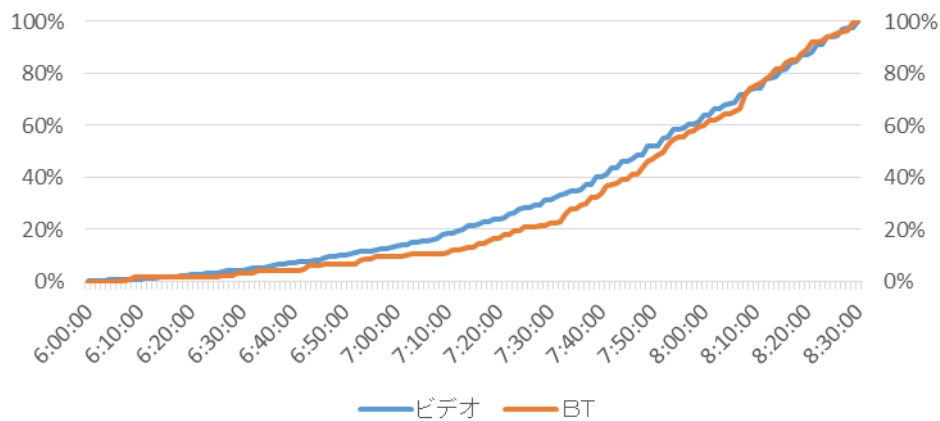


図 43 交差点 1 地点 3 流出側の通過交通量推移

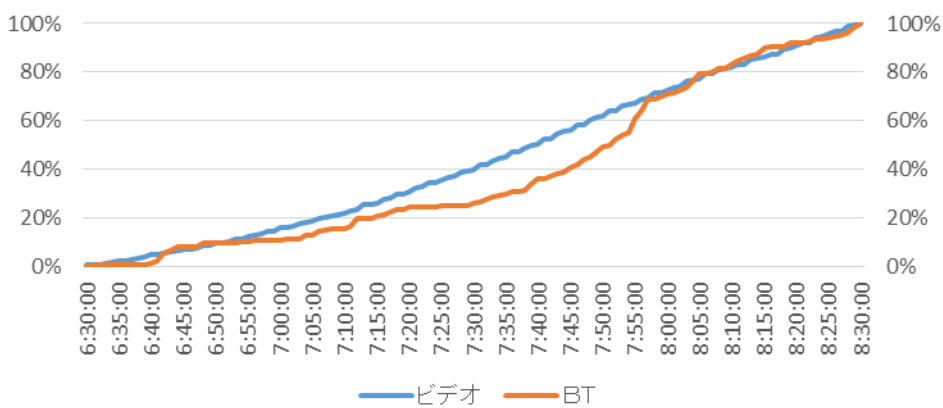


図 44 交差点 2 地点 1 流出側の通過交通量推移

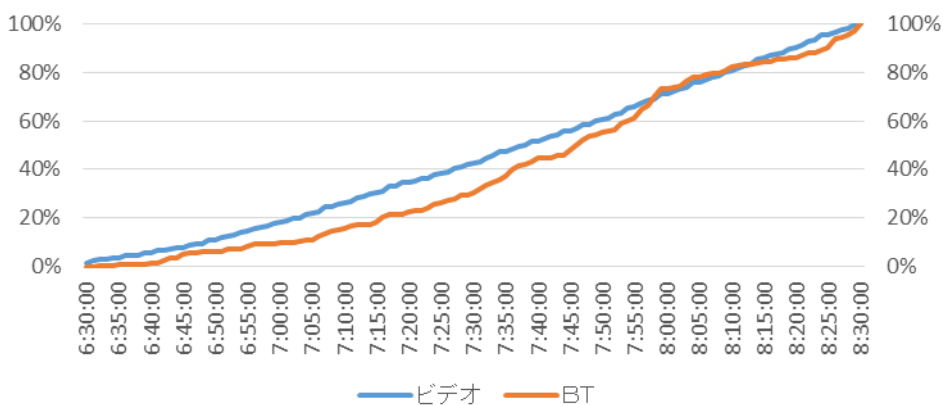


