



移動体観測と定点観測の融合活用による交通流動把握に関する研究

杉野, 勝敏

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2007-03-25

(Date of Publication)

2009-08-17

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲3957

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1003957>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



博 士 論 文

**移動体観測と定点観測の融合活用による
交通流動把握に関する研究**

2007 年 1 月

神戸大学大学院自然科学研究科

杉野 勝敏

目次

第1章 序論	1
1.1. 研究の背景と目的	1
1.2. 論文の構成	3
第1章の参考文献	4
第2章 定点観測による OD 交通量推計	5
2.1. はじめに	5
2.1.1. 研究の背景と目的	5
2.1.2. 本章の構成	7
2.2. 定点観測データの概要	8
2.2.1. 車両検知器データの概要	8
2.2.2. AVI データの概要	8
2.3. 路線間 AVI データのマッチング手法の検討	12
2.3.1. 路線間 AVI データマッチングのデータフロー	12
2.3.2. 検知器データによる所要時間算定方法	13
2.3.3. AVI データの処理手順	14
2.4. 路線間 AVI データのマッチング手法の検証	16
2.4.1. シミュレーションによる検証	16
2.4.2. マッチング精度の検証結果	24
2.5. OD 推計モデルの概要	28
2.5.1. OD 推計モデルの枠組み	28
2.5.2. OD 推計モデルのインプットデータ作成	31
2.6. OD 推計モデルの検証	33
2.6.1. シミュレーションによるモデル検証	33
2.6.2. OD 推計結果の検証	36
2.7. 移動体データによる OD 交通量推計の可能性に関する検討	43
2.7.1. 移動体データによる OD 交通量推計方法	43
2.7.2. シミュレーションによる検証	43
2.8. まとめ	47
第2章の参考文献	49
第3章 移動体情報をもとにした交通情報作成に関する分析	51
3.1. はじめに	51
3.1.1. 研究の背景	51
3.1.2. 交通情報作成の一般論と本研究の目的	51

3.1.3. 本章の構成.....	55
3.2. 位置データによる交通情報作成手法.....	56
3.2.1. データフロー.....	56
3.2.2. 個別車両のリンク情報作成手法.....	59
3.2.3. 道路交通情報作成手法.....	63
3.3. リンク情報作成アルゴリズムの検証.....	66
3.3.1. 検証の枠組み.....	66
3.3.2. 走行実験の概要.....	66
3.3.3. インプットデータ.....	70
3.3.4. リンク情報の精度の検証.....	72
3.3.5. 交通情報の精度の検証.....	79
3.3.6. 車両抽出率の検討.....	87
3.3.7. データ収集間隔の検討.....	89
3.4. まとめ.....	93
第3章の参考文献.....	94

第4章 移動体位置情報をもとにした人の交通行動に関する分析 -----95

4.1. はじめに.....	95
4.1.1. 研究の背景と目的.....	95
4.1.2. 本章の構成.....	95
4.2. 人を対象とした位置情報取得による交通行動調査手法論.....	97
4.2.1. 位置情報取得デバイスの種類と選定方法.....	97
4.2.2. 位置データによる人の行動調査事例.....	101
4.3. イベントにおける交通行動調査.....	105
4.3.1. はじめに.....	105
4.3.2. CSID 解析手法.....	106
4.3.3. 調査の概要.....	108
4.3.4. 広域エリアでの分析結果.....	110
4.3.5. 狭域エリアでの分析結果.....	115
4.3.6. 本節のまとめ.....	118
4.4. 観光行動時における観光情報参照に関する調査.....	119
4.4.1. はじめに.....	119
4.4.2. 調査の概要.....	119
4.4.3. 分析結果.....	122
4.4.4. 本節のまとめ.....	132
4.5. 観光計画と実行動の変化と広域周遊型観光行動の類型化に関する研究.....	133
4.5.1. はじめに.....	133

4.5.2. 調査の概要.....	134
4.5.3. トリップベースの観光行動分析.....	136
4.5.4. グループの観光パターン分類.....	138
4.5.5. グループの観光パターン別の観光分析.....	143
4.5.6. 本節のまとめ.....	145
4.6. まとめ.....	146
第4章の参考文献.....	147
第5章 移動体位置データと定点観測データを活用したシミュレーション	149
5.1. はじめに.....	149
5.1.1. 研究の背景と目的.....	149
5.1.2. 本章の構成.....	150
5.2. シミュレーションモデル.....	151
5.2.1. シミュレーションモデルの概要.....	151
5.2.2. 個人行動シミュレーション.....	152
5.2.3. 鉄道網シミュレーション.....	154
5.2.4. 交通施策の取り扱い.....	155
5.3. ケーススタディ.....	157
5.3.1. シミュレーションの条件.....	157
5.3.2. シミュレーション結果.....	159
5.4. まとめ.....	162
第5章の参考文献.....	163
第6章 結論	165
謝辞	167

第1章 序論

1.1. 研究の背景と目的

交通は社会経済活動の基盤の一つであり、その交通計画は、人口変化・産業発展・技術革新・情報化社会・環境問題といった社会全体の変化だけでなく、個人レベルにおける嗜好の違い・ライフスタイルの変化・プライバシー問題なども考慮に入れ、総合的な視点に基づき策定される必要がある。そのため、交通計画の策定にあたっては、まず個人の交通行動を把握することが非常に重要となる。我が国では、交通行動あるいは交通状況を把握するための調査として、パーソントリップ(PT)調査や道路交通センサスなどの大規模調査をはじめとして、交通計画のレベルに合わせた大小様々な調査が行われている。

パーソントリップ調査では、被験者に調査票を配布し、被験者の記憶に基づいて交通行動を記入してもらうアンケート調査方式が用いられている。道路交通センサス^[1]は、オーナーインタビューOD調査・路側OD調査からなる自動車起終点(OD)調査と、交通量調査・旅行速度調査・道路状況の調査からなる一般交通量調査で構成されている。前者は、車両の所有者や使用者に利用状況のアンケート調査を行ったり、実際に走行している車両を路側に止めて利用状況の聞き取り調査を行ったりしている。後者は各地点で交通量を観測したり実際に車両で走行することで、道路や道路交通の状況を把握している。インターネットを用いた調査やアクティビティダイアリー調査などでも、個人の記憶に頼るという点ではアンケート調査と共通である。これらの調査では、詳細なデータを得ようとすれば被験者への負担が増加すること、行動の記述は被験者の記憶に依存するため記入漏れや誤記入が発生すること、習慣的行動以外は移動経路の記述が困難であること、データ化に際してコーディング費用が必要になるといった課題が指摘されている。また、これらの調査で得られたデータは、限られた被験者の回答（サンプルベース）であるため、十分なサンプル数が確保されているとはいえ、その代表性にまったく問題がないとも言いきれない。さらに、これらは調査を行ったある1日のデータであるため、日々の変化を捉えることができないという意味でも代表性は低いと考えられる。アンケート調査でしか得ることができないODはもとより、これらの調査によって道路の交通量や旅行速度が日々どの程度変化しているのかを把握することは実質不可能である。そのため、地点の交通量や速度は、路側に設置された機器によって観測されている。これらのデータは限られた地点の定点観測データではあるが、その地点における時系列変化を捉えることができるという特徴を有している。ただし、定点観測データだけではODの特定、OD間の経路、OD交通量などを計測することはできない。

その一方で、情報・通信技術の高度化に伴って、GPSやPHS、ICタグといった位置特定機能を有する移動体通信システムが様々な分野で活用され始めている。これらの移動体通信システムを利用すると、正確で詳細な移動軌跡データ（位置データ）を容易に取得できる。ただし、得られた位置データは単なる座標の羅列に過ぎないため、このデータを交通データへ変換する過程が必要となる。このことから、位置データから交通データへ変換する研究^{[2]~[4]}は盛んに行われ、様々な手法が提案されている。それに伴い、移動体通信機器により特定された位置データをもとに交

通行動調査を行うという取り組みが行われるようになり、近年ではプローブカー調査やプローブパーソン調査と呼ばれる調査も行われている。従来のアンケート調査形式が被験者自らの行動を思い起こして記入する方式であるのに対して、移動体通信システムによるこれらの調査は、調査機器が自動的に位置を計測するため、被験者の負担が非常に少なく、しかも大量のデータを取得できるという違いがある。そのため、日々の変化を捉えるといった調査が容易に行える。ただし、従来のアンケート調査形式と同じく、サンプルベースの調査であり、しかもアンケート調査よりもサンプル数が少ないという問題もある。

交通調査に関するこのような背景のもと、本研究では、ある地点の交通状況を定量的に把握できる定点観測データと、ある移動体の交通状態を定性的に把握できる移動体観測データを活用することで、従来の調査では観測が不可能であった交通状況を把握する手法を提案する。具体的には、①定点観測のデータより日々変化する OD 交通量を推計する手法の提案、②移動体観測データより時々刻々と変化する道路状況に応じた道路交通情報作成手法の提案、③移動体観測データより人の交通行動を分析する手法の提案、④移動体観測データと定点観測データよりサンプルベースのデータを拡大するクローニング手法の提案、以上の4つの提案を論じる。各調査で得られる交通状況と本研究の提案によって把握できる交通状況の関係を整理すると図 1.1-1 のようになる。

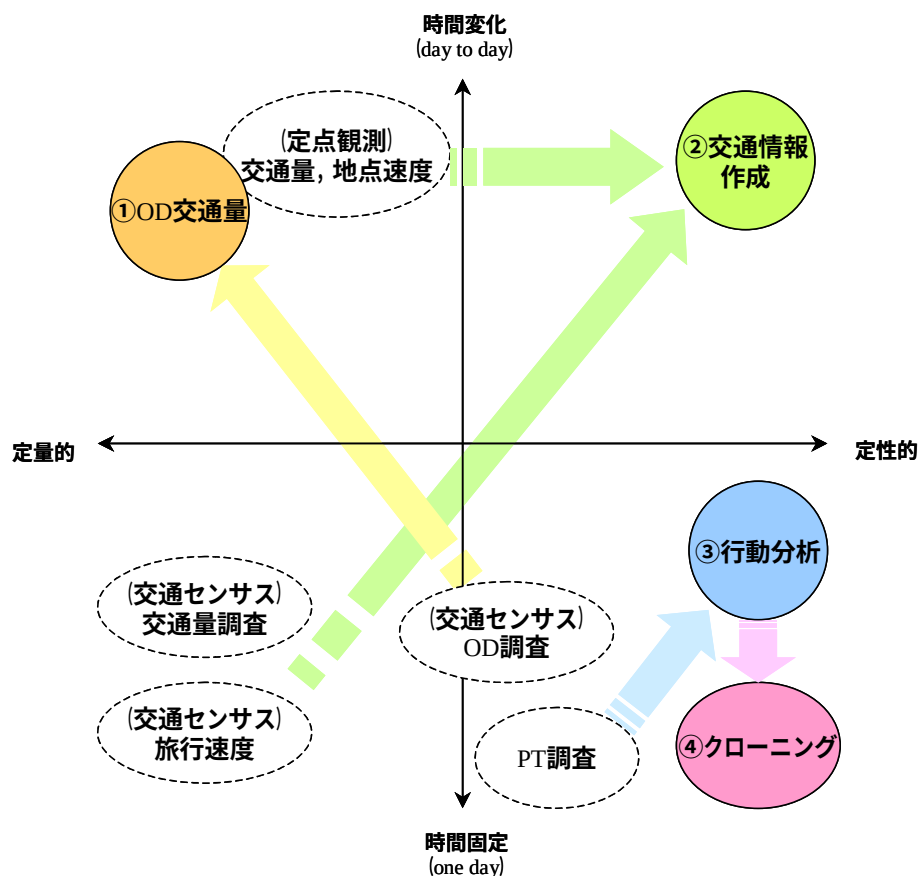


図 1.1-1 各種調査と本研究の関係

1.2. 論文の構成

本論文の各章の構成は以下のようになっている。

第2章では、定点観測データである車両検知器データと AVI データをもとに、OD 交通量を推計する手法を提案する。ここでは阪神高速道路をフィールドとして、はじめに路線間の AVI マッチング手法を提案し、続いてその結果をもとに路線全体の OD 交通量を推計するモデルを提案する。これらの手法の検証は、実データを用いたのでは真の値（OD 交通量）が分からないため、簡易のシミュレーションを構築し、仮想の観測データを作成して検証を行う。また、定点観測データである AVI データの代わりに移動体の位置データを用いることで OD 交通量を推計する可能性についても検討を行う。

第3章では、移動体観測データである車両（プローブカー）の位置データを元に、時々刻々と変化する道路状況を反映したリンク情報、ならびに道路交通情報の作成手法を提案する。また提案した手法の精度を検証するために、実際に 50 台のプローブカー調査を行う。その調査データをもとに、リンク情報と交通情報の検証を行い、さらに、プローブカーの比率や位置データ収集間隔が交通情報精度に与える影響についても分析を行う。

第4章では、移動体観測データのうち、人を対象とした位置データについて、その交通行動を分析する。はじめに、人を対象とした位置特定デバイスの種類とその特徴をまとめ、これらのデバイスを使用して、人を対象とした行動調査調査の事例を整理する。続いて、位置データを取得した3種類の調査について、イベントにおける交通行動、観光行動時における観光情報参照行動、観光計画と実行動の変化と広域周遊型観光行動、のそれぞれを分析する。

第5章では、移動体観測データと定点観測データの各種分布データをベースとして、それを拡大することで、対象地域の交通流動を記述するクローニングシミュレーションモデルを開発する。はじめにシミュレーションモデルの概要について、構成される2つのサブシミュレーション毎に詳細に説明する。つづいて、そのシミュレーションのケーススタディとして、サッカー観戦を想定したシミュレーションを行う。その際、帰宅時の駅誘導やサブイベント開催による出口混雑の緩和といった交通施策を実施した場合の結果について比較を行う。

第6章では、本研究で得られた結論をまとめ、今後の研究方針を示す。

<第1章の参考文献>

- [1] 道路交通センサス国土交通省道路局ホームページ(<http://www.mlit.go.jp/road/census/index.html>)
- [2] 大森宣暁, 室町泰徳, 原田昇, 太田勝敏: 交通行動調査への GPS の適用可能性に関する研究, 第 18 回交通工学研究会発表会論文報告集, pp.5-8, 1998
- [3] 牧村和彦, 中嶋康博, 長瀬龍彦, 濱田俊一: PHS を用いた交通データ収集に関する基礎的研究, 第 19 回交通工学研究会発表会論文報告集, pp.105-108, 1998
- [4] 朝倉康夫, 羽藤英二, 大藤武彦, 田名部淳: PHS による位置情報を用いた交通行動調査手法, 土木学会論文集 No.653 / IV-48, pp95-104, 2000

第2章 定点観測による OD 交通量推計

2.1. はじめに

2.1.1. 研究の背景と目的

車を対象とした路側での定点観測には、人手による路側カウント調査や、道路上に設置された車両検知器や車両番号の自動読み取り装置などが挙げられる。観測機器を用いると、人手による観測よりも量・質ともにリッチなデータが容易に取得可能となる。通常、観測機器は常時観測であるため、その観測地点における時系列変化をとらえたデータが得られる。例えば、車両検知器は、超音波の反射波を利用して道路上の車両の存在を検知するものであるが、この観測機器を用いると、単位時間の交通量や時間占有率、平均速度を計測することが可能である。一方の車両番号自動読み取り装置は、道路上空に設置された読み取り装置（カメラ）の下を車両が通過した際に、その通過時刻とともにその車両のナンバープレートの情報を記録する機器である。この機器により観測されたデータは、AVI (Automatic Vehicle Identification) データと呼ばれている。

AVIデータの場合、1地点で得られたデータをそのまま活用することもできるが、より高度な活用方法として、多地点で取得したナンバープレート情報を相互に照合（マッチング）することにより、地点の情報から区間の情報となるため、その情報の利用の幅が広がる。例えば、ある地点で観測された車両が別の地点でも観測された場合、それらの観測時刻を比較することで、観測地点間の所要時間を算出することが可能となる^[1]。このことから、AVIデータは定点観測のデータでありながら、（限られた地点ではあるものの）移動体データのような線的な利用の仕方が可能であるといえる。例えば、多地点のAVIデータを相互にマッチングすることで、ある車両がどこからどこへ移動したのか、つまりODを特定することが可能となる。もしAVI装置が高密度で配置されていれば、そのOD間で利用した経路もある程度特定することも可能となるだろう。しかし、設置や管理のコストの問題から、実際には設置数は少なく、例えば阪神高速道路などの都市高速でも路線単位で数基ずつの設置であり、しかも、2車線のうち片側の車線にしか設置されていない地点も存在する状況である。この様な事情により、AVIデータだけではODを特定することができないため、阪神高速では主に乗継ぎ区間の所要時間計測や、検知器データに基づく所要時間推計値の検証にAVIデータが用いられている。

一方、従来のOD交通量は、パーソントリップ調査や道路交通センサスデータをもとに算出されたものであるが、これらの調査はアンケートやヒアリングによって行われたサンプリング調査である。しかも、平均的な交通量となる日を代表とするある1日の調査であるため、日々変化する動的なOD交通量を捉えることはできていない。そのため、観測交通量などを用いたOD交通量推計に関する研究が従来から数多く行われ、様々なモデルや推計手法が提案されている^[2]。中でも動的なOD交通量推計の一つにAVIデータと車両検知器によって得られた路側交通量データを用いて、高速道路の時間帯別路線間OD交通量を推計しようとする試みが検討されてきた^[3]。しかし、AVIの設置位置と数の制約から、ケーススタディは全て3号神戸線を対象とした同一路線内に限られていた^[4]。

そこで本研究では、阪神高速における AVI 機器整備の進展を背景に、阪神高速道路をフィールドとして、時間的に連続した定点観測データである AVI データと車両検知器データの両方を用いて、時々刻々と変動する阪神高速道路の路線間 OD 交通量を推計する手法を提案する。本研究で検討した OD 推計手法は、はじめに AVI データと車両検知器データより路線間 AVI マッチングを行い OD 間の遷移確率を求め、その遷移確率にデータ補正をかけたものをもとに OD 推計モデルで全体の OD 交通量を推計するという 2 段階の手法となっている。OD 交通量推計の全体像を図 2.1-1 に示す。

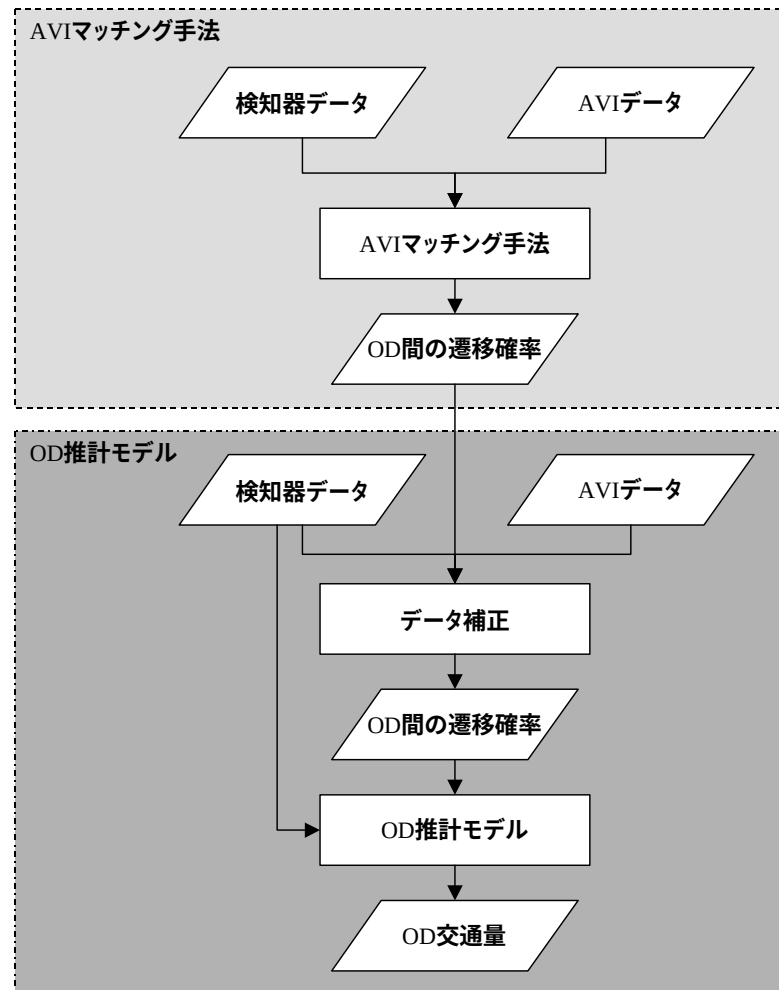


図 2.1-1 OD 交通量算出のフロー

さらに、AVIデータを線的に取り扱ったことから、元々線的な情報である移動体データ（プローブカー）より算出したOD間遷移確率を用いてOD交通量を推計する可能性について検討を行う。近年、プローブカーの調査が日本各地で行われているため、プローブカーデータよりOD交通量推計を行う研究がなされている。三谷ら^[5]の研究では、プローブデータより得られた経路データと観測リンク交通量よりシミュレータ(MITSIM)によるOD交通量推定を試みている。三輪ら^[6]の

研究では、プローブカーのリンク通過旅行速度をもとにk-v曲線よりリンク交通量を推定し、エントロピー最大化法により動的なOD交通量を推定している。小根山ら^[7]の研究では、プローブカーより得られるリンク利用率とリンク交通量を用いて、時間軸に拡大したエントロピー最大化法によりOD交通量を推定している。ただし、推定には対象地区の先験OD（センサスOD調査などによるアンケート調査結果）が必要となり、その先験ODの精度により推計結果に影響が現れると報告されている。

本研究では、AVI データによる OD 推計モデルをそのまま使用し、AVI から得られる遷移確率の代わりにプローブカーより得られるリンク利用率を遷移確率としてそのまま与える方法を提案する。ただし、一般的にはプローブカーデータは AVI データよりもサンプル数が少ないため、インプットデータである OD 間の遷移確率に大きな歪みが生じると考えられる。そこで、全交通量に対する位置データを提供する車両（プローブカー）の割合により OD 間の遷移確率がどのように変化し、その結果が OD 交通量推計に与える影響について分析を行う。

2.1.2. 本章の構成

2.2 では、インプットデータである AVI データと車両検知器データについて具体的に説明する。2.3 では、異なる地点で観測された AVI データより同一の車両をマッチングする手法について説明する。2.4 では、その複数路線間のマッチング手法の精度を、真値の分かる簡易シミュレーションを用いて検証する。2.5 では路線間の OD 推計モデルについて説明する。2.6 では簡易のシミュレーションを用いて車両データを取得し、そのデータにより提案した OD 推計モデルの検証を行う。2.7 では、移動体データより算出した OD の遷移確率を用いて OD 交通量を推計する可能性について検討を行う、最後に 2.8 でまとめを述べる。

2.2. 定点観測データの概要

2.2.1. 車両検知器データの概要

車両検知器とは、道路上空に設置された機器から超音波を路面に向けて発射し、その反射波の到達時間より、路面からの反射波と車両からの反射波を比べることにより、車両の存在を検知するものである。車両検知器からは、交通量と時間占有率の他に、単位時間の平均速度を計測することが可能である。阪神高速道路では、本線上に約 500m 間隔で車両検知器が設置され、機器毎に単位時間（5 分）のデータが集計値として蓄積されている。そのため、ある検知器のデータは、図 2.2-1 に示すように、その検知器を中心として約 500m の区間を代表するデータとして取り扱われる。

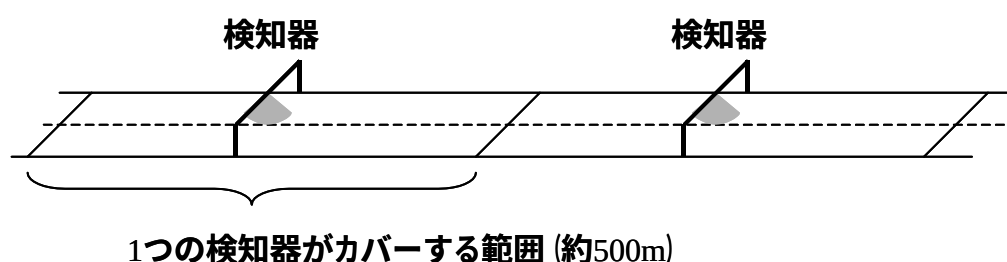


図 2.2-1 阪神高速における検知器データのカバー範囲

2.2.2. AVI データの概要

AVI データとは道路の上部や路側に設置されている車両番号読み取り装置によって観測されたナンバープレートの情報である。AVI 装置で読み取れるナンバープレートの情報には、「地域コード」、「小数字コード」、「かなコード」、「車番」といった文字情報のほかに、プレートの大きさと色より四種類の「車種」を判別することが可能である。ナンバープレートのそれぞれの項目を図 2.2-2 に示す。



図 2.2-2 ナンバープレートの項目

この AVI 装置を複数の路線に設置した状態で通過する車両のナンバープレート情報を蓄積し、その上流側と下流側のナンバープレート情報をマッチングさせることで、ある車両がどの路線からどの路線に移動したのかを特定したり、その区間の所要時間を算出することが可能となる。

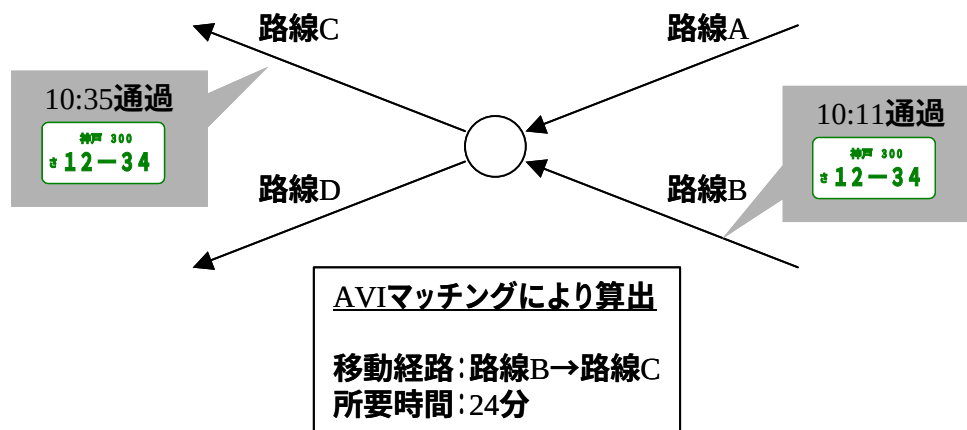


図 2.2-3 AVI マッチングによる経路特定と所要時間算出のイメージ

しかし、現在（主に阪神高速道路で）稼働している AVI 装置のデータには、以下に示す様々な問題点を抱えているため、単純にナンバープレート情報が完全に一致する車両を特定することはできない。

【問題点 1】読み取り項目の異なる装置の混在

現在、阪神高速で稼働中の AVI には、「車番」と「車種」のみを読み取れる初期型 AVI、その情報に加えて「地域コード」、「小数字コード」、「かなコード」の情報を読み取れる新型 AVI とに分類される。さらに新型 AVI は、平成 11 年 5 月より開始された希望ナンバープレート制の導入に伴って 3 桁化された小数字コードに対応したものと未対応のものに分けられ、現在はこの三種類が混在して稼働している。各 AVI の項目対応状況をまとめたものを表 2.2-1 に示す。

表 2.2-1 各 AVI の読み取り可能な項目

	車番	地域コード	小数字コード	かなコード	車種※
初期型AVI	○	×	×	×	○
新型AVI (2桁)	○	○	△ (2桁のみ)	○	○
新型AVI (3桁)	○	○	○	○	○

※車種については、ナンバープレートの色と大きさで4種類に分類

表 2.2-1 に示した読み取り項目の異なる AVI 装置が混在している場合、どのような問題点が発生するかについて述べる。上流側（もしくは下流側）に初期型 AVI などのすべての情報が読み取れない場合、下流側（もしくは上流側）ですべての情報を読み取れていたとしても、マッチングの判定に使用可能な情報は、共通に取得できる情報のみとなる。そのため、図 2.2-4 に示すように情報が重複する場合には、上流のどちらの AVI で観測された車両なのかを判別することができない。もし、データの取得順にマッチングを行うと、ミスマッチングを行ってしまう可能性がある。

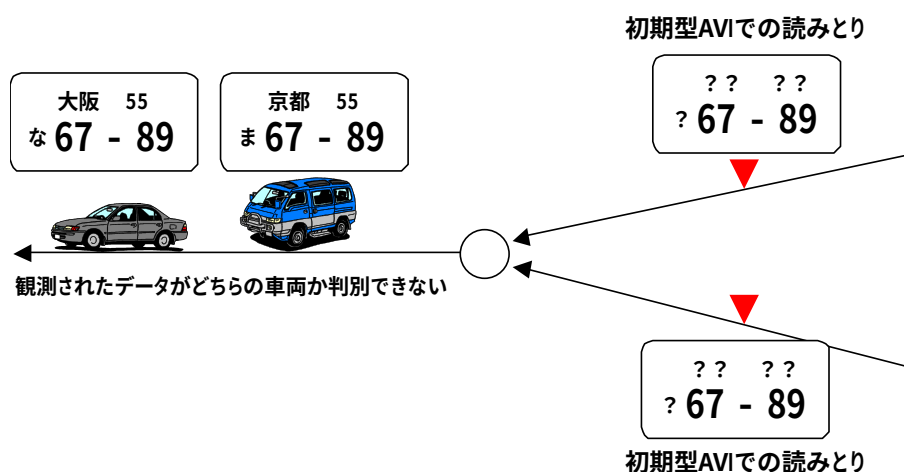


図 2.2-4 初期型 AVI 混在によるミスマッチングのイメージ図

【問題点 2】読み取りできない項目

新型 AVI であっても、必ず全ての情報を取得できるというわけではなく、表 2.2-2 に示す実際のデータでの結果のように取得できる情報がそのときそのときで異なっている。このように取得できる情報が上流側と下流側で一致しないケースは頻繁に発生するため、問題点 1 の問題がクリアされたとしても、図 2.2-4 と同様のミスマッチングが発生する可能性がある。

表 2.2-2 新型 AVI による情報取得パターンの比率

車番	車種	小数字	地域	かな	比率
○	○	×	×	×	0.52%
○	○	○	×	×	0.07%
○	○	×	○	×	0.00%
○	○	×	×	○	19.84%
○	○	○	○	×	0.48%
○	○	○	×	○	2.27%
○	○	×	○	○	0.00%
○	○	○	○	○	76.82%

【問題点 3】 AVI が設置されない車線の存在

ある路線が複数の車線から成り立っている場合、そのすべての車線の車両を観測できないと、たとえ別の地点で全数の車両を観測していたとしても、マッチングされる車両の数は減少してしまう。実際、阪神高速の上り方面の放射路線では、路線の全車線に AVI 装置が設置されているわけではなく、追い越し車線にしか設置されていない場合もあるため、通過する車両の全数を観測することができない。さらに、阪神高速の環状線およびそのランプには 1 台も AVI が設置されていないため、環状線から出入りする車両すべてが観測できないという状態である。

以上の問題点から、異なる 2 地点で観測された AVI データをもとに同一の車両を特定するには、ナンバープレートの情報がすべて一致する車両を見つけるという単純な手法は不可能である。そのため、得られる情報に限りがあるなかで、ミスマッチングをできる限り少なくする手法を考える必要がある。

2.3. 路線間 AVI データのマッチング手法の検討

2.3.1. 路線間 AVI データマッチング手順

ここでは、前述した AVI データの問題点を解決し、複数 AVI 間に対応した精度の高い OD ペア抽出が可能なマッチング手法について検討を行う。はじめにそのマッチングフローを図 2.3-1 に示す。インプットデータはマッチングを行う AVI データと AVI 間の経路の所要時間を求めるための検知器データが必要となる。それぞれのデータ処理とマッチング手法については後述する。

アウトプットデータについては、AVI データには前述した問題があるため、マッチングを行った結果がそのまま OD 交通量となるわけではない。AVI が設置されていない路線では観測漏れが発生し、さらに本研究で提案する手法を用いても少なからずミスマッチングが発生するためである。そのため、アウトプットは AVI データマッチングにより算出される OD 間の遷移確率となる。遷移確率とは、路線 i から流入した車両のうち路線 j へ向かう車両の割合である。

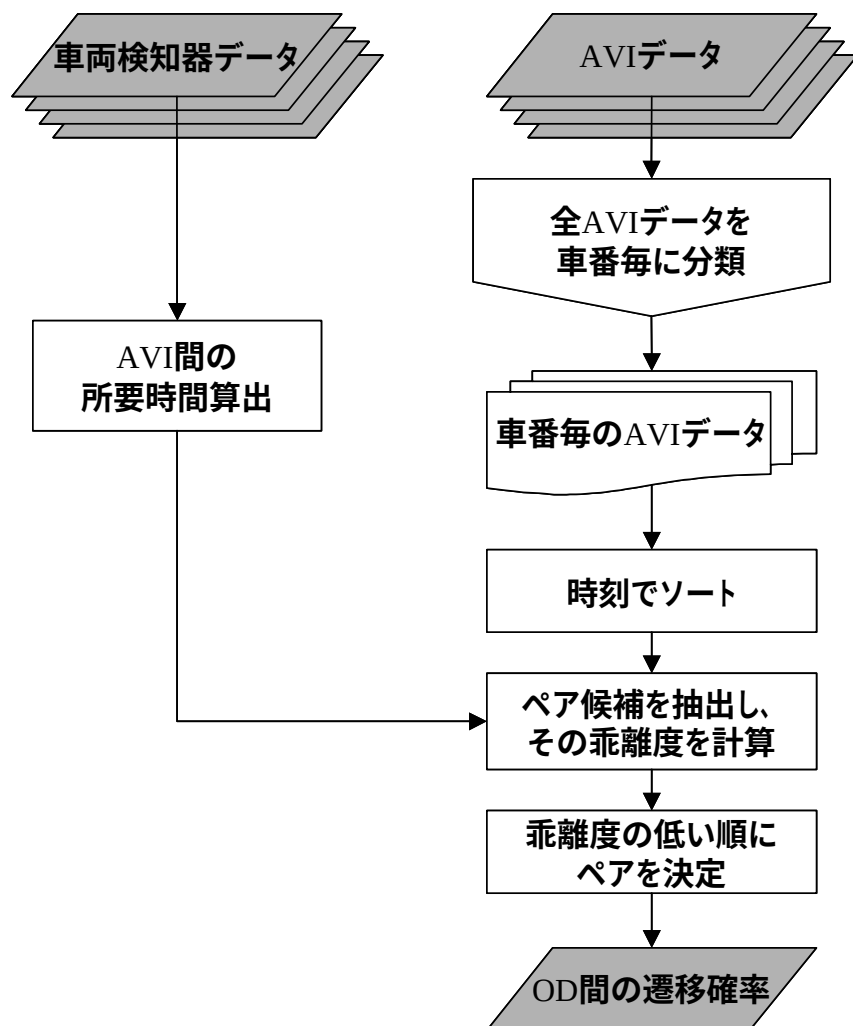


図 2.3-1 マッチングフロー

2.3.2. 検知器データによる所要時間算定方法

はじめに検知器データを用いて AVI 間の所要時間を算出する方法を述べる．ここで作成された所要時間情報は，後述する AVI マッチングの際に乖離度の計算で使用する．その乖離度の計算で用いる路線 i から路線 j への所要時間： $T_{ij}(t)$ は，図 2.3-2 に示す様に，該当する AVI ペア間の経路上にあるすべての 5 分間検知器データを用いて算出した区間所要時間の値である．そのため，マッチングを行う対象区間に含まれるすべての検知器データを収集し，マッチングペアとなり得るすべての AVI ペアの経路について，あらかじめ所要時間を算出しておく必要がある．

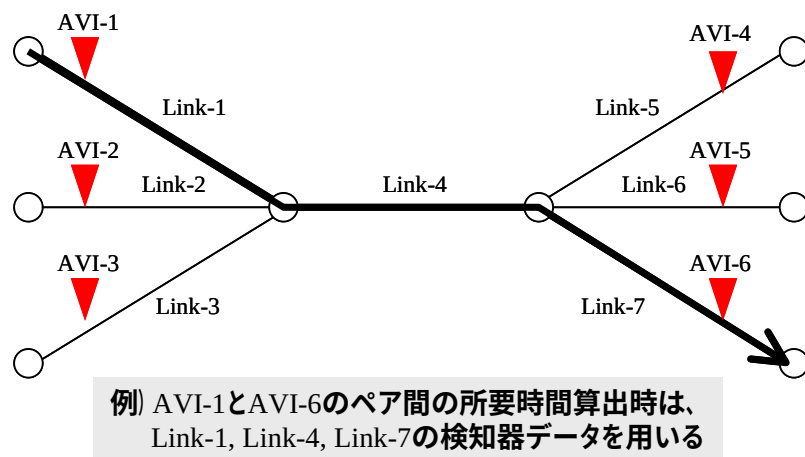


図 2.3-2 検知器データによる所要時間算出イメージ

また，検知器データを用いた所要時間の算出には，通過する区間の同じ時刻のデータをそのまま足し合わせた所要時間（「横出しの所要時間」と呼ぶことにする）と，各区間に要する所要時間を考慮して，時間帯毎のデータを変化させて算出する所要時間（「斜め出しの所要時間」と呼ぶことにする）とがある．それらの算出イメージを図 2.3-3 に示す．

横出しのイメージ

	0.0kp	0.5kp	1.0kp	1.5kp	2.0kp	2.5kp	3.0kp	3.5kp	...
10:00	112.5	56.3	52.9	54.5	78.3	72.0	90.0	60.0	...
10:05	105.9	75.0	85.7	94.7	78.3	78.3	78.3	54.5	...
10:10	180.0	81.8	78.3	50.0	52.9	62.1	90.0	56.3	...
10:15	112.5	58.1	72.0	78.3	81.8	85.7	94.7	69.2	...
10:20	128.6	94.7	105.9	100.0	138.5	138.5	128.6	90.0	...
10:25	200.0	180.0	163.6	150.0	138.5	100.0	100.0	64.3	...
10:30	257.1	138.5	100.0	66.7	75.0	81.8	112.5	66.7	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

斜め出しのイメージ

	0.0kp	0.5kp	1.0kp	1.5kp	2.0kp	2.5kp	3.0kp	3.5kp	...
10:00	112.5	56.3	52.9	54.5	78.3	72.0	90.0	60.0	...
10:05	105.9	75.0	85.7	94.7	78.3	78.3	78.3	54.5	...
10:10	180.0	81.8	78.3	50.0	52.9	62.1	90.0	56.3	...
10:15	112.5	58.1	72.0	78.3	81.8	85.7	94.7	69.2	...
10:20	128.6	94.7	105.9	100.0	138.5	138.5	128.6	90.0	...
10:25	200.0	180.0	163.6	150.0	138.5	100.0	100.0	64.3	...
10:30	257.1	138.5	100.0	66.7	75.0	81.8	112.5	66.7	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

 : 所要時間の算出に用いられたデータ

※) 表中の値は該当区間の平均所要時間 (秒)

図 2.3-3 横出しと斜め出しによる所要時間算出イメージ

横出しの所要時間は、ある同時刻のデータのみを用いて所要時間を算出するので、オンライン処理での情報提供などに用いられている。一方、斜め出しの所要時間は、それぞれの区間において車両が通過するのに要すると思われる時間を考慮して所要時間を算出するので、実際の所要時間に近いものを求めることが可能である。ただし、この方法は事後的にしか所要時間が求められないため、オンライン処理には向かない。本研究では、オフラインによる OD 推計を前提としているため、より実際の所要時間に近い斜め出しの所要時間を用いることとする。

2.3.3. AVI データのマッチング手順

もう一方のインプットデータである AVI データは、一度、路線に関係なく車番毎に分類される。この分類により、同一車番のみでマッチングを行うことになり、全データを一度に扱うより効率的となる。そして、その車番毎のデータを時刻順にソートし、上流側 AVI と下流側 AVI でペアになる候補を全て抽出する。ここで、2.2 の【問題点 1】と【問題点 2】で述べた「上流と下流の AVI で取得できる情報が同一とは限らない」という問題点を考慮してペア候補を抽出する必要がある。AVI 装置で取得できた情報をできる限り有効に活用できる方法として、以下の条件によりペア候補の抽出を行う。

- ・ 上流側、下流側ともに全ての情報を読み取れていて、かつ、その情報が完全に一致した場合

合、完全に同一の車両と見なして、マッチングペアとして確定し、ペア候補からも除外する

- ・ 上流側と下流側で読み取れている情報の項目が異なっていた場合は、その項目は考慮しない（ペア成立とも不成立ともいえない）
- ・ 上流側、下流側どちらも読み取れている情報だけを比較して、情報が一つでも異なる場合はペア候補から除外する
- ・ 上流側、下流側全ての組み合わせでペアの候補を抽出する

以上の処理でペア抽出が全て抽出されるが、上流側の一つの AVI データに対して、下流側で複数のペア候補が存在する可能性がある。ペア候補の中で尤もらしいペアを抽出する為に、そのペア間の乖離度(α)を式 2.3-1 により算出しておく。全てのペアにおいて乖離度の計算が終了した時点で、その乖離度の低いものから順にペアを決定していく（図 2.3-4）。

$$\alpha = \frac{|\overline{T_{ij}(t)} - T_{ij}(t)|}{\overline{T_{ij}(t)}} \quad \text{式 2.3-1}$$

$\overline{T_{ij}(t)}$: 時間帯 t における路線 i から路線 j への平均所要時間

$T_{ij}(t)$: ある AVI ペア i と j の時間差（所要時間）

seq	Date	Time	AVI-ID	上下	車種	
1	2/1	0:08:12	67	下	小・自	
2	2/1	0:12:24	10	上	小・自	←上流側に対するペア候補を抽出
3	2/1	0:13:14	69	下	小・自	
4	2/1	0:17:48	73	下	大・営	
5	2/1	0:24:33	71	下	小・自	
6	2/1	0:34:52	15	上	小・自	
7	2/1	0:35:07	71	下	小・自	
8	2/1	0:37:11	69	下	小・自	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	

ペア候補を全て抽出

上流側seq	下流側seq	乖離度
2	3	7.82
2	5	5.71
2	7	4.59
2	8	12.66
⋮	⋮	⋮
6	7	2.53
6	8	5.21
⋮	⋮	⋮

①乖離度の小さい順にペアを決定する
 ②ペアが決定されたデータは使用不可とする

この例では、6→7が先に決定するので、
 2→7はペアとして成り立たない

図 2.3-4 ペア抽出からペア成立までのイメージ図

2.4. 路線間 AVI データのマッチング手法の検証

2.4.1. シミュレーションによる検証

実際に取得できる AVI データを使用してマッチングを行い、OD 間の遷移確率を求めたとしても、真値である OD 交通量が不明なため、結果の精度検証ができない。そこで、AVI の読み取り性能や設置位置、設置台数などの条件を任意に設定できるシミュレーションを作成して検証を行うこととした。そのシミュレーションを用いて、AVI の設置ケースによるマッチング精度の影響について検討を行った。

■ AVI 設置ケースの設定

シミュレーションで用いる道路ネットワークは、現在の阪神高速道路の形状（環状線、放射路線 7 本）と同一とし、より現実的な検討が可能な枠組みとした。ただし、AVI の設置については、神戸線下りに AVI がいないため、このままでは路線間の遷移確率を算出することが困難であるので、上り側の AVI と同位置（同じ門柱）に AVI を設置した状況を case0（現状）とした。その他に検討するケースとしては表 2.4-1 に示すように、現在の AVI 設置状況(case0)から段階的に改善した条件とした。case3 については、現在設置している初期型 AVI はそのまま、新たに新型 AVI を走行車線に追加して、初期型と新型が同時に稼働しているという状態である。それぞれの検討ケースの AVI 設置状況を図 2.4-1 に示す。

表 2.4-1 AVI 設置ケース

case	放射路線上り		放射路線下り		備考
	設置車線	タイプ	設置車線	タイプ	
0	追越車線	初期型	全車線	新型	現状
1	追越車線	初期型	全車線	新型	<u>下り未設置路線に追加</u>
2	追越車線	<u>新型</u>	全車線	新型	<u>case1+上り交換</u>
3	<u>全車線</u>	<u>初期&新型</u>	全車線	新型	<u>case1+上り未設置路線に追加</u>
4	<u>全車線</u>	<u>新型</u>	全車線	新型	<u>case3+上り一部交換</u>

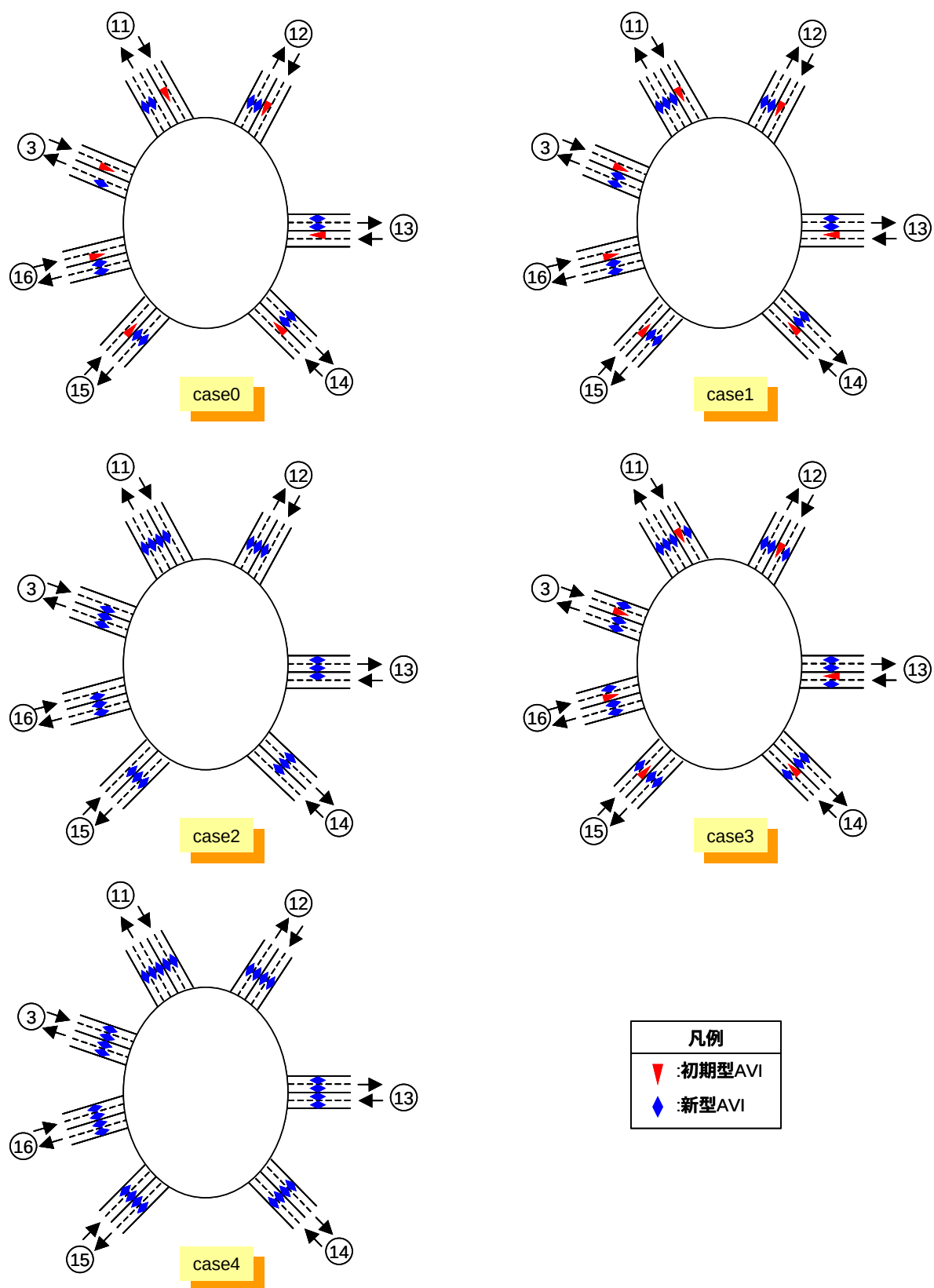


図 2.4-1 AVI 設置状況 (case0~case4)

■ 検証用データの作成条件

- ・ ネットワークは図 2.4-2 に示すように、環状線に合流する上り方向の放射路線 7 本と、分流する下り方向の放射路線 7 本、そして環状線に直接接続するオン-オフランプ 2 本の計 16 本のリンクからなるものとした。
- ・ 車両のナンバープレートの情報は、各情報の実際の観測率（表 2.4-2～表 2.4-5）をもとに、一台ごとに決定した。ただし、車種については「第 21 回阪神高速道路起終点調査」より算出した構成比（表 2.4-6）をもとに決定した。
- ・ AVI の設置条件については、検討ケース毎に設置数や情報の読み取りタイプを設定し、その条件のもとで、実際の AVI データの時間帯別捕捉率より、その路線を通過する車両を観測できたかどうか決定した。
- ・ 新型 AVI の観測項目については、実際の AVI と同様に観測しやすい項目としにくい項目を再現するため、実データでの観測パターン（表 2.4-7）をもとに、それらの情報取得パターンを決定した。
- ・ 発生させる車両の OD 交通量のトータルは「第 21 回阪神高速道路起終点調査」より算出した 1 時間単位の時間帯別 OD 交通量（）に従うものとし、その単位時間に発生する車両一台ごとに、その単位時間内でランダムに発生時刻を秒単位で求めた。
- ・ OD 間の所要時間については、実際の検知器データより算出した 5 分単位の平均所要時間をもとに、それに適当な変動幅を与えて一台ごとの所要時間を決定した。
- ・ 発生させた車両は、通過したリンクとそのとき AVI によりどのような情報を観測されたのか、その時刻や所要時間など、マッチングの精度を検証するために必要となる真値のデータを一台一台が保持し、マッチングの結果が正しいかどうかを判別することができるようにした。

以上の条件で、検討ケース毎に検証用の AVI データを作成しマッチングを行った。

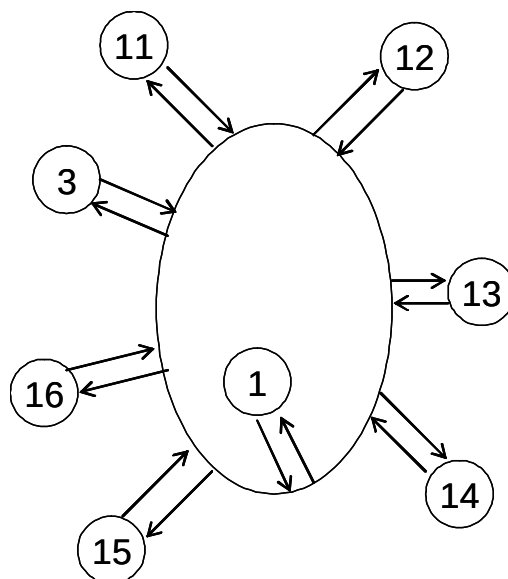


図 2.4-2 検証用ネットワーク図と AVI 設置位置図

表 2.4-2 車番比率

ランキング	車番	観測数	比率
1	88	1903	0.1187%
2	2001	1283	0.0800%
3	8888	1202	0.0749%
4	77	1181	0.0736%
5	2002	1176	0.0733%
6	123	1146	0.0715%
7	1122	1077	0.0672%
8	1188	1074	0.0670%
9	11	1058	0.0660%
10	7788	979	0.0610%
11	5678	968	0.0604%
12	1000	965	0.0602%
13	1010	953	0.0594%
14	1001	932	0.0581%
15	2525	931	0.0581%
16	55	915	0.0571%
17	111	818	0.0510%
18	1111	812	0.0506%
19	7777	811	0.0506%
20	8008	767	0.0478%
：	：	：	：

表 2.4-3 小数字比率

ランキング	小数字	観測数	比率
1	00	381525	33.93%
2	11	84538	7.52%
3	33	54809	4.87%
4	34	49483	4.40%
5	30	43923	3.91%
6	41	39439	3.51%
7	45	37800	3.36%
8	50	36321	3.23%
9	58	35294	3.14%
10	88	33280	2.96%
11	01	29678	2.64%
12	46	21384	1.90%
13	43	20079	1.79%
14	51	19471	1.73%
15	47	18036	1.60%
16	54	16178	1.44%
17	77	14353	1.28%
18	12	14056	1.25%
19	40	13140	1.17%
20	55	12171	1.08%
：	：	：	：

※2桁対応の機器による観測

表 2.4-4 かな比率

ランキング	かな	観測数	比率
1	あ	117304	7.09%
2	ち	110549	6.68%
3	さ	103842	6.27%
4	か	85277	5.15%
5	す	80975	4.89%
6	た	77627	4.69%
7	せ	75594	4.57%
8	そ	73089	4.42%
9	に	50742	3.07%
10	な	49766	3.01%
11	と	47798	2.89%
12	ぬ	45707	2.76%
13	は	45388	2.74%
14	つ	43726	2.64%
15	ね	42312	2.56%
16	て	41949	2.53%
17	の	40497	2.45%
18	ひ	35704	2.16%
19	ふ	31572	1.91%
20	ま	29433	1.78%
：	：	：	：

表 2.4-5 地域比率

ランキング	地域	観測数	比率
1	なにわ	52861	32.18%
2	大阪	40420	24.60%
3	和泉	29133	17.73%
4	神戸	17265	10.51%
5	奈良	6371	3.88%
6	京都	4200	2.56%
7	姫路	1804	1.10%
8	和歌山	1794	1.09%
9	三重	985	0.60%
10	岡山	880	0.54%
11	滋賀	844	0.51%
12	名古屋	736	0.45%
13	尾張小牧	394	0.24%
14	香川	390	0.24%
15	愛媛	356	0.22%
16	岐阜	290	0.18%
17	広島	282	0.17%
18	福井	280	0.17%
19	徳島	270	0.16%
20	石川	251	0.15%
：	：	：	：

表 2.4-6 車種構成比

	自家用車	営業用車	計
小型車	76.15%	7.02%	83.17%
大型車	5.41%	11.42%	16.83%
計	81.56%	18.44%	100.00%

出典：第21回起終点調査

表 2.4-7 新型 AVI による情報取得パターンの比率

車番	車種	小数字	地域	かな	比率
○	○	×	×	×	0.52%
○	○	○	×	×	0.07%
○	○	×	○	×	0.00%
○	○	×	×	○	19.84%
○	○	○	○	×	0.48%
○	○	○	×	○	2.27%
○	○	×	○	○	0.00%
○	○	○	○	○	76.82%

表 2.4-8 時間帯別 OD 交通量 (その1)

起点	1								11							
終点	1	11	12	13	14	15	16	3	1	11	12	13	14	15	16	3
0時	40	235	376	414	744	195	48	19	126	0	148	58	285	78	201	5
1時	0	247	331	205	506	128	46	101	67	0	73	100	217	88	113	15
2時	0	55	210	128	383	118	58	66	2	0	24	103	97	53	132	56
3時	0	65	90	115	156	45	52	76	23	0	29	101	94	14	136	10
4時	0	194	44	4	80	60	0	69	54	0	89	38	68	80	118	39
5時	0	52	270	72	125	41	0	30	110	0	18	59	244	83	114	45
6時	0	414	524	173	191	100	56	47	345	0	648	244	544	134	349	53
7時	10	684	648	239	358	167	69	146	878	0	1052	635	833	349	423	54
8時	5	783	963	322	462	186	99	155	989	0	394	653	815	271	426	106
9時	136	1172	965	704	872	223	149	140	787	0	649	561	757	378	548	70
10時	105	1056	1170	566	906	280	245	245	759	0	496	666	815	415	574	101
11時	64	950	1024	571	789	293	289	226	709	0	349	655	840	414	619	149
12時	23	770	823	501	817	386	226	331	677	0	346	587	713	436	705	126
13時	17	1120	1257	588	862	426	260	196	717	0	533	722	963	378	572	146
14時	49	874	1254	702	912	295	154	281	987	0	549	738	918	402	483	78
15時	48	1005	1161	582	901	331	219	212	929	0	584	781	1020	420	467	92
16時	63	1166	1043	506	873	309	226	228	980	0	661	691	882	514	385	109
17時	130	1008	1404	430	1232	427	169	273	1021	0	833	683	886	448	289	69
18時	74	1207	954	717	1199	298	289	258	578	0	358	731	1161	367	255	162
19時	0	791	804	570	969	323	310	205	527	0	124	607	802	367	301	130
20時	0	735	707	461	786	243	150	141	260	0	243	447	760	302	247	118
21時	17	576	658	303	797	309	132	84	196	0	159	425	474	289	197	135
22時	0	620	410	328	794	191	39	251	105	0	215	360	357	242	140	90
23時	0	442	475	470	650	141	212	107	166	0	61	176	465	191	133	45
計	781	16221	17565	9671	16364	5515	3497	3887	11992	0	8635	10821	15010	6713	7927	2003

起点	12								13							
終点	1	11	12	13	14	15	16	3	1	11	12	13	14	15	16	3
0時	64	27	0	131	388	130	187	225	210	170	69	0	2	165	126	130
1時	47	76	0	164	177	208	210	81	7	156	0	0	86	114	87	138
2時	17	63	0	101	105	185	118	56	24	68	1	0	36	121	118	109
3時	14	25	0	21	32	201	45	216	30	62	0	0	127	1	147	56
4時	31	0	0	101	62	43	221	133	70	79	0	0	0	49	120	210
5時	80	42	0	19	192	185	356	173	98	144	0	0	0	82	298	301
6時	295	165	0	109	641	382	886	605	209	527	23	0	123	204	760	873
7時	510	150	0	217	763	619	1039	522	340	699	104	0	183	595	1328	938
8時	567	263	0	218	631	492	875	362	635	658	150	0	242	395	1189	543
9時	518	257	0	261	553	468	855	467	549	692	136	0	179	374	942	700
10時	437	267	0	311	615	463	876	358	561	591	171	0	426	389	944	719
11時	304	234	0	298	655	514	851	290	747	598	161	0	190	363	882	549
12時	443	240	0	252	583	426	665	275	606	517	202	0	360	398	876	490
13時	674	223	0	312	505	572	797	302	691	643	200	0	393	426	1005	576
14時	513	319	0	223	598	551	801	330	641	587	163	0	376	457	1072	547
15時	753	262	0	189	276	421	791	279	646	723	124	0	365	514	934	533
16時	698	308	0	244	706	482	734	216	801	671	128	0	431	470	750	638
17時	635	319	0	249	752	654	772	241	750	646	180	0	432	504	875	673
18時	454	301	0	232	680	588	512	323	547	593	215	0	322	352	805	582
19時	198	188	0	127	617	531	479	252	321	484	56	0	388	338	527	515
20時	196	197	0	184	448	369	383	214	253	378	49	0	195	387	433	452
21時	240	104	0	159	447	298	355	245	172	241	82	0	175	243	353	417
22時	185	91	0	112	381	361	282	238	137	227	78	0	119	246	366	271
23時	100	73	0	239	275	376	278	119	124	203	81	0	79	137	155	292
計	7973	4194	0	4473	11082	9519	13368	6522	9169	10357	2373	0	5229	7324	15092	11252

表 2.4-9 時間帯別 OD 交通量 (その2)

起点	14								15							
終点	1	11	12	13	14	15	16	3	1	11	12	13	14	15	16	3
0時	165	281	40	13	0	46	2	286	76	179	219	91	33	0	0	5
1時	294	147	1	9	0	59	54	121	45	174	241	19	0	0	6	1
2時	70	89	92	42	0	0	45	154	39	132	163	28	1	0	0	11
3時	107	26	295	0	0	10	36	168	56	118	68	46	0	0	0	4
4時	79	209	11	0	0	31	100	171	0	76	263	32	0	0	0	19
5時	180	358	44	1	0	63	171	185	3	342	324	44	0	0	1	138
6時	634	962	172	49	0	247	311	811	120	944	427	166	3	0	8	86
7時	892	1386	370	179	0	241	287	527	455	1225	783	288	0	0	17	16
8時	762	990	669	78	0	18	175	407	692	854	693	431	0	0	8	56
9時	718	638	451	120	0	42	279	414	697	724	544	292	37	0	16	66
10時	490	664	384	88	0	24	194	372	469	781	707	281	3	0	4	41
11時	518	651	245	150	0	0	160	476	289	862	717	224	10	0	15	74
12時	663	815	262	104	0	42	235	325	394	639	667	292	10	0	52	80
13時	771	761	443	105	0	39	264	403	472	497	567	188	71	0	15	35
14時	741	709	561	128	0	28	238	358	300	867	539	124	11	0	28	38
15時	818	777	372	159	0	55	143	344	335	693	769	436	49	0	15	66
16時	675	631	457	86	0	8	224	266	575	718	846	175	54	0	0	50
17時	629	756	345	107	0	8	152	268	337	935	857	257	5	0	27	46
18時	371	772	474	137	0	4	237	275	274	591	897	212	14	0	3	12
19時	432	658	371	109	0	0	142	261	297	475	480	311	14	0	11	44
20時	292	356	274	103	0	79	133	298	199	467	371	167	18	0	14	54
21時	212	359	311	56	0	40	83	170	106	434	242	234	38	0	0	126
22時	191	275	218	53	0	0	93	191	154	363	324	68	38	0	0	27
23時	208	264	122	38	0	24	73	231	97	227	332	103	0	0	0	15
計	10912	13534	6984	1914	0	1108	3831	7482	6481	13317	12040	4509	409	0	240	1110

起点	16								3							
終点	1	11	12	13	14	15	16	3	1	11	12	13	14	15	16	3
0時	6	70	80	136	117	0	0	61	1	31	48	289	108	87	38	0
1時	56	24	63	44	46	0	0	60	7	9	47	231	117	1	0	0
2時	60	3	25	41	102	0	0	0	60	20	53	176	111	1	0	0
3時	22	34	47	0	65	0	0	0	22	46	4	66	140	0	0	0
4時	1	18	46	97	104	0	0	32	0	62	60	79	253	0	0	0
5時	1	39	163	258	103	0	0	26	1	72	34	112	255	3	4	0
6時	71	149	238	658	242	1	0	12	51	35	115	355	348	22	3	0
7時	153	99	378	1215	186	5	0	18	93	33	62	858	592	23	40	0
8時	472	263	195	1326	310	16	0	21	200	138	176	673	206	20	36	0
9時	238	205	370	1176	395	0	0	15	145	54	143	452	299	23	26	0
10時	167	211	206	1372	260	21	0	48	80	89	88	410	280	26	108	0
11時	222	172	416	1100	263	21	0	37	113	88	105	520	262	18	60	0
12時	180	195	382	887	258	12	0	35	31	135	159	596	248	4	23	0
13時	192	199	196	1250	376	3	0	18	63	51	95	642	210	17	43	0
14時	225	190	221	1427	207	29	0	24	106	74	77	499	308	77	52	0
15時	180	217	234	1183	346	40	0	43	70	57	177	549	356	20	9	0
16時	189	188	259	1333	252	0	0	25	66	84	117	726	194	16	13	0
17時	185	191	200	1531	196	7	0	77	64	63	85	529	362	8	13	0
18時	205	275	358	988	227	10	0	15	8	66	280	301	141	19	8	0
19時	0	172	359	757	190	6	0	5	0	95	251	332	227	41	10	0
20時	60	196	158	617	190	9	0	28	45	71	173	347	293	23	11	0
21時	47	191	176	503	157	19	0	2	32	95	104	309	257	49	2	0
22時	29	136	229	505	91	8	0	39	29	19	25	292	332	37	14	0
23時	10	137	159	211	120	0	0	10	0	33	62	212	308	72	2	0
計	2971	3574	5158	18615	4803	207	0	651	1287	1520	2540	9555	6207	607	515	0

2.4.2. マッチング精度の検証結果

前述したシミュレーションにより AVI データを作成し、検討ケース毎にマッチング精度の違いや算出された路線間遷移確率の精度についてまとめる。

■ マッチング精度の違いについて

それぞれの検討ケース毎に、環状線の内々交通を除く総交通量に対するマッチングの可否の割合、そしてそのマッチングの内訳についてまとめたものを表 2.4-10 と図 2.4-3 に示す。

まず、マッチング率についてみると、現状(case0)から下り側をすべてカバーする(case1)設置への変更については、マッチング率をより高めるという効果が見られる。ただし、case0～2では上り側の片側の車線にしか AVI が設置されていないため、全体の約 1/4 しかマッチングをすることができない。だが、上り側をすべてカバーする case3～4 へと変更したとしても、約半数しかマッチングできない。これは、環状線から放射路線、放射路線から環状線へといった車両をマッチングすることができないためである。