図 45 交差点 2 地点 2 流出側の通過交通量推移

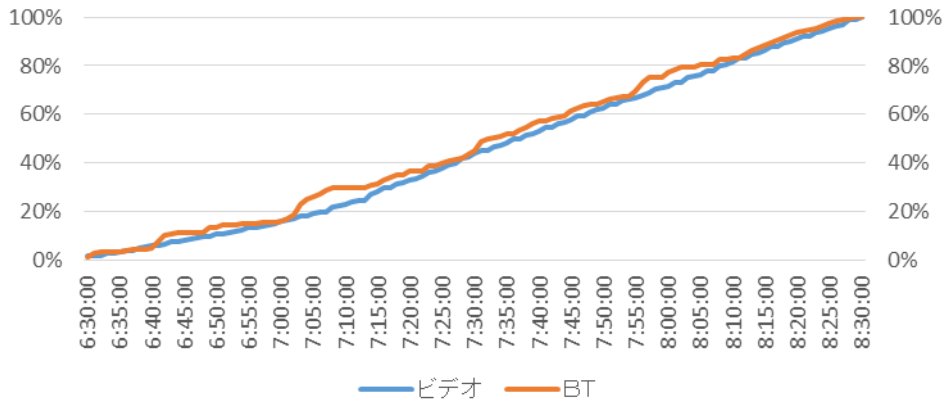


図 46 交差点 2 地点 3 流出側の通過交通量推移

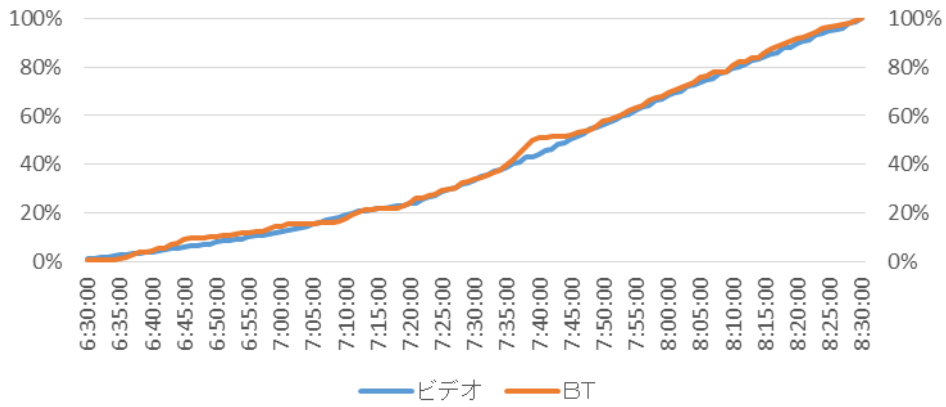


図 47 交差点 2 地点 4 流出側の通過交通量推移

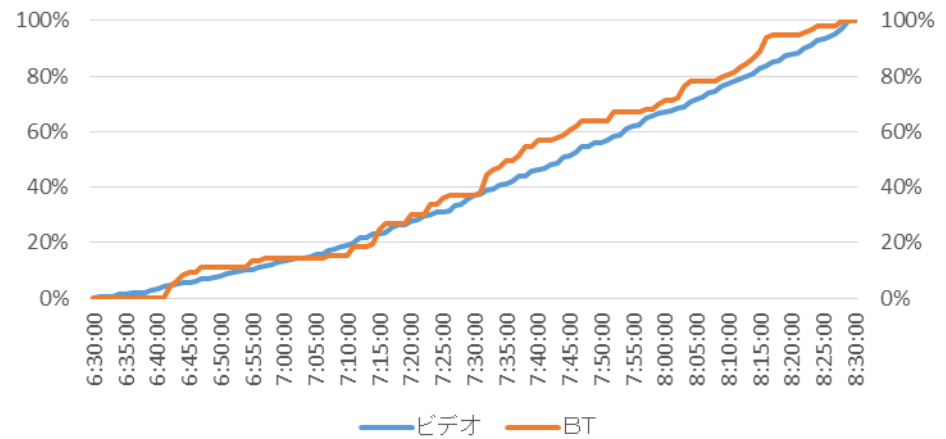


図 48 交差点 3 地点 1 流入側の通過交通量推移

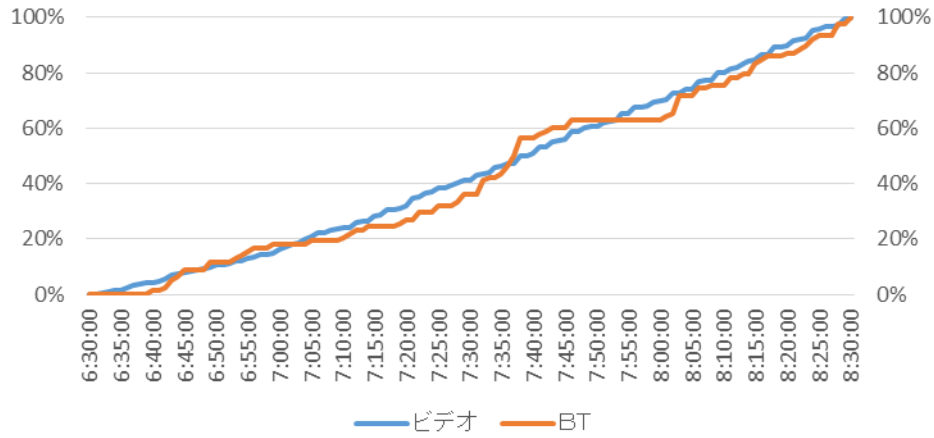


図 49 交差点 3 地点 2 流出側の通過交通量推移

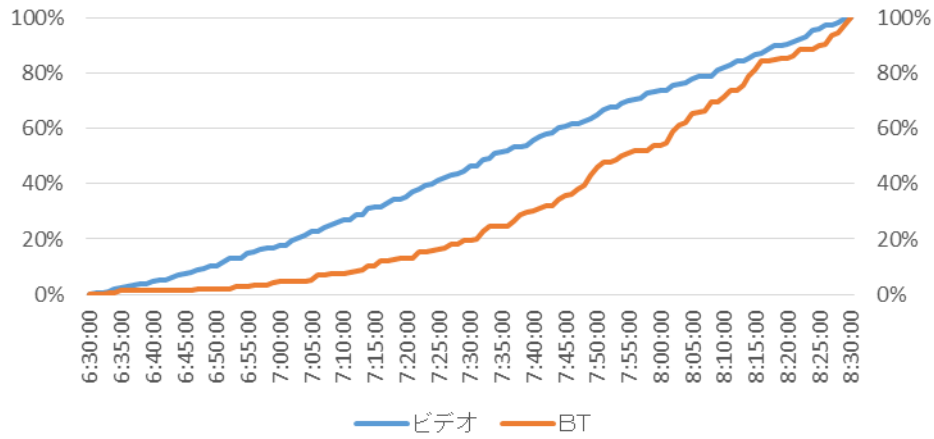


図 50 交差点 3 地点 2 流出側の通過交通量推移

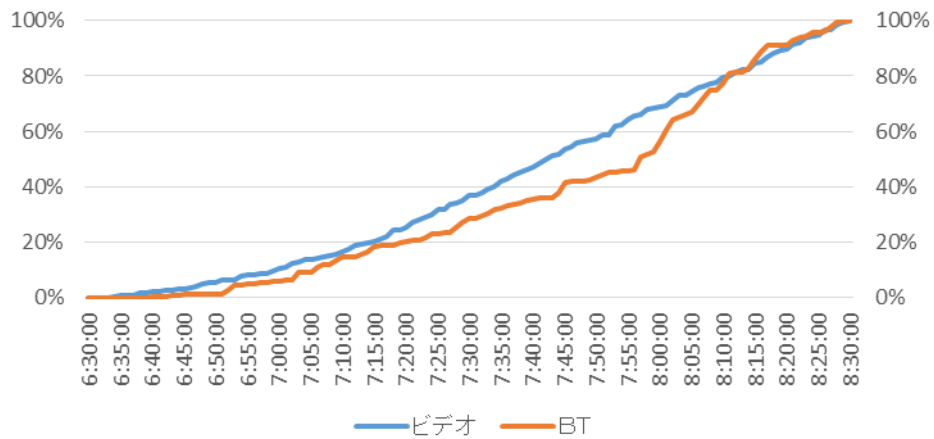