つぎに、マッチングの内訳についてみると、case0 と case1 ではマッチングできた車両のうち、2 割強のミスマッチングが発生しているが、case2 と case3 ではミスマッチングがほとんど発生していない状況となった。とくに、case1 から case2 への変更については、マッチングできた割合は減少しているものの、その内訳については、完全マッチングは微増、ミスマッチングは激減と、いずれも望ましい傾向を示している。case3 については、上りで初期型と新型が混同しているため、完全マッチング、ミスマッチングともに増え、その内訳は、case1 と case4 の中間程度となった。

以上のことから、マッチング精度についてまとめると、AVI を増やすことによりマッチング率が向上することがわかった。とくに、片側の車線にしか設置されていない上流側をカバーすると効果が大きく現れた。また、今回のシミュレーションでは、AVI がナンバープレートのすべての項目を観測しているわけではないが、非常に高い精度でマッチングが成功している結果となった。このことから、情報をより多く読み取ることができる新型 AVI を上流側に設置すると、ミスマッチを大きく抑えられることがわかった。

表 2.4-10 マッチング精度に関する結果

	case0	case1	case2	case3	case4
総交通量(環状内々除く)	395,829	395,829	395,829	395,829	395,829
未検出	304,612	298,221	311,431	196,603	202,685
マッチング数	91,217	97,608	84,398	199,226	193,144
完全マッチング	68,554	75,720	83,746	181,076	192,149
ミスマッチング	22,663	21,888	652	18,150	995
マッチング率	23.04%	24.66%	21.32%	50.33%	48.79%
完全マッチング	17.32%	19.13%	21.16%	45.75%	48.54%
ミスマッチング	5.73%	5.53%	0.16%	4.59%	0.25%
マッチング内訳					
完全マッチング	75.15%	77.58%	99.23%	90.89%	99.48%
ミスマッチング	24.85%	22.42%	0.77%	9.11%	0.52%

※未検出：未観測車両とマッチングできなかった車両を合わせたもの

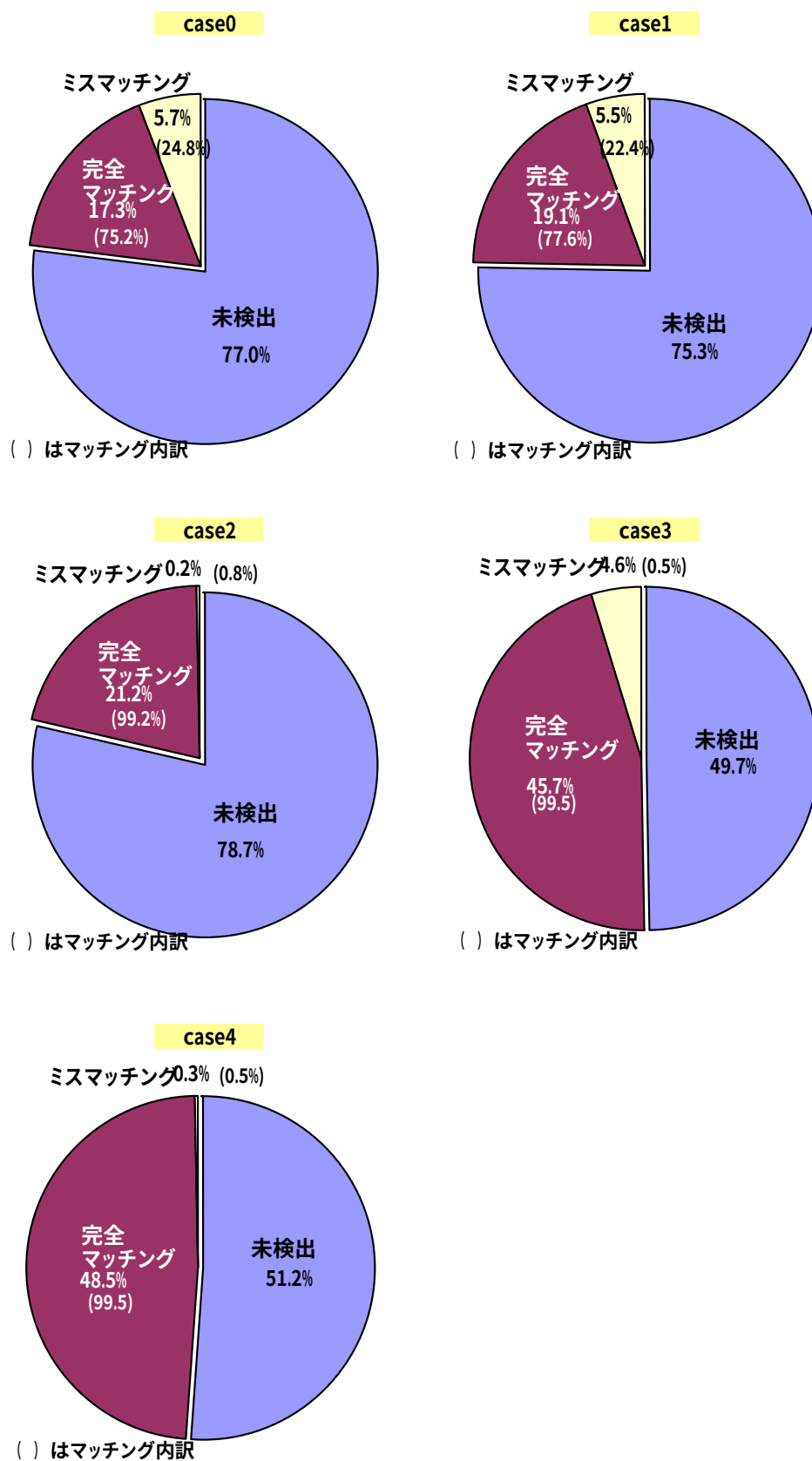


図 2.4-3 総交通量に対する割合

■ 路線間遷移確率の精度について

ケースごとに全 OD ペアの遷移確率について、縦軸を真値とし横軸をマッチングにより算出した結果としてグラフ化したものをそれぞれ図 2.4-4～図 2.4-8 に示す。このとき、それぞれの相関係数は、

case0 = 0.824

case1 = 0.975

case2 = 0.989

case3 = 0.996

case4 = 0.998

となった。

これらの結果から、case0 から case4 にかけて、段階的にばらつきが抑えられている様子がわかる。特に case4 では、マッチング率が高く、ミスマッチもほとんどないことから、算出される遷移確率も非常に精度の高いものとなった。ただし、マッチング率がそれほど高くない case2 でも強い相関が見られ、この条件でも十分な精度の遷移確率を求められることがわかった。

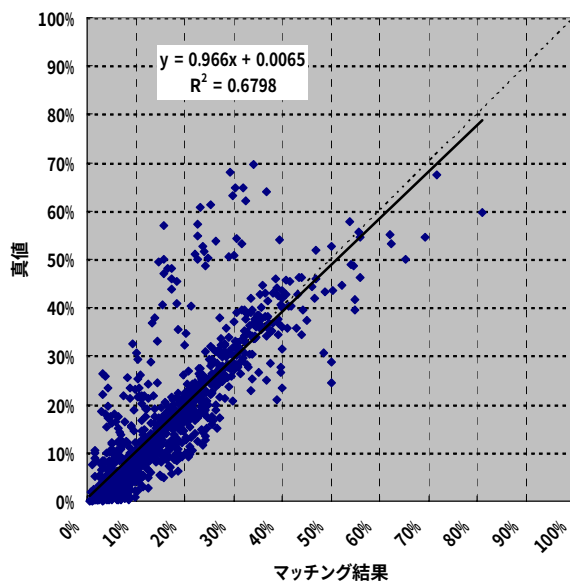


図 2.4-4 路線間遷移確率の比較(case0)

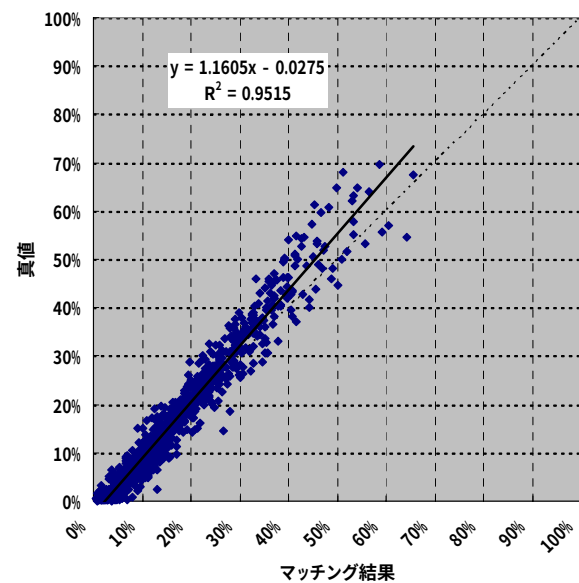


図 2.4-5 路線間遷移確率の比較(case1)

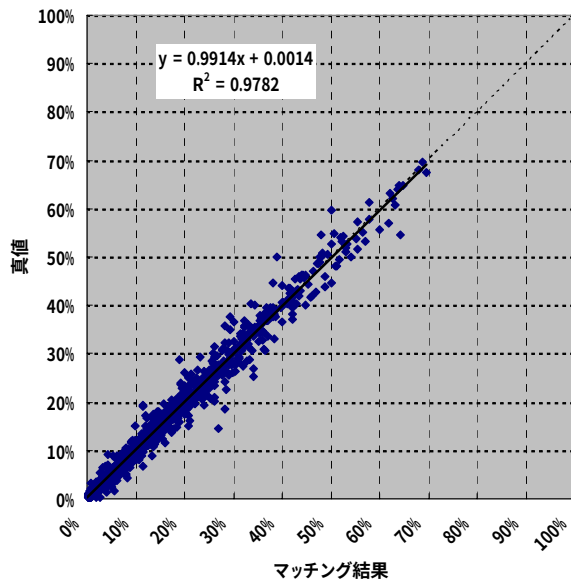


図 2.4-6 路線間遷移確率の比較(case2)

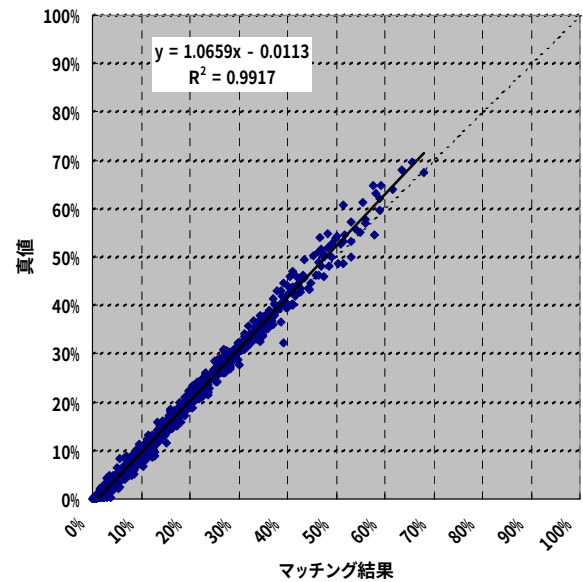


図 2.4-7 路線間遷移確率の比較(case3)

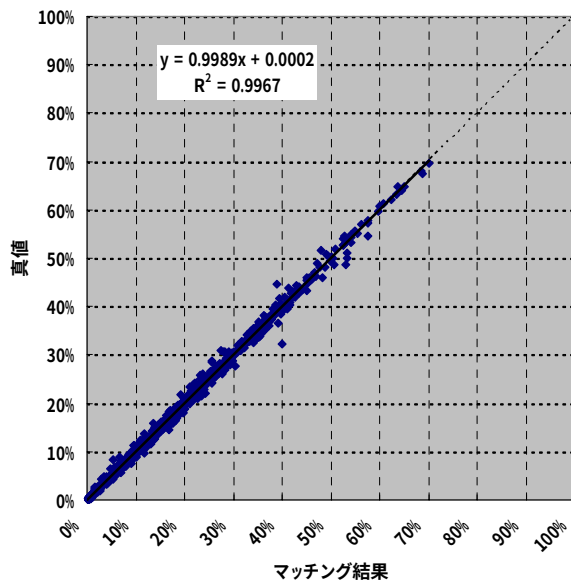


図 2.4-8 路線間遷移確率の比較(case4)

2.5. OD 推計モデルの概要

2.5.1. OD 推計モデルの枠組み

ここでは、検知器による観測交通量および AVI データを用いた OD 交通量推計モデルの検討を行う。推計する OD の単位は、阪神高速道路の AVI 設置位置によって区分されるブロックを路線として定義し、この路線間における OD 交通量を推計するモデルを構築する。

OD 推計モデルの基本構造は、AVI から得られる日ベースの遷移確率を先験確率として与え、OD 交通量の先験値と推定値のズレを最小化するものである。ズレの指標としてはエントロピーを取り上げ、同時確率最大化モデルとして定式化を行う。

まず、以下に示すよう変数を定義する。ただし、ここでは路線の数を n とする。

X_{ij} : 路線 i から路線 j への OD 交通量
 U_i : 路線 i から流入した交通量
 V_j : 路線 j から流出した交通量
 T : 総交通量

$\begin{smallmatrix} \text{O} & \text{D} \\ \text{O} & \end{smallmatrix}$	j	
i	X_{ij}	U_i
	V_j	T

このとき、以下の関係式が成り立つ。

$$\sum_j X_{ij} = U_i$$

$$\sum_i X_{ij} = V_j$$

$$T = \sum_i \sum_j X_{ij} = \sum_i U_i = \sum_j V_j$$

次に、以下のように各 OD 表の割合を定義する。

P_{ij} : 総交通量に対する路線 i から流入した車両のうち路線 j へ向かう車両の割合（横構成比）
 u_i : 総交通量に対する路線 i から流入した交通量の割合
 v_j : 総交通量に対する路線 j から流出した交通量の割合

このとき、以下の関係式が成り立つ。

$$u_i = U_i / T$$

$$v_j = V_j / T$$

$$\sum_j P_{ij} = 1$$

$$X_{ij} = T u_i P_{ij}$$

$\begin{smallmatrix} \text{O} & \text{D} \\ \text{O} & \end{smallmatrix}$	j	
i	P_{ij}	u_i
	v_j	1

上記変数を用いれば、同時確率最大化モデルは以下のように定式化することができる。

$$Z = \frac{T!}{\prod_i \prod_j X_{ij}} \prod_i \prod_j P'_{ij}^{X_{ij}} \rightarrow \max \quad \text{式 2.5-1}$$

$$\text{subject to} \quad U_i = \sum_j X_{ij} \quad \text{式 2.5-2}$$

$$V_j = \sum_i X_{ij} \quad \text{式 2.5-3}$$

ここで、式 2.5-2、式 2.5-3 は制約条件であり、それぞれ各時間帯における路線 i 、路線 j のリンク交通量の推定値が観測値に一致することを示している。また、 P'_{ij} は先験確率である。

式 2.5-1 を最大化することは、

$$\ln Z = \ln T! - \sum_i \sum_j \ln X_{ij} + \sum_i \sum_j X_{ij} \ln P'_{ij} \quad \text{式 2.5-4}$$

を最大化することと同値である。 X_{ij} が十分大きいとしてスターリングの公式を適用すると、

$$\ln Z = T \ln T - \sum_i \sum_j X_{ij} \ln X_{ij} + \sum_i \sum_j X_{ij} \ln P'_{ij}$$

ここで、 $X_{ij} = Tu_i P_{ij}$ より、

$$\ln Z = T \ln T - \sum_i \sum_j Tu_i P_{ij} \ln Tu_i P_{ij} + \sum_i \sum_j Tu_i P_{ij} \ln P'_{ij}$$

$$\ln Z = - \sum_i \sum_j Tu_i P_{ij} \ln u_i - \sum_i \sum_j Tu_i P_{ij} \ln P_{ij} + \sum_i \sum_j Tu_i P_{ij} \ln P'_{ij} \quad \text{式 2.5-5}$$

を得る。ここで式 2.5-5 を最大化することは次式を最小化することと等しい。

$$Z' = - \sum_i \sum_j P_{ij} \ln u_i - \sum_i \sum_j P_{ij} \ln P_{ij} + \sum_i \sum_j P_{ij} \ln P'_{ij} \quad \text{式 2.5-6}$$

いま、ラグランジェ関数 L を

$$L = \sum_i \sum_j u_i P_{ij} \ln P'_{ij} - \sum_i \sum_j u_i P_{ij} \ln P_{ij} - \sum_i \sum_j u_i P_{ij} \ln u_i + \sum_i \lambda_i \left(\sum_j P_{ij} - 1 \right) + \sum_j \mu_j \left(\sum_i u_i P_{ij} - v_j \right) \quad \text{式 2.5-7}$$

とすれば、最適解が満足すべき必要条件は、式 2.5-7 を未知変数 P_{ij} およびラグランジェ乗数 λ_i 、 μ_j で偏微分することで得られる。

$$\partial L / \partial P_{ij} = 0 \quad \text{式 2.5-8}$$

$$\partial L / \partial \lambda_i = 0 \quad \text{式 2.5-9}$$

$$\partial L / \partial \mu_j = 0 \quad \text{式 2.5-10}$$

式 2.5-8～式 2.5-10 より

$$u_i \ln P'_{ij} - u_i - u_i \ln P_{ij} - u_i \ln u_i + \lambda_i + \mu_j u_i = 0 \quad \text{式 2.5-11}$$

$$\sum_j P_{ij} - 1 = 0 \quad \text{式 2.5-12}$$

$$\sum_i u_i P_{ij} - v_j = 0 \quad \text{式 2.5-13}$$

である.

また, 式 2.5-11 より

$$P_{ij} = e^{-1} e^{\frac{\lambda_i}{u_i}} e^{\mu_j} P'_{ij} u_i^{-1}$$

この式を

$$P_{ij} = e^{-1} a_i b_j P'_{ij} u_i^{-1} \quad \text{式 2.5-14}$$

とすると, 式 2.5-12, 式 2.5-13 より

$$a_i = \frac{e}{\sum_j b_j P'_{ij}} \quad \text{式 2.5-15}$$

$$b_j = \frac{e v_j}{\sum_i a_i P'_{ij}} \quad \text{式 2.5-16}$$

式 2.5-11 はこのままの形では求められないため, a_i (もしくは b_j) に適当な初期値を与え, 式

2.5-15, 式 2.5-16 を用いて収束計算を行い, 求めた a_i , b_j を式 2.5-14 に代入することにより P_{ij}

を求めることができる.

2.5.2. OD 推計モデルのインプットデータ作成

まず、路線間 OD 表とそれぞれの路線における機器観測の状態を図 2.5-1 に示す。

流出		環状線	放射線	合計	検知器観測	AVI観測	捕捉率
流入		$i (=1)$	$j (2 \sim n)$				
環状線	$i (=1)$	X'_{11}	X'_{1j}	Y_i	U_i	不可	不可
放射線	$j (2 \sim n)$	X'_{1j}	X'_{ij} (AVIマッチングにより算出可能)			A_i	α_i
合計		Y_j		T			

検知器観測	V_j	
AVI観測	不可	B_j
捕捉率	不可	β_j

図 2.5-1 環状線を含む路線間 OD 表と機器観測の状態

また、各変数を以下のように定義する。

X'_{ij} ：先験確率 P'_{ij} を算出するための交通量

X_{ij} ：OD推計モデルにより求める交通量

Y_i ：OD推計モデルにより求める交通量の上流側路線 i の交通量

Y_j ：OD推計モデルにより求める通量の上流側路線 j の交通量

T ：OD 推計モデルにより求める総交通量

U_i ：上流側路線 i における検知器観測交通量

A_i ：上流側路線 i におけるAVI観測交通量 ($i = 2 \sim n$)

α_i ：上流側路線 i におけるAVI捕捉率 ($i = 2 \sim n$) $\alpha_i = A_i/U_i$

V_j ：下流側路線 j における検知器観測交通量

B_j ：下流側路線 j におけるAVI観測交通量 ($j = 2 \sim n$)

β_j ：下流側路線 j におけるAVI捕捉率 ($j = 2 \sim n$) $\beta_j = B_j/V_j$

ここで、前述したOD推計モデルで必要となるインプットデータは、路線の観測交通量 U_i 、 V_j および、路線間の先験確率 P'_{ij} ($=X'_{ij}/T$) である。これらのうち U_i 、 V_j については、車両検知器で観測可能であるが、一般的には観測誤差があるため $\sum U_i \neq \sum V_j \neq T$ であるという問題がある（シミュレーションでは検知器に観測漏れを発生させて誤差を再現している）。また、 P'_{ij} については、

AVIマッチングで算出可能な路線が放射路線($i, j=2 \sim n$)に関係するものに限られてしまうため、環状線に関係する X'_{ij} を補完する必要がある。さらに、AVIマッチングにより算出された交通量はミスマッチされたものも含む上、AVIの観測漏れがあるため、実際より少ない交通量が算出されるという問題もある。そこで、これらの問題を解決し、OD推計に必要な X'_{ij} を算出する方法を以下に示す。

■ X'_{ij} の算出方法

路線 i, j 間のOD交通量 X'_{ij} はAVIの観測の有無により、以下のように分類できる

	上流側路線 <i>i</i>	下流側路線 <i>j</i>
①	観測	観測
②		非観測
③	非観測	観測
④		非観測

ここでAVIのマッチング結果より得られる ij 間の交通量を Q_{ij} とする。路線 j においてAVIにより観測される確率は流入路線 i に関わらず一定であるとすれば、路線 i についても同様のことがいえるため、 $\alpha_i \beta_j$ をODペアの拡大率として考えると、拡大されたOD交通量 X'_{ij} は $Q_{ij} / \alpha_i \beta_j$ となる。従って、路線 i から放射路線へのOD交通量 X'_{ij} は

$$\sum_{j=2}^n X'_{ij} = \left\{ \sum_{j=2}^n (Q_{ij} / \alpha_i \beta_j) \right\}$$

と表すことができる。

路線 i から環状線への交通量を X'_{i1} とすれば、路線 i における交通量保存則から

$$U_i = \left\{ \sum_{j=2}^n (Q_{ij} / \alpha_i \beta_j) \right\} + X'_{i1}$$

と表され、同様に、環状線から路線 j への交通量を X'_{1j} とすれば、

$$V_j = \left\{ \sum_{i=2}^n (Q_{ij} / \alpha_i \beta_j) \right\} + X'_{1j}$$

と表すことができる。

以上より、 X'_{i1} 、 X'_{1j} 、 X'_{ij} が算出されるが、これらの値はミスマッチングや検知器による観測漏れによる誤差を含んでいる。従って、これらの値をもとに環状線内々交通量 X'_{11} を算出すると、ここに全ての誤差を吸収され、実際の値とかなり異なった値が算出されてしまう。このことから、 X'_{11} には適当な値を与え、 $P'_{ij} = X'_{ij} / \sum_i \sum_j X'_{ij}$ として算出した値をOD推計モデルのインプットデータとして与えることとした。ここで、 X'_{11} に与える値としては、例えば起終点調査の交通量などが考えられるが、その値も起終点調査の総交通量との比率で補正をかけることにより、日々の変化を反映した結果になると考えられる。

2.6. OD 推計モデルの検証

2.6.1. シミュレーションによるモデル検証

2.4 で述べたマッチング手法の検証と同様に、実データを用いたのでは真値の OD 交通量が不明であるため、同じシミュレーションを用いて OD 推計モデルの検証を行うこととした。ここでは、シミュレーションを用いて真の OD ペアがわかる仮想的なデータを作成し、それをもとにマッチングを行い OD 間の遷移確率を算出し、その結果をもとに OD 推計モデルにより路線間 OD 交通量を求めることによってモデルの検証を行う。

モデルの検証には、平日、週末、休日という OD パターンの異なる交通量を用意し、先験確率として第 21 回起終点調査を使用した場合と、マッチング結果を用いた場合の比較検討を行うこととした。さらに、マッチング結果を使用するケースについては、マッチング精度が OD 推定精度に与える影響を計測するために、2.4 のマッチング精度の検証結果より、マッチング率が同程度でマッチング精度（マッチング内訳）の異なる case3 と case4 の配置案について比較検討を行うこととした。現状(case0)と提案した配置案(case3, case4)の AVI 配置状態を改めて図 2.6-1 に示す。

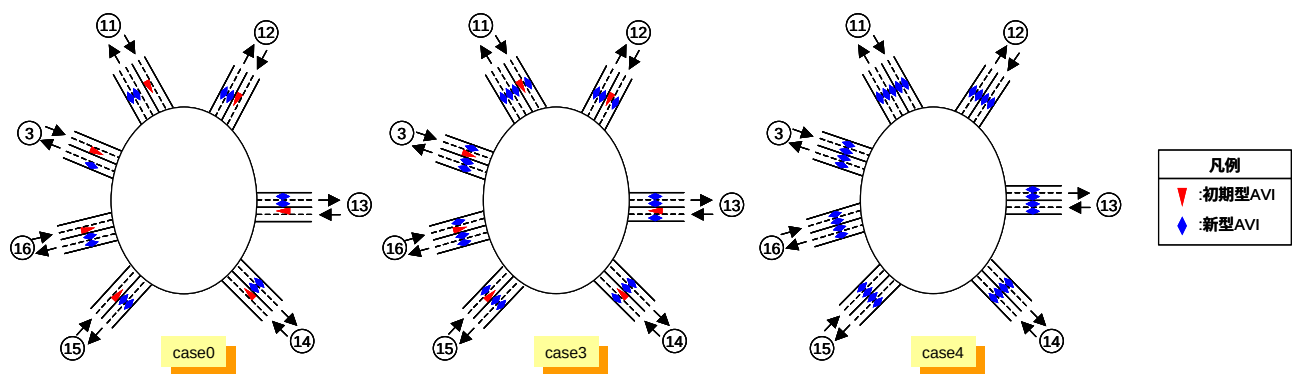


図 2.6-1 現在の AVI 設置図(case0)と検討に用いた AVI 設置図(case3,case4)

■ 検証用 OD パターンの作成

OD パターンが異なる場合の検証を行うため、平日、週末、休日の OD パターンを作成した。具体的には、交通量月報のデータより平日、週末、休日の放射路線の流入-流出交通量と環状線の ON-OFF ランプの交通量を求め、第 21 回起終点調査の交通量を既知の OD として与え、フレーター法によりそれぞれの OD 分布を作成した。もともとなった起終点調査の OD 表を表 2.6-1 に、作成した OD 表をそれぞれ表 2.6-2～表 2.6-4 に示す。また、それらの OD ペアの構成比を図 2.6-2 に示す。

表 2.6-1 第 21 回起終点調査の OD 交通量 (元 OD)

	1	11	12	13	14	15	16	3	計
1	781	16,221	17,565	9,671	16,364	5,515	6,481	7,392	79,990
11	12,252	0	8,635	10,821	15,010	6,713	7,927	2,003	63,361
12	9,608	4,194	0	4,473	11,082	9,519	13,368	6,522	58,766
13	10,083	10,357	2,373	0	5,229	7,324	15,092	11,252	61,710
14	12,572	13,534	6,984	1,914	0	1,108	3,831	7,482	47,425
15	7,340	13,317	12,040	4,509	409	0	240	1,110	38,965
16	5,005	3,574	5,158	18,615	4,803	207	0	651	38,013
3	3,702	1,520	2,540	9,555	6,207	607	515	0	24,646
計	61,343	62,717	55,295	59,558	59,104	30,993	47,454	36,412	412,876

表 2.6-2 作成した平日の OD 交通量

	1	11	12	13	14	15	16	3	計
1	916	15,896	15,559	9,420	14,680	5,860	4,188	4,736	71,255
11	12,660	0	6,882	9,480	12,115	6,420	8,545	2,197	58,299
12	7,885	3,464	0	3,669	8,378	8,529	13,501	6,700	52,126
13	8,613	8,124	1,682	0	3,755	6,234	14,479	10,980	53,867
14	12,182	12,618	5,885	1,773	0	1,121	4,368	8,677	46,624
15	6,885	11,816	9,656	3,976	332	0	260	1,225	34,150
16	3,719	3,737	4,874	19,339	4,597	235	0	846	37,347
3	1,626	1,604	2,422	10,019	5,995	695	664	0	23,025
計	54,486	57,259	46,960	57,676	49,852	29,094	46,005	35,361	376,693

表 2.6-3 作成した週末の OD 交通量

	1	11	12	13	14	15	16	3	計
1	636	13,923	11,953	6,558	10,607	4,838	3,398	4,061	55,974
11	11,314	0	6,806	8,496	11,267	6,821	8,921	2,424	56,049
12	6,808	3,776	0	3,176	7,532	8,761	13,625	7,146	50,824
13	6,935	8,262	1,501	0	3,149	5,974	13,631	10,925	50,377
14	10,325	13,503	5,524	1,506	0	1,130	4,327	9,086	45,401
15	5,736	12,420	8,903	3,321	288	0	253	1,260	32,181
16	3,363	4,262	4,877	17,542	4,326	252	0	945	35,567
3	1,675	2,084	2,761	10,356	6,427	850	799	0	24,952
計	46,792	58,230	42,325	50,955	43,596	28,626	44,954	35,847	351,325

表 2.6-4 作成した休日の OD 交通量

	1	11	12	13	14	15	16	3	計
1	429	9,753	7,628	4,527	9,651	3,992	2,183	2,619	40,782
11	8,191	0	4,661	6,295	11,003	6,040	6,150	1,677	44,017
12	4,793	2,759	0	2,288	7,156	7,549	9,139	4,810	38,494
13	5,251	6,493	1,075	0	3,218	5,535	9,832	7,907	39,311
14	9,686	13,146	4,900	1,446	0	1,296	3,865	8,145	42,484
15	5,088	11,435	7,466	3,015	344	0	214	1,068	28,630
16	2,713	3,569	3,721	14,481	4,704	249	0	728	30,165
3	1,459	1,885	2,275	9,226	7,548	906	663	0	23,962
計	37,610	49,040	31,726	41,278	43,624	25,567	32,046	26,954	287,845

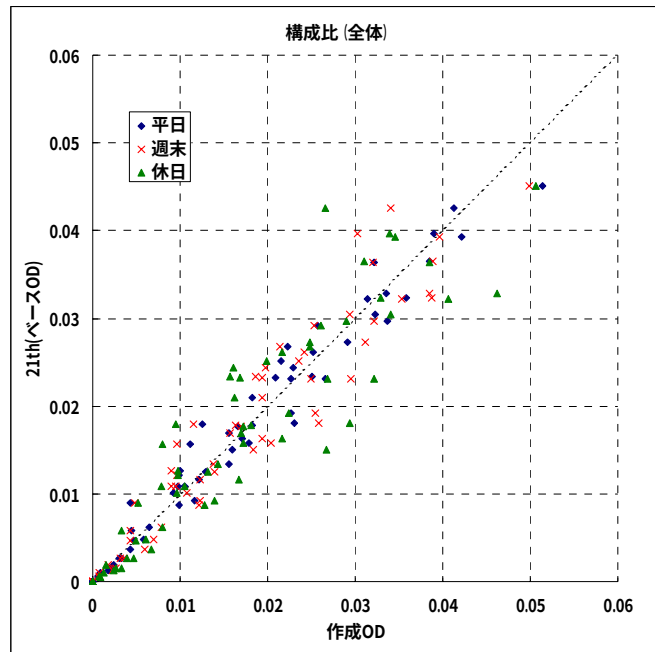


図 2.6-2 作成した OD ペアの構成比

この図より、作成した OD パターンは平日、週末、休日の順にベースとなった OD からブレが大きくなっていることがわかる。よって、検証に必要なパターンの違いが表れているとして、これらの OD パターンをもとに検証用データの作成及び AVI マッチングを行った。

■AVI マッチングの精度結果

同じ AVI 設置状況であれば、平日や休日といった OD パターンに関係なく同様のマッチング精度が求められるかを確認する。case3 と case4 の AVI 設置状況におけるマッチングの結果はそれぞれ図 2.6-3、図 2.6-4 に示す様に、OD パターンの違いによる精度の差はそれほど小さくなく、同じ AVI 設置状況であれば、一定の精度でマッチングが行われていることが分かる。この結果より、今回作成した検証用データは、マッチング精度が OD 推定精度に与える影響を計測するという主旨を満たすことが確認された。

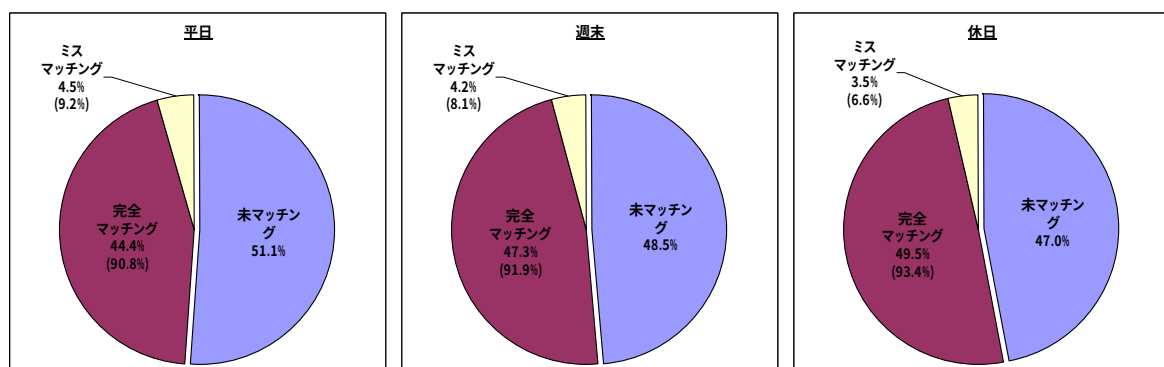


図 2.6-3 各 OD パターンのマッチング精度 (case3)

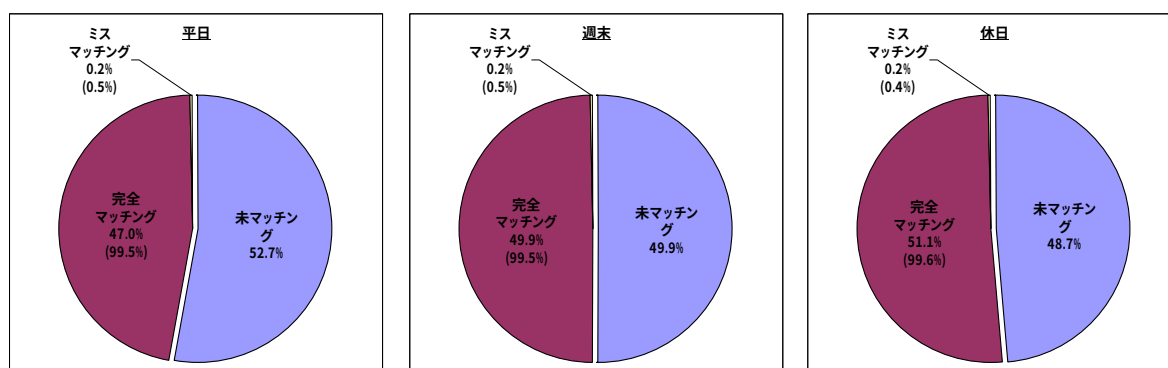


図 2.6-4 各 OD パターンのマッチング精度 (case4)

2.6.2. OD 推計結果の検証

それぞれの OD パターンについて、AVI マッチングによって算出された OD 間の遷移確率をもとに、OD 推計モデルにより路線間 OD 交通量を求めた。以下に、真の OD 交通量と推定した OD 交通量の誤差について、それぞれの指標から検証した結果を示す。

■ 相関関係

OD 推計により算出された交通量と真の OD 交通量を平日、週末、休日別にまとめたものを図 2.6-5～図 2.6-7 に、それぞれの相関係数をまとめたものを表 2.6-5 に示す。これらの結果より、起終点調査(21th)による OD 推計でも相関係数は 0.98 あり、概ね良好な結果が算出されることがわかった。しかし、相関係数では起終点調査と AVI マッチングによる推計とではほとんど差が現れない結果となった。

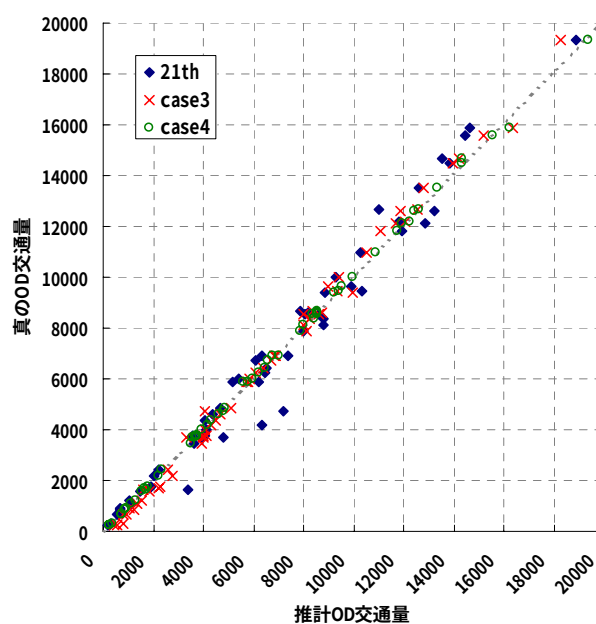


図 2.6-5 平日の OD 交通量推計結果

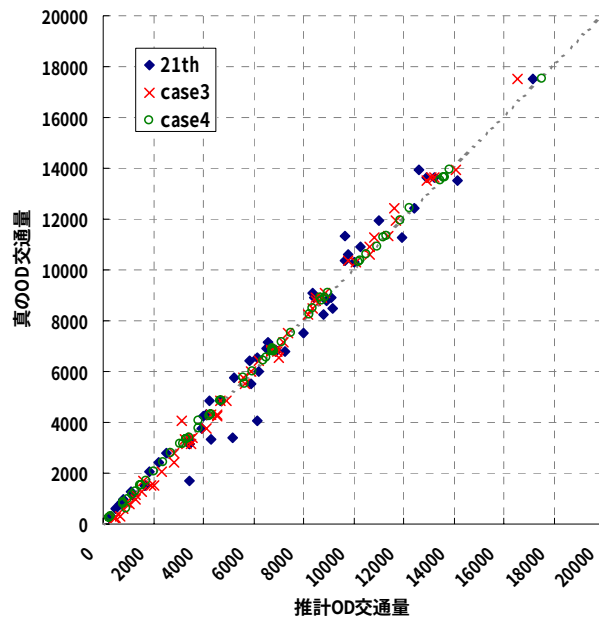


図 2.6-6 週末の OD 交通量推計結果

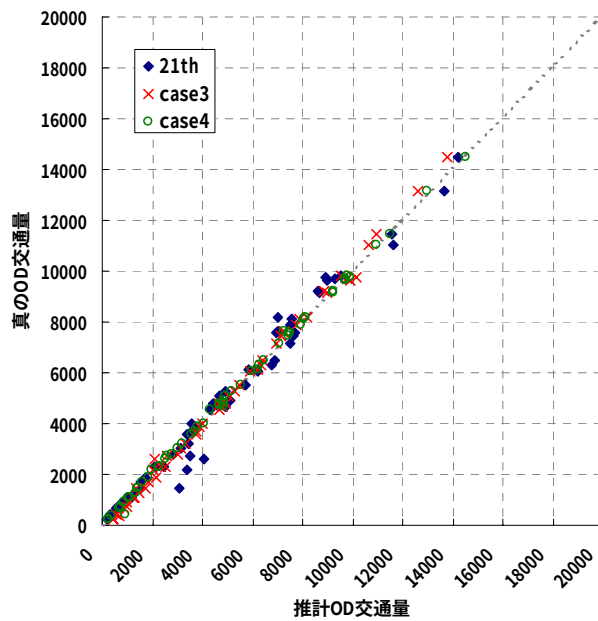


図 2.6-7 休日の OD 交通量推計結果

表 2.6-5 OD 推計結果の相関係数

	平日	週末	休日
21th	0.98854	0.98857	0.99033
case3	0.99794	0.99832	0.99858
case4	0.99980	0.99986	0.99951

■ 差の絶対値による検証

相関係数では、それぞれの差があまり見られなかったことから、算出された交通量と真の OD 交通量（表 2.6-2～表 2.6-4）との差の絶対値を求めた。OD 別の結果を表 2.6-6～表 2.6-8 に、差の絶対値の総和をまとめたものを表 2.6-9 示す。これらの結果から差の絶対値の総和で見ると、いずれの OD パターンにおいても、起終点調査＞case3＞case4 の順に真値との誤差が大きくなっている。

表 2.6-6 OD 推計結果（平日）

平日		推計交通量										インプットデータとの差の絶対値									
先験確率	21th																				
		1	11	12	13	14	15	16	3	1	11	12	13	14	15	16	3				
		1	677	14,617	14,486	8,883	13,514	5,185	6,339	7,176	70,877	1	239	1,279	1,073	537	1,166	675	2,151	2,440	9,560
		11	11,016	0	7,390	10,315	12,864	6,550	8,046	2,018	58,199	11	1,644	0	508	835	749	130	499	179	4,544
		12	8,027	3,644	0	3,962	8,825	8,629	12,607	6,105	51,799	12	142	180	0	293	447	100	894	595	2,651
		13	8,212	8,773	1,840	0	4,059	6,473	13,876	10,268	53,501	13	401	649	158	0	304	239	603	712	3,066
		14	11,802	13,214	6,241	1,905	0	1,129	4,060	7,870	46,221	14	380	596	356	132	0	8	308	807	2,587
		15	6,331	11,946	9,884	4,123	336	0	234	1,072	33,926	15	554	130	228	147	4	0	26	153	1,242
		16	4,784	3,553	4,694	18,865	4,376	215	0	697	37,184	16	1,065	184	180	474	221	20	0	149	2,293
		3	3,406	1,455	2,225	9,321	5,444	606	535	0	22,992	3	1,780	149	197	698	551	89	129	0	3,593
		54,255	57,202	46,760	57,374	49,418	28,787	45,697	35,206	374,699			6,205	3,167	2,700	3,116	3,442	1,261	4,610	5,035	29,536
case3																					
	1	11	12	13	14	15	16	3	1	11	12	13	14	15	16	3					
	1	1,040	16,376	15,197	9,971	14,202	5,717	4,295	4,077	70,875	1	124	480	362	551	478	143	107	659	2,904	
	11	12,527	0	6,910	9,340	11,685	6,386	8,606	2,745	58,199	11	133	0	28	140	430	34	61	548	1,374	
	12	8,120	3,944	0	3,978	8,247	8,005	12,821	6,684	51,799	12	235	480	0	309	131	524	680	16	2,375	
	13	8,769	7,992	2,188	0	3,980	6,074	13,984	10,513	53,500	13	156	132	506	0	225	160	495	467	2,141	
	14	12,069	11,855	5,805	2,283	0	1,335	4,505	8,366	46,218	14	113	763	80	510	0	214	137	311	2,128	
	15	6,841	11,048	9,015	4,073	814	0	566	1,568	33,925	15	44	768	641	97	482	0	306	343	2,681	
	16	3,313	4,119	5,086	18,303	4,659	452	0	1,253	37,185	16	406	382	212	1,036	62	217	0	407	2,722	
	3	1,575	1,867	2,558	9,425	5,832	816	920	0	22,992	3	51	263	136	594	163	121	256	0	1,584	
		54,254	57,201	46,759	57,373	49,419	28,785	45,697	35,206	374,694			1,262	3,268	1,965	3,237	1,971	1,413	2,042	2,751	17,909
case4																					
	1	11	12	13	14	15	16	3	1	11	12	13	14	15	16	3					
	1	911	16,231	15,548	9,214	14,346	5,629	4,166	4,830	70,875	1	5	335	11	206	334	231	22	94	1,238	
	11	12,616	0	6,988	9,425	11,962	6,463	8,536	2,208	58,198	11	44	0	106	55	153	43	9	11	421	
	12	7,901	3,498	0	3,669	8,412	8,393	13,343	6,582	51,798	12	16	34	0	0	34	136	158	118	496	
	13	8,560	8,025	1,681	0	3,747	6,226	14,351	10,910	53,500	13	53	99	1	0	8	8	128	70	367	
	14	12,221	12,437	5,809	1,769	0	1,119	4,323	8,542	46,220	14	39	181	76	4	0	2	45	135	482	
	15	6,798	11,760	9,536	3,957	359	0	254	1,262	33,926	15	87	56	120	19	27	0	6	37	352	
	16	3,540	3,692	4,864	19,367	4,609	241	0	872	37,185	16	179	45	10	28	12	6	0	26	306	
	3	1,707	1,559	2,334	9,972	5,984	714	722	0	22,992	3	81	45	88	47	11	19	58	0	349	
		54,254	57,202	46,760	57,373	49,419	28,785	45,695	35,206	374,694			504	795	412	359	579	445	426	491	4,011

表 2.6-7 OD 推計結果（週末）

週末		推計交通量										インプットデータとの差の絶対値									
		1	11	12	13	14	15	16	3	1	11	12	13	14	15	16	3				
21th	1	463	12,615	11,044	6,164	9,755	4,265	5,180	6,166	55,652	1	173	1,308	909	394	852	573	1,782	2,105	8,096	
	11	9,667	0	7,232	9,188	11,920	6,915	8,440	2,226	55,588	11	1,647	0	426	692	653	94	481	198	4,191	
	12	6,893	3,951	0	3,453	8,002	8,915	12,942	6,590	50,746	12	85	175	0	277	470	154	683	556	2,400	
	13	6,544	8,826	1,635	0	3,416	6,206	13,218	10,285	50,130	13	391	564	134	0	267	232	413	640	2,641	
	14	10,006	14,144	5,900	1,639	0	1,151	4,115	8,387	45,342	14	319	641	376	133	0	21	212	699	2,401	
	15	5,230	12,460	9,107	3,458	293	0	231	1,114	31,893	15	506	40	204	137	5	0	22	146	1,060	
	16	4,292	4,024	4,695	17,178	4,145	232	0	786	35,352	16	929	238	182	364	181	20	0	159	2,073	
	3	3,468	1,870	2,526	9,633	5,853	742	651	0	24,743	3	1,793	214	235	723	574	108	148	0	3,795	
		46,563	57,890	42,139	50,713	43,384	28,426	44,777	35,554	349,446		5,843	3,180	2,466	2,720	3,002	1,202	3,741	4,503	26,657	
	先験確率	case3	1	782	14,068	11,699	7,019	10,670	4,689	3,569	3,154	55,650	1	146	145	254	461	63	149	171	907
11			11,376	0	6,728	8,349	10,843	6,723	8,722	2,846	55,587	11	62	0	78	147	424	98	199	422	1,430
12			6,958	4,139	0	3,492	7,375	8,465	13,136	7,179	50,744	12	150	363	0	316	157	296	489	33	1,804
13			6,934	8,211	1,880	0	3,297	5,885	13,257	10,666	50,130	13	1	51	379	0	148	89	374	259	1,301
14			10,105	12,898	5,637	2,044	0	1,278	4,547	8,835	45,344	14	220	605	113	538	0	148	220	251	2,095
15			5,573	11,660	8,473	3,438	666	0	522	1,561	31,893	15	163	760	430	117	378	0	269	301	2,418
16			3,243	4,571	4,894	16,581	4,312	439	0	1,314	35,354	16	120	309	17	961	14	187	0	369	1,977
3			1,591	2,342	2,829	9,790	6,220	948	1,024	0	24,744	3	84	258	68	566	207	98	225	0	1,506
			46,562	57,889	42,140	50,713	43,383	28,427	44,777	35,555	349,446		946	2,491	1,339	3,106	1,391	1,065	1,947	2,542	14,827
			case4	1	894	13,860	11,865	6,528	10,546	4,681	3,462	3,815	55,651	1	258	63	88	30	61	157	64
	11	11,293		0	6,823	8,363	11,206	6,792	8,705	2,405	55,587	11	21	0	17	133	61	29	216	19	496
	12	6,763		3,786	0	3,187	7,518	8,769	13,580	7,141	50,744	12	45	10	0	11	14	8	45	5	138
	13	6,793		8,230	1,486	0	3,106	5,947	13,643	10,925	50,130	13	142	32	15	0	43	27	12	0	271
	14	10,206		13,473	5,639	1,533	0	1,145	4,336	9,011	45,343	14	119	30	115	27	0	15	9	75	390
	15	5,588		12,253	8,873	3,326	314	0	248	1,291	31,893	15	148	167	30	5	26	0	5	31	412
	16	3,325		4,240	4,738	17,528	4,289	265	0	967	35,352	16	38	22	139	14	37	13	0	22	285
	3	1,699		2,047	2,717	10,247	6,403	827	804	0	24,744	3	24	37	44	109	24	23	5	0	266
		46,561		57,889	42,141	50,712	43,382	28,426	44,778	35,555	349,444		795	361	448	329	266	272	356	398	3,225

表 2.6-8 OD 推計結果（休日）

先験確率	休日	推計交通量										インプットデータとの差の絶対値									
		1	11	12	13	14	15	16	3			1	11	12	13	14	15	16	3		
		21th	11	12	13	14	15	16	3			1	11	12	13	14	15	16	3		
先験確率	21th	1	315	8,942	7,046	4,284	8,985	3,595	3,395	4,089	40,651	1	114	811	582	243	666	397	1,212	1,470	5,495
		11	6,995	0	4,901	6,782	11,661	6,192	5,875	1,568	43,974	11	1,196	0	240	487	658	152	275	109	3,117
		12	4,790	2,857	0	2,448	7,519	7,668	8,653	4,458	38,393	12	3	98	0	160	363	119	486	352	1,581
		13	4,901	6,878	1,147	0	3,459	5,752	9,524	7,498	39,159	13	350	385	72	0	241	217	308	409	1,982
		14	9,287	13,658	5,129	1,552	0	1,323	3,674	7,577	42,200	14	399	512	229	106	0	27	191	568	2,032
		15	4,669	11,573	7,614	3,149	354	0	198	968	28,525	15	419	138	148	134	10	0	16	100	965
		16	3,478	3,392	3,563	14,199	4,541	232	0	620	30,025	16	765	177	158	282	163	17	0	108	1,670
		3	3,047	1,709	2,078	8,634	6,952	807	550	0	23,777	3	1,588	176	197	592	596	99	113	0	3,361
			37,482	49,009	31,478	41,048	43,471	25,569	31,869	26,778	286,704		4,834	2,297	1,626	2,004	2,697	1,028	2,601	3,116	20,203
先験確率	case3	1	540	10,134	7,266	4,706	9,889	3,989	2,012	2,117	40,653	1	111	381	362	179	238	3	171	502	1,947
		11	8,200	0	4,802	6,316	10,662	5,922	6,200	1,871	43,973	11	9	0	141	21	341	118	50	194	874
		12	4,685	3,015	0	2,535	6,973	7,290	8,997	4,899	38,394	12	108	256	0	247	183	259	142	89	1,284
		13	5,317	6,416	1,316	0	3,344	5,464	9,518	7,783	39,158	13	66	77	241	0	126	71	314	124	1,019
		14	9,758	12,597	4,871	1,729	0	1,476	3,890	7,878	42,199	14	72	549	29	283	0	180	25	267	1,405
		15	5,018	10,945	7,120	3,115	689	0	407	1,231	28,525	15	70	490	346	100	345	0	193	163	1,707
		16	2,609	3,765	3,758	13,794	4,673	430	0	998	30,027	16	104	196	37	687	31	181	0	270	1,506
		3	1,356	2,137	2,344	8,854	7,243	998	846	0	23,778	3	103	252	69	372	305	92	183	0	1,376
			37,483	49,009	31,477	41,049	43,473	25,569	31,870	26,777	286,707		643	2,201	1,225	1,889	1,569	904	1,078	1,609	11,118
先験確率	case4	1	900	9,917	7,274	4,294	9,748	4,046	1,980	2,493	40,652	1	471	164	354	233	97	54	203	126	1,702
		11	8,102	0	4,840	6,281	10,959	5,975	6,188	1,628	43,973	11	89	0	179	14	44	65	38	49	478
		12	4,651	2,763	0	2,307	7,099	7,490	9,235	4,847	38,392	12	142	4	0	19	57	59	96	37	414
		13	5,165	6,436	1,081	0	3,219	5,567	9,767	7,924	39,159	13	86	57	6	0	1	32	65	17	264
		14	9,733	12,998	4,850	1,405	0	1,348	3,789	8,077	42,200	14	47	148	50	41	0	52	76	68	482
		15	4,915	11,499	7,459	3,005	358	0	222	1,065	28,523	15	173	64	7	10	14	0	8	3	279
		16	2,591	3,542	3,707	14,534	4,650	257	0	744	30,025	16	122	27	14	53	54	8	0	16	294
		3	1,425	1,853	2,266	9,222	7,439	885	688	0	23,778	3	34	32	9	4	109	21	25	0	234
			37,482	49,008	31,477	41,048	43,472	25,568	31,869	26,778	286,702		1,164	496	619	374	376	291	511	316	4,147

表 2.6-9 差の絶対値の総和

	平日	週末	休日
21th	29,536	26,657	20,203
case3	17,909	14,827	11,118
case4	4,011	3,225	4,147

■ RMS 誤差と誤差率による検証

誤差の指標である RMS 誤差と誤差率について調べた。RMS 誤差についてはまとめたものを表 2.6-10 に、誤差率については OD 別に算出した結果を表 2.6-11～表 2.6-13 に、全体で算出したものを表 2.6-14 に示す。それぞれの指標は以下の式から求めた。

$$\text{RMS 誤差} : \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n (Y_i - X_i)^2}$$

$$\text{誤差率(\%)} : \frac{1}{n} \sum_i^n (|Y_i - X_i| / X_i) \times 100$$

ただし、
Xi：真値
Yi：計算値

表 2.6-10 RMS 誤差

	平日	週末	休日
21th	731.82	658.04	494.21
case3	387.29	332.21	242.43
case4	103.52	83.62	111.99

表 2.6-11 OD 別誤差率（平日）

平日		誤差率									
先験確率	21th		1	11	12	13	14	15	16	3	
		1	26.09%	8.05%	6.90%	5.70%	7.94%	11.52%	51.36%	51.52%	
		11	12.99%	-	7.38%	8.81%	6.18%	2.02%	5.84%	8.15%	
		12	1.80%	5.20%	-	7.99%	5.34%	1.17%	6.62%	8.88%	
		13	4.66%	7.99%	9.39%	-	8.10%	3.83%	4.16%	6.48%	
		14	3.12%	4.72%	6.05%	7.45%	-	0.71%	7.05%	9.30%	
		15	8.05%	1.10%	2.36%	3.70%	1.20%	-	10.00%	12.49%	
		16	28.64%	4.92%	3.69%	2.45%	4.81%	8.51%	-	17.61%	
		3	109.47%	9.29%	8.13%	6.97%	9.19%	12.81%	19.43%	-	
先験確率	case3		1	11	12	13	14	15	16	3	
		1	13.54%	3.02%	2.33%	5.85%	3.26%	2.44%	2.55%	13.91%	
		11	1.05%	-	0.41%	1.48%	3.55%	0.53%	0.71%	24.94%	
		12	2.98%	13.86%	-	8.42%	1.56%	6.14%	5.04%	0.24%	
		13	1.81%	1.62%	30.08%	-	5.99%	2.57%	3.42%	4.25%	
		14	0.93%	6.05%	1.36%	28.76%	-	19.09%	3.14%	3.58%	
		15	0.64%	6.50%	6.64%	2.44%	145.18%	-	117.69%	28.00%	
		16	10.92%	10.22%	4.35%	5.36%	1.35%	92.34%	-	48.11%	
		3	3.14%	16.40%	5.62%	5.93%	2.72%	17.41%	38.55%	-	
先験確率	case4		1	11	12	13	14	15	16	3	
		1	0.55%	2.11%	0.07%	2.19%	2.28%	3.94%	0.53%	1.98%	
		11	0.35%	-	1.54%	0.58%	1.26%	0.67%	0.11%	0.50%	
		12	0.20%	0.98%	-	0.00%	0.41%	1.59%	1.17%	1.76%	
		13	0.62%	1.22%	0.06%	-	0.21%	0.13%	0.88%	0.64%	
		14	0.32%	1.43%	1.29%	0.23%	-	0.18%	1.03%	1.56%	
		15	1.26%	0.47%	1.24%	0.48%	8.13%	-	2.31%	3.02%	
		16	4.81%	1.20%	0.21%	0.14%	0.26%	2.55%	-	3.07%	
		3	4.98%	2.81%	3.63%	0.47%	0.18%	2.73%	8.73%	-	

は誤差率5%以内
は誤差率50%以上

表 2.6-12 OD 別誤差率（週末）

週末		誤差率									
先験確率	21th		1	11	12	13	14	15	16	3	
		1	27.20%	9.39%	7.60%	6.01%	8.03%	11.84%	52.44%	51.83%	
		11	14.56%	-	6.26%	8.15%	5.80%	1.38%	5.39%	8.17%	
		12	1.25%	4.63%	-	8.72%	6.24%	1.76%	5.01%	7.78%	
		13	5.64%	6.83%	8.93%	-	8.48%	3.88%	3.03%	5.86%	
		14	3.09%	4.75%	6.81%	8.83%	-	1.86%	4.90%	7.69%	
		15	8.82%	0.32%	2.29%	4.13%	1.74%	-	8.70%	11.59%	
		16	27.62%	5.58%	3.73%	2.08%	4.18%	7.94%	-	16.83%	
		3	107.04%	10.27%	8.51%	6.98%	8.93%	12.71%	18.52%	-	
先験確率	case3		1	11	12	13	14	15	16	3	
		1	22.96%	1.04%	2.12%	7.03%	0.59%	3.08%	5.03%	22.33%	
		11	0.55%	-	1.15%	1.73%	3.76%	1.44%	2.23%	17.41%	
		12	2.20%	9.61%	-	9.95%	2.08%	3.38%	3.59%	0.46%	
		13	0.01%	0.62%	25.25%	-	4.70%	1.49%	2.74%	2.37%	
		14	2.13%	4.48%	2.05%	35.72%	-	13.10%	5.08%	2.76%	
		15	2.84%	6.12%	4.83%	3.52%	131.25%	-	106.32%	23.89%	
		16	3.57%	7.25%	0.35%	5.48%	0.32%	74.21%	-	39.05%	
		3	5.01%	12.38%	2.46%	5.47%	3.22%	11.53%	28.16%	-	
先験確率	case4		1	11	12	13	14	15	16	3	
		1	40.57%	0.45%	0.74%	0.46%	0.58%	3.25%	1.88%	6.06%	
		11	0.19%	-	0.25%	1.57%	0.54%	0.43%	2.42%	0.78%	
		12	0.66%	0.26%	-	0.35%	0.19%	0.09%	0.33%	0.07%	
		13	2.05%	0.39%	1.00%	-	1.37%	0.45%	0.09%	0.00%	
		14	1.15%	0.22%	2.08%	1.79%	-	1.33%	0.21%	0.83%	
		15	2.58%	1.34%	0.34%	0.15%	9.03%	-	1.98%	2.46%	
		16	1.13%	0.52%	2.85%	0.08%	0.86%	5.16%	-	2.33%	
		3	1.43%	1.78%	1.59%	1.05%	0.37%	2.71%	0.63%	-	

は誤差率5%以内
は誤差率50%以上

表 2.6-13 OD 別誤差率（休日）

休日		誤差率									
先験確率	21th		1	11	12	13	14	15	16	3	
		1	26.57%	8.32%	7.63%	5.37%	6.90%	9.94%	55.52%	56.13%	
		11	14.60%	-	5.15%	7.74%	5.98%	2.52%	4.47%	6.50%	
		12	0.06%	3.55%	-	6.99%	5.07%	1.58%	5.32%	7.32%	
		13	6.67%	5.93%	6.70%	-	7.49%	3.92%	3.13%	5.17%	
		14	4.12%	3.89%	4.67%	7.33%	-	2.08%	4.94%	6.97%	
		15	8.24%	1.21%	1.98%	4.44%	2.91%	-	7.48%	9.36%	
		16	28.20%	4.96%	4.25%	1.95%	3.47%	6.83%	-	14.84%	
		3	108.84%	9.34%	8.66%	6.42%	7.90%	10.93%	17.04%	-	
	case3		1	11	12	13	14	15	16	3	
		1	25.87%	3.91%	4.75%	3.95%	2.47%	0.08%	7.83%	19.17%	
		11	0.11%	-	3.03%	0.33%	3.10%	1.95%	0.81%	11.57%	
		12	2.25%	9.28%	-	10.80%	2.56%	3.43%	1.55%	1.85%	
		13	1.26%	1.19%	22.42%	-	3.92%	1.28%	3.19%	1.57%	
		14	0.74%	4.18%	0.59%	19.57%	-	13.89%	0.65%	3.28%	
		15	1.38%	4.29%	4.63%	3.32%	100.29%	-	90.19%	15.26%	
		16	3.83%	5.49%	0.99%	4.74%	0.66%	72.69%	-	37.09%	
		3	7.06%	13.37%	3.03%	4.03%	4.04%	10.15%	27.60%	-	
	case4		1	11	12	13	14	15	16	3	
		1	109.79%	1.68%	4.64%	5.15%	1.01%	1.35%	9.30%	4.81%	
		11	1.09%	-	3.84%	0.22%	0.40%	1.08%	0.62%	2.92%	
		12	2.96%	0.14%	-	0.83%	0.80%	0.78%	1.05%	0.77%	
		13	1.64%	0.88%	0.56%	-	0.03%	0.58%	0.66%	0.21%	
		14	0.49%	1.13%	1.02%	2.84%	-	4.01%	1.97%	0.83%	
		15	3.40%	0.56%	0.09%	0.33%	4.07%	-	3.74%	0.28%	
		16	4.50%	0.76%	0.38%	0.37%	1.15%	3.21%	-	2.20%	
		3	2.33%	1.70%	0.40%	0.04%	1.44%	2.32%	3.77%	-	

は誤差率5%以内
は誤差率50%以上

表 2.6-14 全体の誤差率

	平日	週末	休日
21th	10.97%	10.85%	10.45%
case3	14.03%	12.34%	10.75%
case4	1.53%	2.02%	3.67%

これらの結果によると、いずれの OD パターンでも、RMS 誤差では case4 > case3 > 起終点調査の順に、誤差率では case4 > 起終点調査 > case3 の順に精度が良いという結果となった。誤差の指標により、精度の順番が異なるという結果となったが、これは、RMS 誤差が真値との差の大きさを計算するのに対して、誤差率が真値からのズレの比率で計算を行っているためである。単純な事例を表 2.6-15 に示す。この例によると、真の交通量がどの場合でも差は 100 台なので差の 2 乗も同じ値であるが、誤差率で見ると大きくかけ離れている。つまり、誤差率では、差の値が同じであっても、真の値の大きさが小さいほど指標値が大きくなるという性質を持っているためである。

表 2.6-15 指標による差異の例

真の交通量	算出交通量	差	差の2乗	誤差率
100	200	100	10,000	100%
1,000	1,100	100	10,000	10%
10,000	10,100	100	10,000	1%

■ 検証結果のまとめ

これらのことから case3 について考察すると、case3 では case4 に比べてミスマッチングが多く、路線間 OD 交通量が元々少ない 15→14 や 15→16 や 16→15 という OD ペアにおいて真値の倍程度の交通量がマッチング結果により算出されている。さらに、AVI の捕捉率で OD 交通量の拡大を行っているため、最終的に算出される OD 推計結果がその影響を受けるという結果になっている。その具体的な事例を表 2.6-16 に示す。case3 ではこのような OD ペアが起終点調査よりも多いため、全体的な誤差率も悪いという結果となった。

表 2.6-16 ミスマッチングによる誤差率への影響（平日）

O→D	真の交通量	マッチング結果	OD拡大	OD推計結果	誤差率
15→14	332	608	858	814	145.2%
15→16	260	405	570	566	117.7%
16→15	235	320	454	452	92.3%

以上のことから、推計される OD 交通量とマッチング精度の関係についてまとめると、交通量の全体的な誤差でみると、case4>case3>起終点調査の順に高い精度での OD 推定が可能であり、起終点調査の値を使用するよりも、マッチング結果を使用した方が精度の良い OD を推計することが分かった。しかし、元々の交通量が少ない OD ペアに着目すると、マッチングの精度が大きく影響するため、一割程度のミスマッチングを含む case3 では、起終点調査を用いた OD 推計よりも精度が悪くなるという結果となった。