図 51 交差点 3 地点 4 流入側の通過交通量推移

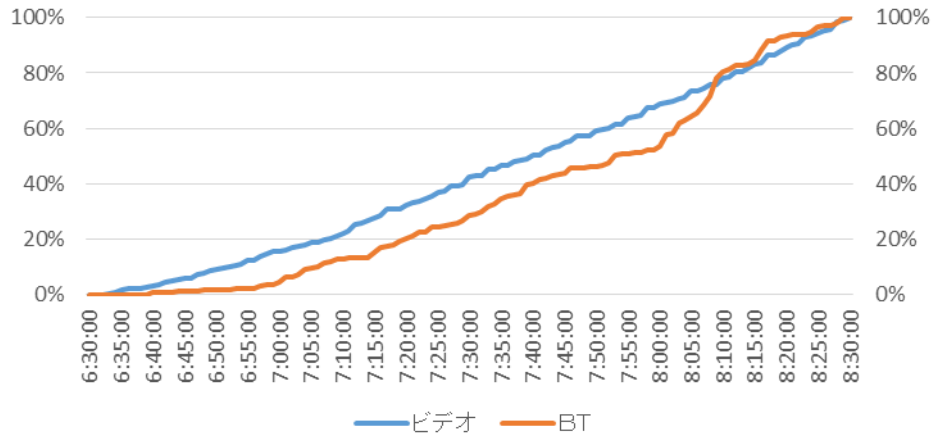


図 52 交差点 3 地点 4 流出側の通過交通量推移

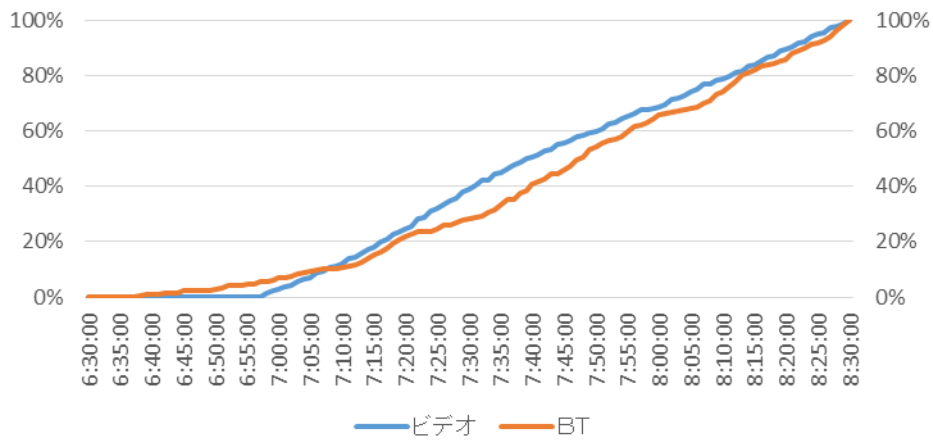


図 53 交差点 3 地点 5 流出側の通過交通量推移