2.7. 移動体データによる OD 交通量推計の可能性に関する検討

2.7.1. 移動体データによる OD 交通量推計方法

移動体位置データを用いると、トリップ単位で OD の地点を特定することが容易に可能となる。さらに、マップマッチング（マップマッチングについては第 3 章で紹介する）を行うことで移動経路も特定することができるため、高速道路のリンクのみに着目すると、AVI マッチングのように路線間 OD を算出することも可能となる。そこで、移動体位置データから得られた経路データより OD 遷移確率を求め、AVI マッチングによるそれに置き換えることで、路線全体の OD 交通量を推計することが可能であるかを検討する。使用する OD 推計モデルは AVI のものと同様とし、検知器などの定点観測で得られる流入・流出交通量と、移動体観測で得られるプローブカーの遷移確率をモデルのインプットデータとして与える。位置データの特徴としては、位置精度が良ければ正確なマップマッチングが可能であるため、得られた OD は正しい（AVI の様なミスマッチングがない）といえる。さらに、AVI の様に機器の設置が不要であるため、AVI 未設置である環状線を含むどの路線でもインフラの整備無しで捉えることができるといった利点もある。しかし、位置情報を提供する車両（プローブカー）により求められる OD データは、全数観測に近い AVI マッチングのものより遙かに少ない。このことから、全体の交通量に対するプローブカーの割合が推計 OD 交通量に与える影響について分析を行う。

2.7.2. シミュレーションによる検証

■ シミュレーションの条件

2.4 や 2.6 と同様に、真の OD 交通量が分かるシミュレーションを用いて検証を行うこととした。ただし、これまでとは異なり、個別車両のナンバープレートの情報や AVI による観測の有無は必要ないが、ある車両がプローブカーかどうかという判別が必要となる。ここで注意すべき点は、全交通量に対するプローブカーの割合（プローブ率）が路線 OD 毎に一定（一様）であれば、プローブカーより得られる路線間遷移確率は真値の OD の路線間遷移確率と同じになり、モデル検証が意味を成さない。そのため、真の OD からランダムサンプリングによりプローブカーを決定させ、OD 別にプローブ率にブレが生じるようにした。元となる OD 交通量は平日の OD 交通量（表 2.6-2）とし、任意のプローブ率を与えてプローブ車両のサンプリングを行えるようにシミュレーションを変更した。検証するプローブ率は、現実的なプローブ車両数を考慮し、0.1%、0.3%、0.5%、1%、3%、5%、10% の 7 種類とした。例としてプローブ率を 1%としたときの OD 別プローブカーの台数を表 2.7-1 に、各 OD 交通量に占めるプローブカーの割合を表 2.7-2 にそれぞれ示す。表 2.7-2 に示すとおり、全体のプローブ率は 1%程度となっているが、各 OD ではプローブカーの割合が異なっていることから、検証に有効なデータが作成されたとして分析を行った。

表 2.7-1 OD 別プローブカー台数（プローブ率 1%）

	1	11	12	13	14	15	16	3	
1	6	145	152	106	134	69	39	44	695
11	136	0	76	111	135	69	91	22	640
12	78	40	0	31	80	74	139	67	509
13	93	88	14	0	40	67	132	110	544
14	104	113	72	21	0	8	46	82	446
15	78	114	101	32	4	0	1	7	337
16	42	37	52	191	46	4	0	6	378
3	6	12	19	102	54	4	5	0	202
	543	549	486	594	493	295	453	338	3751

表 2.7-2 OD 別プローブカー率（プローブ率 1%）

	1	11	12	13	14	15	16	3	
1	0.655%	0.912%	0.977%	1.125%	0.913%	1.177%	0.931%	0.929%	0.975%
11	1.074%	-	1.104%	1.171%	1.114%	1.075%	1.065%	1.001%	1.098%
12	0.989%	1.155%	-	0.845%	0.955%	0.868%	1.030%	1.000%	0.976%
13	1.080%	1.083%	0.832%	-	1.065%	1.075%	0.912%	1.002%	1.010%
14	0.854%	0.896%	1.223%	1.184%	-	0.714%	1.053%	0.945%	0.957%
15	1.133%	0.965%	1.046%	0.805%	1.205%	-	0.385%	0.571%	0.987%
16	1.129%	0.990%	1.067%	0.988%	1.001%	1.702%	-	0.709%	1.012%
3	0.369%	0.748%	0.784%	1.018%	0.901%	0.576%	0.753%	-	0.877%
	0.997%	0.959%	1.035%	1.030%	0.989%	1.014%	0.985%	0.956%	0.996%

■ OD 推定結果

各プローブ率をもとに OD 推計を行った結果をそれぞれ図 2.7-1～図 2.7-7 に示す。また、相関係数、RMS 誤差、誤差率の各指標についてプローブ率別にまとめたものを表 2.7-3 に示す。

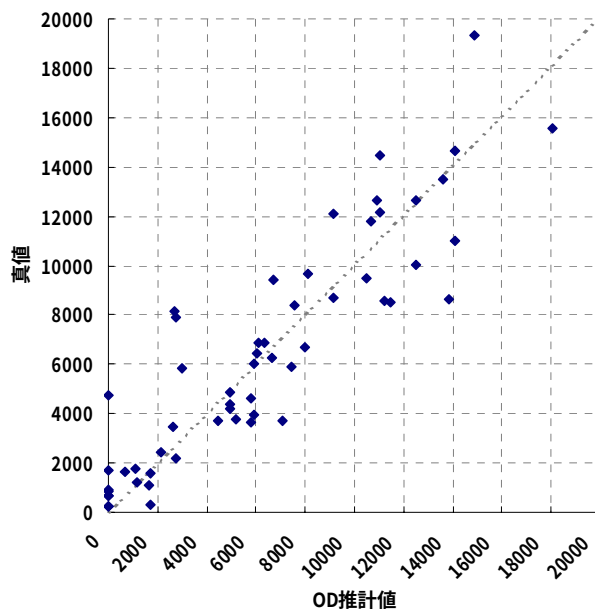


図 2.7-1 OD 推定結果(プローブ率 0.1%)

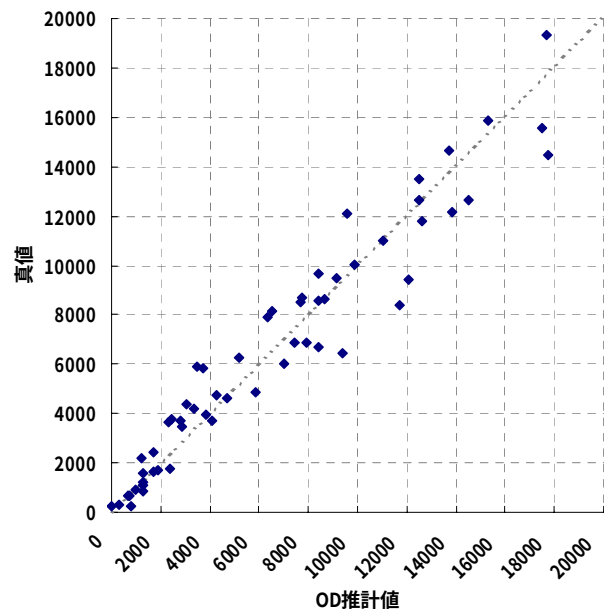


図 2.7-2 OD 推定結果(プローブ率 0.3%)

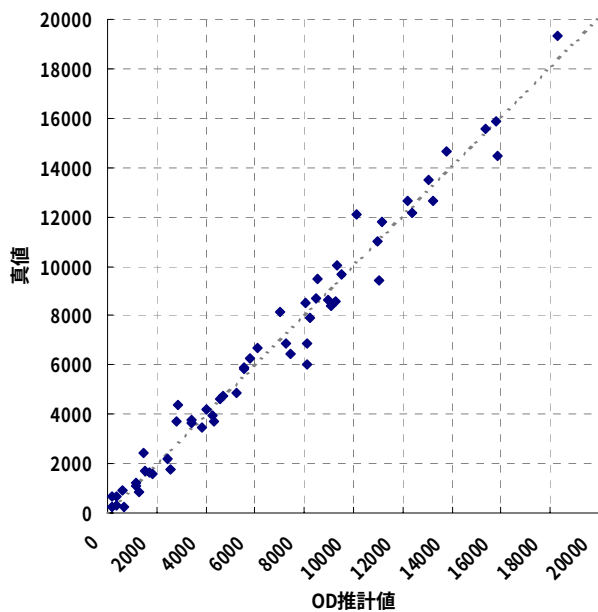


図 2.7-3 OD 推定結果(プローブ率 0.5%)

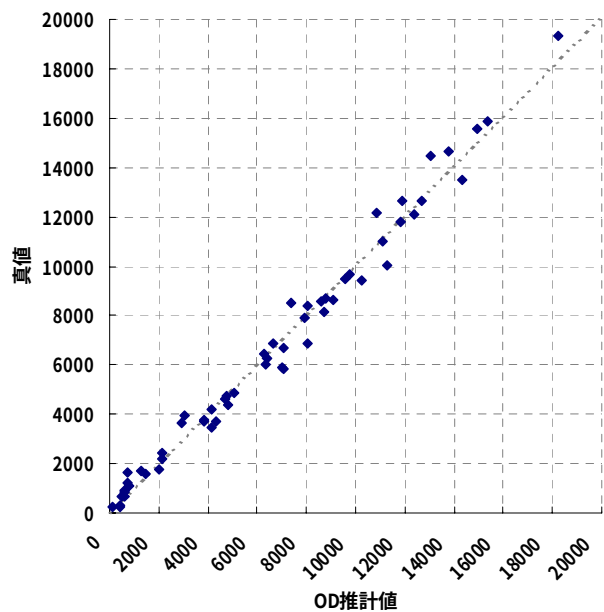


図 2.7-4 OD 推定結果(プローブ率 1%)

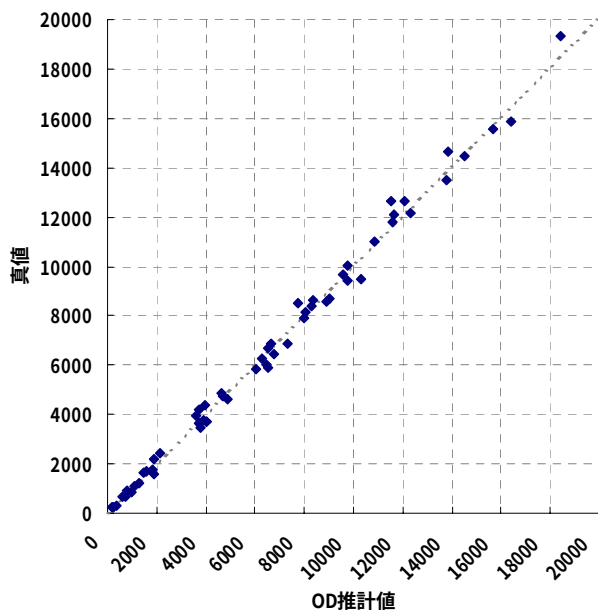


図 2.7-5 OD 推定結果(プローブ率 3%)

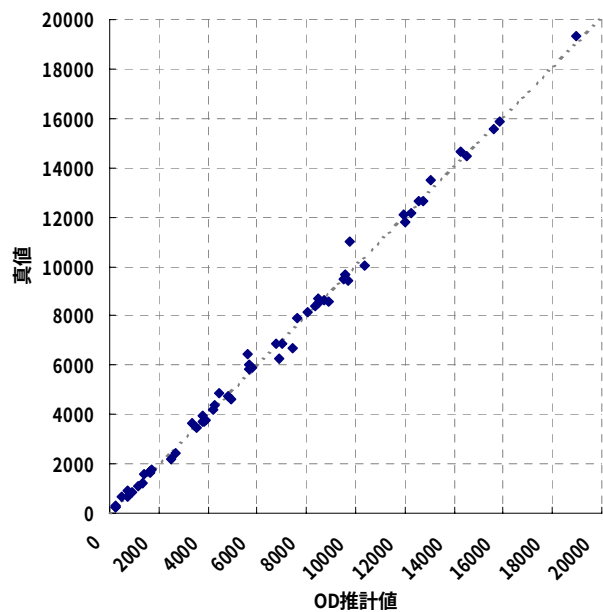


図 2.7-6 OD 推定結果(プローブ率 5%)

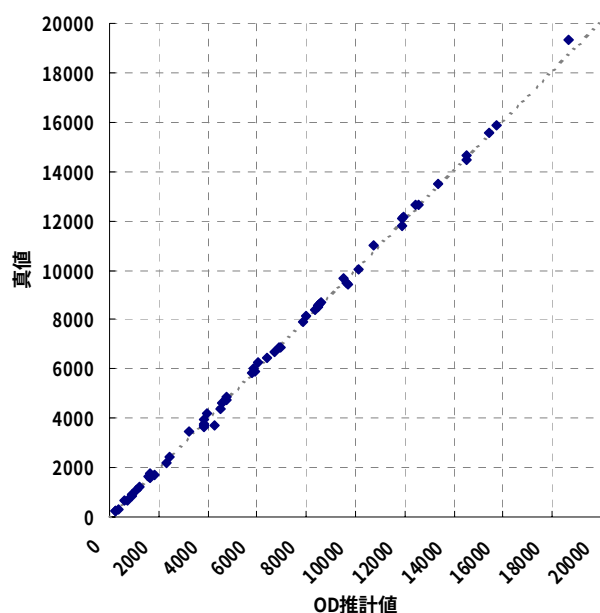


図 2.7-7 OD 推定結果(プローブ率 10%)

表 2.7-3 プローブ率別の OD 推定精度

プローブ率	相関係数	RMS誤差	誤差率
0.1%	0.89316	2360.43	42.70%
0.3%	0.96598	1294.88	21.90%
0.5%	0.98800	729.14	16.00%
1.0%	0.99176	605.46	12.77%
3.0%	0.99696	372.29	5.65%
5.0%	0.99803	299.30	5.16%
10.0%	0.99954	162.20	2.80%

これらの結果より、当然ではあるがプローブカーの割合が増える程、OD 推計の精度がよくなることが分かった。AVI マッチングによる路線間遷移確率を用いた OD 推計結果（表 2.6-10 と表 2.6-14 の平日）と比較すると、約 3%程度のプローブ率を確保すると case3（全路線に新型と旧型の AVI を混在して設置）以上の精度が得られるという結果となった。ただし、最も精度の良い case4（全路線に新型の AVI を設置）と同程度の精度を得ることはできなかった。これは、case4 の AVI 設置は環状線から出入りする車両以外はほとんど観測でき、さらにミスマッチングもほとんどないため、各 OD でのプローブ率にブレがある（与えている）以上、その遷移確率のズレが OD 推計モデルに与える影響に他ならない。OD の分布、相関係数、RMS 誤差及び誤差率を総合的に見ると、3%程度のプローブ率でも十分な精度で OD が特定できているといえ、プローブカーによる OD 推計の妥当性が検証できた。むしろ、インフラを整備するためのコストがかからないという点も考慮すると、移動体通信を用いることの有効性を十分に示す結果であるといえる。

2.8. まとめ

本研究では、阪神高速道路をフィールドとして、定点観測データである車両検知器データと AVI データをもとに、OD 交通量を推計する手法を提案した。検討した OD 推計手法は、はじめに AVI データと車両検知器データより路線間 AVI マッチングを行い OD 間の遷移確率を求め、その遷移確率にデータ補正をかけたものをもとに OD 推計モデルで全体の OD 交通量を推計するという 2 段階の手法となっている。従来の OD 交通量調査が、ある一日の調査結果であるのに対して、この手法により算出された OD 交通量は、常時観測している定点観測データを使用しているため、その日（あるいは時間帯別）の OD 交通量を推計することが可能となる。

AVI データは車両のナンバープレート情報であるため、路線の上流側 AVI データと下流側 AVI データを照合（マッチング）し、同一車両を特定することで、路線間の OD を特定することが可能となる。しかし、阪神高速道路に設置されている AVI は、①読み取り項目の異なる AVI 装置が混在し、②読み取りできない項目があり、③AVI が設置されない車線の存在する、という問題を抱えているため、単純なデータマッチングでは、同一車両を特定することができない。そこで、上流側と下流側で得られた AVI データに条件を与えてペア候補を抽出し、そのペア候補の中で尤もらしいペアを決定するために、乖離度という指標を用いるという新たなマッチング手法を提案した。

この手法の検証は、実データを用いたのでは真の値（OD 交通量）が分からないため、簡易のシミュレーションを構築し、仮想の観測データを作成してマッチング精度の検証を行った。検証の検討ケースとして、現状の AVI 設置のほかに、いくつかの AVI 設置パターンを設けて、読み取り性能の異なる AVI による精度比較を行った。その結果、マッチングできたものは、ミスマッチングが発生するものの概ね精度の良いマッチングを行えていることが確認できた。

続いて、AVI マッチングにより得られた OD 間の遷移確率より、OD 推計モデルを用いて全体の OD 交通量を推計する手法の提案を行った。OD 推計モデルの基本構造は、AVI から得られる日ベースの遷移確率を先験確率として与え、OD 交通量の先験値と推定値のズレを最小化するものである。ズレの指標としてはエントロピーを取り上げ、同時確率最大化モデルとして定式化を行っている。また、OD 推計モデルで必要となるインプットデータは AVI マッチングでは算出できない環状線関係の交通量が必要となるため、検知器の観測交通量と AVI の捕捉率をもとにそれらを算出する具体的な方法を提案した。

この OD 推計モデルの検証も、実データを用いたのでは真の値（OD 交通量）が分からないため、マッチングの検証で構築したシミュレーションを用いて各種データを作成して検証を行った。モデルの検証には、平日、週末、休日という OD パターンの異なる交通量を用意し、先験確率として第 21 回起終点調査を使用した場合と、マッチング結果を用いた場合の比較検討を行うこととした。さらに、マッチングの精度が OD 交通量に与える影響を計測するために、起終点調査の OD 交通量と AVI 設置パターンによるマッチング結果による比較も行った。その結果、推計される OD 交通量とマッチング精度の関係については、起終点調査の値を使用するよりも、マッチング結果を使用した方が精度の良い OD を推計できることが分かり、AVI マッチングによる動的な OD 推計の有効性を示すことができた。

最後に、定点観測による AVI マッチングの代わりに移動体観測であるプローブカーの OD 間遷移確率をインプットデータとして、OD 推計を行う手法を提案した。その結果は全交通量に対するプローブカーの割合に依存すると考えられるため、プローブ率を変化させてその精度検証を行った。その結果、0.5%～1%程度のプローブ率でも十分な精度の OD 推計ができていることを示し、プローブカーによる OD 推計の有効性についても示すことができた。

＜第2章の参考文献＞

- [1] 巻上安爾, 村田浩之, 藤田喜文: AVI システムを用いた旅行時間算定に関する基礎的研究, 土木計画学研究・講演集 20(1), pp.469-472, 1997
- [2] 土木学会: ネットワーク上の観測フローからの OD 推定 (第 12 章), 交通ネットワークの均衡分析ー最新の理論と解法ー, 丸善 (株), 1998
- [3] 藤由雅裕, 内田敬: AVI データを用いた OD 交通量推計モデル, 土木計画学研究・講演集 21(2), pp.333-336, 1998
- [4] 相澤卓, 朝倉康夫, 柏谷増男: 都市高速道路における AVI データを用いた動的な OD 交通量の推計と分析, 土木計画学研究・講演集 21(2), pp.329-332, 1998
- [5] 三谷卓磨, 羽藤英二: プローブ経路データを利用した動的 OD 交通量の推定, 第 24 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.289 - 292, 2004
- [6] 三輪富生, 山本俊行, 竹下知範, 森川高行: プローブカーデータを用いたリンク旅行時間情報による動的 OD 交通量の推定, 土木計画学研究・講演集 Vol.33, CD-ROM, 2006
- [7] 小根山裕之, 桑原雅夫: プローブカーの経路情報を用いた時間帯別 OD 交通量の推定精度に関する研究, 第 1 回 ITS シンポジウム 2002 proceedings, O1-6, pp.57 - 62, 2002

第3章 移動体情報をもとにした交通情報作成に関する分析

3.1. はじめに

3.1.1. 研究の背景

現在、高速道路および一般道路で提供されている交通情報は、道路に設置した計測機器から、その地点を通過する車両の情報を取得し、そのデータをもとに道路の状態を推定して、それを交通情報として提供している。そのため、提供される情報は、計測機器が設置されている道路だけに限られ、それ以外の地点の情報を得ることはできない。しかし、実際にはドライバーは目的地までの経路を複数選択できる場合が多く、より早く目的地に到着できる経路の情報が必要とされる。特に、カーナビゲーションの普及や、携帯電話会社のGPS携帯電話による助手席ナビといった新たなサービスの開発により、より詳細な道路レベルでの交通情報提供にニーズが集まっているといえる。

そこで、観測地点が限られている観測機器からの点的な情報とは別に、実際に道路を移動している車両から走行の情報を得ることが出来れば、観測地点に依存しない任意の地点、つまり線的な交通情報が作成可能であると考えられる。車両から得られる情報の一つに、GPSなどによる車両の位置情報が挙げられる。移動体の位置情報は時間的空間的に連続であることから、その情報を利用することで線的な情報の作成が可能であると考えられる。

この様な背景の元、現在の我が国では国土交通省や自動車メーカーなどが、車を移動体の交通観測モニタリング装置としてとらえ、位置情報や車両挙動さらには気候や自然に係わるデータを取得し、道路状況をモニタリングするシステムとして、プローブカー（プローブビークル）調査と呼ばれる調査を実施している。国土交通省ではプローブカーから得られたデータを元に、渋滞の把握といった道路サービス状況の判断や、事業の評価、その結果の公表（アウトカム指標）、利用者への情報提供などの道路サービス高度化に活用している^{[1][2]}。一方の自動車メーカーでは、自社の自動車向け情報提供サービスとしてプローブカーデータを活用している^[3]。また、日本各地のプローブカーデータをもとに、そのプローブカーのデータ特性に合わせた交通情報作成手法に関する研究も行われている^{[4][5]}。

3.1.2. 交通情報作成の一般論と本研究の目的

ここで、移動体の位置情報から道路交通情報を作成する一般的な方法について説明する。その方法は、以下の3つの手順を踏む必要がある。

- 1) 位置データから移動経路の特定（マップマッチング）をする
- 2) 経路上のリンク単位の情報（所要時間・平均走行速度）を作成する
- 3) リンク単位の情報を集約し、単位時間あたりの道路交通情報を作成する

移動体の位置情報は、時間的空間的に連続であるが、その情報は位置座標と時刻が羅列されたものでしかない。収集した位置情報を交通情報として活用するためには、はじめに位置データか

ら通過した経路データに変換する作業が必要となる。経路特定（マップマッチング）の方法として、朝倉ら^[6]や石丸ら^[7]は、収集された位置情報からサブネットワーク（経路探索の対象リンク集合）を抽出するとともに、そのサブネットワークに含まれるリンクの尤度を算出して、最短経路探索やScreening法を用いて経路を推定する手法を提案している。図 3.1-1 にマップマッチングの概念図を示す。

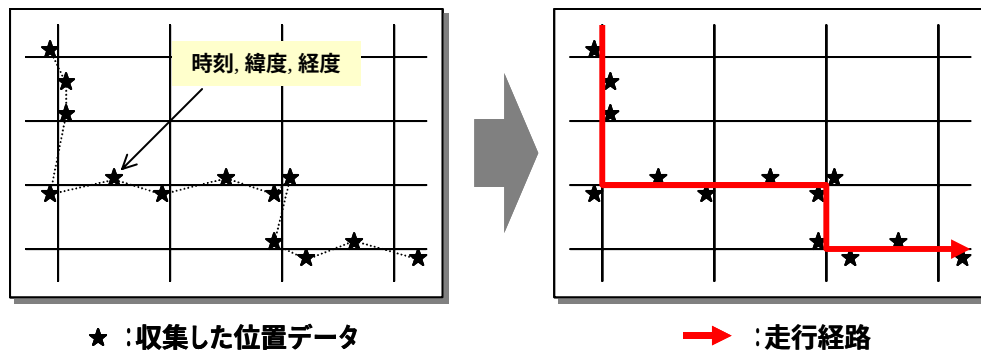


図 3.1-1 マップマッチングの概念図

マップマッチングより経路を特定できたら、次に、経路上にあるすべてのリンクに対して、所要時間や走行速度といったデータを算出する必要がある。さらに、作成したこれらのリンク情報を道路交通情報として提供するためには、曜日や時間帯別に集計する必要があるため、そのリンク情報の日付（曜日）や時間帯といった情報も付加する。図 3.1-2 にリンク情報作成の概念図を示す。

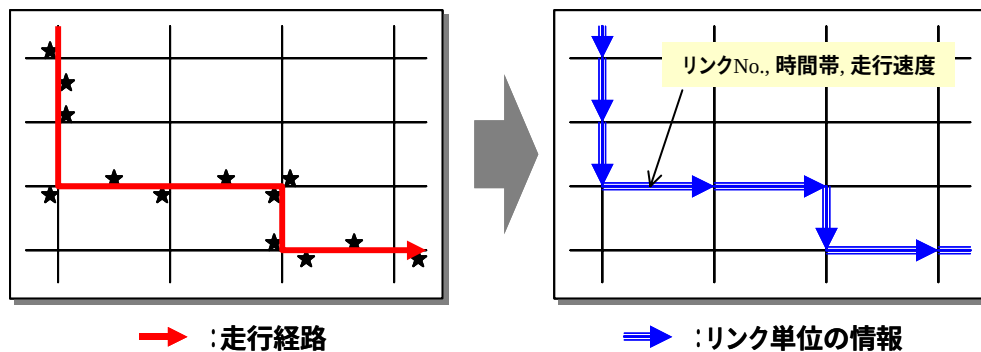


図 3.1-2 リンク情報作成の概念図

これらのリンク情報は、位置データの時間より求めることができる。もしも、位置データに誤差がほとんどなく、経路上にプロットした位置データが時系列順に前後しない状態であれば、位置データから経路に垂線を下ろすことにより、正確なリンク情報を作成することが可能である。しかし、実際には図 3.1-3 に示すように、誤差が発生することで位置データの座標は前後するため、垂線を下ろすという単純な方法ではリンク情報を求めることはできない。例えば田中ら^[4]は、対象となるリンクを指定し、そのリンクから一定の幅以内に収まっている位置データのみを抽出

して、リンクに垂線を下ろして位置データをマッチングしている。しかし、位置データの誤差がその一定幅の内部である場合や、信号停止などによりある地点で位置データが複数取得されたときには図 3.1-3 に示すような状況となり、正しい情報を作成することは難しいと言える。

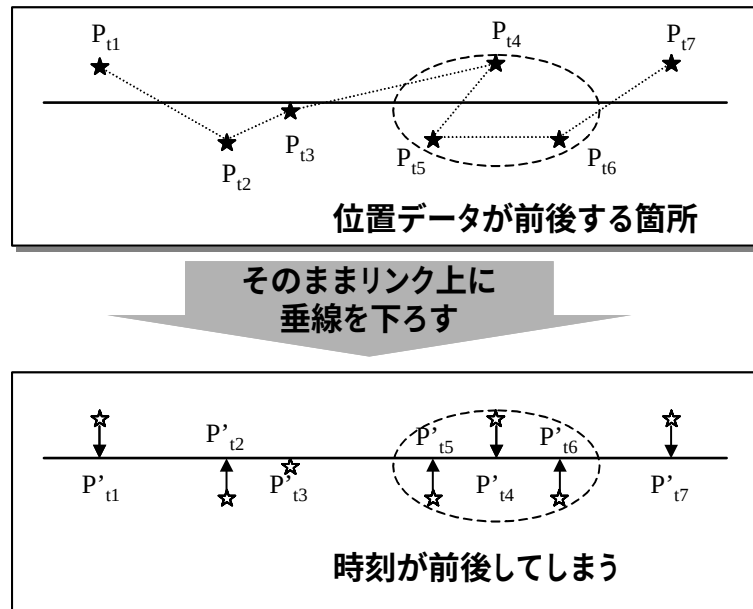


図 3.1-3 位置データの誤差による座標反転の例

この問題に対して石丸ら^[5]は、図 3.1-4 に示すように、連続した位置データ間の距離の割合をもとに、走行経路の距離に割り当て、その経路上に仮想移動点を設け、その仮想移動点の時刻からリンクの速度や走行時間を算出する方法を提案している。

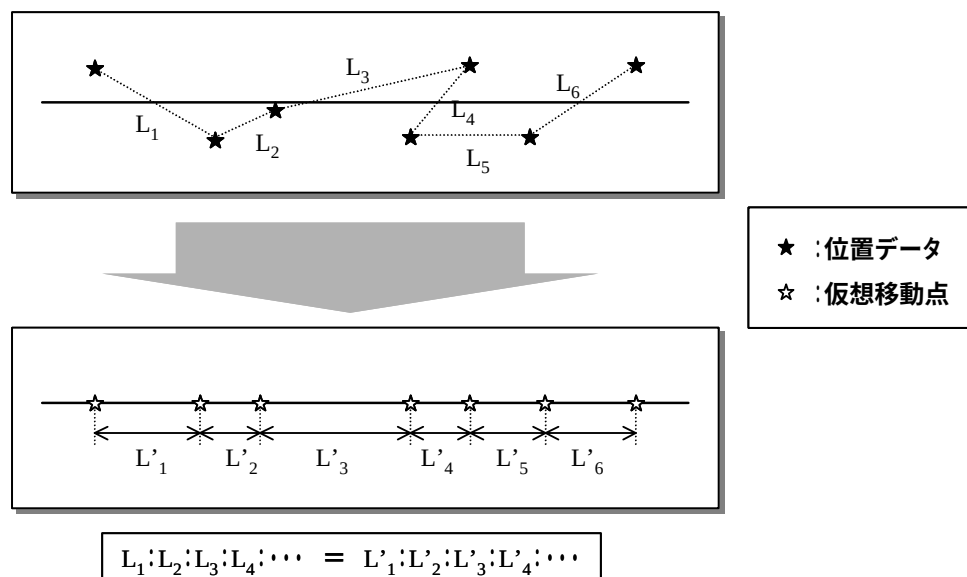


図 3.1-4 石丸らによる経路上の仮想移動点算出イメージ

しかし、この方法では、図 3.1-5 に示すように、速度が低く同じ地点で位置データを何度も取得する場所では、位置精度誤差が大きく座標が一点に定まらない場合において、その分だけ移動距離がかさんでしまう。それにより、全体の距離の比率で計算するこの方法では、仮想移動点の距離が平均化される結果となることが確認されている。この状態はそれほどまれなケースではなく、位置特定の誤差がある以上、信号待ちなどで停止している場合には、頻繁にこのようなケースが発生することになる。

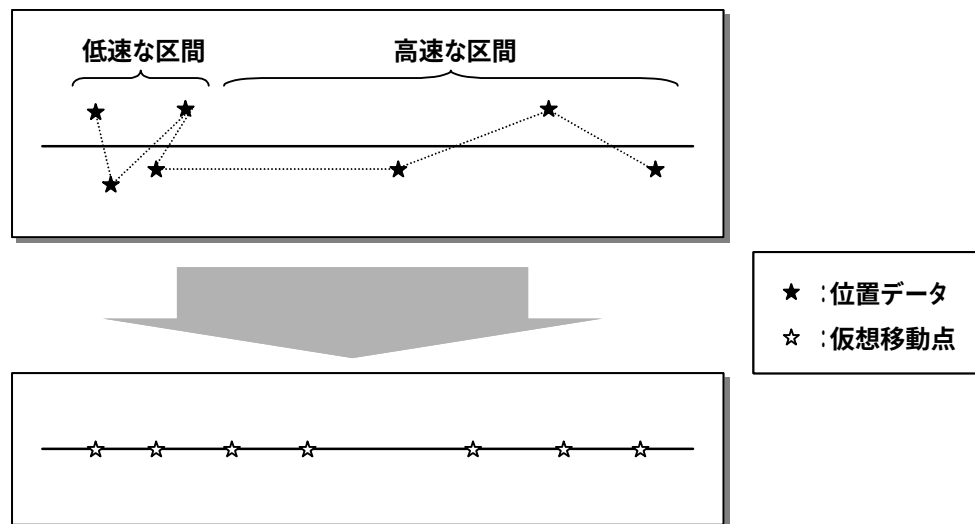


図 3.1-5 仮想移動点の平均化の例

前述のような問題が解決されて、精度の良いリンク情報が作成できたとしても、この段階で作成したリンク単位の情報は車両 1 台の情報である。その車両が周囲の車両とは異なる速度で移動している場合や、停止している状況も想定できるため、その情報をそのまま交通情報として提供することは非常に危険である。そこで、単位時間毎の道路交通情報を作成するには、複数の車両から作成したリンク情報を集約し、単位時間あたりのリンク情報に加工する処理が必要となる。図 3.1-6 に概念図を示す。ただし、リンク情報を時間帯別に作成するには、その時間帯で当該リンクを走行する車両が必要となるため、走行車両が無い場合については注意が必要となる。

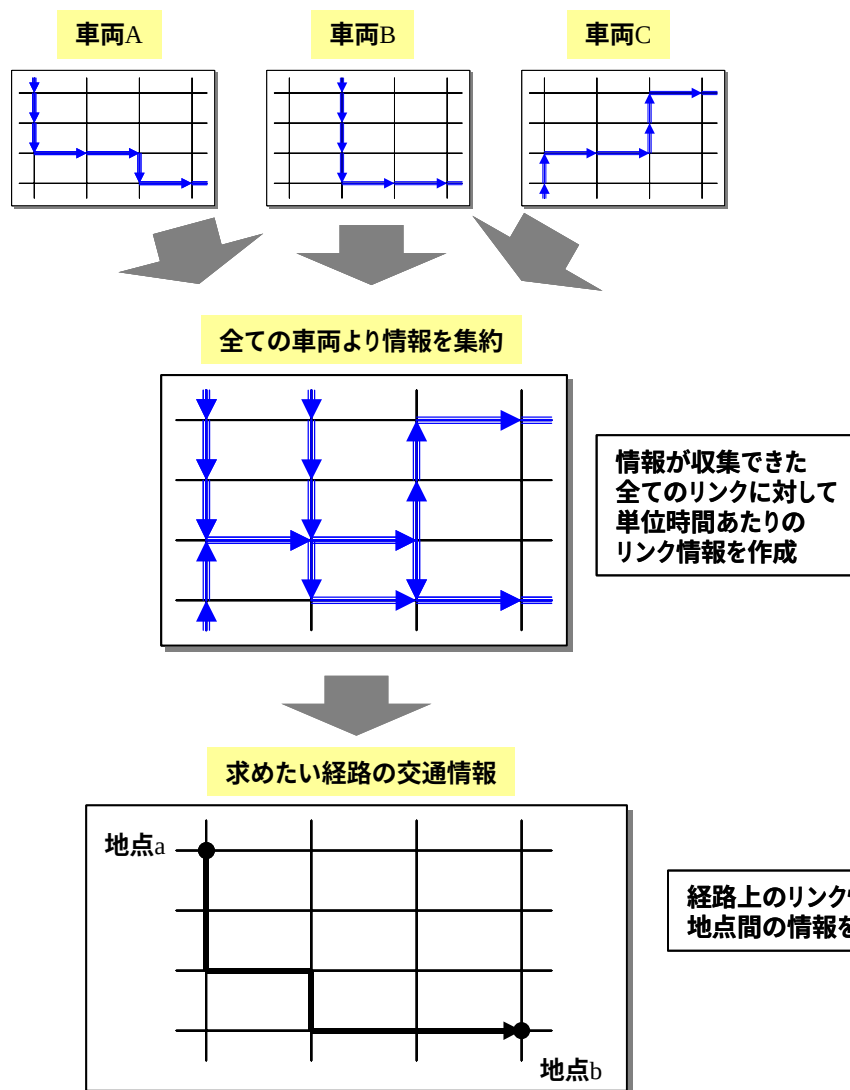


図 3.1-6 交通情報作成の概念図

以上が移動体の位置情報から道路交通情報を作成する一般的な方法であるが、このままではいくつかの問題点を含んでいるため、正確な情報を算出することができない。そこで、本研究では、個別車両の位置情報から精度の良いリンク情報を作成し、できる限り正確な交通情報を提供する手法を提案することを目的とする。

3.1.3. 本章の構成

3.2.では、位置情報から道路交通情報を作成する方法として、新たなリンク情報作成のアルゴリズムを提案する。また、それらの車両のリンク情報を集約して作成する道路交通情報の作成手法についても、具体的に説明し、その問題点と解決方法を提案する。3.3.では、提案したアルゴリズムの検証について、実際の走行実験を通じた検証結果を説明する。最後に 3.4 で、まとめと今後の課題について述べる。

3.2. 位置データによる交通情報作成手法

3.2.1. データフロー

3.1 で述べたように、位置情報から交通情報を作成する一般的な手順は、以下の3つの手順を踏む必要がある。

- 1) 位置データから移動経路の特定（マップマッチング）をする
- 2) 経路上のリンク単位の情報（所要時間・平均走行速度）を作成する
- 3) リンク単位情報を集約し、単位時間あたりの道路交通情報を作成する

本研究でもこの手順を踏襲して交通情報を作成することとする。はじめに、本アルゴリズムでのデータフローを図 3.2-1 に示し、そのインプットとアウトプットデータについて詳しく説明する。

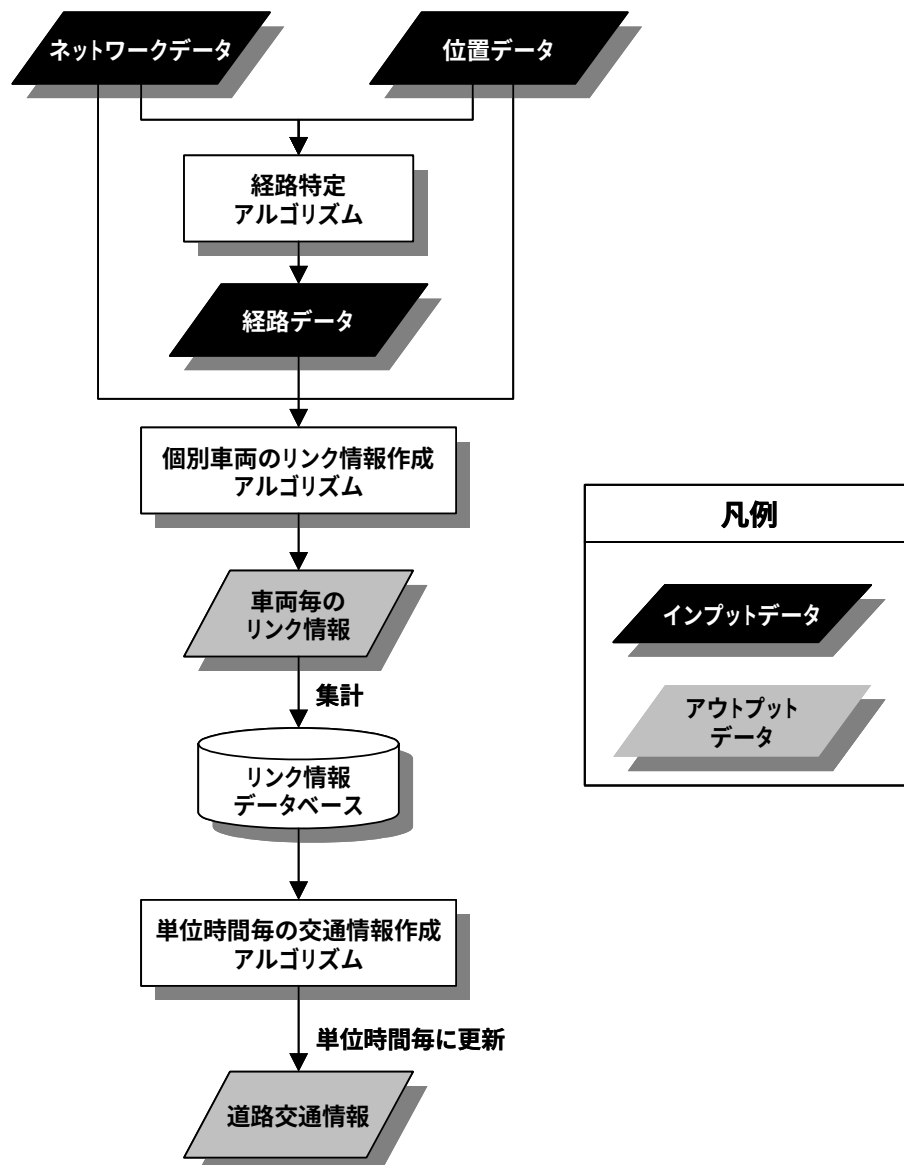


図 3.2-1 データフロー

■ インプットデータ

インプットデータはネットワークデータ、位置データ、経路データの3つを必要とする。ネットワークデータとは道路網を模式化したものであり、リンク番号、ノード番号、距離、属性といったデータを含んでいる。本アルゴリズムでは、リンクの接続関係が正しく構成されているベクトルデータであれば、その種類は問わない。国土地理院発行の数値地図 2500 やカーナビゲーションでも使用されているデジタル道路地図(DRM)などが望ましい。ネットワークデータの概念図を表 3.2-1 と図 3.2-2 に示す。

表 3.2-1 ネットワークデータ例

リンク番号	始点ノード番号	終点ノード番号	リンク長(m)	道路種別コード
00000110006	00001	10006	53	4
00000210021	00002	10021	191	5
00000310001	00003	10001	20	5
00000401015	00004	01015	126	9
00000601011	00006	01011	35	9
00000701012	00007	01012	62	9
00000802245	00008	02245	6	9
00001002245	00010	02245	7	9
00001110016	00011	10016	140	9
00001201010	00012	01010	24	9

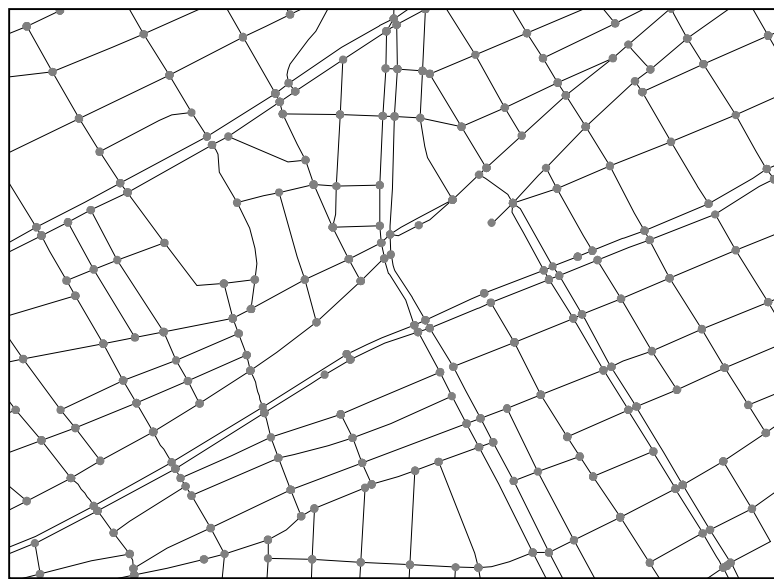


図 3.2-2 ネットワークデータの概念

次の位置データについては、GPS や PHS といった位置情報を取得できるデバイスがいくつかあるが、本アルゴリズムでは、特にデバイスの種類を問うことはない。必要最小限のデータとして位置情報（経緯度）と時刻を含んでいれば、本アルゴリズムで利用可能である。位置データの例を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-2 位置データの例

SEQ	DATE	TIME	LAT(WGS)	LON(WGS)
1	2006/06/06	09:59:44	34.7397083	135.3459084
2	2006/06/06	09:59:46	34.73966539	135.3457367
3	2006/06/06	09:59:56	34.73923624	135.344975
4	2006/06/06	10:00:06	34.73932743	135.344916
5	2006/06/06	10:00:16	34.73934889	135.3449589
6	2006/06/06	10:00:26	34.73930597	135.3450447
7	2006/06/06	10:00:35	34.73927915	135.3450072
8	2006/06/06	10:00:54	34.73872662	135.3443956
9	2006/06/06	10:00:57	34.73864615	135.3445995
10	2006/06/06	10:01:08	34.73857641	135.3444976

最後に、経路データとは、移動体が通過した経路の情報である。PHS や GPS からの位置情報は少なからず位置誤差を含むため、完全にリンク上の点にはならない。そこで、経路特定アルゴリズム（マップマッチング）等を用いて、ネットワークデータと位置データから経路データを割り出す必要がある。マップマッチングにより算出された経路データは、通過したリンクのリストが列挙される。また、一般的には、リンクに対する進行方向（始点・終点ノードのどちら方向へ進んでいるのか）も出力される。経路データの例を図 3.2-3 に示す。ただし、ある移動体が通過した経路が事前にわかっている場合は、マップマッチングを行うことなく、そのリンクのリスト情報がそのまま利用できる。

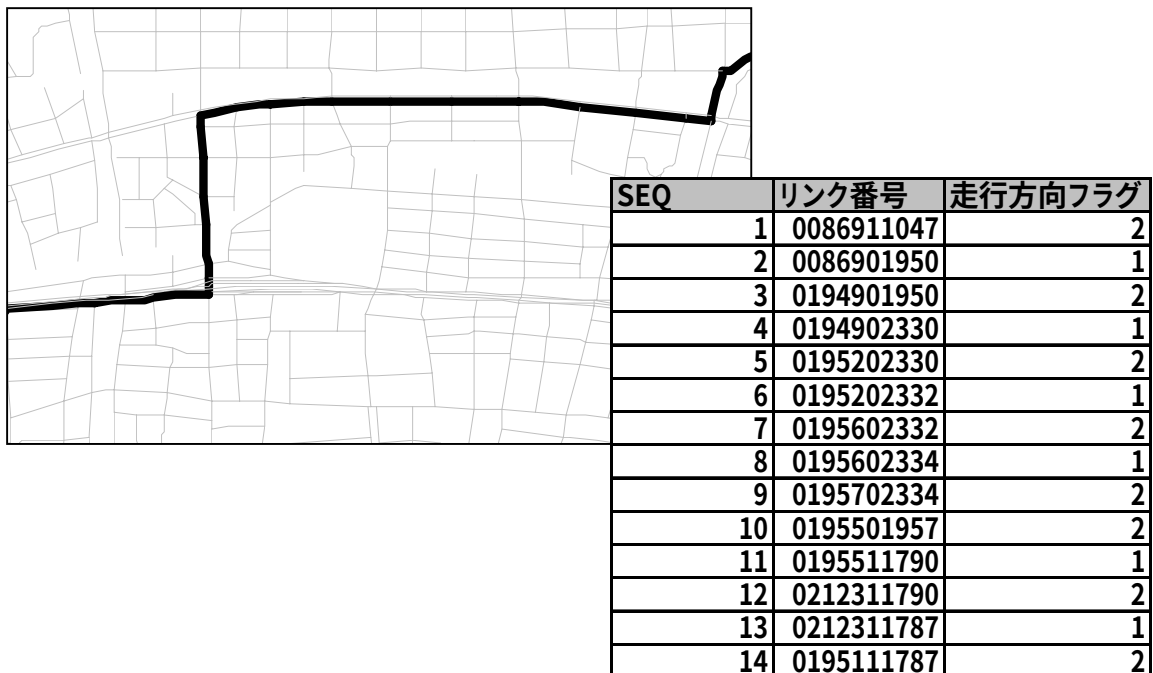


図 3.2-3 経路データの例

■ アウトプットデータ

アウトプットデータは各車両から割り出されるリンク情報がまず出力される。リンク情報に含まれるデータは、表 3.2-3 に示すように、

- ・ リンク番号（ネットワークデータより取得）
- ・ リンク長（ネットワークデータより取得）
- ・ 発ノードの通過日時
- ・ 着ノードの通過日時
- ・ 所要時間
- ・ 平均移動速度

である。そして、このリンク情報をリンク別・時間帯別に集約してデータベースを作成する。そのデータベースより、求めたい経路上の各リンクの所要時間や平均速度などの道路交通情報を、それぞれの単位時間毎に算出する。

表 3.2-3 リンク情報例

リンク番号	リンク長(m)	発ノードの通過時刻	着ノードの通過時刻	リンク所要時間(秒)	リンク速度(km/h)
0086911047	97.14	2006/06/06 10:00:20	2006/06/06 10:00:40	19.91	17.57
0086901950	132.09	2006/06/06 10:00:40	2006/06/06 10:01:38	57.82	8.22
0194901950	14.96	2006/06/06 10:01:38	2006/06/06 10:01:39	1.42	38.06
0194902330	60.08	2006/06/06 10:01:39	2006/06/06 10:01:45	6.12	35.32
0195202330	115.62	2006/06/06 10:01:45	2006/06/06 10:02:14	28.66	14.52
0195202332	128.34	2006/06/06 10:02:14	2006/06/06 10:02:26	12.14	38.07
0195602332	142.68	2006/06/06 10:02:26	2006/06/06 10:02:38	11.42	44.97
0195602334	154.48	2006/06/06 10:02:38	2006/06/06 10:02:50	12.14	45.82
0195702334	141.88	2006/06/06 10:02:50	2006/06/06 10:03:58	68.65	7.44

3.2.2. 個別車両のリンク情報作成手法

3.1 で述べたように、位置データ間の距離の割合をもとに、走行経路の距離に割り当てるという石丸らの方法では、仮想移動点が平均化される問題があるため、正確なリンク情報を作成することができない。石丸らの発想は位置データを基準として、その位置データをリンク上の座標に割り当てるというデータ作成方法であった。

そこで、本研究では、位置データからマップマッチングにより経路が算出されたという条件の下で、その経路上のノード（交差点あるいは分合流地点など）に着目し、車両が各ノードを通過した時刻を位置情報から求めるという手法をとることにした。すべてのノードの通過時刻が確定すれば、終点ノードと始点ノードの時刻の差分がリンクの所要時間となり、リンク長より平均走行速度も算出することが可能となる。まとめると、本アルゴリズムでは以下の2つの手順が必要となる

＜step1＞ノードの通過時刻を求める

＜step2＞各リンクの情報を作成する

それぞれの具体的な方法について以下に説明する。

＜step1＞ノードの通過時刻を求める

はじめに、走行経路上の全てのノードの通過時刻を確定するために、対象となる全てのノードの座標をネットワークデータから取得する。次に、位置データは少なからず誤差を含んでいるため、そのノードの有効範囲として、各ノードを中心として半径 R の円を用意する（ただし、この半径 R の設定は、算出するノード通過時刻の精度に直接影響を及ぼすため、非常に重要である。ここでは、ノードの通過時刻の概念を説明することが目的であるため、半径 R の設定方法については後ほど詳しく述べることとする）。このとき、その有効範囲の円の内部に含まれる位置データ数は、0 個、1 個、複数個という 3 つのケースがあるため、それぞれのケースに対して、以下に示すルールに従ってノードの通過時刻を確定するものとする。図 3.2-4 にそれぞれのケースにおけるノードの通過時刻算出方法の概念図を示す。

【case1】内部の点が 1 個の場合

その一点を通過時刻として処理する。

【case2】内部の点が 2 個以上の場合

複数ある場合は、信号による停止や渋滞区間にあると見なして、最後のデータを通過時刻として処理する。

【case3】内部の点が 0 個の場合

そのノードの前後の点で直線を結び、その線にノードから垂線を下ろして、交点までの距離の比率で通過時刻を算出する。点がないノードが連続する場合は、それらのノードを一度に処理する。

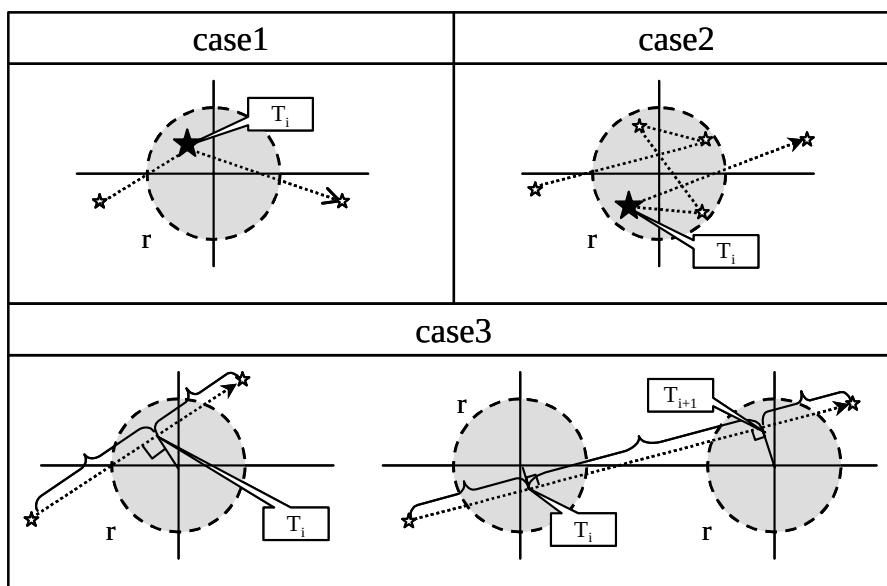


図 3.2-4 ノード通過時刻算出方法

＜step2＞各リンクの情報を作成する

各ノードでの通過時刻がすべて決定したら、リンク情報を作成する。ここで作成するリンク情報は、ノード間の通過時間差より求められる所要時間と、その所要時間とリンク長より求められる

る平均速度であるが、その他に、リンク番号やリンク長といったネットワークデータから得られる情報も付加される。図 3.2-5 に概念図を示す。

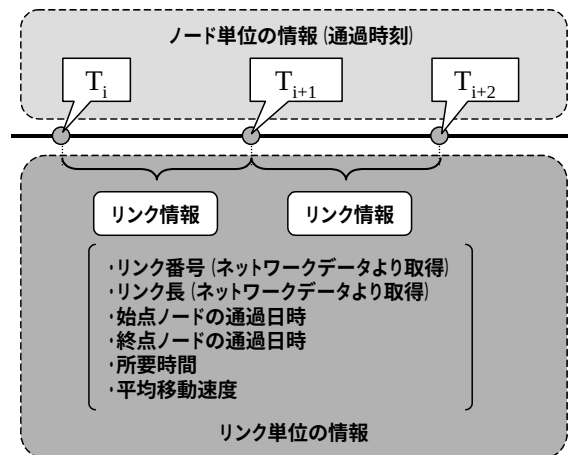


図 3.2-5 リンク情報作成方法

ここで、本アルゴリズムの長所と短所について説明する。提案したアルゴリズムは、車両の移動経路上にあるノードの通過時刻をもとにリンク情報を作成するという手法を用いている。そのため、図 3.2-6 に示すように、任意の地点に対してノードを設けるだけでリンクを自由に定義することができ、そのリンクの交通情報を容易に作成することができるという利点がある。つまり、元となるネットワークデータに依存することなく、着目したい区間を自由に設定することができる。この利点は、高速道路や山地部の道路など、1本のリンク長が長い場合に非常に有効となる。例えばデジタル道路地図(DRM)の1本の高速道路は図 3.2-7 に示すようになっているため、このリンクをそのまま利用すると、逆に定点観測である検知器で定義される区間よりも長い区間になってしまう。本アルゴリズムではこの様な問題にも対応することが可能である。また逆に、市街地部などの短いリンクが密に配置されている場合は、それらのリンクをつなげた区間を定義することで処理するリンク数が減り、計算処理速度の向上や、計算値の丸め誤差の発生を抑えた正確な情報を作成することが可能となる。

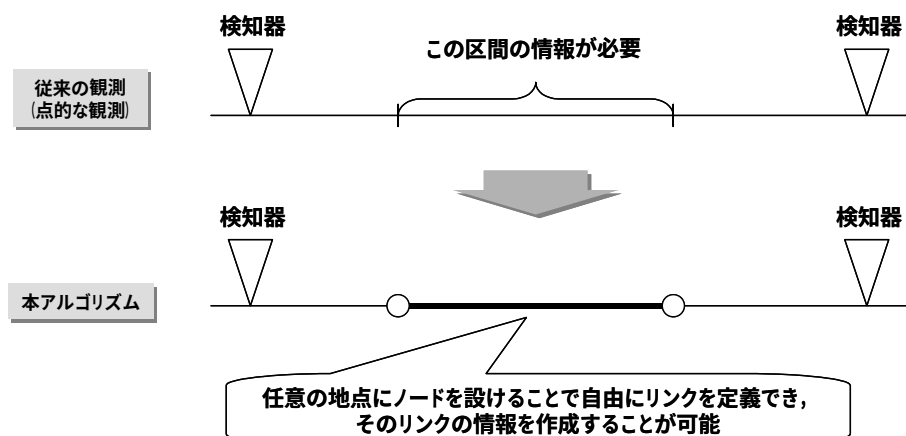


図 3.2-6 任意の地点でのリンク定義

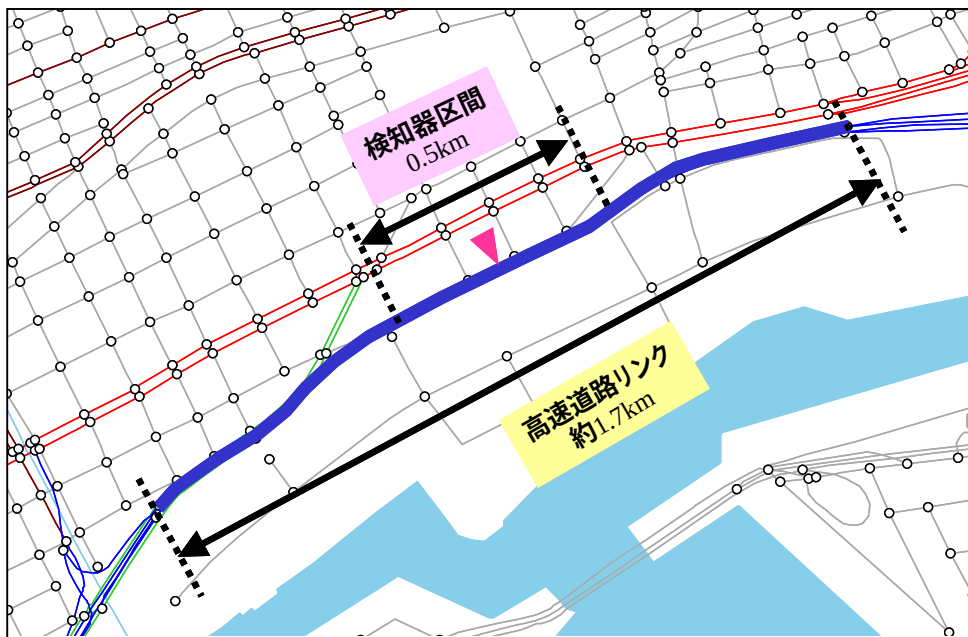


図 3.2-7 DRM の高速道路リンク長と検知器区間長の比較例

本アルゴリズムの短所としては、図 3.2-8 に示すように、位置データが存在しない区間が連続したときに、その区間に含まれるリンク情報が平均化されるという点が挙げられる。つまり、位置データが一つもない区間は、その区間を一定の速度で通過したとみなされ、すべてのリンクの平均速度が同じになってしまうのである。しかし、元々位置データが存在しない区間については、ほかの手法を用いたとしても推測の域を出ることができないため、本アルゴリズム特有の短所というわけではなく、位置データを用いた情報作成自体の欠点であるといえる。ただし、この欠点についても、他の手法に比べるとその影響は少ないといえる。例えば石丸らの手法の場合は、位置データ間の距離の比率で全体の位置データの座標を補正するため、位置データが存在する区間にまで影響を及ぼしてしまう。しかし、本手法では、位置データが存在する区間では正しい情報が作成され、存在しない区間だけが平均化されたため、全体的な影響は小さい。

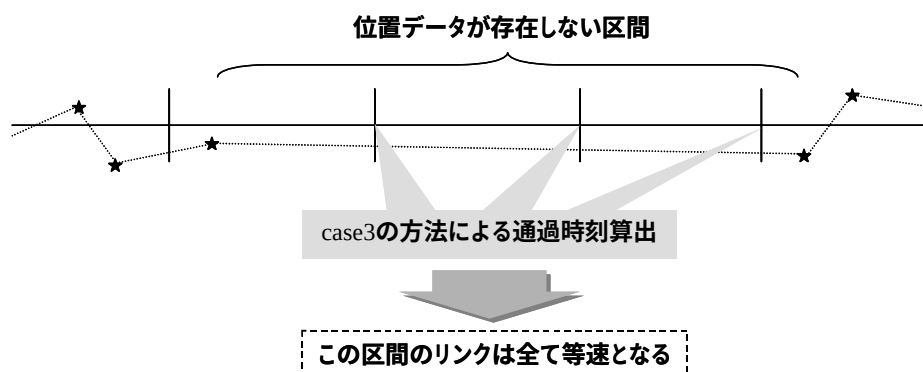


図 3.2-8 リンク情報平均化の例

3.2.3. 道路交通情報作成手法

車両毎に作成したリンク情報は、それ単体ではその車両の情報にしか過ぎず、そのまま交通情報として提供することはできない。一旦、各車両からのリンク情報を集計してフィルタリングを行い、単位時間の各リンクの平均速度や平均所要時間などの道路交通情報に加工する必要がある。図 3.2-9 に概念図を示す。

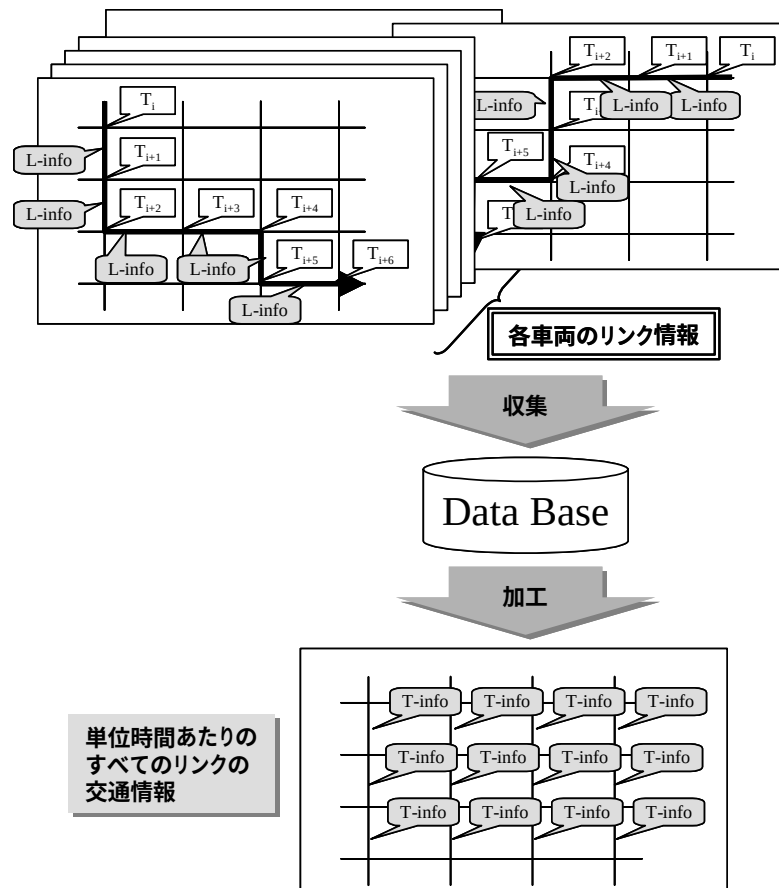


図 3.2-9 道路交通情報作成イメージ

ここで作成されたリンク情報は、ネットワーク上のリンク一本一本の情報である。そのため、地点間の情報を提供したい場合は、図 3.2-10 に示すように、この情報を元にその地点間に含まれるリンクの所要時間を足し合わせることでそれが可能になる。ただし、現実の交通状況を見ると、ある一本のリンクでも曜日や時間帯によって交通量や走行速度といった交通状況は全く異なる。そのため、作成したい地点間の交通情報は、その曜日や時間帯といった区分を考慮し、該当するリンク情報を使用する必要がある。そのために、もし全ての区分（曜日と時間帯）のリンク情報が必要であるとしたら、例えば、曜日を平日と休日の2種類とし、時間帯を1時間区切りとした場合でも、 $2 \times 24 = 48$ 区分の情報が一つのリンクで必要となる。位置データを提供する車両（プローブカー）が、一般道路を含む全てのリンクにおいて、全区分をカバーすることは実質不可能であるといえる。あるいは情報提供を高速道路に限定した場合であれば可能かもしれない

が、曜日や時間帯の区分の定義を変更したり、天候の違いといった他の要素を考慮すると、その区分数が増えデータの欠損が発生する確率は高くなる。そこで、リンク情報のない区分のデータ補完方法について検討を行った。