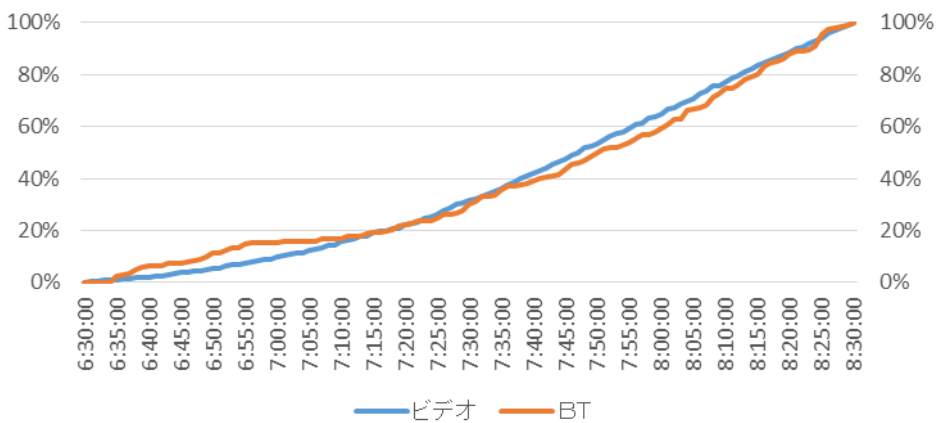


図 54 交差点 4 地点 1 流出側の通過交通量推移

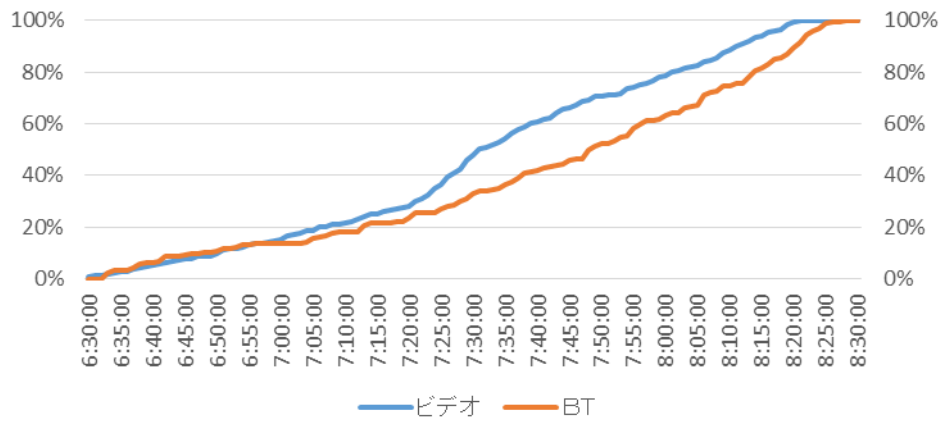


図 55 交差点 4 地点 2 流出側の通過交通量推移

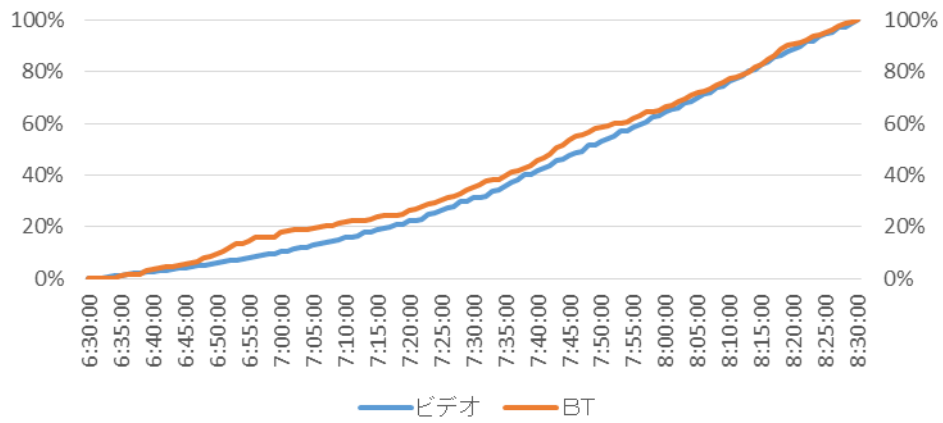


図 56 交差点 4 地点 3 流入側の通過交通量推移