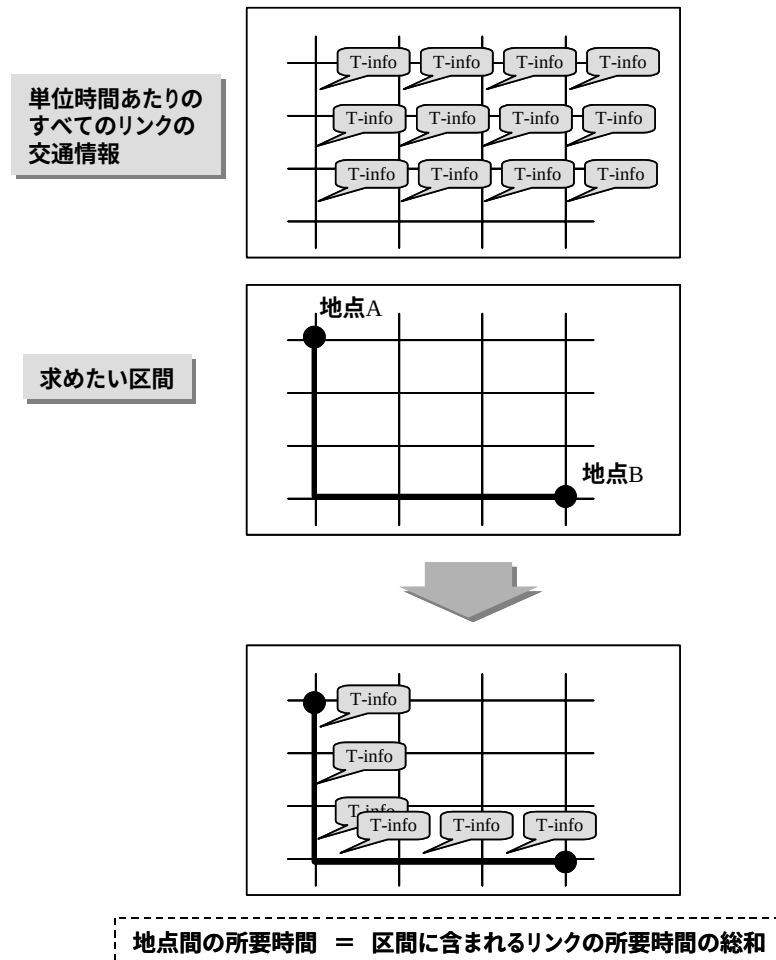


図 3.2-10 地点間の情報作成例

■ リンク情報の無い区分のデータ補完方法

あるエリアにおいて車両の位置データ（プローブカーデータ）が一つも無い場合、全リンクの全区分のデータは存在しないことになる。そこで、全てのリンクに対してリンク所要時間の初期値を定義する。初期値としては、リンク距離と各リンクの制限速度より算出した所要時間でも構わないが、できれば道路交通センサスなどの交通調査で得られた実測値に近いリンク速度により算出した値を与える方が望ましい。なお、この初期値は固定値ではなく、後ほど説明する処理によりその都度更新される。

その後、当該リンクにおいて位置データよりリンク情報が作成された場合は、表 3.2-4 に示すようにそのデータを区分などの情報と共に格納する。その後、ある程度データが蓄積された段階で、区分別に集計することで表 3.2-5 に示すようなリンク情報を作成することが可能となる。こ

のとき、リンク情報（所要時間）が初期値のまま（つまり、初期値以外のデータがない状態）であれば、次のルールによって初期値を更新する。

- (1) ネットワークデータより当該リンクと接続する同じ道路種別（例えば国道）のリンクを抽出し、それら前後のリンク情報より平均値を算出し初期値を更新する
- (2) その際、前後のリンクも初期値のままであれば、当該リンクの前後の時間帯より平均値を算出して初期値を更新する

あるリンクに対して一定量のデータが蓄積された段階でこの更新処理を繰り返し行い、値が収束すればその値を固定値とし、更新処理を行わないようにする。この補完方法により、データがない段階でも交通情報が作成でき、また、データの蓄積量に応じて安定した値を算出することができるようになる。

表 3.2-4 あるリンクのリンク情報格納イメージ

Seq	日付	曜日	平/休	時刻	時間帯	リンク所要時間(秒)	備考
0	-	ALL	ALL	-	ALL	5.21	初期値
1	2006/7/1	STA	休	10:21	10	4.47	プローブカーデータ
2	2006/7/1	STA	休	15:44	15	4.83	
3	2006/7/2	SUN	休	8:33	8	3.95	
4	2006/7/2	SUN	休	12:04	12	4.76	
5	2006/7/2	SUN	休	17:52	17	4.98	
6	2006/7/2	SUN	休	21:27	21	3.47	
7	2006/7/3	MON	平	7:38	7	5.55	
8	2006/7/3	MON	平	7:43	7	5.68	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

表 3.2-5 区分別に集計したリンク情報のイメージ

時間帯	平日		休日	
	平均リンク所要時間(秒)	データ数	平均リンク所要時間(秒)	データ数
0	3.57	3	3.29	2
1	3.45	2	3.46	1
2	5.21	0	3.62	1
3	3.52	1	5.21	0
4	3.45	1	5.21	0
5	3.79	2	3.43	1
6	4.75	7	3.35	4
7	5.43	15	4.25	9
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

 :初期値のままのデータ

またここで、リンク平均速度を用いて渋滞判定を行う場合を考えてみる。本アルゴリズムでは車両の占有率を求めることができないため、単独では完全な渋滞判定をすることができない。そのため、検知器データから得られるデータを元に渋滞判定を行うという従来の手法を補完するという位置づけが妥当である。しかし、検知器データを使用する従来の方が固定点の点的な観測によるものであったのに対して、移動体通信システムを用いると線的な交通情報の作成が可能である。そのため、より正確で詳細な情報提供を行うことが可能であると考えられる。

3.3. リンク情報作成アルゴリズムの検証

3.3.1. 検証の枠組み

提案したアルゴリズムの妥当性を検証するためには、まず現行システムで観測可能な指標との比較を行う必要がある。そこで、実際に阪神高速道路をフィールドとして走行実験を行い、位置データを収集するとともに、検知器や AVI などのデータと比較検討を行うこととした。

また、信頼性のある交通情報を提供するためには、どの程度の割合（移動体通信システムを装備した台数／全利用台数）で車両の位置データを収集する必要があるのかについても検討を行う必要があるといえる。さらに、位置データを収集する間隔が交通情報の精度に与える影響についても検討を行うこととした。よって、検証の指標は、

- 1) 交通情報の精度（所要時間、平均速度）
- 2) 車両抽出率
- 3) データ収集間隔

という3つの指標を用いることとした。

3.3.2. 走行実験の概要

アルゴリズム検証のための走行実験を下記の枠組みで行った。

■ 走行実験の枠組み

- ◆日時：2001/1/25(木) 7:00～17:00
- ◆走行経路：阪神高速 11 号池田線 大阪空港－環状線合分流部
(大阪空港入路→(環状線)→大阪空港出路)
- ◆車両台数：50 台
- ◆1 台あたりの走行回数：4 回

走行Seq.	出発時刻	5分あたりの 出発台数	交通状況	予想所要時間*1	実績平均所要時間*2
1	7:00～7:50	5.0	渋滞	池田→環状:35分 環状→池田:20分	池田→環状:25分 環状→池田:13分
2	9:30～9:50	12.5	渋滞	池田→環状:40分 環状→池田:15分	池田→環状:30分 環状→池田:13分
3	13:00～13:10	25.0	渋滞	池田→環状:20分 環状→池田:15分	池田→環状:19分 環状→池田:14分
4	15:00～15:20	12.5	渋滞	池田→環状:25分 環状→池田:15分	池田→環状:30分 環状→池田:13分

*1 予想所要時間の出典は阪神高速道路時刻表

*2 実績平均所要時間は走行記録用紙より算出

- ◆計測機器：Offline 型 PHS 位置情報端末（50 台）、GPS（2 台）、ビデオカメラ（2 台）
*注：GPS、ビデオカメラは先頭車、末尾車に搭載
- ◆データ収集間隔：15 秒
- ◆その他のデータ：5 分間検知器データ、AVI データ、所要時間時系列情報、渋滞日報

車両に搭載する位置データ収集デバイスは、Offline 型 PHS 位置情報端末を利用することとした。位置データの収集間隔は、端末の制約により最小間隔である 15 秒とした。さらに、マニュアルにて出発時刻、環状線分合流通過時刻、および到着時刻を記録した。検討対象路線は PHS 位置情報システムによって一定精度の位置データ収集が可能である 11 号池田線とし、50 台の車両を 4 回走行させた。その走行ルートは、11 号池田線上りの「大阪空港入口」ランプを出発して 1 号環状線に合流し、そのまま環状線を半周して、11 号池田線下りを走行して「大阪空港出口」ランプで到着するまで続けて走行させた。ただし、その出発する時間帯によって池田線の混雑状況も変わるため、出発時の発車台数を調整することで、一度の走行実験でまんべんなく車両が配置されるように考慮した。先頭および末尾車両には GPS、ビデオカメラを搭載し、補完的なデータも収集した。

今回の実験で走行した車両 50 台の内、2 台の PHS が機器障害により位置情報を取得することができなかった。そのため、本文中では 50 台という表現を用いているが、実際の検証では 48 台分のデータを元に解析を行っている。

今回使用した車両の位置データ収集端末である Offline 型 PHS 位置情報端末及び GPS 端末を図 3.3-1 に示す。



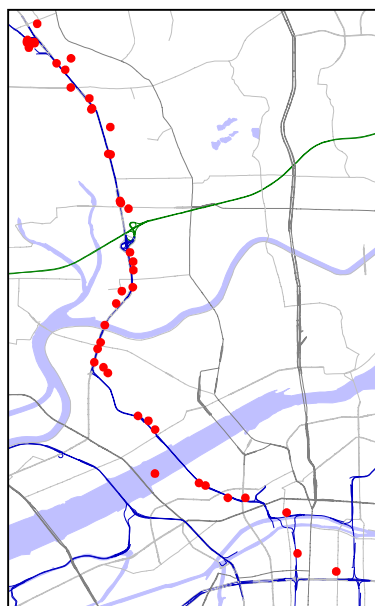
図 3.3-1 調査用デバイス

調査車両すべての上り・下り毎の出発時刻－到着時刻を表 3.3-1 に記す。一度の走行で池田線
上り、環状線、池田線下りと連続して走行しているため、上りは空港入口→環状線合流部までと
し、下りは環状線分流部→空港出口までとしている。環状線を経由してそのまま池田線下りの走
行を行っているため、下りの出発時刻は調整が取れなかった。

表 3.3-1 車両の走行時間

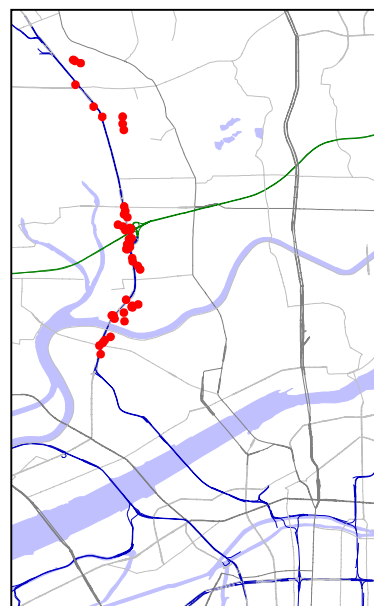
車両No	1回目		2回目		3回目		4回目	
	上り	下り	上り	下り	上り	下り	上り	下り
A001	7:00-7:18	7:23-7:36	9:30-9:59	10:05-10:18	13:00-13:16	13:21-13:35	15:00-15:28	15:34-15:49
A002	7:01-7:18	7:23-7:36	9:30-10:00	10:05-10:18	13:00-13:16	13:21-13:35	15:00-15:28	15:34-15:49
A003	7:02-7:19	7:27-7:39	9:30-10:00	10:15-10:28	13:00-13:17	13:22-13:37	15:00-15:28	15:34-15:49
A004	7:03-7:20	7:25-7:37	9:30-10:00	10:06-10:19	13:00-13:17	13:22-13:37	15:00-15:29	15:34-15:49
A005	7:04-7:23	7:29-7:41	9:30-10:00	10:07-10:19	13:00-13:17	13:22-13:37	15:00-15:29	15:35-15:49
A006	7:05-7:23	7:27-7:40	9:32-10:02	10:09-10:22	13:00-13:17	13:22-13:37	15:02-15:31	15:36-15:49
A007	7:06-7:25	7:30-7:42	9:32-10:02	10:09-10:22	13:00-13:17	13:22-13:37	15:02-15:31	15:36-15:50
A008	7:07-7:27	7:32-7:46	9:32-10:02	10:09-10:22	13:00-13:18	13:22-13:37	15:02-15:31	15:36-15:49
A009	7:08-7:28	7:33-7:46	9:32-10:02	10:09-10:22	13:00-13:18	13:22-13:37	15:02-15:31	15:37-15:50
A010	7:09-7:30	7:35-7:47	9:32-10:03	10:10-10:22	13:00-13:18	13:23-13:38	15:02-15:32	15:37-15:51
A011	7:10-7:31	7:36-7:50	9:34-10:04	10:10-10:23	13:02-13:20	13:24-13:38	15:03-15:33	15:38-15:52
A012	7:11-7:32	7:37-7:50	9:34-10:04	10:10-10:23	13:02-13:20	13:25-13:38	15:04-15:33	15:38-15:52
A013	7:12-7:32	7:37-7:50	9:34-10:04	10:10-10:23	13:02-13:20	13:25-13:39	15:04-15:33	15:39-15:52
A014	7:13-7:35	7:39-7:51	9:34-10:04	10:10-10:23	13:02-13:20	13:25-13:39	15:04-15:33	15:39-15:52
A015	7:14-7:36	7:40-7:52	9:34-10:04	10:10-10:23	13:02-13:20	13:25-13:39	15:04-15:34	15:39-15:52
A016	7:15-7:38	7:42-7:54	9:36-10:07	10:14-10:28	13:02-13:20	13:25-13:39	15:06-15:35	15:41-15:54
A017	7:16-7:38	7:43-7:55	9:36-10:07	10:14-10:28	13:02-13:20	13:25-13:40	15:06-15:36	15:41-15:54
A018	7:17-7:40	7:45-7:58	9:36-10:07	10:14-10:28	13:02-13:20	13:25-13:40	15:06-15:36	15:41-15:54
A019	7:18-7:42	7:46-7:59	9:36-10:08	10:14-10:28	13:02-13:20	13:26-13:40	15:06-15:36	15:41-15:54
A020	7:19-7:43	7:47-8:00	9:36-10:08	10:14-10:28	13:02-13:20	13:26-13:40	15:06-15:36	15:42-15:54
A021	7:21-7:44	7:48-8:00	9:38-10:08	10:15-10:28	13:04-13:21	13:26-13:40	15:08-15:38	15:44-15:54
A022	7:21-7:46	7:50-8:03	9:38-10:08	10:15-10:28	13:04-13:21	13:26-13:40	15:08-15:38	15:44-15:56
A023	7:23-7:47	7:51-8:03	9:38-10:09	10:15-10:29	13:04-13:22	13:26-13:40	15:08-15:38	15:44-15:57
A024	7:24-7:49	7:53-8:07	9:38-10:09	10:16-10:29	13:04-13:22	13:26-13:40	15:08-15:38	15:44-15:57
A025	7:25-7:49	7:54-8:07	9:38-10:09	10:16-10:29	13:04-13:22	13:27-13:40	15:08-15:39	15:44-15:57
A026	7:26-7:52	7:56-8:08	9:40-10:09	10:17-10:30	13:04-13:23	13:28-13:42	15:10-15:39	15:44-15:58
A027	7:27-7:52	7:56-8:08	9:40-10:10	10:17-10:30	13:04-13:23	13:28-13:42	15:10-15:39	15:45-15:58
A028	7:28-7:54	8:01-8:14	9:40-10:10	10:20-10:35	13:04-13:23	13:28-13:42	15:10-15:40	15:45-15:59
A029	7:28-7:54	7:58-8:10	9:40-10:10	10:17-10:30	13:04-13:23	13:28-13:42	15:10-15:40	15:45-15:59
A030	7:29-7:55	7:59-8:11	9:40-10:10	10:17-10:30	13:04-13:24	13:28-13:42	15:10-15:40	15:45-15:59
A031	7:30-7:56	8:01-8:14	9:42-10:11	10:18-10:32	13:06-13:24	13:30-13:43	15:12-15:43	15:48-16:01
A032	7:31-7:56	8:01-8:14	9:42-10:11	10:18-10:32	13:06-13:24	13:30-13:43	15:12-15:43	15:48-16:02
A033	7:32-7:58	8:03-8:16	9:42-10:12	10:19-10:33	13:06-13:26	13:31-13:44	15:12-15:44	15:49-16:02
A034	7:33-7:59	8:06-8:19	9:42-10:12	10:23-10:36	13:06-13:26	13:31-13:44	15:12-15:44	15:49-16:02
A035	7:34-8:03	8:08-8:20	9:42-10:12	10:19-10:33	13:06-13:26	13:31-13:45	15:12-15:44	15:49-16:02
A036	7:35-8:04	8:08-8:21	9:44-10:13	10:19-10:33	13:06-13:26	13:32-13:45	15:14-15:45	15:50-16:02
A037	7:36-8:05	8:21-8:33	9:44-10:14	10:19-10:34	13:06-13:26	13:32-13:46	15:14-15:45	15:50-16:03
A038	7:37-8:05	8:09-8:21	9:44-10:14	10:20-10:34	13:06-13:26	13:32-13:46	15:14-15:45	15:50-16:03
A039	7:38-8:07	8:12-8:25	9:44-10:14	10:20-10:34	13:06-13:27	13:32-13:46	15:14-15:45	15:51-16:03
A040	7:39-8:07	8:12-8:25	9:44-10:14	10:21-10:34	13:06-13:27	13:32-13:46	15:14-15:45	15:51-16:04
A041	7:39-8:09	8:13-8:26	9:46-10:17	10:23-10:37	13:08-13:28	13:33-13:46	15:16-15:46	15:52-16:05
A042	7:41-8:09	8:14-8:26	9:46-10:17	10:23-10:37	13:08-13:28	13:33-13:46	15:16-15:46	15:52-16:05
A043	7:41-8:10	8:15-8:29	9:46-10:17	10:24-10:38	13:08-13:28	13:33-13:46	15:16-15:47	15:53-16:06
A044	7:43-8:12	8:21-8:33	9:46-10:17	10:24-10:38	13:08-13:28	13:33-13:46	15:16-15:47	15:53-16:06
A045	7:44-8:14	8:23-8:36	9:46-10:18	10:30-10:43	13:08-13:28	13:33-13:47	15:16-15:48	15:53-16:07
A046	7:45-8:16	8:21-8:33	9:48-10:19	10:25-10:40	13:08-13:29	13:34-13:47	15:18-15:49	15:54-16:07
A047	7:46-8:19	8:22-8:35	9:48-10:19	10:27-10:40	13:08-13:29	13:34-13:47	15:18-15:49	15:54-16:07
A048	7:47-8:19	8:22-8:36	9:48-10:20	10:25-10:40	13:08-13:29	13:34-13:48	15:18-15:49	15:54-16:07
A049	7:48-8:21	8:26-8:40	9:48-10:20	10:27-10:40	13:08-13:30	13:35-13:49	15:18-15:49	15:55-16:08
A050	7:49-8:22	8:27-8:41	9:48-10:20	10:28-10:42	13:08-13:31	13:36-13:50	15:18-15:50	15:55-16:09

それぞれの走行回数における車両の走行状態を図 3.3-2～図 3.3-5に示す。



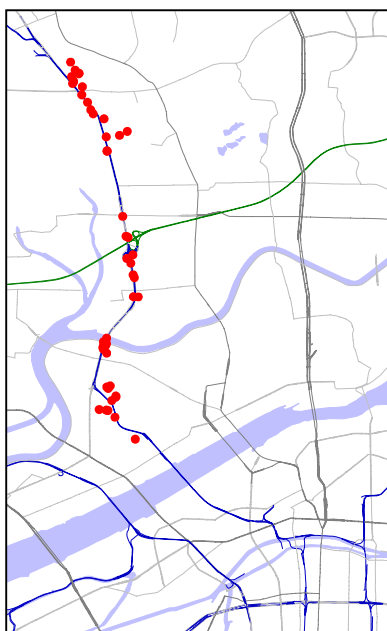
7:45 時点
1 分毎に 1 台ずつ出発で車群なし

図 3.3-2 走行状態 (1 回目)



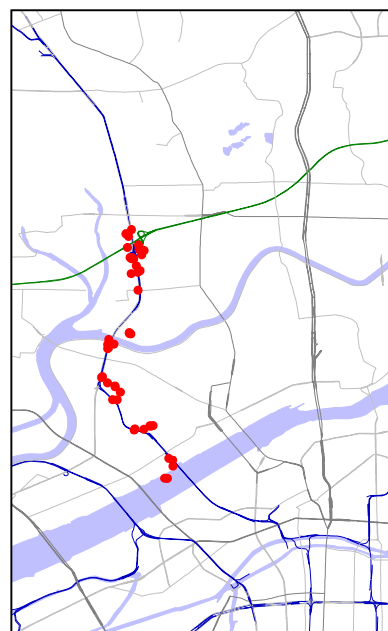
9:50 時点
2 分毎に 5 台ずつ出発で車群数 10

図 3.3-3 走行状態 (2 回目)



13:10 時点
2 分毎に 10 台ずつ出発で車群数 5

図 3.3-4 走行状態 (3 回目)



15:25 時点
2 分毎に 5 台ずつ出発で車群数 10

図 3.3-5 走行状態 (4 回目)

3.3.3. インプットデータ

リンク情報の作成に必要なデータは、位置データ、ネットワークデータ、経路データの三種類である。以下に今回の調査で使ったデータについて説明する。

まず、位置データは、Offline 型 PHS 位置情報端末を使用して、時間的に連続な位置情報を取得した。また、先頭及び末尾車には補足的に GPS とビデオカメラを設置し、その位置情報も取得した。ここで、使用する位置データは、事前にエラーデータを取り除く必要がある。今回の検証には、一般的なエラーデータ処理アルゴリズムを用いて、異常値を取り除いた位置データのみを使用している。異常値を取り除いた例を図 3.3-6 に示す。

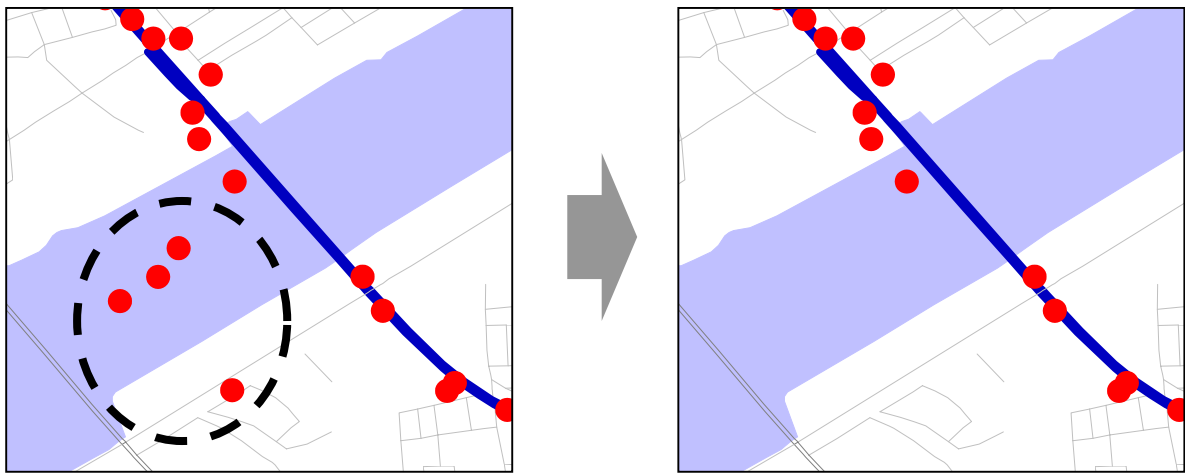


図 3.3-6 異常値を取り除いた例

経路データについては、今回はアルゴリズムの検証が目的であるため、既知（11 号池田線を走行）として事前に与えることとした。また、ネットワークデータについても、デジタル道路地図 (DRM) を用いると、1 本のリンク長が長くなり検証には適さないため、その DRM データをもととして、GIS 上で 250m 毎のキロポスト(kp)の経緯度を取得し、通過時刻算出のための地点（ノード）として設定した。これは、比較対象とする検知器が 500m 毎に設置されており、所要時間の算定に用いられるリンクが検知器を中心とする 500m の区間で定義されているためである。設置した地点の経緯度およびそれを平面直角座標系の x,y 座標に変換した一覧を表 3.3-2 に示す。

また、その地点の通過時刻を算出するための円の半径 R は PHS 位置情報システムの平均的な誤差を考慮して 100m で一定とした。その一例を図 3.3.2 に示す。

表 3.3-2 ノード設置座標

地点	緯度	経度	x座標	y座標
池田空港入口	34/47/14.1	135/26/49.7	-134385.00	-50589.14
池田上13.25kp	34/47/08.4	135/27/01.4	-134562.25	-50292.71
池田上13.00kp	34/47/02.0	135/27/07.3	-134760.25	-50143.82
池田上12.75kp	34/46/55.5	135/27/12.9	-134961.29	-50002.56
池田上12.50kp	34/46/49.1	135/27/18.2	-135159.21	-49868.91
池田上12.25kp	34/46/42.4	135/27/23.8	-135366.40	-49727.67
池田上12.00kp	34/46/35.5	135/27/29.5	-135579.77	-49583.92
池田上11.75kp	34/46/29.2	135/27/34.6	-135774.57	-49455.31
池田上11.50kp	34/46/22.3	135/27/37.5	-135987.56	-49382.73
池田上11.25kp	34/46/14.0	135/27/40.1	-136243.63	-49318.00
池田上11.00kp	34/46/05.5	135/27/42.2	-136505.80	-49266.02
池田上10.75kp	34/45/57.9	135/27/44.6	-136740.28	-49206.25
池田上10.50kp	34/45/50.2	135/27/46.7	-136977.81	-49154.13
池田上10.25kp	34/45/42.5	135/27/48.8	-137215.33	-49102.00
池田上10.00kp	34/45/34.4	135/27/50.3	-137465.09	-49065.20
池田上9.75kp	34/45/26.3	135/27/51.8	-137714.85	-49028.39
池田上9.50kp	34/45/18.1	135/27/53.0	-137967.65	-48999.22
池田上9.25kp	34/45/09.8	135/27/54.7	-138223.60	-48957.35
池田上9.00kp	34/45/01.6	135/27/56.3	-138476.46	-48918.01
池田上8.75kp	34/44/53.7	135/27/57.5	-138720.02	-48888.79
池田上8.50kp	34/44/45.9	135/27/59.1	-138960.55	-48849.37
池田上8.25kp	34/44/37.6	135/28/00.1	-139216.40	-48825.30
池田上8.00kp	34/44/29.4	135/28/01.5	-139469.23	-48791.04
池田上7.75kp	34/44/21.5	135/28/02.1	-139712.71	-48777.07
池田上7.50kp	34/44/13.4	135/28/01.0	-139962.12	-48806.37
池田上7.25kp	34/44/06.8	135/27/55.7	-140164.75	-48942.24
池田上7.00kp	34/44/00.1	135/27/49.7	-140370.36	-49095.95
池田上6.75kp	34/43/53.3	135/27/44.4	-140579.15	-49231.87
池田上6.50kp	34/43/45.7	135/27/41.0	-140812.84	-49319.61
池田上6.25kp	34/43/38.0	135/27/38.4	-141049.71	-49387.01
池田上6.00kp	34/43/30.0	135/27/36.3	-141295.90	-49441.75
池田上5.75kp	34/43/22.2	135/27/34.3	-141535.95	-49493.92
池田上5.50kp	34/43/14.6	135/27/35.1	-141770.21	-49474.82
池田上5.25kp	34/43/08.4	135/27/41.6	-141962.11	-49310.50
池田上5.00kp	34/43/01.7	135/27/46.9	-142169.26	-49176.77
池田上4.75kp	34/42/54.0	135/27/49.1	-142406.79	-49122.07
池田上4.50kp	34/42/46.8	135/27/53.3	-142629.19	-49016.40
池田上4.25kp	34/42/44.0	135/28/02.7	-142716.72	-48777.71
池田上4.00kp	34/42/40.1	135/28/11.3	-142838.04	-48559.55
池田上3.75kp	34/42/33.8	135/28/16.8	-143032.87	-48420.64
池田上3.50kp	34/42/27.0	135/28/22.5	-143243.14	-48276.72
池田上3.25kp	34/42/20.6	135/28/28.3	-143441.09	-48130.19
池田上3.00kp	34/42/14.1	135/28/33.9	-143642.09	-47988.75
池田上2.75kp	34/42/07.7	135/28/39.9	-143840.07	-47837.11
池田上2.50kp	34/42/01.1	135/28/45.7	-144044.18	-47690.58
池田上2.25kp	34/41/55.1	135/28/52.0	-144229.86	-47531.24
池田上2.00kp	34/41/50.0	135/28/59.8	-144388.01	-47333.57
池田上1.75kp	34/41/46.4	135/29/08.9	-144500.11	-47102.58
池田上1.50kp	34/41/42.7	135/29/18.0	-144615.28	-46871.60
池田上1.25kp	34/41/40.6	135/29/27.1	-144681.16	-46640.37
池田上1.00kp	34/41/40.3	135/29/36.6	-144691.62	-46398.67
池田上0.75kp	34/41/34.0	135/29/42.0	-144886.41	-46262.24
池田上0.50kp	34/41/28.1	135/29/47.7	-145068.91	-46118.10
池田上0.25kp	34/41/29.6	135/29/57.6	-145023.95	-45865.94
池田上0.0kp	34/41/30.5	135/30/07.5	-144997.47	-45613.87

x,y座標は平面直角座標系(6系)の座標に変換したもの

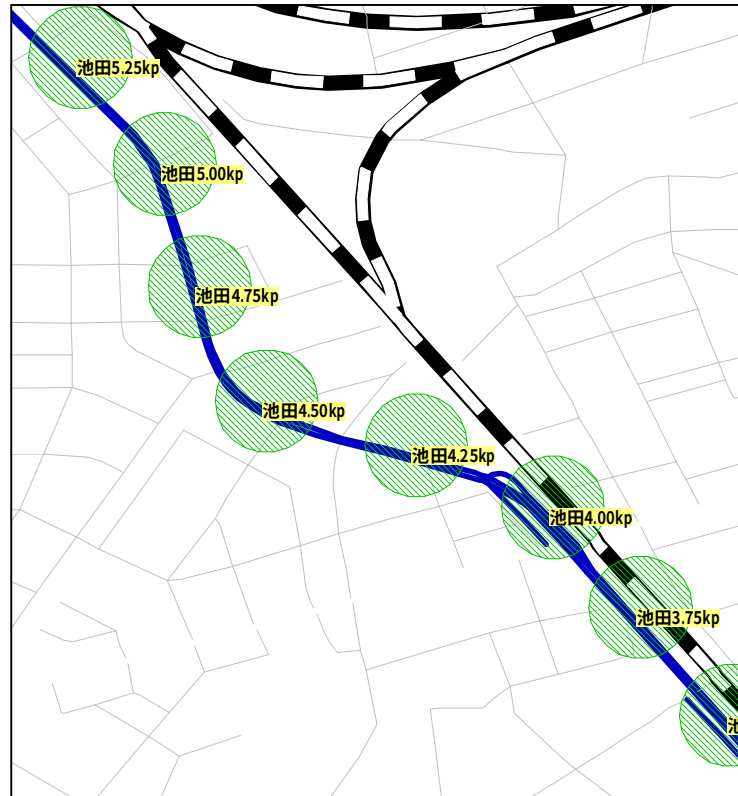


図 3.3-7 ノードの設定とその半径 R ($R=100\text{m}$)

3.3.4. リンク情報の精度の検証

ここでは、以下に示す項目により、提案したリンク情報作成アルゴリズムの精度検証を行う。

- (1) 位置情報の精度による比較
- (2) 複数車両の移動速度と渋滞状況の比較

まず(1)では、今回の実験で用いた2つの位置特定デバイスである PHS と GPS について、その位置精度が及ぼす影響についての検証を行う。次に(2)では、調査車両すべてに搭載した PHS で取得した位置データより各車両のノード通過時刻を算出し、その結果から求めた車両の移動速度と渋滞状況（渋滞日報より作成）を比較することで検証を行う。

(1) 位置情報の精度による比較

本アルゴリズムで必要とするインプットデータの一つに位置情報があるが、この位置情報は特にデバイスの種類を問うことはない。しかし、作成されるリンク情報の正確さには位置特定の精度が大きく関係すると思われる。そこで、位置情報精度が異なるデバイスによって収集した位置情報に対してアルゴリズムを適用し、位置データの精度がリンク情報作成に与える影響について検討を行う。

はじめに今回の実験で使用した GPS 及び PHS から得られた位置情報について、そのデバイス

の特性を整理する。PHS および GPS から実際に取得できた位置データを調査対象地域全域で表示したものをそれぞれ図 3.3-8 と図 3.3-9 に示す。

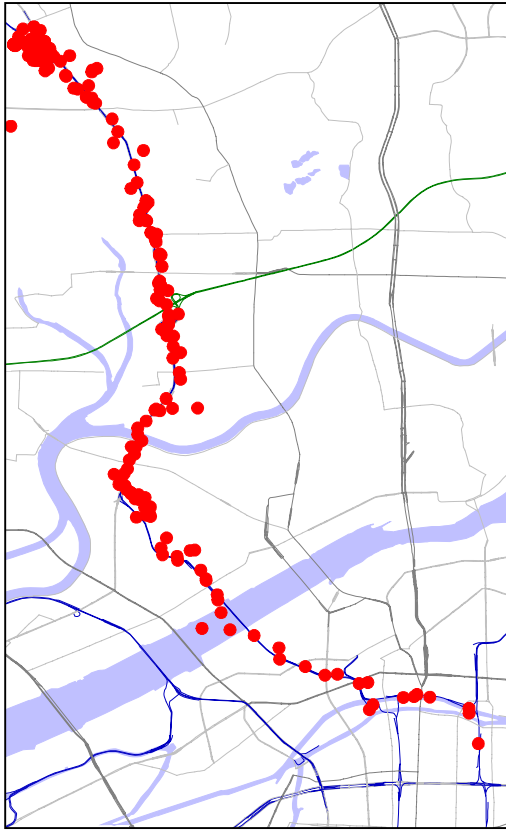


図 3.3-8 PHS での位置取得

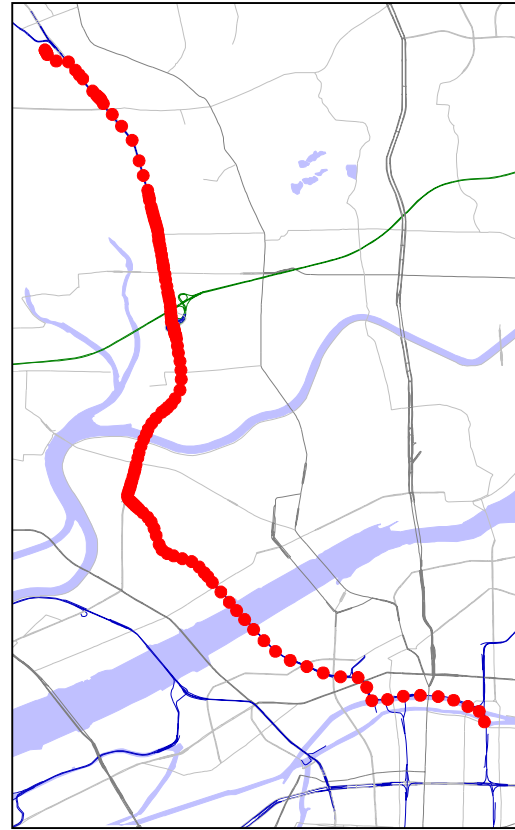


図 3.3-9 GPS での位置取得

調査全域で見ても、GPS では大きな異常値は確認されない。それに対して PHS では、部分的に大きな異常値が見られるが、これらは、エラーデータ処理アルゴリズムを使用することで削除することができるため問題はない。そのため、PHS、GPS とともに 11 号池田線を走行しているという判断はできそうである。しかし、図 3.3-10 と図 3.3-11 に示すように局所的に見てみると、その誤差が明確となる。PHS による位置データの誤差が平均 100m 程度であるのに対して、GPS では 10m 以内と非常に精度が高い。実際にエラー判別を行った結果、PHS では 1 回の走行に対して全体の約 1 割が異常値として検出されたが、GPS では異常値が一つも検出されなかった。この PHS の位置データに今回設定したノードとその半径 R(100m)を重ねたものが図 3.3-12 である。この図より半径 R の内部に位置データが複数含まれるノードや、位置データが含まれないノードが連続している区間があることが確認できた。

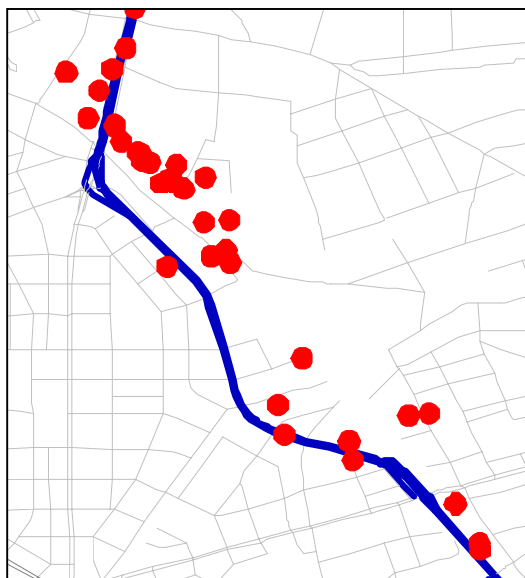


図 3.3-10 PHS での位置取得（拡大図）



図 3.3-11 GPS での位置取得（拡大図）

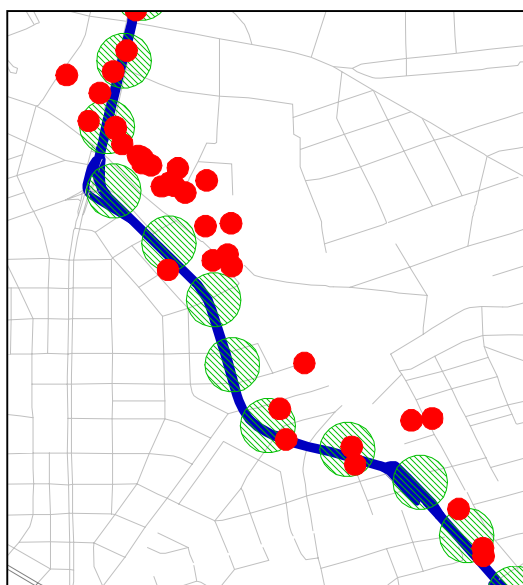


図 3.3-12 ノードの半径Rと PHS 位置データの関係

この様に位置精度が全く異なるデータを用いて、提案したリンク情報作成アルゴリズムの検証を行う。PHS, GPS, VTR を搭載した車両（50 号車）のそれぞれの位置情報をもとに、リンク情報作成アルゴリズムを用いて 0.5kp 毎の通過時刻を算出した。その結果を表 3.3-3 に示す。通過時刻の誤差については、それぞれ全体の平均が PHS では 16.0 秒，GPS では 7.89 秒となり、位置誤差の大きい PHS でも数秒の誤差の範囲で時刻の特定ができている。

表 3.3-3 デバイス毎の通過時刻算出結果 (50 号車 の 4 回目上りの走行)

誤差は絶対値で表示					
kp	VTR	PHS	誤差	GPS	誤差
13.0kp	15:19:09	15:19:00	9	15:19:08	1
12.5kp	15:19:47	15:19:45	2	15:20:03	16
12.0kp	15:20:43	15:20:30	13	15:20:48	5
11.5kp	15:21:13	15:21:10	3	15:21:18	5
11.0kp	15:21:42	15:21:45	3	15:21:48	6
10.5kp	15:22:12	15:22:00	12	15:22:12	0
10.0kp	15:22:42	15:22:35	7	15:22:42	0
9.5kp	15:23:14	15:23:30	16	15:23:18	4
9.0kp	15:25:37	15:26:45	68	15:25:48	11
8.5kp	15:29:47	15:30:45	58	15:30:30	43
8.0kp	15:31:36	15:31:39	3	15:31:46	10
7.5kp	15:33:46	15:33:45	1	15:33:46	0
7.0kp	15:35:29	15:35:00	29	15:35:46	17
6.5kp	15:36:57	15:37:30	33	15:37:01	4
6.0kp	15:38:48	15:38:45	3	15:39:01	13
5.5kp	15:41:34	15:41:22	12	15:41:46	12
5.0kp	15:42:54	15:43:15	21	15:43:02	8
4.5kp	15:43:58	15:43:45	13	15:44:02	4
4.0kp	15:45:07	15:45:30	23	15:45:32	25
3.5kp	15:46:30	15:46:30	0	15:46:32	2
3.0kp	15:47:10	15:46:46	24	15:47:02	8
2.5kp	15:47:48	15:47:30	18	15:47:47	1
2.0kp	15:48:21	15:48:15	6	15:48:17	4
1.5kp	15:48:52	15:48:45	7	15:48:47	5
1.0kp	15:49:25	15:49:08	17	15:49:32	7
0.5kp	15:50:03	15:49:45	18	15:50:02	1
0.0kp	15:50:31	15:50:45	14	15:50:32	1
平均誤差(sec)			16.0		7.89

この結果では、位置精度が良い GPS でも 30 秒を超える誤差が出ている地点が見られる。この理由としては、通過点を決定するときの円の半径 R を PHS の誤差から考慮した 100m に設定しているため、非常に低速の時に円の内部に複数の点が含まれ、その含まれる点の最終時刻が通過時刻に設定されるため、ノードの通過地点（円の中心）と大きく異なってしまうということが考えられる。図 3.1-1 に実例を示す。今回は精度比較のためこのような結果となったが、通常のアルゴリズム使用時には、そのデバイスの精度に合わせて半径 R の設定を行えばこのような問題は解消され、情報の精度は向上すると考えられる。言い換えれば、半径 R の設定はデバイスの精度や地点特性を考慮に入れ、最適な値にする必要があることがわかる。

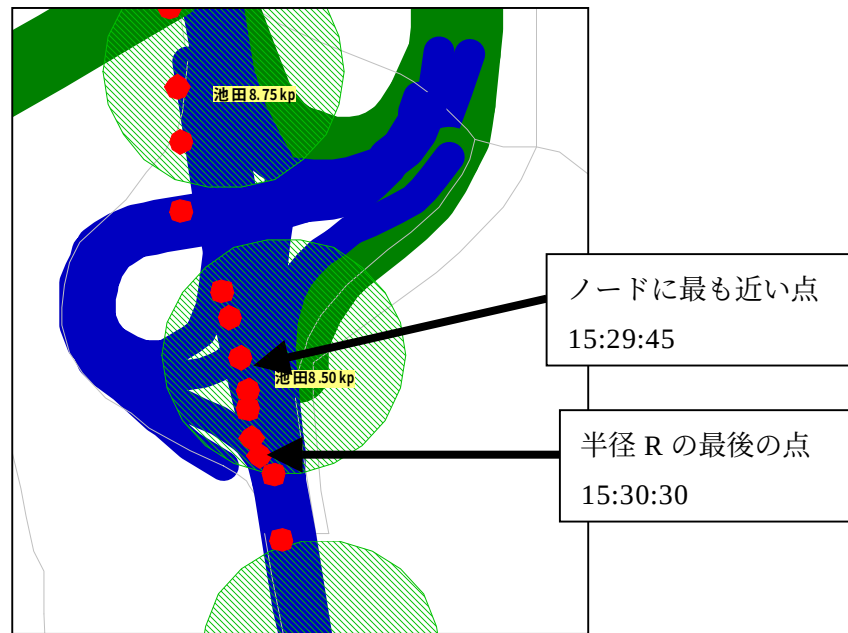


図 3.3-13 円の内部に複数の位置情報が含まれる例

次に、0.5kp 毎の通過時刻をもとにリンク平均走行速度を求めた。その結果を図 3.3-14 に示す。算出したリンク速度をみると、値が大きく異なる地点が数カ所見られるが、全体的な速度変化の様子はデバイスの種類（位置の精度）に関係なく、検知器の速度と同様のものとなっている。なお、12.0kp 付近で精度が悪くなっているが、それはこの地点に集約料金所があるため、一時停止しているためである。

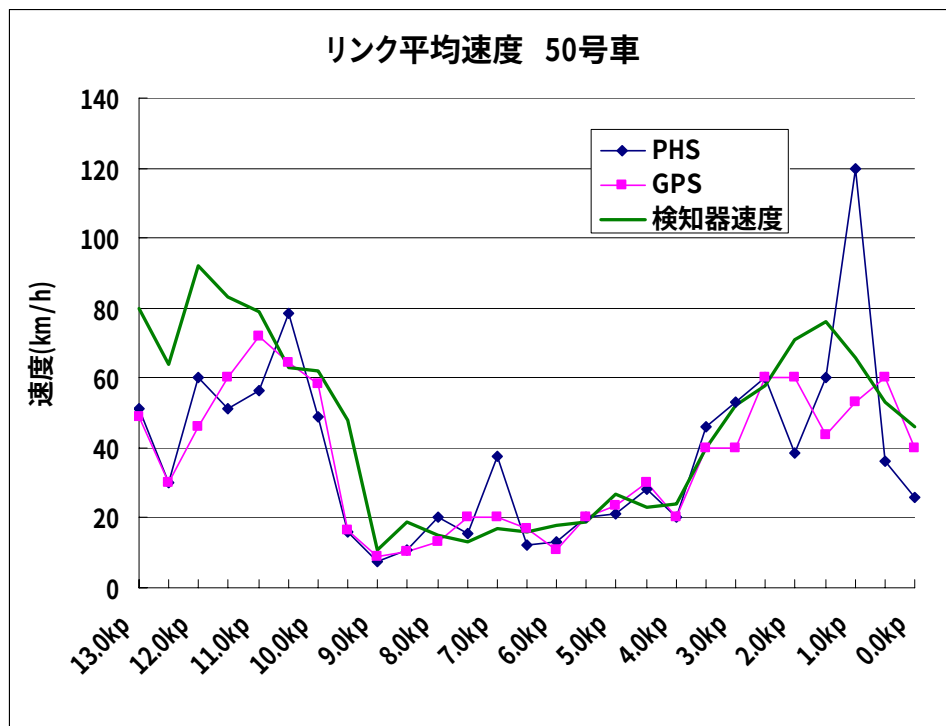


図 3.3-14 デバイス毎のリンク平均速度（50 号車上り 4 回目の走行）

（２） 複数車両の移動速度と渋滞状況の比較

提案したリンク情報作成アルゴリズムを用いて、すべての車両について各ノードの通過時刻を算出した。各地点(kp)を縦軸に、時刻を横軸にして、当日の渋滞領域を描き、そこにそれぞれの車両の通過時刻を重ねた結果を、走行回数別に図 3.3-15～図 3.3-18 に示す。これらの図は車両一台一台の走行軌跡図という見方が可能である。そのため、このグラフの線の傾きは速度を表し、その傾きが大きいほど速度が早いことを示している。

これらの図から、渋滞領域にさしかかる直前に各車両の速度が急激に低下していることがよくわかる。この速度の急激な低下は、時間の経過と共に後方の車両に伝播し、その地点が上流側に延びている様子も確認できる。これはつまり、渋滞地点におけるショックウェーブ現象（車両の減速が次々と大きくなりながら後方に伝播する現象）をうまく捉えることができたといえる。さらに、渋滞領域内では低速で走行し、渋滞領域を抜けると速度が回復し、再び高速で走行している様子も確認できる。これらのことから、各車両より算出したノード通過時刻は精度の良い結果であることが分かる。

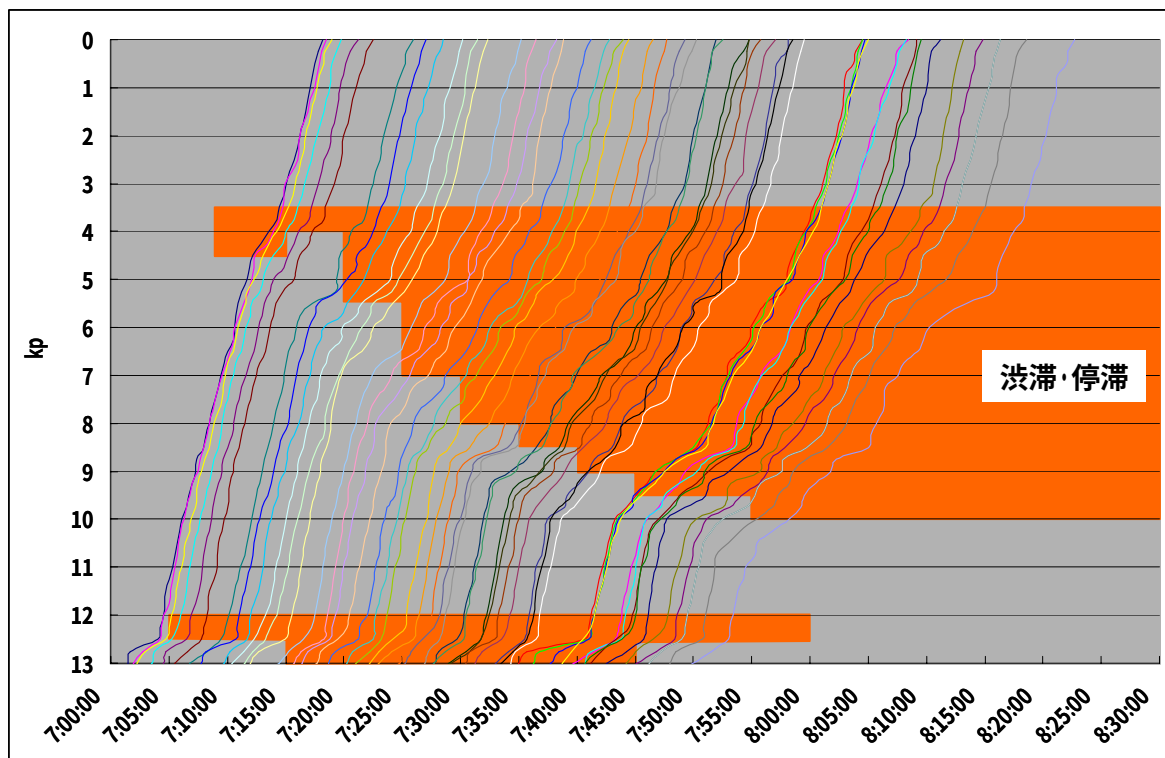


図 3.3-15 通過時刻（上り 1 回目の走行）

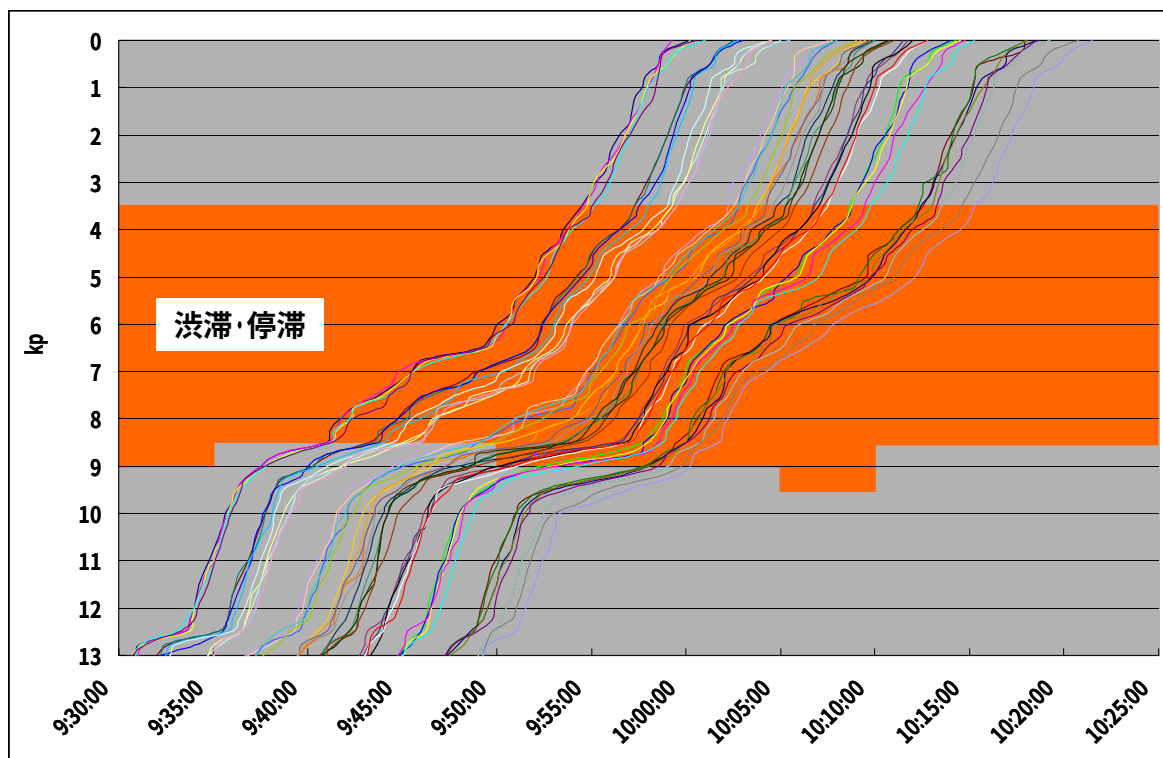


図 3.3-16 通過時刻（上り 2 回目の走行）

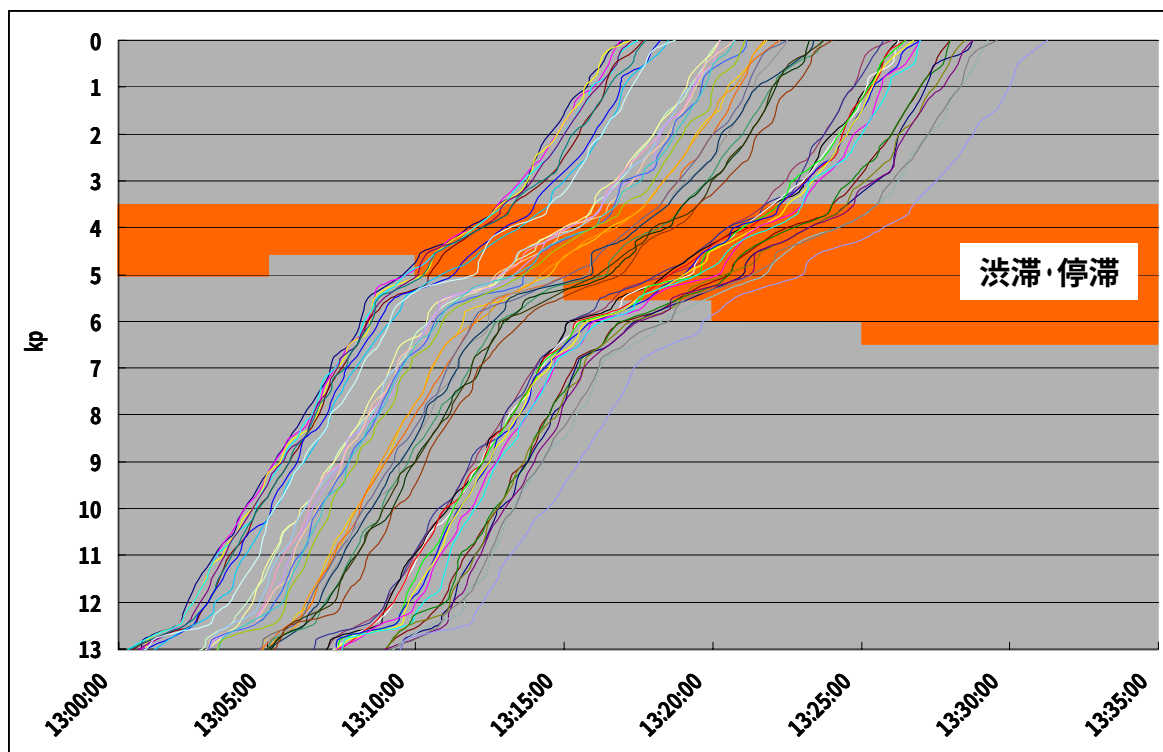


図 3.3-17 通過時刻（上り 3 回目の走行）

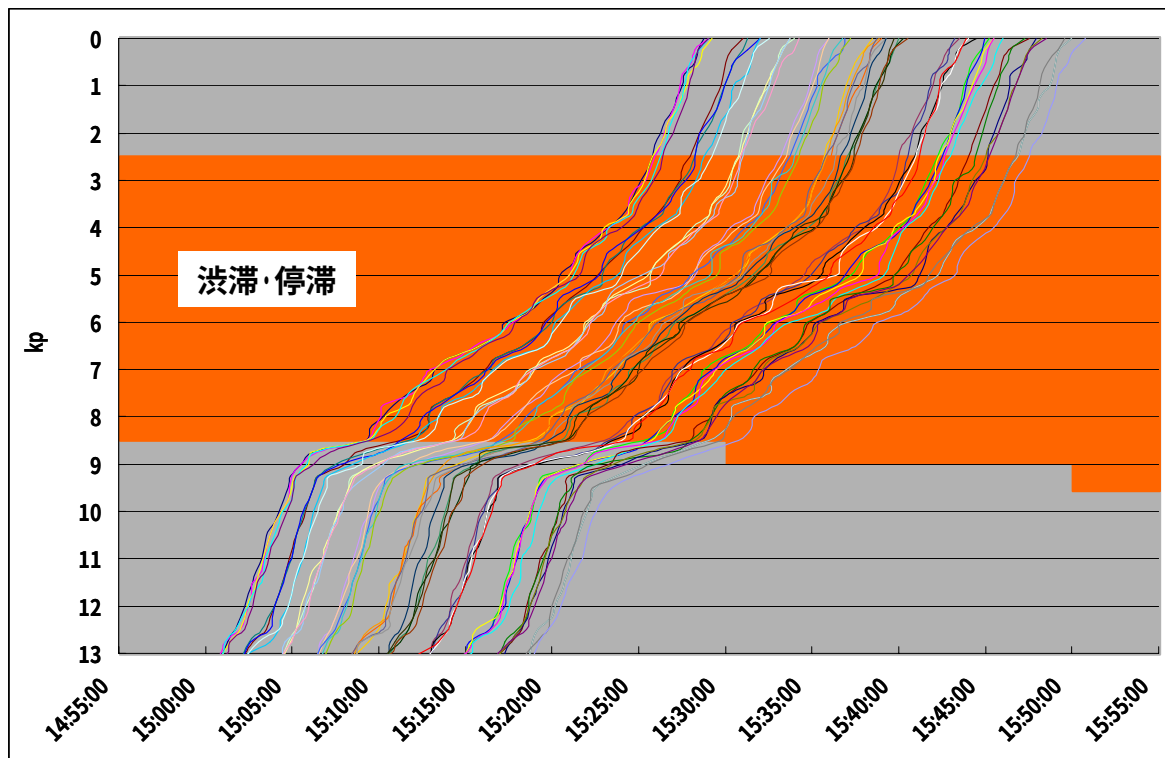


図 3.3-18 通過時刻（上り 4 回目の走行）

3.3.5. 交通情報の精度の検証

ここでは、車両一台毎に算出したリンク情報を集計し、それをもとに作成した交通情報の精度について検証を行う。今回の調査で入手できた交通情報データは、検知器設置地点（約 500m 間隔）の車両平均速度データと、ある区間の所要時間を収録した所要時間時系列情報の 2 つである。この 2 つのデータと比較を行うことで、交通情報の精度検証を行う。

はじめに、交通情報作成の条件をまとめる。今回の検証では、検知器データとの比較に重点をおくことから、リンクの区間距離を 500m とし、情報作成の単位時間は 5 分間とした。その条件で「(移動体位置情報デバイスを搭載した車両の) リンク存在台数」、「リンク平均所要時間」、「リンク平均速度」といった交通情報を作成した。作成した情報の一部をそれぞれ表 3.3-4～表 3.3-6 に示し、また、その比較として、車両検知器より取得したリンク平均速度を表 3.3-7 に示す。なお、表中の「－」の部分はその時間帯の当該リンク上に PHS を搭載した車両が存在せず、リンク情報が作成できなかったことを示している。

表 3.3-4 作成した交通情報（リンク存在台数）

	13.0kp	12.5kp	12.0kp	11.5kp	11.0kp	10.5kp	10.0kp	9.5kp	9.0kp	8.5kp	8.0kp	7.5kp	7.0kp	6.5kp	6.0kp	5.5kp	5.0kp
07:00-	6	5	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07:05-	4	3	6	5	6	6	6	5	5	5	4	4	3	2	-	-	-
07:10-	3	4	3	5	5	4	4	4	4	3	4	3	4	4	6	6	6
07:15-	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	4	3	3
07:20-	5	4	4	4	4	5	4	5	4	5	4	3	2	3	2	3	3
07:25-	6	5	7	5	5	5	5	4	5	4	4	4	4	3	4	3	3
07:30-	5	7	4	6	6	5	6	6	4	3	4	3	3	3	4	4	4
07:35-	4	4	3	3	3	4	4	5	4	6	4	4	5	4	4	3	3
07:40-	6	5	8	6	6	4	4	4	3	3	4	5	4	5	3	4	4
07:45-	4	5	4	6	5	7	6	5	6	4	1	2	3	4	5	5	5
07:50-	-	1	3	3	4	3	4	3	4	5	6	6	4	4	2	2	3
07:55-	-	-	-	-	-	1	1	3	4	5	5	4	5	4	7	6	5
08:00-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	3	4	5	5	3	5	4
08:05-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	2	4	3	4
08:10-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
08:15-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08:20-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表 3.3-5 作成した交通情報（リンク平均所要時間）

	13.0kp	12.5kp	12.0kp	11.5kp	11.0kp	10.5kp	10.0kp	9.5kp	9.0kp	8.5kp	8.0kp	7.5kp	7.0kp	6.5kp	6.0kp	5.5kp	5.0kp
07:00-	73.5	116.4	38	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07:05-	86	85	41	24.2	21.5	25.33	28.67	27.2	29.2	36.2	33	26.25	33	38	-	-	-
07:10-	88.33	105.5	40	24.8	27.4	23.75	26.5	24.25	34.5	42.67	31.25	26.67	31.25	40.5	29.83	43.17	51.67
07:15-	61.4	134	30.5	22.75	22.25	24.5	26.5	28.25	27.5	38.25	26	25	32	57.2	63.75	134	45.7
07:20-	86.6	101	31.75	20.5	21.75	19.2	29.75	30.8	30	29.6	47.75	78	72.5	119.33	75	120.33	76.6
07:25-	91.33	95.2	37	21.6	25.6	22.6	30.6	23.75	39.4	100.75	62.5	91.25	74.75	90.33	63.75	92.67	62.6
07:30-	81.6	90.57	44	26	26	20.2	28.67	42.17	110	171.67	69.25	65	70	75	67.5	82.5	58.6
07:35-	86.75	210.75	32	23.33	30.33	24.25	69.5	93	101.25	119.17	50.25	65.5	62.4	77.25	109	118	60.1
07:40-	83.33	138.2	28.25	29.17	27.5	31.75	78.25	108.75	90	120	75	99	101.25	114	70	80	64.3
07:45-	69.75	122.6	40.75	17.17	31.6	31.14	115.17	118.6	137.5	142.5	60	61.5	67.33	72.5	57	87.4	49.6
07:50-	-	80	40.33	28	33.25	100	161.25	89.67	142.75	143.8	49.83	54.83	65	89.5	52.5	105	51.33
07:55-	-	-	-	-	-	90	150	80	101.25	142	69.4	95.75	76.6	61.25	60.29	73.83	64.8
08:00-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	180	65	86.25	42.6	72	60	100.8	53.25
08:05-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60	15	87	97.5	75	162	73.25
08:10-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	255	96.6
08:15-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
08:20-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表 3.3-6 作成した交通情報（リンク平均速度）

	13.0kp	12.5kp	12.0kp	11.5kp	11.0kp	10.5kp	10.0kp	9.5kp	9.0kp	8.5kp	8.0kp	7.5kp	7.0kp	6.5kp	6.0kp	5.5kp	5.0kp
07:00-	24.66	15.52	47.37	66.67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07:05-	20.93	21.18	43.9	75	85.71	72	64.29	66.67	62.07	50	54.55	69.23	54.55	47.37	-	-	-
07:10-	20.45	17.14	45	75	66.67	78.26	69.23	75	52.94	42.86	58.06	69.23	58.06	45	62.07	41.86	35.29
07:15-	29.51	13.43	60	81.82	81.82	75	69.23	64.29	66.67	47.37	69.23	72	56.25	31.58	28.57	13.43	4
07:20-	20.93	17.82	58.06	90	85.71	94.74	62.07	60	60	62.07	38.3	23.08	25	15.13	24	15	23.6
07:25-	19.78	18.95	48.65	85.71	72	81.82	60	78.26	46.15	18	29.03	19.78	24.32	20	28.57	19.57	29.6
07:30-	22.22	20	40.91	69.23	69.23	90	64.29	42.86	16.36	10.53	26.09	27.69	25.71	24	26.87	21.95	31.0
07:35-	20.93	8.57	56.25	78.26	60	75	26.09	19.35	17.82	15.13	36	27.69	29.03	23.38	16.51	15.25	3
07:40-	21.69	13.04	64.29	62.07	66.67	58.06	23.08	16.67	20	15	24	18.18	17.82	15.79	25.71	22.5	28.1
07:45-	26.09	14.75	45	105.88	58.06	58.06	15.65	15.25	13.14	12.68	30	29.51	26.87	25	31.58	20.69	36.73
07:50-	-	22.5	45	64.29	54.55	18	11.18	20.22	12.68	12.59	36.73	33.33	27.69	20.22	34.62	17.14	35.29
07:55-	-	-	-	-	-	20	12	22.5	12.68	12.68	26.09	18.95	23.68	29.51	30	24.66	28.13
08:00-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.14	10	27.69	20.93	42.86	25	30	18	33.96
08:05-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	120	20.69	18.56	24	11.11	24.66
08:10-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.06	18.37
08:15-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85.7
08:20-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表 3.3-7 検知器データ（リンク平均速度）

	13.0kp	12.4kp	12.1kp	11.5kp	11.0kp	10.5kp	10.0kp	9.5kp	9.0kp	8.6kp	8.0kp	7.5kp	7.0kp	6.5kp	6.0kp	5.5kp	5.1kp
07:00-	31	63	83	80	77	68	66	105	81	83	66	66	73	68	64	62	71
07:05-	17	66	89	85	83	69	65	98	82	82	63	66	74	66	64	60	41
07:10-	19	67	83	77	76	64	64	93	78	83	61	67	62	57	57	59	46
07:15-	17	64	87	81	78	66	65	100	80	74	57	61	63	53	29	21	2
07:20-	18	63	86	79	80	66	63	99	86	86	48	27	23	18	23	33	3
07:25-	17	62	80	83	77	67	67	101	49	21	19	20	19	22	32	25	2
07:30-	18	62	87	80	77	68	66	90	11	11	17	23	29	43	29	24	2
07:35-	22	65	91	84	82	70	59	19	11	15	34	27	25	25	21	21	2
07:40-	16	64	89	78	74	66	33	24	15	16	21	21	24	18	24	24	3
07:45-	16	64	86	81	83	67	28	15	11	12	17	18	32	42	26	23	3
07:50-	19	64	81	84	76	37	27	11	11	16	32	34	33	23	25	20	30
07:55-	54	62	84	77	23	23	24	17	16	17	24	21	19	23	23	23	33
08:00-	82	68	85	45	16	30	25	19	11	10	22	23	36	34	29	20	32
08:05-	72	57	76	66	16	18	17	13	13	16	31	25	23	22	21	19	26
08:10-	77	66	81	67	13	19	27	22	11	14	19	17	18	13	13	14	20
08:15-	83	62	74	65	16	35	30	12	7	9	10	11	12	13	18	18	2
08:20-	77	63	83	78	59	17	14	9	6	7	13	18	27	24	22	16	2

（１） 検知器データとの比較

検知器データとの比較の方法には、ある瞬間の地点別情報を比べる方法（時間固定）と、ある地点の時間変化を比べる方法（地点固定）とがある。ここでは、その両方について比較を行うこととした。

■ 時間固定での比較

まず、ある瞬間における区間毎のリンク平均速度の再現性について検証をおこなう。図 3.3-19～図 3.3-24 はある時間における、それぞれの区間の平均速度を表したものを時刻毎（5 分刻み）に並べたものである。この図より、全体的には検知器データと大きく異なる地点は少なく、おおむね良好な値を示しているといえる。特に速度低下については、かなりの精度でとらえることが可能であることがよく分かる。これらの図を時系列順に比べてみると、渋滞が延伸している様子がわかる。

また、それぞれの図で地点に着目すると、いずれの時間帯でも 12.5kp 地点でのリンク平均速度が検知器データのそれと大きく異なっている。しかし、この地点には空港集約料金所があり、ここで一旦停止したことを考慮すれば、この値は妥当なものであると考えられる。この違いは、点的観測（検知器）と線の観測の特性に起因するものであり、移動体情報を用いるメリットを端的に表しているといえる。

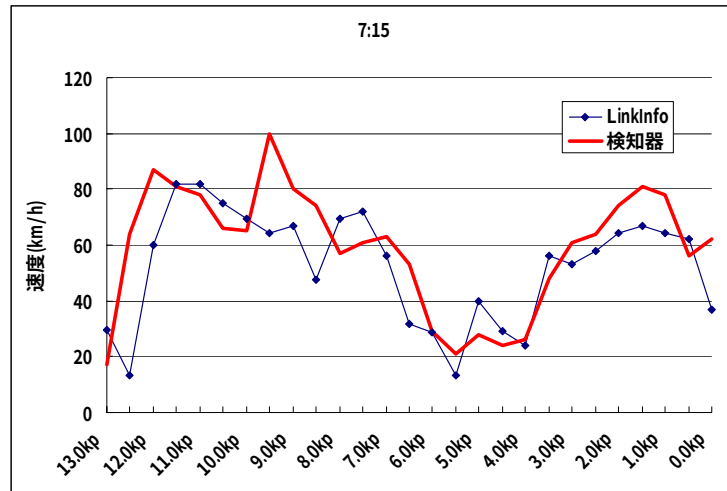


図 3.3-19 時間帯別リンク平均速度(7:15 時点)

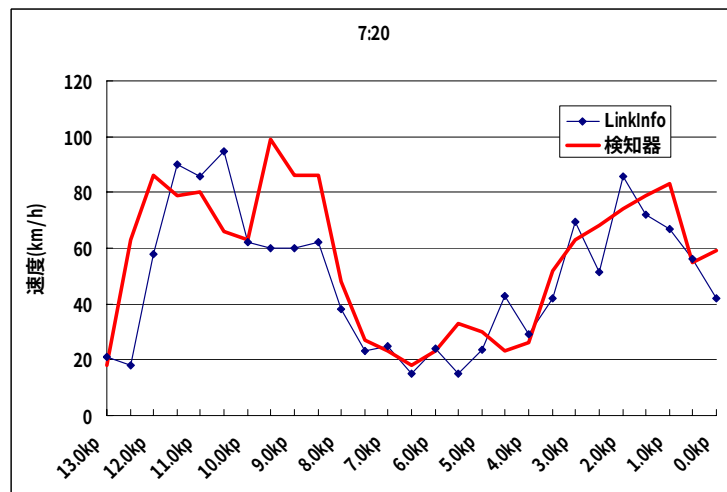


図 3.3-20 時間帯別リンク平均速度(7:20 時点)

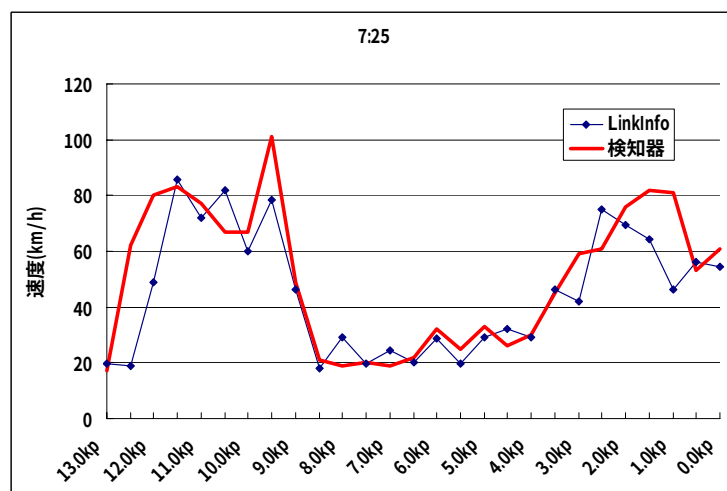


図 3.3-21 時間帯別リンク平均速度(7:25 時点)

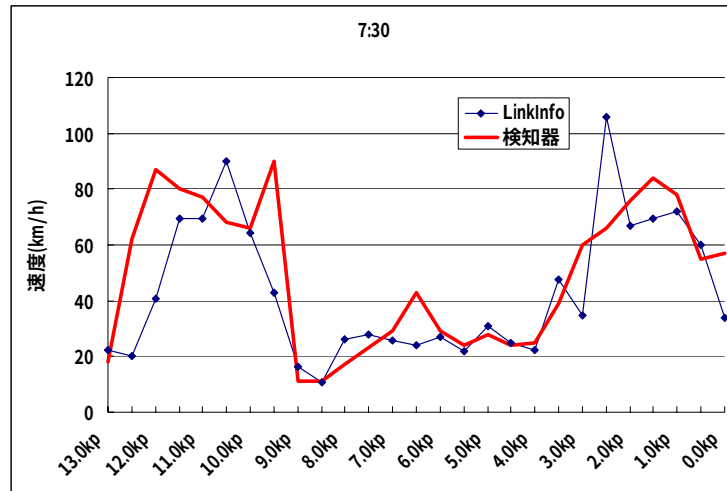


図 3.3-22 時間帯別リンク平均速度(7:30 時点)

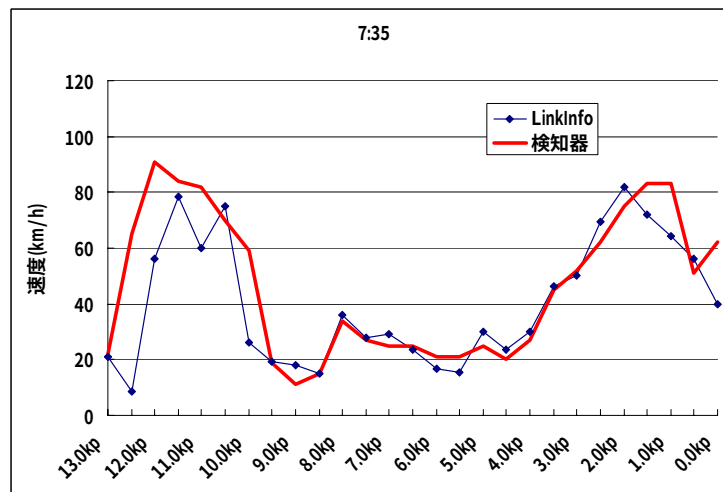


図 3.3-23 時間帯別リンク平均速度(7:35 時点)

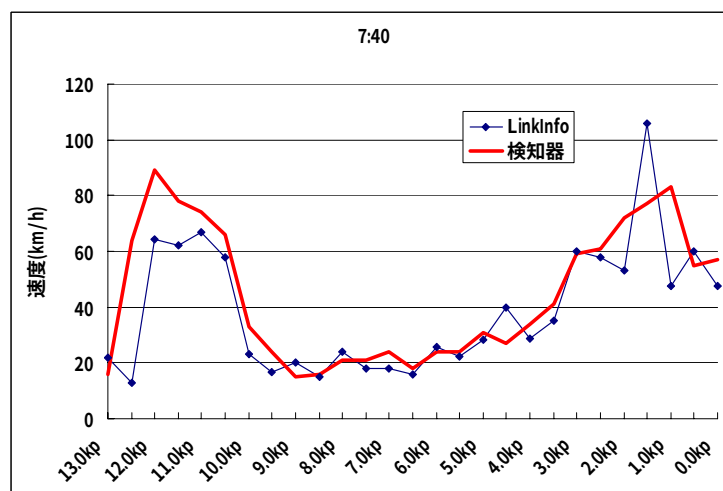


図 3.3-24 時間帯別リンク平均速度(7:40 時点)

■ 地点固定での比較

つづいて、ある地点に着目し、その地点におけるリンク平均速度の時間的変化の再現性について検証を行う。前述の図 3.3-19～図 3.3-24 より、速度低下が見られる 8.0kp～10.5kp について着目することにした。それらの地点における時間別の速度変化を表したものが図 3.3-25～図 3.3-30 である。これらの図から速度が高速の時間帯は多少の誤差があるものの、低速の時間帯はそれほど誤差もみられず、おおむね良好な値を示していることが分かる。特に、8.5kp から 9.5kp にかけて、リンク速度が急激に低下する瞬間をとらえていることから、作成された交通情報の精度の高さが伺える。

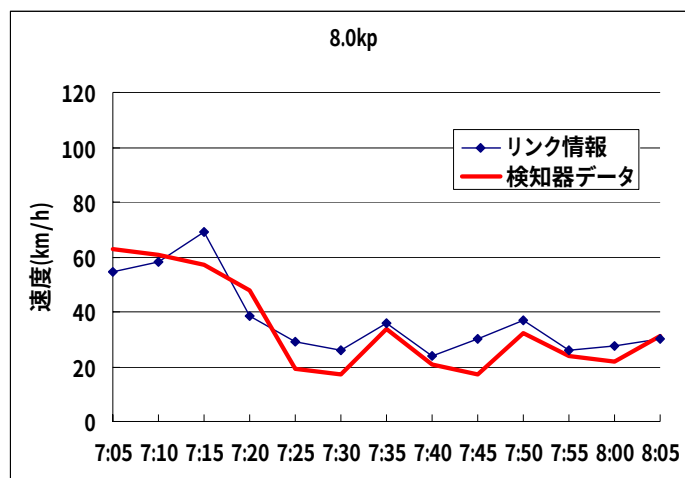


図 3.3-25 地点別リンク平均速度の時間変動(8.0kp)

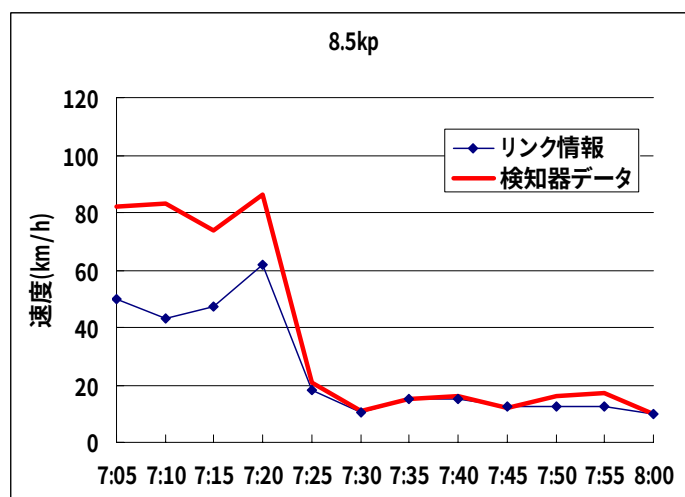


図 3.3-26 地点別リンク平均速度の時間変動(8.5kp)

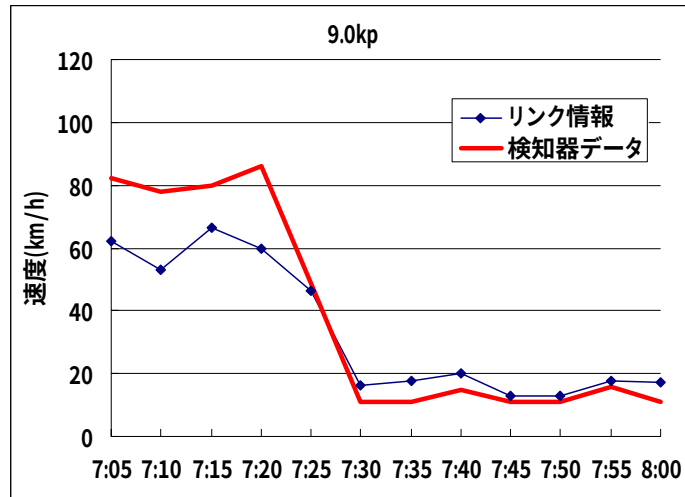


図 3.3-27 地点別リンク平均速度の時間変動(9.0kp)

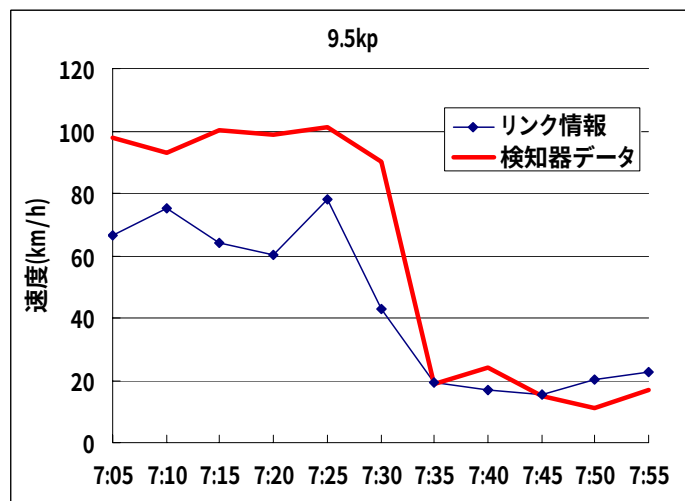


図 3.3-28 地点別リンク平均速度の時間変動(9.5kp)

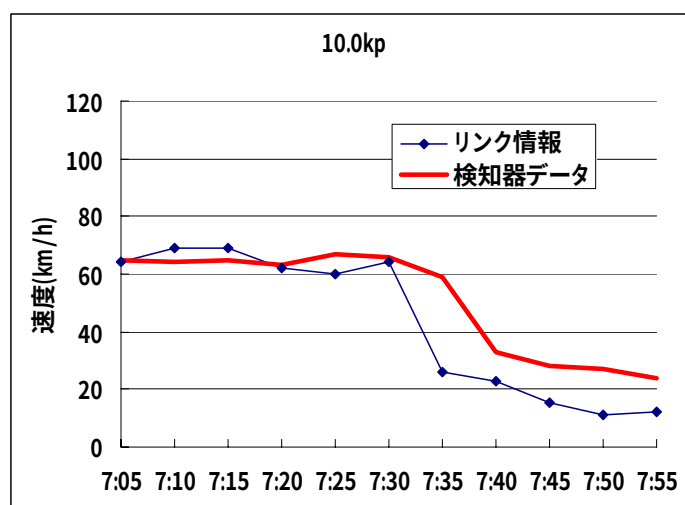


図 3.3-29 地点別リンク平均速度の時間変動(10.0kp)

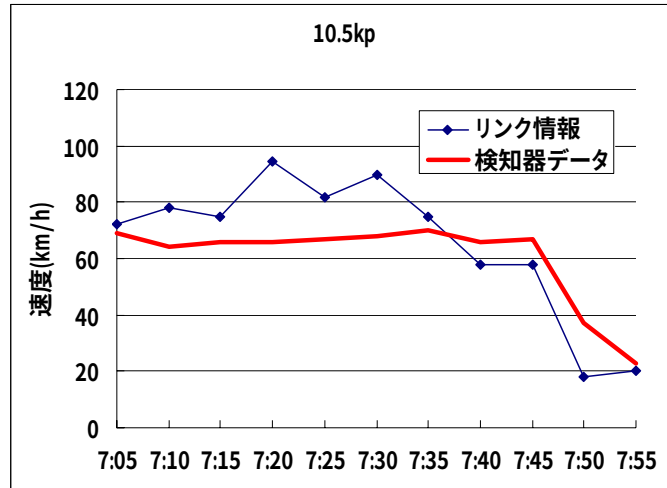


図 3.3-30 地点別リンク平均速度の時間変動(10.5kp)

(2) 所要時間時系列情報との比較

リンク情報から区間所要時間を求めるには、求めたい区間の各リンクの所要時間を足し合わせればよい。例えば、所要時間時系列情報（豊中北→福島間）との比較を行う場合には、その区間（11.0kp～2.5kp）に含まれる 18 本のリンクの各所要時間を合計すると求める区間の所要時間となる。しかし、ここで問題となるのは、表 3.3-4～表 3.3-6 に示したように当該時間帯のリンク上に車両が存在しない場合（「－」の部分）にはリンク情報を作成することができないため、結果として区間所要時間を作成できないという点である。この問題を解消するには、3.2.3.で述べた方法を用いることで補完的なデータ作成が可能であるが、今回は位置データより作成された交通情報の精度検証が目的であるため、豊中北から福島間の全てのリンクでリンク情報が作成できた時間帯（7:15～7:50）で所要時間時系列情報との比較を行うこととした。図 3.3-31 に示す結果より、どの時間帯でも作成された所要時間情報は AVI によって観測された実績値とほぼ整合している。ただし、位置情報から作成された所要時間は実績値に比べて、若干過大となっているが、一般的な提供単位である 5 分で丸めるとすると、大きな差は見られない。

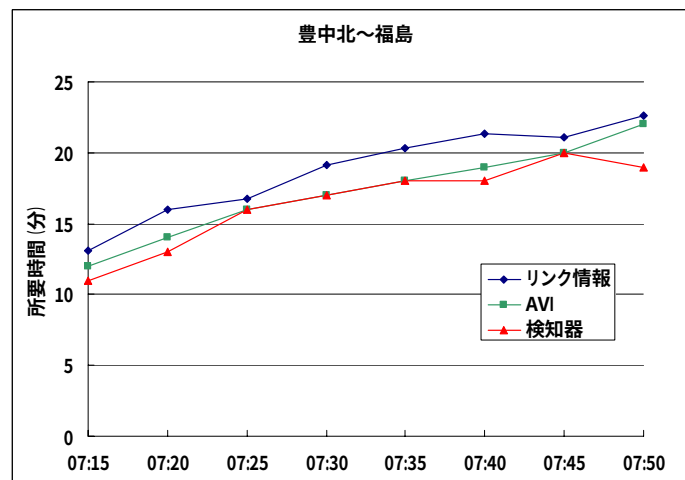


図 3.3-31 所要時間情報の比較（豊中北～福島）

3.3.6. 車両抽出率の検討

これまでの結果からも、車両の位置データから作成した交通情報は、提供するに耐えられる精度を有していることが分かった。しかし、そのためには、提供したい経路上に、位置データを測位する車両が必要であり、さらに、その車両数によっても情報の精度が変化すると考えられる。そこで、信頼性のある交通情報を提供するために必要となる車両の抽出率（移動体通信システムを装備した台数／全利用台数）について検討を行うこととした。

検討の内容は、位置情報を取得する車両数を変化させてリンク情報を作成し、それを実績値（AVI データ）と比較し、情報提供に必要となる車両抽出率の検討を行うこととした。そこで、第4回目の走行データの内、豊中南～環状線までを対象区間として、走行車両のデータを間引くことにより、抽出率を変化させた。4回目の走行では、図 3.3-5 で示したように5台ずつが集団となり、10の車群で走行するようにしたので、一つの車群に対して車両を一台ずつ取り除いていき抽出率を変化させることとした。

ある瞬間(15:25)の車両を50台、40台、30台、20台、10台と減少させた様子を図 3.3-32～図 3.3-36 に示す。また、そのときの抽出率を、検知器データからの断面交通量とリンク情報作成時の PHS 搭載車両の断面交通量からそれぞれ算出した結果、その平均は、50台で4.28%、40台で3.59%、30台で2.69%、20台で1.82%、10台で0.90%であった。5%以上の抽出率を確保することはできなかったが、前述の様に50台全ての車両で計算を行った結果が、おおむね良好な値を示していることから、今回の走行結果を用いて抽出率の検討を行うこととした。

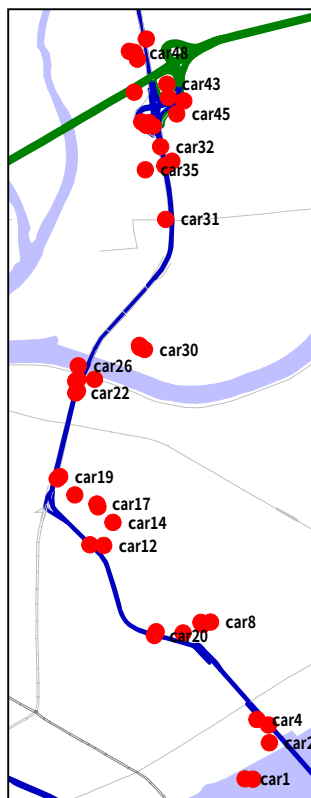


図 3.3-32 抽出 50 台数

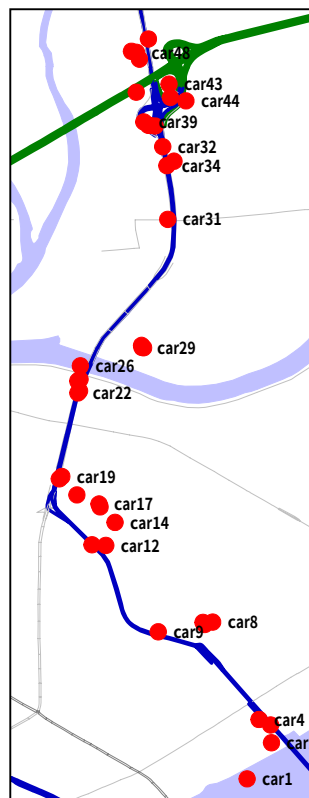


図 3.3-33 抽出 40 台数

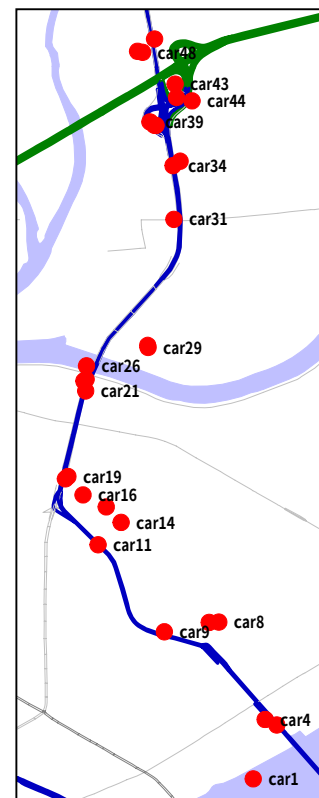


図 3.3-34 抽出 30 台数

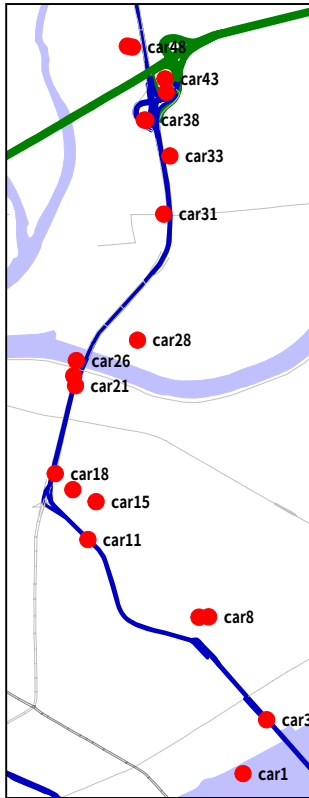


図 3.3-35 抽出 20 台数

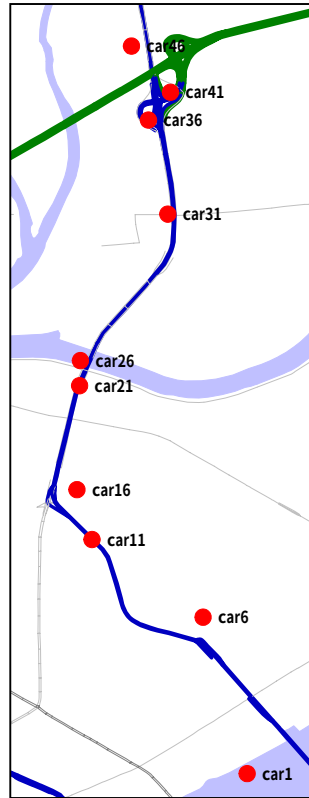


図 3.3-36 抽出 10 台数

15:25 時点と 15:30 時点のリンク平均速度を車両抽出率ごとに比較したものを図 3.3-37 と図 3.3-38 に示す。結論からいうと、抽出率を減少させても情報に大きな変化は見られなかった。30 台から 50 台についてはその差がほとんどなく、20 台や 10 台でも位置特定精度の悪い地点(1.5kp 付近)でのみ変化が見られている程度である。この理由としては、交通情報作成時に車両数が極端に少ない場合、1 台あたりの情報の影響が大きく、特に、位置精度が悪い地点ではそれが顕著に現れているためと考えられる。これらのことから、位置特定誤差が平均 100m の PHS を用いた交通情報作成では、車両抽出率を 3%程度確保すれば、誤差の大きい地域もカバーすることができ、十分な精度の交通情報作成が可能であることが分かった。

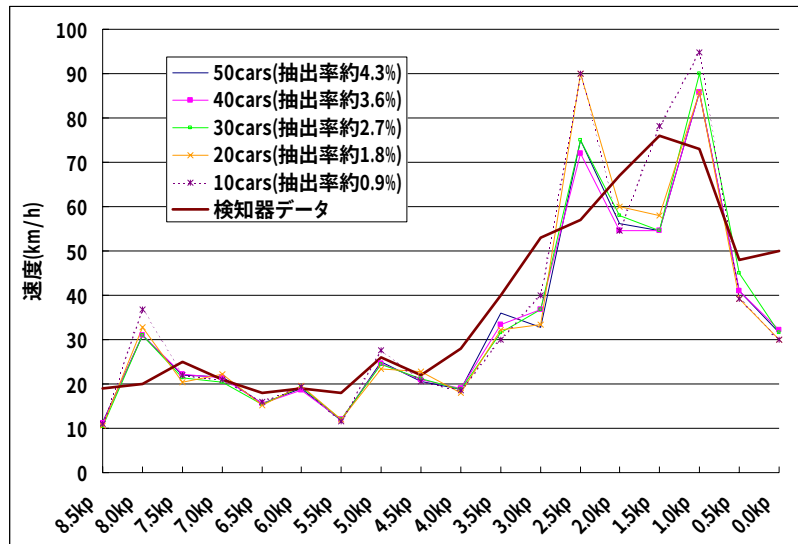


図 3.3-37 車両抽出率によるリンク平均速度の変化 (15:25)

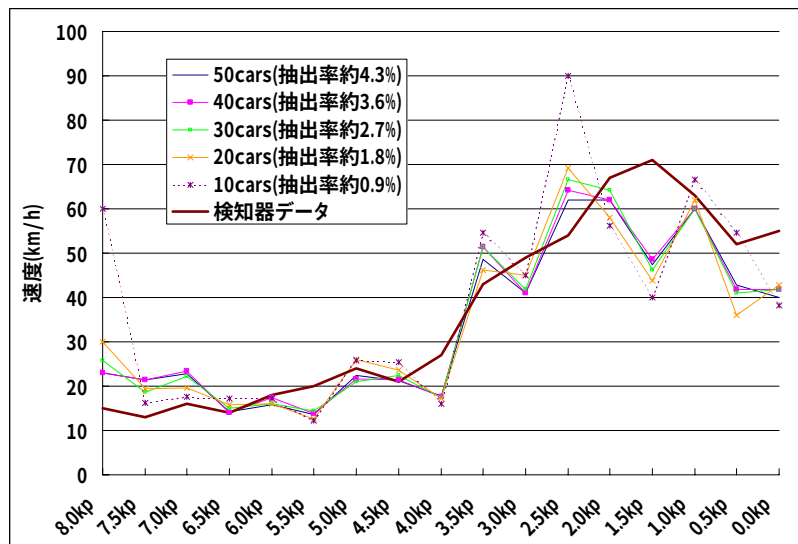


図 3.3-38 車両抽出率によるリンク平均速度の変化 (15:30)

3.3.7. データ収集間隔の検討

PHS では最小 15 秒の間隔で位置の特定が可能であるが、GPS では 1 秒間隔でも可能である。位置データより交通情報を作成し、それをリアルタイムで情報提供を行う場合には、通信が可能なオンライン端末による位置特定が必要となる。しかし、その場合には特定した位置データ数だけ通信の負担がかかってしまう。このことから、ここではデータ収集間隔が交通情報精度に与える影響について分析を行い、最適なデータ収集間隔を検討する。

今回の実験では、15 秒周期で PHS からの位置情報を取得した。そのデータを間引くことにより、30 秒、60 秒、120 秒で位置特定を行ったとして、リンク情報を算出し、単位時間の交通情報を作成した。収集間隔を変化させたときの位置データの状況を、車両一台（1 号車）を例に挙げて、図 3.3-39～図 3.3-42 に示す。

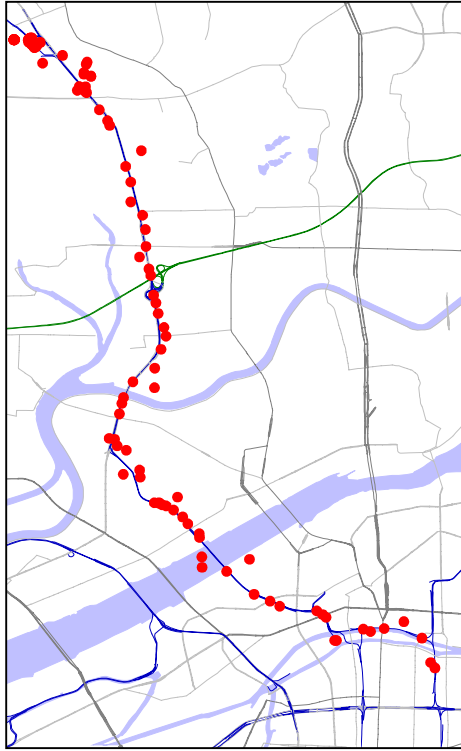


図 3.3-39 データ収集間隔 15 秒周期

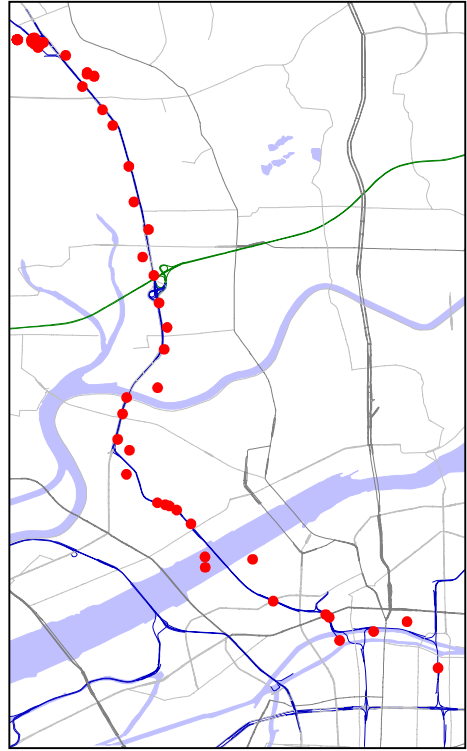


図 3.3-40 データ収集間隔 30 秒周期

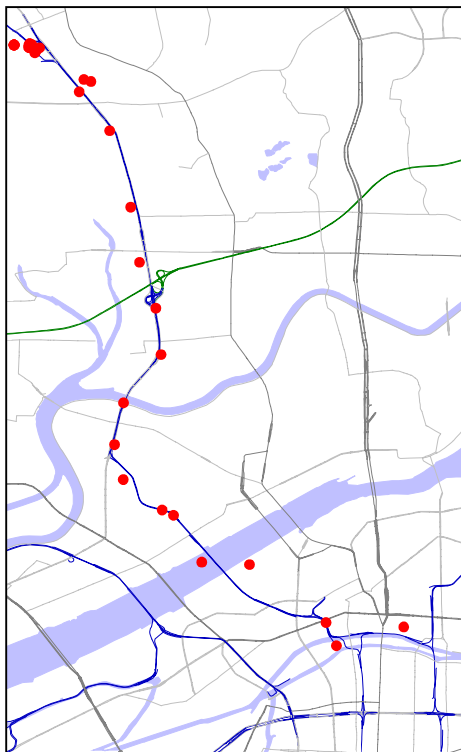


図 3.3-41 データ収集間隔 60 秒周期

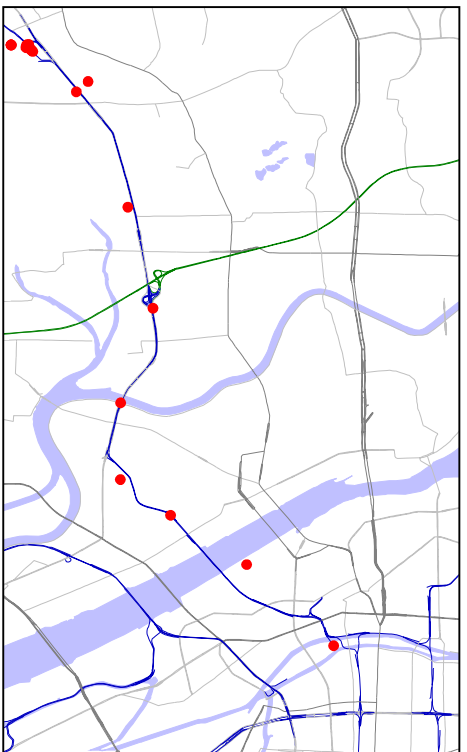


図 3.3-42 データ収集間隔 120 秒周期

このように間引いた位置データをもとにして、収集間隔毎に交通情報を作成した。その作成した情報と検知器のリンク平均速度を時間帯別に比較したものを図 3.3-43～図 3.3-45 にそれぞれ示す。これらの図より、収集間隔が 15 秒、30 秒では、どの時間帯でもその差がほとんど見られない。60 秒以上になると、ほかの間隔との差が顕著に現れているが、7:30 時点のときのようにさほど差が見られない時間帯も存在することがわかる。

収集間隔によって大きな差が見られるところは、そのほとんどが高速走行時で、収集間隔が大きくなるほどリンクの平均速度が一定の値となっている。これは、本アルゴリズムのリンク情報作成の問題で、本アルゴリズムではノードの通過時刻をもとにリンク情報を作成する。この通過時刻の算出には、まずそのノードから半径 R の円を描き、その円の内部に含まれる位置情報の数によって、通過時刻が決定される。このとき、円の内部に点が含まれない場合は、前後の点からの距離の比率でそのノードの通過時刻を算出する。そのようなノードが連続すると、平均速度が一定のリンクが連続してしまうのである。特に、データ収集間隔を長くすると、この現象が顕著に現れてしまう。また、このことは位置特定デバイスの精度にも大きく依存する。位置特定の精度が悪く、その上収集間隔が長いと、その位置情報のほとんどが円の内部に入らないため、距離比で通過時刻を算出するノードが大半をしめる結果になってしまう。

今回の結果より、PHS を用いた位置情報提供では、車両抽出率が 5%程確保されていれば、30 秒間隔以下でなら十分な情報提供が可能であることが確認された。

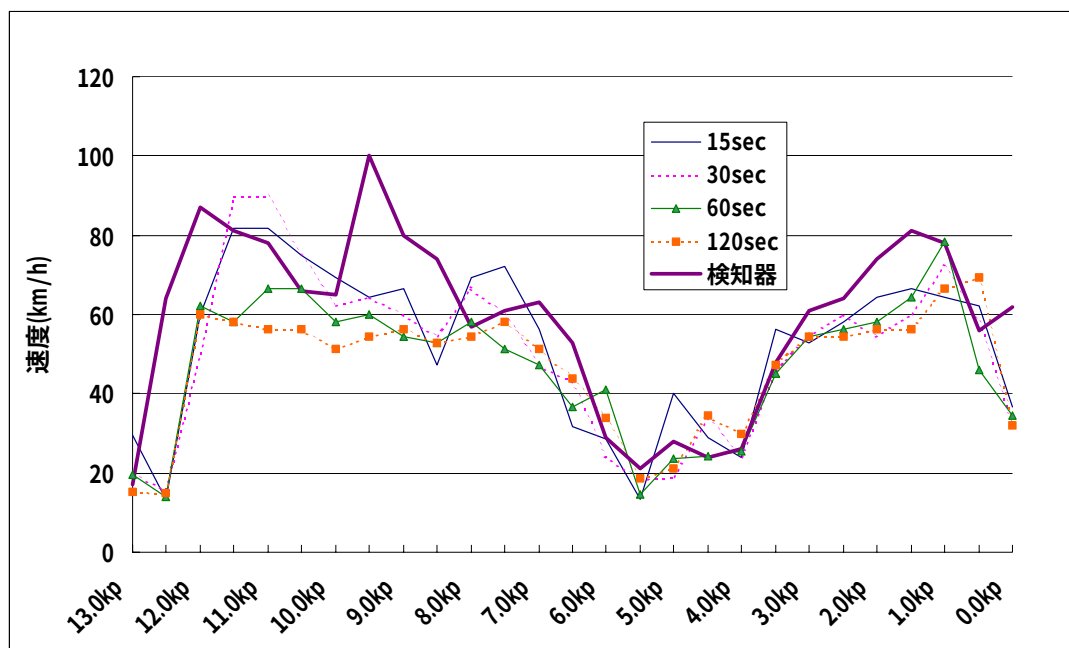


図 3.3-43 データ収集間隔毎のリンク平均速度 (7:15)

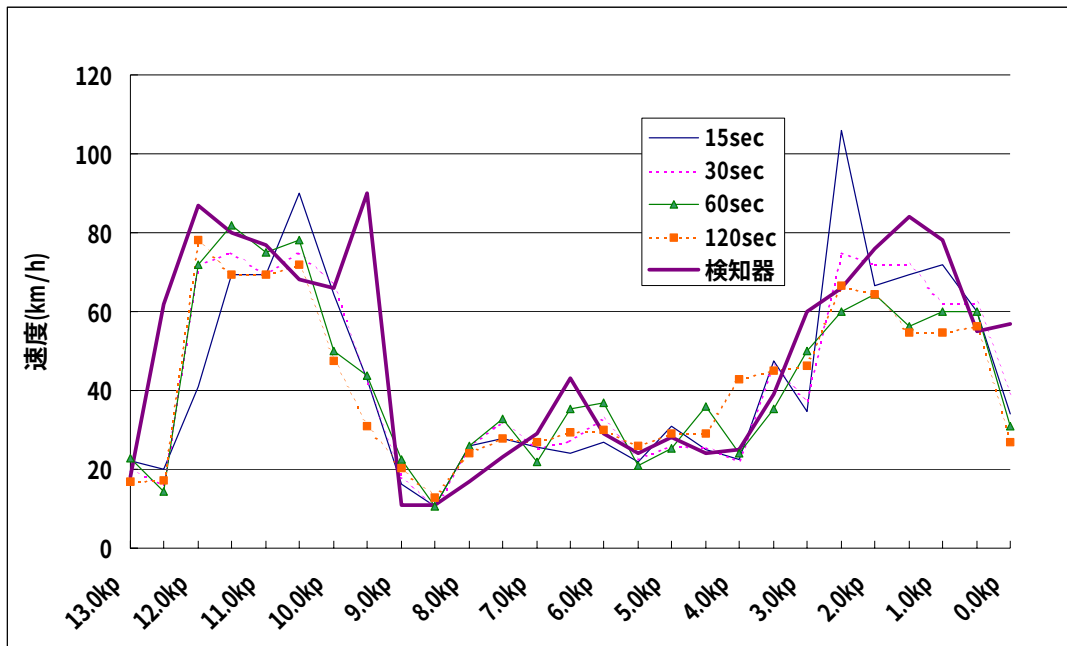


図 3.3-44 データ収集間隔毎のリンク平均速度 (7:30)

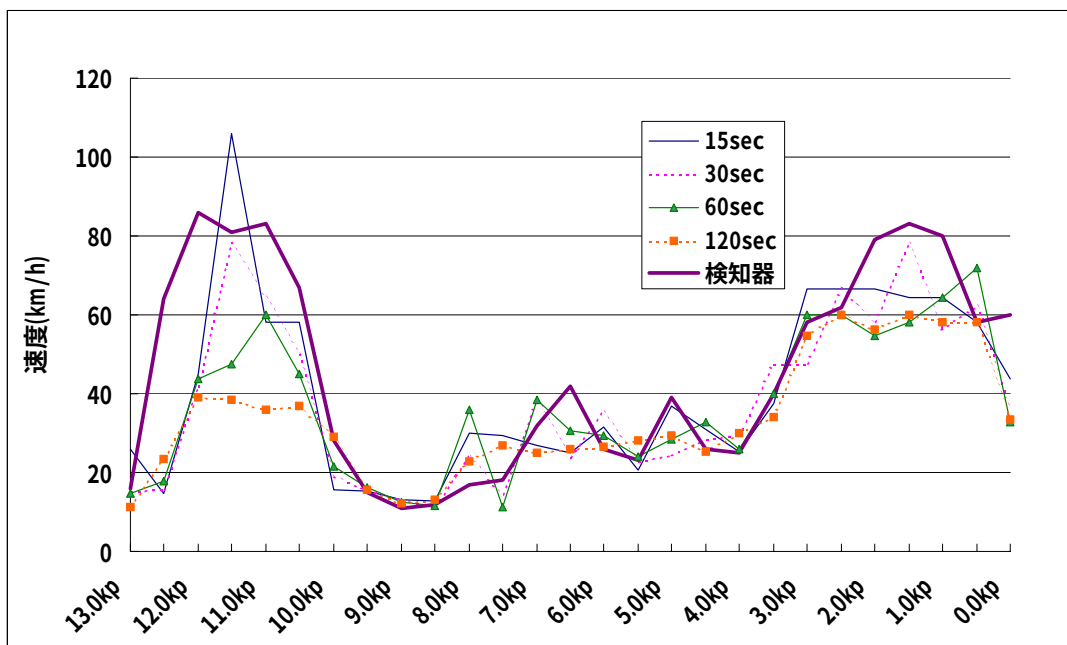


図 3.3-45 データ収集間隔毎のリンク平均速度 (7:45)

3.4. まとめ

本章では、移動体観測データである車両（プローブカー）の位置データを元に、時々刻々と変化する道路状況を反映したリンク情報、ならびに道路交通情報の作成手法を提案した。

プローブカーの位置データから交通情報を作成するためには3つのステップが必要となる。第一に位置データから経路の特定（マップマッチング）を行う必要がある。本論文はマップマッチング手法そのものを提案するわけではないため、一般的なマップマッチング手法について説明を行った。第二のステップでは、マップマッチングにより特定された経路（リンク列）をもとに、リンク単位の情報を作成する必要がある。ここで作成するリンク情報は、それをもとに算出される道路交通情報の精度に影響を及ぼすため、本研究では、より精度の高いリンク情報を作成する手法として、ノードの通過時刻を位置データから求める手法を提案した。第三にそれらのリンク情報を集約し、単位時間あたりの道路交通情報を作成する。ただし、プローブカーのデータが存在しない場合は、リンク情報が作成できないため、交通情報も作成できないという問題が発生する。そこで、リンク情報の無い場合のデータ補完方法を提案した。

本研究で提案した交通情報作成手法の検証を行うために、実際に 50 台のプローブカー調査を行った。さらに、その調査データを用いて、位置特定精度の違いによる検証や、車両抽出率（全交通量に対するプローブカーの比率）や位置データ収集間隔が交通情報精度に与える影響についても分析を行った。その結果を以下にまとめる。

- ・ 位置特定精度の異なるデバイス（PHS, GPS）で検証を行った結果、その精度に関係なく、全体的な速度変化は検知器データと同様となることが確認された。
- ・ 単位時間の各リンク情報を作成し、検知器データと比較したところ、高速走行では若干精度が落ちるが、低速走行ではかなり高精度な情報が作成できた。とくに、速度が急激に低下する瞬間をとらえることが可能であることが確認された。
- ・ 各リンク情報を足しあわせて、区間所要時間情報を作成したところ、AVI によって観測された実績値とほぼ整合することが確認された。
- ・ 車両抽出率を検討した結果、3%程度の抽出率を確保すれば精度の高い所要時間情報が作成できることが確認された。
- ・ データ収集間隔の検討では、収集間隔を 60 秒以上とした場合にはリンク速度が一定になる地点が一部みられたが、30 秒間隔以下であれば十分精度の高い情報提供が可能であることが確認された。

<第3章の参考文献>

- [1] 国土交通省道路局 ITS ホームページ(<http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/>)
- [2] 国土交通省 国土技術政策総合研究所 ITS ホームページ(<http://www.nilim.go.jp/japanese/its/2research/1field/3probecar/pro.htm>)
- [3] ホンダ インターナビ・プレミアムクラブホームページ(<http://www.premium-club.jp/>)
- [4] 田中利行, 佐藤弘子, 中嶋康博, 牧村和彦: プロブカーを用いたリアルタイム道路交通情報提供システムに関する研究, 第 22 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.101 - 104, 2002
- [5] 岸野清孝, 石田康, 伏木匠, 横田孝義: トラック運行管理のプロブカー情報を利用した所要時間予測, 第 23 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.141 - 144, 2003
- [6] 朝倉康夫, 羽藤英二, 大藤武彦, 田名部淳: PHS による位置情報を用いた交通行動調査手法, 土木学会論文集 No.653 / IV-48, pp95-104, 2000
- [7] 石丸栄治, 朝倉康夫, 羽藤英二, 石井隆明: PHS 位置データを用いた実道路ネットワーク上の経路特定, 土木計画学研究・講演集 23(1), pp.651-654, 2000

第4章 移動体位置情報をもとにした人の交通行動に関する分析

4.1. はじめに

4.1.1. 研究の背景と目的

各種交通計画の策定にあたっては、個人の交通行動を把握する必要がある。我が国では、パーソントリップ(PT)調査や道路交通センサス自動車起終点調査などの大規模調査をはじめとして、交通計画のレベルに合わせた調査体系が確立されており、交通計画の策定プロセスにおいてデータの活用がなされている^[1]。しかしながら、近年の交通に起因する諸問題への対応といった観点からは、分析・計画に用いられる行動モデルの精緻化と比較して、調査データの精度向上は十分なものであるとは言い難い状況である。

これまでの交通行動調査では、調査票を配布し、被験者の記憶に基づいて交通行動を記入してもらうアンケート調査方式を用いることが一般的である。個人の記憶に頼るという点では、インターネットを用いた調査やアクティビティダイアリー調査などでも共通である。これらの調査では、詳細なデータを得ようとすれば被験者への負担が増加すること、行動の記述は被験者の記憶に依存するため記入漏れや誤記入が発生すること、習慣的行動以外は移動経路の記述が困難であること、データ化に際してコーディング費用が必要になるといった課題が指摘されている^[2]。

その一方で、近年の情報通信技術の発展はめざましいものがあり、GPS や PHS といった位置特定機能を有する移動体通信システムが様々な分野で活用され始めている。これらの移動体通信システムを利用すると、正確で詳細な移動軌跡データを容易に取得できるため、近年では、移動体通信機器により特定された位置データをもとに交通行動調査を行うという取り組みが行われるようになった。従来のアンケート調査形式が、被験者自らの行動を思い起こして記入する方式であるのに対して、移動体通信システムによる交通行動調査は、外部から被験者の行動をモニタリングするという違いがある。

本章では、移動体通信システムから得られた位置データをもとに、人を対象とした交通行動の分析に焦点を当てて研究を進める。

4.1.2. 本章の構成

4.2.では、人を対象とした位置データ取得調査について、各種デバイスの特徴を整理し、過去の調査事例をまとめる。4.3.では、大規模イベントにおける人の交通行動を調査する手法として、PHS による位置データに加えて、Power Antenna と呼ばれる簡易アンテナを用いた狭域での交通行動モニタリングシステムを提案し、その検証を行う。4.4.では、観光行動時における観光情報参照に関する調査として、奈良県飛鳥地方で行われた「飛鳥ナビ」社会実験で取得された GPS 位置データと PDA の情報アクセスログをもとに、情報参照のタイミングに関する分析を行う。4.5.では、観光を行う被験者に対して、①観光前の計画立案調査、②観光中の行動調査（プローブパーソン調査、購買・行動調査等）、③観光後のグループインタビュー調査、の3つの調査を行い、観光計画と実行動の変化を分析し、さらに、詳細な行動データをもとにしたクラスター分析

により観光パターンの分類を行い、パターン別の観光行動特性を分析する。最後に 4.6.では、本章のまとめを述べる。

4.2. 人を対象とした位置情報取得による交通行動調査手法論

4.2.1. 位置情報取得デバイスの種類と選定方法

移動体位置データを用いた調査の適用対象としては、車、人、物資などが挙げられる。それらを対象とした調査では、その目的にあった調査の枠組みを設定することが重要であり、これは従来のアンケート調査とまったく同じである。

現在、移動体の位置データ調査に用いることのできるデバイスの種類を大きく分類すると、GPS をベースとしたもの、携帯電話や PHS などベースとしたもの、無線 IC タグをベースとしたものの3種類に分類できる。表 4.2-1 に示すように、それぞれ位置特定の精度や測位可能なエリアなどが異なるため、調査対象物（車、人、物）の特性と調査の内容に応じたデバイスの選定が非常に重要である。

表 4.2-1 位置特定デバイスの種類と特徴

	GPS ベース	携帯電話・PHS ベース	無線 IC タグベース
位置特定方法	複数の GPS 衛星の電波を受信し、それぞれとの距離により現在位置を測位	複数の基地局からの電波の強さにより現在位置を測位	微弱な電波を発するタグとその電波を読み取る装置により現在位置を特定
測位可能なエリア	屋内や地下などの衛星を捕捉出来ない場所を除く地上すべて	携帯電話や PHS の通話可能エリア	装置を設置したエリアのみ
位置特定精度	約 10m（民間用 GPS） 約数 m（軍事用 GPS）	約 500m（携帯電話） 約 100m（PHS）	約 10m

特に人を対象とした調査では、車を対象とした場合よりも多くの制約がかかる。言うまでもなく車を対象とした場合は、デバイスの大きさや重さにあまり制限がないだけでなく、カーバッテリーやシガーソケットなどから電源を確保できることから、位置取得デバイスのバッテリー（電池）の心配をする必要がない。しかし、人を対象とした場合、被験者にデバイスを携帯してもらう必要があり、その大きさや重さは被験者への直接の負担となる。さらに、外部から電源を供給できないため、デバイスのバッテリーの駆動時間により、調査可能な時間に制約がかかってしまう。以下に、人を対象とした調査で使用されているデバイスについて特徴をまとめる。

■ ハンディ GPS

一般人向けに市販されている GPS 専用端末であれば、複雑な操作の必要もなく簡単に位置を特定することができる。特定した位置データは、一般的には端末内部に保存されているため、パソコンなどと直接接続してデータを取り出す必要がある。それらのほとんどは乾電池で稼働するため、バッテリー充電の必要もなく、電池切れの際はすぐに交換できるという手軽さがある。

また、パソコンや PDA に装着できる GPS ユニットを利用して、地図や施設情報などといった他の情報と組み合わせることで、人を対象としたナビゲーションシステムとしても利用されている。



図 4.2-1 ハンディGPS（左：SONY製^[3]，右：GARMIN製^[4]）

■ GPS 携帯電話

GPS を搭載した携帯電話により位置を特定し、通信機能によりその位置データをデータセンターに送信することが可能である。そのため、端末を回収することなく、リアルタイムに外部からモニタリングする調査も行うことができる。位置特定の方法は、屋外など GPS 衛星を受信できる場所では、GPS により位置を特定し、GPS 衛星を受信できない場所では携帯電話の基地局からの電波の強さにより位置を特定することができ、GPS 専用端末よりも広範囲のエリアで位置特定が可能である。

また、携帯電話上でアプリケーションソフトウェアを実行することができるため、調査専用のアプリケーションを開発することで、位置データ以外の行動データも取得することが可能である。例えば、移動手段や移動目的をアプリケーション上で入力してもらったり、移動中に気になることがあれば写真撮影やコメント入力をしてもらったりすることで、複合的なデータ収集を行うことが可能となる。

さらに、質問やメッセージをアプリケーションに表示することで、被験者と情報のやり取りができ、インタラクティブな調査を行うことも可能となる。



図 4.2-2 GPS携帯電話(AU^[5])と調査アプリケーション

■ BCALs (Behavioral Context Addressable Loggers in the Shell)

BCALsは愛媛大学他^[6]によって独自に開発された調査端末で、日常生活における人の行動を詳細に計測するために、GPSによる位置特定の他に、加速度計・角速度計・気圧計・紫外線計・ノイズセンサーなどを搭載した行動計測機器である。GPS・紫外線計・ノイズセンサーにより位置の情報を取得し、加速度計で移動手段、気圧計により上下階の移動を把握することが可能である。



図 4.2-3 BCALs

■ PHS

PHSは携帯電話に比べて電波が微弱であるため、基地局の配置密度が相対的に高い。特に都心部では100m程度の密度で基地局が配置されており、位置特定の精度も比較的よい。また、地下街、地下鉄、建物内にも基地局が配置されているため、GPS専用端末では測位できない場所でも位置特定が可能である。さらに、GPS携帯電話と同様に通信機能を有しているため、データを外部に送信することが可能であるが、移動体が高速で移動している場合はデータ送信が困難であるという問題点もある。



図 4.2-4 PHS

■ PEAMON (Personal Activity Monitor)

PEAMONは岡本ら^{[7] [8]}によって独自に開発された調査端末である。オフライン型のPHS端末に3軸加速度センサーを組み合わせたもので、PHSにより位置を特定し、加速度センサーにより移動手段を特定することが可能である。オフライン型の端末であるため、通信によりデータを送信できないが、受信専用機であるためバッテリーの保ちが良く、最大5日間程度のデータを内部に蓄積することが可能である。PHS端末で取得できるデータは位置座標ではなく、PHS基地局ID

(CSID) とその電波の強さである電界強度 (RSSI) データである。このデータを元に、PHSによる位置特定サービスを通じて位置座標に変換される。

また、Power Antennaと呼ばれる簡易アンテナを併用することで、その基地局ID (CSID) と電界強度 (RSSI) の情報も合わせて記録することができる。位置特定システムの基地局リストにこの簡易アンテナのデータを組み込むことで、位置特定精度の向上が見込める。さらに、位置特定システムを介さず、簡易アンテナのデータのみを使用して、そのアンテナに近づいたかどうかを判定するということも可能である^{[9][10]}。

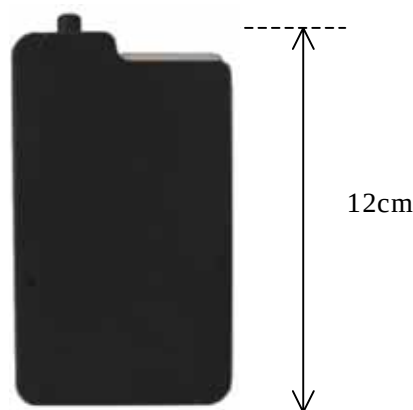


図 4.2-5 PEAMON

■ RFID (Radio Frequency Identification) タグ

数cmの大きさのタグにIDなどのデータを記録し、受信機で電波や電磁波を読み取ることでその位置を特定することができる。その通信距離は数mmから数mと非常に短いため、位置特定の精度は非常に高い。このRFIDタグを高密度に配置することで、地上だけでなく、ビル内や地下街といった複雑な階層構造でも移動体の位置を特定することができる。しかし、タグを配置したエリアでしか位置が特定できないという問題も含んでいる^[11]。

また、タグには ID 以外の情報を蓄積することができるため、施設や地図といった案内情報を提供することも可能である。



図 4.2-6 RFID タグと受信機 (左写真) とタグによる観光案内 (右写真)

4.2.2. 位置データによる人の行動調査事例

ここでは、先程紹介したデバイスを使用して人を対象として行われた調査事例をいくつか紹介する。位置特定デバイスは現在でも開発が進み、様々なサービスが次々と開始されている。その一方で、現在では利用が困難なデバイスも存在する。また、新しいデバイスでは、位置特定精度が飛躍的に改善されたり、古いデバイスでは計測できなかったデータが取得できるようになったりするため、調査が行われた時代背景を考慮して、調査事例を年代順に整理することとした。

(1) ハンディ GPS による行動調査 (1998 年)

大森ら^[12]は、1998 年 4 月に我が国において始めてGPSを用いた交通調査を実施した。東京近辺に在住の学生を被験者として、GPSによる位置取得の他に、トリップ調査票とダイアリー調査票の調査も併せて行っている。GPSを用いることで徒歩、自転車、自動車トリップにおける出発地と到着地を誤差 50~150mの精度で特定でき、さらに移動経路もほぼ特定できることを確認している。さらに、行動調査でGPSを用いる際の問題点についても整理している。

(2) PHS による長期間の行動調査 (1998 年)

朝倉ら^{[13][14]}は、1998 年 11 月に我が国において始めてPHSを用いた長期間の交通調査を実施した。大阪市及びその周辺の住民 10 名に対して、二週間に渡ってPHSによる位置取得を行い、併せてパーソントリップ調査と簡易型のアクティビティダイアリー調査を行っている。分析結果より、位置データとアクティビティダイアリーデータを組み合わせることで、交通行動をほぼ完全に再現可能であることを示すとともに、パーソントリップ調査では約 1 割程度で発生する記入漏れトリップについても再現可能であることを示している。

(3) PHS による大規模イベント調査 (1999 年)

羽藤ら^[15]は、1999 年 3 月に、大阪城ホールで行われる大相撲の観戦を対象として、イベントに参加する 99 人の一般モニターに対してPHS端末を貸し出し、当日の行動をモニタリングする調査を行っている。1 日の調査ではあるが、位置特定デバイスを用いた調査で 100 名近くの大人数を対象に行われた調査としては、国内初である。この調査結果では、モニター全員の位置データの空間的な分布が時間的に変化している様子をとらえることで、従来のアンケート調査の限界を超えた分析を行っている。

(4) GPS と PDA による観光行動調査 (2001 年)

国土交通省近畿地方整備局は、日本でも有数の観光地である奈良県飛鳥地方において、GPS付きのPDAを介して様々な情報を提供することにより、周遊観光の快適性や利便性の向上を目的として「飛鳥ナビ^[16]」と呼ばれるナビゲーションシステムを開発した。このシステムの実証実験として、2001 年 10 月~11 月の土日を中心として、延べ 501 名の一般観光客にPDAを貸し出した。本章の 4.4.では、この社会実験のデータを提供頂き、研究を行っている。

(5) PEAMON による大規模イベント調査 (2001 年)

羽藤らは、2001 年 11 月に、札幌市の札幌ドームで行われた J リーグサッカーの観戦イベントを対象として、85 人の一般モニターを対象に PEAMON を貸し出して、当日の行動調査を行っている。本章の 4.3.では、この調査データを提供頂き、研究を行っている。

(6) RFID タグによる歩行者ナビゲーションシステム (2002 年～2003 年)

森下ら^[11]は、2002 年 11 月に大阪の地下鉄心斎橋駅を中心とする約 500m 四方のエリアに含まれる施設や店舗 (地上・地下を問わず) に、RFID タグを 152 基設置し、RFID タグの受信機と PDA を組み合わせたナビゲーションシステムの誘導評価調査を行っている。このナビゲーションシステムは、PDA で入力した目的地までの経路を、音信号で誘導する。これは、歩行中の画面確認や操作によって利用者の安全性や快適性を阻害しないように配慮したためである。調査期間は延べ 10 日間で、その期間中に 60 名のモニターが参加した。調査の内容は、ナビゲーションの操作方法などの事前説明を受けた後に、約 1 時間の誘導歩行実験を行い、ナビゲーションシステムの評価に関するアンケートとヒアリング調査を行っている。この調査結果では、誘導の成功率、誘導方式、誘導タイミングなど全般的に高い評価を得ることができたとし、RFID タグによるナビゲーションの可能性と、音信号を基本とするシステムの有効性を述べている。

この実験は翌年の 2003 年 10 月にも継続して行われ、音信号の代わりに携帯電話のバイブレーションや進行方法の画面表示を行うシステムに改良されていることが内田^[17]により報告されている。

(7) PEAMON による観光回遊調査 (2003 年)

朝倉ら^[18]は、2003 年 11 月に、神戸市の北野地区において、PEAMON と簡易アンテナ (PA : Power Antenna) を使用した回遊調査を行っている。この調査は、PA を基準観測点として設けることで利用経路を推定する手法の評価のために行われ、モニターは 40 組 (80 人) である。

(8) GPS 携帯電話によるプローブパーソン調査 (2003 年～)

2001 年の冬頃に国内初となる GPS を搭載した携帯電話が発売された。その後、愛媛大学他^[19]によって GPS 携帯電話とインターネットを組み合わせたプローブパーソン調査システムが開発された。このシステムでは、被験者は GPS 携帯電話を常時携帯し、移動を行う際に移動目的や移動手段といった情報を入力して、その移動中は位置データを自動的に取得する。それらのデータは定期的にサーバーに送信され、インターネットの web ダイアリーと呼ばれる個人別のモニター専用ページにより、それらの移動に関するデータを確認・修正することができる。また、被験者は行動データを提供するだけでなく、交通情報提供のサービスを受けることができる。この GPS 携帯電話と web ダイアリーによるプローブパーソン調査システムは、調査の目的に合わせたシステムのカスタマイズが可能で、被験者の負担を考慮して、携帯電話での操作数や web ダイアリーでの入力数を調整することができるという特徴がある。

田名部ら^[20]によると、2003 年以降、このプローブパーソン調査システムを用いた調査は全国各地で行われ、様々な改良が施されて現在に至っている。現在までに行われたプローブパーソン調査を表 4.2-2 にまとめる。これらの内、車での移動に限定せず、人を対象とした調査のいくつかを以下に紹介する。

表 4.2-2 GPS 携帯電話を用いたプローブパーソン調査

調査エリア	調査期間	モニター数	実施主体	調査の主な目的
松山市周辺	2003/01/29～02/28 31日間	100人	四国地整・松山河川国道	情報提供効果把握
三次市周辺	2003/11/01～01/10 70日間	20人	中国地整・松江国道	LOS計測
	2004/01/10～02/06 27日間			
松山市周辺	2004/01/26～02/29 35日間	317人	四国地整・松山河川国道	情報提供効果把握
高知市周辺	2004/10/03～11/30 58日間	192人	四国地整・土佐国道	社会実験効果把握
徳島市周辺	2004/10/03～11/30 58日間	151人	四国地整・徳島河川国道	社会実験効果把握
松山市周辺	2004/12/06～12/10 5日間	31人	国土技術政策総合研究所	交通調査手法高度化
徳島市周辺	2005/01/11～02/28 48日間	61人	四国地整・徳島河川国道	高速道路平均1割引効果把握
松江市周辺	2005/01/24～02/24 31日間	15人	中国地整・松江国道	LOS計測
松江市周辺	2005/02/01～02/28 28日間	384人	四国地整・松山河川国道	情報提供効果把握、エコポイント
阪神都市圏	2005/02/07～02/20 13日間	74人	阪神高速道路公団	経路選択モデル構築
関西～四国全域	2005/02～2005/05	20組	日本道路公団四国支社	観光行動
大洲市周辺	2005/06/24～07/08 14日間	10人	四国地整・大洲河川国道	LOS計測
新居浜市周辺	2005/07/09～07/30 22日間	37人	四国地整・松山河川国道	防災リスク評価
つば市周辺～ 東京周辺	2005/07/04～07/24 20日間	74人	国土技術政策総合研究所	鉄道新線供用インパクト把握
	2005/08/24～09/30 37日間			
阪神臨海部	2005/11/18～12/16 29日間	50人	近畿地整・阪神国道	貨物交通の現状把握
阪神都市圏	2006/01/16～02/17 33日間	91人	阪神高速道路(株)	経路選択モデル構築、料金感度分析
奈良県	2006/01/23～02/28 37日間	93人	近畿地整・奈良国道	社会実験効果把握
奈良県	2006/03/10～03/31 22日間	196人	近畿地整・奈良国道	自専道供用インパクト把握

※実施主体の名称は実施当時のもの

国土交通省松山河川国道事務所では、2003 年から 2005 年にかけて、松山市周辺の道路交通の円滑化を目的としてプローブパーソン調査を行っている。調査期間は毎年 1 ヶ月程度で、2003 年は 100 名、2004 年は 317 名、2005 年は 384 名の一般モニターがこの調査に参加している。この調査では最後の年に環境ポイント制度を取り入れ、公共交通機関の利用などを促すことで渋滞緩和につながる行動変更の効果を計測している^[21]。

西日本高速道路（株）（旧：日本道路公団）四国支社では、2005 年 2 月～5 月にかけて、関西方面から四国内を観光する一般モニター 20 組（計 55 名）に対して観光回遊調査を行った。この調査は①観光前の計画立案調査、②観光中の行動調査、③観光後のグループインタビュー調査から成り立っている。この内の②観光中の行動調査の一部において、GPS 携帯電話を用いたプローブパーソン調査を行っている。本章の 4.5.では、この調査データを提供頂き、研究を行っている。

国土交通省国土技術政策総合研究所では、2005 年 8 月のつくばエクスプレス（通称TX）の開通に合わせて、新規鉄道開通に伴う交通行動の影響を計測している^[22]。調査期間はTX開通前後に行われ、つくば市周辺に居住もしくは就業する 74 名の一般モニターが参加している。この調査では、つくばー東京間トリップの利用交通手段変化とその通勤時間の変化などを分析し、TX 開通の効果を計測している。

4.3. イベントにおける交通行動調査

4.3.1. はじめに

スポーツ観戦やコンサートなどの大規模イベントの交通計画では、会場周辺に近づくにつれて集中する交通混雑をどのように分散させるかが重要となる。そのためには、空間的・時間的にイベント会場に集中する交通需要を正確に観測することが必要となる。

その代表的な観測方法には、最寄り駅や会場の入り口などで通行人の数をカウントする調査が挙げられる。しかし、この定点観測によるカウンター調査は、会場の規模が大きいほど観測地点数が増え、人的なコストが発生する。しかも、人手による観測のため、その通行量の時系列変化を詳細に計測することはほぼ不可能である。さらに、あるイベント参加者の会場以外の行動を観測することは不可能で、例えば、最寄り駅から会場に入場するまでに要した時間を、人別に比較するといったことはできない。

その一方で、PHS や GPS といった移動体通信機器を用いた調査では、被験者の位置データを取得することで、自宅の出発時刻やその経路と立ち寄り先といった会場以外の広域的なエリアでの交通行動の把握も可能となる。だが、会場周辺の狭域的なエリアの行動把握に関しては、建物の出入りや会場周辺の隘路に集中する人の動きを正確に捉えるには、PHS と GPS のどちらも必ずしも十分な位置精度を有しているとはいえない。

ここでは、その様な位置精度に関する課題に対応するため、PHSをベースとしたオフライン端末であるPEAMONとPower Antennaと呼ばれる簡易アンテナを用いた狭域での交通行動モニタリングシステム^⑨を提案する。PHSには、電波の微弱な場所での通話を保証するために、近接する基地局の電波を増幅するPower Antenna（以下PA）と呼ばれる簡易のアンテナ（図 4.3-1）が提供されている。このパワーアンテナは、それぞれ固有のIDが付与されており、乾電池による稼働が可能であるため、移設可能な基地局として利用することができる。特に、図 4.3-1 の右のPAは、電波の出力を8段階で設定できるアッテネータ機能を有しており、非常に狭い範囲に電波を送ることも可能である。一方のPEAMONでは、複数の基地局ID（CSID）と電界強度（RSSI）を計測・記録する事が可能である。これによりPHSの位置特定システムを介して、その場所（緯度経度）を特定することができる。さらに、その端末を持った被験者がPAに近づくほど、その基地局から受信する電界強度も強くなることを利用すれば、各時刻別に最も電界強度の強い基地局を順次ピックアップすることで、被験者の移動をトレースすることができる。また、各PAの電界強度の変化より、位置だけでなくPA設置地点を通過したのか、それともそこに滞在したのかを判別することもできる。この簡易アンテナ（PA）の基地局IDを元にした移動滞在判別をCSID解析と呼ぶことにする。



図 4.3-1 パワーアンテナ（PA）の外観

4.3.2. CSID 解析手法

ここでは、PEAMON (offline-PHS) で取得したパワーアンテナの基地局 ID と電界強度より、その設置地点の通過や滞在を判別する CSID 解析手法を説明する。

電波の発信器であるパワーアンテナ (PA) は、固有の ID (CSID) を電波にのせて送信を繰り返している。一方の PEAMON は、電波の受信機であり、最小 15 秒間隔で、最大 7 つの CSID とその電界強度(RSSI)の情報を内部に蓄積することができる。そのデータを CSID-RSSI データと呼ぶことにする。CSID-RSSI データの例を表 4.3-1 に示す。

表 4.3-1 PEAMON で取得した CSID-RSSI データ

sq	date	time	CSID-1	RSSI-1	CSID-2	RSSI-2	CSID-3	RSSI-3	CSID-4	RSSI-4	CSID-5	RSSI-5	CSID-6
1291	2001/11/24	12:22:53	4C56D95000C	23									
1292	2001/11/24	12:23:08											
1293	2001/11/24	12:23:23	4C56D95000C	22									
1294	2001/11/24	12:23:38	4D44F27813C	17									
1295	2001/11/24	12:23:53	5177D8B0004	15									
1296	2001/11/24	12:24:08	507129F8004	18									
1297	2001/11/24	12:24:23	507129F8004	19	4D44F27813C	18	5177D8B0004	18	50739E18004	17	50756E68004	13	
1298	2001/11/24	12:24:38	5177D8B0004	21	50756E68004	17							
1299	2001/11/24	12:24:53	4C56D95000C	14									
1300	2001/11/24	12:25:08	4FF1F6F0004	17	50AAC5D8000	15							
1301	2001/11/24	12:25:23	507129F8004	20									

CSID 解析のフローを図 4.3-2 に示す。まず、PEAMON で取得した CSID-RSSI データは、設置した PA の CSID 以外の電波 (一般に設置してある簡易アンテナ等) のデータも記録している。そのため、設置した PA の CSID リストをあらかじめ用意し、無関係なデータを除去する必要がある。ただし、この時点では、設置した PA の CSID を複数受信している可能性がある。さらに、電界強度は PA から遠く離れるほど小さくなるため、各 PA について有効な数値 (閾値) を設定して、受信したそのデータがその PA 付近のものなのかを判別し、閾値より小さい場合は仮の滞在地点に設定する。全ての時刻においてその判別を繰り返した後に、データの連続性をチェックして時刻毎の滞在地点を決定し、その地点毎の到着時刻と出発時刻を求める。ここまでの処理により PA 付近での移動滞在判別結果は得られるが、この結果は PA を設置した地点の前を通過した場合も滞在と見なしている可能性がある。そこで、必要に応じて滞在時間制約を設け、短時間の滞在を取り除きより尤もらしい移動滞在判別結果を求めることも可能である。なお、今回の調査では滞在時間制約を設けず、最初の段階の移動滞在判別結果 (図中の output2) をもとに分析を進めた。

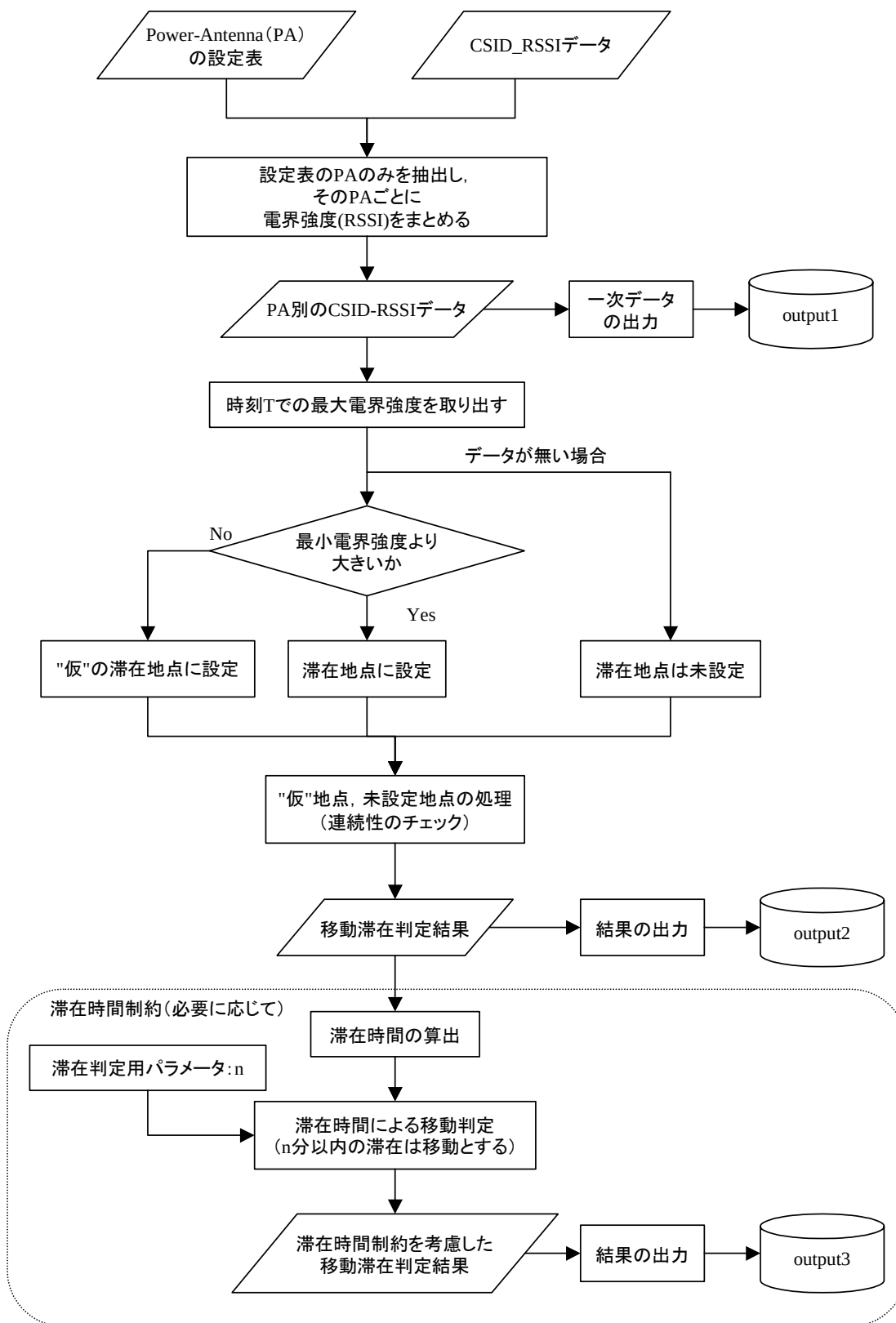


図 4.3-2 CSID 解析フロー

4.3.3. 調査の概要

本研究で提案するモニタリングシステムを検証するために、大規模イベントを対象とした調査を実施して、イベント時の交通計画に有効となるデータを取得し、広域的な需要分析とあわせて会場周辺の狭域的な分析をおこなった。

今回行った調査の概要を表 4.3-2 に示す。大規模イベントの内容は、総勢5万人が観戦する J リーグサッカーとした。場所は札幌市の札幌ドームで行われたため、被験者は札幌市及びその周辺に在住する方とした。札幌ドームの位置を図 4.3-3 に示す。今回の調査で使用した位置特定デバイスは、offline 型 PHS に加速度計を組み込んだ PEAMON を使用し、被験者の位置データを最小間隔の 15 秒周期で取得することとした。このデバイスを事前に被験者の方に郵送し、当日持参していただくことで、自宅から会場までと会場から帰宅するまでの位置を把握し、広域的な視点から行動分析を行うこととした。また、後述するように、札幌ドーム周辺では、PHS による位置特定の誤差が大きいことが事前調査により判明していたため、Power Antenna (PA) を札幌ドーム周辺に設置し、その基地局 ID (CSID) と電界強度 (RSSI) よりその設置地点の通過や滞在を判別することとした。その PA の設置位置は被験者が通過しそうな地点や詳細な行動を捕捉したい地点を重点的に配置した。その配置図を図 4.3-4 に、一覧を表 4.3-3 示す。

表 4.3-2 札幌ドーム調査概要

項目	内容
イベント内容	Jリーグサッカー (コンサドーレ札幌vs.セレッソ大阪)
調査日時	2001/11/24(土) 9:00-18:00(14:00キックオフ)
調査場所	札幌ドーム及びその周辺
被験者	85人
計測機器	PEAMON(85個) Power Antenna(18個)



図 4.3-3 札幌ドームの位置

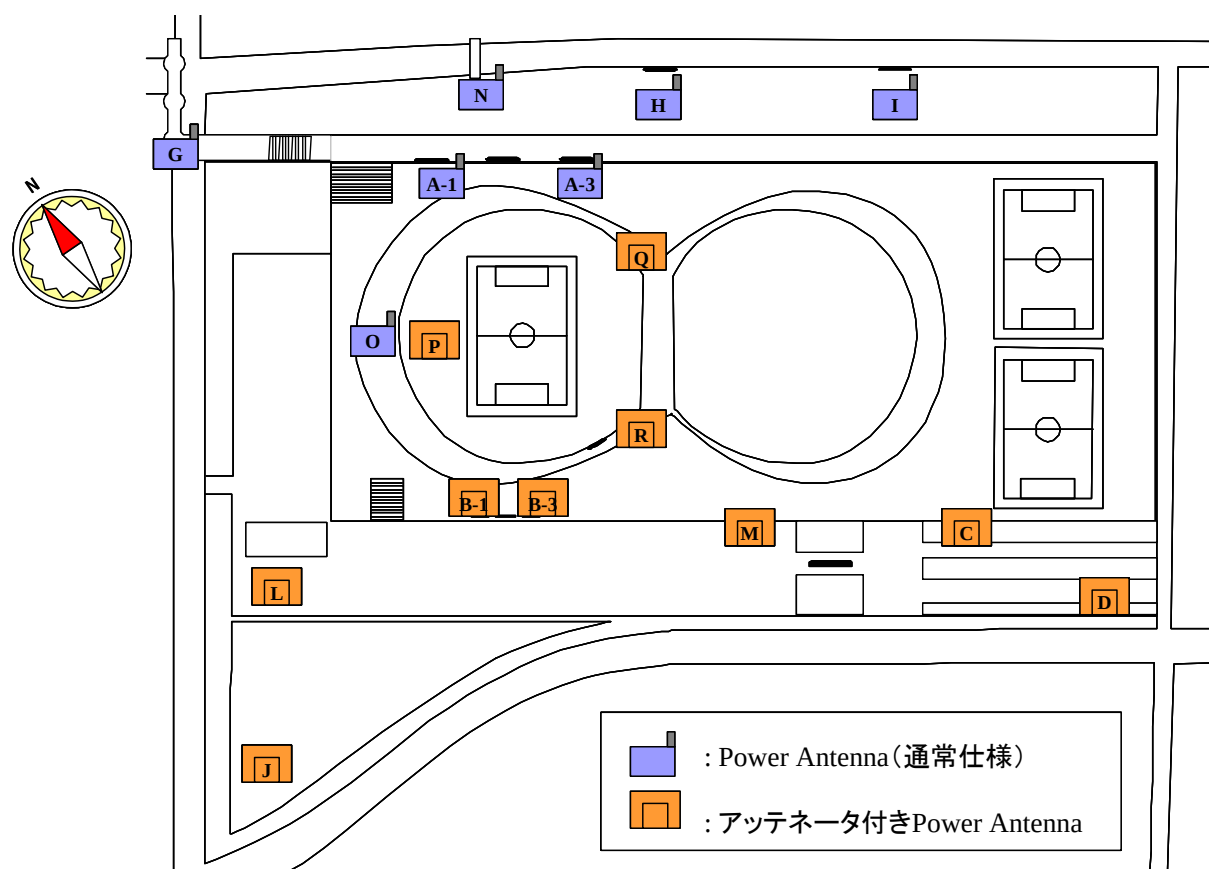


図 4.3-4 札幌ドーム周辺のパワーアンテナ設置図

表 4.3-3 設置したパワーアンテナ一覧

記号	場所名	アッテネータ有無	CSID	備考
A-1	北ゲート1	×	4F3F66893A0	
A-3	北ゲート3	×	4F3F5C98A00	
B-1	南ゲート1	○	4FA64C3CA20	
B-3	南ゲート3	○	4FA65D69A20	
C	シャトルバス1	○	4FA64C1C220	
D	シャトルバス2	○	4FA64C24020	
G	福住駅側歩道橋	×	4F3F7680E40	
H	国道36号線側出入口1	×	4F3F7691F00	13:20頃ゲート開門
I	国道36号線側出入口2	×	4F3F7658AA0	13:15頃ゲート閉鎖(アンテナ回収)
J	福住桑園通側出入口	○	4FA64C2C620	
L	一般駐車場出入口	○	4FA65D79E20	
M	タクシー乗り場	○	4FA64C4CE20	
N	ドーム北側歩道橋	×	4F3F6670640	
O	ドーム内連絡通路側	×	4F3F66982E0	
P	ドーム内北ゲート側	○	4FA64C34420	
Q	ドーム内南ゲート側	○	4FA64C5D220	
R	スタジアム内	○	4FA64C13C20	
S	福住駅	×	4F3F64E1E00	

4.3.4. 広域エリアでの分析結果

ここでは、PEAMON の位置データをもとに、広域的な視点から分析を行う。はじめに、PEAMON (offline-PHS) による位置特定の精度についてまとめる。ドームへアクセスする公共交通機関には、JR、地下鉄、バスが挙げられる。特に、JR、地下鉄については、駅とドームを結ぶシャトルバスが運行されているため、これらを利用する観客は多い。そこで、札幌市の中心から伸びる鉄道と駅のシャトルバス発着場、及びドーム周辺について、位置特定の精度を調査した。

■ 地下鉄利用時の位置特定結果

通常、PHS を用いた位置特定では、地下鉄の駅間では電波が入らないため位置特定が行えないが、駅構内には基地局が設けられているため、その位置をそのまま使用することができ、位置特定精度が非常に高い。図 4.3-5 に地下鉄の各路線での位置特定結果をまとめて示す。地下部の駅間では位置特定ができていないが、各駅では精度よく位置特定が行えることが確認できた。ただし、南北線については、途中で地下から地上に出るため、駅以外でも位置特定が可能な箇所が見られる。

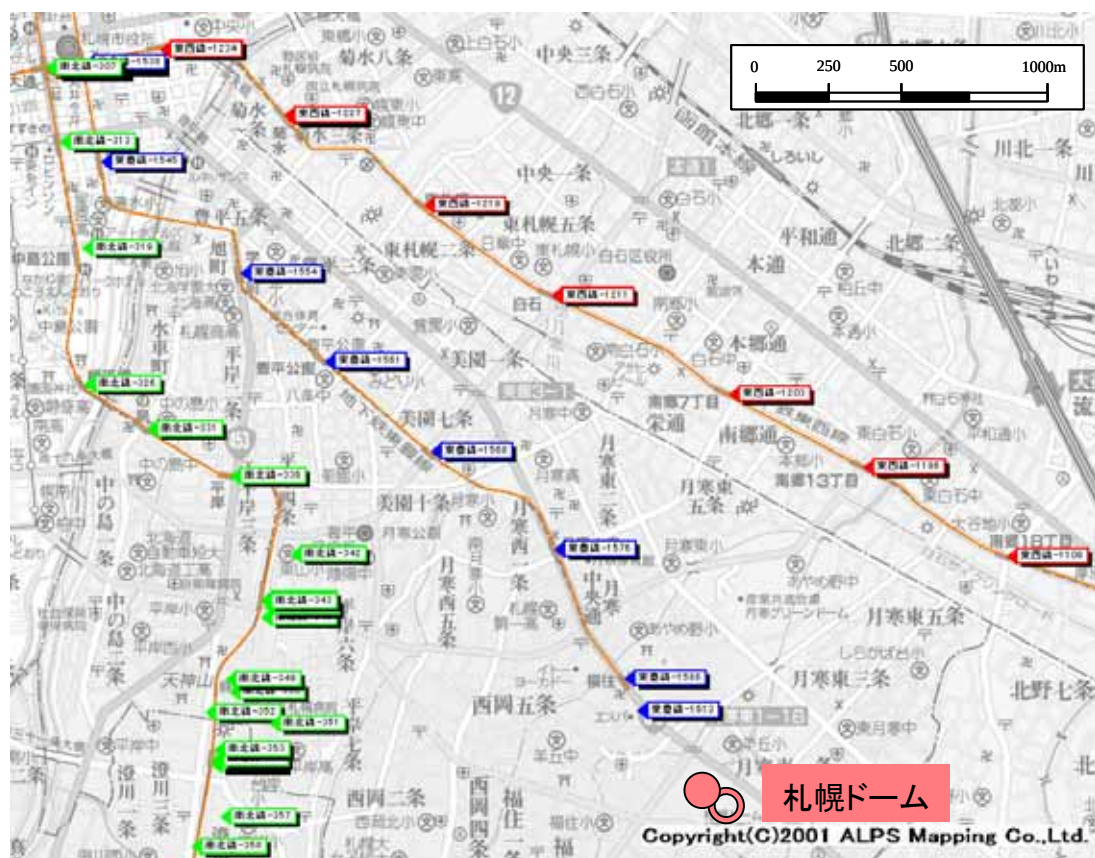


図 4.3-5 地下鉄乗車時の位置特定結果（左：南北線，中：東豊線，右：東西線）

■ JR利用時の位置特定結果

図 4.3-6 に JR 乗車時の位置特定結果を示す。地下鉄の駅のように全ての駅に基地局があるわけではなく、主要な駅のみにあることが判明した。それ以外の駅についても、精度良く位置特定が行われていることが確認できた。



図 4.3-6 JR 乗車時の位置特定結果

■ シャトルバス発着場の位置特定結果

JR-白石駅、地下鉄東西線-南郷 18 丁目駅、地下鉄南北線-平岸駅、地下鉄南北線-真駒内駅の 4 つの駅では、札幌ドームへのシャトルバスが運行されている。それぞれのバス停でのキャリア毎の位置特定結果を図 4.3-7 に示す。この結果より、いずれの場所でも 100m 以下の精度で位置特定が可能であることが分かった。



路線	駅	サンプル数	平均誤差(m)	標準偏差(m)
JR	白石駅	20	63.31	34.89
地下鉄東西線	南郷18丁目駅	20	92.01	69.89
地下鉄南北線	平岸駅	20	59.31	13.00
地下鉄南北線	真駒内駅	20	87.94	9.13

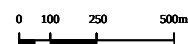
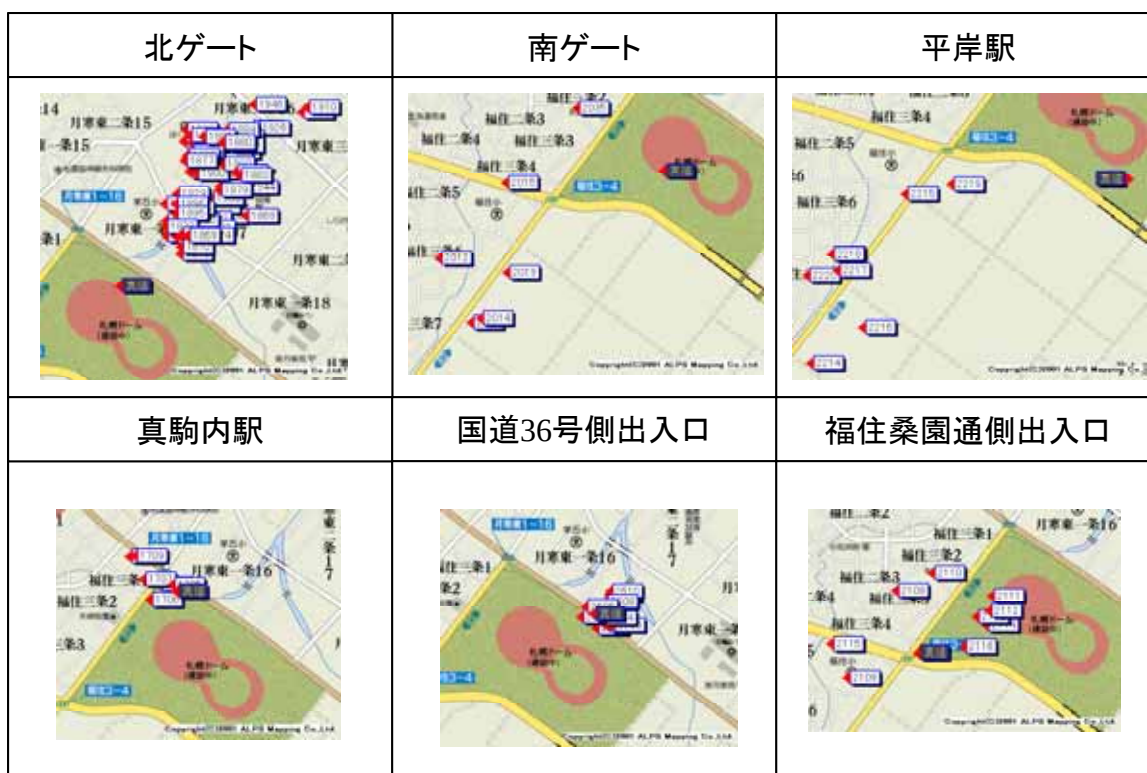


図 4.3-7 シャトルバス発着場での位置特定精度

■ ドーム周辺の位置特定結果

ドーム周辺の代表的な地点での位置精度を図 4.3-8 にまとめる。この結果によると、ドーム周辺では全体的に誤差が大きく、位置データだけではドームのどの辺りにいたのかを判別することは不可能である。さらに、ドームの内部では電波が届かないため位置が特定できなかったり、特定できたとしても北ゲートや南ゲートの様にドームから離れた外の位置を示したりすることから、位置データがそのまま使えないことが確認できた。特に、ドームの南側には住宅地が無いため、PHS 基地局が少なくなり、さらに位置精度が悪くなっていると推測される。このことから、パワーアンテナの配置では、PHS 電波の届きにくいドームの南側については、アッテネータ機能付きのパワーアンテナ(PA)を配置することで対応した。



場所	サンプル数	平均誤差(m)	標準偏差(m)
北ゲート	89	495.95	151.76
南ゲート	11	1129.07	516.92
シャトルバス乗り場	10	970.98	324.19
福住駅方面歩道橋	6	121.55	73.16
国道36号側出入口	18	53.19	22.83
福住桑園通側出入口	9	263.89	51.04

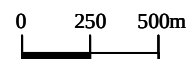


図 4.3-8 ドーム周辺での位置特定精度

以上の結果から、ドーム周辺については位置特定精度が悪いが、PA を利用することで精度の向上を図る必要があることが分かった。また、代表交通機関利用時の位置データは、広域での分

析に耐えられる精度を有していることが分かった。そこで、札幌全域におけるイベントの波及効果を見るため、図 4.3-9 に示すように札幌市内を 1 辺 1000m のメッシュで区切り、そのメッシュ内の被験者の空間密度を調べた。

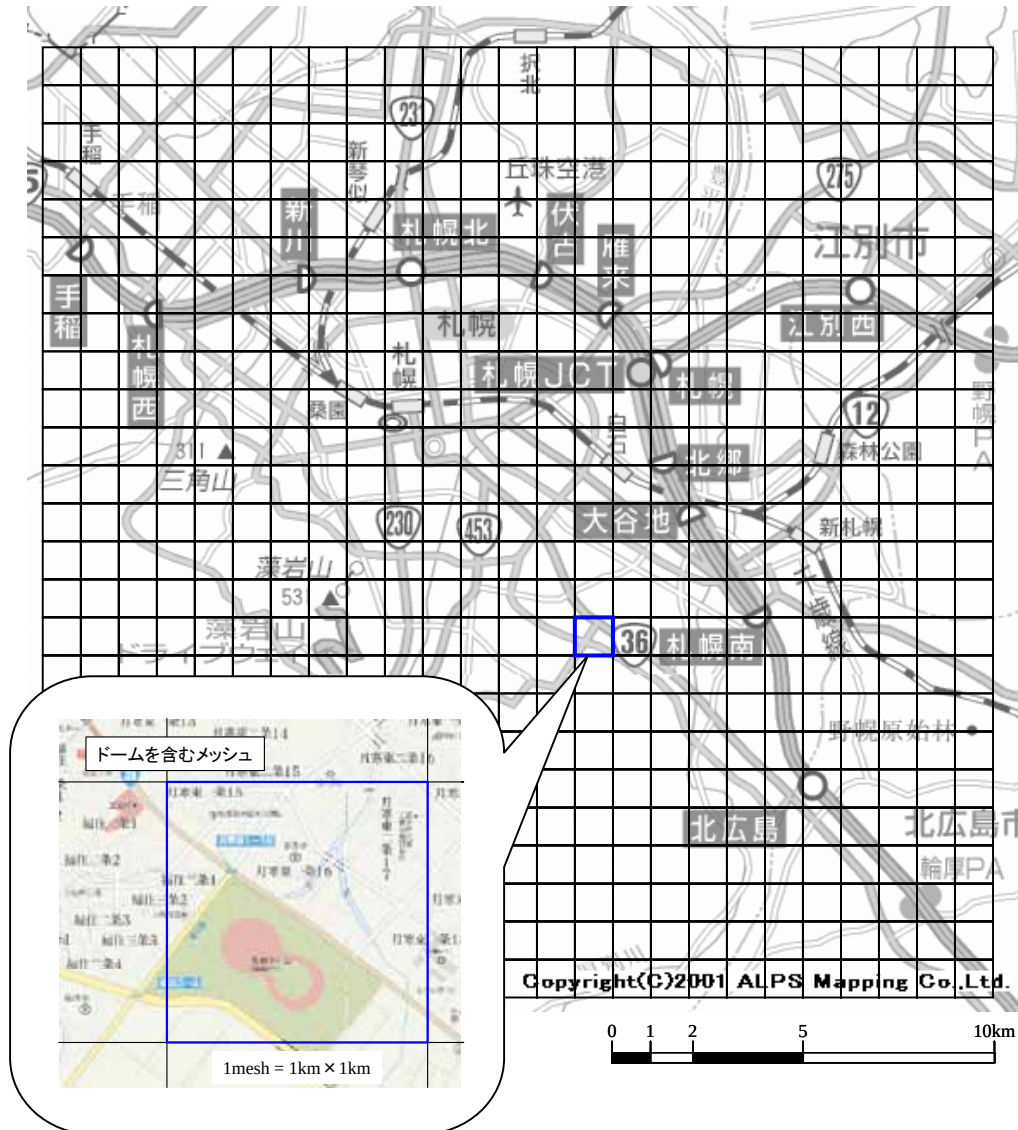


図 4.3-9 空間密度分析で使用したメッシュ図 (1 メッシュは 1km×1km)

それぞれの被験者の位置データよりメッシュ内にいる人数を数え、全被験者の何割がそのメッシュ内に存在するかを調べた。その結果の内、10:00 から 2 時間毎の結果を図 4.3-10～図 4.3-14 に示す。これによると、試合開始の 4 時間前(10:00)ではほとんどの人が自宅にいるが、試合開始直前の 14:00 で密度が最大となる。試合終了から 2 時間後の 18:00 では一様に密度が分散している。この時間では札幌市の 繁華街などで一部密度の高い部分がみられることから、イベント後の派生的な需要が発生していることが分かる。

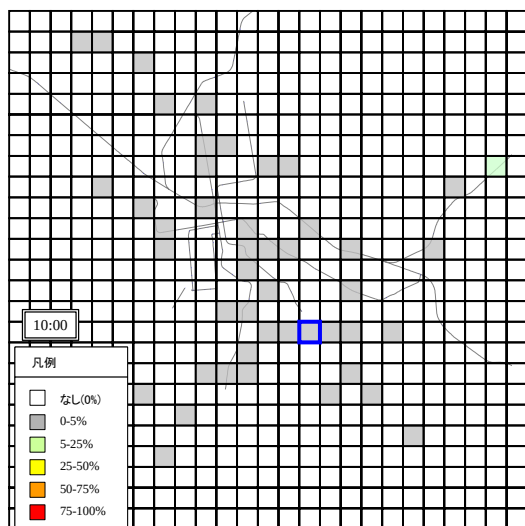


図 4.3-10 空間密度図(10:00)

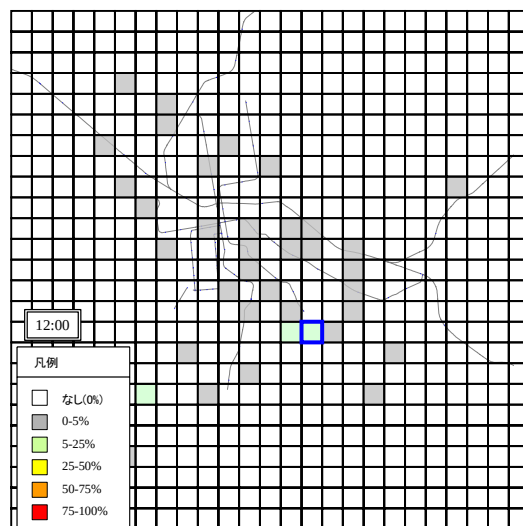


図 4.3-11 空間密度図(12:00)

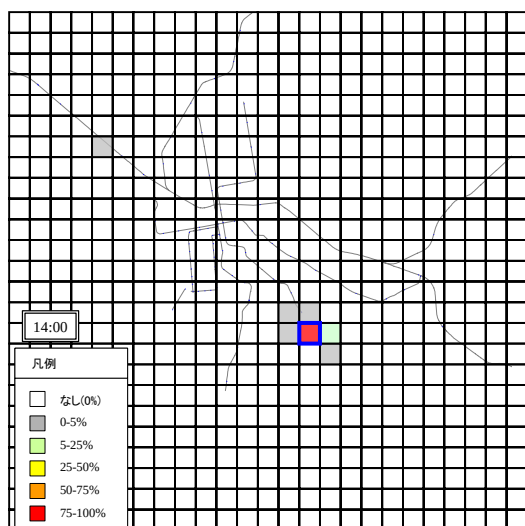


図 4.3-12 空間密度図(14:00)

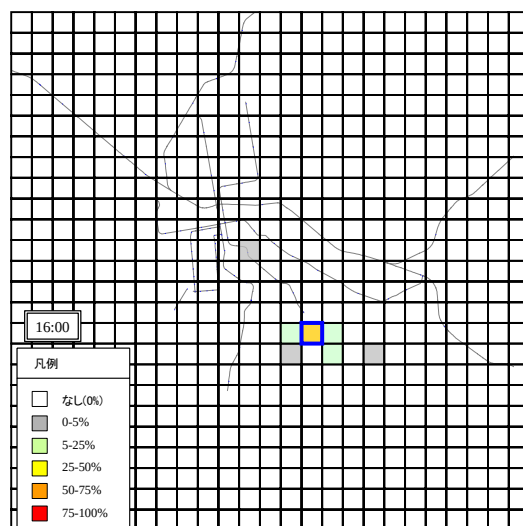


図 4.3-13 空間密度図(16:00)

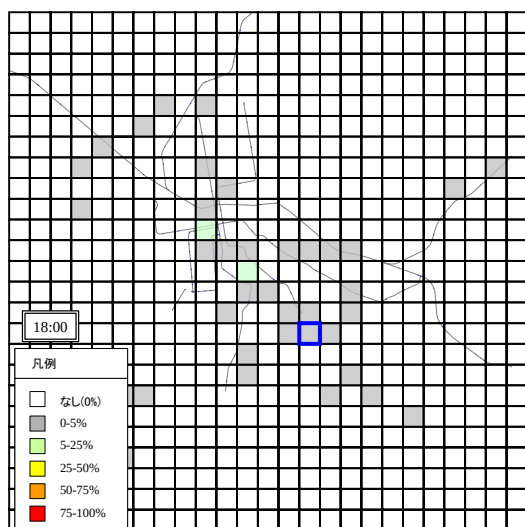


図 4.3-14 空間密度図(18:00)

4.3.5. 狭域エリアでの分析結果

前述したように，ドーム周辺では PHS による位置精度が悪く，ドームの内部にいるのか周辺にいるのかを判断することさえ困難である．そこで，ドーム周辺に PA を設置し，その設置した地点の通過判定を行う CSID 解析を用いて，ドーム周辺における被験者の行動分析を行った．さらに，試合終了後は出口が混雑（図 4.3-15）するため，会場を退出する時間帯により，帰宅に要する時間が異なると推測される．そこで，CSID 解析の結果より，退場する時間帯により，最寄り駅到着までの所要時間がどのように変化するのかを分析した．



図 4.3-15 試合終了後の会場周辺の様子

■ 福住駅からドーム内部までの行動

まず，地下鉄東豊線を利用したときの一般的な経路となる福住駅～北ゲート～スタンドに着目する．図 4.3-16 はこれら 3 地点付近に PEAMON を持った人が何人いたかをカウントしたものである．ここで，このカウントについて少し補足すると，対象となる PA に反応した全 PEAMON をとらえているため，とりわけこの経路を通過した被験者のみを抽出してカウントしたものではない．

この図から，福住駅を利用する被験者の試合前後の行動について分析を行った．まず試合開始以前に着目すると，早い人は 3 時間前から会場に来て，10:30 の開場と同時にドームに入場している．その後，ほとんどの人が試合開始前に入場しており，途中，前半戦を見ただけで帰宅した人がいたものの，全体的には，イベントに対する強い関心が見て取れる．次に試合終了以後について見てみると，試合終了後にゲートに人数が集中し，その数分後に福住駅でも人数の集中が見られる．

なお、スタンドについては、14:00 頃と 15:00 頃に急激にカウントが減っているが、これは機器障害ではなく、試合開始直前とハーフタイムでトイレや飲食のために席を離れたものと推測できる。そこで、次にスタンドとドーム内部に着目して分析を行った。

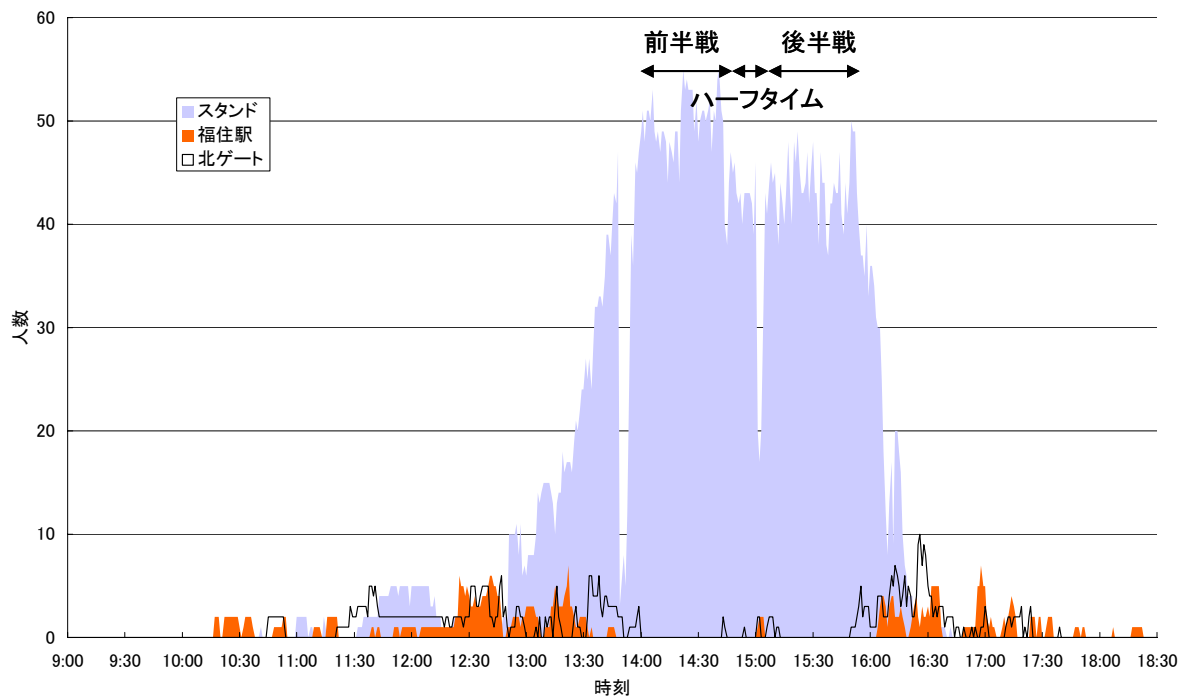


図 4.3-16 CSID 解析による人数カウント（福住駅・北ゲート・スタンド）

■ スタンドとドーム内部での行動

ドーム内部には、入り口付近、通路、スタンドの座席付近にそれぞれ PA を設置した。このことから、スタンドの座席付近の PA と、スタンドを除くドーム内部の全 PA をそれぞれ区別することで、スタンドに着席していたのか、ドーム内部の通路（売店やトイレなど）にいたのかが判別できる。その判別結果を図 4.3-17 に示す。

この結果から次のような行動が推測される。まず、12:00 から 13:00 にかけて一時的にスタンドの人数が減り、逆に通路での人数が増えていることから、通路にある店舗で昼食を購入していると推測される。そして試合開始が近づくに連れて、スタンドの人数が徐々に増えている。その人数も、試合開始直前には急激に減っているが、これは、トイレや飲食のため席を離れたと考えられる。その後、前半戦を座席で観戦してハーフタイムに入ると、前半戦終了と同時に席を離れる人と、少し待ってから席を離れる人がいることが見て取れる。ハーフタイム中は通路側でもっと人数のカウントが増えると思っていたが、それほどは増えなかった。これは、同伴者がスタンドに残るということで、計測機器(PEAMON)を席においたままでトイレなどに行ったということが考えられる。そして、試合終了後には、地元のチームが負けたということもあり、ほとんどの人がすぐに引き上げているが、その後、再びスタンドでの人数が増えている。この原因としては、出口の混雑が著しく、そのため再び席に戻り、試合終了後に行われていた地元チームの監督

の引退セレモニーを見ていたということが考えられる。

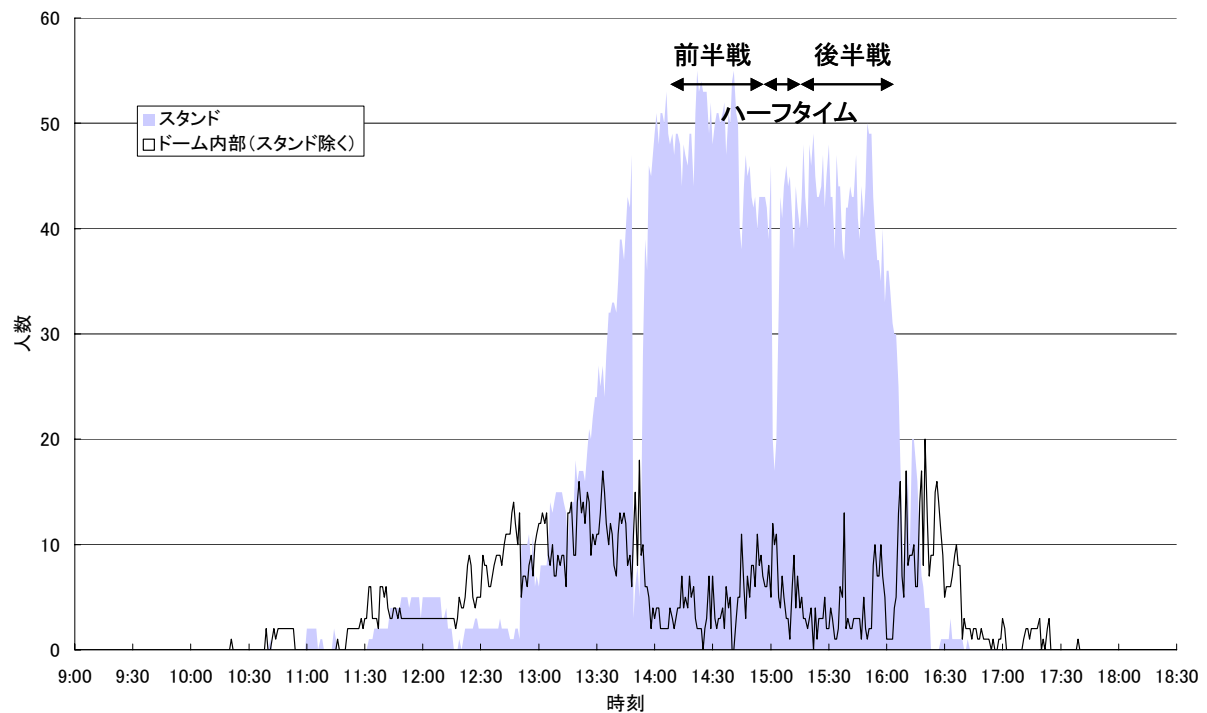


図 4.3-17 CSID 解析による人数カウント（スタンド・ドーム内部）

■ 最寄り駅到着までの所要時間

試合終了後の出口混雑により、最寄り駅までの所要時間がどのように変化するかを、CSID 解析の結果より分析する。分析の対象とする最寄り駅は、ドームから最も近くて利用者の多い東豊線福住駅とした。ドーム内部での混雑により、ドームの出口にたどり着くまでにも時間がかかるため、会場の退場時間は、スタンドを離れた時刻とした。

CSID 解析の結果より、福住駅を利用する被験者を抽出し、スタンドを離れてから駅に到着するまでの所要時間を算出した。時間帯別（5 分刻み）の平均所要時間を図 4.3-18 に示す。図中の 14:50 のデータは、試合途中で帰宅した被験者のデータであるため、この時間（約 13 分）がスタンドから駅までの通常の所要時間であると考えられる。試合終了直後に退席した場合でも、出口は混雑するため、通常時より所要時間が増えている。その後、所要時間は増え続け、試合終了後に行われた監督引退セレモニーの終了後は通常時の約 4 倍である 50 分となった。その後の 20 分間は、残念ながらその時間帯に退場した被験者がいなかったため所要時間が不明であるが、16:35 時点では 40 分弱に変化していることより、徐々に所要時間が減少していると推測できる。

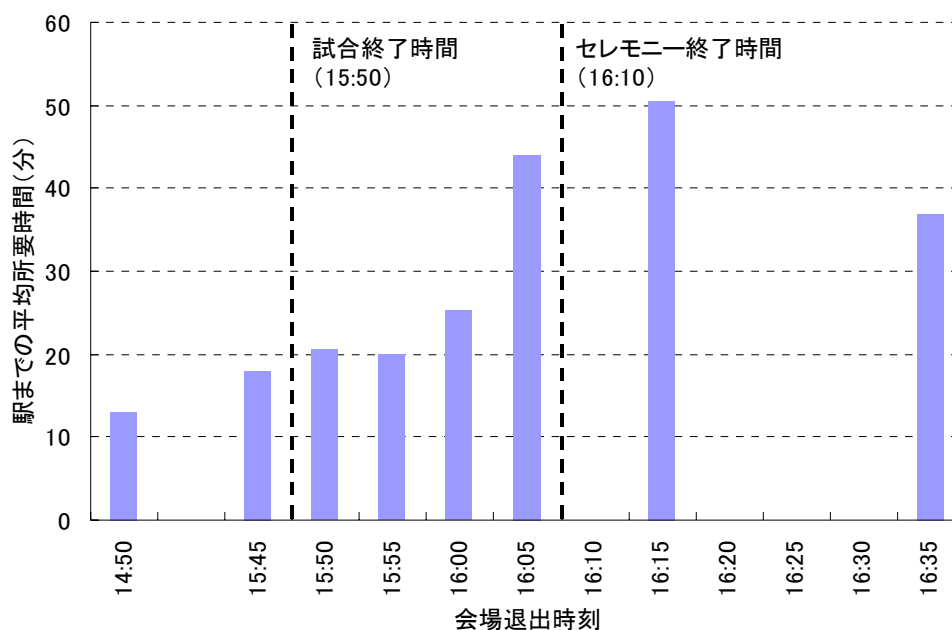


図 4.3-18 時間帯別の駅までの平均所要時間

4.3.6. 本節のまとめ

本節では、移動体の位置データを観測できる PEAMON (offline-PHS) と簡易アンテナである Power-Antenna (PA) を用いて、PA の基地局 ID (CSID) を利用したモニタリングシステムを提案した。このシステムでは、PHS の位置特定システムにより位置データをベースとした分析が可能となるだけでなく、PA の CSID を解析することで、被験者だけに限られるが、定点観測の様なデータ取得も可能であるという特徴を持っている。

このモニタリングシステムの検証として、サッカー観戦時の被験者の交通行動について、広域と狭域という二つの視点から分析を行った。広域での分析では、札幌市内を 1km 四方のメッシュに分割し、そのメッシュの滞在人数を調べることで、被験者のイベント前とイベント後の行動を把握することができた。狭域での分析では、PA の CSID を解析することで、従来観測が困難であったイベント中の会場内や会場周辺での被験者の行動を詳細に把握することができた。

4.4. 観光行動時における観光情報参照に関する調査

4.4.1. はじめに

観光行動を対象とした調査を行う場合、被験者となる観光客は、地理に不案内な地域で非日常的な行動を行うため、想起に基づくアンケート調査では取得できる行動データに限界がある。たとえば、周遊した観光スポットの到着時刻や滞在時間などを訪ねてもそれらの回答に高い精度は期待できない。そこで、移動体の位置データをもとに交通行動調査を行うという取り組みが行われるようになり、従来から行われてきたアンケート調査では把握することが困難であった様々なデータを得ることができるようになった。

移動体通信機器を利用すると、観光客が場所や時刻を正確に記憶していなくても、立ち寄り場所やその時間の情報を自動的に記録・取得することができる。そのデータを用いることにより、位置と時刻に関して精度の高い周遊や滞在といった時空間行動分析が可能となる。例えば大森ら^[23]の研究では、人の移動軌跡データと情報利用データを組み合わせて、情報利用行動や行動予定と実際の行動の比較を行った分析を行っている。

現在、日本各地の観光地ではPDAや携帯電話といった移動体通信機器を介して利用者に観光情報を提供し、周遊観光の快適性や利便性を向上させる観光案内システムの社会実験が行われている。本研究で取り扱うデータは、奈良県飛鳥地方を対象に平成 13 年に実施された「観光地における歩行者・自転車ナビゲーション」社会実験（通称「飛鳥ナビ」）で得られたものである。この実験データの特徴は、精度の高い位置データに加えて、提供される情報へのアクセス結果（いつ、どのような情報にアクセスしたか）が得られる点にあり、移動軌跡から滞在施設の範囲を画定したり、集客効果の高い滞在スポットを抽出するという分析がなされてきた^{[24][25]}。しかし、観光情報へのアクセスについてはメッシュ単位での情報アクセス率の分析にとどまっていた、詳細な情報アクセス行動の分析までには至っていなかった。そこで本研究では、情報アクセスが発生した位置に着目して、観光情報の内容と情報アクセス行動の関連性を分析することを目的とする。分析の結果は、観光客にとって「いつ、どこで、どのような情報へのニーズが高いのか」を知ることにより役立ち、観光地の情報提供サービスや案内システムを設計する上で貢献できるものと考えられる。

4.4.2. 調査の概要

「飛鳥ナビ」社会実験の概要を表 4.4-1 に示す。調査場所である奈良県飛鳥地方（図 4.4-1）は貴重な歴史的・文化的な遺産を数多く有し、自然豊かな風土に恵まれた日本でも有名な観光地である。観光スポットは広域に点在するが、道路幅員が狭く、ほとんどのスポットに駐車場がないため、観光客の移動手段は徒歩やレンタサイクルが中心となっている。観光エリアの道路や施設には道標が設置されているが、観光客からは「よりわかりやすい案内」を求める声もある。しかし、明日香村特別措置法に基づく厳しい規制により、道標や案内板の設置が困難な状況となっている。そこで、この社会実験では、GPS ユニットを搭載した PDA（図 4.4-2）を一般の観光客に貸し出して、観光スポットの情報や経路案内の情報を提供するシステムについての検証を行った。

貸し出した PDA は、GPS により周遊中の位置情報を一定の周期で「移動ログ」に記録している。同時に、利用者が PDA を操作したという情報を随時「情報操作ログ」に記録している。また、被験者の実験地域内の移動は主に徒歩や自転車（レンタサイクル）である。

表 4.4-1 飛鳥ナビ実験概要

実験期間	2001/10/6～11/18(主に週末を中心とした延べ17日間)
実験地域	奈良県飛鳥地方(橿原市, 明日香村)
実験内容	観光者に対してGPSを搭載したPDAを貸し出し, 観光施設情報提供や経路案内を行う
モニター数	延べ484人
得られた情報	・移動ログデータ(日付, 時刻, 経緯度, 進行方向) ・情報操作ログデータ(日付, 時刻, 操作名, 情報内容)



図 4.4-1 飛鳥地方の場所



図 4.4-2 貸し出した PDA

移動ログは GPS で測位した位置座標を自動的に 30 秒周期で取得したものであり、いつ・どこに観光客がいたのかを特定することができる。移動ログデータを用いると、観光客の施設回遊の順番やそれぞれの施設での滞在時間などを分析することができる。飛鳥地域には高層の建築物がなく、観光行動もほとんど野外で行われるため、位置特定誤差も 10m 以内と非常に精度が良い。GPS データにマップマッチングによる座標補正などは不要で、観測座標をそのまま利用しても分析には支障が生じない。

一方、情報操作ログデータは観光客が PDA を操作したときの時刻と操作内容を記録したものであり、いつ・どのような内容の情報にアクセスしたのかを分析することができる。ただし、その場所に関する情報が記録されていないため、「いつ、どこで、どのような情報にアクセスしたか」を知るためには、移動ログデータと時刻で同期をとり、情報にアクセスされた位置座標を割り出す必要がある。実際にあるモニターの移動ログから座標を求め、情報へアクセスした場所を特定した結果を図 4.4-3 に示す。

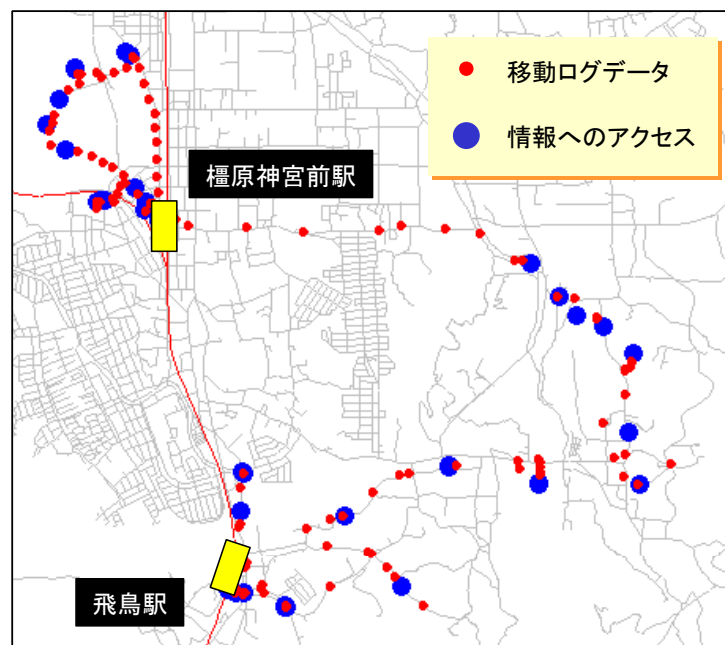


図 4.4-3 移動ログデータと情報アクセス位置

次に、情報操作ログの操作名一覧とそれらのアクセス状況を表 4.4-2 にまとめる。情報はコース設定やコース確認などの経路案内に関する情報と、スポット情報表示や動画再生など観光スポットに関する情報とに分類できる。

表 4.4-2 情報内容別のアクセス状況

情報内容	アクセス数
コース選択	1766
コース確認	11349
全体地図表示	1700
詳細地図表示	3294
スポット地図表示	142
スポット情報表示	8405
動画再生	532
ガイド情報	188

これらの情報のうち、具体的にスポット名が記録されているのは「スポット情報表示」と「スポット地図表示」だけである。本研究では、特に情報の内容に対するアクセス状況について分析するため、提供された情報の内容がより詳細であり、またアクセス数が多く十分なサンプル数が確保されている「スポット情報表示」に着目した。また「ガイド情報」のうち、具体的な駅名が記されている鉄道の時刻表データへのアクセスについても分析の対象とした。

これらの分析は実験期間中にデータを収集した日ごとに行うことが理想的であるが、日別に取り扱うとサンプル数が少なくなることと、情報に対するそのアクセス場所は日付の差異とは関係性が低いと考えられるため、全てのデータ取得日をプールして分析することとした。

4.4.3. 分析結果

(1) 観光開始前の情報アクセス

観光客が飛鳥ナビを使って実際に観光を行う前にどのような情報にアクセスするのかを把握するために、出発地でアクセスしたスポット情報を調べた。PDA の貸し出しは飛鳥駅と橿原神宮前駅の二ヶ所で行われたため、移動ログよりどちらの駅から出発したのかを判別し、その駅周辺で移動ログ取得開始時刻（＝ナビ開始）から 30 分以内にアクセスしたスポット情報を抽出した。その中でも特に真っ先に興味を持った情報を調べるため、最初にアクセスした情報の抽出も行った（なお、たとえ PDA の動作確認でスポット情報にアクセスしたとしても、全く興味のない内容にアクセスするとは考えにくいいため、そのような判別は行わずに初めてアクセスした情報をそのまま抽出した）。

出発地別に最初にアクセスした情報を図 4.4-4 に、アクセスした情報の総数をまとめたものを図 4.4-5 に示す。図 4.4-4 より、橿原神宮前駅では喫茶や食事といった飲食に関する情報アクセス割合が相対的に多く、飛鳥駅では観光スポットへの情報アクセスが多いという特徴が表れた。これは、橿原神宮前駅にはホテルや飲食店といった商業施設が多くあるのに対して、飛鳥駅は店舗は少ないが有名な観光スポットが近くにあり、観光モデルコースの出発地として設定されているという地域的な特徴と関わりがあるとも考えられる。ただし、その後の情報アクセスは図 4.4-5 に示すようにどちらの駅でも同じようなアクセス状況となることがわかった。このことから、最初に興味を持つ内容は現所在地の状況の影響を受けるが、もともとの目的が観光であるため、総体的に見るとアクセスする情報内容の傾向には大きな差が生じにくくなると考えられる。

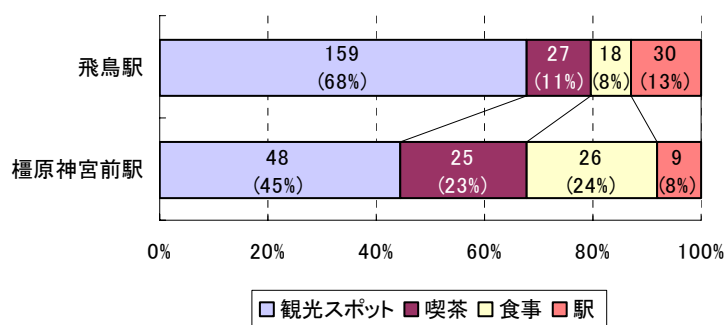


図 4.4-4 出発地別の初回アクセス情報

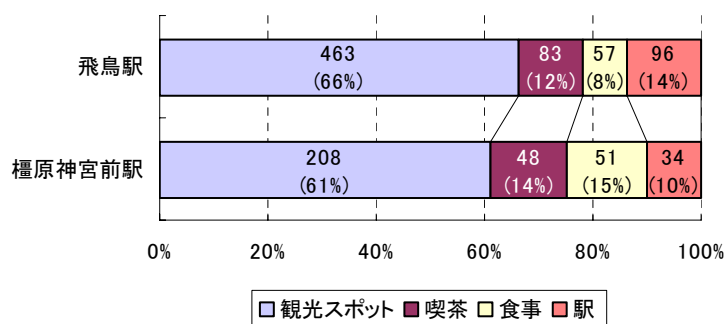


図 4.4-5 出発地別の全アクセス情報

(2) 時刻表情報へのアクセス

鉄道を利用して飛鳥地方へ来訪した場合、帰りの電車の時間に合わせて、観光スポットでの滞在時間や観光スポットの訪問数を調整することが考えられる。そこで、鉄道の時刻表情報へアクセスした時刻と観光開始～終了のそれぞれの時刻より、観光中のどのタイミングで時刻表情報を参照したのかについて分析を行った。どの駅の情報へアクセスしたかを時間帯別に集計した結果を図 4.4-6 に示す（注：先に示した図 4.4-4 の「駅」は、バスなどの鉄道以外の情報も含まれているため、図 4.4-6 に示すサンプル数とは一致しない）。

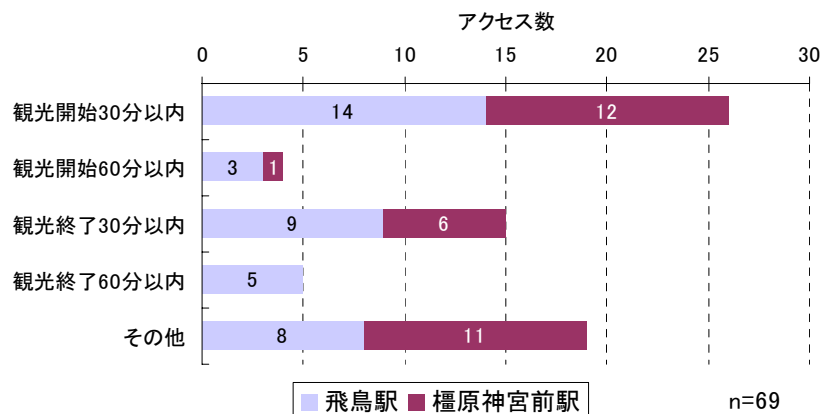


図 4.4-6 時刻表情報アクセス状況

この結果から、時刻表情報にアクセスしたうちの約 4 割近くが観光開始 30 分以内であることがわかった。逆に観光終了 30 分以内に情報へアクセスした割合は全体の約 2 割程度しかなく、時刻表の情報は観光終了よりも開始時によく参照される傾向にあることが分かった。

参照した駅の割合をみると、ダイヤ数の少ない飛鳥駅への情報アクセスが若干多いことも分かった。さらに、一人あたりの情報アクセス回数について調べると 8 割以上の人が一度のみの参照であることが分かった。これらのことから、時刻表情報は列車の本数の確認という利用のされ方が多いと考えられる。ただし、その他の時間帯も含めて、一定のアクセス数があることから、時刻表に関するニーズはあることが伺える。

今後のナビゲーションシステムの改善点として、GPS で取得した現在地をもとに駅までの所要時間と時刻表を考慮した総合的な鉄道利用案内システムを開発することで、利用者により有効な情報提供が行えると考えられる。

（３） 喫茶・食事情報へのアクセス

観光という非日常の活動においても、飲食は人の行動に影響を与える重要なファクターであると考えられる。特に、飛鳥地方のように観光スポットが広範囲に渡って点在している場合、訪れようとしている観光スポットの近くに飲食店があるか否かで、訪問の順番が入れ替わったり、飲食の場所を変更するだけでなく、立ち寄る観光スポットそのものを変更するということも考えられる。ただし、そのような分析には行動予定と実際の行動に関するデータが必要である。本実験で用いた飛鳥ナビでは、移動と操作のログからある程度の実行動を把握することは可能であるが、行動予定や行動の変更内容まで把握することはできない。そのため、ここでは食事や喫茶の情報へアクセスした時空間分布について分析することとする。

図 4.4-7 はそれぞれの情報にアクセスした回数を時系列で調べたものである。この結果から、食事に関しては、午後に比べて午前中のアクセスが多く、特にお昼頃に最も多くアクセスされていることがわかる。それに対して喫茶情報は、どの時間帯でもよくアクセスされている。

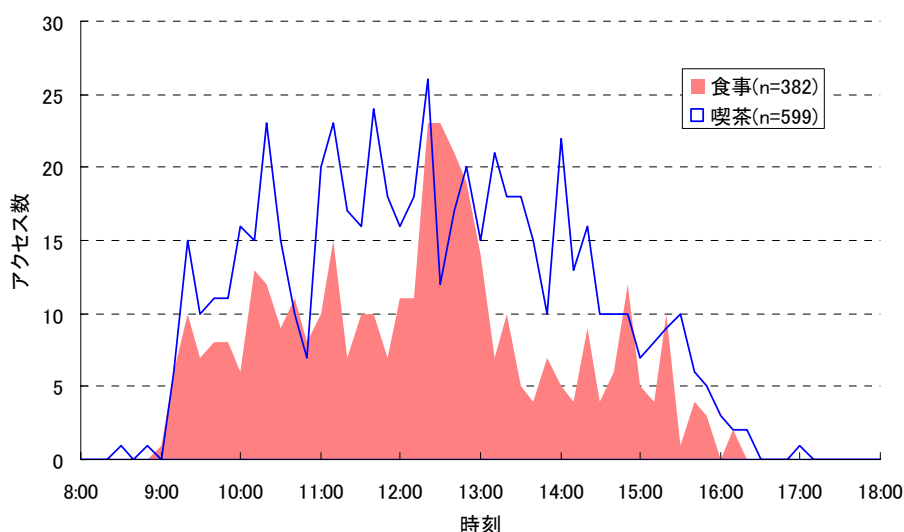


図 4.4-7 時刻別情報アクセス数（食事，喫茶）

一方、個人毎に観光を始める時刻が異なることから、観光開始からの経過時間でアクセス数を集計した結果を図 4.4-8 に示す。食事・喫茶ともに最初の 30 分以内に最もアクセスが集中しているが、喫茶情報は観光を開始してから 4 時間程度の間は一定のアクセス頻度があることもわかった。

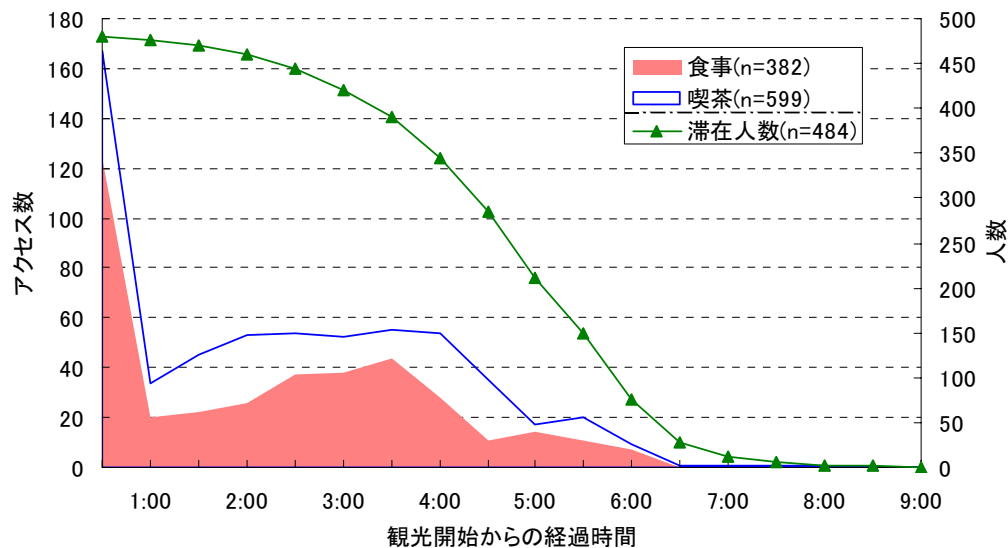


図 4.4-8 所要時間別情報アクセス数と滞在人数

つぎに、食事・喫茶情報にアクセスした地点を空間的に分析する。それぞれの情報にアクセスした地点を図 4.4-9 に示す。駅での情報アクセスを除くと、食事は石舞台周辺の施設付近で多く、喫茶は亀石～橘寺、岡寺～明日香村観光会館～飛鳥寺を結ぶコース（図中の囲み部）上で頻繁にアクセスされている。これらのことより、食事に関する情報は滞在しているときに、喫茶に関する情報は移動中に見られやすい傾向にあることがわかった。

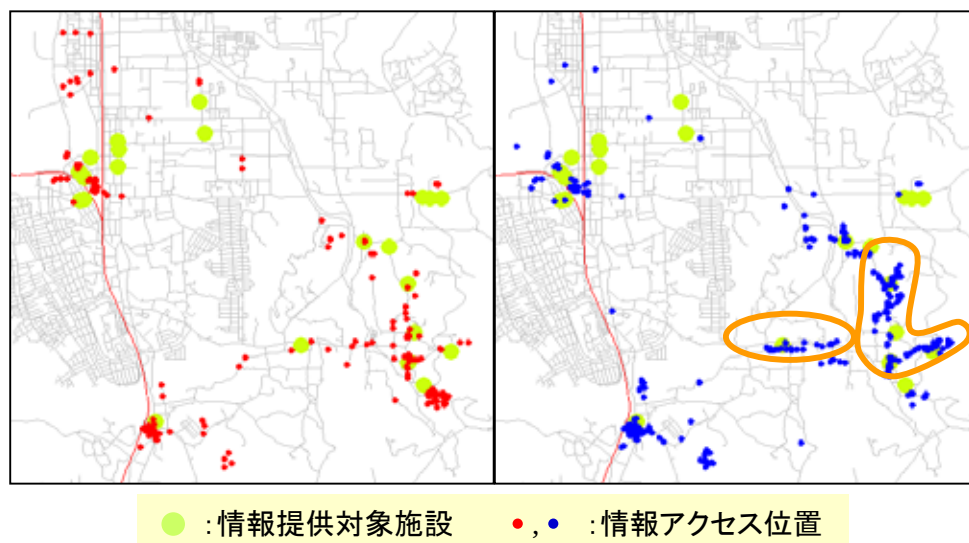


図 4.4-9 情報アクセス位置（左：食事，右：喫茶）

（４） 観光スポットに対する情報アクセス

観光客はどこで観光スポットの情報を見るのだろうか？ここでは特定の観光スポットに着目し、その情報を参照した場所の空間的な分布状況を調べるため、高松塚、石舞台、亀石という特徴の異なる３つのスポットを取り上げた。それぞれの施設の場所を図 4.4-10 に示す。ただし、高松塚は公園内に複数の観光スポットが密集していることから、これら全てを高松塚という一つのスポットとして扱った。



図 4.4-10 分析対象スポット位置図

はじめに、移動ログデータをもとにスポットごとの滞在人数や滞在時間を計測し、これらのスポットの特徴について整理を行う。このときの施設の滞在判定については、図 4.4-11 に示すように、観光スポットごとにエリアを設定し、そのエリアへの流入と流出を判定することで、ある瞬間の滞在人数や滞在時間の算出を行った。つまり、これらの対象分析としたスポットは一定の広さを持ったエリアであり、その内部での移動は滞在とみなして集計したことを意味する。

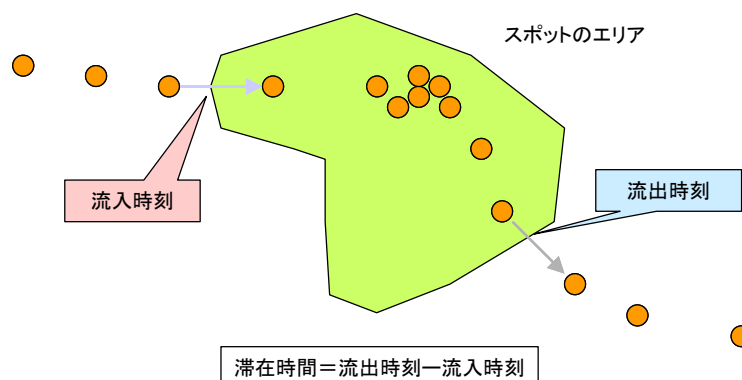


図 4.4-11 スポット（エリア）の滞在判定方法

この判定方法により、各スポットの流入・流出人数の累積と、その瞬間滞在人数の時系列変化を集計した結果を図 4.4-12～図 4.4-14 に示す。

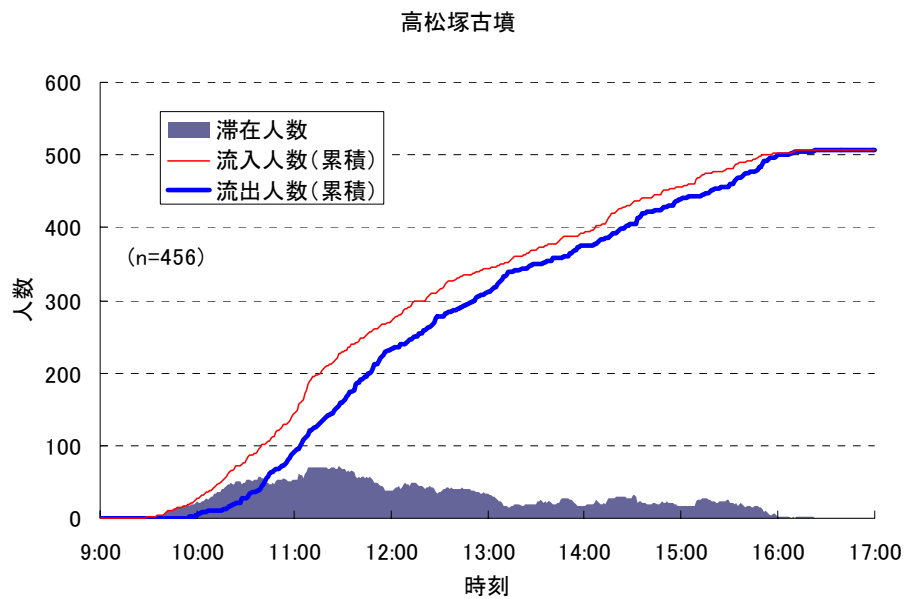


図 4.4-12 流入・流出人数と滞在人数（高松塚古墳）

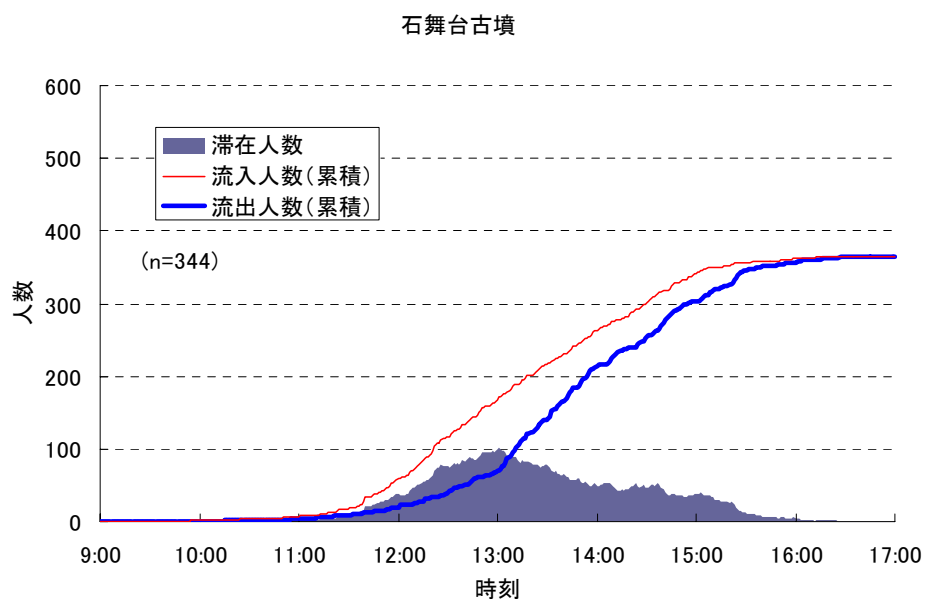


図 4.4-13 流入・流出人数と滞在人数（石舞台古墳）

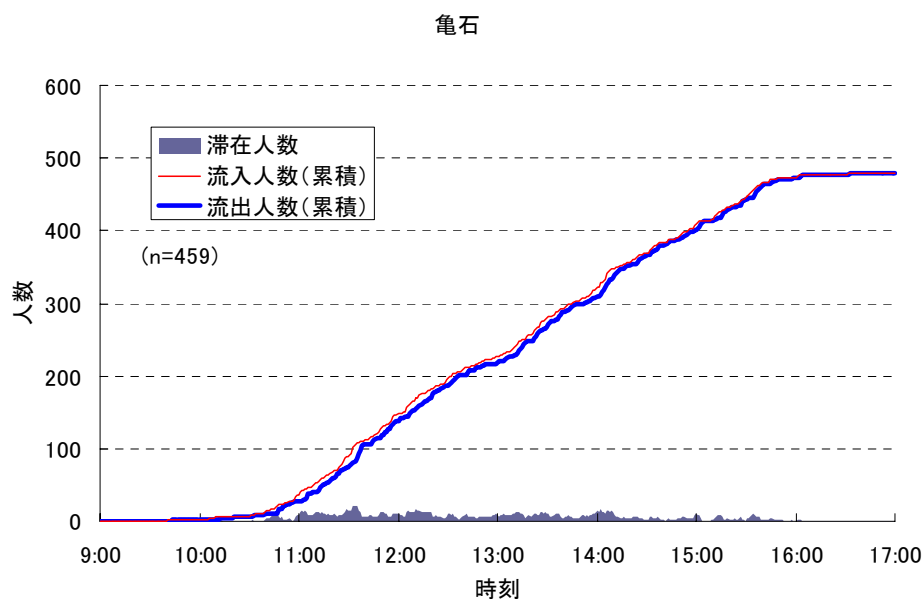


図 4.4-14 流入・流出人数と滞在人数（亀石）

時間帯別の施設滞在人数とその滞在時間の推移について、全てのスポットをまとめて表したものを図 4.4-15 と図 4.4-16 とに示す。図 4.4-15 からは、それぞれの施設で、時間帯によって施設滞在者の人数が大きく異なることが分かった。高松塚古墳では午前中にピークが訪れているが、石舞台古墳では午後にピークが訪れている。一方、亀石は一定の人数が滞在しているということが分かった。また、図 4.4-16 からは、高松塚古墳と石舞台古墳はともに滞在時間が長く、亀石がほとんど 10 分以内の滞在であることが分かった。施設の状況とこれらの結果より、各スポットの特徴をまとめたものを表 4.4-3 に示す。

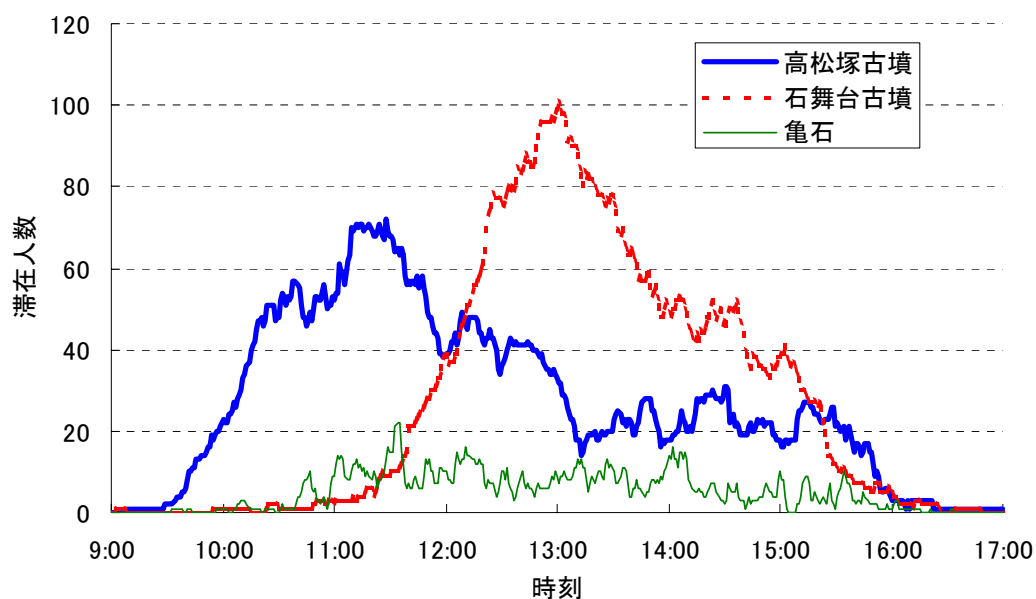


図 4.4-15 時間帯別の施設滞在人数の推移

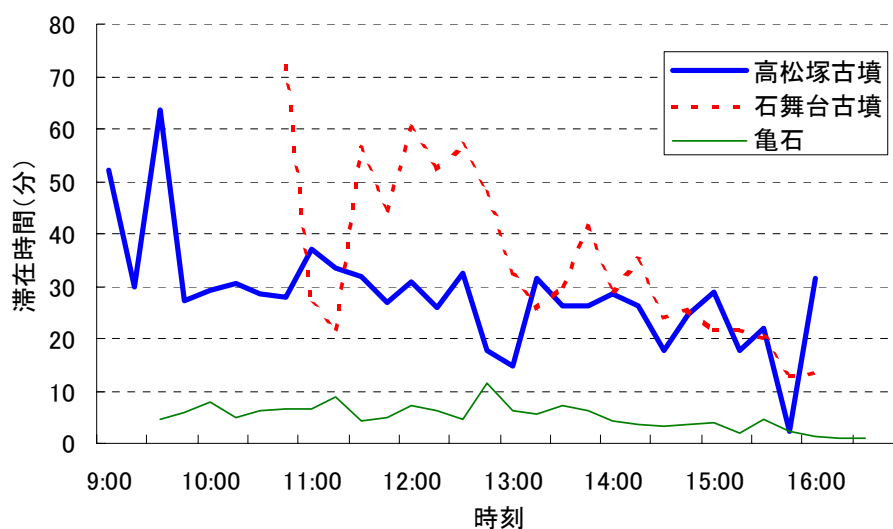


図 4.4-16 時間帯別滞在時間の推移

表 4.4-3 分析対象スポットの特徴

	高松塚	石舞台	亀石
エリアの大きさ	大きい	大きい	小さい
施設数	4	1	1
訪問人数	多い	比較的多い	多い
滞在時間	長い	長い	短い
料金	一部有料	有料(メイン施設)	無料

今回の分析対象となる各スポットの特徴が整理できたところで、これらの特徴を前提として情報アクセスに関する分析を進めることとする。

はじめに、これらのスポットについての情報参照の有無と実際の訪問の関係をまとめた結果を図 4.4-17 に示す。観光客は、それぞれのスポットごとに「情報参照し、かつ訪問した」、「情報を参照していないが、訪問した」、「情報を参照したが、訪問しなかった」、「情報を参照せず、訪問もしなかった」のいずれかに分類される。

集計結果から、どの施設でもそこを訪れた観光客の半数以上が飛鳥ナビを利用して情報を取得していることが分かった。逆に、情報を参照しているがその施設を訪問していない割合では、高松塚、亀石がともに約 8%であるのに対して、石舞台では約 16%(=48/(256+48))であった。これは、石舞台が観光地の端にあるという立地の状況や施設の利用料金などから、情報を参照しただけで実際には訪問しないモニターの割合が多いということが考えられる。

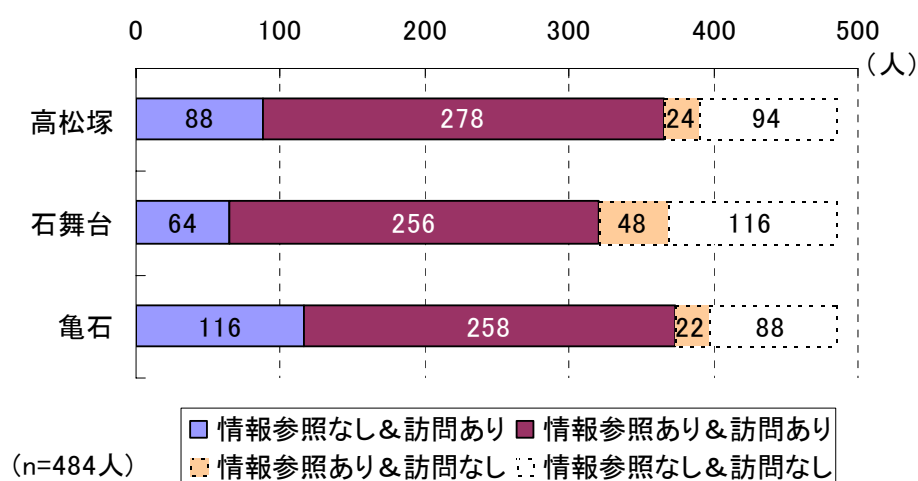


図 4.4-17 各施設の訪問と情報アクセスの関係

つぎに、それぞれの観光スポット情報にアクセスした場所の分布を図 4.4-18 に、また、その位置からスポットまでの距離毎にアクセス数の累積を求めたものを図 4.4-19 に示す。この図から、高松塚はそのほとんどが 1km 以内の近距離で参照され、亀石は 1.5km 以内の中距離で、石舞台は長距離でも参照されるという特徴が表れた。これは対象となるスポットの位置とその周囲の観光スポットが関係しているものと考えられる。

例えば高松塚では公園内にいくつもの施設があるため、それらのスポット情報を連鎖的に見ているケースが多かった。また亀石は観光地の中心にあるため、モデルコースの前後の施設付近での参照が多くなっている。石舞台は観光地の端にあり、他のスポットとの距離が分散しているため、遠く離れた場所からも参照されるという特性が表れたと考えられる。

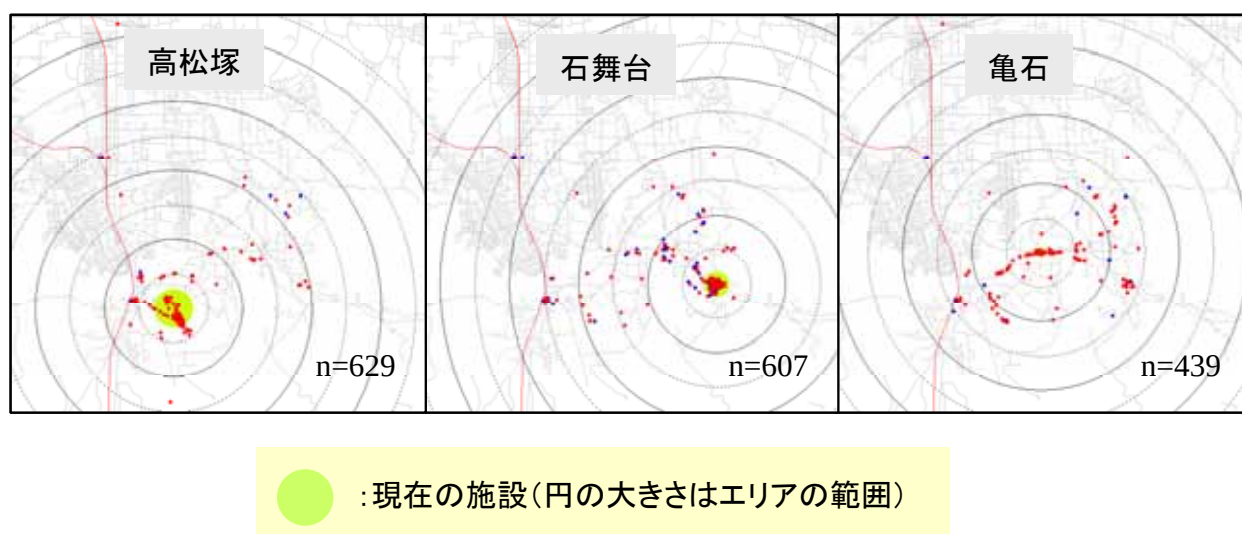


図 4.4-18 各施設に対する情報アクセス位置

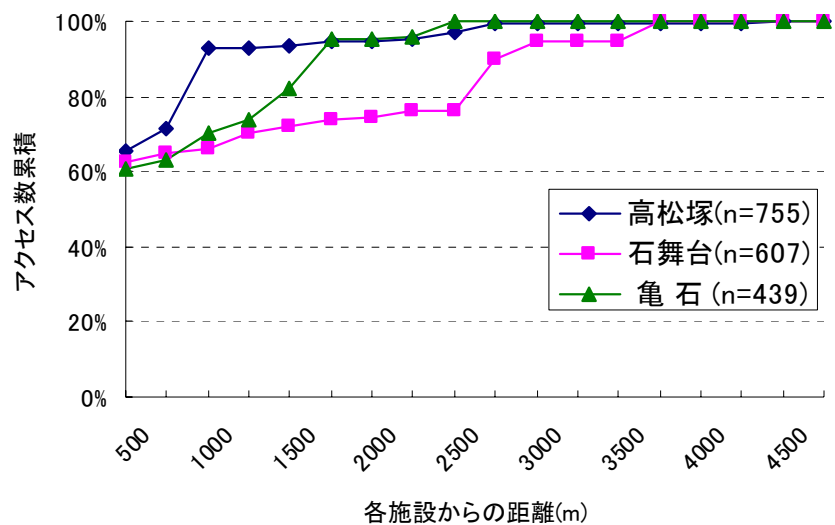


図 4.4-19 各施設に対する情報アクセス距離分布

(5) 滞在施設からの情報アクセス

上述の3箇所のスポットについて、それぞれのエリア滞在中にその施設自身の情報を参照した状況を調べた結果を図 4.4-20 に示す。これによると、どの施設でも訪問者の半数以上が情報をまったく参照していないか、もしくは一回だけ参照している程度であることがわかった。高松塚はエリア内に複数の施設があるため数回利用している人がいるが、それでも 1/3 程度であった。

今回の情報提供内容に関する限り、施設情報を参照する場合には、付近（目の前）にある施設よりも別の場所にあるものを参照する傾向にあることがわかった。しかし、この傾向は観光施設情報の詳細さにも依存するため、すべての観光情報サービスに当てはまるとはいえないものと思われる。

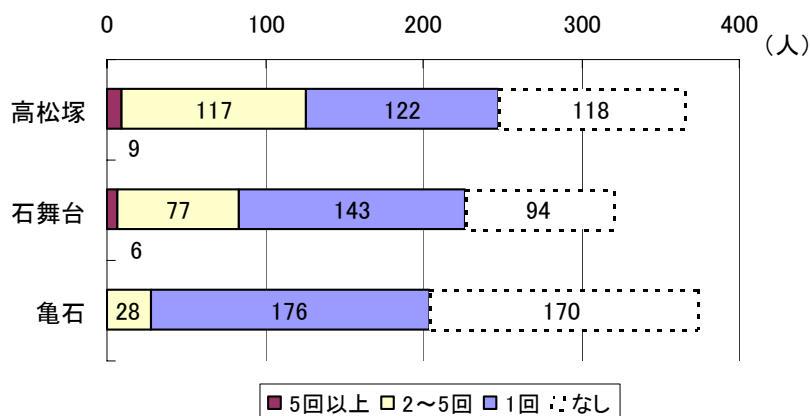


図 4.4-20 滞在スポット自体への情報アクセス

つぎに、これら3箇所のスポットから別の施設への情報参照の空間的分布を調べた(図 4.4-21)。この図は円の中心が参照した施設のある場所で、円の大きさがアクセス数を表している。

高松塚で参照される情報は周囲にある観光スポットの情報がほとんどであった。石舞台では訪問客数が正午から増加しているという特徴があることから、食事に関する情報へのアクセスが最も多い。亀石ではすぐ近くにある喫茶店情報へのアクセスがほとんどであった。このように、別の施設への情報アクセスであっても、その情報を参照する場所により情報の内容やその回数が異なることが判明した。

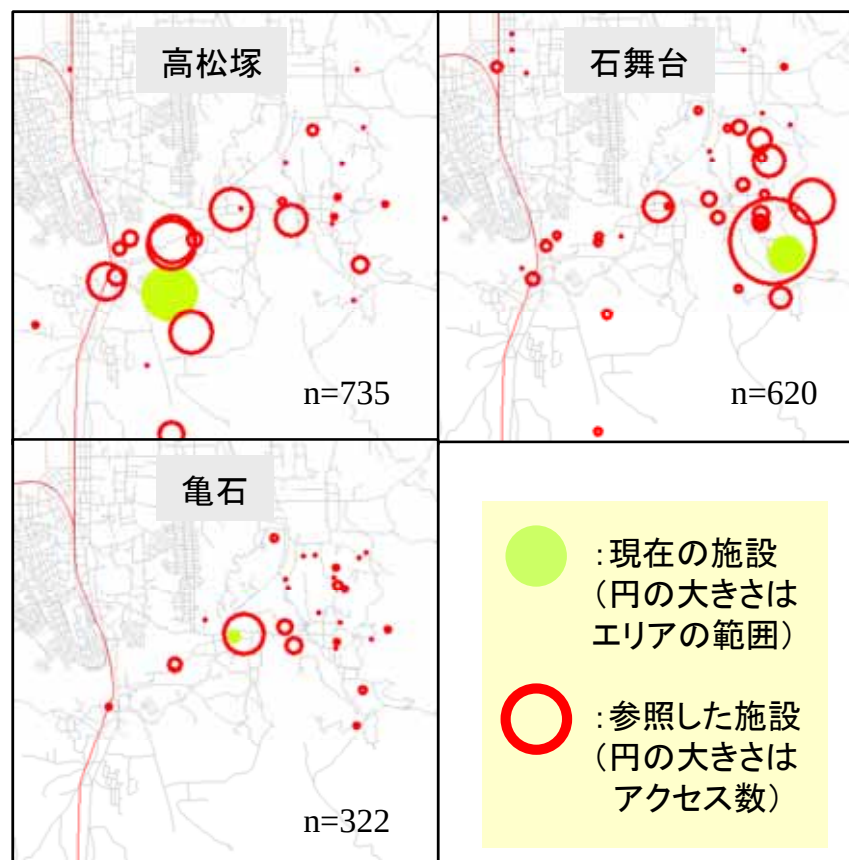


図 4.4-21 他のスポット情報へのアクセス状況

4.4.4. 本節のまとめ

本節では、飛鳥ナビの移動ログデータと情報操作ログデータをもとに、情報内容とその情報へのアクセス状況について分析を行った。その結果、参照している場所や参照時刻によりアクセスする情報に特徴が表れることがわかった。これらの分析結果は、観光地などの情報提供システム開発や提供する情報作成において有効なものであるといえる。例えば、飲食に関する情報提供では、観光客の現在地や現時刻、経過時間などの状態を考慮して、動的に提供する情報を変更することで、観光客のニーズにあった情報が提供可能となる。観光スポットに関しては、施設の規模や関連施設といった条件から最適な案内情報を提供することで集客力が上がることが期待できる。本研究の分析結果は、そのような情報提供のタイミング等に関する基礎データとして有用な知見が得られるものであると考えられる。

4.5. 観光計画と実行動の変化と広域周遊型観光行動の類型化に関する研究

4.5.1. はじめに

地方都市の経済的停滞が問題となる中で、近年、観光への期待が高まっており、さまざまな研究がなされている。例えば藤原ら^[26]の研究では、中国・四国・九州地方を対象として交通サービス水準が観光行動に与える影響を分析しているが、1県が1ゾーンという非常に大きなくくりとなっている。また、品川ら^[27]の研究では行動特性に基づいて観光周遊行動を分類化し、観光周遊再現シミュレーションを提案し、特定の状況下での再現性を確認している。ただし、こういった研究の多くはアンケートをベースとした調査であるため、個人の詳細な行動を把握するまでには至っていない。言うまでもなく観光は非日常的な行動であるため、想起に基づくアンケートでは被験者の回答にも限界がある。例えば、見知らぬ土地での旅行では、移動した経路や移動時間を明確に把握することは非常に困難である。特に、楽しむことを目的として旅行をしているため、インパクトのあった体験だけしか印象に残っていないということも珍しくない。それでは、あまり印象に残らなかった体験や旅行者がそれほど意識していない行動を把握することは難しく、旅行全体を通じた観光行動分析を行うにはこれらについても漏らすことなく把握することが重要であるといえる。

その一方で、PHSやGPSなどの位置を特定できるデバイスを用いて、移動軌跡データを取得し、その位置データをもとに、滞在地点や滞在時間や移動経路といったトリップ情報を取得する研究^[2]がなされている。特に、ヒトを対象として、その位置データを元にその行動を把握する調査はプローブパーソン調査^[28]と呼ばれている。近年では、GPS携帯電話とインターネットを用いて、個人の移動軌跡のデータだけでなく、移動軌跡では判別が難しい移動手段や移動目的といったトリップの詳細な情報を収集することが可能となっている。このプローブパーソン調査により取得可能なデータを以下にまとめる（ただし、これらすべてが必ず取得可能とは限らない）。

- ・ 位置データ（移動軌跡）
- ・ 出発／到着地点（施設等）
- ・ 出発／到着時刻
- ・ 移動／滞在時間
- ・ 移動目的
- ・ 移動手段
- ・ 移動経路
- ・ 移動距離

このプローブパーソン調査を広域的な観光調査に適用するメリットは、まず、モニターに大きな負担を課すことなく自動的に位置データが取得できることである。さらに、その得られた位置データをもとに、モニターに質問することなく、上記に示した分析に必要な情報を取得することが可能であることも挙げられる。

こうした背景を踏まえ、本研究で行った調査では、従来のプローブパーソン調査に加え、写真や音声、さらにレシートによる出費額の把握といった、より詳細な行動データを収集するシステムを開発し、四国における観光行動データの収集調査を行った。この調査は①観光前の計画立案

調査、②観光中の行動調査（プローブパーソン調査、購買・行動調査等）、③観光後のグループインタビュー調査から成り立っている。この調査の目的は観光行動の詳細なデータを取得するだけでなく、高速道路やサービスエリアやパーキングエリア（以下、SA・PA とする）の利用実態を把握することにある。さらに、観光客の金銭的支出を調べ、道路や施設のサービスレベルとあわせて、顕在化した観光行動の背景にある様々な選択行動を構造的に把握することを目的としている。本研究では、プローブパーソン調査で得られるデータをベースとして、観光トリップの特性分析を行い、さらにグループ単位で旅行パターンの分類を行い、その特性を分析することを目的とする。とくに、SA・PA の利用に着目して詳細に分析していく。

4.5.2. 調査の概要

調査全体の概要を表 4.5-1 に示す。モニターの募集は、インターネットでモニター募集ページを開設したり、京都市内のインターネット接続サービスのメーリングリストなどを通じて一般募集した。その結果 20 グループ（全 55 名）のモニターの協力を得ることができた。それぞれのグループは関西在住者で、四国までの交通機関は特に制約を設けず、四国内は高速道路などの道路利用状況を把握するために可能なかぎり自動車で移動してもらった。

表 4.5-1 四国観光調査の概要

調査期間	: 2005年2月～2005年5月
観光場所	: 四国内
参加グループ数	: 20グループ(全55名)
調査内容	: ①事前調査(観光計画立案調査) ②事中調査(観光中の行動調査) ③事後調査(グループインタビュー調査)

モニターの属性は、図 4.5-1 に示すように家族や友人などの 2～4 名程度のグループである。

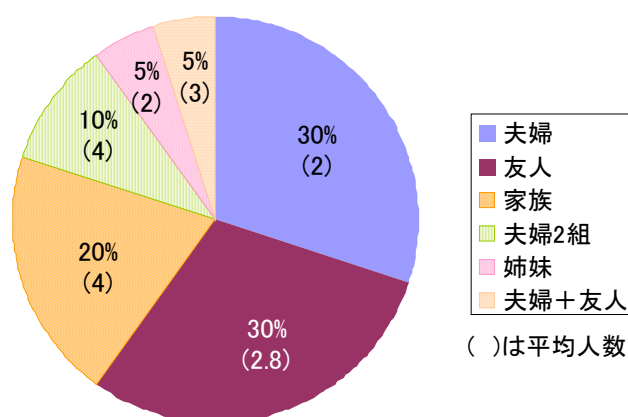


図 4.5-1 モニターのグループ属性

本調査は事前、事中、事後の3種類の調査から成り立っている。それぞれの調査の詳細を以下に示す。

①観光前の計画立案調査

観光に出発するまでに、旅行計画の立案に関する調査票を記入し、郵送してもらった。質問の内容は、観光スケジュール計画、予定経路、訪問予定施設の決定順番、旅行全体の予算、計画時に利用した資料などである。

②観光中の行動調査

観光中は、モニターの行動を詳細に把握するために、移動中はGPS携帯電話により移動データを記録してもらった。また、移動や滞在に関係なく携帯電話に搭載しているカメラで訪問施設や購入物などの写真撮影とボイスレコーダーによって観光時の感想を録音してもらった。さらに、食事や購入物などの出費に関する情報を得るために、レシートを保管してもらった。観光は非日常的な交通行動であるため、アンケートデータでは詳細で正確な移動経路の取得が困難であるが、プローブパーソン調査では移動軌跡がほぼ正確に取得することができる。実際に取得できた位置データの例を図4.5-2に示す。

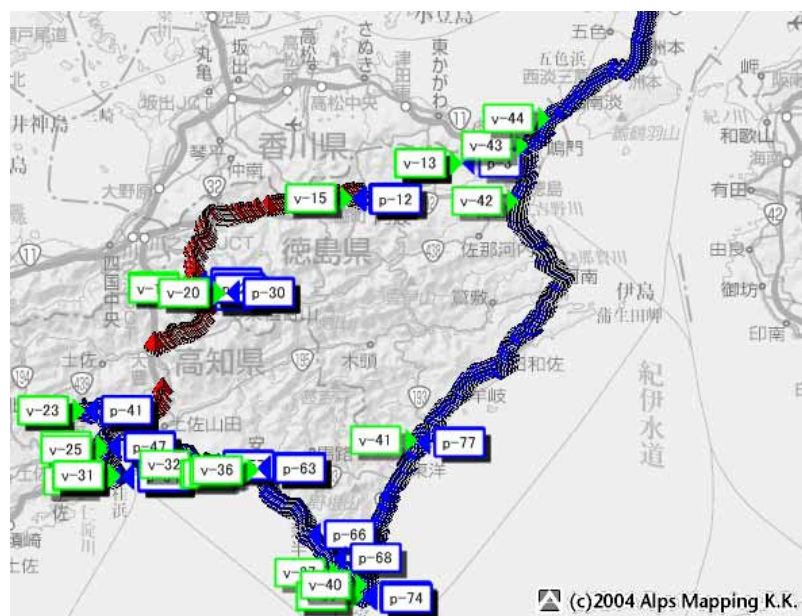


図 4.5-2 観光中のデータ取得例 (p：写真，v：音声)

③観光後のグループインタビュー調査

観光終了後の1～2週間の間に、グループ毎の旅行同伴者全員でグループインタビュー調査を行った。ここでは、旅行の事前計画書や実際の旅行データを元に、施設訪問の理由、経路選択の理由、予定変更の理由、購入物の内容の確認、食事や観光の感想などの質問を行った。

本研究では、一般的なプローブパーソン調査で得られるデータ（トリップ情報とその位置情報）をベースとして、観光トリップの特性分析を行い、さらにグループ単位で旅行パターンの分類を

行うことを目的とするため、上記の調査で得られたデータの内、主に観光中の位置データをもとに分析を進めた。ここで、今回の調査で用いた調査システムでは、旅行中の位置データや出費の情報などが自動的にトリップ単位に分割されているわけではないため、あらかじめトリップの情報を整理した。移動中の位置データにより出発／到着の場所と時刻が正確に取得でき、それにより移動距離や移動時間、滞在時間などのトリップ情報が作成できる。また、レシートとインタビュー調査より、出発／到着施設や移動目的、移動手段、消費金額などがそれぞれのトリップ毎に作成できた。

ただし、位置データについては、携帯電話のバッテリー切れやモニターの操作忘れなどにより、全トリップ数の内、11%程度のデータ欠損が発生した。その欠損区間については、事後調査のインタビューで訪問施設や利用経路を尋ねることでデータを補完した。なお、実態調査で収集したデータのうち、以下の分析に使用するのは位置データである。写真、音声データは本研究の分析には使用しない。

4.5.3. トリップベースの観光行動分析

ここでは、全モニターの旅行データをトリップ単位で取り扱うことで、観光トリップの特徴について分析を行った。

まず、旅行計画時の予定トリップ数と実際のトリップ数についてまとめたものを図 4.5-3 に示す。モニターごとの事前の予定トリップ数の平均は 9.7 回であるのに対し、実際のトリップ数は平均 18.6 回であり、約 1.9 倍である。この図に示すように、すべてのモニターが予定していたよりも、実際には多くトリップを行っていることがわかる。

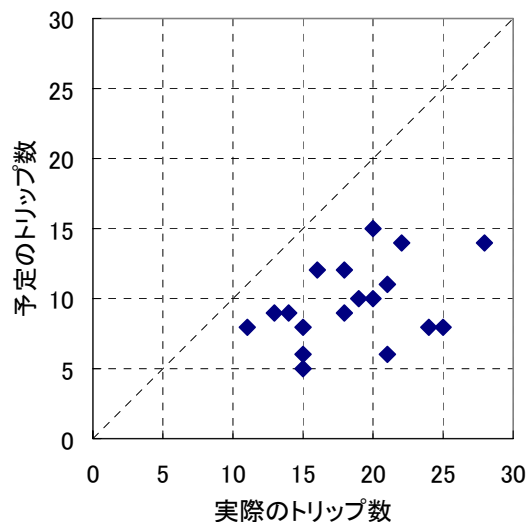


図 4.5-3 モニター別の予定と実際のトリップ数分布

この段階では、コンビニ立ち寄り、SA・PA 立ち寄り、ガソリンスタンド給油といった観光とは直接関係ないトリップが含まれている。そこでこれらを除いたトリップについて、予定と実際

のトリップ数の関係を調べた。モニター合計でみると、観光と関係のないトリップを含むトリップ数は 335 トリップであったが、観光に直接関係のないトリップを除くと 189 トリップとなる。

表 4.5-2 に示すように、予定していて実際には訪問を中止したトリップよりも、元々予定にはなかったトリップを行う数の方が多く、その割合は実際に訪問したトリップ数の約 43% (81/189) にも当たることが分かった。

表 4.5-2 予定と実際のトリップ数の関係

	訪問あり	訪問なし
予定あり	108	28
予定なし	81	

そこで、訪問中止トリップと予定外トリップについて、訪問先についての特徴を調べた。それぞれの訪問先を整理したものを表 4.5-3 に示す。予定外の訪問では、道の駅・お土産屋・食事処など、観光先で見つけた食事や買い物ができる施設によく立ち寄っていた。GPS 軌跡とグループインタビューの結果から、特に香川県を中心に訪問していたほとんどのモニターは、讃岐うどん屋めぐりを行っており、地元でも新たなお店の情報を入手し、予定より多くのうどん屋を訪問していたことがわかった。他には、移動中に別の観光地の看板などを見つけて、ついでにその観光スポットへ立ち寄るといった、観光行動ならではの行動も多く見られた。

インタビューの結果、訪問を中止した施設では、観光地そのものが多く、思っていたより距離が遠く時間がかかるため訪問を取りやめたり、身体の疲れからやむなく中止したという理由であった。また訪問中止でもうどん屋が含まれるが、これは実際には訪れようとしたが定休日であったり、店の場所が分からず断念したという理由であった。そのため別の店を探すことになり、予定外の訪問としてうどん屋が多くなったことにもつながった。

表 4.5-3 予定外訪問と訪問中止の主な施設

予定外訪問	訪問数
移動経路沿いの小観光地	20
食事処(地元名産、うどん屋めぐり)	16
お土産屋、商店街	14
道の駅、ドライブイン	13
有名観光地近くの施設や体験コーナー	9
お寺	2
訪問中止	訪問数
食事処(特にうどん屋多数)	10
観光地(金刀比羅宮、足摺岬等)	5
道の駅	3

観光における自動車の移動では長距離の移動が比較的多く、安全の面からも適度に休憩をとる必要がある。ここでは、高速道路利用のトリップに着目し、トリップ途中で休憩のために SA・PA を利用したトリップについて、移動距離と移動時間の点から分析を行った。分析対象とする

トリップ数は 62 トリップであり、平均トリップ長は 87.5km、平均トリップ時間は 67 分である。なお、車利用の全トリップ（高速道路、一般道路ともに含む）では、平均トリップ長は 40.1km、平均トリップ時間は 46 分である。また、1 モニターあたりの高速道路利用距離は平均 536.1km で、その移動時間は平均 513 分であった。

図 4.5-4 に SA・PA を利用したトリップのトリップ長とトリップ時間の分布をモニター属性毎に示す。この結果から、距離に着目すると 70～120km の範囲で、時間に着目すると 45～75 分の範囲でよく休憩されていることがわかる。またモニター属性別に見ると友人同士のグループ（いずれも 20 歳代）が比較的短い距離・時間で休憩していることが分かる。

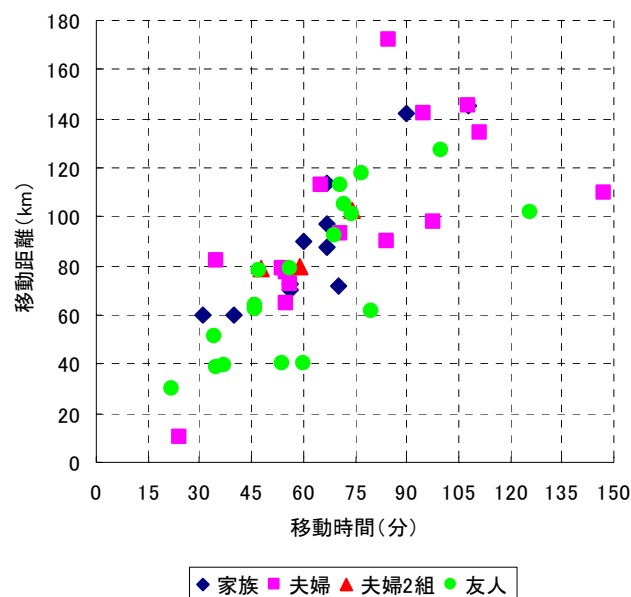


図 4.5-4 休憩目的での SA・PA 利用状況

4.5.4. グループの観光パターン分類

四国の観光といっても、その楽しみ方はグループによって多種多様である。異なる地域の施設をいくつか訪れる周遊タイプの観光を行うグループや、ある一定の地域にある施設を集中的に訪れるグループなど、それぞれの観光パターンで、時間やお金の使い方などの観光行動に違いが現れるはずである。そこで、観光行動の特徴についての分析を行うにあたり、本調査のモニターグループをいくつかの観光パターンに分類することとした。

パターンの分類にはクラスター分析を用いた。分類に用いるデータとして、以下に示すデータをモニターグループ別に整理した。

- ・ 一日当たりの平均トリップ数
- ・ 総移動距離
- ・ 平均移動距離
- ・ 移動距離の標準偏差

- ・ 平均滞在時間（ただし、宿泊時間を除く）
- ・ 滞在時間の標準偏差
- ・ 移動時間率（総移動時間／総観光時間）

クラスタリングに用いたこれらのデータはプローブパーソン調査により得られたものである。位置データを元に距離や時間に関してより正確な値を求めることができるようになり、この分析が可能となった。ただし、位置データの欠損があった一部の区間については、インタビュー調査で尋ねた経路や時刻を元に欠損を補完した。

個体間の非類似度（距離）の測定にはユークリッド平方距離を用い、クラスター間の距離の計算には最も明確なクラスターを作るとされるウォード法を用いた。クラスター分析を行った結果より、デンドログラム（樹状図）を表現したものを図 4.5-5 に示す。

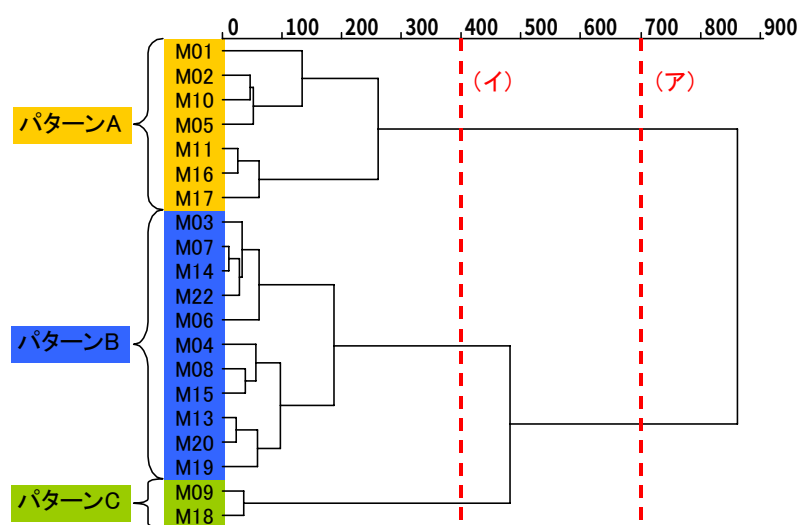


図 4.5-5 クラスタ分析結果のデンドログラム

まず、デンドログラムより図中の（ア）の距離でクラス分けを行うと 2 種類の観光パターンに分類することができる。しかし、図の下方にある M09 と M18 のクラス（パターン C と表示）は、その上部にあるクラス（パターン B と表示）と同じクラスになるまでにある程度の距離を有している。この結果より、このパターン C はパターン B とは異なる何か特別な特徴を持っているものと考えられる。そこで、本分析では（イ）の距離でクラスを分け、大きく 3 パターン（A～C）に分類して、モニター属性やトリップ情報などの個別の視点から 3 つの観光パターンの傾向を把握し、それぞれの観光行動分析を行うこととした。

以下に、モニター属性やトリップ情報などの個別の視点から 3 つの観光パターンの傾向を把握し、それらを整理してパターンの特徴を総合的に分析する。

まず、図 4.5-6 に示すパターン毎のグループ属性を見ると、パターン A には夫婦二人のモニターが存在しなかった。パターン B には友人のグループが多く、また様々なグループ属性が含まれていた。

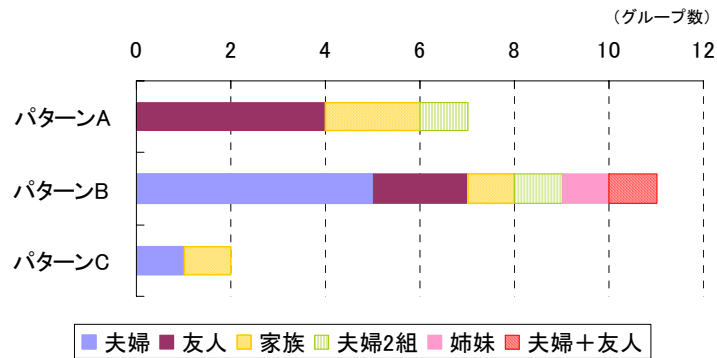


図 4.5-6 観光パターン別のグループ属性

次に、パターン毎の旅行日程を見ると、パターン A は全て 1 泊 2 日のモニターであった。逆に、パターン C は全て 2 泊 3 日のモニターであったが、パターン B はそれぞれが半数ずつであった。

続いて、パターン別の四国内の訪問県について県別にまとめたものを図 4.5-7 に、県数別にまとめたものを図 4.5-8 に示す。図 4.5-7 より、パターン毎に四国 4 県それぞれを訪問したグループ数をカウントすると、パターン A はモニターの居住地（関西方面）に近い徳島県と香川県しか訪問していなかった。パターン B のグループではどの県も均等に訪問していた。パターン C は 2 グループしかいないにも関わらず、どの県も訪問していた。図 4.5-8 に示す 1 グループ当たりの訪問県数からはパターン A→B→C の順に訪問県数が増える傾向が現れた。

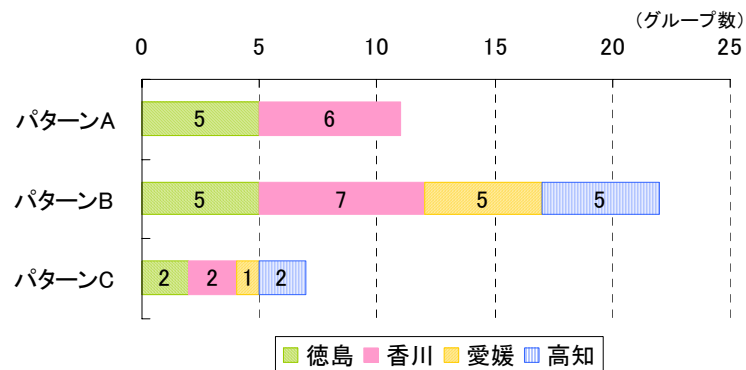


図 4.5-7 観光パターン別の訪問県（四国内）

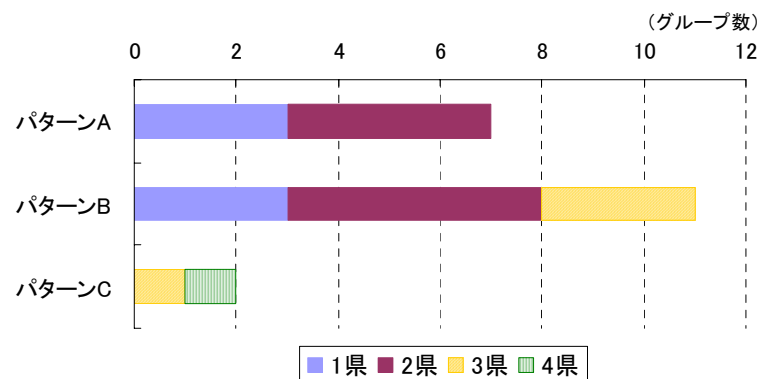


図 4.5-8 観光パターン別の訪問県数（四国内）

また、図 4.5-9 に示す四国内の最長移動距離からは、パターン A は短い移動が多く、パターン B と C はトリップ長が長い移動、つまり施設間の距離が離れているトリップをしている傾向にあると考えられる。

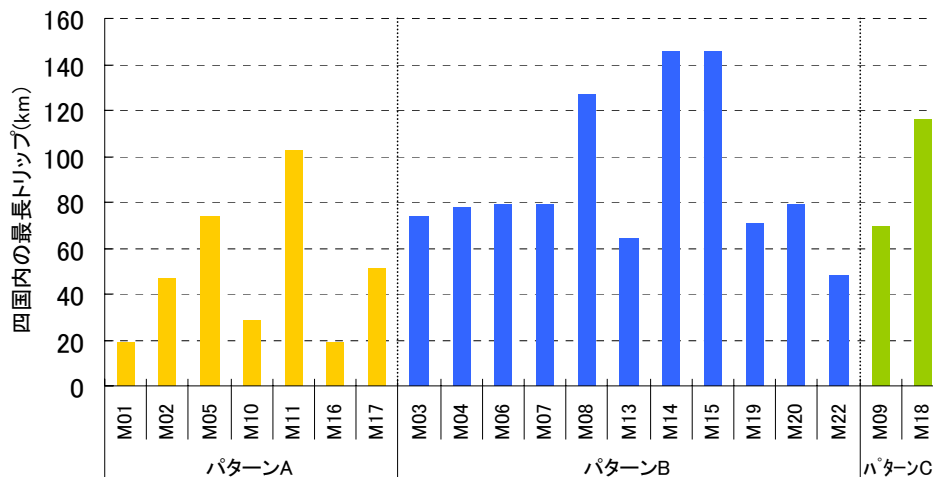


図 4.5-9 観光パターン別の四国内最長移動距離

図 4.5-10 に示す四国での施設滞在の内、最大の滞在時間からは、パターン A とパターン B では、同じ施設で 120 分以上という長時間滞在しているモニターが多く見られた。ただし、パターン A には、同じ施設には最長でも 60 分程度しか滞在しないモニターが半数近くいることが分かった。

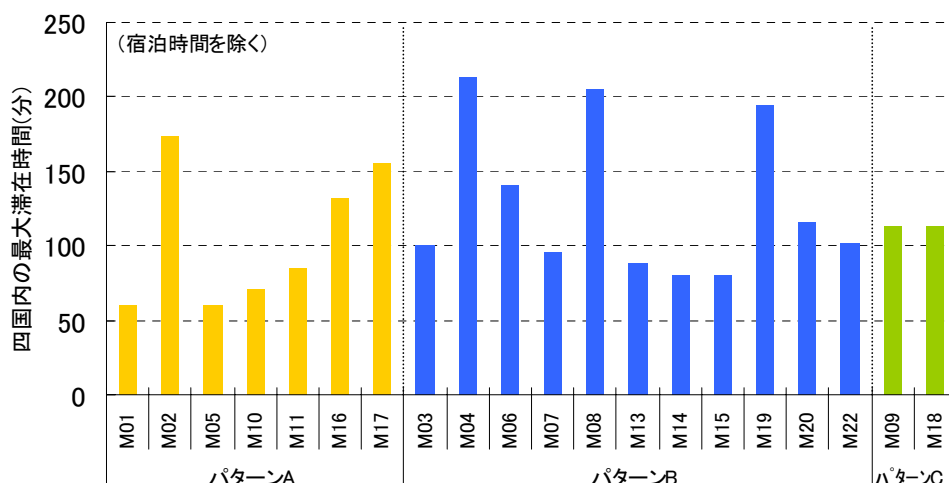


図 4.5-10 観光パターン別の四国内最大滞在時間

以上に示す観光パターンの特徴に加えて、総トリップ数や総移動距離の結果についてもまとめたものを表 4.5-4 に示す。このパターン別の特徴より、パターン A はある地域を短い時間で集中的に観光する「地域満喫型」のモニターの集合であると考えられる。それに比べてパターン B は、長距離の移動が多いため、色々な地域を巡るタイプの観光を行う「回遊型」のモニター集合であると考えられる。パターン C はクラスター分析のデンドログラムが示すようにパターン B に近いクラスである。しかし、その総移動距離や最長トリップが長いことから、広範囲に渡って回遊を行うタイプのモニターの集合であると考えられる。とくにこのパターンのモニターはいずれも、他県に渡って観光を行っていることから、「網羅型」の観光を行う集合であると言えるかもしれない。以下に、各パターンの代表的な移動例を図 4.5-11～図 4.5-13 に示す。

表 4.5-4 観光パターン別の特徴

	パターンA	パターンB	パターンC
モニター属性	夫婦のグループがない	友人のグループが多い	(特徴無し)
日程	全て1泊2日	(特徴無し)	全て2泊3日
訪問県	徳島県と香川県のみ	全ての県	全ての県
訪問県数	1～2県	1～3県	3～4県
総トリップ数	少ない (平均16.5トリップ) (標準偏差4.47)	多い (平均20.5トリップ) (標準偏差5.14)	多い (平均20トリップ) (標準偏差2.00)
総移動距離	短い (平均525.9km) (標準偏差79.27)	普通 (平均771.7km) (標準偏差46.09)	長い (平均1032.0km) (標準偏差8.90)
四国内の最長トリップ	短トリップをするモニターが多い	比較的長距離のトリップをするモニターが多い	比較的長距離のトリップをするモニターが多い
四国内の最大滞在時間	長時間滞在するモニターが存在する その一方で短時間しか滞在しないモニターも多い	長時間滞在するモニターが存在する	(特徴無し)

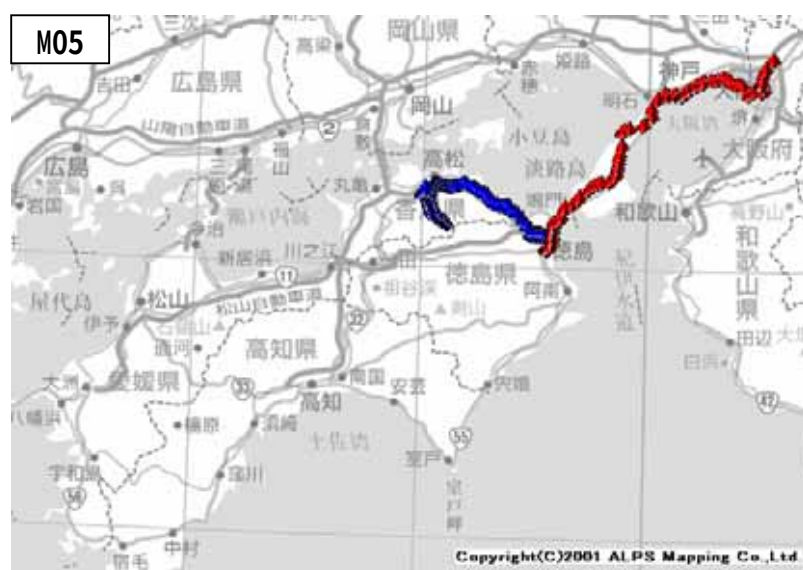


図 4.5-11 地域満喫型の例（パターン A）



図 4.5-12 周遊型の例（パターン B）

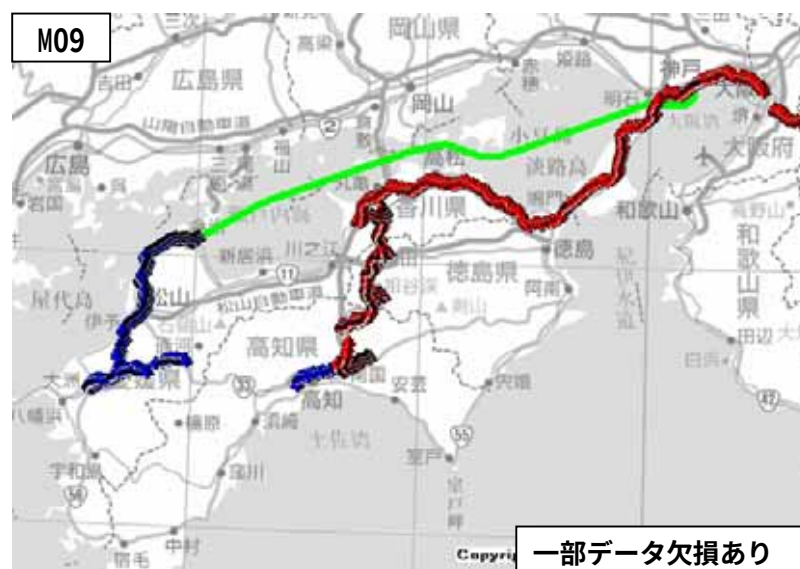


図 4.5-13 網羅型の例（パターン C）

4.5.5. グループの観光パターン別の観光分析

ここでは、分類した観光パターン毎の特徴について、その特徴を知るために、クラスタリングに用いた変数とは異なるデータにより、各グループの特徴を比較する。具体的には、観光における消費行動や高速道路及び SA・PA の利用という観点から分析を行う。

初めに、観光パターン別に高速道路の利用状況について整理を行った。その結果を図 4.5-14 に示す。この結果から、パターン A は目的地まで高速道路でそのまま到達し、その地域で観光・宿泊しているので高速道路の利用率が高く、一般道路の利用率が低くなっている。パターン B は

周遊する地域間の距離が短い場合に一般道路を利用するため、パターン A より是一般道路の利用率が高くなっている。パターン C は本来であれば長距離の移動が多く高速道路の利用率が高くなるはずであるが、四国西部の高速道路が整備されていないため、高速道路の利用率がそれほど高くないという結果となった。

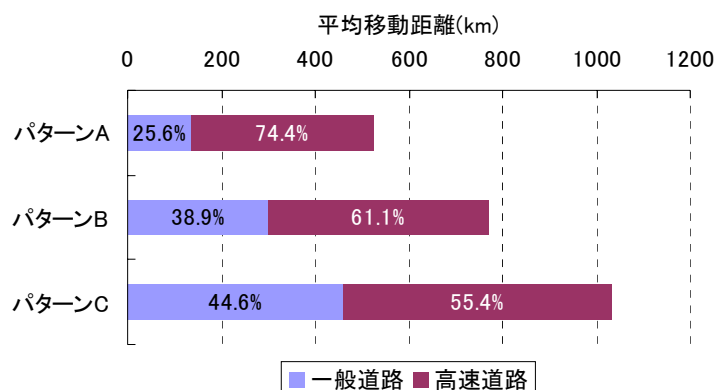


図 4.5-14 観光パターン毎の高速道路利用率

次に、これらの観光パターン別に出費内訳について整理を行った。観光パターン別に算出したモニターの平均出費額の内訳を図-15 に示す。なお、交通費については、提出してもらったレシートをもとに、車で移動の場合は高速道路料金・ガソリン代・駐車場代・レンタカー代を、その他の移動手段の場合は運賃を合計したものとした。まず、パターン B（周遊型）は地域間を周遊するタイプの集まりであるため、交通費が高くなっており、逆に食事にかかるコストが低くなる傾向がみられた。パターン C（網羅型）は総移動距離が長い、高速道路が整備されていない地域を移動しているため、交通費がパターン B に比べて少なくなっている。土産代についてみると、色々な地域のお土産を購入するため、パターン B と C がパターン A の 2～3 倍の額となっている。

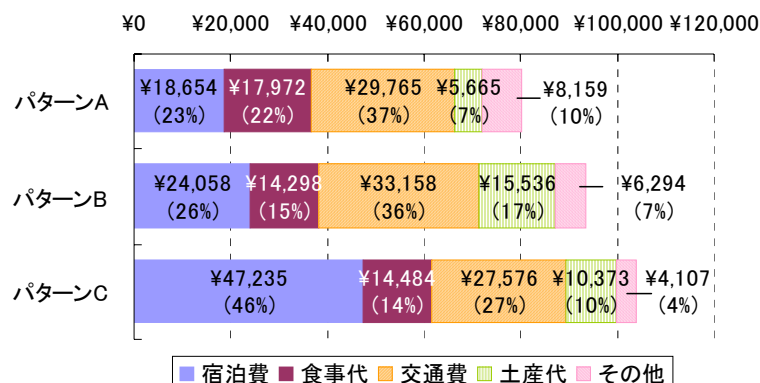


図 4.5-15 観光パターン毎の平均出費額の内訳

最後に、観光パターン別に高速道路の SA・PA での食事と土産の購入について整理を行った。

表 4.5-5 に示す結果の通り、パターン A では、SA・PA での食事はほとんどなく、パターン B と C では、全食事の約 2～3 割が SA・PA で食事をしていた。これは、パターン B と C は長距離の移動が多いため、移動中の高速道路で食事をする回数が増える傾向にあり、逆にパターン A は訪問地で食事を楽しむ傾向にあると思われる。また、土産の購入については、パターン A と C は SA・PA ではほとんど土産物を購入せず、訪問地の土産物屋で購入しているのに対し、パターン B では約 2 割が SA・PA で購入していた。これも移動距離の長さが関係していると考えられるが、パターン C の SA・PA での購入がないのは、高速道路未整備のエリアを観光しているためであると考えられる。

表 4.5-5 観光パターン毎の食事と土産物購入回数

	グループ 数	食事回数※		土産物購入	
		全数	SA・PA利用	全数	SA・PA利用
パターンA	7	31	1	15	2
パターンB	11	45	9	44	10
パターンC	2	11	3	7	0

※) 宿泊地で食事付きのものを除く

4.5.6. 本節のまとめ

本研究では、観光行動分析にプローブパーソン調査を適用することで、移動軌跡や移動時間、滞在時間といった詳細な行動データを取得することができた。さらに、これらの詳細な行動データをもとにクラスター分析を行うことで、従来のアンケート調査では得られなかった実行動に基づく周遊型観光行動の類型結果を得ることができた。

また、従来のプローブパーソン調査の行動データに加えて、レシートやインタビューの結果により観光中のお金や行動の変化を把握することができ、それぞれの観光パターンにおけるお金の支出や高速道路及び SA・PA 利用についての実態を把握することができた。

その特徴は以下のように要約できる。

パターン A：関西方面から近い徳島・香川のある地域を中心に観光する地域満喫型で、高速道路の利用率は高いが、現地で食事やお土産を購入する傾向にあるため、SA・PA 利用は低い。

パターン B：四国内の各地を巡る周遊型で、地域間の距離に応じて一般道路も利用するため、高速道路の利用率はそれほど高くない。ただし、移動距離が長いので移動途中の SA・PA で食事やお土産を購入することが多い。また、各地でお土産を購入するため、その費用も高くなっている。

パターン C：四国内を広範囲に巡る網羅型であるが、高速道路未整備地域も観光するため、高速道路の利用率はそれほど高くない。旅行日程も長くなるため、全体に占める宿泊費の割合が高くなっている。

これらの結果は関西から四国という限られたサンプルによるものではあるが、観光パターン別の特徴が明らかになることにより、利用者グループの行動特性をふまえた利用者サービスの提供や施設配置計画などを議論することが可能となる。

4.6. まとめ

本章では、移動体観測データのうち、人を対象とした位置データについて、その交通行動を分析することを目的として研究を行った。

はじめに、人を対象とした位置特定デバイスの種類とその特徴をまとめ、これらのデバイスを使用して、人を対象とした行動調査調査の事例の整理を行った。続いて、位置データを取得した3種類の調査について、イベントにおける交通行動、観光行動時における観光情報参照行動、観光計画と実行動の変化と広域周遊型観光行動、のそれぞれを分析した。

イベントにおける交通行動では、移動体の位置データを観測できる PEAMON (offline-PHS) と簡易アンテナである Power-Antenna (PA) を用いて、PA の基地局 ID (CSID) を利用したモニタリングシステムを提案した。このシステムでは、PHS の位置特定システムにより位置データをベースとした分析が可能となるだけでなく、PA の CSID を解析することで、被験者だけに限られるが、定点観測の様なデータ取得も可能であるという特徴を持っている。このモニタリングシステムの検証として、サッカー観戦時の被験者の交通行動について、広域と狭域という二つの視点から分析を行った。広域での分析では、札幌市内を 1km 四方のメッシュに分割し、そのメッシュの滞在人数を調べることで、被験者のイベント前とイベント後の行動を把握することができた。狭域での分析では、PA の CSID を解析することで、従来観測が困難であったイベント中の会場内や会場周辺での被験者の行動を詳細に把握することができた。

観光行動時における観光情報参照行動では、飛鳥ナビの移動ログデータと情報操作ログデータをもとに、情報内容とその情報へのアクセス状況について分析を行った。その結果、参照している場所や参照時刻によりアクセスする情報に特徴が表れることがわかった。これらの分析結果は、観光地などの情報提供システム開発や提供する情報作成において有効なものであるといえる。例えば、飲食に関する情報提供では、観光客の現在地や現時刻、経過時間などの状態を考慮して、動的に提供する情報を変更することで、観光客のニーズにあった情報が提供可能となる。観光スポットに関しては、施設の規模や関連施設といった条件から最適な案内情報を提供することで集客力が上がることが期待できる。本研究の分析結果は、そのような情報提供のタイミング等に関する基礎データとして有用な知見が得られるものであると考えられる。

観光計画と実行動の変化と広域周遊型観光行動では、観光行動分析にプローブパーソン調査を適用することで、移動軌跡や移動時間、滞在時間といった詳細な行動データを取得することができた。さらに、これらの詳細な行動データをもとにクラスター分析を行うことで、従来のアンケート調査では得られなかった実行動に基づく周遊型観光行動の類型結果を得ることができた。また、従来のプローブパーソン調査の行動データに加えて、レシートやインタビューの結果により観光中の出費や行動の変化を把握することができ、それぞれの観光パターンにおける出費や高速道路及び SA・PA 利用についての実態を把握することができた。これらの結果は関西から四国という限られたサンプルによるものではあるが、観光パターン別の特徴が明らかになることにより、利用者グループの行動特性をふまえた利用者サービスの提供や施設配置計画などを議論することが可能となる。

<第4章の参考文献>

- [1] 新階寛恭, 田宮佳代子: 新技術を活用した交通実態調査の新展開, 交通工学, Vol.34 増刊号, pp.23-28, 1999
- [2] 朝倉康夫, 羽藤英二, 大藤武彦, 田名部淳: PHS による位置情報を用いた交通行動調査手法, 土木学会論文集 No.653 / IV-48, pp.95-104, 2000
- [3] Sony 製 GPS ホームページ(<http://www.sony.jp/products/Consumer/PCOM/Software/PCQ-GPS3S/>)
- [4] GARMIN 社ホームページ(<http://www.garmin.com/>)
- [5] AU ホームページ(<http://www.au.kddi.com/>)
- [6] 羽藤英二, 小島英史, 横田幸哉: BCALs を用いた行動文脈の推定, 土木計画学研究・講演集 Vol.31, CD-ROM, 2005
- [7] 岡本篤樹, 鈴木明宏, 李竜煥, 田名部淳, 朝倉康夫: PEAMON(PERsonal Activity MONitor) の開発と機能実験, 土木計画学研究・講演集 23(1), pp.659-662, 2000
- [8] e-TSU Project ホームページ: PEAMON, <http://www.e-tsu.org/index2a-1.html>
- [9] Atsuki OKAMOTO, Yasuo ASAKURA, Akihiro SUZUKI, Yong Hwan LEE, Katsutoshi SUGINO: Monitoring Personal Travel Behaviour using a Cellular Phone System with Power Antennas and CSID Analysis, The 8th ITS World Congress in Sydney, CD-ROM, 2001
- [10] 岡本篤樹, 近藤勝直, 朝倉康夫, 田名部淳: 狭域調査における PHS システムによる位置特定機能の利用可能性について, 土木計画学研究・講演集 Vol.24, CD-ROM, 2001
- [11] 森下康之, 杉野勝敏, 田名部淳, 内田敬: 歩行者ナビゲーション (HIT ナビ) システムの誘導成績評価, 第 23 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.193 - 196, 2003
- [12] 大森宣暁, 室町泰徳, 原田昇, 太田勝敏: 交通行動調査への GPS の適用可能性に関する研究, 第 18 回交通工学研究会発表会論文報告集, pp.5-8, 1998
- [13] Yasuo Asakura, Eiji Hato, Yosuke Nishibe, Takehiko Daito, Jun Tanabe, Hiroaki Koshima: Monitoring Travel Behavior Using PHS Based Location Positioning Service System, The 6th ITS World Congress in Toronto, CD-ROM, 1999
- [14] 羽藤英二, 朝倉康夫: 時空間アクティビティデータの収集のための移動体通信システムの有効性に関する基礎的研究, 交通工学, Vol.35, No.5, pp.19-27, 2000
- [15] 羽藤英二, 朝倉康夫, 喜村祐二: 移動体通信システムを用いた大規模イベント時の交通行動分析, 土木計画学研究・講演集 22(1), pp.409-412, 1999
- [16] 国土交通省近畿地方整備局ホームページ内(<http://www.kkr.mlit.go.jp/nara/asuka/index.html>)
- [17] 内田敬: 中心市街地での歩行者ナビゲーションシステムー御堂筋の事例, 第 2 回 ITS シンポジウム, S3-4, pp.53 - 58, 2003
- [18] Yasuo ASAKURA, Takamasa IRYO, Masatoshi SHIMADA, Katsutoshi SUGINO: Tracking Individual Travel Behaviour Using Mobile Phone Without Locational Data Of

Base Stations. The 11th ITS World Congress in Nagoya, CD-ROM, 2004

- [19] 三谷卓摩, 羽藤英二:被験者回答フローに着目したプローブパーソン調査システムの有効性, 土木計画学研究・講演集 Vol.30, CD-ROM, 2004
- [20] 田名部淳, 丹下真啓:プローブパーソン調査の展開と今後の展望, 土木計画学研究・講演集 Vol.33, CD-ROM, 2006
- [21] 羽藤英二, 出水浩介, 山本恭二, 内海泰輔:CO₂ 排出削減のための交通環境ポイントシステムの実装と評価, 土木計画学研究・講演集Vol.32, CD-ROM, 2005
- [22] 眞浦靖久, 塚田幸広, 井坪慎二:PP データによる TX 開通に伴う交通行動への影響に関する基礎的分析, 土木計画学研究・講演集 Vol.33, CD-ROM, 2006
- [23] 大森宣暁, 原田昇, 太田勝敏:活動プログラム実行時の情報利用・活動パターン分析, 土木計画学研究・論文集 19, No.3, pp.423-431, 2002
- [24] 内田敬, 金田倫子, 朝倉康夫, 吉田長裕, 日野泰雄:行動軌跡データに基づく回遊対象施設範囲の画定に関する研究, 土木計画学研究・講演集 Vol.28, CD-ROM, 2003
- [25] 朝倉康夫, 井料隆雅, 本郷達也, 内田敬:観光客の位置と情報アクセスログデータを用いた周遊行動の分析, 土木計画学研究・講演集 Vol.28, CD-ROM, 2003
- [26] 藤原章正, 張峻屹, 讃良純一:中国・四国・九州地方における広域観光行動分析, 土木計画学研究・講演集 Vol.30, CD-ROM, 2004
- [27] 品川円宏, 佐々木邦明, 西井和夫:都市型観光周遊行動パターンの類型化とシミュレーション評価への適用, 土木学会年次学術講演会講演概要集第 4 部 Vol.58, CD-ROM, 2003
- [28] 羽藤英二:モデルとデータ プローブパーソン調査の課題と今後, 土木計画学研究・講演集 Vol.27 CD-ROM, 2003

第5章 移動体位置データと定点観測データを活用したシミュレーション

5.1. はじめに

5.1.1. 研究の背景と目的

これまでの章で紹介してきたように、高度な情報・通信技術を応用した交通行動データ収集手法の開発に関心が集まっている。とくに移動体通信の位置特定機能を利用した人の交通行動の観測には、GPS (Global Positioning System)、PHS (Personal Handy-phone System)、電波タグなど、さまざまな携帯機器の利用可能性が検討されている。

観測された個々の移動体の位置は、一般には3次元空間(時刻と平面座標)の点列で表される。これは、行動観測システムの構成や携帯機器の種類によらないし、観測対象となる移動体の属性(人でも車でも)同じである。ただし、3次元空間の点列が観測されただけでは交通計画に使えない。そこで、個々の点を移動点と滞在点に判別することによって移動体データからトリップデータを抽出したり、そのトリップの経路を特定することが必要となり、そのためのアルゴリズムも開発されている^[1]。

また、人の空間移動を記述するために、2次元平面を複数のブロックに分割し、移動体観測データを用いてより直接的にブロック間の移動をモデル化しようとする試みも行われている。具体的には、ブロック間の推移行列を移動体データから求め、マルコフ連鎖モデルを適用しようとするものである^[2]。この方法では、空間的移動の記述は可能でも、時間要素を持たせることが困難で、せっかく収集した個々の移動体を持つ時間情報が活用できないという問題がある。その他に、交通行動分析の研究領域では、行動モデルを交通政策分析に利用するための方策のひとつとして、マイクロシミュレーションモデルの研究開発が進められている。たとえば、生活行動シミュレータ(PCATS)では、個人の逐次意思決定過程を仮定することにより、対象地域のすべての個人の1日の生活パターン全体を再現することを狙っている^[3]。意思決定過程の仮説の妥当性と、ミクロなモデル化に使われる交通行動データの信頼性がマイクロシミュレーションによる交通政策評価の有用性を左右するように思われる。

その一方で、車両検知器などに代表される定点観測による車両の計測データも、地点の交通量だけでなく、地点間の所要時間算出など実務レベルでも様々な利用がなされている^[4]。ただし、定点観測でも特に人を対象とした全数調査としては、マニュアルカウントや自動改札機による調査などに限られており、それらの調査では個人の属性や周囲の状況による歩行速度の変化などを把握することは困難であり、より深みのある分析を行うことができなかった。しかし、近年の高度な技術開発により、定点観測の分野でも人を対象とした様々な観測データが入手可能となってきた。例えば、鈴木ら^[5]の研究では、ビデオ画像解析により自動的に歩行者の挙動データを取得する可能性を示唆しており、日比野ら^[6]の研究によって、実際にビデオ画像の解析をもとに人の流動を判別できることが報告されている。さらに、北澤ら^[7]による研究では、レーザーセンサにより人の位置データを連続的かつ面的に取得できることが報告されている。これらの新しい計測手法により、これまで取得が困難とされてきた人の流動が把握できれば、新たな交通行動の

分析や研究が可能となるといえる。

このような背景により、本研究の目的は、人の交通行動に着目し、現在容易に取得が可能となったサンプルベースの移動体位置データと、近い将来取得が容易になると思われる全数調査の定点観測データを活用し、対象地域の交通流動を記述するシミュレーションモデルを開発することにある。具体的には、GPS や PHS などの位置特定機能を利用して収集された人を単位とする移動体位置データをサンプルデータとして、その元データより多くの移動体データをクローンとして発生させる。これは、サンプルデータと同様の属性を持つデータを必要な数だけ発生・増殖させる細胞培養器（incubator）の機能を持つシミュレーションモデルである。このとき、個々の移動体の挙動を行動論的にモデル化するのではなく、観測された様々な分布（確率分布）をできるだけそのまま利用することを考える。移動体の観測データだけでは行動モデルを構築するのに必要な情報が得られないこともその理由のひとつであるが、移動体通信によって得られる精緻な時刻と位置情報をできるだけそのまま利用したいということもこのようなアプローチをとる大きな理由である。また、対象地域の地点で定点観測される人の交通量分布をそのまま利用することで、周辺地域の混雑状況を再現し、クローンの交通行動に影響を及ぼすことが可能となるシミュレーションを開発する。

5.1.2. 本章の構成

5.2.では、本研究で開発したシミュレーションモデルの概念を説明する。本モデルは2つのサブシミュレーションモデルから成り立つため、それぞれのモデルを詳細に説明する。5.3では、そのシミュレーションモデルのケーススタディとして、サッカーのワールドカップを想定したシミュレーションを行う。その際、帰宅時の駅誘導やサブイベント開催による出口混雑の緩和といった交通施策を実施した場合の結果について比較を行う。5.4.ではまとめを述べる。

5.2. シミュレーションモデル

5.2.1. シミュレーションモデルの概要

本研究で提案するシミュレーションは、交通流シミュレーションや交通行動シミュレーションなどと呼ばれている交通モデルに基づくシミュレーションとは少し異なり、サンプルとなる元データと同様の属性を持つデータを必要な数だけ増殖させるものである。例えば、移動体の位置データとして得られた 100 人分のサンプルデータを元にして、10,000 人分のクローンを作成するのである。そのために、移動体位置データを時間的・空間的に集計することによって得られる様々な分布（確率分布）をできるだけそのまま利用することを考える。移動体の位置データは、集計単位を時刻と地点のどちらにも設定することができるという特徴を持っている。例えば、特定の時刻に特定の空間領域に存在する移動体の数、一定時間に特定の空間断面を通過する移動体の数、およびそれらの時間変化などの分布を作成することが可能である。この分布を用いて、仮想的に発生させるひとりひとりの個人の行動プロファイルを作成していく。

ここで、この個人行動プロファイル作成時点では、個人の行動は混雑を引き起こさず、逆に混雑によって個人の行動に影響を受けることはないと仮定する。つまり、ここで作成された行動プロファイルは、その個人の一日の行動予定（スケジュール）という意味合いを持つ。この前提をおくことにより、分析に必要な数だけの個人のプロファイルを個別に作成すればよいことになる。

しかし、実際の交通現象を考えると、人が集まることにより混雑は発生し、その混雑により個人の予定は狂ってしまう。その状態をうまく表現できなければ、シミュレーションとしてはまったく意味を成さない。そこで、次のステップとして、作成した個人行動プロファイルを元に交通混雑を再現し、個人の行動に影響を与えるシミュレーションを提案する。交通混雑の再現方法としては、駅や施設、道路などでの定点観測による人の交通量分布を使用することとする。これらのデータは現時点では入手が困難であるが、近い将来比較的容易になると思われる。もし、入手できない場合や入手が困難な地点であっても、その場所にある施設や道路の容量を適宜設定し、サンプルデータの空間分布をベースとして、発生させたクローンの行動に制限を設けることで、時間経過とともに変化する混雑レベルを再現することは可能である。もちろん、シミュレーションを行うエリアの規模にもよるが、必ずしも対象エリアに含まれる全ての施設や道路に対して、定点観測による交通量分布を入手したり、全ての容量設定を行う必要はない。エリアの規模が都市レベルのように大きな場合は、そもそもそのエリアに含まれる施設や道路を全て抽出することは実際には不可能である。シミュレーションによって評価したい事象にあわせて、関連する施設をピックアップし、それらの情報を設定したので十分である。また、シミュレーション結果を正しく解釈するためには、過度の要素をシミュレーションモデルに取り込むのではなく、評価したい事象を明確にし、ターゲットを絞って適切なシミュレーションを行うことが重要である。

そこで、本研究では、大規模イベントにターゲットを絞りシミュレーションを開発することにした。通常、大規模イベント開催時には会場周辺に交通規制が敷かれ、観客の多数が公共機関を利用することから、鉄道利用に着目したシミュレーションを作成することとした。

以上のことから、本研究で提案するシミュレーションモデルは、2 つのサブモデルから成り立つ。一つは、サンプルとなる位置データをもとに必要な人数のクローンを作成し、個人属性やそ

の行動を決定する個人行動シミュレーションである。もう一つは、駅の誘導やダイヤ運行などといった交通施策の条件を自由に変化させて駅の状態を予測する鉄道網シミュレーションである。

5.2.2. 個人行動シミュレーション

ここで考えるシミュレーションモデルは、「サンプルデータと同様の属性を持つデータを必要な数だけ発生させる」ものである。もととなるサンプルデータは移動体の位置データであり、そのデータを時間的・空間的に集計することによって得られる様々な分布（確率分布）をできるだけそのまま利用することで、仮想的な人の行動プロファイルデータを作成する。この個人行動プロファイルの作成では、必ずしも個人の行動のすべてを反映・記述する必要はない。また、「サンプルデータから得られた時間・空間の確率分布を使う」という共通点以外は、プロファイルの作成方法に様々なバリエーションがあっても構わない。以下に示すのは、個人の一日の行動プロファイルを作成する手順として、トリップ連鎖を考慮した場合のプロファイル作成手順の一例である。

-
- (i) サンプルデータの居住地の空間分布から、発生させた個人の居住地を決める。
 - (ii) 第 1 トリップの発生時刻分布と最終トリップの発生時刻分布から、ツアーの発生時刻と終了時刻を決める。また、訪問先の数 n を $n=1$ とする。
 - (iii) 第 n 番目訪問先の空間分布を用いて、 n 番目の訪問先の位置を決める。訪問先までの旅行時間を決める。
 - (iv) 訪問先での滞在時間分布を用いて、滞在時間と次のトリップの出発時刻を決める。
 - (iv) トリップ出発時刻が(ii)で求めたツアー終了時刻以前なら、 $n=n+1$ として(iii)へ。そうでなければ、ツアーを終了して居住地に戻る。
-

元となる位置データのサンプル属性は、それをもとに増殖させるクローンに対して大きな影響を与える。そのため、評価したいシミュレーションの条件と同様のサンプルの確保が難しいときや、元となるサンプル数が少ない場合は、利用できるサンプルデータの特性を十分に理解した上で、そのクローンの作成手順を慎重に決定する必要がある。

本研究では、大規模イベントを想定したため、現実のイベント開催の状況に合わせて、観客は公共交通機関を利用するものとし、鉄道利用に特化したシミュレーションにカスタマイズしたものとした。以下に、本研究で作成した個人行動シミュレーションの手順を示す。

-
- (1) イベントの規模に合わせて、増殖させるクローンの数を決定する。
 - (2) シミュレーション対象エリアの人口分布から、発生させるクローンの居住地を決定する。
 - (3) 鉄道ネットワークデータより、そのクローンの居住地からイベント会場へ移動する場合の最短経路を求め、それにより居住地の最寄り駅と会場の最寄り駅を決定する。ただし、シミュレーションを簡素化するために、イベント前後に買い物や食事といった別目的をもつ派生的なイベントによる立ち寄りや待ち合わせ行動は考慮しないものとする。

- (4) イベント会場到着時間分布や会場退出時間分布をもとに、イベント会場の到着・出発時刻を求める。会場出入口での定点観測による分布が入手できなければ、もとなる移動体位置データの分布を使用する。
- (5) 居住地からイベント会場までの所要時間より、居住地の出発・到着時刻と各駅の利用時刻を求める。

図 5.2-1 に個人行動プロフィール作成時に決定する各施設における時刻の一覧を示す。まず、シミュレーションで想定したイベントの開始時刻 (t_5) とイベント会場到着時間分布より、各クローンが会場に到着する時刻 (t_4) を決定する。次に、居住地と会場までの最短経路利用時の所要時間より、居住地の出発時刻 (t_1)、居住地の最寄り駅の出発時刻 (t_2)、会場最寄り駅の到着時刻 (t_3) を計算する。イベント終了後についても同様の方法で各時刻を決定する。まず、イベントの終了時刻 (t_6) とイベント会場退出時間分布より、各クローンの会場退場時刻 (t_7) を決定する。メインイベントの後にサブイベントが予定されている場合は、それらも考慮した上で会場退出時刻 (t_7) を決定することもできる。続いて駅までの徒歩時間より駅の到着時刻 (t_8) を決定する。この個人行動プロフィール作成時点では、駅への集中による混雑の影響を計算できないため、混雑が無い状態で計算した値とする。そして、鉄道の運行ダイヤより駅の出発時刻 (t_9) を求める。ここでは、イベント開催による臨時運行ダイヤを設けることもできる。また、この時点での駅での待ち時間 ($t_9 - t_8$) は、車両の運行ダイヤによってのみ決定されるが、実際には駅での混雑により出発時刻 (t_9) が遅れるため、駅での待ち時間が変化することとなる。混雑による影響は後述する鉄道網シミュレーションで再現される。

なお、実際にはイベント会場に到着する時間や会場から退出する時間は、イベントの種類だけでなく、その個人属性によっても変化があると思われる。たとえば、若年層であればイベント開始ぎりぎりに到着したり、老年層であれば余裕を持って到着するといった傾向が顕れる可能性がある。もし、もとなるサンプルデータ数が十分確保できたうえで、そのような個人属性による行動変化が顕れた場合は、個人属性別のイベント会場到着時間分布や会場退出時間分布を作成し、クローンの個人属性よりそれらの分布を変化させれば、より実際に近い状況が再現できると思われる。

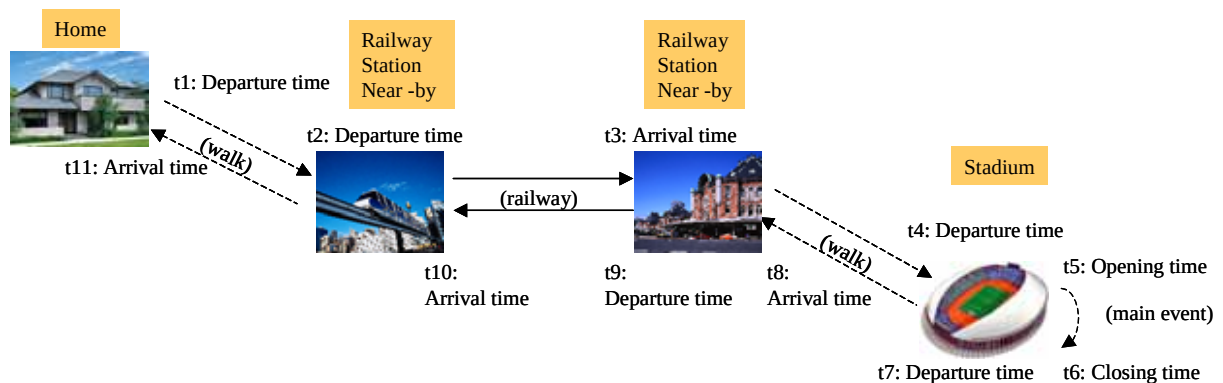


図 5.2-1 個人行動プロフィール作成時の算出時刻一覧

このようにして発生させた個人のプロフィールは、サンプルデータと同様のデータ形式(時刻, 位置情報を必須とし, 必要に応じて移動・滞在などの属性をラベルづけしたもの)を持つ。移動中の点については, ネットワーク上のリンクまたは位置を属性として与える。個人プロフィールデータはサンプルデータと同様に個々の位置データとして GIS 上で管理・表示することもできるし, 必要に応じて時間・空間上で集計することもできる。

5.2.3. 鉄道網シミュレーション

ここで取り扱うシミュレーションは, 鉄道を利用してイベントに参加する観客の移動の状態を表現するものである。また, 定点観測による交通量データや駅の容量設定をもとに, 駅に集中する利用客によって発生する混雑を再現することもでき, さらに, その混雑緩和のための交通施策の効果も計測することも可能である。

このシミュレーションで必要となるインプットデータは, 個人行動プロフィールデータの他に, 鉄道の時刻表データ, 施設(駅)や車両の収容人数といった鉄道に関するデータが必要である。それに加えて, 入手可能であれば自動改札機による交通量変化のデータがあれば, より実際の状況を再現できるといえる。それらをまとめたものが表 5.2-1 である。

表 5.2-1 鉄道網シミュレーションに必要なインプットデータ

データの種類	内容
個人行動データ	乗車駅(アクセス駅) 方面(上り・下り) 会場退場時刻 駅到着予定時刻
時刻表データ	対象路線の通常ダイヤ 臨時便のダイヤ
施設(駅)データ	ホーム収容数 ホームでの待ち人数 駅外での待ち人数
車両データ	車両数 一台当たりの収容数 平常時の平均乗客数 総乗客数
交通量データ	イベント時の改札利用人数

図 5.2-2 に鉄道網シミュレーションのフローチャートを示す。このシミュレーションは, 時刻を考慮したリアルタイムシミュレーションとなっている。ある時刻において, 駅に電車が到着するか, その車両に乗車できるか, ホームに人が入るかなどを逐次判断して, 個人行動や駅の状

態を更新する。ここで取り扱う駅の状態には、プラットフォームの中で電車を待っている待ち人数、プラットフォームに入りきらないときに駅外で待っている人数などの情報があり、一人一人について車両に乗車できた時刻を記録することが出来る。この実際の乗車時刻と個人行動プロファイルデータの乗車（予定）時刻を比較することで、混雑によるロス時間を求めることができる。

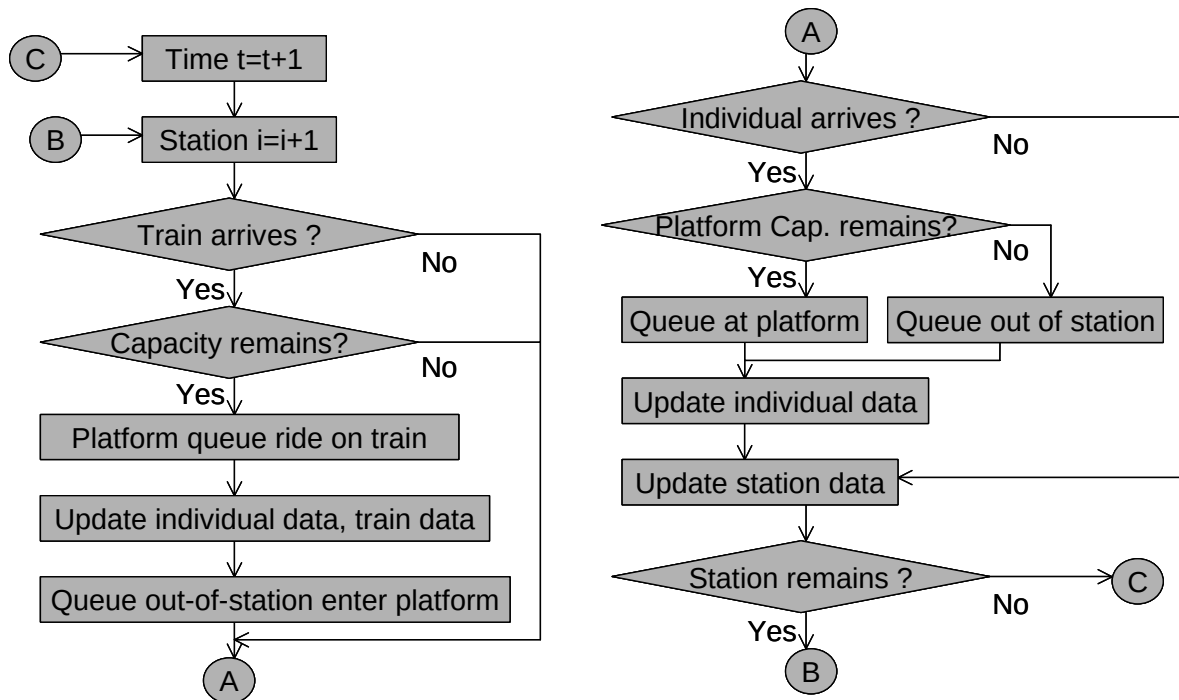


図 5.2-2 鉄道網シミュレーションのフロー

5.2.4. 交通施策の取り扱い

大規模イベント開催時には混雑緩和のための様々な交通施策が実施される。本研究で提案するシミュレーションでは、以下に示すシナリオ a)~c)を独立に組み込むことができ、それぞれの施策の効果を把握することが可能である。

a) 鉄道の運行調整

鉄道の臨時ダイヤ運行や車両数の増強は、鉄道網シミュレーションでコントロールすることができ、それによる効果を計測することができる。

b) 駅誘導

イベント会場から最寄り駅までの移動を誘導することにより、経路上でのスムーズな移動を促し、駅での混雑を緩和させることが可能となる。この方法には、図 5.2-3 の真ん中に示すように、観客の居住地の方向を元に、鉄道路線の下流側の駅へと誘導する方法を取り扱うことが可能である。また他の方法として、図 5.2-3 の右に示すような、観客の座席の位置により会場の出入口に近い駅へと誘導する方法も取り扱うことができる。

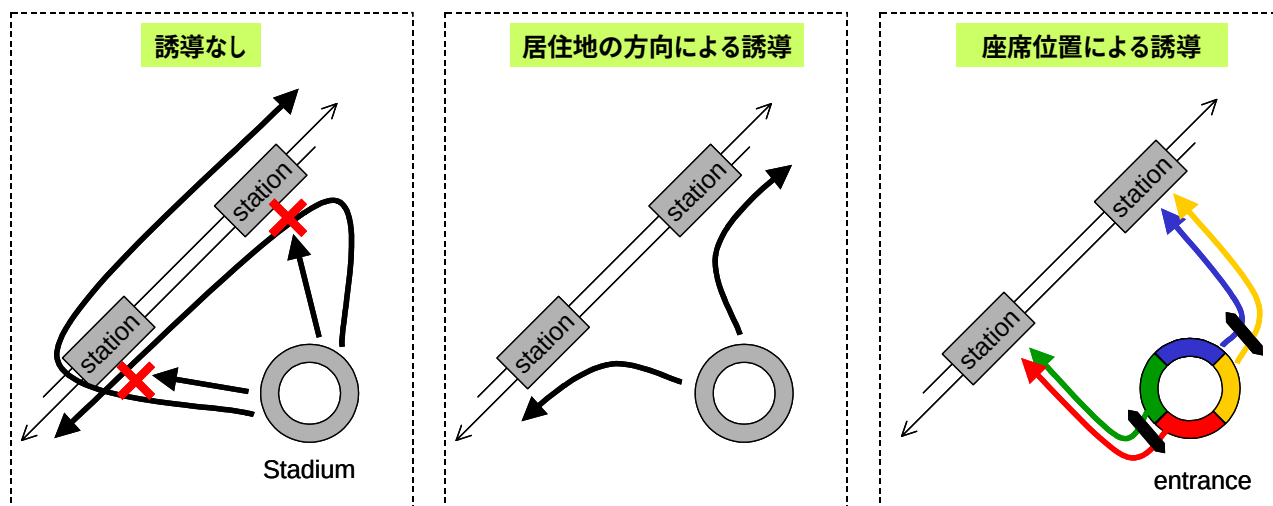


図 5.2-3 駅誘導のイメージ

c) サブイベント実施

メインイベントの終了後に小規模のサブイベントを実施することにより、会場内に観客を残し、会場出口や駅での混雑を分散させることが可能となる。シミュレーションでは、そのサブイベント長さや魅力度により、会場に残る観客の比率を調整することができる。これにより、図に示すように観客の退場時間分布（図 5.2-1 の t7）をシフトすることが可能となる。

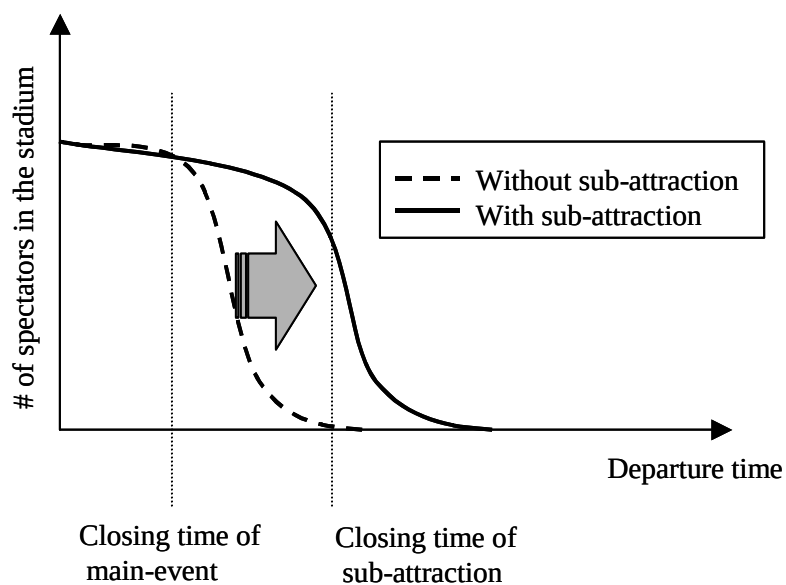


図 5.2-4 退場時間分散のイメージ

5.3. ケーススタディ

5.3.1. シミュレーションの条件

大阪市の長居陸上競技場で行われるサッカーイベントを想定したシミュレーションを行い、試合当日の交通混雑に対する対応策の効果を検討した。シミュレーションの条件を以下に示す。

- ・ イベント開催時間： 15:30-17:30 とした。試合は通常の試合時間とし、延長戦は考慮していない。
- ・ イベント参加人数：長居陸上競技場の最大収容人数である 50,000 人とした。
- ・ 対象エリア：大阪市とその周辺の市町村を対象エリアとし、対象エリア外の交通行動は考慮しないものとする。一般的には、大阪市以外の地域からの参加者も想定されるが、空港や新幹線の駅、あるいはホテルなどを出発地とすれば、全てを大阪市内として取り扱っても問題ないと考えられる。
- ・ サンプルデータ：スタジアムの到着時間や退場時間の分布は、定点観測による全数データがないため、第4章の「4.3. イベントにおける交通行動調査」で取り上げた札幌ドームでのサッカー観戦のデータを用いた。この分布データは、PHS と Power-Antenna を使用することで、移動体を定点観測のように計測したものである。その際の到着時間と退場時間分布を図 5.3-1 に示す。
- ・ 鉄道データ：大阪市内を通過する JR、私鉄、地下鉄を中心に取り上げている（図 5.3-2）。ネットワークデータに含まれる情報は駅間の所要時間のみで、料金については考慮していない。また、他路線への乗り継ぎについては、乗り継ぎ可能な駅間にダミーリンクを設け、平均的な徒歩時間を与えている。
- ・ 駅データ：会場へのアクセス駅は、図 5.3-3 に示すように会場のある長居公園周辺の 7 駅とし、各駅から会場までいくつかの経路を用意した。各駅のアクセスルートの条件を表 5.3-1 に示す。
- ・ 混雑緩和の交通施策：本シミュレーションでは 5.4.2. で紹介した交通施策を組み込むことができるため、今回のケーススタディでは、札幌ドームでの調査でも行われていたサブイベントの実施と、駅誘導を組み込むこととした。サブイベントの時間を 0 分（イベントなし）、30 分、60 分とした場合の結果を比較する。

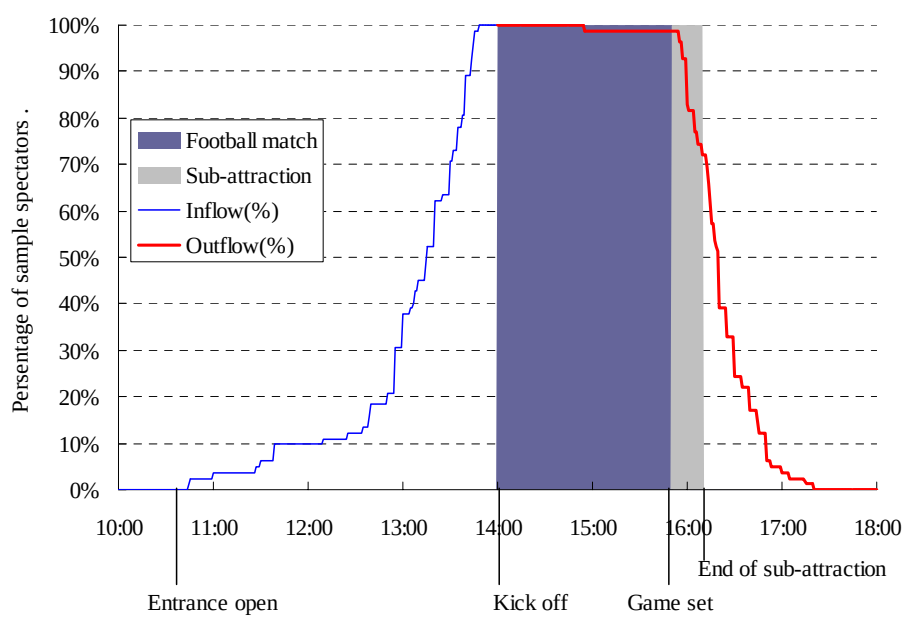


図 5.3-1 サンプルとなる札幌ドームでの会場到着と退場の時間分布

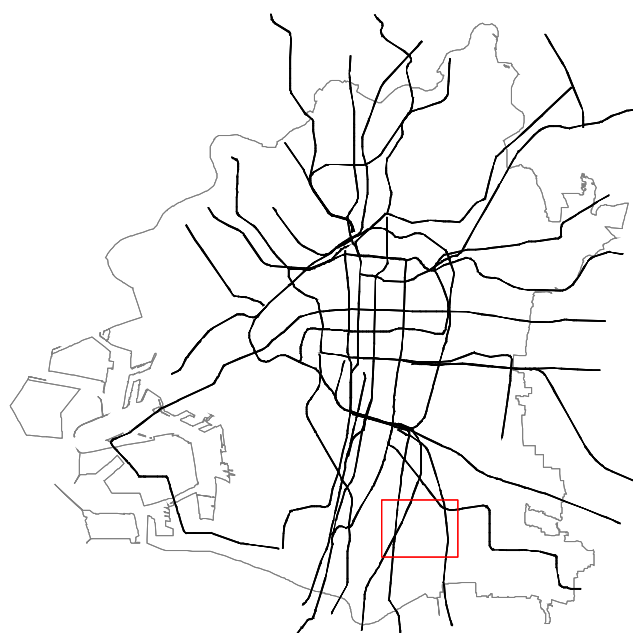


図 5.3-2 対象となる鉄道ネットワーク

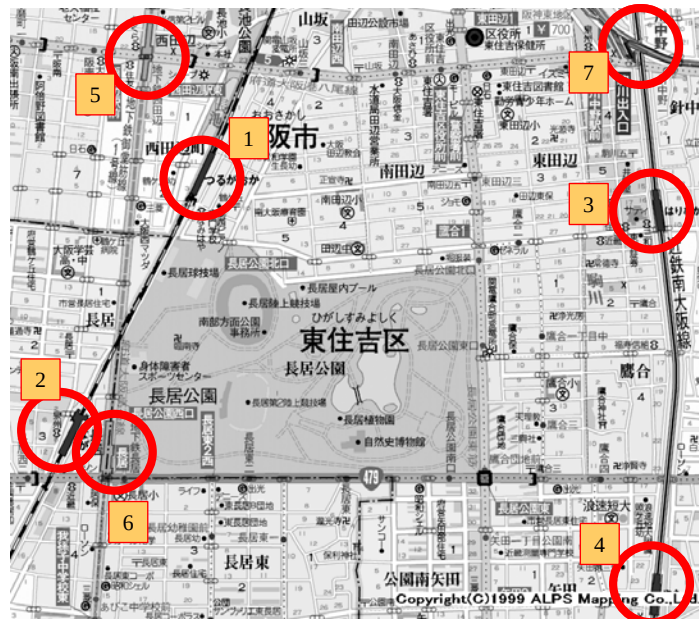


図 5.3-3 会場周辺のアクセス駅

表 5.3-1 各駅のアクセスルートの条件

番号	駅名	ルート数	平均距離(m)
1	JR鶴ヶ丘	2	357.5
2	JR長居	2	667.0
3	近鉄針中野	3	1397.0
4	近鉄矢田	2	1963.5
5	地下鉄西田辺	2	997.5
6	地下鉄長居	2	633.0
7	地下鉄駒川中野	3	1862.0

5.3.2. シミュレーション結果

シミュレーションによって発生させたクロンのデータのうち、試合直後の様子を GIS 上に表示した結果を図 5.3-4 に示す。会場周辺のアクセス駅で待ち行列が発生し、その後解消される様子が再現された。また、この図に示すように、各クロンの現在位置は地図上の座標を持つことで、通常的位置データと同様に、時間・空間のどちらでも集計を行うことが可能となる。

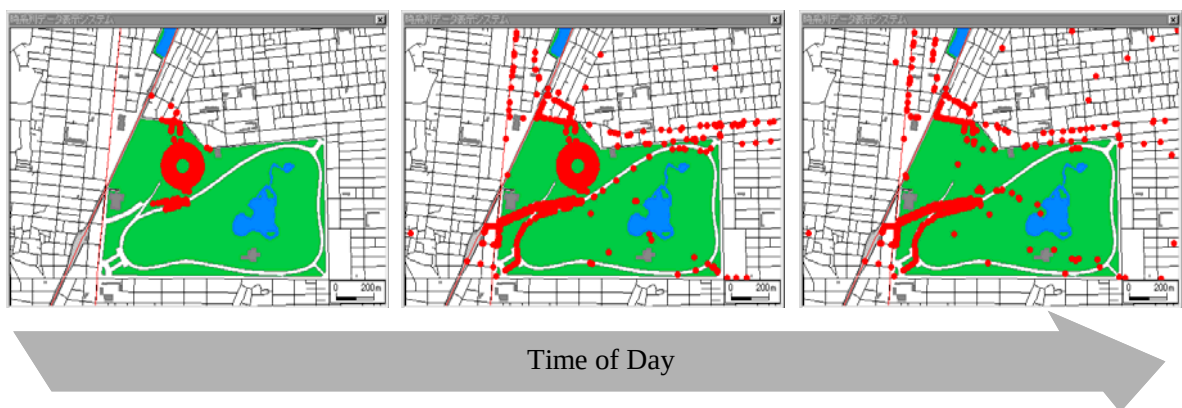


図 5.3-4 試合終了後の観客の状態

混雑緩和の交通施策として、サブイベントを実施する時間の違いについて着目することとした。試合終了後のサブイベント実施による退場時間分布を、3つの異なるイベント時間について比較した結果を図 5.3-5 に示す。この結果より、サブイベント時間の違いにより、退場時間が分散されている様子が分かる。

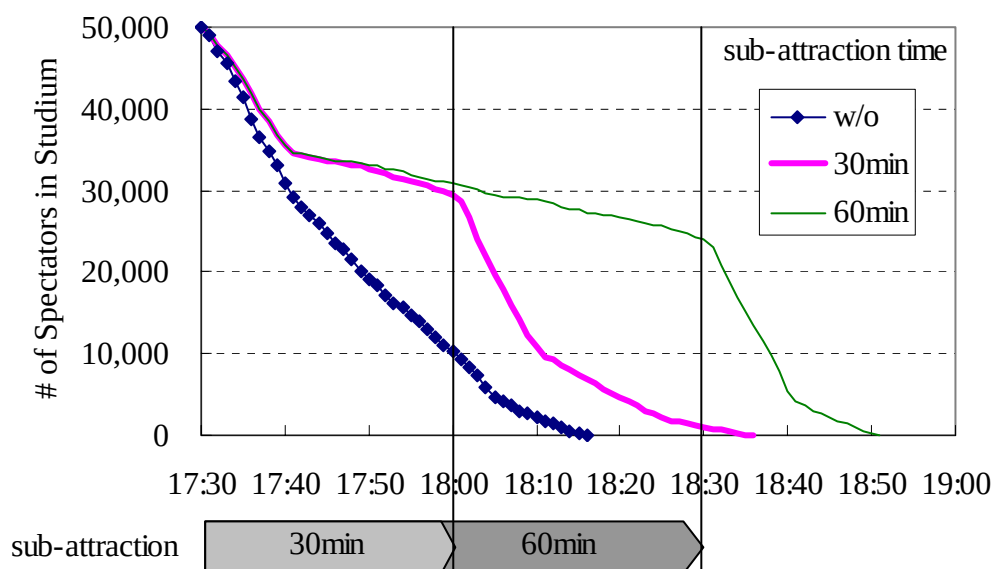


図 5.3-5 サブイベントによる退場時間分布の変化

続いて、それぞれのサブイベントによる駅での混雑緩和の効果を、駅でのロス時間をもとに評価を行う。ロス時間の算出は、個人行動プロファイルデータのアクセス駅出発（予定）時刻と、混雑により実際に出発した時刻の差で算出される。それぞれのサブイベント毎に算出したロス時間と駅での待ち人数を表したものを図 5.3-6 に示す。平均待ち時間はサブイベントの時間が長く

なるほど減少する傾向が見られた。サブイベントを実施しないケースと 60 分行った場合の平均ロス時間を比べると、約 1/4 まで減少している。しかし、待ち行列の人数分布に着目すると、サブイベントを 60 分とした場合だけ他のケースとは異なり、ピークが 2 度発生するがその最大人数は他と変わらないという結果となった。この結果の解釈としては、サブイベント時間が 30 分の場合は、メインイベントによる混雑が解消する前にサブイベントによる混雑が発生し、駅での待ち人数がすぐに増えていると考えられる。サブイベントが 60 分の場合は、そのメインイベントの混雑がほとんど解消した後にサブイベントの混雑が発生したために、駅での待ち人数のピークが 2 度表れたと推測される。この推測は、第 4 章の「4.3.5. 狭域エリアでの分析結果」の図 4.3-18 で示したように、会場から駅までの所要時間がピーク時では 50 分程度となることから裏付けがされる。

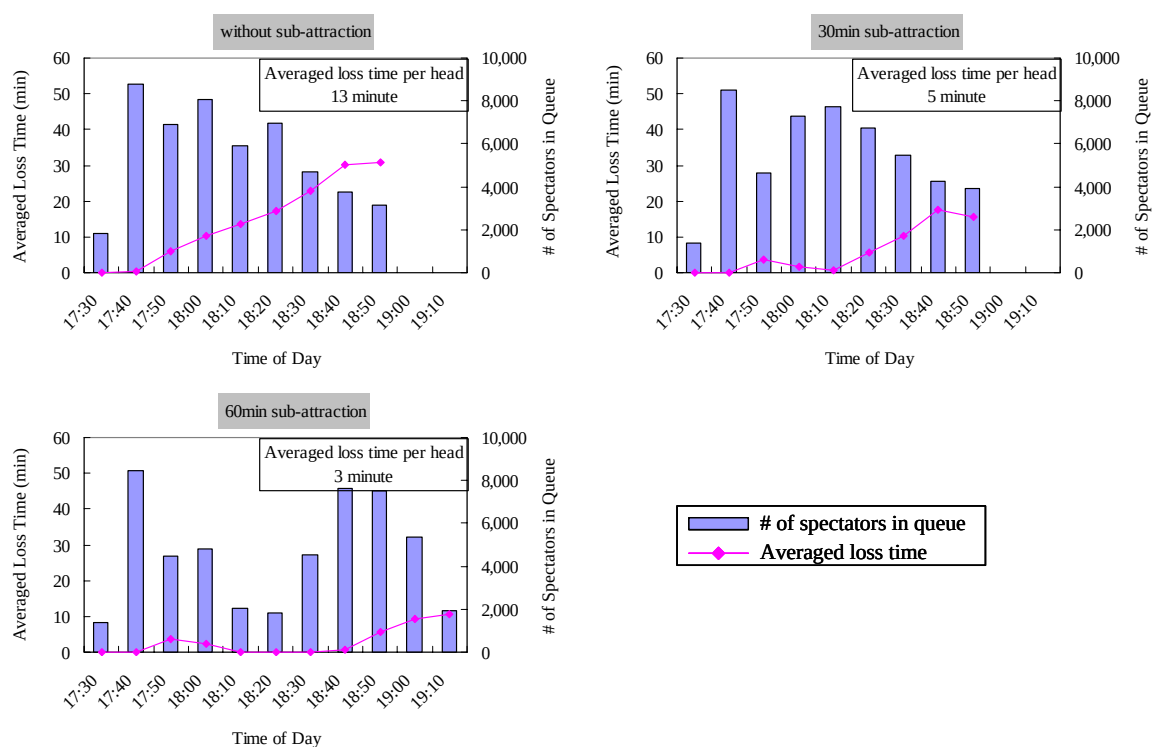


図 5.3-6 サブイベントによる駅での混雑緩和の効果

最後に、図 5.3-5 と図 5.3-6 を通じて、次のことを結論づけることができる。まず、図 5.3-5 より会場を退場する人数はそれぞれのケースで大きくことなっている。しかし、駅での待ち人数は一定の割合で続くことが図 5.3-6 より確認できた。これらのことより、サブアトラクションに参加しない観客は、駅での混雑に巻き込まれ時間をロスしているのに対して、サブアトラクションに参加する観客はその時間をそのアトラクションを楽しむことに費やすことができていると考えられる。

5.4. まとめ

本章では、人の交通行動に焦点を絞り、サンプルベースで取得できる移動体観測データと全数観測できる定点観測データのそれぞれの分布をベースとして、それらを拡大することで対象地域の交通流動を記述するクローニングシミュレーションを開発した。

このシミュレーションは、2つのサブモデルから成り立つ。1つ目は、もととなる移動体の位置データを時間的・空間的に集計することによって得られる様々な分布（確率分布）をできるだけそのまま利用することで、仮想的な人の行動プロファイルデータを作成する。2つ目は鉄道を利用してイベントに参加する観客の移動の状態を表現するものである。また、定点観測データの分布などにより、駅に集中する利用客によって発生する混雑を再現することもでき、さらに、その混雑緩和のための交通施策の効果も計測することも可能である。

そのケーススタディとして、サッカー観戦を想定したシミュレーションを行った。その際、帰宅時の駅誘導やサブイベント開催による出口混雑の緩和といった交通施策を実施した場合の結果について比較を行った。その結果、サブイベントを長く実施するほど、駅での待ち時間が短くなるという結果となった。しかし、駅での待ち人数は一定の割合で続くことから、サブイベントに参加する観客は、駅での待ち時間分を会場のアトラクションで楽しむことができていると考えられる。

<第5章の参考文献>

- [1] 朝倉康夫, 羽藤英二, 大藤武彦, 田名部淳: PHS による位置情報を用いた交通行動調査手法, 土木学会論文集 No.653 / IV-48, pp95-104, 2000
- [2] 朝倉康夫, 羽藤英二: 特定地区に集中する交通需要の適正化・分散方策～移動体通信による位置データの利用可能性～, 土木学会第 37 回土木計画学シンポジウム, pp.263-270, 2001
- [3] 藤井聡: Micro-Simulation モデルシステムの概要 (16 章 1 節), 交通行動の分析とモデリング (北村隆一・森川高行編著), 技報堂出版, 2002
- [4] 阪神高速の交通管制システム (パンフレット), 阪神高速道路公団 (現 阪神高速道路株式会社), 2003
- [5] 鈴木雄高, 日比野直彦, 毛利雄一, 兵藤哲朗: ビデオ画像を用いた歩行者挙動分析に関する考察, 第 21 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.153 - 156, 2001
- [6] 日比野直彦, 中山泰成, 内山久雄, 高平剛: 鉄道駅における歩行者データの取得および活用方法に関する一考察, 土木計画学研究・講演集 Vol.27, CD-ROM, 2003
- [7] 北澤桂, 趙卉菁, 柴崎亮介: 駅構内における移動者の空間行動計測と分析, 土木計画学研究・講演集 Vol.27, CD-ROM, 2003

第6章 結論

本論文は移動体観測によるデータと定点観測によるデータに着目し、それぞれのデータが持つ特徴を活かした交通行動分析について研究を行った。各章の研究で得られた結果を以下にまとめる。

第1章では、交通行動や交通状況を把握する調査として、従来から行われてきたアンケートベースの調査や定点観測による調査と、近年の情報通信機器の高度化により可能となった移動体の位置データに関する調査を取り上げ、それぞれの課題の整理を行った。また、それらの調査と本研究の関係をまとめた。

第2章では、「定点観測による OD 交通量推計」として、阪神高速道路をフィールドとして、定点観測データである車両検知器データと AVI データをもとに、OD 交通量を推計する手法を提案した。

はじめに、観測項目が異なる AVI データでも尤もらしいマッチングを行うために、乖離度という指標を用いるという新たなマッチング手法を提案した。続いて、AVI マッチングにより得られた OD 間の遷移確率より、OD 推計モデルを用いて、全体の OD 交通量を推計する手法の提案を行った。ここで、OD 推計モデルで必要となるインプットデータは AVI マッチングでは算出できない環状線関係の交通量が必要となるため、検知器の観測交通量と AVI の捕捉率をもとにそれらを算出する具体的な作成方法を提案した。OD 推計結果では、AVI データのマッチング結果を使用することで、起終点調査の値よりも精度の良い OD が推計できることが分かった。

最後に、定点観測による AVI マッチングの代わりに移動体観測であるプローブカーの OD 間遷移確率をインプットデータとして、OD 推計を行う手法を提案した。その結果は全交通量に対するプローブカーの割合に依存すると考えられるため、プローブ率を変化させてその精度検証を行った。その結果、3%程度のプローブ率を確保すれば十分な精度の OD 推計ができていることを示し、プローブカーによる OD 推計の有効性についても示すことができた。

第3章では、「移動体情報をもとにした交通情報作成に関する分析」として、移動体観測データである車両（プローブカー）の位置データを元に、時々刻々と変化する道路状況を反映したリンク情報、ならびに道路交通情報の作成手法を提案した。

はじめにプローブカーの位置データから交通情報を作成するための一般的な手法についてまとめた。そして、より精度の高いリンク情報を作成する手法として、ノードの通過時刻を位置データから求める手法を提案した。また、それらのリンク情報を集約し、単位時間あたりの道路交通情報を作成する方法を示した。これらの提案した交通情報作成手法の検証を行うために、実際に50台のプローブカー調査データより交通情報の作成及び精度検証を行った。作成された単位時間の各リンク情報は急激な速度変化をその瞬間に捉えることができているなど、その情報精度の高

さが確認できた。

第4章では、「移動体位置情報をもとにした人の交通行動に関する分析」として、人を対象とした位置特定デバイスの種類とその特徴をまとめ、これらのデバイスを使用して行われた行動調査調査の事例の整理を行った。さらに、位置データを取得した以下の3種類の調査についてそれぞれ分析を行った。

イベントにおける交通行動分析では、PEAMON と簡易アンテナ(PA)を用いて、基地局ID(CSID)を利用したモニタリングシステムを提案した。このシステムの検証として、サッカー観戦時の被験者の交通行動について、広域と狭域という二つの視点から分析を行った。

観光行動時における観光情報参照行動では、飛鳥ナビの移動ログと情報操作ログをもとに、情報内容とその情報へのアクセス状況について分析を行った。その結果、参照場所や参照時刻によりアクセス情報に特徴が表れることがわかった。

観光計画と実行動の変化と広域周遊型観光行動では、観光中の詳細な行動データを取得し、それをもとにクラスター分析を行うことで、従来のアンケート調査では得られなかった実行動に基づく周遊型観光行動の類型結果を得ることができた。

第5章では、「移動体位置データと定点観測データを活用したシミュレーション」として、人の交通行動に焦点を絞り、サンプルベースで取得できる移動体観測データと全数観測できる定点観測データのそれぞれの分布をベースとして、それらを拡大することで対象地域の交通流動を記述するクローニングシミュレーションを開発した。このシミュレーションのケーススタディとして、サッカー観戦を想定したシミュレーションを行った。その際、帰宅時の駅誘導やサブイベント開催による出口混雑の緩和といった交通施策を実施した場合について比較を行った。その結果、交通施策による混雑の影響が計測でき、それぞれの効果を評価することができた。

最後に、今後の研究方針を述べる。

近年の技術革新はめまぐるしく進展しており、移動体観測や定点観測に限らず、従来の技術では取得が困難であった交通現象や交通行動が次々と計測可能になってきている。本論文内で紹介した計測機器や観測手法、並びに本研究で提案した分析手法に関しても、当時（あるいは現在）は優れた機器や手法であったとしても、その数年後には技術の進歩によってそれらを凌ぐ正確なデータが大量に、しかも、より手軽に取得できるようになっているかもしれない。一研究者としては、その当時の技術条件の下で苦労の末に考え出された手法ではなく、全く別の分野による技術革新によって、いともたやすくそれらのデータが取得できるというのは寂しい限りである。が、それと同時に、その技術や新たなデータにより、別のアイデアがひらめき、研究の視野がより広がるという楽しみも生まれるかもしれない。もちろんそのような姿勢は研究を行う上で非常に大切ではあるが、より重要なことは、その技術やデータを冷静に判断し、従来の研究に生かせる何かを見つめ直すことだと考える。今後も、新たな技術やデータを柔軟に取り入れつつも、従来からの研究をより発展させるような姿勢を持ち続けて様々な研究を続けていきたい。

謝辞

本論文を結ぶにあたって、本研究を遂行する上でご指導とご援助いただいた方々に対して、ここに感謝の意を表します。

神戸大学自然科学研究科 朝倉康夫教授には、愛媛大学の学部生の頃より長年に渡り、終始暖かいご指導とご鞭撻をいただきました。本研究の遂行に際しても、幅広い知見と柔軟で多角的な発想にもとづく数多くの的確なる助言をいただけたことで研究を進めることができました。ここに深甚たる感謝の意を表します。

東京大学都市工学科 羽藤英二助教授には、愛媛大学を修了後も引き続き、研究に関する貴重なご指摘と叱咤激励を幾度となくいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

田名部淳氏をはじめとして株式会社都市交通計画研究所の皆様には、社会人博士課程という状況に対してご配慮いただいたのみならず、研究に関する数々の貴重なご意見とご指導をいただきました。心から深く感謝します。

また、阪神高速株式会社、国土交通省近畿地方整備局奈良国道工事事務所、NEXCO 西日本四国支社の方々のご協力とご理解により、貴重なデータを提供していただきました。本研究はこれらのデータ提供なしでは決して成り立ちませんでした。ここに改めて感謝の意を示します。

最後に、本研究の内容を学会の場で発表した際、数多くの方々から貴重なご意見や討論をいただきました。それによって本研究をより深みのあるものに発展させることができました。ここに厚くお礼を申し上げます。

杉野 勝敏